

## 交通機関の適合性評価手法に関する研究

A study of assessment method on suitability of transportation system

楊 雲\*

Yang Yun

深井俊英\*\*

Fukai Toshihide

**Abstract** In the paper, an assessment method of suitability of traffic transportation built on the system of multipurpose traffic transportation is studied. Based on the assessment method, backtracking algorithm of selecting traffic transportation is proposed and calculating program is designed. The proposed backtracking algorithm is used to practical selection of traffic transportation.

### 1、はじめに

利用者による交通機関の選択は、交通需要予測のための重要な課題であるため、多様な観点からの理論モデルが、「交通機関分担モデル」として提案されてきており、従来の集計型モデルから、近年は、非集計行動モデルによる分析が行われている。

交通手段選択については、原田ら<sup>1)</sup>の研究、石田ら<sup>2)</sup>、吉田ら<sup>3)</sup>、鈴木ら<sup>4)</sup>の研究などが報告されている。従来の交通機関選択に関する研究は主として都市交通を対象とされてきており、全国レベルの都市間交通を対象として、交通機関の分担関係を分析した研究は少ないように見受けられる。このため本研究においては、全国的広域的な交通機関（新幹線、航空機など）の旅客交通を対象として、総合交通体系における交通機関の適合性に関する評価について、主として利用者の視点から考察し、これらの評価に基づく交通機関選択のアルゴリズムモデルについて基礎的な研究を行おうとするものである。

### 2、本研究の立場

交通計画モデルの目的は、意思決定者にとって有益となる計画案を作成することにある。このため、交通計画モデルは、どのような計画案を提案し、それぞれの計画案を一定の評価基準に基づいて評価するかに大きく依存する。そこで本研究においては、利用者のニーズに対する交通機関の適合性を評価す

るために、まず、交通機関の特性と機能を分類・整理する。次に、利用者による各種交通機関の選択条件の要素を抽出するとともに、選択における意思決定のプロセスについて分析する。さらに、総合交通体系の視点からみた各交通機関の適合性について評価する。

#### (1) 交通機関の特性と機能

交通機関の特性は、移動サービス、所要時間、サービスエリアの3項目と、そのための所要コストおよび交通需要の質と量の組み合わせによって評価することが可能と考えられる。交通サービスの生産密度は常に経済力集積密度（人口・資本・情報などの集積密度）と比例関係にあるといえるが、一方交通サービスの向上は、新たに観光産業という新しい第3次産業を生み出し、過疎地帯にも高い価値生産性をもった生産活動を定着させ、サービスエリアを拡大することが可能となる。

表1は距離帯別機関分担率（輸送人員ベース）の推移（旅客）を示したものである。この分担率は、利用者が各自の選択条件によって交通機関を評価し、その評価結果に基づいて選択を行った結果として出現しているものと考えられる。このため交通機関の距離帯別分担率（シェア）と、交通機関の特性及び利用者の特性との関連性について分析することにより、交通機関の評価に関する新しい情報が得られるものと考えられる。

#### (2) 各種交通機関の選択条件

交通機関の選択は、交通機関と利用者の特性（旅

\* 揚州大学工程管理工学科（中国 揚州市）

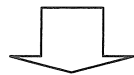
\*\* 愛知工業大学土木工学科（日本国 豊田市）

行目的・年齢・職業・収入等)によって特性が違  
うので、それ等の特性に応じて行われる。

利用者がある交通機関を選択するとき、効果を  
極大化する一組の特性を得るために、彼はその特性  
集合を選択したわけである。すなわち、交通機関の

表1 距離帯別機関分担率の推移(旅客)

		[1987]					(%)
機関	距離	100 Km 以下	100 ~ 300 Km	300 ~ 500 Km	500 ~ 750 Km	750 ~ 1000 Km	1000 Km 以上
	鉄道		29	26	49	55	39
航空機		0	0	4	12	36	76
自動車		71	74	42	30	23	5
船		0	0	5	3	2	1



