

# 実験計画モデルによる交通機関 選択行動の事前・事後分析

A PREPOSTERIOR ANALYSIS OF TRAVEL CHOICE BEHAVIORS  
BY AN EXPERIMENTAL PLANNING MODEL

佐藤 馨 一\*・五十嵐 日出夫\*\*

By Keiichi SATO and Hideo IGARASHI

## 1. はじめに

昭和41年9月に設立された土木計画学研究委員会は、土木計画学の体系化と普及化に指導的役割を果たしてきた。特に昭和56年10月に土木計画学研究委員会の総力をあげて発刊した交通需要予測ハンドブックは、従来の研究成果を体系化し、さらに今後の研究方向を示す書物として意義深いものがある。

ところで同書の第IV編は「交通計画の評価と交通需要予測に関する諸問題」と題し、①交通需要予測と交通計画の関係、②交通需要予測手法の適用に際する留意点、③交通計画における総合評価の必要性、についての見解がまとめられている。これらはいずれも重要な研究テーマであるが、著者らは特に第2章1節の「社会事象を対象とすることに起因する応用上の諸問題」に強い関心を抱いている。なぜならば、土木計画学において構築されるモデルや理論はどちらかという自然科学的というよりもむしろ社会科学的事実であって、時間と場所とを超越して成立するような厳密な普遍性はほとんど期待できないからである。この交通需要予測ハンドブックでは、予測モデルに含まれている仮説の妥当性をチェックする必要性について次のように述べている<sup>1)</sup>。

「予測モデルの構築は常に利用者の交通行動について何らかの法則性 (travel behavior rule) を前提にして完成するものであり、すべてのモデルは暗に (implicit) ある仮説を含んでいると考えてよい。この仮説は単に独立変数やパラメーターに含まれているだけではなく、モデルの構造自体にも含まれており、常に明示的 (explicit) に表現されているとは限らない。こういったモデルの内部に implicit に含まれている利用者の選択行動仮説を十分に理解し、仮説の妥当性お

よび仮説とモデル式との整合性をチェックしなければならない。

仮説の妥当性については、それが将来時点においてなお成立しているか否かの考察が必要である」

いわゆる4段階推定法は交通需要の予測プロセスを標準化するうえで大いなる功績をあげてきた。しかし、発生、分布、分担、配分交通量を推計する各種のモデルの構築に際して、implicit な仮説をどれだけ意識してきたであろうか。ハンドブックの指摘を待つまでもなく、これらの研究はなおざりにされてきたといわざるを得ない。

本研究の問題意識はまさにこの点にあり、交通需要予測モデルにおける implicit な仮説と explicit な仮説の分離、explicit な仮説の検証、さらに予測モデルの信頼性等について考察を行った。すなわち、まず第1に実験計画法に基づく意識調査を実施し、交通機関選択に影響を及ぼす要因を明らかにした。第2に現在の行動データではなく、将来の行動に対する意識データを用いて交通機関選択モデルの構築を行った。意識データを用いてモデルを構築する際には、意識と行動のギャップが常に問題となる。それゆえ本研究においては事後調査を実施し、モデルによる予測値と実績値との比較検討を行い、実験計画モデルが優れた予測性を有していることを明らかにした。なお、本研究でいう実験計画モデルとは、直交割付表に従って作成されたデータを用いて構築した数学的モデルであり、ここでは交通需要予測モデルのうち特に交通機関選択モデルを呼称したものである。

## 2. 実験計画モデルの構築プロセスとその特徴<sup>2), 3)</sup>

交通機関選択モデルを構築するにあたって最も苦慮する点は、交通機関選択行動を解明し、その中に潜む法則性を見付けることである。人々は明確な理由 (要因)、

\* 正会員 工博 北海道大学助手 工学部土木工学科

\*\* 正会員 工博 北海道大学教授 工学部土木工学科

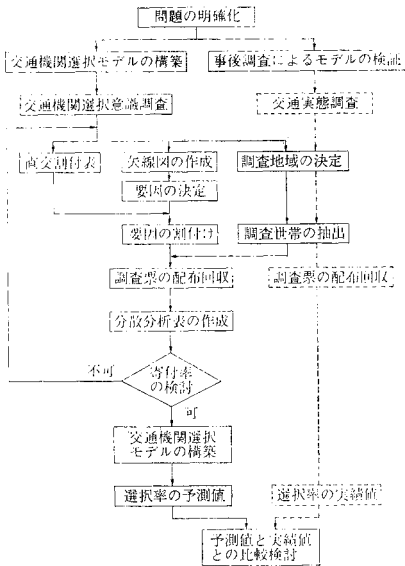


図-1 実験計画モデルの構築および検証のブロックチャート

あるいは暗黙の理由（要因）によって交通機関を選択する。したがって計画者の第1になすべきことは、これらの理由（要因）を何らかの方法によって抽出し、構造化することである。

著者らは実験計画法で用いる分散分析法に注目し、図-1に示すブロックチャートに従って交通機関選択モデルを構築することにした。図-1に示したブロックチャートは実線で示した交通機関選択モデルの構築プロセスと、破線で示した事後調査によるモデル検証プロセスとによって構成されている。ここでは実線のプロセスに従って実験計画モデルの特徴を述べる。

(1) 問題の明確化

土木計画学における種々の問題はシステムズアナリシスの手法を用いることによって数多く解決されてきた。システムズアナリシスは、① 問題の明確化、② 調査、③ 分析、④ 解釈と評価、⑤ 結論、という循環的プロセスを有していることに大きな特徴がある。また、問題の解決は「問題の明確化」から始めなければならぬことを強調している。しかし一般に、「問題とは何か」という質問に納得のいく十分な解答が用意されているとはいえない。それゆえ、本研究においては問題解決学の立場から問題を次のように定義することにした<sup>4)</sup>。「問題とは目標と現状のギャップであり、解決の要する事柄である」

