

数学イノベーション戦略 (中間報告案)

平成24年 月 日

科学技術・学術審議会

先端研究基盤部会

目次

はじめに

I. 数学イノベーションが必要とされる背景

I-1 数学イノベーションの必要性

- (1) これまでに数学が果たしてきた役割 4
- (2) 社会の情報化・複雑化の進展に伴う数学の重要性の高まり 4
- (3) 諸外国における状況 5
- (4) 我が国における状況
 - ① 数学と諸科学・産業との協働の遅れ 5
 - ② 数学と諸科学・産業との協働に向けた取組 6
 - ③ 数学への期待の高まり 6
 - ④ 組織的な協働の必要性 7
- (5) 数学イノベーションの必要性 7

I-2 数学イノベーションの効果

- (1) 数学イノベーションにより期待される効果
 - ① 諸課題の根源的な解決 8
 - ② 数学そのものへの刺激、発展 8
 - ③ 研究成果の水平展開と思わぬ応用への拡がり 8
- (2) 数学イノベーションにより解決が期待される課題 9
- (3) 大規模で多様なデータや複雑な現象の解明に向けた数学の重要性 10

I-3 数学側において必要な活動

- (1) 数学側からの主体的な提案型活動 10
- (2) 数学における分野間の連携 10
- (3) データ駆動型研究の重要性 11

II. 数学イノベーション推進に当たっての現状認識

II-1 数学へのニーズ発掘に向けた取組の不足

- (1) 数学へのニーズの見えにくさ 12
- (2) 数学へのニーズを発掘し、具体的な研究へつなげる必要性 12
- (3) 現状の問題点 12

II-2 数学イノベーションに必要な人材の不足

- (1) 数学と諸科学・産業との協働を担う「橋渡し」人材の確保・育成の必要性 13
- (2) 現状の問題点 13

II-3 その他

- (1) 情報の発信、理解の増進 14
- (2) 共同研究における知的財産権に関わる問題 14

III. 数学イノベーションの推進方策

III-1 数学へのニーズの発掘からイノベーションへつなげるために必要な活動

- (1) 「出会いの場」、「議論の場」の設定 15
- (2) 数学研究者と諸科学・産業との協働のための研究の推進 15
- (3) 諸科学・産業からの相談への対応 16
- (4) 情報の関係者間での共有・活用 16

III-2 数学イノベーションに必要な人材の育成

- (1) 数学界における人材の育成
 - ① 諸科学・産業との協働への参画を通じた人材の育成 16
 - ② 海外数学研究拠点との研究交流による人材の育成 16
 - ③ 大学の数学教育研究組織における人材の育成 17
 - ④ 新たなキャリアパスの構築 17
 - ⑤ 数学界における諸科学・産業との協働による成果への評価 17
- (2) 諸科学・産業における人材の育成
 - ① 諸科学における人材の育成 18
 - ② 産業における人材の育成 18

III-3 その他

- (1) 情報の発信、理解の増進 18
- (2) 知的財産権に関わる問題への対処方策 18

III-4 数学イノベーションの実現に向けた必要な体制 20

参考資料

- 参考1 図1 現象やもののモデル化の作業の概念図 23
- 図2 工学等における設計作業の概念図
- 参考2 諸外国における近年の数学と諸科学・産業との連携に関する取組例 24
- 参考3 各大学等における取組例 25
- 参考4 数学・数理科学と諸科学・産業との協働による研究・成果例 27
- 参考5 研究成果の水平展開の事例、思わぬ応用への拡がりの事例 28
- 参考6 数学研究者と諸科学・産業の研究者との連携によるワークショップの企画運営に必要な手法やノウハウについて 30
- 参考7 知的財産権に関わる問題の例 34
- 別表 数学の活用による課題解決型研究のテーマ例 35

はじめに

社会の複雑化や高度情報化社会の進展に伴い、研究や産業の様々な場面において、自然現象や人間の活動に関する複雑で大量の情報から、有益な情報を抽出し活用することがより一層必要となってきた。このため、これらの諸現象の背後に潜む原理や法則性を見出す等の新たな「ものの見方」が必要であり、それを可能とする数学的アプローチが不可欠であるとの認識が、諸科学・産業でも高まっている。また、暗号による情報セキュリティの強化、コンピュータ・グラフィックスによる映像表現の高度化やこれまで表現できなかったものの可視化等、数学が用いられる分野の社会的インパクトが増大している。

一方、数学と諸科学・産業が協働して研究を行う取組については、平成19年度より、独立行政法人 科学技術振興機構（JST）戦略的創造研究推進事業「数学と諸分野の協働によるブレークスルーの探索」領域において研究が開始され、また、一部の大学においても組織的な取組が行われ、新たな研究成果の芽が生まれつつある。しかしながら、数学界においても、諸科学・産業においても、このような動きは一部にとどまっているのが現状である。

このような現状を改善し、諸科学共通の基盤である数学と諸科学・産業との協働による研究を通じて、それぞれの課題の解決に貢献するとともに、既存の枠組みを超えたイノベーションを生み出し、社会に広く貢献するための方策について検討を行うため、「数学イノベーション委員会」（主査・若山正人 九州大学マス・フォア・インダストリ研究所長）を設置し、平成23年6月より調査検討を行ってきた。

今般、この調査検討を踏まえ、委員会としての提言を「数学イノベーション戦略（中間報告）」として取りまとめた。その構成は以下の通りである。

I. 背景の整理

数学と諸科学・産業との協働による研究を促進することが必要とされる背景や、期待される効果や具体的な研究課題について整理した。

II. 現状認識

数学と諸科学・産業との協働に関する現状を整理し、問題点を抽出・分析した。

III. 推進方策

現状を改善するために必要な方策や環境整備について整理した。

なお、本報告書でいう「数学」とは、いわゆる純粋数学のみならず、統計科学をはじめ、現に応用を目的に研究が推進されている数学・数理科学を含んでいる。

また、「数学研究者」とは、上記の「数学」の研究を行う者を意味している。

I. 数学イノベーションが必要とされる背景

I-1 数学イノベーションの必要性

(1) これまでに数学が果たしてきた役割

古代における天体観測に基づく正確な暦や三角法に基づく測量がもたらした農業生産の効率化から、近代における蒸気機関の原理の理解による産業革命、さらに現代における計算機の発明による情報化社会の進展まで、数学はそれらを支える基盤（数学モデル等）を与え続けて来た。最も大きく発展した数学モデルの一つが、ラプラス以来の予測のための様々な微分方程式である。また、「人間による計算行為」をアルゴリズム化することで生まれたのが計算機（コンピュータ）である。このように、数学による基盤の付与は社会構造そのものに大きなインパクトを与えてきた。

また、現象やものをモデル化する作業や、工学等におけるいわゆる設計作業の流れ（実験・計測、設計→現象やもののモデル化→シミュレーション→評価→モデルや設計への反映）【参考1 図1・2を参照】は、近代において構築され、基本的に現在も同じような作業が行われているが、これに対して数学は基盤としての役割を十分に果たしてきた。特に近年では、実験の効率化や複雑化に伴い、シミュレーションの重要性が格段に増し、数学はそのためのソフトウェアとその基本となるアルゴリズムの基盤たるモデルを提供するという役割を果たしてきた。

(2) 社会の情報化・複雑化の進展に伴う数学の重要性の高まり

近年、社会の情報化・複雑化や、計算技術の進歩、計算機性能の飛躍的向上等に伴い、

- 多くの研究分野や産業において、大量データや複雑なデータの意味を理解することが研究開発の進展に不可欠となっていること
 - 経済・金融、環境・エネルギー問題、災害予測・防災、サイバー空間でのセキュリティ等、諸科学・産業に固有の理論フレームワークに基づくモデル化だけでは、捉えきれない複雑な現象や問題が増加していること
 - これまで簡単なモデルで満足しなかった現象についても、より複雑なモデル化が可能となっていること
 - コンピュータ・グラフィックスや情報セキュリティのための暗号等、数学が用いられる分野の重要性が増していること
 - 整数論・位相幾何学といった従来応用には縁が薄かった分野においても、情報通信・医学・防災等幅広い分野への応用が始まっていること
- 等、諸科学・産業において、数学を必要とする場が飛躍的に増加しており、数学研究者が持つ科学的・論理的思考能力が重要であることが認識されつつある。

(3) 諸外国における状況

このような状況を踏まえ、米国をはじめとする諸外国においては、近年、数学の振興を図り、諸科学・産業との連携を推進する取組が講じられている【参考2を参照】。

例えば、米国では、1990年代後半以降、STEM(Science, Technology, Engineering and Mathematics)と称して、数学を科学・技術・工学に並ぶものとし、その研究費を大幅に増強し、数学と諸科学との学際研究に力を入れている。そして、数学の振興と諸科学・産業との連携の強化により、様々な成果をすでに生み出している(検索ソフト、データ圧縮法、情報セキュリティのための暗号技術、コンピュータ・グラフィックス技術等)。

また、最近では、中国、韓国をはじめとするアジア諸国でも数学の教育・研究への重点的な投資が行われている。中国では、2010年に数学を中心に分野横断的な役割を果たす数学研究所(国家数学・学際科学センター; National Center of Mathematics and Interdisciplinary Sciences(NCMIS))が発足している。

(4) 我が国における状況

①数学と諸科学・産業との協働の遅れ

一方、我が国における数学の本格的な研究は、明治以来すでに取り組みられている、医学や工学といった応用に直接結びついた分野よりかなり遅れ、1920年頃に始まり、伝統的に整数論や代数幾何学といった、いわゆる純粋数学分野に強みを発揮してきたものの、統計学を含む応用数学分野は比較的手薄であった。

このように、我が国では数学と諸科学・産業との協働が十分ではなかったために、応用につながる数学研究の成果を生み出しておきながら、実際の社会や産業における応用は外国が中心になって行われ、国内では数学研究成果の果実を得ることができなかつた例も見られる(例:伊藤清(元・京都大学名誉教授)による確率微分方程式が、米国で金融に応用されるに至った)。

また、我が国の研究活動や経済活動で用いられているソフトウェアの多くは外国製のものであり、それらの土台となっている数学への関心や理解も十分ではなく、国際競争上大きな問題と考えるべきである。そして、数学との協働による研究成果は多様な分野へ影響を及ぼしながらも、外から見ると数学による貢献が見えにくいため、数学と諸科学・産業との協働の動きや取組が進むことは期待できず、このまま放置しておく、経済活動や研究活動における国際競争力の強化が困難となるおそれがある。

このような状況を踏まえ、平成18年に文部科学省科学技術政策研究所 報告書「忘れられた科学—数学」(Policy Study No.12、平成18年5月)において、我が国の数学研究をとりまく厳しい状況、数学と諸科学・産業の分野融合研究の必要性が指摘された。また、日本学術会議や関連する学協会からも、数学研究の重要性や解決すべき問題点・必要な方策等について提言がなされてきた。【下記(参考)を参照】

(参考)

- 「礎の学問：数学－数学研究と諸科学・産業技術との連携－」（平成 18 年 5 月 日本学術会議シンポジウム 提言）
- 「我が国の数学力向上を目指す」（平成 18 年 9 月 社団法人日本数学会 提言）
- 「数理科学における研究と若手養成の現状と課題」（平成 20 年 9 月 日本学術会議 提言）
- 「数理科学分野における統計科学教育・研究の今日的役割とその推進の必要性」（平成 20 年 8 月 日本学術会議 提言）
- 「数理科学分野の展望」（平成 22 年 4 月 日本学術会議数理科学委員会 報告）

②数学と諸科学・産業との協働に向けた取組

このような我が国における数学と諸科学・産業との協働の必要性に対する指摘を踏まえ、平成 19 年度より、独立行政法人 科学技術振興機構（JST）戦略的創造研究推進事業「数学と諸分野の協働によるブレークスルーの探索」領域が設置され、さきがけ・CREST において、数学者と諸科学研究者との協働による研究が行われるようになった。

また、異分野融合等を通じ、我が国に世界最高峰の研究拠点を構築することを目的に開始された「世界トップレベル研究拠点プログラム（WPI）」では、現在 2 つの拠点（東北大学 原子分子材料科学高等研究機構（AIMR）・東京大学 国際高等研究所 カブリ数物連携宇宙研究機構（Kavli IPMU））において数学との融合によるブレークスルーを目指している。

