

大学教育学会プロジェクト及び課題研究

2016 年度, 2017~2018 年度

現代のリベラルアーツとしての  
理数工系科目 (STEM)の開発と教育  
実践のために

最終報告書

(速報版)

2019 年 3 月



## 企画研究員名簿

○細川 敏幸 (北海道大学)

宇野 勝博 (大阪大学)

小笠原 正明 (北海道大学)

川添 充 (大阪府立大学)

五島 讓司 (新潟大学)

斉藤 準 (帯広畜産大学)

齋藤 芳子 (名古屋大学)

鈴木 久男 (北海道大学)

高橋 哲也 (大阪府立大学)

塚原 修一 (関西国際大学)

西村 秀雄 (金沢工業大学)

濱名 篤 (関西国際大学)

森 利枝 (大学改革支援・学位授与機構)

山田 礼子 (同志社大学)

山本 一雄 (神奈川工科大学)

吉永 契一郎 (金沢大学)

○印は代表

# 目次 (速報版)

## 〈総括コメント〉

1. 本課題研究の発端について  
小笠原 正明 (北海道大学) ……3
2. 研究の概要  
小笠原 正明 (北海道大学) ……7
3. STEM教育用モデル・テキストの開発  
鈴木 久男、細川 敏幸 (北海道大学) ……16
4. STEM 教育コンテンツ・データベースの構築と  
数学リテラシー教育の理論化・国際化  
川添 充 (大阪府立大学) ……18
5. STEM教育コンテンツデータベースの開発  
細川 敏幸 (北海道大学) ……21
6. STEMを中心とした文理融合プログラムの動向：  
比較の視点から  
山田 礼子 (同志社大学) ……23

# 総括コメント 1：本課題研究の 発端について

小笠原 正明（北海道大学名誉教授）

大学教育学会は 2015 年に法人化されましたが、事前の収支予測から 3 件の課題研究を維持するのは難しいということになりました。それで 2015 度分については新規課題研究の公募を見送りましたが、法人化後の経営が順調で、新しいプロジェクトを始めることが不可能ではないことがわかってまいりました。それで、当時会長職にあった私は、かねがね大学教育学会としてはどうしても手をつけなければならないと考えていた STEM 研究を、理事会とご相談しながら本年度からスタートさせました。ここでは STEM とは何か、なぜ大学教育学会でこの問題をプロジェクトとして緊急に検討しなければならないかを、ご説明したいと思います。

STEM とは Science, Technology, Engineering および Mathematics のことで、生物学における例の STEM 細胞とは関係がありません。日本語で理工系科目と呼んでもかまわないのですが、この日本語は意味する範囲が広すぎる上に、理系・文系というステレオタイプの仕分けを連想させて印象が良くありません。一方、STEM という言葉というか略語は、アメリカの科学技術振興政策に関連してずいぶん前から使われていたようで、2015 年 1 月、たまたま全米大学協会（AAC&U）との連携の覚書の調印のために同協会の 100 周年記念年会に参加したと時に、この分野が AAC&U にとっても重点分野であることを知りました。STEM も日本の「理系」と同様に幅広い分野を指しますが、より具体的なので、こちらの方が良いと感じたわけです。その後、AAC&U との連携は、LEAP: Liberal Education and America's Promise つまり教養教育改革を中心に進めようということになり、大学教育学会としては STEM 研究を連携事業の中心に据えることも選択肢の一つになりました。

AAC&U の百周年記念年会での印象を一言つけ加えますと、STEM のセッションは重点分野とはいえ、ささやかなもので、その雰囲気も周囲とは大分違っていました。アメリカの大学教育関係の学会・会議は日本のそれに比べると非常にアグレッシブで、エビデンスを示しながらこれでもか、とたたみかけてくるのですが、STEM のセッションはわれわれがその雰囲気を良く知っているふつうの科学者の集まりのようでした。つぎつぎに出て来る高等教育改革がらみの政策や予算、新しい概念や用語にとまどいながら、それぞれのディシプリンの事情に合わせて地道に改革を進めており、年会は異分野交流会のよ

うでした。STEM の各ディシプリンにはそれぞれ固有の教育の戦略とノウハウがあり、それに自信も持っています。新しい政策や予算誘導があったとしてもすぐには対応できないし、する必要もない。しかし、新しい潮流を理解した上で他の分野の専門家とも意見を交換しながら改善を進めたい、というところがSTEMセッション参加者から感じた一般的な姿勢でした。こういう活動なら日本でも違和感がない、ぜひ同様の運動を始めるべきだと思いました。

現在、STEM プロジェクトについて、その提案者としてどういう見通しを持っているのかを問われておりますが、私自身、STEM 教育は新しい局面を迎えていると思っています。それにはポジティブな局面とネガティブな局面の2面があります。

ポジティブな局面から言いますと、最近のSTEM分野の著しい発展です。この30年のあいだに情報革命と人工衛星革命とDNA研究の爆発とが同時に起こりました。それにより、人間の視野は素粒子レベルから原子分子レベル、生命レベル、地球惑星レベル、宇宙レベルへと深化・拡大し、全体がシームレスにつながっています。それがわれわれの世界観を一変させているのはご存知の通りです。これからは、AI人工知能やビッグデータが産業・経済・社会において大きな役割を占めるようになることが確実視されています。総合的なSTEMの素養のみならず経済学や社会科学の素養を身につけた人材が求められています。アメリカのみならず各国で膨大な予算がこの分野の人材育成のために注がれているのはそのためです。

ネガティブな側面とは、そのような世界的趨勢とは裏腹に、我が国ではSTEM分野の弱体化が危惧されていることです。近年、日本人のノーベル賞受賞者が相次いでいることは喜ばしいことですが、本年度受賞者の大隅さんをはじめ、受賞のインタビューで必ず日本の基礎科学は危機にあるとコメントします。まずお金がない、これは昔からのことですから驚きませんが、どうもお金がないことの質が違ってきているようです。もう一つ、人が集まらないのはもっと深刻な問題です。理工系分野の学部・学科はこの20年のあいだに大きく志願者を減らしています。その結果、STEM分野を支える層が薄くなって、高等教育では学力の低下も心配されています。特に、最近の大部分の大学がIR (Institutional Research)のために授業評価というより授業の人気調査をするようになりましたが、どの大学でも決まって数学と自然科学の授業が下位を占めているのは良く知られている通りです。要するに、学生に人気がないのです。

日本においてSTEM教育が振るわない原因の大半は、細分化されて教育において互いに交流しようとしなないディシプリンの姿勢にあると私は考えています。例えて言えば、学生は四畳半一間程度の非常に狭い空間に身を潜めて、小さな窓からしか外を見ようとしません。その窓は、大学入試で選択した科目に限られていますが、実は高校時代に確定

し、その一部は中学時代には選択していると言われます。そういう履修履歴がありますので、大学で新しい分野に挑戦しようという者はごく一部になります。一方、研究者は、ディシプリンの壁を越えて縦横無尽にものを考えていますので、ディシプリンの壁は本能的に越えています。ところが、いざ教育の問題になると、いろいろな事情のためにわざわざ狭い窓を設定して、そこから学生に語りかけるという姿勢をとります。例えば私のかつての専門は化学ですが、大学の低学年における分子科学関係の授業はほとんど物理学のようで、学生は化学をしたいと思って大学に入ったのに、物理をやらされたなどといえます。ところが、それが物理の教程でありうるか、あるいは物理の教程と整合しているか、といえそうではありません。その結果、大学一年生を相手に量子力学のシュレディンガー方程式を解かせようなどという無謀な化学の授業があちこちで行われることになります。物理の方も同様で、化学のことなどまるで考えていません。それぞれ化学の店と物理の店を開いているという意識しかないわけです。

それで大学教育学会の出番になります。大学教育学会には、一般教育学会と称していた時代から、さまざまな分野の専門家が集まっています。例えば会長の私の専門は物理化学で、副会長の山田礼子先生は社会学、事務局長の山内正平先生はランドスケープという学問が専門です。この3人が集まって何か話ができるのだろうか、と心配される方もおありかと思いますが、全然問題はありません。私たちは広い意味での学問、あるいは同じ意味での学術を共有し、同じく学生を対象とする教育に関係しているからです。

STEMを構成する科目は、もとをたどれば2系統、ギリシャ・ローマ時代のパイディアとテクネーに行きつきます。近代ドイツの大学が成立してからパイディアの中心である哲学が分裂し、自然科学の諸学が生まれます。テクネーの方も一貫して分裂が進んで、今では無数ともいえる分野が併存し、それぞれディシプリンを形成しています。しかし、これは非常に重要なことですが、パイディアにおいては総合性が重要です。世界がいかにあるかという知識を、それぞれがいかにいきるべきかという問題と切り離さずに身に着けるといふ古代以来の教育理念があります。1990年の一般教育学会誌に発表した記念すべき論文で藤沢令夫は、職業教育であるテクネーも同様で、まったく同等の存在論的身分・資格を持っていると述べています。イディアの認識への努力にもとづいて「その似像を感覚のうちに造り出そうする営み」である限り、かならずや善を目指し、善に導かれるはずであるとしています。

