

平成27年度 科学技術調査資料作成委託事業

数学・数理科学を活用した異分野融合研究の動向調査

# 報告書

平成28年3月18日

国立大学法人 東北大学知の創出センター

本報告書は、文部科学省の科学技術調査資料作成委託事業による委託業務として、国立大学法人東北大学知の創出センターが実施した平成27年度「数学・数理科学を活用した異分野融合研究の動向調査」の成果を取りまとめたものです。

## はじめに

本報告書は、平成27年度文部科学省委託事業「数学・数理科学を活用した異分野融合研究の動向調査」について、東北大学知の創出センターが実施機関となり、その調査を取りまとめたものである。

計測技術の進歩や計算機性能の飛躍的向上といった技術の進歩に伴って、世界では、IoT (Internet of Things)、ビッグデータ解析、人工知能といった新たな情報技術がもたらす大変革が進んでいる。このような情報技術を含む科学技術の理論的基礎を支えるのが数学の理論や手法である。

様々な課題が高度化かつ複雑化している21世紀社会においては、数学・数理科学を活用した課題解決の必要性は、急速に高まっている。工学、医学、生命科学、社会科学等の多岐にわたる分野での研究推進や産業・経済等の社会への貢献において、数学・数理科学を活用した異分野融合研究は重要かつ効果的な手段といえる。

我が国が様々な先端研究分野の推進や高度かつ複雑な社会的な課題解決を行う世界的なリーダーシップを取るためには、数学・数理科学の異分野融合研究を強く推進することが重要であり、我が国では、文部科学省に数学イノベーションユニットが設置され、様々な取り組みが行われている。しかしながら、数学・数理科学を活用した異分野融合研究は欧米に比べてまだまだ脆弱である。そこで、このような異分野融合研究を促進するために、現状を把握し、産学官でビジョンを共有し戦略的に対応することが不可欠である。

このため、本事業では、数学・数理科学を活用した異分野融合研究に関する施策のエビデンスとなるデータを重点的に収集するとともに、我が国の現状と欧米諸国およびアジア諸国の現状との比較分析を通して、我が国にとって今後必要かつ実現が可能であると考えられる政策の提言を目的とする。

この報告書が、我が国の数学・数理科学を活用した異分野融合研究の発展に少しでも貢献できれば幸甚である。

最後に、この調査に協力いただいた日本数学会、日本応用数学会、また調査に多大な労力を頂いた協力研究教育機関、アンケート調査、ヒアリング調査、現地調査、インタビュー等にご協力いただいた関係各位、本調査の趣旨に賛同されその遂行を支えていただき調査に多くの情報を提供してくれた、国内外の研究者の方々には深く感謝申し上げます。



## 目 次

はじめに

序章

|            |   |
|------------|---|
| 1. 委託業務の目的 | 1 |
| 2. 調査概要    | 1 |
| 3. 実施体制    | 3 |

第1章 数学・数理科学を活用した異分野融合研究の促進についての意識調査

|                                   |    |
|-----------------------------------|----|
| 1. 数学・数理科学教育研究機関とその研究者の活動動向と意識調査  | 5  |
| 1.1. 数学・数理科学系学科・専攻・コースへのアンケートから   | 5  |
| 1.2. 数学・数理科学研究者へのアンケート            | 12 |
| 2. 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  | 18 |
| 2.1. 諸科学アンケート調査                   | 18 |
| 2.2. 諸科学の数学・数理科学との融合研究事例調査        | 28 |
| 2.3. ヒアリング                        | 34 |
| 2.4. インタビュー                       | 36 |
| 3. 企業との連携における数学・数理科学融合研究活動動向と意識調査 | 42 |
| 3.1. 企業へのアンケート調査                  | 42 |
| 3.2. 数学・数理科学と産業界との共同研究の事例         | 50 |
| 3.3. 企業との共同研究の課題                  | 55 |

第2章 国内における数学・数理科学融合研究の進展状況とその課題

|   |    |
|---|----|
| 1. 数学協働プログラム活動調査                            | 57 |
| 2. 数学連携拠点における活動調査                           | 62 |
| 2.1. 共同利用・共同研究拠点                            | 62 |
| 2.2. 大型研究プロジェクト                             | 66 |
| 2.3. 大学・研究所内設置センター等                         | 69 |
| 2.4. 実績データ                                  | 77 |
| 3. CREST・さきがけプログラム活動調査                      | 81 |
| 3.1. CREST・さきがけ複合研究「数学と諸分野の協働によるブレークスルーの探索」 | 81 |
| 3.2. CREST 現代の数理科学と連携するモデリング手法の構築           | 87 |
| 3.3. さきがけ 社会的課題の解決に向けた数学と諸分野の協働             | 89 |

### 第3章 海外における数学・数理科学融合研究支援体制について

|   |     |
|---|-----|
| 1. 米国の動向  | 93  |
| 1.1. 米国の競争的資金の動向  | 93  |
| 2. 欧州の動向  | 94  |
| 2.1. European Research Council への調査                                     | 94  |
| 2.2. アインシュタイン数学センターへの調査   | 97  |
| 2.3. 英国 Engineering and Physical Sciences Research Council (EPSRC) のデータ | 102 |
| 3. 韓国における応用数学の動向  | 103 |
| 3.1. 韓国における数学研究への政府の助成について  | 103 |
| 3.2. インタビュー   | 105 |
| 4. 日本の数学・数理科学研究の動向  | 107 |
| 4.1. 国際数学者会議 (ICM) と応用数理国際会議 (ICIAM) のデータ                               | 107 |
| 4.2. 科学研究費の動向   | 110 |
| 4.3. 日米の数学・数理科学研究コミュニティ   | 111 |
| 4.4. 欧米での数学コミュニティの活動  | 113 |

### 第4章 評価指標による異分野融合研究の動向

|   |     |
|---|-----|
| 1. NSF データ (Global Share of Articles) による研究動向                           | 115 |
| 1.1. NSF による科学・工学研究動向の国際比較  | 115 |
| 1.2. 科学・工学分野の論文シェア  | 115 |
| 1.3. 各研究分野の高引用論文指標の変化   | 116 |
| 1.4. 数学と計算機科学について   | 118 |
| 2. MathSciNet によるキーワード検索での融合研究動向  | 119 |
| 2.1. 異分野のキーワードを含む論文数の年次変化   | 119 |
| 2.2. 書評に現れるキーワードによる論文数の年次変化   | 122 |
| 3. 融合研究学術雑誌を使った数学・数理科学融合研究の動向   | 123 |
| 3.1. 雑誌 Journal of Theoretical Biology および Bioinformatics におけるページ数の年次変化 | 123 |
| 3.2. Nature 誌の学際研究特集号   | 124 |
| 3.3. 数学分野の学際性の年次変化  | 126 |
| 3.4. 国別に見た学際的論文の割合  | 127 |
| 4. 数学・数理科学と他分野との融合研究動向  | 128 |
| 4.1. 学術文献データベースによる分野別論文数の年次変化   | 128 |
| 4.2. 学術文献データベースによる国別融合研究の動向調査   | 130 |

|                            |   |     |
|----------------------------|---|-----|
| 5.                         | 数学関連特許の動向   | 133 |
| 5.1.                       | WIPO および JPlatPat のデータベースを用いたキーワード検索  | 133 |
| 5.2.                       | キーワードを含む特許の年次変化   | 135 |
| 第5章 数学・数理科学融合研究のための数学人材の育成 |   |     |
| 1.                         | 理系人材の育成   | 137 |
| 1.1.                       | 理系人材の現状   | 137 |
| 1.2.                       | 日本の現状   | 138 |
| 2.                         | 高校生に対する数学への意識調査   | 139 |
| 2.1.                       | スーパーサイエンスハイスクールでの数学意識調査   | 139 |
| 2.2.                       | 数学オリンピック学生の進路   | 150 |
| 2.3.                       | 高校教員からみた数学への意識  | 151 |
| 3.                         | 米国における数学人材育成調査  | 153 |
| 3.1.                       | 米国高校生の人材育成  | 153 |
| 4.                         | 国内での学部における数学教育調査  | 157 |
| 4.1.                       | 国内における大学での学部数学教育  | 157 |
| 5.                         | 米国の大学・大学院教育カリキュラム   | 162 |
| 5.1.                       | 米国大学の数学コースカリキュラム例   | 162 |
| 5.2.                       | 米国での工学教育での数学について  | 163 |
| 6.                         | 数学・数理科学学生のキャリアパス  | 169 |
| 6.1.                       | 日本数学会における産学連携を通じた若手数学者の人材育成   | 169 |
| 6.2.                       | 米国における数学の人材の層とキャリアパス  | 172 |
| 7.                         | 数学人材育成の課題   | 181 |
| 第6章 訪問滞在型研究所調査             |   |     |
| 1.                         | 数学研究所について   | 185 |
| 1.1.                       | International Mathematical Sciences Institute                               | 185 |
| 1.2.                       | 訪問滞在型研究所の類型   | 188 |
| 2.                         | 欧米の訪問滞在型研究所調査   | 189 |
| 2.1.                       | Mathematical Sciences Research Institute (MSRI)                             | 189 |
| 2.2.                       | Institute Henri Poincaré  | 191 |
| 2.3.                       | Mathematisches Forschungsinstitut Oberwolfach:MFO                           | 192 |
| 2.4.                       | Lorentz Center  | 196 |
| 3.                         | アジアの訪問滞在型研究所調査  | 200 |
| 3.1.                       | National Center for Theoretical Sciences, Mathematics Division<br>in Taiwan | 200 |

|      |  |     |
|------|--|-----|
| 3.2. | Beijing International Center for Mathematical Research (BICMR) | 203 |
| 4.   | 国内の訪問滞在型研究所調査  | 205 |
| 4.1. | 京都大学数理解析研究所  | 205 |
| 4.2. | 統計数理研究所  | 206 |
| 4.3. | 東京大学玉原国際セミナーハウス  | 209 |
| 4.4. | 東北大学知のフォーラム  | 211 |
| 4.5. | 京都大学基礎物理学研究所   | 214 |
| 5.   | 訪問滞在型研究所の必要性   | 217 |
|      |  |     |
| 第7章  | 調査結果概要と提言  |     |
| 1.   | 調査結果概要   | 219 |
| 1.1. | 第1章の調査結果概要   | 219 |
| 1.2. | 第2章の調査結果概要   | 227 |
| 1.3. | 第3章の調査結果概要   | 230 |
| 1.4. | 第4章の調査結果概要   | 232 |
| 1.5. | 第5章の調査結果概要   | 234 |
| 1.6. | 第6章の調査結果概要   | 237 |
| 2.   | 必要な取組  | 240 |
| 2.1. | 目指すべき将来の姿  | 240 |
| 2.2. | 現状の問題点   | 241 |
| 2.3. | 必要な取組  | 242 |
|      |  |     |
| 参考   |  |     |
| 参考1  | 参考資料   | 249 |
| 参考2  | 本報告書の文部科学省への提出版および電子版 URL:                                     | 250 |
| 参考3  | 委託調査報告会記録  | 251 |

# 序 章

## 1. 委託業務の目的

我が国の数学・数理科学を活用した異分野融合研究については、平成18年度文部科学省科学技術政策研究所の報告書「忘れられた科学—数学」を契機に、平成19年度委託調査「イノベーションの創出のための数学研究の振興に関する調査」および平成21年度委託調査報告「数学・数理科学と他分野の連携・協力の推進に関する調査・検討から～第4期科学技術基本計画の検討に向けて～」の内容も踏まえつつ、一定の取り組みが行われてきている。

異分野融合研究は、アジア、特に中国を中心として、数学・数理科学研究への近年の発展は目覚ましく、数学・数理科学を活用した異分野融合研究についても同様に大きな発展がなされている。これは、アジア各国が数学・数理科学の研究の重要性を認識し、国策として大きな支援を行っている証しである。我が国に振り返ってみると、前述の調査ならびに平成26年度の科学技術・学術審議会先端研究基盤部会の施策の有効性を示す客観的根拠が乏しく、数学・数理科学研究やそれを活用した融合研究の促進への支援が不十分と見受けられる。数学・数理科学を活用した異分野融合研究に関する新たな施策実施においても客観的根拠の提示は必要不可欠である。

このため、本事業では、数学・数理科学を活用した異分野融合研究に関する施策のエビデンスとなるデータを重点的に収集し、我が国の現状を欧米諸国とアジア諸国と比べて分析をするとともに、我が国にとって今後必要かつ実現が可能であると考えられる政策の提言を目的とする。

## 2. 調査概要

本事業では、産業界・経済界との協力も得て、数学・数理科学を活用した異分野融合研究を進めてきた実績のある数学・数理科学研究機関とそこに所属する研究者によるオールジャパン体制で調査を実施した。また、日本数学会および日本応用数学会の協力も得ている。

本調査の基本は、主に以下の事項に対して提言を行うことを目的としている。

- 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

このために、本調査では、以下の調査を具体的に行った。

### ① 数学・数理科学を活用した融合研究に対する意識調査

この調査では、1) 数学・数理科学系学科・専攻・コース、2) 数学・数理科学研究者、3)

諸科学研究者、4) 企業、へのアンケートおよびヒアリングとインタビューを実施した。特に、平成22年度以降平成26年度までの数学・数理科学を活用した異分野融合研究への意識調査が主になっている。

② 我が国での数学・数理科学を活用した融合研究に対する活動

平成22年度以降平成26年度までの数学・数理科学を活用した融合研究に対する活動として、1) 数学協働プログラム、2) CREST・さきがけプログラムといった我が国の数学・数理科学を活用した融合研究へのトップダウン政策の活動調査を実施した。また、共同利用・共同研究拠点の活動や各大学で行っている数学・数理科学を活用した融合研究活動についての調査を実施した。主な調査方法は質問票の送付およびインタビューである。

③ 海外における数学・数理科学融合研究支援体制

海外における数学・数理科学融合研究支援体制について、米国については、NSF と AMS への調査、欧州については、European Research Council、ドイツ Einstein Center for Mathematics と英国ファンディング機関 EPSRC への調査、アジアについては、韓国の応用数学の現状に係る調査を実施した。主な調査方法は質問票の送付、ウェブからのデータ取得およびインタビューである。

④ 評価指標による数学・数理科学を活用した融合研究の動向調査

数学・数理科学を活用した融合研究の動向を調べるために、1) Web of Science (WoS) や MathSciNet を活用して様々な観点からの評価指標による調査、2) 一般的な論文数やトップ1% 雑誌への引用度および数学と他分野との融合研究の伸展度や共著関係度等の調査、3) MathSciNet を使った融合研究キーワードによる論文数の動向、生命情報等の数学・数理科学との融合研究が顕著に見える雑誌の発展度の調査、4) NSF のデータによる研究分野ごとの論文の国際的シェア動向の調査、5) 数学・数理科学研究に関する特許の動向の調査を実施した。これらの調査は、MathScinet の指標、NSF の公開データ、および AMS からのデータを利用した。

⑤ 数学・数理科学を活用した融合研究のための人材育成調査

数学・数理科学を活用した融合研究のための人材育成について、主に、1) 若年層(高校生)の数学への好感度、2) 大学学部教育、3) 博士課程修了者のキャリアパス、を主眼として調査を実施した。若年層については、日本の高校生に対して数学に対するアンケートを実施したほか米国での若年層への数学促進プログラムの例を調査、大学学部教育については、日本と米国の教育プログラムについての比較、博士課程修了者のキャリアパスについては、NSF のデータ、日本数学会が調査したデータ等を基にした調査をそれぞれ実施した。さらに、キャリアパスの一つとして日本アクチュアリー会でのインタビューを実施した。この3つの観点から、数学・数理科学を活用した融合研究のための人材育成への提案を行っている。

⑥ 訪問滞在型研究所調査

国内外における訪問滞在型研究所の調査・評価については、欧米で重要視されている

理由、またアジア各国で急速に訪問滞在型研究所が設立されている背景等、について定量的評価や成功事例の収集と分析を行った。また、我が国にある訪問滞在型研究所の例についても調査を行っている。これにより、日本の数学・数理科学研究の特性を生かした数学・数理科学を活用した異分野融合研究を主導する訪問滞在型研究所に対する提案を行っている。

### 3. 実施体制

本調査は以下のような体制で行った。

#### 3.1. 協力機関

日本数学会  
日本応用数理学会  
北海道大学電子科学研究所附属社会創造数学研究センター  
東北大学大学院理学研究科、情報科学研究科  
情報・システム研究機構 統計数理研究所  
東京大学大学院数理科学研究科  
明治大学先端数理科学インスティテュート  
早稲田大学大学院基幹理工学研究科  
京都大学数理解析研究所  
九州大学マス・フォア・インダストリ研究所

#### 3.2. 実施委員会名簿

|        |                               |
|--------|-------------------------------|
| 大野 泰生  | 東北大学大学院理学研究科 教授               |
| 岡本 久   | 京都大学数理解析研究所 副所長               |
| 尾畑 伸明  | 東北大学大学院情報科学研究科 教授             |
| 金藤 浩司  | 情報・システム研究機構 統計数理研究所 副所長       |
| 小藪 英雄  | 早稲田大学理工学術院基幹理工学部数学科 教授        |
| 小松崎 民樹 | 北海道大学電子科学研究所附属社会創造数学研究センター長   |
| 柴田 良弘  | 早稲田大学理工学術院基幹理工学部数学科 教授        |
| 高木 泉   | 東北大学大学院理学研究科 教授               |
| 高木 剛   | 九州大学マス・フォア・インダストリ研究所 教授       |
| 玉川 安騎男 | 京都大学数理解析研究所 教授                |
| 坪井 俊   | 東京大学大学院数理科学研究科長               |
| 時弘 哲治  | 東京大学大学院数理科学研究科 教授             |
| 長山 雅晴  | 北海道大学電子科学研究所附属社会創造数学研究センター 教授 |
| 萩原 一郎  | 明治大学先端数理科学インスティテュート 所長        |

|       |  |
|-------|--|
| 福本 康秀 | 九州大学マス・フォア・インダストリ研究所長                  |
| 本多 啓介 | 情報・システム研究機構 統計数理研究所<br>リサーチ・アドミニストレーター |
| 前田 吉昭 | 東北大学知の創出センター 副センター長                    |
| 宮岡 礼子 | 東北大学大学院理学研究科 教授                        |
| 宮路 智行 | 明治大学先端数理科学インスティテュート 特任講師               |
| 山本 昌宏 | 東京大学大学院数理科学研究科 教授                      |

### 3.3. 検討委員会名簿

|       |                                  |
|-------|----------------------------------|
| 合原 一幸 | 東京大学生産技術研究所 教授                   |
| 青沼 君明 | 明治大学 教授・三菱東京 UFJ 銀行              |
| 巖佐 庸  | 九州大学大学院理学研究院 教授                  |
| 上田 修功 | NTT コミュニケーション科学基礎研究所 上席特別研究員     |
| 大石 進一 | 早稲田大学理工学術院応用数理学科教授・日本応用数理学会 会長   |
| 大木 裕史 | 株式会社ニコン 取締役兼常務執行役員 / コアテクノロジー本部長 |
| 大畠 明  | 株式会社テクノバ 調査研究部 シニアアドバイザー         |
| 小谷 元子 | 東北大学原子分子材料科学高等研究機構長、日本数学会理事長     |
| 柴山 悦哉 | 東京大学情報基盤センター 教授                  |
| 杉山 将  | 東京大学大学院新領域創成科学研究科 教授             |
| 坪井 俊  | 東京大学大学院数理科学研究科長                  |
| 中村 雅信 | 株式会社ハーモニック・ドライブ・システムズ 社外取締役      |
| 西成 活裕 | 東京大学先端科学技術研究センター 教授              |
| 初田 哲男 | 理化学研究所理論科学連携研究推進グループディレクター       |
| 樋口 知之 | 情報・システム研究機構 統計数理研究所 所長           |
| 三村 昌泰 | 明治大学先端数理科学インスティテュート 副所長          |
| 森 重文  | 京都大学数理解析研究所 教授                   |

以上

# **第1章 数学・数理科学を活用した異分野 融合研究の促進についての意識調査**



# 第1章 数学・数理科学を活用した異分野融合研究の促進についての意識調査

この章では、数学・数理科学を活用した異分野融合研究についての現状を把握するために、アンケート、ヒアリングおよびインタビューを行なった。数学・数理科学科・専攻・コース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、またこれらの研究教育機関に所属する研究者には、数学・数理科学を活用した融合研究や企業との共同研究、および訪問滞在型研究所についてアンケートを実施した。諸科学研究者には、数学・数理科学を活用した異分野融合研究活動について、アンケート、ヒアリングおよびインタビューを行い、意識調査とともに融合研究の事例を収集した。企業との共同研究の現状を把握するために、企業へのアンケートを実施、また企業との共同研究の具体的事例やインタビューを行った。

## 1. 数学・数理科学教育研究機関とその研究者の活動動向と意識調査

### 1.1. 数学・数理科学系学科・専攻・コースへのアンケートから

本調査は、全国の数学・数理科学系学科・専攻・コース（このアンケートでは以降「教室」と呼ぶ）に、日本数学会および日本応用数理学会の協力の下で、平成22年度以降平成26年度を中心とした教育・研究状況や御意見を伺ったものである。

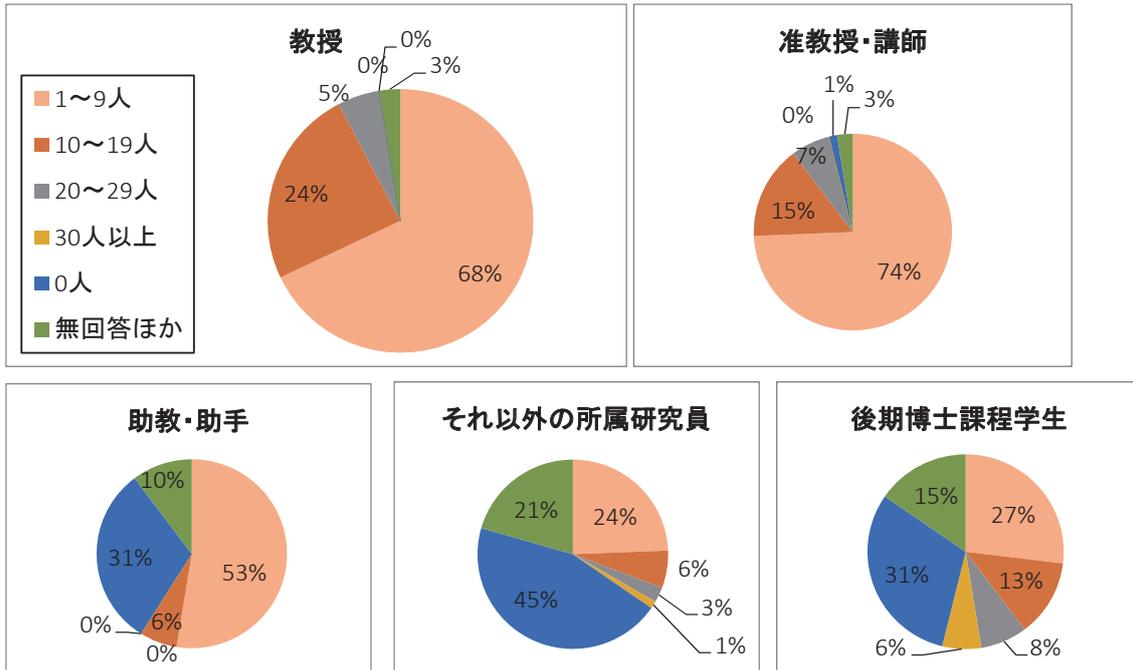
#### (1) 調査対象および調査方法

全国の数学・数理科学系学科・専攻・コース（これを教室と呼ぶ）218教室にアンケート用紙を発送し、回答のご協力をお願いした。そのうち78教室からの回答があった。

#### (2) 所属について

- ・理学・理工学研究科や理学・理工学部  
に所属している教室 41 件
- ・工学研究科や工学部に所属している教室 12 件
- ・その他の研究科や学部に所属している教室 22 件
- ・不明 3 件

### (3) 回答を得た教室の所属する教員、研究者の規模

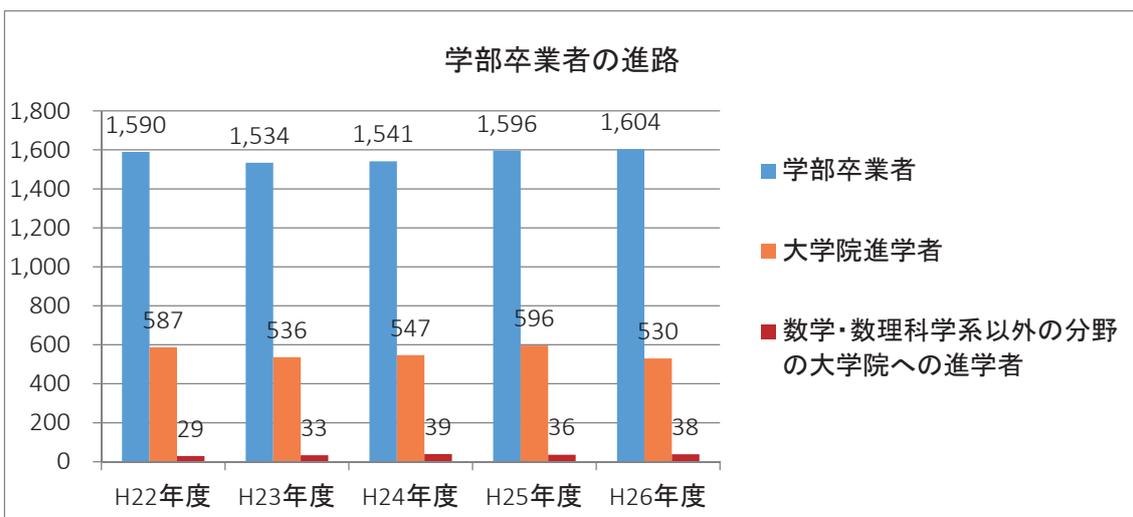


### (4) 平成22年度から平成26年度(5年間)の学部学生の進路について

(4.1) 今回の調査の回答では、学部卒業者が1,500名から1,600名程度あり、そのうち約3分の1(500名から600名弱)が大学院修士課程へ進学している。数学・数理科学系以外の分野への大学院進学率は微増であるが、全体の割合としては2%程度、大学院進学者のなかでも6%程度である。

#### (4.2) 数学・数理科学系以外の大学院等に進学した学部学生の進路

数学・数理科学系大学院以外へ進学した学生の進路については30件の回答があり、情報系(10件;情報工学、情報科学、システム情報学、計算機科学等)、教育学系(8件;科学教育研究科や教職研究科も含む)、工学系(4件)への大学院進学が多かった。そのほか、MOT(マネジメント・オブ・テクノロジー)、経済学研究科、経営学研究科、文学研究科、国際協力研究科、スポーツ科学研究科、理学研究科(物理学専攻)への大学院等の進学もあった。

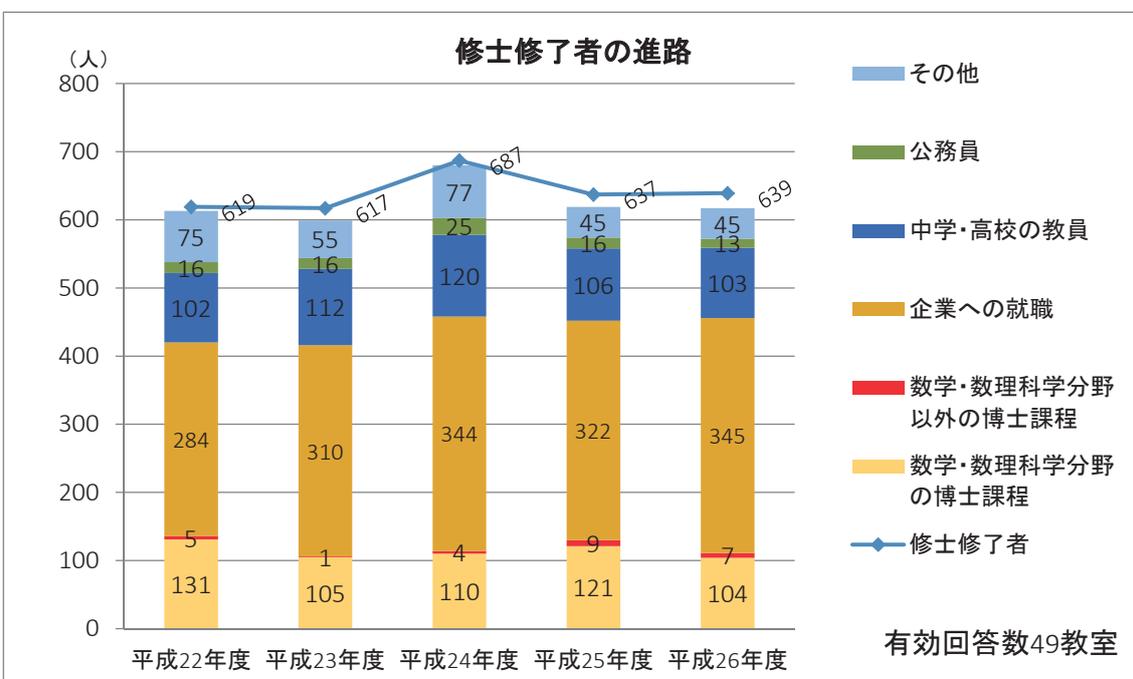


## (5) 平成22年度から平成26年度(5年間)の修士学生の進路について

※5年一貫の博士課程の場合は、修士相当分(入学から2年間)として回答を求めた。

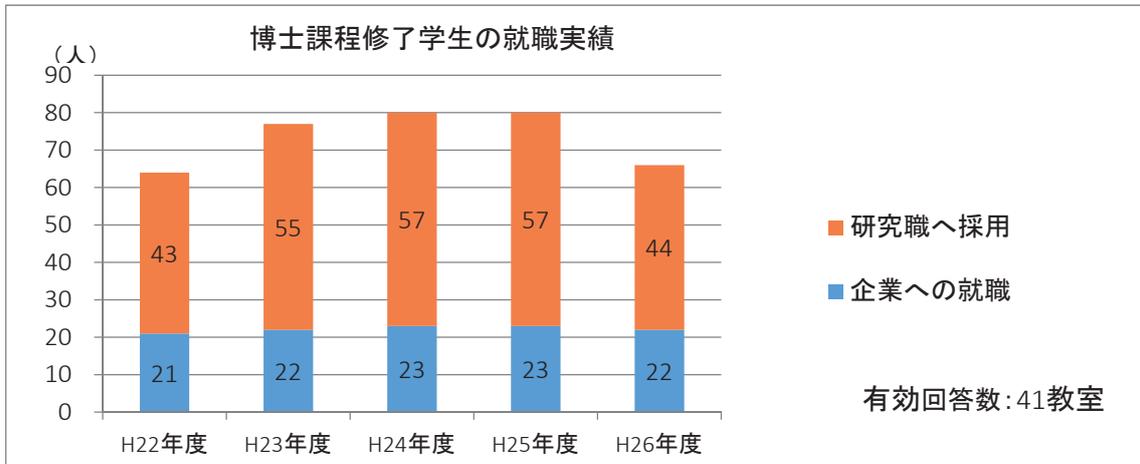
### (5.1) 修士修了者の人数推移

毎年600名を超える修士課程修了学生がおり、そのうち300名を超える学生が企業へ就職、100名程度が高校教員と博士課程進学であった。他分野への博士課程進学は少ない年度では1名、多い年度で9名である。



## (6) 平成22年度から26年度(5年間)での博士課程学生(博士後期課程学生)の進路

### (6.1) 博士課程学生の進路状況



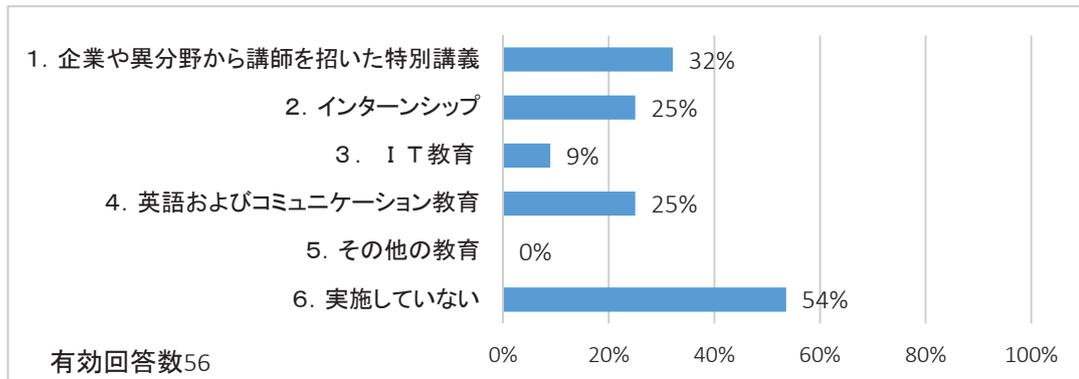
この質問は、当初は諸科学への研究職へ採用された数についてであったが、数学分野の研究職への就職が多く含まれている。有効回答のなかで博士課程修了学生の就職した実績は全体で60名程度ある。そのうち、研究職が40名から57名と年毎に変化はしている。具体的な採用先をみると、諸科学分野への就職もある。数学会が実施した2014年3月に行った博士課程修了者の企業への就職数は6名であったが、このアンケートでは、それより多く企業へも就職している。今回は、日本応用数理学会の協力を得たことで、応用数学系の学生の進路が含まれていると思える。

### (6.2) 企業への就職および研究職への採用先

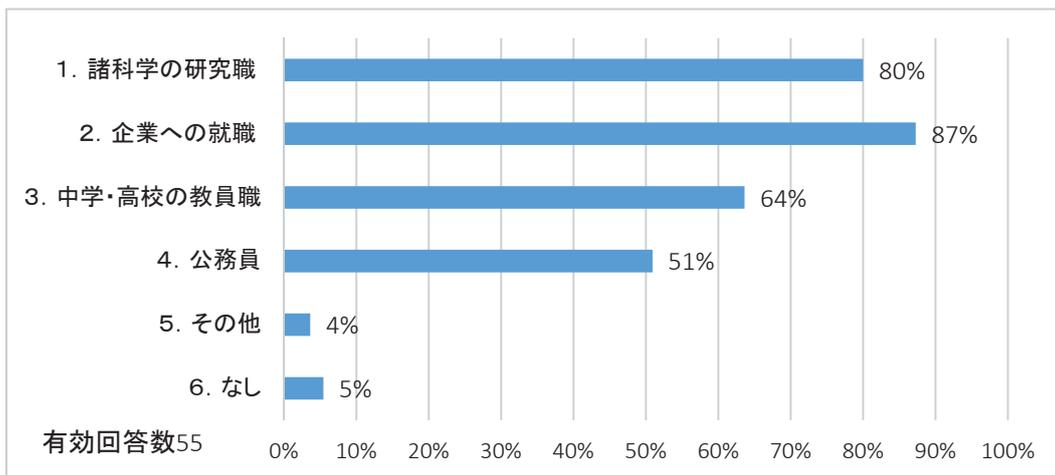
今回の調査は、諸科学と企業への就職についての質問であったが、25件の教室から、数学系の研究職を含め75件の具体的な採用先の回答があった。

- (i) 大学アカデミックポジション: 数学系のポジションのほかに工学研究科や工学部、情報科学系研究科、医学部、商学部等があった。そのほか、IHES、シンガポール国立大、蘇州大学、環太平洋大学、タイカサセート大学等、海外のアカデミックポジションを入れて26件あった。
- (ii) 公的研究所研究職として、産業技術総合研究所、核融合科学研究所、理化学研究所、兵庫県立工業技術センターの4件が具体的にあげられていた。
- (iii) 高等学校、高等専門学校、予備校等の教育機関への就職は8件あった。
- (iv) 企業: 情報系、メーカー、保険・金融、出版社(数学)等を主としてかなり多彩な就職先がある。具体的な企業名は23件あった。

(6.3) 博士学生へのキャリアサポート教育を行っているかについて選択質問(複数回答可)の回答。



(6.4) 「博士課程修了学生が数学・数理科学研究者として活躍する以外に、どのような進路を期待されますか」という選択質問(複数回答可)に対する回答。



これらの回答からは、企業や異分野から講師を招いた特別講義(32%)、インターンシップ(25%)、英語コミュニケーション能力のスキルアップ等の教育(25%)をしている教室もあるが、そのようなことは実施していないところも54%ある。一方で、学生へ諸科学への研究職や企業への就職を期待している割合が高い。

## (7) 外部資金獲得状況

(7.1) 平成22年度から26年度(5年間)での外部資金の受け入れ状況

- |   |                  |
|---|------------------|
| 1. 教育関係外部資金<br>(Global COE, リーディング大学院、運営費交付金の特別経費等) | 3. さきがけ、CREST    |
| 2. 科学研究費補助金   | 4. 企業との共同研究や寄付講座 |
|   | 5. その他           |

|         | 平成22年度    | 平成23年度    | 平成24年度    | 平成25年度    | 平成26年度    |
|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1. (52) | 56328 万円  | 53217 万円  | 68474 万円  | 35604 万円  | 45269 万円  |
| 2. (60) | 155305 万円 | 164572 万円 | 167766 万円 | 171091 万円 | 178236 万円 |
| 3. (52) | 31309 万円  | 33029 万円  | 28030 万円  | 33216 万円  | 32913 万円  |
| 4. (55) | 8524 万円   | 12954 万円  | 9659 万円   | 11828 万円  | 13139 万円  |
| 5. (48) | 4825 万円   | 7987 万円   | 11731 万円  | 22913 万円  | 25930 万円  |

( ) 内は有効回答数

「5. その他」の内訳(抜粋)

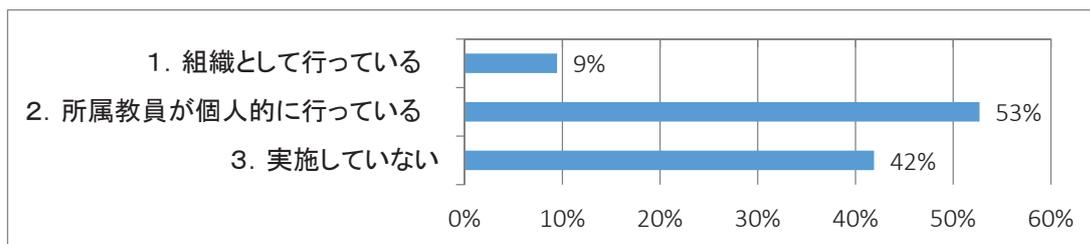
寄附金、二国間交流経費、大学基金、JSPS 受託事業、受託研究、財団法人からの研究補助金、さきがけ CREST 以外の公的研究費外部資金については、「1. 教育関係外部資金」が平成24年をピークに減少している。一方、その他の外部資金は年々増加している。

(7.2) 平成22年度から26年度(5年間)で外部資金に占める異分野融合研究に係る資金の割合について平均値を調べた。

|       | 平成22年度 | 平成23年度 | 平成24年度 | 平成25年度 | 平成26年度 |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 平均値   | 14.0%  | 13.7%  | 15.0%  | 16.3%  | 15.0%  |
| 有効回答数 | 43     | 43     | 43     | 43     | 45     |

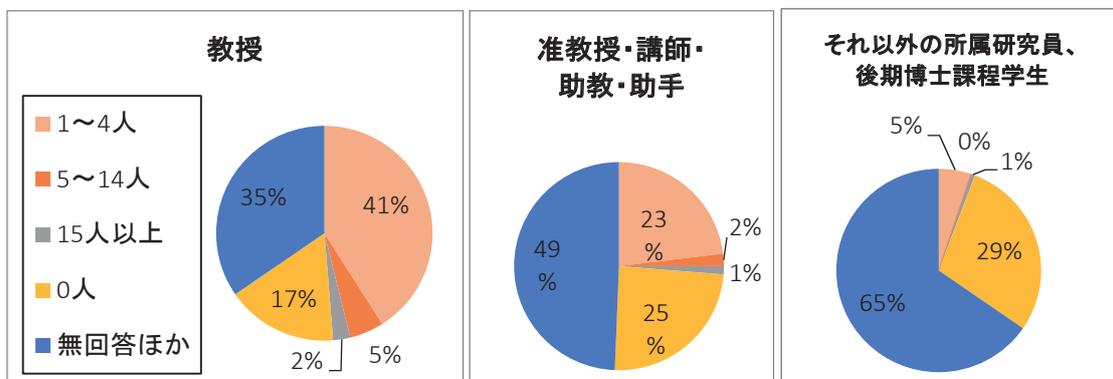
## (8) 異分野融合研究や企業との共同研究について

(8.1) 異分野融合研究を促進するための取り組みについての選択質問について(複数回答)。

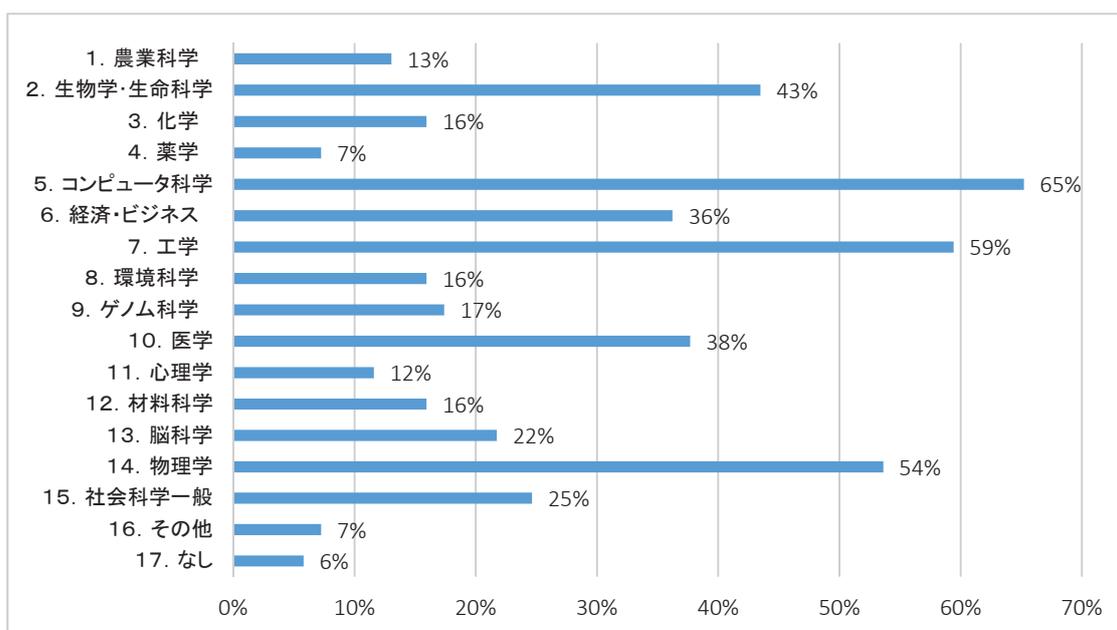


(8.2) 異分野融合研究や企業との共同研究を行っている研究者の人数について。

異分野融合研究や企業との共同研究については、各教室のなかで教授は1-4名程度いる。若い研究者はやや少ない。個人として研究を行っている。



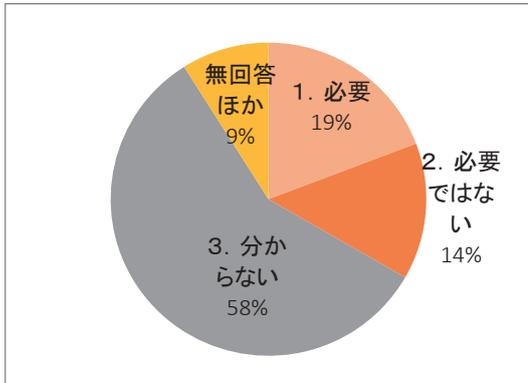
(8.3) 異分野融合研究を進める可能性がある分野についての選択質問（複数回答可能）。



異分野融合科学を進める可能性としては、生物・生命科学、コンピュータ科学、工学、物理学、その次に、医学、経済・ビジネスが候補として挙げられている。

## (9) 異分野融合研究に対する特別な評価の実施例、評価指標の事例について

### (9.1) 異分野融合研究では特別な業績評価が必要か。



異分野融合研究について、特別な評価が必要という回答は19%であった。自由記述として「異分野融合研究の業績評価」について質問し4件の回答を得た。「特別な評価は必要ない」、「研究内容を見て正当に評価するのがよい」という意見、また異分野融合研究を推進して数学センターが設立できたこと、外部資金が獲得できたことなどが挙げられていた。

## 1.2. 数学・数理科学研究者へのアンケート

次に、数学・数理科学研究者の方々に異分野融合研究と訪問滞在型研究所についての情報と御意見についての調査を行った。この調査も、日本数学会および日本応用数理学会の協力を得て行ったことを付記する。

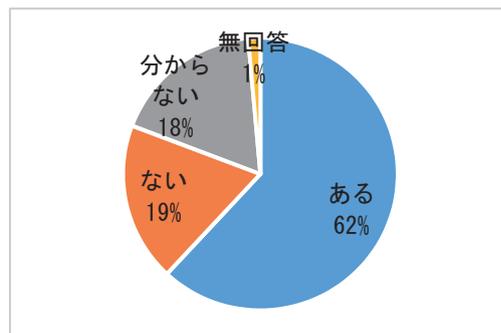
### (1) 調査対象および調査方法

全国の数学・数理科学系学科・専攻・コース（これを教室と呼ぶ）218教室にアンケート用紙5名分を配布し、それによって得た281名からの回答による統計調査である。

### (2) 異分野融合研究や企業との共同研究についての質問

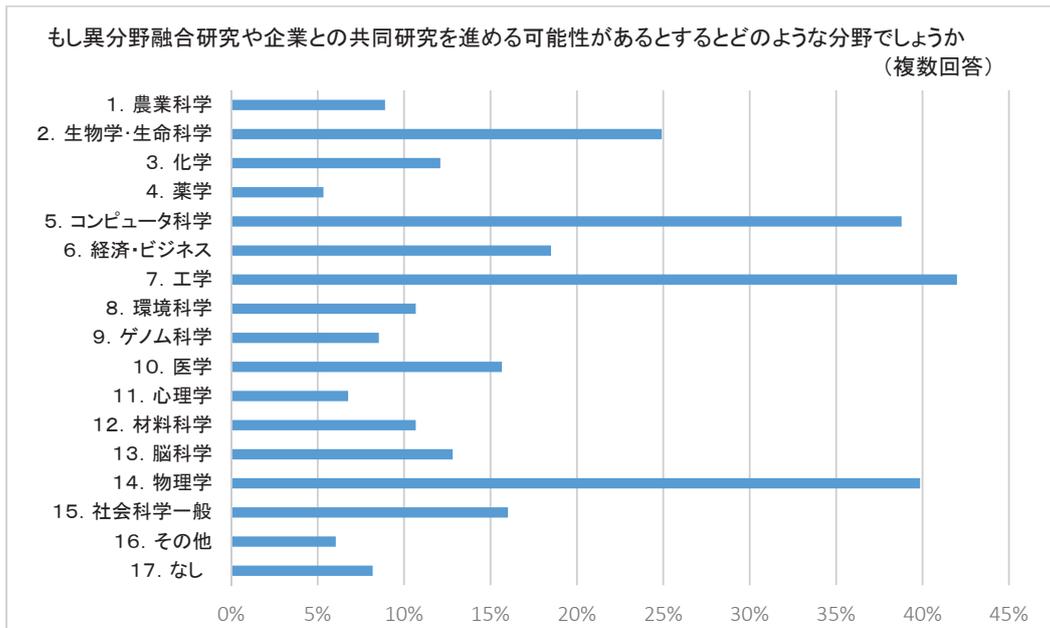
(2.1) 「異分野融合研究や企業との共同研究に興味はありますか」という質問についての回答である。

|       |     |
|-------|-----|
| ある    | 174 |
| ない    | 53  |
| 分からない | 50  |
| 無回答   | 4   |
| 合計    | 281 |



今回の回答を得た研究者の半数以上が異分野融合研究や企業との共同研究に興味を持たれていることが分かる。

(2.2) 「もし異分野融合研究や企業との共同研究を進める可能性があるとするるとどのような分野でしょうか」という質問についての回答(複数回答可)である。教室へのアンケートとほぼ同じ傾向であった。

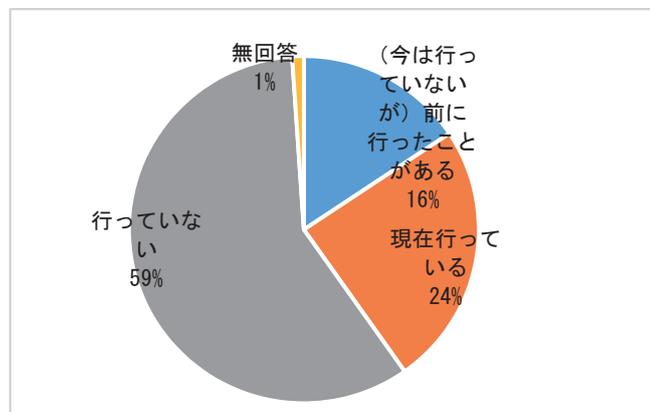


#### 16. その他の自由記述(抜粋)

スポーツ科学、ゲーム理論、気象学、地球惑星科学、教育、画像関係、芸術、印刷、デザイン、アミューズメント産業、自動車産業、認知科学など。

(2.3) 「異分野融合研究や企業との共同研究を行ったことがありますか?」の質問についての回答である。

|                        |     |
|------------------------|-----|
| (今は行っていないが) 前に行ったことがある | 44  |
| 現在行っている                | 69  |
| 行っていない                 | 165 |
| 無回答                    | 3   |
| 合計                     | 281 |

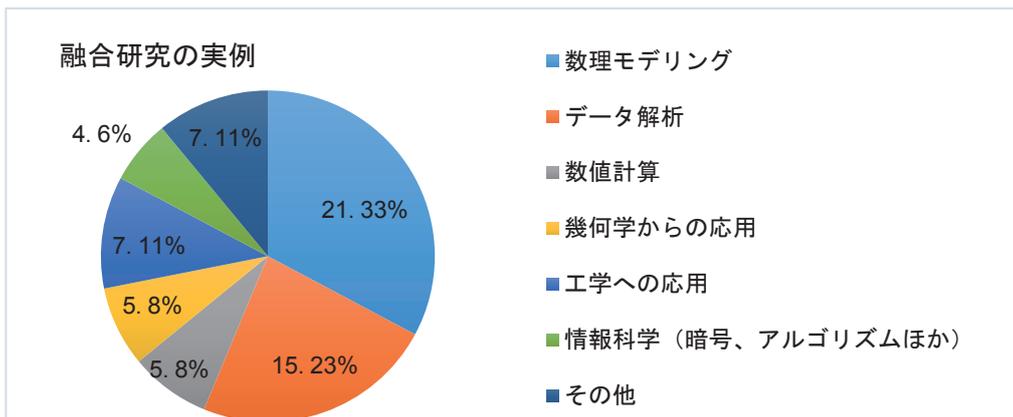


異分野融合研究や企業との共同研究を行っている研究者は、40%程度である。

(2.4) 異分野融合研究を「前に行ったことがある」、「現在行っている」方に異分野融合研究や企業との共同研究の事例を聞いた。異分野融合研究、共同研究やそのためのセミナー等、経済、教育、物理、化学、材料科学、生命科学、情報等多くの事例が108件挙げられた。数理モデル、データ解析、数値解析、ORといった手法の応用のほか、幾何学、確率論、代数学等数学的理論を用いた事例も多く挙げられた。

(i) 異分野融合研究の実例(抜粋)

- ・ 画像処理における高速アルゴリズムの開発(共同研究)・ベイズ推定における数値計算法の研究(共同研究)
- ・ 原子炉の耐震設計問題のための地震波のモデルの研究
- ・ キャビテーションによる流体機械の破壊現象の原因の解明
- ・ 鉄鋼プロセスのシミュレータ開発、環境シミュレータ開発
- ・ 医学データ解析(心電図、ゲノム損傷)・遺伝子発現量データ解析・ゲノム、エピゲノムデータ解析・タンパク質、DNAのモデルシミュレーション・細胞内ライブイメージングデータ解析
- ・ 環境汚染物質の拡散現象の数理モデル
- ・ 幾何構造の考え方を、タンパク質構造や材料設計に応用
- ・ 自走粒子系の実験と数理解析、液滴運動の実験と数理モデリング、燃焼合成反応の数理解析、発生生物学における分化波の数理モデリング、表皮構造の数理モデリング
- ・ 位相的データ解析の材料科学への応用研究
- ・ 経済取引への数理として、近似アルゴリズムの被験者実験
- ・ 計算システムを用いたマーケティング(中古車)、データマイニングによる優良研究採案(教育関係)



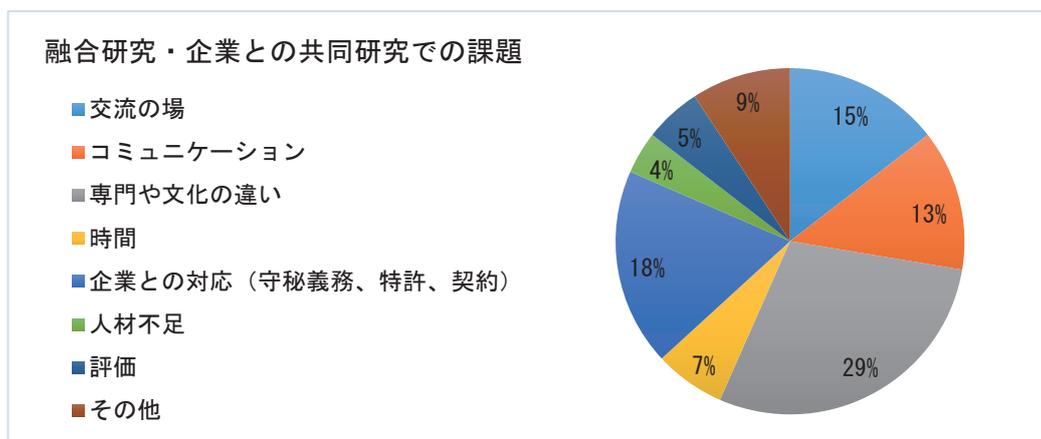
(ii) 企業との共同研究の事例

光学メーカー、自動車産業、医薬、プリンターメーカー、電力会社、情報通信企業等からの事例が上がった(抜粋)。

- ・光学メーカーの液晶露光装置開発グループと、安定な制御系の設計のために数式・数値融合計算を活用した。
- ・エンジンのカオス力学系解析(過去)
- ・ハプティクス(触感インタフェース)に関して、国内企業と共同研究
- ・音データの電子すかしについて
- ・代数学・整数論と暗号に関する研究
- ・企業との共同研究(プリンターメーカー、自動車メーカー)
- ・自動車会社と道路上の障害物検知に関する共同研究
- ・電力会社との共同研究で発電に関連する最適化問題を解いた例、自動車関連会社との共同研究で、大規模構造解析に付随する固有値計算の高速化を行った例

(2.5) 異分野融合研究や企業との共同研究を進める時の課題について、自由記述での回答85件を得た。回答の多くは、1)知識の共有や相互の理解に時間がかかること、2)コミュニケーションの問題、3)出会いの環境や機会が少ないといった課題が挙げられている。

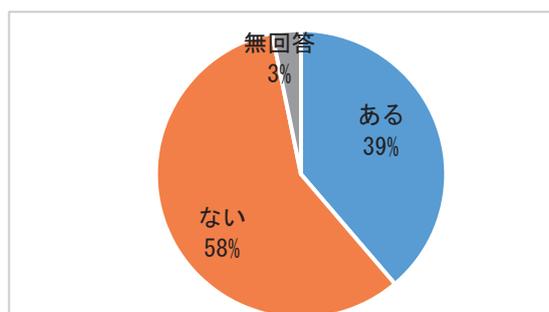
- ・一方ではなくお互いが歩みよる姿勢、そういった人達が出会える場(研究集会等)
- ・萌芽的研究(それに関する課題)に対する助成、そういった萌芽的研究を受け入れる・歓迎する環境・雰囲気作り。
- ・研究文化が異なるため、自身の研究スタイルにそぐわなくとも、ある程度妥協する必要がある。
- ・交流を持つ場、機会が少ないため、交流が進まない面があると思う。
- ・お互いにとって有益な研究課題を見つけるまでにとっても長い期間が必要。なかなか会って議論する時間が取れない。
- ・ゴールの設定や研究成果の帰属など、通常の数学者は気にしないことに気をかける必要があり、面倒とってしまう。
- ・数理の思想と知見をしっかりとつ一方で、数理科学者がいかに実験研究者の視点から物を見て彼らの価値判断も共有できるかという点・方法論に固執しない・普遍性や理論体系の美しさに固執しない・現実の複雑さを柔軟に受け入れる。
- ・他分野の専門知識を手に入れることが難しい。
- ・他分野の知識が浅いため、研究内容に対する意義が理解できず、ただの「手伝い」で終わってしまう。



### (3) 訪問滞在型研究所について

(3.1) 「海外の訪問滞在型研究所に滞在された経験はありますか？」についての回答。

|     |     |
|-----|-----|
| ある  | 109 |
| ない  | 163 |
| 無回答 | 9   |
| 合計  | 281 |



(3.2) 海外の訪問滞在型研究所に滞在された経験をお持ちの方に、もっとも有益であった訪問滞在型研究所の例について、具体的にあげてもらった。

回答数113件のうち、特に多かった回答としては以下があった：

オーバーボルファッハ数学研究所（ドイツ）、ニュートン研究所（ケンブリッジ、英国）、マックスプランク研究所（ボン、ドイツ）、バンフ国際研究所（カナダ）、MSRI（バークレー、米国）等。

(3.3) 「訪問滞在型研究所での経験がご自身にどのように役立ったか？」の質問には、102件の回答があった。主な回答は、1) 海外の研究者との議論や交流によって共同研究に繋がる、2) 研究に集中できる時間がとれる、3) 専門以外の研究者と知り合うことで研究が発展した、4) 自分の研究の進展ができた、5) 研究ネットワークが広がった、である。

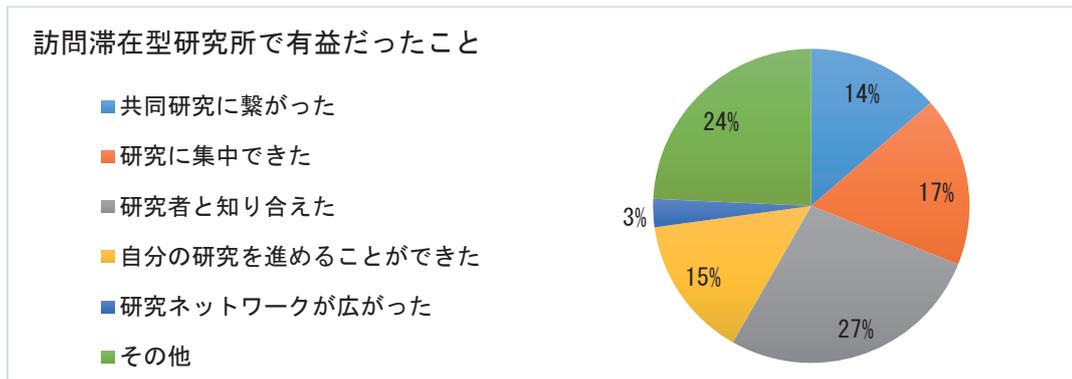
- ・「リサーチ・イン・ペアーズ」という制度で滞在したが、2週間の間、一切の雑務、雑念にとらわれず、議論に集中できたため、極めて有益であった。

- ・workshopのオーガナイズについて勉強になった。

- ・寝食を共にしつつセミナーを行うことの有意義性・当日朝、その日のプログラムを

決めたりする、予定調和に走らないようなオーガナイズ・自由に課題やアイデアを出し合う short communication の意義

- ・世界の一流の研究者と自由な議論ができ、最新の研究に触れられる。
- ・日本の研究の立ちおくれを実感した。
- ・物理から生物までの、様々な異分野のセミナー等が絶え間なく行われており、刺激を受けた。



(3.4) 訪問滞在型研究所での異分野融合研究や新しい研究分野の創成の事例についての回答(抜粋)。【 】内は研究所名。

- ・ビッグバン、初期宇宙生成などの数学的モデル【CERN】
- ・当時、Industrial Postdoc というポジションがあって、その人たちは半分を各自の研究、半分を IMA に出資している企業との共同研究を行っていました。【IMA】
- ・IMA は数学的テーマに留まらずそれをユニークな視点から関連諸科学、産業と関連付け、学術的に新しい分野の開拓につなげようとしており、これまでの毎年のテーマ設定が新しい融合研究を多く生み出してきた。【IMA】
- ・2000年に行われたレベルセット法と CG 業界とのコラボレーションは、学術的には Oshei 教授のガウス賞授賞へ、産業としては近年の CG 映画産業への大きな波及があった。こうした異分野の融合をすすめるには、10-15年のスパンを見越さなければならないと思われる。【IPAM】
- ・オーバーボルファッハと同様のセミナーを情報科学の分野で行っている。【ダックシュトゥール (情報科学のオーバーボルファッハ)】

(3.5) 異分野融合研究を目的とした訪問滞在型研究所の活用についてのご意見について、自由記述による39件の回答があった。ほとんどの研究者が訪問滞在型研究所を求めている。

- ・十分なコミュニケーションが重要だと思われるので、訪問滞在型研究所での滞在一堂に会する期会を提供するならば大変有益であろう。
- ・あまりにも「結果や事例の作成」についてこだわりすぎると逆効果だと思います。

自由な雰囲気のもとで、時間をかけて異分野の理解をすすめられるものであれば、大変ありがたく思います。

- ・ 異分野融合は短期、中期でできるようなものではないので、長期滞在になると思われる。あまり向いていないように思える。
- ・ 海外にはこういったものが多くあるのに比べて、日本では皆無である。ぜひよいものを作ってゆきたい。経験を積んだ研究者の指導のもと若手がのびのびと研究できる環境ができればよいと思う。
- ・ 研究テーマを絞り、異分野同士の議論を促進させるのがよいと思います。
- ・ 研究の先端はそのような場所で作られている。日本にそのような研究所が(少)ないことは大きなビハインドとなると考えます。
- ・ 「異分野融合を目的」というよりは、「応用数理」でよいのではないかと思います。
- ・ 日本の大学の教員には、そもそも訪問滞在型の研究所に訪問、滞在できる時間が少ない点が最大の問題だと感じます。
- ・ 博士課程の学生を含む若手研究者が集まって、研究について話すことのできる場所として活用することで、異分野融合研究が活発になるのではないかなと思う。
- ・ 日本にはまだそのような研究所は(私の知る限り)ないが、開設されれば、ぜひ利用したい。ただ日本では、「数理科学」の指す範囲が狭すぎる印象がある。

## 2. 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

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を把握するためにアンケート調査、事例調査、ヒアリング、インタビューを実施し、実態の把握が目標である。

### 2.1. 諸科学アンケート調査

#### (1) 標本設計

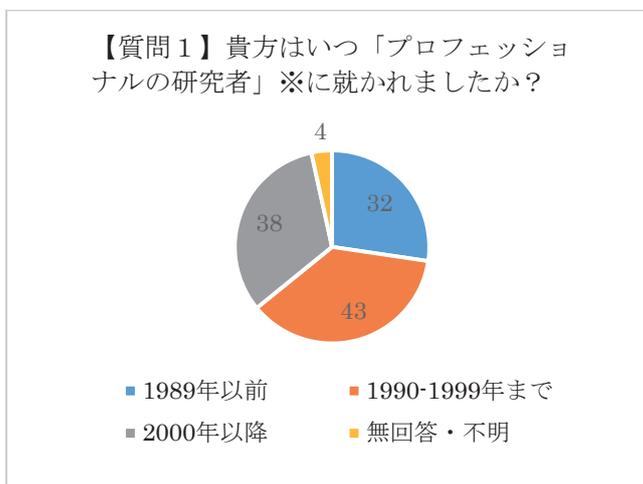
- ① 標本数は国立・私立大学等の研究者117人。
- ② 標本抽出に当たっては、過去2-3年の科学研究費基盤研究(C)の採択者(数学以外の諸科学分野)の中から無作為に300件抽出し、アンケート調査票を送付。その結果、回答のあった117名のアンケート結果を集計・解析を行った。

## (2) アンケート結果

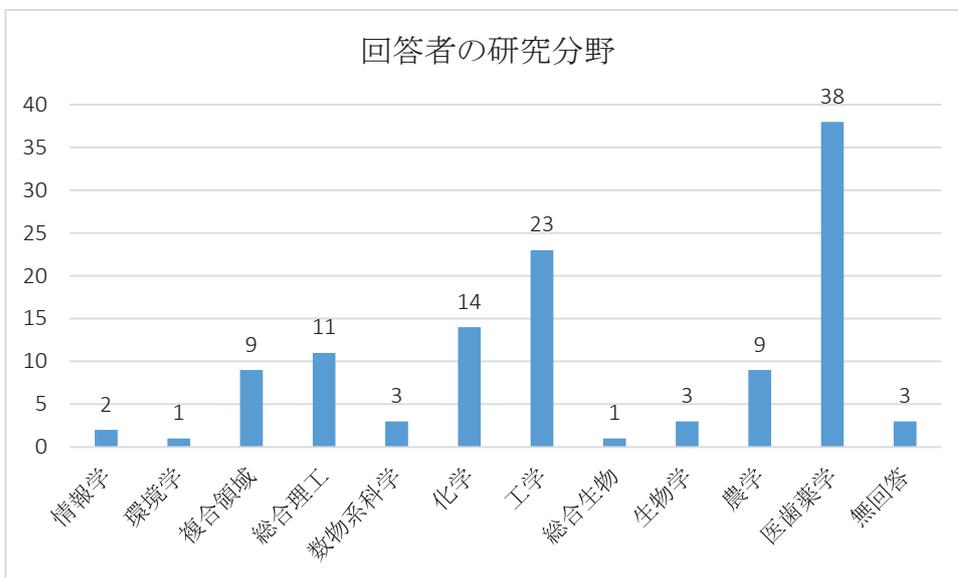
### 【質問1】 貴方はいつ「プロフェッショナルの研究者」に就かれましたか？

※プロフェッショナルの研究者とは、専ら当該研究開発活動業務による収入により、自己の生活経費を賄うことができることをここでは指すものとする。

|              |     |
|--------------|-----|
| 1989年以前      | 32  |
| 1990-1999年まで | 43  |
| 2000年以降      | 38  |
| 無回答・不明       | 4   |
| 合計           | 117 |



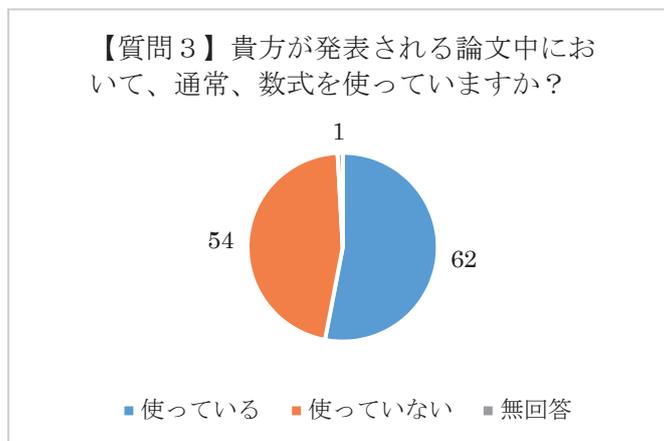
【質問2】 アンケート回答者の分野アンケートに回答して頂いた方の分野は以下のようにある。医歯薬学系(約32%)と工学系(約20%)からの回答が多かった。



**【質問3】 貴方が発表される論文中において、通常、数式を使っていますか？**

約53%の研究者が数式を使っていることがわかる。直接、数学・数理科学と関わりがあるか相関は不明であるが、諸科学の半数以上の研究者が数学を使っていると考えられる。

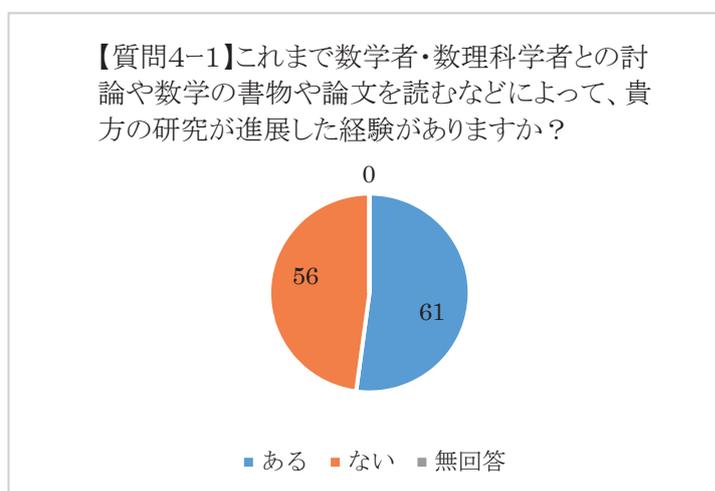
|        |     |
|--------|-----|
| 使っている  | 62  |
| 使っていない | 54  |
| 無回答    | 1   |
| 合計     | 117 |



**【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？**

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ており、【質問3】の結果と極めて強い相関が見て取れる（ただし、相関係数を計算していないので正確には不明）。

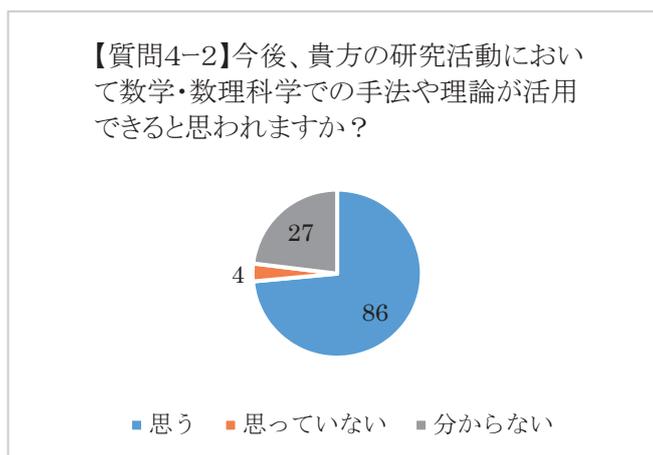
|     |     |
|-----|-----|
| ある  | 61  |
| ない  | 56  |
| 無回答 | 0   |
| 合計  | 117 |



**【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？**

約74%の研究者が数学・数理科学の手法や理論が活用できると考えている、実際に活用している研究者が52%であることを考えると、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、実際には活用されていない。(まだまだ数学・数理科学が連携する分野がある?)

