

# 米国における新たな大学院教育の試み

— 実社会との接点を求めて, Professional Science Master's —

Pennsylvania State University, Altoona Campus  
Department of Mathematics and Statistics

正宗 淳

## 概要

米国社会においても, 理学 (自然科学と数学) および工学は国の発展の根幹と認識されている. これらの分野の競争力をより強化せしめるために, 科学教育の充実, 自然科学と数学および工学専攻の学生支援, 国内外の科学者や数学者にとって魅力的な環境を整えるなど, さまざまな努力がなされている.

基礎研究に重点をおく伝統的な大学院教育では, Analytical and problem-solving skills はよく教育される一方, 現実の問題を解く力や数値解析, Communication skills, team work などの実社会で必要とされる能力は十分に訓練されているとはいえず, 社会の要請に十分に対応していないことが指摘されている. さらには, 学生の理系離れのために将来理系のワークフォースの不足が懸念されている.

これらの問題を解決する目的で設立されたのが, Professional Science Master's (PSM) である. 「科学版 MBA」とも称される PSM は, 学士に比較しより深い理系の知識に加えて, 実社会で働く際に必要とされるビジネス・スキルを習得させることが特徴であり, 1997年に14の大学で発足以降, 入学者数は毎年急増しており, 2011年6月現在, 240のプログラムが110の大学で実施されている.

この論説の主目的は PSM を紹介することにある. 文献の引用の正確性を重んじるために, 適切と考えられる範囲において原文をそのまま採用することとした. お読み苦しい点をご容赦いただきたい.

## 項目

1. 背景
  - 1.1. 米国科学界の戦略と実行計画: 米国 National Academies の提言「Rising Above the Gathering Storm (2007, 2010)」
  - 1.2. 米国社会における数学: Society for Industrial and Applied Mathematics による調査・分析「Mathematics in Industry (1998)」
2. Professional Science Master's
  - 2.1. 概要
  - 2.2. 卒業生調査
  - 2.3. プログラム
  - 2.4. 歴史
  - 2.5. Worcester Polytechnic Institute (WPI)
    - a) WPI の教育の特徴
    - b) WPI の授業料と社会における卒業生の実態
3. 提言
4. 参考文献

# 1. 背景

米国国会は National Academies に「米国が 21 世紀の科学競争に勝つための戦略と実行計画」の調査・分析を依頼し、National Academies はその回答として報告書 *Rising Above the Gathering Storm* (2007・2010) [1] を作成した。一方、SIAM は、社会における数学の役割や実社会で活躍する数学者の労働環境、実社会で数学者が成功するための条件、大学院教育の調査・分析をし、さらに、それらを基にして、大学院教育や実社会における数学者が成功するための提案をした。この調査は 500 人以上の数学者や科学者、工学者、経営者、および、National Science Foundation の協力により実施され、*Mathematics in Industry* (1998) [2] として報告された。

この章では、*Rising Above the Gathering Storm* と *Mathematics in Industry* から我々のテーマに深く関係する箇所を紹介する。

## 1.1. 米国科学界の戦略と実行計画：米国 National Academies の提言「Rising Above the Gathering Storm (2007, 2010)」

米国が 21 世紀の科学競争に勝つための戦略

1. Move the United States K-12 education system in science and mathematics to a leading position by global standards.
2. Double the real federal investment in basic research in mathematics, the physical sciences, and engineering over the next seven years (while, at a minimum, maintaining the recently doubled real spending levels in the bio-sciences).
3. Encourage more United States citizens to pursue careers in mathematics, science, and engineering.
4. Rebuild the competitive ecosystem by introducing reforms in the nation's tax, patent, immigration and litigation policies.

実行計画（一部抜粋）

- Provide research grants each year to 200 early-career researchers, payable over five years.
- Provide 25,000 competitively awarded undergraduate scholarships each year of up to \$20,000 per year for 4 years in the physical and life sciences, mathematics, and engineering for U.S. citizens attending U.S. Institutions.
- Provide 5,000 competitively awarded portable graduate fellowships each year of up to \$20,000 per year in fields of national need.
- Grant tax credits to employers that support continuing education for practicing scientists and engineers.
- Continue to improve visa processing for international students.
- Offer a one-year visa extension to PhD recipients in science, technology, engineering, mathematics or other fields of national need; grant automatic work permits to those meeting security requirements and obtaining employment; provide a preferential system for acquiring citizenship for those who complete their degrees; and repeal the mandatory “go-away” provision now in U.S. immigration law.
- Offer preferential visas to applicants who have special skills in mathematics, science, engineering, and selected languages.

- Modify the “deemed export” law whereby faculty currently may be required to obtain export licenses to teach a technology class that includes a foreign student even if the material covered is unclassified.

