教科と内容構成新ビジョンの解明―米国・欧州STEM・リテラシー教育との比較より

課題番号　15H03493

平成27年度～平成29年度　科学研究費補助金（基盤研究(B)）

最終報告書

平成30年 3 月

研究代表者　長洲　南海男

（筑波大学・名誉教授）

はじめに

STEM 教育の始まりの米国では、昨年 STEM(Science, Technology, Engineering and Mathematics)法が Art の加わった STEAM 法になった。近年、世界的動向となってきている STEM（STEAM）教育の理念と実際、現在に至る経緯、更には一体どのような人物が関わっているのであろうか？　欧州の英国、ドイツ、オランダ等の STEM 教育はどのようになっているのか？

戦前、特に日本の学術、教育等にかなりの影響力を持っていたドイツにおいては、ドイツ語で MINT (Mathematic, Information, Naturwissenschaften und Technologie)と称されて、英語圏での STEM とは異なり、「情報」が明確に位置づけられている。世界、特に先進諸国はそれぞれ成立の歴史があり、国毎に教育システムは異なっている。欧州の教育システムに関しては、米国の学校制度の単線型とは異なって、複線型である。近年の EU 文化圏という観点から、所謂ボローニャ・プロセスにより EU 圏内の高等教育の相互互換システム等が進展してきている。それに対して、初等、中等教育は各国独自の複線型を維持している。このような背景の教育システム、教育文化を充分に理解した上で、欧州各国と米国とを理解する必要があることを念頭に入れて置くことが肝心である。

本報告書は、分担者が実際に米国、オランダ、英国、ドイツに調査に行き、各国の STEM 教育の実態を調査し、報告したものである。

本報告書は大きく二つに分かれる。一つは実際に五感を通じて実態調査をしてきた上記各国の調査結果、もう一つはインターネットによる情報収集、それも膨大な情報を整理しながら、相互関連付けて明らかにしたものである。

なお、英国の技術科教育の観点に関しては、既に 2017 年 9 月の日本教科教育学会北海道教育大学札幌校における第 43 回全国大会で発表済みである。また、米国のリテラシー教育としての言語教育の観点からの調査結果は、前回の第 1 回中間報告書に既に報告済みである。この中間報告書において、米国の実態調査及び文献調査に基づく報告は、数学教育学と理科教育学の各分担者により論じられている。

ドイツの MINT に関しては、実地調査報告と文献による報告の 2 種類があるので、両者相互補完的に読んで貰うと理解が深まるであろう。

オランダに関しては、大谷実分担者のこれまでの先方とのしっかりした繋がりを元にした詳細な報告を読むとオランダでは明確に STEM 教育と標榜していないが、今後の STEM 教育のあるべき姿を読み取ることができる。従って、我が国において今後の取り組みへの示唆を得ること大であると見做せ、英米独各国と併せて今後の STEM 教育研究への重要な報告であり、教育に関わる方々への重要な情報源となり得ると期待できる。

さらに、研究代表者による本報告書は、米国を対象にインターネット及び各種文献から入手した情報を基に、米国の STEM 教育の法的、行政的、財政的側面からの分析及び科学教育学の研究則面からの追求もなされた。これらの解析により明らかになった結果及び考察に基づき、法的、行財政面と関連分野の研究的面との両面より STEM 教育がなされているので、これを二重モデルと称することとした。さらに、研究面からはパラダイムシフトとも言える革新的な取り組みが行われている。この事を念頭に、その成立過程の解明により更なる発展展開が期待できるので、研究者及び教育実践者各位には、大いなる興味を持って読んで頂きたい。

目　　次

はじめに　長洲南海男

1　フレームワーク及び次世代科学スタンダーズにおける LPs（Learning Progressions: 知的内容の発達構成）とは　その 1
―携わった人物（複数）、特に Helen Quinn 言説より識る基本概念（Basic Concepts）から核となる考え方（Core Ideas）への転換―
……長洲南海男　1

2　フレームワーク及び次世代科学スタンダーズにおける LPs（Learning Progressions: 知的内容の発達構成）とは　その 2
―Taking to School（2000）を起点としての経緯における人物との関連より
……長洲南海男　19

3　米国における STEM 教育の現状
―所謂（理数科）教育の現代化運動との対比より―
……長洲南海男　39

4　米国の STEM 教育における化学教育－ACS（米国化学会）の観点より
……長洲南海男　53

5　フレームワーク及び NGSS の Life Sciences における LPs に基づいた学習内容構成の解明
……北田　典子、長洲南海男　67

6　米国の STEM 教育における科学教育の革新的動向
―Framework と NGSS の Physical Sciences を主としたエネルギー概念より―
……出口　憲　81

7　アメリカ・カルフォルニア州における科学教育改革の展開
―州科学スダンダードの開発・導入に着目して―
……内ノ倉真吾　93

8　米国の科学の授業でのエンジニアリングとテクノロジーの扱い
……畑中　敏伸　103

9　米国ミネソタ州ミドルスクールにおける STEM 教育の事例
―コロンビア・アカデミーでの “Engineering” の授業―
……石崎　友規　117

10　科学教育におけるエンジニアリング･デザインの導入
―米国オレゴン州スタンダードを事例として―
……人見　久城　125

11　STEM 教育における数学の位置づけについて
―数学的モデリング研究の成果を踏まえて―
……二宮　裕之、日野　圭子　135

12　米国における STEM 教育の展開に関する事例分析
ノースカロライナ州立大、ノースカロライナ科学数学高校への訪問を中心に
……清水　美憲　151

13　米国における STEM 教育とジェンダー
―新しい科学教育の Framework および NGSS における記載内容と
STEM 教育の女性関係者に着目して―
……稲田　結美　161

14　ドイツにおける MINT 教育の諸相
―MINT 関連教育政策の動向と中等化学教育の内容構成を中心に―
……遠藤　優介　169

15　ドイツの MINT 教育
……吉岡　亮衛　177

16　オランダ王国の数学教育に学ぶ
―「教授ー学習軌道」と「数学コンテクスト」の意義―
……大谷　　実　195

フレームワーク及び次世代科学スタンダーズにおける LPs(Learning Progressions:知的内容の発達構成)とは　その１

―携わった人物(複数)、特に Helen Quinn の言説より識る「基本概念（Basic Concepts）から核となる観方（Core Ideas）」への転換―

長洲南海男（筑波大学）

はじめに

米国(以下米国を対象にするので、「米国」の用語は特に記す以外は省略する)において STEM(近年は後述するように STEAM と呼称されるが、本稿では科学教育学分野として STEM の呼称を用いる)教育を考察するには、米国の科学教育諸分野関連学会のみならず科学関連学会をも考察の対象に含めねば、正確な全体像を把握できない。何故なら、後述するように米国の科学教育分野の代表的且つ世界最大の会員５万人以上を擁する科学教育学会組織の NSTA を含めた科学教育関連諸学会、科学関連学会の代表組織として NAS、NRC、AAAS 等は、これから明らかにしていく、STEM 教育に関する政策と実施組織であるからである。即ち、STEM 教育に関する連邦法、それを具体化する行財政、そして、STEM 教育の具体的展開、特に教育界における理論と実践は上述の NSTA を代表とする科学教育分野関連学会、AAAS 及び NAS 等の科学関連学会組織、Achieve 等の非営利団体を中心に動いているからである。

実際にはこれらの組織に属する研究者や教師或いは行政及び政策関連者により理論と実践がなされている。それ故、結果としての理論や政策と実践活動のみならず、それらに携わった人物(人間)も対象に含めねば、正確な全体像に迫れないからである。

この科学教育関連学会並びに科学関連諸学会が、米国の科学教育のイニシアティブをとり、リーダーシップとして、コーディネータ、カリキュラム開発者等と呼ばれている人達に情報提供や開発の具体策を提供している。この点が、教育を含めた 文化、スポーツ、科学と技術等諸々の統括指令本部である日本の文部科学省（Ministry of Ministry of Education, Education, Culture, Sports, Science and Technology-Japan と英語表記が如実）に対して、連邦教育省(U.S. Department of Education;名称の如く教育にのみ限定された連邦省庁)は教育に関する事柄をコントロールしてはならない、教育に関する事柄は州或いは学校区の地域に委ねる米国とは根本的に異なっていることを銘記して、以下進める（詳細は科研費報告書を読んで貰いたい。連邦教育省の H.P.には以下のことをしてはならないと言う記述で、大学や学校も含めて教育をコントロールしてはならないと銘記している）。それ故、日本の文科省が定める「学習指導要領」のような全国統一のような存在は合州国憲法により、禁じられているので、州及び教育行政の基本的単位である学校区(School district)毎にカリキュラムや諸基準を設定作成せねばならない。これが School based curriculum の根源である。それ故に具体的には学校毎に、教師毎にカリキュラム、従って、使用する textbook 或いは関連の教材が異なる。

そのため、以下に述べる全米レベルのスタンダードを作っても、実際には教師一人一人が意識を持って、このスタンダードに基づいてカリキュラムを作成し、この全米レベルのスタンダードを基準に作成した Textbook を用いて実際に授業をして貰わないと、単なる絵に描いた餅に終わってしまう。1960～70 年代のアルファベットカリキュラムもそれに基づいた Textbook を使用したのは、実際には全米の科学教師の半分にも満たず、それ故、大半の一般の科学教師は伝統的な商業出版社の Textbook であった。その苦い経験も含めて、カリキュラムでないと銘記し、各教師がカリキュラムを作成する際の資料であるとしている。そのため、後述する NSTA の３種類

即ち、初等学校(Elementary school)この学校種に関しての説明と翻訳語に関しては後述の p6 参照、Middle School (註1) High School それぞれの学校段階の科学教師対象の最近の月刊雑誌は、3 種類それぞれが次世代科学スタンダーズとの位置づけを明確にして、直ぐに教える事が出来る指導プランの基として作成して、教育実践のための論文内容となっている。数年前までの NSTA の前記の 3 種の雑誌では NGSS との直接的関連付けよりは様々な教育内容、教材に関する所謂指導方策の具体策等を記載してきたのとは大いなる違いである。

(註1) 当方が文部省の在外研究員として、アイオワ大学（University of Iowa）に行っていた 1990～1991 年時期に全米で Middle School Movement が起こっていて、それまでの Junior high School の通常の 7～9 学年では子どもの発達と社会とが充分に対応出来ないので、Elementary level（5～6 学年）から High School の 9~10 学年の間（middle）の学校として学年段階を編成し直した方が適切であると言う運動(下記参照)が起こり、全米で Junior high School を再編成し直して、Middle School に変えていく運動が起こっていた。しかし、当方が住んでいた Iowa City School District は従来の Junior high School の形態のままであった。

現在は、全米のかなりが、Elementary School (K-5G)、Middle School(6 ～8, 9 G) , High School (9,10~12G) の学年及び形態となっている。それ故、NSTA の 3 種の雑誌は対象をこのような学校段階に対応している。

参照：A Brief History of Middle School Level

(http://drs.dadeschools.net/LiteratureReviews/Middle_Grades_Reform.pdf)

1．何故基本概念（Basic concept）でなく Core Ideas(核となる捉え方)なのか

1.1 フレームワーク作成の「新しい K-12 科学教育学スタンダーズのための概念的枠組みの関する委員会」の委員構成

2012 年に NAS が、A Framework for K-12 Science Education Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas (https://www.nap.edu/catalog/13165/a-framework-for-k-12-science-education-practices-crosscutting-concepts) を出版し、米国のみならず世界からのフィードバック情報を基に、改訂版とも言える、Next Generation Science Standards For States, By States(https://www.nextgenscience.org)を翌 2013 年に出版する。以降前者をフレームワーク、後者を次世代科学スタンダーズと略称する。

後者は 2 分冊として、Vol.1: The Standards—Arranged by Disciplinary Core Ideas and by Topic、Volume 2 : Appendixes と称している。Volume 1 にはこの次世代科学スタンダーズ作成に関わった 4 つの科学関連の学会組織(NRS, NAS, AAAS,それに NSTA)と、非営利粗機の Achieve、リーダーシップを持って、フィードバックを行った 26 州（アリゾナ、カリフォルニア、ジョージア、アイオワ、ミネソタ、ミシガン、テネシー、ノースカロライナ、ニューヨーク、ロードアイランド、オレゴン、メリーランド、ワシントン、西バージニア等の各州）、財政援助の財団として、カーネギー会社、GE 財団、ノイス財団、ボーイング、シスコ財団、デュポンを挙げている。

この次世代科学スタンダーズのタイトルの後に、For State, By State と書かれていることは、これら 26 州により試行評価が州により(by)、州のために(for)行われたこと、さらには、今後州により（by）州のために（for）実施して貰いたいという意味を含めていると見做せよう。なお、現在(2018 年 1 月)時点で次世代科学スタンダーズを採用しているのは 19 州と Washington D.C.(註2)である。

(註2) Washington D.C.日本語ワシントン D.C.とは州ではなく、あくまで District であって、州のように上院、下院に議員を送れないので、米国では特殊な地域である。

https://ja.wikipedia.org/wiki/ワシントン D.C.及び https://en.wikipedia.org/wiki/Washington,_D.C.；2018.1.28）

それ故､スタンダードカリキュラムとして次世代科学スタンダーズを採用しているのは全米 50 州の半分以下の州というのが現状である。

執筆リーダーシップチーム（Rodger Bybee、Richard Duschl, Joe, Krajcik, Okhee Lee, Cary Sneider 等 10 人の委員）に関しては後述するが、関わった関連団体組織（関連学会や大学、学校、学校区等具体的名前を列記）、個人として 1 万人以上、それに上述の Achieve の科学チームが協力している。この Volume 2 の内容は次の二部構成となっている。即ち、Volume 2: Appendixes として A から M までの 13 項目、それに Preface と Glossary である。それに Volume 1:The Standards—Arranged by Disciplinary Core Ideas and by Topics となっている。知識内容及びその構成に関する用語はこれまで、アルファベットカリキュラム時代の教育内容の基本として、科学の「基本概念」を明らかにして、この基本概念を中心に下位概念を定め、それらを基に内容構成、系統を定めていくのが、教育内容構成、カリキュラム構成と思い込んできていた。ところが、フレームワークにしても次世代科学スタンダーズにしても「基本概念」の Basic Concept 或いは Concept なる用語は何処を捜しても見いだせず、それに近い用語は Core Ideas である。何故、Concept でなくて、Core Ideas なのか、当初はこの疑問が解決できないまま、フレームワーク及び次世代科学スタンダーズの教育内容構成を見ていた。

この疑問が解決できぬまま、フレームワーク作成に至る事柄を諸々調べていった。先ずはフレームワーク作成それに次世代科学スタンダーズに関わった人物達の研究文献、そこから紐解いてフレームワーク作成に至る研究の歴史的経歴等を調べて行くに従い、漸く当初の疑問が解け出したのである。何故なら、これら人物に関わった人物の専門履歴を調べて行くにつれ、LPs に至る過程や諸事実をそれらの研究の諸成果と併せて考察していくにつれ、Core Ideas 及び LPs をキーワードにした将にフレームワークの概念的な枠組み変換を明確にし､その具体的事例と方策が展開されていることが解ってきた。換言するなら、委員会の名称が、科学教育学として、将に本質的意味が籠められていると言うことになる｡別な観方に立てば､そこに Basic concepts から Cora Ideas への転換、変換の理由、意味が見えてきた。このフレームワーク作成には次の 2 種類の委員会が作られる。一つは｢新しい K-12 科学教育学スタンダーズのための概念的枠組み（Conceptual framework）に関する委員会｣であり、もう一つは「執筆チーム」である。これは｢執筆リーダーシップチーム｣と「執筆チーム」の 2 種類作られ、後述するように特に前者のチームを注目する必要がある。委員会に関して話を元に戻すと、前者の委員会の名称に注目される。即ち､｢新しい K-12 科学教育学スタンダーズのための概念的枠組み（Conceptual framework）に関する委員会｣のような名称にしたことは、K-12 科学教育学スタンダーズに関して、それまでとは、革新的、或いは根源的に、それまでの枠組みを変換して、新しい枠組みで作り直すと言う意気込みを籠めて委員会を設定したのではないかと推測される。その意気込みで人選した(された)結果が、第一線の理論物理学研究者（女性）であり、なおかつ Taking Science to School の委員であったことにより、最新の認知発達、学習論そして科学教育学に関しても熟知している Helen Quinn を委員長に任命したのではないであろうか。それ故、彼女は「科学教育執行委員会」の委員長も兼ねることになるのではないかと推察できる。

この事に関して、Quin 自身インターネットジャーナルの Quanta magazine の 2016 年 10 月 18 日号の雑誌編集者の Thomas Lin とのインタビュー記事で次のように述べている。

編集者質問、「あなたのキャリア－（筆者註、理論物理学研究者としての研究業績は本報告書での出口憲論文に述べられているように輝かしい）の後に、何故科学教育学に固着する(fix)ようになってきたのですか？」との

問いに対して、以下のような要旨の答えをしているが、その前に、先ず前者の委員に関して、その構成委員の名前と研究分野を主にインターネットより調べて見ると興味あることが判明したので、以下にそのことを記述しよう。

1.2.「新しいK-12科学教育学スタンダーズのための概念的枠組みの関する委員会」(図１)より見えることは

図1に示される委員会名称の「新しい K-12 科学教育学スタンダーズのための概念的枠組み」における、「新しい……概念的枠組み」とは何を意味するのかを構成委員の専門分野業績より解明していこう。それによりそれまでの捉え方の何が「新しい……概念的枠組み」かが解るであろう。

メンバーの顔ぶれである。合計18人の履歴を基に考察すると、この疑問の一端が紐解けてくる。ノーベル化学賞とノーベル物理学賞受賞者がそれぞれ1人、物理学研究者がノーベル物理学賞受賞者を含めて2人、化学研究者がノーベル化学賞受賞者の1名、生物学(生命科学)研究者が3人、数学研究者が1人、学校科学教師及び教育行政職が2人、数学教育1名、認知発達及び認知科学(LPsを含む)3人、科学教育学2人、情報工学1名であって、将に多彩で、しかも広義の自然科学の自己の専門分野を持ちながら、科学教育実践に関する事柄に積極的に関ったり、自分で科学教育に関するプロジェクトを行ったりしている研究者が多いことである。逆に言えば、科学教育学を専門にしているのは、12番目のJonathan Osborne唯一人で、他の17名は科学教育学研究者ではないのである。この点は大いなる驚きであり、このような米国における全米レベルの科学教育の理論と実際に関する科学教育政策と日本におけるこのような事柄として「理科教育」に関する全国レベルの教育政策とを比べてみること自体、全く物事の根本が異なるので、比較できない。唯言えることは、全米の衆知を集めて、最新の理論と実践両面において、事実を基に将に様々な科学教師に理解して貰え、説明、説得できるために最大限の努力労力を払っていると見做せる。

翻って、教育に対する根本的考え方（連邦政府は教育に関する事を司ってはならない連邦法を有する米国と、文科省が将に指令本部の如き日本）が異なるが故に、このように学校教師も含む学術集団の組織がイニシアティブをとる米国との大いなる差異を実感する。この事は、委員会の名称が、「新しいK-12科学教育学スタンダーズのための概念的枠組み」と呼称して、全米レベルに強くアピールする必要があることが理解できると言えよう。

では何故、新しい概念的枠組みなのか、図2の人物で探るLPsの本委員会メンバー構成とメンバーの専門領域より考察していこう。そこで、本委員会メンバー構成で注目すべき次の3点を挙げることが出来る。

①日本ではノーベル賞受賞者を委員長にしがちであるが、ここでは委員長はノーベル賞受賞ではないが第一線の理論物理学の女性研究者である委員長のHelen R.Quinnである。

②委員の一人のThomas B. CorcoranとJonathan Osborneの2人には大いに注目される。

③もう一つの注目点は女性科学者が5名参加して、1名が上述の委員長のHelen R.Quinnである。

これら STEM 教育における女性研究者の参加について、所謂ジェンダーの観点からの考察は本科学研究費最終報告書の稲田結美分担者の論文を参照されたい。

これら3点に関しては以下の事柄を明らかにしながら、考察していこう。これらを踏まえて本委員会の名称に関して考察する前に、（註3）として以下に新しいK-12科学教育学スタンダーズ(standards)と言う複数型の意味を確認しておこう。

（註3）日本では文科省が定める、「学習指導要領」は唯一無二の存在となって、全国の教師達はあたかも金科玉条の如く、只管忠実に如何に実践するかに夢中になる。しかし、10年後にはあれほど夢中になっていたその「旧学習指導要領」を忘却して、次の唯一無二の「新学習指導要領」に夢中になってきたのが、日本の

実情である。それに対して、米国は連邦政府の「教育省」は連邦（つまり国）レベルのカリキュラム作成–教育内容、教員免許、Textbook 等を含むそれに大学設置も– 禁じられているので、州や学校区毎にこれらカリキュラムを作成せねばならない。それ故、州、学校区毎にこれらカリキュラム –教育内容、教員免許、Textbook 等を含む– の基準を作成せねばならない。ここにそれぞれのスタンダード(standard)を作成するから複数となるのである。

上記（註 3）を頭に入れて、次に何が「新しい…概念的枠組み」なのかを解明していこう。

図 1 の A Framework for K-12 Science Education に関する委員会メンバー「新しい K-12 科学教育学スタンダーズのための概念的枠組みに関する委員会」に着目してみよう（以下、図 1 と略称する）。このメンバーの中で注目すべき人物を 3 人挙げる。その中で LPs に焦点化すると、核心的人物の 1 人目は 5 番目の Thomas B. Corcoran である。彼は 2009 年の Learning Trajectory in Mathematics、2011 年の Learning Progressive in Science それぞれの共著者である。2 人目は 1 番目の委員長の Helen R. Quinn であり、三人目は 12 番目の Jonathan Osborne である。

自然科学に関する教育内容に関して、1960~70 年代の時期のスプートニク時代には、日本では別名「教育内容の現代化」と呼称されたように、背景の自然科学の核心的変貌—代表的なのは生物学に関しては DNA に代表される分子レベルでの研究成果–に焦点化して、それまでの古典的な科学知識を一掃して、如何に現代的な最新の自然科学の知識について、その教育内容を精選して位置づけるかと言うことから、「Basic concepts:科学の基本概念」、「Structure:構造化」の二つのキーワードが、将に一世を風靡した。尚、日本における所謂（理数科）教育の現代化に関して、当時の昭和 40 年代の日本の理科教育界は、中学校と高等学校は只管「現代化」、それは「基本概念」を「探究学習」により教える事と熱病に取り憑かれた如く全国悉く熱気に包まれていた。しかし、小学校の理科教育（当時は小学校 1 学年より 6 学年）は、このような熱気とは別個に、ある意味では全く理解せずに、只管「問題解決」或いは「類と個」なる考え方で小学校理科を実践していたグループも存在していた。特に学習指導要領を読むと中高と小学校のそれとは歴然たる違いを見ることになる。即ち、前者は「基本概念」を「探究学習」一色であるのに対して、後者にはこれらの用語は一言も書かれていない。このような、小学校理科と中高理科の乖離については別稿を参照されたい。

今回は自然科学分野のその後の進展もさることながら、教育内容構成、或いはカリキュラム構成のキーワードとして、これらの用語概念ではなく、Learning Progressions（LPs）が全面にしかも中心的用語、概念と見られる。

LPs と密接不可分な用語、概念がもう一つの Core Ideas である。そこで先ず、LPs なる用語をキーワードとして調べて行くと、その LPs に関わった中心的人物が上述の 3 人、特に上記の Helen R. Quinn と Thomas B. Corcoran の二人である。更に、後述する次世代科学スタンダーズでの執筆リーダーシップチームの Roger W. Bybee, Richard Duschl, Joe(Joseph) Krajcik, Okhee Lee の人達である。そこで、LPs に関してこれらの人物を中心に探って行こう。

2. 人物で探る LPs その 1 －関連人物より

LPs に関する先行研究を調べると中心的、核心的なレポートは次の 2 点と見られる。

(1) How People Learn Brain、Mind, Experience and School. Expanded Edition (2000)

(2) Taking Science to School：Learning and Teaching Science in Grade K-8 (2007)

なおK-8の意味はK学年から8学年までのことを表しているが、ここで「K学年」の説明が必要である。日本では小学校入学前の4、5歳児は通常「幼稚園」に行っている。即ち、日本の学校制度では、小学校は6歳入学であるので、この修学以前の 4、5 歳時の子どもは、小学校とは独立の教育組織である幼稚園(独逸語由来のKindergarten)に入ることになっている。しかし、米国では、州や学校区や学校により異なるが、通常はこの学年の子どもは小学校に入るので、その学年をK grade(K学年)と称している。従って、通常初等教育段階のElementary schoolとはK学年から5学年(学年範囲も州や学校区や学校により異なる)までである。それ故、日本のような幼稚園長と小学校校長に分かれるのではなく、Elementary schoolのPrincipalが一人で管理運営していることになる。それ故、日本の小学校とは学年範囲が異なる故、「初等学校」と称することにする。

NRC(National Research Council: 全米研究協議会と訳される組織より纏められ、出版：電子版も含む）は、米国で言う科学（NAS:教育学も含む）、医学･医療（NAM）、技術･工学（NAT）の三つの学術団体より選出された各分野の研究者がテーマ毎に集い、討議してそのテーマに関する研究を取り纏め、勧告を提案する。その提案･提言は全米の学術面のみならず、科学、技術･工学、医学･医療に関する全米の政策的にも多大な影響力を持っている。「勧告（Recommendation）」とは、必ず実行をすべき、せねばならないことで、「勧告（Recommendation）」された組織、団体或いは社会において、必ず実行せねばならないことである。日本語の「勧告」はややもすると言いっ放しの感が無きにしも非ずとみなされるのと大いなる違いである。

LPsに関して、定義して取り上げたのはこのNRCのレポートである上記(2)である。このレポートの認知心理学、発達心理学的背景は上記(1)となる。即ち子どもの学習、知的発達、授業等の研究に際して、これ以降、必ずと言って良いほど引用されるのが上記の(1)、それを基に科学教育学や数学教育学、言語教育等に関しての研究がなされてきている。

そこで、これら二つを起点にフレームワーク及び次世代科学スタンダーズに関わってきた主要人物(研究者)の繋がりを纏めたのが図2人物で探る（LPs）Learning Progressionsである。以下この図2を基に説明していこう。

LPsの概念を明らかにするには、学習者（子ども）は如何にして知識を学ぶか？と言う根源的な問への解明と見做せる。ということは、単なる1教科の問題ではないので、心理学、特に認知発達、学習科学のみならず、学校教師、自然科学者、カリキュラム研究者、教育政策研究者等多分野の研究者からなるチームを組んで上記(2)は次の二つの委員会を組織して纏めたものである。第一は「学習科学の発達に関するK-8学年委員会(Committee)」、もう一つが「学習研究と教育実践に関する執行委員会（Board）」で、Helen Quinnのように両方に重なる研究者もいる。前者(1)の委員会の共同委員長のJohn D. Bransford はVanderbilt 大学の心理学教授、学習工学センターのCodirectorである。彼は文学、科学、歴史等の教科領域において、工学を用いて思考と学習に関するプロジェクトでの研究を行ってきたとのことである（How People Learn;2000.p.349）。なお、“Committee”と“Board”は日本語訳ではどちらも委員会と訳されるが、“Board”の方が、実行を伴い具体的な権限を有している場合に用いられるとも考えられるが、両者の任務の権限などは今後の検討である。

このHow People Learnで明らかにしてきた学習者の認知的実態と発達に関する新しい知見を基に、K学年から8学年までの学校教育での具体的実践とその実践のための原則を提言しているのが、(2)のTaking Science to Schoolである。何れもJohn D. Bransfordは前者ではこれらレポートの共同或いは単独委員長であり、後者では「科学学習に関する執行委員会」の委員である。その後、具体的に科学教育分野ではこれらの成果を受けて、図3人物で探るLPs(Learning Progressions)にあるような一連の活動がなされ、それらの活動の結果として、フレームワークそして次世代科学スタンダーズに繋がってくるのである。

更に図2の人物をみていくと、NRC の 2007 年の“Taking Science to School：Learning and Teaching Science in GradesK-8”(以下 Taking Science to School と略称）には二つの委員会が作られ、先ず、「学習科学に関する委員会」の委員長は科学教育学(背景は地球科学分野)の Richard Duschl である。彼はその後の次世代科学スタンダーズの執筆委員になる。彼の下での委員の中で特に LPs にしては Thomas B. Corcoran の存在が注目される。何故なら、彼はその後の 2009 年にコロンビア大学の継続的指導改善センター（Center on Continuous Instructional Improvement）主催の”Learning Progressions in Science”のレポートの 3 人の共著者の一人であり、更に、2011 年には、数学教育学分野での ”Learning Trajectory in Mathematics”の 3 人の共著者の一人となっている。ここで興味深い事に彼は数学教育学、科学教育学何れもが専門でないこと、また数学教育学では”Progressions“ではなく Trajectory なる用語を使っていることである。本科学研究費での数学教育学研究者の清水美憲分担者との話、或いは大谷実分担者の論文では、「学習軌道」の訳語を用いているが、その英語は Learning Trajectory の用語を用いて話していることは、このあたりに由来するのかとも推測されることであり、興味あることである。Trajectory は通常科学用語として「弾道」の訳語が使われていることに由来するのであろう。Learning Trajectory と Learning Progressions との訳語の摺り合わせは科学教育学と数学教育学両分野での今後の検討課題である。

更に、How People Learn の共同委員長であった John D. Bransford は、この「科学学習に関する委員会」の委員として加わっている。この事は How People Learn において討議された、それまでとは将に革新的な子どもの発達、学習等の知見がこの委員会にもたらされ、活発な討議材料を提供したと推測される。或いはそれ等の知見を基にした具体化を図りたいとの意図の基に彼が委員に任命されたとも考えられる。それ故、この委員会の委員メンバーさらに、「科学教育に関する執行委員会」の各委員にもその最新の知見情報は共有されたと推測される。

他方、女性委員の Helen R.Quinn の存在である。彼女は Taking Science to School における「学習科学に関する委員会」それに「科学教育学に関する執行委員会」の両者での委員にもなっていることは、前述した本来の専門の線形加速物理学もさることながら、日頃学校教育における物理学教育或いは科学教育に携わっていることで加わっていると推測されるが、その後、フレームワークでの「新しい K-12 科学教育学スタンダーズの概念的枠組みに関する委員会」の委員長になっていることから、それまでのこれら関連委員会活動にも注目する必要がある。この女性委員の Helen R. Quinn は、本来は前述したように理論物理学の第一線の研究者であるが、Taking Science to School の委員に加わって以来、第一線の理論物理学研究のみならず、自分のプロジェクトでの学校教育への実体験も踏まえ、これらの委員会に参加している認知心理学、学習科学、科学教育学、科学教師等との討議、話し会い等より、下記に述べるような所謂教師の指導方法、子どもの学習方法も含めて、学校教育における学習者の実態を踏まえた最新の研究成果についても熟知していると考えられる。彼女はその後来日して、次世代科学スタンダーズに関して話したことなどは後述する。

さらに、図2に示されるように、この Taking Science to School の 2 種類の委員会の上述の「学習科学委員会」には 5 人のメンバーがおり、その専門分野の多彩なことである。例えば、Volkbiology 或いは Folkphysics を専門分野としている Frank C. Keil がいる。何故、このような専門分野の認知心理学研究者が？と思っていたが、この点に関しては後述の LPs の背景となる発達的にみた子どもの物の見方、さらにはその歴史的背景となる Vygotsky の発達論との関連より考えると納得のいくメンバー構成と見做されるが、詳しくは別記する。環境リテラシーと LPs が専門の Charles Anderson ミシガン州立大学教育カレッジ教授、それに認知発達に関しては、Philip Bell それに特に子どもの科学的認知、発達それにカリキュラム開発等の研究をしている Kathleen Metz がメンバーである。さらにピアジェ論の認知発達を研究している David Klahr もメンバーである。

以上、見てきたような研究者達が相互に情報交換、研究交流をした結果は、How People Learn を契機に子ども(学習者)に関する認知、発達、学習等に関する研究知見、特に科学、数学教育学の観点からの研究が深まり、それまでの Piaget に代表される発達心理学、学習論を乗り超えて、新しい知見の成果としての概念が LPs(Learnng Progressions)の概念用語の創出であろう。これではこの LPs の中核となる用語である Core Ideas はどこから、表現されてくるのであろうか？この概念の定義或いは意味づけに関してはここでは人物に焦点化しているので、別な項目で論じるのでここまでとする。次にこの観点から探索していくと、図２及び上記のようにキーパーソンとも見做されるのが、Framework(2012)における「新しい K-12 科学教育学スタンダーズのための概念的枠組みに関する委員会」委員長の Helen Quinn を中心にした人達である。

2. 人物で探る LPs その１：Core Ideas の解明－Helen Quinn を中心に及び関連の人達より

Helen Quinn を中心にした人達の言説を紐解いていくことにより、Basic concept から Core Ideas への転換、変換を明らかにしていこう。

この事を明確に述べているのが、Helen Quinn を含めた以下の４人の連名の論文で、掲載しているジャーナルとは、”The BRIDGE Linking Engineering and Society”という National Academy of Engineering of The National Academies が出版しているもので、これの 2013 年 Spring 号に”A Framework for K-12 Science Education Looking Toward the Future of Science Education”(以下 Toward the Future of Science Education と略する)と言う非常に刺激的かつ展望を持たせるタイトルで、次の４人が連名となっている。Heidi A. Schweingruber, Helen Quinn, Thomas E. Kellerand, Greg Pearson の中で、Helen 以外の３人の職名から、興味ある事柄が見えてくる。即ち、Heidi A. Schweingruber と Thomas E. Keller の二人は 2012 年の Framework の作成において、NRC に所属して「新しい K-12 科学教育学スタンダーズのための概念的枠組みに関する委員会」においては、二人とも Study Co-director であり、もう一つの委員会「科学教育学委員会」において、前者が Director、後者が Deputy Director と言う肩書きであり、これら二つの委員会の NRC 側からの実務的スタッフと見做せる。なお、両委員会の委員長は Helen である。さらに、もう人の Greg Pearson はその職名が、この時は Senior program officer with National Academy of Engineering ということは NAE の専属研究者であり、現在は K-12 のエンジニア教育とエンジニアの公共理解とのこと (https://www.nae.edu/About/19687/GregPearson.aspx　2018 年 2 月 10 日)。それ故、Greg Pearson は NAE におけるエンジニア教育専門家と言える。上述のようにこれら両委員会の委員長として Helen が加わっていることは、これらの二つの委員会における Framework 成立に至る話し合いを理解、或いは関与しながら理解しているので、Framework における理念、基本的考え方を充分に理解して、４人でこの論文を作成していると見做せる。その意味で、Framework における Core Ideas、及び LPs について、要を得て簡潔に纏めているので、将に核心に迫れると見做せる。

先ず、Core Ideas に関しては、次の表現は的を得ている。「彼等（子ども達）が学校に入ってくる前にせよ、彼等は物質的自然界、生物学的、社会的世界について自分自身の考え方(ideas)やそれらが如何に作用しているかについて展開（発達）してきた（アンダーライン文に注目。この文については後述の How people learn の箇所で言及する）。これらの考え方(these ideas)をしっかりと聞き、取り上げることにより教育者達は子どもが既に何を知り、何が出来るかに関して構築できる。Framework に関してこれらの知見の意味することは、初期の学年で記述説明にのみ、そして後の学年で解釈するのに対して、自然現象の一層複雑な解釈を漸次累進的に (progressively) 構築（積み上げる）することが K-5 学年を通して中心的になるはずであるということである。

このような子どもの捉え方の出典として、Carey1985、Gelman and Baillargeon 1983、Gelman and Kalish 2005 等の研究を挙げている(Toward the Future of Science Education.p.47)。ここで注目すべき点として 2 点あり、その第一は Carey 1985 に関することである。Cary Susan 1985"Conceptual Change in Childhood. Cambridge MA:MUT Press で、翻訳本として、「子どもは小さな科学者か–ピアジェ理論の再考–」として。小島康次/小林好和訳により 1994 年に出版されている。ここでは訳本へのコメントは省略するが、本のタイトルは原本の源語に忠実でないことに留意すべきとのみにしておく。1980~90 年代のいわゆる子どもの Conceptual change に関する研究では必須の文献として取り上げられていることは間違いの無い文献である。第二は Gelman 達の一連の論文の出典が Handbook of Child Psychology, 6th ed, Vol. 2 乃至 Vol. 3 である。なお、興味を引くのは GelmanR, Baillargon R.1983 年の論文のタイトル、"A Review of some Piagetian concepts."と当時の米国におけるいわゆるピアジェの児童発達論をレビューしていることである。現在手許にあるのはこれの 7th Vol. 2（2015 年）でこの書籍のタイトルは、Handbook of Child Psychology and Development Science ということは、将に日本語での「児童心理学と発達科学」に関するその時点での研究の集大成と言えよう。この第 7 版では、第 16 章が「科学的思考の発達」で、p.p.671~714 と 40 数ページで、これまでの研究を纏めている。

委員長の Helen を含めたフレームワークの上記の所謂実行メンバーとの 4 人での連名のこの論文に、Handbook of Child Psychology and Development Science の第 6 版を引用文献の基として挙げていることは、第 7 版の章題になっている「児童心理学と発達科学」に関する最新の研究情報を、科学教育学研究者達が日本で言うならば、領域を超えて情報交換して、最新の特に科学概念に関する子どもの発達についての研究成果、情報を得ていたと考えられる。

なお、Helen は、本科学研究費最終報告書における出口憲論文に彼女の理論物理学研究者としての輝かしい研究業績が述べられているように、将に第一線の理論物理学研究者が、異分野の科学教育、さらにはそれ以上に異分野の「児童心理学と発達科学」に関する最新の研究成果に関して、知識情報を吸収、理解しながら、様々な専門分野のメンバーが集っている、Framework(2012)における「新しい K-12 科学教育学スタンダーズのための概念的枠組みに関する委員会」と「科学教育執行委員会」両者の委員長を勤めたことは、所謂研究のセクショナリズムに陥っている日本の関連研究とは根本的に大いなる違いを見ることが出来る。

両方の委員長を勤めた Helen はインターネットジャーナルの Quanta magazine の 2016 年 10 月 18 号にこの雑誌の Thomas Lin のインタビューに応じて、当時を振り返っている記事のタイルが大いに興味を引くものである。即ち、"A Wormhole Between Physics and Education"。日本語に翻訳すれば、「物理学と教育学の間のワームホール」において述懐している。

このタイトルは大いに興味ある題名である。即ち、日本でも「物理学」と「教育学」とでは、日本的表現で言えば、一方では自然科学の主導的、最先端の学問と捉えられる（現在は「学問」より「学的構成」の用語の方がより適切と考えられるが、ここでは伝統的表現用語の「学問」を用いる）代表としての「物理学」と、他方では文系学問の代表としての「教育学」とでは、将にそれぞれが異次元の世界であると見做せる。米国でも Helen は誕生年が 1943 年である（当方より 1 歳若い）から、彼女の世代としては、いかな米国でも彼女の専門分野の、ある意味では自然科学の最先端の研究分野である「理論物理学」に比べて、数学的に数式化や定式化して理論化出来る分野とは言い難い「教育学」とでは、将に異次元の世界と映ったに違いないので、Star Trek のような SF 映画にでてくる、異次元間の間をワープ走行する穴の表現としてワームホールに例えて、「物理学」と「教育学」の異次元の学問の両方に通じる事、及び両者を理解することとして、この「Wormhole:ワームホール」なる言葉を用いたと推察する。このインタビューにおいて、編集者の Thomas Lin の幾つかの質問に答えており、オース

トラリア生まれで、Melbourne 大学で engineering 専攻を卒業後に、米国の Stanford 大学「理論物理学」を専攻し、本科学研究費報告書の出口憲論文に記載されているような輝かしい研究をしていた彼女が、NAS(National Academy of Science)に選ばれ、さらに Board of Science Education に加わるよう招待されたことは、教育学のアウトリーチ活動｛支援活動：education outreach work なる用語が彼女から語れることは、米国社会では彼女のような第一線の自然科学者が教育学（或いは教育）への支援活動をすることは当然の如く考えていることと考えられる事に注目されたい｝として考えて、Taking Science to School に参加し、その延長線として、Framework の委員長になったと述べている。それ故、一種の挑戦とも言える、異分野、異次元と見做される、科学教育学、心理学、特に認知、学習科学を各委員会メンバーと討議、話し会いしながら学んだことが推察される。Helen はこれらのことを踏まえて、Core Ideas、そして、この Core Ideas からの学習の３次元過程を説明している。ここでは彼女の捉えている Core Ideas を要約してみる。

「編集者の質問：あなたは NGSS を 3 次元（観点）の科学学習として記述している。その意味は何なのか？」この質問は特に科学学習に関しての質問なので、そこで彼女が述懐している中で特にここでは Core Ideas に関しての彼女の考え方を要約すると次のようになる。

「科学を学習することに関して私の意味することは、貴方たちは科学の学的構成からのコアアイデアズ；核となる考え方（core ideas form disciplines of science ）を学ぶはずである。例えば physical sciences ではこれらの核となる考え方（コアアイデアズ）とは物質とその相互作用、動きと安定性、そしてエネルギー等である。これらの核となる考え方（コアアイデアズ）より、科学者の行う実験･実習をすることにより科学の本質を理解し、さらに因果関係のメカニズムを読み解くために幾つかの大きな諸概念（ビッグコンセプト）を定義することにより科学の学習は進展していく。」（Wormhole.p.8）

この Helen 自身の言葉と前述の彼女を含めた 4 人の論文から、引用したアンダーラインの言葉。即ち、「彼等（子ども達）が学校に入ってくる前にせよ、彼等は物質的自然界、生物学的、社会的世界について自分自身の考え方(ideas)やそれらが如何に作用しているかについて展開（発達）してきた」と対応させると、所謂「（理数科）教育の現代化」で主張されてきた、Basic concept とは将に発想が逆転していることが分かる。即ち、科学者の定義した「概念」を如何に教えるかではなく、子ども自身の物質的自然界、生物学的、社会的世界について自分自身の考え方(ideas)を起点にして、そこから学習を展開して、上記の Helen の上記の言葉、「科学者の行う実験･実習より科学の本質を理解し、さらに因果関係のメカニズムを読み解くために幾つかの大きな諸概念（ビッグコンセプト）を定義することにより科学の学習は進展していく。」ことが科学の学習と捉えれば、発想が逆転して、子どもの考え方の中で、将来が科学概念につながる核となる考え方（Core Ideas）より、学習がスタートして、最終的には科学の基本概念に到達すると捉えるという、科学学習の発想の転換がなされていることが判明した。

そこで、再度、「彼等（子ども達）が学校に入ってくる前にせよ、彼等は物質的自然界、生物学的、社会的世界について自分自身の考え方(ideas)やそれらが如何に作用しているかについて展開（発達）してきた」この言葉の由来、或いは科学的根拠はどこから由来するのであろうか？そのヒントは Helen 自身の科学教育学、教育学への関わりを調べると判明してくる。前述の Helen が「物理学と教育学の間のワームホール」と述懐したことを思い出して貰いたい。このワームホールの第一歩が、彼女自身の述懐にあるように 2007 年の NRC の Taking Science to School の「科学学習委員会」と「科学教育学執行委員会」の両委員会の委員に委嘱された（Wormhole. .p.6）ことが、将に、彼女にとっての「物理学と教育学の間のワームホール」の第一歩であろう。

図２に示されているように、Helen は 2007 年発行の Taking Science to School の「科学学習、K 学年から 8 学年まで委員会」の 5 人の委員の中の一人で、「科学教育に関する執行委員会」9 人の一人として、これらの構成メ

ンバーは図2の如く多彩である。それ故、彼女は前述のQuanta magazineに述懐しているように、これら異分野の研究者とのコミュニケーションにより、最先端の科学教育学、認知心理学、ピアジェ論認知発達、学習科学、さらにはLPs、カリキュラム開発教育政策、学校改革等々彼女にして見れば異次元の研究成果を理解し、吸収咀嚼出来た故に、「Framework」の「新しいK-12 科学教育学スタンダーズのための概念的枠組みに関する委員会」と「科学教育執行委員会」両者の委員長を勤め、周囲からも委員長としての役務の適任者と認められた故であろう。それ故、前述のインターネットジャーナルであるQuanta magazineにおける「Framework」、さらには「次世代科学スタンダード」の説明がでてきていると推測される。

彼女の将にワームホールへの第一歩が上記Taking Science to Schoolへの参加であろう。何故なら、このレポートの「科学教育に関する執行委員会」の委員長は後のNGSS(2013 年)の執筆リーダーシップチームの一人となるRichard Duschlである。また、委員の一人であるJohn D. Bransfordは1999年及び2000年発行のHow people LearnのCommittee on Developments in the Science of Learningの共同委員長であった。ここで注目すべき人物として、このJohn D. Bransfordなる人物である。彼は、Committee on Developments in the Science of Learning及びCommittee on Learning Research and Educational Practiceの両方の共同委員長であった。そこでは、将に子どもの認知発達、学習論そしてこれらの最新の研究成果を如何に教育実践研究するかにまで、日本的表現でいうならば、最新の学習科学、認知発達の成果を基に、科学も含めた教科の教育（教師教育も含む）に如何に実践可能かに関する将に学習に関する総合的な研究成果である。それ故、その後、様々な研究者により引用される有名な表現が次である。

「生徒達は如何に世界が働いて（機能して）いるかについて前持った観方（既に有しているものの観方:preconception）を持って教室にやってくる。もし彼等の初めの理解が後に通じない（繋がらない：is not engaged）なら、彼等は教えられる新しい概念や情報を理解するのに失敗するであろう、或いは彼等はテスト（test）の目的のために学習するであろう、しかし彼等は教室の外からの前持った観方に戻ってしまう。」(How People Learn.2000.p.p.14~15)。これは、本レポートでの討議の結果としての、鍵となる知見第1として書かれている文章で、これ以降、必ずと言って良いほど引用される文章である。或いはこのレポートは必須文献としてあげられる。例えば、Taking Science to Schoolの科学教育に関する委員会の委員であったCorcoranが編者の一人であったLPSに関するレポートの“Learning Progressions in Science”(2009.5)やAllicia C. Alonzo & Wenk Getwal達が開催したシンポジュウム(2009.6)、さらには アメリカ化学学会（ACS）がHigh School向けのTextbookであるChemComの6版では上述のHow People Learnに影響を受けていると言及している（ChemCom Sixth Edition. Preface. 2012）。このように、How People Learnの全米の教育界に大いなる影響波及を及ぼしていると見做せる。なお、アメリカ化学学会（ACS）発行のこのChemComと大学の所謂初学年の非科学専攻対象の化学TextbookであるChemistry in Contextとその日本語翻訳版の「実感する化学」上、下に関しては、別稿を参照されたい。

そこで、もう一度Helenの上記のWormholeのアンダーラインの文章を見ると、これまでその影響力を明らかにしてきたHow People Learn.2000.p.p.14~15のアンダーラインの文章と酷似していることに気付くであろう。これまでに明らかにしてきたように、Helenは第一線の理論物理学研究者であるが、Taking Science to Schoolの科学教育に関する委員会の委員として、その同じ委員としてのBransfordより、彼が共同委員長であったTaking Science to Schoolの成果も含めて、最新の学習論、認知発達論を学習した故に、同じ表現を用いたと推察される。

これまでHelenを中心にしたCore Ideasの意味を読み解いてきた事を基に、当初の疑問のFrameworkでは何故Basic concept(s)：基本概念ではなく、Core Ideas：核となる考え方なのかの疑念への答えは次のように纏められる。

アルファベットカリキュラム時代（1960~70 年代）、日本での所謂（理数科）教育の現代化時代のカリキュラム構成、或いは教育内容構成の考え方は、当時の最先端の科学知識を教育するには、科学の基本概念を抽出して、それを基に下位の概念に分析して、一種のヒエラルキー、即ち階層構造を作成して、学習者である子どもに教えていく考え方であった。探究学習と言っても、上位から下ろして行った下位概念を辿らせて上位の基礎概念を習得させるという考え方であった。この事は、学校に来る前に、子どもそれぞれがが、どのような生活経験に基づいて自然界の物事、事象を捉えていたかという事では無く前提条件として、一般名称として、全ての子どもは同じ或いは平均的に捉える一般名称の「子ども」という捉え方であった。それ故、教育内容構成、或いはカリキュラム構成は科学の基本概念を取り出し、その基本概念を如何に教えていくかという所謂「トップダウン」としての捉え方であった。

それに対して、Framework では、それまでの認知論、学習論、発達論等研究成果により、平均的、一様な子どもの観方ではなく、人種、民族、文化も踏まえた、多種多様な自然および社会環境を背景にした子どもは一人一人自然に対する認識、理解が異なると考えを持っているという前提を基にすることにより、将に、How people Learn の述べる、「生徒達は如何に世界が働いて（機能して）いるかについてまえ持った観方（既に有しているものの観方:preconception）を持って教室にやってくる。」故に、これら子ども一人一人の有する Preconception(それまでの観方捉え方)を起点に、科学および技術の実習、実験等の経験を漸進的に習得して、やがて、科学の概念に到達していくという「ボトムアップ」の捉え方によるカリキュラム構成となる。前述した「子どもは一人一人自然に対する認識、理解が異なると考え」の中で、将来科学の中心的な核となる概念に通じる考え方、観方を Core Ideas と称すると捉えると、Framework で、何故 Core Ideas と称していることが理解出来るであろう。このことは、将に教授–学習、教育内容構成、カリキュラム構成において、将に発想の大転換をなしていると言える。

それ故、それでの科学教育学の枠組みを転換させてこの事を主張し、実現させたのであるから、委員会名が「新しい K-12 科学教育学スタンダーズのための概念的枠組みに関する委員会」と名付けられた革新的な意味が理解出来るであろう。

従って新しい K-12 科学教育学スタンダーズのための概念的枠組みにより作成した Framewor に各種フィードバックを基にして完成版として出したので、1990 年前後から、テレビ及び映画での SF シリーズとして、Star Trek: The Next Generation(1987~1994：http://www.imdb.com/title/tt0092455/episodes、当方 1990~1991 年米国滞在中にこの TV シリーズ及び映画を観ている)が米国社会で人気シリーズであったこともあって、科学教育界でも、この The Next Generation なる言葉は、将にそれまでとは異なる新世代としてのアピールを意識したものとも考えられる。

謝辞：

本研究は、科学研究費補助金・基盤研究（B）（課題番号：15H03493、研究代表者：長洲南海男）の助成により行われた。ここに記して謝意を表する。なお、森下明美本科学研究費事務補佐員の校正に謝意を表します。

文献

Amelia Wenk Gotwals and Alicia Alonzo.

Learning Progressions in Science Congress. June 24-26, 2009.Iowa City. IA.

http://education.msu.edu/projects/leaps/proceedings/Default.html.

なお、このシンポジュウムを整理して Sense Publishers より次の書物になっている。

Learning Progressions in Science　Current Challenges and Future Directions. 2012. SensePublishers.P.513.

Heidi A. Schweingruber, Helen Quinn, Thomas E. Keller, and Greg Pearson.(2013). *A Framework for K-12 Science Education Looking Toward the Future of Science Education.* The BRIDGE Linking: Engineering and Society. Spring 2013. p.p.43-50.

Helen Quinn.(2016).*A Wormhole Between Physics and Education.* Quanta Magazine October 18, 2016). https://d2r55xnwy6nx47.cloudfront.net/uploads/2016/10/helen-quinn-on-physics-and-education-20161018.pdf

National Research Council（2012）. *A Framework for K-12 Science Education; Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas*, The National Academies Press.

NGSS Lead States（2013）. *Next Generation Science Standards (Vol.1 Standards, Vol.2 Appendixes)*, The National Academies Press.

Thomas B. Corcoran, Frederic A. Mosher and Aron Rogat;
Learning Progressions in Science: An Evidenced Based Approach to Reform
https://repository.upenn.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1026&context=cpre_researchreports（2018.1.28）

	名　前	所属 ポスト	専門分野
1	Helen R.Quinn 女性	Stanford Linear Accelerator Center, Professor 2010 年より名誉教授	オーストラリア出身 素粒子物理学　物理学教授 国際理論物理学センターディラックメダルを含む幾つかの受賞。 2009-14 年；NAS の科学教育学委員会委員長 1987 年創立の「現代物理教育プロジェクト（CPEP：987 年創設）共同創設者、初代会長 NGSS 執筆リーダーチームの Okhee Lee と一緒に NGSS の教育実践活動
2	Wyatt W. Anderson	Department of Genetics, University of Georgia 教授	ショウジョウバエの進化遺伝学
3	Tanya Atwater 女性	Department of Earth Science, Univ. of California, Santa Barbara	
4	Phlip Bell	Univ. of Washington 教授 Executive Dir. of UW Institute for Sscience & Math Education (STEM Ed.)	NAS の科学教育委員会 8 年間 人間の認知と発達、科学教育学、コンピュータ科学、電子工学
5	Thomas B. Corcoran	Teachers College, Columbia Univ. 教授	40 年間学校改善と専門性開発、プログラムのデザインの経験 2009 年 Learning Trajectory in Mathematics: 2011 年 Learning Progressive in Science での共著者
6	Rodolfo Dirzo	Department of Biology Stanford Univ. 教授	生態学（熱帯エコシステム）、自然史、環境保全科学
7	Philip A. Griffiths	Institute for Advanced Study, Princeton 名誉研究員	数学、代数幾何学と現代理論物理学その活用
8	Dudley P.B. Kathei	Department of Chemistry and Chemical Biology, Harvard Univ. 名誉教授	1986 年ノーベル化学賞：crossed molecular beam(交差分子線) chemical kinetics(化学速度論) 科学教育の擁護者
9	Linda P.B.Kathei 女性	Office of Chancellor University of California, Davis 学長	ギリシア系、情報工学、回路設計 2011 年 California STEM Learning Network 支援、開始 2012 年より 5 年間 NSF より$3.725 million grant(372 万 5 千＄) 特に女性、文化的多様での STEM 教育
10	John C. Mather	NASA Goddard Soace Flight Center	宇宙物理学、ビッグバン研究 2006 年ノーベル物理学賞
11	Berett D. Moulding	Utah Partnership for Effective Science Teaching and Learning	ユタ州 High School 化学教師 20 年間、 2008 年にユタ州教育局カリキュラムと指導

		Research　教師、行政職	の Director、ユタ州効果的科学教授学習パートナーシップの Director
12	Jonathan Osborne	School of Education Stanford Univ. 教授	科学教育の教授と学習の政策と Pedagogy、科学教育学での Argument(IDEAS)
13	James W. Pellegrino	Department of Psychology and Learning Sciences Research Institute, Co-Director U. of Illinois	認知科学、精神測定、教育工学、教授実践と教育政策；人間の認知発達、個人の差異、学習環境のデザイン、認知のコンピュータモデル等多岐 NSF, ONR(海軍研究局)、AFOSR（空軍科学研究局）等から大規模なプロジェクト資金。 270 冊以上の共著作論文、2013 年 BSCS の Board of Director, 2001 年の NAS の Knowing What Students Know（教育アセスメントのデザインへの提案）の共同委員長
14	Stephan L. Pruitt	ジョージア州教育局州学校監督局　行政職	High School 化学教師
15	Brian Reiser	School of Education and Social Policy Northwestern Univ. 教授	学習科学、認知科学；Taking Science to School (2007)委員、IQWST（Michigan State Univ. の Create of STEM Institute が NGSS と連携して開発している Middle School の科学と技術に関する探究プロジェクト)の共同開発者
16	Rebecca R. Richarda-Kortum 女性	Department of Bioengineering, Rice Univ. 教授	生命工学、 電気とコンピュータ 工学（含むガン診断）
17	Walter G. Secada	School of Ed. Univ. of Miami 教授	数学教育、教育における Equity ,教師の専門性開発、；NCTM、全米バイリンガル教育メンバー、NAS 科学委員
18	Deborah C. Smith 女性	Department of Curriculum and Instruction, Pennsylvania State Univ. 助教授	数学、科学、工学（Technology）の間マグネット学校教師 6 年、科学教育カリキュラムと教授で学位:生物学専攻；初等学校教師の科学教育知識と子どものイメージとの相互関係に興味中心

図 1　A Framework for K-12 Science Education に関する委員会メンバー
「新しい K-12 科学教育学スタンダーズのための概念的枠組みに関する委員会」

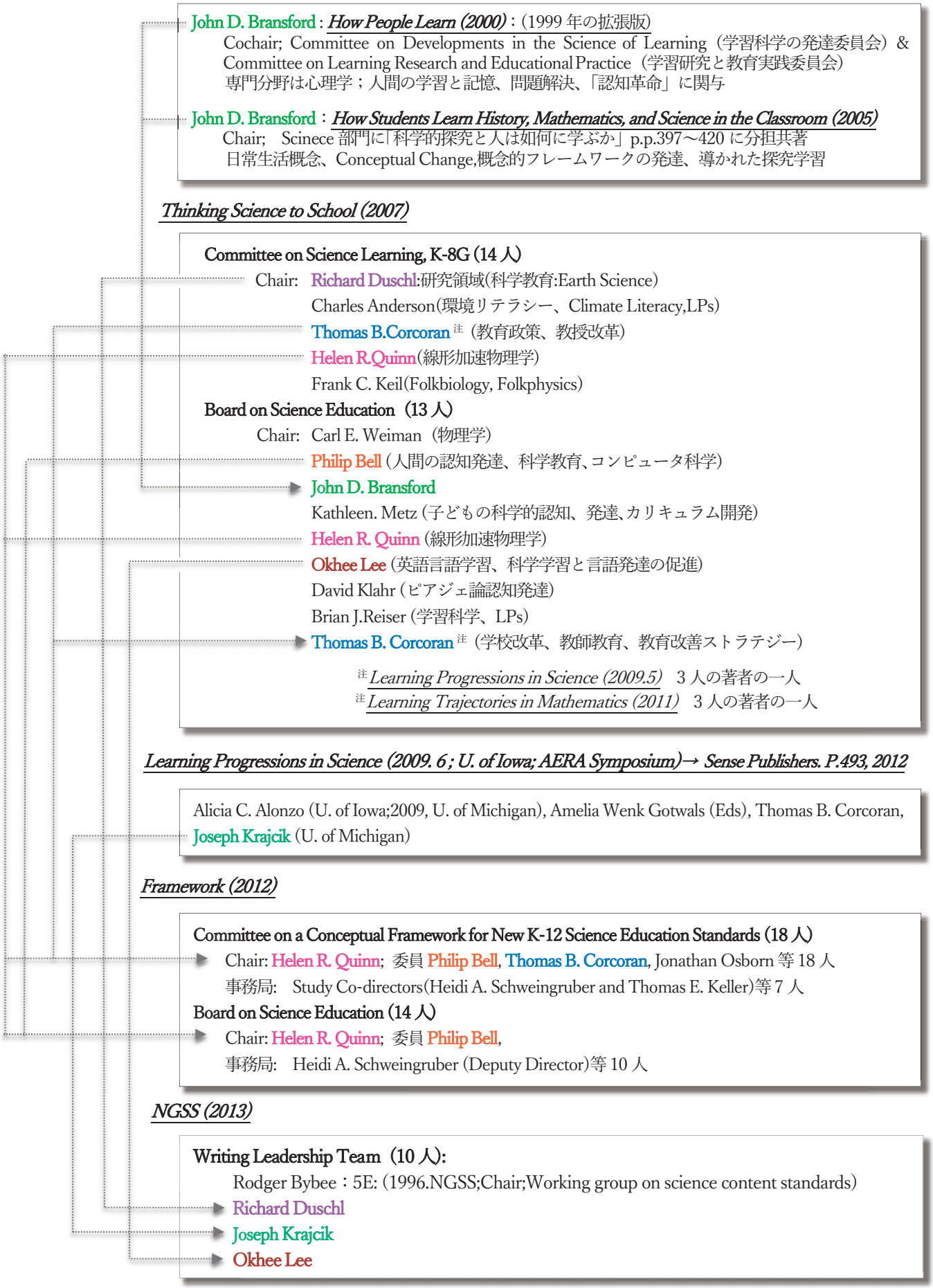


図 2 人物で探る LPs (Learning Progressions)

References

Alicia C. Alonzo: Learning Progressions in Science Conference. June 24-26. Iowa City. http://education.msu.edu/projects/leaps/details/key.html

Alicia C. Alonzo & Amelia.W.Gotwals. Eds.(2012).Learning Progressions and Future Directions. Sense Publishers. P.495.

J.D.Brasford.etc.Eds.(2000).How People Learn. NAP .P.374.

J.D.Brasford.etc.Eds.(2005).How Students Learn. NAP .P.615

Heidi A. Schweingruber, Helen Quinn, Thomas E. Keller, and Greg Pearson.(2013). A Framework for K-12 Science Education Looking Toward the Future of Science Education. The BRIDGE Linking: Engineering and Society. Spring 2013. p.p.43-50.

Roger W. Bybee. Ed. (2002).Learning Science and the Science of Learning. NSTA Press. P.159.

Roger W. Bybee.(2015). The BSCS 5E Instructional Model Creating Teachable Momnets. NSTA Press. P.126

NRC(2012). A Framework for K-12 Science Education Practice, Crosscutting Concepts, and Core Ideas. NAP. (略称；Framework).P.383.

T.Corcoran, F.A.Mosher & A.Rogat.(May.2009). Learning Progressions in Science. An Evidence-based Approach to Reform. (http://www.cpre.org/sites/default/files/researchreport/829_lpsciencerr63.pdf).

Daro, P., Mosher, F., & Corcoran, T. (2011). Learning trajectories in mathematics: A foundation for standards, curriculum, assessment, and instruction. http://cpre.org/sites/default/files/researchreport/1220_learningtrajectoriesinmacciireport.pdfth

NGSS Lead States.(2013). Next Generation Science Standards For States, By States. Vol.1&2. NAP.（略称；NGSS）.Vol.1.P.321,Vol.２. P.169.

フレームワーク及び次世代科学スタンダーズにおける LPs(Learning Progressions:知的内容の発達構成)とは　その２

–Taking to School(2000)を起点としての経緯における人物との関連より

長洲南海男（筑波大学）

はじめに

本論その１では Basic concepts（基礎的概念或いは基本的概念と訳されたが本論では基礎的概念と訳す）から Core Ideas(核となる考え方)への転換に関して、関連人物、特に Helen Quinn に焦点化して解明を図った。その結果、それまでの科学者による所謂内包と外延に基づいて規定される科学の基礎「概念」(concepts)から学習を始めるのではなく、子どもがそれまでの生活経験に基づいて子ども自身が規定したそれぞれの「考え方」(ideas)の中で将来に科学の基礎「概念」(concepts)に繋がる核となる考え方（Core Ideas）を基に、科学者の行う(或いは模擬的)実験や実習により、「科学概念」(Scientific Concepts)に洗練していく学習の捉え方（学習観）に変換、転換(アンダーラインに注目、LPs の概念規定に関するところで再び言及する)したということが判明した。この将にパライムシフトとも言うべき、学習内容あるいは、教育内容構成（或いはカリキュラム構成）の転換を図った捉え方、換言すれば、核となる考え方（Core Ideas）がどのように科学概念（big concepts）に変換、転換していくか、或いはどのように変換、転換して科学概念に発展、発達していくかの解明は必須重要事項となってくる。これらの発達過程を表す用語概念が LPs(Learning Progressions)と称されるものである。そこで、本稿ではこの LPs なる用語概念を、この概念の起点とされる米国の初等学校科学カリキュラムの代表的な S-APA を事例として、そこからの発展展開の経緯とそれらに関わった人物との関連から解明していこう。その際に日本でも、所謂「（理数科）教育の現代化」と称して、米国や英国の科学、数学教育の様々なカリキュラムや学習指導方法、特に「探究学習(Inquiry Leraning)」が紹介され、熱気に包まれて恰も熱病に取り憑かれた如くであった。しかし、日本においては小学校理科教育界にあっては、これらとは別個の考えと実践がなされ、中学高校の「探究理科」とは全くことなった動きであったことも忘れてはならない事実である。このような事実を全く知らないで、当時の所謂「探究理科」を語る論文が出現するに至っている誤りを是正し、当時の日本の理科教育界と、米国のアルファベットカリキュラム、特に上述の米国の初等学校科学カリキュラムの代表的な S-APA に代表される Process Skills に対する評価とを相互比較することにより、片や米国ではパラダイムシフトとも言うべき LPs 概念に至り、それを基盤にした科学教育へとパラダイムシフトしているのに対して、何故日本では LPs の考えに至らなかったかに関してのより詳細な考究への足掛かりとする。

１．LPs その始まりからの経緯

1.1. Taking to School　二つの委員会メンバー人物より探る

これまでの関連文献及びインターネットからの探索より、LPs の始まりに関して、この LPs を概念規定した最初の文献としては NRC のレポートである Taking Science to School Learning and Teaching Science in Grades K-8.(2007)(以降、本レポート称し、必要ある場合には Taking Science to School と略称を用いる)の存在を起点として、その内容とそれに関わった人物を調べてみる。何故なら、LPs の定義も含めてその経緯等には必ず引用される文献がこのレポートである。このレポートの総ページは 388 ページとかなり膨大なボリュームであるが、大き

く 5 部構成となっている。つまり、先ず、Executive Summary（p.p.1~8）があり、次の四部と Appendixes それに Index との構成であり、以下より見ることができ、アクセス権を有すればダウンロード出来る。
https://www.nap.edu/catalog/11625/taking-science-to-school-learning-and-teaching-science-in-grades

＜Taking Science to School(2007)の目次＞

Part 1 ：Introduction

1. Science Learning Past and Present

2. Goals for Science Education

Part II：How Children Learn Science

3.Foundations for Science learning for Young Children

4.Knowledge and Understanding of the Natural World

5.Generating and Evaluating Scientific Evidence and Explanation

6. Understanding How Scientific Knowledge in Constructed

7.Particiation in Scientific Practice and Discourse

Part III : Supporting Science Learning

8 Learning Progressions

9. Teaching Science as Practice

10. Supporting Science in Instruction

Part IV: Future Direction for Policy, Practice, and Research

11. Conclusion and Recommendations

Appendixes

A. Overview of Learning Progressions for Matter and the Atomic-Molecular Theory

B. Biographical Sketches of Committee Members and Staff

そして Index より構成されている。

この Taking Science to School(2007)はどのような人々により作成されたのかを知るために、下記に述べる 2 種類の委員会メンバーの研究分野や研究履歴を、ノーベル賞受賞者やそれに近い自然科学者は英文 wikipedia で、その他の研究者は所属する大学の HP より、科学教師や州の教育局所属の人は NSTA や所属する州の教育局の HP を探索して調べた。

前掲論文「フレームワーク及び次世代科学スタンダードにおける　LPs(Learning Progressions:知的内容の発達構成)とは その 1」で明らかにしたように 2 種類の委員会 Committee on Science Learning と Board on Science Education が設置された。後者の Board も委員会と訳されているが、より実質的な役割と捉え「執行委員会」と訳することにより、前者を「科学学習に関する委員会」略して「SL 委員会」、後者を「科学教育に関する執行委員会」略して「SE 執行委員会」と称する。この図 2 人物で探る LPs(Learnng Progressions)に示されるように Helen Quinn は両方の委員となっている。前者の「SL 委員会」は合計 14 人より成り、後者の「SE 執行委員会」には 13 人より成るが、図 2 では紙幅の関係から数人しか記載出来なかったので、以下これら二つの委員会の構成委員の研究分野を調べて見ると次のような興味あることが判明したので、以下にまとめてみる。

先ず、「SL 委員会」においてはその後 NGSS の執筆リーダーシップチームの一員となり、 STEM 教育で活躍している科学教育学研究者の Pen State University の Richard Duschl 教授が委員長を務める委員会とは科学教育学に特化した名称ではなく、より広義の科学学習を対象にしたこの委員会の委員長を務めたことに注目を引くことである。この委員会には次のような研究者がメンバーとなっている。即ち、環境リテラシーや気候リテラシー研究、それに LPs 研究の Michigan State University の Charles Anderson 教授。科学教育において"Learning Progressions in Scinece Education"、数学教育においては"Learning Trajectory in Mathematics"のレポートの 3 人の編者の一人となり、後のフレームワークにおける「新しい科学教育学スタンダーズのための捉え方の枠組み委員会」の委員となる University of Pensilvania の Thomas B. Corcoran 教授。Folkbiology 及び Folkphysics（この研究分野は Vygotsky とも繋がることに関しては別稿で明らかにする）が専門の Yale University の Frank C. Kiel 心理学教授。認知発達、特に Piaget の認知課題や社会行動研究、更には初等学校における科学実験教育の改善に関する研究等幅広い研究分野の Carnegie Mellon University の David Klahr 心理学教授。University of Miami の教授学習学部で科学教育学、言語と文化、英語言語学習と言語発達等研究の Okhee Lee 教授はその後に Bybee と供に NGSS の執筆リーダーシップチームの一員となる。University of Caliofrnia,Berkley 校の認知発達学部の教授である Kathleen E。 Mtez はスイスのジェノバ大学バーベルインヘルダー研究チームに所属したこともあり、初等学校の子どもの進化概念の発達に関する研究や科学的探究と科学の本質に関する著作もある。Brian J. Reiser は Northwestern University の教授学習学部教授であり、NSF の資金援助に基づき LPs に関する研究を行っており、フレームワークの「新しい科学教育学スタンドのための概念的フレームワーク委員会」の委員となる。これら大学の研究者達 13 人に唯一のハイスクールの科学教師が Daniel M. Levin(その後、2008 年に Uinv.of Maryland で科学教育学の学位を取得し、現在が同大学で Assistant Clinical Professor である)等合計 14 人より構成されている。Helen Quinn のような第一線の物理学研究者がメンバーになっている。彼女に関しては本論文のその 1 で述べている。委員長の Dushl が科学教育学、特にアーギュメントを研究しているが、その他のメンバーには心理学、特に子どもの認知発達、取り分け科学的な思考や概念および言語の発達、そしてピアジェ派の発達論研究、或いはビゴツキーの認知発達論そして LPs、さらには教育政策等バラエティーに富んだメンバーである。将に委員会の名称である「K-8 学年までの科学学習に関する委員会」に対応した研究分野の研究者が全米から集められたと見做せる.

次に、「SE 執行委員会」に眼を転じると、委員長の Carl E. Weiman は著名な物理学研究者である.即ち、Colorado 大学の物理学科学教育学研究者で、2005 年から 2009 年まで NAS の「科学教育委員会」の委員長を勤め、「アメリカ物理教師協会（American Association of Physics Teachers）で Physics Teachers という物理教師向けの月刊雑誌を刊行している学会」であるこの AAPT より物理教育に顕著な貢献より 2007 年に表彰され、2001 年ノーベル物理学賞を受賞している（https://en.wikipedia.org/wiki/Carl_Wieman）。Helen と同じように専門の物理学のみならず教育、NAS における科学教育学委員会(Board on scienceeducation)委員長を務めたりして科学教育に関して大いなる寄与、貢献している第一線の物理学研究者である。日本においてはこのような第一線で活躍し、且つ学校教育特に科学教育学に関しても活躍している科学者は寡聞にして聞き及ばない。Helen にしても、自己の専門分野である科学に関する専門知識を科学者として市民社会に還元することの責任を有し、自覚している米国社会とは日本の社会は彼我の差を禁じ得ない。

この「SE 執行委員会」では、教育施策、教授改革が専門である Thomas B. Corcoran と上記の Helen との 2 名とも「SL 委員会」と両方の委員会に委員である。この外に専門領域は生物学研究者が 3 名 (Sharon R.Long;,Susan R. Singer；William B. Wood）がいるが、何故か化学の専門家が入っていない(この化学とフレームワーク及び

NGSS との関係に関しては、長洲の別稿の論文を参照されたい)。技術工学系研究者（所属は Technology 或いは Engineering）が 2 人、教育学研究者は 2 人、科学教育学研究者が 1 人、州の教育局所属(20 年間ハイスクールの化学教師)が 1 人の計 13 人より構成されている。この「SE 執行委員会」13 人の中には、John D. Brasford が加わっている。と言うことは、彼自身が認知革命と称される、人間の学習、記憶それに問題解決に関する研究を行い、更に、How People Learn(2000)及び How Students Learn(2005)において、何れも共同委員長を務めた。それ故、この「SE 執行委員会」の委員達は、John D. Bransford より認知革命に関わったこれらの最新の成果、特に"Taking Science to School"の基になり、その後の科学、数学、歴史も含めた所謂各教科に関する学習、教授、認知、発達、セスメント等に関する新しい知見や捉え方を、将に Evidense based research(科学的な事実、証拠に基づいた研究)によるこれらの研究成果に関してコミュニケーションして理解したと考えられる。さらに「SE 執行委員会」のメンバーの David Klahr からはピアジェ論の認知発達、Philip Bell からは人間の認知発達とコンピュータ、Okhee Lee からは科学学習と言語発達の促進など各自の自己の専門分野を超えて、学習し、理解したものと推測される。

それ故に図 2 に示されるように、これら第一線の研究者達により編成された両委員会の委員に所属していた Helen Quinn はその後のフレームワークのでの二つの委員会での委員長としての活躍に由来する始まりがこの両委員会であると、彼女自身が述べていることに関しては本論文のその 1 を参照されたい。また、両委員会の委員の Thomas B. Corcoran は、その後の 2009 年 5 月発行の"Leaning Progressions in Science"と 20011 年 1 月発行の "Learning Trajectory in Mathematics"での 3 人の著者の一人として名を連ね LPs 研究におけるキーパーソンと見做せる。この LPs に関しては前述のように「SL 委員会」の Charles Anderson が LPs を研究していたので、彼からも情報知見をコミュケートしてとも推測される。他方、この委員会において、唯一の科学教育学研究者として委員長を務めた Pen State University の Richard Duschl 教授は、その後に NGSS の「執筆リーダーシップチーム」に Bybee と供に加わっている。さらにこの「SE 執行委員会」の 13 人の委員の一人である Okhee Lee もこの「執筆リーダーシップチーム」には加わっている。このように自己の専門分野で第一線の研究者が、科学教育学研究、特に子どもの認知発達、科学概念や科学的な問題の解決や学習に関して、Evidense based research(科学的な事実、証拠に基づいた研究)により、情報交換して学習して、新しい捉え方、観方としての LPs(Learnng Progressions)に至ったものと考えられる、象徴的なのが本論のその 1 での Helen Quinn の事例と見做せる。

この事を証左するのは、本レポートにおける Part III の 3 から 7 までの題目を見れば、一目瞭然である。即ち、将に「子ども達は如何に科学を学ぶのか」に関するこれまでの研究成果について事実証拠に基づいて（evidenced based research）展開されている。これらの成果を受けて次の Part III では Learning Progressions に至る経緯とその定義が展開されている。ここでの論述を踏まえ関連文献より解明できた Framework に至る研究展開に関して巻末リスト「Learning Progressions 始まりと展開　主要人物、背景理論、主要組織等との関連」として本稿の最後にまとめたので、以下この巻末リストに基づいて述べていく。なお、Leraning Progressions の意味は「学習者の科学知識概念の認知実態に基付いた学習内容の知的発達構成」と捉えれば、この概念を理解出来るが、長くなるので略称「学習内容の知的発達構成」更には LPs と略称し、日本語訳としてはこの用語を用いる事にする。

1.2. Taking to School における LPs の起点としての S-APA より探る

1.2.1 S-APA を含めた科学(理科)教育における日米の比較より

LPs に基づく Framework における K 学から 12 学年の教育内容(或いは学習内容)のカリキュラム構成の展開事例を見ると、当方は、所謂「(理数科)教育内容の現代化」時代の初等学校科学カリキュラムの代表的な S-APA(Science−A Proses Approach)において、展開されている K 学年から 6 学年の発達に至る 13 の Process Skills

の、所謂スコープとシークエンスの構成図を思い出し、こちらが Skills であったのに対して、今回の Framework は概念、或いは知識内容に関する発達構成ではないかと推察した。この推察に関して、これから明らかにしていくが、この LPs に至る展開経緯を調べて行くにつれ、一部は「その通り」、一部は「大いなる間違い」であることが判明した。

その際の起点になるのは、これまでに明らかにしてきたように、Taking to School(2007)の Part III : Supporting Science Learning の 8 Learning Progressions(p.p.214~250)の部分である。そこでは、LPs の起点として、当方が予想した通りの S-APA の 13 の Process Skills を挙げている。

なお、この 13 の Process Skills に関して、日本における事例を記録に残しておくことは重要であるので、米国のこの Taking to School(2007)における翻訳の後に、記すことにする。その最大の理由は、この S-APA の 13 の Process Skills も含めて、日本における当時の所謂「（理数科）教育の現代化」を識る研究者は当方のみであるからである。何故なら、当時の理科教育関係の当事者は殆どが他界なされているからである。その当事者から直接聞き及び、或いは当時の理科教育界の小中高校のいわゆる学校現場を体験している関東にあって理科教育学研究者は当方のみで、将に唯一の体験的語り部であるからである。このような当方の体験に根ざした日本の当時の理科教育界を識らずして、これから訳していく、米国における S-APA の本質とそれの学校教育および科学教師の捉え方の本質と実際を理解しえないからである。

このような認識を基に、この"8 Learning Progressions"を読んでみると、米国における S-APA の基本的な捉え方と学校教師の捉え方とのギャップ、そしてそれへの対応策に関して等も含めて、これまで知り得なかった米国の科学教育界における状況を知り得ることができる。と同時に、この S-APA を起点にした日本における当時の実態、それにその後の対応との比較することにより、片や LPs に基づくフレームワーク及び NGSS に至米国の科学教育界、他方 LPs も含めて米国さらには世界の科学教育学研究とは殆ど無縁とも言えるの近年の日本の理科教育界とを比較検討する基礎資料となるからである。なお、この日米におけるこの差異に関しては別稿において詳述するのでそちらを参照されたい。

1.2.2 S-APA に関する米国の捉え方–理論と実践より

このような認識を基に、この Taking to School を読むと、いみじくも"Science Process Skills"と題して、この S-APA の 13 の Process Skills について、1960 年代における意味、そしてこの当時（2007 年まで）の評価を述べている。この Taking to School での S-APA の 13 の Process Skills に関する評価及び米国での実践状況を、少し長くなるが以下に訳出する。

それ故、この事を前提に、以下少し長くなるが、この Taking to School の Part III : Supporting Science Learning の 8 Learning Progressions の p.p.211~216 において展開している S-APA に関する論述を翻訳する。

「1960 年代の Science: A Process Approach は、心理学者の Gagne により科学及び学習の課題分析(task analysis)によりなされた影響力のあった初等科学カリキュラム、テキスト類である。これは子ども達が如何に意味ある科学的な諸概念を如何に学習するかに関しての知見よりも、推論的な課題課題分析にも基づいている。ここで提案された「学習ヒエラルキー」は子ども達に相互関連的な科学の諸概念のフレームワークを構築させるというよりも、むしろ階層として一般的な諸過程に関与した資質能力の構築に焦点化した。このような考え方は、教師達とカリキュラム開発に携わる人達にアピールしたのである。その訳は複雑な課題を、14(実際は図を見て分かるように 13 であるが、このレポートでは 14 としている)の基本的なスキル（Skills）に同定したことであり、そのことは、あるシークエンスで発達し、科学的思考の基礎となり、子ども達がこれらのスキルを実践するために多くの特別

な実践をすること等が提案されていた。しかし、子ども達は次のような理由で意味づけ、内容、コンテクストに関する重要な役割を無視した。その理由とは、バラバラの「スキル（Skills）」のシリーズとして科学を考え、しばしば意味の無い手続きとして（meaningless procedures）実行してきた(Baroody et al.,2004;Mintzes, Wandersee, and Novak, 1997：これらは Taking to School における文献故、本論では出典を省略するので、原著を参照されたい)。例えば、様々なタイプの観察をすることを実践するか或いは子ども達が観察したり、測定したりすることの理解に関すること無しに、子ども達は様々なタイプを観察することを予測する。我々は第 5 章で示したように、知識は科学的理由付け（推論：scienceitific resoning）と密接に結びついていると捉える。

ところが、残念なことに、子ども達は、「諸過程としての科学(science-as-processes)」指導プログラムの基での意味ある理解の発達に失敗してしまったし、研究者達はこれらのドメイン（領域）一般的なスキル（Skills）:(domain-general "Skills")が如何に実際には殆ど一般化されていないことに気付いた。これらのスコープとシークエンス提案に関する他の批判は、子どもの推論（理由付け）と学習のキャパシティについての不完全な発達の仮説に基づいているということであった。即ち、より幼少の子ども達は、抽象的に考えることよりも解釈的より具体的であり、むしろ観察にのみの能力を有する。このことは Mtez,1995 それに第 3 章で論議する。結論として、小さく細分化された科学の諸過程のスキルのみ（a small subset of science process Skills:例えば、観察する、測定する、予測する等）は早期の初等学校学年段階でのみで導入でき、多くの他の上級段階のスキル（例えば、仮説の設定、条件のコントロール、データの解釈）は上級段階の初等学校とミドルスクールの学年で導入され、他の重要な科学の意味づけ（論理付け）の実践｛モデル化、概念作用（representation）,ディスコース(discourse)や論議（argumentation）等の実践｝は全般的に初等学校からは除かれる。時流の研究が領域―特定の知識と理由付け（論理性）の間の相互作用に注目されるとすれば、モデル化の重要性、概念作用の理解を推進する際のディスコース、子どもがこれら意味づけをする実践の広範囲な範囲で取り組むキャパシティ、それは概念作用（概念化）のフレームワークの理解を構築する際に一層中心的に基礎付けられる（Part II でのこの論点の論議を見よ）。

Gagne の内容にとらわれない諸過程（content-free process）の集まりとして科学のオリジナルな情報は科学教育者達に大いに退けられたけれども、その遺産は政策と実践両面で追求された。

数多くの Textbooks やカリキュラム資料は科学的な探究、科学の諸過程、或いは科学の方法に関して未だ別々である。多くの教師達は、教授技能と探究技術とは自分達のカリキュラムコースの概念的な内容とは別に、これらの資料に従っている。」p.p.211~216.

