

「数学イノベーション戦略（仮称）」（案）

- 5 (※)本報告書で言う「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・数理科学を含む。

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

10 古代の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の蒸気機関の原理の理解による産業革命、さらに現代の計算機の発明による現代の情報社会まで、数学はそれらを支える基盤（数学モデル等）を与え続けてきた。最も大きく発展した数学モデルの一つが、
15 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、数学が関わって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の図1、2参照）は、
20 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おり、数学はこの流れの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、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・アーキテクチャに対して、
25 数学は数学モデルという基盤を与えてきた。

(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などに伴い、
30 ○多くの研究分野や産業で、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・産業分野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
35 ○これまで簡単なモデルで満足しなればなら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など、数学が直接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・防災など幅広い分野への応用が始まっていること
等、諸科学や産業において数学を必要とする場が飛躍的に増加している。また、
5 諸科学分野や企業においても、数学者が持つ科学的・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) 我が国における状況

①数学と諸科学・産業との協働に向けた取組

一方、我が国における数学の本格的な研究は、医学や応用科学といった応用
10 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。

しかし、平成18年に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」(Policy Study No.12、平成18年5月)が我が国の数学研究を取り
15 巻く厳しい状況、数学と他分野の分野融合研究の必要性を指摘したことを
受け、平成19年度には、科学技術振興機構(JST)の戦略的創造研究推進事
業の「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て我が国に世界最高峰の研
20 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、現在二つの拠点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協働に必要なノウハウの抽出などを旨とし、文部科
25 学省と大学等の共催で数学と諸科学・産業との連携研究ワークショップを22
件開催している。

そして、一部の企業では、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が行われるようになり、これま
でにない発想による成果が出始めている。一部の大学や公的研究機関でも数
30 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、数学と諸科学・産業との連携・協力の芽は出つつある。

②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」の数学専攻以外
35 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」と回答している)。

③組織的な協働の必要性

①で述べた諸科学・産業との協働への取組に数学者が積極的に応答し、参
40 加していること、②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、これまで個人と個人という線でつながっ

てきた関係を、組織立った面・立体の関係へと進めるための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）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。

(4) 諸外国における状況

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政策が講じられている【詳細は参考2を参照】。

例えば、米国では、1990年代後半以降、数学研究を、STEM(Science, Technology, Engineering and Mathematics)と称して科学・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。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が既に出ている（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など）。

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。

一方、日本では、上記の(3)でも述べたように、数学と諸科学・産業との連携・協力の芽は出つつあるものの、いまだ十分ではない。現に、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、その中で使われ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なっている。また、数学との連携による研究成果は多様な分野へ影響を及ぼしながらも、外部から知ることが困難となる場合も多くあるため、このままでは、研究活動や産業活動において諸外国の優位性がますます強まり、挽回は困難になるおそれがある。

(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発展させ、新たな社会的価値や経済的価値を生み出す革新（数学イノベーション）を生み出していくことが不可欠である。

このためには、数学研究者と諸科学・産業の研究者とが互いの壁を乗り越えて継続的に協働して研究を行い、その成果が数学イノベーションをもたらす、社会や数学界へ還元され、更に協働が促進されるような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、純粋数学研究等の基礎的

研究は、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、必要な人材の育成など数学的能力の全体的な底上げも不可欠である。

5

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

10 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広範な社会的な課題について、個別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。

② 数学への刺激、発展

15 また、これらの活動を通じて見いだされた新しい問題等を通して数学が刺激を受け、数学自体の発展につながることも期待できる。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

20 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ゆえに汎用性が高い。このため、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、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ふ数学の強みでもある。【具体例は参考3参照】

25 現に、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3を参照】。このことから、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付いて、どう使われるかは、予見困難であることが分かる。

30

(2) 数学イノベーションにより解決が期待される課題【←今後整理が必要】

35 (1)の①で述べたとおり、数学イノベーションにより様々な社会的課題の根源的な解決が期待されるが、その具体的な課題例を、平成23年度に文部科学省と大学等の共催で開催した、数学と諸科学・産業との連携研究ワークショップの結果や科学技術・学術審議会の分野別委員会での推進方策等を踏まえて整理した【参考4の整理表を参照】。

40 <ニーズ側から>

◆データマイニング、大規模データ処理（産業、医療、防災）

- ◆最適化（交通、設計、経済、防災）
- ◆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）
- 5 ◆人間の行動のモデル化
- ◆可視化、画像処理（ライフ、防災、娯楽）
- ◆暗号（通信）
- ◆サービス科学（医療、創薬、観光、マーケティング、教育、減災）

