第５章　数学・数理科学融合研究のための数学人材の育成

第５章　数学・数理科学融合研究のための数学人材の育成

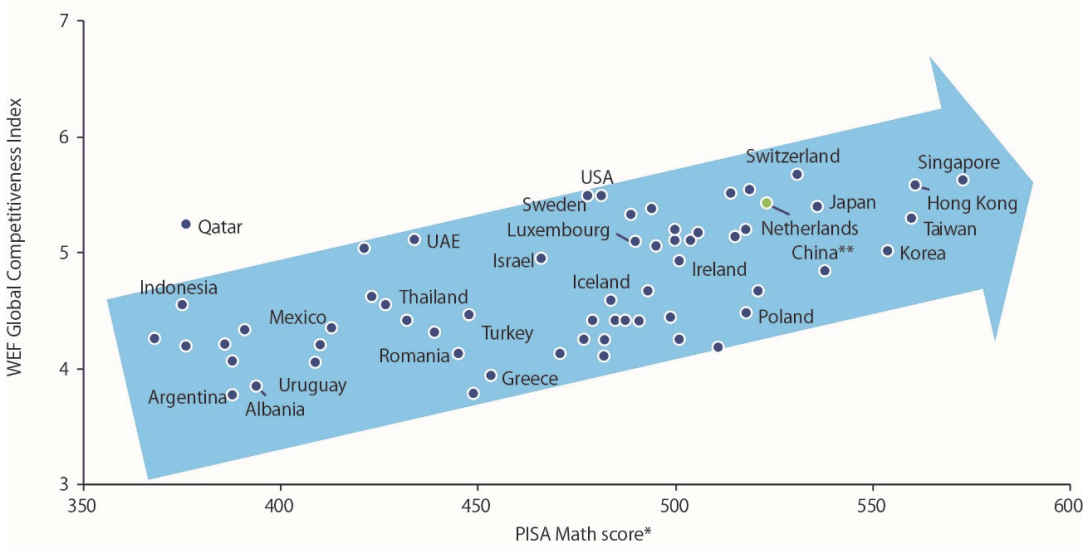
1.　理系人材の育成

本章では、数学人材の育成について、数学・数理科学の活用による融合研究の促進という立場から、我が国と米国との人材育成の比較を重点にして調査を行った。本章では、(１)若年層への数学教育、(２)数学・数理科学および工学での大学学部教育、(３)数学・数理科学系の大学院博士課程修了学生のキャリアパスについての調査結果である。

1.1.　理系人材の現状

21世紀社会においては、社会経済の科学技術に対する依存度が一層高まることから、理系人材の育成が世界において強く求められている。オランダ Deloitte のレポート、「Mathematical sciences and their value for the Dutch economy」(http://euro-math-soc.eu/system/files/uploads/DeloitteNL.pdf) のなかで、2013年に行われた OECD の PISA Study による数学能力調査と World Economic Forum によって定義された Global Competitiveness Index の関係についての調査がある (図表(1))。それによると、一般的に、「競争力のある国家は数学能力が高い」ということが示されている。オランダは、World Economic Forum list では8番目にランクされており、高校生の数学能力評価でも８番目のランクである。この表を使うと、日本は World Economic Forum list の9-10位にランクされており、高校生の数学能力評価では5-6位あたりのラ

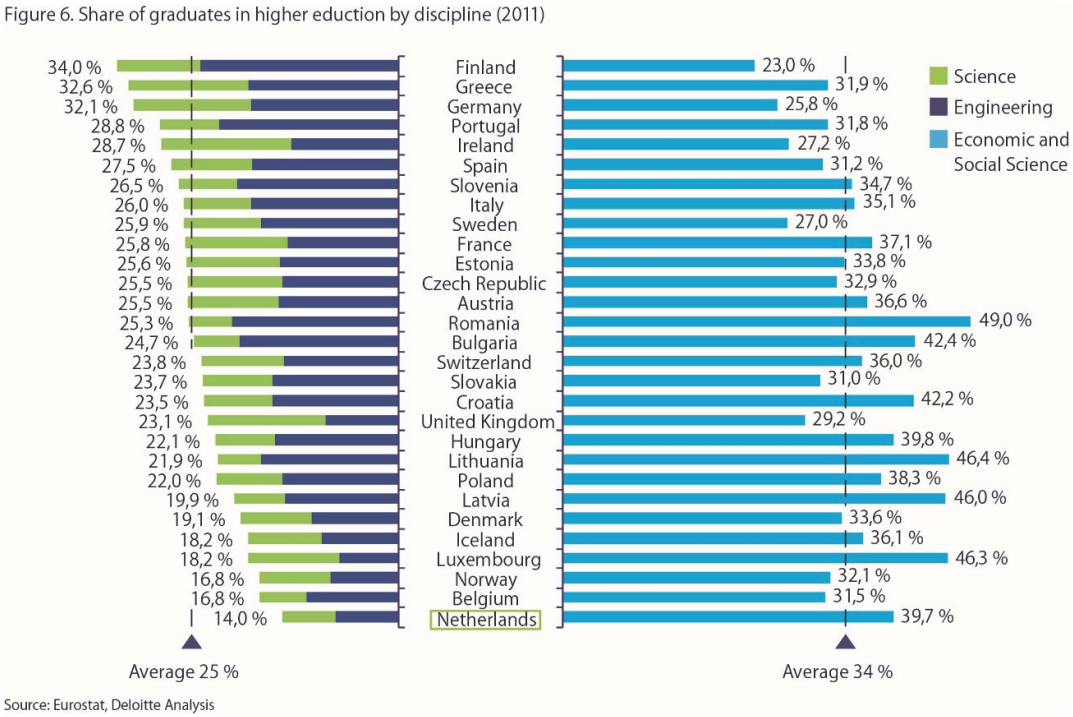
Figure 4. Relation between mathematical ability and country competitiveness



* 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

図表１　数学能力と国家の競争力の関係

ンクである。日本の国家の競争力の強さを保持するためにも、日本の若年層の数学能力の維持が重要であると言える。



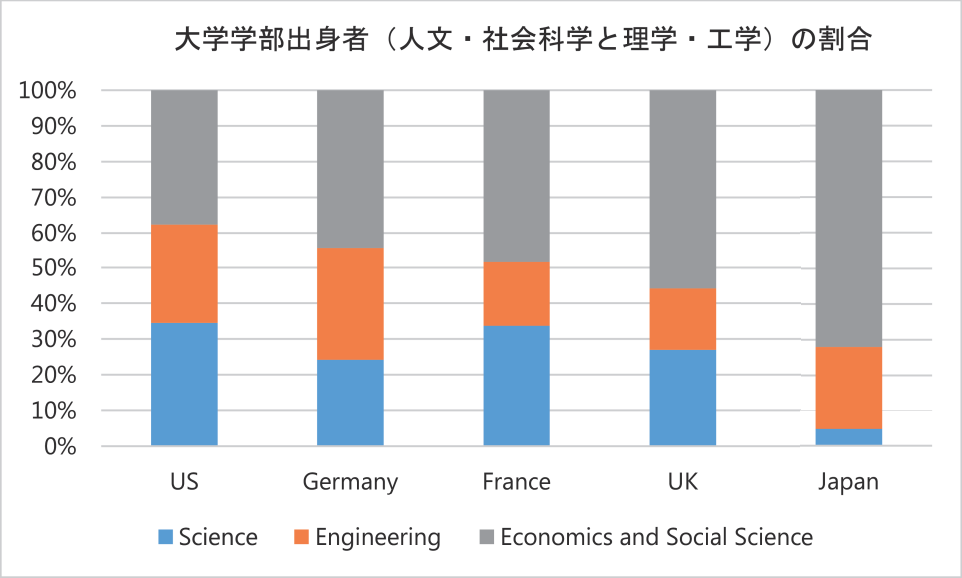
図表２　大学卒業専門別の割合

さらに、Deloitte のレポートでは、欧州での大学卒業者の専門別出身割合が調査されている（図表2）。理工系出身者の割合は、ドイツは32% と文科系出身者の割合と比較して、かなり高い割合を示している。フランスや英国では、文科系出身者の比率は理工系出身者より高いが、フランスは25.8%、英国は23.1% で、それほどの差はない。さらには、フランスや英国では、いわゆる理系出身者の割合はかなり高い。

1.2.　日本の現状

欧米と日本の理系人材の比較をしてみる。欧州については、オランダのレポートを使用している。米国は NSF が提供している学部卒業者の割合（2014）を利用している。日本については、科学技術振興機構が発表した平成21年の大学学部生のデータ（理学4%、工学17%、社会科学34%、人文科学15%）を用いる。米国が理学系の割合が多いのは、生命科学分野が強いことも要因のひとつである。我が国での大学卒業者をみると、圧倒的に文系卒業者が高い割合を占めている。工学系卒業者はほぼ海外水準、あるいはそれ以上といえる。一方、いわゆる「理学」の学生数が少ないために、「理系人材」が社会全体で占める割合は高くない。上述の OECD の PISA Study による数学能力調査と World Economic Forum によって定義された Global Competitiveness Index の関係についての調査からは、「競争力のある国家は数学能力が高い」ということが示されて

おり、日本の国際的な優位性を確保するためには、優れた資質が示されている若年層の数学能力を大学教育でも維持し、文系学部卒業者であっても、理論的な考察やビックデータの解析といったような数理的基本的スキルを習得していることが求められる。



2.　高校生に対する数学への意識調査

2.1.　スーパーサイエンスハイスクールでの数学意識調査

(1)　調査目的

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、理系人材の育成に力を入れている高校の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プログラムコーディネータ塩谷芳也氏にお願いした。

(2) 方法

(2.1) 調査対象者

2015年11月にスーパーサイエンスハイスクール指定高校(男子校)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 今習っている数学が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、上記の問に「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」

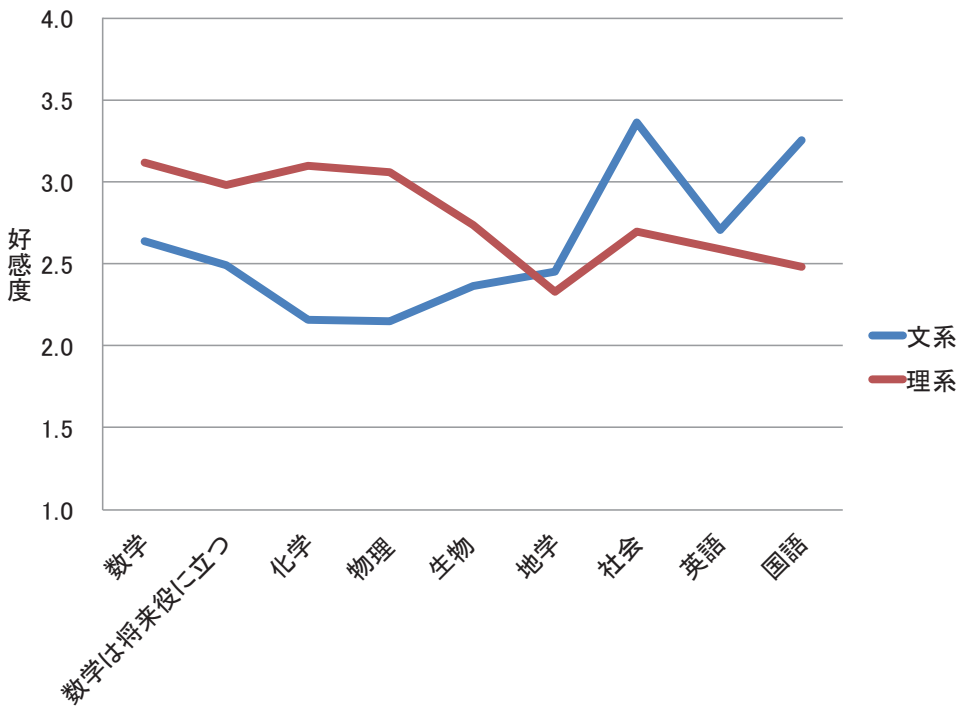
に対する好感度や有用性の評価は特別に低いわけではなかった。

まとめると、理系学生と文系学生の授業科目の好みが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	
理系	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 ***
	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
文系	社会	3.36	0.96	108	2.70	1.09	240	2.91	1.09	348	29.38 ***
	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

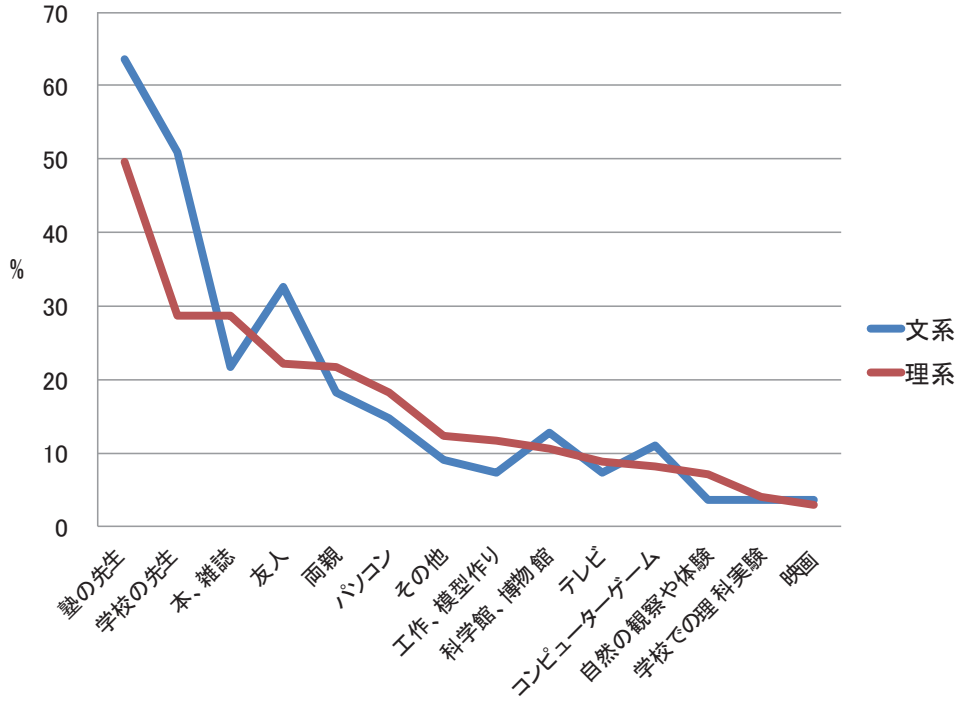
上段：度数　下段：%　$\chi^2 = 13.06^{***}$

*** $p<0.01$

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^2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。

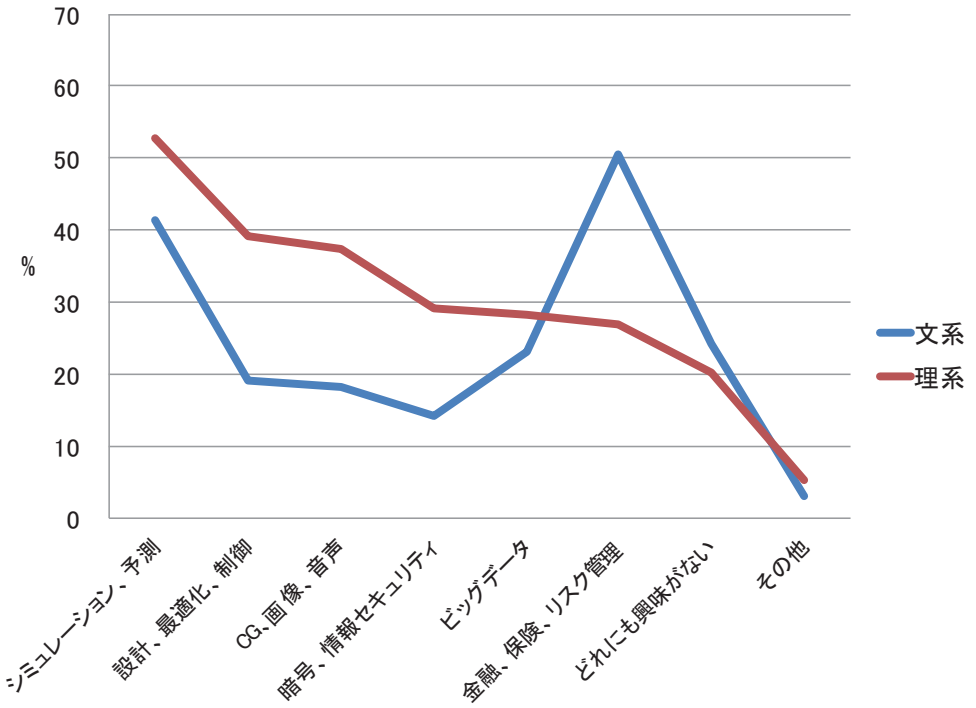
結果は図表5-1、図表5-2の通りである。「シミュレーション・予測」、「設計・最適化・

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			χ^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6-1と図表6-2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。

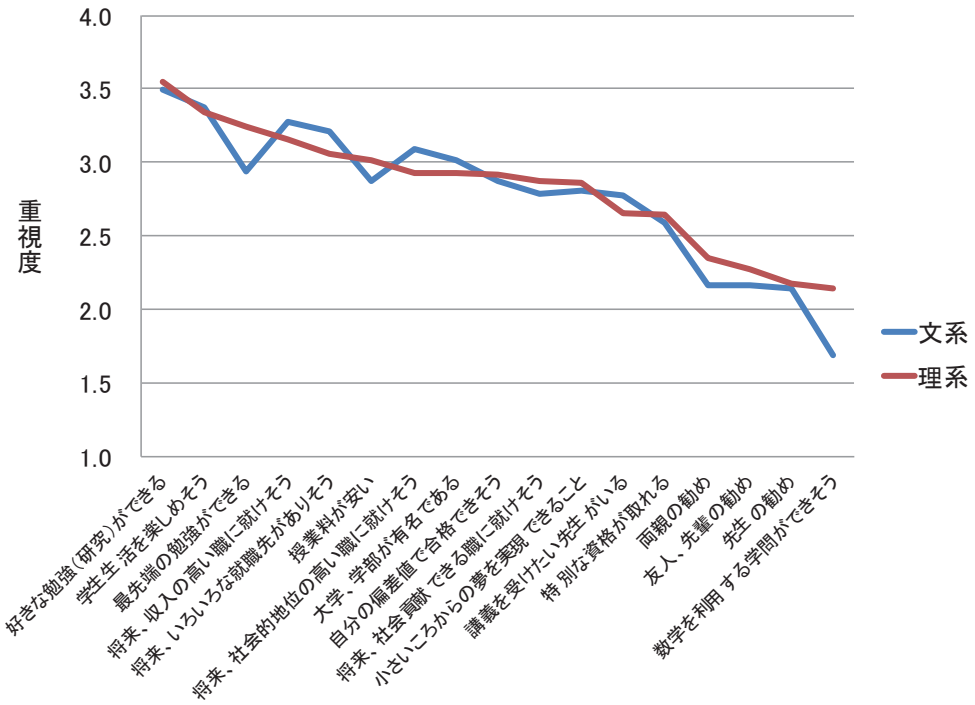
全体的な傾向を見ると、最も重視度が高かった項目は「好きな勉強(研究)ができる」と「学生生活が楽しめそう」であった。これらは大学生活における内在的な価値に関する項目であると言える。その後は「将来、収入の高い職に就けそう」、「将来、いろいろな職に就けそう」、「将来、高い社会的地位に就けそう」といった将来の社会経済的地位に対する大学教育の効果に関する項目が続き、さらに「授業料が安い」、「自分の偏差値で合格できそう」といった現時点における自らの経済的、能力的資源から見た入学可能性に関する項目が並んでいた。「小さいころからの夢が実現できそう」や「将来、社会貢献できる職につけそう」といった自己実現に関する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める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 6-1　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 6-2　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

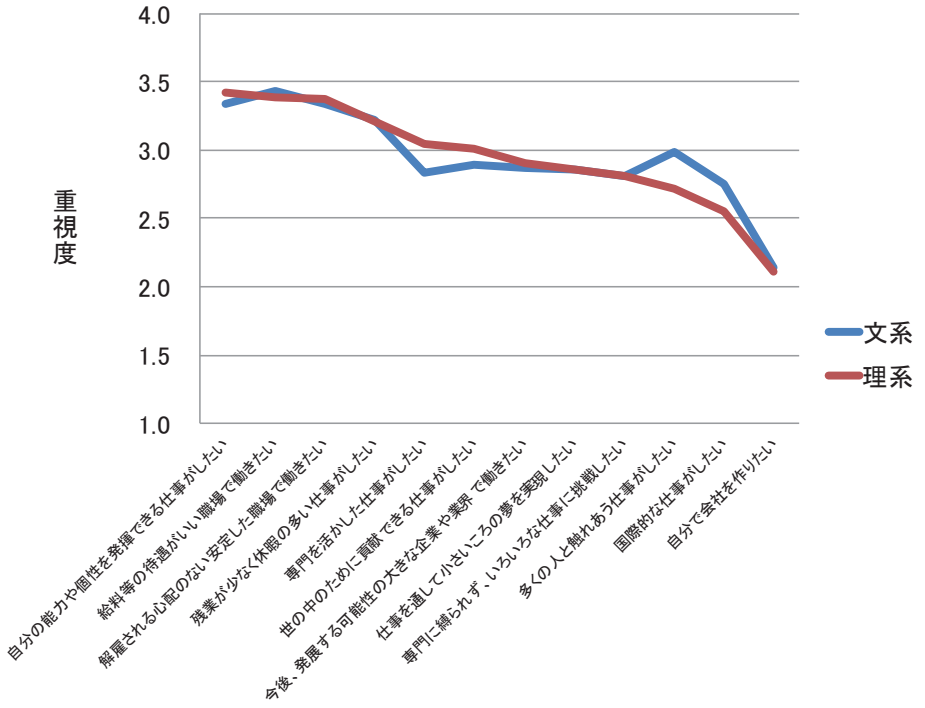
最後に、職業選択における基準とその重視度について分析した。結果は図表7-1と図表7-2に示されている。ここでも文理の差異はほとんど見られなかった。全体的な傾向としては、まず「自分の能力または個性を発揮できる仕事がしたい」という能力発揮の可能性を重視し、次いで給料や待遇の良さ、雇用の安定性、残業の少なさといった社会経

