

都市間交通における交通機関選択特性に関する研究

北海道大学 正員 ○佐藤 馨一
 〃 学生員 田村 亨
 〃 正員 五十嵐日出夫

1. はじめに

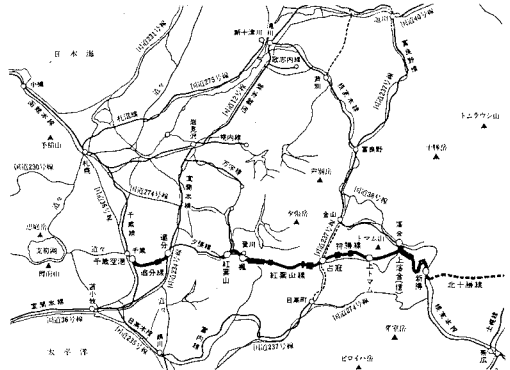
石勝線(石狩・十勝連絡鉄道)は、北海道中央部(札幌、小樽)および道南(函館、室蘭、苫小牧)の各地方と、道東(釧路、帯広)地方とを短絡し、輸送力の増強を図り、地域間の経済、文化の交流に寄与することを目的として建設され、昭和56年10月1日に開業した。その総延長は132 Kmで、追分線(18km)、夕張線(既設25km)、紅葉山線(34km)および狩勝線(55km)とで構成されている。(図・1参照)

本研究は石勝線の開業によって道央と道東の都市間交通の機関別選択がどのように変化するかを検討したものであり、とくに航空機から鉄道への転換交通量の予測を行った。

2. 北海道における空港間交通の現状

北海道の中距離交通における鉄道交通の役割を明らかにするため、北海道を7つの空港圏に分割し、鉄道、航空機、自動車による旅客輸送実績を調べた。表1〜3は昭和52年度における各種交通機関の輸送実績を示したものである。これらの表から次のことが明らかになった。

- (1) 千歳空港圏と釧路空港圏の鉄道客数は約1500人/日であり、また航空旅客数は約1000人/日となっている。鉄道と航空機の比率は3:2であり、札幌市と釧路市との実距離が400 Km程度であることを考えると、航空機の占める割合の低いと注目される。
- (2) 千歳空港圏と帯広空港圏の間では、鉄道の利用者が約2000人/日、航空機の利用者が約240人/日であり、その比率は約8:1となっている。これは札幌市〜帯広市間の実距離が300 Kmに満たないことと、千歳〜帯広空港間の航空輸送力が小さいためと考えられる。
- (3) 乗用車による千歳空港圏〜釧路空港圏間のトリップ数は約700トリップであり、千歳空港圏〜帯広空港圏間では約1300トリップ/日、千歳空港圏〜函館空港圏間では約1200トリップ/日、千歳空港圏〜旭川空港圏間では約1200トリップ/日となっている。ちなみに、千歳〜函館空港圏間の鉄道旅客数は約4000人/日であった。



図・1 石勝線概略図

表1 空港圏間鉄道旅客流動表

(人/日)

	千歳	函館	旭川	帯広	釧路	稚内	女満別
千歳		2078	6808	971	729	323	1075
函館	1957		141	35	39	15	34
旭川	6580	144		241	153	429	754
帯広	982	42	251		417	6	129
釧路	815	47	163	423		7	233
稚内	310	16	433	5	9		15
女満別	990	32	671	166	215	14	

表2 空港圏間航空旅客流動表

(人/日)

	千歳	函館	旭川	帯広	釧路	稚内	女満別
千歳		329	0	129	486	42	194
函館	329						
旭川	0						
帯広	129						
釧路	486						
稚内	42						
女満別	194						

表3 空港圏間乗用車流動表

(トリップ/日)

	千歳	函館	旭川	帯広	釧路	稚内	女満別
千歳		1713	4016	742	418	166	416
函館	1573		48	17	18	3	16
旭川	3714	65		286	220	827	845
帯広	545	11	301		1821	5	175
釧路	307	20	185	1653		17	1043
稚内	155	6	852	3	6		206
女満別	291	10	818	202	1306	171	

2. 鉄道旅客および航空旅客動態調査

鉄道および航空機の利用者がとこへ、どのような目的で旅行しているか、また、交通機関の選択に際していかなる要因を考慮しているかを知るために旅客動態調査を実施した。調査票は鉄道旅客用と航空旅客用との二種類があり、それぞれ次のような質問項目が設けられている。

