



第12回 “不確定性について”

— 定式化シリーズ (3) —

昭和45年7月3日

出席者 青沼英生(電々公社)・佐藤喜代蔵(日本大学)・原 亨(富士通)・堀川宗男(小松製作所)・若山邦紘(法政大学)

刊行物委員会 森口繁一(司会・東大)・出居 茂(早大)・梅沢 豊(東大)・刀根 薫(慶大)・森村英典(東工大)・矢部 真(国鉄)

記録作成者 出居 茂

サービス基準について

A 今日の主題は、不確定性となっているが、ここしばらく、定式化という大きな枠組みの中で話をしてきているので、かならずしも不確定性ということにこだわらないで、定式化に際して不確定性について感じたこと、といったところから話し合いたい。

B たとえばサービスの品質を定めたい。電話なら電話で、ダイヤルしおわってから、先方につながるまでの時間はどのくらいにするべきかというようなことがある。実験的に長短とりまぜてやってみるというようなわけに行かない。

A それは一つの典型的な良い問題だと思う。独占的な企業(公社のような)では、その待ち時間の平均値は多少大きくても小さくてもどちらでもよいかもしれない。その基準値が全国的にそろっていることのほうが価値があるのではないか。

B それは、提供されるサービスにもよる。たとえば、電話のようなものの故障修理時間で見ると、北海道のハズレのほうと中心地と同じ時間に修理するようにすべきか、少しは差があっても良いという意見の対立がある。クロスパー方式になってむしろダイヤルが終ってからつながるまでの時間がのびて、日本では待たされることに不満があり、PRに気を使った。

A 大学でも、そのようなサービス水準の問題があって、クラスを何人にするかというような点で、大学が決めることが少なくない。1つの講義のために用意するプリントの数はいくりにするかという予

測もむずかしい。

モデルについて

B 大学の場合には、たとえ失敗があっても修正しやすいのではないか。企業では、実施をするかどうかという決定と、実際に行動をしたあとでどのようにその結果をフィードバックするかという点と、2つある。企業モデルの精度もどのくらいでよいか、どのくらいであるべきか、といったいわばモデルの有効さの点がなかなか決めにくい。不確定性を含む問題についてORを導入しようとする、トップにどのように説明するかが考えられていないといけな

A 教科書の場合には、作られたモデルの話しかない。しかも、そのモデルの有効性を何で測って、その結果どうなる、という話もない。

B 品切れ損失の求め方だって、ちっとも説明されていない。

A 定式化の産物が数式モデルであるべきだという観念が固定化しすぎているのではないか。たとえば、川喜田さんの発想法(KJ法)にあるような、図式も1つの定式化ではないか。とくにトップが考えている問題の多くは、図式化で整理してもよいはずだ。

B ある大学の調査室ではあの本は必読書で、室員になるとまずリーディング・アサインメントであの本を読まれる。そこで、A法、B法で大学問題についての内外の文献をまとめてレポートする。これが卒論(笑)。しかし、けっこう良い具合に意見の

相対関係もはっきりしてきて、議論の本質が浮き出てくる。数式モデルだけがモデルであるという考えでは狭いね。

トップとの意思の疎通

A 数式化する前の段階でトップと十分意思を通じ合う必要がある。

B その段階ではトップの意見はなかなか聞けない。トップの考え方をはっきりさせるためにも、ある程度具体的なものが必要だ。

A モデルを作る側とトップの双方が学習して行くことが大切だ。少し話は違いが、あるコンピュータで6通りの外挿法を1度に全部やってしまっただと、あとは選ぶほうが気に入ったのをとれば良いというのがある。そのうちに予測方法についての良しあしが学習されて行く。