- 10 <シーズ側から>
- ◆有限要素法
- ◆ゆらぎ理論
- ◆逆問題
- ◆確率解析
- 15 ◆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 など)
- 20 ◆学習理論
- ◆ベイズ推論・モデリング
- ◆データ同化

25 I-3 留意すべき点

(1) 数学側からの主体的な提案型活動の重要性

現に諸科学や産業が直面するニーズ（数学による解決が期待できる諸課題）に受け身で対応するだけでなく、数学側のシーズから新たなニーズを主体的に提案することが、持続的なイノベーションのためには不可欠である。

- 30 また、他分野の各プロジェクト等に各々適切な数学研究者を割り振って参加させるだけでは、参加した数学研究者の専門分野以外の分野が役立つことが後から分かって十分な対応が困難であるのみならず、(1) ③で述べた研究成果の水平展開という数学の持つ強みを発揮することも困難であり、数学研究者が専門分野間の壁を越えて情報共有や連携を図り、他分野の課題解決
- 35 に応えられる数学的知見や手法を見いだし、幅広い数学研究のポテンシャルを活かすことのできる仕組みが必要である。

(2) データ駆動型研究の重要性

- 40 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、少なくない試行錯誤を通して行われるのが普通である。

情報化の進展や計測技術の進歩、計算機性能の向上などにより大量で複雑

なデータの活用が不可欠となっている現在、統計学などのように、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、数学の社会への広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

5 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や産業における課題の解決に貢献するためには、諸科学や産業が扱うような具体的実体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。

10 この抽象化によって獲得できた普遍性が、諸科学や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）。これが正に、数学の持つ最大の強みであると言える。

15 一方、具体的現実からの乖離（抽象化）のため、数学の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

20 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だし、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・産業界の研究者が出会い、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を適切に設け、数学的知見や手法の活用による解決に向けた作業を継続的に行うことが必要である。

(3) 現状の問題点

30 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、これまでも開催され、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）が主に数学者側からの視点から行われており、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。

35 ○議論を通じて得られた情報（事例や経験・ノウハウなど）の集約・蓄積にはつながらず、時間が経てば散逸し、外からは見えなくなってしまう。

○諸科学分野や産業側から見て、「どこの、どの数学者に、どのように」相談を持ちかければ良いか分からない。

40 ○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

5 (1) 数学と諸科学・産業との協働を担う人材の必要性

10 数学研究者と諸科学分野や産業界の研究者との間には、使用する言語や用語、何を目指し何を評価するかといった評価尺度（文化）、時間感覚などにおいて隔たりがある。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、才能・適性のみならず、かなりの経験が必要とされる。

このため、数学と諸科学分野・産業との協働による研究を促進するに当たっては、両者間の隔たりを埋め、「橋渡し」をすることのできる人材と十分な時間が不可欠である。

15 (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（3）我が国における状況」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。

20 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教育する必要性が十分意識されてこなかったこと、数学界において主に純粋数学の成果（新たな学理の発見等）が評価され、諸科学・産業との協働への意欲がわ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意識されてこなかったこと等も原因として挙げられる。そして、近年、我が国の大学や産業界においてコンピュータの計算能力のみに依存する傾向が強まっているため、数学や数学者の必要性を十分認識しなくても済むようになっているのが現状である。

30 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などにつなげていく能力とがあいまって初めて、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、諸科学分野や産業界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など、数学的能力の全体的な底上げが必要である。

35 なお、大学の学部や大学院で数学を専攻した後、諸科学分野や産業分野に進み、その分野で活躍している研究者も少なからず存在するので、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と思われるが、実際にはこれらの数学出身者と数学者との接点は非常に限られてきたのが現状である。

40

II-3 その他

(1) 知的財産権に関わる問題

知的財産権に関わる問題点を、数学と諸科学・産業との共同研究契約締結前から契約終了後まで時間軸に沿って整理する。

①共同研究契約締結前

- 5 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か月から数か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

- 10 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当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などの工夫を要する。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。

- 15 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無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

- 20 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などの問題が生じる。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。

③共同研究契約終了後

25 特許持分比率によっては、その共同研究成果を更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：学会発表の2か月前にその企業の審査を受けなければならなくなる）。

