

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 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 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。

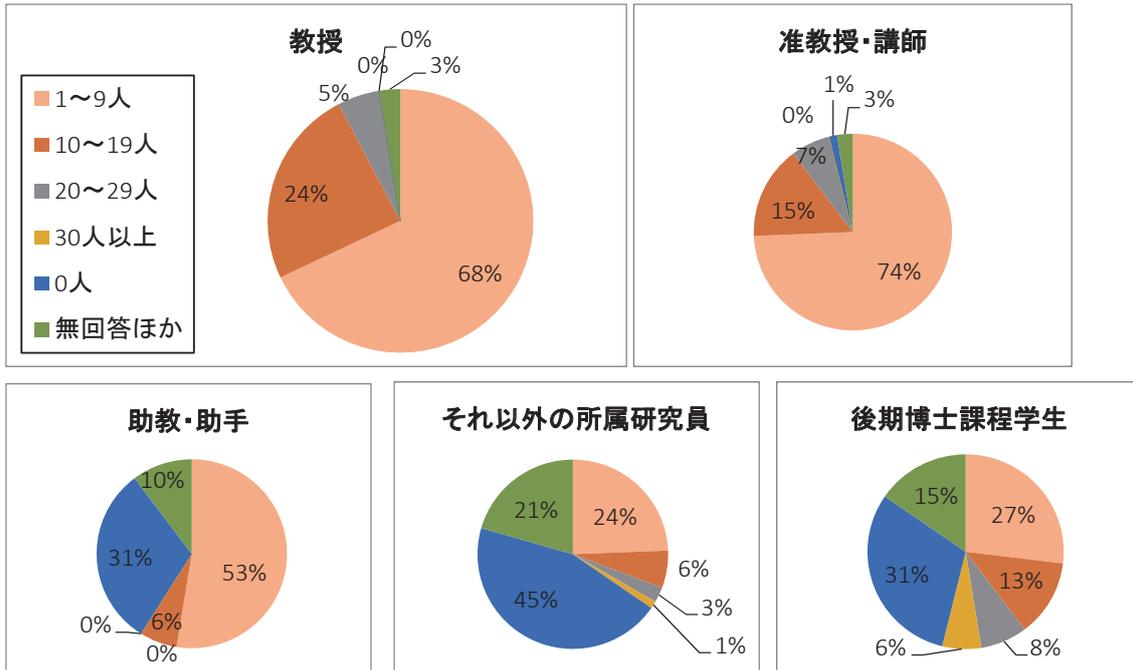
(1) 調査対象および調査方法

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

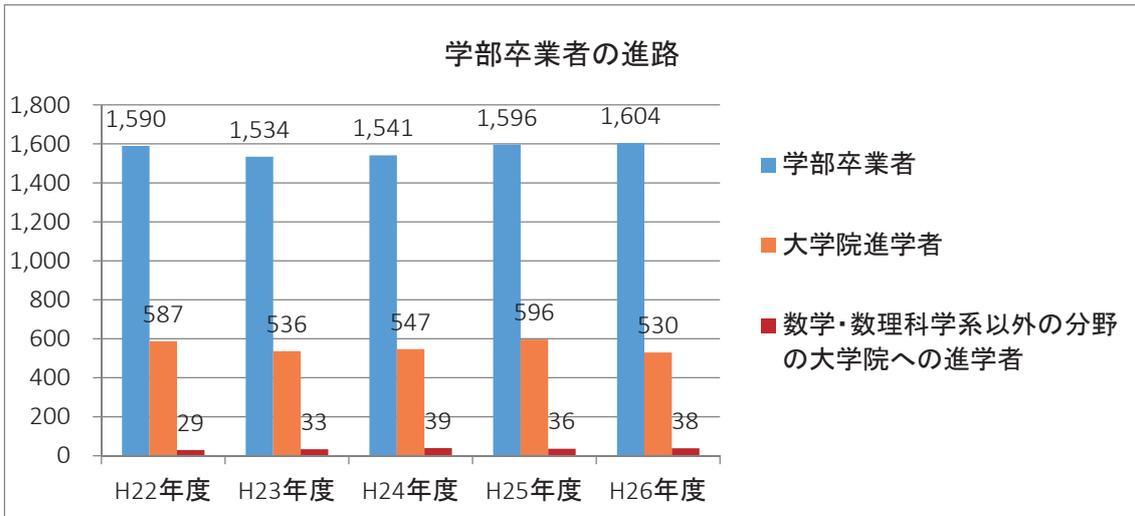


(4) 平成22年度から平成26年度(5年間)の学部学生の進路について

(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。

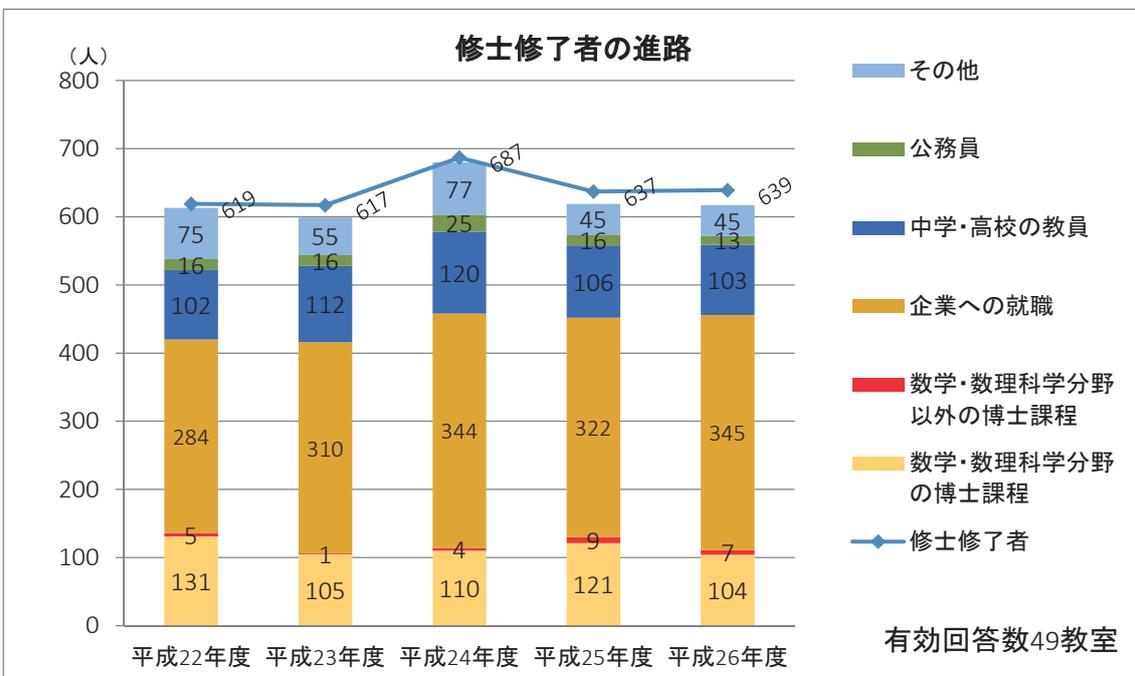


(5) 平成22年度から平成26年度(5年間)の修士学生の進路について

※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。

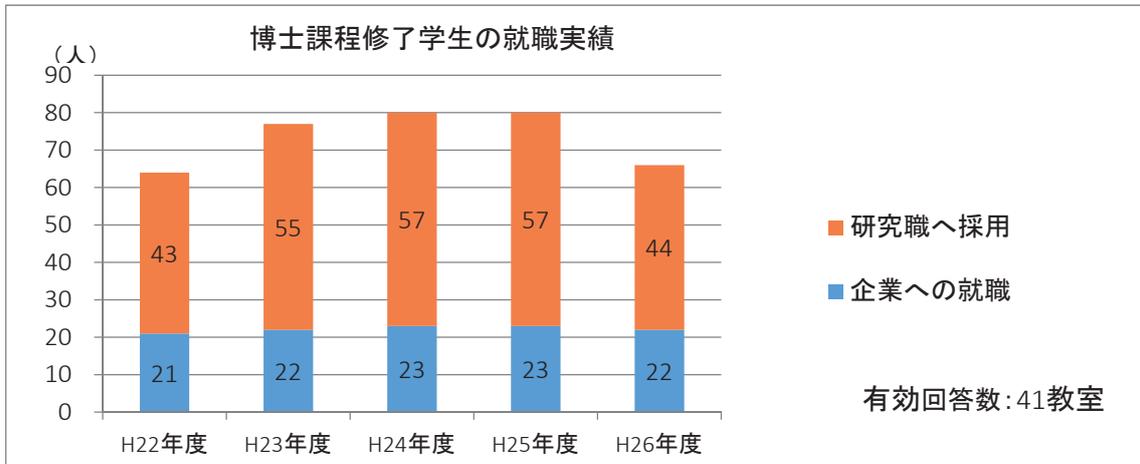
(5.1) 修士修了者の人数推移

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



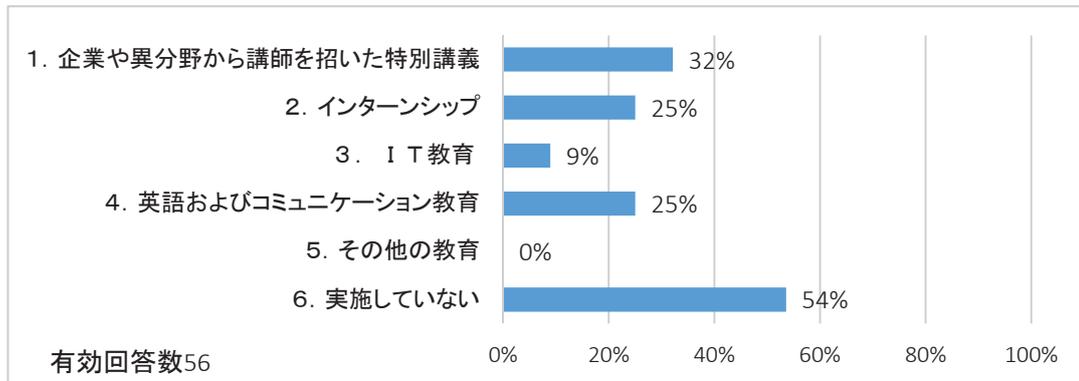
この質問は、当初は諸科学への研究職へ採用された数についてであったが、数学分野の研究職への就職が多く含まれている。有効回答のなかで博士課程修了学生の就職した実績は全体で60名程度ある。そのうち、研究職が40名から57名と年毎に変化はしている。具体的な採用先をみると、諸科学分野への就職もある。数学会が実施した2014年3月に行った博士課程修了者の企業への就職数は6名であったが、このアンケートでは、それより多く企業へも就職している。今回は、日本応用数理学会の協力を得たことで、応用数学系の学生の進路が含まれていると思える。

