

「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

○細坪護孝, 伊藤裕子, 桑原輝隆 (文科省・科学技術政策研)

はじめに

第3期科学技術基本計画策定に資するために科学技術政策研究所が実施した調査によって、諸外国と比べて「忘れられた」日本の数学研究の状況がおぼろげながら分かってきた。

例えば、基本計画レビューにおける論文分析では、日本の数学は世界の中でのポジションが他の分野と比べると低いという結果が示され、欧米専門家から、日本の数学はいくつかの領域でトップクラスであるが、リードする専門家の数が限られており、近年活動のレベルが低下傾向にあるように見えると評価された(NISTEP Report No.90)。

また、俯瞰的予測におけるシナリオ分析では、日本の数学は新しい領域への展開が必要であるとともに、中核的な機関が不足していると指摘された(NISTEP Report No.96)。

一方、2005年5月のワークショップでは、日本の数学研究を取り巻く厳しい状況が報告されるとともに、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(科学技術動向2005年6月号)。

これらを踏まえて、各国の統計資料などのデータ収集・分析とともに、日本の各分野の研究者に対してアンケート調査を実施し、それらの結果を「忘れられた科学—数学」(Policy Study No.12)にとりまとめ、2006年5月のシンポジウムで発表した(科学技術動向2006年7月号)。

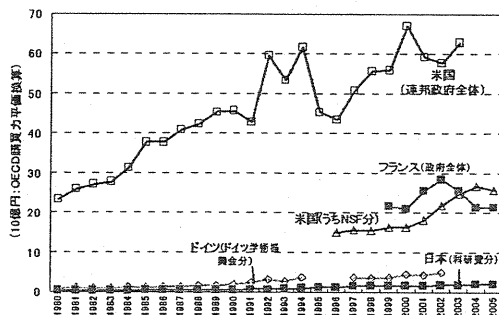
本稿では、新たな追加データも用いて本報告書について解説するとともに、その後の追加調査分析の結果も述べる。

I. 「忘れられた科学—数学」における調査分析等

1. 日本の数学研究を取り巻く状況

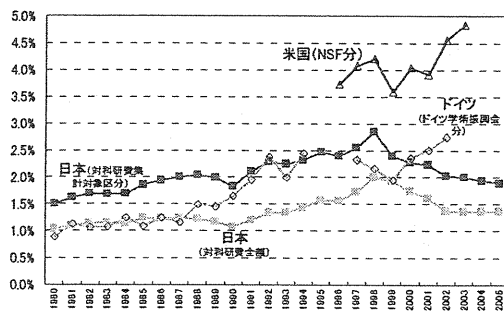
(1) 数学研究には他分野に見られるような大規模な実験施設や多額の設備投資は不要だが、数学研究者が定常的に研究情報を得て研究活動を行うための経費(雑誌購入費や旅費、人件費など)が必要である。米国、フランス、ドイツなどの数学研究の主要国と比較して日本の数学研究費に関する状況は極めて厳しいと推測される(図表1、図表2)。現状の日本の数学研究費の規模では、数学研究レベルの現状維持又はレベル低下を緩和する程度にしか寄与していない可能性がある(図表3)。

(2) 日本の大学における数学博士取得者数(年間約180人)は米国(約980人)、フランス(約350人)、ドイツ(約490人)と比較して少ない。また、数学関連の学協会員数などから推測された数学研究者数についても、日本(大学等で3,000~4,000人)は、米国(1~数万人)、フランス

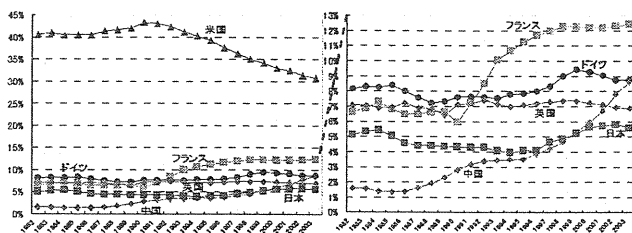


図表1 主要国政府における数学研究費の推移

(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。ドイツは旧東ドイツを含まない)



図表2 主要国政府研究費における数学研究費の割合の推移
(データ元は図表1と同じ)



