

数学イノベーションへの展開に向けて ～科学技術政策の視点から～

2008年3月27日

(社)日本アクチュアリー会第8会例会
於:こまばエミナース(鳳凰の間)

文部科学省 科学技術政策研究所
第2研究グループ 研究官
細坪護拳

1. 「数学」を巡る議論の展開①

第3期科学技術基本計画策定に向けて
科学技術政策研究所が実施した調査



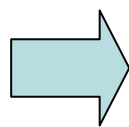
諸外国と比べて「忘れられた」日本の数学研究
の状況が分かってきた。

科学技術基本計画レビュー調査(2003年4月～2005年3月)

- 論文分析
 - 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。
- 欧米専門家の評価
 - 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。
 - 日本の科学全体にまだ“深み”が足りない。
- シナリオ分析(広中平祐氏、ピーター・フランクフル氏)
 - 新しい領域への展開が必要 + 中核的な機関が不足

1. 「数学」を巡る議論の展開②

- 科学技術政策研究所所内講演会「数学で何ができるかーなぜ科学技術に重要か、どうすれば有効に活用できるかー」（2004年5月、津田一郎教授、儀我美一教授）
- ワークショップ「日本の数学の将来シナリオを考える」（2005年5月）
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。
- 各分野の研究者へのアンケート（2005年10月）
- 文部科学省内政策検討会で数学について討議
（2005年12月、小島定吉（社）日本数学会理事長、儀我美一教授）
- 日本学術会議シンポジウム「礎の学問：数学ー数学研究と諸科学・産業技術との連携」（2006年5月）
- 科学技術政策研究所「忘れられた科学ー数学」
（Policy Study No.12、2006年5月、細坪護拳、伊藤裕子、桑原輝隆）
- 科学技術政策研究所「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、細坪護拳、桑原輝隆）
- 科学技術政策研究所編著「数学イノベーション」((株)工業調査会、2007年8月)



行政における関心、認識の上昇
マスメディアの関心も上昇

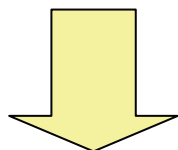
1. 「数学」を巡る議論の展開③

(1) 2003～2005年

論点の発掘整理段階

(2) 2005～2006年

数学に関する議論拡大期



(3) 2007年～現在

具体的施策の着手

論議の深化と継続性の維持

忘れられないこと！

2. 政策の状況 ～我が国の科学技術政策の文脈

- 学術政策 と 科学技術政策
 - 文部科学省 と 総合科学技術会議
 - 高等教育政策 と 科学技術政策
-
- 経済・財政政策からの要請
 - “戦略的”重点化
 - “出口”の意識
 - “イノベーション”
-
- 科学技術システム改革
 - 競争的環境 分野内&分野間
 - 研究者の流動性
 - 国立大学法人 第1期から第2期への移行

2. 政策の状況 ～科学技術の戦略的重点化

○基礎研究の推進

研究者の自由な発想に基づく研究 → 多様性の苗床の形成

※ 政策課題対応型研究とは明確に区分。
ビッグサイエンスは国としても判断。

政策に基づき将来の応用を目指す基礎研究 → 非連続的なイノベーションの
源泉となる知識の創出

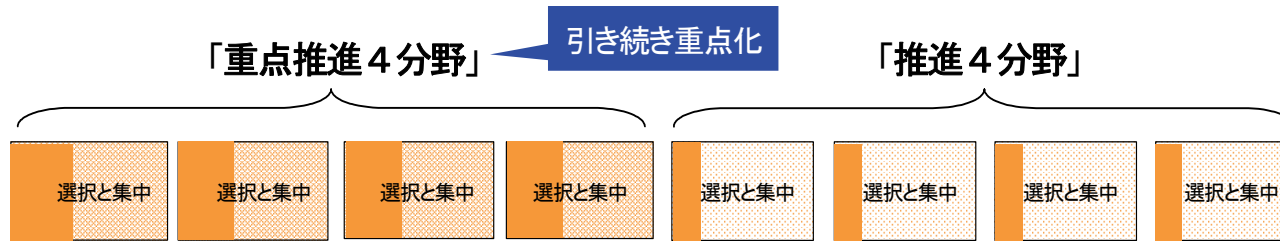
○政策課題対応型研究における重点化

- 重点推進4分野(ライフサイエンス、情報通信、環境、ナノテクノロジー・材料)
- 推進4分野(エネルギー、ものづくり技術、社会基盤、フロンティア)

分野別推進戦略

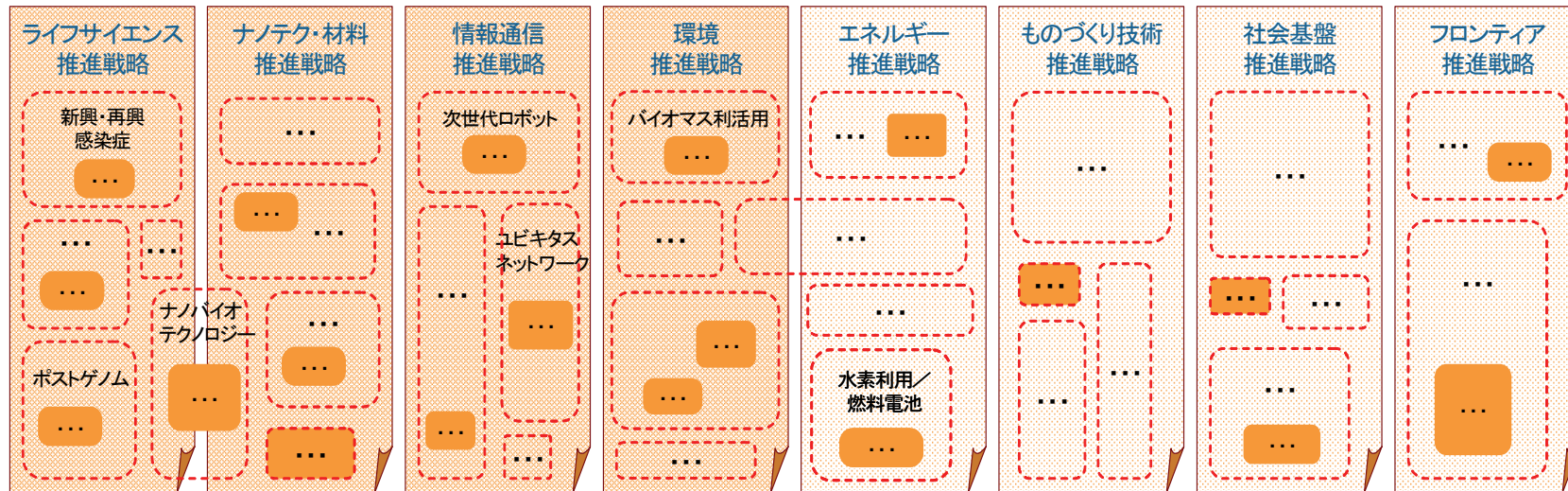
- **第3期中に重点投資する対象として、戦略重点科学技術を選定。**
 - ・ 社会・国民ニーズ(安全・安心等)
 - ・ 国際的な科学技術競争
 - ・ 国家基幹技術(スーパーコンピュータ、宇宙輸送システム等)
 - ・ 新興領域・融合領域への対応 (含 サービス分野のイノベーションに資する科学技術)

2. 政策の状況 ～第3期科学技術基本計画における戦略的重点化のイメージ



各分野内においても「選択と集中」を徹底

注) 本イメージでは、科学技術連携施策群の課題名を例示的に列記しているが、重要研究開発課題や戦略重点科学技術の選定について、今後の議論に何ら予見を与えるものではない。



重要な研究開発課題

戦略重点科学技術

- ① 社会的課題を早急に解決するために次期5年間に集中投資する必要があるもの
- ② 国際的な科学技術競争に勝ち抜くために次期5年間に集中投資する必要があるもの
- ③ 国家的な基幹技術(「国家基幹技術」)として次期5年間に集中投資する必要があるもの

分野別推進戦略（案）について

資料 1

1. 趣旨

第3期科学技術基本計画の下、「明日への投資」である政府研究開発投資の効果を最大限に発揮するためには、基礎研究の着実な推進とともに、政策課題対応型研究開発の戦略的重点化が必要。

重点推進4分野（ライフサイエンス、情報通信、環境、ナノテクノロジー・材料）及び推進4分野（エネルギー、ものづくり技術、社会基盤、フロンティア）の各8分野において、今後の投資の選択と集中及び成果実現に向けた推進方策を総合科学技術会議がとりまとめる。

2. 概要

(1) 重要な研究開発課題（273課題）

今後5年間に政府が取り組むべき重要な課題を、将来波及予測、国際競争、政策目標への貢献、官民の役割分担など総合的な視点から抽出。各課題毎に研究開発目標及び成果目標を政府の責任部署とともに明記。

(2) 戦略重点科学技術（62科学技術）

- 前記重要課題の中から、急速に高まる社会・国民のニーズに迅速に対応すべきもの、国際競争を勝ち抜くために不可欠なもの、国主導で取り組む大規模プロジェクト（国家基幹技術）で今後5年間集中投資すべき科学技術を選定。
- 選定された戦略重点科学技術は、重点推進4分野においては約20%、推進4分野では約13%となった。

(3) 研究開発の推進方策

各分野において研究開発及び成果の社会還元を円滑に進めるための方策、例えばライフサイエンス分野では治験を含む臨床研究の体制整備、情報通信分野では次代を担う先導的IT人材の育成を推進すること等を明記。

(4) 留意点

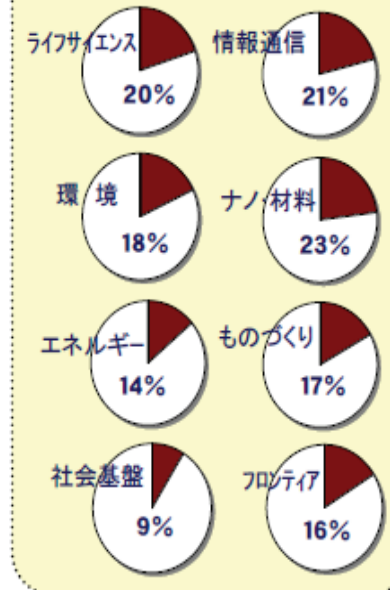
戦略重点科学技術は特に集中的に予算を伸ばすべきものとして選定するものであり、それ以外の科学技術予算についても、精査して資源配分を行う対象であることに変わらない。総合科学技術会議は予算の優先順位付け等において適切に判断していく。また、この分野別推進戦略の運用に当たっては、科学技術の発展など将来の情勢の変化にも柔軟に対応する。