(6.2) 企業への就職および研究職への採用先

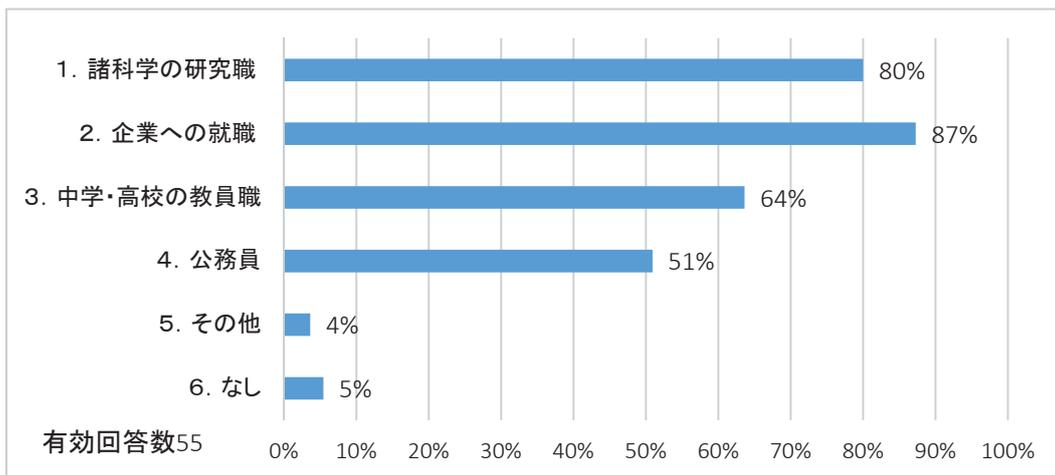
今回の調査は、諸科学と企業への就職についての質問であったが、25件の教室から、数学系の研究職を含め75件の具体的な採用先の回答があった。

- (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
(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)

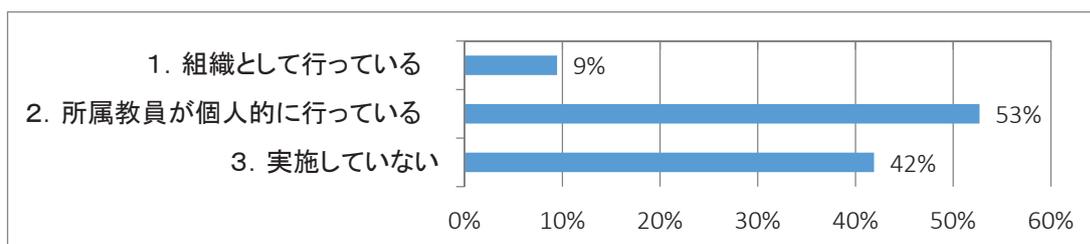
寄附金、二国間交流経費、大学基金、JSPS 受託事業、受託研究、財団法人からの研究補助金、さきがけ CREST 以外の公的研究費外部資金については、「1. 教育関係外部資金」が平成24年をピークに減少している。一方、その他の外部資金は年々増加している。

(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

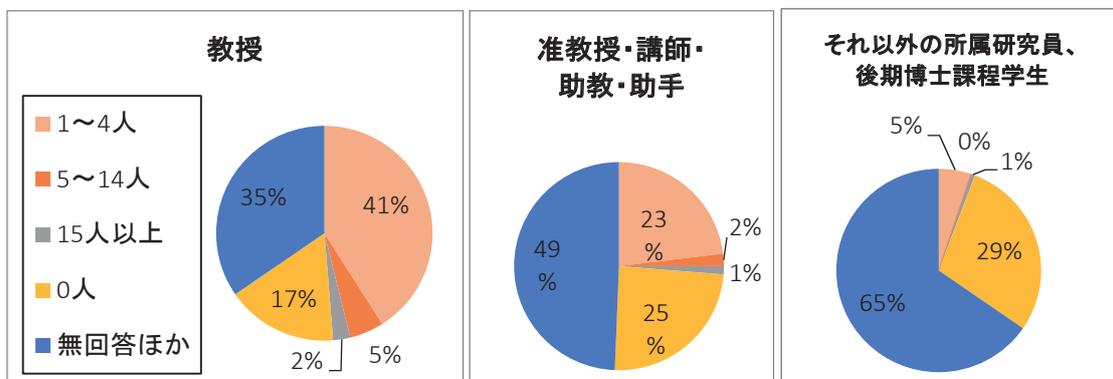
(8) 異分野融合研究や企業との共同研究について

(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)。

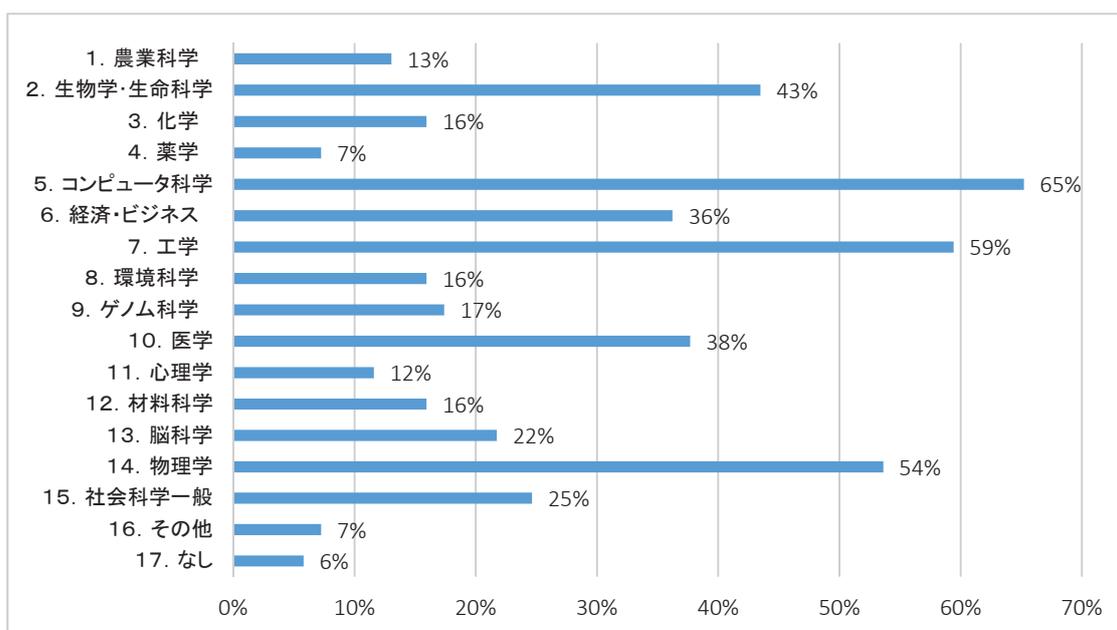


(8.2) 異分野融合研究や企業との共同研究を行っている研究者の人数について。

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。



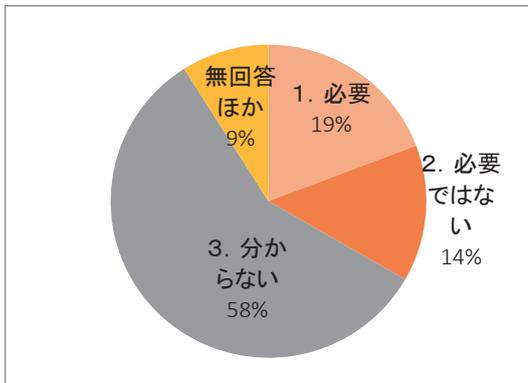
(8.3) 異分野融合研究を進める可能性がある分野についての選択質問（複数回答可能）。



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。

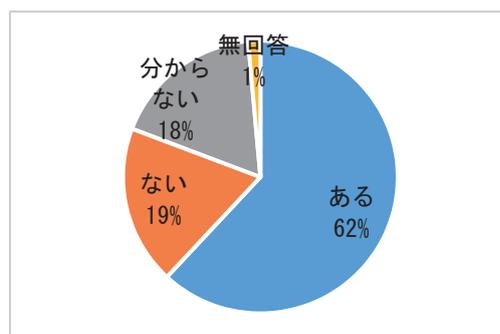
(1) 調査対象および調査方法

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

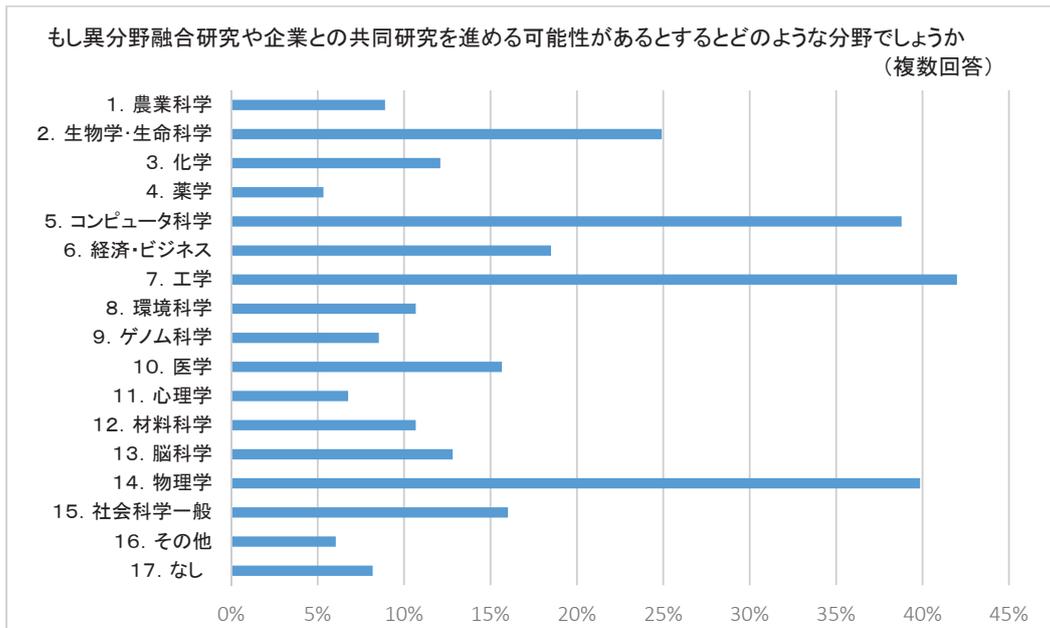
(2.1) 「異分野融合研究や企業との共同研究に興味はありますか」という質問についての回答である。

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とき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。

