



Title	集団意思評価技法による交通サービスの考課に関する研究
Author(s)	岸, 邦宏
Citation	北海道大学. 博士(工学) 甲第4785号
Issue Date	1999-03-25
DOI	10.11501/3151466
Doc URL	<a href="http://hdl.handle.net/2115/51599">http://hdl.handle.net/2115/51599</a>
Type	theses (doctoral)
File Information	000000336657.pdf



[Instructions for use](#)

集団意思評価技法による  
交通サービスの考課に関する研究

岸 邦 宏

①

目 次

第1章 序論 1

1.1 本研究の背景と目的 2

1.2 本研究の範囲と構成 3

第2章 集団意思評価技法の概要化 5

2.1 意思決定 5

2.2 個人と集団の意思決定 6

2.2.1 個人 6

2.2.2 集団の意思決定 6

2.3 集団意思評価技法 7

2.3.1 集団意思評価技法 7

2.3.2 集団意思決定の考慮点 10

2.4 交通計画における集団意思評価 11

2.4.1 意思決定に用いた交通計画調査手法 11

2.4.2 本研究における集団意思評価技法による交通サービスの考課の対象 12

第3章 参考文献 14

第4章 BCR技法を用いた交通サービス大規模の直観度評価 17

4.1 概要 18

4.2 BCR 法 18

4.2.1 Challenge Test 適定とプラスマイナス点法 18

4.2.2 BCR 法の基礎理論 19

4.2.3 BCR モデル 21

4.3 BCR 法による海軍関係場における道路整備方針の直観度評価 24

4.3.1 海軍関係場における道路システムの評価の意義 24

4.3.2 一般国道 229 号線沿一帯の経路開通までの歴史 25

4.3.3 第1白鳥トンネル建設事故と復旧計画の概要 28

4.3.4 国道 229 号線沿線における住民意識調査の実施 29

4.3.5 第2白鳥トンネル建設事故による影響 34

4.3.6 収束点による住民意識の分析 38

4.3.7 直観度評価におけるまちづくり方針 42

4.4 BCR 法による札幌～東京間の航空サービスの直観度評価 43

4.4.1 航空業界における新規参入の動き 43

4.4.2 札幌～東京間における航空輸送実績の動向 43

岸 邦 宏

## 目 次

第1章 序論	1
1.1 本研究の背景と目的	2
1.2 本研究の内容と構成	2
第2章 集団意思評価技法の体系化	4
2.1 意思決定	5
2.2 個人と集団の意思決定	6
2.2.1 個人の意思決定	6
2.2.2 集団の意思決定	7
2.3 集団意思評価	10
2.3.1 集団意思評価技法	10
2.3.2 集団意思評価の着眼点	10
2.4 交通計画における集団意思評価	11
2.4.1 意識データを用いた交通機関選択モデル	11
2.4.2 本研究における集団意思評価技法による交通サービスの考課の対象	13
第2章 参考文献	16
第3章 ECR 技法を用いた交通サービス項目の重要度評価	17
3.1 概説	18
3.2 ECR 法	18
3.2.1 Car of the Year 選定とプラスマイナス5点法	18
3.2.2 ECR 法の基礎理論	19
3.2.3 ISM モデル	21
3.3 ECR 法による海岸部集落における道路整備方策の重要度評価	24
3.3.1 海岸部集落における道路システムの評価の意義	24
3.3.2 一般国道229号島牧～瀬棚間開通までの歴史	25
3.3.3 第2白糸トンネル崩落事故と復旧計画の概要	26
3.3.4 国道229号沿線における住民意識調査の実施	27
3.3.5 第2白糸トンネル崩落事故による影響	36
3.3.6 ECR 法による住民の望む道路整備方策の分析	39
3.3.7 海岸部集落におけるまちづくり方針	42
3.4 ECR 法による札幌～東京間の航空サービスの重要度評価	43
3.4.1 航空業界における新規参入の動き	43
3.4.2 札幌～東京間における航空輸送実績の動向	43

3.4.3	札幌－東京間の航空サービス重要度評価の分析	47
3.4.4	利用者の評価から見た新規参入航空会社の運航方針	53
第3章	参考文献	54
第4章	PSM技法を用いた交通運賃の受容評価	55
4.1	概説	56
4.2	価格政策	56
4.2.1	価格の概念	56
4.2.2	価格設定の目標	56
4.2.3	価格の設定方式	57
4.3	価格感度測定法	59
4.3.1	価格感度測定法の概要	59
4.3.2	PSMから得られる評価指標	59
4.3.3	PSMから得られる評価指標の導出	63
4.4	PSMの利用法	68
4.4.1	受容価格帯の分析	68
4.4.2	商品の価格設定の分析	68
4.5	PSMによる札幌－東京間の航空運賃の評価	72
4.5.1	新規参入航空会社の運賃の設定	72
4.5.2	航空運賃に対する利用者の評価	72
第4章	参考文献	81
第5章	DEA技法を用いた都市交通モビリティの評価	82
5.1	概説	83
5.2	包絡分析法開発の歴史	83
5.3	DEAの基礎理論	85
5.3.1	DEAの概要	85
5.3.2	DEAの基本的考え方	85
5.4	DEAの基本モデル(CCRモデル)	91
5.4.1	データの条件	91
5.4.2	CCRモデル	92
5.4.3	生産可能集合	94
5.4.4	CCRモデルとその相対問題	95
5.4.5	出力指向型CCRモデル	97
5.5	DEAの各種モデル	99
5.5.1	コスト効率分析法	99

5.5.2	領域限定法	100
5.5.3	その他のモデル	103
5.6	Inverse DEA	106
5.6.1	Inverse DEA の概要	106
5.6.2	Inverse DEA の定式化	106
5.6.3	DEA と Inverse DEA による DMU の分類	107
5.7	DEA の研究の動向	109
5.8	DEA による都市交通モビリティの評価	111
5.8.1	都市交通モビリティと効率性	111
5.8.2	都市交通モビリティの評価対象と評価項目	111
5.8.3	DEA による都市交通モビリティの効率性評価	114
5.8.4	D 非効率都市への改善案	117
第5章	参考文献	118
第6章	結論	119
6.1	本研究の成果	120
6.2	今後の課題	122
謝辞		123

## 1.1 本調査の背景と目的

今日は就労の時代といわれ、人々の生活も社会の変化とともに多様化してきた。労働環境における役割も単なる労働者としてだけではなく、購買や通行手段の選択はもろもろのこと、提供されるサービスのニーズも多様化している。

たとえば、鉄道運営で東西を結ぶ必要経路の導入などにもみられるように、交通サービスの提供は現実には増加している。供給が需要より超過したサービスを提供するためには、競争企業、対抗交通機関との差別化を図るほかにも、利用者の意見を的確に把握する必要がある。

しかし、個人の自由が尊重される社会では、個人の自由を尊重する一方で、社会全体の利益を確保する必要がある。このため、個人の自由と社会全体の利益とのバランスを確保することが必要である。また、個人の自由を尊重する一方で、社会全体の利益を確保する必要がある。このため、個人の自由と社会全体の利益とのバランスを確保することが必要である。

# 第1章

# 序論

交通に関する調査は、交通機関の運営やサービスの向上に役立つ。また、個人の自由と社会全体の利益とのバランスを確保するために、交通機関の運営やサービスの向上に役立つ。また、個人の自由と社会全体の利益とのバランスを確保するために、交通機関の運営やサービスの向上に役立つ。

本調査は、交通機関の運営やサービスの向上に役立つ。また、個人の自由と社会全体の利益とのバランスを確保するために、交通機関の運営やサービスの向上に役立つ。また、個人の自由と社会全体の利益とのバランスを確保するために、交通機関の運営やサービスの向上に役立つ。

## 1.2 本調査の内容と構成

本調査の構成は図1.2.1のとおりであり、以下に各章の概要を述べる。第1章では、交通機関の運営やサービスの向上に役立つ。また、個人の自由と社会全体の利益とのバランスを確保するために、交通機関の運営やサービスの向上に役立つ。また、個人の自由と社会全体の利益とのバランスを確保するために、交通機関の運営やサービスの向上に役立つ。

第1章では、交通機関のサービス項目に対して、利用における重要度評価の方法を開発した。すなわち、利用者へのアンケート調査の結果を基に、重要度評価の方法を開発した。

## 1.1 本研究の背景と目的

今日は混沌の時代ともいわれ、人々の意識も社会の変化とともに多様化してきた。交通機関に求める役割も単なる移動手段としてだけでなく、運賃や運行便数の改善はもちろんのこと、提供されるサービスのニーズも多様化している。

たとえば、航空運賃で実施されている幅運賃制の導入などにみられるように、交通サービスの選択肢は確実に増加している。供給者側がより充実したサービスを提供するためには、競争企業、対抗交通機関との差別化を図るほかにも、利用者の意識を的確に把握する必要がある。

しかし、個人の自由が尊重される一方で、成人式の会場での出席者の飲酒の問題や、教育界でのいわゆる学級崩壊など、「自分が楽しければ、あるいは満足すればよい」という考え方の弊害が社会問題となっている。今あらためて「集団の秩序」を見直すべき時期にあるといえる。

交通においても同様で、上述のようなサービスを提供するとしても、一人一人のニーズにすべて対応することは不可能であり、利用者の意識を集団の評価として把握することが必要である。

本研究は集団としての意思評価技法に着目し、意識調査法、モデリング、評価技法について考察を行ったものである。すなわち、これまでの交通計画における意思評価技法を体系化し、その中で交通サービス項目の重要度を構造化し、交通運賃について利用者の評価技法を開発し、交通モビリティの効率性評価法を提案したものである。

## 1.2 本研究の内容と構成

本研究の構成は図 1.2.1 のとおりであり、以下に各章の概要を述べる。

第 2 章では、意思評価技法としての交通サービスの評価手法を体系化し、本研究の位置づけおよび特徴を明らかにした。すなわち、意思決定を個人と集団から体系化し、その中で集団意思評価をとりあげた。それに交通計画の既存研究を対応させてまとめた。そして、集団意思評価として、(1)反対意見を取り込んだ、集団の交通サービス項目重要度評価、(2)集団によって初めて見いだされるものとして、価格に関する受容評価、(3)集団における優劣の相対評価をふまえた、交通の効率性に関する総合評価について研究を進めた。集団の重要度評価の構造化技法として拡張寄与ルール法(ECR 法)、価格に関する受容評価技法として価格感度測定法(PSM)、そして交通の効率性評価技法として包絡分析法(DEA)の適用と改良を図った。

第 3 章では、交通機関のサービス項目に関して、集団における重要度評価の方法を提案した。すなわち、拡張寄与ルール法(ECR 法)を適用することによって、集団としてみたサー



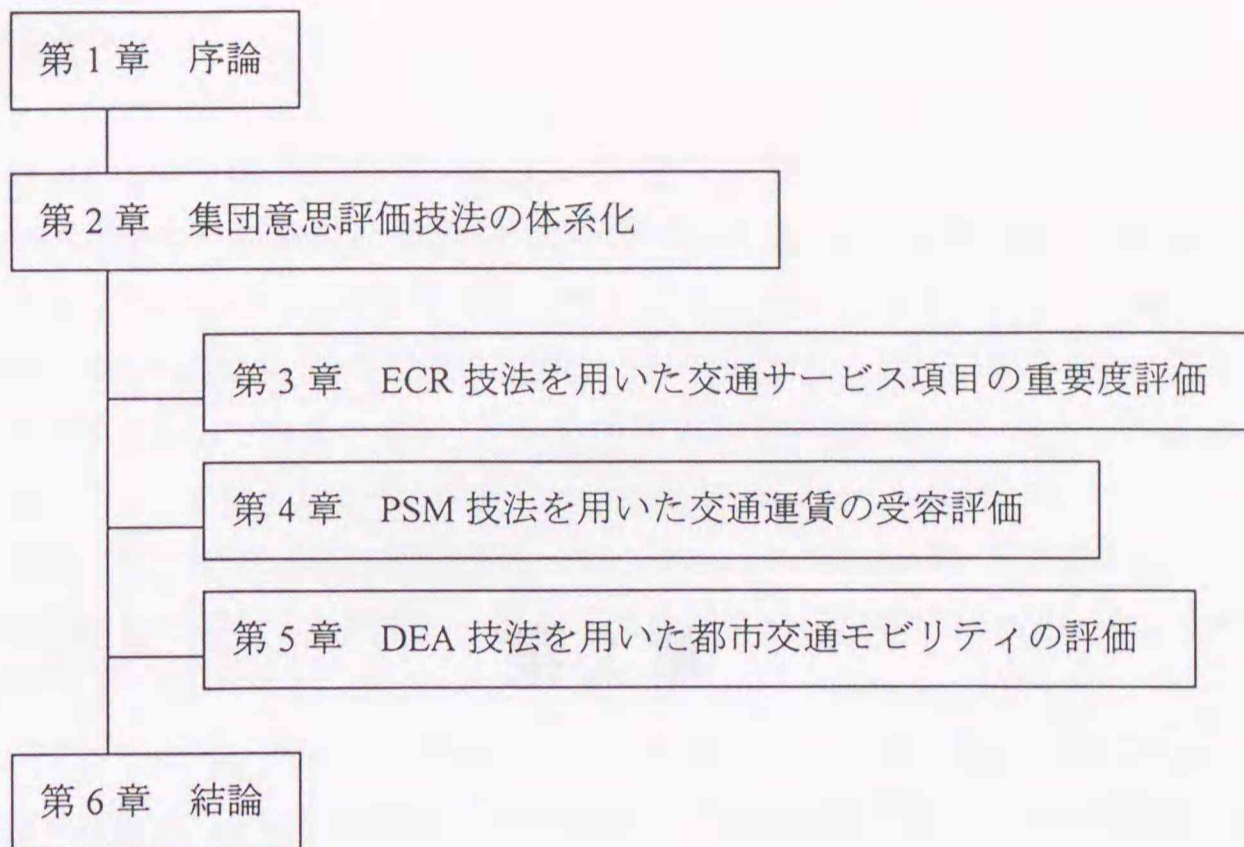


図 1.2.1 本論文の構成

ビス項目間の重要度の順序関係を構造化した。さらに、その集団の中で反対の意見を取り込んだ分析も行った。また、ECR 法を用いて、海岸部集落における道路整備方策の重要度を明らかにし、さらに航空サービス項目について重要度評価を行った。

第 4 章では、交通運賃について新しい評価方法を構築した。すなわち、価格感度測定法 (PSM) を適用することによって、利用者の支払評価価格を分析した。これまでも運賃に関しては、支払意思額等の研究がある。しかし、利用者にとっては「いくらまで支払う」という支払意思の他に、同じ支払うにしても「高い」、あるいは「安い」という評価もある。PSM はその点に着目したものであり、上限価格・下限価格・無差別価格・最小抵抗価格といった評価指標によって、利用者集団の価格評価を知ることが可能となった。また、本研究で取りあげた「値ごろ感」は集団の評価で初めて見いだすことができるものである。本研究では、航空機利用者を対象に札幌—東京間の航空運賃について PSM による調査を行い、既存の正規航空運賃に対する利用者全体の支払評価価格を明らかにした。

第 5 章では、都市交通のモビリティを効率という観点から評価した。すなわち、企業の経営活動の評価に用いられる包絡分析法 (DEA) を用いて、都市交通のモビリティの効率性評価を行った。DEA では評価対象を DMU (Decision Making Unit; 意思決定者) といい、集団における意思決定者が、その集団の中で効率的に活動を行っているかを相対的に評価するものである。また、非効率と判断されたものについては、効率的になるための改善案も具体的に数値で示すことによって、よりよい意思決定へ誘導することができる。本論文では国内 9 都市を対象に、モビリティ・環境負荷・交通にかかる費用・安全性を評価項目として、都市交通を DEA で分析した。

第 6 章では、本研究で得られた結論をまとめ、今後の課題と展望を述べた。



## 2.1 意思決定<sup>1)</sup>

我々は個人として、また組織の一員として、複数の行動案の中からどれかを選択しなければならない状況に日夜直面している。たとえば、外出しようとする際に雲行きが怪しければ、傘を持っていくかどうかを決断しなければならないだろう。また、企業の人事責任者は、複数の履歴書を前に誰を自社に採用するかを選択しなければならない。このように複数の行動案の中からどれかを選択し、決定することを一般に意思決定(decision making)と呼んでいる。また、意思決定を行う主体は意思決定者(decision maker)と呼ばれている。日々の行動の背景には、必ず意思決定が行われていることを考えれば、意思決定という行為が極めて普遍的なものであると同時に、我々の誰もが意思決定者になっていることは明らかである。

意思決定を行うには、何らかの情報が必要である。たとえば、怪しい雲行きや、候補者の履歴書は意思決定に用いられる情報である。意思決定の中には、必要な情報の大半が意思決定者の記憶に収められており、追加的に情報を収集することがほとんど必要でないものもある。また、意思決定者の記憶にある情報はほとんど使うことができず、新たに多くの情報を集めなければならない場合もある。

意思決定が何らかの情報を必要とするものであると同時に、意思決定に基づいて実施される行動も1つの情報となる。したがって、意思決定とは、実施に必要な行動を別の情報に変換する過程であるともいえる(図 2.1.1)。個人的に行われる意思決定のように、決定する主体が同時に行動する主体でもある場合には、決定情報が明示化されることは少ない。しかし、組織のために行われる意思決定の場合などは、管理者が意思決定を行い、その決定情報を明示的に部下に伝えて、実際の行動は部下が行うということもあり得る。

意思決定は極めて瞬時に行われる場合もあれば、組織や意思決定者自身に大きな影響を与える重要な意思決定の場合のように、かなり多量の情報を必要とし、その収集から最終的な決定まで何年もの期間を要するものもある。このような情報収集から決定までの一連の意思決定プロセスを構成する具体的な活動が何であり、かつ、その活動の順序がどうなっているかという問題については、今日に至るまで多くの研究者が検討を続けているが、その中でも Simon による3段階アプローチがもっとも基本的なものとして位置づけられている<sup>2)</sup>。それは意思決定を以下のような3つの活動の連なりと考えようとするものである。

### ①インテリジェンス(問題認識の段階)

個人や組織において自己が到達しようとする何らかの望ましい状態を目的という。インテリジェンスはこのような目的と現実の状態とを比較し、現実が目的に追いつかず、両者の間にギャップがあることを発見して、それを解消するために意思決定の必要性を認識する段階である。

### ②代替案設計(代替案の設計または発見の段階)

代替案設計は、インテリジェンスで見いだされた問題を解消するために行動手段を考え

る段階である。代替案の設計には、目的達成に影響する要因やその要因と目的との関係を理解することが必要となる。

### ③代替案選択(代替案の評価と選択の段階)

代替案選択は、設計段階で見いだされた代替案を評価し、選択する段階である。代替案の評価は問題解決における効果と費用を照らして行われ、その結果として最善と判断されたものが選択される。したがって、この段階では効果と費用とを正確に推定する方法が必要であり、その適否が重要となる。

