

数学を活用した異分野融合研究のための人材育成

東北大学知の創出センター 前田 吉昭

I. はじめに

私は、「数学教育」に対する信念も洞察ももっておらず、このような機会をいただいてもお役に立てることはあまりありそうになく後悔している状況です。私が出来そうなこととして、この10年あまりの間に、私が関わってきた活動を通して、新しい形の数学人材を育成する課題についてこの場をお借りして話題提供をさせていただければと思っております。

数学の社会への貢献は？という問いに対して、数学に関わるどなたから見ても、数学研究による学術的・文化的貢献と教育への貢献については認知される場所だと思います。ところで、もう少し直接的な意味での社会への貢献として、数学に関わる時代がきているのでは（もとのあったのかもしれませんが）と考える次第です。

今回の講演では、

1. 数学・数理科学から社会への貢献に向かって
2. 文部科学省委託調査

「数学・数理科学を活用した異分野融合研究委託調査報告」から

3. 日本数学会での博士課程人材の育成

を中心として述べさせていただこうと思います。特に、2. に挙げた報告書、

（1）平成27年度文部科学省委託事業「数学・数理科学を活用した異分野融合研究の動向調査」

（参照：

[http://www.mext.go.jp/component/a\\_menu/science/detail/\\_icsFiles/afieldfile/2016/04/06/1362851\\_07.pdf](http://www.mext.go.jp/component/a_menu/science/detail/_icsFiles/afieldfile/2016/04/06/1362851_07.pdf)）

（2）日本数学会社会連携協議会の活動

（参考：<http://mathsoc.jp/administration/career/kouryukai2017.html>）

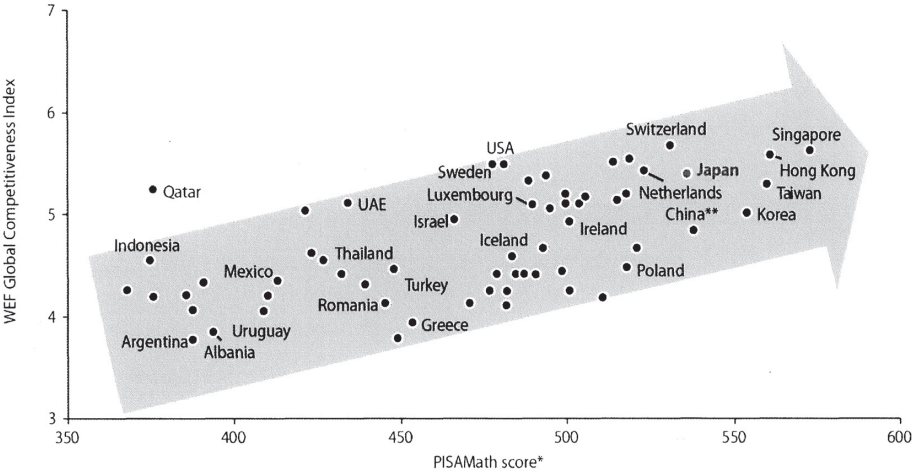
を中心にして、数学を活用した異分野融合研究へ向かう数学人材の育成について、まとめられればと考えております。なお、以下の原稿では、特に上記2で行った委託調査での資料や文章を引用している個所が多々あることをご了解ください。

II. 数学は社会の指標

数学は、社会の指標として使われる。特に、世界各国の経済と数学能力の相関はよく用いられる。その意味でも、数学は社会から重要であるという認識があると考えてよいだろう。実際、社会における指標調査が多くあり、その中に、数学の社会への貢献について、今までとは違う動きが見て取れることの例がある。

例えば、以下は数学の資質と経済との関係を調べたデータである。PISA による各国の数学能力と OECD の調査による経済発展の相関が見て取れる。

Figure 4. Relation between mathematical ability and country competitiveness



\* Mathematical ability as defined by OECD – PISA study among 15 year old

\*\* PISA score of Macao

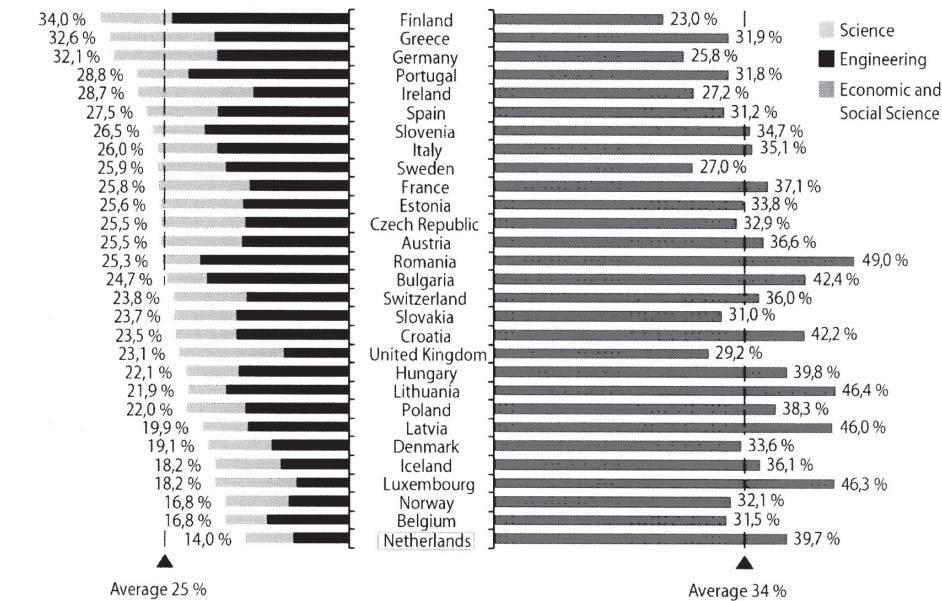
Source: World Economic Forum (2013), OECD-PISA(2013); Deloitte analysis

また、米国会計事務所 Diloitte による数学が経済効果にどう貢献しているかという推定を行っている。数学・数理科学が果たす経済効果は直接的なもので 10%、間接的では 25%程度あるという主張である。オランダとイギリスでの産業関連表を用いて分析を行っているようだが、正直、この算出根拠はあまりはっきりしない。このような指標がもう少し明確にできればよいとは思っている。

|    | Employment (×) |      |     |    | Gross Value |      |     |    |
|----|----------------|------|-----|----|-------------|------|-----|----|
|    | Dir            | Indi | Ind | T  | Dir         | Indi | Ind | T  |
| NL | 9              | 5    | 7   | 2, | 7           | 3    | 5   | 15 |
|    | 10.            | 6.   | 9.  | 2  | 13.         | 6.   | 9.  | 30 |
| UK | 2,             | 2,   | 4,  | 9, | 19          | 15   | 20  | 55 |
|    | 9.8            | 10.  | 14. | 3  | 1           | 1    | 1   | 4  |

また、欧州での理系と文系の労働人口分析というものもある。

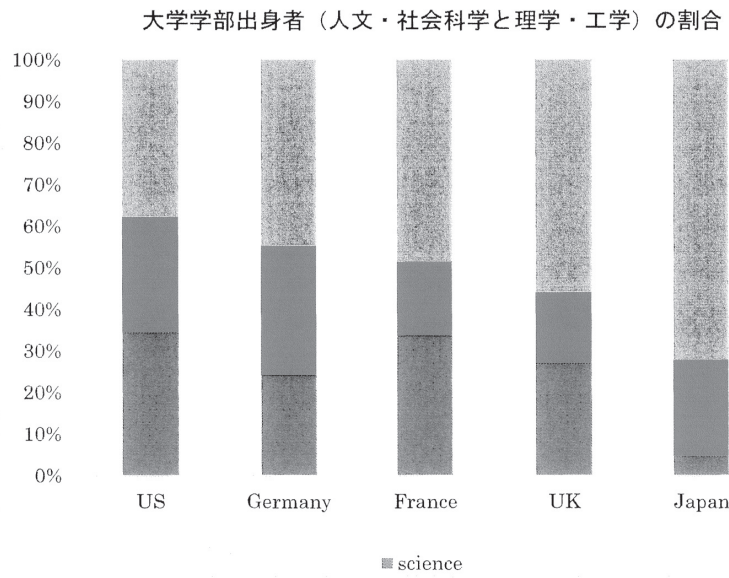
Figure 6. Share of graduates in higher education by discipline (2011)



Source: Eurostat, Deloitte Analysis

これをみると、欧州では、文系に比べ理系の人口比率がかなり高いことがわかる。日本は明らかに文系の人材が社会を主導しているが、今後は理系人材がもっと活躍していくことは世界の潮流だろう。さらに、日本では工学系が理系のなかでも多くの割合を占めていると思うが、欧州では理学系の人材の割合が高いことも特徴である。特に、数学・数理系は要望が高いと思う。

日本、アメリカと欧州主要国での大学学部出身者の割合を比較してみると以下のような  
る。



III. 数学人材育成

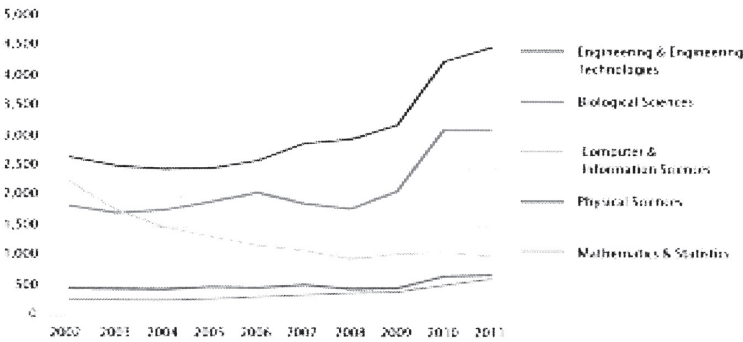
1. PROMYS からみた高校生の数学意識調査

米国マサチューセッツ州は、米国の中でも教育熱心で、特に理工系への進学を推進している地区として知られている。図？は 2002 年から 2011 年までのマサチューセッツ州における理系高校生の大学への専門別進路の動向である。この表からは、2007 年あたりから工学への進学者が増加していることが分かる。生命科学は 2010 年まで進学者数は伸びてきていたが、2011 年には停滞している。またコンピュータ科学への進学者が減少している。物理と数学はそれなりに進学者が増加していて、数学の進学者数と物理への進学者数はほぼ並んだ状態になっていることが分かる。



# College is too late

Intended major of high school seniors, Massachusetts, 2002-2011



Source: The College Board

マサチューセッツ州での特色ある教育活動として、PROMYS がある。1989 年にボストン大学 Glen Stevens 教授が主催し、ボストン大学で行われている。以下は、PROMYS を主催する Boston 大学 Glen Stevens 教授の協力のもとにまとめたものである。

PROMYS は高校生を中心とした PROMYS Student Program と PROMYS for Teachers Program の 2 つのプログラムが毎夏に行われている。

