

文系での OR 教育に携わって

三道 弘明

OR/MS の教育に携わっている研究者の多くは、理工系出身であることが多い。彼らが文系で OR/MS 教育を担当する場合には、理系、文系の文化の違いなどにより、大きな戸惑いを見せることが少なくない。ここでは、理系、文系における教育の考え方や文化の違いについて概観し、学生の行動を単純な経済学的モデルで説明した。次いで導入科目として位置づけられた OR/MS に焦点を絞り、学生の行動を勘案した効果的な教育方法を、筆者の経験を中心に展開した。なおそこでの考え方は、経験に重点がおかれている関係上、かなり主観的ではあるが、何らかの参考になればと考えている。

キーワード：OR/MS 教育、文化の違い、学生の行動、経済学的モデル

1. はじめに

思い返せば、初めて私立文科系の学生を相手に授業を担当したのは 1989 年のことである。それまでは工学部の学生を相手に、「システム工学」、「意思決定」、「信頼性工学」などの科目しか担当したことがなかった。そして文科系の学生を目の前にして、OR や MS の授業を始めたのは、翌年の 1990 年である。時代は、1985 年のプラザ合意から円高不況を迎えたことで、かつて経験したことのない史上最低金利政策が実施され、そのあおりを受けて発生したバブルの真っ直中であった。

このような時代にスタートした筆者の経験を下に、文科系の学生に OR や MS の教育を行う際の問題やその対処方法について考えてみたい。

2. 回顧

大きなカルチャーショックを受けたことを覚えている。ひとつは、高校でほとんど数学を勉強してこなかった学生が多いことであった。1992 年のピークに向けて 18 歳人口が急激に増加しており、大学が超狭き門の時代である。余談ではあるが、経営という立場から見れば、大学もバブルの時代であった。高校教育の現場でも、早い段階でクラスを理系コース、文系コースとに分け、さらに国公立大コース、私立大コースでクラス分けすることで対応していた。その上で、私立

文系コースでは、数学教育を高校での必要最小限にとどめていたことが原因である。

カルチャーショックを受けた要因のもうひとつは、理系と文科系の文化の違いである。工学部では、それぞれの学科に固有の科目が多数配置されており、ほとんどが必修科目であるかのように選択の余地がない。このため、面白かろうが、つまらなかろうが、難しかろうが、易しかろうが、学生は単位取得を目指してそれなりに食らいついてきた。しかし文科系では、選択科目が多く、必修としての縛りも緩い。したがって、全然面白くもなく、ましてや学生が嫌いな数式ばかり書いていると、学生はその科目を放棄し、翌年からの受講生は一気に減少してしまう。理の当然である。

結論から言えば、工学部の場合、大学に入学した時点で、将来就くべき職業をある程度選択したことになる。しかし文科系学部の場合にはそうではなく、大学で様々な科目を勉強しつつ、自分が将来どのような職業に就くかをじっくりと考えるのである¹。このため、様々な選択科目が準備されており、いろいろな科目を受講してみて、そこで習得した知識を下に、自分が将来何をしたいのかを自問自答しているのである。経済学部を卒業しようか法学部を卒業しようか、必ず銀行や商社、損保、メーカーそれぞれに就職する学生が存在することからも、このことが理解できる。

このように考えると、筆者の担当した OR や MS

¹ 最近では 3 年生が終わらないうちに就職活動が始まり、将来自分が何をしたいのかじっくりと考えるための十分な情報も、時間もないまま、就職を決めなければならなくなっており、実質こうした文科系の文化も崩れつつあるように思う。

は、将来どのような職業に就くかを定めるために有益な多くの情報を提供する学問ではなく、どのような業界であれ、将来もし管理職になれたときに役に立つ(可能性の高い)学問といえるであろう。そういえば、筆者が学生時代、OR/MSのキャッチコピーとしてそのような文言を見たり、聞いたりした記憶がある。

もしそうであるとしても、いつリストラに遭うかもしれないこのご時世、あるいは入りたい企業に入れるのかどうかすら分からず不安な気持ちでいっぱいの子生にとって、そんな先のことはそのときになって考える、という気持ちになるのも理所当然であろう。