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ことや自分で会社を作ること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こと」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 7-1　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がしたい	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がしたい	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がしたい	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がしたい	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がしたい	2.98	0.84	106	2.71	1.00	242	2.80	0.96	348	5.77 *
国際的な仕事がしたい	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 7-2　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が、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はなく、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クシキュリティ（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。

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が必要である。

(5)　付録

(5.1)　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。

(5.2)　外発的動機づけアプローチ

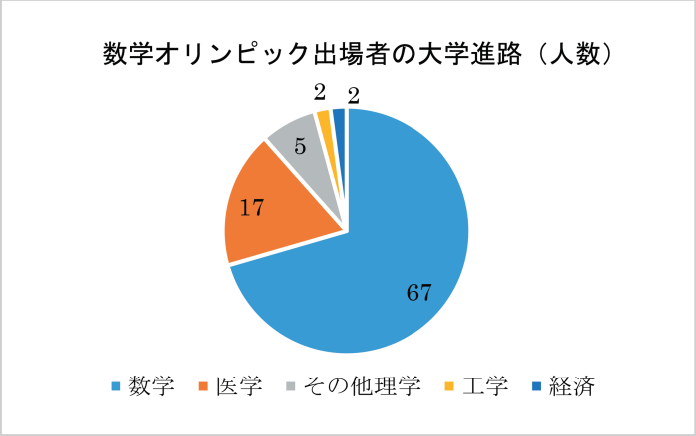
- 「数学を勉強すると、得をする !」というメッセージを学生に伝える。
- まず、数学を利用する職業の収入や雇用の流動的安定性 (フレクシキュリティ) が、そうでない職業のものよりも高いことをデータで示す。
- さらに、なぜ得をするのかを説明するロジックの中に、数学が価値を生み出すプロセスの具体例を取り入れる。
- 具体例は、最低でも文系用、理系用の２パターンを用意し、社会的な利益だけでなく、学生の個人的な利益に繋がることを説明する。
- 高校生の数学力で理解できる具体例を豊富に提示することが重要である。
- 新たな教師の役割、新たなカリキュラムは、このような方向性を持つことが望まれる。

2.2.　数学オリンピック学生の進路

数学オリンピック代表となった学生の進路について、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93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わかった。

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・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）

・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

2.3.　高校教員からみた数学への意識

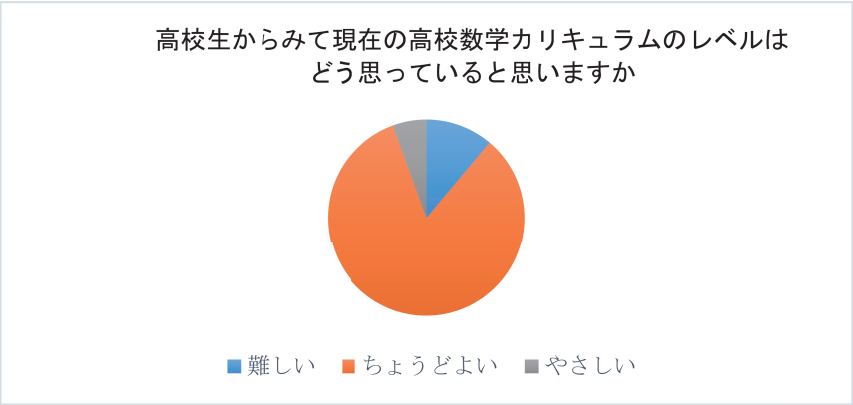
(1)　目的

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。

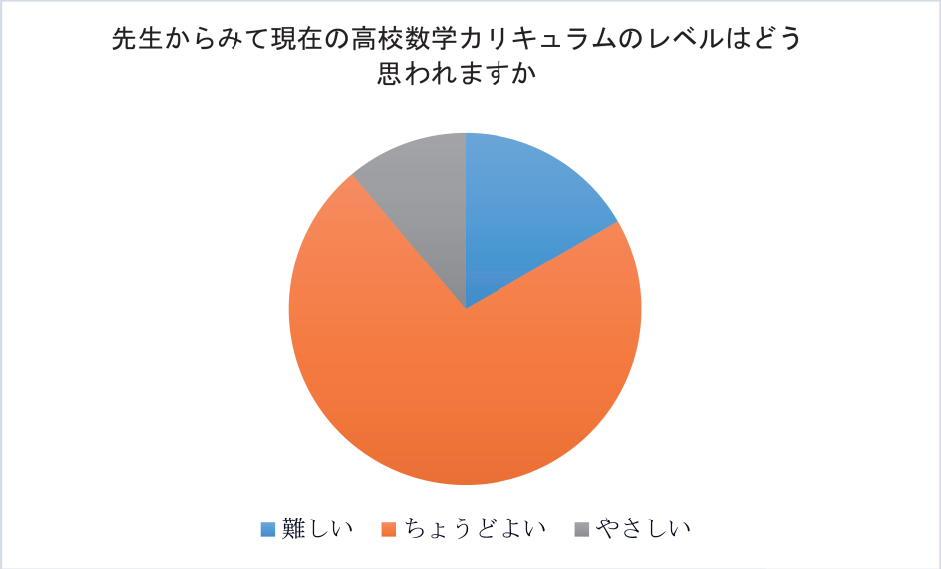
(2)　調査対象と方法

ある県の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。

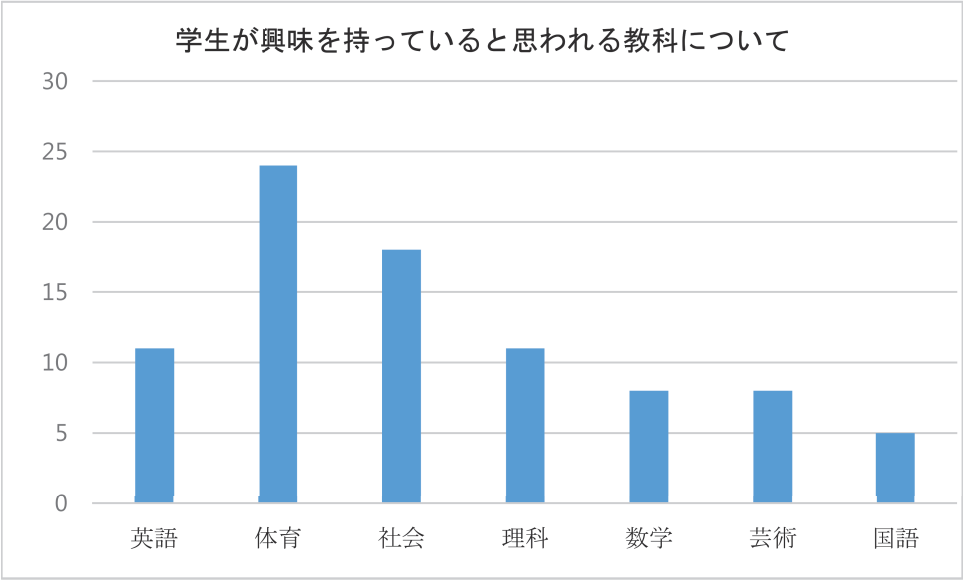
【質問1】　現在高等学校でお教えになっている数学のカリキュラムは現在の高校生にとってどの程度のレベルだとお考えでしょうか。



【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。

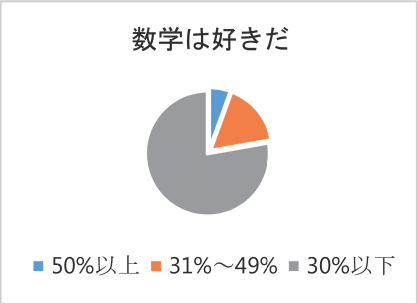


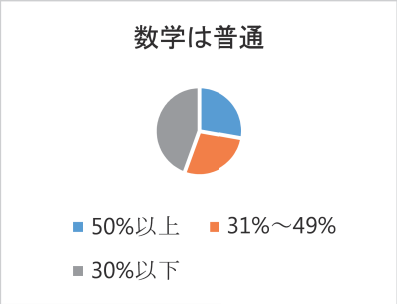
【質問3】　現在の学生は、どの教科に興味があると思われますか。

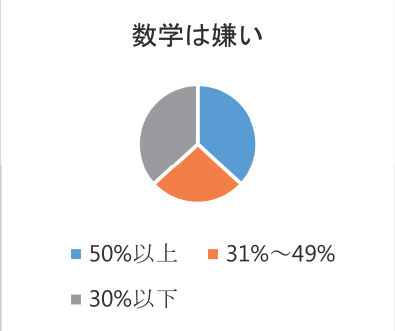


（注：順位付けをしてもらったあとでポイントに直して表示してある）

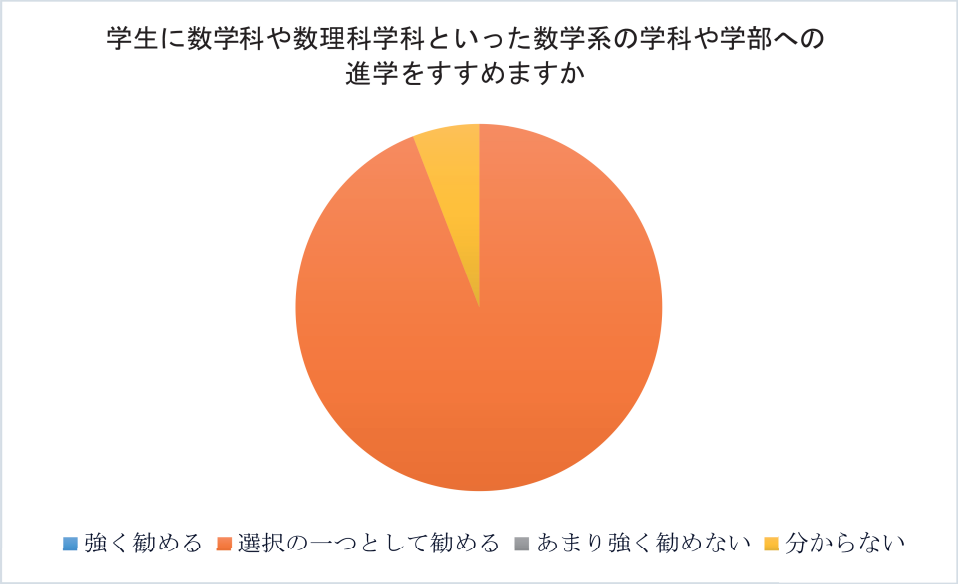
【質問4】　学生にとって数学はどの程度好きだと感じていられますか。







【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。

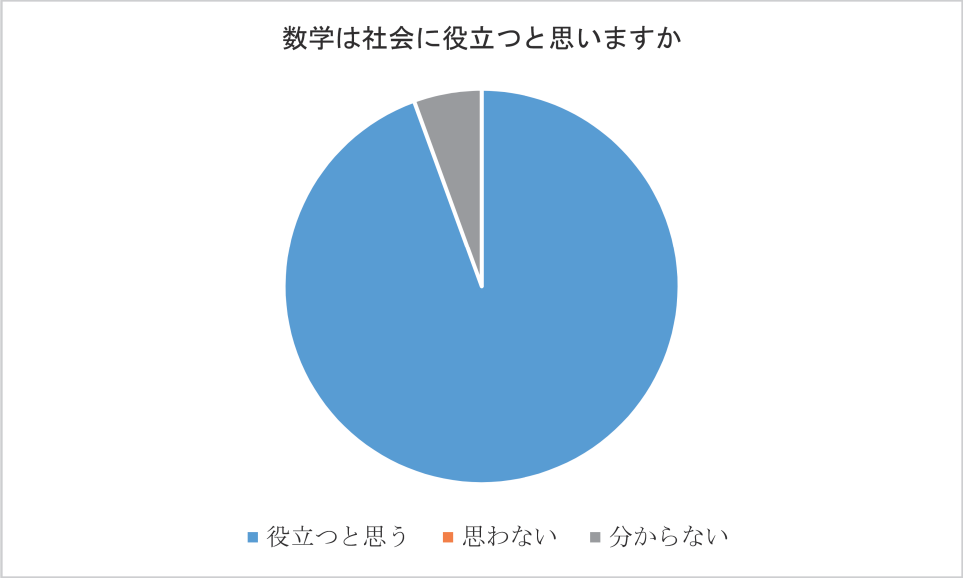


【質問6】　もし、学生に「数学科」や「数理科学科」への進学を勧めないとしたら、その理由は何でしょうか。

（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。



【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）

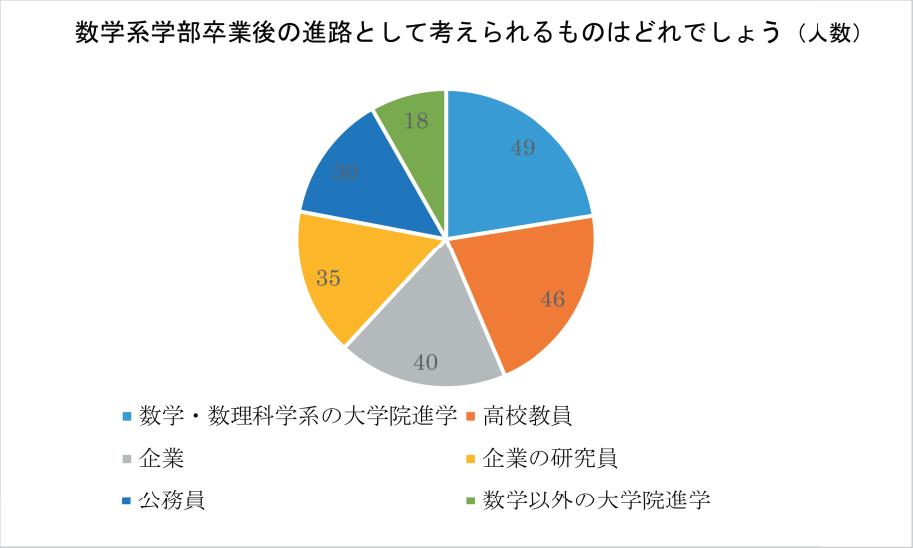
・ 具体的に社会へ役立っている例はすぐには見当たらない。物事の考え方に大変影響を与えていると思う。
・ 特に考えたことはないが、直接でなくとも間接的に役立っていると思われる。
・ 特殊から一般へ考え方を広げる。
・ 考える課程や粘り強さなど、知識を使いこなせる力をつけていくこと。
・ いろんな分野（工学）最先端技術で役立っている。
・ 天気予報やスポーツなどのビッグデータ解析
・ 医療、精密機械の精度をあげる工夫
・ 回路の最小限にしてエネルギー資源の節約アルゴリズム
・ システムエンジニア
・ スパコン
・ 新幹線

【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。

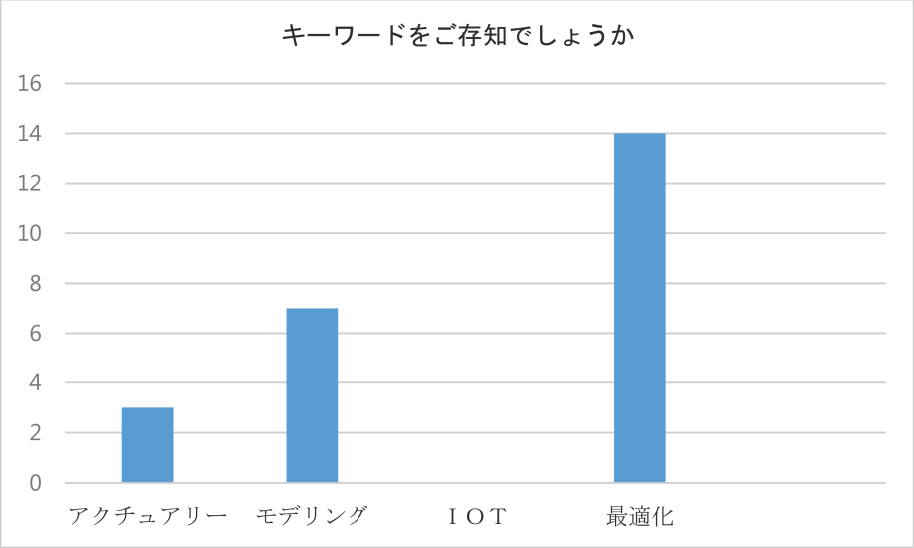
・ 教養教育、専門教育の基礎
・ 物事をとことん追究し、難題であっても自らの力で解決しようとする姿勢が身に着く。
・ 数学的な思考力を身に着けることで、物事の判断に幅を持たせる。
・ 考え方、思考、頭の体操、発想力等
・ 論理的な思考や工夫することの練習
・ 計算力も社会では多いに役立っている。

【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。

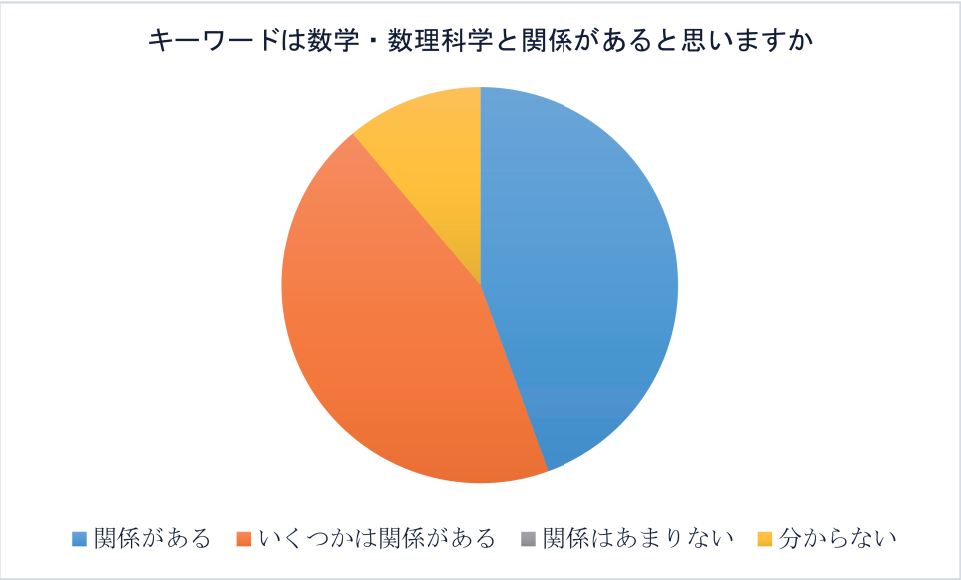


（回答を多い順にポイント化して表示してある）

【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11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、どのようにお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ほしい。
・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。

(3)　考察

アンケートを実施した対象者は、県の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える。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える。

(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、理系によって分かれると理解しているのではないか。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。

(4) 検討課題

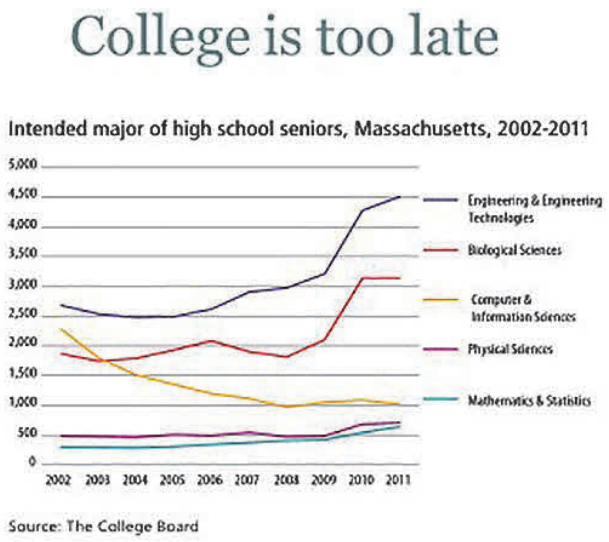
上記考察を踏まえて、以下のような検討が考えられる。

(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IT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。

3. 米国における数学人材育成調査

3.1. 米国高校生の人材育成



図表3-1　マサチューセッツ州の高校生の進路

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。図表3-1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わかる。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わかる。

3.2. 米国のサマースクール

高校生に数学を集中的に教育するサマースクールが米国で知られている。1つはオハイオ州立大学が行っているRoss Programである。これをもとにして、ボストン大学が行っているPROMYSというプログラムがある。PROMYSは1989年にボストン大学Glenn Stevens教授が主催し、ボストン大学で行われている。以下は、PROMYSを主催するボストン大学Glenn 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。

(1) PROMYS Student Program

（1.1）　概要（http://www.promys.org/）

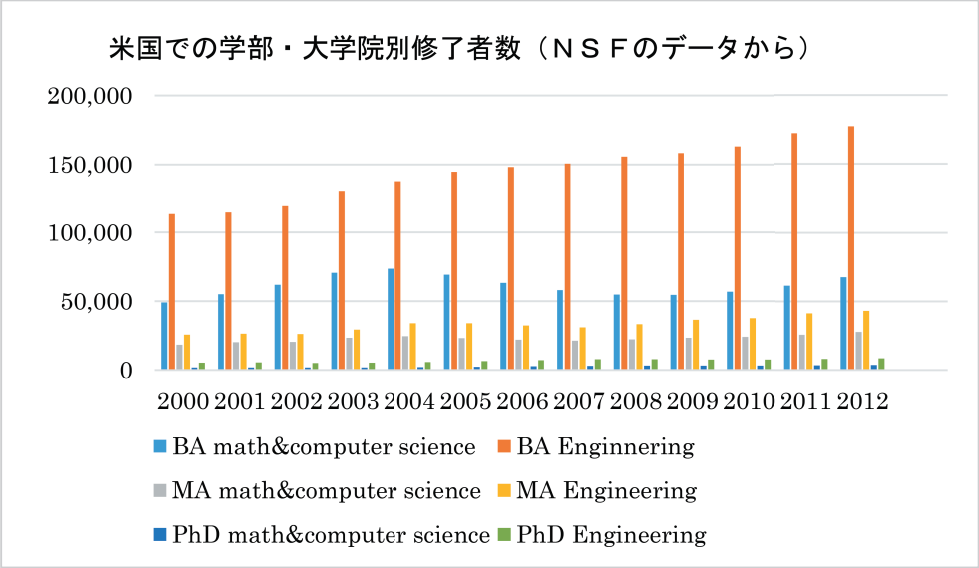
①　Arnold Ross によって1957年に設立された Secondary Science Training Program（SST）の参加者たちによって1989年に設立された。