問題が明らかになったら、「なぜギャップが生じたか」という原因を解明し、最後に「ギャップを埋めるにはどうすればよいか」という対策の提示を行う必要がある。問題を解決する第1ステップは目標をいかに定めるかに

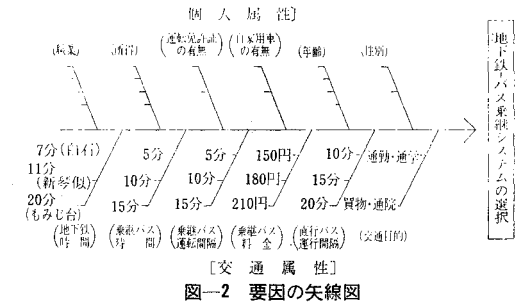


図-2 要因の矢線図

あり、この目標に従って現状分析のプロセスが始まることを忘れてはならない。

(2) 矢線図の作成

交通機関の選択は利用者の個人属性や世帯属性、さらに居住している地域属性や利用交通機関属性等によって変化する。それゆえ、交通機関選択モデルはこれらの要因を適宜取捨選択して構築される。

図-2は地下鉄乗継ぎシステムの選択率に影響を与えると思われる要因を、矢線図で示したものである。矢線図は右端に特性値をかき、その要因を表わす矢線を枝状にかく。それらの各枝からさらにその要因を規定する別の小枝が派生し、お互いの因果関係が連鎖的に表現される。この中で実験の対象として取り上げる要因を実験因子または単に因子という。そして因子のいろいろな状態を水準という。

(3) 要因の決定

交通機関の選択行動に影響を与えると思われる要因は、図-2に示すとおり多数ある。しかしこの要因のすべてが交通機関の選択行動に等しく関与しているわけではない。交通機関選択モデルの構築においていかに適切な、しかも寄与率の高い要因を選択するかについて種々の研究が行われてきた。たとえば重回帰モデルの説明変数を選択するためのステップワイズ法などである。ところで、ここに提示する実験計画モデルでは発想をまったく異にする。すなわち問題の解決者が当面いかんともしたがいが要因を制約条件とし、一方操作可能な要因を入力条件として要因を抽出するのである。交通事故を例としてこのことをさらに詳しく説明しよう。

図-3は交通事故分析における多変量解析モデル（重回帰モデル・数量化理論モデルなど）の適用例を示した

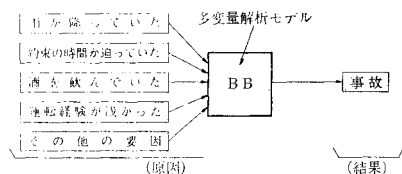


図-3 多変量解析モデルにおける原因-結果図式

ものである。すなわち、交通事故に関係すると思われる要因と事故を結びつける Black Box(BB) の構造を多変量解析モデルを用いて記述している。このプロセスでは要因の重要性は「事故」というすでに起きた結果に対する相関性の高さによって判断される。しかし、相関性の高さは必ずしも因果性の強さを説明するものではない。そのうえ、操作不可能な要因を最も高く評価するという問題さえ引き起こす。たとえば、「雨が降っていた」という要因の相関係数が最も高かったとしても、これだけでは何ら具体的な対策を立て得ないことは明らかである。

これに対して実験計画モデルでは図-4に示すプロセスに従って要因を選択する。つまり「雨が降っていた」、「時間が迫っていた」、「経験が浅かった」と

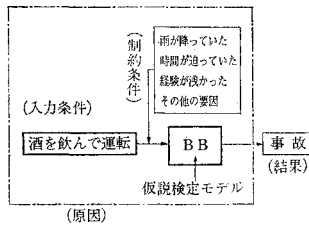


図-4 実験計画モデルにおける入力条件と制約条件

ともしがたい制約条件と考え、一方操作可能な「酒を飲んでいて」という要因を入力条件として分析を行うものである。したがって、図-4における Black Box は、入力条件がはたして結果に影響を及ぼす要因であるか否かを判定する仮説検定モデルとなる。さてそれでは、実験計画モデルの入力条件はどのようにして見出されるのであろうか。この入力条件は解析的に求めることはできず、問題の解決者が直観的に、先験的に与えるものである。実験計画モデルの難しさは、まさにこの点にある。実験計画モデルはその入力条件を自ら指定はしない。しかし計画者の抽出した入力条件がはたして妥当なものであったか否かは、厳密にチェックするのである。もし取り上げた入力条件が不適切であったならば、改めて入力条件の設定からやり直さなければならない。

(4) 直交表

実験計画モデルの最大の特徴は直交割付表（以後直交表と称す）を用いてデータを作成することにある。すなわち直交表を用いることにより調査回数が節約され、さらに説明変数間に直交関係の存するデータも入手できるのである。ところで直交表を用いることにより調査回数が節約されることはすでに紹介されているので、ここでは説明変数間の直交性について考察する<sup>9)</sup>。

表-1は  $L_8(2^7)$  直交表を示したものであり、次のような性質を有している。

- ① 各列には同じ数字が同じ回数だけ現われる。 $L_8$ 直交表の場合、1と2が各列に4回ずつ現われる。
- ② 任意の2列をとって数字の組合せをつくと、同

表-1  $L_8(2^7)$  直交表

列 No.	1	2	3	4	5	6	7
1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	2	2	2	2
3	1	2	2	1	1	2	2
4	1	2	2	2	2	1	1
5	2	1	2	1	2	1	2
6	2	1	2	2	1	2	1
7	2	2	1	1	2	2	1
8	2	2	1	2	1	1	2
成分	a	b	a	c	a	b	a
			b		c	c	b
							c