すなわち、米国社会においては、自然科学・数学及び工学は国の発展と経済の根幹であると認識されており、これらの分野を発展させるために、科学教育の充実、自然科学・数学および工学専攻の学生支援、国内外の科学者や数学者にとって魅力的な環境を整えることが基本戦略であることが理解できる。

## 1.2. 米国社会における数学：SIAMによる調査・分析 「Mathematics in Industry」

以下に「Mathematics in Industry」の要点を延べる。

### 研究環境

- Although a few mathematicians are clustered in one group that has a mathematical charter, most are scattered among engineers, physicists, and computer scientists, where they often function as hunter-gatherers, seeking a share of their support from mission-oriented project groups. Mathematicians here must extract the mathematics from the projects that need it.
- In addition to basic sciences and engineering, business and finance are increasingly important disciplines for analysis of technical questions about markets, pricing, and related issues.
- Problems never come in formulated as mathematics problems. A mathematician's biggest contribution to a team is often an ability to state the right question.
- Most problems must be solved in hours or days; this often means finding an adequate solution rather than a perfect one. Industrial mathematicians are almost always asked to find the best solution under time and budget constraints.

### 企業が数学者に期待する能力

- Skill in formulating, modeling, and solving problems from diverse and changing areas.
- Interest in, knowledge of, and flexibility across applications.
- Knowledge of and experience with computation.
- Communication skills, spoken and written.
- Adeptness at working with colleagues (teamwork).

### 企業における数学者の能力についての評価

- Highly developed skills in abstraction, analysis of underlying structures, and logical thinking.
- Expertise with the best tools for formulating and solving problems.

### 数学者の弱点

- Tunnel vision: Write a paper and that's the solution.
- They do not care about the real environment, realistic models, cost, implementation.
- They are concerned instead with proving irrelevant theorems.

### 企業が博士を雇用する主な理由

- Analytical and problem-solving skills (58%)
- Conceptual breadth, transitions across disciplines (28%)

- Skills with numerical algorithms (14%)

企業が修士を雇用する主な理由

- Logical and analytical skills (43%)
- High level of mathematical training (35%)
- Knowledge of techniques and algorithms (22%)

大学院教育について

- Well educated for several important aspects of nonacademic jobs: thinking analytically, dealing with complexity, conceptualizing, developing models, and formulating and solving problems.
- Inadequately prepared to attack diverse problems from different subject areas, to use computation effectively, to communicate at a variety of levels, and to work in teams.

提言

- Broadening the graduate curriculum and educational programs.
- Creating mechanisms for actively connecting academic and nonacademic mathematical scientists.

すなわち、伝統的な大学院教育では、Analytical and problem-solving skills はよく訓練される一方、現実の問題を解く力や数値解析、Communication skills, team work などの実社会で必要とされる能力は十分に訓練されているとはいえ、社会の要請に十分に対応していないことが指摘されている。

## 2. Professional Science Master's (PSM)

### 2.1. 概要

Professional Science Master's (PSM) は、米国における2年間の修士課程プログラムである。実社会での応用を目的とする科学・数学の基礎知識の習得に加え、マネジメントや知的財産管理等を含むビジネス・スキルを学ぶ。伝統的な修士課程に比べると、理論より応用を強調し、さらにテクニカル・ライティングやコミュニケーション能力、インターン・シップや学内におけるグループ・プロジェクトなどを通じて、実社会で働くための準備をする。PSM参加者の約半分が女性であり、他の修士課程に比べて女性参加率が高いことも特徴である。

夫々のPSMのプログラムが実施される地方の産業界を中心にした6~12人から構成される委員会(Advisory board)はプログラムの作成にかかわり、さらにプログラムの運営を定期的に審査し、アドバイスを与える。PSMの卒業生やデータの管理はNational Professional Science Master's Association (NPSMA)により行われ、運営の健全性はAlfred P. Sloan FoundationやCouncil of Graduate Schools、National Science Foundationにより定期的に審査される。

### 2.2. 卒業生調査

2009年度の調査(PSMの第一期生の卒業は1999年)。281人(全体の14%)の卒業生から以下の質問に対する回答を得た。

質問：就職先の業界

回答：

1. 産業界 (61.5%)
2. アカデミック (13.1%)
3. 政府機関 (8.7%)
4. 非営利団体 (9.1%)
5. その他 (7.6%)

質問：会社の規模

回答：55%が社員が1000人以上の企業に、その残りは中小企業に勤めている。51%はPSMを修了した時点で就職したのと同じ企業に勤続中である。

質問：昇進に対する影響

回答：41%が昇進はPSMを習得したことによると回答した。

質問：年収

回答：(ドル)

40000 以下	13%
40000~49999	11%
50000~59999	19%
60000~69999	14%
70000~79999	14%
80000~89999	10%
90000 以上	19%