つまり何を言いたいかと言えば、自然科学も数学も工学も技術も時代の要請に応じていまあるようにモザイクのように分裂してしまっただが、全体性を回復しようとする意識的な努力を重ねることにより、人間の知恵としての力を回復し、本来あるべき役割を果たすようになるということです。それが1979年の創設以来、この学会が目指してきたもの

でもります。従って、結論として、私がこのプロジェクトに期待することは、STEMの各分野及びSTEMと他の分野が互いに積極的に乗り入れて、大学教育のために何ができるかを議論することです。その一つの方策として、複数分野あるいは全体を、統合ではなくてインテグレートするために、何がキーワードとなるか、何がキー概念になるかを見出していきたいと思います。

インテグレートをあえて強調するのは、かつての苦い経験があるからです。1980年代からでしょうか、教養教育における総合科目の重要性が指摘され、その授業を開発する動きが起きました。その結果、ほとんどの大学で開講されるようになりましたが、その実態は実は恐るべきものでした。複数といってもゆうに10人を超えるような講師を並べて総合と称していました。これは総合ではなく単なる羅列です。分野間の相互作用が前提とされていません。

インテグレートが可能であるという見通しがあれば、具体的なコンテンツを、あるいはティップスを公表していただきたい。さらに、そのアイデアを実際の教育に生かすために必要な教材を開発し、研修コースを企画していただければゴールが見えてくると思います。これはやや過大な要求で、無責任のそしりを免れないのは重々承知しておりますが、学会として可能な限りの支援を行いたいと考えております。よろしくお願いいたします。

(本報告は、2016年12月4日に千葉大学で行われた課題研究集会におけるシンポジウム「現代のリベラルアーツとしての理数工系科目(STEM)の開発と教育実践のために」の冒頭で行われた会長挨拶をもとにしています)

## 総括コメント 2：研究の概要

小笠原 正明（北海道大学）

### 1. 研究の経緯

法人化 2 年目の 2017 年度からは、学会全体として 3 件の課題研究を維持することが財政的に可能だという見通しが立った。理事会による審議の結果、2016 年度末に正規の手続きに従って課題研究の学会内公募を行うこととなったので、同年度内に会長の主導で組織された STEM ワーキンググループが「現代のリベラルアーツとしての理数工系科目（STEM）の開発と教育実践」を新規の課題研究として申請した。審査の結果、2017 年度から 2 年計画の課題研究として採択されたが、以上のような経緯のために、実質的な研究活動は 2016 年度を初年次、以下 2 年次、3 年次として扱うのが適当である。本報告では研究年次をそのように記述し、同様の理由で、STEM ワーキンググループの研究も「本研究」あるいは「本プロジェクト」と呼ぶことにする。

本研究を契機として、あるいはそれと並行して、本研究組織のメンバーを代表とする科研費研究が以下のように複数採択された。

- ① 「全米大学協会 STEM 教育の調査研究」科研 B（代表：鈴木久男）
- ② 「『高水準の数学的リテラシー』概念下の教育デザイン・実施・継続的改善とその理論」科研 B（同・川添充）
- ③ 「現代のリベラルアーツとしての理数工系科目(STEM)の開発と教育実践のために」科研 B]（同・細川敏幸）
- ④ 「グローバル対応型 STEM 高等教育の国際比較を通じた頭脳循環プログラム開発研究」科研 B（同・山田礼子）

そのため本研究は、複数の科研費チームのゆるい連合体によって推進されるという、これまでに例のない展開を見せた。本学会の『大学教育学会誌』、課題研究集会シンポジウム、大会時のラウンドテーブル、ホームページの「STEM ひろば」などは、それぞれの研究の成果発表の場として有効に活用された。それぞれの科研費研究における本学会の役割分担は明快で区別できるが、研究成果のとりまとめにおいては一部重複していることをあらかじめお断りしたい。

### 2. 問題の所在



課題研究の申請が検討されていた 2016 年秋の段階で、STEM ワーキンググループのメンバーの一人であった齊藤（[注 1]）が、本研究のきっかけとなった AAC&U の活動を中心に調査を行った（[1]）。それによると、米国では、日本と同様、優秀な STEM 学生の確保に困難生じているほかに、人種間格差、留学生の逆格差（留学生の学力が高い）、STEM アセスメント国際比較で低順位にあるなど、わが国とは異なる事情をかかえていることもわかった。AAC&U の活動で印象的だったのは、STEM 教育振興のために伝統的な万華鏡プロジェクト（Project Kaleidoscope）以外にもさまざまな支援活動を行っていることで、その数は 2016 年の時点で合わせて 13 件にも及んでいた。傘下の大学・カレッジにおける特色ある取り組みにもアクセスできるようになっており、AAC&U のウェブサイトが STEM 教育振興のためのフォーラムのような役割を果たしていると推測された。

### 国際的動向

2016 年 12 月に千葉大学で行われた課題研究集会で、特別枠で行われたシンポジウム「STEM 教育シンポジウム」では、主として海外における STEM 教育政策とその動向が紹介され、わが国との比較が行われた。多くの国が政策として STEM、科学と技術、教育と R&D に重点的な資源配分を行っており、イノベーションを生み出す理工学人材の育成を進め国の生産性や経済実態を向上させようとしている。しかし、当然のことながら、国によりその表現や重点の置き方は違っている。

羽田（[2]）は、米国の STEM 教育に対する日本人の理解は一面的だと指摘している。日本にも強い影響を与えたブッシュ政権下のスプリングス報告にもとづいた学習成果測定政策に対しては、米国内でも強い批判があった。また、米国の STEM 教育の主張は、共和党によるリベラルアーツ教育に対する批判とセットになっており、ときにリベラルアーツ不要論とセットで語られる傾向にあるが、それに対して大学サイドからは、STEM 学習と非 STEM 学習は相補的な関係にあるという強い反駁も行われている。羽田は「このような政治的社会的文脈を無視して国際動向などと単純化してはならない」と警告している。

山田（[3]）は、2010 年代において米国、豪、英において科学技術高等教育政策の一環として STEM 教育を K12 から高等教育にかけて充実させようとしている事情を説明している。米国では、STEM 分野に入学した学生のうち最終的に学位を取得した学生は 40% に満たない。学習意欲を喚起しない入門科学や難しい必修数学科目の改善、また女子学生やマイノリティー学生に対して好意的でない当該分野の文化を変えるなどの米国固有の重点政策は、このような事態の改善を意図している。オーストラリアでは、総ての段階での教育を通じてのサイエンス・リテラシーの持続を目指しており、コミュニティとして

STEMにかかわらせることを目標として掲げている。英国では、STEM 学生のコスト負担等が他分野と比較して大きいことが移民政策との関係で問題になっている。また、中等教育と高等教育との接続という観点から、資格試験の強化など QAA のアクレディテーションともかかわる教育の質保証の視点からの提言が目につく。

日本では、2015 年の「理工系人材育成政策」において若手人材の育成・活躍促進と大学の改革・機能強化を中心に基盤的な力の強化をうたっている。各国の動向と比べて総花的でこれといった特徴は見られないが、官民をあげて科学技術イノベーションを強力に推進しようという決意はうかがわれる。

これとは別に、わが国の STEM 高等教育の内実に迫った問題提起として、羽田は、1) 高校における数学の選択制が市民としての STEM 教育を受ける基盤を掘り崩している、2) 現実を分析するためのツールとしての数理科学教育が必要、3) 文系・理系区分を克服し、学士課程と大学院教育で STEM とリベラルーツ系を総合的に学習することが必要と述べ、学際融合教育の内容開発が必要だと結論している。

山田は、スタンフォード大学工学部の例をあげて、専門分野だけに留まらないで、異文化や多文化を深く理解できる「異文化リテラシー」をいかに教育課程において実現するかが共通の課題であると述べている。

プロジェクトの中核の一つである数学グループの川添は、わが国の大学の数学リテラシー教育について、数学の有用性についての具体的な認識が欠けている、文系学生に対する数学教育が不十分である、数学教員の数学の活用・応用に関する知識が欠如しているなどの問題点をあげている ([4])。OECD の国際学習到達度調査 (PISA) の影響で、数学内の文脈で閉じた教育ではなく、現実と結びついた形での教育が定着しつつある一方、大学レベルの数学リテラシーについてはまだ合意形成がなされていない。このグループが推進した国際会議での議論などに基づいて、川端は一般市民としてだけではなく一定レベルの専門的なものの見方ができる能力、日常生活の文脈だけではなく、より高いレベルの数学が必要な現実世界の課題解決に数学を用いる能力 (高等学校から大学までの数学内容を現象のモデル化に用いて問題解決できる能力) を大学レベルの数学リテラシーの内容としたいと提案している。

