

《特別講演》

モデルとデータ†

森 口 繁 一*

1. モデルの意義

まず一番最初に、ORにおけるモデルの意義についてのいわば教科書的なところを少し復習してみたいと思います。私はオペレーションズ・リサーチがなぜ役に立つのかというのに対して、それはモデルを使うから役に立つのだという説明がたいへん気に入っております。だいぶ昔ですが、早稲田大学に4人のアメリカ人のORチームが来て講義したときに、そのなかで一番若かったと思いますが、フィーニー（Feeney）さんが、ORを社長さんに売り込む演習をしたことがあります。当時出席された方はよく憶えていると思いますが、フィーニーさんが自分で頑迷固陋な社長の役をして、自分にORは良いものだと言明して売り込んでみなさいという演習でした。そのとき、多勢の人が試みましたが、全員敗退いたしました。

ORは「科学的方法」だから良いのだと力説するんですが、科学的方法がなぜ良いのかというところでリンクが繋がらなかったわけです。それに対してフィーニーさんは、最後にその模範答案として、科学的方法というのは一般に間違いを犯す方法だというんです。つまり‘method of making mistakes’です。その間違いが複数になっているところに意味があるわけで、つまり、種々な間違いを犯す。しかしもちろん聴いているほうではぼかんとしているわけです。つまり、間違いを犯すのに何も方法なんかなくてもわれわれはしょっちゅう間違いを犯しているから、そんなものに方法は要らないと思うのですが、そう思っている頃にフィーニーさんはquicklyという言葉を書き加えるのです。英語ですから、修飾語があとから、あとから出てくるわけでして、複数の間違いを速く犯す。そしてそのあとにthrough simulationという修飾語がつくのです。つまり、経験上間違いを犯すのには何十年もかかるような場面のなかで、simulationによって数分間とか数時間のうちに種々の誤りを犯す経験をすることができる。それが科学的方法の意味の要点であると説明されました。それはその場の人たちをたいへん感心させました。それをまず思い出していただきたいのです。

† 1973年5月21日受理。1972年9月25日、秋季研究発表会講演。

* 東京大学工学部計数工学科。

2. モデル人間とデータ人間

つぎに、これは私が1年ぐらい前に原稿の執筆を頼まれたときに苦しまぎれに考えた言葉ですが、人間が仕事をする場合に、「モデル人間」と「データ人間」という二つのタイプに大きく分類することができる。データ人間はデータをたくさん憶えていて、問題が起きたらそれに近いケースのデータを思い出してそれを指針にして行動を決めていくというタイプです。政治家とか実務家や経営者のなかにはこのタイプの人が相当に多いと思われます。

それに対してモデル人間というのが最近だんだんふえてきました。またふえることが期待されています。そこにオペレーションズ・リサーチの場所があるわけです。なぜモデル人間が入り用なのか。戦後の経済社会あるいは公共行政の姿というものは、けっして数十年の間安定した状態を続けられるという環境にないから、経験の蓄積というものにあまり期待し依存することができない。そこで経験しないことに対してどういうやり方が良いかということ、どうしてもモデルによって調べる必要があるというわけです。

われわれはモデル人間として世の中の期待に応える必要がある。もちろん、モデル人間といえどもデータが要らないわけではなく、モデルを検証するため、そしてまたモデルによって将来の計画を立てるときに、基礎的なデータとして投入するために、つまり検証用と入力用にはデータはやはり貴重なものです。しかし、データをそのモデルと対決しないままで生のデータとしてそのまま直接使用するということはあまり役立ちません。少なくとも全面的にそのままいけるという時代ではないという点を皆さまとともに認識しておきたいと思います。

そのことの典型として、私は月旅行の話を用いてたいへん自分で感心しているのですが、つまり月旅行を計画するとき、データを集めてその中の良さそうなデータのマネをしようというのでは話にならないし、ばかばかしくて笑う気にもなれません。そうではなくて、月に向かって軌道を決めていくときの行動基準は、ニュートンに始まる力学法則をあらわす微分方程式です。これは一つの非常に良くできたモデルです。つまり物体の運動について、位置の2階の導関数を含む式を立てさえすれば、非常に簡単な式ですべての場合を尽くすことができるというのはニュートン力学の輝かしい成果ですが、それは相対論なんていうのが出てきてもけっしてその価値が揺るがないぐらいに良い近似になっているわけです。それを基本にした計画がやはり月旅行計画では一番頼りになるわけで、この問題について考えれば、モデル人間の必要性が、つまりそういう法則から推論することが単なるデータを直接使用するという発想にくらべてどんなに違うかということが相当良くわかるような気がします。