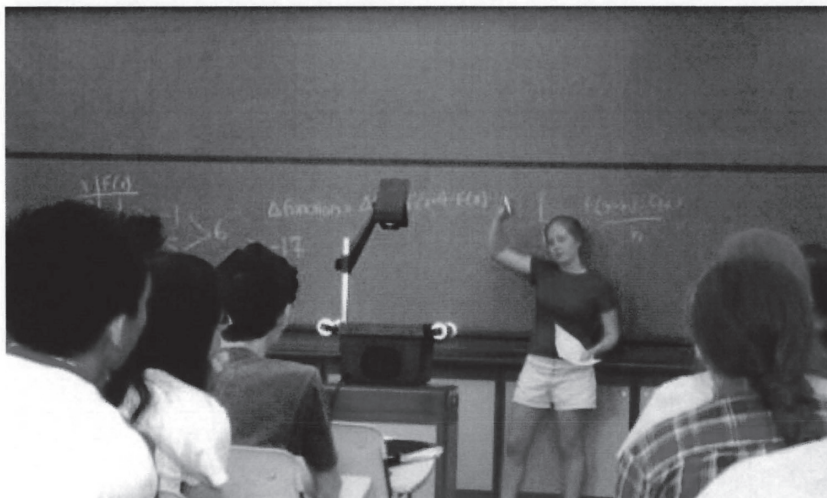
PROMYS Student Program

(1) 概要 (www.promys.org,)

- ① Arnold Ross によって 1957 年に設立された Secondary Science Training Program(SST)の参加者たちによって 1989 年に設立された。
- ②現在は、Boston 大学で毎夏行っているサマースクール。数学に関心のある学生を 80 名程度集めて行っている。修了した学生は 1538 人いる。
- ③NSF の Young Scholar Program であった。
- ④現在は、Boston 大学、Clay Mathematics Institute(CMI), Linde Family Foundation, National Security Agency(NSA), American Mathematical Society (AMS), PROMYS Foundation とその募金者によって運営されている。Boston 大学 501©(3)のステータ

スでカバーされている。

⑤期間は夏 6 週間



## 2. 進路調査

(追跡可能な修了生の約 60% (1380 名) についてのデータ)

### ①大学への進学先

- ・ 数学を主専門 (ダブルメジャー) にして他の副専門 (工学、コンピュータ科学、物理、化学、生物) を選んだ理工系進学者: 830 名 (1384 名のうち 60%)
  - ・ PhD コースに進んだ者 : 522 名 (55%)
  - ・ PhD 取得 (取得中) の人数: 428 名
  - ・ 理工学、工学、数学の PhD 取得 (取得中) の人数: 416 名
  - ・ 数学 PhD 取得 (取得中) の人数: 269 名
- (現在数学 PhD かポスドクの人数: 112 名)

### ②就職先

- ・ 少なくとも 320 名は数学 (統計も含め) に関連した職種 (大学院進学も含めて) を選んでいる。
- ・ 280 名以上の卒業生は、コンピュータ科学か工学である。

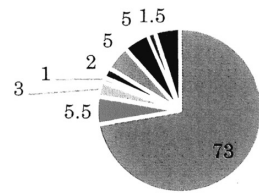
- ・ 36 名は物理学。医学、法律等その他の分野もいる。
- ・ 数学のアカデミックポジション、高校の先生、アクチュアリーである。
- ・ 522 名の卒業生は理学、工学、数学の PhD を取得あるいは取得中である。
- ・ 269 名の卒業生は数学 PhD コースに所属している。

③数学の PhD 終了後の進路

・ 数学の PhD を取得した学生の進路先      PhD取得後のアカデミックポジション

①少なくとも 126 名はアカデミックポジションを得ている（教授、准教授）

・ そのうち 92 名は数学の教授である。



④数学以外の PhD 取得学生のアカデミックポジション先。

・ 生命科学・医学、疫学 5. 5%

- ・ 海洋学、物理、数理物理 3%
- ・ 数理哲学 1%
- ・ 数理工学 2%
- ・ データ解析、OR、生物統計 5%
- ・ ファイナンス 5%
- ・ 機械学習 1. 5%

⑤具体的な就職場所：Harvard(4 名)、MIT (3 名)、コーネル大学 (4 名)、スタンフォード大学 (2 名)、UC バークレー (2 名)、プリンストン大学 (2 名)、シカゴ大学 (3 名)、ペンシルベニア大学 (3 名)。

⑥その他特記すること：NSFCareer (12 名)、Solon Resesarcdh Fellow(8 名)

⑦PROMYS から数学以外の研究分野へ進んだ例

- ①Henry Cohn：Microsoft Research New England の創立者の一人。
- ②Carolyn Phillips：MIT で数学と文学の学位をとり、機械工学の学位を修士（MIT）でとった後、海軍原子力工学研究者として数年間働き、その後ミシガン大学で応用物理の PhD を取得した。現在は、米国エネルギー省で働いている。
- ③Michel Mitzenmacher：ハーバード大学から数学の学位を取得後、ケンブリッジ大学で修士学位を取得、UC バークレーで PhD を取得している。ハーバード大学コンピ

ュータ科学教授で 238 報の論文のほか多くの特許を取得している。

### **PROMYS for Teachers Program**

①毎年の参加人数は平均 20 名程度であり、参加者は主に高校教員である。そのほか、大学での教育教員、コミュニティカレッジでの数学・統計教員も参加している。

②参加者のうち、大半は高校教員を務めているが、高校の校長、カリキュラムデザイン、出版社勤務、教育コンサルタントといったキャリアへ進んだもの、生命情報、データ解析、ソフトウェア産業へのキャリアパスといったケースもある。

③PhD（数学、数学教育）の取得、生物統計、OR、コンピュータ科学、機械学習、経済、電子工学等の研究者になったケースもある。

### **PROMYS から分かること**

①PROMYS は米国でもかなり優秀な「数学」好きの学生を集めて教育を行っている。

②教育の方法に独自性がある。常に考えることを教えている。

③「数学」の専門家を育成することに固執することなく、「科学」の PhD 取得者の育成に重点を置いている。

実際：

④PROMYS を修了して大学へ進む学生は、60%程度が「数学」を主専門にしている。

⑤の後、「数学」の大学院へ進む学生は大学院進学者の60%程度となる。

⑥数学で PhD を取得しても、25%弱は他分野へ進んでいる。

である。

### **【参考】数学から異分野へ進んだ人材の例：セルゲイ・ブリン**

①セルゲイ・ブリンはラリー・ページとともに Google を創設した。

②生い立ち：ソビエト連邦モスクワに住む東欧系ユダヤ人の家庭に生まれる。父ミハイルは数学者でメリーランド大学の数学教授、母エヴゲーニャはアメリカ航空宇宙局の研究員。

③学歴・研究歴

- ・1990 年メリーランド大学入学（計算機科学と数学を専攻）。1993 年理学士号取得。
- ・NSF Scholar、スタンフォード大学計算機科学の修士課程進学。1995 年計算機科学の修士を取得。
- ・1998 年に Google 社を共同設立。

【インタビュー】米国では、いわゆる「数学」を志望した高校生が大学、大学院と進む際の進路の選択について、PROMYS（主催者：Glen Stevens 教授）事務所、および PROMYS に協力しているボストン大学 Steven Rosenberg 教授への質疑応答である。

【質問事項】回答者：PROMYS 主催事務所、Steven Rosenberg 教授

【質問 1】PROMYS はどのような教育を行っているのか。

（答）PROMYS のコースは標準的な高校の数学コースや大学での標準授業のコースではない。PROMYS に参加する学生は、大変優秀な学生であるが、大学でのレベルの技術（例えば微積分）の知識はもっていないかもしれない。それゆえに、コースの授業は挑戦的な内容で、しかも急速に高度になっていくよう計画されている。しかしながら、そこで使うスキルは高校生が十分有した知識だけで可能なようになっている。加えて、我々は大学に行けば習うことについての知識を与えようとは思っていない。コースは毎日講義を行うが、基本的に問題を与え、時間をかけて解くという形である。学生はほとんど毎日、他の学生やトップ大学で数学をメジャーにしているチューターと与えられた問題について議論を行う。また、大学の教授クラスとも議論をすることもある。問題を解いたあと、講義を聞いてその計算法や理論は 2, 3 日後ぐらいに理解されることが多い。このような教育法は“immersion teaching”と呼ばれており、学生が外国語を学ばなければならないときに、文法を学ぶ前に導入される“immersion Language class”にあたる。

【質問 2】PROMYS に参加した学生が得たことは何か。

（答）PROMYS の目的でもあるが、学生には数学者のように考えることを教える（あるいはもっと一般に言えば科学者のように）ことである。我々は未解決の問題に対してアプローチするためにすべての数学者が使う手法を強調する：簡単な場合へ単純化すること、一般的なパターンを探ること、特別な例について確かめること等である。その結果、学生は新しい手法や理論を学ぶことができるのは重要であるが、このような数学のトレーニングをしたこと自体が一番ではないか。

【質問 3】PROMYS に参加する学生はどのように選抜されるのか。

（答）学生は、PROMYS へ参加申し込みを 1 月までにする。そのとき、学生は数学的にアドバンスなことは要求しない問題について答えることを要求する。典型的な問題として、例えば、パスカルの 3 角形の 100 番目の行には偶数がいくつあるか？というような質問である。このような問題の解答から参加者を選抜する。学生には参加のための支援を行っている。



【質問4】学生のレベルはどうか

(答) PROMYS の評価が高まってきているので、参加する学生のレベルは毎年上がっている。今年は応募者の10%を受け入れた。PROMYS を修了した学生は、高校終了後は米国のトップレベルの大学へ進学している。学生のレベルは、数学オリンピックへの出場者レベルである。

【質問5】学生にとって PROMYS の効果は何か。

(答) 最も大きな効果は PROMYS の学生が科学や数学を勉強するだけでなく、科学や数学がとて楽しくなるということだと思う。PROMYS の多くの学生に対して、夏のプログラムは“数学研究者”の疑似体験として自分の数学を開花させる最初の間機になっっている。PROMYS の修了者の中での多くの PhD は PROMYS での経験がとて役に立っただのだと私たちは考えている。そのほかには、PROMYS の学生は彼らが好きな数学をひと夏満喫できることである。そのほかにも、いろいろな効果はある。高校では数学トップの成績の学生が仲間外れになっているようなことが往々にしてある。それらの学生が数学を通して、友情を得ることがよくある。高校では数学トップの成績の学生が PROMYS では同じように才能のある学生である。また大学への進学の際でのよい相談相手にもなっている。

【質問6】米国では、数学者が他の分野や企業へ進むことを求めているか。もしそうなら、その理由はなにか。

(答) 米国政府、教育省でそのような考えはもっていないと思う。最近、数学の PhD 修了者がオイルや化学、バイオ医薬等の企業や経済等で数学の応用が盛んに用いられるようになってる。データ解析、アカデミア（他分野）、ファイナンス、コンピュータソフトウェアや多くの企業で数学出身者が働く場所が増えていることが原因だろう。

【問題7】PROMYS の学生は60%が大学の数学（主専門）に進む。一方で40%の学生は数学以外の専門に行く。さらに、PhD 修了者の23%は数学以外の専門へ進むようである。これはどう考えるか。

(答) 重要なことは PROMYS の修了学生が、数学者になることかどうかより、PhD を取得する科学者になる割合が重要であると思う。40%の PROMYS の修了学生がサイエンス系の PhD を取得している。これほど多くの PhD を輩出しているプログラムはほかにはないのではと思う。（オハイオ州立大学での姉妹プログラムがあるが）。