#### 意思決定プロセス

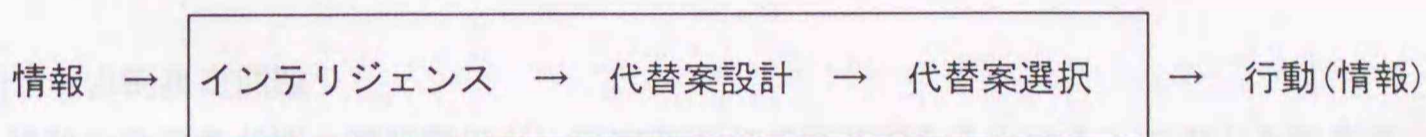


図 2.1.1 情報変換過程としての意思決定

このように意思決定をいくつかの活動フェーズの連なりと考えることは、重要なアプローチである。しかし現実には、個々の活動がひとつひとつ順序立てて行われるのではなく、意思決定の最中に、ある活動が何度も繰り返されたり、また、並行的に複数の活動が行われたりする。たとえば、代替案の設計と選択の段階では、複数の代替案が設計され、その中から最善のものが1つ選択されるという例は多くない。実際には、1つの代替案が評価されながら設計や改善が行われ、また評価されるというように、両者が不可分の関係になっている場合が多い。これは複数の代替案を設計することは、極めて労力と費用のかかることが多いからである。

## 2.2 個人と集団の意思決定

### 2.2.1 個人の意思決定

意思決定は基本は個人を対象としており、それは次のように分類できる<sup>3)</sup>。

#### (1)最適決定問題

決定者が1人の場合には、自分の選好関係のもとで最も良い結果が得られるように代替案を選択する。これを最適決定問題(optimal decision problem)という。

最適決定問題において、代替案および結果が数値で与えられる場合を数理計画問題(mathematical programming problem)という。この場合、代替案はベクトル制約式

$$g(a) \leq 0$$

を満たす数値であり、目的関数と呼ばれる結果を評価する関数の値を最小または最大にす

る  $a$  を見出す問題となる。これを解くための数理計画法は意思決定の分野で最も整備が進んでいるものの1つである。

### (2) ゲーム的決定問題

複数の決定者が存在し、決定者それぞれの選好関係が異なる場合には、決定者のそれぞれが他の決定者の選択を考慮しつつ、自分にとって最も良い結果が実現するよう選択を行うこととなる。これをゲーム的決定問題(game decision problem)という。結果が数値で表現できる場合のゲーム理論(theory of games)が構築されている。社会を複数の意思決定主体から成り立っていると見れば、ゲーム的決定問題は社会のモデルの1つになり得る。

### (3) チーム的決定問題

複数の決定者が持つ選好関係が、決定者すべて同じであるとする。このとき決定者の利害は完全に一致しているから、互いに協力して全員にとってよりよい結果が実現するように、各自の選択を行うこととなる。これをチーム的決定問題(team decision problem)という。チーム決定問題は、決定者の間で完全な情報が流通しており、他の決定者の選択が常に知られているときには、最適決定問題と一致する。情報の流通に何らかの制約があるとき、その制約のもとで最適な情報の流通構造を定める問題が重要になる。これを情報配分問題という。

### (4) 不確実性を伴う決定問題

何人かの決定者が持つ選好関係が知られていないときには、それらの決定者の選択を確実に予測することはできない。このとき、決定問題は不確実性を伴う(decision problem under uncertainty)ものとなる。選好関係のわからない決定者のことを自然と呼び、その代替案を自然の状態  $\theta_i$ 、その集合を自然の状態の集合

$$\Theta = \{\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n\}$$

という。たとえば、明日の天気は文字通り自然の状態であり、

$$\Theta = \{\text{晴、曇、雨}\}$$

からの自然の選択は、明日の行楽の種類を決定しようとする人にとって不確実性を与えるものとなる。

この不確実性を伴う意思決定基準については、ラプラスの基準、マキシミンの基準、フルビッツの基準、ミニマックスの基準の4つが知られている。また、効用関数についても不確実性を伴う意思決定問題を扱っていると言うことができる。

## 2.2.2 集団の意思決定<sup>4)</sup>

評価は本来主観的であり、人が変われば評価も変わる。したがって意思決定者が複数の

場合には、人によって異なる評価をいかにとりまとめるかが問題となる。集団意思決定はこのような問題を扱う。

### (1)投票のパラドックス

集団意思決定の基本のひとつに多数決がある。この多数決による決定にはさまざまな問題点が潜んでいる。たとえば、投票のパラドックスとよばれる奇妙な現象が生じることがある。

いま、意思決定者が  $i, j, k$ 、代替案が  $x, y, z$  の場合を考える。各人の選好関係  $>_i, >_j, >_k$  が次式で表されるとする。

$$\begin{aligned} i: x >_i y >_i z \\ j: y >_j z >_j x \\ k: z >_k x >_k y \end{aligned} \tag{2.2.1}$$

ここで代替案を対ごとに多数決をとり、これに基づく選好関係を  $>$  とすると、次のように推移律を満足しない関係が生じる。

$$x > y, y > z, z > x \tag{2.2.2}$$

このように、各個人の選好関係には矛盾もなく合理的であるにもかかわらず、集団としての選好関係が矛盾を含む現象を、投票のパラドックスという。

これを逆用すると、次のようなことができる。いま議案  $x, y, z$  があり、ある人が議案  $x$  を成立させたいとする。まず  $y, z$  という2つの議案を提案する。その結果  $y$  が採択される。ここで修正議案として  $x$  を提案すると、 $y$  と  $x$  との比較の結果  $x$  が採択されてしまう。このように提案する順序によって結果が左右されることを経路依存性とよぶ。

上述の多数決による決定をコンドルセ方式ともよぶ。多数決は単純明快な方法であるが、推移律を満足しないほかにも、いろいろと奇妙な現象が生ずる。その原因の一つは、代替案対で多数決をとると、圧倒的な勝利と僅差での勝利と違いが全く反映されないことにある。

これと対照的な方法に、ボルダ方式による順位づけがある。まず  $m$  個の代替案を各人が順位づけ、1位、2位、 $\dots$ 、 $m$ 位の代替案にそれぞれ評点  $(m-1)$ 点、 $(m-2)$ 点、 $\dots$ 、0点を与える。次にこれらの評点の総和が大きい順に代替案を順序づける。この方式で(2.2.1)式を評価すると、各代替案とも3点になり全く同等である。この場合にはこの結論の方が妥当であろう。コンドルセ方式と比較すると、序列中のどこに位置するかが評点に反映されるため、きめ細かな評価が行われる。ボルダ方式には、適当に上位にある無難な代替案が選ばれがちであるという特徴がある。

### (2)社会選好関数理論

個人の選好関係と集団としての選好関係の関連を分析するものとして、社会選好関数理論(social choice function)がある。これは、各個人の  $n$  個の代替案の序列、すなわち序数的効

用が与えられた状況を想定している。

したがって、たとえば意思決定者  $i$  が、

$$i: x > y > z$$

という選好関係を持つ場合、 $x$  と  $y$  の効用差と  $y$  と  $z$  の効用差の大小関係という基数効用的な情報は含まれていない。これが集団としての序列を決め難くしているひとつの要因である。ただ、個人別に基数的効用が与えられたとしても、集団としての序列を決め難いのは同じである。

### (3)アローの不可能性定理

このような問題に対して、否定的にはあるが解答を与えたのが、アローによる不可能性定理(impossibility theorem)である。これは多数決とか評点法などの特定の方式に関する定理ではなく、自明と考えられるいくつかの条件を満足する社会選好関数が一般には存在しないことを証明した。その条件とは、

- 1)個人の選好関係には何ら制約がない。
- 2)全員が  $x > y$  といえば集団としても  $x > y$  である。
- 3)無関係な代替案から独立である。
- 4)ある人が  $x > y$  といえば、他の人の選好関係とは無関係に  $x > y$  となるような独裁者が存在しない。

条件 3)は、代替案集合  $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  の序列をつける際、他の無関係な代替案集合  $\{x_{n+1}, x_{n+2}, \dots\}$  を考えなくてよいということである。

もちろん、この不可能性定理は以上の 4 条件を満足する社会選好関数が一般には存在しないことを証明したものであり、いかなる場合にも存在しないというわけではない。たとえば、3 人の集団で 3 人とも  $x > y > z$  なる選好関係を持てば、もちろん社会選好関数は存在する。

### (4)アロー以降の流れ

その後の研究により、やはり上記の 4 条件は一見自明に見えるが、実は条件 2)、3)にはかなり問題があることがわかってきている。また条件 1)に何らかの制限を付加すると多数決により合理的な社会的序列が定まることも示されている。

たとえば、図 2.2.1 のように、その意思決定者にとっても効用が単峰性になるような代替案の並べ方が存在し、人数が基数であれば、多数決が合理的な社会選好関数となることが示されている。これを単峰性条件(single-peaked condition)とよぶ。これをもう少し緩やかな条件で置き換えたのが、Inada による推移律保証条件である。

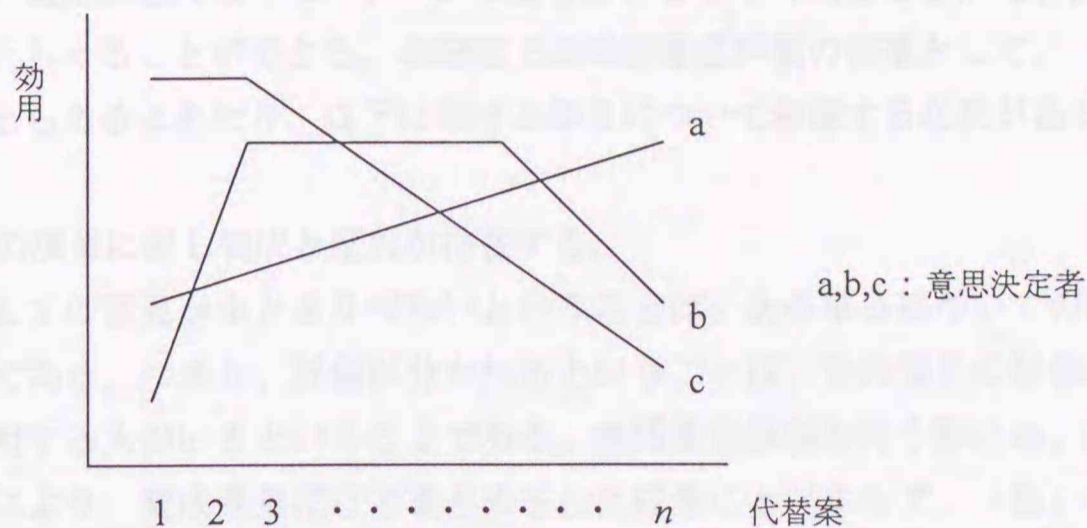


図 2.2.1 単峰性条件

なお、社会選好関数とは全く別のアプローチとして、個人間の効用比較(interpersonal comparison of preference intensities)を行う超決定者(supra decision maker)の存在を仮定することにより、集団効用関数を求める方法がキーニー(Keeney)とライファ(Raiffa)によって提案されている。しかし、形式的にはそのとおりであっても、現実にはこの超決定者の性格はあいまいであり、一般的に認められているとは言えない。

## 2.3 集団意思評価

### 2.3.1 集団意思評価技法

前節では個人と集団の意思決定について述べたが、特に集団の意思決定に関しては様々な問題があることが明らかになった。この要因について、もう一度意思決定プロセスの観点から考えることとする。

2.1 で述べた Simon による意思決定の3段階アプローチのうち、「代替案選択」に着目する。これは代替案を評価し、選択する段階である。つまり、代替案の評価と選択は分けてとらえる必要がある。集団意思決定について考えてみると、実際はその集団自身が決定することは難しく、集団の代替案の評価をもとに、最終的には代表者がひとつの代替案を選択することがほとんどである。このことから、集団の意思決定プロセスでは、個人の代替案の評価を集団としていかにしてとりまとめるかが重要になってくる。本研究はこの点に着目し、集団意思評価技法として提案するものである。

### 2.3.2 集団意思評価の着眼点

多様化している個人の評価を集団全体の評価としてひとつに定めることは難しい。言い



換えると、集団意思は様々なパターンに場合分けをして考えることができ、そこには「幅」があるのとらえることができる。本研究では集団意思評価の特徴として、「幅」に着目し、その幅をとらえるにあたり、以下に挙げる項目について考慮する必要があると考えた。

(1)ひとつの項目に対し賛成と反対が存在する。

集団としての意見がまとまりづらいということは、ある項目についての評価が分かれているからである。つまり、評価が分かれるということは、その項目の評価について賛成する人と反対する人がいるということである。集団意思評価を行う際には、反対意見を取り込むことにより、賛成意見だけでまとめられた結果にとどまらず、「幅」を持ったとらえ方で評価することが必要である。

(2)集団によってはじめて見出すことができる評価項目がある。

個人の評価は多様であり、それをまとめることが課題ではあるが、集団の評価として見たときに初めて見いだすことができる評価項目が存在する。これは最終的な集団意思決定に際し、有用な情報を与えるものになると考える。

(3)集団における個人の意思の優劣の相対評価ができる

個人の意思評価が良いものであるか、悪いものであるかを絶対的な基準で判断することは困難である。しかし、集団の中で他の意思決定者との比較により評価することは可能である。つまり、集団になることによって初めて、その中での個人の意思の優劣について相対評価を行うことができる。また、劣っていると評価された意思決定者については、優れていると評価された意思決定者を目標とすることにより、集団全体がよりよい行動を行うよう誘導することができる。

## 2.4 交通計画における集団意思評価

### 2.4.1 意識データを用いた交通機関選択モデル

ここでは交通計画における集団意思評価について見ていく。交通における意思決定の代表的な例は交通機関選択である。これまでも交通機関選択モデルについては数多くの研究がなされてきたが、佐藤らは交通機関選択モデルを次のように体系化した<sup>5)</sup>。

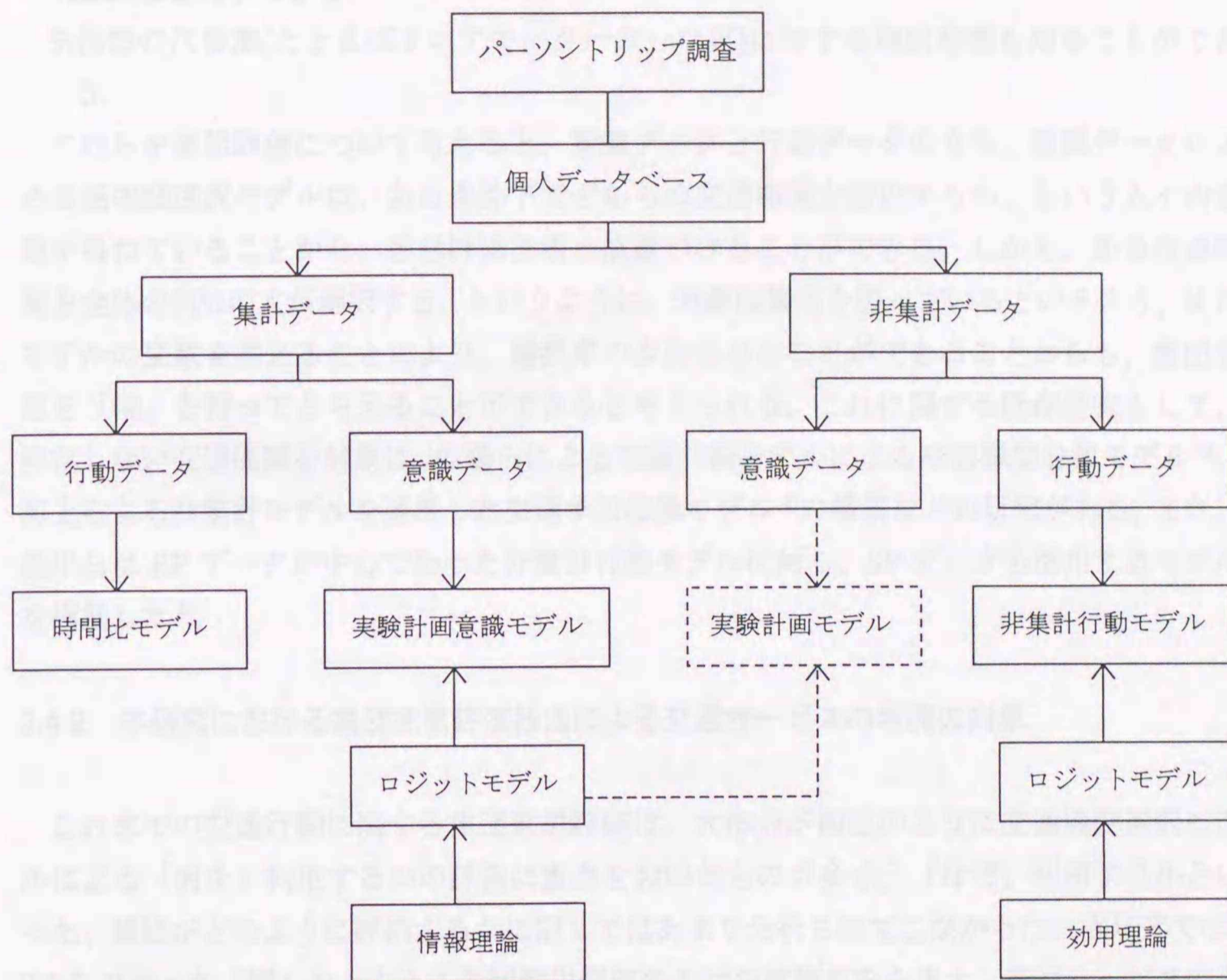


図 2.4.1 交通機関選択モデルの体系図

佐藤らは交通計画に用いるデータを早くから「意識データと行動データ」に区別し、それぞれ次のように定義している。

- ①意識データ：被験者の意識、価値観、記憶などについて調査し、得られたデータ
- ②行動データ：自動車交通量や歩行者数のように事実について調査し、得られたデータ  
ただし、アメリカでは行動データを RP データ、意識データを SP データと呼称している。
- ③RP データ (Revealed Preference Data)：市場において顕在化(revealed) した消費者の行動結果を表す情報
- ④SP データ (Stated Preference Data)：市場における現存の代替案の選好結果ではなく、仮想または実存する代替案に対する選好の意思に関する情報

交通機関選択モデルを行動データではなく、意識データを用いる長所は次の点が挙げられる。

- 1)データの範囲を拡張することができる。
- 2)工夫によって要因間の重共線を避けることができる。
- 3)安全性や快適性などの定量化しにくい要因を取り入れることができる。

4)選択肢を明示できる。

5)仮想の代替案(たとえばリニアモーターカーなど)に対する選択意識を知ることができる。

これらを意思評価について考えると、意識データと行動データのうち、意識データによる交通機関選択モデルは、ある条件下でどちらの交通機関を選択するか、という人々の意思を尋ねていることから、意思評価技法と位置づけることができる。しかも、ある交通機関を全体の何%の人が選択する、というように、対象は集団を扱っているといえよう。また、モデルの変数を変えることにより、選択率の変化をみることができるところから、集団意思を「幅」を持ってとらえることができると考えられる。これに関する既存研究として、現存しない交通機関を対象に、佐藤らによる実験計画モデルによる交通機関分担モデル<sup>6)</sup>、河上らによる非集計モデルを適用した交通手段転換モデル<sup>7)</sup>の構築などの研究がある。また、森川らは RP データが中心であった非集計行動モデルに対し、SP データも活用するモデルを構築した<sup>8)</sup>。

