

第7章 調査結果概要と提言

第7章 調査結果概要と提言

1. 調査結果概要

本調査は、以下の観点から実現可能な提言を行うための調査を行ってきた。

- 1) 数学・数理科学を活用した異分野融合研究への振興策
- 2) 数学・数理科学を活用した異分野融合研究のための人材育成
- 3) 数学・数理科学を活用した異分野融合研究を促進させるための訪問滞在型研究所

この調査方針にもとづき、各章で行った調査結果の概要をまとめておく。

なお、本調査では、多くの調査を行い、資料も膨大となったために、この報告書で記載できなかったものについて、電子版で報告する。

<http://www.tfc.tohoku.ac.jp/other-activity/7006.html>

1.1. 第1章の調査結果概要

第1章は、数学・数理科学を活用した異分野融合研究の促進に関する意識調査と現状の把握を目的に、アンケート調査、ヒアリング、インタビュー等による調査結果である。

(1) 数学・数理科学科・専攻・コースへの調査

数学・数理科学科・専攻・コース（これを教室と呼ぶ）には学生の進路動向、外部資金獲得状況、融合研究や企業との共同研究の状況について、またこれらの教室に属する研究者には、数学・数理科学を活用した異分野融合研究活動について、意識調査とともに融合研究の事例収集を行った。調査対象数及び回答数は以下のとおりである。

- 数学・数理科学科・専攻・コース（教室）

調査対象数：218教室 回答教室数：78教室（回答率 36%）

- 数学・数理科学研究者

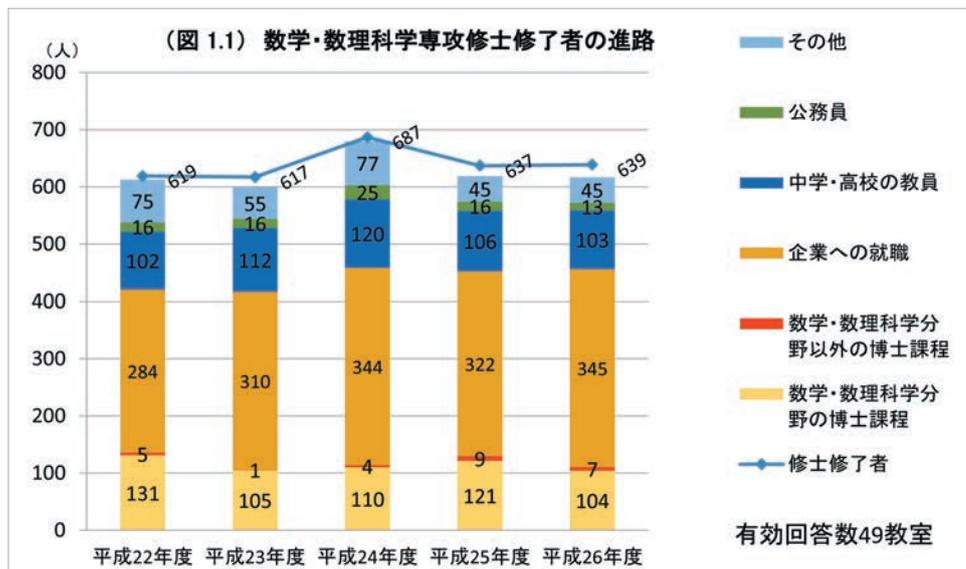
調査対象者数：1090名 回答者数：281名（回答率 25.8%）

ここでは、学生の進路、学生へのキャリアサポート、および数学・数理科学研究者の意識調査についてのアンケート結果をまとめる。

ア) 学生の進路動向

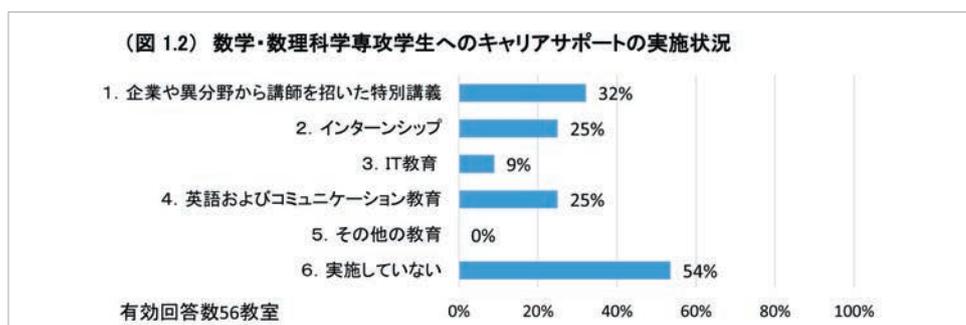
数学・数理科学科・専攻・コースの学生の進路動向では、学部卒業生が毎年1600名前後（回答数合計）あり、そのうち約3分の1が大学院修士課程へ進学している。学部学生の進路では数学・数理科学系以外の大学院修士課程への進学は毎年数名程度に留まっている。大学院修士課程の進路では、毎年600名を超える修了者のうち約半数の300名程度は企業へ就職、各100名程度が中学・高校教員と大学院博士課程への進学となっている（図1.1参照）。大学院博士課程進学では、数学・数理科学分野以外の進

学は毎年10名以下である。大学院博士課程修了学生の就職実績は、有効回答数では、20名強が企業に就職し、40名から50名強が研究職へ進んでいる（第1章1.1(6.1)参照）。2014年に日本数学会が大学院博士課程修了者の調査を行ったデータ（第5章6.1(2)図2参照）では、博士課程修了学生の企業へ就職した人数が極めて低かった（調査全体の4%）ものより多いデータが得られている。この調査では、日本応用数理学会の協力があり、応用数理系の大学院研究科等からの回答もあったことが、このデータへ反映していると考えられる。



イ) 学生へのキャリアサポートについて

博士課程学生へのキャリアサポート教育については、32%の教室で企業や異分野から講師を招いた特別講義を行い、各25%の教室がインターンシップや英語およびコミュニケーション教育を行っているという結果であった。特別なキャリアパス教育を実施していないという回答は54%あった（図1.2参照）。一方で、博士課程修了後の学生へどのような進路を期待しているかとの質問では、諸科学への研究職（80%）、企業への就職（87%）、中学・高校教員職（64%）があった（第1章1節(6.4)参照）。



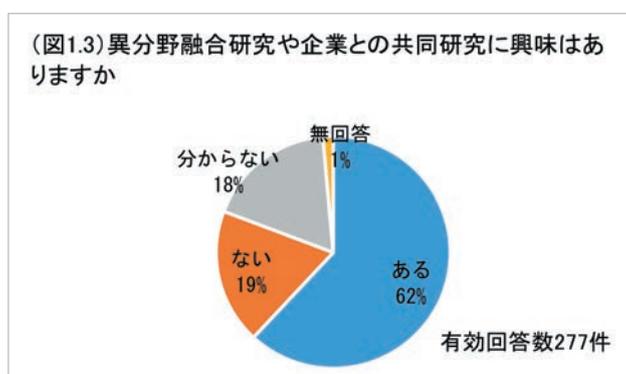
●この調査結果からの課題として、次が挙げられる。

【課題1】数学・数理科学系学科学学生に幅広い進路選択の検討

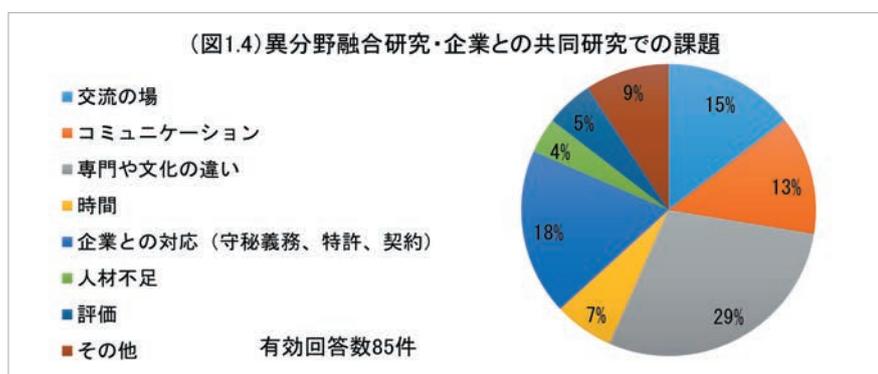
【課題2】学生のキャリアサポート教育の検討

ウ) 数学・数理科学研究者の意識調査

数学・数理科学研究者からのアンケートでは、62%が異分野融合研究や企業との共同研究に興味があるという回答を得ている(図1.3参照)。実際に、40%が異分野融合研究や企業との共同研究を行ったことがある、あるいは現在行っているという回答であった。情報、生命科学、教育、材料科学等幅広い異分野との共同研究の事例が得られた。数理モデル、データ解析、数値計算、OR(オペレーションズ・リサーチ)が主な数理手法として用いられていることも分かった(第1章1.2(1)参照)。



異分野融合研究および企業との共同研究での課題については以下のような回答を得た。



この回答から、交流の機会を増やすことや文化や専門の違いをのり越えることが課題であることが分かる。

【課題3】融合研究や企業との共同研究を推進するための交流機会の検討

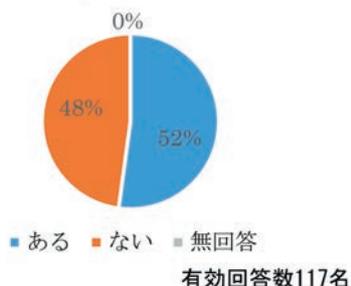
(2) 諸科学研究者への意識調査

本章では、諸科学分野からの数学・数理科学融合研究の活動動向と意識調査の総括・まとめを掲載する。

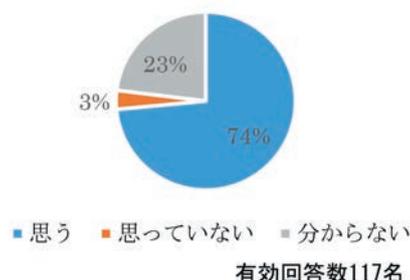
当該諸科学アンケート調査は過去2-3年の科学研究費補助金基盤研究(C)の採択者(数学以外の諸科学分野)から無作為に300人にアンケートを送付、回答数は117人であった。アンケート回答者の分野は、アンケート送付数も多かった医歯薬学系から約32%、工学系から約20%、化学系から約12%を得た。数学・数理科学以外の数物系科学系(約3%)、情報学系(約2%)は回答が少数であった(分野の無回答分を含む)。今回の調査では文系分野には、アンケート送付を行っていない。本母集団に対するアンケート調査の特徴として、以下のことが挙げられる。