B そういう場合に、中間や最終の段階にディスプレイ装置があると、もんで行くことも楽しだし、トップも巻き込まれてくるのではないか。

A 危険度が少しでもあると、それだけでトップから拒絶されることがある。

B そんな時に、「向う（アメリカ）ではそうやってますよ」というとトップも考え直す。

A つまり後進国の特徴がまだあるんだね。しかし、アメリカと日本の差が15年もあった頃はそれがきいたが、差がちぢまってくると同時に日本のORがやりにくくなった（笑）。

不確定性とデータ

B 自動車会社の部品の需要予測の経験ですが、全国の100以上のディーラーからの注文数を加えてみると、ものすごい変動がある。そこで、そのようなデータが出てくるメカニズムを調べるべきだということを痛感した。

A 本の需要についても、1人の人がある本をさがしに1軒の本屋に行って聞く。そこにないと次の本屋に行く。そこでもないともう1軒行く。1冊欲しいのに、本屋では3軒からのデータになるかもしれない。そんなわけで品切れ本の需要は過大に見積もられることがよくあるそうだ。

B 大学紛争でも、授業再開についてのアンケートを学生に対してやった。全学生に郵送したわけだが、返却されたのはかなり熱心な学生からだろうから、ランダム標本とは見られない。

A OR学会の春の研究発表会でのアンケートの回収率も低かったね。

B 景品をつけないと駄目か（笑）。

A ブルドーザーのような製品だと、需要のメカニズムはもっと複雑。データもとりにくい。

B メカニズムを知るのは重要だが、それだけでなしに、あとからとる行動に結びつくようなことを考えに入れておく必要がある。

A そこまで行くのはなかなか大変だ。とにかく需要だけでも知っておくことだ。修理部品などは、現在市場に残っている車輛数を知れば見当がつく。あとは、主要なものについての必要度の発生のパターンがわかればよい。

B 総体をつかまえて行くほうがうまくいく場合が多いということだね。

A 必要度の発生のパターンについては、ディーラーよりもユーザーからの情報が役に立った。

B デミングさんもそういっていたね。

A 入学試験合格者から、入学者を確定することは大きな問題だ。

B すこしずつ反応を調べて行く学校もあるし、全体を推定してとる学校もある。あまり多くを補欠で補充することは避けたいという点ではだいたい一致しているのではないか。

A 設計の時の安全率のきめ方でも、安全側へとズルズル行ってしまうのはきりがいい。どこに決めるかということ。

B どう決めても結局は反対なしというわけには行かない。やはり思い切ってどこかに決めないとダメ。それから先は分別じゃないかな。

A 不確定性という題だから、確率とか期待値とかいう議論になるかと思った（笑）。ところが、そういう段階は皆さんもうすっかり卒業していらっしやって……（笑）。今日出た話はむしろ、モデルそのものを作る上に、つかみどころのないものをどうするか、そんな問題のようでしたね。

B それに対して、1つは図式的でもよいからとにかく努力をするべきであるという点がある。もう1つには、確率の値を与えて行くのには、終局的には直感を働かせて、あとだんだん修正して行くことが大切だという考えもある。

低い確率で、しかも、もしそういうことがおきたら危険の上もないというものに対しては、基準をしっかりと守ることが必要で、そこに実務家の倫理がある。

最後は分別という名言で、ではどうもありがとうございました。

第13回 目的 と 制 約

— 定式化シリーズ (4) —

昭和45年 9 月 4 日

出席者 阿部俊一 (国鉄鉄道技術研究所)・飯泉 信 (日本電気)・梅沢千鶴子 (工業技術院機械試験所)・永田喜久男 (日本合成ゴム)・柵木信吾 (横浜市大)
 刊行物委員会 森口繁一 (司会・東大)・森村英典 (東工大)・矢部 真 (国鉄)
 記録作成者 矢部 真

目的関数が1つでない場合

A 目的が多面的な場合の最適化については、実際問題では何か1つの基準で1つの最適解をもってゆけるものか。それとも最適なもの多数あって、集合を作るかのいずれかではあるまいか。後者の場合には、さらに解をしぼってたとえばミニマックスのような考え方もあると思うが、現実には、つまり会社などではその辺をどう取り扱っているのだろうか。