(2) 情報の発信、理解の増進

- 30 現状では、数学以外の分野においても産業界においても、数学の持つ力（ある現象を説明できる理論が数学により生み出されると、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こと等）が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。
- 35

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の方策

(1) 数学へのニーズを発掘するための方策

①必要な方策

5 諸科学や産業において、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、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から、数学と諸科学・産業との協働による課題解決型研究への道筋をつけるために、以下の事項を実施する必要がある。

ア) 「出会いの場」、「議論の場」の設定

10 数学者と諸科学・産業界の研究者が出会い、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「議論の場」を適切に設ける。その議論のテーマや発表者・発表課題の設定に当たっては、全体を俯瞰して潜在する課題や価値を見抜き、触媒となる数学分野を見抜いた上で設定できるようにする必要がある。

イ) 情報の集約・蓄積と関係者間での共有・活用

15 上記の「議論の場」での議論を通じて得られた情報（人材・手法・成果に関する情報、出会いや異分野連携の経験・ノウハウなど）を集約・蓄積するとともに、関係機関や関係者との間で共有・活用できるような仕組みを構築する。情報を共有する関係機関・関係者としては、数学と諸科学・産業との協働を重視する大学等や、「議論の場」に参加した者が考えられる。

ウ) 諸科学・産業からの相談への対応

20 諸科学・産業が抱える課題について相談を受け付け、どのような数学的知見や手法が必要なのかを示唆したり、その課題の解決に貢献し得る専門分野の数学研究者を紹介したり、共同研究を仲介できるような体制を構築する。これにより、諸科学や産業側から見て、「どこの、誰に、どのように」相談を持ちかければ良いか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、具体的研究へ発展していくことが期待できる。

②具体策の例

25 具体的には、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、その解決に必要な既存の数学分野又は今後発展させるべき数学分野を見抜くことのできる数学研究者複数名を中心に、関係する数学研究者をつないだ数学研究者ネットワークを設けることが考えられる。

30 そして、この数学研究者ネットワークへの参加者を中心に、上記①で述べた、ア) 数学研究者と諸科学・産業の研究者との「出会いの場」、「議論の場」の設定、イ) 情報の集約・蓄積と関係者間での共有・活用を行う。また、イ) で集約した情報に基づき全国の数学研究者のデータを整理することにより、各課題の解決に貢献し得る専門分野の数学研究者を紹介し、共同研究への仲介を実施できるような機能を持たせることも必要である。

40

このような活動を通じて、数学研究者と諸科学・産業の研究者との間の人的ネットワークがより太く緊密になるのみならず、点と点を線で結んだ関係から、面や立体的な関係へと発展していくことが期待できる。

5 このほかに、数学者が他分野の研究集会に参加することも、数学的知見による解決が期待できる課題の発掘のきっかけとして有益である。

●先端の研究を行う場合には、当該分野の学会に加入する意気込みと覚悟が必要。

10 なお、将来的には、このような数学研究者ネットワークによる活動の実績を踏まえ、訪問滞在型の研究拠点（課題や必要な数学分野を見抜くことのできる拠点長、これを補佐する研究者、支援スタッフにより構成）を設置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、関連する数学者や諸科学・産業界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など
15 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。

(2) 協働による研究の実施へつなげるための方策

①必要な方策

20 上記(1)で述べたとおり、数学研究者と諸科学・産業界の研究者とが出会い、議論する場を設け、議論を通じて得られた情報を集約・蓄積して関係者間で共有・活用することで、数学的知見や手法の活用による解決が期待できる課題の発掘が期待できる。しかし、それだけでは、数学研究者と諸科学・産業界の研究者との協働による具体的な課題解決型研究が始まり、課題解決
25 への貢献を通じて新たな社会的価値や経済的価値を生み出すようになるとは限らない。

このため、言わば「議論」の段階から「実践」の段階へとスムーズに移行させるための方策が必要である。これにより、諸科学や産業界で得られている一連の実験的事実または経験的事実を一貫性のある論理で統合できるような数学的理論が構築され、当該分野の研究・開発に要する時間や経費が驚異的に短縮するなど、数学を中核としたイノベーションにつながることを期待
30 できる。

②具体策の例

35 具体的には、例えば、(1)により発掘された、数学的知見や手法の活用による解決が期待できる具体的課題（数学への具体的ニーズ）を包含する比較的大きな研究領域を設定し、その領域の研究を重点的に支援することが考えられる。また、(1)により発掘された具体的課題について、数学的知見を活用した解法やアプローチ法の提案を募り、有望な解法やアプローチ法による研究を支援することも考えられる。