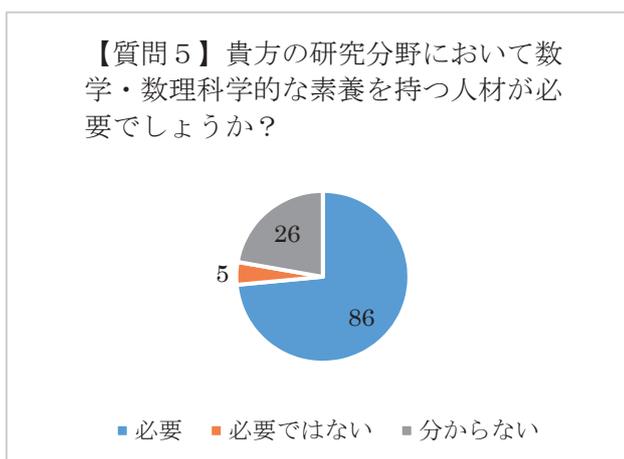
|        |     |
|--------|-----|
| 思う     | 86  |
| 思っていない | 4   |
| 分からない  | 27  |
| 合計     | 117 |



**【質問5】 貴方の研究分野において数学・数理科学的な素養を持つ人材が必要でしょうか？**

【質問4】と全く同じく約74%の研究者が数学・数理科学的素養を持つ人材を必要としている。数学・数理科学を必要と感じているが、まだ活用していない研究者が22%近くいることが見て取れる。

|        |     |
|--------|-----|
| 必要     | 86  |
| 必要ではない | 5   |
| 分からない  | 26  |
| 合計     | 117 |



**【質問5-1】 →1) 必要である、とお答えの方に伺います。それは何故ですか？**

自由記述には82件の回答があり、「データ処理」「統計解析」というキーワードが多く出ている。

記述されている他分野の主な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、記述されている主な数学・数理科学キーワードとしては、統計やデータ分析(35件)、数値解析・モデル化・シミュレーション(12件)ほか、フーリエ変換、群論、線形空間、確率論、確率過程、統計解析、制御理論等について回答があった。以下はその抜粋である。

- ・ 現在は経験則で材料の開発を行っているが、将来的にはモデル化、シミュレーションなどの手法が一般化してくると考えるため。
- ・ 医学系の研究には、統計学やシミュレーション、ビッグデータ解析が必要と考えるため。
- ・ 生物の計測データの解釈を行うためには統計学の知識が必要であり、常に相談できる人材が必要。
- ・ NGS データや発言アレイデータ、予後データの解析に必要なため。
- ・ 創薬研究にコンピューターが必要。例えば分子動力学計算など。またタンパク質構造解析によるフーリエ変換など。
- ・ 生命科学の分野では確率論が必須である。コラーゲン繊維の可視化と力学の研究を行っており、その解析時に必要。
- ・ 光デバイスや光材料において、数値計算、シミュレーションなど数学の力が必要なテーマが多くあるため。
- ・ ゲノム解析の情報量が格段に増え、ビッグデータを扱うインフォマティシャンは、絶対不可欠である。
- ・ 電気・機械システムの研究において、研究の成果の一般化・汎用化を図るうえで数学(的モデリング)は必要不可欠なツールであると考えます。
- ・ 統計解析の知識・手技に精通した共同研究者が High Impact Factor の論文遂行に必要。
- ・ 私は、ヒトの全タンパク質から疾患特異的なアミノ酸を発見し、薬など患者に必要なとされる医薬品を研究しています。そのビッグデータの中から病気のターゲットを絞るには統計学を学ぶ必要があります。私は、そのためにバイオ統計学を学びなおしました。

**【質問5-2】** →2) 必要ではない、とお答えの方に伺います。それは何故ですか？

回答数が少ないので傾向等は何とも言えない。数理科学者に対してネガティブな意見を持っている方がまだまだいると思われる。

- ・ 物理実験の結果を議論することが無いため。
- ・ 自身の領域においてはすでに完成された機器を使用しており、現状では新たな分析機器の開発に手を出さない限り、必要ではない状況にあるため。
- ・ 「必要ではない」というよりも「必須ではない」という感じです。これまで約18年間、

そのような人材と関わってこなかったが、研究は進んでいます。しかし我々の研究分野でも数学・数理的な考えをもった人材が研究に加わってくだされば、より発展できるのではないかと考えます。

- ・ 私が知る限り、数学、数理科学の分野の人は視野がせまく、役に立たない。

**【質問6-1】 貴方の研究およびその周辺分野において、数学・数理科学を活用している例があるでしょうか？**

数学・数理科学を活用している事例を知っている研究者は約53% いる。

|                   |     |
|-------------------|-----|
| ある                | 62  |
| ない                | 8   |
| そのような観点から調べたことがない | 47  |
| 合計                | 117 |

**【質問6-2】 具体的にどのようなものでしょうか？ またそれを発展させる仕組みがあれば教えてください。**

これには56件の回答があり、多くの研究キーワードが出ている。活用事例として統計に関わるキーワードが多く見られることから、統計的手法はすでに多くの他分野で重要な手法となっている。「シミュレーション」というキーワードも多くみられることから、計算機上で予測や予見を得るための手法として、多くの研究分野で数学・数理科学が用いられている。回答の抜粋をあげる。

- ・ 海外ではすでに幅広く行われている。海外の方が進んでおり、国内の研究者と協調する意味が無い。
- ・ 画像解析や質量分析や RNAseq などのデータの統計など
- ・ 制御理論、最適化問題、シミュレーション
- ・ 作用機系未知の化合物の作用機系予測系の構築、抗がん剤の感受性予測
- ・ 理論計算や、シミュレーションの結果によりナノ物質の構造、物性を予測し、考えられる実験の中から最低限必要な実験を選定できる。また実験現象の解析も重要である。
- ・ 海外である。データのクラスタリングや回帰など、主に python の scikit-learn を用いたデータ解析。
- ・ ワイヤレス通信における通信性能の解析、誤り訂正符号の特性評価と符号の提案等
- ・ 画像からの特徴量抽出や多種多様な医用情報を組み合わせるための多元計算機解剖学のアプローチが在る。
- ・ 光デバイス中の光伝搬シミュレーション。光材料の物性シミュレーション。
- ・ 相関解析により、複数の生体マーカーを用いた病気の確定診断が可能となる。

- ・ ビークルダイナミクス、ヒューマンダイナミクス、振動・音響解析など多分野にわたる例あり。
- ・ 電子移動を伴う材料化学分野(太陽電池やトランジスタ)
- ・ 主成分分析など、遺伝子の変動から共通成分を抽出するものや、分子のシミュレーションなど
- ・ 量子化学計算は近年非常に発展しており、多くの研究において実験結果と関連させて議論している。
- ・ 分子構造及び蛋白質間の結合程度の解析や親物性について

【質問7】 現在、若しくは過去に、実際に数学・数理科学研究者との共同を行っている方に伺います。

【質問7-1】 具体的に実際の事例と課題を教えてください。

33件の回答があり、成功事例と現在の進行している事例が多く見て取れるが、その一方で、共同研究の難しさを顕著に表している事例も多く見てとれる。例えば、「お互いの分野の理解不足」、「お互いに話が通じない」、「何をしているのかわからない」、「期待していた予言が全くなかった」。この辺りの事例は、日頃から数学・数理科学者が感じている点でもあり、分野間の相互理解が必要不可欠であることが見てとれる。回答の抜粋をあげる。

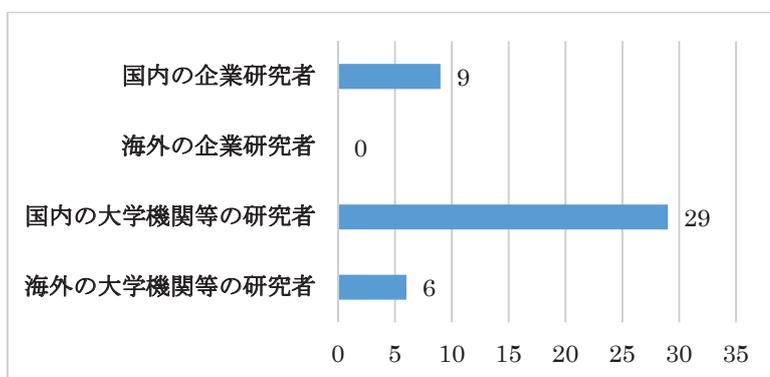
- ・ グリコシル化反応(有機化学)における溶媒効果・特異的グリコシル化反応における置換基効果。当初はかなりの成功を収めた。ただしお互いの進捗状況に差が出たこと、お互いの分野の理解の不足から議論がかみ合わなくなった。計算化学から有機化学へのフィードバックが乏しく、Scientificには面白い課題ではあったが、計算化学の力がなくても問題解決は可能であった。
- ・ 研究のバックグラウンドの異なる研究者とのマッチングは大きな成果となりうる。
- ・ 創薬におけるインシリコスクリーニング。具体的には、ドッキング計算、分子動力学など
- ・ PETでA $\beta$ 、糖代謝画像とMRIによる局所体積情報を組み合わせたの画像診断に、機械学習を活用しようとしている。
- ・ 分子進化の系統樹の作成
- ・ 数学・数理科学研究者との共同研究はしていない。全て独自に行っている。必要な数学・数理は勉強する。
- ・ 薬剤投与の疾患(疾患モデルマウス)への影響について解析を依頼した。残念ながらその解析の最終的な結果については、先方の統計学者の都合(多少そとのこと)によりご返事いただけていない。
- ・ 数学・数理学科研究者ではありませんが、数学を専攻し、生物学者となられた先生に、

データを評価して頂いた経験があります。その際は、検定法が間違っていたため、データの修正を行いました。私は数学が得意ではないので、数学者が指摘される問題点に気づくことが遅れる場合があります。

- ・ 数値シミュレーションの高精度化 (相手に解析解を算出してもらう)、数値モデル構築 (相手に3次元復元を依頼)、数値シミュレーションの実問題への応用 (相手から計算を依頼)
- ・ 留学中に米国で実験計画立案の相談と論文作成の課程で statistician に相談し成功

**【質問7-2】** どのような数学・数理科学研究者との共同研究をしていますか？

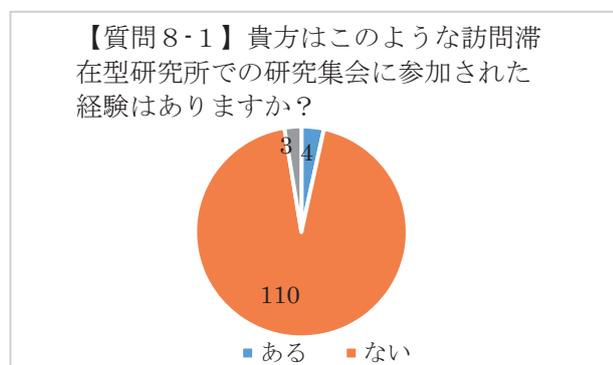
共同研究者の所属機関は国内の大学機関の研究者が約66%であり、次いで国内の企業研究者が20%であり、海外の大学機関等の研究者は約14%であった。



**【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はありますか？

訪問滞在型研究所での研究集会に参加した人の割合はわずか3.5%であった。【質問8-3】において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だと考えているにも関わらず参加経験者が少ない理由は、日本国内にこのような滞在型研究所が少ないためだと考えられる。

|     |     |
|-----|-----|
| ある  | 4   |
| ない  | 110 |
| 無回答 | 3   |
| 合計  | 117 |



**【質問8-2】 1) ある、とお答えの方に伺います。何回くらい参加されましたか？**

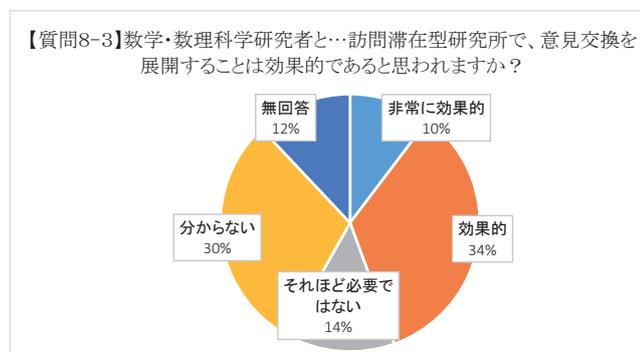
参加者サンプルが少なすぎるためデータから言えることはないが、参加者の4名中3名が複数回参加しているため、訪問型滞在研究所での研究集会等は参加した研究者にとって有意義であると予想される。

|       |   |
|-------|---|
| 1-2回  | 1 |
| 3-4回  | 2 |
| 5-9回  | 0 |
| 10回以上 | 1 |
| 合計    | 4 |

**【質問8-3】 数学・数理科学研究者と直接、間接的に貴方の研究分野の異分野融合研究を展開する場合、お互いの研究者が訪問滞在型研究所で、意見交換を展開することは効果的であると思われますか？**

約44%の研究者が訪問滞在型研究所での意見交換が効果的だと考えているが、約14%の研究者はそれほど必要ないと考えている。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かかわらず、44%の研究者が効果的であると期待している点では、諸分野と数学・数理科学の協働場(出会い場)として訪問滞在型研究所は必要であることを示唆している。

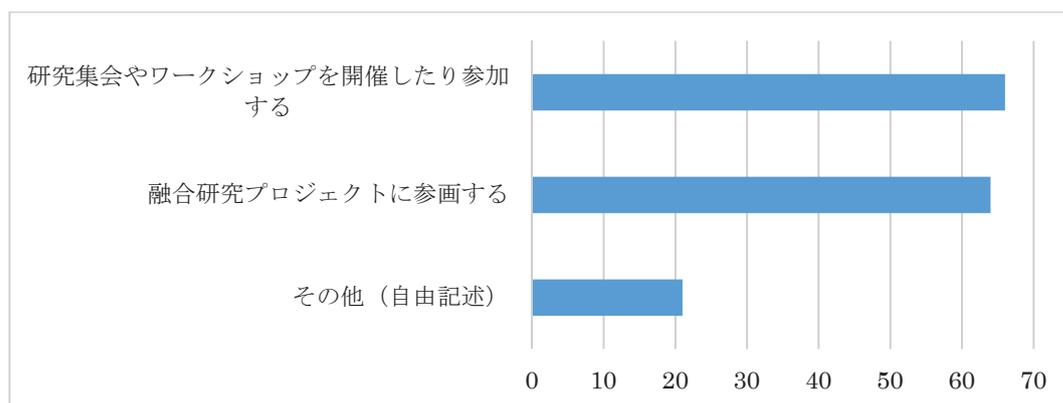
|            |     |
|------------|-----|
| 非常に効果的     | 12  |
| 効果的        | 40  |
| それほど必要ではない | 16  |
| 分からない      | 35  |
| 無回答        | 14  |
| 合計         | 117 |



**【質問9】** 数学・数理科学との融合研究を促進する方法について効果的であると思うものを選択してください（複数回答可）。

割合は研究集会の開催や参加は62%、融合研究プロジェクトに参画が60%であった。これまで推進してきた連携研究のための研究集会やワークショップの開催だけでなく、融合研究プロジェクトの推進も重要になってくるとされる。

|                        | 回答者数 | 回答数 | 割合   |
|------------------------|------|-----|------|
| 研究集会やワークショップを開催したり参加する | 106  | 66  | 62%  |
| 融合研究プロジェクトに参画する        | 106  | 64  | 60%  |
| その他（自由記述）              | 106  | 21  | 20%  |
| 合計                     | 106  | 151 | 142% |
| 無回答                    | 11   |     |      |
|                        | 117  |     |      |



（その他）

印象的な意見は、「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）」等であり、数学・数理科学と諸分野のコミュニケーションの場が必要だと思われる。以下にその抜粋をあげる。

- ・ 互いの専門用語などを理解する。
- ・ まずは自由に研究の話ができる場が必要だと思う。
- ・ ワークショップやプロジェクトへの参加はすでに明確な融合目的をもっており、ワークショップ、プロジェクトがなくとも融合は時間の問題である。意図しない出会いが融合研究の促進になると思われるため、研究者の相談窓口、コーディネーターの活躍が有効ではないかと考える。
- ・ 個別のWSやプロジェクトの中に自分の求めるものが見つけられるとは思えません。異分野融合を考えている数学研究者を検索できるシステムがあれば便利かと思えます。

- ・ 生物分野で実施されているゲノム支援や創薬プラットフォームのような個別研究も支援できるような門戸の広い日本全体での取り組み。
- ・ 研究はせまい分野のことを奥深く追求するので、集会や単なるプロジェクトでは互いに必要とする研究者がめぐり合えるとは思えない。needs と needs を一致させることが重要。
- ・ わかりやすい教科書もしくは解説を書いていただく。

**【質問10】** 数学と様々な学問分野や産業界との協働による研究を促進するため、以下のような活動が行われています。あなたが御存知のものに印をつけて下さい。

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、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のが現状である。科研費の連携探索型数理科学で14% 弱、JST の戦略的創造研究推進事業で9% 弱の研究者にしか知られていない。特に、数学と他分野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が他分野の研究者にほとんど知られていない。もっと積極的に他分野に広報活動を行う必要があると思われる。【質問9】の自由回答にも見られるが周知することが重要である。

|                   | 回答者数 | 回答数 | 割合   |
|-------------------|------|-----|------|
| 数学協働プログラムほか       | 30   | 1   | 3%   |
| J S T 戦略的創造研究推進事業 | 30   | 10  | 33%  |
| 連携探索型数理科学         | 30   | 16  | 53%  |
| 公募型共同研究設置         | 30   | 8   | 27%  |
| 合計                | 30   | 35  | 117% |
| 無回答・どれも知らない       | 87   |     |      |
|                   | 117  |     |      |

## 2.2. 諸科学の数学・数理科学との融合研究事例調査

### (1) アンケート調査対象者

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到る幅広い年齢層の10名の研究者から収集した。紙数の関係により、ここでは2名のみ記載した（そのほかは、電子版に記載してある）。

### (2) アンケート結果

●三浦 岳氏、九州大学大学院医学研究院・教授（発生生物学）

#### 1. 研究テーマ：発生における自発的パターン形成現象の数理モデル化と実験的検証

## 2. 研究事例の概要

生物の体はとても不思議な形をしています。器官や組織のかたちがきちんとできていないと人の体は機能しません。このかたちがどのように出来上がるのか、その過程(形態形成)を考えるのが発生生物学という学問です。生物の形の出来上がる過程は大変神秘的でかつ理解が難しく、古くからいろいろな分野の研究者を引きつけてきました。

私たちはこれまで、数理という眼鏡を通してこの形態形成現象、とくに何も無い所から形が生じる現象(自発的パターン形成)を理解するという独自のやり方で仕事をしてきました。生物学は、他の科学の諸分野と比べて、基礎方程式が確立されていません。とくに生物の形づくりの分野は、形そのものが複雑で、その定義すら数学の立場からははっきりしない事が多く、式を立てて考えるという発想がほとんどありません。我々は、応用数学のパターン形成の分野で用いられている反応拡散系という道具を使って、生物の形の出来上がる仕組みの原理を解明してきました。

## 3. 主な研究組織の概要

| 研究分野      | 参加人数 | 研究分担の内容  |
|-----------|------|----------|
| 数学・数理科学分野 | 3人   | 数理解析     |
| 発生生物学分野   | 3人   | 実験、モデリング |

## 4. 異分野融合研究で数学・数理科学研究の貢献はどこでしょうか？

- 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。

## 5. 活用されたのは数学・数理科学のどのような分野、部分でしたでしょうか？

✓計算機シミュレーション ✓微分方程式 ✓数理モデリング

## 6. 活用にあたって、数学者が具体的に参加しましたか、または数学者の参加を特に求めずに、本などで数学の知識を補いましたか？

具体的に参加した。

## 8. 2000年以降での主な(数学・数理科学を活用した)融合研究成果(学術論文、特許、研究プロジェクト採択等)。

### 1. 学術論文発表

- ① Kondo S, Miura T. 2010. Reaction-Diffusion Model as a Framework for Understanding Biological Pattern Formation. *Science* 329:1616-1620.
- ② Köhn-Luque A, de Back W, Yamaguchi Y, Yoshimura K, Herrero MA, Miura T. 2013. Dynamics of VEGF matrix-retention in vascular network patterning. *Phys Biol* 10:066007.
- ③ Miura T. 2004. Speed of pattern appearance in reaction-diffusion models: implications in the pattern formation of limb bud mesenchyme cells. *Bull*

**Math Biol** 66:627-649.

- ④ Miura T, Hartmann D, Kinboshi M, Komada M, Ishibashi M, Shiota K. 2009a. The cyst-branch difference in developing chick lung results from a different morphogen diffusion coefficient. **Mech Dev** 126:160-172.
- ⑤ Miura T, Perlyn CA, Kinboshi M, Ogihara N, Kobayashi-Miura M, Morriss-Kay GM, Shiota K. 2009b. Mechanism of skull suture maintenance and interdigitation. **J Anat** 215:642-655.

#### 共同研究プロジェクト(資金獲得等)

2015-2020 JST CREST「からだの外でかたちを育てる」

2007-2010 JST さきがけ「上皮組織のかたちづくりを理解する」

2013-2014 新学術領域研究「血管網を作る - 内皮細胞の自己組織化現象の実験と理論による解明」

2010-2013 挑戦的萌芽研究「頭蓋骨縫合線のパターン形成の数理モデル化とその実験的検証」

2005-2007 若手研究(A)「哺乳動物の発生過程における自発的パターン形成現象の数理モデル化とその実験的検証」

#### ●末松 信彦氏、明治大学先端数理科学研究科・講師(化学)

##### 1. 研究テーマ:

- ① 自己駆動粒子のリズム現象
- ② 自己駆動粒子の集団運動
- ③ 光合成微生物の特異的な生物対流パターン形成
- ④ 化学反応波のスパイラルパターン形成の起源

##### 2. 研究事例の概要

「自己駆動粒子のリズム現象」

表面張力差によって駆動される自己駆動粒子において、粒子の周囲の表面張力は駆動力を決める重要なファクターとなります。翻すと、環境条件が直接駆動力に反映される系であるともとらえることができます。この特徴を最大限に生かし、周囲の化学状態に応じて運動が変わるような自己駆動粒子を作成し、その運動の特徴やメカニズムの解明に取り組んでいます。例えば、自己駆動粒子の構成分子と反応するような化学物質を環境相に用意することで、運動の速さや様相を変えることができます。フェナントロリンという物質は水の表面張力を下げる固体であるため、その粒は水面を自発的に運動します。ところが、水相にフェナントロリンと錯形成反応を起こすような金属イオンが溶けていると、粒から水面に展開されたフェナントロリンは直ちに錯形成反応を起こして、

水面から取り除かれます。生成物は表面張力をほとんど低下させないために、金属イオン濃度が高いとき、粒の駆動力は下がり、停止したままになります。ところが、中間くらいの濃度の時には、粒は運動と停止を周期的に繰り返します。このような特徴的な運動が現れる機構を数理モデルと実験の両面から解明しています。

### 3. 主な研究組織の概要

| 研究分野        | 参加人数 | 研究分担の内容               |
|-------------|------|-----------------------|
| 数学・数理科学分野   | 2人   | 数理モデルの構築、数値計算、メカニズム解明 |
| ロボット・界面化学分野 | 2人   | 実験、メカニズム解明            |

### 4. 異分野融合研究で数学・数理科学研究の貢献はどこでしょうか？

- 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。

現象論的に推察されるメカニズムを、数理モデルおよび数値計算で再現することで、より正確に理解できるようになります。また、一見大きく異なるような現象でも、数理モデルを通すと同様の数理構造を持つことがあり、種々の現象の普遍性を明らかにすることにも貢献しています。さらに、数値計算や数理解析から新たな可能性を示すことで、実験だけでは見えなかったような新たな切り口から現象を理解することができます。

### 5. 活用されたのは数学・数理科学のどのような分野、部分でしたでしょうか？

- 1) 微分方程式、2) 計算機シミュレーション、3) 力学系

### 6. 活用にあたって、数学者が具体的に参加しましたか、または数学者の参加を特に求めずに、本などで数学の知識を補いましたか？

テーマによって異なりますが、おおむね、数学者に具体的に参画してもらい、共同で研究を進めています。

### 8. 2000年以降での主な（数学・数理科学を活用した）融合研究成果（学術論文、特許、研究プロジェクト採択等）

#### 1. 学術論文発表

- ① Nobuhiko J. Suematsu, Kurina Tateno, Satoshi Nakata, Hiraku Nishimori  
"Synchronized Intermittent Motion Induced by the Interaction between Camphor Disks" *J. Phys. Soc. Jpn.* 84, 034802 (2015).
- ② Mayuko Iwamoto, Nobuhiko J. Suematsu, and Daishin Ueyama  
"Spontaneous Formation of Unidirectional Path" *Chem. Phys. Lett.* 616-617, 248-253 (2014).
- ③ Nobuhiko J. Suematsu, Tomohiro Sasaki, Satoshi Nakata, and Hiroyuki Kitahata

"Quantitative Estimation of the Parameters for Self-Motion Driven by Difference in Surface Tension" *Langmuir* 30, 8101-8108 (2014).

- ④ Shu-ichi Kinoshita, Mayuko Iwamoto, Keita Tateishi, Nobuhiko J. Suematsu, and Daishin Ueyama

"Mechanism of spiral formation in heterogeneous discretized excitable media"

*Phys. Rev. E* 87, 062815 (2013).

- ⑤ Nobuhiko J. Suematsu, Taisuke Sato, Ikuko N. Motoike, Kenji Kasima, and Satoshi Nakata

"Density Wave Propagation of a Wave Train in a Closed Excitable Medium"

*Phys. Rev. E* 84, 046203 (2011).

●伊藤 聡氏、岐阜大学 工学部 機械工学科・教授（制御工学）

1. 研究テーマ：ヒトの上腕の到達運動における知覚・運動学習の数理モデル構築

2. 研究事例の概要

ヒトの運動学習に関しては、上腕の到達運動（ある開始地点から別の目標地点まで手先を動かす運動）を実験題材として多くの研究が行われている。この運動学習時に、手先速度に応じた外力を加えると、体性感覚に基づいた手の位置の感覚が、受けた外力と逆方向にわずかに補正されることが近年の研究で明らかになった。

その原因を「外力を補償するには運動時の手先の目標軌道を外力とは逆方向に調節しなければならず、その目標軌道調節により動かそうと意図する方向の感覚が引きずられるように影響を受けるためである。」とする仮説をたて、数理モデルにより実験データの定性的・定量的な説明を試みた。

上腕の運動モデルと制御・学習則を微分方程式により数式化し、手先軌道の収束性について、リアプノフ関数を用いた議論を行った。数値シミュレーションにより、学習による手先軌道および体性感覚の変化の実験データが再現でき、立てた運動学習と知覚補正の仮説が、ヒトの行っている制御戦略の一つの候補として可能性のあることを示した。（参考文献：Satoshi Ito et. al: Computational model of motor learning and perceptual change, *Biological Cybernetics*, 107:653-667 (2013)）

### 3. 主な研究組織の概要

| 研究分野      | 参加人数 | 研究分担の内容            |
|-----------|------|--------------------|
| 数学・数理科学分野 | 人    |                    |
| 工学分野      | 2人   | 数理モデルの構築, シミュレーション |
| 脳科学分野     | 3人   | データ計測, 数理モデルの構築    |

#### 4. 異分野融合研究で数学・数理科学研究の貢献はどこでしょうか？

- 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。  
→制御と学習のアルゴリズム構築時に、数理的枠組みが参考となった。
- 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。  
→学習結果の保証に安定性理論解析が役立った。

#### 5. 活用されたのは数学・数理科学のどのような分野、部分でしたでしょうか？

- 1) 制御理論、2) 力学系、3) 計算機シミュレーション

#### 6. 活用にあたって、数学者が具体的に参加しましたか、または数学者の参加を特に求めずに、本などで数学の知識を補いましたか？

数学者の具体的な参加はなし。微分方程式の取り扱いなどは書籍や論文などを参考にしました。

#### 7. 数学者が参加しなかったとお答えになった場合の主な理由は次のどれでしょうか？

- 1) 適切な数学者を知らなかったから
  - 2) 自分たちで解決できると判断したから
  - 3) その他
- (1) (2)

#### 8. 2000年以降での主な(数学・数理科学を活用した)融合研究成果(学術論文、特許、研究プロジェクト採択等)(各項目において、多い場合には各々最大10件程度を目処に主要なものを記載ください)

1. 学術論文発表
  - ① Satoshi Ito and Haruhisa Kawasaki: Regularity in an environment produces an internal torque pattern for biped balance control, **Biological Cybernetics**, Vol. 92, No. 4, pp. 241-251 (2005)
  - ② Satoshi Ito, Shinya Amano, Minoru Sasaki, Pasan Kulvanit: A ZMP Feedback Control for Biped Balance and its Application to In-Place Lateral Stepping Motion, **Journal of Computers**, Vol. 3, No. 8, pp. 23-31, (2008)
  - ③ Satoshi Ito, Shouta Takeuchi, Minoru Sasaki: Object orientation in two dimensional grasp with friction towards minimization of gripping power, **Biological Cybernetics**, Volume 1.1. Issue 3, pp. 215-226, 2009
  - ④ Satoshi Ito, Minoru Sasaki, Yoji Fujita and Hideo Yuasa: A circularly coupled oscillator system for relative phase regulation and its application to

timing control of a multicylinder engine, **Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulations**, Vol. 15, No. 10, pp. 3100-3112, 2010

- ⑤ Satoshi Ito, Tomohiro Kashima, Minoru Sasaki: A biped static balance control and torque pattern learning under unknown periodic external forces, **the International Scientific Journal Engineering Applications of Artificial Intelligence**, Vol. 23, Issue 7, pp. 1093-1104, 2010

### 2.3. ヒアリング

質問先：田中耕一氏（株式会社島津製作所シニアフェロー、田中耕一記念質量分析研究所所長）

質問者：前田吉昭（東北大学知の創出センター副センター長）

異分野融合研究について以下の質問にお答えしていただいた。

**前田**：これからの研究方向として融合研究は重要だと思われておられると思いますが、最も重要だという理由は何でしょうか。また、融合研究を行う際に、心がけることをお教えいただけないでしょうか。

**田中**：同じ分野の仲間で話していると、どうしても発想に限りがある場合が多い、という常識的かつ経験的な知恵があります。すなわち、"異分野融合"が重要だと思う理由は、思いもよらない独創・発想や発見を生み出すための1つの方法として、他分野のアイデアを導入した方がチャンスが多い、という事になるからです。

企業で研究・開発する場合、質量分析に限らず、例えば、自動車の開発でも様々な分野の研究者・技術者が集まり、ユーザを交えて考える事が当たり前になっています。

特に日本では、(分野を超えた)チームワークを生み出す歴史・文化に長けていますので、そういった意味でも日本で異分野融合を行う意義が多い、と思います。

"融合研究"という言葉は「融合する事を研究する」と思われそうなので、私は学際である"異分野融合"という言葉を使います。異分野融合のためには当然の事ですが、他の場合よりもコミュニケーションを大切にすべきです。

一部の分野にしか通用しない専門用語で話しても、他の分野にはチンプンカンプンです。分野を超えたアイデア・発想を行うためには、分かりやすく話す力が絶対に必要な条件です。

**前田**：先生の質量分析装置開発においても「数学」も必要であるとおっしゃっていますが、具体的にどのような数学が必要であるのかをお教えください。

**田中**：「物理の式を数学の力を借りて解く」という事が多い、と思います。具体的には、例えば、

[http://www.shimadzu.co.jp/aboutus/ms\\_r/archive/files/MALDI-MS\\_TechRep/MALDI\\_TechRepV3.0\\_01.pdf](http://www.shimadzu.co.jp/aboutus/ms_r/archive/files/MALDI-MS_TechRep/MALDI_TechRepV3.0_01.pdf)

(注：飛行時間型質量分析法 (Time-Of-Flight Mass Spectrometry, TOF-MS) におい

てイオンの直線飛行に基づく Linear mode による分解能を一桁向上させる（振り子の等時性の概念を用いた） Reflectron mode に関する解説）

[http://www.shimadzu.co.jp/aboutus/ms\\_r/archive/files/MALDI-MS\\_TechRep/MALDI\\_TechRepV3.0\\_09.pdf](http://www.shimadzu.co.jp/aboutus/ms_r/archive/files/MALDI-MS_TechRep/MALDI_TechRepV3.0_09.pdf)

（注：飛行時間型質量分析法と異なる質量分析法でここ10数年の間に考案・改良が為されたイオンを一時的に溜めこむ Quadrupole Ion Trap, QIT に関する解説）  
に書かれています。

それ以外にも、イオン挙動を解析するために高速フーリエ変換やデータ解析のために様々な数式を用いていますが、とても網羅的には書けないほど多種類の数学を活用している事は確かです。

前田：先生がお考えになる異分野融合研究についてお教えいただけませんか？

田中：質量分析と学術の関係を示す図としては、添付したファイルの田中耕一「若手・企業研究・異分野融合が活きるために」学術の動向 Vol. 19 (2014) No.3 p.3\_90-3\_103  
または

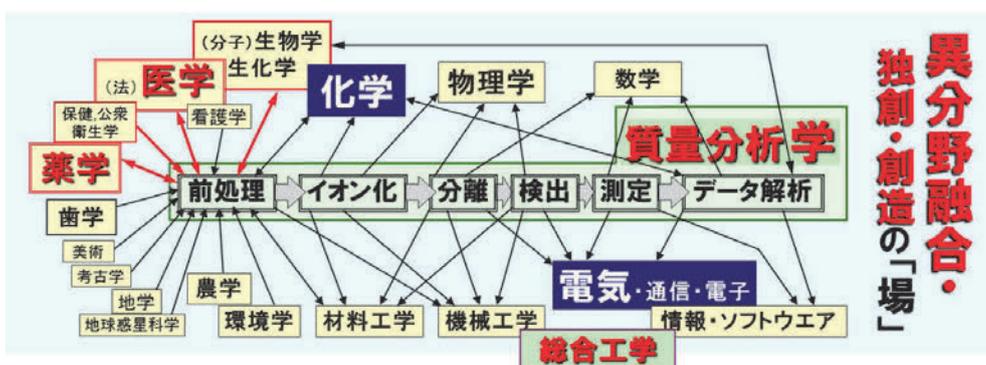
[http://www.shimadzu.co.jp/aboutus/ms\\_r/archive/files/MALDI-MS\\_TechRep/MALDI\\_TechRepV3.0\\_11BackCover.pdf](http://www.shimadzu.co.jp/aboutus/ms_r/archive/files/MALDI-MS_TechRep/MALDI_TechRepV3.0_11BackCover.pdf)

を参考にしてください。

注：以下は田中先生ならびに学術の動向の発行元の日本学術協力財団の許可の下で「若手・企業研究・異分野融合が活きるために」学術の動向 Vol. 19 (2014) No.3 p.3\_90-3\_103を一部抜粋したものです。

田中：よく高校生に質問を受けるのですが、「数学は役立っていますか」。この質問は愚問なのですが、本当に様々な分野で、大体において経済学で——毎年ノーベル賞は数学がとんどですからね——数学が絶対必要なのに、数学ができないから文系に行くというのは残念だなと思います。

先ほどの図（下図）のように色々と分野は分かれていますので、自然を一つ、例えばここに葉っぱが1枚ありますが、これを研究するのは、植物学、あるいは生物学だよねと思ってしまう。



例えば、葉脈、この分かれ方は、実は数学的な式で表されたり、この葉っぱの形は、風をうまくよけるために物理的に非常に良い形になっているとか、それから、もう一つ、関連する学術として考古学がありますが、大昔の化石を見てみたら、この祖先はこんな形であった。では、なぜ今こうなっているのか。それはこういう進化があるんだと。そういった本当に様々な分野をまたいで研究することによって、ある意味一つの深掘り、それも大変重要なのですが、それ以外の何か知恵とといいますか、アイデアが生まれる環境が、こういう場にはあると思います。

## 2.4. インタビュー

本章には、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の海外研究者へのインタビュー調査による調査を行った。紙面の関係で、3名のみのインタビューを掲載する。

### (1) ジェームズ・キーナー (James P. Keener) 氏

**米国ユタ大学数学科 数学特別教授**

**インタビュー対象者:** ジェームズ・キーナー氏

**役職名:** 米国ユタ大学数学科 数学特別教授

**場所:** 北海道大学電子科学研究所

**日時:** 2015年11月3日午後3時から4時まで。

**インタビュー調査員:** 北海道大学電子科学研究所附属社会創造数学研究センター中垣俊之教授

**プロフィール:** 1968年ケースウェスタンリザーブ大学卒業(理学士)、1969年カリフォルニア工科大学大学院(理学修士)、1972年カリフォルニア工科大学大学院(学術博士)、1972-1978年アリゾナ大学助教、1978-1982年ユタ大学准教授、1982-2004年ユタ大学教授、2004年から現在ユタ大学特別教授。世界標準の教科書として「キーナー応用数学—返還論と近似論—」(1999)、「数理生理学 (Sneyd との共著)」(2008)を執筆。原著論文は155編。

**URL:** <http://www.math.utah.edu/~keener>

**中垣:** ユタ大学数学科についてお聞かせ下さい。

**キーナー:** 教職員全数は数千人規模。数学科学部学生総数400名。

**中垣:** 米国の数学振興プログラムについてお聞かせ下さい。

**キーナー:** 米国科学財団 (National Science Foundation, NSF) が数学振興プログラムを実施しています。ユタ大学数学科は過去10年において二つのプログラムを実施しました。一つは、IGERT program (Interdisciplinary Graduate Education Research

Training Program)で、もう一つはRTG (Research Training Grant)です。それぞれ5年間のプログラムでした。予算総額は、過去10年間の合計で、二つのプログラムを合わせて約八百万米ドル (約10億円)でした。学際数学プログラムでは、NSFが全米に公募をかけ、全部で5、6箇所の拠点(大学、研究機関)を選定し、毎年一千五百万米ドルから二千万米ドル程の予算をこのプログラムに配分しました。

**中垣:** 学際共同研究についてお聞かせ下さい。

**キーナー:** 私たちのグループ、すなわち数理生物学グループでは、現在10名の大学院生が、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ました。滞在する研究室は、自分自身の研究テーマ(数理生物学)に関係する専門性を有するところであり、この経験によって学際数理科学マインドをもった研究者が育つと期待しています。もとより、滞在する研究室との間で、自分自身の研究テーマを形づくっています。

当初、実験生物学の研究室は、数学科の学生を受け入れることを渋っていましたが、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拓げることによって次第に協力を得られるようになりました。その過程で二つのポイントがありました。一つは、数学科の学生を受け入れてもらうとき、ある程度の予算(大雑把に言って数十万円程度)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たこと。もう一つは、実験生物学の研究室にとっても意味のある共通の問題を探して共同研究のテーマとしたこと。これらによって、実験生物学の研究室にとっても、経済的かつ科学的なメリットがありました。

**中垣:** 学際数理科学を振興するために必要な数学分野はどのようなものだとお考えでしょうか？ 大学院学生への教育に関連して、重要だと思われる分野について、どのようにお考えでしょうか？

**キーナー:** 私たちのグループの大学院生には、応用数学の全ての分野について、十分な理解をするように促しています。たとえば、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。大変なことですが、これは非常に重要な点です。なぜならば、これから直面する未解決の問題にたいして、どのように数学が使えるのか、誰も知らないからです。たとえば、最近ではネットワーク構造に注目が集まり、ネットワーク理論やグラフ理論がよく使われるようになりました。ネットワーク理論は改めてすすんでいるし、その理解も数理生物学分野でも不可欠になってきました。あるいは、確率過程の重要性が指摘されるようになり、確率過程の理論や確率微分方程式の理解も必要になってきました。

一方、代数学、代数幾何学、位相幾何学などはそれほど多くは学びません。代数学では、線形代数は必須です。特に、計算線形代数(Computational Linear Algebra)は、重要です。数学は純粹であるし、非常に拡張的(extensive)です。

**中垣**：大学院の教育で用いる教科書について、何かお考えがありますか？

**キーナー**：たとえば、力学系理論については、ストロガッツの教科書「非線形動力学とカオス」が広く使われていて、たしかに初学者には非常に良いけど、学際数理科学者教育としては少し物足りません。グッゲンハイマーとホルムズの教科書「Nonlinear Oscillation, Dynamical Systems, and Bifurcations of Vector Fields」ぐらいのものがよいと思います。そのようなこともあって私が必要と思う応用数学の教科書「Principles of Applied Mathematics: Transformation and Approximation」を書きました。幸いにして全世界的に使われていると聞いています。日本でも訳書が出版され、利用されていることは喜ばしく思います。しかしながら、その教科書を書いた時点から時代が進み、盛り込むべき内容が増えてきています。

**中垣**：今取り組んでいる数学の問題について、お聞かせ下さいませんか？

**キーナー**：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、意外なことに直面しました。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ました。私自身、代数的整数論は全く知りませんでした。そのようなことになって大変驚いております。

私はこれまで、いかに数学を知らないかということを感じ続けてきました。私はこれまで、知らない数学を学び続けてきました。それが、毎日の研究生活でした。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、何にも増して重要であると考えています。

確率過程論は数理生物学では過去5年で特に重要になりました。反応拡散系でも、分子数が少ないので確率過程は重要になってきました。それゆえに、私は過去五年間で、確率的力学系理論を勉強しました。

**中垣**：学際数理科学がこれからの社会にどのようなインパクトをもたらすと思われるのですか？

**キーナー**：数理生物学はこれからますます重要になります。生命現象は、医療や生態系と深い関わりをもっています。生命現象は非常に複雑です。ネットワーク理論や分岐理論や確率過程論はもちろん重要ですが、それらの複雑さを解きほぐすためにどのような数学が必要なのかまだまだわかりません。世界中の誰一人知りません。それらを発見し、生命現象の理解を深めて行くことが、これからの社会にはますます必要になってきます。

## (2) アレックス・モジルナー (Alex Mogilner) 氏

ニューヨーク大学クーラン数学研究所教授

インタビュー対象者：アレックス・モジルナー氏

役職名：ニューヨーク大学クーラン数学研究所教授

場所：ニューヨーク大学クーラン数学研究所

日時：2015年12月1日午前11時半から12時半まで。

**インタビュー調査員：**北海道大学電子科学研究所附属社会創造数学研究センター中垣俊之教授

**プロフィール：**1985年ソビエト連邦ウラル工科大学大学院修了(物理工学修士)、1990年ソビエト連邦科学アカデミー(物理学学術博士)、その後1992年まで数理物理学研究を実施、1995年カナダブリティッシュコロンビア大学応用数学(学術博士、指導教官レア・エーデルシュタイン・ケシェット教授)、カリフォルニア大学パークレー校博士研究員、1996年カリフォルニア大学デービス校数学科助教(assistant professor)、1999年同校数学科准教授、2002年同校数学科教授(同校神経科学、生理学、行動学科教授も兼任)、2014年より現職。専門は、数理生物学、細胞生物学、生物物理学。細胞運動と細胞分裂の数理モデリングとシミュレーションを実施する他、走電性の実験も実施している。原著論文120報。NATURE誌、SCIENCE誌、PNAS誌などに発表。学術専門誌Cell等の編集委員を歴任。モジルナー教授は、クーラン数学研究所の数理生物学教授をつとめているだけでなく、生物学科の教授も兼任している。

**中垣：**諸分野との共同研究の現状についてお知らせ下さい。また、未来における数学の重要性についていかがお考えでしょうか？

**モジルナー：**共同研究の実体はすこぶる良いといえます。応用数学と他の分野との境界は急速に融合しつつあります。21世紀は間違いなく生命科学の時代です。20世紀が物理学の時代であったように。いくつかの要因によって、過去20年において生物学は加速的に発展し、近代化しました。その要因とは、数理モデリングと数理解析と数値計算です。数理生物学は百年の歴史をもち、生物学に刺激された方程式の数学的解析を長い間にわたって深めてきました。象徴的な事例は、1952年のアランチューリングのランドマーク的論文で提案された形態形成のパターン形成モデルです。同じ年に、ホジキンとハクスレーは、神経細胞の電気活性を理解する生物学的に具体的なモデルを提案しました。過去20年、数学的に深くかつ生物学的に現実的な研究が爆発的に増加しました。生物学的に妥当な数学モデルが広範かつ洗練されるに従い、数学が生物学や生理学や医学に与えるインパクトが強まっています。科学技術の変化が加速し、科学のパラダイムシフトを予見し、それに備えることが重要になっています。沢山の科学者が、個別の生物過程がそれだけで孤立して研究されるのではなく、よりインテグレートされた形で理解される必要が高まっています。多くの科学者がそのことに気づくようになりました。したがって、次のパラダイムシフトはインテグレート生物学として起こるでしょう。よりおおらかに表現すれば、全地球環境から分子まで生命システムの全階層にわたる学際的な研究といえるでしょう。数学は、このような階層間をインテグレートする言語、抽象性、構造を提供してくれます。ゆえに、インテグレート生物学の研究では、科学者や数学者に、既存学問分野間の境界で役立つ広範な技術を使いこなす必要があります。

**中垣**：数学振興への提言をお聞かせ下さい。

**モジルナー**：2～3のすべきことがあります。(1)大学教員に複数の学部所属させる(クロスアポイントメント)、(2)学際研究の支援する研究制度を構築する、(3)大学院生向けの学際研究プログラムを構築する、(4)数理生命科学の会議やセミナーシリーズを開始する。

数理生命科学振興には恐るべき困難さが横たわっています。生物学専攻学生は標準的な解析学や物理学のみならずそれ以上の数理科学の習得が重要になってきています。問題は、生命現象の数理モデリングという手法です。そのための学習コースとして、「数値シミュレーション」が必要であり、ここではシミュレーションとウェットな生物学実験を行ったり来たりすることが不可欠です。同様に、数学専攻学生には、実験室ローテーションを経験し、かつ生物学コースを選択しなければなりません。学生が研究に着手する時には、複数のメンターにアドバイスを受けられるようにしなければなりません。

### (3) 呂宝粮 (Bao-Liang Lu) 氏

**上海交通大学計算機科学工学部教授、ディレクター**

**インタビュー対象者**：呂宝粮氏

**役職名**：上海交通大学 計算機科学工学部 脳型計算機械知能センター 上海教育局知能認知工学キー研究室教授、ディレクター

**場所**：北海道大学電子科学研究所

**日時**：2015年11月3日午後4時から5時まで。

**インタビュー調査員**：北海道大学電子科学研究所附属社会創造数学研究センター中垣俊之教授

**プロフィール**：1982年中国青島科学技術大学卒業(理学士)、1998年中国西北工業大学修士課程修了(理学修士)、1994年京都大学工学研究科博士課程終了(工学博士)、1994-1999年理化学研究所バイオミメティック制御研究センター博士研究員、1999-2002年理化学研究所脳科学研究センター博士研究員、2002年より現職、2005年より上海システム生物学センター計算生物学研究室客員教授を兼任。

**URL**：<http://bcmi.sjtu.edu.cn/~blu/>

**中垣**：数学がご自身の研究分野においてどのように役立っているか？ またご自身の研究分野に関連する数学振興のプログラムについて、お考えをお聞かせ下さい。

**呂**：機械学習の深層学習(ディープラーニング)において、数学の一分野である確率統計学が用いられています。他には、線形プログラミング、オペレーションリサーチなどで、線形代数学や最適化理論、解析学、離散数学、位相幾何学などが多用されています。オペレーションズリサーチは、比較的古くから考えられてきた問題であり、産業社会を下

支えしている基本技術である。この分野の技術革新は、したがって社会へのインパクトはすこぶる大きいと思います。

今日、情報通信技術の重要性がとみに高まっています。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)の構成が次世代の技術革新をもたらすと思われる。他方で、脳型情報処理の仕組み解明も非常に重要な問題です。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ますが、工学的な情報処理の観点からはまだまだ不明です。そこでは、数学が非常に重要な役割を担います。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でしょう。

人工知能と自然知能(脳型情報処理、あるいは脳を持たない生物の情報処理も(より根本的な重要性を有するので含めて)の二つの路線を押し進めるような数学振興プログラムが今世紀においては狙い所でしょう。

**中垣:** 数学振興の重要性についてお聞かせ下さい。

**呂:** とすると数学は狭い定義で捉えられがちです。しかしながら、現実には、非常に広い範囲で用いられていることを認知すべきです。私たちの日常生活は、数学に支えられています。情報通信技術(ICT)においては、全てがプログラミングされています。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す。そこで用いられる「アルゴリズム」は、広い意味での数学です。つまり、数学特有の「考え方」の表徴なのです。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す。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でしょう。

インターネット検索エンジン、グーグル、フェイスブック、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)などなど、今日的と思われる情報技術は、その土台に数学があります。こういうことをマスコミも強調すべきです。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す。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でしょう。

そのほか、(4)ジェギョン・キム(Jae Kyoung Kim)氏、(韓国高等科学技術大学(KAIST)数学科助教)、(5)ホルガー・ヴァールケンス(Holger Waalkens)氏、(グローニンゲン大学ヨハン・ベルヌーイ数学・コンピューター科学研究所准教授)、(6)ハウ・ヤン(Haw Yang)氏、(プリンストン大学化学科教授)のインタビューを行った。

### 3. 企業との連携における数学・数理科学融合研究活動動向と意識調査

#### 3.1. 企業へのアンケート調査

##### (1) 調査目的

アンケート調査は、本委託調査「数学・数理科学を活用した異分野融合研究の動向調査」の一環として企業の現況調査および意識調査を行い、実態把握に努める。

##### (2) 標本設計

(2.1) 標本数は企業268社

(2.2) 標本抽出

平成21年度に実施した文部科学省委託調査「数学・数理科学と他分野の連携・協力の推進に関する調査・検討～第4期科学技術基本計画の検討に向けて～」におけるアンケート調査について回答があった企業を抽出した。

##### (3) 設問設計

仕様書の調査項目「数学・数理科学を活用した異分野融合研究に関する調査(3)①日本における数学・数理科学を活用した異分野融合研究を担う人材の数を含む現状について調査するとともに必要とされているレベルとの比較を行うこと」に基づき、設問を設計した。

##### (4) 実施体制

以上のような設計に基づき、アンケート調査を実施した。

調査スケジュールは以下の通りである。

2015年11月17日 アンケート送付

2016年1月4日～5日 督促はがきの送付

##### (5) 調査結果

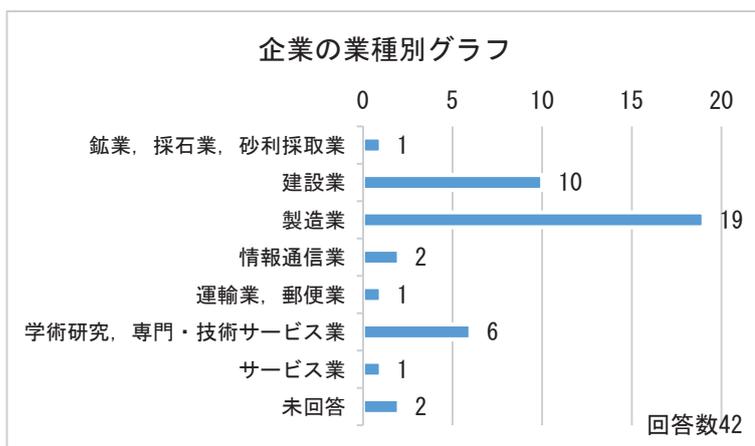
(5.1) 回答プロフィール

アンケート質問票回収率は以下の通りである。

$42/229=18.34\%$

尚、宛所不明で返送された39件は分母数から除くこととした。

業種別にみると以下の通りである。



## (5.2) 回答結果

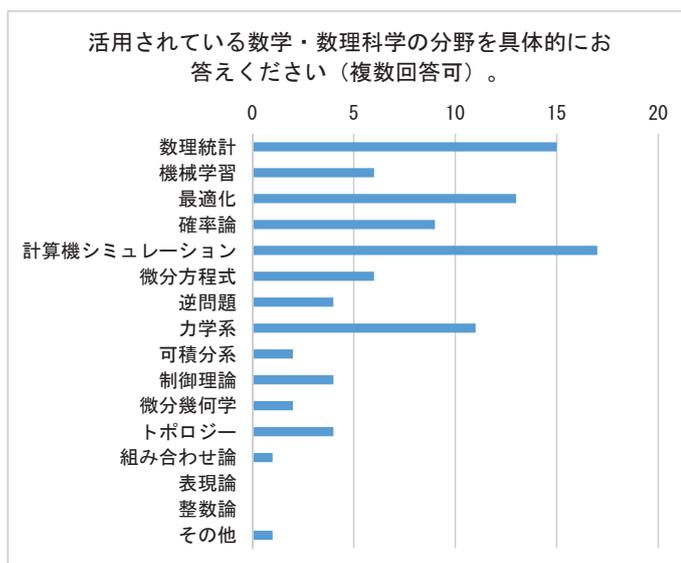
### 【貴社の数学・数理科学への興味、貴社内での活用】

a) 貴社では、何らかの数学・数理科学の知識を業務において活用されていますか？

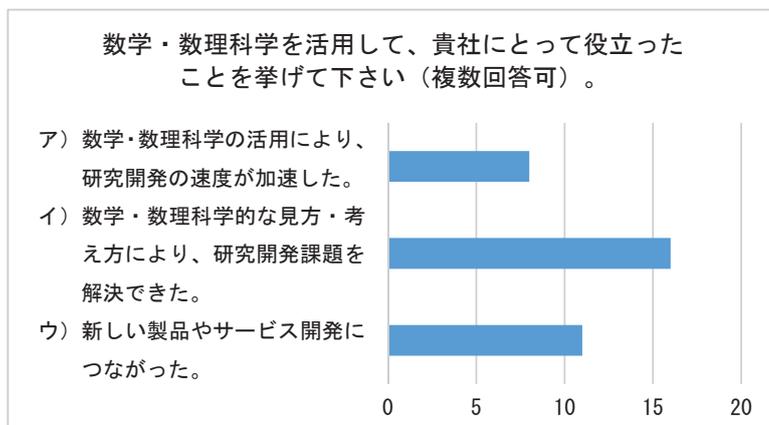


→ア) とお答えの方に伺います。

活用されている数学・数理科学の分野を具体的にお答えください(複数回答可)。



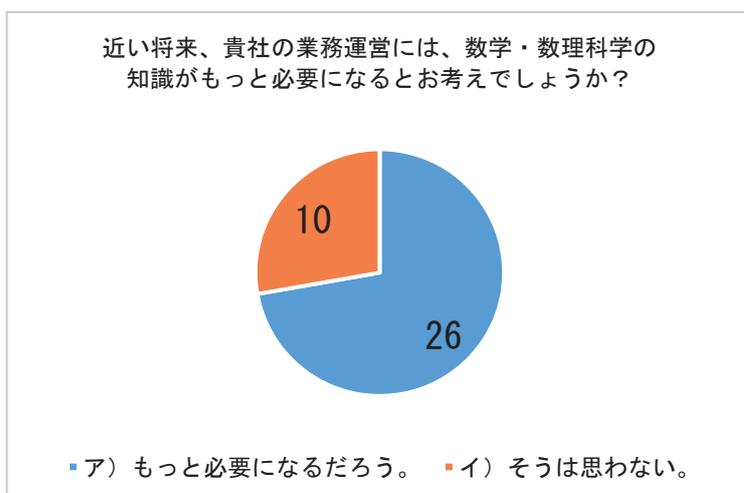
b) 数学・数理科学を活用して、貴社にとって役立ったことを挙げて下さい（複数回答可）。



自由記述には以下が記載された。

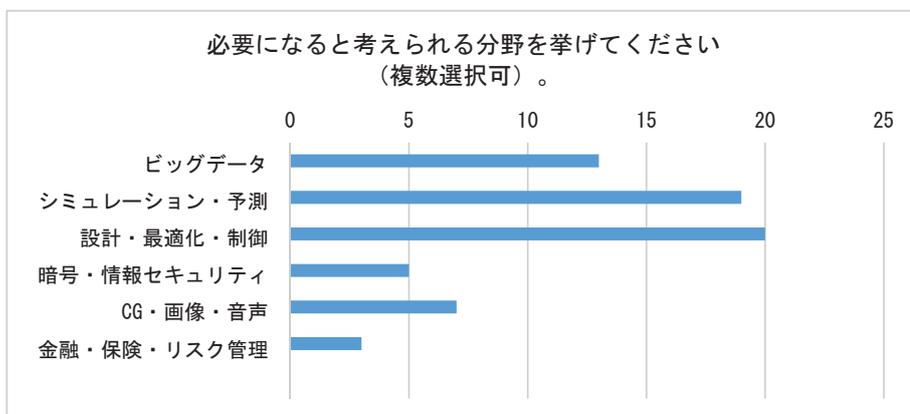
- ・ 計算機シミュレーションは通常の業務で、微分方程式によって逆問題を解く。過去の履歴に合致する入力パラメータ群を機械学習によって求める。
- ・ 新製品開発に取り組む研究の初期段階。
- ・ 技術開発室での新製品開発。
- ・ 計測データを用いた設備機器の運転シミュレーションによりエネルギー消費量等を予測した。
- ・ 条件変更による差異の有無を判断するためには必須。
- ・ テストに使用するテストピースの測定項目において、不要な項目を削除し工数削減と、本来必要な新たな項目に着目できる。研究内容の十全を図ることが可能になる。

c) 近い将来、貴社の業務運営には、数学・数理科学の知識がもっと必要になるとお考えでしょうか？



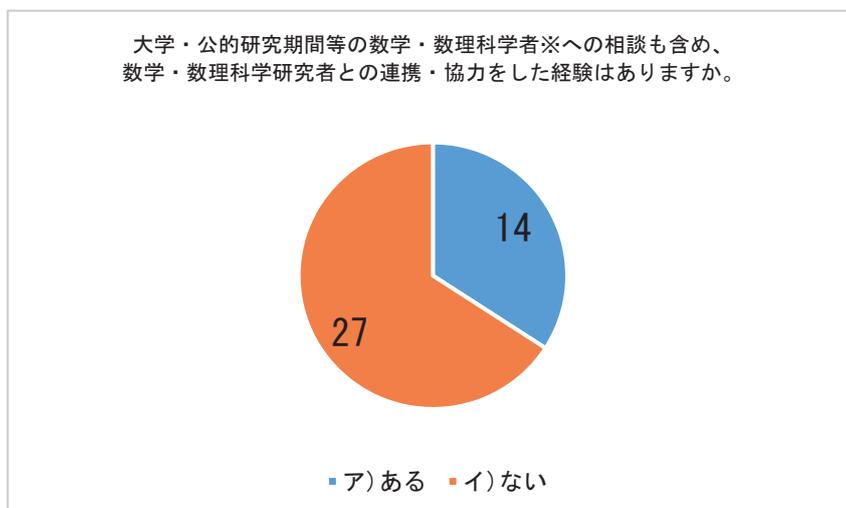
→ア) とお答えの方に伺います。

必要になると考えられる分野を挙げてください(複数選択可)。



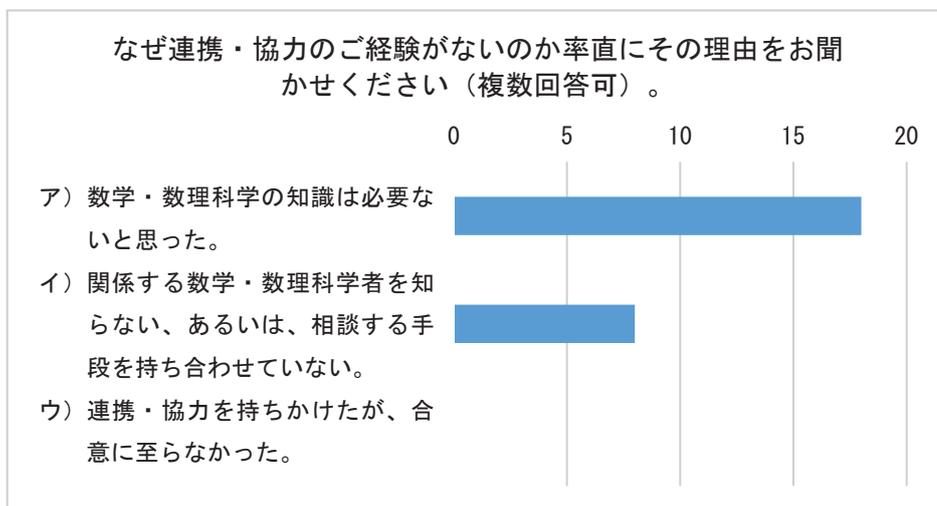
#### 【貴社と大学等の数学・数理科学者との連携・協力】

d) 大学・公的研究期間等の数学・数理科学者※への相談も含め、数学・数理科学研究者との連携・協力をした経験はありますか。※「数学者・数理科学者」とは、純粋数学、応用数学、統計学、確率論、そして、数値計算、計算機シミュレーションなどを含む広い意味での数学・数理科学の研究者のことをいいます。



→イ) とお答えの方に伺います。

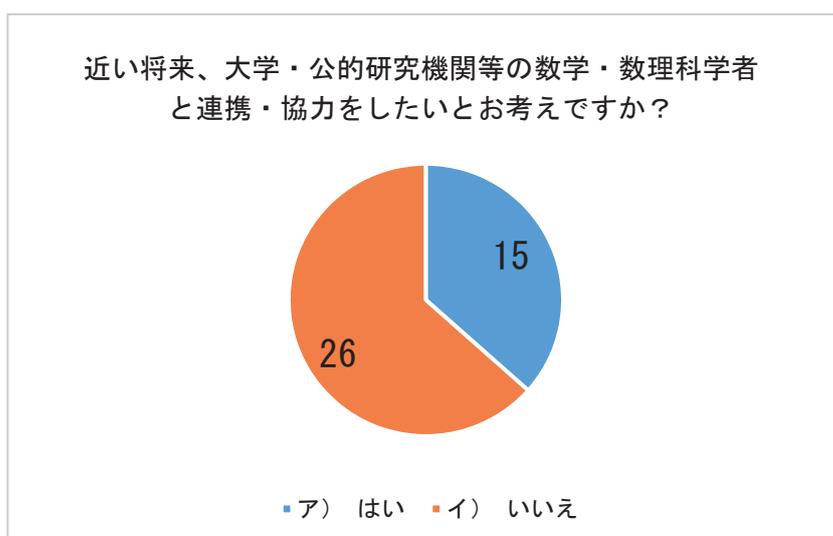
d1. なぜ連携・協力のご経験がないのか率直にその理由をお聞かせください（複数回答可）。



自由記述には以下が記載された。

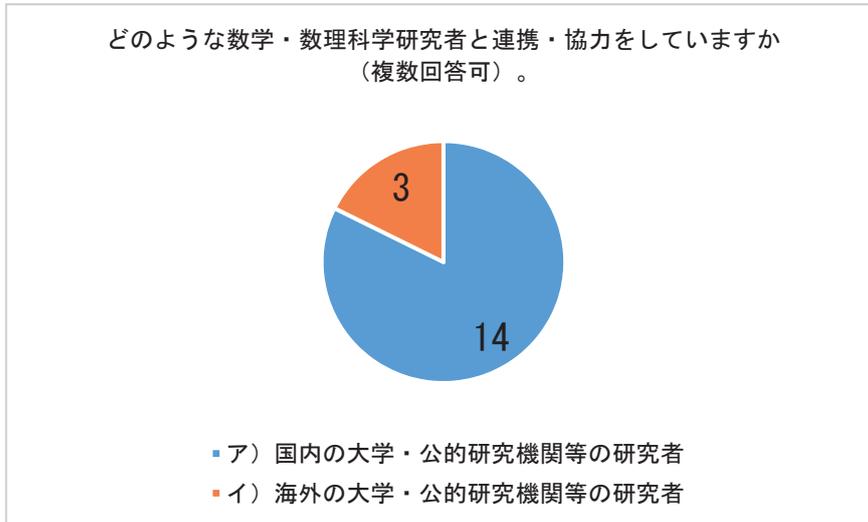
- ・ 必要な知識は論文とその他の文献で得ることが出来、それ以上の研究者との連携は必要であると考えていない。
- ・ 必要な知識は論文とその他の文献で得る。2
- ・ 自社開発で充分・特殊な数理解析や統計解析手法を使った経験なし。

d2. 近い将来、大学・公的研究機関等の数学・数理科学者と連携・協力をしたいとお考えですか？

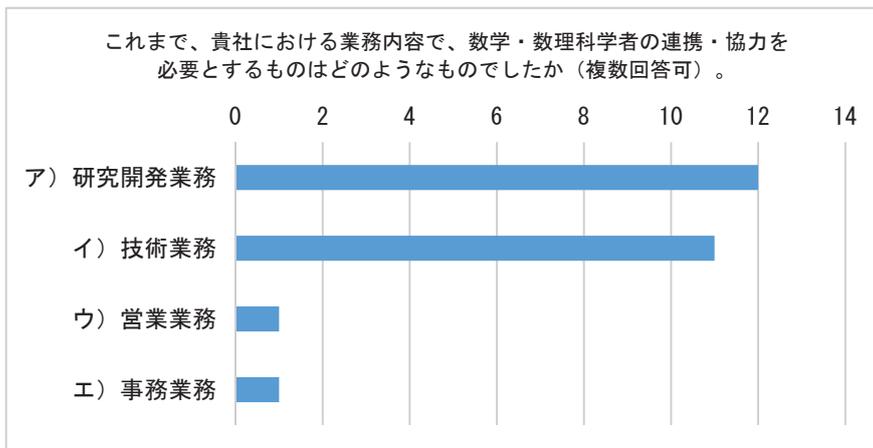


→ア) とお答えの方に伺います。

どのような数学・数理科学研究者と連携・協力をしていますか(複数回答可)。



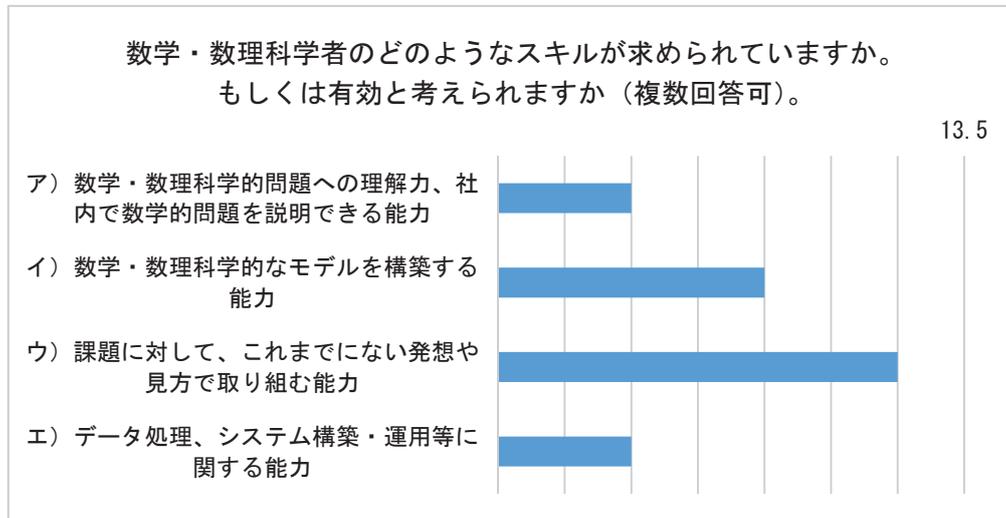
e) これまで、貴社における業務内容で、数学・数理科学者の連携・協力を必要とするものはどのようなものでしたか(複数回答可)。



ア) 研究開発業務の具体的な業務内容は以下の記載があった。

- ・ 研究開発業務 12: 具体的な業務内容
- ・ 解析・シミュレーション 7 (機械、材料 2、水理解析、地下資源、事故減少)
- ・ アルゴリズム開発 2 (機器センサの精度向上、無線通信の受信)
- ・ 他 3 件 (具体的記述なし)
- ・ 技術業務 11
- ・ 営業業務 1
- ・ 事務業務 1
- ・ その他: 自由記述・コンサルティング (クライアント課題解決)

- f) 数学・数理科学者のどのようなスキルが求められていますか。もしくは有効と考えられますか（複数回答可）。



自由記述には以下の記述があった。

- ・ 特に求めているものはない
- ・ 現実の課題をモデリングする能力、解法する能力と、それを超えて現実の課題を解決する能力

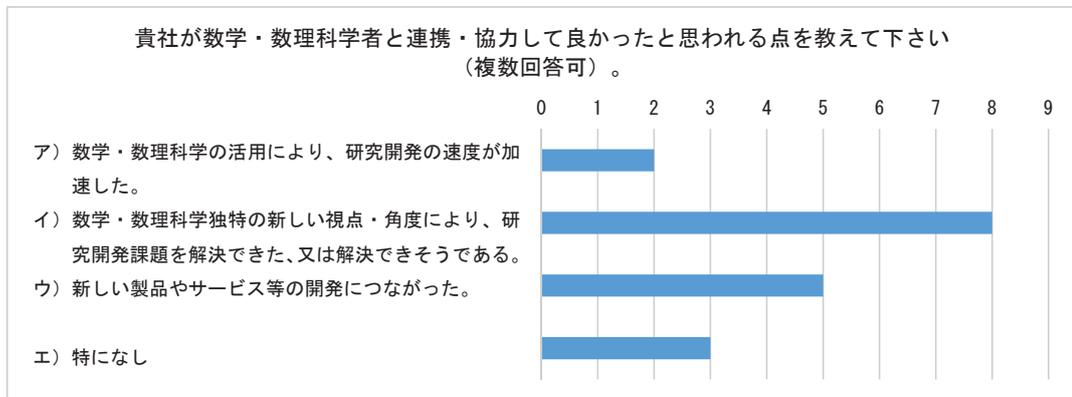
- g) 過去5年間に於いて、数学・数理科学者と連携・協力した課題数とその課題内容をお書き下さい。併せて、協力体制・方法についてもお書き下さい。

→ 連携・協力を行った課題数と差し障りない範囲でその課題内容をお書き下さい。

(課題数、課題内容 具体的にどのような協力体制・方法ですか：自由記述)

- ・ 20件、国内大学との共同研究、海外大学のコンソーシアム加入
- ・ 15件、守秘義務のため記入不可
- ・ 5件、自然災害リスク軽減及び防止：出向
- ・ 3件、材料製造プロセス開発関連
- ・ 3件、デザイン設計、応力計算、変形シミュレーション：県立研究所と共同研究
- ・ 数件、最適化分野：研究委託、コンサルティング委託
- ・ 2件、データ等の解析能力アップ
- ・ 2件、テスト結果の予測モデルの作成：共同研究
- ・ 1件、数値解析 アルゴリズムの開発
- ・ 1件、守秘義務の為記入不可
- ・ 不明、共同研究等

h) 貴社が数学・数理科学者と連携・協力して良かったと思われる点を教えて下さい（複数回答可）。



差し障りない範囲で具体的な成功事例を挙げてもらったところ、以下の記述となった。

- ・ 圧延モデル開発等
- ・ 顧客ソリューションにつながった（インフラ、災害復旧の広域最適化）
- ・ 今はまだ取り組み中のため、成功事例までいたっていない

i) h) とは逆に、貴社が数学・数理科学者と連携・協力した際の問題点や良くなかったと思われる点があればお書き下さい。自由記述：  
回答なし。

j) 数学・数理科学者との連携に関して、望まれる制度、環境について自由にアイデアやご要望をお書きください。

- ・ 数学・数理科学の学会における発表だけでなく、他分野の学会等で（押しかけの）発表を行って欲しい。最新の研究成果がわかり、利用可能な成果の発見できる。
- ・ 研究者も、専門内外を問わず、実務・実学の間数をもっと踏むようにできればよい。
- ・ 学者が持っている技術の見える化とアクセスのし易さ。
- ・ ホームページ等で Q&A 的な場所を作ってはどうか。
- ・ 数学・数理科学が企業にとってどのように活用できるか、具体的事例やメリットなどを紹介する場を設けて欲しい。
- ・ 企業の研究者が解析やシミュレーションを行う際、数学・数理科学者がパラメトリックスタディやワークスタディにおいてアドバイスできる制度や環境が欲しい。
- ・ 理論と実証をくり返せる共通プラットフォームづくり。（モノづくりで言う FabLab の様な位置付けの環境）
- ・ 助成金等の公的機関からの環境整備
- ・ 成果の不実施保証などの面で大学側と意見が合わない部分がある。大学と連携する際の国の統一見解があるとよい。

- ・会社の中で理解者が少なく苦労している。統計モデルの作成のために必要なことと、メリットを会社の上層部に理解してもらうための手助けをしていただきたい。

### 3.2. 数学・数理科学と産業界との共同研究の事例

#### (1) 調査目的

産業技術分野における数学・数理科学を活用した融合研究の事例を収集する。

#### (2) 調査方法・結果

数学・数理科学研究者と共同研究を行っている、あるいはかつて経験した(元)企業研究者に直接アンケートを行った。97名にアンケートを送り、22名から具体的な回答を得た。

#### (3) アンケート設問

##### 【貴社と数学・数理科学とのかかわり】

- 1-A. 貴社では数学的手法が不可欠な、あるいは、役立つと考えられる研究課題をお持ちでしたら差し障りのない範囲内で、研究課題の具体例をあげてください。
- 1-B. 数学・数理科学が役に立った例をお持ちでしたら、差し障りのない範囲内で、その内容をお知らせください。

##### 【貴社と大学等の数学・数理科学者との連携・協力】

- 2-A. 貴社において、大学・公的研究期間等の数学・数理科学研究者との連携・協力をした経験をお持ちだと思いますが、過去数年間において、数学・数理科学者と連携・協力を行った相手および課題内容等について、差し障りの無い範囲内でお書き下さい。
- 2-B. 貴社が数学・数理科学者と連携・協力して良かったと思われる例をお持ちでしたら、差し障りのない範囲内で、その内容をお知らせください。

#### (4) 回答例

##### 回答1

(株)リコー 渡邊好夫 顧問技師長

##### 1-A.

- ① データサイエンス分野： 弊社はMFP(複合機能コピー機)を主たる業務としていますが、それからは膨大なデータが毎日集められています。現在もこの活用に努力していますが、まだ、そのレベルは不十分なもの(多くの情報を汲み出し切れていない)と感じております。これらには、高度な統計学や機械学習の活用が必要と思われます。
- ② 最適化分野： 最近ではコンピュータによる最適化が設計の現場で活用されつつあります。ただ、多くの目的関数とともに様々な制約条件(設計や生産からの制約)があるなかでは、適切な解析戦略が非常に重要と考えています。特に、連続的な関数の最適化(トポロジー最適化)とともに、組合せ最適化(方式検討)も重要と感じておりますが、弊社

では後者については効率的な方法を持ち合わせておりません。また、前者に付け加えますと、弊社では3Dプリンター（Additive Manufacturing）に関するビジネスを始めておりますが、これに関してはトポロジー最適化が強力な武器となると考えております。

- ③ 数値シミュレーション分野：20年ほど前はこの分野は数学的素養が重要でしたが、最近、アプリケーションソフト（ANSYSやFLUENTなど）のレベルが非常に上がってきてこれがなくともよい結果が得られる（少なくとも得られたように見える）ようになってきております。

ただ、新事業領域、弊社の事業のコア領域（紙の力学挙動・物理特性評価、トナーなどの粉体挙動、インクジェット（IJ）のインク吐出挙動など）は、市販アプリソフトでは不十分なことも多く、独自開発するか、市販アプリへのUDF（ユーザ定義関数）などを付加して用いております。この場合は、シミュレーション（数値計算）に関する素養が必要となってきております。

また、①②ともからむのですが、多数の数値シミュレーション結果から統計的な方法で最適化やそのロバスト性を予測することが今後は重要になると考えております。さらには、「データ同化」の設計シミュレーションへの適用も興味深い研究課題と考えております。

- ④ 制御技術 / Model Based Development (MBD) / 1D-Simulation 分野：制御技術は、微分方程式や線形代数に関する知識は不可欠で、弊社でも数学に強いメンバーが集まっております。それに加えて、近年は、MBD/1D-Simが重要になってきております（制御の分野から見るとプラントモデリングの技術ということになるかと思えます）。近年は、大規模シミュレーションが進む一方、それをどう縮約して設計に役立つ知識を引き出すかは設計力強化の鍵と考えております。ただ、3D→1Dへの縮約は、弊社では、1D-Simulationモデルをこれまでの知見から構築して、そのパラメータを3Dデータから試行錯誤的にもってくることを行っております。モデルが複雑になるともう少し体系的な方法が重要になると考えております。

- ⑤ 画像処理分野 / 信号処理分野：20～30年前は社内でもよく研究発表がありました。ただ、最近では技術が確立してきたのか、あまり研究されておられません。

1-B. 以下には、基礎的な数学の知識も記載いたしました。これから数学リテラシーは非常に重要になると感じております。

弊社の電子写真というコピーの技術はアメリカから導入されたもので、原理はアメリカのテキストを読んで学ぶことで進めてきました。その意味では、原理よりも「設計・製造」に力が入っていたと思いますが、新規な技術を作るときは原理から考える姿勢は欠かせません。そのときの基礎として数学は不可欠のように思います。1-Aに記載しました、①データサイエンス分野では、線形代数や解析の初歩は必須だと思います。当然ながら、確率の基礎も必要です。近年は高度な統計モデルも必要な場合もあり、MCMCなども習得しようとしております。

また、②③数値シミュレーションや最適化の分野も、自分でプログラムを開発すると  
なると線形代数や解析は不可欠と思います。この領域では、陽解法、陰解法や数値的な  
安定性などの数値解析に関する基礎は、アプリソフトを使うときも知っておくべきこと  
と感じております。特に、考えている物理現象の特徴時間と解析したい時間とを比較し  
た上で、それぞれの物理プロセスをどう捉えるべきかの判断は、解法選択上大変重要で  
す。弊社内でもマルチフィジックスの解析では単に異なる種類のソフトを繋げばよいと  
理解している者も多く、適切な解を得るのに苦労したという例もあります。また、私も  
以前は流体計算を行っていたこともあり、境界適合型の計算格子での差分法を使ってお  
りました。その時、リーマン幾何学を用いて Navier-Stokes の式を書き直して計算を行  
いましたが(朝倉書店より、「流体解析Ⅱ」(1997)としてお茶の水女子大学の河村哲也  
先生との共著として出版していただきました)、その手法を、弊社内では伝熱や静電界の  
解析にも用いております。有限要素法に比べて、高速なことと物理現象が組み入れやす  
い点は良いかと思っております。

- ②最適化については、まだ市販のソフトを活用しているレベルですので、本格的に数学的  
なアプローチが必要なところまで到達しておりません。
- ⑤画像処理/信号処理では、線形代数や Wavelet 解析 (JPEG2000 という画像圧縮方法  
は Wavelet を用いていたと思います)が使われているようです。ただ、詳しくは把握で  
きておりません。

## 2-A

- ① データサイエンス:ある関東圏の大学と共同研究を行っております。

③～④につきましては、残念ながら数学・数理科学の研究者との共同研究等はないと  
思います。弊社としては、粉体や伝熱など具体的な問題を解きたいということがあり、  
それらの現象を扱う工学関係の先生方のご指導をいただく形となっております。広くシ  
ミュレーション関係では、いくつかの大学や研究所にご指導をいただいたことがあります。

## 2-B

前述のように、まだ弊社では数学・数理科学の分野の研究者の方のご指導をいただ  
いた経験があまりございません。今後はデータサイエンスや最適化に関して数学関係のご  
指導をいただくことが必要ではと考えております。

## 回答2

広島大学工学研究院・教授 廣川真男

### 1-A & B.

今日の量子デバイスは、単に、量子ビットによる通信を行う量子情報理論や量子ビッ  
トを用いた量子計算のみならず、これらを目指し発展する過程から色々な派生技術が見  
い出され、それらの派生技術の産業への応用が期待されています。そのため国家による  
巨額予算の投資が欧米でここ数年みられるようになりました。大学等の研究機関への研

究予算投資以外にも、国が拠点を新たに形成した例としては、古いところでは、オーストリア政府が The Erwin Schrodinger Institute を廃止し（現在はウィーン大学の一研究機関）、Vienna Center for Quantum Science and Technology を設立したり、新しいところではオランダ政府が、オランダ応用科学研究機構を Delft 工科大学と連携させ、QUTech を設立しました。今後10年間で135 million Euro（約180億円）を Delft 工科大学の Leo Kouwenhoven をリーダーとする量子計算機の研究に投資します。オランダ政府は、2025年までに（計算機等を含む）量子分野で約2000億円程度の市場をつくることを期待しているようです。この流れには、企業も次世代産業の期待をしているようで、米国 Intel は今年9月、この QuTech と今後10年間提携し5000万ドルを投資します。

これらの投資額の大きさは、次世代産業を睨んだ量子デバイスの研究開発にはかなり大きな予算が必要となるということを意味しますので、日本では一企業が単独で行う事は難しく、国内外の大学や国と一緒に研究開発を行う道を選び、企業自身による量子デバイスの研究開発は縮小される傾向にあります。例えば、超伝導回路による量子ビット開発で理研と組んでいた A 社は理研との協力関係を解消し、この分野から撤退しました。また、スピントロニクス技術で世界をリードする B 社は、この分野での事業見込みを考慮し、大学との共同研究を縮小し、解消の動きにあることも危惧されていました。一方で、量子ドットによるレーザー発振を使い様々な産業の可能性を感じさせる荒川泰彦氏（東京大学）の研究には C 社が出資し、QDLaser というベンチャー企業も活発に産業活動を行っています。

上述の状況を考慮し、将来の量子デバイスの産業化を見据えて産学が協働するために、かつて企業で学んだマネジメントのノウハウを活かすことにしました。会社が違えばマネジメント手法も色々かと思いますが、B 社では、産業のゴールを見据えた者が研究開発チームを指揮し、大学の基礎研究に携わる者であろうと、たとえその人達がゴールを理解していなくとも、チームの研究開発に寄与するように指揮しなければならない、と学んで来ました。

以上の視点に立ち、現在私が取得している科研費(B) (特設分野)「量子情報デバイス研究開発における数理科学的連携探索」では、代表者として、産業界のマネジメントの眼で、各企業が独自に持つ技術を集めそれらの研究を一つの「事業」の方向性を持たせるようにしています。そのとき、それぞれの科学技術者とのコミュニケーションでは、数学を通すことでそれぞれの技術を理解し、違った技術を束ねています。ただし、ここで言う数学とは、理学部系のそれとはかなり違うもので、企業の間が実践に使い「数学」と呼んでいるものですので、理学系では数学と呼ばれていないものとも言えます。以下、「数学」と記したときは、この意味での数学とご理解下さい。

各社の技術の情報を集め、ある程度の内容を把握するために、平成23、24、25年度と文部科学省の「数学・数理科学と諸科学・産業との連携研究ワークショップ」に参加し、

Interdisciplinary Workshop on Quantum Device (IWQD) という国際ワークショップを2013年から毎年開催し、その年のテーマを決め、大学・公的研究機関のみならず、企業の研究者を講演者に選び、私自身が彼らのもつ技術を勉強して参りました。

従いまして、科研費(B) (特設分野)「量子情報デバイス研究開発における数理科学的連携探索」では、理論のみならず、異分野の実験技術間に私が入り、それぞれの理論・技術を、数学の助けを借り一旦理解し、それをそれぞれの実験技術者に説明し議論する形の集団を形成しています。

特に、量子デバイスを数学的にシステムとして捉えた場合、数学的機能として、量子ビットの制御・記憶・輸送の3つの要素が基本となります。これを実現する物理が何で、その数理モデルをたて解析し、さらにそれらを組み合わせ大きなシステムを組むときに、それぞれを実現した違った物理をどう繋ぐか(量子状態転写等の問題)を、数理モデルをたて解析し議論することになります。

以下に、科研費(B) (特設分野)「量子情報デバイス研究開発における数理科学的連携探索」から生まれた、企業2社がからむプロジェクトの一つを簡単に紹介します。

2-A, B. 省略

### 回答3

#### D社 代表取締役兼 CTO

1-A.