筆者が感じた文化の違いのもうひとつは、帰納と演繹である。人間、理科系も、文科系も、無意識のうちに自身が費やす労力の最小化を図っているようである。論理的に物事を考えるのが得意な理科系人間を相手に、一つの法則を説明するのに、いくつも例を挙げると、「分かったので次に行ってください」という顔をする。論理的に法則が理解できた瞬間、もうそれで十分であり、いくつもの例はくどく、それ以上に労力を費やしたくないのである。

しかし、文科系人間で論理的思考が苦手な学生の場合、法則を理詰めでしかも一気呵成に説明されるのは苦痛であり、それに付いていくにはかなりの労力、忍耐力が必要であるため、そんな演繹よりも、もっと分かりやすい具体例を反芻することで法則が臍気に見えてくる帰納を選好すると考えられる。演繹だけでは、様々な要因が切り捨てられていることも多く、切り捨てられた要因の方が気になるからかもしれない。

3. 学生は合理的

OR/MSの授業について考える前に、学生がとる行動について少し考えてみたい。

学生が、時刻 t における授業を受け、そこで吸収できた知識に対する WTP (Willingness To Pay) を $w(t)$ 、さらに試験に合格して取得できる単位に対するそれを w_0 と表そう。これらは金銭的基準で測定するのではなく、そのために費やすエネルギー、忍耐力などで計ることとする。

次いで、時刻 t における授業で、学生が費やしたエネルギー、忍耐力などを総合したものを $p(t)$ 、授業期間を $(0, T]$ と表すと、時刻 t までに学生が得られる効用 $\pi(t)$ は、 $0 < t < T$ の場合

$$\pi(t) = \int_0^t [w(x) - p(x)] dx$$

と表すことができる。これに対し、 $t = T$ のとき、すなわち semester 最後の授業まで頑張り、定期試験を受験した学生のそれは、試験に失敗し、単位が取得できなかった場合

$$\pi(T) = W(T) - P(T) - p_0$$

となり、試験に合格し単位を取得できた場合には

$$\pi(T) = W(T) - P(T) - p_0 + w_0$$

となる。ここに、 p_0 は試験勉強のために費やすエネルギーや忍耐力などを表し、

$$W(t) = \int_0^t w(x) dx,$$

$$P(t) = \int_0^t p(x) dx$$

である。

今、ある時刻 $t = \tau (0 < \tau < T)$ ではじめて $w(\tau) < p(\tau)$ となったとしよう。つまり、それまで学生の反応も良く順調に授業が進んできたにもかかわらず、突然難しくなったり、うまく説明できなかつたりという状況が発生したのである。

このとき、学生はすぐにはその科目を放棄せず、将来の $w(t)$ や $p(t) (t > \tau)$ の大小関係を判断するための情報収集を目的として、今しばらく $\epsilon (> 0)$ の間授業に出席し様子を伺うであろう。その結果、 $\tau + \epsilon < t < T$ に対して

$$\pi(t) = \int_0^{\tau+\epsilon} [w(x) - p(x)] dt + \int_{\tau+\epsilon}^t [\hat{w}(x) - \hat{p}(x)] dt$$

の値を(無意識に)計算し、その正負に基づいて、その科目を放棄するか、それとも最後まで受講し続けるかを判断することとなる。なお、上式で、 $\hat{w}(t)$ 、 $\hat{p}(t)$ はそれぞれ $w(t)$ 、 $p(t)$ の時刻 $t (> \tau + \epsilon)$ における値の推定値を表しており、 $t > \tau + \epsilon$ に対して $\hat{w}(t) < w(t)$ 、 $\hat{p}(t) > p(t)$ となる傾向が強い。まさしくベイズ学習であるといえる。

以上のように考えると、学生は経済学でいう極めて合理的な行動をとっていることが理解できる。

ならば、学生に semester の最後まで授業を受講し、単位を取得させるための最も単純な十分条件として

$$w(t) - p(t) > 0 (0 < t \leq T)$$

$$W(T) - P(T) - p_0 + w_0 > 0$$

が思いつく。もう少し厳しい十分条件としては、 $t = \tau$ において $w(\tau) - p(\tau) < 0$ となったとしても、 $t > \tau$ に対して速やかに $w(t) - p(t) > 0$ となるよう、 $w(t)$ の値を回復することが考えられる。口で言うのは簡単ではあるが。

