

空港アクセスにおける交通機関別分担モデルの推定

ESTIMATION OF THE MODAL SPRIT MODEL ON THE AIRPORT ACCESS

佐藤 馨 一*・五十嵐 日出夫**

By Keiichi SATO and Hideo IGARASHI

1. はじめに

わが国における航空輸送の伸びは著しく、国内総輸送人キロにおける航空旅客の占める割合は年々増加しつつある。特に北海道においてはこの傾向が著しく、昭和 50 年度の実績によると、首都圏と札幌圏を移動する総トリップ数のうち、航空機によるものは 85% 近くまでを占めるようになってきたり。北海道の空の玄関口である千歳空港と札幌都心を連絡する交通機関は、現在のところバスが主体となっており、冬期間においてはしばしば連絡バスが飛行機の出発に間に合わないという事態が生じている。

このため新千歳空港が昭和 50 年度から着工されたのを機会に、札幌都心部と空港の連絡手段のあり方が新交通システムの導入をも含めて再検討されつつある。

本研究は、この点をふまえて行ったものであり、札幌都心部と千歳空港間の連絡手段（空港アクセス）の評価を、交通計画学の立場から行ってみたものである。

さて、空港アクセス交通計画を立てようとするとき、一番問題となることは交通機関別分担モデルを決定することである。なぜならば、空港アクセスというトリップは通勤、通学トリップとはちがう非日常的なものであり、しかも特定の交通機関の分担率を問題とすることが多いからである。また、従来の交通機関別分担モデルは、将来における交通システムのサービス水準が現況のサービス水準の範囲から大きく逸脱しないことを前提条件としているので、新交通システムの導入等を評価する場合には、そのまま適用することはできない。それゆえ、本研究においては特別の調査を実施し、その結果を分析することによって新たな交通機関別分担モデルを提案した。本研究で提案した交通機関別分担モデルのもつ

とも大きな特徴は、多変量解析法的なアプローチを採用せず、実験計画法的アプローチを採用したことにある。つまり、多種類のデータを比較的少数の、データ全体の構造をよく反映すると思われる指標にまとめようとするのではなく、あらかじめモデルの構造式を予想しておく、その予想が妥当であるか否かを実測データをもとに明らかにしようとするものである。

このように推定した交通機関別分担モデルは従来のモデルに比べて次のような特徴を有している。

(1) 交通機関の選択行動に関与すると思われる種々の要因の寄与率を知ることができ、しかもこれら要因の組合せ効果も把握できる。

(2) 現象とデータ、データとモデルの誤差をそれぞれ明確に把握することができる。

(3) 将来における交通のサービス水準が現在に比べて大きく変化しても（たとえば、新交通システム等が導入された場合など）、その分担率を推定することができる。

(4) 交通機関別分担モデルの構造式を、それぞれの要因の持つ寄与率をベースにして定めることができる。

2. 空港アクセスにおける交通機関別分担モデルの諸問題

空港アクセス (Airport Access) を狭義に定義すると、周辺地域から空港へ向う人の移動現象となる。

これに対して空港から周辺地域へ向う場合を空港イグレス (Airport Egress) といふことがある。しかしながら、空港イグレスは逆にいうと、目的地である周辺地域へのアクセス交通とみなすことができよう。そこで本研究においては、空港アクセスという用語を広義に解釈して空港と周辺地域間の交通機関を利用した人の移動現象と定義した。

さて、交通機関別分担モデルを空港アクセスの立場か

* 正会員 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

らみると次のような問題点が生じてくる。第一に従来の交通機関別分担モデルは将来における交通システムのサービス水準が、現況のサービス水準の範囲から大きく逸脱しないことを前提条件として作られていることである。それゆえ、将来において新交通システム等の採用を検討する場合には種々の工夫を行わなければならない²⁾。

第二の問題点は意識の数量化に関することである。交通機関別分担モデルは交通機関を利用しようとする人の選択意志をモデル化しようとしたものであり、意識の数量化にあたっての諸問題がそのまま交通機関別分担モデルを推定する過程においても現われてくる。

意識の数量化の過程は非常に複雑で、かつ多岐にわたるものであるが、次に示すような問題点のあることが指摘されている。第一の点は次元の問題である。

多次元評価基準の中の、一つの次元について単独に分析を行ってみても、他の次元とどのように関係しあっているかを明らかにしない限り、一方的な分析を行っているだけのこととなる。空港のアクセスを例に考えてみると、料金のみ、所要時間のみでの評価では不十分であり、早く到着するためにどれだけ料金を負担しようとしているか (willingness to pay) が問題となる。

意識の数量化における第二の問題点は要因(説明変数)の独立性に関することである。重回帰分析や数量化理論等においては、それぞれの説明変数や要因は互いに独立であるという仮定を用いて分析を行っている。しかし、実際のデータにおいては変数と変数との間に強い相関性が存在したり、また、要因間に組み合わせ効果が存在したりするため種々の問題を引き起こしている(たとえば、多重共線性の問題)。第三に誤差に関しての問題点がある。

交通機関別分担モデルのみならず、意識の数量化にあたっては多くの誤差が生じるが、誤差そのものについての吟味は十分なされていないとはいいたい。特に、データが実際の現象をどれだけ把握しているかについてはあまり言及されてなく、モデルとデータの整合性のみを問題とする場合が多い。以上の諸問題に対処するために、本研究においては実験計画法を用いた意識調査を行い、直交多項式によって交通機関別分担モデルを推定することにした。

3. 実験計画法による意識調査

(1) 要因・水準の設定と直交表の採用

広義の実験計画法とは解決しようとする問題に対してどの方法を適用するのが最適か、また、どのような条件で行うべきかを定めることである。これに対して狭義の実

験計画法とは、実験の目的をはっきりさせ、実験の性質—統計的構造模型—を明らかにし、データに影響を与えらると思われる要因のうちどの要因が特に重要であるか、実験をどのように層別するか、どのくらいの誤差で推定したいか、どのような順序で何回くらい実験すればよいか、ということを決めることである。本研究における実験計画法は狭義の意味で用いており、そのうえ実験を調査と読みかえてアプローチしようとするものである。