図表3 主要国の数学研究論文数の世界シェアの推移

(右図は左図の拡大。3年移動平均で記述。Thomson Scientific 社"Science Citation Index (1982-2003)"に基づき科学技術政策研究所が集計)

(約6,000人)、ドイツ(大学で約4,000人)と比較して多いわけではない。数学研究所の数でも日本は主要国と比較して少ない(図表4)。海外のトップクラスの数学研究者からは、日本のトップクラスの数学研究者を継ぐ人材が不足していると警鐘が鳴らされている(NISTEP Report No.90)。全学教育(教養教育)や入試への対応、事務量の増加などにより日本の大学における数学研究者のオ

国名	研究所数	設立年
米国	10	1930, 1982, 1982, 1989, 1994, 1998, 2000, 2001, 2002, 2002
フランス	4	1928, 1958, 1975, 1996
ドイツ	4	1944, 1980, 1992, 1996
英国	4	1965, 1990, 1992, -
カナダ	4	1969, 1992, 1996, 2003
イタリア	3	1939, 1964, 2001
オランダ	3	1946, 1992, 1997
オーストラリア	2	2002, -
オーストリア	2	1993, 2003
インド	2	1945, 1962
ロシア	2	1934, 1988
日本	1	1963
シンガポール	1	2000
スイス	1	-
スウェーデン	1	1916
スペイン	1	1984
ニュージーランド	1	2002
ノルウェー	1	2002
ハンガリー	1	1949
ブラジル	1	1952
ポーランド	1	1972
ポルトガル	1	1993
中国	1	1985
南アフリカ	1	2003
合計	53	

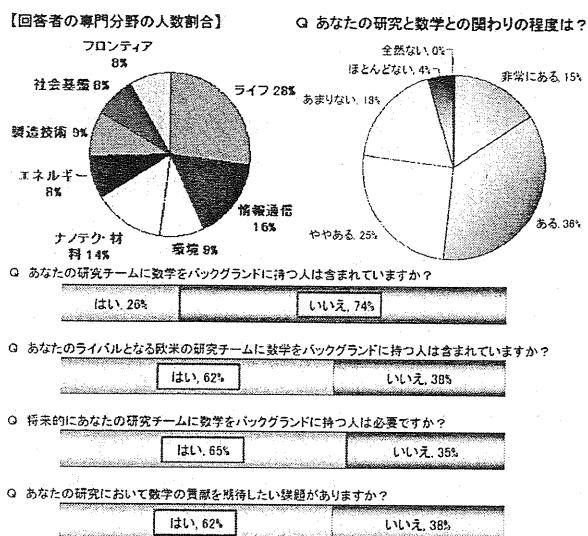
図表4 近年、国際数学会議(ICM)において活動実績があると思われる国別数学研究所数とその設立時期
(科学技術政策研究所が作成。太字は90年以降の設立年、-は設立年不明を示す)

ブリゲーションが増加したことで、研究時間は大幅に減り、日本の数学研究環境は悪化を続けていると推測される。
(3) ライフサイエンス、情報工学、ナノテクノロジー等の多くの分野の研究者は、今後の研究発展に対する数学の必要性を感じている(図表5)。欧米ではそのための数学研究者との協力体制が整っているのに対して、日本では遅れていると彼らは考えている。米国、フランスなどでは産業界でも数学研究者が活躍している一方、日本ではそのようなケースは少ないと推測される。この背景には、日本の企業が企業研究に対する数学の意義や可能性をまだ十分に理解していないとともに、数学博士などを送り出す側の学術界もその意義や可能性を十分に企業に伝えてこなかったためと考えられる。これは日本の産業研究の発展を損ねている可能性がある。

以上を総合すると、日本の数学研究のポテンシャルは著しく低下したわけではない(図表6)ものの、予断を許さない状況にあり、広範な科学技術分野からの期待に応えられていない。

2. 数学研究の強力な振興の必要性

(1) 数学は諸科学の基盤となる科学である。そのため、数学の進歩を他分野に還元することは他分野の更なる発展の可能性を産み出し、数学-他分野融合研究から得られる社会的利益は巨大であると推測される。既に米国やドイツは数学-他分野融合研究に関する国家プロジェ