さらに、平成 23 年度には、数学的知見を活用して解決が期待できる課題の発掘や、諸科学・産業との協働に必要なノウハウの抽出等を目指し、文部科学省と大学等の共催による「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」が 22 件開催され、平成 24 年度もこれを上回る規模で開催される予定である。

そして、一部の企業においては、ここ数年、数学的知見を活用して様々な企業活動の効果や価値を高めることを目指した研究を行うための組織体制が整備され、これまでにない発想による成果が出始めている。

また、一部の大学や公的研究機関においても、数学と諸科学・産業との連携・協力を推進するための組織的取組への動きが見られ、今まさに連携・協力の芽が出つつあると言える。【参考 3 を参照】

③数学への期待の高まり

一方、諸科学分野の研究者を中心に、数学の力が必要であるとの意見が多く見られるようになってきている（平成 21 年度 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」による数学専攻以外の国立大学教員 5000 人に対するアンケート調査において、回答者の約 70%が「もっと数学・数理科学の力を専門分野に導入すべき。そうしないと将来、世界での日本の研究レベルは危ういものとなるだろう」と回答）。

また、科学技術・学術審議会 研究計画・評価分科会の下に設置された分野別委員会の報告書【下記（参考）を参照】においても、シミュレーションによる予測やデータからの有用な情報の抽出等、数学が貢献できる内容が記載されている。

(参考)

- 「新たなライフサイエンス研究の構築と展開」(平成 21 年 7 月 ライフサイエンス委員会)
- 「『生命動態システム科学』の今後の推進のあり方について」(平成 23 年 7 月 生命動態システム科学戦略作業部会)
- 「情報科学技術に関する推進方策(中間報告)」(平成 23 年 9 月 情報科学技術委員会)
- 「環境エネルギー科学技術に関する推進方策」(平成 23 年 9 月 環境エネルギー科学技術委員会)
- 「航空科学技術に関する研究開発の推進方策について」(平成 18 年 7 月 科学技術・学術審議会 研究計画・評価分科会)

④組織的な協働の必要性

上記②で述べたように、諸科学・産業との協働への取組に数学研究者が積極的に応答し参加していること、③で述べたように、諸科学・産業から数学への期待が高まっていることから分かるように、数学研究者と諸科学・産業の研究者との関係を、これまでの個人と個人の関係から組織的でより拡がりを持った関係へと発展させる時期が到来したと言える。

また、このような動きに符合するように、「第 4 期科学技術基本計画」(平成 23 年 8 月 19 日 閣議決定)においては、「数理科学」を、「科学技術の共通基盤」、「複数領域に横断的に活用することが可能な科学技術」と位置付け、それに関する研究開発を推進する旨を明記している。

(5) 数学イノベーションの必要性

このような状況の中、数学への期待に応え社会に貢献するためには、諸科学の共通言語である数学の持つ力(具体的実体を抽象化してその本質を抽出し、一般化・普遍化する力)を十分に活用して、様々な科学的発見や技術的発明を進展させ、新たな社会的価値や経済的価値を創出する革新を生み出していくこと(数学イノベーション)が不可欠である。

このためには、数学研究者と諸科学・産業の研究者が互いの壁を乗り越え、協働しながら継続的に研究を行い、その成果を数学イノベーションとして社会や数学界へ還元し、さらに協働が促進されるための環境を整備する必要がある。

なお、数学イノベーションを支える基盤として、いわゆる純粋数学等の基礎的研究も、真にイノベティブな成果を生み出す上で不可欠である。また、諸科学・産業における研究者の数学的能力も重要な基盤であり、必要な人材の育成等により、数学的能力の全体的な底上げを図ることも不可欠である。

I-2 数学イノベーションの効果

(1) 数学イノベーションにより期待される効果

① 諸課題の根源的な解決

数学イノベーションにより、グリーンイノベーション、ライフイノベーション、安全の確保、産業競争力の強化等の様々な課題について、個別分野の課題解決型研究では難しい根源的な解決が可能となり、社会に強烈なインパクトを与えることが期待できる【参考4を参照】。例えば、諸科学・産業で得られている一連の実験的または経験的事実を、一貫性のある論理で説明できる数学的理論が構築されることで、当該分野の研究開発に要する時間や経費が大幅に短縮される等の効果が期待できる。

さらに、従来の数学だけでなく、最新の数学理論、必要ならば新しい数学理論を創り、それらを駆使して新たな理論体系を独自に構築し、課題を解決することも重要である。

② 数学そのものへの刺激、発展

①で述べた諸課題の解決のために数学的なアプローチ法や手法が見出され、それらが用いられるプロセスを通して、数学そのものが刺激を受け、数学自体の発展につながることも期待できる。このような具体的課題の解決のために用いられた数学的なアプローチ法や手法は、数学研究者から見ると数学的厳密性を欠く場合もあるが、むしろ新しい数学的課題発見のチャンスであることも多く、それらを見逃さないことが重要である。

このため、数学自体の発展のためにも、多様な科学技術研究現場、現実の問題から議論を始め、数学の基礎研究へ議論をフィードバックすることが有用である。

③ 研究成果の水平展開と思わぬ応用への拡がり

諸科学の共通の言語である数学の研究成果は、実際の現象等を抽象化するが故に汎用性が高い。このため、ある具体的課題に関する抽象的な数学的構造に着目して得られた解決策は、普遍性・汎用性を帯び、全く別の具体的課題の解決に貢献すること（成果の水平展開）が可能となり、その波及効果は計り知れないほど大きい。これが数学イノベーションの一大特長であり、抽象と具象を自由に行き来できる（具体的実体を抽象化し、また具体的実体に適用できる）という数学の強みでもある【具体例は参考5参照】。

また、数学研究の成果が、アイデアの発見・定式化以来数十年、場合によっては一世紀以上経過してから思わぬ応用につながり、現代社会を根本から支えている例も多い【具体例は参考5を参照】。このように、数学のどのような理論研究の成果が、どこでどのような事実や現象と結びついて、どう使われるかは、原理的に予見が困難である場合が多い。

(2) 数学イノベーションにより解決が期待される課題

数学イノベーションにより根源的解決が期待される具体的な課題の例を、平成23年度に文部科学省と大学等の共催で開催した「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」の結果等を踏まえて抽出し、以下のように整理した【詳細は別表を参照】。

<課題解決のために必要な研究テーマの整理例>

- ・大量で、多種・多様なデータ（ビッグデータ）、複雑な現象やシステム等の構造の解明
- ・局所的なデータ、スパースなデータから大域的データを構成
- ・将来の変動の予測
- ・リスク管理
- ・最適化
- ・可視化（ビジュアライゼーション）
- ・学術的な真理の探究

課題を整理する際の視点としては、以下の例のとおり、①数学により解決したい課題（ニーズ）側からの視点と、②課題解決のために活用する数学的理論や手法（シーズ）側からの視点が考えられる。

<課題を整理する際の視点>

①ニーズ（解決したい課題）側からの視点

(※) () 内：ニーズを有する分野

- ◆大規模データ処理、データマイニング、（産業、医療、防災）
- ◆スパースなデータの活用（産業、医療、環境）
- ◆予測、シミュレーション（ライフ、材料、防災、環境、経済）
- ◆リスク解析（健康、防災、経済）
- ◆マルチスケール問題（ライフ、材料、気象、経済）
- ◆人間の行動のモデル化（産業、経済、防災）
- ◆最適化（交通、設計、経済、防災）
- ◆サービス分野の生産性向上（医療・福祉、運輸・物流、防災、金融、観光、マーケティング）
- ◆可視化、画像処理（ライフ、材料、防災、環境、娯楽）
- ◆情報セキュリティ、暗号の高度化（通信）

②シーズ（数学的理論や手法）側からの視点

- ◆有限要素法
- ◆ゆらぎ理論
- ◆逆問題
- ◆確率解析
- ◆離散幾何学、離散微分幾何学
- ◆トポロジー

- ◆圧縮センシング
- ◆最適制御
- ◆CGにおける種々の内挿・外挿手法(spline, NURBS, wavelet, RBF 等)
- ◆機械学習理論
- ◆ベイズ推論・モデリング
- ◆データ同化

(3) 大規模で多様なデータや複雑な現象の解明に向けた数学の重要性

近年の高度情報化社会の進展や計測技術の進歩、計算機性能の向上等に伴い、ライフサイエンスをはじめ様々な分野において得られる情報量が急速に増大し複雑化しており、その大量で、多種・多様なデータ（ビッグデータ）を有効に活用することが必要となっている（「ビッグデータ時代におけるアカデミアの挑戦～アカデミッククラウドに関する検討会 提言～」(平成 24 年 7 月 4 日 文部科学省アカデミッククラウドに関する検討会)）。

このための革新的な手法や技術を開発するためには、数学者は、情報科学分野の研究者やグリーン・ライフサイエンス・防災等の各アプリケーション側の研究者と積極的に連携を図るとともに、数学者の多様な知見とポテンシャルを最大限活用し、ビッグデータの有効活用において本質や構造を見出すための共通基盤的技術の構築に向けて取り組むことが重要である。

I-3 数学側において必要な活動

(1) 数学側からの主体的な提案型活動

数学による貢献は外からは見えにくく、諸科学・産業においても数学により解決したい課題（数学へのニーズ）は十分に認識されているとは言えない。このため、数学側が諸科学・産業からの相談に受け身で対応するだけでなく、数学側から新たなシーズを主体的に提案したり、ニーズに対する数学的アプローチ法を具体的に提示することが、実効性のあるイノベーションのためには不可欠である。

I-2(3)で述べた、ビッグデータに関する研究においても、数学者から、どのような問題に対してどのような数学的アプローチ法が有効なのか等を、主体的に提案することが必要である。

(2) 数学における分野間の連携

課題によっては、数学における特定分野によるアプローチだけでは限界があり、数学における他の専門分野と協力することで、これまでにない新しい発想により解決に導けるものもある。現に、平成 19 年度より開始した戦略的創造研究推進事業「数学と諸分野の協働によるブレークスルーの探索」領域においては、様々な専門分野の数学者が相互に情報交換や議論をすることを通じ、当初用いていた数学的手法とは別の数学的手法が有用であることが分かり、研究が加速した例もある（例：大動脈瘤治療後の個人差の原因を探るための大動脈形状の数値モデル化研究において、当初はコンピュータによる数値シミュレーションといった解析的手法を試みていたが、その後、微分幾何の専門家からのアドバイスにより、微分幾何を活用した少ないパラメータによる記述が可能になり研究が加速した）。

このように、各プロジェクト等に数学研究者を参加させ、個別に研究を進めるだけでは、参加した数学研究者自身の専門分野以外の分野が役立つかどうかの検証が困難であるのみならず、I-2 (1) ③で述べた、研究成果の水平展開や思わぬ応用への拡がりという、数学の持つ強みを発揮することも困難である。

このため、数学研究者が、幅広い数学研究のポテンシャルを活かして諸科学・産業の課題の解決に応えられるよう、おのおのの数学の専門分野を越えて情報共有や連携を図ることが重要である。

(3) データ駆動型研究の重要性

さらに、演繹的と言われる純粋数学研究の場合でも、多数の例の計算やその結果の比較等、少なくない試行錯誤を通して行われるのが普通である。高度情報化社会の進展や計測技術の進歩、計算機性能の向上等により、質的・量的に膨大なデータの活用が不可欠となっている現在、統計学等のように、確率的考え方に基づいたデータ駆動型の帰納的手法による数学研究が、数学の社会への拡がりと深化のためには重要である。

Ⅱ. 数学イノベーション推進に当たっての現状認識

Ⅱ-1 数学へのニーズ発掘に向けた取組の不足

(1) 数学へのニーズの見えにくさ

数学は諸科学共通の言語であり、現象の本質を抽出し、簡明なアイデアを提供できるという特性を有している。この特性を発揮して諸科学・産業における課題の解決に貢献するためには、諸科学・産業が扱うような具体的課題への理解とその抽象化（例：現象を支配する法則を数理モデル化すること）が必要である。

この抽象化によって獲得できた普遍性が、諸科学・産業における課題の根源的解決や成果の爆発的な水平展開（特定の科学分野・産業における課題解決に貢献した数学的知見が様々な分野・産業へも活用されること）を可能としている【Ⅰ-2（1）③参照】。これがまさに、数学の持つ最大の強みであると言える。