#### 2.4.2 本研究における集団意思評価技法による交通サービスの考課の対象

これまでの交通行動に関する集団意思評価は、大部分が前述のように交通機関選択モデルによる「何を」利用するかの評価に重点をおいたものが多く、「なぜ」利用するかといった、集団がどのように評価するかに関してはあまり分析されてこなかった。本研究では、2.3.2 で述べた「幅」をとらえる集団意思評価の3つの着眼点をふまえ、交通サービスの考課として、以下のものについて集団意思評価技法を構築する。

##### (1)交通サービス項目の重要度評価

評価対象をモデル化するには、次のような手順でなされることが多い<sup>9)</sup>。まず、評価の目的に関連すると考えられる要素の選定を行い、これらの要素間の定性的構造を明らかにする。次にデータに基づいてこれらの諸要素のモデル化を行う。これまでの交通計画においては、モデル化については交通機関選択モデルにより行われてきたが、要素間の定性的構造を明らかにする部分が、あまり分析されてこなかったといえる。そこで、本研究では集団意思評価技法の対象として、交通サービス項目の重要度評価の構造化を行うこととした。

構造化に際し、既存の構造化技法を体系化すると図 2.4.2 のようになる<sup>10)</sup>。集団意思評価は 2.2.2 で述べた投票のパラドックスという現象にもあるように、いかにして集団の意見を取りまとめるかが重要である。しかし、集団による重要度評価を考えたときに、評価項目間の重要度の違いはどのくらいか、または全体では重要であると判断されても、それに反対の意見を持つ人もいるとするならば、それはどのくらいかを評価することは、既存の構造化技法では明確にはできなかった。これを解決するために、本研究においては新しく拡

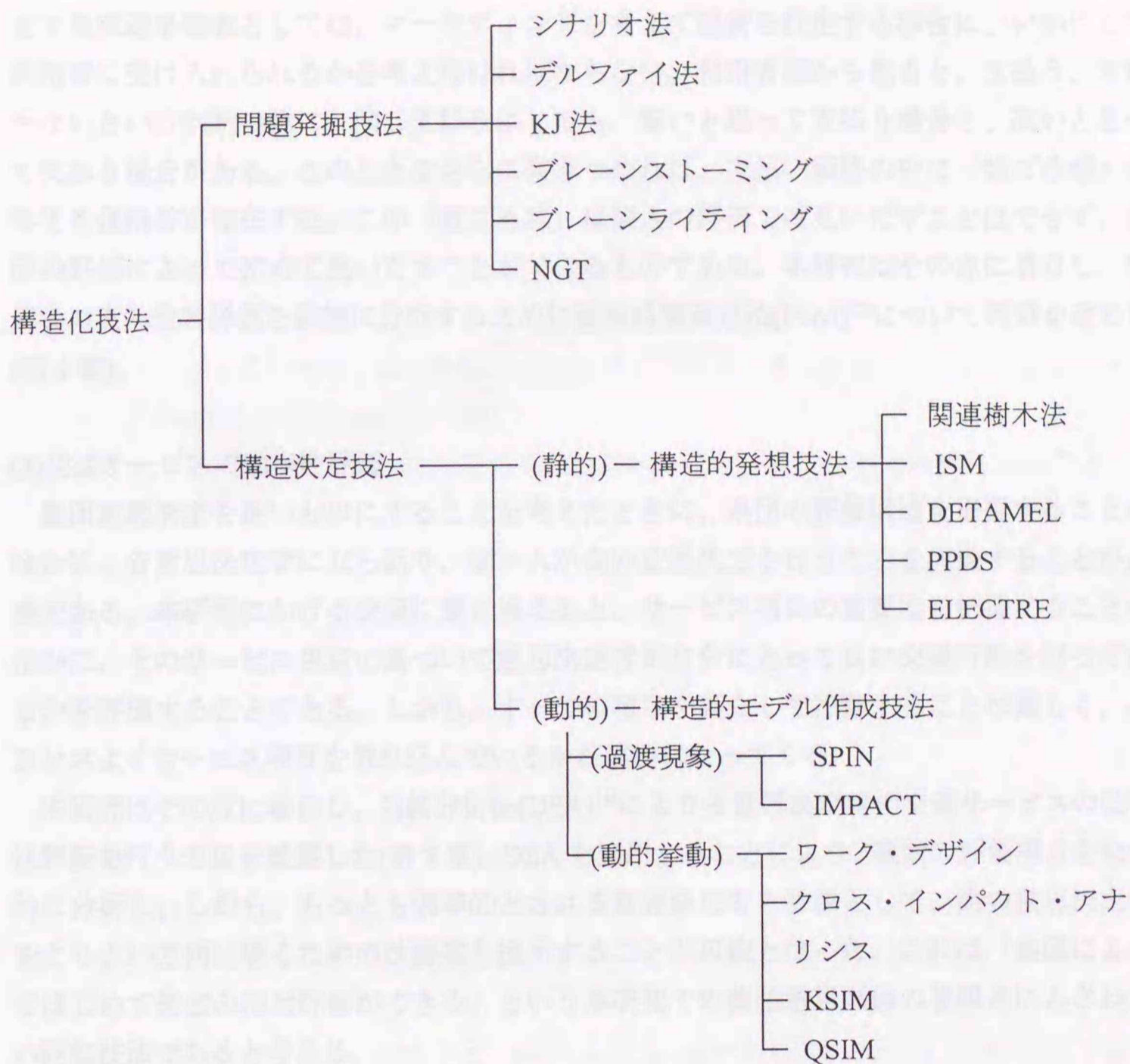


図 2.4.2 構造化技法の分類

張寄与ルール法(ECR 法)<sup>11)</sup>を適用した(第 3 章)。ECR 法を図 2.4.2 で位置づけると、構造決定技法の中の構造的発想技法に位置づけられると考えられる。また、ECR 法は社会選好関数では表すことができなかつた基数効用的な情報により、選好関係を構造化することが可能である。

## (2)交通運賃の価格受容評価

サービス項目の全体の重要度評価のほかに、個別のサービス項目について詳細に評価する必要がある項目もある。たとえば、利用者のもっとも関心のある項目として運賃が挙げられる。

本研究では、集団意思決定支援技法として運賃の支払評価を価格感度測定法(PSM)により分析した。これまで支払評価に関する研究は、支払意思額として扱われたものが多かつた<sup>12)</sup>。この支払意思額は「いくらまで払うか」という限度額に着目したものである。交通運賃を設

定する交通事業者としては、マーケティングを考えて運賃を設定する場合に、いかにして利用者に受け入れられるかを考えなければならない。利用者側から見ると、支払う、支払わないという判断の他に、同じ支払うにしても、安いと思って支払う場合と、高いと思って支払う場合がある。このことをさらに突きつめれば、支払い価格の中に「値ごろ感」を与える価格帯が存在する。この「値ごろ感」は個人の評価では見いだすことはできず、集団の評価によって初めて見いだすことができるものである。本研究はその点に着目し、利用者の支払受容評価を詳細に分析するために価格感度測定法(PSM)<sup>13)</sup>について考察を進めた(第4章)。

### (3)交通サービスの効率性評価

集団意思決定を良いものにするを考えたときに、集団の評価構造を把握することのほかに、各意思決定者に立ち返り、個々人が良い意思決定を行うことを支援することが必要である。本研究における交通に置き換えると、サービス項目の重要度を把握することのほかに、そのサービス項目に基づいて意思決定者が自分にとって良い交通行動を行っているかを評価することである。しかも、すべての項目を両立して行動することは難しく、バランスよくサービス項目を取り込んでいるかが重要になってくる。

本研究はその点に着目し、包絡分析法(DEA)<sup>14)</sup>により各意思決定者の交通サービスの効率性評価を行う方法を提案した(第5章)。DEAを適用することにより、複数の評価項目を総合的に分析し、しかも、もっとも効率的とされる意思決定者を目標として、他の意思決定者をよりよい方向に導くための改善案も提示することが可能となった。これは「集団によってはじめて優劣の相対評価ができる」という本研究での集団意思評価の着眼点にふさわしい評価技法であると考えられる。

## 第2章 参考文献

- 1)上田泰: 個人と集団の意思決定, pp2-4, 文眞堂, 1997
- 2)Simon, H.A.: The New Science of Management Decision, Harper, 1960(倉井武夫、稲葉元吉訳: 意思決定の科学, 産業能率大学出版部)
- 3)市川惇信: 意思決定論, pp5-7, 共立出版, 1983
- 4)石谷久・石川眞澄: 社会システム工学, pp166-171, 朝倉書店, 1992
- 5)佐藤馨一・五十嵐日出夫: 交通機関選択意識のモデル化とその検証, オペレーションズ・リサーチ 1990年4月号, pp6-10, 1990
- 6)佐藤馨一・五十嵐日出夫: 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, 土木学会論文報告集, No.343, pp151-159, 1984
- 7)河上省吾・広嶋康裕・溝上章志: 意識データに基づく非集計交通手段転換モデルの構築の試み, 土木計画学研究・論文集, No.1, pp11-18, 1984
- 8)森川高行・Ben-Akiva: RP データと SP データを同時に用いた非集計行動モデルの推定法, 交通工学, Vol.27, No.13, pp21-30, 1992
- 9)石谷久・石川眞澄: 社会システム工学, p33, 朝倉書店, 1992
- 10)竹村伸一: システム技法ハンドブック, p153, オーム社, 1981
- 11)榎木義一・井上紘一・守安隆: 集団意思決定のための支援システム, オペレーションズ・リサーチ 1980年11月号, pp38-46, 日本オペレーションズ・リサーチ学会, 1980
- 12)たとえば、林山泰久: 仮想的市場評価法による環境質の便益評価, 現代フォーラム, 土木学会誌, Vol.83, pp58-61, 1998
- 13)(株)社会調査研究所監修: 市場調査ケーススタディ改訂新版, pp272-283, みき書房, 1997
- 14)刀根薫: 経営効率の測定と改善—包絡分析法 DEA による—, 日科技連, 1993

本稿では、交通サービスに関する政策評価を改善するための評価手法として、交通による重要度評価  
を行う調査手法について研究を遂げた。第3章でも述べた通り、これまで交通サービス  
評価については多くの研究が発表されている。また、政策評価についても一応は、政策  
評価手法の発展により評価項目間の関係づけを分析する手法は開発されてきた。しかし、こ  
れらについて交通サービスとして重要度のとりまめという観点から研究が進められている。  
本稿では、交通サービスに関する政策評価を改善するための評価手法として、交通による重要度評価  
の調査手法を開発した。具体的には、交通サービスに関する政策評価の改善を図るための調査手法  
の開発に関する研究が本稿の目的である。また、交通サービスに関する政策評価の改善を図るための調査  
手法の開発に関する研究が本稿の目的である。また、交通サービスに関する政策評価の改善を図るための調査  
手法の開発に関する研究が本稿の目的である。

### 第3章

## ECR 技法を用いた

# 交通サービス項目の重要度評価

「Car of the Year」はヨーロッパにおいて毎年その1年間に発売された新型乗用車、新  
型の軽自動車、社会的仕業車やトラックなど、いわゆる車の年の形式として売り出された車種  
のなかから、その年を代表して選ばれた乗用車種である。自動車は人々の生活とさ  
まざまな面で密着しており、様々な価値観にとどまらず、非常に多面的な価値を  
もつたものとなった。Car of the Year の選定では、知覚性、燃費、操作性、騒音、制動の工  
学評価項目はもとより、乗客評価に際しては文化的要素、信頼、信頼、信頼、信頼といった  
評価項目、大気汚染、騒音公害、交通安全などの交通環境への影響といった面も考慮される。  
選定は年によって異なるが、日本人選定の選考委員により、第1次、第2次、最終選考の3  
ステップで行われる。各選考委員により推薦された乗用車種の中から、第1次選考委員により選考委員が対象車種を乗り比べ、感想を述べ、次に各車の性能評価を重視し、討論に入る。討論が進み、おおむね意見がまとまったところで投票が行われる。

最近、投票はネット投票であったが、買収されたときなどはこの数値中のわずかな数値の差  
でCar of the Year が決定されることもあった。このため決定後多くの委員に不満が残り、  
選考委員の選定が問題になることもあったようである。

その際、投票はプラスマイナスの点法と相対的評価法に決められた。これは、必ずしも  
Car of the Year にもよるふさわしいと思われる。各車種にそれぞれにふさわしい点  
を付ける。この車種には10点と5点の間でそれぞれにふさわしいと  
思われる点を与える。ただし、それらの点の合計が、どのようになっている。こ  
れを以て決められた点を各車種ごとに合計して、その合計点の最も高い車種を「Car of the Year」

### 3.1 概説

本章では、集団における反対意見を取り込んだ評価技法として、集団による重要度評価を行う構造化技法について研究を進めた。第2章でも述べたとおり、これまでも構造化技法については多くの技法が提案されている。また、重要度評価についても一対比較、階層分析法(AHP)等により評価項目間の重みづけを分析する手法は開発されてきた。しかし、これらについては集団としての意見のとりまとめという点で現在も研究が進められている。本論文では、拡張寄与ルール法(ECR法)を適用することによって、集団による評価項目間の重要度を構造化した。ECR法は、重要度の大きさの違いも明らかにすることができ、さらにその集団の中で反対の意見を持っている人も考慮して分析することができる。ECR法による分析のケーススタディとして、北海道島牧村住民を対象に海岸部集落における道路整備方策について、航空機利用者を対象に航空サービス項目について重要度評価を行った。

### 3.2 ECR法<sup>1)</sup>

#### 3.2.1 Car of the Year 選定とプラスマイナス5点法

“Car of the Year”はモーターファン誌において毎年その1年間に発売された新型車種、新しい変形車種、部分的仕様変更車種など、いわゆるその年の形式として売り出された全ての車種の中から、その年を代表して選ばれる最優秀車種である。自動車は人々の生活とさまざまな面で深くかかわっており、単なる輸送機械にとどまらず、非常に多面的な価値を持ったものとなった。Car of the Yearの選定では、加速性、燃費、操縦性、騒音、振動の工学的諸性能はもとより、風俗習慣などに根ざす文化的要素、価格、税制、維持費といった経済性、大気汚染、騒音公害、交通渋滞などの交通環境への影響といった面も考慮される。

選考は年によって異なるが、25人前後の選考委員により、第1次、第2次、最終選考の3ステップで行われる。各選考委員により推薦されて最終選考に残った約15車種の中から、試乗会により選考委員が対象車を乗り比べ、感想を述べ合う。次に各自の推薦理由を発表し、討論に入る。討論が進み、おおかた意見が出尽くしたところで投票が行われる。

当初、投票は単記投票であったが、票が割れたときなどは20数票中のわずかな数票の支持でCar of the Yearが決定されることもあった。このため決定後多くの委員に不満が残り、委員間の雰囲気は険悪になることもあったようである。

その後、投票はプラスマイナス5点法と呼ばれる方法に改められた。これは、まず“Car of the Year”に最もふさわしいと思われる1車種に+5点を与える。次に最もふさわしくないと思われる1車種に-5点をつける。他の車種には+5点と-5点の間でそれぞれにふさわしいと思われる点を与える。ただし、それらの点数の合計が0となるように指示されている。こうして付された点を各車種ごとに合計して、その合計点の最も高い車種を“Car of the Year”



とした。

この方法は点数のつけ方にいくつかの制限が設けられているものの、各意思決定者が[+5, -5]の範囲で基数効用値を与え、その総和の大小により集団の選好関係を決定しようというものである。

### 3.2.2 ECR 法の基礎理論

ECR 法は榎木らにより提案された方法で、SCR(Simple Contributive Rule)法を発展させたものである。鈴木らが空港周辺住民に対し、空港が存在することにより影響がある項目について評価した事例はあるが<sup>2)</sup>、交通計画において適用された研究は少ない。

ECR 法は、各意思決定者が+5 から-5 の範囲で基数効用値を与え、その総和の大小により集団の選好順序を決定しようとするものである。調査方法は前節で述べたプラスマイナス5点法を用い、被験者は最も評価の高いものに+5点、最も評価の低いものに-5点をつけ、そのほかの評価項目は+5点と-5点の間でふさわしいと思われる点数を与える。ただし、これらの点数の合計は0となるように被験者に指示する。この方法であればひとつを高く評価したならば、他のあるものは必ず低く評価しなければならず、集団の評価で重要度の順位づけを行うのに有効な方法となる。以下にSCR法、ECR法の理論的説明を行う。

今、ある選択肢のうちの2つを $a_i, a_j$ として、意思決定者 $l$ が集団の選好に寄与する量を表す関数 $c^l$ (contribution function)を

$$a_i R^l a_j \text{ iff } c^l(a_i, a_j) \geq 0 \quad (3.2.1)$$

と定義する。ここで $a_i R^l a_j$ は意思決定者 $l$ にとって $a_i$ は $a_j$ より好ましいかあるいは同程度に好ましい(あるいは優れている)ことを表し、連結律と推移律を満足する(弱順序関係)。以下 $c^l(a_i, a_j)$ を $c_{ij}^l$ と書く。 $c_{ij}^l$ は、意思決定者 $l$ の、 $a_i$ の $a_j$ に対するある種の選好強度を表していると考えても良い。

意思決定者の人数を $m$ 人としたとき、

$$a_i R^l a_j \text{ iff } g(c_{ij}^1, \dots, c_{ij}^m) \geq 0 \quad (3.2.2)$$

で定義される実関数 $c^l$ および $g$ が存在するとき、この個人の選好から集団への写象をContributive Rule(CR)と呼ぶ。ただし $R$ は集団の選好を表す。特に $g$ が個人の $c_{ij}^l$ の和のとき、つまり、

$$g(c_{ij}^1, \dots, c_{ij}^m) = \sum_{l=1}^m c_{ij}^l \quad (3.2.3)$$

のときを SCR(Simple Contributive Rule)という。

個人  $l$  の選択肢  $a_i$  に対する基数効用値を  $u^l(a_i)$  で表す。ここで  $c^l_{ij}$  を選択肢  $a_i$  と  $a_j$  の効用の差、つまり、

$$c^l_{ij} = u^l(a_i) - u^l(a_j) \quad (3.2.4)$$

とすると、SCR 法では、

$$g(c^l_{ij}, \dots, c^m_{ij}) = \sum_{l=1}^m u^l(a_i) - \sum_{l=1}^m u^l(a_j) \quad (3.2.5)$$

となる。これより、先に述べたプラスマイナス 5 点法が SCR 法であることがわかる。なお、(3.2.5)式の  $g$  によって決まる集団の選好関係は弱順序となる。

SCR 法によって得られる選好関係は、単記投票に比べ各人の意見をより多くとり入れた順序づけではあるが、反対意見の大きさなどについてはよくわからない。このような場合には討論に有効な情報をより多く与える選好の集約法が望まれる。このために生まれたのが ECR 法である。

ECR 法は SCR 法の拡張であり、(3.2.4)式の  $c^l_{ij}$  に対して関数  $g$  を

$$g(c^l_{ij}, \dots, c^m_{ij}) = \sum_{l=1}^m w^l c^l_{ij} + \lambda \sum_{l=1}^m w^l \text{Min}(0, c^l_{ij}) - m\theta \quad (3.2.6)$$