図表5 日本の他分野研究者における数学研究へのニーズ(科学技術政策研究所の専門家ネットワークのメンバーに対するアンケート調査結果から)

国名	1986年 (於:米国)	1990年 (於:日本)	1994年 (於:スイス)	1998年 (於:ドイツ)	2002年 (於:中国)	2006年 (於:スペイン)
1 米国	(66)	63	78	90	78	89
2 フランス	18	19	21	23	26	28
3 ロシア	35	19	8	2	7	3
4 ドイツ	10	7	9	(15)	9	10
5 英国	5	7	7	8	7	13
6 イスラエル	5	4	4	9	10	6
7 日本	3	(24)	3	7	6	7
8 スイス	2	1	(5)	4	7	6
9 イタリア	5	1	1	5	5	4
10 カナダ	1	3	5	3	3	5
11 オランダ	4	1	1	5	1	4
12 オーストラリア	0	1	2	1	6	1
13 スウェーデン	1	1	0	3	3	1
14 デンマーク	0	1	2	1	2	2
14 インド	0	1	3	1	1	2
14 ハンガリー	2	2	1	1	1	1
17 ブラジル	1	1	2	2	1	0
18 ベルギー	1	0	1	2	2	0
19 ポーランド	1	0	0	1	1	2
19 フィンランド	0	0	1	2	1	1
21 中国	1	0	2	0	(16)	1

図表6 国際数学会議(ICM)における基調・招待講演者数の国別推移

(ICM Proceedings 及び国際数学会議の WEB から科学技術政策研究所が集計。90年以前のロシアの値は旧ソ連の値である。括弧は当該年の会議のホスト国。国順は86~06年の基調・招待講演者数平均による(ホスト国の場合を除く))

クトを実施しており(米国:マルチスケール数学に関する国家プロジェクト(DOE, 05年度から、約24億円)、ドイツ:産業及びサービスのイノベーションのための数学プログラム(連邦教育研究省、93年からの数学国家プログラムの第4期に相当、約13億円)、日本の他分野研究者も数学との共同研究に対して強い期待を寄せている(図表5)。日本においても、数学-他分野融合研究を振興すべきである。また、基礎となる数学自体の強力な振興も必要である。

(2)新興の研究開発分野における研究では、「モノや構造を支配する原理を見出す」ことがブレークスルーの重要な要因となっていることが特徴とされており、数学はその「支配原理」を見出すための普遍的かつ強力なツールでもある。即ち、数学研究の振興は、イノベーションの可能性を間接的に増加させるという意味でも極めて重要である。これまで日本では十分には行われてこなかったと思われる数学と産業、あるいは数学と他分野との共同研究実施に向けた検討や体制整備が必要である。

(3)他国における数学研究成果をそのまま利用する、いわば「タダ乗り」を狙うだけでは、研究能力が低下し独自の研究成果を生み出せなくなるのみでなく、重要な数学的成果を速やかに利用することもできなくなる。また、広範な研究開発分野を振興している日本にとって、数学研究は他分野の発展にも必要であり、その強力な振興が必要不可欠であると考えられる。

以上から、最新の数学研究成果の動向に対応しつつ新たな成果を生み出すとともに、数学によって他分野の革新的な発展を後押しし、産業のイノベーションに貢献するため、日本において数学研究を強く振興することが必要不可欠である。

3. 日本の数学研究と科学技術振興のためにとるべき喫緊の対策の提案

(1)施策の提案

- ① 基礎的な数学研究を強力に振興するため、数学研究に対する政府研究資金を拡充する。
- ② 数学と他分野との融合研究を推進するため、数学-他分野融合研究の推進拠点を構築する。
- ③ 数学研究者と産業界との相互理解を促進し、共同研究の実施について具体的に検討する。

(2)数学研究振興における留意点

- ① 数学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研究時間を確保するとともに、数学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な意見交換の場と時間を確保する。
- ② 過去の良質な数学論文は時間を超えて最新の研究に影響を及ぼし得ることから、数学研究においては図書や文献の量及び質が重要な意味を持つことを認識する。
- ③ 基礎的な数学研究から短期間に具体的効果を求める性急さを避ける。