これからわれわれがやろうとしている仕事、たとえば日本列島改造論なんかに関係する仕事は、過去のデータが直接利用できるものではなくて、むしろ月旅行計画にも比すべき未知への挑戦が、その課題であるということに基づいてものを考えなければならないと思っております。

3. マルコフ模型

具体的なモデルの各論にはいるとして、まず最初はマルコフ模型を考えてみます。私はあるシンポジウムで「マルコフ模型は万能である」という議論をしたことがあります。つまり因果関係がはっきりしているものは、もちろん、それを表わすモデルで事がたりるわけです。そのときに、こういう原因からはこういう結果が生じるということが、一義的でなく確率的な法則で予想がつくというような状況の下では、条件のほうを「状態」という形でつかみさえすれば、マルコフ・モデルに容易に組み上げることができるわけです。したがって、マルコフ・モデルというのは、あらゆる問題に対して当てはめることのできるモデルであるというわけです。一方、そうはいつでもマルコフ・モデル一般というのは、当てはめる場面が一般的であるだけに、それに当てはめたからといって、得をする部分もあまりないのです。たいへん状態の数の多いモデルなどをへたに作ってもあまり役に立たないわけです。そのことについて、ここに二つの例題を述べましょう。

一つは「流動モデル」です。このモデルは計算機と関係しているのですが、文部省の仕事で情報処理教育に関する会議の定量部会で約1年間作業して『情報処理技術者養成計画の定量的基礎』という報告書をまとめました。それは昨年10月に公表されました。

昭和何年に何人ぐらいのプログラマが要るかということは把握できるのです。それは台数を予想して、1台当り何人必要かを考えれば算術でできます。これは非常に簡単なモデルになります。こういう積の形に分解したモデルもモデルと呼んでよく、非常に役に立つタイプのモデルです。そういうもので勘定すると、だいたい昭和47年に10万人、50年に20万人、55年には50万人が必要となります。

さてそれを供給するのに、その各時点でそれらの数になるだけある割合で専門家を生み出していけばよいかというと、それはそうではないということがまず問題となりました。そこで私どもは流動モデルというのを作りました。

図1のように、学校が大学院、高等学校などに種々に分けられています。また関係学科と関連学科という大きな分類ができています。関係学科とはつまり専門の学科です。情報処理科とか情報技術科とかいうような学科です。関連学科はそれとは違うが、その何人かは専門家として就職していくような性質の学科です。

そこからオペレータになり、プログラマ

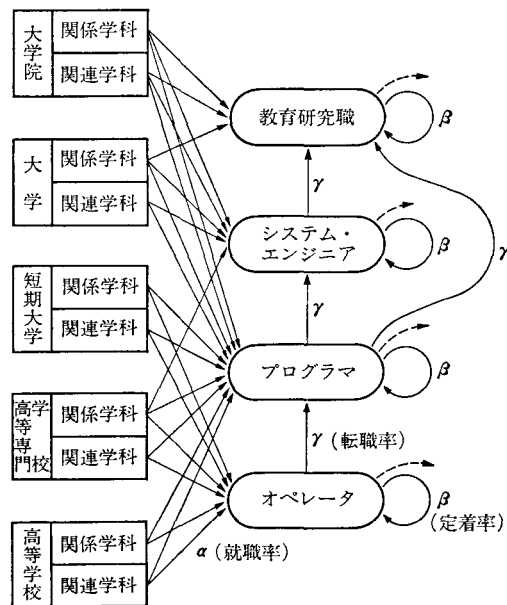


図1 流動モデル

になり、システム・エンジニアになり、教育研究職につく。情報処理技術者として就職する比率を α で表わします。そしてオペレータが翌年もオペレータである確率を β で表わします。これを「定着率」と呼んでいます。それから転職率がある。これはオペレータがプログラマになったり、プログラマがシステム・エンジニアになったりする割合で、それを γ で表わします。このシステムの外に出ていく転職というものもこのモデルに含まれます。

要するに、オペレータとして一生を送るような人はほとんどいないわけで、何年か経つうちに別の職種に転じていくものです。そのような認識の上に立って、そしてこういう α 、 β 、 γ というものを現実的な数値に仮定して計画を立てなければ破綻してしまうのではないかということで、このようなモデルを組んだわけです。しかも文部省が、コンピュータをその当時すでに持っていましたから、なるべくそれでやろう。そうすれば、会議中に何か問題が起きたときはちょっとパラメータを変えて計算機室でランさせてその結果を見て、またパラメータを動かすようなことができるわけです。それがちょうど作業に間に合いましたが、そのプログラムを作製してくれたのが埼玉大学の伏見君です。