40 具体的な研究支援の方策として、第4期科学技術基本計画も述べている「科学技術の共通基盤」「領域横断的な科学技術」という数学の特性を十分に発揮

5 するため、①諸科学分野や産業界が抱える個別課題の解決に対応するだけでなく、領域横断的に研究成果を水平展開できるような課題を設定し、②諸科学・産業界の研究者と当該課題の解決に貢献し得る幅広い専門分野の数学研究者（純粋数学者も含む）により研究チームを構成し、③諸科学・産業側は、研究から得られた数理モデル等の妥当性を検証して社会的価値の創出を目指すとともに、④数学研究者が研究から得られた数学上の新たな知見や成果等を論文として発表することを奨励する、といった特質を持った研究チームを設けることや、企業の参加へのインセンティブを与えるような支援の仕組みを設けることが考えられる。

10 なお、諸科学や産業から提案された課題解決方法は、当初は数学的厳密性を欠く場合が多いが、それ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いので、それらを排除あるいは見逃さないことが重要である。

Ⅲ-2 数学イノベーションに必要な人材の育成

15 (1) 数学と諸科学・産業との協働を担う人材の育成

①大学の数学専攻等における人材の育成方策

20 数学分野において、諸科学・産業との協働による研究の能力を有する、視野の広い学際的研究者を育成するためには、例えば大学の数学教育研究組織において、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、専攻分野に捕らわれない幅広い視野を身に付けさせるため、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。

25 そして、このような諸科学・産業との協働による研究の能力を有する人材を育成することは、従来育成してきた数学研究者や数学教員とは異なるタイプの人材を育成することを意味しており、数学研究職や数学教員のほかは保険・金融、IT関連などが中心である数学専攻の博士課程修了者の進路を拡大し、新たなキャリアパスを構築する必要がある。このためには、企業への長期インターンシップが有益であるが、受入企業と学生との適切なマッチング、企業における数学の重要性への認識、大学における教員の意識改革が重要である。また、企業へのインターンシップのほかに、同一大学の他専攻へのインターンシップの実施も価値がある。そして、数学専攻の学生のみならず、教員や研究者自らが企業に長期間滞在することも、企業の現場における数学的知見の意義を体得する上で有益である。

35 このほかに、数学専攻の若手研究者を、数学と諸科学・産業との協働による研究プロジェクトに参画させ経験を積ませることも、極めて効果的である。

②諸科学における人材の育成方策

40 数学以外の諸科学分野において数学との協働に必用な人材を育成するためには、まず、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、数学研究者が他分野において講義・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、数学系の教育人材の充実と配置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に諸科学分野や産業分野に進んで活躍している研究者に、数学者との「議論の場」に積極的に参加してもらい、数学者との間の橋渡し役になってもらうことなども、諸科学分野における数学との協働に必要な人材を確保する上で効率的であると考えられる。

③企業における人材の育成方策

産業界において数学との協働を進めるためには、数学研究者とコミュニケーションできる人材が必要であり、個別の具体的課題を数学研究者が活躍できるような課題に置き換えることのできる人材も必要になると考えられる。このためには、産業界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界に数学の重要性を認識してもらうことが重要であると考えられる。例えば、数学側から産業界に対して、数学により解決できた事例や数学を適用しなかったことにより研究開発が遅れしてしまった事例を示すことなどにより、数学の持つ力（ある現象を説明できる理論が数学により生み出されると、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こと等）を認識させるような取組が効果的であると考えられる。

(2) 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、②学会間の組織的交流（情報の提供、共同ワークショップ、講演者の相互招待など）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が望まれる。

Ⅲ-3 その他

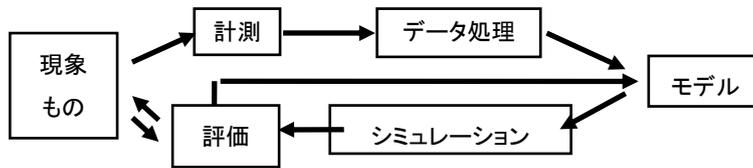
(1) 知的財産権に関わる問題への対処方策

まずは、「Ⅱ-3 (1) 知的財産権に関わる問題」で述べたような問題点があることを、研究者に認識してもらうことが重要であり、そのために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、HPなどを立ち上げて、一般的な注意、事例などの情報を共有することも重要である。

