

Title	数学イノベーションへの展開に向けて(基礎的研究の社会的意味(2),一般講演,第22回年次学術大会)
Author(s)	細坪, 護拳
Citation	年次学術大会講演要旨集, 22: 887-890
Issue Date	2007-10-27
Type	Conference Paper
Text version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/10119/7419
Rights	本著作物は研究・技術計画学会の許可のもとに掲載するものです。This material is posted here with permission of the Japan Society for Science Policy and Research Management.
Description	一般講演要旨

数学イノベーションへの展開に向けて

○細坪護挙（文部科学省 科学技術政策研究所）

はじめに

2006年5月、筆者らは報告書「忘れられた科学—数学」^[1]をとりまとめ、同年10月には、米国の数学振興政策の考え方や数学研究拠点の状況に関する報告書^[2]をとりまとめた。これらでは、日本や米国などにおける数学研究振興政策や数学研究を取り巻く状況を紹介します。日本の数学研究を取り巻く状況は他の主要国と比べて厳しいにもかかわらず比較的高いレベルの成果を出しており、日本の数学研究には高いポテンシャルが秘められていることが分かった。しかし事態は予断を許さず、早急に対策が必要であることも明らかとなった。

一方、2005年5月のワークショップ^[3]や2006年5月のシンポジウム^[4]などでは、他分野研究者、企業から日本における数学の今後の発展に対する熱い期待が寄せられた。

これらの状況については昨年本学会でも発表したところである^[5]。こういった政策研の調査結果に呼応したかのように、日本のアカデミアや政府も動き出した。本稿では、昨年の本学会発表以降の調査分析の結果や、2007年8月に刊行された「数学イノベーション」^[7]の編集・著作を通じて判明したことを述べ、政策動向などについても触れる。

1. 日本の数学研究を取り巻く環境—政策のはざままで

数学から得られた事実は普遍的であり、時空を超えて人類の知的財産となる。また、それは抽象性ゆえに高い汎用性を有し、例えば全く同じ方程式で記述されたものは物理現象でも経済現象でも統一的に扱うことができる。こうして、数学は諸科学や産業技術における思考基盤や表現言語となっている。

総合科学技術会議による第3期科学技術基本計画（2006-2010年）の策定に資するため、2003年頃から科学技術政策研究所は第2期科学技術基本計画（2001-2005年）の達成効果の評価のための調査などを実施してきた。この中で、海外トップクラスの研究者から「日本の研究に深さが足りない」という警告を受けた^[8]。具体的には、日本の研究活動では、新規発見からの研究発展や新概念の創出が少ないことなどが指摘された。この背景には、日本の科学技術全般に数学的アプローチが軽視される傾向があるのではないだろうか。

昨年の本学会でも紹介したように^[5]、米国^[6]やドイツではここ10～20年間ほどで数学研究に対して積極的な政策を実施している。フランスでは数学の社会的地位が高い。このように、既に欧米諸国では数学研究と諸科学・産業技術との連携を重視し、数学研究全般を推進している。

その背景には、諸科学や産業技術の根本部分にある数理的思考を大切にしなければ、先端科学の世界でも結

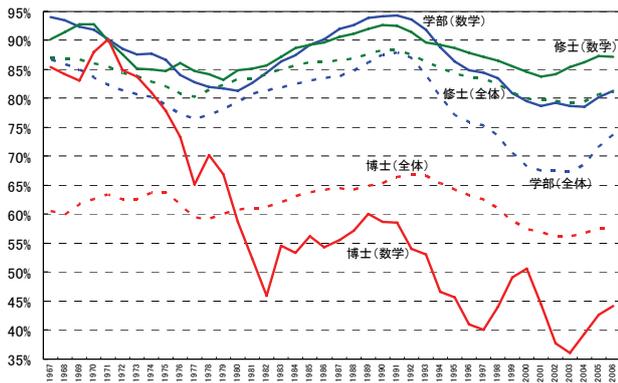
局は遅れをとってしまうという認識があるのではないだろうか。

ここ10年間程で、日本では科学技術基本法の制定（1995年）、同法に基づく科学技術基本計画の策定・実施（1996年～）、省庁再編による総合科学技術会議や文部科学省の発足（2001年）、産学官連携の推進、国立大学法人化（2004年）など様々な政策や施策が講じられてきた。しかし、短い期間の急速な変革は期待された効果の他に想定外の副作用ももたらしたといえる。