私は彼に電話でこういう構想を伝えてモデルを作ってもらいましたら、彼は私の要望に応じて非常に一般的なモデルを作ってくれました。私が指示したのですが、たとえば、高校を出てオペレータになって6年経った人がその次の年にもオペレータである確率はいくらであるかとか、あるいは次の年にプログラマに転ずる確率はいくらであるかということ、そこにいた年数ごとに指定することができるモデルです。これはきわめて一般的なモデルです。

正直に白状しますが、私はこのモデルに対してケチをつける人が当然でてくるであろうと予期しましたので、そのときの抵抗力をなるべく大きくしようと考えました。それにはパラメータをうんと多くしておけば、どこか1個所や2個所をつついてもどうしようもないですから、全体の構造は崩れません。これが正直なところで、実際成功しました。このモデルを数値つきで発表して1年近くになりますが、いまだにこの α 、 β 、 γ の各数値についての批判や苦情はまったく出ておりません。そういう意味では、この作戦は成功しましたが、私はどうもこのモデルにあまり満足していません。つまり戦術的にそのように成功したとしても、それが良いモデルであったという証明にはなりません。私自身が人に説明するとき、それらの細かい数値をどういうデータに基づいてどうやって出したのかという説明が全然できないのです。経験と勘でやったというのでは「モデル人間」を推奨しようとする立場と合わないわけです。

私はむしろこの場合、ある職種にいるというのを一つの状態と考えて、それで β と γ を指定するという程度のモデルでよいのではないかと思直しております。最近、そのような非常に単純化された、状態の数のきわめて少ないモデルで全体の計算をやり直したらどうなるかということをやろうとしています。

4. 犯罪のモデル

マルコフ・モデルのもう一つの例として、少し古いのですが、おもしろい例がありますので、

ご紹介します。これはアメリカのレポートで、Law enforcement and administration of justice に関する大統領委員会というものがあります。要するに犯罪防止のシステムのPPBSみたいなものです。それに関するレポートが2冊あり、ここに持ってきましたのは科学技術編というようなものです。これは4年くらい前のものですが、非常におもしろい科学技術の犯罪防止システムへの応用の場面がいろいろと列挙してあります。こんなにやっているにもかかわらずアメリカで犯罪がふえてきているのは、たいへんにお気の毒なしいです。

ある所で犯罪が起こり、それから捜査をして逮捕をして、送検して云々ということが書かれているわけです。警察とか検察、裁判所、そして刑務所に入れて矯正するという部分があります。こういうようなシステムのいろいろなところを改善するとして、予算をどこに投入したらどういふ効果があがるかというようなことを調べているわけです。いわゆるPPBS的アプローチの一つの典型が見られるわけです。そのなかでとくにおもしろいと思ったのは、陪審員を1組でなく2組にするのが一番cost-performanceが良いという結果が出ていることです。早く裁判をすることが防止に非常に役立つのだそうです。

私はこの手法を、大学における学生の処分問題のシステムの設計に適用してみたことがありますが、大学改革全般が動きませんのでまだ何の役にも立っておりません。

表1はそのなかにあるマルコフ・モデルの例です。たとえば、自動車ドロボーをした人が次に捕まるときに何で捕まるかということの確率分布が示されています。一番高いのが burglary, つまりドロボーです。それが約39%, その次が自動車ドロボーの28%というしだいで、強盗などは4.5%しかありません。だから自動車ドロボーから、だんだん進級していく傾向がこの行列に示されているわけです。それを使って、ある人が最初に自動車ドロボーで捕まったあと、一生の間になんてなっていくかということを行列の積でつくり出した結果が表2です。

表1 犯罪の推移確率*

Last index arrest for	If arrested again for an Index crime, the probability it will be for—						
	Murder and non-negligent manslaughter	Forcible rape	Robbery	Aggravated assault	Burglary	Larceny (\$50 and over)	Auto theft
Murder and nonnegligent manslaughter**	0.025	0.025	0.150	0.400	0.200	0.100	0.100
Forcible rape**	.020	.150	.110	.260	.200	.140	.120
Robbery	.015	.010	.350	.060	.350	.115	.100
Aggravated assault**	.025	.040	.150	.300	.085	.200	.200
Burglary	.010	.020	.135	.063	.459	.282	.031
Larceny (\$50 and over)	.010	.020	.140	.025	.400	.275	.130
Auto theft	.010	.027	.045	.028	.390	.222	.278

* Based on data from Crime Revisited: Minnesota Board of Corrections: 1956 "Uniform Crime Reports," pp. 29-31; and Federal Bureau of Prisons, statistical tables, fiscal year 1965.