半導体リソグラフィ用光源を研究、開発、製造、販売、サービスを行っている。

対象がガスレーザーであり励起に用いる放電現象やプラズマの発生メカニズム、付随する衝撃波の発生、流体現象を理解するにはCAE (Computer Aided Engineering) 手法の活用が必要不可欠となっている。CAE手法の利用によって高性能の装置の開発期間を短縮でき、社業発展の大きな力となっている。

1-B, 2-A. 省略

2-B.

特にスタート時皆目わからなかったEUV発光現象の理解が進んだ点では着実に進歩はしてきて良かったと考えるが、遂行する中で以下のような現実も見えてきている。

EUVでのこのシミュレーションでの産学連携を13年間行ってきた。初期の数年には世界的にも注目される成果を上げたが、次第に装置設計に使えるレベルの完成度の高いシミュレーションが求められるようになってきた昨今では、海外の研究機関(アメリカ、ロシアなど)の成果が目立つようになってきた。共同研究者と話をすると国内のシミュレーション科学者を取り巻く環境は必ずしも充実していない。特に、企業とのこうした研究をやっても論文にならない研究は大学では必ずしも評価されないため、若手の確保

も難しいと聞く。またシミュレーションが企業技術者でも使えるレベルまで完成度を上げるとなるとそのバックアップ体制もできていない。海外では軍事も含めた大規模シミュレーションの研究体制、それを支える文化が確立しており、企業での使用に耐えるような高度で完成度の高いシミュレーションの実現となると実力の差が見えてくる。今までのやり方の延長線上ではなかなか対抗が難しいように感じる。

### 3.3. 企業との共同研究の課題

#### (1) 全体の概要

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。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36社中26社、近い将来数学・数理科学がもっと必要になるが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、数学・数理科学の有用性が十分には認知されていないこと、さらには、産業界と数学・数理科学研究者を結びつけるルートが整備されていないことの反映であろう。これにはより組織的な取り組みが必要である。数学・数理科学研究者が技術開発現場やその関連学会に参加する、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、全国規模で数学・数理科学を産業界に浸透させる取り組みが求められる。

#### (2) 明らかになった課題

最近の技術開発の特徴は、インターネットの普及により、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である。技術の高度化によって、一企業を単位とするものから、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事例が示すように、技術水準の高度化競争は際限がない。また、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・数理科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。そして、数学・数理科学者は自らの土俵に閉じこもることなく、他分野の研究者と積極的に交流することが必要である。

### (3) 数学・数理科学と産業技術分野との融合への課題



## **第2章 国内における数学・数理科学融合 研究の進展状況とその課題**



## 第2章 国内における数学・数理科学融合研究の進展状況とその課題

この章では、数学・数理科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。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他分野・企業との連携拠点の活動である。なお、2節の調査では15の拠点より回答を得たが、紙面の都合により一部の記述回答を割愛し、実績データのみ掲載する。

### 1. 数学協働プログラム活動調査

(回答者：伊藤 聡 統計数理研究所副所長)

#### ① 活動期間

平成24年11月から平成29年3月(予定)

#### ② 発足の目的、概要

数学・数理科学的な知見の活用による解決が期待できる課題の発掘から、諸科学・産業との協働による問題解決を目指した研究の実施を促進するという目的を達成するため、大学共同利用機関である統計数理研究所が中核機関となり、我が国を代表する数学・数理科学の協力機関との連携のもと、以下の業務を行う。

まず、数学・数理科学研究者と諸科学・産業の研究者等が出会い、課題解決に向けて領域横断的に議論する場として、両者の連携による研究集会やワークショップを継続的に開催する。研究集会等のテーマについては、国内外の研究動向や社会ニーズ等に十分に配慮しつつ、受託機関および協力機関の強みや特色を生かした広範囲な課題設定を運営委員会において行い、諸科学・産業が抱える個別具体的な課題について公募を行う。

次に、諸科学分野の学会や研究集会におけるセミナー・合同セッションや諸科学・産業向け講演会の開催、企業研究所等への訪問等により、数学・数理科学の有用性に対する諸科学・産業の理解を促し、数学・数理科学の活用が大きな効果をもたらし得る課題を発掘する。

また、本委託事業を単なる研究助成ではなく、真に数学・数理科学の多面的な発展に寄与するものとするためのネットワーク型連携基盤を構築するため、本委託事業に向けた協働研究情報システムを開発し運用する等により、数学・数理科学を軸とした協働研究関係の情報の共有・発信を積極的に進める。さらに、数学・数理科学と諸科学・産業との協働を担う人材の確保・育成などと合わせ、人的ネットワークの構築や、新しい協働相手の開拓など、協働による研究活動を積極的かつ自発的に拡大していくように努める。

③ 組織の構成(連携機関、運営委員会等)

受託機関： 情報・システム研究機構統計数理研究所

協力機関(平成27年10月以降のリスト)：

①北海道大学電子科学研究所附属社会創造数学研究センター、②東北大学大学院理学研究科、③東京大学大学院数理科学研究科、④明治大学先端数理科学インスティテュート、⑤名古屋大学大学院多元数理科学研究科、⑥京都大学数理解析研究所、⑦大阪大学数理・データ科学教育研究センター、⑧広島大学大学院理学研究科、⑨九州大学マス・フォア・インダストリ研究所 計9機関。

運営委員会委員(平成27年6月以降のリスト)：樋口知之、情報・システム研究機構・理事/統計数理研究所長(委員長)他、計25名。

④ 採択テーマとその理由

国内外の研究動向や社会ニーズ等を考慮し、社会的に大きなニーズがあるテーマや学問上ブレークスルーが期待される6つのテーマ([1] ビッグデータ、複雑な現象やシステム等の構造の解明、[2] 疎構造データからの大域構造の推論、[3] 過去の経験的事実、人間行動などの定式化、[4] 計測・予測・可視化の数理、[5] リスク管理の数理、[6] 最適化と制御の数理)を重点テーマとして設定した。これらは、協力機関の他、数学・数理科学と諸科学・産業との協働に取り組んでいる大学等公的研究機関の意見も聞きながら、運営委員会において決定したものである。

⑤ 資金援助先

研究集会等の主催機関

平成24年度：大阪大学金融・保険教育研究センター他 計11件

平成25年度：九州大学マス・フォア・インダストリ研究所他、計13件

平成26年度：日本統計学会他、計26件

平成27年度：国立研究開発法人物質・材料研究機構(NIMS)他、計23件

⑥ 諸科学との融合研究や企業との共同研究の活動

数学協働プログラムで行われているワークショップとスタディグループに関して記述する。ワークショップにおいては、諸科学分野・産業界における具体的な課題、数学・数理科学へのニーズの発掘に重点が置かれている。発掘された課題をいかに掘り下げていくか、本格的な協働研究に進めるにはワークショップ終了後にどのようにフォローアップを行えばよいのか、などの点にも留意して頂いている。平成26年度より、通常のワークショップとは別に、若手研究者の応募や新たな発想に基づく萌芽的な提案を奨励する観点から、比較的小規模な提案に対して奨励枠を新設した。

スタディグループにおいては、産業界あるいは諸科学分野から具体的な課題(1会合について数課題)の提示を受けて、あるいはワークショップ等で発掘された特定の課題に対して、コーディネータ(モデレータ)が関連する数学・数理科学研究者を集め、当該分野のエキスパートたる研究者・技術者と共に、課題の解決に向けた短期間の集中討議を行う課題解決型の研究集会である。

以下に実施件数を挙げる。なお、WSはワークショップ、SGはスタディグループを表す。

平成24年度：WS9件

平成25年度：WS10件、SG7件

平成26年度：WS通常枠13件、WS奨励枠8件、SG9件

平成27年度：WS通常枠13件、WS奨励枠5件、SG5件(予定を含む)

#### ⑦ 人材育成の活動

本事業で実施しているスタディグループにおいては、議論の主体として数学・数理科学を専攻する大学院生やポストク・助教など若手の研究員が参加しており、中堅教員が務めるコーディネータ(モデレータ)の指導のもとで、諸科学・産業界の研究者・技術者とのコミュニケーションを通じて、連携の経験を積ませることにより、数学・数理科学と諸科学・産業界との協働を担う人材の育成を図っている。また、諸科学・産業界側の参加者も若手が多く、数学・数理科学的アプローチを理解し当該分野に適用することにより、結果的に数学・数理科学分野と諸科学・産業界を繋ぎ、両分野の橋渡しをすることのできる人材を、諸科学・産業界側に育てていることになる。

この他、数学・数理科学の若手人材育成へ向けた取り組みとして、日本数学会社会連携協議会に協力し、日本数学会等と共催して、「数学・数理科学専攻若手研究者のための異分野・異業種研究交流会」を開催した。

また、材料科学と生命科学の2分野において若手研究者を中心として作業グループを設置し活動してきた。数理・材料科学作業グループでは、東京大学におけるスタディグループや仙台で開催された作業グループ会合における議論がきっかけとなり、それが平成26年の日本応用数理学会との共催のワークショップに結びついている。また、科学技術振興機構・研究開発戦略センター等との意見交換が、計算物質科学イニシアティブや物質・材料科学研究機構との連携につながっている。

#### ⑧ 情報発信(成果発表会やサイエンスカフェなど)の活動

独自に運用している協働研究情報システム、ソーシャル・ネットワーク・サービス(SNS)などによる情報発信、数学・数理科学者向けあるいは中高生を含む一般向けのアウトリーチ活動を行っている。

⑨ その他特記すること

日本数学会のジャーナリスト・イン・レジデンス (JIR) プログラム関連の研究会等に参加するなど、新聞記者やフリージャーナリスト、編集者の方々に、数学協働プログラムの諸活動を理解していただくための活動も行っている。

⑩ 現在までの活動評価

平成26年度までの活動に対する中間評価が平成27年9月から11月にかけて実施され、総合評価として所期の計画と同等の取組が行われているとされた（主査：高橋陽一郎東京大学名誉教授）。評価結果報告書には活動評価とともに今後に向けた期待と課題が挙げられているが、総合評価および項目別評価のうち今後の継続性・発展性についてのコメントのみ掲載する。

【総合評価】

本事業は、非常に活発に活動が行われ、優れた成果を上げており、数学・数理科学と諸科学・産業の協働に光をあてることができたことと評価する。今後は、ワークショップやスタディグループの内容について、数学・数理科学に親和性が高い領域にとどまらず、より幅広い分野を対象とすること、そして、社会に対して成果を生み出していくことが期待される。

【項目別評価】

今後の継続性・発展性

数学・数理科学と諸科学・産業との協働が定着するには時間がかかるため、今後も現在の活動を継続・発展させることが望ましい。今後は、統計数理研究所と協力機関が、各機関の特色に応じて役割を適切に分担しながら、数学・数理科学と諸科学・産業との協働に向けた大きな成果を生み出していくことを期待する。

⑪ プログラムの後継の必要性やそれに関する意見（後継プログラムについての意見）

数学協働プログラムの大きな特徴は、数学・数理科学に係る全国の協力機関との連携ネットワークを構築してきたことであり、委託業務だけでなく、統計数理研究所と共同利用・共同研究3拠点（京都大学数理解析研究所、九州大学マス・フォア・インダストリ研究所、明治大学先端数理科学インスティテュート）との共同利用合同説明会や合同市民講演会などの共催事業に結びつくなど、その成果は徐々に現れてきている。平成29年度以降も各機関が役割を適切に分担しながら、活動を継続・発展させていくことが強く望まれる。

また、我が国においては統計学と数学特に応用数学との関係が米国などと比べて希薄であることも、諸科学・産業界との協働を進める上で大きな障害となっている。数学協働プログラムでは、発足当初から関連3学会（日本数学会、日本応用数理学会、日本統計

学会)の理事長あるいは会長に運営委員を委嘱し、各学会の年会等で委託事業の紹介や公募の説明会、さらにセッションを共催するなど、密接な連携を心がけてきた。今後も関連3学会および統計関連学会連合との積極的な連携が重要であることは言うまでもない。

次世代に向けた人材、特に産業界との橋渡し役を務めることのできる人材の育成や、産業界からの人材の受け入れなどについては、後継プログラムにおける主たる業務の一つとなるべきである。日本数学会が主催する社会連携協議会の人材育成事業、さらにジャーナリスト・イン・レジデンス (JIR) 事業を継続的に実施する上でも、数学協働プログラムが終了する平成29年3月以降の支援体制の確立は必要不可欠である。

## 2. 数学連携拠点における活動調査

### 2.1. 共同利用・共同研究拠点

#### (1) 九州大学マス・フォア・インダストリ研究所

(回答者：福本 康秀 九州大学マス・フォア・インダストリ研究所長)

##### ① 設立目的、概要

マス・フォア・インダストリ (Mathematics for Industry, MI) とは、純粋・応用数学を流動性・汎用性を持つ形に融合再編しつつ産業界からの要請に応えようとする中で生まれる、未来技術の創出基盤となる数学の新研究領域である。文部科学省グローバルCOEプログラム「マス・フォア・インダストリ教育研究拠点事業」(拠点リーダー：若山正人 H20.7-H25.3)において、大学院数理学研究院 / 数理学府においては、教育・研究両面で数学の産官学連携のための斬新な取組を様々に展開した。産業界と数学との連携活動を本格化させ、そこからのフィードバックによって多様で新しい数学を展開するために、数理学研究院を改組・分割して、平成23年4月にマス・フォア・インダストリ研究所 (IMI) を設立した。

純粋数学と応用数学の垣根を取り払って、産業技術分野や諸科学分野との連携をはかる点が IMI の特長で、「数学テクノロジー先端研究部門」、「応用理論研究部門」に加えて「基礎理論研究部門」をおく。後者には純粋数学の研究者を配し、将来のイノベーションを視野に入れて、数学の基礎を深化させる研究を行う。加えて、「数学理論先進ソフトウェア開発室」、および、産学連携を円滑に推進する「連携推進・技術相談窓口」を設置した。

設立直後から始めた数学者と産業界・国公立研究所の研究者との交流の場の提供などの活動が認められ、平成25年4月、文部科学大臣によって共同利用・共同研究拠点「産業数学の先進的・基礎的共同研究拠点」に認定された。

平成26年9月、「富士通ソーシャル数理共同研究部門」を、平成27年4月には暗号研究強化のため「先進暗号数理デザイン室」を開設した。さらに、同年3月、ラ・トローブ大学 (メルボルン) に「オーストラリア分室」を開設した。

##### ② 人材育成の活動 (企業インターンシップ、若手研究者向けセミナーの実施等)

○機能数理学コース博士後期課程学生の民間企業等への長期 (3か月以上) インターンシップのマッチング・運営。

○九州大学大学院数理学府における修士課程 MMA コースの運営。MMA=Master of Mathematical Administration のことで、数学の専門知識を備えて、企業の研究開発を運営できる人材育成を行う。

○スタディグループ (企業からの未解決数学問題に1週間集中的に取り組む) の企画・運営を行い、大学院生を積極的に参加させる。

○国際ワークショップ Forum "Math-for-Industry" において、大学院生によるポスターセッションを実施し、優秀学生に海外研究滞在の機会を提供する。

○企業との共同研究に大学院生を参加させる。

○海外から有力産業数学研究者を多数招聘し、英語講義を常時開講。

③ 諸科学との融合研究や企業との共同研究の活動

○毎月 IMI Colloquium と題した講演会を開催

主に産業界で活躍されている研究者を招聘し、数学連携研究の事例や研究成果、現在産業界で必要とされている数学研究の方向性などを提示していただく。

○スタディグループの企画・運営(毎年1回、2010~)

国内外の産業界や他分野研究者が、数学・数理科学が関わる未解決問題を提示し、数学者と学生がその解決を目指して一週間集中的に取り組むワークショップ。

○企業等との共同研究(平成26年度)

富士通株式会社、(株)富士通研究所、(株)KDDI 研究所、(株)東芝、(独)情報通信研究機構、新日鐵住金株式会社、(独)海上技術安全研究所、(株)オートネットワーク技術研究所、(株)日本電気情報ナレッジ研究所、マツダ株式会社

○平成26年9月、富士通(株)・(株)富士通研究所との共同研究部門「富士通ソーシャル数理共同研究部門」を設置。公平で受入れやすい社会の制度や施策を実現するための数理技術に関する共同研究を行う。

○Forum Math-for-Industry の開催(毎年1回、2008~)

世界各地から第一線で活躍中の数学者・数理科学者、そして、企業の開発現場の研究者を招いて、オープンな場で、研究情報を交換し、産業数学・応用数学の最新状況を俯瞰するワークショップ。

④ 情報発信(成果発表会、サイエンスカフェ、高校生向け科学セミナー等の発信)

\* 出版物

○Journal of Math-for-Industry (JMI) (2009-2013) ,Pacific Journal of Mathematics for Industry (PJMI) (後継誌2014-)

機関リポジトリとして公開される電子ジャーナル。MI に関する原著論文を国際的に速報・公開。数学の産学連携に関する評論も収録。

○MI (Math-for-Industry)レクチャーノートシリーズ

文部科学省21世紀COEプログラム「機能数理学の構築と展開」(平成15~19年)において刊行されていたCOEレクチャーノートの後継シリーズ。グローバルCOEプログラム「マス・フォア・インダストリ教育研究拠点」において招聘された国内外の研究者による講義・講演録などを収録している。

○マス・フォア・インダストリ研究

マス・フォア・インダストリに関する共同利用研究の会議録。

○MI プレプリントシリーズ

最新の研究成果をプレプリントとして公開

\* オープンキャンパスにおいて高校生向けに模擬講義の実施。

\* プレスリリースを比較的頻繁に実施している。

⑤ その他特記すること

○長期的視野に立った産業への応用研究を進めるため、「基礎理論研究部門」に純粋数学の研究者を配置している。純粋数学者も産学連携を行う。

○平成24年、ペアリング暗号解読の世界記録を樹立。さらなる強化のため、平成27年4月「先進暗号数理デザイン室」を設置、准教授、助教各1名を増強した。

○平成26年～27年、スーパーコンピューター上でビッグデータ処理を計測するグラフ計算ベンチマークテストで世界1位を複数回獲得。

○平成27年3月、ラ・トロブ大学(メルボルン)に「IMI オーストラリア分室」を設置、専任の九州大学准教授、助教各1名を配置する。オセアニア地域の有力産業数学研究機関との連携を推進する基地という性格も帯びる。

○平成26年10月、東南アジアからハワイまで日本とオーストラリアを軸として時差4時間以内の地域の産業数学研究機関の連携の枠組みとして、Asia-Pacific Consortium of Mathematics for Industry (APCMfi)を立ち上げた。

⑥ 現在までの活動についての評価

産業数学を中心に純粋から応用数学分野にわたる研究を縦横に展開し、各分野で質の高い研究成果も生まれ、暗号やグラフ計算のベンチマークコンテストでは最高の成績を収めている。数学・数理科学の基礎研究、先端技術への応用の両方で権威ある賞を複数受賞している。

また、IMIほとんどの教員が、純粋・応用数学の垣根を越えて企業との共同研究に取り組んでいる。国際連携も活発に展開している。数学・数理科学並びに産業界の関連コミュニティからの期待に応える努力を行っている。

若手人材育成というミッションにも熱心に取り組んでいる。IMIの教員は大学院生を指導し、修士はもとより、博士を毎年複数生み出している。

⑦ 課題

○社会システムや心理学などにおいてははまだ数理科学との接点が弱い。直接的な社会貢献が出来るよう数学と人文・社会科学分野との融合をはかっていく。

○IMIにおいては、医学・生物学系との連携が薄い。バイオインフォマティクス、ビッグデータの解析を糸口に複雑な対象を扱う医数連携を深めていく。

○技術開発現場はグローバル化が進む。海外長期インターンシップを導入して、国際舞台で海外の研究者に伍して技術イノベーションを牽引する次世代若手研究者を養成する。

## (2) 明治大学先端数理科学インスティテュート

(回答者：萩原 一郎 明治大学先端数理科学インスティテュート所長)

### ① 設立目的、概要

2014年4月設置；京都大学数理解析研究所、九州大学マス・フォア・インダストリ研究所に次いで、3校目、私立大学では、初めて、数学・数理科学領域で全国共同利用・共同研究拠点に選出された。

ここに至る経緯は次の通り。

フェーズ1；世界的水準の研究推進、成果の社会への還元

2005年 研究・知財戦略機構（機構長：学長）の設置

フェーズ2；「先端数理科学インスティテュート」（MIMS）開設

2007年 研究・知財戦略機構付置研究機関

フェーズ3；

2008年 グローバル COE 「現象数理学の形成と発展」開始

フェーズ4；

2011年 先端数理科学研究科（現象数理学専攻）の設置

フェーズ5；

2013年 「国際化」、「先端研究」、「社会連携」のコンセプトの元で中野キャンパスの開設

同年 総合数理学部（現象数理学科）の設置

同年 現象数理学研究拠点

（CMMA:Center for Mathematical Modeling Applications）の開設

フェーズ6；

2014年 共同利用・共同研究拠点としての認定

### ② 人材育成の活動（企業インターンシップ、若手研究者向けセミナーの実施等）

企業インターンシップ：（株）インターローカスに博士課程1名

若手研究者向けセミナーの実施等

非線形数理セミナー、数理生物学セミナー、自己組織化セミナー、

錯覚と数理の融合研究セミナー、折紙と計算科学の融合研究セミナー、

MIMS カフェセミナー、CMMA 月例セミナー

などを開催

### ③ 諸科学との融合研究や企業との共同研究の活動

次の文理融合を目指した研究集会を開催した。

・錯覚と数理の融合研究ワークショップ（2014年9月8、9日、代表：杉原厚吉）

・文理融合数理モデリングに基づく新しい感性工学システムに関する研究

（2015年1月22、23日、代表：萩原一郎）

・ International Symposium on Psychological vs Mathematical Approaches to Optical Illusion (2015年3月4~6日、代表：杉原厚吉)

・ 文理融合を目指した折紙科学研究 (2015年11月12~13日、代表：萩原一郎)

東レ(株)、(株)インターローカス、(有)秦永ダンボール、(株)デンソー、(株)iMott、タイムズ21等 多くの共同研究を実施している。

④ 情報発信(成果発表会、サイエンスカフェ、高校生向け科学セミナー等の発信)

月1回 コロキアム、カフェセミナー、CMMA セミナー、非線形数理解セミナーをそれぞれ実施

高校生による MIMS 現象数理解研究発表会を年1回実施

⑤ その他特記すること

高校生のための見学会を年1回実施

⑥ 現在までの活動についての評価

2014年から4月からスタートした全国共同利用共同研究拠点としての活動は予定通り、進んでおり、オブザーバーなどからも高い評価を得ている。更に、2015年12月12日には、第1回数学・数理科学共同利用4研究機関合同市民講演会「万物共通の言葉「数学」」を主宰するなど率先して4拠点の連携に努めている。

⑦ 課題

MIMS の全国共同利用共同研究拠点としての位置付けは、文理融合である。文からの融合の提案が今のところ見られない。これの打開が今後の課題である。

## 2.2. 大型研究プロジェクト

### (1) 東北大学原子分子材料科学高等研究機構数学ユニット

(回答者：池田 進 東北大学原子分子材料科学高等研究機構准教授 / 副事務部門長 (研究担当))

① 設立目的、概要

原子分子材料科学高等研究機構(Advanced Institute for Materials Research = AIMR)は、文部科学省が平成19年度に開始した「世界トップレベル研究拠点プログラム(World Premier International Research Center Initiative=WPI)」に採択され設立された全国9拠点のうちの1つである。東北大学の強みを活かし、材料科学、物理学、化学、工学、数学の第一線で活躍する研究者が世界中から集まり、最先端の科学技術に基づいた実験研究・理論研究によって、機能発現の機構を解明し、新物質・新材料の創製、デバイス開発を行っている。4つの材料研究グループと数学連携グループで構成されるAIMRは、従来の材料科学に数学的視点を導入し、予見に基づく材料創製を可能とする新学理構築を目指す、他に例を見ない、まったく新しいタイプの材料科学研究所である。世界の材料科学研究を先導する拠点として、材料科学の新たな学理と革新的機能材料を

創出し、持続可能社会の形成に貢献する。

② 人材育成の活動(企業インターンシップ、若手研究者向けセミナーの実施等)

AIMR では、主に数学連携グループが中心となり、若手研究者の育成を目的としたセミナーや研究会を数多く開催している(下記 Website 参照)。

[http://www.wpi-aimr.tohoku.ac.jp/mathematics\\_unit/japanese/seminar.html](http://www.wpi-aimr.tohoku.ac.jp/mathematics_unit/japanese/seminar.html)

また AIMR では、平成24年7月23日(月)~29日(日)に“The 2012 WPI-AIMR Summer School of Materials Science (ASSM2012) -Advanced Materials to Build a Better Future-”を開催し、応募者の中から厳正な審査によって選ばれた13か国30名の大学院生(外国人)を AIMR に招待し、物理学、化学、材料科学、デバイスの世界トップレベル研究者(AIMR の PI)による講義(午前)と研究室での実習(午後)を1週間受講していただき、最後の合宿にて成果を発表いただいた。

③ 諸科学との融合研究や企業との共同研究の活動

AIMR の研究活動自体が WPI プログラムのミッションである「異分野融合による新領域の創出」に根ざしたものであり、日々の研究において異分野の研究者との交流をしているが、更に探究心を高めるため、月1回のフォーマルセミナーである Joint Seminar において、様々な分野のトップ研究者を招聘し、異分野への関心をより高めるようにしている。また、AIMR では、毎年度初めに「フュージョンリサーチ支援制度」の研究提案受付を行い、年20件程度、異分野研究者グループによる研究提案を採択して、研究資金を提供し、融合研究を推進している。この融合研究の成果は毎週金曜日に開催している Tea Time で発表いただき機構全体で情報共有している。この融合研究提案の審査の際には、数学者、理論研究者と積極的にチームを組むことが奨励されている。

④ 情報発信(成果発表会、サイエンスカフェ、高校生向け科学セミナー等の発信)

得られた研究成果については、個々の研究者、研究グループが、高インパクトのジャーナルに論文(年300編以上)を掲載し、国際会議でも多くの発表をしているほか、毎年2月に世界の十数カ国から200名以上の参加者を集めて開催している The AIMR International Symposium (AMIS) において、「トポロジカル機能性材料(平成24年度)」、「数学的力学系に基づく非平衡材料(平成25年度)」、「離散幾何解析に基づくマルチスケール階層性材料(平成26年度)」に焦点を当て、世界の著名研究者に対して、数学-材料科学連携の成果発信を行っている。

また AIMR は数学-材料科学連携を研究所レベルで開始した世界初の研究所として出版業界からも注目されており、Springer 社より数学-材料科学連携のモノグラフシリーズ Springer Briefs in the Mathematics of Materials (チーフエディター:小谷元子 AIMR 機構長)の刊行が決まり、平成27年12月には、その第一巻である A New Direction in Mathematics for Materials Science (著者 Susumu Ikeda and Motoko Kotani; 共に AIMR 所属)が出版され、AIMR の数学-材料科学連携の活動と

その成果が、広く世界に届くものと期待される。

また、高校生や一般市民向けの啓蒙活動として、広報誌 AIMR Magazine において AIMR の数学材料科学連携に関する解説を掲載しているほか、AIMR 数学連携グループのグループリーダーである西浦廉政が東北大学サイエンスカフェ（平成27年1月30日：せんだいメディアテーク）において「難問解決へ新たな知恵 / 自然現象、数理モデルで解析」と題した講演を行った。更に、毎年500名以上の高校生に参加いただいている WPI 全拠点合同ワークショップにおいて AIMR の数学 - 材料科学連携に関して紹介をしているほか、これまで、科学・技術フェスタ in 京都（内閣府主催）やサイエンスアゴラ（科学技術振興機構主催）においても啓蒙活動を行っている。

#### ⑤ その他特記すること

先述のように、AIMR は数学 - 材料科学連携を研究所レベルで開始した世界初の研究所であり、世界からの注目を集めている。従来では、数学者や理論研究者が実験研究者から直接実験データを入手することは極めて困難であったが、AIMR においては、数学者、理論科学者、実験研究者が同じ屋根の下で共に活動し、数学者、理論研究者は自身が構築したモデルをすぐに実験データによって検証でき、モデルの改良を進めることができる。また、実験研究者はそのモデルによって現象の背後にある原理・原則を見抜き、また、次の実験の指針を得ることができる。このような効果は、研究所レベルでの数学 - 材料科学連携というハイリスクな取り組みに挑んだことによるハイリターンであるといえる。

#### ⑥ 現在までの活動についての評価

AIMR は WPI 研究拠点として、毎年、WPI プログラム委員会のフォローアップを受けている。AIMR の数学 - 材料科学連携は期待以上の成果を挙げていると評価され ([https://www.jsps.go.jp/j-toplevel/08\\_followup.html](https://www.jsps.go.jp/j-toplevel/08_followup.html) で公開されている)、平成26年度に行われた拠点形成8年目の評価において、AIMR は World Premier Status を達成したと認められた。

#### ⑦ 課題

AIMR の数学 - 材料科学連携は、異分野融合を推進する WPI プログラムによる資金的支援に依るところが大きく、WPI のグラント支援が終了し、大学の自主運営が始まる平成29年4月以降、数学 - 材料科学連携の中心的役割を果たしている優秀な若手研究者の雇用をいかに継続して、AIMR における数学 - 材料科学連携のアクティビティをいかに維持するかが今後の最大の課題である。

## 2.3. 大学・研究所内設置センター等

### (1) 北海道大学電子科学研究所附属社会創造数学研究センター

(回答者：小松崎 民樹 北海道大学電子科学研究所附属社会創造数学研究センターセンター長)

#### ① 設立目的、概要

北海道大学電子科学研究所は設立時から数学研究分野を擁する、他に類を見ない実験科学と数学などの異分野融合研究を推奨する草分け的な附置研究所の位置を確立してきた。また、北海道大学理学部数学科は北海道大学21世紀COE「特異性から見た非線形構造の数学」での活動にも見られるように国内の数学教室のなかでも早い時期から周辺異分野との数理連携協働研究の重要性を唱えてきた。そのような状況の下、電子科学研究所と理学研究院の共同提案によって北海道大学の学内共同教育研究施設である「数学連携研究センター、Research Center of Integrative Mathematics (設置期間：平成20年4月～平成27年3月)」が設置された。同センターは、学内の数学研究ならびに数学関連分野の研究に関心を持つ研究者が兼務教員として共同で研究活動を行い、数学に関する研究成果の国内外への発信及び国内外の研究拠点との連携強化を図ってきた。また、数学連携研究センターは数学の教育研究活動の深化を支援すると共に、他の研究分野における数学的問題を探索し解決するために、数学を共通の合意言語として形成し、科学の諸領域における「つながる知」の中核としての機能を担ってきた。その後、このような数学分野の連携研究の重要性が幅広く認識されるようになり、平成23年8月に閣議決定された文部科学省「第4期科学技術基本計画」においては数理科学が「複数領域に横断的に活用することが可能な科学技術」と位置づけられ、振興政策として文部科学省研究振興局基礎研究振興課内に「数学イノベーションユニット」が発足するに至った。このような状況を踏まえて、本学の強みである数学連携体制の更なる強化を図るべく、センターの名称を「社会創造数学研究センター、Research Center of Mathematics for Social Creativity (略名：Math. for Social Creativity, MSC)」と改め、電子科学研究所の改組によって兼務教員だけでなく専任教員も配置した新しい組織として平成27年4月発足した。附属社会創造数学研究センターはセンター長以下、運営委員会、および4つの研究分野に加えて、理学研究院数学専攻を始めとして36名の兼務教員から構成されている。4つの研究分野は、複雑な現象の抽象化を目指す、まず背後のモデルをイメージするところから出発するModel-driven型の数理科学「人間数理」と「知能数理」、および、モデルを構成する前に膨大なデータから論理、法則を導出する数学的手法を開発するData-Driven型の数理科学「データ数理」と「実験数理」から構成される。4研究分野を主軸とし、理学研究院(数学専攻)を始めとする兼務教員の先生方36名とタッグを組んで、個別的な連携から全体連携へ展開する『知のオープンファシリティ』を構築し、複雑化する社会を見渡す突破力・変革力・俯瞰力を持った数学・数理科学力に基づいて、モノづくり、生命・医療分野の課題を解明し、社会創造に資するQuality of Life

(QOL)の向上を目指す。

② 人材育成の活動(企業インターンシップ、若手研究者向けセミナーの実施等)

数学・数理科学関係の専任教員、兼務教員の多くの方々が参画しているリーディング大学院「物質科学フロンティアを開拓する Ambitious リーダー育成プログラム」との連携を緊密に推進し、研究を俯瞰する数理科学の視点を身につける育成プログラムを展開中。次年度以降は理学部数学科と共同で数理連携講座を開講する予定で、特に、純粋数学を研究する若手研究者(ポスドク、院生、学部生)に「数学がもつ展開力・突破力を如何に諸分野が求めているか」を説きつつ、諸分野の未解決問題から新たな数学を発掘する柔軟かつ挑戦的な姿勢を培う予定である。学外では、統計数理研究所が中核機関となっている文部科学省科学技術試験研究委託事業「数学協働プログラム」に旧数学連携研究センターの後任として参画し、数理連携ワークショップの開催などを展開している。2015年4月発足以降セミナー、シンポジウム活動([http://mmc01.es.hokudai.ac.jp/msc/symposium\\_workshop/](http://mmc01.es.hokudai.ac.jp/msc/symposium_workshop/))も継続的に行っており、他大学および企業との共催も積極的に進めている。

③ 諸科学との融合研究や企業との共同研究の活動

科学技術振興機構・戦略的創造研究推進事業/CREST「現代の数理科学と連携するモデリング手法の構築」、「数理モデリングを基盤とした数理皮膚科学の創設」(H27-32、長山雅晴教授代表)として採択されている資生堂との産学連携協働研究、また、日立基礎研究センターとのイジングコンピューティングに関する共同研究を展開中。

④ 情報発信(成果発表会、サイエンスカフェ、高校生向け科学セミナー等の発信)

当センターは平成27年4月に発足したばかりであるため、センターとしての活動として数は少ないが、専任教授はこれまでも情報発信を積極的に行っている。例えば、知能数理研究分野の中垣俊之教授は2010年以降、新聞報道37件、雑誌等の報道18件、テレビ放映12件など北海道大学の研究者のなかでも突出している。

⑤ その他特記すること

当センターの特徴は純粋に数学者(=数学専攻で学位を取得した人)だけで構成されていない点にあり、諸分野で数理科学を展開している研究者も半数ほど在籍している。後者の研究者の多くは、SIAM, AIMSなどの数学系の学会で招待講演を行ったり、共同研究者の多くに数学者がいるなど異分野数理連携の素地が他機関に比べて多く、学際性が高い。イグノーベル賞受賞者(中垣俊之教授)を輩出(2008,2010)。生命科学において数学・数理科学、情報科学、工学などとの革新的な協働研究を推進する(34の運営支援国から構成される)ヒューマン・フロンティア・サイエンス・プログラム推進機構(本部:フランス・ストラスブール)から HFSP グラント賞4件(中垣俊之教授、小松崎民樹教授、李振風准教授、津田一郎教授(運営委員・兼務教員))を輩出(理研、東大に次いで国内3位。スタッフ数当たりの採択率は1位)。

⑥ 現在までの活動についての評価

当センターは平成27年4月に発足したばかりであるが、4月以降、文部科学省・委託事業「数学・数理科学を活用した異分野融合研究の動向調査」に北海道大学を代表して参画し、委託事業「数学・数理科学と諸科学・産業との協働によるイノベーション創出のための研究促進プログラム」(数学協働プログラム)へも協力機関として参画するだけでなくワークショップを提案・企画するなど活発に活動を展開している。また、異分野連携のシンポジウム企画・共催なども行っている。自己評価としては「優」。

⑦ 課題

平成27年4月に発足したが、センターの運営費は基本的に4研究グループの運営費交付金の持ち出し、ならびに競争的資金の間接経費の一部で賅っている。国際数理連携を推進していくうえでも、文部科学省の種々の大型競争的資金が必要となる。センター本体の予算獲得が今後の最重要課題のひとつである。また、センター発足に当たり、実験数理研究分野の外国人テニュアトラック助教1、(5年間流動ポイントによる)教授1が付いている。前者に関しては平成28年3月に着任予定であり、後者に関しては、選考中であり、産学連携を含めた異分野連携推進可能な数学・数理科学系の人材の確保が重要である。

**(2) 東京大学生産技術研究所 最先端数理モデル連携研究センター**

(回答者：合原一幸 東京大学生産技術研究所教授)

① 設立目的、概要

内閣府・最先端研究開発支援プログラム (FIRST) により実施した「合原最先端数理モデルプロジェクト」を強力かつ円滑に実施するため、最先端数理モデル連携研究センターが設立されて現在に至っている。

本センターは、数学の工学・産業応用研究を担ってきた我が国独自の学問「数理工学 (Mathematical Engineering)」やセンター長が構築したカオス、フラクタル、複雑ネットワークなどの工学応用を目指す「カオス工学 (Chaos Engineering)」を基にして、世界をリードする複雑系数理モデル学の構築とその具体的な分野横断的な複雑系科学技術の成果の実現を目指すものである。

② 人材育成の活動 (企業インターンシップ、若手研究者向けセミナーの実施等)

人材の育成面については特に重視し、国内外の国際会議等での積極的な研究成果発表や様々なセミナー等を通して多分野の研究者との議論や共同研究も奨励し、また毎月1回各研究員等とセンター長の1対1での進捗報告会を行い、細かいケアを行って、数理と諸科学技術分野や産業を橋渡しできる人材の育成に努めた。他方で、研究員個人のキャリアパスを尊重する立場から、転出に関しては研究員個人の希望を最優先した。

③ 諸科学との融合研究や企業との共同研究の活動

具体的な融合研究および共同研究活動として以下が挙げられる。

数学分野の力学系理論と工学分野の制御理論を、将来にわたって様々な応用研究の基盤となり得る新しい「複雑系制御理論」として融合し、複雑系数理モデル学体系化のための理論的プラットフォームを構築した。

複雑系数理モデル学の理論的プラットフォームを駆使して、「ライフイノベーション」に関する癌、新型インフルエンザ、HIV、バイオマーカーや数理脳科学へ応用した。

同様に、「グリーンイノベーション」に関する再生可能エネルギーや気象解析（風況、太陽光量、北極振動など）、「震災」後に重要性を増した電力システム、通信システム、交通システム、地震データ解析、低放射線被曝問題、さらには電気電子応用技術の基盤となる A/D 変換や脳型ハードウェアなど、社会的緊急性や経済、産業上の重要性・必要性の高い様々な分野の複雑な諸問題に対して、複雑系数理モデル学を応用した。

#### ④ 情報発信（成果発表会、サイエンスカフェ、高校生向け科学セミナー等の発信）

- 講演「数理ファッション：普遍性と個別性の融合が生み出す創発」、2010 A/W ERI MATSUI COLLECTION in collaboration with Dr. Kazu Aihara & Keiko Kimoto, Mathematics, Art & Fashion logarithmic spiral、東京コレクション・ウィーク（2010/3/23: Billboard Live Tokyo）。
- 講義「役に立つ数学」、静岡高校・生研見学（2010/6/8: 東京大学）。
- 講義「社会に役立つ数学」、津田塾大学公開講座 総合2010（2010/7/8: 津田塾大学）等多数。

#### ⑤ 現在までの活動についての評価

本センターが推進母体として中心的役割を果たした FIRST プロジェクトは、「複雑系制御理論」、「複雑ネットワーク理論」、「非線形データ解析理論」の3理論を柱とする理論的プラットフォームを構築するとともに、応用研究として、理論的プラットフォームをライフイノベーションやグリーンイノベーションなどの諸問題等に対して適用し、一部の課題については実用化レベルに達するなど、基礎理論と実社会を橋渡しする「複雑系数理モデル学」という新たなパラダイムを確立した。

#### ⑥ 課題

社会的緊急性や経済、産業上の重要性・必要性の高い複雑な諸問題の解決に向けて、本プロジェクトの成果をさらに発展させることが今後の課題となる。現在、以下の個別テーマについて、成果の波及効果や社会還元に向けた具体的な研究・計画に取り組んでいる。

- 数理脳科学の研究に関しては、本 FIRST プロジェクトの脳型情報処理の成果と FIRST 山本プロジェクトの量子情報処理の成果を統合して「量子人工脳」を構築することを目指し、山本喜久を PM として内閣府「革新的研究開発推進プログラム」(ImPACT)を遂行中である。
- 前立腺癌の数理モデルに基づくテラーメード間欠的内分泌療法の研究は、あらたに1200名以上のカナダの患者データや日本の患者データの大規模解析を日米加の

共同体制で行なっている。また、前立腺癌の間欠療法と同様の手法は、抗がん剤等の有効な治療薬に対して耐性を生じる他のがん等の疾病にも適用可能性があるため、その一般化を検討中である。他方で、HIV などのウイルス疾病を含む他疾病の数理モデル研究や動的ネットワークバイオマーカーの応用研究も、医学・生物学研究者などと共同でさらに進めつつある。

- 再生可能エネルギー大量導入時の電力システムの安定性と制御の研究に関しては、JST「分散協調型エネルギー管理システム構築のための理論及び基盤技術の創出と融合展開」領域のCREST研究、NEDO電力系統出力変動対応技術研究開発事業として研究を発展させている。
- 電気電子応用技術の基盤となるA/D変換器に関しては、 $\beta$ -A/D変換回路についての基本特許をJSTより申請済みであり、この特許を基に、 $\beta$ -A/D変換器の実用化研究を国内半導体集積回路メーカーと行うため、半導体理工学研究センター(STARC)のオープンプログラム「 $\beta$ 変換ADC実用化研究」を平成25年7月より実施している。

### (3) 大阪大学金融・保険教育研究センター

(回答者：関根 順 大阪大学基礎工学部教授)

#### ① 設立目的、概要

大阪大学金融・保険教育研究センター(CSFI)はファイナンス・金融工学と保険・年金数理を一体で捉えた学際的な文理融合型教育プログラムを開発・実施するために、文部科学省特別教育研究経費によって、経済学研究科、理学研究科、情報科学研究科、基礎工学研究科の学内4研究科の連携のもと、平成18年4月に設立された。CSFIは大阪大学大学院生全員を対象に教育プログラム「副専攻プログラム(金融・保険)」を提供している。

#### ② 人材育成の活動(企業インターンシップ、若手研究者向けセミナーの実施等)

大阪大学大学院生以外の方にも「副専攻プログラム(金融・保険)」の科目を履修できるよう、「科目等履修生高度プログラム(金融・保険)」を提供している。

#### ③ 諸科学との融合研究や企業との共同研究の活動

CSFIのVXJ(Volatility Index Japan)研究グループは、日本の株式市場における将来のボラティリティに対する一つの指標として、VXJの開発・公開を実施している。CSFIのリスク解析・資本市場研究グループは、平成25年度より大阪大学未来研究イニシアティブ・グループ支援事業のサポートを受けて、リスクの可視化による長期金利変動に関する高精度予測や流動性と資産価格変動の関連性について研究を行っている。

#### ④ 情報発信(成果発表会、サイエンスカフェ、高校生向け科学セミナー等の発信)

SFIの研究活動としては、最新の金融・保険に関する知識と情報を共有するために、「中之島ワークショップ」を毎年開催しており、また隔年で国際ワークショップを開催し、世

界的に高度な金融・保険の技術を有する国内外の実務家・研究者との交流を図っている。

⑤ その他特記すること

CSFIの「副専攻プログラム(金融・保険)」は今年度も100名を超える受講者がおり、大阪大学副専攻プログラムの中で受講者数トップを誇っている。

⑥ 現在までの活動についての評価

CSFIは設立から今年で10年目となり、CSFIが提供してきた教育プログラムを発展させて、新たな教育プログラムである「副専攻プログラム(金融・保険数理)」、「高度副プログラム(数理モデル)」、「副専攻プログラム(データ科学)」の開発・実施を目的とした新事業に対して、概算要求(H27年度)が採択された。これによって、CSFIを発展的改組して、2015年10月1日に新センター(数理・データ科学教育研究センター)を設立した。

⑦ 課題

文理融合型教育研究についてはよく機能していると考えているが、産学連携として企業との共同研究をはじめとして、留学生の受け入れや副プログラムの国際化など、新事業のグローバル化が当面の課題である。

#### (4) 理化学研究所 理論科学連携研究推進グループ

(回答者：初田哲男 理論科学連携研究推進グループディレクター)

① 設立目的、概要

目的:iTHES(interdisciplinary Theoretical Science, 2013年度-2017年度)は、理研における理論科学の連携研究を推進するために発足したグループ。研究手法(数理論科学、計算科学)や研究分野(基礎物理学、物質科学、生物科学)を横断した学際的理論科学領域を開拓し、素粒子から、生物、宇宙に至るまで、自然界に普遍的に現れる「多階層問題」の論理を解明することがiTHESの目的。さらに、理研ならではの分野を越えた連携研究により、スケールの大きな若手研究者が育つ理想的環境を創ることも重要なミッション。具体的には下記の活動を実施:

1. 理論科学(物理学、化学、生物学、計算科学)における分野横断研究の推進
2. 分野の枠を越える国際的若手人材の育成
3. 国内外の研究機関との連携による頭脳還流
4. 産学をまたぐ人材育成

設立経緯: 理研“新領域開拓課題”(複合領域・境界領域における先導的な研究を5年の期間で実施し、理研の新規研究領域、我が国の中核的研究拠点となることが期待されている)の第1号。2013年度-2017年度(1.4億円/年)

規模：

物理・化学・生物・計算の理論研究室：11 研究室

国際公募による若手フェロー：のべ18名

理研内外の連携研究者：約50名

- ② 人材育成の活動（企業インターンシップ、若手研究者向けセミナーの実施等）
  - ・ iTHES 定例コロキウム（2 ヶ月毎）、iTHES セミナー（～4-5回/月） ほか。
- ③ 諸科学との融合研究や企業との共同研究の活動
  1. 異分野連携共同研究
    - 生物—物理—数学の連携研究：代謝ネットワークの縮約理論、生物—物理の連携研究：網膜細胞のパターン形成、生物—物理の連携研究：染色体凝縮・分離の分子動力学計算、数理—工学の連携研究：光学迷彩理論
  
    - 2. iTHES: 産学連携人材育成プロジェクト
      - ・ 産学連携数理レクチャーシリーズとして、第1回：自動運転（トヨタ自動車）2014年8月8日以降6回を行っている。
- ④ 情報発信（成果発表会、サイエンスカフェ、高校生向け科学セミナー等の発信）
  - 4回のプレスリリースや、10回の YouTube 動画掲載などで情報発信
- ⑤ その他特記すること
  - Nature の 特 集 記 事 (<http://www.nature.com/news/how-to-solve-the-world-s-biggest-problems-1.18367>) で iTHES 活動が取り上げられる：  
“How to solve the world's biggest problems  
Interdisciplinarity has become all the rage as scientists tackle climate change and other intractable issues. But there is still strong resistance to crossing borders.
- ⑥ 現在までの活動についての評価
  - 短期間（2年半）の活動で、分野横断型研究を活性化する素地ができつつある。
- ⑦ 課題
  - ・ 分野融合型研究を自然発生的に起こすための仕組みづくりについては、より良い仕組みを試行錯誤中。
  - ・ 国際頭脳還流プラットフォームの構築が今後の主要課題
  - 国際頭脳還流プラットフォームの構築により拠点を本拠とした国内外サテライト内を自由に移動可能とすることで、理論科学・計算科学分野で各々培ってきた理論科学の手法を共有し、各分野における挑戦的課題の解決を加速すると共に、異分野融合、新領域創出を目指している。さらに、理論科学においてブレークスルーをもたらす可能性が高い優秀な若手人材を、国籍や分野を問わず国際ネットワークの中で育成し、科学界・産業界に輩出することが目標。

## (5) 海洋研究開発機構 数理科学・先端技術研究分野

(回答者：阪口 秀 国立研究開発法人海洋開発機構数理科学・先端技術研究分野  
分野長)

### ① 設立目的、概要

海洋研究開発機構 (JAMSTEC) における数理科学的アプローチからの研究の促進と定量的予測科学の普及のため

JAMSTEC では、主として研究船、観測船、探査船、無人船等を利用した海洋及び海底観測と海底ケーブルネットワークを利用した海底観測と、観測によって得られたデータの分析研究が進められているが、観測によって得られた膨大なデータを数理科学的な目で見ると研究が欠落していた。また、用いる機器の制御などの理論もブラックボックス的なものが多く、海洋研究の世界最先端を叩くには数理科学と先端技術の融合が必要であるため設立された。とくに数理科学を中心とした生物研究と機械技術開発に力を入れている。

組織は、数理科学・先端技術研究分野として運営・予算等、独立しているが、JAMSTEC 内における全ての研究分野、研究センター、運用部門と連携してプロジェクト型で事業を進めている。

### ② 人材育成の活動 (企業インターンシップ、若手研究者向けセミナーの実施等)

留学生、内地留学、大学院研究生を数多く受け入れている他、毎週火曜日に1時間～2時間程度のセミナーを行っている。また、それとは別に企業と大学教員＋学生、その他研究機関を交えた研究会を4ヶ月に1回の頻度で行っている。その他、生物系の部署、機械工学系の部署と合同セミナー等を定期的に行っている。

### ③ 諸科学との融合研究や企業との共同研究の活動

JAMSTEC 内における最初の融合研究は、海水中のカルシウムイオンを取り込みながら炭酸カルシウムの殻を増殖させる有孔虫の成長メカニズムに関する実験データから、数理科学的な解析を行い、新たな実験計画を提唱し、有孔虫の成長メカニズムに関する数理モデルを開発したことである。これは、生物学者からの要望であったが、数理科学研究者の協力無しには達成し得ない成果であった。その他、鉄道総合技術研究所からの要請でバラスト軌道の軌道方向に周期的な波状沈下などの非線形挙動についての解析を、数値シミュレーションも交えて行っている。

### ④ 情報発信 (成果発表会、サイエンスカフェ、高校生向け科学セミナー等の発信)

一般公開の他、高校での指導等、数多くの場所で情報発信を行っている。

### ⑤ その他特記すること

波動伝播を可視化する教育用の教材を作り、理論の理解を深める教育を数多くの学校で行った他、このテーマで科研費も獲得した。その結果、東レの理科教育賞を受賞する

など、数理科学的教育教材の開発などにも力を入れている。

⑥ 現在までの活動についての評価

組織内での評価も非常に高く、研究開発功績賞を受賞するなど、初年度の評価は非常に高く、全体予算が大幅に削減されている状況下で、研究予算の増資も受けた。

⑦ 課題

共同研究のきっかけとして、数理科学研究者が非数理科学研究者の研究内容を理解する努力は惜しまず理解してから問題に取り組むが、その逆が行われず、成果の妥当性をきちんと評価されにくいこと。例として、火山列の長期的噴火パターンを火山学者と数理科学研究者で行い、振動対流の理論で説明をつけて論文にまとめたが、火山系のジャーナルでは理解が得られないために全く受け入れられず、数物系では理論に目新しさがなからリジェクトされたこと。同じような例は、生物系、機械系、その他の分野との共同研究で多々発生するため、研究者の業績が思うように上がらないことが問題である。

## 2.4. 実績データ

### (1) 数学協働プログラム、数学連携拠点 実績データ1

- ・平成27年9月30日時点
- ・2-1~4-3の各データは平成22年度から26年度の合計金額または合計数
- ・無回答、不明、非該当については「-」を表示
- ・予算、金額の単位は(円)

数学協働プログラム / 共同利用・共同研究拠点 / 大型研究プロジェクト

|        |                    | 数学協働プログラム  | 共同利用・共同研究拠点   |               |                 |             | 大型研究プロジェクト      |                  |
|--------|--------------------|------------|---------------|---------------|-----------------|-------------|-----------------|------------------|
|        |                    |            | (1)           | (2)           | (3)             | (4)         | (1)             | (2)              |
| 数学連携拠点 |                    |            | 京都大学数理解析研究所   | 統計数理研究所       | 九州大学マリス・フオア・研究所 | 明治大学先端数理科学  | 数等東北大学原子分子材料科学高 | カ東ブリ大学数物連携宇宙研究機構 |
| 人員     | 1-1 常勤研究者数         | 4          | 39            | 47            | 28              | 35          | 75              | 47               |
|        | 1-2 非常勤研究者数        | -          | 6             | 11            | 2               | 42          | 25              | 3                |
|        | 1-3 ポスドク数          | 2          | 14            | 9             | 6               | 7           | 33              | 36               |
|        | 1-4 学生数            | -          | 37            | 26            | 0               | 0           | 31              | 0                |
|        | 1-5 事務職員数          | 2          | 19            | 14            | 20              | 4           | 56              | 41               |
|        | 1-6 数学・数理科学の研究者数   | 6          | 96            | 67            | 36              | 84          | 23              | 20               |
| 資金獲得状況 | 2-1 運営費交付金         | 1,511,460  | 3,735,179,000 | 8,127,072,000 | 91,957,000      | 118,606,000 | 1,337,587,212   | 374,316,040      |
|        | 2-2 外部資金(国や学術振興会等) | 97,385,846 | 826,509,000   | 2,333,235,000 | 356,957,550     | 27,095,000  | 14,300,039,588  | 9,557,164,862    |
|        | 2-3 企業             | 0          | 29,758,000    | 28,593,000    | 74,106,000      | 0           | 1,258,937,467   | 37,963,981       |
|        | 2-4 その他            | 0          | -             | 0             | 548,796,341     | 0           | 6,602,922,291   | 0                |
| 共同研究   | 3-1 諸科学との共同研究数     | 63         | 195           | 847           | 53              | 69          | 88              | 24               |
|        | 3-2 企業との共同研究数      | 8          | 47            | 36            | 29              | 33          | 127             | 0                |
|        | 3-3 諸科学との共同研究の予算   | -          | 90,232,000    | 140,244,000   | 171,695,788     | 344,707,500 | 175,520,000     | *                |
|        | 3-4 企業との共同研究の予算    | -          | 35,323,000    | 63,827,500    | 65,606,000      | 45,962,300  | 557,976,152     | 0                |
| 論文等特   | 4-1 発表論文数          | -          | 5401          | 870           | 372             | 1060        | 1725            | 1767             |
|        | 4-2 特許出願数          | -          | 0             | 6             | 2               | 15          | 162             | 0                |
|        | 4-3 プレス発表数         | -          | 1             | 6             | 6               | 450         | 149             | 143              |
|        | 備考                 |            | (注4)          | (注1)          |                 | (注5)        | (注2)            | (注3)             |

(注1) 1-1 定員の研究教育職員(所長含む) / 1-2 特任教員 / 1-3 特任研究員の人数 / 1-5 定員の事務系職員の人数 / 1-6 1~3の合計

(注2) 本機構全体のデータであり、数学およびその融合研究の予算のみ抽出するのは困難。10-15%の研究者が数学-材料科学連携のコアになっている。

(注3) 2-1 大学運営費 \* 本機構は、数学、物理学、天文学の融合研究を趣旨としており、3-3の諸科学との共同研究の予算を切り分けるのは困難。すべての研究費は諸科学との共同研究に用いられていることになる。3-1 数理科学分野を基準にし、数理科学の研究者が異分野の研究者との共同研究を行っている件数を記載。

(注4) 4-1 講義録論文数含む。(常勤研究者の論文数は567報)

(注5) 4-1 常勤35名含む研究者84名の論文数

大学・研究所内設置センター等

|        |                    | 大学・研究所内設置センター等      |                   |                      |                 |                       |                    |                       |                             |                              |
|--------|--------------------|---------------------|-------------------|----------------------|-----------------|-----------------------|--------------------|-----------------------|-----------------------------|------------------------------|
|        |                    | (1)                 | (2)               | (3)                  | (4)             | (5)                   | (6)                | (7)                   | (8)                         | (9)                          |
| 数学連携拠点 |                    | 北海道大学<br>電子科学研究センター | 東北大学<br>大学院情報科学研究 | 東京大学<br>理学院<br>数理科学研 | 東京大学<br>生産技術研究所 | 早稲田大学<br>重点領域<br>研究機構 | 慶應義塾大学<br>理学研究センター | 大阪大学<br>金融・保険<br>教育研究 | 理学推進<br>グローバル<br>理論科学<br>連携 | 海洋研究<br>開発機構<br>先端技術<br>研究分野 |
| 人員     | 1-1 常勤研究者数         | 12                  | 3*                | 19                   | 8               | 13                    | 25                 | 3                     | 11                          | 17                           |
|        | 1-2 非常勤研究者数        | 4                   | 0                 |                      | 1               | 1                     | 1                  | 18                    | 6                           | 6                            |
|        | 1-3 ポスドク数          | 5                   | 0                 |                      | 5               | 0                     | 0                  | 0                     | 6                           | 1                            |
|        | 1-4 学生数            | 22                  | 0                 |                      | 0               | 12                    | 0                  | 0                     | 0                           | 2                            |
|        | 1-5 事務職員数          | 3                   | 0                 | 1                    | 0               | 1                     | 0                  | 2                     | 3                           | 3                            |
|        | 1-6 数学・数理科学の研究者数   | 9                   | 3                 | 19                   | 6               | 26                    | 22                 | 5                     | 4                           | 3                            |
| 資金獲得状況 | 2-1 運営費交付金         | 64,273,000          | 100,000,000       | 515,000              | 0               | 19,500,000            | 0                  | 77,000,000            | 270,000,000                 | 28,000,000                   |
|        | 2-2 外部資金(国や学術振興会等) | 587,700,000         | 0                 | 96,595,921           | 448,180,325     | 273,310,000           | 205,300,000        | 25,000,000            | 0                           | 16,000,000                   |
|        | 2-3 企業             | 6,953,000           | 0                 | 0                    | 17,100,000      | 0                     | 15,000,000         | 57,000,000            | 0                           | 7,000,000                    |
|        | 2-4 その他            | 4,000,000           | 0                 | 0                    | 0               | 0                     | 0                  | 9,000,000             | 0                           |                              |
| 共同研究   | 3-1 諸科学との共同研究数     | 24                  | 24                | 5                    | 0               | 1                     | 6                  | 0                     | 4                           | 6                            |
|        | 3-2 企業との共同研究数      | 5                   | 0                 | 0                    | 3               | 0                     | 5                  | 2                     | 0                           | 5                            |
|        | 3-3 諸科学との共同研究の予算   | 341,865,000         | 100,000,000       | 95,715,921           | 0               | 41,700,000            | 4,800,000          | 0                     | 0                           | 16,000,000                   |
|        | 3-4 企業との共同研究の予算    | 6,953,000           | 0                 | 0                    | 17,100,000      | 0                     | 2,500,000          | 57,000,000            | 0                           | 4,500,000                    |
| 論文等・特  | 4-1 発表論文数          | 142                 | 56                | 46                   | 380             | 222                   | 62                 | 18                    | 106                         | 37                           |
|        | 4-2 特許出願数          | 5                   | 0                 | 5                    | 33              | 0                     | 0                  | 0                     | 0                           | 2                            |
|        | 4-3 プレス発表数         | 7                   | 1                 | 0                    | 130             | 0                     | 0                  | 2                     | 4                           | 1                            |
|        | 備考                 | (注1)                | (注2)              |                      |                 | (注3)                  |                    |                       |                             | (注4)                         |

(注1) 開所式のプレスリリースを含む

(注2) 1-1 室長・副室長は兼務/3-3 人件費を含む

(注3) 1-1~6 非線形偏微分方程式研究所は平成26年度で終了したため、活動の一部を引き継いでいる「スーパーグローバル大学創成支援 早稲田大学 数物系科学拠点」の情報を記載

(注4) 4-2 出願ではなく特許登録の案件

(2) 数学協働プログラム、数学連携拠点 実績データ2

- ・平成27年9月30日時点
- ・無回答、不明、非該当については「-」を表示

ワークショップ・研究会開催状況

|                        |       | 数学協働プログラム   |         |             |                   | 共同利用・共同研究拠点       |               | 大型研究プロジェクト |              | 大学・研究所内設置センター等 |                |                |             |                           |                  |                         |                |            |
|------------------------|-------|-------------|---------|-------------|-------------------|-------------------|---------------|------------|--------------|----------------|----------------|----------------|-------------|---------------------------|------------------|-------------------------|----------------|------------|
|                        |       | (1)         | (2)     | (3)         | (4)               | (1)               | (2)           | (1)        | (2)          | (3)            | (4)            | (5)            | (6)         | (7)                       | (8)              | (9)                     |                |            |
|                        |       | 京都大学数理解析研究所 | 統計数理研究所 | 九州大学マストリ研究所 | 明治大学先端数理科学イノベーション | 東北大学原子分子材料科学高等研究所 | カブリ数物連携宇宙研究機構 | 東京大学       | 北海道大学電子科学研究所 | 数学連携推進室        | 東北大学大学院情報科学研究科 | 東京大学大学院数理科学研究所 | 東京大学生産技術研究所 | 早稲田大学重点領域研究機構非線形偏微分方程式研究所 | 慶應義塾大学統合数理科学センター | 大阪大学金融・保険教育研究センター(CSFI) | 理論科学連携研究推進グループ | 海洋科学研究開発機構 |
| ワークショップや研究会等の開催回数      | H22年度 | -           | 90      | 87          | -                 | 101               | 24            | 16         | -            | 1              | -              | 27             | 14          | 8                         | 14               | -                       | -              |            |
|                        | H23年度 | -           | 81      | 109         | 53                | 79                | 15            | 14         | -            | 18             | -              | 50             | 20          | 9                         | 15               | -                       | -              |            |
|                        | H24年度 | 10          | 94      | 115         | 47                | 75                | 23            | 12         | -            | 14             | -              | 57             | 16          | 6                         | 20               | -                       | -              |            |
|                        | H25年度 | 22          | 93      | 178         | 32                | 65                | 21            | 16         | -            | 12             | 10             | 38             | 7           | 7                         | 12               | 10                      | -              |            |
|                        | H26年度 | 39          | 83      | 141         | 35                | 65                | 21            | 16         | -            | 18             | 11             | 11             | 9           | 14                        | 14               | 15                      | 4              |            |
| 事業の共同研究が目的なワークショップや研究会 | H22年度 | -           | 0       | 24          | -                 | 65                | 24            | 12         | -            | 1              | -              | 6              | 1           | 1                         | 14               | -                       | -              |            |
|                        | H23年度 | -           | 0       | 33          | 4                 | 41                | 15            | 10         | -            | 18             | -              | 15             | 2           | 1                         | 15               | -                       | -              |            |
|                        | H24年度 | 10          | 0       | 38          | 16                | 36                | 23            | 10         | -            | 12             | -              | 21             | 3           | 2                         | 20               | -                       | -              |            |
|                        | H25年度 | 22          | 1       | 37          | 19                | 33                | 21            | 12         | -            | 12             | 9              | 18             | 0           | 2                         | 12               | 10                      | -              |            |
|                        | H26年度 | 39          | 1       | 46          | 23                | 29                | 21            | 12         | -            | 18             | 11             | 1              | 0           | 2                         | 14               | 15                      | 4              |            |
| 参加企業数(比率)              | H22年度 | -           | -       | 26.00%      | -                 | -                 | 30%           | 30%        | -            | 10%            | -              | 50%            | 10%         | 29%                       | 30%              | -                       | -              |            |
|                        | H23年度 | -           | -       | 10.75%      | 9.18%             | -                 | 30%           | 40%        | -            | 10%            | -              | 50%            | 15%         | 29%                       | 30%              | -                       | -              |            |
|                        | H24年度 | -           | -       | 5.27%       | 11.88%            | -                 | 30%           | 40%        | -            | 10%            | -              | 50%            | 20%         | 29%                       | 30%              | -                       | -              |            |
|                        | H25年度 | -           | -       | 21.70%      | 7.75%             | -                 | 30%           | 50%        | -            | 10%            | 約80%           | 50%            | 5%          | 29%                       | 30%              | 50%                     | -              |            |
|                        | H26年度 | 約36%        | -       | 9.65%       | 12.24%            | -                 | 30%           | 50%        | -            | 10%            | 約80%           | 50%            | 5%          | 31%                       | 30%              | 50%                     | 60%            |            |
|                        | 備考    |             |         |             |                   |                   |               |            | (注1)         |                | (注2)           |                | (注3)        |                           |                  |                         |                |            |

(注1) 発足 H27年度

(注2) 平成25年度発足のため、H24年度以前データなし

(注3) 早稲田大学重点領域研究機構非線形偏微分方程式研究所は H26年度で終了。現在、同研究所の活動の一部を早稲田大学数物系科学拠点が引き継いでいる。

### 3. CREST・さきがけプログラム活動調査

#### 3.1. CREST・さきがけ複合研究「数学と諸分野の協働によるブレークスルーの探索」

事業期間 2007年10月から2016年3月まで

研究総括 西浦廉政(東北大学原子分子材料科学高等研究機構 PI/ 教授)

##### 戦略目標：

社会的ニーズの高い課題の解決へ向けた数学/数理科学研究によるブレークスルーの探索(幅広い科学技術の研究分野との協働を軸として)を目指す。

##### 達成目標への取り組み：

数学と異分野の連携を深めるために、まずは一定条件の下で数学研究者の意思に基づくテーマ設定による個人研究を進めつつ、他分野との連携の可能性を模索して共同研究の芽を育て、他分野との共同研究に発展させるといった取り組みを柔軟に組み合わせる。また対象とする研究課題が数学を活用することで有効にソリューションにつながるかどうかの判断には、数学研究者サイドで他分野への視野も広い人材を活用することが必要である。そのため、数学—他分野の連携研究のための以下のような体制構築に取り組んだ。

- ① 異分野の視点を兼ね備えた数学研究者を研究領域の研究総括として設定したこと。
- ② 数学研究者から、他分野への展開を期待できる数学の課題を募集し、研究総括による選定の上研究を進めること。
- ③ 数学研究者と他分野の研究者の交流の場としてワークショップ等を開催し、数学—他分野の連携研究の機運を醸成すること。
- ④ 課題提案者の申請時における他分野との連携のフェーズに応じて、研究形態(個人研究/チーム型研究)を柔軟に設定できるように配慮すること。

##### 活動の特色：

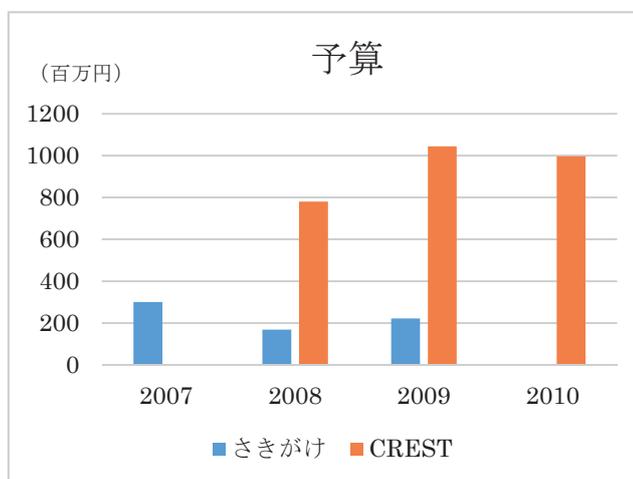
- ① 本領域は、数学で初めての領域であり、同時にさきがけ・CREST 複合領域である。
- ② 数学と諸分野の協働によるブレークスルーを目指し、知的ハブとしての「ヴァーチャル・インスティテュート」を標榜して、ヘテロな研究者集団のなすネットワークの形成を目指した。
- ③ 領域会議、さきがけ数学塾、JST 数学キャラバン、文部科学省協働ワークショップ、領域シンポジウム、国際会議(SBM)、大学訪問(サイトビジット)などを有機的に配して、さきがけ先行型複合領域のメリットを活かした領域研究運営体制を構築した。

### 総合評価 (中間評価時点) :

- ① さきがけ、CREST の時差採択も有効に機能した。これにより、「ポリバレント」な研究を模索する若手研究者への指導・助言を行うシステムが確立されて、これまでの数学者の在り方と共存する新たなタイプの人材群が輩出しつつある。
- ② 主導的な役割を担う研究者たちが相互に学び合い、数学領域におけるチーム型研究の有り様に関する共通理解の醸成が試みられている。
- ③ 閉鎖的とも言われてきた日本における数学文化のイノベーションに成功している。
- ④ これは本領域の成果を導いた (さきがけ) / 導きつつある (CREST) ことに留まらず、将来的に数学を核とするハイブリッド領域の研究体制に新たなモデルを提供した点で高く評価できる。

### 課題 (中間評価時点)

- ① CREST では新しい分野の創出については、初期の段階で未だその姿を現していない感がある。その課題を解決するためには、長期滞在型の施設で、そこに実用側からの問題を持ち込む人と数学者が滞在し、ブレインストーミングをおこなうことなどが有効ではないか。



### 提言 (中間評価時点)

- ① 本領域におけるイノベーション探索の成果が数学にフィードバックされ、新たな数学の芽が生まれることや長期的に科学技術の進歩および科学技術イノベーションの創出に資する研究成果をあげていくためには、このような事業が継続発展されるべきである。

### 事業の成果:

#### (1) さきがけ研究成果

- ① 人材の育成・養成に予想以上の成功をおさめている。
- ② 諸分野との協働を志向した若手研究者群が誕生しつつあり、領域外の研究者への波及効果も既に見受けられる。
- ③ このような領域が今後も継続されれば、将来の数学イノベーション創出につながっていくことが大いに期待される。

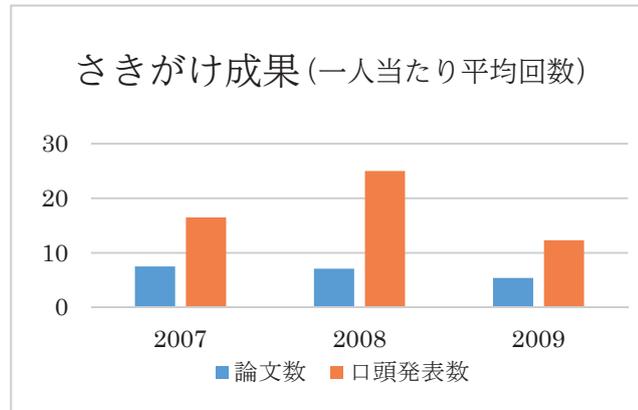
④ 数学における研究の成果は数十年を経て社会に還元されるのが常であり、研究期間の終了時での最終評価は困難であるが、論文、口頭発表に関する限り、ほぼ十分な数の研究成果が既に公表されている。

進行中の研究を含めて、今後の増加も見込まれる。

⑤ それらの中には、近い将来に科学技術として応用される可能性を思わせるものも含まれ、また、数学的手法を革新する可能性を秘めたものも目に付く。

⑥ それまでの蓄積を基礎にした成果とはいえ、32件のさきが

け研究中にこれだけの成果あるいはその萌芽がすでに出ている。



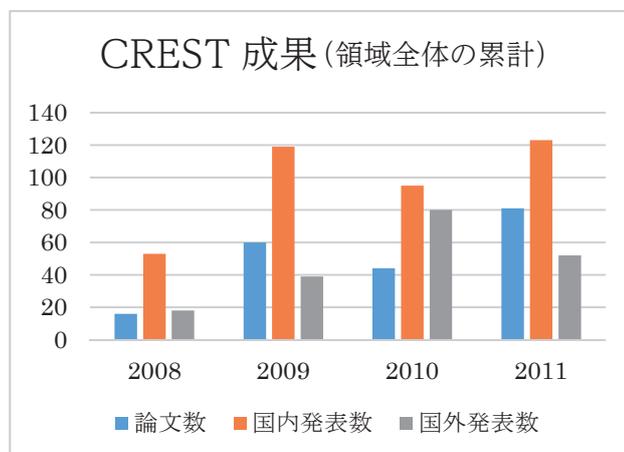
### 具体的な成果事例 (抜粋)

1. 渋滞現象のモデル化とその解消 (西成活裕)
2. インフルエンザ遺伝子変異に内在する数学構造と変異予測 (伊藤 公人)
3. 視覚の数理モデルと錯視の制御 (新井仁之)
4. 量子プログラミング言語における圏論的定式化 (蓮尾一郎)
5. 微分幾何学のベイズ統計への応用 (田中冬彦)
6. 誤り訂正符号における高精度・低計算型の近似復号法を提案 (平岡裕章)
7. 情報幾何学と実験生物学を融合による脳の嗅覚皮質の電気信号の解明 (三浦佳二)
8. トポロジ的拘束をもつ高分子溶液の統計的性質 (坂上貴洋)
9. 離散アルゴリズムに対する品質保証技術 (牧野和久)

### (2) CREST 研究成果:

① 数学領域は結果が出るのにきわめて時間のかかる基礎的な領域であり、さらに中間段階ゆえ、達成度を計るのは容易でないが、特色ある研究が進行している。

- ② 流体、数値計算、力学系、確率過程といった既に応用数学では古典的な分野から、錯視、CG 映像化、材料デザインといった新しい応用まで、選ばれた分野は適切であり、分野構成という点では研究総括のねらいに叶っている。
- ③ 今までにない方向性がみえつつあり、科学技術イノベーションの創出の展開の基盤になる成果もおおいに期待される。
- ④ 企業側と数学者の合同課題もいくつかあり、このような新たな試みの進展が期待できる。
- ⑤ 研究総括のねらいは十分に達成される見込みであり、現時点での判断は難しいが、十分な成果も得られつつある。
- ⑥ CREST では研究の推進や研究拠点の形成についてはいくつかの拠点あるいはネットワークが形成されつつある。