実験計画法による意識調査は従来意識調査法に比べて次のような利点を有している。

- i) 調査順序をランダム化することにより、調査誤差をよりはっきりさせることができる。
- ii) 要因の効果を逐次的に検討することなく、他の要因の条件が変わっても目的とする要因効果に変化せず、多因子の効果を同時に検定、推定できる。これによって普遍性のある結論を得ることができる。
- iii) 交互作用の効果が検出できる。
- iv) 同じ調査回数で多くの要因に対する効果を精度よく検出したり、推定することができる。
- v) 計数値など計量値以外のあらゆる種類のデータについても、計量値と同様なデータ解析が可能である^{3)~8)}。

さて、千歳空港と札幌都心間を連絡する現在の主要アクセス交通機関はバスであり、このほかに自家用車やタクシー等も多少利用されている。本研究の目的はこのようなアクセス交通体系の中に、国鉄や新交通システム等(本研究では、これらを新交通機関と総称する)を導入したとき、交通機関別分担率はどのようになるかを実験計画法的手法を用いて推定することにある。このためにはまず、分担率に影響を与えらると思われる要因と水準を決定する必要がある。要因としてまず最初に取り上げなければならないものは料金であり、次に所要時間、待ち時間、方向、週日変化等についても考慮しなければならない。このほかに、空港アクセス交通という特殊性から、定時性、荷物の有無、着席の可能性、冷暖房の有無といった要因が浮び上がり、さらに北海道という地理的特殊性から季節変動の要因も無視することはできない。しかしながら、これらの要因をすべて取り上げて調査することは時間的にも費用的にも無理であり、主要と思われる要因をいくつか選別しなければならない。実験計画法による調査においてもっとも苦心するのはこの部分であり、要因選定の妥当性は以後の作業能率に、調査精度に決定的に関係してくる。それゆえ、最終的な要因を決定する前に小規模な予備調査を実施し、それぞれの要因の有意性を検定しておくことが望ましい。本研究においては、二度ほどの予備調査を行い、表-1に示す要因を採択した。また、各因子の水準は以下のような考え方で決

表-1 要因およびその水準

要因	水準 1	水準 2	水準 3	水準 4
A: 料金	1 千円	2 千円	3千円	4千円
B: 所要時間	10 分	30 分		
C: 待ち時間	5 分	20 分		
D: 調査日	日曜日	平日		
F: 方向	上り	下り		

定したものである。

i) A因子(料金): (1 000 円, 2 000 円, 3 000 円, 4 000 円)

料金は交通機関別分担率にもっとも大きな影響を与えると思われたので、4 水準とした。最低料金を 1 000 円としたのは、国鉄の普通急行を利用して札幌から千歳駅まで行き、千歳駅から空港までをバスで行くとしたときの費用が約 900 円かかることを考慮している。

また、最高料金を 4 000 円としたのは、千歳空港から札幌都心までのタクシー料金が 5 500~6 000 円になることを考慮して定めた(昭和 51 年における実績)。

ii) B因子(所要時間): (10 分, 30 分)

10 分という所要時間は、日本航空で開発している H. S.S.T. (High Speed Surface Transport) が導入された場合を想定したものである。また、30 分という所要時間は、国鉄千歳線が電化され、しかも空港ターミナル内まで引込線が建設された場合や、モノレールが千歳空港~札幌都心間に建設された場合を想定したものである。

iii) C因子(待ち時間): (5 分, 20 分)

待ち時間の水準は、交通サービスの供給者側からみると、運行頻度の水準を意味するものとなる。つまり、5 分という待ち時間は frequency service が行われていることを想定したものであり、20 分という待ち時間は 1 時間に 2~3 本程度しか運行していない場合を想定したものである。

iv) D因子(調査日): (日曜日, 平日)

休日と平日によって、空港アクセス交通機関を利用する人々の意識に差があるか否かを検定するために、このような水準を設けた。

v) F因子(方向): (上り, 下り)

アクセス交通機関に対する意識が、すでにそれを利用したか、またはこれから利用する予定であるかによって差が生じるであろうことは十分考えられることである。そこで、上り(千歳から羽田: 利用済)と、下り(羽田から千歳: 利用前)の水準を設けた。

さて、これらの要因をすべての水準について組合わせると、

$$4 \times 2 \times 2 \times 2 \times 2 = 64 \text{ 通り}$$

となり、この組合せ全部について調査することは非常に

表-2 直交割付表

要因 列番 票種	A A A			A A A B × B × B			C D F e			B × e e e C			摘要			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		13	14	15
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	A: 料金 B: 所要時間 C: 待ち時間 D: 調査日 F: 方向 e: 誤差
2	1	1	1	=1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	
3	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	2	2	2	2	2	
4	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	
5	1	2	2	=2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	
6	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	2	1	
7	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1	
8	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2	
9	2	1	2	=3	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	
10	2	1	2	1	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	2	
11	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	
12	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	1	2	1	2	
13	2	2	1	=4	1	2	2	1	2	2	1	1	2	2	1	
14	2	2	1	1	1	2	2	1	2	1	2	2	1	1	2	
15	2	2	1	2	2	1	1	2	2	1	2	1	1	2	2	
16	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2	2	1	

多くの労力を必要とする。それゆえ、直交表を利用することにした。直交表は、多次元空間において直交の特性を有している表であり、この表を用いると技術的に明らかに存在しないと思われる 2 因子の交互作用や、3 次や 4 次等の高次の交互作用に関する情報を犠牲にして、実験回数を減らすことが可能となる^{3)~6)}。

本研究においては、新交通機関の分担率構造模型を式(1)のように仮定し、 L_{16} 直交表にこれを割付けた(表-2)。

$$x_{ijklm} = \mu + a_i + b_j + c_k + d_l + f_m + a_i b_j + b_j c_k + \epsilon_{ijklm} \dots \dots \dots (1)$$

(i=1, 4, j=1, 2, k=1, 2, l=1, 2, m=1, 2)

ただし、

x_{ijklm} : 新交通機関の分担率

μ : 母平均

a_i : A 因子の主効果

b_j : B 因子の主効果

c_k : C 因子の主効果

d_l : D 因子の主効果

f_m : F 因子の主効果

$a_i b_j$: A 因子と B 因子の交互作用による効果

$b_j c_k$: B 因子と C 因子の交互作用による効果

ϵ_{ijklm} : 誤差

なお、式(1)は新交通機関の分担率についてのみ記述したものであり、他の交通機関の分担率を問題とする場合には、別の構造模型式を必要とすることに注意しなければならない。