約53%の研究者が発表論文中、なんらかの数式を使っており(第1章2.1.(2)【質問3】参照)、かつ約52%の研究者が数学・数理科学を使うことによって研究に進展がみられたと答えられており(【質問4-1】参照)、(少なくとも本母集団に対して)諸科学の半数以上の研究者が数学・数理科学の有用性を実際に認識し、使っていることが分かる。実際に数学・数理科学を活用している研究者が52-53%であるのに対し、一方で、約74%の研究者が数学・数理科学が活用できると考えており(【質問4-2】)、21-22%の研究者は数学・数理科学的手法の有効性を感じているが、実際には活用できていないことがわかり、数学・数理科学が連携できる未開拓分野があることを示唆している。効果が期待されている未開拓分野をうかがい知るキーワードとしては、物理現象、物理化学、化学反応、材料開発、実験生物、生命科学、臨床データ、創薬、ゲノム解析、蛋白質構造解析、ロボット制御、映像・画像が、また、対応する数学・数理科学のキーワードは数値解析、モデル化、シミュレーション、フーリエ変換、群論、線形空間、確率論、確率過程、統計解析、制御理論が挙げられている。

【質問4-1】これまで数学者・数理科学者との討論や数学の書物や論文を読むなどによって、貴方の研究が進展した経験がありますか？



【質問4-2】今後、貴方の研究活動において数学・数理科学での手法や理論が活用できると思われますか？

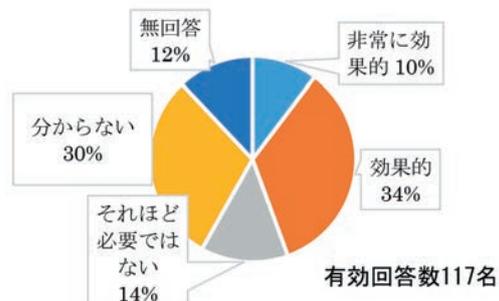


また、訪問滞在型研究所に関するアンケート調査では、44%の研究者が訪問滞在型研究所での数学・数理科学と意見交換することに効果的であると考えているにも関わらず（【質問8-3】参照）、訪問滞在型研究所での研究集会に参加されたことがある研究者の割合はわずか3.5%（117名中4名）であった（【質問8-1】参照）。このことは日本国内に滞在型研究所が欠乏しているためと考えられる。また、その他の自由記述の意見のなかに、「お互いの専門用語の理解」、「議論」、「相談」、「情報交換」、「相談窓口（コーディネーター）」等のキーワードが多く散見された。（アンケートに回答された）ほとんどの研究者が訪問滞在型研究所での研究集会に参加していないにも関わらず、44%の研究者が数学・数理科学者と訪問滞在型研究所で意見交換することが効果的であると期待している点では、諸分野と数学・数理科学の協働の場（出会いの場）として訪問滞在型研究所の潜在的な必要性を示唆していると考えられる。

【質問8-1】貴方はこのような訪問滞在型研究所での研究集会に参加された経験がありますか？



【質問8-3】数学・数理科学研究者と...訪問滞在型研究所で、意見交換を展開することは効果的と思われますか？



数学・数理科学の力が必要と感じている研究者が74%いるにも関わらず（【質問4-2】参照）、74%以上の研究者が数学と諸分野の協働促進のためのプログラムを知らないこ

とが分かった(第1章2節2.1.【質問10】参照)。科学研究費の連携探索型数理科学は14%弱、JSTの戦略的創造研究推進事業は9%弱の研究者にしか知られていない。特に、数学と諸科学との協働を促進するプログラムであるはずの数学協働プログラムに至っては諸科学の研究者にほとんど知られていなかった。もっと積極的に諸科学に対し広く広報活動を展開する必要がある。

例えば、各運営委員会に諸科学の研究者をもっと招へいするなど、諸科学へもっと戦略的に種々のプログラムを浸透させる必要があるだろう。

2節2.2の諸科学の成功(失敗)事例調査では、化学、物理、生物、制御工学の幅広い諸科学の助教から教授に至る幅広い年齢層の10名の研究者から収集した。結果として、直接的な失敗事例は今回収集できなかったが、異分野融合研究で数学・数理科学研究の貢献はどこにあったかという問いに関しては、10名中7名が以下の(1)を、10名中10名が以下の(2)を選んでいる。

(1) 数学・数理科学のアイデアや定式化が研究の根本的な役割を果たした。

(2) 諸科学分野の問題解決の段階で、数学・数理科学の理論や手法が応用できた。

また、活用された数学・数理科学として挙げられた3つの分野は、計算機シミュレーション(9名)が最も多く、微分方程式(7名)、数理モデリング(6名)、力学系(4名)となっている。アンケート調査では、例として、数理統計、機械学習、最適化、確率論、計算機シミュレーション、微分方程式、逆問題、力学系、可積分系、制御理論、微分幾何学、トポロジー、組み合わせ論、表現論、整数論、群論、複素関数論、数理モデリングなどを挙げたが、諸科学の研究者に馴染みがあまりない分野ほど注目されていないものと読み取れよう。また、10名中3名の研究者が数学・数理科学を活用するにあたって、適切な数学者を知らない、自分たちで解決できると判断しているため、(プロジェクトに)数学者に具体的な参加を求めている。

工学、数理生理学、計算機科学、生物学、数理物理学の幅広い諸科学における著名な国内外の研究者からヒアリングおよびインタビューを行った。株式会社島津製作所シニアフェロー、2002年ノーベル化学賞受賞者 田中 耕一氏から、自然に対峙するうえで学問分野を限定せず、数学を始めとして様々な視点から研究することの重要性を教示いただいた。特筆すべきインタビューとして、数学と生理学の異分野融合に関して世界的な権威であるユタ大学数学科教授ジェームズ・キーナー氏の意見が挙げられる。

①米国科学財団(National Science Foundation, NSF)が数学振興プログラムを積極的に実施してきている。ユタ大学数学科は現在までに二つのプログラムを実施し、予算総額は過去10年間の合計で約800万米ドル(約10億円)に達している。

②数学系の大学院生が、夏学期中、生命科学の研究室に滞在し、実験に従事したりセミナーに参加して過ごし、学際数理科学マインドをもった研究者の育成を行っている。

数学科のスタッフが実験生物学の研究室とのコネクションを作り拡げる過程で、次の2つの工夫を施した。第一に、数学科の学生を受け入れてもらうとき、数十万円程度の予算を配分して、実験生物学の研究室へのインセンティブとし、第二に、実験生物学の研究室にとっても意味のある共通のテーマを探して共同研究課題としたことが極めて効果的であったそうである。

- ③学際数理科学を振興するために必要な数学分野とは何かという問いに関しては、応用数学の全ての分野について、十分な理解をすることが肝要であること。例えば、確率、統計、常微分方程式、数値解析法(数値シミュレーション)、少しの計算機科学(データ)、近似理論、力学系理論、最適化理論、偏微分方程式、など非常に広範囲な応用数学の理論に通じていることが重要であるが、どのような数学が実際に必要となるかは諸科学との連携において予め決まっているわけではなく、日々学んで幅広い数学分野を学ぶ必要があること。例えば、今取り組んでいる薬の投与に関する数理モデル(吸収代謝過程の動力学モデル)に関して、その問題の解決には、1939年のポール・エルデシュの代数的整数論の論文が重要な役割を成すことを発見したそうで、キーナー氏自身、異分野連携を通して「私はこれまで、いかに数学を知らないかということ」を気づかされ続けてきたそうで、その経験から、「知らないことを学ぶ方法」、「数学を学ぶ方法」を教えることが極めて重要であると氏は考えられている。

このように米国では数学振興プログラムが日本に比べて遥かに精力的に展開されてきていることは特筆すべきである。さらに、異分野数理連携を通して、単に諸科学の研究を効果的に深めるだけでなく「数学者が数学を再認識する」ことを通じて新しい数学を創造することが異分野数理連携の向かうべき数学・数理科学者の目線からの方向性のひとつであろう。

この他にも工学、生物学者などの一線級の海外の研究者からも特筆すべきコメントをいただくことができた。例えば、上海交通大学計算機科学工学部教授 Bao-Liang Lu 氏は、①今日、情報通信技術の重要性がとみに高まっており、深層学習のような人工知能においては、新しい数学(たとえば甘利俊一東京大学名誉教授の情報幾何学の構想)の構成が次世代の技術革新をもたらすと期待している。②国家的脳研究プロジェクトが、欧州、米国、日本で実施されてきているが、工学的な情報処理の観点からはまだまだ不明である。そこでは、数学が非常に重要な役割を担う。神経回路網の解析、データ解析、脳型計算アルゴリズムの発見、定式化、モデリングなしにはすすまない。③情報通信技術においてはハードウェアを制御するソフトウェアなるものが不可欠であり、そこで用いられるアルゴリズム自体がそもそも数学という学問の産物であるという認識が重要であること、こういう根本的な正しい理解を忘れると、科学技術の真の革新は起こりえないと指摘している。グーグルなどのインターネット検索エンジン、フェイスブックなど