### 具体的成果事例

1. 離散幾何に基づく数理物質科学の創成 (小谷元子)
2. 生物に学ぶ自律分散制御型ロボティクスの開発 (小林亮)
3. 安全・安心エラーフリーな計算工学アルゴリズム (大石進一)
4. グレブナー基底による計算代数統計分野の開拓 (日比孝之)
5. 相空間全構造計算法の開発と身体リズム機構解明 (國府寛司)
6. 複雑金融商品の無限次元解析によるリスク評価 (コハツ・ヒガ・アルツェロ)
7. 多重スケールの流体力学の未解決問題への挑戦 (柴田良弘)
8. 数理モデリングと基礎医学の協働による腫瘍形成原理の解明 (鈴木貴)
9. 数学との協働によるデジタル映像表現の開発 (安生健一)
10. 「ながれ」を言葉に「流体画像情報を数学的処理で文字列化する手法の開発」 (坂上貴之)
11. 放射線医学と数理科学の協働による高度臨床診断の実現 (水藤寛)
12. 計算錯覚学の構築 (杉原厚吉)
13. 数理モデリングによる皮膚疾患の機構解明 (長山雅晴)

### 西浦総括への質問とその回答

- 1) CREST の課題が新たな小分野の形成につながることを目標として研究を継続発展させることは実現されたか。

(答) 物質科学、ロボティクス、臨床医学、皮膚科学、CG など、他分野との協働による新たな小分野形成という意味では、大きな成功を収めた。これらの多くが第二期数学領域にも引き継がれていることからそのインパクトと発展性はあったと言える。現在、数学へのフィードバックも含め、時間スケールの長い形で、より熟成した新分野の形成が様々な形で進行中である。

- 2) さきがけでの研究の意図は十分実現されたと思えるが、一番の要因は何か。また、困難であったことは何か、それをどのように乗り越えたか。

(答) 最大の要因は、ヘテロな人材と多彩な研究テーマが一同に介し、アドバイザーを含めた形で自由に相互作用できる場と適切な研究資金が提供されたことである。一方、最大の困難であった点は、JST として初めての数学分野であり、それまでのさきがけ研究の推進とは異なった考え方に基づく新しい支援のあり方を構築していくことである。そのために、分野および諸分野との協働を進めるための研究総括としての考え方および数学分野特有の研究の性格などを十分に説明するとともに、JST 内で方法を模索しつつ従来の枠組みや制度を変えながら進めることにより解決を図った。現在では、他分野の領域運営にも影響を及ぼしており、数学的な研究推進の理解が得られた結果と考えている。

- 3) 本事業の評価はどのように行われたか。また、このような融合研究に対する公平かつ適切な評価方法についてご意見をいただきたい。

(答) さきがけは平成25年3月の終了時に事後評価が実施された。CREST は同時期に中間評価が実施され、平成28年3月に事後評価が実施される予定である。評価委員長、企業からの委員も含め、全員で5名の委員により実施された。その詳細は JST の戦略的創造研究推進事業のサイトで公開されている。さきがけ、CREST 共に個々の研究成果はその学術的成果や特許などにより評価されるべきである。しかし領域全体としての波及効果、人材育成、さらに当該学術分野(数学)に対する影響等の評価は一定の時間がかかるので、本評価では顕わに見えてこない部分がある。さらに本領域において力を入れた様々なアウトリーチ活動、宣伝活動は、高校生や一般に向けて多く実施し、領域終了後も継続の予定である。これらは直接の学術的成果は生み出さないが、数学への認識を含め、社会への大きな還元と考えられる。

- 4) 数学領域における事業を継続させることに貢献できたか。また、本事業での課題は何か。その解決方法はどのようなことだと考えるか。

(答) 第二期のさきがけ國府領域、CREST 坪井領域が平成26年度から発足し、第一期数学領域の事業の成果の一定の評価並びに継続の必要性が認められたと考えられる。さきがけで大きく成長した研究のフォローアップや CREST 間交流を通じての領域全体

のスケールメリットを生かした新領域の開拓などが課題として残っている。予算制度や研究体制の組み替えなど、制度上、必ずしも自由にできない面もあるが、例えば、中間評価時でのめりはりの効いた再編や、総括裁量の自由度の拡大で改善できる面もある。

- 5) バーチャル・インスティテュートの類型の提供は成功したと思えるが、その要因はなんであったか。数学・数理科学を活用した異分野融合研究には、このようなバーチャル・インスティテュートが重要であると考えるか。

(答) 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。それへの対応策の一つとして、バーチャル・インスティテュートの設定、そこにおけるヘテロな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。むしろ数学の自律的な深化という面も極めて重要であるが、上のことと相矛盾するわけではない。数学の場合には、たとえテーマが限定されても、そこに参画する研究者の分野は多様性を維持するべきであり、そのことにより初めて真のブレークスルーが期待できる。そのような化学反応を起こすには、閉じた狭いプロジェクト型ではなく、バーチャル・インスティテュート型がより適切である。

- 6) 前問に引き続くが、このバーチャル・インスティテュートをさらに実質的な長期滞在型研究所に発展させることが期待されていた。欧米あるいはアジア諸国と比して、日本においては数学・数理科学関連で3~4の特色ある研究所が役割分担をすることは自然であると思われるという意見が中間評価として述べられてあった。この点についてはどうか。

(答) 滞在型研究所の設置は必要である。とりわけそこにおいて新たな数学的世界観ともいべきものが醸成されるような場になれば理想的である。短期的成果や visibility は数学の成果指標として必ずしも適切でない面もあるが、現場と数学の往復運動ができる適切な場は異なる複数の研究所がうまく連携すれば、提供できるものも相補的であるので、効果を発揮できると思われる。

- 7) 数学領域に対する社会的なサポートの獲得を念頭においていっそうのアウトリーチ活動の展開がもとめられていたが、これは実行されたか。

(答) 実行しており、現在も継続中である。数学キャラバンは2016年1月23日に岡山大学で実施したもの(「広がる数学 VI」)が15回目となる。今後は第二期数学領域でも継続する予定である。

さきがけ研究から数学・数理科学の融合研究が芽生え、この芽から、次に発展させるための融合研究の横断的広がりが進んでもいる。CREST・さきがけからの成果の例を

あげる（西浦康政統括による）。

- (i) 計算トポロジー（平岡 CREST）：当初タンパク質解析に適用していた手法が材料科学に多くの適用例、応用例があることが判明し今回の CREST につながった。環境問題への応用もある。また、水藤 CREST との協働研究も始まりつつある。
- (ii) 2次元の流れ分類（坂上 CREST）：雇用していた（当時）post-doc の人の分野はトポロジー（葉層構造だったと思います）で流体となんら関係なかったが、結果として2次元の流れ分類に決定的に役立ち、すでに学術論文として出版されている。
- (iii) 時系列解析などのデータ解析への応用（國府 CREST）：力学系の相空間解析から、その力学系的手法が時系列解析などのデータ解析にも役立つことが判明し、それへの応用も広がっている。
- (iv) 錯覚を利用した交通事故防止（杉原 CREST）

参考資料

領域評価用資料

[http://www.jst.go.jp/pr/evaluation/problem/problem2/kisoken/h24/201307/sanko/shiryo\\_07.pdf](http://www.jst.go.jp/pr/evaluation/problem/problem2/kisoken/h24/201307/sanko/shiryo_07.pdf)

さきがけ「数学」領域事後評価ならびに CREST 中間評価結果

<http://www.jst.go.jp/pr/evaluation/problem/problem2/kisoken/h24/201307/hyouka07.html>

### 3.2. CREST 現代の数理科学と連携するモデリング手法の構築

研究期間 2014年度～2021年度

研究総括 坪井俊（東京大学大学院数理科学研究科 研究科長 / 教授）

#### 戦略目標

社会における支配原理・法則が明確でない諸現象を数学的に記述・解明するモデルの構築。

社会における諸現象のうち、現時点で支配原理・法則が明確でなく、数理モデル化ができれば社会に対して大きなインパクトが見込まれる現象について、数学・数理科学の研究者と応用分野の研究者などによる異分野協働などを通じて、数学がもつ抽象性・普遍性を活用し、諸現象に潜む複雑な構造の「本質」部分を数学的に見出すことにより、以下の実現を目指す。

○現象を数学的に記述するモデルの導出

○導出された数理モデルの実証・検証および評価のための数学的理論等の構築

## 領域の概要

数学者と数学を応用する分野の研究者が相互に連携する研究チームを構成して、現時点で解決が困難な社会的課題に取り組むとともに、そのプロセスの中で数学自体の発展をも目指す。具体的には、応用分野の知見と数学がもつ抽象性や普遍性を利用して、支配原理・法則が明確でない諸現象に潜む「本質」部分を見出し、数学的アイデアに裏付けられた革新的モデルを導出する研究、新しい数理的手法を開発する研究を推進する。また、導出された数理モデルや既存の数理モデルについて、解決すべき課題の核心となる現象を記述していることの実証・検証やモデル評価のための数学理論や技術の構築を行なう研究も含む。対象となる現象としては、社会現象、自然現象、生命現象などが想定されるが、社会的ニーズに対応した新しい研究課題の創出と解決を目指すものであればこの限りではない。数理モデルの導出や課題の解決にあたっては、異なる数学分野の研究者間の連携はもとより応用分野、実験科学や情報科学の研究者との双方向の連携も重視する。更に、導出された数理モデルが普遍性を持ち、様々な分野の課題解決に応用可能なモデリング技術へと発展していくことも期待する。

## 領域の運営方針

社会的に重要で、従来の科学技術の延長上では解決が難しい課題に取り組み、ブレークスルーを起こすためには、数学・数理科学研究者が諸分野と連携して、対象となる複雑な諸現象を数学的に理解して解決を目指すことがますます重要となっている。例えば、複雑な構造の現象を現代の数理科学の知見を活かし根拠をもって簡略化した記述を行うことで、情報量が多く計算機の処理負荷が高い作業を著しく効率化することができ、複雑な社会現象、自然現象、生命現象などの解明に寄与することが期待できる。また、現代のグラフ理論の発展をとりいれて、現象をネットワーク構造の変化と捉えて数理モデル化することで、例えば、ネットワーク構造を有する、電力供給システム、経済システム、製造のプロセス、各種情報サービス等に対して、不安定になる「兆し」等の検出が可能となり、事前の対策や効果的な制御につながることを期待される。

数理モデルの導出・実証・検証・評価や課題の解決にあたっては、異なる数学分野の研究者間の連携はもとより応用分野、実験科学や情報科学の研究者との双方向の連携が重要であることから、関連する CREST・さきがけの研究領域との連携を進めるとともに、数理的な研究を推進している研究拠点とも連携して、革新的な数理モデリング手法の開発と幅広い分野への展開を目指す。

## 募集対象研究

数学的アイデアに裏付けられた革新的モデルを導出する研究、新しい数理的手法を開発する研究、数理モデルの実証・検証および評価のための数学的理論等の研究をおこなう研究チーム。解決すべき社会的課題をしっかりと設定した上で、研究対象に対する理論

構成を行う研究者、実験、観測、データ収集などにより、研究対象のデータを提供する研究者、現代の数理科学の研究の進展を生かして研究対象に対する数理モデルを構築する研究者、さらに数理モデルを用いたシミュレーションなどで現場へのフィードバックを行う研究者などにより有機的に構成されたもの。

### 対象となる現象と応用分野

例えば社会現象においては、経済変動、感染症の伝播、交通流、電力・通信ネットワークの変動、災害時の住民行動、各種社会インフラの老朽化等、自然現象においては、気候変動、集中豪雨・地滑り・竜巻・津波等の突発的な自然現象等、また、生命現象においては、遺伝子間の相互作用メカニズム、脳内の知覚認識・情報処理メカニズム等、戦略目標に例示されているものを含むが、これに限定されるものではない。より本質に迫る数学的アイデアに裏付けられた汎用性のあるモデリング手法の構築を目指すことを期待している。また、導出された数理モデルや既存の数理モデルについて、解決すべき課題の核心となる現象を記述していることの実証・検証やモデル評価のための数学理論や技術の構築を行なう研究も重要と考えている。

### 研究推進のうえで期待すること

研究チームとして、数学の広い分野、関連する諸科学分野との交流に積極的であること。また、数学の持つ普遍性を生かし、数理モデリングの手法を幅広い分野において有効に活用できる人材が重要であると考えている。チームの中から若い研究者が理論と現場を結ぶリーダーとして輩出されることも期待している。

H26年度 応募件数 :57件 採択件数 :

認識の数理モデルと高階・多層確率場による高次元実データ解析

研究代表者(所属) 石川 博 (早稲田大学 理工学術院基幹理工学部 教授)

他、計7件。

H27年度 応募件数 :42件 採択件数 :

臨床医療における数理モデリングの新たな展開

研究代表者 水藤 寛 (岡山大学 大学院環境生命科学研究科 教授)

他、計4件

### 3.3. さきがけ 社会的課題の解決に向けた数学と諸分野の協働

研究期間 2014年度～2019年度(各研究者の研究期間は3.5年、領域進行期間は2014年度～2019年度)

研究総括 國府 寛司(京都大学 大学院理学研究科 教授)

## 戦略目標

- ① 社会における支配原理・法則が明確でない諸現象を数学的に記述・解明するモデルの構築
- ② 分野を超えたビッグデータ利活用により新たな知識や洞察を得るための革新的な情報技術及びそれらを支える数理的手法の創出・高度化・体系化

## 趣旨と目的

従来の科学技術の延長ではなかなか解決できない社会的課題に取り組み、ブレークスルーを起こすためには、現代の数学から幅広いアイデアや方法を取り入れた斬新な発想による挑戦が強く求められている。そのためには、代数、幾何、解析などの純粋数学や応用数学、統計数学、離散数学など、数学内の様々な分野において「社会的課題を数学的問題として取り上げる」ことが必要である。

本研究領域は、社会的課題の解決に向けて数学の力を最大限発揮するとともに、課題に取り組むプロセスの中で数学自体の発展をも目指すものである。研究推進においては、社会での様々な問題に対して研究者自らが現場に入り込んで課題を認識し、その解決に向けたアプローチを意識して基礎研究を推進することを重視する。数学分野の研究者が自然科学、情報科学、工学、生命科学の理論や実験の研究者と連携することや、諸分野の研究者が数学分野に参入し課題解決に取り組むことを期待する。研究領域の運営においては、研究者が相互に影響し合い、異分野横断・融合的な視点で問題解決に取り組む姿勢を重視し、これにより、新しい数理科学の分野の形成や牽引の担い手となる将来の世界レベルの若手研究リーダーの輩出を目指す。

本研究領域は、文部科学省の選定した戦略目標「社会における支配原理・法則が明確でない諸現象を数学的に記述・解明するモデルの構築」「分野を超えたビッグデータ利活用により新たな知識や洞察を得るための革新的な情報技術及びそれらを支える数理的手法の創出・高度化・体系化」のもとに、平成26年度に発足した。

## 領域運営の概要

本研究領域の課題採択にあたっては、重要な社会的・人類的課題を取り上げて、数学・数理科学の斬新な方法や発想に基づいてそれを解決する意欲が旺盛である研究提案や、その解決のための数理的方法の有効性をこれまでにない新しい形で明確に示す提案を重視している。

H26年度とH27年度の募集では、採択件数はそれぞれ9件ずつであった（末尾の採択者リスト参照）。そのおおよその内訳は、全体のほぼ2/3かそれ以上を数学・数理科学分野の出身者が占めており、それ以外の分野の出身者も何らかの形で数理科学に密接に関わる研究歴を有している。JST さきがけ研究の予算規模は、研究者1人あたり3.5年の通期で3～4千万円を原則としており、本研究領域でも、必ずしも全員がその通りでは

ないが、その原則を踏襲している。

本研究領域では、年2回の領域会議の他に、各研究者に担当アドバイザーを付けて研究の進行状況を密に確認し支援する体制をとっているほか、研究成果や数学・数理科学の重要性を国民、特に高校生や大学生に伝える公開シンポジウムなどのさまざまなアウトリーチ活動も重視して行う予定である。

### 推進のうえで期待すること

本研究領域は、同時に発足した CREST 研究領域「現代の数理科学と連携するモデリング手法の構築」(研究総括：坪井俊)と連携して、平成27年度に終了する JST さきがけ・CREST 複合研究領域「数学と諸分野の協働によるブレークスルーの探索」(研究総括：西浦廉政)を継承し、それをさらに拡充・発展させることを目指している。特に本領域では、数学の持つ普遍性や汎用性というポテンシャルを活かして科学技術諸分野と連携する広い意味の数理科学の若手研究者を見出し、さきがけ研究活動の経験とそれによって得られた国内外の人的交流を基にして、彼らが将来の科学技術のイノベーションを牽引する国際的研究者に成長するべく支援することを重視している。

本領域のさきがけ研究者の研究テーマは生命科学、材料科学、情報通信、機械工学、計算科学、気象学、言語学などの多くの科学技術分野や金融、経済、都市・社会システムにおける広汎な社会的・人類的課題に密接に関係しており、またそれぞれが代数学・幾何学・解析学・応用数学・統計数学・離散数学など、数学と数理科学の幅広い分野のいずれかを基盤とするものである。

このような多種多様な研究テーマと数理的アイデアや方法の連携により、幾多の困難な社会的課題の解決に向けたブレークスルーが見出されると共に、新たな数学の発展のための契機にもなることが期待される。

### H26年度採択件数：

都市・社会システム最適化のための離散的数学理論の深化

研究代表者：神山 直之（国立大学法人 九州大学 マス・フォア・インダストリ研究所 准教授）ほか、9件

### H27年度採択件数：

1. 非疫学データによる感染症流行動態解析の新展開

研究代表者：大森 亮介（国立大学法人 北海道大学 人獣共通感染症リサーチセンター 助教）ほか、計9件



## **第3章 海外における数学・数理科学融合 研究支援体制について**



### 第3章 海外における数学・数理科学融合研究支援体制について

数学・数理科学の研究支援が海外ではどのようになされているかを調査した。米国では、研究資金の調査と National Academy of Sciences に提出された提言書について、欧州では、European Research Council での数学・数理科学研究支援について、ドイツの Einstein Center for Mathematics Berlin の活動について、さらには、アジアでは、韓国の応用数学支援についての現状についての調査を行った。

#### 1. 米国の動向

##### 1.1. 米国の競争的資金の動向

2005年から2014年までの米国の競争的資金の動向を調べた。

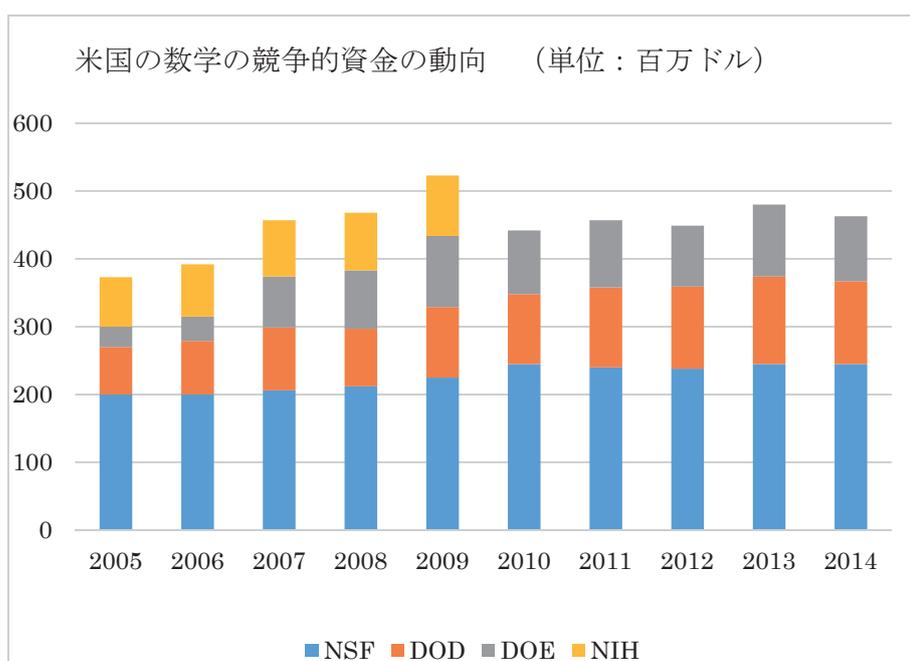
NSF: 国立科学財団予算

DOD: 国防総省予算

DOE: エネルギー省予算

NIH: 国立衛生研究所

についてである。なお、NIH の予算は2010年から他の研究分野と統合されてしまっており、数学の予算がどの程度かは把握できなかった。おそらく2009年度からはそれほど変化はないものと考えられる。基本的にはNSFからの予算が主であるが、それ以外の予算も数学研究へと流れている。



NSF への申請および、その審査に対するガイドライン等は ([https://www.nsf.gov/bfa/dias/policy/merit\\_review/overview.pdf](https://www.nsf.gov/bfa/dias/policy/merit_review/overview.pdf)) に掲載されているが、いずれにしても質の高さ、広いインパクト、社会的な貢献等を求めている。

## 2. 欧州の動向

### 2.1. European Research Council への調査

#### (1) ブルギニヨン氏 ERC 理事長インタビュー

2015年11月28日(土) 10時-11時

東北大学知の館にて

聴き手: 宮岡礼子



#### 【ERC (Europe Research Council) の概要】

ユーロ加盟国28カ国で2007年に結成された科学技術研究機構。2014-2020年のプロジェクトの予算は約1兆7千億円(13.1 Billion Euro)確保。年間2,400億円が、EU 及び EU 非加盟の協力国(ノルウェー、イスラエル、スイス、セルビア、ウクライナなど)から GDP に応じて拠出され運営されている。ミッションはボトムアップで、パネルが25あり、種々の提案を審議、トップ研究を推進し、ヨーロッパを先端科学拠点として魅力ある地域にすることである。各国事情が異なる中で(イタリアやスペインは近年、科学予算をカットしている)連合することに意味がある。3つの分野

1. 物理・数学・計算機科学など
2. 生命科学
3. 社会人文科学

を含む(芸術はカバーしない)。

採択率10% くらいのプロジェクト(5年間)が募集され、1チーム5人程度で研究が行われる(研究メンバーには Dr. PD など若手も含む)。リーダーの経験により、およそ次の予算が与えられる。

1. スターティング: 学位取得後2-3年: 予算1.5ME (2億円/年)
2. コンソリデーター: 学位取得後7-12: 予算2BE (2,500万円/年)
3. アドバンスト: 予算2.5ME (3億円/年)

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。

応募者はヨーロッパ人に限らないが、研究期間の半分はヨーロッパの研究機関での研

究を要する。現在非ヨーロッパ人は6%、日本人は12名が参加している。JSPSとの協働部分もある。

#### 【純粋・応用数学について】

ヨーロッパではすでに純粋数学、応用数学の境界は消え去った。フランスでは1980年代に、ドイツでは1990年後半である。若手は企業でも研究でも等しくやっていけるよう、計算機、プログラミングの基礎を学び、数学の考え方と同様にこれらを身につけている。産業界で数学出身者が大いに活躍しているし、必要とされている。フロンティア研究といわれるもののうち、85%が基礎、15%が応用であり、純粋数学と応用数学の比率は2:1であるが、差は消えてきた。ノルウェーなど豊かな国では第1級の研究は国家が支えるので、ERCへの応募は2番手の研究となることが問題である。国家で支えられる部分は応募が減る。

#### 【数学と諸分野の連携について】

各分野で深い結果があっても、それらを融合する際にレベルが保たれるのは難しく、大きな努力を要する。ヨーロッパでもこの融合の進み方は思うほど進んでいない。両者が互いに理解する努力が必要である。若手育成の点では企業のインターンシップが良い役割を果たしている。ヨーロッパではマスターの院生がインターンに行き、そこで修士論文を仕上げることもある。インターンシップについては、九州大学の意欲的な取り組みがあり、日本でももっと進めるべきであろう。

教育システム：日本                   ：純粋数学のみ

ヨーロッパ：数学知識 + 計算機を使う能力、プログラミングなどで  
学生をトレーニングする。フレキシビリティに富む、チャンスがある。

フランスでは1987年に政治家とジャーナリストからなる「来たるべき数学」という会合があり、注目を集めた。

教育はまず物理学者、数学者などと専門を名乗れる人材を養成したのち、他分野や、共通の問題に興味を持ち、取り組んでいくのがよく、最初から「気候変動問題」に特化する、などの教育は無意味である。

企業はサラリーが（少なくとも就職時は）よい。またチャレンジングな研究ができるところもあり、ヨーロッパでは企業は数学出身者にとってもハッピーなところとなっている。数学出身で経営者となる人材も出てきている（例：エアバス）。日本でもトヨタ自動車などは広い視野で博士雇用を行っている。

### 【訪問・滞在型研究所のありかた】

これには3つのジャンルがある。

- I. 教育・研究をする大学附属型 (IHES、RIMS など)。高度のスタッフが、多数の訪問者 (200人) と交流。数名のスタッフが磁石の役割、訪問者は集中して研究、新しいことを学ぶ。誰がパーマネントスタッフであるかが重要。
- II. 少数のスタッフと多くのビジターからなる共同研究施設 (MSRI、ミッタフレフラー、HIM など)。パーマネントスタッフはほとんどいない。委員会が trimester など期間を区切ってトピックを選ぶ。滞在施設が必要。
- III. 主として研究会開催の場を提供するカンファレンス施設 (オーバーボルファッハ、海南島、ポアンカレ研究所)。

の3つである。RIMSはこの3つの役割をたった一箇所で背負い込んでいる。従ってスタッフや事務方の負担は大きい。スタッフは役割を分離すべきである。

今後この役割を分担する施設を作っていくことが必要である。東北大学の知の館は II 型で、期間を区切ってテーマを決め、関係研究をその都度行うという点で HIM と同様である。しかし今のところ、質はとても高いが、出てきたテーマは従来とあまり変わらず、もっと自由な融合研究テーマがでてくることが望ましい。

ヨーロッパではこの3種の研究施設が研究会情報などを共有することで、互いに交流している。Luminy、IHES、ポアンカレセンター、CRNS など、異なる構造をもつが共通のニーズがあり、ハイレベルなリサーチを目指している。情報を共有し、子供向けのイベントなど、アウトリーチを一緒に行っている。

### 【今後のこうした施設のあり方】

施設ごとの自助努力が必要である。何かに焦点を当てて、魅力的な存在になったり、諸分野の架け橋となるべく努力する。数ではなく、焦点を絞り、従来バラバラに行っている研究を討論などで結びつけるよう、促すトップも必要である。東北大学の WPI-AIMR は小谷元子氏がこの点で重要な役割を果たしている。

IHES は日本、中国を支援。フランス大使館では JST、IHES と、2016年10月に JST: 新しい未来館 (1万人来場) でプロジェクトを共同で行う。

## 2.2. アインシュタイン数学センターへの調査



フォルカー・メールマン (Volker Mehrmann) 教授からの文書による回答

### (1) 一般的な質問

- 1) 名称：アインシュタイン数学センター (Einstein Center for Mathematics)
- 2) その概要と主要目標：

アインシュタイン数学センター (以下 ECMath と略す) は2014年に創設され、以下により支援されている：ベルリン・アインシュタイン財団、ベルリンの3つの大学であるベルリン自由大学、ベルリン・フンボルト大学、ベルリン工科大学および2つの研究所であるワイエルストラス応用解析・統計研究所、ベルリン・ツーゼ研究所。ECMath が最終的に目指すことは、イノベーションをすべき領域における数学研究を支援し、ベルリンにおいてイノベーションのための組織を強化することである。ECMath では応用指向の基礎研究を支援し、重点応用分野におけるイノベーションのための数学に的を絞っている。また、当面の問題のみ応用できる数学の一部ではなく、「数学を全体としてとらえる」という基本思想に基づき、数学とその応用への広いアプローチを提供することにより若手研究者や学生を育成している。また、適切に選考された特に優秀な学生への行き届いた給与も提供している。自然科学から産業への知識移転も ECMath のもう1つの目標である。このような形で、ECMath は、広範な数学教育や数学における個別的な深い研究を産業や社会における応用に結合させるための環境を創出し支えている。

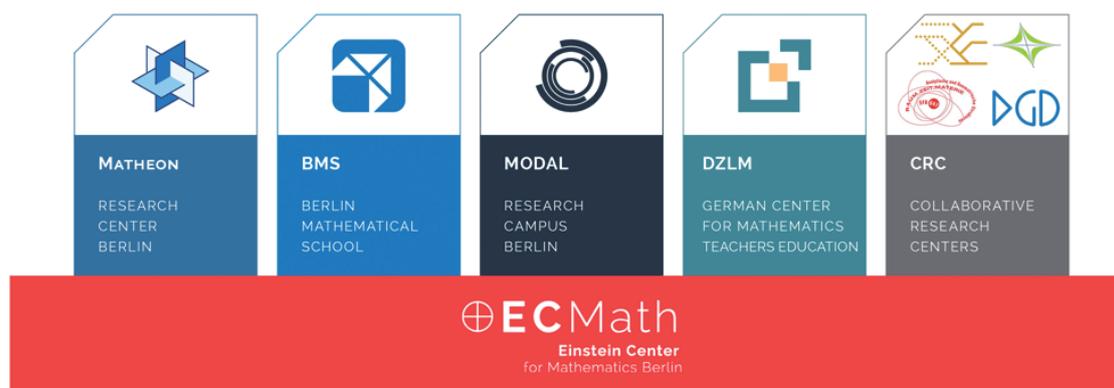
- 3) スポンサー：

ECMath は上記のベルリンの研究機関の他にベルリン州からも支援を受けている。

- 4) 予算の傾向 (2005年9月から2014年8月まで)：

予算規模は年度を問わず定まっておらず、個々の場合に給与レベルは職員組合との交渉で増額可能であるが、大きく変わることはない。多くのプロジェクトは産業や異分野と連携しているが、そのような連携は長期的な財政支援のために必要である。

## 5) 研究プロジェクト



ECMath のプロジェクトの期間は2014年7月1日から 2017年5月31日の間である。その研究期間の延長は内部評価によって決まる。以下は、研究機関ごとのプロジェクトの総数である：

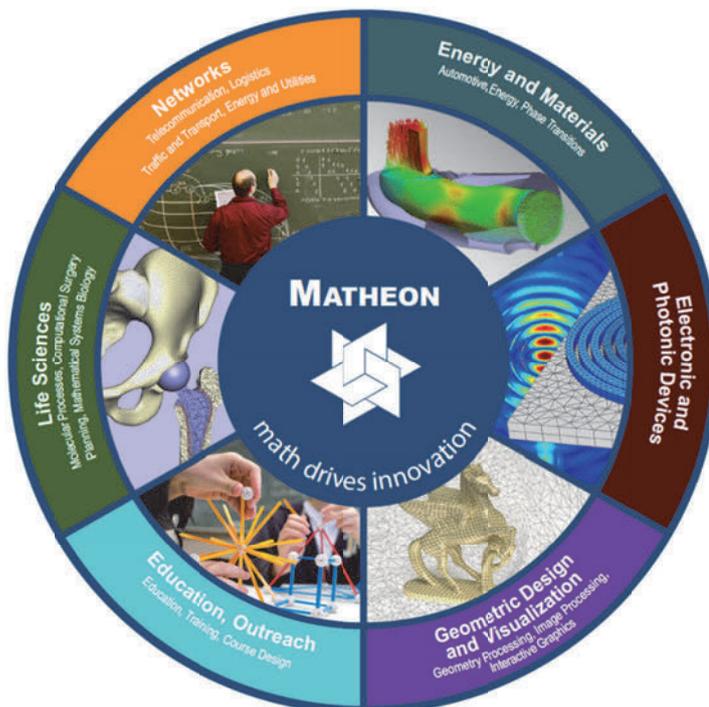
ベルリン工科大学 10、自由大学 8、フンボルト大学 4、ワイエルストラス研究所 7、ツォーゼ研究所 8

いずれのプロジェクトもデータサイエンス、物理数学、確率システムや交通、ネットワークなどに関連した現実問題の数学的な解法を目指すものである。

### (2) 数学における協働研究に関する質問

- 1) 数学と他の領域の間の協働研究の研究費は増えているか？ その場合、どのような理由が考えられるか？

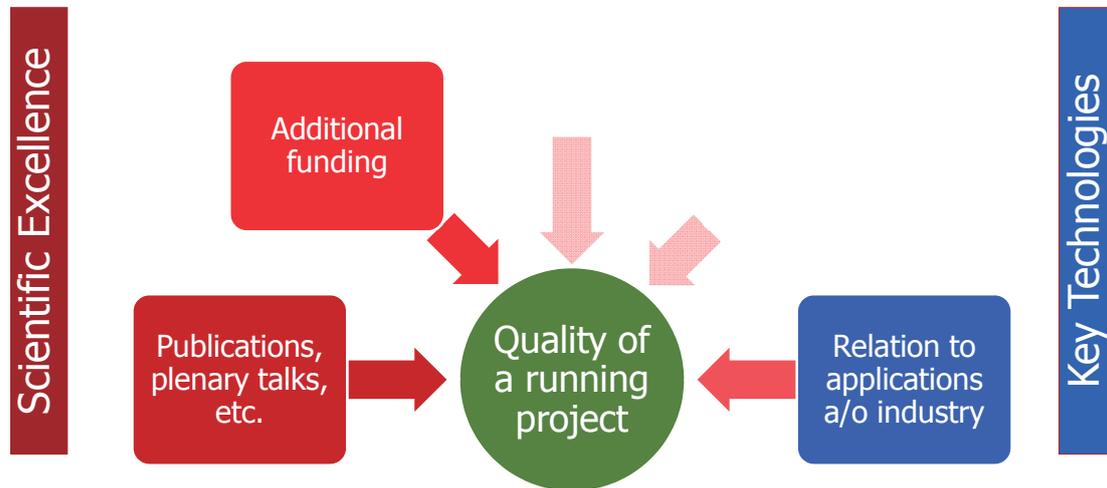
ECMath は次の図の様な応用指向の研究プロジェクトに財政的な援助をしている。



- 2) 数学と他の領域の間の協働研究の成功のためにはどのようなことが最も重要か？  
異分野からのデータとモデルについて学ぶこと、アルゴリズムと数学的な厳密さを応用分野に持ち込むこと。
- 3) 数学と他の領域の間の協働研究は急速に進んでいると考えるか？もしそうならば、理由は何であると考えるか？  
我々はそれを推進しており、政財界の関係者はそれを重視するようになっているからである。
- 4) 数学自体の研究と、数学と他の領域の間の協働研究のための原理や考え方に違いがあると考えるか。または本質的に同じと考えるか？  
純粋に理論的な研究も重要であるが、応用指向的な協働研究もそれにも増して重要である。
- 5) 数学自体の研究の評価のための主なファクターは何か？異分野と異なる評価基準か？  
異分野と数学では異なる評価指標を用いている。下図参照。



## (Internal) Quality Management: Criteria



6) 数学と他の領域の間の協働研究を評価する際に5)の他に別のファクターがあるか？  
特にはないが、我々は自然科学の観点からの卓越性と同時に異分野や産業との強い連携を重視している。

7) 数学と他の領域の間の協働研究の発展のために影響力のあったレポートや出版物はあるか？

以下がある：

[1] M. Grötschel, K. Lucas, and V. Mehrmann 編、Production Factor Mathematics, Springer Verlag, Heidelberg, 2010.

[2] T. Lery, M. Primicerio, M.J. Esteban, M. Fontes, Y. Maday, V. Mehrmann, G. Quadros, W. Schilders, A. Schuppert and H. Tewkesbury 編、European Success Stories in Industrial Mathematics, Springer Verlag, Berlin 2011.

[3] P. Deuffhard, M. Grötschel, D. Hömberg, U. Horst, J. Kramer, V. Mehrmann, K. Polthier, F. Schmidt, C. Schütte, M. Skutella, and J. Sprekels 編、MATHEON – Mathematics for Key Technologies, Series in Industrial and Applied Mathematics 1, EMS Publishing House, Zürich, Switzerland, 2014.

8) 数学と他の領域の間の協働研究の振興のための示唆があるか？

厳密な数学理論とアルゴリズムだけではなく、数学側から応用を真に支援するべきである。

- 9) このプロジェクトで財政支援を受けている数学と他の領域の間の協働研究の例があるか？

上記7)の [3] にそのようなプロジェクトが記載されている。ちなみにプロジェクトの通常の期間は4年であり、ポスドク1名の1年あたりの経費は約 60,000 ユーロである。

### (3) 訪問滞在型研究所についての質問

- 1) 世界的に見て優れた数学または数理科学の研究所はどこか？

マックスプランク研究所 Bonn、マックスプランク研究所 Leipzig、クーラン研究所、プリンストン高等研究所、MSRI バークレイ、オックスフォード大学における数学関連の研究所、チューリッヒ工科大学の数学研究所(順不同)

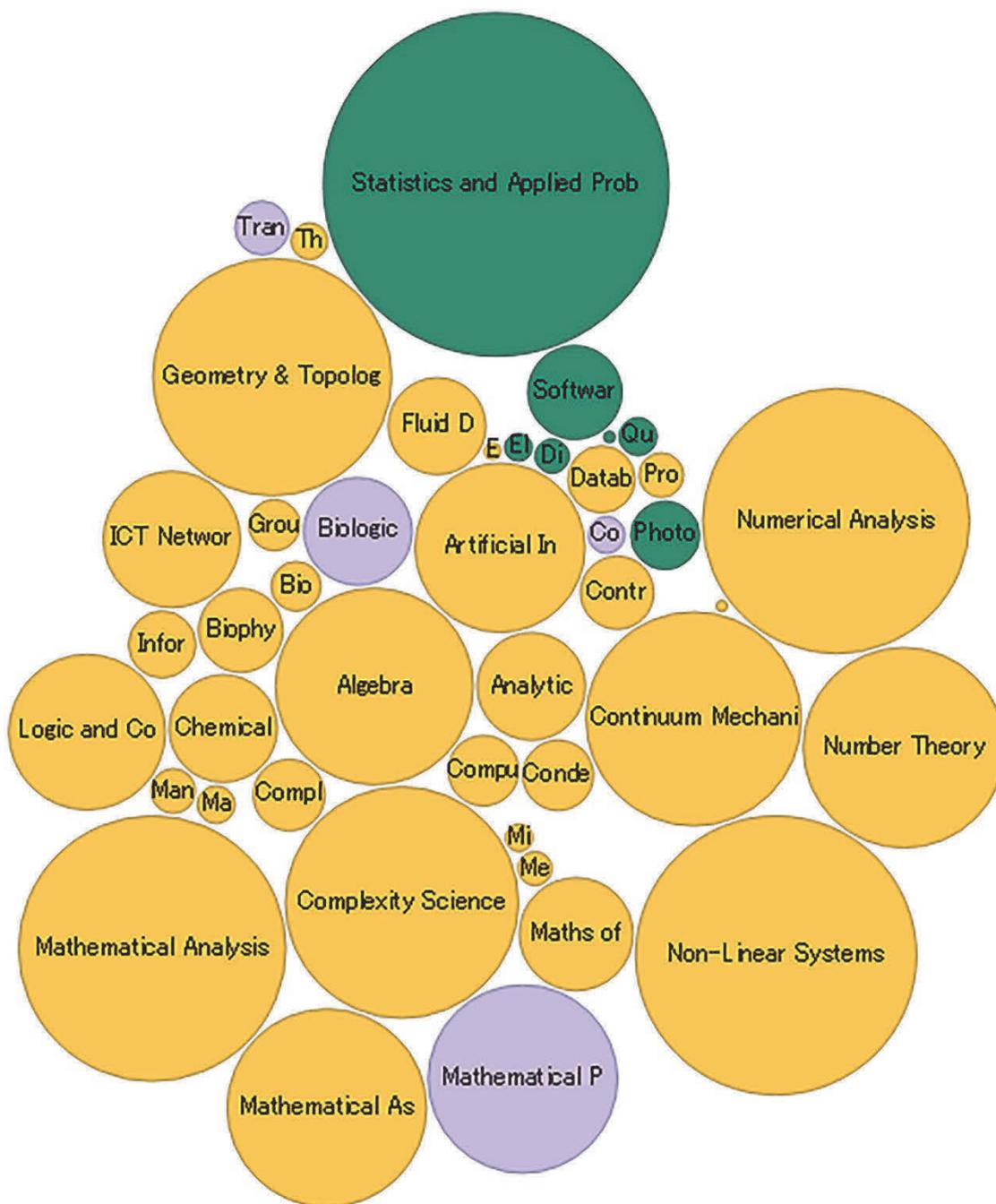
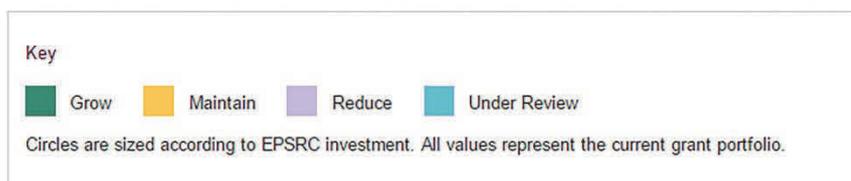
- 2) 数学の研究のために訪問滞在型研究所は有用か？数学と他の領域の間の協働研究に関してはどうか？

バンフ(カナダ)、オーバーボルファッハのような研究所は、研究者のネットワークや知見の交換のために極めて重要な役割を果たしている。

### (4) 日本における数学研究について

日本は数学の理論的研究に強いが、応用指向や産業応用のための数学が遅れている。応用指向の数学的な活動を強化すべきである。

2.3. 英国 Engineering and Physical Sciences Research Council (EPSRC) のデータ  
 EPSRC の数学でのファンディング状況を調査した。



【数学予算の総額は205,095,764ポンドである】

### 3. 韓国における応用数学の動向

Dongsu Kim KAIST 数理科学科教授、前 NIMS 所長へのインタビューと文書による回答



Dongsu Kim 教授（左）と山本昌宏教授（右）

#### 3.1. 韓国における数学研究への政府の助成について

韓国政府は次の3つのやりかたで数学研究を助成している：

- 個人または研究者グループへの研究助成
- 大学の数学科への助成
- 研究所への助成
  - 国立数理科学研究所 (National Institute for Mathematical Sciences)
  - 韓国高等研究所 (Korea Institute for Advanced Study) の数学科
  - 基礎科学研究所 (Institute for Basic Science) の幾何と物理センター (Center for Geometry and Physics)

個人または研究者グループへの研究助成

- 国立韓国研究財団 NRF (National Research Foundation of Korea) が数学への研究助成の主要なソースである。NRF は全ての分野にわたり一様な選択基準を採用しており、数学だけ特別な基準を採用しているわけではない。数学は基礎科学と考えられており、評価は(異分野への応用などではなく)科学としての価値自体によってなされている。
- 政府の統計によれば、2010年-2012年における数学の研究費助成は以下の通りであった。2010：466億ウォン、2011：533億ウォン、2012：572億ウォン

#### 国立数理科学研究所 (NIMS) National Institute for Mathematical Sciences

- 2005年創設で応用数学と産業数学を重要視
- 訪問センター (数学原理の応用センター :CAMP, Center for Applications of Mathematical Principles)

特定課題に関する研究集会、ワークショップ、スクールの主催または共催、  
国際共同研究の構築、数学の一般へのアウトリーチ

- 産業数学のパイロットプログラム (Pilot Program for Industrial Mathematics)
  - パイロットプログラムは産業数学のために多様な計画と運用を探索し、推進することを目指している。産業界は、数学に興味をもち実際の問題を取り扱える多くの人々を欲している。大学における教育と研究は、そのような人材輩出を、常に目的としているわけではなかった。  
韓国政府は、産業数学のための予算を近い将来に組む計画がある。  
数学の異分野連携活動は特に奨励されている。
  - プログラムの予算総額は、27億ウォン（約 250万米ドル）  
研究費は21グループに支給されるが、配分額は一律ではない

#### **韓国高等研究所 (KIAS) Korea Institute for Advanced Study**

- 数学、物理、計算科学の3つの学部がある
- 数学部 : [http://www.kias.re.kr/sub03/sub03\\_01\\_01.jsp](http://www.kias.re.kr/sub03/sub03_01_01.jsp)
- 数学的な挑戦のためのセンター Center for Mathematical Challenges :  
[http://www.kias.re.kr/sub04/sub04\\_04.jsp](http://www.kias.re.kr/sub04/sub04_04.jsp)

#### **基礎科学研究所 (IBS) Institute for Basic Science**

- 数学関連では、物理、化学、ライフサイエンス、異分野連携の研究分野がある。
- センターの総数 : 26  
内訳 : 数学 1、物理 8、化学 6、ライフサイエンス 8、異分野連携 3
- IBS : <http://www.ibs.re.kr/eng.do>
- IBS CGP : [http://www.ibs.re.kr/eng/sub02\\_02\\_01.do](http://www.ibs.re.kr/eng/sub02_02_01.do)

訪問研究者のための研究施設 : NIMS の CAMP、KIAS の数学部、IBS の CGP

民間の研究助成財団

サムスン科学技術財団 (SSTF) は数学を含む基礎科学を支援している。1件当たりの援助額の上限はない。

韓国数学会から政府への訴えかけ

- 数学年 2014、ICM 2014 (ソウル、8月13-21日) などの活動、韓国経済の発展に果たした数学の役割の強調、経済・産業における数理学の役割についての実績 (例 :SIAM Report on Mathematics in Industry, 2012)

数学における日韓の共同研究：多くある。例を以下にあげる。

- 代数と組合論の第12回韓日ワークショップ 2014年1月23-25日、KAIST, Korea
- 結び目と関連した課題の第10回東アジア・スクール、2015年1月26-29日、East China Normal University, China.
- 代数的トポロジーに関する東アジア会議、2015年12月1日-4日、NIMS CAMP, Korea

## 3.2. インタビュー

### (1) 一般的な質問

- 1) 国立数理科学研究所 (National Institute for Mathematical Sciences、以下 NIMS と略す) NIMS は2015年に産業数学のパイロットプログラムを開始した。

### (2) 数学における協働研究に関する質問

- 1) 数学と他の領域の間の協働研究の研究費は増えているか？ その場合、どのような理由が考えられるか？

異分野は数学を、数学は現実の問題を必要としているから。数学と他の領域の間の協働研究はますます重要になっている。数学のアイデアを他分野のイノベーションの源泉とすることができるが、そのためには適切な方策が必要である。

- 2) 数学と他の領域の間の協働研究の成功のためにはどのようなことが最も重要か？

適切な人材の存在が最も重要である。そのような人材は優れたアイデアをもち、協働研究遂行のために高い能力を持っている。数学と他の領域の間の協働研究が一段低く見られるという若い人材が持ちがちな心配を取り除くために、適切な業績評価システムも重要である。

- 3) 数学と他の領域の間の協働研究は急速に進んでいるようである。そう考えるか？ もしそうならば、理由は何であると考えるか？

その通りである。社会は、バイオテクノロジーなど多くの分野でかつてないほど数学のアイデアを必要としている。

- 4) 数学自体の研究と、数学と他の領域の間の協働研究のための原理や考え方に違いがあると考えるか。または本質的に同じと考えるか？

数学者たちは視野を拡げ、異分野への貢献により従事すべきである。

数学の専門教育を受けた学生はさまざまな産業で強く求められている。現場の問題が解ければそれは良い数学の証拠の1つと考えてよい。さらに万能型の人材が重要(理論と応用)。数学と他の領域の間の協働研究を推進することは、数学の視野を拡げ、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ためにたいへん有効である。

- 5) 数学自体の研究の評価のための主なファクターは何か？異分野と異なる評価基準か？  
数学の特性から、創造性と卓越性が特に重要である。
- 6) 数学と他の領域の間の協働研究を評価する際に5)の他に別のファクターがあるか？  
数学の他分野への寄与と教育への効果。
- 7) 数学と他の領域の間の協働研究の発展のために影響力のあったレポートや出版物はあるか？

[1] Measuring the Economic Benefits of Mathematical Science Research in UK, Deloitte, 2012

[2] Careers in Applied Mathematics, SIAM

[3] SIAM Report on Mathematics in Industry, 2012

- 8) 数学と他の領域の間の協働研究の振興のための示唆があるか？  
協働研究の重要性を数学者の共同体で認知すること。  
若い研究者は協働研究に消極的なことがあるが、そのような異分野連携研究の適切な機会を創出すること。

### (3) 訪問滞在型研究所についての質問

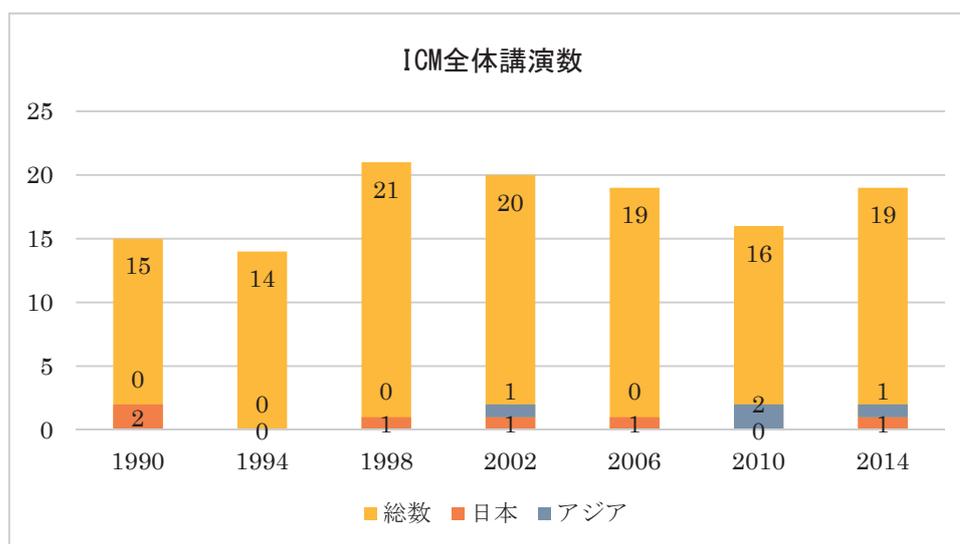
- 1) 世界的にみて優れた数学または数理科学の研究所はどこか？  
たくさんあり、それぞれ長所・短所がある。
- 2) 数学の研究のために訪問滞在型研究所は有用か？数学と他の領域の間の協働研究に関してはどうか？  
いろいろな意味で有用である。まず、地元の多くの研究者がトップレベルの研究者と直接議論でき、知識や研究の水準を向上させることができる。さらに、そのような研究者の滞在により研究所のレベルアップを図ることができ、世界的な研究者のネットワークがさらに充実していく。数学の異分野連携研究も新たに開始することができる。
- 3) 数学は大規模な実験設備を必要としないので、数学者は研究所なしでも数学の研究ができるのではないかという意見についてどう考えるか？  
そういう意見はありうるが、いろいろな分野の数学者が集まって議論などをして得られるブレークスルーの大きな可能性を考慮するべきである。そのようなブレークスルーは数学者が孤立して研究することによってなされることは稀である。  
一方で、政府や助成団体の通常の短期的な尺度で訪問滞在型研究所の成果の評価をすることは難しい。そのような研究所では適切な研究計画が特に重要である。
- 4) 訪問滞在型研究所を評価するための重要なファクターは何か？  
研究自体、若手研究者の育成、研究者ネットワークの構築、国際的な協働研究

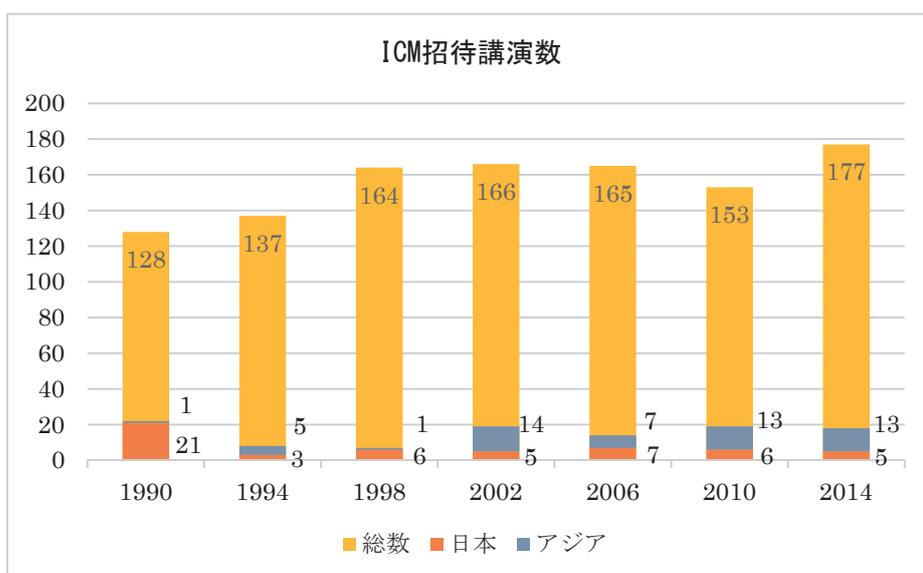
## 4. 日本の数学・数理科学研究の動向

### 4.1. 国際数学会議 (ICM) と応用数理国際会議 (ICIAM) のデータ

International Congress of Mathematicians (国際数学会議、ICM) は数学界最大の会合であり、4年に一度国際数学連合の主催で行われる。2014年のICMで、日本からは初めて、森重文・京都大学数理解析研究所教授が国際数学連合の総裁に選出された。数学の国際的な賞である、フィールズ賞、ネブアリンナ賞、ガウス賞等が授与される会議である。世界のトップの数学研究者が、ICMにおいて全体講演者や招待講演者として選ばれる。これに相当する、応用数理 (industrial and applied mathematics) の分野での国際会議としては、International Congress on Industrial and Applied Mathematics (応用数理国際会議、ICIAM) がある。

以下は、国際数学会議での講演者のデータである。日本の数学研究者の全体講演数は大体各回1名程度が行っている。





1990年にICMの日本人講演者が多いのは、この年のICMの開催が京都であったことが反映していると思える。日本では、全体講演者が今までに10名、招待講演者が毎年5-6名いることで、日本の数学研究の高さは示されている。しかしながら、アジアの他の国の招待講演は増えており、全体の講演件数が増えている割合からみると日本の数学研究がやや伸び悩んでいるといえる。アメリカの大学の研究者で2014年の国際数学者会議に招聘された全体講演者は10人である。

### (1) フィールズ賞

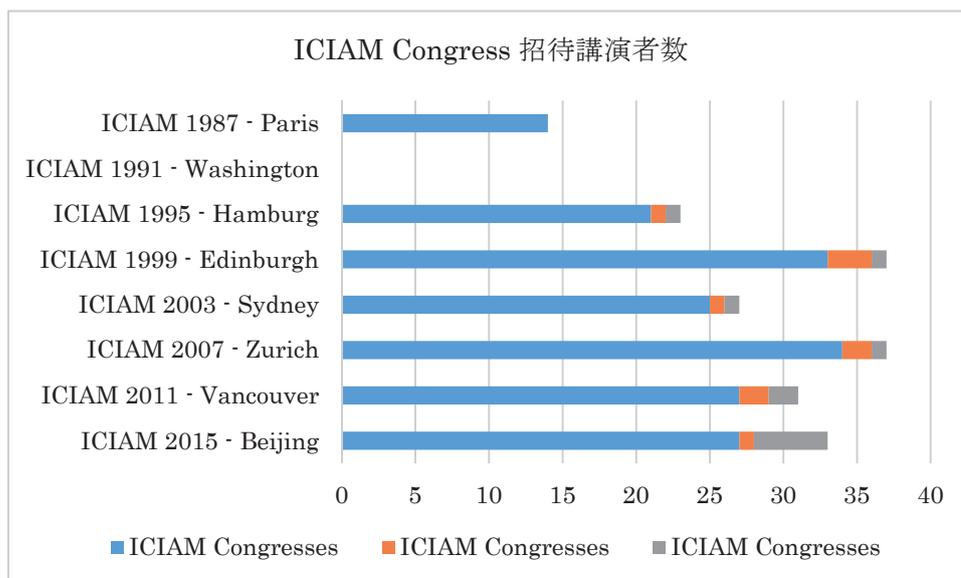
国際数学者会議において、顕著な業績を上げた40歳以下の数学者から、2名以上4名以下に授与される。日本では、小平邦彦氏(1954年)、広中平祐氏(1970年)、森重文氏(1990年)の3名が受賞している。アジア系では、丘成桐氏(中国系米国人)(1982年)、陶哲軒氏(中国系オーストラリア人)(2006年)、ゴ・バオ・チャウ氏(ベトナム人)(2010年)、マリアム・ミルザハニ氏(イラン人)(2014年)、マンジュル・バルガヴァ氏(インド系カナダ・米国人)(2014年)の5人が受賞している。2006年以降、ほぼ1名のフィールズ賞受賞者がアジアから出ている一方、日本からの受賞者は暫く出ていない。

### (2) ガウス賞

国際数学者会議では、2002年にドイツ数学会と国際数学連合が共同でガウス賞(Carl Friedrich Gauss Prize)を設けた。これは、社会の技術的発展と日常生活に対して優れた数学的貢献をなした研究者に贈られる賞である。この賞には、受賞資格に年齢制限はない。これは、その人の業績が知られ、実社会に広まり影響を及ぼすまでに、時として非常に長い時間を要すると考えているからである。2006年の第一回授賞として、確率過程の経済への貢献により伊藤清氏が受賞していることは、日本の数学が社会への貢献の観点からも高く認識されていることを示している。その後、2010年にはイブ・メイ

エ (フランス)、2014年にはスタンリー・オッシャー (アメリカ)が受賞している。

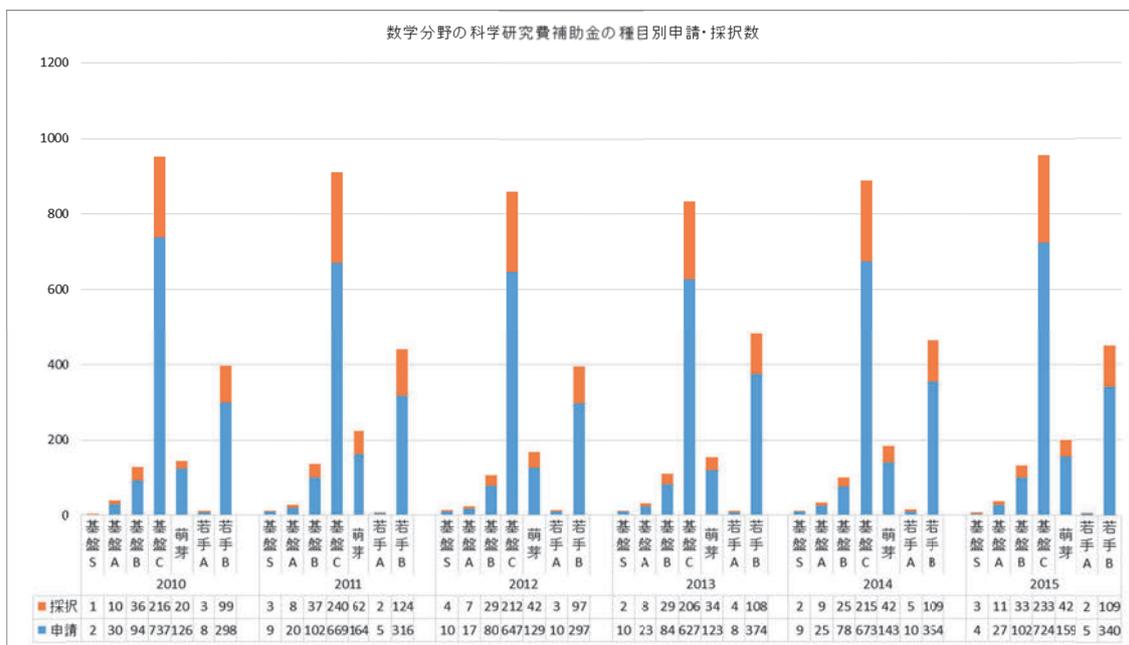
ICMに相当する、応用数理 (industrial and applied mathematics) 分野での国際会議としては、International Congress on Industrial and Applied Mathematics (応用数理国際会議、ICIAM)がある。この招待講演者リストは以下のようになっている。近年は、日本人の研究者の招待講演は微減である一方、アジアからの講演者は増加している。



## 4.2. 科学研究費の動向

科学研究費は、数学・数理科学の個人の研究を支援している。数学研究の特性からみても、科学研究費は重要なものである。そこで、この動向について調査した。

### 数学種目別申請・採択件数



### 分野別配分額 (新規採択分) (単位千円)

|     | 2010      | 2011      | 2012      | 2013      | 2014      | 2015      |
|-----|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 数物系 | 3,727,350 | 4,511,600 | 3,846,700 | 3,983,450 | 5,495,390 | 5,652,250 |
| 数学  | 512,210   | 736,100   | 611,900   | 528,000   | 517,200   | 568,650   |

#### 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)  |

#### 数学における科学研究費の申請・採択についての課題

##### 1) 連携探索型数理科学について

- ・ 特設分野「連携探索型数理科学」が現在3年目で、コンスタントに応募があり、今年度（公募最終年度）も150件程度の応募がある。数学との連携に一定の需要があると考えられる。採択された課題は活発に研究が進められている様子も見受けられる。特設分野は3年間で終了してしまうが、多数の応募の実績を見れば、細目にするなど、定常化の検討が望まれる。
- ・ 2015年度採用のテーマはかなり「生命系」に偏っているように見える。より広い分野から積極的な応募が必要である。特に、人文科学系の応募を増やすことも検討が必要。また、今後このテーマをどのように発展させるかというビジョンも申請のポイントとなるだろう。

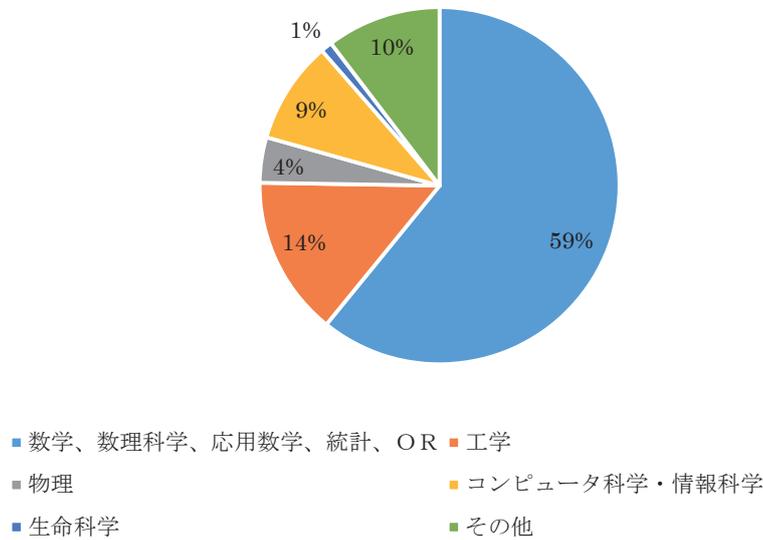
##### 2) 科研費全体における課題

- ・ 他の分野に比べ「基盤研究（C）」など少額な経費の件数が多い。数学の研究スタイルでもあるが、これは科研費制度全体の中で数学の占める部分が相対的に小さくなっている原因となる危惧がある。

#### 4.3. 日米の数学・数理科学研究コミュニティ

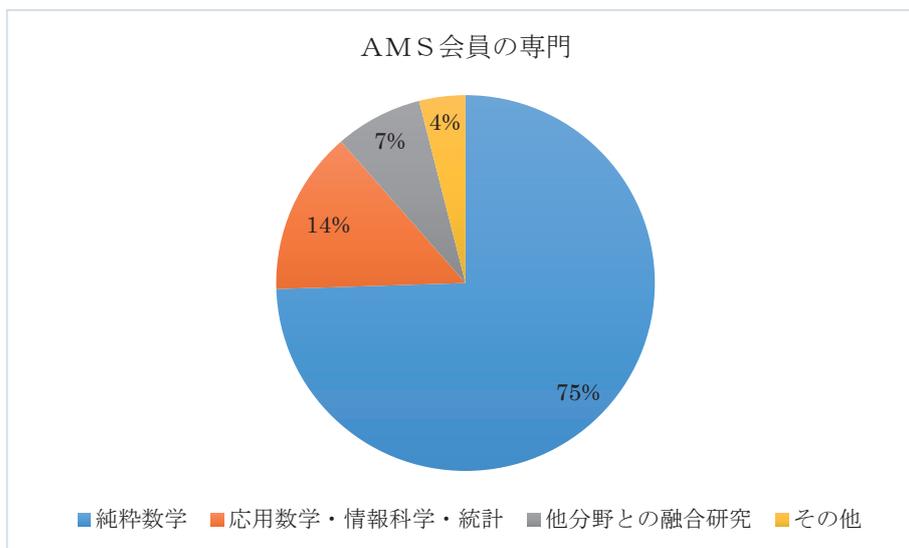
米国にはAmerican Mathematical Society (AMS)、Society of Industrial and Applied Mathematics (SIAM)、American Statistical Association (ASA) がある。それぞれの会員の概数は、AMSの会員は30,000人、SIAMは13,000人、ASAは18,000人とされている。ただしAMSは大学院生を入れるとさらに10,000人程度増える。SIAMのシニアメンバーは、6,300人程度で、その割合は60%弱が数学、応用数学、統計の研究者であるが、それ以外に工学、コンピュータ科学・情報科学を中心とした研究者が含まれている。

SIAMでのシニアメンバー（非学生）はおおよそ、6,300人程度



日本の数学・数理科学研究者が主として所属していると考えられる学会として、日本数学会、日本応用数学会、日本統計学会がある。その規模は、日本数学会の会員数4,900名程度、日本応用数理学会が1,600名程度、日本統計学会の会員数は1,450名程度である。米国の学会の会員数は日本の学会会員数の6倍から10倍程度であり、規模の差がある。また、米国での学会では会員へのサービスのほか、社会に対して多くのサービスを提供している。そのほか、個人会員1,955名の日本オペレーションリサーチ学会がある。

AMSの会員の専門の分布は以下のようになっている。応用数学や他分野および他分野との融合研究者とみなせる人数は、会員全体の20%程度のものである。



AMSの国別会員数であるが、米国・カナダがほぼ50%であるのに対して、他は世界各国に散っている。日本人のAMSの会員数は404名あり、AMSの会員数は、ドイツの520名に次いで4位である。

#### 4.4. 欧米での数学コミュニティの活動

欧米では、学会を含めて様々な数学コミュニティが研究支援や連携を行っている。欧米の数学コミュニティは、様々な成果報告や提言も出している。

米国においては「The Mathematical Sciences in 2025」と題するレポートの中で、現在の数理科学に関わる教育・研究・資金・組織等の課題が向こう10年を見据えて議論されている。数理科学は社会のほとんどあらゆる分野（生物学・医療・社会科学・先進デザイン・気候・金融・先進材料・インターネット検索・デジタル通信・マーケティング・防衛等々）で有用であるとともに、潜在的に将来の革新的応用も期待できることから、数理科学の基礎理論的発展の維持が、国益となると述べられている。

また今後力を入れるべき側面については複数の提言がなされている。数学と統計学の連携の必要性や、数理科学教育の拡充とりわけ女性や少数民族等が数理科学分野において教育から就業まで支援され将来において一定の存在率となるべきであること、また、数理科学の活用場面に関する教育機会を義務教育から大学にかけて増大し維持すること、財政的な支援を拡充するとともに、数理科学者自身が研究事業とその成果の意義について説明すること、そしてこの説明する仕事に対して、所属機関等が適切に報いることなどが提案されている。

この中で、政府に対しては、数理科学における非凡な才能を有する学生の能力を強化するプログラムを、国家計画として確立することを強く求めている。そのプログラムとは、学生の非凡な能力を一層高めることと数学的キャリアを積み重ね続けることに対し、十分な資金を提供するものとしている。

欧州からは、Spanish Network for Mathematics & Industry, 「Success case studies in Mathematical Technology Transfer」、European Science Foundation 「Forward Look: Mathematics and Industry Report」など、産業数学の成功事例の報告がある。



## **第4章 評価指標による異分野融合研究の 動向**



## 第4章 評価指標による異分野融合研究の動向

### 1. NSF データ (Global Share of Articles) による研究動向

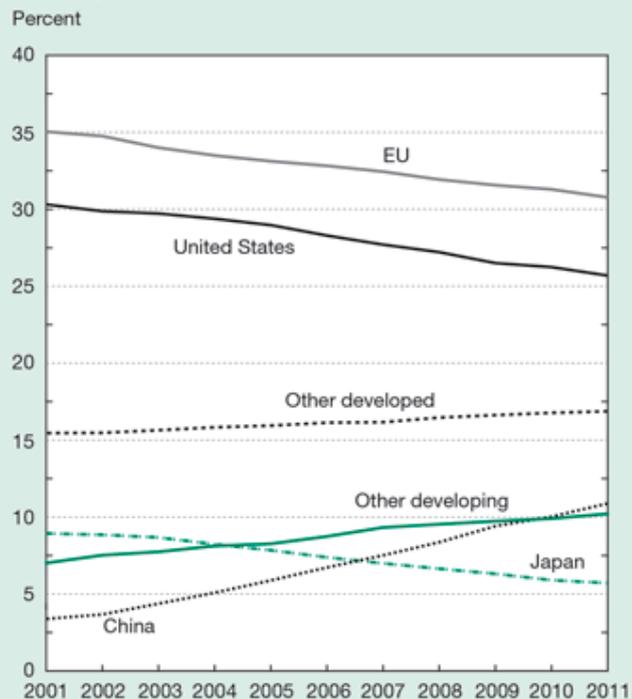
#### 1.1. NSF による科学・工学研究動向の国際比較

数学・数理科学の融合研究についての動向を理解するために、その背景として、数学研究の動向の概要、さらには我が国の科学研究の動向を把握する。ここでは、米国の国立科学財団 (National Science Foundation : NSF) による統計データを利用して分析を行った。NSF は、米国における医学分野以外の科学・工学分野全般にわたる研究と教育を推進している連邦政府機関である。

#### 1.2. 科学・工学分野の論文シェア

国際的な研究動向を見るために、出版学術論文のシェアを概観する。右図は、NSF が分析した2001年から2011年の科学・工学分野の出版論文の国別シェアの推移である。2011年のシェアは米国26%、中国11%、日本6%である。欧州、米国、とともに、我が国のシェアは減少傾向にある (日本は9%から6%へ)。その一方、中国のシェアは大幅に拡大し、また他の開発国の伸び率もかなり高い。

Figure 5-19  
S&E articles, by global share of selected region/  
country: 2001-11



EU = European Union.

NOTES: Article counts are from the set of journals covered by the Science Citation Index (SCI) and Social Sciences Citation Index (SSCI). Articles are classified by the year of publication, and are assigned to a country/economy on the basis of the institutional address(es) listed in the article. Articles are credited on a fractional-count basis (i.e., for articles with collaborating institutions from multiple countries/economies, each country/economy receives fractional credit on the basis of the proportion of its participating institutions). Counts for all six groups sum to the world total. Data for Bulgaria, Hungary, and Romania are included with the EU and not with developing economies.

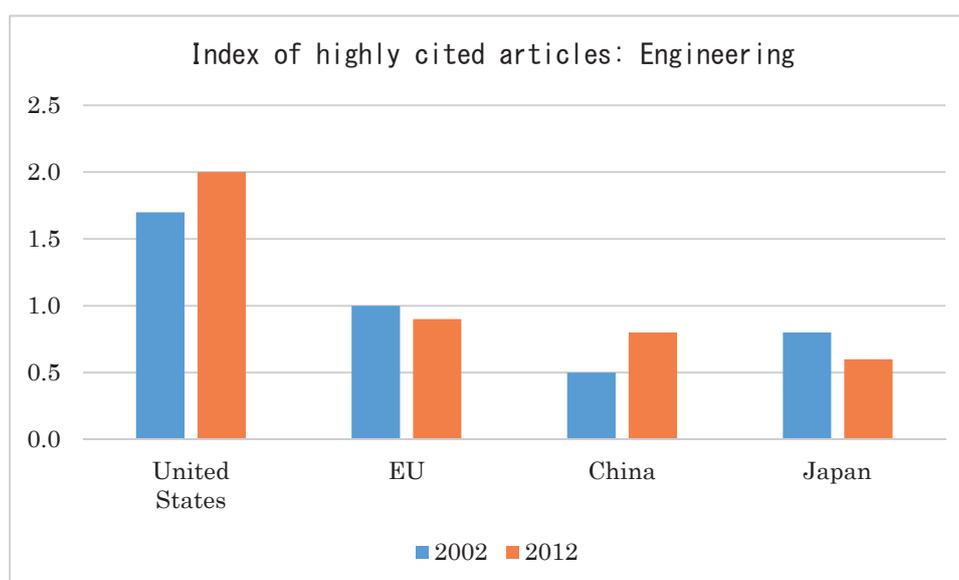
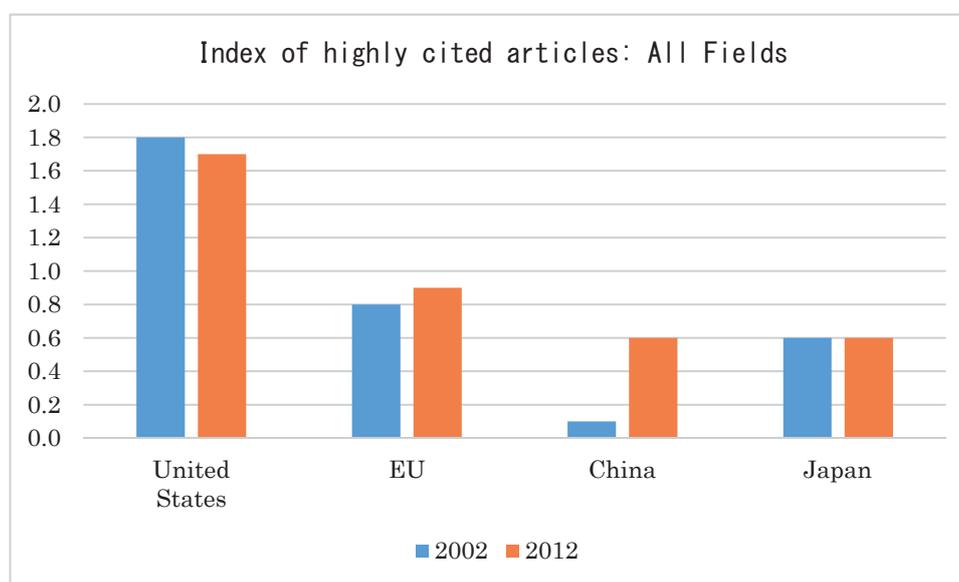
SOURCES: National Science Foundation, National Center for Science and Engineering Statistics, and The Patent Board,™ special tabulations (2013) from Thomson Reuters, SCI and SSCI, [http://thomsonreuters.com/products\\_services/science/](http://thomsonreuters.com/products_services/science/). See appendix table 5-26.