		[1997]					(%)
機関	距離	100 Km 以下	100 ~ 300 Km	300 ~ 500 Km	500 ~ 750 Km	750 ~ 1000 Km	1000 Km 以上
	鉄道		26	25	43	61	33
航空機		0	0	5	17	62	83
自動車		74	75	49	20	4	10
船		0	0	3	2	1	0.1

資料:文献10)による

名称ではなく、その特性に基づいて選択が行われる。  
いま、交通機関の選択条件を特性によって整理する  
と、以下の要素に区分されると考えられる。

#### ①経済性

費用の低い交通機関は選択される確率が高い。  
同じ輸送をするのに、費用のかかる交通機関を利用  
するとすれば、それだけ資源が余分にその交通機関  
に投下されたこととなる。最も少ない資源の投入量  
で交通需要量をまかなうためには、費用極小の交通  
機関を利用することが原則である。この経済性は主  
として時間距離と費用距離によって評価される。

#### ②効率性

航空、鉄道(在来線、新幹線)、道路(一般道路、  
高速道路)、船はそれぞれの特徴を持っているので、  
各種交通機関の中から一つ又は組み合わせて利用す  
る場合、利用者はどの経路が一番良いかどうか、効  
率性によって交通機関の適合性が評価される。この  
効率性を示す指標として時間便益と費用便益が使用  
されている。

#### ③利便性

どの交通機関を選択しても要求されている輸送  
条件を満たすとした場合、短時間とサービスの良い  
交通機関が選択される。時間は一般に運行時間、乗  
換え時間などが含まれている。交通サービスについ  
ては交通機関の速さ、運行頻度、乗降の容易さ、歩  
行の負担、待つ負担、乗換えの負担、シェルターの  
有無、早朝のサービス、夜間のサービス、旅行の自  
由度(経路選択の自由、予約の要・不要、満席で利  
用出来ない場合の発生確率、旅行の中止又は変更の  
自由)などによって構成されている。

#### ④快適性

快適に利用出来るためには、混雑・渋滞がなく、  
疲労が限度以下であるとともに、利用対象とする交  
通機関の利用が快適であること、従業員の態度、環  
境、アクセスするための他の交通機関等のサービス  
が、利用者にとって満足出来る水準にあることが必  
要である。

#### ⑤信頼性

経済性、効率性、利便性、快適性の他に、確実  
性に基づく信頼性が評価される。この指標としては  
定時到着性、運行の信頼性(故障率)、時間遅延、渋  
滞、事故・故障・天候不良時での復旧までの所要時  
間等から構成されている。

#### ⑥安全性

安全性の評価方法は、安全性の水準の変化にと  
もなう便益により測定される。この指標としては、  
事故確率、発生頻度、被害額・死者数(影響の大  
きさ)等によって評価される。(表2 交通機関交通事  
故率)

表2 交通機関死亡事故比率  
(全死亡者=10,000)

機関	1970年	1980年	1990年	1998年
	$\times 10^{-2}$	$\times 10^{-2}$	$\times 10^{-2}$	$\times 10^{-2}$
鉄道(在来線)	510	586	356	338
航空機	12	11	37	23
自動車	9190	8950	9442	9478
船	290	453	166	162

資料:運輸経済統計要覧による

#### ⑦目的性

目的性には主に旅行のタイプ、出発地、到着地、制約時間、利用者の特別な要求(休息・趣味)等に対する交通機関の適合性が含まれている。旅行タイプの具体的な内容は国内観光レクリエーション、国内出張ビジネス、海外の行き帰り、単身赴任に伴う移動、家事・帰省・冠婚葬祭等の私用、通勤・通学などであり、全体的な制約時刻、到着時刻、帰着時刻、滞在時間、旅行中の目的地(複数)へのアクセシビリティ等で構成される。