Part I：個人属性：①年齢、②性別、③職業、④自動車運転免許証の有無、⑤住所

Part II：旅行特性：①旅行目的、②同行者数、③旅行日程、④出発地・目的地、⑤利用区間、⑥旅行費用の負担、⑦旅行経験、⑧代替交通機関の利用頻度、⑨アクセス距離。

Part III：交通機関の利用意識：①目的地までの所要時間、②出発・到着時刻、③負担料金、④運行ダイヤの正確さ、⑤乗心地、⑥安全性、⑦運行回数、⑧天候に左右されないこと

Part IV：実験計画法による意識調査：①鉄道の短縮時間比、②目的地、③鉄道の運行間隔、④航空運賃の値上り率

調査は昭和55年12月16日～19日にかけて行なわれた。すなわち、12月16、17日の両日浅川～帯広間において特別急行「おおそら1号」（札幌発9:03、帯広着13:06）と、「おおそら6号」（帯広発16:08、札幌着19:55）の乗客に対して調査票を配布した。また18、19日には千歳空港、帯広空港、釧路空港のロビーにおいて、千歳～帯広便、千歳～釧路便を利用する航空旅客に調査票を配布した。両調査とも12歳以上の旅客を対象に係員が直接調査票を配布し、さらに回収を行なった。回収した調査票は鉄道旅客で951票、航空旅客で1235票であり、その有効回収率は両調査とも84%を越している。

表4 交通機関別旅行目的

さて、表4は交通機関別の旅行目的を、表5は交通機関別の旅行期間数を、そして表6は空港までの利用交通機関をまとめたものである。動態調査の結果を簡単にまとめると以下のようになる。

		仕事	家事・私用	観光	その他	不明	計
鉄道旅客	回答数(人)	695	168	12	72	4	951
	百分率(%)	73.1	17.7	1.3	7.6	0.4	100.0
航空旅客	回答数(人)	1029	153	10	38	5	1235
	百分率(%)	83.3	12.4	0.8	3.1	0.4	100.0

表5 交通機関別旅行期間数

(1) 旅行目的を調べると

鉄道旅客、航空旅客とも圧倒的に「仕事」が多くなっている。また、観光目的の比率が低い。

		1日帰り	2日間	3～5日間	6～7日間	1週間以上	不明	計
鉄道旅客	回答数(人)	75	297	227	189	146	17	951
	百分率(%)	7.9	31.2	23.9	19.9	15.4	1.8	100.0
航空旅客	回答数(人)	59	540	449	60	76	11	1235
	百分率(%)	8.0	43.7	36.4	4.9	6.2	0.9	100.0

は調査時期が2月のためと考えられる。

表6 空港までの利用交通機関

(2) 旅行期間は鉄道旅客に比べて航空旅客の方が短くなっておりとくに2日間の旅行が過半数を示している。

問：空港までの交通機関をご利用になりましたか。あてはまるもの1つに○印をおつけ下さい。

1. 空港連絡バス
2. 路線バス
3. 国鉄
4. 自家用車
5. 社・公用車
6. タクシー・バス
7. その他

	1	2	3	4	5	6	7	不明	計
回答数	353	35	135	250	159	141	27	135	1235
比率	28.6	2.8	10.9	20.2	12.9	11.4	2.2	10.9	100.0

(3) 旅行費用の負担を調べると、鉄道旅客では自己負担が26%に対して会社負担が69.8%であった。一方、航空旅客の場合には自己負担が74.4%、会社負担が76.8%と圧倒的に会社負担の比率が高くなっている。

(4) 千歳、帯広、釧路空港までのアクセス交通機関を調べると、全体として最も多く利用されているのは空港連絡バスであり、次いで自家用車、社公用車、タクシーとなっている。国鉄の利用率が10.9%と低いのは、千歳空港以外の空港では国鉄が利用できないためと考えられる。

3. 実験計画法による交通機関選択要因の分析

交通機関の選択に影響を与えると思われる要因は運賃、所要時間、待ち時間は当然として、目的地までの距離や荷物の有無、交通機関の定時性や快適性、さらには季節や天候等も列挙することができる。これらの要因のうち、どの要因が主要な要因であるかを明らかにすることは、交通機関選択モデルを構築する上で最も重要なプロセスであり、しかも多大なエネルギーを必要とする。本研究においては都市間交通における交通機関の選択特性を明らかにするため、実験計画法に基づいた意識調査を実施した。取り上げた要因は過去の研究成果をふまえ、次のように定めた。¹⁾²⁾

i) A因子(鉄道の時間短縮比)