** Best estimates based on inadequate data.

表2 犯罪の予測表*

1,000 initial arrests at age 16 for—	Number of lifetime rearrests for—							Total lifetime rearrests
	Murder and non- negligent man- slaughter	Forcible rape	Robbery	Aggra- vated assault	Burglary	Larceny (\$50 and over)	Auto theft	
Murder and nonnegligent manslaughter	40	70	420	500	800	510	310	2,650
Forcible rape	40	200	380	380	810	540	320	2,670
Robbery	50	70	800	250	1,400	730	370	3,670
Aggravated assault	40	80	410	400	710	600	400	2,640
Burglary.....	40	80	560	250	1,500	900	280	3,610
Larceny (\$50 and over)	30	60	430	160	1,100	700	310	2,790
Auto theft	30	70	330	150	1,100	650	400	2,730

* Based on calculations performed with the overall criminal justice system model with feedback loops.

自動車ドロボーで捕まった人を1,000人取り出して、このシミュレーションをやってみますと、一生の間に強盗で捕まる人がそのなかで延べ330人現われてきます。つまり直接強盗に進級するのは少ないが、やがてかなりの数がそこまでいくことがわかります。第一級殺人までは30人しかいきませんから、そこまで登りつめるのは容易でないわけです。

犯罪防止にはどこにどういふ努力を注入すべきであるかということ、そういうものを基にして考えようというわけです。実はこのレポートでちょっとおもしろいのは、そういうことを考えた結果やはり自動車ドロボーを防止する、つまり自動車ドロボーをむずかしくすることが、全体の犯罪の数をへらす上に相当役に立つということ、このような分析の結果から推論して、そのためにはただのスイッチでなくてハンドルまで動かせなくなるような鍵を大いに普及させたらよいということを提案しています。この部分だけはすでに実行されて、わが国にまで及んでいます。この頃のキーは、ただショートしただけでは車が動かないようなキーになっています。これをやらなかったら犯罪はもっとふえていたのかもしれないと思います。

5. 線形計画法について

つぎに線形計画法に関して二言、三言いっておきたいと思います。これも、いつかあるシンポジウムでの話です。OR手法の応用について並べてみると、それは主としてLPとPERTとsimulationであったところから、キョジン、タイホウ、タマゴヤキに相当するスローガンは、LP, PERT, simulationであるなどという標語が生まれたりしました。

そのなかでLP、つまりOR手法として確立されているもののなかでは一番適用される機会の多いLPについて、私は非常に感銘を覚えていることがあります。それはDantzigさん、この人はLPの一種の開祖みたいな人ですが、とくに単体法を考案した中心人物として著名であります。そのDantzigさんが日本で講義したときに、一つ注意しなければならないことがあるということです。それは行列を読むときに、けっして横に読むなということです。行列というのは縦に読ま

なければいけないというのです。たとえば、アメリンの製造工程では、これに石炭が何トンはいって、電力が何キロワットはいって、労力が何人日はいって、アメリンが何キログラムできる。そして利益が何万円得られるというようなことでも、初めから入力資源を三つに固定してかかるような考えではだめで、縦に細長い箱を書いておいて、横から矢をいくつも描く。下のほうは点々にしておけばよいわけです。要するにアメリンの製造工程をよくみると、そこには入り込む主要なものには何があるかをひとまずみんな書き上げようではないか。それが定量的にはいくらであるか、それによっていくら出ていくのかということ、その工程を観察した結果として正しく記述しましょう。そこから話が始まるわけです。そしてプテリンについても同じことをやる。シネリンについても同じことをやる。ということでやっていく。そして、さて電力には限りがあるから全部で何 kWh しか使えないという形ではじめて横の連結をつけていく。そういうふうにモデルを作らなければ本物じゃありませんというのです。それは確かに教え方として非常に大事な部分だと思えます。

つまり問題を教科書に載っているような形で与えられてから考え始めるタイプの人を大ざい育てることよりは、そういう「問題を創り出す過程」をよく教育し訓練して本物の OR マンを育てることのほうがたいせつだということにつながると思えます。ほんとうの問題を現場から見た人の態度はそのようだと思います。まず現象をよく見る。そしてその要点を記述していく。それから問題は何かということを考える。そういうプロセスを踏むわけです。

実はこのたび文部省の高校の指導要領が改訂されて、来年の春から新しい指導要領で数学が教育されると承知していますが、「数学一般」とか「応用数学」とかいう科目のなかに「オペレーションズ・リサーチ」という章があります。そのなかに線形計画法と在庫モデルを扱いなさいというようなことになっていますが、それを先生方が高等学校で扱うときのことを考えて、私は今から大いに心配しているのです。先生方はおそらく横に読むだろうと思います。つまりそれが数学教育の伝統だからです。行列が与えられると、それは横に読むことになっているわけです。そうしなかったら数学の点が良くなかったかもしれないぐらいに横に読む習慣がついています。