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。

③　NSF の Young Scholars 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



（1.2）　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 コース進学者：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 を取得した学生の進路先

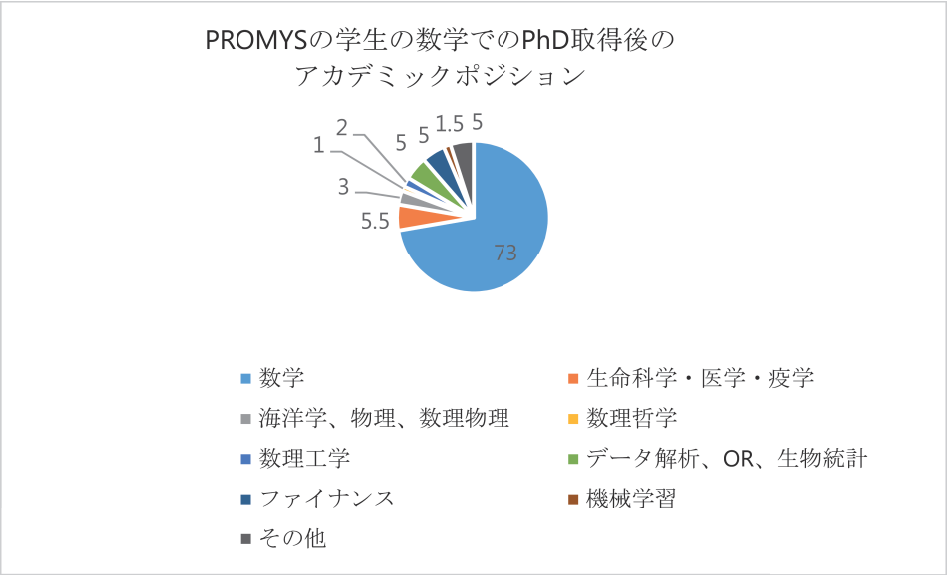
・少なくとも126名はアカデミックポジションを得ている（教授、准教授）

・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：NSF Career （12名）、Sloan Research Fellow（8名）。

⑦ PROMYS から数学以外の研究分野へ進んだ例

・Henry Cohn: Microsoft Research New England の創立者の一人。

・Carolyn Phillips: MIT で数学と文学の学位をとり、機械工学の修士（MIT）取得後、

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。

・Michael 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。

(2) 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。

③ PhD（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。

(3) PROMYS から分かること

① PROMYS 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：

④ PROMYS 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 その後、「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。

(4) インタビュー

(4.1) 米国での「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：Glenn 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 教授への質疑応答を行った。

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。

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、大学レベルの知識（例えば微積分）は持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教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、講義を聞いてもらうが、その計算法や理論は講義の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。

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すこと、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。

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要求はしない問題について答えてもらう。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。

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。

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、科学や数学がとても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機会になっている。PROMYS の修了者の中での多くの PhD は PROMYS での経験がとても役に立った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。

米国政府、教育省でそのような考えは持っていないと思う。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方面に進むことが多い。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。

【質問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いく。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。

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）。

【質問8】 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。

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。

(2) オハイオ州立大学 Ross Program について

(4.2) オハイオ州立大学の Ross Program（http://u.osu.edu/rossmath/）に参加した経験を持つ坂内健一氏（現在慶應義塾大学理工学部数理科学科准教授）への調査と回答を得た。

【質問1】 Ross Program にはいつ参加されましたか。

高校2年の時に参加しました。

【質問2】 Ross Program についての感想はどうだったでしょうか。

8週間、泊まり込みでみっちりと数学に取り組んだ。整数論の問題を順番に解いて

いく、というシステムで、問題の解き方は基本的に教わらない。例えば「素数」という数の重要性も、天下り的に教わるのではなく、問題を解いていくうちに分かってくる感じ。多感な高校の時期に８週間ですから、かなり鮮明に色々と覚えています。

【質問3】 Ross Program に参加してよかったこと、またあまり期待できなかったことはありますか。

８週間、朝から晩までみっちりと数学をする体験はとても刺激的だった。日本にありがちな、ちょっと面白い話をして、ちょっと演習みたいなのをして、何か分かった気になって終わる、というのと比べ物にならないほど濃厚だった。発見的で、自分で様々な法則を発見しないといけない点も、とても良かったと思う。親元から離れて８週間暮らす体験も初めてだったので、とても面白かった。特に悪いことは無かったと思う。

【質問4】 その後の自分にどう影響がありましたか。

基本的なことを厳密に証明するクセが付いた。逆に一時期、お話的な厳密でない数学を受け入れられなくなった時期があり、その点はもしかすると良く無かったかもしれない。

【質問5】 Ross Program に参加することで友人を作ることができたでしょうか。今はどのように付き合っているでしょうか。

インターネット以前の時代のため、継続的に付き合う友人はいなかったが、例えば整数論の Brian Conrad や Robert Pollack（ボストン大学）も OB であり、Ross Program の OB であることを伝えると、仲間と見なされる。フランス滞在中に出会った Olivier Schiffman も OB であり、やはり Ross Program OB ということで、一気に仲良くなった。

【質問6】 Ross Program で、数学以外の分野に興味をもっていた学生や実際他分野への学部（メジャーとして）いった学生はいたと思いますか？

高校生のことでしたので、数学以外の分野に興味を持っていた学生は、とても多かったと言えると思います。女子学生も、半分とは行きませんが、かなりの割合いた記憶があります。大半が、大学で数学以外の分野を専攻したと想像されます。

【質問7】 Ross Program から、数学・数理科学以外の分野へ進んで研究者や企業へ進んだ人の例をご存じでしょうか？

Ross Program の OB で、原田芽ぐみ氏はその後数学者になりました。そのお兄さんも Ross Program の OB で、今はシリコンバレーのベンチャー企業で働いているようです。それ以外にも、成功している人は沢山いると想像しますが、コンタクトを取っていないので、何とも言えません。

3.3. 数学コミュニティ

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 Mathematical 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。

4.　国内での学部における数学教育調査

数学融合研究を推進するためには、幅広い数学人材の育成が急務である。そのために、国内外の数学・数理科学系の大学で行われている教育プログラムをもとに、どのような工夫がされているかを調査してみた。特に、国内では、新しい理念で開設された数学・数理科学系の学部や学科がある。そのいくつかの例の調査を行った。

4.1.　国内における大学での学部数学教育

(1)　東京大学　理学部　数学科（1 学年学生数（45 名））

(1.1)　学科の概要

(1.1.1) 設立についての経緯

1877 年東京大学が設立された時に理学部の一部として出発。1919 年には、数学科の講義科目が設定されている。

(1.1.2)　教育目的

理学部としては、以下の人材の養成を目的としている。

(a) 自然科学を中心とする諸分野の第一線で先端的な研究を行う研究・教育者

(b) 産業界の要請及び諸研究開発機関などからの需要に応じた創意ある人材

(c) 社会の諸方面において理学的素養をもって働く人材

さらに、数理科学研究科は以下の教育目的を掲げている。

数学、数理科学に関する体系的な知識と高度な研究能力を修得し、数学・数理科学の諸分野において、第一線で活躍する研究者、ならびに数学・数理科学の幅広い素養と専門的な判断力を身につけ、社会の広範な領域で新しい時代を担う人材を育成し、国

際的な視野に立って高度な数学・数理科学の文化を醸成して社会の発展に資することを目的とする。

(1.2)　カリキュラム

1年	必修 : 数理科学基礎 必修 : 微分積分学、線型代数学
2年前期	選択 : 微分積分学続論、常微分方程式、ベクトル解析、解析学基礎
2年後期	必修 : 代数と幾何、同演習 : 線型代数学のより進んだ理論 必修 : 集合と位相、同演習 : 集合論と位相空間論の基礎 必修 : 複素解析学 I 、同演習 : 一変数複素関数論の入門的な部分
3年前期	必修 : 代数学 I 、代数学特別演習 I : 群論と環論の入門 必修 : 幾何学 I 、幾何学特別演習 I : 多様体論の入門 必修 : 解析学 IV、解析学特別演習 I : ルベーグ測度と積分 必修 : 複素解析学 II、複素解析学特別演習 : I に引き続く内容
3年前期	選択必修 : 計算数理 I、同演習 : 数値計算の基礎 選択 : 計算数学 I
3年後期	選択必修 : 代数学 II、代数学特別演習 II : 環と加群 選択必修 : 代数学 III : ガロア理論 選択必修 : 幾何学 II、幾何学特別演習 II : 位相幾何学の初歩 選択必修 : 幾何学 III : ベクトル場と微分形式 選択必修 : 解析学 V : 微分方程式論の初歩 選択必修 : 解析学 VI : フーリエ変換、超関数 選択必修 : 解析学特別演習 II : 解析学 V、VI の共通の演習 選択必修 : 現象数理 I : 数理解析学概論 選択必修 : 確率統計学 I : 確率論の基礎 選択 : 計算数学 II 選択 : 数学輪講
4年前期	必修 : 数学講究 XA : 小人数のセミナー 必修 : 数学講究 XB : 現代数学概説 (オムニバス) 選択必修 : 解析学 VII : 関数解析 選択必修 : 計算数理 II : 偏微分方程式の数値解析 選択必修 : 現象数理 II : 「非線型現象と数理解析」や「数理物理学」など

4年後期	必修 : 数学特別講究 : 個別指導 選択必修 : 現象数理 III :「量子論と数理物理学」や「非線型現象」など .
4年	選択 : 数学続論 XA~XH、数理科学続論 A~F など (大学院と共通で大学院講義の科目名は以下の通り) 代数幾何学 整数論 保型関数論 解析数論 応用代数学 数理代数学概論 微分幾何学 位相幾何学 大域解析学 複素多様体 力学系 大域幾何学概論 線形微分方程式論 スペクトル理論 代数解析学 確率解析学 関数解析学 基礎解析学概論 代数構造論 群構造論 リー環論 無限次元構造論 複素解析学特論 表現論 数理構造概論 非線形数理 確率過程論 数値解析学 数理統計学 制御数学 大規模行列計算論 数理解析学概論 数理論理学 数学基礎論 情報理論 計算数学 組合せ論 離散数理学概論 アクチュアリー数理 非線形解析学 数学史 基礎数理特別講義 応用数理特別講義 数理科学特別講義 統計財務保険特論 社会数理特別講義 統計財務保険演習 数物先端科学 社会数理先端科学

(1.3)　今までの数学科や数理科学科とは異なる特色について

アクチュアリー・統計プログラムが、学部教育特別プログラムの一つとして、平成17年に東京大学理学部に開設され、平成25年度で終了した。このプログラムでは、未来のアクチュアリーを養成していくと同時に、数理統計学の基礎を体系的に学んだ統計家を養成することを目的とし、現在のアクチュアリーに必要とされている基本的な知識の修得のみならず、将来アクチュアリーに必要となる、ファイナンス・リスク管理及びその統計的取り扱いも視野に入れ、確率論・統計学を包括的に教育し、保険数理の発展に寄与する人材を育成するものであった。終了後、ほとんどの関連講義が、理学部数学科および大学院数理科学研究科講義として開講されている。

アクチュアリー・統計プログラムでの必修科目：確率モデルと統計手法、確率モデルと統計手法演習、確率論、確率論演習

同選択科目：数理統計学基礎、確率過程論、確率解析学、アクチュアリー数理1、アクチュアリー数理2、保険理論、時系列解析、多変量解析、人口学、会計学基礎、経済学基礎、アクチュアリー統計セミナーⅠ、アクチュアリー統計セミナーⅡ

(1.4)　学生の進路について期待していることとその戦略

「数学、数理科学に関する体系的な知識と高度な研究能力を修得し、数学・数理科学の諸分野において、第一線で活躍する研究者、ならびに数学・数理科学の幅広い素養と専門的な判断力を身につけ、社会の広範な領域で新しい時代を担う人材を育成」する上で、広い進路を選択してほしいと考えており、そのために、日本数学会異分野・異業種研究交流会への参加を奨励しているほか、同窓会の支援を得て「数理キャリアデザインセミナー・情報交換会」を開催している。

(1.5)　成功していると思えること

上記の人材育成は、アカデミックな進路に対してはおおむね成功している。

(1.6)　今後の課題について

広く社会で活躍する人材の育成には、課題が残っている。

(2)　慶應義塾大学理工学部　数理科学科　(1学年学生数(約60名))

(2.1)　学科の概要

(2.1.1)　設立についての経緯

慶應義塾大学工学部時代に、純粋数学、統計学・確率論、コンピュータ科学の3研究教育分野が融合する数理工学科が設立された。工学部の発展のために、数理的な研究教育が必要であるという要望に応えたものである。その後、理工学部に改組されたときに、数理科学科となり、学生定員数も40名から60名に増員されている。このうち、40名が数学コース、20名が統計コースを選択することを基準にカリキュラムが作られた。それにより、統計コースのカリキュラムは国内ではまれに見るほど充実した統計教育が行われている。また数学コースは理学士、統計コースは工学士という一つの学科で異なっ

た学士号を出せる当時国内では唯一の学科であった。その設立趣旨から、実解析、複素解析、エルゴード理論、関数方程式等の解析系の教育と確率論、統計学およびコンピュータ教育を主体としていたが、その後、代数学、幾何学といった純粋数学研究教育分野が加わってきている。さらに、離散数学や最適化問題も研究教育分野の柱となり、多様な数学・数理科学教育を実践している。

(2.1.2)　教育目的

数学および統計科学など、数理科学の理論と研究手法を教授することで、抽象的・普遍的に物事を見る力やデータから情報を的確に読み取る力を育み、変化する時代においても確実な判断を下し、幅広く社会に貢献する人材の育成を目的とする。

(2.2)　カリキュラム

別表参照（別紙1-4）

(2.3)　今までの数学科や数理科学科とは異なる特色

3年次から、代数、幾何、解析、確率、離散数学を教授する数学専攻と統計科学、確率、離散数学、情報系科目を教授する統計学専攻に学生は分かれる。また、学生は所属する専攻に関わらず、科目を履修でき（数学と統計学の両方を学べ）、どの研究室にも配属可能である。

(2.4)　学生の進路について期待していることとその戦略

特徴的な点は、中高の教員あるいはアクチュアリーの資格を目指す学生がいる点である。教員志望者については、慶應義塾内の高校で非常勤講師ができたり、そこに所属する卒業生も少なくない。アクチュアリー養成については、財団法人アジア生命保険振興センターより寄附講座を開設していただき、保険業界で将来活躍する学生の育成を経済学部・経済学研究科とも協同して行っている。

(2.5)　成功していると思えること

学部教育における数学専攻と統計学専攻という枠組みはやる気のある学生には非常に良い体制であると思う。

(2.6)　今後の課題について

数学、数理科学が様々なところで役に立っているという認識を、高等学校以下の生徒やその親に認識してもらうことであると考える。

(2.2)　別紙１　１年次履修科目（学門２から数理科学科に２年次に所属）

〔学門 2〕

種類		授業科目	分野コード			授業形態	単位数	履修単位
必修科目	外国語科目	英語 1	02	01	01	春学期	2	4
		英語 2	02	01	01	秋学期	2	
		ドイツ語 1	02	02	01	春学期	2	8
		ドイツ語 2	02	02	01	春学期	2	
		ドイツ語 3	02	02	01	秋学期	2	
		ドイツ語 4	02	02	01	秋学期	2	
		フランス語 1	02	03	01	春学期	2	
		フランス語 2	02	03	01	春学期	2	
		フランス語 3	02	03	01	秋学期	2	
		フランス語 4	02	03	01	秋学期	2	
		ロシア語 1	02	05	01	春学期	2	
		ロシア語 2	02	05	01	春学期	2	
		ロシア語 3	02	05	01	秋学期	2	
		ロシア語 4	02	05	01	秋学期	2	
		中国語 1	02	04	01	春学期	2	
		中国語 2	02	04	01	春学期	2	
		中国語 3	02	04	01	秋学期	2	
		中国語 4	02	04	01	秋学期	2	
		朝鮮語 1	02	06	01	春学期	2	
		朝鮮語 2	02	06	01	春学期	2	
		朝鮮語 3	02	06	01	秋学期	2	
		朝鮮語 4	02	06	01	秋学期	2	
	基礎教育科目	自然科学実験	03	01	01	春／秋学期	2	28
		情報学基礎	03	01	01	春学期	2	
		理工学概論	03	01	01	春／秋学期	2	
		生物学序論	03	01	01	春／秋学期	2	
		数学 3A	03	01	02	春学期	2	
		数学 4A	03	01	02	春学期	2	
		数学 3B	03	01	02	秋学期	2	
		数学 4B	03	01	02	秋学期	2	
		物理学 A（＊）	03	01	03	春学期前半	2	
		物理学 B（＊）	03	01	03	春学期後半	2	
		物理学 C（＊）	03	01	03	秋学期前半	2	
		物理学 D（＊）	03	01	03	秋学期後半	2	
		化学 A	03	01	04	春学期	2	
		化学 B	03	01	04	秋学期	2	
選択科目	自由科目	情報処理入門	05	01	01	春学期	2	—
	総合教育科目	別表(a)・(b)（→ p. 50～51）						

（＊）４学期制科目

(2.2)　別紙２　数理科学科２年次科目

数理科学科

種　類		授業科目	分野コード			授業形態	単位数	履修単位
必修科目	外国語科目	英語３	02	01	01	春学期	2	4
		英語４	02	01	01	秋学期	2	
	専門基礎科目	数理科学基礎第１	04	01	01	春学期	2	7
		数理科学基礎第２	04	01	01	秋学期	2	
		計算機科学同実習	04	01	01	秋学期	3	
選択科目	専門基礎科目	応用解析第１	04	01	02	春学期	2	17
		解析力学	04	01	02	春学期	2	
		確率	04	01	02	春学期	2	
		計算機基礎	04	01	02	春学期	2	
		集合と位相第１	04	01	02	春学期	2	
		情報数学概論	04	01	02	春学期	2	
		数学解析第１	04	01	02	春学期	2	
		線形代数	04	01	02	春学期	2	
		量子力学入門	04	01	02	春学期	2	
		集合と位相第２	04	01	02	秋学期	2	
		応用解析第２	04	01	02	秋学期	2	
		関数論第１同演習	04	01	02	秋学期	3	
		数学解析第２	04	01	02	秋学期	2	
		代数学基礎同演習	04	01	02	秋学期	3	
		統計解析	04	01	02	秋学期	2	
		理工学基礎実験	04	01	02	秋学期	2	
	総合教育科目	別表(a)・(b)（→ p. 50～51）						

（2.2） 別紙３　数理科学科　統計学専攻科目（3、４年次）

・統計学専攻

3 年生

種類・分野コード	学期	科目名	単位	
必修科目 04-02-03	春	統計科学同演習	3	
選択科目 04-02-11	春	アルゴリズム論	2	
		確率概論	2	
		計算数学	2	
		実解析第 1 同演習	3	
		数理統計学第 1 同演習	3	
		有限数学第 1	2	
	秋	確率論第 1 同演習	3	
		計画数学	2	
		計算機システム論	2	
		実解析第 2 同演習	3	
		情報処理	2	
		情報数学第 1	2	
		数理統計学第 2	2	
		データ解析同演習	3	
		データサンプリング	2	
		統計科学輪講	1	
		有限数学第 2	2	
		リスク数理	2	

4 年生

種類・分野コード	学期	科目名	単位	
必修科目 04-02-02	定時外	卒業研究	6	
選択科目 04-02-11	春	確率論第 2	2	
		時系列モデル	2	
		情報数学第 2	2	
		数値解析	2	
		数理科学特別講義第 1	2	
		非線形モデル	2	
		保険数学	2	
	秋	数理科学特別講義第 2	2	
		図形処理	2	
		統計数学続論第 1	2	
		統計数学続論第 2	2	
	定時外	数理科学特別演習	1	

1．４年進級条件

別項（29ページ）の必要単位を取得していなければなりません。

2．卒業条件

別項（30ページ）の必要単位を取得していなければなりません。

（2.2） 別紙４　数理科学科　数学専攻科目（3、４年次）

数理科学科　学科専門科目標準課程表

・数学専攻

3 年生

種類・分野コード	学期	科目名	単位	
必修科目 04-02-01	春	数理解析同演習	3	
選択科目 04-02-11	春	確率概論	2	
		関数方程式概論	2	
		関数論第 2	2	
		幾何学第 1 同演習	3	
		計算数学	2	
		実解析第 1 同演習	3	
		代数学第 1 同演習	3	
		有限数学第 1	2	
	秋	確率論第 1 同演習	3	
		関数方程式第 1 同演習	3	
		幾何学第 2 同演習	3	
		計算機システム論	2	
		実解析第 2 同演習	3	
		情報数学第 1	2	
		代数学第 2	2	
		有限数学第 2	2	
		リスク数理	2	