そのためには、教材開発という数学教員にとって非常な困難を伴う作業と、数学が苦手な学生に数学的内容を理解させる工夫と力量が必要になる。このような重い負担を引き受けることになる数学教員を支援するためには、ティーチング・チップス・データベースを開発して、既存の教材例にアクセスできるようにしなければならないと提案している。

#### 新しいリベラルアーツとしての STEM

以上のような調査結果をもとに、2017 年度に向けて細川を研究代表者として STEM ワ

ーキンググループを中心とした 17 人の研究組織からなる課題研究の申請が行われた。申請書の字数制限のために詳細な説明はなされていないが、2016 年度末における問題意識としては「文理融合の新しい STEM プログラムの開発」と「新しい STEM 教育の具体的な導入例としてのティーチング・チップス (TT)」の 2 つのテーマが課題研究の柱として提案されている。

#### 4 つの課題

その後の研究の展開も一部視野に入れると、本研究における問題の所在は以下の 4 つに集約される。

1 つ目は、課題研究のテーマでもある「新しいリベラルアーツ」としての STEM とは何かという問題である。STEM の意味は広いので、学士課程に限っても米国流のリベラルアーツ・アンド・サイエンス (L&S) からヨーロッパあるいは日本流の専門学部のプログラムまでを含む。L&S のサイエンスは、英語では複数形の sciences であって、ドイツ近代大学以来の専門分化した科学を指し、総合性を重視したリベラルアーツ分野とはある意味で矛盾した性格を持つ。「新しいリベラルアーツ」とは、専門分化の極限として「非人間化」したサイエンスをパイディアとして復活させようという主張と、工学や農学など、もともと人間の存在を前提とした実学を、職業的目的だけではなく、全人間的なリベラルアーツとしてとり込もうという主張とを含む。

このようなリベラルアーツ化を、専門教育と矛盾しないよう相補的あるいは準備的な教程として整備することが肝要である。本学会は、「一般教育学会」を前身としていることから、人材の面においてもノウハウの面においてもそれを実現できる条件を備えている。「一般教養」あるいは「教養課程」は今では大学設置基準の文言としては存在しないが、これから「リベラルアーツ化された STEM」が新しい時代の教養教育として姿を現す可能性がある。既存の自然科学をリベラルアーツ化する方向は、専門分化したそれぞれの科学の範囲を広げて、なるべく広い視野で教程を作る方向と、専門分野の壁を取り除いて諸科学をインテグレートする方向の 2 つがあるが、そのいずれも重要である。

2 つ目は、理工系や文系の基礎教育として行われる大学レベルの数学教育の重点的な研究と改善である。わが国に固有の問題として文系と理系の分離があるが、それを克服するために不可欠な数学教育を議論するコミュニティーが高等教育レベルでは十分に形成されていない。文理の断絶の問題は大学入試と関係しており、今では中等教育にまで影響を与えている。その結果として、人文社会科学に必要な数理科学の素養を欠いたまま、高等教育を終える層が無視できないまでに増加している。現代社会のさまざまな問題を解決する能力を大学教育で身につけさせるためには、STEM 領域の専門のコアとなる数学の教程を改善するとともに、著しく弱体化した文系の数理科学の教育課程を何とかしなけ

ればならない。

上の2つの課題の解決の助けとなるよう、3つ目として、優れたSTEMあるいは数学教育を実践している大学・機関からテキスト、シラバス、授業方法、練習問題、評価方法などの例を、現場の教職員の役に立つティップスとして提供するシステムを開発したい。本学会の提携先であるAAC&Uの実績は、このプロジェクトの参考になるであろう。

4つ目に、文理融合のプログラムの開発を促進する。その1つの側面は、韓国の科学技術人的資源育成基本計画の第2期計画に見られるようなSTEMにArtを加えたSTEAMの促進、あるいはスタンフォード大学の工学専攻の例にも見られよう「異文化リテラシー」をいかに取り入れるかである。もう1つの側面は、ライティングスキルやcritical thinkingなど、文系・理系両方の基礎となるようなプログラムの開発し、文理の相互乗り入れのためのコミュニケーション・ツールを身につけさせることである。このテーマでは、これらの課題に関する国際的な動向を把握し、優れた事例を紹介してわが国の文化に適応した創造的なプログラム開発への道を開きたい。

### 3. テーマの展開

#### テーマ1：インテグレート科学の授業の開発と教科書の刊行

現代の科学・技術にかかわる知識・知見は膨大であり、学生個々人がその全体像を把握することがますます難しくなっている。またSTEM科目はわが国においては長年大学進学に際して学生を選抜する手段として使われてきたために、多くは中学校の後半あたりから学習課目を絞って、試験で高得点をとるよう訓練されている。そのため、主体的に興味を持って広い視野でものごとを把握しようとする動機を持たない学生が増えている。これがわが国において深刻な「理系ばなれ」の一つの原因になっている。

隆成しつつある職業の75%がSTEM分野の技術とスキルが要求されている今、自然科学を細分化された個別学問分野としてではなく、大きな流れとして総合的、階層的、歴史的にとらえることがますます重要になっている。このテーマでは、北海道大学において先駆的に開講されていたインテグレート科学の普及版の刊行に取り組み、2018年10月にアマゾンからの電子出版によりそれを実現した。それまで受講生にのみオンラインで提供されている膨大なテキストを簡約化し、低価格で誰でもアクセスできるようにした。このテキストと、後に説明するテーマ3のコンテンツ・データベースに収集された宿題、小テスト、レポートなどの例を利用すれば、より少ない負担でインテグレート科学の授業ができるようになっている。

#### テーマ2：数学教育コンテンツ・データベースの開発と数学リテラシー教育の理論化・国際化

STEM 教育の実践例や教材を教員間や大学間で共有することを容易にするため、ティーチング・ティップス・データベースの開発を行った。1年目には、STEM 教育の中でも数学リテラシー教育に特化して基本仕様を検討し、それに基づいてデータベースを試験的に Moodle 上で構築し、サンプルデータの登録を行った。2年日以降は、1年目の成果を踏まえて、学会サーバ上でのデータベース構築と公開について検討を進めた。当初、試験サーバで構築されたデータベースを Moodle ごと学会サーバに移すことが検討されたが、学会サーバのセキュリティ設定上の制限や、より多様な情報形態での提供を可能とするほうがよいという議論があって、コース全体の概要紹介的なデータや、授業で使っている PowerPoint スライドやプリントのデータ、授業で使っている Moodle ページ(ゲストアクセスできるもの)など、多様な形態を取り込めるシステムを構築する方向に切りかえた。これらのデータに適切なタグをつけて分類したり、簡単な紹介コメントつけたりして整理していくことで、事例をデータベース的に紹介できるウェブサイト構築した。他方で、1年目に Moodle 上に構築したデータベースについては MySQL を利用して学会サーバ上に再構築して、両者をウェブサイト上で「STEM 教育コンテンツ・データベース」として統合していくことにした。この流れは、以下のテーマ3に継承された。

数学に限ったことではないが、現実世界の問題を題材にした授業では面白いが孤立した課題をデザインしてしまう弊害が指摘されている。これを避けるには、教材や授業内容がどういう知識・能力を身につけるために練られたものなのか、なぜこの数学的知識がこの問題で活用されるのか、などを正確に伝える必要がある。既存の数学的リテラシー教育の授業実践例を分析して、そこでの教材の本質や知識の本質を顕在化させ、数学的リテラシー教育の観点から教材の本質や知識の本質を分類する理論的枠組みの構築を目指した。

### テーマ3：STEM 教育コンテンツ・データベースの展開

新しい STEM のコースを導入や展開に際して、教員の負担を少しでも減らすために、既に国内実施されているユニークな STEM 教育をピックアップしてシラバスや授業内容をデータベースとして公開し、これから導入を考えている教職員を支援することにした。課題研究の発足以来、本学会のウェブサイトの新設された「STEM ひろば」のページに「STEM 教育コンテンツ・データベース」の欄をつくった。2018 年末の段階で5例が会員公開されているが、そのうちの①「ゼロから始める『科学力』養成講座は、すでに触れたように、テーマ1のインテグレート科学の教育実践の内容を公開したもので、講義、実験、討論を中心としたアクティブラーニングの内容、授業後の宿題とする小レポート、小テストなどがデータベースの形で公開されている。

それ以外に、②環境問題、③基礎数学、④ユーザのための数学、⑤物理学概論のコンテンツ・チップスが掲載されているが、さらに多様な分野の多様なコンテンツが掲載される

ことを期待している。③および④は、テーマ2で別に開発されたティーチング・ティップス・データベースと重複しているが、これは関連分野としてディシプリンを横断して議論し、相互に利用するために掲載されたものである。