4. $p(t)$ を大きくしないために

3 節に展開したような十分条件を満足するには、 $p(t)$ が小さくなるよう工夫するか、 $w(t)$ をもっと大きくするか、あるいは両方を実現するかのいずれかであろう。

ここでは、手始めとして $p(t)$ に焦点を当ててみよう。

4.1 数式、記号

文科系の場合、高校でほとんど数学を学習していないことが多いことについては、1 節に説明したとおりである。ところが、OR や MS を担当している教員は、理工系出身が多い。考えてみれば、中学、高校、大学、大学院でずっと数式や記号に慣れ親しんできた人間なのである。数式や記号で表現された情報を難なく読み取ったり、あるいは情報を数式や記号でいとも簡単に表現したりという技術は永年にわたっての蓄積であり、一朝一夕にできあがったものではないはずである。言うならば、匠の技かもしれない。教員が自身の技を磨くのは当然のことであり、何ら問題はない。

これまでほとんど数学を勉強してこなかった文科系の学生を相手に、同じような匠の技を要求することが無理難題を押しつけることに等しく、百年河清を俟つがごとしであることは、誰も理解できよう。多くの場合、意識して、あまり記号を使わないようにしたり、記号の使い方を丁寧に説明したりする努力を行っているはずである。最近、分かりやすい例題を用いて、理論も分かりやすく説明している教科書をよく見かける。何よりもまず、 $p(t)$ を小さくしなければならぬという発想の下で生まれた、涙ぐましい努力の成果と推察できる。

それにもかかわらず学生が OR/MS に関心を示さないという場合には、 $w(t)$ をもっと大きくする工夫が必要になる。

4.2 表計算ソフト

$w(t)$ を大きくする方法について考える前に、PC の利用についても触れておきたい。

OR/MS で発生する複雑な計算は、PC を使えば楽であることを一生懸命に説明して、学生に関心を持たせようとする方法もあり、それも一つの方法である²。Lotus 1-2-3 の凄さに驚嘆させられた筆者から見れば、

² ただし最近では、携帯の機能があまりにも充実しているため、「PC なんて使えなくても」という風潮があるのが気になっている。

その後様々な変遷を経て、現在のよな Microsoft Excel のソルバーが登場してきたことは驚天動地ともいえた。

表計算ソフトの便利さゆえ、筆者もそれを使って OR/MS の教育を試みたことがある。しかし、これには大きな落とし穴があり、思うように事は運ばなかった。原因をあれこれ考えた結果、以下のことに気が付いた。

(1) 我々教員は、成績集計をはじめ様々な用途に表計算ソフトを利用してきた。便利であるがゆえに一つ一つの機能を丹念に覚えて、雑用の効率化を図ってきた。実は、そこには日々の積み重ねがあったのである。無意識のうちに塵が積もって山となったのにもかかわらず、単に塵という意識しかなく、誰でも簡単に覚えられると錯覚したのである。

その証拠に、Windows が XP から Vista になり、Office も 2003 から 2007 になった途端、大パニックになった人も多い。ユーザインターフェイスやメニューの大幅な設計変更で、どの機能がどのメニューにあるのかが分からなくなったからである。

(2) 冷静に考えればその操作方法は決して易しくはないことが分かるにもかかわらず、使いこなすと便利であることをひたすら強調しておきさえすれば、学生も自習時間にその操作を練習するだろうと信じていた節もある。

我々教員にとっては、使いこなせば雑用を非常に効率的にこなすことができ、実に便利な代物である。しかし学生から見れば、授業の課題をこなすことを除けば、あとはせいぜい小遣い帳、住所録、自分の時間割をきれいに印刷するなどの用途くらいしかない。その程度のインセンティブで、空き時間に一生懸命練習するだろうか。

このように考えると、「表計算ソフトは、簡単、便利だから」という論理が、いかに自己中心的な発想に基づいた堅白同異であることがわかる。

(3) 演習で、言われるがまま（あるいは資料に書いてあるとおりに）操作して（これを写経と呼ぶ）課題を提出したような学生にとっては、何が便利なのか分からないので、操作方法ばかりでなく、本来の目的すら忘れてしまっている。