以上のように、S-APA の理論的指導者である Gagne の考え方(理論)の不十分さそのものへの批判と S-APA を学校教育において実践するにあたり、現実実際の子どもの科学的な思考、スキルの実態と Gagne の理論とのギャップの存在が明らかになっていった。ここに米国の初等科学教育界における S-APA に関する理論と実践の限界が明らかになっていった事が判明した。

1.2.3 S-APA に関する日本の捉え方―理論と実践のギャップ

(A) 昭和 40 年代における中高理科教育と小学校理科教育との違い及びギャップ

以上のように米国においては、Gagne の学習論そのものと現実の子どもの科学的なスキルに関する認知発達とのギャップなどの批判は上記の二つの委員会の多彩な研究者達の話し会いや協議議の結果として明らかにされたと見做せる。

そこで翻って当時の日本を見てみると、この S-APA の他に ESS、SCIS 等の初等学校科学教育プロジェクト、ハイスクール段階数学の SMSG や科学の PSSC、CHEMS、CBA、BSCS、ESCP それに中等学校前期の IPS 等

が日本に紹介され、昭和 40 年代の日本は理科(以下に明らかにするように正確には中高理科)や数学の教科を代表事例に、所謂「(理数科)教育の現代化運動」が巻き起こった。教育の現代化運動として、ブルーナーの一連の著作が翻訳紹介され、教育界にもブルーナーの考え方や訳語に関して論争がなされたことは、今でも鮮明に記憶に残っている。このような論争の影響のせいか「(理数科)教育の現代化運動」と呼称されため、小学校理科教育界全体をも巻き込んで日本国中席捲していたかの如く理解している人或いは学会が存在していることを知り、愕然としてしまった。その人とは、論文発表時は福井大学所属の石井恭子なる人物で、その論文の課題は、『日本における「探究の過程」の受容過程とその課題—1960 年代の理科教育における「現代化」に着目—して』、発表学会は「教育方法学研究」第 37 巻・2011 年度（2012 年 3 月）、URL は次の通りである。
https://www.jstage.jst.go.jp/article/nasemjournal/37/0/37_KJ00008760445/_pdf/-char/ja

何故なら、昭和 40 年代の中学校及び高等学校理科は「学習指導要領理科」において、「科学の基本概念」「構造化」「探究」「科学の基本概念」等が明記され、文部省主催の「理科教育の現代化講座」が全国的に、中学校、高校、さらには大学まで予算化され開催された。当時横浜国立大学に就職したての当方も、大学の「理科教育の現代化講座」の担当教官の一人として、現職の小中学校理科教師に講義をした記憶が蘇る。さらに、全国の都道府県及び政令都市に「理科教育センター」設置の予算化がなされ、その代表例が、東京都の理数科教育センター及び国レベルでは、当時の目黒にあった、「国立教育研究センター」に「理数科教育センター」が設置された。ここまでは、上記石井恭子氏の論文内容を補強する事実である。さらに、日本独特の理科教育振興法（昭和 28 年施行）により、日本全国の小中高校の小中学校の理科実験室、高校の物理、科学、生物、地学それぞれの実験室と実験装置、器具類（当初は備品のみ、その後消耗品も）が配置されている。このような法律は日本のみと言える。お隣の韓国では類似の法律があるが予算額が少ないとのこと。「理数科教育の現代化」に対応させた様々な実験器具類（OHOUS の天秤や、分子運動論模型、透明半球等々）は米国で開発され、日本に導入されたが、当時の小学校理科教育界はこのような中高理科教育界と全く異なっていた。この時代に関する小学校理科教育界も含めた当時の状況を知る研究者は、当方のみで、特に、当時活躍された研究者の方々は他界なされ、日本における当時の状況を知り得る唯一の将に生き証人として、上記の論文及び掲載学会が当時の事実状況を正しく理解認識出来ていない、或いは誤認識と、研究者或いは研究者集団としては有り得ない故を解き明かす必要がある。

詳細は別の機会にするが、ここでは石井恭子氏は「理科教育学研究者」とするなら誤った認識と言うべきか？無知と言うべきか？はたまた研究者としての基本的資質とも言うべきか？、その理由根拠の第一は当時の「原典」の一つとも言うべき文部省の小、中、高校の理科学習指導要領とそれぞれの段階でのこの理科の学習指導要領の解説書である小、中、高校の理科指導書を読んでいないこと。第二は当時の中学、高校の理科教師の体験者よりの聞き取りや体験談等の事実確認をしていないこと。第三は同じく当時の小学校教師特に理科担当教師からの聞き取りや体験記録を探索していないこと。そして一番肝心な昭和 40 年代の小学校理科教育界に影響力を有していた東京教育大学附属小学校の理科教員がリーダーとなっていた初等理科教育研究会等に当たっていないことである。

第四に実はこの事が中高理科と小学校理科とで大きな違いが生じた最大の理由根拠とも見做せる事実根拠である。即ち、理科担当の教科調査官の存在である。この時代は戦前からの伝統を受け継いで、教科調査官は戦前の日本の教育界を二分していた、東日本の「東京高等師範学校」出身者と西日本の「広島高等師範学校」出身者がその職に就くことが伝統範例となっていた。それ故、中高理科の教科調査官の大部分は前者の出身者が占め、後者は、この時期は小学校理科の方であった。特にこの小学校理科の場合は「広島高等師範学校」系出身の小学校理科教科調査官と旧東京高等師範学校、当時は上述の東京教育大学附属小学校の理科教員グループの初等理科教育研究会

が日本の小学校理科教育界に一大勢力を誇っていた時期であった。それ故、中高の理科教育界とこのような小学校理科教育界とはその意識、考え方、実践等悉く全く異なっていた事実認識を基にせねば、当時の日本における、所謂「（理数科）教育の現代化」を論じられないという、当時を識る者としては常識に全く欠けているのが上記の人物であり、学会である。悲しいと言うべきか、嘆かわしいと言うべきか、当時を識る者にとっては常識であったことが、全く知り得てない事の悲しさである。

即ち、当時昭和 43 年の学習指導要小学校理科学習指導要領を見れば一目瞭然、どこにも、「探究」、「科学の基本概念」、「構造」などの当時の「(理数科)の教育の現代化運動」を象徴する用語は見当たらない。前述のように当時の小学校理科教育界でイニシアティブを取っていた組織団体は、当時の東京教育大学附属小学校理科教諭達がリーダーとなっていた「初等理科教育研究会」である。この団体のリーダー達は全く所謂「(理数科)教育の現代化運動」とは別個の考え方であった。この団体は当時全国的にかなりの影響力を有していたが、そこでは、「探究」、「科学の基本概念」、「構造」等の所謂「(理数科)教育の現代化運動」のキーワードではなく、「問題解決」がキーワードであった。なお、戦後の学習指導要領は、「戦後学習指導要領データベース」（https://www.nier.go.jp/guideline/）により見ることが出来る。

(B)日本における S-APA の受け取り方

上記に明らかにしたように、昭和 40 年代の中高理科教育界は、まさに「探究理科」一色であった。即ち文部省レベルでは、中学及び高校の理科学習指導要領及び解説書、さらには所謂都道府県での伝達講習、主に教員養成系の大学・学部での「理科教育講座」等を核に、中等教育段階の米国のハイスクール段階の PSSC(物理学)、CHEMS 及び CBA（化学）, BSCS（生物学）、それに前期中等学校科学の IPS、それに英国のナフィールド財団による中等教育段階の物理学、化学、生物学等のカリキュラムプロジェクトの Textbook が日本語に翻訳され、数多くの理科教師がこれらの翻訳テキストを購入して、当時の中学、高校理科教育界では、これらを知らずして中学及び高校の理科教師にあらずといった雰囲気であった。かく言う当方の大学理系学部卒業後に茨城県の私立中高で理科教師をしていたあの時期の「探究理科」に対する熱気は特有でその後、このような熱病の如くのまさに「ブーム」は現在では想像だにできない。

ところが、一転して、当時の小学校理科教育界は前述のような全く「探究理科」に無縁な小学校理科教師がかなり存在していた。しかし、東京都立理科教育センターでは栗田一良指導主事を中心にした理科教師達が、S-APA、ESSS、SCIS などの米国の初等科学教育カリキュラム、特に実験器材と一緒に翻訳紹介を積極的に行っていた。そのため、所謂この都研グループ、或いは広島大学の理科教育の教官達等が欧米の初等科学教育の教材や指導方法を一部の小学校理科教師達と実践していた。しかし、全国的には、「学習指導要領」および「小学校理科指導書」、そして小学校理科の教科調査官の主たる関心は別個であったので、中高理科での探究学習は関心ある小学校教師が実践するのみであった。

従って、Taking to School で LPs の起点として取り上げられた S-APA を実践しているのが中学校理科教師であったりする。そこで、今でも新鮮に蘇るのが、横浜国立大学教育学部に助手として就職した後に、前述のように都研で活躍なされていた栗田一良指導主事が、横浜国立大学教授として来られて間もなく、この栗田教授と一緒に、横浜市内の中学校での理科授業を観に行ったときの実践授業である。この女性の中学校理科教師は、探究理科を積極的に授業に取り入れて、我々、特に探究理科の日本における有力な紹介者である栗田一良教授に、意気揚々と授業を行ったのである。実はその授業とは、米国の初等科学の S-APA の提示している 13 の Process Skills（別添の図 3 ガニエ及び…段階構造を参照）全てを何と 2 時間の理科授業で、ここまでは観察スキル、ここ

までは分類スキルと各スキルを小刻みに分けて全て行ったのである。13 のスキルを 2 時間に一気に行ったこの授業が終えた事に驚き、日本における S-APA の紹介者で、なおかつ当時の日本において一番 S-APA を知っている栗田一良教授に、「このように 13 のスキル全てを授業で行ったことに関して、これで良いのでしょか？」と問うたところ、栗田一良教授は即座に、「とんでもない。13 のスキルは長時間かけて、6 年間以上の時間をかけて実践するものであって、今回は大いなる誤解である。」と述べられた。

この象徴的な事例から、当時の日本における S-APA に関する受け取り方の象徴的な受け取り方として次の 2 点を挙げることが出来る。一つは、所謂「探究学習」、「探究の過程」とは何ぞやと当時の特に中高の理科教師はその基本的な考え方を J.Schwab の翻訳書（佐藤三郎訳「探究としての学習」昭和 40 年）より理解しようと努めた。しかし、この翻訳書では Schwab の説く「探究学習」について、「探究」の具体的展開事例が充分に読み取れないと一般の中高理科教師は思っていたところ、この S-APA では「探究」の事例が 13 のプロセス・スキルとして展開されていると捉え、自分の理科授業で、この 13 のプロセス・スキルを実施すれば、「探究学習」が具体化されたと考えたと見做せる。本来の初等学校段階ではなく、中高理科の授業においてもである。

この実践事例に象徴されるように、当時の日本の理科教師は、紹介者の栗田一良教授が驚く位に、それぞれの理科教師が各自、自己流に解釈して「探究理科」を実践している傾向がかなり見受けられた。そのため、S-APA の理論的指導者の Gagne の学習論について原典を読んで理解する前の段階で、誰かの紹介を、理科教師が自己解釈して、将に自己流の「探究理科」を実践している事例が多々見られた。これにより、日本の学校理科、特に小学校理科では、「探究学習」を理論的に正しく理解することは困難であった。従って、S-PAP の理論どころか、その実践も理論を充分に理解せずに、或いは知らずして、「探究理科」を行って自己流の実践がなされていたのが、当時の日本の小学校理科の現実の一端であったと見做せる。

以上のように、S-APA に関しては、米国の理論的な問題指摘にまで至らず、上記のように精々自己流の実践がなされていたのが、当時の実態と見做せよう.

なお、S-APA は AAAS が開発した初等科学カリキュラムであったので、当時は現在のようなインターネットによる情報収集など出来ないので、AAAS とは、当時上記のような幾つかあった科学カリキュラムプロジェクトの一つと誤解しているようであるが、市民も加わり、科学者や科教育学研究者も加わった学術組織である。後述する Project 2061、National Sceince Education Standards:NSES、それに Atlas of Science など科学教育界においては、多大なる影響力を発揮してきている（https://www.aaas.org）。S-APA とはこの全米規模の学術組織である AAAS の開発した初等科学カリキュラムであるが、各種教材等のリストは次の URL より知ることができる。
https://www.aaas.org/page/finding-aid-aaas-science-process-approach-records

S-APA の初版の K 学年から 6 学年まで 13 の Process Skills が 105 のモジュールとして構成され展開されており、子供用の Textbook はなく、教師用書と実験キット類より構成されている。さらに、K 学年から 6 学年までに、この 13 の Process Skills がどのように相互関連しながら構成展開されているかのチャート図（まるく丸められる柔らかいアルミのような素材）が学校の黒板を縦にした大きさで、当時栗田一良教授が購入したので、横浜国立大学の理科教育教室に保管されているのではと思われる。このチャート図をイメージして当方が図にしたのが、図 3 のガニエ及び S-APA13 の Process Skills である。上述のように所謂モジュール式になっており、30cm 程の段ボール箱がモジュール毎にあり、その中にはプラスチック製のビーカーやフラスコ等の簡単な実験器具類やワークシート類の教材等が入っており、それらを使って米国では科学教師が直ぐ子どもに配って、実験及び授業が出来るようになっている。なお、図 3 では S-APA II になっているのは、当方が横浜国立大学から筑波大学に移って間もなく、S-APA を注文したらその改訂版の S-APA II が送られて来た事に起因する。

米国及び日本における S-APA の受け取り方をこれまで述べてきたが、米国における受け取り方を踏まえ、何故S-APA がLPs の起点なのかに関して次に明らかにしていこう。

この S-APA II の所謂キットを購入した当時の筑波大学図書館は教官の研究室には、備品である図書類を置いてはならないと定め、我々教官には研究室に備品であるから一切の図書（研究図書）を置かせない、全て図書館が管理すると厳命し、出入りの図書扱いの会社にも決して教官の研究室に置かせないようとこれも厳命していたので、業者は研究室に置くときは私費購入を御願いしますと懇願していたのであった。

この「図書」は中央図書館で管理すると言う「決まり」に関する今では信じられないお話しは上記の S-APA II のキットを購入に関する「逸話」を以下に記しておこう。

> *当方筑波大学に赴任して間もなく、この S-APA の実験キットを購入したところ、当時の図書館の事務官より、「教官は図書を研究室においてはならないので、この S-APA より購入したものは中央図書館で管理する。」と伝えられ、そこで実際にこの実験教材キット類をセットになった箱毎持参し、このような細々したプラスチックの実験器材類（プラスチック製のビーカー、試験等々数十点）も備品にするんでしょうか？と問うたら、関連の課長（？）3 人が将に鳩首揃えて話し会った結果、「これらは備品ではなく、教材類として消耗品扱いとしますので、図書館管理ではなく、研究室にお持ち帰り下さい。」とのこと。当時は「図書類は全て、備品なので、中央図書館で管理する。」と、研究室には公費で購入した図書類を置いてはならないと定めていたのです。*

この「消耗品」扱いのお陰で、上記の S-APA II に関する K から 6 学年までの 13 の Process Skills の構成図を書くことが出来、このように現在でも活用できるようになっているのである。もし、備品扱いになっていたら、このような研究上の貴重な図を作成できず、伝聞のままになっていたとも思われる出来事であった。

2. 何故、S-APA が LPs の起点か

この問題提起を解決していく起点は、上述の図 3 のいわゆるヒエラルキー図、或いはカリキュラム構成図を頭にしっかり入れて置くことが肝要である。S-APA のこの構成図に関して、カリキュラム構成におけるスコープとシークエンスと捉え、所謂科学の基礎概念から科学概念に如何に探究によって如何に作り上げていくかの観点から K から 6 学年（或いはそれ以上）までのスコープとシークエンスを明らかにするかが課題になると見做されると Taking to School では述べている。ここが重要で、その後の LPs に繋がる経緯で、カリキュラム構成がこの科学者の捉える Basic Concepts(基礎概念)からの発想から、子どもの有する Core Ideas(核となる考え方)への転換が何時、何で転換、変換なされたか？この考え方になると、こそれまでのスコープとシークエンスという捉え方ではなく、子どもの考え、観方が如何にして科学者の科学概念に変換、転換していく過程が重視されるので、知識内容即ち科学の基本概念という出来上がったのを「スコープとシークエンス」として如何に配列していくかという「上から下」では無く、逆に子どもの考え、即ち日常生活における観方考え方を起点に、子どもが如何に科学者の有する科学概念に作り上げていくか、或いは練り上げていくかという、「下から上への」発想の転換が必要になってくるであろう。この観点が第一とするなら、科学者の規定した basic concepts からではない、子どもの観方、捉え方或いは考えを起点にする考え方（それが Core ideas と見做せる）に変換したのは何時、何処からであろうか？さらに、その考え方を基に、学習内容（教育内容）を如何に構成するかの構成図表（一種の内容構成地図）は何時、誰かであろうか？

この疑問を基に、S-APA の時期から現在までを追跡調査下のが巻末リストである。以下この巻末リストを基に上記の疑問を解き明かしていくことは、LPs に至り、その LPs を一層さらに具体化していったのがフレームワークであり、一層明確化させていったのが NGSS と考えられるので、ここに至る経緯と展開を明らかにしていくことが必要且つ重要であろう。この事を具体的に明らかにしたのが巻末リストであるので、これを基にこれら一連の経緯を次に展開していこう。

3. S-APA から LPs、そしてフレームワーク及び NGSS

それまでの科学者の規定した科学概念の分析ではなく、子どもの自身の身近な生活経験より作りだした観方、捉え方、考えとは何か？或いは子どもが陥りやすい科学的には間違った、或いは誤った考えとは？この事は、従来日本では「つまずき」とも称されてきたが、単に間違ったのもあれば、子どもの身近な生活経験より子どもなりに筋が通って納得しているが、科学的に検証したり、調べたりすると子ども自身がその誤りに気付き、納得して、自己の考え、観方を修正して、科学的に正しい「概念」に是正していく等の事例研究がなされてくる。これらの一連の研究が、所謂”Misconception”研究と言える。或いは子ども自身ないしは子ども達同士で自分達の環境、生活、地域文化に根ざした考え、観方であるが、科学的には正しくない観方、捉え方である。これらが所謂 Folkphysics, Folkbiology と称される研究分野の研究、さらにはそれらを踏まえた学習研究等が盛んになされる。これらの研究が盛んになされたのが、巻末リストに記されるように、1980 年代から 19990 年代、更にはそれ以降もなされ、それらの研究を基に、人は如何に学習するかと言うテーマで、全米からこれらの研究者が一堂に集まって、それまでの研究の整理とそれを基にした今後の研究展開をまとめ、提言勧告したのが、1999 年そして 2000 年に発表した、“How People Learn”と 2005 年の”How students Learn”である。

これら“How People Learn”と 2005 年の”How students Learn”を含めて LPs に焦点化して、1964 年の S-APA よりフレームワーク及び NGS に連なる関連事項を時系列にまとめたのが巻末リストである。以下この時系列に沿って述べていくが、このような一連の科学教育学及び関連分野の継続的な研究及び研究政策が取られている起点は米国の危機的教育状況とそれからの脱却を勧告した 1983 年の”Nation at Risk”に端を発していると見做せるが、今回は LPs に焦点化しているので、このレポートと当方との経緯は省略するが、現在でも連邦教育省の Archive として、https://www2.ed.gov/pubs/NatAtRisk/risk.html より閲覧できる。

1980 年代前後 1990 年代更には 2000 年代にかけて、上述のように子どもの科学概念学習における、様々な misconceptions 或いは preconceptions 等に関する研究が、将に Evidence based research としてなされた。ここでこれらの訳語について注釈しておく。日本では、misconceptions を「誤概念」と将に誤った翻訳をしている人が多々見受けるが、この翻訳語は将に誤った訳語と見做せる。何故なら”conception”は外延と内包より規定される「概念」、特に”Scietific concepts“は「科学概念」と訳され、通常科学教育学界ではこの用語を略して”concepts”、「概念」を”Scietific concepts“は「科学概念」と同義的に用いられる。しかし、”conception”は概念に至る、いわゆる”概念化作用”とも訳されるように、”concepts”「概念」とは違い、「科学的には誤った観方、捉え方」と捉えれば、children’s misconceptions とは子どもの有している「科学的には誤った観方、捉え方」と捉えた方が妥当、適切と見做せる。そこで訳語としては少々長くなるが「子どもの有している科学的に誤った観方」として用いる。これらの研究とも相互語関連しながら、Naïve theory、Folk Biolgy(或いは Physics)に関する研究活発化していく。

1990 年代には上記の Nation at Risk を受けて教育目標を設定して全米における改革がはじまる。他方、AAAS において、前述の”Nation at Risk”を受けて、1989 年に Project 2061：Science for All Americans:Science Literacy

が開始され、その後現在に至るまで活動を展開し続けているので、https://www.aaas.org/program/project2061 の URL 参照されたい。

ここで、思い出して貰いたい、LPs の起点と位置づけられた S-APA を開発したのもこの AAAS なる組織団体である。次の URL より知り得て貰いたいが、創立 150 年となるが、雑誌 Science を発行している基であると言えば、思いだすであろう。全米のみならず全世界に影響を及ぼす組織団体である。この組織は我々が捉える狭義の自然科学のみならず、様々な分野を包含した広義の科学者、技術者或いは工学者（engineers）それに市民公衆（the public:所謂通常の市民は誰でも加入でき、何人かの一般の日本人が大会に参加してインターネット上に情報を載せている）等より構成されている全米いや世界的な広義な科学に関する組織団体であることもあって、当然科学教育学、数学教育学、更には工学、技術教育にもその影響力は及び、米国にあっては、科学教育界にも多大なる影響力を発揮していることは肝に銘じておく必要がある。

AAAS の URL（https://www.aaas.org/about/mission-and-histor）。

この AAAS のプロジェクト 2061：21 世紀初頭には米国の上記のような広義の科学教育界が世界トップになることを目的に立ち上げたもので、それ故、現在も継続している、或る意味では米国における長期的な一大プロジェクトと見做せる。このプロジェクト 2061 は巻末リストに示すように発足以来、様々な活動の中で、全米の科学教育に関するスタンダードに関することに焦点化して年代順に記したのであるが、それらの中で、LPs に繋がりの深いのを次に述べていこう。

このプロジェクト 2061 はハレー彗星が地球に近づいた 1985 年にスタートし、次回の 2061 年までに、全ての米国民（All Amrican：次世代）が、自然及び社会科学、数学、技術に関して、Science liyerate を有した人間になる事を目指している。そこでこの事を具体化するために、次に述べる出版物を出している。この AAAS も含めた科学教育学界におけるスタンダード及び LPs に関連した活動を年代順に述べていこう。

上記のように AAAS の Project 2061 がスタートした 1985 年は、当方にとっては記念すべき年で、その後、1990~1991 年の文部省の在外研究員でお世話になる、University of Iowa の Science Education Cnter の Robert E.Yager 教授との最初の出会いの年であり、ある意味で、当方の今日に至る体験に根ざした米国における科学教育学研究を研究対象にしていく、始まりの年でもある。この年に Robert E.Yager 教授より、来年の NSTA 全米大会は San Francisco で開催されるので、日本からも近いから参加するように言われたが、今回は文部科学省の日米研究プロジェクト（Culcon: (http://www.jpf.go.jp/culcon/about/index.html）日米文化教育交流会議の一環として行われたが、翌年は私費となるので、（現在とは違い、当時は渡米費用それなりなので）事前に一緒に共同研究を行った、故恩藤知典先生（当時は国立教育研究所理科教育センター所員）に、Yager 教授より誘われたら、来られない旨お話しするようにと打ち合わせしていたのである。が、しかし、Yager 教授より Yager 宅にディナーに誘われ、食後に案の定誘われたのである。すると、恩藤知典先生すっかりご招待に気分をよくして、”sure! “と言ってしまった。ホテルに帰って、恩藤先生只管「スマン！」と平謝りであったが、あとの祭り。英語圏では例え口約束でも約束したら、実行するのが礼儀の基本中の基本！である。　従って、翌年の 1986 年での San Francisco での NSTA 全米大会に恩藤先生初め、前愛知教育大学の川上昭吾氏など日本人側は当方が日本理科教育学会で参加を呼びかけたので、合計 8 人程でツアーを人生初めて参加した。参加して何もかも「驚き！」であった。何故なら参加人数が当時は 8,000 人程で、会場は一流の数カ所のホテル内の幾つかの部屋で発表、ワークショップ、講演等が行われ、会場捜すのも一苦労。さらに科学教育関連の実験器具、装置、Textbook や各種教材等の展示会場が 3 万人ほど収容のエキシビションセンターで、そこを巡るだけで 5 日間期間必要な規模等々その規模の大きさに感嘆に将に驚きと感嘆の連続であった。

それ故、この 1986 年の Francisco での NSTA 全米大会において、AAAS の Project2061 がスタートの発表をしていたとは露とも知らなかったものであった。何せ、現在のようなインターネット時代ではなにので、自分の五感及び頭よりの情報収集しかできなかったからである。

それ故、1986 年とは当方のその後の 10 近くの参加さらには発表していく NSTA 全米及び地方大会の始まりとなる当方にとっては記念、記憶に残る大会であった。

AAAS は 1989 年に“Scince fo All Americans”を発行する。当時当方は、「科学教育」と謳っていながら、その内容は、科学の本質(Nature of Scinece)、数学の本質(Nature of Mathematics）、技術（Technology）、人間社会（Human Society）、デザイン社会(The Designed World)、歴史的展望(Historical Perspectives)、それに共通テーマ（Common Thems）、さらには日本語としては対応する訳語が見つかりにくい Habits of Mind とは Science Litracy に必須である態度、スキル、思考の方策、手段等を含んでいると説明されている。URL は以下参照。
https://www.aaas.org/report/science-all-americans

このような広義な捉え方にこの当時は疑問を感じていたが、今回のフレームワーク及び NGSS における領域内容の広範囲さを知ると、これらの基はこの“Scince fo All Americans”に起因するのであろうかと推察されうる。

一方で、数学教育学界では、その学会組織である NCTM(Natioanl Council of Teachers of Mathematics)（https://www.nctm.org）が、他の所謂各教科教育に関する諸学会に先駆けて、所謂スタンダードを 1989 年に発表する。

謝辞：

本研究は、科学研究費補助金・基盤研究（B）（課題番号：15H03493、研究代表者：長洲南海男）の助成により行われた。ここに記して謝意を表する。なお、森下明美本科学研究費事務補佐員の校正に謝意を表します。

＜巻末リスト＞ Learning Progressions の始まりと展開―組織と関連人物より

1963-1975 AAAS:A Process Approach(S-APA I)
主に 1960 年代(Ready,p215)
1972-1973: (S-APA II)
(http://www.aaas.org/page/finding-aid-aaas-science-process-approach-records#Overview%20of%20the%20Collection)
13 Process Skills←R.Gagné "The Condition of Lrarning"
(https://en.wikipedia.org/wiki/Robert_M._Gagné)
1990 年代~2000 年代初頭
Novak 等からの批判:有意味学習論
有意味学習への批判
1989 Project 2061; "Science for All Americans"; Science Literacy (AAAS)
1993 "Benchmark for Science Literacy"(AAAS；内容構成)
1996 "NSES: National Science Education Standards"(NRC---NSTA)
1997 "Science Teaching Reconsidered :A Handbook(NRC: Committee on Undergraduate Science Education) Misconception の同定と類型
2001 「全米科学教育スタンダード」翻訳(梓出版)
2001 "Atlas for Science Literacy Volume 1"(AAAS)
2005 "Systems for State Science Assessment (NRC)
2007 "Atlas for Science Literacy Volume 2" (AAAS)
二つの Atlas：実証的研究に基づく論理的な教育内容構成地図
2007 "Taking Science to School: Learning and Teaching Science in Grade K-8"; (Richard A.Duschl; Chair; Committee on Science Learning,K-8th Grade)
Tom Corcoran, Helen QUinn; Member
2007 Ready, Set, Science: Putting Research to Work in K-8 Science Classrooms
Taking Science to School と Ready,Set,Science の Board on Science Education メンバー13 人両者同じ；Helen Quinn も含まれる。併せて、NRC スタッフ 6 人同一
2009 Learning Progressions in Science (Tom Corcoran, Frederic A. Mosher& Aaron Rogat; CPRE) An Evidence-based Approach to Reform
2009.7 24-26; LeaPS Conference; Iowa City
2011.1 "Learning Trajectories in Mathematics A Foundation for Standards, Curriculum, Assessment and Instruction (CPRE)" Phil Daro, Frederic A.(Fitz) Mosher, Tom Corcoran;後者 2 人は 2009 年の Learning Progressions in Science の 3 人の 2 人(NRC;実証的科学教育内容構成研究:Learning Progressions)
2012: Learning Progressions in Science: Current Challenges and Future Directionc. Eds. Alicia C.Alonzo and Amelia Wenk Gotwads.

	名　前	所属 ポスト	専門分野
1	Helen R.Quinn 女性	Stanford Linear Accelerator Center, Professor 2010 年より名誉教授	オーストラリア出身 素粒子物理学　物理学教授 国際理論物理学センターディラックメダルを含む幾つかの受賞。 2009-14 年；NAS の科学教育学委員会委員長 1987 年創立の「現代物理教育プロジェクト（CPEP：987 年創設）共同創設者、初代会長 NGSS 執筆リーダーチームの Okhee Lee と一緒に NGSS の教育実践活動
2	Wyatt W. Anderson	Department of Genetics, University of Georgia 教授	ショウジョウバエの進化遺伝学
3	Tanya Atwater 女性	Department of Earth Science, Univ. of California, Santa Barbara	
4	Phlip Bell	Univ. of Washington 教授 Executive Dir. of UW Institute for Sscience & Math Education (STEM Ed.)	NAS の科学教育委員会 8 年間 人間の認知と発達、科学教育学、コンピュータ科学、電子工学
5	Thomas B. Corcoran	Teachers College, Columbia Univ. 教授	40 年間学校改善と専門性開発、プログラムのデザインの経験 2009 年 Learning Trajectory in Mathematics: 2011 年 Learning Progressive in Science での共著者
6	Rodolfo Dirzo	Department of Biology Stanford Univ. 教授	生態学（熱帯エコシステム）、自然史、環境保全科学
7	Philip A. Griffiths	Institute for Advanced Study, Princeton 名誉研究員	数学、代数幾何学と現代理論物理学その活用
8	Dudley P.B. Kathei	Department of Chemistry and Chemical Biology, Harvard Univ. 名誉教授	1986 年ノーベル化学賞：crossed molecular beam(交差分子線) chemical kinetics(化学速度論) 科学教育の擁護者
9	Linda P.B.Kathei 女性	Office of Chancellor University of California, Davis 学長	ギリシア系、情報工学、回路設計 2011 年 California STEM Learning Network 支援、開始 2012 年より 5 年間 NSF より$3.725 million grant(372 万 5 千＄) 特に女性、文化的多様での STEM 教育
10	John C. Mather	NASA Goddard Soace Flight Center	宇宙物理学、ビッグバン研究 2006 年ノーベル物理学賞
11	Berett D. Moulding	Utah Partnership for Effective Science Teaching and Learning	ユタ州 High School 化学教師 20 年間、 2008 年にユタ州教育局カリキュラムと指導

		Research　教師、行政職	の Director、ユタ州効果的科学教授学習パートナーシップの Director
12	Jonathan Osborne	School of Education Stanford Univ. 教授	科学教育の教授と学習の政策と Pedagogy、科学教育学での Argument(IDEAS)
13	James W. Pellegrino	Department of Psychology and Learning Sciences Research Institute, Co-Director U. of Illinois	認知科学、精神測定、教育工学、教授実践と教育政策；人間の認知発達、個人の差異、学習環境のデザイン、認知のコンピュータモデル等多岐 NSF, ONR(海軍研究局)、AFOSR（空軍科学研究局）等から大規模なプロジェクト資金。 270 冊以上の共著作論文、2013 年 BSCS の Board of Director, 2001 年の NAS の Knowing What Students Know（教育アセスメントのデザインへの提案）の共同委員長
14	Stephan L. Pruitt	ジョージア州教育局州学校監督局　行政職	High School 化学教師
15	Brian Reiser	School of Education and Social Policy Northwestern Univ. 教授	学習科学、認知科学；Taking Science to School (2007)委員、IQWST（Michigan State Univ. の Create of STEM Institute が NGSS と連携して開発している Middle School の科学と技術に関する探究プロジェクト)の共同開発者
16	Rebecca R. Richarda-Kortum 女性	Department of Bioengineering, Rice Univ. 教授	生命工学、 電気とコンピュータ 工学（含むガン診断）
17	Walter G. Secada	School of Ed. Univ. of Miami 教授	数学教育、教育における Equity ,教師の専門性開発、；NCTM、全米バイリンガル教育メンバー、NAS 科学委員
18	Deborah C. Smith 女性	Department of Curriculum and Instruction, Pennsylvania State Univ. 助教授	数学、科学、工学（Technology）の間マグネット学校教師 6 年、科学教育カリキュラムと教授で学位:生物学専攻；初等学校教師の科学教育知識と子どものイメージとの相互関係に興味中心

図 1　A Framework for K-12 Science Education に関する委員会メンバー
「新しい K-12 科学教育学スタンダーズのための概念的枠組みに関する委員会」

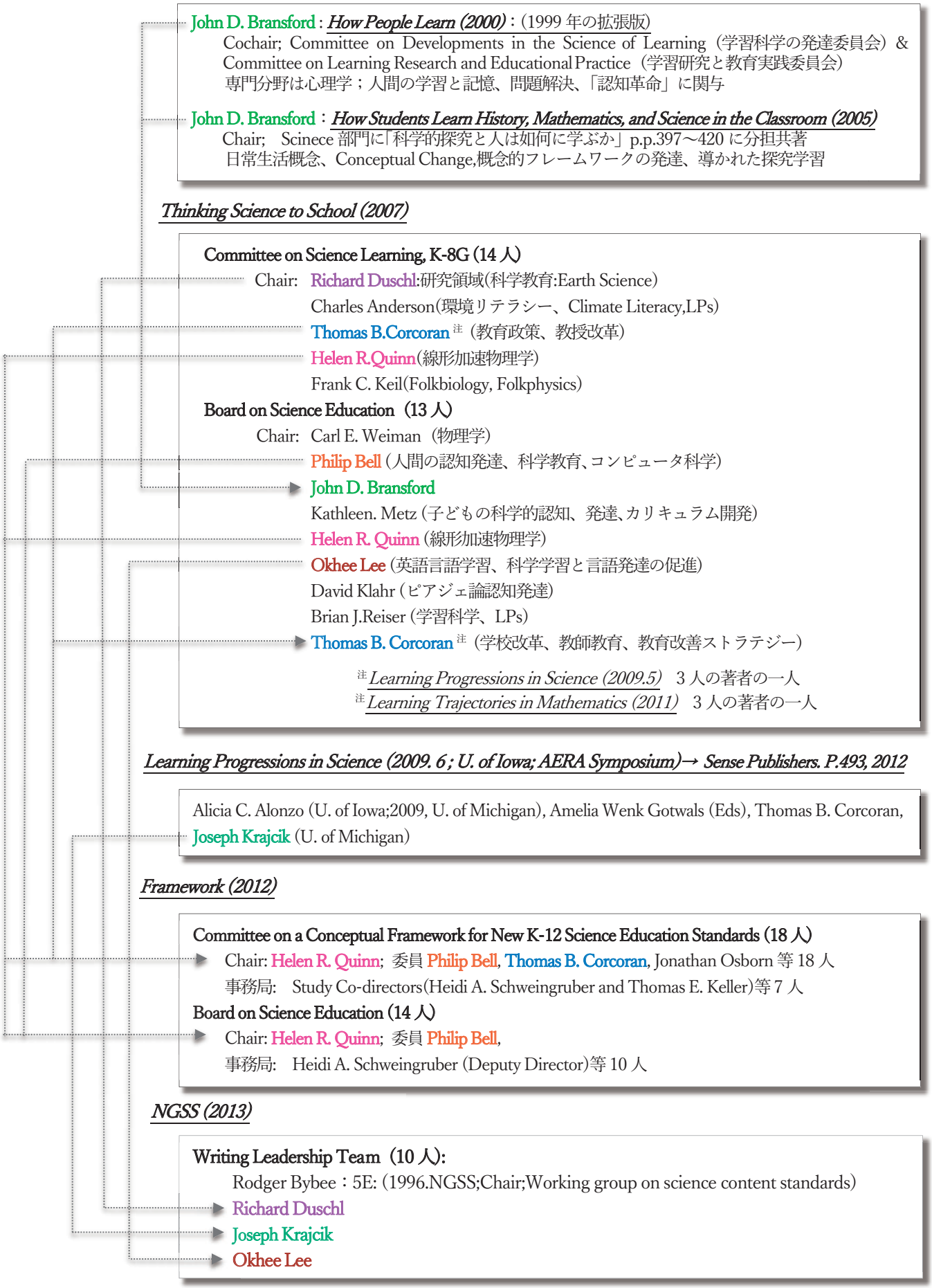


図 2 人物で探る LPs (Learning Progressions)

		観察	時空	数の使用	測定	分類	伝達	予測	推論
第3学年	60		i						
	59			e					e
	58								
	57						h		
	56					f			
	55	m・n							
	54				j			e	
	53								
	52								d
	51		h						
	50							d	
	49				i				
	48							c	
	47						f・g		
	46								c
第2学年	45		g						
	44							b	
	43						e		
	42					e			
	41				h				
	40								b
	39				g				
	38							a	
	37				f				
	36	l							
	35		f						
	34				e				
	33								a
	32					d			
	31						d		
第1学年	30			d					
	29		e						
	28	k							
	27						c		
	26				d				
	25						b		
	24				c				
	23				d				
	22						a		
	21	i							
	20			c					
	19	i							
	18	h							
	17	g							
	16					c			
幼稚園	15	f							
	14					b			
	13			b					
	12		d						
	11	e							
	10		c						
	9			a					
	8				a				
	7	d							
	6		b						
	5	c							
	4					a			
	3	b							
	2		a						
	1	a							
	モジュール No. ／ 探究スキル	観察	時空	数の使用	測定	分類	伝達	予測	推論
基礎的段階									

		推論	データ解釈	仮設設定	条件コントロール	操作的定義	実験
第6学年	105						j
	104						i
	103						h
	102						g
	101						f
	100						e
	99						d
	98						c
	97						b
	96						a
	95		l				
	94				g		
	93					i	
	92			f			
	91					h	
第5学年	90		k				
	89					g	
	88					f	
	87		j				
	86		i				
	85		h				
	84		g				
	83			e			
	82				f		
	81					e	
	80					d	
	79			d			
	78			c			
	77				e		
	76		f				
第4学年	75		e				
	74					c	
	73			b			
	72				d		
	71				c		
	70			a			
	69					b	
	68		d				
	67		c				
	66				b		
	65		b				
	64					a	
	63		a				
	62				a		
	61	f					
	モジュール No. ／ 探究スキル	推論	データ解釈	仮設設定	条件コントロール	操作的定義	実験
発展的段階							

Science-A-Process Approach II
Ginn and Company (1974)

図３　ガニエ及びS-APAⅡの13の探究スキルの階層構造

References

Alicia C. Alonzo: Learning Progressions in Science Conference. June 24-26. Iowa City. http://education.msu.edu/projects/leaps/details/key.html

Alicia C. Alonzo & Amelia.W.Gotwals. Eds.(2012).Learning Progressions and Future Directions. Sense Publishers. P.495.

J.D.Brasford.etc.Eds.(2000).How People Learn. NAP .P.374.

J.D.Brasford.etc.Eds.(2005).How Students Learn. NAP .P.615

Heidi A. Schweingruber, Helen Quinn, Thomas E. Keller, and Greg Pearson.(2013). A Framework for K-12 Science Education Looking Toward the Future of Science Education. The BRIDGE Linking: Engineering and Society. Spring 2013. p.p.43-50.

Roger W. Bybee. Ed. (2002).Learning Science and the Science of Learning. NSTA Press. P.159.

Roger W. Bybee.(2015). The BSCS 5E Instructional Model Creating Teachable Momnets. NSTA Press. P.126

NRC(2012). A Framework for K-12 Science Education Practice, Crosscutting Concepts, and Core Ideas. NAP. (略称；Framework).P.383.

T.Corcoran, F.A.Mosher & A.Rogat.(May.2009). Learning Progressions in Science. An Evidence-based Approach to Reform. (http://www.cpre.org/sites/default/files/researchreport/829_lpsciencerr63.pdf).

Daro, P., Mosher, F., & Corcoran, T. (2011). Learning trajectories in mathematics: A foundation for standards, curriculum, assessment, and instruction. http://cpre.org/sites/default/files/researchreport/1220_learningtrajectoriesinmacciireport.pdfth

NGSS Lead States.(2013). Next Generation Science Standards For States, By States. Vol.1&2. NAP.（略称；NGSS）.Vol.1.P.321,Vol.２. P.169.

米国における STEM 教育の現状
―所謂（理数科）教育の現代化運動との対比より―

長洲南海男（筑波大学）

はじめに

所謂「(理数科)教育の現代化」運動とは当時のソ連邦によりもたらされたスプーニク(1957 年：昭和 32 年に打ち上げられた)ショックがきっかけで米国において、第一線の自然科学各分野や数学に関する研究者が旧態依然の古い自然科学、数学の教育内容の Textbook に驚き、彼等が先頭に立って、最先端の学問(自然科学や数学)の知識内容（基本、基礎概念）を組み込んだカリキュラム及び Textbook の開発をし、学習指導方法は「探究学習」（科学の方法としての「探究の方法」）で行う運動を称していると日本では言われ、当方もこれらの用語の英語が米国で用いられてきたと信じていたが、「現代化」に対応する英語が見当たらず、直訳的な"Modernization"の用語も見当たらず、Up to date が近いと考えていた。 しかし、近年のインターネットにより、米国では決してスプーニクショックに当たる英語は使われず、Sputnik Era(註 1)が使われ、この時代に開発された科学教育、数学教育に関した初等･中等教育段階の科学、数学カリキュラムを開発したカリキュラムプロジェクトについては New Curriculum 或いは Alphabet Curriculum と称されていることが判明した。 それ故、所謂「(理数科)教育の現代化」とは日本独自の呼称であることが分かった。つまり、「(理数科)教育の現代化」とは日本のみの呼称で、米国ではこの動きの基である New Curriculum (Alphabet) Movement、その時代を Sputnik Era と呼称しているので、日米比較では日本と米国ではそれぞれの呼称を用いる。

本論は、先ず、日本での所謂「(理数科)教育の現代化」運動とその基となった Sputnik Era での New Curriculum 或いは Alphabet Curriculum との比較検討をして、それぞれの特色を明らかにする。次に米国に眼を向けて、この Sputnik Era と近年の STEM 教育と比較検討をし、さらには STEAM 教育への展開を明らかにしていくことを狙いとしている。 なお、今回は認知、発達、学習論等の心理学的側面に関する考察は当方の仮説的な側面を有するので、この仮説的側面のより詳細な吟味検討は今後の課題とする。

Sputnik Era(註 1)：http://www.nas.edu/sputnik/bybee3.htm　2018.3.9 現在 。これは Rodger Bybee が次の題目；The Sputnik Era: Why is this Educational Reform Different from Aa Other Reforms? で発表したのでも使われている。彼は Sputnik Era における米国の数学と科学教育界の現実とそれから何を学んだかに関して、要を得て簡潔に 5 点にまとめているので必読です。 Bybee に関しての BSCS 時代、当方との関連、NSEE 更にはフレームワーク等に関しての更なる情報は次の Rodger Bybee（註 2）を参照されたい。

Rodger Bybee(註 2)について

彼は 1995 年の National science Education Standards；(当方監修の日本語翻訳；「全米科学教育スタンダード」)の時は内容ワーキンググループの委員長を、そして永らく BSCS の Director を勤め、構成主義学習論をベースにした STEM 教育における主導的な学習指導方法となっている 5E （当方の LPs に関する箇所参照)の主導者でもあり、OECD PISA でも重要な役割を担っている米国科学教育学界では第一人者である。 当方は 1985 年 10 月に、BSCS が Colorado College 構内に 2 階建ての通常の個人住宅のような建物時代（この時期は一番財政的にも厳しい時期）に彼と会って以来、NSTA の年次大会で度々合って話し合っている。 さらに、彼が静岡大学の丹沢

哲朗教授を介して、2002 年 1 月 24～28 日迄、日本生物教育学会第 72 回全国大会の特別講演"A Contemporary Perspective on Curriculum, Instruction and Assessment"で来日した折に東京で迎えて対応し、知友の中である。今回のフレームワークの執筆チームの委員長を務め、米国の科学教育界を代表する科学教育学研究者である。なお、National Science Education Standards は、次の URL で読むことができる。
https://www.nap.edu/catalog/4962/national-science-education-standards

1. STEM 教育以前-所謂（理数科）教育の現代化運動の日米対比

米国の Sputnik Era は 1950 年代後半から 1960 年代、或いは 1970 年代前半にかけての運動であった。 それに対して、日本では昭和 40 年代に所謂「(理数科)教育の現代化」、更には「教育の現代化」運動が活発化したのは 1960 年代後半から 1970 年代にかけてであるので、約 10 年のタイムラグがあることを念頭に入れて置くこと必要である。 このことより、日米双方での、米国の"Sputnik Era"と日本の所謂「(理数科)教育の現代化」それぞれにおける背景要因、対策、現実の学校教育それぞれ毎にどのようなこと(現象、実際、実態、対応そして、所謂キーワード或いは象徴的な事項)をまとめたのが以下の図 1 となる。

	（理数科）教育の現代化運動(日本の対応)	Sputnik Era（米国の対応）
背景要因	それまでの系統学習への行き詰まり 米国の科学・数学教育内容の革新性への衝撃 米国の Textbook 及びカリキュラムの革新性への衝撃	ソ連邦のスプートニク打ち上げ 1957 年（宇宙競争での乗り遅れ） ロケットに象徴される最新科学・技術競争に乗り遅れ
対　策	米国の High School、Junior H.S.の Textbook: PSCS,CHEMA,CBA,BSCS,IPS 等の翻訳 Elementary School から High School のプロジェクトの最新の実験器具類を理振法に組み入れる：OHAUS はかり、分子運動論模型、実験映像、視聴覚教材、ブラックボックスモデル、透明半球、水波演示 OHP 等々 全国都道府県、政令都市に「理科教育センター」設置 教育界に教育の現代化ブーム Bruner 著書の翻訳紹介	最新科学技術の知識及び実験器具類の導入 背景としての数学、科学・技術の最新の成果、それを基に初等学校から High School のカリキュラム開発及び視聴覚教材、観察実験器具類及び教材の革新、視聴覚教材の活用 第一線の科学者の積極的参加（Textbook 開発そして PSSC では実際に演示実験を行う） 発達及び認知心理学（ピアジェ、ブルーナ-等）の学校教育への取り組み 連邦法 国家防衛教育法（1958） 初等中教育法（1965） 教育省への昇格（1979）
学校教育	文部省→(理数科)教育の現代化講座 中・高校理科学習指導要領・指導書:科学の基本概念；探究学習 大学;現職および教員養成 全国都道府県、政令都市に「理（数）科教育センター設置」 答のない教科書: 啓林館中学校理科教科書	Basis Concept, Science as Inquiry カリキュラム(Textbook を含めた各種教材開発) カリキュラムプロジェクト； High School: SMSG,PSSC,CHEMS,CBA, BSCS, ESCP 等 Junior H.S.: IPS(PSCS の前期中等学校対象)

	(IPS をモデルに) **基本概念と探究学習** 集合の小学校算数導入 小学校理科学習指導用要領･指導書 「自然に親しみ…科学的な能力と態度」 「問題解決」A.B.C.区分 　つまり、小学校理科の学習指導要領および指導書においては、所謂中学高校の「理科教育の現代化」運動には全く関与せず。 小学校理科の所謂学校現場では：教師は「問題解決」と「探究理科」に二分	Elementary School : ESS,S-APA,SCIS., COPES etc. **Key Words:** **Scietific Basic Concepts** **Inquiry Learning, Inquiry Method**

図１　（理数科）教育の現代化運動(日本の対応)と Sputnik Era（米国の対応）との比較

2. 米国における STEM 教育そして STEAM 教育

社会的背景：グローバル社会における経済競争力向上

米国の労働者の質の向上

最新の科学技術に関する雇用促進

OECD の PISA、TIMSS における米国の k―１２段階の国際的比較における平均以下

TIMSS（Trends in International Mathematics and Science Study:数学と科学学習における国際的な動向）

教育界の背景：

Nation at Risk（1983）への対応

「科学教育の危機」とそれへの対応

Standards Movement

対応：連邦レベル法的、行財政的背景

No Child Left Behind Act(2002):子どもを学校に置き去りにしない法

初等中教育法（1965）の後続法

貧困、マイノリティ(所謂ヒスパニック、黒人、インディアン、アジア、太平洋諸島、路上生活者、女性等)の学校に行けない子ども対策

学術的背景：

学習、認知、発達等の科学諸分野の革新的、総合的発展展開――How People Learn(1999.2000), Taking Science to School (2007)

よって、これらを総称して、STEM 教育における二重モデル: 連邦レベルでの連邦法とそれにもとづく行財政支援と学習、認知、発達等の科学諸分野の革新的、総合的発展展開によるパラダイムシフトという二重モデルと称することにする。

Fig.1　STEM Education―U.S. Dual Structure

パラダイムシフト：Basic Concepts から Core Ideas へ（p.p.46～47 の Fig. 1、Fig. 2 参照）

2.1 STEM 教育運動

（1） 連邦政府における法的、行財政的裏付け、支援

（2） NAS,NAT,NAI,AAAS 等の米国の学術団体組織、NSTA(科学教育関連連合学会)、 NCTM(数学教育関連学会)による Standards 作制

Fig.2 Development of Standards and STEM Education in Science (Mathematics) Education Communities (p.47 参照)

Fig.3 Federal and Administration: From STEM Ed.to STEAM Education (2018.1.1. N. Nagasu) (p.48 参照)

2.2 子ども（学習者）への認知発達、学習論のパラダイムシフト

象徴的用語、Basic Concepts から Core Ideas へ

概念 Learning Progressions（LPs）:知的内容の発達構成

Fig.4 Teaching−Learning−Assessment：Paradigm Shift に至る経緯（p.49 参照）

Fig.4 に示されるように、子ども（学習者）への認知発達、学習論のパラダイムシフトの始まりは Vygotsky からの以下に述べるような発達、学習論に基づくと推察されるが、更なる吟味は今後の課題としておく。

Vygotsky Spontaneous or Everyday life concepts

(Everyday life experience)

VS Scientific concept：

英語訳ではこのような訳語を用いている（Lev Vygotsky edited and with a new foreword by Alex Kozulin. Thought and Language.2012.The MIT Press.）。

しかし、旧ソ連時代が新体制に変わる時期に留学され、Vygotsky に関して研究し、ロシア語(原典)からの造詣も深い大谷実分担者によれば、ロシア語での表現は何かとの当方からの問い合わせに対して、2017 年 7 月 3 日付けの返信によれば、

「原著では「生活的概念」（житейские понятие, житейское понятия）と「自然発生的概念」（спонтанные понятие, спонтанное понятия）をともに使っているとのこと」。

続けて、大谷実分担者によれば、「ロシア語の「科学的概念」は（複数 научные понятие, 単数 научное понятия）です。ここでの科学的とは、自然科学ではなく、「科学的社会主義」という際に用いられています。」とのことである。

それ故、古くは柴田義松著の「ヴィゴツキー 思考言語」(1978 年 4 月 19 刊版、さらに新訳版 2015 年 14 刷)、新しくは、中村和夫「ヴィゴツキーの発達論」（2010 年 10 月 8 日初版第 3 刷）及び中村和夫「ヴィゴツキー心理学」（2016 年 3 月 1 日初版第 10 刷）の諸著作では「科学的概念」の訳語を用いているが、ロシア語の言語（原典）に基づけば、「自然発生的概念」が適切、妥当な訳語と見做せよう。

さらに、これらの著書で用いている「科学概念」の「科学的」とは、自然科学の意ではなく、独逸語である”Wissenschaften”を英語訳で、”Scientific”と訳したと考えられる。ここでの”Scientific”とは、自然科学のみならず、”Wissenschaften の本来的意味である「学問的」或いは「学術的」の意､更には学問のような知的体系を有する知識体系の意と広義に捉えるほうがより適切妥当と見做せる。

他方、ZPD(Zone of Proximal development）に関しては、 Anat Ninino(Postdoc student)& Burner(1978)が

Scaffolding と英訳して、欧米に紹介されたのが始まりと考えられる。

https://en.wikipedia.org/wiki/Instructional_scaffolding

Instructional Scaffolding の進展:

さらに、以下の用語概念が活発に研究されてくる。

Misconception、Conceptual Change, Folk physics; Folk Biology, Learning Theory(Constructive Learning theory)

1934～1968 年の全米の認知、発達、学習、科学教育学、物理学、教育政策等の第一線の研究者達の研究を基に How People Learn (NRC;2000)が作成され、さらにこれらの分野の研究者達を含めたチームワークにより Science Education のフレームワークとその改訂版の NGSS が作成される。参照：別稿の「フレームワーク及び次世代科学スタンダードにおける LPs(Learning Progression:知的内容の発達構成)とは　その１―携わった人物(複数)、特に Helen Quinn 言説より識る基本概念(Basic concepts)から核となる考え方(Core Ideas)への転換」の「図２人物で探る LPs(Learning Progressions)　How People Learn(NRC;2000)のメンバー：主要人物、背景理論、主要組織等との関連」の人物関係と対応されたし。

「子ども（複数）は世界が如何に働くかについて先入観（既有の物の観方；preconceptions）を持って教室にやってくる。もし彼等の当初の理解が役立たないなら、教えられた新しい概念や情報を理解することが上手くいかなく（失敗）するであろう、或いは彼等はテスト（試験）の目的のために学習するが、教室の外（外部の世界）の自分達の既有の物の観方に戻るであろう。」

子どもは学校に入る前に自分の廻りの諸現象を理屈づけ洗練され (sophisticated) 、正確であろうがなかろうが理解を展開してきている。(How People Learn.2001. p.p.14～15) 。

How People Learn(NRC;2000)の文言は、上述のヴィゴツキーの

「生活的概念」（ж и т е й с к и е　п о н и ж е н и е ）と

「自然発生的概念」（с п о н т а н н ы е п о н и ж е н и е）

の観方、さらにその後の上述の Misconception、Conceptual Change, Folk physics; Folk Biology, Learning Theory (Constructive Learning theory)等の研究成果を、将に evidenced based research により積み重ねて、LPs の概念へと展開されてくる。

これらの関連をまとめたのが、Fig.4 Teaching−Learning−Assessment：Paradigm Shift に示される。

さらに、これらの evidenced based research は Fig.1 の連邦政府、行政レベルでの STEM から STEAM 教育（ブッシュ政権からオバマ政権そしてトランプ政権)に示されている NCBL 法(子どもを置き去りにしない法) Title 2 Part B 2201-2203 MSP(数学と科学パートナーシップ)に基づいて、法的行政的、財政的にも研究資金が得られ関連研究が様々に展開されている。 当然 STEM 教育も大いに展開されている。例えば、当方が、本科学研究費の前の科学研究費（C）により、7 年前に、アイオワ州の University of Iowa 名誉教授の Dr. Robert Yager の自ら車を運転して案内して頂いた、University　of Northern Iowa にある「エネルギー環境教育センター」の建物に案内されたときに、その一角に IMSEP なるプロジェクトの Director の Jeff Weld(Yager 名誉教授の教え子)を紹介され、帰国後にこの IMSEP の正式名称は、”Iowa Mathematics and Science Education Partnership”なる Iowa 州における STEM 教育を展開している州と共同展開していることより STEM 教育を知り得て、今回の科学研究費調査研究に発展してくるのである。 この IMSEP の行財政的裏付けが上述の 2001 NCBL 法(子どもを置き去りにしない法) Title 2 Part B 2201-2203 MSP(数学と科学パートナーシップ)に基づいている。この法律からの財政的

支援により上述の Misconception、Conceptual Change, Folk physics; Folk Biology, Learning Theory(Constructive Learning theory)などの科学教育学的研究が飛躍的に展開されるのである。

なお、IMSEP は次の URL より知り得る。 https://www.legis.iowa.gov/docs/publications/FT/20814.pdf

なお、Jeff Weld は最近 NSTA Press より“Creating a STEM Culture for Teaching and Learning.“(2017).を出版している。

Fig. 4　Teaching Learning Assessment：Paradigm Shift を参照。

2.3　Next Generation Science Standards For States, By States

いわゆる、「(理数科) 教育の現代化時代」のキーワードは「科学の基本概念」と「探究学習」であったが、STEM 教育の具体的事例として、NRC, NSTA, AAAS, Achieve の 3 者がパートナーとして、開発作成、実施を行っている Next Generation Science Standards For States, By States には「科学の基本概念」なる英語表現の “Concepts” 或いは”Basic Concepts”なる用語が見当たらない。 そこで、何故？この疑問を解き明かしていくことにより、Sputnik 時代と NGSS とでは何が違うのか、換言すれば、教育に対する基本的理念の何が異なるのかが解明できよう。 この観方でもって、NGSS に代表される科学教育学的観方の特徴を明らかにできよう。

まず、NGSS に関する全米の各州の対応はどうであろうか？　現時点（2018 年 3 月）では以下に記すように 19 州と Washington D.C.---ここは「ワシントン特別区」と称されているように State(州)ではないので連邦議会に議員を送れない。 https://www.nextgenscience.org　https://www.nextgenscience.org/partners
当初 26 州で試行実践 (https://www.achieve.org/ngss-states)。

As of November 2017, 19 states and the District of Columbia (representing over 36% of the students in U.S.) have adopted the Next Generation Science Standards and are working to implement them in districts and schools。 The 19 states include Arkansas, California, Connecticut, Delaware, Hawaii, Illinois, Iowa, Kansas, Kentucky, Maryland, Michigan, Nevada, New Hampshire, New Jersey, New Mexico, Oregon, Rhode Island, Vermont and Washington.

NGSS を学校乃至は教師のカリキュラム作成の標準（示準）モデルとして、州の教育担当部局が採用することにより、具体化を図っている。その具体化、実践化を行っているのが、上記 NSTA, Achieve で、特に NSTA の教師向け Journal には次の 3 種類を発行している。

初等学校教師特に科学担当対象：Science and Children
Middle School 科学教師対象：Science Scope
High School 科学教師対象：Science Teacher
年 10 回刊行の毎号に、様々な教材、教育内容に関して、実践をして、その実践内容が上記の NGSS の K から 12 学年のどの段階のどの部分に対応するかの只管解説している。

2.4　何が以前の所謂（理数科）教育の現代化と異なるのか？
何がパラダイムシフトか？

これまで明らかにしていきたSTEM教育運動をそれ以前の全米的な教育運動であったSputnik Eraとでそれぞれの観点、特に以下の幾つかの観点よりその特徴において比較対照して示してみよう。これにより今回の米国におけるSTEM教育が二重モデルと当方が名付けることを説明していこう。

Sputnik Era	STEM教育
背景要因	
ソ連に追いつき追い越せ 優秀な科学技術者養成	グローバル社会での米国の雇用促進 雇用者の知的レベルアップ マイノリティの知的レベルアップ
具体策	
法的、行政的（連邦）レベル 連邦法	
国家防衛教育法（1958） 初等中教育法（1965） 連邦教育省への昇格（1979）	No Child Left Behind Act(2001) Title 2 Part B:2201-2203 MSP:STEM教育 STEM Education Program(2013) STEM Education 5-Years Strategic Plan(2013) STEM Education Act(2014) Revised STEM Education Act STEM to STEAM Act (2017)
財政支援	
主に上記２つの連邦法により、 主にNSFからの支援	2017年度（オバマ政権）; STEM予算 上記連邦法により、連邦教育省より 2002億6,331万$→2兆7,159億 ￥9,720（1＄＝120¥） 連邦教育省予算；741億3,800万$ この外にNSF,スミソニアン等からインフォーマル教育のSTEM教育に これら総額は202億6,331万$で上記連邦総予算 3兆9,900億$の約5%；この外にエネルギー省、 商務省、軍隊等から支出さらにCommon Core関連も含めると３兆円の財政支援
カリキュラム、Textbook､学習、指導法、評価	

NSF 支援によるカリキュラム開発はカリキュラムプロジェクトによる Textbook、各種教材開発：PSSC～BSCS; IPS, S-APA,SCIS 等 100 以上 教育実践 各カリキュラムプロジェクトによる 現職教育 各教師 学校教育	州、学校区が NGSS, Common Core を標準として、独自に開発 Textbook は Textbook Publisher が出版 州及び学校区のカリキュラム作成者 各教師 NSTA 上述 3 種の Journal で毎月実践事例 上述 Archive、NSTA 等での現職教育 NSF,スミソニアン支援によるインフォーマル教育（放課後、学校外、博物館等の学校教育時間外） STEAM 教育→インフォーマル教育 Life-Long education から Life-wide Education へ
教育内容構成、発達観、学習観、指導方法、アセスメント	
科学の基本概念（Basic Concept） 科学者の定義した概念習得 Inquiry Learning Evaluation 目標達成か否か	Core Ideas（核となる考え方） 子どもの生活経験に基づく考え方を知的に洗練させて、科学概念習得 LPs(Learning Progressions) [知的内容発達構成] 5E Learning: Engage (誘い出し)、Explore (探索) Explain(解釈)、Elaborate(練り上げ)、Evaluate(評価) Assessment 学習のフィードバック

2.5　STEM 教育から STEAM 教育へ

2.5.1. 法的、行財政的側面：連邦法

2017 年 7 月 20 日、2015 年の STEM 教育法の改正

「2017 年 STEM から STEAM へ」 連邦法 H.R.3344

https://www.congress.gov/bill/115th-congress/house-bill/3344/text?q=%7B%22search%22%3A%5B%22STEAM+Education+Act+of+2017%22%5D%7D&r=1

この連邦法により Art と Design を加えることになる。

2.5.2．実際の実施組織団体

（1） ITTEEA(International Technology and Engineering Education Association）全米大会にて（2018 年 4 月 11 ～14 日；Atlanta）Georgette P. Yakman が第 2 回目の国際 STEAM 会議開催

https://steamedu.com/2017-iteea-conference2nd-steam/

所謂、技術、工学教育そして Design の観点より STEAM 教育

（2）Rohde Island School of Design

Art の観点からの STEAM 教育

http://stemtosteam.org/about/

補足

州教育局、州知事による Literacy と Mathematics の Standards 運動

Literacy の背景となる English Language Arts 教科と Mathematics 教科に関して、今回は言及せずに事実のみ記載するに止める。

Literacy:English Language Arts/literacy

<内容構成>

1. Research- and evidence-based
2. Clear, understandable, and consistent
3. Aligned with college and career expectations
4. Based on rigorous content and application of knowledge through higher-order thinking skills
5. Built upon the strengths and lessons of current state standards
6. Informed by other top performing countries in order to prepare all students for success in our global economy and society

Mathematics との関連

Common　Core State Standards　作成

Common　Core State Standards　Initiative

http://www.corestandards.org

採用しているのは 42 州と W.C.D.C、非採用州：8 州とプエルトリコ等 4 テリトリー等である。

http://www.corestandards.org/standards-in-your-state/

謝辞：

本研究は、科学研究費補助金・基盤研究（B）（課題番号：15H03493、研究代表者：長洲南海男）の助成により行われた。ここに記して謝意を表する。なお、森下明美本科学研究費事務補佐員の校正に謝意を表します。

A：Economic　　B：Political　　C：Federal and Financial　　D：Educational Factor

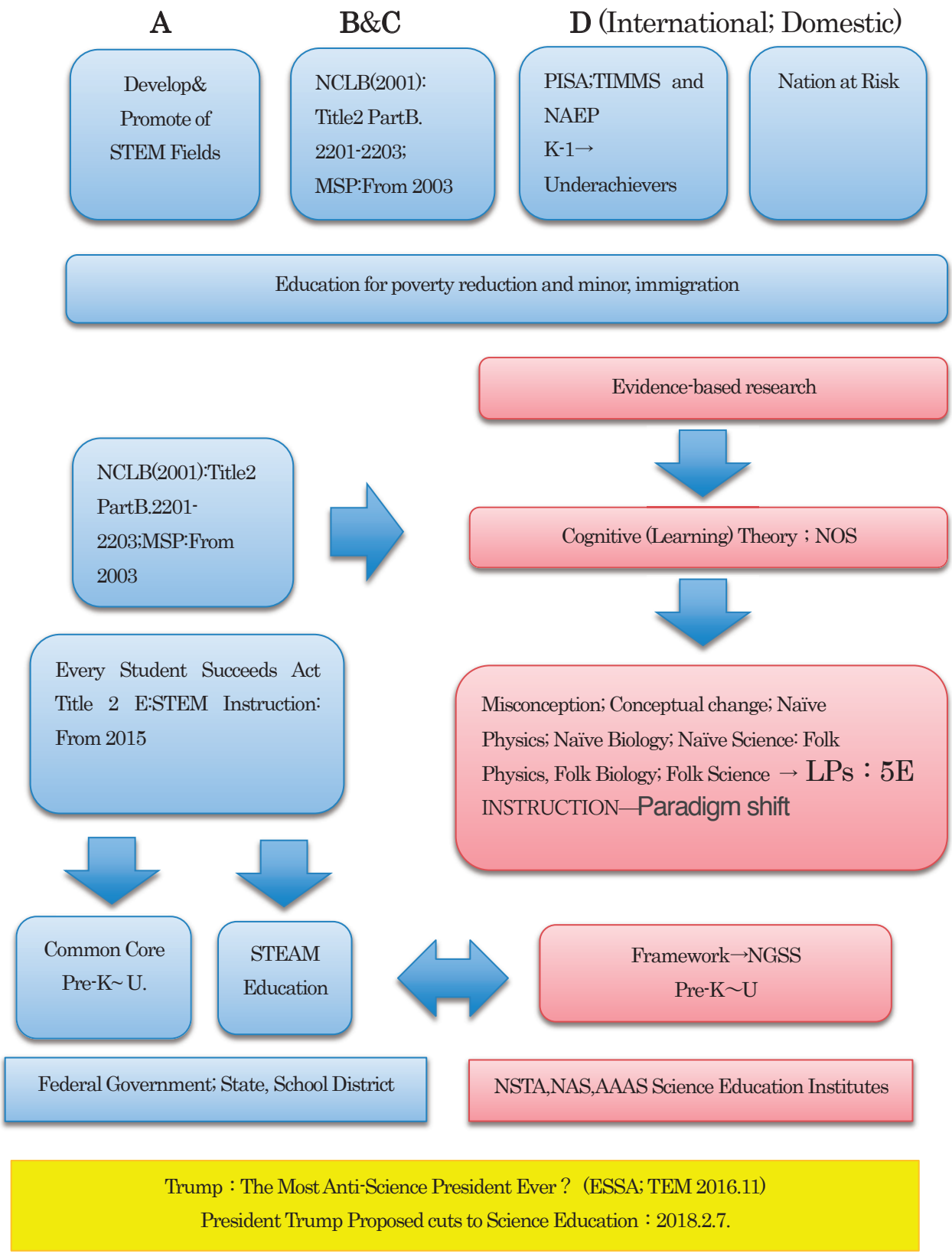


Fig.1　STEM Education—U.S.Dual Structure

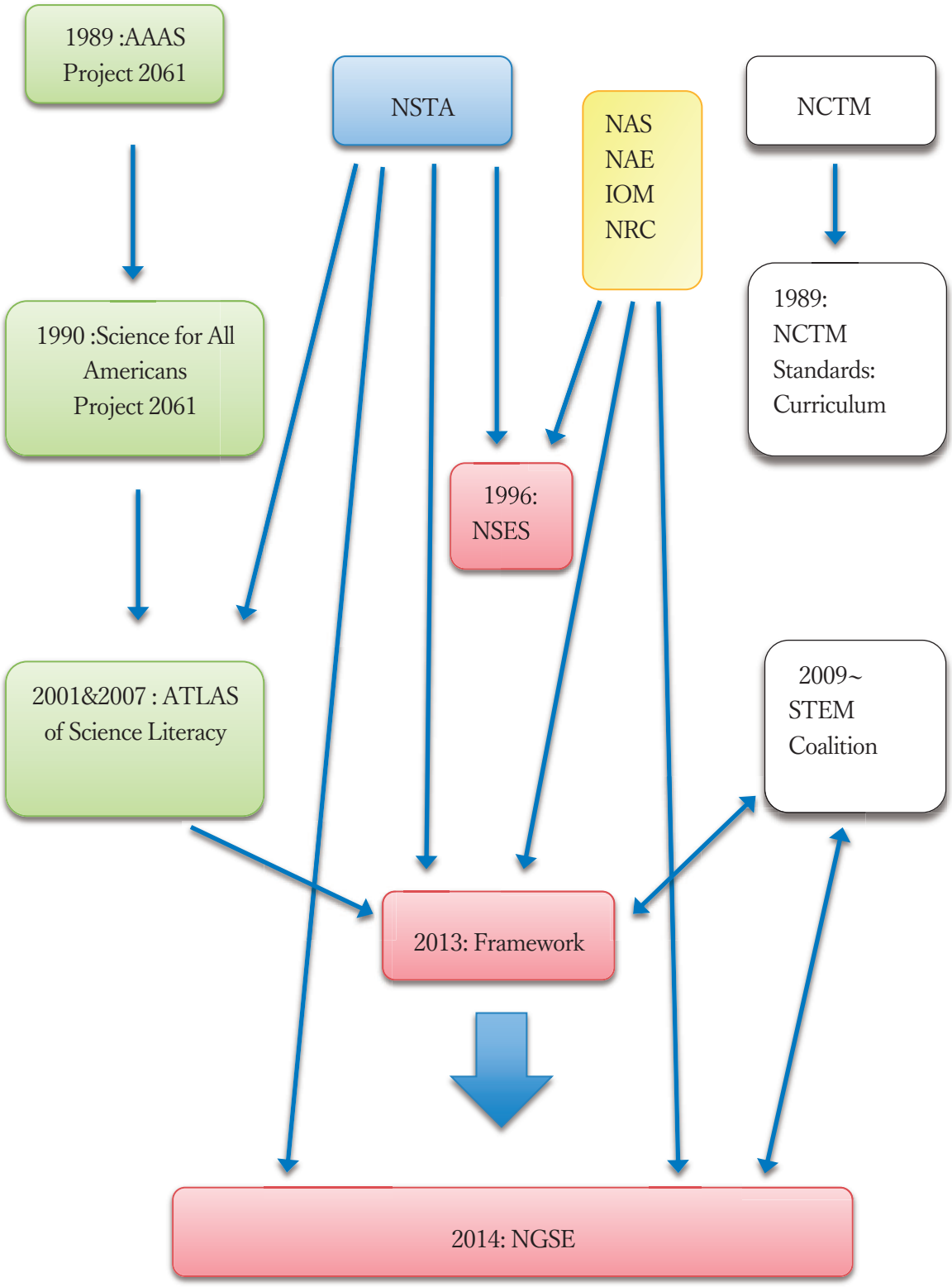


Fig. 2 Development of Standards and STEM Education in Science (Mathematics) Education Communities

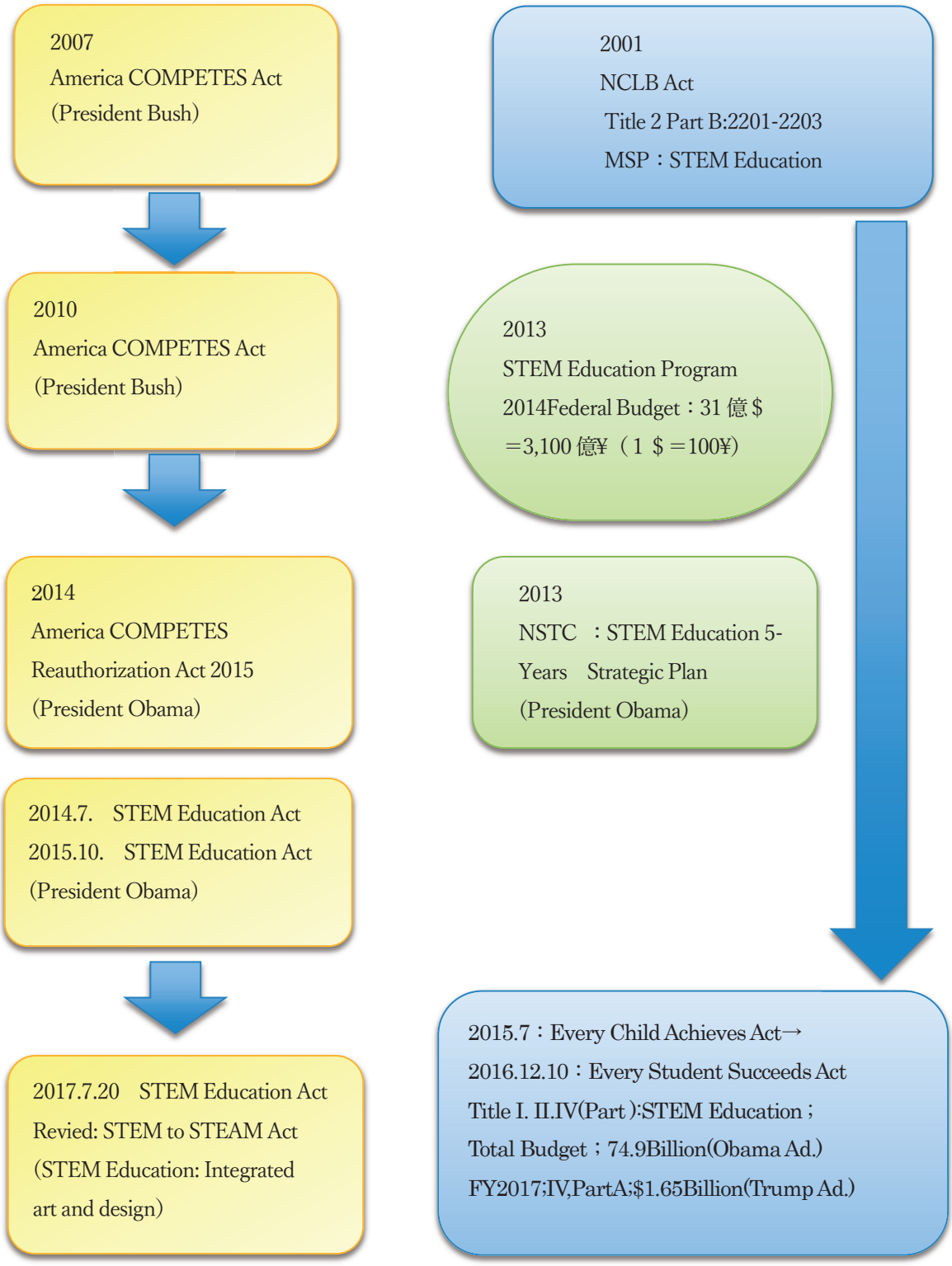


Fig.3 Federal and Administration: From STEM Ed.to STEAM Education

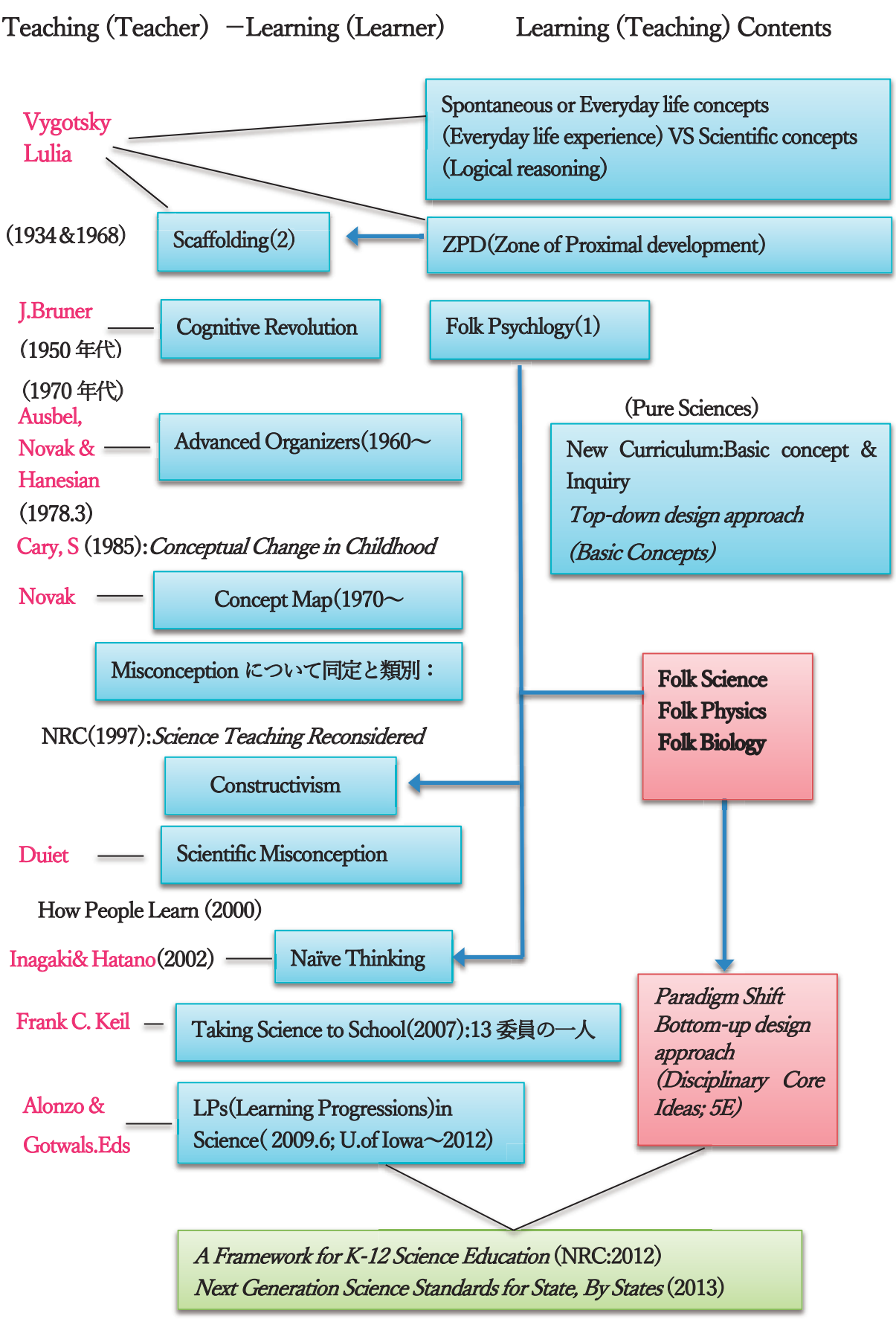


Fig.4 Teaching Learning Assessment：Paradigm Shift

米国の STEM 教育における化学教育－ACS(米国化学会)の観点より

長洲南海男（筑波大学）

はじめに

米国における STEM 教育の科学教育としての具体的展開としては、A Framework for K-12 Science Education Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas.(NRC.2012：フレームワークと略称)、それがフィードバックされ Next Generation Science Standards For States, By States (NRC.2013 : NGSS と略称)が出版された。これらの経緯と内容、特質などは、既に記している（科学研究費関連、日本エネルギー環境教育学会誌、日本教科教育学会広島大会、札幌大会等）。このフレームワーク、NGSS においてもかねがね、日本的観点から見て内容分野に関して疑問点として「物理」、「化学」の分け方でなく、Physical Sciences と総称され、日本でのいわゆる高校の内容区分としての「化学」の記述が見られなくなっているので、化学専門分野では、この事をどのように捉え、考えているのかが疑問としてずっと続いてきた。

そこで、米国の化学の専門学会である、American Chemical Society（ACS）の HP を調べることにした(https://www.acs.org/content/acs/en.html)。その結果、ACS は High School の Textbook としては第 1 学年対象の“Chemistry in the Community（ChemCom と ACS は略称すると述べている）。

なお、この時期に生物の Textbook でも類似の名称である Biology : A Community Context(1998 年)も出版されている。畏友 John E. Penick が共著者の 1 人で、University of Iowa から University of North Carolina に移っていた当時、夫人共々来学の折に彼のサインをして 1 冊プレゼントしてくれた。その折りに、当初は上記の ChemCom に対応し、BioCom と称しようとしたが、既に使われているので、この”Biology : A Community Context”にしたとのことであった。なお、ChemCom の初版発行年と Biology : A Community Context 初版は何れも 1998 年である。

これともう一冊、大学の初年次 (College) の Non Major in Science (科学非専攻) 対象の “Chemistry in Context Applying Chemistry to Society”の 2 種類を出版していることが分かった。なお、この他の教育関連の情報（Elementary から大学、ポストドク、それに教師向けに関しては、別の機会に譲るが、次の URL を参照（https://www.acs.org/content/acs/en/education.html）されたい。今回は、これら 2 種類の Textbook を主に米国の化学界における高校及び大学初年次における化学（科学）教育に関する捉え方を概括する。なお、米国では日本のような理系と文系ではなく、Major in Science(科学専攻)と Non Major in Science (科学非専攻)の呼称を用いている。

ところで、東京工業大学廣瀬千秋名誉教授は Non Major in Science (科学非専攻)対象の“Chemistry in Context Applying Chemistry to Society“の第 3 版を翻訳し出版した（この翻訳書及び原著に関しては、以前に当方が述べている）。その後、2015 年秋にこの第 8 版を翻訳出版した（「実感する化学」上･下の改訂版として、2015 年 12 月 1 日第 1 刷、2016 年 11 月 14 日第二刷）。そこで、本論ではこのハイスクールと大学生の非科学選択者対象の 2 種をそれぞれ購入して、科学教育学的にこれら 2 種類を比較考察してみる。

なお、翻訳者の廣瀬名誉教授上巻の「翻訳にあったて（vi-vii）」を読む限り ACS が上述のように科学専攻と非科学専攻用の 2 種類の Textbook を出版していることは知り得ていないと思われる。米国の Textbook と日本の教科書との科学教育学的観点から比較したのは似て非なるものに関しては、（註 1）を参照されたい。

（註1）2017年3月の科学研究費補助金基盤研究（C）「米国の革新的科学/技術・工学/数学教育の解明－日本の教育革新へのビジョン提言－」研究代表者：長洲南海男、研究課題番号　24531219）の最終報告書の「(4) 日本の教科書と米国のTextbook」p.p.26～35。

1. ハイスクール対象のChemistry in the Community (ChemCom) 6th Editionとは

先ず、下記のURLよりこの版の説明のPhilosophyの翻訳から始めよう。ChemComは1988年初版以来、1993、1998、2002、2006、そして2012年のこの第6版となっている。この6版では7単元よりなり、それら7単元は物質科学、環境化学、有機化学、生化学、工業化学での現実世界での事例（real-world example）を用いている。生徒達はカリキュラムを通して得られる彼等の知識と観察を基に、「知る必要（need to know）」、「データーの評価」、「意思決定する（make decisions)に関する諸概念（concepts)」等の活動を学習する。 各単元の最後にPutting it All Together（PIAT:上手く纏める、やり遂げる）活動があり、そこでは生徒（複数）は可能性ある現実の社会の問題(problem)を評価するために、化学と現実の生活のシナリオ両者をその単元を通して得られた自分たちの知識を用い，協調する場であると述べている。

ChemCom TMは1988年印刷され、それぞれ改訂され、先の版を基にしている。この第6版Textbookの基本をPrefaceで次のように述べている。テキストを書いた教師達（そう、現実の教師達は執筆チームを構成している!）は彼等自身の生徒と一緒に活動を思慮深く検証している。

https://www.acs.org/content/acs/en/education/resources/highschool/chemcom/philosophy.html

(2018.1.28現在) Textbookの特徴を説明してある上記の箇所を随時翻訳しながら、以下に記す。

(1) 内容の特徴－その１．認知発達、学習論との関連

(1.1) Scaffold Learning

ここで注目すべきはScaffold Learningの用語の使用である。ここでは以下の説明がなされている。「概念が導入され、その基礎に遭遇させられるやその概念を修正（改定）されらる。例えば､酸化還元反応化学は単元1で中性物資対イオンの性質のコンテクストで導入される。しかし、単元5で電池は如何に働くかのコンテクストでより密接に探索される（is investigated, 2018.1.28）。」以上翻訳、以下解説となる。

注目を引く言葉が“Scaffold Learning”である。この用語の元のScaffold TheoryはBrunerとそのポストドクのアナ･ニノ（Anna Nino）によりVygotsky(本報告書p49のFig.4)の唱えた言語獲得に関する発達、学習に関する概念のロシア語の英語訳であるZPD(Zone of Proximal Development)に由来することであろうInstructional scaffolding（https://en.wikipedia.org/wiki/Instructional_scaffolding）。

米国の化学者集団の学会であるACSにおいて、上記のような理論的背景を認識しているか否かは明らかではないが、少なくともこの“Scaffold Learning”なる用語を用いて、概念の習得を説明していることから、認知学習に関しての情報、知識を有していると思われる。そのことはこの第6版のTextbookのPrefaceにおいて、の「編集諮問審議会（Editorial Advisory Council）がNRCの“How People Learn”等より有意義な影響を受けている」と記述していることである。

それ故、このChemCom第6版では、米国の認知発達、学習論の成果を踏まえて内容構成されていると見做せる。翻って、日本の化学者の集団である日本化学会において、このような所謂認知学習論、認知発達論を理解して、高校の化学教育或いは、化学教育の指導論、さらには化学教育のカリキュラム等に関して論議されているのであろうか？

なお、“How People Learn”と Vygotsky, Bruner, Scaffold Learning, ZPD に関しての解説は別な機会にするが、“How People Learn”においては彼等の理論がレビューされ、その影響を基にしていることが分かる。ここでの Scaffold は Vygotsky、Bruner 達の Scaffold Learning とは異なった観点より取り上げられている。即ち、「9 学習を支持するテクノロジー」の章の第 2 項目として(“Scaffolds and Tools” p.p.213～216)扱われて、さらに「Scaffolds and Tools として数多くの技術の機能（many technologies function）は問題を解決する。」（p.213）としている。

この上記 URL において記述されている、Scaffold Learning の事例として述べられている、「概念が導入され、その基礎に遭遇させられるやその概念が修正される。例えば､酸化還元反応化学は単元 1 で中性物質対イオンの性質のコンテクストで導入されるが、しかし、単元 5 で電池は如何に働くかのコンテクストでより密接に探索研究される（is investigated）。」 の箇所をもう一回 Scaffold Learning の観点より振り返ると、「*概念が導入され、その基礎に遭遇させられる*」の文は将に、**Scaffold―学習のための枠組み**－に該当し、その支援を基に、*その概念を修正（改定）されらる* は将に Scaffold Learning が成り立つ事を説明していると見做せる。

そこで、実際の CHEMCOM の Textbook において、この Scaffold Learning はどのようなものかはこれからの課題である。

(1.2) AIM プロセス：指導教材分析諸過程（Analyzing Instructional Materials Process）を用いている BSCS による総合的なレビューによる影響

AIM プロセス: 指導教材分析諸過程（Analyzing Instructional Materials Process）と書かれているので、初めて聞く用語の AIM （Analyzing Instructional Materials）とは何かと調べて見ると、BSCS の SCI (Science Curriculum Implementation Center)で開発されたものである。

なお、BSCS に関しては次のような記憶が蘇る。BSCS は所謂 60～70 年代の有名なアルファベットカリキュラムプロジェクトの生物教育に関して代表事例であり、現在もしっかりと継続展開されている。この BSCS はコロラド州 Colorado Spring に位置しており、1986 年一番財政的に厳しい時期 Colorado College キャンパス内のささやかな 2 階建ての建物で Bybee と会って話し会ったことが思い出される。なお、H.P.（https://bscs.org）にはこれまでの歴代の Director の音声とともに－Bybee Director も含む－この 50 年間の貴重な歴史的映像を見ることが出来る。これも BSCS と同様 50 年に以上の歴史を有し、San Francisco で 650 人以上のスタッフを擁する WestEd Program (https://www.wested.org/about-us/)と共同して開発し、用いているツールであるとのこと。そこで、この AIM に関してはこれを開発した BSCS と WestEd との関係者による次の 3 点が基本的文献と考えられるので、これらを読解する必要があるが、詳細な解明は後程にするので、今回はこれら 3 点を主に参照しながらこの AIM とは何かを次に概述する。

文献

(1) Nancy M. Landes, Janet Carlson Powell and James B. Short. Science and Children. 2004. Feb.p.p. 44～45.