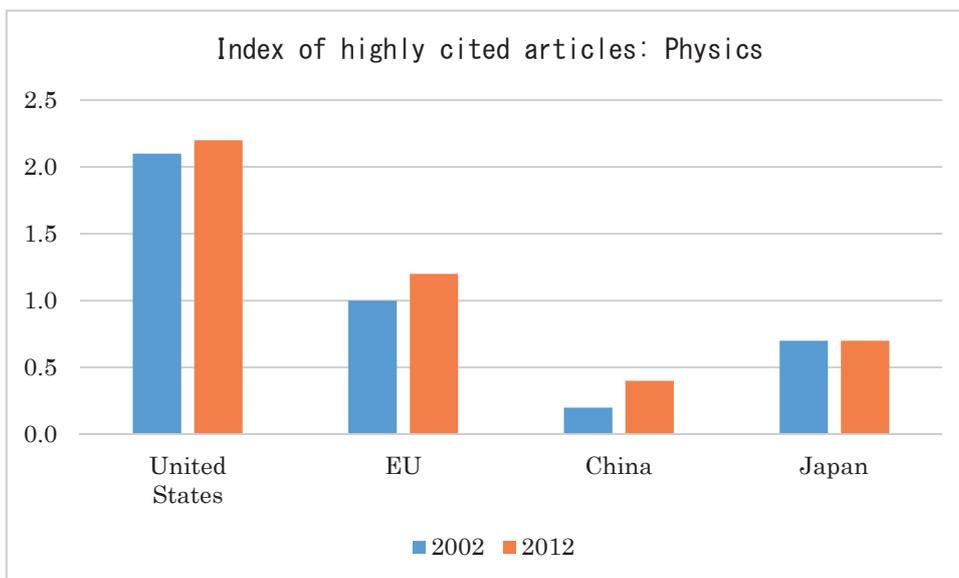
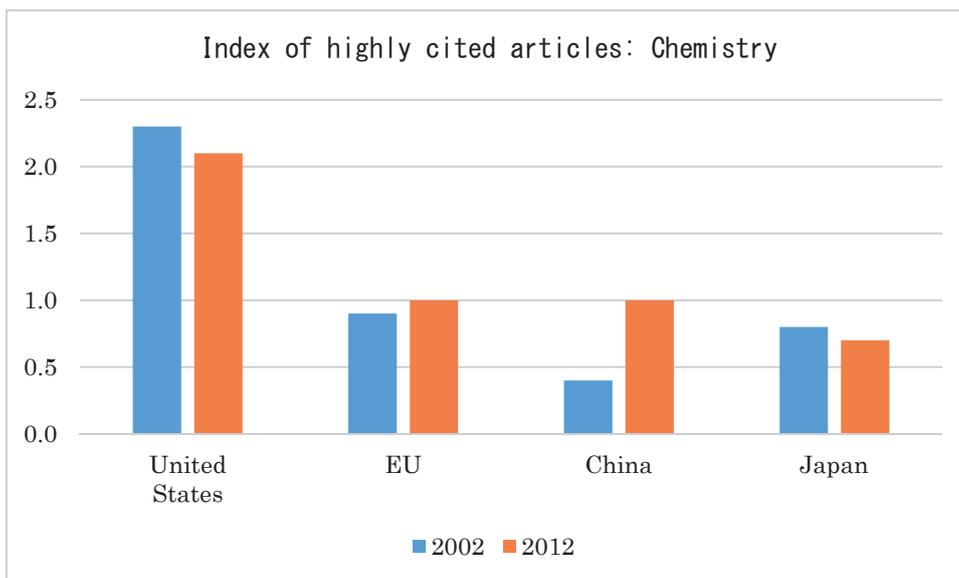
Science and Engineering Indicators 2014

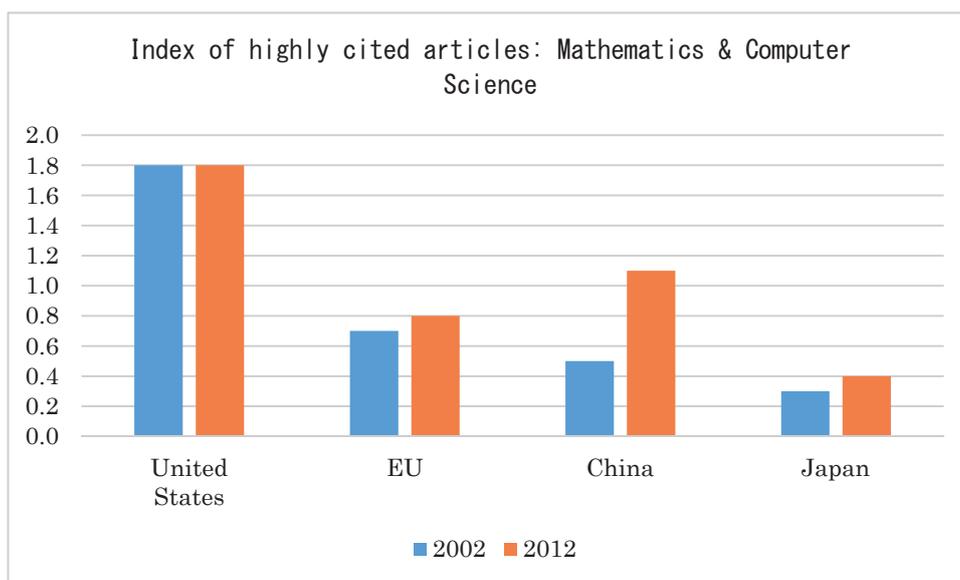
### 1.3. 各研究分野の高引用論文指標の変化

NSF では、トムソン・ロイター社のデータを基にして、世界引用数トップ1% 論文をその期間 [cited year window] の国別シェアで割ったものによる国別の論文シェア「高被引用論文指標 (The index of highly cited articles)」による調査を行っている。(http://www.nsf.gov/statistics/seind14/index.cfm/chapter-5/c5s4.htm を参照)。ただし、この高引用論文指標の算出は「国補正」とよばれており、開発国に有利であるという批判があることには注意が必要である。

以下に、米国、欧州、中国、日本別の全分野、工学、化学、物理、数学および計算機科学における、高引用論文指標の2002年と2012年の変化を示す。



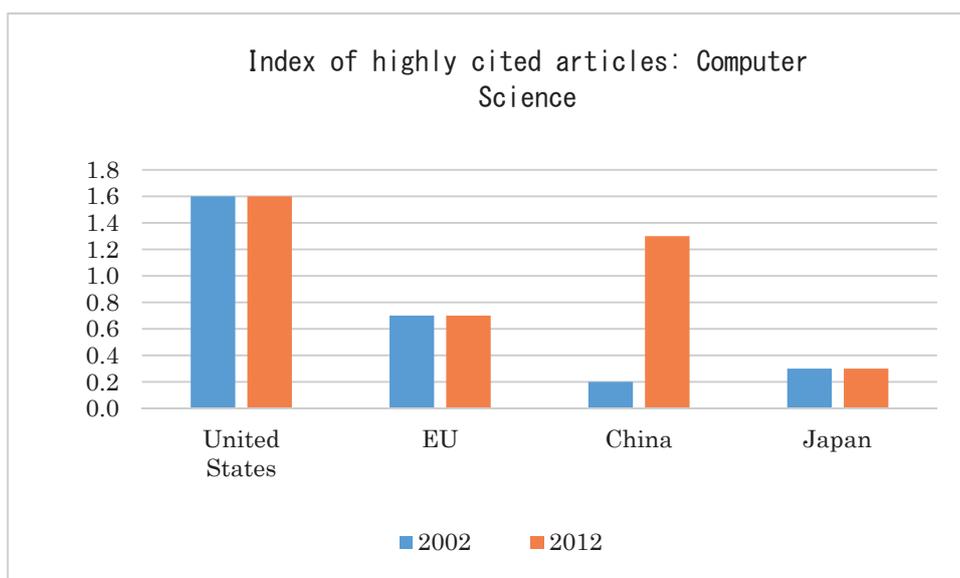


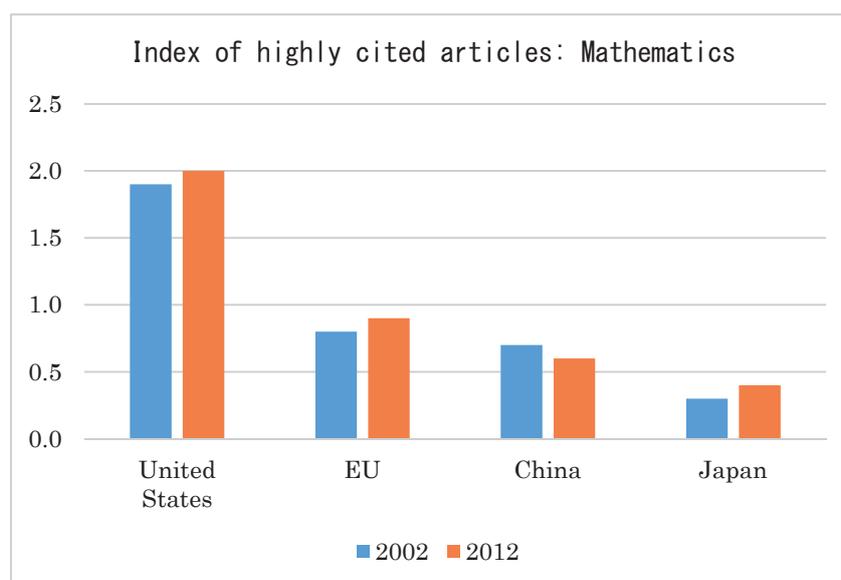


日本は、全分野および物理では横ばい、工学および化学では減少、数学および計算機科学では微増である。一方、中国の伸びは、分野全体では急激であり、数学および計算機科学と化学でも伸びている。物理も微増である。

#### 1.4. 数学と計算機科学について

この NSF の高引用論文指標の変化を数学と計算機科学についてさらに詳しく示す。





日本の計算機科学は、ほとんど変化が見られないが、数学は上昇している。一方、中国の計算機科学は大きな伸びがみられるが、数学はやや減少している。なお、科学技術・学術政策研究所 (NISTEP) の報告書では、わが国の計算機科学・数学分野のトップ1% 補正論文数の世界ランクは2001-2003年の8位から2011-2013年の20位へと大幅に下がっている。この NISTEP の報告と本データからの帰結との食い違いは、用いた指標の違い、およびシェアの割合の変化が国別ランクの変化に必ずしも直結しないことによると思量される。

## 2. MathSciNet によるキーワード検索での融合研究動向

### 2.1. 異分野のキーワードを含む論文数の年次変化

米国数学会 (American Mathematical Society) は、世界の数理科学 (数学および数学を応用した学問分野) の論文 (雑誌論文、書籍、会議録等) のレビューを1940年に創刊した定期刊行物「Mathematical Reviews (MR)」で提供している。MRには論文のレビューの他、定期刊行物「Current Mathematical Publications: CMP」から書誌、抄録が収録されるとともに数学主題分類であるMSC (Mathematical Subject Classification: MSC) が各論文情報に付与されている。「MathSciNet (<http://www.ams.org/mathscinet/>)」はMRをベースに、電子ジャーナル論文へのダイレクトリンク、参考文献リストの追加、引用情報の追加などのオンライン・データベースであり、インターネットを通じてサービスされている。

この項では2000年から2014年までに MathSciNet にとりあげられた、いくつかの異

分野キーワードを持つ論文の数の推移をグラフにまとめたものを示す。

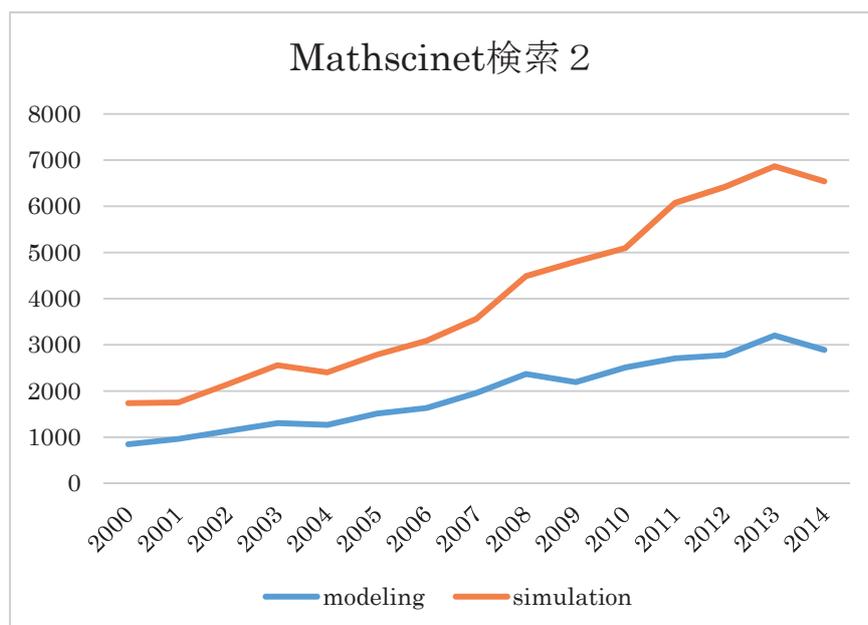
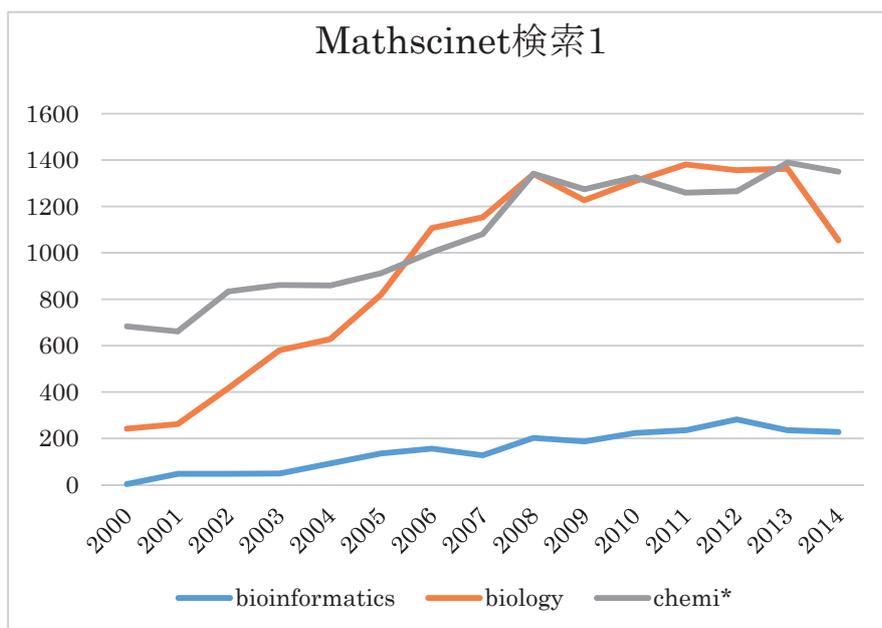
それぞれ、以下のキーワードで検索した。

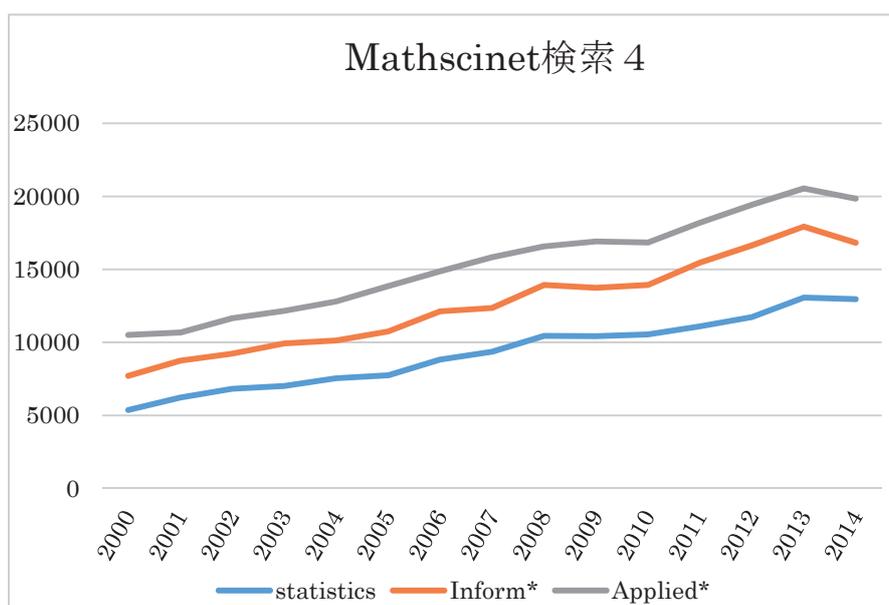
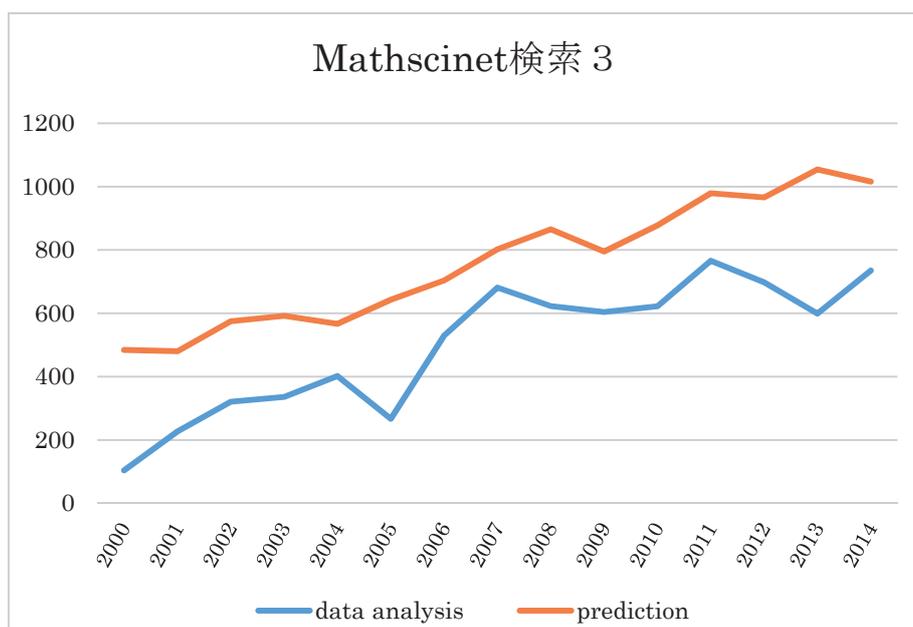
検索1 bioinformatics、biology、chemi-

検索2 modeling、simulation

検索3 data analysis、prediction

検索4 statistics、Inform-、Applied-

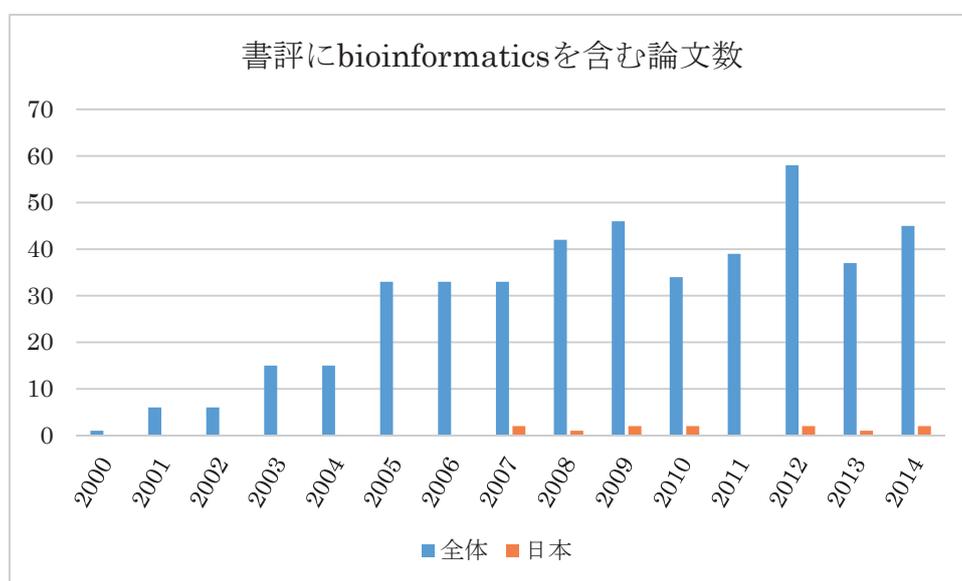
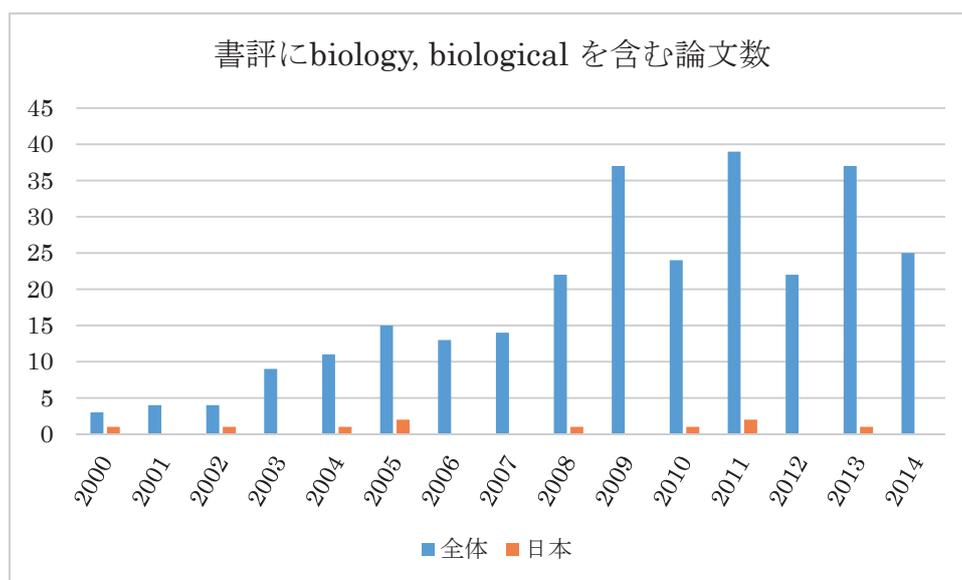




bioinformatics、biology、chemi-、modeling、simulation、data analysis、prediction、statistics、Inform-、Applied- の10種類について調べているが、いずれも単調に増加している。これは、世界的に見て、異分野との融合が年々進んできている傾向が、数学分野の論文にも現れていると考えられる。

## 2.2. 書評に現れるキーワードによる論文数の年次変化

MathSciNet には国別の分類を行う機能はないため、MathSciNet 上の検索結果からわが国における動向を直接把握することは困難である。そこで、書評に他の分野との関連を示すものとして、biology または biological、および bioinformatics のキーワードを含む論文を検索し、その著者が日本人である（共著を含む）論文数の年次変化を調べた。



このほかにも、material science などのキーワードを含む論文数を調べても、日本人が著者として加わっている論文数はごくわずかであり、日本人の研究者が数学分野の雑誌に融合分野の研究報告をすることは少ないという傾向が見てとれる。ただし、

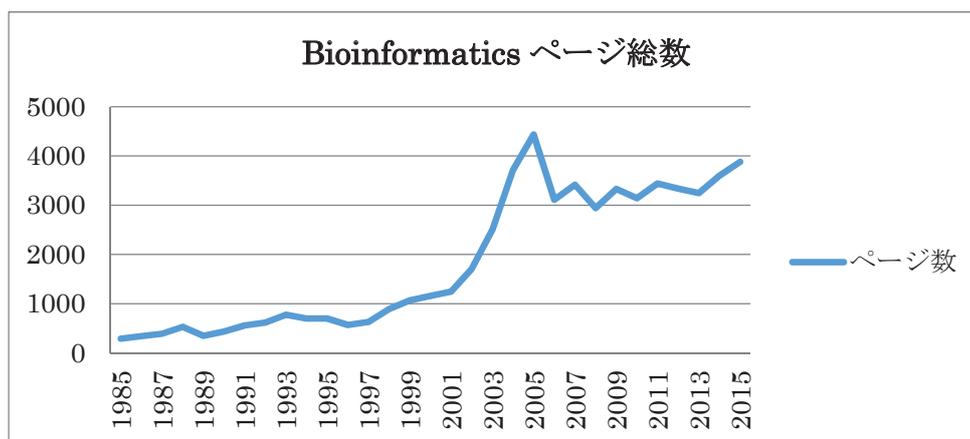
MathSciNet のデータベースには採録されていない雑誌が少なくない点については検討が必要であろう。

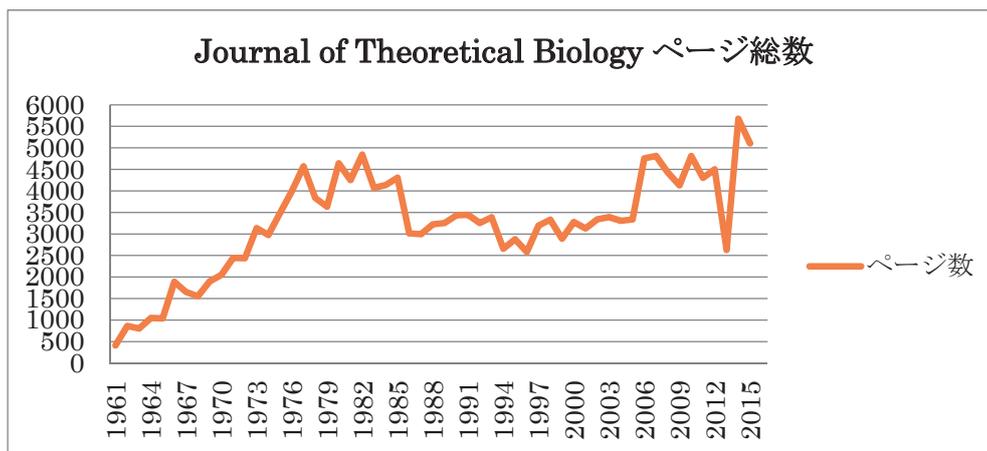
(MathSciNet の採録雑誌一覧は、以下を参照。[http://www.ams.org/mathscinet/help/msnlinking\\_by\\_journal.html](http://www.ams.org/mathscinet/help/msnlinking_by_journal.html) )

### 3. 融合研究学術雑誌を使った数学・数理科学融合研究の動向

#### 3.1. 雑誌 Journal of Theoretical Biology および Bioinformatics におけるページ数の年次変化

Journal of Theoretical Biology は1961年に Elsevier から創刊された生物学的な過程全般を理論的に取り扱う論文を掲載する雑誌である。一方、Bioinformatics は1985年に Oxford University Press から創刊された遺伝子生物学、生命情報科学、計算機生物学を対象とした雑誌である。この二つの雑誌の総ページ数の年次変化をグラフにしたものが次の表である。





Bioinformatics では、初年度には200ページ未満だったのが2015年には3600ページほどになっており、年度ごとに増加している。2003-4年に急にページ数が増えたのはヒトゲノム解析が完了したからである。一方、Journal of Theoretical Biology は1980年前後にピークがあり、その後やや停滞し最近また増加の傾向になる。いったん停滞したのは、他の数理生物系の雑誌が刊行されてきたためと考えられる。この結果から、生物学分野では数学との融合研究が年々増加していると考えられる。

### 3.2. Nature 誌の学際研究特集号

Nature 525 (17 September 2015) は学際研究 (interdisciplinary research) の特集号であり、世界的にも学際的研究の重要性について関心が集まっており、学際的な研究を呪わしいものではなく、喜ばしいものにするために、行政府や研究費提供組織、学術雑誌、大学、研究機関、研究者はそれぞれ何をすべきかを検討している。この特集における論文では、数値的に、学際的研究の重要度や分野による学際的研究の割合などを論じている。特に、論文: Interdisciplinary research by the numbers (数字で見る学際研究) An analysis reveals the extent and impact of research that bridges disciplines、Richard Van Noorden 著、Nature 525、306-307 (17 September 2015) doi:10.1038/525306a では、学際研究について数値的なデータをあげ、学際研究の動向を示している。以下では、この論文のデータに基づき、近年の学際的研究の動向などを報告する。なお、この号では、How to solve the world's biggest problems、Heidi Ledford 著、p.308-311 (学際的研究チーム構成の難しさや利点やについて)、また、editorials として、Too close for comfort? p.289 (産業界と研究者との関係をどう捉えるかは難しいが、大学や研究機関は「利益相反」を精査するためにまだまだ取り組むべきことがある。)、Mind meld p.289 (学際的な科学研究を成功させるには、時間はかかるが、分野間の隔たりをなくして共通の地盤を作っていく必要がある。) ことなどが論じられている。

### (1) 同種分野および異分野間の論文引用の推移

1950年から2010年までの、web of science に掲載された約35万編の論文を対象に、14の主な学問分野（たとえば、物理学、生物学など）と143の専門分野について、お互いの中でどのように論文が引用されているかを調べたところ、自然科学および工学では、同じ専門分野間での論文引用は1980年代半ばまでほぼ横ばいだが、その後減少傾向にある。また、異なる専門分野間の論文引用は1960年代半ばまでは増加し、その後横ばい、あるいはやや減少傾向にある。一方、異なる学問分野間では、1960年まで減少したもののその後横ばいとなり、1980年ごろからだんだん増加している。人文・社会科学分野も似たような傾向を示している。1980年代以降を見ると、同じ専門分野内での論文引用は年を追うごとに減少し、異なる専門分野間ではほぼ横ばいであり、異なる学問分野間では増加している。

### (2) 学際的 (interdisciplinary) という言葉の使われ方

学際的研究についての講演は年々増加傾向にある。「interdisciplinary」という言葉がタイトルについた論文の数は、人文・社会科学分野では、揺らぎながらも年々増加している。また自然科学および工学分野でも、年を追うごとに増加している。特に21世紀にはいつてから、その増加は顕著である。

### (3) 学際的研究が認められるには時間がかかる

出版後3年間および13年間における論文の引用数を、二つの学際性の指標を用いて、学際性の大きさによって、どのように変わるかを調べたもの。一つの指標は、引用される分野の広さであり、もうひとつ引用される分野の知的な距離 (intellectual distance) である。どちらの指標についても、3年後では、学際性が高いほど、引用は少ないが、13年後では、学際性が高いほど引用が多くなっている。特に知的な距離で見た場合、その傾向が著しいことがわかる。

### (4) 2014年の分野別学際研究指標

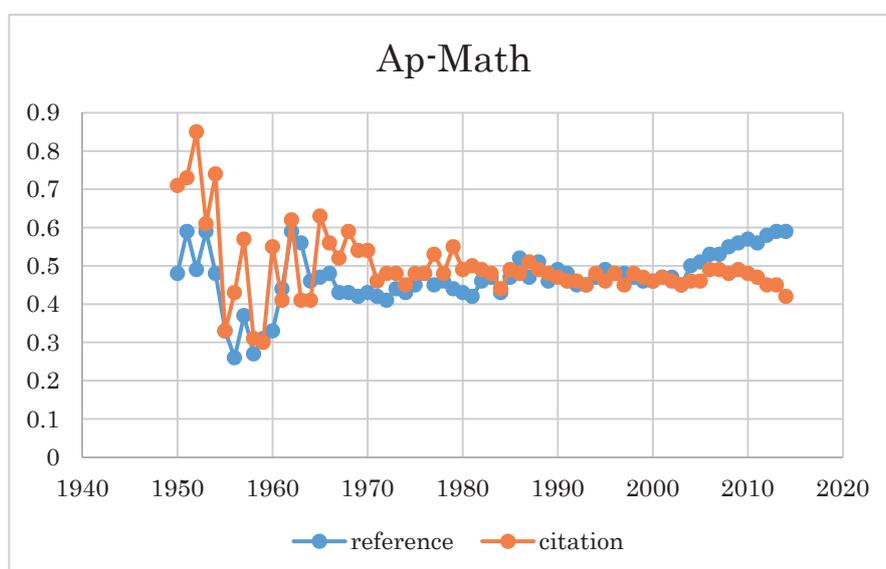
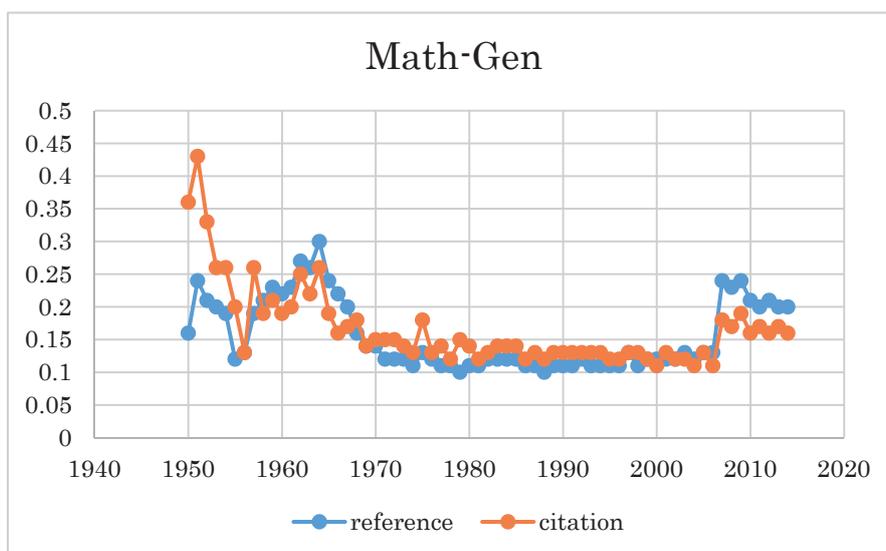
次の表は、分野別に見た学際性の高さを示している。各分野の論文において、reference（他分野の論文を引用した割合）、citation（他分野の論文に引用された割合）を示す。%が高いほど、より学際的と考えられる。生物学関連分野は一般に学際性が高く、素粒子・原子核理論および手術分野は学際性は高くはない。

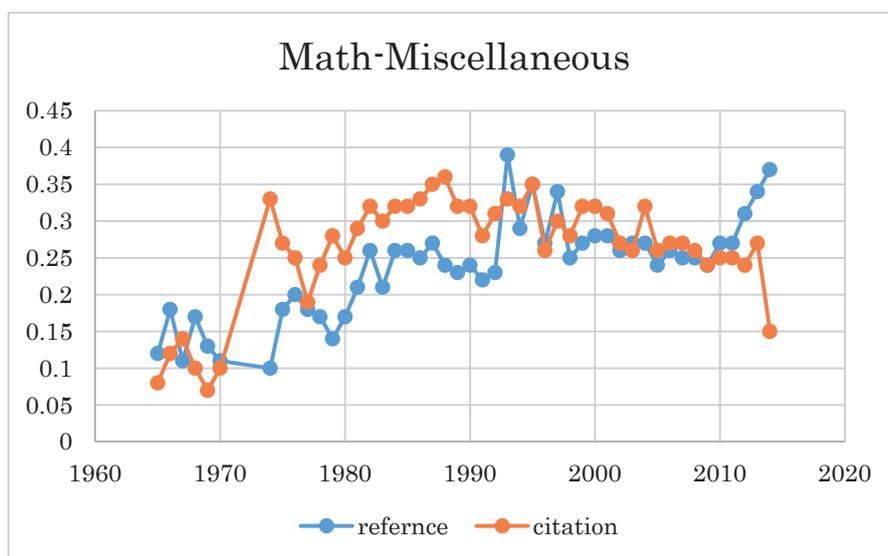
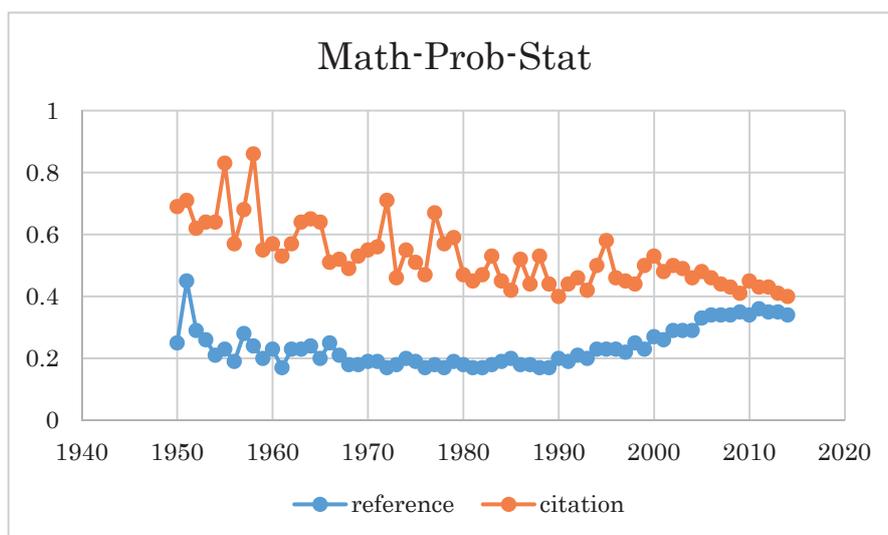
|           |                     |                       |                             |                   |                        |                           |                          |                            |                                  |
|-----------|---------------------|-----------------------|-----------------------------|-------------------|------------------------|---------------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------------|
|           | General Biology     | Miscellaneous Biology | General Biomedical research | Science studies   | Biomedical Engineering | Physiology                | Applied Chemistry        | Environmental Science      | Chemical physics                 |
| reference | 74%                 | 69%                   | 61%                         | 70%               | 55%                    | 53%                       | 68%                      | 54%                        | 54%                              |
| citation  | 71%                 | 68%                   | 59%                         | 51%               | 60%                    | 50%                       | 45%                      | 41%                        | 52%                              |
|           | Biophysics          | Applied Mathematics   | Agriculture & Food science  | Pharmacy          | Applied Physics        | Economics                 | Probability & Statistics | Applied Physics            | Biochemistry & molecular biology |
| reference | 46%                 | 59%                   | 43%                         | 44%               | 41%                    | 33%                       | 34%                      | 41%                        | 39%                              |
| citation  | 52%                 | 42%                   | 40%                         | 49%               | 31%                    | 35%                       | 40%                      | 38%                        | 43%                              |
|           | Solid State Physics | Optics                | General Zoology             | General Chemistry | General Physics        | Miscellaneous Mathematics | General Mathematics      | Nuclear & Particle Physics | Surgery                          |
| reference | 34%                 | 37%                   | 48%                         | 40%               | 28%                    | 37%                       | 20%                      | 10%                        | 9%                               |
| citation  | 35%                 | 27%                   | 29%                         | 25%               | 21%                    | 15%                       | 16%                      | 11%                        | 11%                              |

数学は4分野に分けられ、表では文字を黄色く表した箇所に示されている。応用数学 (Applied Mathematics) や確率・統計分野 (Probability & Statistics) はある程度学際性が高いが、純粋数学 (General Mathematics) は低い。

### 3.3. 数学分野の学際性の年次変化

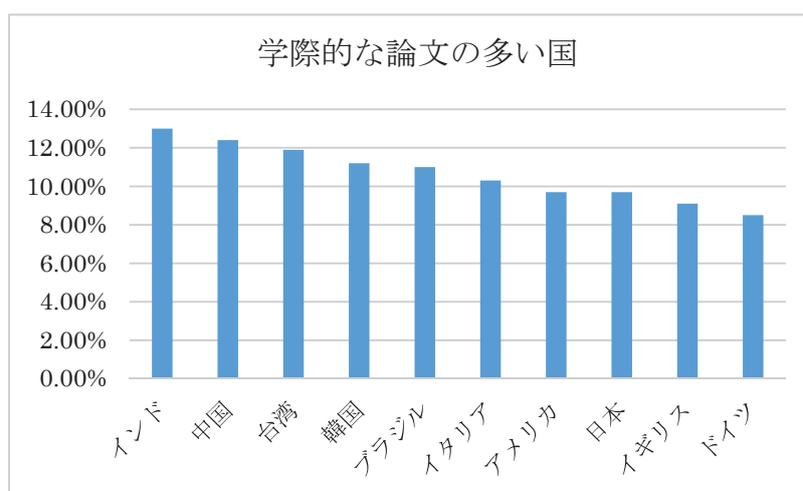
一般数学 (Math-Gen)、応用数学 (Ap-Math)、確率・統計 (Math-Prob-Stat)、それ以外の数学関連分野 (Math-Miscellaneous) の学際性の年次変化を、reference と citation を指標に表したものが次の4つの図である。





### 3.4. 国別に見た学際的論文の割合

国別に学際的な論文の割合を見ると、次のようなグラフが得られる。インドや中国など新興国では学際性の高い論文が多いことがわかる。

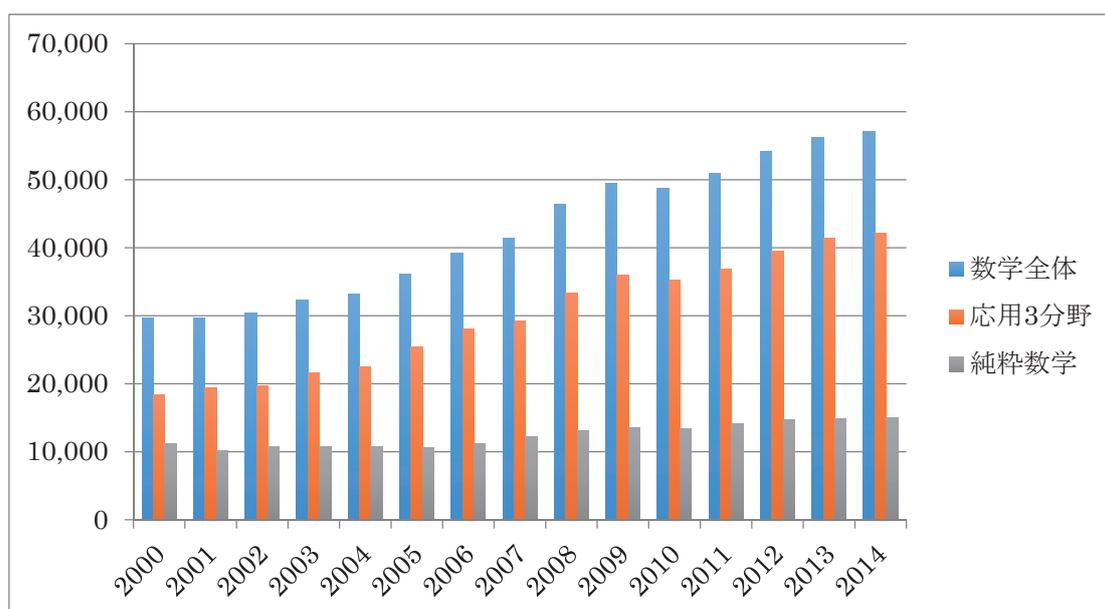


## 4. 数学・数理科学と他分野との融合研究動向

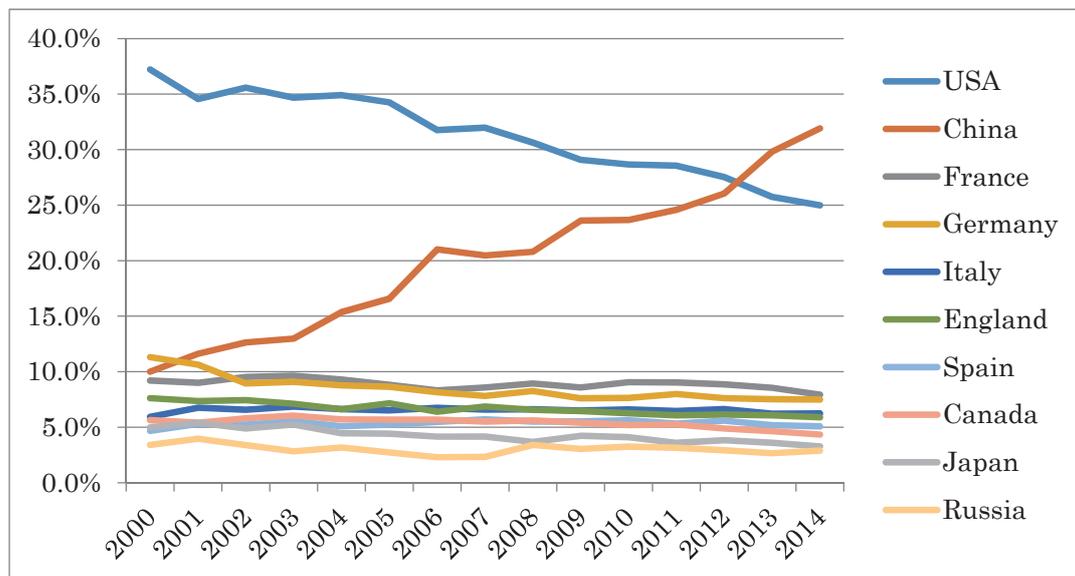
### 4.1. 学術文献データベースによる分野別論文数の年次変化

現在、様々な企業、団体がオンライン学術文献データベースを提供している。これらのデータベースを利用して、国内外の膨大な論文、雑誌等の学術情報を検索し、先行研究を調べることが容易となった。主要な学術文献データベースの一つにトムソン・ロイター社が提供する Web of Science (WoS) がある。以下に、2000年から2014年の、WoS 数学分野全体の論文数、上位10カ国の応用数学分野の論文数、応用数学分野のシェアの推移を示す。

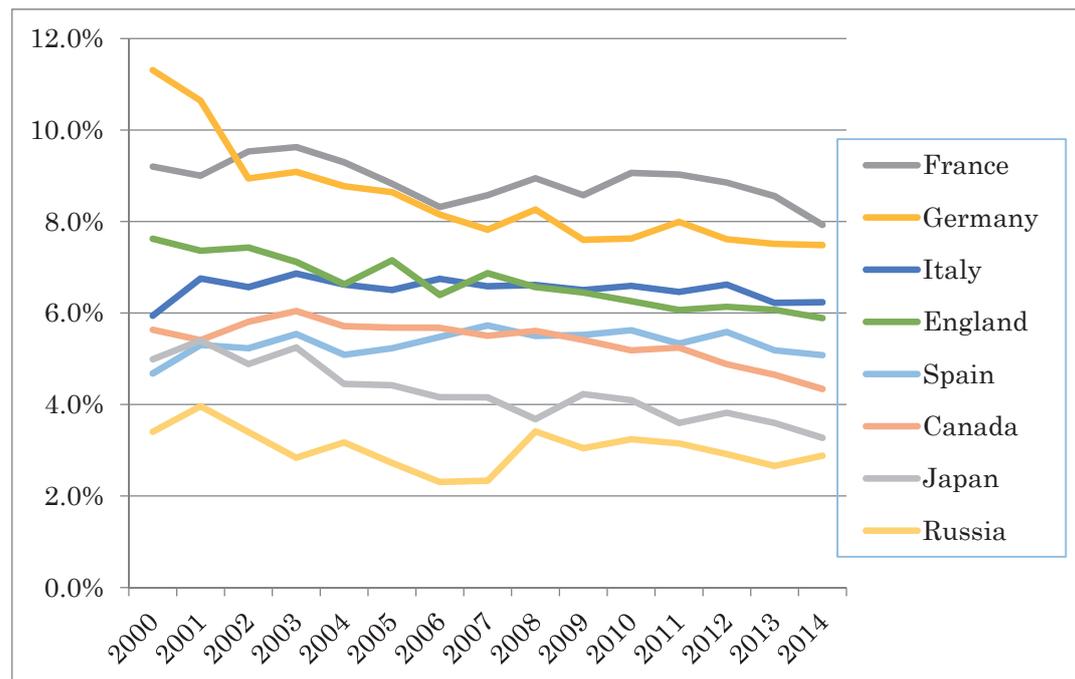
#### 世界の数学論文数の推移



### 上位10カ国の応用数学論文数推移



### 上位3～10位の国の応用数学論文シェア推移



それぞれ以下の条件で検索した。

数学全体 = 主要22分野で mathematics に分類されているもの

応用3分野 = 上記のうち Mathematics, Applied OR Mathematics, Interdisciplinary Applications OR Statistics & Probability に分類されているもの

純粋数学 = mathematics のうち応用3分野を除外したもの

今回の検索結果では、応用数学の論文数は中国が急増しており、日本は2014年の時

点では応用論文のシェアはカナダについて9位となっている。

## 4.2. 学術文献データベースによる国別融合研究の動向調査

### (1) 共著論文リストの集計による研究者の学術分野

数学・数理科学の学術的成果は、他分野論文からの引用(インパクト)という形では捉えにくい。一方、数学・数理科学の研究者と他分野の研究者との学際的研究活動の成果は論文の共著として現れてくるはずである。そこで学術論文の共著に注目し、国際比較、年次変化を調べた。

### (2) 書誌データにおける共著リストを用いた研究者の専門領域の特定

1-1 WoSの著者において、組織  $O_i$  に所属する者(著者  $A_{ij}$ )を特定する

2-1 著者  $A_{ij}$  が関連する(単著、共著)の論文  $P_{ijk}$  を特定する。

2-2 論文  $P_{ijk}$  のカテゴリ(小分類  $WID_{ijk}$ )から大分類  $EID_{ijk}$  を特定する

3-1 論文  $P_{ijk}$  を大分類  $EID_{ijk}$  にて分類して集計する。

3-2 最も多い大分類が、その著者の専門分野  $MMIC_{ij}$  となる。これが Category 情報である。

3-3 Category ( $MMIC_{ij}$ ) の論文数とその他の論文数の比を求める ( $MMIR_{ij}$ )。これが Ratio 情報である。

3-4 結果をまとめると

Category ( $MMIC_{ij}$ ) : 著者の専門分野

Ratio ( $MMIR_{ij}$ ) : 著者の専門分野への集中度

組織  $O_i$  の所属研究者の場合

所属研究者の専門分野の分布 :  $\sum MMIC_{ij}$

所属研究者の専門分野への集中度の分布 :  $\sum MMIR_{ij}$

所属研究者の専門分野  $m$  への集中度 :  $(\sum MMIR_{ij} (MMIC_{ij}=m)) / (\sum MMIC_{ij} (MMIC_{ij}=m))$

なお、以下では、研究者の専門分野へ集中度の比率集積の逆を異分野融合度とした。

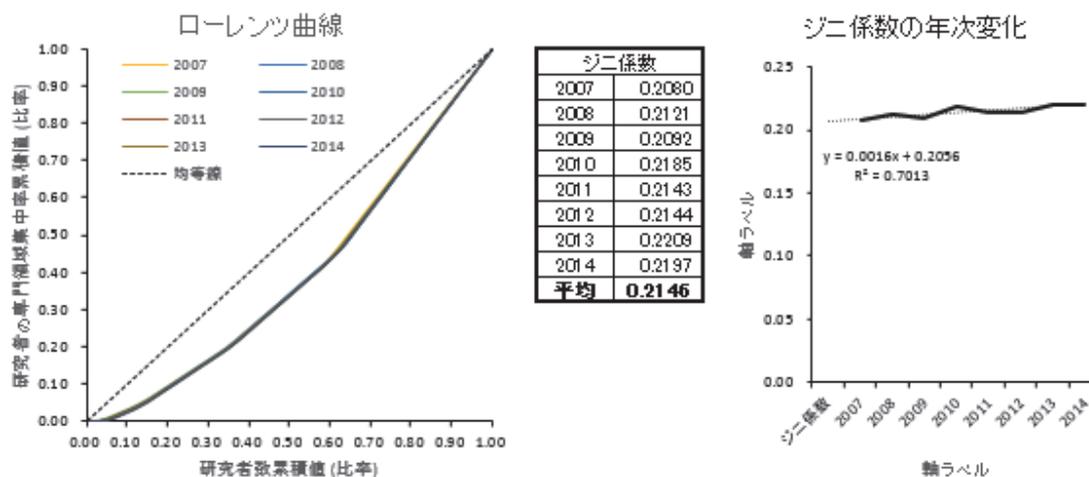
### (3) ジニ係数による地域別融合研究の年次変化

各研究者の異分野融合度を主要15ヶ国の国別にて、その時系列変化を分析した。以下に分析手順と結果の詳細を示す。

分析手順: 分析は2段階で行った。まず、各研究者の異分野融合度の年次変化を国別分布にローレンツ曲線で示した。次に、その特徴をジニ係数を用いて定量化して比較検討を行った。下図は、JapanのMATHEMATICS分野における研究者の異分野融合度を

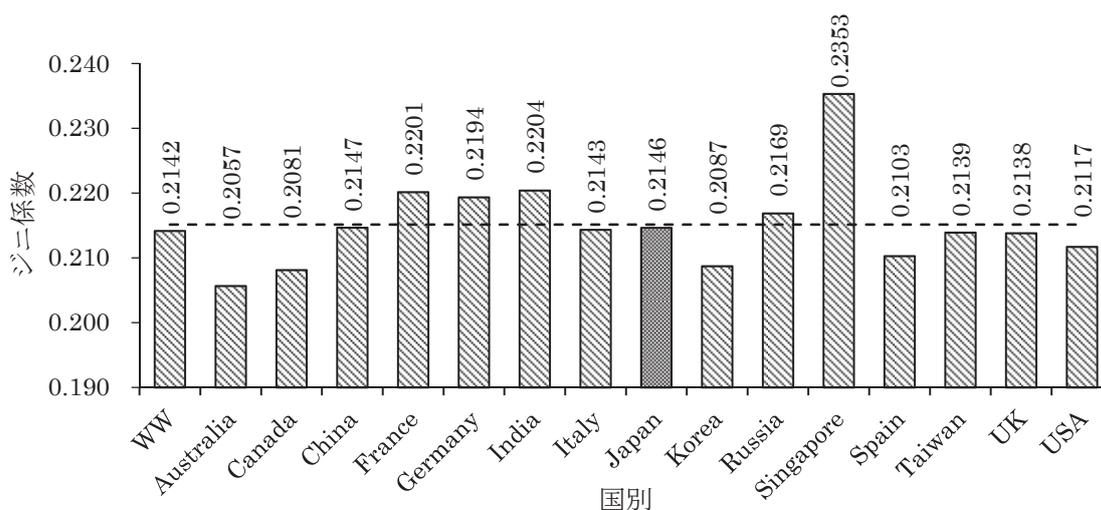
示したものである。左図は、異分野融合度の分布をローレンツ曲線にて示したものである。そして、右図と表は、その結果をジニ係数で示したものである。2007年から2014年におけるジニ係数の平均は0.2146であった。そして、その年次変化を回帰分析すると、傾きが0.0016で切片が0.2056であり、決定係数R2は0.7013と高い相関があることを示している。

### Japan の異分野融合度とその年次変化 MATHEMATICS (2007-2014)



分析結果① - 異分野融合度の順位: 下図に主要15か国の MATHEMATICS 分野における異分野融合度を示す。なお、この値は2007年から2014年までの平均値である。Japan はジニ係数が0.2146であった。

### 異分野融合度の国別比較 MATHEMATICS (2007-2014の平均)



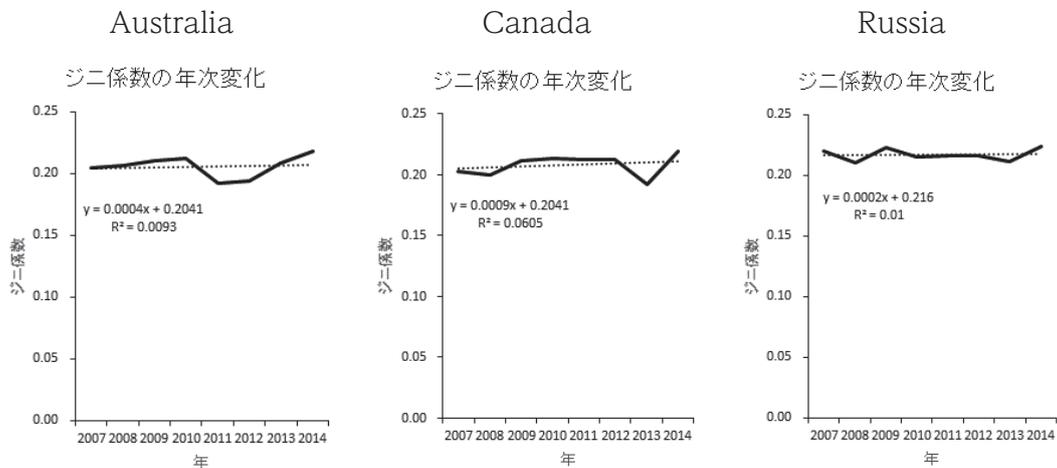
**分析結果② - 異分野融合度の伸び率：**下記の表に主要15か国の MATHEMATICS 分野における異分野融合度の伸び率を示す。なお、この分析では、2007年から2014年までの平均値を用いる。Japanはジニ係数の伸び率(傾き)が0.0016であった。特筆すべき点として、Singaporeの伸び率(傾き)が-0.0110で減少傾向を示している点が挙げられる。

異分野融合度の年次変化 - 国別比較 MATHEMATICS (2007-2014)

| 国別        | 地域 |    |      | OLS#1              | 国別        | 地域 |    |      | OLS#1               |
|-----------|----|----|------|--------------------|-----------|----|----|------|---------------------|
|           | EU | NA | Asia |                    |           | EU | NA | Asia |                     |
| Australia | 0  | 0  | 1    |                    | Korea     | 0  | 0  | 1    | 0.0017**<br>0.2009  |
| Canada    | 0  | 1  | 0    |                    | Russia    | 0  | 0  | 1    |                     |
| China     | 0  | 0  | 1    | 0.0020**<br>0.2057 | Singapore | 0  | 0  | 1    | -0.0110**<br>0.2848 |
| France    | 1  | 0  | 0    | 0.0021**<br>0.2107 | Spain     | 1  | 0  | 0    | 0.0006*<br>0.2077   |
| Germany   | 1  | 0  | 0    | 0.0009**<br>0.2153 | Taiwan    | 0  | 0  | 1    | 0.0020**<br>0.2047  |
| India     | 0  | 0  | 1    | 0.0033**<br>0.2057 | UK        | 1  | 0  | 0    | 0.0019**<br>0.2052  |
| Italy     | 1  | 0  | 0    | 0.0016**<br>0.2073 | USA       | 0  | 1  | 0    | 0.0018**<br>0.2036  |
| Japan     | 0  | 0  | 1    | 0.0016**<br>0.2056 | WW        | 0  | 0  | 0    | 0.0012**<br>0.2087  |

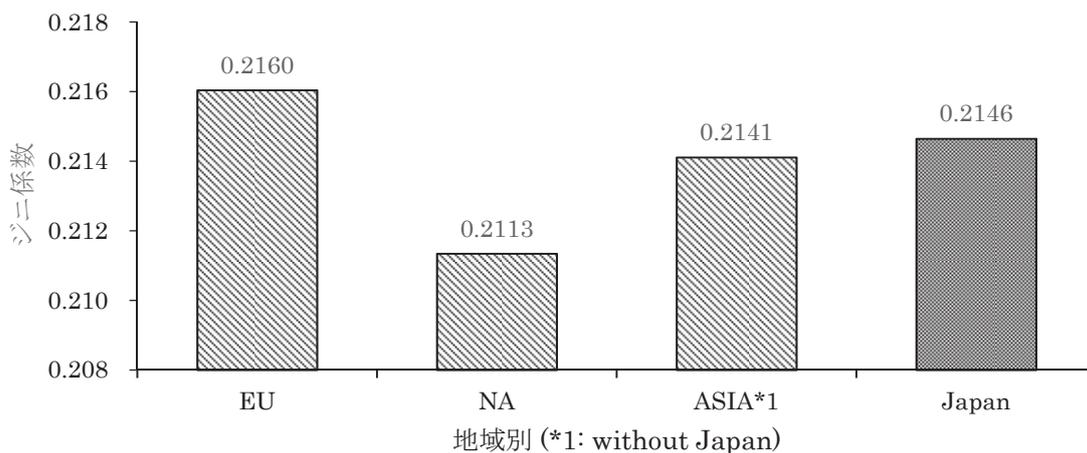
#1: 上側：傾き、下側：切片、\*\*  $R^2 \geq 0.25$  ( $|R| \geq 0.5$ )、\*  $R^2 \geq 0.09$  ( $|R| \geq 0.3$ )

上記の表では、Australia、Canada、Russiaにおいて、OLS (Ordinary Least Squares: 最小二乗法) の決定係数が有意な結果が得られなかった。下図は、これら3国のジニ係数の年次変化を示したものである。



次に、分析で用いた15ヶ国をEU、NA、Asia、そしてJapanに分類して地域ごとの特徴をみた。下図は、MATHEMATICS分野における異分野融合度の地域別比較のグラフである。EUが最も高く0.2160、次いでAsiaの0.2141、そして、NAの0.2113である。Japanは、Asiaの値に近いことが示されている。

異分野融合度の地域別比較 MATHEMATICS (2007-2014の平均)



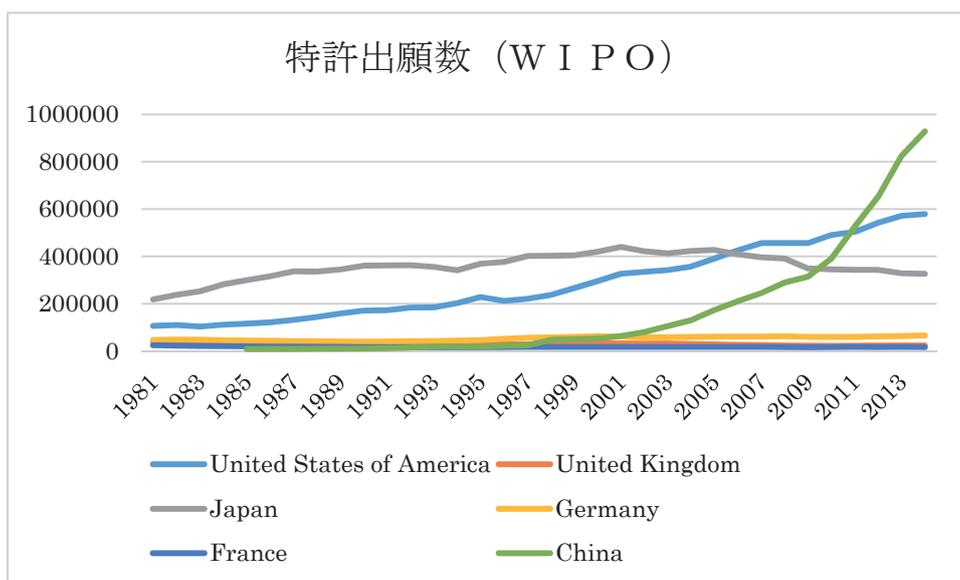
## 5. 数学関連特許の動向

本節では、科学技術の産業への応用を、特許出願の視点から概観する。

### 5.1. WIPO および JPlatPat のデータベースを用いたキーワード検索

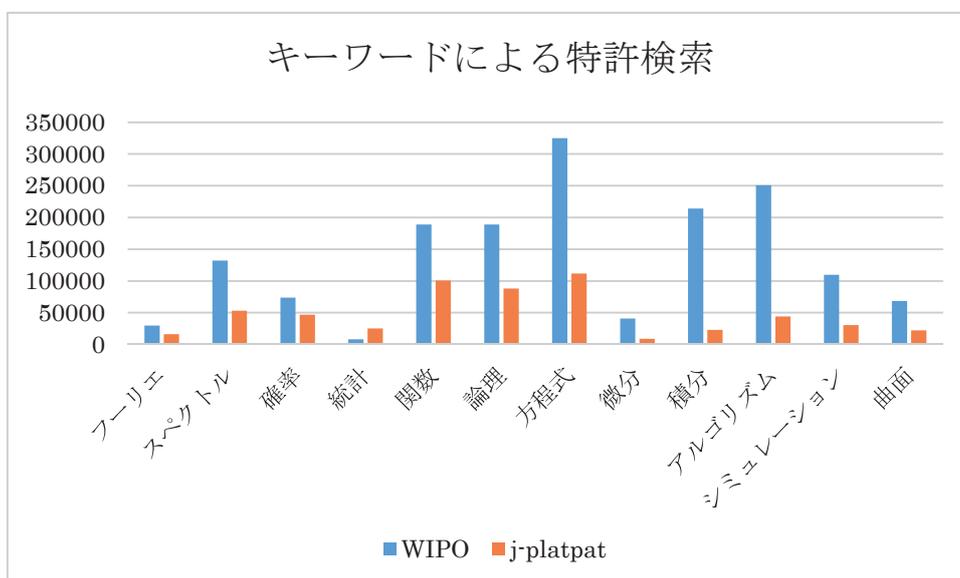
#### (1) 国別の特許数の年次変化

次のグラフは世界知的所有権機関 (World Intellectual Property Organization、WIPO) のデータベースによる6カ国 (米、英、中、仏、独、日) の特許出願数の年次変化を示している。もっとも急激な伸びを示しているのが中国であり、アメリカも順調に増加している。これに対して日本の出願数は2000年ごろに頭打ちになり、最近では減少傾向にある。



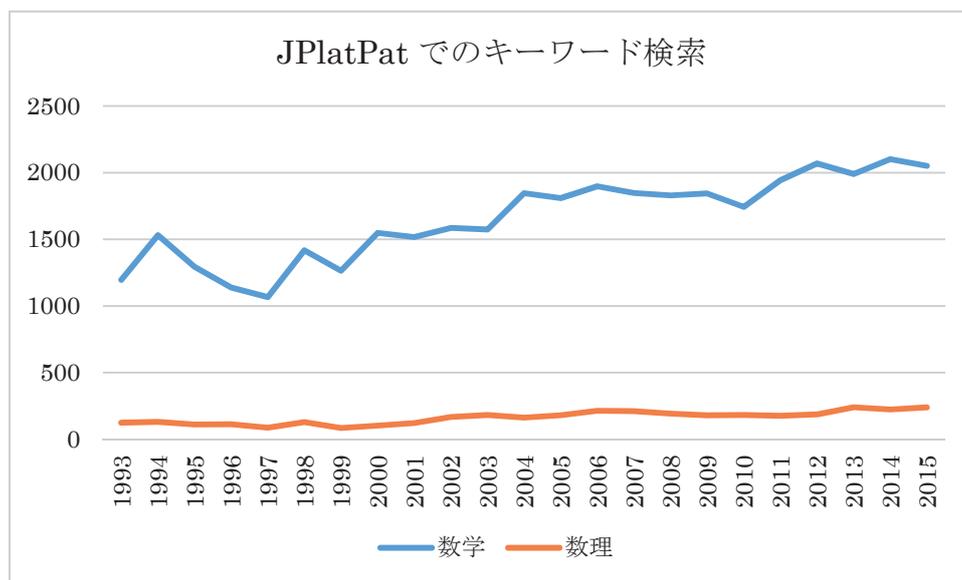
## (2) キーワード別出願数

WIPO および特許情報プラットフォーム (Japan Platform for Patent Information、JPlatPat) を用いた簡易検索により、数学関係のキーワードを含む特許・実用新案中の数を調べたものが次のグラフである。



## 5.2. キーワードを含む特許の年次変化

JPlatPat を用い、特許・実用新案の公開特許公報に含まれる数学および数理をキーワードとするものの数の年次変化を示したものが次のグラフである。どちらのキーワードを含むものも振動しつつも年々増加する傾向にあることがわかる。



今回、学術雑誌の学際研究特集号の調査結果などから、これまでも数学・数理科学と融合研究が進んでいると思われていた生物学・物理学だけでなく、人文・社会学との融合研究も増加傾向であることがわかった。

これは応用数学と人文・社会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。

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研究成果のインパクト（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・数理科学の研究成果に対する評価、波及効果は短期的には現れにくいことも他分野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。



## **第5章 数学・数理科学融合研究のための 数学人材の育成**



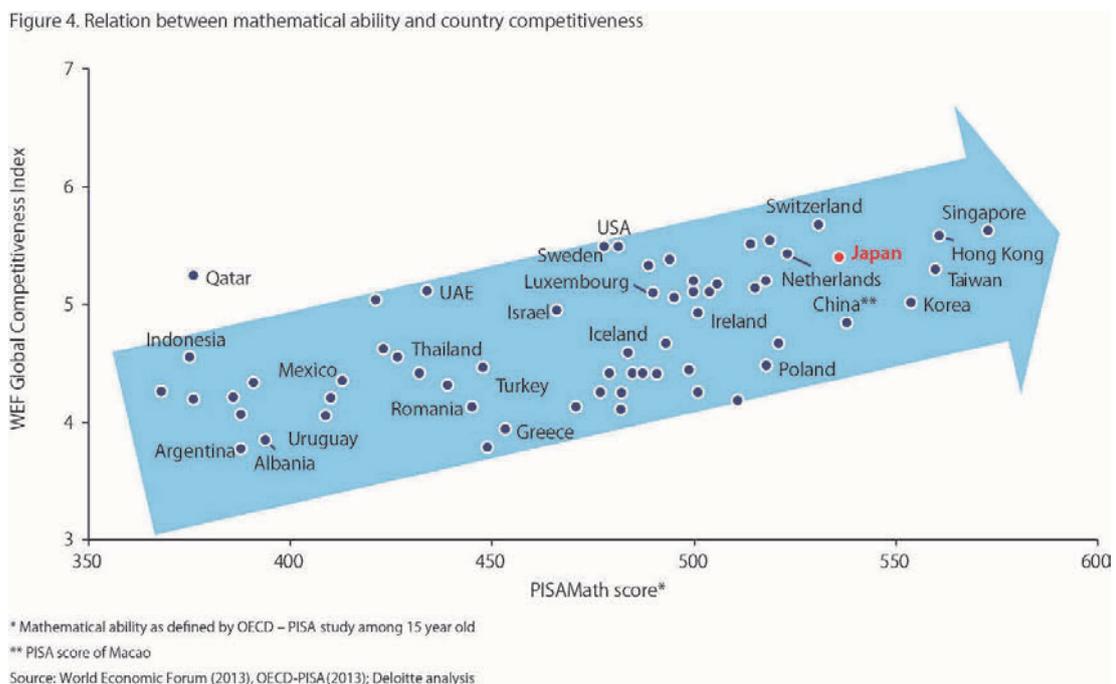
## 第5章 数学・数理科学融合研究のための数学人材の育成

### 1. 理系人材の育成

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。本章では、(1) 若年層への数学教育、(2) 数学・数理科学および工学での大学学部教育、(3) 数学・数理科学系の大学院博士課程修了学生のキャリアパスについての調査結果である。

#### 1.1. 理系人材の現状

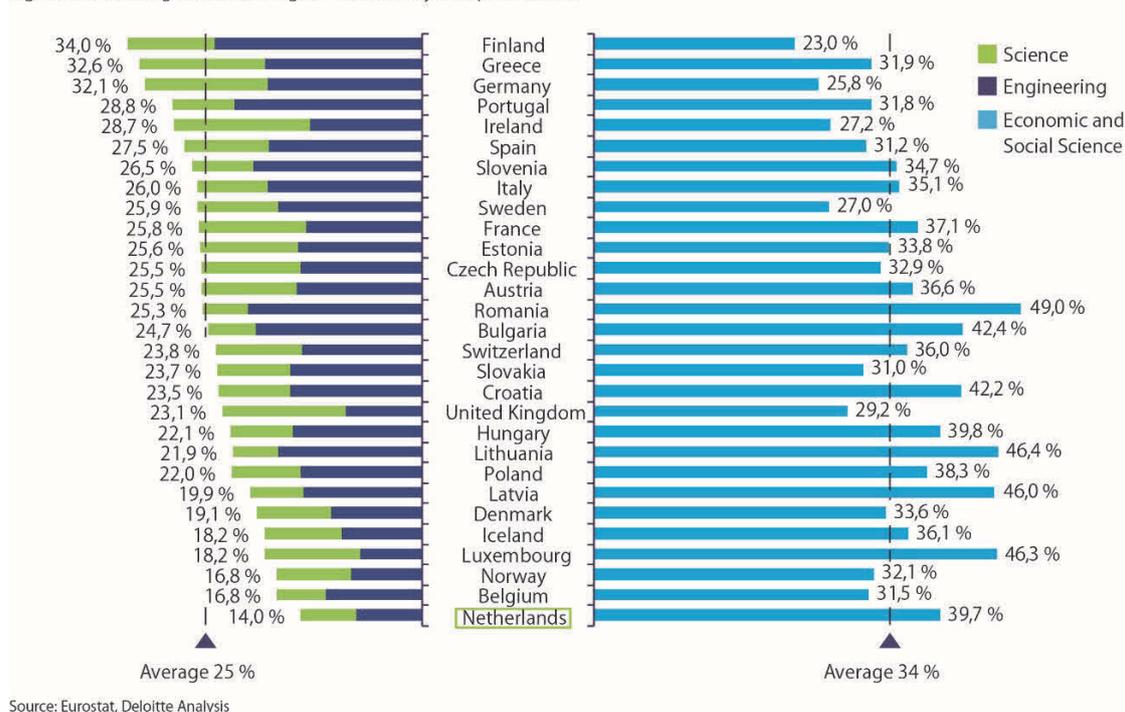
21世紀社会においては、社会経済の科学技術に対する依存度が一層高まることから、理系人材の育成が世界において強く求められている。オランダ Deloitte のレポート、「Mathematical sciences and their value for the Dutch economy」(<http://www.euro-math-soc.eu/system/files/uploads/DeloitteNL.pdf>) のなかで、2013年に行われた OECD の PISA Study による数学能力調査と World Economic Forum によって定義された Global Competitiveness Index の関係についての調査がある(図表(1))。それによると、一般的に、「競争力のある国家は数学能力が高い」ということが示されている。オランダは、World Economic Forum list では8番目にランクされており、高



図表1 数学能力と国家の競争力の関係

校生の数学能力評価でも8番目のランクである。この表を使うと、日本は World Economic Forum list の9-10位にランクされており、高校生の数学能力評価では5-6位あたりのランクである。日本の国家の競争力の強さを保持するためにも、日本の若年層の数学能力の維持が重要であると言える。

Figure 6. Share of graduates in higher education by discipline (2011)



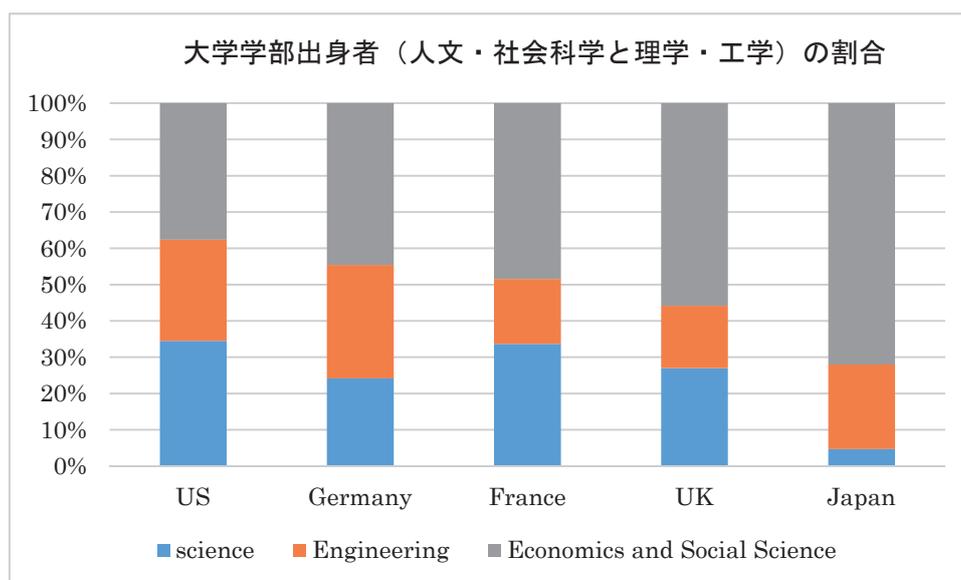
図表2 大学卒業専門別の割合

さらに、Deloitte のレポートでは、欧州での大学卒業生の専門別出身割合が調査されている (図表 (2) )。理工系出身者の割合は、ドイツは32%と文科系出身者の割合と比較して、かなり高い割合を示している。フランスや英国では、文科系出身者の比率は理工系出身者より高いが、フランスは25.8%、英国は23.1%で、それほど差はない。さらには、フランスや英国では、いわゆる理系出身者の割合はかなり高い。

## 1.2. 日本の現状

欧米と日本の理系人材の比較を試みる。欧州については、オランダのレポートを使用している。米国は NSF が提供している学部卒業生の割合 (2014) を利用している。日本については、科学技術振興機構が発表した平成21年の大学学部生のデータ (理学4%、工学17%、社会科学34%、人文科学15%) を用いる。米国が理学系の割合が多いのは、生命科学分野が強いことも要因のひとつである。我が国での大学卒業生をみると、圧倒的に文系卒業生が高い割合を占めている。工学系卒業生はほぼ海外水準、あるいはそれ以上といえる。一方、いわゆる「理学」の学生数が少ないために、「理系人材」が社会

全体で占める割合は高くない。上述の OECD の PISA Study による数学能力調査と World Economic Forum によって定義された Global Competitiveness Index の関係についての調査からは、「競争力のある国家は数学能力が高い」ということが示されており、日本の国際的な優位性を確保するためには、優れた資質が示されている若年層の数学能力を大学教育でも維持し、文系学部卒業者であっても、理論的な考察やビッグデータの解析といったような数理的基本的スキルを習得していることが求められる。



## 2. 高校生に対する数学への意識調査

### 2.1. スーパーサイエンスハイスクールでの数学意識調査

#### (1) 調査目的

前節で述べたように、国際的競争力を高めていくために、特に、科学技術の基本言語である数学の運用能力を持つ人材を育成し、供給量を高めることは、我が国における喫緊の課題である。そのためには、次代を担う若年層の数学学習意欲を高めることが重要であり、その具体的な方法を明らかにすべく、理系人材の育成に力を入れている高校生を対象とした質問紙調査を実施し、データ分析を行った。この分析は、東北大学知の創出センタープログラムコーディネータの塩谷芳也氏の協力で行った。