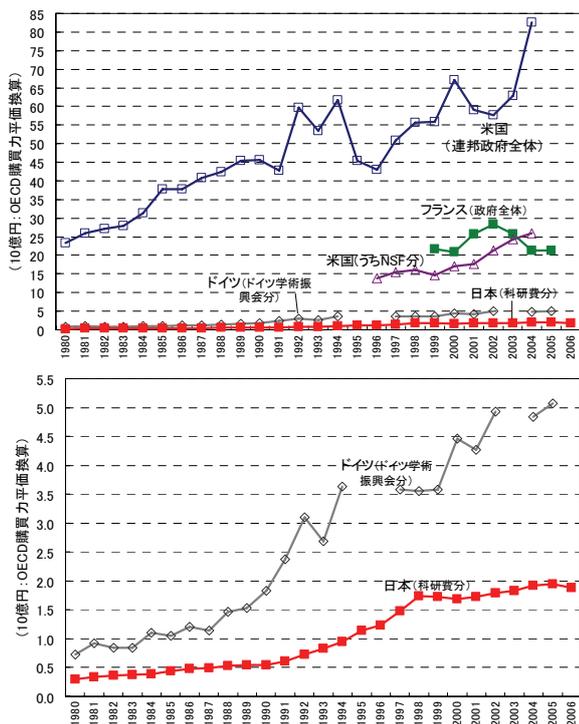
例えば、1991年の大学設置基準の大綱化の結果、全国的に広まった国立大学の教養部解体への動き、そして国立大学の法人化などとともに、わかりやすい研究成果や経済効果などを短期間に得るという目標には必ずしもそぐわない数学研究に対して大学当局などのインセンティブが低下した可能性が指摘されている。その結果、数学科の常勤教員数が減少した大学は少なくない。一方、教養部の解体に伴い、教養部に属していた数学教員は自ら研究室を有するようになり、以前の教養教育（全学教育）に加えて、新たに自らの研究室の大学院生の教育も引き受けることになった。

そして、日本の数学研究界では研究費調達の高難、博士卒業生の就職率の低下（図表1）など深刻な事態が進行している。すでに科研費（図表2）や学会延べ発表時間（図表3）などでは現状を維持できなくなりつつある。

一方、米国の数学研究のアカデミアなどは膨大な数のレポートをとりまとめ、さまざまな情報を政府などに対して発信している^[1]。日本の数学研究の場合、未来を危惧して使命感に燃える研究者が活動することがあっても、全体に対する影響力は限られた。そういった意味で、筆者らの報告書^[1]に込める形で、2006年9月に（社）日本数学会が、2007年2月には統計関連学会連合会などが、それぞれ提言^{[9][10]}をとりまとめたことには大きな意義があったといえる。また、2006年9月には日本応用数理学会、同年10月には横幹連合、同年12月には日本統計学会、2007年1月には東大・京大数学教室と京大数理解析研究所、同年5月には九州大学においてワークショップやシンポジウムなどが開催され、政府関係者や報告書^[1]の著者なども交えて活発な意見交換が行われた。今後も様々な場で議論を深め、具体的かつ現実性のある提案やプランなど、政府や産業界にとってもインパクトのある情報発信を続ける必要がある。さらにそれを受けて、数学研究者が組織的に具体的な計画を立案し、その実現に向けて行動することも求められるだろう。そのためには、数学研究界は100人の研究者に1人の割合でもそういう役割も担う研究者をはぐくむ必要がある。