一方、具体的現実からの乖離（抽象化）のため、数学による貢献は外から見えずらく、諸科学・産業において、数学的知見の活用による解決が期待できる課題は必ずしも十分に認識されておらず、数学への抽象的ニーズはあるものの、具体的なニーズはなかなか顕在化しないのが現状である。

(2) 数学へのニーズを発掘し、具体的な研究へつなげる必要性

このような現状を打破するためには、顕在化しにくい数学へのニーズを積極的に発掘し、そのニーズに応えられる数学的知見や手法を見出し、具体的な課題解決型研究へとつなげていくことが必要である。具体的には、数学者と諸科学・産業の研究者が出会い、様々な課題について既存の枠組みを超え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し、数学的知見や手法の活用による解決に向けた作業を行うことが必要である。

なお、平成23年度には、文部科学省と大学等との共催により、数学と諸科学・産業との連携による研究課題の発掘を目的とした「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」が22件開催されているが、その経験等から、数学者と諸科学・産業の研究者との連携によるワークショップの企画運営に、必要な手法やノウハウを整理した【参考6を参照】。

(3) 現状の問題点

しかしながら、このような「出会いの場」、「議論の場」であるワークショップや研究集会は、一定の効果と人脈作りに貢献しているものの、散発的・個人的な取組にとどまっている。このため、以下のような問題につながっている。

- ワークショップ等の企画（議論のテーマや参加者の設定）が主に専門分野等の個別の視点から行われており、諸科学・産業のニーズを踏まえつつ、全体を俯瞰して潜在する課題や価値を見抜き、その課題の解決に有用な数学分野を見抜いた上で行われていない
- 議論を通じて有益な情報（事例や経験・ノウハウ等）が得られても、その集約・蓄積までは行われておらず、時間の経過とともに散逸し、外からは見えなくなってしまう
- 諸科学・産業から見て、「どこの、どの数学者に、どのように」相談を持ち

かければよいか分からない

- 議論を通じて課題が発掘されても、継続的な研究資金の不足、大学等の数学研究者の時間の不足もあり、その課題解決のための具体的な研究へはなかなか発展しない

Ⅱ-2 数学イノベーションに必要な人材の不足

(1) 数学と諸科学・産業との協働を担う「橋渡し」人材の確保・育成の必要性

数学研究者と諸科学・産業の研究者との間には、使用する言語や用語、何を指し何を評価するかといった評価尺度(文化)、時間感覚等において隔りがある。また、諸科学や産業の現場における個別的・具体的要請を数学の一般的・抽象的方法とうまく結びつけ、「数学の問題」に置き換えるには、諸科学・産業とコミュニケーションする能力や、ものごとの全体を俯瞰する能力が必要で、それらを身につけるには相応の経験が必要とされる。

このため、数学と諸科学・産業との協働による研究を促進するに当たっては、両者間の隔りを埋め、「橋渡し」をすることのできる人材を確保するとともに育成することが不可欠である。

(2) 現状の問題点

しかしながら、伝統的に我が国の数学研究ではいわゆる応用数学分野が比較的手薄だったこともあり【I-1(4)を参照】、現状では、数学と諸科学・産業との協働を担う人材、「橋渡し」をする人材が不足していることは明らかである。

その原因としては、大学の数学教育研究組織において、諸科学・産業との間を結ぶ人材を育成する必要性が十分認識されてこなかったこと、数学界においては、主にいわゆる純粋数学の成果(新たな定理の発見・証明等)が評価されるため、諸科学・産業との協働への意欲へ結びつきにくかったことが挙げられる。一方、我が国の企業においても、数学を活用しようとする意識が十分ではなく、数学的知見を有する人材の必要性が十分に認識されてこなかったこと等も原因として挙げられる。さらに、近年、我が国の大学や産業界において、成果を早急に求めるあまりコンピュータの計算能力のみに依存し、その土台となる数学や数学研究者による協力の必要性が認識されていない傾向があることも影響を与えている。

しかし、コンピュータの性能向上と、問題を適切に数学モデル化して計算量の適正化や計算精度の向上等につなげていく能力とがあいまってはじめて、より真実に近い現象把握と記述が可能になると言える。従って、諸科学・産業においても数学の重要性を十分認識し、研究者・技術者の数学的能力の向上を図る等、数学的能力の全体的な底上げが必要である。

また、大学の学部や大学院で数学を専攻した後、諸科学・産業に進み、活躍している研究者も少なからず存在しており、このような数学出身者を「橋渡し」をする人材として活用することが有益であるが、実際にはこれらの数学出身者と数学研究者との接点は非常に限られてきたのが現状である。

Ⅱ－３ その他

(1) 情報の発信、理解の増進

ある現象を説明できる数学的理論が生み出されると、その現象以外にも幅広く適用可能になり、その波及効果は極めて大きい【Ⅰ－２（１）③を参照】。

しかし、数学がこのような力を持ち、現実社会に貢献していることが、現状では、諸科学分野・産業、次代を担う小学生、中学生や高校生をはじめとする社会一般において十分理解されているとは言い難い。この数学の持つ力への理解度が高まれば、数学と諸科学・産業との協働が加速することが期待できる。

(2) 共同研究における知的財産権に関わる問題

これまで述べてきたとおり、数学研究者との協働は、両者にとって有益であるばかりでなく、社会的な課題の解決や産業活動においても波及効果が期待される。このため、すでに数学研究者と企業との共同研究が進められているものもあり、今後も産業との協働が進む可能性がある。

しかしながら、企業との共同研究においては、その共同研究契約締結前から研究終了後においても、知的財産権の取扱い、守秘義務等により、研究成果の発表や特許の出願等において種々の制約が課されることがある【参考7を参照】。このことが数学と諸科学・産業との協働の妨げにならないよう、数学研究者も企業関係者も十分に留意する必要がある。

Ⅲ. 数学イノベーションの推進方策

Ⅲ-1 数学へのニーズの発掘からイノベーションへつなげるために必要な活動

諸科学・産業において、数学的知見や手法を活用することにより解決することが期待できる具体的な課題（数学へのニーズ）を発掘し、具体的な課題解決型研究へとつなげるためには、その解決に貢献し得る数学的知見や手法（シーズ）とのマッチングを図るための試行錯誤をしながら、数学と諸科学・産業との具体的な協働の可能性を見極めて連携を深めることが重要である。

このため、以下の活動を行う必要がある。

(1) 「出会いの場」、「議論の場」の設定

数学研究者と諸科学・産業の研究者が出会い、諸科学や産業における様々な課題に対して数学的なアプローチによる解決法を探るための集中的な「出会いの場」、「議論の場」を適切に設ける。

「出会いの場」、「議論の場」の方式としては、研究集会やワークショップのほか、諸科学・産業が抱える課題を数学研究者に提示し議論するような方式（いわゆる Study Group 方式）や、数学研究者が数学でできることを諸科学・産業の研究者に対して紹介し、議論するような方式等、協働相手の分野や業界、研究の進捗状況等に応じて様々な方式が考えられる。

また、「出会いの場」、「議論の場」のテーマや発表者・発表課題の設定については、諸科学・産業の全体を俯瞰し、数学的知見の活用による解決が期待できる課題を見定め、その解決に必要な数学分野を見抜いた上で実施することが有益である。

なお、このような「出会いの場」、「議論の場」において、諸科学・産業が抱える個別の課題だけでなく、既存の枠組みを超えた領域横断的な課題や社会的課題等も発掘することにより、数学と諸科学・産業との協働による研究から得られた新たな数学的知見や成果等を論文等として発表することが可能となり、いわゆる純粋数学も含めた幅広い専門分野の数学研究者の参加を促すことが期待できる。

(2) 数学研究者と諸科学・産業との協働のための研究の推進

I-1(4)②で述べたとおり、戦略的創造研究推進事業「数学と諸科学の協働によるブレークスルーの探索」領域において、数学と諸科学・産業との協働に向けた研究が行われているが、分野間の協働をより一層進めるとともに、社会的ニーズの高い課題の解決に向けた優れた成果の創出を図ることが望まれる。

また、高度情報化社会の進展により、飛躍的に拡大している大規模で多様なデータや複雑なシステムからどのように知識を発見し、新たな価値を創造するかが課題となっていることから、これらの背後にある本質や構造を見出すための共通基盤の技術の構築に向け、数学と諸科学・産業が連携して取り組むことが重要である。

(3) 諸科学・産業からの相談への対応

諸科学・産業が抱える課題の相談に対し、その解決に役立ち得る数学的知見や手法について助言し、貢献し得る専門分野の数学研究者を紹介できるような体制を構築する。このためには、(1)の「出会いの場」、「議論の場」に参加した数学研究者をはじめとする全国の数学研究者からなる機能的なネットワークを構築し、活用することが必要である。

これにより、諸科学・産業に対して「どこの、どの数学研究者に、どのように」相談を持ちかければよいかを明示できるとともに、相談の結果、必要とされる数学のレベルや分野が分かり、数学と諸科学・産業との協働による具体的研究への発展が期待できる。

(4) 情報の関係者間での共有・活用

(1)の「出会いの場」、「議論の場」における議論を通じて得られた情報(例：発表者や参加者の情報、発表や議論の内容、明らかになった課題、その解決に役立つ数学的手法、出会いや異分野連携の経験・ノウハウ等)や、全国における数学と諸科学・産業との協働に関する情報等を整理し、関係機関や関係者との間で共有・活用できるようにする必要がある。情報を共有する関係機関・関係者としては、「出会いの場」、「議論の場」の主催機関や、「出会いの場」、「議論の場」への参加者等が考えられる。

Ⅲ-2 数学イノベーションに必要な人材の育成

(1) 数学界における人材の育成

① 諸科学・産業との協働への参画を通じた人材の育成

数学研究者が諸科学・産業の研究者との協働を進めるには、様々なギャップ(用語、文化、時間感覚等の隔たり)を乗り越え、諸科学・産業の具体的課題を「数学の問題」に置き換える必要があり、数学の専門性に加え、諸科学・産業とコミュニケーションする能力や、ものごとの全体を俯瞰する能力が必要で、それらを身につけるには相応の経験が必要とされる【Ⅱ-2(1)を参照】。

このため、諸科学・産業との協働を担う数学研究者を効果的に育成するには、関心のある数学専攻の若手研究者を雇用し、数学と諸科学・産業との協働による研究集会やワークショップ等の企画運営や研究プロジェクト等に参画させ、諸科学・産業の現場における具体的課題を「数学の問題」に置き換える経験を積ませることが効果的である。

② 海外数学研究拠点との研究交流による人材の育成

一方、数学と諸科学・産業との協働の取組が進んでいる諸外国から若手研究者を一定期間受け入れ、諸科学・産業との協働に関する活動に参画させることにより、我が国の若手研究者が刺激を受けるとともに、協働に必要なノウハウや手法を学ぶことも期待できる。

また、諸科学・産業との協働に関心のある我が国の若手数学研究者を一定期間、このような協働の拠点たる海外数学研究機関に派遣することも効果的である。

③大学の数学教育研究組織における人材の育成

大学の数学教育研究組織における教育内容の工夫も有効である。例えば、学部段階で数学の基礎的訓練を時間をかけて行うほか、最低限のコンピュータ言語や数理モデル・シミュレーション、統計数理、確率論、計算幾何（グラフ理論、トポロジー等）といった応用につながる教育を拡充することが望まれる。

また、大学院では、専攻分野にとらわれない幅広い視野を身につけさせるため、修士論文のテーマとは別のテーマも学ぶことができるようにする等の方策を講じることが望ましい。例えば、米国の大学院においては、自分の専門外の分野のトピックを選び、数週間等の一定期間内に、独力でその解説を書き上げる「マイナーセーシス」という科目がある。博士号を取得する前にこれに合格する必要がある、これにより専門外の分野についても独自に概略を習得する能力を鍛えることができる。

このような教育を通じて、数学の専門性だけでなく、実際の課題解決に必要とされる多様な局面へ対応する能力や、ものごとの全体を俯瞰する能力を身につけることが期待できる。