## (2) 方法

### (2.1) 調査対象者

2015年11月にスーパーサイエンスハイスクール指定高校(男子校)の全学年の生徒を対象に質問紙調査を実施した。印刷した質問紙を数学科主任教諭に送付し、授業時間中に配布していただくことによって生徒による自記式調査を実施した。有効回収数は377であった。

### (2.2) 調査内容

大学進学における第一志望の分野の他、(1)高校で実施される授業科目に対する好感度、(2)数学に対する興味関心の有無と数学に興味を持つようになったきっかけ、(3)数学の応用分野に対する関心、(4)大学進学において重視する基準、(5)職業選択において重視する基準について調査した。

## (3) 結果

### (3.1) 文系と理系の分布

まず、大学進学における文系志望者と理系志望者の分布を示す(図表1)。このデータでは、文系志望の生徒が約3割、理系志望の生徒が約7割となっていた。

図表1 進学志望の分布

|      | 度数  | %     |
|------|-----|-------|
| 文系志望 | 109 | 30.8  |
| 理系志望 | 245 | 69.2  |
| 計    | 354 | 100.0 |

### (3.2) 授業科目に対する好感度

次に、数学に対する高校生の態度を把握するため、高校で実施される授業科目に対する好感度を分析する。結果は図表2-1、図表2-2の通りであった。理系志望の学生では、「数学」、「化学」、「物理」、「生物」といった理系科目に対する好感度が文系志望の学生よりも高かった。文系志望の学生においては、「社会」、「英語」、「国語」といった文系科目に対する好感度が理系の学生よりも高かった。ただし、英語については両者の差はごくわずかであり、実質的な文理の差は見られなかった。「地学」は理系科目であるにもかかわらず、理系志望の学生のあいだで最も好感度が低い科目となっており、文理の差は見られなかった。

理系と文系で好感度に最も大きな差があったのは「化学」と「物理」であった。両者の差は大きく、4段階評価のうちの1段階(どちらかと言えばそう思う/あまりそう思わない)に相当するほどの差が見られた。「社会」と「国語」についても文理のあいだで比較的大きな差が見られた。

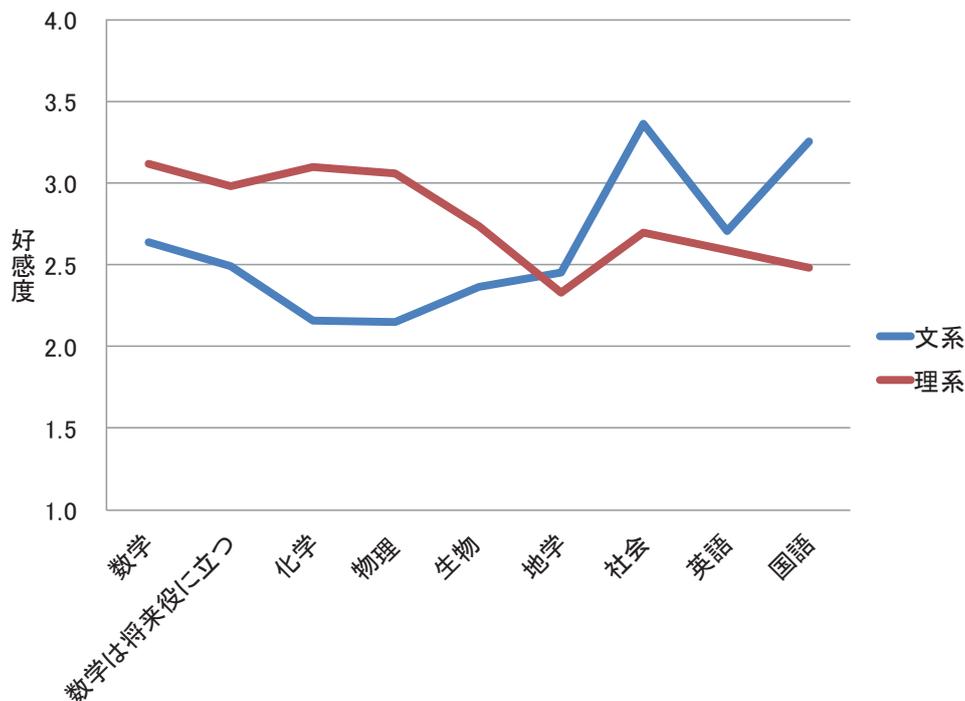
「数学」については、文系よりも理系の学生のほうが高い好感度を示していた。しかし、上記の4教科に比べると好感度の差は小さかった。「数学が自分にとって将来役立つと思うか」という質問についても同様の結果が観察された。すなわち、文系学生の「数学」に対する好感度や有用性の評価は特別に低いわけではなかった。

まとめると、理系学生と文系学生の授業科目の好みは明白に分かれる中で、「数学」は文理いずれにおいても好感度の上位4位以内に入っていた(理系で1位、文系で4位)。文系の学生においては、「数学」よりもむしろ「物理」や「化学」、「生物」といった理科系の科目に対する好感度が低かった。

図表 2-1 授業科目に対する好感度

| 科目        | 文系志望 |      |     | 理系志望 |      |     | 全体   |      |     | F値        |
|-----------|------|------|-----|------|------|-----|------|------|-----|-----------|
|           | 平均   | SD   | n   | 平均   | SD   | n   | 平均   | SD   | n   |           |
| 数学        | 2.64 | 1.08 | 109 | 3.12 | 0.89 | 241 | 2.97 | 0.98 | 350 | 19.27 *** |
| 数学は将来役に立つ | 2.49 | 1.02 | 108 | 2.98 | 0.94 | 238 | 2.83 | 0.99 | 346 | 18.93 *** |
| 理系 化学     | 2.16 | 1.08 | 109 | 3.10 | 0.94 | 241 | 2.81 | 1.08 | 350 | 68.41 *** |
| 物理        | 2.15 | 1.12 | 108 | 3.06 | 0.92 | 241 | 2.78 | 1.07 | 349 | 64.03 *** |
| 生物        | 2.36 | 1.04 | 109 | 2.74 | 1.03 | 238 | 2.62 | 1.05 | 347 | 10.00 **  |
| 地学        | 2.45 | 0.98 | 108 | 2.33 | 1.01 | 239 | 2.37 | 1.00 | 347 | 1.13      |
| 文系 社会     | 3.36 | 0.96 | 108 | 2.70 | 1.09 | 240 | 2.91 | 1.09 | 348 | 29.38 *** |
| 英語        | 2.71 | 1.09 | 109 | 2.59 | 1.05 | 241 | 2.63 | 1.06 | 350 | 0.91      |
| 国語        | 3.25 | 0.94 | 109 | 2.48 | 1.01 | 240 | 2.72 | 1.02 | 349 | 45.65 *** |

\*\*  $p < 0.01$  \*\*\*  $p < 0.001$



図表 2-2 授業科目に対する好感度

### (3.3) 数学への興味関心とそのきっかけ

続いて、数学そのものに対する興味関心の有無について分析する。結果は図表3の通りであった。理系志望の学生の約75パーセントが「興味関心あり」と回答する一方で、文系志望の学生では、その比率は約55パーセントに留まり、およそ20ポイントの差が見られた。

さらに「数学に興味関心あり」と答えた回答者に限定して、数学に興味を持つようになったきっかけについて分析した。結果は図表4-1と図表4-2に示されている。きっかけとして多く挙げられたのは、上位から順に「塾の先生」、「学校の先生」、「本、雑誌」、「友人」、「両親」の5つであり、「塾の先生」が突出して高くなっていた。これらの項目は、本や雑誌を除くと、すべて学生周辺の「人間」に関するものであり、高校生においては、対人的な影響が数学に興味を持つきっかけとして重要であることが伺える。

ほとんどの項目では、文系と理系の差は見られなかった。しかし、「塾の先生」と「学校の先生」については文理で差異があり、文系のほうが理系よりも塾や学校の先生をきっかけとして挙げるものが多かった。「友人」についても同様の傾向が見られた。

以上の結果からは、数学に対する興味を学生に持たせるためには、文系、理系を問わず、周囲の人間からの影響が重要であり、中でも、塾や学校の教員からの働きかけが重要であること、そして、その効果は特に文系の学生において大きいことが推察される。

図表3 数学への興味関心の有無

|      | 数学への興味関心 |      | 計     |
|------|----------|------|-------|
|      | なし       | あり   |       |
| 文系志望 | 48       | 60   | 108   |
|      | 44.4     | 55.6 | 100.0 |
| 理系志望 | 61       | 182  | 243   |
|      | 25.1     | 74.9 | 100.0 |
| 計    | 109      | 242  | 351   |
|      | 31.1     | 69.0 | 100.0 |

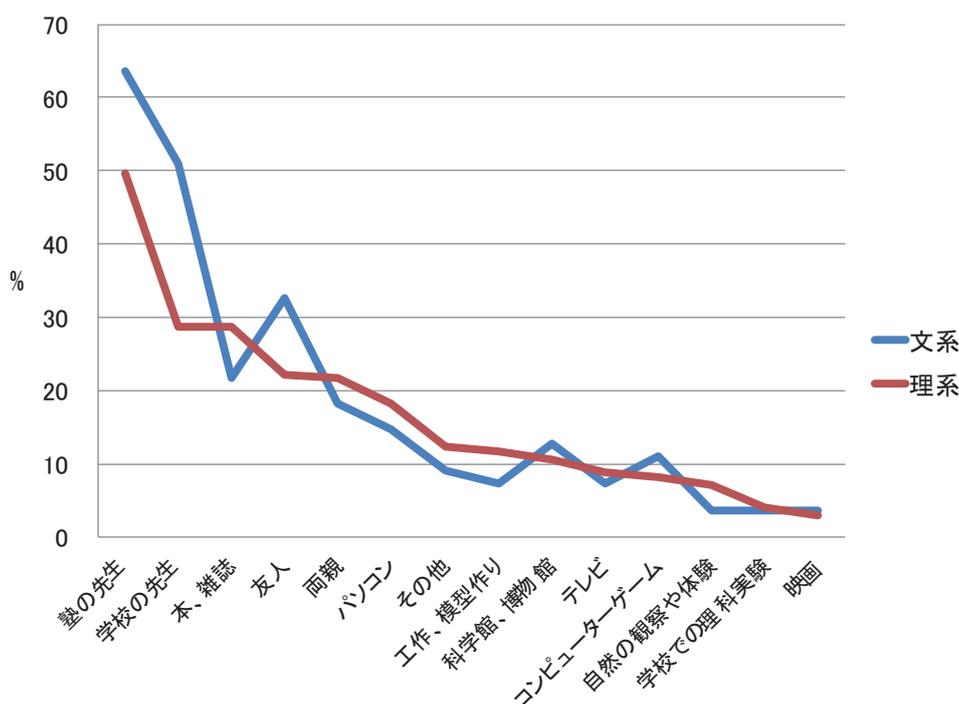
上段：度数 下段：%  $\chi^2 = 13.06$  \*\*\*

\*\*\*  $p < 0.01$

図表4-1 数学に興味関心を持ったきっかけ

|            | 文系志望 |    |      | 理系志望 |     |      | 全体  |     |      | χ <sup>2</sup> 値 |
|------------|------|----|------|------|-----|------|-----|-----|------|------------------|
|            | 度数   |    | %    | 度数   |     | %    | 度数  |     | %    |                  |
|            | 選択者  | 全体 |      | 選択者  | 全体  |      | 選択者 | 全体  |      |                  |
| 塾の先生       | 35   | 55 | 63.6 | 85   | 171 | 49.7 | 120 | 226 | 53.1 | 3.24 †           |
| 学校の先生      | 28   | 55 | 50.9 | 49   | 171 | 28.7 | 77  | 226 | 34.1 | 9.18 **          |
| 本、雑誌       | 12   | 55 | 21.8 | 49   | 171 | 28.7 | 61  | 226 | 27.0 | 0.99             |
| 友人         | 18   | 55 | 32.7 | 38   | 171 | 22.2 | 56  | 226 | 24.8 | 2.46             |
| 両親         | 10   | 55 | 18.2 | 37   | 171 | 21.6 | 47  | 226 | 20.8 | 0.30             |
| パソコン       | 8    | 55 | 14.6 | 31   | 171 | 18.1 | 39  | 226 | 17.3 | 0.37             |
| その他        | 5    | 55 | 9.1  | 21   | 171 | 12.3 | 26  | 226 | 11.5 | 0.42             |
| 工作、模型作り    | 4    | 55 | 7.3  | 20   | 171 | 11.7 | 24  | 226 | 10.6 | 0.86             |
| 科学館、博物館    | 7    | 55 | 12.7 | 18   | 171 | 10.5 | 25  | 226 | 11.1 | 0.20             |
| テレビ        | 4    | 55 | 7.3  | 15   | 171 | 8.8  | 19  | 226 | 8.4  | 0.12             |
| コンピューターゲーム | 6    | 55 | 10.9 | 14   | 171 | 8.2  | 20  | 226 | 8.9  | 0.38             |
| 自然の観察や体験   | 2    | 55 | 3.6  | 12   | 171 | 7.0  | 14  | 226 | 6.2  | 0.82             |
| 学校での理科実験   | 2    | 55 | 3.6  | 7    | 171 | 4.1  | 9   | 226 | 4.0  | 0.02             |
| 映画         | 2    | 55 | 3.6  | 5    | 171 | 2.9  | 7   | 226 | 3.1  | 0.07             |

\*\* p<0.01 † p<0.10



図表4-2 数学に興味関心を持ったきっかけ

(3.4) 数学の応用分野に関する興味関心

高校生の数学に対する態度を測定する最後の項目として、数学の応用分野についての関心の有無を分析する。ビッグデータや暗号等、具体的な応用分野を示し、興味のあるものを複数回答してもらった。

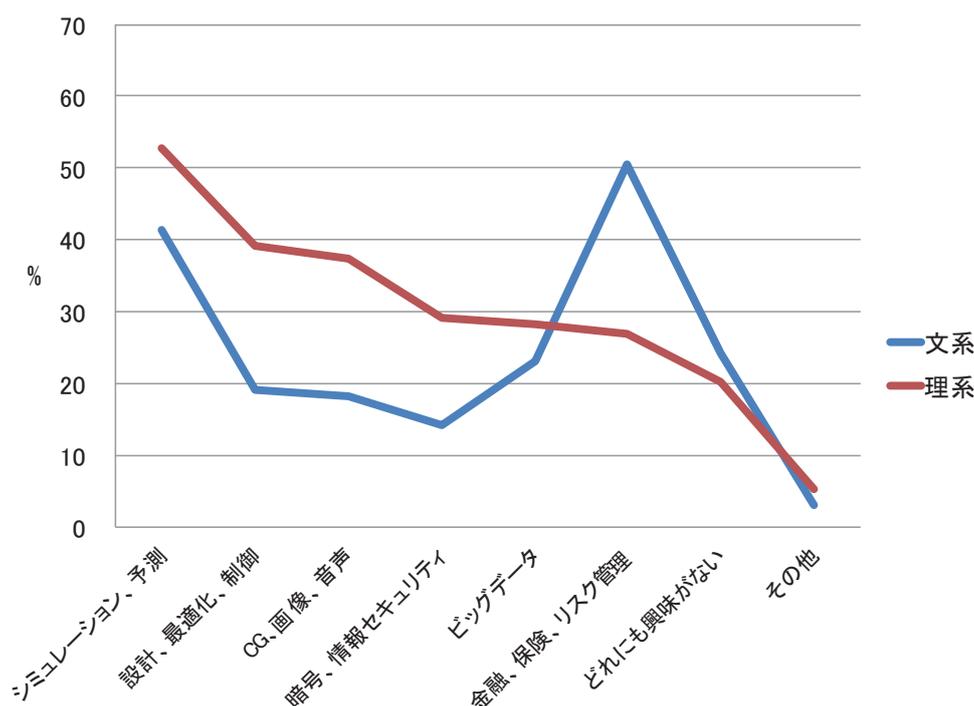
結果は図表5-1、図表5-2の通りである。「シミュレーション・予測」、「設計・最適化・

制御]、「CG・画像・音声」、「暗号、情報セキュリティ」については、文系学生よりも理系学生において興味関心が高くなっていた。一方、「ビッグデータ」に対する関心については文理のあいだで大きな差は見られなかった。さらに、「金融・保険・リスク管理」については理系よりも文系において興味関心が高くなっていた。

図表5-1 数学の応用分野に関する興味関心の有無

|             | 文系志望 |    |      | 理系志望 |     |      | 全体  |     |      | $\chi^2$ 値 |
|-------------|------|----|------|------|-----|------|-----|-----|------|------------|
|             | 度数   |    | %    | 度数   |     | %    | 度数  |     | %    |            |
|             | 選択者  | 全体 |      | 選択者  | 全体  |      | 選択者 | 全体  |      |            |
| シミュレーション、予測 | 41   | 99 | 41.4 | 123  | 233 | 52.8 | 164 | 332 | 49.4 | 3.59 †     |
| 設計、最適化、制御   | 19   | 99 | 19.2 | 91   | 233 | 39.1 | 110 | 332 | 33.1 | 12.37 ***  |
| CG、画像、音声    | 18   | 99 | 18.2 | 87   | 233 | 37.3 | 105 | 332 | 31.6 | 11.79 **   |
| 暗号、情報セキュリティ | 14   | 99 | 14.1 | 68   | 233 | 29.2 | 82  | 332 | 24.7 | 8.45 **    |
| ビッグデータ      | 23   | 99 | 23.2 | 66   | 233 | 28.3 | 89  | 332 | 26.8 | 0.92       |
| 金融、保険、リスク管理 | 50   | 99 | 50.5 | 63   | 233 | 27.0 | 113 | 332 | 34.0 | 17.04 ***  |
| どれにも興味がない   | 24   | 99 | 24.2 | 47   | 233 | 20.2 | 71  | 332 | 21.4 | 0.68       |
| その他         | 3    | 99 | 3.0  | 12   | 233 | 5.2  | 15  | 332 | 4.5  | 0.72       |

\*\*  $p < 0.01$  \*\*\*  $p < 0.001$  †  $p < 0.10$



図表5-2 数学の応用分野に関する興味関心の有無

まとめると、数学の応用分野だからといって、すべての項目において理系が文系よりも高い関心を示すわけではなかった。近年、その有用性が社会的に理解されつつあるビッグデータについては文理の差はわずかであった。さらに、文系出身者の就職先でもある金融、保険、リスク管理については、理系学生よりも文系学生のほうが高い

関心を示していた。

これらの結果は、数学に対する興味関心を喚起するためには、数学の「社会的な」有用性を示すだけでなく、「個人的な」有用性を示すことが重要である可能性を示唆している。

### (3.5) 大学進学において重視するもの

ここからは、高校生の意志決定の構造について分析する。大学進学や職業選択という重要な意志決定場面において、高校生たちはどのような基準を重視しているのだろうか。

まず、大学進学において重視する基準について分析を行った。結果は図表6-1と図表6-2の通りである。文理間の差異は皆無であった。「最先端の勉強ができる」と「数学を利用する学問ができそう」の2項目においてのみ差が見られ、いずれも理系学生の重視度のほうがやや高くなっていた。

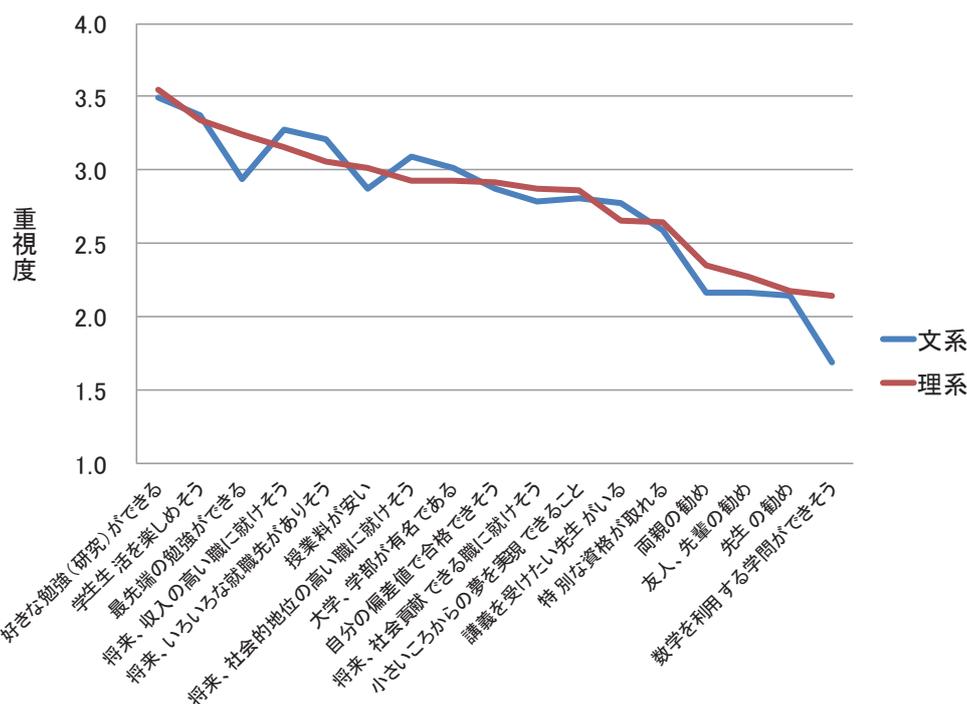
全体的な傾向を見ると、最も重視度が高かった項目は「好きな勉強(研究)ができる」と「大学生活が楽しめそう」であった。これらは大学生活における内在的な価値に関する項目であると言える。その後は「将来、収入の高い職に就けそう」、「将来、いろいろな職に就けそう」、「将来、高い社会的地位に就けそう」といった将来の社会経済的地位に対する大学教育の効果に関する項目が続き、さらに「授業料が安い」、「自分の偏差値で合格できそう」といった現時点における自らの経済的、能力的資源から見た入学可能性に関する項目が並んでいた。「小さいころからの夢が実現できそう」や「将来、社会貢献できる職につけそう」といった自己実現に関する項目に対する重視度は低く、「両親の勧め」、「友人、先輩の勧め」、「先生の勧め」といった他者の意見に対する重視度はさらに低かった。

要約すると、学生たちは他者の意見よりも自分の考えを尊重した主体的な進路選択を行っており、そこでは、好きな勉強ができることや大学生活を楽しむことといった大学生活の内在的価値(面白いかどうか)を最も重視しながらも、大学教育が将来の社会経済的地位にもたらす効果という手段的価値(得するかどうか)を検討し、次いで自分の学力や家庭の経済力といった利用可能な資源の観点から入学可能性を評価する(入学できそうかどうか)といった、複数の次元を考慮した極めて現実的な意志決定を行っていることが明らかになった。

図表6-1 大学や専門分野の選択において重視するもの

|                   | 文系志望 |      |     | 理系志望 |      |     | 全体   |      |     | F値        |
|-------------------|------|------|-----|------|------|-----|------|------|-----|-----------|
|                   | 平均   | SD   | n   | 平均   | SD   | n   | 平均   | SD   | n   |           |
| 好きな勉強（研究）ができる     | 3.49 | 0.82 | 106 | 3.55 | 0.75 | 231 | 3.53 | 0.77 | 337 | 0.49      |
| 学生生活を楽しめそう        | 3.38 | 0.85 | 107 | 3.34 | 0.88 | 230 | 3.36 | 0.87 | 337 | 0.15      |
| 最先端の勉強ができる        | 2.94 | 0.95 | 107 | 3.24 | 0.89 | 231 | 3.14 | 0.92 | 338 | 7.93 ***  |
| 将来、収入の高い職に就けそう    | 3.28 | 0.81 | 107 | 3.16 | 0.94 | 231 | 3.19 | 0.90 | 338 | 1.30      |
| 将来、いろいろな就職先がありそう  | 3.21 | 0.83 | 107 | 3.06 | 0.99 | 231 | 3.10 | 0.99 | 231 | 1.94      |
| 授業料が安い            | 2.87 | 0.98 | 107 | 3.02 | 0.94 | 230 | 2.98 | 0.95 | 337 | 1.66      |
| 将来、社会的地位の高い職に就けそう | 3.09 | 0.91 | 107 | 2.93 | 0.98 | 230 | 2.99 | 0.96 | 337 | 2.02      |
| 大学、学部が有名である       | 3.01 | 0.94 | 107 | 2.93 | 0.97 | 229 | 2.96 | 0.96 | 336 | 0.50      |
| 自分の偏差値で合格できそう     | 2.87 | 0.93 | 107 | 2.92 | 0.94 | 230 | 2.90 | 0.94 | 337 | 0.19      |
| 将来、社会貢献できる職に就けそう  | 2.79 | 1.08 | 107 | 2.87 | 1.03 | 231 | 2.85 | 1.05 | 338 | 0.53      |
| 小さいころからの夢を実現できること | 2.81 | 1.04 | 107 | 2.86 | 1.00 | 230 | 2.85 | 1.01 | 337 | 0.16      |
| 講義を受けたい先生がいる      | 2.78 | 0.98 | 107 | 2.66 | 1.00 | 230 | 2.70 | 0.99 | 337 | 0.98      |
| 特別な資格が取れる         | 2.59 | 0.92 | 107 | 2.65 | 1.01 | 230 | 2.64 | 0.98 | 337 | 0.22      |
| 両親の勧め             | 2.17 | 0.94 | 107 | 2.35 | 0.99 | 230 | 2.29 | 0.98 | 337 | 2.59      |
| 友人、先輩の勧め          | 2.16 | 0.92 | 106 | 2.27 | 0.97 | 230 | 2.24 | 0.95 | 336 | 0.95      |
| 先生の勧め             | 2.14 | 0.89 | 107 | 2.18 | 0.95 | 229 | 2.17 | 0.95 | 336 | 0.19      |
| 数学を利用する学問ができそう    | 1.69 | 0.87 | 107 | 2.14 | 0.95 | 229 | 2.00 | 0.95 | 336 | 17.08 *** |

\*\*\*  $p < 0.001$



図表6-2 大学や専門分野の選択において重視するもの

(3.6) 社会に出る際に重視するもの

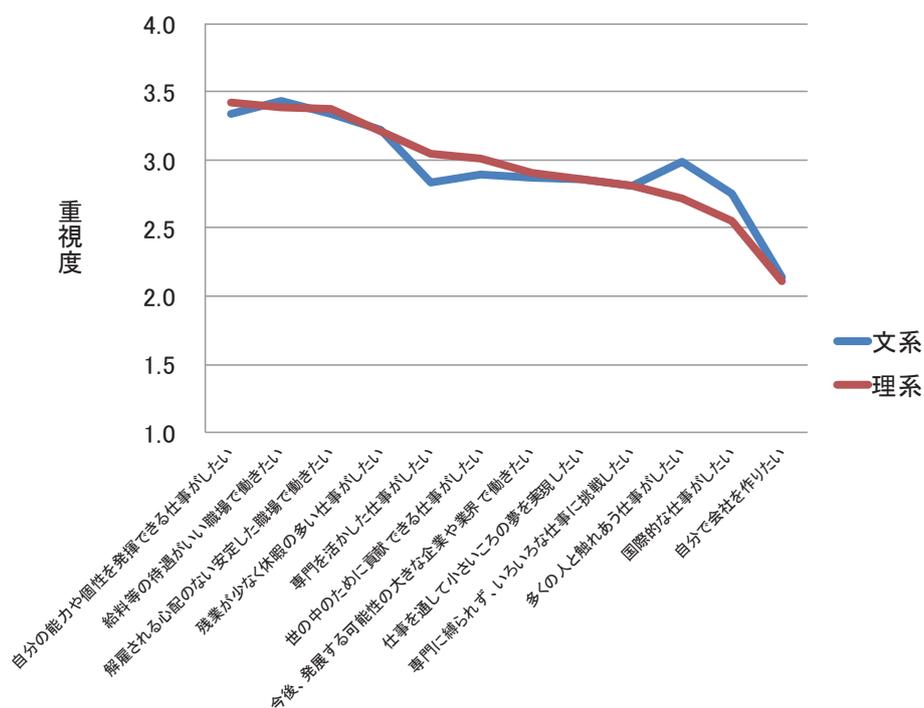
最後に、職業選択における基準とその重視度について分析した。結果は図表7-1と図表7-2に示されている。ここでも文理の差異はほとんど見られなかった。全体的な傾向としては、まず「自分の能力または個性を發揮できる仕事をしたい」という能力發揮の可能性を重視し、次いで給料や待遇の良さ、雇用の安定性、残業の少なさといっ

た社会経済的地位や自身の生活に直結する項目に対する重視度が高くなっていた。次に重視されていたのは、世の中に対する貢献や夢の実現というやや抽象的な項目であった。国際的な仕事をすることや自分で会社を作ることに対する重視度は低かった。「多くの人と触れあう仕事をする事」については、理系と文系のあいだに若干の重視度の差が見られ、文系のほうがこの項目を重視していた。

図表7-1 社会に出る際に重視するもの

|                          | 文系志望 |      |     | 理系志望 |      |     | 全体   |      |     | F値                |
|--------------------------|------|------|-----|------|------|-----|------|------|-----|-------------------|
|                          | 平均   | SD   | n   | 平均   | SD   | n   | 平均   | SD   | n   |                   |
| 自分の能力や個性を発揮できる仕事をしたい     | 3.34 | 0.78 | 106 | 3.42 | 0.80 | 242 | 3.39 | 0.79 | 348 | 0.70              |
| 給料等の待遇がいい職場で働きたい         | 3.43 | 0.77 | 106 | 3.38 | 0.78 | 242 | 3.40 | 0.78 | 348 | 0.35              |
| 解雇される心配のない安定した職場で働きたい    | 3.34 | 0.79 | 105 | 3.37 | 0.80 | 242 | 3.36 | 0.80 | 347 | 0.10              |
| 残業が少なく休暇の多い仕事をしたい        | 3.22 | 0.88 | 106 | 3.21 | 0.91 | 242 | 3.21 | 0.90 | 348 | 0.00              |
| 専門を活かした仕事をしたい            | 2.83 | 0.88 | 106 | 3.05 | 0.92 | 242 | 2.98 | 0.91 | 348 | 4.14 <sup>*</sup> |
| 世の中のために貢献できる仕事をしたい       | 2.89 | 1.04 | 106 | 3.01 | 1.00 | 241 | 2.97 | 1.00 | 347 | 1.07              |
| 今後、発展する可能性の大きな企業や業界で働きたい | 2.87 | 0.90 | 106 | 2.90 | 0.94 | 241 | 2.89 | 0.93 | 347 | 0.09              |
| 仕事を通して小さいころの夢を実現したい      | 2.86 | 1.02 | 106 | 2.86 | 1.00 | 242 | 2.86 | 1.00 | 348 | 0.00              |
| 専門に縛られず、いろいろな仕事に挑戦したい    | 2.81 | 0.90 | 106 | 2.81 | 0.89 | 242 | 2.81 | 0.89 | 348 | 0.00              |
| 多くの人と触れあう仕事をしたい          | 2.98 | 0.84 | 106 | 2.71 | 1.00 | 242 | 2.80 | 0.96 | 348 | 5.77 <sup>*</sup> |
| 国際的な仕事をしたい               | 2.75 | 0.98 | 106 | 2.55 | 1.04 | 242 | 2.61 | 1.03 | 348 | 2.81 <sup>†</sup> |
| 自分で会社を作りたい               | 2.14 | 0.94 | 106 | 2.11 | 0.96 | 242 | 2.12 | 0.95 | 348 | 0.09              |

<sup>\*</sup>p<0.05 <sup>†</sup>p<0.10



図表7-2 社会に出る際に重視するもの

#### (4) 考察

以上の結果を要約し、考察を行う。授業科目に対する好感度については、理系志望の学生は、数学、化学、物理、生物といった理系科目を好み、文系志望の学生は社会、国語、英語といった文系科目を好んでいた。両者の好みの違いは明白であったが、数学は文系志望の学生においても8科目中4位の好感度を示しており（理系では1位）、特別に敬遠されているわけではなかった。それよりもむしろ、生物、物理、化学といった理科系の科目に対する好感度が低くなっていた。

数学そのものに対する興味関心の有無については、文理のあいだには小さくない乖離が見られたが、文系志望の学生においても、約半数が興味ありと回答していた（理系では75パーセントであった）。

数学に対して興味関心を持ったきっかけについては、文理の差異にかかわらず、テレビや映画等の「メディア」やパソコンやコンピュータゲームといった「モノ」よりも、塾や学校の先生、友人、両親といった「人」からの影響が大きいことが明らかになった。中でも塾および学校における「先生」の効果は大きく、特に塾の先生は突出した効果を持っていた。そして、このような教員効果は、理系の学生よりも文系の学生に対して大きな効果を持っていた。

このことは、学生の数学に対する興味関心の喚起において、教師が果たす役割が極めて重要であることを示唆している。特に、数学に接する機会が相対的に少ない文系の学生に対しては、教師の働きかけの影響が大きい。科学館や模型作り、自然体験、学校での理科実験等の影響が微弱であったことを踏まえると、教師が実施する講義や、個々の学生との相互作用といった日常的な活動の中に重要な要素が含まれていると考えられる。

さらに、塾講師と学校教諭のあいだに大きな差（約20ポイント）があったことを考慮すると、学校教諭の取り組みには、まだまだ改善の余地があると言えるだろう。文系の学生においても、数学がそれほど敬遠されているわけではないという先の知見と合わせると、学校教諭が効果的な取り組みを実施できれば、数学に対する高校生の興味関心を全国的なレベルで底上げすることも可能であると思われる。具体的な取り組みの内容については、塾講師と学校教諭の比較研究によって明らかになると考えられる。

数学の応用分野に関する興味関心の有無については、ほとんどの項目について、文系学生よりも理系学生のほうが高い関心を示していた。しかし、近年、話題になり、その社会的な有用性が広く理解されつつあるビッグデータについては、文理の差はわずかであった。さらに、文系学生が就職することの多い金融、保険、リスク管理においては、理系よりも文系において関心が高かった。これらの結果は、数学に対する学生の興味関心を高めるためには、単に数学の社会的な有用性を示すだけでなく、数学の個人的な有用性を示すこと、すなわち「数学はあなたにとって役に立つ」というメッセージを伝えることが重要であることを示唆している。

大学進学に関する意志決定においては、基本的には文理の差は見られなかった。いず

れの学生も、好きな勉強ができることや学生生活を楽しめそうといった学生生活そのものから得られる価値を最も重視しながらも、大学教育が将来の社会経済的地位に及ぼす影響を考慮し、さらに自らの学力や家庭の経済力といった利用可能な資源の観点から入学可能性についても評価するといった現実的でバランス感覚のある意志決定を行っていた。さらに、このような意志決定は両親や友人、先輩等の他者の意見よりも、自らの意見を尊重した主体的なものであった。

職業選択においては、自分の能力や個性を発揮できることを最も重視しながらも、給与等の待遇の良さ、雇用の安定性、残業の少なさといった経済的地位や日々の生活への影響が大きい項目が重視されていた。夢の実現や世の中への貢献といった抽象的な項目の重視度は低く、国際的な仕事や起業することはさらに低く評価されていた。

大学進学と職業選択においては、重要な共通点が見られた。高校生は「大学で好きな勉強ができること」、「仕事を通して自分の能力や個性を発揮できること」といった内在的価値を最も重視する一方で、大学教育や当該職業がもたらす収入や雇用の安定性およびフレキシビリティ（潰しが効くこと）、社会的地位といった社会的資源の獲得可能性という外在的な価値も重視していた。

以上の結果を総合すると、高校生の数学学習意欲を高めるためには、文系志望、理系志望を問わず、以下の2点が共通して重要であると結論できる。1つは塾や学校の教員が生徒に対して積極的に働きかけることによって、数学に対する生徒の興味関心を喚起することである。数学の内在的価値、すなわち、数学そのものの魅力に気づかせることにより、「面白いから数学を勉強する」という内発的動機づけを高めることができる。

もう1つは、数学が投資に値する活動であることを高校生に示すことである。数学を学ぶことが将来の社会経済的地位や雇用の安定性といった重要な資源の獲得に繋がることを客観的なデータに基づいて生徒に提示することである。これにより、「将来的に得をするから数学を勉強する」という外発的動機づけを高めることが可能になる。

さらに、外発的動機づけを高める上では、数学の応用分野がどのようにして実践的な価値を生み出しているのか、そのプロセスを理解させることも重要である。ここでは数学が「社会にとって役に立つ」だけでなく、「あなた自身にとっても役に立つ」という個人的なメリットに繋がることを示すことが重要である。

我が国においては、高校生時点における文理の区別によって選択可能な職業が大幅に異なるため、数学の有用性を示す具体例は、少なくとも文系用と理系用の2通りを用意する必要がある。この作業においては、高校生の数学力で理解できる範囲という制約の中で、数学の有用性を示す具体例を豊富に示すことが必要とされる。したがって、新たな教師の取り組みや、新たな教育カリキュラムは、このような方向に沿って展開されることが望まれる。

内発的動機づけと外発的動機づけの双方からアプローチすることにより、数学学習に対する高校生のモチベーションを効果的に高めることができると考えられる。21世紀

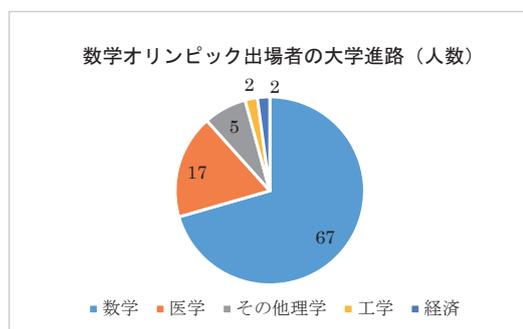
社会において求められる数学の運用能力を持つ人材の供給量を増やすための方策として、内発的動機づけと外発的動機づけの組み合わせアプローチが必要である。

## 2.2. 数学オリンピック学生の進路

数学オリンピック代表となった学生の進路について、数学オリンピック財団の協力のもとで、追跡調査を行った。調査可能者は93名であるが、まだ、大学に入学したばかりの学生、最終進路が不明な学生も多い。そのために、完全なデータではないことを先に断っておく。予想どおり、数学オリンピック大会出場者は数学に対する興味はかなり高く、数学を含む理工系と医学系への進学が多い。ここには具体的に数値を出していないが、ここ数年は数学系へ進学する学生はかなりの率となっている。追跡調査での結果は、大学進学の際には、ある程度の割合で、他分野へ進学している。数学へ進学した学生については、入学した大学の数学系の専門に留まり、他分野へ専門を変えることはほとんどないことがわかった。

調査可能者 93名

日本数学オリンピック財団から資料提供



- ・分野が変わることはほとんどない
- ・この数年は学部も「数学」へ進学する割合が高い

学部卒業後の進路（数学・医学への進学以外）

- ・他の理学系研究科 6
- ・企業 6
- ・国家公務員 2
- ・教員 1

## 2.3. 高校教員からみた数学への意識

### (1) 目的

高校生の数学への好感度について調査したが、それとともに高校生を指導している数学教員がどのように実感しているかを調査することで、数学教育に対する指針を得たい。

### (2) 調査対象と方法

ある県の教育委員会が県内の数学教員を選抜して行っている研修会に参加している数学教員18名へのアンケートを実施した。

【質問1】もし、学生に「数学科」や「数理科学科」への進学を勧めないとしたら、その理由は何でしょうか。

(自由記述回答からの抜粋)

- ・ 入試数学と純粋数学のギャップがある。
- ・ 大学数学と高校数学のギャップについていけないため。
- ・ 高校までの問題を解く数学と大学での学問としての数学は別物であるから。
- ・ 出口が少ない。先生(教授)になるのであればいいが、それ以外だと出口が少ない。
- ・ 学生の将来やりたい仕事にあまり必要がない。もしくは別の学科のほうが本人のためになる場合。
- ・ 修士課程まで進まないと企業は採用してくれない。博士課程まで進むと定職がない(ポスドクなど身分が不安定)。
- ・ 実社会と結びつきにくいところが難点である。

【質問2】大学で習った数学が、社会へ役立っているという例をご存じでしょうか。

(自由記述回答からの抜粋)

- ・ 具体的に社会へ役立っている例はすぐには見当たらない。物事の見え方に大変影響を与えていると思う。
- ・ 特殊から一般へ考え方を広げる。
- ・ 考える課程や粘り強さなど、知識を使いこなせる力をつけていくこと。
- ・ いろんな分野(工学)最先端技術で役立っている。

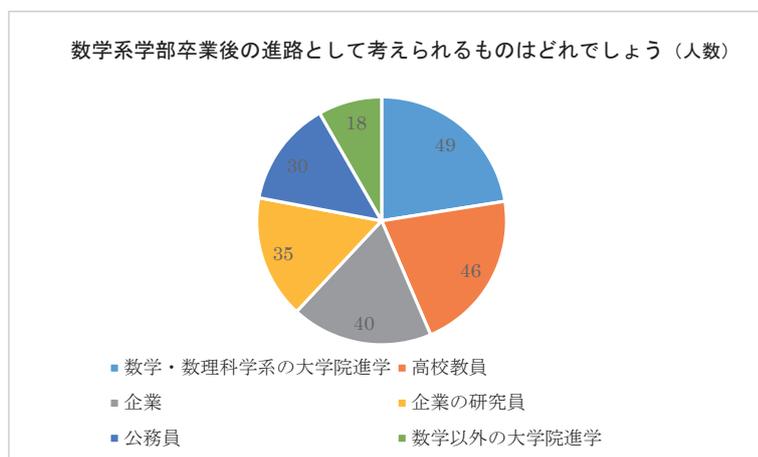
【質問3】学生が数学を習うことの意味はどのようなことだと思いにありますか。

(自由記述回答からの抜粋)

- ・ 例えば計算など規則を守ってことを進めることができるようになる。
- ・ 不確定性のある問いに対して法則、規則を論理的に思考し解決する。
- ・ 論理的思考力を高める。
- ・ 物事をとことん追究し、難題であっても自らの力で解決しようとする姿勢が身に着く。

- ・ 数学的な思考力を身に着けることで、物事の判断に幅を持たせる。

【質問4】もし学生が大学の数学・数理科学系学科や学部を卒業した後は、どのような進路があると思っていますか。



【質問5】大学での数学・数理科学の教育について、どのようにお感じになっているでしょうか。

(自由記述回答からの抜粋)

- ・ 高校数学と大学での数学のギャップを感じる生徒が多いので、高大接続的な講座を設けるなどしてほしい。もうすでにあるのかもしれないが。
- ・ すぐに仕事に結びつく学問ではないと思うので、気長に考え方や説明できる力などをつければよいと思う。これからはデータの扱いができるとういのかも。
- ・ 大学で数学を学んで「数学は分からない」と感じた。卒論もなく、これで数学を学んだと言えるのかなと疑問だった。
- ・ 大変わかりにくい授業のイメージが強い。講義形式だとなおさらだと思う。

### (3) 考察

アンケートは、一部の県の教育委員会の選抜により選ばれた数学教員であり、アンケート対象数が少ないこと、また地域の特性もある可能性も否定できないので、一般論として捉えることはできないが、下記の点については数学教育に対する重要な示唆を得たものとする。

- (1) 「数学科」への進学を勧めないことがあるときの理由として、1) 大学の数学が高校との大きなギャップがある、2) 進路に不安がある、というのが大きな点であると思える。数学教員は、実際に「数学科」を卒業しているので、この2点については、大学側で十分検討する必要があると思われる。
- (2) 数学が社会に役に立っていることについては、異論なく考えられているように判断

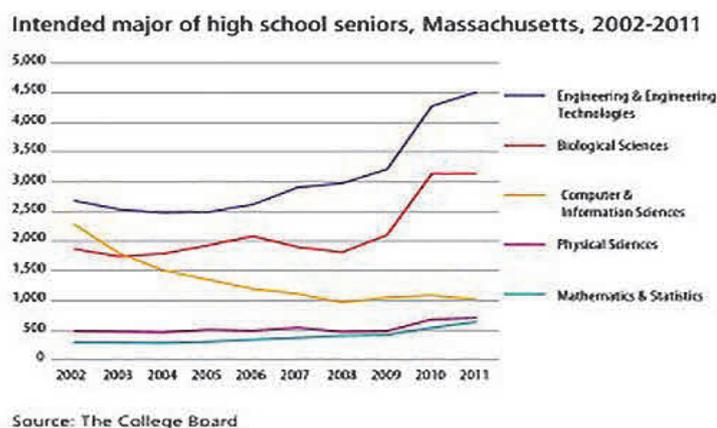
できる。一方で、具体的にはという質問には、なかなか難しいように見受けられる。学生に数学の重要性を納得させる具体性が重要なのではないか。

- (3) 数学が実際に企業や他分野で必要であると実感している高校教員はそれほど多くないと感じられる。高校の教員あるいは今後教員を目指す学生へ数学のニーズや重要性の教育を具体的に行う必要があるように思える。

### 3. 米国における数学人材育成調査

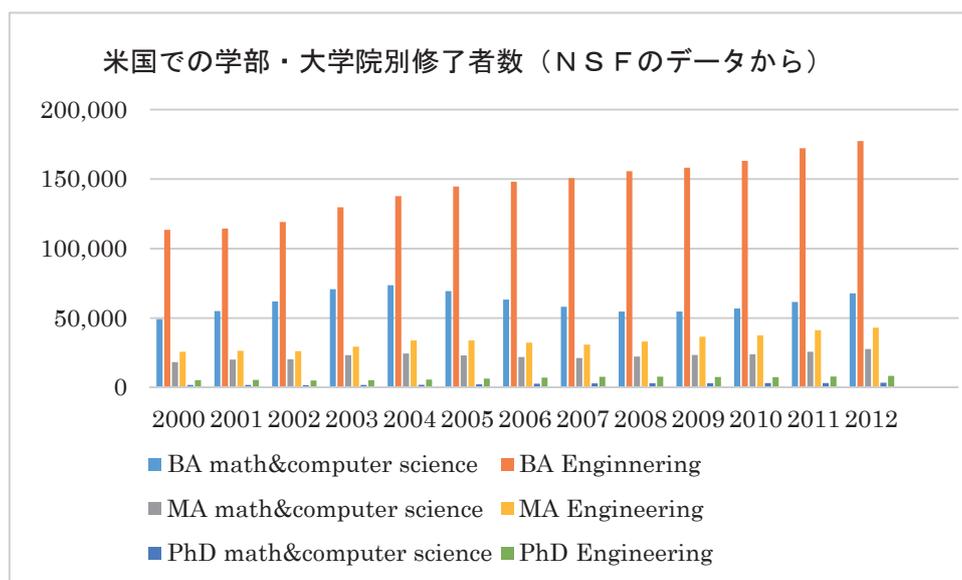
#### 3.1. 米国高校生の人材育成

## College is too late



図表3.1 マサチューセッツ州の高校生の進路

米国マサチューセッツ州は、米国の中でも教育熱心で、特に理工系への進学を推進している地区として知られている。図表(3.1)は2002年から2011年までのマサチューセッツ州における理系高校生の大学への専門別進路の動向である。この表からは、2007年あたりから工学への進学者が増加していることがわかる。生命科学は2010年まで進学者数は伸びてきていたが、2011年には停滞している。またコンピュータ科学への進学者が減少している。物理と数学はそれなりに進学者が増加していて、数学の進学者数と物理への進学者数はほぼ並んだ状態になっていることがわかる。



## (1) PROMYS Student Program



### (1.1) 概要 (<http://www.promys.org/>)

- ① Arnold Ross によって1957年に設立された Secondary Science Training Program (SST)の参加者たちによって1989年に設立された。
- ② 現在は、Boston 大学で毎夏行っているサマースクール。数学に関心のある学生を80名程度集めて行っている。修了した学生は1538人いる。
- ③ NSF の Young Scholar Program であった。
- ④ 現在は、Boston 大学、Clay Mathematics Institute (CMI) , Linde Family Foundation, National Security Agency (NSA) , American Mathematical Society (AMS) , PROMYS Foundation とその募金者によって運営されている。Boston 大学501© (3)のステータスでカバーされている。
- ⑤ 期間は夏6週間

### (1.2) 進路調査

(追跡可能な修了生の約60% (1380名)についてのデータ)

① 大学への進学先

- ・ 数学を主専門にして他の副専門(工学、コンピュータ科学、物理、化学、生物)を選んだ理工系進学者 :830名(1384名のうち60%)
- ・ PhD コース進学者 :522名(55%)
- ・ PhD 取得(取得中)の人数 :428名
- ・ 理工学、工学、数学の PhD 取得(取得中)の人数 :416名
- ・ 数学 PhD 取得(取得中)の人数 :269名  
(現在数学 PhD かポスドクの人数 :112名)

② 就職先

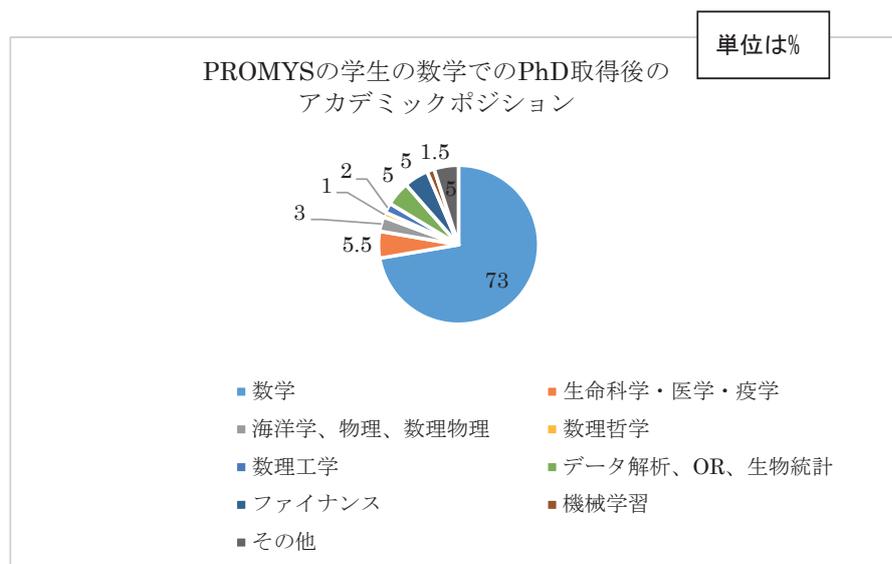
- ・ 少なくとも320名は数学(統計も含め)に関連した職種(大学院進学も含めて)を選んでいる。
- ・ 280名以上の卒業生は、コンピュータ科学か工学である。
- ・ 36名は物理学。医学、法律等その他の分野もいる。
- ・ 数学のアカデミックポジション、高校の先生、アクチュアリーである。
- ・ 522名の卒業生は理学、工学、数学の PhD を取得あるいは取得中である。
- ・ 269名の卒業生は数学 PhD コースに所属している。

③ 数学の PhD 終了後の進路

- ・ 数学の PhD を取得した学生の進路先
- ・ 少なくとも126名はアカデミックポジションを得ている(教授、准教授)
- ・ そのうち92名は数学の教授である。

④ 数学以外の PhD 取得学生のアカデミックポジション先

- ・ 生命科学、医学、疫学 5.5%・海洋学、物理、数理物理 3%・数理哲学 1%・数理工学 2%・データ解析、OR、生物統計 5%・ファイナンス 5%・機械学習 1.5%



- ⑤ 具体的な就職場所：Harvard (4名)、MIT (3名)、コーネル大学(4名)、スタンフォード大学(2名)、UCバークレー (2名)、プリンストン大学(2名)、シカゴ大学(3名)、ペンシルベニア大学(3名)。
- ⑥ その他特記すること: NSF Career (12名)、Sloan Research Fellow (8名)
- ⑦ PROMYS から数学以外の研究分野へ進んだ例
- ・ Henry Cohn: Microsoft Research New England の創立者の一人。
  - ・ Carolyn Phillips: MIT で数学と文学の学位をとり、機械工学の学位を修士(MIT)取得後、海軍原子力工学研究者として数年間働き、その後ミシガン大学で応用物理の PhD を取得した。現在は、米国エネルギー省で働いている。
  - ・ Michel Mitzenmacher: ハーバード大学から数学の学位を取得後、ケンブリッジ大学で修士学位を取得、UCバークレーで PhD を取得している。ハーバード大学コンピュータ科学教授で238報の論文のほか多くの特許を取得している。

### (1.3)インタビュー

- (1.3.1) 米国での「数学」を志望した高校生が大学、大学院と進む際の進路の選択について、PROMYS (主催者: Glen Stevens 教授) 事務所、および PROMYS に協力しているボストン大学 Steven Rosenberg 教授への質疑応答を行った。(回答者: PROMYS 主催事務所、Steven Rosenberg 教授)

#### 【質問1】 PROMYS はどのような教育を行っているのか。

PROMYS のコースは標準的な高校の数学コースや大学での標準授業のコースではない。PROMYS に参加する学生は、大変優秀な学生であるが、大学レベルの知識(例えば微積分)は持っていないかもしれない。それゆえに、コースの授業は挑戦的な内容で、しかも急速に高度になっていくよう計画されている。しかしながら、そこで使うスキルは高校生が十分有した知識だけで理解可能なようになっている。加えて、我々は大学に行けば習うことのできる知識を教えようとは思っていない。コースは毎日講義を行うが、基本的に問題を与え、時間をかけて解くという形である。学生はほとんど毎日、他の学生やトップ大学で数学をメジャーにしているチューターと与えられた問題について議論を行う。また、大学の教授クラスとも議論をすることもある。問題を解いたあと、講義を聞いてもらうが、その計算法や理論は講義の2,3日後ぐらいに理解されることが多い。このような教育法は "immersion teaching" と呼ばれており、学生が外国語の文法を学ぶ前に行われる "immersion Language class" にあたる。

【質問2】 PROMYS の学生は60%が大学の数学(主専門)に進む。一方で40%の学生は数学以外の専門に行く。さらに、PhD 修了者の23%は数学以外の専門へ進むようである。これはどう考えるか。

PROMYS の修了学生が数学者になるかどうかより、PhD を取得する科学者にな

る割合が重要であると思う。40%のPROMYSの修了学生がサイエンス系のPhDを取得している。これほど多くのPhDを輩出しているプログラムはほかにはないのであると思う。(オハイオ州立大学での姉妹プログラムがあるが)。

【質問3】 PROMYSからは、ある程度の数学以外の専門へ進む学生がいる。この理由はなぜか。米国の教育システムの効果であるか。

これはやや難しい質問である。一般に、米国での大学教育は、欧州やアジアからみて柔軟であるとはいえる。例えば、米国の大学では、学生が大学へ入学したときに将来の専門を決める必要がない。同様に、数学の大学院でも大学院の1-2年をすぎてから学生は研究領域を決めることが多い。したがって、学生は学部でも大学院でも他の研究分野を学ぶ機会を多く持っている。

加えて、米国では応用数学は非常に強い分野であり純粋数学より多くのファンディングの機会がある。統計は応用数学よりさらに強いだろう。結果として、多くの大学院学生が応用数学や統計での研究をすることになっていくのは自然である。そしてそれらの研究領域では生物、化学、ファイナンスといった横断研究に対する機会も多く生まれている。

## 4. 国内での学部における数学教育調査

数学融合研究を推進するためには、幅広い数学人材の育成が急務である。そのために、国内外の数学・数理科学系の大学で行われている教育プログラムをもとに、どのような工夫がされているかを調査してみた。特に、国内では、新しい理念で開設された数学・数理科学系の学部や学科がある。そのいくつかの例の調査を行った。

### 4.1. 国内における大学での学部数学教育

#### (1) 東京大学 理学部 数学科 (1 学年学生数 (45 名))

##### (1.1) 学科の概要

##### (1.1.1) 設立についての経緯

1877年東京大学が設立された時に理学部の一部として出発。1919年には、数学科の講義科目が設定されている。

##### (1.1.2) 教育目的

理学部としては、以下の人材の養成を目的としている。

- (a) 自然科学を中心とする諸分野の第一線で先端的な研究を行う研究・教育者
- (b) 産業界の要請及び諸研究開発機関などからの需要に応じた創意ある人材
- (c) 社会の諸方面において理学的素養をもって働く人材

さらに、数理科学研究科は以下の教育目的を掲げている。

数学、数理科学に関する体系的な知識と高度な研究能力を修得し、数学・数理科学の諸分野において、第一線で活躍する研究者、ならびに数学・数理科学の幅広い素養と専門的な判断力を身につけ、社会の広範な領域で新しい時代を担う人材を育成し、国際的な視野に立って高度な数学・数理科学の文化を醸成して社会の発展に資することを目的とする。

(1.2) 今までの数学科や数理科学科とは異なる特色について

アクチュアリー・統計プログラムが、学部教育特別プログラムの一つとして、平成17年に東京大学理学部に開設され、平成25年度で終了した。このプログラムでは、未来のアクチュアリーを養成していくと同時に、数理統計学の基礎を体系的に学んだ統計家を養成することを目的とし、現在のアクチュアリーに必要とされている基本的な知識の修得のみならず、将来アクチュアリーに必要となる、ファイナンス・リスク管理及びその統計的取り扱いも視野に入れ、確率論・統計学を包括的に教育し、保険数理の発展に寄与する人材を育成するものであった。終了後、ほとんどの関連講義が、理学部数学科および大学院数理科学研究科講義として開講されている。

アクチュアリー・統計プログラムでの必修科目：確率モデルと統計手法、確率モデルと統計手法演習、確率論、確率論演習

同選択科目：数理統計学基礎、確率過程論、確率解析学、アクチュアリー数理1、アクチュアリー数理2、保険理論、時系列解析、多変量解析、人口学、会計学基礎、経済学基礎、アクチュアリー統計セミナーⅠ、アクチュアリー統計セミナーⅡ

(1.3) 学生の進路について期待していることとその戦略

教育目的に沿った学生の育成をする上で、広い進路を選択してほしいと考えており、そのために、日本数学会異分野・異業種研究交流会への参加を奨励しているほか、同窓会の支援を得て「数理キャリアデザインセミナー・情報交換会」を開催している。

(1.4) 成功していると思えること

上記の人材育成は、アカデミックな進路に対してはおおむね成功している。

(1.5) 今後の課題について

広く社会で活躍する人材の育成には、課題が残っている。

**(2) 慶應義塾大学理工学部 数理科学科 (1学年学生数(約60名))**

(2.1) 学科の概要

(2.1.1) 設立についての経緯

慶應義塾大学工学部時代に、純粋数学、統計学・確率論、コンピュータ科学の3研究教育分野が融合する数理工学科が設立された。工学部の発展のために、数理的な研究教育が必要であるという要望に応えたものである。その後、理工学部へ改組されたときに、数理科学科となり、学生定員数も40名から60名に増員されている。このうち、40名が数学コース、20名が統計コースを選択することを基準にカリキュラムが作ら

れた。それにより、統計コースのカリキュラムは国内ではまれに見るほど充実した統計教育が行われている。また数学コースは理学士、統計コースは工学士という一つの学科で異なった学士号を出せる当時国内では唯一の学科であった。その設立趣旨から、実解析、複素解析、エルゴード理論、関数方程式等の解析系の教育と確率論、統計学およびコンピュータ教育を主体としていたが、その後、代数学、幾何学といった純粋数学研究教育分野が加わってきている。さらに、離散数学や最適化問題も研究教育分野の柱となり、多様な数学・数理科学教育を実践している。

#### (2.1.2) 教育目的

数学および統計科学など、数理科学の理論と研究手法を教授することで、抽象的・普遍的に物事を見る力やデータから情報を的確に読み取る力を育み、変化する時代においても確実な判断を下し、幅広く社会に貢献する人材の育成を目的とする。

#### (2.2) 今までの数学科や数理科学科とは異なる特色

3年次から、代数、幾何、解析、確率、離散数学を教授する数学専攻と統計科学、確率、離散数学、情報系科目を教授する統計学専攻に学生は分かれる。また、学生は所属する専攻に関わらず、科目を履修でき（数学と統計学の両方を学べ）、どの研究室にも配属可能である。

#### (2.3) 学生の進路について期待していることとその戦略

特徴的な点は、中高の教員あるいはアクチュアリー資格を目指す学生がいる点である。教員志望者については、慶應義塾内の高校で非常勤講師ができたり、そこに所属する卒業生も少なくない。アクチュアリー養成については、財団法人アジア生命保険振興センターより寄附講座を開設していただき、保険業界で将来活躍する学生の育成を経済学部・経済学研究科とも協同して行っている。

#### (2.4) 成功していると思えること

学部教育における数学専攻と統計学専攻という枠組みはやる気のある学生には非常に良い体制であると思う。

#### (2.5) 今後の課題について

数学、数理科学が様々なところで役に立っているという認識を、高等学校以下の生徒やその親に認識してもらうことであると考えている。

### (3) 明治大学 総合数理学部 現象数理学科 (1 学年学生数 (80 名))

#### (3.1) 学科の概要

##### (3.1.1) 設立についての経緯

現象数理学科のルーツは理工学部数学科と 2007 年に設置された MIMS (明治大学先端数理科学インスティテュート) で、この MIMS が母体になり 2008 年から 2012 年に推進された文部科学省 GCOE プログラムが「現象数理学の形成と発展」である。その後、GCOE プログラムの終了を受け、活動の継承のために 2013 年 5 月に MIMS

のもとに現象数理学研究拠点が設立された。この間2011年4月に単一専攻からなる独立研究科として先端数理科学研究科現象数理学専攻が開設され、研究面だけでなく教育面での現象数理の方法論が煮詰められた。さらに現象数理学の裾野を広げ継続的に発展させるため、2013年4月に新設の総合数理学部に現象数理学科が設置された。

### (3.1.2) 教育目的

正式には以下の「人材育成その他の教育研究上の目的」にあるとおりだが、一言で言うところ「現象数理学の3本の柱(モデリング+シミュレーション+数理解析)を身に着け、社会の抱える様々な問題解決に数理科学を役立てることのできる人材の育成」である。<人材養成その他の教育研究上の目的>

現象数理学科は、世界を牽引する数理科学の教育研究拠点として、生命現象や経済活動などの自然や社会における複雑な現象を解明する現象数理学の教育と研究を行う。数理科学の理論・応用及びコンピュータの密接な連携教育の下で、「現象から数理科学の問題を抽出する力」、「数理科学を自然や社会の問題解決に活用する力」及び「21世紀の新たな数学を創造する力」を培い数学と社会をつなぐ架け橋となる人材を養成する。様々なフィールドで数学の力を生かし、数理科学の探究に挑戦し続けることのできる人材を輩出し、社会に貢献する新たな教育研究を展開する。

### (3.2) カリキュラム

学科カリキュラムについては、基礎教育科目は数理基礎と情報基礎に大別され、2年次までに配当される。数理基礎では一般的な理系学部同様に微積分や線形代数を中心に学ぶが、情報基礎ではプログラミング演習に重点をおいている。専門科目は4年間にわたり(といっても2、3年次に重点的に)配当されているが、大きく5つの科目群に分かれ、現象数理の基礎、コンピュータ数理、社会数理、創造数理、演習・研究に区分されている。

現象数理の基礎は、2年次までに配当され、文字通り現象数理を支える基礎理論であるモデリングとシミュレーションと数理解析を総合的に学ぶ必修科目群であり、数理リテラシー、現象のモデリングとシミュレーション、現象と数学の3科目から構成されている。中でも現象のモデリングとシミュレーションはこの学科の特徴がよく出た科目で、生態学や化学反応、振動や電気回路など分野横断的に題材を扱い、電気回路工作などを通じて実際に手を動かしながら、微分方程式によるモデリングと差分法の基礎を学び、シミュレーション技法の基礎を身につけることを目指している。

社会数理(主にモデリング)、コンピュータ数理(主にシミュレーション)、創造数理(主に数理解析)の3つは、ほとんどが選択科目や選択必修科目で構成される大きな科目群で、現象数理の方法論の3つの柱に緩やかに対応している。学生は自分の進路の方向性にあわせて、この中のひとつまたは複数の科目群から履修科目を選択する。社会数理科目群では微分方程式や確率論・統計学を基礎として、物理・生物・医学・経済・金融など社会の様々な分野に適用される数理科学における様々なモデリング手法を学

ぶ。測度論や確率過程もこの科目群に含まれる。コンピュータ数理科目群には、画像処理とフーリエ変換、偏微分方程式とシミュレーションなどが配置されており、数理科学分野における中核的な可視化技術、シミュレーション技術を学ぶ。化学実験室を使った現象数理学実験や実験データ解析演習もこの科目群に含まれている。これらの科目群での学習が社会における卒業生の活躍の場の拡大に役立つことを期待している。3つの科目群の中では、創造数理科目群が一般の数学科のカリキュラムとの類似性が最も高くなっており、代数や幾何の科目は主にここに配置されている。教員志望の学生のために実験数学教育という科目も用意されており、新しい視点で数学の魅力を生徒に伝えられる教員の輩出を目指している。創造数理という科目群のネーミングには新しい現象に数学を適用しようとするのが新たな数学の創造につながるというニュアンスがこめられている。

### (3.3) 今までの数学科や数理科学科とは異なる特色

上述のように、現象数理学の方法論を反映したカリキュラムの独自性が最大の特徴である。

また、学科専用の化学実験室を有し、電子顕微鏡やプロ仕様の金融情報端末など、今までの数学科や数理科学科にない設備を用いて授業や研究指導を行っている。

### (3.4) 学生の進路について期待していることとその戦略

数学の基礎学力をベースに、様々な分野の現象と数理のつながりを実験やシミュレーションを通じて学び、コンピュータを用いた数理的アイデアの実装能力を醸成することにより、従来よりも幅広い領域で活躍することを期待している。

### (3.5) 成功していると思えること

学科特別仕様の個人用 Mac Book を毎日授業や演習で使うので、学生のコンピュータ・リテラシーは向上している。現象数理学ならではの微分方程式や確率モデルのシミュレーション、数値解析の教育は比較的順調で、現在の最高学年の学部3年生でも、身の回りの現象を研究題材に選んで、教員と共著で海外で研究発表するような事例もでてきている。

### (3.6) 今後の課題について

とりあえずはこのまま無事に完成年度(2017年)を迎えることが最優先課題である。

## 5. 米国の大学・大学院教育カリキュラム

我が国の数学の大学学部カリキュラムと比較するために、米国の数学の大学学部教育について調査をした。また、ここでは、工学教育での数学についても、ヒアリングや意見を集めてみた。

### 5.1. 米国大学の数学コースカリキュラム例

米国での学部教育は、基本的にメジャーを決めて、そのメジャーを取るために要求されている科目を履修するようになっており、科目履修の柔軟性が高いといえる。さらに、ダブルメジャーの制度もあり、さらに自由度をあげている。それらが様々な分野への進路を選択する一つの要因でもあるといえる。州立大学として典型的なバークレー大学では、数学科以外に、統計学科や応用数理学科があり、数学の幅を広くしているとも言える。これは、大規模な大学でできることでもある。また、東海岸の私立であるボストン大学は、数学と統計を統合して学科を構成している。このように、数学と統計を組み合わせる教育機関が存在するというのも、米国での特徴である。米国では、応用数学やファイナンスが高いニーズになっているために、大学政策として重要な戦略である。米国での学部および大学院の数学教育についてカリキュラムから見えることは、1) 米国の数学科学部教育では、数学専門への導入授業やセミナーを通じて、なぜ数学を学ぶのかという意識を高める工夫がされていること、2) 米国の学部教育のなかに、数学との融合研究へも視野が広がるような科目が用意されていること、3) 学部での専門性は日本と比べるとそれほど高くないこと、などである。むしろ大学院に入ってから専門教育を行っているように見える。日本での数学科や数理科学科での教育は、専門性は米国と比較すると格段に高度に見える。

カリフォルニア大学バークレー校での数学メジャーの取得のための要求は以下のようなものである。米国の場合はやや複雑で、高校で習ってきたものをスキップできるような科目もある。

#### LOWER-DIVISION REQUIRED COURSES

Mathematics 1A Calculus  
Mathematics 1B Calculus  
Mathematics 53 Multivariable Calculus  
Mathematics 54 Linear Algebra & Differential Equations  
Mathematics 55 Discrete Mathematics

#### UPPER-DIVISION REQUIRED COURSES

##### 数学メジャーが取らなければならない4科目

Mathematics 104 Introduction to Analysis  
Mathematics 110 Linear Algebra  
Mathematics 113 Introduction to Abstract Algebra  
Mathematics 185 Introduction to Complex Analysis

#### TWO SEMI-ELECTIVES

数学メジャーは以下のリストの少なくとも2つのコースをとらなければならない。

**Computing:** Math 128A Numerical Analysis

**Geometry:** Math 130 Classical Geometries, Math 140 Metric Differential Geometry, Math 141 Elementary Differential Topology, Math 142 Elementary Algebraic Topology, or Math 143 Elementary Algebraic Geometry

**Logic and Foundations:** Math 125A Intro to Logic, Math 135 Intro to Theory of Sets, Math 136 Incompleteness and Undecidability

#### TWO ELECTIVES

数学メジャーはそのほかに、upper divisionか大学院の授業を、あと2コースとらなければならない。基本的に2年間で8つのコースを要求している。優秀な学生はこれらのコースを1年目、2年目からスタートでき、3年生、4年生では大学院の科目も履修できる。

また、ボストン大学では数学メジャーは14コース(1コース4時間/週)を取る。全部で32コース(128時間)を取ることで卒業ができる。多くの学生は、メジャー以外から科目をとっている。

## 5.2. 米国での工学教育での数学について

プリンストン大学工学部(School of Engineering and Applied Science)での学部カリキュラム、特に数学教育について、Associate Dean Peter Bogucki(ピーター・ボグスキー副学部長)および、プリンストン大学小林久志名誉教授に直接伺った。小林久志教授はプリンストン大学工学部長を務め、またIBM東京基礎研究所所長も歴任されている。日米の工学系教育について、そのご経験をもとに、ご意見をうかがった。

### (1) プリンストン大学での数学教育概要

対応者: Associate Dean Dr. Peter Bogucki, Princeton University

プリンストン大学では、2つの学部学位を授与する。人文学、社会科学、自然科学(数学を含む)の学生を対象とするBachelor of Arts(BA)と工学部専攻の学生に与えられるBachelor of Science in Engineering(BSE)である。各々、学位取得の要件が決

まっている。これらの学位に数学教育がどのように含まれているかについて回答する。

BAの学位を目指す学生全員に求められる数学の単位は、”quantitative reasoning (定量的推論)”と呼ばれているが、数学、統計、コンピュータ科学の科目を一つ履修すればよい。自然科学を専攻する学生は多変数の微積分のみならず、多くの数学系科目を履修しなければならない。人文・社会科学系の学生の数学教育をどうすべきかは我々にとっても課題である。人文・社会科学の学生にも統計の科目を必須にすべきという意見もあるが、プリンストン大学ではまだ公式には行っていない。人文・社会科学の学生でも基本的な数学の習得は重要であると考えており、今後解決すべき問題である。人文・社会科学系の学生を対象とした Math Alive (Math 199) と呼ばれる数学のコースが開設されているが、これを履修する学生は未だ少ない。

<http://www.math.princeton.edu/course/mat199/spring-2013-spring2014>

[http://people.maths.ox.ac.uk/griffit4/Math\\_Alive/index.shtml](http://people.maths.ox.ac.uk/griffit4/Math_Alive/index.shtml)

BSEの学位を目指す学生は全員、数学科目:1) MAT103: Calculus 1 (1変数の微積分)、MAT 104: Calculus 2 (1変数の微積分(続))を履修しなければならない。これらの科目は高校で履修している学生もいる(Advanced Placement, International Baccalaureate higher level, or British A-level exams)、2) MAT201: 多変数の微積分、3) MAT 202: 線形代数である(<http://www.math.princeton.edu/undergraduate/courses>)。

工学部の各学科ではほかに多くの数学科目の履修を義務づけている。例えば、微分方程式、確率論、離散数学等である。また、必要な数学を工学指向で教えてもいる。たとえば、フーリエ解析は信号処理のジュニア(学部3年生)レベルの科目で教える。

**【質問】**工学部では数学の基礎科目は数学専門家が教えるのか？微分方程式やフーリエ解析のような数学科目はどうか？もし、数学専門家以外がこのような科目を教えているとしたら、それで十分だと思われるか？

Calculus や線形代数(linear algebra)については数学科の教授が担当している。これらの科目は、工学、自然科学、社会科学等の学生が履修している。工学部からは、学生が工学コースへ応用できるように教えられていないという苦情がある。その理由から、微分方程式は1970年ごろから機械・宇宙工学科の教授、離散数学はコンピュータサイエンス学科、確率論はOR・金融工学科の教授が担当している。彼らは数学を教える能力を持ち、工学の専門家でもある。たとえば、Howard Stone 教授は微分方程式の教師として評判が高い。Stone 教授の経歴(<https://www.princeton.edu/mae/people/faculty/stone/>)をみてもらえば分かるように、彼は単なる数学者ではなく、多くの応用を目指している。プリンストン大学の教育は、特別な例外を除いて、全て正規の教授陣が担当する。工学部で必要と思われる他の数学についても、関連した学部や学科の教授によって担当される。フーリエ解析を信号解析の授業で教えるのは電気工学科の教授である。工学部の目的には、このような形が妥当だと考えている

し、実際、工学部の教授達はこのような形態を好んでいる。数学科の教授が教えたが  
るような理論的な数学は工学での実用上の問題には役立たないからである。

## (2) 工学部における数学教育への意見

工学部における数学教育について、プリンストン大学および  
米国での工学教育をもとに、小林久志氏(プリンストン大学名  
誉教授、元工学部長、IBM 東京基礎研究所元所長)に意見を頂  
いた。以下がそのまとめである。



(2.1) 学部および大学院での日本と米国の工学教育の違いについて  
最初に、大学以前の教育について筆者の意見を述べたいと  
思う、その後に大学学部および大学院での教育についての筆  
者なりの考察を加えたい。

### (2.1.1) 大学入学以前において優秀な学生を育成する必要性

米国の才能ある高校生は、高校在学中に数学や科学の Advanced Level の講義を  
自分の高校あるいは最寄りの大学で受講したり、その知識を認定する試験を受け、  
“Advanced Placements (APs)” (付記1) の単位を得る。APs 試験の結果は SAT  
(Scholastic Aptitude Test, 日本での入試センター試験に相当) の得点に加えて大学  
の入学選考基準の要素となる。これらのスコアに加えて、高校での成績表、小論文(エッ  
ッセー)、推薦状、課外活動やボランティア活動で示されたリーダーシップの能力等が入  
学選抜の際考慮される。

微積分での AP の履修証明を持っている学生は、大学に入学直後から Advanced  
calculus のコースを履修することができる。物理や他の自然科学のコースについて  
も同様である。日本では、標準的なカリキュラムコースに従うことが求められている  
ので、優秀な学生でもそれ以上の内容を高校時代に勉強する機会が容易に得られない。  
(「日本の大学と教育界に期待する、電気学会誌創立 125 年記念誌」：

<http://hp.hisashikobayashi.com/wp-content/uploads/2014/05/4JTokushuu-1-1.pdf>  
を参照)。

米国では大学、大企業、慈善団体などが中心となって上記のような優れた若者の才  
能を培うプログラム、コンペティション、奨学金などが多数あるが(付記2)日本の教  
育界や社会は天分に恵まれた若者を認知し、その才能をさらに育成する環境を殆ど提  
供していない。サイエンス、工学、芸術に秀でた才能を持つ若者の育成は日本の世界  
への貢献のみならず、産業経済における国際競争力にとっても重要である。

### (2.1.2) 工学部における数学教育

米国の大学での教科書は数学のレベルを落とさず、しかも学生にとって興味ぶかく分かり易いように工夫して書かれている本が多い。プリンストン大学では、どの科目でも、殆ど毎週宿題が課されたり、クイズと呼ばれる小テストが学期中何度も行われ、各時点で学生がどの程度講義の内容を理解しているかを確かめる。日本の大学では宿題を出すことは殆どない。従って、講義内容をコースの最後まで十分消化している学生は少ないのではないか。

米国の教授は TA (Teaching Assistant) を使って、宿題や試験の学生の答案を丁寧に採点し、添削した答案を学生に返すので、学生はどこで間違えたのかを理解し、教授や TA が示す回答集と比較して、自分の解法とは違う手法もあるのだと知ることができる。このようなきめ細かい対応が日本の大学でも必要であろう。