(2) 航空旅客に対する意識調査とその結果

空港アクセスに関する従来の研究では、空港来港者すべてを対象として交通機関別分担モデルを推定していた⁹⁾。しかしながら、空港来港者をその目的別に分類し

問10 札幌の都心部と千歳空港との間に、下の4通りの交通機関がある場合、あなたはどの交通機関をお選びになりますか。ただし、旅行等の条件は、今日のあなたと同じ状態であるとして、あてはまるものに1つ○印をつけて下さい。

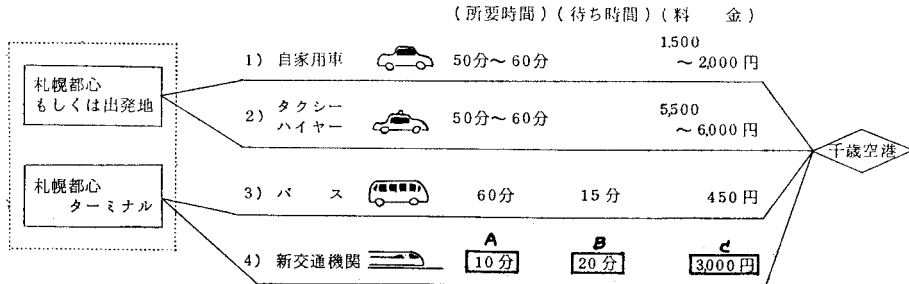


図-1 アンケート文例

てみると、航空旅客、送迎客、見学者、従業者等に分けることができる。来港目的が異なると、空港アクセスに対する意識に差が生じることは十分考えられることであり、本研究においては航空旅客と、送迎者（見学者を含む）を対象として意識調査を行うことにした。

さて、従来の交通機関別分担モデルは、被験者が現在のどの交通機関を利用しているかを調査したうえで、その選択要因が何であるか、また、その説明力ほどのくらいあるのかを多変量解析法を用いて明らかにしようとする場合が多かった。このことは、被験者の意識構造を現在の選択行動を分析することによって推し量ろうとすることにほかならない。これに対して、実験計画法による交通機関別分担モデルの推定法は、被験者の意識そのものを多くの要因の組合せのもとで直接問いただそうとするものである。

アンケート票は表-2の直交割付表に従って16種類作成した。それぞれのアンケート票が各要因をどのように組合せているかを表-3に示す。表-3の組合せに

表-3 アンケートにおける因子の組合せ

アンケート票種	料 金	所要時間	待ち時間	調査日	方 向
1	1千円	10分	5分	日	上
2	1 "	10 "	20 "	平	下
3	1 "	30 "	5 "	日	上
4	1 "	30 "	20 "	平	下
5	2 "	10 "	5 "	日	下
6	2 "	10 "	20 "	平	上
7	2 "	30 "	5 "	日	下
8	2 "	30 "	20 "	平	上
9	3 "	10 "	5 "	平	上
10	3 "	10 "	20 "	日	下
11	3 "	30 "	5 "	平	上
12	3 "	30 "	20 "	日	下
13	4 "	10 "	5 "	平	下
14	4 "	10 "	20 "	日	上
15	4 "	30 "	5 "	平	下
16	4 "	30 "	20 "	日	上

従って図-1のようなアンケート文を作成し、被験者がどの交通機関を選択するかを調査した。

航空旅客に対する意識調査は日本航空の協力を得て昭和51年12月5日(日曜日)、12月6日(月曜日)の2日にわたり、上、下方向それぞれ3便(計12便)を対象に実施した。調査日を12月上旬としたのは、年末年始の繁忙期を避けたためである。調査日と方向とが一致するアンケート票は4種類あるので(たとえば、日曜日で上り方向のアンケート票としては、No. 1, No. 3, No. 14, No. 16がある)これらを該当する便の乗客にランダムに配布した(表-4参照)。なお、航空旅客に対する意識調査を行ったアンケート用紙には図-1の設問のほかに、旅客の個人属性や、今回どのようなアクセス交通機関を利用したか、また、そのときに運賃、所

表-4 アンケート回収結果表

方 向	上り(千歳→羽田)					
	日曜日(51.12.5)			平日(51.12.6)		
調 査 日	日曜日(51.12.5)			平日(51.12.6)		
便 名	504	514	524	504	514	524
乗 客 数	61	134	131	157	132	58
配 布 数	60	126	130	148	114	55
有効回収数	60	114	117	137	109	54
回 収 率	100.0%	90.5%	90.0%	92.6%	95.6%	98.2%

方 向	下り(羽田→千歳)					
	日曜日(51.12.5)			平日(51.12.6)		
調 査 日	日曜日(51.12.5)			平日(51.12.6)		
便 名	505	515	525	505	515	525
乗 客 数	69	157	164	230	138	119
配 布 数	67	146	161	211	131	110
有効回収数	63	137	153	201	46	109
回 収 率	94.0%	93.8%	95.0%	95.3%	35.1%	99.0%

全体の回収率=1300/1459=89.1%

注1) アンケート票は外国人、小学生以下、睡眠中の人には配布しなかった

注2) 配布したアンケート票はすべて回収した

注3) 昭和51年12月6日の便の回収率が極端に低いのはアンケート票回収後に一部紛失したためである

要時間、待ち時間、荷物、乗換え回数等をどのくらい考慮したかについても質問している。これらの詳しい結果については機会を改めて発表する予定である。アンケート票の回収結果は表-4に掲げた。この表からも明らかのように、今回の調査は通常のアンケート調査に比べて、非常に回収率が高くなっている。この高い回収率は調査が航空機内で実施されたことによると思われ、旅客はかなりくつろいだ気分でアンケート票に回答していたことが報告されている。なお、12月6日の515便の回収率は極端に低いが、これは機内で回収したアンケート票が途中で紛失してしまうというアクシデントが発生したためである。しかし、この日の3便はすべて同票種を用いていたので、この回収ミスによって調査全体が失敗するという最悪の事態には至らなかった。実験計画法による意識調査の一つの利点がここにおいて明らかになった次第である。