じ組合せが同じ回数だけ現われる。たとえば  $L_8$  直交表においては、11, 12, 21, 22 の組合せが2回ずつできる。このとき、直交表の1に(+1)を、2に(-1)をあてはめて積和をつくと、 $(1 \times 1) + (1 \times (-1)) + ((-1) \times 1) + ((-1) \times (-1)) = 0$  となり、直交配列になっていることがわかる。実験計画モデルではこの性質を利用して説明変数間の直交化を行っている。

一般に自然現象を科学の対象とするときには、ガリレオのいう第1性質（質量、長さ、速度等の定量的な性質）と、第2性質（色、におい、好みといった感覚主体の中に存在する諸性質）とは互いに直交していることを暗黙(implicit)の前提としている。たとえば、万有引力の法則は物体の色やにおいなどにはまったく無関係に成立していると考えられる<sup>9)</sup>。

しかし、社会現象の場合には第1性質と第2性質とは必ずしも「直交」しているとはいえない。経済学で用いる消費関数を例にとるならば、消費と所得の間に成立する関係が「個々人の移り気」にまったく影響されないと断言できるであろうか。交通需要予測ハンドブックに記述されている「社会事象を対象とすることに起因する応用上の諸問題」の大部分は、社会事象における第1性質と第2性質の直交化の問題に帰着すると考えられる。

人々の交通行動データを多変量解析モデル（重回帰モデルや数量化理論モデル、非集計行動モデルなど）を用いて分析し、第1性質の要因と第2性質の要因の影響を明らかにすることは重要な研究テーマである。しかし、これらの研究を進めるに際しては「要因間の直交性」の問題や、相関関係に基づく要因選択の問題が常に横たわっていることを忘れてはならない。

3. 実験計画モデルによる地下鉄乗継システム選択率の予測

(1) 札幌市における地下鉄乗継システムの概要<sup>9)</sup>

札幌市の地下鉄は昭和46年12月に南北線が初めて

完成し営業を開始した。さらに昭和 51 年 6 月には東西線が、また昭和 57 年 3 月には東西線延長部が開業し今日に至っている。昭和 56 年の 1 日平均乗車人員は南北線で約 39 万人、東西線で約 23 万人であり、昭和 57 年 3 月までに延べ 13 億 8 千万人の旅客を輸送してきた。

札幌市の地下鉄はゴムタイヤで走行し、さらに自動改札システムや列車集中制御システムを採用するなど多くの特徴を有している。しかし都市交通計画的には地下鉄乗継システムが最も注目されよう。札幌市は地下鉄の営業開始に伴い、それまで都心に集中していた電車、バス路線を、電車については 1 路線を残して廃止するとともに、バスについては地下鉄駅に短絡させて都心部の交通緩和を図った。さらに利用者の料金負担増を軽減するため、地下鉄とバス、または電車を乗継ぐ利用者には定期および普通料金を割引くという乗継料金制度を導入した。現在の乗継料金は（地下鉄の料金・バス料金の 25% 引、電車は 20% 引き）となっており、市営バスのみならず、国鉄バスや民営バス 3 社についても、その適用が拡大されつつある。

しかし、割引運賃の負担について民営各社の思惑が異なり、利用者にとっても乗り換えのわずらわしさを強要されるという問題がある。そこで本研究においては地下鉄乗継システムの選択構造を解明し、その選択率を予測するためのモデルを構築することにした。

## (2) 地下鉄乗継システムに関する住民意識調査

### a) 調査地域の選択

地下鉄乗継システムに関する札幌市民の意識を探るため、実験計画法に基づくアンケート調査を実施した。調査対象地域は地下鉄～バス乗継システムと直行バスとが競合している札幌市白石区白石中央、白石区もみじ台、北区新琴似の 3 地域である。各地域の概要は次に示すとおりである。

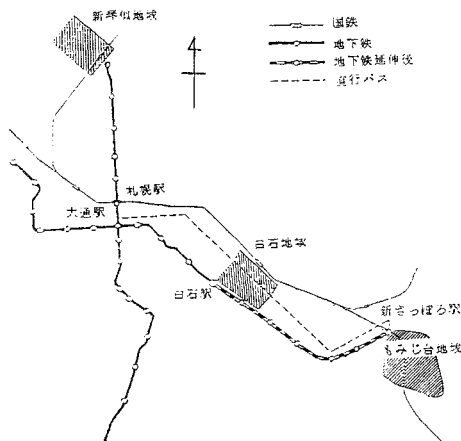


図-5 調査地域の概略図

i) 白石地域（都市部から南東方向へ約 5 km 圏域）  
白石地域の昭和 55 年 4 月 1 日現在の人口は 37 178 人、世帯数は 14 113 世帯で、1 世帯当たりの人口は 2.6 人/世帯となっている。用途地域は第 2 種住居専用地域と住居地域が大部分を占め、一部の商業地域と近隣商業地域が混在している。住居は持ち家が多く、夜間人口、昼間人口とも他域に比べてやや高い。

ii) 新琴似地域（都心部から北方向へ 5~10 km 圏域）

新琴似地域の人口は 32 816 人、世帯数は 11 248 世帯であり 1 世帯当たりの人口は 2.9 人/世帯となっている。用途地域は第 1 種住居専用地域が大部分を占め、一部住居地域がある。住居については持ち家が多く、単身世帯は少ない。

iii) もみじ台地域（都心部から南東方向へ 10~15 km 圏域）

もみじ台地域の人口は 21 969 人、世帯数は 6 286 世帯であり、1 世帯当たりの人口は 3.5 人/世帯と他地域より高い。用途地域は第 1 種、第 2 種住居専用地域と近隣商業地域で構成されており、持ち家が多い。夜間人口が多く、昼間人口の少ない典型的な住宅地域であり、幼年人口が多く老年人口の少ない地域でもある。都心部からもみじ台地域までの交通機関は国鉄や直行バスのほか、地下鉄白石駅からの乗継バスがある。ただし、昭和 57 年 3 月に東西線が新札幌駅まで延長されたことにより、交通機関の選択行動が大幅に変化した。