米国のリサーチ・ユニバーシティ (教授達が教育の他研究にも従事する大学) では、教授を評価する際、研究成果がもっとも重要ではあるが、講義内容や教育のスキルの評価も重要で、昇進や昇給にも反映される。教育面で卓越した教授に与えられる “Teaching Award” は米国の大学では一般的なことである。プリンストン大学では、毎年全学から選ばれた 2、3 名の “Best Teachers” が卒業式典で表彰される。また、地元ニュージャージー州の高校の教員の中から選ばれた卓越した数人の教師もプリンストン大学の卒業式典で表彰される。大学と地元の高校とは、このような表彰プログラムや、将来教師を目指すプリンストン大学の学生を実習生として地域の高校に送り込む Teacher Preparation Program (<https://teacherprep.princeton.edu/>) を通じて緊密である。

### (2.1.3) 工学における大学院教育

米国大学の大学院では、最初の 2 年間は講義が重要視されている。一方日本の大学院では (少なくとも私が東京大学の学生だった頃) 修士論文の研究を中心に必要な知識を適宜学べという教育方法を取り、講義は二の次である。米国の大学院では、系統だって準備された授業を多数受講することで、学生は自分の研究テーマのみならず、広い分野の知識を習得することができる。しばしば輪講形式をとる日本の大学院授業では学生が、研究テーマ以外の分野にも強い関心を持ち、尚且つ自分自身で学習する能力がなければ、米国の PhD のように幅広い知識は身につかない。

日本での大学院教育で改善すべき点として、1) 良く準備された講義、2) 良い教科書、3) 宿題、4) 厳格な試験と単位評価、を進言する。特に、2) の良い教科書については、日本語での教科書は市場規模が小さいので、米英のように充実した内容の分厚い教科書を執筆して出版する動機づけが低い。英語で書かれた教科書を使い、講義の上手な外国人教授に授業をしてもらうのが、大学の国際化の面からも良いのではないかと考える。有能な教師がいない場合は MOOCs の活用も検討すべきであろう (付記 3)。

勿論これは学生の英語能力の高い大学院のみで可能なことである。

#### (2.1.4) 工学教育での数学の重要性

学部の数学プログラムとして、電気工学では、1) 微積分、2) 線形代数、3) フーリエ変換とラプラス変換、4) 確率論と統計の入門などが、重要だと思う。コンピュータ科学では、離散数学あるいは「CONCRETE (CONtinuous and discrete) 数学」が重要であると思う。それらには、順列組み合わせ、グラフ理論、数論入門のトピックが含まれている。データ構造、アルゴリズム、暗号、計算の複雑さ (computational complexity) などの理解に上記の数学が使われる。情報科学や通信理論を専攻する大学院生は、応用確率論、ガウス過程、ポアソン過程、マルコフ連鎖、ランダムグラフ、ガロア体、ヒルベルト空間といった数学の概念を知っているべきである。

私は、プリンストンの大学院で“情報システムにおける確率過程”という講義を長い間、受け持った。このコースには、電気工学科で情報・通信分野を学ぶ学生だけでなくコンピュータ科学科の学生も出席していた。この講義内容がコンピュータ科学で現在最も注目されているマシン・ラーニング (機械学習) の分野に役立つからである。

ビッグデータを扱うためのいわゆるデータ科学はコンピュータ科学、統計学の研究分野にも関わっていると思う。現在のデータ科学の中心は、データ構造の表現、保存と検索、並列計算、データの可視化などの技術が中心となっているが、膨大なデータから意味のある情報を引き出すには、機械学習と新しい統計解析法が求められている。この分野の研究やカリキュラムの開発は、現在急速な発展をしている。日本でも、統計学、データ解析、データ可視化や機械学習の研究者がチームとなりこの分野での人材を育てる教育内容の構築が緊急の課題であろう。(詳細は付記4を参照)。

#### (2.1.5) 工学教育における数学教員の役割

学部レベルでの数学科目 (線形代数、微分積分、実解析、複素解析、微分方程式など) は数学者が教えてよい科目であろう。工学部の大学院のコースで求められる数学は、数学を手法として使うものであり、電気工学、機械工学、OR・金融工学、コンピュータ科学等の教授が教えたほうが良いと思う。確率論を例にとれば、数学科では測度論 (measure theory) のアプローチで教えるが、これは工学系の多くの学生の理解度を超えており、また彼らの勉強や研究に必要なではないというのが筆者の意見である。数学の厳密性にこだわる数学科の教授は、工学系学生のニーズとのミスマッチを引き起こす恐れがある。数学の応用に興味をもち、コンピュータを使いこなし、数学理論を目的としてではなく、道具として教える能力と情熱を持つタイプの数学者がこれから益々要求されるのではないかと思う。

付記1. ピーター・ボグスキー副学部長の意見では、AP クレジットに過度の重きを置くことは慎むべきである。AP スコアはあくまで全国の平均的な高校を対象とし、生徒がある程度の高度の教科内容を身に着けているかどうかの目安を与えるものであり、Calculus の AP で最高点の5点を取った学生でも、プリンストン大学で

MAT201 (多変数微積分)の科目で A の成績を取るか、D の落第点しか取れないかは、予測がつかないからである。

#### 付記2. 大学が提供する英才教育

Mr. Noah Golowich が高校時代に MIT 主催の PRIMES: Program for Research in Mathematics, Engineering and Science for High School Students に参加したことは上述したが、どの有名大学も高校生対象の英才教育プログラムを持っている。プリンストン大学の場合は Teacher Preparation Program を通して地元の優秀な高校生を見出し大学の講義を受講する機会を与えている。

#### 付記3. MIT などのオンライン公開講座

MIT の提供する公開講座 (Open Courseware) のリストを見れば講義のシラバスなど参考になる情報が多くある。<http://ocw.mit.edu/courses/#mathematics>  
統計のコースでは次の二つが参考になろう。

<http://ocw.mit.edu/courses/mathematics/18-443-statistics-for-applications-spring-2015/>

<http://ocw.mit.edu/courses/sloan-school-of-management/15-075j-statistical-thinking-and-data-analysis-fall-2011/Syllabus/>

ハーバード大学と MIT 共同の edX という MOOCs (Massive Open Online Courses)の中で、ビジネスや生命科学などを応用分野とする統計学のコースとして [https://www.edx.org/course?search\\_query=statistics](https://www.edx.org/course?search_query=statistics)

がある。更に edX の競争相手である Coursera が提供する統計学のオンライン・コースに <https://www.coursera.org/courses?query=statistics&languages=en> がある。社会科学、ビジネス、健康への応用を対象としている。いずれもシラバスなどが参考になろう。

#### 付記4. プリンストン大学における、統計、ビッグデータ、機械学習 のコース

プリンストンでの学部レベルの統計学のコースは社会科学系の学科も含めていくつかの学科が提供する。OR・金融工学科の ORF 245 Fundamental of Statistics が規範的なコースであるが、文系の学生には数学的にレベルが高すぎるようである。ビッグデータに関しては ORF250 Analysis of Big Data がある。

「統計と機械学習」の Certificate Program が最近学部学生向きに導入された。

## 6. 数学・数理科学学生のキャリアパス

数学での人材育成のために、キャリアパスが大きな問題となる。数学専門を修得した学生が社会へ貢献できるための出口が必要である。この現状を日本数学会の協力による進路調査と米国における学生の動向、また数学からのキャリアの一つであるアクチュアリーについてインタビューを含めて調査した。

### 6.1. 日本数学会における産学連携を通じた若手数学者の人材育成

日本数学会では、「将来を担う若手数学者の育成」は、日本数学会として重要な事業の一つであると捉え、数学・数理科学研究分野での大学院後期博士課程学生やポスドクのキャリアパス支援を行うべく、日本数学会内にワーキンググループを立ち上げ、支援策の検討を行い、進路調査や毎年の学会においてキャリアパスセミナーを実施してきた。さらには、ワーキンググループを発展させ、文部科学省、日本数学会、日本応用数理学会、および企業が協力しあって「社会連携協議会」を設立、学会におけるキャリアパスセミナーの活動のほかに、新たに「数学・数理科学学生のための異分野・異業種研究交流会」を行っている。社会連携協議会幹事および東京大学キャリアアドバイザーを務めている池川隆司氏にまとめていただいた。

#### (1) 文部科学省と数学会におけるキャリア構築支援の系譜

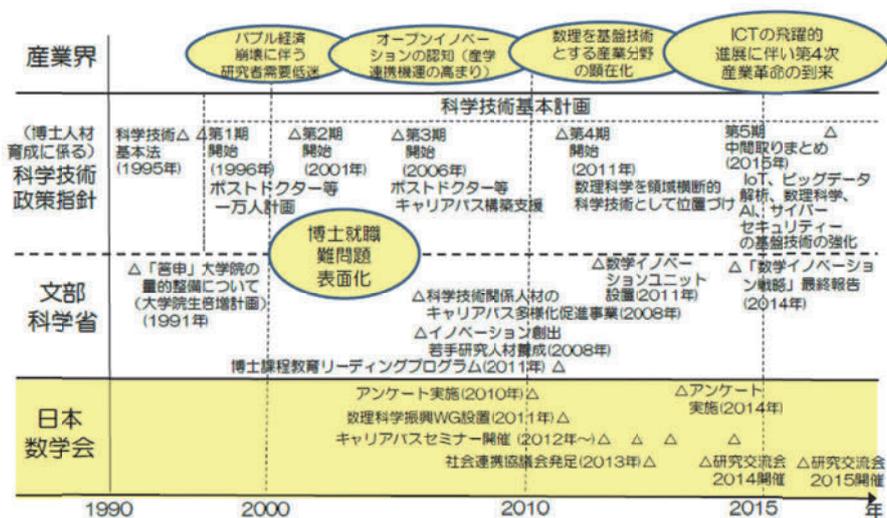


図1 文部科学省・日本数学会におけるキャリア構築支援の系譜  
【出典】池川, 日本数学会数学通信, Vol.19, No. 4, pp. 26 - 33, 2015年2月の図1を最新化

図1に文部科学省と日本数学会が実践したキャリアパス構築支援の系譜を示す。1990年代後半、ポストドクター一人計画に基づき大学院の定員増が行われた。しかし、「学」のポスト減少の他に「産」の研究者需要低迷が重なり、博士課程修了生の就職難問題が表面化した。本問題に直面した日本数学会は、就職難問題の現状を把握するためにア

ンケート調査を実施した(1.2節参照)。主に博士後期課程修了生の産業界を含む多様な分野へのキャリア構築支援を目的とする「数学・数理科学のためのキャリアパスセミナー」(以下、キャリアパスセミナー)を2012年から数学会年会時に開催してきた。

ICT(情報通信技術)等の進展に伴い、2010年頃から数学・数理科学の高度な知識を必要とする産業分野が顕在化した。日本数学会は、このような産業界の潮流や文部科学省での取組を踏まえ上記の取組を加速させるために、産と学の有識者からなる「社会連携協議会」を2013年に発足させた。2013年からは、社会連携協議会が中心となり、キャリアパスセミナーやそれを発展させた「数学・数理科学専攻若手研究者のための異分野・異業種研究交流会」(以下、異分野・異業種研究交流会)を企画運営することとなった(1.3節参照)。

## (2) 博士課程修了生の就業状況

日本数学会は、2014年3月に博士後期課程修了生の就業状況のアンケートを実施した。その結果を図2に示す。

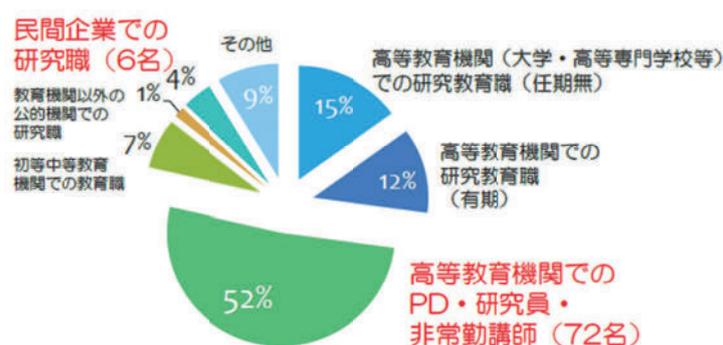


図2 2013年4月から2014年3月までに博士後期課程を修了した大学院生の就業状況(回答数:140名)

図2より、不安定な身分の修了生が約半数に及ぶとともに民間企業の研究職への就職率は高々4%であることがわかる。このことから、博士課程修了生の産業界へのキャリア構築支援の強化・加速化が喫緊の課題であることがわかる。

## (3) 日本数学会が主催したキャリア支援のイベント

日本数学会が主催したイベントであるキャリアパスセミナーと異分野・異業種研究交流会では、試行錯誤によりプログラムを改善した結果、産業界からの理解を得られるようになり、イベントに協力いただく企業数が増加している。なお、異分野・異業種研究交流会2014より文部科学省「数学協働プログラム」からの経済的支援をうけている。

#### (4) 異分野・異業種研究交流会

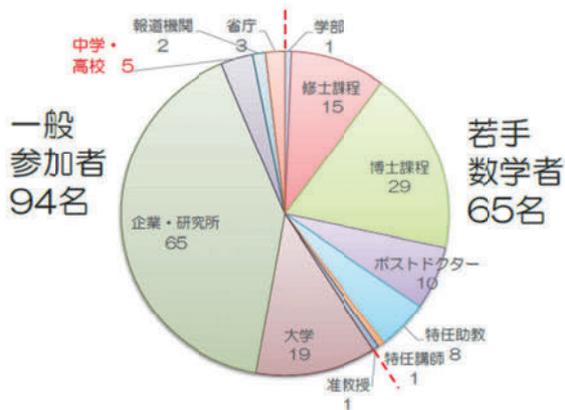


図4 異分野・異業種研究交流会2015の参加者159名の内訳  
(交流会2014の参加者128名)

若手数学者の人材育成に多大な効果をもたらしている異分野・異業種研究交流会について紹介する。異分野・異業種研究交流会の目的は、若手数学者に対し次のような機会を与えることである。1) 産業界を含む異分野への応用展開の可能性のような数学の思わぬ力の発見、2) 産業界へのキャリア構築に向けた動機付け。

これらの目的を達成するために、若手数学者によるポスター発表や、若手数学者が企業ブースを訪問し、若手数学者が産の研究者・人事担当者と意見交換を行う個別相談会を開催している。

図4に異分野・異業種研究交流会2015の参加人数の内訳を示す。この交流会の参加人数は159名であり、交流会2014と比べると約25%増加した。つまり、着実に参加人数が増加していることがわかる。

交流会2015では、中学・高校教員に「数学履修生が産業界で活躍できる場」を知ってもらうために、中学・高校教育関係者への広報活動を新たに実施した。それが奏功し関係者5名の参加があった。

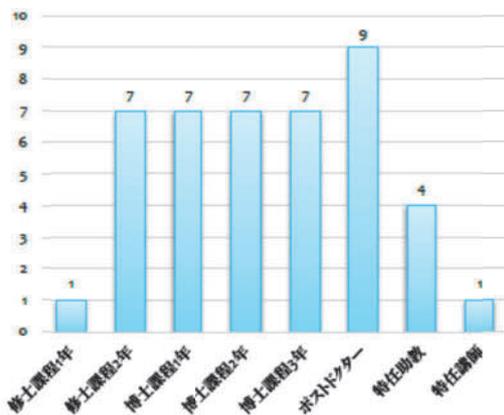


図5 ポスター発表者43名の学年・職位の分布  
(交流会2014のポスター発表者39名)

参加した若手数学者のうち、43名がポスター発表を行った。図5にポスター発表者の学年・職位の分布を示す。図5より、修士課程から特任講師までの幅広い層の若手数学者が発表を行ったことがわかる。研究交流会2015より、若手数学者の参加意欲の向上、並びに諸科学・産業界との協働意識のさらなる醸成をはかるため、諸科学・産業界への応用可能性が高いもしくは今後高くなることが期待される研究内容をわかりやすく発表したポスター発表者を表彰

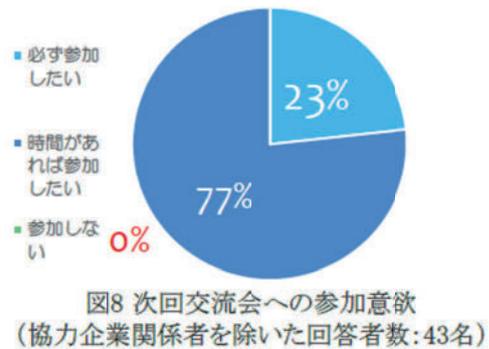
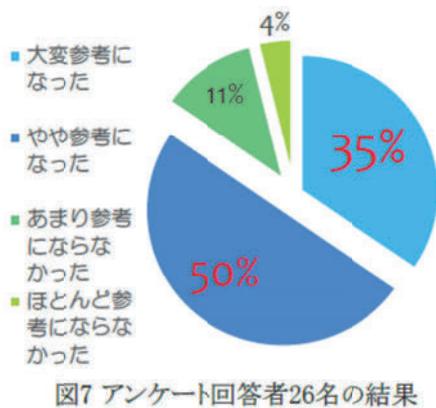
する制度を設けた。そのため、社会連携協議会委員および研究交流会に協力した企業/研究所代表者の29名からなる選考委員会を設置した。選考委員による投票、選考委員会による合議により、早稲田大学 D3、九州大学 D1、東京大学 M2の学生が「ベストポスター発表」を受賞した。

## (5) 到達点と課題

前述のアンケート結果等から産学連携による人材育成を可能とするイベント（キャリアパスセミナー／異分野・異業種研究交流会）の企画運営スキームは確立されていると考えられる。

今後の課題として、

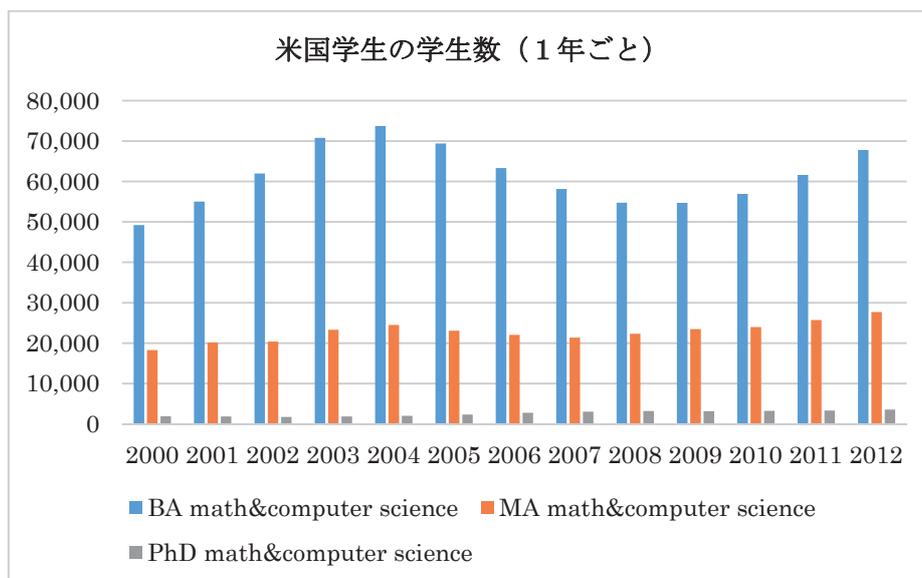
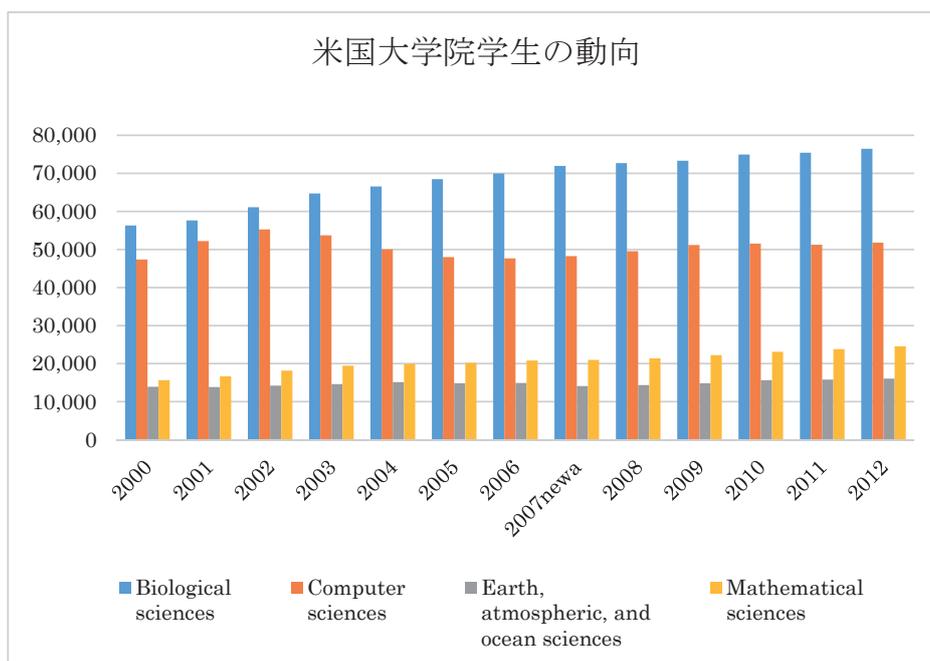
- (1) 異分野・異業種研究交流会については参加数が大幅に増加していることから顧客満足度を向上させるための多大な運営費が必要となっており、それを解決するための自立的事業運営を可能とするビジネスモデル構築
- (2) 事業の効果を可視化する仕組み作りと費用対効果の検証が挙げられる。



## 6.2. 米国における数学の人材の層とキャリアパス

### (1) 米国での数学学生の動向

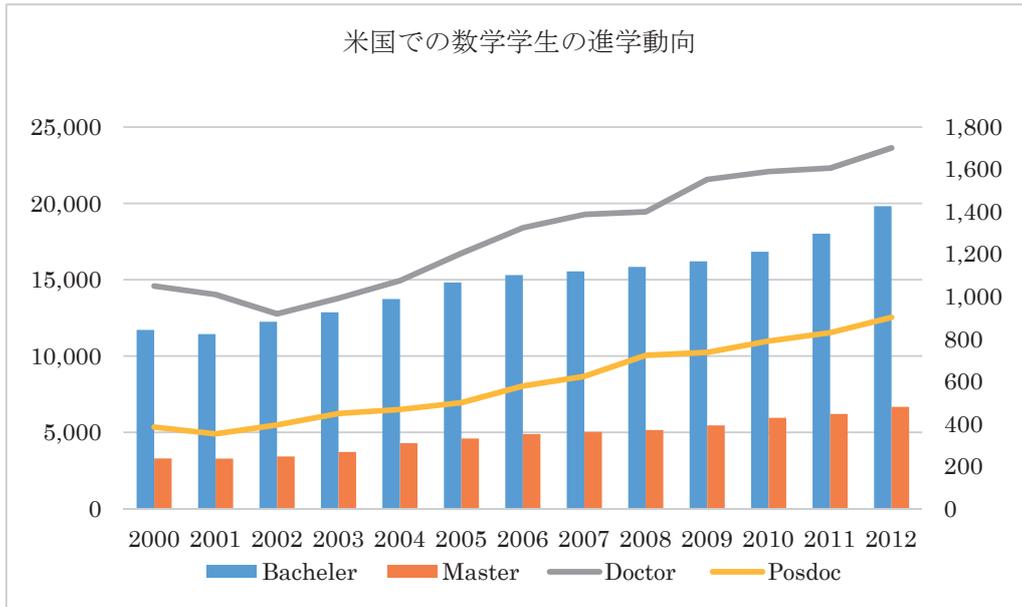
PhD について調べてみる。米国での大学院学生 (Master, PhD) 数は、全体として増加傾向にあるが、それほど大きな伸びがあるわけではない。その中では、数学が2000年の15,650人から2012年には24,575人に増えているのは、数学に対する需要へ応えていることと考えられる。



## (2) 米国での数学(数理科学)の卒業および修了学生およびポストクの動向

米国での数学(数理科学)の学部卒業生および大学院修了学生の2000年以降の動向調査データがNSFから公表されている。それによると、2000年では学部学生が11,000名程度から20,000名へ、修士課程修了者は4,000名程度から6,000名程度へ、博士は1,000名から1,700名へと増加している。ポストクも500名から900名へと伸びている。

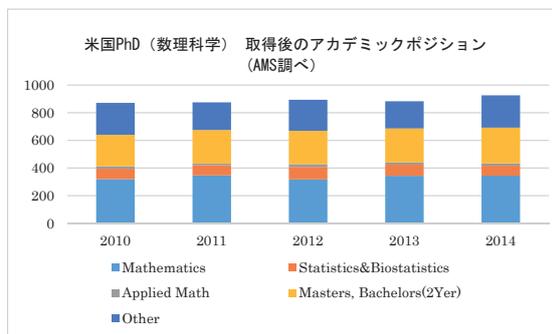
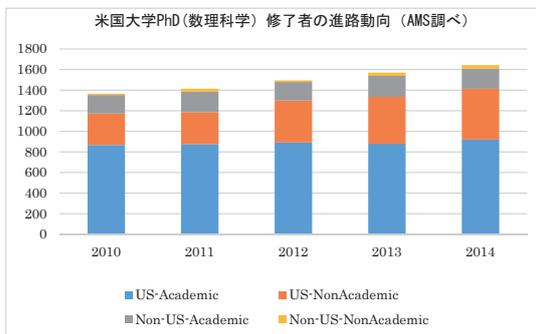
一方、日本では、学部学生卒業生が3,767名程度、大学院修士課程修了者が956名、大学院博士課程修了者が161名である(文部科学省学校調査報告書による)。日本と米国では1桁程度の違いがある。

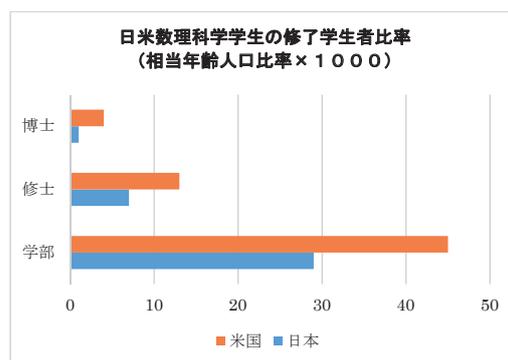
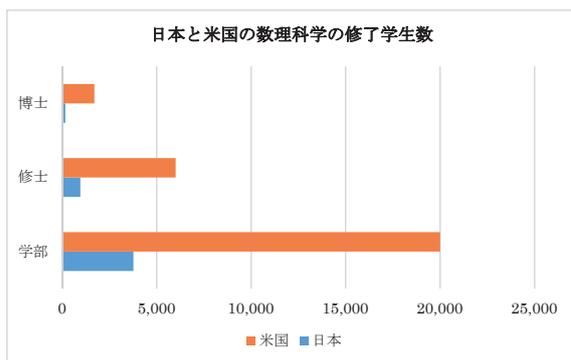


|                       |                      |
|-----------------------|----------------------|
| 学部、修士、博士はともにその年度の在籍人数 | 左の数値が棒グラフ、右側の数値が線グラフ |
|-----------------------|----------------------|

### (3) 米国でのキャリアパス

米国での PhD 取得後の進路についての調査 (<http://www.ams.org/profession/profession>) があり、それによると、米国での博士取得後の進路では、アカデミックポジション以外に就く割合は年々増加しており、2014年では23%程度ある。これは、日本の数学・数理科学のキャリアパス状況が稀有であるのと比べると全く違っていることが分かる。アカデミックポジションには、数学以外の分野も含まれている。米国での PhD 取得後のアカデミックポジションの分野割合の動向は以下のようになっている。PhD 取得後数理科学から応用数学へのポジションへ行くのは非常に少ない。

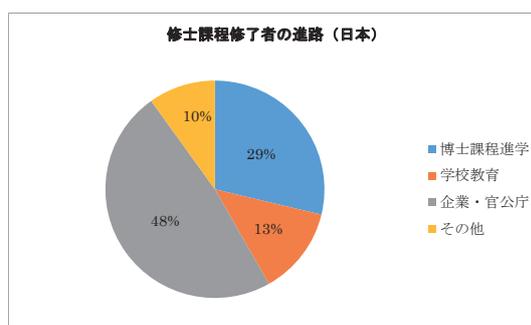
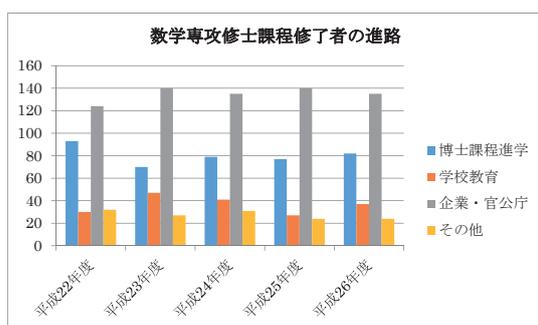


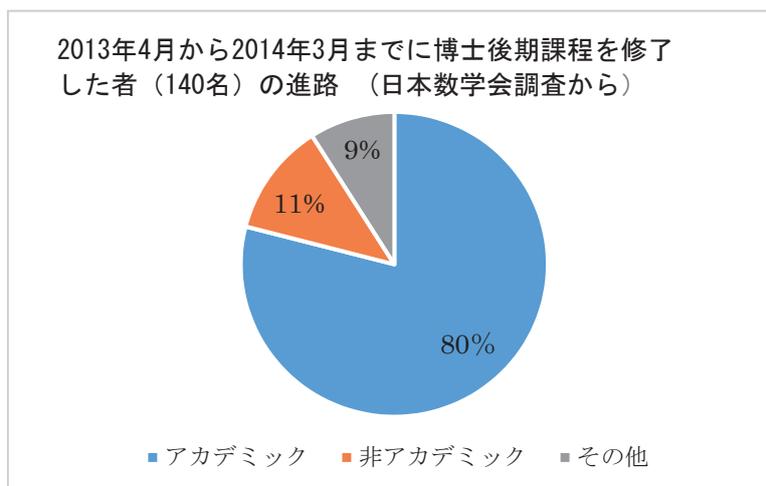


日米の数学・数理科学学生の修了者数をみると、大きな開きがある。相当年齢の人口比に直しても差がある。異分野融合や企業との共同研究を行う人材を輩出することにより、この差は埋められるだろう。

【参考1】

日本数学会のデータを使って調査した、7大学(北海道大学、東北大学、東京大学、名古屋大学、京都大学、大阪大学、九州大学)からの回答による調査では、2010年度から5年間の修士課程学生修了学生は1,395名であった。また、回答があった組織からだけになるが、やはり2013年4月から2014年3月の博士課程修了者140名のうち、高等研究機関でのポスドク、研究員、非常勤講師についている割合は52% (72名相当)があるが、研究教育職は27% (37名相当)というデータがある。





【参考2】学校基本調査(平成27年度高等教育機関)からの数学学生進路状況

(大学学部・数学卒業生:3,767人) : 進学者 29%、就職者(正規の職員等) 52%、就職者(正規の職員でない者) 7%、その他 10%

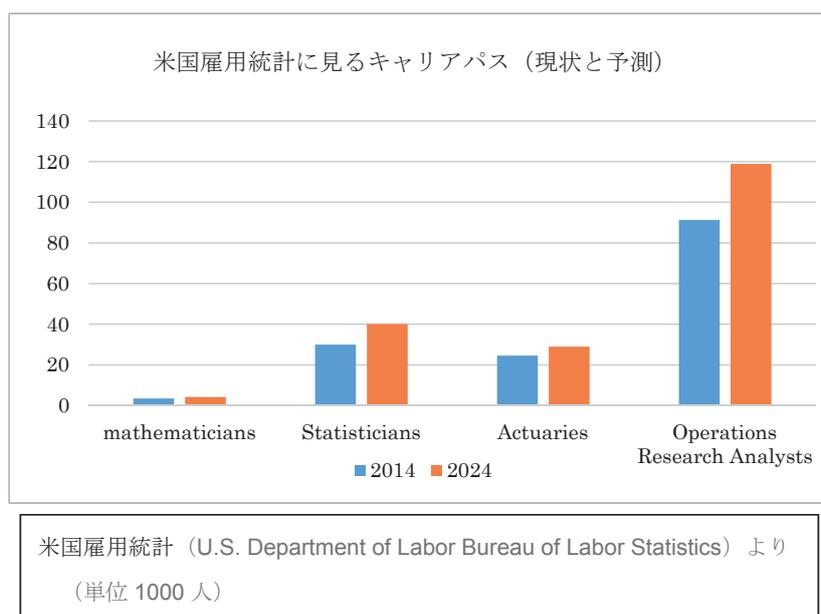
(大学院(修士課程)数学修了者:956人) : 進学者 15%、就職者(正規の職員等) 68%、就職者(正規の職員でない者) 4%、その他 12%

(大学院(博士課程)数学修了者:161人) : 就職者(正規の職員) 34%、就職者(正規の職員でない者) 27%、その他 39%

(ただし「数学」は次の小分類(学科)を含む: 数学(類)、応用数学、数理学、応用数理学、計算機科学、情報(科)学、情報数理学、数理科(学)、数理情報学、数学・情報数理学、計算機科学、情報数理科学、数理情報学、情報システム、情報システム解析、情報メディア工学、現象数理学、システム数理学)

(4) 米国雇用統計からみる数学からのキャリアパス

米国雇用統計2014年の数学・数理科学、OR、統計、アクチュアリーの詳細およびそれらの2024年の予測が与えられている。これらの職種の雇用については全般的に活況を示しているといえる。その要因はデータアナリストの需要拡大の予測である。数学者の職業雇用については、数学研究者の微増もあるが、教育、工学系への教員、エンジニアサービス、マネジメントといった職業への増加の予測が立てられている。なお、米国雇用統計のなかでは、数学を専攻した学生が、これら四つの職種以外でも活躍しているということも記されている。(http://www.bls.gov/oooh/math/mathematicians.htm#tab-2)



また、毎年発表される Best Job ranking では以下のように数学・数理科学、統計等の職種が上位にランクされている。

2015年 1位 Actuary 2位 Audiologist 3位 Mathematician (Carrer Cast)

2014年 1位 Mathematician 2位 Tenured University Professor 3位 Statistician (Wall Stret Journal)

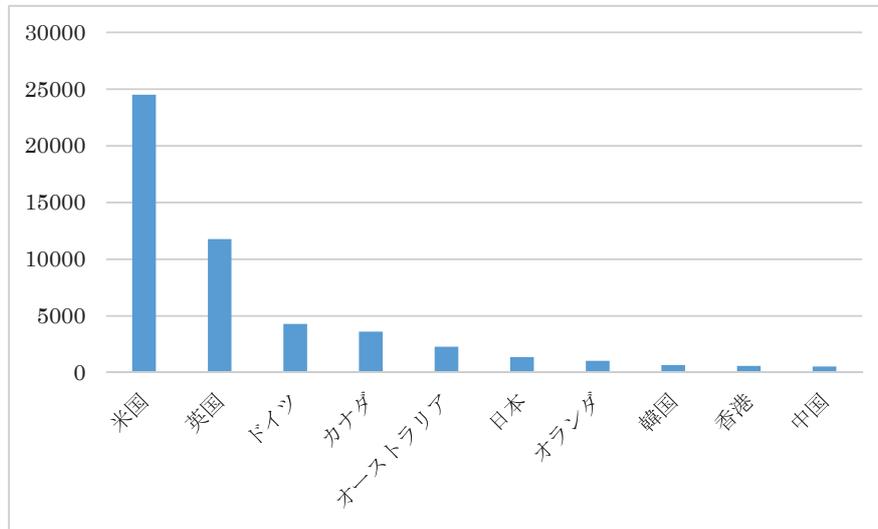
#### (4.2) 日本のアクチュアリー会員数

| 年度   | 2008  | 2009  | 2010  | 2011  | 2012  | 2013  | 2014  | 2015  |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 正会員  | 1,219 | 1,240 | 1,262 | 1,300 | 1,335 | 1,373 | 1,435 | 1,514 |
| 準会員  | 831   | 936   | 969   | 994   | 934   | 1155  | 1278  | 1287  |
| 研究会員 | 1,976 | 2,061 | 2,180 | 2,261 | 2,247 | 2,273 | 2,166 | 2,192 |
| 合計   | 4,026 | 4,237 | 4,411 | 4,555 | 4,516 | 4,801 | 4,879 | 4,993 |

#### (4.3) 米国のアクチュアリー会員数

| 年度         | 2008   | 2009   | 2010   | 2011   | 2012   | 2013   | 2014   |
|------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Fellows    | 12,366 | 12,766 | 13,344 | 13,774 | 14,468 | 15,071 | 15,729 |
| Associates | 8,098  | 8,578  | 8,501  | 8,904  | 9,069  | 9,342  | 9,849  |
| Total      | 20,464 | 21,294 | 21,845 | 22,678 | 23,537 | 24,413 | 25,578 |

## 世界のアクチュアリー正会員数



【注】 米国が多い理由の一つは、米国には生命保険会社が約1,000社あるが、日本は43社である。

### (4.4) アクチュアリーから企業トップへの人材例

アクチュアリーが保険業界での重要な役割を負っている。英国や米国ではアクチュアリーから企業トップとなる人材が多い。例えば、川井三郎氏(協栄生命社長・会長)、河野一郎氏(プルデンシャル生命保険社長)、根岸秋男氏(明治安田生命社長)、有末真哉氏(三井生命社長)、倉重光雄氏(Prudential-HD 社長)等多数輩出されている。アクチュアリーという職業は国際的にはよく知られているが、日本ではあまり知られていないのが現状である。前林義明日本アクチュアリー会事務局長からは、このような数学を使う専門職について、今後若年層へ周知していく必要があるとコメントを頂いた。

## (6) カリフォルニア大学バークレー校の場合

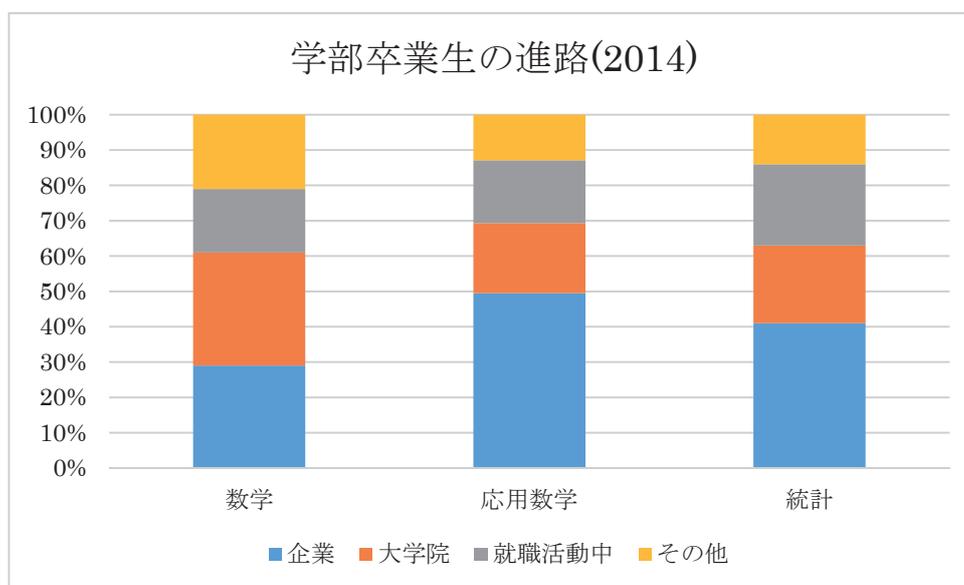
カリフォルニア大学バークレー校の2014年の学部卒業生、PhD 修了者の動向を見てみよう。

### (6.1) 学部卒業生の進路

卒業生

|                    |             |
|--------------------|-------------|
| 数学卒業生 99名のうち回答者    | 34名(回答率34%) |
| 応用数学卒業生 158名のうち回答者 | 40名(回答率25%) |
| 統計卒業生 167名のうち回答者   | 64名(回答率38%) |

のデータである。



#### (6.1.1) 数学の進路

- ・ 企業：教員、データアナリスト、ソフトウェアエンジニア、信託アナリスト、航空産業
- ・ 大学院進学：純粋数学(代数学、トポロジー)、計算数学、経済学、OR、物理

#### (6.1.2) 応用数学の進路

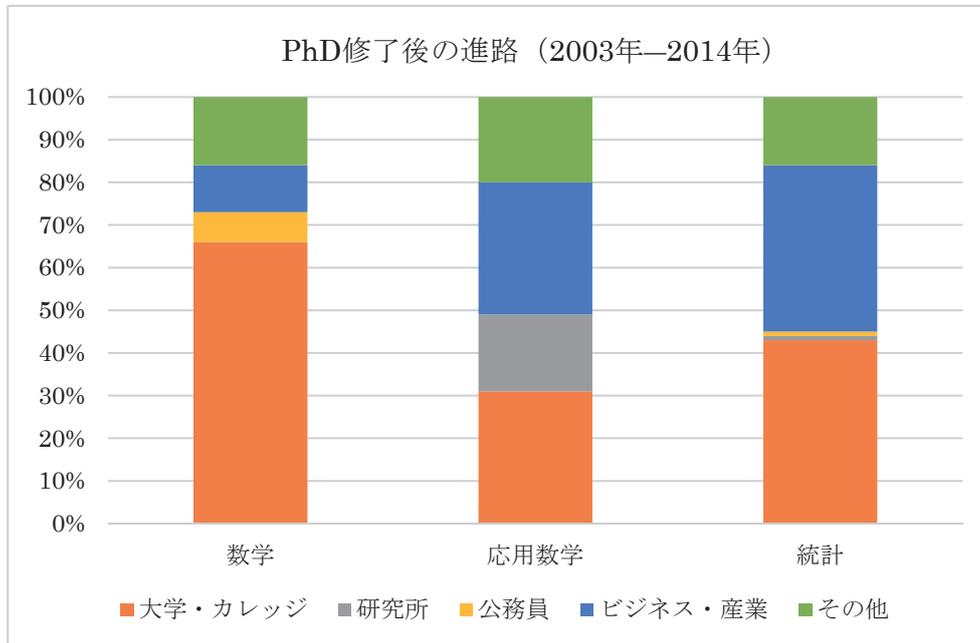
- ・ 企業：データサイエンティスト、証券アナリスト、ソフトウェアエンジニア、アクチュアリー、システムエンジニア、コンサルタント、サプライチェーンインターン
- ・ 大学院進学：応用経済、応用物理、計算数学、ファイナンス、情報工学

#### (6.1.3) 統計の進路

- ・ 企業：通信会社、研究アナリスト、税務事務所、会計アナリスト、アクチュアリー、データアナリスト、コンサルタント、企業研究員、ソフトウェアエンジニア、ファイナンシャルアナリスト

(6.1.4) PhD 学生の修了後の進路 (2003年から2014年までの累計)

回答を得た数学 220名、応用数学 16名、統計 83名についての分布



参考資料

【学部卒業者の進路について】

<https://career.berkeley.edu/Survey/2014Majors>

【PhD 修了者の進路について】

<http://grad.berkeley.edu/professional-development/doctoral-alumni-outcomes/placement-survey/>

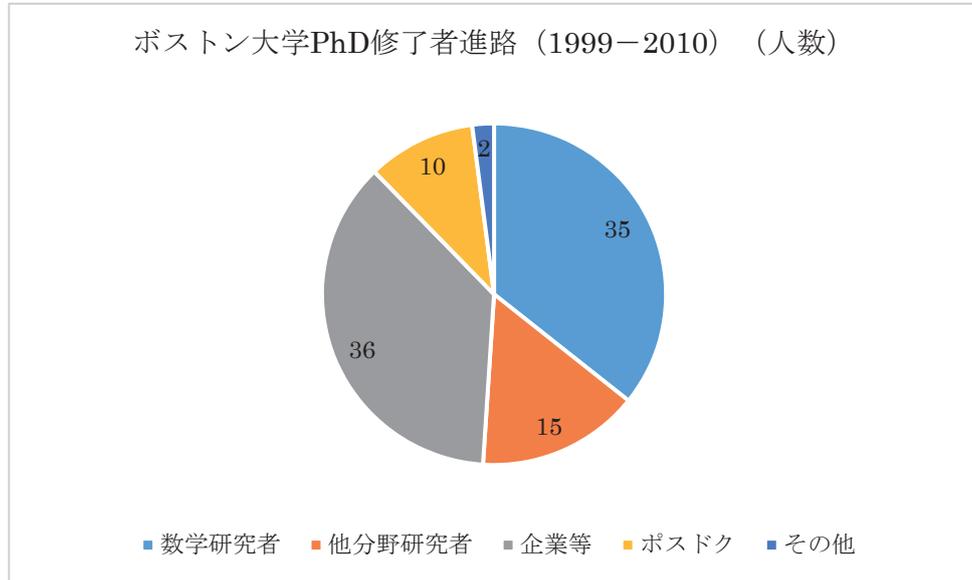
(7) ボストン大学 PhD 修了者の進路 (1999年から2010年まで)

(7.1) 企業等での職種

企業役員 (CEO、バイスプレジデント)、データサイエンティスト、ソフトウェア開発者、証券アナリスト、アクチュアルアナリスト、バイオ統計アナリスト、シニアエンジニア、シニアマネージャー、マーケットアナリスト、教員、サイエンスライターほか。

## (7.2) 他分野研究者の進路分野

統計学、生物統計、定量解析、生命情報、医学、ファイナンス、バイオメディカルほか。



米国の数学系の大学学部卒業者の50%程度が就職し、その残り50%程度が大学院へ進むのは、ほぼ日本での進学率とは同じ程度であると思える。ただ、米国では、統計学科や応用数学科等多く存在しており、卒業生の絶対数は全く違う。それでも、数学のニーズは高く、就職状況は非常によい。日本も数学系の学部あるいは修士での修了者については、問題がなく好条件での就職をしている状況は、数学会によるアンケート調査からも分かる。問題となるのは、博士課程の進路である。米国といえども、アカデミックポジションの獲得は難しい状況にある。特に、いわゆる純粋数学でのアカデミックポジションを得ることはかなり至難である一方、他分野や企業へ進路が開けているところが日本と米国の違いである。

## 7. 数学人材育成の課題

本章を終わるにあたり、数学・数理科学人材育成の観点からまとめを行う。

この調査から、高度社会において、数学の能力は、様々な程度があることは別として、ある程度のレベルの数学能力は必要であることは明らかになった。また、ある程度のレベルを保持する高校生では、大学以前の学生の数学好感度は良好で、文系の学生からみても数学の重要性は認識しているとも思える。これを大学入学後、あるいは社会への輩出の過程においても、数学能力を保持させていく必要が十分ある。ここには、大学での数学教育が強く関わると考えられる。

我が国は、数学研究では世界的トップレベルの国であり、この高いレベルをさらに発

展させていくことが、数学を社会に役立たせるという意味でも重要である。この数学研究の基盤があってこそ、新しい数学理論や手法が生み出され、それが何十年後に様々な異分野融合研究や他分野へ役立たせることができるようになることは、歴史が示している通りである。新しい数学の創生のためには、先端的数学研究支援体制の保持、人材育成支援が行われなければならない。

一方で、21世紀における社会の高度化や複雑化に応えるため、社会における科学技術の重要性は今まで以上に求められている。特に、IT技術による社会革新とも言える時代が到来すると言われるなかでは、数学・数理科学がその理論基盤を支える重要な役割を担うことは必然である。そのために、「数学」から今までの「数学人材」とは別の人材育成を早急に検討していくべきではないだろうか。今回は、米国での数学人材育成、プリンストン大学工学部での教育、社会から求められている数学キャリアパス等を検討した。これらの調査からの提案は、新しいタイプの「数学人材」育成を早急に始めるべきということである。

この調査を通して得られたことから、今後検討する必要があると思われる課題について述べる。

### (1) 若年層への数学の教育について

社会において、数学の重要性は誰もが認めるところである。また、これからの社会にとって数学はより重要な役割を果たすことは間違いない。そのために、大学入学以前の学生に対して、様々な方向から数学の重要性を伝えていく必要がある。数学の面白さを学び、感動を受けて大学へ進学する際に、数学の専門に進む人材も必要であるし、それを多方面に生かすことを選択する学生も必要である。また、文系に進む学生に対しても、教員の力がかなり影響していることは、高校生アンケートからみても分かる。そのことから、文系学生へ数学をどのように教育していくかということも重要な検討事項である。いずれにしても、数学を通じて、柔軟な人材の育成ができることが必要ではないか。

高校教員の方々に質問した際から得た回答を参考にしてみると、大学の数学は高校までの数学とは違う、という認識がある。従って、生徒に大学の数学専攻への進学を積極的には勧めない。また、数学の重要性については、「数学は論理的な考え方のトレーニング」といった抽象的な理由が挙げられている。高校教員には、大学の数学専攻に進んでもその後のキャリアが(大学教員や高校教員などに)限られるという意識があり、キャリアの具体例や社会において数学が応用されている具体例があまり知られていないと思われる。数学が論理的な考え方を育成するというのは、確かに重要なことではあるが、それとともに、数学を学ぶことの重要性や必要性を具体的に示すことや、数学を学んだあとの具体的な社会での貢献を示す必要があるのではないか。

若年層への数学の啓蒙や教育は、今後重要になってくる。そのためには、例えば、このような教育プログラムやそれを担当できる専門的知識をもった人材の育成も必要であ

と思う。

#### **【提案1】高校生への積極的な数学教育**

高校生をより柔軟に育成する必要がある。例えば、大学への授業へ参加できるような柔軟な教育体制、アメリカで行っている Ross Program や PROMYS のようなサマースクールの実施等の検討である。また、高校や中学の教員と大学教員とのコミュニケーションの機会を作っていくことも大事である。アンケートの中で、文系進学希望学生が数学を好きになる要素として「先生」が挙げられていることを踏まえると、教員の教育法にも今後の検討が必要ではないか。

#### **【提案2】高校教員向け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**

数学・数理科学の専門を修得した博士課程修了者の登用の活用等により、若年層に対し、数学の魅力や数学の社会への貢献をより具体的に説明する授業を行う要員の検討である。また、高校生への数数学応用事例の紹介の場の運営も必要である。

### **(2) 大学学部での数学教育システムの検討**

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も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。米国の教育では、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。日本の教育特色を十分考慮したうえで、若い数学人材の育成に向かった数学教育システムの検討が望まれる。

#### **【提案3】学部での数学教育プログラムの検討**

我が国の現状からみて数学教育の中に不十分でありながら、それに応えられていない教育プログラム(たとえば、データ科学、統計、離散数学、最適化、数値解析等)について、早急な対応が望まれる。短期的視野でいえば、例えば地区ごとの大学が連携しあい、お互いの分担で補完しあう大学間連携を進めること、大学での数学の導入教育の検討、英語テキストによる授業の検討もある。

#### **【提案4】学部教育の評価**

アメリカの大学で行っているベストティーチングアワードのような形で、学部教育の優秀者を表彰することにより、教育にも重視する姿勢を作る。

### **(3) 博士課程修了者のキャリアパス**

大学での数学出身者のキャリアパスは重要な問題である。学部や修士課程の修了者の

キャリアパスに比べ、後期博士課程(博士課程)修了者のキャリアパスは深刻な問題である。優秀な人材が埋もれていく現状について、数学界が重要視してこの問題にあたる必要がある。数学人材の社会への貢献のために、優秀な人材のキャリアパスを拡大していくことが最重要課題である。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あり、企業はきわめて少ない。一方、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%ある。また、日本と米国の数学コミュニティを比較してみると、数学・数理科学専攻の学生数や関連学会の会員数自体が、米国が、AMS 会員 30,000 人、SIAM 会員 13,000 人、ASA 会員 13,000 人に対して、日本数学会会員 5,000 人、日本応用数理学会会員 1,600 人、日本統計学会会員 1,450 人と、米国は日本より一桁近く多いことから見ても、数学の規模が日米では歴然と違う。数学を取り巻く環境の規模はそれほど大きくない我が国では、より結束してこの解決を図る必要がある。今後の取り組みとして、① 企業と学生との交流会のような場の運営、② (企業への長期) インターンシップ、③ 学生への情報提供による数学専攻出身者の企業での活躍事例の紹介や、企業への情報提供等、学生へキャリアパスの情報提供を行うことである。

**【提案5】現在の日本数学会が行っている「社会連携協議会」を発展継続させるために、産学官の下による数学・数理科学の学生のキャリア支援**

日本数学会では博士課程学生のキャリアパス支援として、官学民の協力による「社会連携協議会」を発足させている。この活動を通して、企業からの数学修了学生への興味も向上してきていることは確かである。しかしながら、この活動は、ボランティア的要因が強く、運営を行う負担が多すぎる。これを継続的に運営するためには、財政的、人的サポートが必要である。それがないと、せつかくの活動も行き詰ることになる。この活動が、継続的に行えるような支援体制を検討すべきである。

## 第6章 訪問滞在型研究所調査



## 第6章 訪問滞在型研究所調査

数学・数理解科学や物理学の研究分野では、未解決問題や新しい研究への挑戦を目的として、一定期間研究者を招聘し、研究討論や共同研究を行う施設として、訪問滞在型研究所が大きな効果をもたらしている。実際、欧米には訪問滞在型研究所がすでに多く設立されている。近年、欧米での訪問滞在型研究所の成功を背景にして、また、国際的プレゼンスの向上にも役立つことから、アジア各国でもその設置が盛んである。本調査のなかでも分かるように、訪問滞在型研究所の設置についての需要や要望は非常に高い。特に、異分野融合研究の進展を目指すためには、異分野の研究者が会おう場が重要となる。一方、日本では、京都大学数理解析研究所、統計数理研究所がその役割を一部になっているにすぎず、日本に本格的な訪問滞在型研究所の設置が望まれる。この調査では、訪問滞在型研究所を類型別にして、海外の成功例と日本の現状について報告する。

### 1. 数学研究所について

#### 1.1. International Mathematical Sciences Institutes

数学における研究テーマプログラムや訪問研究者を受け入れる世界の数学研究所のコンソーシアムとして International Mathematical Sciences Institutes (IMSI) がある。<https://www.fields.utoronto.ca/aboutus/IMSI.html>。その目的は、加盟するそれぞれ研究所間の相互協力の拡大であり、International Congress of Mathematics (ICM) 等の国際会議にて定期的な会合を開催し、成功事例の共有や研究所運営の協力、プログラムの連携等を実施し、数学研究の発展に大きく寄与している。IMSI に加盟するこれらの研究所では、数学研究者の招聘、ポスドクの採用、テーマプログラム及びワークショップの実施など、人的な数学研究の場の提供を行っている。現在メンバーとして加盟しているのは、以下の59の研究所である。

- African Institute for Mathematical Sciences (AIMS), (Cape Town, South Africa)
- Alfréd Rényi Institute of Mathematics (Budapest, Hungary)
- American Institute of Mathematics (Palo Alto, California, USA)
- Australian Mathematical Sciences Institute (AMSI) (Victoria, Australia)
- Banff International Research Station for Mathematical Innovation and Discovery (Banff, BC, Canada)
- Basque Center for Applied Mathematics (Bilbao, Spain)
- Centre de Recerca Matemàtica (CRM) (Bellaterra, Spain)
- Centre de Recherches Mathématiques (CRM) (Montréal, Québec, Canada)

- Center for Discrete Mathematics and Theoretical Computer DIMACS (AT & T Labs) (Rutgers University, New Jersey, USA)
- Center of Mathematical Sciences (CMS) (Hangzhou, China)
- Centre for Mathematics and its Applications (Canberra, Australia)
- Center for Scientific Computation And Mathematical Modeling (CSCAMM) (College Park, MD, USA)
- Centre Interfacultaire Bernoulli (CIB) (Lausanne, Switzerland)
- Centre International de Rencontres Mathématiques (CIRM) (Marseille, France)
- Centre of Mathematics for Applications (CMA) (Oslo, Norway)
- Centro Internacional de Matemática (CIM) (Coimbra, Portugal)
- Centro de Investigación en Matemáticas (CIMAT) (Guanajuato, Mexico)
- Centrum voor Wiskunde en Informatica (CWI) (Amsterdam, Netherlands)
- Chern Institute of Mathematics (CIM) (Tianjin, China)
- Clay Mathematics Institute (Cambridge, Massachusetts, USA)
- Erwin Schrödinger Institute for Mathematical Physics (Vienna, Austria)
- Euler Institute (Affiliation of Steklov Institute in St. Petersburg) (St. Petersburg, Russia)
- EURANDOM (Eindhoven, The Netherlands)
- The Fields Institute for Research in Mathematical Sciences (Toronto, Ontario, Canada)
- Forschungsinstitut für Mathematik (FIM) (Zurich, Switzerland)
- Institut de Mathématiques de Luminy (IML) (Marseille, France)
- Institut des Hautes Études Scientifiques (IHÉS) (Bures-sur-Yvette, France)
- Institut Henri Poincaré (Paris, France)
- Institut Mittag-Leffler (Djursholm, Sweden)
- Institute for Advanced Study (Princeton, New Jersey, USA)
- Institute for Mathematical Sciences (IMS) (Singapore)
- Institute for Mathematics and its Application (IMA) (Minneapolis, Minnesota, USA)
- Institute for Pure and Applied Mathematics (IPAM) (Los Angeles, California, USA)
- Institute of Mathematical Sciences, The Chinese University of Hong Kong (Hong Kong)
- Institute of Mathematics (Taipei, Taiwan)
- Instituto de Ciencias Matemáticas (ICMAT) (Madrid, Spain)

- Instituto de Matematicas Aplicadas (IMAUC) (Cartagena, Colombia)
- Instituto Nacional de Matemática Pura e Aplicada (IMPA) (Rio de Janeiro, Brazil)
- International Banach Center (Warsaw, Poland)
- International Center for Mathematical Sciences (ICMS) (Edinburgh, UK)
- International Centre of Theoretical Physics (ICTP) (Trieste, Italy)
- Isaac Newton Institute for Mathematical Sciences (Cambridge, England)
- Istituto Nazionale di Alta Matematica (INdAM) (Rome, Italy)
- Johann Radon Institute for Computational and Applied Mathematics (RICAM) (Linz, Austria)
- MaPhySto - Centre for Mathematical Physics and Stochastics (Aarhus, Denmark)
- Mathematical Biosciences Institute (MBI) (Columbus, Ohio, USA)
- Mathematical Sciences Research Institute (MSRI) (Berkeley, California, USA)
- Mathematisches Forschungsinstitut Oberwolfach (Oberwolfach-Walke, Germany)
- Max-Planck-Institute for Mathematics in the Sciences (Leipzig, Germany)
- Max-Planck-Institut für Mathematik (Bonn, Germany)
- Nankai Institute of Mathematics (Tianjin, China)
- National Institute for Mathematical Sciences (NIMS) (Korea)
- New Zealand Institute of Mathematics and its Applications (NZIMA) (Auckland, New Zealand)
- Pacific Institute for the Mathematical Sciences (PIMS) (Vancouver, BC, Canada)
- Research Institute for Mathematical Sciences (RIMS) , Kyoto University (Kyoto, Japan)
- Statistical and Applied Mathematical Sciences Institute (SAMSI) (North Carolina, USA)
- Steklov Mathematical Institute of the Russian Academy of Sciences (Moscow, Russia)
- Tata Institute of Fundamental Research (Mumbai, India)
- Warwick Mathematics Institute, University of Warwick (Coventry, England)
- Weierstrass Institute for Applied Analysis and Stochastics (Berlin, Germany)

【注】この IMSI に加盟していない数学研究所として、特にアジア地域での訪問滞在型研究所があり、このような訪問滞在型研究所は増加している。

## 1.2. 訪問滞在型研究所の類型

訪問滞在型研究所を類型別にした調査を行った。この類型区分は ERC の Jean Pierre Bourguignon 所長のインタビュー（第3章）のなかで述べられているものを参考にして類型化する。

### (1.2.1) 大学付属型研究所

研究所には、専任の高度な研究者がおり、その研究者との交流や共同研究を大きな目的として多くの訪問研究者が集まってくる施設。例えば、米国プリンストン高等研究所、フランス高等科学研究所 (IHES)、ドイツマックスプランク研究所、ウォーリック大学数学研究所等が挙げられる。ここでは、専任の研究者がキーパーソンとなる。日本の京都大学数理解析研究所、統計数理研究所がこのタイプに該当し、物理ではあるが、京都大学基礎物理学研究所、韓国の KIAS、ベトナム科学技術アカデミー数学研究所もこのタイプといえる。

### (1.2.2) 長期共同研究指向型研究所

専任研究者はおかず、訪問研究者だけを受け入れる研究施設。当該期間(1年、3ヶ月、4ヶ月等多様性がある)のテーマプログラムを定めて、その期間訪問研究者を招聘し、共同研究やワークショップ等の活動を行う。米国 MSRI、IPAM、オーストリアシュレディンガー研究所、ドイツハウスドルフ研究所、台湾の National Center for Theoretical Sciences、Mathematics Division 等がある。日本では、数学研究には特化してはいないが、東北大学知のフォーラムは、日本で唯一のこのタイプの研究施設である。

### (1.2.3) 短期滞在型研究所

主として研究会やワークショップの開催の場を提供する研究施設である。ドイツオーバーボルファッハ数学研究所、フランスポアンカレ研究所、オランダローレンツセンター、カナダバンフ研究所等がある。中国では Yau Mathematical Sciences Center が最近活発な活動を行っている。そのほか、物理が大きなテーマとなっているが、米国アスペンセンターやシンガポール Institute of Advanced Studies, Nanyang Technological University がある。国内では東大玉原セミナーハウスがある。

## 2. 欧米の訪問滞在型研究所調査

欧米の主要な訪問滞在型研究所の調査を行った。

### 2.1. Mathematical Sciences Research Institute (MSRI) ・米国 (タイプ: 長期共同研究指向型研究所)



質問対応者: David Eisenbud Mathematical Sciences Research Institute 所長・  
University of California, Berkeley 教授

【質問1】1年間にどの程度の研究者が滞在するか。

長期滞在者は300名程度、ワークショップ等の短期滞在者は1500人程度である。

【質問2】所長等を含めてスタッフの数はどの程度か。

概ね20名

【質問3】MSRIの運営費はどのようになっているか。

全体予算の半分強は政府からの予算である。残りは、寄付、アカデミックスポンサー、個人寄付、寄付による基金等である。

【質問4】MSRIでのプログラムやワークショップはどのように選ばれているか。

プログラムやワークショップの採択は、アドバイザリー委員会において行われている。

<http://www.msri.org/web/msri/about-msri/governance-directory/scientific-advisory-committee>

【質問5】MSRIの評価はどのように行われるか。

National Science Foundationの指示のもとによるレビューと調査である。

【質問6】 数学と他の分野（例えば物理学）との融合研究は重要ではないかと思うが、それについての意見をお教えいただきたい。

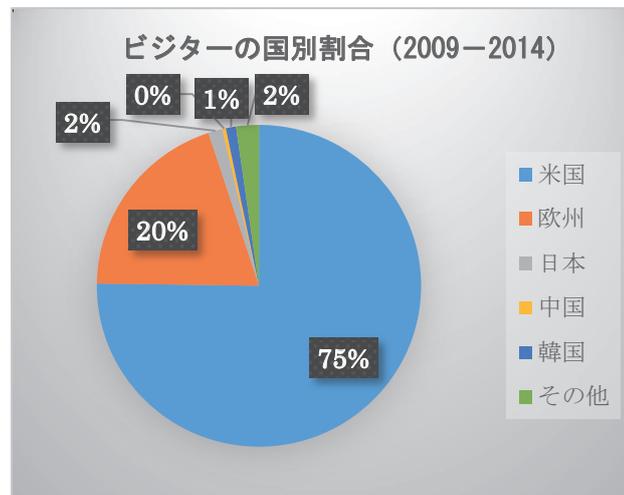
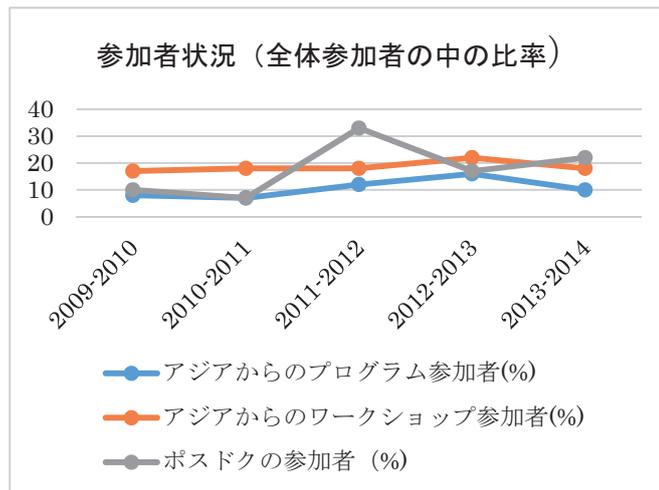
数学の中核はいつも応用から刺激を受けてきた。特に物理は大きな刺激となっているし、数学において、物理からの影響は現在大きなものである。また、数学の中核は他の科学や社会へ大きな貢献をする。従って、両者（数学と他分野）との融合を作り、双方が理解しあうことは重要である。

【質問7】 MSRI では訪問滞在型研究所として何が一番重要であると考えているか。

研究能力の高くアクティブな研究者が一同に会して、彼らに一定の機関（数カ月）特別な義務や責任を負わず、居心地のよい、サポートがしっかりした研究環境を与えることだと考える。

【質問8】 MSRI のビジターのうち、国外の研究者の比率はどの程度か。

おおよそ50%が国外からのビジターである。その中でアジアからの参加者とポストドクの参加者の動向は以下のようにになっている。



## 2.2. Institute Henri Poincaré・フランス (タイプ: 短期滞在型研究所)



以下は、ポアンカレ研究所について、Cedric Villani 所長に伺った話である。

**【質問1】** 数学と他分野との融合研究について、重要であるとお考えだと思いますが、どれがどう重要か具体的にお教えてください。

もちろん重要なことだと思っている。数学は他のサイエンス研究を助けることができるし、同時に数学も他分野の研究のなかで育っていくからである。これは、科学の歴史のなかで、多くの成功例があることから実証されている。また、フォン・ノイマン、アインシュタイン、ウィグナーといった数学者であると同時に物理学者であったような研究者の例も引用できるだろう。他分野の柔軟な科学のいくつかのルートを保持することが数学研究をさらに発展させることになる。一方で、融合研究はそれほどタイトなものとはすべきではない。そうでないと数学研究が目的への指向を強くしすぎてしまう。

**【質問2】** ポアンカレ研究所は訪問滞在型研究所として成功していると思いますが、このような訪問滞在型研究所が重要なポイントはどこでしょうか。

一つの研究所(たとえばポアンカレ研究所のように)に対してその重要性を聞くことは実際には適切ではないのではないかと。それぞれの研究所は独自の目的や考え方を持っているからである。ただ、重要なポイントのいくつかとして

- 1) 基本的な研究活動に対するある種のリズムを見出すこと(研究所にもよるが、1カ月や3カ月といった期間を提供すること)。
- 2) 活動や研究テーマを選ぶための独立した委員会があること。
- 3) 社会に対して開けていること。
- 4) 訪問滞在者のための施設として、訪問滞在者が居心地よく研究に没頭できること。

- 5) 将来へ発展していくようなテーマを準備していくこと。
- 6) 大学や他の研究機関との連携を十分作ること(ただそれほど強くなく)。
- 7) 研究所の特色が現れるためにユニークさを作ること。

【質問3】もし日本に訪問滞在型研究所が設置されたとしたら、どのような研究所であるべきか、助言をいただきたい。

外部から見ている者が日本の状況についてどうすることがよいか答えることは難しい。これは私の持論であるが、研究所を設立する際に、多くの研究所を見て、その成功例を見習い、何が日本にとって重要なポイントであるかを見つけることであろう。

## 2.3. オーバーボルファッハ数学研究所 (Mathematisches Forschungsinstitut Oberwolfach:MFO)・ドイツ (タイプ:短期滞在型研究所)

回答者:Gerhard Huisken 所長

回答日:2015.12.1

### (1) 研究所の概要

【質問1】歴史と経緯

1944年に、純粋・応用数学両方の研究のため開設された。最初の国際会議はフランスと一緒に1946年と1949年に開催され、ドイツの数学者と国際社会との関係を再構築する援助を行った。新しい建物と現在の研究所は1968年から1973年の間に、ドイツフォルクスワーゲン基金の科学文化基金により支援された(フォルクスワーゲン自動車企業とは別のもの)。

【質問2】研究所の主目的

MFO 科学委員会は A) 純粋数学、B) 応用数学、C) 数学と他分野の関係 の間のよいバランスを目指す。C) に対しては、新しい数学手法の開発を要するという点で、数学へのインパクトをもつ分野への提案のみを考慮する。

【質問3】最終ゴールはなにか?そのためどうするか。

第1のゴールは数学と、数学に近い分野の最高レベルの科学研究の発展で、特に次世代の国際的数学者を養成することを重視する。方法としては50-55名参加のワークショップを年間40週にわたり開催する。16-17名参加のミニワークショップを年間4週3つ平行に行い、Ph-D 院生が25名参加する大学院スクールを年間3週間「オーバーボルファッハセミナー」と称して行い、シニア数学者向けにはホットな研究トピックを50名の参加者で年間2週間行う。更に「リサーチインペアーズ」と言うプログラムを2-4名の数学者が2-4週行う。また、研究プロジェクトのため研究所に3ヶ月以内滞在するライブニッツフェローとよばれる個人研究者がいる。最後の2つのプログラムは週10名程度が1年を通じて滞在している。(参照:年次報告 [www.mfo.de](http://www.mfo.de))

【質問4】ゴールを目指す上での問題は?

- a) 政府と支援機関に研究所の特殊な状況を理解してもらうこと。成果が数値化でき

ないという点で他の研究所とは全く異なるので、これは非常に困難である。

- b) 研究所プログラムの透明かつ公平な採択過程を保証すること。これが研究所の傑出した評判につながる。これは、任期付のメンバーのみによる独立した科学委員会により達成される。
- c) スタッフは研究所と一体であり、これはゲストが居心地よく扱われるために重要なことである。

**【質問5】 評価：**

- a) 内部及び外部評価・時期・担当者

内部評価は毎年、科学諮問委員会(科学委員会とは異なる)が研究所運営委員会に対して行う。科学諮問委員会は、毎年上記のプログラムの1つを評価する。

外部評価は7年ごとにドイツ科学協会のライプニッツアソシエーションによるサイトビジットで行われる。

- b) 全体の評価基準は？

科学的卓越性。ワークショップの組織委員の質は特に重要。多くの申請の中で、国際参加者のレベル、研究所招聘の許容率、内部評価の結果、ワークショップ参加者のフィードバック。政府資金の適切な使用を基準にする。

- c) 次年度資金への主要な基準。

7年ごとの評価委員会のレポート。

**【質問6】 研究所の質を見極める根拠**

出版

- a) 800ページ、4冊のオーバーボルファッハレポート。
- b) 6-8冊のオーバーボルファッハセミナーからの講義録(Birkhäuser シリーズ)。
- c) ライプニッツフェローとリサーチインパリスによるオーバーボルファッハプレプリントシリーズ。
- d) オーバーボルファッハで始まりまたは完結した論文のすべてを追跡はできていない。

**【質問7】 予算 :2010-2015間の第三者の基金は平均750,000€/年(約9400万円)。政府資金は3,000,000€/年(約3億7500万円)**

**【質問8】 スタッフ数：(average for October 2010-September 30, 2015)**

25名程度常勤者(13人ゲストハウスと台所担当、2名のIT担当、1.5名の図書担当、1.5名のゲスト招聘担当、3名フロントオフィス、1名予算管理、2名科学運営、1名家政婦)

- a) パーマネント研究者 :0.5名(所長)
- b) 訪問研究者3000名(年平均)
  - 1) 長期滞在者 :12名/年(ライプニッツフェロー)
  - 2) 短期訪問者(1年未満) 3000名/年
  - 3) ワークショップ参加者 :2700名/年

- c) PD 0名
- d) 院生0名(350名短期)
- e) 運営スタッフ:上記

【質問9】 予算の詳細(2010年10月から2015年9月の年平均)

- a) 政府(NSF、DADを含む)(3,000,000€ per year:約3億7,500万円)
- b) 私企業(0 USD per year)
- c) 公的あるいは私的基金(750,000€ per year:約9,400万円)

【質問10】 活動状況(From October 2010-September 2015)

- a) ワークショップ総数:350
- b) 参加者総数:15,000名(重複を含む)
- c) 他領域との協働:多いが分類はできない。

【質問11】 事例となる根拠

ワークショップのプログラム:ここで多くの初めての成果発表があり、また多くの新しいプロジェクトが生まれている。科学的恩恵に関して2015年に2,500のアンケートへの回答があった。

## (2) 数学の融合研究について

【質問1】 数学と他分野との融合研究を推進するか?

する。特に互いに利益がある場合。

【質問2】 数学と他分野との融合研究について最も重要と思われることは何か?

科学委員会は、学際的科学者を含む隣接領域のトップ科学者をワークショップの組織委員として認定する。

【質問3】 研究所を運営する際に問題となっているのは何か。

化学などの研究室とは全く異なる文化を持つ。数学ワークショップの概念については討論の重要性を強調して丁寧に説明する必要がある。多くの数学者が属する諸科学委員会においては、隣接領域の代表者は少数で、学際的提案はときに不利になる。

【質問4】 数学と諸分野連携への助言は?

ジョイント活動を組織できる卓越した科学者を同定しアプローチするための小委員会を設けてはどうか?