【問題 9】PROMYS からは、ある程度の数学以外の専門へ進む学生がいる。この理由はなぜか。米国の教育システムの効果であるか。

(答) これはやや難しい質問である。一般に、米国での大学教育は、欧州やアジアからみて柔軟であることはいえる。例えば、米国の大学では、学生が大学へ入学したときに将来の専門を決める必要がない。同様に、数学の大学院でも大学院の1-2年をすぎてから学生は研究領域を決めることが多い。したがって、学生は学部でも大学院でも他の研究分野を学ぶ機会を多く持っている。

加えて、米国では応用数学は非常に強い分野であり純粋数学より多くのファンディングの機会がある。統計は応用数学よりさらに強いだろう。結果として、多くの大学院学生が応用数学や統計での研究をすることになっていくのは自然である。そしてそれらの研究領域では生物、化学、ファイナンスといった横断研究に対する機会も多く生まれている。

(以上)

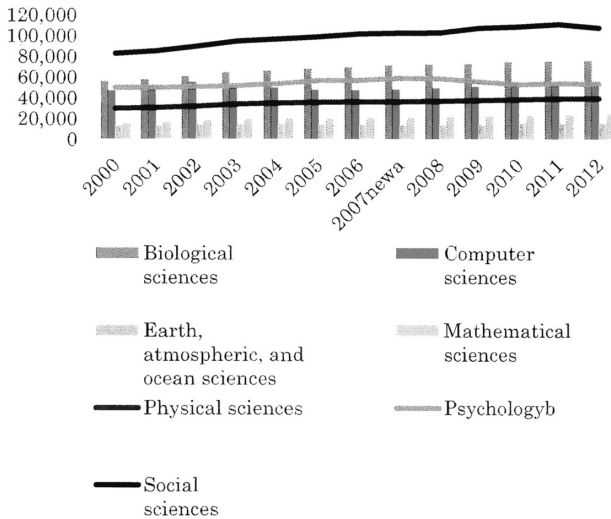
#### IV. 米国での数学学生の動向

米国での PhD 学生数は、全体として増加傾向にあるが、それほど大きな伸びがあるわけではない。その中では、数学が 2000 年 15,650 人から 2012 年には 24,575 人に増えているのは、数学に対する需要へ応えていることと考えられる。

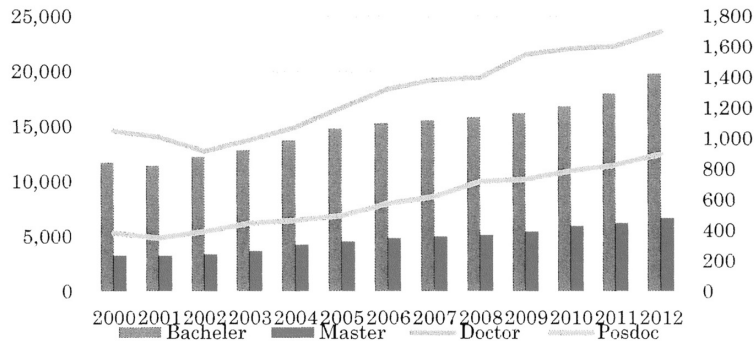
## 米国での数学(数理科学)の卒業および修了学生およびポスドクの動向

米国での数学(数理科学)の学部卒業生および大学院修了学生の 2000 年以降の動向についての調査データが NSF から公表されている。それによると、2000 年では学部学生が 11,000 名程度から 20,000 名へ、修士課程修了者は 4000 名程度から 6000 名程度へ、博士は 1000 名から 1700 名へと増加している。ポスドクも 500 名から 900 名へと伸びている。

## 米国PhD学生の動向



米国での数学学生の進学動向



日本数学会が調査した、7 大学（北海道大学、東北大学、東京大学、名古屋大学、京都大学、大阪大学、九州大学）からの回答による調査では、2011 年 4 月から 2015 年 3 月までの修士課程学生修了学生 1395 名であった。また、回答があった組織からだけになるが、やはり 2011 年 4 月から 2015 年 3 月までの博士課程修了者 140 名のうち、高等研究機関でのポスドク、研究員、非常勤講師についている割合が 52%（72 名相当）あるが、研究教育職は 27%（37 名相当）というデータがある。米国の博士課程学生数やポスドク数と比較すると、絶対数がかなり違う。

1. 米国における数学教育コミュニティ組織

米国では、「数学」へのサポートをするいくつかの団体がある。American Mathemateical Society が大きな役目を担っているが、そのほか、学部学生のサポート、教育へのサポート、キャリアサポートを目的として、学部学生を中心として支援する Mathematics Association of America (MAA)、高校教員をサポートする Educational Development Center (EDC) (<http://ltd.edc.org/people/al-cuoco>)がある。MAA では、学生の進路の支援、EDC は Al Cuoco 教授や Glenn Steven 教授がその運営に熱心にあたり、高い評価を得ていると聞いている。米国での「数学・数理科学」の学生の育成や支援を行う、様々な活動組織がある。米国では、「数学」好きの学生を各自の興味を育てるよう、大学教育とともに、様々な組織や団体がサポートし、いわゆる「数学研究者」のみならず、様々な分野へも興味を持った多様な人材へと育てていることが特徴といえる。

## V. 高校生に対する数学への意識調査

### 1. 日本の高校生への数学意識調査

#### (1) 問題

前節で述べたように、国際的競争力を高めていくために、特に、科学技術の基本言語である数学の運用能力を持つ人材を育成し、供給量を高めることは、我が国における喫緊の課題である。そのためには、次代を担う若年層の数学学習意欲を高めることが重要であり、その具体的な方法を明らかにすべく、高校生を対象とした質問紙調査を実施し、データ分析を行った。

本調査では、まず、高校生のあいだで数学がどのように評価されているかを把握するため、(1) 高校で実施されている授業科目に対する好感度を分析する。他の授業科目と比較することにより、数学に対する好感度を明らかにする。続いて、学校という文脈を離れ、(2) 数学そのものに対する興味関心の有無と数学に興味を持つようになったきっかけについて検討する。さらに、(3) 数学が応用、活用される多様な分野のうち、どんな分野にどの程度の関心が持たれているのかを確認する。続いて、大学進学や職業選択という重要な意志決定における高校生の判断基準を明らかにするため、(4) 大学進学において重視する基準、および(5) 社会に出る際に重視する基準について分析を行う。日本の高校生においては、文系と理系の区別が重要であるため、これらの分析はすべて文理を比較しながら実施する。最後に、データ分析の結果について考察を行い、若年層の数学学習意欲を高めるための具体的な方策について検討を行う。

なお、本アンケートの分析にあたっては、東北大学知の創出センター塩谷芳也特任助教にお願いしたことを記す。

#### (2) 方法

##### (2.1) 調査対象者

2015年11月に東京都内のある高校(男子校、進学校)の全学年の学生を対象に質問紙調査を実施した。印刷した質問紙を数学科主任教諭に送付し、授業時間中に配布していただくことによって学生による自記式調査を実施した。有効回収数は377であった。

##### (2.2) 調査内容

大学進学における第一志望の分野の他、(1) 高校で実施される授業科目に対する好感度、(2) 数学に対する興味関心の有無と数学に興味を持つようになったきっかけ、(3) 数学

の応用分野に対する関心、(4) 大学進学において重視する基準、(5) 職業選択において重視する基準について調査した。

大学進学における第一志望の分野については、次のようにして測定した。「第一希望の分野をお知らせください」という教示文に続いて、「1. 理学系 (物理学)」、「2. 理学系 (化学)」、「3. 理学系 (生物学)」、「4. 理学系 (地学)」、「5. 理学系 (数学)」、「6. 工学系 (情報工学)」、「7. 工学系 (情報工学以外)」、「8. 医学系」、「9. 歯学系」、「10. 薬学系」、「11. 農業系」、「12. 教育学系」、「13. 家政学系」、「14. 人文科学系 (哲学、文学等)」、「15. 社会科学系 (法律、政治、経済学系)」、「16. 芸術系」、「17. その他の分野」の17項目を示し、この中から1つを選択してもらった。

この回答を利用して「理系志望」または「文系志望」という変数を作成した。具体的には「1. 理学系 (物理学)」から「11. 農業系」までを理系志望とし、「12. 教育学系」から「17. その他の分野」までを文系志望とした。非該当 (大学進学を希望しないケース) や無回答は分析から除外した (以下、他の項目についても同様に非該当と無回答を除外して分析する)。

(1) 授業科目に対する好感度については、次のようにして測定した。「以下の教科について、あなたの考えをお知らせください。履修していない科目については、あなたの印象でお答えください」という教示文に続いて、「① 国語の勉強が好きだ」、「② 英語の勉強が好きだ」、「③ 社会の勉強が好きだ」、「④ 物理の勉強が好きだ」、「⑤ 化学の勉強が好きだ」、「⑥ 生物の勉強が好きだ」、「⑦ 地学の勉強が好きだ」、「⑧ 数学の勉強が好きだ」、「⑨ 今習っている数学自分にとって将来役立つと思う」の9項目を示した。回答者は「そう思う」、「どちらかといえばそう思う」、「あまりそう思わない」、「そう思わない」の4段階で回答を行った。分析においては、「そう思う」から「そう思わない」までの各カテゴリに4、3、2、1という得点を付与し、各授業科目に対する好感度の指標とした。

(2) 数学に対する興味関心の有無は次のようにして測定した。「数学に興味・関心はありますか」という教示文に続いて「はい」、「いいえ」という2つの選択肢を示し、いずれか一方を選択してもらった。

さらに、上記の間に「はい」と回答した者に限定して、数学に興味関心を持つようになったきっかけについて質問した。「数学に興味・関心を持つようになったのは、どのような人や物からの影響が大きかったと思いますか。大きく影響を受けたと思うものすべてに○印をつけてください」という教示文に続いて、「1. 両親」、「2. 学校の先生」、「3. 塾の先生」、「4. 友人」、「5. テレビ」、「6. 映画」、「7. 本、雑誌」、「8. 科学館、博物館」、「9. コンピュータゲーム」、「10. パソコン」、「11. 学校での理科実験」、「12. 工作、模型作り」、「13. 身の回りの自然の観察や体験」、「14. その他」という14項目を示し、



当てはまるものをすべて回答してもらった。

(3) 数学の応用分野に関する関心の程度については、次のように測定した。「数学を活用した下記の研究分野について、興味を持っている分野の番号すべてに○印をつけてください」という教示文に続いて、「1. ビッグデータ」、「2. シミュレーション・予測」、「3. 設計・最適化・制御」、「4. 暗号・情報セキュリティ」、「5. CG・画像・音声」、「6. 金融・保険・リスク管理」、「7. その他」、「8. どれにも興味が無い」という8項目を示した。

(4) 大学進学において重視する基準については、次のように測定した。「大学や専攻する専門分野を最終的に選択するにあたり、以下の項目についてどの程度重視しますか」という教示文に続いて、「① 好きな勉強(研究)ができる」、「② 数学を利用する学問ができそう」、「③ 小さいころからの夢を実現できること」、「④ 最先端の勉強ができる」、「⑤ 講義を受けたい先生がいる」、「⑥ 大学、学部が有名である」、「⑦ 授業料が安い」、「⑧ 特別な資格が取れる」、「⑨ 将来いろいろな就職先がありそう」、「⑩ 将来社会貢献できる職につけそう」、「⑪ 将来収入の高い職につけそう」、「⑫ 将来社会的地位の高い職につけそう」、「⑬ 両親の勧め」、「⑭ 先生の勧め」、「⑮ 友人、先輩の勧め」、「⑯ 自分の偏差値で合格できそう」、「⑰ 学生生活を楽しめそう」という17項目を示した。これらの項目について、回答者は「重視する」、「やや重視する」、「あまり重視しない」、「重視しない」の4段階で回答した。分析においては、「重視する」から「重視しない」までの各カテゴリに各カテゴリに4、3、2、1という得点を付与し、各項目に対する重視度の指標とした。