II. 数学研究に関する米国現地調査の分析

今年7月上旬に米国現地調査を実施し、NSFやDOEの米国連邦政府関係者、数学研究所長、数学研究者などに対してインタビュー調査を行った。「忘れられた科学-数学」(Policy Study No.12)の結果も踏まえて、調査結果として米国から見た数学研究に関する状況をとりまとめる。

1. 数学を定義する試みの終焉

米国連邦政府や数学研究所では、数学を純粋数学、応用数学を含む広範な科学として捉え、更に、その数学を包含して、基礎工学的な科学も含み得る数理科学(mathematical science)という視点でも研究を振興しているように思われる。そのため、米国では、純粋数学と応用数学はどこかで分別されなければならない、という考え方はされていないと思われる。このような米国の認識の背景には、1998年のオドム・レポート(Policy Study No.12 参照)における数学に対する認識が背景にあると思われる。即ち、数学は国家の競争力に関係しており、全ての自然科学や産業技術の基盤となるものであるため、数学の範囲を厳密に定義・区別して階層化すること自体が、数学の可能性を狭めることに繋がりがかねないという考え方が根底にあるように思われる。

2. 世界の数学研究の概況

世界における数学研究の情勢について、連邦政府は、数学研究の世界的な研究拠点の多くは欧米にあり、ここ10年間ほどで数学の強さを有する国の多くにおいて数多くの数学研究所が設立された(図表4)ことを認識している。2000年~2004.5年において、NSFの予算全体が60~70%増加した一方、そのうち数学は100%増加、つまり倍増したことを示し、連邦政府も数学に注力していることを強調した。

日本の状況に関しては主に以下の意見があった。

- (1)理由は分からないが、日本については明らかに数学に対する投資が十分ではなく、10~20年ほど前と比較して日本の数学研究は活気に満ちているようには見えない。日本も数学研究拠点を持つべきである。
- (2)日本は大きな産業を有しており、応用数学に対して公的研究所や産業部門からの需要があると思う。
- (3)日本は数学に関する精神性(mentality)と文化(culture)を変えなければならない。数学を、人々が知りたい、刺激的であると思うような魅力的なものにする必要がある。

また、優秀な研究者の例として日本人研究者の氏名が挙げられることはあったが、研究機関名が挙げられることはほとんどなかった。しかし、今回の調査では数学-他分野融合研究に関する調査を中心としていたため、調査対象を純粋数学とすれば、比較的純粋数学が盛んな日本に対して異なる回答が得られた可能性はある。

3. 中国の台頭

特筆すべき事項として、数学研究の世界では、近年、特に中国の台頭が著しく、米国連邦政府は強い危機感を抱いている。中国政府による数学研究予算は年率25~30%と大幅に増加しているとともに、中国内に数学研究所が多く設立されていること、北京などでは頻繁に大規模な数学研究集会などが開催され、それに伴い数多くの著名な外国人数学研究者が招聘されて、数学研究の活気に満ちているこ

とがインタビューの話題になった。もし、日本に新しい数学研究所が設立されるならば、「米国から中国に行くついでに」日本にも行きたい、と言われることがあり閉口した。

確かに、フィールズ賞受賞者や国際数学会議における基調・招待講演者など極めて優秀な研究者の規模という意味では、中国の数学研究能力はまだ日本に及ばない可能性がある(図表6)。しかし、数学研究の論文数では既に日本を追い抜いていることを示すデータもあり(図表3)、数学者全体の方々の層の厚み自体では既に日本を凌いでいると考えられる。

4. 米国の数学研究に対する振興戦略

米国連邦政府や数学研究所は数学内の領域間や、純粋数学と応用数学間の interface の拡充に精力的に取り組んでいる。これは、可能な限り純粋数学者、応用数学者などの数学の他領域や他分野への関心を強めるインセンティブを高め、それぞれの研究能力を最大限に発揮してもらう、という姿勢が背景にあると思われる。

それとともに、連邦政府は、数学のどの領域が将来ブレークスルーを起こすか予測不可能であるため、国家的な政策として数学のどの領域を振興するかを限定することは危険であると認識している。