のソーシャルネットワークサービス、スマートフォン、クレジットカード決済(暗号理論の基礎は整数論)など、今日的と思われる情報技術は、その土台に数学がある。こういうことをマスコミも強調すべきである。そのためには、数理科学分野の博士を増員し、社会に送り出す(産業社会がそういう人材の重要性に気付いて求めるようになる)ように制度設計することが急務である。そこを上手く実施する国が、次世代の情報産業をリードすることになるだろうと指摘している。

(3) 企業への意識調査

6年前に実施した前回の平成21年度文部科学省委託事業においても企業にアンケートを送ったが、そのときとは設問を大幅に変更したので、一概に比較はできない。調査項目は、

A. 「過去5年間で数学をバックグラウンドに持つ人を採用したか？」

B. 「過去5年間で数学をバックグラウンドに持つ人を採用していないが、数学・数理科学者との連携・協力経験があるか？」

で始まり、それにまつわるものであった。前回の委託調査では、1000社にアンケートを送り、263社から回答を得た(回収率26.3%)。263社からの回答のうち、Aは22社、Bは8社に留まった。

今回は、数学・数理科学へのニーズや活用状況、数学・数理科学者との連携の状況および期待に関する設問を中心に据えた。その結果は第1章3節に述べてある。229社にアンケートを送り、42社から回答を得た(回収率18.34%)。数学・数理科学を活用しているが26社、近い将来数学・数理科学がもっと必要になるが回答数36社中26社で、いずれも過半数を占める。一方、数学・数理科学研究者との連携・協力をした経験がある企業は回答数41社中14社、近い将来数学・数理科学研究者と連携したい企業は回答数41社中15社で、過半数を割り込む。6年前に比べると、数学・数理科学へのニーズは高まり、産学連携も進んでいる傾向が読み取れる。過去6年間の諸施策や数学・数理科学研究者の取り組みが徐々に産業界に浸透していることによると考えられる。

しかし、数学・数理科学へのニーズの高さに比して産学連携の実施が少ないのは、この浸透が十分に行き届いていないことの反映である。これにはより組織的な取り組みが必要であろう。数学・数理科学研究者が技術開発現場やその関連学会に出かける、数学・数理科学研究のシーズに関する情報を全国的に集約して、産業界からのアクセスを容易にする等の全国規模の取り組みが求められる。

また、明らかになった課題として、最近のインターネットの普及により、技術開発のグローバル化と開発のスピードアップが一挙に進んだことが挙げられる。また、技術の高度化によって、一企業を単位とする技術だけでなく、量子計算機のように、国家レベルで数学・数理科学を技術に融合する取り組みが求められる先端技術も現れている。EUV光源による半導体リソグラフィ開発が、アメリカやロシアから遅れつつあるのも

これに類する。企業のビジネスも都市スケールのコンサルタントなど大規模なものが増加する傾向にある。

今後、我が国から次世代の産業技術イノベーションを生み出すためには、数学・数理学と産業界が組織的に連携できる全国規模の仕組みの構築が急務である（図1.5参照）。

(図1.5) 数学・数理学と産業の連携



1.2. 第2章の調査結果概要

第2章では、数学・数理学を活用した異分野融合研究に焦点をあてて、平成21年度以降の活動概要とその支援体制についての調査を行った。1) 数学協働プログラム、2) 共同利用や共同研究拠点、各大学機関が行っている数学と諸科学・企業との連携拠点の活動である。それぞれの活動および実績データを収集した。これらから、それぞれ活発な活動を行い、順調に発展していることが見える。

数学協働プログラムでは、いくつかの重点領域において数学・数理学による異分野融合研究の道筋が構築され、大きな成果も創出されている。特に、研究組織の連携による課題の発掘やアウトリーチ活動を継続・発展させていくことをさらに目指していることが分かる。

数学連携拠点の調査結果からの課題をあげる。

【課題1】 数学連携拠点がやってきた個々の活動を発展させつつ、それぞれが協力し、連携できる体制の構築

2007年度から始まった西浦総括によるCREST・さきがけ研究領域「数学と諸分野の協働によるブレークスルーの探索」の目的は、数学・数理学研究者が諸分野と連携して、

単一の科学技術のディシプリンでは解決が難しい社会的ニーズの高い課題解決に取り組み、ブレイクスルーの探索を行い、対象となる複雑な現象を数学的に解明して解決の糸口を与えることである。本領域は、数学が核となる初めての研究領域であり、同時に数学全体を包括する極めて広い領域設定となっている。多くの問題が単一のディシプリンでは解決困難であり、複数分野の橋渡しは数学なくしてはあり得ず、数学者を中心とする様々な専門の研究者集団が諸科学の研究者と協働し、それらの問題に対峙する「バーチャル・インスティテュート」を形成し、多くの実践例を実施した。そのインパクトは大きく、数学コミュニティのみならず、多くの分野に越境しつつある。学問の細分化は何もしなければ、徐々に新たな問題、視点、方法論の注入が乏しくなる傾向をもつ。それへの対抗策の一つとして、バーチャル・インスティテュートの設定、そこにおける様々な専門の研究者のアイデアがぶつかる場は新陳代謝にとって有効であった。

この西浦総括による CREST・さきがけプログラムでは、諸科学との融合研究の「芽」が育ち、それが順調に発展している。一例として、新井仁之氏は、CREST・さきがけ研究のテーマである錯視の研究を深い実解析の結果をもとに発展させ、その数理的機構を明らかにするのみならず、多くの特許出願（査定登録済）にもつなげ、新ビジネス「ゆらりえ」を楽プリ（株）と立ち上げた。また、さきがけプログラムから、多様な専門を持ち、自発的な融合研究をオーガナイズする若手研究者が育っており、大きな人材ネットワークを形成している。

CREST プログラムにおいても大きな成果が得られた。例えば、小林チームが行っている「生物ロコモーションに学ぶ大自由度システム制御の新展開」では、複雑で不確定な環境の中を生物のようにしなやかに、かつタフに動けるロボットをつくることを目的としている。ここで、数学者、生物学者、ロボット工学者のチームが大自由度ロボットと自律分散制御、自己組織化によるロコモーション生成を生物から学ぶ。その壁となるのは、自律分散制御の設計原理の不在である。それを、アメーバー運動に立ち返り、自律分散制御の設計原理を抽出し、這行・脚歩行などのより複雑なロコモーションの解析から「齧齧関数」という枠組の抽出に成功した。それにより、身体性をもつ数理モデル、機能創発の理解とソフトロボティクスと数学、生物、ロボットの各分野への展開が期待されている。これらの研究推進の一部は、2010 年の Science での論文発表や 2012 年 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems JCTF Novel Technology Paper Award for Amusement Culture Finalist の受賞にもつながっている。また小谷チームは金属ガラスの不規則構造の解明のため、初めてパーシステントホモロジーを用いて解析することを試み、歪んだ正 20 面体構造が系を特徴付けることを明らかにし、その成果は 2013 年の Science に掲載された。さらに坂上チームは、2次元ハミルトニアン場で構造安定な流線のトポロジーの完全分類に成功した。これによりパターンに固有の語表現が割り当てられ、どんなに複雑な流れであっても、構造安定な流れパターンの遷移を一意に同定することが可能となった。これは当初は予想され

ていなかった「知の出会い」であり、流体とトポロジーの2分野の協働作業の好例であり、その結果は2015年に Physica D に掲載された。またこれに関する特許も取得している。水藤チームは臨床医との文化的壁も乗り越え、大きな成果を残した。胸部大動脈瘤ステント治療に関わる成果から始まり、樹木図を用いた熟練医の暗黙知である腫瘍画像診断論理のアルゴリズム化に至るまで流体力学、微分幾何学、統計学的手法と数値解析、シミュレーション技法を巧みに融合させ、臨床的にも意義のある大きな成果を得た。ここにおいても、極めて広範囲の分野の融合的研究が実を結んでおり、領域のスケールメリットが際立つ。社会的貢献として、これは医師の負担軽減と高齢化時代の要求に応えた画期的なものであり、水藤氏は2013年度藤原洋数理科学賞大賞を受賞した。

そのほかにも、科学技術イノベーションの創出の基盤となる成果と企業と数学者の連携課題も数多くあり、これまでに国内外の特許は合わせて36件取得している。更なる進展が今後期待されている。そのほか、平岡氏による計算トポロジーのタンパク質解析に適用していた手法を材料科学へ適用した例、國府氏による時系列解析などのデータ解析への応用、杉原氏による錯覚を利用した交通事故防止等の成果、柴田チームによる複雑なマルチスケール現象解明のための、解析力学を基盤とする、数学的に厳密な確率微分方程式によるモデリングの確立などがある。

このように、数学のもつ抽象性と普遍性を活用し、諸現象に潜む複雑な構造の「本質」部分を見出すことが、科学技術でのブレークスルーを引き起こし、それが諸科学各分野や数学研究へとフィードバックされる。2007年度に始まった西浦総括によるCREST・さきがけ研究領域「数学と諸分野の協働によるブレークスルーの探索」は、物質科学、ロボティクス、臨床医学、皮膚科学、CGなど、諸科学との協働による新たな小分野形成という意味では、大きな成功をおさめ、これが2014年から始まった数理モデリング領域(CREST)・数学協働領域(さきがけ)に引き継がれていることからそのインパクトと発展性は十分あったといえる。

【課題2】 CREST・さきがけプログラムで成果を上げてきた融合研究の「芽」を横断的・汎用的研究へと発展させるための方策

1.3. 第3章の調査結果概要

第3章では、海外における数学・数理科学融合研究支援体制についての調査結果報告である。米国および欧州の競争資金動向、Matheon（ベルリン工科大学、ベルリン自由大学、フンボルト大学、ワイエルシュトラウス応用解析確率研究所、ツーゼ研究所の5機関の数学研究者による共同研究体）を発展させ産業数学の活動を行っているドイツ・アインシュタイン数学センター、European Research Council、韓国の応用数学動向について、ヒアリング調査、メールによる質問調査、インタビュー調査を行った。