(参考) 科学技術関係予算の概要

合計(平成18年度)
3兆573.3億円



分野毎の戦略重点科学技術の割合



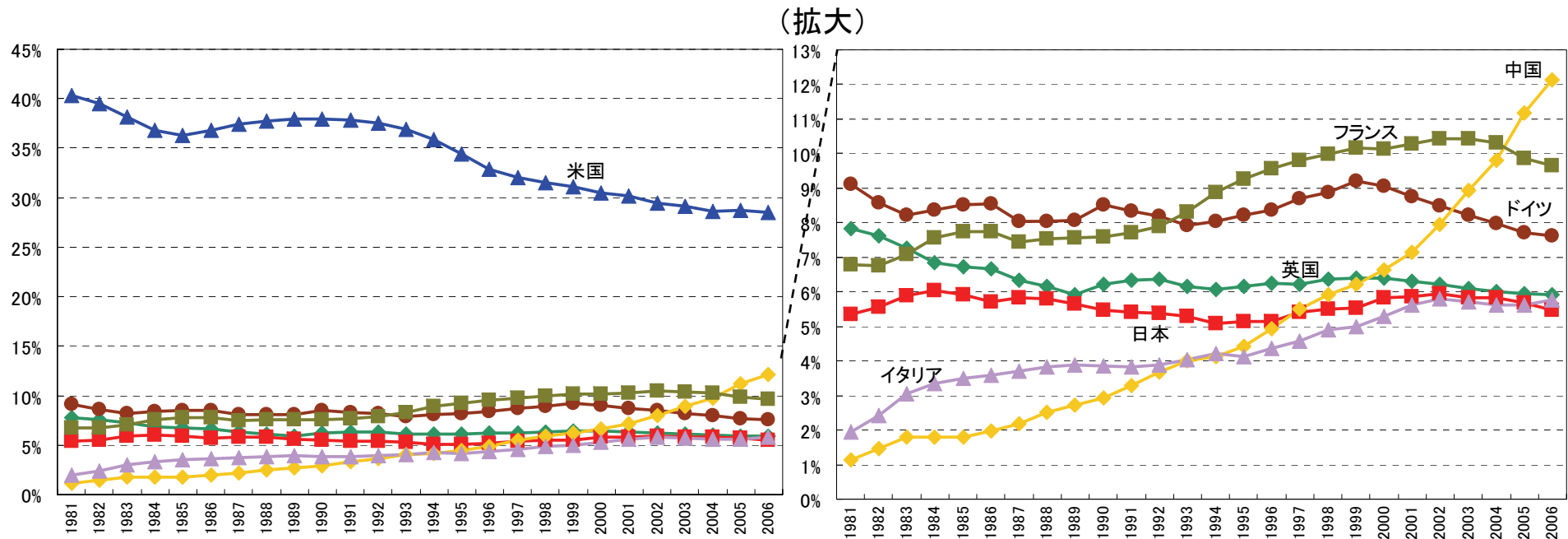
(注) 戦略重点科学技術の割合は最終調整中であり暫定値。

3. 世界における数学論文等の状況①

【数学研究論文数に関する主要国の世界シェアの推移】

※ 数学研究：純粋数学、応用数学、統計学、確率論などを含む数理科学 (mathematical science) に関する研究とする。

- 日本は1997年に中国に追い抜かれて現在は**世界第6～7位**
(1位から米国、中国、フランス、ドイツ、英国、(イタリア))
- 一方、全分野の論文数では日本は米国に次ぐ**世界第2位グループ(日、英、独、中)**



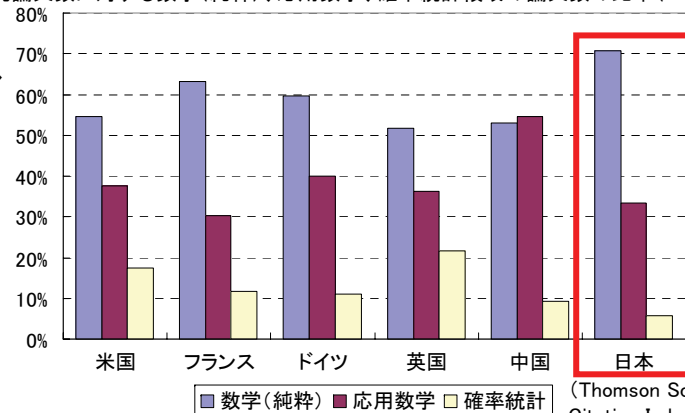
(Thomson Scientific社 Web of Scienceを基に、科学技術政策研究所が集計)

3. 世界における数学論文等の状況②

【各国における数学研究論文数に対する数学(純粋)、
応用数学、確率統計領域の論文数の比率】

- 日本、フランス: 純粋数学が多い。
- 米国、ドイツ、英国: 応用数学、確率統計が比較的多い。

数学研究論文数に対する数学(純粋)、応用数学、確率統計領域の論文数の比率(99-03年)



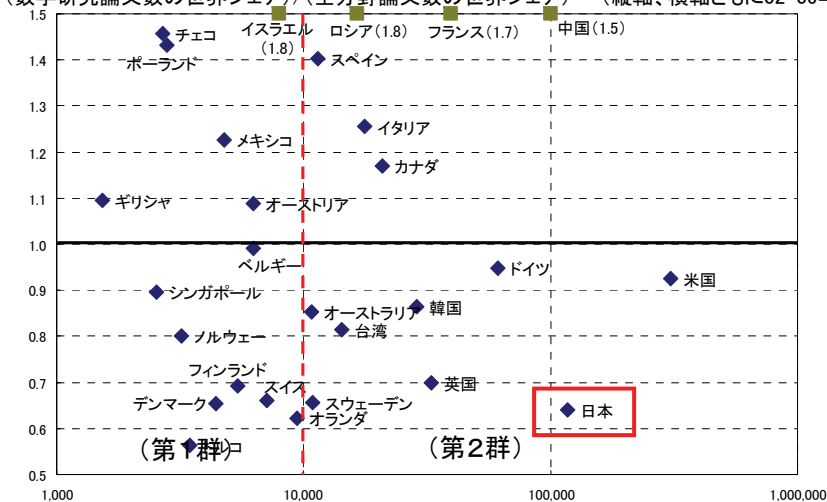
(Thomson Scientific社"Science Citation Index (1982-2003)"に基づき
科学技術政策研究所が集計)

【世界シェア比率と国内総研究開発費の関係】

○ (数学研究論文数の世界シェア)/(全分野論文数の世界シェア) という世界シェア比率

- 国と地域を国内総研究開発費100億ドルを境に2つの群に分類(右図)。
- 第1群における世界シェア比率の平均値は1.00
- 第2群における世界シェア比率の平均値は1.09

(数学研究論文数の世界シェア)/(全分野論文数の世界シェア) (縦軸、横軸ともに02-06年平均)



※ 全分野論文数上位30の国と地域が対象
(Thomson Scientific社 Web of Science 及び OECD Main Science and Technology Indicators 2007-2に基づき科学技術政策研究所が集計)

国内総研究開発費
(単位: 百万ドル)

世界第2位の研究開発費を擁する日本の世界シェア比が非常に小さいままでよいのか?

3. 世界における数学論文等の状況③

- 4年に一度開催される国際数学者会議(ICM)や国際産業応用数学会議(ICIAM)において、日本からの基調・招待講演者数はそれぞれ7位、5位となっている。

国際数学者会議(ICM)における基調・招待講演者数の国別推移(国順は86-06年平均)

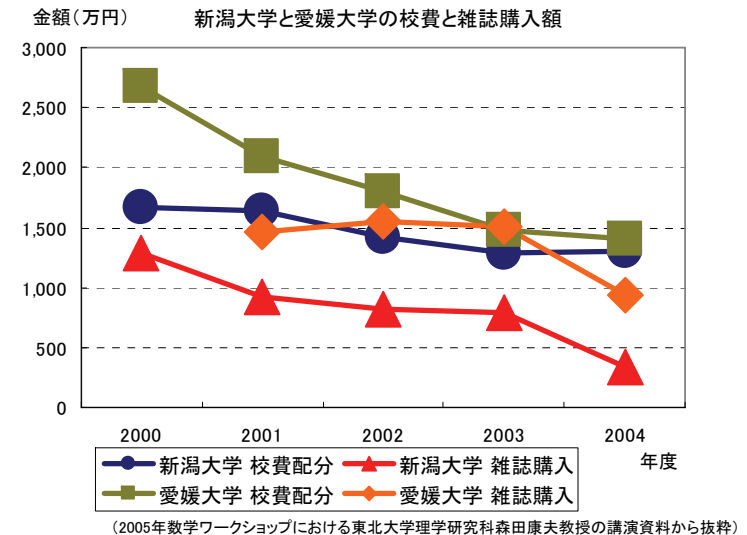
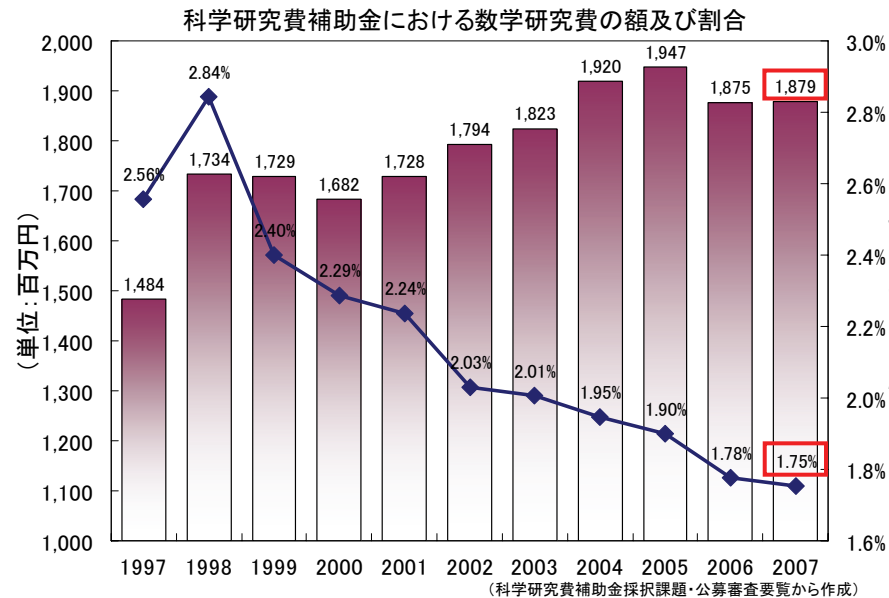
	国名	1986年 (於:米国)	1990年 (於:日本)	1994年 (於:スイス)	1998年 (於:ドイツ)	2002年 (於:中国)	2006年 (於:スペイン)
1	米国	(66)	63	78	90	78	89
2	フランス	18	19	21	23	26	28
3	ロシア	35	19	8	2	7	3
4	ドイツ	10	7	9	(15)	9	10
5	英国	5	7	7	8	7	13
6	イスラエル	5	4	4	9	10	6
7	日本	3	(24)	3	7	6	7
8	スイス	2	1	(5)	4	7	6
9	イタリア	5	1	1	5	5	4
10	カナダ	1	3	5	3	3	5
11	オランダ	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

国際産業応用数学会議(ICIAM)における基調・招待講演者数の国別推移(国順は99-07年平均)

		1999年 (於:英国)	2003年 (於:オーストラリア)	2007年 (於:スイス)
1	米国	10	10	13
2	ドイツ	4	3	3
3	英国	5	2	1
4	フランス	2	2	3
5	日本	3	1	2
6	カナダ	1	0	3
7	中国	1	1	1
7	イタリア	1	1	1
7	オーストラリア	1	2	0
10	オーストリア	1	1	0
10	オランダ	1	1	0
10	ロシア	1	1	0
13	ブラジル	0	0	1
13	イスラエル	0	0	1
13	ベルギー	0	1	0
13	シンガポール	0	1	0
13	スペイン	1	0	0
13	スウェーデン	1	0	0

4. 数学研究に関する各国の状況及び政府の取り組み【日本①】

- 科学研究費補助金の助成額及び一部の大学校費の状況(下図)、研究教育拠点形成を目的とする「21世紀COEプログラム」などから、政府の数学研究費の総額は**数十億円程度**と推測される。これは米国などと比べて低いと考えられる。



- 日本の代表的な数学研究所は、**京都大学数理解析研究所(1963年設立)**、**統計数理研究所(1944年設立)**など。一方、日本は**大学等において4,000人**(フランス、ドイツとほぼ同規模)の数学研究者を擁していると推測される。