(5) 職業選択において重視する基準については、次のように測定した。「就職など社会に出る際、以下の項目についてどのように考えますか」という教示文に続いて、「① 仕事を通して小さいころの夢を実現したい」、「② 自分で会社を作りたい」、「③ 国際的な仕事がしたい」、「④ 多くの人と触れあう仕事がしたい」、「⑤ 世の中のために貢献できる仕事がしたい」、「⑥ 自分の能力または個性が発揮できる仕事がしたい」、「⑦ 専門を活かした仕事がしたい」、「⑧ 専門に縛られず、いろいろな仕事に挑戦したい」、「⑨ 今後発展する可能性の大きな企業、業界で働きたい」、「⑩ 給料等の待遇がいい職場で働きたい」、「⑪ 解雇される心配のない安定した職場で働きたい」、「⑫ 残業が少なく休暇の多い仕事がしたい」という12項目を示した。回答者は「そう思う」、「どちらかといえばそう思う」、「どちらかといえばそう思わない」、「そう思わない」の4段階で回答を行った。分析においては、「重視する」から「重視しない」までの各カテゴリに4、3、2、1という得点を付与し、各項目に対する重視度の指標とした。

### (3) 結果



### (3.1) 文系と理系の分布

まず、大学進学における文系志望者と理系志望者の分布を示す（図表 1）。このデータでは、文系志望の学生が約 3 割、理系志望の学生が約 7 割となっていた。

図表 1 進学志望の分布

|      | 度数  | %     |
|------|-----|-------|
| 文系志望 | 109 | 30.8  |
| 理系志望 | 245 | 69.2  |
| 計    | 354 | 100.0 |

### (3.2) 授業科目に対する好感度

次に、数学に対する高校生の態度を把握するため、高校で実施される授業科目に対する好感度を分析する。結果は図表 2-1、図表 2-2 の通りであった。理系志望の学生では、「数学」、「化学」、「物理」、「生物」といった理系科目に対する好感度が文系志望の学生よりも高かった。文系志望の学生においては、「社会」、「英語」、「国語」といった文系科目に対する好感度が理系の学生よりも高かった。ただし、英語については両者の差はごくわずかであり、実質的な文理の差は見られなかった。「地学」は理系科目であるにもかかわらず、理系志望の学生のあいだで最も好感度が低い科目となっており、文理の差は見られなかった。

理系と文系で好感度に最も大きな差があったのは「化学」と「物理」であった。両者の差は大きく、4 段階評価のうちの 1 段階（どちらかと言えばそう思う／あまりそう思わない）に相当するほどの差が見られた。「社会」と「国語」についても文理のあいだで比較的大きな差が見られた。

「数学」については、文系よりも理系の学生のほうが高い好感度を示していた。しかし、上記の 4 教科に比べると好感度の差は小さかった。「数学が自分にとって将来役立つと思うか」という質問についても同様の結果が観察された。すなわち、文系学生の「数学」に対する好感度や有用性の評価は特別に低いわけではなかった。

まとめると、理系学生と文系学生の授業科目の好みは明白に分かれる中で、「数学」は文理いずれにおいても好感度の上位 4 位以内に入っていた（理系で 1 位、文系で 4 位）。文系の学生においては、「数学」よりもむしろ「物理」や「化学」、「生物」といった理科系の科目に対する好感度が低かった。

図表 2-1 授業科目に対する好感度

| 科目        | 文系志望 |      |     | 理系志望 |      |     | 全体   |      |     | F値        |
|-----------|------|------|-----|------|------|-----|------|------|-----|-----------|
|           | 平均   | SD   | n   | 平均   | SD   | n   | 平均   | SD   | n   |           |
| 数学        | 2.64 | 1.08 | 109 | 3.12 | 0.89 | 241 | 2.97 | 0.98 | 350 | 19.27 *** |
| 数学は将来役に立つ | 2.49 | 1.02 | 108 | 2.98 | 0.94 | 238 | 2.83 | 0.99 | 346 | 18.93 *** |
| 理系 化学     | 2.16 | 1.08 | 109 | 3.10 | 0.94 | 241 | 2.81 | 1.08 | 350 | 68.41 *** |
| 物理        | 2.15 | 1.12 | 108 | 3.06 | 0.92 | 241 | 2.78 | 1.07 | 349 | 64.03 *** |
| 生物        | 2.36 | 1.04 | 109 | 2.74 | 1.03 | 238 | 2.62 | 1.05 | 347 | 10.00 **  |
| 地学        | 2.45 | 0.98 | 108 | 2.33 | 1.01 | 239 | 2.37 | 1.00 | 347 | 1.13      |
| 社会        | 3.36 | 0.96 | 108 | 2.70 | 1.09 | 240 | 2.91 | 1.09 | 348 | 29.38 *** |
| 文系 英語     | 2.71 | 1.09 | 109 | 2.59 | 1.05 | 241 | 2.63 | 1.06 | 350 | 0.91      |
| 国語        | 3.25 | 0.94 | 109 | 2.48 | 1.01 | 240 | 2.72 | 1.02 | 349 | 45.65 *** |

\*\*  $p<0.01$  \*\*\*  $p<0.001$



図表 2-2 授業科目に対する好感度

(3. 3) 数学への興味関心とそのきっかけ

続いて、数学そのものに対する興味関心の有無について分析する。結果は図表 3 の通りであった。理系志望の学生の約 75 パーセントが「興味関心あり」と回答する一方で、文系志望の学生では、その比率は約 55 パーセントに留まり、およそ 20 ポイントの差が見られた。

さらに「数学に興味関心あり」と答えた回答者に限定して、数学に興味を持つようになったきっかけについて分析した。結果は図表 4-1 と図表 4-2 に示されている。きっかけとして多く挙げられたのは、上位から順に「塾の先生」、「学校の先生」、「本、雑誌」、「友人」、「両親」の 5 つであり、「塾の先生」が突出して高くなっていた。これらの項目は、本や雑誌を

除くと、すべて学生周辺の「人間」に関するものであり、高校生においては、対人的な影響が数学に興味を持つきっかけとして重要であることが伺える。

それに対して、「パソコン」や「コンピュータゲーム」、「テレビ」、「映画」といった「モノ」および「メディア」との接触がきっかけとして挙げられる比率は低かった。同様に、「科学館、博物館」、「工作、模型作り」、「身の回りの自然の観察や体験」、「学校での理科実験」といった文化施設の利用や学校での取り組みも、数学に興味を持つきっかけとして挙げられる比率は低かった。

ほとんどの項目では、文系と理系の差は見られなかった。しかし、「塾の先生」と「学校の先生」については文理で差異があり、文系のほうが理系よりも塾や学校の先生をきっかけとして挙げるものが多かった。「友人」についても同様の傾向が見られた。

以上の結果からは、数学に対する興味を学生に持たせるためには、文系、理系を問わず、周囲の人間からの影響が重要であり、中でも、塾や学校の教員からの働きかけが重要であること、そして、その効果は特に文系の学生において大きいことが推察される。

図表 3 数学への興味関心の有無

|      | 数学への興味関心 |      | 計     |
|------|----------|------|-------|
|      | なし       | あり   |       |
| 文系志望 | 48       | 60   | 108   |
|      | 44.4     | 55.6 | 100.0 |
| 理系志望 | 61       | 182  | 243   |
|      | 25.1     | 74.9 | 100.0 |
| 計    | 109      | 242  | 351   |
|      | 31.1     | 69.0 | 100.0 |

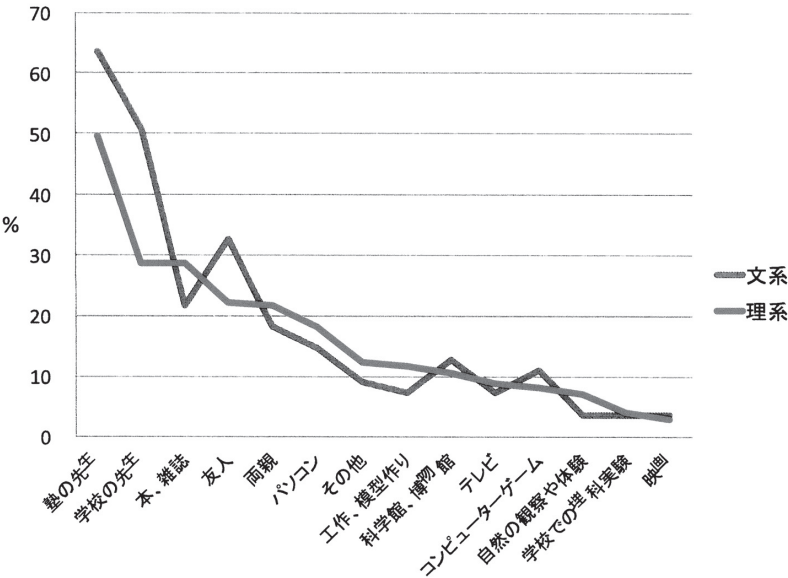
上段：度数 下段：%  $\chi^2 = 13.06$  \*\*\*

\*\*\*  $p < 0.01$

図表 4-1 数学に興味関心を持ったきっかけ

|            | 文系志望 |    |      | 理系志望 |     |      | 全体  |     |      | χ <sup>2</sup> 値 |
|------------|------|----|------|------|-----|------|-----|-----|------|------------------|
|            | 度数   |    | %    | 度数   |     | %    | 度数  |     | %    |                  |
|            | 選択者  | 全体 |      | 選択者  | 全体  |      | 選択者 | 全体  |      |                  |
| 塾の先生       | 35   | 55 | 63.6 | 85   | 171 | 49.7 | 120 | 226 | 53.1 | 3.24 †           |
| 学校の先生      | 28   | 55 | 50.9 | 49   | 171 | 28.7 | 77  | 226 | 34.1 | 9.18 **          |
| 本、雑誌       | 12   | 55 | 21.8 | 49   | 171 | 28.7 | 61  | 226 | 27.0 | 0.99             |
| 友人         | 18   | 55 | 32.7 | 38   | 171 | 22.2 | 56  | 226 | 24.8 | 2.46             |
| 両親         | 10   | 55 | 18.2 | 37   | 171 | 21.6 | 47  | 226 | 20.8 | 0.30             |
| パソコン       | 8    | 55 | 14.6 | 31   | 171 | 18.1 | 39  | 226 | 17.3 | 0.37             |
| その他        | 5    | 55 | 9.1  | 21   | 171 | 12.3 | 26  | 226 | 11.5 | 0.42             |
| 工作、模型作り    | 4    | 55 | 7.3  | 20   | 171 | 11.7 | 24  | 226 | 10.6 | 0.86             |
| 科学館、博物館    | 7    | 55 | 12.7 | 18   | 171 | 10.5 | 25  | 226 | 11.1 | 0.20             |
| テレビ        | 4    | 55 | 7.3  | 15   | 171 | 8.8  | 19  | 226 | 8.4  | 0.12             |
| コンピューターゲーム | 6    | 55 | 10.9 | 14   | 171 | 8.2  | 20  | 226 | 8.9  | 0.38             |
| 自然の観察や体験   | 2    | 55 | 3.6  | 12   | 171 | 7.0  | 14  | 226 | 6.2  | 0.82             |
| 学校での理科実験   | 2    | 55 | 3.6  | 7    | 171 | 4.1  | 9   | 226 | 4.0  | 0.02             |
| 映画         | 2    | 55 | 3.6  | 5    | 171 | 2.9  | 7   | 226 | 3.1  | 0.07             |