石勝線の開業によって最も大きな変化が生じるのは、札幌市から帯広、釧路市までの所要時間が大幅に短縮されることである。このためA因子の水準を4水準とし、鉄道時間の短縮効果をより厳密に把握することにした。

ii) B因子(目的地)

目的地を因子に採用したのは、旅行時間の長さ(トリップ長)が交通機関の選択に関与している割合を知るためである。石勝線開業以前の札幌～帯広間の所要時間はおおよそ6時間、また札幌～釧路間のそれは6時間であり、この旅行時間が交通機関の選択にどの程度影響を与えるかは交通計画上きわめて興味深い。

iii) C因子(鉄道の運行間隔)

交通機関の選択に際しては「利用したいときにいつでも利用できるか」ということが問題となる。鉄道の運行間隔はフリーケンシーサービスの程度を示している。

iv) D因子(航空運賃の値上率)

運賃の値上げが交通機関の選択に大きな影響を与えることはあえて言うまでもない。本研究においては航空運賃の値上率を要因として採用し、運賃に関する意識の強さを測定することにした。

表7は本研究で取り上げた要因と水準をとりまとめたものであり、表8はL₈直交表へ割付けた結果を示したものである。なお、A因子は4水準を有しているため擬水準法を用いて割付けている。表8の直交割付け表に基づいてNo1～No8までの質問文が作成され、それぞれ1集団100人以上の回答集団を8個抽出して調査票を配布した。

図2は鉄道利用者の全体集合と回答者集団の関係を模式化したものである。すなわち、ここでは鉄道旅客の利用意識は個人レベルでは千差万別だとしても、集団として考えたときには一定の法則性が存在するという仮定を設けている。そしてこの仮定の妥当性は回答者集団の反応を分析することによって、すなわち分散分析表の誤差項の大きさによって検証される。

表7 要因と水準

記号	要 因	水準 1	水準 2	水準 3	水準 4
A	鉄道の時間短縮比	8 %	16 %	24 %	32 %
B	目 的 地	釧 路	帯 広	—	—
C	鉄道の運行間隔	2時間	3時間	—	—
D	航空運賃の値上率	20% up	40% up	—	—

表8 L₈直交表への割付け結果

要因	A							B				C				D			
	1	2	3	4	5	6	7	時間短縮	目的地	運行間隔	航空運賃の値上	時間短縮	目的地	運行間隔	航空運賃の値上	時間短縮	目的地	運行間隔	航空運賃の値上
1	1	1	1	1	1	1	1	8% (30分)	釧 路	2 時 間	20% up	8% (30分)	釧 路	2 時 間	20% up	8% (30分)	釧 路	2 時 間	20% up
2	1	1	1	2	2	2	2	8% (20分)	帯 広	3 時 間	40% up	8% (20分)	帯 広	3 時 間	40% up	8% (20分)	帯 広	3 時 間	40% up
3	1	2	2	1	1	2	2	16% (60分)	釧 路	2 時 間	40% up	16% (60分)	釧 路	2 時 間	40% up	16% (60分)	釧 路	2 時 間	40% up
4	1	2	2	2	1	1	1	16% (40分)	帯 広	3 時 間	20% up	16% (40分)	帯 広	3 時 間	20% up	16% (40分)	帯 広	3 時 間	20% up
5	2	1	2	1	2	1	2	24% (90分)	釧 路	3 時 間	20% up	24% (90分)	釧 路	3 時 間	20% up	24% (90分)	釧 路	3 時 間	20% up
6	2	1	2	2	1	2	1	24% (60分)	帯 広	2 時 間	40% up	24% (60分)	帯 広	2 時 間	40% up	24% (60分)	帯 広	2 時 間	40% up
7	2	2	1	1	2	2	1	32% (120分)	釧 路	3 時 間	40% up	32% (120分)	釧 路	3 時 間	40% up	32% (120分)	釧 路	3 時 間	40% up
8	2	2	1	2	1	2	2	32% (80分)	帯 広	2 時 間	20% up	32% (80分)	帯 広	2 時 間	20% up	32% (80分)	帯 広	2 時 間	20% up