と定義するものである。

ただし、

$g$ : 集団の選好度

$c^l_{ij}$ : 意思決定者  $l$  の項目  $i$  の項目  $j$  に対する選好度

$w^l$ : 意思決定者  $l$  の重み

$\lambda (\geq 0)$ : 大きいほど意見の一致度を高く取る値

$\theta (\geq 0)$ : 弱い関係を排除する閾値

である。

(3.2.6)式の第 2 項は  $c^l_{ij} < 0$ 、つまり「 $a_i$  は  $a_j$  と少なくとも同程度に好ましい」ことに反対の意見をさらに  $\lambda$  だけ余分にとり入れようというもので、 $\lambda$  を大きくしていくと、全体の選好強度の大きさ(第 1 項の値)が同じでも、意見が分かれています反対が大きいものから関係が切れる。

第 3 項の  $\theta$  は、第 2 項までの全員の平均値の下限を定める閾値で、集団全体としての意見の一致度も考えた選好の強さが小さい順序関係から切れていく。

ECR 法による選好関係は、推移律は満たすが、以上のように連結律は満足されないので、

半順序となる。順序関係のつかない選択肢の対に関しては、意見が分かれていたり、その差がほとんどないことから、その時点で優劣をつけるべきではないと示唆していると考えても良いだろう。

計算結果は ISM モデルにより選好度、つまりここでは重要度が高いものが上方にくるように構造化し、さらに選好関係のある項目を線で結んでいる。

### 3.2.3 ISM モデル<sup>3)</sup>

ISM モデルは、J. W. Warfield によって提唱された Interpretive Structural Modeling の頭文字を取った名称で、階層構造化手法のひとつである。以下にその計算手順を説明する。

ここでは、評価の要素の数は例として 7 つあるとする。この 7 つの要素の一対比較を行い、要素  $i$  が要素  $j$  に影響を与えていれば 1、そうでなければ 0 とし関係行列(E)を作る。この例においては、表 3.2.1 に示すようになるとする。なお、本研究における ECR 法の分析結果については、(3.2.6)式において、

$$g(c_{ij}^l \cdots, c_{ij}^m) > 0 \text{ のとき } 1$$

$$g(c_{ij}^l \cdots, c_{ij}^m) \leq 0 \text{ のとき } 0$$

として計算している。

表 3.2.1 関係行列

要素 $i$ \ 要素 $j$	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
①	0	0	0	0	0	0	0
②	1	0	0	0	0	1	0
③	1	0	0	0	1	0	0
④	1	0	0	0	0	0	0
⑤	1	0	0	0	0	0	0
⑥	1	0	0	0	0	0	0
⑦	1	0	0	0	0	0	0

そして、単位行列 I を加えて、

$$N = E + I \tag{3.2.7}$$

とする。この  $N$  のべき乗を次々と求め、可達行列  $N^*$  を計算する。(3.2.7)式のように  $(E+I)$  を  $N$  と書くと、これを  $(k-1)$  回以上べき計算を行っても結果は変わらなくなる。ここで、 $k$  は  $E$  の次元である。すなわち、 $N^{k-1} = N^k = N^{k+1}$  となる。このような行列を元の行列  $E$  の可達行列(reachability matrix)と呼び、 $N^*$  と表す。ただし、この行列演算は、1(影響あり)と 0(影響なし)で行う。この例の可達行列  $N^*$  は表 3.2.2 に示すとおりである。

表 3.2.2 可達行列

要素 $i \setminus$ 要素 $j$	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
①	1	0	0	0	0	0	0
②	1	1	0	0	0	1	0
③	1	0	1	0	1	0	0
④	1	0	0	1	0	0	0
⑤	1	0	0	0	1	0	0
⑥	1	0	0	0	0	1	0
⑦	1	0	0	0	0	0	1

次に、この可達行列により各要素  $t_i$  に対して、

$$\text{可達集合 } R(t_i) = \{t_j \mid n_{ij}' = 1\} \quad (3.2.8)$$

$$\text{先行集合 } A(t_i) = \{t_j \mid n_{ji}' = 1\} \quad (3.2.9)$$

を求める。このことをより簡単にいえば、可達集合  $R(t_i)$  を求めるには、各行を見て「1」になっている列を集めればよく、先行集合  $A(t_i)$  を求めるには、各列を見て「1」になっている行を集めればよい。この例における各要素の可達集合と先行集合は表 3.2.3 に示すとおりである。

表 3.2.3 可達集合と先行集合(1)

$t_i$	$R(t_i)$	$A(t_i)$	$R(t_i) \cap A(t_i)$
①	<u>①</u>	①,②,③,④,⑤,⑥,⑦	<u>①</u>
②	<u>①,②,⑥</u>	②	<u>②</u>
③	<u>①,③,⑤</u>	③	<u>③</u>
④	<u>①,④</u>	④	<u>④</u>
⑤	<u>①,⑤</u>	③,⑤	<u>⑤</u>
⑥	<u>①,⑥</u>	②,⑥	<u>⑥</u>
⑦	<u>①,⑦</u>	⑦	<u>⑦</u>

各要素の階層構造におけるレベルの決定は、この可達集合  $R(t_i)$  と先行集合  $A(t_i)$  により、

$$R(t_i) \cap A(t_i) = R(t_i) \quad (3.2.10)$$

となるものを、逐次求めていくものである。表 3.2.3 において、(3.2.10)式を満たすものは要素①だけであるから、まず第 1 レベルが決まる。すなわち  $L_1 = \{\text{①}\}$  である。次に、この要素①を表 3.2.3 から消去(ここでは下線をつける)して、同じように、(3.2.10)式を満たす要素を抽出する。その結果、レベル 2 としては  $L_2 = \{\text{④,⑤,⑥,⑦}\}$  となる。次にこれらの要素{④,

⑤,⑥,⑦}を消去すると、表 3.2.4 のようになる。

表 3.2.4 可達集合と先行集合(2)

$t_i$	$R(t_i)$	$A(t_i)$	$R(t_i) \cap A(t_i)$
②	②	②	②
③	③	③	③

この表に対して、また(3.2.10)式を適用すると、レベル3は、 $L_3 = \{②,③\}$ となる。すなわち、この階層構造のレベルは3水準までとなる。これらのレベルごとの要素と表 3.2.2 に示した可達行列より、隣接するレベル間の要素の関係を示す構造化行列が得られる。

この例の場合、表 3.2.5 に示すようになる。

表 3.2.5 構造化行列

要素 $i \setminus$ 要素 $j$	①	④	⑤	⑥	⑦	②	③
①	1	0	0	0	0	0	0
④	1	1	0	0	0	0	0
⑤	1	0	1	0	0	0	0
⑥	1	0	0	1	0	0	0
⑦	1	0	0	0	1	0	0
②	0	0	0	1	0	1	0
③	0	0	1	0	0	0	1

この構造化行列より階層構造が決定する。すなわち、レベル1である要素①の列を見ると、 $\{①,④,⑤,⑥,⑦\}$ に①があり、レベル2である要素⑦,⑥,⑤,④と関連することがわかる。同様に、要素⑥には②、要素⑤には③が関連することがわかる。

以上、関連する要素間を線で結び、レベル1からレベル3の階層構造を図示したものが図 3.2.1 である。

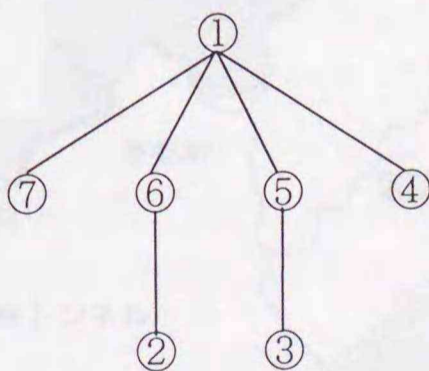


図 3.2.1 階層構造

ECR 法により計算された結果は、以上のような手順で ISM モデルにより選好関係を図示することにより視覚的に表現できる。

### 3.3 ECR 法による海岸部集落における道路整備方策の重要度評価

#### 3.3.1 海岸部集落における道路システムの評価の意義

都市計画的見地から海岸部集落の生活機能を考えたときに、住民の生活と道路システムとの関連は非常に深く、重要である。しかし、これまでのパーソントリップ調査やOD調査といった交通調査は、標本数の関係で農山村や海岸部集落を対象とせず、住民の交通特性を十分に把握してこなかった。これは国土全体の発展を考えれば早急に対処しなければならない問題であり、大都市圏と比較しても交通行動において選択肢が少なく、制約を抱える海岸部集落においてこそ、道路システムの重要性は大きい。そこで海岸部において独自に調査を行い、その整備課題を明らかにする必要がある。

1997(平成9)年8月、北海道島牧村の国道229号の第2白糸トンネルが崩落した。復旧作業は順調に進まず、北海道開発局は結局新たに新トンネルを建設することを決定し、完成までの約2年間、通行止めとなることになった。沿線地域は国道229号の他に代替道路はなく、それまで島牧村から隣町の瀬棚町へ行くには片道約30分だったところが、太平洋側を迂回することで片道3時間以上要するようになった。この結果、島牧村の住民は買い物、通院等において不自由な生活を余儀なくされている。また、地元の商店街も通過交通がなくなったことから、売上が減少している店が多い。

これまでも途絶による道路ネットワークの評価に関する研究<sup>4)</sup>や、過疎地域の行動特性を扱った研究事例<sup>5)</sup>はあるが、海岸部集落の道路システムについて本格的に研究を行った事例はない。海岸部集落における道路システムの整備は、今後さらに重要性を増すと考えられる。本研究は第2白糸トンネル崩落事故という異常時から得られた道路システムの問題点・

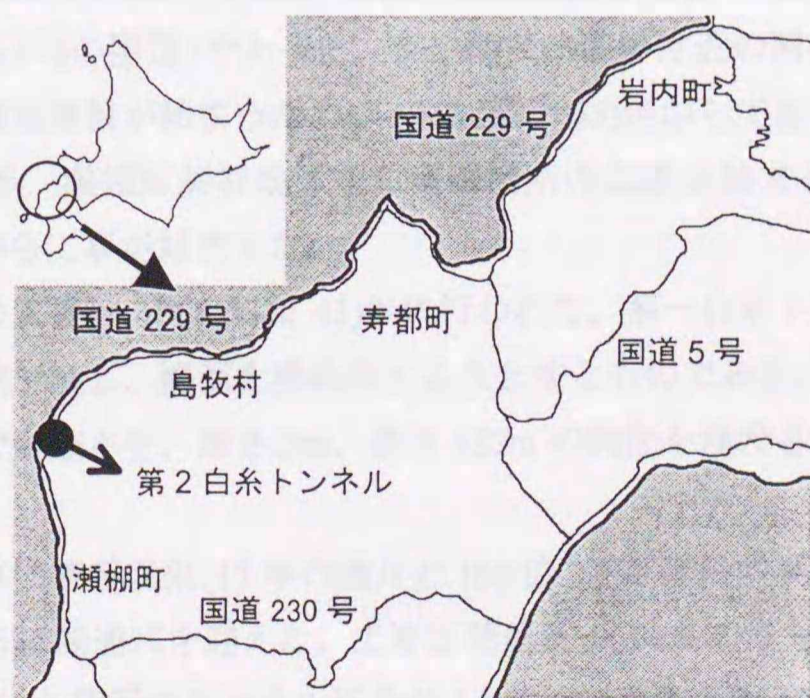


図 3.3.1 第2白糸トンネルと本研究対象町村

教訓をとおして、正常時における海岸部集落の道路整備方策についての重要度評価を ECR 法を用いて分析した。

### 3.3.2 一般国道 229 号島牧～瀬棚間開通までの歴史<sup>6)</sup>

1845(弘化 2)年、北海道江差に上陸した松浦武四郎は太櫓、瀬棚までを踏破し、翌年瀬棚から海上を船で島牧、寿都に向かっている。その後 1856(安政 3)年、新道開削の調査として熊石から調査隊が船で出航した。松浦はアイヌ人と和人 1 人を案内人として陸行し、川があれば川上の地形を調査し、道なき海岸の断崖を上り、絶壁を下りながら島牧に着いた。

文化年間のはじめ(1800年初頭)、松浦藩が瀬棚のスッキから島牧のコタニシに至る 19.6km の道路開削工事を試みたことがある。しかし、あまりの難工事のために中断された。

その後、鈴鹿甚右衛門が莫大な費用を投じて道路を開削し、渡航入稼者が往来するようになった。しかし、断崖絶壁の連続する危険な個所が多く、さらにはニシンの凶漁などもあって、次第に利用する人も少なくなり、廃道の状態となった。

開拓使時代、岩内から瀬棚間は西岸線と指定され、第一期拓殖計画時には江差～岩内線となった。1927(昭和 2)年、海岸線を貫く新しい道路のルートが計画され、再び道路建設運動が始まった。

1949(昭和 24)年、久遠村、太櫓村、瀬棚町、西島牧村(当時)が北檜山沿岸道路期成会を設立し、町村道久遠村富磯～太櫓村鶴泊間と、瀬棚町美谷～茂津多～西島牧村栄浜間の道路新設を関係機関に働きかけた。1953(昭和 28)年、小樽と江差間を結ぶこの道路は、二級国道 229 号小樽江差線となった。

1957(昭和 32)年、町村合併により誕生した瀬棚町と島牧村が茂津多道路促進同盟会を結成し、関係機関への陳情が続けられた。島牧村第二栄浜と瀬棚町美谷間の 14.8km は、地図の上のみに存在する「幻の国道」であった。長い間茂津多岬付近の開発ができなかったのである。この区間の道路建設が始まったのは 1960(昭和 35)年からである。

1960(昭和 35)年、瀬棚町美谷地区から道路開削の工事が始まった。一方、島牧村側は 1966(昭和 41)年から工事が始まった。

もっとも大きな工事は 1968(昭和 43)年に行われた。第一白糸トンネル付近に大きく突き出した断崖を発破で崩し、海面を埋め立てようとするものである。大石と中小石を 4 トンのダイナマイトで爆破させ、深さ 5m、長さ 422m の海面を埋没させる工事は大成功を収めた。

不通区間の工事に着手以来、17年の歳月と 103 億 2,698 万円の事業費を投入して、1976(昭和 51)年 11 月 6 日に開通式を迎えた。工事区間延長 14.8km のうち、茂津多トンネル、第 2 白糸トンネルなど 13 個所のトンネル延長が 5,861m で全体の約 40%を占める難工事であった。

現在、国道 229 号は島牧村住民の生活道路であるとともに、地域の観光ルートとしても

利用され、島牧―瀬棚間の開通によって小樽と函館をつなぐ広域観光ルート追分ソーランラインが完成した。また、水産、林産などを背景にして、檜山支庁と後志支庁を結び、活発な経済交流を図り、民生安定のために大きな役割を果たしている。

### 3.3.3 第2白糸トンネル崩落事故と復旧計画の概要

1997(平成9)年8月25日午後2時半ごろ、後志管内島牧村の国道229号、第2白糸トンネル(全長741m)で、上部にある高さ70m、幅30m、厚さ10mの岩盤を含む土砂が崩落し、トンネル南側の瀬棚町側入り口付近から約100mにわたって大量の岩塊や土砂などで埋まった。この事故により、国道229号は島牧村栄浜と瀬棚町須築間の9.4kmが通行止めになった。

北海道開発局、北海道、北海道警察本部などで「第2白糸トンネル崩落事故災害対策現地合同本部」が設置され、被害者の確認や対応策について検討がなされた。

崩落事故現地対策本部は8月26日午後からトンネル巻き出し部を覆っている岩や土砂の除去作業を開始した。しかし、小規模な崩落が繰り返されるたびに作業の中止を余儀なくされ、また大規模な二次災害の危険性が高いことから安全を確認しながらの手探り状態であった。

9月16日、北海道開発局は、土砂除去作業を続行すれば二次災害の危険が強く、安全の保証ができないとして作業を断念した。これにより、北海道開発局は改めて復旧方法として次の4つの案を検討した。

- ①現トンネルの復旧
- ②事故現場の海側に橋を架けて迂回路を設ける
- ③現トンネルの一部を活用し山側短絡トンネルと併用する
- ④山側に新トンネルを掘削する

現トンネルの復旧には工期33か月以上、工費44億円、山側短絡トンネル案も工期24か月以上で工費44億円かかると見積もられた。また、架橋案は日本海の荒波に耐える構造では約70億円の工費がかかる。これに対し新トンネル案が工期18か月、工費約40億円と見積もられている。

また現トンネル復旧は、崩落の危険がある岩塊がなお残り、除去作業を考えれば、時間、費用などの面で現実的でない。海側の架橋は厳しい冬期の通行など危険が大きい。現道の一部とトンネルの併用案も、新たに現道周辺の崩落対策が必要である。

このようなことから、工期、工費だけでなく安全面からも新トンネル案が最も優れていると判断された。

また工事期間中の仮道路の確保については、現道は当面の道路として使用することは不可能であるため、海側に橋を架けるか、海側を埋め立てて道路を通す2案が考えられた。しかし北海道開発局は、架橋は難工事になり短期間での完成は望めそうになく、また埋め



立て案も周辺の漁場への悪影響を考慮するとできないと判断した。このため工事期間中は安全性を優先させ、現場付近に迂回路などは設けず、通行を規制することとなった。

### 3.3.4 国道 229 号沿線における住民意識調査の実施

本研究では第 2 白糸トンネル崩落事故の影響、住民の道路整備に関する意識を分析するため、国道 229 号沿線地域でアンケート調査を行った。調査日は平成 9 年 12 月 2 日～4 日、対象は島牧村の住民および島牧村、岩内町、寿都町、瀬棚町の商店、飲食店、旅館の経営者とし、調査方法は戸別訪問で直接配布、回収の方式をとった。回収票数は島牧村住民が 138 票、商店経営者が 4 町村合計で 86 票、総計 224 票であった。

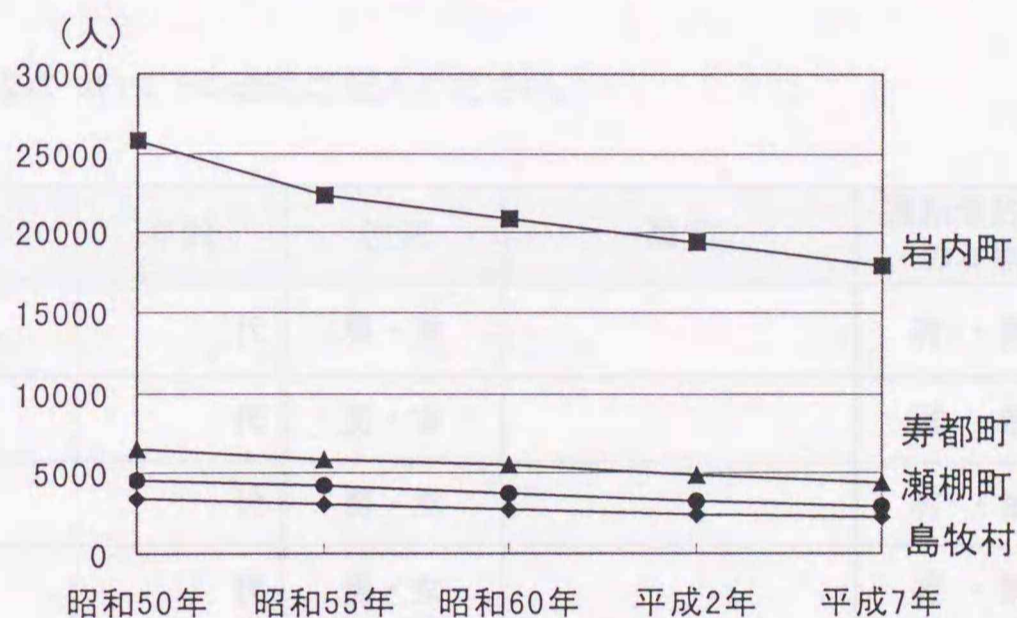


図 3.3.2 調査対象町村人口推移(国勢調査)

