

大学における数学・データサイエンス教育 －理系学部と文系学部はどう違う－

藤原毅夫

元東京大学 数理科学研究科，数理・情報教育研究センター

Takeo FUJIWARA

(Former affiliation) Mathematics and Informatics Center,
and Graduate School of Mathematical Sciences,
The University of Tokyo

1. はじめに

筆者は2007年3月に東京大学大学院工学系研究科を定年退職し（丁度，定年年齢を60歳から65歳に引き上げる移行期で，中途半端な年齢ではあったが），引き続き2022年3月まで東京大学で特任教授として在職した。

工学系研究科在職中は，物理工学専攻で物性物理学の研究・教育を行う他，工学部全体の数学教育にも携わった．特任教授として全学の教育システム改革に関わるほか，2019年からは経済学部の数学教育も担当した。

図らずも随分長いこと，広い分野を専攻する学部学生の数学教育にかかわることになり，意図せずに様々な勉強をさせてもらった．その間，2019年からの東京大学におけるMATLAB包括的導入にも関与した．本稿では，文系学生向け数学教育経験に基づき，表題のテーマを論じる.¹

2. データサイエンス分野における人材不足の深刻化

経産省（2016年「IT人材の最新動向と将来推計に関する調査結果を取りまとめました」）によると、2020年には4.8万人の先端IT人材が不足し，将来にわたってその人材不足は急速に拡大するという．また最近の同省の調査報告（2018年「我が国におけるデータ駆動型社会に係る基盤整備」）によれば，2030年には先端IT人材は55万人足りなくなる．一方で従来型IT人材は10万人余るという．毎年の大学および高等専門学校の進学者数は現在，約63万人および1万人であるから，全ての高等教育機関が，どれだけ努力しても到底補うことのできない不足数である．ちなみに18歳

¹本稿は，工学教育（J. of JSEE），vol.70 - 1（2022）に書いた『「数学基礎教育」と計算プログラムの利用』をもとに，少し異なる視点からまとめなおしたものである．

人口は117万人であり、それが毎年約1.5%ずつ減少していく。したがって、必要な人材を大学新生に求めるだけでなく、外国人技術者に人材を求めることおよびシニア技術者の再教育や他分野からの再配置も、人材の重要な供給源であると考えなければならない。

予測される産業構造の変化と人材供給不足を考えれば、将来に向けて、社会科学や社会技術分野の教育も変わっていかなくてはならない。データサイエンスの基礎には数理科学があるが、数理科学を直接の専門としない（文系分野を含む）学生および既卒者に対する数理科学再教育のありべき姿が、具体的にどのようなものであるかは十分に議論が尽くされているとは言い難い。

3. データサイエンス教育の目標

抽象論を離れて、具体的に文系人材に要求されるデータサイエンスを考えよう。かつて東京大学工学部で数学教育に携わられた山内恭彦先生は次のように書いておられる（東京帝国大学学術大観（1942年）第14章）。「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い形に作られていないことが多いので、之を實際問題に適用するには独特の研究を要する。その為には独立の研究室を設けて一貫した研究をなす必要がある …。」

（数学に限らないが）数学を講義するには、その分野を志向する学生にとって理解しやすくかつ将来の専門学習において使い易い形に、**数学の体系を再構成**しなくてはならない。

言語の問題は実はもっと深刻である。「それぞれの専門領域で使い易いように」というと、できることなら「言葉もそこに寄せて」と思うが、これは難しい。² 同じことを異なる言葉で表現している可能性は随所にあると覚悟はしつつ、経済で使う言葉に焼き直すことはしない。

このような方針の下で、経済分野での利用を主たるものと考え、学修目標を「**最適化手法**」と「**統計解析**」に置こう。経済分野で広く使われている数学テキスト（尾山大輔, 安田洋祐, 経済学で出る数学 [改訂版]（日本評論社, 2019））を参考に、文系向き数学カリキュラムを検討した。その際、「使える数学」という視点を重視した。

4. 文系へのデータサイエンス教育の困難

²例えば、「限界」「限界効用」という言葉である。

理系の学習では、実験、実習、演習が不可欠である。卒業論文では、実験室での様々な経験が要求される。テキストでの抽象的な学習では、実際の技術的側面が理解しがたい、あるいは概念的に理解したとしても、実情に即して使うことが難しいからである。数理的なものでも、実際問題では個別的に学んだことが総合的に現れてくるので、演習などが欠かせない。

そのため、理系カリキュラムでは、講義（座学）と同じくらいの時間を実験や演習に充てて、場合によっては講義と演習ひとまとめでとるように組まれている。また、学生実験には、その面倒を見るスタッフが、教員以外にも非常勤職員あるいはTA（teaching assistant）として採用され、予算措置もされている。³

これまで、そのような需要が少なかったこともあり、**文系数学教育のために、演習時間を確保する時間的余裕がなく、TA人材の育成もできていない**。たとえTA人材のための予算を組んでも、担当する人材（大学院学生など）を見つけることができないというのが、現実である。