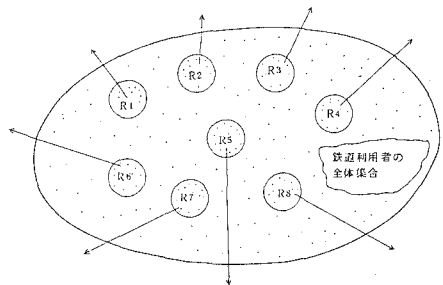


図2 鉄道利用者の全体集合と回答者集団の模式図

回答肢は鉄道利用意識の強さをふまえ、鉄道旅客、航空旅客ともそれぞれ次のように設定した。

〔鉄道旅客の回答肢〕

(1) 鉄道しか利用できないので鉄道を利用する。(2) 大いに鉄道を利用する。(3) たまに鉄道を利用する。(4) 航空機を利用する

〔航空旅客の回答肢〕

(1) 大いに鉄道を利用する。(2) たまに鉄道を利用する。(3) いままで通り航空機を利用する。(4) 大いに航空機を利用する。

以上の回答内容は図3に示すように加法しうるので、表9、表10に示すような累積データを作成した。なお、鉄道旅客および航空旅客の累積データはそれぞれ次のような内容を有している。

(鉄道旅客)

累積グループⅠ：(鉄道しか利用できない) + (大いに鉄道を利用する)

累積グループⅡ：累積グループⅠ + (たまに鉄道を利用する)

累積グループⅢ：累積グループⅡ + (航空機を利用する)

(航空旅客)

累積グループⅠ：(大いに鉄道を利用する)

累積グループⅡ：累積グループⅠ + (たまに鉄道を利用する)

累積グループⅢ：累積グループⅡ + (いままで通り航空機を利用する)

表1からも明らかなように鉄道旅客の78%が業務を目的としており、航空旅客にいたっては約80%までが業務交通なので、交通機関選択要因の分析は業務トリップについて行なうことにした。表9は鉄道旅客の、また表10は航空旅客の累積データを示したものである。

表9の累積データを用いてA因子(鉄道の短縮時間比)

B因子(目的地)、C因子(鉄道の運行間隔)、D因子

(航空運賃の値上率)の変動を求めると次のようになる。

まず、グループⅠ、ⅡのWeight W_I , W_{II} を求める。

$$W_I = \frac{1}{P_I \cdot (1 - P_I)} = \frac{1}{529.5/800 \cdot (1 - 529.5/800)} = 4.468$$

$$W_{II} = \frac{1}{P_{II} \cdot (1 - P_{II})} = \frac{1}{76.3/800 \cdot (1 - 76.3/800)} = 22.67$$

$$\text{修正係数: } C.F. = 529.5/8 \times W_I + 76.3/8 \times W_{II} = 1806308.19$$

$$\begin{aligned} A \text{ 因子の変動: } S_A &= \frac{\{(50.7 + 65.3)^2 + (70.8 + 66.7)^2 + (50.6 + 71.9)^2 + (73.1 + 80.4)^2\}}{2} \times W_I \\ &+ \frac{\{(93.2 + 98.2)^2 + (95.4 + 94.3)^2 + (91.4 + 95.5)^2 + (97.4 + 97.8)^2\}}{2} \times W_{II} - C.F. \\ &= 2279.8 \end{aligned}$$

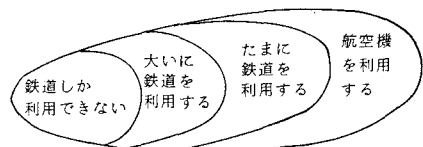


図3 回答内容の累積図(鉄道旅客)

表9 鉄道旅客(業務目的)の累積データ

列番 因子 質問文	1,2,3	4	5	6	7	累積データ		
	A	B	C	D	E	I	II	III
R1	1	1	1	1	1	50.7	93.2	100
R2	1	2	2	2	2	65.3	98.0	100
R3	2	1	1	2	2	70.8	95.4	100
R4	2	2	2	1	1	66.7	94.3	100
R5	3	1	2	1	2	50.6	91.4	100
R6	3	2	1	2	1	71.9	95.5	100
R7	4	1	2	2	1	73.1	97.4	100
R8	4	2	1	1	2	80.4	97.8	100
計						529.5	763.0	800

表10 航空旅客(業務目的)の累積データ

列番 因子 質問文	1,2,3	4	5	6	7	累積データ		
	A	B	C	D	E	I	II	III
A1	1	1	1	1	1	10.8	49.2	100
A2	1	2	2	2	2	36.8	65.0	100
A3	2	1	1	2	2	10.1	59.0	100
A4	2	2	2	1	1	30.2	65.5	100
A5	3	1	2	1	2	15.3	55.6	100
A6	3	2	1	2	1	35.8	74.8	100
A7	4	1	2	2	1	30.4	72.2	100
A8	4	2	1	1	2	39.4	70.6	100
計						208.8	511.9	800