#### ⑧社会性

この社会的条件としては、社会的効用(効果・便益)と社会的費用(施設の整備費、管理費、環境、エネルギー、労働力、土地(スペース)等)が含まれる。望ましい交通の分担関係は、利用者の選好(ニーズ)と交通機関のもつ特性を基礎として、社会的諸制約の下で、最も合理的に、社会的効用を最大にするものでなければならない。

以下においては、現実の交通機関別の分担率を生じさせている、利用者の交通機関選択における意思決定プロセスについて考察する。

### 3、交通機関選択における意思決定プロセス

本研究においては、まず利用者の意思決定プロセスの基本的な手順について考察し、交通機関選択プロセスの主な問題点を明らかにする。次に、交通機関選択プロセスをモデル化するために、最適化アルゴリズムを提案する。さらに、最適化アルゴリス

ムの特徴を明らかにするために、モデルの階層的構造・時間距離の構造・選択的最適化の構造・データベースの構造などの諸要素を取り上げ、各要素の設定方法について研究する。

表3 交通サービスの評価基準

1	経済性	費用(割引サービスを含む)
2	効率性	所要時間(乗換・アクセス・イグレスを含む)
3	利便性	運行頻度・待ち時間・乗換回数・旅行自由度
4	快適性	混雑・渋滞・疲労・従業員の態度・サービス
5	信頼性	遅延・故障・復旧までの所要時間
6	安全性	事故発生率・死傷者数・事故の影響の程度
7	目的性(総合)	旅行の目的への適合性(出発時刻・到着時刻・滞在時間)
8	社会性	社会的効用(利用効果・存在効果等) 社会的費用(必要投資額・エネルギー・労働力等) 受益と負担のバランス等

### 3.1 総合交通機関選択プロセスのモデル化

#### 3.1.1 モデルの基本的な考え方

交通利用者は、確率的な効用理論に基づいて交通選択行動を行うものとする。交通選択においては、①目的地選択段階(旅行タイプ、出発地、到着地、時間)が最上位、次に②手段選択段階(交通機関選択)、そして③経路選択段階(個別の交通機関選択と総合交通機関の選択)が最下位となるような階層的選択構造を仮定する。手段選択に関して、対象モードは新幹線、高速道路、航空、船の4種類とする。本研究では、現実的な仮説として、個人は出発地から到着地までの所要時間ができるだけ短くなるように、経路、出発地、目的地の組み合わせを同時に決定すると考える。モデルの中には時間と費用と目的を選択要因として、時間価値あるいは費用・時間比などの値を用いて、費用、時間のいずれかに換算し“犠牲量最小”の原理によって選択を行っている。利用経路のコストは一般化費用により表現される。時間価値は各交通機関別、即ち鉄道利用時、自動車

利用時、航空機利用時、自動車利用時(公共・個人)、船利用時と待ち時間が含まれる。

モデルの構築では、最適化の原理によって、最適なルートを決める。すなわち、ある特定の中継地(乗換え地とも言う)について、そこに到着するまでにどのルートがとられたかに関係なく、そこから目的地までのルートについての決定は最適なものになっていなければならないものとする。(図1, 2, 3)