B いまの話の中にまったく性質の異なる2つの状況が混線しているように思う。その1つは図1のような状況で、たとえば飛行機を設計するとき航続距離と最高速度の一方を向上させると他方に犠牲を生ずるといふときで、結局太線で示される代替がある意味で最適解の集合となる。

もう1つの場合は図2に示すような状況で、ある行動を取ったときに生まれる結果が、自然の状態なり相手の出方によって影響を受ける場合である。たとえば投資案の集合 $S = \{s\}$ が与えられていて、将来の景気がよい ($\theta = \theta_1$) か、悪い ($\theta = \theta_2$) かによって、投資案から得られる利益が $r(\theta_1, s)$ になっ

り $r(\theta_2, s)$ になったりするものと仮定しよう。図2は横軸に $r(\theta_1, s)$ を、縦軸に $r(\theta_2, s)$ を目盛っている。斜線の部分は S に対応する点 $(r(\theta_1, s), r(\theta_2, s))$ の集合である。また太線の部分は、許容解の集合 (admissible set) であり、 (θ_1, θ_2) に対する事前分布 $(p(\theta_1), p(\theta_2))$ 、つまり相手の方策が与えられているときは、勾配 $-P(\theta_1)/P(\theta_2)$ の直線にもっとも右上方で接する点 B に対応する投資案 s_B がベイズ (Bays) 解となる。

この第2の状況ではミニマックス解を問題にする意味はあるが、第1の状況でミニマックス解を考えることは無意味なので、図1の状況と図2の状況とははっきり区別して考える必要がある。

A 普通の意味の、ゲーム論のミニマックスでなく、最低を確保するというもっと広い意味にとるとき、その1つとして、図1のような最適組合せの集合の中で、目的関数の (互いに価値の比較ができるように適当にウェイトをつけた) 値のうちのミニマムをなるべく大きくするという考え方 (maxmin化) があるが、現実にはそういう考え方をすることはないかどうか。

B この例のような場合では実際にそういう考え

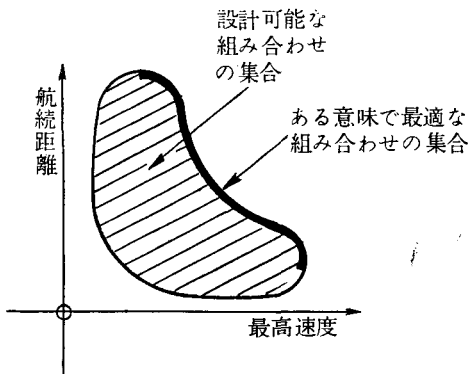
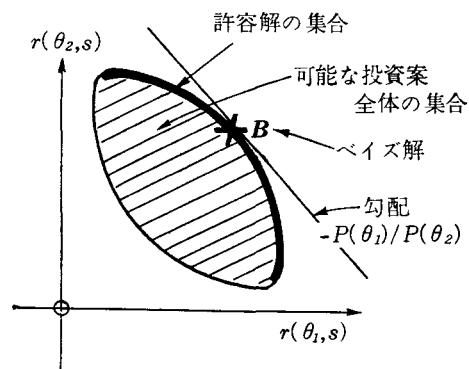


図 1



2

方はしない。たとえば航続距離をまず決めて、最高速度を最大化する方法をとる。

A 目的の1つまたはいくつかを固定するとそれは制約となり、今日の主題の「目的と制約」の形になる。このように目的が転じて制約になる場合があるが、定式化の段階で目的として考えるか、制約として考えるかで、取り上げる要素がおのずから異なり、実質的に大きな違いが出てくる場合があると思うがどうか……。

B 実際の企業に明確に定義できる唯一の目的はない。たとえば売上高、資本利益率、利益の組合せを最適にしようとしても、その最適を唯一に定義するのは困難であろう。実際はいくつかの可能解の集合を与えておいて、その中から1つをトップが選ぶようにしている。