- 科学技術基本計画などで数学研究振興を明示的に示す文言はなく、数学研究者と行政との関わりも弱かった。

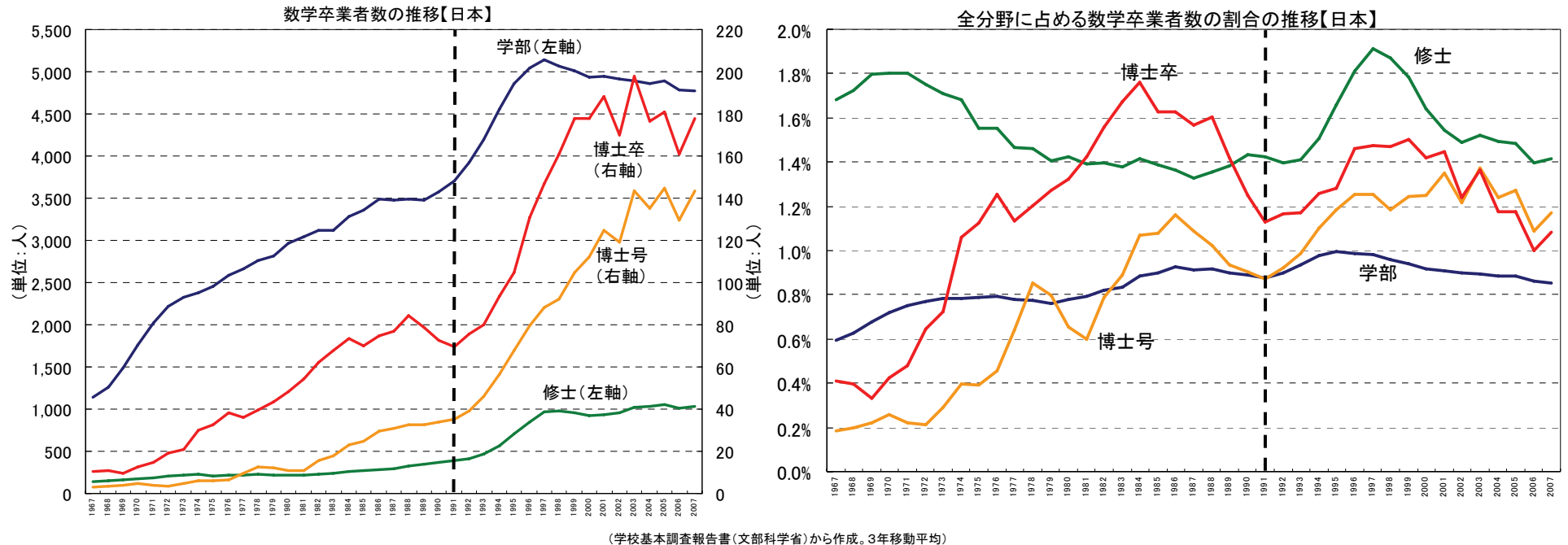
⇒ **分野別推進戦略(平成18年3月、総合科学技術会議)**の**情報通信分野**に「**数学研究者の育成強化は、情報通信技術や他の科学技術の進展に必須の政策**」旨の記述。

日本における数学研究関連学協会の例

学協会名	会員数
(社)日本数学会	約5,000
日本数学協会	869
日本応用数理学会	約1,800
日本統計学会	1,546

4. 数学研究に関する各国の状況及び政府の取り組み【日本②】

- 数学博士卒業者(約180人。全分野の1.1%) (左右図)の人数や割合の推移などから、昨今の日本において数学学生の人気は停滞していると推測される。

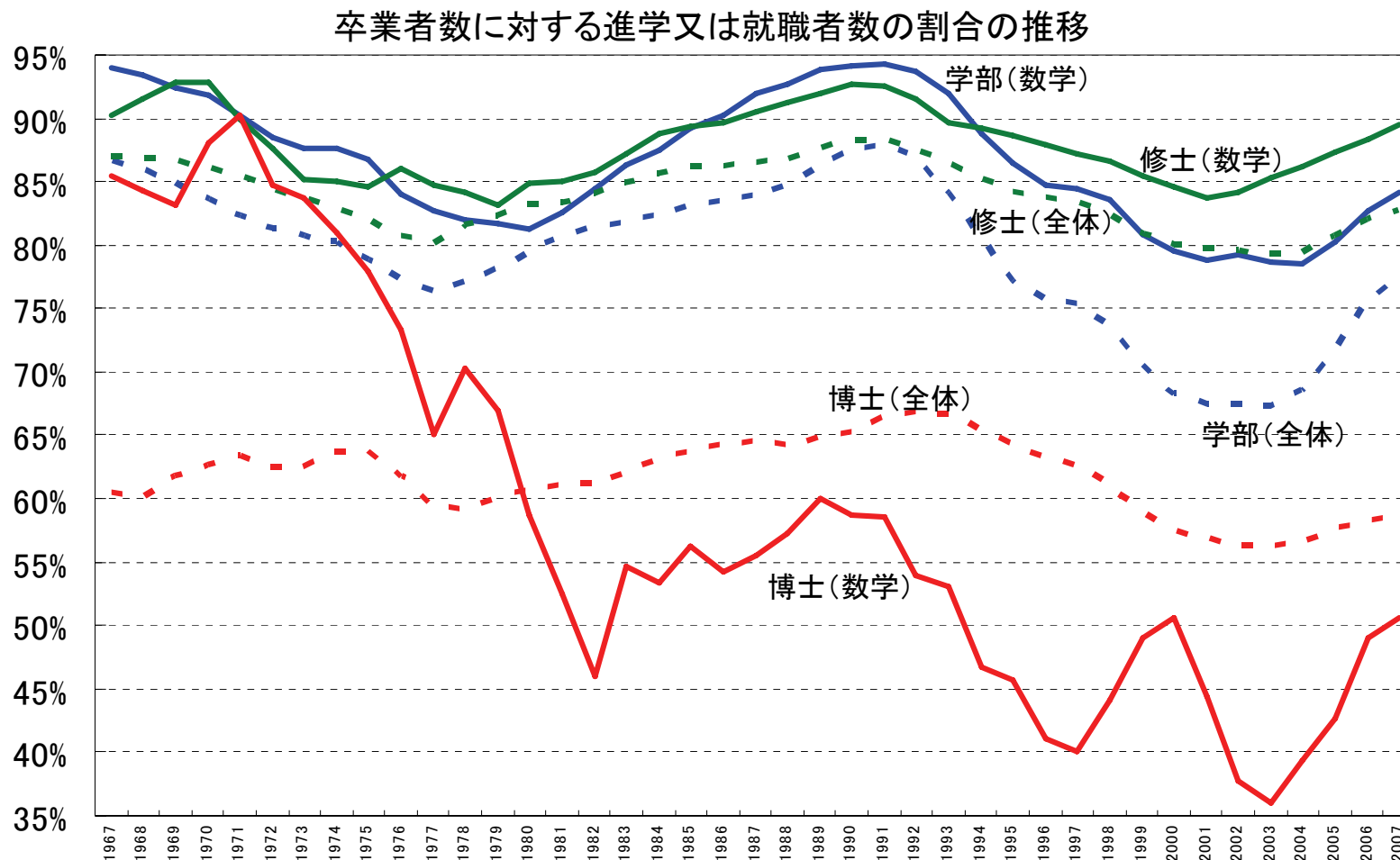


- ここ10年間程で、日本では科学技術基本法の制定(1995年)、同法に基づく科学技術基本計画の策定・実施(1996年～)、国立大学法人化(2004年)など様々な政策や施策が講じられてきた。

- 一方、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をもたらしたともいえる。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。

4. 数学研究に関する各国の状況及び政府の取り組み【日本③】

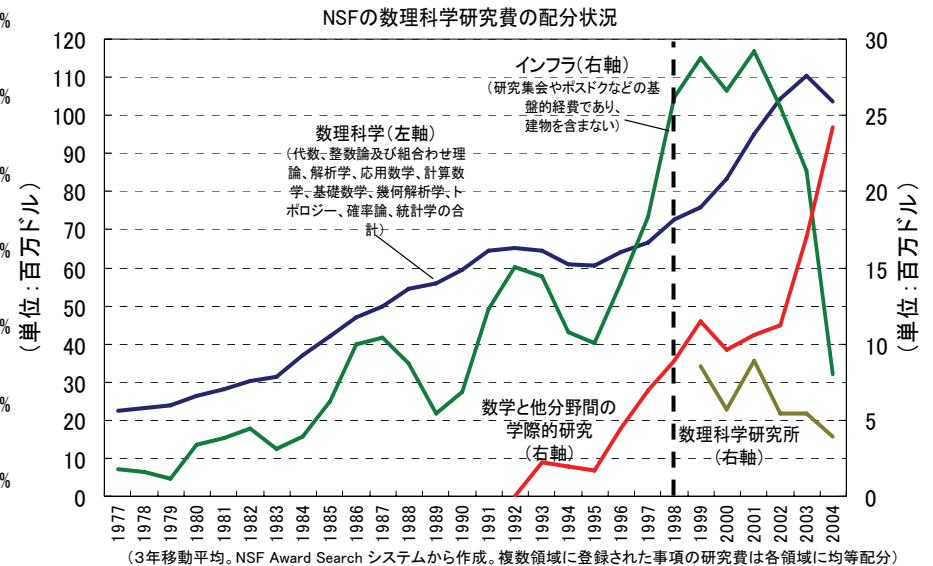
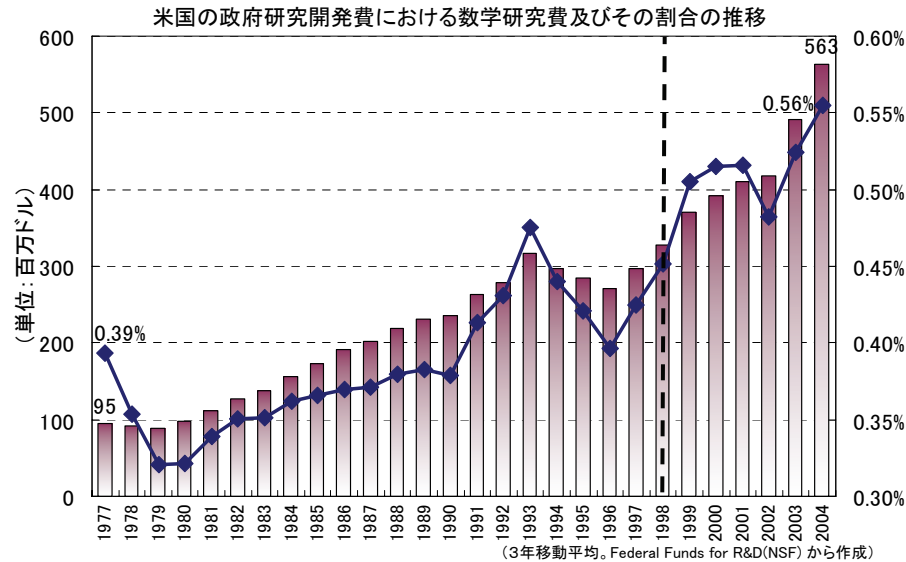
- 研究費調達の困難、博士卒業生の進学・就職率の低迷(50%、下図)など、日本の数学研究界全般にかかる事態は深刻なままである。



(学校基本調査報告書(文部科学省)から作成。3年移動平均)