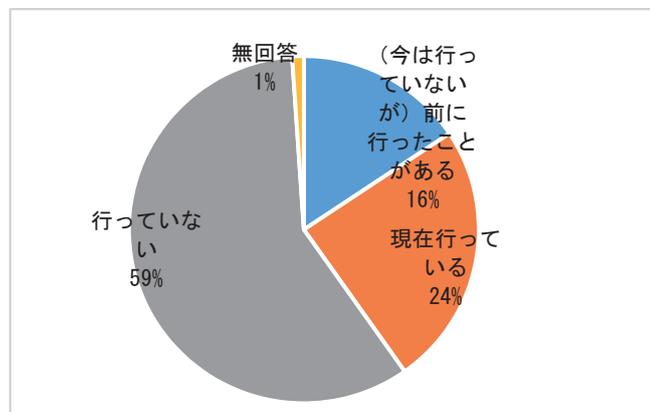


16. その他の自由記述(抜粋)

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

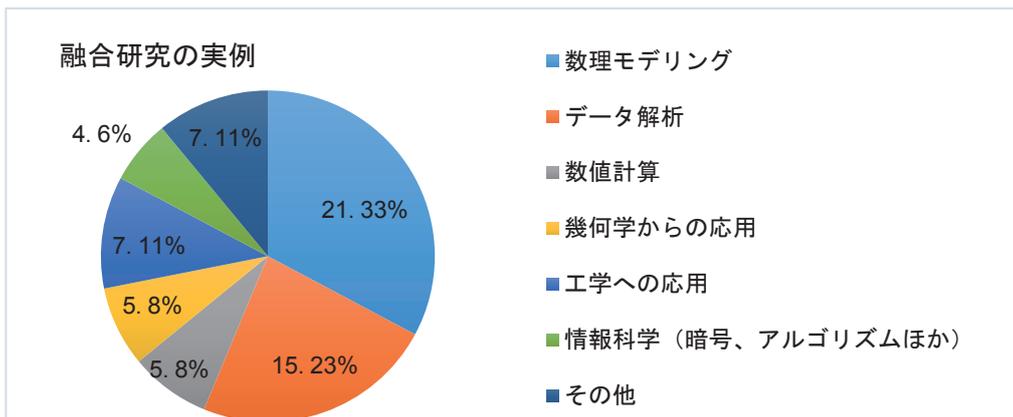


異分野融合研究や企業との共同研究を行っている研究者は、40%程度である。

(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)



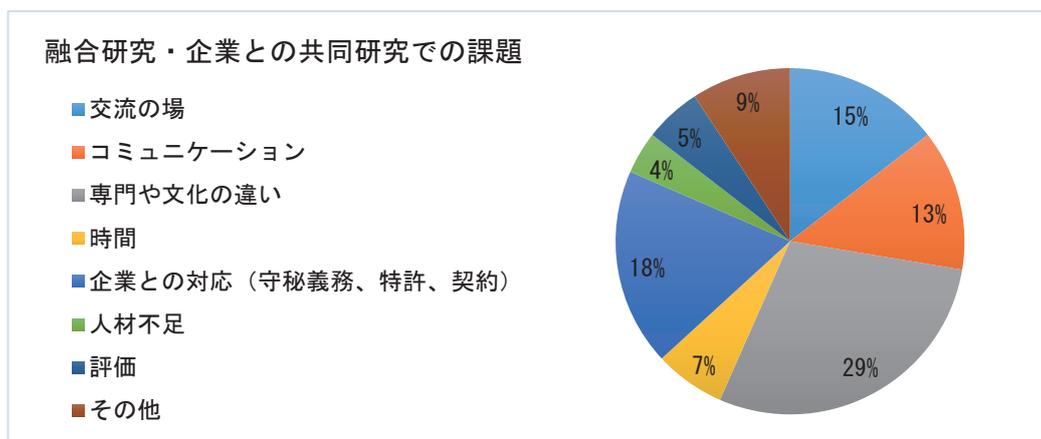
(ii) 企業との共同研究の事例

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。

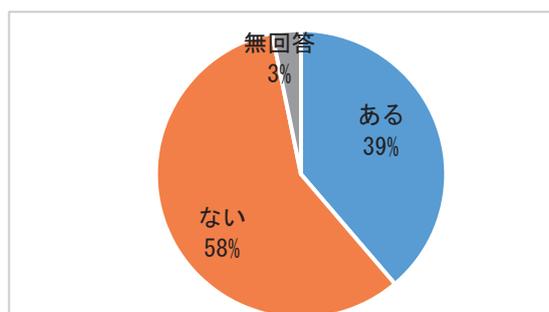
- ・一方ではなくお互いが歩みよる姿勢、そういった人達が出会える場(研究集会等)
- ・萌芽的研究(それに関する課題)に対する助成、そういった萌芽的研究を受け入れる・歓迎する環境・雰囲気作り。
- ・研究文化が異なるため、自身の研究スタイルにそぐわなくとも、ある程度妥協する必要がある。
- ・交流を持つ場、機会が少ないため、交流が進まない面があると思う。
- ・お互いにとって有益な研究課題を見つけるまでにとっても長い期間が必要。なかなか会って議論する時間が取れない。
- ・ゴールの設定や研究成果の帰属など、通常の数学者は気にしないことに気をかける必要があり、面倒とってしまう。
- ・数理の思想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。

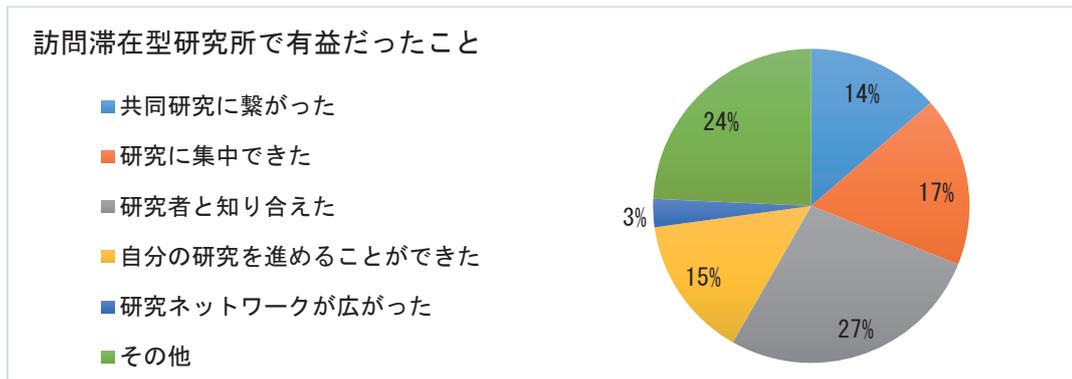
- ・「リサーチ・イン・ペアーズ」という制度で滞在したが、2週間の間、一切の雑務、雑念にとらわれず、議論に集中できたため、極めて有益であった。

- ・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と思います。
- ・ 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

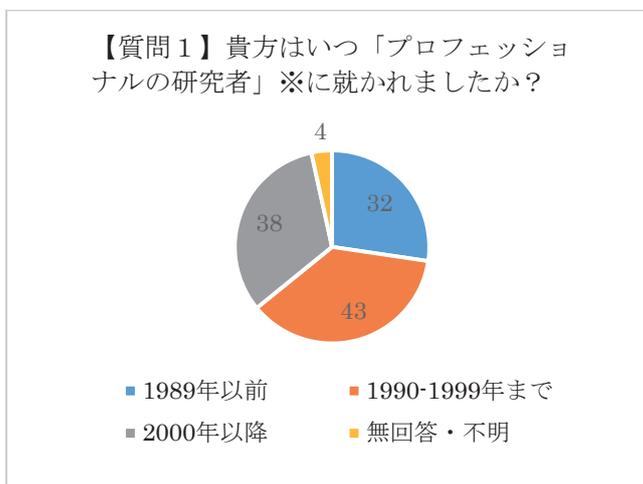
- ① 標本数は国立・私立大学等の研究者117人。
- ② 標本抽出に当たっては、過去2-3年の科学研究費基盤研究(C)の採択者(数学以外の諸科学分野)の中から無作為に300件抽出し、アンケート調査票を送付。その結果、回答のあった117名のアンケート結果を集計・解析を行った。

(2) アンケート結果

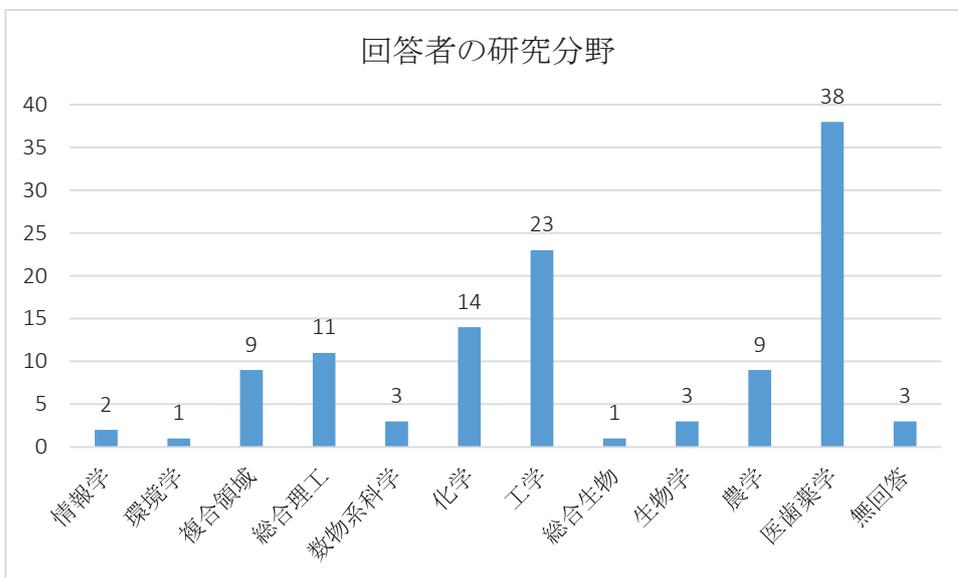
【質問1】 貴方はいつ「プロフェッショナルの研究者」に就かれましたか？

※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



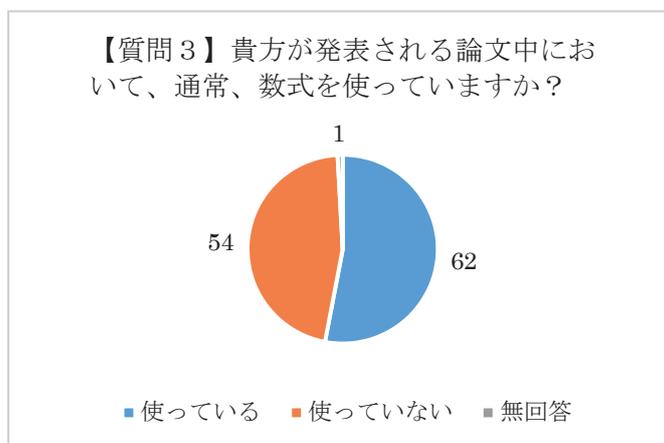
【質問2】 アンケート回答者の分野アンケートに回答して頂いた方の分野は以下のようにある。医歯薬学系(約32%)と工学系(約20%)からの回答が多かった。