その先生方に、これはぜひ縦に読んでくれということを大いに徹底させる必要があります。これは普通の方法ではだめだと思いますから、ここにおられる皆さまは、帰られたら手分けしてそれぞれの高等学校を訪問して、その先生方に LP を教えるときには行列は縦に読むのですよということを大いに吹き込んでいただく必要があるのではないかと思います。

これはもちろん一つの例として述べているのです。一般に OR のモデルというものは、教科書に記述されている形に初めからあるものではないということ、すべてのモデルについてわれわれはよく考える必要があると思えます。

6. 通勤のモデル

そのつぎはこれとまったく違う話ですが、私どもが国鉄の OR 部門と協力して種々な通勤輸送関係のプロジェクトをやってまいりましたが、そのなかの一つに、東京地区の通勤輸送のネット

ワークを解析して、それを計画のためのモデルとして使うということをやったことがあります。そのときに、いわゆる OD 分析、つまり origin がどこで destination がどこというような交通需要はどれくらいであるかという形のデータの与え方をとらなかった話があります。

これは交通専門家の常識がすなわち OD であるわけで、OD をつかんでそれから計画交通網をそれに合わせていこうというのが定石なんです。それをしないとモグリだと思われるぐらいに OD は標準的な考え方ですが、私どもはあえてそれをとりませんでした。その代わりに、この駅からは通勤客はどれくらい乗るのかとか、あるいは都心部のこの駅では朝のラッシュのときに通勤客がどれくらい降りるのかというデータだけを考える。つまり、個々の OD の対に対する需要を与えるのではなくて、各駅ごとの乗車人数と降車人数だけを指定する。そして全体がある意味で最適になるような流れの配置を求めてみたわけです。ところがその結果が、もちろん LP モデルとして解きましたが、実際に観測されているデータと非常に良く合ったのです。このことは私どもの解釈では、通勤客というものは、そういう意味での最適が実現するように現に行動しているのであろうと思われます。たとえばある所からある所へ通勤していた人が、それが非常に混みお金もかかり不便なので、もっと別の所に勤め先を変えたほうが良いのではないかということになれば、その勤め先を変えることまでするのではないかと推察されます。あるいはある所へ勤める人がどこにその住居を定めるかというときに、交通事情まで考えて住居を選ぶのではないかと考えられます。そういう効果がある程度まであれば、いまのような LP モデルに合ってくるはずですから、本来の OD ペアなどというものには意味がないということになるわけです。

そして住居地域の収容人口あるいは就業地域の収容人口のほうは、その条件から決まってくる信頼できるデータですが、個々の人がどこから何人くるはずであるなどということは事前に決まることではなくて、交通の状況によって影響される部分であるわけです。そういうことを考えますと、短期の需要に対しては OD モデルはたしかに意味があるかもしれませんが、10 年先 20 年先の計画を考えるときには、OD モデルではなくて、先ほどのようなちゃんと予測可能なものだけを使う LP 的なモデルのほうが良いのであろうというふうに考えております。この話はアメリカに行ったときに Charnes さんにもしたことがあります。たいへん感心しまして、アメリカの交通関係の OR 屋はいままでこの考えに立っていなかったが、この点では日本のほうがはるかに進んでいるとってお世辞をいわれました。

もちろんこれは通勤客のような、輸送のほうからいえば、一種の単一財貨といってもよいようなものですから、こういうことがいえるのであります。しかしたとえば、農村から都市に大根や白菜を運ぶのに対して、都市から農村に機械を運ぶなどというときに、トンだけでそれをインプットして与えたのでは全然話になりません。大根で耕やしたり機械を食べたりするのが最適だというような結論になるおそれがありますから、そういう意味では財貨には異なった種類があるということを考えに入れて使わないと、いまの非 OD 的交通モデルにはならないというわけです。そこで私どもは、多種流問題と取り組みました。このように、モデルでもある分野で常識となっていたものから離れてやってみるということには、相当積極的な意味があると思っています。

7. 図書の探索

つぎは探索モデルの応用例です。これは Philip Morse さんの研究です。このレポートは、Morse さんから直接送ってもらったものですが、“On browsing—the use of search theory in the search for information” という題になっています。この browsing というのは、放し飼いをしている牛や馬が草を探して気に入った草があれば食べる、そういうようなことをいいます。それと同じように人間が図書館のなかで開架式の書架の所を歩いて、気に入った本があればそれを借りて読むようなことを browsing といいます。これは図書館の専門家の間で通用している言葉のようです。それについての探索理論の応用というわけで、Morse さんは、現在は停年退官して物理学科でORを講義していますが、年に何編かこういうレポートを出しているような活動ぶりです。このレポートといっしょに送ってきたレポートのなかにはパトロールカーの最適配置の問題もあります。その話は今日は申し上げません。