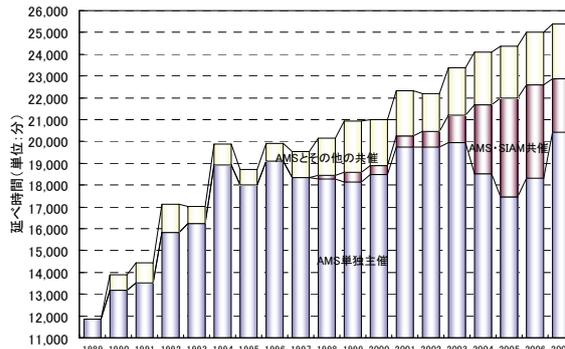
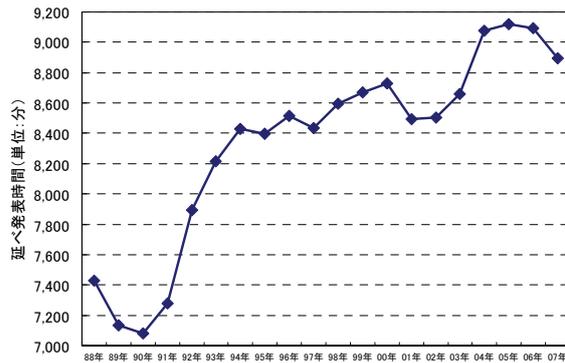
図表1 日本における卒業生数に対する進学者又は就職者数の割合の推移(3年移動平均。学校基本調査(文部科学省)から作成)



図表2 主要国政府からの数学研究費の推移(下図は上図の拡大。日本: 科学研究費補助金採択課題・公募審査要覧、米国: Federal Funds for R&D、フランス: Recherche et développement en France、ドイツ: Bundesbericht Forschung 及び Faktenbericht Forschung から作成)

2. 数学研究の現代的意義の一面と課題

日本社会でイノベーションの重要性が叫ばれる昨今、製品やプロセスに付加価値を付与する科学技術の役割もますます重要なものとなっている。しかし、イノベーションの達成についても、科学技術による社会的成果の獲得についても、やすやすと得られるものではない。それらに対する数学的思考からのアプローチでは、短期間で具体的成果につながる見通しは極めて低いかもしれないが、成功すればとてつもなく大きな成果を得られるかもしれない。しかし、うまくいかなくなった場合でも、数学の発展などの副産物が生まれる可能性はあり、また、研究者にとって数学的な思考錯誤の経験自体が後々の研究活動に有益だろう。数学研究自体には莫大な設備や施設を必要とせずそれほど大きなコストはかからないのだから、利益とリスクやコストを天秤にかければ躊躇する理由はとぼしいように思う。



図表3 (社)日本数学会の年会及び秋季総合分科会における延べ発表時間の推移(上図)と、米国数学会(AMS)が主催するセッションの延べ発表時間の推移(下図)

(ともに3年移動平均。上図は(社)日本数学会年会(3月)及び秋季総合分科会(9月)プログラムから作成。下図は米国数学会総会(1月)プログラムから作成)

しかし、現実にはそれほど単純ではない。これまで日本においてこのような観点からの数学研究が大々的に行われてこなかったことには理由がある。

(1) インセンティブ・システムの欠落

日本の純粋数学と数理工学などとの間の大きな隔絶を超える組織的な努力の決定的不足の背景には、異領域、異分野間の研究者同士の相互理解を助長するインセンティブを付与するシステムが日本に欠けていることがある。他分野などに興味関心を持つ純粋数学者や、基礎的な数学理論に関心を持つ数理工学者たちは自然と損をする構造になっているように見える。「余計なこと」に関心を持つ研究者は異端分子として元の研究界からはじかれてしまうのだ。

この点に関連して、米国では学术界自らが早期に問題意識を持ち、数多くの政策的提言を行ってきた^[1]。たとえば、オドム・レポート(1998年、NSF)では、数学内、数学と他分野間の学際性を確保するために研究者に対する研究資金やポジションといったインセンティブの付与が重要である旨述べている。

(2) 「応用の基礎」、「基礎の応用」への認識の低さ

これまでの筆者の経験では、日本の一部の数学者は、他分野の数学的理論を飾りものと考えているように見える。また、日本の数学研究界には、数学を使う立場の応用数学や他分野への活用に対する研究者の好奇心を制限しかねない構造が残っている。一方、日本の他分野研究者や産業研究者の多くは数学に貢献を求めているもの

の、「すぐに自分の研究に役立つようなもの」といった即物的な傾向が強く、理論研究の意義は十分に理解されていない可能性がある。また、現代数学を難しすぎるとして敬遠することも少なくないようだ。

もちろん、現在でも現実の現象に潜む全ての理論が解明されているわけではない。科学の世界では、単純に要素が集団を支配するという考え方(還元主義)だけでは全ての現象を理解することはできないことが分かり、集団は要素と離れた独自の性質を有することが認識されるようになってきたようだ。その結果、諸科学の知的独立性が明らかになり、科学における理論研究が構築されてきたと聞く^[4]。