(2) Janet Carlson Powell, James B. Short, and Nancy M. Landes. In Rodger W. Bybee Edit.(2002). Learning Science and the Science of Learning. NSTA press.p.p.121～136.

(3) Take AIM When Choosing Materials.
http://k12alliance.org/newsletters/6.3_AIM%20part%201_Jan.07.pdf

(1)～(2)の著者達は BSCS のメンバーで、特に Janet Carlson Powell は BSCS の SCI(Science Curriculum Implementation) Center の project director である。(3)は WestEd Program の編者の執筆である。

(1.2.1) AIM の基本理念と背景

現時点で判明している AIM とは

(1) その理念的ルーツは NRC の How People Learn: Brain, Mind Experience, and School (Bransford, Brown ,and Cocking 1999)にある。象徴的なのは、上記２の論文の最初のページに"How people learn"の 191～192 の有名な文が引用されている。引用した後に、「教育者は理論を実践に移す（置き換える）ことに長い間興味関心を有してきた。学習に関しての研究を統合化した、*How People Learn: Brain, Mind Experience, and School* (Bransford, Brown, and Cocking 1999; HPL と略称)は、教育者が教師と学習者両者のために知ることを如何に伝えることができるかを考察するための素晴らしい機会を与えてくれる。」（上記文献 2. p.122）

p.124 の「Table 1. HPL からの鍵となる知見との関連」では、「鍵となる知見：生徒」、「鍵となる知見：教師」、「結果として必要とされる材料」の３要素を横軸に、例えば、「鍵となる知見：生徒」の縦軸は「1. 先入観（偏見）をもって教室にやってくる、2. 概念的な枠組み（或る観方のフレームワーク）に事実に基づいた深い理解の育成（発達、展開）することが必要、3. 目標を設定し、それらに向かっての進展を分析する。」が例示され、同じように横軸、「鍵となる知見：教師」、「結果として必要とされる材料（教材）」毎に１～３の観点で縦軸を構成する表となる。

この AIM の具体的な展開事例は、 BSCS の A Human Approach での 5E(別な機会で説明する)を基に展開されている。さらに、より専門的効果的な開発を、1996 年の National Science Education Standards (NSES)日本での翻訳抄訳は長洲南海男監修)を事例にして、さらにこの NSES を基にした科学教授教材(所謂出版社からではなく、今回の ACS の ChemCom や BSCS 等を含めた NSF 支援等により開発出版された Textbook 類等の一覧表となっている（p.128）。

さらに、この A Human Approach を事例に AIM 過程の事例が図示されているのが「図１．BSCS の A Human Approach での主要概念間の関連結びつきを教師が如何に例示するかを示す AIM 過程からの図示的なオーガナイザーの事例」が p.132 に図示されている。さらに AIM を用いているルーブリックが表５として２ページに渡って例示されている（p.p.133～134）。

これらは、カリキュラム改革はシステマティックな問題であるということに基づくものであるとしている（p.135）。

(2)　AIM 諸過程の概観(オーバービュー)：文献(１)の図１より(p.43)

以下の図１より、AIM の基本理念と背景にある最新の認知心理学、認知学習論、認知発達論、学習科学の成果を基に、AIM とはカリキュラム構成、教材構成、アセスメント構基づいて集め、選択して、教授–学習–アセスメントを総合的に捉える方策、手段と見做せる。

これらより、AIM の基本理念と背景にある最新の認知心理学、認知学習論、認知発達論、学習科学の成果を基に、AIM とはカリキュラム構成、教材構成、アセスメント論に基づいた事実､実証を集め、選択して、教授–学習–アセスメントを総合的に捉える方策、手段と見做せる。(図２参照)

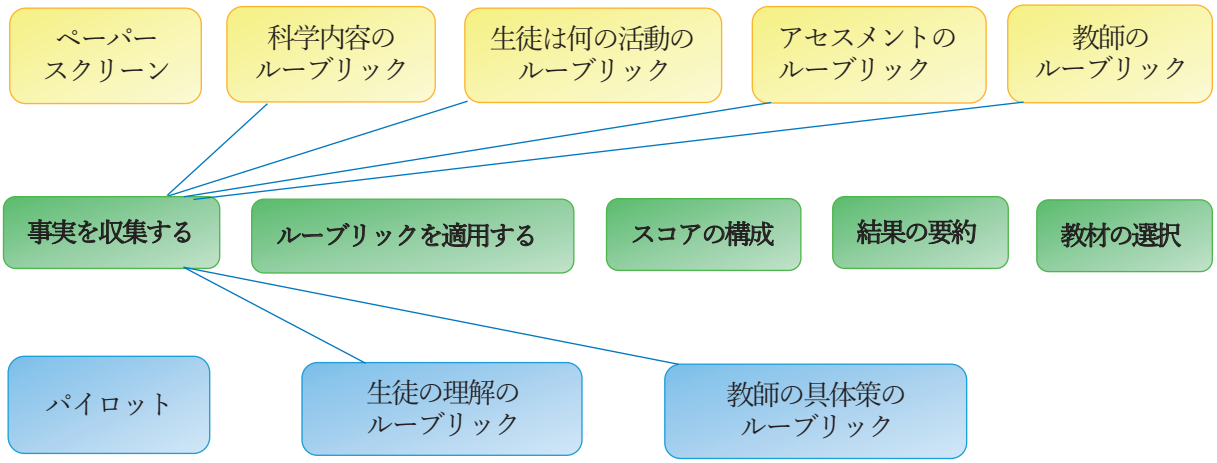


図1　AIM 諸過程の概観（オーバービュー）：ペーパースクリーンとパイロット

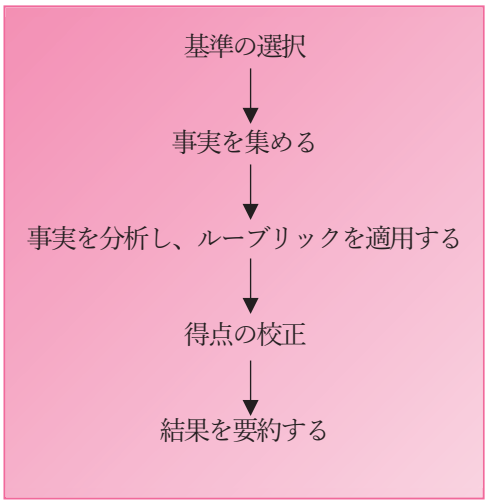


図2 アセスメントの流れ

(3) AIM での基本ステップ（文献 3）より p.4.

【当方の疑問】

AIM 過程は認知的不協和を引き起こすツールである（p.4）。

AIM 過程と認知的不協和（cognitive dissonance）との関係？

【当方の注目】

AIM は初等学校科学教育における教授-評価のための教材として開発されたのであるが、High School 対象の ChemCom TM において取り入れられたことに注目すべきであろう。

なお、上記文献１の論文の冒頭に以下の言葉がピックアップされている。この文が AIM の特徴を示す象徴的な一文と考えられる。

「教師(複数)がスタンダードベース（このスタンダードとは NGSS のことではなく、それ以前の NSES のことである）の教授と学習の理解を改善する(Improve)ことを手助けするには教材(指導教材:Instructional materials)を選択し評価するため如何なる方法があるか」の言葉である。

なお、この AIM は Bybee が NGSS 出版と同じ年の 2013 年に NSTA より出版した、“Translating the NGSS for Classroom Instruction”では、代表的な指導事例の二つの一つとして、解説されている。これらの観点より推察するに、AIM を取り入れていることは、ACS の ChemCom は最新の科学教育の研究及び実践成果を積極的に Textbook 作成に生かしていると見做される。

(2) 内容の特徴－その 2. 鍵となる目標：現象との相互関連、科学的探究の強調、生徒の理解力の構成

(内容省略)

(3) 内容の特徴－その 3. 概念習得、実験探索、スキルの展開及び意思決定

(内容省略)

これら、内容の特徴（2）と(3)を具体的に説明する二次元の表が作成されている（原著 Textbook. XV）。

＜Textbook. XV＞

第一カラム 鍵となる目標

現象中心に相互関連付けする

科学的探究を強調する

具体的には８項目挙げている。

生徒の理解構成（構築）を高める

第二カラム 上記３項目のそれぞれに関して、「ChemCom 6 はこれらの目標を如何に成し遂げるか」として、各単元での具体的な探究活動に関しての記述がある。

このことについて、実際の Textbook に基づいての分析が必要

(4) 内容の特徴－その４ ChemCom の教育目標

ここでは、ACS の教育部門（Education Division）の Mary Kirchhoff が本 Textbook に寄せた一文が、具体的な最初の単元前のページに一文を書いている中で、教育目標として５点挙げている。

1. 化学の理解の育成
2. 化学に関連した問題解決と総合的思考(critical thinking)のスキルの養成(cultiivate)
3. 科学的と技術的イシューズについて意思決定するために化学の知識を応用する
4. 日常生活での化学の重要性を認識する
5. 科学と技術の便益と同時に限界を理解する。

この５点はまさに ChemCom の特色を明示している５項目であると言える。

(5) 内容の特徴－その５

NSF からの当初財政支援を受け手開発され、ACS と発行社の W.H.Freeman より継続的な支持を受けている。

＜内容構成＞

単元０　コミュニティの中で化学を知ろう

セクションＡ　The Central Science(自然科学の中で化学が中心)

https://ja.wikipedia.org/wiki/セントラルサイエンス

https://en.wikipedia.org/wiki/The_central_scienceB

内容構成を見てみると、先ず各単元の最初の見開きの２ページが

セクションＢ　コミュニティの中で生活

セクションＣ　探究と探索（Inquiry and Investigation）

セクションＤ化学を学習し、応用する

単元１ 物質：物を化学式で著す

セクションＡ　化学のブロックを造る

セクションＢ　周期的傾向

セクションＤ　ミネラルとモル

セクションＥ　保存と化学平衡

単元２ 空気：科学的探索

セクションＡ 気体の特性

セクションＢ 気体の物理的行動

セクションＣ 空気中の物質とエネルギーの相互作用

セクションＤ 空気の質への人間のインパクト

単元 ３ 石油：結合を解くことと結合を作ること

セクションＡ石油-それは何？

セクションＢ 石油：結合-物質の源

セクションＣ石油：エネルギー源

セクションＤ 石油の代替

単元４ 水：溶解の探検

セクションＡ 水の源、活用、性質

セクションＢ 水とその汚染を調べる

セクションＣ 溶液中の反応

セクションＤ 水の洗浄と処理

単元５ 工業（産業：Industry）：化学反応の応用

セクションＡ 農業のために栄養を与える

セクションＢ アンモニアの工業的生産（Industrial Production of Ammonia）

セクションＣ 化学反応から電気的エネルギーを造り出す

セクションＤ 電池（Batteries）の工業（産業）的生産

単元６ 原子：核反応

セクションＡ 原子の本質（性質：The Nature of Atoms）

セクションＢ 核放射線（Nuclear Radiation）

セクションＣ 放射能(Radioactivity)

セクションＤ 核エネルギー：便益と負担（重荷：Burdens）

単元７ 食物：生命のための物質とエネルギー

セクションＡ エネルギーとしての食物

セクションＢ 炭水物と脂質

セクションＣ たんぱく質

セクションＤ ビタミン、ミネラルと添加物

3. 非科学専攻対象の Chemistry in the Context. 8th Edition

3.1 Non-major Science 対象の Textbook

（日本語版：「実感する化学」東京工業大学廣瀬千秋名誉教授翻訳）

原著 The 8th edition. *Chemistry in Context*

Applying Chemistry to Society

A Book for Non-Science Majors

Project of the American Chemical Society

＜内容構成＞

目次の前のページに、グリーンケミストリーの６の鍵のアイデア

上下に分割

＜上巻＞　地球感動編

目次/翻訳にあたって/序言/原書執筆者一覧

第0章　持続可能な未来のための化学

第1章　空気：分子レベルで見た日々の呼吸

第2章　オゾン層の保護

第3章　全地球的気候変動に関わる化学

第4章　燃焼から手に入れるエネルギー

第5章　水の化学

第6章　酸性雨の脅威と海水の酸性化

付録１　測定の単位:SI 接頭語、換算係数と各種定数

付録２　科学的表記（指数表示）について

付録３　対数計算の早わかり

付録４　本文中に出てきた練習問題の解答

付録５　章末問題の解答

用語解説/引用図版の出典/索引

日本の参考ウエブサイト一覧

2005 年 12 月 1 日　初版第一刷発行

2015 年 12 月 1 日　改訂版第一刷発行

2016 年 11 月 14 日 改訂版第二刷発行
廣瀬千秋
株式会社　エヌ・ティ・　エス

＜下巻＞　生活感動編
目次/翻訳にあたって/序言/原書執筆者一覧
第 0 章　持続可能な未来のための化学
第 7 章　　核分裂の火
第 8 章　　電子移動で取り出すエネルギー
第 9 章　　プラスチックとポリマーの世界
第 10 章　薬：分子の細工と新薬の設計
第 11 章　栄養：脳を働かせる食事
第 12 章　遺伝子工学と生命に関わる分子
付録 1　測定の単位：SI 接頭語、換算係数と各種定数
付録 2　科学的表記（指数表示）について
付録 3　対数計算の早わかり
付録 4　本文中に出てきた練習問題の解答
付録 5　章末問題の解答
用語解説/引用図版の出典/索引
日本の参考ウエブサイト一覧
2005 年 12 月 1 日　初版第一刷発行
2015 年 12 月 1 日　改訂版第一刷発行
2017 年 3 月 21 日　改訂版第二刷発行
廣瀬千秋
株式会社　エヌ・ティ・　エス
（ゴジックで書かれたキーワードのみ記す。）
「現象中心に相互関連付けする」カラムでは
　物質の探索・調査（investigate）乃至はスキルの育成

科学的探究の強調：物質の探索を再構築する活動は一層探究に焦点化する。科学的探究は、疑問を問う、探索を準備する、予測する、事実を集める、事実を解釈する、証明（主張）する（Making Claims）、探索・調査を熟考省察する。

3.2 Non-major Science 対象の Textbook

CHEMISTRY IN CONTEXT Applying Chemistry to Society Ninth Edition.
本 Textbook は次のプロジェクトに基づく。
A Project of the American Chemical Society 2009,2012,2015,2018 のそれぞれの年に発行されている。

広瀬訳の上記テキストは第９版に基づいている。

The 9th edition. *Chemistry in Context*

Applying Chemistry to Society

A Book for Non-Science Majors

Project of the American Chemical Society

（表紙裏に、グリーンケミストリーのキーアイデアである６項目記載されている）

本 Textbook 出版の McGraw Hill 社は、いわゆる商業用 textbook 出版社としての著名であるので、この出版社のいわゆる商業用も各教科の Textbook 対応の、いわゆるデジタル教材の活用ができるものとして、“CONNECT”と称して、そこから活用できるようになっている。しかし、残念ながら、現時点では本 *Chemistry in Context* 用のデジタル教材が見つからない。

さらに、SmartBook®の活用を、何処でも、何時でも生徒の指先（fingertips）で活用できると謳っている。（https://www.mheducation.com/prek-12/home-guest.html#secondary）

次に本 Textbook の内容構成の特色が挙げられている。

各章の最初には、

REFRECTION(感想考察)

The Big Picture(疑問、質問を基にその章での学習内容の概観)

Preface

Introduction と続き、そして、次のような色分けされた文章が続いている。

Your Turn(あなたの番ですよ)として、You Decide(藤色)、或いは Skill Building(橙色)、乃至は Scientific Practices(薄緑色)と色づけされた枠組みには、それぞれ色別に疑問や説明（explain）するような文章表現になっている。

各章末は次のような学習活動が示されている。

Conclusions(結論)

Learning Outcomes(学習成果)

Questions として

Emphasizing Essentials

Concentrating on Concepts

Exploring Extensions

科学教育学的には重要且つ関心ある箇所、部分であるが、残念ながら、これらの活動に関する、教授学習、指導方法論からの解説が本 Textbook には記載が見当たらない。

そこで、CHEMISTRY IN CONTEXT Applying Chemistry to Society Ninth Edition.の具体的な内容構成を以下に記す。

＜内容構成＞

１章　携帯電子機器(ポータブルエレクトロニクス)：掌中（手許）の周期律表

２章　我々が呼吸する空気

３章　太陽からの放射

4章　気候変動
5章　燃焼からのエネルギー
6章　代替からのエネルギー
7章　エネルギー貯蔵
8章　至る所の水：最も貴重な資源
9章　ポリマーとプラスチックの世界
10章　噛むことと煎れること
11章　栄養
12章　健康と医療
13章　遺伝と生命
14章　Dr.トンプソンを誰が殺したか？　科学捜査のミステリー
Appendices
1. 測定のための測定：(国際単位系：SI)の SI 接頭辞：10;十進の倍量）、変換比と定数
2. 変換率
3. ロガリズム対応（Clearing the Logjam）
4. 問への回答
5. テキストの青色部分に対する質問への答え
Glossary（用語集）
Index(索引)

4. ACS からの High School 対象の科学専攻と大学初年次科学非専攻対象の 2 種類の Textbook の比較考察

今回､詳細な記述は省略する｡なお､ハイスクール対象の略称は ChemCom､大学の非科学専攻対象は Chemistry in Context と称する。

① 興味深いのは High School 対象の ChemCom が、最新の学習、発達心理学の成果を取り入れ､強調している内容構成となっていることである。

② 特に、“Scaffolding learning”なる用語に代表されるように、上述した最新の学習、発達心理学の成果を示している。NRC のレポートの“How People Learn”の考えをダイレクトに取り入れていることは注目すべきである。

③ その具体的事例である AIM 諸過程(プロセス)の基になっているのは BSCS の 5E なる学習指導方法である。BSCS においてこの 5E の開発に当たった Bybee による以下の著作によれば、直接的には Sputnik Era 時代の 1960 年代に Piaget の発達論に基づいて開発した著名な物理学研究者でもあった Robert Karplus による SCIS の Learning Cycle を基にしながら、Piaget, Vygotsky 達の発達論、学習論に影響を受けながら 5E を開発したのである。この詳細な考察は別の機会にする。これらについて、
Rodger W. Bybee.(2015).　が The BSCS 5E Instructional Model Creating Teachable Moments に論じている。
5E に関してはこれも別の機会に詳述するが、ACS の執筆メンバーが、5E の認知発達論的、学習科学的背景をどの程度理解していたのかは、不明であるが、少なくとも、より教育的、科学教育学的な High School 対象の ChemCom の Textbook 執筆者グループは“How People”に関しては直接的な影響を受けていること

は明確である。

④ 他方、大学初年次科学非専攻の Chemistry in Context に関しては、大学初年次対象故に、上記のような最新の学習、発達心理学に関する説明、解説が現時点では Textbook 本体及び ACS の H.P.に見当たらないが、内容構成は、「科学概念」の学習を強調していることが分かる。

⑤ その意味で、Framework 及び NGSS においての“ Core Ideas”の観方(捉え方)にはなっていない。それは、初版が High School 対象の ChemCom は 1988 年、大学初年次科学非専攻の Chemistry in Context の初版は 2009 年である。このことは、両者とも今回 NGSS の前の 1996 年の NSES(National Science Education Standards)以降に製作されたので、NGSS 以前であるので、NGSS との関連については言及してない。しかし、科学教育界における研究、実践の成果は AIS の事例に見られるように、特に High School 用の ChemCom ではそのことが顕著であると見做せる。

NSES は既に英文の Wikipedia に解説、及び Free の PDF より読める。
(https://en.wikipedia.org/wiki/National_Science_Education_Standards),
(https://www.nap.edu/read/4962/chapter/1)

⑥ 教育内容に関して両 Textbook とも、原子力問題、気候変動、食料、栄養、エネルギー、健康、医療、遺伝子及び遺伝子工学等現実社会の問題、イシューズ、最新の情報、技術の成果を積極的に取り上げ、教材として位置づけている。これらの内容構成と日本の高校化学の内容構成との比較検討が必要である。

⑦ 2011 年の東北地震及び福島原発等も積極的に取り上げているが、両者では取り上げ方、教材としての位置づけが異なる。即ち、High School 対象の ChemCom ではチェルノブイリ原発事故（p.666）のみで、取り上げていない。しかし、大学初年次科学非専攻対象の Chemistry in Context の Textbook では、日本語翻訳版では、チェルノブイリ原発事故に関しては、地図、実際の上空からの写真も含めてほぼ 4 ページ、さらにスリーマイル島原発事故 1 パラグラフ、その後にメルトダウン（炉心溶融）の事例として、東日本大震災（津波の写真）による福島第原子力発電事故を取り上げている。しかし、この原著を見ていないので、翻訳者の日本語版のみか不明である。下巻でのこの項目は 7.5「前身するために過去を調べよ」との題で、p.p.42～47 の 6 ページで書かれている。

そこで、この翻訳の原著 8 訂版の改訂版である第 9 版の原著を見ると、“6.5 What Are the Risks of Nuclear Power?”のタイトルで、p.p.245～249 に 5 ページに亘って書かれている。内容は上述のチェルノブイリ原発事故と東日本大震災（津波の写真）は同じで、さらにチェルノブイリ原発事故では、事故の原発を覆うコンテナー建築の写真が加わっている。内容表現（日本語版のみなので、原著の英語版の表現が分からない）では“The world’s most nuclear disaster occurred in 2011…の表現となって、翻訳の、「ここでも歴史を振り返ることにする。中略　仮にテロ…攻撃の恐れ」とは異なっている（下巻 p.46:9 版原著 p248)。

⑧ STEM 教育の科学教育における具体的事例の NGSS の教授･学習、指導方法、さらにはアセスメント等の基礎となっている“How People Learn”を共通基盤にしている点は ACS、特に High School 対象の ChemCom においては同じと見做せる。唯、時代的には NGSS より前に出版されているので NGSS に関しては直接言及していず、“Concept”の用語（概念）を用いていることが、NGSS の“Common Core”の観方、捉え方とは異なっているか或いは、そこまで至っていないとも見做せる。

註

修正；ACS の今回の 2 種類 Textbook の CHEMCOM は High School 向け、他方“Chemistry in Context Applying Chemistry to Society“は非科学の大学の初年次（College level）対象と修正（内ノ倉真吾分担者の指摘を受け、再調査の結果、両方 High School 向けは当方の勘違いによるミス。

謝辞：

本研究は、科学研究費補助金・基盤研究（B）（課題番号：15H03493、研究代表者：長洲南海男）の助成により行われた。ここに記して謝意を表する。なお、森下明美本科学研究費事務補佐員の校正に謝意を表します。

フレームワーク及びNGSSのLife SciencesにおけるLPsに基づいた学習内容構成の解明

北田　典子（東邦大学）
長洲　南海男（筑波大学）

1．はじめに

現在、米国を中心に世界的にSTEM教育が唱えられている。その核となる考え方が2012年に“A Framework for K-12 Science Education, 2012”（以下フレームワークと略称）、2013年にフレームワークの内容をバージョンアップした“Next Generation Science Standards, 2013”（以下NGSSと略称）として出版された。これらフレームワークとNGSSは、米国におけるSTEM教育の事例を提示したものである。フレームワークで展開しているDimension１、Dimension２、Dimension３、Dimension３に含まれる４つのDisciplinary Core Ideas（学的領域で核となる考え方、以下DCI と略称）表1、それぞれのDCIに含まれるCore Ideas（核となる考え方、以下CIと略称）表2は、NGSSにも受け継がれている。

フレームワークの科学教育の考え方は「フレームワークはLearning Progressions（以下LPsと略称）の論理でK学年から第12学年にわたり首尾一貫した方法で子どもの科学の熟達を進展させることを重視している」（フレームワーク,2012)(1)と述べられているように認知・発達・学習論等の研究成果に基づいたLPsの考え方を取り入れている。LPsの定義及び詳細については本科学研究費の長洲論文を参照されたい。本論文は長洲論文を参考にしてLPsは「知的内容の発達構成」の邦訳を用いることとする。

本研究では表１の４つのDCIの一つLife Sciencesに注目し分析を行った。フレームワークのLife Sciencesは、Life Science のように単数形ではなく複数形で表記されている。なぜ複数形で表記されているのか、その理由は次のように考えられるだろう。フレームワークのLife Sciencesは、４つのCI(Core Ideas　LS1：分子から有機体へ：構造とプロセス、LS2：生態系：生物間相互作用、エネルギー、動態、LS3：遺伝：形質の遺伝と変異、LS4：生物進化：共通性と多様性)で構成され、この４つのCI(LS1～LS4)は、フレームワークでは次の９つの文献において「*The Role of Theory in Advancing 21st-Century Biology*、 *A New Biology for the 21st Century*、 *National Science Education Standards*、 *Benchmarks for Science Literacy*、 *Science College Board Standards for College Success*、 *National Assessment of Educational Progress (NAEP)*、 *Programme for International Student Assessment(PISA)*、*Trends in International Mathematics and Science Study(TIMSS)*、 *Vision and Change in Undergraduate Biology Education* の研究成果を基にして考えられた」(フレームワーク,2012)(2)と述べられている。事例を挙げると上記の９つの文献の一つ *A New Biology for the 21st Century* におけるNew Biologyの考え方は、「現代の物理学、化学、コンピューター科学、生物学、工学、数学、科学教育の成果を統合して、それを元に生物システムのより深い理解を図り、社会的な問題に対する生物学に基づいた解決策を打ち出しながら絶えずフィードバックを行い、より深い生物システムの理解を深めていく」（北田、長洲2016)(3)というように説明されている。またフレームワークで述べられているLife Sciencesでは、「Life Sciencesの急激な進歩は、食物、エネルギー、健康及び環境と関係がある社会的な問題についても生物学的な解決法を提供している」（フレームワーク,2012)(4)と述べられている。このことからフレームワークは、*A New Biology for the 21st Century* の New Biology の考え方と同様に、一般に日本で考えられている生物学の概念を超えた内容を含んでいるため、単数形ではなく複数形で表記されていると考えられる。このことから本研究ではLife Sciencesを生物学、生命科学とは

邦訳せずにフレームワークの捉えている広い領域を表す考え方を考慮して原文の通り Life Sciences と英語表記することにする。また DCI には Life Sciences と同様に Physical Sciences があり、Physical Sciences の英語表記については本科学研究費の出口論文に詳細な記述があるので参照されたい。

フレームワークの Life Sciences は 4 つの CI、LS1：分子から有機体へ：構造とプロセス、LS2：生態系：生物間相互作用、エネルギー、動態、LS3：遺伝：形質の遺伝と変異、LS4：生物進化：共通性と多様性 表 2 から構成されている。さらに Life Sciences では、それぞれの CI(LS1～LS4)を LS1-A、LS1-B、LS1-C、LS1-D 表 3 のように A～D の構成要素に分け、そこでの学習内容構成を具体的に示している。同時に K 学年から K-12 学年までの学年を K-2、3-5、6-8、9-12 の 4 つの学年帯に分け、LS1-A、LS1-B、LS1-C、LS1-D などの具体的な学習内容構成とそれを学ぶ学年帯の到達点を記載したものが Grade Band Endpoints(学年帯の学習の到達点)表 6 である。

一方、NGSS も認知・発達・学習論等の研究成果に基づいた LPs の考え方が取り入れられているが、NGSS にはフレームワークに示された Grade Band Endpoints の記載はない。その代わりに Increasing Sophistication of Student Thinking（子どもの考え方の知的な洗練さを増す過程）表 8、及び Performance Expectation（期待される達成行動：以下 PE と略称)表 9 が提示されている。

2． 目的

本研究の目的は、先ずフレームワークの Dimension 3 の DCI の一つ Life Sciences における Grade Band Endpoints と NGSS の Dimension 3 の DCI の一つ Life Sciences における Increasing Sophistication of Student Thinking 及び PE の違いを明らかにし、その上で、フレームワークと NGSS の LPs に基づいた学習内容構成の特徴を示すことである。

3． 方法

3-1） フレームワークの Dimension 3、Disciplinary Core Idea(DCI)とそのうちの一つ領域である Life Sciences の K-12 の Grade Band Endpoints について分析する。

3-2） NGSS の Disciplinary Core Idea(DCI)の一つである Life Sciences の①Increasing Sophistication of Student Thinking、②Performance Expectation について分析する。

4． 結果

4-1-1）フレームワークの Life Sciences の構成

フレームワークを構成している 3 つの Dimension(Dimension 1、Dimension 2、Dimension 3)とその一つ Dimension 3 を構成している 4 つの DCI(学的領域で核となる考え方)を表 1 に示す。

表 1.フレームワークの Life Sciences の 4 つの DCI(フレームワーク,2012)[5]

Framework for K-12 Science Education			
framework の Dimension			
Dimension 1 (観方 1)	Science and Engineering Practice	科学と工学の実習・実験	
Dimension 2 (観方 2)	Crosscutting Concepts	分野横断的概念	
Dimension 3 (観方 3)	Disciplinary Core Ideas (DCI)	学的領域で核となる考え方	Physical Sciences
			Life Sciences
			Earth and Space Sciences
			Engineering, Technology, and Applications of Sciences

表1に提示されているように、フレームワークには3つのDimension(Dimension 1、Dimension 2、Dimension 3)があり、その3つ目のDimension 3に本研究が対象とするLife Sciencesが構成されている。更に表2に提示するようにLife Sciencesは、4つのCI、LS1：分子から有機体へ：構造とプロセス、LS2：生態系：生物間相互作用、エネルギー、動態、LS3：遺伝：形質の遺伝と変異、LS4：生物進化：共通性と多様性から構成されている。この4つのCI(LS1～LS4)についてフレームワークは「多様な分野にわたる多くの科学者の仕事により立証された研究の証拠に基づいた長い歴史としっかりした基礎を持っている。」(フレームワーク，2012)[6]と述べているように、4つのCI(LS1～LS4)ははじめにで挙げた9つの文献を基にしてフレームワークで構成されたものである。

表2. Life Sciencesの4つのCI: Core Ideas（フレームワーク,2012)[7]

Life Sciencesの4つのCore Ideas(核となる考え方)	
LS1	分子から有機体へ：構造とプロセス
LS2	生態系：生物間相互作用、エネルギー、動態(ダイナミクス)
LS3	遺伝：形質の遺伝と変異
LS4	生物進化：共通性と多様性

Life Sciencesの4つのCIであるLS1：分子から有機体へ：構造とプロセス、LS2：生態系：生物間相互作用、エネルギー、動態(ダイナミクス)、LS3：遺伝：形質の遺伝と変異、LS4：生物進化：共通性と多様性 表2は、CI(LS1～LS4)の学習内容によって更にA～Dの構成要素に分けられている。以下にLife Sciencesの4つのCI(LS1～LS4)とA～Dの構成要素を表3に示す。

表3. Life Sciencesの4つのCIとA～Dの構成要素(フレームワーク,2012)[8]

CI	LS1 分子から有機体へ：構造とプロセス	LS2 生態系：生物間相互作用、エネルギー、動態(ダイナミクス)	LS3 遺伝：形質の遺伝と変異	LS4 生物進化：共通性と多様性
構成要素	LS1.A 構造と機能	LS2.A 生態系における互いに依存する関係	LS3.A 形質の遺伝	LS4.A 共通の祖先の証拠と多様性
	LS1.B 有機体の成長と発生	LS2.B 生態系における物質循環とエネルギー流	LS3.B 形質の変異	LS4.B 自然選択
	LS1.C 有機体における物質の構成とエネルギー流	LS2.C 生態系の動態(ダイナミクス)、機能、復元力		LS4.C 適応
	LS1.D 情報処理	LS2.D 社会的相互作用と集団行動		LS4.D 生物多様性とヒト

Life Sciencesの上記表3に示されるそれぞれのCI(LS1～LS4)の学習の初めには、疑問(question; How do・・？)が提示される。この疑問(How do・・？）についてフレームワークでは次のように述べている。「各CI(LS1～LS4)とその構成要素(A～D)の学習内容のそれぞれに、子どもが多面的に自然界を考え、それを説明できるようにデザインされた疑問を提示する。疑問には低学年から高校の終わりまでに達成するべき考え方を理解する内容が示されている。この構成は、自然界について疑問を述べ、またそれに答えようとする姿勢が科学を実践する基盤であるということを明確に示している。」（フレームワーク,2012）[9]この疑問(How do・・？）は、子どもが学習内容を焦点化することができ、子どもの学年帯が上がって科学的概念に至るプロセスにおいて、疑問（How do・・？）を起点にして子どもの関心を貫き通すことができる。このフレームワークの疑問(How do・・？）に、子どもが疑問を感じ、考え、答えを見つけようとするところからフレームワークのLPsが始まる。つまりこの疑問(How do・・？）はフレームワークのLPsの起点である。この疑問(How do・・？）に対して、低学年の子どもは初めに持っている経験に基づいた考え方（Core Ideas）で答えようとするが、学年が上がるにつれて次第に科学的概

念に基づいた証拠を持って答えようとする姿勢に累進的に変化してくる。以下にフレームワークの LPs の起点となる疑問(How do・・?) の事例として、CI:LS1 とその構成要素である LS1-A～LS1-D の疑問 (How do・・?) を表 4 に提示する。

表 4. Life Sciences の CI:LS1 と LS1-A～LS1-D の学習内容にある疑問(How do・・?)(フレームワーク, 2012) [10]

CI LS1：分子から有機体へ：構造とプロセス 疑問：有機体はいかに生き、成長し、環境に応答し、生殖するのだろうか？	
LS1 の構成要素	構成要素に示された疑問
LS1.A：構造と機能	有機体の構造は、どのように生命の機能に役立っているか？
LS1.B：有機体の成長と発生	有機体はいかに成長し、発生するのか？
LS1.C:有機体における物質の構成とエネルギー流	有機体が生活し成長するために必要な物質とエネルギーを、有機体はどのようにして獲得し、使うのか？
LS1.D：情報プロセッシング	有機体は環境についての情報をどのように感知し、処理し、使うのか？

フレームワークでは、表 3 で示した各 CI(LS1～LS4)の構成要素のそれぞれに学習内容が各学年帯(K-2、3-5、6-8、9-12) で設定されており、初めに示された疑問(How do・・?) に対してそれを理解し、科学的な概念を獲得していくプロセスが各学年帯で進行していく。次に Life Sciences の CI:LS1 と LS1-A を事例に疑問(How do・・?) とそれぞれの学習内容を提示する。

4-1-2) Life Sciences の学習内容構成の事例

① LS1 分子から有機体へ：構造とプロセス、疑問(How do・・?) と学習内容

疑問(How do・・?)： 有機体はいかに生き、成長し、環境に応答し、生殖するのだろうか？

学習内容：有機体として生きている全てのものは細胞からできている。生命は、非生物的な物質あるいは死んだ生物から－生きている細胞で組織化された－生物を見分けることは明らかである。生命を単純に定義するためにすべての生物を捕獲することは難しいが、すべての有機体が表している生物の構造と機能の共通な働きによって生物を特徴づけることができる。有機体は複雑で、組織化され、階層性のある構造をなしている。階層性は、各レベルで次の根拠を示している。元素や原子による化学的基礎、個々の有機体が持っている細胞とシステム、複雑な生態系内で生活、相互作用をする種と個体群という階層である。有機体は、単細胞あるいは共に働く多数の細胞からできている。それには動物、植物、藻類、菌類、細菌類、すべての微生物が含まれる。有機体は環境からの刺激に応答し、ホメオスタシスを通じて内部環境を活発に維持している。有機体は成長し、彼らの子孫に遺伝情報を受け渡すための生殖を行う。個々の有機体は、生涯にわたり同じ遺伝情報を持ち続けるが、両親から子孫へは突然変異や新しい遺伝子の組み合わせが生じ、子孫には新しい遺伝情報が遺伝する。何世代にもわたる自然選択は、すべての種に変化を導くことができる；種は時間をかけて進化する。全てのプロセスや機能を維持するために、有機体は環境からの物質やエネルギーを欠くことはできない；生命を維持するためのほとんどのエネルギーは、太陽から来たものである。(フレームワーク, 2012) [11]

② LS1.A 構造と機能、疑問(How do・・?) と学習内容

疑問(How do・・?)：有機体の構造は、どのように生命の機能に役立っているか？

学習内容：生命のおもな特徴は、有機体が成長し、生殖し、死ぬことである。それらは (解剖学と形態学)

に見られる特徴的な構造、（分子スケールから有機体レベルの生理学へのプロセス）としての機能、そして（神経生物学そしていくつかの動物のための心理学）に見られる行動等がある。有機体とそれらのパーツは、生命の構造の単位であり生物の機能を支える分子レベルの基礎となる細胞からできている。有機体には単細胞（単細胞の微生物）から、異なる種類の多くの細胞が組織や特殊な機能のために分化した器官（循環、呼吸、神経、筋骨格）を作り、器官が組織化されて共に働く多細胞生物まで様々である。細胞内の特殊な構造は、特定の細胞機能を担っている。細胞の本質的な働きには、水、タンパク質、炭水化物、脂質、および核酸を含む多くの分子の化学反応を必要とする。全ての細胞はＤＮＡの形で遺伝情報を持っている。染色体の形を作っているきわめて巨大なＤＮＡ分子の特定の領域に遺伝子は存在している。生命の本質的な機能を維持するために、遺伝子は細胞のはたらきのほぼ全てを実行するタンパク質と呼ばれる分子構造を決定する情報である遺伝暗号を持っている。それによりタンパク質が細胞の構成要素であり、信号の装置として推進し、細胞の活動を調節し、酵素作用を通して細胞の活動を決定している。（フレームワーク, 2012）(12)

①は、フレームワークの４つの CI の中の一つ LS1：分子から有機体へ：構造とプロセスの学習内容である。初めに示された疑問(How do・・？）に対して、まず子どもは有機体と有機体でないものとの違いを見分け生物の特徴を認識することからはじまり、有機体は複雑で階層性を成していること、有機体は単細胞生物と多細胞生物からなり、動物、植物、菌類、藻類、細菌類、全ての微生物を含んでいること、有機体は外部環境に応答し、内部環境である恒常性を維持し、生殖を行い、進化すること、代謝のエネルギーは太陽から来たこと、というように次第に複雑化された科学の概念に達するように構成されている。

②は、LS1 の中の構成要素の一つ LS1.A　構造と機能 の学習内容である。はじめに示された疑問(How do・・？）に対して①より学習内容がさらに具体的に提示されている。その内容は、生命の特徴である成長、生殖、死という子どもが捉えやすい巨視的で経験的な見方から、有機体は細胞、組織、器官、有機体と次第に複雑な構造になること、細胞の本質的な働きである代謝を行うこと、遺伝子がタンパク質の構造を決定すること、タンパク質は細胞の構成要素であり、細胞の活動を決定していることなどの科学的概念に達するように構成されている。

4-1-3）Life Sciences の Grade Band Endpoints(学年帯の学習の到達点)

上記の Life Sciences の学習の進展による到達点が、K-2、3-5、6-8、9-12 という４つの学年帯ごとの終わりに、に示されているのが Grade Band Endpoints である。

フレームワークでは、Dimension３の４つの DCI の全てに Grade Band Endpoints が構成されており、Grade Band Endpoints という構成について各学年帯での取り組みの概要を述べている。フレームワークでは Grade Band Endpoints の概要を文章で説明しているが、ここではその内容をわかりやすくまた各学年帯で比較しやすくするためにその説明を表５のように表示する。なお表５の Grade Band Endpoints の概要は、フレームワークの Dimension３の４つの DCI の全てに当てはまるものである。この表５に示された DCI の Grade Band Endpoints の学年帯で行われる取り組みでは、低学年帯の子どもが持っている実在的なものあるいは目に見えるものに対する子どもの考え方の概要、中学年帯の子どもが少しずつ自然の現象に対して科学的概念を用いて抽象的に捉え、考えられるようになっていく概要、高学年帯の自然現象に対して科学的概念を証拠に基づいて抽象的に捉え、考えられるようになっていく概要が提示されている。

本研究で着目している Dimension３の４つの DCI の一つ Life Sciences における Grade Band Endpoints の具体的な事例として、LS1-A：構造と機能、疑問 （How do・・？）「有機体の構造は、どのように生命の機能に役

表5. Dimension 3 の 4 つの DCI Grade Band Endpoints の学年帯で行われる取り組みの概要(フレームワーク,2012)[13]

	Dimension 3 の 4 つの DCI の Grade Band Endpoints			
	K-2 学年の終わりに	3-5 学年の終わりに	6-8 学年の終わりに	9-12 学年の終わりに
取り組みの概要	フレームワークは子どもが直接経験し調べることができる現象についての考え方を選択した。	フレームワークは子どもが少しだが直接的な経験を得るような、主に身体あるいは地球の内部で起こるような実在するが、見えないものを内容に取り入れた。顕微鏡を導入するときは、それらは直接観察するのにはあまりにも小さいことに重きを置き、それらのサイズの理解には重きを置かない。しかし、図、自然科学のモデル、シミュレーションなどは、子どもが調べて解釈できる実在するものを示すことができ、そして彼らを現象と結びつけることができる。	フレームワークは自然現象の説明に原子モデル、生命のプロセス、生物学的構造の細胞レベルの説明を持ってくる。しかし原子や細胞の内部の詳細な働きは含まない。	フレームワークは原子よりさらに細かいレベルや細胞よりさらに細かいレベルの説明に移行する。原子よりさらに細かいレベルや細胞よりさらに細かいレベルと同規模や抽象化したモデルを、大きな現象や過去に起きた現象に適用する。またフレームワークは、子どもが学ぶ範囲を明確に示すいくつかの「境界線」を提示する。しかし次の段階のスタンダードではさらに積極的に境界線を示す必要があるだろう。

立っているか？」を 表6に提示する。なおフレームワークでは LS1-A：構造と機能 の Grade Band Endpoints の概要を文章で説明しているが、ここではその内容をわかりやすくまた各学年帯で比較しやすくするためにその説明を表6のように表示する。表6の Grade Band Endpoints はフレームワークにおける Life Sciences の LS1-A についての LPs のプロセスの結果、最終的な到達点を示したものである。

表6. フレームワーク LS1-A：構造と機能の Grade Band Endpoints(学年帯の学習の到達点) (フレームワーク,2012) [14]

LS1-A：構造と機能の Grade Band Endpoints(学年帯の学習の到達点)				
LS1	K-2 の終わりに	K-5 の終わりに	K-8 の終わりに	K-12 の終わりに
LS1-A 構造と機能	全ての生物は外界に反応する器官を持っている。見る、聞く、物をつかむ、防御する、動いてあちらこちらを探し見つける。食べ物、水や空気を得るためにそれぞれの動物は、それぞれの方法で身体の器官を使う。植物もまた生存し、成長しより多くの植物を増やすために様々な器官（根、茎、葉、花、果実）が存在する。	植物と動物は、成長、生存、行動、生殖において種々の機能を遂行する内部構造と外部構造を持っている。（境界線：この学年段階の強調点は、微視的なプロセスではなく大きなシステムやそれらの機能の理解にある。）	全ての生物は、最も小さい単位である細胞からなっている。個体は、一つの細胞（単細胞）、あるいは多くの数や様々なタイプの細胞（多細胞）で構成されている。単細胞生物（微生物）は、多細胞生物のように、食べ物や水、排出する方法、彼らが生きられる環境を必要としている。細胞の内側にある、特別な構造は特定の機能を担当している。また細胞膜は細胞への出入りを調節する境界となっている。多細胞生物では、体は多数の相互作用するサブシステムからなるシステムである。これらのサブシステムは、体の機能のために分化した組織や器官を形成し、共に働く細胞の集団である。	個体を構成している分化した細胞のシステムは、水、タンパク質、炭水化物、脂質、核酸のような異なる分子の間で起こる化学反応を含み、生命の特別な機能の遂行を支えている。全ての細胞において DNA 分子の形で遺伝情報を担う遺伝子は、細胞のほぼ全ての働きを担うタンパク質の構造を決める遺伝暗号を指定する DNA の領域にある。多細胞生物は、一つのシステムが非常に多くのパーツで成り立っており、それ自身は次のレベルの構成物であるというように、個体に階層性の構造を持っている。フィードバックの機構は、ある範囲内での外部の状態の変化に応じて生存して機能することを可能にする確実な限界点と行動のなかで、生物体内部の状態を維持している。範囲（外気温があまりに高いかあまりに低いか、有効な食物あるいは水があまりに少ない）外では、個体は生きられない。フィードバック機構は生物体の中で促進（正のフィードバック）するかあるいは抑制（負のフィードバック）することができる。

LS1-A：構造と機能についてはフレームワークの起点である疑問 （How do・・？）と学習内容を先述しており、ここでLS1-A：構造と機能の Grade Band Endpoints を提示することにより、フレームワークの LPs の起点、学習内容とその到達点という LPs の全体構成を明示している。これは、子どもがはじめに設けられた疑問に対して、子どもの持つ経験的な考え方(ideas)からそれぞれの学年帯を上がるごとに科学的概念を用いて考え、説明できるように洗練されていき、そして科学的概念に到達するというフレームワークの LPs のプロセスを経ること示したものである。

4-2-1) NGSS の Life Sciences の構成

NGSS の構成は、フレームワークの表 1、表 2、表 3 と同様である。

NGSS では 表 2 で示した Life Sciences の 4 つの CI(LS1～LS4)の A～D の構成要素を、各学年で学習を進めていく事例を表 7 に提示した。これはフレームワークの構成には見られないもので NGSS の特徴を示すものの一つであると考えられる。例えば NGSS では CI(LS1～LS4)の LS1：分子から個体へ：構造とプロセスを、K 学年、1 学年、3 学年、4 学年、5 学年、前期中等学校段階、後期中等学校段階で学習し、LS3：遺伝：形質の遺伝と変異を、1 学年、3 学年、前期中等学校段階、後期中等学校段階で学習することを示している。

表 7. NGSS の各学年の学習する Core Ideas(核となるアイデア)（NGSS,Volume1,2013）[15]

Elementary (K-5)			Middle School (6-8)		
初等学校段階	K-LS 1	分子から有機体へ：構造とプロセス	前期中等学校段階	MS-LS 1	分子から有機体へ：構造とプロセス
	1-LS 1	分子から有機体へ：構造とプロセス		MS-LS 2	生態系：相互作用.エネルギー、動態(ダイナミクス)
	1-LS 3	遺伝：形質の遺伝と変異		MS-LS 3	遺伝：形質の遺伝と変異
	2-LS 2	生態系：相互作用、エネルギー、動態(ダイナミクス)		MS-LS 4	生物の進化：共通性と多様性
	2-LS 4	生物の進化：共通性と多様性	High School (9-12)		
	3-LS 1	分子から有機体へ：構造とプロセス	後期中等学校段階	HS-LS 1	分子から有機体へ：構造とプロセス
	3-LS 2	生態系：相互作用、エネルギー、動態(ダイナミクス)		HS-LS 2	生態系：相互作用.エネルギー、動態(ダイナミクス)
	3-LS 3	遺伝：形質の遺伝と変異		HS-LS 3	遺伝：形質の遺伝と変異
	3-LS 4	生物の進化：共通性と多様性		HS-LS 4	生物の進化：共通性と多様性
	4-LS 1	分子から有機体へ：構造とプロセス			
	5-LS 1	分子から有機体へ：構造とプロセス			
	5-LS 2	生態系：相互作用、エネルギー、動態(ダイナミクス)			

4-2-2) NGSS の Life Sciences Progression(NGSS の Life Sciences の知的発達内容構成)

NGSS の Volume2 には、Life Sciences Progression(Life Sciences の知的発達の内容構成)の展開を、Increasing Sophistication of Student Thinking(子どもの思考の累進的な知的洗練さを増す過程)(NGSS,2013)[16]に示している。これは 4 つの CI(Core Ideas)の学習の進行によって、子どもが生活経験上の考え方から Life Sciences の科学的概念を用いた考え方ができるように知的洗練さを増すプロセスを K-2, 3-5, 6-8, 9-12 の各学年帯で具体的に示

したものである。NGSS ではフレームワークの Grade Band Endpoints の表記は見当たらず、代わりに Increasing Sophistication of Student Thinking が示されている。この Increasing Sophistication of Student Thinking は NGSS の特徴の一つであると考えられる。ここではフレームワークの Grade Band Endpoints との比較のために同じ領域である LS1: 分子から有機体へ：構造とプロセスの LS1-A～LS1-D を事例に記す(表 8)。

表 8 に示した NGSS の Increasing Sophistication of Student Thinking は、フレームワークの同じ領域の Grade Band Endpoints 表 6 と比較して、その達成するべき内容がより簡潔に明確に分かるように示されている。Increasing Sophistication of Student Thinking では、K-2 学年までの子どもが持っている巨視的な見方、経験的な考え方から、3-5 学年の子どもが有機体の特徴を肉眼で捉えていくこと、6-8 学年の子どもが有機体の特徴を顕微鏡レベル、分子のレベルから捉えていくこと、9-12 学年の子どもが有機体の特徴を、細胞のシステム、生物のシステムから捉えること、有糸分裂と分化の仕組みを捉えること、光合成、呼吸におけるエネルギー代謝の観点から捉えることによって、子どもの思考が累進的に知的に洗練されていくことを示している。

表 8 . Increasing Sophistication of Student Thinking

子どもの考え方の複雑化を増す過程 LS1A～LS1D の事例（NGSS,Volume2,2013）(16)

	K-2	3-5	6-8	9-12
LS1-A：構造と機能	すべての有機体は、日常の目的を果たすために使う外部器官を持っている。	有機体は、成長、生存、行動、生殖を可能にする肉眼で見える構造である内部器官と外部器官の両方を持っている。	全ての生き物は、細胞からできている。生物体では、細胞は特定の体の機能のために分化した組織や器官の形態をとって共にはたらく。	有機体で分化した細胞のシステムは、生命の本質的な機能を行うものである。生物では一つ一つのシステムが多くの器官の中に構成されている。フィードバック機構は生物の内部環境を限定的に維持し、行動に影響する。
LS1-B：個体の成長と発生	両親と子は、子が生き延びることに役に立つ行動を行う。	生殖は、あらゆる種類の有機体に最も重要なものである。有機体はユニークで多様なライフサイクルを持っている。	動物は生殖の可能性が増大する行動を行う。生物の成長は、遺伝と環境の両方の要因に影響される。	生物の細胞の成長と分裂は、有糸分裂によって起こり、細胞は特定のタイプに分化する。
LS1-C：物質の構成とエネルギー流	動物は、植物や他の動物から必要な食物を手にいれる。	食物は、動物が体の回復、成長、体温、運動のために必要な物質やエネルギーを動物に提供する。植物は、主として大気、水、物質と太陽からのエネルギーを得る過程で成長のための物質を獲得する。それは生存のために必要な条件を維持するために使われる。	植物は、光合成で糖を合成するために光エネルギーを使う。個々の有機体内で食物は、化学反応の連続によって分子を配列し直し、エネルギーを放出し分解される。	光合成で生産された糖のバックボーンとなる炭化水素は、タンパク質や DNA を組み立てることのできるアミノ酸や他の分子を生成するために使われる。細胞呼吸によって分子として有機体の組織の間を通っていく物質とエネルギー流は、異なる生産物から再合成され、エネルギーは転移する。
LS1-D：情報処理	動物の感覚、情報交換をすること反応に応答することは、成長し生存することに役立つ。	異なる感覚受容器は、特定の種類の情報のために特殊化されている；動物は彼らの活動を左右する時に彼らの知覚と記憶を使う。	それぞれの感覚受容器は異なる情報に応答し、脳の神経細胞に伝わるシグナルとして伝達する。；それらのシグナルは脳で処理され、結果として直接の行動を引き起こすか記憶される。	記載なし

4-2-3) NGSS の Life Sciences の Performance Expectation（期待される達成行動）

NGSS では各学年で学習する CI(LS1～LS4)を、初等学校段階（K 学年から第５学年)、前期中等学校段階(第６学年から第８学年)、後期中等学校段階(第９学年から第１２学年)に分けて表７のように配置している。NGSS では表７の各 CI(LS1～LS4)のそれぞれ一つ一つに Performance Expectation(期待される達成行動、以下 PE と略称)という囲み枠を設けている。この PE はフレームワークには見られない構成で、NGSS の特徴の一つであると考えられる。ここではフレームワークとの比較のため、後期中等学校の「HS-LS1：分子から有機体へ：構造とプロセス」の PE を事例として示す(表９)。

この PE の囲み枠の最上段に Students who demonstrate understanding can(以下のことを学習者が理解できていることを示す)という項目があり、Life Sciences の LS1 の学習内容を達成できた学習者が示す行動が明記されている。NGSS では子どもの持つ観方、考え方が科学的な概念に発達し洗練されていく過程を Increasing Sophistication of Student Thinking で示し、そして Students who demonstrate understanding can では子どもの学習の達成をアセスメントするという構成を取っている。

「HS-LS1：分子から有機体へ：構造とプロセス」の Students who demonstrate understanding can は、HS-LS1-1 から HS-LS1-7 まで７項目ある。その７項目の説明文の中に表 1 に示した３つの Dimension(Dimension１、Dimension２、Dimension３)が配置されている。Dimension1：Science and Engineering Practice(科学と工学の実習・実験)は表７の囲み枠では □ で、Dimension2：Crosscutting Concepts（分野横断的概念）は表９の囲み枠では網がけで、Dimension3：DCI は表９の囲み枠では*イタリック体*で具体的に示されている。

また表９に示された HS-LS1-1～HS-LS-7 のそれぞれの項目には［強調点：理解すべき主要な Life Sciences の概念］と［評価の境界：評価に含まれない生物学の内容］が明記されている。この[強調点]と[評価の境界]は、フレームワークの表５の Grade Band Endpoints：9-12 学年の終わりに、で「フレームワークは子どもが学ぶ範囲を明確に示すいくつかの「境界線」を提示している。しかし次の段階のスタンダードではさらに積極的に境界線を示す必要があるだろう。」(フレームワーク, 2012)[13]と述べていることから、NGSS では PE に[評価の境界][強調点]が記載されている。

表９の囲み枠の中段には３つの Dimension(Dimension１、Dimension２、Dimension３)が３列に並列している。Dimension1：Science and Engineering Practice(科学と工学の実習・実験)では「モデルを開発し使うこと」「調査を企画し実行する」「説明を構築し解決策を計画する」のそれぞれに関係する項目を示している。Dimension2：Crosscutting Concepts（分野横断的概念）では「システムとシステムモデル」「エネルギーと物質」「構造と機能」「安定と変化」のそれぞれに関係する項目を示している。Dimension3 の DCI(学的領域で核となる考え方)では、Dimension3：DCI の「LS1-A：構造と機能」「LS1-B：有機体の成長と発生」「LS1-C：有機体における物質の組織化とエネルギー流」のそれぞれに関係する項目を示している。囲み枠の下段の「この学年段階における他の DCI との関係」における HS.PS1-B、 HS.PS2-B、 HS.LS3-A、HS. PS3- B 等の記号は、Physical Sciences と Life Sciences のそれぞれに関係する項目を示している。HS.PS は、High School. Physical Sciences、HS.LS は High School. Life Sciences の略である。「色々な学年段階を横断する DCI(学的領域で核となる考え方)との相互関連」では、HS-LS1-1～HS-LS-7 のそれぞれに関係する項目である MS.PS1-A、MS.PS1-B、MS.PS3-D、MS. LS1-A、 MS.LS1-C、 MS.LS2-B、MS.ESS2-E、MS.LS3-A、MS.LS3-B を提示している。なお MS.PS は Middle School. Physical Sciences、MS.LS は Middle School. Life Sciences、MS.ESS は Middle School. Earth and Space Sciences の略である。

表9． Performance Expectation、「HS-LS1：分子から有機体へ：構造とプロセス」(NGSS,Volume1,2013)[15]

理解していることを説明できる子どもは次のことができる

HS-LS1-1 *分化した細胞のシステムから、生命の本質的な働きを担っているタンパク質の構造をどのようにしてDNAが決定するのか*証拠に基づいた説明を構築する*ことができる。

［評価の境界：特殊な細胞や組織型の同定、全身のシステム、特殊なタンパク質の構造や機能、タンパク質合成の生化学は、評価には含まない］

HS-LS1-2 *多細胞生物の特定の働きを提供する相互作用システムの階層的な構造*を説明するために*モデルを開発し使う*ことができる。

［強調点：栄養の摂取、水の移動、神経刺激に応答して生物が行動する、のような有機体システムレベルの機能である。］

［評価の境界：分子や化学反応のレベルの相互作用と機能は、評価には含まない。］

HS-LS1-3 *フィードバックのメカニズムがホメオスタシスを維持する*ことの*証拠を示す調査を計画し実行する*ことができる。

［強調点：調査の例には、訓練に応答する心拍数、湿度や温度に応答する気孔、水位に応じた根の発達、などが含まれる。］

［評価の境界：フィードバックのメカニズムに含まれる細胞のプロセスは、評価には含まれない。］

HS-LS1-4 *複雑な有機体を生産し維持するために、細胞分裂(有糸分裂)と分化の役割を説明する*ために*モデルを使う*ことができる。

［評価の境界：メカニズムをコントロールする特殊な遺伝子や有糸分裂の各段階の機械的な暗記をすることは、評価には含まれない。］

HS-LS1-5 *光合成はどのように光エネルギーを化学エネルギーに変換して取り込むのかを説明するために*モデルを使う*ことができる。

［強調点：植物や他の光合成生物による光合成における物質の出入りやエネルギーの移送と変換を説明すること。モデルの例には、図形、化学反応式及び概念のモデルが含まれる。］

［評価の境界：特殊な生化学の段階的変化は、評価には含まれない。］

HS-LS1-6 *糖分子由来の炭素、水素、酸素が、どのようにしてアミノ酸や他の炭素が主体の高分子を形成するために他の元素と結合する*かについて、*証拠に基づいた説明を構築し、改めること*ができる。

［強調点：説明を支持するためにモデルや模擬実験の証拠を用いること。］

［評価の境界：特殊な化学反応や高分子の同定は、評価には含まれない。］

HS-LS1-7 *細胞呼吸はエネルギーの転移網の中で、いかにして食物の分子と酸素分子の結合が壊され、その結果新しい化合物の結合が形成されるかという化学的プロセスである、*ことを*説明するためにモデルを使う*ことができる。

［強調点：細胞呼吸のプロセスに入ることと出て行くことの概念的な理解である。］

［評価の境界：細胞呼吸に含まれる各段階の同定や特殊なプロセスは、評価には含まれない。］

上の期待される行動は、フレームワークから次に続く要素を用いて発展させたものである。

科学と工学の実習・実験	**学的領域で核となる考え方**	**分野横断的概念**
モデルを開発し使うこと。 HS－LS１－２、HS－LS１－４、HS－LS１－５、 HS－LS１－７ 調査を企画し実行する HS－LS１－３ 説明を構築し解決策を計画する HS－LS１－１、HS－LS１－６	LS1,A：構造と機能 HS－LS１－１、HS－LS１－２、HS-LS１－３ LS1,B：有機体の成長と発生 HS-LS1-4 LS1,C：有機体における物質の組織化とエネルギー流 HS－LS１－５、HS－LS１－６、HS－LS１－７	システムとシステムモデル HS－LS１－２、HS－LS１－４ エネルギーと物質 HS－LS１－５、HS－LS１－６、HS－LS１－７ 構造と機能 HS－LS１－１ 安定と変化 HS－LS１－３

この学年段階における他のDCI(学的領域で核となる考え方)との関係

HS.PS1.B (HS-LS1-5), (HS-LS1-6), (HS-LS1-7); **HS.PS2.B** (HS-LS1-7); **HS.LS3.A** (HS-LS1-1); **HS.PS3.B** (HS-LS1-5), (HS-LS1-7)

色々な学年段階を横断するDCI(学的領域で核となる考え方)との相互関連

MS.PS1.A (HS-LS1-6); **MS.PS1.B** (HS-LS1-5), (HS-LS1-6), (HS-LS1-7); **MS.PS3.D** (HS-LS1-5), (HS-LS1-6), (HS-LS1-7); **MS.LS1.A** (HS-LS1-1), (HS-LS1-2), (HS-LS1-3), (HS-LS1-4); **MS.LS1.C** (HS-LS1-5), (HS-LS1-6), (HS-LS1-7) **MS.LS2.B** (HS-LS1-5), (HS-LS1-7); **MS.ESS2.E** (HS-LS1-6); **MS.LS3.A** (HS-LS1-1), (HS-LS1-4); **MS.LS3.B** (HS-LS1-1)

Common Core State Standards との関係

未調査

5．考察

本研究の目的であるフレームワークの Life Sciences の Grade Band Endpoints と NGSS の Life Sciences の Increasing Sophistication of Student Thinking 及び Performance Expectation の構成は、上述の結果で示した通りである。それに基づいてフレームワークと NGSS の LPs に基づいた内容構成の特徴を共通点と相違点について考察する。

5-1）フレームワークと NGSS の LPs に基づいた内容構成の共通点

フレームワークと NGSS の LPs に基づいた内容構成の共通点を下記に述べる。

・全体が３つの Dimension（Dimension１：Science and Engineering Practice(科学と工学の実習・実験)、Dimension２：Crosscutting Concepts（分野横断的概念)、Dimension３：Disciplinary Core Ideas(学的領域で核となる考え方)で構成されていること。

・Dimension３：Disciplinary Core Ideas(学的領域で核となる考え方)は、４つの CI(Core Ideas)； LS1：分子から有機体へ：構造とプロセス、LS2：生態系：生物間相互作用、エネルギー、動態、LS3：遺伝：形質の遺伝と変異、LS4：生物進化：共通性と多様性、で構成されていること。

・４つの CI(Core Ideas)には A～D の構成要素が構成されていること。

・Learning Progressions の考え方を取り入れた科学教育を行っていること。

5-2）フレームワークと NGSS の LPs に基づいた内容構成の相違点

フレームワークと NGSS の LPs に基づいた内容構成の相違点を下記に述べる。

・フレームワークでは、Life Sciences の４つの CI(LS1～LS４)のそれぞれの学習の初めに、また４つの CI(Core Ideas)の構成要素 A～D のそれぞれの項目の学習の初めに疑問(How do・・？）が提示されている。

・フレームワークでは、Life Sciences の４つの CI(Core Ideas)と４つの CI(Core Ideas)の構成要素 A～D の各項目の学習内容が提示されている。

・フレームワークでは、Life Sciences の４つの CI(Core Ideas)の A～D の構成要素のそれぞれ到達点を示す Grade Band Endpoints が４つの学年帯(K-2, 3-5, 6-8, 9-12)で提示されている。

・フレームワークでは、疑問(How do・・？）に対して、低学年の子どもは始めに持っている経験に基づいた考え方（Core Ideas)で答えようとするが、学年帯が上がるにつれて次第に科学的概念に基づいて答えようとする姿勢に累進的に変化してくる。この疑問(How do・・？） から Grade Band Endpoints に提示された科学的概念の達成に至るプロセスがフレームワークの LPs を示したものである。これは、従来の大人の考え方あるいは科学者の持つ科学的概念を子どもに教え込み、それができるようになったかどうかを評価の対象とする学習からの大きな転換である。

・NGSS では、フレームワークの表４で提示した疑問(How do・・？）及び 表５に提示した Grade Band Endpoints の構成は見られない。

・NGSS では、フレームワークのように４つの学年帯(K-2, 3-5, 6-8, 9-12)に分けて Life Sciences の学習内容を構成するのではなく、表７のように初等学校段階、前期中等学校段階、後期中等学校段階のどの学年で４つの CI(Core Ideas)のどの構成要素 A～D を学習するのかその具体例が提示されている。

・NGSS では、Increasing Sophistication of Student Thinking(表６)を各 DCI にある４つの CI(Core Ideas)の A～D の構成要素ごとに提示している。これは生活経験に基づいて子どもがすでに持っている考え方から、学習に

よって科学的な考え方を身につけ、さらに洗練されて科学的概念で考えていく過程の達成する目標を学年帯で提示している。すなわち NGSS の Life Sciences Progression (Life Sciences の知的発達構成)は、Increasing Sophistication of Student Thinking のように子どもの考え方の発達という LPs の観点を重視していることがわかる。この Increasing Sophistication of Student Thinking はフレームワークには見られない。

・NGSS では、表 7 の Life Sciences の 4 つの CI(Core Ideas)に配置されている A～D の構成要素を、K 学年から第 12 学年の学年で学習する具体例に沿って Performance Expectation が構成されている。この Performance Expectation は NGSS に特徴的なものでフレームワークには見られない構成である。

・NGSS の Performance Expectation の囲み枠の最上段にある Students who demonstrate understanding can(以下のことを学習者が理解できていることを示す)という項目は、子どもの Increasing Sophistication of Student Thinking の進展状況に関することとその状況のフィードバック情報の両方に関してのアセスメントである。これは子どもの学習が達成したか否かの Evaluation ではなく、子どもの知的な洗練さの進展状況とそのフィードバック状況に対するアセスメントである。これは従来の評価観からの変換を示している。

・NGSS の PE(Performance Expectation)では、NGSS を構成する 3 つの Dimension (Dimension 1 ：Science and Engineering Practice(科学と工学の実習・実験)、Dimension 2 ：Crosscutting Concepts（分野横断的概念)、Dimension 3 ：Disciplinary Core Ideas(学的領域で核となる考え方)と 4 つの DCI の、それぞれの役割及び相関関係が学習項目ごとに提示されている。

・ NGSS の Increasing Sophistication of Student Thinking の考え方と、PE で示した 3 つの Dimension と 4 つの DCI、4 つの CI (Core Ideas)、Students who demonstrate understanding can が相互に関連し合い、子どもの知的な洗練さの進展状況とそのフィードバック状況に対するアセスメントを行うことは、フレームワークの LPs の学習内容構成をさらにわかりやすく具体的にしたものと考えられる。

・NGSS では表 9 の PE の Students who demonstrate understanding can に[評価の境界]及び[強調点]が記載されている。

5-3)まとめ

NGSS はフレームワークと 3 つの Dimension と 4 つの DCI、4 つの CI (Core Ideas)等の基本的な構成、LPs の考え方で科学教育を進めることは同じである。学習内容の構成はフレームワークでは 4 つの学年帯(K-2, 3-5, 6-8, 9-12)で、NGSS では K～12 学年の各学年で行われている。

フレームワークでは、疑問(How do・・？) に対する子どもの考え方 Core ideas から Grade Band Endpoints に提示された科学的概念の達成に至るプロセスがフレームワークの LPs を示したものである。これは、従来の大人の考え方あるいは科学者の持つ科学的概念を子どもに教え込み、それができるようになったかどうかを評価の対象とする学習からの大きな転換である。

NGSS の Performance Expectation の囲み枠の最上段にある Students who demonstrate understanding can(以下のことを学習者が理解できていることを示す)という項目は、子どもの Increasing Sophistication of Student Thinking に示される NGSS の LPs の進展状況に関することとその状況のフィードバック情報の両方に関してのアセスメントである。これは子どもの学習が達成したか否かの Evaluation ではなく、子どもの知的な洗練さの進展状況とそのフィードバック状況に対するアセスメントである。これは従来の評価観からの変換を示している。

NGSS の PE(Performance Expectation)は、各学年で行われる各項目 CI (Core Ideas)ごとに提示され、NGSS を構成する 3 つの Dimension (Dimension 1 、Dimension 2 、Dimension 3)及び 4 つの DCI のそれぞれの役割及

び相関が明確に示されている。NGSS はフレームワークにはない PE を構成したこと、及び NGSS の PE の Students who demonstrate understanding can に記載されている[評価の境界]及び[強調点]から、NGSS は LPs の考え方はフレームワークを基にしているが、フレームワークの LPs をさらにわかりやすく具体的にバージョンアップしたものであると言える。

6．今後の課題

本研究では、フレームワークの DCI の一つ Life Sciences の学習内容構成を Grade Band Endpoints から、NGSS の DCI の一つ Life Sciences の学習内容構成を Increasing Sophistication of Student Thinking 及び PE から調査し、Life Sciences におけるフレームワークと NGSS の特徴を明らかにした。この特徴がどのような考え方のもとに変遷してきたのか LPs の観点からさらに分析が必要と考えられる。特に NGSS の PE 及び Students who demonstrate understanding can はアセスメントの観点を含むことから認知・発達・学習論等の総合的な研究に基づく LPs の考え方とアセスメントの考え方の相互関連を分析すること、及び LPs の累進的なプロセスの解明が今後の課題である。加えて本研究で明らかにしたフレームワークの Grade Band Endpoints 及び NGSS の Increasing Sophistication of Student Thinking の Life Sciences の学習内容構成について、両者のそれぞれの項目を比較分析することが必要である。

附記

本論文の内容については、Life Sciences に関連する部分については北田が分析を行ったものであり、理科教育学に関連する部分については研究代表者である長洲との協議に基づいたものである。 また、本稿の一部(２．３．及び４.)は、日本教科教育学会・第 40 回全国大会及び第 43 回全国大会における発表内容（パワーポイントデータ）、北田・長洲(2014)、北田・長洲(2017)、また北田、長洲（2016)『高等学校生物教科内容研究論の新たな視点―STEM 教育の観点に基づいて－』、平成 27 年度～平成 29 年度科学研究費補助金（基盤研究（B)）を基に、その後に得られた新たな知見の上で北田、長洲の協議の基に再構成したものである。

謝辞

本研究は、科学研究費補助金・基礎研究(B)研究課題番号(15H03493 研究代表者・長洲南海男：教科と内容構成新ビジョンの解明－米国・欧州 STEM・リテラシー教育との比較より)の助成により行われた。ここに記して謝意を表する。なお、本稿作成に際し、長洲南海男研究代表者による校閲及び森下明美本科学研究費事務補助員による校正に謝意を表し表します。

注・引用文献

(1) National Research Council (NRC.2012), *A Framework for K-12 Science Education*, The National Academies Press, p. 33.
(2) National Research Council (NRC.2012), *A Framework for K-12 Science Education*, The National Academies Press, p. 141.
(3) 北田、長洲 (2016)『高等学校生物教科内容研究論の新たな視点―STEM 教育の観点に基づいて－』、平成 27 年度～平成 29 年度科学研究費補助金（基盤研究（B））第一回中間報告書、平成 28 年 3 月, pp45-56.
(4) National Research Council (NRC.2012), *A Framework for K-12 Science Education*, The National Academies Press, p. 139.
(5) National Research Council (NRC.2012), *A Framework for K-12 Science Education*, The National Academies Press, p. 3.
(6) National Research Council (NRC.2012), *A Framework for K-12 Science Education*, The National Academies Press, p. 141.
(7) National Research Council (NRC.2012), *A Framework for K-12 Science Education*, The National Academies Press, p. 3.
(8) National Research Council (NRC.2012), *A Framework for K-12 Science Education*, The National Academies Press, p. 142.
(9) National Research Council (NRC.2012), *A Framework for K-12 Science Education*, The National Academies Press, pp.32-33.
(10) National Research Council (NRC.2012), *A Framework for K-12 Science Education*, The National Academies Press, pp. 143-149.
(11) National Research Council (NRC.2012), *A Framework for K-12 Science Education*, The National Academies Press, p. 143.
(12) National Research Council (NRC.2012), *A Framework for K-12 Science Education*, The National Academies Press, pp. 143-144
(13) National Research Council (NRC.2012), *A Framework for K-12 Science Education*, The National Academies Press, pp. 33-34
(14) National Research Council (NRC.2012), *A Framework for K-12 Science Education*, The National Academies Press, pp. 143-145.
(15) NGSS Lead States (NAP.2013), *Next Generation Science Standards,* Volume1, The National Academies Press, p. 1.
(16) NGSS Lead States (NAP.2013), *Next Generation Science Standards,* Volume2, The National Academies Press, pp. 377-379.
(17) NGSS Lead States (NAP.2013), *Next Generation Science Standards,* Volume1, The National Academies Press, pp. 105-107.