#### テーマ4：STEMを中心とした文理融合プログラムの動向—比較の視点から—

わが国の高等教育には文系と理系の間に固有の深いギャップが存在する。知識中心社会においてSTEMがイノベーションの牽引車となるためにも、また文系の諸分野が現代の社会と精神を正しく認識し先導するためにもこのギャップを早急に埋めて、分野の交流や融合を図らなければならない。テーマ4では、理工系における文理融合プログラムの動向を先行研究から検証した。まず、学際性を組み入れたわが国の①「博士課程教育リーディングプログラム」の特徴と、プログラムを通じていかなる力やスキルを獲得することを目指しているかの共通性を検討し、さらに専門性を中心とした従来型STEM教育研究に学際型教養教育との融合を組み入れた国内外の海外の3つのプログラム、すなわち②スタンフォード大学のインターンシップ・プログラムであるBOSP 京都プログラム、③シンガポール工科大学における異文化融合の視点を入れた理系プログラム、④同志社大学の副専攻プログラムであるサイエンス・コミュニケータープログラムを紹介し、その意義を分析した。

最後のケースを除いては、いずれも工学系を中心としたプログラムで、現代の高等教育においては工学分野において特に文理融合が求められていることがうかがわれる。日本のJABEEも、①のケースも、デザイン能力を重視し、科学や技術を人間に役立てるという観点から、いろいろな分野を結びつけ総合しようと努力している。専門分化した自然科学が要素還元主義に向かったのとは逆のベクトルが働き始めているように感じられる。「文理融合」は、本課題研究で設定されたSTEMの、特に工学のリベラルアーツ化のためのキーワードになる可能性がある。

#### 4. 中間的結論

3年間の本課題研究の1つの結論としてあげられることは、高等教育における数学教育の問題の大きさである。わが国における「理系」と「文系」のギャップは他の国に例を見ないほど深くて広いが、その原因となっているのは衆目の一致するところ数学である。私学文系が入試に数学を課さない影響は中等教育にまで及んでおり、「高校における数学の選択制が市民としてのSTEM教育を受ける基盤を掘り崩している」。その結果として、STEMの素養を欠いた人材が新しい情報化された時代への適応に困難をきたしているだけでなく、実際に社会活動の各面でいろいろな問題を生み出す原因になっている。

本課題研究の数学グループは早くからこの問題を指摘して、その解決策の一つとして

STEM 教育データベースの開発を進めてきた。この試みを契機に、STEM 分野のみならず高等教育の各分野がそれぞれの立場で数学を核としたコミュニティーが拡大することが望まれる。その向こうに、大学入試の改善や、初等中等教育における数学教育の見直しが見えて来るだろう。これは一見迂遠であるが、わが国の STEM の問題を改善するもっとも有効な方法だと言える。

専門分化した自然科学をインテグレート化しようという試みも本課題研究において目立った成果の一つである。細分化された近代科学のそれぞれの分野で地道に研究してきた人たちが、最近、大きな流れを感じて、相互の関係を意識して文化活動としての STEM 教育の展開を図っている。その先駆となったアメリカのジョージ・メイソン大学の Trefil・Hazen のテキスト（第 5 版）では、偉大な考え（Great Idea）、例えば、「エネルギー」「相対性」「量子力学」「生命の戦略」などのキーワードで各章がまとめられている。それぞれの概念が着想された経緯から実際の応用まで、幅広い観点からわかりやすく説明されている。本課題研究の成果である鈴木・細川のテキストも基本的に同じ考えでまとめられているが、特に日常の生活や産業・社会にどのように応用されているかに力点が置かれている。この 2 つのテキストは、米国国家研究会議（NRC）が 1996 年に示した STEM 教育のガイドライン『スタンダード』に掲げられた理念を忠実に守っていると言えるのに対し、2012 年に小笠原が編著者の 1 人となってまとめた『現代人のための統合科学 ビッグバンから生物多様性まで』（筑波大学出版会刊）では、ビッグバンから宇宙の拡散・消滅までのグレート・ストーリーが語られている。

自然科学のこのようなインテグレート化から新しいリベラルアーツの必要性が浮かび上がっている。過去 40 億年にわたって、地球上の生命は一つ残らず自然選択の影響下で進化してきた。ダーウインの説がすばらしいのは、例えばキリンの首が長くなった理由を説明するにあたって、知的設計者の存在を想定する必要がないことである。「何十億年もの間、知的設計などというものは存在しなかった。なぜなら、ものを設計するだけの知性が存在しなかったからだ」とユヴァル・ノア・ハラリは『サピエンス全史』（河出書房新社）で断言している。しかし現代の STEM は、ホモ・サピエンスの祖先が経験したこともない深刻な問題、すなわち進行する科学革命は地上に生命が誕生して以来最も重要な生物的革命を引き起こす可能性がある。世界中の科学者たちは遺伝子工学を使って生き物を操作し、生物本来の特徴にさえ束縛されずに自然選択の法則を破り続けている。同様の技術がホモ・サピエンスにも応用されることはほぼ確実で、現に昨年、中国の科学者が遺伝子操作した赤ちゃんを誕生させたと言っている。もちろんそれに対する抵抗は根強くあるはずで、しばらくはここで立ち止まるかも知れないが、やがて突破されるだろう。

近代科学も現代工学もその方法において価値中立で、それ自身の力で方向性を定めることができない。結果的には、馬車馬のように前へ進むだけである。現実には、科学研究や技術は宗教やイデオロギーと提携したときだけ栄えることができたのは厳然たる事実である。超サピエンス出現前夜の不安定なこの時代に何らかの指針を示し得るものは何なのだろうか？ 神話や伝説はともかくとして、宗教、国家、企業、法律あるいは人権や平等の概念でしかないように思うが、現代のポストモダンはいずれも人間の空想による虚構と切り捨てる傾向にあり、インテグレートされた科学のカウンターパートとして役目を果たしていない恐れがある。科学や技術の暴走を制御できる新しいリベラルアーツの出現が、今ほど求められている時代はないだろう。

## 注

[1] 齋藤準。以下同様に姓のみで略記。フルネームはプロジェクトの名簿参照。

## 文献

- [1] 齋藤準。本報告の資料編に掲載予定。
- [2] 羽田貴史 (2017) 「STEM 教育をめぐる国際動向と日本の課題」『大学教育学会誌』、通巻 75 号、pp.81-85.
- [3] 山田礼子 (2017) 「文理融合の新しい STEM プログラムの動向—米国, シンガポール, 日本の事例を中心に—」『大学教育学会誌』、通巻 75 号、pp.86-90.
- [4] 川添允 (2017) 「現代人に必須の数学リテラシー科目のティーチング・」ティップス」『大学教育学会誌』、通巻 75 号、pp.76-80.



## 総括コメント 3

### STEM教育用モデル・テキストの開発

鈴木 久男、細川 敏幸（北海道大学）

モデルテキストの開発は、本学会として初めての試みである。2018年10月に電子テキストとしてアマゾンから出版した(鈴木他 2018)。価格は学生が購入しやすいよう380円とした。A4のイメージで244ページからなる。

そもそも自然科学とは何だろうか？ 筆者は、こんな単純な問いについて高校や大学で教えられたことがなかった。そして、こうした問いかけから始まる「サイエンス」という海外の大学のコースを知り、大変な衝撃を受けた (Trefil et al. 2007)。表1にその内容を示す。この本は25章から構成され、サイエンス全般を伝える内容となっている。A4程度の大きさであるが、総ページ数531にさらに41ページの資料が添付され、大部の本である。各章に10前後のカラーの図が使われ、楽しく学べるよう配慮されている。一方で、学習内容のレベルは高く保たれている。物理の章では数式も遠慮なく使われている。

筆者はそれまでサイエンスとは何かについて学んだことはなかったし、そんな問いかけが重要であるとは思っていなかった。しかし、実際にはサイエンスとは何かを知ると、逆にサイエンスから多くのことを学ぶことができるようになる。そして、人間がサイエンスを切り分けたそれぞれの分野である、物理学、化学、生物学、地球科学、天文学などの重要性を学ぶことができるようになるのである。筆者は、日本にもこうしたサイエンスに関する授業が必要であると思い、北海道大学において授業を開講した。この本は、北海道大学で行われた、「ゼロから始める科学力養成講座」(担当、鈴木久男、細川敏幸)のテキストの要約である。コース構成はほぼ海外で行われているサイエンスコースと同様となっている。

この本が扱うのは、自然界を統合的に、階層的、そして歴史的に捉えることである。それは、科学に関係する社会問題を議論するときには必須でもあるが、私たち自身の人格形成にも重要な意味を持つと期待して 表1 『Science』の章立て

1 Science: A Way of Knowing	5 Electricity and Magnetism
2 The Ordered Universe	6 Waves and Electromagnetic Radiation
3 Energy	7 Albert Einstein and the Theory of Relativity
4 Heat and the Second Law of Thermodynamics	8 The Atom
	9 Quantum Mechanics