表11および表12は業務目的の鉄道旅客、航空旅客の分散分析表であり、これらの表から次のことが明らかになった。

〔鉄道旅客〕

- (1) 誤差の寄与率が4.2%と非常に小さく、本研究で採用した要因の正当性と、図2に示した回答者集団に対する調査票の配布方式の妥当性が裏付けられた。

- (2) 鉄道旅客の場合、取り上げた要因のすべてが有意となった。しかし、分散比の大きさのみ必ずしも交通機関選択要因の重要度を示すものではない。

- (3) 選択要因の重要度は寄与率の大きさによって示されている。表11において寄与率の最も大きな要因はA因子（鉄道の短縮時間比）であり、次いでB因子（目的地）、D因子（航空運賃の値上率）であった。

以上の分析結果を総合すると、次のような鉄道利用者集団の特徴が浮きエってくる。

『鉄道の利用者は当然のことながら、鉄道の時間短縮に強い関心を示しており、石勝線の開業等による時間短縮に大いなる期待をいだいている。目的地の因子が有意になっていることは、旅行時間が交通機関の選択に影響を与えていることを意味している。また、鉄道旅客が鉄道の運行間隔より航空機の運賃値上げに（鉄道ではなく）敏感に反応していることはきわめて興味深い。』

〔航空旅客〕

- (1) 誤差の寄与率が2.4%と鉄道旅客の場合に比べてやや大きくなっている。これは調査方式の違いによるものと考えられ、自席で落着いて考えることのできた鉄道旅客に対して、航空旅客の場合には空港ロビー内で短時間に回答しなければならなかった。しかし、取り上げた要因による説明力（寄与率）は90%を超しており、以後のモデル構築に十分耐えうる調査精度を有している。

- (2) 寄与率の最も大きかった要因は「目的地」であり、次いで「鉄道の短縮時間比」であった。この順序は鉄道旅客の場合と逆転しており、航空旅客の特性を示している。

- (3) 航空旅客でありながら「航空運賃の値上率」に対しては、鉄道旅客ほど敏感に反応していない。これは航空旅客の運賃負担力が高いことを、すなわち航空旅客の時間価値が高いことを示唆している。

以上の分析結果をもとに航空旅客の交通機関選択特性をまとめると次のようになる。

『航空旅客は目的地によって鉄道の選択意識が異なっている。目的地が釧路市の場合、無条件に航空機を選択する傾向が強い。札幌〜釧路間の鉄道所要時間は6時間を越しており、航空旅客は多少費用が高くなっても、短時間に目的地に到着できる交通手段を愛好している。しかし鉄道の所要時間が4時間以下になったとき、航空旅客においても鉄道へ転換する意識を有していることがわかった』

表11 分散分析表（鉄道旅客（業務目的））

記号	要因の説明	自由度 ϕ	変動 S	分散 V	分散比 F ₀	寄与率 ρ %
A	鉄道の短縮時間比	6	2279.78	379.96	29.2*	50.1
B	目的地	2	1044.38	522.19	40.1*	23.2
C	鉄道の運行間隔	2	18.478	9.239	7.1*	3.6
D	航空運賃の値上率	2	858.36	429.18	32.9*	18.6
E	誤差	2	26.06	13.03	—	4.2
計		14	4393.36			100.0

* : 有意な要因

表12 分散分析表（航空旅客（業務目的））

記号	要因の説明	自由度 ϕ	変動 S	分散 V	分散比 F ₀	寄与率 ρ %
A	鉄道の短縮時間比	6	215.58	35.73	7.8*	24.4
B	目的地	2	456.79	228.0	49.6*	58.2
C	鉄道の運行間隔	2	19.06	9.53	2.1	1.3
D	航空運賃の値上率	2	68.77	34.39	7.5*	7.7
E	誤差	2	9.21	4.61	—	8.4
計		14	769.41			100