それぞれのアンケート票において、航空旅客が空港アクセス手段として何を選んだかは表-5にまとめた。

表-5 の新交通機関を選択した割合を従属変数として

アンケート票種	自家用車		タクシー		バス		新交通機関		計	
	人	%	人	%	人	%	人	%	人	%
1	6	7.6	4	5.1	6	7.6	63	79.7	79	100.0
2	5	5.4	3	3.3	18	19.6	66	71.7	92	100.0
3	10	13.7	3	4.1	24	32.9	36	49.3	73	100.0
4	8	9.0	5	5.6	36	40.4	40	45.0	89	100.0
5	7	7.5	3	3.2	34	36.6	49	52.7	93	100.0
6	3	3.8	1	1.3	35	44.9	39	50.0	78	100.0
7	10	11.1	1	1.1	42	46.7	37	41.1	90	100.0
8	7	9.6	1	1.4	41	56.2	24	32.8	73	100.0
9	12	16.2	3	4.1	26	35.1	33	44.6	74	100.0
10	11	12.6	5	5.7	34	39.1	37	42.6	87	100.0
11	9	12.0	2	2.7	40	53.3	24	32.0	75	100.0
12	13	15.7	4	4.8	43	51.8	23	27.7	83	100.0
13	13	14.6	2	2.2	40	44.9	34	38.3	89	100.0
14	10	14.9	3	4.5	36	53.7	18	26.9	67	100.0
15	12	14.0	4	4.7	58	67.4	12	13.9	86	100.0
16	13	18.1	3	4.2	49	68.1	7	9.6	72	100.0

分散分析を行った結果、表-6に示す分散分析表(I)が得られた。表-6の分散分析表(I)において、D因子(調査日)、F因子(方向)およびA×B(料金と所要時間の交互作用)、B×C(所要時間と待ち時間の交互作用)のF₀値は基準F値より小さくなっている。そこで、これらの変動を誤差変動にプールして新たにF₀'値を計算することにしたが、その際A×Bの交互作用の変動はプーリングから除外した。というのは、A×Bの変動と基準F値に達しない他の要因の変動とを比べると、A×Bの変動の方が圧倒的に大きく、プーリングして新たに求められた誤差分散を用いると、A×Bの変動が有意となる場合もありうるからである。プーリング後の誤差分散V_e'を用いてF₀'値を計算してみると、A因子(料金)、B因子(所要時間)、C因子(待ち時間)の主効果が有意水準1%で有意となり、A×Bの交互作用が有意水準5%で有意となった。そこで、これらの要因が総変動に対して、どの程度の割合を示しているかを知るために式(2)で定義する寄与率を求めた。

$$\rho_A = \frac{A \text{ 因子純効果}}{\text{全変動}} = \frac{S_A - \phi_A \cdot V_e}{S} \dots\dots\dots(2)$$

ここで、

- ρ_A : A因子の寄与率
- S_A : A因子の変動
- φ_A : A因子の自由度
- S : 全変動
- V_e : 誤差の分散

寄与率の計算の結果、料金の影響がもっとも大きく、ついで所要時間、料金と所要時間の交互作用、待ち時間の順となることがわかった。また、新交通機関選択率の変動の90%以上は料金と所要時間で説明されることも明らかになった。さらに、寄与率は小さいながらも料金と所要時間の交互作用が有意となったことは注目に値する。

表-6 分散分析表(I)

要因号	要因の説明	偏差平方和 S	自由度 φ	分散 V	F ₀	プーリング	F ₀ '	寄与率 ρ %
A	料金	3198.82	3	1066.27	133.95**		204.27**	63.5
B	所要時間	1503.50	1	1503.50	188.88**		288.03**	29.9
C	待ち時間	128.26	1	128.26	16.11**		24.57**	2.5
D	調査日	0.11	1	0.11	0.01		—	—
F	方向	4.10	1	4.10	0.52	S _e '=36.55 φ _e '=7 V _e '=5.22	—	—
A×B	AとBの交互作用	142.75	3	47.58	5.98		9.11*	2.7
B×C	BとCの交互作用	0.52	1	0.52	0.07		—	—
e	誤差項	31.82	4	7.96	—		—	1.4
計		5009.88	15					100.0

注1) F(3, 4; 0.05)=6.59, F(1, 4; 0.05)=7.71
 F(3, 4; 0.01)=16.69, F(1, 4; 0.01)=21.20
 注2) F(3, 7; 0.05)=4.35, F(1, 7; 0.05)=5.59
 F(3, 7; 0.01)=8.45, F(1, 7; 0.01)=12.25

それぞれ計算された寄与率のなかで、誤差の寄与率が非常に重要な意味をもっている。なぜならば、誤差変動の中には繰り返しの誤差や、錯誤、さらには無視された要因の変動等が含まれており、その寄与率は現象からデータを得る際に生じる誤差の大きさを示すからである。

航空旅客に対する意識調査

では、表-6 からも明らかのように、誤差の寄与率は1.4%と小さく本研究で取り上げた要因の妥当性が裏づけられた。つまり、誤差の寄与率が小さいことから、調査日や方向の要因は当然として、たとえ性、年齢、トリップ目的等を要因に採用したとしても、新交通機関の分担率にはほとんど影響を与えることはないものと想定された。

(3) 送迎者に対する意識調査とその結果

千歳空港における送迎者の調査は、航空旅客に対する調査日とは別個の日に（昭和51年12月15日、16日）、面接調査方法を用いて実施した。航空旅客における調査結果によると、調査日と方向に関する要因は有意とならなかったため、送迎者に対する意識調査においてはこれらの要因を最初から取り除いた。このことは送迎者における新交通機関選択意識の構造模型を式(3)のように仮定したことを意味する。

$$y_{ijk} = \mu + a_i + b_j + c_k + a_i b_j + b_j c_k + \epsilon_{ijk}$$

$$(i=1 \dots 4, j=1, 2, k=1, 2) \dots \dots (3)$$

ただし、

y_{ijk} : 送迎者における新交通機関の分担率

直交割付表は表-2の割付表において、D 因子（調査日）と F 因子（方向）を取り除いたものをそのまま用いた。

有効回収数および、各アンケート票において新交通機関を利用すると答えた割合は表-7に示す。表-7にお

表-7 送迎客による新交通機関選択率

アンケート票種	新交通機関		計	
	人	%	人	%
1	30	63.8	47	100.0
2	29	58.0	50	100.0
3	27	56.3	48	100.0
4	35	63.6	55	100.0
5	20	40.0	50	100.0
6	25	55.6	45	100.0
7	24	46.2	52	100.0
8	19	41.3	46	100.0
9	18	36.0	50	100.0
10	25	43.9	57	100.0
11	16	31.4	51	100.0
12	10	22.7	44	100.0
13	11	25.6	43	100.0
14	12	26.7	45	100.0
15	3	7.1	42	100.0
16	7	15.2	46	100.0