10 Atoms in Combination: The Chemical Bond	18 Earth's Many Cycles
11 Materials and Their Properties	19 Ecology, Ecosystems, and the Environment
12 The Nucleus of the Atom	20 Strategies of Life
13 The Ultimate Structure of Matter	21 The Living Cell
14 The Stars	22 Molecules of Life
15 Cosmology	23 Classical and Modern Genetics
16 Earth and Other Planets	24 The New Science of Life
17 Plate Tectonics	25 Evolution

今回モデルテキストの開発にあたり、まず、その記述をおよそ6割にまで削減した。あまり多いと、読んでくれない可能性があるのではと考えたからである。このために、全体のストーリーと直接関係しないものや科学者の伝記などを削除の対象とした。

また、著者が2名とも物理学か生物学の教育を受け手いるものの、それ以外の分野の教育を専門としないため、テキストとしての正確さに自信が持てなかった。そこで、複数の方に監修を依頼した。北海道大学の蔵崎正明先生（化学と分子生物学）、北海道大学元教授の枋内新先生（生物学）、同じく北海道大学名誉教授の小笠原正明先生（化学）、東北大学の中村教博先生（地球惑星科学）が監修を担当した。これらの先生方には、多くの点を指摘していただき、修正した。このような他分野をまたぐテキストには、監修が重要なことを痛感した。また、小森幹育子さんには全体の編集を、大塚萌音さんには Wiki からの図の索引の整理を手伝っていただいた。数字や化学式のフォーマットを揃えることは、大変な作業であった。図の引用に際しては、著作権のない図は排除し、wiki からの引用は、その旨を明示した。

電子出版を選択することで、販売価格が高価になり学生が買えなくなることは避けられた。また、図もカラーで掲載でき、親しみやすくなっている。

出版にあたり、科学研究費補助金：基盤研究（B）（一般）IRによるカレッジ・インパクト理論の検証とSTEM教育評価モデルの構築（研究代表者 細川敏幸）と、大学教育学会課題研究補助金（2017～2018年度）現代のリベラルアーツとしての理数工系科目(STEM)教育評価モデルの構築（研究代表者 細川敏幸）の支援を受けた。

## 文献

- [1] 鈴木久男, 細川敏幸 (2018) 『インテグレート科学: 現代を生きるための科学力養成講座』, アマゾン電子出版, 東京.
- [2] Trefil, James and Hazen, Robert M. (2007), The Sciences An Integrated Approach, Wiley, New Jersey.

## 総括コメント 4

# STEM 教育コンテンツ・データベースの構築と 数学リテラシー教育の理論化・国際化

川添 充 (大阪府立大学)

1. ティーチング・ティップス・データベースから STEM 教育コンテンツ・データベースへ  
ティーチング・ティップス・データベース開発は、STEM 教育の実践事例や教材を教員間や大学間で共有することを容易にすることで STEM 教育の普及促進に貢献しようという取り組みである。本課題研究の研究期間は、STEM ワーキンググループの研究として実施された 1 年間を含めた 2016 年度から 2018 年度までの 3 年間であるが、以下、ティーチング・ティップス・データベースの開発について、時系列に沿って述べる。

一年目には、STEM 教育の中でも数学リテラシー教育に特化してデータベースの基本仕様を検討し、試験的なデータベースを構築した。基本仕様は、国内外の教材共有の先行事例を調査した上で検討され、データを構成する項目が、①タイトル、②データの概要、③教材（現実的文脈の問題例と文献情報）、④キーワード、⑤授業展開例（授業案やスライド資料など）、⑥教育上の工夫やつまづきやすいポイントの情報、⑦実践情報、⑧コメント欄（他の利用者からのコメント記入欄）の八つの項目（①～④は必須登録項目）に整理された。この仕様に基づくデータベースを試験的に Moodle 上で構築し、サンプルデータの登録を行った。その際、国内だけでなく、国外とのデータ共有も視野に入れ、英語でのコンテンツ登録もできるようにし、英語でのサンプルデータ登録も行った。

二年目以降は、一年目の成果を踏まえて、学会サーバ上でのデータベース構築と公開について検討を進めた。当初、試験サーバで構築されたデータベースを Moodle ごと学会サーバに移すことが検討されたが、学会サーバのセキュリティ設定上の制限により、Moodle を学会サーバ上で立ち上げることが困難であった。このため、学会サーバ上に構築可能なデータベースをその基本仕様から再検討することになった。再検討の結果、数学以外の分野も含めた実践例や教材例の提供をしやすいためには、一年目に構築したデータベースに適合するデータだけでなく、より多様な情報形態での提供を可能とするほうがよいとの結論に至り、コース全体の概要紹介的なデータ（シラバスだけ、あるいは、概要紹介の原稿）や、授業で使っている PowerPoint スライドやプリントのデータ、授業で使っている Moodle ページ（ゲストアクセスできるもの）など、多様な形態を取り込めるものとして構築していくこととした。さらに、これらのデータに適切なタグをつけて分類したり、簡単な紹介コメントつけたりして整理していくことで、事例をデータベース的に紹介できるウェブサイトを構築し、一

方で一年目に Moodle 上に構築したデータベースについては MySQL を利用して学会サーバ上に再構築して、両者をウェブサイト上で「STEM 教育コンテンツ・データベース」として統合していくことにした。Moodle 上のデータベースの MySQL による再構築は時間的制約から未完の状態であるため今後も継続して作業していく必要がある。授業実践事例については、「ゼロから始める「科学力」養成講座」「趣味の視点から環境問題を考えよう」(以上、北海道大学)、「基礎数学 I・II」(大阪府立大学)、「ユーザのための数学」(新潟大学)、「物理学概論」(帯広畜産大学) の 5 つの事例が公開されている([1])。

## 2. 数学リテラシー教育の授業デザインの理論化について

実践事例や教材事例の共有とともに重要となるのが、授業デザインの理論化である。前述のデータベースは、実践事例について、具体的な内容・教材をわかりやすく提示することを目的に開発されたが、その一方で、果たして実践例や教材を公開するだけで数学的リテラシー教育の普及が図れるだろうかという懸念もあった。アルティエグ(2017)が指摘しているように、現実世界の問題を題材にした授業では「興味深いが孤立した課題をデザインしてしまう罠」に陥りやすい。要するに、ただ「面白かった」だけで終わってしまう授業をデザインしがちである、ということであるが、実際、同じ教材を用いたとしても、教材と数学的知識との間の本質的結びつきが伝わらなければ数学的リテラシー教育として有意義な授業をデザインすることは難しい。これを避けるには、教材や授業内容がどういう知識・能力を身につけるために練られたものなのか(教材や授業内容の本質的意義)、なぜこの数学的知識がこの問題で活用されるのか(数学的リテラシーの観点から捉えた数学的知識の本質)、などを正確に伝える必要がある。しかし、授業実践例ではこれらのことは明示的になっていないことが多く、さらには、授業をデザインした教員の暗黙知にとどまっていることも多い。したがって、単に現在のデータベースに、教材の本質やそこで用いられる知識の本質を記述するための項目を追加しても、授業をデザインした教員がそれらの本質を明確に記述できない可能性もある。そこで、既存の数学的リテラシー教育の授業実践例を分析して、そこでの教材の本質や知識の本質を顕在化させ、数学的リテラシー教育の観点から教材の本質や知識の本質を分類する理論的枠組みを構築し、これを教材の本質や知識の本質を考える際の枠組みとして利用してもらうことで有意義な授業デザインの普及につなげることを考えた。分析の対象とする既存の授業実践例として、大阪府立大学・新潟大学・名古屋文理大学での実践を取り上げ、これらの授業での教材において、問題解決過程の中で数学的知識がどのような役割を果たしているかに着目して分析を行い、数学的知識の本質を「～するためのツール」という記述で表して分類する枠組みが構築された。

この研究は、本課題研究と連携関係にある科研費(基盤研究 B 「「高水準の数学的リテラシー」概念下の教育デザイン・実施・継続的改善とその理論」2016~2018 年度)による研究として、データベースの開発と並行して実施された。その成果は、本学会および関連学会で発