このような状況の下、近年、米国を含む世界的傾向として、常勤研究者が主体となる研究拠点とともに、滞在型数学研究拠点及び滞在型数学-他分野融合研究拠点の役割が非常に大きくなっている。

その滞在型研究拠点の構築・運営に当たって重要なポイントは次のように整理される。

(1) 最も重要なことは、優秀な研究者からの信用(credibility)を得ること。この場合の信用とは、優秀な研究者が、他所からより多い滞在費や給与を提示されても、それを断るほど行きたいと思うような研究拠点であるという意味である。

そのカギは研究の質である。例えば、優秀な研究者が中心となった組織委員会で、挑戦的で優秀な研究者の知的好奇心を喚起する研究課題を設定し、かつ優秀な研究者が招聘されるような場であれば、他の研究者も自らの研究課題の新たな展望を得る見込みがあるかもしれないと思い、その場に自ら進んで参加する可能性が大きいと推測される。

(2) 研究者同士が容易に研究に関する話をする(communicate)ことができる環境が整備されていること。具体的には、内部の研究者同士のアクセスビリティが確保されるとともに、滞在型研究拠点間を行き来する国際的な数学者の流れに加わることができる必要がある。そのためには、国際的に多くの訪問研究者がその研究拠点を訪ねる環境を整備する必要がある。数学研究では研究者の個人研究の割合が極めて高く、国際性は既に標準である。また、研究拠点の建物にラウンジや小さな講義室などを設けて研究者同士のアクセスビリティを確保することも重要である。

米国でも数学科の規模は小さく、数学者の主な業務(duty)は教育であり、多くの数学者にとって研究費は十分ではない、としている。逆に連邦政府としても、多くの数学者に小さなグラントを分け与えることは財政的に非効率的である。そこで、研究拠点に来る研究者の旅費を研究拠点が支払うことによって、研究環境が整っていない小さな大学の研究者でも、研究拠点に来て最新の研究に触れることを可能としている。

(3) 数学の領域間や純粋数学と応用数学などの交流(interface)機能を有すること。特に応用数学の場合には、産業との強い相互作用も保持すること。この際、なるべく広い数学領域の研究者を含めることが重要と思われる。米国のIMAの所長は、自分達は純粋数学も含めた数学全体の活用に取り組んでおり、現に、IMAの研究活動に参加している純粋数学者は確実にいると述べていた。

数学研究の世界は将来の見通しが立ちにくいと思われる。しかし、産業にとっても数学が重要であることは明らかである。例えば、工学的な工夫によって産業技術の改善が10%達成されるかもしれないが、数学の革新によっては1つの産業を創生できるかもしれない。

ここで注意すべきことは、実験科学と比べて数学の発展には時間を要する場合が多いことである。また、分野間の専門用語の違いなど「異文化間の溝」を乗り越える根気と寛容さが求められるだろう。

また、米国では数学者が産業や諸科学などとの共同研究などに参加する際、研究資金から当該数学者の不在による教育の業務を別の人に肩代わりしてもらう経費を支払っている(replacement buy-out)。

おわりに

今年6月に総合科学技術会議が策定した「イノベーション創出総合戦略」において、我が国が構築すべき世界トップレベルの研究拠点の分野例として数学が挙げられている。このように、学術における一つの分野ではなく、科学技術政策の文脈における特定分野として数学を振興すべきという意志を日本政府が明確にしたことは画期的である。

また、今年8月に公表された文部科学省の概算要求資料では、新興・融合分野として数学と他分野の連携等を主軸とする施策が要求されている(異分野融合研究プログラム)。

このように、我が国でも数学に特化された政策が打ち出され始めている。これからは、これらの政策が日本の数学研究、引いては科学技術全般の向上に繋がるようにすることが求められる。

謝辞

米国出張では、小野薫 北海道大学教授、利根川吉廣 北海道大学助教授に大変お世話になった。また、米国NSF、DOE関係者、数学研究所長、数学者の方々はインタビューに快く応じていただいた。

「忘れられた科学—数学」(Policy Study No.12)に御意見・御協力いただいた方々に併せて、ここに謝意を表する。