\*\*  $p<0.01$  †  $p<0.10$



図表 4-2 数学に興味関心を持ったきっかけ

(3. 4) 数学の応用分野に関する興味関心

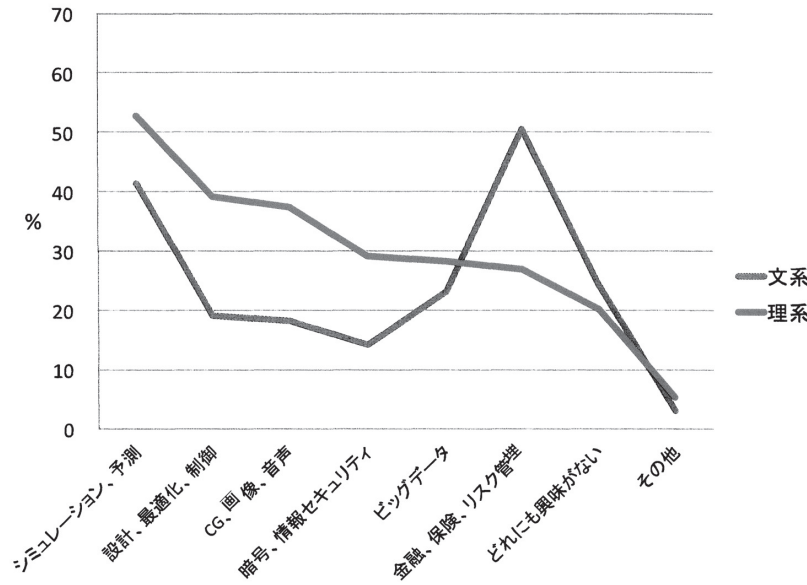
高校生の数学に対する態度を測定する最後の項目として、数学の応用分野についての関心の有無を分析する。ビッグデータや暗号等、具体的な応用分野を示し、興味のあるものを複数回答してもらった。

結果は図表 5-1、図表 5-2 の通りである。「シミュレーション・予測」、「設計・最適化・制御」、「CG・画像・音声」、「暗号、情報セキュリティ」については、文系学生よりも理系学生において興味関心が高くなっていた。一方、「ビッグデータ」に対する関心については文理のあいだで大きな差は見られなかった。さらに、「金融・保険・リスク管理」については理系よりも文系において興味関心が高くなっていた。

図表 5-1 数学の応用分野に関する興味関心の有無

|             | 文系志望 |    |      | 理系志望 |     |      | 全体  |     |      | $\chi^2$ 値 |
|-------------|------|----|------|------|-----|------|-----|-----|------|------------|
|             | 度数   |    | %    | 度数   |     | %    | 度数  |     | %    |            |
|             | 選択者  | 全体 |      | 選択者  | 全体  |      | 選択者 | 全体  |      |            |
| シミュレーション、予測 | 41   | 99 | 41.4 | 123  | 233 | 52.8 | 164 | 332 | 49.4 | 3.59 †     |
| 設計、最適化、制御   | 19   | 99 | 19.2 | 91   | 233 | 39.1 | 110 | 332 | 33.1 | 12.37 ***  |
| CG、画像、音声    | 18   | 99 | 18.2 | 87   | 233 | 37.3 | 105 | 332 | 31.6 | 11.79 **   |
| 暗号、情報セキュリティ | 14   | 99 | 14.1 | 68   | 233 | 29.2 | 82  | 332 | 24.7 | 8.45 **    |
| ビッグデータ      | 23   | 99 | 23.2 | 66   | 233 | 28.3 | 89  | 332 | 26.8 | 0.92       |
| 金融、保険、リスク管理 | 50   | 99 | 50.5 | 63   | 233 | 27.0 | 113 | 332 | 34.0 | 17.04 ***  |
| どれにも興味がない   | 24   | 99 | 24.2 | 47   | 233 | 20.2 | 71  | 332 | 21.4 | 0.68       |
| その他         | 3    | 99 | 3.0  | 12   | 233 | 5.2  | 15  | 332 | 4.5  | 0.72       |

\*\*  $p<0.01$  \*\*\*  $p<0.001$  †  $p<0.10$



図表 5-2 数学の応用分野に関する興味関心の有無

まとめると、数学の応用分野だからといって、すべての項目において理系が文系よりも高



い関心を示すわけではなかった。近年、その有用性が社会的に理解されつつあるビッグデータについては文理の差はわずかであった。さらに、文系出身者の就職先でもある金融、保険、リスク管理については、理系学生よりも文系学生のほうが高い関心を示していた。

これらの結果は、数学に対する興味関心を喚起するためには、数学の「社会的な」有用性を示すだけでなく、「個人的な」有用性を示すことが重要である可能性を示唆している。

### (3.5) 大学進学において重視するもの

ここからは、高校生の意志決定の構造について分析する。大学進学や職業選択という重要な意志決定場面において、高校生たちはどのような基準を重視しているのだろうか。

まず、大学進学において重視する基準について分析を行った。結果は図表 5-1 と図表 5-2 の通りである。文理間の差異は皆無であった。「最先端の勉強ができる」と「数学を利用する学問ができそう」の2項目においてのみ差が見られ、いずれも理系学生の重視度のほうがやや高くなっていた。

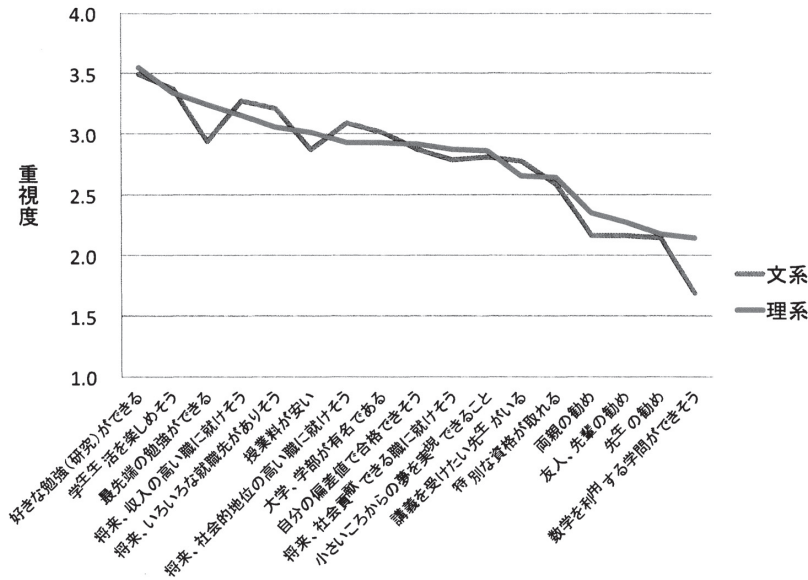
全体的な傾向を見ると、最も重視度が高かった項目は「好きな勉強（研究）ができる」と「学生生活が楽しめそう」であった。これらは大学生活における内在的な価値に関する項目であると言える。その後は「将来、収入の高い職に就けそう」、「将来、いろいろな職に就けそう」、「将来、高い社会的地位に就けそう」といった将来の社会経済的地位に対する大学教育の効果に関する項目が続き、さらに「授業料が安い」、「自分の偏差値で合格できそう」といった現時点における自らの経済的、能力的資源から見た入学可能性に関する項目が並んでいた。「小さいころからの夢が実現できそう」や「将来、社会貢献できる職につけそう」といった自己実現に関する項目に対する重視度は低く、「両親の勧め」、「友人、先輩の勧め」、「先生の勧め」といった他者の意見に対する重視度はさらに低かった。

要約すると、学生たちは他者の意見よりも自分の考えを尊重した主体的な進路選択を行っており、そこでは、好きな勉強ができることや学生生活を楽しむことといった大学生活の内在的価値（面白いかどうか）を最も重視しながらも、大学教育が将来の社会経済的地位にもたらす効果という手段的価値（得するかどうか）を検討し、次いで自分の学力や家庭の経済力といった利用可能な資源の観点から入学可能性を評価する（入学できそうかどうか）といった、複数の次元を考慮した極めて現実的な意志決定を行っていることが明らかになった。

図表 5-1 大学や専門分野の選択において重視するもの

|                   | 文系志望 |      |     | 理系志望 |      |     | 全体   |      |     | F値        |
|-------------------|------|------|-----|------|------|-----|------|------|-----|-----------|
|                   | 平均   | SD   | n   | 平均   | SD   | n   | 平均   | SD   | n   |           |
| 好きな勉強（研究）ができる     | 3.49 | 0.82 | 106 | 3.55 | 0.75 | 231 | 3.53 | 0.77 | 337 | 0.49      |
| 学生生活を楽しめそう        | 3.38 | 0.85 | 107 | 3.34 | 0.88 | 230 | 3.36 | 0.87 | 337 | 0.15      |
| 最先端の勉強ができる        | 2.94 | 0.95 | 107 | 3.24 | 0.89 | 231 | 3.14 | 0.92 | 338 | 7.93 ***  |
| 将来、収入の高い職に就けそう    | 3.28 | 0.81 | 107 | 3.16 | 0.94 | 231 | 3.19 | 0.90 | 338 | 1.30      |
| 将来、いろいろな就職先がありそう  | 3.21 | 0.83 | 107 | 3.06 | 0.99 | 231 | 3.10 | 0.99 | 231 | 1.94      |
| 授業料が安い            | 2.87 | 0.98 | 107 | 3.02 | 0.94 | 230 | 2.98 | 0.95 | 337 | 1.66      |
| 将来、社会的地位の高い職に就けそう | 3.09 | 0.91 | 107 | 2.93 | 0.98 | 230 | 2.99 | 0.96 | 337 | 2.02      |
| 大学、学部が有名である       | 3.01 | 0.94 | 107 | 2.93 | 0.97 | 229 | 2.96 | 0.96 | 336 | 0.50      |
| 自分の偏差値で合格できそう     | 2.87 | 0.93 | 107 | 2.92 | 0.94 | 230 | 2.90 | 0.94 | 337 | 0.19      |
| 将来、社会貢献できる職に就けそう  | 2.79 | 1.08 | 107 | 2.87 | 1.03 | 231 | 2.85 | 1.05 | 338 | 0.53      |
| 小さいころからの夢を実現できること | 2.81 | 1.04 | 107 | 2.86 | 1.00 | 230 | 2.85 | 1.01 | 337 | 0.16      |
| 講義を受けたい先生がいる      | 2.78 | 0.98 | 107 | 2.66 | 1.00 | 230 | 2.70 | 0.99 | 337 | 0.98      |
| 特別な資格が取れる         | 2.59 | 0.92 | 107 | 2.65 | 1.01 | 230 | 2.64 | 0.98 | 337 | 0.22      |
| 両親の勧め             | 2.17 | 0.94 | 107 | 2.35 | 0.99 | 230 | 2.29 | 0.98 | 337 | 2.59      |
| 友人、先輩の勧め          | 2.16 | 0.92 | 106 | 2.27 | 0.97 | 230 | 2.24 | 0.95 | 336 | 0.95      |
| 先生の勧め             | 2.14 | 0.89 | 107 | 2.18 | 0.95 | 229 | 2.17 | 0.95 | 336 | 0.19      |
| 数学を利用する学問ができそう    | 1.69 | 0.87 | 107 | 2.14 | 0.95 | 229 | 2.00 | 0.95 | 336 | 17.08 *** |