表された([2],[3])。

### 3. 大学レベルの数学教育研究の国際連携について

STEM教育への関心の高まりは国内だけではなく、世界的な潮流である。この意味で、国外の実践や研究と連携していくことは極めて重要である。このような問題意識から、2018年1月7～8日に「高水準の数学的リテラシー教育」をテーマとする国際研究集会(上述の科研費及び工学院大学による共催)、を開催し、実践・理論両面についての研究交流を図った。招待講演者として、国外から、M.ボスク教授(スペイン, ラモン・リュイ大学)、C.ウインスロー教授(デンマーク, コペンハーゲン大学)、国内から、小笠原正明北海道大学名誉教授、磯田正美筑波大学教授、山口和範立教大学教授をお招きした他、口頭発表6件、ポスター発表12件があり、参加者は73名(招待講演者含む)であった。二日間に渡り、数学科以外の学生を対象とする大学数学教育について多様な発表・議論が行われた。国外からの招待講演者であるM.ボスク教授とC.ウインスロー教授は、ヨーロッパの大学数学教育研究コミュニティの中心的存在であり、研究集会後、両教授を通じてヨーロッパの研究者との交流がさらに深まることとなった。ヨーロッパとの研究交流を進める上でも上記研究集会は大きな役割を果たしたといえる。この研究集会の報告集は研究集会のウェブサイト上で公開されている([4])。

さらに、CERME(ヨーロッパ数学教育学会主催の研究大会)の大学教育分科会や、INDRUM(大学数学の教育学研究国際ネットワーク)の会議を視察し、大学数学教育研究の国際動向を調査した。これらの学会は参加者による議論を重視しており、発表内容に関する議論だけでなく、大学数学教育研究の進むべき方向といった大きなテーマも議論される。学会中の議論に参加することで、欧米の研究者たちがどのような問題意識を持って研究を行なっているかなど、論文だけからは伺い知ることのできない貴重な情報を得ることができた。国際会議視察などを通して得られた国際動向についての報告は第三部に掲載される。

#### 参考文献・参考 URL

- [1] 大学教育学会 (2019) 「STEM 教育コンテンツ・データベース」, [http://daigakukyoikugakkai.org/site/stem\\_database/](http://daigakukyoikugakkai.org/site/stem_database/)
- [2] 川添充・五島譲司・落合洋文 (2018) 「数学的リテラシー教育のための認識枠組みー大学での授業実践の分析を通してー」, 日本数学教育学会第51回秋期研究大会発表集録, pp.177-180.
- [3] 川添・五島譲司・落合洋文 (2018) 「数学知識の本質の分析に基づく数学的リテラシー教育の授業デザイン」, 大学教育学会 2018 年度課題研究集会要旨集, p.58.
- [4] M. Kawazoe Ed. (2018) Proceedings of the International Workshop on Mathematics Education for Non-Mathematics Students Developing Advanced Mathematical Literacy, pp.59-64. [http://iwme.jp/pdf/Proceedings\\_IWME2018.pdf](http://iwme.jp/pdf/Proceedings_IWME2018.pdf).

## 総括コメント 5

### STEM教育コンテンツ・データベースの開発

細川 敏幸（北海道大学）

#### 1. はじめに

教育コンテンツ・データベースの開発も、本学会として初めての試みである。STEM 教育を日本の大学に導入する際の大きな障壁の一つは、これまでに経験がないということである。そこで、本課題研究では2つの試みを行った。一つは標準テキストの開発（鈴木ほか 2018）であり、もう一つがこの教育コンテンツ・データベース（以下、本データベース）の開発である。本データベースは、既に国内で実施されている STEM 教育をピックアップして、そのシラバスや授業内容を公開し、これから導入を考えている会員のための参考となることを目的としている。現在、大学教育学会のホームページに公開されているのは以下の5例である（文

表1 教育コンテンツ一覧

- |  |
|--|
| ①ゼロから始める「科学力」養成講座<br>（北海道大学, 鈴木久男, 細川敏幸） |
| ②趣味の視点から環境問題を考えよう<br>（北海道大学, 細川敏幸）       |
| ③基礎数学 I・II (大阪府立大学, 川添 充)                |
| ④ユーザのための数学<br>（新潟大学, 五島 譲司）              |
| ⑤物理学概論（帯広畜産大学, 斉藤 準）                     |

献のアドレス参照)。

#### 2. 内容

まず、学会ホームページに入り、左端にあるアイコン『STEM ひろば』をクリックして移動し、最新情報の 2018-12-01 に『STEM 教育コンテンツ・データベース』へのリンクがあるのでクリックすると見ることができる。コンテンツは表 1 の順に並んでおり、内容は例によって異なるが、シラバスと実施方法の概要（科目概要）は必ず含まれる。

①『ゼロから始める「科学力」養成講座』は標準テキストの開発を行った授業の例で、著者らが実施している講義である。物理、化学、生物、地球惑星科学を1年間4単位で学ぶコース

である。テキストにはできる限り数式を用いないように配慮し、文系学生も参加しやすい内容にしている。テキストの利用方法をわかりやすく述べるために、他の例よりも詳しく記述している。授業の全体は、講義、実験、議論を中心にしたアクティブラーニング、終了後に宿題とする小テスト、レポートで構成され、それぞれの例が記録されている。さらに、この試験的な講義について記述、検討された論文を4編あげ、どのような授業であるかがわかるように構成されている。

②『趣味の視点から環境問題を考えよう』は、環境問題と趣味をリンクしたアクティブラーニング主体の演習である。ディベート、プレゼンテーション、成果物の工作などをグループ作業によって達成するよう計画されている。STEM教育をアクティブラーニングによって学ぶ先進的な試みである。

③基礎数学I・IIは、日常生活にみられる題材から、大学で学ぶべき数学に導き、効果的に学べるよう企画されている。本授業では、テキストも公開(川添ほか 2012)されており、①同様にテキストと合わせて参照することで講義の展開方法がわかるように記述されている。

④『ユーザのための数学』は、数学を学ぶ立場から使う立場にできるように構成された数学教育の例である。「問題を分析する」、「数学を哲学する」、「データを解析する」、「数学を活用する」というテーマに沿ってシラバスの方略が構成されている。身近な例を数学によって解決する方法がいくつかの例をあげ説明されている。

⑤『物理学概論』は、物理学に不慣れな学生を含む多様な受講生に物理学を教えるためにアクティブラーニングを活用した例である。講義ビデオを使った反転学習、グループでのジグソー、Moodleの類題演習などを組み合わせた意欲的な講義である。

### 3. まとめ

STEM教育は、コンテンツから考えると多岐にわたり、それを多様な学習履歴を持つ学生に教えることは容易ではない。この企画では、科学全般、数学、物理学、環境科学を学ぶための科目例が公開されている。すでに類似の科目を実施している会員には、是非投稿をお願いしたい。また、これから類似の科目を導入しようと考えている意欲的な教員には、本データベースを活用して、より優れた内容になることを期待したい。

### 文献

- [1] 川添 充, 岡本真彦(2012)『思考ツールとしての数学』, 共立出版(東京)
- [2] STEM教育コンテンツ・データベース(大学教育学会), [http://daigakukyoikugakkai.org/site/stem\\_database/](http://daigakukyoikugakkai.org/site/stem_database/), (2018.12.27 アクセス)
- [3] 鈴木久男, 細川敏幸(2018)『インテグレート科学: 現代を生きるための科学力養成講座』, アマゾン電子出版, 東京.

## 総括コメント 6

# STEMを中心とした文理融合プログラムの動向： 比較の視点から<sup>i</sup>

山田 礼子（同志社大学）

はじめに

世界的に知識経済のインパクトが高まるなかでイノベーションへの期待と要請が大学に置かれ、特に科学と技術の最先端、そして工学、数学が融合しているという考え方が背景にある STEM にその役割が求められている。科学技術と教育政策との関連では、STEM 教育を K12 から高等教育にかけての充実化が米・英・豪等 OECD 諸国を筆頭に進捗している。中国、韓国、マレーシア等アジア諸国においても STEM 教育を通じた人材育成が重要政策として位置づけられ、日本も、2015 年にイノベーションを生み出す高等教育での理工系人材の強化に向けて「理工系人材育成戦略」が公表された。

米国ではアメリカ大学協会(AAC&U)が STEM 教育に対して 21 世紀型教養と多文化的価値観、つまり多様な人々と議論、協働して問題を発見し、解決していくスキルを養う必要性を提言している。それは日本においても同様である。

本稿では、理工系における文理融合プログラムの動向を先行研究から検証し、次に、学際性を組み入れた「博士課程教育リーディングプログラム」の特徴とプログラムを通じていかなる力やスキルを獲得することを目指しているかの共通性を検討する。さらに、専門性を中心とした従来型 STEM 教育研究に学際型教養教育との融合を組み入れた国内外の STEM の学際プログラム訪問調査からの事例をベースに、文理・異分野融合の視点をいれた 3 つのプログラムを紹介する。第一は、スタンフォード大学の BOSP 京都プログラムであり、第二は、シンガポール工科大学における異分野融合の視点をいれた理系プログラム、第三は同志社大学で 2016 年から設置された副専攻プログラムであるサイエンス・コミュニケーター養成プログラムである。