4 年生

種類・分野コード	学期	科目名	単位	
必修科目 04-02-02	通年	卒業研究	6	
選択科目 04-02-11	春	確率論第 2	2	
		関数解析第 1	2	
		関数方程式第 2	2	
		現代幾何学概論第 1	2	
		情報数学第 2	2	
		数値解析	2	
		数理科学特別講義第 1	2	
		代数学続論	2	
		保険数学	2	
	秋	関数解析第 2	2	
		現代幾何学概論第 2	2	
		数理科学特別講義第 2	2	
		数理論理学	2	
		図形処理	2	
	定時外	数理科学特別演習	1	

(3)　明治大学　総合数理学部　現象数理学科（1学年学生数（80名））

(3.1)　学科の概要

(3.1.1)　設立についての経緯

現象数理学科のルーツは理工学部数学科と2007年に設置されたMIMS（明治大学先端数理科学インスティテュート）で、このMIMSが母体になり2008年から2012年に推進された文部科学省GCOEプログラムが「現象数理学の形成と発展」である。その後、GCOEプログラムの終了を受け、活動の継承のために2013年5月にMIMSのもとに現象数理学研究拠点が設立された。この間2011年4月に単一専攻からなる独立研究科として先端数理科学研究科現象数理学専攻が開設され、研究面だけでなく教育面での現象数理の方法論が煮詰められた。さらに現象数理学の裾野を広げ継続的に発展させるため、2013年4月に新設の総合数理学部に現象数理学科が設置された。

(3.1.2)　教育目的

正式には以下の「人材育成その他の教育研究上の目的」にあるとおりだが、一言で言うと「現象数理学の3本の柱（モデリング＋シミュレーション＋数理解析）を身に着け、社会の抱える様々な問題解決に数理科学を役立てることのできる人材の育成」である。

＜人材養成その他の教育研究上の目的＞

現象数理学科は、世界を牽引する数理科学の教育研究拠点として、生命現象や経済活動などの自然や社会における複雑な現象を解明する現象数理学の教育と研究を行う。数理科学の理論・応用及びコンピュータの密接な連携教育の下で、「現象から数理科学的問題を抽出する力」、「数理科学を自然や社会の問題解決に活用する力」及び「21世紀の新たな数学を創造する力」を培い数学と社会をつなぐ架け橋となる人材を養成する。様々なフィールドで数学の力を生かし、数理科学の探究に挑戦し続けることのできる人材を輩出し、社会に貢献する新たな教育研究を展開する。

(3.2)　カリキュラム（⇒図表は別紙を参照）

学科カリキュラムについては、基礎教育科目は数理基礎と情報基礎に大別され、2年次までに配当される。数理基礎では一般的な理系学部同様に微積分や線形代数を中心に学ぶが、情報基礎ではプログラミング演習に重点をおいている。専門科目は4年間にわたり（といっても2、3年次に重点的に）配当されているが、大きく5つの科目群に分かれ、現象数理の基礎、コンピュータ数理、社会数理、創造数理、演習・研究に区分されている。

現象数理の基礎は、2年次までに配当され、文字通り現象数理を支える基礎理論であるモデリングとシミュレーションと数理解析を総合的に学ぶ必修科目群であり、数理リテラシー、現象のモデリングとシミュレーション、現象と数学の3科目から構成されている。中でも現象のモデリングとシミュレーションはこの学科の特徴がよく出た科目で、生態学や化学反応、振動や電気回路など分野横断的に題材を扱い、電気回路工作などを通じて実際に手を動かしながら、微分方程式によるモデリングと差分解法の基礎を学び、シミュレーション技法の基礎を身につけることを目指している。

社会数理（主にモデリング）、コンピュータ数理（主にシミュレーション）、創造数理（主に数理解析）の3つは、ほとんどが選択科目や選択必修科目で構成される大きな科目群で、現象数理の方法論の3つの柱に緩やかに対応している。学生は自分の進路の方向性にあわせて、この中のひとつまたは複数の科目群から履修科目を選択する。社会数理科目群では微分方程式や確率論・統計学を基礎として、物理・生物・医学・経済・金融など社会の様々な分野に適用される数理科学における様々なモデリング手法を学ぶ。測度論や確率過程もこの科目群に含まれる。コンピュータ数理科目群には、画像処理とフーリエ変換、偏微分方程式とシミュレーションなどが配置されており、数理科学分野における中核的な可視化技術、シミュレーション技術を学ぶ。化学実験室を使った現象数理学実験や実験データ解析演習もこの科目群に含まれる。これらの科目群での学習が社会における卒業生の活躍の場の拡大に役立つことを期待している。3つの科目群の中では、創造数理科目群が一般の数学科のカリキュラムとの類似性が最も高くなっており、代数や幾何の科目は主にここに配置されている。教員志望の学生のために実験数学教育という科目も用意されており、新しい視点で数学の魅力を生徒に伝えられる教員の輩出を目指している。創造数理という科目群のネーミングには新しい現象に数学を適用しようとすることが新たな数学の創造につながるというニュアンスがこめられている。

(3.3)　今までの数学科や数理科学科とは異なる特色

上述のように、現象数理学の方法論を反映したカリキュラムの独自性が最大の特徴である。

また、学科専用の化学実験室を有し、電子顕微鏡やプロ仕様の金融情報端末など、今までの数学科や数理科学科にない設備を用いて授業や研究指導を行っている。

(3.4)　学生の進路について期待していることとその戦略

数学の基礎学力をベースに、様々な分野の現象と数理のつながりを実験やシミュレーションを通じて学び、コンピュータを用いた数理的アイデアの実装能力を醸成することにより、従来よりも幅広い領域で活躍することを期待している。

(3.5)　成功していると思えること

学科特別仕様の個人用 Mac Book を毎日授業や演習で使うので、学生のコンピュータ・リテラシーは向上している。現象数理学ならではの微分方程式や確率モデルのシミュレーション、数値解析の教育は比較的順調で、現在の最高学年の学部3年生でも、身の回りの現象を研究題材に選んで、教員と共著で海外で研究発表するような事例もでてきている。

(3.6)　今後の課題について

とりあえずはこのまま無事に完成年度（2017年）を迎えることが最優先課題である。

（3.2） 別紙

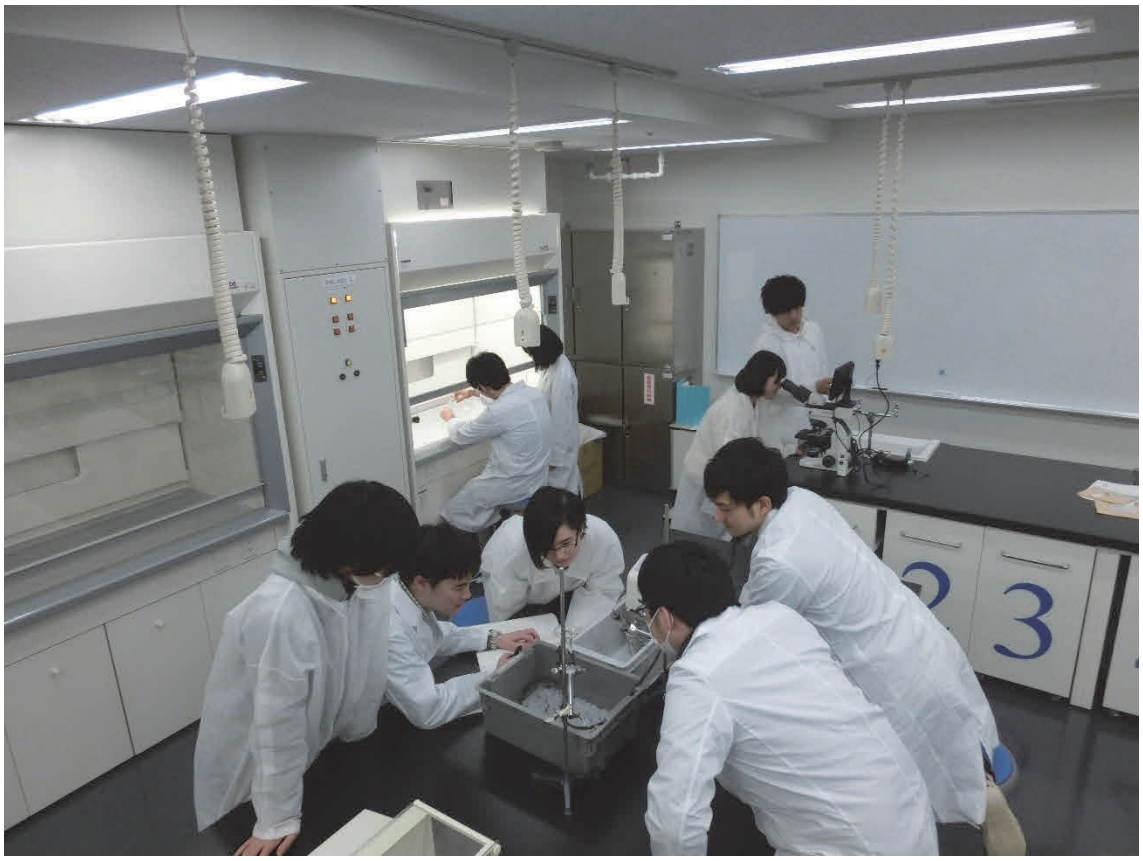
(3) カリキュラム体系表

現象を数式にする　現象を読み解く　数理科学と社会を結ぶ

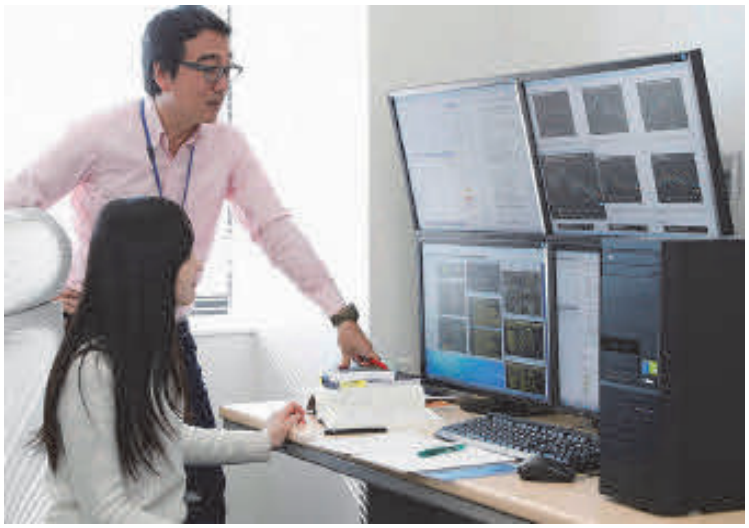
学年	年 1	年 2	3年	4年
学びの流れ	好奇心を持って基礎科目を学ぶ 現象数理学に必要な数学やコンピュータなどの基礎をその必要性とともに学ぶ。また、物理学や化学などの関連分野の基礎や社会・文化にかかわる教養科目を幅広く学ぶ。	専門基礎とモデリング力を身に付ける モデリング力とシミュレーション技術、それらの基盤となる数学を学び、3年生以降の研究の基礎固めをする。専門分野へとつながる科目を学び、熱中できるものを見つける。	専門領域で応用力を磨く 研究室に所属するとともに、卒業研究に向けて、より専門的な科目を学ぶ。これまで学び得た知識を応用する力を身に付けるとともに、数理科学の応用範囲を知り、現象数理学への理解を深める。	問題解決能力を培う 4年間の集大成となる卒業研究に取り組む。自然や社会の現象をモデル化し、数理科学と情報技術を社会の問題解決に生かす力を養う。
総合教育科目　健全な社会常識を養い、豊かな人間性を育む				
英語	●EnglishⅠA ●EnglishⅠB ●EnglishⅠC ●EnglishⅠD	●EnglishⅡA ●EnglishⅡB English Test Preparation	●EnglishⅢA ●EnglishⅢB	
教養	科学哲学A・B 哲学A・B 歴史学A・B 心理学A・B 芸術史A・B スポーツ・健康科学	スポーツ実習A～E 法学（日本国憲法） 社会学A・B 経済学A・B 情報と職業 情報技術倫理	地理学A・B 考古学A・B 環境とエネルギー 社会と数学 調査と統計 学部間共通総合講座	
基礎教育科目　数理と情報の基礎を学ぶ				
数理基礎	●総合数理概論Ⅰ ●総合数理概論Ⅱ ●微積分Ⅰ（基礎微積分Ⅰ） ●微積分Ⅱ（基礎微積分Ⅱ） ●微積分演習 ●線形代数Ⅰ ●線形代数Ⅰ演習 ●線形代数Ⅱ ●線形代数Ⅱ演習 確率・統計 物理学入門 物理学Ⅰ 化学入門	物理学Ⅱ 物理学Ⅲ 生物学入門		
情報基礎	●プログラミング演習Ⅰ ●プログラミング演習Ⅱ	△アルゴリズム論 △コンピュータ基礎 △論理とディジタル回路 ●技術・情報倫理 知的財産		
専門教育科目　専門分野を深化させ、先端的知識と技術を身につける				
現象数理の基礎	●数理リテラシー	●現象のモデリングとシミュレーション ●現象と数学 現象数理学を支える基礎理論を学ぶ		
コンピュータ数理	●情報処理	現象数理学実験 △実験データ解析演習 △応用プログラミング演習 △数学とメディア △画像処理とフーリエ変換 △数理と可視化 △つながりの数理 △最適化の数理	現象数理A 現象数理B 応用確率関数 偏微分方程式とシミュレーション コンピュータを用いて現象の解明にアプローチする	
社会数理	数理科学と社会のつながりを読み解く	△積分方程式 △微分方程式演習 電磁気とベクトル解析 △数理統計学 △金融経済分析	数理ファイナンス基礎 応用測度論 物理数学 数理生物学	確率過程 数理医学
創造数理	数学の方法	幾　何 △トポロジー △ベクトル空間 △数学演習 △代数 群論と代数 複素関数 複素関数演習	創造数理A 創造数理B 実験数学教育	数学史 応用幾何 現象の背景にある数理構造を学ぶ
演習・研究	●総合数理ゼミナール		●現象数理研究Ⅰ ●現象数理研究Ⅱ 専門性を深め、問題発見・解決能力を育む	●現象数理研究Ⅲ ●現象数理研究Ⅳ

※科目名の前の●印は必修科目、△印は選択必修科目、印がないものは自由選択科目をあらわす。

＜現象数理学実験＞



金融情報端末を用いた実習



5. 米国の大学・大学院教育カリキュラム

我が国の数学の大学学部カリキュラムと比較するために、米国の数学の大学学部教育について調査をしてみた。また、ここでは、工学教育での数学についても、ヒアリングや意見を集めてみた。

5.1. 米国大学の数学コースカリキュラム例

カリフォルニア大学バークレー校数学科およびボストン大学数学・統計学科で行われている学部および大学院の授業での授業科目（抜粋）をあげる。

（1） University of California, Berkeley （抜粋）

（a） Lower Division Course

Freshman Seminar, Precalculus, Culculus, Analytic Geometry and Caluculus, Precaluculus, Multivariable Calculus, Linear Algebra and Differential Equations,

55 Discrete Mathematics, Undergraduate Seminar in Mathematical Problem Solving

74 Transitions to Upper Division Mathematics

98 Supervised Group Study

99 Supervised Independent Study

（b） Upper Division Course

Aanalysis, Linear Algebra, Abstruct Algebra, Number Theory, Ordinary Differential Equations, Mathematical Logic, Introduction to Partial Differntial Equations, Classical Geometry, Introduction to the Theory of Sets, Metric Differential Geometry, Elementary Differential Topology, Elementary Algebraic Geometry, Introduction to Complex Analysis,

116 Cryptopraphy

118 Weblets and Signal Processing

121 Mathematical Tools for the Physical Sciences

127 Mathematical and Computational Methods in Molecular Biology

128 Numerical Analysis

136 Incompleteness and Undecidability

151 Mathematics of the Secondary School Curriculum

160 History of Mathematics

170 Mathematical Methods for Optimization

172 Combinatorics

189 Mathematical Methods in Classical and Quantum Mechanics
191 Experimental Course in Mathematics
197 Field Study

(c) Graduate Course

Introduction to Topology and Analysis, Ordinary Differential Equations, Theory of Functions of Complex Variable, Banach Algebras and Spectral Theory, C* algebras, von Neumann, Differential Manifolds, Algebraic Topology, Probability Theory, Dynamical Systems, Partial Differential Equations, Stochastic Processes, Theory of Sets, Riemann Geometry, Symplectic Geometry, Complex Manifolds, General Theory of Algebraic Structures, Algebraic Combinatorics, Groups, Rings, and Fields, Representation Theory, Homological Algebra, Number Theory, Algebraic Curves, Algebraic Geometry, Group Theory, Classical Harmonic Analysis, Lie Groups, Differential Topology,
203 Asymptotic Analysis in Applied Mathematics
220 Introduction to Probabilistic Methods in Mathematics and the Sciences
221 Advanced Matrix Computations
224 Mathematical Methods for the Physical Sciences
228 Numerical Solutions of Differential Equations
229 Theory of Models
273 Topics in Numerical Analysis

(d) Professional Course

300 Teaching Workshop
301 Undergraduate Mathematics Instruction
303 Professional Preparation: Supervised Teaching of Mathematics

(2) Boston University, Department of Mathematics and Statistics (抜粋)

(a) Undergraduate course

CAS MA 107: Mathematical Reasoning in the Elementary Grades: Number Systems
CAS MA 108: Mathematical Reasoning in the Elementary Grades: Algebra, Geometry, and Statistics
CAS MA 109: The Art and Science of Quantitative Reasoning
Calculus, Enriched Calculus, Investigation in Geometry, Multivariate Calculus,

Differential Equations,
108 The Art and Science of Quantitative Reasoning, Basic Statistics and Probability,
113Elementary Statistics
115 Statistics
118 College Algebra and Trigonometry
120 Applied Mathematics for Social and Management Sciences
121 Calculus for the Life and Social Sciences
193 Discrete Mathematics for Engineering
214 Applied Statistics

(b) Graduate Course
Real Analysis, Functions of Complex Variable, Functional Analysis, Differential Topology, Differential Geometry, Algebraic Topology, Lie Groups and Lie Algebras,
647 Research Methods in Mathematics
665 Introduction to Modelling and Data Analysis in Neuroscience
671 Chaotic Dynamical Systems
675 Statistics Practicum
681 Accelerated Introduction to Statistical Methods for Quantative Research
685 Advanced Topics in Applied Statistical Analysis
703 Statistical Analysis of Network Data

5.2. 米国での数学系学科等での教育についてのまとめ

今回の調査では、カリフォルニア大学バークレー校数学科と私立のボストン大学数学・統計学科について調査を行った。米国での学部教育は、基本的にメジャーを決めて、そのメジャーを取るために要求されている科目を履修するようになっており、科目履修の柔軟性が高いといえる。さらに、ダブルメジャーの制度もあり、さらに自由度をあげている。それらが様々な分野への進路を選択する一つの要因でもあるといえる。州立大学として典型的なバークレー大学では、数学科以外に、統計学科や応用数理学科があり、数学の幅を広くしているとも言える。これは、大規模な大学でできることでもある。また、東海岸の私立であるボストン大学は、数学と統計を統合して学科を構成している。このように、数学と統計を組合わせる教育機関が存在するというのも、米国での特徴である。米国では、応用数学やファイナンスが高いニーズになっているために、大学政策として重要な戦略である。米国での学部および大学院の数学教育についてカリキュラムから見えることは、1) 米国の数学科学部教育では、数学専門への導入授業やセミナーを通じて、

なぜ数学を学ぶのかという意識を高める工夫がされていること、2) 米国の学部教育のなかに、数学との融合研究へも視野が広がるような科目が用意されていること、3) 学部での専門性は日本と比べるとそれほど高くないこと、などである。むしろ大学院に入ってから専門教育を行っているように見える。日本での数学科や数理科学科での教育は、専門性は米国と比較すると格段に高度に見える。

【参考】 カリフォルニア大学バークレー校での数学メジャーの取得のための要求は以下のようである。米国の場合はやや複雑で、高校で習ってきたものをスキップできるような科目もある。

LOWER-DIVISION REQUIRED COURSES
Mathematics 1A Calculus
Mathematics 1B Calculus
Mathematics 53 Multivariable Calculus
Mathematics 54 Linear Algebra & Differential Equations
Mathematics 55 Discrete Mathematics

UPPER-DIVISION REQUIRED COURSES
数学メジャーが取らなければならない4科目
Mathematics 104 Introduction to Analysis
Mathematics 110 Linear Algebra
Mathematics 113 Introduction to Abstract Algebra
Mathematics 185 Introduction to Complex Analysis

TWO SEMI-ELECTIVES
数学メジャーは以下のリストの少なくとも2つのコースはとらなければならない。
Computing: Math 128A Numerical Analysis
Geometry: Math 130 Classical Geometries, Math 140 Metric Differential Geometry, Math 141 Elementary Differential Topology, Math 142 Elementary Algebraic Topology, or Math 143 Elementary Algebraic Geometry
Logic and Foundations: Math 125A Intro to Logic, Math 135 Intro to Theory of Sets, Math 136 Incompleteness and Undecidability

TWO ELECTIVES
数学メジャーはそのほかに、upper division か大学院の授業を、あと2コースをとらなければならない。基本的に2年間で8つのコースを要求している。優秀な学生はこれらのコー

スを1年目、2年目からスタートでき、3年生、4年生では大学院の科目も履修できる。

5.3. 米国での工学教育での数学について

米国での工学教育のなかで、数学の必要性がどの程度あるかを調査してみた。米国大学の学部では、メジャー取得のシステムとなっているので、工学系のメジャーとして要求される科目がある。数学は基本的には、linear algebra, calculus を基本としている。また、工学部のなかでも、それぞれのメジャーによって違いがある。例えば、カリフォルニア大学バークレー校工学部 Civil & Environmental Engineering での Program は以下のようになっている。

