

理工系数学教育の問題点といくつかの試み

東京大学 大学総合教育研究センター 藤原毅夫

理数系教育の問題点（理数系志望者の減少、学習不足）が指摘されて久しい。筆者自身は東京大学工学系研究科において共通数学教育に携わってきた。工学系研究科を定年退職して以来、東京大学大学総合教育研究センターにおいて、学術俯瞰講義を企画・運営する立場から教育（特に教養教育と専門教育の連結）に関して新しい経験を重ねて、いくつか新たに考えるところもある。最近では、東大工学部では工学教程シリーズの執筆・出版がスタートし、筆者自身も「複素関数論 I,II」の2冊を執筆した。また学術俯瞰講義『新・学問のすすめ』を企画する中で「藤澤利喜太郎」や「ヘンリー・ダイアーとお雇い外国人」などの資料を見、これまでなぜ東大工学部では非数学者が数学を講義しているのか、歴史的な経緯が理解できた。これらを含めて、数学教育、あるいは理工学専門基礎教育の在り方について、いくつかの私的体験などを交えながら議論を進めたい。

I. 非数学者への数学教育

前回 2011 年の研究会では同じような題目でお話した（以下に目次）。

1. (東京大学)工学部の数学教育：工学を志す者に必要な数学
2. 何のための数学教育か
3. 理工学系一般向けの数学教育 —複素関数論—
 - 3-1 いくつかの理工系向けの数学教科書
 - 3-2 数学教育としての複素関数論
4. 終わりに

そこでは数学教育は数学者のための教育ではなく、外国語教育と同様な共通語教育であること、複素関数論はそのために大変適していることなどを述べた。この考え方は現在も全く変わっていないけれど、これを繰り返して述べることはしない。今回は、東京大学工学部での数学教育の歴史に基づいて、教育数学に関する今日的議論をしたい。

II. 初期工学部のカリキュラム

東京大学教養学部での学術俯瞰講義『新・学問のすすめ』は、情報学環の吉見俊哉教授がコーディネートし、東大の先生方および数名の外部の先生方により、我が国の明治初年度における学問の近代化よりはじめ、新しい形の学問が根付き、さらに日本人学者によって発展するさまが講義された。日本の近代科学の成長は東京大学における学問発展史になるが、明治初年の大学が、東京大学（帝国大学）1校しかないという歴史的経緯からこれは致し方ない。その中で加藤詔士愛知大学教授（名古屋大学名誉教授）に、戦前の工学部あるいはその前身の工学寮・工部大学校時代の外国人お雇い教師のリーダーである Henry Dyer の話をしていただいた。山尾庸三あるいは伊藤博文の依頼に基づき Dyer を選んだのは、グラスゴー大学教授 W. J. M. Rankine（熱力学、土木工学）であった。お雇い外国人教師として 1873 年に日本に赴任した Henry Dyer は、まだ 25 歳でグラスゴー大学を卒業したばかりであった。Dyer を中心に 9 名の教授陣が編成され、そのほとんどはスコットランド出身者であった。Dyer は、自身の経験に基づき、当時は工部省所属であった工学寮（のち工部大学校と名を変え、さらに明治 19 年に文部省に移管され東京大学工学部となった）の、特徴的な「学理と実地修

業を取り混ぜた教育」の仕組みおよびカリキュラムを作った。さらに彼は、都検（教頭）として、実習工場を建設し、工部大学校での実際の指揮に当たった。工部大学校の数学カリキュラムの詳細は、公田藏（おさむ）氏の『明治初期の工部大学校における数学教育』（数理研講究録 1444）に詳しい。また Dyer 自身の著作「Dai Nippon」にも詳しく述べられている。工部大学校のカリキュラムはグラスゴー大学などスコットランドでの自身の経験に基づいたと思われる。大学に工学部が作られたのは、工部大学校が世界で初めてであり、Dyer は帰国後これをスコットランドに逆輸入している。一方で、理科大学の中心となった菊池大麓はイングランドへ留学したので、カリキュラム編成もイングランドのものに従ったのであろう。日本の近代大学教育の出発時期が、世界的にも近代科学の形成時期とよく附合していたということは、我が国の近代化特に産業のそれにとって大変幸いなことであった。さらには、工学教育のお手本として、スコットランドを選んだということは、今にして思えば驚くほどの確な選択であった。幕末から明治初年度における我が国の指導者たちの持っていた情報が、驚くほどの確であったというほかない。このことは、一つ工学分野に限らず、すべての理科分野あるいは法学、政治学でも同様であった。工学分野への大きな貢献と強い影響にもかかわらず、H. Dyer の名前がこれまで余り一般に知られていないのは、彼自身の考え方の急進性と、その後の日本がプロイセンに傾いていたことによるという。