### 1. 理工系における文理融合プログラムの動向

#### 文理融合に関する先行研究

現在、理工系を中心に「博士課程教育リーディングプログラム」が進行しているが、そのプログラムでは、専門分野の枠を超えた学際性を基軸に人文・社会領域の視点を組み入れ、①グローバルに行動する力、②自ら課題を発見し、仮説を構築し、知識を駆使し独創的に課題に挑む力、③高い専門性や国際性、幅広い知識をもとに物事を俯瞰し本質を見抜く力等を育成すべき能力・スキルとして掲げている。



文理融合プログラムの必要性は新しい課題として浮上してきたわけではなく、従来から指摘されてきた。しかし、近年、STEM 領域（本稿では STEM 高等教育領域を対象とする）への重視政策が世界で進捗するなかで、理工系学生を対象とした文理融合型プログラムがリーディング大学院プログラムとして進展している。

欧米での先行研究を参照すると、理工系学生に求められる学習成果としてディシプリンに関連する知識や能力スキル以外に以下の指摘のような内容が注目されている。Vance et al (2014)は STEM 系学生のチームワーク力を育成するための方法として、ルーブリックの開発とチームワーク力の構成要素の整理が必要であると指摘している。Chipperfield et al (2015)は、STEM 系学生のグローバル社会に対する認識力と対応力を評価する方法を提示したうえで学際的なプログラムを通じてこうした能力・スキルが獲得する可能性を期待している。Horn と Murray(2012)は、持続可能な社会を実現するためには、STEM における専門知識だけではなく、社会、倫理、環境への意識が不可欠であり、これらを学際的な教養教育を通じて身につけるべきと論じている。Strelner et al (2014)はグローバル社会に対応できる工学部学生のための教育プログラムの効果は何かという問いを立て、全米科学財団(NSF)の支援を受けた複数の大学の教育プログラムを検証し、グローバルな視点での研究を組み込んだ教育プログラムの効果が高いことを提示している。

それでは、文理融合型プログラムを次節では紹介してみよう。

## 2. 文理融合型プログラムの事例

### (1) 文理融合型博士課程教育リーディングプログラムの共通性と課題

日本での文理融合型プログラムの特徴としては、もちろん学士課程教育段階における共通教育プログラムでの

文理融合型プログラムが存在するが、文部科学省の補助金によってこの間支援が行われてきた大学院レベルのリーディング大学院プログラムが特徴的な存在でもある。

「博士課程教育リーディングプログラム」は、俯瞰力と独創力を備え広く産学官にわたりグローバルに活躍するリーダーを育成するという目的で、文部科学省の事業として2011年から開始した。専門分野の枠を超えて、産・学・官の参画を得て、博士課程前期・後期一貫の学位プログラムが構築され、展開されている。本プログラムは、異分野融合・文理融合により、大学院教育の改革を目指すものとして位置づけられてもいる。

「オールラウンド型」「複合領域型」「オンリーワン型」の3つの支援類型に基づいてプログラムは選定されているが、選定されたプログラムは、いずれも共通して①国内外の企業・公的機関・NPO等を中心として研究以外のフィールドでトップリーダーとして活躍できる人材、②高い国際性・学際性をベースとして、俯瞰的な視点から社会的課題に挑戦し、解決に導ける人材、③確かな研究能力をバックグラウンドに、イノベーションを牽引するプロジェクトをマネジメントできる人材、④主体的に目標を立て、国内外の多様なステークホルダーを調整・統括して達成を図れる人材を育成することをベースに内容、課程、教育方法等が構

成されている。

現在選定された 62 プログラムはすべて最終評価を受けたあるいは受けつつある段階である。オールラウンド型は文理融合、複合領域型は、複合領域を横断する学位プログラムと定義されているが、採択された 2 類型のプログラムを検証する限り、ほとんどが文理融合あるいは理工を中心としながらも文・社会系が参画している。研究室を超えて、異なる専門分野の教員が研究指導や授業を提供し、そのような授業を受講することで、新たな発想や研究の展開を生み出すイノベーションへとつなげることが各プログラムに共通している。

文理融合や異分野融合が従来から推奨されてきているものの簡単には進捗しない現実の中で、大学院教育改革の鍵になる本プログラムを競争的資金の事業として位置づけることにより、21 世紀のグローバル化、知識基盤社会に対応できる人材を育成しようとしているところに自立的に文理あるいは異分野融合が進まない課題が垣間見える。一方、当該プログラムを終了して、グローバル社会で活躍する人材も増加してきていることから、そうした人材の着実な増加が期待できる。

## (2) スタンフォード大学京都プログラム

スタンフォード大学では 50% の学士課程学生がおおよそ 3 か月の留学経験を持ち、加えて、10% の学生が教員引率の海外研修セミナーに参加するなどスタディ・アブロードプログラムが機能している。

存在している多様なプログラムのひとつとして、学士課程で工学を専攻する上級学生が、海外で 1～2 学期を学び、インターンシップを経験することを目的とする Bing Overseas Studies Program (BOSP) が設置されている。このプログラムでは、大学の工学課程を通じて専門的な知識、技能を修得して将来エンジニア（技術者）として社会で働く予定の学生が、外国での学習、仕事そして経験を通じて、異文化や多文化に関する知識や経験だけでなく、国際的なセンスを修得することを目的としている。早期段階での学士課程教育を通じて修得される「文化的リテラシー」（Cultural Literacy）とさらに「異文化リテラシー」を備えたエンジニアを育成するうえで、スタディ・アブロードプログラムは不可欠であると位置付けられている。

BOSP は世界の 9 都市に位置している海外センターと連携しており、日本には同志社大学と連携した京都プログラムが同志社大学の今出川キャンパス内に置かれている。京都プログラムの特徴は、言語、技術、政策といった要素が包摂された学際的な内容から構成され、夏期インターンシップを履修する際に、求められる「日本語」能力の要件は、技術に関わるインターンシップを経験するか、しないかによっての差異が設定されている。技術的なインターンシップへの参加希望学生は、3 学期（1 年間）にわたって、各 5 単位の「日本語 1」「日本語 2」「日本語 3」を履修して合格することが必須条件とされているなどかなり高い言語スキルの習得が求められている。一方、技術に関わらないインターンシップ参加希望学生には、多少緩やかな日本語科目の履修要件が設定されている。インタ

ーンシップは、宿泊費、奨学金（生活費）等全て学生に提供される形で実施され、6月後半から10週間にわたって日本のベンチャー企業および大企業で実施するなどの実質性も担保されている。京都プログラムにはすべての分野の学生が参加しているが、実際は70%がSTEM分野の学生であり、「文化的リテラシー」と「異文化リテラシー」の涵養が機能していると思われる。

京都プログラムの成果目標として、狭く深いだけでなく幅の広い経験を通じて①異なる文化への密度の濃い体験と帰国後に他の国や世界をより理解し、その経験を応用できること、②机上での学習と実際の世界との差異を理解すること、そしてそれを経験すること、③プログラムを通じて、思考を活性化し、物事に挑戦すること、そして経験をすることが挙げられている。工学系のみならず大学全体としてスタディ・アブロードをカリキュラム正課内外で確実に位置づけている背景として、大学が特定の分野を究め、その深い専門知識と経験・スキルの蓄積を自らの軸に据えつつ、さらにそれ以外の多様なジャンルについても幅広い知見を併せ持っているT型人材の育成を重視していることが推察できる。

### (3) スタンフォード大学デザインスクール

筆者が2016年に訪問調査を実施したスタンフォード大学のデザインスクールでは、文理融合による自由な発想と討議を通じてのイノベーションの展開を企図しているだけでなく、そうした新たなプログラムが地域での活性化につながるという見方も存在している。スタンフォード大学のデザインスクールは、学位プログラムではないが、地域からの様々な多様な人々を受け入れ、また学士課程の学生も参加することにより、多様な価値や考え方、そこから生み出される新しいアイデアをもとに製品につなげるのが前提となっている。その際にはスクラップアンドビルドも比較的頻繁に行われる、つまり失敗から何か生まれるという考え方が尊重されていることも特徴の一つとなっている。デザインスクールのラボはいわゆるオープンファブリケーションラボとなっていて、見学者も自由に受け入れているような構造であった。

### (4) シンガポール工科デザイン大学 (SUTD)

SUTDは米国のMITと中国の浙江大学の協力によって2009年に設置された理工系の新しい国立大学である。学生数は2016年現在1300名ほどである。

大学全体でデザイン志向が教育の基本となっている。教育の特徴としては①統合的、学際的なアプローチ、②実社会での経験をすることをカリキュラム上に包摂するといったことにより知識主体の教授法からデザイン中心の教授法を積極的に導入していることである。

カリキュラムは工学、科学のみならず人文科学が土台となって組み立てられており、これらの科目を1年次と2年次の第一学期で履修するように構築されている。1・2年という低学年で文理融合のアプローチを基本とする科目履修をすることにより、デザイン思考を醸成することが可能となっている。卒業までにかかる期間は3年と4か月、すなわち8学期間で構成されている。その間に3回のIndependent Activity Period (IAP)と夏休みにはMITあるいはスタンフォード大学等海外の提携校へのスタディ・アブロードあるいはシンガポール国内外の企