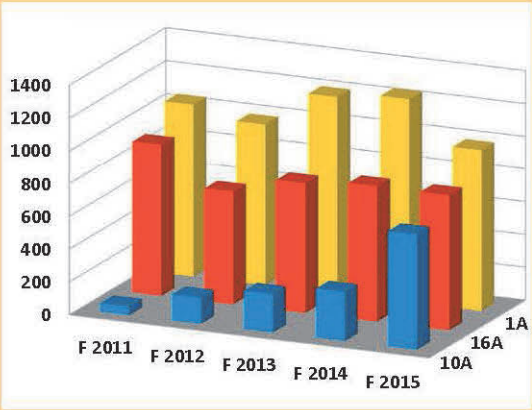
Undergraduate Program in Civil Engineering		
Course	**Fall**	**Spring**
Freshman Year		
Chemistry 1A and 1AL-General Chemistry or Chemistry 4A-General Chemistry and Quantitative Analysis [3]	4	-
Engineering 7-Introduction to Computer Programming for Scientists & Engineers	-	4
Mathematics 1A-Calculus	4	-
Mathematics 1B-Calculus	-	4
Physics 7A-Physics for Scientists and Engineers	-	4
CE 92-Introduction to Civil and Environmental Engineering	1	-
Reading and Composition Course from List A [1]	4	-
Reading and Composition Course from List B [1]	-	4
Basic Science Breadth Elective [2]	3-4	-
Total	**16-17**	**16**
Sophomore Year		
Basic Science Elective [5]	-	4
CE C30/ME C85-Introduction to Solid Mechanics	-	3
CE 60-Structure and Properties of Civil Engineering Materials	3	-
CE 93-Engineering Data Analysis	-	3
Civil Engineering Sophomore Elective [4]	〈3〉	〈3〉
Mathematics 53-Multivariable Calculus	4	-
Mathematics 54-Linear Algebra and Differential Equations	-	4

Physics 7B-Physics for Scientists and Engineers	4	–
Total	**12-14**	**14-17**
Junior Year		
CE 100-Elementary Fluid Mechanics	4	–
CE 130N-Mechanics of Structures	–	3
Engineering Science Elective [9]	–	3–4
Elective Core [6]	6	6
Humanities/Social Science Courses [1]	3–4	3–4
Total	**13-14**	**15-17**
Senior Year		
CE 192-The Art and Science of Civil and Environmental Engineering Practice	1	–
Design Elective	〈3–4〉	〈3–4〉
Engineering Electives	6–9	6–9
Humanities/Social Science Courses	3–4	3–4
Free Electives	–	3
Total	**13-18**	**15-20**

その他はオプションとして取得することが多い。前述のカリフォルニア大学バークレー校やボストン大学でも数学系の学生以外の聴講も考慮した数学（Mathematics）科目も開講されている。たとえば、代数学、解析、数値解析のような科目である（カリフォルニア大学バークレー校 Alan Weinstein 教授による）これら数学の科目は基本的には数学科所属教員（数学研究者）が担当しているのが通常のようである。また、カリフォルニア大学バークレー校では以下のような数学科目（Math10:Methods of Mathematics, Calculus, Statistics, and Combinatorics）があり、多くの履修学生が聴講している。

MATH 10 REACHES A MILESTONE

We are proud to report that the enrollment in Math 10 (Methods of Mathematics: Calculus, Statistics, and Combinatorics) has more than doubled year over year, to exceed 700 this Fall. Math 10 is a year-long sequence offering a fresh perspective on twenty-first century mathematics to students who intend to major in the life sciences. Unlike "Calculus for Biology" classes at other institutions, Math 10 does not merely add examples from biology to an existing course. Instead, it combines in a unique manner elements of calculus, statistics and discrete mathematics, to cover a wide range of ideas from the mathematical sciences that are relevant for modern biology and medicine. The course has gone a long way since it was launched by Professor Lior Pachter in 2011-12 as a pilot with 50 students. It is now required by all biology majors, and with a total enrollment in excess of 700 in the lectures taught this Fall by Profs. Craig Evans and Richard Bamler, Math 10 nearly matches the scale of our calculus sequences Math 1 and 16.



Math 10A, 16A and 1A Fall semester enrollments, 2011-2015

Prof. Craig Evans teaches Math 10A. (Photo: Keegan Houser)

(Math 10: (Methods of Mathematics, Calculus, Statistics, and Combinatorics) についての記事)

5.4. プリンストン大学工学部

プリンストン大学工学部(School of Engineering and Applied Science) での学部カリキュラム、特に数学教育について、Associate Dean Peter Bogucki (ピーター・ボグスキー副学部長) および、プリンストン大学小林久志名誉教授に直接伺った。小林久志教授はプリンストン大学工学部長を務め、また IBM 東京基礎研究所所長も歴任されている。日米の工学系教育について、その経験をもとに、ご意見をうかがった。

(1) プリンストン大学での数学教育概要

対応者 : Associate Dean Dr. Peter Bogucki, Princeton University

プリンストン大学では、2つの学部学位を授与する。人文学、社会科学、自然科学（数学を含む）の学生を対象とするBachelor of Arts（BA）と工学部専攻の学生に与えられるBachelor of Science in Engineering （BSE）である。各々、学位取得の要件が決まっている。これらの学位に数学教育がどのように含まれているかについて回答する。

BAの学位を目指す学生全員に求められる数学の単位は、”quantitative reasoning（定量的推論）“と呼ばれているが、数学、統計、コンピュータ科学の科目を一つ履修すればよい。自然科学を専攻する学生は多変数の微積分のみならず、多くの数学系科目を履修しなければならない。人文・社会科学系の学生の数学教育をどうすべきかは我々にとっても課題である。人文・社会科学の学生にも統計の科目を必須にすべきという意見もあるが、プリンストン大学ではまだ公式には行っていない。人文・社会科学の学生でも基本的な数学の習得は重要であると考えており、今後解決すべき問題である。人文・社会科学系の学生を対象としたMath Alive（Math 199）と呼ばれる数学のコースが開設されているが、これを履修する学生は未だ少ない。

http://www.math.princeton.edu/course/mat199/spring-2013-spring2014
http://people.maths.ox.ac.uk/griffit4/Math_Alive/index.shtml

BSEの学位を目指す学生は全員、数学科目:1）MAT103: Calculus 1 （1変数の微積分）、MAT 104: Calculus 2（1変数の微積分（続））を履修しなければならない。これらの科目は高校で履修している学生もいる（Advanced Placement, International Baccalaureate higher level, or British A-level exams）、2）MAT201: 多変数の微積分、3）MAT 202: 線形代数である（http://www.math.princeton.edu/undergraduate/courses/）。

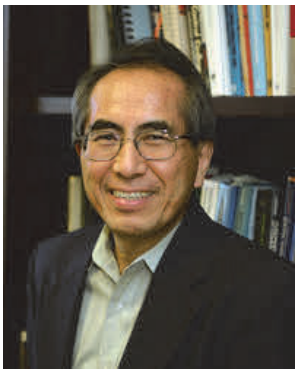
工学部の各学科ではほかに多くの数学科目の履修を義務づけている。例えば、微分方程式、確率論、離散数学等である。また、必要な数学を工学指向で教えてもいる。たとえば、フーリエ解析は信号処理のジュニア（学部3年生）レベルの科目で教える。

【質問】 工学部では数学の基礎科目は数学専門者が教えるのか？微分方程式やフーリエ解析のような数学科目はどうか？もし、数学専門家以外がこのような科目を教えているとしたら、それで十分だと思われるか？

Calculusや線形代数（linear algebra）については数学科の教授が担当している。これらの科目は、工学、自然科学、社会科学等の学生が履修している。工学部からは、学生が工学コースへ応用できるように教えられていないという苦情がある。その理由から、微分方程式は1970年ごろから機械・宇宙工学科の教授、離散数学はコンピュータサイエンス学科、確率論はOR・金融工学科の教授が担当している。彼らは数学を教える能力を持ち、工学の専門家でもある。たとえば、Howard Stone教授は微分方程式の教師として評判が高い。Stone教授の経歴（https://www.princeton.edu/mae/people/faculty/stone/）をみてもらえば分かるように、彼は単なる数学者ではなく、多くの応用を目指している。プリンストン大学の教育は、特別な例外を除いて、全て正規の教授陣

が担当する。工学部で必要と思われる他の数学についても、関連した学部や学科の教授によって担当される。フーリエ解析を信号解析の授業で教えるのは電気工学科の教授である。工学部の目的には、このような形が妥当だと考えているし、実際、工学部の教授達はこのような形態を好んでいる。数学科の教授が教えたがるような理論的な数学は工学での実用上の問題には役立たないからである。

(2)　工学部における数学教育への意見



工学部における数学教育について、プリンストン大学および米国での工学教育をもとに、小林久志氏（プリンストン大学名誉教授、元工学部長、IBM 東京基礎研究所元所長）に意見を頂いた。以下がそのまとめである。

(2.1)　学部および大学院での日本および米国での工学教育の違いについて

最初に、大学以前の教育について筆者の意見を述べたいと思う、その後に大学学部および大学院での教育についての筆者なりの考察を加えたい。

(2.1.1)　大学入学以前において優秀な学生を育成する必要性

米国の才能ある高校生は、高校在学中に数学や科学の Advanced Level の講義を自分の高校あるいは最寄りの大学で受講したり、その知識を認定する試験を受け、”Advanced Placements（APs)”（付記1）の単位を得る。APs 試験の結果は SAT（Scholastic Aptitude Test, 日本での入試センター試験に相当）の得点に加えて大学の入学選考基準の要素となる。これらのスコアに加えて、高校での成績表、小論文（エッセー）、推薦状、課外活動やボランティア活動で示されたリーダーシップの能力等が入学選抜の際考慮される。（APs の詳細は末尾の付記を参照されたし）。

微積分での AP の履修証明を持っている学生は、大学に入学直後から Advanced calculus のコースを履修することができる。物理や他の自然科学のコースについても同様である。日本では、標準的なカリキュラムコースに従うことが求められているので、優秀な学生でもそれ以上の内容を高校時代に勉強する機会が容易に得られない。この件に関しては、拙著「日本の大学と教育界に期待する、電気学会誌創立 125 年記念誌」（http://hp.hisashikobayashi.com/wp-content/uploads/2014/05/4JTokushuu-1-1.pdf）を参照されたい。

私の知人の息子 Noah Golowich 君はハーバード大学一年生であるが高校時代、MIT の PRIME　プログラム（https://math.mit.edu/research/highschool/primes/index.php）に参加し、高校時代に行った「Ramsey 予想の証明」の研究でシーメンス賞

やDavidson賞(5万ドル)を授与された。また、私の友人のProf. Burt Totaro(https://en.wikipedia.org/wiki/Burt_Totaro) は“Study of Mathematically Precocious Youth (SMPY)”に参加して、プリンストン大学に13歳で入学した英才である。YEGS (young especially gifted student)殿堂にも名を連ねている (http://yegs.org/yegs-hall-of-fame-main-page/)。若くして英国ケンブリッジ大学の教授となっている。

米国では大学、大企業、慈善団体などが中心となって上記のような優れた若者の才能を培うプログラム、コンペティション、奨学金などが多数あるが (付記2) 日本の教育界や社会は天分に恵まれた若者をを認知し、その才能をさらに育成する環境を殆ど提供していない。サイエンス、工学、芸術に秀でた才能を持つ若者の育成は日本の世界への貢献のみならず、産業経済における国際競争力にとっても重要である。

(2.1.2) 工学部における数学教育

私の経験から話すと、50年前に東京大学で受けた数学の教育は非常に良かったと思う。高木貞二の「解析概論」の内容は良いが無味乾燥だった印象を逃れない。米国の大学での教科書は数学のレベルを落とさず、しかも学生にとって興味ぶかく分かり易いように工夫して書かれている本が多い。

プリンストン大学では、どの科目でも、殆ど毎週宿題が課される。また、クイズと呼ばれる小テストが学期中何度も行われ、各時点で学生がどの程度講義の内容を理解しているかを確かめる。日本の大学では宿題を出すことは殆どない。従って、講義内容をコースの最後まで十分消化している学生は少ないのではないか。また、東大でも工学部に進学してくる学生の一部に、簡単な微分積分さえも出来ない学生がいるという話を聞いて驚いたことがある。

米国の教授はTA (Teaching Assistant) を使って、宿題や試験の学生の答案を丁寧に採点し、添削した答案を学生に返すから、学生はどこで間違えたのかも理解し、教授やTAが示す回答集と比較して、自分の解法とは違う手法もあるのだと知ることもできる。このようなきめ細かい対応が日本の大学でも必要であろう。私の記憶では東大時代、試験の答案採点した結果を教授から返してもらったことは一度もなかった。現在も事態は同じではないかと思う。

米国のリサーチ・ユニバーシティ (教授達が教育の他研究にも従事する大学)では、教授を評価する際、研究成果がもっとも重要ではあるが、講義内容や教育のスキルの評価も重要で、昇進や昇給にも反映される。教育面で卓越した教授に与えられる“Teaching Award”は米国の大学では一般的なことである。プリンストン大学では、毎年全学から選ばれた二、三名の”Best Teachers”が卒業式典で表彰される。また、地元ニュージャージー州の高校の教員の中から選ばれた卓越した数人の教師もプリンストン大学の卒業式典で表彰される。大学と地元の高校とは、このような表彰プログラムや、将来教師を目指すプリンストン大学の学生を実習生として地域の高校に送り込むTeacher

Preparation Program（https://teacherprep.princeton.edu/ ）を通じて緊密である。

私が工学部長時代に経験した一つの難題は工学部に入学した学部一年生で、数学科や物理学科の講義のペースについて行けない学生が BSE プログラムを諦め BA プログラムに移転する例が無視できぬほど数多くあったことである。その解決策として、工学部長室が数学科や物理学科の博士課程の学生を雇い、数学や物理の講義で悩んでいる一年生の個人教師として相談に乗らせることにした。プリンストンでは学部学生に対しては全寮制を適用しているから、夜に寮で数学や物理の個人指導にあたらせた。全寮制でない日本の大学でも工夫次第で同様なことが実施できると思う。

プリンストン大学では、大学への応募時に、上記の BSE（Bachelor of Science in Engineering）か BA（Bachelor of Arts）のいずれかのプログラムを選択させる。学生は入学後 1 年半後にメジャー（専攻学科）を選ぶ。それまでの間に、BSE から BA へあるいは逆方向へのスイッチも行き先側での必要科目の単位を満していれば可能である。たとえば、Amazon.com の創立者で CEO の Jeff Bezos はプリンストン大学入学時には将来物理学を専攻する積りだったので、BA プログラム（数学や物理などの自然科学は人文・社会科学とともに BA プログラムに属する）に入った。しかし量子力学の科目を取った時点で、将来優秀な物理学者になれる見込みはないと悟り、BSE プログラムへ移り、コンピュータ科学を専攻した。（http://www.achievement.org/autodoc/page/bez0int-2）

東京大学も、入学後一年半後に専攻学科を選択させるという点では、プリンストンと同様なシステムをとっている。日本やアメリカの多くの大学は、応募時期に専攻学科を決めさせているが、入学後一年か二年後に専攻学科を決めさせるプリンストンや東大方式のほうが優れていると筆者は考える。

(2.1.3)　工学における大学院教育

米国大学の大学院では、最初の 2 年間は講義が重要視されている。一方日本の大学院では（少なくとも私が東京大学の学生だった頃）修士論文の研究を中心に必要な知識を適宜学べという教育方法を取り、講義は二の次である。米国の大学院では、系統だって準備された授業を多数受講することで、学生は自分の研究テーマのみならず、広い分野の知識を習得することができる。しばしば輪講形式をとる日本の大学院授業では学生が、研究テーマ以外の分野にも強い関心を持ち、尚且つ自分自身で学習する能力がなければ、米国の PhD のように幅広い知識は身につかない。

日本での大学院教育で改善すべき点として、1）良く準備された講義、2）良い教科書、3）宿題、4）厳格な試験と単位評価、を進言する。特に、2）の良い教科書については、日本語での教科書は市場規模が小さいので、米英のように充実した内容の分厚い教科書を執筆して出版する動機づけが低い。英語で書かれた教科書を使い、講義の上手な外国人教授に授業をしてもらうのが、大学の国際化の面からも良いのではないかと考える。有能

な教師がいない場合はMOOCsの活用も検討すべきであろう（付記3）。勿論これは学生の英語能力の高い大学院のみで可能なことである。

（2.1.4）　工学教育での数学の重要性

学部の数学プログラムとして、電気工学では、1）微積分、2）線形代数、3）フーリエ変換とラプラス変換、4）確率論と統計の入門などが、重要だと思う。コンピュータ科学では、離散数学あるいは「CONCRETE（continuous and discrete）数学」が重要であると思う。それらには、順列組み合わせ、グラフ理論、数論入門のトピックが含まれている。データ構造、アルゴリズム、暗号、計算の複雑さ（computational complexity）などの理解に上記の数学が使われる。情報科学や通信理論を専攻する大学院生は、応用確率論、ガウス過程、ポアソン過程、マルコフ連鎖、ランダムグラフ、ガロア体、ヒルベルト空間といった数学の概念を知っているべきである。

私は、プリンストンの大学院で“情報システムにおける確率過程”という講義を長い間、受け持った。2013年に行った最後の講義のスライドと教科書は私のブログ（http://hp.hisashikobayashi.com/lecture-slides-of-probability-random-processes-and-statistical-analysis/）に掲載してある。このコースには、電気工学科で情報・通信分野を学ぶ学生だけでなくコンピュータ科学科の学生も出席していた。この講義内容がコンピュータ科学で現在最も注目されているマシン・ラーニング（機械学習）の分野に役立つからである。

ビッグデータを扱うためのいわゆるデータ科学はコンピュータ科学、統計学の研究分野にも関わっていると思う。現在のデータ科学の中心は、データ構造の表現、保存と検索、並列計算、データの可視化などの技術が中心となっているが、膨大なデータから意味のある情報を引き出すには、機械学習と新しい統計解析法が求められている。この分野の研究やカリキュラムの開発は、現在急速な発展をしている。日本でも、統計学、データ解析、データ可視化や機械学習の研究者がチームとなりこの分野での人材を育てる教育内容の構築が緊急の課題であろう。（詳細は付記4を参照）。

工学における研究や教育で重要な数学のトピックは当然ながら時代と共に入れ替わる。1950年から1970年代はNorbert Wienerのフィルター理論は重要であり、その後、カルマン・フィルター理論が重要視された。Pontryaginの最大値原理は1960年-1970年代に花を咲かせた制御理論に重要であった。John　Nashのゲーム理論は近年、ネットワーク資源の価格問題や情報セキュリティの研究にも用いられている。ランダム行列やカオス理論は量子物理学で今日重要な役割を果たしている。50年前は、電気工学科の大学院へ進学してくる学生は、どの大学からの卒業生であれ、全員が多少なりとも複素関数論を勉強したと想定できた。しかし、昨今コンピュータ科学を学部で専攻し、電気工学科の大学院に進学してくる学生は周回積分（contour integration）もCauchyの留数定理も聞いたことがないという。工学部の学部や大学院でどのような数学を教え

るべきかは、時代の変遷によって変わる、難しい課題である。従って科目やシラバスは学部単位あるいは全学で定期的にあるいは必要に応じて変更しなければならない。

(2.1.5) 工学教育における数学教員の役割

学部レベルでの数学科目(線形代数、微分積分、実解析、複素解析、微分方程式など)は数学者が教えてよい科目であろう。工学部の大学院のコースで求められる数学は、数学を手法として使うものであり、電気工学、機械工学、OR・金融工学、コンピュータ科学等の教授が教えたほうが良いと思う。確率論を例にとれば、数学科では測度論(measure theory)のアプローチで教えるが、これは工学系の多くの学生の理解度を超えており、また彼らの勉強や研究に必要ではないというのが筆者の意見である。数学の厳密性にこだわる数学科の教授は、工学系学生のニーズとのミスマッチを引き起こす恐れがある。数学の応用に興味をもち、コンピュータを使いこなし、数学理論を目的としてではなく、道具として教える能力と情熱を持つタイプの数学者がこれから益々要求されるのではないかと思う。

付記1. AP(Advanced Placement)

https://en.wikipedia.org/wiki/Advanced_Placement

どのような AP コースを提供できるかは高校によって異なる。2-3科目の AP コースしか教えられぬ高校もあれば、20くらいの AP コースを提供する高校もある。この違いは三つの要素で決まる。AP カリキュラムをこなせる優秀な生徒が多数いるか否か。AP コースを教えられる教師がいるか否か。そして高校の理事会がその費用を支払う意思があるか否か(究極的には両親が高い授業料を支払えるか、あるいは公立高校の場合、地域の納税者が多額のスクール・タックスを支払えるか)で決まる。

AP 試験を司る College Board は NPO(非営利団体)であるが、AP 試験1科目当たり92ドルも課す。AP コースを修了した後 AP 試験を受けなければならぬという規則はないが試験を受ける学生は多い。プリンストン大学に入学してくる学生の殆ど全員が最低1科目の AP クレディットを有する。AP コースを受講した事実は成績表にも付記されるので、入学審査の際プラスになるが、College Board の AP 試験の結果は(高校の最終学年の前年に受験した場合を除いて)大学への応募時には間に合わぬので、AP 試験の結果が入学を左右することは現実として少ない。学生の質も高く、授業も厳格なことで知られる Lawrenceville School(https://en.wikipedia.org/wiki/Lawrenceville_School)の様な Prep School(進学を目的とした全寮制の私立高校)の生徒でも一般の高校の学生と比較して AP コースの数が特別多いことはない。

ピーター・ボグスキー副学部長の意見では、AP クレディットに過度の重きを置くことは慎しむべきである。AP スコアはあくまで全国の平均的な高校を対象とし、生徒がある程度の高度の教科内容を身に着けているかどうかの目安を与えるものであり、