### b) 行動データと意識データ<sup>9)</sup>

実験計画モデルは行動データではなく、意識データを用いることに特徴がある。ここでいう行動データとは「札幌駅の 1 日平均乗降客数は約 15 万人である」、「A 地点の断面交通量は 1 万台/日である」といった行為、行動の客観的な記録からなるデータをいう。これに対して意識データとは「私はかくかくと思う、判断する。決定する」といった、ある対象、目的に対する被験者の主観的意識からなるデータを定義したものである。それゆえ、「彼は自動車に乗った」という情報は行動データとなるが、「私は自動車に乗った」という情報は意識データに分類される。なぜならば後者には標本調査に伴う抽出誤差のほか「不まじめ、誤解、意識的な嘘」などの人為的な回答誤差が存在するからである。

意識データを計画情報として活用することのメリットは大きい。しかし、意識と行動とは必ずしも一致しないという問題も内在する。それゆえ、本研究では事後調査を実施して意識データの信頼性を確認し、さらに実験計画モデルの予測性を検証することにした。

### c) 要因の決定と直交割付表

乗継システムの選択に影響を与えると思われる要因は

表-2 採択した要因と水準

要因記号	要因の説明	水準 1	水準 2	水準 3
M	交通目的	通勤・通学	買物・通院	—
R	地域	白石	新琴似	もみじ台
A	乗継バス乗車時間	5 分	10 分	15 分
B	乗継料金	150 円	170 円	190 円
C	直行バス運行間隔	15 分	30 分	45 分
D	乗継バス運行間隔	5 分	10 分	15 分

図-2 の矢線図に示したように多数ある。しかし、これらの要因のすべてが等しく乗継システムの選択に関与しているわけではない。そこで図-4 に示した実験計画モデルの概念図に従って、入力条件の仮説検定を行うことにした。入力条件として取り上げた要因は、交通企業管理者が操作し得る料金や運行間隔等の交通サービス要因のほか、調査対象地域、交通目的とした。

表-2 は本研究で採択した要因と水準を示したものである。すなわち本研究においては、交通機関の選択行動を表-2 に掲げた要因によって説明できると仮定しており、その仮定の妥当性を分散分析法によって検証しようとするものである。表-2 に示した要因をすべての水準について組み合わせると 486 通り (2×3×3×3×3×3) となり、調査に要する時間や費用は多大なものとなる。そこで本研究においては  $L_{18}(2 \times 3^7)$  直交表を用いて調査回数節約を図った。表-3 は  $L_{18}$  直交表に各因子を割付けた結果を示したものである。アンケート文は No. 1 から No. 18 までの 18 種類が作成され、170~180 人からなる 18 の標本集団にこのアンケート文を配布することにし

た。図-6 は No. 1 のアンケート文を示したものであり、交通目的が通勤通学、地域が白石 (地下鉄乗車時間 12 分)、乗継バス乗車時間 5 分、乗継料金が 150 円、直行バス運行間隔が 5 分、乗継バス運行間隔が 5 分となっている。なお、交通目的と調査対象地域の 2 因子はブロック因子とよばれ、アンケート票の配布を指示する因子となっている。18 種類のアンケート票は調査地域ごと、交通目的ごとにできるだけ均等に、しかもランダムに配布した。

d) 分散分析

調査対象世帯は白石、新琴似、もみじ台地域をそれぞれ 36 ブロックに分割し、さらに 1 ブロックから 15 世帯をランダムに抽出することによって決定した。アンケート票は直交割付表に従って通勤通学者用と在宅者用に大別され、調査員が各世帯を訪問してアンケート票の配布回収を行った。実査は昭和 55 年 7 月に行われ、1 地域 540 世帯、3 地域合計で 1620 世帯へ調査票を配布し、1544 世帯から回答を得ることができた (回収率

IV 夏季の通勤・通学時において、おのおの交通機関の乗車時間、運行間隔、料金が次のように変化した場合、あなたは何を利用しますか。問 1, 問 2 について利用してよいと思う交通機関の番号を 1 つご記入下さい。