アインシュタイン数学センターは、産業数学研究を中心にして、ベルリン近郊の大学研究機関の連携を行っているものである。このような、各研究拠点が連携し協力しあう体制により、相互の補完や効率のよい活動ができています。また、韓国の応用数学の現状について、質問事項についての回答とインタビューを行った。インタビューでは、異分野と数学との協働研究はますます重要になっていること、産業界に数学をより有効に適用しイノベーションを起こす人材を輩出することが有効である等回答している。また、欧州 European Research Council (ERC) 理事長 Jean Pierre Bourguignon 氏（専門は数学）へ ERC の競争的資金の動向と訪問滞在型研究所についてのインタビューを行った。訪問滞在型研究所の重要性については、韓国科学技術院 (KAIST) 数理科学科 Dongsu Kim 教授も Bourguignon 教授も認めている。

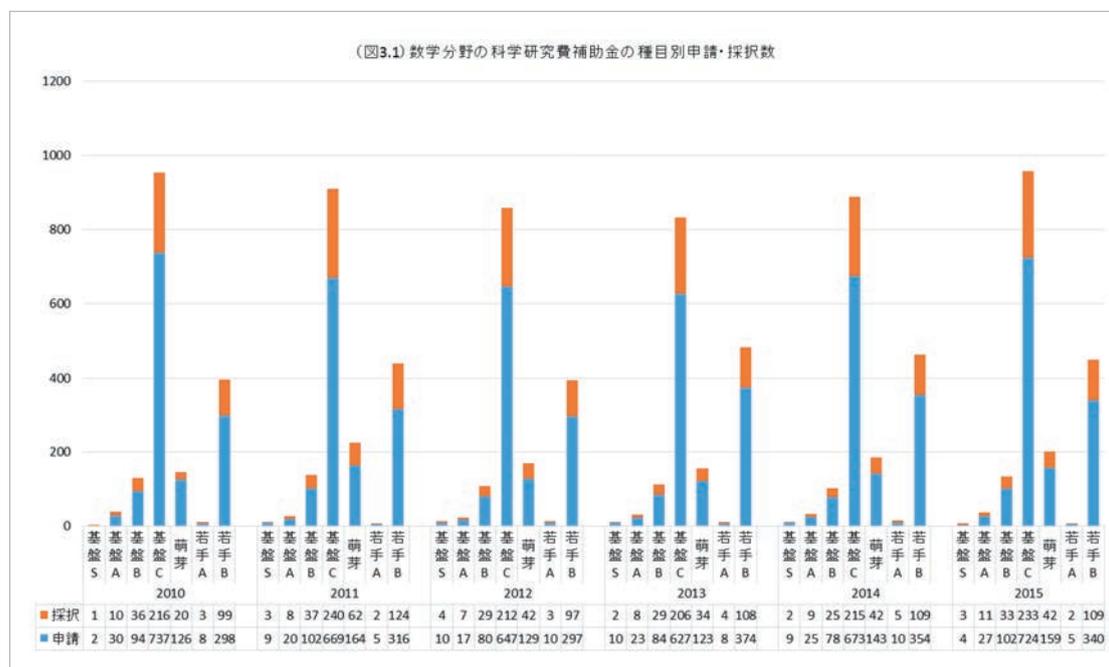
競争的研究資金について、米国の競争的資金は年々増加の傾向にあり、数学研究への支援が進んでいる。Bourguignon 氏へのインタビューからは、プロジェクト申請について次のようなコメントがあった：

「所属機関（個人との契約はしない）との契約で、25%の間接経費がつくので、大きな予算獲得が要望され、数学はさほど予算を要さなくても、いずれかの分野と組み大きな予算を申請することが多くなる。」

一方で、日本での数学・数理科学研究は、日本学術振興会科学研究費補助金の申請・採択動向をみても、基盤研究 C などの個人的な申請が中心で、大型予算の確保が不足している（図3.1参照）。このことは、日本の数学・数理科学研究費の減衰を招く。また、科学研究費補助金の特設分野となっている「連携探索型数理科学」についての応募はかなり多い（図3.2参照）。このことは、数学・数理科学の融合研究が進んでいることを示している。連携探索型数理科学を設定したことで、数学・数理科学と諸科学との連携課題が特に若手研究者から発掘される契機となっている。一例としては、数学の一分野である結び目理論を応用して、大腸菌染色体複製の際に発生する DNA 絡み目を組換え酵素システム Xer-dif -FtsK が解消するというメカニズムの解明を行った成果が出ている。特設分野では特に、数学・数理科学と生命科学分野との連携課題が多く申請されている。このように、生命科学をはじめとする諸科学側から数学への期待がある。

連携探索型数理科学にはすでに毎年多くの申請もあり、特に若手研究者へのインセンティブも与えている。今の限定された特設分野ではなく、定常的な細目化をすることで、

数学・数理科学と異分野融合研究の促進が見込まれる。



(図3.2) 科学研究費補助金特設分野：連携探索型数理科学の申請・採択件数

	2014	2015
申請数	256 (件)	163 (件)
採択数	21 (件)	25 (件)

日本学術振興会 学術システムセンターからのデータ提供

第3章ではさらに、国際数学会議、応用数学国際会議での我が国とアジアの招待講演者数や米国の米国数学会 (American Mathematical Society,AMS) と産業応用数理学会 (Society for Industry and Applied Mathematics,SIAM) の会員状況を調査した。日本の数学・数理科学研究活動は、質も高く活発である。2006年に伊藤清氏が国際数学会議でガウス賞を受賞したのは日本の数学・数理科学研究の質の高さを示しているが、フィールズ賞の日本人受賞者が20年以上いない。我が国の数学・数理科学研究の国際プレゼンスを向上させる戦略が必要である。一方で、アジアの数学・数理科学研究は急速に活発になっている。いずれ、アジアが数学・数理科学研究の一つの研究中心となることも十分予測できる。アジアを中心とした、研究ネットワークの構築も必要である。

●この調査での課題を以下にあげる。

【課題1】我が国での数学・数理科学異分野融合研究連携拠点の協力体制の構築

【課題2】 数学・数理科学研究での大型科学研究費への申請の検討

【課題3】 科学研究費特設分野研究「連携探索型数理科学」の定常細目化

【課題4】 国際的プレゼンスを向上させるための国際的研究ネットワークの構築

【課題5】 数学・数理科学研究の異分野融合研究のための訪問滞在型研究所の構築

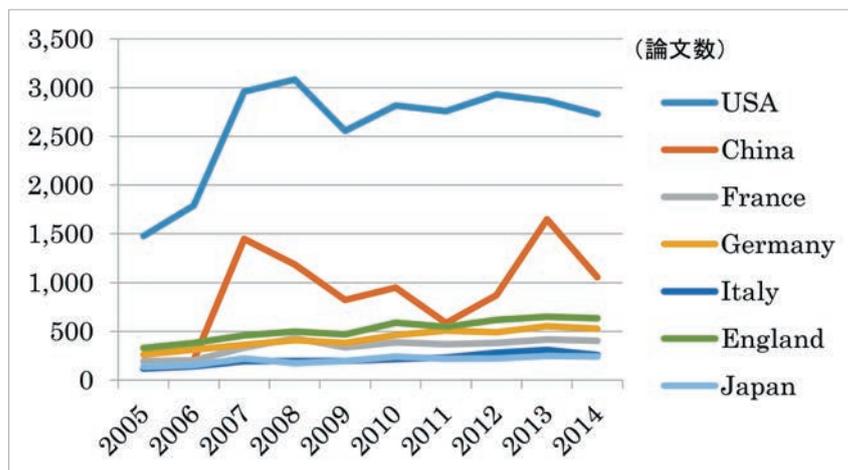
1.4. 第4章の調査結果概要

第4章では評価指標による異分野融合研究の動向として、NSFによる科学・工学研究動向の国際比較、MathSciNetによるキーワード検索を用いた世界の数理科学論文における融合研究の調査、Journal of Theoretical Biologyなど融合研究の学術雑誌の年次変化、Web of Scienceのデータによる分析、数学関連の特許についてまとめた。

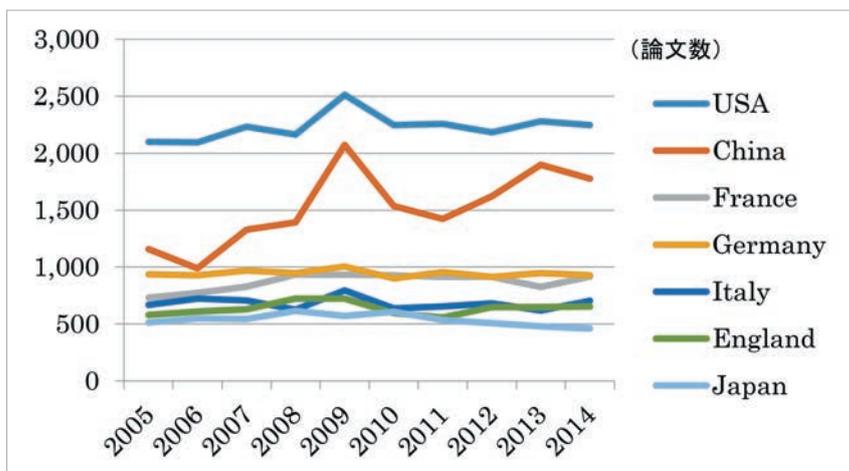
数学・数理科学と諸科学の融合研究の進展を詳細に把握することは難しいが、海外のファウンディング機関のレポートや網羅的な学術文献データベースを調べる事である程度の傾向を把握することができよう。