4. 数学研究に関する各国の状況及び政府の取り組み【米国①】

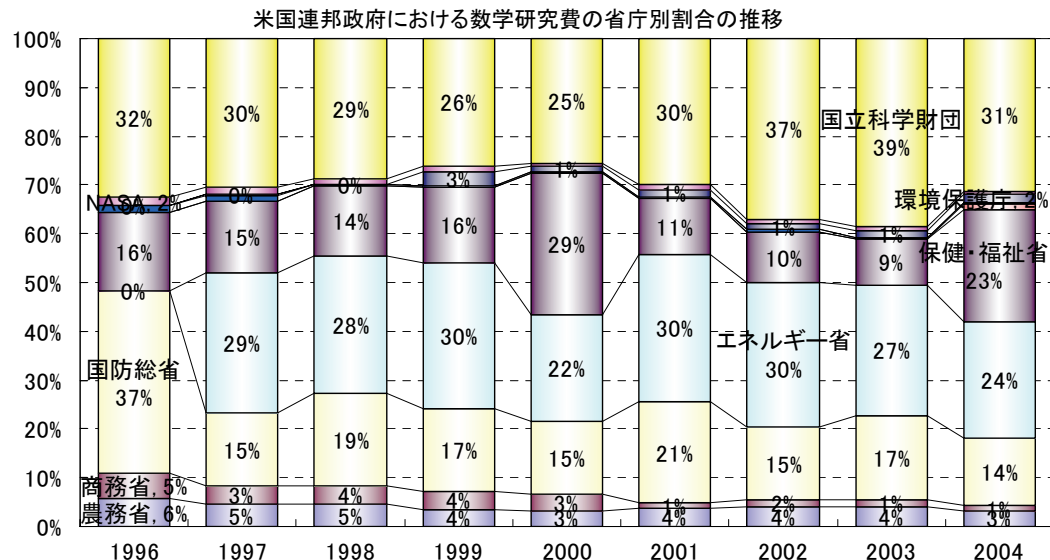
- 米国における数学研究費は調査対象国の中で最も大きく(約5.6億ドル)、増加している(左下図)。NSFなど複数の連邦政府省庁が数学研究予算を有し、数学研究振興を専任する課がある。



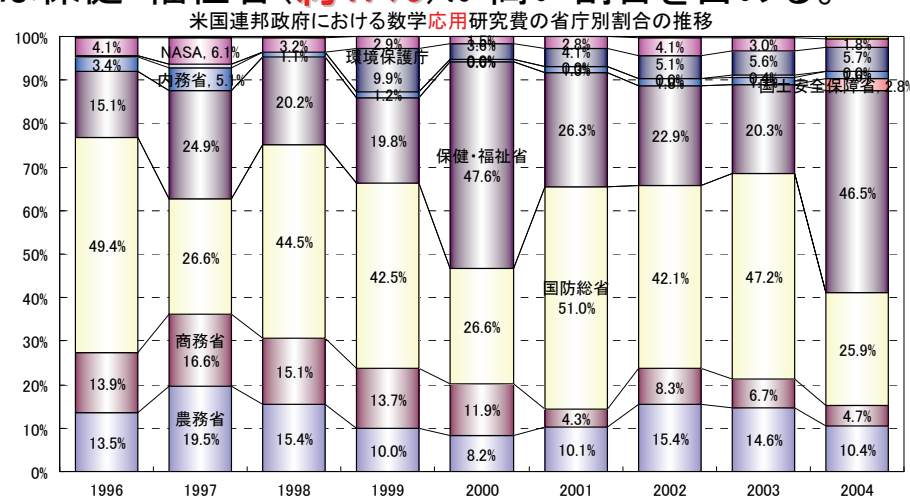
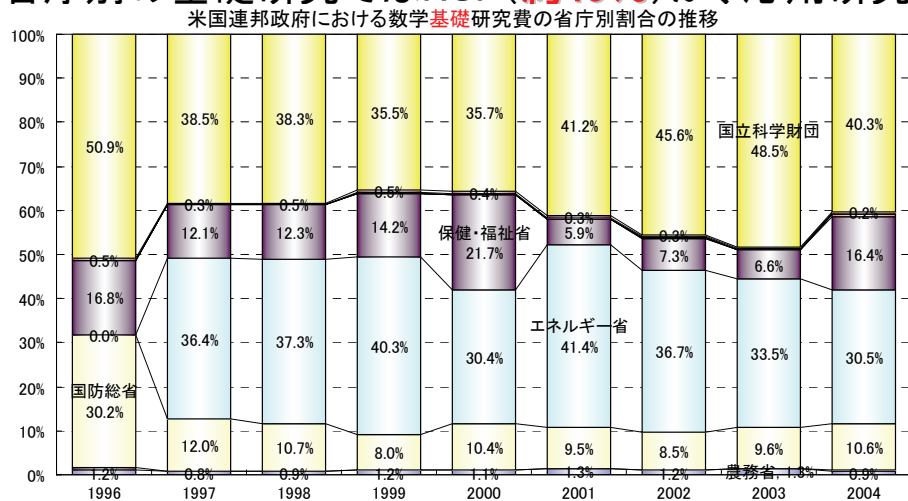
- 98年には**オドム・レポート**(NSF)がとりまとめられた。
 - ・米国数学の状況は旧ソ連など外国出身の研究者に依存しており脆く、数学研究資金は不足。
 - ・学術数学と大学外における数学研究や他分野との連結は不十分。
 - ・極度に複雑な未来の科学的問題には、数学モデル、シミュレーション、視覚化等の導入が必要。
 - ・資金配分機関が分野融合活動を認識し、それに資金援助を行うことが必要。加えて、分野融合の遂行には長い時間が必要。
- 98年頃からNSFの数理科学研究予算は急速に増加(97-06年平均で年間増加率10%)。そのうち、特にインフラ(基盤的経費)や研究所経費、学際分野の研究費などが増加(右上図)。また、現在でもDOEが**マルチスケール数学に関する国家プロジェクト**(05年度から、**2千万ドル**)を実施するなど、数学研究の振興に対する同国政府の関心は高い。

4. 数学研究に関する各国の状況及び政府の取り組み【米国②】

- 米国連邦政府における数学研究費の省庁別割合を見ると、NSFが最も高い割合(約31%)を占め、次いでエネルギー省(約24%)、保健・福祉省(約23%)、国防総省(約14%)など、多くの省庁で数学研究が行われている。



- 米国連邦政府における数学研究費のうち約80%が基礎研究であり、残りの約20%が応用研究である。省庁別の基礎研究ではNSF(約40%)が、応用研究では保健・福祉省(約47%)が高い割合を占める。



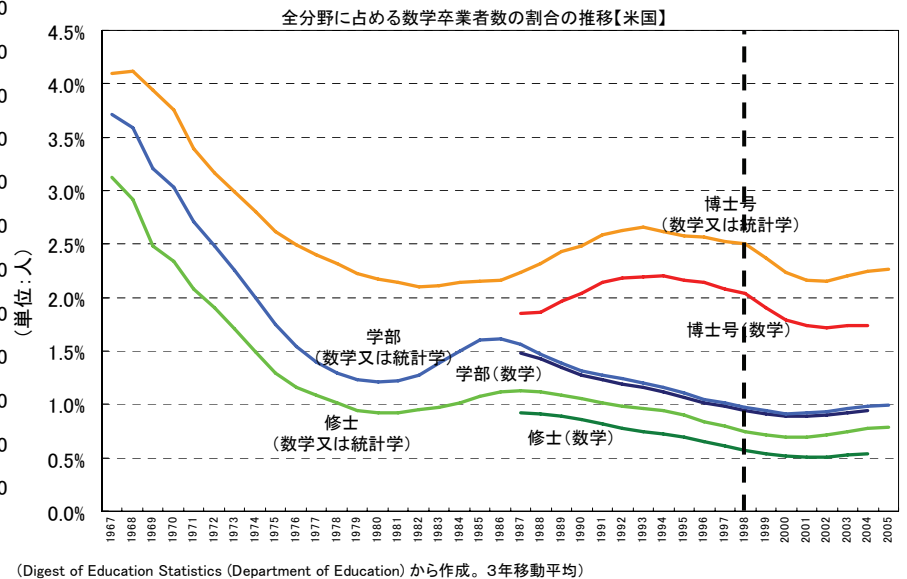
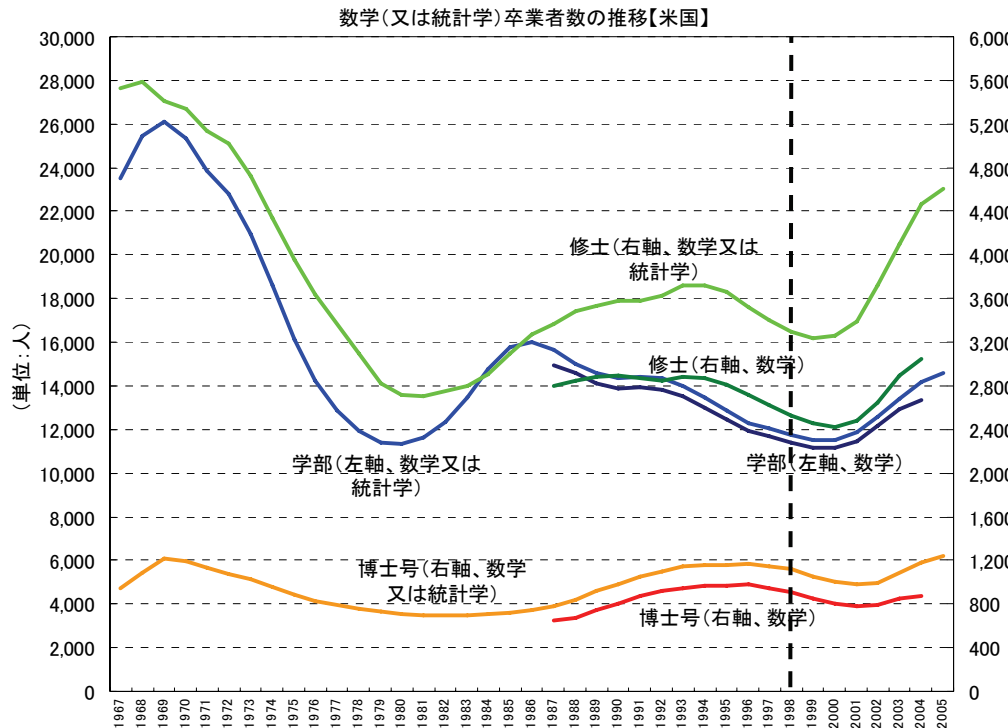
(Federal Funds for R&D(NSF) から作成)

4. 数学研究に関する各国の状況及び政府の取り組み【米国③】

- 数学者数は産業界も含めて**1万人から数万人**と推測(左下表)。
 米国の代表的な数学研究所は、**米国数学会(AIM)**、**プリンストン高等研究所(IAS)**、**ミネソタ大学数学・応用研究所(IMA)**、**カリフォルニア大学ロサンゼルス校純粋・応用数学研究所(IPAM)**、**数理科学研究所(MSRI)**、**ニューヨーク大学クーラント数学研究所(CIM)**など。