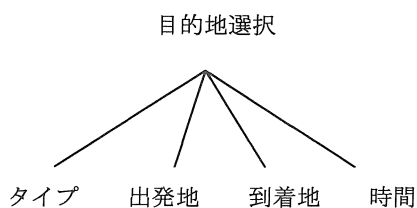


図1 目的地選択肢ツリー

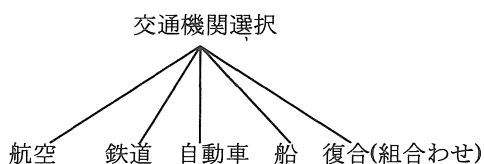


図2 交通機関選択肢ツリー

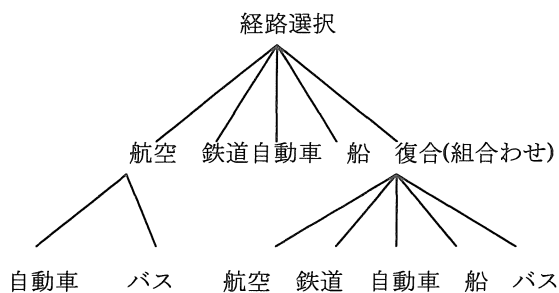


図3 本研究の選択肢ツリー

### 3.1.2 交通機関選択のプロセス

- ①タイプの選択(旅行の目的。)
- ②目的地・場所の選択(出発地、到着地)
- ③交通発生の選択(出発時刻、滞在時刻、帰着時刻。)

④交通手段の選択(航空、新幹線、在来線、高速道路、一般道路、船。)

### ⑤経路の選択

(1) ③と④によると、出発地から到着地までの間の直接的な交通手段(乗換えがいらない)があるかどうかを判断する;

(2) もし(1)が成立すれば、そして経路は2つ以上があれば、①と時間と費用と運行頻度の順番によって、比較・評価する。

(3) もし(1)が成立しなければ

ケース1: ③と④によると、その時間とおり、交通手段ができない場合。

ケース2: ③と④によると、出発地から到着地までの間は間接的な交通手段(乗換えが必要)のみがある場合。

ケース3: ③と④によると、出発地から到着地までの間の交通手段がないが、④の選択を変えれば、出発地から到着地までの間の交通手段がある場合。

ケース4: ③と④によると、出発地から到着地までの間の交通手段が総合交通手段でなければならない場合。(一種類だけの交通手段ができないし、あるいは一種類だけの交通手段を使ったら、乗換えの回数が大変な場合。)

以下では、実際のケースを想定した具体例について、モデル的に考察する。

### (1)交通機関の一般的特性順位

交通機関の一般的特性順位と選択順位とを主に出発地・目的地間の距離帯別機関分担率の推移によって整理した結果を表4及び表5に示す。距離帯は以下のように区分する。

- ①1000Km以上
- ②750Km~1000Km
- ③500Km~750Km
- ④300Km~500Km
- ⑤100Km~300Km
- ⑥100Km以下

表4 交通機関の一般的特性順位 (例)

特性	機関 航空 A	鉄 道		自 動 車		船 S
		新 幹 線 LL	在 来 線 L	高 速 道 路 RR	一 般 道 路 R	
1.経済性	2	1	4	3	5	6
2.効率性	1	2	4	3	5	6
3.利便性	5	4	3	2	1	6
4.快適性	5	1	2	3	4	6
5.信頼性	4	1	2	3	5	6
6.安全性	3	1	2	4	5	6

(注：目的性及び社会性については比較が困難なため、ここでは表示しない。)

(2)交通機関の一般的選択順位

交通機関の一般的選択順位は、主に交通機関の一般的特性順位により、利用者によって選択された結果を示していると考えられる (表5)。

表5 交通機関の一般的選択順位

距離帯	選択順位
1000Km 以上	A>LL>RR>L>R>S
750Km~1000Km	A>LL>RR>L>R>S
500Km~750Km	LL>A>RR>L>R>S
300Km~500Km	LL>L>RR>R>A
100Km~300Km	RR>R>LL>L
100Km 以下	R>RR>L>LL

(注：表1のデータにより作成)

(3)交通機関適合性に関する評価のプロセス

表6中で①~③は第一レベルとして、誰でも必ず考えるべきであり、④~⑧は第二レベルとして、利用者によって一応交通機関が満足かどうかを考える人と、考えない人があり、⑨は第三レベルとして、交通機関の管理者又は政府が考えるべきことであるが、利用者も含めて国民全体としての視点から考える必要がある。