A 注意すべきことは、OR専門家はどれを目的として残すか、あまり固定的に考えないほうがよいと思う。話し合いによることも多い。

B トップはどれが制約でどれが目的かを示さないほうが普通といえる。

A つまり何が目的として採用されるかは定式化以前の問題というわけか。定量的に扱えない問題もあると思うが……。

相反する目的のかね合い

B たとえば鉄道で安全性と経済性という問題がある。観念的にはいままでの安全性を確保したうえで経費を切りつめるという考え方も、経費を決めて安全性を向上しようという考え方がある。実際問題としては定式化にあたって過去のデータをどう集め、これをどう活用するかがなかなかむずかしい。この問題に限らず今日のように世の中の構造変化が激しい時、過去のデータ、しかも少ないデータから求めた関係式が将来本当に役立つといえるかどうか……。世の中の推移に見合ってモデル化の方法を考えてゆかなければならないと思うのだが……。

A 安全性と経済性とは世の中に共通のことだといえよう。この2つについてはいつもどのくらいで妥協したらよいか困る。たとえば都市の平常時の経済性と非常時の安全性とのかね合いなどもそうで、高速道路でもあてはまる。非常時の安全性はとかく看過されがちだが、ORは確率的な考え方をういてこの両者をテンピンにかけている。この場合、危険が起こる確率 P を客観的に推定することはむずかしい。だが P がともかく入っていることがきわめて大切なので、入っていれば P の値が $1/100$ であろうと

$1/10,000$ であろうと、大勢に影響はないと思う。その辺の判断でOR屋は勇気を失わないように……。

B 費用からすると P の値によって大分変わるのではないだろうか。たとえば電話の呼損率をいくらしにして設計するかなど……。

A トップにすれば、経費がこれだけで安全率がこれこれという、経費が同じでもっと安全率の上がる方法を探せという。またマーケットにしても日米両国の普及率の比較からこれくらいという、それを制約とはみなさずにさらにマーケットを拡大する他の手段を見つけ、マーケットの構造自体を変えてしまおうという努力がなされる。定式化の話とは別かも知れないが……。

B 普通ORの定式化では、制約はいやなものという印象で語られがちだが、この制約があるということ積極的に活用しようとする態度は面白いな。

A マーケットの条件を与件としないで、むしろ開拓しようという意気込みが必要だ。

B それについて面白い話を聞いた。だんだん自動車も値下げしなければならなくなったので、カーラジオのメーカーに5%値引を要求した。カーラジオの会社でその可能性についていろいろ議論していたところへ社長が入ってきて“何を議論しているのか?”と尋ねた。説明したら“5%などといわないで20%安くするように考えろ”といわれて場の空気が変わってしまった。いろいろ変ったチェが出るようになり、やってみたら25%安くなってしまったという話がある。

A 25%も切り下げて性能はだいじょうぶかな。

B だいじょうぶさ。ちゃんと聞こえるもの(笑)。

A 人間の行動なんて絶対的な最適化ではなくて、現在よりいいかどうかの満足化の原理に従っているといえるのかもしれないね。

化学工業の場合——神様とコンピュータは仲が良い?

B 化学関係では、設備投資の問題が多いが、目的関数の決めかたがとてもむずかしい。モデル化して最適解を導き出しても、これまで常識的に考えていた、つまり経験による代替案に比べてそう大きな改善になっていない。実用的なORに限界があると思う。

A その限界はおもにどこからくるの?