ける新交通機関の選択率を従属変数として、分散分析を行った結果は表-8に掲げる。表-8の分散分析表(II)によると、料金の因子が有意水準1%で、所要時間の因子が5%の有意水準で有意となることが判明した。そこで有意とならなかった要因を誤差変動にプールして、それぞれの要因の寄与率を求めた。計算の結果、料金の寄与率が非常に大きく、しかも誤差の寄与率がそれに

表-8 分散分析表(II)

要因記号	要因の説明	偏差平方和 S	自由度 ϕ	分散 V	F_0	プーリング	F_0'	寄与率 ρ %		
A	料金	3786.25	3	1262.1	31.45**	$S_0' = 428.5$ $\phi_0' = 11$ $V_0' = 39.0$	32.63**	81.5		
B	所要時間	289.00	1	289.0	7.20*				7.41*	5.6
C	待ち時間	30.25	1	30.3	0.75					
A×B	AとBの交互作用	141.50	3	47.2	1.17					
B×C	BとCの交互作用	16.0	1	16.0	0.4					
e	誤差項	240.75	6	40.2	-	12.9				
計		4503.75	15					100.0		

注1) $F(3, 6; 0.05) = 4.76$, $F(1, 6; 0.05) = 5.99$ **; 1% 有意
 $F(3, 6; 0.01) = 9.78$, $F(1, 6; 0.01) = 13.74$ *; 5% 有意
 注2) $F(3, 11; 0.05) = 3.59$, $F(1, 11; 0.05) = 4.84$
 $F(3, 11; 0.01) = 6.22$, $F(1, 11; 0.01) = 9.65$

つぐことが明らかになった。そこで、この誤差が何に起因しているかについて考察してみた。

まず、面接調査であるから、質問の仕方や調査員の違いによって回答が多少違ってくることが考えられた。しかし、質問の仕方はあらかじめ統一してあり、しかも事前に各調査員にこのことを熟知させておいたので、この影響はあまり大きくないと想定された。次に、時間がたつにつれて聞き方がうまくなるとか、質問した時間帯による影響も考えられたが、調査はランダマイズされているのでこのような問題は生じてこない。データ数が航空旅客調査に比べて少ないことは多少問題になったが、それ以上に問題になったことは、送迎という行為のもつ社会的意味あいであった。というのは、面接調査において「札幌から10分で空港に到着する交通機関があるのなら、わざわざ見送りにはこない。60分もかけて空港にきたことに意味があるのだ」という趣旨の回答が結構あったからである。送迎という行為が好意とか親切、はては義務感等によって動機づけられているならば、本研究のように料金、所要時間、待ち時間という要因のみで送迎者の意識構造を説明しようとする自体に問題がある。それゆえ、送迎者に対する意識調査は、あらためて構造模型を仮定したうえでやり直すことが望ましい。しかし、航空旅客と送迎者の意識構造が同じではないということが明らかになったことは一つの成果であった。

4. 直交多項式による交通機関別分担モデルの推定

(1) 直交多項式の基礎概念

航空旅客、送迎者に対して意識調査を行った結果、送迎者に関してはさらに要因を検討する必要が認められたが、航空旅客に関しては本研究において取り上げた要因がほぼ妥当であることが明らかになった。そこで、この章においては、航空旅客に対する意識調査の結果を用いて、新交通機関の分担モデルを直交多項式によって推定

することにした。

さてここで、直交多項式の基礎概念を説明するため、 y と x の関係を式(4)のような線形一般式で表わしてみよう。

$$y = \beta_0 + \beta_1 f_1(x) + \beta_2 f_2(x) + \dots + \beta_p f_p(x) \quad \dots\dots\dots (4)$$

ただし、 $f_1(x)$ は x の一次式、 $f_2(x)$ は二次式、 $f_p(x)$ は x の p 次式とし、それぞれ n 個のデータが得られたとする。

n 組の x_i のデータをもとに、観測方程式を作ると式(5)のようになる。

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & f_1(x_1) & f_2(x_1) & \dots & f_p(x_1) \\ 1 & f_1(x_2) & f_2(x_2) & \dots & f_p(x_2) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ 1 & f_1(x_n) & f_2(x_n) & \dots & f_p(x_n) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \vdots \\ \beta_p \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_1 \\ \vdots \\ e_n \end{bmatrix} \quad \dots\dots\dots (5)$$

式(5)をベクトルを用いて表示すると、

$$y = A\beta + e \quad \dots\dots\dots (6)$$

となる。ただし、 $e_i (i=1, 2, \dots, n)$ は互いに独立で、 $E[e_i] = 0$ 、 $V[e_i] = \sigma^2$ なる関係式が成立する確立変数で、観測誤差を示すものとする。このとき、 $f_j(x_i)$ が式(7)で示す条件を満足しているならば、行列 A の内積は式(8)で示すようになる。

$$\left. \begin{aligned} \sum_i f_j(x_i) &= 0 \\ \sum_i f_j(x_i) f_k(x_i) &= 0 \quad (j \neq k, j, k=1, 2, \dots, p) \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$A^T A = \begin{pmatrix} n & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \sum_i f_1^2(x_i) & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \sum_i f_2^2(x_i) & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & \sum_i f_p^2(x_i) \end{pmatrix} \quad \dots\dots\dots (8)$$

ただし、 A^T は A 行列の転置行列とする。

β の推定値を $\hat{\beta}$ とすると、 $\hat{\beta}$ は式(9)の方程式を解くことによって求めることができる。

$$A^T A \hat{\beta} = A^T y \quad \dots\dots\dots (9)$$

ここで、

$$A^T y = \begin{bmatrix} \sum_i y_i \\ \sum_i f_1(x_i) y_i \\ \vdots \\ \sum_i f_p(x_i) y_i \end{bmatrix}, \quad \hat{\beta} = \begin{bmatrix} \hat{\beta}_0 \\ \hat{\beta}_1 \\ \vdots \\ \hat{\beta}_p \end{bmatrix}$$

式(9)は方程式(4)におけるパラメーター $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_p$ を推定するための正規方程式にはかならない。