④新たなキャリアパスの構築

このような諸科学・産業との協働による研究を促進するための人材を育成すること、すなわち幅広い視点を持ち、諸科学・産業とコミュニケーションができる人材を育成することは、従来の数学専攻博士課程修了者の進路（数学研究職や数学教員のほかは保険・金融、IT関連等）をさらに拡大し、新たなキャリアパスを構築する必要があることを意味している。

このためには、学生及びポストドクターの企業へのインターンシップが有益であるが、その前提として、企業における数学の重要性の認識、大学教員の意識改革が重要である。また、インターンシップ開始前の受入企業と学生との適切なマッチングはもちろん、大学におけるインターンシップ開始後のフォローアップも重要である。

⑤数学界における諸科学・産業との協働による成果への評価

数学側において、数学と諸科学・産業との協働で生まれる研究成果を積極的に評価することも重要である。

このためには、①研究成果の発表の場としてのジャーナル（学術雑誌）の育成やトップジャーナルの活用、②学会間の組織的交流（情報の提供、共同ワークショップ、講演者の相互招待等）の促進、③数学側における、特許やソフトウェアの開発等に対する積極的評価、④諸科学・産業との協働に取り組む若手研究者へのインセンティブの付与（学会等と連携し、諸科学・産業との協働に取り組んだ若手研究者に成果発表の機会を与え、優秀な成果は表彰すること、評価基準を明示すること等）が望まれる。

(2) 諸科学・産業における人材の育成

① 諸科学における人材の育成

数学以外の諸科学において、数学との協働を促進するための人材を育成するためには、学部段階において、数学への理解力向上を目指した教育が重要であると考えられる。その際には、数学研究者が数学以外の分野において講義・教育することも、教育効果の観点からだけでなく、課題発掘や当該分野との連携のきっかけになるという意味においても有益であると考えられる。

このためにも、数学研究者が他分野において教育を行う体制の整備や充実が、これまで以上に重要となってきた。

また、大学の学部や大学院で数学を専攻した後、諸科学・産業に進み活躍している研究者が、Ⅲ－１（１）で述べた「出会いの場」、「議論の場」に積極的に参加し、数学研究者との間の「橋渡し」役になること等も効果的である。

② 産業における人材の育成

産業において数学との協働を進めるためには、数学研究者とのコミュニケーションができ、個別の具体的課題を数学研究者により解決できるような「数学の問題」に置き換えることのできる人材が必要になると考えられる。現に一部の企業では、このような人材が中心となって数学研究者との協働による研究を行っている例がある（当委員会において、取組状況について聴取）。

このためには、産業において数学のバックグラウンドを持った人材が採用されることが望ましく、これを促すためにも、産業において数学の重要性が認識されることが重要である。このため、数学側から産業に対して、数学により解決できた事例を紹介したり、数理的思考の重要性を宣伝したりすることにより、数学の持つ力を認識させる取組が効果的であると考えられる。

Ⅲ－３ その他

(1) 情報の発信、理解の増進

数学研究者がこれまで接触の少なかった諸科学・産業を対象としたシンポジウムや講演会を開催し、数学により課題を解決した事例等を、誰にでも理解できるように紹介することを通じ、数学の有用性の理解促進を図る。これにより、潜在的な数学へのニーズを掘り起こすとともに、将来の数学との協働相手を開拓することが期待できる。

また、次代を担う小学生や中学生、高校生を対象にした講演会等を開催して、数学の社会での活用事例等を紹介し、数学が現実社会に貢献していることを知ってもらい、数学に対する興味関心や数学学習への意欲を高めてもらうことも、将来の数学イノベーションの基盤として重要である。

(2) 共同研究における知的財産権に関わる問題への対処方策

まずは、Ⅱ－３（２）で述べたような問題点があることを数学研究者に認識してもらうことが重要であり、そのために大学において専門家による講習会を開くことや、TLO等の相談窓口の存在を周知することが重要である。

また、大学においてホームページ等を積極的に活用して、一般的な注意事項や

事例等の情報を共有することも重要である。

Ⅲ-4 数学イノベーションの実現に向けた必要な体制

Ⅲ-1からⅢ-3に掲げた諸活動を、協働相手となる諸科学・産業から「見える」形で継続的に実施するには、諸科学・産業との協働に関心と意欲を持つ個々の数学研究者による個人的な活動だけでは限界があり、より組織的かつ全国的な活動が必要となる。

このため、こうした諸活動が、その重点の置き方を工夫しながら効果的に実施され、数学と諸科学・産業との協働の中核となる「拠点」を設ける必要がある。

また、具体的な課題解決にどのような数学的知見や手法が役立つのかは、予測が困難である【I-2(1)③を参照】ため、数学と諸科学・産業との協働による課題解決を目指した研究を効果的に実施するためには、多様で幅広い専門分野の数学研究者を育成し、その能力を結集する必要がある。

このため、単独の大学等の取組だけでは、数学研究者の量的規模のみならず、カバーする数学の専門分野の範囲から見ても十分な対応は困難であり、数学と諸科学・産業との協働の「拠点」となる複数の大学等が、おのおのが擁する研究人材や、内外のネットワーク、過去の活動実績等を踏まえた強みや特色を活かしつつ、互いに協力して諸科学・産業との協働に向けた活動を行う体制が必要である。

さらに、これらの「拠点」の運営に当たっては、数学の専門性を有しているのみならず、諸科学・産業における現実の問題についても一定の理解力を有し、数学的知見の活用による解決が期待できる課題を見定めることのできる数学研究者の指導・助言が得られること、数学専攻の若手研究者（ポストドクター等）にも課題の掘り下げや研究の機会等、諸活動の実施において重要な役割が与えられることが必要であり、また、諸科学・産業の側にも若手研究者の受け入れ、共同作業について理解があること等が必要である。これにより、諸科学・産業との協働を担う数学研究者の効果的育成が期待できる。このほか、これらの「拠点」における諸科学・産業との間の「橋渡し」役としては、大学の学部や大学院で数学を専攻した後、諸科学分野や企業で活躍している研究者・技術者を活用することも有益である。

このような「拠点」の活動を通じ、数学研究者と諸科学・産業の研究者との間のつながりがより太く緊密にするのみならず、個人と個人の関係から、組織的でより拡がりを持ったネットワークへと発展していくことが期待できる。

なお、将来的には、このような体制の下での活動の実績を踏まえ、いわゆる訪問滞在型の研究拠点（外部から訪問して滞在する研究者主体の研究所。常勤スタッフは、課題や必要な数学分野を見抜くことのできる拠点長、拠点長を補佐する研究者、支援スタッフで構成。）や計算科学や情報科学等の諸科学と連携した常勤研究者主体の研究拠点を設置することで具体的課題解決のための研究を促進することが考えられる。

ここでは、数学的知見や手法の活用による解決が期待できる課題を発掘するだけでなく、その課題解決のための研究プロジェクトを設定し、外部の関連する数学研究者や諸科学・産業の研究者を一定期間招へいし滞在させて、セミナー等の開催や研究を行う。また、既存の数学系の研究所等とも適切に連携を図り、数学研究能力の全体的な底上げを図り、その能力を有効に活用するという視点も重要である。

数学イノベーション戦略(中間報告案)の概要

背景・現状認識

◎近年の社会の複雑化や情報化, 計算技術の進歩, 計算機性能の飛躍的向上などに伴い, 諸科学・産業界が数学と協働し, 課題を必要とする場が飛躍的に増加

例:ビッグデータの活用, リスク管理(金融・環境エネルギー問題・災害予測・防災)

◎一方, 我が国では数学の力が必要との意見が多く見られるものの, アメリカやドイツ等の諸外国と比較すると数学と諸科学・産業との協働は未だ不十分であり, 組織的な取組が必要

数学の期待に応え社会に貢献するため, 数学の持つ力(具体的実体を抽象化してその本質を抽出し, 一般化・普遍化する力)を十分活用し, 新たな社会的価値や経済的価値を創出する革新を生み出すこと(数学イノベーション)が不可欠

推進方策

1. 数学のニーズの発掘からイノベーションへつなげるために必要な活動

(1)「出会いの場」「議論の場」の設定

・研究集会, スタディ・グループ(課題提示型研究集会)の開催

(2) 数学研究者と諸科学・産業との協働に向けた研究の推進

(3) 諸科学・産業からの相談への対応

・課題解決に役立つ数学的知見や手法について助言したり, 貢献し得る数学研究者を紹介する体制(相談窓口)の設置

(4)「出会いの場」「議論の場」で得られた情報の関係者間での共有・活用

2. 数学イノベーションに必要な人材

(1) 数学界における人材の育成

・数学専攻の若手研究者を, 諸科学・産業との協働による研究集会の企画・運営や協働研究プロジェクト等に参画させる

・海外研究拠点との研究交流

・インターンシップによる学生・ポストドクターの新たなキャリアパスの構築 など

(2) 諸科学・産業における人材育成

・大学学部段階における数学への理解力向上を目指した教育

・数学研究者による他分野での講義・教育 など

3. その他(情報発信, 理解の増進など)

・シンポジウムの開催, 数学の知見を活用した事例を紹介

・次代を担う小学生, 中学生や高校生を対象に数学の現代社会における意義を講演

これらの諸活動を継続的に実施するためには, 個人的な活動だけでは限界であり, 組織的な活動が可能となる「拠点」を構築する必要

数学と諸科学・産業との協働の「拠点」の形成による組織的活動～ 数学イノベーションの推進方策

- 諸科学・産業における数学による課題解決の必要性
例：ビッグデータ活用、リスク管理（防災、金融、医療等）など
- 数学連携ワークショップによる課題発掘や戦略的創造研究推進事業等
による研究進展はあるが、全体を俯瞰した組織的対応は不十分
- 一般社会（諸科学・産業界含む）における数学・数理科学による
課題解決に関する認知度の低さ

- 数学・数理科学と諸科学・産業が協働して
組織的活動を行う「拠点」が必要
- 拠点では以下の活動が必要
 - ・ 数学イノベーションを担う人材の育成
 - ・ 数学・数理科学的知見の活用事例等の
情報発信

拠点の活動内容

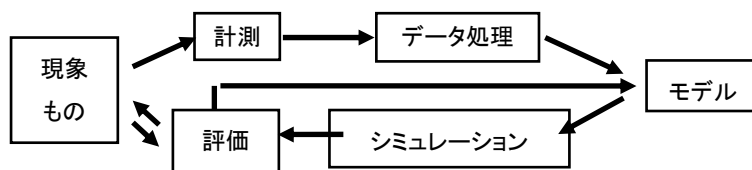
- (1) 数学研究者と諸科学・産業の研究者の「出合いの場」「議論の場」の設定
 - ① 数学研究会・ワークショップ・シンポジウム・研究会の開催
・ 関係者間の情報共有・活用
 - ② 関係者間の情報共有・活用
- (2) 数学イノベーションを担う次世代研究者の育成
 - ① 若手研究者（ポスドク等）を雇用し、共同研究・ポストドク等の参加
 - ② 海外研究会・博士課程学生との交流
 - ③ 数専学専攻博士課程学生等へのインターシップ
- (3) 数学・数理科学の成果に関する対外的な情報発信及び相談対応
 - ① 諸科学・産業界向けのシンポジウムや講演会
 - ② 小学生や高校生向けの講演会
 - ③ 諸科学・産業界からの相談への対応

- ◆ 異分野とのコミュニケーション能力
- ◆ 全体を俯瞰し、課題を設定する能力
- ◆ 新しい発想力
を持った人材の育成



戦略的創造研究推進事業
「数学と諸分野の協働による
ブレークスルーの探索」領域
(平成19年度～)

【参考1】



※ モデリングの目的：対象の理解、知識発見、予測・制御や意思決定等であることが多い

図1. 現象やもののモデル化の作業の概念図

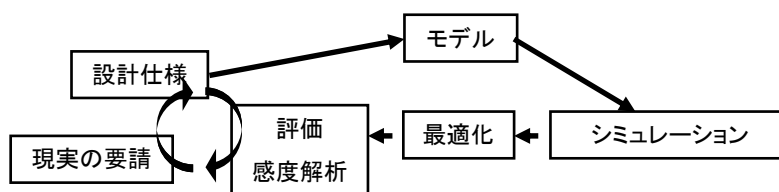


図2. 工学等における設計作業の概念図

諸外国における近年の数学と諸科学・産業との連携に関する取組例**○米国**

1998年に出された「米国の数理科学の国際評価に関する上級評価委員会報告」（いわゆるオドム・レポート）における指摘を受け、米国政府はSTEM(Science, Technology, Engineering and Mathematics)と称して、数学を科学・技術・工学に並ぶものとして、その研究費を大幅に増強し、数学と他分野との学際研究に力を入れている。また、数学系の研究機関についても、2000年から2002年にかけて、純粋応用数学研究所(IPAM)をはじめとする4つの数学関係の研究所が設置されており、直近では2011年にBrown大学の計算実験数学研究所が設立された。