【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。

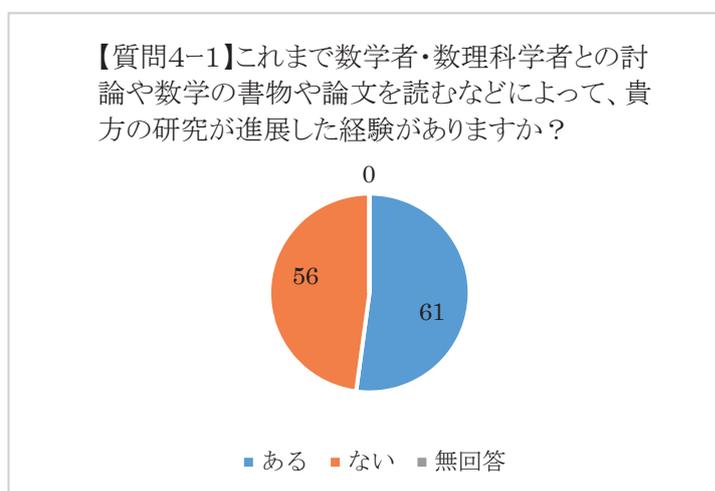
使っている	62
使っていない	54
無回答	1
合計	117



【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）。

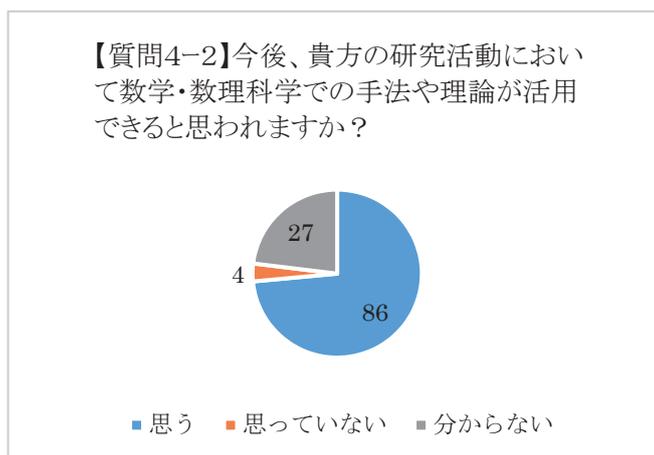
ある	61
ない	56
無回答	0
合計	117



【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せんか？

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?)

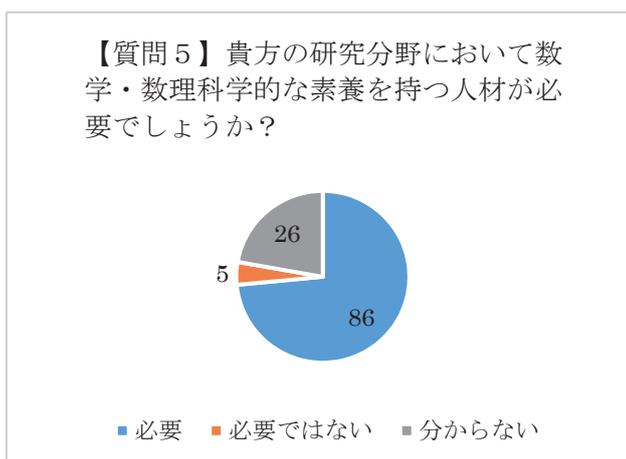
思う	86
思っていない	4
分からない	27
合計	117



【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。

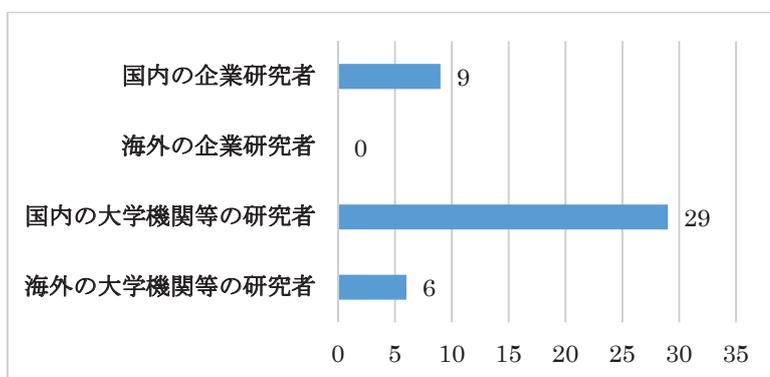
- ・ グリコシル化反応(有機化学)における溶媒効果・特異的グリコシル化反応における置換基効果。当初はかなりの成功を収めた。ただしお互いの進捗状況に差が出たこと、お互いの分野の理解の不足から議論がかみ合わなくなった。計算化学から有機化学へのフィードバックが乏しく、Scientificには面白い課題ではあったが、計算化学の力がなくても問題解決は可能であった。
- ・ 研究のバックグラウンドの異なる研究者とのマッチングは大きな成果となりうる。
- ・ 創薬におけるインシリコスクリーニング。具体的には、ドッキング計算、分子動力学など
- ・ PETでA β 、糖代謝画像とMRIによる局所体積情報を組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？

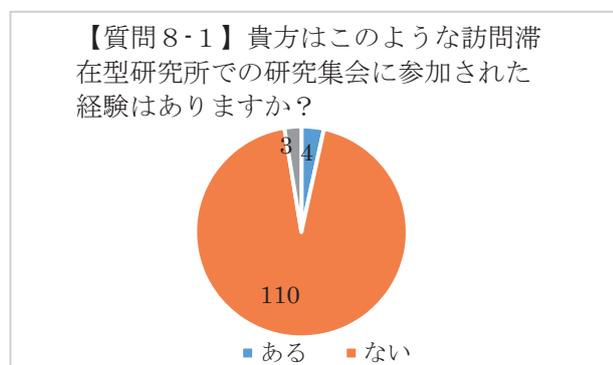
共同研究者の所属機関は国内の大学機関の研究者が約66%であり、次いで国内の企業研究者が20%であり、海外の大学機関等の研究者は約14%であった。



【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？

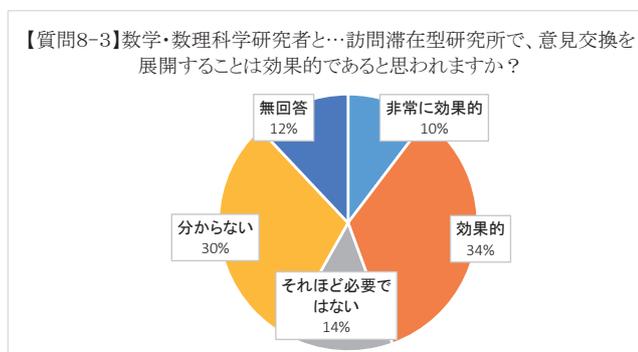
参加者サンプルが少なすぎるためデータから言えることはないが、参加者の4名中3名が複数回参加しているため、訪問型滞在研究所での研究集会等は参加した研究者にとって有意義であると予想される。

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。

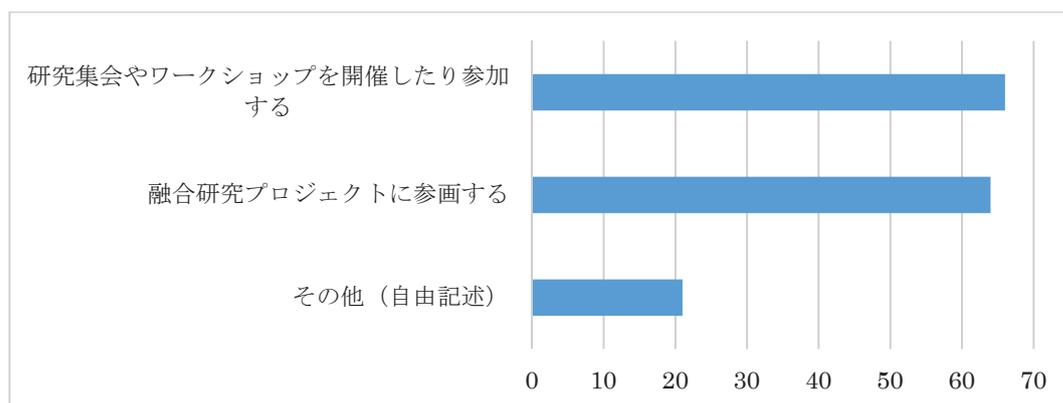
非常に効果的	12
効果的	40
それほど必要ではない	16
分からない	35
無回答	14
合計	117



【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

(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

（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

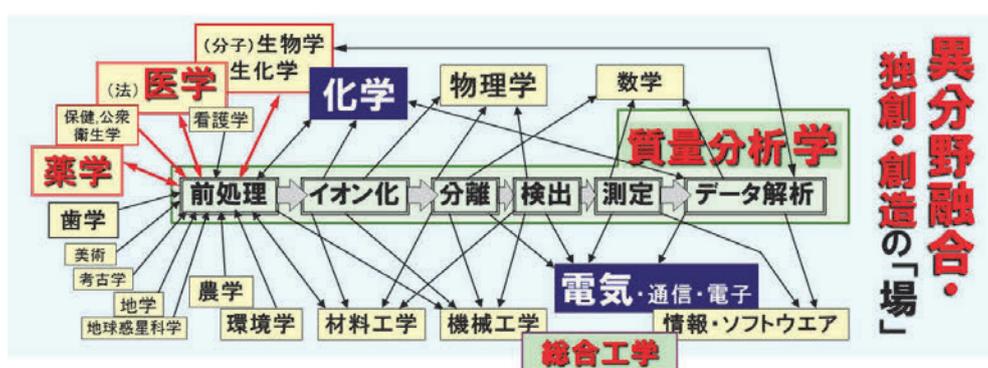
http://www.shimadzu.co.jp/aboutus/ms_r/archive/files/MALDI-MS_TechRep/MALDI_TechRepV3.0_11BackCover.pdf

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(大雑把にいて数十万円程度)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てゆけるのか、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、お聞かせ下さいますか？

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さうと思われ
ますか？

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にも所属させる(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