また、数学の他分野への活用では、他分野研究者との共同研究や他分野の専門知識及び研究状況の把握、全く数学の形をしていない現象を数学モデルへ翻訳し、解決することなどが要求される。これらには相応の能力と経験を必要とし、とても純粋数学者の片手間でできることではないようだ。こうして、世界的には、数学においても純粋数学だけでなく、高度な数学をつかう数学領域や数学の他分野への活用などが学問的な地位を構築しつつある。

(3) 数学研究の不幸な境遇

大学数学教員数の減少や教育関連業務の増加に加えて、ここではもう少し細かい状況に触れてみる。

数学研究には研究者が思考を繰り返し、その成果を論文にまとめるための時間が必要だが、最近はその時間がとれない。その原因には前述した教育関連業務の増加もあるが、校費の減少に伴う科研費の申請や評価などの書類業務の増加を分散できない構造もある。書類業務の増加自体は数学に限らない現象のようだが、集団行動を基本とする科学分野では、現場チームで書類業務を効率化している部分もあるようだ。一方、個人研究が主体の数学ではそういったことができない。その上、法人化などによる数学教室の事務員数の減少が追い討ちとなる。それ以前に、そもそも日本の数学教室の事務員数は米国などと比べてかなり少ないらしい。

また、数学研究では研究者が互いにインスピレーションを受け、新しいアイデアが閃くように、他の研究者と直接会って意見交換する場とそのための旅費も必要である。メールや電話だけでは十分な意思疎通ができない。しかし、せっかく優秀な研究者が来てくれそうでも研究場所(といっても机とイスと黒板を備えた部屋程度だが)を確保できない、ということもあるようだ。それ以前に、予算の減少から出張旅費の工面も難しくなってきた。日本には、米国の数学研究所のように研究所側が研究集会に来る研究者に旅費を補助するといったシステムは見当たらない。

さらに、数学研究では時の経過による論文の陳腐化が少ないことから、論文自体に実験試料的な色合いが強く、図書や雑誌の量と質が重要な意味を持つ。しかも数学には伝統的に多くの種類の論文雑誌があるため、その経費は他分野よりかさむようだ。近年では、これまで大学間の交換によって入手できた外国の大学教室の論文雑誌のうち出版社から刊行されるものが増え、購入を余儀なくされている雑誌数が増加しているらしい。しかし、国内では予算不足のため図書や雑誌の確保がままならない。そのため、数学では複数の大学数学教室間で、数学研究の図書や雑誌を相互に補完するなどの工夫をはじめているようだ。

しかし、数学教室の図書室の司書役の事務員が削減されると、その図書室は図書館としての機能を失い、外部の研究者にとって有益な図書や雑誌の貸出しなどができなくなる。

日本の数学研究費の大きな割合を占めると推測される科研費では、数学研究で大きな額を占める定期刊行物や雑誌類の経費は要求できない。申請時点の未発行物は必要経費として要求できないようだ。加えて、実験科学のような高額の設備や施設を要求しない数学研究の経費は多くない。外部からまとまったお金をとってこれない数学は、必然的に大学当局に大きな間接経費を持ってこれず、大学内での発言力も低下する。

3. 数学研究のタイプに関する考察

数学研究に関するこれまでの調査結果を、数学以外の研究者や学生などに広く向けて書籍^[7]としてとりまとめるに当たって、数学研究者又は数学と他分野の学際領域の専門家9名に、それぞれの分野における数学の果たしてきた経緯や役割、今後期待することなどを書いていただいた。

もちろんこれらの分野が数学の活用分野全てを網羅しているわけではない。また、同じ分野でも異なる数学的アプローチも考えられる。しかし、数学が各分野の中でどのような経緯で活用され、育まれてきたのかを示唆する表現が見られた。整理のため、それらを簡単な3つの区分への類型化を試みた。