業でインターンシップが求められるなど理論と実践の往還がカリキュラム上で工夫されていることが特徴でもある。

教育方法・教授法の特徴としては、①コーホート単位による学習とアクティブ・ラーニングが基本であること、②コーホート教室とファブ리케이션・ラボの利用が多用されていること、③デザイン・プロジェクトが導入されていることが挙げられる。デザイン・プロジェクトは当該大学が設立された際の基本構想のひとつでもあるが、建築、工業製品、ソフトウェア、システム等工学に関連するすべてのデザインに関連するプロジェクトに取り組むように設計されているが、その際、分野横断的プロジェクトが推奨されている。教員は、シンガポール国籍の教員以上に、アジア諸国や欧米諸国出身の外国人教員が多く、国内にいながら国際的な環境での経験ができることも新しく設立された理工系大学の特徴といえよう。

#### (5) 同志社大学サイエンス・コミュニケーター養成副専攻プログラム

本プログラムは、文系理系を問わず2年生以上の学生を対象に、科学分野でおこる社会問題を正しく読み解き、解説できる人材を養成する学部横断型副専攻教育プログラムとして2016年より設置され、学部生を対象に文理を横断するサイエンス・コミュニケーターを育成することが目的である。生命医科学部が設置し経済学部、社会学部の学生も履修可能とする文理融合型副専攻プログラムである。2019年からは法学部も本プログラムに参加する。具体的には、自然界で起こる様々な現象や変化を正しく理解し、自己の意思決定をするために、科学的知識を用いて問題を明確にしたうえで結論を導きだすと定義される「科学リテラシー」をキーワードに、文理融合から構築されている科目群を履修することで、理系学生は、社会の要請を感じ取り、正確にわかりやすい表現で説明する能力を習得すること、文系学生は社会問題につながる科学技術分野、特に健康と環境に係る分野の基礎理解と評価力を習得することが目標となっている。

具体的な履修体系は、修了必要単位数は20単位に設定されている。その内、サイエンス・リテラシー科目群から12単位以上の履修が求められ、コミュニケーター関連科目群からは、選択(1)生命系、選択(2)社会・心理系 選択(3)政策系、選択(4)経済系から合計8単位以上となっている。各選択グループの上限はグループごとに4単位までとされていることから、いずれの領域に固まらないようにバランス良く文理融合科目を履修するように設計されている。表1にあるような科目がサイエンス・リテラシー科目として定義されている。サイエンス・リテラシー科目を構成しているアウトリーチ実習－科学技術表現実習－と「インターンシップ」(表1内では太字で表記)を例に具体的な内容を紹介する。

アウトリーチとは、大学などの公的機関が行う、地域への出張サービスのことで、近隣の人たちとの接点を求めて出張授業を行い、科学に関心のある人(または子どもたち)を積極的に増やす活動のことをいう。本授業では、自分の興味ある分野の研究または実験をわかりやすく説明する能力を開発することを目的としている。成果目標としては、①少なくとも科学が苦手な社会人が理解できるようになるまで発表技術を学ぶことと②模擬実験技術とポスター発表技術の習得に置き、ともすれば専門家にしかわからないように伝えていた専門的な内

容を一般社会の人々が理解できるように伝えることに主眼を置いている。結果的に広く社会で「科学リテラシー」が醸成されることにつながるという考え方が設計思想の根底にあるとみなされよう。インターンシップでは、重症心身障害児施設および医療少年院におけるインターンシップと、神経難病指定疾患である多発性硬化症、視神経脊髄炎の患者会への参加プログラムが提供されているが、後者の例のように患者の視点に立った医療や治療という視点からサイエンスを考え、伝えるという実践的なスキルを習得することが期待されている。

表1 サイエンス・リテラシー科目

科学技術概論I-科学技術社会論-
科学技術概論II-調査方法論・統計学-
<b>アウトリーチ実習-科学技術表現実習-</b>
サイエンスライティング
サイエンス・ナウ1-生命科学-
サイエンス・ナウ2-生命医科学入門-
サイエンス・ナウ3-報道と広報の現場-
サイエンス・ナウ4-科学史, 原子力, 感染-
サイエンス・ナウ5-インターンシップ基礎講義-
サイエンス・ナウ6-生命科学と社会-
<b>インターンシップ</b>
ビジネスワークショップ
メディカルワークショップ

### 3. 5つの事例から見える STEM の動向

知識基盤社会への移行のなかで、STEM 分野への期待は高く、具体的なイノベーションという用語でしばしばあらわされる。そこには技術革新のスピードが速く、かつ AI に代表されるような新たな革新が我々の社会構造や職業そのものを変革させてしまうという予測のもとで、STEM 分野における専門知識の獲得はイノベーションの根底にあることは明らかであろう。一方で、STEM 分野のなかでの異分野融合や文理融合が従来以上に求められていることは各国の科学技術政策や STEM 教育政策にも反映されている。日本では、異分野融合や文理融合の推進政策の象徴ともいえる例が競争的資金による「リーディング大学院プログラム」の推進でもある。

米国では STEM 系の研究や教育課程重視政策が進められ、当該分野を希望する学生も増加しているが、STEM 学生への国際性に焦点化した教育プログラムの充実が進行している例としてスタンフォード大学の BOSP は何を示唆しているだろうか。理工系カリキュラムは体系的であるがゆえに余裕がなく、従来はスタディ・アブロードを経験する時間がないということが指摘されてきたが、京都センターでの実際を見ると7割が理工系の学生であり、日本語・日本文化を習得した上で、日本での長期にわたるインターンシップを経験している。スタンフォード大学が T 型人材、専門での深い知識と同時に知識や経験の幅の広さを備えた人材を育成するという近年の目標に合致したものである。つまり、国際性を備えた理工系出身者が

海外で仕事を展開する上でも、他国の文化への深い理解と他国の言語を習得することで文化的障壁を乗り越えて、協働するということを意味している。グローバル・コンピテンシーを獲得したエンジニアや理工系人材を育成するプログラムといえるだろう。

多くの教員が外国籍であるという国際性豊かなシンガポール工科デザイン大学の事例からはどのような知見が得られるだろうか。訪問調査に対応してくれた複数の教員が「シンガポールの中等教育を受けた新生は、知識のバンキング型学習を基本として経験しているために、学生同士の協働あるいはディスカッションやプロジェクトを基本とするアクティブ・ラーニングに慣れていない。学習モードを変換させるためにも異分野融合型デザイン教育を基本としている」と述べていた。自ら新しい発想でデザインをしていくために、STEM 分野における異分野融合を奨励し、理論や知識を授業内で学習し、長期インターンシップで応用としての実践という役割分担が明確にカリキュラム上で設計されていた。

日本においても JABEE は 1. デザイン能力に関して具体的な達成目標を設定しているか、2. 学生がデザインあるいは問題解決策についての学習を体験しているか、3. 学生に多様な能力を育成できる内容を含む複合的な課題を提示しているかといった観点にもとづくデザイン教育の構築と改善について加盟大学を対象に働きかけてきた。デザイン教育を鍵として見ると、シンガポールと日本の STEM 分野における具体的な教育改革のベクトルは同じであると見受けられる。

次に、サイエンス・コミュニケーター育成プログラムはどのような視座を提供しているのだろうか。日本では高校から大学進学に際しても文理選択が早期にされるように文理の分断がしばしば指摘されている。社会での科学リテラシーを広く浸透させるためにも、サイエンス・カフェといった取り組みが実践されるようになってきているが、まだまだ科学の新しい動向が広くかつ多くの人々がアクセスできるとはいえない。一般社会に専門的な科学知識や内容をわかりやすく伝えることができるようなサイエンス・コミュニケーターを文理融合プログラムで育成するというコンセプトは、文理融合による科学リテラシーの習得が社会での科学リテラシー普及への第一歩という発想でもありと思われる。

今回は文理・異分野融合という視点から日米シンガポールの事例を提示し検討してきた。限られた事例しか提示することができなかったが、それ以外にも、現在、AI 時代の到来に備えて、芸術と理工系の融合が多くの国々で進捗するようになってきている（日本経済新聞、2018）。2017 年のドイツのベルリン芸術大学の訪問調査においても、コンピュータサイエンスと芸術との融合が研究および教育面で進捗しつつあることが指摘されていた。今回は、STEM から STEAM への進展という側面については触れることが出来なかったが、将来的には芸術をも含む文理・異分野融合が進展すると予想される。

---

<sup>i</sup> 本報告書原稿は、大学教育学会誌、第 40 巻第 1 号に掲載された拙稿「文理融合の新しい STEM プログラムの動向 - 米国、シンガポール、日本の事例を中心に -」をベースに加筆・修正したものである。