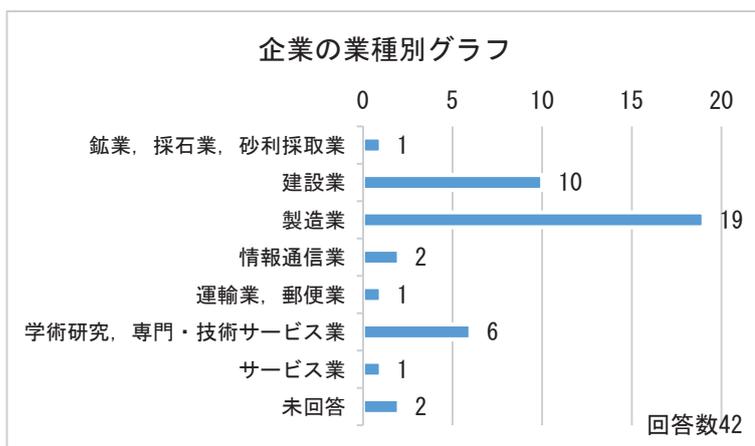
(5.1) 回答プロフィール

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

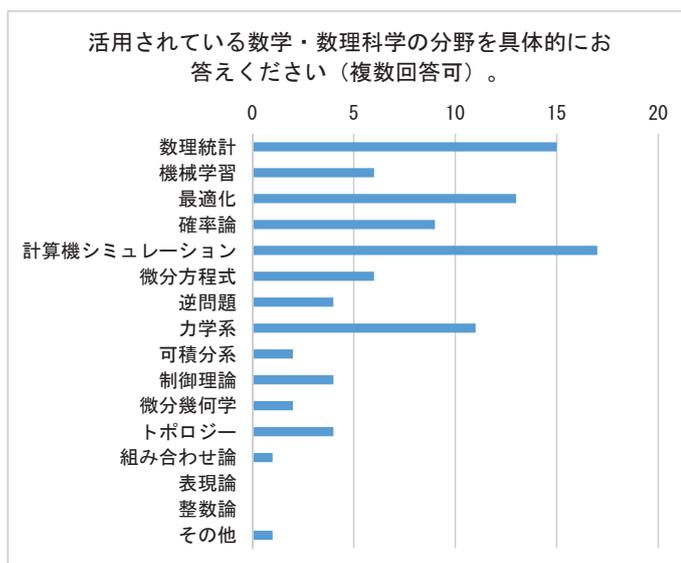
【貴社の数学・数理科学への興味、貴社内での活用】

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？

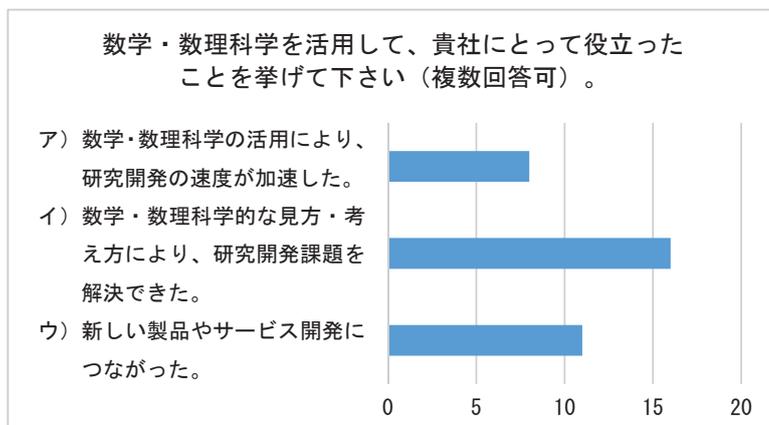


→ア) とお答えの方に伺います。

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)。



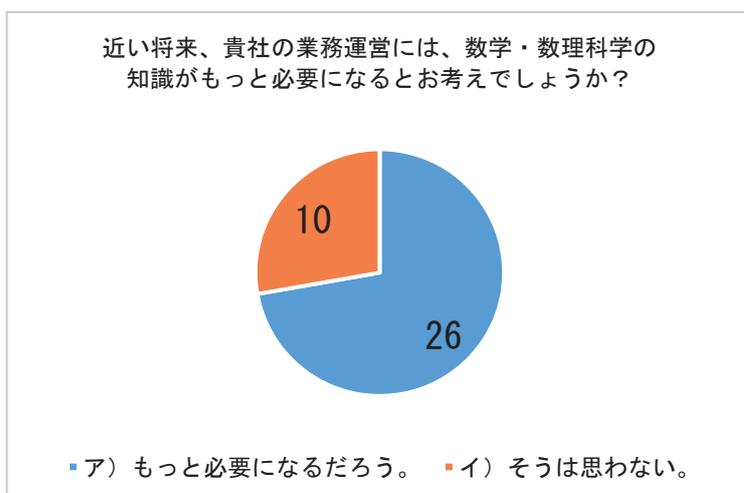
b) 数学・数理科学を活用して、貴社にとって役立ったことを挙げて下さい（複数回答可）。



自由記述には以下が記載された。

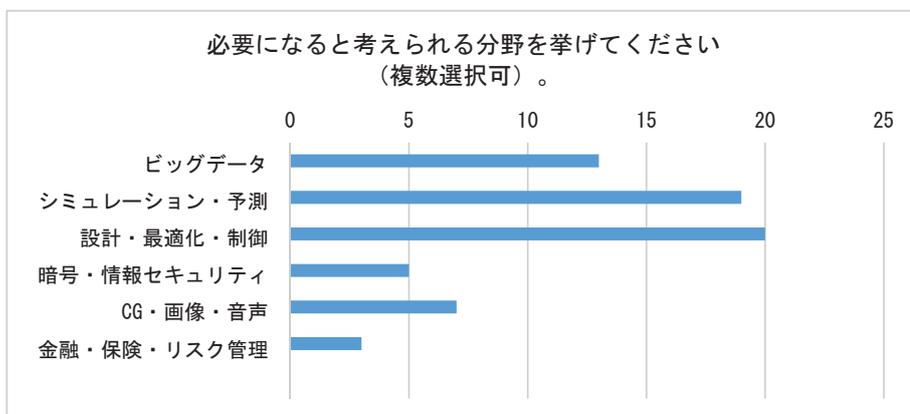
- ・ 計算機シミュレーションは通常の業務で、微分方程式によって逆問題を解く。過去の履歴に合致する入力パラメータ群を機械学習によって求める。
- ・ 新製品開発に取り組む研究の初期段階。
- ・ 技術開発室での新製品開発。
- ・ 計測データを用いた設備機器の運転シミュレーションによりエネルギー消費量等を予測した。
- ・ 条件変更による差異の有無を判断するためには必須。
- ・ テストに使用するテストピースの測定項目において、不要な項目を削除し工数削減と、本来必要な新たな項目に着目できる。研究内容の十全を図ることが可能になる。

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？



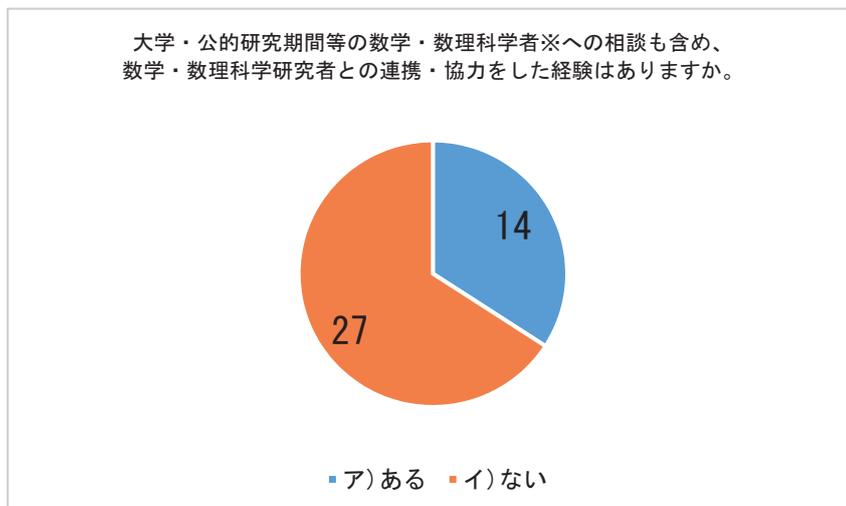
→ア) とお答えの方に伺います。

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)。



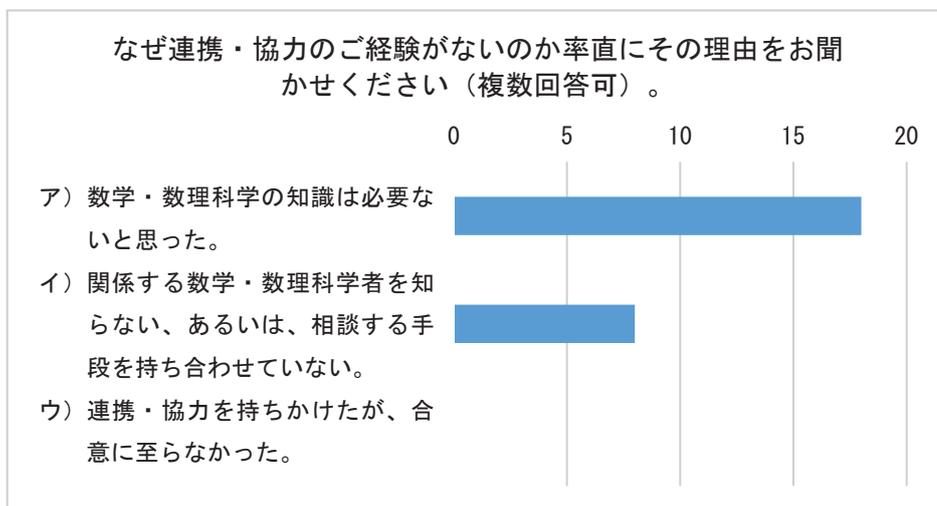
【貴社と大学等の数学・数理科学者との連携・協力】

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。

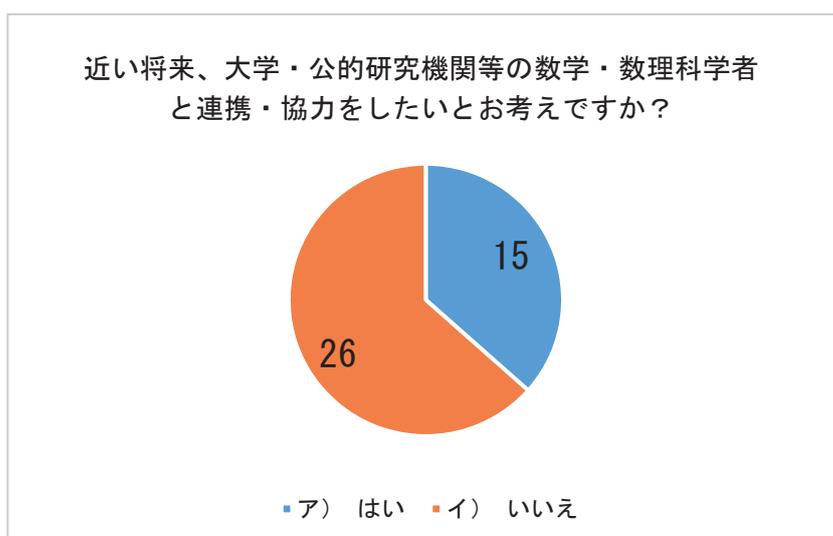
d1. なぜ連携・協力のご経験がないのか率直にその理由をお聞かせください（複数回答可）。