外国人教師が教育に当たったのはわずかに 10 年ほどの間であった。明治 20 年ごろには大部分の教員が日本人で占められるようになった。Dyer 自身も 1983 年には帰国している。それほど急激に日本の近代化は進み、さらに自立が図られたということである。初等教育はともかく、数学を含めて大学教育は英語・ドイツ語で行われ、日本語の訳語はまだ十分定められていなかった。数学に関して、日本語の大学レベルの教科書が作られるようになったのはさらにずっと後のことであり、その時でも訳語等はまだまだ統一されていなかった。外国人教師として日本で 4 年間を過ごし、スコットランドに帰国した数学教師の中に John Perry がいた。彼は早くから役に立つ数学教育という運動をおこし活動していた。また数学全体でも新しい数学の形成と再組織化がすすめられた（4th Int. Congress Math. (1908) の課題）。我が国に関するそれらの記録は藤澤利喜太郎の Summary reports of the teaching mathematics in Japan (R. Fujisawa, 1912 年) を見ると良くわかる。ここでは我が国の小学校から大学までの数学教育の一貫性と国際的レベルに上げるために、多くの人々が努力し情熱を注いだ様子を垣間見ることができる。

帝国大学（のち東京帝国大学）工学部における数学教育は、外国人教師の帰国後、各学科において数学を得意とする教員によって継続して進められた。明治 34 年（1901 年）には力学講座が作られ、東京帝国大学工科大学を卒業し造船学を専攻する末広恭二（1877-1932）が講師となり担当した。このときも全体の数学教育は、各学科の数学力学に精通した教授たちが実際に担当した。「元来、数学は経験とは無関係に純粹論理的に発達した学問であるから、直に应用到に適した都合のよう形に作られていないことが多いので、これを実際問題に適用するには、独特の研究を要する（山内恭彦）」という考えのもとに、『教育数学』研究のための数学力学研究室が大正 14 年（1925 年）に新たに設けられ、寺沢寛一が教授に迎えられた（東京帝国大学学術大観(1942)）。そのもとに、坂井卓三教授、山内恭彦助教授、小谷正雄講師、犬井鉄郎助手という陣容が整えられた。ちょうど日本における量子力学の受容時期にあたった。東京大学工学部数力教室が量子力学および特殊関数論研究・教育の中心となったのは、このような経緯による。工学部の中央図書室で昭和 6 年の講義要目に目を通すことができた。そこに記された講義の構成は、今のカリキュラムと大きく異なることはなく、また「自然科学者のための数学概論」（寺沢寛一著、岩波書店）がよくそれを踏襲している。

大学工学部の数学カリキュラムをどうすべきか、ということに関しては前回議論した。さて、今日の東京大学工学部でも、全体の数学教育は物理工学専攻の教員によって行われている。これは、前述のような歴史的経緯によるのであるが、同時に工学部の数学教育は、数学者による(数学者を育てるための)数学教育ではなく、「実際の具体的な問題に適応した形で」数学の講義をするのがよいという考えが今日でも依然として維持されているためである。実際、東京大学工学部で講義されている多くの分野の数学は、標準的な数学の形とは異なる形で講義されていることが多い。また数値計算も念頭に置き、数学として内容の程度を落とさず、数学の公理的な形にこだわらないようにしている。

III. 東京大学工学教程

東京大学では現在、東京大学工学教程を編纂、順次執筆・出版を進めている(全170余巻を予定)。これらは現在の工学部がカバーするすべての分野・講義を含み、教育現場での工学の基盤としての目次の詳細がまとめられた。全体の編纂委員会(藤原はここに参加)で内容の検討と分野間調整が行われた後、執筆がスタートする。学内での試用期間を経て同僚教員や学生からの批判・検討を経たのち、丸善出版から順次市販されていく計画である。英語化も(市販するかどうかは未定であるが)進められている。テキストを日本語と英語で書くということは、今日の大学に対する国際化という要求にこたえる一つの解であると考えている。すなわち日本人の学生は講義が日本語であれ英語であれ、行われた後、副読本として異なる言語のテキストを参照する、同様なことが外国人学生に対しても機能する。明治初年の大学教育が、日本語と外国語を並行して行われたということと、同じような効果が期待できるはずである。