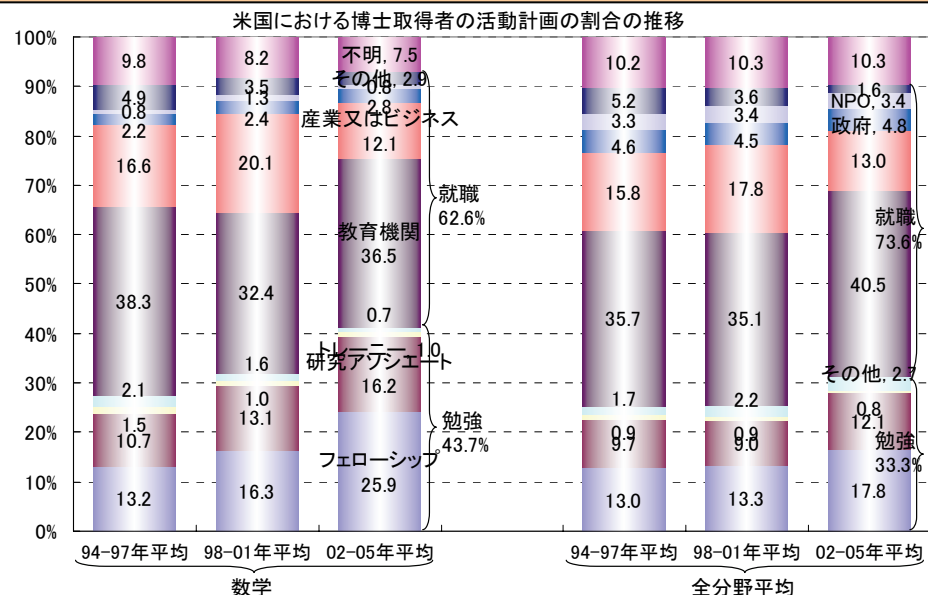
米国における数学研究関連学協会の場合

学協会名	会員数
米国数学会	29,538
米国工業応用数学会	10,000以上
米国統計学会	18,000

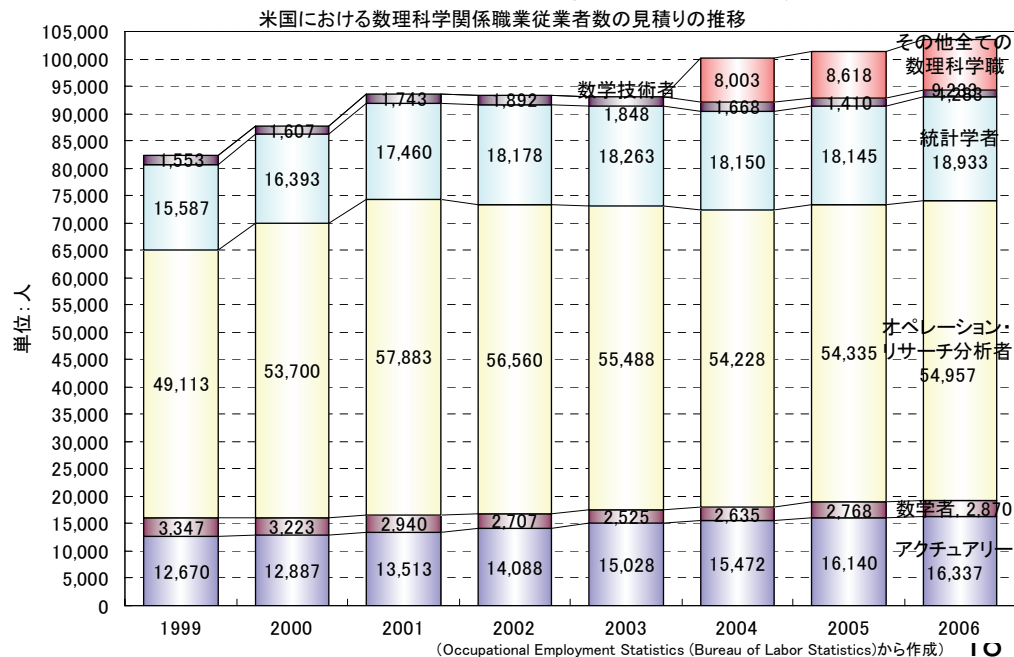


4. 数学研究に関する各国の状況及び政府の取り組み【米国④】

- 数学博士取得者の就職率は**63%**。全分野平均(74%)との差は主に教育機関で働く割合の差。
同国特有の事情として、数学又は統計学博士取得者(約1,200人、全分野の2.3%、前頁)に対する外国人学生の寄与が大きい(約5割)。
彼らの8~9割は博士号取得後も同国内に滞在しており、同国の数学研究力の大きな源泉となっていると思われる。

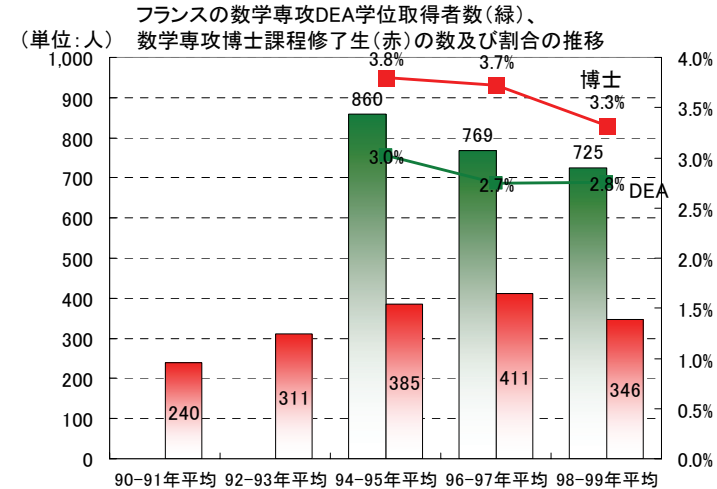
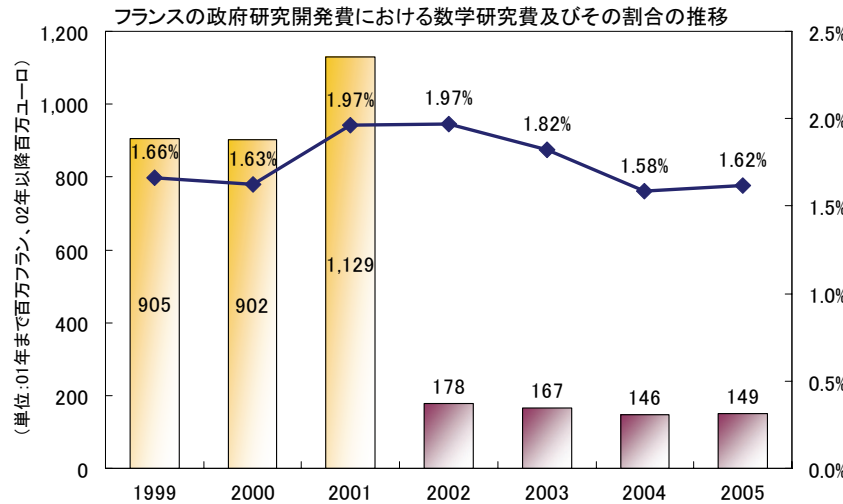


- 米国連邦政府労働統計局による職業雇用統計では、米国の数理科学関係職の従業者数は約10万人以上となっており、年々増加していることが分かる(右図)。
このうち、1999年から2006年の間で最も増加しているのはアクチュアリーであり、年間平均4.0%の割合で増加している。



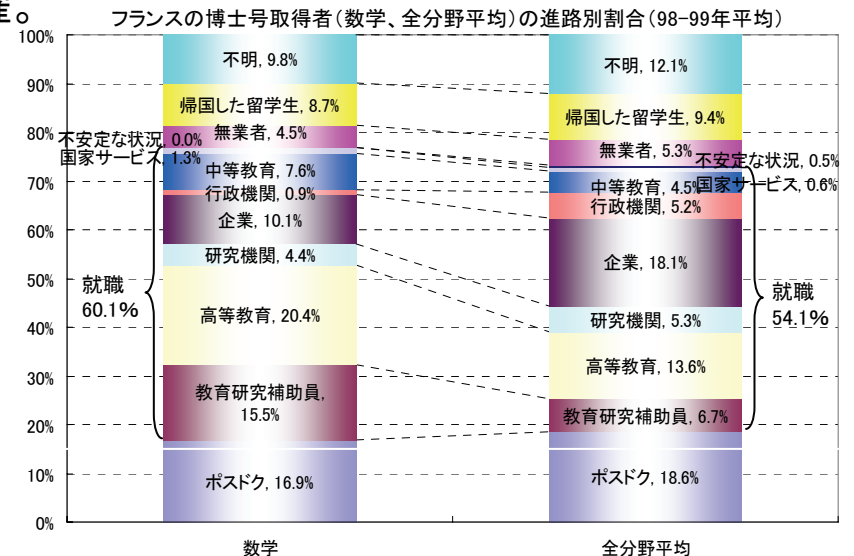
4. 数学研究に関する各国の状況及び政府の取り組み【フランス】

- 政府の数学研究費は約**150百万ユーロ**(左下図)。同国は全分野に占める数学研究の割合(研究費は**1.6%**、学生数は**2.5%**)が極めて高いことが特徴。



- フランス高等科学研究所(IHES)、ヘンリ・ポアンカレ研究所(IHP)などの数学研究所があり、**学术界に4,000人、産業界に2,000人**の数学研究者が活躍。

- 数学博士取得者は減少傾向だが、その数は多い(約**350人**、全分野の**3.3%**、右上図)。
 - ・米国ほどではないが、数学博士取得者に対する外国人学生の割合は高く(約3割)、彼らの7~8割は博士取得後もフランスに滞在する模様。
 - ・数学博士取得者の就職率は**60%**と全分野平均より高い(右図)。

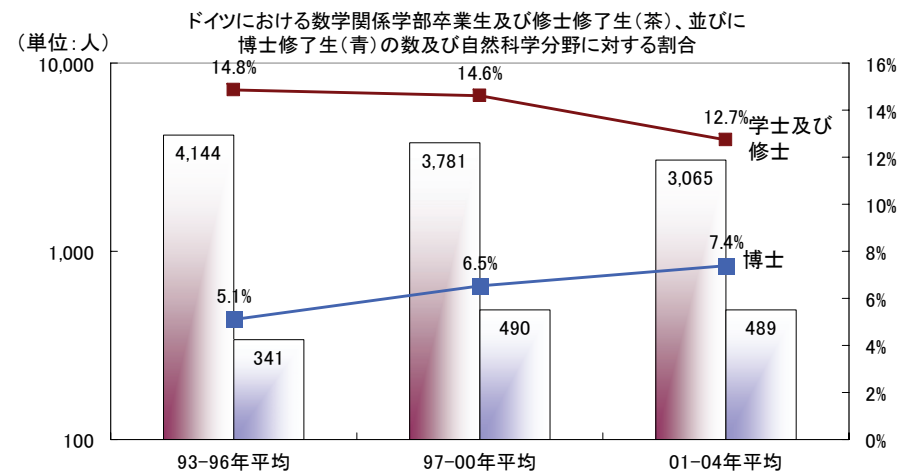
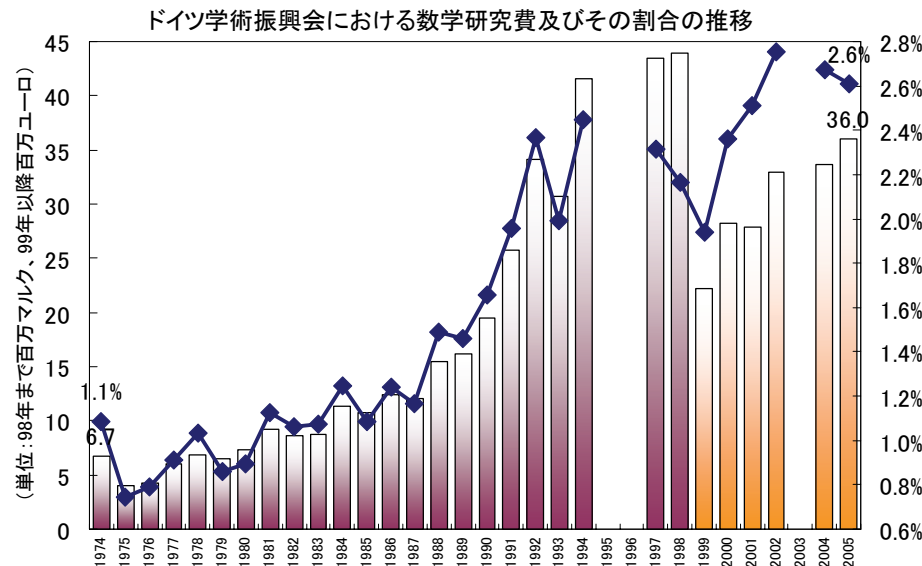