米国の STEM 教育における科学教育の革新的動向
－Framework と NGSS の Physical Sciences を主としたエネルギー概念より－

出口　憲（常葉大学）

1. はじめに

科学研究費・基盤研究(C)「米国の革新的科学／技術・工学／数学教育の解明－日本の教育革新へのビジョン提言」（研究課題番号：24531219）及び基盤研究(B)「教科と内容構成新ビジョンの解明―米国・欧州 STEM・リテラシー教育との比較より」（研究課題番号：15H03493）において計 6 年間にわたり、Physical Sciences を中心として西欧の STEM 教育及び科学教育に関する調査研究を行った。その結果、①米国では STEM 教育に対応する新しい Framework と NGSS が誕生し、従来にない考え方が盛り込まれている。②米国では学校教育のみならずエネルギー省のエネルギーリテラシーなども NGSS に対応したものとなっている。③長い年月にわたる evidence based な調査研究の蓄積が反映された従来の科学教育の考え方と異なる Learning Progressions（以後、LPs とする）に基づく新しい科学教育が生まれている。④Physical Sciences における物質の粒子概念及びエネルギー概念に関する具体的な展開を検討する会合やサミット等が開催されている。⑤これらが相互に関連し、科学教育に関して革新的な動きが起きつつある。以下、①から⑤について、どのようなものかを具体例を挙げながら述べる。

(1) Physical Sciences について

まず、本論文にて Physical Sciences をあえて英語表記のままとすることについて述べる。

Physical Sciences を直訳すると「物理科学」となるが、日本における物理学と同じものと捉えると誤解を招く恐れがある。A Framework for K-12 Science Education (NRC (2012)、以後 Framework とする)によると、Physical Sciences の説明として、… In this way, the physical sciences—physics and chemistry—underlie all natural and human created phenomena,…という記述があるので、物理学と化学のことと考えてしまうかもしれないが、詳細に見ていくと日本における物理学と化学の捉え方とは少し異なることがわかる。たとえば、イオンや化学反応式など日本の化学で学習する内容に対する記述がほとんど見られないのに対し、原子核反応などの扱いは日本よりも踏み込んでおり、恒星の核融合、超新星爆発と鉄より重い原子の誕生との関連、エネルギーの内容として光合成も記述されていることなどがあげられる。これらから、Physical Sciences は日本の物理学や化学より広い領域を対象とすることがわかる。

そこで、Physical Sciences とは、Life Sciences, Earth and Space Sciences などで扱われる対象を除く「基礎科学」全般を扱う領域という捉え方が適切であり、その主な内容は「物質の粒子概念」と「エネルギー概念」に集約されると判断できる。そこで、日本の物理学や化学と区別するため、本論文では以後 Physical Sciences と表記することとし、西欧の「物質の粒子概念」と「エネルギー概念」を中心に論ずることとする。

2. Physical Sciences の STEM 教育における内容

(1) 米国における科学教育スタンダードについて

米国における科学教育スタンダードは National Science Educations Standards (NRC (1996)、翻訳

は長洲（2001）がある、なお以後 NSES とする）が最初のものである。米国においては、合衆国憲法により連邦政府が学校を創設することやカリキュラムの作成が禁じられているため、National Research Council (NRC) のような学術機関等が中心となり、科学者、心理学者、教師などが参加し、スタンダードとしてまとめている。このスタンダードを採択するか、しないかは州政府や学校区(School District) に委ねられており、必ずしも全米が統一されたカリキュラムに従っていないことに注意が必要である。

このような米国の科学教育改革の発端は、1957 年のソ連邦による世界初の人工衛星スプートニク打ち上げである。スプートニク打ち上げにより、米国は宇宙開発でソ連に遅れているという危機感が高まり、Physical Science Study Committee (PSSC) のような最新科学技術の成果を取り込むカリキュラムプロジェクトが始まった[1]。その後、American Association for the Advancement of Science (AAAS) の Project 2061 から Science for All Americans (AAAS (1989))が発刊されるなどしながら、科学教育スタンダードとして NSES が作成されるという経緯をたどった。米国の科学教育をめぐる歴史的な流れや政策や予算措置などの詳細については、1990 年代までの状況については長洲（2001）の巻末、最近の状況については長洲、出口（2017）などを参照されたい。

(2) Framework と NGSS

2000 年代になりイノベーションの重要性が強調され、Science, Technology, Engineering and Mathematics の頭文字を取った STEM 教育の重要性がクローズアップされるようになった。米国では、STEM 分野の人材育成と教育の底上げ、マイノリティへの対応などを目指し、国際競争を勝ち抜くための教育改革が進み始め、それに伴う新しい科学教育スタンダードが必要となってきた。また、これらの背景として子どもの認知的発達における知的内容構成に関する仮説である LPs の存在である (Alozono & Gotwals (2012))[2]。

このような状況を受けて NRC が中心となり、2012 年に Framework が公開された。Framework では、evidence based な調査研究による新しい 3 つの観点(Dimensions)が導入された。

- 科学とエンジニアリングのプラクティス (Scientific and Engineering Practices)
- 領域横断概念 (Crosscutting Concepts)
- 学問領域で核となる考え方 (Disciplinary Core Ideas)

さらに、上記の「プラクティス」と「領域横断概念」を示す。

科学とエンジニアリングのプラクティス	領域横断概念
1. Asking questions (for science) and defining problems (for engineering) ((科学の観点から)質問をすることと(エンジニアリングの観点から)問題を定義すること)	1. Patterns (パターン)
2. Developing and using models(モデルを開発し、用いること)	2. Cause and effect: Mechanism and explanation (原因と結果:メカニズムと説明)
3. Planning and carrying out investigations (実験調査を計画し、実行すること)	3. Scale, proportion, and quantity (スケール、比、量)

[1] これらに影響を受けた日本でも「教育の現代化」が行われることとなる。

[2] 日本では主に心理学の観点から、山口、出口（2011）、白水始、益川弘如、三宅なほみ、村山功、田代直幸、山口悦司（2014）に LPs の紹介がある。

4. Analyzing and interpreting data（データを分析し、解釈すること）	4. Systems and system models（システムとシステムモデル）
5. Using mathematics and computational thinking（数学的及びコンピューテーショナル・シンキングを用いること）	5. Energy and matter: Flows, cycles, and conservation（エネルギーと物質:流れ、循環、保存）
6. Constructing explanations (for science) and designing solutions (for engineering)（(科学の観点から)説明を構成することと(エンジニアリングの観点から)解決をデザインすること）	6. Structure and function（構造と機能）
7. Engaging in argument from evidence（(科学的)事実からアーギュメント(論議)を実行すること）	7. Stability and change（安定性と変化）
8. Obtaining, evaluating, and communicating information（情報を入手し、評価し、コミュニケーションすること）	

「学問領域で核となる考え方」は、Physical Sciences, Life Sciences, Earth and Space Sciences, Engineering, Technology, and Applied Sciences の 4 つの学問領域において「核となる考え方」を示したものである。Physical Sciences の「核となる考え方」は次の通りである。

Physical Sciences の核となる考え方
PS1: Matter and Its Interactions（物質とその相互作用） A: Structure and Properties of Matter（物質の構造と性質） B: Chemical Reactions（化学反応） C: Nuclear Processes（原子核反応）
PS2: Motion and Stability: Forces and Interactions（運動と安定性:力と相互作用） A: Forces and Motion（力と運動） B: Types of Interactions（相互作用の種類） C: Stability and Instability in Physical Systems（物理システムの安定性と不安定性）
PS3: Energy（エネルギー） A: Definitions of Energy（エネルギーの定義） B: Conservation of Energy and Energy Transfer（エネルギーの保存とエネルギーの伝達） C: Relationship Between Energy and Forces（力とエネルギーの関係） D: Energy in Chemical Processes and Everyday Life（化学的な過程と日常生活でのエネルギー）
PS4: Waves and Their Applications in Technologies for Information Transfer（情報伝達技術における波動とその応用） A: Wave Properties（波動の性質） B: Electromagnetic Radiation（電磁放射） C: Information Technologies and Instrumentation（情報技術と機器の使用）

Framework の「核となる考え方」では、K から 12 学年を K-2、3-5、6-8、9-12 の 4 つの学年帯に分け、それぞれの学年帯で扱う内容と到達点(Grade Band Endpoints)を示してある。

Framework を基に、NSES に代わるスタンダードとして 2013 年に Next Generation Science Standards（NGSS Lead States (2013)、以後 NGSS とする)が公開された。NGSS では「核となる考え方」を K から 5 学年については 1 学年ごと、前期中等学校(5-8 学年、Middle School)段階、後期中等学校(9-12 学年、High School)段階で扱う内容を具体化してあり、それぞれに「理解している学習者が示す行動」を記述してある。さらに、「核となる考え方」が「プラクティス」「領域横断概念」とどのように対応しているかを明示し、他の「核となる考え方」との接続に加えて、Mathematics と English Language Arts/Literacy のスタンダードである Common Core States Standards との接続も示されている。この NGSS の Physical Sciences の詳細は、出口、長洲（2017）を参照されたい。なお、NGSS は 2017 年 11 月の時点で 19 州が採択している。

3. 物質の粒子概念に関する西欧の科学教育について

物質の粒子概念は Physical Sciences の重要な部分であり、西欧での動向と米国における「物質の粒子概念」の LPs について以下に述べる。

(1) 物質の粒子概念に関するシンポジウム

物質の粒子概念について、Particulate and Structural Concepts of Matter（物質の粒子的・構造的な概念に関するシンポジウム）が 2010 年 11 月にギリシャのアテネ大学で開催された。ギリシャをはじめとして、米国、英国、トルコ、イスラエル、オーストラリア、マレーシア、台湾から科学者、科学教育研究者が集まっている。シンポジウム後に公開された米国の Framework の成果も取り入れ、“Concepts of Matter in Science Education” (Tsaparlis & Sevian (2013))が刊行されている。

(2) Merrit & Krajcik による物質の粒子概念に関する Learning Progressions

Tsaparlis & Sevian (2013)から“Learning Progression Development to Support Students in Building a Particle Model of Matter” (Merrit & Krajcik (2013))を取り上げる。著者の一人である Krajcik は Framework と NGSS の Physical Sciences の中心メンバーであり、現在はミシガン州立大学の Institute for Collaborative Research in Education, Assessment and Teaching Environments for Science, Technology, Engineering and Mathematics のディレクターである。まさに、Physical Sciences の分野の中心人物である[3]。

Merrit & Krajcik (2013)では、物質の粒子概念の LPs がいかなるものかを実際の授業を基に分析したものである。前提として、子どもは学習前から「日常生活に基づく考え(preconceptions, misconceptions)」を持っているが、このような考えを「誤概念」として捉えず、これから学習するためのリソースとして活用することとし、適切な教授により、子どもの持っていた考えを徐々に変容させながら、科学者が持つような洗練された科学概念に近づけていく考えに基づくものである[4]。その上で、先行研究を基に物質の粒子概念に至る LPs として以下の 4 段階があるとしている。

1. **記述モデル (Descriptive model)**：物質の見た目をそのまま考える。水と氷は違う物質と考えており、水蒸気は認識できない。
2. **混合モデル (Mixed model)**：物質の粒子モデルを考えられるが記述モデルの説明も残っており、物質の違いはマクロなレベルの説明に留まる。液体の状態の水の中に水粒子があるが、その粒子

[3] Krajcik に関する著述として大貫(2017)がある。

[4]心理学からの研究として、 Inagaki & Hatano (2002)がある。

間には液体の水があると考えている。水蒸気、水、氷は同じ物質と考えられる。

3. **基礎的な粒子モデル（Basic particle model）**：物質の粒子モデルで気体・液体・固体の違いを説明できる。真空も理解しているが、物質の状態の違いを粒子の運動の違いとは認識できていない。
4. **完全な粒子モデル（Complete particle model）**：粒子モデルで物質の状態とその変化を説明できる。温度により粒子の運動が変化し、物質の状態が変化すると考えられる。

授業として例示されているのは、middle school 段階の子どもに対する物質の粒子概念の授業として、Can you smell what I smell?という「匂いがどのようにやって来るか」を説明する「科学的なモデル」を考えることから出発し、途中で物質の三態変化を取り込み、実験や観察を通して、子どもの考えを徐々に変容させ、15 回の授業で完全な粒子モデルへ到達するという内容である。この授業に関する内容については KEK(2014)にある資料内でも後述の Quinn が紹介している。

この授業を米国の異なる地域の 3 つの middle school で実践し、Rasch モデルにより分析した結果、授業前の平均は混合モデルであったが、授業後の平均は完全な粒子モデルの段階に上昇しており、LPs に基づく授業の効果が検証されている。

4. エネルギー概念に関する西欧の科学教育について

エネルギー概念は物質の粒子概念と並び Physical Sciences の重要な概念である。エネルギー概念に関連する西欧の科学教育の動向について述べる。

(1) 米国エネルギー省のエネルギーリテラシーフレームワーク

米国エネルギー省(Department of Energy, 以後 DOE とする)は、Energy Literacy Framework (DOE(2017)、以後、ELF とする)を公開している。2012 年に最初のものが作成され、以後、改訂を繰り返し、英語に加えてスペイン語[5]のものが追加されながら、2017 年 3 月に最新の Version 5.0 が公開されている。

ELF の大きな特徴として、エネルギーリテラシーを 7 つの Essential Principles にまとめ、その背景に 6 つの Fundamental Concepts を設定したことにある。Essential Principles は、Physical Sciences, Earth and Space Sciences, Life Sciences の観点から科学的にまとめた部分、人間の諸活動との関連、経済・政治・環境・社会的な要因、エネルギー使用の制約、エネルギーの選択と生活との関連から構成されている。エネルギーに関する学習や問題は自然科学のみならず、現実社会の問題であることを指摘しており、我々の生活に重要であることを述べている。また、ELF は学校教育のみならず、学校外の教育にも活用されることも述べられている。これらの詳細については、出口、長洲（2017）を参照されたい。ここでは、Essential Principles と Fundamental Concepts の概要のみ示す。

ELF の Essential Principles
1. Energy is a physical quantity that follows precise natural laws.（エネルギーは曖昧さのない自然法則に従う物理量である。）
2. Physical processes on Earth are the result of energy flow through the Earth system.（地球上の物理的なプロセスは地球システムを通るエネルギーの流れの結果である。）
3. Biological processes depend on energy flow through the Earth system.（生物学的なプロセスは地球システムを通るエネルギーの流れに依存する。）
4. Various sources of energy can be used to power human activities, and often this energy must be

[5] スペイン語があることは最近の米国の状況を物語るものとして注目される。

transferred from source to destination.（様々なエネルギー源は人間の諸活動を起こすのに使われ得るし、しばしば、このエネルギーは源より目的地へ移動されるものである。）
5. Energy decisions are influenced by economic, political, environmental, and social factors.（エネルギーに関する意思決定は経済、政治、環境、社会的要因により影響される。）
6. The amount of energy used by human society depends on many factors.（人間社会で使用されるエネルギーの総量は多くの要因に依存する。）
7. The quality of life of individuals and societies is affected by energy choices.（個人と社会の生活の質はエネルギーの選択に影響される。）

ELF の Fundamental Concepts
1. People are born investigators and learners.（人は生まれながらの研究者で学習者である。）
2. Effective learning focuses on a core set of ideas and practices.（効果的な学習は核となる概念とプラクティスの組に焦点化される。）
3. Understanding develops over time.（理解は時間とともに発展する。）
4. Literacy requires both knowledge and practice.（リテラシーは知識と実際・実践（practice）の両方を必要とする。）
5. Connection to interests and experiences enhances learning.（興味と経験のつながりが学習を高める。）
6. Educational opportunities must be equitable and accessible to all.（教育の機会はすべての人に公平かつアクセス可能でなければならない。）

ELF の改訂では NGSS との関連を図ることができるように、Next Generation Science Standards ELF Alignment Tool も公開されている。また、Fundamental Concepts は、Framework や NGSS の考え方とも整合するものである。また、米国では ELF のみならず、Ocean Literacy Framework（2017）や NOAA(2017)の Climate Literacy Framework などが同様の考えに基づいて公開されている。

(2) エネルギー教育国際サミット

前述のように、ELF が Framework や NGSS とも調整がなされていることから作成メンバーの間で活発な情報交換がなされていることが推測される。このような推測の証拠の一つとして、NSF の助成により開催されたエネルギー教育国際サミットをあげられる。

エネルギー教育国際サミットは、2012、2013 年に米国のミシガン州立大学において、第 1 回目が研究、第 2 回目が実践に焦点化され、2 回にわたり開催された。科学者、科学教育の研究者、教師といった参加者は、米国のみならず、イスラエル、ドイツ、キプロス、中国、イギリスなど各国から集まっている。これらをまとめた書籍として、“Teaching and Learning Energy in K-12 Education ”,（Chen et al. (2014)）, “Teaching Energy Across the Sciences K-12”,（Nordine (2015)）がある。前者が第 1 回目、後者が第 2 回目のサミットをまとめたものである。以下、これらの書籍の内容から紹介する。

(2.1) 物理学者の捉えるエネルギー－Quinn の考え方

Helen Quinn はオーストラリア出身で米国の女性物理学者で、Framework の議長を務めた人物である。専門は素粒子理論であり、スタンフォード大学の線形加速器センターの所長であった。

Quinn の主な業績について簡単に触れておく。原子核を構成する素粒子であるクォークに働く強い相互作用は CP 対称性[6]を破ると理論的に予想されていたが、実験によると CP 対称性を破らないことがわかった。このような理論と実験の矛盾「強い相互作用の CP 問題」を解決するため、1977 年に Peccei と Quinn により提唱されたのが、アクシオン場という新しい場を導入することで CP 対称性を保つという考え方[7]である。このようにして導入されたアクシオン場の考え方が正しいとすれば、アクシオンという未知の粒子があるはずで現在も探索されている。また、アクシオンはダークマターの有力候補の一つとしても注目されている。

このように理論物理学者として華々しい活躍をした Quinn が、一方で教育にも関心を持って関わり、Framework の議長を務めるということは日本ではなかなかないことだろう。日本の純粋な科学者は教育に対して無関心、あるいは自分の経験に基づく無理な要求をすることが多いのではないだろうか。Framework の作成には科学者、科学教育研究者、心理学者、教師といった多様な人物がいるため、evidence に基づかなければ相手を説得できないはずであり、そのような議論の場で理論物理学者が議長を務めたことに驚かされる。

Lin(2016)によると、Quinn は有名な理論物理学者になる前に、当時の一般的なコースである教師の道を想定したこともあった。その後、物理学者として National Academy of Sciences の会員に選ばれて科学教育委員会に関わるようになったこと、さらに、“Taking Science to School” (NRC(2007), この文献の詳細については本科学研究費最終報告書の長洲論文参照)の作成メンバーとなり、Framework 作成時は科学教育委員会の議長であったことがわかる。このような背景から、Quinn が科学教育に関してかなりの知見を得られる状況にあったと予想できる。また、Quinn は Framework や NGSS に関する講演（KEK (2014)）を日本で行っており、その内容も興味深いもので、前述の Merrit & Krajcik (2013)の紹介もなされている。なお、Quinn における科学教育学、特に LPs に関する捉え方は、本科学研究費最終報告書の長洲論文を参照されたい。

Quinn (2014)では、素粒子物理学者の考えるエネルギー概念について様々な視点を提示している。エネルギーは粒子の持つエネルギーとその相互作用（場が持つ)エネルギーがあること、エネルギー保存と時間との密接な関係（Noether の定理[8]）、質量とエネルギーは等価（$E=mc^2$）など、物理学の観点からエネルギーを説明した上で、以下のような K-12 科学教育の鍵となるエネルギー概念をまとめている。

1. 物質と同じようにエネルギーの変化だけを扱う（本当に関われないなら気にかけない）。
2. あるエネルギーの変化は他のエネルギーの変化とバランスする（エネルギーは作れないし壊せない、周囲で移動するだけ）。
3. エネルギーの利用可能性は何が起きるかを支配する（エネルギーなしには何もできない）。
4. エネルギーは可能な限り周囲に広がろうとする。

これらは以下のような背景によると説明されている。

---

[6] CP 対称性とは電荷と空間反転に関する対称性であり、物質と反物質の対称性である。弱い相互作用で CP 対称性が破れることが実験でわかっている。CP 対称性が破れるにはクォークが最低 6 種類必要であるというのが小林・益川理論である。

[7] Peccei-Quinn 対称性あるいは Peccei-Quinn 機構と呼ばれる。

[8] 系が対称性を持つとそれに対応する保存量があるという定理。1915 年にドイツの数学者 Noether により証明された。Noether の定理により、時間の対称性を持つときの保存量がエネルギーであることが数学的に証明できる。

- エネルギーに関する現象の統一やエネルギーの定義は、原子あるいは原子より小さなレベルでなされるため、生徒が「物質の粒子モデル」を確実なものとするまで、エネルギーに関する多くの概念を正確に理解できない。
- 高校や大学レベルでさえ領域横断的にエネルギーを扱う共通したものはない。
- 日常的な言葉は専門用語と同じでないばかりか使うと間違いを起こす。
- 初等学年のエネルギーに関する考えは定量的なものよりも一般的なものでなければならない。

このように、エネルギー概念を把握するためには物質の粒子概念が必要であり、物理学の観点からは物質もエネルギーと等価であることになる。

(2.2) エネルギーの 4 つの重要な概念と子どもの観方－Duit の考え方

Reinders Duit はドイツの物理教育研究者で、Conceptual Change の研究、科学教育における構成主義学習論で著名である。

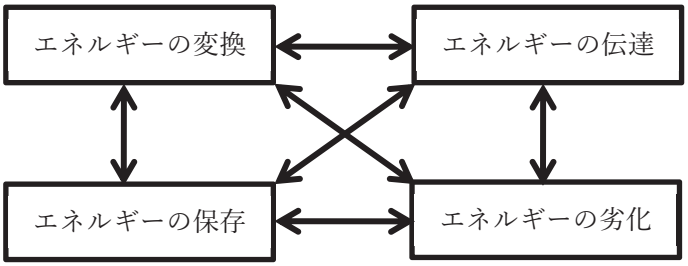


図 1：エネルギーの重要な 4 概念とそれらの関係

Duit (2016)では、エネルギー概念の基本的な考えを図 1 であるとしている。これらは相互に関連し、どれが欠けてもエネルギー概念の理解ができない。エネルギーの変換は我々が「エネルギーを使う」と表現しているような、あるエネルギーが別のエネルギーに変化することを意味している。エネルギーの伝達は、あるシステムのエネルギーが別のシステムに移動する、伝わることを表している。エネルギーの劣化はエネルギーを変換したり、伝達したりすると必ずエネルギーの質が低下することを意味する。エネルギーの保存は変換、伝達、劣化が起きたとしてもエネルギーの総量は変化しないことを意味する。

さらに、図 2 に示す「教授の内容構造へのステップ」に従い、科学の内容構造を教育実践しながら、子どもの観方(Elementarization)に合わせて変容させ、教授のための内容構造を構築しなければならないことを述べている。

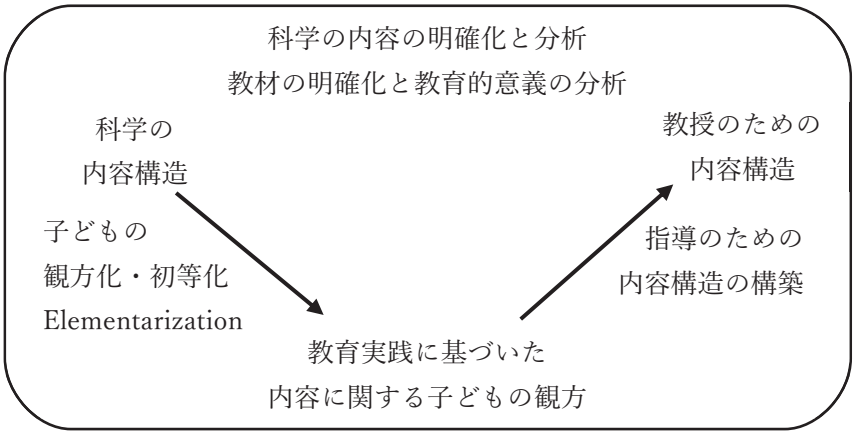


図 2：教授の内容構造へのステップ。なお、日本語訳に関しては長洲との協議によるものである。（2016 年 8 月 4 日）

図 2 からわかることは、米国の LPs と異なる観点があるということである。米国の LPs が子どもの学習過程を時間的に追いかけるものであるのに対し、Duit の示したものは教育者が子どもの観方に

立つことを基礎としているように思われるが、米国とドイツの違いについては明らかにできていないため今後の研究課題としたい。

また、米国とドイツの調査によるエネルギー概念の理解しやすさとして、①エネルギーの変換、②エネルギーの伝達、③エネルギーの劣化、④エネルギーの保存という順番であり、エネルギー保存が子どもにとって一番理解しにくいものという結果が紹介されている。米国とドイツで同じ結果なので、子どもの認識に何らかの共通性があるということになり、これがエネルギーの LPs であると考えられる。ただし、他の LPs がある可能性、すなわち子どもにより理解の順番が違うこと、異なる地域では結果が変わる可能性についても言及されており、更なる研究が必要であることも述べられている。

これらに加えてエネルギー概念をどのように捉えるかという問題提起もなされている。「エネルギーは抽象的な量である」、「エネルギーは仕事をする能力である」、「エネルギーは変化の原因である」、「エネルギーは熱を生み出せる」、「エネルギーは燃料の一般的なものである」、「エネルギーは物質のような量である」などの概念や説明はいずれも何らかの問題を抱えていることも述べられている。

5. Framework と NGSS における Physical Sciences の科学観

日本の「物理学」「化学」とは異なる視点である「核となる考え」の「PS4：情報伝達技術における波動とその応用」に着目し、Framework と NGSS における Physical Sciences の科学観を考えたい。「情報伝達技術」とあるように、まさに現代的な課題を取り上げているのであるが、必ずしも新しい内容ではない。波の性質、波として音や光、振動、共振など日本でも物理で学ぶ内容が取り上げられている。しかし、その取り上げ方が日本よりも様々な日常生活との関連に基づいて例示されている。

たとえば、人間が得る情報（眼で見る、耳で聞く、振動を感じるなど）は、振動あるいは波を用いていることが述べられている。さらに、波の重ね合わせの性質を利用して、情報を波に乗せる（符号化）ことや、波から情報を復元する（復号化）ことなどが説明される。具体例として、電磁波を用いて様々な通信が可能であり、符号化と復号化をするために携帯電話やラジオのような機器が利用されること、医療で用いられるレントゲンも電磁波である X 線の性質を用いたものであることなどが説明される。このように Physical Sciences の「核となる考え」で扱うのは「情報通信技術を使う方法」ではなく、その仕組みの理解に主眼が置かれており、K-12 学年を通した Physical Sciences の学習により、情報通信技術は科学の基本法則を用いているものということが理解できるように構成されている。

日常生活で用いられる情報通信機器はほとんどがブラックボックス化しており、その仕組みを理解できる人は多くない。しかし、それらの仕組みを理解できる人が少ないことは、その分野の国際競争力を維持できないことを意味する。STEM 教育の目的から考えると PS4 のような内容を盛り込むことは当然とも考えられるが、あくまでも Physical Sciences で情報通信技術を扱う視点は、その他の科学領域や工学・技術で用いられる基礎的な科学概念（物質の粒子概念とエネルギー概念）を理解することである。

附記

本論文の内容は、物理学に関連する部分は出口が分析を行ったものであるが、理科教育学に関連する部分は研究代表者である長洲との協議に基づくものである。

また、本稿の一部（２．3. 及び 4. ）は、平成 24 年度～平成 26 年度科学研究費補助金・基盤研究(C)（研究課題番号：24531219、研究代表者・長洲南海男）「米国の革新的科学／技術・工学／数

学教育の解明－日本の教育革新へのビジョン提言」の中間報告書・同第 2 次中間報告書・同最終報告書に収録した内容、日本エネルギー環境教育学会・第 10 回全国大会及び第 11 回全国大会における発表内容（パワーポイントデータ）及び、長洲、出口(2017)、出口・長洲(2017)、日本教科教育学会・第 43 回全国大会における発表内容（パワーポイントデータ）を基に、その後に得られた新たな知見等を加えた上で再構成したものである。

謝辞

本研究は、科学研究費補助金・基盤研究(B)（課題番号：15H03493、研究代表者・長洲南海男）の助成により行われた。ここに記して謝意を表する。なお、本稿作成に際しまして、長洲南海男研究代表者よる校閲及び森下明美本科学研究費事務補佐員による校正に謝意を表します。

参考文献

※インターネット上のものは 2018 年 1 月 17 日現在のものである。

AAAS. (1989). Science for All Americans. https://www.aaas.org/report/science-all-americans

Alozono, A.C., and Gotwals, A.W. (Eds). (2012). Learning Progression in Science. Sense Publishers.

Chen, R.F., Eisenkraft, A., Fortus, D., Krajcik, J., Neumann, K., Nordine, J.C., Scheff, A. (Eds.). (2014). Teaching and Learning Energy in K-12 Education. Springer.

出口憲、長洲南海男（2017）、米国の STEM 教育、エネルギー省のエネルギー教育・その 2、エネルギー環境教育研究 Vol . 11. No. 1. pp. 11-18 .

DOE. (2017). Energy Literacy Framework. https://energy.gov/eere/education/energy-literacy-essential-principles-and-fundamental-concepts-energy-education

Duit, R,. (2014). Teaching and Learning the Physics Energy Concept, in Teaching and Learning of Energy in K-12 Education (2014).

KEK(2014)、女性の理系進学 -家庭・学校・社会のあり方-、http://www2.kek.jp/geo/todai_semi/

Inagaki, K., and Hatano, G. (2002). Young Children's Naïve Thinking About the Biological World. New York: Psychology Press.

Lin, T., (2016). A Wormhole Between Physics and Education. Quanta Magazine. https://www.quantamagazine.org/helen-quinn-on-physics-and-education-20161018/

Merrit, J., and Krajcik, J., (2013). Learning Progression Development to Support Students in Building a Particle Model of Matter, in Concepts of Matter in Science Education (2013).

長洲南海男（2001)、全米科学教育スタンダード、梓出版社

長洲南海男、出口憲（2017）、米国の STEM 教育、エネルギー省のエネルギー教育・その 1、エネルギー環境教育研究 Vol . 11. No. 1. pp. 3-10 .

NGSS Lead States. (2013). Next Generation Science Standards For State, By States. Vol.1, Vol.2. https://www.nextgenscience.org

NOAA. (2017). Climate Literacy. https://www.climate.gov/teaching/essential-principles-climate-literacy/essential-principles-climate-literacy

Nordine J., (2015). Teaching Energy Across the Sciences K-12. NSTA Press.

NRC. (1996). National Science Education Standards. NAP.

NRC. (2007). Taking science to school:Learning and Teaching Science in Grades K-8. Washington D.C.:The National Academies Press.

NRC. (2012). A Framework for K-12 Science Education; Practices, Crosscutting Concepts and Core Ideas. NAP.
Ocean Literary Framework.（2015). Ocean Literacy Network. http://oceanliteracy.wp2.coexploration.org/
大貫守（2017）、J.S.クレイチェックのカリキュラム設計モデルに関する検討－その成立過程に着目して－、 https://repository.kulib.kyoto-u.ac.jp/dspace/bitstream/2433/219243/1/eda63_243.pdf
Quinn, H., (2014). A Physicist's Musing on Teaching; About Energy, in Teaching and Learning of Energy in K-12 Education (2014)
白水始、益川弘如、三宅なほみ、村山功、田代直幸、山口悦司（2014）、概念変化と発達段階、日本認知科学会第 31 回大会、http://www.jcss.gr.jp/meetings/JCSS2014/proceedings/pdf/JCSS2014_WS4.pdf
Tsaparlis, G., and Sevian H. (Eds.). (2013). Concepts of Matter in Science Education. Springer.
山口悦司、出口明子（2011）、ラーニング・プログレッションズ―理科教育における新しい概念変化研究―、心理学評論、54(3)、358-371

アメリカ・カルフォルニア州における科学教育改革の展開
－州科学スダンダードの開発・導入に着目して－

内ノ倉真吾（鹿児島大学）

1. はじめに

アメリカは、国際社会でイニシアチブを取る基盤条件として、イノベーション創出重視の科学技術政策を進めるために教育・人材育成分野において、科学、技術、工学、数学（Science, Technology, Engineering, Mathematics; STEM）に関する教育（以下、STEM 教育）が展開されている。初等教育段階および中等教育段階において STEM 教育を推進するに当たり、州主導による新しい科学および数学のスタンダードの開発は重要な取り組みの一つとして考えられてきた（Carnegie Corporation of New York et al., 2009）。カーネギー財団からの資金提供を受けて、全米研究評議会（National Research Council; NRC）は、これまでのアメリカ国内外の科学教育実践や研究、関連学問分野（例えば、学習科学など）の知見を参照しながら、今後期待される K-12 教育段階での科学教育の基本的な枠組みを提示する「K-12 科学教育フレームワーク（*A Framework for K-12 Science Education*）」（以下、*Framework*）を開発した（Pratt, 2013）。そして、この *Framework* で提示された内容に基づいて、先導的な州知事や企業によって設立されたアチーブ(Achieve Inc.)を中心にして、NRC、アメリカ科学振興協会（American Association for the Advancement of Science; AAAS）、全米科学教育連合学会（National Science Teachers Association; NSTA）、スタンダード開発に協力する 26 州の教育関係者の連携の下に、「全米科学教育スタンダード（*National Science Education Standards; NSES*）」（NRC, 1996）以降の全米レベルでの新しい科学教育スタンダードである「次世代科学スタンダード（*Next Generation Science Standards*; *NGSS*）が公開されたのであった。なお、*NGSS* の基本的な内容構成については、別稿にて報告している（内ノ倉、2015）。さらに、STEM 教育の観点からの *Framework* 及び NGSS に関しては、長洲の科学研究費最終報告書（長洲南海男、2015）、2016 年の科学研究費第 1 回中間報告書長洲南海男、2016）及び本科学研究費最終報告書の研究代表者の長洲を含めた各分担者の論文を参照されたい。

学校段階での科学授業に *NGSS* の実際が反映されて行く過程では、全米レベルの科学スタンダードから、州レベルの科学スタンダードへの具体化・移行が必要となる。2017 年 11 月現在で、州として *NGSS* の採択・準拠を決定したのは、19 州・地区となっている（NSTA, 2018）。採択を決定した州であっても、これから *NGSS* を州の科学カリキュラムへと取り入れていく作業が行われることになる。これまで *NGSS* の作成に関わった州の一つであるマサチューセッツ州に着目して、科学スタンダードの開発過程が報告されているが（荒谷・高橋, 2017）、当州は、*NGSS* を部分的に採用しているものの（Massachusetts Board of Elementary and Secondary Education , 2018）、全面的に採択した州としては認識されていない（NSTA, 2018）。一方、2013 年 9 月に採択を決定したカルフォルニア州は、いち早く *NGSS* に対応した州の科学カリキュラムの改訂に着手してきており、2016 年には、1998 年以降となる新しい科学スタンダードを公表している（NGSS Lead States , 2018）。そこで本稿では、アメリカの STEM 教育改革およびその具体化過程を把握する一環として、先導的な取り組みを行っているカルフォルニア州に着目し、州レベルへの科学スタンダードを中心とした教育改革の実際を探ることにしたい。

2. カルフォルニア州における科学教育の基本的な枠組み

（1）初等・中等学校における科学の履修科目

カルフォルニア州では、1996 年に出された全米科学教育スタンダード（*NSES*）に対応して、1998 年に同州の科学スタンダードが開発され、それが 2003 年に修正が加えられたものの、基本的に同じスタンダードが *NGSS* に対応した州レベルのスタンダードへと変更されるまで適用されてきた。同州の科学教育の基本的な枠組みを定めた 2003 年のカリキュラムフレームワークに基づくと、初等学校（K－5 学年）では地球科学、生命科学、Physical Sciences（通常の邦訳としては、「物理科学」であるが、本稿ではこの用語を用いることとする。これについての説明は、本報告所に所収の出口憲論文参照のこと）のすべての分野を扱った統合的な内容構成、ミドルスクール（6－8 学年）では各学年で特定の分野を集中的に扱った分科的な内容構成、ハイスクール（9－12 学年）では、各分野が独立した個別の教科科目という形態のカリキュラム構成となっていた。2003 年および 2016 年のカリキュラムフレームワークに基づく、カルフォルニア州での科学の内容構成および卒業資格要件の概要は、表 1 のとおりである（California Department of Education, 2003; California Department of Education, 2016）。

表 1．カルフォルニア州の科学の内容構成と卒業資格要件（筆者作成）

<table>
<tr><th>校　種</th><th>2003 年フレームワーク</th><th colspan="2">2016 年フレームワーク</th></tr>
<tr><td>初等学校</td><td>統合的な内容構成
・地球／生命／物理科学</td><td colspan="2">統合的な内容構成
・地球／生命／Physical Sciences</td></tr>
<tr><td>ミドルスクール</td><td>分化的な内容構成
・地球科学（6 学年）
・生命科学（7 学年）
・Physical Sciences（8 学年）</td><td>統合的な内容構成
・地球／生命／物理科学</td><td>分化的な内容構成
・地球科学（6 学年）
・生命科学（7 学年）
・Physical Sciences（8 学年）</td></tr>
<tr><td>ハイスクール</td><td>分化的／統合的な内容構成
2 科目選択（卒業資格要件）
・地球科学
・生物学／生命科学
・化学
・物理学
その他、統合科学もある</td><td colspan="2">分化的／統合的な内容構成
2 科目選択（卒業資格要件）
・地球科学
・生物学／生命科学
・化学
・物理学
その他、統合科学もある</td></tr>
</table>

2003 年のカリキュラムフレームワークでは、 ミドルスクールでは 6 学年が地球科学、7 学年が生命科学、8 学年が Physical Sciences を集中して学習するようになっている。また、科学の内容スタンダードでは、初等学校・ミドルスクールについては、地球科学・生命科学・Physical Sciences の 3 領域として、各学年で学習する科学的な知識が、ハイスクールについては、地球科学・生物学／生命科学・化学・物理学の 4 領域として当該科目で学習する科学的な知識が示されている（California State Board of Education, 2003）。2003 年のこの資料によると、これに加えていずれの学校段階でも、観察・実験や推論の各種スキルを含め、科学的な探究活動を学習する「探索活動（investigations）と実験」という領域が設定されている。ただし、これは、内容スタンダードとして独立しているだけであり、通常は、地球科学・生命科学・Physical Sciences の内容領域と一緒に教えられるものである。一方、2016 年に採用されたカリキュラムフレームワークでは、ミドルスクール段階で、これまでの個別の科学領域とし

て分けられたカリキュラムに加えて、個々の内容領域を統合的に扱うカリキュラムも提示しており、州の科学専門家委員会では、全米レベルの *NGSS* の基本的な理念に照らして統合科学カリキュラムでの実践を推奨している（California Department of Education, 2015）。2016 年のカリキュラムフレームワークに対応する初等学校・ミドルスクール（K-8 学年）の科学テキストブックなどの指導用教材（instructional materials）は、州教育委員会によって任命された 100 名ほどの評価委員（ほとんどが現職の科学教師）によって、事前に設定された基準に従って 2017 年から 2018 年にかけて審査・採択され、2019 年度から学校で使用される予定となっている（California Department of Education, 2017）。

高校の卒業資格要件については、カルフォルニア州の規定（*Education* Code Section 51225.3）によって定められており、少なくとも科学２科目を修得することが求められている。１つコースの履修で求められる期間は、１年間もしくは２学期間であり、２つの科目には生物系科目と Physical Sciences 系科目が含まれていなければならない（California Department of Education, 2018）。一般的に、生物系科目は、生物学／生命科学であり、物理科学系科目は、地球科学、化学、物理学に相当する。２科目の修得は、履修期間と必修の内容領域を満たしていれば、複数の領域を組み合わせた統合科目でも問題ない。全米レベルで見た場合、ハイスクールの卒業資格要件としての科学の修得科目については、履修期間を明示している州とそうではない州があるものの、４科目（4 州・１地区）、３科目（34 州）、２科目（9 州）、科学を必修としない（3 州）というようになっている（Achieve, 2017）。そのうち必修科目としては、生物学／生命科学が挙げられる傾向が見られる。カルフォルニア州のように２科目の修得を求めている州はむしろ少数であり、４分の３の州では、科学３科目の修得を求めているのが現状である（Achieve, 2017）。

（２）どの子どもも学業成功法（*Every Student Succeeds Act; ESSA*）下でのカルフォルニア州の STEM 教育

初等中等教育法（*Elementary and Secondary Education Act; ESEA*）が 2002 年に改正された「子どもを学校に置き去りにしない法（*No Child Left Behind Act; NCLB*）」は 2015 年に改正されて、「どの子どもも学業達成法（*Every Student Succeeds Act; ESSA*）」が制定された。*ESSA* でも *NCLB* と同様に、州に学力テストの実施や学力の低い学校への改善についての義務は継続される一方で、学業アセスメント（assessment）の設定などは州の自由裁量となった（井樋、2016）。*ESSA* で州に求められる説明責任（アカウンタビリティー）の観点は、学習の到達度（Academic Achievement）、学習の進捗度（Academic Progress）（小学校・前期中等学校のみ）、卒業率（ハイスクールのみ）などの５つの指標となっている。教科の学力に関わる指標のうち、学業達成指標としては、*NCLB* では、学力テストの対象科目として英語ラングウェエージアーツ（English Language Arts; 以下 *ELA* と略称）と数学だけであったが、*ESSA* では、この２教科に加えて、科学も対象科目として課せられるようになっている（National State Legislative Conference, 2015）。*ESSA* では、*ELA* と数学については、第３学年から第８学年の間は毎学年で１回、第９学年から第 12 学年の間で１回の学力調査の実施が求められているが、科学については、第３学年から第５学年の間で１回、第６学年から第９学年の間で１回、第 10 学年から第 12 学年の間で１回の学力調査の実施が求められている。2016－17 年度のカルフォルニア州では、小学校・中学校の最終学年である第５学年と第８学年に州のアセスメント（assessment test）が実施されている。これらの学年での調査は、7～8 割程度の州で実施されている（Achieve, 2017）。カルフォルニア州では、第 10 学年から第 12 学年の間で実施可能な評価方法の開発を進めており、2018－19 年度に実施される見通しとなっている。

ESSA の規定では、各州に対して、STEM 教育の促進に連邦政府予算を活用する機会が開かれている。例えば、同法第Ⅳ編パート A の生徒の支援と学業拡充資金では、社会的・文化的・経済的に恵まれない子どもの STEM 教

育の促進などに、第IV編パート B の 21 世紀学習コミュニティー学習環境では、新しい STEM 教育プログラムの開発などに、教育予算を活用することができる。カルフォルニア州が 2017 年 12 月に連邦教育省に提出した計画書では、第 I 編パート A の地方教育機関で実施される基礎プログラムの改善で、英語とそれ以外の言語（同州での状況を反映して、特にスペイン語）での科学の学力テスト方法の開発、第 II 編パート A の効果的な教授の支援で、科学を含めた新しい州のスタンダードの着実な実施、第IV編パート B の 21 世紀学習コミュニティー学習環境で、正規の教育課程、学校外でのインフォーマルな学習と別の学習形態として学校で行われる「拡張学習（expanded learning）」（California Department of Education, 2018）としての STEM 教育プログラムの充実に取り組むことが示されている（California Department of Education, 2017）。これらのプログラムは、学外の学習リソース・ネットワーク組織（例えば、The Power of Discovery: STEM², 2018）との連携で進められる。他方、他の州では、放課後の STEM 教育プログラムやコンピュータ科学のプログラムなどの開発、統合的に STEM 教育を推進するための指導法に関する教師教育プログラムの開発などが目指されている（Achieve, 2017）。なお、上記の州計画書は、連邦教育省からの承認を受けてから事業が実施されることになるが、いくつかの州では既に承認を受けている一方で、カルフォルニア州は、2018 年 1 月 17 日時点では、 アカウンタビリティーの部分を含めて、まだ承認を受けておらず、今後修正等がなされる可能性がある（Education of Commission of the States, 2018）。

3. カルフォルニア州における 2016 科学スタンダードの基本的な理念

（1）科学スタンダード改正に伴う科学指導の強調点

2016 年の科学カリキュラムフレームワーク改正は、全米レベルの科学教育フレームワークである *Framework* と科学スタンダードである *NGSS* へ対応する形で進められてきた。スタンダード開発で強く関わってきたとされるカルフォルニア州では（NGSS Lead States , 2018）、科学教育改革の基本的な理念や方向性は、全米レベルでのそれと共有されたものである。2003 年からの変更、科学授業のレベルでの指導の変化はそれぞれ表 2 のように示される。

表 2. 州科学スタンダードで求められる科学指導（California Department of Education, 2016 より筆者作成）

より多く	よく少なく
・ 生徒たちは、科学と工学の内容についてのより深い理解を構築するために *CA NGSS* に取り組み、現象を意味付けし、解決策をデザインする。	・ 生徒たちは、教師が説明する科学の内容を勉強する。生徒たちは、定義を記憶し、手続きを機械的に暗記する。
・ 生徒たちは、自然界のシステムのモデルを開発し、現象を説明するために、問題を解決するために、それらのモデルを使用する。	・ 教師は、自然界の現象を記述するモデルを提示する。
・ 生徒たちは、科学者や工学者が自分たちの仕事を実際にやっているのと同じように、反復的・動的・創造的・協働的な過程として、科学を学ぶ。	・ 生徒たちは、科学者や工学者の実際とは関係なく、事実の集合としての科学を学び、これらの事実が単一的・直線的な「科学的な方法」を使って発見されたと学ぶ。

（次頁につづく）

表2. （つづき）

・ 実践活動は総合的判断的思考(クリティカルシンキング）を使って、探究し,問題を解決しなければならない関連のある現実世界の学習を生徒たちに提供する。	・ 生徒たちは、段階をおった指示に従って、調査活動を遂行することを学ぶ。
・ 生徒たちは、探索活動 (investigation)、実験、プロジェクト型の経験のなかで、多様な実践を利用しながら、科学と工学の理解を構築する。	・ 生徒たちは、探索活動や実験で一つの実践活動を利用する。
・ 科学の内容と科学の実践活動は、統合されている。	・ 科学の内容と実践活動は、別個に教えられる。
・ 生徒の推論とアーギュメンテーションは、実験活動やテキストを理解する際に、中心的な役割を果たす。	・ 生徒の思考は、実験活動の経験、章末の演習問題、試験の経験への「料理本」アプローチによって限定される。
・ 科学と工学のノートは、内容を理解するために科学・工学の実践活動を使った生徒の思考を反映しており、また、生徒の科学的なモデルの開発や修正を示している。	・ 科学のノートは、ノートをとる能力や教師のモデルを移す能力のみを反映する。
・ 工学は、すべての科学分野に統合される。	・ 工学は、追加のものとして扱われる。
・ 科学や工学の実践的活動への取り組みは、生徒が自らの思考や理解を修正していくことを可能にする。	・ 科学の過程は、単に学習もしくは適用するものや「為される」ものである。
・ 生徒たちは、調査活動や実験を通じて実践活動や、自分たちが生み出した技術に、積極的に関わる。	・ 生徒は、教師が指示した調査活動や実験を観察することやそれらに参加することに、消極的に関わる。
・ 領域横断的概念は、全体としての科学についてのより深く結びついた理解を構築する。	・ 科学の内容の間には、何ら結びつきが作り出されない。
・ 実践活動と科学におけるリテラシー(科学理解を強化するための目的意識を持った読むこと、書くこと、話すこと、聞くこと）との結び付きが促進される。	・ 読むことと書くことは、学習の目的とは結びつかない。
・ 生徒と生徒の話し合いは、現象を説明したり、問題を解決するための実践活動を利用して、生産的なものになる。	・ 生徒と生徒の話し合いは、唯一正しい帰結を得る活動であるため、限定されたものである。
・ 教師の発問は、生徒たちの話し合いや思考を刺激し、促進する。	・ 教師は、確認のための正しい答えを見つけるように、生徒たちに質問する。

州科学スタンダード *CA NGSS* は、①「現象に導かれた三次元的学習（Phenomena-Driven Three-Dimensional Learning）」、②「カリキュラムを通して一貫した指導」、③「生徒の経験と地域社会のニーズに関連した学習」という3つの主たる特徴をもつものであるため、上記のような変化が生じることが期待されるのである。以下では、この３つの特徴について、具体的に検討していく。

（2）カルフォルニア州の科学スタンダード *CA NGSS* の主たる特徴

1）現象に導かれた三次元的学習

CA NGSS では、児童・生徒は特定の現象を理解するために、科学的な思考、言語活動、観察・実験活動などを含む「科学的・工学的な実践（Scientific and Engineering Practices; *SEPs* と略称）」、内容領域に限定されず、科学的な思考を特徴付ける「領域横断的な概念（Crosscutting Concepts; *CCs*）と略称」、科学的な知識のうち、各内容領域の中心的な知識に相当する「学問上核となる考え方（Disciplinary Core Ideas; *DCIs*）と略称」の 3 つの観点（dimension）を使用するのである。また、現象は、科学学習を導くものとして重視されており、学習過程における機能という観点から、新たな学習を導くきっかけとなる現象（アンカー現象）と個別の観察・実験を行うのに適した現象（調査のための現象）から分類・整理して捉えられている。

2）カリキュラムを通じて一貫した指導

全米レベルの科学スタンダードである *NGSS* では、学年帯で期待される学習成果が示されていたのに対して、*CA NGSS* では、学年別で期待される学習成果が示されている。学年進行に伴う学習の進展は、*Framework* に見られるラーニングプログレッション（以下 LPs と略す：この LPs の概念、経緯も含めた詳細については本報告者の長洲論文を参照されたい）の考え方に即している。また、上記のように現象を重視し、少しずつ異なる知識を活用しながら、同じような現象を何度も探究して学習を進めていくスパイラル的なカリキュラムの構成が意識されている。また、初等学校とミドルスクールとの接続（articulation）についても配慮された内容構成となっている。

2003 年の内容スタンダードでは、中学校段階は個別の内容領域を扱っていた分化的科学であり、各学年で扱う科目が指定されていたが、*CA NGSS* では、工学的な内容を加えて、統合科学としてのカリキュラムが推奨されている。科学的な知識 *DCIs* だけではなく、領域横断的な概念 *CCs* も学年別で重視される内容が指定されている（表 3）。

表 3. 科学カリキュラムの統合的な内容構成（California Department of Education, 2016 より筆者作成）

学年	領域横断的な概念	生命科学	地球・宇宙科学	Physical sciences	工　学
5 学年	◇エネルギーと物質；流れ、サイクル、保存 ◇スケール、割合、量	◇生物・非生物による物質循環	◇宇宙の中の地球 ◇地球系との相互作用	◇物質の構造と性質	◇工学・技術・応用科学
6 学年	◇パターン、類似性、多様性 ◇システムとシステムモデル	◇細胞と生物	◇気象と気候	◇エネルギー	◇工学・技術・応用科学
7 学年	◇エネルギーと物質；流れ、サイクル、保存 ◇原因と結果；メカニズムと説明	◇生態系	◇天然資源	◇物質の構造と性質	◇工学・技術・応用科学
8 学年	◇安定性と変化 ◇スケール、割合、量	◇自然選択	◇地球の歴史 ◇宇宙系	◇波動と電磁波／放射線 ◇エネルギー ◇力と相互作用	◇工学・技術・応用科学

生命／地球・宇宙／Physical sciences／工学の領域を関連付けるために重要な役割を果たすものが、各領域に共通して見られる領域横断的な概念(*CCs*)であると考えられている。このような考え方自体は、以前の全米レベルの科学スタンダード*NSES*からもあり、その当時は統合概念(Unifying Concepts)と呼ばれていた(National Research Council , 1996）ことからも伺える。*CA NGSS* での領域横断的な概念 *CCs* は、基本的には全米レベルの *NGSS* であるが、「パターン」、「因果性」（原因と結果、構造と機能）、「システム」（システムとシステムモデル、スケール・割合・量、エネルギーと物質、安定性と変化）の 3 つに分類して捉えられている。というこまた、*CCs* は、科学的・工学的な実践 *SEPs* に取り組んでいくための「問い」を形成するものと考えられている（表 4）。これまでの理科指導における問いの設定については、問いの種類や機能に着目されてきたことを踏まえると（Chin, 2002）、領域横断的な概念 *CCs* への着目は特徴的である。

表 4. 領域横断的な概念 *CCs* に基づく問いの例（California Department of Education, 2016 より筆者作成）

パターン ・この現象やシステムでどんなパターン（サイクルの繰り返し、空間的・形態的な特徴、事象間の関係性や特徴）に気付くだろうか。
原因と結果；メカニズムと説明 ・事象間のどんな関係が、観察したものでのどんなパターンが、因果関係として記述されうるか。
スケール、割合、量 ・より正確にシステムを記述するためには、このシステムのどのような側面を測定し定量することが必要であろうか。
システムとシステムモデル ・この現象を説明する（このデザインを開発する）ために、どのようなシステムをモデル化する必要あるか。
エネルギーと物質；流れ、サイクル、保存 ・どのような物質がシステムに流入・流出、滞留しているのか。どのような物理・化学変化が生じるか。
構造と機能 ・どのような条件の差異が構造や外見に見られる差異のパターンと関連しているのか。
安定性と変化 ・どのような変化に気付くか。その変化はどれくらい迅速に生じるのか。

3）生徒の経験と地域社会のニーズに関連した学習

カルフォルニア州は、全米で最大規模の経済と子ども数を誇る州であり、ヒスパニック系の住民も多く、教育環境が厳しい家庭も多いとされている（Edsource, 2008）。全米レベルの *NGSS* で強調されていることではあるが、そのような背景もあり、*CA NGSS* でも科学における言語の学習と科学を通じた言語の学習が重視されている。また、カルフォルニア州の自然環境と主要産業としての農業を踏まえて、同州の教育省は、州内の子ども達が環境リテラシーを習得することを考え、2004 年に環境に関わる中心的な原理(Principles)とそれに基づく概念(Concepts)を制定している（表 5）。

表5. カルフォルニア州の環境の原理（California Department of Education, 2016 より筆者作成）

原理１．人々は、自然のシステムに依存している。
原理２．人々は、自然のシステムに影響を及ぼしている。
原理３．自然のシステムは、人々が利益を得る方法で、変化し、影響を与えることができる。
原理４． 物質がシステム間を移行するのを妨げる永続的な境界線、あるいは、移行しない（Impermeable）境界線といったものは存在しない。
原理5. 資源や自然のシステムに影響をおよぼす決定は、複合的で多くの要因を含んでいる。

この原理・概念が公的に制定された後、2003 年版のカリキュラムフレームワークにも組み入れられており、教科としての科学のみならず、社会科でも教科内容構成の重要な原理の一つとして捉えられている（California Department of Education, 2015）。なお、宮崎（2009）が 2003 年のカリキュラムフレームワークに基づいた社会科の教科内容構成に見られる特徴を報告している。*CA NGSS* でも、科学のカリキュラム構成において、環境の原理との関連付けを図ることが求められており、今度採用となる教材でも掲載することが必須とされている（California Education and the Environmental Initiative, 2018）。

4. おわりに

本稿では、州レベルでの科学スタンダードの開発で先行するカルフォルニア州の科学教育改革の状況や基本的な理念について述べてきた。そこでは、全米レベルの *NGSS* の基本的な理念と方向性を共有しつつ、カルフォルニア州としてのこれまでの科学教育の実績と課題を踏まえた具体化の視点が検討されていた。既に K-8 学年では *NGSS* の先行プログラムが実施されてきたが（K-12 Alliance, 2018; NGSS Lead States , 2018）、2018 年以降は新しい指導用教材（instructional materials）が採用され、新しい科学スタンダードに基づく科学教育が展開されていくものと思われる。州レベルの STEM 教育シンポジウム（STEAM California, 2018）の開催や STEM 教育に関する各種団体のネットワーク化（The California STEM Network, 2018）も行われており、今後もアメリカの STEM 教育の推進方策を探る一環として、カルフォルニア州での科学教育の展開に注目してきたい。

附記

本研究は、科学研究費補助金・基盤研究（B）（課題番号：15H03493、研究代表者：長洲南海男）の助成により行われた。また、拙稿を執筆するに当たり、長洲南海男・筑波大学名誉教授には、米国の科学教育の歴史的・社会的な背景を踏まえての丁寧なご指導を賜り、校閲して頂きましたこと、併せて森下明美本科学研究費事務補佐員による校正に謝意を表します。

5. 主要参考文献

Achieve(2017). Leveraging ESSA to Promote Science and STEM education in States. Retrieved from https://www.achieve.org/science-and-stem-in-essa.

California Department of Education(2003). *Science Content Standards for California Public Schools: Kindergarten Through Grade Twelve.*

California Department of Education(2015). *California Next Generation Science Standards: Integrated Learning Progression Overview*.

California Department of Education(2016). *2016 Science Framework for California Public Schools Kindergarten through Grade 12*. Retrieved from https://www.cde.ca.gov/ci/sc/cf/scifwprepubversion.asp.

California Department of Education(2017). *Revised State Template for the Consolidated State Plan*. Retrieved from https://www.cde.ca.gov/re/es/documents/caessastateplansubmitted.doc

California Department of Education(2017). *Schedule for K–12 Curriculum Framework Development and Adoption of K–8 Instructional Materials*.
Retrieved from https://www.cde.ca.gov/ci/cr/cf/documents/k8instrmaterialsch2017.doc

California Department of Education(2018, January 22). *Science Graduation Requirement*.
Retrieved from https://www.cde.ca.gov/ci/gs/hs/hsgrscience.asp

California Department of Education(2018, January 22). *Science, Technology, Engineering, & Mathematics*. Retrieved from https://www.cde.ca.gov/ci/gs/hs/hsgrscience.asp

California Education and the Environmental Initiative(2018, January 26). *California's Environmental Principles and Concepts*. Retrieved from http://californiaeei.org/curriculum/whatistaught/epc/

California STEM Network(2018, February 2). *The California STEM Network*.
Retrieved from https://www.childrennow.org/issue-areas/stem-network/

Carnegie Corporation of New York, Institute for Advanced Study (2013). *The Opportunity Equation; Transforming Mathematics and Science Education for Citizenship and the Global Economy*.

Chin,C.(2002). Open Investigation in Science: Posing Problems and Asking Investigative Questions, *Teaching and Learning*, 23(2), 155-166.

Education of Commission of the States(2018, January 23). *Accountability and Reporting: ESSA Plans(December 2017)*. Retrieved from http://ecs.force.com/mbdata/mbQuest5E?rep=SA172

Edsource(2008). *How California Compares*.
Retrieved from https://edsource.org/wp-content/publications/08HowCAComparesWeb.pdf

K-12 Alliance (2018, January 23). *Accountability and Reporting: ESSA Plans(December 2017)*. Retrieved from http://ecs.force.com/mbdata/mbQuest5E?rep=SA172

Massachusetts Board of Elementary and Secondary Education (2018, January 19). *California NGSS K-8 Early Implementation Initiative*. Retrieved http://k12alliance.org/ca-ngss.php

National Research Council (1996). *National Science Education Standards*, The National Academies Press（邦訳書；長洲南海男（監訳）（2003）．全米科学教育スタンダード，梓出版）。

National Research Council（2012）. *A Framework for K-12 Science Education; Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas*, The National Academies Press.

National Science Teachers Association（2018 , January 19）. Retrieved from http://ngss.nsta.org/

National State Legislative Conference (2015). *Summary of the Every Student Succeeds Act, Legislation Reauthorizing The Elementary and Secondary Education Act*. Retrieved from http://www.ncsl.org/documents/capitolforum/2015/onlineresources/summary_12_10.pdf

NGSS Lead States（2013）. *Next Generation Science Standards (Vol.1 Standards, Vol.2 Appendixes)*, The National Academies Press.

NGSS Lead States (2018, January 19). *California*. Retrieved from https://www.nextgenscience.org/california.

NGSS Lead States (2018, January 23). *Lessons Learned from the NGSS Early Implementer Districts*. Retrieved from https://www.nextgenscience.org/news/lessons-learned-ngss-early-implementer-districts

Pratt, H. (2013). *The NSTA Reader's Guide to The Next Generation Science Standards*, NSTA Press.

STEAM California (2018, January 23). *California STEAM 2017*. Retrieved from https://www.stemcalifornia.org/

The Power of Discovery: STEM^2 (2018, January 23). Retrieved from http://powerofdiscovery.org/.

荒谷航平, 高橋一将 (2017). 米国のマサチューセッツ州における *NGSS* に準拠した州カリキュラム開発の過程, 日本科学教育学会研究会報告, 32(1), 1－6 頁。

井樋三枝子（2017）. 立法情報 アメリカ 初等中等教育に関する新法の成立, 外国の立法, 266（2）, 4－5 頁。

宮崎　沙織 (2009). カルフォルニア州における環境リテラシー育成のための社会科プログラム－環境の原理に基づく学習内容の再構成に着目して－, 社会科教育研究, 108, 58－69 頁。

長洲南海男（2015）. 米国の革新的科学／技術・工学／数学教育の解明－日本への教育革新へのビジョン提言－平成 24 年度～平成 26 年度科学研究費補助金（基盤研究（C））科学研究補助金最終報告書（研究代表者：長洲南海男）.

長洲南海男（2016）.教科と内容構成新ビジョンの解明–米国・欧州 STEM・リテラシー教育との比較より　平成 27 年度～平成 29 年度科学研究費補助金（基盤研究（B））第 1 回中間報告書（研究代表者：長洲南海男）.

内ノ倉真吾（2015）.アメリカ科学スタンダード”Next Generation Science Standards”の内容構成－スタンダード関連資料の検討に基づいて－、米国の革新的科学／技術・工学／数学教育の解明－日本への教育革新へのビジョン提言－平成 24 年度～平成 26 年度科学研究費補助金（基盤研究（C））科学研究補助金最終報告書（研究代表者：長洲南海男）, 44－53 頁。

米国の科学の授業でのエンジニアリングとテクノロジーの扱い

畑中敏伸（東邦大学）

はじめに

STEM(Science, Technology, Engineering, Mathematics)教育の捉え方や実践は多様である。Bybee(2013)は、STEM 教育への展望（Perspective）として、科学[1)]、テクノロジー、エンジニアリング、数学[2)]のそれぞれの領域をどのように扱うかについていくつかの考え方を示している。そこでは、4 領域を別々に扱い相互に関連づける考え方、統合する考え方など様々な考え方を示している。この STEM 教育の各領域間の扱い方が違うことは、STEM 教育の実践も多様であることにつながる。具体的には、米国の学校での STEM 教育の実践には、科学とテクノロジーに関する科目が別々に扱われる場合や、科学の授業の中に含む形で STEM 教育が実践されている場合、STEM を重視したキャリア教育、教科を統合した STEM 教育、教科外で行われる STEM 教育などがある。

筆者は、2016 年 8 月から 1 年間、勤務校より在外研究の機会を得てアーカンソー大学(University of Arkansas)に滞在し研究活動を行う中、学校を訪問し科学の授業を観察する機会や、学術学会に参加する機会、アーカンソー大学の STEM 科目の聴講と小学生向けの STEM 授業を見学する機会があった。特に STEM 教育の中でも、科学の授業の中でどのように STEM の他領域が扱われているかに関心を持って観察してきた。また数学は、実験データをグラフとしてまとめることや、数式で原理や法則が示されるなど、科学の中に数学的要素は埋め込まれていることはわかりやすいが、テクノロジーとエンジニアリングの科学の中で扱われ方に特に関心があった。本稿では、科学の授業の中でテクノロジーとエンジニアリングがどのように取り入れられているのか、どのような利点があると考えられるか、テクノロジーとエンジニアリングを取り入れることで危惧されることや課題は何かを明らかにすることを通して、米国の STEM 教育の実態の一端を明らかにする。科学の中で他の領域を扱うことは、Bybee が示す STEM の考え方の中の、科学の中にテクノロジー、エンジニアリング、数学が含まれる STEM 教育の考え方(Bybee, 2013)に対応する実践に当たる。

1. 調査対象

2016 年 8 月から 2017 年 7 月まで、表 1 にある米国内の学校で「科学」の授業を観察した。表 1 の左欄の記号は、本文中で示す学校名に対応し、学齢は学校の開始月に 6 歳である子供が 1 学年、その前の K は幼稚園（Kindergarten）学年の略、Pre K は、K の 1 学年前で同じ学校内に教室がある。米国の教育は、連邦政府レベルではなく州及び学校区の管轄事項でもあるので、スタンダード、教員養成の基準も含めてそれぞれの州が決めているため、州や学校区毎に教育制度も教育内容も違いがある。科学の教育内容は、2013 年に科学のスタンダードが Next Generation Science Standard(NGSS)(NRC, 2013)として出され、2017 年 11 月現在 19 州が適用しているため、米国内で一定の共通性はある。スタンダードは州ごとに決められるが、その他の教育の制度は同じ州内でも違いはあり、教育行政の単位である学校区(School district)毎で、各学校段階の区切りも、教員の給与体系も異なる。例えば、アーカンソー州の学校区は、フェイエットビル市が 1 つの学校区であり隣のスプリングデール市は別の学校区であるが、ミドルスクールの対象学年が異なっている。学校区毎に教員が採用されるが、経済的に厳しいアーカンソー州南東部は深刻な教員不足だが、北西部は教員応募者が多く教員採用の倍率も高い。学校区内でも違いはあり、フェイエットビル学校区内でも学年段階の異なる学校もあり、学校暦の異なる学校もある。

表１　調査対象の学校

本論文中記号	名称	場所	学年
A	MaNair Middle School	Fayetteville, Arkansas	5-6
B	Vandergriff Elementary School	Fayetteville, Arkansas	K-4
C	Fayetteville High School	Fayetteville, Arkansas	9-12
D	Leverett Elementary School	Fayetteville, Arkansas	K-4
E	Holt Middle School	Fayetteville, Arkansas	5-6
F	Harber High School	Springdale, Arkansas	9-12
G	Don Tyson School of Innovation	Springdale, Arkansas	6-12
H	Hellstern Middle School	Springdale, Arkansas	6-7
I	West Hills STEM Academy	Navy Yard City, Washington	K-8
J	McKinley Elementary School	Owatonna, Minnesota	K-5
K	Willow Creek Intermediate School	Owatonna, Minnesota	6
L	Owatonna Junior High School	Owatonna, Minnesota	7-8
M	Hoover High School	Des Moines, Iowa	9-12
N	Saint Theresa Catholic School	Des Moines, Iowa	PreK-8

表２　調査対象の学会

本論文中記号	名称	場所	開催日	概要
O	科学教育連合学会地区大会（NSTA：National Science Teacher Association）	ミネソタ州ミネアポリス	2016年10月	学校内外で科学を教えている人が主な参加者。ワークショップなど初等中等段階の科学の授業で活用できる内容の発表が主体。地区大会は年３回、全国大会が年１回開催される。
P	国際STEM教育団体研究大会（International STEM Education Association）	ミズーリ州ブランソン	2016年10月	教員が主な参加者。ワークショップで授業で活用できる科学、技術、テクノロジーの内容の発表が主体の研究大会を年１回開催している。学会誌の発行はない。
Q	科学教師教育学会全米大会（ASTE: The Association for Science Teacher Education）	アイオワ州アイオワシティ	2017年1月	大学の科学教育の研究者が主な参加者。科学教師教育に関する研究発表が主体だが、科学教育全般を対象とする研究発表もある。全米大会は年１回開催される。科学教師教育の研究、実践研究を扱う学会誌を発行している。
R	アメリカ物理教師学会冬季大会（AAPT: American Association of Physics Teachers）	ジョージア州アトランタ	2017年2月	中等高等教育段階で物理を教える教員が主な参加者。中等高等教育段階の物理教育に関する研究発表が主体。全米大会が年２回開催される。中等高等教育段階の物理教育に関する学会誌を発行している。
S	全米科学教育研究学会全米大会（NARST: National Association for Research in Science Teaching）	テキサス州サンアントニオ	2017年4月	大学の科学教育の研究者が主な参加者。全米大会は年１回開催される。学会では、初等から高等教育、インフォーマル教育など幅広く科学教育に関する研究発表がされる。幅広く科学教育を対象とする学会誌を発行している。

このように、州、学校区、学校ごとに違いがあり、米国の教育は多様性であるため、本調査では複数の州の複数の学校を調査したが、本稿で示す結果を米国内で一般化することは難しい。

学校調査に加え、表２における科学教育の関連学会も調査した。学会へ参加した際には、研究発表、ワークショップ、関連する業者、出版社、関連する組織の展示内容を分析した。

アーカンソー大学では、小学校教員養成課程の科目に STEM 関連の科目があり、STEM 専攻で学士卒業後の１年間で取得する修士のコースもあった。筆者は、一連の STEM 教育科目のうち最初に履修する「STEM 教育序説(Introduction to STEM education)」の授業で紹介された科学の授業と関連のあるエンジニアリングに関する授業、近隣の小学生対象に学内で行われた授業も分析対象とした。担当教員は、中等教育段階での技術を教えた経験もある大学教員であった。

2.　科学の授業におけるエンジニアリング

2.1.　科学の授業におけるエンジニアリングの位置づけ

観察した科学の授業では、米国の科学スタンダード NGSS では(Next Generation Science Standard)との関連する形でエンジニアリングの授業が見られた。NGSS では、科学とエンジニアリングの実践(SEP: Science and Engineering Practices)、領域横断的概念（CC: Crosscutting Concept）、学的構成の中心的な考え方(DCI: Disciplinary Core Idea)の３側面を重視した学習が強調されている(NRC, 2013)。この中の実践（Practice）については、NGSS では付録 F において、次のように科学とエンジニアリングの実践を８つにまとめ示している(NRC, 2013)。

(1)　問いを立てる（科学)、問題を定義する（エンジニアリング）
(2)　モデルを作り使う
(3)　調査を計画し実行する
(4)　データを分析し解釈する
(5)　数学と計算を用いた思考を使う
(6)　説明を構成し（科学)、解決策をデザインする（エンジニアリング）
(7)　証拠に基づくアーギュメントに取り組む
(8)　情報を手に入れ、評価し、コミュニケーションする

実践（Practice）における科学とエンジニアリングの違いの１つは、(1)にあるように、科学は、調べることによって答えを見出すことができる問いを立てるのに対し、エンジニアリングは、デザインすることを通して解決することができる問題を定義することから始まるところにある。問いや問題のタイプが異なることは、ゴールも異なる。(6)にあるように、科学では、科学的現象や関係性を科学的に説明することがゴールであるのに対し、エンジニアリングでは、問題を解決するためにデザインし製作物を作成することがゴールとなる。次項より、調査対象で見られた様々な学年で行われている科学の授業におけるエンジニアリングの問題解決の学習の例を示す。

2.2.　科学の授業でのエンジニアリングデザインの事例

エンジニアリングのデザインを含む問題解決のための製作物を作ることは、STEM チャレンジ(STEM Challenge)やエンジニアリングデザインチャレンジと呼ばれている。本節では、調査対象の中で観察できた STEM チャレンジやエンジニアリングチャレンジの例を紹介する。

2.2.1. 研究大会での STEM チャレンジの事例

国際 STEM 教育団体が開く研究大会（表２の P）では、科学の授業の中でのエンジニアリングの授業の実践発表と PITSCO 社[3)]の教材の体験を併せて行われるワークショップと、企業展示として科学とエンジニアリングに関係する教材が展示されているのを見ることができた。ワークショップでは、PITSCO 社がスポンサーとなっていて、参加者には実際に教材キットが配布され、作成することができるようになっていた。教材は、エンジニアリングデザインを含むものであり、具体的には、紙とプラスチックタイヤで作った車にふくらませた風船を取り付け、風船から出る空気の力で進む車を作成し、進んだ距離を競うエンジニアリングデザインチャレンジと、ストローロケットを飛ばす STEM チャレンジが紹介されていた。ストローロケットは、図１の発射台を使って発射し、距離を競ったり、一定の距離を飛ばす教材であった。ストローロケットの発射台のしくみは、次のとおりである。まず、図１の子供の左手側にあるシリンダーにピストンの高さを変えて落とすことができるようになっている。このピストンの落下により送り出される空気により、子供の右手の側に装着されたストローロケットを飛ばすことができるようになっている。また、空気の勢いに加えて、ストローロケットの発射角度も変化させることができる。その他にも PITSCO 社の Web サイトには、表３にあるように対象学年毎に分けて STEM 教材が掲載されている。特に５学年以下のユニットでは、エンジニアリングデザインプロセスを用いて、問題解決を目的とした製作活動が含まれている。また６学年以降では、３D プリントやロボティックスの教材も販売している。

図１　ストローロケット発射台
出典：PITSCO の Web サイトより

表３ PITSCO 社の STEM 教材

学年		ユニット名
K-２学年	構造：	動物の構造の探索、移動の探索、探索のパッケージ、お話の中の構造を探索、
	空気：	空気の探索、飛行の探索、温めた空気の探索
３-５学年	構造：	橋の構造、片持ち梁構造、サスペンション構造、アーチ構造、構造に関するエンジニアリングチャレンジ
	空気：	パラシュート、圧縮空気、凧、空気に関するエンジニアリングチャレンジ
	電気：	電気（レベル１、２）、静電気、電気に関するエンジニアリングチャレンジ
	磁気：	磁気（レベル１、２）
６-９学年	エアロケット、基本構造、橋、グリーンな未来、グリーンな機械、高く飛ぶロケット、測定と予想、中世の機械、飛行機の模型、特殊な飛行物体、３D プリント（車、デザイン）、TETRIX ロボティックス（リモコン操作、自動操縦、自動製造）、速さの科学（動かそう、速さのためのデザイン）	

2.2.2. 学校で観察された STEM チャレンジの事例

図２は、M 小学校で筆者が撮影した、小学校１学年がりんごを小さく切ったものを爪楊枝でつなぎ筏をつくる STEM チャレンジに取り組んでいる様子である。ワークシートには、作成を実際に行う前にデザインを書く枠と、

実際に浮かばせてみてわかったことを書く枠があり、筏をつくる過程の中にエンジニアリングデザインプロセスが含まれていることがわかる。りんごはほとんど同じ大きさに切られており、それを爪楊枝でくっつけて構造物を作っていくが、筏のように平らな平面ができるように作らなければうまく浮かないようであった。簡単には、浮く筏を作ることができないが、工夫して何回もチャレンジするなど、熱心に取り組んでいるようすが観察された。

図２りんごと爪楊枝で筏を作る様子

2.2.3.　教員養成科目で観察された STEM チャレンジ

図３は筆者が撮影した、アーカンソー大学に近隣の４学年の子供を呼び、帆かけ車(Wind-powered sail car)を作っている様子である。子供達はグループで、車のデザインを相談し、１つ１つの値段が決まっているパーツを予算内に収まる形で集め、組み立て、扇風機の前に置き、風の力でどのぐらい進むことができるかを時間内に競った。この STEM チャレンジでは、最初にゾンビによる攻撃から逃げるために、車を作って風を受けて逃げなければならないというストーリーが紹介され、そのために子供達が車作りに取り組んでいた。制限時間内にグループで作った車を試し、一番遠くまで進んだ車を作ったグループが表彰されていた。

図３　帆かけ車の進む距離を測る様子

アーカンソー大学の教員養成では、NASA の Web サイトにあるタッチダウンという着陸に関する STEM チャレンジ[4)]が紹介されていた。NASA の Web サイトには、宇宙開発と関連する様々な STEM チャレンジの資料が掲載されている中の１つである。このチャレンジは、重力、運動、力などについて学び、宇宙船をデザインし、２人の宇宙飛行士を着陸時に守る衝撃を吸収するシステムを作る STEM チャレンジである。図４は、作成例の図の１例である。学習者は、紙、ストロー、ミニマシュマロを使って工夫して、台にした厚紙に衝撃を吸収するものを取り付け、ある高さから落として、宇宙飛行士に見立てたマシュマロが飛びなさないように制作する活動を行う。また、宇宙船の着陸の STEM チャレンジを行う上での背景情報として、月に時速 29000km で飛行する宇宙船を着陸させるには、減速が必要であること、宇宙飛行士が乗船していたら安全に着陸させなくてはならないこと、火星へは時速 21000km で宇宙船が飛行していくが、火星に安全に着陸させるには減速させなければならないこと、将来の計画では、火星へ宇宙飛行士を地表に安全に着陸させなくてはならないことの説明がある。この説明は、エンジニアリングデザインプロセスの「問題を定義する」ことにあたる背景情報と言える。

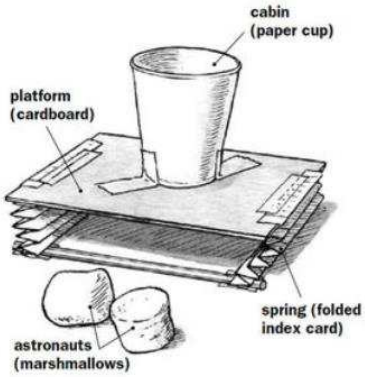


図４　着陸に関する STEM チャレンジ

3. 科学の授業におけるテクノロジー

3.1. 科学の授業におけるテクノロジーの位置づけ

テクノロジーの定義については、テクノロジー教育を推進する学会である International Technology Education Association(ITEA)は、テクノロジカルリテラシースタンダード(ITEA, 2007)の中で、テクノロジーは、様々なプロセスと知識の集合体であり、人間が人間の能力以上のことができるように使い、人間の必要性と要望を満たすように使うものであるとしている。その上で、テクノロジーカルリテラシーを、テクノロジーの性質、テクノロジーと社会、デザイン、テクノロジーのある世界で必要な能力、デザインされた世界、の５つの要素に分けて示している。他方、科学のスタンダード NGSS では、学的構成の中心的な考え方(DCI)の１つに「エンジニアリング、テクノロジー、科学の応用」があり、テクノロジーの内容も含まれる。このように、テクノロジーの定義、NGSS でのテクノロジーの記載があるが、筆者が学校を訪問し科学の授業を観察した限りにおいては、テクノロジーとは何かについて教える授業は見られなかった。

テクノロジーについて直接教えていないが、科学の授業でテクノロジーと言えば、コンピュータなど情報機器を活用した授業を意味する場合がある。このような、情報機器と同義語でテクノロジーを捉えることは、多くの人が持つミスコンセプション（NRC, 2013 ; Daugherty,2009）と指摘される。このように指摘されるが、筆者の観察した科学の授業では、コンピュータ、情報機器、ソフトウェアなど情報機器の授業で多く活用されていることのみが観察できた。科学の授業での情報機器の利用は、テクノロジーを教えていることとは異なるが、科学の授業の中で見ることが出来るテクノロジーではあるため、次項より具体的に科学の授業の中での情報機器の利用の形について示す。

3.2. 科学の授業の中で活用できる情報機器の整備状況

学校では、コンピュータが普及しており授業で多く活用されていた。クロームブックはクローム OS で動き、グーグルのクロームブラウザーやグーグルアプリを使うことができる安価なノートパソコン型のコンピュータであるが、学校ではクロームブックから普及が始まったようである。表１の A のミドルスクールでは、昨年までは人数分のクロームブックがあったが、2016 年度より人数分の Windows のノートパソコンが整備されたとのことであった。B の小学校では、人数分のクロームブックがあった。これらのクロームブックやノートパソコンは、移動式のパソコンラックに入れておき、必要な時にパソコンラックから取り出して使っていた。学校に子供全員分のコンピュータが整備されているかどうかには学校ごとの差があるようではあるが、訪問したどの学校でも、少なくとも他のクラスと共有という形であれば教室での学習活動で使えるようであった。また全ての学校で、各教室の教員用のパソコンとプロジェクターが設置されており、授業での映像の使用、インターネットサイトの使用、各種アプリケーションの使用が出来るようになっていた。さらにコンピュータの他には、高等学校の実験でセンサをデータ収集に使うデータロガーという形での情報機器が使用されていることが観察できた。次項より、科学の授業でのコンピュータとデータロガーの活用の事例を示す。

3.3. 科学の授業の中でのテクノロジー利用の実例

3.3.1. コンピュータを学習のツールとして利用している事例

グーグルのアプリを主に使うクロームブックの普及が先行したこともあり、学校ではグーグルのアプリケーションの利用とインターネットリソースの利用が多い様子が観察できた。グーグルのアプリケーションは、利用が無料である点も普及を後押ししているようである。A ミドルスクールでの学習の管理については、グーグルクラスルームが使用されていた。グーグルクラスルームは、クラウド上にある授業毎のスペースにより、掲示板、資料の配布、成績管理などができる学習管理システム(Learning Management System)である。文章作成には、グー

グルドキュメントが使われており、マイクロソフト社の Word に類似した文書作成ができるアプリケーションである。なお、インターネットにログインして使うため、作成したファイルを複数人で共有することで、ログインしている人が同時に編集することもできる。プレゼンテーションのスライドの作成には、グーグルスライドが使われており、マイクロソフト社の Power Point に類似したスライドを作成できるアプリケーションであるが、グーグルスライドは、インターネット上の画像検索ができて、出典が明記された形での挿入ができるため、インターネット上の素材が使い易い特徴がある。グーグルのアプリケーションは、クラウド上のグーグルドライブという名称のスペースに保存されるため、学校でも家庭でもインターネットを介してアクセスできるというメリットがある。

コンピュータを使って、2択から4択の早押しクイズを全員でできる Kahoot[5)]を使っている授業も複数の学校で観察できた。Kahoot は無料で、インターネットに繋がったノートパソコンやスマートフォンを利用して使うことができ、回答に要した時間が短ければ高ポイントをもらえる早押しクイズができる。問題は、自分で作ることもできるし、公開されている問題を使うこともできる。また、終了後には集計ファイルのダウンロードも出来る。世界中で現在7千万人のユーザーが使用しており、そのうち 60%がアメリカとのことである[6)]。

インターネット上の映像を投影することも行われている。数学では、数学の計算を行うことで競い合うことができるゲームアプリ[7)] なども使われている。

3.3.2. シミュレーションの使用の事例

調査で訪問した学会での展示とワークショップ（表2の O）では、科学と数学のシミュレーション Gizmos[8)]、科学、数学、ELA（English Language Arts)のシミュレーションとゲームがある Amplify[9)]、が紹介されていた。それぞれインターネット上にあり、ログインし使うためには契約が必要なデジタル教材である。学校で子供達はコンピュータが使える A ミドルスクールでは、Gizmos を科学の授業で使っていた。

Gizmos は、1999 年に設立された Explore Learning 社が提供する科学と数学のオンラインのアプリケーションであり、現在は 50 カ国以上で使われている。アプリケーションの数は、400 を超え、Windows、 Mac、 クロームブック、iPad、 アンドロイドデバイスで動く。講義と併用しても、クラス全体でも、個人でも使え、実験の条件や変数を変えて「〜だったら、どうなるか」を試す実験を通して科学的概念を導き出したり、図やイラストを用いて実験の結果を見やすくし、結果の比較がわかりやすいようになっている。また、教員にとって使いやすいように、スタンダートとの対応、学習者の評価の集計、学習者への指示する文章も併せて示されている。

図5から図8は、Web サイトに示されている試用版のシミュレーション画面である。図5は、植物の成長のシミュレーションの画面である。植物の種類、光の強さ、水の量、肥料の種類を変えることができ、条件を変えた際に、その条件が植物の成長にどのような影響を与えるのかがわかるようになっている。図6は運動を示すシミュレーションの画面である。実際の人の位置関係を下部に示し、右上には人の位置をグラフ表示したものがある。どこから走り始めるかとスピードを変えることができ、グラフ中の緑の線で示した時間での状態を見ることができる。このため、グラフが示していることと、実際の人の位置が理解できるようになっている。図7 と図 8 は、教師用の画面である。図7は、植物の成長に関して、学習者の操作と調べる手順を示した指示書である。図8は、運動をグラフで示すシミュレーションを行った後で、学習者が行った小テストの集計結果を示している画面である。指示書や小テストなど、教員が授業で使用することを想定した機能も含むデジタル教材である。

Amplify 社は、15 年以上デジタル教材を作っており、カリフォルニア大学バークレー校の付属施設である The Lawrence Hall of Science とパートナーシップを結んでいる。Amplify の科学の特徴は、K-8 を対象として、NGSS と 100%合致し、教材と、教授方法と、評価の方法までがパッケージになっていることである。すべてのユニッ

図５　植物の成長のシミュレーション

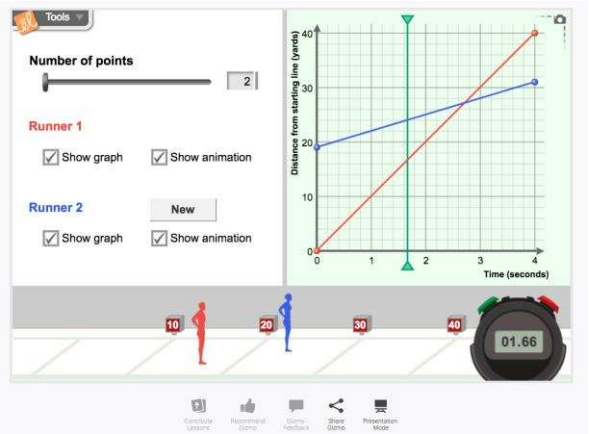


図６　運動をグラフで示すシミュレーション

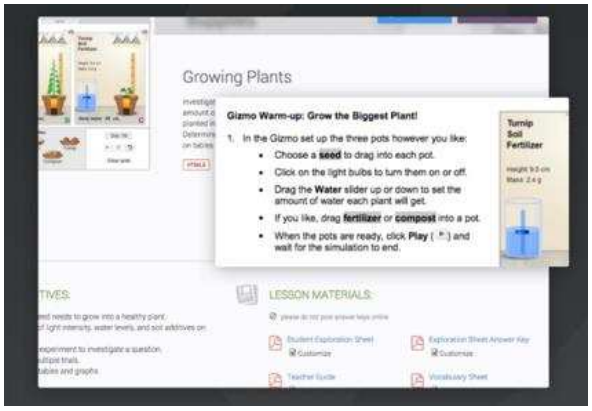


図７　植物の成長のシミュレーションの指示書

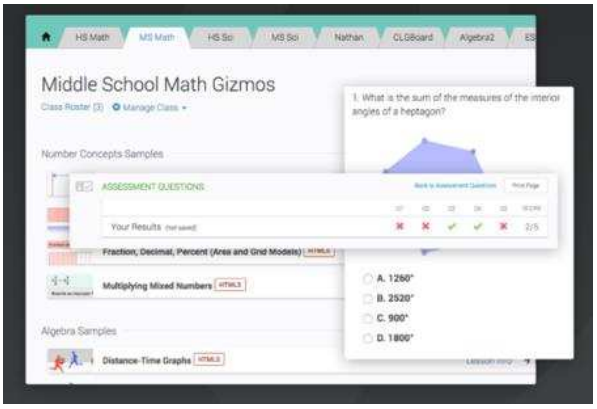


図８ 運動をグラフで示すシミュレーションの小テスト

図９　代謝のデジタルシミュレーション教材

トで、学習者が実際に科学者やエンジニアが担う役割を担って、実社会の問題を解決するようになっており、学習者には幅広い科学の諸分野の職業についても知ることが出来るようになっている。また、科学に関係する読み物を読むこと、科学的現象の理解が視覚的にわかるモデルを作ること、デジタルシミュレーションを使って証拠を集めること、証拠に基づいて科学的なアーギュメントを書いたり口頭で発表したりするなどの学習活動が含まれている。教員にとっては、オンラインの教師用指導書、複数の授業方法が提示されている。

図９は、Amplify の Web サイトに試用版として示されている代謝(Metabolism)に関するデジタルシミュレーションの教材の画面である。代謝の学習は、医学部の学生として病院で実習した際に起こりうる場面をビデオにした導入ビデオが含まれている。そのビデオでは、Elisa という少女が、いつも疲れた状態であるという症状を見た病院実習生が、その原因を調べなければいけないという場面が提示される。シミュレーションでは、食べ物としてトウモロコシ、魚、サンドイッチを入れて、循環器システム、消化システム、呼吸システムの働きを観察することができる。活動レベルと消化酵素の量を変えるこ

とができ、健康体の他に貧血症と喘息、糖尿病、膵臓の障害、窒息状態、運動選手の場合を観察することができる。また、全体図だけでなく、それぞれのシステムのみの図、グラフで数値を示す図もある。なお、この代謝の教材は、NGSS では、科学とエンジニアリングの実践(SEP)の項目の中の「モデルを作り使うこと」「証拠に基づく議論をすること」、中心的な考え方(DCI)の項目の中の「構造と機能」「(生物体における) 物質の構成とエネルギーの流れ」、領域横断的概念(CC)の項目の中の「スケール、割合、量」「システムとシステムモデル」に対応することが示されている。また、Common Core との対応も示されている。