東京大学工学教程のなかの数学は、基礎4巻(確率・統計I、線形代数I、微積分、複素関数論I)、専門基礎9巻(確率・統計II、代数学、線形代数II、最適化と変分法、ベクトル解析、常微分方程式、偏微分方程式、フーリエ・ラプラス解析、複素関数論II)、専門4巻(確率・統計III、離散数学、微分幾何学とトポロジー、非線形数学)で構成されている(室田教授が編集委員の一人)。執筆・出版は数学分野が先行し、確率・統計I(縄田和満)、線形代数II(室田一雄、杉原正顕)、複素関数論I(藤原毅夫)の3巻がすでに市販されている。また今年度から来年度にかけて微積分、線形代数I、複素関数論II、微分幾何学とトポロジー、非線形数学などが、順次試用、市販の段階に移されていくと聞いている。

このような工学全体の教育体系の構築は、欧州では各国の大学全体を対象とするチューニング・アプローチとして実行あるいは実行が検討され、日本でも文科省が検討を進めているあたらしい試みとも関連している。

http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo4/022/gijiroku/08111711/005.htm

欧州では学生の移動が激しく、「欧州各国のカリキュラムの構造や履修単位の換算や教授方法を調整(tuning)し、各機関において単位や学位の認定にかかる判断に資するための情報を提供」することが必要であり、EU全体での教育面での標準軸を形成していくことを意図している。

IV. そして今、私は何をどのように教えるのか

数学には、共通言語、道具、研究対象などの様々な顔がある。数学者を育成する教育はともかくとして、非数学者に対する「教育数学」には、共通言語、あるいは便利な道具の使い方教育の側面が重要である。明治期の数学教育者が行ったように、夫々の分野に対して、カリキュラム全体、あるいは個別の内容を、吟味する必要がある。一般に、工学部向け(あるいは理工系)数学が「やさしい数学」と同義になるような傾向があるが、ちょっと違う。「簡単な数学」と「不要に概念を拡張しない数学」は当然のことであるが全く違う。例えばε

- δ 論法や収束性の議論は、現在では工学系カリキュラムでは避けられる傾向にあるが、本来、大学の数学の中に入れるべきである。一方では、曖昧さを無くすことに拘って本題に入る前の準備に多くの時間を費やす意味は少ない。その意味で、内容的には 20 世紀初めの数学が、多くの場合には適当ではないかと考えている。また全体の構成は、ちょうどそのころに現れて教科書の構成が、具体性や利用のし易さなどからみて、優れた典型例になっている。その中に、工学が直面する最近の課題などが織り込まれるのが望ましいと思う。

私は 2013 年度および 2014 年度の冬、東京大学工学部の 2 年生に対して数理科学 V という科目名の下で、確率過程の講義をしている。ここでは、ルベーグ積分には触れず、確率の概念、種々の統計、ブラウン運動と確率微分方程式まで述べる。講義のアウトラインは以下の通りである。I. 事象と確率、II. 確率変数、III. 特性値、IV 多次元確率分布、V. 独立な確率変数、VI. 中心極限定理、VII. 確率過程、VIII. ランダムウォーク、IX. ブラウン運動、X. 確率積分と確率微分方程式。この中では、IX で拡散現象、不可逆過程、ランジェバン方程式などについても述べる。そうすることにより、より具体的に揺動力のイメージをつかみ、確率積分に対するイメージを持つことができるだろうと考えているし、学生もよく反応してくる。数学者は、滅茶苦茶だと思われるかもしれないが、むしろその方が非数学分野を志す理工系学生にはとってはアウトラインをつかむことができると考えているし、また全体像をつかんでおくことこそが、学部教育での最も重要なポイントであるからである。数学的にキチンとした議論は、学生個々人が自分の能力に応じて自己学習するべきで、教育課程もそのように組むべきではないだろうか。