同国では数学研究の意義が広く認められ、社会的地位が高いと推測される。

4. 数学研究に関する各国の状況及び政府の取り組み【ドイツ】

- 政府の数学研究費の全貌は不明だが、ドイツ学術振興会 (DFG) のグラントにおける数学研究費は約**3.6千万ユーロ** (グラント全体の**2.6%**、左下図)。

同国では93年から数学研究に関する国家プログラムが実施されており、現在は第5期となる「**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 (2007年-2010年、連邦教育研究省) を実施中。



- **オーベルヴォルフハ数学研究所 (MFO)**、**マックス・プランク数学研究所 (MPIM)**、**ワイヤーストラス応用解析・推測統計学研究所 (WIAS)** などの数学研究所がある。近年、分野横断や大学と企業との連結強化を目的として、**フラウンホーファー産業数学研究所 (ITWM、01年)**、「**キーテクノロジーのための数学**」**研究センター (MATHEON、02年、連邦教育研究省から年間約5百万ユーロの資金供与)** を新設。

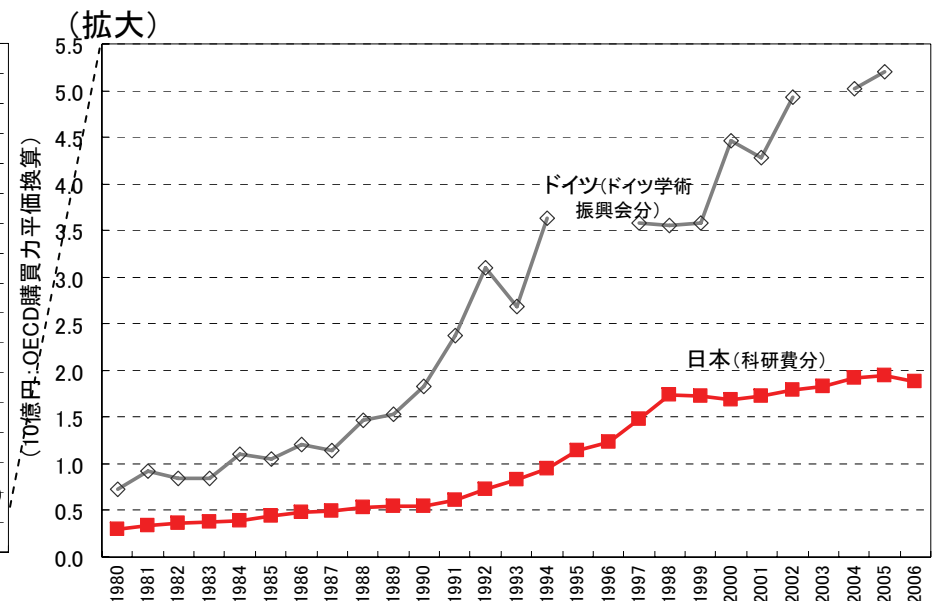
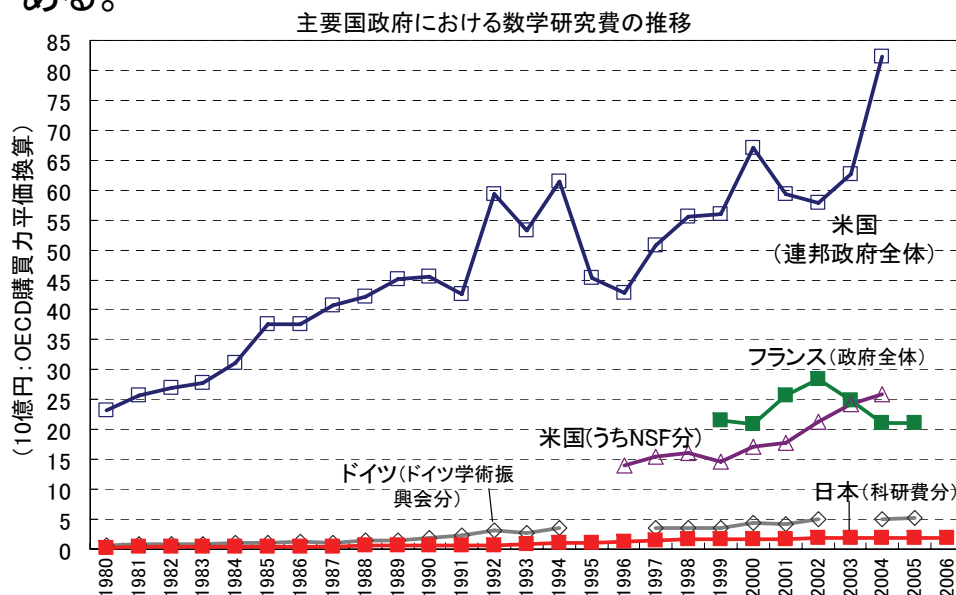
- 同国の大学における数学研究者数は約**4,000人**。数学博士取得者数は約**490人**で増加中であり (右上図)、このうち外国人学生は15%程度である。
数学博士取得者数の多さから、数学研究者の社会的な活躍の受け皿が充実している可能性がある。

数学イノベーションへの展開に向けて

4. 数学研究に関する各国の状況及び政府の取り組み【概観①】

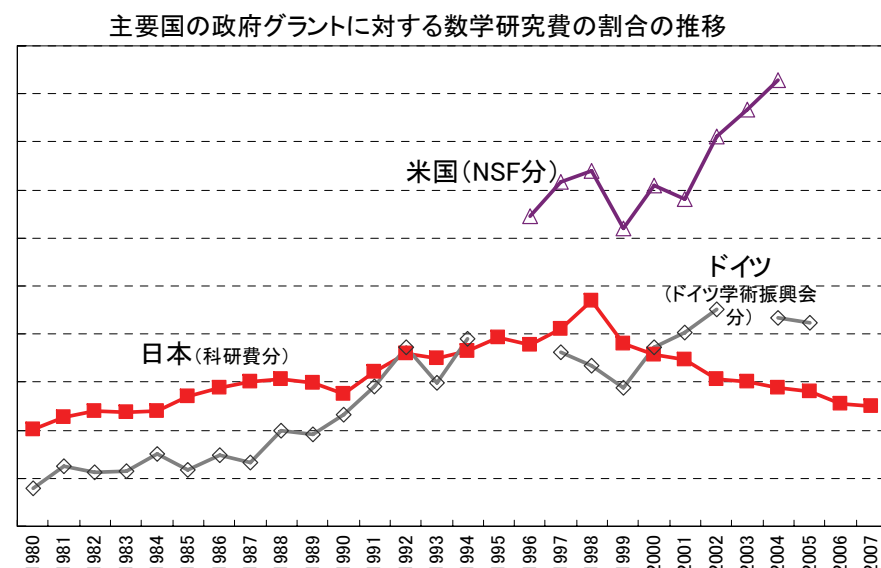
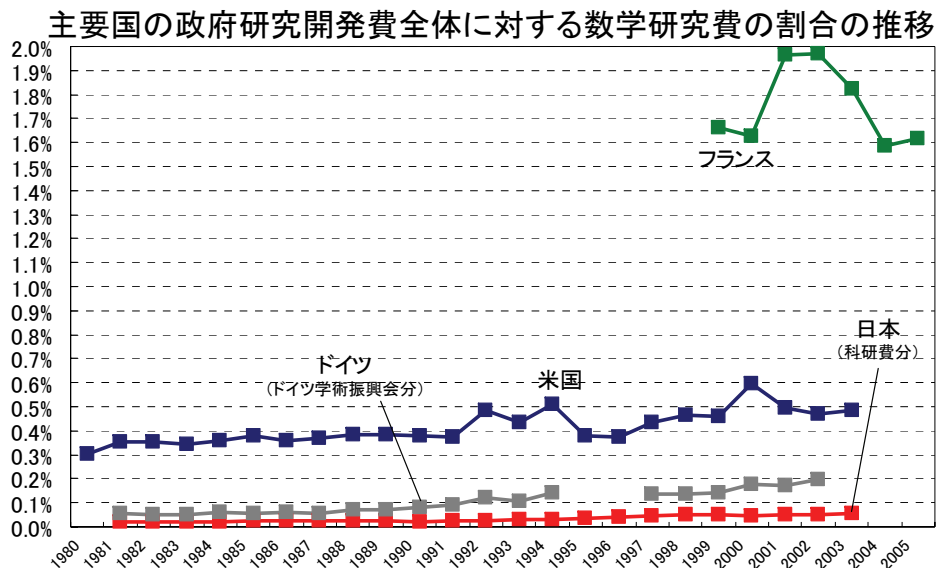
以下、主要国における数学研究の状況を概観する。

- 日本政府の数学研究費の全体像は不明だが、科研費では判明している(約19億円)。仮に日本政府の数学研究費全体が科研費における数学研究費の2倍としても、米国(約820億円)、フランス(約210億円)、ドイツ(ドイツ学術振興会からの資金のみ、約52億円)に及ばない。
- 日本(科研費のみ。以下同じ)、米国連邦政府、ドイツ(ドイツ学術振興会からの資金のみ。以下同じ)の数学研究費は長期的に増加傾向にある。
- 90年代初頭から科研費における数学研究費は比較的大きく増加していたが、99年以降その増加傾向は弱まっている。
一方、ドイツ学術振興会からの数学研究への資金は、90年代初頭から近年まで断続的に増加傾向にある。