図2が探索理論の核心を表わしている図です。ほしい本がある書庫の中に1冊だけあるとしたときに、それにぶつかる確率が縦軸にとってあります。つまり、発見の確率です。横軸は $\rho T/N$ ですが、この N はその書庫の在庫冊数、たとえば2,000冊です。 T がそこで費す時間で、たとえば10分間、 ρ は照明の具合とか分野の特徴、それから、browsingをしている人の性質などに若干影響されるあるコンスタントです。Morse さんの実測結果によりますと、 ρ の値は100から200、300といったあたりだそうです。ですから仮りにこれを200と置きますと、2,000冊ある書庫の中を10分間探索したら、 $\rho T/N = 200 \times 10 \div 2,000 = 1$ になります。これが1のときの発見確率 P は約0.6です。 $P = 1 - \exp(-\rho T/N)$ というのは、探索理論では一番先に出てくる非常に単純な理論です。つまりランダムに探索したときの発見確率です。それを使って種々な実用的な結論を導いているわけです。

その感じでは、だいたい2,000冊ぐらいが手頃な書庫である。つまり一つの図書館でも分類して2,000冊ぐらいの単位に分かれていればそれでよいというわけです。それぐらいのものは、browsingするのに適する規模であるが、20,000冊となるとちょっと大きすぎる。それは10分やそこら歩いてもなかなか当たらない。

つまり $\rho T/N = 1/10$ になりますから、確率が低すぎて見つかりにくいわけです。そこから先を、browsingをやる人の問題と librarian の問題に Morse P, 0.5 さんは分類しています。

librarian の問題としては、保存書庫送りの問題、つまり書物を適当に引退させていく問題がでてくるわけです。現在書庫にあるうちの何%ぐらいを残

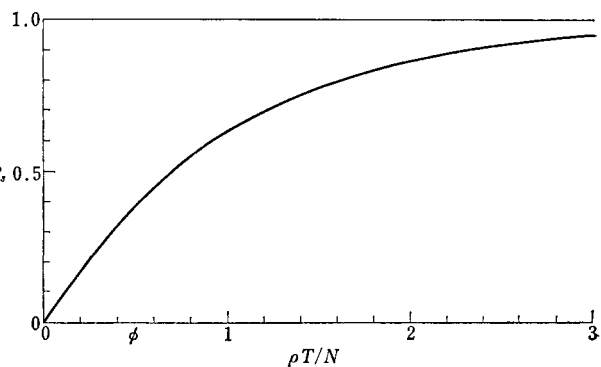


図2 本の発見確率

して、残りを保存書庫に送るのが最適であるのかという問題です。ある理論計算の結果のカーブができております。たとえば先ほどのように、 $\rho T/N$ が0.1になる。たとえば2万冊の所で10分間探すような状態になった場合には、2割ぐらいいは残して後は保存書庫に送ったほうが browsing の効果が最適になるといっています。もちろん、冊数がへると興味を持つ可能性のある本の冊数もへりますから、その意味で不利になります。しかし興味のあるものがあるときにそれを発見する確率が高まれば、相乗積のほうは高くなりますから、そういう意味で optimal があるわけです。そこで、こんなことを基準にして実際に purge しようではありませんかというのが Morse さんの提案であります。これでアメリカはもとより、オーストラリアまでも実際の図書館の指導に出かけるありさまです。そういうことを基本にした、*Library Effectiveness* という書物を一昨年ぐらいに出版していますが、非常におもしろい書物です。図書館の問題に OR 屋が目をつけたのは非常におもしろいと思っております。わが国でもこれからやるとちょうど良いような問題でありまして、図書館システムをどうするかという問題は全国民的な規模の問題だと思います。そのなかで、この種の探索理論が一つの基本的モデルを提供するものとして注目されるしだいです。

8. 都市のモデル

つぎに都市問題についてお話しします。これは今回の大会でもおそらく種々の角度から論じられると思いますが、これについて私どもは、いくつかのモデルを動かしてある種の経験をしてきております。そのなかで一つ重力モデルの影響を考えたことがあります。重力モデルを基にして、たとえば基盤目のような地域を考えて、星目の所にデパートがあるとします。そのときデパートがお客さんを吸引する力は、その大きさに比例し、距離の α 乗に逆比例するとします。大きいデパートほど品物が豊富であるということで、吸引力が強いわけです。そしてお客が大ぜい来ればデパートはさらに大きくなるというようなモデルを設定して、その推移を追跡してみました。そのほかに、交通網のような簡単なモデルで、お客が大ぜい乗れば、その路線がさらに発展していく、発展すればさらに多く吸引するというようなモデルを動かしてみました。