○ドイツ

MATHEONIはベルリンにある3大学（ベルリン工科大、フンボルト大学、ベルリン自由大学）および2つの研究所（WIAS、Zuse研究所）の数学研究者による共同研究体。40名の教授を含む約200名の研究者で構成されており、産業、経済、科学を対象にした応用駆動型基礎研究（‘Application-driven fundamental research）をコンセプトとする約60のプロジェクトを運営。活動期間は2002年から2014年の13年間で、ドイツ研究振興協会(DFG)等から資金提供を受けている。連携先の企業は、BASF、ベンツ、BMW、フォルクスワーゲン、Siemens、IBM、マイクロソフト、ルフトハンザ、エアバス、新日鐵、NEC等の大企業その他、ドイツ国内の多数の中小企業。数学応用先としては、①ライフサイエンス、②ロジスティクス、交通網、③製造、④電子・光量子デバイス、⑤金融、⑥可視化の6分野からなる。

○中国

2009年に清華大学数学科学研究センター（Mathematical Science Center of Tsinghua University）が設立された。2010年には中国科学院の中に「国家数学・学際科学センター（National Center for Mathematics and Interdisciplinary Sciences、国家数学与交叉科学中心）が設置された。この国家科学・学生科学センターは、金融・経済、情報、環境、材料、生命・医療等6つのInstituteからなる数学を核とする横断領域的研究拠点であり、100名を超す新たなスタッフを導入し、21世紀の中国における数学と諸科学・産業との協働研究の中心を担うものとして設立された。現在これに比肩する規模の日本の数学拠点は無い。

○韓国

数学が高度なビジネスにおける共通項であるという認識のもと、2005年に国立数理科学研究所（NIMS）が設立された。

【参考3】

各大学等における取組例①

「数学イノベーション戦略」(案)Ⅲの項目	これまでの取組・施策	得られた成果等	成果が得られた要因	備考
1 数学へのニーズの差違からイノベーションにつなげるための方策	① 数学研究者と企業とのスタディグループ(※)の開催 【九州大学(平成22年度~)】 【東京大学(平成22年度~)】 ※課題提示型研究会のことを指す	<ul style="list-style-type: none"> ・学生・教員の意識改革及び学生の新たなキャリアパスの構築 ・数学及び数学を専攻した学生に対する企業の期待が広がった ・企業との共同研究の契機となった ・産業界のニーズを直接知ることができた ・具体的課題をテーマとした企業との研究交流が可能となった ・数学者にとっても研究の題材となるテーマが提示された 	<ul style="list-style-type: none"> ・企業との信頼関係や人脈が次第に確立され、意思疎通が次第にスムーズになってきたこと 	<ul style="list-style-type: none"> ・企業との連絡調整にあたりサーチ・アシスタントの雇用や旅費等の経済的手当が必要
	② ○数学研究者と諸科学研究者との「出会いの場」の設定 ・応用数学連携フォーラム 【京大(平成19年度~)】 ・数学連携サロン、数理連携研究会 【北海道大学(平成20年度~)】	<ul style="list-style-type: none"> ・数学と他分野との研究交流が促進され、学内研究者におけるネットワークが構築された 	<ul style="list-style-type: none"> ・基本的にボランティアベースの活動であるため、自由に参加しやすいこと ・若手研究者に刺激を与えることができたこと ・オーガナイザーの熱意と触媒としての役割 	<ul style="list-style-type: none"> ・運営コアメンバーの熱意により成り立っている部分が大きい。継続のためには何らかの組織体が必要
	③ 外部機関と連携した特別講演会、セミナーの開催 ・社団法人 日本アクチュアリー会と連携 【京大(平成10年度~)】 ・他大学等との連携 【北海道大学(平成20年度~)】 ・産業界と連携した統計数理に関するセミナー、研究会 【統計数理研究所(平成22年度~)】	<ul style="list-style-type: none"> ・実務に関わる人との交流を通じ、数学が現実の課題解決に役立つことを実感できるなど学生の視野が広がった ・産業界のニーズを直接知ることができ、今後の研究活動に方向性を与えられた ・諸科学・産業界とのネットワークの構築 	<ul style="list-style-type: none"> ・グローバルGOEにより援助により組織的な取組ができたこと ・HPやtwitter等の新しい広報手段を通じて開催を告知したこと 	<ul style="list-style-type: none"> ・広報活動をより積極的に行う必要 ・数学を専攻した学生の就職先の定着にもつながった
	④ チュートリアルセミナー(参加者は企業からも)の開催 【九州大学(平成17年度~)】	<ul style="list-style-type: none"> ・学術的なアプローチの視点をかみ砕いて提供 	<ul style="list-style-type: none"> ・産業界の方との出会い 	
	⑤ 地域の企業研究所への訪問 【統計数理研究所(平成23年度~)】 ・大企業の中央研究所(数社)を訪問し、研究所のトップに対して統計数理研究所の研究内容を紹介、および民間との共同研究に関してどのような方策があるのかを説明 ・訪問企業内にて、研究者職員に対し、統計数理の最新トピックに関する学術講演を実施	<ul style="list-style-type: none"> ・共同研究の契機となった ・同企業から統計数理研究所のオープンハウスへの参加者があるなど、統計数理に関するおよび統計数理研究所の認知度が高まった 	<ul style="list-style-type: none"> ・近年のデータ増加に伴い産業界における数学・統計数理への必要性が高まっていること ・統計数理に対する興味喚起を直接的に行うことができたため 	
	⑥ 外部機関とのNOE(Network Of Excellence)活動(産業界における専門家のNOEセンターへの客員招聘、工業標準化支援) 【統計数理研究所(平成17年度~)】	<ul style="list-style-type: none"> ・国内外の研究機関・企業等と連携して共同研究を推進する体制を整備 ・5研究領域(リスク科学、次世代シミュレーション、調査科学、統計的機械学習、サービス科学)において、統計数理研究者コミュニティを代表する運営会議、アドバイザリーボードとしての機能を有するNOE顧問の意見を尊重しながら、核となる5戦略研究センターが中心となり、国内外の研究機関・企業等と研究協力協定を結ぶなど連携して共同研究を推進していく体制が整った 	<ul style="list-style-type: none"> ・統計数理への諸科学・産業界からの期待が高まっていることにより、研究機関や産業界との連携が図れていること 	<ul style="list-style-type: none"> ・内容をより深め、産業界へ成果をアピールする必要 ・産業界と共同で開発した物理乱数の国際標準化や日本工業規格の採用を通じ、産業界への統計標準化のリーダーシップをとることができた
	⑦ 相談窓口の設置 ＜統計数理研究所＞(昭和46年度~) ・共同研究スタートアップ担当特命教授3名(非常勤)、統計思考院所属ポスドク1名(常駐)、統計思考院在席ポスドク3名(常駐) ＜北海道大学＞(平成15年度~) ・相談窓口の責任者である「キレーター」がメールで回答 ・その後「キレーター」が必要に応じて問題と関連のある数学者を選び、セミナーを開催する等して共通理解を深めた ・「キレーター」は全員業務であり人員の措置はなくボランティア ・共同研究につながった問題、さらに議論を深めたもの、メールで解決して終わったものまで様々 ＜九州大学＞(平成19年度~) 平成24年2月より、兼任・常駐の専任教授(に全体が協力)	<ul style="list-style-type: none"> ・共同研究の契機となった ・特許や新しい統計手法の開発に結びついたりした 	<ul style="list-style-type: none"> ・近年のデータ増加に伴い産業界における数学・統計数理への必要性が高まっていること 	<ul style="list-style-type: none"> ・活動を活性化すると共に、他大学等の協力など教員の負担を軽減する必要 ・相談件数に見合った人員増が必要ができた ・窓口業務は片手間でできず、専任が必要 ・継続的な取組とするためには、人件費を充当することが必要 ・相談員は問題の本質を見抜き、解決のための適切な数学者を選ぶ必要

各大学等における取組例②

「数学イノベーション戦略」(案)Ⅲの項目	これまでの取組・施策	成果等	成果が得られた要因	備考
2 数学イノベーションに必要な人材の育成	⑧ 長期(3ヶ月以上)インターシップを後期博士課程に導入 【九州大学(平成18年度～)】	<ul style="list-style-type: none"> 共同研究の契機となった 学生・教員の意識改革及び新たなキャリアパスの構築 数学及び数学を専攻した学生に対する企業の期待が広がった 数学が現実の課題解決に役立つことを実感できるなど学生の視野が広がった 産業界の研究開発職への就職につながった 参加学生による情報提供(報告会)が、インターシップ参加学生の確保及び参加促進に有益 	<ul style="list-style-type: none"> 数学専攻学生の受け入れや指導について企業の理解があったこと 数学を専攻する学生の能力の高さに対する企業の理解があったこと 	<ul style="list-style-type: none"> 企業との信頼関係を構築し、理解と協力の姿勢を得るための努力が必要 インターシップ先を海外まで拡大することを検討中(インターシップ先の開拓、学生の心理的バリア、インターシップ中の支援等) 活動経費の不足 現状として、数学を専攻する学生がインターシップに参加する大学は一部に限られている
	① 数学研究者と企業とのスタディグループ(※)の開催 【九州大学(平成22年度～)】 【東京大学(平成22年度～)】 ※課題提示型研究会のことを指す	上記①と同じ	上記①と同じ	上記①と同じ
	⑨ 共同研究への若手研究者の参画 ・ポスドク、博士課程学生を雇用し、企業との共同研究に参画 【九州大学(平成19年度～)】 ・28～34歳の若手研究者を助教として6～7名採用し、他分野との共同研究に参画 【東北大学(平成20年度～試行的に1名を採用、平成23年度～SMARTプログラム(総長裁量経費)により本格開始)】	<ul style="list-style-type: none"> 若手研究者の実践的育成 異分野とのコミュニケーション能力の向上 	<ul style="list-style-type: none"> 若手研究者を助教として採用するに当たり、適性を見極めたこと これまでの実践によって、他分野と協調することに積極的な若手研究者が増えたこと 	<ul style="list-style-type: none"> 企業との信頼関係を構築し、理解と協力の姿勢を得るための努力が必要 研究期間終了後のポスドクの処遇を考慮する必要がある 人件費の安定的確保が重要
	⑩ 助教として採用した若手研究者をリーダーとした研究会の企画・運営 【東北大学(平成23年度～)】	<ul style="list-style-type: none"> 研究の視野を広げる 異分野とのコミュニケーション能力の向上 	<ul style="list-style-type: none"> 若手研究者を助教として採用するに当たり、適性を見極めたこと これまでの実践によって、他分野と協調することに積極的な若手研究者が増えたこと 	<ul style="list-style-type: none"> 人件費の安定的確保が重要
	(1) 数学界における人材の育成 (2) 諸科学・産業における人材の育成 ⑪ 外部講師による学生への講義 ・産業界や外国人著名研究者による講義 【九州大学(平成17年～)】 ・集中講義「数学と自然科学・社会科学」 【京都大学(平成21年～)】	<ul style="list-style-type: none"> 参加学生の視野が広がった 最新の研究動向を知ることができた 		<ul style="list-style-type: none"> 企業との信頼関係を構築し、理解と協力の姿勢を得ることが必要 関心を持つ学生が外部講師の研究室に身を置くなど共同研究のきっかけとなった
	⑫ 学生への社会連携特別講義(数学が社会でどのように使われているか、どのような問題があるかオムニバス講義を行う) 【東京大学(平成21年～)】	<ul style="list-style-type: none"> 学生にとって数学によるアプローチという新たな視点を得られる 学生のキャリアパス拡大 	<ul style="list-style-type: none"> 講師の協力が得られたこと 	<ul style="list-style-type: none"> 拡大するには資金が必要
	⑬ 統計思考院による統計思考力を備えた人材の育成 【統計数理研究所(平成23年度～)】 ・諸事業(一般向けの公開講演会、学習者向けの公開講座、学生向けの特別共同利用研究員制度、夏期大学院の開催、研究者向けの統計数理セミナー、研究者交流促進プログラム、共同研究スタートアップ事業、統計教員研修など人材育成に関する事業)を統計思考院に集約し、可能な限り関係機関と連携を図った。 ・例えば、講演会のテーマの選定を全体的に考えたり、いくつかの事業参加者が統計思考院においてお互いに議論ができるようにした ・ポスドクに対しては、理論だけでなく実証的なデータ解析を行う機会を提供し、経験豊富な教員との共同作業ができるようにした ・外部機関と連携し、高校教員を対象とした研修会を全国各地で開催 など	<ul style="list-style-type: none"> 実践的で幅の広い統計思考ができる若い人材の養成 	<ul style="list-style-type: none"> 連携機関の理解が得られたこと データ解析の必要性があらゆる分野で高まっているため、これまで以上に多種多様な問題が持ち込まれており、よい練習問題となっているものがある 	<ul style="list-style-type: none"> 今後成果の検証が必要
	⑭ 理学研究院数学専攻と情報学研究所の単位互換による共同授業 【北海道大学(平成24年度～)】	(今年度から開始のため成果はこれから)		
3 その他 (1) 情報の発信、理解の増進 ⑮	<ul style="list-style-type: none"> OHPIによる情報提供 ○高校生等を対象とした数学科公開講座 ○サイエンスカフェの開催 ○動画サイトを通じた講演会等のライブ配信 ○ジャーナリスト・イン・レジデンス(報道記者等に研究科内に滞在するなど取材の便宜を図る) ○国際シンポジウムの開催 ○国際コンソーシアムの設立 ○論文誌、講義録等の発刊 			