以下のグラフ(図4.1-4.3)はWeb of Scienceが規定している全251分野のなかで数学関連の複合的学術分野の論文数の推移(2005-2014)について主要5カ国と日本に限定して示したものである。

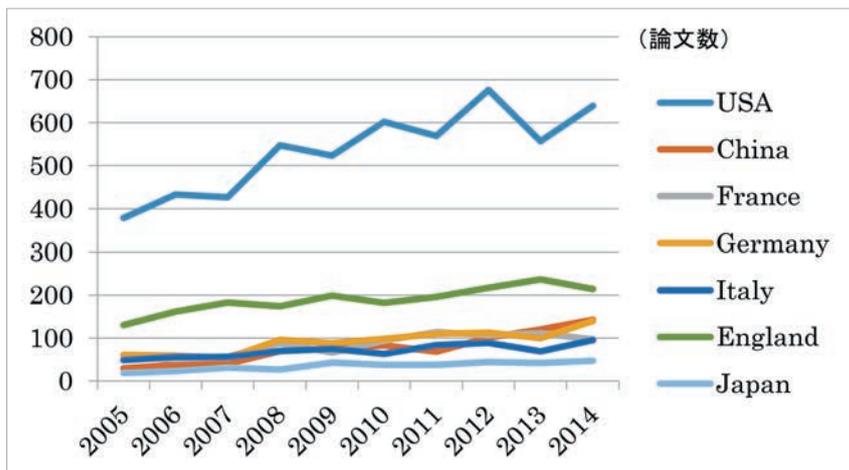
(図4.1) Mathematical & Computational Biology (数理生物学、計算生物学)



(図4.2) Physics, Mathematical (数理物理学)



(図4.3) Social Sciences, Mathematical Methods (社会科学、数学的手法)



2005年から2014年までの過去10年間 の全体的な傾向として生物学(Mathematical & Computational Biology) (図4.1 参照)、物理学(Physics, Mathematical) (図4.2 参照) との融合研究は横這いあるいは伸びが鈍化している。一方、社会科学(Social Sciences, Mathematical Methods) (図4.3 参照) については英国、中国、ドイツでは増加、さらに、米国での増加傾向が顕著である。これは応用数学と人文・社会科学との分野横断的共同研究について今後も注目する必要があることを示唆している。

なお、特許に関しては異分野融合により数学・数理科学をキーワードとして含む特許数は過去10年間に増加傾向であることが今回の調査によってわかった(第4章5.1-2参照)。

異分野融合研究の動向を把握することが困難である主な理由として、従前の学術文献における研究成果のインパクト(文献引用数)のような客観的な指標、基準が完全には確立されていないことがある。さらには数学・数理科学分野の研究成果に対する波及効果、評価が短期的には現れにくいことも諸科学との関連を計量的に調べることを難しくして

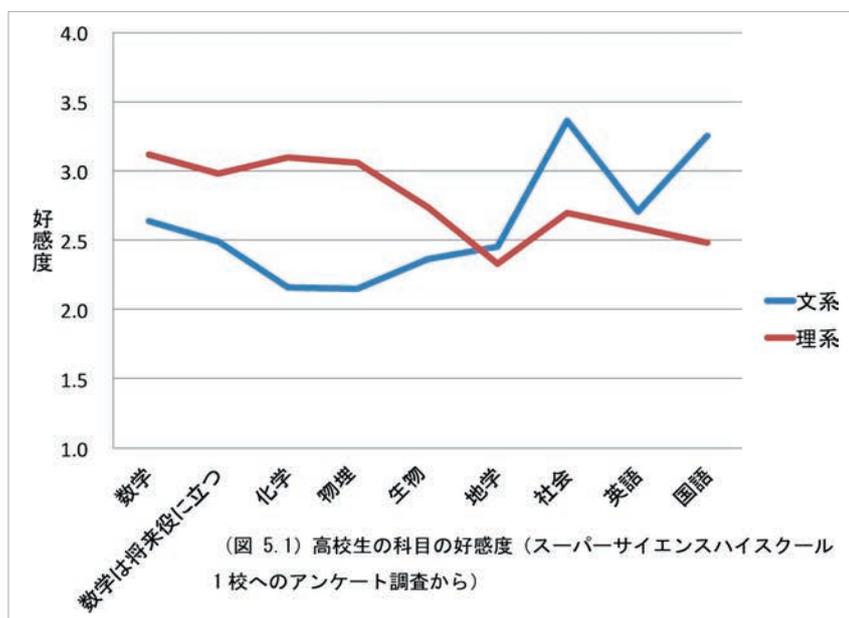
いる。今回の調査でも既存の（数学を含む）学際的分野の動向調査のみでは全体像を把握することは非常に困難であることがわかった。

今後は異分野融合研究の動向を客観的に測るための新たな指標の研究が望まれるが、大規模な書誌情報データの数理的分析にはグラフ理論、最適化理論などを駆使する必要があり、応用数学の研究者の貢献が期待される。また対象となるデータに関する整備についても各関係公的機関の横断的な協力が必要不可欠である。

1.5. 第5章の調査結果概要

本章では、数学人材の育成について、数学・数理科学の活用による融合研究の促進という立場から、我が国と米国との人材育成の比較を重点にして調査を行ったものである。特に、1) 若年層への数学好感度、2) 大学学部教育、3) 博士課程学生のキャリアパス、に焦点をおき、調査を行った。ここでは、その概要をまとめた。

ア) 若年層への数学好感度調査として、スーパーサイエンスハイスクール一校全学年を対象にアンケートを行った。文部科学省が推進してきたスーパーサイエンスハイスクールの施策の結果として、数学への好感度は高いし、その重要性も感じられる結果である（図5.1参照）。



好感度を1（好きと思わない）から4（好きと思う）の4段階で評価してもらった値の平均値

有効回答数 文系志望109名 理系志望245名

特徴的なのは、文科系進学希望の学生でも数学の好感度は高く、「数学に興味を持ったきっかけ」は塾の先生や学校の先生であった。これは、若年教育の重要性を示している。

次に、高校の数学教員へのアンケートを行い、「高校生に大学で数学科への進学を勧めないとしたらその理由はなにか」との回答では

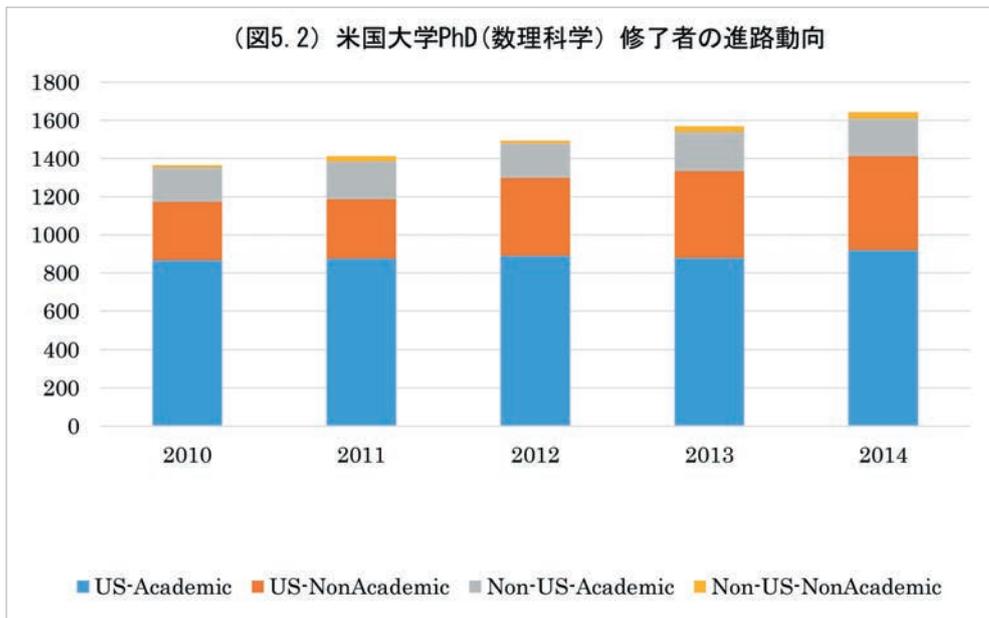
- 高校と大学の数学のギャップが大きい
- 出口(キャリアパス)が少ない

という回答を得た。また、「数学が社会に役立っているか」という質問には、「そうである」という回答を得ているが、具体的にどのように役立っているかという説明はできていない。

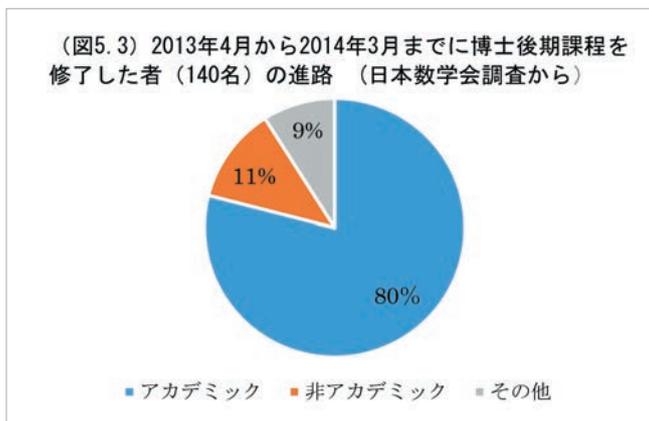
米国の数学人材育成の一つの例として、オハイオ州立大学やボストン大学で行っているサマースクールについて調査を行った。ボストン大学でのサマースクールは、6週間程度という長い期間を使って、あたかも、自分が数学研究者になったように、「問題を解く」というトレーニングをしている。ただし、決して大学で習う数学を使わず、高校生が考えられる知識を使って「考える」ことを教えることが目標である。このサマースクールの主催者からは、「数学研究者を育てることではなく、科学の PhD を育てることが目的である」という回答があった。実際、このサマースクールからは、6割程度の高校生が大学で数学をメジャーにとるが、学部進学後に数学の大学院へ進学するのはそのうち6割ぐらいということであった。米国の教育方法が我が国とは違うが、幅広い進路選択の環境がある。