5. 文系カリキュラムの提案

筆者が提案したい文系用数学のシラバス項目を示そう。

1. 解析学（1変数および2変数の微積分）
 - 1-1. 変数関数の微分法（初等関数の微分，グラフとの対応）
 - 1-2. テイラー展開
 - 1-3. 2変数関数，等高線，勾配
 - 1-4. 偏微分
 - 1-5. 2変数の積分，変数変換とヤコビアン
 - 1-6. 最適化手法（線形非線形計画法とラグランジュの未定乗数法）
2. 線形代数（連立方程式，2・3次元の線形写像，行列とその応用）
 - 2-1. 行列と線形写像：ベクトルと行列，行列の積と線型写像
 - 2-2. 連立方程式の求解：ガウスの消去法
 - 2-3. 固有値と固有ベクトル

³このスタッフは、「教える」とことと同時に、学生の「安全を管理する」役割をになっている。

2-4. 最小二乗法と回帰直線

2-5. 主成分分析, 多次元正規分布と共分散

上記は、数学を勉強したということだけでなく、この後に続く統計解析へのつながりのためにも、ミニマム・リクアイアメントである。⁴

講義は「定理 → 証明」という形を避け、「理解しやすい具体例 → 定義 → より進んだ複数の例」という形をとる。定義はきちんと述べるが、理解を容易にするために、定義をより狭くすることを避けない。一般的証明は行わず、一般論を具体化したような例示を行う。図による表現を多用する。

6. 計算プログラム MATLAB の導入

演習時間を用意できないので、講義の中で、実際に数学を使うという形にする。その際に、優れた計算プログラムを学生に提供しなくてはならず、次のようなことが求められる。

- (1) プログラムを初めて見る学生も、すぐにプログラムが使えるようになること（プログラムの可読性、書き換え易さ）。
- (2) 教員と学生が、同時にプログラムを共有できること。
- (3) 教室でプログラムの書き換え等を共有でき、その場で実行できること。
- (4) 講義内容を、担当教員自身が、プログラムに書いていること。
- (5) 描画機能に優れたプログラムであること。

いわば『「計算＝実験的方法」により学ぶ数学』である。

東京大学では 2019 年 4 月から、文系理系を問わず全ての学生（学部、大学院）と教職員が、自己負担なく MATLAB を利用できる包括契約がスタートした。MATLAB は上の全てを満足するツールであり、講義はこれに合わせて計画・実施した。⁵

6. 東大での『「計算＝実験的方法」により学ぶ数学』の実験

⁴欠けているものといえば、簡単な差分形式と微分方程式論であろう。

⁵MATLAB の経費に関していえば、それまで研究室が個別に支払っていた経費の合計と比べて、包括契約による経費の方が安いことが明らかになっていた。それ以降、東大内の利用者数は 4 倍以上に増加しているので、包括契約は東大にとって大きな経費節減と教育・研究環境の向上をもたらした。MATLAB を提供している MathWorks 社にとっては管理の手間と経費の大きな節減となっているようである。東大と MathWorks 社の双方に十分メリットがある施策であった。

経済学部では、以前から演習室に MATLAB が導入してあり、一部の講義ではそれらが用いられていた。経済学研究科とも相談し、2019 年から MATLAB を用いた経済学部の数学基礎講義を開設することにした。講義は週 2 回（1 回 105 分）、年度前半の半年の間開講（全体 25 回程度）した。MATLAB のスクリプトをあらかじめ学生に配布し、講義はそのスクリプトを実際に動かし、また学生も講義室内で同じ操作をするという形をとった。PC は、学部 3 年生ならば大多数が使っているであろうから、大学として用意する必要はないと考えた。必要な場合に備えて経済学部の計算機演習室を使用する準備もしたが、結果的には必要なかった。

学生には自前の PC を教室に持参してもらったが、選択科目であるためか、特に不満を述べるものはいなかった。プログラムのインストールは事前にやり方を示し済ませてくるようアナウンスしてあったが、できなかった学生にはその場で指導した。簡単な MATLAB 言語の説明を含めて、ここまでで 2 回の講義時間を用意した。講義室には理学系の大学院生を 2 名配置した。2020 年度はコロナ禍のため、対面での講義は不可能であり、リモートで行った。MATLAB はリモート講義との相性も良く、前年のスケジュールと同じに講義を進めることができた。

レベルとしては、東京大学教養学部の文科系用の数学の内容をカバーするようにした (<https://www.ms.u-tokyo.ac.jp/sugaku/>)。⁶ 東大では入学試験では文科系にも数学の試験を課すので、それを前提に教養学部での文科系の解析および線形代数の講義が用意されている。一般には、高校のレベルからの部分を一部付け加える必要があるかも知れない。⁷ 文系学部の入学試験に数学を課すことは、大学学部の要求レベルを宣言するという意味でも必要なことである。

講義全体は、学生からは好意的な反応を得ることができたようである。

⁶ 具体的な内容を知りたい方は東京大学数理・情報教育研究センターのホームページをご覧ください。すべての映像、配布資料が公開されている：

http://www.mi.u-tokyo.ac.jp/teaching_material.html

文科系のための線形代数・解析 I および II.

⁷ 日本の実情の平均値は、数学が嫌いな（あるいはできない）生徒を文系とし、入学試験にも数学を課さない大学が少なくない。一方で、自分は理系だからと決めれば、歴史や社会についての学習をストップする向きもある。ともかく、このあたりから改めなくてはいけないのだが、先は中々険しい。