自由記述には以下が記載された。

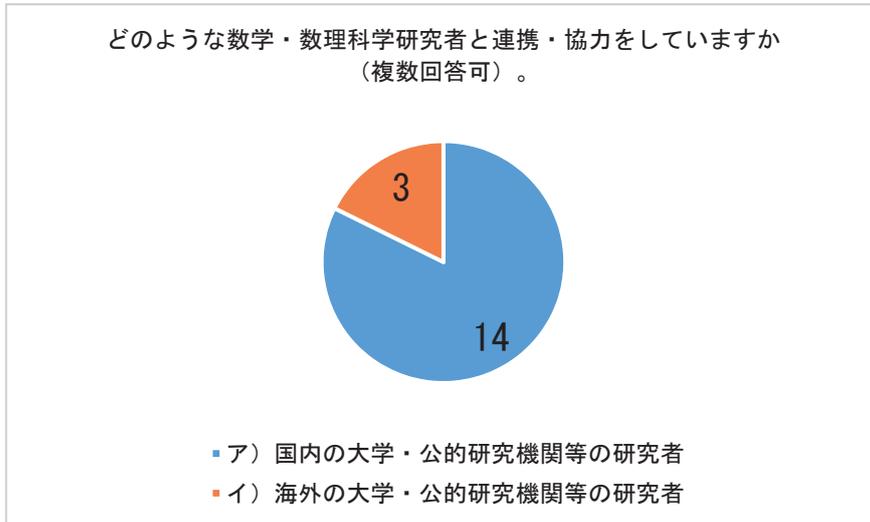
- ・ 必要な知識は論文とその他の文献で得ることが出来、それ以上の研究者との連携は必要であると考えていない。
- ・ 必要な知識は論文とその他の文献で得る。2
- ・ 自社開発で充分・特殊な数理解析や統計解析手法を使った経験なし。

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？

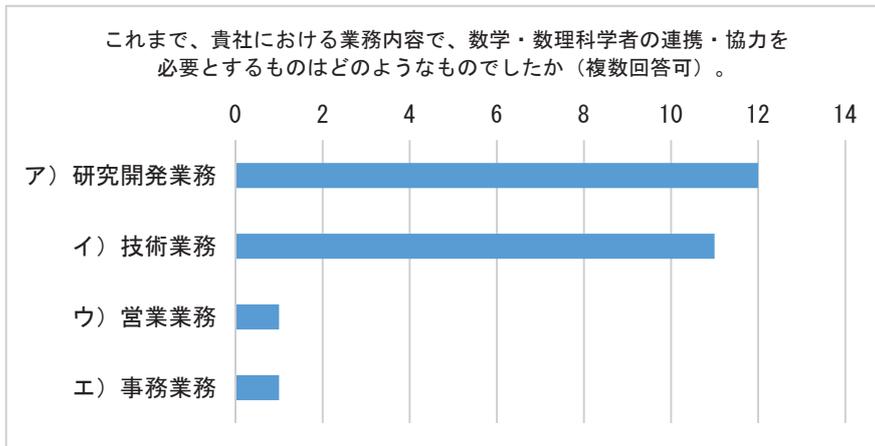


→ア) とお答えの方に伺います。

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)。



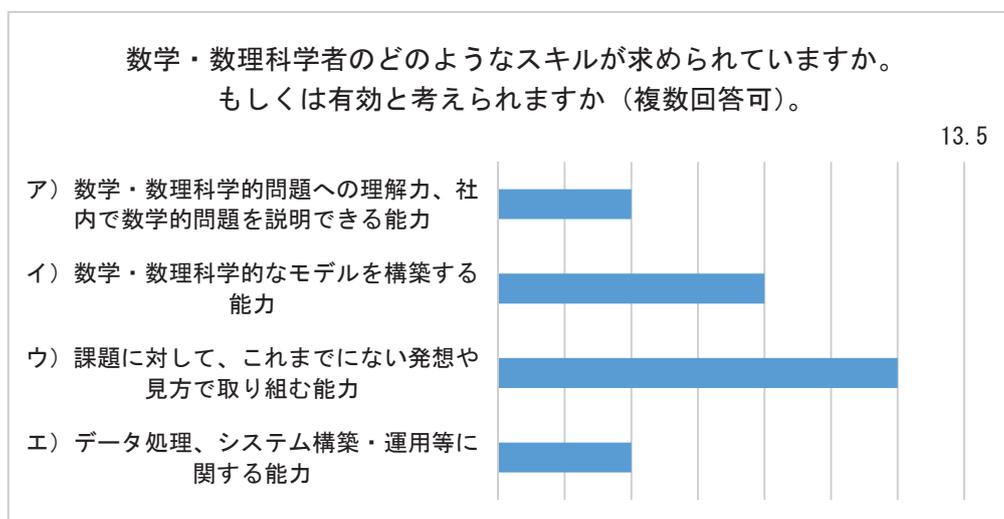
e) これまで、貴社における業務内容で、数学・数理科学者の連携・協力を必要とするものはどのようなものでしたか(複数回答可)。



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

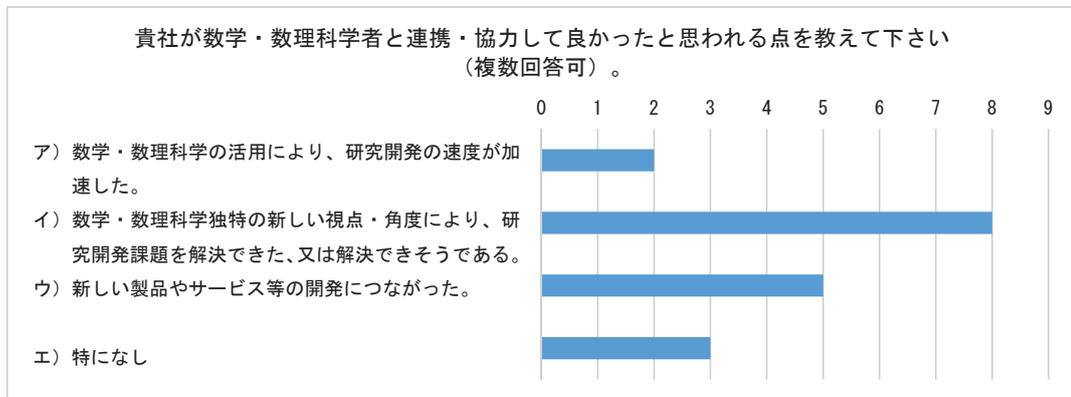
- g) 過去5年間に於いて、数学・数理科学者と連携・協力した課題数とその課題内容をお書き下さい。併せて、協力体制・方法についてもお書き下さい。

→ 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・数理学研究者との連携・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・数理学研究者と連携・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・数理学研究者と連携・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す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、非線形数理セミナーをそれぞれ実施

高校生による MIMS 現象数理学研究発表会を年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

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 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/)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賄っている。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イ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、 β -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、 β -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「 β 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		北海道大学電子科学研究センター	東北大学大学院情報科学研究	東京大学大学院数理科学研究	東京大学先端科学技術連携研究所	早稲田大学重点領域研究機構	慶應義塾大学研究センター	大阪大学金融・保険教育研究	理化学研究所理論科学連携	海洋科学研究開発先端技術研究分野
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
	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	東北大学原子分子材料科学高等研	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附属社	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	東京大学産学技術研究所	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	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	海洋研究開発機構	
数学連携拠点																		
ワークショップ等の開催回数	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	
事業の共同回数	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	
比率(参加人数から全体の研究者)	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：

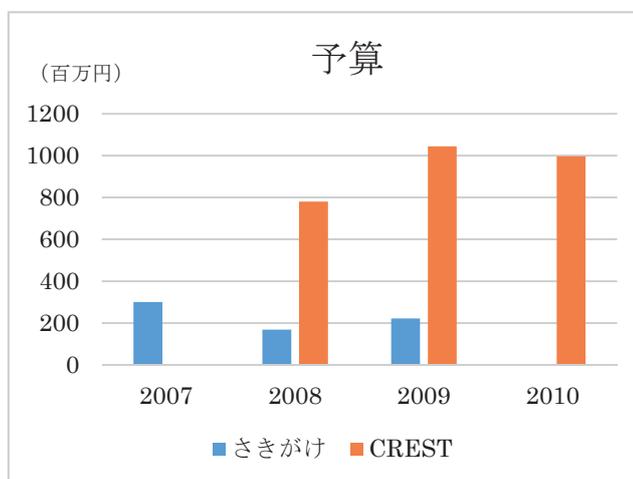
- ① 本領域は、数学で初めての領域であり、同時にさきがけ・CREST 複合領域である。
- ② 数学と諸分野の協働によるブレークスルーを目指し、知的ハブとしての「ヴァーチャル・インスティテュート」を標榜して、ヘテロな研究者集団のなすネットワークの形成を目指した。
- ③ 領域会議、さきがけ数学塾、JST 数学キャラバン、文部科学省協働ワークショップ、領域シンポジウム、国際会議(SBM)、大学訪問(サイトビジット)などを有機的に配して、さきがけ先行型複合領域のメリットを活かした領域研究運営体制を構築した。

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。

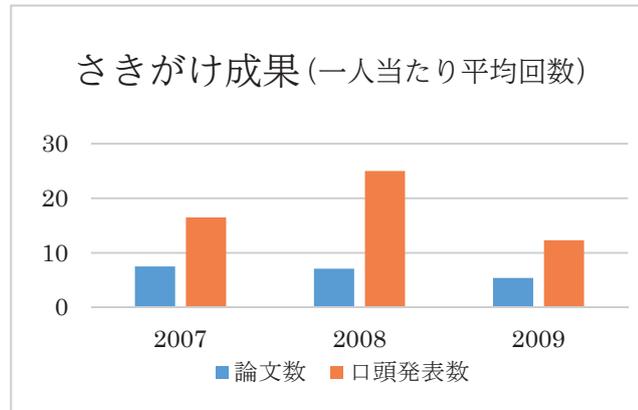
④ 数学における研究の成果は数十年を経て社会に還元されるのが常であり、研究期間の終了時での最終評価は困難であるが、論文、口頭発表に関する限り、ほぼ十分な数の研究成果が既に公表されている。