(4)交通機関選択の例

①交通機関

利用交通機関は航空、新幹線、在来線、高速道路、一般道路、船 (フェリー) であるとして、この順番に利用可能性を1又は0で表示することとする。

②利用可能性

1：あり (\*印は一部あり)

0：なし

③ケーススタディ

表7の中では行の方が目的地であり、列の方が出発地である。表8では、表の右上側が日帰り、左下側が2泊3日以上旅行と仮定し、2000年9月現在の時刻表による利用の可能性を表示している。表8によって主要都市間においては、交通機関の選択の自由度が大きいことが知られる。

表6 交通機関適合性の評価の段階的プロセス

	特性	評価者
第一レベル	①旅行時間	一般的な利用者
	②滞在時間	
	③費用	
第二レベル	④安全性	特に注意深い利用者 又は要求水準が高い 利用者
	⑤信頼性	
	⑥快適性	
	⑦効率性	
第三レベル	⑧利便性	施設管理者又は政府 機関の責任者、及び 国民全体
	⑨社会性	

表7 交通機関の整備状況 (施設の有無)

	東京	札幌	仙台	大阪	福岡
東京		101**1	111111	011110	11111*
札幌	101111		101***	1*1**0	001**0
仙台	111111	001**1		011111	01111*
大阪	111111	1*1**0	111111		11111*
福岡	111110	1*1**0	111110	011110	

表8 交通機関選択可能性(例)

	東京	札幌	仙台	大阪	福岡
東京		100000	110100	110100	110000
札幌	1**001		100000	100000	100000
仙台	111111	1****1		110000	100000
大阪	111111	1*1101	11*1*0		110000
福岡	110*01	1*0*00	110*10	11*1*1	

3.1.3 モデルの定式化

① 多段決定プロセス

$$F_n^*(s) = \min_{(j)} [C_{ij} + F_{n-1}^*(s)] \quad (1)$$

ここに、

n = 自然数 (1, 2, …, n)

C<sub>ij</sub> = ij間のコスト

F<sub>n</sub><sup>\*</sup>(s) = 中継地 s から目的地までの最小コスト

(最小コストの意味は時間距離と費用距離の和が最小である)。ただし s から目的地まであと n 段階残っているとす。s から次の段階の中継地 j までのコスト C<sub>sj</sub> と、j から目的地まで残りの(n-1)段階を最適なルートをとったときのコストとの和を考え、それが最小になるような中継地を、s の次の中継地として選ぶことを意味している。

② 時間距離の構造

$$Y_i = X_i + \omega T_i \quad (2)$$

ここに、

i : 交通機関 (航空、新幹線、在来線、高速道路、一般道路、船) ;

Y<sub>i</sub> : 交通機関 i を利用するときの総犠牲量 (円) ;

X<sub>i</sub> : 交通機関 i の運賃 (円) ;

T<sub>i</sub> : 交通機関 i の所用時間 (時間) ;

ω : 時間距離 (円/時間)

③ 選択的最適化の構造

$$P_{in} = \left[ \frac{y}{1 + \exp(v_1 - v_2)} \right]_{y=0}^1 = \frac{\exp(v_1)}{\exp(v_1) + \exp(v_2)} \quad (3)$$

$$P_{in} = \frac{\exp(v_i)}{\sum_{j \in J_n} \exp(v_j)} \quad (4)$$

$$v_i = \beta_1 Z_{1i} + \beta_2 Z_{2i} + \dots + \beta_k Z_{ki} \quad (5)$$

ここで、P<sub>in</sub> : 個人 n が選択肢 i を選択する確率 (選択結果)

v<sub>i</sub> : 選択肢 i の選択による効用

Z<sub>ik</sub> : 選択肢 i についての k 番目の説明変数 (顕在的及び潜在的特性)

β<sub>k</sub> : k 番目の変数のパラメータ (効用に影響を及ぼす各特性要因のウエイト)

④ データベースの構造

$$A = \begin{pmatrix} B & X' \\ X & C \end{pmatrix}_{(n+1) \times (n+1)} \quad (6)$$