- 問 1 自宅から都心部へ向かうときの交通機関 ( ) 番
- 問 2 都心部から自宅へ帰るときの交通機関 ( ) 番

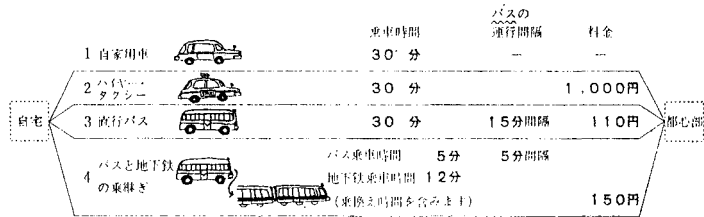


図-6 No. 1 アンケート文例

表-3  $L_{18}(2 \times 3^7)$  直交表への割付結果

要因	M (交通目的)	R (地域)	A (乗継バス乗車時間)	B (乗継料金)	e	C (直行バス運行間隔)	D (乗継バス運行間隔)	e
列番	1	2	3	4	5	6	7	8
No.	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1 (通勤・通学)	1 (白石)	1 (5 分)	1 (150 円)	1	1 (15 分)	1 (5 分)	1
2	1 ( " )	1 ( " )	2 (10 分)	2 (170 円)	2	2 (30 分)	2 (10 分)	2
3	1 ( " )	1 ( " )	3 (15 分)	3 (190 円)	3	3 (45 分)	3 (15 分)	3
4	1 ( " )	2 (新琴似)	1 (5 分)	1 (150 円)	2	2 (30 分)	3 (15 分)	3
5	1 ( " )	2 ( " )	2 (10 分)	2 (170 円)	3	3 (45 分)	1 (5 分)	1
6	1 ( " )	2 ( " )	3 (15 分)	3 (190 円)	1	1 (15 分)	2 (10 分)	2
7	1 ( " )	3 (もみじ台)	1 (5 分)	2 (170 円)	1	3 (45 分)	2 (10 分)	3
8	1 ( " )	3 ( " )	2 (10 分)	3 (190 円)	2	1 (15 分)	3 (15 分)	1
9	1 ( " )	3 ( " )	3 (15 分)	1 (150 円)	3	2 (30 分)	1 (5 分)	2
10	2 (買物・通院)	1 (白石)	1 (5 分)	3 (190 円)	3	2 (30 分)	2 (10 分)	1
11	2 ( " )	1 ( " )	2 (10 分)	1 (150 円)	1	3 (45 分)	3 (15 分)	2
12	2 ( " )	1 ( " )	3 (15 分)	2 (170 円)	2	1 (15 分)	1 (5 分)	3
13	2 ( " )	2 (新琴似)	1 (5 分)	2 (170 円)	3	1 (15 分)	3 (15 分)	2
14	2 ( " )	2 ( " )	2 (10 分)	3 (190 円)	1	2 (30 分)	1 (5 分)	3
15	2 ( " )	2 ( " )	3 (15 分)	1 (150 円)	2	3 (45 分)	2 (10 分)	1
16	2 ( " )	3 (もみじ台)	1 (5 分)	3 (190 円)	2	3 (45 分)	1 (5 分)	2
17	2 ( " )	3 ( " )	2 (10 分)	1 (150 円)	3	1 (15 分)	2 (10 分)	3
18	2 ( " )	3 ( " )	3 (15 分)	2 (170 円)	1	2 (30 分)	3 (15 分)	1

95.3%，1票種当たり平均回収数 170 票）。

表一4 は上記の調査結果をもとに作成した分散分析表である。この分散分析表から乗継システムの選択に影響を与える要因の重要度を知ることができる。一般の分散分析では F-分布決定を行って要因効果を判定する。しかし実験計画法では F-分布検定より寄与率の大きさに注目する。実験計画法における寄与率は式 (1) のように定義された指標である。

$$\rho_A = \frac{A \text{ 因子の純変動}}{\text{全変動}} = \frac{S_A - \phi_A \cdot V_e}{S_T} \dots\dots (1)$$

- ここで、 $\rho_A$  : A 因子の寄与率
- $S_A$  : A 因子の変動
- $\phi_A$  : A 因子の自由度
- $V_e$  : 誤差の分散
- $S_T$  : 全変動

式 (1) で定義した寄与率は誤差変動の影響を各自由度に等しく分配し、各因子の変動が全変動に対してどれだけの割合を占めているかを示している<sup>2)</sup>。

実験計画法で用いる誤差の寄与率は統計学的に次のような意味を有している。いま、寄与率  $\rho_i$  を式 (2) のように定義する。

$$\rho_i = \frac{S_i - \phi_i \cdot V_e}{S_T} \dots\dots\dots (2)$$

ただし、 $S_T = S_A + S_B + \dots + S_G + S_e$

- $S_A \dots S_G$  : 要因 A  $\dots$  G の偏差平方和
- $S_e$  : 誤差の偏差平方和
- $V_e$  : 誤差の分散

$\phi_i = \phi_A, \dots, \phi_G, \phi_e$  : 要因 A  $\dots$  G および誤差の自由度

ここで、要因 A から要因 G までの寄与率の和を求める

$$\sum_{i=A}^G \rho_i = \sum_{i=A}^G \frac{S_i - \phi_i V_e}{S_T} = \frac{1}{S_T} \left\{ \sum_{i=A}^G S_i - V_e \sum_{i=A}^G \phi_i \right\} \dots\dots\dots (3)$$

ここで、 $S_T = \sum_{i=A}^G S_i + S_e$  の関係を用いると、

$$\begin{aligned} &= \frac{1}{S_T} \left\{ (S_T - S_e) - \frac{S_e}{\phi_e} \sum_{i=A}^G \phi_i \right\} \\ &= \frac{1}{S_T} \left\{ S_T - S_e \left( 1 + \frac{\sum_{i=A}^G \phi_i}{\phi_e} \right) \right\} \end{aligned}$$

表一4 分散分析表 (I)

要因番号	要因の説明	偏差平方和	自由度	分散	$F_0$	プーリング	$F_0'$	寄与率 (%)
M	交通目的	31.52	1	31.52	1.41			
R	地域	2755.34	2	1377.67	61.72**		67.13	85.3
A	乗継バス乗車時間	32.31	2	16.16	0.72			
B	乗継料金	35.32	2	17.66	0.79			
C	直行バス運行間隔	37.33	2	18.67	0.84	$S_E = 225.76$		
D	乗継バス	71.11	2	35.56	1.59	$\phi_E = 11$	1.73	0.9
M×R	MとRの交互作用	130.93	2	65.47	2.93	$V_E = 20.52$	3.19	2.8
e	誤差	89.28	4	22.32	—			11.0
計	総変動	3183.15	17					100.0