式(9)の解は次のようになる。

$$\left. \begin{aligned} \hat{\beta}_0 &= \sum_i y_i / n \\ \hat{\beta}_1 &= \sum_i f_1(x_i) y_i / \sum_i f_1(x_i)^2 \\ \vdots & \\ \hat{\beta}_p &= \sum_i f_p(x_i) y_i / \sum_i f_p(x_i)^2 \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (10)$$

行列 A の各列ベクトルが直交していることにより、

$$A = [a_0, a_1, \dots, a_p]$$

とおくと、分散分析を行うために必要な偏差平方和は $y^T \alpha_j \hat{\beta}_j$ を計算することによって式(11)のようになる²⁾。

$$\left. \begin{aligned} S_0 &= (\sum_i y_i)^2 / n && \text{自由度 } 1 \\ S_1 &= (\sum_i f_1(x_i) y_i)^2 / \sum_i f_1^2(x_i) && \text{自由度 } 1 \\ \vdots & \vdots && \vdots \\ S_p &= (\sum_i f_p(x_i) y_i)^2 / \sum_i f_p^2(x_i) && \text{自由度 } 1 \\ S_e &= y^T y - S_0 - S_1 - \dots - S_p && \text{自由度 } n-p-1 \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (11)$$

(2) 交通機関別分担モデルの推定

航空旅客に対する意識調査の結果、 A 因子(料金)、 B 因子(所要時間)、 C 因子(待ち時間)の主効果と、 $A \times B$ の交互作用の効果が有意になることがわかった。

そこで、新交通機関の分担率 x を、直交多項式を用いて表示すると、式(12)のようになる。

$$\begin{aligned} x_{ijk} &= \hat{\mu} + \hat{\alpha}_1 f_1(A_i) + \hat{\alpha}_2 f_2(A_i) + \hat{\alpha}_3 f_3(A_i) \\ &+ \hat{\beta}_1 g_1(B_j) + \hat{\gamma}_1 h_1(C_k) + \hat{\delta}_{11} f_1(A_i) g_1(B_j) \\ &+ \hat{\delta}_{21} f_2(A_i) g_1(B_j) + \hat{\delta}_{31} f_3(A_i) g_1(B_j) \\ &+ \varepsilon_{ijk} \quad \dots\dots\dots (12) \end{aligned}$$

ただし、

$\hat{\mu}, \hat{\alpha}_1, \hat{\alpha}_2, \dots, \hat{\delta}_{31}$: パラメーター

A_i, B_j, C_k : A 因子, B 因子, C 因子の水準値

f_1, f_2, f_3 : A 因子の1次, 2次, 3次の多項式

g_1 : B 因子の1次の多項式

h_1 : C 因子の1次の多項式

ε_{ijk} : 誤差

ここで、 A, B, C の水準が等間隔で、 f_1, f_2, f_3, g_1, h_1 を式(13)のように定めるならば、各次の多項式は互いに直交する³⁾。

$$\left. \begin{aligned} f_1(A_i) &= A_i - \bar{A} \\ f_2(A_i) &= \{(A_i - \bar{A})^2 - (b^2 - 1)h_A^2/12\} \\ f_3(A_i) &= \{(A_i - \bar{A})^3 - (3b^2 - 7)(A_i - \bar{A})h_A^2/20\} \\ g_1(B_j) &= B_j - \bar{B} \\ h_1(C_k) &= C_k - \bar{C} \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (13)$$

ただし、

$\bar{A}, \bar{B}, \bar{C}$: 各因子の水準の平均値

b : 水準数

h_A : 水準間隔

式(11)における関数 f_1, f_2, \dots, h_1 が直交関数であるならば、各因子の変動やパラメーターの推定値は直交多項式を用いることによって簡単に求めることができる³⁾。たとえば、 A 因子の変動を直交多項式表を用いて分析すると次のようになる。

まず、表-5の調査結果から、各因子のそれぞれの水

表-9 各因子の水準和

	A	B	C
水準1の和	245.7	406.5	351.6
水準2の和	176.6	251.4	306.3
水準3の和	146.9	—	—
水準4の和	88.7	—	—
計	657.9	657.9	657.9

表-10 直交多項式表

水準数	b=4			
	次数	k=1	k=2	k=3
W ₁	-3	1	-1	
W ₂	-1	-1	3	
W ₃	1	-1	-3	
W ₄	3	1	1	
λ ² ·S	20	4	20	
λ·S	10	4	6	
S	5	4	9/5	
λ	2	1	10/3	

準における分担率の和を求める(表-9)。A 因子は4水準なので、表-10 に示す直交多項式

表を用意し、変動 S_{A_k} およびパラメーター α_k の推定値 α_k を式 (12), (13) から計算する。

$$S_{A_k} = \frac{(\sum_i W_i \cdot A_i)^2}{n \cdot b \cdot (\lambda^2 \cdot S)_k} \dots\dots\dots (14)$$

$$\hat{\alpha}_k = \frac{\sum_i W_i \cdot A_i}{n \cdot b \cdot (\lambda \cdot S)_k \cdot h_A^k} \dots\dots\dots (15)$$

ただし、

A_i: A 因子の i 水準における値

n: くり返し回数

b: 水準数

h_A: 水準間隔

k: 次数

W_i, λ, S: 直交多項式表で示される値

表-11 は A 因子の変動 S_A の直交分解と帰帰係数推定の過程をとりまとめたものである。同様にして、因子 B, C, 交互作用 A×B についても変動の直交分解と帰帰係数の推定値を求めることができる。表-12 は各因子の直交分解された変動をもとに、分散分析を行った結果を示すものである。ただし、表中において、A_i とは A 因子の一次変動を示し、A_q, A_c はそれぞれ二次、三次変動を示している。

分散分析の結果、A_i, A_c, B, C, A_q×B の変動が有意水準 1% で有意となり、A_c×B の変動が有意水準 5% で有意となることがわかった。それゆえ、式 (12) の構造式において、有意とならないもの