B プラントの経済性についてある程度の経験をもったものなら、カンで知っていることが多い。計量化できないものについての経験が落ちてしまうの

で、そうしたモデルと経験から出てくるカンと、どちらがよいかということになってモデルのほうがすぐれていると主張しにくい。

A 普通解いたことでうれしくなってそればかり話したが、これこれではモデル化できなかったということを明示したうえで、トップの判断材料を提供すればよいのではないだろうか。

B 化学反応だからパイロット・プラントのときと実際のプラントのときとでは、1,000~10,000 倍にスケール・アップするので、モデル化までゆかないほうが多い。

A 何にでも限界があるのは当然だ。だからORはダメだとはいえない。ORによらないやりかたとOR的なやりかたについて思考実験をしてみる。ORによらないやりかたも1種のORといえる。しかも多くの場合ORによるやりかたよりはまずい。ORは金も時間もかかるとよくいわれるが、それほど金も時間もかからぬORもあるのではないか。さまざまな経験も入れられるようフレキシブルなものであればいい。この例としてPERTの3点見積法がある。現場のOR専門家はそのくらいの大胆さでモデルを作ることを望みたい。

B 今の話に2つ問題点がある。つまり、数字を出す時、(1)データの解釈とトップに対する説得のしかた。(2)ラインならよいがスタッフでORをやるときにはやりにくい。

A 転炉の火の色は名人が判断してきた。これを数式モデルにしたがちっとも合わない。そこでこのモデルに名人の判断をまねしてとり入れた。その結果大変よく合うようになったが、さらに(1)名人でも判断がつかないような時にこのモデルで説明のつくことがある。(2)名人の後継者作りに判断をうまく伝えられるようになって、役立つようになった。名人も後継者を作りたいがやり方がわからない。はじめの理論的なモデルはまったくダメ。

このモデルで少々当たるようになるのに2~3年かかった。できたモデルははじめのとはまったく異なったモデルだった。核心は差分ということに気付いてから……。神様とコンピュータは仲が良いということだ(笑)。

B コンピュータ利用の第1段階としては、まずそれまで人間がやっていたことを真似することから始めるとやりやすい。もう1つは統計で、統計とコンピュータは企業に受け入れられやすいが、ORはちょっと別だ。つぎの段階としてこれら3つが3位1体となる日がくると良い。

A ORとしては統計もコンピュータもその中に入っていると考えるべきだ。少なくともOR学会はそうだ。

交通制御の問題

B いままでの体験からすると、現実をそのままシミュレートするのは困難だから、やはり重要な因子を見つけてモデル化することが大切。一番簡単なのは1つの交差点の交通量の最適化——総待ち時間の最小化——のモデルで、信号の出しかたでうまくいった。学会で発表したし学会誌にも投稿した。

A その解は実施されているの？

B 残念ながら全然実施されていない。いろいろ理由は考えられるけど……。

A モデルは一方では単純なほうが良いが、他方現実離れしても困るが……。

B しかし、現実をモデルに合わせようとするこゝだって考えられるのだから、現実とのくいちがいあまり神経質になることもない。その良い例がチャーチマン他の「OR入門」に出ているニューヨーク・ポート・オーソリティの例だが、実際に観察してデータをとり整理して理論式に当てはまらないことを発見し、そこでまたうまく工夫した。(1)大量のデータに驚かない。(2)汚いデータにも泰然としている。こういう態度をOR専門家は養うべきだ。交差点が1つより多い場合は？

A 今やっているがまだ発表するところまではいっていない。おぼろ気ながらわかってきてはいるが……。目的は前と同じである。

B 人によって交通のコントロールは不可能だという。ある交差点で良くなると隣の交差点が悪くなるから……。

A 戦前、系統式といつて32km/hで走ると無停車でゆけた。今ではどうか？

B 今もやっている。京浜第2国道で……。

A 64km/hで走ると無停車でゆけるのか？

B 信号のパターンが32km/hで動いてゆくからダメだと思う。

A ニューヨークではタテの道はずっと見渡せるが、かなりの距離にわたって一斉に信号が変る。また途中に赤になったらここで止まれという掲示板があって、車はここでも止まる。赤になると歩行者はどこで横断してもよい。これが一番効率の良さだと思うのだが……。