(2) 情報の発信、理解の増進

数学と協働する諸科学分野や産業界を広げるための取組として、数学研究者がこれまで接触の少なかった幅広い分野の研究者や企業関係者に対して、数学により解決できた事例や数学を適用しなかったことにより研究開発が遅れしてしまった事例の紹介を通じて、数理的遅効の重要性を宣伝する場（講演会など）を設けることが考えられる。

【参考1】



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

5

図1. 現象やもののモデル化の作業の概念図

10

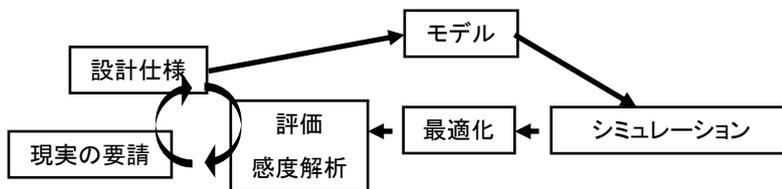


図2. 工学等における設計作業の概念図

諸外国における近年の数学と諸科学・産業との連携強化に関する取組の例

○米国

2011年にBrown大学の計算実験数学研究所が設立された。

5

○ドイツ

MATHEON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）および二つの研究所（WIAS、Zuse研究所）の数学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）など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
 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。

10

15

○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・医療など六つの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。

20

25

○韓国

2005年に国立数理科学研究所（National Institute for Mathematical Sciences）が設立された。

30

35

研究成果の水平展開の事例

○ウェーブレット変換

5 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などにも至っている。

○フーリエ変換（三角関数などを用いて波を研究するのに用いる数学理論）

10 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見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。

15 ○CTをめぐる研究

積分幾何学のアイデアを用いたCTスキャンなど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など、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。

20 ○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などは、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。

25 思わぬ応用への広がり的事例

○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、経済学などの幅広い分野に応用されている。

30 ○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

35 長年応用を持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

- 5 代数的図形を扱う代数幾何の簡易版のような位置付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。

数学イノベーションにより解決が期待される課題の例

連携相手の分野 数学との連携へのニーズ ○データの活用 ◆大量・複雑なデータの活用	ライフ	情報	材料	環境・エネルギー	防災	経済・金融	その他 (産業界等)
	③トポロジーの応用による、大量の生命科学データベースの解析(例：タンパク質データベースからの、柔ら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単純化された数理モデルから抽出されたメカニズムを応用した最短経路探索アルゴリズムやバイオインフォマティクスへの応用 ⑩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)	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)	⑩不均一媒質中の分数量子ホール効果、核スピン編極の拡散、スピンの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		○緊急地震警報、地震早期検知システム ○建築物の耐震設計	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 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 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 ○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 ○サービス科学

<p>◆局所的データから大域的データを構成</p> <ul style="list-style-type: none"> ・種々の内挿 ・外挿手法 	<p>⑨低線量放射線被ばくの影響モデルの構築</p>	<p>③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>○予測</p> <ul style="list-style-type: none"> ・偏微分方程式 ・数値解析 ・逆問題 ・確率論・離散数学 ・データ同化 ・学習理論 ・リスク解析 ・マルチスケール数学 ・人間の行動のモデル化 ・「予兆」の解明 	<p>⑩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>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</p> <p>⑤ウェーブレットによる、脳波の解析・ヒトの状態の推定</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>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築、数理モデル解析による新しい物性の予測</p> <p>⑯材料科学における均質加法と数値計算の連携</p> <p>⑯土壌中の汚染物質の拡散の予測</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>⑯気象現象の数理モデル化、シミュレーション</p> <p>⑯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>⑯微小地震と大規模地震との関係の解明</p> <p>○地震確率予測</p> <p>○放射能汚染影響評価</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>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>⑭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>○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> <p>○強風予測(列車運行管理)</p> <p>○複雑なシステム自動・適応制御)</p>
<p>○最適化</p> <ul style="list-style-type: none"> ・半正定値計画問題 ・最適制御 	<p>⑨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>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>○CG(映像制作)</p>

							における、 所望の映像を得るラメータ最適化
○その他（数学が直接用いられる分野等）							
◆可視化							○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
◆情報セキュリティ		①クラウドコンピューティングに適した 秘密分散法の実現 ④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 ⑤ウェアブレットによる、 流通コンテンツの保護					

(注) 本表において例示した課題の前の番号(①など)は、以下の23年度開催ワークショップ等において明らかになった課題であることを示している。

- 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ウェア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
- 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