3.3.3. データロガーの使用

訪問したFハイスクールのAP(Advanced Placement)物理の授業では、実験でデータロガー（データ収集に使う情報機器）を使用している授業が観察できた。図 10 は、筆者が撮影した、磁界を測定する実験をデータロガーを用いて行なっている様子である。AP はハイスクールで受講でき、試験に合格することで大学の単位として認められる科目である。AP 物理の受講生は８名程度であり、２人１組で実験に取り組んでいたが、各グループはワークシートを見ながら異なる実験に取り組んでいた。教室内で４種類の実験が同時に行われるのであれば、４種類の実験器具を１セットずつ用意し、４グループが順番に実験器具を使えば済む。このように、履修者数が少なく、交替で使うことが出来るため、準備する器具の総数は少なくてもよくなっていた。米国の AP 科目については、しばしば「大学の教養レベルの科目で、大学の単位として認定される」との説明が日本ではなされることがあるが、図 10 の実験に関係する磁界に関する法則は、日本の高等学校物理の範囲に含まれるものであり、それ以上に高度な物理の法則を含む内容ではなかった。しかし、実験を行い、データロガーを用いてデータを集め、考察を行う活動により、データやグラフを読み解く力、実験を踏まえた論述形式の問題に対応できるような力を養うことが目的とされている印象を受けた。

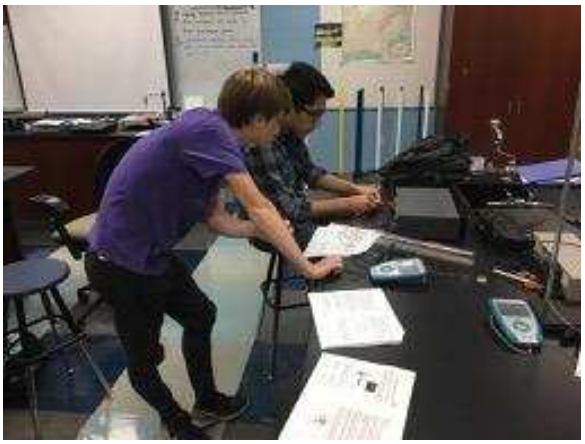


図 10　高等学校 AP 物理でのデータロガーの使用

以前は、センサは専用のデータ収集機器(インターフェース)に接続し、インターフェースで測定データを見るか、インターフェースをコンピュータに繋げてデータを収集する形でデータロガーとして使われていた。それに対し、学会での展示やワークショップに参加した際に、新しくインターフェースが不要で、Bluetooth 通信でタブレットや PC に直接センサを接続できるものがここ数年で発売されていることがわかった。インターフェースが不要となることは、コンピュータがある学校はインターフェースを購入する必要がなくなるため導入にかかる

表４　センサ機器の種類

Go Direct®（Vernior 社）	ワイヤレスセンサ（PASCO 社）
CO_2、O_2、心電図、溶存酸素、エネルギー、台車、動き検出、表面温度計、広範囲の温度計、加速検出、電流計、呼吸、回転運動検出、温度計、pH、ガス圧、光と色、比色計、電導度、放射線、分光、力と加速度、３方向の磁界、落下カウンター、電圧計、酸化還元電位、融解温度	GPS 付き天気センサ、比色計と濁り計、CO_2、スマートカート、温度計、pH 計、光、加速度、圧力、電導度、心拍、電圧計、電流計、分光計、偏光計

費用が安くなり、機器操作も表、グラフ、アイコンでの操作ができるコンピュータのソフトウェアの操作となるため、インターフェース独自の操作方法に習熟する必要がないという点で操作が簡単になり、今後の普及が期待できると感じた。

F ハイスクールで使用されていた Vernier[10] 社の機器は表２の O、P、Q、R の学会で、PASCO[11]社の機器は表２の O、R の学会で展示されていた。Vernier は Go Direct®の名称で、PASCO は、ワイヤレスセンサの名称でコンピュータやタブレットに直接つなぐことができるセンサを販売している。表４は、これら２社のセンサである。高等学校の実験授業で用いられる以上に、多様なセンサが発売されていることがわかる。

4. 考察：テクノロジーとエンジニアリングを取り入れることの影響

ここまで米国の科学の授業でのエンジニアリングとテクノロジーがどのように扱われるのかを、具体的な教材とともに明らかにしてきた。本項では、これまで示したエンジニアリングとテクノロジーを科学の授業に含むことが、どのように科学の授業の向上に役立つかという利点と、どのような危惧があるのかを考察する。

4.1. 科学の授業にエンジニアリングを含むことの利点

科学の授業でエンジニアリングは、実際の場面を提示して問題解決の必要性を示し、制約条件を踏まえながら、問題を解決することができるよう製作活動をするエンジニアリングデザインプロセスを含む製作活動という形で実践がされていた。子供達の活動への取り組みを観察し、次のような利点があると感じた。まず、子供達にとって、熱心に取り組くむことが出来る活動である。また、熱心に取り組む過程で、課題を解決するために、「～に変えると、～になる。」という工夫をして、試してみて、結果を調べることが出来るようになるなど、子供達の工夫する力を養うことにも役立つ活動であると言える。さらに製作活動では、細かいところの調整など作成の技能を身につけることができる活動である。実際の問題場面が提示され、問題解決を行うことは、日常生活や社会との繋がりのある学習活動となりうるため、子供達には学習が有用であると感じられる側面もある。このように様々な点で、子供達に有用な学習活動であるが、材料や器具も高価な材料や道具を必要としない、製作活動には多くの時間を要しないものも多く、これらの学習活動を取り入れることは難しくないと感じた。

4.2. 科学の授業でテクノロジーを利用することの利点

本稿では、科学の授業では、コンピュータとデータロガーの利用としてのテクノロジーが利用されていることを示した。コンピュータを用いることは、クイズなど知識の定着に役立つ使い方や、資料、課題、評価などを一元化する学習管理システムなど、科学のみならずどの教科の学習にも役立つ使われ方がされている。

科学の授業の中で、デジタルのシミュレーションを使用することは、条件を制御して結果を観察することが短時間で効率的にできる利点がある。本稿で示した図５の植物の成長のシミュレーションは、植物が成長する時間を待つことなく実行ボタンを押すことにより成長の違いをすぐに観察することができる。シミュレーションのもう１つの利点は、実験結果をグラフやモデルとして見ることができることである。運動は、現象を見るだけでは運動の特徴を把握したり、異なる運動を比較することが難しい。代謝も結果だけの観察では、しくみを理解することが難しい。図６の運動をグラフとして示すシミュレーションでは、実際の運動と提示されたグラフを見比べることでグラフとしての表示を理解することができる。図９の代謝のシミュレーションは、目に見えない体内での仕組みをモデルとして観察することができる。このようにシミュレーションが、実験や観察で直接見えるもの以上の情報を同時に提供していることが利点である。

シミュレーション教材は、条件を変えた実験を行うこと、データやグラフを読み取ること、現象をモデルとして理解するなどの形での利点がある。これらの学習で身につくと考えられる力は、米国の標準化されたテスト

(Standardized test)で測られる力と同じ方向性である。米国で高校から大学への進学へは、高校の成績と、外部テストの成績が用いられる。筆者が１年間滞在したアーカンソー州では、外部テストは ACT テスト[12]が一般的であり、ACT は年に複数回受けられる。ACT は、英語、数学、読解とともに科学もテスト科目の１つであり、全米の 60%のハイスクールの生徒がテストを受け、高等教育で単位が取得できる力があるかを評価する[13]。科学の ACT テストでは、実験の説明、過程、結果が出題され、それに関連する質問に答えることが要求されるため、データやグラフを読み解く力が要求される。シミュレーションを用いた学習で、様々な条件を変えて、結果がグラフ化されて示されることは、ACT の試験に対応する力が養えることにつながる。ACT は高校生が受験するテストであるが、類似した出題形式で高校生未満を対象としたテストに ACT Aspire がある。アーカンソー州の A のミドルスクールでは、この ACT Aspire を標準化テストとして採用していた。この ACT Aspire も ACT と同様、実験の条件を変えると何が起こるか、グラフを読み解くことなど、実験の説明、過程、結果が出題され、それに関連する質問に答えることが要求され、ハイスクール段階での ACT の科学のテストの成績を予想できることを利点に挙げている[14]。このように、科学の学業達成度として評価されるテストと、シミュレーションで学ぶこととの関係性があることもシミュレーション教材を使う利点の１つと考えられる。

4.3. 科学の授業にテクノロジーとエンジニアリングを取り入れることへの危惧や課題

STEM 教育に注目が集まり、テクノロジーとエンジニアリングが科学の授業でも扱われるようになっている事例を示し、利点があることを明らかにしてきたが、一方で次のような危惧や課題も指摘できる。

まず、テクノロジーとエンジニアリングを含む科学授業を行うことばかりにとらわれると、科学の学習で身につけるべき知識、スキル、態度が身につかない可能性がある。科学の授業で、コンピュータやデータロガーを使用することとエンジニアリングデザインの活動を行うことは、操作方法の習熟と製作活動に一定の時間が費やされることとなり、科学の学習の機会が減る可能性もある。さらに STEM 教育との名のもとで、科学、テクノロジー、エンジニアリングが区別なく使われると、科学の学習の代わりにテクノロジーの学習が行われることもある。Olson らは、日本の小学校高学年にあたる学年では、科学の授業でエンジニアリングデザインを扱う活動のみが扱われ科学の学習内容が不十分となっている例や、PLTW（Project Lead the Way）[15]などのテクノロジーの科目が科学の代わりに教えられていることがあること、科学を教える代わりに３D プリンターやレーザーカッターなどを利用した製作活動で代替されることがあることを報告している(Olson, Pleasants, & Spinler, 2018)。筆者が訪問した A ミドルスクールでは、科学とは別に PLTW のミドルスクール版のカリキュラムを用いて、PLTW の授業の中でロボットの製作、ロボットを使ったプログラミング、生命工学などの内容が扱われていたが、これらの学習内容の一部のみが科学の内容であり、科学の代替となるとは思えなかった。Olson らの指摘は、科学の内容を中心に扱うのではないテクノロジーの科目である PLTW が、STEM 教育の範疇に含まれる科目であるために科学の代わりに教えられて、科学の教科が教えられない学校があるとの指摘である。このように、科学の授業のなかで相対的にテクノロジーやエンジニアリングの割合が多くなってしまう危惧や、科学の授業の代わりにテクノロジーやエンジニアリングが教えられるという、科学の学習が十分に行われなくなることが危惧される。

デジタル教材でのシミュレーションを授業に取り入れることの危惧の１つは、シミュレーションでは様々な条件制御を同時に行うことが子供達にとって難しすぎないかということである。図６の植物の成長のシミュレーションでは、植物の成長に光が影響することと、光以外の水や肥料などの影響も併せて一度に学習がなされる。条件を多く変えすぎると混乱をする子供達もいるのではないか、子供達の実態によっては、光の影響のみを調べるなど内容を絞った学習の方がよい可能性もあるのではないかと考えられる。また、デジタルシミュレーションで簡単に条件を変えて実験結果を知ることが出来ることが、子供達から実際に実験を行う経験を奪ってしまうこと

につながらないかという懸念もある。基礎基本となる科学的知識と実験操作スキルが身につかないことになってしまうのではないかという危惧がある。

経験があり十分に科学の指導ができる教員であれば、テクノロジーやエンジニアリングが入ってくることにより科学の学習が減ってしまうことや、子供達の実態に合わせ科学の学習を促進させるシミュレーションの活用などを十分に検討して指導できるはずである。しかし、米国の教員が置かれている状況を考えると、これらが難しい可能性もある。一般に、米国の小学校教員は教員養成段階で科学の科目の履修が少ないという課題がある。加えて、地域間で教員の配置には大きな格差がある。アーカンソー州の南東部の教員が不足している地域では、大学の教員養成課程を履修していない人でも、卒業後にそれらの地域で3年間教員として勤務し、教えながら研修を受けることで、教員免許の取得のための基礎資格を得られるArkansas teacher corps[16]など、十分な教育や訓練を受けずに教員となる人もいる。また、教員の定着率も低いという課題もある。標準化テストで重視される英語の読解力と数学に過度に力が入れられると、科学の学習が相対的に軽視される状況もある。これらの教員の状況や科学の教科の位置づけを考えると、テクノロジーやエンジニアリングを科学の授業に入れることが混乱を引き起こすことにつながるのではないかという懸念もある。

地域によっては、本稿で観察できたテクノロジーの利用が困難な地域もあると考えられる。コンピュータやデータロガーの使用、デジタルのシミュレーションを含むパッケージ化された教材の購入には、費用がかかる。米国の学校間の格差は大きく、学校区によって学校の運営にかけられる費用も、教員給料も異なり、教員の数も足りない学校区もある。機器の購入費用は助成金により行われる場合もあるが、そもそも助成金申請の人的余裕がない場合も考えられる。これらの状況を考えるとSTEM教育の推進により、設備器具の充実した学校と乏しい学校ができ、より地域間格差が開くことに繋がるのではないかということも懸念として考えられる。

本稿で示したエンジニアリングデザインプロセスを含む多くの製作活動は、日本の小学生高学年までを主な対象としている実践のように感じた。表4で示したPITSCO社のSTEM教材には第6から9学年向けのもあるが、構造や機械などの技術や工学が主となる教材であり、科学的な学習との関連性が見出しにくいものもある。科学の授業の中で行いやすいエンジニアリングデザインを扱う初等教育段階での学習活動以外で、中等教育段階の科学の授業で実践できるエンジニアリングを取り入れた科学授業とはどのようなものかについては観察できなかった。中等教育段階での科学の授業へエンジニアリングを含む授業実践については、十分な実践の蓄積がなく課題であるようにも感じる。

おわりに：日本の理科教育への示唆

日本の理科授業においても、本稿で示したように授業でコンピュータを活用する、データロガーを利用する、エンジニアリングデザインプロセスを含むSTEMチャレンジを行う、などの形でテクノロジーとエンジニアリングの要素を取り入れることについては、科学の学習を促進させる方策となる可能性があると考えられる。

米国の学校では教師や学校の裁量が大きいため、テクノロジーとエンジニアリングを取り入れる際には、特に科学を教える教員に十分な力量や思慮がなければ、科学の学習を促進させる形となり得ないことを指摘した。一方、学習指導要領による規定に則り教科書が作成され一律な指導がなされる日本の場合には、まず適切な形でエンジニアリングの要素を学習指導要領に入れることから検討することが必要である。日本の小学校と中学校の理科には、「ものづくり」についての記載がある。小学校では「児童が明確な目的を設定し、その目的を達成するためにものづくりを行い、設定した目的を達成できているかを振り返り、修正するといったものづくりの活動の充実を図る」(文部科学省, 2017a, p. 98)としてものづくりの指導について記載されている。この中の「設定した目

的が達成できているかを振り返り修正」という表現の中には、エンジニアリングデザインプロセスと通じる意味内容が含まれていると言える。一方中学校では、「ものづくりの内容については、高度なものや複雑なものを課題とするのではなく、原理や法則などの理解を深められる課題とし、生徒の創意や工夫が生かせるようにする。」(文部科学省, 2017b, p. 118)と記載されている。この中の「生徒の創意や工夫」には、エンジニアリングデザインを一部含める可能性も考えられる。いずれの学校段階でも「ものづくり」という用語が、どのようにエンジニアリングデザインプロセスと関係するかが明確にされる必要がある。

他方、コンピュータやデータロガーを活用する形でテクノロジーを理科授業に入れるためには、整備のための費用が確保される必要がある。日本では実験器具の整備には、理科教育振興法により地方自治体などの設置者へ国の予算から半額の補助があるが、補助の対象となるには、学習指導要領でのテクノロジーの利用の位置づけが明確化されることが必要となる。

学習指導要領へのテクノロジーやエンジニアリングが位置付けられるには、今後は日本の理科授業でエンジニアリングデザインプロセスを取り入れること、コンピュータやデータロガーを活用すること、がどのように子供達が学び理科の学習を推進させることが出来るのかを実証的に明らかにすることや、導入の際の課題を明らかにする理科教育研究が必要である。その研究成果を基に、まず学習指導要領及び同解説書への取り込みがなされることが必要であり、それに付随して費用の確保、教員養成や教員研修での扱いの検討が必要となる。

謝辞

本研究の表 1 にある J から N の学校訪問は、科学研究費補助金・基盤研究(B)(課題番号 16H03058、代表・熊野善介)の助成を受けたものである。長洲南海男研究代表者よる校閲及び森下明美本科学研究費事務補佐員による校正に謝意を表します。

註

1) 米国の Science を扱う科目を科学とする。なお、日本の場合は日本の科目名の理科の用語を用いる。
2) 米国では、いずれの学校段階でも Mathematics の用語が使われていたため、本稿では初等学校も含めて教科名に数学の用語を用いる。
3) PITSCO 社(https://www.pitsco.com/)は、科学の実験や工作の教材の他、ロボット教材など、科学、テクノロジー、エンジニアリングの教材を売っている教材会社。
4) タッチダウンのアクティビティーは https://www.jpl.nasa.gov/edu/teach/activity/touchdown/を参照。NASA のサイトには、他にも科学、テクノロジー、エンジニアリング、数学、アート、言語に関するアクティビティーがある。
5) 教師が Kahoot の問題を作ったり、クイズを始める場合は https://kahoot.com/からアクセスする。子供が、クイズに参加する場合には、https://kahoot.it/から参加する。
6) Kahoot の会社概要については、https://kahoot.com/company/を参照した。
7) 例えば、https://www.reflexmath.com/home を参照のこと。
8) Gismos の詳しい説明については、https://www.explorelearning.com/を参照した。
9) Amplify の詳しい説明については、https://www.amplify.com/を参照した。
10) https://www.vernier.com/を参照した。日本では、代理店 Naoco より購入できる。
11) https://www.pasco.com/を参照した。日本では、代理店島津理化より購入できる。
12) ACT(https://www.act.org/)は、大学入学のためのテストのみならず、K-12 学年の様々な学年を対象とし、

大学後の就職まで幅広くテストを提供している。

13) ACT テストの特徴については、https://www.act.org/content/act/en/research/condition-of-college-and-career-readiness-2017.html を参照した。

14) ACT Aspire の特徴については、https://www.act.org/content/act/en/products-and-services/act-aspire.html を参照した。

15) PLTW(Project Lead the Way)は、科学、エンジニア、テクノロジーの領域を含む STEM プログラムである。プログラムには、PLTW Launch(K-5 年生）、PLTW Gateway(6-8 年生）、 PLTW Computer Science (9-12 年生）、Engineering (9-12 年生）、Biomedical Science(9-12 年生)があり、K-12 の学年段階を対象としている。

16) Arkansas Teachers Corps については http://www.arkansasteachercorps.org/を参照した。アーカンソー大学内に事務局がある。

文献

Daugherty, M. (2009). The “T” and “E” in STEM. In The overlookes STEM imperatives: technology and engineering K-12 education (pp. 18–25). International Technology Education Association.

ITEA. (2007). Standards for Technological Literacy: Content for the Study of Technology. Standards for Technological Literacy: Content for the Study of Technology. http://doi.org/1887101020

National Research Council. (2013). Next Generation Science Standards: For States, By States. Washington, DC: The National Academies Press.

Olson, J., Pleasants, J, & Spinler, C. (2018, January). On Jackalopes and the Rapid Decline of Elementary Science Instruction. Paper presented at the meeting of ASTE 2018, Baltimore.

Bybee, R. (2013). The Case for STEM Education. NSTA Press.

文部科学省. (2017a). 小学校学習指導要領解説理科編. 文部科学省.

文部科学省. (2017b). 中学校学習指導要領解説理科編. 文部科学省.

米国ミネソタ州ミドルスクールにおけるSTEM教育の事例
－コロンビア・アカデミーでの“Engineering”の授業－

石﨑 友規（常磐大学）

はじめに

米国におけるSTEM教育推進の気運は高まりを見せ、新たな科学教育スタンダードである「次世代科学スタンダード（Next Generation Science Standards）」（以下、NGSSと略記）[1]や、NGSSの基礎となったフレームワーク[2]にもそれは表れている。具体的に例を挙げれば、“Science Education”のスタンダードとしてのNGSSあるいはフレームワークのなかに、“Engineering”についての記述があること、“Scientific Inquiry”ではなく“Scientific and Engineering Practices”が用いられるようになったこと等々である。

無論、STEM教育と言っても、例えば、Science、Technology、Engineering、Mathematics各分野の相互連関構造をどのように捉えるかは議論の分かれるところであり[3]、未だその決着を見ていないように思われる。こうした現状を換言すれば、「STEM 教育」なるものをどのような構造体として捉えるかという全米共通の枠組みが存在しているわけではない、と言うことができる。むしろ、米国の教育事情に鑑みれば、各州のレベルでSTEM教育の構造を捉え、目標を具体化した教育スタンダードを決定することが求められる。そしてまた、学校区レベル、各学校のレベルでどのように具現化するかが決定されていく。それゆえ、米国の科学教育改革の実態を捉えるためには、州レベルの動向をつかみつつ、学校で実際にどのような授業が行われているかを調査する必要がある、と言えよう。

本稿では、2014年2月に訪れた米国ミネソタ州のミドルスクールにおける授業事例を取り上げ、STEM教育の観点からその特徴を素描する。なお、この米国実地調査は、研究分担者である熊野善介教授（静岡大学）によってコーディネートされ、今村哲史教授（山形大学）、内ノ倉真吾准教授（鹿児島大学）、齊藤智樹氏（静岡大学創造科学技術大学院）、Irma Rahma Suwarma氏（静岡大学創造科学技術大学院）と共にバージニア州のNSTA本部、アイオワ州のアイオワ大学およびリンカーン初等学校、ミネソタ州のミネソタ大学およびミドルスクールを歴訪したものである（括弧内はいずれも調査当時の所属）。これらのうち、現地の学校を訪問することができたのは、アイオワ州の初等学校と、ミネソタ州のミドルスクールであった。アイオワ州における事例報告は、既に内ノ倉氏を中心に日本科学教育学会研究会で発表[4]されているため、そちらを参照されたい。

1．ミネソタ州コロンビア・アカデミーとコロンビア・ハイツ公立学校区について

ミネソタ州では、はじめにミネソタ大学STEM教育センターを訪問した。そこでの調査内容については別の機会に述べることとするが、センター副所長のMs. Gillian Roehrigの紹介により、2014年2月11日午前にミネソタ州のコロンビア・アカデミーを訪問することができた。

ミネソタ州のコロンビア・アカデミーは公立のミドルスクールであり、ミネアポリス中心部から10km余り北上した場所に位置している。訪問当時の情報では、第6学年から第8学年まで合わせて約700名の生徒が在籍しており、1クラスの平均は26名であった。各学年とも、数学、科学、社会の授業が通年であるほか、学年によって必修の授業がある。加えて、選択授業も設定されている。

ところで、コロンビア・アカデミーの属するコロンビア・ハイツ公立学校区は、K-12学年の生徒を合わせて約3000名、5つの学校からなる比較的小規模の学校区である。在籍する生徒の人種としては、学校区全体でみると、

黒人38%、白人28%、ヒスパニック26%、アジア・太平洋諸島系5%、アメリカ先住民3%である[5]。教育目標をみてみると、コロンビア・ハイツ公立学校区では、特に、創造性（Creation）、コミュニケーション（Communication）、コラボレーション（Collaboration）、総合的判断思考をする（Critical Thinking）能力の育成に重点を置き、これらを合わせて“4Cs”と称している。そして、読み書きのスキルを身につけるのみならず、これら4Csを身につけられるような21世紀型学習の定義として、「P21フレームワーク」[6]を採択している。「P21フレームワーク」は、21世紀型スキルのためのパートナーシップ（Partnership for 21st Century Skills：P21）によって2009年に作成されたものであるが、とりわけコロンビア・ハイツ公立学校区では、21世紀型学習のポイントとして次の6項目を掲げている。

・反転授業：(flip teaching)
　授業中、問いに答える時間や生徒一人ひとりの手助けをする時間をなるべく多くとれるように、ビデオを利用する。
・ハイブリッド学習：
　反転授業のようなテクノロジーを基盤とする教授法と従来の学習経験とを組み合わせる。
・個人に合わせた学習：
　興味や必要性に基づく個性的な教授を実現するためにテクノロジーを活用する。
・問題解決を基盤とした学習（PBL）：(Problem Based Learning)
　グループで現実世界の問題を明らかにし、追究し、解決策を生み出し、その解決策について他の聞き手と意見交換する。
・STEAM（Science, Technology, Engineering, Arts, and Mathematics）：
　科学、技術、エンジニアリング、芸術、数学を含む統合的なエンジニアリングのプロジェクトである。
・ラーニング・スタジオ：
　思う存分21世紀型学習ができるような、自由で快適な空間を利用する。

このような学校区全体の背景もあって、コロンビア・アカデミーではSTEMにA(Arts)を加えたSTEAM教育が推進されており、コロンビア・アカデミーでのエンジニアリングの事例は学校区の年次報告書にも紹介されている。具体的には、2013年8月に初めて行われたサバイバル・エンジニアリング・キャンプである。このキャンプでは、生徒たちはチームを組んで、SOSを示す旗、雨宿りができるシェルター、水を運ぶための道具、マジックハンド、カモフラージュ・ボックスのデザインと製作の活動を行っている。キャンプが終わって、子どもたちから「これまでのサマーキャンプの中で最高だった」との声が上がった、という[7]。

2．Engineeringの授業

学校訪問時には、エンジニアリング、アート、数学の各授業を公開していただいたが、本稿では特に、日本の中等教育段階の授業にはみられないエンジニアリングの授業に焦点を当てることとする。訪問時に行われていたのはMs. Angel Brownによる第8学年対象のエンジニアリングの授業であり、生徒は30名弱であった。コロンビア・アカデミーでは、エンジニアリングの授業が第6学年から第8学年の各学年で選択科目として設けられている。したがって、第8学年のエンジニアリングの授業であっても、第6学年、第7学年での選択科目の選び方によって、エンジニアリングの授業は3年目という生徒もいれば、2年目という生徒もいる。また、エンジニアリングの授業は隔日で開講されることとなっており、基本的には約90分間の授業である。公開していただいたエンジニアリングの授業は、90分間のうち冒頭の50分間程であった。

図 1. 物品の価格表

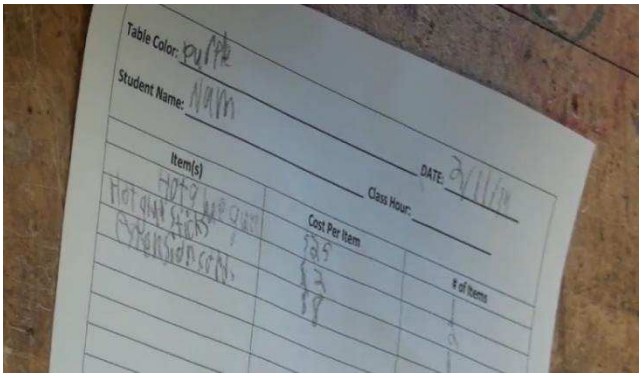


図 2. 物品の注文票

図 3. 製作中の鉄道車両。4 つある車輪それぞれにモーターを取り付け、乾電池でモーターが回るような電気回路を組んでいる。

図 4. 製作中の時計台。柱にライトとスイッチを取り付けるような設計となっている。

この授業の課題は、クラス全体で鉄道の駅をデザイン・製作することであった。クラス内で 6〜7 つのグループ（緑チーム、茶チーム、紫チームのように色でチーム名がつけられていた）をつくり、あるグループは線路と車両、別のグループはプラットホーム、駅舎、時計台、というように、グループによって製作物を分担する。もちろん、製作に際しては本物の駅を作るのではなく、段ボールや画用紙、豆電球などの材料を用いて模型を作製する。模型の大きさしては、例えば鉄道車両の高さが 30〜40cm ほどであったように思われる（定規等で測ったわけではないのでこの数値は正確ではないが、大きさの目安として示している）。クラス共通の問いとして掲げられていたのは、「クライアントのニーズに対して、より効果的に、効率的に応じるにはどのようにすればよいだろうか。」という問いであり、現実にあり得る課題を設定していた。このようにリアルな課題のもとで、生徒たちは鉄道の駅をデザインし、方眼紙に設計図を描きながら製作を進めていくのである。

この活動で特筆すべきは、単に無制限に用意された材料や道具を用いて製作を進めるのではない、ということである。各グループの予算はあらかじめ決まっており、配分された金額の範囲で材料や道具を購入する。しかも、段ボールや豆電球だけではなく、作業に必要な道具、例えばグルーガン（熱で溶かしながら使用するスティック状の接着剤）なども購入しなければならない。生徒たちには、何をいくらで購入できるかの一覧表も配られているが、全ての物品が一つの表としてまとまっているのではなく、授業内でいくつかの販売会社が設定され、その販売会社ごとに 1 枚のシートにまとめられている（図 1）。販売会社によって取り扱いのある物品は違っており、

物品の中にはレンタル品として、1 日あたりにいくら掛かるかが設定されている物品もある。また、クーポンを使えば割引が適用されるほか、ミネソタ州の税率に合わせ、消費税も計算に入れられている。各グループは、購入する物品が決まると、手書きの注文票を使って物品を購入することになる（図 2)。このように、より現実世界に近づけたリアルな状況が設定されているのである。

また、各グループは、物品購入にかかった費用や残額の管理をパソコンで行うこととなっている。Google スプレッドシート（ウェブブラウザ上で動作するクラウドコンピューティングの表計算ソフト：以下、スプレッドシートと略記）を用いて処理できるように準備されており、物品の品目とその単価、購入する数量をセルに記入すると、消費税を含んだ合計金額や、それまでに使用した金額の合計、予算の残額が自動的に計算される。オンライン機能も活用され、他のグループの状況をリアルタイムで確認することもできるようになっている。ここで、あるグループのスプレッドシート上で示されていた収支計算表を、表 1 に示す。表 1 から分かるように、グループには 1,200 ドルの予算が配分されている。ただし、例えば段ボールやグルーガンの価格設定の様子から、実際の販売価格よりも高めに設定されているものと思われる。

さらに、製作の締め切りも決められており、生徒たちはその締め切りに間に合う範囲で最高のものを製作することが求められている。従って生徒たちは、期限までに作り終えるための作業を取捨選択することになる。すな

表 1. 緑チームの収支計算表（生徒のパソコンの画面をもとに筆者作成)。なお、色塗りのセルは、単価と小計の計算が合っておらず、スプレッドシート上で生徒が何らかの入力ミスをしたものと思われる箇所である（筆者が色をつけた)。基本的には、単価と数量のみ入力すれば、小計、消費税、計（税を含む）のセルの値が自動的に計算されるようになっている。

緑チーム					
予算額	$ 1,200.00	支出額	$260.72	残額	$939.28
品目	単価	数量	小計	消費税	計（税を含む）
これまでの金額	353.5	1	$70.10	$5.08	$75.18
グルーガン	$25.00	1	$25.00	$1.81	$26.81
延長コード	$8.00	1	$8.00	$0.58	$8.58
段ボール（半分）	$25.00	1	$25.00	$1.81	$26.81
グルーガン	$20.00	1	$20.00	$1.45	$21.45
延長コード	$8.00	1	$8.00	$0.58	$8.58
グルーガン	$2.00	2	$4.00	$0.29	$4.29
（空欄）	$15.00	1	$15.00	$1.09	$16.09
グルーガン ＋クーポン	$20.00	1	$20.00	$1.45	$21.45
ボックスカッター ＋クーポン	$15.00	1	$15.00	$1.09	$16.09
延長コード	$8.00	1	$8.00	$0.58	$8.58
グルーガン	$20.00	1	$20.00	$1.45	$21.45
L 型の定規	$5.00	1	$5.00	$0.36	$5.36

わち、課題として示された「効率的に」という意味には、前述のような、いかに効率的に予算を使用するか、という金銭的な効率の他に、限られた時間をいかに有効に使って作業を進めるか、という時間的な効率の意味合いも含まれている、と考えられる。

3．ミネソタ州の科学教育スタンダード

コロンビア・アカデミーにおけるエンジニアリングの授業について、その背景として書き加えておかなければならないのは、ミネソタ州アカデミックスタンダード科学編（Minnesota Academic Standards: Science K-12：以下、本稿ではMAS-Sと略記）[8]についてである。現在のMAS-Sは、2009年に改訂されたものが最終版であり、ミネソタ州内の全ての学校で、2011-2012年の年度から適用されている。次期改訂は2018-2019年に予定されているが、現行版のMAS-Sは、NGSSが公表される以前に改訂されたものである。ミネソタ州はNGSSをリードする役割を担っていた州[9]であることから、2009年に改訂された現行版のMAS-Sは、NGSSを作成する際の参考材料となっていた可能性もある。

ミネソタ州のMAS-Sの冒頭部分では、1996年の「全米科学教育スタンダード」[10]と1993年のAAASの「科学リテラシーのためのベンチマーク」（以下、ベンチマークと略記）[11]について次のように述べられている。「スタンダードとベンチマークは、科学の体験への積極的な参加を通して得られる、科学とエンジニアリングに関する一連の知識のつながりを記述している。その体験には、科学的探究やエンジニアリング・デザインに根ざしたハンズオンの実験室活動が含まれている。」[12]この記述は、例えばベンチマークにおける次の内容を指しているものと思われる。「プロジェクト2061では、科学的な営み(営為)と言われているもの全体についての『科学』が意味するところは、自然科学と社会科学の基礎と応用、数学の基礎と応用、エンジニアリング、技術、そしてそれらの相互連関である。」[13]

MAS-Sには、大きな構成要素（strand）が4つある。すなわち、科学とエンジニアリングの本質、Physical sciences（英語表記については本科学研究費出口論文参照）と宇宙科学、生命科学である。ただし、「科学とエンジニアリングの本質に関する内容とスキルについては、他とは独立した構成要素あるいは別のコースと捉えて教えることは意図していない。他の構成要素に関する内容を教授、学習、評価する際に埋め込まれ、用いられるものである。」[14]また、それぞれの構成要素には、3つないし4つのさらなる要素（substrands）が含まれており、その要素（substrands）に対応する形で、全米科学教育スタンダードの内容と、ベンチマークの内容が記述されている。MAS-Sでは、K学年から第12学年までの各学年のスタンダードについて、構成要素（strand）、その要素（substrands）、全米科学教育スタンダード、ベンチマークの各項目を対応させた表が掲載されている。

いずれにしても、ミネソタ州では、NGSSの公表よりも前に、MAS-Sによってエンジニアリングの視点を州レベルの科学教育スタンダードに盛り込み、各学年の目標を明確に示した上で、2011-2012年頃から授業実践に移していくことが決定されていた。このような状況は、ミネソタ州において、フレームワークやNGSSの公表を待たずしてエンジニアリングの授業が実践されていた背景の一つであった、と言えよう。

おわりに

本稿では、STEM教育の実践の状況を探るべく、ミネソタ州の公立ミドルスクールであるコロンビア・アカデミーのエンジニアリングの授業を事例として、その特質を明らかにした。本稿は一つの事例についてのみの叙述に終わっている点で課題が残るが、加えて、エンジニアリング(E)以外の、例えば科学(S)の授業におけるSTEM教育の実態についても解明できていない。STEM教育が急速に広まっていることを考えれば多様な実態の全てを

解明することは到底できないが、科学や数学の授業における STEM 教育の実践についてもいくつかの事例を分析する必要があるだろう。

なお、冒頭に挙げた Science・Technology・Engineering・Mathmatics 各分野の相互連関構造について、ミネソタ大学 Ms. Gillian Roehrig へのインタビューから「T と E が同じくらいの大きさで、S と M は E よりも大きいと考えている」との解答を得た。しかしながら、ミネソタ州内で一つにまとまった結論というわけではないことから、本稿では詳述しなかった。この点についても、今後の継続的な研究が必要である。

また、本調査報告はミネソタ州ミドルスクールの事例であったが、訪米した際、アイオワ州のリンカーン初等学校の事例についても調査した。この事例報告は、既に内ノ倉ほか（2014）にまとめられているが、アイオワ州での調査から正規の授業時間外の時間に STEM 教育に関係する活動が行われ、子どもたちは STEM 学習ノートを作成していることが明らかとなった。アイオワ州、あるいはミネソタ州において、授業時間外に取り組む STEM 教育の内容についても、より詳しい調査や議論が必要であると考えられる。

附記

本稿の全ては、学会未発表のものである。なお、本稿で用いた写真は、筆者が撮影した映像から、個人の顔が映らないように切り出したものである。また、表については、撮影した映像を静止画にして読み取り、筆者がワープロソフト上で再作成した。

謝辞

本調査全般をコーディネートしてくださいました、静岡大学熊野善介教授に心より御礼申し上げます。また、ミネソタ州の学校訪問に際して、当時、学校をご紹介、ご案内くださいましたミネソタ大学 STEM 教育センター副所長の Ms. Gillian Roehrig、コロンビア・アカデミーの校内を案内してくださいました学校長の Ms. Mary Bussman、エンジニアリングの授業を公開していただいた Ms. Angel Brown には、お忙しいところ誠にお世話になりました。ここに記して厚く感謝御礼申し上げます。

なお、本研究は、科学研究費補助金・基盤研究（B）（課題番号：15H03493、研究代表者：長洲南海男）、ならびに科学研究費補助金・特別研究員奨励費（課題番号：13J00655、研究代表者：石崎友規）の助成により行われました。ここに記して謝意を表します。なお、本稿作成に際しまして、長洲南海男研究代表者よる校閲及び森下明美本科学研究費事務補佐員による校正に謝意を表します。

註

1) NGSS Lead States (2013): *Next Generation Science Standards: For State, By States.* Vol.1 & 2. The National Academies Press.

2) National Research Council: *A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas*, 2012.

3) 例えば次の文献において、S・T・E・M の連関構造に関する議論がなされている。Bybee, R. W. (2013): "What Is Your Perspective of STEM Education?" in Bybee, R. W. *The Case for STEM Education: Challenges and Opportunities*. Chapter 8. NSTA Press.

4) 内ノ倉真吾・石崎友規・齊藤智樹・Irma Rahma Suwarma・今村哲史・熊野善介・長洲南海男（2014）「アメリカにおける STEM 教育推進の活動事例報告動向報告―アイオワ州での取り組みに着目して―」、『日本科学教育学会研究会研究報告』第 29 巻第 1 号、87-92 頁。

5) Columbia Heights Public School: *2013 Annual Report: Creating College and Career-Ready GRADUATES.* http://www.colheights.k12.mn.us/education/page/download.php?fileinfo=Q0hQX0FubnVhbF9SZXBvcnRfRl8xLnBkZjo6Oi93d3c1L3NjaG9vbHMvbW4vY29sdW1iaWEvaW1hZ2VzL2RvY21nci81NDRmaWxlNzAyNy5wZGY=&sectiondetailid=7551（2015 年 3 月 10 日最終取得）

6) The Partnership for 21st Century Skills (2009): *P21 Framework Definitions*. http://www.p21.org/storage/documents/P21_Framework_Definitions.pdf（2015 年 3 月 10 日最終取得）

7) Columbia Heights Public School: *2013 Annual Report.* op. cit.

8) Minnesota Department of Education (2009): *Minnesota Academic Standards: Science K-12 2009 Version*.（以下、*MAS-S* と略記）http://education.state. mn.us/MDE/EdExc/StanCurri/K-12AcademicStandards/Science/index.htm のページ下部よりダウンロード（2015 年 3 月 10 日取得）。その後、Web ページの URL は http://education.state.mn.us/ MDE/dse/stds/sci/に変更されているが、MAS-S の内容は同様である（2018 年 1 月 30 日最終取得)。

9) NGSS をリードした 26 の州については次を参照のこと。http://www.nextgenscience.org/lead-state-partners（2018 年 1 月 30 日最終取得)。

10) National Research Council (1996): *National Science Education Standards*, National Academy Press.（長洲南海男監修、熊野善介・丹沢哲郎ほか訳、『全米科学教育スタンダード－アメリカ科学教育の未来を展望する』、梓出版社、2001 年。）

11) Project 2061, AAAS (1993): *Benchmarks for Science Literacy.* Oxford University Press.

12) *MAS-S.* op. cit. p.1

13) *Benchmarks for Science Literacy.* op. cit. p.321.

14) *MAS-S.* op. cit. p.1

科学教育におけるエンジニアリング・デザインの導入
― 米国オレゴン州科学スタンダードを事例として ―

人見久城（宇都宮大学）

1．はじめに

STEM という用語には、学問体系の領域を示す科学（Science）や数学（Mathematics）、人間生活を豊かにする上での成果としてのテクノロジー（Technology）、その方法としてのエンジニアリング（Engineering）が含まれている。STEM はこれらを相互に関連づけた教育を指向する。科学とエンジニアリングは、その方法に類似点や近接する点もあることから、両者の教育を関連づけた実践が進んでいる。エンジニアリングが科学教育に導入される際、「エンジニアリング・デザイン」という用語により、考え方とプロセスが特徴づけられている。本稿では、科学教育におけるエンジニアリング・デザインの導入について、『次世代科学スタンダード（Next Generation Science Standards）』（以下、『NGSS』と略記, 2013）におけるエンジニアリング・デザインのとらえ方を考察した。そして、米国オレゴン州科学スタンダードを事例として、エンジニアリング・デザインを連携させた科学学習の特徴を分析し、科学教育にエンジニアリング･デザインが導入されることの意味を考察した。

2．NGSS におけるエンジニアリング・デザインの定義

NGSS において、エンジニアリング・デザインは次の３つの要素によって構成されると説明されている。その要素を表１に示す（NGSS, Vol.2,p.104）。表１から、エンジニアリング・デザインは、実際の問題に対する解答や解決策を得るために科学的知識を適用させたりすることを指向した学習活動であるといえる。また、３つの要素と各学年段階での指導の特徴は、表２のように示されている。

表１．エンジニアリング・デザインを構成する要素

A. エンジニアリングに関する問題を定義することは、解決、制約、限界などの観点から、問題をできるだけ解けるような状況でとらえることである。
B. エンジニアリングに関する問題に対する解答を予想することは、可能と思われる異なる解答をいくつも考え出したり、そのなかのどの解答が最も問題の解決に適しているかを評価したりすることである。
C. 解答を最適化させることは、系統的に検証したり、洗練したりすることで、最終的な解答を決めることは、いくつもの解答の中からトレードオフによって選び出すことである。

表２．NGSS におけるエンジニアリング・デザインの３つの要素と各学年段階での特徴
要素の A,B,C は、表１と対応する。【出典】NGSS, Vol.2, pp.104-107.

要素	K-2 学年	3-5 学年	6-8 学年	9-12 学年
A. 問題を特定する（Defining the problem）	人が何かを変えたい状況を、「エンジニアリングを通して解決できる問題」として特定する。	単純な問題の解決のために、満たさなければならない基準や克服すべき制約を特定する。	満たすべき基準や克服するべき制約の正確さ、解決策の限界などを考慮する。	満たすべき基準や克服すべき制約に関する広範囲な社会的、環境的な影響を考慮する。
B. 可能な解決策を提案する（Developing possible	視覚的または物理的な表現を通して、可能な解決策を伝える。	複数の可能な解決策を調べる。	新しい解決策を考え出すために、異なる解決策を部分的に組み合わせる。	大きな問題を、解決可能な小さい問題に分割する。

solutions）				
C. デザインを最適化する（Optimizing designs）	解決策を比較し、試験し、評価する。	失敗した結果も考慮しながら、簡単な試験の結果に基づいて、解決策を最適化する。	反復的に試験を行う体系的な方法を用いたり、解決策を改善したりする。	複雑な問題の解決のために、満たすべき基準の順位付け、トレードオフ、環境への影響などを考慮する。

3．オレゴン州科学スタンダードにおけるエンジニアリング・デザインの扱い

3－1．オレゴン州に注目する理由

米国オレゴン州の科学スタンダードに基づいて発行されたエンジニアリング・デザインに関する教師用マニュアル（Oregon Department of Education, 2014a）を分析の対象とした。オレゴン州は、『K-12 学年科学教育のためのフレームワーク』（NRC, 2011）や NGSS（2013）の発行より前の 2009 年度時点で、州の科学スタンダードに既にエンジニアリング・デザインを導入していた。NGSS の開発には 26 州がリードステイツとして関わったが、オレゴン州もそのひとつであった。また、2014 年 9 月にオレゴン州科学スタンダードが改訂されるにあたり、同州は NGSS を採用する方針も打ち出した。

これらの動きにかかわる主要な人物の一人が、州立ポートランド大学のシュナイダー准教授（註 1）であることを、筆者は 2014 年 9 月に伝え聞いている（註 2）。オレゴン州科学スタンダードの著者や指導者としてシュナイダーの名前を、同州のホームページ等で確認はできない。しかし、同氏が 2007 年より州立ポートランド大学に所属していることや筆者が伝え聞いた情報（註 2）から、オレゴン州の科学スタンダードは、NGSS との関係が深く、NGSS のエンジニアリング・デザインの考え方が州の科学スタンダードに色濃く反映していると考えられる。これらのことから、エンジニアリング・デザインを連携させた科学の学習事例の特徴を探る上で、事例のひとつになりうると考えた。

（註 1）シュナイダー（Cary I. Sneider）氏の経歴は、州立ポートランド大学のホームページ（https://www.pdx.edu/profile/cary-sneider-phd）に掲載されている。ここではその内容と最近の編著書（Sneider, 2015）における著者紹介から抜粋する。シュナイダー氏は、メーン州をはじめいくつかの州や地域において科学教師を経験した後、カリフォルニア大学附属ローレンス・ホール・オブ・サイエンス（Lawrence Hall of Science）にて約 30 年間、天文学と物理教育プログラムの開発と教師教育に携わる。ボストン科学館教師教育プログラム副責任者（Vice President for Educator Programs at the Museum of Science in Boston）を経て、2007 年から州立ポートランド大学准教授（Associate Professor）である。研究の関心は、ミスコンセプション、K-12 学年におけるテクノロジーとエンジニアリングを統合した教育の展開などである。全米研究評議会の『科学教育のためのフレームワーク』（A Framework for K-12 Science Education: Practice, Crosscutting Concepts, and Core Ideas, 2011）において、テクノロジーとエンジニアリング教育に関する研究成果を提供し、続いて『次世代科学スタンダード』（NGSS, 2013）において執筆リーダーシップティーム（Writing Leadership Team；計 10 名）の一人として貢献している。

（註 2） 筆者が 2014 年 9 月にカリフォルニア大学附属ローレンス・ホール・オブ・サイエンスを訪問した際、同機関のリンダ・デルッキー氏（Linda DeLucchi；The Full Option Science System のカリキュラム・ディベロッパー）より、シュナイダー氏がエンジニアリング教育に関するキーパーソンである旨を伝えられた。

３－２．オレゴン州科学スタンダードにおけるエンジニアリング・デザインの過程

オレゴン州科学スタンダードにおいて、学習内容との連携を視野に入れたエンジニアリング・デザインの過程は、どのように定義されているであろうか。それらを表３に示す。学年が上がるにつれて、過程が細分化され、初等学校段階で３～５、ミドルスクールで７、ハイスクールで８に分けられている。

表３．オレゴン州科学スタンダードにおける学習内容との連携を視野に入れたエンジニアリング・デザインの過程

【出典】Oregon Department of Education(2014a) : Teacher's Guide to Using Engineering Design in Science Teaching and Learning/ Elementary School Edition,p.11, Middle School Edition, p.13, and High School Edition, pp.18-21.

初等学校 １～3学年	初等学校 ４～5学年	ミドルスクール （6～8学年)	ハイスクール （9～１２学年)
1.問題を特定する。	1.問題や要求を特定する。	1.問題を特定する。	1.ニーズに対応した問題を特定する。
	2.満たすべき条件や克服すべき制約を列挙する。	2.克服すべき制約を特定する。	2.満たすべき条件や克服すべき制約を列挙し、優先順位を付ける。
	3.科学の原理を応用した解決策を考える。	3.ブレーンストーミングをする。	3.解決のために適用させる科学的原理や知識を吟味する。
2.可能な解決策を提案する。	4.可能な解決策を提案する。		4.可能な解決策を提案する。満たすべき条件や克服すべき制約を比較する上で、トレードオフの考え方を使う。
3.原型を設計する。		4.原型を設計する。	5.少なくとも１つ以上の解決策を設計する。
	5.解決策に関して、予算、安全性、外見、失敗したときの環境への影響を考える。	5.試験する。	6.解決策について試験する。試験によって得られたデータを分析する。他の結果を考慮しながら解決策の修正をする。
		6.設計を見直す。	7.データを分析し、不確実性を特定することで、解決策の安定性を高める。
		7.評価する。	8.解決策の長所と短所を特定したり、他の解決策より優れている点を述べたり、さらなる改善点を挙げることで、現在の解決策の良さを評価する。

３－３．オレゴン州科学スタンダードにおけるエンジニアリング・デザインを連携させた学習事例

エンジニアリング・デザインの過程は、自然科学の内容とどのように連携して指導されるのであろうか。初等学校段階の学習事例を表４～表６に、ミドルスクール段階の学習事例を表７に、ハイスクール段階の学習事例を表８に示す。表中の「スタンダードとの関連」枠内における文頭の数字と記号は、「学年、スタンダードの種類、スタンダードの項目番号」を表している。本稿では区別しやすくするためにゴシック体で表記した。例えば、表４における「3.4D.1」は、第３学年の第４領域、エンジニアリング・デザインのスタンダード、第１項目を表している。初等学校の学年は１～５、ミドルスクールでは６～８、ハイスクールではHと表記されている。生命科学領域はNまたはL、地球・宇宙科学領域はE、エンジニアリング・デザインはDを用いている。

学習内容を具体的に見てみたい。まず、初等学校段階（表４～表６）では、「受粉媒介器具」と「３匹の豚とれんが(童話利用)」が示されている。これらは、架空の場所におけるストーリーが示され、その状況における問題を解決するために、製作活動が必要となり、子どもにその製作物の内容を考えさせたり、実際に製作を行わせたりする学習となっている。また、低学年の事例では、楽しさを誘うストーリーが示され、子どもの興味を高める工夫も含まれている。

表４．オレゴン州科学スタンダードにおける学習内容とエンジニアリング・デザインを連携させた学習事例（１）（初等学校第１～３学年『授粉媒介器具』）

【出典】Oregon Department of Education(2014a): Teacher's Guide to Using Engineering Design in Science Teaching and Learning/ Elementary School Edition, p.17.

エンジニアリング・デザインの過程	エンジニアリング・デザインスタンダードとの関連	生命科学スタンダードとの関連	学習事例『授粉媒介器具』
1.問題を特定する。	3.4D.1 エンジニアリング・デザインを通して解決できる問題を特定する。	該当なし	・ジョニーのりんご園では、全部の木に対して授粉できるほど、鳥や蜂などの授粉媒介がいない。
2.可能な解決策を提案する。	2.4D.3 問題を解決したり、要求に合うように、エンジニアリング・デザインを設計したりする。 3.4D.1 可能か解決策を提案する。	N 1.1 L.1 ある植物や動物のグループ内で、それぞれの個体間での特徴を比較対照する。 2.1 L.1 対象物の生理的特性と構成を比較する。 2.2 L.1 生き物のライフサイクルを記述する。	・解決策（授粉器具）を考案する上で、テープ、のり、消しゴム、パイプクリーナー、羽、ストロー、撹拌棒、などが必要である。
3.原型を設計する。	1.4D.2 構造に注目して、動く部分を動かしてみる。 2.4D.1 ありふれた物や材料以外で、原型を作るため、道具を使ってみる。 2.4D.2 他の子どもと一緒にチームで製作する。 3.4D.1 原型を設計する。	該当なし	・子どもは、三つ叉状の授粉器具を作り始める。

表５．オレゴン州科学スタンダードにおける学習内容とエンジニアリング・デザインを連携させた学習事例（２）（初等学校第１～３学年『３匹の豚とれんが（童話の活用）』）

【出典】Oregon Department of Education(2014a): Teacher's Guide to Using Engineering Design in Science Teaching and Learning/ Elementary School Edition, p.18.

エンジニアリング・デザインの過程	エンジニアリング・デザインスタンダードとの関連	地球・宇宙科学スタンダードとの関連	学習事例 『３匹の豚とれんが』
1.問題を特定する。	3.4D.1 エンジニアリング・デザインを通して解決できる問題を特定する。	1.1E.1 地球上の物質の特徴や物理的性質を記述する。	・３匹の豚は、けんかが絶えないので、さらに２軒の家が必要である。しかし、お金がない。
2.可能な解決策を提案する。	2.4D.3 問題を解決したり、要求に合うように、エンジニアリング・デザインを設計したりする。 3.4D.1 可能か解決策を提案する。	1.1 E.1 地球上の物質の特徴や物理的性質を記述する。	・家を建てるために、煉瓦（れんが）を作ることで問題が解決されることが説明される。水、のり、砂、大小の砂利が必要である。よい煉瓦を作るには、異なる成分を混ぜることが重要である。
3.原型を設計する。	2.4D.1 ありふれた物や材料以外で、原型を作るため、道具を使ってみる。 2.4D.2 他の子どもと一緒にチームで製作する。 3.4D.1 原型を設計する。	1.1 E.1 地球上の物質の特徴や物理的性質を記述する。	・子どもは、煉瓦（模擬的なもの）を作る。

表６．オレゴン州科学スタンダードにおける学習内容とエンジニアリング・デザインを連携させた学習事例（３）（初等学校第４～５学年『３匹の豚とれんが（童話の活用）』）
【出典】Oregon Department of Education(2014a) : Teacher's Guide to Using Engineering Design in Science Teaching and Learning/ Elementary School Edition, p.19.

エンジニアリング・デザインの過程	エンジニアリング・デザインスタンダードとの関連	地球・宇宙科学スタンダードとの関連	学習事例『３匹の豚とれんが』
1.問題を特定する。	4.4D.1 科学的原理を使ったエンジニアリング・デザインを通して解決できる問題を特定する。	1.1E.1 地球上の物質の特徴や物理的性質を記述する。	・３匹の豚にさらに２軒の家があれば、別々に暮らすことができる。しかし、お金がない。
2.可能な解決策を提案する。	5.4D.1 科学的原理を使い、解決すべき問題を記述する。満たすべき基準や克服すべき制約も記述する。	該当なし	<満たすべき基準> 1.家の構造に耐えられるように、煉瓦は強くなければならない。 2.風雨に耐えなければならない。 3.家を建てる際、煉瓦を持ち運べるように、軽くなくてはならない。 4.家の外観がよい煉瓦であればなおよい。 <克服すべき制約> ・使う材料は限られている。
3.原型を設計する。	5.4D1 科学的原理を使い、解決策を記述する。	1.1 E.1 地球上の物質の特徴や物理的性質を記述する。 4.1E.1 地球上の物質の性質、用途、入手可能性を特定する。	・解決のアイディアとして、のり、砂、水、砂利の分量を変えて使うことが想定される。基準や制約に合致した材料の性質を考慮する必要がある。
4.可能な解決策を提案する。	4.4D.2 問題を解決する原型を設計し、製作する。 5.4D.2 エンジニアリングの視点から原型を設計し、製作する。	4.1E.1 地球上の物質の性質、用途、入手可能性を特定する。 4.2E.1 地球表面の変化の速さ（遅い変化、速い変化）を対比する。	・子どもは、煉瓦（模擬的なもの）を作る。
5.解決策に関して、予算、安全性、外見、失敗したときの環境への影響を考える。	5.4D.1 科学的原理を使い、解決すべき問題を記述する。満たすべき基準や克服すべき制約も記述する。	1.1E.1 地球上の物質の特徴や物理的性質を記述する。 4.1E.1 地球上の物質の性質、用途、入手可能性を特定する。 4.2E.1 地球表面の変化の速さ（遅い変化、速い変化）を対比する。	・子どもは、ワークシートに沿って、どれが最もよい煉瓦であったかを評価する。

ミドルスクールの学習事例（表７）では、「水のろ過」が挙げられている。「水のろ過」は、水の循環や環境への影響などについて考えさせ、子ども自身がろ過装置（フィルター）を製作し、実験を通してろ過の効果を調べる学習である。自然環境の変化という複雑な事象について、優先順位、トレードオフなどの考え方を含め、総合的に評価することをねらいとしている。ハイスクールの学習事例（表８）として、「藻の生育装置」が挙げられている。これは、藻が生長するために適した環境を検討することを通して、自然界におけるエネルギーや化学物質の流れについて学習するものである。

表７．オレゴン州科学スタンダードにおける学習内容とエンジニアリング・デザインを連携させた学習事例（４）（ミドルスクール第６～８学年『水のろ過』）

【出典】Oregon Department of Education(2014a): Teacher's Guide to Using Engineering Design in Science Teaching and Learning/ Middle School Edition, pp.24-25.

エンジニアリング・デザインの過程	エンジニアリング・デザインスタンダードとの関連	地球・宇宙科学スタンダードとの関連	学習事例『水のろ過』
1.解決の必要性のある問題を同定する。	6.4D.1 解決の必要性のある問題を特定する。 7.4D.1 解決の必要性のある問題を特定する。 8.4D.1 解決の必要性のある問題を特定する。	6.2E.1 水の循環と地形と天候の関係を説明する。 7.2E.3 地球環境に対する人類の活動の影響の観点から、自然界の循環を評し、問題に対する解決策を評価する。	・油(oil)、肥料、農薬、ラード、動物からの排出物などのような自然界の汚染物質は、河川、池、湖沼、湿地などを汚染している。そのような汚染された水の一部は、家庭で野菜の洗浄、調理、入浴に使われたりしている。
2.満たすべき基準と克服すべき制約を特定する。	7.4D.1 克服すべき制約を特定する。 8.4D.1 満たすべき基準、克服すべき制約、優先順位を特定する。	該当なし	<満たすべき基準> ・フィルターは、水の濁りを軽減させ、pHを変化させる上で、一定期間の使用に耐えうる。 <優先順位> ・水の浄化が最優先である。 <克服すべき制約> ・補助的装置を必要とする。
3.関連する科学的原理と知識を述べる。	6.4D.1 解決策に関連する科学的原理を特定する。 7.4D.3 新しい科学的知識が新しい技術へどのように活用されているかを説明する。 8.4D.1 関連する科学的原理を使う。	6.2E.1 水の循環と地形と天候の関係を説明する。 7.2E.3 地球環境に対する人類の活動の影響の観点から、自然界の循環を評価し、問題に対する解決策を評価する。	・油(oil)肥料、農薬、ラード、動物からの排出物は、疾病の原因となる汚染物質である。
4.可能な解決策を提案する。	第６学年　該当なし 第７学年　該当なし 8.4D.1 可能な解決策を提案する。	6.2E.1 水の循環と地形と天候の関係を説明する。 7.2E.3 地球環境に対する人類の活動の影響の観点から、自然界の循環を評価し、問題に対する解決策を評価する。	・２つの異なるアイディアについて、ブレーンストーミングをする。
5.提案された解決策を設計する。	7.4D.2 可能な解決策を、適切なツールや材料を用いて設計、製作し、試験する。 8.4D.2 可能な解決策を設計、製作し、試験する。	該当なし	・上で検討したアイディアのどちらかを製作する。
6.提案された解決策を試験し、データを収集する。	第６学年　該当なし 第７学年　該当なし 8.4D.2 可能な解決策を設計、製作し、試験してデータを収集する。	7.2E.3 地球環境に対する人類の活動の影響の観点から、自然界の循環を評価し、問題に対する解決策を評価する。	・設計を試験する。
7.提案された解決策を、基準と制約、優先順位、トレードオフの観点から評価する。	6.4D.2 特定された問題に対して提案された解決策を、エンジニアリング・デザインの観点から評価する。 7.4D.2 提案された解決策が、特定された問題にいかに対応しているかを評価する。	6.2E.1 水の循環と地形と天候の関係を説明する。 7.2E.3 地球環境に対する人類の活動の影響の観点から、自然界の循環を評価し、問題に対する解決策を評価する。	・フィルターがいかに機能しているかを評価する。

	8.4D.2 提案された解決策について、満たすべき基準、克服すべき制約、優先順位、トレードオフの観点から評価する。		
8. 解決策のさらなる改善を検討する。	第6学年　該当なし 第7学年　該当なし 8.4D.2 解決策のさらなる改善を検討する。	6.2E.1 水の循環と地形と天候の関係を説明する。 7.2E.3 地球環境に対する人類の活動の影響の観点から、自然界の循環を評価し、問題に対する解決策を評価する。	・フィルターをさらに良くするにはどうすればよいか？　これまでの結果に基づいて改善するか、別のアイディアを試してみる。

表8．オレゴン州科学スタンダードにおける学習内容とエンジニアリング・デザインを連携させた学習事例（5）（ハイスクール第9～12学年『藻の生育装置』）

【出典】Oregon Department of Education(2014a) : Teacher's Guide to Using Engineering Design in Science Teaching and Learning/ High School Edition, pp.23-25.

エンジニアリング・デザインの過程	エンジニアリング・デザインスタンダードとの関連	生命科学スタンダードとの関連	学習事例『藻の生育装置』
1.問題を特定する。	H4D.1 問題を特定する。	H.1L.4 細胞の機能や細胞分裂が、環境の中で、内的および外的にいかに調節されているかを説明する。	・藻の生育装置を製作する上での問題を特定する。
2.可能な解決策を提案する。	H.4D.1 満たすべき基準と克服すべき制約を、科学的原理に基づいて特定する。	H.1L.4 細胞の機能や細胞分裂が、環境の中で、内的および外的にいかに調節されているかを説明する。 H.2L.1 エネルギーと化学物質が系をどのように通過しているかを説明する。生物のいろいろなレベルや系において、化学物質がどのように結合したり、分解したりしているかを説明する。	・製作する上で満たすべき基準、克服すべき制約、トレードオフについて特定する。
3.関連する科学的原理と知識を述べる。	H.4D.1 問題を特定し、それに対して満たすべき基準と克服すべき制約を、科学的原理に基づいて特定する。	H.1L.4 細胞の機能や細胞分裂が、いかに環境に応じて調節されているかを説明する。 H.2L.1 エネルギーと化学物質が系をどのように通過しているかを説明する。生物のいろいろなレベルや系において、化学物質がどのように結合したり、分解したりしているかを説明する。 H.2L.2 生態系が、自然界の撹乱や相互作用に応じて変化しているかを説明する。	・藻の生育装置を製作する上で、何が問題となっているかを特定し、解決策をブレーンストーミングする。
4.可能な解決策を提案する。基準と制約の比較に対して、トレードオフの考え方を使う。	H.4D.1 問題に対する解決策を提案し、基準と制約の比較に対して、トレードオフの考え方を使う。	H.2L.1 エネルギーと化学物質が系をどのように通過しているかを説明する。生物のいろいろなレベルや系において、化学物質がどのように結合したり、分解したりしているかを説明する。 H.2L.2 生態系が、自然界の撹乱や相互作用に応じて変化しているかを説明する。生態系における生物と非生物間の関係を分析する。	・子どもはブレーンストーミングをする。 ・子どもは基準と制約の比較に対して、トレードオフの考え方を使う。 ・子どもは、藻の生育装置の製作に関して得られたデータを分析する。設計の改善のためにデータを活用する。
5.提案された解決策を設計し、製作する。	H.4D.2　1つ以上の解決策を提案し、試験する。	H.2L.1 エネルギーと化学物質が系をどのように通過しているかを説明する。生物のいろいろなレベルや系において、化学物質がどのように結合したり、分解したりしているかを説明する。 H.2L.2 生態系が、自然界の撹乱や相互作用に応じて変化しているかを説明する。生態系における生物と非生物間の関係を分析する。	・子どもは、装置のデザインについて評価する。 ・子どもは、藻の生育装置の小型のものを製作する。

6.提案された解決策を試験し、データを収集する。試験で得たデータに基づいて修正を施す。	H.4D.2　1つ以上の解決策を提案し、試験する。関係するデータを収集する。試験で得たデータに基づいて修正を施す。	H.2L.1 エネルギーと化学物質が系をどのように通過しているかを説明する。生物のいろいろなレベルや系において、化学物質がどのように結合したり、分解したりしているかを説明する。 H.2L.2 生態系が、自然界の撹乱や相互作用に応じて変化しているかを説明する。生態系における生物と非生物間の関係を分析する。	・子どもは、小型の生育装置を製作し、藻の成長率に関するデータを収集する。 ・子どもは、藻の成長率について事前に得られていたデータと比較する。子どもは、製作した装置の改良のために、それらのデータを活用する。
7.データを分析し、不確定な要因を特定する。試験で明らかにできるようなデータを特定する。	H.4D.3データを分析し、不確定な要因を特定する。試験で明らかにできるようなデータを特定する。	H.2L.1 エネルギーと化学物質が系をどのように通過しているかを説明する。生物のいろいろなレベルや系において、化学物質がどのように結合したり、分解したりしているかを説明する。 H.2L.2 生態系が、自然界の撹乱や相互作用に応じて変化しているかを説明する。生態系における生物と非生物間の関係を分析する。 H.2E.4 環境の質に対する人類の活動の影響と、地球環境の持続性について評価する。天然資源に及ぼす環境の 要因を説明する。	・子どもは、藻の成長率について事前に得られていたデータと比較する。子どもは、製作した装置の改良のために、それらのデータを活用する。 ・子どもは、得られたデータを読みやすいグラフの表したり、データに含まれる不確定な要因について話し合ったりする。
8. 解決策の得失を比較する。他の解決策より優れている点を説明する。さらに改善するための方策を検討する。	H.4D.4解決策の得失を比較する。他の解決策より優れている点を説明する。さらに改善するための方策を検討する。	H.1L.4 細胞の機能や細胞分化が、環境の中で、内的および外的にいかに調節されているかを説明する。 H.2L.1 エネルギーと化学物質が系をどのように通過しているかを説明する。生物のいろいろなレベルや系において、化学物質がどのように結合したり、分解したりしているかを説明する。 H.2L.2 生態系が、自然界の撹乱や相互作用に応じて変化しているかを説明する。生態系における生物と非生物間の関係を分析する。	・初めの装置の製作と評価をおこなった後、その装置の得失を文章にまとめる。装置の改良のために、文章やスケッチをまとめる。

３－４．オレゴン州科学スタンダードにおけるエンジニアリング・デザインを連携させた学習事例の特徴

(1)自然科学との関連

それぞれの学習事例において、Physical Sciences 及び Life Sciences(註３)、地球・宇宙科学（Earth & Space Sciences）のいずれかの内容との関連が詳細に示されている。エンジニアリング・デザインと連携させた学習は、自然科学の内容と密接に関連させた学習であることを特徴として指摘できる。これは、エンジニアリング・デザインと連携させた学習が、装置や玩具の製作活動のみに偏ったものではないいと言い換えることができる。

（註 3）Physical Sciences のとらえ方については、出口憲の論考, Life Sciences に関しては北田典子、長洲南海男の論考（何れも本科学研究費成果報告書所収）を参照。

(2)学習の過程と状況設定

表３で見たように、エンジニアリング・デザインの過程は、問題の特定、解決策の提案、解決策に基づく製作や試験、最適化、というものである。表４～表９に共通することとして、学習の過程が、エンジニアリング・デザインの流れに沿ったものであることを指摘できる。すなわち、子どもに対して、初めに状況が提示され、そこ

に解決すべき問題（Problem）があることが説明される。そして、その問題が何であるかを子どもが特定し、問題に対する解決策（Solution）も子どもが考案し、その案の比較検討や、製作、試験等を通して最適な（Optimized）解決策を選定していくという過程が共通に見られる。表４～表９からは、これらの過程が活動や場面として具体化されていることを読み取ることができる。学習の過程は、エンジニアリング・デザインと連携させた学習にとってたいへん重要である。学習が装置や玩具の製作に偏らず、科学的原理や知識と関連させたもととして位置付けるためには、科学との関連が必然的な状況となるようなストーリーが必要だからである。

(3)学習活動を特徴づけるもの

これまで見てきたエンジニアリング・デザインを連携させた学習事例から、学習活動の特徴を示すキーワード（キーフレーズ）と抽出すると表９のようになる。ただし、順序は学習過程に沿ってはいない。探究の過程を基底とした科学授業では、問題の把握、仮説や予想の設定、観察・実験の計画の立案、観察・実験の遂行、実験結果の整理、考察、結論の導出という流れが一般的である。表９を見ると、エンジニアリング・デザインに沿った（または導入した）学習には、解決策の提案やその吟味などが含まれている。このことは、学習活動の収束が、答えが複数存在する（一つではない、一つには決めにくい等）というまとめ方になることを意味している。これは、答えを一つに決めていく自然科学の考え方とは異なるアプローチである。科学教育における探究（Inquiry）の流れと一部重複する活動はあるものの、全体的には異なる活動になっていることがわかる。

表９．エンジニアリング・デザインの学習活動を特徴づけるもの

・問題を特定する。
・満たすべき基準、克服すべき制約、問題を特定する。
・問題解決において製作物と過程を考える。
・デザインと解決策の根拠を記述する。
・モデル、プロトタイプ、スケッチを作る。
・製作物やシステムを設計する。
・適切な材料、最適解、効果的な方法を選択する。
・解決策と要素を説明する。
・計画、レイアウト、デザイン、解決策、過程を考案する。
・解決策、プロトタイプ、図を描く。
・問題、デザイン、解決策について話し合う。
・解決策とデザインを提案する。
・解決策、デザイン、デザインに関する問い、計画について、ブレーンストーミングをする。
・デザイン、プロトタイプ、モデルを構築する。
・基準、制約、数学的なモデルを適用する。
・解決策やモデルを改良する。
・フローチャート（流れ図）、計画、解決策のデザイン、青写真、製作の過程を検討する。
・製作物やモデルを評価し、再設計し、修正する。
・解決策の効果を評価する。

４．おわりに

エンジニアリング・デザインと科学を連携させた学習事例の特徴として、(1)自然科学の内容と密接に関連させた学習であること、(2)科学的原理や知識と関連せるために、ストーリー性のある場面設定を工夫していること、を指摘した。エンジニアリング・デザインと連携させた学習が科学教育において導入されることは、自然科学の特質である、答えが特定できることとは異なるアプローチを、学習活動として許容していくことを意味する。STEM 教育の実践事例として、エンジニアリング・デザインが科学教育に導入されることは、探究（Inquiry）を中心とする従来の科学教育に対して、その考え方や実践の方向の部分的な転換を迫るものと考えられる。ただし、

全面的な転換ではなく、これまで蓄積されてきた科学教育の上に、新しいアプローチを付加して、新しい科学教育を構築することであろうと予想される。このことの根拠を整理することなどを、今後の課題としたい。

本稿で対象としたオレゴン州科学スタンダードにかかわる教師用マニュアル（Oregon Department of Education、2014b）によれば、自然科学の学習内容のすべてに対して、エンジアリング・デザインの過程との連携は可能であるとしつつも、学習事例として限定的なものを例示するにとどめている。エンジアリング・デザインの過程との連携がすぐれて応用的な学習となることや、ストーリー性を考慮することなどを踏まえると、学習の展開例は複数考えられる。このことから、州の立場としては、学習事例をあまり多く提示せず、教師のアイディアに委ねる形としている。一方、教師が学習内容や展開を独自に考案することは教師の力量に関係する。この点への対応として、教員研修等が実践されているかどうかを分析することなども、課題としたい。

【文献】　URL は 2018 年 2 月 4 日確認。

Carr, R.L., Bennett, L.D., Strobel, J. : Engineering in the K-12 STEM Standards of the 50 U.S. States: An Analysis of Presence and Extent, Journal of Engineering Education, 101(3), 539-564, 2012.

Committee on Conceptual Framework for the New K-12 Science Education Standards, National Research Council : A Framework for K-12 Science Education: Practice, Crosscutting Concepts, and Core Ideas, 2011.

Crismond, D. : Design Practices and Misconceptions; Helping Beginners in Engineering design, Science Teacher, 80(1), 50-54, 2013 .

NRC：Next Generation Science Standards For States, By States, National Academy Press, 2013 (http://www.nextgenscience.org/)

Oregon Department of Education: Oregon Science K-HS Content Standards, 2014a. (http://www.oregon.gov/ode/educator-resources/standards/science/Pages/default.aspx)

Oregon Department of Education: Engineering Design in Teaching Science, 2014b. (http://www.oregon.gov/ode/educator-resources/standards/science/Pages/Engineering-Design-in-Teaching-Science.aspx)

Sneider, C.I.,(eds)：The Go-To Guide for Engineering Curricula Pre K-5, Choosing and Using the Best Instructional Materials for Your Students, Corwin, 2015.