調査対象町村の人口は図 3.3.2 のとおり減少傾向にあり、岩内町で約 17,000 人、寿都町が約 4,000 人、瀬棚町が約 2,800 人、島牧村が約 2,300 人である。各町村の基幹産業は漁業と観光で、特に島牧村においては、15 歳以上就業者人口のうち、漁業が 22%を占める。

次ページ以降に調査票を示す。

## 国道229号の安全・整備方策に関する調査（住民用）

北海道大学工学部土木工学科交通制御安全工学研究室

〒060 札幌市北区北13条西8丁目

TEL.011-706-6217 FAX.011-726-2296

世帯主またはそれに準じる方にアンケートのご記入をお願いします。

### 1. あなた自身のことについておたずねします。

問1 家族構成について下の表にご記入ください。

続柄	年齢	性別	職業	運転免許証の有無	自由に使える車の有無
記入者本人	代	男・女		有・無	有・無
	代	男・女		有・無	有・無
	代	男・女		有・無	有・無
	代	男・女		有・無	有・無
	代	男・女		有・無	有・無
	代	男・女		有・無	有・無

問2 あなたの世帯の生計の中心となるものは次のうちどれですか。

1. 会社員・公務員    2. 漁業    3. 農業    4. 商業  
5. その他( )

問3 勤務地は 1. 島牧村内    2. その他( )

問4 島牧村に住んで何年になりますか。

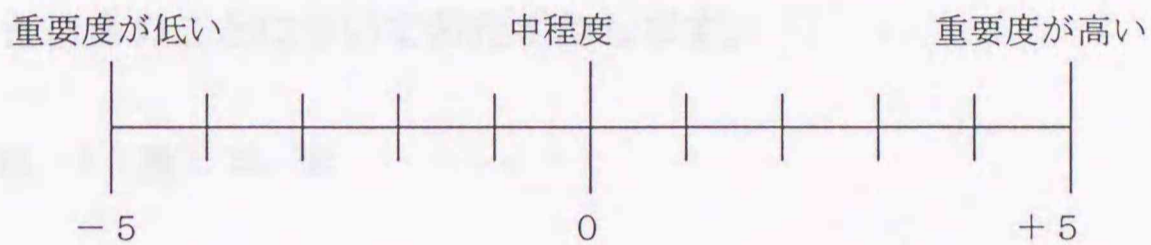
1. 5年未満    2. 5年以上 10年未満    3. 10年以上 20年未満  
4. 20年以上    5. 親の世代から





4. 今後の国道整備のあり方についてどの項目の重要度が高いと思いますか。

「最も重要度が高いと思う項目」に「+5」点、「最も重要度が低いと思う項目」に「-5」点を記入し、その他の項目には「+4」から「-4」までの数字を記入してください。但し、全項目の合計点数が0点になるように点数をつけて下さい。



- ①岩盤の崩落などのない安全な場所を通る道路  点
- ②観光ポイントを通過する道路  点
- ③冬季間の交通障害の少ない道路  点
- ④環境への影響が小さい道路  点
- ⑤高規格道路のように目的地へ早く着くことができる道路  点
- ⑥住民の生活圏を通る道路  点
- ⑦バスやトラックなど大型車が通るために十分な幅員がある道路  点
- ⑧目的地へ行くために2つ以上のルートがある道路網  点

合計 0点

ご協力ありがとうございました

## 国道229号の安全・整備方策に関する調査（商店用）

北海道大学工学部土木工学科交通制御安全工学研究室

〒060 札幌市北区北13条西8丁目

TEL.011-706-6217 FAX.011-726-2296

1. あなた自身のことについておたずねします。

問1 性別は 1. 男 2. 女

問2 年齢は 1. 10代 2. 20代 3. 30代 4. 40代 5. 50代  
6. 60代 7. 70歳以上

問3 現在の市町村で営業を始めてから何年になりますか。

1. 5年未満 2. 5年以上10年未満 3. 10年以上20年未満 4. 20年以上  
5. 親の世代から

2. 国道229号の全線開通、第2白糸トンネル崩落事故による影響についておたずねします。

問1 あなたは今年8月の第2白糸トンネル崩落事故以前に国道229号を利用して瀬棚町（島牧村方面）へ行っていましたか。

1. 利用していた 2. 利用していなかった →問2へ

↓(1)(2)(3)へ

(1) 主な目的は何ですか。

1. 通勤 2. 業務 3. 買い物 4. 病院へ行く 5. 観光・余暇  
6. 友人、知人などに会いに行く 7. その他( )

(2) どのくらい国道229号を利用して瀬棚町（島牧村方面）へ行っていましたか。

1. ほとんど毎日 2. 週に1, 2回 3. 月に1, 2回

(3) 現在はどのようにしていますか。

1. う回して瀬棚町（島牧村）へ行く 2. 瀬棚町（島牧村）のかわりに他の町村へいく  
3. その目的自体をあきらめる 4. その他( )

問2 第2白糸トンネルが不通になったことにより、生活は不便になりましたか。

1. 非常に不便になった 2. 不便になった 3. 変わらない

問3 昭和51年に国道229号の島牧～瀬棚間が開通してから商店などの売り上げはどうになりましたか。

1. 増えた 2. 減った 3. 変わらない

問4 平成8年11月の国道229号が全線開通(神恵内～積丹間)により、売り上げはどうになりましたか。

1. 増えた 2. 減った 3. 変わらない

問5 今年8月の第2白糸トンネル崩落事故後商店などの売り上げはどうになりましたか。

1. 増えた 2. 減った 3. 変わらない

問6 崩落事故によって商品の入荷など営業に影響がありましたか。

1. あった 2. ない

問7 第2白糸トンネルが不通になったことにより次の項目について考えたり、問題としたことがありますか。

	ある	どちらともいえない	ない
(回答例)	<input checked="" type="radio"/>		
	当てはまる所に○をつけて下さい		
1. 観光客が少なくなること	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. 物資の輸送が困難になること	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. 買い物や病院に行くのに不便になること	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. 通勤や通学が困難になること	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. 国道229号を通るときに不安になること	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6. まちに危険なイメージがもたれること	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

問8 今年8月の第2白糸トンネル崩落事故によって廃業することを考えましたか。

1. 考えた 2. 考えなかった

問9 国道229号の島牧～瀬棚間が新ルート開通まで通行止めになることについてどう思っていますか。

1. 仕方がない  
2. 仮道路により通行できるようにしてほしい  
3. 新しいトンネルを現在の予定よりできるだけ早く完成させてほしい  
4. その他( )

3. 今後の国道229号における整備のあり方などご意見がございましたら、ご自由にお書きください。

Large empty rounded rectangular box for writing answers to question 9.

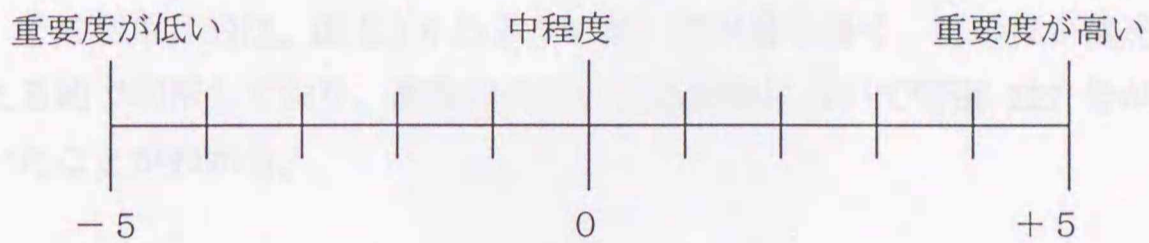
合計 0点

ご協力ありがとうございました



4. 今後の国道整備のあり方についてどの項目の重要度が高いと思いますか。

「最も重要度が高いと思う項目」に「+5」点、「最も重要度が低いと思う項目」に「-5」点を記入し、その他の項目には「+4」から「-4」までの数字を記入してください。ただし、全項目の合計点数が0点になるように点数をつけて下さい。



- ①岩盤の崩落などのない安全な場所を通る道路  点
- ②観光ポイントを通過する道路  点
- ③冬季間の交通障害の少ない道路  点
- ④環境への影響が小さい道路  点
- ⑤高規格道路のように目的地へ早く着くことができる道路  点
- ⑥住民の生活圏を通る道路  点
- ⑦バスやトラックなど大型車が通るために十分な幅員がある道路  点
- ⑧目的地へ行くために2つ以上のルートがある道路網  点

合計 0 点

ご協力ありがとうございました

### 3.3.5 第2白糸トンネル崩落事故による影響

#### (1)住民の生活への影響

「第2白糸トンネル崩落事故以前に、国道229号を利用して瀬棚町へ行ってたか」の問いに対し、図3.3.3のように島牧村の住民の約8割が「利用していた」と答えた。利用頻度も「月に1,2回」が大半を占める一方で、「ほとんど毎日」と「週に1,2回」をあわせると35%にもものぼった。その利用目的は、図3.3.4のように買い物が最も多く、そのほか観光、病院に行くといった目的で利用しており、島牧村住民の生活機能において国道229号が重要な役割を持っていたことがわかる。

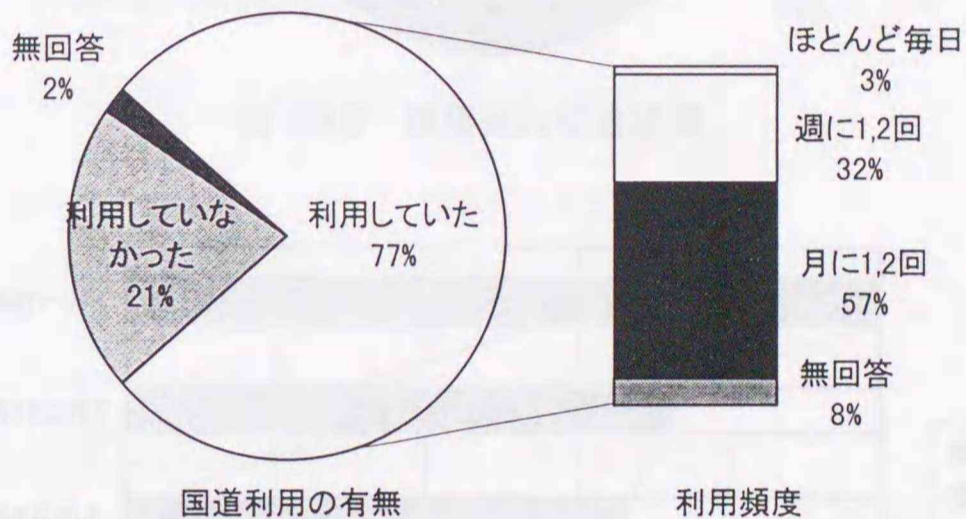


図 3.3.3 第2白糸トンネル崩落以前の国道利用と頻度

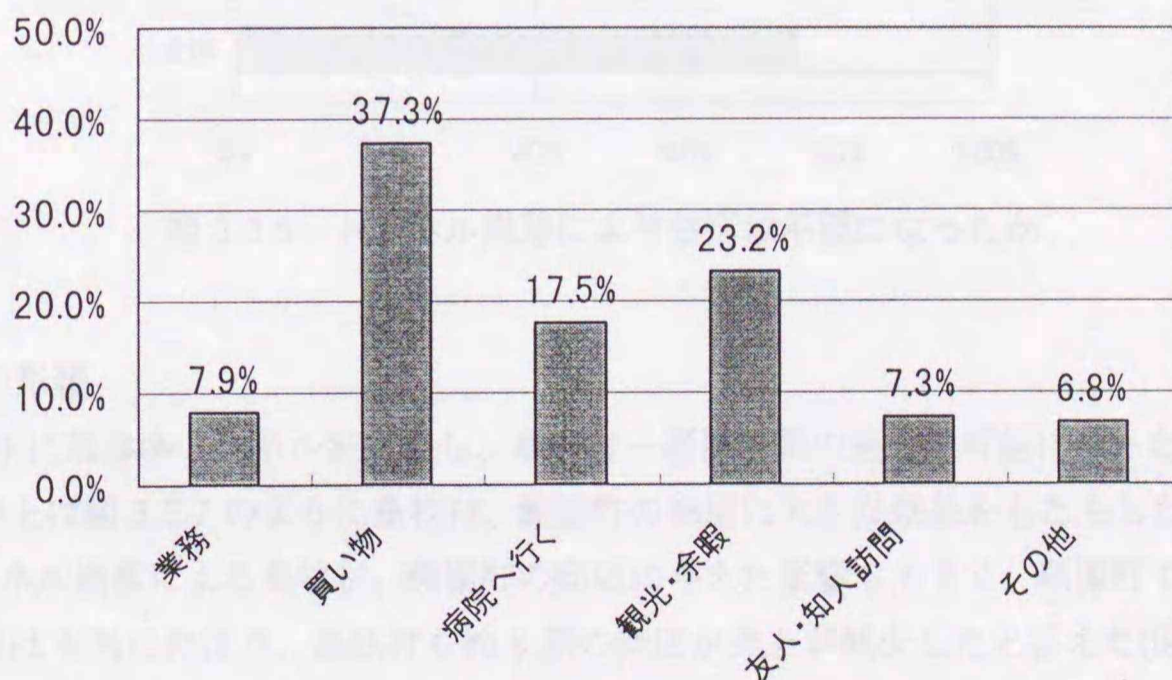


図 3.3.4 国道229号利用目的(複数回答)

また、トンネル崩落によって現在どうしているかについては、図3.3.5のように他の町村へ行く人が多い中、迂回しても瀬棚町に行く人、またはその目的自体をあきらめる人がそれぞれ約2割もいた。それらの人々の大半が生活が不便になったと答えており(図3.3.6)、

崩落事故が生活機能に及ぼす影響の大きいことがわかった。

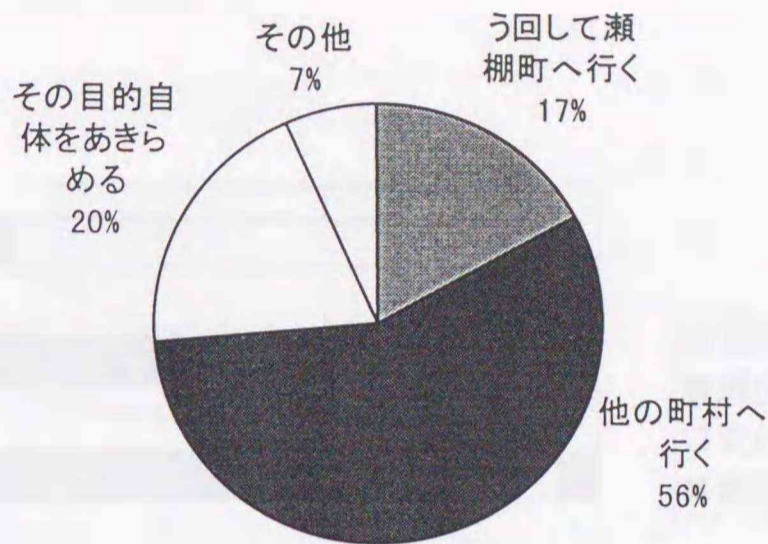


図 3.3.5 崩落後の交通状況

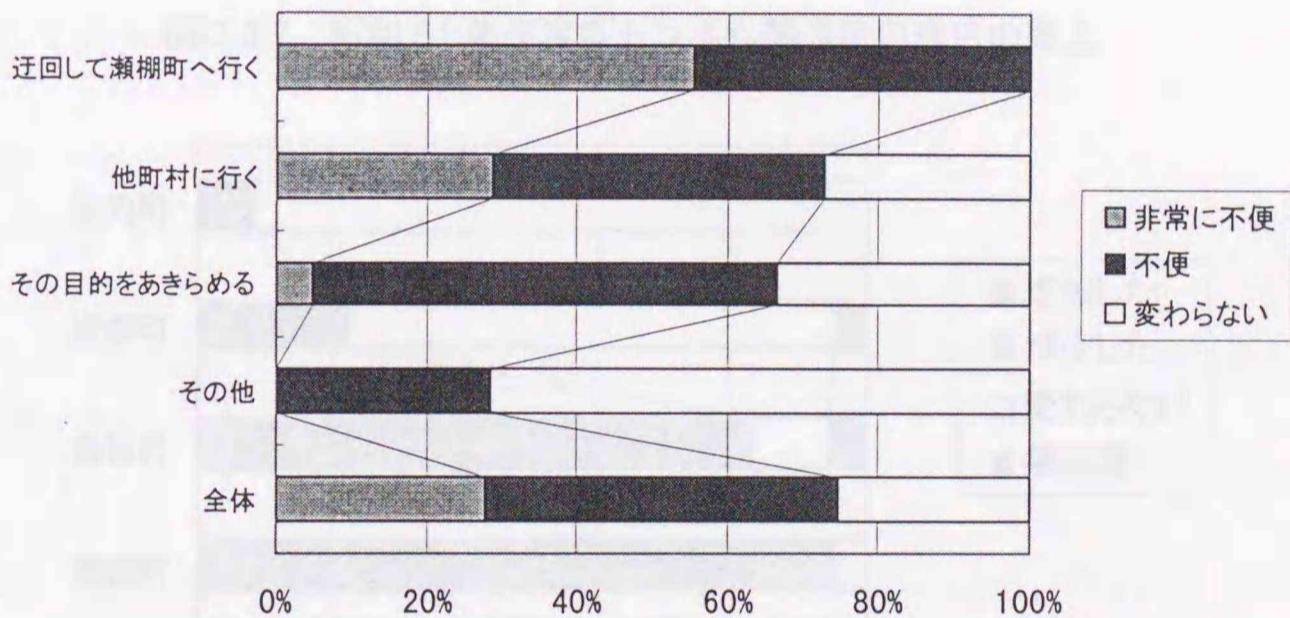


図 3.3.6 トンネル崩落により生活は不便になったか

(2)商店への影響

昭和 51 年に茂津多トンネルが開通し、島牧村—瀬棚町間の通行が可能になったときの沿線商店の売上は図 3.3.7 のように島牧村、瀬棚町の商店に大きな効果をもたらした。逆に第 2 白糸トンネル崩落による島牧村、瀬棚町の商店に与えた影響も大きく、瀬棚町で売上が減少した商店は 95%にのぼり、島牧村も約 8 割の商店が売上が減少したと答えた(図 3.3.8)。一方で寿都町、岩内町の商店の売上に大きな影響はみられない。これは、瀬棚町、島牧村の主要道路が国道 229 号のみであり、通行可能か否かが直接影響を受けるのに対し、寿都町、岩内町は国道 229 号の他に国道、道道の代替可能な主要道路が確保されていることに違いが現れている(図 3.3.1)。図 3.3.4 でも示したとおり、島牧村の住民は買い物、通院で瀬棚町に行く人が多かった。島牧村は大きな商店がなく、瀬棚町の商圈であった。しかし、