行列 A は行列 B、行列 X、行列 C、行列 X' からとなる。行列 B が交通機関 (航空、新幹線、在来線、高速道路、一般道路、船) であり、行列 X = (X<sub>11</sub>,

X<sub>12}, …, X<sub>1n}</sub>), X<sub>1j</sub> が駅、空港などを示す。</sub>

行列 X' は行列 X の転置行列であり、行列 C は (n+1)\*(n+1)階の行列、数量化された情報 (位置、距

離、時間、費用など)として示される。

#### 4、考察

交通機関選択に関する従来の研究では、交通機関の特性や利用者特性のうちの、主として顕在化された説明要因を対象として、分析が行われている。しかし、利用者の選好は、これ等の顕在化された客観的、物理的要因の以外に「好き」、「嫌い」や、従業員のサービスや心づかいといったような、きわめて個人的・主観的・定性的で多様な要因と、利用にあたってのさまざまな個人的条件(目的の優先度、日程の自由度、手荷物の有無、身体的条件等)が複雑にからみ合って、選択が行われているものと考えられている。

従って、今後公共交通機関と個人的交通機関との適切な分担関係を含む、総合交通体系を考えるためには、選択結果としての交通機関別分担関係(距離帯別シェア)の推移と、交通機関のサービス水準及び利用者特性(心理的要因、身体的条件や国民性等を含む)の時間的変化との関連性について、具体的に分析し、どのような方策をとれば望ましい分担関係が実現出来るかについて、研究することが必要と考えられる。

#### 5、まとめ

以上のように全国的広域的な交通機関選択問題における利用者の意思決定の段階的プロセスについて、基礎的な研究を行った。その結果、利用者による交通機関の選択が、経済性・効率性以外の多くの評価指標を、ウエイトづけしながら行われてことを、或程度ではあるが知ることが出来た。一方意思決定アルゴリズムについては、交通機関が航空と新幹線であるとする、望ましい経路を決定することは容易であるが、交通機関が航空、新幹線、高速道路、船であるとする、アルゴリズムが複雑となり、簡単に解が得られないことが知られた。従って今後、乗客数の推移と、交通機関及び利用者特性の変化等のデータ等を含む具体的な分析を行うことにより、よりよいモデルに改良する必要がある。さらに利用

者の選好と、社会的に望ましい総合的交通体系との関係についても、分析・研究することが課題であると考えられる。

#### 参考文献

- 1)原田昇、太田勝敏：Nested Log it モデルの多次元選択への適用一駅・アクセス手段同時選択の場合、交通工学、vol.18,No.6,pp.3-11,1983
- 2)石田東生、加藤勇樹、谷口守：大都市近郊地域における手段・駅選択の変更行動、都市計画論文集、No.28, pp, 73-78,1993
- 3)吉田朗、原田昇：鉄道の路線・駅・結節交通手段の選択を含む総合的な交通手段選択モデルの研究、土木学会論文集、No.542/IV-32,19-31,1996,7
- 4)鈴木聡、原田昇、太田勝俊：意識データを用いた非集計モデルの改良に関する分析、土木計画学研究・論文集、No,4,1986,10
- 5)原田昇：非集計行動モデルによる多次元選択行動の分析、土木計画学研究・論文集、No,4,1986,10
- 6)谷藤正三：総合交通計画、技報堂、1976
- 7)土木学会編：非集計行動モデルの理論と実際、丸善、1995
- 8)(社)交通工学研究会編：やさしい非集計分析、(社)交通工学研究会、1993
- 9)竹内伝史：交通需要マネジメントを可能にする都市の交通社会基盤の整備と制度的改革の方向、科学研究費補助金研究成果報告書、2000年5月
- 10)家田仁編：連携重視のネットワーク型交通体系、山海堂、2000年7月。

(受理 平成13年3月19日)