質問：PSMプログラムの改良されるべき点

回答：「ファイナンス・会計およびビジネス・プロジェクト管理の教育をするべき」の指摘が多かった。

## 2.3. プログラム

- 領域 (括弧内は、現在実施されているプログラム数)
  - Biology and Biotechnology (71)
  - Chemistry (12)
  - Computational Molecular Biology/Bio-informatics (21)
  - Computational Sciences (21)
  - Environmental Sciences (56)
  - Forensic Sciences (6)
  - Mathematics and Statistics (21)
  - Medical related Sciences (19)
  - National Defense (2)
  - Physics and Geological Sciences (21)
- 履修単位の半分以上は自然科学、数学、工学、技術のうちの専攻に直接関係する分野で占められていなくてはならない。履修単位のうち2割以上は Professional Skills (ビ

ジネス、法律、知的財産管理、ファイナンス、マーケティング、組織管理、コミュニケーション能力) である必要がある。これらの組み合わせの例を以下に述べる。

例1 専攻：Applied Computing

- Science/Technology courses：Modeling, Network design, Network security, Simulation, Geographical information systems
- Professional Skills：Conflict resolution, Negotiation, Project management, Writing, Leadership

例2 専攻：Applied Industrial Mathematics

- Science/Technology courses：Differential Equations, Linear Algebra, Matrix theory, Cost Benefit Analysis
- Professional Skills：Leadership, Organizational decision making, Human resources management.

- PSM と伝統的な修士プログラムとの違いを示す例  
Pennsylvania State University の統計学修士課程の PSM と Master of Science or Master of Arts in Statistics (MS 及び MA) を比較する。

Required Courses

PSM	MS 及び MA
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Introduction to Probability Theory</li> <li>• Introduction to Mathematical Statistics</li> <li>• Regression Methods</li> <li>• Analysis of variance and design of experiments</li> <li>• Statistical consulting and practicum.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 9 credits in probability and mathematical statistics</li> <li>• 6 credits in applied statistics</li> <li>• Statistical consulting practicum</li> <li>• Students are expected to have matrix algebra and a computer programming language prior to entering the program</li> </ul>

Graduation Requirements

PSM	MS 及び MA
<ul style="list-style-type: none"> <li>• A minimum of 30 credits and a minimum grade average of 3.</li> <li>• Of the 30 credits, 24 must be courses from the Statistics department and 21 must be at the 500 level.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Of the 30 credits, 27 must be at the 500 level. 21 of the 27 must be from the Statistics department.</li> <li>• In addition to satisfying the above course, a master's paper must be submitted on a topic proved by the adviser.</li> </ul>

- MS および MA の大学院生の多くが TA や RA などの大学および指導教官からの経済的支援および学費免除があるのに対し、PSM の学生は学費を全額払う義務がある。
- PSM 学生の大部分はインターン・シップに参加し、特定の企業の支援を得て卒業プロジェクトを完成させる。インターン・シップや卒業プロジェクトを通じて知り合った企業に就職するケースも少なくない。

- PSM プログラムの立ち上げについての提言  
 ミシガン大学教授 C.R. MacCluer 博士とコンサルタント L.H. Seitelman 氏が同プログラムの立ち上げに関して、ミシガン大学における経験を基にした提言をしているので、要点を[3]から抜粋する。
  - Form an industrial adviser board and take their advice!  
 Advice from people *in situ* is essential. A board's advice on curriculum, program structure, and professional development is invaluable. The best advice (and cooperation) will come from project-level managers; these managers have fresh experience with new hires. Try to select alumni for the board. They are likely to have greater patience and a sincere interest in a successful outcome. Choose representatives from companies, both large and small, both local and national.
  - Cultivate faculty facilitators  
 Make it clear that faculty members are to serve only as facilitators, not true managers. Moreover, because of intellectual property issues, it is best for the faculty not to be involved intimately with the project development.
  - Provide professional development  
 The goal of PSM programs (to put it indelicately) is not to train “cubical rats” to serve as cannon fodder for the management MBAs. Instead, we shape our graduates to eventually take on these management roles. PSM graduates must understand the fundamentals of business and must be skilled in writing and oral presentation skills. They will be judged in industry not by their work but by how well they present their work.
  - Choose a committed coordinator for the program  
 This cannot be an add-on duty for a faculty member. The coordinator must be essentially full time. There is a heavy load of day-to-day management: recruiting, teaching, advising, industrial outreach, project development, advertising, resource generation, etc. As one looks around the country, the single most effective characteristic of successful programs has been the existence of a committed and energetic coordinator. Programs without committed coordinators are failing.

## 2.4. PSM の歴史

1997 年 ;

Sloan Foundation が米国の 14 の大学の自然科学および数学のプログラムに資金を供給し、支援した。これが PSM の萌芽である。

2000 年 ;

バイオ科学の分野におけるリーダーの育成を主たる目的とする大学院大学 Keck Graduate Institute が創立された。

2002 年 ;

Council of Graduate Schools (CGS) が社会科学の分野における Professional Master's (PMA) の調査・分析をし、この分野の PMA の更なる運営の為に Ford

Foundation が資金を提供した.