通行止めにより寿都町、岩内町方面に行くようになったこと、そして通過交通がなくなったことにより観光客が減少したことが、島牧村、瀬棚町の商店の売り上げ減少につながっていると考えられる。

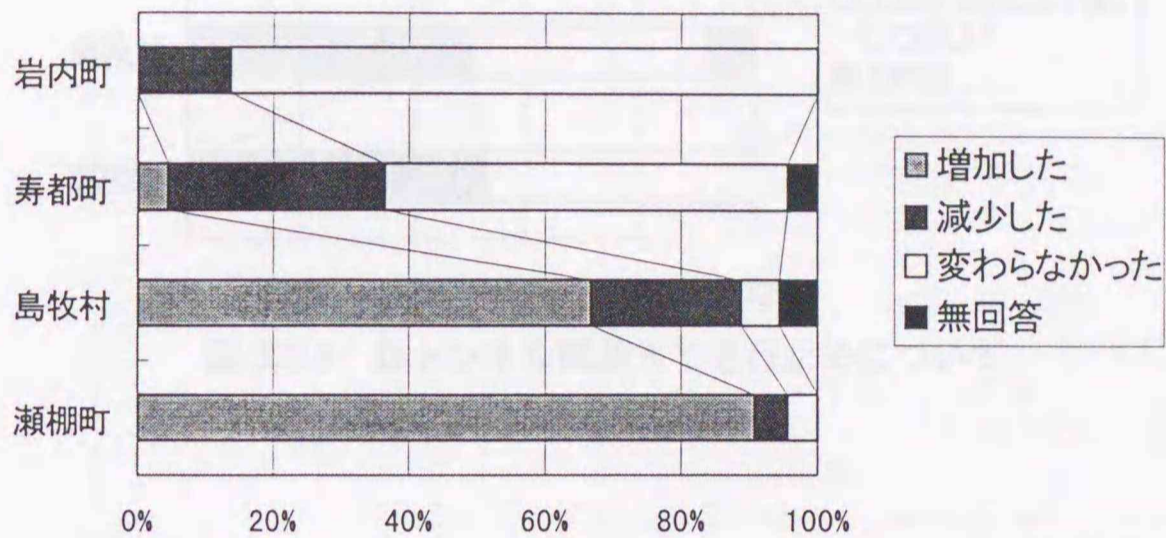


図 3.3.7 昭和 51 年茂津多トンネル開通後の商店の売上

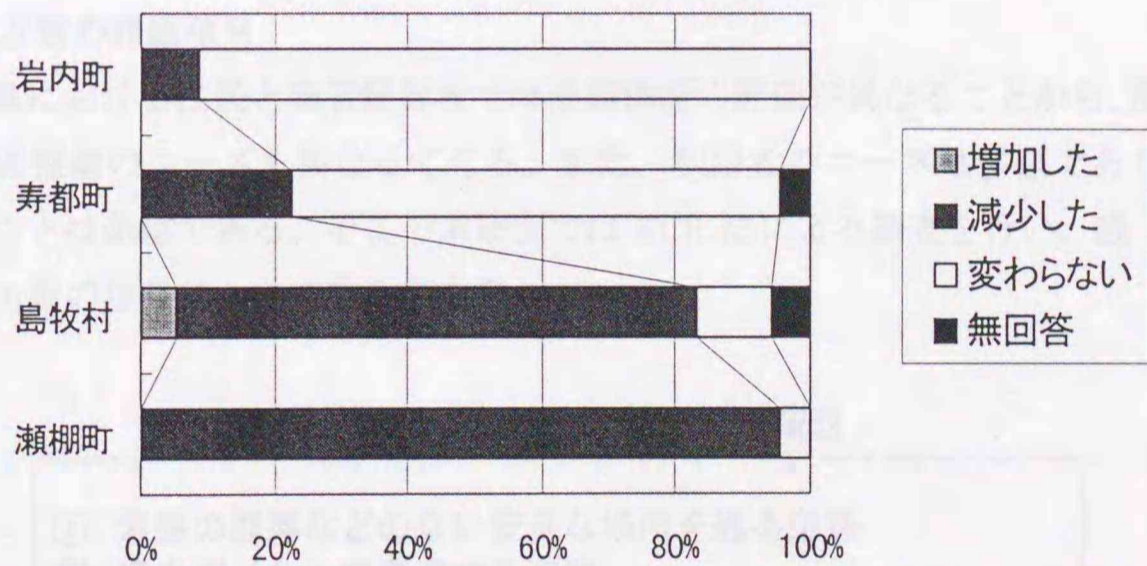


図 3.3.8 第 2 白糸トンネル崩落後の商店の売上

新トンネルが開通するまで国道 229 号が通行止めになることについて尋ねたところ、全体的には「工期を予定よりできるだけ短くしてほしい」という意見が多いが、売上が崩落事故後も変わらない商店が多い岩内町、寿都町では「仕方がない」と答える人が多いのに対し、瀬棚町では「仕方がない」と答えた人はわずかであり、「仮通路により通行できるようにしてほしい」と答えた人が約半数を占めている(図 3.3.9)。

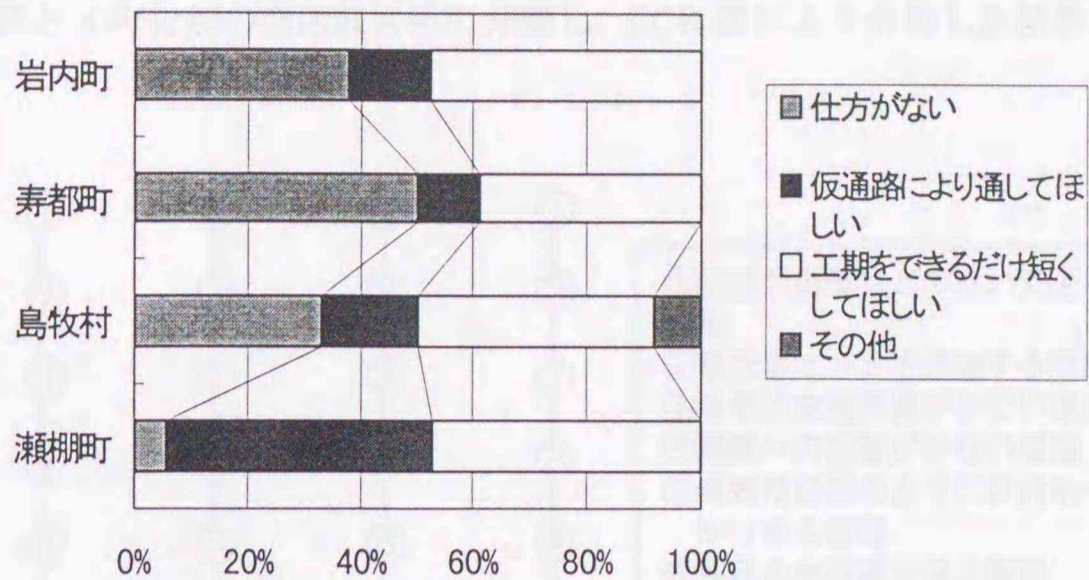


図 3.3.9 新トンネル開通まで通行止めについて

### 3.3.6 ECR 法による住民の望む道路整備方策の分析

#### (1) 道路整備方策の評価項目

海岸部集落における住民と商店経営者では道路機能の評価が異なることから、海岸部集落における道路整備のニーズも異なってくる。また、利用者のニーズは多様であり、すべてを両立することは困難である。そこで本研究では ECR 法による調査を行い、表 3.3.1 に示す道路整備方策の項目について重要度を尋ねた。

表 3.3.1 道路整備方策の評価項目

- |   |
|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>① 岩盤の崩落などのない安全な場所を通る道路</li> <li>② 観光ポイントを通過する道路</li> <li>③ 冬季の交通障害の少ない道路</li> <li>④ 環境への影響が少ない道路</li> <li>⑤ 高規格道路のように目的地へ早く着くことができる道路</li> <li>⑥ 住民の生活圏を通る道路</li> <li>⑦ バスやトラックなど大型車が通るために十分な幅員がある道路</li> <li>⑧ 目的地へ行くために 2 つ以上のルートがある道路網</li> </ul> |
|---|

これらについては、安全な通行に関して①、③、⑦の項目を、経路に関して②、⑥の項目を、所要時間・代替性に関して⑤、⑧を、そして環境への影響を考慮して④の項目を評価項目とした。

(2) ECR 法による道路整備方策の評価

島牧村の住民と 4 町村別の商店経営者に分類し、ECR 法により分析した結果を図 3.3.10 に示す。

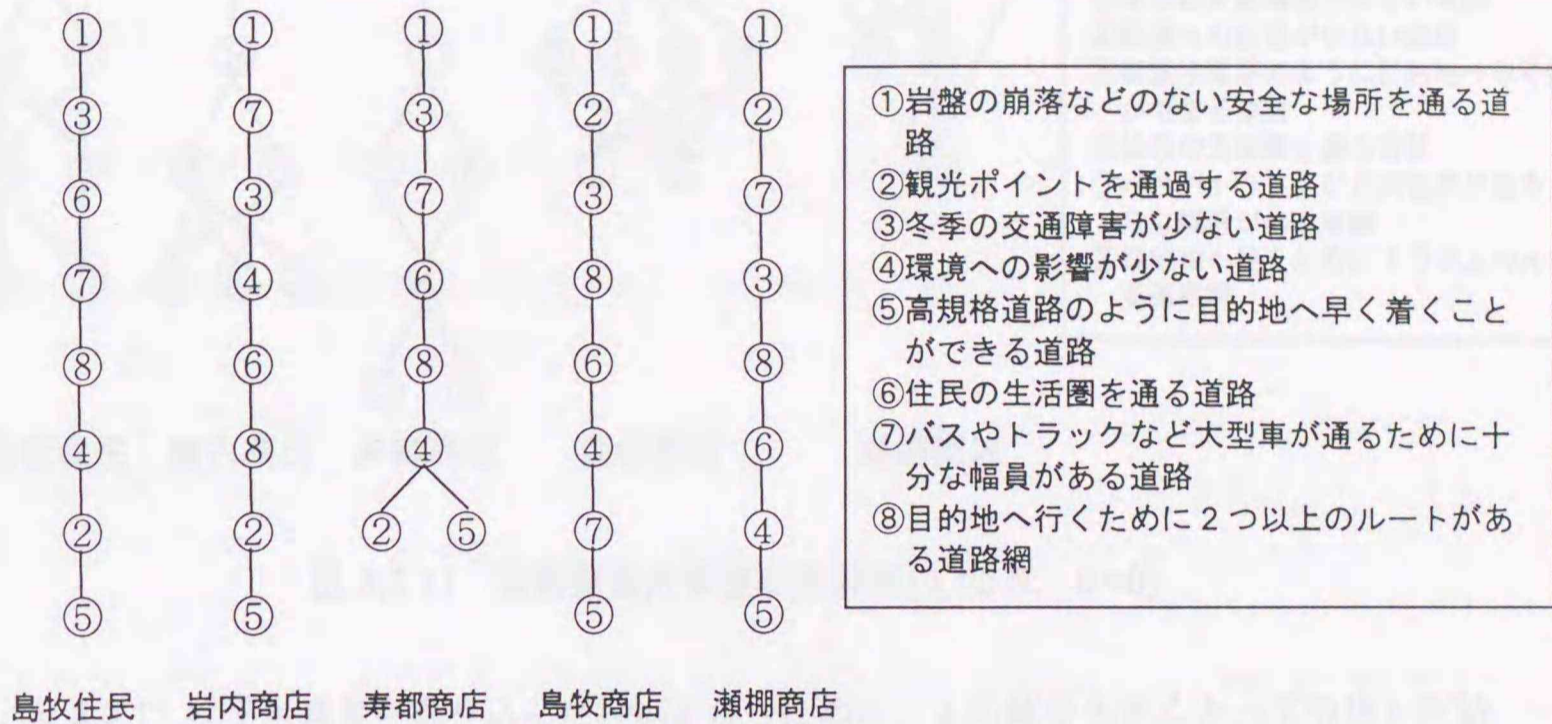


図 3.3.10 道路整備方策重要度評価( $\lambda = \theta = 0$ )

全体的に重要と評価されたのが、「①岩盤の崩落などのない安全な場所を通る道路」であり、また「③冬季の交通障害の少ない道路」や「⑦バスやトラックなどの大型車が通るために十分な幅員がある道路」の重要度も高くなった。これらはすべて道路を通行することに関連したものであり、道路の機能として安全であることが大前提となっていることを示している。これに対して、「⑤高規格道路のように目的地へ早く着くことができる道路」はいずれの人々にとっても重要度は最も低かった。

島牧村住民についてみると、「⑥住民の生活圈を通る道路」の評価が高いことから、生活機能と道路システムの結びつきが強いことがわかる。一方、「②観光ポイントを通る道路」の評価は低かった。

商店経営者についてみると、「③観光ポイントを通る道路」の評価が町村毎に分かれ、トンネル崩落の影響が小さい岩内町、寿都町では評価が低かった。しかし、影響が大きかった島牧村、瀬棚町の商店経営者は「観光ポイントを通る」ことを非常に高く評価している。

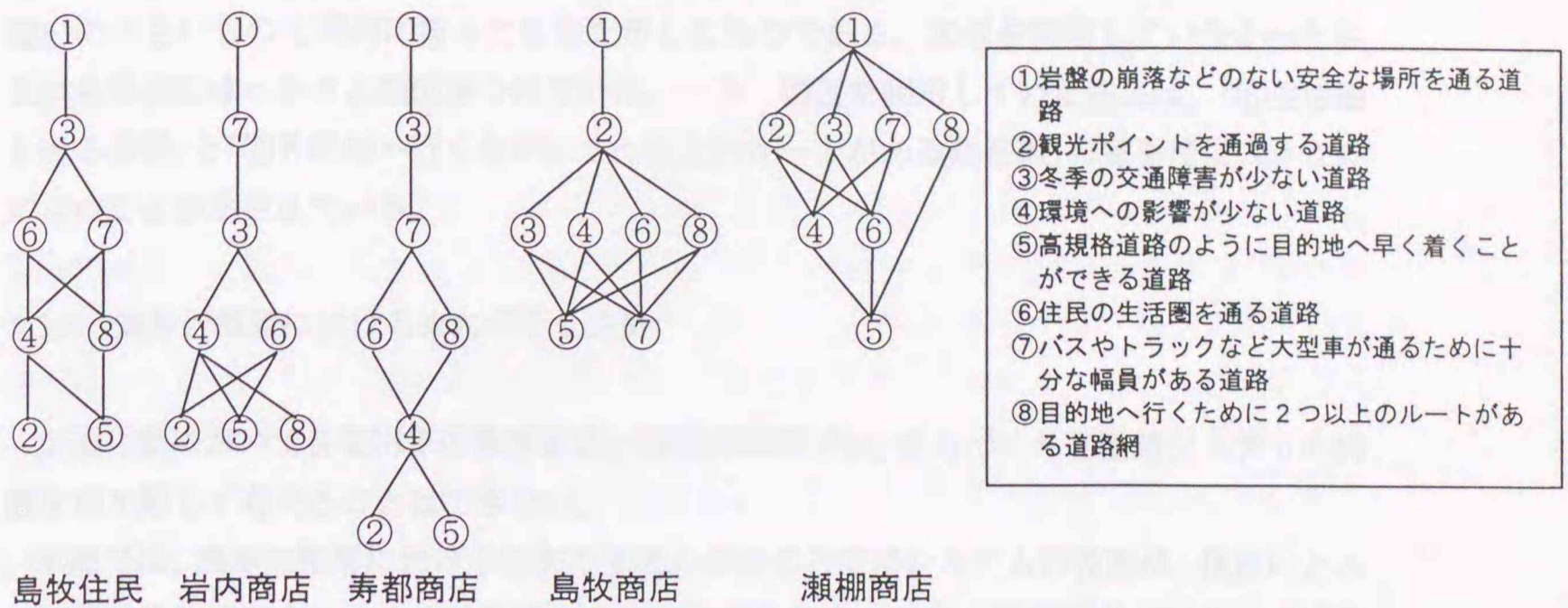


図 3.3.11 道路整備方策重要度評価( $\lambda=0.5$ 、 $\theta=0$ )

図 3.3.11 は反対意見を取り込んだ評価を行うために、 $\lambda$  の値を大きくとって分析した結果である。図 3.3.10 の  $\lambda=0$  のときと比較して選好関係が切れている場合は、それは集団の中でその選好関係とは反対の意見を持っている人が多いことを示している。図 3.3.11 では「①安全な場所を通る道路」と他の項目との選好関係は切れていないことから、集団全体が「安全な道路」であることを最優先して評価していることがわかった。

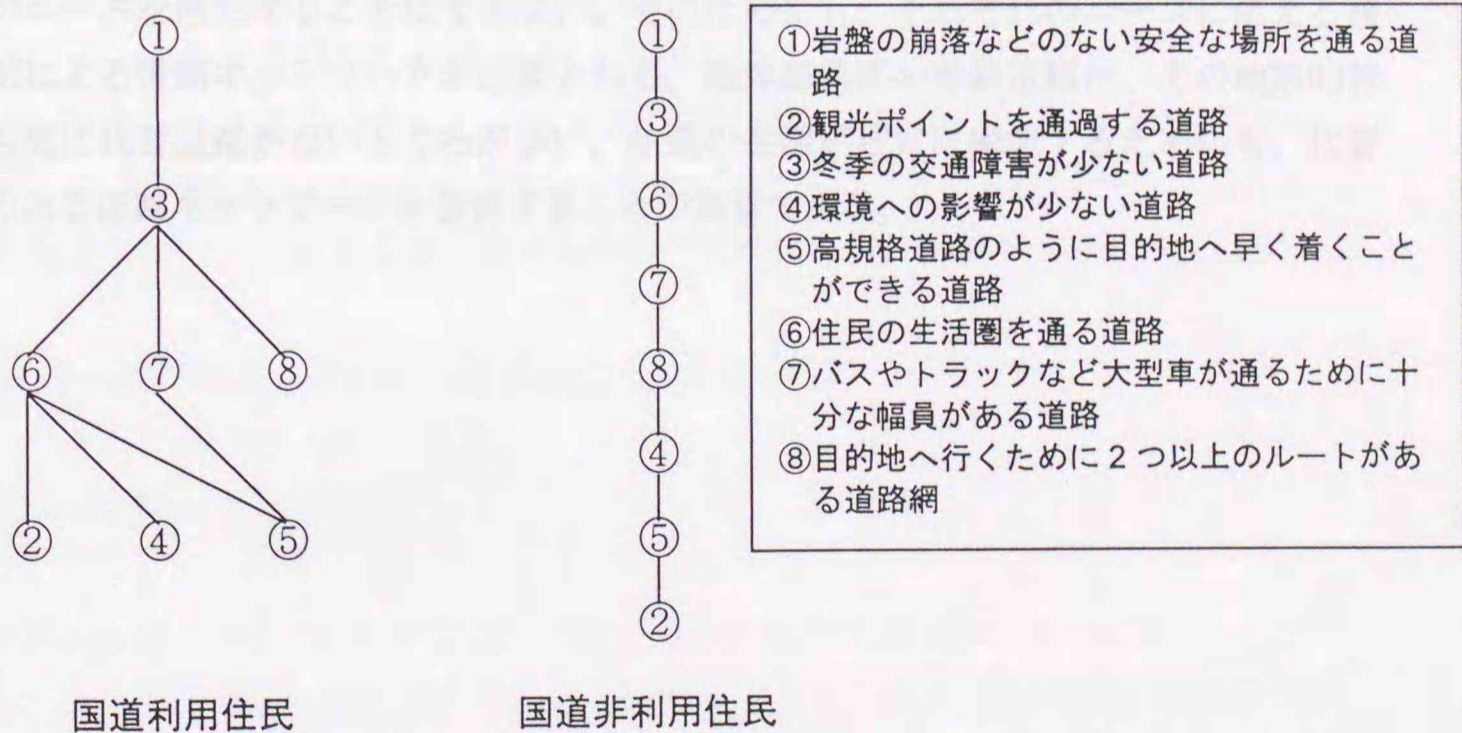


図 3.3.12 島牧村住民の道路整備方策重要度評価( $\lambda=0$ 、 $\theta=0.03$ )