数学・数理科学と諸科学・産業との協働による研究・成果例

複雑な現象のメカニズムを数学で記述

製鉄高炉操業における最適化



現象のメカニズムの数理モデル化により結果から原因を推定する「逆問題」という数学的手法を利用して、製鉄高炉における温度変化を数理モデル化した。
これにより、高炉の底の煉瓦に埋設された2つの温度計の温度差データから、高炉内の温度変化を高精度に推測できるようになり、異常状態の予兆の検出、高炉の制御の効率化による生産量upとコスト削減、CO2排出量の削減、高炉の寿命延長にも貢献している。

渋滞メカニズムの解明と解消

数学モデルにより、渋滞発生メカニズムを解明し、渋滞の要因(車間距離、速度等)を適切にコントロールすることによる渋滞解消法を提唱して、高速道路での実証実験によりその有用性を証明。羽田空港貨物ターミナル設計、工場の製造行程設計、物流倉庫内における商品の最適配置、商店街や店舗デザイン、カーナビシステムにも幅広く応用。

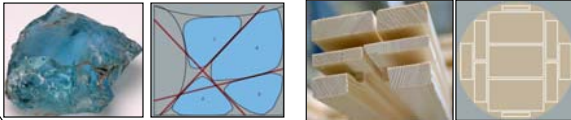


左)中央道での実証実験の様子
右)物流倉庫の商品の最適配置

数学が最適解を提示

材料カットの最適化(廃棄量の最小化)

従来は経験豊富な職人技だった宝石加工において、各々が全く異なる形状の原石から、廃棄量を最小化しつつ宝石として価値の高い形(例:ブリリアントカット)でいかにカットするのか、4次元的最適解(縦、横、高さ、順番)を求めるソフトウェアと加工機械をセットで開発。自動化や収量の大幅upを達成。元々は幾何学を利用した木材加工問題で得た知見を発展。様々な対象に応用可能。



数学を直接活用した豊かな表現

CGIによる可視化と数学

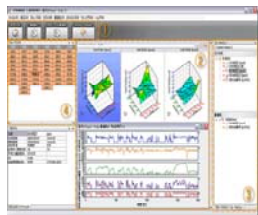


レンダリング方程式と呼ばれる積分方程式をリアルタイムで解く手法で生成された架空の顔。多層構造を持つ皮膚を、リアルかつ効率的に表現するために、モンテカルロ法を応用した数理モデルを利用している。

【引用: Zaragoza大学, Gutierrez教授】

数学を活用した実験の効率化

エンジンの適合試験の効率化



提供:株式会社小野測器

凸最適化とよばれる幾何学的手法を用いて10以上あるパラメータを制御することが求められる自動車エンジンの適合試験等を効率化。国産ソフトウェアに実装されている。

数学による将来の変動の予測

大動脈瘤治療後の変化の予測

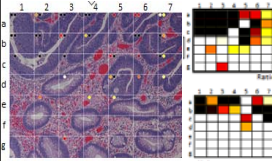


大動脈における血流解析と大動脈瘤の予後予測

大動脈における血流(旋回流など)の解析や血管にかかる内圧の分布を数理モデル化することにより、患者ごとの大動脈瘤のステント治療予後の変化を予測。患者個人の大動脈の形状に着目することで、各々の患者への適切な治療が期待できる。

数学の活用による大量・複雑なデータの解析

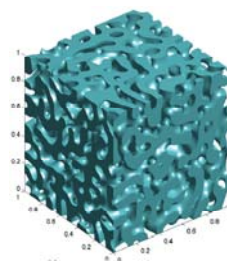
診断画像データからがん悪性度判定



(左)大腸がん組織の画像
(右)がんの悪性度を5段階に定量化

大腸がん組織の診断画像から幾何学的手法を用いて、集積度の高さや細胞の変形状態を数値化し、がん組織の悪性度を定量化。
これにより、画像診断医が2~3分かかるところを、迅速(約2秒)で正確(ほぼ100%)な診断に資する。画像診断医の負担軽減、大量処理や多様な癌への適応が求められている。

幾何学的計算によるタンパク質データ解析



幾何学的計算(ホモロジー群の計算)により、タンパク質の大域的な幾何構造を抽出し、タンパク質分子内の「空間」をすべて検索できる計算ソフトの開発が進められている。
これにより、タンパク質の局所的な柔らかさ(可動性の大小)を知ることができ、酵素や受容体の活性部位を予測可能。

研究成果の水平展開の事例

○ウェーブレット変換

熱伝導の方程式を解くために考案されたフーリエ変換を越え、20世紀初頭に断片的研究が始まったウェーブレット変換の応用の広がりには画像処理、信号処理、データ圧縮、音声認識、ECG分析、DNA解析、そしてマルチフラクタル解析等にも至っている。

○フーリエ変換（三角関数等を用いて波を研究するのに用いる数学理論）

波を画像で表示するオシロスコープのような装置で使われているのみならず、現在では、医療機器であるMRIの中心的原理にもなっている。

○情報幾何の理論研究

情報幾何学は、統計モデルを幾何学的視点からみるという発想から誕生し、さらに、学習理論、符号理論等へ応用され、統計学と微分幾何学を一挙に発達させた。

○CTをめぐる研究

積分幾何学のアイデアを用いたCTスキャン等の開発研究は現代の医療現場では決定的である。このアイデアの最初の応用は天文学にあったが、現代の地震学、高炉のコントロール等、一見して医療とは異なる科学技術の広い分野における応用をも持つに至っており、逆問題として明確に定式化され、数学理論面からも研究が進展している。

○回帰モデル、分散分析、因子分析法

遺伝学の研究において導入された回帰モデルや分散分析、教育心理学において導入された因子分析法等は、現在では、あらゆる分野の多変量データ解析で用いられる汎用的方法となっている。

思わぬ応用への拡がりの事例

○赤池情報量規準（AIC）

セメントの品質安定制御のためのフィードバックシステム解析から出発した赤池情報量規準（AIC）は、統計的モデリングのための一般的規準となり、生物学、地球科学、工学、経済学等の幅広い分野に応用されている。

○確率論における伊藤解析

確率論における伊藤解析は、金融工学という創始者も予期せぬ方向に展開し、現代社会に大きな影響を与えるに至った。

○整数論

長年応用をもたなかった整数論は、素因数分解の計算困難性に着目し始まった暗号理論の基礎として現代の情報セキュリティに不可欠である。また、暗号技術の進歩と歩調を合わせて発展する整数論や代数幾何は、史上最大と言われる数学研究者ガウスの夢をはるかに超えて高度に抽象化された数学理論の高みに到達し、いまなお自律的に大きく進化し続けている。

○コッホ曲線

コッホ曲線は、フラクタル幾何学として発展し、現在の画像幾何では欠かせない応用をもっている。

○有限体上の代数幾何

代数的図形を扱う代数幾何の簡易版のような位置づけで研究され始めたが、現在では、ノイズの入る通信網で信号を効率的に送る符号理論の重要な基礎理論ともなっている。有限体上の代数幾何が、有用な“符号”を作り出すことが出来ることによって通信の質を保証するのに役立っている。

数学者と諸科学・産業の研究者との連携によるワークショップ の企画運営に必要な手法やノウハウについて

数学者と諸科学研究者や産業の研究者・技術者などが課題解決に向けて協力していくために必要な手法やノウハウについて、両者の連携によるワークショップの企画運営方法を中心に、以下のとおり整理した。

なお、これは、平成23年度に文部科学省と大学等が共催により開催した「平成23年度 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」の各運営責任者（オーガナイザー）及び参加者へのアンケート調査や、「オーガナイザー会議」（※）における議論等を踏まえて整理したものである。

（※）オーガナイザー会議

開催日時：平成24年3月26日(月) 10:00～12:00

開催場所：東京理科大学神楽坂キャンパス

出席者：13WSよりオーガナイザー15人、数学イノベーション委員5人

1 テーマ設定、講演者・発表者の人選や依頼

（1）テーマ設定

- ・ 中途半端な議論で終わらないように、相手の分野の専門家を呼んで、数学側からは数学ができることの提示、相手分野からは足りない点の指摘を行い、互いに議論をぶつけ合って新しいものを生み出すことを意識した。
- ・ 半年前に開催した1回目の研究集会はテーマを広めにして開催し、その結果絞った議論も可能だと判断したため、2回目は分野を絞り、それに即して講演者を依頼した。単に絞るだけではプロジェクト研究としてやればよいので、いかに興味深い研究テーマを抽出できるかが重要。
- ・ オープンな場で企業からの問題提起をお願いする場合、企業秘密が障害となるが、見返りとして従来の閉じた人間関係では得られない、思いがけない解決策が見つかる可能性がある。どこまで肉薄するテーマが出てくるかは、オーガナイザーと企業側の信頼関係や継続的な対話が重要。同一業種で共通的なテーマ設定ができると数学側にとって一番やりやすい。
- ・ 先端の技術が必ずしも製品に結びつくわけではない。産業界の動向を深く見極めた上でのテーマ設定が必要。欧州ではテーマを絞ってやっており、日本はこの種の取組は遅れており危機感を持っている。

（2）講演・発表者の人選に当たり、どのような工夫をしたか。

- ・ テーマや開催趣旨・問題意識に即した発表をしていただける方を人選した。
- ・ 工学系の研究者にとって数学系の研究集会で話をするのは躊躇されやすいので、以前講演を依頼した工学系研究者経由で新しい人へ依頼した。

(3) 講演・発表者へ依頼をする際には、どのような工夫をしたか。

- ・ ワークショップ等の開催趣旨や問題意識を十分に説明した。
- ・ 数学的に厳密な話ではなく、問題やアイデアが分かるような発表を依頼した。講演を依頼できるような産業界の知人がいないので、工学系研究者の発表を通じて産業界の課題を抽出し議論するようにした。

2 事前準備、広報・周知方法

(1) 事前準備ではどのような工夫をしたか。

- ・ ML 等で開催案内を流す前に、発表概要や講演者紹介の情報が掲載されたホームページを用意しておく。特に企業関係者が参加を判断する際に重要。
- ・ 近くの都市で開催された応用数学会に合わせて、同一出張で参加可能な日に開催した。

(2) ワークショップ開催について、どのような広報・周知方法をとったか。

- ・ オーガナイザーや講演者からの直接的な紹介が過半数、ML が 3 割で、これらが 8 割を占めるが、ホームページやポスター等も新規の参加者開拓には必要。
- ・ ポスターを 200 枚作成し、全国の大学の数学科や物理学科に送付した。