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。



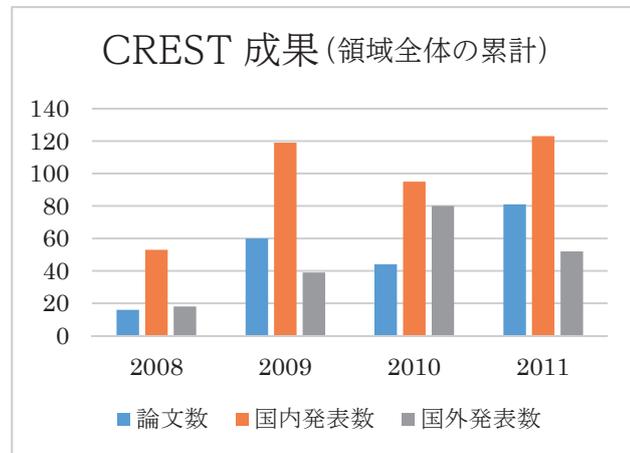
具体的な成果事例 (抜粋)

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・アルツォロ)
7. 多重スケールの流体工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

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。

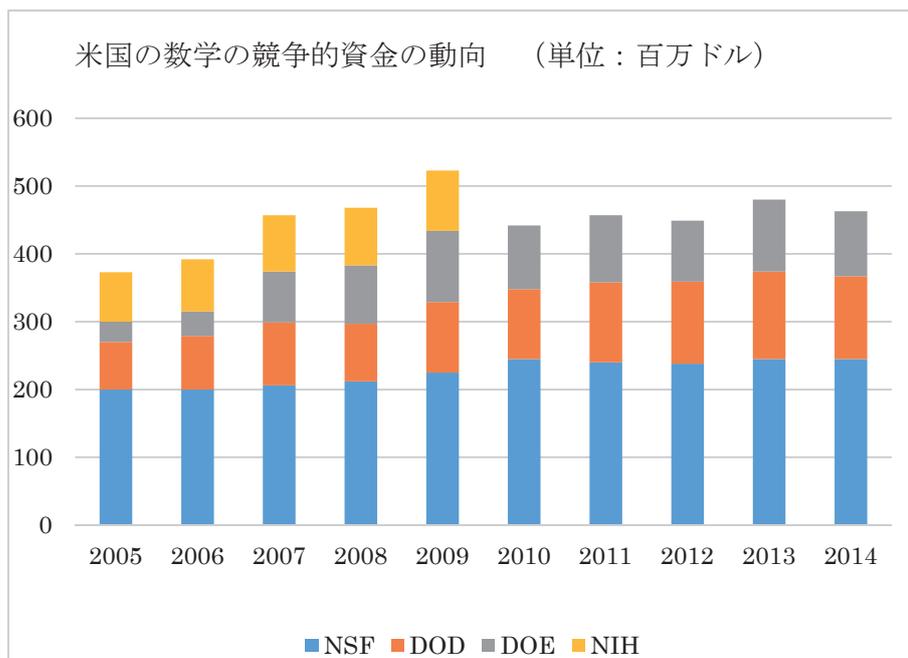
NSF: 国立科学財団予算

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) 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) ブルギニオン氏 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。

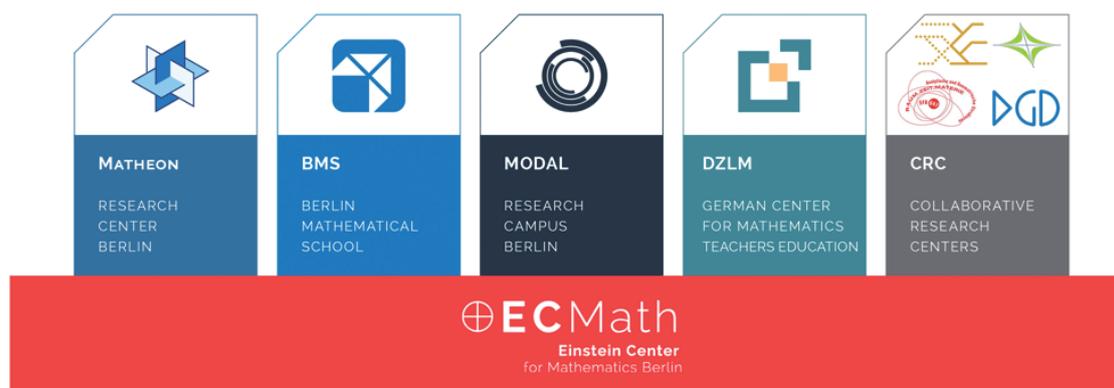
- 3) スポンサー：

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り、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：

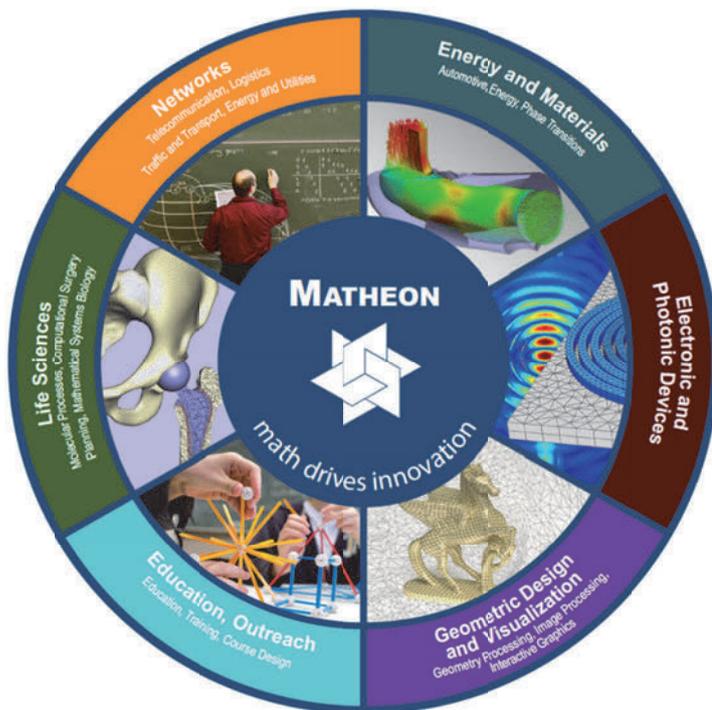
ベルリン工科大学 10、自由大学 8、フンボルト大学 4、ワイエルストラス研究所 7、ツォーゼ研究所 8

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？

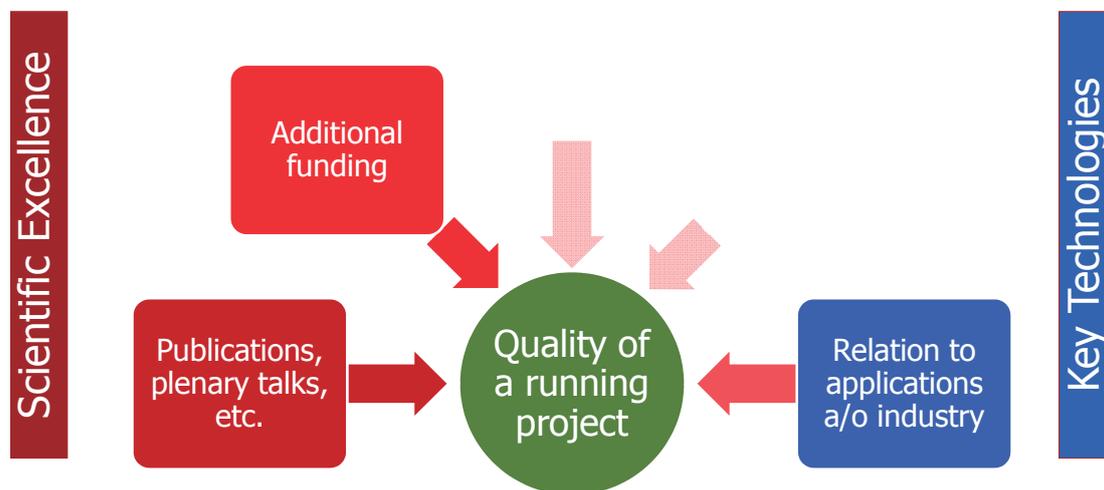
ECMath は次の図の様な応用指向の研究プロジェクトに財政的な援助をしている。



- 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。

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
- 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

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

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

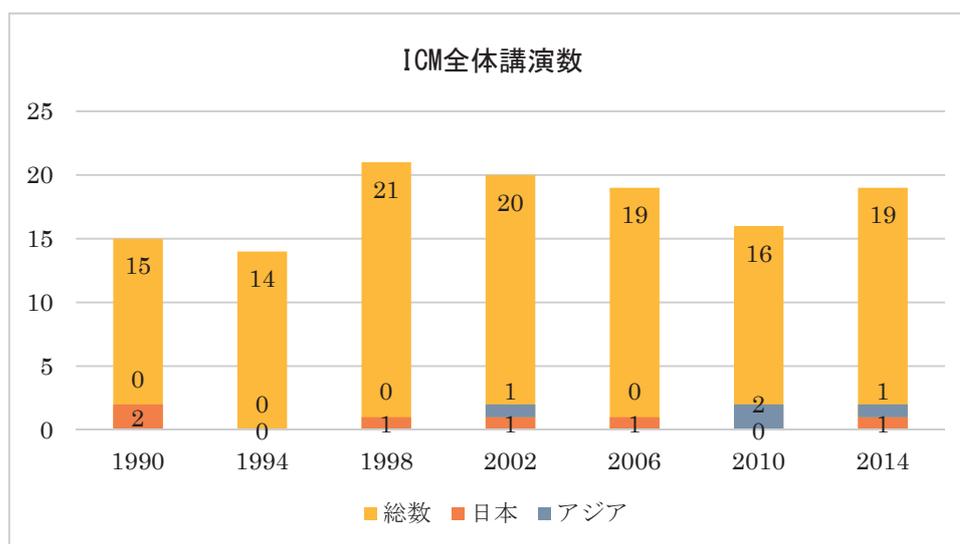
- 1) 世界的にみて優れた数学または数理科学の研究所はどこか？
たくさんあり、それぞれ長所・短所がある。
- 2) 数学の研究のために訪問滞在型研究所は有用か？数学と他の領域の間の協働研究に関してはどうか？
いろいろな意味で有用である。まず、地元の多くの研究者がトップレベルの研究者と直接議論でき、知識や研究の水準を向上させることができる。さらに、そのような研究者の滞在により研究所のレベルアップを図ることができ、世界的な研究者のネットワークがさらに充実していく。数学の異分野連携研究も新たに開始することができる。
- 3) 数学は大規模な実験設備を必要としないので、数学者は研究所なしでも数学の研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