イ) 大学学部教育について日米の比較を行っている。大学学部における数学教育について、日米比較を中心として様々なデータとヒアリングによる意見を集めた。日本での「数学科、数理科学科」での学部数学専門教育は米国より、より専門性が高いと思えるが、数学の外に目を向けさせる機会が少ない。高校の数学とのギャップを埋める工夫も少ない。また、特に統計教育は不十分であろう。米国では、学部教育の内容は日本ほど専門性が高くない。科目の濃密さ(1コマ50分程度であるが、それを週に4回やる)、数学の外に目を向けさせる機会、高校までの数学とのギャップを埋める工夫等がある。また、応用数学や統計などの教育にも広げる多様性が見える。さらには、優秀な学生には、自由なコース選択を与え、より早くアドバンスな専門履修も可能にしていることや、数学の授業以外にも様々な科目をとれるようなシステムも導入されている。それにより、学部卒業後あるいは大学院修了後の進路の幅も広がっている。

ウ) 学部、大学院の数学・数理科学系の修了学生および博士課程学生の進路状況について日米比較による調査を行った(図5.2、5.3参照)。日本の数学・数理科学系学生の修了者は、米国に比べ、かなり少ない。相当年齢の人口比率の補正をしても、学部では1.5倍程度、修士課程で2倍弱、博士課程では4倍程度の差がある(第5章6.2(3)参照)。数学・数理科学を活用した異分野融合研究や企業との共同研究を行う数理人材を育成することで、このギャップを埋めることが必要である。そのために、学部の教育の検討が特に必要である。



出典：米国数学会 (AMS) 調べ



博士課程修了者の進路は、日本はほとんどがアカデミアで、アカデミックポジション以外の進路(高校教員を含む)は、2014年の調査で11%(うち企業は4%)であり(図5.3参照)、米国ではアカデミックポジション以外の進路が年々増加し、2014年には23%(US-NonAcademic)ある(図5.2参照)。日本の博士課程修了学生のキャリアパスは喫緊の課題となっている。

●この調査での課題を以下に挙げる

【課題1】若年層(中学・高校)での積極的な数学教育プログラムの検討

【課題2】高校での数学応用事例の教育や数学応用事例の教育ができる高校教員の育成

【課題3】学部での数学教育プログラムの検討

【課題4】多様な関心をもつ新しいタイプの学生や若手研究者の育成

【課題5】博士課程修了学生のキャリアパス支援

1.6. 第6章の調査結果概要

第6章では訪問滞在型研究所について、質問票による回答、現地調査、インタビュー等による調査を行った。数学・数理科学の訪問滞在型研究所は、国際的なコンソーシアムに参加しているだけでも59か所あり、近年、特にアジアでは急速に設置されている。本調査では、訪問滞在型研究所を、1)大学付属型研究所、2)長期共同研究指向型研究所、3)短期滞在型研究所、に類型別に分け、それぞれの研究所を調査した。本調査で行った数学・数理科学研究者へのアンケート、諸科学研究者へのアンケートやインタビュー、ファンディング機関へのインタビュー、訪問滞在型研究所関係者への質問等から、訪問滞在型研究所の必要性について主な点をまとめてみる。

• 訪問滞在型研究所の必要性

【必要性1】国内若手研究者へのインセンティブの付与による若手研究者の育成

我が国が学際研究を推進するためには、次世代を担う学生や若手研究者の育成が最重要課題である。これから本格的に研究テーマを定めて取り組もうとしている若い研究者こそ学際研究の中心的な担い手になるからである。現状では、国内の若手研究者が海外で行われている先端研究に触れて、その研究者と徹底的に討論するためには海外に行くしかない。一方、日本に訪問滞在型研究所が設けられ、そこに海外からの多くの研究者が集まってくれば、国内の若手研究者が海外の新しい研究や研究者と直に接することができる。このことにより、国内の若手研究者へのインセンティブ付与や国内の若手研究者の育成に貢献する。実際、米国・MSRI（数理科学研究所）では、米国からの参加者が50%程度ある。また、オランダ・ローレンツセンターは、若手研究者を奨励する分野融合プログラムを積極的に採用している。

訪問滞在型研究所で若手研究者を育成することにより、研究のアクティビティが急速に上昇することも知られている。台湾が訪問滞在型研究所を1997年に設立し、その後17年の間で研究論文の質や量がともに急激に強化された（図6.1-6.2）。これは、若手研究者が海外からの研究者から影響を受け、国際的レベルでの研究を知ること、国際的な研究者として育成されたことによる。日本に訪問滞在型研究所ができれば、そこで育成された若手研究者により、日本の数学・数理科学を活用した異分野融合研究をそれほどの時間をかけずに強化することができる。

【必要性2】日本発の世界をリードする学際研究の創出

1958年にフィールズ賞を受賞したルネ・トムは、カタストロフィー理論を生み出し、

様々な自然現象や社会現象の解明をフランス高等科学研究所で行った。これにより、フランス高等科学研究所は、国際的な研究者が集まる場になっていった。その後、幾何学者であったミハイル・グロモフが生命科学の学際研究を進め、フィールズ賞を受賞し、マクシム・コンツェビッチが量子場理論のブレークスルーを生み出すことで、世界をリードする学際研究拠点となっている。このようにすぐれた数学者が訪問滞在型研究所を利用することにより成果があがっている。数学・数理科学分野の研究者と諸科学分野および産業界の研究者との恒久的かつ持続的な徹底討議の場を戦略的に設けて、新しい学際領域が日本発で生まれることで、日本が世界をリードすることができ、多くの研究者が国内外から集まるようになる。

【必要性3】国際的プレゼンスの向上や研究ネットワークの構築

オーバーボルファッハ数学研究所では、2014年にはチューリング賞をとったシャフィ・ゴールドワッサが暗号理論のワークショップを成功裡に開催し、数学者、コンピュータ科学者と経済界の代表を結びつけた。2015年の量子化学のワークショップでは理論数学者、数値解析学者と化学者が一堂に会したというように、数学者と企業や諸科学研究者の交流の場を提供することができている。海外からの研究者が日本での訪問滞在型研究所に集まるようになれば、日本の国際的プレゼンスが向上する。

訪問滞在型研究所には、国際的研究ネットワークの構築という大きな役割がある。特に、我が国にとって重要であるアジアとの研究ネットワークを作っていくためには、アジアで設立された訪問滞在型研究所との連携を構築するのが一番効率のよい方法である。さらには、国際的な研究ネットワークへと広げていくことが可能である。

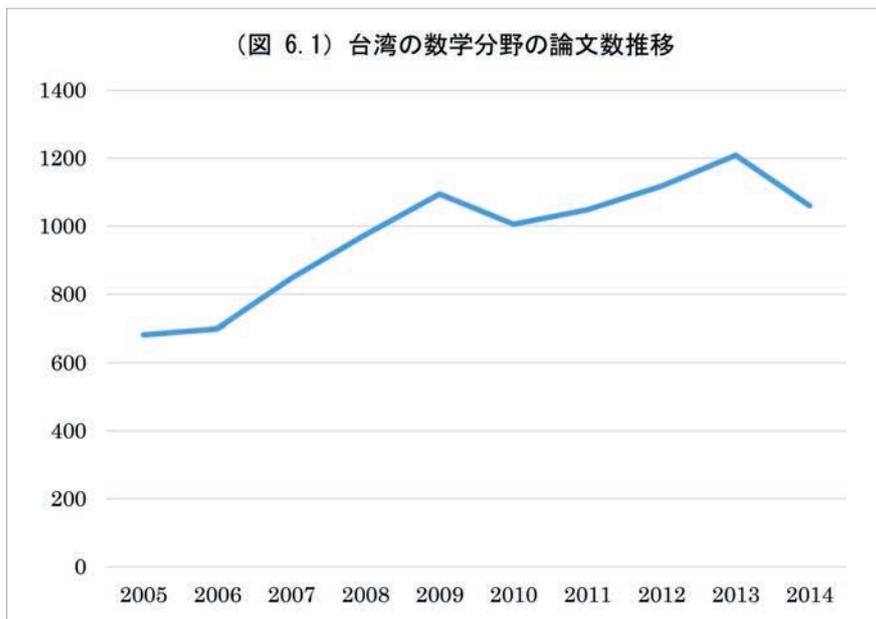
そのほかにも、訪問滞在型研究所は、産学連携の窓口、企業と共同研究を始めるためのマッチングにも活用できる。また、アウトリーチ活動による社会への貢献として、訪問滞在型研究所でのワークショップや共同研究で訪問する研究者による一般向けの講演会、中学生や高校生へのセミナーや交流の機会が増える。高校生のサマースクールの開催も可能である。

新しい学際的研究を行うには、まず個別分野の深い知識をもった者を集めることから始める以外に方法はないし、学際研究、融合研究は始めるのが難しい。なぜなら、良い研究者は、すでに各個別分野で自分自身の研究プロジェクトをもっていて、そこで優れた成果を挙げている。また、良い研究者でないと、参加してもらっても意味がない。良い研究者に学際研究プロジェクトが取り組むに値するものであることを納得させる必要がある。そのためには、関係者が一堂に会する機会が設けられる必要がある。また、プロジェクトの具体的内容に関しては、深く掘り下げた議論が必要であり、それに集中できる時間と場所が確保されなければならない。そのために、訪問滞在型研究所が必要である。