を取り除くと式 (14) のようになる。ただし、2 次の項が有意であれば、たとえ、1 次の項が有意でなくとも取り上げることにした。

$$\begin{aligned} \hat{x}_{ijk} = & \hat{\mu} + \hat{\alpha}_1 f_1(A_i) + \hat{\alpha}_2 f_2(A_i) \\ & + \hat{\alpha}_3 f_3(A_i) + \hat{\beta}_1 g_1(B_j) + \hat{\gamma}_1 h_1(C_k) \\ & + \hat{\delta}_{11} f_1(A_i) g_1(B_j) + \hat{\delta}_{21} f_2(A_i) g_1(B_j) \\ = & 41.12 - 12.52(A_i - 2.5) \\ & + 0.6813\{(A_i - 2.5)^2 - 1.25\} \\ & - 2.829\{(A_i - 2.5)^3 - 2.05(A_i - 2.5)\} \\ & - 0.9694(B_j - 20) - 0.3775(C_k - 12.5) \\ & + 0.1188(A_i - 2.5)(B_j - 20) \\ & - 0.2656\{(A_i - 2.5)^2 - 1.25\}(B_j - 20) \end{aligned} \dots\dots\dots (16)$$

表-2 の分散分析表から、式 (16) は全変動の 98.4% を説明していることが明らかになった。また、A, B, C の因子の主効果のみを取り上げて構造式を推定した場合

表-11 S_A の直交分解

次数 k	k=1			k=2		k=3		摘 要
	W _i	W _i A _i	W _i ²	W _i A _i ²	W _i ³	W _i A _i ³		
1	245.7	-3	-737.1	1	245.7	-1	-245.7	n: くり返し回数 b: 水準数 h ₂ : 1千円
2	176.6	-1	-176.6	-1	-176.6	3	529.8	
3	146.9	1	146.9	-1	-146.9	-3	-440.7	
4	88.7	3	266.1	1	88.7	1	88.7	
Σ _i W _i A _i		-500.7		10.9		-67.9		
(Σ _i W _i A _i) ²		250700.49		118.81		4610.41		
(λ ² ·S) _k		20		4		20		
n·b·(λ ² ·S) _k		1×4×20=80		1×4×4=16		1×4×20=80		
S _{A_k} = (Σ _i W _i A _i) ² / (n·b·(λ ² ·S) _k)		S _{A1} =3133.76		S _{A2} =7.43		S _{A3} =57.63		
n·b·(λ·S) _k h _A ^k		1×4×10×1=40		1×4×4×1 ² =16		1×4×6×1 ³ =24		
α _k = (Σ _i W _i A _i) / (n·b·(λ·S) _k h _A ^k)		α ₁ = -12.52		α ₂ = 0.6813		α ₃ = -2.829		

注1) S_A = S_{A1} + S_{A2} + S_{A3} = 3133.76 + 7.43 + 57.63 = 3198.82 ←表-6 の S_A と一致する

表-12 分散分析表 (III)

要因記号	要因の説明	偏差平方和 S	自由度 φ	分 散 V	F ₀	プーリング	F _{0'}	寄与率 ρ %
A	料 金	3198.82	3	—	—	—	—	(63.4)
{ A _i A _q A _c	{ 料金の一次効果 料金の二次効果 料金の三次効果	3133.76	1	3133.76	600.34**	S _e ' = 38.2	655.60**	62.4
		7.43	1	7.43	1.42		1.55	0.0
		57.63	1	57.63	11.04*		12.06**	1.0
B	所 要 時 間	1503.50	1	1503.50	288.02**	S _e ' = 8	314.54**	29.9
C	待 ち 時 間	128.26	1	128.26	24.57**		26.83**	2.5
		142.75	3	—	—		—	(2.6)
{ A _i ×B A _q ×B A _c ×B	{ A _i とBの交互作用 A _q とBの交互作用 A _c とBの交互作用	28.2	1	28.2	5.40	S _e ' = 4.78	5.90*	0.5
		112.88	1	112.88	21.63**		23.62**	2.1
		1.65	1	1.65	0.32		—	—
e	誤 差 項	36.55	7	5.22	—	—	—	1.6
		5009.88	15					100.0

注1) F(1, 7; 0.05) = 5.59
F(1, 7; 0.01) = 12.25
注2) F(1, 8; 0.05) = 5.32
F(1, 8; 0.01) = 11.26

** : 1% 有意
* : 5% 有意

には、式 (17) のようになり、全変動に対する説明力は 94.8% となった。

$$\hat{x}_{ijk} = 41.12 - 12.52(A_i - 2.5) - 0.9694(B_j - 20) - 0.3775(C_k - 12.5) \dots\dots\dots (17)$$

直交多項式を用いてモデル作成を行う最大の長所は目的に応じて式 (16) や式 (17) をごく簡単に導き出せることにある。つまり、 k 次多項式において、式を i 次の項で打ち切ったとしても、それがそのまま最小二乗法による i 次の多項式になっていることが理論的に証明されているのである。この裏づけがあってこそ、1 次の項、2 次の項というような分解が成立したのであり、もし、普通の多項式をつかったなら、1 次式をあてはめるか、2 次式をあてはめるかで 1 次の係数が異なってくる。直交多項式にはこのような問題はなく、任意のところで打ち切っても常に最小二乗法の意味で最良の近似多項式になっているのである³⁾。

5. 考 察

(1) 数量化理論および重回帰式による分担モデルの推定

従来の交通機関別分担モデルの研究では多変量解析法を主体としたアプローチが多く、その中でも特に数量化理論や、重回帰式を用いて分担モデルを推定する例が多かった^{10)~12)}。本研究は実験計画法の手法を主体として分担モデルを推定しようとするものであるが、得られたデータを基礎として多変量解析法を適用することも可能である。そこで、直交多項式を用いて分担モデルを推定した意義をより明らかにするため、数量化理論、重回帰式を用いて航空旅客の新交通機関選択率を推定することにした。

さて、実験計画法でいう因子は数量化理論においてはアイテムに相当し、水準はカテゴリーに相当している。

また、新交通機関の選択率は数量で与えられているので、数量化モデル第 I 類を航空旅客に対する意識調査の

表-13 数量化モデル I 類による適用結果

アイテム	i	カテゴリー	係 数	レンジ
料 金	1	1 千円	20.3062	39.25 (0.61)
	2	2 "	3.0313	
	3	3 "	-4.3937	
	4	4 "	-18.9438	
所要時間	1	10 分	9.6937	19.39 (0.30)
	2	30 "	-9.6937	
待ち時間	1	5 分	2.8312	5.66 (0.09)
	2	20 "	-2.8312	
相 関 比 (r^2)			(0.9641)	