それら全体を通じておもしろいと思ったことは、一つには α によって結果が相当基本的に違うということです。 α が十分に大きいということは距離のファクタが相当効いてくるわけですから、そういう状況の下では平等化が進むことになります。さきの9個のデパートはほぼ同じ大ききで釣り合っていっせいに成長します。それに対して α がある限度以下に小さいと、距離の効き方がそれほどひどくないということを意味するわけですが、そういうときには集中化が起こります。あるデパートがたまたま最初に大きいと、たいへんそれが大きくなって他をやっつけてしまうような現象が起こります。それで独占化が起こるような α と、平等化が起こるような α との境目があります。もちろんモデルの設定の仕方によって違いますが、どうもその境目が2に近いある値のところにあるというケースがかなりあるようです。そこで、これを重力法則と称して、万有引力の法則にあやかるうというわけで、2という値をとることが相当多いのですが、その2が適当か否かは相当客観的データと付き合わせて吟味する必要があると思います。それが2

であるか1.6であるかでまるっきり結果が違うというようなことがあります。この指数に対してたいへん敏感であるということには私ももびっくりしました。

9. 新幹線のターミナル

それから規範的モデルもいくつかやってみましたが、そこで一番困るのは多目的ということですね。いろいろな見方によって価値判断の基準が大いに違う。それに対してどう対処するかという問題が、モデルとは別にモデルを評価する方式の問題として、こういう都市問題くらいの規模になると、必ずといってよいほど起こってきます。それに対して私が多少関係した著名な例に、新幹線の東京でのターミナルをどこに置いたらよいかという問題があります。これは非常に影響の大きい問題ですので、実際の場所は使えませんが、少し違った場所をわざと四つばかり選び、その相対的な評価を試みたわけです。それには方法としては、Churchman, Ackoff, Arnoffの本に出ている「目的の重み付け」というところにある比較法を使ってみました。そして、方法としてはかなりうまくいくということがわかりました。この場合、都市計画的見地からの評価項目と、乗客の便利さという見地からの評価項目と、そして国鉄当局として輸送の能率等の点から見た評価項目など全部で27項目があげられたと思います。それぞれを専門的な人たちが評価して点数をつける。そしてそれに重みを掛けて加えた総合点数で決めようという構造ですが、その相対的な重みをどう決めるかというところが「目的の重み付け」のプロセスであったわけです。私も考えたのは、こういうときに、専門家的な判断と、政治的・行政的その他の判断との、それぞれの分け前に応じた適切な処理をすべきであろうということです。それを短絡していきなり結論を政治家が押しつけてくるというのも良くないと思われまして、また専門家が高度の政治的な判断が介入すべきところにまで口を出すのも職分を越えているのではないかということで、そのへんの調和が主な部分だと思います。これはあるシンポジウムで近く国鉄当局の方が発表されますので、具体的に何をやったかがそれでわかりいただけると思います。

10. Compact City

つぎに斬新な発想の一例をお目につけたのですが、こういう都市問題のようなものになりますと、従来の既成事実を基にしてそれを少し改良するような形ではろくなことにならないという話です。それで思いきってシステム全体を新しい発想で作り直すのが良いということですが、これを抽象的にいうことはやさしいのですが、一つの具体的な斬新なモデルを出したのものとして、Dantzigさんの*Compact City*という書物があります。まだ仮りの印刷物ですが、たいへんおもしろい文献です。これはDantzigさんが航空便で送ってくださったので、夢中になって読んでしまいました。近くサンフランシスコの本屋から出版されるそうです。出たら翻訳も出るようになると思います。

いままでの都市問題対策はみんな誤った解決法だということが最初のほうに載っています。ほんとうの街はもっとcompactに作るべきであるということです。Dantzigさんの提案では、200万

都市というのが一番良い最適な大きさだそうです。それを直径5 km ぐらいの円形の敷地に置くことができるというのです。そこでこういうものをたくさん分散配置するのがよろしかろうというわけです。したがって、これは都市としては極度の集中をして、そういう都市を国内に分散配置しよう、あるいは全世界に分散配置しようという発想であるわけです。