\*\*\*  $p<0.001$



図表 5-2 大学や専門分野の選択において重視するもの

(3. 6) 社会に出る際に重視するもの

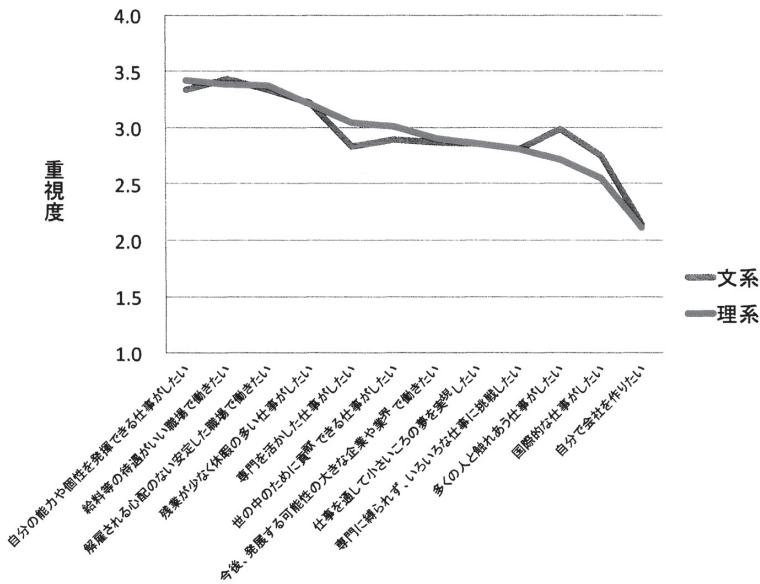
最後に、職業選択における基準とその重視度について分析した。結果は図表 6-1 と図表 6-2 に示されている。ここでも文理の差異はほとんど見られなかった。全体的な傾向としては、まず「自分の能力または個性を発揮できる仕事がしたい」という能力発揮の可能性を重視

し、次いで給料や待遇の良さ、雇用の安定性、残業の少なさといった社会経済的地位や自身の生活に直結する項目に対する重視度が高くなっていた。次に重視されていたのは、世の中に対する貢献や夢の実現というやや抽象的な項目であった。国際的な仕事をする事や自分で会社を作る事に対する重視度は低かった。「多くの人と触れあう仕事をする事」については、理系と文系のあいだに若干の重視度の差が見られ、文系のほうがこの項目を重視していた。

図表 6-1 社会に出る際に重視するもの

|                          | 文系志望 |      |     | 理系志望 |      |     | 全体   |      |     | F値     |
|--------------------------|------|------|-----|------|------|-----|------|------|-----|--------|
|                          | 平均   | SD   | n   | 平均   | SD   | n   | 平均   | SD   | n   |        |
| 自分の能力や個性を発揮できる仕事をしたい     | 3.34 | 0.78 | 106 | 3.42 | 0.80 | 242 | 3.39 | 0.79 | 348 | 0.70   |
| 給料等の待遇がいい職場で働きたい         | 3.43 | 0.77 | 106 | 3.38 | 0.78 | 242 | 3.40 | 0.78 | 348 | 0.35   |
| 解雇される心配のない安定した職場で働きたい    | 3.34 | 0.79 | 105 | 3.37 | 0.80 | 242 | 3.36 | 0.80 | 347 | 0.10   |
| 残業が少なく休暇の多い仕事をしたい        | 3.22 | 0.88 | 106 | 3.21 | 0.91 | 242 | 3.21 | 0.90 | 348 | 0.00   |
| 専門を活かした仕事をしたい            | 2.83 | 0.88 | 106 | 3.05 | 0.92 | 242 | 2.98 | 0.91 | 348 | 4.14 * |
| 世の中のために貢献できる仕事をしたい       | 2.89 | 1.04 | 106 | 3.01 | 1.00 | 241 | 2.97 | 1.00 | 347 | 1.07   |
| 今後、発展する可能性の大きな企業や業界で働きたい | 2.87 | 0.90 | 106 | 2.90 | 0.94 | 241 | 2.89 | 0.93 | 347 | 0.09   |
| 仕事を通して小さいころの夢を実現したい      | 2.86 | 1.02 | 106 | 2.86 | 1.00 | 242 | 2.86 | 1.00 | 348 | 0.00   |
| 専門に縛られず、いろいろな仕事に挑戦したい    | 2.81 | 0.90 | 106 | 2.81 | 0.89 | 242 | 2.81 | 0.89 | 348 | 0.00   |
| 多くの人と触れあう仕事をしたい          | 2.98 | 0.84 | 106 | 2.71 | 1.00 | 242 | 2.80 | 0.96 | 348 | 5.77 * |
| 国際的な仕事をしたい               | 2.75 | 0.98 | 106 | 2.55 | 1.04 | 242 | 2.61 | 1.03 | 348 | 2.81 † |
| 自分で会社を作りたい               | 2.14 | 0.94 | 106 | 2.11 | 0.96 | 242 | 2.12 | 0.95 | 348 | 0.09   |

\*  $p<0.05$  †  $p<0.10$



図表 6-2 社会に出る際に重視するもの

#### (4) 考察

以上の結果を要約し、考察を行う。授業科目に対する好感度については、理系志望の学生は、数学、化学、物理、生物といった理系科目を好み、文系志望の学生は社会、国語、英語といった文系科目を好んでいた。両者の好みの違いは明白であったが、数学は文系志望の学生においても8科目中4位の好感度を示しており（理系では1位）、特別に敬遠されているわけではなかった。それよりもむしろ、生物、物理、化学といった理科系の科目に対する好感度が低くなっていた。

数学そのものに対する興味関心の有無については、文理のあいだには小さくない乖離が見られたけれども、文系志望の学生においても、約半数が興味ありと回答していた（理系では75パーセントであった）。

数学に対して興味関心を持ったきっかけについては、文理の差異にかかわらず、テレビや映画等の「メディア」やパソコンやコンピュータゲームといった「モノ」よりも、塾や学校の先生、友人、両親といった「人」からの影響が大きいことが明らかになった。中でも塾および学校における「先生」の効果は大きく、特に塾の先生は突出した効果を持っていた。そして、このような教員効果は、理系の学生よりも文系の学生に対して大きな効果を持っていた。

このことは、学生の数学に対する興味関心の喚起において、教師が果たす役割が極めて重要であることを示唆している。特に、数学に接する機会が相対的に少ない文系の学生に対しては、教師の働きかけの影響が大きい。科学館や模型作り、自然体験、学校での理科実験等の影響が微弱であったことを踏まえると、教師が実施する講義や、個々の学生との相互作用といった日常的な活動の中に重要な要素が含まれていると考えられる。

さらに、塾講師と学校教諭のあいだに大きな差（約20ポイント）があったことを考慮すると、学校教諭の取り組みには、まだまだ改善の余地があると言えるだろう。文系の学生においても、数学がそれほど敬遠されているわけではないという先の知見と合わせると、学校教諭が効果的な取り組みを実施できれば、数学に対する高校生の興味関心を全国的なレベルで底上げすることも可能であると思われる。具体的な取り組みの内容については、塾講師と学校教諭の比較研究によって明らかになると考えられる。

数学の応用分野に関する興味関心の有無については、ほとんどの項目について、文系学生よりも理系学生のほうが高い関心を示していた。しかし、近年、話題になり、その社会的な有用性が広く理解されつつあるビッグデータについては、文理の差はわずかであった。さらに、文系学生が就職することの多い金融、保険、リスク管理においては、理系よりも文系において関心が高かった。これらの結果は、数学に対する学生の興味関心を高めるためには、単に数学の社会的な有用性を示すだけでなく、数学の個人的な有用性を示すこと、すなわ



ち「数学はあなたにとって役に立つ」というメッセージを伝えることが重要であることを示唆している。

大学進学に関する意志決定においては、基本的には文理の差は見られなかった。いずれの学生も、好きな勉強ができることや学生生活を楽しめそうといった学生生活そのものから得られる価値を最も重視しながらも、大学教育が将来の社会経済的地位に及ぼす影響を考慮し、さらに自らの学力や家庭の経済力といった利用可能な資源の観点から入学可能性についても評価するといった現実的でバランス感覚のある意志決定を行っていた。さらに、このような意志決定は両親や友人、先輩等の他者の意見よりも、自らの意見を尊重した主体的なものであった。

職業選択においては、自分の能力や個性を発揮できることを最も重視しながらも、給与等の待遇の良さ、雇用の安定性、残業の少なさといった経済的地位や日々の生活への影響が大きい項目が重視されていた。夢の実現や世の中への貢献といった抽象的な項目の重視度は低く、国際的な仕事や起業することはさらに低く評価されていた。

大学進学と職業選択においては、重要な共通点が見られた。高校生は「大学で好きな勉強ができること」、「仕事を通して自分の能力や個性を発揮できること」といった内在的価値を最も重視する一方で、大学教育や当該職業がもたらす収入や雇用の安定性およびフレキシキュリティ（潰しが効くこと）、社会的地位といった社会的資源の獲得可能性という外在的な価値も重視していた。

## (5) 結論

以上の結果を総合すると、高校生の数学学習意欲を高めるためには、文系、理系を問わず、以下の2点が共通して重要であると結論できる。1つは塾や学校の教員が学生に対して積極的に働きかけることによって、数学に対する学生の興味関心を喚起することである。数学の内在的価値、すなわち、数学そのものの魅力に気づかせることにより、「面白いから数学を勉強する」という内発的動機づけを高めることができる。

もう1つは、数学が投資に値する活動であることを高校生に示すことである。数学を学ぶことが将来の社会経済的地位や雇用の安定性といった重要な資源の獲得に繋がることを客観的なデータに基づいて学生に提示することである。これにより、「将来的に得をするから数学を勉強する」という外発的動機づけを高めることが可能になる。

さらに、外発的動機づけを高める上では、数学の応用分野がどのようにして実践的な価値を生み出しているのか、そのプロセスを理解させることも重要である。ここでは数学が「社会にとって役に立つ」だけでなく、「あなた自身にとっても役に立つ」という個人的なメリットに繋がることを示すことが重要である。



我が国においては、高校生時点における文理の区別によって選択可能な職業が大幅に異なるため、数学の有用性を示す具体例は、少なくとも文系用と理系用の2通りを用意する必要がある。この作業においては、高校生の数学力で理解できる範囲という制約の中で、数学の有用性を示す具体例を豊富に示すことが必要とされる。したがって、新たな教師の取り組みや、新たな教育カリキュラムは、このような方向に沿って展開されることが望まれる。