結果に適用することができる。適用の結果は表-13 に示した。次に、実験計画法でいう因子を説明変数とみなし、それぞれの水準値を説明変数の実現値とするならば、航空

旅客に対する意識調査の結果に重回帰式を適用することができる。式 (18) はこのようにして得られた重回帰式である。

$$\hat{x}_{ijk} = 96.52 - 12.52 A_i - 0.9694 B_j - 0.3775 C_k \quad (r^2 = 0.9512) \dots\dots\dots (18)$$

以上の計算の結果、次のようなことが明らかになった。

i) 直交多項式、数量化モデル I 類、重回帰式による推定値と実際の測定値との差の平方和、つまり残差平方和を計算してみると、それぞれ 37.83, 179.32, 244.46 となることがわかった。これらの結果から、直交多項式による交通機関別分担モデルの適合度が一番高いことが明らかになった。

ii) 重回帰式による推定式 (18) と主効果のみを取り出した直交多項式 (17) とを比較してみると、完全に一致していることがわかる。理論的に一致することはすでに述べたとおりであるが、これが実証的にも明らかにされた。

iii) 数量変化モデル I 類のレンジの大きさを調べてみると料金、所要時間、待ち時間の順になっていることがわかった。この順序は直交多項式によるものと同じであるが、数量化モデル I 類の場合には交互作用の効果が無視されており、また、誤差の評価も行うことができない。

(2) 直交多項式による交通機関別分担モデルの意義と今後の問題点

実験計画法を用いて意識調査を行い、直交多項式によって交通機関別分担モデルを推定する意義と、今後の問題点を整理すると次のようになる。

i) 実験計画法による意識調査の結果、航空旅客と送迎者とは意識構造に差があることがわかった。特に、送迎者の場合においては本研究で取り上げた要因以外の効果が残されているものと推測された。

ii) 航空旅客における分散分析表 (II) (表-12) によると有意となった要因の寄与率の和は 98.6% と非常に高くなっている。このことは現象からデータを得る際に生じた誤差の寄与率は、1.4% にしすぎないことを意味しており、航空旅客に対する意識調査で取り上げた要因の妥当性を裏づけた。

iii) 表-12 の分散分析表によると、有意となった要因をすべて取り上げて作った分担モデルの誤差の寄与率は 1.6% となり、各因子の主効果のみで推定した分担モデルにおいては (これは重回帰式によるモデルと一致する)、誤差の寄与率が 5.2% になることが判明した。

iv) 表-12 の分散分析表によると、 A 因子の 3 次の項や $A \times B$ の交互作用が 2 次の項まで有意になること

がわかった。それゆえ、もし主効果のみでモデルを推定したならば、正規分布 $N(0, \sigma^2)$ に従うと仮定した式 (6) の誤差 e の中に、有意な因子の効果を含めてしまうことになる。従来の研究では、 e は正規分布 $N(0, \sigma^2)$ に従うと仮定して最小二乗法を用いているが、実際に誤差 e が $N(0, \sigma^2)$ に従っているか否かの検討はなされたことはなかった。

v) 本研究における交通機関別分担モデルは、航空旅客の意識構造から行動モデルを推定しようとしたものであり、意識がそのまま行動につながることはないという批判は残る。しかしながら、交通機関別分担モデルは基本的には意識モデルの性格を有するものであり、しかもある特定の交通機関の選択率を問題とする場合には十分実用性を有するであろう。

vi) 分散分析表によって有意となった要因をすべて用いてモデルを作ることが、交通機関別分担モデルとしてもっともふさわしいモデルであると常々いうことはできない。モデルの使用目的によっては多少精度が落ちても、シンプルなモデルの方が望ましいことも起りうる。しかし、いずれの場合においても直交多項式を用いたモデルなら対応することができる。

vii) 航空旅客に対する意識調査では16種類のアンケート票に対して1300人の旅客から回答を得ることができた。これは、1種類のアンケート票に平均80人の旅客が回答したことになり、調査の標本数としてはほぼ十分なものと考えられる⁹⁾。

6. おわりに

本研究は従来の交通機関別分担モデルが主として多変量解析法を用いて推定しているのに対し、実験計画法的手法を用いて意識調査を行い、直交多項式を用いて交通機関別分担モデルを推定しようとしたものである。考察の対象とした交通が、空港アクセス交通というやや特殊

なものであったが、用いた手法自体は一般的なものであり、今後より多くの場で応用できるものと考えられる。特に、モデル作成にあたって、現象からデータを得る時に生じた誤差と、データからモデルを推定する時に生じた誤差の区別は、今後より重要な研究課題になってこよう。

本研究の成否は、実験計画法的手法を用いて意識調査を行えるか否かにかかっていた。その意味で航空旅客に対する意識調査の便宜を図って下さった日本航空(株)総合開発事務局および乗員各位に深く感謝する。また、送迎者に対する意識調査の便宜を図って下さった北海道開発局開発調整課、空港課、および東京航空局千歳空港事務所の各位に深く感謝する。さらに、終始、ご指導を賜った北海道大学工学部土木工学科 山形耕一助教授に心からのお礼を申し上げる。本研究をまとめるにあたり、小原恒平君(現運輸省)に多くの労をわずらわした。ここに記してあわせて謝意を表する。

参考文献

- 1) 運輸省：運輸白書(昭和39年～51年版)、大蔵省印刷局。
- 2) 杉恵頼寧：交通機関別分担モデルの簡略化、交通工学 No. 3, Vol. 12, 1977。
- 3) 田口玄一：第3版実験計画法、上、下丸善、昭和52年。
- 4) 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、上、下、東京化学同人、昭和50年。
- 5) 奥野忠一・芳賀敏郎：実験計画法、培風館、昭和51年。
- 6) 石井吾郎：実験計画法/配置の理論 培風館、昭和47年。
- 7) 石井吾郎：実験計画法の基礎、サイエンス社、昭和50年。
- 8) 安藤貞一・朝尾 正編：実験計画法演習、日科技連、昭和50年。
- 9) 新千歳空港陸上運輸施設整備事業推進調査報告書、北海道開発局、昭和52年3月。
- 10) 道央都市圏パーソントリップ調査報告書；道央都市圏パーソントリップ調査委員会、昭和49年3月。
- 11) 地方中核都市の交通体系についての研究調査、第II編 交通機関選択要因分析；運輸経済研究センター、昭和48年3月。
- 12) 越 正毅：交通機関選択に対する意志決定、土木計画学講習会テキスト No. 9, 土木学会、昭和51年8月。

(1977.9.9・受付)