さらに、島牧村住民の評価構造を知るために、国道を利用して瀬棚町まで行っていたか、

否かで比較を行った。図 3.3.12 は  $\theta$  の値を大きくとり、選好関係の弱い、つまり重要度の違いの小さいものを同列に扱ったものを示したものである。国道を利用していなかった住民は各項目にはっきりと順位をつけていた。一方、国道を利用していた住民は、「⑥生活圏を通る道路」と「⑧目的地へ行くために2つ以上のルートがある道路網」の重要度に大きな差のないことが示されている。

### 3.3.7 海岸部集落におけるまちづくり方針

交通行動において自家用車の依存が高い海岸部集落では、まちづくりと道路システムの機能を切り離して考えることはできない。

本節では、海岸部集落における住民の生活が依存する道路システムの役割は、住民にとっては買い物や通院といった生活の根本となる部分を支えており、商店経営者にとっては通勤・業務が不便になり、観光客が減少するなど、商店の経営そのものを道路が支えていることを明らかにした。

また、海岸部集落の道路整備方策のニーズは、ECR 法による分析から、「安全」であるという大前提のもとに、住民は「生活圏を通ること」が、商店は「観光ポイントを通ること」が重要であるということが明らかになった。

今後の道路整備方策を考えると、生活圏を通る道路は安全な場所を優先して建設することができるが、観光ポイントを通過する道路は、海岸線の切り立った崖や奇岩といった崩落の危険のあるところを通ることになる。このように、「安全」と「観光ポイントを通過」という両者のニーズを両立することはできない。そのためにも、それぞれのニーズに応える複数の道路による道路ネットワークが必要となる。海岸部集落の幹線道路は、その地形的特性からも他に代替道路がないところが多い。住民の生活が正常に機能するためにも、代替ルートのある道路ネットワークを整備することが重要である。



### 3.4 ECR 法による札幌－東京間の航空サービスの重要度評価

#### 3.4.1 航空業界における新規参入の動き

1998(平成 10)年 7 月、運輸省はスカイマークエアラインズ株式会社へ東京－福岡間の航空路線開設免許を認め、同年 9 月に同航空路線が開設された。国内定期航空事業への新規参入は 35 年ぶりのことであった。北海道においても 1996(平成 8)年 11 月に、道内企業の経営者が集まり共同出資の形で、北海道国際航空株式会社が設立された。そして運航計画の策定、道内企業や道民による持株会等からの出資、運航乗務員・客室乗務員の採用などを経て、1998(平成 10)年 6 月、運輸省に定期航空運送事業の路線開設免許の申請を行い、同年 12 月、札幌－東京間に第一便が就航した。

同航空会社は、東京－札幌間の航空運賃を安くして道民の利便性を図り、また新千歳空港の国際ハブ空港化を目指し、北海道の地域開発に貢献することを目的としている。また、これまで官依存体質と言われてきた北海道で、数少ない民主導の動きとしても注目されており、景気低迷の続く北海道の起爆剤としても多くの道民から期待されている。

新規参入航空会社は航空運賃をこれまでの半額近くに設定している。しかし発着便枠の関係上、就航当初の便数は少ないことを余儀なくされる。また、機内サービスの簡素化を進め、機体整備を委託することなどによりコスト削減を図っている。

しかし、利用者の立場からすると航空サービスの充実も望んでおり、コストのかかるサービスも場合によっては必要であると考える人も少なくない。

北海道に新しく生まれた航空会社が今後順調に発展していくためには、コストの削減とサービスの向上という矛盾した問題を避けて通れない。本研究はその点に着目したものであり、マーケティングの観点に立ち、さまざまな制約下において新規参入航空会社がどのようなサービスを提供すべきかを、利用者側からの重要度評価から提案するものである。利用者の航空サービスに対する選好構造を把握するために、ECR 法を用いて分析を行った。

#### 3.4.2 札幌－東京間における航空輸送実績の動向<sup>7)</sup>

##### (1)航空輸送実績の年度別推移

1986(昭和 61)年度から 1995(平成 7)年度までの航空輸送実績を表 3.4.1 に示す。

図 3.4.1 は旅客数の経年変化をまとめたものである。1991 年度の約 787 万人を最高に、バブル経済の崩壊の時期に減少してはいるものの、その後は着実に旅客数は増加している。1986 年度は約 498 万人、1995 年度は約 763 万人と 10 年間で約 1.5 倍の伸びである。

表 3.4.1 札幌—東京間航空輸送実績

年度	旅客数	運航回数	座席数	座席利用率
1986	4,987,399	19,320	8,398,075	59.4
1987	5,640,654	20,075	8,781,314	64.2
1988	6,049,681	20,799	9,266,088	65.3
1989	6,903,623	21,702	9,619,727	71.8
1990	7,540,666	22,432	9,985,629	75.5
1991	7,871,649	24,070	10,752,425	73.2
1992	7,650,694	24,488	11,268,742	67.9
1993	7,304,333	23,753	11,300,680	64.6
1994	7,426,379	24,459	11,452,993	64.8
1995	7,631,516	24,849	11,768,807	64.8

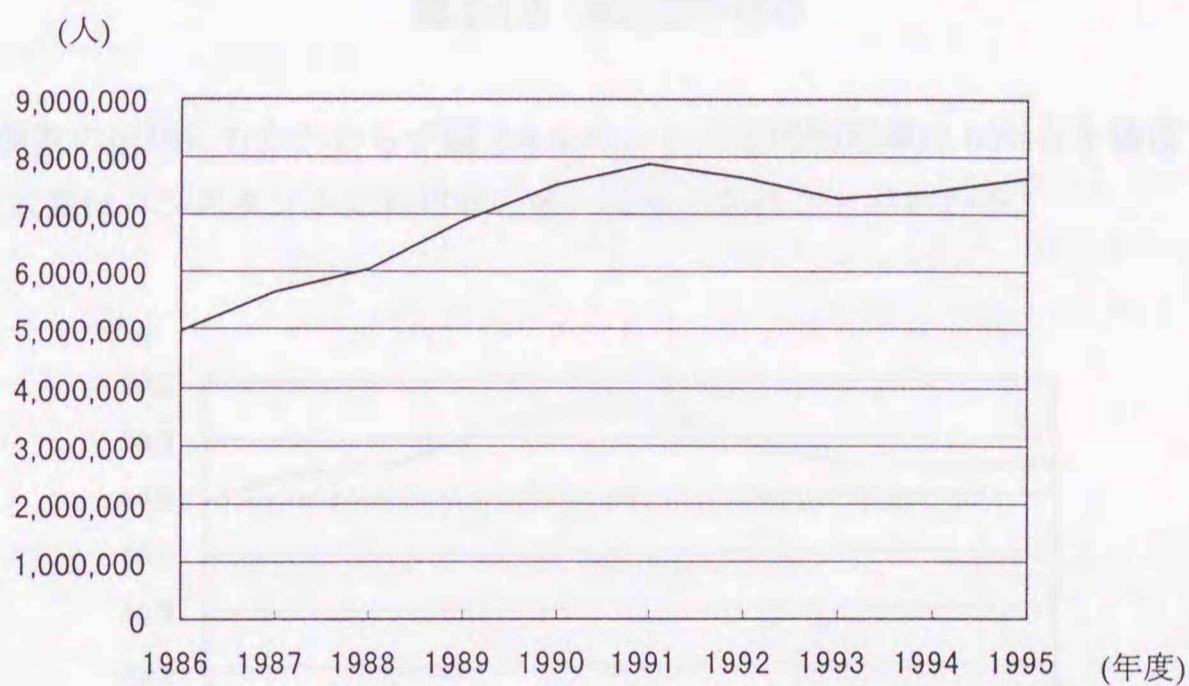


図 3.4.1 札幌—東京間の旅客数の推移

旅客数の増加は図 3.4.2、3.4.3 のように運航回数、座席数の増加により対応している。

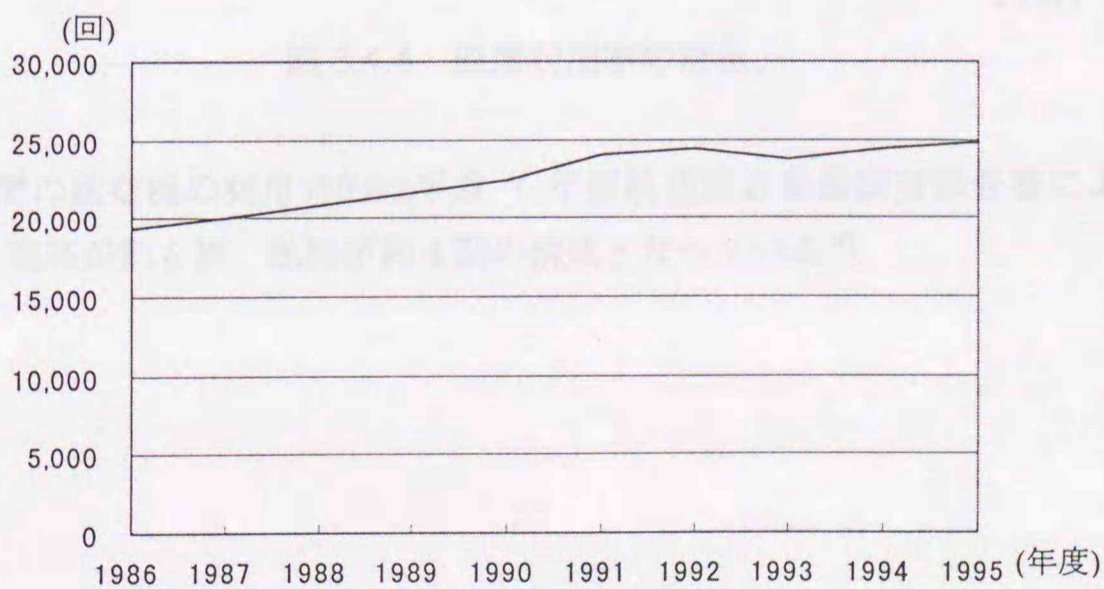


図 3.4.2 運航回数の推移

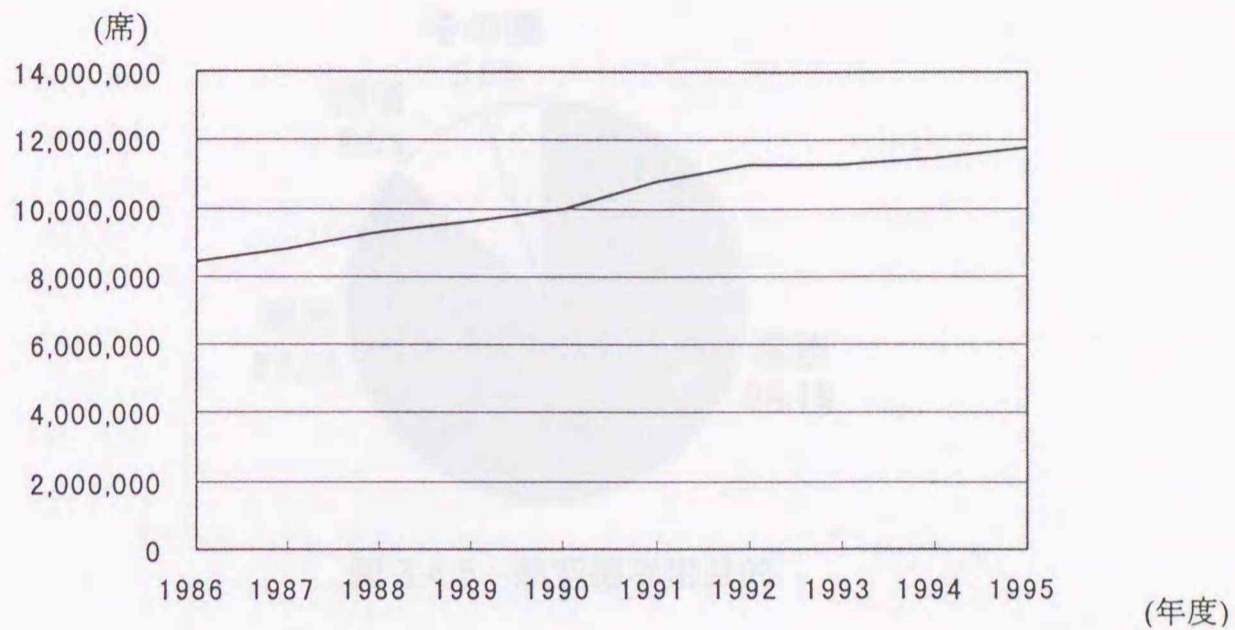


図 3.4.3 座席数の推移

また、便数の増加にもかかわらず図 3.4.4 のように座席利用率は 60%台を確保しており、札幌—東京間はコンスタントに利用者の多い路線であることがわかる。

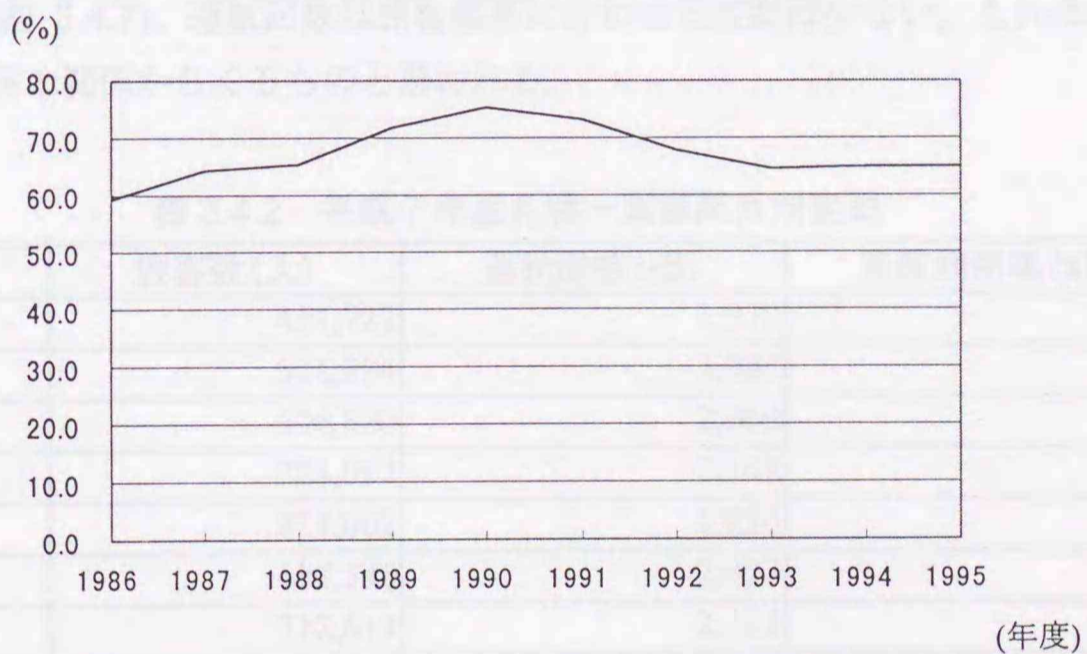


図 3.4.4 座席利用率の変化

札幌—東京間の航空機の利用目的は平成 7 年度航空旅客動態調査報告書によると、図 3.4.5 のように業務が約 6 割、私用が約 4 割の構成となっている<sup>8)</sup>。

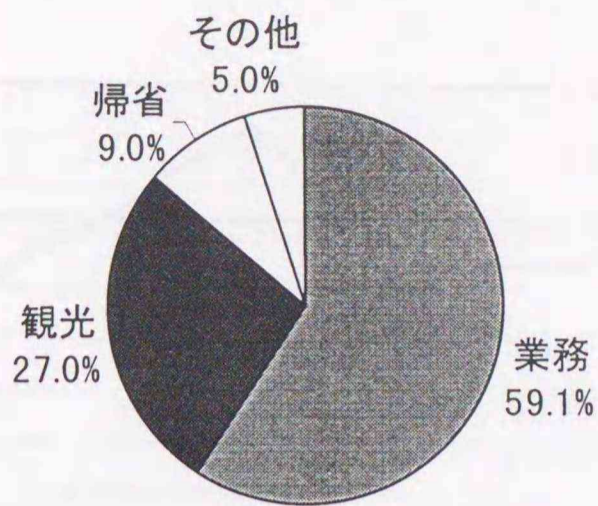


図 3.4.5 航空機利用目的

(2)1995(平成 7)年度月別輸送実績

1995 年度の札幌—東京間の旅客数月変動を図 3.4.6 に示す。月別変動は大きく、8 月の夏の観光シーズンにピークを迎え、最低月の 4 月の 1.8 倍である。また、座席利用率で見ても変動は大きく(図 3.4.7)、運航回数は旅客需要に合わせた変動は少ない。これは羽田空港の発着便枠の確保の関係からくるものと思われる。

表 3.4.2 平成 7 年度札幌—東京間月別変動

月	旅客数(人)	運航回数(回)	座席利用率(%)
4	451,722	1,970	48.3
5	561,994	2,086	55.9
6	626,820	2,060	64.5
7	733,062	2,148	71.8
8	821,002	2,230	78.4
9	688,546	2,097	70.1
10	712,614	2,144	70.9
11	554,659	1,882	60.8
12	538,335	1,984	57.6
1	584,136	2,075	59.6
2	672,431	2,052	69.4
3	686,195	2,121	68.3