附記

本稿は、人見久城（2017）：アメリカ・オレゴン州科学スタンダードで例示されたエンジニアリング・デザインを連携させた科学の学習事例の特徴（日本科学教育学会第 41 回年会発表）を下敷きとし、その後得られた新たな知見を加えて再構成したものである。

謝辞

本研究の一部は、科学研究費補助金・基盤研究（B）（課題番号：15H03493、研究代表者：長洲南海男）の助成により行われた。本稿は、長洲南海男研究代表者より、細部にわたる丁寧なコメントとともに全体にわたってご校閲して頂きましてブラッシュアップできましたことに、記して謝意を表します。

STEM 教育における数学の位置づけについて
－数学的モデリング研究の成果を踏まえて－

二宮　裕之（埼玉大学）　日野　圭子（宇都宮大学）

1．はじめに

数学教育において，STEM 教育に関する議論はほとんど見られない。その中で、数学的モデリングと STEM 教育の接点を探っている研究者である English, L. D. は、STEM 教育について次のように述べている。STEM 教育において、S（科学）と T（技術）は優勢であるが、M（数学）と E（工学）の役割がまだ十分認識されていない。(註 1)　数学は、他の学問の根底にあるといわれるが、STEM 教育の議論では"Science for All"に比べると、"Mathematics for All"は殆ど出てこない。また、工学は、特に初等学校やミドルスクールの STEM プログラムで、よりいっそう認知され登用されるべきである(English, 2017)。本稿ではこの English (2017)などの論考を拠り所に、数学教育学研究から見た STEM 教育の概観や、STEM 教育に関わって数学教育学研究において議論されている事柄に関して論じていく。

English (2017)は，Shaughnessy (2013)を引用し，STEM 教育とは、「エンジニアリングのチームワークとデザイン方法論を取り入れ、適切なテクノロジーを使いながら、数学と科学の概念や手続きを参照して問題を解くこと」(p. S6)についての教育であると述べる。一方で、「エンジニアリング」というキーワードでの関連として、「エンジニアリングデザインプロセス」（以下、EDP と略記）に関する論考がなされている。EDP は、STEM を構成している 4 つの学問分野すべてにわたって重要な基盤を与えてくれるが、多くの国でまだ十分に認識されていないという（English, 2017）。

本稿の目的は、STEM 教育における数学の位置づけについて、その現状を明らかにするとともに、そのあるべき姿を探ることにある。数学教育学の研究において、STEM 教育に関する数少ない研究の一つが EDP に焦点化していることから、最初に EDP を手がかりとし、米国の数学教育学研究における EDP に関する議論を概観する。その上で、その具体的提案の一つである Models and Model-eliciting activity（以下、MEA と略記）について考察を進める。一方で、数学教育学において、MEA は「モデリング研究」の一つとして位置づいている。そこで、MEA をはじめとする数学的モデリング研究の検討を行う。そして二宮(2017(b))における考察をもとに、STEM 教育における EDP の位置づけ、EDP の具体的提案である MEA の様相、MEA とはじめとする数学的モデリング研究の実際、といったそれぞれのキーワードどうしの関連を拠り所にしながら、STEM 教育における数学の位置づけについて検討を行いたい。

2．米国におけるエンジニアリングデザインプロセス研究

米国における 2 つの資料を使って、EDP について調べた。1 つは、米国で最大規模の数学教育者団体である全米数学教師協議会（National Council of Teachers of Mathematics：NCTM）が定期的に発行している小学校・ミドルスクールの教員向けの雑誌『Teaching Children Mathematics』である。『Teaching Children Mathematics』では、ここ数年の間、毎号『*i*STEM』という名称で、STEM 教材を紹介するページ（3～5 ページ）が組み入れられている。本稿では、その中から 2014 年 2 月号～2016 年 8 月号に掲載された教材を調べ、特徴や傾向、特に、EDP に関わる情報を探した。他の 1 つは、Purdue 大学工学部(Department of Engineering)における数学的モデル化の教材を用いた試みの報告書『Models and Modeling in Engineering Education: Designing Experiences for All Students』である。

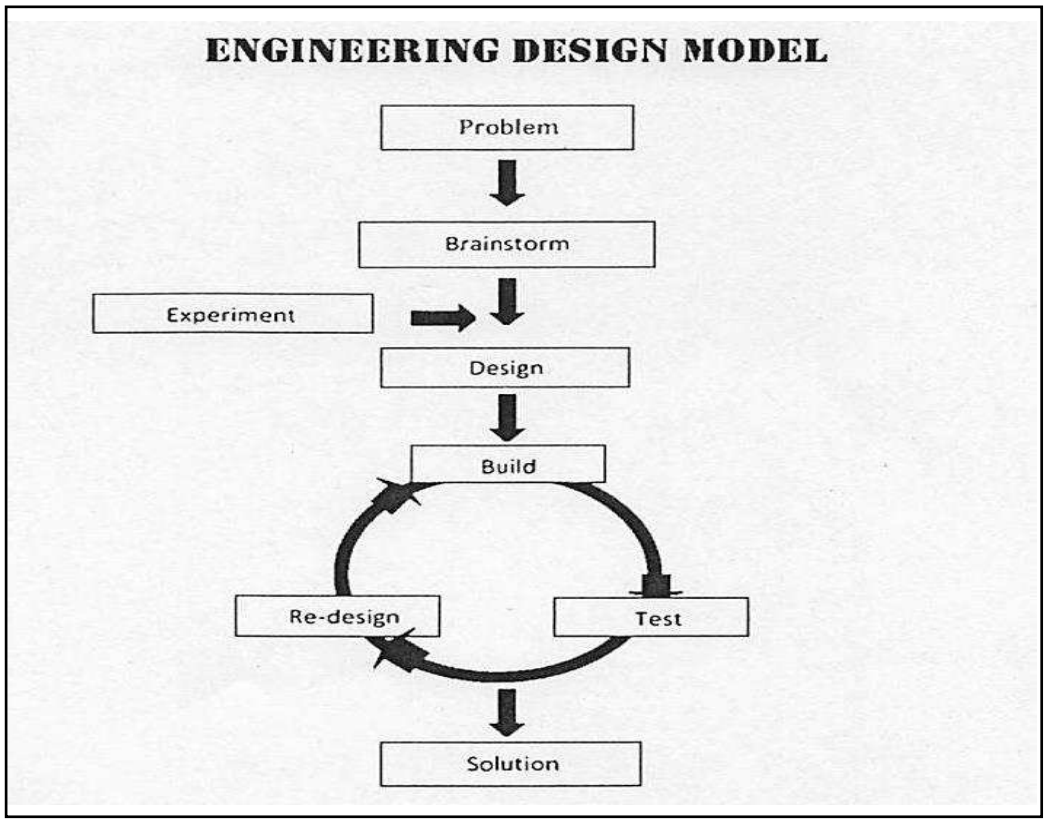
Purdue 大学では、4 年間にわたって学部科目において、特に女子学生を視野に入れて、工学の文脈に置かれた問題への解答として、数学的モデルをデザインし適用することを要求する活動が導入された。そこでは、数学的モデル化として、Lesh らの MEA が用いられた(Lesh & Doerr, 2003)。本節では Purdue 大学工学部の報告書をもとに、EDP の特徴が、いかに数学的モデル化に加わっているのかを考察する。

(1) EDP(エンジニアリングデザインプロセス)について

『Teaching Children Mathematics』における STEM 教材では、次の 3 つの特徴があることが分かった。

- 米国の数学と英語言語活動（English Language Arts）におけるスタンダードであるコモンコア（Common Core State Standards for Mathematics, CCSSM）における数学的実践スタンダード（Standards for Mathematical Practice）やプロセススタンダード(NCTM, 2000)との関連付け
- 工学の核であるデザインプロセスへの注目
- 活動の文脈における本来性（authenticity）の重視

ここでは、２つ目の特徴に注目したい。掲載されている教材（teaching materials）ではデザインプロセスが取り入れられ、複数の教材が、エンジニアリングデザインモデルを参照していることを記していた。図 1 が示すように、解決すべき問題が提起され、グループでアプローチの仕方等についてアイデアを出し合う。そして、デザインをし、実際に作り、テストし、デザインを改良するサイクリックなプロセスが踏まれる。その後、出来上がった作品を発表し、フィードバックを受ける。こうしたプロセスによって構成されているモデルである。



（Problem－問題、Brainstorm－ブレインストーミング、Experiment－実験、Design－デザイン、Build－構築 Test－テスト、Re-design－再デザイン、Solution－解答）

図 1：エンジニアリングデザインモデル（Hefty, 2016, p. 375 より転用）

STEM 教育では、これまでも関連性が謳われていた 3 教科(科学・技術・数学)に加えて、E（工学）が入っているところが 1 つのポイントである。これに関して、「K-12 学年の科学教育のフレームワークでは、工学を広く捉え、人間の問題を解法するために、デザインという組織的なあらゆる実践に従事することと定義している」(Hefty, 2016, p. 375)、「エンジニアリングデザインプロセスは、子どもの数学、科学、技術の学習の間のパワフルなリンクとして貢献し得る」（English & King, 2016, p. 47）という記述がある。STEM における工学の役割は、他の 3 教科（科学、技術、数学）を活用して、問題解決をしていくプロセスを提供することであると考えられている。

特徴の 3 つ目である、「学習活動をする上で、活動の文脈に本来性（authenticity）の要素を取り入れる」点も、デザインプロセスに関わる。例えば、専門家を招いて、実際のデザインの様子を話してもらったり、活動にアドバイザーとして参加してもらったりする。クライエントからの具体的な要望が示され、会社の専門チームのメンバーとしてその要望に応える、あるいは、上級生と一緒に下級生向けのゲームを開発するといった場面設定もある。これは、デザインプロセスにおける問題が、推進力としての問題（driving problem）となるためにも必要である。

また、グループワークが基本であり、テクノロジーを含む様々なリソースが自由に使われる。作品を作った後の発表会は、本来性の面からも重要である。作品やその作り方、作る上での探究のプロセスを、ポスター等を用いて説明するとともに、作品同士を比較し合って、機能面やコスト面からの評価付けが行われる。このような評価（フィードバック）に基づく改善は、デザインプロセスの中核の部分である。

一方、Purdue 大学工学部では、図 2 のようなデザインプロセスに基づいて教材づくりや授業実践をしている。EDP と言っても、ある 1 つのモデルがある訳ではなく、目的や実態に応じて考えられていることがわかる。Purdue 大学では、数学的モデルのデザインをターゲットにして、このプロセスが踏まれていた。

Wood et al. (2008) は、「工学の核心（heart）はデザインである。それは、工学を科学のような他の学問から区別する本質的なプロセスである」(p. 191)と述べる。そして、EDP では、解析、評価と総合、工学の道具の長けた使用を含む高次思考を要求すると述べる。デザインをするためには、数学や科学のような学問的境界を越えて知識を使ったり、複数の領域に関わる言語や原理、内容や方法を使ったりすることが必要である。Wood et al. (2008) では、その他にも、EDP には、次のような幾つかの本質的な様相が含まれていることを述べている。

- 高度にオープンエンドであり、また、繰り返しやサイクリックなプロセスを含んでいる。また、分析と総合を繰り返すプロセスを含んでいる。クライエントの必要性に適う最適解を得るためには、モデルの開発、評価、修正を何度も辿ることが求められる。
- 生徒は、学習のプロセスと、プロダクト（成果物）の両方に取り組む。「プロダクトとしてのプロセス」（例えば、手続きや手順等を、クライエントへの手紙としてまとめることを成果物とする）の強調は、数学的モデルのデザインを行う彼らの試みのポイントでもある（Diefes-Dux et al., 2008）。
- 生徒に求められているのは、ただ 1 つの状況への答えを見つけるためにモデルを開発することではない。開発した数学的モデルは、類似の状況においても役立つものであり、新しい条件が加わった場合には、改良することができるものであるべきである。即ち、モデルは新たなデータセットに対しても一般化可能であり、また、新しい条件にも適用可能性を有していることが求められる。

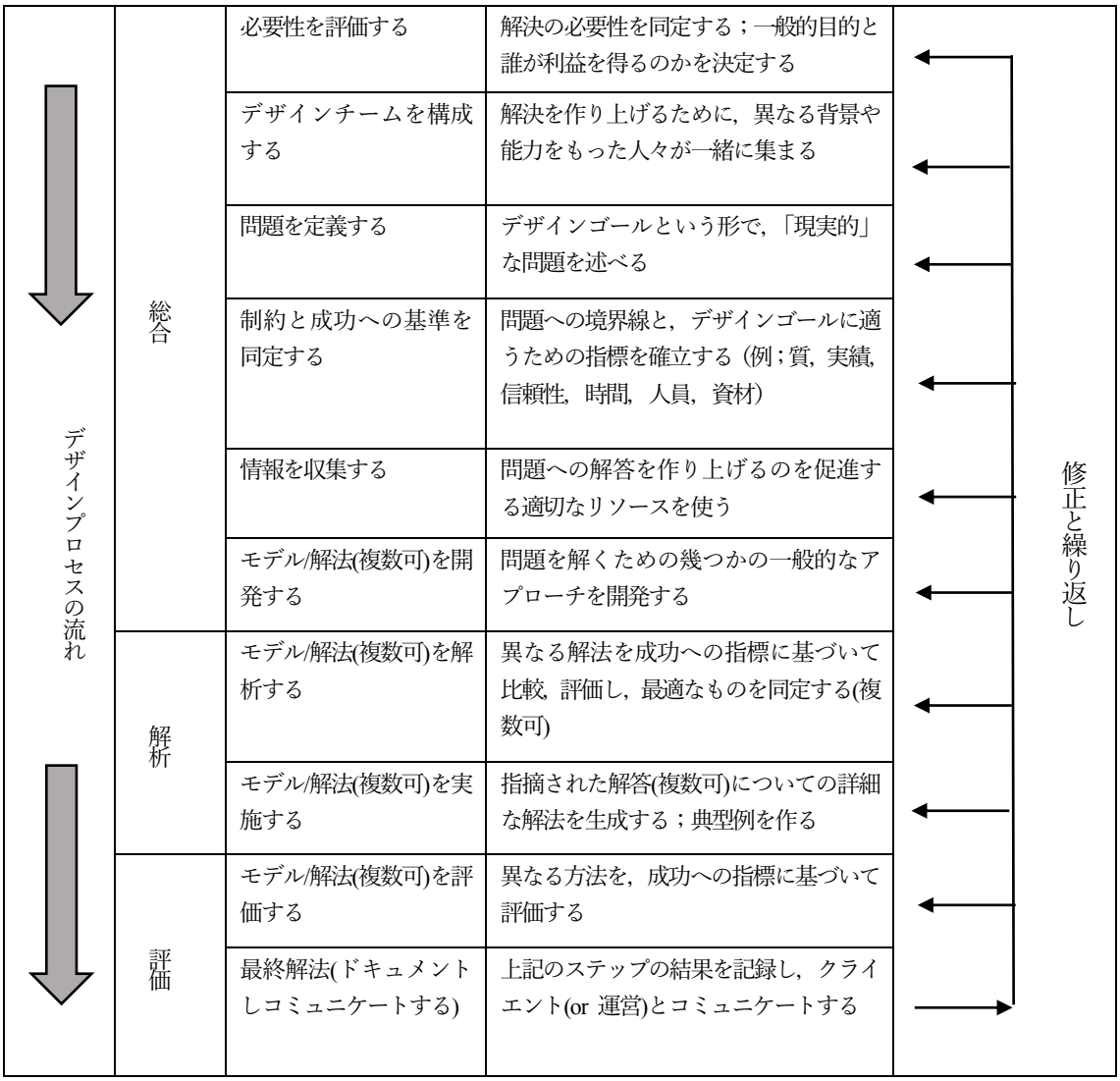


図2：エンジニアリングデザインプロセス
（Wood, Hjalmarson, & Williams, 2008, p. 189 より転用したものを日野が和訳）

(2) デザインプロセスを活用した教材例

『Teaching Children Mathematics』で掲載されている教材は多種多様であり、また、すべての学年（幼稚園を含む）が対象になっている。数学の側面からみると、他分野と融合する中での応用を志向したものも、特定の数学の概念の利用に特化したものもある。活動のねらいも、環境、資源、健康等をターゲットにしたもの、ものづくり（機能性を高める）、コンピュータソフトウエアを使ってバーチャルな世界を対象にしたもの等、多様である。以下では、デザインプロセスが強調されている幾つかの教材を紹介する。概要を述べた後に、数学の内容との関連を＜　＞の中に簡単に記す。

航空宇宙科学の工学的挑戦（The aerospace engineering challenge）（4年生）(2014, 9月号)

紙で作った飛行機を飛ばす。滞空時間が出来るだけ長いものを作る。子どもに工学という面白い世界を導入する。数学、科学、技術（technology）での学習を、実世界の問題を解くために活用することが工学であると言う。

以下のようなデザインプロセスによって進める。

① Engibear's Dream という絵本でデザインプロセスの導入（ロボットを作る話）
② 問題を設定する（数学の側面としては、測定・幾何）
③ 探究する（航空機の設計に関わるエンジニアの役割、ビデオを見たりもする）
④ 紙飛行機のデザイン・制作・テスト
⑤ 再度のデザイン・制作・テスト（難しいチームには、１つの紙飛行機のモデルを示し、それを改良するように言う。）
⑥ 活動に参加してくれたエンジニアにレポートを送る。

認知的に挑戦的な課題の中で、子どもが行動を計画したり、説明したり、行動を正当化したりする、そのための判断や選択をすることが大切である。　　＜数学内容との関連性：測定、幾何学、データの収集と分析＞

子どものリクリエーションルームをデザインする（５～６年生）（2015，９月号）

クライエントから、子どものリクリエーションルームを作りたいので、デザインを頼まれるという文脈。子ども達はインテリアデザイナーのチームとして応える。子どもが好きな道具があって、7000 ドル以内の予算で作る。以下のプロセスで活動を進める。

① 問題の提示と理解
② 解法に向けてその問題を探究する
③ 最終のプロダクトを作る
④ それらのプロダクトを学級や共同体のメンバーに発表し、評価を得る。

どの道具を入れるかを決めるためにアンケートを作成・実施・分析したり（テクノロジーも活用する）、コンピュータソフトウエアを使って部屋をデザインしたり（3D も有り）、面積や長さを測定したり、かかった費用を計算したりする。　　＜数学の内容との関連性：測定、計算、幾何学（3D のソフトウエアを利用）＞

Goldilocks an engineer?（幼稚園）（2016，２月号）

エンジニアリングを幼稚園生に教える。「解法を目指してデザインという組織的な実践に従事する」ことは幼い子供であっても可能。絵本（『Goldilocks and the three bears』(註 2)を使う。次のようなプロセスで活動を進める。

① 「ゴルディロックスにとって、ちょうどいいサイズの椅子」をデザインする。ゴルディロックスを助けてあげよう。
② 内容を準備する（大きさの概念を扱う。大きさの異なる 2 種類の人形を準備する。）
③ 椅子のデザインのための材料を探す
④ 計画を立ててデザインする（青写真を作り、実際に制作する）
⑤ チェックして共有する（作る途中でも人形を座らせてチェックする。More mass の Goldilocks が座っても壊れないか）

子ども達は、協力したり、問題を解決したりする力も伸ばしていく。

＜数学の内容との関連性：大きさの概念、測定、立体＞

あなたの体重の指標は何ですか？（５～６年生）（2016，３月号）

健康的な体重を維持することが大切。健康な体重を決め、健康な食事のプランをデザインする。相互作用的なシミュレーションを道具として使う。探究し、フィードバックを得ていく。体重の指標（BMI）の公式（体重（kg）

÷（身長（m））^{2}）を用い、以下のようなプロセスで活動を進める。

① ビデオを見て体重への関心を引き出す。

② グループで、各自が BMI を計算し、今の体重から何キロ増やしたり減らしたりしないといけないかを考える。いろいろな考え方が可能。

③ ダイエットのプランを考える。カロリー計算。

数学やテクノロジーを使って、健康的な生活に関する意思決定を行う機会を与える。

＜数学の内容との関連性；%、公式の利用＞

Purdue 大学の教材には、以下のようなものがある。各教材には詳しい資料等が準備されているが、それらは省略し、課題のみを紹介する。

アルミニウムの結晶の大きさの測定方法をデザインする

あなたが働いているエンジニアリング工場では、アルミニウムを生産・販売する会社が依頼する仕事を獲得したいと考えている。その会社は野球のバットを生産しているが、製造過程の制御の質を向上させるために、アルミニウム結晶の大きさを測定するアルゴリズムが必要となっている。そこで、あなたの工場では、そのアルゴリズムを提案することになった。実際、野球のバットの堅さは、そこで用いるアルミニウムの結晶の大きさによって決まる。従って、より適切な硬度を算出するには、結晶の大きさを測定するアルゴリズムが必要となる。

あなたの上司は、あなたの技術チームに、アルミニウムの幾つかのサンプルについて、結晶の大きさの平均値を求める手続きを開発することを求めている。以下の 2 つが、あなたのチームに課せられた課題である。

（1） 顕微鏡写真のアルミニウムのサンプルについて、結晶の大きさの平均値の指標を決めるために使える一連のステップ（手続き）を算出する

（2） その手続きが、3 つのサンプル（A～C）にどう適用されるのかを記述する。（図 3 は、顕微鏡で映し出されたサンプル B, C の写真を示す。）

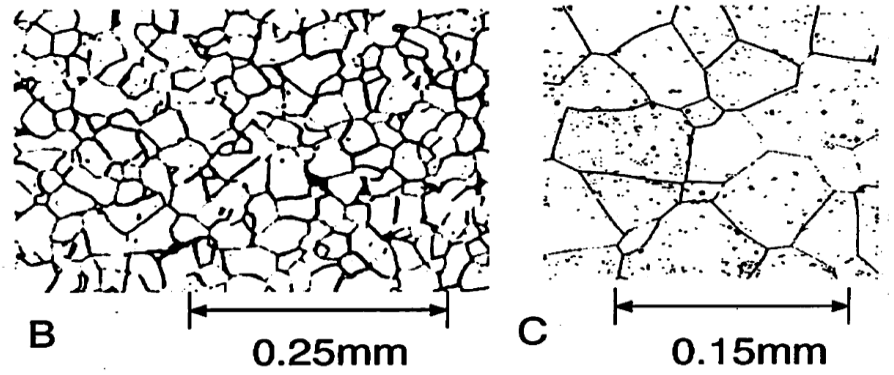


図 3：サンプル B と C のアルミニウム結晶（Zawojewski et al., Eds. 2008, p. 306 より転用）

なお、これらの活動の後、依頼者である会社は AGI 法を知っているという状況を作っている。そして、AGI 法を理解するとともに、この方法が、自分達が作ったアルゴリズムとどこが違うのか等を探究させる課題を与えている。図 4 では、矢印が指している線分に注目すると、その線分は 5 つの点（結晶間の境界）で区切られていることがわかる。

$$AGI = \frac{\textit{線分の全体の長さ}}{\text{線分上の区切られた部分の数}}$$

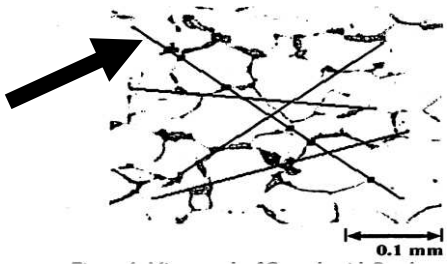


図4：ランダムな線分が引かれた結晶（Zawojewski et al., Eds. 2008, p. 309 より転用）

大学構内の電灯の配置をデザインする

大学理事会は、大学構内（建物の外）の照明システムを再開発するプランを今日発表した。最近実施した学内の安全性の調査から、電灯の適切な配置が欠けていることが重要な問題であることが判明した（64%が、夜間に構内の暗すぎる場所を歩かなくてはならないと回答した）。3 週間前に改造の決定は下っていたが、今日、より詳しいプランが示された。それによると、キャンパスを 6 つのエリアに分け、1 つずつ改造していくことになる。まず、最初のエリアからだ。

電灯の設置に関しては、IESNA（The Illuminating Engineering Society of North America の略称）等の組織が定期的にガイドラインを発表している。そのガイドラインに従う必要がある。（光のレベルは、フットカンデラと呼ばれる単位で測定される。1 フットカンデラは 1 フィート四方に存在する光の量を表す。ガイドラインでは、歩道と駐車場には最低必要なフットカンデラの値等が示されている。）

図5 左に示されたような電灯を、図5 右で示された 4 階建ての大学会館の周りに配置することが求められている。このエリアで適切な照明を確保するために、どんな概念や要因を配慮する必要があるか。照明の提案を評価するには、どんな情報やデータが必要か。

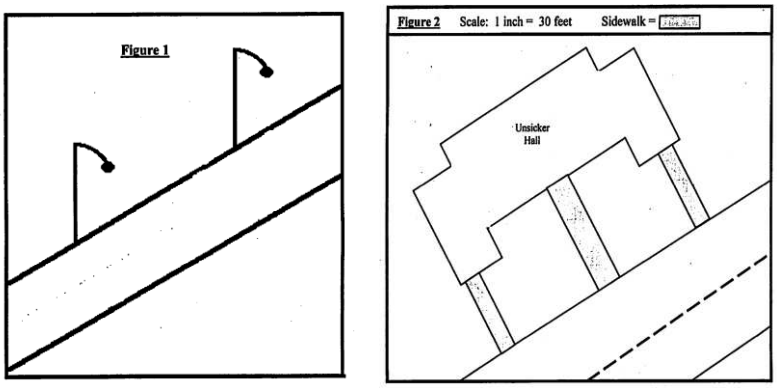


図5：電灯配置の活動で用いられた資料（左は電灯の形、右は課題のエリアの図）
（Zawojewski et al., 2008, Eds.p. 313 及び p.314 より転用）

大学理事会は、異なるチームに異なる側面を担当してもらっている。あなたのチームは、デザインの部分のみを担当する（例えば、コスト面は別のチームが担当している）。従って、屋外の電灯配置のデザイン（実際的で、効果的で、見た目の良い）を創るのに必要な要素や情報に焦点化して欲しい。

理事会に提出するメモとして、以下を含んだものを作ることが目的である。

- 幾つの電灯を買い、どう配置するかを決定するのに必要であると考えられるデータを記述したリスト
- 要求する各データについて、重要性のレベルと、重要性の理由
- 照明システムをデザインするために、それら要求するデータをどう使うのかについてのガイドラインや手順書。必要であれば、どのくらい離して設置するかを決める要因を示すための図を添付する。

重要性の説明や順位付けは特に大切である。理事会は、予算の関係上、あなたのチームが要求するすべての要求事項を満たすことはできないためである。

紙飛行機コンテストの評価システムをデザインする

8 学年生の科学クラスで、紙飛行機コンテストをすることになった。コンテストでは、各チームは、4 つの部門で優勝を競う：「Best Floater 賞」、「Most Accurate 賞」、「Best Boomerang 賞」、そして「Best Overall 賞」。各チームは、図 6 に示されている 3 つの異なる軌道で、3 回ずつ、自分のチームが作った紙飛行機を飛ばすことができる。

過去のコンテストでは、4 つの部門での勝者を選ぶことに課題があった。どの賞をどのチームが獲得するかを決めるには、何を考慮したらよいかがはっきりしなかったためである。昨年のサンプルデータ、また、どう測定が行われたかの記述は以下の通りである（ここでは省略)。

コンテストの審査員に手紙を書こう。あなたの手紙では、コンテストのデータを使って、各賞を獲得するチームを決めるための方法を説明すること。

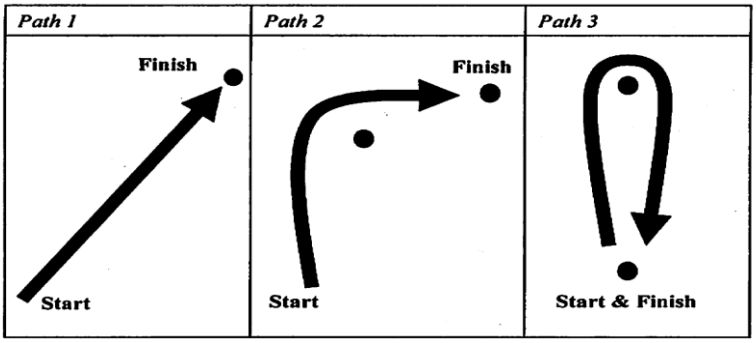


図 6：紙飛行機の 3 つの軌道（Zawojewski et al. Eds., 2008, p. 336 より転用）

(3) 数学的モデル化を取り入れた教材開発に対する示唆

English (2016) は数学的モデル化の活動と、そこで用いられるモデル化の問題が、数学と他の STEM の学問分野との相互関係を形作る豊かな機会を提供すると述べる。なぜなら、「生徒は、実世界に基づく問題での行動を解釈し、説明し、予測する上で、数学的・科学的概念を作ったり、適用したり、適合したりすることを奨励される」（p. 363）ためである。

MEA をエンジニア教育の文脈で活用している Purdue 大学では、活用のための原理・原則として、次に挙げる 6 つを強調している（Diefes-Dux et al., 2008）。これらは、学部科目の学習活動として、MEA を開発していく道筋を与えてくれるものである。また、これらは、上述してきた EDP の特徴とも重なる。従って、数学的モデル化とデザインプロセスとの接合点と考えることができる。6 つの原理・原則は、EDP の側面をより強調する形で、数学的モデル化を取り入れた教材開発の方向性を与えてくれると考える。

(1) モデルの構成：モデルの構成を要求する。モデルはしばしば、ある課題を遂行するための手続き、あるいは、プロダクトのデザインである。モデルは、要素、関係、操作、パターンや規則性から構成され、式だけでな

く様々なタイプの記述や説明、図を含む。また、モデルは必ず白紙の状態から作るのではなく、既知のモデルを取り入れたり、適合したり、修正したりして構成する。複数のモデルを比べたり、問題に戻って見直したりすることで、生徒は手続きや過程に対する理解を深める。

(2) リアリティー：本来性のあるエンジニアの文脈を与える。生徒は、文脈上の制約を配慮したり、特定のクライエントの要求を配慮したりして、自分達のアプローチを作り出す。与える課題が、すべての生徒にとって意味があるかどうかも大切な問いである。多様な資料、多様な方法でのドキュメンテーションが用いられる。また、生徒はチームで取り組むことで、一人で取り組むよりもリアルで複雑な、工学の状況を扱うことができる。（但し、教育上の理由から、複雑さの軽減などの配慮はなされる。）

(3) 自己評価：生徒がチームで、クライエントの立場から、自分達の経験から、また、基本情報から、モデルの有用性を評価する機会を与える。よりよいモデルに改良するために、生徒には思慮深い選択、改善、洗練が求められる。そのために、課題は、生徒が配慮しなくてはならない制約や、モデルを構成したり改良したりする上で参照すべき基準を提供していることが必要である。また、作ったモデルをテストするサンプルデータ（幾つかのテストケースを与える）があるとよい。

(4) モデルのドキュメンテーション：作ったモデルは何らかの形で記録、報告されるべきである。それは、しばしば、手続きの記述（表計算のために使われるシート（スプレッドシート）やコンピュータープログラムを伴う）の形をとる。ドキュメンテーションは、生徒のモデル構成の過程を外化することであり、それによって、生徒のモデルに対する理解も深まる。また、記録・報告を見ることで、指導者は生徒の理解やミスコンセプションを見取ることができるようになる。

(5) モデルの共有力と再使用可能性：構成するモデルは、他者と共有することができるものであり、また，他のデータセットで再使用可能なものでなくてはならない。モデルは繰り返し使えるものであることが、そのモデルを主張する１つの動機である。また、生徒は、クライエントがモデルを使えるように、詳細な使い方の情報を与えなくてはならない。モデルは、状況の複雑さを説明できるような複雑さを有する一方で、他者に分かりやすい単純さも有する必要がある。これらの特徴を持つことで、他者からフィードバックを受け、モデルをより改良していくこともできるようになる。

(6) 効果的なプロトタイプ（簡潔性）：結果のモデルは一般化可能であり、改良可能であるべきである。現在のモデルは、他のモデルのデザインを促進したり、類似の状況での手続きを生成したりするための典型例を与える。そのためには、生徒に与える課題が、あまりに個別的であったり曖昧であったりしてはいけない。後に生徒が経験することになる問題状況とつながっていることが大切である。

Diefes-Dux et al. (2008) は、工学本来の活動に比べると、MEA は、より制約があり、複雑ではないため、複雑さが軽減された形で、実世界のデザインの問題の機会を与えてくれると述べる。それでも、MEA において、生徒はサイクリックを辿り、また、幾つかの視点が組み合わさって進んでいく。そして、生徒にはプロセス及びプロダクト（成果物）が課される。更に、「プロセスとしてのプロダクト」を生み出すときに、工学の実践において本質的なプロセス（ブレインストーミング、テストする、反省する、評価するといったプロセスを含む）を踏むことが求められる。

これらの原理・原則を強調した日本における数学的モデル化の教材の開発は今後の課題である。これまでに開発されてきている数多くの数学的モデル化の教材を、①〜⑥の観点から思い描くと、様々な疑問が湧き上がる。

「モデルの構成」に関して：数学的モデル化では、数学のモデルを活用して、日常の問題を解決することが行われるが、そこで活用する数学モデルは、誰が構成するのだろうか。しばしば、そのモデルは日本の教科書や教

師によって示されており、生徒は、それを受動的に使っているに過ぎないということはないだろうか。しかし、モデルを生徒自身が試行錯誤しながら構成することが重要である。そのプロセスこそが、生徒が活動を通して経験すべきものだからである。

「リアリティー」に関して：現実場面での様々な問題の解決は、数学的モデル化の教材が強調しているところである。しかし、そこで生徒に与えられる場面は、生徒にとって「リアル」な場面であろうか。MEA や EDP では、生徒にとっての問題が、学習活動の起動力であると言う。いかに本来性に近づくか、考えるべき点は多い。その中で、EDP でしばしば登場する「クライエント」という概念は、利用する価値がありそうである。誰かニーズのある人がいて、その人に向けて活動を行うことによって、生徒の活動のターゲットがはっきりし、問題も明確化するであろう。例えば、「どの車を購入すべきか」という関数の課題がある。クライエントをどう設定するかで、課題自体も変わってくる。

「自己評価」に関して：数学的モデル化では、モデル化のプロセスは一度踏んだら終わりではない。しかし、一度、そのプロセスを踏んで終わりというケースも少なくないであろう。得られた答えが、問題場面に適しているかのチェックだけでなく、その答えを与えてくれたモデル（自分が作ったモデル）が適切であるかどうかを考えることが必要である。適切性は、自分の目だけでなく、クライエントの視点からも行われる必要がある。

「モデルのドキュメンテーション」に関して：どのようなモデルによって、どう解答が得られたのか、そのプロセスを記録し、報告することは、数学的モデル化でも大切な部分である。

「モデルの共有力と再使用可能性」に関して：構成したモデルは、他者にきちんと伝えることができるか、また、類似の場面（別のデータや別の類似した場面）でも使用することができるか。Purdue 大学の「電灯の配置」の課題であれば、第 1 のエリアで配置計画案を立てることが求められるが、第 2 エリア、第 3 エリアでも再使用ができるかどうか。また、実際に屋外に出たときにはどうか。一つ一つ別々に解答するのではなく、クライエントが欲しいのは、他の場合でも使えるようなローカルな一般性を有したモデルである。こうした一般性の部分は、数学的モデル化の教材開発においても配慮すべきところである。作ったモデル（計算手続きや方法）が、それ以外のデータでは使えるのかを振り返ることは、いっそう強調されるべきであろう。

「効果的なプロトタイプ」に関して：「モデルの共有力と再使用可能性」と類似しているが、より広い範囲での一般性（構造は類似しているが異なる文脈へも一般化できるか）に言及しているのが、「効果的なプロトタイプ」の原理・原則である。すなわち、新しい問題設定に直面したときに、もともとのモデルを再構成したり、適合させたりできるかどうかである。実際、Purdue 大学の学生の中には、大学 1 年のときに行った「アルミニウム結晶のサイズの測定」を覚えており、上学年での Materials Engineering の授業で、サイズの測定時に作ったモデルや概念を思い出している者がいたと言う。将来も、比喩として、また、踏み台として、それまでに経験したモデルやモデル化の活動を使っていくことが望まれる。この点も、数学的モデル化の教材開発に対して、示唆を与えてくれる。

3．数学的モデリング研究

Lesh & Doerr(2003)の MEA は、数学教育において「モデリング」研究の一つとして位置づけられている。池田(2013)によると、数学教育におけるモデル･モデリング研究は、1980 年代までは大きく２つの傾向があり、その後はそれらの傾向を継承･発展する形で更なる広がりを見せている。1980 年代までは、①実用的な傾向、②科学的-人間的な傾向、の２つが認められる。モデル･モデリング研究の実用的な傾向とは、実利的･実用的な目標を重視し、実世界の問題の解決のために数学を用いることができる生徒の能力を全面に出すものである。ここでは数学

的モデリング過程を強調しており、実世界の問題から数学へ、さらに実世界へ戻るというループを想定している。実世界の問題を理解する段階と、数学的問題へと定式化する段階とを区別し、数学化の段階、問題解決の段階、解決を修正する段階、により定義づけられている。一方、モデル・モデリング研究の科学的-人間的な傾向とは、「数学教育は数学者が導き出した最終的結果を出発点とするのではなく、活動としての数学（mathematics as an activity）の中に出発点を見出すべきである」という Freudenthal の数学化の考えに基づいている。Freudenthal の数学化はその後、Treffers(1987)により「水平方向の」数学化と「垂直方向の」数学化とに区別されるようになる。前者は「生活」の世界から「記号」の世界へと導く行為として位置づけられるのに対して、後者は「記号」の世界を数学的に処理したり再構築したりする行為として位置づけられている。

1980 年代以降の傾向について池田(2013)は、①RME 理論（Gravemeijer & Doorman,1999）②MEA 理論（Lesh & Doerr,2003）、③批判的数学教育（Skovsmose,1994）、④ICTMA(International Conference on the Teaching of Mathematical Modeling and Applications)での議論、の４つを取り上げている。RME 理論は Freudenthal(1973)の「行動としての数学(mathematics as an activity)」を基礎に置き、『数学化』がそこでの中心的活動である。また Freudenthal(1973)の述べる「導かれた再発明(guided reinvention)」の考えを引用し、協調すべきは児童生徒が発明すること自体にあるのではなく、児童生徒が教師に支援されながら発明していく学習過程に力点があるとしている(池田,2013)。ここでは、文脈のある問題(context problem)が重要な役割を果たすとされるが、問題場面は必ずしも日常生活の問題に限定されているわけではなく、数学的な問題でも生徒にとってそれが具体的で何が問題であるのかがイメージできれば「文脈のある問題」として扱われる。小林(2007)は、RME における活動の水準を次のようにまとめている。

1. 課題設定における活動；解釈と解決が、課題設定における行動の仕方の理解に依存する。
2. 参照的活動：*Model-of*(註３)が、教授活動において記述される設定における活動を参照する。
3. 一般的活動：*Model-for* がその意味を数学的関係の枠組みから引き出す。
4. フォーマルな数学的推論：数学的活動のためのモデル（*Model-for*）の支えにもはや依存しない。

ここで、*Model-of* とは文脈特有の状況のモデルであるのに対して、*Model-for* とは新しい問題状況を組織するためのモデル・形式的な水準において数学的に推論するためのモデルである。

Lesh & Doerr(2003)による MEA 理論は、米国における問題解決学習を背景とし、その問題点を克服するための提案として登場した。その哲学的背景として、以下の 4 点があげられる。

① 概念システムは人間が構成するものであり、それらは本来、社会的なものである。
② 構成されたものの意味は、話し言葉、書き言葉から図やグラフへ、具体的モデルへ、メタファーを基にした経験へ、といった具合に、多様な表現様式によって広がっていく傾向にある。
③ 知識は抽象概念として組織されると共に、経験としても組織される。現実的で複雑な意思決定場面を解明するために必要な思考様式は、1 つ以上の学問分野、1 つ以上の教科書の内容領域、1 つ以上の理論から得られた考えを統合していなければならない。
④ 人が理解し説明する必要のある「経験世界」は、固定したものではない。それらの大部分は、人間の創造による産物である。それゆえ、それらは絶えず変化していく。そして、それらを創造した人間の知恵が必要となる。

そして以下の６つの原理に基づく教授学デザインを開発・検証することに焦点を当てている。

(ア) 現実に関する原理

問題場面は、生徒に有意味でなければならない。そして、生徒の先行経験に関連づけられなければならない.

(イ) モデル構成に関する原理

生徒が意味のある数学をつくっていくための必然性のある場面がなければならない。

(ウ) 自己評価の原理

生徒が自分のつくったモデルを評価する場面がなければならない。

(エ) 構成したことの記録に関する原理

問題解決を通して、生徒が自分の考えを表現することが要求される場面・文脈がなければならない。

(オ) 構成したことの一般化に関する原理

つくったモデルを他の似たような場面に一般化することが可能でなければならない。

(カ) 単純さに関する原理

問題場面は、シンプルでなければならない。

批判的数学教育は Skovsmose(1994)などを中心に研究が進められている。ここでは、社会や政治の中で独立して判断できる市民や、公平さを追求する市民の育成に関心をおくべきであることを提唱している。そして数学教育で促進される肯定的な面だけを見るのではなく、それによって引き起こされる弊害を十分に考慮に入れて研究していく必要性を説いている。具体的にはカントの考えを引用しながら、物事を判断したり行動したりする際に、誰かの言ったことを鵜呑みにするのではなく、自分自身で理由づけて判断・行動していくことが大切であるとしている(池田,2013)。そして知識と進歩をどのように捉えるかに焦点を当て、それらを、①独断主義に陥らないこと、②科学的な進歩、③社会的な進歩、④認識の透明さ、の 4 点によって特徴づけている。さらに、数学は数学の世界で閉じた教科ではなく、また自然現象を正確に記述するためだけの教科でもないことを主張している。数学は社会的な進歩に関連するもので、社会生活のあらゆる面で用いられたり、社会生活の一部になったりしているとしている。

国際会議 ICTMA(International Conference on the Teaching of Mathematical Modeling and Applications)は、1985 年にイギリスで開催されて以降、隔年で開催されている。数学的モデリングについての国際会議であり、ICME(International Congress on Mathematical Education)のトピックグループなどと並行して活動が進められている。ここでの議論は、オランダの RME 理論、アメリカの MEA 理論、デンマークの批判的数学教育とは異なる第 4 の傾向として位置づけられている（池田,2013）。

4．考察

本稿は、STEM 教育における数学の位置づけの検討を意図するものである。日本の数学教育研究において、STEM を視野に入れたものは残念ながらほとんど見られない。一方で、日本での理科や技術で扱う内容と関連させた数学の学習指導の提案は、例えば高校数学の科目「数学活用」など、少なからず存在している。また技術教育と数学教育との接点についての論考として、例えば二宮・國宗(2007)がある。ここでは、「技術的素養の育成」を目指した授業を分析の対象とし、そこでの技術的問題解決のプロセスを算数・数学教育の視点から分析している。その結果、算数・数学との内容的関連性が見出され、技術科における「活動」に伴う算数科の非意図的(インフォーマル)な学習が、算数における知識・技能の素地となり得ることが明らかになった。しかしながら、ここでの数学的活動の多くは「道具としての数学」であり、「価値ある思考」が伴った数学的活動が行われているとは言い難いものでもあった。

全米数学教師協議会（National Council of Teachers of Mathematics：NCTM）は、1989 年に『学校数学におけるカリキュラムと評価のスタンダード』を刊行した後、2000 年には『学校数学のための原則とスタンダード』を刊行

している。これらのスタンダードは、「数と演算，代数，幾何，測定，データ解析と確率」といった算数･数学の内容に関わる『内容スタンダード』と、算数･数学の内容領域を横断する「問題解決，推論と証明，コミュニケーション，内容のつながり，表現」といった『プロセス･スタンダード』と呼ばれるものに大別される。プロセス･スタンダードとは、学習の過程（プロセス）において必要とされる能力であり、学習の方法に関わる諸能力の育成について述べたものである。プロセス･スタンダードは、先の中央教育審議会教育課程企画特別部会における論点整理において述べられている「汎用的な能力」の一部として位置づけることができるという点において、数学の学習のみならず、テクノロジー･エンジニアリング教育や科学教育にも広く適用される。更に言えば、汎用的能力は特定の教科において育成されるべきものではなく、様々な教科における活動を通して、包括的に培われるものとして捉えるべきであろう。即ち、算数･数学の方法的側面（プロセス･スタンダード）は、「道具としての数学」としてテクノロジー･エンジニアリング教育や科学教育の中に確実に位置づけられており、STEM 教育において数学がその「方法」として確実に位置づいていると言うことができる。

一方で、数学の「内容」が STEM 教育に位置づいているかについては、未だ検討の余地がある。元来、学習の「内容」と「方法」は互いが互いの前提となるような関係（相互構成的／互恵的な関係）であり、一方のみを独立させて議論するわけにはいかない。（註４）それは例えば、平林(1987)が対象言語とメタ言語について「一旦学習された対象言語は忽ちメタ言語として他の対象言語の学習に利用されることもあれば、また逆に、メタ言語が意識的に洗練され、形式化されて、対象言語化されることもしばしばある」と述べていることと同様である。また近年の数学教育の研究では、Ball(1990)が「教えるための数学的知識の領域（Mathematical Knowledge for Teaching）」、「数学指導に必要な教科内容知（Subject Matter Knowledge）」などに注目している。このことは、STEM における数学もまた、単に「方法」としての位置づけのみならず、「『価値ある』数学的な内容」を伴った位置づけの必要性を示唆するものと考えることができる。そして、STEM 教育において「価値ある数学の内容」を位置づけようとするのであれば、そこに関わる数学教師は、先ずは「価値ある数学の内容」を深く理解するとともに、「価値ある数学の内容」を伴う数学の授業ができる資質能力、並びにそのための教材研究を深めている必要があろう。そのような数学教師が STEM に関わることで、そこでの教育は「価値ある数学の内容」を伴う STEM 教育になり得るのではないだろうか。（註５）

本稿では、STEM における「数学」の位置づけやその本質を探るための手がかりとして、English (2017)が STEM の文脈の中で論じている「エンジニアリングデザインプロセス(EDP)」についてその詳細を探った。その中の具体的提案の一つである、Lesh & Doerr(2003)による Models and Model-eliciting activity(MEA)に注目した。English (2016) は、MEA と、そこでのモデル化の問題が、数学と他の STEM の学問分野との相互関係を形作る豊かな機会を提供するとしている。そこで、数学教育におけるモデル･モデリング研究を概観することで、数学教育研究における MEA の位置づけを、その他のモデリング研究との関わりで調べた。現在の数学的モデリング研究は、主として４つの傾向に区分できるが、その一つが MEA であり、また他の研究も同じ『数学的モデリング研究』として STEM 教育との親和性は高いと判断できる。

しかしながら、これまで数学的モデリング研究は、STEM 教育と関連づけながら進められてきたわけではない。数学的モデリング研究はあくまでも数学教育の中の一研究領域である。しかし一方で、「エンジニアリングデザインプロセス(EDP)」の議論の中に Models and Model-eliciting activity が位置づいていることから、MEA に限らず「数学的モデリング研究」を EDP の枠組みの中で捉えることが可能である。そのように考えた結果として、STEM 教育において「価値ある数学の内容」を探るための手がかりとして「数学的モデリング」を位置づけることができるとの仮説を、本稿の帰結としたい。

註

1) 本稿では、Technology を技術、Engineering を工学と翻訳して用いる。
2) 「ゴルディロックスと 3 匹のくま」と和訳されるイギリスの童話。ゴルディロックスという小さな女の子が 3 匹の熊に出くわす物語である。

   「女の子が森でクマの家を見つける。誰もいないので入ってみると、テーブルの上にお粥が置いてあった。1 つ目のお粥は「熱すぎる」。2 つ目のは「冷たすぎる」。3 つ目のは「ちょうどいい」ので、全部飲んでしまう。女の子は疲れていたので椅子に座ろうとした。1 つ目の椅子は「大きすぎる」。2 つ目のは「もっと大きすぎる」。3 つ目のは「ちょうどいい」ので座ったが、椅子は壊れてしまった。眠たくなったので寝室に行ってみると 3 つのベッドがあった。1 つ目のベッドは「固すぎる」。2 つ目のは「柔らかすぎる」。3 つ目のは「ちょうどいい」ので、そこで寝てしまう。クマが戻って来て、お粥は食べられ、椅子には座った痕があり、1 つは壊されていて、ベッドには寝た痕があり、子グマのベッドには女の子が寝ているのを発見する。目を覚めた女の子はクマに驚き、慌てて家から逃げていった。」

   （https://ja.wikipedia.org/wiki/3%E3%81%B3%E3%81%8D%E3%81%AE%E3%81%8F%E3%81%BE）
3) まず、モデルが状況において活動することの文脈特有モデル（model-of）として構或され、それからそのモデルは状況を越えて一般化される。そのモデルは特徴を変化させ、それ自身実在となり、そうであるがゆえに、それはよりフォーマルな数学的推論のためのモデル（model-for）として機能できる。（小林,2007,p.182）
4) 関西大学初等部では、「考える力を養う学び」として、『シンキングツール』を活用する実践を教科横断的に行い、『思考スキル』（学習の方法）の習得を目指す学習指導を行っている。それに対して二宮(2017(a))は、「方法」は「内容の学習」を通して習得されるものであり、「方法」をきちんと学ぼうと考えるのであれば、その「内容」が精査される必要性を示した。その上で、「方法」だけを直接教えること、或いは「方法」を「内容」から独立させて取り扱うことは無意味であることを論じている。
5) 本稿における考察は、二宮(2017(b))において考察された内容の一部をもとに、「エンジニアリングデザインプロセス」と「数学的モデリング研究」を STEM における数学との関りで論じたものである。本稿のここまでの考察のうち、①技術教育と数学教育との接点について（本稿考察第 1 段落 4 行目以降）、②数学教育の方法的側面について（本稿考察第 2 段落）は、二宮(2017(b))における考察をもとに再構成した。また、③STEM の中に「価値ある数学の内容」が位置づいていないこと（本稿考察第 3 段落）については、二宮(2017(b))における考察に、二宮(2017(a))、平林(1987)、Ball(1990)、など新たな知見を加え再構成したものである。

謝辞

本研究は、科学研究費補助金・基盤研究(B)（課題番号：15H03493、研究代表者・長洲南海男）の助成により行われた。ここに記して謝意を表する。なお、本稿作成に際し、長洲南海男研究代表者よる校閲及び森下明美本科学研究費事務補佐員による校正に謝意を表します。

参考文献

Ball,D.L.(1990). The Mathematical understandings that prospective teachers bring to teacher education. *Elementary School Journal*. 90, 449-466.

Diefes-Dux, H. A., Hjalmarson, M. A., Miller, T. K., & Lesh, R. (2008). Model-eliciting activities for engineering education. In J. S., Zawojewski, H. A. Diefes-Dux, & K. J. Bowman, (Eds.), *Models and modeling in engineering education: Designing*

experiences for all students (pp. 17-35). Sense Publishers.

English, L. D. (2016). Advancing mathematics education research within a STEM environment. In K. Makar et al. (Eds.), *Research in mathematics education in Australia 2012-2015*. DOI 10.1007/978-981-10-1419-2_17

English, L. D., & King, D. T. (2016). Designing an earthquake-resistant building. *Teaching Children Mathematics, 23*(1), 47-50.

English, L. D. (2017). Advancing elementary and middle school STEM education. *International Journal of Science and Mathematics Education, 15* (Suppl 1): S5-S24. DOI 10.1007/s10763-017-9802-x

Freudenthal, H.(1973). *Mathematics as an Educational Task,* Reidel, Dordrecht.

Gravemeijer, K. & Doorman, M.(1999).Context problems in realistic mathematics education: A calculus course as an example. *Educational Studies in Mathematics*, 39,111－129

Hefty, L. J. (2015). STEM gives meaning to mathematics. *Teaching Children Mathematics, 21*(7), 422-429.

Hefty, L. J. (2016). Goldilocks an engineer? *Teaching Children Mathematics, 22*(6), 375-378.

平林一栄(1987). 数学教育の活動主義的展開,東洋館出版社

池田敏和(2013). モデルに焦点を当てた数学的活動に関する研究の世界的傾向とそれらの関連性.日本数学教育学会誌第 95 巻第 5 号, 2-12.

伊藤伸也(2007). H.フロイデンタールの教授原理「追発明」と「発見学習」の異同.日本数学教育学会第 40 回数学教育論文発表会論文集,969-974.

小林簾(2007). 現実的な文脈を取り入れた数学科授業の設計に関する研究.日本数学教育学会第 40 回数学教育論文発表会論文集,181-185.

Lesh, R.&Doerr, H.(eds)(2003).*Beyond Constructivism－Models and Modeling Perspectives on Mathmatical Problem Solving*. Learning and Teaching. Lawrence Erlbaum.

National Council of Teachers of Mathematics. (2014 – 2016). *Teaching Children Mathematics, Vol. 20 – Vol. 23*.

二宮裕之(2017(a)). 教科に対する捉え方を 540 度変える.関大初等部式思考力育成法研究平成 28 年度版.さくら社,155

二宮裕之(2017(b)). STEM 教育における数学の位置づけ－数学は STEM の「道具」に過ぎないのか－.日本科学教育学会第 41 回年会論文集,209-210.

二宮裕之・國宗進(2007). 技術的問題解決プロセスに算数・数学を位置づける.日本科学教育学会第 31 回年会論文集,167-170.

大谷実(2016). オランダの数学教育の動向 : Realistic Mathematics Education の理論と実践.筑波教育学研究(14),5-25

Shaughnessy, M. (2013). By way of introduction: Mathematics in a STEM context. *Mathematics Teaching in the Middle School*, 18(6), 324.

Skovsmose,O.(1994).*Towards a Philosophy of Critical Mathematics Education*. Mathematics Education Library, Kluwer Academic Publisher.

東京都大田区立矢口小学校(2007). ものづくり科（Technology Education）教科書.平成 16・17・18 年度文部科学省研究開発学校報告書.

Treffers, A.(1987).*Three Dimensions*, Mathematics Education Library. D. Reidel Publishing Company.

Wood, T., Hjalmarson, M. A., & Williams, G. (2008). Learning to design in small group mathematical modeling. In J. S., Zawojewski, H. A. Diefes-Dux, & K. J. Bowman, (Eds.), *Models and modeling in engineering education: Designing experiences for all students* (pp. 187-212). Sense Publishers.

Zawojewski, J. S., Diefes-Dux, H. A., & Bowman, K. J. (Eds.) (2008). *Models and modeling in engineering education: Designing experiences for all students*. Sense Publishers.

米国における STEM 教育の展開に関する事例分析
ノースカロライナ州立大、ノースカロライナ科学数学高校への訪問を中心に

清水　美憲（筑波大学）

1　はじめに

本研究課題の米国班による現地調査の一環として、2016 年 2 月 21 日から 26 日までの 6 日間を利用して、米国ノースカロライナ州ローリーを訪れ、ノースカロライナ州立大学 North Carolina State University;NSU)、ノースカロライナ科学数学ハイスクール（North Carolina School of Science and Mathematics, NCSSM と以下略称する。https://www.ncssm.edu/about)、研究機関 SUDDS（Scaling Up Digital Design Studies）等を訪問し、それぞれの機関の関係者から意見を伺ったり、授業を参観したりする機会を得た。以下、この訪問から得られた知見から、米国における STEM 教育の展開に関する一側面を浮き彫りにしたい。

ノースカロライナ州立大学は、デューク大学、ノースカロライナ大学チャペルヒル校(University of North Carolina at Chapel Hill : UNC)とともに研究推進地域 Research Triangle Park の一角をなす研究大学であり、近年になって、STEM 教育学部や STEM 教育研究科を設置して教員養成、研究者養成をしていることで知られている。また、NCSSM は、科学教育、数学教育に特化した全寮制のハイスクール（Grade 11 と 12）で、数学科では数学的モデル化を重視した独自のテキストを出版したり、生徒が SIAM（Society for Industrial and Applied Mathematics: http://www.siam.org）が実施する応用数学コンテストに参加したりするなど、STEM 教育の分野で独自の教育を展開している。また、SUDDS は、NSF や Bill Gates 財団からの資金を得て、Common Core State Standards に基づく内容配列を、Learning Trajectory(科学教育研究においては、Learning Progressions の用語が使われている)の観点から記述し、その指導のための教材や評価のための web 教材を開発する研究を行っている。

以下では、米国における数学教育学の観点から STEM 教育とそれに関連する研究の展開について、その実際と課題を考察する基礎資料として、ノースカロライナ地区の訪問から得られた情報をまとめるとともに、全米教育学会（*American Educational Research Association,* 略称：AERA）の第 98 回年会(2017 年 4 月 27 日～5 月 1 日、テキサス州・サンアントニオ：
http://www.aera.net/Events-Meetings/Annual-Meeting/Previous-Annual-Meetings/2017-Annual-Meeting)
における STEM 教育関連のセッションに参加して得られた情報を加味して、米国における STEM 教育の現状と課題を考察する。併せて、北米における主要な数学教育研究誌における過去 10 年分の研究論文の中から STEM 教育に関連する研究論文を抽出し，その研究動向を分析するとともに，研究で扱われる教材や実践例を分析して，活動における数学的内容や方法が果たす役割を考察することで、本稿の内容を相対化してとらえる試みをする。

2　なぜノースカロライナか：STEM 教育をめぐるノースカロライナ州の状況

ノースカロライナ州は、1950年代に、いわゆるResearch Triangle Park（ノースカロライナ州中央部にあり、デューク大学、ノースカロライナ州立大学、ノースカロライナ大学チャペルヒル校を頂点とする三角形に由来する研究公園）が開設され、西海岸のシリコンバレー等と並んで、科学分野で全米を先導する役割を果たしており、特にこの地域では科学教育に力を入れてきた経緯がある。

一方、オバマ政権の景気対策政策として導入された米国再生再投資法(American Recovery and Reinvestment Act)の一貫として、連邦政府の主導による教育予算の獲得競争とでもいうべきRace to the Top基金が2009年からスター

トした。この基金は、各州が教育改革のためのプランを提示し、採択されたプランにはその教育改革政策を具体化していくために用いられる資金提供がなされるという競争資金の枠組みである。

この基金の２年次に当たる2010年８月24日、ノースカロライナ州によるRace to the Top基金へのProposalが採択された。これを受けて、ノースカロライナ州の公教育局（Department of Public Instruction、 DPI）は、教員評価の推進、低学力校への支援政策等と並んで、STEM教育の推進のために、数々の政策を具体化的に導入した。このように、ノースカロライナ州では、地理的、社会的環境に加え、教育政策においても様々な特色を示しており、常に先進的に改革に手を上げる傾向を見て取ることができる。

この STEM 教育の推進のための政策の一つの柱は、「STEM 教育推進校」の指定である。指定校４校と連携校16 校の計 20 校が指定され、それぞれのハイスクールで STEM 教育のための手立てが打たれた。特に、それぞれの学校は、STEM 教育推進のために設定された４つの関連領域のいずれかに強調を置いたプログラムを実施することになった。

STEM 教育推進のために設定された４つの関連領域とは、以下の通りである。宇宙・安全保障或いはセキュリティ・自動化（Aerospace, Security, and Automation）、健康と生命科学（Health and Life Sciences）、エネルギーと持続可能性（Energy and Sustainability）、そして生物工学と農業科学（Biotechnology and Agri-science） 。なお、この領域における指導は、NCU のスタッフや NCSSM の教員によると、特に訓練を受けていないため、担当者の育成が急務であるとのことであった。このような州レベルの STEM 教育の推進の動きのなかで、NCSSM の教員、及びノースカロライナ州立大の教授陣は重要な役割を果たしている。

3　ノースカロライナ**科学数学ハイスクール**（NCSSM）

NCSSM は、全寮制を敷くキャンパスに 660 名の生徒が在籍し、さらに他の高校に在籍しオンラインで単位を履修している 304 名の生徒を擁している。デューク大、NSU、UNC 校の３つの大学によるリサーチトライアングル内に位置する学校であり、名称の通り、科学数学教育に重きを置いた公立学校である。

公立学校でありながら、州の教育内容を決める Essential Standards や全米の Common Core State Standards とは独立にカリキュラムを設定し、この学校独自の指導体制を敷いている。ノースカロライナ州の 13 区分にわたる地域からバランスよく学生を入学させる方針をとっているため、入学してくる生徒の能力にはばらつきがあるが、この学校の生徒は、州や国のスタンダードのレベルを遥かに上回っている。

図１　NCSSM のスタッフ

２月22日には、NCSSMを訪問し、数学科教師 Daniel Teague先生のアレンジにより、科学、工学の教員とSTEM教育全般についての意見を伺う機会をもった。直接お話を伺ったのは、以下の方々である。お一人を除き、いずれもPh.Dを保持しておられ、NCSSMでの指導以外にも州のカリキュラム開発等に関わっておられる。

NCSSMでは、以下の教師達に、様々な事項についてのインタビューを行ったが、それを通じてSTEM教育についてわかった事項をまとめておく。

２月 21 日午前

Dr. Ersala Sims：（工学、学科長）黒人女性　　Dr. Christine Muth：（生物学）白人女性

Dr. Jonathan Bennett：（物理学）男性（東北大で Post doctor の経験あり）　Dr. Michael Bruno：（化学）男性（勤務３年目）　Mr. Bob Gotwals： Distance Education and Instructor of Computational Chemistry

２月 21 日午後

Ms. Donita Robinson、 Dean of Mathematics　　Mr. Taylor Gibson、 Instructor of Mathematics

Ms. Julie Graves、 Instructor of Mathematics　　Ms. Maria Hernandez、 Instructor of Mathematics

Ms. Asli Mutlu、 Instructor of Mathematics　　Dr. Angela Teachey、 Instructor of Mathematics

Dr. Dan Teague、 Instructor of Mathematics

ここで、Instructor は専門科目の担当者という意味で、日本でいう教師と同等である。

インタビューにおいては、事前に以下のような質問を用意して、順に尋ねていく形をとった。

Part I: STEM 教育について

- ノースカロライナ科学数学高校のミッションは、次の通りである：学力的に優れた（才能がある）生徒を、数学、テクノロジー、工学、数学や、STEM 教育の強調や拡大において、州や国家のグローバルリーダーとして育成する。このミッションに基づいて、次のような質問をしたい。
  - **州を超えて、全米の広い文脈でみた**「STEM 教育」の意味について
    - ✧ STEM 関連の教科領域のカリキュラムはどのように構造化されているか
    - ✧ STEM という枠組みでみたときの科学、テクノロジー、工学、数学の教科内容は?
    - ✧ これら複数の教科がいかに統合されるか？
    - ✧ 「統合型 STEM 教育」(an integrative STEM education）は実現可能な方向性か？
    - ✧ STEM、 STEAM や METS といったように、主教科の順序や組合せの可能性はどうか？
  - ➢ STEM 関連領域で学習を進める卒業生の割合は増加しているか
    - ✧ 近年の実際の傾向は**?**
    - ✧ 質の高い教育内容を提供するという点でノースカロライナ州内の学校との連携の状況は？
    - ✧ NCSSM の教育は、近隣の学校、州内の他校にどう影響しているか?
  - ➢ オンラインやビデオ会議型の STEM コースは運営しているか**?**
    - ✧ 州内の高校生のために特に設定している STEM コースはあるか?
    - ✧ 遠隔教育による STEM 教育の困難さは何か?
  - ➢ 各教科の内容における変化は？
    - ✧ 数学の場合、教科の強調点に変化はあるか? 例えば、数学的モデル化やデータ解析、統計的問題解決等の活動は？
    - ✧ 科学ではどうか？ 例えば、Practical works の活動は？
    - ✧ エンジニアリングではどうか？ 例えば、Robotics は？

PART 2: コモンコアスタンダードや政策「 Race to the top」との関連について

- 2010 年６月２日に、ノースカロライナ州は、K-12 学年の数学と言語活動（English Language Arts ）について、 National Governors Association Center for Best Practices and the Council of Chief State School Officers による Common Core State Standards を採択した。州レベルでの Standards の採択によって、ノースカロライナ州は、Common Core State Standards の実施に関する第一グループとして位置づいた。この政策と NCSSM の教育活動の関係について、次のような質問をしたい。
  - NCSSM の教師は、Common Core State Standards をどう捉え関わっているか？例えば、NCSSM の数学のスタンダード（NC essential standards）との違いは何か？
  - NCSSM の「NC essential standards」は各教科でどう実施されているか？
  - Common Core State Standards が採択された後、数学や国語の指導と評価に関する教師の営みは変わったか？

STEM 教育に対する考え方

いうまでもなく、米国内の一般的な動向として、STEM 分野における人材育成の強化とそのための STEM 教育の重視がある。このような動向のなかで、本校では、各教科の担当者が各科目の専門家であるいう立場から、それぞれが担当する教科そのものの指導を大切にしているということであった。教科間の連携を図る指導は、専門の異なる２名の教師がティームティーチングの形で指導をすることで、Interdisciplinary な指導を可能にしてきたという。

また、米国において、過去１０年間程の傾向として、科学においては生徒に研究活動（Research-like Activity）をさせることがあり、本校でもそのような活動を重視しているということであった。生徒による様々な活動例を示していただいた。また、その例として、NCSSM で刊行している雑誌”Broad Street Scientific” Volume 4（図２）をいただいた。この雑誌は、生徒が科学の分野の教員の指導を受けながら行った科学的探究の結果が、論文の形で掲載されている。

例えば、Teague 氏による数学の事例に次のようなものがある。いずれも 20 ページ程度のしっかりした論文で、引用参考文献も含め、すでに一流の科学雑誌掲載の研究論文のような体裁をしていることに目を見張る。また、このような「論文」のいくつかは、SIAM（Society for Industrial and Applied Mathematics）の主催するコンテスト Moody's Mega Math Challenge（M^3Challenge）というコンテストで入賞し、高額の賞金を獲得しているものもあるという。いくつかの研究のタイトルを以下にあげる。

- Facing the Plastic Bottleneck: Rethinking Recycling （Team#: 2035）
- Lunch Crunch: Can Nutritious Be Affordable and Delicious? （Team #3377）（M^3Challenge Champions Summa Cum Laude Team Prize: $20,000）
- Catching up to High Speed Trains (Team #808) M^3Challenge Runner Up (Magna Cum Laude Team Prize) - $15,000

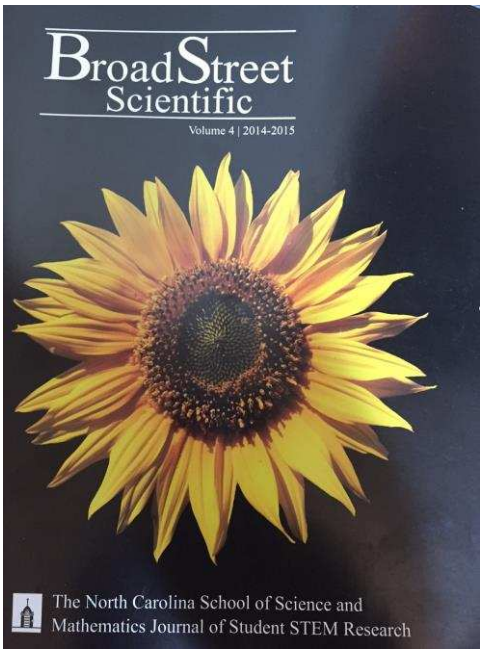


図2　Broad Street Scientific（The NCSSM Journal of Students STEM Research）

学校での指導

科学における実験（Laboratory）の扱いについて、伺ってみたところ、一般の高校では5、6回しかできないであろうが、本校では、一年に 25 回程度実施しているということであった。大学における実験は1回3～6時間かけて行われるが、ここでは授業時間の関係から 90 分で設定しなければならないので、実験の準備に工夫をして、時間の短縮を図っているとのことであった。

テキストについては、数学科では共通のを作成して使っているが、他教科はそれぞれの教員が使っているコース内容がテキストである。物理学では、かつて教材を作成した教師もおられたが、現在は定評のある市販のテキストがあり、それに勝る教科書を作成する事はできないので、作っていないということである。ただ、数学や物理学は、他の学校でも用いることのできる共通のテキストを想定できるものの、生物学では自分の教える内容の固有性が高く、テキストをつくることはないということである。なお、生物学の最新の知見を取り入れるために、教師自らが研究に敏感で、学会に参加したりする一方で、学外の専門家（近郊の大学や研究機関に勤務する研究者）をゲストスピーカーとして招待し、生徒に話してもらう機会を設定したりしている。

4　ノースカロライナ州立大学（NCSU）

NCSU は、1887 年に設立された大学であり、学部生が 25000 名程在籍している。この大学は、STEM 教育の Department を新規に開設した。

この新しい学部で教員養成についてどのようなプログラムが開設され、STEM 教育への対応が具体的にどのように進められているかを伺うのが一つの目的であった。今回、お話を伺ったのは、以下のメンバーである。

- Dr. Karen Keene: Graduate Program Coordinator in Mathematics Education
- Dr. Jere Confrey
- Dr. Karen Hollebrands
- Dr. Hollylynne Lee

- Dr. Karen Norwood
- Dr. Lee Stiff　（元全米数学教師協議会（NCTM）会長）

大学院のSTEM教育プログラムについてのGraduate Program Coordinatorを務めておられるDr. Karen Keeneは、現時点での教員養成プログラムについて、以下のように語っておられた。すなわち、実際には、既存の数学教育、科学教育などのコースがそれぞれに動いており、STEM教育としての新しい連携はこれからの課題であり、統合的なSTEM教育のカリキュラム開発を行っているところである。つまり、STEM教育学部やSTEM教育研究科のいわば「入れ物」はできたが、カリキュラムや実際の授業については、走りながらよいものを求めて行く、といった趣旨であった。

ここでのインタビューから浮かび上がったのは、STEM 教育という呼称が、「理工系」の人材育成を強化するための政策に由来するもので、ある種の大括りのラベル（umbrella term）として機能していること、そして STEM 教育を標榜すると、国策や州の方針もあり、大学や研究者に予算措置での優遇を期待できるので、大学や研究者がその方向に研究・教育をシフトさせてきているのではないかということである。研究者の環境が厳しいなかで、NSFや他の財団の資金を獲得するのに「STEM教育」という看板が効果的である、といった見方は後述する全米教育学会（AERA）の年会でもみられた反応である。

図３　Department of STEM education の数学教育担当者

なお、元全米数学教師協議会（NCTM）会長のDr. Lee Stiff　（図３ 後列右端）には、NCTMの視点からみたときに、数学のCommon Core State StandardsやSTME教育についてどのように考えるかを伺った。氏は、Common Core State Standardsは、各州のスタンダードに反映されて政策的に強い影響を与えているが、学校現場の先生方は、Common Coreよりも州のスタンダードと評価に関心をもっており、Common Coreの内容自体にはあまり関心がないであろうとのことであった。

5　研究機関SUDDS（Scaling Up Digital Design Studies）

数学教育におけるミスコンセプションの研究を1980年代後半から、またLearning Trajectory の研究を1990年代から行ってきたJ. Confrey教授は、NSFとBill Gates財団からの豊富な資金援助のもと、研究機関SUDDS（Scaling Up Digital Design Studies）を設立した。NCUから車で１０分ほどのビルにこの研究機関があり、４名ほどの研究員が働いていた。

この研究機関は、Common Core State Standards に基づく内容配列を、Learning Trajectory の観点から記述し、その指導のための教材や評価のための web 教材を開発する研究を行っている。学習者と教師の両者がアクセスできる教材集をみせていただいた。この SUDDS が行っている Common Core State Standards に基づく内容配列を Learning Trajectory の観点から根拠づけ、それを具体化する（web）教材開発については、資料をいただいてきたので、改めて分析していく予定である。

6　テキサスでの全米教育学会

上記の訪問とは別に、全米教育学会（*American Educational Research Association,* 略称：AERA）の第 98 回年会に参加し、ここでも米国における STEM 教育の動向を知る機会があった。具体的には、2017 年 4 月 27 日から 5 月 1 日までの 5 日間、米国テキサス州・サンアントニオのコンベンションセンター及び周辺のホテルで開催された全米教育学会第 98 回年会に参加した。

最終日に受付で尋ねたところ、参加者は 1 万 4000 人を越えたという回答であったが、公開データでは、参加者 1 万 5200 人、うち約 2000 人が国外 80 カ国からの参加者だった。433 件のシンポジウムを含む 2562 件のセッションが行われ、個別発表件数は総計 1 万 900 件にも上った。

この年会では、例年 500 ページに及ぶ分厚いプログラムブックレットが配布されるが、2011 年からは、スマートフォンやタブレット用のアプリが準備され、参加者はそれをダウンロードして利用できるようになっている。このアプリで「STEM 教育」を検索してみると、2500 件以上ものヒットがあり、200 件以上ものセッションがあった。そのうち数学教育の研究者中心のセッションに参加してみたところ、科学や工学と連携する教材開発や指導にあたる教員の養成の問題等、多くの課題が指摘されていた。

特に興味深かったのは、4 月 30 日に行われたセッション（シンポジウム）Interdisciplinary and international perspectives on STEM education: Opportunity and Challenges である。このセッションでは、このセッションでは、オーストラリア、アメリカ、オランダの各国における STEM 教育に関する現状を踏まえ、STEM 教育をめぐる問題が多面的に議論された。オーストラリアの D. Clarke 氏は、STEM といって例えば科学と数学ではカリキュラムのゴールが異なっており、両者を統合することは非常に難しいということをオーストラリアのカリキュラムの場合を例に指摘した。また、オランダのライデン大学の Tessa Vossen 氏は STEM 教育では、S, T, E, M が統合的に指導されなければならないこと、そのための課題として、指導者である教師の育成の問題が大きく、教員養成システムを変えない限り難しいのではないか、という問題提起をされた。

カリフォルニア大学バークレイ校の Alan Schoenfeld 教授が、指定等論者（Discussant）の 1 人として登壇し、冒頭で STEM を Sociopolitically Trendy Educational Mishmash（「社会政治的にトレンディーな教育のミスマッチ」）の略称と揶揄したのが印象的であった。氏の指摘のポイントは、以下の点であった。

- STEM という概念自体が一つの概念としては非整合的な（incoherent）面を内包してしまっていること
- 認識論的にもカリキュラムの基準的にも異なる科学と数学をどう統合するかのビジョンがみえないこと
- 科学と数学がそれぞれカリキュラム上どの程度優勢になるか問題になること
- いくつかの特徴的な実践事例での試行の積み重ねでは指導法が蓄積されていかないこと

フロアからのコメントも、ほぼこのような問題点について共感を示すものであった。このシンポジウムからは、STEM 教育が政策主導の「お題目」になってしまわないようにするために解消すべき課題が山積していることが改めて確認された。

7　米国における STEM 教育の研究動向

本節では、アメリカの数学教育における STEM 教育研究の現状を明らかにするために、National Council of Teacher of Mathematics（NCTM）と School Science and Mathematics Association（SSMA）によって刊行された雑誌に掲載された研究論文を対象として、STEM 教育に関する研究の動向を明らかにする。NCTM は世界最大の数学教育研究団体であり、SSMA は学校教育段階の科学と数学に関連した研究を対象としていることから、両者によって刊行された雑誌を分析することで、STEM 教育の現状が把握できると考えたからである。

分析の対象とした雑誌は、次の５つである。すなわち、第９学年以上の数学教育に関する論文を掲載する Mathematics Teacher（MT）、第５～８学年の数学教育に関する論文を掲載する Mathematics Teaching in the Middle School（MTMS）、第１～４学年の初等教育低学年段階の数学教育に関する論文を掲載する Teaching Children Mathematics（TCM）、理論的な論文を掲載する Journal for Research in Mathematics Education（JRME）と School Science and Mathematics（SSM）である。2006 年以降に STEM 関連の提言や報告書が増加している（堀田, 2011）ことから、2006 年から現在までの過去 10 年分の論文を本研究の対象とした。

表１は、前節で示した雑誌の中から、STEM に関連する研究論文を抽出した結果を示す。表１に示す通り、STEM に関連する研究論文の件数は、2010 年以降増加している。これは、 NSB（National Science Board; https://www.nsf.gov/nsb/） が 2009 年に、オバマ大統領に対して『すべてのアメリカ人学生のために STEM 教育を改革するための行動』を提出したことをきっかけに、STEM 改革の推進が強化されたことを受けたものといえる。

表１　STEM 関連の研究論文の累計

	MT	MTMS	TCM	JRME	SSM	計
2006	0	0	0	0	1	1
2007	1	0	0	0	1	2
2008	0	1	0	0	1	2
2009	0	0	0	0	1	1
2010	1	0	1	2	1	5
2011	1	1	1	1	7	11
2012	2	1	2	0	7	12
2013	1	10	5	1	8	25
2014	4	1	10	2	13	30
2015	2	6	9	2	19	38
2016 (～5 月)	2	0	1	1	13	17
計	14	20	29	9	72	144

そして表２は、STEM のどの側面に着目した内容なのかを視点として、上記の 144 件の論文を分類した結果を示す。分類のカテゴリーは、領域や分野としての STEM に関する内容（領域・分野）、STEM の教材や実践例に関する内容（教材・実践例）、STEM に関する理論的研究（理論的研究）、STEM についての説明や紹介（説明・紹介）、STEM 教育を実践する教師に関する内容（教師関連）、STEM のカリキュラムに関する内容（カリキュラム）の６つである。

表２に示す通り、領域・分野としての STEM に関する研究が最も多く、初等中等教育段階で STEM 教育を扱う際に重要である教師関連の研究や、カリキュラムを対象とする研究が少ないといえる。STEM 教育を行っていく際

には、教師教育やカリキュラムの問題は必ず検討されるべき事柄であるため、今後の研究の動向を慎重に追っていく必要がある。

表2　STEM 関連の研究論文の分類

領域・分野	60
教材・実践例	36
理論的研究	17
説明・紹介	8
教師関連	9
カリキュラム	14
計	144

さらに「教材・実践例」の 36 件に焦点をあて、実践レベルでの STEM 教育研究の状況を確認する。各論文において提示された教材・実践例を分析する視点として、「数学的内容」と問題解決過程で用いられる「方法・プロセス」を設定した。前者の軸には、OECD/PISA によって示された 4 つの包括的アイディアを用いた（国立教育政策研究所, 2010)。それは、OECD/PISA では様々な文脈における現実的な問題に数学的知識を適用することを求めていることに加え、これら 4 つの包括的アイディアを用いることで、アメリカと日本の双方の文脈を網羅することが可能であるからである。そして、後者の軸には、実践例において焦点があてられている方法・プロセスを用いた。詳述すると、PDCA サイクルのような評価・改善のプロセスを含む工学的なプロセスに焦点をあてたもの（デザインプロセス)、数学的モデル化やモデル導出活動に焦点をあてたもの（モデル化)、データの収集・分析に焦点をあてたもの（データの活用)、グラフ電卓等のテクノロジーを用いたもの（テクノロジーの利用）及びその他である。

表3　教材・実践例の分類結果

	空間と形	変化と関係	量	不確実性	計
デザイン プロセス	8	2	1	0	11
モデル化	1	1	1	0	3
データの活用	0	1	1	5	7
テクノロジーの利用	4	3	0	0	7
その他	4	0	4	0	8
計	17	7	7	5	36

表3 に示す通り、全体では数学的内容の「空間と形」が最も多かった。また、各方法・プロセスに関しても、数学的内容の偏りが表れている。このことから、焦点を当てる問題解決過程によって、使用される数学的な内容が限定される傾向にあるといえる。また、モデル化のプロセスを重視した教材・実践例が最も少ないことが明らかになった。モデル化は、数学を利用して現実世界の問題を解決するときに必要な活動であり、学校教育において重視されるべきものである。STEM において数学を他分野と統合的に扱うことで、数学的に重要なプロセスが後退しているという問題点が見出された。

8　おわりに

教科の連携、統合による総合的な探究学習やものづくりの活動を仕組むことで、科学技術に関する知識・技能を育成するとともに、科学技術分野へのこどもの興味・関心の増進を期待できる。現在の科学技術社会では、理数教育・技術教育が決定的に重要であるため、欧米諸国では、STEM 領域に莫大な教育研究予算が投入され、この方向での実践・研究が盛んに行われている。本稿でみたように、研究レベルでも学会誌への投稿論文数や学会での発表件数も増大し、議論が深まりつつあると考えられる。しかし、教育の現場では、NCSSM のように従来から教師間の連携に支えられた科学、数学、テクノロジーや工学を連携させた特色ある教育が脈々と受け継がれてきたという意味での STEM 教育の実践とその成果があり、他方、教員養成を含めた高等教育における対応は十分でない状況が浮かび上がってきた。数学教育の立場からは、ものづくりの工学的デザインプロセスのような新しい視点からの数学の活用による興味深い教材開発が可能になる一方で、数学本来の役割の見直しが必要になっていると考える。

註：

第 7 節の内容は、日本科学教育学会第 38 回年会における「STEM 教育の動向と課題」（上田, 平林, 清水, 2014）の 2014 年までの結果に、その後の 2016 年までの研究論文の動向を加味して加筆したものである。

謝辞：

本研究は、科学研究費補助金・基盤研究（B）（課題番号：15H03493、研究代表者：長洲南海男）の助成により行われた。ここに記して謝意を表する。なお、本稿において長洲南海男研究代表者の校閲と本科学研究費森下事務補佐員の校正に謝意を表します。

文献：

CCSSI: Common Core State Standards for Mathematics, National Governors Association Center for Best Practices and the Council of Chief State School Officers, 2010.

Clarke, D. (2017) Interdisciplinary and international perspectives on STEM education: Opportunity and Challenges. Interactive symposium *at the* 2017 *Annual Meeting of the American Educational Research Association. San Antonio, Texas*

Department of Public Instruction (2012) *Standard Course of Study for Mathematics*. State Board of Education, Department of Public Instruction.

Duncan, I. S., Lenhart, S., & Sturner, K. K.: Measuring Biodiversity with Probability, Mathematics Teacher, 107 (7), 547-549, 2014.

堀田のぞみ：科学技術政策と理科教育－初等中等段階からの科学技術人材育成に関する欧米の取組み，科学技術政策の国際的な動向，121-134，国立国会図書館調査及び立法考査局，2011.

国立教育政策研究所：PISA2009 年調査 評価の枠組み：OECD 生徒の学習到達度調査，東京：明石書店，2010.

SIAM(2016) https://m3challenge.siam.org/　2016.9.8 確認

上田祥平, 平林真伊，清水美憲（2014）「STEM 教育の動向と課題」日本科学教育学会第 38 回年会.

米国における STEM 教育とジェンダー
―新しい科学教育の Framework および NGSS における記載内容と STEM 教育の女性関係者に着目して―

稲田　結美（日本体育大学）

はじめに

科学技術分野へ参入する女性や、科学学習を積極的に行う女子が、男性・男子と比較して少数であるという問題を解決するために、世界各国で多様な施策が現在進行している。特に、イギリスをはじめとするヨーロッパ諸国と米国は、科学教育におけるジェンダー問題に関する研究を先導し、問題の打開・解消へ向かう実践的な成果が蓄積されつつある。そして、近年では科学だけでなく、技術、工学、数学も併せて女子の教育や学習を支援する取組が開始されている。例えば、米国では AAUW (The American Association of University Women)の 9 つあるメインプログラムの一つに、STEM Education が位置づけられていたり、コロンビア大学では Girls in STEM Initiative が開始されたりしている。さらには、STEM 領域への女子の興味を喚起するためのアニメーション番組から始まった初等・中等教育段階の教育アウトリーチプログラム SciGirls では、STEM 関連キャリアを目指す女子を支援する教育関係者向けのウェブサイト SciGirls CONNECT も開発され、学校の授業で活用できる Activity がいくつも掲載され、その Activity と NGSS (Next Generation Science Standards)との対応関係まで示されている。米国ではこれら以外にも女子に着目した STEM 関連の取組が多数展開されてきているが、このような動向は、新たな A Framework for K-12 Science Education、そして NGSS が発表されたことによって促進されてきたものと推測される。本稿では、新たな Framework と NGSS に見られるジェンダー関連の内容を調査する。加えて、それらの作成に携わったメンバーと、近年の STEM 教育関連の書籍の執筆者におけるジェンダーバランスと女性関係者の専門領域について調査した結果を報告する。

1.　A Framework for K-12 Science Education におけるジェンダーに関連する記述

2012 年に出された米国の科学教育の新たなフレームワーク *A Framework for K-12 Science Education* (National Research Council, 2012)において、“gender”あるいは“girl(s)”という用語は、引用文献も含めて 15 箇所見られた。特に、ジェンダーに関わる言及が多く見られたのは、11 章 Equity and Diversity in Science and Engineering Education の部分であった。この章はさらに、「すべての人のための科学と工学の学習」(Science and Engineering Learning for All)、「学ぶための機会を同等にすること」(Equalizing Opportunities to Learn)、「包括的な科学教授」(Inclusive Science Instruction)、「多様性を可視化すること」(Making Diversity Visible)、「表現の多様な形態を尊重する」(Value Multiple Modes of Expression)の各項目から構成されている。この章では、様々な学習者の公正(Equity)と多様性(Diversity)に配慮した科学・工学教育のあり方について解説されており、その対象はジェンダーに限らず、社会経済的な階級や人種、母語、障害など広範に渡っている。

本章では、「公正」とは何かという根本的な問いに対して、次のように説明している。なお、括弧内には、A Framework for K-12 Science Education (National Research Council, 2012)に掲載されているページを示す。

> 「公正」という用語は、研究者や教育者の異なるコミュニティーによって異なる方法で使用されてきた。これまで同様の集団の中から単にリクルートすることでは、もはやアメリカの労働ニーズを満たすことがで

きないため、社会的に啓発された自己利益の表明としての公正というものが、不当に数が少なかった集団の科学・工学教育に投資することへの要請に反映されている。社会的な正義の表明としての公正は、過去に学校でサービスが十分に受けられず、それによって科学・工学において羨望を受けるような職業への展望が厳しく限定されていたアメリカ社会の全集団にもたらされた不公平を是正することへの要請に表れている。公正の他の概念は、教育の論文を通して表現されている；すべてはフェアネス(fairness)の常識的な考え方に基づかれている―不公平なものはアンフェアであるということである。フェアネスは時に、すべての人に平等な機会を提供することを意味すると考えられている（後略)。(p.278, Box 11-1)

「公正」を考えるとき、その立場によって捉え方が異なることがここでは説明されているが、基本的には科学・工学の研究、教授、学習において、これまで周辺的な存在に追いやられていた人々（集団）に焦点をあて、その人たちも科学・工学の担い手の一人になるようにすべきであることが本章では論じられている。特に、ジェンダーについては、以下のような言及が見られた。

- 科学と工学は、社会の重要性の中で発展してきている。しかし、科学と工学における高い質の教育へのアクセスは、相変わらず、個々の社会経済的階級、人種や民族のグループ、ジェンダー、言語のバックグラウンド、障害、出身国によって大部分、決定されている。Banks らが要約するように、「高いレベルの経済的・社会的資源を持ち、人種的にマジョリティの集団に生まれるか、経済的・社会的資源の低いレベルで歴史的に疎外されてきた集団に生まれるかで、不平等な学習機会、挑戦、および学習と発達の潜在的なリスクを含んだ非常に異なる人生経験へと帰着してしまうのである。」(p.280)
- 科学に対する女子の興味は、ミドルスクールへの移行に伴って、男子と比較して劇的に低下する。そして、女性は科学と工学の領域と、多くのカレッジと大学の科学・工学の学部での人数が少ないままである。(p.281)
- 近い将来、適切で関連性のある科学が出てくるとき、スタンダード文書は、テキスト全体を通して多様な学習人口の文化的特質を明示的に表現すべきである（例えば、参考となる事例、サンプルの人物描写、予想されるパフォーマンス)。同様に、多様な文化や民族からの女性や人々の重要な貢献を包括するための努力がなされるべきである。(p.288)
- “固定観念の脅威”が、ハイステークスアセスメント中に、女子と特定の人口集団からの生徒の認知能力にどれほどネガティブな影響を及ぼし得るかを、多数の論文が強調している。(p.289)

また、この Framework の 12 章 Guidance for Standards Developers と 13 章 Looking Toward the Future: Research and Development to Inform K-12 Science Education Standards においてもわずかではあるが、次のようなジェンダーに関する記述が見られた。

- （多様性は新たなスタンダードにおいて可視化されるべきである。その方法として例えば…) (d)一つのジェンダー、人種、文化によって支配されない事例を利用すること(p.307)
- 両方のジェンダー、そしてすべての文化的バックグラウンド、言語、能力の生徒たちが、より洗練された理解に近づくために必要とされる教育上の活動に、どのように従事し得るだろうか？(p.313)
- （上記の問いに対して)「教育上の活動における生徒の参加の評価」は、異なるバックグラウンド、文化、

人種、ジェンダー、能力、言語の若い人々が、科学の教室のコミュニティーの中で、どれほど十分な参加者の一員になり得るかに関する調査を必要としているのである。(p.314)

これらの記述から生徒の多様性の尊重が、科学・工学教育において求められていることが読み取れる。その多様性の一つがジェンダーであり、注意を払うべきであることを Framework は明示している。公正や多様性への着目は、多民族国家である米国を象徴しているといえるが、科学（特に自然科学）とジェンダーの関係については、民族性や国の違いによらず特有の問題を抱えており、日本においても配慮が必要である。

2. Next Generation Science Standards におけるジェンダーに関連する記述

Next Generation Science Standards (NGSS) (NGSS Lead States, 2013)は、前述の Framework の内容を受けて開発されたスタンダードであり、付録(Appendix)の部分に、スタンダードの基本的な考え方や理論的背景が解説されている。スタンダードの本体部分には、ジェンダーに関連する記述は見られないが、Appendix D - "All Standards, All Students": Making the Next Generation Science Standards Accessible to All Students において、集中してジェンダーに関連する言及が見られた。なお、括弧内には、Next Generation Science Standards (NGSS Lead States, 2013)に掲載されているページを示す。

- 生徒の多様性を特定するにあたり、そのケーススタディは、2001 年の No Child Left Behind (NCLB)法と再認定された Elementary and Secondary (ESEA)法で定義づけられた 4 つのアカウンタビリティ集団に注意を向けている。(p.26)
  - 経済的に恵まれない生徒
  - 主要な人種や民族の生徒
  - 障害のある生徒
  - 英語が堪能ではない生徒

  さらに、3 つの集団を追加することによって、生徒の多様性が広がる。
  - 女子
  - オルタナティブ教育プログラムの生徒
  - 才能のある(gifted and talented)生徒
- 例えば、人種や民族に関する研究、英語学習者に関する研究、障害をもつ生徒に関する研究、そしてジェンダーに関する研究は、独特の研究の伝統を構成している。(p.30)
- （効果的な教室のストラテジーについて）女子：研究論文は、学校が科学と工学での女子の到達度、自信、好感度にポジティブな影響を与え得る 3 つの主な領域を指摘している：(1) 女子の科学の到達度と、科学の学習を継続する意思を高めるための教授ストラテジー、(2) 科学において成功する女性のイメージを促進することによって、科学における女子の到達度と自信を向上させるためのカリキュラム、(3) 科学において女子に利益をもたらすような教室と学校の組織構造（例えば、放課後のクラブ、サマーキャンプ、メンタリングプログラム）。(p.31)
- 特定の生徒集団は、教育プログラムにおいて過度に多くなっているか、もしくは過度に少なくなっているかである。例えば、女性は工学と物理学では人数が少ないのである。(p.35)
- 標準化されたテストは、人口統計学的な変数間の相互作用を分析したり報告したりしない。例えば、人種

／民族の少数派の生徒が、無料または割引価格のランチプログラムで不均衡に出現しているために、人種／民族と社会経済的地位との間の科学の到達度のギャップが混同されてしまう。同様の方法で、人種／民族とジェンダー間の科学の到達度のギャップが混同されてしまう。(p.37)

- （ESEA 法によれば、）Title IX は、連邦政府が資金を提供する教育プログラム内でのジェンダーに基づく差別を防止する。Title IX は次のように示している。「米国の誰も、連邦政府の財政援助を受けている教育プログラムあるいは活動の下で、性別に基づいて、それらへの参加から除外されたり、手助けを拒否されたり、差別を被ったりしてはならない。」(p.38)
- 科学教師は、人種、民族、文化、言語、社会経済、そしてジェンダーのバックグラウンドにかかわらず、すべての生徒を包含するための効果的なストラテジーを身につける必要がある。(p.38)

NGSS においても Framework と同様に、公正と多様性への配慮が強く示されているが、Framework と比較すると「公正」よりも「多様性」という語が多く用いられ、より強調されている。さらに、先述の 7 つの集団に関するケーススタディも示され、女子については“Girls and the Next Generation Science Standards”と題された 14 ページに渡る文書が、NGSS Appendices のページにリンクとして貼られている(https://www.nextgenscience.org/appendix-d-case-studies)。

このケーススタディでは、女子が科学・工学で成功できないのは、幼いころからの男女の経験のギャップに起因することが解説され、早い段階での取り組みが必要であるとし、第 3 学年での実践例が紹介されている。森林復元プロジェクトを題材とし、解決方法を女子が検討していくという授業の様子が具体的に示され、NGSS の Disciplinary Core Ideas、Science and Engineering Practices、Crosscutting Concepts のそれぞれどの部分と関連付けられる授業であるかまで説明されている。以上の内容から、ジェンダーは NGSS を授業で具現化する際に配慮すべき一視点であるといえよう。また、STEM 関連の学習における女子の到達度、自信、好感度を向上させる具体的な教授方法については、提示されたケーススタディが参考となることが明らかとなった。

3. STEM 教育関連書籍の執筆者および組織における女性

続いて、前述の Framework および NGSS の作成、そして STEM 教育関連の書籍の執筆に女性がどの程度関わっているのかについて分析した。分析の観点は、男女の人数比と関係する女性の専門領域である。調査対象は前述の Framework と NGSS のほかに、National Research Council (NRC)が監修し 2011 年～2015 年に出版された STEM 教育関連の書籍 5 冊の計 7 点である。作成に携わった関係者あるいは書籍の執筆者の性別や専門領域については、Web 上での検索によって調査した。

表 1 に結果をまとめる。この表から、いずれの書籍の関係者においても、女性の人数が男性よりも突出して少ないという状況は見られず、女性の方が多数を占める組織も多くあることが明らかとなった。表 1 の①～⑦の関係者の重複を除くと、全体で女性 73 人、男性 67 人、合計 140 人であった。関係者・執筆者におけるジェンダーの偏りはほぼ見られないといえる。表 1 の女性の職業に着目すると、著名な科学者から教育学者、博物館館長、初等・中等教育段階の STEM 領域の教師まで幅広い。さらに、表 1 の①と③については特に、女性関係者の中に自然科学研究者が多く、多様な領域の専門家によって委員会が構成されている。具体的には、①の Framework の女性関係者 14 人（Committee と Board の両方に関わっている女性もいる）のうち、6 人が自然科学研究者であり、その専門は理論物理学、海洋地質学、電気工学、生物工学、流体力学、植物学となっている。Framework の作成においては、女性が一定数を占めているだけでなく、教育関係者のみならず、自然科学の研究者が多数関

わっているという特徴が見られる。これらのことから、Framework や NGSS の作成や、書籍の執筆における人選にあたっても、STEM 領域の人材の多様性が意識され、反映されているのではないかと推測される。さらに、各組織の中心的な役割を担う女性もおり、まとめると表２のようになる。

表1：調査対象の書籍・組織における執筆者・関係者の男女の人数

	書籍タイトル（上段）　【組織名】（下段）	女性	男性
①	*A Framework for K-12 Science Education*		
	【Committee on A Conceptual Framework for New K-12 Science Education Standards】	7 人	18 人
	【Board on Science Education】	10 人	14 人
②	*Next Generation Science Standards for States, by States*		
	【Writing Team】	23 人	17 人
③	*Successful K-12 STEM Education: Identifying Effective Approaches in Science, Technology, Engineering, and Mathematics*		
	【Committee on Highly Successful Schools or Programs for K-12 STEM Education】	4 人	10 人
④	*STEM Integration in K-12 Education: Status, Prospects, and an Agenda for Research*		
	【Committee on Integrated STEM Education】	8 人	7 人
	【Project Staff】	4 人	2 人
⑤	*STEM Learning Is Everywhere: Summary of a Convocation on Building Learning Systems*		
	【Rapporteurs】	0 人	2 人
	【Planning Committee on STEM Learning is Everywhere】	6 人	2 人
	【Teacher Advisory Council】	8 人	4 人
⑥	*Guide to Implementing the Next Generation Science Standards*		
	【Committee on Guidance on Implementing the Next Generation Science Standards】	5 人	5 人
	【Board on Science Education】	9 人	12 人
⑦	*Identifying and Supporting Productive STEM Programs in Out-of-School Settings*		
	【Committee on Successful Out-of-School STEM Learning】	13 人	5 人

表2：組織の中心的役割を担う女性

氏名	書籍番号・組織※	組織での役割	職業・専門領域等
Helen R. Quinn	①【Committee】と【Board】 ⑥【Committee】	Chair	アメリカ物理学会元会長、素粒子物理学者
Margaret A. Honey	④【Committee】	Chair	ニューヨーク科学博物館館長、発達心理学者
Jennifer Peck	⑤【Planning Committee】	Cochair	オークランドの Partnership for Children and Youth の初代事務局長、米国教育省での勤務経験あり
Juliana Jones	⑤【Council】	Vice Chair	ミドルスクールの代数教師、Presidential Awards for Excellence in Mathematics and Science Teaching 受賞

※書籍番号・組織については、表１に対応している。

表２の Helen R. Quinn については、他の章でも言及されているが、スタンフォード大学で素粒子物理を研究していた世界的に著名な科学者である。彼女は ICTP(国際理論物理学センター)の Dirac Medal や、アメリカ物

理学会の J.J.サクライ賞なども受賞するほどの人物であり、2005 年に NRC の科学教育委員会に加わり、2009 年～2014 年に議長を務め、科学の新しい Framework の作成を率いていたのである。なお、Helen R. Quinn の物理学に関する研究については、本科学研究費報告書の出口憲論文を、科学教育学に関する研究等については、長洲南海男論文を参照してほしい。表２の他の３人についても、自身の専門領域で十分な実績をあげている人物である。このような女性たちが中心となって、米国の STEM 教育を推進しているということは、すでに女性の視点がそこに反映されていることの証といえるだろう。

おわりに

本稿では、米国の新たな科学の Framework および NGSS におけるジェンダー関連の記載内容と、STEM 教育関連の女性関係者について報告した。米国では科学・工学教育における公正が明確に目指され、配慮すべき学習者の多様性の一つにジェンダーが挙げられている。そして、STEM 教育を推進する関係者の中に女性が多数存在しているため、女性の視点がすでに導入されているといえる。日本においても女性の理工系進路選択を促進する取組は多数展開されているが、学校の教育課程外のものが圧倒的に多い。今後は米国のように、学校の理科や数学、技術といった教育についても女性の視点の導入がさらに求められるのではないだろうか。

謝辞

本研究は科学研究費補助金基盤研究（B）（課題番号：15H03493、研究代表者：長洲南海男）の助成を受けたものである。ここに謝意を表する。

引用・参考文献

- Committee on Guidance on Implementing the Next Generation Science Standards; Board on Science Education; Division of Behavioral and Social Sciences and Education; National Research Council (2015) *Guide to Implementing the Next Generation Science Standards*, The National Academies Press.
- Committee on Highly Successful Schools or Programs for K-12 STEM Education; Board on Science Education; Board on Testing and Assessment; Division of Behavioral and Social Sciences and Education; National Research Council (2011) *Successful K-12 STEM Education: Identifying Effective Approaches in Science, Technology, Engineering, and Mathematics*, The National Academies Press.
- Committee on Successful Out-of-School STEM Learning; Board on Science Education; Division of Behavioral and Social Sciences and Education; National Research Council (2015) *Identifying and Supporting Productive STEM Programs in Out-of-School Settings*, The National Academies Press.
- Margaret Honey, Greg Pearson, and Heidi Schweingruber, Editors; Committee on Integrated STEM Education; National Academy of Engineering; National Research Council (2014) *STEM Integration in K-12 Education: Status, Prospects, and an Agenda for Research*, The National Academies Press.
- National Research Council (2012) *A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas*, The National Academies Press.
- NGSS Lead States (2013) *Next Generation Science Standards: For States, By States Volume 1 The Standards*, The National Academies Press.
- NGSS Lead States (2013) *Next Generation Science Standards: For States, By States Volume 2 Appendixes*, The National Academies Press.
- Steve Olson and Jay Labov, Rapporteurs; Planning Committee on STEM Learning Is Everywhere: Engaging Schools and Empowering Teachers to Integrate Formal, Informal, and After-School Education

to Enhance Teaching and Learning in Grades K-8; Teacher Advisory Council; Division of Behavioral and Social Sciences and Education; National Research Council (2014) *STEM Learning Is Everywhere: Summary of a Convocation on Building Learning Systems*, The National Academies Press.