平面は32のsectorに分かれています。そして上下方向は16層に分かれています、全部2進法になっているのは、たぶんコンピュータの影響だと思います。その一つの層の住宅地区の姿を見ると、庭もあり、子どもの遊び場所もあり、歩道と自転車道と自動車道ははっきり層が区別されています。1層の高さは約9 mです。十分良く現在の技術を動員して設計すれば、非常に快適な住宅環境が得られるはずでありますから、これを得るために必ず遠くの郊外に行かねばならないというようなとらわれた考えは捨てるべきだということでもあります。飛行場はすぐ傍に作れますから、他の都市との連絡は飛行機によるのがよろしかろうということです。

それから、この*Compact City*の本の中にはいろいろな話が載っています。たとえば、いま問題になっているゴミ処理等はどうしたらよいかということに対して、たいていのものはrecycleしましょう、水でも空気でもたいていのものは循環させましょうというわけです。ですからゴミなども循環できるものは循環させるわけです。しかし、そのためには一つの条件があります。主婦がゴミ箱にゴミを分類して入れることがこのシステムを生かすために非常に大事な部分でして、分類したゴミをautomatic delivery return belt という所にシュッとせると、ズーッと運ばれて行って自動的に処理されるようになります。このautomatic delivery system というのは、このゴミ処理システムからそれだけを切り離して実用化することもできるぐらいにおもしろいアイデアです。つまり、物やゴミを運んだりするのに車を使うなどというのはまったくだめであり、このようにコンパクトになれば、それはむしろベルトコンベアのようなもので連続的に輸送するほうが、ずっと能率も上がり、コストも安いというような議論がしてあります。だいぶ時間が迫ってきましたので、モデルの話はここでやめておきます。

11. データについて

それからデータについてもいろいろなことを申したかったのです。たとえば、ORをやるのにデータが要る、しかしデータは容易に取れない、というようなところで停頓する例をときどき見かけるのですが、そんなものではないということを時間を費して強調したかったのです。それにはサンプリングという方法があるということをOR屋さんにもよく認識していただきたいということでもあります。そのサンプリングについて、この機会に強調したかったのですが、もう時間がありませんから、そういう言葉を吐いただけにしておきます。

それからここに持ってきましたのは一種のデータファイルあるいは大袈裟に言えばデータバンクです。そういうものにして、たくさんのいろいろな種類のデータを一つに集めて、コンピュータの中に入れておくことに、相当意味があるだろうと思います。これは建設省の関係の仕事ですが、全国を10 km 平方のメッシュに分けて、その10 km 平方のメッシュごとのいろいろなデー

タ、自然条件、人口、第二次産業従事者数、工場の数などの各種のデータを入れて一つのファイルにして現在仕上げつつあります。そういうものを使って、たとえば全国に張る新幹線のネットワークはどういう形が最適か、あるいは道路網はどうだとか、次に着工するのはどこが良いかというような問題に対して、あるアルゴリズムで答を出すようにしようではないか、というような準備が進んでいます。そのなかでせっかくファイルができたのだから、それを使った計算例をいくつか出してみようというので、昨年度に行なった結果のなかから一つだけ抜き出してお話しします。

それは例の minimum spanning tree であります。県庁所在地を総延長の一番短い枝分かれ構造の路でつなぐとしたらどうなるかを求めたのが図3です。何かおかしな走り方をしておりますが、これはそういう見地から見たある意味の最適な道路網、交通網のようなものであるわけです。こういうようなことを、何かある特定の基準でやってみたいときにサッとできるというのが、そういうデータベースを持っていることの一つの強みであります。



図3 Minimum spanning tree

たとえば産業の再配置というようなことでものを考えようというときに、『日本列島改造論』によりますと、工業用地は昭和60年には28万ヘクタール要るといようなことが書いてあります。10km平方のメッシュ一つが1万ヘクタールですから、これでいえば28個のメッシュがあれば、そして各メッシュ全体が工業用地になるなら、それだけで工業用地が充足できるわけです。メッシュが全部で4,300個ありますから、そのなかから28個選ぶのはきわめてまばらな選び方だったりするはずで、それをただ漫然と成り行きにまかせておくと、熱力学の第二法則でウワーッと平等化して行くことになります。それはあらゆるものの平等化をきたすわけで、おそらく公害等も平等に拡がるでしょう。それに対して28個にうまく集中して、しかもそのなかに集中の効果によってうまいrecycling systemを作るというようなところを目標にしてやれば、それは「美しい日本」というイメージに合う配置になりうるのではないのでしょうか。

これでちょうど時間がいっぱいになりましたので、データとか計算機について話そうと思っていたことは全部割愛いたします。しかし先ほど申し上げましたように、ORの一番の骨頂はモデルの活用というところにあると思いますので、モデルの話だけで結構話としては意味があるのではないかと思います。これで終わります。