① 科学技術・産業分野既存問題解決&数学発展型

科学技術・産業分野でボトルネックとなっているような具体的問題に対して、新たな数学の視点を導入して問題解決を図るとともに、数学の発展も目指す研究開発タイプ。

例:「高炉に代表されるような製造現場で起きている複雑な現象は、非定常で非線形の領域に属するが、この領域を正面に見据えて解析できる一般的な方法論を我々は持ち合わせていない。」
「もし、この非定常で非線形の領域に新しい数学理論が適用できれば、現実現象に数学論理をリンクさせ、新しいものの見方・考え方を製造現場に導入し、製造技術の効率化の追求や新しい技術概念の創出が可能になると考える。この領域への数学者の参入を大いに期待する。」
「産業側から提示する問題に対し、数学者から提案された予想をもとに、産業側で現場現象の実用解法のレベル向上を図り、解析結果を上記対話(講演者注釈:数学者と産業研究者間の対話)の場にフィードバックする。この対話のループを何度かまわすことにより、産業側は経済合理性を追求し、数学者はそこから生まれる真理を定理として論文化するという良好な関係を構築できれば幸いと考える」(製造現場における数学の活用、中川淳一 新日本製鐵(株))

② 科学技術・産業分野&数学の共発展型

まだ開拓の余地の大きな科学技術・産業分野の研究開発に対して、数学的アプローチを導入して、科学技術・産業分野と数学の並行的発展を目指すタイプ。20世紀初頭の物理学と数学の関係に近いと思われる。

例:「数学が生物学における道具として有効なだけでなく、数学自身の発展にとって生物学がアイデアとモチベーションの源泉として必要になると考えられる。」
「ライフサイエンスが21世紀のイノベーションの核心であることは間違いない。またそこで計算、情報整理、推論などを含んだ広義

の数学が果たすべき役割も本質的なものであろうが、数学と生物学のコラボレーションによる新たなバイオサイエンスの創造のためには生命科学のモチベーションを理解する数学者、数学的議論を理解する生命科学者が育っていく必要がある。こうした思考の融合は、専門化が非常に進んだ段階では外的になりやすく、大学教育の早い段階から考慮されるべきだろう。」(数理生物学とはなにか、稲葉寿 東京大学准教授)

- ・「新規暗号の開発グループに数学者が加わり、工学系の人たちがよく知らない理論や問題を提供することができれば、暗号研究の幅が広がり数学の貢献にもつながる。その際には、非専門家たちにもわかるように数学の理論を説明したり、暗号開発の折々に皆とディスカッションしたりして、ともに技術の改良を施していくことになる。」(暗号・情報セキュリティと数学研究、後藤泰宏 北海道教育大学准教授)
- ・「「数理工学」は、「もの作り」を数理する学問であり、いわゆる伝統的な「数学」ではないが、問題の解決にあたっては、既存の数学の成果を活用し、対象の数理解造に深く切り込む。そして、必要に応じて創出される有効な解決法が新たな「数学」的な理論を生み出し、それが、新たな「数学」的な成果となって「数学」の発展に寄与することも少なくない。」(数理工学、藤重悟 京都大学教授)

③ 将来予測不可能・大イノベーション萌芽型

純粋数学の活用により、これまでのパラダイムを転換しかねないほどの大きな社会的効果を及ぼしうる研究タイプ。将来の予測は不可能(予測できた段階で②となる)。歴史的には、確率微分方程式や確率論と金融工学、整数論と暗号などの関係などが挙げられる。

例:「現実世界に囚われず、高度に究められた数学的成果が、近年のファイナンスや符号化・暗号化などへの応用に見られるように、現実の問題の解決に決定的な役割を果たすことも少なくない。この意味で、何ものにも囚われず自由な発想と思考で展開される「数学」の持続的な発展はきわめて重要である。」(数理工学、藤重悟 京都大学教授)

- ・「現在、ファイナンスは数学応用の大きな場となっている。しかし、そこで用いられている数学は元々はファイナンスなどの応用を意識して創られたものではなく、純粋な知的好奇心と探求心から生まれたものが大多数なのである。」

「数学の専門家が応用を意識したとしても必ずしも結果に結びつくわけではないし、そもそもどの数学が応用に役立つかは予想できるものではない。予想できる応用というものは、ブレイクスルーと呼ばれるような大きなものにはつながらないであろう。広範囲な分野に多様な考えを持つ研究者が多数いて自由に数学の研究を行っていれば、その中から運良くブレイクスルーにつながるコロナプスの卵を見つける人が出てくるということではないだろうか。」(確率解析とファイナンス、楠岡成雄 東京大学教授)