＜Web サイト＞　すべて 2018 年 1 月 30 日に閲覧

- AAUW: STEM Education, http://www. aauw.org/what-we-do/stem-education/
- Columbia University: Girls in STEM Initiative, http://sps.columbia.edu/girls-in-stem
- Next Generation Science Standards: For States, By States: Appendix D Case Studies, https://www. nextgenscience.org/appendix-d-case-studies
- Twin Cities Public Television: SciGirls, http://pbskids.org/scigirls/
- Twin Cities Public Television: SciGirls CONNECT, http://www.scigirlsconnect.org/

ドイツにおける MINT 教育の諸相

―MINT 関連教育政策の動向と中等化学教育の内容構成を中心に―

遠藤 優介（愛知教育大学）

はじめに

近年、米国を中心とした STEM 教育の展開が一つの大きな潮流をなしている。そうした中にあって、ドイツでは、„MINT“教育を推進する動きが連邦の教育行政レベルから民間レベルに至るまで、様々に見受けられる。その実態は多岐に渡るゆえ、個々の取り組みを網羅的に取り上げることはできないが、本稿では連邦教育研究省（Bundesministerium für Bildungs und Forschung：BMBF と略記）や各州文部大臣会議（Kultusministerkonferenz：KMK と略記、詳細は註参照）の MINT 教育に対する考え方、施策を中心に、ドイツにおける MINT 教育の様相を探ることとする。ドイツでの実地調査に基づく MINT 教育支援体制の実態並びに BMBF の解説については、吉岡（2018）（本報告書所収）に詳しいのでそちらを参照されたい。加えて、長洲による米国の STEM 教育における化学教育についての論考（本報告書所収）を踏まえ、ドイツ中等教育（特に、ギムナジウム）の化学の Schulbuch に見られる内容構成について考察する。

なお、以降の論考の前提となるドイツの教育制度等に係る基本事項並びに関連用語の使用については、稿末の註を参照されたい。

1．MINT 教育が求められる背景と MINT 教育の価値

„MINT“とは、数学（Mathematik）、情報学（Informatik）、自然科学（Naturwissenschaften）及び技術（Technik）の各領域の頭文字をとった略語である（BMBF、2012：7）。これら 4 つの領域については、例えば、数学無しで情報学が機能しないように、また技術革新が科学的認識に基づいて生み出されるように、それぞれが互いに密接に結びつき、その境界は不明瞭なものであるという（BMBF、2012：7）。

では、このような MINT に係る教育がなぜ求められているのであろうか。その背景的要因をいくつか挙げてみよう。第一に、グローバル化が進む世界における競争力の向上である。連邦教育研究相の Wanka, J.は、学問、研究そしてテクノロジー面でのドイツの先導的地位に触れ、グローバルな競争を勝ち抜くためにはとりわけ MINT 領域における高度な専門力が必要であるとしている（BMBF、2012：序）。第二に、MINT 関連で新たに成立してきたディシプリンや職業像への対応である。先にも述べたように、ある種ボーダーレス的に捉えられる MINT 領域にあっては、バイオニクスやメカトロニクスなど、新たなディシプリンが次々に生まれ、それに呼応する形で職業像も多様化している。IoT や AI を中心とした第 4 次産業革命とも称される時代の到来を前に、そうした状況への対応が求められているのである。第三に、上記第一や第二と係って、MINT 領域における専門家や働き手の確保・育成である。現状でさえ、専門家不足は火を見るより明らかであるのに加え、将来的には健康関連、社会福祉、教職、科学技術関連の職業領域での労働力不足に、ますます拍車がかかるとの予測がなされている（BMBF、2012：26）。しかも、そうした労働力の担い手となっていくべき生徒達に至っては、そのわずか 10%しかエンジニアの職業を考慮しておらず、科学や技術に興味を抱いている生徒ですら、将来当該領域で働きたいと考えているのはその半数に留まるという（BMBF、2012：26）。KMK も、学校の教科や研究として、あるいは職業選択において、数学、物理、化学といった MINT 教科に対する若者からの支持が極めて少ないことを問題視

している（KMK、2009：2)。また、とりわけ MINT 領域では、関連の職に従事する女性の少なさが指摘されており、その点も含め、人材の確保・育成が急務となっている。

こうした背景下で求められる MINT 教育について、KMK は次の３つの側面からその価値に言及している（KMK、2009：1)。１つ目は、文化的自覚、進歩そして社会に対する価値である。科学・技術の認識や成果は、人間の生活を形作るものであり、文化的な成果として計り知れない価値を有する陶冶材（Bildungsgut）と捉えられている。２つ目は、国家の経済的発展に対する価値である。科学・技術研究の成果は、生活基盤の保証やグローバル化の中での競争力にとって鍵的役割を果たすものであり、一流の専門家を輩出する基盤を確かなものにしていくことが重要とされている。３つ目は、個々人に対する価値である。数学・科学・技術教育は、技術の発展や科学研究をめぐる社会的なコミュニケーションや世論形成へ、個々人が積極的に参加するための本質的な前提と捉えられている。

２．MINT 教育の促進に向けた施策の展開

以上を踏まえ、ここからは MINT 教育の促進に向けて打ち出された施策のいくつかに目を向けてみよう。

2009 年５月に KMK より出された「数学・科学・技術教育の強化に向けた KMK 勧告」には、MINT 教育に関連する施策が８つの行動分野（Handlungsfeld）ごとに示されている。具体的には、「社会的受容」、「基礎（就学前）領域」、「初等領域」、「中等領域Ⅰ及びⅡ」、「学校種特有のカリキュラム開発／学校の特徴づけ」、「教育者／教師の養成」、「協力・連携／学校外学習施設」及び「物的／人的条件」である（KMK、2009：4-6)。この内、「中等領域Ⅰ及びⅡ」と「学校種特有のカリキュラム開発／学校の特徴づけ」の詳細を抜粋したものが表１である。

表１　KMK による MINT 教育の強化に向けた施策例

行動分野「中等領域Ⅰ及びⅡ」 ・教科教育、統合的な科学-技術教育、学習領域、学問横断的ないし諸教科を結びつけた教育といった形で、第５学年から第 10 学年において一貫した科学教育を保証する。 ・各州において計画されている場合、第 5-6 学年（場合によっては第 5-8 学年）の統合的な科学-技術教育は、少なくとも週３時間の範囲で行われるべきである。 ・横断的な専門コンピテンシーの深化とともに、とりわけ科学-技術への生徒達の関心を促進すべきであるような、中等教育段階Ⅰ向けの諸教科を結びつけた科学構想を開発する。 ・SINUS-Transfer 及び SINUS-Transfer Grundschule の経験に基づいて、MINT-教科におけるスタンダード指向・コンピテンシー指向の授業開発促進のためのプロジェクトを実施する。 ・ギムナジウム上級段階において、科学の履修義務並びに深化と補完の機会（例えば、より高度なレベルの科学系教科の提供、選択コース）を保証する。
行動分野「学校種特有のカリキュラム開発／学校の特徴付け」 ・SINUS、SINUS-Transfer 及び Kontext プロジェクトの成果を含め、教授学的-方法学的な自由裁量の余地を残しながら、現行の中等学校修了用の教育スタンダード並びにアビトゥーアに関して作成された教科数学、生物、化学および物理のスタンダードへの徹底した方向付けを行う。 ・個々の学校の科学に関する特徴付け（例えば、MINT-EC 学校として）を促進する。 ・例えば、科学-技術の実践の日あるいは実験室の日の提供、科学-技術の実習、Schülerlabor（生徒のための実験室）への定期的な訪問を通して、学校における職業指向や研究指向を促進する。 ・発見的、主体的そして探究的な学習、チームワーク並びに問題解決方略を構想し、試行しそして省察したり、それらを年齢相応に文書化したり、発表したりする能力を顧慮した方法コンピテンシーをさらに育成する。 ・現実に即した事態並びに事象のシミュレーションに数学的モデルや科学的モデルを活用する。 ・技術関連の能力、技能の獲得を強化する。 ・MINT-教科において、生活世界や実用面との関連付けを確立する。 ・生物、化学及び物理において（可能な限り実習においても）実験活動を行う。 ・コンピュータプログラム（例えば、表計算、動的幾何学、コンピュータ代数）並びにポケット用電算機（例えば、グラフィック機能や CAS 付のもの）をすべての MINT-教科において義務的に利用する。 ・諸教科横断的な活動や諸教科を結びつけた活動（教科特有のコンピテンシー同士の結びつき）を義務的に導入する。 ・MINT-領域における傾向別や能力別の後続の教育機会（例えば、授業を補完する研究会）を強化する。 ・MINT-教科の領域において現在見られる生徒コンテストを促進し、こういったコンテストに参加する女子を増やすための措置を強化する。 ・特に才能のある生徒、並びに不利な学習前提を有する生徒に対する特別な支援策を講じる。

（出典：KMK、2009：4-5 から一部抜粋）

まず、８つの行動分野を見ると、施策の対象が極めて広範囲に及んでいることがわかる。主として職業選択に直結し得る中等領域ばかりではなく、基礎領域や初等領域、さらには学校教育の枠を越えた学校外学習施設に関する領域等にも焦点が当てられ、より包括的な観点から MINT 教育の促進が図られている様相が窺える。

続いて、表１に示した施策の内容から指摘し得るのは、「数学―自然科学教育の効果向上（Steigerung der Effizienz des mathematisch-naturwissenschaftlichen Unterrichts：SINUS と略記）」促進プログラムの経験に基づいたプロジェクトの実施、KMK 教育スタンダード（Bildungsstandards）への徹底した方向付けといった、2000 年前後に実施された国際学力調査での成績不振に端を発する一連の科学教育改革の動きが、MINT 教育促進の流れの中に明確に位置付けられているということである。わけても、KMK による連邦レベルの教育スタンダードの策定は、各州が文化高権（註参照）を有してきたドイツの教育政策史上画期的なことであり（大髙、2010：151-152）、以来コンピテンシー指向の科学カリキュラム編成や科学教授・学習の展開が広まりを見せている。したがって、こうしたコンピテンシー指向の科学教育改革の側面もまた、今日のドイツにおける MINT 教育を特徴付ける一端をなしているものと考えられる。

一方、表１には„MINT-EC“のような産業界主体の取り組みも見受けられる。„MINT-EC“とは、数学・科学・技術の面で卓越した特徴を有する中等領域 II に相当する学校（ギムナジウム）同士の連邦レベルのネットワークであり、主としてドイツ金属・電子産業経営者連盟（Gesamtmetall）からの資金提供を受けている。2009 年からは、KMK もその後援に入る形となり、現在では 295 校が MINT-EC 認定校としてネットワークに参加し、MINT 教育を推進している（MINTec ウェブサイト参照）。このように、教育行政の面からだけではなく、産業界の企業団体・組織の主導による MINT 教育の展開が見られる点も、特筆すべきところである。なお、MINT-EC の詳細に関しては、吉岡（2018）（本報告書所収）も参照されたい。

３．現在までの MINT 教育の成果

現在もなおドイツにおいて進展中の MINT 教育であるが、これまでの成果はどのように捉えられているのであろうか。2012 年時点での報告によれば、年々、MINT 領域の研究者数の増加が見られるものの、未だ需要を満たすほどには至っていないという状況が示されている（BMBF、2012：27-28）。一方で、2017 年に公表された OECD 報告„Bildung auf einen Blick 2017“は、MINT 教育の大きな成果を伝えるものとなった。2017 年９月 12 日付けの BMBF のプレス発表では、「MINT 教育においてドイツは OECD のトップに位置している」という見出しを打ち、国際比較においてドイツは MINT 領域における新入生と卒業生の割合が最も高く、ドイツの教育システムの優秀さが証明されたとして大々的に報じている（BMBF、2017）。この中で、連邦教育研究相である Wanka, J.は、次のようなコメントを寄せている。

> 「OECD 報告には、ハイテク国ドイツにとってよい知らせが書いてある。我々のイノベーション力の強さを保証するために、ドイツはデジタル化もしっかりと視野に収めた優れた MINT コンピテンシーを必要とする。連邦政府は、これまで数学-科学教育の促進を継続的に強化してきた。OECD の数値にもはっきりと表れているように、これらの努力が実を結んでいる。さらに今後引き続き、我々はこの領域における女性の支援を行っていかなければならない。我々は彼女達の潜在能力を見捨てることはできないし、見捨ててよいはずがない。特に職業教育において、我々は技術関連の職業の可能性を、若い女性にさらにもたらさなければならない。」（BMBF、2017）

このように、これまでの MINT 教育の成果が目に見える形で現れてきつつある反面、MINT 領域における女

性の能力開発や就業促進といった面ではなお課題があり、継続的な支援の必要性が改めて認識されている。こうした現状を踏まえれば、例えばジェンダー教育的観点からのアプローチによる MINT 教育の充実といった点が今後ますます求められていくのではないかと考えられる。

4．中等教育段階（ギムナジウム）の化学の Schulbuch における内容構成

冒頭でも述べたように、ここではドイツの中等教育、とりわけギムナジウムの化学の Schulbuch（註参照）における内容構成について分析し、考察を行うこととする。なお、比較対象として日本の高等学校化学教科書の内容構成を適宜取り上げるが、それに際しては、註に示したようにドイツと日本の教育制度上の差異に留意する必要があることを付言しておく。

分析対象としたドイツの Schulbuch は、大手出版社の 1 つ Klett 社が発行する„*element chemie I*“（前期中等教育段階、ノルトライン・ヴェストファーレン州用）及び„*element chemie Oberstufe*“（後期中等教育段階、ノルトライン・ヴェストファーレン州用）である。註にも記したが、ドイツでは前期中等教育から「化学」を独立した教科として学習することに鑑み、ここでは当該段階の Schulbuch も併せて分析することとした。これら„*element chemie* “シリーズは、どちらかといえば従来ギムナジウムで使用されてきた学問中心の伝統的な Schulbuch の性格を帯びるものである。なお、1990 年代末から開発がはじめられ、以降のドイツ科学教育改革の流れと相俟って展開した科学（化学）教育プロジェクト„*Chemie im Kontext*（CHiK）“でも、前期及び後期中等教育段階向けの Schulbuch が作成されているが、こちらはプロジェクトの名称さながら文脈を基盤とした構成がなされており、その意味において„*element chemie* “シリーズとは性格を異にしている。

日本の高等学校化学教科書としては、手元に入手済みの第一学習社発行の『高等学校　改訂化学基礎（2016 年検定済）』及び『高等学校　化学（2012 年検定済）』を取り上げることとした。

では、実際の内容構成の具体に目を向けていきたい。各々に見られる主だった章及び節タイトルを一覧にしてまとめたものが、表 2 である。„*element chemie I*“の内容構成を見てもわかるように、前期中等教育段階から、我が国の高等学校化学で扱うような内容が取り上げられている。全体を俯瞰すれば、およそ物質の構成から酸・塩基反応等の種々の化学反応、無機化学そして有機化学という大枠は類似性が見て取れる。しかしながら、我が国の高等学校化学教科書は、理論化学、無機化学、有機化学のように、比較的化学の学問体系に沿った専門領域ごとの内容構成が基本であるように思われるのに対し、ドイツの場合必ずしもそうではない。„*element chemie I*“の「3　空気と水」、「11　化学反応由来のエネルギー」や„*element chemie Oberstufe*“の「4　炭素循環と気候」など、エネルギー問題や環境問題を中心に据えるような、いわばイシューズベースの章（単元）構成が随所で取り入れられている。例えば、„*element chemie Oberstufe*“の「4　炭素循環と気候」では、二酸化炭素や炭酸、炭酸塩の性質等の基本事項を扱いつつ、炭素循環、二酸化炭素による海洋の酸性化、温室効果、農業や土壌との関連、再生可能エネルギーといった内容を関連付けながら学習する構成となっている。もちろん、学問体系に沿った構成を主とする章（単元）も存在するが、両者が混在するような構成は特筆すべき点として指摘できよう。ただし、その意図については、Schulbuch の中では特段の記述が見られなかったため、現段階では明らかになっていない。

加えていえば、ギムナジウム上級段階の化学では日本の高等学校化学と比してかなり高度な内容が扱われていた。例えば、ネルンストの式、共鳴構造、S_N反応、フィッシャーの投影式、さらには付録としてマススペクトル、IR スペクトル及び NMR スペクトルの原理等、日本では大学で学ぶレベルの内容が掲載されていた。

なお、長洲が明らかにしているように、米国の ACS が出版する High School 段階の化学の Textbook（科学専攻対象）“Chemistry in the Community”に顕著な、最新の学習、発達心理学成果を取り入れた内容構成の視点に

ついては、分析した Schulbuch に関連する記述がなされておらず、見取ることはできなかった。ただし、*„element chemie 1*“並びに*„element chemie Oberstufe*“の巻頭部においては、いずれも「基本的な部分については、中核レールプラン（Kernlehrplan）において求められるコンピテンシーをしっかりと獲得することができるように、論理的かつ明快に構成された学習ページと情報ページからなる」という記述が見られる。これには、昨今のコンピテンシー指向の科学教育改革からの影響が少なからず現れているものと考えられるし、そうしたコンピテンシーの獲得・育成という観点からの内容構成をめぐる議論についても検討していく必要があろう。

表２　ドイツの中等教育（ギムナジウム）化学 Schulbuch の内容構成と日本の高等学校化学教科書の内容構成の比較

ドイツの中等教育（ギムナジウム）化学 Schulbuch の内容構成	日本の高等学校化学教科書の内容構成
【elemente chemie 1】 化学への好奇心？ 観察から理論へ 化学空間における実験 1　物質と物質変化〔物質・粒子・性質、混合と分離〕 2　化学反応時の物質変化とエネルギー変化〔燃焼―化学反応、火災とその制圧〕 3　空気と水〔資源である空気、資源である水〕 4　金属と金属の獲得 5　元素の族・原子構造・周期律〔化学―定量的に考察する、元素の族、原子構造と周期律〕 6　イオン結合と電子の授受〔イオン結合とイオン結晶、電子の授受〕 7　無極性共有結合と極性共有結合 8　酸とアルカリ 9　無機塩―肥料―土壌（オプション） 10　無機物の炭素化合物と炭素循環（オプション） 11　化学反応由来のエネルギー 有機化学 12　アルコール 13　カルボン酸とエステル 【elemente chemie Oberstufe】 導入段階：１―５章 1　炭素と炭化水素〔元素である炭素、炭化水素〕 2　自然界や技術における有機物〔アルコール、アルデヒド・ケトン・カルボン酸〕 3　反応速度と化学平衡〔反応速度、化学平衡〕 4　炭素循環と気候〔炭素循環、大気と気候〕 5　無機塩―肥料―土壌 資格段階：６―11 章 6　酸・塩基反応と分析方法 7　電気化学 8　有機化合物とその反応様式 9　芳香族炭化水素 10　プラスチック 11　有機色素 拡張：12―14 章 12　天然物 13　界面活性剤 14　錯化合物	【化学基礎】 序章　化学と人間生活 第Ⅰ章　物質の構成 〔1．物質の成分と構成元素、2．原子の構造と元素の周期表、3．物質と化学結合〕 第Ⅱ章　物質の変化 〔1．物質量と化学反応式、2．酸と塩基の反応、3．酸化還元反応〕 【化学】 第Ⅰ章　物質の状態 〔1．化学結合と結晶、2．物質の三態変化、3．気体の性質、4．溶液の性質〕 第Ⅱ章　物質の変化と平衡 〔1．物質とエネルギー、2．電池・電気分解、3．化学反応の速さ、4．化学平衡〕 第Ⅲ章　無機物質 〔1．非金属元素の単体とその化合物、2．典型金属元素の単体とその化合物、3．遷移元素の単体とその化合物、4．無機物質と人間生活〕 第Ⅳ章　有機化合物 〔1．有機化合物の特徴と構造、2．脂肪族炭化水素、3．酸素を含む脂肪族化合物、4．芳香族化合物、5．有機化合物と人間生活〕 第Ⅴ章　高分子化合物 〔1．合成高分子化合物、2．天然高分子化合物、3．高分子化合物と人間生活〕 ※〔　〕内は節タイトルを示す。

（出典：Eisner, W., u. a.、2009：3-5、Gietz, P., u. a.、2015：3-5、山内薫ほか、2017a：③-2、山内薫ほか、2017b：1-3、を基に筆者作成）

おわりに

本稿のはじめにでも少し触れたように、ドイツにおけるMINT教育については、その対象や力点の置き方を異にしながら実に多様な展開を見せている。しかしその多様さゆえ、ややもすればMINTの名を冠していてもこれまでの数学教育、科学教育あるいは技術教育との違いが判然としない場合も生じ得よう。MINT教育が有する固有な側面はどこにあるのか、それを常に問いながら個々の取り組みに目を向けていくことが求められるのではないだろうか。

附記

本稿の一部（1．及び2．）は、遠藤優介（2016）:「ドイツにおけるMINT教育―各州文部大臣会議（KMK）の取り組みを中心に―」（『教科と内容構成新ビジョンの解明―米国・欧州STEM・リテラシー教育との比較より平成27年度～平成29年度科学研究費補助金（基盤研究（B））第1回中間報告書（研究代表者：長洲南海男）』所収）の内容（パワーポイントスライド資料）を下敷きとし、その後得られた新たな知見を加え、文章化し再構成したものである。また、本文中で使用する用語も含め、ドイツの教育制度等に係る基本事項の説明については、註として稿末にまとめて掲載した。

謝辞

本研究は、科学研究費補助金・基盤研究(B)（課題番号：15H03493、研究代表者・長洲南海男）の助成により行われた。ここに記して謝意を表する。なお、本稿作成に際し、長洲南海男研究代表者よる校閲及び森下明美本科学研究費事務補佐員による校正に謝意を表します。

註

ドイツにおいて、教育を含む文化政策と文化行政の全ての問題（一部例外を除く）に関しては、原則として諸州が立法上及び行政上の権限を有する。この権限配分は諸州の「文化高権（Kulturhoheit）」と呼ばれる（マックス・プランク教育研究所研究者グループ、2006：41）。したがって、連邦教育研究省（BMBF）が有する権限は、学校外の職業教育に関する立法や研究助成などごく一部にしか及ばない（髙谷、2010：183）。そうした状況にあって、個々の連邦構成州間の文化政策の調整を担う最も重要な委員会が各州文部大臣会議（KMK）である（マックス・プランク教育研究所研究者グループ、2006：42）。このKMKについては、「会議」という名称が付されているものの、総会（Plenum）、議長団（Präsidium）、議長（Präsident）、部局長会議（Amtsschefskonferenz）、個々の専門的問題に関して権限を有する委員会（Ausschüsse）などからなる常設の機関であり、ベルリンとボンに独立した建物として事務局を有している（KMKウェブサイト参照）。KMKの総会及び諸委員会において各州は一票を有しており、教育政策の事柄に関連した諸問題の決定は満場一致を必要とする。そうして行われた決議であっても、その時点では拘束力を持たず、州の法や政令の決定者が決議を行って州法となることで、初めて拘束力を持つようになる（ただし、満場一致のKMK決議は、事実上、州議会の諸決定をあらかじめ指示することになる）（マックス・プランク教育研究所研究者グループ、2006：42-44）。なお、「文部大臣」という訳語に関して、州の教育に関する省庁の名称や内実は、州ごとに多様性があり、日本でいう「文部省・文部大臣」との意味合いの差異に留意する必要がある。

次に、ドイツの基本的な学校制度に関して、初等教育は基礎学校（Grundschule）で4年間（一部の州では6年間）行われ、その後中等教育に進むと、生徒の能力・適性に応じ、基幹学校（Hauputschule：5年制で、卒業後

に就職して職業訓練を受ける者が主として進む)、実科学校（Realschule：６年制で、卒業後に職業教育学校に進む者や中級の職に就く者が主として進む)、ギムナジウム（Gymnasium：８年制ないし９年制で、大学進学希望者が主として進む）等の、いわゆる分岐型の制度が設けられている（髙谷、2016：164)。とりわけ、ギムナジウムの後期中等教育段階は、ギムナジウム上級段階（gymnasiale Oberstufe）と呼ばれ、導入段階（Einführungsphase：8 年制ギムナジウムの場合第 10 学年、9 年制ギムナジウムの場合第 11 学年）と資格段階（Qualifikationsphase：8 年制ギムナジウムの場合第 11・12 学年、9 年制ギムナジウムの場合第 12・13 学年）とに区分されている（木戸、2008)。このギムナジウム上級段階では、選択制による履修が導入され、それぞれの教科について基礎的な水準の学習を行う基礎コース（Grundkurs）と、専門的な学習を行い授業時数も多い重点コース（Leistungskurs）が提供される（長島、2009：42-43)。また、ギムナジウム上級段階の修了試験は「アビトゥーア試験」と呼ばれ、修了資格であるアビトゥーアを取得することにより、原則的には国内のいずれの大学にも入学することができる仕組みになっている（大髙、2012：48)。なお、アビトゥーア試験は、日本の大学入試センター試験のように全国的な統一試験ではなくあくまで州ごとの試験であり、したがって州間のアビトゥーア取得のための水準を確保するような連邦レベルの基準として「アビトゥーア試験における統一的試験要求（Einheitliche Prüfungsanforderungen in der Abiturprüfung：EPA と略記）が設けられている（大髙、2012：48)。

続いて、各教育段階における科学系教科に関して、日本と異なり、初等教育段階には「理科」という独立した教科は存在しない。そこには、一般に科学系、技術系そして社会系の教科の内容を統合的に扱う「事実教授（Sachunterricht)」(名称には多様性がある) が置かれ、科学の内容は専らこの統合教科の中で学ばれる。さらに、中等教育段階になると、基本的に前期中等教育からすでに「物理」、「化学」及び「生物」という分科した形で科学系教科が置かれ、その中で各内容が学ばれることとなる。この点は、日本の中学校理科との大きな違いであり、また日本の高等学校理科の科目である「地学」に相当するような教科が存在しないことも１つの特徴である。

最後に、教科書制度に関して、日本でいう教科書に対応するものとして、ドイツには児童生徒用の印刷物である„Schulbuch“がある。これらは、各州の文部省による検定制度がとられており、州ごとに若干の違いはあるが、おおよそ発行者から州文部省への申請、州文部省による外部の調査員（２～３名の教員）への審査委託、調査員による審査の実施と意見書の作成・提出、州文部省による決定というプロセスを辿る（長島、2009：44)。したがって、同じ出版社であっても、単独の州別版、複数の州別版あるいは全州共通版など種類は多様である。検定を経た Schulbuch は、州文部省が作成するリストに自動的に掲載され、そのリストの中から各学校が採択するものを決定する運びとなる（長島、2009：44)。また、Schulbuch は無償貸与制度が基本とされている（長島、2009：44)。このように、ドイツで使用される Schulbuch に関しては、州ごとの検定制度がとられていることや無償貸与制が基本であることなど、日本の教科書とは異なる点が少なからず見られるため、本稿では「教科書」という訳語を用いず、原語のまま表記することとする。

引用・参考文献

BMBF（2017）：*Presse（12. 09. 2017）. Deutschland ist OECD-Spitze in der MINT-Bildung. OECD-Bericht "Bildung auf einen Blick 2017" bescheinigt Deutschland ein für die Zukunft gerüstetes Bildungssystem – auch dank der beruflichen Bildung.* ＜https://www.bmbf.de/de/deutschland-ist-oecd-spitze-in-der-mint-bildung-4783.html（2018 年 1 月 30 日アクセス）＞

BMBF（2012）：*Perspektive MINT. Wegweiser für MINT-Förderung und Karrieren in Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften und Technik.* ＜https://www.bmbf.de/pub/perspektive_mint.pdf（2018 年 1 月 30 日ア

クセス）＞
Eisner, W., u. a.（2009）：*elemente chemie 1*, Ernst Klett.
Gietz, P., u. a.（2015）: *elemente chemie Oberstufe Gesamtband für die Einführungsphase und Qualifikationsphase der gymnasialen Oberstufe in Nordrhein-Westfalen*, Ernst Klett.
木戸裕（2008）:「ドイツの大学入学法制―ギムナジウム上級段階の履修形態とアビトゥーア試験」,『外国の立法』、238、21-46.
KMK（2009）: *Empfehlung der Kultusministerkonferenz zur Stärkung der mathematisch-naturwissenschaftlich-technischen Bildung (Beschluss der Kultusministerkonferenz vom 07.05.2009)*. ＜http://www.kmk.org/fileadmin/Dateien/veroeffentlichungen_beschluesse/2009/2009_05_07-Empf-MINT.pdf（2018 年 1 月 30 日アクセス）＞
KMK ウェブサイト：＜https://www.kmk.org/kmk/sekretariat.html（2018 年 1 月 30 日アクセス）＞
マックス・プランク教育研究所研究者グループ著、天野正治・木戸裕・長島啓記監訳（2006）:『ドイツの教育のすべて』、東信堂
MINTec ウェブサイト：＜https://www.mint-ec.de/mint-ec/fact-sheet/（2018 年 1 月 30 日アクセス）＞
長島啓記（2009）:「7．ドイツ」、国立教育政策研究所、『第 3 期科学技術基本計画のフォローアップ「理数教育部分」に係る調査研究〔理数教科書に関する国際比較調査結果報告〕』、42-46.＜http://www.nier.go.jp/seika_kaihatsu_2/risu-2-ikkatu.pdf（2018 年 1 月 30 日アクセス）＞
大髙泉（2012）:「ドイツにおける科学の学力の捉え方」、日本理科教育学会編著、『今こそ理科の学力を問う―新しい学力を育成する視点―』、東洋館出版社、46-5.
大髙泉（2010）:「ドイツ―PISA ショック後の教育改革と連邦科学教育スタンダードの導入―」、橋本健夫・鶴岡義彦・川上昭吾編著、『現代理科教育改革の特色とその具現化』、東洋館出版社、150-157.
髙谷亜由子（2016）:「ドイツ」、文部科学省、『諸外国の初等中等教育』、明石書店、163-215.
髙谷亜由子（2010）:「5．ドイツ」、文部科学省生涯学習政策局調査企画課編著、『諸外国の教育改革の動向－ 6 か国における 21 世紀の新たな潮流を読む－』、ぎょうせい、175-231.
山内薫ほか（2017a）:『高等学校　改訂化学基礎（2016 年検定済）』、第一学習社
山内薫ほか（2017b）:『高等学校　化学（2012 年検定済）』、第一学習社
吉岡亮衛（2018）:「ドイツの MINT 教育」（本報告書所収）

ドイツの MINT 教育

吉岡　亮衛（国立教育政策研究所）

1．はじめに

本科研費によりドイツにおける MINT 教育について調べる機会を得た。2 回にわたるドイツの訪問調査では都合 10 の機関・組織を訪問した（表 1）結果を、2017 年 9 月の日本教科教育学会第 43 回全国大会で概略について報告した[1)]。本報はそのうちの 7 つの機関・組織について詳述し、MINT 教育のキープレーヤーとその役割を明らかにしたいと考える。本報では訪問調査で担当者から直接聞き取った情報を基に論を進める。そのため、WEB ページ上の最新情報とは数値等について異なる場合があることを予めお断りする。また、応対者の話には一コメント等一部に私見も入っている思われるが、聞き取った情報を忠実に報告することを心がける。本報では、ドイツにおいて行われている MINT 教育の実態と、誰が誰に対して何をどのように行っているのかを全国的なレベルで捉えることを目指し、最終的に米国の STEM 教育との対比で考察する。なお、本論でも言及しているドイツの教育政策や教育システム等に関しては本報告書の遠藤論文[2)] に詳しく、そちらも参照されたい[2)]。

表 1　訪問先機関・組織（訪問順）

日付	本文章節	訪問先	
2016 12/13		訪問先	Goethe Gymnasium Regensburg（ゲーテ・ギムナジウム　レーゲンスブルク）
		住所	Goethestrasse 1, 93049 Regensburg
		面接者	Herr Rothauscher(校長)
12/14	2．1	訪問先	MINT-EC（MINT－卓越センター）
		住所	Poststrasse 4/5, 10178 Berlin
		面接者	Frau Jana Zielsdorf(広報)
12/14	2．2	訪問先	Science on Stage Deutschland（サイエンス・オン・ステージ　ドイツ）
		住所	Poststrasse 4/5, 10178 Berlin
		面接者	Frau Johanna Schulze(代表代理)
12/15	2．6	訪問先	Stiftung Louisenlund(+MINT)　（ロイゼンルンド財団　プラス MINT）
		住所	Louisenlund 9, 24357 Güby
		面接者	Herr Dr. Peter Rosner(代表), Frau Dr. Janet Blankenburg(教務主任)
12/16	2．3	訪問先	Komm, mach MINT（集まれ、MINT をやろう）
		住所	Am Stadtholz 24, 33609 Bielefeld
		面接者	Frau Dr. Ulrike Struwe(代表), Frau Christina Haaf(広報)
12/18		訪問先	Experiminta（エクスペリミンティア：科学博物館）
		住所	Hamburger allee 22-24, 60486 Frankfurt am Main
		面接者	なし
2017 3/20	2．7	訪問先	Nationales MINT-Forum（国家の MINT フォーラム）
		住所	Rungestr. 17, 10179 Berlin

		面接者	Frau Dr. Julia Härder(所長), Herr Christian Lück (秘書)
3/21		訪問先	Japanisch-Deutsches Zentrum Berlin（ベルリン日独センター）
		住所	Saargemunder Strasse 2, 14195 Berlin
		面接者	Frau Tatjana Wonneberg(プロジェクトマネージメント部)
3/21	2．4	訪問先	Stiftung Haus der kleinen Forscher（小さな研究者の家財団）
		住所	Rungestr. 18, 10179 Berlin
		面接者	Frau Melanie Mengel(広報), Frau Nina Henke(国際会議担当)
3/22	2．5	訪問先	Stiftung Jugend forscht e. V.（若者の研究財団）
		住所	Baumwall 5, 20459 Hamburg
		面接者	Herr Dr. Danie Giese(広報部長)

1．1　MINT 教育とは

MINT とは、数学(Mathematik)、情報(Informatik)、自然科学(Naturwissenschaft)、工学(Technik)[3] の 4 つの学問分野の頭文字であり、米国の STEM に対照されるものである[4]。2000 年代に入り、ドイツでは 2 つの要因により MINT 教育が注目された。ひとつは TIMSS と PISA の国際学力調査での科学と数学の国際順位に対する教育界における危機感であり、もう一つは産業経済界における理工系人材の不足に対する将来への危機感である。それに起因してドイツでは初めてナショナルカリキュラムとしてのスタンダードが策定され[5]、また、MINT 教育を支援する様々なイニシアチブが起こってきた。米国の STEM 教育と同様にドイツにおける MINT 教育は特別な新しい教科ではない。1980 年代に一時期盛んであった STS 教育や我が国の総合的な学習の時間などの授業における教科横断的な学習や合科の取り組みを意味するものでもない。訪問調査で知り得たこととしては、学校での MINT 教育は既存の MINT 教科の授業にしっかりと取り組むことである[6]。一方で、MINT 教育の目的は、より多くの生徒に MINT 分野に対する関心を醸成することにより、大学における MINT 分野の専攻学生を増やして MINT 分野の研究人材を増やすことと、MINT 分野の専門的職業人材を育成することの 2 点に集約できると考える。つまり、目指すのはドイツ社会全体における MINT 分野のマンパワーを高めることである。

2．連邦政府と MINT 教育の関係

MINT 教育を語る上でドイツ独特の教育政策の在り方に言及する必要があるため、連邦教育研究省（BMBF：Bundesministerium für Bildung und Forschung）と連邦教育大臣会議（Kultusministerkonferenz（KMK）：Ständige Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland）について言及しておく。

2．1　連邦教育研究省[7]

2014 年にベルリンの新庁舎が出来た関係で、現在はベルリンとボンの 2 つの庁舎に分かれる。1,000 人以上の組織の内、ボンには約 750 人が勤め、ベルリンの新庁舎には約 4 分の 1 が勤める。連邦教育研究省は中央管理部門(Zentralabteilung)と次の 7 つの部門からなる。現在の大臣は女性の Prof.Dr. Johanna Wanka である。

表２ 連邦教育省の部門(中央管理部門を除く)

第１部門	基本的な問題/戦略/デジタル化（Grundsatzfragen; Strategie; Digitaler Wandel）
第２部門	教育と研究におけるヨーロッパおよび国際協力（Europäische und internationale Zusammenarbeit in Bildung und Forschung）
第３部門	職業教育、生涯学習（Berufliche Bildung; Lebenslanges Lernen）
第４部門	学術システム（Wissenschaftssystem）
第５部門	キーテクノロジー・イノベーションのための研究（Schlüsseltechnologien – Forschung für Innovationen）
第６部門	ライフサイエンス・健康のための研究（Lebenswissenschaften – Forschung für Gesundheit）
第７部門	将来のための準備・基礎と持続可能性のための研究（Zukunftsvorsorge – Forschung für Grundlagen und Nachhaltigkeit）

部門の名称には初等中等教育関係の部署は見当たらないことからも、連邦教育研究省は就学前と高等教育以降には関与するが、我が国の初等及び中等段階の学校教育には関与していないことが分かる。

２．２ 連邦教育大臣会議[8)]

教育大臣会議は、ドイツで最も歴史のある専門閣僚会議であり、ドイツにおける教育の協調と発展のために連邦政府の教育政策と文化政策を調整するための政治的側面を有する行政組織団体である。教育大臣会議は、初等・中等教育、高等教育、研究とさらには文化的な業務に関する主務大臣閣僚の連合として、16 邦[9)] すべての共通の利益と目標を定式化する。また、教育環境における比較可能性と機動性を確保し、経験の交換を促進し、邦を越えたテーマについてのコンセンサスを創出することがその使命の核心である。

連邦教育大臣会議は、学校、職業教育、高等教育における質の基準の確立、専門資格の認定、また、教育機関、研究機関、文化機関間の協力の促進のための創始者であり保証人である。教育大臣会議は、新しいイニシアチブと実績のある対策により、現代の知識社会と文化社会が国内外で直面する課題に対応しており、また、教育政策の議論の場と理解されている。ベルリンとボンから、16 邦の先進的な教育での協力を調整し、全国的な責任において教育プロセスを形成している。

３．ドイツにおける MINT 教育支援体制

日本ではドイツと異なり､教育に関しては国(中央政府)の行政組織である文科省が統御している。それ故、例えば文部科学省の所轄法人である科学技術振興機構は、国の予算を使ってスーパーサイエンスハイスクール(SSH)支援事業や科学の甲子園、科学の甲子園ジュニアの事業を実施している。それに対して、ドイツは連邦国家であり、文化高権[10)] を有する各邦が学校教育に対する責任を負うため、連邦教育研究省は初等中等教育に対する手出しは一切しない。

ドイツの MINT 教育についてインターネットを検索して分かったことは、ドイツにはいくつかの MINT 教育に関係するイニシアチブがあること、それらイニシアチブは企業や財団によって支援されていることであった。一方、それらに対する政府の関与はよく分からなかった。そこで全国的な活動を標榜しているイニシアチブ[11)] にコンタクトを取り訪問調査を行うこととし、以下にインタビュー結果をまとめる。訪問調査は、１回目は 2016 年 12 月 12 日～20 日、２回目は 2017 年３月 20 日～22 日に行った。

３．１ MINT-EC （https://www.mint-ec.de/home.html）

広報担当の Frau（女史：以下訳語省略）Jana Zielsdorf の説明による。MINT-EC はドイツ雇用者協会連盟(BDA : Bundesvereinigung der Deutschen Arbeitgeberverbände) で働いていた個人(男性)の発案によって 2000

年に設立された非営利の公益法人[12)]で、学校（ギムナジウム段階）でのMINT教科の振興と、より多くの若者が大学でMINT分野の学問を専攻し、さらにはMINT分野に職業に就くようになることを目的とするイニシアチブである。そのためにMINT-ECはMINT教育で優れた学校のネットワークを作り、この分野での優秀な生徒を援助し、そういった学校の先生を支援し、さらにまた学校を支援する。主たる支援者は金属工業の経営者団体である全金属(Arbeitgeberverband Gesamtmetall)である。第2の援助者はシーメンス財団(Siemens Stiftung)で、さらにバイエルン邦を主とした金属電気工業の経営者団体(bayme vbm - Die bayerischen Metall- und Elektroarbeitgeber und vbw – Vereinigung der Bayerischen Wirtschaft e. V.)の支援によりバイエルン邦で特別プロジェクトを行っている。その他、例えばコンテストの開催や賞金の援助など、多くの協会や財団からの様々な形の支援を受けている。支援の形は1回のものもあれば長期間にわたるものもある。

MINT-ECはドイツ連邦全体を対象とする組織であるが、方針として基本的に政策には関与しない。2009年10月15日から教育大臣会議の傘下に入っているが、カリキュラムや教材作り、あるいは研究プロジェクトのマネージメントは行わず、また連邦政府からの資金援助は受けていない。

MINT-ECに参加を希望する学校は、自校のMINT教育についての取り組みを申請書にまとめMINT-ECに提出する。MINT-ECは外部専門家に審査を託し、パスした学校をネットワーク校として認定する。認定された学校は自校がMINT-EC認定校であることを表明できる一方、MINT教育に対する取り組みを不断に行う義務を負う。また、ネットワークに参加する学校に所属する生徒、教員、学校管理者(いわゆる校長)は、ネットワークで提供される様々なプログラムへの参加申し込みをする資格が得られる。初年度は10〜12校から始まり、2016年には35校の申請の中から22校が加わって267校となっている。ネットワークにはオーストリアとトルコのパートナー学校も1校ずつ参加している。その他にネットワークには入っていないパートナー学校が、ギリシア、オランダ、スペインのセビリアに1校ずつある。認定校はネットワークに4年間留まることができ、継続する場合には再度評価を受けることになる。

MINT-ECの将来については議論が行われている。MINT-ECの目標はできるだけ多くの学校をネットワークに招き入れることではなく、良い学校のネットワークを作り、生徒や学校にとって利益となる価値の高いイベントを提供することである。つまり質を重んじるということである。ドイツのギムナジウムの10%がネットワークに参加することが数的な目標であるが、達成の如何に関わらず向こう2年間の継続は決定している。他方、できるだけ多くの学校を支援するということは他のイニシアチブが行っている[13)]。

優秀生徒に対する考え方を聞いた。MINT-ECは参加する学校の生徒の才能を伸ばし、MINT分野の職業に就く可能性を促進することを目指しているのであって、あくまでも対象は学校である。特定の学校のトップ10人だけを支援するのではなく、学校が生徒全員にMINT分野の職業に関する情報の提供を可能にする学校運営に資するイベントを提供することである。片や学校全体を対象としつつ、一方で優秀な生徒のイベントへの参加を支援することは相反する行為であるが、今のところうまくいっている。

MINT-ECの活動成果は数字で示すことはできない。と言うのは、MINT-ECの参加者はキャンプに参加したからと言って、ギムナジウムを卒業後に大学でMINT分野を専攻するかどうか判断しなければならないし、さらにその後技術者になるか科学者になるかを決定しなければならないため時間がかかる。それ故長く見守る必要があり現段階では何も言えない。我々は来年、昨年までにMINTキャンプに参加した生徒が今どこにいるかを調査する予定で、彼らがその後MINT分野を学んでいるのか、MINT分野の職業についているのか、そこで結果が得られるはずである。

3．2 ”Science on Stage Deutschland” (http://science-on-stage.de/)

代表代理の Frau Johanna Schulze の説明による。“Science on Stage Europa”は、欧州委員会が 2000 年から 2007 年に支援したプロジェクトの終了時に開催された”internationalen Science on Stage Festival”を 2 年に 1 回定期的に行うために作られた、MINT 教育に熱心に取り組む教員を支援する全ヨーロッパに広がるイニシアチブである。そのため“Science on Stage”は共通語として英語を使用する。”Science on Stage Deutschland”の主たる支援者が前出の全金属であることから、支援者が共通する MINT-EC と同じ建物に専任スタッフ 4 人を擁する事務所を構えている。事務所を構えているのは”Science on Stage Deutschland”だけであり、欧州の他の国では大学等がその役割を担っていることもあって、ここの組織は“Science on Stage Europa”で中心的な役割を果たしている。

“Science on Stage”はそれぞれの国で、ヨーロッパの大会に参加した教員をワークショップに招待することを支援して、新しいプロジェクトを発展させて全ヨーロッパの大会の継続に繋げることを定常的に行う。また、”Science on Stage Deutschland”は、教員のワークショップを開催して MINT 教材を開発し、出版・普及活動を行い、作成教材を教員に配布するとともに全ヨーロッパに提供している。例えば生物と化学の教員らが作成した小学校用の読み物は、これは SAP 株式会社[14)] の支援によりドイツだけで提供している。

国際大会の前年には国内大会を開催し優秀者を大会に派遣することになる。これには MINT-EC 認定校の先生方がプロジェクトに関する発表を行い選ばれている[15)]。

“Science on Stage Deutschland”の活動は、ドイツ全国の MINT 分野の教員に対象を限定した活動であって、各邦での個別な活動はしていない。教員を対象とする理由は、教員は自身の職業人生の 20〜30 年間にわたり毎年 100〜200 人の生徒に対することにより、良い教員の存在は多くの生徒に効果をもたらすからである。ドイツでは教員は決まった日数の研修を受けなければならない。研修は、各邦の文部省から提供されるもの、教科の団体が提供するものなどがあり、教員は自ら選択することができる。例えばドイツ物理学会（Deutsche Physikalische Gesellschaft）は、教員のための研修センター（Physikzentrum Bad Honnef）を持ち、教員のための無料の研修を行っている。教員の仕事は多忙であるため、プロジェクトやレポートのまとめは、通常の勤務時間外に行うことになる。そのため本組織の催しは、休暇期間や、週末あるいは夕方に行われるが、彼らのモチベーションが高く、喜んでこれらに参加する。ドイツでは教員になるのは簡単ではないが、諸外国に比べてもまたドイツ国内でも給料は高く、身分も高い。ドイツの教員は公務員としての扱いを受け、終身雇用であり、犯罪を冒すとか罪に問われなければ解雇されることはない。定年は 60 歳より遅いが、一方で本人の希望や健康状態などの理由で早期退職はあり得る。MINT 分野の教員については今のところ人数は十分に確保できている。

以上は非営利の公益法人のイニシアチブであったが、他方連邦政府が支援する MINT 教育のイニシアチブとして、“Komm, mach MINT”と”Haus der kleinen Forscher”を挙げることができる。

3．3 “Komm, mach MINT” (http://www.komm-mach-mint.de/)

これは、MINT 分野の職業における女性に対する全国協定[16)] のキャッチフレーズであり、2008 年に連邦教育研究省が立ち上げた唯一全国レベルの女性に特化したネットワークイニシアチブである。当時 MINT 分野を専攻する学生の数は十分ではなく、女性の割合がとても低いことが明らかとなり、他方、連邦教育研究省はドイツ全国にあるイニシアチブの多くは地方レベルであって、すべての活動についての知識や経験を共有する全国レベルのイニシアチブはないことに気づいた 1 イニシアチブを立ち上げた。代表の Frau Dr. Ulrike Struwe によれば、“Komm, mach MINT”は、社会や職業のすべての領域において平等な機会を実現するために、男性と同様に女性の潜在能力を活用する幅広いイニシアチブやプロジェクトを展開している。平等な機会を実現するための戦

略は、来歴や生活スタイルや能力が多様である人々の存在を認識することを必要条件とし、この多様な人々の潜在能力と機会の開発を促進することであるとする。この戦略は、社会の発達における男女の性的な平等と世代間の平等を達成するために、多様性を成功要因として利用する。つまり、我々はメディアリテラシーを強化し、インターネットの使用を増やすことに努め、経歴や人生設計の方向性について考える新しい方法を促進する。例えばGirls' Day や Boys' Dayなどの我々のプロジェクトを通して、高等教育の科学研究分野での平等な機会と卓越性を推進している。我々は我々の目標を達成するために、全国の数多くの大学や研究機関と共同している。

Frau Christina Haaf の説明では、"Komm, mach MINT"は3つのレベルで活動している。ひとつはネットワークレベルでの関係者の知識交換のためのワークショップや会議の提供である。例えば学校でのモチベーションを高めるプロジェクトは長く続かないのが通常で、短期間で終わったらその情報は失われてしまい、別の人が同じ取り組みを始めるときにはまた一から始めなくてはならない。これは2008年当時に少なからず問題であり、ドイツ中からの異分野の専門家が参加するネットワーク上での会議を提供することにより、他者から学ぶよう他者との共同を推進しようとした。2つめはプロジェクトレベルである。例えばミュンヘン大学のProf. Isenは、専攻を取りやめた学生にアンケート調査を行いモチベーションについての研究している。またレーゲンスブルク大学では、地方在住の女子に対してインターネットのEメールによる進路指導を行い、年間800人の女子が指導を受けてMINT分野に進んでいる。このインターネットによる進路指導は企業の認知を受けて、現在では連邦教育研究省の助成に代わって、シーメンスやダイムラーがこれを支援する。3つめは印刷物やウェブサイトによって対象者に直接情報を届けるレベルである。地元で行われるイベント情報を関心のある人すべてに届けるために"Komm, mach MINT"は全国的なデータベースを作成しており、1,000件以上のイベント情報がデータベースに入っている。作成スタッフは我々7人と学生が4人のほかに、ネットワーク上の226人の支援者の中の熱心な数人がこれに携わっている。"Komm, mach MINT"は常勤の仕事ではなく、我々は意識キャンペーンであるGirls'Dayの方に時間をかけている。

Girls' Dayは、2001年に連邦政府からの助成を受け、"Kompetenzzentrum Technik-Diversity-Chancengleichheit e.V."[17)]が始めたイニシアチブであり、"Komm, mach MINT"よりも以前から存在する。Girls'Dayは、全員が学校に行く日のうちの一日を指定して実施され、毎年10万人の女生徒と400社以上の会社が参加する。この日は、学外に出かけて将来の生活や将来の専門について探検する日である。これに参加できるのは15歳以上で、毎年違う体験ができるし、気に入れば再体験もできる。一日に開かれる様々な範囲や規模で行われる企業や大学が主催する各種イベントについての膨大な数の情報を処理するウェブサイトの維持に10人が携わっている。例えば、その日に女生徒はMerkel首相に会いに行くことができる。するとそのことが夕方のニュースで取り上げられ、全国的な話題となる。これは他の何物にも変え難いことである。Girls'Dayは我々の組織が作った日で、ドイツ中のすべての学校で実施されているわけではないが、活動的な多くの学校が参加している。イベントに参加する生徒は両親の署名付の書類を学校に提出して出かけることになる。Girls'Dayの成功を受けて、2010年から同じ日にBoys' Dayが始められた。これは彼らをソーシャルワーカーやその他の男子の割合が少ない分野に呼び込むことを目指している。

2000年にできたKompetenzzentrumが最初に手がけた成功したプロジェクトがGirls'Dayである。当初は30社と一緒に始めた小さなプロジェクトであった。アイデアはアメリカの"take our daughters to work day"[18)]である。アメリカでは父親が娘を自分の仕事場につれて行って一緒に働くという趣旨であったが、我々はそれを父親の職場だけではなく色々な職場を経験する機会にできると考えた。もう一つの側面は20年前の企業で、当時の

技術系の企業、例えば自動車製造企業で聞いたところでは、女性にはオープンではなかった。しかしこれは確実に変化し、協定と同時に企業は「われわれは女性に関心がある」とサインを出すことができるようになった。

3．4 "Haus der kleinen Forscher" (http://www.haus-der-kleinen-forscher.de/de/)

理事の Michael Fritz の言葉によると、これは政府系の財団で幼児や年少の子ども達(3〜10 歳)を対象としたイニシアチブであり、総勢 185 人のスタップのうち常勤が 130 人おり、政府からの年間の助成金は 400 万ユーロ(約 5 億 2 千万円)で連邦教育研究省の助成団体では最も規模が大きいだろうと言うことである[19)]。

広報担当の Frau Melanie Mengel の説明では、「小さな研究者の家」財団の理事長は教育研究大臣の Prof. Dr. Johanna Wanka で、政府により全面的に資金が援助されている。2005 年 9 月 15/16 日の連邦議会で、経営コンサルタント会社 McKinsey[20)] の当時の社長と研究センターの Helmholtz 協会は、共同で次のように主張した。「6 歳あるいは 7 歳で始めるのでは遅すぎる。我々は学校ではなくもっと早期に何かをしなければならない。ドイツでは幼稚園に入るのが 3 歳であるなら 3 歳から始めよう。」[21)] この考えに対し、Siemens 財団と Dietmar-Hopp[22)] 財団が賛同し、その結果 2006 年 8 月 8 日に「小さな研究者の家」が設立された。

最初はベルリンの 53 の幼稚園で水をテーマにしたワークショップが行われ、108 人の幼稚園の保育士が見学に訪れた。「小さな研究者の家」の目標は、ドイツのすべての子ども[23)] が「小さな研究者の家」で、研究や発見ができること、自分自身のために考え、批判的に思考し、疑問を持ち、来るべき未来を恐れない子どもたちを育てることであり、MINT 分野でも早期教育は可能であろうということである。ドイツでは幼稚園児の年齢は 3〜6 歳であるが、「小さな研究者の家」は 6〜10 歳の子ども達を含めた早期教育を対象としている。

我々のプログラムでは実験の日というのを設け、その日にたくさんの実験や自然科学に関係することを行う。これは実験や科学を日常生活に結びつけることが目的であるが、幼稚園の保育士は学校時代にそれらが好きではなく不安を持つため、彼女らの態度を変えることをも目指している。これは基礎学校の教員についても同様で、教員は子どもたちが解決策を見つけるのを手助けし質問があれば答えるということを知らなければならない。ドイツでは多くの幼稚園で、語学や音楽や芸術の教育が行われているが、科学についてもこれを行いたい。さらにドイツにおけるサッカーのように、どこに行ってもできることを科学にも求めたい。

全保育士と教員をベルリンに連れてきて研修を受けさせることは無理なので、「小さな研究者の家」のやり方は、彼女らが地元でワークショップを受けられるように、ワークショップで教えるトレーナーを養成することである。そのため我々は各地域でトレーナーとなるパートナーを探し、トレーナーとしての訓練を受けさせる。訓練を受けたトレーナーはその後地域に戻って幼稚園や基礎学校でワークショップを開催しノウハウを広める責任を負う。他方ベルリンの本部では教材のコンセプトやコンテンツを開発し、幼稚園でテストを行う。現在全国に 225 人のパートナーがおり、約 30,000 の幼稚園や小学校、小学校の午後の部でこれを達成している。我々の活動は 190 万人の子どもたちに届けられたが、さらに全員に届けたいと考える。ドイツには相当の施設が約 45,000 あると思われるので、現在では 4 分の 3 が達成されたことになる。また、「小さな研究者の家」の認定を行っており、その表示により幼稚園や学校の自然科学の教育の質を外部に示すことが可能となっている。約 5,000 の施設が認定を取得している。我々は毎年ひとつの幼稚園から二人の先生をワークショップに参加させたいと考えるが実際にはそうはいかないので、これは長い取り組みになると思われる。

「小さな研究者の家」のトップは連邦教育研究大臣であり、プライベートな支援者として Siemens 財団、Dietmar Hopp 財団、Telekom 財団、Helmholtz 協会などから支援を受けている。つまりと政府と私的な支援者である民間の協力関係の原則に依拠している。理事会を持ち、理事会は我々に対する一般的な事柄についての助

言をする。政治的な問題については、教育大臣会議やPISAの責任者であるOECDのAndreas Schleicher局長のサポートがある。我々はまた学術的な諮問委員会を持つ。そこには教育分野の大学教授が参加し、新しコンテンツを開発するときには重要な役割を果し、また、それにより開発された教材の高い質の保証となる。ドイツには同様の目標を持ったプロジェクトはたくさんあるが全国をカバーし、高品質であるのは「小さな研究者の家」が唯一無二である。諮問委員会の委員は我々の活動に関心を持ち、ボランティアで活動を支えている。現在12〜14のテーマの教材が完成し、そこに毎年新しいものが加わる。今年は持続可能な発展のための教育と情報科学がテーマである。持続可能な発展のための教育には施設管理のためのトレーニングコースを提供する予定である。

また、小さな研究者の一日というプロジェクトがある。これは、我々がドイツ中のすべての幼稚園にひとつのテーマを送り一緒に研究する行動の日で、Merkel首相を我々のところに公的に招待する可能性となるとともに幼稚園を我々に結びつける機会となる。

国際会議担当のFrau Nina Henkeの説明によれば、この秋(2017年)にSiemens財団とRobert Bosch財団の協力で、初のMINTの国際会議を開催し、世界中から参加者を招待し我々の取り組みについて議論する予定であるとのこと[24)]。

3．5 ”Stiftung Jugend forscht e. V.” (https://www.jugend-forscht.de/)

MINT を学習する子ども達の誉れは国際オリンピックを頂点とするコンテストに参加し成果に対する高い評価を受けることである。ドイツでは大小の様々なコンテストが行われ、子ども達のモチベーションを高める環境が醸成されている。国内で最も歴史と権威があるコンテストは、”jugent☆forscht“であり、広報部長の Herr Dr. Danie Giese から次のように説明を受けた。

”Stiftung Jugend forscht e. V.”は、Hamburg の出版社で雑誌 ”Stern”[25)]の創業者 Henri Nannen が 52 年前(1965年)始めたコンテスト”jugent☆forscht“を主催する財団である。彼は、アメリカの ”Science Fairs” から情報を得てドイツで ”jugent☆forscht“ を開催しようと考えた。当初は今とは異なる構造、つまり、ひとつのスポンサーがすべて自前で経費負担をするのではなく全国でパートナー会社を募って、フランチャイズ・システムで実施しようと考えた。1966 年の第 1 回大会の参加者は 244 名であったが、年を追うごとに大きくなり、例えばバイエルン邦では 12 の地域大会が開催され、優秀者が邦の大会に進み、さらにそこでの優秀者が全国大会に進むという三層構造になっている。参加者は毎年一万人以上のエントリーがある。彼は最初の 10 年間は Stern とともに実施した後、Jugend forscht 財団（資産がなかったので厳密には協会）を設立し、今日では政府からの助成金によって組織を維持し大会を開催している。政府は監査役会の議長を勤めるので、財団は半官半民の立場にある。財団は大きな広がりのあるネットワークで、全国に 250 のパートナーを持ち、大会の開催には多くの人や企業が関わる。地域の大会では教員が大会の実行委員長となり、パートナー企業が大会の準備・運営を執り行う。教育委員会が実行委員長を務める教員の代用教員を何時間分かを出す以外はすべて無償つまりボランティアで行われ、企業のスタッフはそれを仕事として行う。大会には審査員が必要であるが、年間で 3,000 人以上の教員や大学教授、研究所のスタッフが無償でこれに協力する。この活動には教員の役割は非常に重要であり、教員のための指導方法の研修を大会と平行して現在 4 つの邦で実施している。

財団はインターネットの SNS やウェブページで大会について広報し、より多くの若者の参加を促す活動をしている。大会には、職業社会、生物学、化学、地球・宇宙科学、数学/情報学、物理学、工学の 7 つの専門領域が設けられており、15 歳から 21 歳までの若者がエントリーできる。また、年少の 4 学年から 14 歳までには別のカテゴリが設けられている。参加者は大会へ申請書を提出し、大会に参加してポスター発表をすることが要件で

ある。審査員は事前に申請書を読み、大会では発表者に 30 分程度の質疑応答を行って評価を決定する。優秀者は表彰を受け、副賞として賞金(最高 3,000 ユーロ：約 40 万円) を授与される。

参加者の課題研究は、通常学校で教員が指導することになる。ただし学校での指導が受けられない場合や学校には行っていない者も大会に参加することはでき、そのような子ども達のために、スポーツの訓練をするスポーツセンターや音楽のレッスンをする練習場と同様 MINT 分野の課題研究のためのセンターを学外に整備することを財団のもう一つの柱としている。6〜7 年前には 20 程であったセンターは、現在では 70 近くに増えている。

大会の参加者は、3 人までのグループは認められているが、3 分の 1 は単独参加である。女子の参加者はここのところ 36〜38%の範囲で徐々に増加する傾向がみられ、ハンブルクやブレーメンでは 50%以上が女子となっている。財団は国際的な連携も行っており、インテルの ISEF[26] や EU の大会に優秀者を参加させている[27]。EU の大会では 20 回優勝しており、インテル ISEF を数回獲得している。

政府が助成する理由は、若者の MINT 分野の能力を高めるための支出が合理的な金の使い道であることを政府が認めているからに他ならない。2017 年 3 月の連邦議会の教育委員会の聴聞会で、財団の代表はドイツで MINT 教育をさらに発展させるべきかどうかについての意見を述べた。財団では過去 10 年間にこのために様々な取り組みを行ってきたが、これは引き続き助成を受けるためには必須の条件である。例として、全国大会の参加者の 10 人中 9 人は、我々が求める MINT 分野の研究や職業に就くことが知られており、例としてサンマイクロシステムズの創設者のひとり Andreas von Bechtolsheim やライプニッツ賞受賞者の Frau Anton も過去の大会の受賞者である。財団の活動は先進的な活動であるとみられていたが 2000 年の PISA ショック以来、ドイツ社会全体が財団の考えに近づいてきている。

3．6 ＋MINT(MINT-Talentförderung e.V.)と"Stiftung Louisenlund" (http://www.plus-mint.de/)

校長で＋MINT の理事長も務めたことのある Herr Dr. Peter Rösner に＋MINT 及びロイゼンルント校の取り組みについて聞いた話しは以下の通りである。

ノーベル物理学者の Theodor Wolfgang Hänsch[28] は、「もし人が天賦の才や高い能力、卓越性のある存在でありたいとするならば、才能と勤勉さと時間が必要である。」と述べている。＋MINT はイニシアチブであって、シーメンス財団の Nathalie von Siemens、技術救援機構(THW : Technische Hilfswerk in Deutschland)の Broemme 代表、調査研究で支援する IPN(Leibniz-Institut für die Pädagogik der Naturwissenschaften)、ドイツ技術者協会(Verein deutscher Ingenieure) 、TÜV Süd(技術検査を行う会社)財団等多くのパートナーの支持を受け、これらのパートナーと一緒に次世代の自然科学の人材を育成する才能教育のトレーニングセンターを各邦に 1 つずつ全国に 16 作ることを目的として＋MINT を立ち上げた。例えば数学オリンピックで賞を取る生徒を会社や研究のトップに立たせたい。そのために私は彼らに、学問や経済や社会でトップの地位となるためのパーソナリティや企業家精神、自然科学、責任について学ぶことを促進させたい。トップの才能に可能な限り最高の援助を与えることは、普通の生徒にそうするよりも援助のしがいがあると考える。＋MINT は、MINT 教育に特化した全寮制の学校を運営し、MINT の才能がある生徒をそこに集め、その才能をさらに伸ばす。寄宿学校であれば彼らは常にそこにいるので必要な時間は確保できるが、これは公教育では果たすことができない。

現在ドイツ国内にある 3 つの学校[29] のうちのひとつがシュレスビヒ・ホルシュタイン邦にあるロイゼンルント校である。＋MINT は 9 学年からスタートし 12 学年までの 4 年間で、最後にアビトゥア[30] を取得する。本校の生徒の半分はハンブルク邦及びシュレスビヒ・ホルシュタイン邦から、残りの半分はドイツ全国から来ており、近くの生徒は週末には帰省できる。2 年前にこのプログラムを策定し、今いる生徒はちょうど 10 週間前にこ

こに来た初めての学年の生徒である。本校のカリキュラムは、英語、ドイツ語、地理学、体育等の普通の教科は一般のカリキュラム通りに行っている。自然科学については、週あたり数学5時間、情報学4時間、生物学4時間、化学4時間、物理学4時間、工学4時間と明らかに他校よりも多くの時間を割いている。工学はドイツでは通常教えないが、我々が敢えて教えているのは、工学は教科の観点からは才能育成の核であると言えるからである。私は生徒にはできるだけ早い段階で課題研究をさせたいと考えている。生徒が早い段階で自分の考えを発展させ、創造的にじっくりと実験を行うことをやらせたい。受け身の学習ではなく研究者としての学習、アクティブな状態を早い段階で体感させたい。そのためには時間が必要であり、そのための寄宿舎である。このプログラムがうまくいくかどうか20年後にはじめて分かるだろうと思う。

授業時数については、本校ではA週とB週があり、A週は42時間で土曜日も授業があり、B週は38時間で金曜日の午後はフリーで帰省することもできる。通常の週34時間よりも長いがこれは授業時間であって、彼らはそれに加えて課題研究を行っており、かなりの負荷であるが、生徒は望んで学んでおり充実していてかつ楽しんでいる。さらに教科外に、たとえば社会的な責任とは何であるかについても扱う。ここの生徒は社会的な仕事もしなければならない。義務的なプログラムとしては消防や技術的救済(保護や防衛)、人命救助を行わなければならない。専門に特化したトップの才能の育成に関しては全体的な人格教育を結びつけることに配慮している。午後には様々な催しの企画があり、よい学校社会が築かれている。生徒の選抜は重要であり、ただ物理学ができるだけではなく、ドイツ語や英語もでき、さらに自然科学に対する特別な関心のある生徒でなければならない。

生徒280人に対して、職員は150人（約70人が教員、食堂のスタッフ20名、管理人10名、清掃員20名、その他事務員）いるが、保護者からの授業料で運営されている。保護者は子どもを入学させるために授業料を支払わなければならないが、通常私立学校は高い。＋MINTプログラムのために、我々の計画に賛同する企業と協定を結んで企業が出資しているので、＋MINTプログラムで学ぶ生徒は奨学金を受けている。奨学制度は、才能があっても両親に十分なお金のない生徒にとって重要であるので、我々はそういった財政支援を受け入れて、保護者の収入に応じた対応をしている。

教員の給料は公立学校の教員と同じで、ドイツでは教員の給料はよい。このプログラムに興味を持つ良い教員を探さなければならないが、これは挑戦なのでよくない先生は必然的に去っていく。このような特別なプログラムはドイツでは公立学校では不可能で、行えるのは私立学校だけである。

ドイツサッカーの成功には2本の柱がある。ひとつは、サッカーはドイツでは一般的なスポーツで、どんな村や町でもサッカーをしたい人にはサッカーする場所があるというように広がりがある。もう一つはトップ選手の育成システムである。サッカーチームは少年団を持っており、幹部は彼らの育成に取り組んでいる。例えばバイエルンミュンヘンで活躍する選手は若いころから才能があり、かつ若い世代のトレーニングセンターでプレーしている。ドイツにはそのようなサッカーの寄宿学校が54存在する。今日ドイツが世界一である理由はこれである。才能のある若者の才能に合わせて目標に向けての育成のために際限なしに資源が投入されている。

忘れてならないのはドイツの豊かさはどこから来たかということで、今日の豊かさは特許、工業、すばらしい研究によるものである。そして誰が特許を発明したかといえば若い才能である。我々はソニーを打倒するためにMINT分野のトップ人材を育てなければならない。そのための最善の方法は、才能のある若者を化学なら化学の寄宿学校、数学なら数学の寄宿学校に送ることである。

3．7 ”Nationales MINT-Forum”（http://www.nationalesmintforum.de/）

以下は、”Nationales MINT-Forum”のFrau Dr. Julia Härder所長と事務長のHerr Christian Lückによる説明で

ある。”Nationales MINT-Forum”は、”MINT Zukunft schaffen”[31)]と “acatech”(Deutsche Akademie der Technikwissenschaften：ドイツ科学工学アカデミー)のふたつの組織のトップ Herr Sattelberger と Herr Kagermann の「我々にはそのようなプラットホームあるいは屋根が必要だ」という呼びかけによって始まった非営利の登録された協会である。全国レベルの MINT 教育の推進に対する政策提言を行っていくことを目的としており、国内の主要な雇用者団体、労働者団体、教育財団、研究機関、学術団体、アカデミー、教員連盟、MINT 教育推進団体等、現在では 30 の組織・機関のメンバーを束ねて政策提言の資する意見の集約をする一方で、地域レベルの MINT 教育ネットワークの全国展開を目指している[32)]。重要な点は、我々は会費（年間 10,000 ユーロ）によって財政が賄われているということであり、メンバーから個別に資金援助を受けないことにより独立性を担保している。それが我々の資金のすべてであるため職員は 2 人だけである。

ドイツには MINT 教育に関わる多くの重要な組織・機関があり、MINT 教育だけを行っているものの他に、ドイツの雇用政策に携わるドイツ雇用者協会連盟（BDA：Bundesvereinigung der Deutschen Arbeitgeberverbände）や Siemens 財団等の財団は、いずれの組織も固有の目的と課題をもって活動する中で、MINT 教育も目的のひとつとして行っている。それらの代表としての”Nationales MINT-Forum”は、生徒や教員の支援といった実効ある活動やプログラムは実行せず、行っていることはメンバーの関心を束ねてひとつの意見に集約し政策提言を行うことである。我々は幼稚園、学校、大学、生涯学習など MINT 教育が行われるすべての場所に関心を持ち、メンバー全員が実行したいことや最小の共通点を見つけて、それを政策にまとめたり、テーマについての作業グループを作って意見や提案を取りまとめた小冊子を刊行し、政治や政府に改善案を提出する。それ故”Nationales MINT-Forum”のサブタイトルは、「MINT 関係者の全国的な声」である。ひとつの声にまとめるのは基本的には総意であり、それを政治に対する意見書の提出あるいは勧告の提案にすることである。したがって、我々は連邦教育研究省や文部大臣会議とは相対する存在であり、様々な分野の様々な利益代表者の強い結束であり強力な連盟であるため既に重要な組織として発言可能な存在である。

我々は連邦政府だけではなく各邦の顧問としてもまた行動したいと考えている。ドイツは連邦国で 16 の邦があり、教育に関しては各邦の独立性があるため、しばしばそれらを束ねることは難しくかつ複雑である。そのため教育をどのように組織化するかあるいは教育をどのように促進できるかという重要な原理について連邦政府は簡単には発言できない。例を挙げるならば情報、連邦は情報をすべての邦で必修教科にするようにと簡単には発言できない。もしそうするならば、各邦は、それは我々の文化高権でありそれを決めるのは我々であるということで、ある邦では賛成、別の邦では反対ということになる。

小さな子ども、児童・生徒、学生、職業訓練、生涯学習あるいは年輩者の学習等の教育と同様に MINT 教育も線路で結ばれる駅のような教育制度になっていることは重要である。また、学校での公的な教育と民間が営利目的やボランティアで行うイニシアチブなどの学外の教育は、MINT 教育に対して統一されたコンセプトで行われなければならないが、この駅の連なりに沿って多くの提供者が存在する。例えば学校システムに平行して存在する”jugent☆forscht“があり、学校を取り巻く大きなネットワークである MINT-EC、あるいは幼稚園の先生に助言をする「小さな研究者の家」など。これらは MINT 教育を促進する巨大な活動であり、非常に多くの提供物であるが、それは資金を投入し、提供物を作成し、理想的には個人個人を支援しようとする彼らの多くの努力によるものである。そしてここには常に異なる 2 つのテーマがある。ひとつは私たち個人個人が芸術、文化、経済だけではなくもっと多くの知識と技能を必要とし、人生を良くし、スマートフォンを理解し、自分の電子メールアカウントを保護し、最新の技術を購入するための良い MINT の一般教育である。もう一つは、社会は経済を見通すため、イノベーションを発展させるため、そして基本的に社会を未来に導くために教育受けた多くの優秀な専

門家を必要とすることである。ドイツにはボランティア分野で多くのイニシアチブがあり活発に活動していることはすばらしいが、問題は全体を見通していないことである。多くは他の組織がいかに正確に、いかに上手く、そしてどれほど多くのお金を費やしているかをまったく知らないし、この活動が社会全体にもたらすものを正確に知ることは難しい。多くの人がそれを改善する方法を考えており、”Nationales MINT-Forum”は、MINT 教育では質保証や品質が重要なテーマであること、それをさらに良くするためには、政治、経済、科学そして市民社会が協働しなければならないこと、そのために全員が円卓テーブルに座り全体のコンセプトを構築する必要があるということを声明文にして 2〜3 週間前に政府に勧告をしたばかりである。このことは新しい試みである。これまでは何をしたかを議論していただけで、数が多いこともあってどれがいいのかについての議論は難しかった。異なる関心や競合が多くあったが、我々の基本的な考えは、MINT 教育の質の向上にもう一度立ち返って、すべての勢力を束ねるプロセスを実行するということである。我々は MINT 教育への取り組みを評価も制御もするつもりはなく、個々の取り組みはお互いに独立して行われるべきであると考える。ただ我々は、どのイニシアチブは効果があり、どのイニシアチブがそれほどでもないのか、あるいはむしろ妨げるのかを政府レベルの観点で一望できるようにしたいのである。

”Nationales MINT-Forum”は年に一度大きなイベント”nationaler MINT-Gipfel” を行う。昨年は Merkel 首相が参加したが、おかげで我々のイベントと要望「MINT 教育は促進されるべきだ」に多くの注目が集まった。6 月に次のサミットが開催される。毎回議論のテーマが替わり、昨年はデジタル教育とデジタル化、今年は未来の MINT 教育を改善することである。

4．おわりに

ドイツの MINT 教育について知るために、合計で 10 の組織・機関を訪問調査したが、本報では 7 組織・機関を中心に報告した。全国的な展開をする組織としては、他に”MINT Zukunft schaffen”が大きなプレゼンスを持っていると思われるが、関係者との面会予約が取れなかったので飛び込みで事務所を訪ねたところ、詳しい話は聞けなかったが職員は 4〜5 人とのことであった。訪問した組織は、ホームページから予想される活動内容の割りには総じて人的規模は大きくはなかった。限られた人員でホームページに紹介されている膨大な活動をどうやって行うのかは疑問であったが、その多くはボランティアによるものであった。ボランティアと言っても個人のボランティアばかりではなく、企業やその他様々な機関の協力が大きい。社会全体に積極的に社会貢献することを良しとする国民性が根付いているのである。人々のそういう働きがあって、ホームページで紹介されている活動が行えるのでろう。

結論として、ドイツで MINT 教育を引っ張っているのは教育界ではなく、どちらかと言えば産業界・経済界が主導しており、産業経済界に支援されるイニシアチブに触発されて連邦教育研究省や連邦教育大臣会議は腰を上げている様に思われる。確かに MINT 教育は社会に対していいキャッチフレーズとなっており、そのため以前からあるイニシアチブ、例えば”jugent☆forscht“や Girls’Day は MINT 教育という看板の下に上手く組み込まれている。連邦教育大臣会議の MINT 教育への取り組みについては、本報告書の遠藤の論文に詳しく述べられているので参照されたい[2)]。他方、連邦教育研究省は、直接学校教育に対するアクションは行ってはいないが、“Komm, mach MINT”や「小さな研究者の家」など、ニッチな領域に対する支援を行っていること、”jugent☆forscht“をはじめとし MINT 分野に関わらず多くの全国的なコンテストの支援者として関与していることが分かった[3 3)]。コンテストは生徒たちの MINT に対するモチベーションを高めることに大いに役に立っている。教員もそれに対