B 総待ち時間を減少するのはよいが、金で換算しているの？

A 今のところ金で換算はしていない。

B 駅の出札の窓口で並んでいる人の損について算定できないと、待ち行列理論が使えない。

A それは国民1人当りの平均のかせぎを基準にして求めればよい。1分間当たりとして……。

B 待ち行列では推移部分があるから、定常状態の解はあまり現実的ではないようだ、平均でやればよいといわれるが、平均で考えるとムダのあることもあるし、残留結果もある。つまり、細かいところで最適化しようとしても、しばしば生ずる偶然なノイズによって元も子も無くなってしまう。シミュレーション・モデルで試すと、細かい因子の効果が出てこない。

A 指数型の分布では平均に比べて何倍かの変動が重なっているから、大量観察をやらないと効果が現われないからね。しかし、待ち行列の面白味はほんの少しの変更で長い行列が消え、しかもそれほど負担をかけなくても済むところに大きな特長がある。ニューヨーク・ポート・オーソリティの例では勤務割を合理的にしたところが良い。多忙な時に人をつぎ込むと大幅に改善され、暇な時にうんと手を抜いてもそれほど悪くはならない。現状が改善されしかも労働強化にもならない。

B たしかに待ち行列を理論で使えるのは定常的な部分だね。

A もう1つ、窓口1つの場合稼働率が50%以下でないとい状態にならないということ、こういうサービスに関する設備ではね。

B 確かにそうだ。この点コンピュータの利用でも当てはまる。この辺会計検査院あたりによく認識してもらわないと……(笑)。

A まったく同感。だから役人に説明するときは特に強調している。

利得最大か損失最小か

——犯罪防止のOR——

B 第3回IFORSで利得最大と費用最小という2つの目的に対しては打つ手がまったく異なることを発見したという報告があった。すでに御存知だと思うが……。OR専門家としては目的を考える時にいわれただけでなく、自分でもいろいろ考えてみる必要がありはしないか？

A 社会問題となるとちょっと異なってくるのではないか？ 社会福祉の予算と警官の数などは考えられるが、定量化できないものが多いだろう。

B 定量化できないものが多いということだな。誰かが稼働率は50%以下にすべきだとか、待つ側の損失は国民1人当りの稼ぎ高でよいとか……。

A アメリカ大統領勧告委員会の1つに、Law Enforcement委員会というのがあって、その報告書を読んだことがある。^{*} Law Enforcement Systemというのは、犯罪の捜査、検挙、裁判、刑務所、再教育の全体をシステムとしてみたものである。経費と効果について考えている。この序文が面白い。すみずみまで近代科学がしみ込んでいる米国で、この分野がいわば科学的分析の後進地域だね。

さて、犯罪の推移についてマルコフ・モデルでやっている。再犯についていろいろ調査したら、自動車泥棒から始まってしだいに悪質の犯罪に進み、ついには第1級殺人になるというケースが多いことがわかった。そこで自動車泥棒防止に金をかけるのが有効となり、ハンドルをロックするよう工夫した。

また裁判について乱数を入れてシミュレートしたところ、ワシントン、D.C.では1ドルの投資あたり一番有効なのは陪審員の数をふやすことだ。裁判官の数ではなくてね。このとき効果の尺度としては犯罪がおきて判決が下るまでの期間をとっている。

B なるほど……。今の話は定量化できないものを定量化した良い話だ。勇気づけられたね。

結 論

A さて今日のしめくくりとしては、目的や制約ははかから先験的にあらかじめ与えられるものではなく、研究の過程で打ち出してゆくべきものだ。選択することができることもある。目的や制約条件の設定までOR専門家の自主的判断の対象になりうるということかな。どうもありがとうございました。

^{*} *The Challenge of Crime in a Free Society, A Report by the President's Commission on Law Enforcement and Administration of Justice, 1967; Task Force Report: Science and Technology, Institute of Defence Analysis, 1967.*