3 当日の進行

(1) 当日の進行でどのような工夫をしたか。

- ・ 冒頭にオーガナイザーから開催趣旨や問題意識を説明した。
- ・ 専門外の研究者に分かるような予備知識も含んだ講演を依頼した。
- ・ 参加者が発表者を囲んで小グループに分かれて、質疑応答や意見交換ができる時間を設けた。
- ・ イーゼル型 A0 メモパッドを使い、アイデアをどんどん書き出し、壁に貼り出して議論を可視化した。
- ・ 要所でオーガナイザーが解説を行い、参加者の理解を促すようにした。特に大学院生にとっては、勉強していることと世の中のつながりが理解できて非常に有益だったと聞いている。
- ・ 発表より質疑応答の時間を長めに取った。

4 ワークショップ開催の成果

(1) ワークショップ開催の成果

- ・ 74%の参加者（461 人中 334 人）が有用な新しい知見やアイデアを得たと回答。
- ・ オーガナイザーからの回答では、諸科学・産業界の研究者との新たな人脈ができた、が一番多い。共同研究の芽が出たとの回答も 25%有り。
- ・ 外国人講演者の講演が非常に勉強になった。

(2) 文科省との共催効果

- ・ 講演依頼がし易くなった。
- ・ 学内の協力が得やすくなった。
- ・ オーガナイザー間で横のつながりができたり、これまで個別の取組だったため見えなかった活動が可視化されたりした。

5 今後の企画・運営について改善すべき点、参加者からのリクエスト

(1) テーマの設定

- ・ 研究集会で絞ったテーマを議論するだけでなく、分野を俯瞰できるようなシンポジウムやセミナーをやってほしい。
- ・ 短期的にみると多くの参加者にとって自分の研究の中心になりにくいので、現実的な着地点として、小さくても確実に良い結果が見込まれる計画を予め設定し、参加者間で認識を共有しておくことが重要。

(2) 発表者の人選、参加者数やその割合

- ・ 現実的な課題について議論するには、企業からの参加者を増やすと面白い。
- ・ 諸科学分野の参加者が多く、数学研究者の参加が少なかった。
- ・ 数学の基礎部分の講演者も含めた方がよい。
- ・ 海外の招待講演者を加えると、参加者を増やすには有効だが、お金がかかる。
- ・ 参加人数を絞って、自由討論と作業する時間を設ける方法もある。

(3) 開催時期・期間

- ・ 冬期は天候により航空便の欠航のリスクがある。
- ・ 集中力を保って議論をするためには1～2日が適当。

(4) 開催規模（参加者数等）

- ・ 目的に応じて、30人以下の小規模のものと、40～50人以上の中大規模のものとを使い分ける。例：密な議論を行いたいのであれば小規模、トピックを増やして分野を俯瞰するのであれば中規模以上というのが考えられる。

(5) 事前の準備、当日の運営

- ・ 講演概要を事前に作成し、参加者に共有してほしい。
- ・ 講演者の連絡先を配って欲しい
- ・ 講演時間に余裕をとったつもりだったが、専門分野外の講演への質疑が多く、時間が足りなくなってしまった。

(6) 広報・宣伝

- ・ 学会等のMLに流すだけでなく、企業内MLは難しいかもしれないが業界団体のML等、二次的なMLに流せば広がるのでは。

(7) 会場の設営

- ・ 無線 LAN 設備が必要
- ・ プロジェクターに加えて、黒板・白板が使える会場が必要

(8) その他

- ・ 数学者の参加は大事だが、学生が参加し育っていくことがより重要
- ・ 異分野間の人脈を作るには、早い段階でバンケットを設定する。
- ・ 英文ホームページだけでは日本語検索に引っかかってこないのので、最低限の情報を載せた日本語ホームページも必要。
- ・ 文科省からの資金的な援助は、特に研究費の乏しい若手研究者の参加には重要。

6 今後のフォローアップ、その他

○ワークショップ終了後のフォローアップとして何が必要か。

- ・ ホームページ等で講演者のプレゼン資料を公開する。
- ・ 次回のワークショップにつながるような問題や課題を提言するようにすれば、ワークショップが進化していくと思う。
- ・ 数学・数理科学と諸科学・産業技術分野と連携して取り組める問題のリストを作成して公開し、自由に活用できるようにする。
- ・ 数学の応用面に関しては、相手側の評価を聞くことが重要。数学側の発展に貢献しないこともあり得るので、スタンスの置き方は大切。
- ・ 数学のような真理を探究する科学と、応用とでは全く異なるセンスが必要。全員が応用をやれというのではなく、双方が連携してよいものを生み出すという大方針を打ち出すのが、世の中の認識を誤解させないためにも必要だろう。
- ・ 目的を常に複合的に、様々な取組を関連づけて行う必要がある。研究集会の開催だけでなく、易しいテーマでセミナーをやって参加者の裾野を広げることも重要。
- ・ 研究会やセミナーの継続的な開催
- ・ 関連情報の継続的収集・発信
- ・ 文科省がワークショップの開催結果報告書をホームページで公開し、共有する。
- ・ 文科省がオーガナイザー会議を開催し、WS 相互の情報共有を図る。

知的財産権に関わる問題の例

①共同研究契約締結前

共同研究のテーマや内容が固まり共同研究を開始しようと思っても、共同研究契約締結に向けた交渉に時間を要する（2ヶ月から数ヶ月程度かかることが多い）ため、共同研究契約締結までの間、研究が遅滞する可能性がある。

②共同研究契約締結後

ア）守秘義務の問題

共同研究契約において、企業は大学の研究者に対して、企業側から提供する各種情報やデータの守秘義務や、研究成果に関する守秘義務を課すことが普通である。このため、研究成果を公開するにあたっては当該企業の了解が得られるよう、他の事例で説明する等の工夫を要する。場合によっては、研究成果の公開自体が難しくなることもある。

なお、共同研究において、企業が製造技術等のノウハウが含まれるデータの提供自体を敬遠することも多い。その場合には、企業研究者はデータなしで実際の課題を説明することを余儀なくされ、予備知識の少ない数学研究者に課題を理解してもらうのに多大な労力が必要となる。

イ）特許出願に関する問題

研究成果に関して特許出願をする場合、大学と企業との特許持分比率を決定し、特許出願に至るまでに時間がかかり、その間は研究成果を発表できなくなる等の問題が生じる。また、特許出願をしない場合でも、当該研究成果が公知のものとはならないため、当該企業の了解が得られないと研究成果を発表できないことになる。

③共同研究契約終了後

特許持分比率によっては、その共同研究成果をさらに発展させたその後の研究成果を発表するに際しても、当該企業の事前了解が必要となる場合がある（例えば、学会発表の2ヶ月前にその企業の審査を受けなければならなくなる）。

数学の活用による課題解決型研究のテーマ例

数学の活用により目指すもの <適用できる数学的手法(例)>	研究テーマ例
1. 複雑な構造の解明	
<p>○大量または複雑なデータ（ビッグデータ）、複雑な現象やシステム等の構造の解明</p> <p><適用できる数学的手法(例)></p> <ul style="list-style-type: none"> ・大規模データ処理 ・データマイニング ・ゆらぎ理論 ・逆問題 ・トポロジー ・離散幾何学、離散微分幾何学 	<p>ライフサイエンス</p> <ul style="list-style-type: none"> ③トポロジーの応用による、タンパク質データベースからの、柔軟かさ等の物性情報の取り出し ⑩タンパク質データベースからの立体構造の分類、機能予測 ⑮タンパク質分子の立体構造のトポロジーと分子の性質との関係 ⑤聴覚的マルチウェーブレット変換による、音声からの聴道長推定 ⑤ウェーブレットによる、脳波の解析・ヒトの状態の推定 ①生命情報解析における確率的アライメント手法の開発 ○マイクロアレイデータの解析（新NP問題） ⑩複雑な自然現象、特に生命現象の科学的及び工学的に有効なモデルの数学的な定式化 ⑩少数個の分子が支配的である生物現象のダイナミクスを調べる数学的方法の開発 <p>情報科学</p> <ul style="list-style-type: none"> ⑤ウェーブレットによる、混合された観測画像からの元画像の分離 ⑩ゾーンダイアグラムに関する幾何学的研究（地理情報処理、空間データマイニング、ネットワーク網の設計、CG、CAD、ロボティクス等への応用可能） <p>物質・材料</p> <ul style="list-style-type: none"> ⑩不均一媒質中の分数量子ホール効果、核スピン偏極の拡散、スピン自由度を含む量子ホール効果等に対する数理的理論研究 <p>産業</p> <ul style="list-style-type: none"> ⑤解析信号中の異常信号を検出・分離する寄生的離散ウェーブレット変換による、自動車エンジンのノッキング検出 ⑤独立成分分析とウェーブレット解析に基づく新しいノイズ除去法による、地下構造探査の精度向上 ⑩高頻度市場データから、市場が不安定化したことをリアルタイムで定量化するシステムの構築 ⑮巨大なクレーム情報から製品品質管理を高度に行うデータマイニング ⑮回帰モデルに基づくエンジンキャリブレーション期間の短縮や車両強度の保証 ○CG(映像制作)における、アニメーションデータ、シミュレーションデータの有効活用 ○プライバシー保護のデータマイニング ○大量データからの異常検知

	<p>○系列データからの構造変化検出に基づくマーケティング分析</p> <p>○ネットワーク数理モデルに基づくSNSにおける話題分析</p> <p>○データ圧縮技術に基づく構造的知識の発見</p>
<p>○局所的なデータ、スパースなデータから大域的データを構成</p> <p>＜適用できる数学的手法(例)＞</p> <ul style="list-style-type: none"> ・圧縮センシング ・種々の内挿/外挿手法 	<p>ライフサイエンス</p> <p>⑨低線量放射線被ばくの影響モデルの構築</p> <p>情報科学</p> <p>②トポロジーの応用による、センサーネットワークの解析</p> <p>⑩スパース表現を用いた信号復元法の高度</p> <p>産業</p> <p>○少ない2次元画像情報から3次元立体構造情報の構築法</p> <p>○画像やビデオを入力とし、陰影推定やアニメーション作成を行う技術</p>
<p>○過去の経験的事実、人間の行動等の定式化</p> <p>＜適用できる数学的手法(例)＞</p> <ul style="list-style-type: none"> ・経験則やノウハウ等の定式化 ・人間の行動のモデル化 ・人間の知覚・認識・判断等のモデル化 	<p>ライフサイエンス</p> <p>⑩生物学的な神経細胞集団のダイナミクスにより心を説明する数学理論</p> <p>⑪脳と情報通信機器を直接つなぐブレインマシンインターフェース技術における、意思決定過程のモデリングや予測</p> <p>経済・金融、防災</p> <p>⑩人の経済活動や大規模地震等に見られる、人の時間・空間スケール（マクロスケール）よりも大きなスケール（メガロスケール）を持つ諸現象の数学的定式化（例：貨幣のようなマクロスケールでは不変だがメガロスケールで変化するような変数の定義）</p> <p>産業</p> <p>⑩人間の集団行動のデータ（購買活動データ、インターネット書き込みデータ等）の解析・数理モデル化による、人間の集団行動の特性把握・予測</p> <p>⑮エキスパートが持つノウハウの数理モデルへの埋め込みによる、企業の財務評価</p>
<p>2. 将来の変動の予測</p>	
<p>＜適用できる数学的手法(例)＞</p> <ul style="list-style-type: none"> ・偏微分方程式 ・数値解析 ・確率解析 ・複雑系ゆらぎデータ分析 <ul style="list-style-type: none"> ・制御の行動のモデル化 ・機械学習理論 ・ベイズ理論・モデリング ・データ同化 ・マルチスケール問題 	<p>情報</p> <p>⑮車両の位置情報等の時系列解析に基づく車両の車線逸脱の事前警告</p> <p>⑰ネット上の掲示板を用いた商品宣伝の考察（メンバーの掲示板への訪問頻度の数理モデル構築、掲示板の状況変化の予測等）</p> <p>⑱会話相手の予測可能性や会話ネットワーク構造の変化の検知</p> <p>⑮定性的モデルや隠喩的モデルによる物事の傾向についての予測</p> <p>⑳数学形式化のコンピュータ支援システムの開発（数学研究者の証明支援・証明検証、証明から正しいプログラムの自動合成に貢献。また、プログラム検証、モデル検査等へも応用可能）</p> <p>物質・材料</p> <p>⑬金属/酸化物界面の成長モデル構築等による、応力腐食割れの原理的理解</p> <p>⑭人工原子を用いた量子デバイス設計のための数理モデル構</p>