Calculus の AP で最高点の５点を取った学生でも、プリンストン大学で MAT201（多変数微積分）の科目で A の成績を取るか、D の落第点しか取れないかは、予測がつかないからである。

付記2.　大学が提供する英才教育

Mr. Noah Golowich が高校時代に MIT 主催の PRIMES: Program for Research in Mathematics, Engineering and Science for High School Students に参加したことは上述したが、どの有名大学も高校生対象の英才教育プログラムを持っている。プリンストン大学の場合は Teacher Preparation Program を通して地元の優秀な高校生を見出し大学の講義を受講する機会を与えている。高校で提供される最高度のコースを修了してしまった優秀な生徒を高校の先生の推薦で受け入れるが、高校でのスケジュールと両立させねばならぬので、プリンストン大学を受講する近郊の高校生は、毎年数名程度の少数である。

付記3.　MIT などのオンライン公開講座

MIT の提供する公開講座（Open Courseware）のリストを見れば講義のシラバスなど参考になる情報が多くある。http://ocw.mit.edu/courses/#mathematics
統計のコースでは次の二つが参考になろう。
http://ocw.mit.edu/courses/mathematics/18-443-statistics-for-applications-spring-2015/
http://ocw.mit.edu/courses/sloan-school-of-management/15-075j-statistical-thinking-and-data-analysis-fall-2011/Syllabus/

ハーバード大学と MIT 共同の edX という MOOCs（Massive Open Online Courses）の中で、ビジネスや生命科学などを応用分野とする統計学のコースとして
https://www.edx.org/course?search_query=statistics
がある。更に edX の競争相手である Coursera が提供する統計学のオンライン・コースに
https://www.coursera.org/courses?query=statistics&languages=en
がある。社会科学、ビジネス、健康への応用を対象としている。いずれもシラバスなどが参考になろう。

付記4.　プリンストン大学における、統計、ビッグデータ、機械学習　のコース

プリンストンでの学部レベルの統計学のコースは社会科学系の学科も含めていくつかの学科が提供するが OR・金融工学科の ORF 245 Fundamental of Statistics　が規範的なコースであるが、文系の学生には数学的にレベルが高すぎるようである。
ビッグデータに関しては　ORF250 Analysis of Big Data がある。

「統計と機械学習」の Certificate Program が最近学部学生向きに導入された。
http://www.princeton.edu/politics/people/display_person.xml?netid=kimai&display=All
このプログラムのディレクターが政治学科の今井耕介教授であることは興味深い。
http://www.princeton.edu/ua/departmentsprograms/sml/

6. 数学・数理科学学生のキャリアパス

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の協力による進路調査と米国における学生の動向、また数学からのキャリアの一つであるアクチュアリーについてインタビューを含めて調査した。

6.1. 日本数学会における産学連携を通した若手数学者の人材育成

平成21年度の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～第4期科学技術基本計画の検討に向けて」において、日本数学会が主体となり数学・数理科学教育研究組織に関するアンケート調査を実施した。その調査分析のもとで、日本数学会では、「将来を担う若手数学者の育成」は、日本数学会として重要な事業の一つであると捉え、数学・数理科学研究分野での大学院後期博士課程学生やポスドクのキャリアパス支援を行うべく、日本数学会内にワーキンググループを立ち上げ、支援策の検討を行い、進路調査や毎年の学会においてキャリアパスセミナーを実施してきた。さらには、ワーキンググループを発展させ、文部科学省、日本数学会、日本応用数理学会、および企業が協力しあって「社会連携協議会」を設立、学会におけるキャリアパスセミナーの活動のほかに、新たに「数学・数理科学学生のための異分野・異業種研究交流会」を行っている。これらについて、調査報告を行う。なおこの報告は、日本数学会に設置された社会連携協議会幹事および東京大学キャリアアドバイザーを務めている池川隆司氏にまとめていただいた。

(1)　文部科学省と数学会におけるキャリア構築支援の系譜

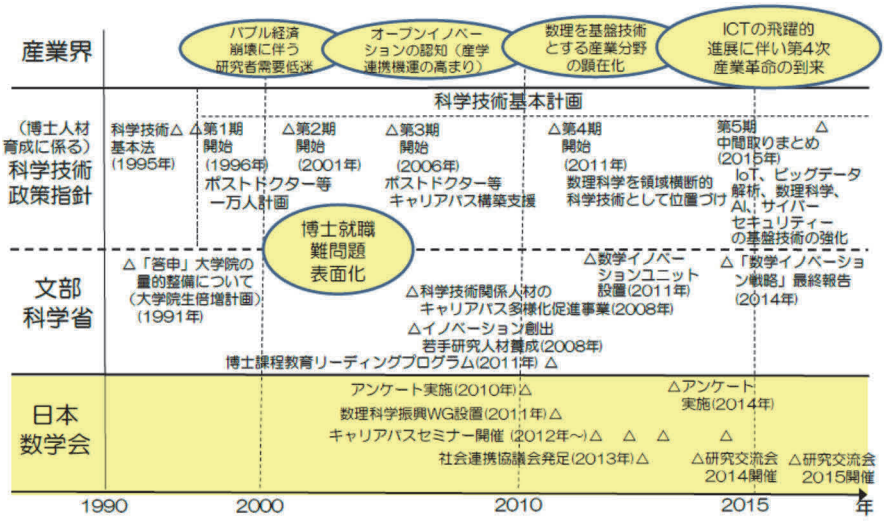


図1　文部科学省・日本数学会におけるキャリア構築支援の系譜
【出典】池川，日本数学会数学通信，Vol.19，No. 4，pp. 26 – 33，2015年2月の図1を最新化

図1に文部科学省と日本数学会が実践したキャリアパス構築支援の系譜を示す。1990年代後半、ポストドクター一万人計画に基づき大学院の定員増が行われた。しかし、「学」のポスト減少の他に「産」の研究者需要低迷が重なり、博士課程修了生の就職難問題が表面化した。本問題に直面した日本数学会は、就職難問題の現状を把握するためにアンケート調査を実施した（1.2節参照）。主に博士後期課程修了生の産業界を含む多様な分野へのキャリア構築支援を目的とする「数学・数理科学のためのキャリアパスセミナー」（以下、キャリアパスセミナー）を2012年から数学会年会時に開催してきた。

ICT（情報通信技術）等の進展に伴い、2010年頃から数学・数理科学の高度な知識を必要とする産業分野が顕在化した。日本数学会は、このような産業界の潮流や文部科学省での取組を踏まえ上記の取組を加速させるために、産と学の有識者からなる「社会連携協議会」を2013年に発足させた。2013年からは、社会連携協議会が中心となり、キャリアパスセミナーやそれを発展させた「数学・数理科学専攻若手研究者のための異分野・異業種研究交流会」（以下、異分野・異業種研究交流会）を企画運営することとなった（1.3節参照）。

(2)　博士課程修了生の就業状況

日本数学会は、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。その結果を図2に示す。

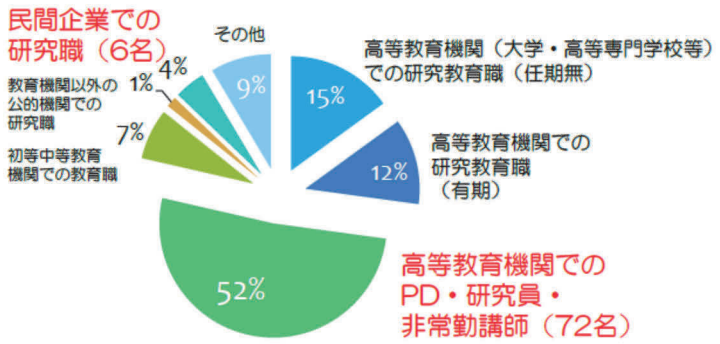


図2　2013年4月から2014年3月までに博士後期課程を
修了した大学院生の就業状況（回答数:140名）

図2より、不安定な身分の修了生が約半数に及ぶ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。

(3)　日本数学会が主催したキャリア支援のイベント

日本数学会が主催したイベントであるキャリアパスセミナーと異分野・異業種研究交流会では、試行錯誤によりプログラムを改善した結果、産業界からの理解を得られるようになり、イベントに協力いただく企業数が増加している。なお、異分野・異業種研究交流会2014より文部科学省「数学協働プログラム」からの経済的支援をうけている。

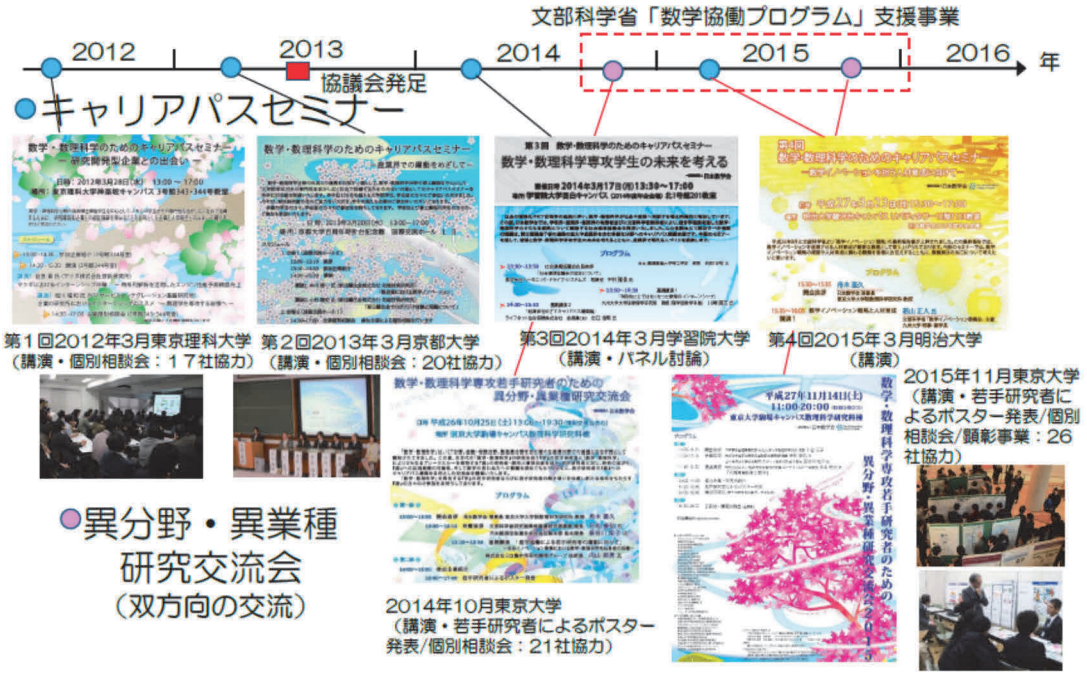


図3 キャリアパスセミナーと異分野・異業種研究交流会

(4)　異分野・異業種研究交流会

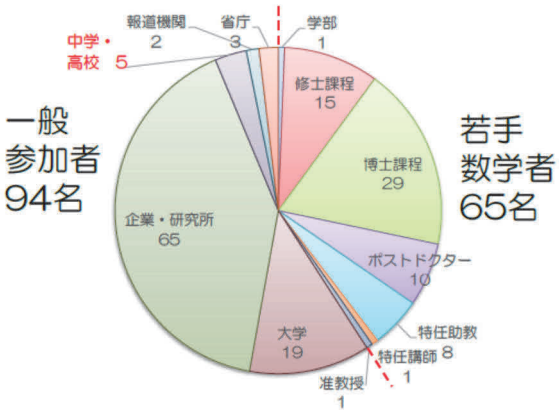


図4 異分野・異業種研究交流会2015の参加者159名の内訳
（交流会2014の参加者128名）

若手数学者の人材育成に多大な効果をもたらしている異分野・異業種研究交流会について紹介する。異分野・異業種研究交流会の目的は、若手数学者に対し次のような機会を与えることである。1）産業界を含む異分野への応用展開の可能性のような数学の思わぬ力の発見、2）産業界へのキャリア構築に向けた動機付け。

これらの目的を達成するために、若手数学者によるポスター発表、若手数学者が企業ブースを訪問し、若手数学者が産の研究者・人事担当者と意見交換を行う個別相談会を開催している。

図4に異分野・異業種研究交流会2015の参加人数の内訳を示す。この交流会の参加人数は159名であり、交流会2014と比べると約25% 増加した。つまり、着実に参加人数が増加していることがわかる。

交流会2015では、中学・高校教員に「数学履修生が産業界で活躍できる場」を知ってもらうために、中学・高校教育関係者への広報活動を新たに実施した。それが奏功し関係者5名の参加があった。

参加した若手数学者のうち、43名がポスター発表を行った。図5にポスター発表者の学年・職位の分布を示す。図5より、修士課程から特任講師までの幅広い層の若手数学者が発表を行ったことがわかる。研究交流会2015より、若手数学者の参加意欲の向上、並びに諸科学・産業との協働意識のさらなる醸成をはかるため、諸科学・産業への応用可能性が高くもしくは今後高くなることが期待される研究内容をわかりやすく発表したポスター発表者を表彰する制度（図6）を設けた。そのため、社会連携協議会委員および研究交流会に協力した企業/研究所代表者の29名からなる選考委員会を設置した。選考委員による投票、選考委員会による合議により、早稲田大学D3、九州大学D1、東京大学M2の学生が「ベストポスター発表」を受賞した。

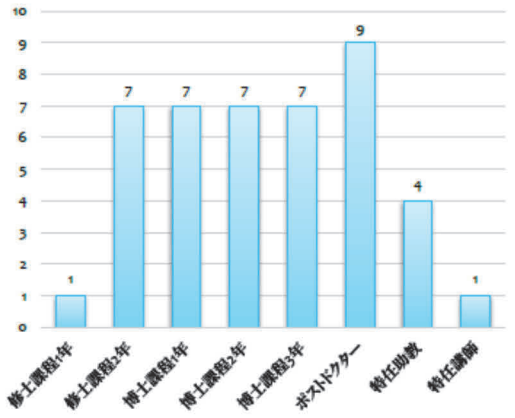


図5 ポスター発表者43名の学年・職位の分布
（交流会2014のポスター発表者39名）

図6 表彰式と講評

図7にポスター発表した若手研究者のアンケート結果を示す。85%の発表者が「(大変)参考になった」と回答した。

図8に次回の異分野・異業種交流会への参加意欲のアンケート結果を示す。「次回は参加しない」の回答者は皆無であることからリピータ率は高いと予想される。

(5) 到達点と課題

前述のアンケート結果等から産学連携による人材育成を可能とするイベント(キャリアパスセミナー/異分野・異業種研究交流会)の企画運営スキームは確立されていると考えられる。

今後の課題として、

(1) 異分野・異業種研究交流会については参加数が大幅に増加しており顧客満足度を向上させるためには多大な運営費が必要となっており、自立的事業運営を可能とするビジネスモデル構築

(2) 事業の効果を可視化する仕組作りと費用対効果の検証

が挙げられる。

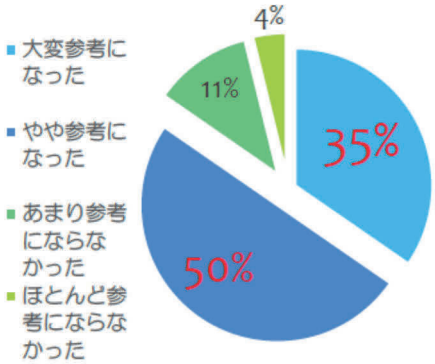


図7 アンケート回答者26名の結果

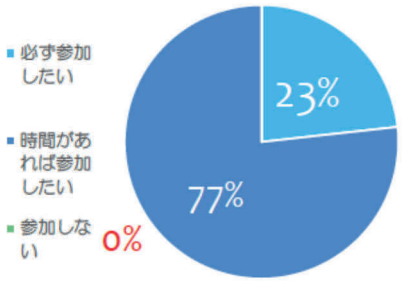
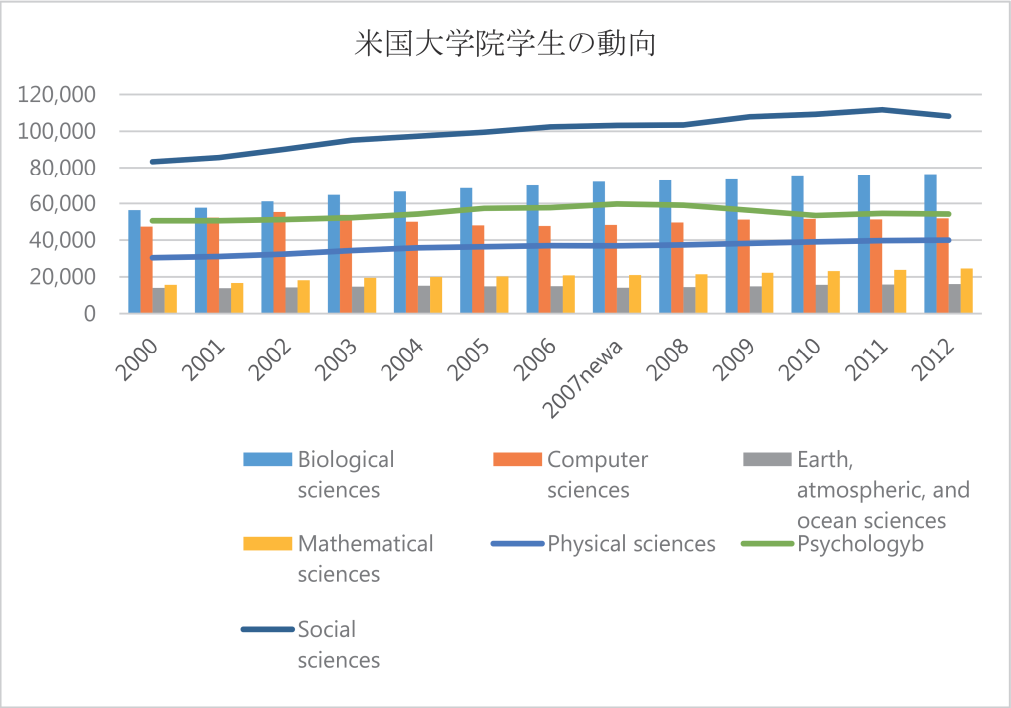


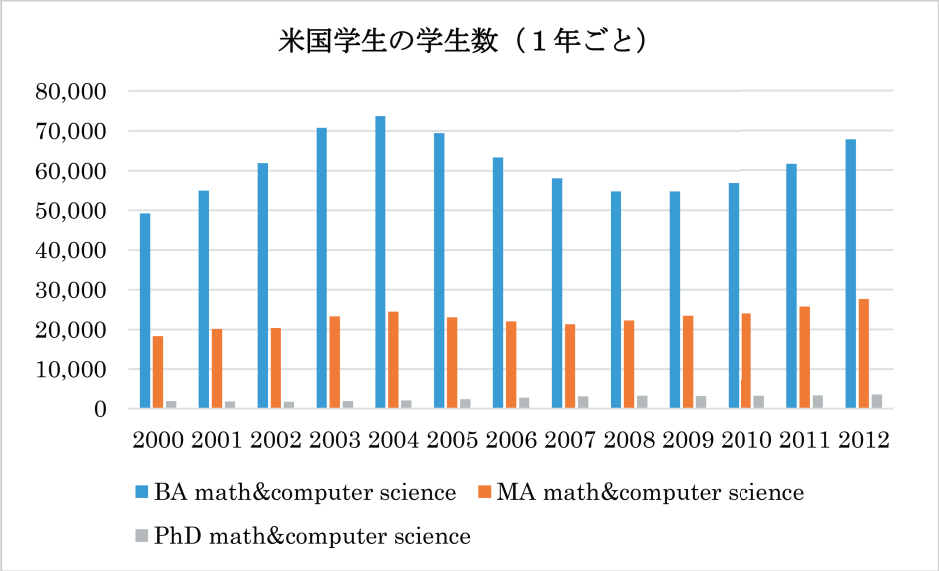
図8 次回交流会への参加意欲
(協力企業関係者を除いた回答者数:43名)

6.2. 米国における数学の人材の層とキャリアパス

(1) 米国での数学学生の動向

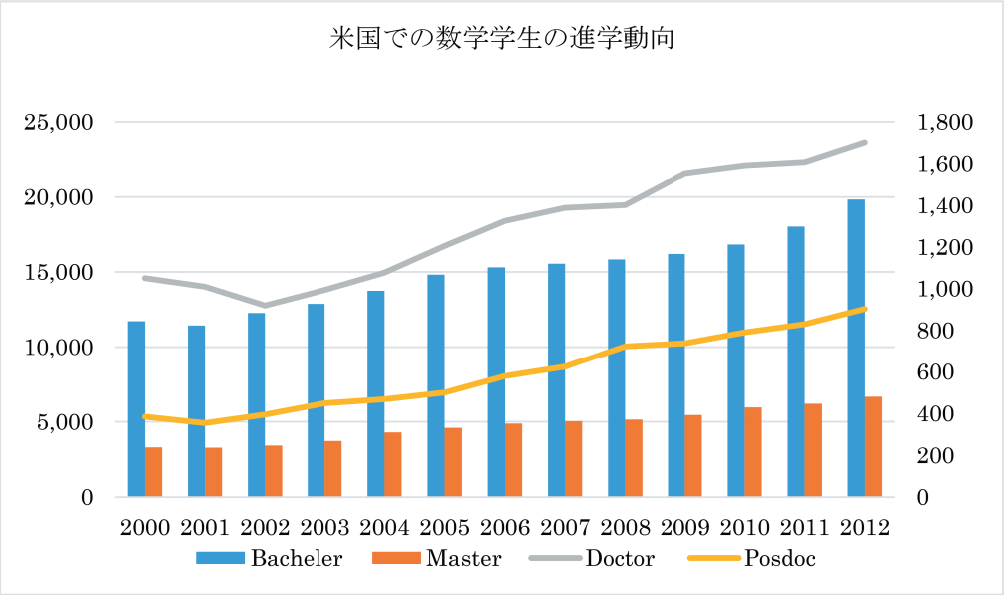
PhDについて調べてみる。米国での大学院学生(Master, PhD)数は、全体として増加傾向にあるが、それほど大きな伸びがあるわけではない。その中では、数学が2000年の15,650人から2012年には24,575人に増えているのは、数学に対する需要へ応えていることと考えられる。