\*\* 1% 有意

また、 $\phi_T = \sum_{i=A}^G \phi_i + \phi_e$  と置くと、

$$\begin{aligned} &= \frac{1}{S_T} \left\{ S_T - S_e \left( 1 + \frac{\phi_T - \phi_e}{\phi_e} \right) \right\} \\ &= \frac{1}{S_T} \left( S_T - S_e \frac{\phi_T}{\phi_e} \right) \\ &= 1 - \frac{S_e / \phi_e}{S_T / \phi_T} = 1 - \frac{V_e}{V_T} \dots\dots\dots (4) \end{aligned}$$

となる。

誤差の寄与率  $\rho_e$  は全変動に対する誤差変動の比と定義できるので、式 (4) は次のようになる。

$$\rho_e = \frac{V_e}{V_T} = 1 - \sum_{i=A}^G \rho_i \dots\dots\dots (5)$$

寄与率は本質的には相関係数の2乗と同じものである。しかし相関係数は2変数が線形関係の場合にしか役に立たないのに対して、寄与率はその関係がどんな場合にも使えることに特徴がある。

さて、表一4 の分散分析表を調べると誤差の寄与率が 11% であり、取り上げた要因によって 89% の変動が説明されていることがわかった。誤差変動は取り上げなかった要因や交互作用、回答誤差の変動によって構成されており、誤差の寄与率をみるかぎり満足すべき調査データが得られている。ところが要因別の寄与率を調べると「地域」の寄与率が 85.3% にも達している。

乗継システムの選択率が居住する地域によって異なることは十分想定していた。しかしその寄与率が 85% 以上となると、計画情報としての価値は半減する。特に交通企業管理者の立場からすると地域要因の操作は困難なので表一4 の結果は何ら具体的な方策を含まない調査結果となる。この原因はひとえに要因設定のまずさにあり、計画者が地域住民の意識構造を仮定できなかったことを分散分析表は指摘している。このような場合にはどのような善後策を講じたらよいのであろうか。対策は一つしかない。それは要因の設定をやり直し、再調査することである。

(3) 住民意識の再調査と交通機関選択モデルの構築

a) 要因の抽出および分散分析

乗継システムの選択率が調査地域によって大幅に変化することがわかったので、再調査においては地域ごとに完結した意識調査を行うことにした。すなわち、表一2 に示した要因と水準のうち、「地域」を除いた要因を  $L_{18}$  直交表に割付け、再び同一世帯に調査票を配布した。

実査日は昭和 55 年 9 月とし、3 地域とも 95% をこす回収率を得ることができた。なお、以後の分析は

事後調査を実施した「もみじ台地域」に焦点を合わせて記述する。

表-5 はもみじ台地域における乗継システムの選択率を示したものであり、表-6 はこの選択率を用いて作成した分散分析表である。なお、表-6 に示した各要因の水準は表-4 の水準と同一である。表-6 によると誤差の寄与率が第1回目の調査に比べて大きくなっている。その原因として考えられることは次の2点である。第1点は同一人物に2か月足らずして再度アンケートを依頼したことにより、回答誤差が増加したことである。第2点は地域ごとに完結した要因の割付けを行った結果、54種類(3地域×18種類)もの質問文を作成することになり、1質問文当たりの標本数が1/3に減少したことである。

しかし要因別の寄与率を調べると交通目的、乗継料金、乗継バス乗車時間、乗継バス運行間隔の寄与率が高く、計画情報としての有用性は十分に備えている。それゆえ表-5 のデータを用いて、もみじ台地域における地下鉄乗継システム選択率モデルを構築することにした。

b) 集計ロジットモデルによる乗継システム選択率モデルの構築

交通機関の選択行動を記述するモダリティ選択モデルの研究は、今日の交通計画において最も重要なテーマの一つであり、これまでも数多くのモデルが提案されてきた。これらのモデルは、① 用いるデータが意識データか行動データか、② 集計モデルか非集計モデルか、③ 推定値が必ず [0, 1] 区間に収まるか、等によって分類することができる<sup>9)</sup>。

表-5 質問文ごとの乗継システム選択率

質問文 No.	乗継選択者	標本数	選択率 (%)	質問文 No.	乗継選択者	標本数	選択率 (%)
1	44	65	67.7	10	41	52	78.8
2	46	72	63.9	11	43	55	78.2
3	43	72	59.7	12	44	61	72.1
4	51	75	68.4	13	45	58	77.6
5	48	78	61.5	14	50	70	71.4
6	54	81	66.7	15	43	59	72.9
7	58	78	74.4	16	49	69	71.0
8	47	82	57.3	17	41	71	57.7
9	38	75	50.7	18	45	68	66.2

表-6 分散分析表 (II)

要記号	要因の説明	偏差平方和	自由度	分散	F <sub>0</sub>	プーリング	F <sub>0'</sub>	寄与率 (%)
M	交通目的	317.56	1	317.56	25.69	$\left\{ \begin{array}{l} S_E=127.52 \\ \phi_E=8 \\ V_E=15.94 \end{array} \right.$	19.92**	28.3
A	乗継バス乗車時間	197.75	2	98.88	8.00		6.20*	15.6
B	乗継料金	264.37	2	132.19	10.69		8.29*	21.8
C	直行バス運行間隔	33.75	2	16.88	1.37		1.06	—
D	乗継バス	124.25	2	62.13	5.03		3.90	8.7
M×A	MとAの交互作用	53.38	2	26.69	2.16		—	—
e	誤差	74.14	6	12.36	—	—	25.6	
計	総変動	1065.19	17					100.0