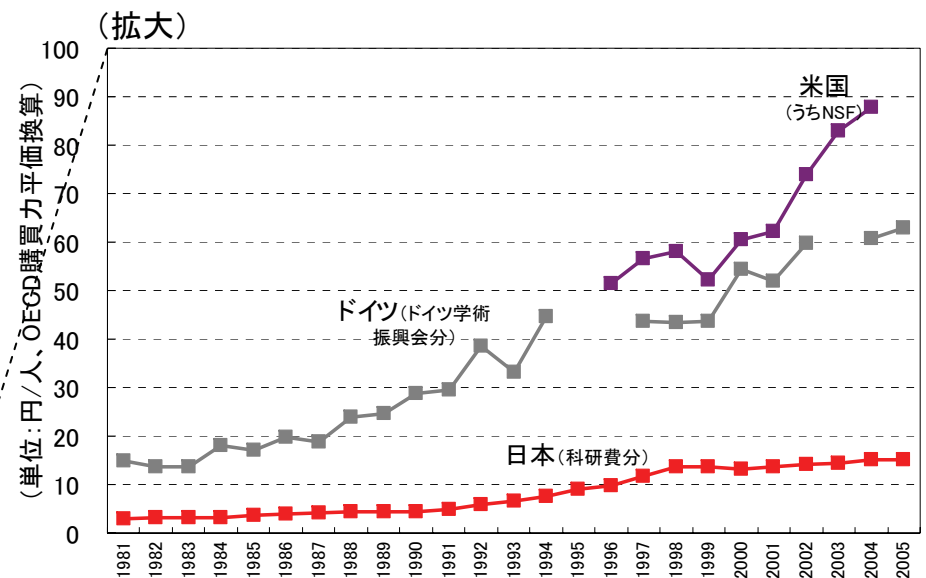
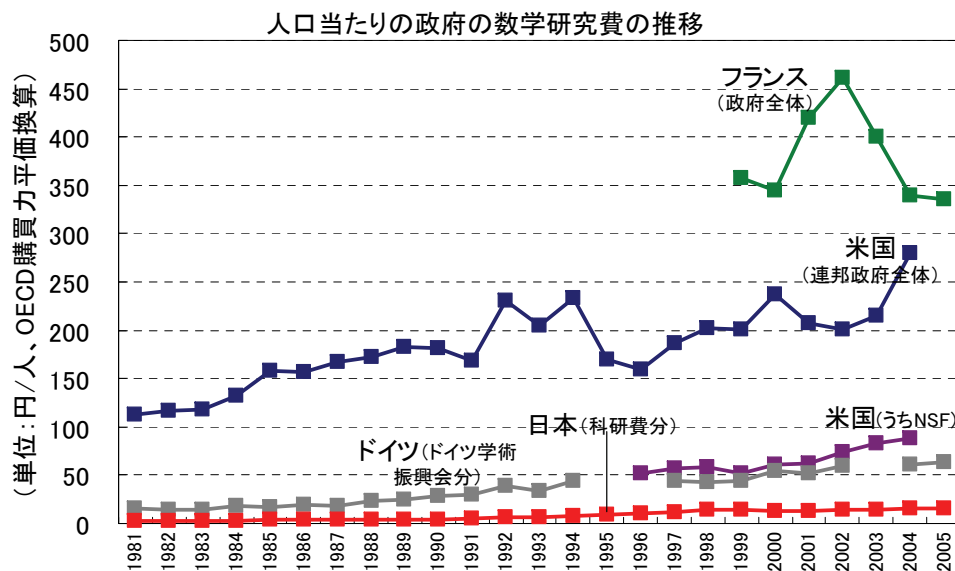
4. 数学研究に関する各国の状況及び政府の取り組み【概観②】

- 日本(科研費のみ)、米国、ドイツ(ドイツ学術振興会からの資金のみ)では、政府研究開発費全体に占める数学研究費の割合は長期的に緩やかな増加傾向にある。
- 現在、政府研究開発費に占める数学研究費の割合は、日本(約0.05%)、米国(約0.5%)、フランス(約1.6%)、ドイツ(約0.2%)である。
- 日本では、98年まで科研費に占める数学研究費の割合は増加傾向だったが、それ以降減少傾向に転じている。米国及びドイツのグラントに対する数学研究費の割合は長期的に増加傾向にある。現在、数学研究費の割合は日本が約1.8%、米国NSFが約5.2%、ドイツが約2.6%である。



4. 数学研究に関する各国の状況及び政府の取り組み【概観③】

- 国民一人当たり数学研究費は、米国、ドイツ、日本で増加傾向にある。
- 国民一人当たりの数学研究費は、日本(科研費のみ)で約15円、米国で約280円、フランスで約340円、ドイツ(ドイツ学術振興会からの資金のみ)で約63円である。
- 米国(うちNSF)では2001年頃から急速に増加し、ドイツでも長期的に増加している。一方、日本では1999年頃からほぼ横ばいになっている。



4. 数学研究に関する各国の状況及び政府の取り組み【概観④】

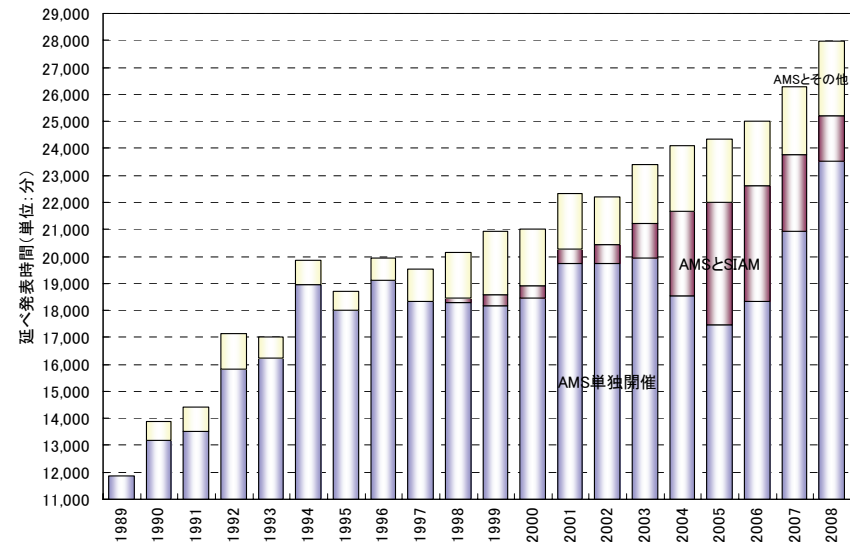
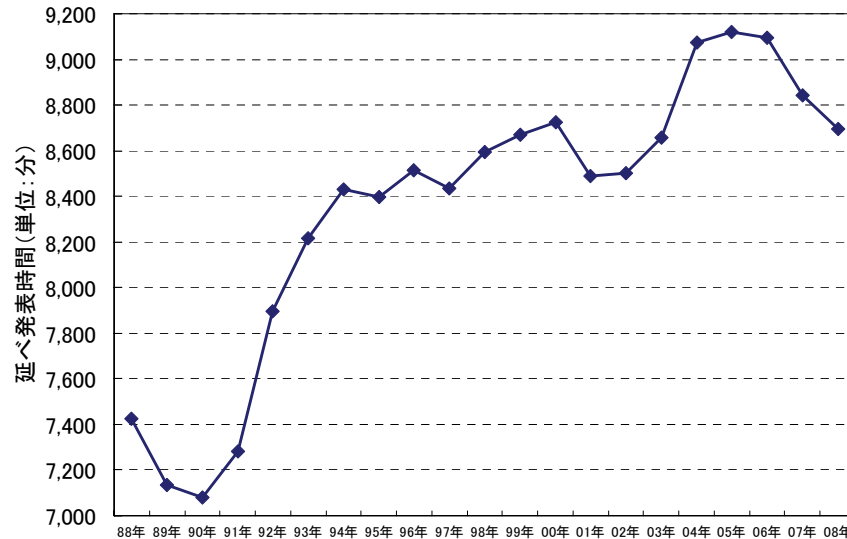
- 90年代以降、多くの国で数学研究所が設立されてきたが、日本ではこれに対応した動きが顕在化していない。

近年、国際数学者会議(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

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	

4. 数学研究に関する各国の状況及び政府の取り組み【概観⑤】

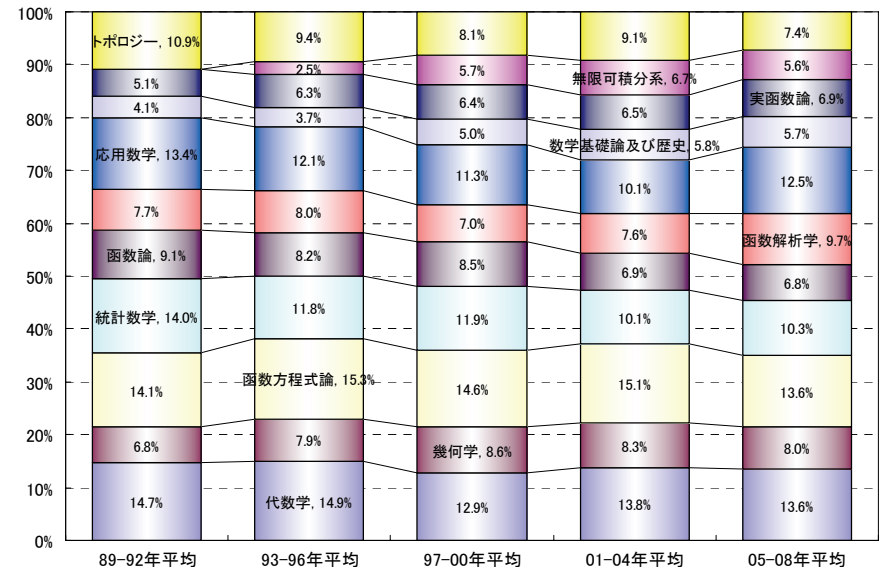
- 数学会の延べ発表時間(下図)でも、日本の数学研究は現状を維持できなくなりつつある。



(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(左図)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(右図)

- なお、日本数学会の延べ発表時間のセッション別内訳の推移(右図)を見ると、統計数学などの分科会の割合が低下していることが分かる。

- 以上、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な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。

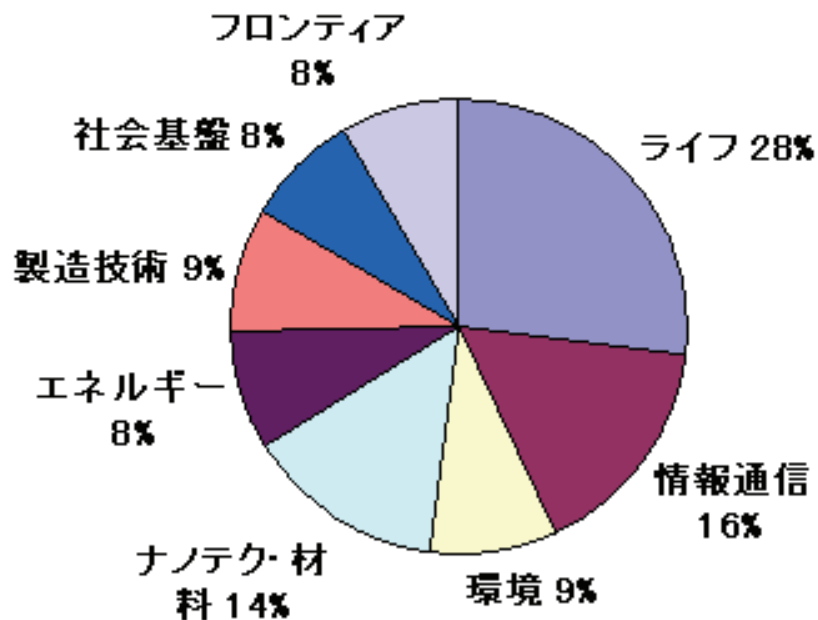


5. 日本における数学研究ニーズに関するアンケート調査結果①

○ 調査方法

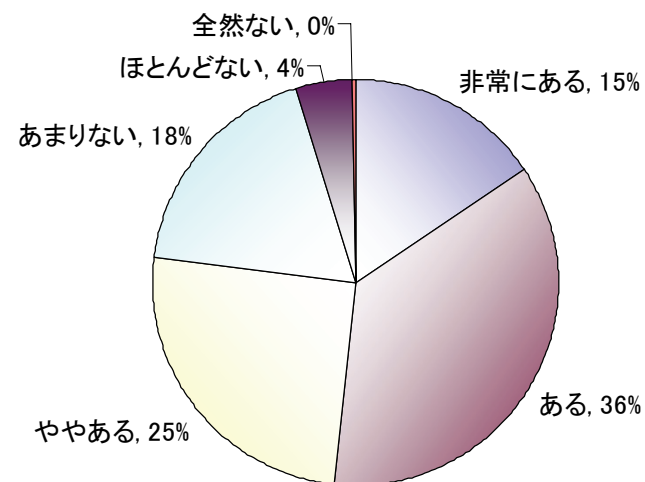
科学技術政策研究所の専門家ネットワークのメンバーにアンケートを実施し、402名から回答（調査期間は05年10月5日～05年10月26日）。