海外の訪問滞在型研究所は、小さな施設(例えばオーストリアのシュレディンガー研究所はシュレディンガーのアパート)や既存の施設を改修してスタートし、結果として

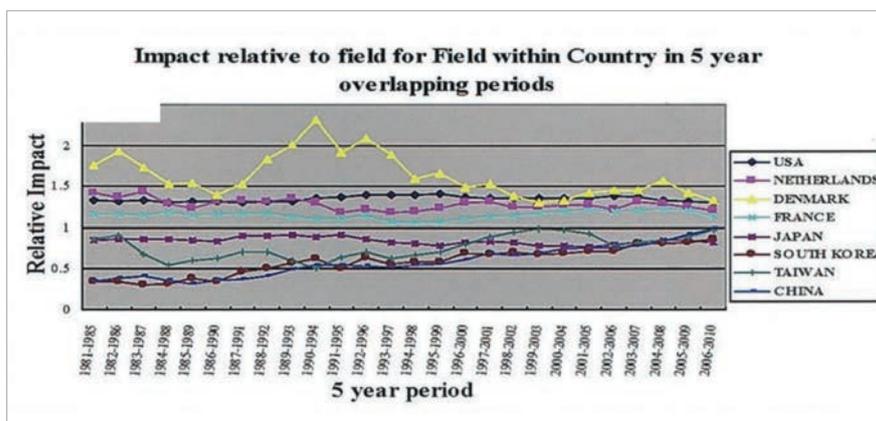
大きな施設になっている研究所も多い。まずは、既存の施設でもよいので、パイロット的なプログラムを始めることも検討の価値がある。

【参考:台湾のデータ】1997年に台湾 National Center for Theoretical Science(NCTS)が設立されたが、それにより数学研究が質、量ともに急速に伸展したことが分かる(図6.1-6.2)。



出典: トムソン・ロイター Web of Science

(図6.2) 【数学研究の国ごとの5年ごとの相対インパクトファクター】



出典: National Science Indicators on Diskette 2010

2. 必要な取組

2.1. 目指すべき将来の姿

近年、社会の情報化や複雑化に伴い、以下のような変化が生じている

- 計測技術や情報技術の進歩に伴い大量で複雑なデータを容易に入手できるようになり、その持つ意味を理解することが諸科学や企業の様々な活動において、国際的競争に勝つカギを握るようになってきている。
- 各学問分野や産業界に固有の理論的フレームワークに基づくモデル化だけでは捉えきれない複雑な現象や問題が増加している。
- 既存のものの単なる改良ではない、真のイノベーションを実現するには、これまでにない発想やものの見方が必要となっている。

このような状況から、ものごとを抽象化して本質的な部分を抽出する力のある数学・数理科学への期待が高まっている。また、既存の手法や理論を根本から変えるような、新たな視点やアイデアを提供してくれるのではないかという期待もある。

このため、諸科学や産業の様々な活動において数学・数理科学の力を最大限に活用することが不可欠であり、これを促進することにより、以下のような姿を目指す必要がある。

(1) 社会全体

- 数学連携拠点の行っている活動が社会から十分認知され、自発的に数学・数理科学と企業や諸科学研究分野との協力が行われるようになってきている。
- 企業や数学・数理科学以外の研究分野において数学・数理科学の重要性が認識され、数学・数理科学が十分に活用されている。
- 数学・数理科学と企業や諸科学との融合研究の成果が、当初の応用先とは別の分野にも水平展開され、汎用的な研究成果が出るようになってきている。

(2) 数学・数理科学研究コミュニティ

- 数学の学理探求だけでなく、数学を応用する研究も評価する。このための研究費の確保も容易になっている。

(3) 大学等教育機関

- 数学・数理科学系学科の学生が博士課程修了学生も含め、企業や諸科学など幅広い分野で活躍している。
- 数学・数理科学以外の分野においても数学・数理科学の基礎力が高まり、数学・数理科学研究者との連携相手になる人材が育っている。
- 高校教員や高校生・その保護者に、大学の数学・数理科学系学科進学後の進路が企業も含

め多様であることが十分知られており、数学に意欲をもつ高校生が、将来のキャリアについて安心して(他の学部・学科でなく)数学・数理科学系学科に進学するようになっている。

(4) 国際的な研究ネットワーク

- 日本における数学・数理科学と企業や諸科学との融合研究が国際的に認知され、日本がそのような融合研究の国際的ネットワークの中心的存在の一つになっている
- 日本において海外の第一線の研究者と日本の学生や若手研究者が、数学・数理科学と諸科学の融合研究について国際的な交流を行う場があり、それが日本の学生や若手研究者に直接交流する強烈なモチベーションを与え、それにより新しいアイデアを持った人材が育成されるスキームが作られている。

2.2. 現状の問題点

2.1 で述べた数学・数理科学と企業や諸科学との融合研究の目指すべき姿に対して現状の問題点を整理してみる。

(1) 社会全体

- 共同利用・共同研究拠点、大型プロジェクトや大学等研究拠点に置かれた数学連携拠点での活動は活発に行われているが、社会での認知度はまだ高くはない。
- 企業や諸科学でも数学・数理科学の活用については、重要視しているものの、実際の活用や認知度について不十分である。
- CREST・さきがけ等のプロジェクトでの成果から見られるように、数学・数理科学と企業や諸科学との融合研究の成果や方法論が、他の融合研究に有効に用いられるという例は数学・数理科学研究者間ではよく知られているが、諸科学や企業においては、そのような数学・数理科学研究の汎用性についての認知度はまだ不十分である。
- 我が国から次世代のイノベーションを生み出すためには、数学・数理科学と産業界や諸科学研究者が組織的に連携できる全国規模の仕組みの構築が急務であるが、まだその実現に至っていない。

(2) 数学コミュニティ

- 国際的動向として、数学・数理科学と企業や諸科学との融合研究のニーズは高まっており、このような融合研究が進んでいる状況であるが、国外、特に欧米と比べると日本はまだ脆弱である。数学を応用する研究評価の仕方が定まっておらず、数学・数理科学と諸科学との融合研究での競争的資金は不十分であり、またそれらが獲得しやすいという状況には至っていない。また、そのような融合研究を目指す若手研究者への十分な支援もできていない。

(3) 大学等教育機関

- 博士課程のキャリアパスは喫緊の問題であるが、関係者の意識や準備が十分でないなどの事情により、企業や諸科学に進む者は少ないのが現状である。
- 数学・数理科学を活用した融合研究を行う人材や企業で活躍できる人材を育成するための学部や大学院のカリキュラムや教育プログラム等が十分整備されていない。
- 高校生等が大学へ入学する前に、数学がどのように応用されるか、またどのように社会で活用されるか、という具体例を習うことは殆どない。

(4) 国際的な研究ネットワーク

- 数学・数理科学と企業や諸科学との融合研究を促進する場として訪問滞在型研究所が有効であることが世界的に知られており、近年アジア諸国でも盛んにこの訪問滞在型研究所が設立されている。訪問滞在型研究所を中心とすることで国際的研究ネットワークの形成が容易になるとともに、日本の学生や若手研究者に海外の第一線の研究者と直接触れあう機会を与えることで、そのような融合研究への大きなモチベーションを付与できるが、その使命をもつ訪問滞在型研究所が日本にはまだない。

2.3. 必要な取組

本調査結果をもとに、上記の2.1.の目指すべき将来の姿の実現に向けて、2.2.の現状の問題点を解決するために必要な取組を、以下のとおり文部科学省の取組と学会や大学等の数学コミュニティの取組に分けて整理した。

(1) 文部科学省の取組

提言1：数学・数理科学を活用した異分野融合研究や企業との共同研究の振興策の強化

① 数学・数理科学と企業や諸科学との融合研究のプラットフォーム構築の支援

数学・数理科学に関連した共同利用・共同研究拠点や大学等で設置された数学連携研究拠点等での融合研究活動は成果を上げてきている。これには数学協働プログラムが多大な役割を果たしたといえる。

これをさらに発展させるための施策として、各研究拠点が相互協力を有効に行い、数学・数理科学研究者と産業界や諸科学研究者が組織的・横断的に連携できる全国規模の仕組み（融合研究プラットフォーム）の構築が必要である。例えば、各研究拠点での研究成果や活動の情報の共有化・対外発信を継続的に行い、数学・数理科学研究者と産業界や諸科学研究者の間をつなぐ仕組みや、社会的にも数学的にも重要なテーマを提案するような仕組みが考えられる。

② CREST・さきがけプログラムによる数学・数理科学と異分野融合研究の支援

数学・数理科学と異分野との融合研究に関する今後の課題は、深い「数学・数理科学」の素養を持つ人材が様々な分野との協働による研究に途切れることなく参入できるようにするとともに、特定の分野で活用された数理的手法や理論が別の分野の問題の解決にも応用できるという、分野横断的な水平展開を促進することである。

このためには、特定の分野において数学を活用して問題解決を目指す領域だけではなく、これまでのCREST・さきがけプログラムでの数学領域、数理モデリング領域、数学協働領域のように、深い「数学・数理科学」の素養を持ち様々な分野の問題の解決に向けて取り組む数学・数理科学研究者が集い、互いの数理的手法や理論を共有し、相互触発することで新たな可能性を見いだすことのできる領域が不可欠である。このような領域の活動を通じて初めて「数学・数理科学による分野間の相互交流の発展」を支える人材を育成することが可能となり、数学の力を十分活用した分野横断的なイノベーションの実現や幅広い分野への大きな波及効果が期待できる。

③ 諸科学等の問題の中から数学・数理科学の課題を発掘する能力を備えた人材の支援

諸科学および産業の未解決問題に対して、数学・数理科学の枠組みに乗せ、異分野融合研究を推進することができる数学・数理科学全般に長けた人材は世界と比較して我が国にはまだまだ稀少である。このような人材を育成することは喫緊の課題であり、そのためには数学・数理科学を基盤とするポリバレントな研究者（多様な専門知識を持ち、連携相手や環境に応じて柔軟に対応できる研究者）に育つ可能性のある若手人材をこのようなプラットフォームで雇用するなどの積極的な支援をする必要がある。