\* 5% 有意 \*\* 1% 有意

本研究においては推定値が必ず [0, 1] 区間に収まり、しかもある程度の説明変数の内挿や外挿が可能で、操作性も優れている集計ロジットモデルを用いて乗継システム選択率モデルを構築することにした。集計ロジットモデルの理論的誘導は他書に譲るとして、その基本式を示すと式(6)のようになる<sup>9),10)</sup>。

$$P = \frac{1}{1 + e^{G(X)}} \dots \dots \dots (6)$$

ただし、 $G(X) = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n$

ここで、 $P$ : 乗継システム選択率 (%)

$G(X)$ : 効用関数

$e$ : 自然対数の底

$X_1, \dots, X_n$ : 説明変数

$\alpha, \beta_1, \dots, \beta_n$ : パラメーター

$G(X)$  の説明変数として、交通目的、乗継料金、乗継バス乗車時間、乗継バス運行間隔、直行バス運行間隔の5要因を採用した。パラメーター  $\alpha, \beta_1, \dots, \beta_n$  は表-5 の選択率を外的基準として、線形回帰法によって推計する。式(7)はその回帰結果を示したものである。

$$G(X) = -3.116 + 0.393 x_1 + 9.60 \times 10^{-3} x_2 + 3.29 \times 10^{-2} x_3 + 2.68 \times 10^{-2} x_4 - 2.15 \times 10^{-3} x_5 \dots \dots \dots (7)$$

ただし、 $x_1$ : 交通目的 (通勤=1, 買物=0)

$x_2$ : 乗継料金 (円)

$x_3$ : 乗継バス乗車時間 (分)

$x_4$ : 乗継バス運行間隔 (分)

$x_5$ : 直行バス運行間隔 (分)

回帰式(7)の相関係数は0.873であり、以後の予測プロセスに十分耐え得るモデルであることが確認された。なお「直行バス運行間隔」は表-6の分散分析表において有意にならなかったが、以下の理由によってそのパラメーター値を推計した。

表-5 に示した選択率は直交割付表に基づいて得られたデータであり、説明変数はそれぞれ直交している。このため共分散行列は存在せず、各パラメーター値は他の変数の有無によって変動することはない。それゆえ表-6の分散分析結果を尊重するとしたならば、式(7)において  $x_5$  部分を削除すればよい。また「直行バス運行間隔」を何らかの計画情報として活用したい場合には式(7)をそのまま活用すればよい。

4. 実験計画モデルの予測性の検証

札幌市の地下鉄東西線延長部は昭和57年3月に営業を開始した。こ

のことに よりもみじ台地域の交通機関選択行動は一変したのである。そこで著者らはその変化をより詳細に分析するため、昭和57年12月に交通実態調査を実施した。調査対象世帯は第1、第2回調査と同一であり、462世帯に配布し、439世帯から回答を得ることができた(回収率95%)。なお、アンケート票は調査対象世帯に居住する18才以上の通勤通学者のみに配布した。

回収された個人票は566サンプルであったが(1世帯当たり1.3サンプル)、第1、第2回調査と同一人と照合できたのは316サンプルであった。それゆえ、以後の分析はこの316サンプルを用いて行うことにする。図-7(a)は地下鉄開通以前の交通機関別選択率であり、(c)は地下鉄開通後の選択率を示したものである。また、(b)は地下鉄開通後の昭和57年12月に調査した「地下鉄開通以前の交通機関別選択率」である。これらの図から次のことがわかった。

① 著者らは地下鉄開通以前に、もみじ台地域の交通機関別選択率を調査している。それにもかかわらず、地下鉄開通後に同様の調査を行ったのは、意識データの信頼性を検証するためにほかならない。図-7(a)、(b)を

みると、その構成比率はよく一致していることがわかる。この結果は意識データの信頼性を裏付けるものであり、被験者は自分の行動をよく記憶している、しかも調査に対しては真面目に回答していることを示している。

② 図-7(c)は地下鉄開通後の交通実態調査から求めた交通機関別選択率である。地下鉄乗継システムの選択率は51.6%となり、地下鉄開通以前に比べるとその選択率は倍増している。実験計画モデルはこのようなドラマティックな変化をはたして正確に予測できるであろうか。地下鉄が新札幌駅まで延長されたことにより、もみじ台地域における交通条件は表-7に示すように変化した。

さて、交通目的を通勤( $x_1=1.0$ )としたとき、式(7)の効用関数  $G(X)$  は、

$$G(X) = -3.116 + 0.393 \times (1) + 9.60 \times 10^{-3} \times (230) + 3.29 \times 10^{-2} \times (10) + 2.68 \times 10^{-2} \times (7) - 2.15 \times 10^{-3} \times (14) = -0.0285$$

となる。それゆえ、乗継システム選択率  $P$  は

$$P = \frac{1}{1 + e^{-0.0285}} = \frac{1}{1.972} = 50.7\% \dots \dots \dots (8)$$

となる。

実験計画モデルを用いて予測した地下鉄乗継システム選択率は50.7%であり、交通実態調査から得られた乗継システムの実績値51.6%とよく一致している。この

表-7 地下鉄開通による交通条件の変化

要因	記号	地下鉄開通前	地下鉄開通後
乗継料金	$x_2$	170円	230円
乗継バス乗車時間	$x_3$	30分	10分
乗継バス運行間隔	$x_4$	10分	7分
直行バス運行間隔	$x_5$	10分	14分