処する必要がある他、学校外でも子どもたちが探究活動を行える場所が様々な形で提供されるようになってきている。サッカーがどこでも行えるのと同様に、MINT 教育をどこでも受けられる環境の整備が進められている。

全国的なイニシアチブが欲するものは、社会的な認知をエビデンスベースで得ることであろうと思われる。例えば、“Komm, mach MINT”、 ”Nationales MINT-Forum”、 「小さな研究者の家」では、Merkel 首相を自らのイベントに関与させることの意義についての発言が聞かれた。その実現により自らのプレゼンスが高まることにより、支援が磐石になることが示唆される。

学校現場とこれらイニシアチブとの関係は、とても上手く機能しているように思われる。学校や生徒はこれまで得ることのできなかった恩恵が得られ、それは MINT 分野の将来にいい方向に作用することが期待できる。現状では MINT 分野の教育に力を入れる学校が増える傾向にあり、女子の MINT 分野への進学率やその後 MINT 分野の職業に就く割合は高まっており、これらイニシアチブの目論見は成功していると思われる。＋MINT の取り組みについては、まだ実行の途についたばかりで成果は現れていないが今後の展開や成果に大いに関心が持たれる。

米国における STEM 教育と対比される MINT 教育であるが、連邦法による施策に基づき STEM 教育の実践及び研究に潤沢な資金が提供される米国の状況[3 4)]に比べて、ドイツでは大学や研究所で全国的なレベルでの MINT 教育のプロジェクトや研究は見出せなかった。誰かが何か良いことを始め、その回りに支援者が集まる場合と、発案した良いことを回りに説いて支援者を集めて始める場合があるが、そういったイニシアチブはボトムアップに始まるのがドイツの特徴であり、良いことは認知され、政府もそれを認め支援せざるを得ない形に変化していくもの捉えられる。このことは中央政府としての行政組織である文科省の基に統御される我が国の教育の現状とも明かに異なる。

謝辞

本研究は、科学研究費補助金・基盤研究(B)（課題番号：15H03493、研究代表者・長洲南海男）の助成により行われた。ここに記して謝意を表する。なお、本稿作成に際し、長洲南海男研究代表者よる校閲及び森下明美本科学研究費事務補佐員による校正に謝意を表します。

注及び引用：

1）吉岡亮衛, 長洲南海男（2017）：ドイツの MINT 教育に関する調査報告-米国のモデルと比して、日本教科教育学会全国大会予稿集、43、206-207

2）遠藤優介（2018）：ドイツにおける MINT 教育の諸相－MINT 関連教育政策の動向と中等化学教育の内容構成を中心に－、本科学研究費最終報告書

3）Technik の訳語としては、技術もあるが、学問分野の一つであることからここでは工学と訳す。

4）STEM は、Science, Technology, Engineering, Mathematics の略称で、ドイツ語の MINT と完全に一致しない。Technology, と Engineering は、Informatik と Technik に対応すると考えられるがその解明は今後の課題である。

5）大髙泉（2010）：「ドイツ —PISA ショック後の教育改革と連邦科学スタンダード導入—」、橋本健夫・鶴岡義彦・川上昭吾編著 、『現代理科教育改革の特色とその具現化』、東洋館出版社、150 -157

6）ゲーテギムナジウム（Goethe Gymnasium Regensburg）を訪問し、授業参観と Herr Rothauscher 校長へのインタビューから、本校は全日制を取り、午前に 6 時間通常の授業を行い、午後は選択教科を行っていること、

そのために食堂を設置している学校は珍しいとのことであった。校長の言によれば、本校はMINT-ECのメンバー校であり、企業から学校に派遣された専門家が授業を教えているが、企業との関係によって得られる専門知識は教科の授業では得難いものであり、MINT-ECのネットワーク無しには叶えられなかった。また、そのことは生徒にも保護者にも理解されており、今日では、本校のMINT教育を目当てに進学してくる生徒やその保護者がおり、いい旗印になっている。MINT教育を実践するために学校が取り組んでいるのは生徒が自ら実験ができる多くの機器を揃えることである。実際に数学や物理学・化学・生物学等の教材や実験器具が多く揃えられていたが、MINT と言う特別な教科があるわけではなく、既存の MINT 教科をしっかりやることがMINT教育だということであった。

7）https://www.bmbf.de/de/die-organisation-des-hauses-192.html 参照。（確認日：2017年1月16日）

8）https://www.kmk.org/kmk.html 参照。（確認日：2017年1月16日）

9）本報告では連邦を構成する地方政府(Bundesland または Staat)を邦と称する。

10）「文化高権」とは、文化政策と文化行政のすべての問題に関して、原則として諸州が立法上および行政上の権限を有する、という仕組みで、権限は、ラジオ、国立の図書館、劇場、学校や大学に至るまで及ぶ（マックス・プランク教育研究所研究者グループ1994)。「文化高権」も含めて、ドイツの教育、文化行財政に関する中央政府と各邦との関係については、2）に示す本報告書の遠藤優介論文も参照されたい。

11）ここではイニシアチブを、市民の中に発生した利益団体の先導的な活動の意味に捉える。活動は社会的、政治的に認知されると政治手段の意味と一致することになる。

12）MINT-EC は、Verein mathematisch-naturwissenschaftlicher Excellence-Center an Schulen e. V.（非営利公益法人学校における数学－自然科学の卓越センター）の略称である。

13）"MINT Zukunft schaffen" を意識しての言葉と思う。"MINT Zukunft schaffen"へは訪問調査を行えなかったが、ホームページ(https://www.mintzukunftschaffen.de/)を見る限りでは、初等中等教育段階でMINT教育に力を入れている学校は申請書提出して「MINT に親しい学校」の証明を取得する。

14）世界最大の企業向けソフトウェアサービス会社。

15）2017年の大会は6月29日から7月2日にハンガリーで、29カ国から450人の選ばれた教員が集い革新的な教授方法等を競い合ったと報告されている。（http://science-on-stage.de/）

16）BMBF：Der Nationale Pakt für Frauen in MINT-Berufen "Komm, mach MINT.", 2008年3月1日

17）ビーレフェルト応用科学大学（FH Bielefeld）に付置された研究所で、全国レベルでの男女の機会均等の促進することを目指した取り組みを行っており、“Komm, mach MINT”と同じく政府から資金援助を受けて活動している。

18）米国で1993年4月22日初めて行われ、その後毎年4月の第4木曜日に実施され、今日では男児も含めた子どもたちが両親の職場に行くイベント。
https://en.wikipedia.org/wiki/Take_Our_Daughters_and_Sons_to_Work_Day 参照。2018年2月25日

19）収集資料17によれば、2015年の収入は1,071万ユーロ（約14億円）で、うち18.4%が政府の助成金である。

20）ドイツに本社があるコンサルタント会社。

21）Archiv der Zukunft/ McKinsey&Company (2006)：Die Entdeckung der frühen Jahre – Die Initiative McKinsey bildet. zur frühkindlichen Bildung –

22）ソフトウェアのSAP株式会社の創業者。

２３）ドイツの幼児教育あるいは保育施設は多様であり、Kindergarten とも Kita(Kindertagesstätte)とも呼ばれる。２つは実際には同じものを指す言葉であるが、以前は Kindergarten は午前中のみであり、Kita は終日保育であった。その他に地域による呼び方の違いという意味では、南ドイツでは Kindergarten が優勢で、ドイツの北部や東部では Kita が一般的ということはあるが、本質的に両者に違いはない。また、基礎学校の子どもたちを午後に預かる施設を Hort と呼ぶ。「小さな研究者の家」は、これらの施設に在籍する子どもたちを対象とする。

２４）”International Dialogue on STEM”の国際会議は、2017 年 11 月 2/3 日にベルリンで開催された。(https://www.haus-der-kleinen-forscher.de/de/ueberuns/internationales/international-dialogue-on-stem/ 2018 年 1 月 16 日)

２５）政治や社会的話題を扱うドイツの代表的な週刊誌。(https://www.stern.de/)

２６）半導体を製造する株式会社インテルが主催するコンテスト The Intel International Science and Engineering Fair (Intel ISEF)。https://student.societyforscience.org/intel-isef

２７）JST が主催する SSH の全国大会にはドイツから MINT-EC の優秀者が招待される。何故 MINT-EC なのかを、ベルリン日独センター(Japanisch-Deutsches Zentrum Berlin)（http://www.jdzb.de/jp/about-us/about-us/）にたずねたところ、Frau Tatjana Wonneber から次の説明を受けた。2013 年中等学校での科学教育をテーマにした会議を開催した際に、JST の関係者から SSH の全国大会にドイツから代表を招待したいとの依頼を受け、ドイツにおけるコンテストでは”jugent☆forscht“が最も権威があるが、参加者の年齢が高い(15～21 歳)という理由で、MINT-EC とコンタクトを取ったということであった。ちなみに 2017 年の SSH 全国大会には世界の 10 カ国から代表が招待されている。この点に関して、科学技術振興機構(JST)は毎夏 2 日間の日程で行われる SSH の生徒研究発表会に世界 10 カ国の高校生を招待している。ドイツも招聘国のひとつで代表を送り出している。2016 年の大会には 3 つの学校が招待された。
http://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/28/08/1375399.htm

２８）2005 年ノーベル物理学賞授賞者。

２９）2018 年 2 月 9 日のホームページでは Schulpforta が増えて 4 校となっている。
http://www.plus-mint.de/programm/internate/

３０）ギムナジウムの生徒が受けることのできる卒業資格試験で、合格すれば国内およびヨーロッパ各国の大学へ進学することができる

３０）”MINT Zukunft schaffen”

2008 年に設立されたベルリンに本部を置くドイツの雇用者協会連合のイニシアチブで、ドイツ経済における科学と工学の職業分野での熟練労働者不足が危惧されるため、MINT 教育を強化することを主張する。様々な取り組みの中の一つ MINT メーターは、MINT 目標の進捗状況を継続的にチェックするものである。”Science on Stage Deutschland”の Frau Schulze から聞いたところによれば、MINT-EC は実際に優れている学校を認定しそこの生徒を支援する一方、“MINT Zukunft Schaffen”はどのような学校にでも望む学校には、”MINT freundliche Schulen” (MINT に好意的な学校)の証書を出し、全国に 1,200 校あるが、証書を授与するだけであって、人々はとても混乱しており、それについて質問を多く受けている。一般大衆に対して MINT を宣伝し認知させたいことは我々も同じだが、彼らのやり方は我々とは異なる。

３１）”Nationales MINT-Forum”のもう一つの取り組みである作業グループのテーマ例として、例えば Körber 財団が提案する MINT 地域がある。これは MINT 教育を促進するための協力者が地域にいるかどうかを探す

助けになる。Körber 財団がドイツ全国を調査した結果を小冊子にして、”Nationales MINT-Forum”から出している。

３３）収集資料４には 23 のコンテストが挙げられている。

３４）長洲南海男 (2017)：米国の STEM 教育の特質－二重モデルとは，日本教科教育学会全国大会予稿集、43、120-121

収集資料：

Goethe Gymnasium Regensburg　＜公立ギムナジウム＞	
1	100 JAHRE GOETHE-GYMNASIUM REGENSBURG－1914-2014　（ギムナジウムの 100 年史，264 P）
2	Goethe-Gymnasium Regensburg－Jahresbericht 2015/2016　(2015/2016 年年報，204P)
Stiftung Jugend forscht e. V.　＜コンクール主催団体＞	
3	Aufbau von regionalen Schülerforschungszentren－Berichte und Praxisempfehlungen （地域の生徒の研究センターの設立，168 P）
4	Entdecke neue Welten!－Schülerwettbewerbe fördern Talente.　（コンクール一覧，14 P）
5	FESTSCHRIFT PROJEKTE-PREISE-PARTNER Neues Kownt von Neugier－jugend forscht 51.Wettbewerbsrunde （第 51 回大会の記念刊行物，103 P）
6	jugend forscht－Wir fördern Talente　（コンクールの概要と歴史を紹介する冊子，23 P）
7	Neues Kownt von Neugier－jugend forscht 2016 schüler experimentieren JAHRES BERICHT 51.Wettbewerbsrunde （第 51 回大会の報告書，35 P）
8	Passion Zukunft-Blick züruck nach vorne: 50 Jahre Jugend Forscht Das Jubilaumsmagazin 2015（50 周年記念誌，98 P）
9	PREISTRAGER Neues Kownt von Neugier－jugend forscht 51.Wettbewerbsrunde　（受賞者一覧，30 P）
10	Schüler exprerimentieren－ich mache mit!　（エントリーシートの書き方説明，６P）
11	Zukunft－ich gestalte Sie　（私は未来をデザインする，11 P）
Komm, mach MINT　＜女生徒を支援するイニシアチブ＞	
12	kompetenzzentrum Technik・Diversity・Chancengleichheit－Jahresbericht 2015　（2015 年年報，59 P）
Nationales MINT-Forum　＜政策提言を発するイニシアチブ＞	
13	Bedeutung der Technischen Bildung fur Deutschland Starkung der technischen Allgemeinbildung, Aufbau eines Systems zur Talentförderung und Ausbau der Infrastruktur－Empfehlungen des Nationalen MINT Forums(Nr.6) （ドイツの技術教育の重要性と強化、才能開発体制とインフラの拡大，35 P）
14	MINT-Regionen in Deutschland－Eine bundesweite Bestandsaufnahme regionaler Netzwerke für die MINT-Bildung （MINT 教育のための地域ネットワークの全国目録，54 P）
15	Stellungnahme im Rahmen des Öffentlichen Fachgesprächs “MINT-Bildung in Deutschland” im Ausschuss für Bildung, Forschung und Technikfolgenabschätzung des Deutschen Bundestages am 8.3.2017 （連邦議会の教育、研究及び技術評価委員会における「ドイツの MINT 教育」に関する公開討論の文書，８P）
16	Thesen zu einer zeitgemäßen Fortbildung und Personalentwicklung von Lehrerinnen und Lehrern in den MINT-Fächern－Empfehlungen des Nationalen MINT Forums(Nr.4) （MINT 教科の教員の人材育成と時代に合わせた研修について，25 P）

Stiftung Haus der kleinen Forscher　　＜年少者を支援するイニシアチブ＞	
17	10 JAHRE HAUS DER KLEINEN FORSCHER　　（10 周年誌，82 P）
18	Pädagogischer Ansatz der Stiftung “Haus der kleinen Forscher” －Anregungen für die Lernbegleitung in Naturwissenschaften, Mathematik und Technik　　（「小さな研究者の家」財団の教育的アプローチ，50 P）
Experiminta　　＜科学博物館＞	
	EXPERIMINTA－Cataalogue　　（展示物のカタログ，214 P）

オランダ王国の数学教育に学ぶ
―「教授-学習軌道」と「数学コンテスト」の意義―

大谷　実（金沢大学）

はじめに

STEM・リテラシー教育研究において、筆者は、欧州班の中のオランダ王国（以下、オランダ）の数学教育を主として担当し、2017 年度の報告書においてユトレヒト大学の「フロイデンタール研究所」（Freudental Institute for Science & Mathematics Education: FIsme）が開発してきた「現実的数学教育論」（Realistisch Reken/Wiskundeonderwijs）の特徴ならびにその基本的構造を紹介し、さらに日本教科教育学会において米国の STEM・リテラシー教育の動向との比較を行いつつ、オランダの数学教育を特徴付けた（大谷，2017，大谷・長洲，2017）。

フロイデンタール研究所は、Utrecht 大学総長を務め、世界数学教育会議の顕彰者でもある数学者・数学教育学者のハンス・フロイデンタール（Hans Freudenthal: 1905-1990）の主導により 1969 年に設立された「数学教育開発センター」（IOWO）において、氏の数学・教授学思想を基底としつつ開発した数学教育の研究所である。同センターは 1971 年に氏の名を冠する「フロイデンタール研究所」（Freudental Instituut）となり、2001 年に科学教育部門と統合され Freudenthal Institure for Science & Mathematics Education（略称 FIsme）となり、今日の STEM（科学・技術・工学・数学）教育と呼ばれる教科横断的なモジュール、教師教育の欧州の拠点として機能している。

本稿では、STEM・リテラシー教育研究の最終年度において、これまでの研究の過程で十分具体的に考察できなかった２つの重要な側面を取り上げることにする。それらは、カリキュラムを編成する際の「教授－学習軌道」の概念、そして数学的リテラシーを育成するための独特な「数学コンテスト」である。「教授－学習軌道」に関しては、本科研の研究において「知的内容発展構成・学習発達進展構成」（原語は Larning Progressios，略称は LPs）が米国の科学教育研究において果たす根本的な役割が注目されている（長洲，2017）。このことに関連して、オランダの数学教育においても類似の概念が研究・開発・実践されており、最終報告書において詳しく取り上げるべき一つの柱であると考える。また、「数学コンテスト」は、STEM・リテラシー教育の推進において、オランダにおいて既に 30 年間にわたって展開されており、現在では欧州諸国も含めた国際レベルのコンテストに発展している。このコンテストは、数学という個別の教科色は薄く、むしろ教科横断的なものである点で STEM 教育の性格が強く意識され、また、通常の学校の授業では評価が難しい高次の数学的思考や他者との協働という非認知的資質・能力をも評価しようとする点で、リテラシーの育成と評価において重要な役割を果たしていると考える。

最終年度の研究では、これら２つの側面について、できるだけ実践に近いレベルで具体的に検討するとともに、併せて、わが国の数学教育の改善に向けた提案や試行的な取り組みの一端について報告する。かくして、本稿では、STEM・リテラシー教育に関して、オランダの数学教育の制度的・理論的特徴や動向を単に紹介するのではなく、わが国にとって有望であると思われることも具体的に提案し、さらに実際に試行した結果について述べる。本稿は２部構成となる。第１部は「教授－学習軌道」を取り上げる。ここでは、先ず、オランダの教育科学文化省がフロイデンタール研究所と共同で開発を試みた「教授－学習軌道」についてその理論枠組みを述べ、続いてフロイデンタール研究所の数学教育論が最もよく反映されている教科書を取り上げ、特に前期中等教育段階での

関数領域の教材を具体的に取り上げるともに、わが国の関数領域における「教授－学習軌道」と比較し、わが国が参考にできる事柄を検討する。第２部は、オランダの後期中等教育段階で実施されている Math A-lympiad, Math B-day、そして後者が国際的に展開された IMMC（もしくは IM2C）について具体的に取り上げ、わが国における実施から学んだことを取り上げることにする。折しも、わが国では高大接続改革が進行中で、「大学入試共通テスト」（仮称）の試行が本年度より開始され、そこで出題された問題は、すでにオランダにおいて開発され実践されている内容と類似しており、今後、こうした問題を利用したコンテスト等が、わが国においても大いに参考になるものと思われる。本稿で、コンテストの具体的な問題とオランダでの現地調査を取り上げるとともに、わが国において導入した経緯や実際の結果等につて紹介することにする。かくして、「教授-学習軌道」と各種の「数学コンテスト」は、わが国の STEM・リテラシー教育の数学教育分野での発展に関して、オランダから学べることであり、重要な意義を有すると信ずる。

以下では、先ず、オランダの教育制度および現実的数学教育論について概要を述べ、続いて、第１部の「教授-学習軌道」並びに第２部の「数学コンテスト」について取り上げることにする。

オランダの教育制度と現実的数学教育の概要

オランダは、憲法 23 条で教育の自由を保障し、学校設立や運営等に幅広い自由度を保障している。学校制度は初等教育が 8 年制で、その最終学年（12 歳）で「オランダ測定評価研究所」（Centraal Instituut voor Toetsontwikkeling, 略称 CITO）のテスト成績等を参考に、複線系の中等学校：4 年制の中等職業準備教育（通称 VMBO）、５年制の上級普通中等教育（通称 HAVO）、６年制の大学準備教育（通称 VWO）に進学する。HAVO と VWO の教育課程は、前半は共通性が高く、後半は専門に応じて履修する。教育文化科学省（Ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschappen: Ministry of Education, Culture, and Science）は各学校段階で大綱的な中核目標を示すのみで、最終学年で「全国最終試験」と校内試験に基づく評定を行い、それに合格をすれば中等教育卒業資格（ディプロマ: Diploma）授与され、評定に応じ高等教育に進学できる。このように、国は各学校段階の到達目標と卒業試験を課すが、その自由度の基で、現実的数学教育論は数学科のカリキュラム、教科書、授業、評価の枠組み、全国最終試験の在り方に大きな影響を与えている。その最大の特徴は、日常や身近な場面、職業に関わる場面、他教科に関連する場面を課題とし、数学を意味ある仕方で、柔軟に使用することを重視している点である。

数学はオランダ語で wiskunde という。"wis"は「確実・精確な」、"kunde"は「知識・技能」を意味し、その語義は「基礎・基本的な知識・技能の確かな習得」を連想させる。しかし、フロイデンタールの数学論・教授論は、「現実感から出発し、現実感にとどまる数学」（Freudenthal, 1987）を重視する点に特色があり、Realistic Mathematics Education（略称 RME）として、フロイデンタール研究所で開発され、世界的に展開されている。本稿では、realistisch を「現実的」と訳すが、それには２つの含みがあり、一つは数学が日常生活や実社会における事象を組織化する上で有用であるように、もう一つは数学が児童・生徒にとって真実味を持つようにという点である。後者は、児童・生徒が問題状況を「イメージする」（zich realiseren, van den Heuvel-Panhuizen, 2001）ことができ、それが彼らに真実味を持つことである。例えば、スイフトの『ガリバー旅行記』の架空世界の状況を参照しつつ拡大・縮小や相似という数学的概念を学ぶことも理に叶っている（Treffers, 1987）。1980 年以降、RME はオランダの数学教育全体に強い影響を与え、教育目標の設定、教育課程の開発、教科書の編集などに反映されている（Treffers, 1986）。

RME は、ハンス・フロイデンタール（Hans Freudenthal: 1905-1990）が著した数学論や教授論を基にしている。「現実感から出発し、現実感にとどまる数学」(Freudenthal, 1987)、「数学科化すること」(mathematizing)や「追発明」(re-ivention) (Freudenthal, 1973) を重視する。フロイデンタール自身の数学論・教授論については、伊藤がその形成過程を踏まえて体系的に再構成し、その特質を解明している（伊藤, 2007 など）。

RME 理論の展開は、トレファース（Adri Treffers）とホフリー（Fred Goffree）に負うところが多く、それは「一般」（general）と「局所」（local）、さらに「何を」（what）という目的と「いかに」（how）という視点により整理できる（van den Heuvel-Panhuizen, 2001）。

RME の一般理論は、「有意味な人間の活動」、「水平的数学化」（horizontal mathematization）と「鉛直的数学化」（vertical mathematization）を主な特徴としている。水平的数学化と鉛直的数学化は、トレファースとホフリーが創案したもので、他の数学教育のタイプ（経験的、構造的、機械的）と区別しつつ、RME が目指すべきタイプを特徴づけたものである（Treffers, 1986: 70）。水平的数学化は、「経験的方法・観察・実験・帰納的推論を通して、問題を密なる数学的な手段によってアプローチできる様に変形すること」、鉛直的数学化は「水平的数学化に続き、数学的処理、問題の解決、解決の一般化、更なる形式化に関連する活動」（ibid,71）である。

RME が有意味な人間の活動や数学化を実現する方法に関して、６つの一般的原理が提示されている（van den Heuvel-Panhuizen, 2001: 35)。これらは「教授」と「学習」の側面に分けられる。

主として教授に関連する原理

- **現実感の原理**（Reality Principle）：実生活など現実感のある文脈を伴う状況を問題場面とすること。
- **関連付けの原理**（Inter-twinment Principle）：教師が数学の内容を様々な内容領域の内外で関連付けを図ること。
- **導きの原理**（Guidance Principle）：子どもがみずから考えを作り出すことを通して数学を追発明するよう教師が適切な手立てを講じること。

主として学習に関する原理

- **活動の原理**（Activity Principle）：子どもが数学の学びに活動的に参加すること。
- **水準の原理**（Level Principle）：子どもの学びが一般性を高める水準へ徐々に高まること。
- **相互作用の原理**（Interaction Principle）：子どもが個で思考し、社会的にかかわること。

かくして、RME の一般論では、子どもが、現実感のもてる問題場面からスタートし、問題場面を自らの考えや表現を用いて表し、教師の導きや子どもとの関わりの中で、次第に考え方をより一般的なものへと洗練させながら、最終的に公的な数学的知識や形式化した方法を「追発明」（re-invention）する活動を大切にする。この特徴は、「漸進的図式化」（progressive schematization）とも呼ばれる。この「漸進的図式化」に関して、フラヴメイヤー（Gravemeijer, 1999）は、導きによる特定の数学的知識の追発明やそれを奨励する相互作用の原理を明確に意識しながら、「状況」、「参照」「一般」「形式」からなる４つの水準からなる「創発的モデル化」（emergent modelling）を構築している。これは、RME が目的とする水平的数学化と鉛直的数学化の複雑な関係をモデルの機能という分析の単位により首尾一貫して扱い、方法にかかわる６つの原理も組み入れつつ、最終的に数学の追発明をも保証するもので、一般の RME と局所の RME 理論を統合するものとなっている。TAL は、こうした RME の理論的な達成を基礎として、具体的な内容領域において考案されているものと理解できる（Gravemeijer, 2004)。

第1部

第1部では、関数領域に関してオランダの中等教育下部構造の数学科教科書の教材配列の特徴を明らかにし、それを鏡として日本の関数領域のカリキュラムを改善する視点を提案することを目的とする。

日本の学習指導要領では、関数は中学校数学科の一つの領域をなしており、その学習の困難性がつとに指摘されている。全国学力・学習状況調査では、関数領域の学習状況は大変厳しい現状があり、改善を要する課題とされている。例えば、平成 28 年度中学校数学の問題 A 9 で、比例の式について増加量を求めることができた生徒は 40.3%であり、具体的な事象から反比例の関係を見出せた生徒は 42.9%である（文部科学省・国立教育政策研究所、2016）。この背景の一つには、日本の関数領域のカリキュラムの構成自体に根本的な問題があることを示唆する。

研究の方法として、オランダのユトレヒト大学フロイデンタール研究所（Freudenthal Institute）で開発されているカリキュラム構成を検討する概念である「教授－学習軌道」に着目する。そして、その影響を受けていると思われる数学科教科書の関数分野の内容構成の特徴を分析し、それを鏡として日本の関数領域カリキュラムを改善する視点を提案する。次の表1は、日本とオランダの中学校段階の関数領域の主要な内容を整理したものである。日本では、第1学年で関数を数学的に定義し、学年ごとに基本的な関数のタイプを主題としながら、それらを式で定義をし、数表・グラフでそれらの数学的性質を見出していく。オランダでは、関数の素地となる概念やその多様な表現形式の機能を主題としながら、その中で基本的な関数を同時に扱い、それらの数学的なレベルが次第に高まるようスパイラルな編成をし、第3学年で関数をプラグマティックな仕方で定義する。これから、両国の関数領域カリキュラムの編成の基本思想が異なっていることが示唆される。

学年	日本	オランダ
1年	関数、比例・反比例（座標）	比の表、百分率、倍率、比例配分、グラフ、座標、言葉の式、規則の言葉・式・グラフ表示、一次式、グラフから式をつくる
2年	一次関数（変域、変化の割合、グラフの傾き、切片）	一次式、グラフ、傾きと切片、直線の式、一次式をつくる、関係、変数、正比例、比の表、2点を通る直線、二次式、グラフ、頂点
3年	関数 $y=ax^2$、いろいろな関数（指数関数、階段関数等）	関数、パラメータ、正比例と反比例、分数関数、二次関数、放物線

表1　日本とオランダの関数領域の比較

以下では、先ず「教授－学習軌道」の概念ならびにその基礎となるオランダの数学教育論を取り上げる。次に、オランダの数学教育論を最も反映している教科書を取り上げ、具体的な教材を示しながら、関数領域の「教授－学習軌道」の特徴を述べる。最後に、日本の関数領域カリキュラムの改善の視点を示す。

「教授－学習軌道」（TAL）

「教授－学習軌道」は、「中間目標を見据えた学習－教授軌道」（Tussendoelen Annex Leerlijnen）の英訳 Teaching-Learning Trajectory に基づいており、TAL と略称される。これは、1997 年よりオランダ教育省の援助

によりユトレヒト大学フロイデンタール研究所で開発されている教育課程に関わる研究で、現在も進行中のものである。

TAL の意義を理解するために、オランダの教育制度について要点を述べる。オランダは憲法 23 条で教育の自由を保障し、これに基づき、教育文化科学省は学校段階ごとに必履修教科とその「中核目標」（Core Goals）を大綱的に示している（OC&W, 2004）。そのため、各学校は何をどう教えるかに関してかなりの自由裁量がある。そのような中で、数学のカリキュラムの編成や教科書の開発に一定のガイドラインとなるものが TAL である（van den Heuvel-Panhuizen & Wijers, 2005）。「学習－教授軌道」は、中核目標に到達するまでに子どもが通過する中間の目標を示唆するもので、子どもの数学的理解の発達に関して長期的な概観を与え、教育がその発達の過程をどのように支援し、評価するかについての「心的な地図」（ibid, 2005）を与えるものであり、市販の教科書の構成にも影響を与えている。現在、初等学校の 4 つの内容領域（整数、測定、図形、割合）で TAL の研究成果が公刊されている（例えば、Gravemeijer et.al, 2016; van Galen et.al, 2008）。このように、フロイデンタール研究所は「中核目標」のもとで、オランダの初等学校の数学科カリキュラムや教科書に対して、大きな役割を果たしている。他方で、中学校における関数領域における TAL の研究はいまだ未開拓であり、それ自体が新しい研究対象である。そのため、本稿では中学校の関数領域を TAL の視点で検討するために、TAL の基礎をなすフロイデンタール研究所の数学教育の基礎理論と、それに影響を受けている教科書の内容分析を行うという方法をとる。

中等教育下部構造の教科書の分析

以下では、日本の中学校にあたるオランダの中等教育下部構造の教科書を取り合げ、関数領域における内容構成の特徴を検討する。尚、オランダの中等教育では 3 つのコース（VMBO, HAVO, VWO）があり、下位構造は「基礎形成教育」（Basis Vorming）段階としてコース間で共通性の高いカリキュラムが編成されている。

本稿では、オランダの中等教育下部構造の教科書『現代数学』（Moderne Wikunde）VWO 1－3, Noordhoff Uitgevers 社を取り上げる。1－2 は第 11 版を用い、3 は第 9 版を用いる。本教科書はオランダで 2 番目のシェアがあり、最も RME の考えに近いとされる（de Lange, 1987）。VWO は「大学準備教育」で、卒業後に総合大学に進学する約 2 割の生徒が履修するコースの略称である。

以下、『現代数学』の関数領域に関する内容構成を具体的に述べる。

1年

・「比の表」（ratio table）で比例の関係にある数量を求める。基本として、4 つの手順を学ぶ：①場面（例えば、1000gr のニシンが 30€のとき、230gr ではいくらか。）から比の表をつくる。②上の欄に 1 を、その右に対応する数量を書く。③矢印を使って未知の数量を求める。④求める値を書く（図 1）。

・内比の考えで計算するとともに、一方の数量の和が他方の数量の和に対応することや、外比の考え方でも未知の数量求め、比の表を柔軟に扱えるようにする。

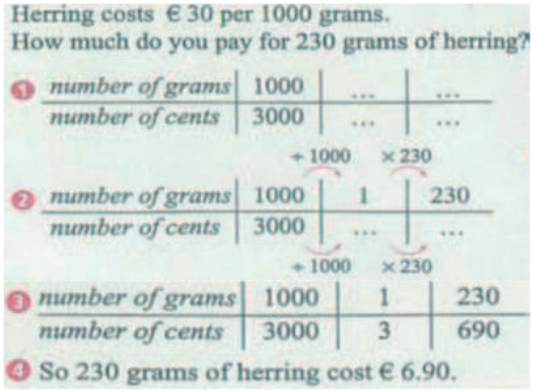


図 1．比の表の扱い方

・比の種類としてパーセント、絵や地図などのスケール、比例配分（例えば、144 リットルを 5:8:11 の比に分ける）などで比の表を使って問題解決を行う。

・**グラフ**：身の周りの様々な場面（例えば、ロウソクの燃焼、体重、冷蔵庫内の温度、インフルエンザの蔓延、幼児の身長と体重の関係、身長・体重と健康の関係）の伴って変わる 2 つの数量の変動の様子をグラフで表したり、グラフを読んだりする（図 2）。また、座標についても学び、スケールの取り方、軸の値を省く表現も学ぶ。

・**グラフをよみ、プロットする**：合致するグラフの選択。グラフの変数、単位、増減を具体的場面でよみ取ったり、表からグラフをかいたりする。さらに、グラフの特徴に基づき変化の様子を説明する。グラフとして身近な場面で様々なタイプを取り上げる。

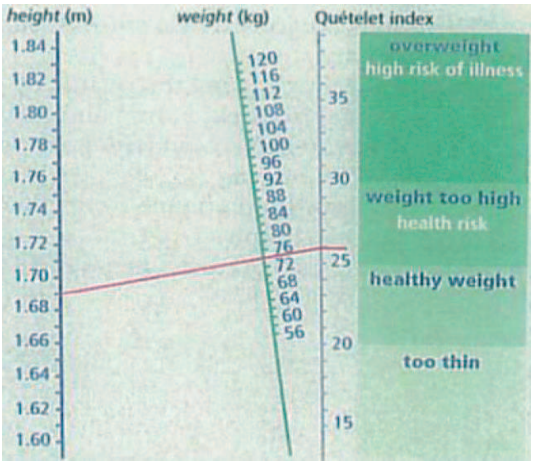


図 2．身長・体重と健康の関係

・**言葉の式**：身近な事象における数量の関係を、言葉の式で表現する。例えば、若年層の睡眠時間を、（16－年齢の半分）という研究を紹介し、それが経験的に受け入れられるかを検討する。また、30 歳以上ではどうかについて検討することで、範囲の素地を扱う。

・**ルールを言葉で、そして式やグラフへ**：身近な場面（例えば、テーブルの数と椅子の数の関係）で、数量の関係にもとづく計算の手順を「言葉」で表す。そして、言葉で表されたルールを演算記号で簡略化する。その結果を「式」（formula）として定義する（図 3）。さらに、式（従属変数は等号の右辺にある）に基づき表をつくり、それから点をとり、グラフをかく。こうした式の扱いは「漸進的図式化」の典型的な例である。

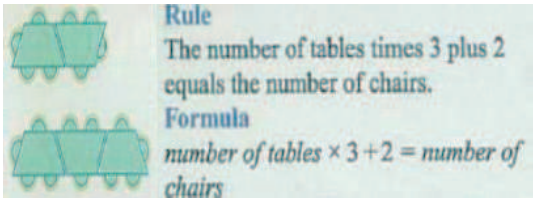


図 3．ルールから言葉の式へ

・**線形式**：具体的場面で表とグラフが与えられ、式を作る。その式のグラフが直線になるので「線形グラフ」と呼ぶ。それに併せて「初期値」と「一当たり数」という 2 つの数量を導入する。場面から式をつくったり、式をよんだり、ラフから式をつくる。その際、先ず表を作り、初期値と一当たりの増減を求め、線形式を作る。

2 年

・**線形式**：1 年からのスパイラルで、具体的な場面の式から文字の式へと移行し、文字の世界で、「線形グラフと式」を導入する。併せて二次式 $q=p^2-9$ や負の範囲の事象も扱う。

・**増加度と y 切片**：口座に月ごとに一定額を預金する場面で、「線形の関係」、「増加度（gradient）」と「y 切片」の用語を導入し、表、式、グラフでこれらの値を見出す。これらは、「初期値」と「一当たり数」の数学化にあたり、RME の特徴を示している。

・**直線の式のグラフと表の特徴**：式の増加度が正、0、負の場合のグラフの特徴を見出す。また、与えれたグラフから線形式を求める。

・**線形式をつくる**：「関係（relation）」という用語を導入し、より抽象的な場面で、関係の表、グラフ、式で変化度と y 切片を求める。また、表から変化度が一定かを判断し、y 切片を見出して直線の式をつくる。また、グラフから変化度と y 切片を求めたり、逆に、線形グラフから式を求めたりする。さらに、2 点の座標が与えられ

たとき、変化度と y 切片を求めて直線の式をつくったり、単なるグラフから直線の式をつくったり、他の直線に平行で１点がわかる場合の式をつくる。

・**正比例**：２変量の関係を表す数表が「比の表」のときを正比例という。比の表を用いて正比例の性質やグラフの特徴を見出す。逆に、グラフや表から比例かどうかを判断する。$y=ax$ で a の異なる値のグラフをかく。また、正比例を線形関係の特殊な場合とみなす。

・**二次式**：現実場面と数学場面に関して、一次式も交えながら、二次式について学ぶ。現実場面は、例えば、スーパーソニックカーTrust が時速 1227km を達成し、パラシュートを使用する場合としない場合の制動距離 B と時速 v の関係が $B=v^2/200, B=v^2/1200$ で与えられ、制動距離の差を求める。数学場面は、例えば、市松模様で２色の三角形の数が $y=(1/2)\,f^2+(1/2)f$, $b=(1/2)\,f^2-(1/2)f$ で表わされることを扱う（図４）。

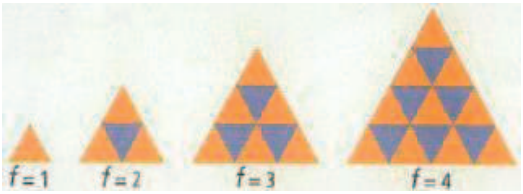


図４．市松模様のパターン

二次式を定義し、乗法の計算で「因子」を、加減の計算で「同類項」を導入したり、代入して値を求めたり、数表を完成したり、グラフをかいたりしながら、二次式の様々な側面を理解したり処理する技能を身に着ける。これらの場面は、関数に関わるが、増加の規則性だけでなく、グラフの対称性、最小値、一重、二重の括弧のある式の展開や二次方程式を扱い、二次式を多面的に考察し、RME の関連付けの原理が反映されている。

３年

・**関数**：関数の意味は一意対応という数学的な定義でなく、次のようにプラグマティックな仕方で導入される。「式 $p-2q=6$ を $q=(1/2)p-3$ と書き直すことで、p の値がわかるとき、q を直接計算できる。あなたは、q は p の**関数**と言ってよい。この関数の表記は $q(p)=(1/2)p-3$ である。$p=10$ の像は 2 である。これは $q(10)=2$ と書かれる。」。また、関数を定義する前に、一次式や二次式等やその様々な表現を学んでおり、関数はその導入前に多くの意味内容を含んでいる。

関数の導入後、既習の式に「一次関数」、「二次関数」、「定数関数」などの名称を与えたり、関数固有の概念である「定義域や値域」を $f(x)=2+\sqrt{x-5}$ の式や半円のグラフ等を通して扱う。さらに、発展的な内容であるパラメータを扱い、「関数族」を考察対象とする（図５）。

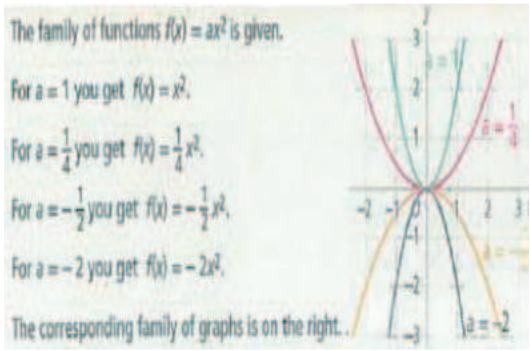


図５．関数族とグラフ

第１学年で「比の表」として導入した比例を、第３学年では関数として比例・反比例のセットで学び直す。さらに、第３学年では、例えば、有理関数など様々な関数を学ぶ。その際も、冷蔵庫の缶入りのコーラの温度などの具体的な場面での問題解決をする点で現実的数学教育らしさがうかがわれる。

・**二次関数**：導入場面は、地球でオハジキを投げた場合を知って、月で投げたときについて考えるものである。

ここでは、二次関数を一般的に学ぶが、すでに生徒は二次式を十分学んできたので、主としてグラフの図形的性質である放物線や頂点と対称性、放物線のプロットの仕方、パラメータを用いて二次関数 $y=ax^2+bx+c$ の二次の係数 a が放物線のグラフの形を決めることを学ぶ。以上の内容だけでもオランダの二次関数の学習は日本の関数 $y=ax^2$ と比較して深い学びが求められている。オランダの教科書では、さらに「深い学びとプロジェクト」と

いう発展的な教材がICTを使用して扱われる。扱われる場面は、フィボナッチ数列、橋のデザイン、噴水などである。

上のオランダの教科書の内容分析から、関数領域における TAL に関して以下のような特徴が見出せる。オランダでは、現実感の原理を重視し、真実味のある場面を参照しながら、それを参照する多様なモデルを学ぶ。また、水準の原理を反映して、言葉の式から文字の式へと次第に一般化をし、関数に関連する内容について十分に馴染んだ後に、関数の用語を導入する。また、関連付けの原理に基づき、比、グラフ、一次式、二次式、方程式などを関連付けることを重視する。

日本の関数領域改善の視点

日本の中学校における関数領域は、現行の学習指導要領や教科書では、概ね以下のようになっている。

小学校では、第４学年で伴って変わる数量の関係を学び、第５学年より簡単な比例を学習し、第６学年では非負の数の範囲において正比例と反比例を数表・グラフ・式で表したり、その性質を見出したり、身の回りの事象を比例や反比例とみなして問題解決を行う。そのような小学校の学習の基礎の上にたって、中学校では第１学年で関数を定義し、既習の比例と反比例を関数として捉え直すとともに、数の範囲を負の数の範囲に拡張する。関数の表現としては、式を中心として数表やグラフとの関係に着目しながらそれらの性質を見出していく。第２学年では、一次次関数について同じように学ぶが、ここでは数表を中心に「変化の割合」という関数の重要な概念を学び、それを視点として式やグラフでその特徴を分析する。さらに、第３学年では関数 $y=ax^2$ について、第２学年の学び方を踏襲する。

オランダの教授－学習軌道を鏡とした日本のそれを検討するとき、次の２点が大きくことなっている。

第１点は、日本では、定義が先ずあり、その意味内容は漸次習得されていく。これに対して、オランダでは具体的な場面を参照して意味づけた様々な内容の学習を踏まえて定義がなされる。これは、教授・学習軌道としては正反対である。

第２点は、特に日本で顕著であるが、日本は学習する関数に関連する性質のみに限り内容を学んでいくのに対して、オランダでは様々な内容を混在させ、スパイラルに学んでいく。この点で、日本は数学的対象を固定し、そのまとまりで学年の内容のまとまりを定めるが、オランダは様々な内容の混稀の中で様々な数学的対象が同時に学ばれる。

第３点は、いずれの国でも云えることであるが、関数で重要になる「変化の割合」の学習が限定的である点である。日本でもオランダでも、変化の割合を学が、それが本格的に活用される場面が少ない。特に、日本は学ぶ関数が学年ごとに固定化されているが、変化の割合はグラフや関数の利用において活用されることはない。すなわち、グラフは図形的な性質が学習の対象になり変化という側面が弱くなっている。さらに、利用においては計算で答えを求める代数的な処理が優勢であり、変化の割合は登場しない。変化の割合の生徒の理解が困難である背景には、こうした無関連な学びが大きく影響していると思われる。その意味で、RME の関連付けの原理が参考になるように思われる。

「教授－学習軌道」を考えるにあたり、日本のカリキュラムは関数を早期に提示しすぎており、オランダの展開を参考とするなど、異なるカリキュラム編成も考えられるのではないだろうか。

第2部

はじめに

第2部では、高等学校でのグローバル人材の育成において有望であると思われる国際的な数学コンテスト「数学 A-lympiad」及び「IM²C」を取り上げ、その背景にある数学教育観、コンテスト課題の特色を考察し、併せて附属高等学校数学科教員が大学教員と協働して参加をした経緯について述べる。

これらのコンテストもオランダの「現実的数学教育論」がその背景にある。現実的数学教育論の学習過程は、児童・生徒に意味ある現実世界の文脈からスタートし、次第に形式的な数学へと至り、その後も他の場面に活用する。例えば、HAVO/VWO 用教科書『現代数学 B』（Moderne Wiskunde B）では、「対数関数」を水草の成長の場面で水草が水面を覆う面積を時間の関数として導入し、具体の中から対数の性質を見出していく。さらに、その応用として、乾電池の残量の時間的な変化や、ネズミの個体の時間的増大の現象などを、現実のデータを基に考察する。さらに、「研究と職業へのオリエンテーション」でプロジェクト型の探究学習を行うよう配慮されている。さらに、全国最終試験でも、現実世界や社会的な文脈で派生する問題を解決する。数学は必須科目であり、短答式・記述式課題で構成され、3時間で 20 問程度ある。その特徴は、身近な文脈が参照され、長文であり、OECD PISA の数学的リテラシーの評価枠組みの基盤となっている（伊藤，2009）。

具体的であるために、問題の要約を数学 A と数学 B で各1問ずつ示す。数学 A は、2014 年度の HAVO の問題で、環境問題に関わって代替エネルギーを導入する状況で、風力発電と化石燃料のコストを比較し、いずれが廉価であるかを問うものである。数学 B は VWO の 2007 年度の問題で、レタースケールの構造に着目し、目盛りが等間隔でないことを三角関数の微分により説明するものである。

風力発電

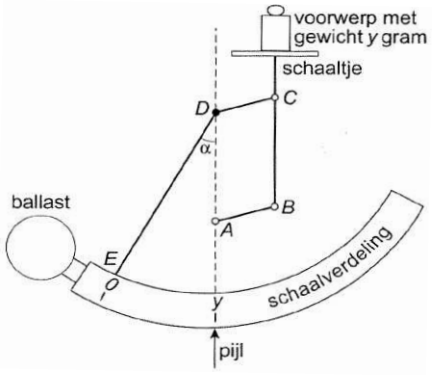
大型の風量タービンの費用を千単位で分割してシェアをする。1単位は 351€で、500kWh を 16 年間供給する。加えて、維持費として1単位で年 17€を支払う。ある家庭では年の電力消費が 4000kWh 必要である。この状況で、次の2つオプションの何れが廉価か。

（1）16 年間、8 ユニットを購入し、1kWh 毎に 0.07€の税金を払う。

（2）現状のままの 16 年間電力契約をする。1kW は税込み 0.22€である。代わりにユニット購入費と維持費にかかる全額を前金として年率 0.3%の利子で預け、払い戻しを受ける。

レタースケール

右図には、レタースケールの仕組みが描かれている。矢印は、D を中心として鉛直方向から回転した大きさで重さ（gr）を表す目盛りを示している。安定器（ballast）は、秤に何も乗せない時に DE が鉛直に設定する道具である。ED と BC の連結部は固定されている。y gr の物を秤にのせると、結合部 CDE は点 D で角度 α ラジアン回転する。円形をした秤と安定器も回転し、矢印は秤の目盛で y の値を指す。点 A, B, C がヒンジになっているため、秤はいつも水平な状態になっている。



レタースケールでは、次の関係が成り立つ。 $y = 70\dfrac{\sin\alpha}{\sin\left(\alpha+\dfrac{1}{4}\pi\right)}$ （α はラジアン）

（1）図中の α を測定し、y の値を求めよ。

（2）$y = 70$ のとき、α の値を求めよ。

（3）$\dfrac{dy}{d\alpha} = \dfrac{70\sin\left(\dfrac{1}{4}\pi\right)}{\sin^2\left(\alpha+\dfrac{1}{4}\pi\right)}$ を示せ。

（4）この秤には 100gr までの目盛があり、その間隔は異なっている。目盛の間隔が最も大きい α の値に対して $\dfrac{dy}{d\alpha}$ は最小になる。α の値を求めなさい。

全国最終試験の問題は現実的な場面を取り上げているものの、形式的な計算、公式への数値のあてはめ、既に数学的に整備されたグラフや表を扱ったりするような小問の課題から構成されている。その意味で、教科書の問題や全国最終試験の問題は、現実的数学教育論の趣旨に基づいているが、数学を通して育成したい数学的モデル化、高次の思考、問題解決のプロセスを真性に評価できるものとは言い難い。そこで、オランダでは、数学Aに対して数学 A-lympiad を、数学Bに対して数学 B-Day という、オープン・エンドな問題解決を通して、問題解決や高次のスキルを育成し、また評価するコンテストを開発し、全国一斉に実施することになった（Haan & Wijers, 2000）。

数学 A-lympiad と数学 B-Day

フロイデンタール研究所は、現実的数学教育論をより充実させるために、数学 A-lympiad と数学 B-Day を施し、HAVO と VWO の最終学年の生徒が 4 名のチームで午前 9 時から午後 4 時まで協働で解決する。その成績は、卒業試験の成績の一部に加算される（Wijels & Haan, 2016）。

ここでは、文系学生向けの数学 A-lympiad について紹介する。数学 A-lympiad は、後期中等教育において科目「数学 A（C）」を履修する第 11-12 学年（16-18 歳）の生徒のための数学競技会であり、フロイデンタール研究所が統括している。その名称は科目「数学 A」と「数学 Olympiad」コンテストの合成語であるが、その目的、実施方法、評価の在り方は数学 Olympiad と本質的に異なっている。実際、数学 Olympiad は、数学に優秀な個々の生徒を対象とするのに対し、数学 A-lympiad は、文科系の生徒を対象とし、参加校の生徒が 3-4 名でチームを編成し、現実世界のオープン・エンドな問題解決に協働で取り組み、レポートを作成する。

1989 年、フロイデンタール研究所により「数学 A-lympiad 委員会」が組織されていた。委員会は、カリキュラム開発者、教師、数学者からなり、共同で評価問題を作成し、また生徒のレポートの最終評価を行う。競技会は国内予選ラウンドと国際決勝ラウンドからなる。予選ラウンドは 11 月、決勝ラウンドは 3 月に開催される。予選ラウンドは、基本的に 11 月第 2 金曜に各学校で実施される。予選ラウンドには、オランダの他、隣国ドイツ、ベルギー、デンマーク、オランダ領キュラソー諸島、イランなどから 1000 を超えるチームが参加する。その際に、問題は、英語、ドイツ語等複数の言語に翻訳される。予選ラウンドのチームの編成や競技会当日の運営は、各学校の裁量に任されている。

各学校は予選ラウンドのレポートを評価し、最優秀の論文（最大3篇）を数学A-lympiad委員会に推薦し、委員会は審査を通して決勝ラウンドに進出する12チームを選ぶ。さらに、デンマーク、ドイツ、キュラソー諸島からも参加国の判断で1-2チームが決勝ラウンドに進出する。各国には数学A-lympiadの責任組織が定められており、各国での国内ラウンドをオランダに準じて実施する。決勝ラウンドは、3月の週末にオランダのVeluwe国立公園の会議場に集い、新しい課題に取り組む。決勝ラウンドは、課題がより難しく、広範である。参加チームは、金曜日の11時から土曜日の13時まで問題に取り組み、見出した解決をポスターセッションにより英語で口頭発表を行う。

以下では、2016-17年度の数学A-lympiadの国内予選の課題「あなたを支える太陽と風：アンバーグリーンの実現（In the sun and the wind in your back: The realisation of Ambergreen）」の概要を紹介する。課題の内容は、代替可能エネルギー(太陽光や風力発電)を使用するクリーンな都市設計をするという類の総合的なものである。課題はデータ、グラフ、地図等を含めA4サイズで14頁ある。

あなたを支える太陽と風：アンバーグリーンの実現

近年著しく発展しているアンバーハーヴェン市で新しく造成されるアンバーグリーンという町の南東に位置する住宅地域で、持続可能な街として再生可能エネルギーにより自給自足が可能かどうかを調査する実験が行われる。アンバーグリーンに建築される175軒の住宅の住民は、太陽エネルギーと風力エネルギーの利用方法を共同で決定する責任を持ち、それにかかる費用を公平に負担する。その際、住民は、市議会と専門家から助言を仰ぐ。

最初の課題

エネルギー源ごとの世帯当たりの平均コストと、エネルギー発電量への天候の影響を調べる。

課題1：エネルギーコスト

以下のデータに基づき、化石エネルギー（ガスと石炭火力発電所）消費と、ソーラーパネル発電によるエネルギー消費との、世帯当たりのコストの違いを求めよ。

データ：

・世帯当たりの年間平均エネルギー消費は、電気が3500kWh、ガスが1500 ㎥。

・石炭火力発電所からの電気のコストは、1kWh当たり平均17セント（基本料金、諸税、税額控除込み）。

図6．アンバーグリーンの計画図

・ガスは1 ㎥当たり28セントで、1 ㎥当たり26セントのエネルギー税が追加される。加えて、基本料金として年間195ユーロ（消費税込み）かかる。

・太陽光エネルギーの送電費用はかかないが、ソーラーパネルは購入する。その値段は1 ㎡当たり300ユーロで、1 ㎡当たり年間平均150kWh発電し、耐用年数は20年である。

課題2：暖房や給湯はガスか電気か

ガスから電気に切り替えると、暖房や給湯で18,500kWhを余分に使用する。

暖房や給湯のための年間のコストを、次の3つの場合について求めよ：ガス；化石燃料からの電気；3 ソーラーパネルからの電気。

課題3：ソーラーパネル

実際の状況は、上記課題に示されることよりも複雑である。

ソーラーパネルを使用するこの世帯は、1 日当たり平均 8kWh の電気を使用し、1 日当たり平均 8.9 kWh を発電する（グラフの横軸に平行な直線）ので、賄える。それでも電気が不足する日がたくさんあった。この月の不足電気量を求めよ。

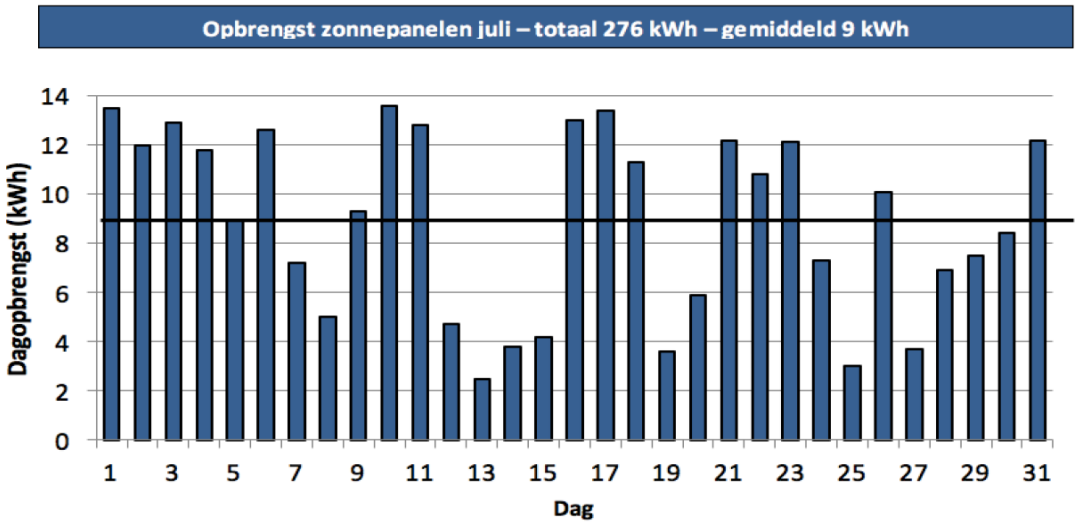


図７．６月のソーラーパネルの発電量

課題４：ソーラーパネルの設置

ソーラーパネルの発電量は、パネルの設置状況に左右される。次の２点が関係する。設置角度(ソーラーパネルと地面とがつくる角度)。住宅の向き(パネルの南向き設置は、西向きや東向きよりも有利)。

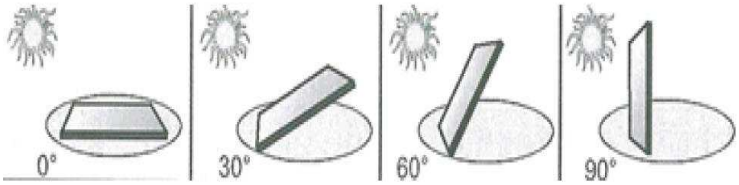


図８．設置角度

次のグラフは、住宅の向きとソーラーパネルの設置角度に基づく発電量を表す。

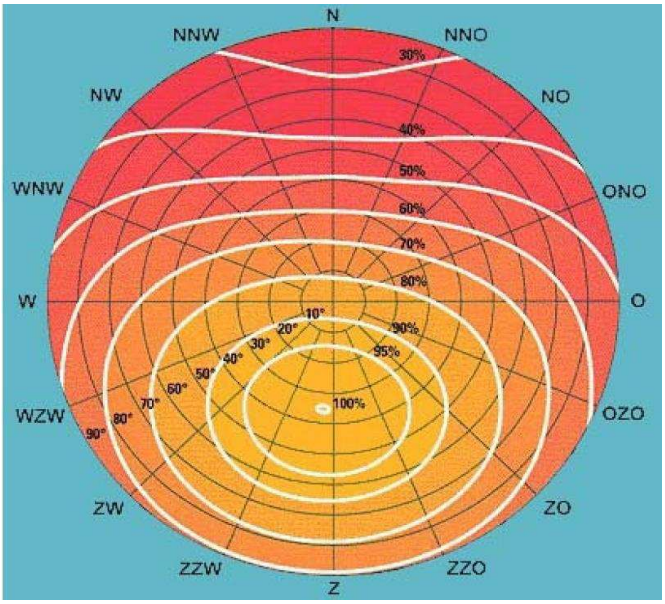
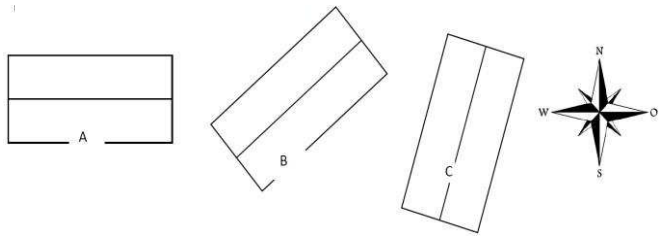


図9. 向きと設置角度に基づく発電量

この図9はわが国では見慣れないグラフであり、そのようなグラフを解釈する力も本課題は必要としている。この図ラフは、東西南北を16方位で示しており、等高線は発電効率を示している。

次の向きの3つの住宅における最大発電量と、ソーラーパネルの望ましい設置角度を求めなさい。



課題5：風

風力発電を考える。風力発電機は風力エネルギーを電気変換する。その電気供量は風速と発電機のサイズに左右される。サイズは、出力3000kWの大型や住宅屋根用の出力0.5kWの小型もある。風速は日や時間ごとに変化する。太陽エネルギー供給は季節や昼夜で周期性があるが風力はそうでない。次の図は、市のある地点でのある1週間での風速と発電量を表す。

横軸は風速(km/h)、縦軸は発電量(メガW)。この風力発電機が7月23日から29日までの1週間に供給する電力量を求めなさい。

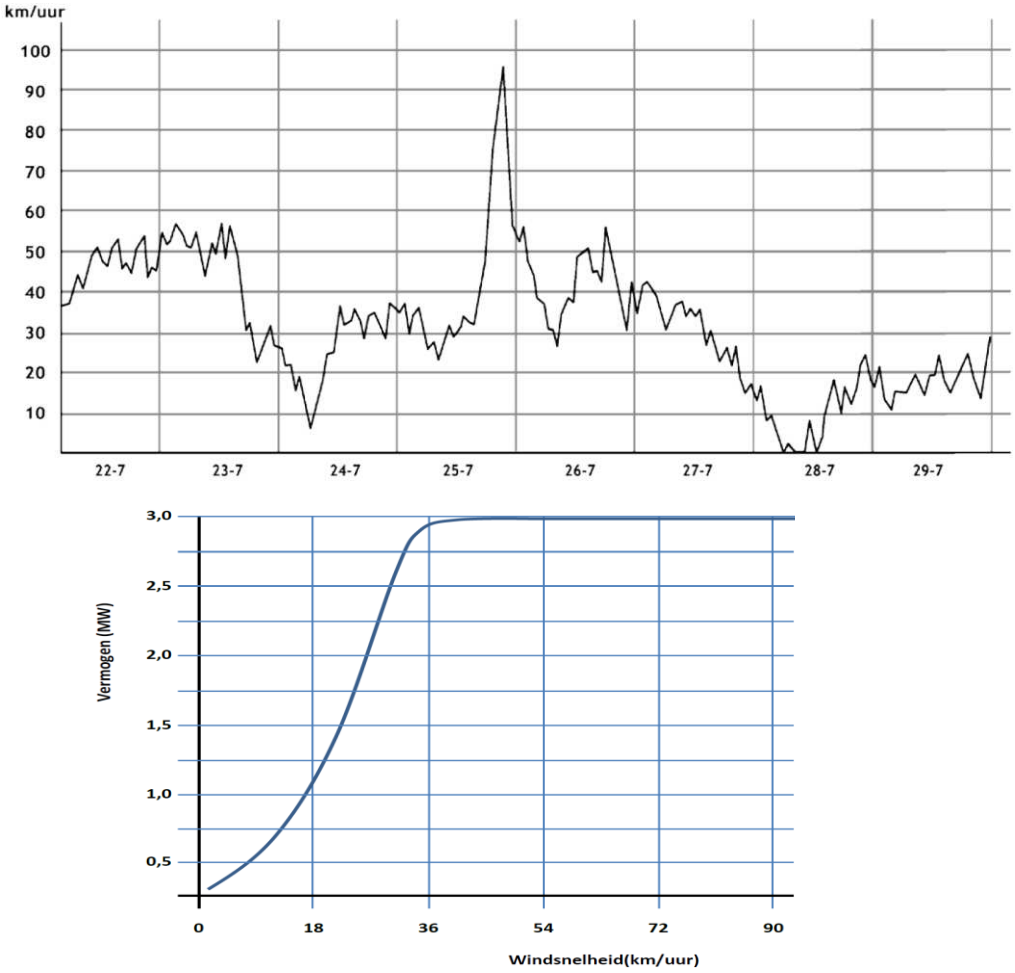


図 11. 風速と発電量

最終課題

アンバーグリーンは、クリーンエネルギーへの完全移行を望んでいるが、ソーラーパネル 1 ㎡当たりの出力がまだ小さく、2016 年において完全移行は可能でない。ただし、数年後には出力が 2 倍になることが期待されており、その時には完全移行が可能となる。各世帯は、大型か小型のソーラーパネル、3 種類の風力発電機を選択できる（本稿ではデータを省略する）。ソーラーパネルは南向の設置が最善であるが、計画図のようにすべての住宅が南向きではない。他方で、クリーンエネルギーの余剰電力は送電網に戻せず、また蓄電池も効率的ではない。

電気使用量は世帯によるが、平均して 1 年間約 3600kWh である。電力需要は毎月一定と仮定し、暖房や給湯には引き続きガスを使用する。

課題

自治会の要望に基づき、各住宅の向きに応じて発電機器の購入について個別に助言を与え、風力発電機やソーラーパネルを希望しない場合に代替案を示すものとする。

1．各住民がソーラーパネルと風力発電機で最善の選択ができるよう、A4 のリーフレットをデザインしなさい。

2．自治会向けのレポートで、ソーラーパネルメーカーと風力発電機メーカーを公平に扱い、住民が最善の選択ができるように根拠を示しなさい。

以上が 2016 年度の数学 A-lympiad 予選課題の概略である。数学 A-lympiad は、数学が実世界と関連し真実味があるという信念、数学の問題に探究的に取り組むことの楽しさ、グループで協働して数学的活動に取り組むことのよさを生徒が育成する機会になっている。また、現実の問題は実際に解が一意に定まらないことが多く、このような問題への取り組みを通じて、活用力の育成を図ろうとしている。現実的数学教育論にもとづく授業や試験問題のみならず、こうした探究的で協働的なコンテストは、わが国の数学教育にとって示唆に富んでいる。なお、オランダでは、理系の数学 B（D）履修者向けに、予選ラウンドの日に「数学 B-Day」という類似のコンテストを実施している。また、初等学校では「Arithmetic Day」というコンテストもある。これらはオランダ国内のみのコンテストであるが、全ての児童・生徒が算数・数学の課題解決に探究的で協働的に取り組む機会が設けられている。

RME の国際的展開と IM²C の登場

現実的数教育論は Realistic Mathematics Education（略称 RME）として、欧米の数学教育に影響を及ぼしている。例えば、OECD PISA の数学的リテラシーの評価枠組みの開発や、EU の第 7 次研究・技術開発枠組み計画（FP7）による数学・科学の教師教育の国際共同プロジェクト Mathematics and science for life（略称 Mascil）の教師教育用のモジュール開発において主導的な役割を果たしている（Doorman, Jonker, & Wijers, 2016）。また、米国では Freudental Institute US（FI-US）が設立され、RME に基づくミドルスクール向けの教科書 Mathematics in Context（略称 MiC）を開発している。さらに、欧米のみならず、「国際 RME 会議」も各年で開催されるようになっており、2015 年に第 5 回会議が開催された。

RME が次第に諸外国に影響を与える中で、人文系の数学 A-lympiad のような国際コンテストを理系の数学 B-Day でも実施する計画が立ち上がり、IM²C（International Mathematical Modelling Challenge）というコンテストが組織され、何年かの試行を重ね、2015 第 1 回がスタートした。組織立ち上げにあたり、フロイデンタール研究所で数学 B-Day の委員長の Henk van der Kooij 氏や数学 A-lympiad 委員長の Ruud Stolwijk 氏も参加している。IM²C は、米国の非営利団体の Consortium for Mathematics and its Applications（COMAP）が基幹組織となる数学的モデル化のコンテストであり、A-lympiad と同じように 4 名のチームで国内予選を行う点で協働的な性格を持つものであるが、実施形態において大きく 2 点異なっている。一つは、インターネットを利用する点であり、もう一つは、コンテスト実施形態と期間期間を各国の事情に応じて設定できることである。具体的には、各国の実施組織は、指定された期間までに参加チーム数を IM²C 国際委員会に登録し、それらのコントロールナンバーを受け取る。1 チームは同一高校の 4 名の生徒とアドバイザー（高校の数学科教員）からなり、各チームは各国が定めた連続する 5 日間で課題に対するレポートを作成し、アドバイザーはそのレポートが正統であることの証人となる。5 日間で作成するレポートは母語で作成してもよい。各国に実施組織は最大 2 編のレポートを決定し、英文で作成したレポートを国際委員会にメールで提出することになっている。国際委員会は、各国から提出されたレポートを審査し、入選作品を選定し、最優秀チームとアドバイザーを表彰式に招待する。なお、国内予選の実施方法には自由度があり、何等かの方法で 2 チームをあらかじめ選抜し、その 2 チームに 5 日間の課題解決に取り組ませてもよい。

以下では、IM²C の 2017 年の課題（Jet Lag）について、その概略を紹介する。課題は、国際会議を開催する場所を設定する際に、飛行機の移動による所謂「時差ぼけ」の影響を考慮し、会議の生産性が高まるようにするにはどうしたらよいかというものである（COMAP, 2017）。

時差によるジェット機疲れ

国際会議を組織することは、いろいろな点で容易ではない。その一つが、参加者は母国から異なる時間帯の会議開催地へ移動する際のジェット機疲れ、季候や時期などの影響である。これらは会議の生産性に影響を与えうる。**国際会議マネージメント社**(The International Meeting Management Corporation (IMMC))は専門家グループ（みなさんのチーム）に参加者人数、居住都市、会議の凡その日数、クライエントからうける要望など種々の情報が与えられとき、会議開催地（複数でもよい）を助言するアルゴリズムを創ることにより、この問題の解決を支援するよう依頼する。参加者は世界の全域から集い、ビジネスや学術会議は過密な日程において、ハードな知的チームワークをこなし、参加者全員が最終成果に等しく貢献することが期待される。査証問題や政治的な制約はないものとみなすので、多くの都市が会議候補地となりうる。アルゴリズムの結果は推奨される候補地（地域、時間帯、もしくは特定の都市）であり、会議の生産性を最大にするものである。

IMMC の財源は限られているが、他の会社も同様なので、経費は二次的な基準とみなされる。 また、IMMC は参加者が会議一週間前に招聘して環境に順応させたり長く疲弊する旅の後に休息する時間を与えたりする余裕はない。あなたたちのアルゴリズムを少なくとも次の２つの場合でテストしなさい。

シナリオ１：“小さな会議” **時期：６月中旬** **参加者：以下の国（地域）から６名が参加** • カリフォルニア州モンテレー、米国 • ズートペン、オランダ • メルボルン、オーストラリア • 上海、中国 • 香港（特別行政区）、中国 • モスクワ、ロシア	**シナリオ２：“大きな会議”** **時期：１月** **参加者：以下の国から１１名が参加する** • マサチューセッツ州ボストン、米国（２名） • シンガポール • 北京、中国 • 香港（特別行政区）、中国（２名） • モスクワ、ロシア • ユトレヒト、オランダ • ワルシャワ、ポーランド • コペンハーゲン、デンマーク • メルボルン、オーストラリア

提出物は 1 ページの要約シート、そして解答は 20 ページ以内とする。補足資料と参考文献は別途添付し 20 に含めない。

以上が IM2C の 2017 年度の問題の概略である。課題はシンプルで、A4 サイズ 1 頁である。問題を定式化する際の要因や条件・仮説、関連するデータはない。この意味で、課題を数学化して探究する際にかなりの自由度があり、数学的モデル化過程としては高度である。

附属高等学校数学科の取り組み

金沢大学附属高等学校は、国立大学の附属として、先進的・先駆的な教育研究の推進することを使命としている。平成 16 年頃より、附属高校と大学の数学教育専修の教員が協働し、オランダの現実的数学教育論の研究に着手し、平成 19 年には附属高校の川谷内の支援のもとで大学院生の辰野が数学 A-lympiad コンテストを実施した（瀬沼・大谷・辰野, 2008）、平成 20 年には川谷内・伊藤・大谷が、オランダでの数学 A-lympiad コンテストの実地調査を行った。その後、３回にわたりオランダの予選ならびに本選を大谷が継続的に実地調査を行った。

本校は平成 26 年度より文部科学省の「スーパーグローバル・ハイスクール（SGH）」研究指定校となり、数学科の外山教諭が授業において数学 A-lympiad コンテストの題材を授業に取り入れ「教科の SGH 化」と呼ばれる提案を行った。その際の課題は、「休憩をとりながら働く（Working with Breaks）」であり、２年生３クラスが班活動で課題に取り組み、ポスターを作成し、発表を行った（外山・大谷, 2016）。

また、平成 27 には、コンテストの試行として数学 A-lympiad コンテストの国内予選に予備参加を行ったりするなどして、教科のグローバル化に向けて取り組んできた。その際の課題は「天気ほど変わりやすいものはない（Nothing as Changeable as Weather）」というものである。この取り組みは、数学という理系教科で SGH 研究を行う指針を提供することを試みた。さらに、平成 28 年度より、ユトレヒト大学との協定により「日本数学 A-lympiad 委員会」を組織し、金沢大学が数学 A-lympiad の日本での幹事校となった。正式にコンテストを実施することは、わが国の高等学校数学科における探究的・協働的な学びの在り方の再検討を促し、改善の方向性を示唆する点で全国の公立学校の新しい実践のモデルケースとしての先導的役割を果たすことになり、その実践的意義は大きいと考える。

2016-17 年度には、附属高校数学科の大島教諭が中心となり、数学 A-lympiad と IM²C に参加した。

数学 A-lympiad に関しては、平成 28 年 11 月 23 日の祝日に、附属高等学校にて実施した。6 チーム 23 名が午午前 9 時から 16 時まで、各チームで課題に取り組み印刷したレポート 1 部を数学研究室に提出した。英文課題に取り組み、レポートは日本語で作成した。本選出場２チームを決定する際の評価の観点は、オランダで行われている以下の観点にもとづき、附属学校数学科教員と大学教員の協議により決定した。

・最後まで成し遂げられているか
・数学を用いる際、根拠や過程を明確に示しているか
・図・表・式・グラフ等、数学的表現を適切に活用しているか
・課題に対する考察が深いか
・議論の仕方が妥当で、その判断の根拠や理由が示されているか
・議論の前提が明確であり、飛躍はないか
・読みやすさ、論の組み立て、引用・参考文献等を明示しているか

この評価の観点は、IM²C のレポートの評価においても同様に適用した。平成 28 年に、A-lympiad に関してはイランに続き、東アジアで初めて正式に２チーム７名（女子３名、男子４名）が本選に参加をし、附属高校の戸田と大学の伊藤・大谷が引率を行った。

本選は 2017 年 3 月 9 日-10 日の 2 日間に亘り Velue 国立公園で開催され、19 チームが参加した(写真上）。各チームは宿泊を兼ねた個別のロッジで課題に取り組んだ。

課題は、人々の往来の混雑さをモデル化するものであり、複数の開場で開催される音楽フェスティバルの開催を組織し、参加者の効率的な配分と移動の際の混雑度を最小限にする計画を立てるものであり、いわゆる「渋滞学」の分野に属する（課題の内容は 1 年間公開禁止であるため、数学との関わりが理解しにくにところであるが、詳述は避けることとする）。問題の．初日の夕刻には各チームの組織案を提出した。その際に、フェスティバルに参加する人気演奏グループの公演がキャンセルになるという予期しない条件が与えられるとともに、他のチームの組織案を受け取り、翌日の午前中までにその案を批判的に検討し、自分のチームの組織案のメリットを明確にする提案をレポートとポスターにまとめなくてはならなかった。

本選２日目の午後には、参加者全員によるポスターセッションが英語で行われ、他のチームや引率教員や委員会委員の質問の答えるものであった（写真下）。ポスターセッションの様子本選で提出したレポートとポスターセッションの相互評価も参考として各チームの取り組みは国際委員会で評価され、附属高校の２チームは第４位グループに入賞した。

IM²C に関しては、2016 年度は附属高校の大島（現在県立金沢二水高等学校）がアドバイザーを務め、日本で初めて２チームが正式に国際大会に参加し、2 チームともに Successful Participant として表彰された。2 年度目の 2 チームは附属高校の川谷内がアドバイザーを務め、2 チームともに Honorable Mention として表彰された。これらのコンテストはまだ緒に就いたばかりであるが、金沢大学ならびに附属高校が中心的な役割を果たしながら、今後は日本全体にわたって参加校を徐々に広げていく予定である。

数学コンテストの意義

わが国では、現在、社会に開かれた高等学校数学科の学習指導要領の改訂が進められ、新「大学入学共通テスト」でも記述式問題の導入や思考力・判断力・表現力等を問う問題や評価システムの開発が喫緊の課題となっている。しかし、高等学校の数学教育は旧態依然であり、他方で、日常や身近な課題を題材として数学を活用して思考を深めることを目指す新テストの問題例も、テーマに偏りがあり、内容もさほど身近でもないように思われる。わが国の高等学校の数学科が真に探究的な学びを目指し、平素の授業の在り方を改善する際に現実的数学教育論は、わが国の高等学校の数学教育改革のモデルになりうると確信する。

註記　本稿は、筆者がこれまで発表した下記の論文に加除・修正を加えたものである。特に、第一部と第二部はそれぞれ以下の論文をもとにしている。

大谷　実（to apprear）. 関数領域における「教授－学習軌道」の一考察：オランダの中等教育下部構造の教科書教材の分析. 金沢大学 学校教育系紀要.

大谷　実・伊藤伸也・川谷内哲二（to appear）. 高等学校における探究的・協働的な数学コンテスト：数学 A-lympiad と IM²C への附属高等学校の参加. 金沢大学 学校教育系紀要.

謝辞

本研究は、科学研究費補助金・基盤研究(B)（課題番号：15H03493、研究代表者・長洲南海男）の助成により行われた。ここに記して謝意を表する。なお、本稿作成に際し、長洲南海男研究代表者よる校閲及び森下明美本科学研究費事務補佐員による校正に謝意を表します。

引用・参考文献

Cito (2016). *Examinations mathematics HAVO and VWO*. Arnhem.

COMAP (2017). *Consortium, 113* (Fall/Winter).

de Bruijn, I. et. al. (eds.), (2013). *Modern mathematics, 1A vwo*. Groningen: Noordhoff Uitegvers.

de Bruijn, I. et. al. (eds.), (2013). *Modern mathematics, 1B vwo*. Groningen: Noordhoff Uitegvers.

de Bruijn, I. et. al. (eds.), (2013). *Modern mathematics, 2A vwo*. Groningen: Noordhoff Uitegvers.

de Bruijn, I. et. al. (eds.), (2014). *Modern mathematics, 2B vwo*. Groningen: Noordhoff Uitegvers.

de Bruijn, I. et. al. (eds.), (2010). *Modern mathematics, vwo book 3B*. Groningen: Noordhoff Uitegvers.

Doorman, M., Jonker, V. & Wijers, M. (2016). Mathematics and Science in Life: Inquiry Learning and the World of Work. University of Education Freiburg.

Freudenthal, H. (1973). *Mathematics as an educational task*. Dordreht: D. Reidel.

Freudenthal, H. (1987). Mathematics starting and staying in reality. In Wirszup, I. (ed.), *Developments in school mathematics education around the world: Proceeding of UCSMP International Conference on Mathematics Education* (pp. 279-294). NCTM.

Gravemeijer, K. (1999). 'How emergent models may foster the constitution of formal mathematics', *Mathematical Thinking and Learning.1* (2), 155-177.

Gravemeijer, K. (2004). Learning Trajectories and Local Instruction Theories as Means of Support for Teachers in Reform Mathematics Education. *Mathematical Thinking and Learning, 6*(2). 105-128.

Gravemeijer, K. et.al. (2016). *Measurement and Geometry in Upper Primary School*. Sense Publishers.

Haan, D. de & Wijers M. (eds.), (2000). *10 years of Mathematics A-lympiad: the real world mathematics team competition*. Freudenthal Institute, Utrecht University.

IM²C: http://immchallenge.org/Index.html （2018年1月27日閲覧）

伊藤伸也（2007a）. H.フロイデンタールの数学観とその背景：人間の活動としての数学の検討を中心に. *筑波数学教育研究*26巻, 47-56頁.

伊藤伸也（2007b）. H.フロイデンタールの数学教授学における「数学化」の意味. *日本科学教育学会 研究会研究報告*21巻6号, 59-64頁.

伊藤伸也（2009）. OECD-PISAの「数学的リテラシー」評価枠組みの背景：H.フロイデンタールの数学教授論との関わりから. *科学教育研究*33巻4号, 321－329頁.

Jonker, V. & Wijers, M. (2016). *Mathematics and Science in Life*. University of Education Freiburg, Germany.
国立教育政策研究所（監訳）（2007）．PISA 2006年度調査評価の枠組み，ぎょうせい.
Lange, J. de (1987). *Mathematics insight and meaning.* Utrecth: Rijkuniversiteit.
Mascil: http://www.mascil-project.eu/classroom-material/ （2018年1月27日閲覧）
Ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschappen（OC&W), (2004). *Voorstel Herziene Kerndoelen Basisonderwijs*. Den Haag: OcenW.
文部科学省・国立教育政策研究所（2017）. *全国学力・学習状況調査報告書（中学校数学）*.
大谷 実（2010）. オランダの算数・数学教科書，単著，*日本数学教育学会誌・算数教育*, 92(8), 24-27.
大谷 実（2017）. オランダの現実的数学教育にみる数学的リテラシーの育成. 科学研究費補助金（基盤研究Ｂ）「教科と内容構成ビジョンの解明－米国・欧州 STEM・リテラシー教育との比較より」2017 年度報告書.
大谷　実（to apprear）. 関数領域における「教授－学習軌道」の一考察：オランダの中等教育下部構造の教科書教材の分析. 金沢大学 学校教育系紀要.
大谷　実・伊藤伸也・川谷内哲二（to appear）. 高等学校における探究的・協働的な数学コンテスト：数学 A-lympiad と IM²C への附属高等学校の参加. *金沢大学 学校教育系紀要*.
大谷　実・國次太郎（2008）. オランダにおける「数学A-lympiad」及び「数学B-Day」の現地調査：Scala Collegeでの取り組みと生徒のレポートの考察. *日本数学教育学会誌・数学教育*, *90*(1), pp. 42-51.
大谷 実・長洲南海男（2017）. オランダにおける STEM 教育の特色：Freudenthal 研究所の取り組みと米国の STEM 教育二重モデルとの対比より. *日本科学教育学会第 43 会全国大会（北海道教育大学札幌校）*. pp.202-204.
瀬沼花子・大谷実・辰野真夕（2008）. オランダにおける文科系高校生のための「数学-Alympiad」の背景と実際. *日本数学教育学会誌・数学教育*, *90*(1), pp. 42-51.
TAL (http://www.fi.uu.nl/archief/tal/tal.html, 2018.1.27 日閲覧)
外山康平・大谷実（2016）. 現実場面を数学的に考察し解釈する数学的活動に関する授業実践研究: オランダの数学コンテスト「A-lympiad」の授業化を通して. 高校教育研究67号，45-53.
Treffers, A. (1986). *Three dimensions: a model of goal and theory description in mathematics instruction - the Wiskobas Project*. Dordrecht: D. Reidel.
長洲南海男（2017）. 米国の STEM 教育の特質-二重モデルとは：連邦政府の法的，行財政的支援と Evidenced based research のパラダイムシフト. *日本科学教育学会第 43 会全国大会（北海道教育大学札幌校）*. pp. 120-121.
van Galen, F. et.al. (2008). *Fractions, Percentages, Decimals and Proportions*. Sense Publishers.
van den Heuvel-Panhuizen, M. (2001). *Realistic mathematics education as work in progress*. In F. L. Lin (Ed). *Common sense in mathematics education, 1-43. Proceedings of 2001 The Netherlands and Taiwan Conference on Mathematics Eduation*. Taipei, Taiwan.
van den Heuvel-Panhuizen, M. & Wijers, M. (2005). *Mathematics standards and curricula in the Netherlands*. ZDM, 37 (4), pp.287-307.
van der Kooij, H. (2010). Mathematics at work. In Pinto, M. & Kawasaki, T. (Eds.). *Proceedings of the International Group for the Psychology of Mathematics Education, Vol. 1*, pp.121-124. Belo Horizonte, Brazil.
Wijers M. & Haan, D. de (2016). Mathematics for teams (p. 5). *Reflections from inside on Mathematics Education in the Netherlands*. ICME13, Hamburg.

本報告書は、科学研究費助成事業・基盤研究(B)研究課題番号 15H03493
（代表・長洲南海男）の助成により作成しました。

発行人　　研究代表者：長洲南海男
平成 27 年度～平成 29 年度　科学研究費補助金（基盤研究（B））
教科と内容構成新ビジョンの解明
－米国・欧州 STEM・リテラシー教育との比較より
（課題番号　15H03493）

筑波大学・名誉教授
〒305-8572
茨城県つくば市天王台１丁目１－１
平成 30 年 3 月