内発的動機づけと外発的動機づけの双方からアプローチすることにより、数学学習に対する高校生のモチベーションを効果的に高めることができると考えられる。21世紀社会において求められる数学の運用能力を持つ人材の供給量を増やすための方策として、内発的動機づけと外発的動機づけの組み合わせアプローチを提案する。

## (6) 付録

### (6.1) 内発的動機づけアプローチ

- 「数学はそれ自体が面白い！」というメッセージを学生に伝える。
- (旧来型の) 教師の役割が極めて重要。

### (6.2) 外発的動機づけアプローチ

- 「数学を勉強すると、得をする！」というメッセージを学生に伝える。
- まず、数学を利用する職業の収入や雇用の流動的安定性（フレキシキュリティ）が、そうでない職業のものよりも高いことをデータで示す。
- さらに、なぜ得をするのかを説明するロジックの中に、数学が価値を生み出すプロセスの具体例を取り入れる。
- 具体例は、最低でも文系用、理系用の2パターンを用意し、社会的な利益だけでなく、学生の個人的な利益に繋がることを説明する。
- 高校生の数学力で理解できる具体例を豊富に提示することが重要。
- 新たな教師の役割、新たなカリキュラムは、このような方向性を持つことが望まれる。

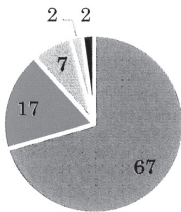
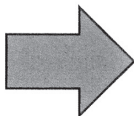
VI. 数学オリンピック学生への進路

数学オリンピック代表となった学生への進路について、数学オリンピック財団の協力のもとで、追跡調査を行った。調査可能者は92名であるが、まだ、大学に入学したばかりの学生、最終進路が不明な学生も多い。そのために、完全なデータではないことを先に断っておく。予想どおり、数学オリンピック大会出場者は数学に対する興味はかなり高く、数学を含む理工系と医学系への進学が多い。ここには具体的に数値を出していないが、ここ数年は数学系へ進学する学生はかなりの率となっている。追跡調査での結果は、大学進学の際には、ある程度の割合で、他分野への進学している。数学へ進学した学生については、入学した大学の数学系の専門に留まり、他分野へ専門を変えることはほとんどないことが分かった。

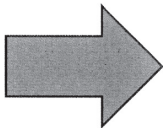
調査可能者 93名

日本数学オリンピック財団から資料提供

数学オリンピック出場者の大学進路



■ 数学 ■ 医学 ■ その他理学 ■ 工学 ■ 経済



・分野が変わることはほとんどない  
・この数年は「数学」へ進学する割合が高い

数学・医学以外の進路

- ・他の理学系研究 6
- ・企業 6
- ・国家公務員 2
- ・教員 1
- ・その他 1

(判明した者のみ)

VII. 高校教員からみた数学への意識

(1) 目的

高校生の数学への好感度について調査したが、それとともに高校生を指導している数学教員がどのように実感しているかを調査することで、数学教育に対する指針を得たい。

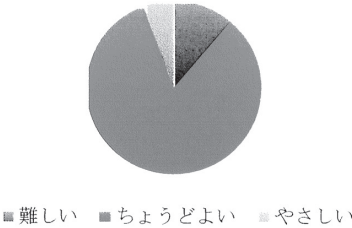
(2) 調査対象と方法

ある県教育委員会が県内の数学教員を選抜して行っている研修会に参加している数学教員 18 名からのアンケートを実施した。

(3) 質問事項

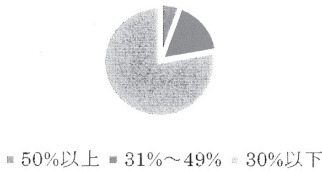
【質問 1】 現在高等学校でお教えになっている数学のカリキュラムは現在の高校生にとってどの程度のレベルだとお考えでしょうか。

高校生からみて現在の高校数学カリキュラムのレベルはどう  
思っていると思いますか

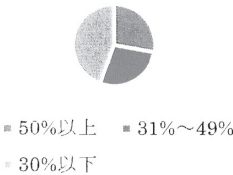


【質問 2】 先生からみて、現在の数学カリキュラムはどの程度のレベルだと考えますか。

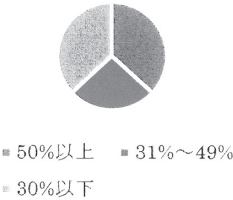
数学は好きだ



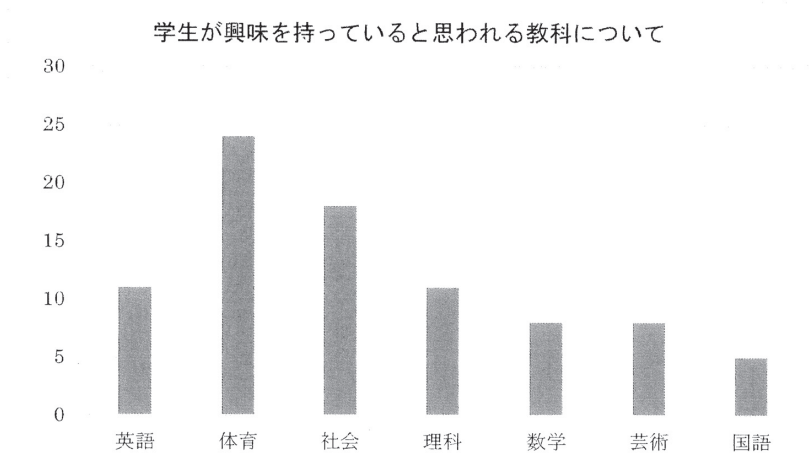
数学は普通



数学は嫌い



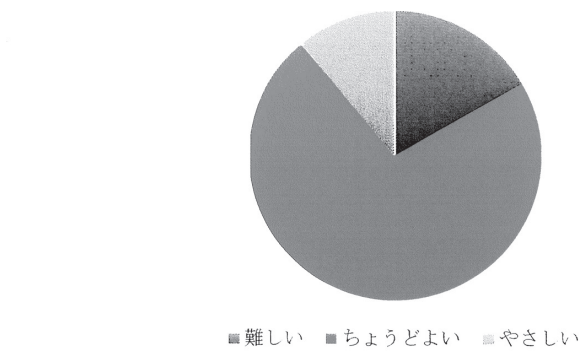
【質問 3】現在の学生は、どの教科に興味があると思われますか。



(注：順位付けをしてもらったあとでポイントに直して表示してある)

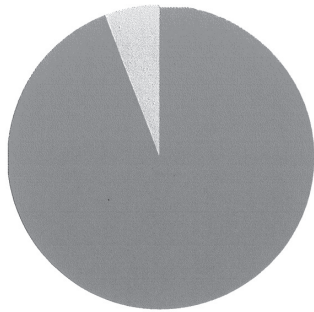
【質問 4】学生にとって数学はどの程度好きだと感じていられますか。

先生からみて現在の高校数学カリキュラムのレベルはどう思われますか



【質問 5】数学に興味ある学生に、「数学科」や「数理科学科」といった数学系の学科や学部に進学を勧めますか。

学生に数学科や数理科学科といった数学系の学科や学部への進学をすすめますか



■ 強く勧める ■ 選択の一つとして勧める ■ あまり強く勧めない ■ 分からない

【質問 6】もし、学生に「数学科」や「数理科学科」への進学を勧めないとしたら、その理由は何でしょうか。

(自由記述回答)

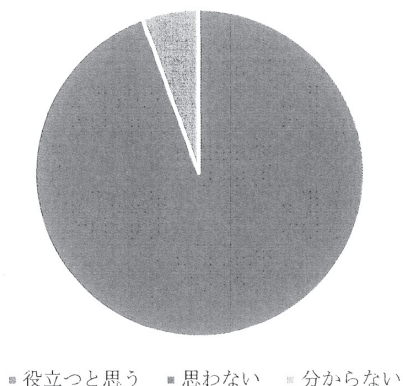
- ・入試数学と純粋数学のギャップがある。
- ・大学数学と高校数学のギャップについていけないため。
- ・高校までの問題を解く数学と大学での学問としての数学は別物であるから。
- ・高校数学の延長だと思っていたら、全く違うので。
- ・微積分などのテクニカルなパズル的な計算が好きで、数学科へと考え考えている生徒にとって数学科が適当であるとは考えなかったとき。
- ・将来の就職先
- ・出口が少ない。先生（教授）になるのであればいいが、それ以外だと出口が少ない。
- ・卒業後の進路が広くなさそうだから。就職に有利でもなさそう。大学院の進学も難しそう。
- ・学生の将来やりたい仕事にあまり必要がない。もしくは別の学科のほうが本人のためになる場合。
- ・修士課程まで進まないと企業は採用してくれない。博士課程まで進むと定職がない（ポスドクなど身分が不安定）。



- ・実社会と結びつきにくいところが難点である。

【質問 7】先生からみて数学は社会に役立つとお思いでしょうか。

数学は社会に役立つと思いますか



【質問 8】大学で習った数学が、社会へ役立っているという例をご存じでしょうか。

(自由記述回答)

・具体的に社会へ役立っている例はすぐには見当たらない。物事の考え方に大変影響を与えていると思う。

- ・特に考えたことはないが、直接でなくとも間接的に役立っていると思われる。
- ・特殊から一般へ考え方を広げる。
- ・考える課程や粘り強さなど、知識を使いこなせる力をつけていくこと。
- ・いろんな分野（工学）最先端技術で役立っている。
- ・天気予報やスポーツなどのビッグデータ解析
- ・医療、精密機械の精度をあげる工夫
- ・回路の最小限にしてエネルギー資源の節約アルゴリズム
- ・システムエンジニア
- ・スパコン
- ・新幹線

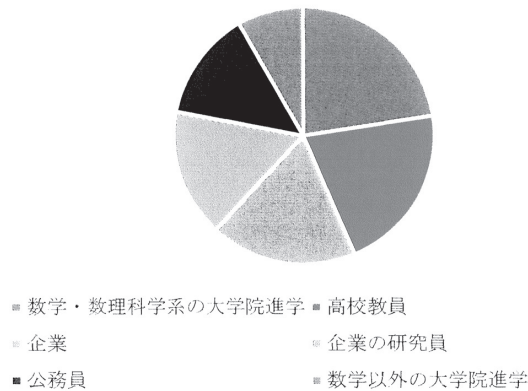
【質問 9】学生が数学を習うことの意味はどのようなことだとお思いになりますか。

(自由記述回答)

- ・例えば計算など規則を守ってことを進めることができるようになる。
- ・不確定性のある問いに対して法則、規則を論理的に思考し解決する。
- ・論理的思考力を高める。
- ・論理的に考え、発表する力を培う。
- ・数学が社会でどのように役立っているかを理解する。
- ・教養教育、専門教育の基礎
- ・物事をとことん追究し、難題であっても自らの力で解決しようとする姿勢が身に着く。
- ・数学的な思考力を身に着けることで、物事の判断に幅を持たせる。
- ・考え方、思考、頭の体操、発想力等
- ・論理的な思考や工夫することの練習
- ・計算力も社会では多に役立っている。