これらの3つのタイプの数学研究はいずれも注力されるべき研究であり、いずれかだけ実施すればよいというものではないと考えられる。これらをバランスよく実施することが日本の数学と科学技術の振興には欠かせないと思われる。

4. 日本政府の対応と提案

数学研究の問題に関して、日本政府は迅速に行動を開始した。2006年3月の分野別推進戦略(総合科学技術会議)、同年6月のイノベーション創出総合戦略(総合科学技術会議)に続き、2007年6月の「イノベーション25」(閣議決定)といった日本政府の科学技術政策の中期・長期計画に対して数学研究が盛り込まれたことは歴史的である。

そして、2007年度から科学技術振興機構(JST)のさきがけ研究(PRESTO)に数学研究に関する領域が設けられ、文部科学省の「世界トップレベル研究拠点プログラム」の対

象分野にも数学が入った。これらのプロジェクトが日本の数学研究に与えたチャンスは大きい。しかし、これらは始まりにすぎない。例えば、JSTのPRESTOは前章の3.の分類①(既存問題解決&数学発展型)と②(共発展型)の数学研究は対象としているが、分類③(大イノベーション萌芽型)の数学研究に対する措置は、国立大学では依然として僅かな運営費交付金と科研費の配分にとどまっている。分類③の数学研究による成果の恩恵の可能性を拡大するためには、戦略性などによる金額の多寡をつけ、単なるバラ撒きを避けつつも、できるだけ多くの数学領域の研究者に行きわたる形式の資金配分システムを実現することが効果的だろう。そのためには、研究資金を再配分する機能を備えた、他分野や産業界、海外トップレベルの研究者の意見も斟酌して運営される数学研究拠点を国内に整備することが効果的ではないかと思われる。

謝辞

報告書「忘れられた科学—数学」の作成から現在に至るまで、数学研究者を含むさまざまな方々から叱咤激励や御意見・御協力をいただいていた。ここに謝意を表する。

(参考文献)

- [1] 細坪護拳、伊藤裕子、桑原輝隆:忘れられた科学—数学、Policy Study No.12(2006年5月)、www.nistep.go.jp/achiev/ftx/jpn/pol012j/idx012j.html
- [2] 細坪護拳、桑原輝隆:米国の数学振興政策の考え方と数学研究拠点の状況、調査資料No.131(2006年10月)、www.nistep.go.jp/achiev/ftx/jpn/mat131j/idx131j.html
- [3] 伊藤裕子:[ワークショップ報告]数学の将来シナリオを考える、科学技術動向、2005年6月号、www.nistep.go.jp/achiev/ftx/jpn/stfc/stt051j/0506_03_feature_articles/200506_ws03/200506_ws03.html
- [4] 細坪護拳:[シンポジウム報告]礎(いしずえ)の学問:数学—数学研究と諸科学・産業技術との連携—、科学技術動向2006年7月号、www.nistep.go.jp/achiev/ftx/jpn/stfc/stt064j/0607_03_featurearticles/0607fa04/200607_fa04.html
- [5] 〇細坪護拳、伊藤裕子、桑原輝隆:「忘れられた科学—数学」などから分かった我が国の科学技術政策の課題、研究・技術計画学会第21回年次学術大会講演要旨集Ⅱ、2H21
- [6] 伊藤裕子:米国における数学と生命科学の研究協力促進のための科学技術政策、科学技術動向2005年4月号、www.nistep.go.jp/achiev/ftx/jpn/stfc/stt049j/0504_03_feature_articles/200504_fa01/200504_fa01.html
- [7] 科学技術政策研究所編著:数学イノベーション、工業調査会(2007年8月)、www.kocho-net.com/shop/shop/frontpage.php
- [8] 科学技術政策研究所、三菱総合研究所、日本総合研究所:我が国の研究活動のベンチマーキング、NISTEP Report No.90(2005年3月)、www.nistep.go.jp/achiev/ftx/jpn/rep090j/idx090j.html
- [9] (社)日本数学会:一提言—我が国の数学力向上を目指す(2006年9月)、www.soc.nii.ac.jp/msj6/seimei/teigen200609.pdf
- [10] 統計関連学会連合理事会、および有志:我が国の統計科学振興への提言(2007年2月)、www.jfssa.jp/TokeiKagakuShinkou0702.pdf