提言2：数学・数理科学と企業や諸科学との融合研究のための新たな人材育成のための環境整備

本調査で明らかにされた課題は、数学教育への新しい取り組みの必要性とそれを実行する人材の必要性である。大学学部・大学院での教育への取り組みを促進させるとともに、文部科学省がその取り組みを支援するための環境整備が必要である。

① 若年層（高校生、中学生）への積極的な数学教育を行う人材

中学生や高校生に数学の社会や産業での活用や数学を活用した職業について具体的に教えることにより、より数学に対する興味を抱く機会を与えることができる。そのためには、中学・高校教員がその知識を持ち、学生へ教えることができなければならない。また、文系進学志望の学生については、数学への興味を持つ原因が塾の先生や学校教員であるというように人的な影響が大きい。このため、大学学部や大学院において、若年層へ数学の応用や数学を活用した職業について教えられる中学・高校の教員を養成する環境整備が必要である。例えば、特定の高校を指定して支援する制度の展開や、中高生

サマーキャンプのような数学の活用を学ぶ短期集中プログラムなどの新たなプロジェクト支援を行うことも効果があるのではないか。

②数学・数理科学と企業や諸科学との融合研究を進めるための教育を行う人材

大学において、数学・数理科学と企業や諸科学との融合研究を担う人材を育成し、企業や諸科学への新たなキャリアパスを構築することが課題である。

このため、大学の数学・数理科学系学科・専攻・コース等において、他分野を副専攻とする、あるいは企業との共同研究への参画の機会を設けるなどにより、学生が多様な選択ができる教育プログラムの整備検討が求められる。例えば、夏季の短期集中プロジェクト研究などの形で、数学と諸分野や企業が共同したプロジェクト研究を実践的に経験させるような取り組みを支援することは有効であろう。

また、数学の確かな学識を持ちつつビックデータの分析や数値シミュレーションの能力、他分野の研究者らとのコミュニケーション能力を持った学生を社会へ輩出するために、このような教育を行う人材の登用や組織的取り組みを支援する環境整備が必要である。

③他学部・他研究科での数学教育を行う人材

数学・数理科学専攻以外の分野の学生が、大学での数学基礎教育を通じて自身の専門分野に必要な数学スキルを十分に習得できていないのが現状である。また、諸科学研究者が、自身の専門分野に必要な数学スキルを得ることが困難でもある。

数学・数理科学専攻以外の学生にこのような数学スキルを効果的に習得させる教育を担当するのは、例えばJST 数学関連領域のさきがけ研究者などのように、数学のしっかりした基礎を身に着け、数学・数理科学を核とした異分野融合研究を実際に行った経験を持つ若手研究者が相応しい。このため、このような若手研究者を輩出する数学関連領域のCREST・さきがけプログラムを継続することや他学部・他研究科での教育者としての登用を促進する環境整備が必要である。これにより、数学以外の分野との融合研究を行う若手研究者へインセンティブを与え、また数学と諸科学との融合研究の促進にもつながるといふ相乗効果が期待される。

提言3：若手研究者や博士課程修了者のキャリア構築支援の積極的な実施

数学・数理科学分野での若手研究者や博士課程修了者の産業界を含む多様な分野へのキャリアパス構築支援は喫緊の課題である。提言1③のポリバレントな研究者を目指す若手数学人材を継続的に育成するためには、様々な形でのキャリア構築支援が不可欠である。特に、産業界へのキャリアパスを構築するためには、

- ①企業と学生との交流会
- ②企業でのインターンシップ
- ③学生へのキャリアに関する情報提供

④企業との共同研究への参加を通じた連携実践の場の提供等の施策を実践することや、その取り組みへの支援が必要である。提言2の②・③のような若手研究者・博士課程修了者は企業にとっても有用な人材であり、彼らと企業との接点を様々な形で設ける取組への支援を行うことが効果的である。また、この実践にあたり、インターンシップのような産学連携による教育に精通し、数学・数理科学の知識を有するキャリアアドバイザーの養成事業も肝要と思われる。

なお、基礎的研究分野での若手研究者や博士課程修了者のキャリア構築支援は、大学の規模にかかわらず共通的な課題である。しかしながら、小規模の大学では、リソースの観点からキャリア支援サービスを積極的に実施するのは困難である。そこで、大学の規模にかかわらず、若手研究者や博士課程修了者があまねくキャリア構築支援サービスを楽しむことができるシステムを、産官学が協力して構築する必要がある。

提言4：長期・短期共同研究指向の訪問滞在型研究所の設置に向けた支援

数学・数理科学を活用した融合研究を我が国が戦略的に進めるためには、学生や若手研究者に海外の第一線の研究者と徹底的に討議する機会を与えると同時に、世界をリードする国際的ハブ人材が育成されるような環境を構築することが喫緊の課題である。

このためには、国内外の研究者を受け入れ、数カ月単位で定めた研究プログラムや一週間程度のワークショップ・スクールを開催する長期・短期共同研究指向の訪問滞在型研究所の早期実現が必要である。これにより、数学・数理科学を活用した融合研究に関して、日本を中心とした国際的研究ネットワークの形成が容易になるとともに、若手研究者の育成にも貢献することが期待できる。

(2) 数学コミュニティの取組

数学コミュニティとは、応用数理や統計等を含む数学・数理科学に関連した学会、共同利用・共同研究拠点、大学学部・学科・専攻科・コース、研究機関に設置された数学連携センター等の数学・数理科学の研究教育組織全体を指している。

提言1：数学・数理科学と企業や諸科学との融合研究を行うための数学・数理科学協働プラットフォームの構築

①数学コミュニティの相互協力の強化

学会間の相互交流の促進、大学研究機関・数学連携拠点等の協力体制を構築する。

②諸科学研究者や企業との協働体制の構築

企業や諸科学研究者は数学スキルを求めている。数学側から積極的に企業や諸科学研

究者へ働きかけて諸科学研究者や企業との協働体制を構築する。

③数学コミュニティの主導によるエビデンスの継続的収集

近年ではエビデンスベースの政策立案が求められている。そのために、数学・数理科学の振興や数学と産業や諸科学との連携に関して、数学コミュニティが一体となって、現状の調査や調査結果を踏まえた現状分析を継続的に行い、必要な取り組みの明確化を検討する。

④大型外部資金の獲得

科学研究費補助金の申請等で明らかになったように、数学・数理科学研究分野では、大型外部資金の獲得が少ない。このことは、科学研究費補助金の配分に将来大きな影響を及ぼす。数学・数理科学の研究スタイルから、大型研究費が不要のように考えられるが、数学・数理科学と企業や諸科学との融合研究を進めるためには、大型研究費の獲得が必要である。米国数学会では、外部資金の獲得状況を継続的に調査している。我が国でも数学コミュニティが外部資金獲得のための情報の収集や提供を行うチームを組織することも検討に値する。

また、実績のある科学研究費補助金特設分野「連携探索型数理科学」の定常細目化への働きかけも必要である。

提言2：数学・数理科学研究分野を広げる新しいタイプの若手人材育成

具体的には、高校数学から大学数学へスムーズにつながる導入教育プログラム、「数学を様々な方向に活用できる」若手人材育成のための教育プログラムと柔軟な進路選択のためのカリキュラムや制度の構築、「広い視野を持つ」優秀な「高校」教育者を輩出する「数学」教育プログラム、諸科学や企業との共同研究を実践的に行うプログラムなどのような「数学分野の外に進むための」キャリア構築を支援する教育プログラム等を行うことで、数学・数理科学研究分野へ進んだ学生「から」広い視野をもつ研究者・教育者を育成する必要がある。また、このような実践に携わる者に対する大学や研究機関、学会などでの周囲の理解と協力が不可欠であり、数学コミュニティとしてそのための体制の整備も有効であろう。これにより、諸科学との融合研究や企業との共同研究を行う「数学・数理科学」人材、諸科学での数学教育を行う人材、若年層への数学教育者等が育成される。

また、数学コミュニティにおいては、このような「数学・数理科学研究分野を広げる」新たなタイプの若手研究者を十分に評価し、彼らが数学コミュニティで活躍できるような環境の整備を通じて、将来のキャリアパスが分かるように努める。

提言3：博士後期課程修了学生のキャリア支援のための全国的な協力体制の構築

優秀な博士後期課程人材の社会への輩出は喫緊の課題である。数学・数理科学の研究分野の特性である汎用性から、多様な分野での社会貢献が可能である。数学コミュニティが一体となり、数学・数理科学の博士後期課程の学生のキャリアパス支援を行うために

全国的な協力体制を作る必要がある。日本数学会が主催する「数学・数理科学の学生および若手研究者のための異分野・異業種融合研究交流会」では、数学・数理科学の学生および若手研究者がポスター発表を行い、企業の研究者等と議論をする場を提供している。企業の研究者は、この中から、ベストポスターを選び顕彰している。このような数学コミュニティと企業との協働による若手研究者の育成をさらに進めていくことで、産業界・経済界と数学コミュニティの関係も深まってくる。現在の交流会をさらに発展させて、企業と数学コミュニティが連携して若手研究者の育成を進める組織の編成が必要である。

提言 4：訪問滞在型研究所設立に向けたオールジャパン体制の構築と具体的活動の実施

訪問滞在型研究所の設立は、若手研究者へのインセンティブの付与や国際プレゼンスの向上に対する大きな効果が期待できる。この設立のためには、数学コミュニティによるオールジャパン体制の構築と具体的な活動が不可欠である。また、これを機に、数学コミュニティ同士、企業や諸科学研究者との連携も進めていくことが期待できる。