* : 有意な要因

ただし $\rho_A = \frac{A \text{ 因子の純変動}}{\text{全変動}}$

ここで S : 全変動
 V : A因子の変動
 F_0 : A因子の自由度

4. オメガ法による転換率モデルの構築³⁾

本研究の目的は交通機関の選択要因を明らかにするとともに、石勝線の開業によってどれだけの航空旅客が鉄道へ転換するかを推計することにある。このために表10に示した航空旅客の累積グループI（大いに鉄道を利用する）のデータを用いて、航空機から鉄道への転換率モデルを構築した。実験計画法に基づいた意識調査のデータからは、数量化理論I類や直交多項式を用いて転換率モデルを構築することができる。しかし、数量化理論I類では、0ないし100%に近い値の推計に「偏り」が生じ、一方直交多項式においては「目的地などの定性的要因を取り込めない」という問題点がある。そこで本研究においてはオメガ法を用いて転換率モデルを構築した。表12の分散分析表において、有意となった要因で作った転換率モデルの構造式は式(1)のようになる。

$$\mu_e(A_i, B_j, D_e) - T_i = (P_{Ai} - T_i) + (P_{Bj} - T_i) + (P_{De} - T_i) \quad (1)$$

ただし、 $\mu_e(A_i, B_j, D_e)$ ：航空機から鉄道への転換率

T_i ：累積グループIの平均値

P_{Ai} ：A因子のi水準における転換率

P_{Bj} ：B因子のj水準における転換率

P_{De} ：D因子のe水準における転換率

式(1)は分散分析表で有意となった因子の効果を加法することによって、転換率が求まることを示している。ただしこのとき、データが $\{-\infty, \infty\}$ の範囲に存在していなければならない。したがって $[0, 1]$ の範囲しかとることのできない転換率の値を、何らかの方法を用いて $[-\infty, \infty]$ のデータに変換する必要がある。オメガ法はまさにこのため方法であり、(因子の効果の逆数-1)の対数をとることによって $[0, 1]$ データを $[-\infty, \infty]$ データに変換することができる。

式(1)にオメガ法を適用すると式(2)のようになる。

$$\log\left(\frac{1}{\mu_e(A_i, B_j, D_e)} - 1\right) = \log\left(\frac{1}{T_i} - 1\right) + \log\left(\frac{1}{P_{Ai}} - 1\right) - \log\left(\frac{1}{T_i} - 1\right) + \log\left(\frac{1}{P_{Bj}} - 1\right) - \log\left(\frac{1}{T_i} - 1\right) + \log\left(\frac{1}{P_{De}} - 1\right) - \log\left(\frac{1}{T_i} - 1\right) \quad (2)$$

式(2)の両辺にある対数をはすと

$$\mu_e(A_i, B_j, D_e) = \frac{1}{\left(\frac{1}{P_{Ai}} - 1\right)\left(\frac{1}{P_{Bj}} - 1\right)\left(\frac{1}{P_{De}} - 1\right) + 1} \quad (3)$$

表13 有意となった因子の水準別平均転換率

因子	A因子（鉄道の短縮時間比）			B因子（目的地）		D因子（航空運賃の値上率）	
水準	16%	24%	32%	釧路	帯広	20%	40%
転換率	40.3 200	51.1 200	69.8 200	66.6 400	142.2 400	95.7 400	113.1 400

となる。式(3)に表13に示した水準別の平均転換率率を代入するとそれぞれの水準別の転換率を求むることができる。表14はその結果をまとめたものであり、この表から目的地が帯広で鉄道の時間が32%短縮され(80分)、航空運賃が40%値上りすると(2840円)、約半数の航空旅客が鉄道へ転換することが示されている。また、目的地が釧路で鉄道の時間が16%短縮されなく(60分)、航空運賃の値上りが20%(2160円)であれば、航空旅客の10%程度しか鉄道に転換しないことがわかった。

表14 航空旅客の鉄道への転換率

A因子 D因子	B因子 釧路		B因子 帯広	
	20%up	40%up	20%up	40%up
16%短縮	11.3	13.7	26.0	30.6
24%短縮	14.7	17.8	32.3	37.4
32%短縮	21.3	25.3	42.7	48.3

〈参考文献〉

- 1) 佐藤馨一、五十嵐：空港アクセスにおける交通機関別分担モデルの推定、土木学会論文報告集オ274号、1978年6月
- 2) 佐藤馨一、田村、五十嵐：意識モデルによるバス路線の評価に関する研究、お6回土木学会年次学術講演会講演集、1991年
- 3) 田村亨、佐藤、五十嵐：累積法による交通機関選択モデルの構築に関する研究、お6回土木学会年次学術講演会講演集、1991年