2006 年 ;

CGS は PSM を全面的に支援し協力することを決定した.

## 2.5. Worcester Polytechnic Institute (WPI)

マサチューセツ州ウスター (Worcester) 市にある WPI は米国で 2 番目に古い歴史をもつ私立の工科大学であり, その「理論と実践」を理念とした innovative な教育は米国内では高く評価されてきている. NPSMA の中心は WPI にあり, WPI 応用数学科長 Bogdan Vernescu 博士は NPSMA 初代 President を務めた. 当然のことながら, WPI は PSM プログラムの創立に初期の段階から関与しており, 現在も引き続き PSM プログラムを実施している. 著者はかつて WPI で教鞭をとったことがあるが, 独創的な教育方法からは学ぶことが多かった. 以下に WPI を紹介する.

### a) WPI の教育の特徴

PSM は修士課程のみのプログラムであるが, WPI は他大学に先駆けて, 学部と修士, 博士課程を通して一環した以下の教育制度を採用している.

- 少人数制度 (各クラス最大 35 人)
- 短時間制度 (50 分×週 4 回)
- Quarter 制度 (各コースの期間は 1quarter, 7 週間に限定)

実社会では数学者は与えられた問題に対して素早く適切な回答をする必要があるが, Vernescu 博士によれば, 短時間制度および Quarter 制度は特にその訓練に貢献している.

- 優秀な高校生の取得. マサチューセツ州出身の選抜された高校生 (Mass Academy) は WPI の寮から WPI に通い, 無料で WPI の講義に出席し単位を取得させるなど, 優秀な学生の取得に努力している.
- 学部最終学年においては, 特定の企業の協力・支援を得てインターン・シップやグループ・プロジェクトを実施し, Communication skills や team work など実社会において必須であることを習得させる.
- 数学を専攻する大学院生も数学以外の分野の講義を必須科目とするなど, 広範囲な知識を習得させる.

### b) WPI の授業料と社会における卒業生の実態

WPI の授業料は, 学部が年間 38,140 ドル, 大学院が単位あたり 1,159 ドルと米国においても高い部類に属する. WPI 卒業生の平均年収は



- 61,000 ドル（卒業から5年以内）
- 114,000 ドル（卒業から10年から20年以内）

である。特に、卒業後10年から20年の実績は卒業生が企業において積極的に活躍している事実を反映しており、重要である。このランキング（US News）においてWPIは全米9位であり、ブラウン大学やコーネル大学などを押さえている。また、10位以上にランキングされている他の大学の多くがアイビーリーグであったり、出身家族が裕福であるケースが多いのに対し、WPIの学生の親は学士を持っていない割合が高く、また卒業生の多くが応用数学・工学者を中心に行っていることにも注意したい。WPIはBostonから車で約一時間のWorcesterに位置するが、個人の収入と卒業した大学が位置する都市・州の間には相関関係が殆どないことが知られている。卒業後に期待される職種および収入は大学選びの際の重要な判断基準である。

### 3 提言

1. 伝統的な従来の数学教育を疎かにしない。企業が数学者に求めているのは“数学的知性”であり、それは伝統的な数学教育によってのみ培われる。
2. 数学に関連する他分野の講義を必須科目とする事等により、広範囲な知識を習得させる。これらは数学のアイディアの原型や応用を学ぶ機会であり、さらに、数学者以外の考え方や理解の方法を知るのにも役立つ。
3. グループ・プロジェクト制度などを通し、コミュニケーション能力とプロジェクト推進能力を養成する。社会で活躍する数学者の多くはプロジェクト・チームの一員として働いており、数学者以外との効率的なコミュニケーションとチームワークは必要不可欠である。
4. 卒業生の実態（職種と収入、周囲からの評価、本人の満足度など）および社会のニーズをより正確に把握し、これらの資料を勘案して、大学における教育制度の更なる向上を図る。

以上、PSMを紹介したが、これはWPIをはじめとして、米国における成功例を分析した結果構築されたシステムである。日本と米国では自ずから文化や社会背景が異なる。日本の社会において要求される最も適切なシステムを構築する必要があると考える。

### 4. 参考文献

- [1] *Rising Above the Gathering Storm*, National Academic Press, ([www.nap.edu/catalog/12999.html](http://www.nap.edu/catalog/12999.html))
- [2] *Mathematics in Industry*, SIAM Web Page ([www.siam.org/about/mii/](http://www.siam.org/about/mii/))
- [3] *Helpful hints for establishing PSM program*, C.R. MacCluer and L.H. Seitelman, PSM Web Page [www.sciencemasters.com](http://www.sciencemasters.com)