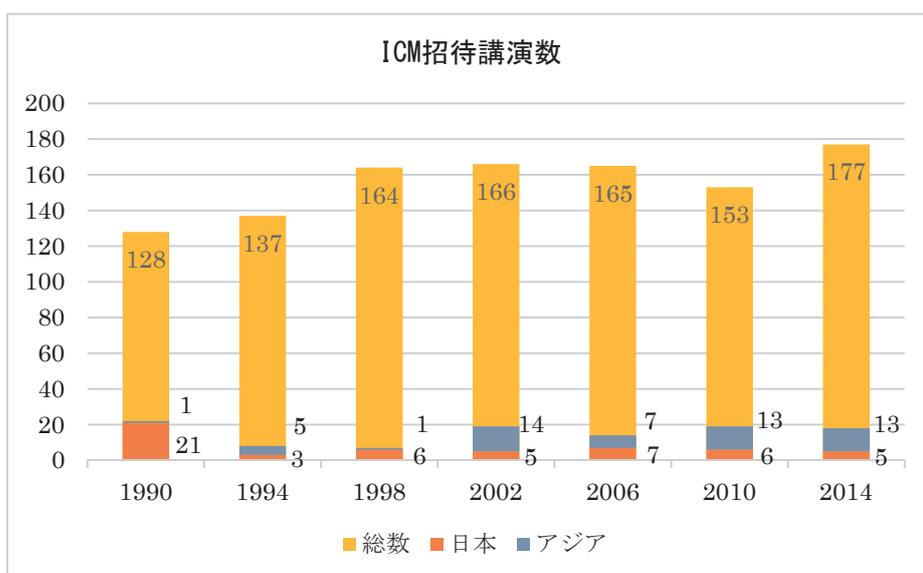
4. 日本の数学・数理科学研究の動向

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

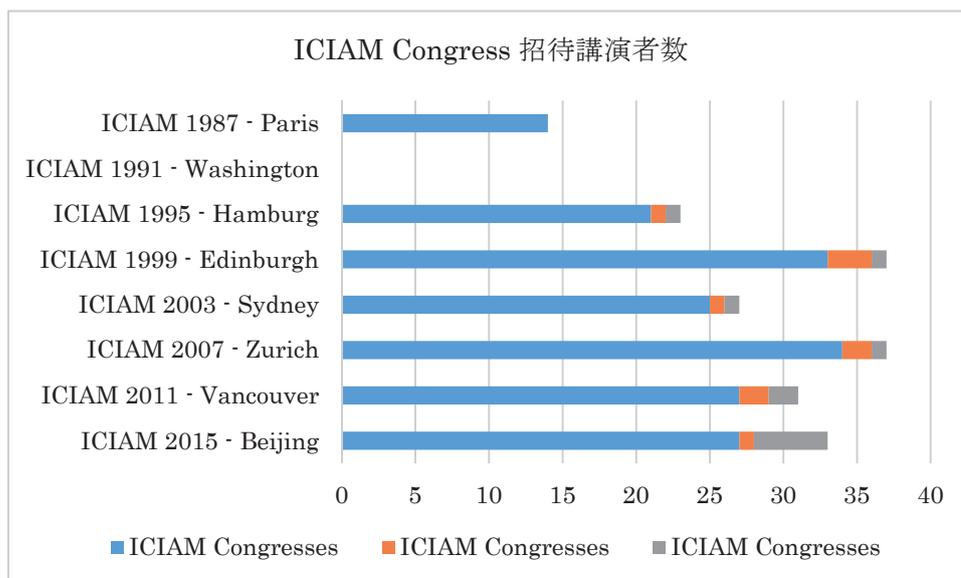
国際数学者会議において、顕著な業績を上げた40歳以下の数学者から、2名以上4名以下に授与される。日本では、小平邦彦氏(1954年)、広中平祐氏(1970年)、森重文氏(1990年)の3名が受賞している。アジア系では、丘成桐氏(中国系米国人)(1982年)、陶哲軒氏(中国系オーストラリア人)(2006年)、ゴ・バオ・チャウ氏(ベトナム人)(2010年)、マリアム・ミルザハニ氏(イラン人)(2014年)、マンジュル・バルガヴァ氏(インド系カナダ・米国人)(2014年)の5名が受賞している。2006年以降、ほぼ1名のフィールズ賞受賞者がアジアから出ている一方、日本からの受賞者は暫く出ていない。

(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。

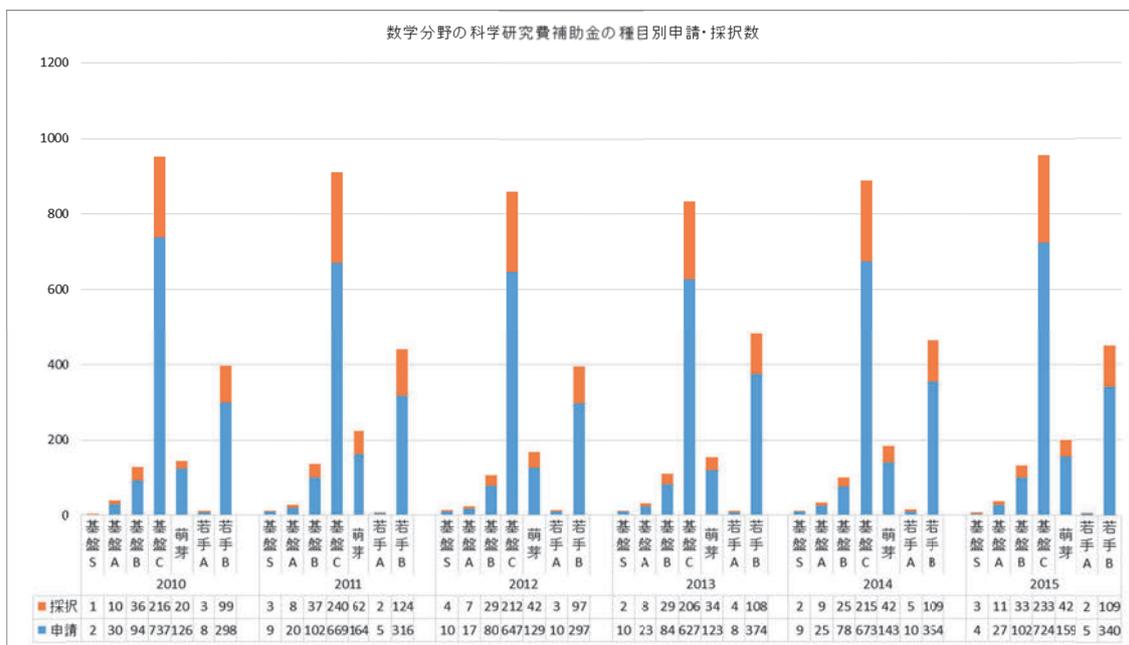
ICMに相当する、応用数理 (industrial and applied mathematics) 分野での国際会議としては、International Congress on Industrial and Applied Mathematics (応用数理国際会議、ICIAM)がある。この招待講演者リストは以下のようになっている。近年は、日本人の研究者の招待講演は微減である一方、アジアからの講演者は増加している。



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。

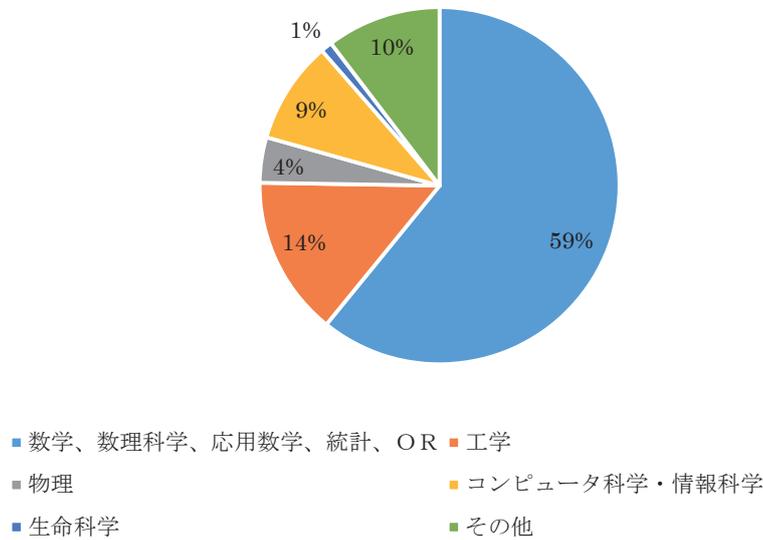
2) 科研費全体における課題

- ・ 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

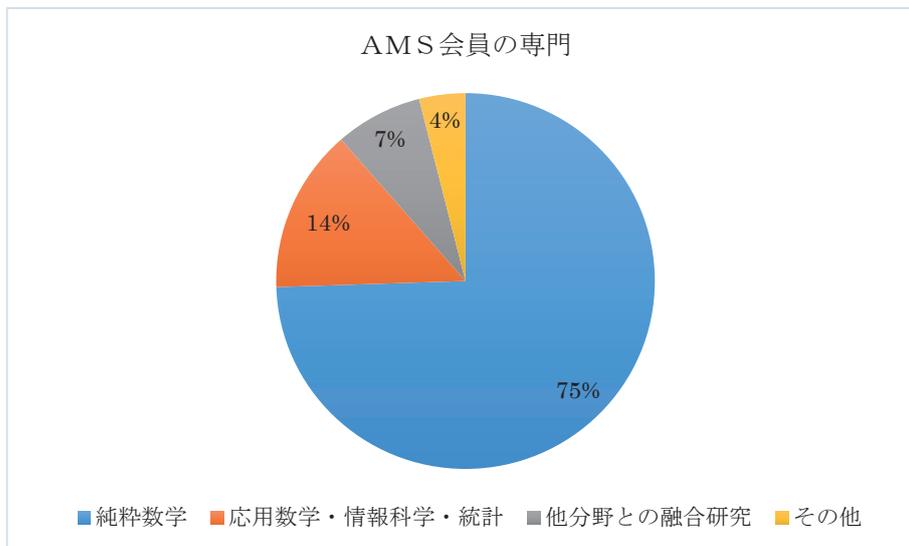
米国にはAmerican Mathematical Society (AMS)、Society of Industrial and Applied Mathematics (SIAM)、American Statistical Association (ASA) がある。それぞれの会員の概数は、AMSの会員は30,000人、SIAMは13,000人、ASAは18,000人とされている。ただしAMSは大学院生を入れるとさらに10,000人程度増える。SIAMのシニアメンバーは、6,300人程度で、その割合は60%弱が数学、応用数学、統計の研究者であるが、それ以外に工学、コンピュータ科学・情報科学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



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。