	<p>築、数理モデル解析による新しい物性の予測</p> <p>⑩材料科学における均質化法と数値計算の連携</p> <p>⑩土壌中の汚染物質の拡散の予測</p> <p>⑪不均質媒質中の物質の異常拡散の数理モデルの構築</p> <p>⑫相互作用する電子系のトポロジカルな分類</p> <p>⑫ソフトマター（ガラス、ゴム等）の物性発現の根本を描く数学の枠組みの発見</p> <p>環境・エネルギー</p> <p>②地球環境の変動予測 (CO₂や海洋のデータ同化研究、数値気候モデル研究、雲の形成過程解析、長期気象予報モデル研究等)</p> <p>⑫地球環境データの時空間モデリングによる環境リスクの評価</p> <p>⑫気象現象の数理モデル化、シミュレーション</p> <p>⑫古典的な乱流理論（コルモゴロフ理論）を越えた新たな乱流理論の構築</p> <p>⑫核融合実験装置、太陽表面、地球磁気圏等のプラズマの非線形現象の解明</p> <p>産業</p> <p>⑫人間の集団行動のデータ（購買活動データ、インターネット書き込みデータ等）の解析・数理モデル化による、人間の集団行動の特性把握・予測</p> <p>⑫量子デバイスの制御用「組み込みソフトウェア」の開発</p> <p>⑫不均質媒質中の物質の異常拡散の数理モデルの構築</p> <p>⑫ネット上の掲示板を用いた商品宣伝の考察（メンバーの掲示板への訪問頻度の数理モデル構築、掲示板の状況変化の予測等）</p> <p>⑫古典的な乱流理論（コルモゴロフ理論）を越えた新たな乱流理論の構築</p> <p>○複雑なシステム自動・適応制御</p>
<p>3. リスク管理</p>	<p>ライフサイエンス</p> <p>⑫個々の患者の前立腺がんの数理モデルの構築による、間欠的内分泌（ホルモン）療法のスケジュール最適化</p> <p>⑫脳波や脈拍等の電気信号・画像信号の時系列解析による、疾患の前兆の検出</p> <p>⑫心臓性突然死の原因である心室細動における心筋の電氣的興奮現象（渦状波）の数理モデルの構築、渦状波を消滅させる外部刺激として有効な手段の推定</p> <p>情報科学</p> <p>⑫クラウドコンピューティングに適した情報セキュリティ暗号（秘密分散法）の実現</p> <p>⑫最新検索技術の活用による、暗号の安全性解析の効率性向上</p> <p>⑫ウェブレットによる、流通コンテンツの保護</p> <p>現実的な量子暗号理論</p> <p>防災</p> <p>⑫微小地震と大規模地震との関係の解明</p> <p>○緊急地震警報、地震早期検知システム</p> <p>○地震確率予測</p> <p>○建築物の耐震設計</p>
<p><適用できる数学的手法(例)></p> <ul style="list-style-type: none"> ・偏微分方程式 ・数値解析 ・確率解析 ・複雑系ゆらぎデータ分析 ・制御の行動のモデル化 ・機械学習理論 ・ベイズ理論・モデリング ・データ同化 ・マルチスケール問題 	

	<p>⑱人の経済活動や大規模地震等に見られる、人の時間・空間スケール（マクロスケール）よりも大きなスケール（メガロスケール）を持つ諸現象の数学的定式化</p> <p>○強風予測（列車運行管理）</p> <p>○劣化の数理科学</p> <p>○放射能汚染影響評価</p> <p>経済・金融</p> <p>⑥金融機関の資産に内包するリスク量の評価法の開発</p> <p>⑥景気変動の予兆を把握し、資産価値への影響を計測するモデルの開発</p> <p>⑨金融機関ネットワークにおけるリスク伝搬の評価モデルの構築</p> <p>⑩市場の相互作用を再現する数理モデル構築による、市場のショックの伝搬・緩和の予測</p> <p>⑮ロジットモデルによる財務信用リスクの評価とアナリストの評価との比較</p> <p>⑱人の経済活動や大規模地震等に見られる、人の時間・空間スケール（マクロスケール）よりも大きなスケール（メガロスケール）を持つ諸現象の数学的定式化（例：貨幣のようなマクロスケールでは不変だがメガロスケールで変化するような変数の定義</p>
--	---

4. 最適化

<p><適用できる数学的手法(例)></p> <ul style="list-style-type: none"> ・最適制御 ・半正定値計画問題 ・サービス分野の生産性向上 	<p>ライフサイエンス</p> <p>③真正粘菌の適応ネットワークと最適ネットワーク戦略</p> <p>情報</p> <p>④超大規模ネットワークにも適用可能な効率的な計算アルゴリズムの確立</p> <p>物質・材料</p> <p>○超潤滑の数理</p> <p>産業</p> <p>⑧半正定値計画問題の応用（待ち行列、ロバスト最適化、圧縮センシング、建築物の安定性の解析等）</p> <p>⑫不確実性を考慮した最適なサービス選択のための意思決定支援</p> <p>⑫サービス提供者と受容者（顧客）が共同でサービス価値を創出するモデルの構築、可視化</p> <p>⑫サービス価値評価のための感性・文脈的評価と経済・物理的評価の統合化手法の開発</p> <p>○CG（映像制作）における、所望の映像を得るパラメータ最適化</p> <p>○巨大複雑システムのスケジューリングの数理技術</p> <p>○大規模システム設計の整合性評価</p> <p>○大規模システムの品質管理・制御</p> <p>○大きな変化（災害等）を伴うリスクを加味した大規模システム設計</p> <p>○大規模シミュレーション結果の妥当性を検証する技術</p>
--	---

5. 可視化（ビジュアライゼーション）

<p><適用できる数学的手法(例)></p> <ul style="list-style-type: none"> ・コンピュータグラフィックス(CG)の画像処理法 	<p>産業</p> <p>○CG（映像制作）における、流体、剛体、柔軟物体、陰影のシミュレーション</p> <p>○CG（映像制作）における、群衆行動、個性、表情、動き（の特徴）をモデル化</p>
---	---

・CGにおける種々の内挿 /外挿手法	○より自然感の高い裸眼3D画像構築方法 ○顔の表情・違いを認識する数理技術
6. その他（学術的な真理の探究）	
	⑱4次元時空の量子重力理論の定式化 ⑱一般相対性理論に現れる時空の様々な特異性の分類、特異性を回避するという問題の定式化 ⑱我々の住む時空の次元がなぜ4なのか ⑱場の量子論とブラックホールの物理の関係（ホログラフィ）を定式化し証明するための数学的手法の発見 ⑳重イオン衝突に現れる量子非平衡の相転移現象を取り扱う数学的理論の構築 ⑳非平衡現象を統一的に記述する理論の構築 ⑳強電場や強磁場等の強い場のもとで引き起こされる量子論的非平衡かつ非線形現象の解明 ㉑哲学や法令に現れる「含意」や様々な「様相（認識・義務等）」の形式化 ㉑図式表現（地図、表、グラフ等）の意味論の構築

（注）本表において例示した課題の前の番号（①等）は、以下の平成23年度に文部科学省が大学等と共催した「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」において明らかになったテーマであることを示す。番号のついていない○は、科学技術・学術新議会の分野別委員会等の報告書（分野別推進方策等）等を踏まえたものである。

- ①秘密分散とクラウドコンピューティングの数理
- ②地球環境流体研究と数理科学
- ③応用トポロジー：情報通信・生命科学との連携を目指して
- ④情報セキュリティと数理科学の連携による融合領域の創造
- ⑤ウェブレット理論と工学への応用
- ⑥金融数理科学と金融技術への将来展望-ポスト金融危機への対応-
- ⑦理工学および産業界における連続体力学の数理と研究連携
- ⑧最適化理論の産業・諸科学への応用
- ⑨社会的リスクの予測と制御に対する数理工学アプローチ
- ⑩複雑系ゆらぎデータの分析と制御
- ⑪致死性不整脈の機序の解明
- ⑫数学・数理科学に基づくサービスイノベーションの新展開
- ⑬数学をコアとするスマート・イノベーションの探索
- ⑭人工原子と光の相互作用を利用した量子デバイスのモデリング
- ⑮数理モデルの産業・諸科学への活用—数理モデルの夢—
- ⑯マルチスケール数学・集団現象の他階層性と階層の連関
- ⑰産業界からの課題解決のためのスタディ・グループ研究集会
- ⑱数理連携10の根本問題の発掘
- ⑲乱流と流体方程式の解の特異性
- ⑳非平衡熱力学の解析的・数学的手法
- ㉑ネットワーク型知識に対する機械学習的アプローチ
- ㉑数理論理学の諸科学への発展と展開

科学技術・学術審議会 先端研究基盤部会
数学イノベーション委員会 委員名簿

(委員)

小 谷 元 子 東北大学 原子分子材料科学高等研究機構長

(臨時委員)

大 島 ま り 東京大学大学院 情報学環 教授

北 川 源四郎 大学共同利用機関法人 情報・システム研究機構長

(専門委員)

青 木 玲 子 一橋大学 経済研究所 教授

安 生 健 一 株式会社オー・エル・エム・デジタル R&D スーパーバイザー

杉 原 正 顯 東京大学大学院 情報理工学系研究科数理情報学専攻 教授

中 川 淳 一 新日本製鐵株式会社 技術開発本部

先端技術研究所 数理科学研究部 主幹研究員

西 浦 廉 政 東北大学 原子分子材料科学高等研究機構 教授

宮 岡 洋 一 東京大学大学院 数理科学研究科 教授

○森 重 文 京都大学 数理解析研究所長

◎若 山 正 人 九州大学 マス・フォア・インダストリ研究所長

◎:主査、○主査代理

数学イノベーション委員会における審議の経過

○第1回 数学イノベーション委員会（平成23年6月20日）

- ①検討項目や審議計画について審議

○第2回 数学イノベーション委員会（平成23年9月22日）

- ①諸科学より意見聴取
 - <地震・防災関係>
堀 宗朗 東京大学地震研究所 教授
 - <データマイニング関係>
鷲尾 隆 大阪大学産業科学研究所 教授
- ②報告書に盛り込むべき項目案の審議

○第3回 数学イノベーション委員会（平成23年11月2日）

- ①諸科学より意見聴取
 - <ライフサイエンス関係>
金子 邦彦 東京大学大学院総合文化研究科 教授
 - <環境科学技術関係>
江守 正多 国立環境研究所環境研究センター温暖化リスク評価研究室長
- ②報告書に盛り込むべき項目案の審議

○第4回 数学イノベーション委員会（平成24年1月26日）

- ①諸科学・産業の委員より意見聴取
 - 青木 玲子 一橋大学経済研究所 教授
 - 大島 まり 東京大学大学院情報学環 教授
 - 安生 健一 株式会社オー・エル・エム・デジタル R&D スーパーバイザー
 - 中川 淳一 新日本製鐵株式会社 技術開発本部先端技術研究所
数理科学研究部 主幹研究員
- ②報告書案（第I章：背景）の審議

○第5回 数学イノベーション委員会（平成24年3月15日）

- ①産業界との連携・協力について意見聴取
 - 西成 活裕 東京大学先端科学技術研究センター 教授
- ②報告書案（第II章：現状認識、第III章：推進方策）の審議

○第6回 数学イノベーション委員会（平成24年4月13日）

- ①産業界より意見聴取
 - 森本 典繁 日本アイ・ビー・エム株式会社 東京基礎研究所長
- ②報告書案（第III章：推進方策）の審議

○第7回 数学イノベーション委員会（平成24年5月28日）

①数学・数理科学関係者より意見聴取

津田 一郎 北海道大学電子科学研究所／数学連携研究センター 教授

②報告書案（第Ⅲ章：推進方策）の審議

○第8回 数学イノベーション委員会（平成24年7月24日）

①数学・数理科学関係者より意見聴取

三村 昌泰 明治大学先端数理科学インスティテュート 所長

②報告書案（中間報告）の審議