## (3) 訪問滞在型研究所について

訪問研究者へ提供物

- 1) 設備:
  - a) 会議室:40名2室、80名1室、討論室、小討論コーナー
  - b) 研究室はないが、図書室にデスクがある。
  - c) 個別にコンピュータアカウント、ITサポート、ビデオ会議が可能。図書:55000冊の書籍、430冊子体雑誌、5000電子雑誌
  - d) キャフェテリア(70名)

e) 滞在室(最大70-75室)

2) 訪問滞在型研究所の運営でもっとも難しい問題は？

卓越したスタッフを長期に渡り、連続して確保すること、スタッフが変わると良い伝統が失われるかもしれないので。次のようなことは所長の科学研究を阻害する：政府機関における研究所代表、第3機関との運営交渉、組織委員や参加者との接触、全ての委員会・予算・スタッフを把握すること。

3) 数学者は研究所や大きな施設がなくても研究できるという人もいる。数学の訪問滞在型研究所の長所、短所は？

訪問滞在型数学研究所は次の点で重要である。数学の成果は高度に圧縮されて発表される。重要な概念やアイデアをより効果的に伝えることは訪問型研究所の役割である、そこで人々は非公式に1対1で向き合うことができる。孤立した研究所は、深く抽象的な問題に完全に集中する機会を与えてくれる。

4) 訪問型研究所は数学者と他分野研究者の協働に貢献できると思うか？

訪問型研究所は会ったことのない科学グループやコミュニティを引き合わせてくれる。

5) 数学訪問滞在型研究所の評価で重要なものは？

採用された組織委員の質を次の点でチェックする：適当数の若手研究者が招聘されているか、共同研究者や即時的仲間が多すぎないか、科学委員会は独立していて申請と採択の過程が透明であるかなど。

6) 卓越した化学者がMFOを訪れて恩恵を受けた例。

多くのフィールズメダル受賞者は繰り返し何度もMFOプログラムに参加している。

彼らの恒常的な参画は、この研究所とともに行動することによる大きな恩恵があることを証明している。

7) 数学と諸分野融合が成功した例。

2014年にはチューリング賞をとったS. Goldwasser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。また2015年の別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。

**【質問1】** 国際的な研究者が日本に来ることに魅力を感じるようにするためには何が重要だと思うか。

ワークショップの組織委員の質がもっとも重要である。多くの訪問者が来るのは、その分野の最高の人たちが来る場合である。

**【質問2】** 企業提案の研究会を受け付けているか。

MFOでは企業を含め、いかなる機関からの提案も受け付けていて、すでに企業との研究会をいくつか行っている。重要なことは、私企業からの研究会運営の援助を受けないこと。これは、採択の公平性のためである(MFOとしては、ドイツ産業界から

大きな寄付を受けている)。

## 2.4. Lorentz Center・オランダ (タイプ: 短期滞在型研究所)

### (1) 調査方法

Arjen Doelman 所長へのインタビュー (2015年11月28日、東北大学にて) とローレンツセンターの自己評価書 (Lorentz Center Self-Evaluation 2008-2013) 等の公開資料 (<http://www.lorentzcenter.nl/reports.php>) に基づく。



### (2) 概要

ローレンツセンター (LC) は1990年代の前半に、米国の訪問滞在型研究所に強い刺激を受けた、オランダのライデン大学の理学部の三人の教授——Bert Peletier (数学者)、Wim van Saarloos (物理学者) と Tim de Zeeuw (天文学者) ——の協力によって設立された。当初は、オランダ科学研究機構 (NWO) からの研究助成を受けることができず、ライデン大学が場所 (Oort 棟の1フロア) と少額の活動資金を提供したのみであった。間もなく物質基礎研究財団 (FOM) が物理学に関するワークショップの開催資金を助成するようになり、その後 NWO の EW 部門が天文学、数学、情報学分野の助成を始めた。これらの資金は2002年に更新された。

実際的な活動は1997年から始まり、1～2 (ときには3) 週間のワークショップの開催が中心である。LC が云うワークショップとは、多くのディスカッションと刺激的な雰囲気の中で行われる、高度に双方向的な、かつしばしば学際的な、会合である。最初の9年間は、天文学、計算機科学、数学および物理学の分野に焦点を合わせていたが、2006年には、生命科学にも範囲を拡げ、さらに人文および社会科学の高等研究所である NIAS と自然科学を超えた学際的ワークショップを共同開催することになった。

### (3) ミッション

ローレンツセンターは、科学は創造的な研究者間の相互作用によって繁栄すると云う

理念に基づいて、諸科学のワークショップを開催する国際的センターである。LCのワークショップは、異なる国や分野の科学者同士の新しい協働と相互作用に焦点を合わせるものである。

#### (4) 実績

2009年～2013年度の5年間で230のワークショップ(年平均46)が開催された。参加者総数は11,675人で年平均2,335人である。その他、958人の傍聴者(年平均192人)がいる。これらのワークショップのうち、数学に直接関係するものは66件(年平均13件)で、28%を占める。傍聴者は、主にオランダ国内の大学院生やポスドク研究者でワークショップの講演者等ではなく、自由に聴講する者をさす。

#### (5) 施設

ライデン大学の理学部キャンパスにある Oort 棟の3階と Snellius 棟2階それぞれの全体を占める研究室、セミナー室、講義室等を持つ。設備が完備した研究室が全部で20あり、合計で55名まで収容できる。

#### (6) スタッフ数

管理職として、所長1名、統括部長1名、学術部長1名、および事務長1名をおいている。現在、事務長を除く3名はいずれも博士号を有している(所長は数学、統括部長は生物学、学術部長は物理学が専門分野である)。

他にプログラムコーディネータ1名、渉外担当1名、ワークショップコーディネータ5名と支援員4名がいる。

#### (7) ファンディング

ライデン大学と政府系の資金提供機関がほぼ同額の資金を提供し、それらの合算が全経費の90%を占める。

2009年～2013年度までの5年間に

\* ライデン大学から1,650,000ユーロ(US\$1,798,000)、年平均330,000ユーロ(US\$358,000)

\* オランダ政府系資金提供機関(NWO、OCW、KNAW)から3,088,000ユーロ(US\$3,345,000)、年平均618,000ユーロ(US\$669,000)

\* 財団から131,000ユーロ(US\$142,000)、年平均26,000ユーロ(US\$28,000)

が助成された。

その他に、

\* 各ワークショップの主催者が提供した資金が1,568,000ユーロ(US\$1,699,000)、年平均314,000ユーロ(US\$340,000)。

\* ライデン大学が無償で提供する施設使用料、光熱費等の維持費などが1,515,000ユーロ(US\$1,641,000)、年平均303,000ユーロ(US\$328,000)と計上される。

外部資金はワークショップの運営費用(参加者の宿泊費や旅費)に充てられ、ライデン大学からの資金は人件費(と施設維持費)に充てられている。

## (8) プログラムの採択

ワークショップ開催は、世界中の科学者(個人またはグループ)に申請資格がある。審査基準は、学術的な質に重きをおくが、オランダ国内の科学者にとってのインパクトや興味も考慮に入れられる。年に3回(1月15日、5月15日、9月15日)ワークショップの計画調書が学術諮問委員会に提出され、天文学、化学、計算機科学、情報科学、生命科学、数学、物理学および人文/社会科学の7分野で審査される。複数の分野にわたるワークショップの場合は、複数の分野の委員会では審査される。

## (9) 評価

ほぼ5年毎に外部評価が行われる。これは、助成金の更新申請と連動している。2014年に行われたオランダ科学研究機構(NWO)による外部評価では、

学術的な質、組織運営、実行能力

の3項目すべてに「卓越している」という評価を得ている。ただし、実行能力に関しては近い将来、より広い分野をカバーするために予算獲得の面でいくつかの挑戦が待っているとされている。

## (10) 特徴

オランダは、面積が北海道の半分(九州とほぼ同面積)、人口が東京都と横浜市を併せたくらい(札幌市の8.5倍の人口)という小さな国である。従って、科学者集団の規模も小さく、単一分野で研究センターを維持することはそもそも現実的でない。ローレンツセンターは出発点から多分野、学際的であることを強いられていたと云える。重要なことは、その条件を上手に生かして、他国の研究者の模範となるような非常に魅力的なセンターに育て上げたことである。その内容を詳しくみておこう。

(A) センターの機能を、長期滞在者は想定せずに、1～2週間程度のワークショップの開催施設であると割り切っている。

(B) ワークショップは、参加者間の直接的な(インフォーマルな)ディスカッションが主目的であると定義している。典型的なプログラムは、午前10時から12時までいくつかの講演があり、その後ディスカッションのための時間を十分長くとして、午後3時半または午後4時以降にいくつかの講演を組んでいる。学際的研究は、異分野の研究者が出会うことから始まる。ローレンツセンターのワークショップはその出会いの場を提供することを使命としている。

(C) Doelman 所長が繰り返し強調したことであるが、応用数学のよい研究をするには(純粹)数学に強くなければならない。そのため、ローレンツセンターは、単一分野のワークショップも奨励している。

(D) 若手研究者の育成のためにも、ワークショップは公開して行っている。つまり、参加登録者だけでなく、オランダ国内の大学院生やポスドク研究者が自由に聴講できるようにしている。ライデンから1時間以内の距離に5つの大きな大学があり、他の大学からも2～3時間で来ることができるため、ワークショップに参加するの

も容易である。若手研究者がワークショップに参加し、ディスカッションを通して知り合ったことが縁で、ポストクの職を得たり、国外の研究者と共同研究をするようになったと云う例がたくさんある。

(E) 参加者(組織委員を含む)がワークショップに集中できるように、事務手続き等はいできるだけ簡素化し、また、計算機が来てすぐに使えるなど完備したオフィス環境を提供している。

#### (11) Doelman 所長とのインタビューより

\* 日本に短期滞在する外国人としては、(和食を食べ、居酒屋で呑みかわす、と云うような)日本人の普通の生活と同じことを経験したいと思う。

### 3. アジアの訪問滞在型研究所調査

近年アジア各国において、訪問滞在型研究所の設置が行われている。いくつかのアジアの訪問滞在型研究所について調査を行った。

#### 3.1. National Center for Theoretical Sciences, Mathematics Division in Taiwan・台湾（長期共同研究指向型研究所）



##### (1) 概要

このセンターは、1997年8月に設立された。数学分野と理論物理分野の2つの研究分野により行われている。2013年の全体予算は7500万 NT ドル（約253,075千円）である。

##### (2) 目的

- (i) 国際的に著名な研究者の招聘を行うことで、トップの若手研究者へ先端理論研究を行うことへ魅力を持たせる。
- (ii) 国際的な研究者が台湾で研究を行うことへの興味を引き付けること。
- (iii) 国際的、横断的研究を発展させること。
- (iv) 国際的な研究連携や共同研究を発信して、アジアや世界のリーダー的な研究所をめざすこと。

##### (3) 事務体制

数学分野では、研究活動を決めるプログラム委員会と方針や人事を進めるエクゼクティブ委員会によって構成されている。国際アドバイザーボードは数学研究分野の将来方針について助言を行っていく。現在の国際アドバイザーボードのメンバーは、Ching-Li Chai (University of Pennsylvania and Academia Sinica)、Bernold Fiedler (Free University, Berlin)、Thomas Yizhao Hou (Cal Tech)、Ker-Chau

Li (UCLA)、Shigefumi Mori (RIMS, Kyoto University)、Richard Schoen (Stanford University)、Horng-Tzer Yau (Harvard University)、Shing-Tung Yau (Harvard University)、Shouwu Zhang (Princeton University)である。

#### (4) 研究者

米国の MSRI をモデルにして、パーマネントスタッフはおいていない。短期間および中期間の滞在研究者を受け入れている。時々、長期の滞在研究者も受け入れる。

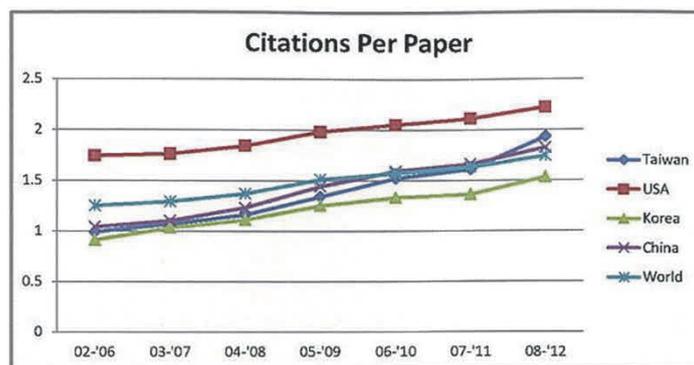
#### (5) 事務スタッフ

センターの運営をスムーズにするための事務スタッフが7名程度いる。

#### (6) 研究プログラム

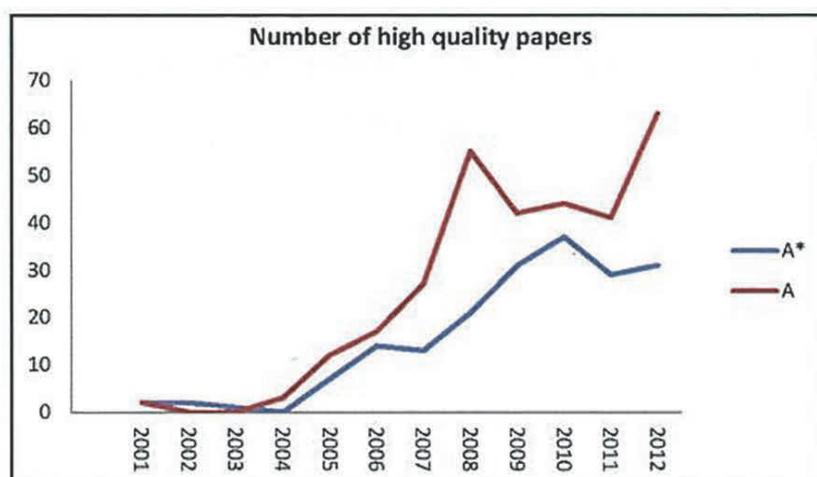
研究プログラムはディレクター、研究プロジェクト担当者等によって決められる。現在は10の主プログラムと2つの小プログラムが行われている。10の主プログラムは Algebraic Geometry、Discrete Mathematics、Dynamical Systems、Geometric Analysis and Differential Geometry、Mathematical Biology、Number Theory、Partial Differential Equations、Probability、Representation Theory、Scientific Computation である。

#### (7) NCTS における成果



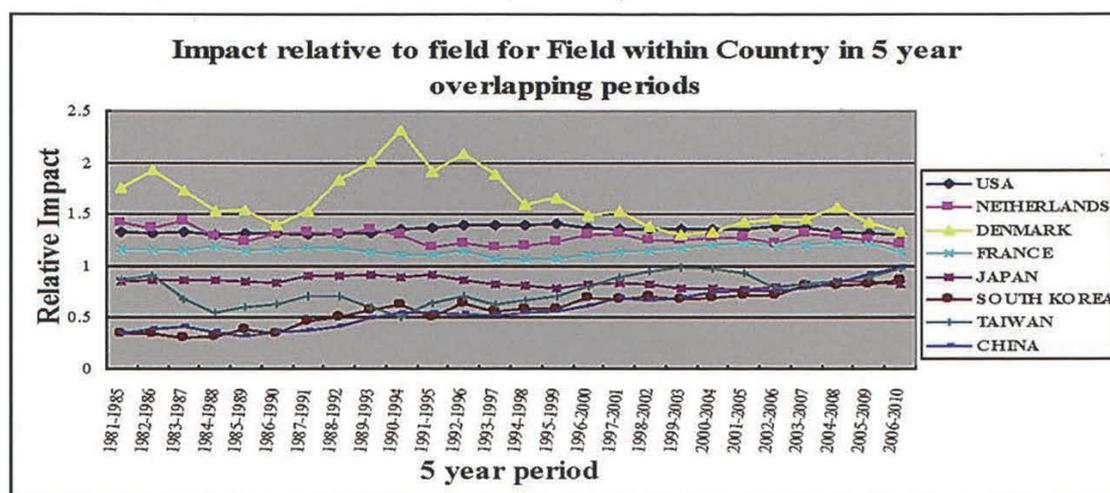
この15年間で台湾の理論科学研究は目覚ましく進歩した。その大きな役割を NCTS が負っていたといえる。1993年以前には、数学の全論文が100以下であった。1998年以降になって、その量は急激に増えている。論文数だけでなく、研究の質も目覚ましく向上している。Essential Science Indicator の評価指数を基にして、近年の数学論文の引用動向を、近隣諸国と比べてみてもかなり高くなっている。

また、純粋数学、応用数学、統計での High quality Journal での出版論文数の動向でも ERA Journal rating に基づき A\* (トップ7%)、A (次の17%) にランクされる論文数についてかなり急激な伸びを示している。



さらには、台湾の数学での国際的インパクトはかなり高くなっている。実際2006-2010年の relative impact factor は、デンマーク (1.33)、米国 (1.3)、オランダ (1.21)、フランス (1.13)、中国 (0.98)、台湾 (0.97)、韓国 (0.86)、日本 (0.82) というデータがある。

台湾の中での自然科学での比較インパクトも年々増加し、2006年から2010年の分野別インパクトはトップに立っている。



【注】 これらのデータは、NCTS のリーフレットに掲載してあるものを使った。情報のソース :National Science Indicators on Diskette 2010となっている。

### 3.2. Beijing International Center for Mathematical Research (BICMR)・中国 (タイプ: 大学付属型研究所)

アンケート回答

(1) 回答者: Prof. Gang Tian, Director of BICMR

(2) 数学研究所への質問

**【質問1】** 貴研究所が設立されたことの経緯についてお教えてください。

BICMRは、先端数学研究や教育を促進させるために、中国政府によって設立された。その目的は、中国国内および国外の数学者の連携や研究と教育の交流を推進させることである。2005年の設立以来活発に広範囲の才能を結集し、新しい数学教育モデルを探索している。

**【質問2】** 研究所での主な視点はどこにあるのでしょうか。

純粋数学と応用数学の研究に焦点を置いている。

**【質問3】** 研究所の目指す目的のために解決すべき問題点はどこにあるか。

1) 著名な数学研究者に注目してもらうこと、2) 数学研究および教育の新しいモデルを生み出すことである。

**【質問4】** 評価について

5年ごとに研究成果や招聘された研究者の質について評価を受ける

**【質問5】** 2010年10月から2015年9月にかけて研究所でのプロジェクト等に関連した論文数についてお教えてください。

毎年100報以上の論文、プレプリントが出版されている。以下はその例である。

<http://annals.math.princeton.edu/articles/8361>

<http://annals.math.princeton.edu/articles/8371>

Gang Tian, K-stability and Kahler-Einstein metrics. Comm. Pure Appl. Math, 68 (2015), no. 7, 1085-1156.

Gang Tian (Joint with B.Wang) , On the structure of almost Einstein manifolds. J. Amer. Math. Soc.28 (2015), no. 4, 1169-1209.

**【質問6】** 2010年10月から2015年9月までの間での1年間の平均的なスタッフ数についてお教えてください。

①専任研究者数 29名、②訪問研究者 500名以上(長期滞在者 50名以上、短期滞在者 150名以上)、③ワークショップ参加者 300名以上、④ポスドク研究員 21名、⑤大学院学生 49名、⑥事務担当者 11名

**【質問7】** 【質問6】のうち、数学研究者でない方はどの程度いるのでしょうか。

専任研究者は数学研究者である、そのうち何名かは応用数学研究者である。訪問研究者の20%未満、ワークショップ参加者の10%未満、ポスドク研究者は5%未満が数学研究者以外である。

【質問8】2010年10月から2015年9月までの1年平均の予算についてお教えてください。

①政府からの予算 250万 USD、②基金(個人を含む) 100万 USD

【質問9】2010年10月から2015年9月までの活動状況をお教えてください。

①ワークショップや特別なプログラム開催 30件以上、②その参加者 2500人以上

【質問10】研究所では数学と他分野の融合研究の推進を奨励しているでしょうか。

そうです。

## (2) 数学と他分野の融合研究についての質問

【質問1】数学と他分野との融合研究について最も重要と思われることはなんでしょうか。

融合研究に時間と情熱をかけられる機関が必要である。我々は生物、医学、材料科学やコンピュータ科学の研究者と共同研究をしている若干の応用研究者を有している。

## (3) 訪問滞在型研究所について

【質問1】施設の内容についてお教えてください。

①会議室やセミナー室 10室、②訪問研究者のオフィス 70室、その他図書室、カフェテリア等がある。

【質問2】研究所を運営する際に問題となっているのは何でしょうか。

宿舎の問題である。

【質問3】数学の研究所が最も重要であると考え理由は何でしょうか。

数学者がともにコミュニケーションをとって連携できるプラットフォームを供与することである。

【質問4】訪問滞在型研究所は数学と他の研究分野との融合研究に多くの貢献をされると考えますか。

そうだと思う。

【質問5】数学における訪問滞在型研究所での最も重要な評価となるのは何でしょうか。

学術的実績を作ることである。

【質問6】研究所において数学と他分野との融合研究を始めたり、発展させた例があればお教えてください。

スタッフの一人は生物学者と共同研究をし、理論を構築している。彼は、生物学の講義を行い、学生に助言している。

【質問7】国際的な研究者が日本に来ることに魅力を感じるとするためには何が重要だと思いますか。

日本に優秀な研究者がいることだろう。

## 4. 国内の訪問滞在型研究所調査

国内では数学・数理科学研究を推進する本格的な訪問滞在型研究所はないが、その機能を有する研究機関がある。京都大学数理解析研究所や統計数理研究所は、大学や研究機関に属する研究施設であるが、一部で訪問滞在型機能を有している。また、早稲田大学では、現在早稲田大学基礎科学研究所の構想を検討している。これら日本の研究所の例について調査した。

### 4.1. 京都大学数理解析研究所 (タイプ : 大学付属型研究所)



#### (1) 概要

数理解析研究所は、数理解析に関する総合的研究を行う全国共同利用研究所として、1963年に設立された。数理解析研究所には年間200~300名の外国人が訪れる。外国人客員の部門があり、ここで外国人数学者を招聘し、給与を払う。招聘の手続きは、国際研究支援室という事務部門にいる5名の事務員によって行われ、教員の負担は最小限となるようにしている。招聘された外国人研究員(客員教授)は全国各地へ講演や研究打ち合わせに出かけることができる。

#### (2) プロジェクト研究

プロジェクト研究の目的は、数学、数理科学研究上重要と認められるテーマを選び、それに関する種々の研究活動(研究集会、講演会、連続講演、長期研究員など)を一年間、集中的に行うこととなっている。海外の著名数学者が京都に滞在することも多く、沢山の共同研究がここから芽生えてきている。

平成27年度には「確率解析」と「理論計算機科学の新展開」の二つがプロジェクト研究として採択された。平成28年度には「壁近傍乱流の流体力学」と「グレブナー基底の展望」と「微分幾何学と幾何解析」という三つのプロジェクト研究が予定されている。一件の予算は150万円である。

### (3) 合宿型セミナー

合宿型セミナーは、国内外から招待された数理科学の研究者が、寝食を共にして討論を行う形式のワークショップである。これにより、当該研究分野の飛躍的な発展や次世代リーダーの育成に貢献することを目的としている。なお、参加者は組織委員を含め20人程度までとするのが基本であるが、次世代リーダー育成型のワークショップについては、若手研究者（博士課程在学中の者を含む）の積極的参加を奨励するため、参加人数を40人程度まで認めても良いこととなっている。会場は全国どこでも構わず、研究代表者が選べる。例えば、玉原国際セミナーハウスで行われたこともある。年間、5件程度採択される。一件の予算は150万円である。

URL: <http://www.kurims.kyoto-u.ac.jp/ja/>



### 4.2. 統計数理研究所 (タイプ: 大学附属型研究所)



## (1) 目的・概要

- ① 統計数理研究所は、我が国唯一の統計数理分野の高度研究教育拠点として、統計数理に対する学术界・産業界からのニーズと期待に則した共同利用・共同研究の推進、世界に向けた情報発信、他の学術分野における統計数理ユーザー層の啓発、そして次世代を牽引し得る人材の育成を行う。
- ② 基幹研究系・NOE (Network of Excellence) 型研究センターの二軸構造に、研究支援組織・人材育成組織・URA ステーションを有機的に連動させ、研究力強化に結びつける体制の整備・運用を行う。
- ③ 学術コミュニティ並びに社会が求める多様な共同研究プロジェクトを加速する研究環境基盤および研究支援機能を整備し、コミュニティ発展型・人材育成型の他、新たに国際連携型・計算基盤開発利用型の共同研究を組織的に推進する。また、異分野交流、文理融合、新分野創成に寄与するため、NOE 型研究センターを中心とした国内外の産官学組織とのネットワーク構築を進め、数学・数理科学に係る共同利用・共同研究拠点等との連携を深める。
- ④ 大規模データ時代に求められる高度な統計思考力を備え、データサイエンスおよび異分野間の連携・融合研究を推進し得る、方法論と領域の双方を熟知した T 型・Π 型人材 (データサイエンティスト) を育成している。また、総合研究大学院大学複合科学研究科統計科学専攻あるいは受託研究員制度等による積極的な社会人学生の受け入れにより、データと現実のビジネスを繋ぐことのできる次世代データサイエンティストの育成活動に取り組んでいる。さらに、多様な社会的要請と期待に応えられる公開講座を開講し、必要とされるレベルに応じた統計リテラシーの教育・普及活動に努めている。

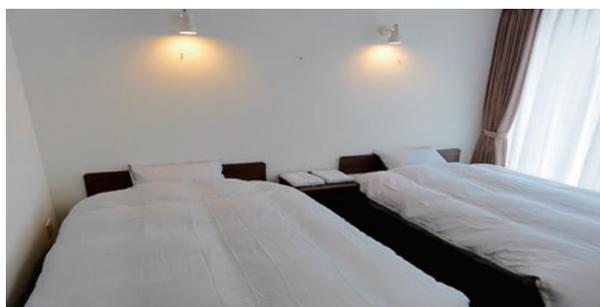
## (2) Akaike Guest House について

Akaike Guest House は、情報・システム研究機構において共同利用・共同研究や研究教育活動に従事する研究者等のための宿泊施設である。立川移転による都心型の好アクセスから郊外型になった問題点を解消し、研究活動における利便性を向上させるために建設され、2010年6月から利用を開始。また、利用開始以来、高い稼働率で運用され、2015年10月に5部屋が増築されている。



【单身室】

【夫婦室】



【建物平面図】



#### 4.3. 東京大学玉原国際セミナーハウス (タイプ: 短期滞在型研究所)



##### (1) 概要

東京大学玉原国際セミナーハウス (<http://tambara.ms.u-tokyo.ac.jp/>) は、群馬県沼田市上発知町玉原高原に2005年7月8日に開所した。セミナーハウスは、玉原高原の標高1200mの国有地にあり、近くには、標高が500m下の藤原ダムとの間で揚水発電を行っている玉原湖、水芭蕉の咲く玉原湿原、豊かなブナの林がある。セミナーハウス自体は、約1400㎡の木造2階建てで、山小屋風の美しい建物である。

セミナーハウスの入り口にあたる玉原高原センターハウスまでは、上越新幹線上毛高原の駅から予約したタクシー・バスで40-50分である。セミナーハウス自体は、車を降りて玉原高原散策のハイキングコースを15-20分ほど歩いたところにある。従って東京駅からならば最短2時間と少しで行くことができる。

東京大学玉原国際セミナーハウスは国立大学法人東京大学の施設であるが、数理科学研究科が管理運営を行っている。玉原高原は雪深いところで、セミナーハウスの使用は5月上旬から11月上旬に限られているが、夏涼しく、抜群の自然環境を持っている。このようなセミナーハウスで合宿しながらセミナーを行うことが、特に数理科学の研究、若手研究者の育成、学生の教育上非常に有効である。実際、セミナーハウスでは、Tambara Institute of Mathematical Sciencesとして数理科学のさまざまな分野における国際的な研究集会、数理科学研究科各教員の主催するセミナーの合宿のほかに、2008年から行われていた、毎年1週間かけて行われているグローバルCOE(GCOE)「数学新展開の研究教育拠点」の玉原自主セミナーは、数物フロンティア・リーディング大学院玉原 student session とリニューアルされ、続けられている。

教育目的にも使用されている。毎年秋に理学部数学科進学生のオリエンテーションを1泊2日の日程で行っており、学部教育にも利用されている。地域貢献活動として、毎年、「高校生のための現代数学講座」、「群馬県高校生数学キャンプ」(2008年度までは「群馬県高校生玉原数学セミナー」として行われていた)、「沼田市中学生のための玉原数学

教室」を行っている。

数理科学研究科の数理ビデオアーカイブスのプロジェクトにより、これらの講義の様子はビデオ映像として発信されている。

セミナーハウスの宿泊可能人数は30人強で、小規模な集中的なセミナーに最も適している。60人を超える規模のセミナーも可能で、その場合は参加者の一部は、近くの玉原高原のペンション等に泊まっていただくことになる。ペンション等は徒歩30-40分程度(車と徒歩なら20分)のところにある。

## **(2) 設備等**

教科書的な数理図書を中心として図書が多数置かれている。光ファイバーによるネットワーク環境も整備されており、テレビ中継も可能な環境となっている。セミナーハウスは林野庁の管内にあり、一般の自動車は進入が禁止されているが、セミナーハウスと一般自動車の駐車場があるセンターハウスの間は管理車両により送迎してもらうことができる。駒場キャンパスを出て、3時間後には、セミナーハウスに着くことができ、利便性にも恵まれている。

## **(3) 滞在型研究集会の実施状況**

毎年、多くの人たちが利用しており、10以上の学術セミナー・シンポジウムが行われている。2007年から2015年までの学術セミナー・シンポジウムの数は、年ごとに17、13、14、13、16、11、17、15、18回であり、それぞれ3-5日間行われている。

#### 4.4. 東北大学知のフォーラム (タイプ: 長期共同研究指向型研究所)

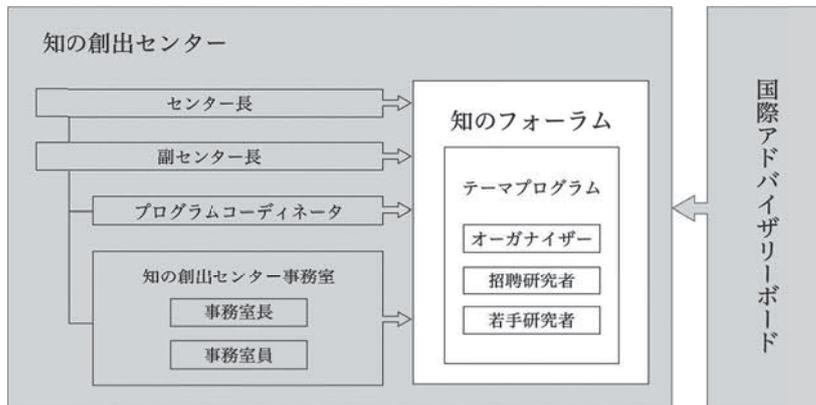


##### (1) 目的・概要

- ① 人文・社会科学、工学、医学、自然科学すべての研究分野を対象にしたテーマプログラムを国際公募し、国際アドバイザリーボードにより採択された研究テーマについて3カ月程度の集中的議論を行う。
- ② 世界第一級の国際的研究者を招聘し、共同研究、国際シンポジウムの開催などを通じて先駆的な研究領域を創出し、人類社会の共通課題解決に貢献する。
- ③ 高度で複雑化した社会での未解決問題に取り組むために、様々な研究分野が協働するための横断研究の推進の場を提供する。
- ④ 世界中からの若手研究者のプログラム参加を推進し、世界トップクラスの研究者と身近に触れ合う環境を構築し、知のフォーラムを国際的な研究・人材育成拠点として確立する。
- ⑤ 知のフォーラムに参加する研究者の招聘を機会にして、一般社会へ広く情報発信を行う。

## (2) 組織とスタッフ

### ① 組織図



### ② スタッフ内容：センター運営（平成27年12月31日時点）

- ・ センター長（理事兼任）
- ・ 副センター長（特任教授）
- ・ プログラムコーディネータ3名（特任助教）
- \*1名欠員でリサーチアシスタント1名
- ・ 事務 9名（事務室長、一般職員1名、准職員等7名）、アドミニストレイティブアシスタント4名
- ・ 広報 2名（研究支援者（広報担当）1名、准職員等1名）、アドミニストレイティブアシスタント9名

### ③ 予算：文部科学省研究力強化事業予算によるテーマプログラム開催予算

2014年度 4,300万円

2015年度 5,300万円

### ④ 外部資金：東京エレクトロン株式会社

### ⑤ 訪問滞在者数（ワークショップ参加者を含む）

2014年訪問滞在者数 934名

2015年訪問滞在者数 1,236名（2015年12月現在まで）

## (3) 知の館について

① 竣工：2015年3月

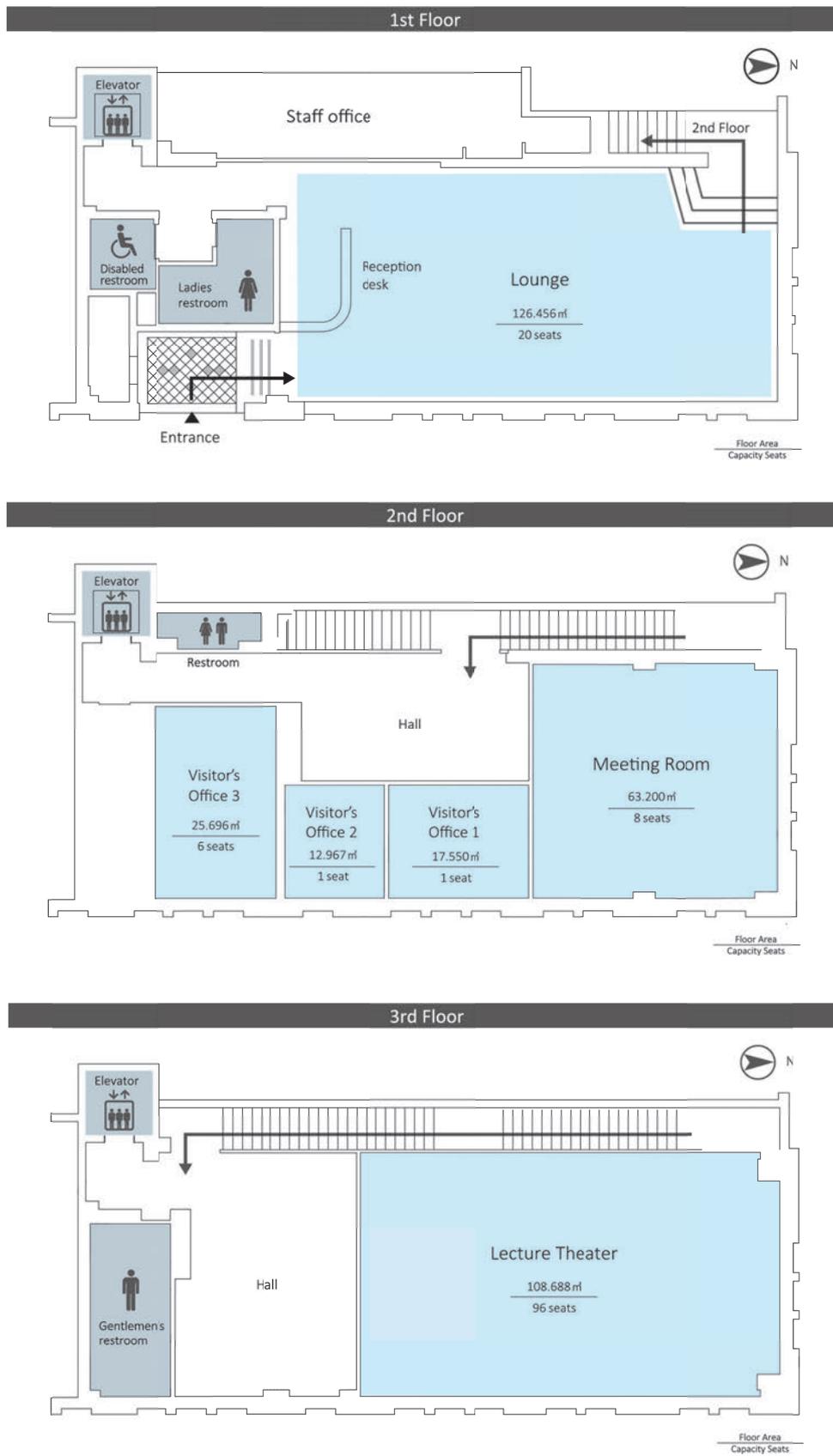
② 面積：669 m<sup>2</sup>（延床面積）

1F レセプション・ラウンジ（面積126m<sup>2</sup>）、事務室

2F 訪問研究者用研究室（個室2、共同研究室1）（面積56 m<sup>2</sup>）、会議室（面積63m<sup>2</sup>）

3F コンフェレンスルーム（面積109m<sup>2</sup>）

③ 平面図



#### 4.5. 京都大学基礎物理学研究所 (タイプ: 大学付属研究所)



研究会のメイン会場：パナソニック国際交流ホール

##### (1) 目的・概要

基礎物理学研究所は、湯川秀樹博士のノーベル物理学賞受賞を記念し、昭和28(1953)年「素粒子論その他の基礎物理学に関する研究」を目的とし、我が国初の全国共向利用研究所として創設された。理論物理学の全ての基礎的分野のスタッフを擁する日本唯一の研究所である利点を生かして、広範囲の物理学の創成と発展に寄与することを目指す。

また理論物理学研究の共同利用・共同研究拠点としては、最先端の研究テーマへの取組だけでなく、一大学では実施しにくい事業、若手研究者育成や分野創出のための事業、先端的研究テーマのプログラムに参加する機会が少ない研究者にも機会を提供する事業、本研究所が持つスーパーコンピュータを最大限活用した分野融合型研究プログラムや実習型教育プログラムなど、大学の枠にとらわれずコミュニティの学問的発展や研究交流に大きく貢献する計画を実施し、国内外の研究者を受け入れて、我が国の基礎物理学全体の発展を支える。優れた外国人研究者を多く受け入れることによって理論物理学における国際交流の窓口として、国際的な人材育成拠点としても機能する。

2007年度からは、開催期間が1か月以上に及ぶ国際滞在型研究会の開催を主とする滞在型プログラムを開始した。

(\*) 国際滞在型研究会では、30-50人が10日～3週間程度の同時期に滞在して、特定テーマの共同研究を行う。

**(2) 年間の訪問研究者数(長期(1カ月以上)の滞在者数とそれ以外の短期滞在者数)  
(過去2-3年程度の実績)**

|                     | 2014年度 | 2013年度 |
|---------------------|--------|--------|
| 研究者受け入れ総数(研究会参加者含む) | 2802   | 3658   |
| (うち外国人)             | 432    | 686    |
| 1か月以上(外国人客員教授含む)    | 23     | 28     |
| (うち外国人)             | 22     | 27     |

**(3) 訪問研究者を受け入れる体制**

経理部門は共通事務化により部局にはないが、旅費手続き等の事務業務の一部は総務・共同利用掛で行う。共同利用事務室に5-6名の支援職員を配置し、国際・国内研究会の開催支援や、国内外からの研究者の来所・滞在に対応している。そのほか、計算機室、図書室、会計(サテライト)必要に応じて、来訪者に対応する。これら支援スタッフの多くが日常的に英語による対応を行っている。

**(4) 訪問滞在者のための施設**

- ・ 個人滞在用ビジタールーム2-3室(各5デスク)、外国人客員教授滞在部屋1室(3か月滞在で年4名)
  - ・ 開催期間1か月の国際滞在型研究会用に数室(合計 約50デスク)
  - ・ 図書室(滞在日数に応じて、ジャーナルへのアクセスを可能にするIDを発行。)
  - ・ 計算機端末室(但し、現在は所内に無線LANネットワークが整備されているため、利用者は少ない。)
  - ・ 宿舎(数理解析研究所と共同で運営する北白川学舎(7室))
- (\*) 宿舎については、共同利用事務室の支援職員が滞在期間に応じて、学内宿舎、マンスリーマンションやホテルを予約

**(5) 訪問滞在者への予算**

共同利用・共同研究拠点としての個人滞在プログラムとして以下を予算付きで随時公募。

- ・ ビジター制度・外国人短期滞在制度(最大旅費サポート期間は2週間)
- ・ アトム型研究員制度(主として大学院生向け、1-3か月程度の滞在)
- ・ 長期ビジター制度(国内外の教授クラスのシニア研究者を1-3か月招へい)

| 年度   | 客員教授 | 招へい外国人学者・<br>外国人共同研究者 | アトム型<br>研究員 | 外国人<br>短期滞在 | 国内ビジター | セミナー<br>回数 |
|------|------|-----------------------|-------------|-------------|--------|------------|
| 2009 | 4    | 16                    | 3           | 10          | 15     | 108        |
| 2010 | 4    | 10                    | 0           | 9           | 12     | 119        |
| 2011 | 4    | 17                    | 4           | 3           | 11     | 89         |
| 2012 | 4    | 17                    | 0           | 6           | 23     | 108        |
| 2013 | 4    | 27                    | 4           | 7           | 10     | 136        |
| 2014 | 4    | 21                    | 2           | 13          | 6      | 117        |

所内向けに以下のプログラムを予算付きで用意

- ・ 若手研究者長期招聘プログラム (外国機関の院生・PD・助教を1か月以上招へい)
- ・ 国際交流経費 (正スタッフレベルの研究者を招へい)

#### (6) 活動実績 (テーマプロジェクト、ワークショップの開催)

|                | 2014 年度 | 2013 年度 |
|----------------|---------|---------|
| 国際滞在型研究会       | 3       | 2       |
| 国際モレキュール型プログラム | 3       | 4       |
| 国際・国内研究会 (短期)  | 23      | 31      |

#### (7) 訪問研究者を受け入れる意義

基礎物理学研究所は理論物理学のすべての分野を網羅するスタッフが在籍し、全ての分野の研究者を受け入れている。これにより、分野横断的な発展や新たな研究領域の開拓も期待できる。滞在研究者が集まって議論することによって、当初想定されていなかったような発展が見込まれ、在籍のスタッフだけでは出せない高い業績を維持することができる。世界的な業績が新たな訪問希望者を呼び、次の優れた業績につながる循環が生まれる。

(\*) 同研究所を affiliation とする国際論文は年間230本 (過去5年平均) で、半数近くは外部の研究者が滞在中 (研究会含む) にあげた成果である。

#### (8) 現在の課題

- ・ 予算の確保
- ・ 支援スタッフ 外国人を多数受け入れるには英語を使う支援スタッフが必要不可欠である。適任者を見つけ、教育するには時間がかかる。英語を使う常勤職員が少ない、非常勤職員に雇用年限があるなど大学の雇用システム上の壁も多い。

- ・ 宿舎・施設 学内に長期滞在者を受け入れるための施設が少なく、多くはマンスリーマンションなどに頼っている。京都は観光客も多く、ホテルの確保が難しい。

## 5. 訪問滞在型研究所の必要性

訪問滞在型研究所は欧米で多く設立されており、またアジアでも急速に設置されている。訪問滞在型研究所の設立については、異分野研究者、企業、数学・数理科学研究者から多くの要望があった。ここで、訪問滞在型研究所の必要性についてまとめておく。

### 【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組もうとしている若い研究者こそ学際的研究の中心的な担い手になるからである。訪問滞在型研究所のような機能が国内になれば、学生や若手研究者が国際的な研究や研究者を知るためには、海外に行く以外にはない。訪問滞在型研究所で海外からの多くの研究者が集まってくれば、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、その後17年の間で研究論文の質や量ともに急激に強化された。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で、国際的な研究者として育成されたことによる。訪問滞在型研究所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は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 (IHES) 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 M.Gromov が生命科学の学際研究を進め、フィールズ賞受賞者 M.Kontsevich 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。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S. Goldwasser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年の別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、数学研究者と異分野研究者の交流の場を提供することができる。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ことで国際的プレゼンスが向上する。

訪問滞在型研究所には、国際的な研究連携の大きな役割となる。特に、我が国にとって重要であるアジアとの研究連携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、国際的な研究連携へと広げていくことが可能である。

以上が、主要な訪問滞在型研究所の必要性である。そのほかにも、他分野研究者の出会いの場、企業とのマッチング、中学生や高校生への若年教育等のアウトリーチ活動等、様々な機能も付加される。

さらに付け加えると、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、学際的研究、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。

## 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

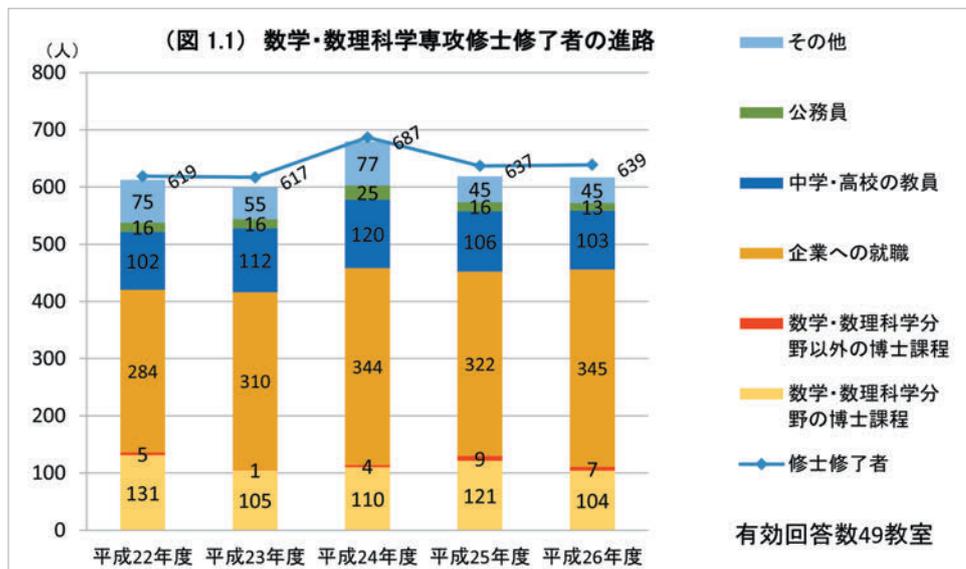
調査対象者数：1090名      回答者数：281名（回答率 25.8%）

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

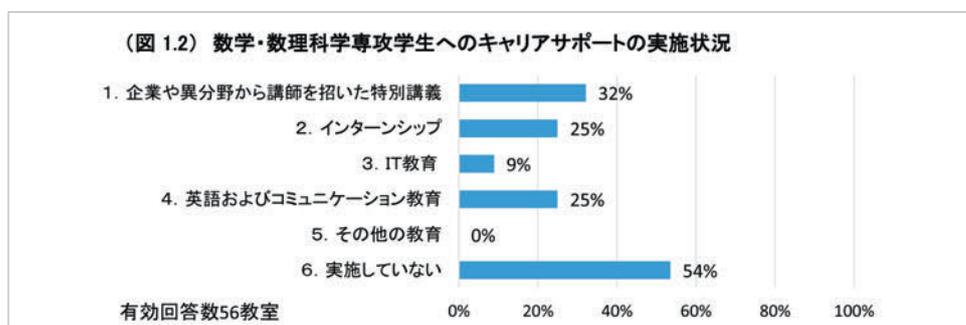
数学・数理科学科・専攻・コースの学生の進路動向では、学部卒業生が毎年1600名前後（回答数合計）あり、そのうち約3分の1が大学院修士課程へ進学している。学部学生の進路では数学・数理科学系以外の大学院修士課程への進学は毎年数名程度に留まっている。大学院修士課程の進路では、毎年600名を超える修了者のうち約半数の300名程度は企業へ就職、各100名程度が中学・高校教員と大学院博士課程への進学となっている（図1.1参照）。大学院博士課程進学では、数学・数理科学分野以外の進

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）。



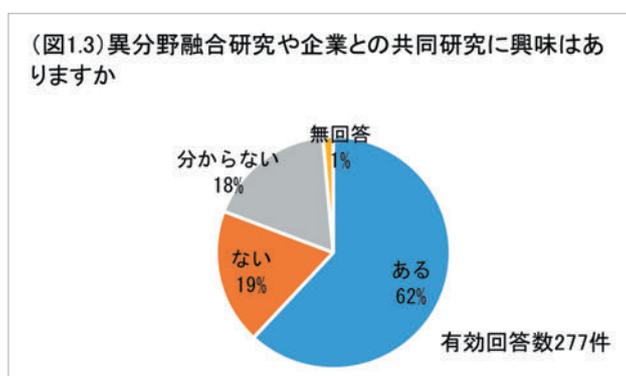
●この調査結果からの課題として、次が挙げられる。

【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

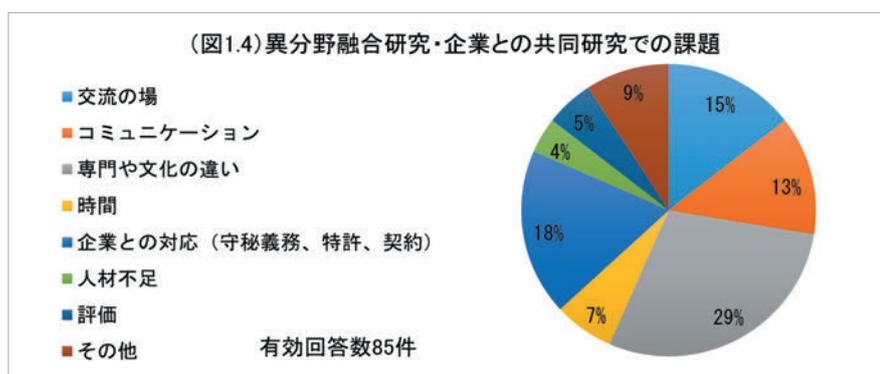
【課題2】学生のキャリアサポート教育の検討

#### 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超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

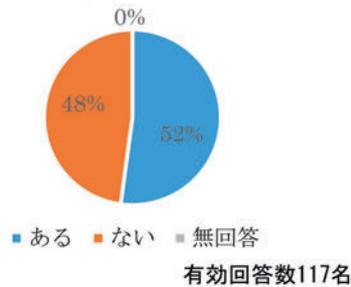
#### (2) 諸科学研究者への意識調査

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。

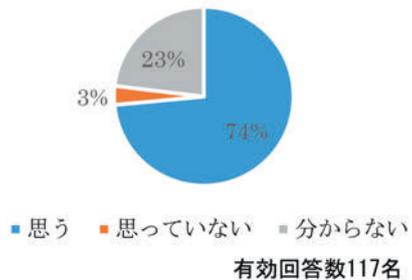
当該諸科学アンケート調査は過去2-3年の科学研究費補助金基盤研究(C)の採択者(数学以外の諸科学分野)から無作為に300人にアンケートを送付、回答数は117人であった。アンケート回答者の分野は、アンケート送付数も多かった医歯薬学系から約32%、工学系から約20%、化学系から約12%を得た。数学・数理科学以外の数物系科学系(約3%)、情報学系(約2%)は回答が少数であった(分野の無回答分を含む)。今回の調査では文系分野には、アンケート送付を行っていない。本母集団に対するアンケート調査の特徴として、以下のことが挙げられる。

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？

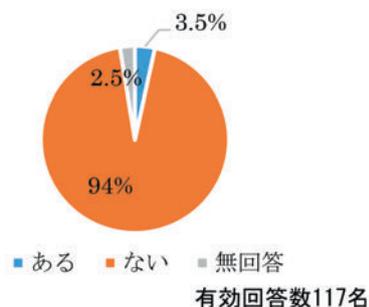


【質問4-2】今後、貴方の研究活動において数学・数理科学での手法や理論が活用できると思われますか？

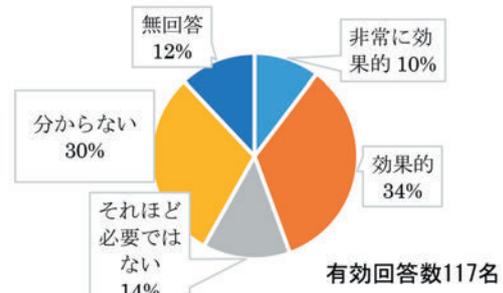


また、訪問滞在型研究所に関するアンケート調査では、44%の研究者が訪問滞在型研究所での数学・数理科学と意見交換することに効果的であると考えているにも関わらず（【質問8-3】参照）、訪問滞在型研究所での研究集会に参加されたことがある研究者の割合はわずか3.5%（117名中4名）であった（【質問8-1】参照）。このことは日本国内に滞在型研究所が欠乏しているためと考えられる。また、その他の自由記述の意見のなかに、「お互いの専門用語の理解」、「議論」、「相談」、「情報交換」、「相談窓口（コーディネーター）」等のキーワードが多く散見された。（アンケートに回答された）ほとんどの研究者が訪問滞在型研究所での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はありますか？



【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、ブレー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なややかに、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。

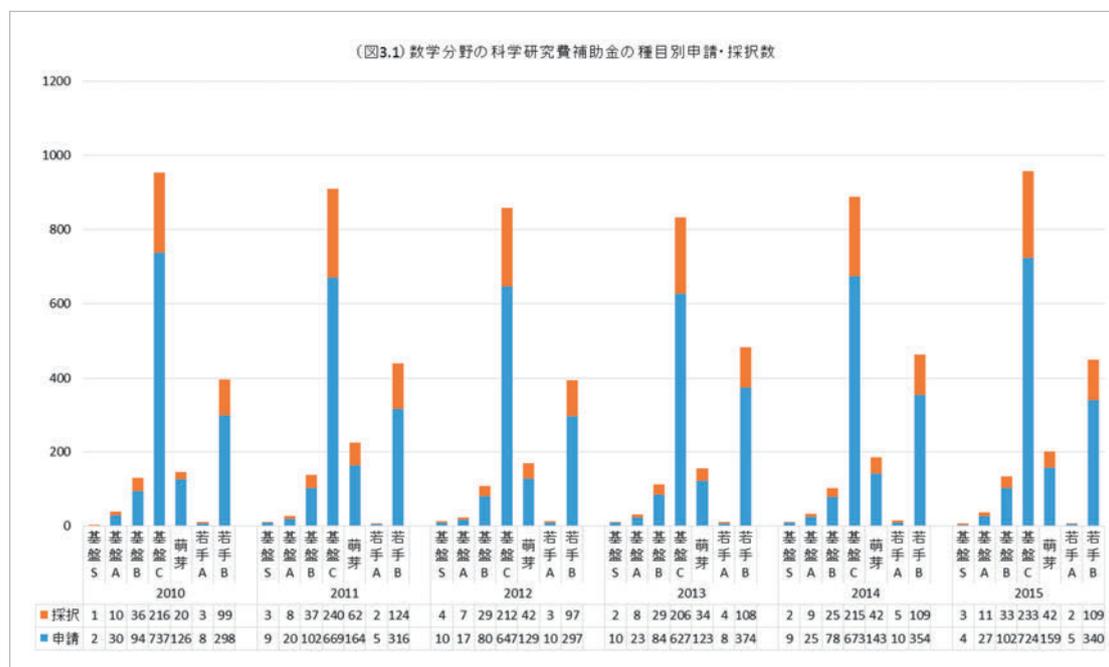
競争的研究資金について、米国の競争的資金は年々増加の傾向にあり、数学研究への支援が進んでいる。Bourguignon 氏へのインタビューからは、プロジェクト申請について次のようなコメントがあった：

「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

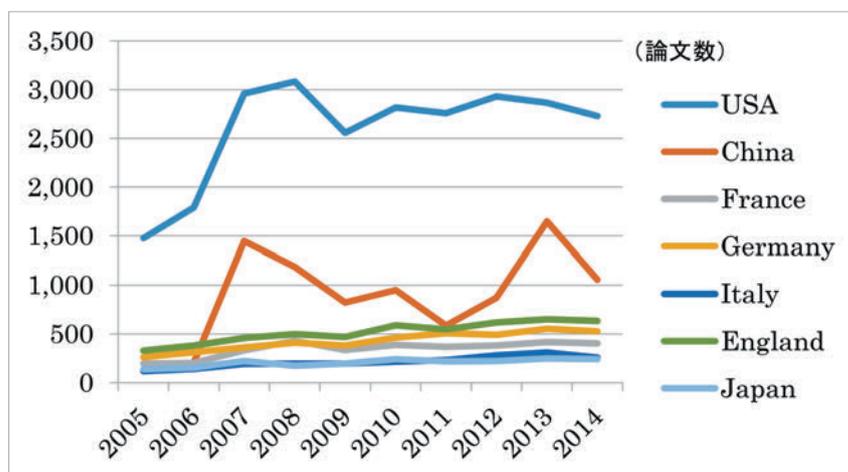
#### 1.4. 第4章の調査結果概要

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。

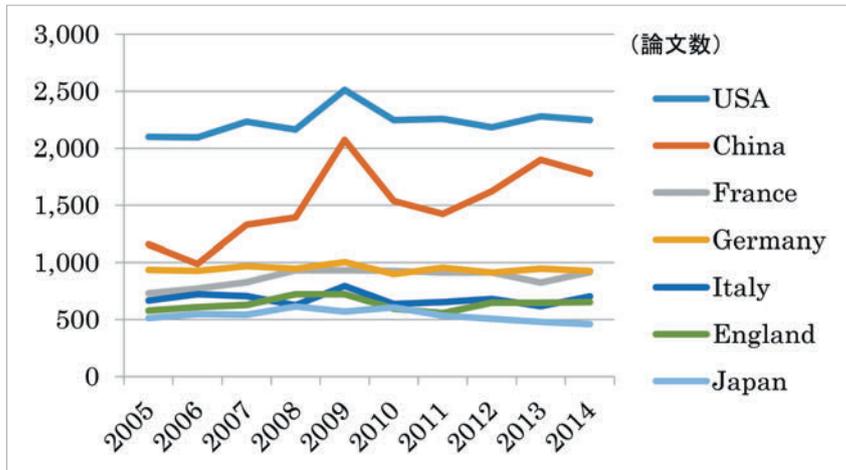
数学・数理科学と諸科学の融合研究の進展を詳細に把握することは難しいが、海外のファウンディング機関のレポートや網羅的な学術文献データベースを調べる事である程度の傾向を把握することができよう。

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。

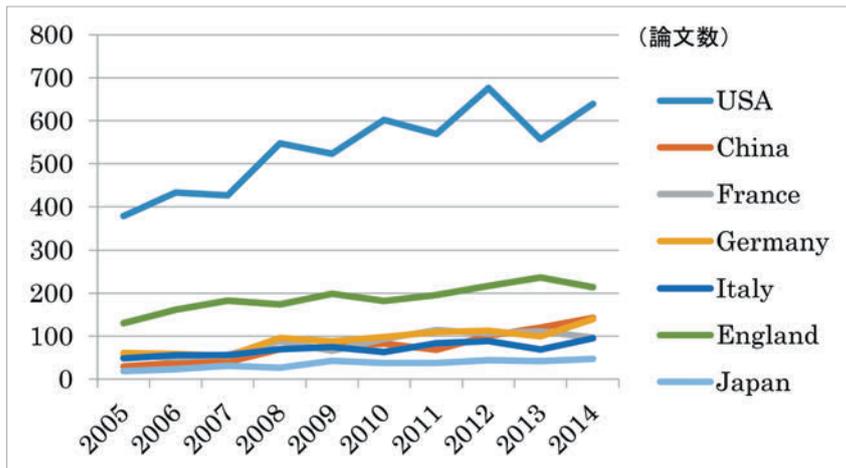
(図4.1) Mathematical & Computational Biology (数理生物学、計算生物学)



(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

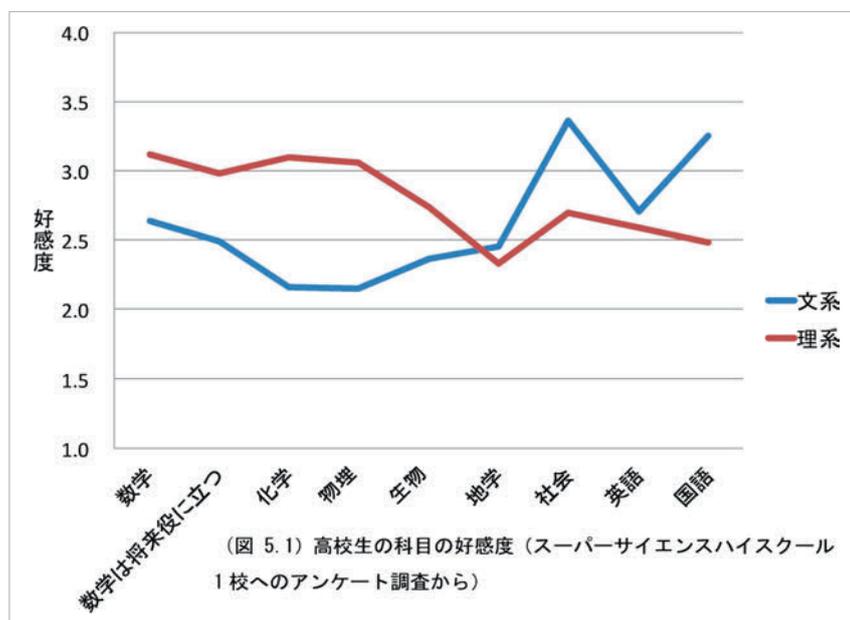
いる。今回の調査でも既存の（数学を含む）学際的分野の動向調査のみでは全体像を把握することは非常に困難であることがわかった。

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

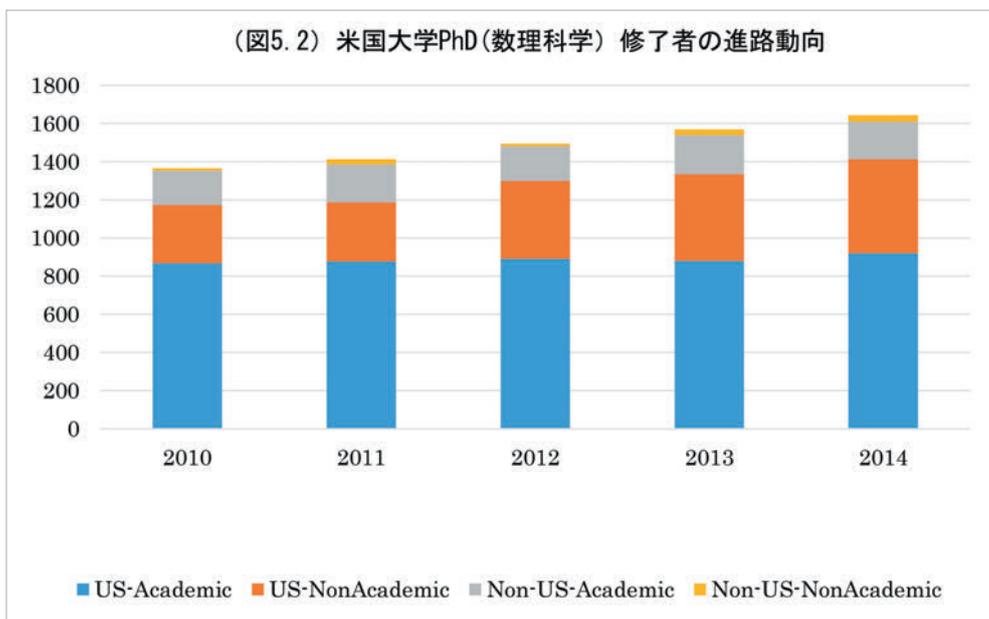
- 高校と大学の数学のギャップが大きい
- 出口(キャリアパス)が少ない

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。

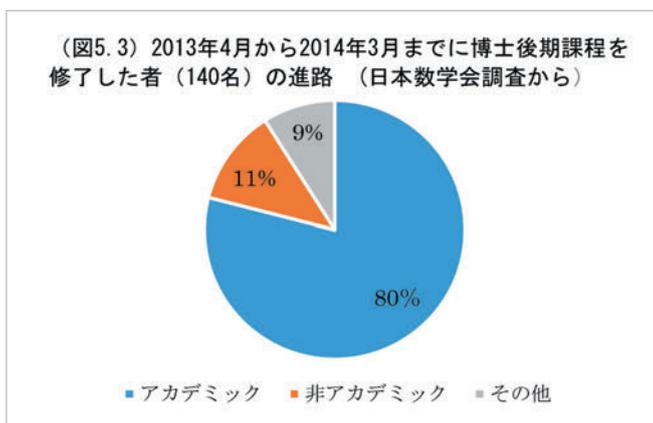
米国の数学人材育成の一つの例として、オハイオ州立大学やボストン大学で行っているサマースクールについて調査を行った。ボストン大学でのサマースクールは、6週間程度という長い期間を使って、あたかも、自分が数学研究者になったように、「問題を解く」というトレーニングをしている。ただし、決して大学で習う数学を使わず、高校生が考えられる知識を使って「考える」ことを教えることが目標である。このサマースクールの主催者からは、「数学研究者を育てることではなく、科学の PhD を育てることが目的である」という回答があった。実際、このサマースクールからは、6割程度の高校生が大学で数学をメジャーにとるが、学部進学後に数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

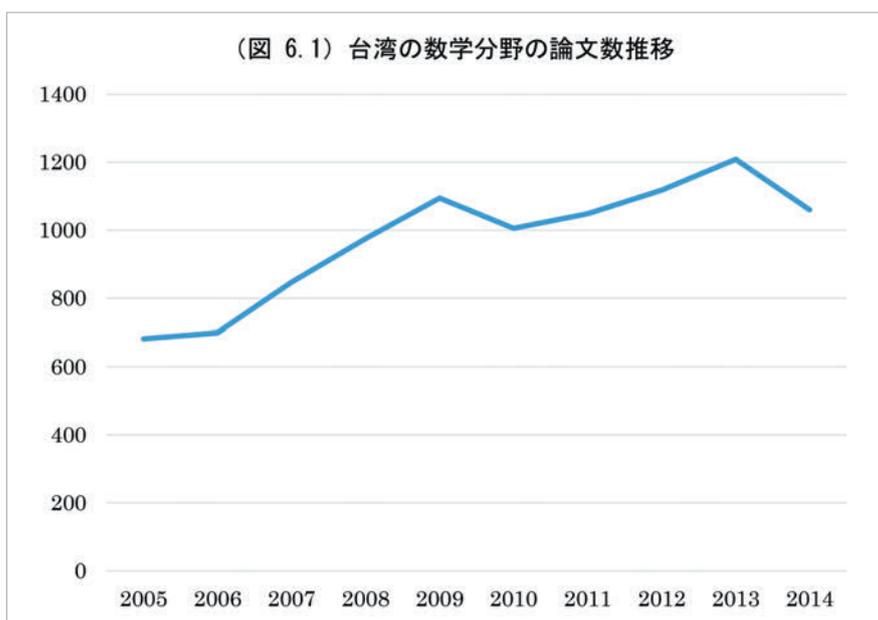
そのほかにも、訪問滞在型研究所は、産学連携の窓口、企業と共同研究を始めるためのマッチングにも活用できる。また、アウトリーチ活動による社会への貢献として、訪問滞在型研究所でのワークショップや共同研究で訪問する研究者による一般向けの講演会、中学生や高校生へのセミナーや交流の機会が増える。高校生のサマースクールの開催も可能である。

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

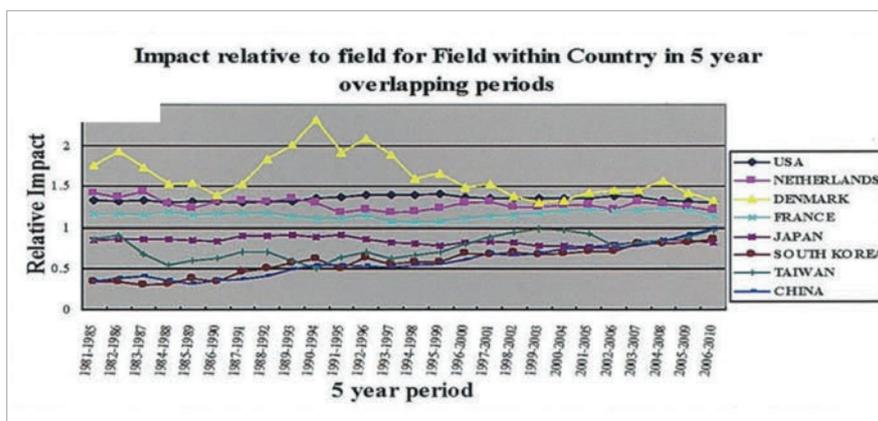
大きな施設になっている研究所も多い。まずは、既存の施設でもよいので、パイロット的なプログラムを始めることも検討の価値がある。

【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加できるようにするとともに、特定の分野で活用された数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のポリバレンタ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。



## 参 考



## 参考1 参考資料

- [1] 平成18年度文部科学省委託調査報告書：「忘れられた科学－数学」
- [2] 平成19年度文部科学省委託調査報告書：「イノベーションの創出のための数学研究の振興に関する調査」
- [3] 平成21年度文部科学省委託調査報告書：「数学・数理科学と他分野の連携・協力の推進に関する調査・検討～第4期科学技術基本計画の検討に向けて～」
- [4] 平成26年度科学技術・学術審議会先端研究基盤部会報告書：「数学イノベーション戦略」
- [5] 数理科学と他分野科学・産業との連携、日本学術会議数理科学委員会数学分科会、2014年9月1日
- [6] The Mathematical Sciences in 2025, The National Academies Press, 2013.
- [7] Fueling Innovation and Discovery: Mathematical Sciences in the 21<sup>st</sup> Century, The National Academies Press, 2012.
- [8] Measuring the Economic Benefits of Mathematical Science Research in the UK, Deloitte, November 2012.
- [9] Success case studies in Mathematical Technology Transfer, Math-in.net, Red Espanola Mathematica-Industria, Spanish Network for Mathematics & Industry.
- [10] Future Directions in CSE Education and Research, SIAM (Draft: Completed on Wednesday 11<sup>th</sup> March 2015).
- [11] Les Métiers Des Mathématiques et De L'Informamatique, Onisep, March 2015.
- [12] Computational Science: Ensuring America's Competitiveness, Report to the President, June 2005. Executive Office of the President of the United States.
- [13] Mathematical Sciences and their value for the Dutch economy, Deloitte, Platform Wiskunde Nederland, January 2014.
- [14] Forward Look: Mathematics and Industry Report, European Science Foundation, 2010.
- [15] Formulas for Insight and Innovation, Mathematical Sciences in the Netherland, vision document 2025, Platform Wiskunde Nederland.
- [16] Mathematics in Industry, The SIAM Report, SIAM, January 30, 1998.
- [17] Samuel M. Rankin, III, Mathematical Sciences in the FY 2011 Budget, Notices of AMS, vol. 57, No. 8, 2010.
- [18] AMS Website, <http://www.ams.org/profession/profession>

- [19] NSF Website, [https://www.nsf.gov/bfa/dias/policy/merit\\_review/overview.pdf](https://www.nsf.gov/bfa/dias/policy/merit_review/overview.pdf)
- [20] EPSRC Website, <https://www.epsrc.ac.uk/funding/>
- [21] 週刊ダイヤモンド「使える数学」、ダイヤモンド社、1月23日号、2016.

## **参考2 本報告書の文部科学省への提出版および電子版 URL：**

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

### 参考3 委託調査報告会記録

#### 世界が変わる：数学が変える

#### 文部科学省委託事業「数学・数理科学を活用した異分野融合研究の動向調査」 調査報告シンポジウム

日時：平成28年2月20日(土)

場所：東京大学駒場キャンパス 数理科学研究科棟 大講義室

主催：東北大学知の創出センター

(文部科学省委託事業「数学・数理科学を活用した異分野融合研究の動向調査」)

共催：東京大学大学院数理科学研究科

協力：北海道大学電子科学研究所附属社会創造数学研究センター、東北大学大学院理学研究科・情報科学研究科、情報・システム研究機構統計数理研究所、明治大学先端数理科学インスティテュート、早稲田大学大学院基幹理工学研究科、京都大学数理解析研究所、九州大学マス・フォア・インダストリ研究所

後援：日本数学会、日本応用数理学会

プログラム：

#### 第1部：なぜ数学の底力が必要か？

司会：時弘哲治(東京大学大学院数理科学研究科教授)

9:30-9:45 開会挨拶・来賓挨拶

開会挨拶…坪井俊(東京大学大学院数理科学研究科長)

来賓挨拶…生川浩史(文部科学省 大臣官房審議官(研究振興局担当))

小谷元子(日本数学会理事長)

大石進一(日本応用数理学会会長)

9:45-10:45 報告(I)

背景と趣旨…文部科学省の数学イノベーションに向けた取組

栗辻康博

(文部科学省研究振興局基礎研究振興課/数学イノベーションユニット)

委託調査報告…数学・数理科学を活用した異分野融合研究に関する国内外の現状について

前田吉昭(東北大学知の創出センター副センター長)

小松崎民樹(北海道大学電子科学研究所附属社会創造数学研究センター長)

福本康秀(九州大学マス・フォア・インダストリ研究所所長)

宮岡礼子(東北大学大学院理学研究科教授)

11:00 – 12:30 基調講演

山田武士氏 (NTT コミュニケーション科学基礎研究所企画担当主席研究員)

「コミュニケーション科学から見た数学への期待」

巖佐庸氏 (九州大学大学院理学研究院教授 (数理生物学))

「生命科学・生物学の推進に数学はどう貢献できるか? : 数理モデルにもとづく理論的研究について」

## 第2部: どのような取組が必要か?

司会: 山本昌宏 (東京大学大学院数理科学研究科教授)

14:00 – 14:50 招待講演

Hyungju Park (韓国国立数理科学研究所長、国際数学連合理事)

「Industrial and Applied Mathematics in Korea: the present and the future」

15:00 – 15:30 報告 (II)

数学イノベーション委員会における検討状況

粟辻康博

(文部科学省研究振興局基礎研究振興課/数学イノベーションユニット)

委託調査結果を踏まえた政策提言

前田吉昭 (東北大学知の創出センター副センター長)

15:40 – 17:40 パネルディスカッション

「これからの10年 どうすれば数学の底力を生かすことができるか?」

モデレーター: 岡本久 (京都大学数理解析研究所副所長)

パネリスト:

【数学関係】合原一幸 (東京大学生産技術研究所教授)

田中冬彦 (大阪大学大学院基礎工学研究科准教授)

宮岡礼子 (東北大学大学院理学研究科教授)

【企業】高田 章 (旭硝子(株)特任研究員、前・日本応用数理学会会長)

【他分野】初田哲男 (理化学研究所理論科学連携研究推進グループディレクター)

【マスコミ】辻村達哉 (共同通信社編集委員)

【社会連携】池川隆司 (東京大学大学院数理科学研究科 数理キャリア支援室キャリアアドバイザー)

17:40 – 17:45 閉会挨拶

三村昌泰 (明治大学先端数理科学インスティテュート副所長)

## 基調講演・招待講演

### 基調講演1.

#### 講演者

山田武士 (NTT コミュニケーション科学基礎研究所  
企画担当首席研究員)

#### 講演題目

コミュニケーション科学から見た数学への期待

講演要旨：NTT コミュニケーション科学基礎研究所  
では、心まで伝わるコミュニケーションの実現を目指

し、人間と情報の両面からコミュニケーションの本質は何か、を究める研究を行っています。例えば、人間は外界をカメラで撮るように忠実に認識しているわけではありません。これまでの経験を通じて現象をいわば「解釈」することで、その背後にある意味や、本質を即座に理解しています。

計算機でも同様に、数理的手法を駆使して現象の生成過程をモデル化し、生成過程の逆問題を解くことで、観測されるデータからそのデータの発生源に関する知識や原因を「解釈」できるようになります。これは、音声音響処理や言語処理をはじめとする、コミュニケーション科学の諸問題の解決にとって非常に重要です。しかし、一般に逆問題は不良設定問題で、解くのは困難な場合が多く、それ故に、数学の貢献が期待されます。本講演では、音声生成過程のモデル化と、補助関数法に基づくパラメータ推定、関係データのモデル化における無限通りの場合の数の扱い、文書要約問題における列挙の効率化を具体例に、これらの問題解決と数的手法との関係、数学への期待について述べます。



---

### 基調講演2.

#### 講演者

巖佐庸 (九州大学大学院理学研究院教授 (数理生物学))

#### 講演題目

生命科学・生物学の推進に数学はどう貢献できる  
か？：数理モデルにもとづく理論的研究について

講演要旨：分子生物学の急速な進歩により、発生・免疫など30年前には神秘的と思えた生命現象が多数の

化学反応のネットワークにより遂行されていることが明確になった。個々の担い手に関する



る知識が爆発的に増大している。現在、それらの知識を組み合わせたときに本当に生命現象を遂行できるのか、が研究の焦点になっており、数理モデリングや統計解析、コンピュータシミュレーションを含む数理的な手法の活躍に期待が高まっている。

本講演では、とくに基本的な論理構造を比較的単純な数理モデルとしてとりまとめ、その解析によって理解を進める研究、つまり生物学の理論的研究に焦点を当て、生命科学の推進においてどのような役割を果たせるかについて話したい。具体的には、(1) 遺伝子・蛋白のネットワークの解析、(2) 発癌プロセスに関わる確率過程(医療への貢献)、(3) 植物の開花結実のタイミング制御と地球温暖化の影響(環境科学への貢献)、の3つを紹介する。いずれも驚くほど簡単な数理モデルで、それらによって生物学の基本論理がどのように明確になるかを話したい。

時間がゆるせば、(1) 生物学の様々な分野の間での数理モデリングの定着度合いの大きな違い、(2) 実験、統計的解析、詳細なシミュレータの作成、より単純な本質的法則性の抽出、その数理的な解析といったさまざまな数学研究が、すべて重要であること、(3) 物理学の数理的な法則と生物学(生命科学)の数理的な法則との対比、などについても簡単に触れたい。

---

## 招待講演

### 講演者

Hyungju Park (韓国国立数理科学研究所長、国際数学連合理事)

### 講演題目

Industrial and Applied Mathematics in Korea:  
the present and the future

講演要旨: The Korean math community, in close collaborations with its government, has initiated a series of programs to build industrial mathematics ecosystems in Korea. The programs involve universities, startup companies, research institutes, and the government. Educational components including university curriculum updates and student internship are essential ingredients of the programs.



## パネルディスカッション

討議内容：今回の委託調査の目的に沿った以下の問題について討議した。

1. 数学・数理科学を活用した異分野融合研究の支援と課題
2. 数学・数理科学を活用した異分野融合研究の人材育成について
3. 訪問滞在型研究所は異分野融合研究になぜ必要か





平成27年度科学技術調査資料作成委託事業  
「数学・数理科学を活用した異分野融合研究の動向調査」  
報告書

平成28年3月

〔実施機関〕

国立大学法人 東北大学知の創出センター

〒980-8577 宮城県仙台市青葉区片平2-1-1

TEL : 022-217-6091 / FAX : 022-217-6097

本冊子内容の無断転載を禁じます。

著作権は国立大学東北大学が所有しています。