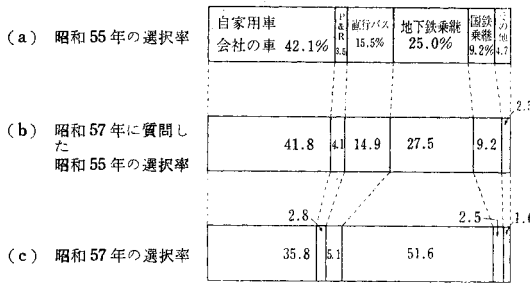


図-7 乗継システム選択率の事前・事後調査結果

表-8 実験計画モデルの構築例と事前・事後分析結果

調査名	目的	推定モデル	事前・事後分析		要因と水準
新千歳空港陸上運輸施設整備事業推進調査	新交通システムの選択率を予測する	直交多項式(重回帰式)	予測値	35.2%	昭和51年12月調査 料 金：900円 乗 車 時 間：40分 待 ち 時 間：30分
			実績値	38.9%	
旭川バス輸送網整備計画調査	新設バス路線の利用客数を予測する	オメガモデル	予測値	403人	交 通 目 的：通勤 バスの運行間隔：3~4回/時 バス停までの徒歩距離： 200, 400, 600m
			実績値	423人	
千歳空港アクセス調査業務	千歳空港におけるアクセス交通機関の分担率を予測する	集計ロジットモデル	予測値	鉄道 41.3% バス 40.6% その他 18.1%	鉄道の乗車時間：40分 鉄道の料金：900円 鉄道の待ち時間：30分 季 節：冬期 方 向：上り 地下鉄との乗継バス：無
			実績値	鉄道 40.3% バス 39.3% その他 20.4%	
都市内公共輸送機関乗継システム策定調査	地下鉄の延長に伴う乗継バスシステムの選択率を予測する	集計ロジットモデル	予測値	50.7%	交 通 目 的：通勤 乗継バス乗車時間：10分 乗 継 料 金：230円 直行バス運行間隔：14分 乗継バス運行間隔：7分
			実績値	51.6%	



結果は意識データを用いて構築した実験計画モデルが、交通機関の選択行動を十分に予測し得ることを示している。

## 5. おわりに

本研究は実験計画モデルの構築プロセスとその特徴を述べ、さらにモデルの予測値が将来の交通行動を十分に説明できることを示したものである。しかし本研究で紹介した事例のみでは、実験計画モデルの普遍性を知ることにはできない。それゆえ、著者らがこれまで構築していた実験計画モデルの適用例を表—8に取りまとめた<sup>11)</sup>。表—8をみて明らかのように、実験計画モデルは種々の交通問題を解決するために構築されており、いずれの予測値も実績値をよく説明していることがわかる。

実験計画法はそもそもフィッシャーが農場実験を合理的に行うために考え出した手法である。そして田口玄一らが工場実験への導入を図り、大いなる成果をあげてきた。著者らはこの実験計画法を社会現象へ、特に交通現象へ導入することを志したものである。実験計画法を交通現象へ適用するにあたっては、農場実験や工場実験の場合とはまた異なる問題が発生する。その第1は説明変数の直交化の問題であり、また回答誤差の処理の問題である。さらに、標本集団の均一性の問題や1質問文当たりの必要サンプル数の問題も存在する。今後はこれらの問題についても研究を進めていく所存である。

本研究は北海道大学工学部交通計画学研究室が永年にわたって研究してきた成果をとりまとめたものである。本研究に用いられているデータの大部分は当研究室の学

生、大学院生らが額に汗し、手を凍らせて得たものである。その苦勞に対して心から謝意を表すものである。特に東京工業大学の田村 亨助手は実験計画モデルの理論的誘導等において多大な尽力をなされた。また、小原恒平氏(運輸省)、八畝 隆氏(運輸省)、下田 靖氏(地域振興公団)、本間伸彦君(北大大学院)にはデータ分析等において多くの助力をいただいた。さらに山形耕一助教授には適切なコメントを賜わった。ここに記して厚くお礼を申しのべる次第である。

## 参考文献

- 1) 交通需要予測ハンドブック, 土木学会編, 技報堂, 1981年10月.
- 2) 田口玄一: 実験計画法(第3版), 丸善, 1976年12月.
- 3) 石川 馨・藤森利美・久米 均: 化学者および化学技術者のための実験計画法, 東京化学同人, 1967年12月.
- 4) 佐藤允一: 問題の構造学, ダイヤモンド社, 1976年10月.
- 5) 佐藤馨一・五十嵐日出夫: 空港アクセス交通における交通機関分担モデルの推定, 土木学会論文報告集, 第274号, 1978年6月.
- 6) 竹内 啓編: 偶然の科学, 東京大学出版会, 1982年7月.
- 7) 都市内公共交通機関乗継システム策定調査報告書: 札幌市企画調整局, 1980年5月.
- 8) 田村 亨・佐藤馨一・五十嵐日出夫: 意識調査データによるモーダルスプリットモデルの構築に関する研究, 地域学研究, 第12巻, 1982年11月.
- 9) 後藤昌司・畠中駿逸・田崎武信: 二値データの解析, 朝倉書店, 1980年10月.
- 10) 竹内 均・藤野和建: 2項分布とポアソン分布, 東京大学出版会, 1981年5月.
- 11) 佐藤馨一・田村 亨・五十嵐日出夫: 実験計画法を用いた交通機関別選択モデルの流れとその適用性に関する研究, 第5回土木計画学研究発表会講演集, 1983年1月.

(1983.6.10・受付)