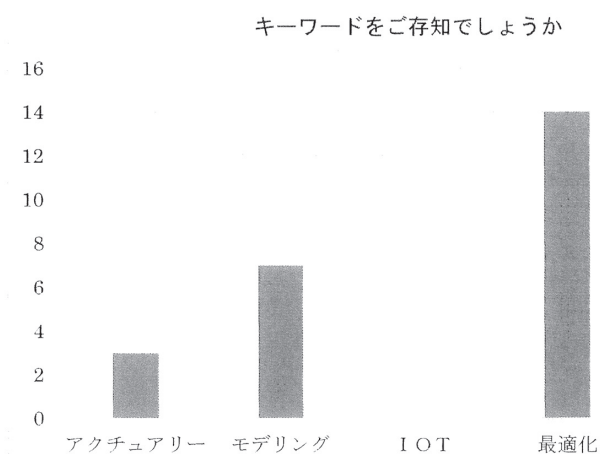
【質問 10】もし学生が大学の数学・数理科学系学科や学部を卒業した後は、どのような進路があると思っていますか。

数学系学部卒業後の進路として考えられるものはどれでしょう

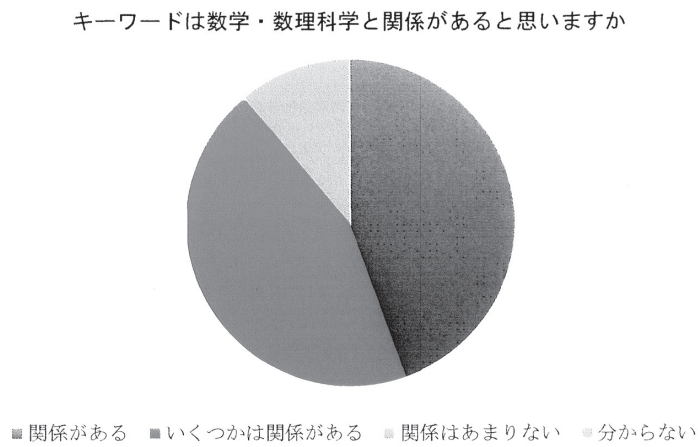


(回答を多い順にポイント化して表示してある)

【質問 11】次のようなキーワードをご存じでしょうか。



【質問 12】 質問 1 1 でのキーワードは数学・数理科学と関係があるとお思いでしょうか。



【質問 13】 大学での数学・数理科学の教育について、どのように御感じになっているでしょうか。

(自由記述回答)

- ・高校数学とのギャップを感じる生徒が多いので、高大接続的な講座を設けるなどしてほしい。もうすでにあるのかもしれないが。
- ・大学と高校の数学ギャップがすごくある。今のカリキュラムでは行列を高校で習わなく

なったことで、すごく心配している。

・数学は物を作ったり、分析をするためには必ず使うものである。数学・数理科学の教育の向上が便利な社会づくりにつながると感じている。

・優秀な頭脳を育てる場として必要

・すぐに仕事に結びつく学問ではないと思うので、気長に考え方や説明できる力などをつければよいと思う。これからはデータの扱いができるとよいのかも。

・理系の大学生には、数学、理科、外国語の高い教養を求めている。

・大学での速度論と統計は私には非常に難しいだけの内容であった。代数や関数論がわたしにはぴったりだった。

・大学で数学を学んで「数学は分からない」と感じた。卒論もなく、これで数学を学んだと言えるのかなと疑問だった。

・大変わかりにくい授業のイメージが強い。講義形式だとなおさらだと思う。

#### (4) 考察

アンケートを実施した対象者は、県教育委員会の選抜により選ばれた教員であり、35歳程度の各高等学校でも中堅の信頼できる方々と判断している。アンケート対象数が少ないこと、また地域性もある可能性も否定できないので、一般的な判断として捉えることはできないと思う。以下の項目については、ある程度正当な判断と思える回答であると考えられる。

(1) 現在の高校の数学教科カリキュラムはそれほど難解でなく、よいレベルの内容になっている。

(2) 教科への学生の興味は、体育、芸術という科目が多く、次に社会、数学、理科と教員は考えている、社会、数学、理科は、文系、理系によって分かると理解しているのではない。英語については、それなりの興味を示していると考えているようである。

(3) 「数学科」への進学を勧めないことがあるとするときの理由として、1) 大学の数学が高校との大きなギャップがある、2) 進路に不安がある、というのが大きな点であると思える。数学教員は、実際に「数学科」を卒業しているので、この2点については、大学側で十分検討する必要があると思われる。

(4) 数学が社会に役に立っていることについては、異論なく考えられているように判断できる。一方で、具体的にはという質問には、なかなか難しいように見受けられる。学生に数学の重要性を納得させる具体性が必要なのではないか。

(5) 数学が実際に企業や他分野で必要であると実感している高校教員はそれほど多くないと感じられる。高校の教員あるいは今後教員を目指す学生へ数学のニーズや重要性の教

育を具体的に行う必要があるように思える。

#### (5) 検討課題

上記考察を踏まえて、以下のような検討が考えられる。

(1) 高校での数学から大学への数学へのギャップを感じているケースが多々あるように見受けられる。この間隙を埋め、大学への授業へスムーズに進むための授業プログラムの作成を検討すべきではないか。これにより、大学で数学を学ぶことの意義をより実感できると考える。

(2) 中学生や高校生に対して、数学が社会にどう役立つかを具体的に説明する必要がある。平成 27 年度の中学生の教科書の中に、アクチュアリー等、数学を必要とする職業について書かれることになったようである。ビッグデータや I T 等での数学の活用等、具体的な例で説明することを検討すべきではないか。



VII. 博士課程のキャリアパス

1. アクチュアリー教育

数学・数理系学生のキャリアパスとして保険の数理経理人という職業がある。これは数学のなかでもまだまだあまり知られていないが、保険業界では重要な職として認められている。このデータを以下に示す。

| アクチュアリー会会員数 |      |       |       |       |       |       |       |
|-------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 日本のアクチュアリー会 |      |       |       |       |       |       |       |
| 年度          | 1965 | 1975  | 1985  | 1995  | 2000  | 2005  | 2015  |
| 正会員         | 203  | 315   | 513   | 782   | 958   | 1,151 | 1,514 |
| 準会員         | 347  | 596   | 801   | 899   | 772   | 764   | 1,287 |
| 研究会員        | 217  | 600   | 664   | 1,674 | 1,667 | 1,675 | 1,949 |
| 賛助会員        | 32   | 58    | 69    | 106   | 131   | 105   |       |
| 合計          | 799  | 1,569 | 2,047 | 3,461 | 3,528 | 3,695 | 4,750 |

| Society of Actuaries |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 年度                   | 2008   | 2009   | 2010   | 2011   | 2012   | 2013   | 2014   |
| Fellows              | 12,366 | 12,766 | 13,344 | 13,774 | 14,468 | 15,071 | 15,729 |
| Associates           | 8,098  | 8,578  | 8,501  | 8,904  | 9,069  | 9,342  | 9,849  |
| Total                | 20,464 | 21,294 | 21,845 | 22,678 | 23,537 | 24,413 | 25,578 |

ウォールストリートジャーナルが毎年発表する職業ランキングで、数学系が常時上位に  
いるのは、アクチュアリーという仕事が認められていることによるところが大きい。日本でもこの職業を数理系のキャリアとして重要視して育成していく必要があるのではないかな。

2. 米国でのキャリアパス (SIAM レポートから)

数学者や計算科学者を採用する政府関係機関や企業の例が挙げられている。網羅的ではないが、それをあげてみる：

- ・ 政府による研究所：Air Force Office of Scientific Research, Lawrence Berkeley National Laboratory, Los Alamos National Laboratory, Oak Ridge National Laboratory, Pacific Northwest National Laboratory, Sandia National Laboratories

- ・ 米国政府機関 : Institute for Defense Analysis Center for Communications Research, National Center for Computing Sciences, National Institute of Standards and Technology, National Security Agency, National Surface Warfare Center, Dehlgren Division, US. Department of Energy
- ・ 国際政府機関 : Defence Science and Technology Organization, DSTO(Australia), French Alternative Energies and Atomic Energy Commission, National Research Council Canada
- ・ 連邦企業 : Mitre Corporation, RAND Corporation, Aerospace Corporation.
- ・ 工学研究機関 : AT&T Laboratories-Research, Exxon Research and Engineering, NEC Laboratories America, Inc. Schlumberger-Doll Research, IBM Research
- ・ コンピュータ科学・ソフトウェア産業 : Adobe, Google, Kuberre Systems, The MathWorks, Inc, Mentor Graphics, Microsoft, Mosek, MSC Software Cooperation, Palo Alto Research Center, Thomson West, Yahoo Research
- ・ エネルギー産業 : Lockheed-Martin Energy Research Corporation, Schatz Energy Research Center
- ・ エレクトロニクス、コンピュータ関連企業 : Alcatel-Lucent, Hewlett-Packard, Honeywell, IBM Corporation, Motorola Mobility and Motorola Solutions, Phillips Research, SGI
- ・ コンサルティング企業 : Daniel H.Wagner Associates, McKinsey and Company
- ・ 航空産業 : Boeing, Ford, General Motors, Lockheed Martin, United Technologies
- ・ 金融関連企業 : Citibank, Moody's Corporation, Morgan Stanley, Prudential
- ・ 郵政企業 : FedEx Corporation, United Parcel Service
- ・ メディア : Clear Channel Communications, CenturyLink, Verizon
- ・ 化学・医薬企業 : DuPont, GlaxoSmithKline, Merck & Co., Inc, Pfizer
- ・ 医療機械企業 : Baxter Healthcare, Boston Scientific, Medtronic
- ・ 石油関連産業 : Exxon Research and Engineering, Petroleo Brasileiro S/A Petrobras, Schell, Chevron
- ・ 消費者製品産業 : Procter & Gamble and Mars

【出展】 <https://www.siam.org/careers/thinking/organizations.php>

これから、米国では、数学や計算機科学の人材の採用を多様な企業等が行っている。

### 3. 数学・数理科学学生のキャリアパス

最後に、日本数学会での数学・数理科学学生のキャリアパス活動について説明をする。数学での人材育成のために、キャリアパスが大きな問題となる。数学専門を修得した学生が社会へ貢献できるための出口が必要である。この現状を日本数学会が2014年3月に博士後期課程修了生の就業状況のアンケートを実施した。その結果を下図に示す。

図より、不安定な身分の修了生が約半数に及びとともに民間企業の研究職への就職率は高々4%であることがわかる。このことから、博士課程修了生の産業界へのキャリア構築支援の強化・加速化が喫緊の課題であることがわかる。

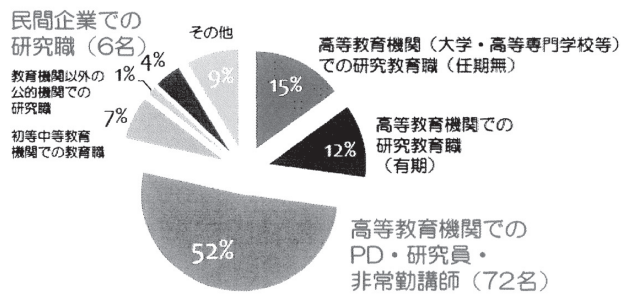


図2 2013年4月から2014年3月までに博士後期課程を修了した大学院生の就業状況(回答数:140名)

今回は数学・数理科学の異分野融合研究への教育と多様な人材の育成について、その課題についてお話をさせていただきました。ぜひいろいろなご意見やご助言をいただきたいと思います。

以上