(2) 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4,000名程度から6,000名程度へ、博士は1,000名から1,700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。

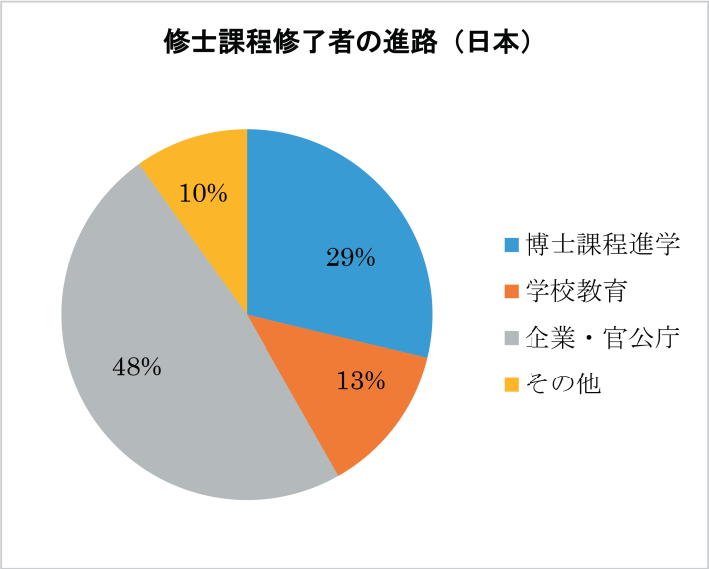


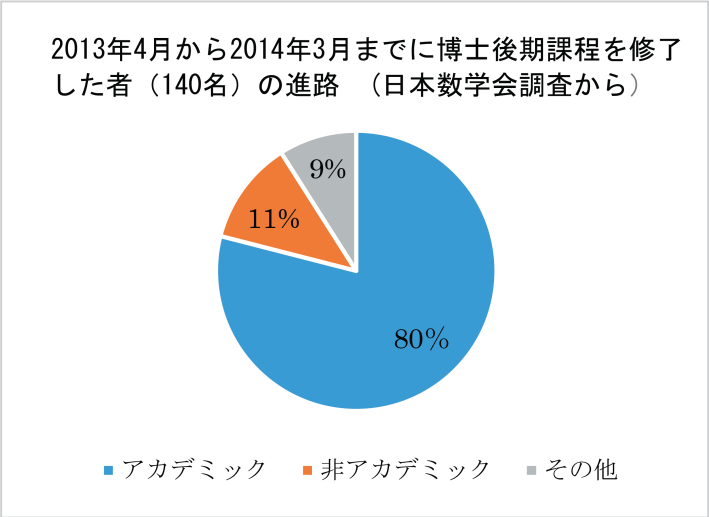
学部、修士、博士はともにその年度の在籍人数

左の数値が棒グラフ、右側の数値が線グラフ

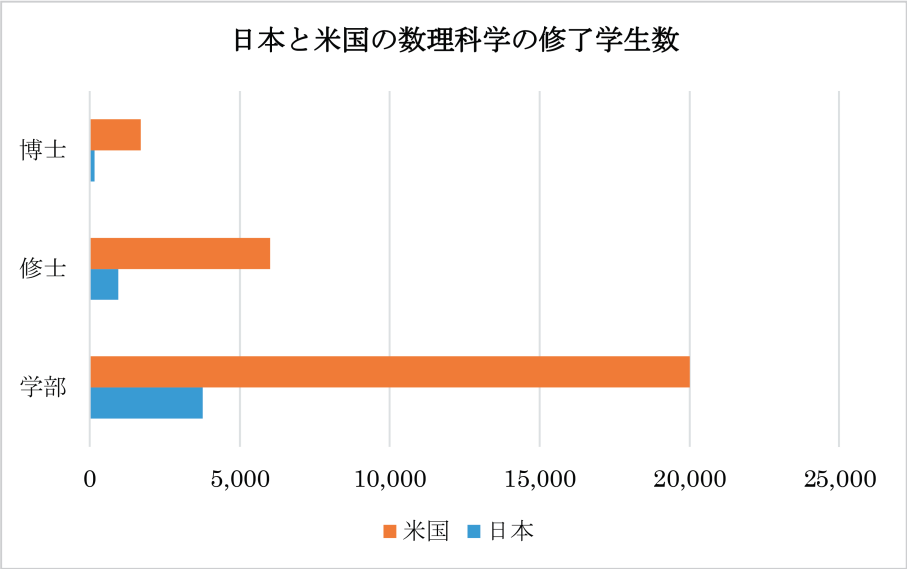
日本数学会が調査した、7大学（北海道大学、東北大学、東京大学、名古屋大学、京都大学、大阪大学、九州大学）からの回答による調査では、2011年4月から2015年3月までの修士課程学生修了学生1395名であった。また、回答があった組織からだけになるが、やはり2011年4月から2015年3月までの博士課程修了者140名のうち、高等研究機関でのポスドク、研究員、非常勤講師についている割合が52%（72名相当）あるが、研究教育職は27%（37名相当）というデータがある。米国の博士課程学生数やポスドク数と比較すると、絶対数がかなり違う。

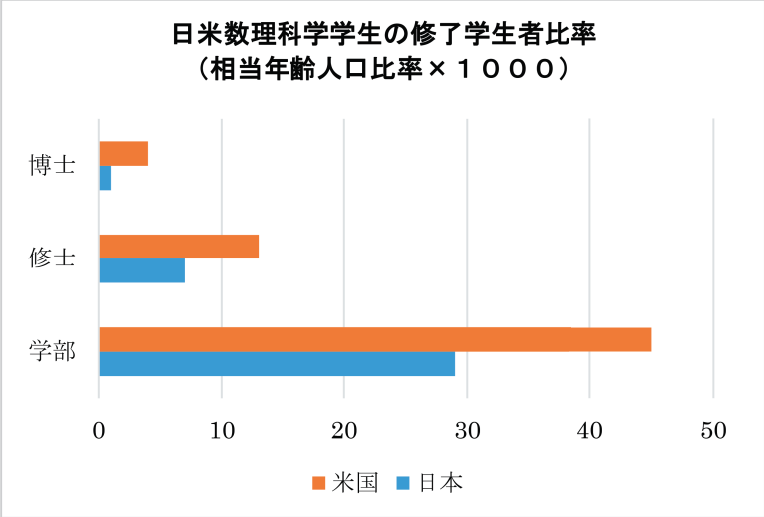
【参考】　日本の修士課程と博士課程修了者の進路



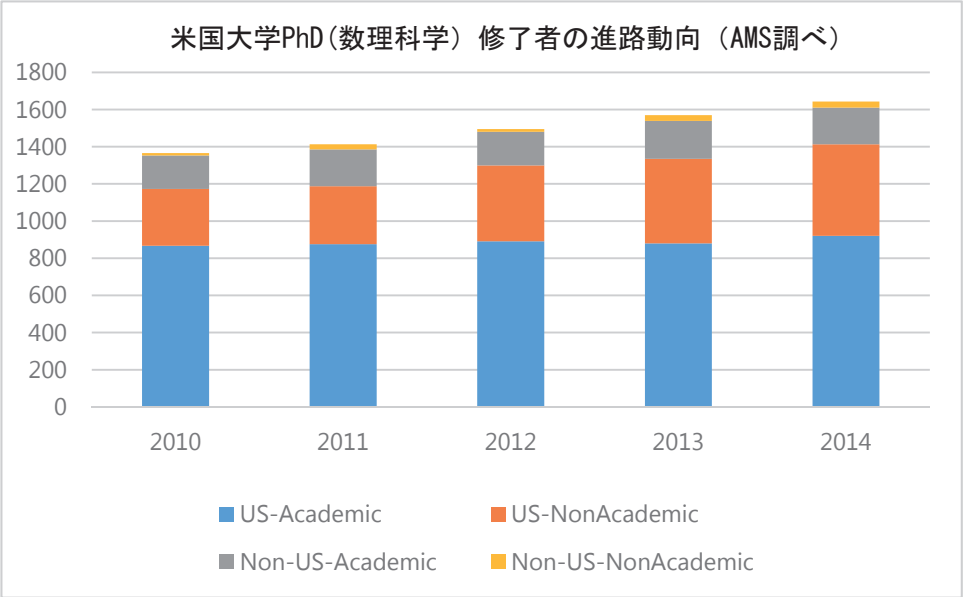


【参考】日米の修了学生数比較





日米の数学・数理科学学生の修了者数をみると、大きな開きがある。相当年齢の人口比に直しても差がある。異分野融合や企業との共同研究を行う人材を輩出することにより、この差は埋められるだろう。



(3)　数学から異分野へ進んだ人材の例

米国の教育の柔軟性を象徴するのは、Google の創始者のひとりであるセルゲイ・ブリンであろう。

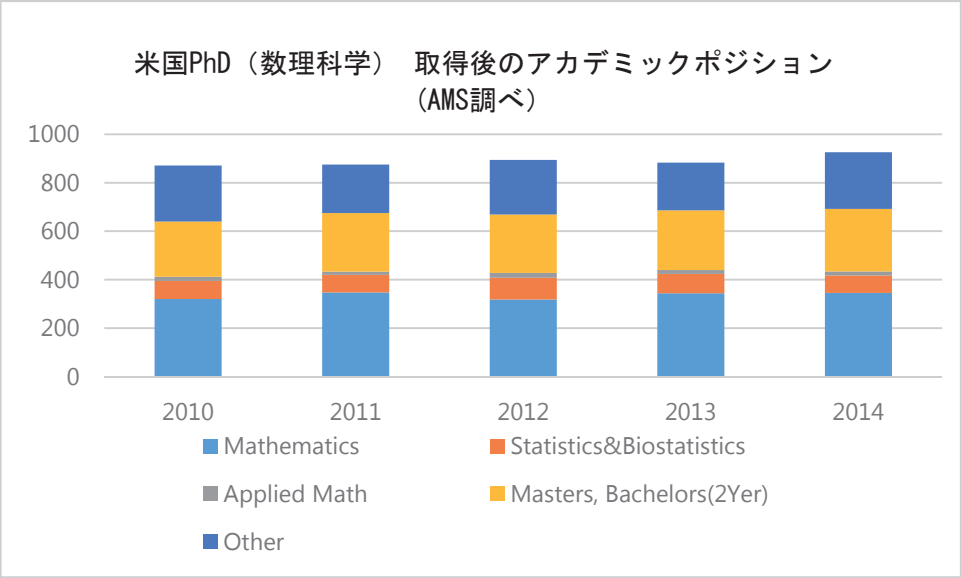
① セルゲイ・ブリンはラリー・ペイジとともに Google を創設した。

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。

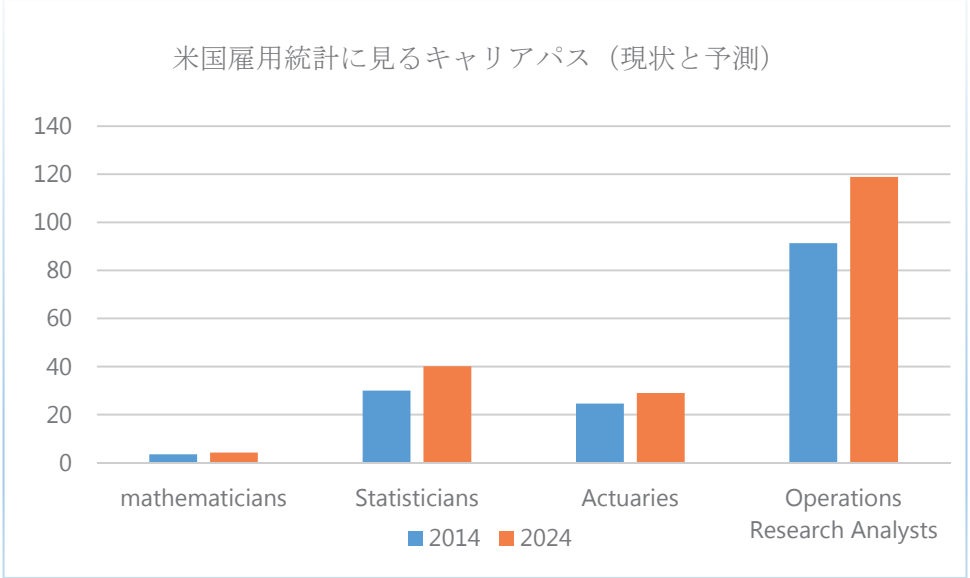
(4)　米国でのキャリアパス



米国でのPhD取得後の進路についての調査(http://www.ams.org/profession/profession)があり、それによると、米国での博士取得後の進路では、アカデミックポジション以外に就く割合は年々増加しており、2014年では23%程度ある。これは、日本の数学・数理科学のキャリアパス状況が稀有であるのと比べると全く違っていることが分かる。アカデミックポジションには、数学以外の分野も含まれている。米国でのPhD取得後のアカデミックポジションの分野割合の動向は以下のようになっている。PhD取得後数理科学から応用数学へのポジションへ行くのは非常に少ない。

(5)　米国雇用統計からみる数学からのキャリアパス

米国雇用統計2014年の数学・数理科学、OR、統計、アクチュアリーの統計およびそれらの2024年の予測が与えられている。これらの職種の雇用については全般的に活況を示しているといえる。その要因はデータアナリストの需要拡大の予測である。数学者の職業雇用については、数学研究者の微増もあるが、教育、工学系への教員、エンジニアサービス、マネージメントといった職業への増加の予測が立てられている。なお、米国雇用統計のなかでは、数学を専攻した学生が、これら四つの職種以外でも活躍しているということも記されている。(http://www.bls.gov/ooh/math/mathematicians.htm#tab-2)



米国雇用統計（U.S. Department of Labor Bureau of Labor Statistics）より
（単位 1000 人）

また、毎年発表される Best Job ranking では以下のように数学・数理科学、統計等の職種が上位にランクされている。

2015年　1位　Actuary　2位　Audiologist　3位　Mathematician　（Carrer Cast）
2014年　1位　Mathematician　2位 Tenured University Professor
　　3位　Statistician（Wall Street Journal）

【注】Carrer Cast による職種についての説明は以下のようになっている：
- Actuary（Interprets statistics to determine probabilities of accidents, sickness, and death, and loss of property from theft and natural disasters）
- Mathematician（Applies mathematical theories and formulas to teach or solve problems in a business, educational, or industrial climate.）
- Statistician（Tabulates, analyzes, and interprets the numeric results of experiments and surveys.）

(6)　SIAM レポートによる数学のキャリア

SIAM レポートには、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
【出展】https://www.siam.org/careers/thinking/organizations.php

・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, Sendia 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 Seculrity Agency, National Surface Warfare Center, Dehlgren Division, US. Department of Energy
・国際政府機関 : Defence Science and Technology Organization, DSTO (Australia) , Fench 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 Resesarch and Engineering, NEC Laboratories America, Inc. Schulumberger-Doll Research, IBM Research
・コンピュータ科学・ソフトウエア産業 :Adobe, Google, Kuberre Systems, The MathWorks, Inc, Mentor Graphics, Microsoft, Mosek, MSC Software Cooporation, 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, Merk & 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

(7)　カリフォルニア大学バークレー校の場合

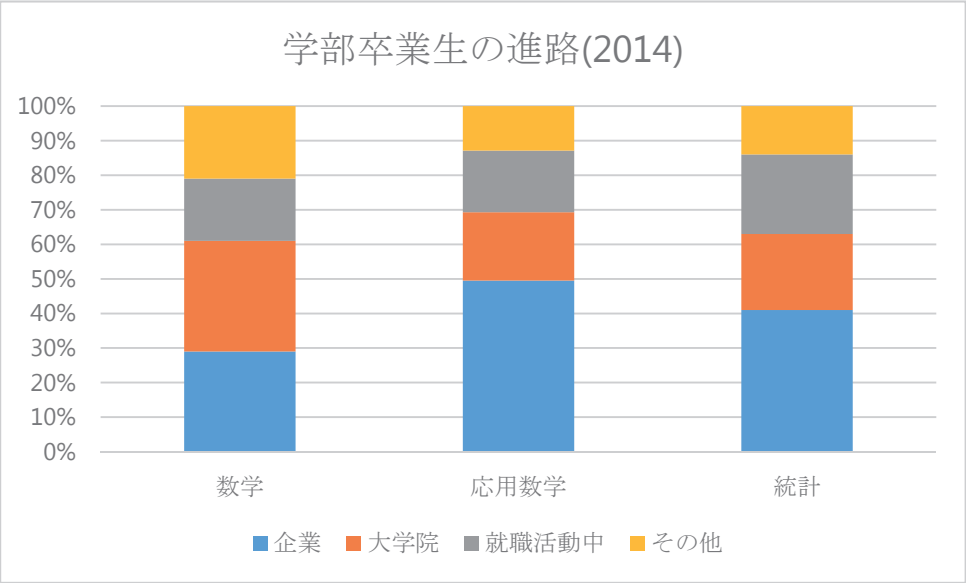
カリフォルニア大学バークレー校の2014年の学部卒業者、PhD 修了者の動向を見てみよう。

(7.1)　学部卒業生の進路

卒業生

数学卒業者99名のうち回答者　　34名(回答率34%)
応用数学卒業者158名のうち回答者　40名(回答率25%)
統計卒業者167名のうち回答者　　64名(回答率38%)

のデータである。



(7.1.1)　数学の進路

・企業：教員、データアナリスト、ソフトウェアエンジニア、信託アナリスト、航空産業
・大学院進学：純粋数学(代数学、トポロジー)、計算数学、経済学、OR、物理

(7.1.2)　応用数学の進路

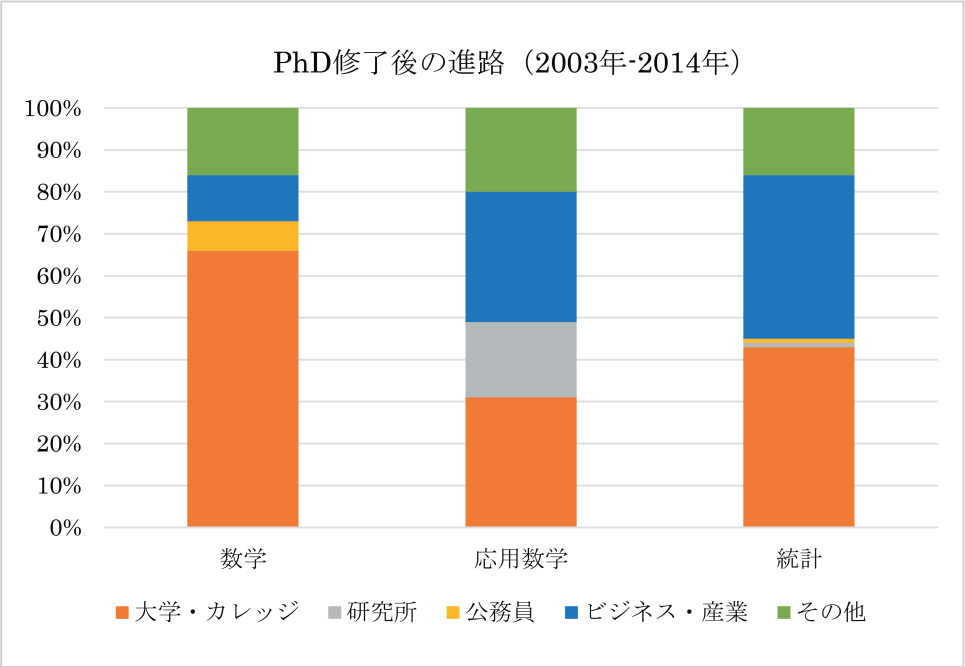
・企業：データサイエンティスト、証券アナリスト、ソフトウェアエンジニア、アクチュアリー、システムエンジニア、コンサルタント、サプライチェーンインターン
・大学院進学：応用経済、応用物理、計算数学、ファイナンス、情報工学

(7.1.3)　統計の進路

・企業：通信会社、研究アナリスト、税務事務所、会計アナリスト、アクチュアリー、データアナリスト、コンサルタント、企業研究員、ファイナンシャルアナリスト

(7.1.4)　PhD 学生の修了後の進路(2003年から2014年までの累計)

回答を得た数学　220名、応用数学　16名、統計　83名についての分布



参考資料

【学部卒業者の進路について】

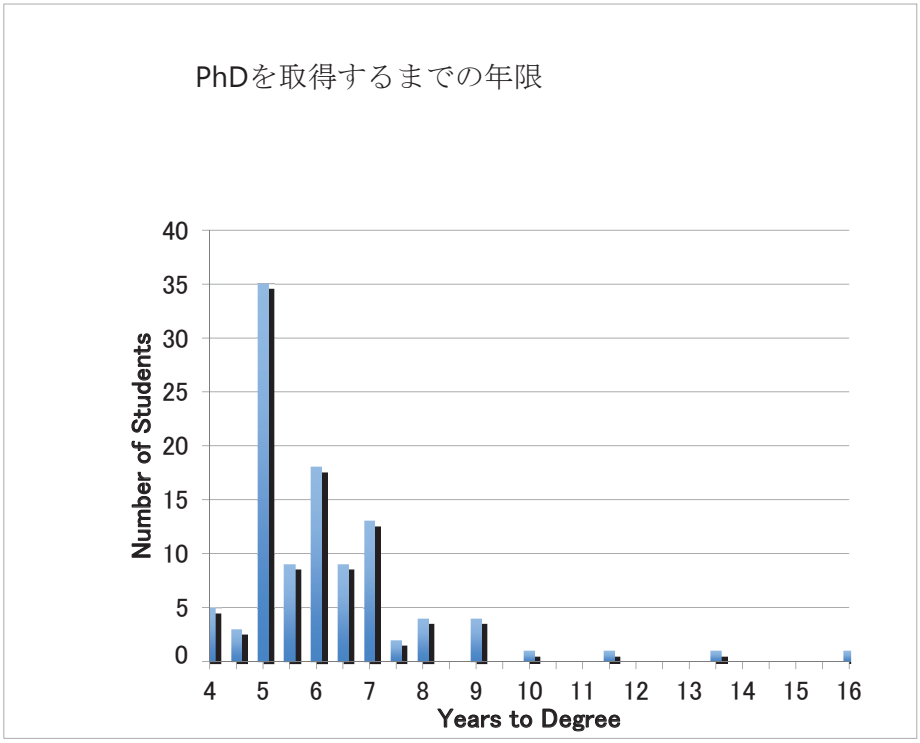
https://career.berkeley.edu/Survey/2014Majors