(4) 操作がスムーズにできないと、学生は、操作方

法が分からない=OR/MSの単位が取得できない=OR/MSが分からないという判断を下してしまう。こうしたことが原因となって、PCそのものが嫌いになってしまう学生も少なくない。坊主憎けりゃ袈裟までといえようか。

4.3 表計算ソフトに対抗して

表計算ソフトを利用した教育が思うようにいかなかったおかげで、もっとユーザフレンドリーなインターフェイスをもつ独自のソフトを開発することにした。それを使用すれば、表計算ソフトの操作が難しい=OR/MSが難しいという誤った認識をなくすことができると考えたからである。

手始めに、Martello and Toth[1]の“Knapsack Problems: Algorithms and computer implementations”³にFORTRANのソースコードが紹介されていたので、それをMicrosoft Visual C++に移植し、PC演習室の全PCにインストールした。実際のところは、FORTRANを全く知らない当時のゼミ生が、筆者のもっていた古いFORTRANの本を参考にしつつ、得意のVisual C++に移植してくれたのである。この場をお借りして深謝する。

このソフトの完成度が高く、Helpも充実していたことから、全くといって良いくらい複雑な操作を必要としなかった。おかげで「表計算ソフトの操作が難しい=OR/MSが難しい」という誤解を解消することができ、学生の反応という視点から見たOR/MSの授業は、かなり改善されたように思う。

これに味を占めて、捲土重来のごとく、線形計画法、有限マルコフチェーン、在庫管理の簡単なビジネスゲームなどのソフトを毎年のように（ゼミ生が）開発し、次々に授業に取り入れた。

こうした改善は、単にソフトの開発だけではなく、提出課題や成績評価基準にも工夫を行っているが、それについては後述する。

4.4 敗北

現在では、これまで開発したソフトも、その多様性という意味ではMicrosoft Excelのソルバーには勝ち目がないと考え、次のような対応をしている。すなわち、徹底してExcelやソルバーの操作画面を取り込んだマニュアルを作成し、これを紙媒体、pdfファイルの双方で配付している。pdfファイルで配付するのは、それをUSBメモリに保存させ、常時携帯させる

ためである。

学生は我々のようにExcelを頻繁に使うわけではない。操作方法を頭で覚えるのではなく、我々のように体で覚えるのでもなく、必要なときにすぐに参照できさえすれば良い。ソルバーの操作方法を参照する必要があるのは、原則PCに向かっているときである。しからば、自分の頭ではなく、代わりにUSBメモリが覚えていれば済む話である。何度も操作していると誰だって覚えられるのだし、しばらく使わなければ誰しも忘れてしまうのであるから。

5. $w(t)$ を大きくするために

3節に示した十分条件を満足させるためには、 $p(t)$ を小さくする工夫とは別に、 $w(t)$ を大きくすることも肝要である。以下では $w(t)$ に焦点を絞って考えてみたい。ただし、筆者の努力くらいでは解決できそうもない大きな問題も含まれているので、適当に斜め読みしていただきたい。

5.1 時代背景

終身雇用、年功序列が崩壊、年金破綻などと不安を煽るような話題ばかりが新聞やニュースで取り上げられている。若い学生たちもそれを敏感に感じ取っている。このような状況の下で、管理職になったときに役に立つといわれても、魅力的に思うだろうか。

筆者がOR/MSに関心をもった一番の理由は、高校で習った数学がそのまま、あるいはもう少しだけ勉強すれば「自分にもできそう」、そして「将来役に立ちそう」という印象をもったからである。言うならば、馬の鼻先に人参がぶら下げられたような状況である。さらに言えば、筆者の時代は、終身雇用、年功序列、ついでに言えば護送船団方式に守られて、いつかは管理職になれる、そのときが来れば役に立つ、と思って取り組んでいたのかもしれない。

このような自問自答から得られたのは

- (1) 実際に役に立ちそう
- (2) 知的好奇心を上手くくすぐり、自分にもわかりそう

という印象を与えることが重要であるという教訓である。

先に述べた2つの「……そう」を文科系で実現するには、できる限り多くの具体例を準備することが肝要であり、しかもこれらの具体例は学生が理解するに苦勞するような専門的すぎる内容であってはならない。かといって、いくら分かりやすいといっても、「英語