○ 回答者の専門分野の人数割合



- ・ ライフサイエンス(28%)、情報通信(16%)、ナノテクノロジー・材料(14%)の順に多い。

Q あなたの研究と数学との関わりの程度は？



(結果)

- ・ 回答者の77%が「非常にある」、「ある」又は「ややある」と回答。
- ・ 回答者の専門分野で見ると、情報通信、フロンティアでは高く(90%以上)、ライフサイエンスでは若干低い(76%)ものの、極端に低い分野はない。

5. 日本における数学研究ニーズに関するアンケート調査結果②

Q あなたの研究チームに数学をバックグラウンドに持つ人は含まれていますか？



Q あなたのライバルとなる欧米の研究チームに数学をバックグラウンドに持つ人は含まれていますか？



Q 将来的にあなたの研究チームに数学をバックグラウンドに持つ人は必要ですか？



Q あなたの研究において数学の貢献を期待したい課題がありますか？



5. 日本における数学研究ニーズに関するアンケート調査結果③

○ 結果のまとめ(続き)

- ・ その他数学に関連する主な意見
 - ～ 基礎科学としての数学の重要性を認識することが必要
 - ・ 短絡的に数学の有用性や経済性のみを考えないで数学を推進すべき
 - ・ 応用数学の基盤として純粋数学も必要
 - ～ より多くの数学研究者が応用分野や実学に興味をもって欲しい
 - ～ 応用分野や実学に取り組む数学研究者の育成が必要
 - ～ 数学研究者と他分野研究者が交流する場が必要
 - ～ 数学以外の分野を専攻する大学生に対する数学教育の改善と充実が必要
 - ～ 初等・中等教育における数学教育の改善が必要

6. 米国現地調査(2006年7月)のまとめ

- 2006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。その結果、以下のことが判明した。
 - (1) 米国連邦政府は、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、政策として数学の特定の領域を限定して振興することは危険であると認識している。
それとともに、連邦政府や数学研究所は、①数学内の異領域間の交流(interface)、②純粋数学と応用数学の交流、及び③数学と他の科学分野の交流のそれぞれを重視している。
 - (2) 日本の状況に関する認識は以下のとおり。
 - ① 日本で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を失っているように見える。日本も数学研究拠点を整備すべきである。
 - ② 大きな産業を擁する日本では、多くの分野の研究機関や産業からの応用数学に対する需要を有しているはずである。
 - ③ 日本の政府は、数学が持つ魅力や可能性を一般の人々や産業に伝える活動を拡大すべきである。
 - (3) 米国をはじめ世界において、常勤研究者が主体となる研究拠点とともに、滞在型の数学研究拠点が次々と設立されている。
 - 滞在型研究拠点の構築・運営の重要なポイント
 - 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。高い研究の質を確保することによって、優秀な研究者がそこに行きたいと思うような信用を得る必要がある。
 - ② 数学研究では研究者間の議論が極めて重要であるため、彼らが互いに容易に議論をすることができる環境が整備されていること。
 - ③ そのような流動性を確保するため、多くの訪問研究者(visitor)が行き来するシステムを構築すること。
 - ④ 研究者には分野間の専門用語の違いなど「異分野間の溝」を乗り越える根気と寛容さが求められる。

6. 外国からの追加的示唆

- 米国科学財団(NSF)の数学研究費倍増時期(99-01年頃)の元数理科学課長
 - NSF内部における予算獲得は、競争的かつ熱狂的なゲームである。
 - 自分はプログラム・ディレクター(研究者)に対してあまり細かいことは言わなかった。科学審議会(National Science Board)と私が彼らに対して出した指示は、「研究者の研究をフォローし、研究を小さくせず、内容のあるものとせよ。そして、ベストな人々を見つけ、彼らが必要とするものを与えよ。」というものだった。
 - 米国では、良質な数学適性を伴う人はアナリストやシステムエンジニアなどの仕事でもうまくいく。しかし、学生はそれを知らない。もし数学が得意だとしても、数学とラベルされた仕事は多くない。多くの場合、これは問題ではないが、数学者でさえこのことをうまく説明できない。数学教授のところにやってくる若い学生にとって、仕事といえば教授だけである。数学者の中には教授だけがよい仕事だと言う人もいる。しかし、現実急速に変化している。この10年間でより良くなったように思う。

- フランス高等科学研究所(IHES)所長
 - (visitorの申請に対してIHESの審査基準如何)まず人物考査、そして研究の優秀性の度合、なるべくオリジナル性の高い、平凡ではない人たちを採用しようと心がけている。もちろん、人物も優秀でなければならないし、実力も高いレベルでなくてはいけないし、比較的若い人を優先することを心がけている。
 - IHESでは研究者に完全な自由を常に与える。イニチアシブは研究者任せであり、こちらからとやかかく口出しはしない。この原則は今後も守るつもりだ。もちろんリスクもある。小さな研究所だから賭けでもある。しかし、自由にさせることを選ぶ。
 - 日本は数学が技術発展でどういう役割を果たすべきかを深く考え直す必要があるのではないか。

7. 数学研究の現代的意義の一面と課題①

- 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。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高くないかもしれないが、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、うまくいかなかった場合でも、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、躊躇する理由はとぼしい。

- 日本において、このような観点からの数学研究がこれまで大々的に行われてこなかった背景には次のことが考えられる。
 - (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研究者は自然と損をする構造になっているようにみえる。

- 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。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。

7. 数学研究の現代的意義の一面と課題②

(2) 「応用の基礎」、「基礎の応用」への認識の低さ

- 筆者の経験では、日本の一部の数学研究者は、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。
- 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。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。

7. 数学研究の現代的意義の一面と課題③

(3) 数学研究の不幸な境遇

- 最近では、数学研究者が思考を繰り返す、その成果を論文にまとめる時間がとれない。その原因は教育関連業務と、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がある。
その上、そもそも米国などと比べて少ない日本の数学教室の事務員数がさらに削減されている。
- 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に、他の研究者と直接会って意見交換する場と旅費が必要である。しかし、優秀な研究者が来てくれそうでも研究場所(部屋や座席)を確保できないこともあるようだ。また、出張旅費の工面も難しくなってきた。日本には、米国のように研究所やプロジェクト主体が研究集会に来る研究者に旅費を補助したり、その研究者の講義の代替教員を雇用経費を支出するといったシステムはないようだ。
- 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。

8. 数学と産業の関係：数学の移転 (transfer) に専念する研究機関

○ 日本には数学の移転に専念する研究機関はないが、米国などでは以下のような研究機関がある。

【米国】 数学の移転は下記研究所の目標の一つ。

- ・ ミネソタ大学数学・応用研究所 (IMA、1982年～)
- ・ カリフォルニア大学ロサンゼルス校 (UCLA) 純粋・応用数学研究所 (IPAM、2000年～)
- ・ 統計・応用数理科学研究所 (SAMSI、2002年～)
- ・ 離散数学・理論コンピュータ科学センター (DIMACS、1989年～)
- ・ 数理生命科学研究所 (MBI、2002年～)
- ・ 国立統計科学研究所 (NISS、1991年～)

【ドイツ】 下記のほか、いくつかの大学にもセンターが設置され、産業界と協力。

- ・ フラウンホーファー技術数学及び産業数学研究所 (ITWM、2001年～)
- ・ フラウンホーファー・チャルマース産業数学研究センター (FCC、2001年～、於：スウェーデン)
- ・ パーダーボルン大学産業数学研究所 (IFIM、2006年～)
- ・ ベルリン・コンラート・ツーゼ情報技術センター (ZIB、1984年～)
- ・ ワイヤストラス応用解析確率統計学研究所 (WIAS、1992年～)
- ・ ドイツ研究協会 (DFG) 研究センター「キーテクノロジーのための数学」(MATHEON、2000年～)

【英国】

- ・ スミス産業数学・システム工学研究所 (1997年～) は「産業数学のための知識移転ネットワーク (KTN)」を管理 (3年間に150万ポンド。約200の企業と40の大学が関与)。
- ・ オックスフォード産業数学・応用数学センター (OCIAM) のほか、マンチェスター大学やノッティンガム大学には産業数学の研究グループがある。
- ・ オックスフォード大学、バース大学、ロンドン大学ユニバーシティ・カレッジ、ブリストル大学、マンチェスター大学などには、産業界のパートナーと取り組む修士課程がある。

(OECD/GSFF「産業における数学」ワークショップ(於：ドイツ ハイデルベルク)
配布資料から科学技術政策研究所が作成)

大規模な経済を擁する日本にも「数学の移転に専念する研究機関」はあってもよいのでは？

9. 数学と他分野との学際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た書籍「数学イノベーション」に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の方々に、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、今後に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、新たな数学から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。
- (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。
- (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(予測できた段階で上記(2)となる)。
- 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。

10. 日本政府の対応とこれから

- 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「分野別推進戦略」(総合科学技術会議)
 - ・ 2006年6月「イノベーション創出総合戦略」(総合科学技術会議)
 - ・ 2007年6月「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。

- 2007年度には科学技術振興機構(JST)のさきがけ研究(PRESTO)に数学研究に関する領域「数学と諸分野の協働によるブレークスルーの探索」が設けられ、14倍以上の競争をくぐりぬけた12課題が採択された。

また、同年度の文部科学省の「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り、数学関連課題として「数物連携宇宙研究機構」(東京大学)が採択された。

- 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、これらだけでは不十分である。例えば、JSTのPRESTOは4. 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、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ネットワーク型の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。

11. まとめ①

- 日本の数学研究を取り巻く状況
 - 米、仏、独などと比較して、日本の数学を取り巻く状況は楽観できない。
 - 米、仏、独などは数学を振興するとともに、その応用も重視し、数学と他分野科学、産業界との連携を強化。
 - 日本でも、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痛感。

- 数学研究の振興の必要性
 - 数学研究の振興は、イノベーションの可能性を増加させるという意味でも重要である。
 - 「モノや構造を支配する原理を見出す」ことによるブレークスルー
 - 金融工学、サービスサイエンスなど新たな産業的展開
 - 日本が広範な分野の研究開発を推進していく上で、数学研究はその基盤となる。

- 数学研究振興の視点
 - 基礎となる数学自体を強化しつつ、数学と他分野との学際的研究をいかに推進するか。
 - 数学研究者が活発に「思考を巡らす」ことを可能とするために必要なことは何か。
 - 基礎的な数学研究から短期間に具体的効果を求めることができない場合もある。

11. まとめ②

- 数学(あるいは数学に代表される理論科学)の振興策
 - 基礎となる数学自体を強化しつつ、数学と他分野との学際的研究をいかに推進するか。
 - 若手研究者の独立性、研究者の流動性の高さなど、数学には他分野よりさきがけている部分があり、数学振興策の検討自体に他分野振興策に対するインプリケーションが大きい。
 - 日本の大学集団の中における数学研究の構造の把握と強化
 - 他分野、産業界との連携構造の構築・強化
 - 世界との連携構造の構築・強化

- 目標
 - 日本の科学研究に一層の“深み”をもたらすこと
 - 概念化の強化 科学における日本の発信力
 - イノベーションへの貢献