【PhD 修了者の進路について】

http://grad.berkeley.edu/professional-development/doctoral-alumni-outcomes/placement-survey/

(8)　ボストン大学 PhD 修了者の進路（1999年から2010年まで）

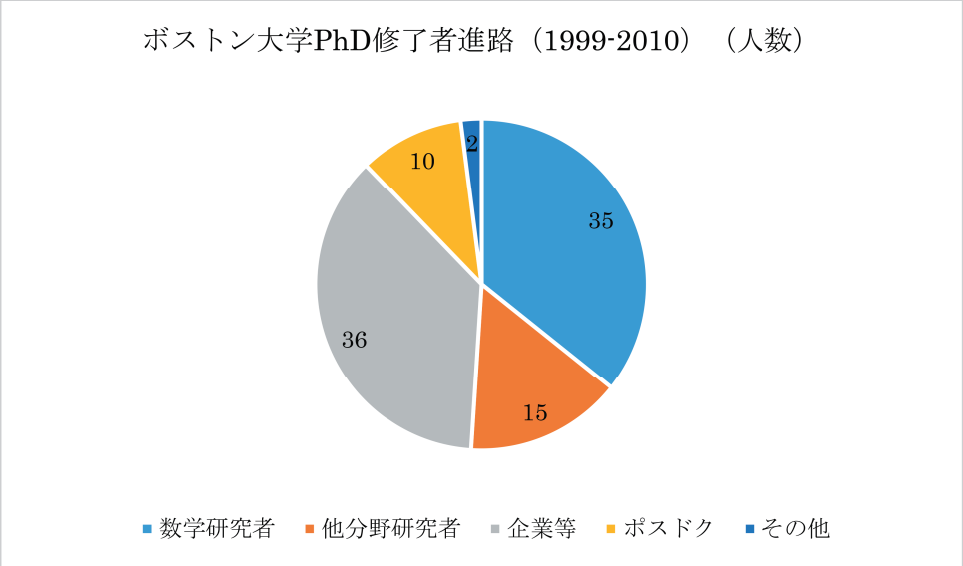
（8.1）　企業等での職種



企業役員（CEO、バイスプレジデント）、データサイエンティスト、ソフトウエア開発者、証券アナリスト、アクチュアルアナリスト、バイオ統計アナリスト、シニアエンジニア、シニアマネージャー、マーケットアナリスト、教員、サイエンスライターほか。

（8.2）　他分野研究者の進路分野

統計学、生物統計、定量解析、生命情報、医学、ファイナンス、バイオメディカルほか。



(9)　まとめ

米国の数学系の大学学部卒業者の50%程度が就職し、その残り50%程度が大学院へ進むのは、ほぼ日本での進学率とは同じ程度であると思える。ただ、米国では、統計学科や応用数学科等多く存在しており、卒業生の絶対数は全く違う。それでも、数学のニーズは高く、就職状況は非常によい。日本も数学系の学部あるいは修士での修了者については、問題がなく好条件での就職をしている状況は、数学会によるアンケート調査からも分かる。問題となるのは、博士課程の進路であろう。米国といえども、アカデミックポジションの獲得は難しい状況にある。特に、いわゆる純粋数学でのアカデミックポジションを得ることはかなり至難である。一方で、他分野や企業へ進路が開けているところが日本と米国の違いではないか。それほど多くはないが、PhD取得後、他分野への転身が見受けられる。

6.3.　数学のキャリアパスとしてのアクチュアリー

(1)　アクチュアリーの概要

(1.1)　アクチュアリー業務(アクチュアリー行動規範第1条から抜粋)

アクチュアリーは的確な現状認識と将来予測に基づき、数理的手法等を活用して、保険及び年金にかかわる財政の健全性の確保と制度の公正な運営に努めることを主とした業務としている。

(1.2)　アクチュアリーの主な活動分野

生命保険、損害保険、年金、リスクマネージメント

(1.3)　日本アクチュアリー会へのインタビュー

(対応者　前林義明日本アクチュアリー会事務局長;2015年12月10日)

【質問1】　数学が社会で活躍する分野としてアクチュアリーが一つのキャリアであると思うが、日本でのアクチュアリーの動向を海外、特に米国と比べてどうか。

ウォールストリートジャーナルでの毎年のジョブランキングで1-2位にランクされるように、米国でのアクチュアリーの評価は高い。米国でのアクチュアリー会員は最大組織であるSOA(Society of Actuaries)とCAS(The Casualty Actuarial Society)が主な所属団体であるが、これらが擁する正会員数は日本の10倍程度ある。

日本でも、アクチュアリー会員数は年々増加しており(正会員数926名(2000年)から1,514名(2015年))、少しずつではあるが、アクチュアリーという専門職が社会に認知されつつあると言える。

英国のアクチュアリー制度(IFoA(Institute and Faculty of Actuaries))は英国ならびに旧英国連邦諸国(例:オーストラリア)などでも会員数は多い。SOA、FIoAいずれも、諸外国で受験することができるために、会員には米国あるいは英国以外の

国籍者、あるいは米国・英国以外の企業体に所属する者も会員となっている。特に、アジアでは、中国が急激に伸びてきている。

【質問2】 諸外国ではアクチュアリー技術向上に向けた専門研究などが大学で行われたりしているが、専門職集団として日本アクチュアリー会が大学あるいは研究機関に期待することはどのようなことか。

米国・英国・ヨーロッパでは、大学にアクチュアリーコース（あるいは統計学科などの中のアクチュアリーコース）のようなものがあるところもある。日本では、まだアクチュアリー教育を行う人材が少ない。最近では、リスク管理もアクチュアリーに求められる重要な職務になっているので、より専門性が要求されている。アクチュアリー会から公式に大学へ講師を派遣することも行っているが、人材面から多くの要求には応えきれてはいない。

【質問3】 日本数学会や日本統計学会等、諸学会との交流は行われているか。

日本数学会とは、事務局を通じた交流を行っている。日本統計学会は、連合学会であるので事務局が明確でないために、個人的な交流を行っている。

【質問4】 保険に係る専門研究について、大学等の機関との連携は考えられるか。

リスク管理の問題については専門性が高くなるので、本来的にはそのような機会があるとよいと思うが、なかなか実現はしていない。

【質問5】 数学のキャリアとして保険業界が考えていることはどのようなことか。数学の学生に期待することはどのようなことか。

アクチュアリー試験の受験が学部3年生から可能になり、学部学生が受験をしている。よい部分もあるが、やや目立ってきたのが、いわゆる就職対策的にアクチュアリー試験を考えている傾向があるように見える。保険業種全般について、もっと学んだうえで、保険業界に入ってきていただければと思っている。一方で、アクチュアリーというものが社会でどのような職業かということが知られなすぎる反省点もある。そこで、中学・高校生ぐらいから、アクチュアリーという職業を知ってもらう必要があると考えている。数学が活用される職種の一つとして、アクチュアリーが平成28年度の中学・高校の数学の教科書に記載されることになったと聞いている。

【質問6】 博士課程修了者のキャリアとして、アクチュアリーはどうか。

リスク管理のような専門性が高い仕事が増えてきているために、より専門性の高い人材は望まれてくると思う。保険会社は、基本的に文系社会のなかで行う仕事であるので、コミュニケーションが一番大事である。これを理解している学生であれば、博士課程修了者も歓迎されると思う。

【質問7】 数学出身者の保険会社に就職したあとのキャリアはどうか。また、女性のキャリアとしてはどうか。

アクチュアリーから保険会社のトップになった企業人は結構多く、例えば、現在明治安田生命社長の根岸秋男氏、三井生命社長の有末真哉氏、Prudential-HD 社長の

倉重光雄氏等がいる。数学から、企業トップになるのは保険会社が一番ではないかと思う。そのためには、マネージメント能力が必要となる。セカンドキャリアとして、監査法人やコンサルタント会社等がある。アクチュアリーという専門職は、現在のところ多くの需要があるといえる。女性のアクチュアリーは現在28名と大変少ない。ぜひ女性にもアクチュアリーに挑戦してほしい。

【質問8】 リスク管理では CERA（Chartered Enterprise Risk Actuary）の試験がなされているが、保険業界としては新しい領域であろう。これの日本の受験状況はどうか。また、この分野で大学あるいは研究機関でどのような協力ができるのか。

CERA の試験は日本では平成24年度に始まり、平成24年度9名（受験者68名）、平成25年度10名（受験者数54名）、平成26年度14名（受験者数52名）が資格者となっており、年々増加している。受験者は若い世代と実務世代に大きく分かれている。しかし、若いアクチュアリーが CERA 資格を取ったとしても必ずしもリスク管理部門に配属されるわけでもない。資格と実務にとは連携していない。

教育としては、試験制度だけではカバーすることができない部分については講座を開きそれを受講することによって試験を補っている。現在は、この研修等に大学からの研究者への協力をお願いしている。

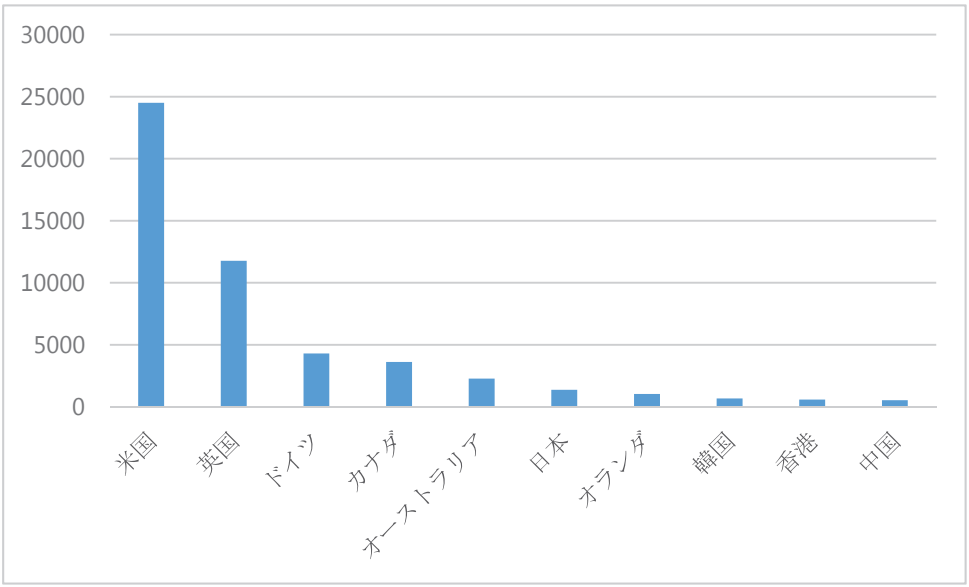
（1.4） 日本のアクチュアリー会員数

年度	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
正会員	1,219	1,240	1,262	1,300	1,335	1,373	1,435	1,514
準会員	831	936	969	994	934	1,155	1,278	1,287
研究会員	1,976	2,061	2,180	2,261	2,247	2,273	2,166	2,192
合計	4,026	4,237	4,411	4,555	4,516	4,801	4,879	4,993

（1.5） 米国のアクチュアリー会員数

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	2,5578

世界のアクチュアリー正会員数



【注】 米国が多い理由の一つは、米国には生命保険会社が約1,000社あるが、日本は43社である。

(2) アクチュアリーから企業トップへの人材例

アクチュアリーが保険業界での重要な役割を負っている。英国や米国ではアクチュアリーから企業トップとなる人材が多い。前のアクチュアリー協会においての質問にもでてきた人物以外にも、川井三郎氏（協栄生命社長・会長）、河野一郎氏（プルデンシャル生命保険社長）、倉重光雄氏（プルデンシャル・ホールディング・オブ・ジャパン社長）等、多数輩出されている。

(3) キャリアパスの普及へむけて

我が国での、数学・数理科学教育研究分野からの出身者は、学部および大学院前期博士課程（修士課程）の修了者については、問題なく社会へ輩出されているというのが現状である。一方で、大学院後期博士課程（博士課程）の学生がアカデミックポジションのポストを得ることが容易ではないために、博士課程修了後の進路について、大きな問題があるのが現状である。そのためには、博士課程修了学生が将来の進路を柔軟に考えられるように支援と指導を行う必要があるのではないか。

ここではアクチュアリーを一つの例としてあげたが、数学・数理科学研究の社会でのニーズはかなり多いと考えられる。今後ビッグデータのニーズにより、データサイエンティストの需要は大きく伸びていくことだろう。そのためにも、数学・数理科学の専門

を修得した人材が急激に求められていくことは明らかであろう。そのためにも、このような人材の育成に対処することは喫緊の課題である。保険会社の例のように、企業のトップへの道も十分可能である。そのためには、コミュニケーション能力やマネージメント能力も必要である。このような総合的なスキルをトレーニングすることも検討すべきであろう。アクチュアリー会で若年層へ周知を始めているように、数学が社会へどう役立つか、具体性をもってアピールしていくことも重要である。

7. 数学人材育成の課題

本章では、数学人材の育成について、数学・数理科学の活用による融合研究の促進という立場から、我が国と米国との人材育成の比較を重点にして調査を行ったものである。

高度社会において、数学の能力は、様々な程度があることは別として、ある程度のレベルの数学能力は必要であることは、海外での調査を見ても明らかである。また、高校生からの調査からも分かるように、我が国において、大学以前の学生の数学好感度はよいと思える。文系の学生からみても数学の重要性は認識しているとも思える。これを大学入学後、あるいは社会への輩出の過程においても、数学能力を保持させていく必要が十分ある。ここには、大学での数学教育が強く関わると考えられる。

我が国は、数学研究では世界的トップレベルの国であり、この高いレベルをさらに発展させていくことが、数学を社会に役立たせるという意味でも重要なことと考える。この数学研究の基盤があってこそ、新しい数学理論や手法が生み出され、それが何十年後に様々な異分野融合研究や他分野へ役立たせることができるようになることは、歴史が示している通りである。新しい数学の創生のためには、先端的数学研究支援体制の保持、人材育成支援が行われなければならない。

一方で、21世紀における社会の高度化や複雑化に応えるため、社会における科学技術の重要性は今まで以上に求められている。特に、IT技術による社会革新とも言える時代が到来すると言われるなかでは、数学・数理科学がその理論基盤を支える重要な役割を担うことは必然である。そのために、「数学」から今までの「数学人材」とは別の人材育成を早急に検討していくべきではないだろうか。今回米国での数学人材育成、プリンストン大学工学部での教育、社会から求められている数学キャリアパス等を検討した。これらの調査からの提案は、新しいタイプの「数学人材」育成を早急に始めるべきということである。

本章を終わるにあたり、この調査を通して得られたことから、今後検討する必要があると思われる課題について述べる。

(1) 若年層への数学の教育について

社会において、数学の重要性は誰もが認めるところである。また、これからの社会にとって数学はより重要な役割を果たすことは間違いない。そのために、大学入学以前の

学生に対して、様々な方向から数学の重要性を伝えていく必要がある。数学の面白さを学び、感動を受けて大学へ進学する際に、数学の専門に進む人材も必要であるし、それを多方面に生かすことを選択する学生も必要である。また、文系に進む学生に対しても、教員の力がかなり影響していることは、高校生アンケートからみても分かる。そのことから、文系学生へ数学をどのように教育していくかということも重要な検討事項である。いずれにしても、数学を通じて、柔軟な人材の育成ができることが必要ではないか。

高校教員の方々に質問した際から得た回答を参考にしてみると、大学の数学は高校までの数学とは違う、という認識がある。従って、生徒に大学の数学専攻への進学を積極的には勧めない。また、数学の重要性については、「数学は論理的な考え方のトレーニング」といった内在的な理由が挙げられている。高校教員には、大学の数学専攻に進んでもその後のキャリアが（大学教員や高校教員などに）限られるという意識がある（アクチュアリーなどの具体例も知られていない）。社会において数学が応用されている具体例をあまり知らないと思われる。数学が論理的な考え方を育成するというのは、確かに重要なことではあるが、それとともに、数学を学ぶことの重要性や必要性を具体的に示すこと、数学を学んだあとの具体的な社会での貢献を示す必要があるのではないか。

若年層への数学の啓蒙や教育は、今後重要になってくる。そのためには、例えば、このような教育プログラムやそれを担当できる専門的知識をもった人材の育成も必要であると思う。

このことを踏まえて必要な方策として以下の検討を提案する。

【提案１】　高校生への積極的な数学教育

高校生をより柔軟に育成する必要がある。例えば、大学への授業へ参加できるような柔軟な教育体制、アメリカで行っている Ross Program や PROMYS のようなサマースクールの実施等の検討である。また、高校や中学の教員と大学教員とのコミュニケーションの機会を作っていくことも大事である。アンケートの中で、文系進学希望学生が数学が好きになる要素として「先生」にあることを踏まえると、教員の教育法にも今後の検討が必要ではないか。

【提案２】　高校教員向けの数学応用事例の教育、数学応用事例の教育ができる高校教員の育成

数学・数理科学の専門を修得した博士課程修了者の登用の活用等により、若年層に対し、数学の魅力や数学の社会への貢献をより具体的に説明する授業を行う要員の検討である。また、高校生への数数学応用事例の紹介の場の運営も必要である。

(2)　大学学部での数学教育システムの検討

本章では、大学学部における数学教育について、日米比較を中心として様々なデータとヒアリングによる意見を集めた。日本での「数学科、数理科学科」での学部数学専門教育は米国よりもより専門性が高いと思えるが、数学の外に目を向けさせる機会が少ない。高校の数学とのギャップを埋める工夫も少ない。また、特に統計教育は不十分であろう。

米国では、学部教育の内容は日本ほど専門性が高くない。科目の濃密さ（1コマ50分程度であるが、それを週に4回やる）、数学の外に目を向けさせる機会、高校までの数学とのギャップを埋める工夫等がある。また、応用数学や統計などの教育にも広げる多様性が見える。さらには、優秀な学生には、自由なコース選択を与え、より早くアドバンスな専門履修も可能にしていることや、数学の授業以外にも様々な科目をとれるようなシステムも導入されている。日本の教育特色を十分考慮したうえで、若い数学人材の育成に向かった数学教育システムの検討が望まれる。

学部教育については、次のような方策の検討を提案する。

【提案3】　学部での数学教育プログラムの検討

我が国の現状からみて数学教育の中に不十分でありながら、それに応えられていない教育プログラム（たとえば、データ科学、統計、離散数学、最適化、数値解析等）について、早急な対応が望まれる。短期的視野でいえば、例えば地区ごとの大学が連携しあい、お互いの分担で補完しあう大学間連携を進めたらどうか。教育・研究の戦略的な連携は検討の価値はある。また、大学での数学の導入教育の検討、英語テキストによる授業の検討も提案したい。英語能力も高め、また世界的な標準教科書に触れることは教育側や学生側にとってもメリットは大きいと思える。

【提案4】　学部教育の評価

アメリカの大学で行っているベストテーチングアワードのような形で、学部教育の優秀者を表彰することにより、教育にも重視する姿勢を作る。

(3)　博士課程修了者のキャリアパス

大学での数学出身者のキャリアパスは重要な問題である。学部や修士課程の修了者のキャリアパスに比べ、後期博士課程（博士課程）修了者のキャリアパスは深刻な問題である。優秀な人材が埋もれていく現状について、数学界が重要視してこの問題にあたる必要がある。数学人材の社会への貢献のために、優秀な人材のキャリアパスを拡大していくことが最重要課題である。博士課程修了者の進路は、日本はほとんどがアカデミアであり、企業はきわめて少ない。一方、米国ではアカデミックポジション以外の進路が年々増加し、2014年には23%ある。また、数学コミュニティを日本と米国で比較してみると、数学・数理科学専攻の学生数や関連学会の会員数自体が、米国が、AMS会員30,000人、SIAM会員13,000人、ASA会員13,000人に対して、日本数学会会員5,000人、日本応用数理学会会員1,600人、日本統計学会会員1,450人と比較すると、日本より一桁近く多いことから見ても、数学の規模が日米の比較では歴然と違う。数学を取り巻く環境の規模はそれほど大きくない我が国では、より結束してこの解決を図る必要がある。

今後の取り組みとして、①企業と学生との交流会のような場の運営、②（企業への長期）インターンシップ、③学生への情報提供による数学専攻出身者の企業での活躍事例の紹介や、企業への情報提供等、学生へのキャリアパスの情報提供を行うことである。

【提案5】　現在の日本数学会が行っている「社会連携協議会」を発展継続させるために、産学官の下による数学・数理科学の学生のキャリア支援

日本数学会では博士課程学生のキャリアパス支援として、官学民の協力による「社会連携協議会」を発足させている。この活動を通して、企業からの数学修了学生への興味も向上してきていることは確かである。しかしながら、この活動は、ボランティア的要因が強く、運営を行う負担が多すぎる。これを継続的に運営するためには、財政的人的サポートが必要である。それがないと、せっかくの活動も行き詰ることになる。この活動が、継続的に行えるような支援体制を検討すべきである。