³ 現在、pdfファイルが無料でダウンロード可能。

と国語の成績に相関が……」というような、教師にでもならない限り関係のない(と思われる)ような話題は引喩失義といえ、学生は関心を示さないことを肝に銘じておくことも重要である。

OR/MSの関連科目がカリキュラムの中にくいつ配置されるか、さらには担当科目がそのうち何年次配当科目であるのかによっても、扱うべき具体例や話題も異なる。以下はOR/MS関連の科目が1科目しかない場合、あるいは複数科目配置されていても、担当科目は導入科目である場合を想定しているとご理解いただきたい。導入科目の成否が、学生がOR/MSに関心を持つかどうかの分かれ目であり、そこに様々な工夫や趣向が必要であると考えからである。下学上達の発想である。

最近、雑誌の解説を読んでいると、学生にとって身近なコンビニを例にとった説明が増えていることに気が付く。それもコンビニのオーナーになって、自分の店を切り盛りしているという状況設定での具体例である。

筆者も、コンビニに学生が関心をもつ具体例が多数存在していると思っている。例えば、コンビニで商品の配置をどうするかという問題は、割り当て問題の具体例になるであろう。在庫管理や新聞売り子問題の具体例も見いだすことができるし、待ち行列やスケジューリングの問題について説明するのにも役立つであろう。

学生たちの所属学部以外の科目にも関連づけた話題も、非常に効果的である。例えば、経済学部で割り当て問題について講義するときには、国際貿易論の根底にある経済学の考え方である「比較優位」の話を絡めると、学生はそれに敏感に反応してくれた。

経営学部であれば、対象学年にもよるが、財務指標である自己資本比率、流動比率、売上高営業利益率、売上高経常利益率、ROE(株主資本当期利益率)、ROA(総資産当期利益率)など、学生に確認しつつ、彼らが理解できる範囲で絡めたりすると、明らかに反応は良かったように思う。具体例としてペットボトルのお茶を引き合いに出すときには、そのブランド名を挙げて、ついでに「ブランド」の意味も解説しておき、これをマーケティングでの専門語として位置づけるのである。さらには、ブランド名、ブランド意匠との違いなどについても言及しておいたりすると、反応はさらに良かった。

5.2 レポート課題

これまでOR/MSの授業で、学生の反応を見つつ、あれこれ手を変え品を変え、様々な手法やそれが適用可能な具体例について喋ってきた。

しかし、「実際に役に立ちそう」、「自分にもわかりそう」という両方の性質を兼ね備えた話題は、数理計画のそれではないかと考えている。確率が絡んだりすると、背景に微積が必要となるし、たとえ話題を離散確率のモデルに限定したとしても、確率のモデル自身が結構難しいように思える。

数理計画であれば、扱っている問題が直感的にも分かりやすいものが多く、モデリングである定式化も、確率の絡んだそれに比べて難しくない。ただし、詳細な解法については触れず、基本は先に述べたソフトを用いて解けば良いことを、前もって強調しておくのである。

はじめに具体例と簡単な例題を出して、それを学生にパズル感覚で、手計算で解かせてみる。問題によっては、規模が小さければ何とか最適解を見つけ出す学生も存在する。次いで、もう少し規模が大きく、手計算では意気消沈してしまっていて全くやる気がしないというような例題を示し、それがソフトを使えばいとも簡単に解くことができることを示す。この上で、定式化の練習、演習に入る。授業時間中に練習の時間を割いてやれば、数式や記号が苦手な学生でも何とか理解でき、0-1混合整数計画くらいまでは十分に付いてきたように思う。

問題はここからである。定式化ができるようになり、ソフトを使って解けるようになった時点で目標が達成されたと考えるのは画竜点睛を欠くこととなる。

学生が、「実際に役に立ちそう」と実感できるのは、こうしたアプローチを使って解ける問題を自分で発掘できたときである。このような考えの下、以下のような方針のレポート課題を課した。

- (1) 自分で問題を考えたり、発掘し、
- (2) 問題の背景を丁寧に説明し、
- (3) 定式化を行う⁴。
- (4) 問題のパラメータの値は、調べることができるならその方が良いが、調べるのが難しいなら勘や経験で適当に決めて良いと伝え、
- (5) 問題を解くにはソフトを用いれば良いと強調す

⁴ レポートに数式を綺麗に書かせるため、数式エディタの操作方法も教え、演習で十分に練習させておいた。

る。

(6) さらに、ソフトで得られた最適解が、どの程度現実問題に適用可能かについての考察を付け加えさせる。

(7) 評価は、考えてきた問題がより現実的あるいは奇抜であるほど、あるいは最後の考察がしっかりしているほど高くなることも十分に説明しておく。

このようなレポート課題を、LPならLPで1回、割り当て問題なら割り当て問題で1回というように何度か課した。

自分で問題を考えるという課題は、原則他人のレポートを丸写しすることができない。単位だけが欲しく要領の良い学生は、適当に問題を変え、パラメータの値をいじることで対応しようとするのが予想された。しかし、同じような背景で、同じパターンの問題を扱ったレポートは、たとえパラメータの値が異なっても、概して評価が低くなるという警告を与えておくことで、牽制になった。

5.3 決め手：定期試験免除

決め手は、前述した何度かのレポート課題の評価の合計に、小テストなどの平常点を加えた総合評価がある閾値を超えれば、定期試験を免除するという方針を、シラバスや最初の授業で宣言しておいたことであると考えている。これは学生の定期試験に費やさなければならぬエネルギーや忍耐力を $\mu_0=0$ とすることで、定期試験が免除になるならと、レポート課題に真剣に取り組む学生の数を大きく増やしたように思っている。

w_0 の値が大きいのは理解に堅くない。定期試験を免除してもらうために必死になるところから判断すると、学生が定期試験に費やすエネルギーや忍耐力 μ は、我々の想像以上に大きく、普段の $p(t)$ が多少大きくても我慢できるようである。その原因は、多くの大学がセメスター制度を導入し、半期2単位科目を多数配置したことにあると考えている。

元来文科系には、重要な科目は週2コマ4単位科目として、帰納的にじっくりと反芻させながら教えるという文化、習慣があった。それにもかかわらず、セメスターの一律導入という圧政と、週2コマの枠を取り合う教員の得手勝手がこのような事態を招き、そのし

わ寄せが学生に跳ね返ったと思っている。

このため学生は、定期試験期間中に多数の科目の試験勉強をしなければならないことを苦痛感じており、たとえそれが1科目であっても定期試験が免除されるのであれば、普段のエネルギーや忍耐力を多少の多めに消耗することに対しては、さして抵抗を感じないのである。また授業をより真剣に聞くことの相乗効果で、 $w(t)$ が大きくなることも影響しているかもしれない。

結果は、学生が提出したレポート課題の中には、本当に面白い問題を考えているものが散見できた。学生自身も考えさせられたという受動的意識ではなく、自分で考えたという能動的意識をもったようであり、自画自賛とはいえ、授業評価における満足度も高くなった。

5.4 覚悟

なお、このような授業を実施するためには、何回かのレポートを早々に採点しなければならないのは言うまでもなく、平常点との合計を集計し、誰が試験免除という特権を獲得したのかを、最終講義、厳密には定期試験が開始するまでに何らかの方法で公表しなければならない。ハードであることを覚悟する必要がある。しかし、履修者100名程度に対し、半期で3回くらいのレポート課題の採点ならば、それほど大きな負担ではなかったように思う。何よりも、授業中の学生の反応が良いのは、誠に心地よいものである。

6. おわりに

本稿は、単に筆者の葛藤と試行錯誤の変遷を書き下ろしただけであり、その中には多くの自家撞着や傲岸不遜ととられるような内容があったかもしれない。はるか以前から、もっとあれこれ工夫を凝らして来られた先生方から、強いお叱りを受けるかもしれない。しかしそれらは、筆者自身の考えがまだ発展途上にあるがゆえであり、自身の恥を晒したことでご容赦を賜りたい。

参考文献

- [1] Martello, S. and Toth, P.: *Knapsack Problems: Algorithms and computer implementations*, John Wiley and Sons, Chichester (1990).