## 札幌—東京間における

### 航空機利用者に関する意識調査

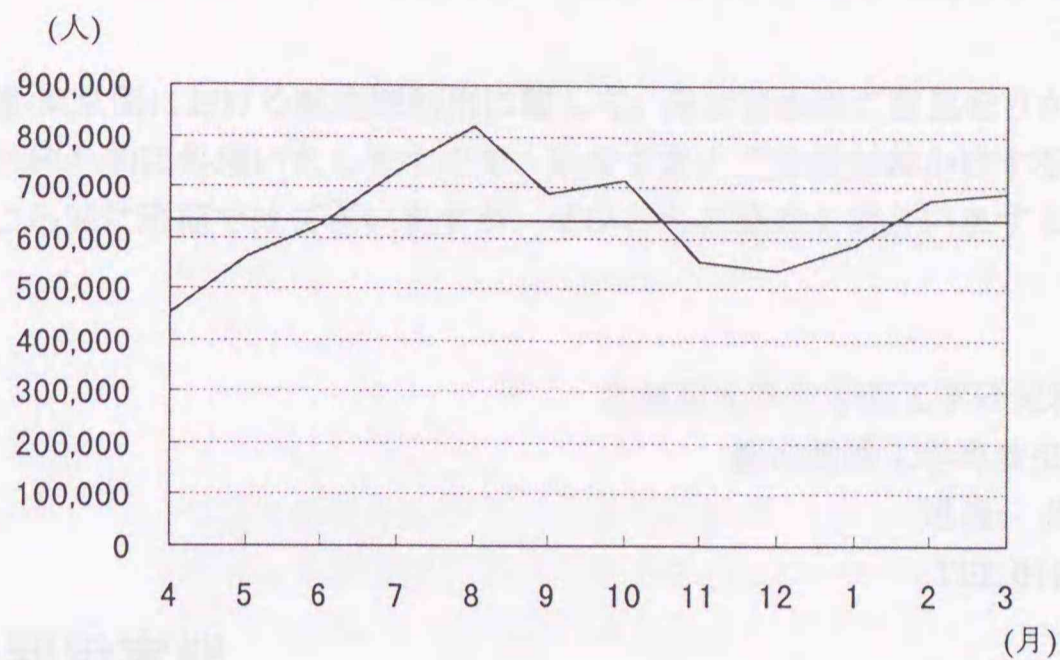


図 3.4.6 平成 7 年度札幌—東京間航空旅客数月変動

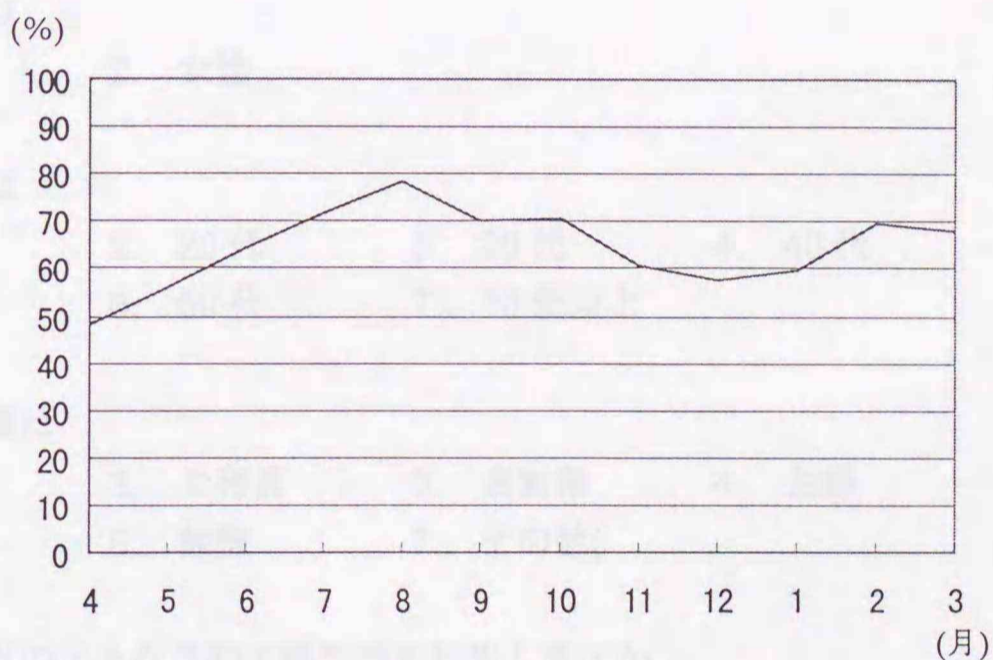


図 3.4.7 平成 7 年度札幌—東京間座席利用率月変動

### 3.4.3 札幌—東京間の航空サービス重要度評価の分析

#### (1) 航空機利用者に対する意識調査の実施

本研究では、ECR 法による航空サービスの重要度評価を行うため、航空機利用者を対象に意識調査を行った。調査は平成 9 年 6 月 24 日に新千歳空港において行った。調査方法は JR 新千歳空港駅改札口で利用客にアンケート用紙を配布し、記入後郵送してもらう方式をとった。調査票の配布数は 600 票、回収票数は 314 票で、うち有効票数は男性 242 名、女性 71 名の合計 313 票であった。調査票を次ページに示す。

# 札幌－東京間における

## 航空機利用に関する意識調査

この調査は、札幌-東京間における航空機利用に関して、みなさまのご意見をうかがうものです。ご回答いただいた結果は統計的に処理いたしますので、みなさまにご迷惑をおかけすることは一切ございません。お忙しいところ誠に恐縮ではございますが、ぜひともご協力くださいますようお願い申し上げます。

北海道大学大学院工学研究科

都市環境工学専攻交通システム工学講座

担当：岸 邦宏

TEL 011-716-2111(内線 6216)

### I. 航空機の利用実態

問1 あなたの性別は

1. 男性                      2. 女性

問2 あなたの年齢は

1. 10代                      2. 20代                      3. 30代                      4. 40代  
5. 50代                      6. 60代                      7. 70歳以上

問3 あなたのご職業は

1. 会社員                      2. 公務員                      3. 自営業                      4. 主婦  
5. 学生                        6. 無職                        7. その他(                      )

問4 あなたは主にどのような目的で航空機を利用しますか。

1. ビジネス                      2. 観光                      3. 帰省  
4. その他(                      )

問5 あなたはこの一年で何回札幌-東京間を往復しましたか。

(                      )回

問6 あなたは札幌から東京へ航空機を利用する際、札幌を何時に出発する便をよく利用しますか。

1. 主に(                      )時の便                      2. 特に決めていない

問7 では、東京から札幌へ航空機を利用する際、東京を何時に出発する便をよく利用しますか。

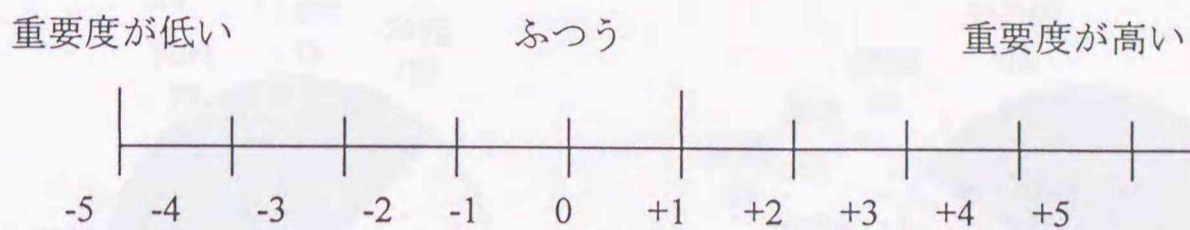
1. 主に(                      )時の便                      2. 特に決めていない

問8 札幌-東京間以外に航空機をよく利用する路線があればご記入ください。

(                      )から(                      )まで

## II. 航空サービスの評価

航空会社が提供するサービスとして、以下に挙げる項目のうち、あなたにとってどの項目の重要度が高いですか。



以下に挙げる項目のうち

もっとも重要度が高いと思う項目に「+5」点

もっとも重要度が低いと思う項目に「-5」点

を記入し、その他の項目には「+4」から「-4」の間で点数をつけてください。

ただし、全項目の合計点数が0点になるように点数をつけてください。

(1)運賃が安いこと

 点

(2)運行便数が多いこと

 点

(3)機内飲み物サービス、機内販売サービスがあること

 点

(4)座席が広いこと

 点

(5)いつでも予約が取れること

 点

(6)チケットをどの販売店、旅行代理店でも購入できること

 点

(7)搭乗距離に応じて航空券などプレゼントがもらえるサービスがあること

 点

(8)客室乗務員のセンス、サービスの質が高いこと

 点

(9)バス等を使わず直接歩いて機内に搭乗できること

 点

(10)安全性に信頼のある航空会社であること

 点

合計 0 点

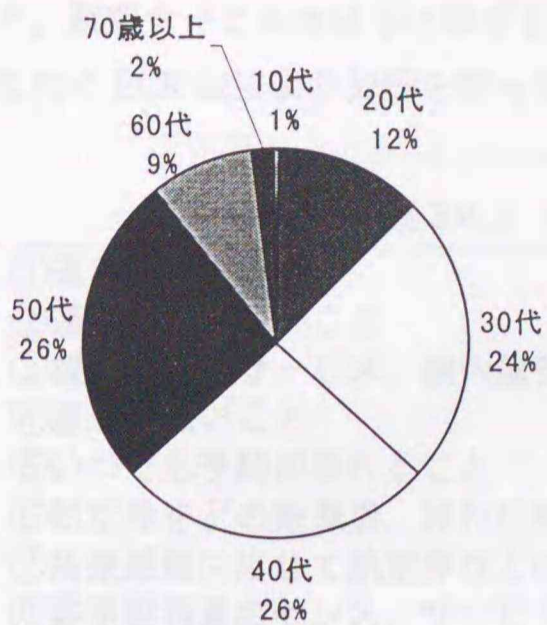


図 3.4.8 回答者の年齢別割合

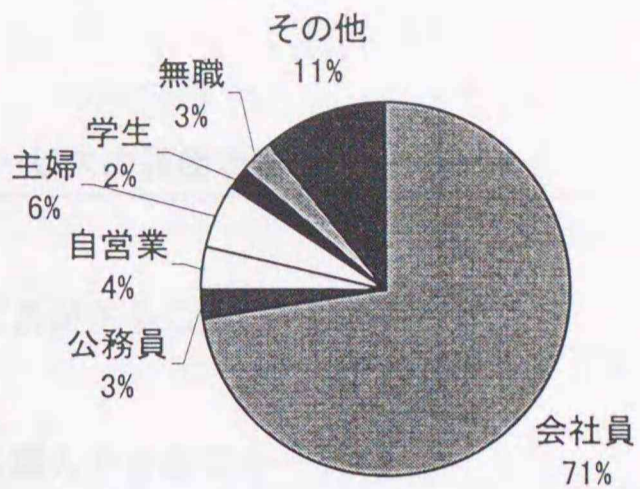


図 3.4.9 回答者の職業別割合

回答者の年齢および職業別割合は図 3.4.8、図 3.4.9 のとおりであり、30代から50代の会社員が多かった。また、回答者の航空機の利用目的は約6割が業務と答え(図 3.4.10)、この1年間の札幌-東京間の航空機利用回数は0回から5回で全体の約7割を占める(図 3.4.11)。

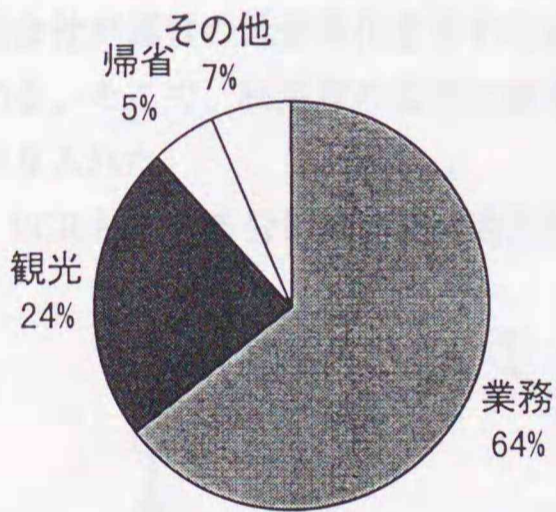


図 3.4.10 航空機利用目的

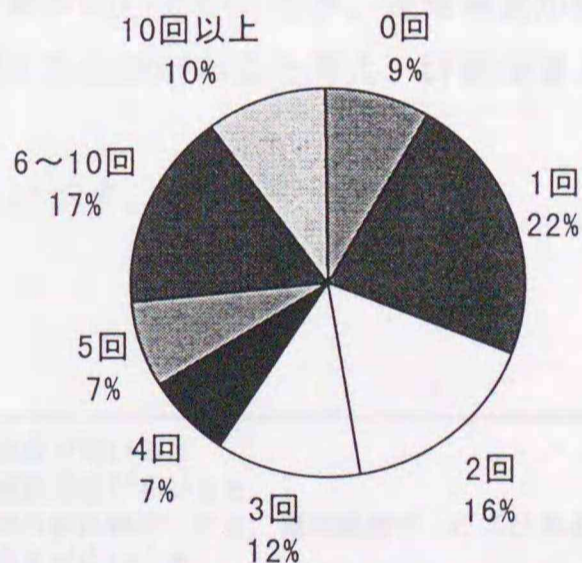


図 3.4.11 札幌-東京間年間航空機利用回数

## (2) ECR 法による航空サービス重要度評価

航空会社が提供するサービスとして、運賃を安くする、運航便数を多くするという運航に関するものや、飲み物のサービスといった機内サービスに関するものなどさまざまなものが挙げられる。しかし、たとえば機内サービスを充実させればコストがかかり、それが運賃に反映することにつながるように、すべてのサービスを両立させることは困難である。特に、運航状況やコストで様々な制約下にある新規参入航空会社にとっては、なおさらなことである。



そこで本研究では、アンケート調査において利用者に航空サービスの重要度を答えてもらった。航空サービスは以下に挙げる 10 項目のなかで重要度を評価してもらい、順位をつけるために ECR 法により分析を行った。

表 3.4.3 航空サービスの評価項目

- ①運賃が安いこと
- ②運航便数が多いこと
- ③機内飲み物サービス、機内販売サービスがあること
- ④座席が広いこと
- ⑤いつでも予約が取れること
- ⑥航空券をどの販売店、旅行代理店でも購入できること
- ⑦搭乗距離に応じて航空券などのプレゼントがもらえるサービスがあること
- ⑧客室乗務員のセンス、サービスの質が高いこと
- ⑨バス等を使わず直接歩いて機内に搭乗できること
- ⑩安全性に信頼のある航空会社であること

これらの評価項目は、航空会社の規模や空港施設による運航の制約等から、新規参入航空会社が提供するサービスとして既存会社と違いが見られると考えられるものである。また、「⑩安全性」については航空会社として当然の項目であるが、米国において新規参入航空会社が運賃の低価格化を進めるあまり、安全対策がおろそかになり、墜落事故が起きている。そこで、利用者の安全に対する評価も把握する必要があると考え、評価項目として取り入れた。

ECR 法による分析結果を交通目的別に図 3.4.12 に示す。

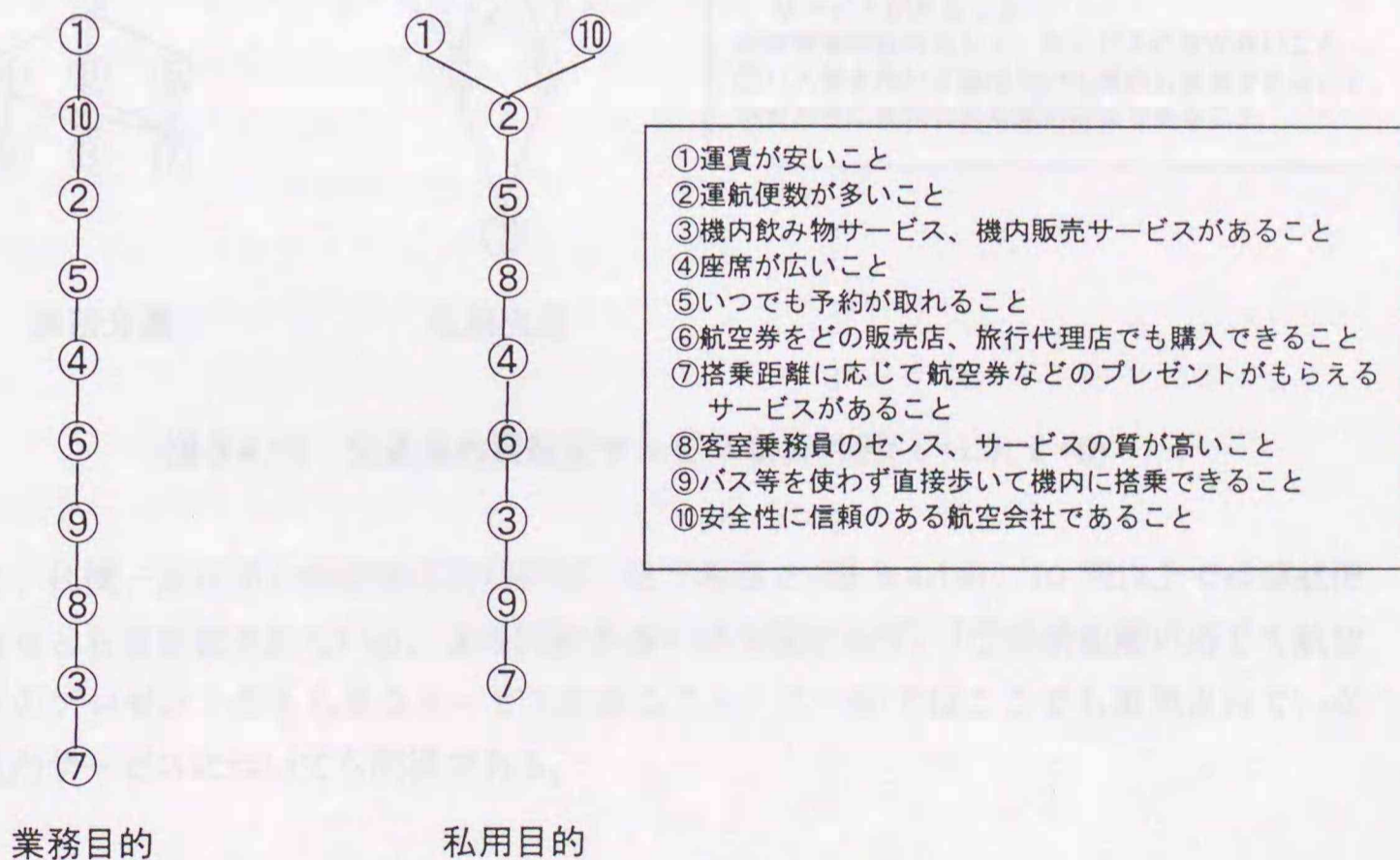


図 3.4.12 交通目的別航空サービス重要度評価( $\lambda = \theta = 0$ )

これは $\lambda=\theta=0$ で、単純に点数を合計したものであり、ECR法のもっとも基本となる形である。業務交通と私用交通の両者に共通して見ることができた項目として、「①運賃が安いこと」、「②便数が多いこと」そして「⑩安全性に信頼があること」が重要であることがわかる。一方で、既存航空会社が現在展開している「⑦搭乗距離に応じて航空券などのプレゼントがもらえるサービスがあること」は、サービスとしてあまり重要視されていない。

業務と私用の目的別に違いが現れたのは、私用目的の利用者が「③機内飲み物サービス、機内販売サービスがあること」や「⑧客室乗務員のセンス、サービスの質が高いこと」のような機内サービスに関するものを重視していること、私用目的の利用者は「②運航便数が多いこと」をあまり重視していないことである。

次に、 $\lambda$ を変化させて分析した結果を示す(図 3.4.13)。 $\lambda=0$ のときに得られた選好関係に対して、反対の意見を持つ人も多ければ、 $\lambda$ の値を大きくとることによりその選好関係は切れていく。逆に $\lambda$ を大きくとっても選好関係がつながっていれば、その選好関係に反対する人は少ないということになる。

図 3.4.13 を見ると、 $\lambda=1.0$ でも「運賃が安いこと」と「安全であること」は他の評価項目とは選好関係が切れておらず、業務交通、私用交通のどちらにおいてもこの項目を高く評価しており、それに対して反対の意見を持つ人も少ないことがわかる。

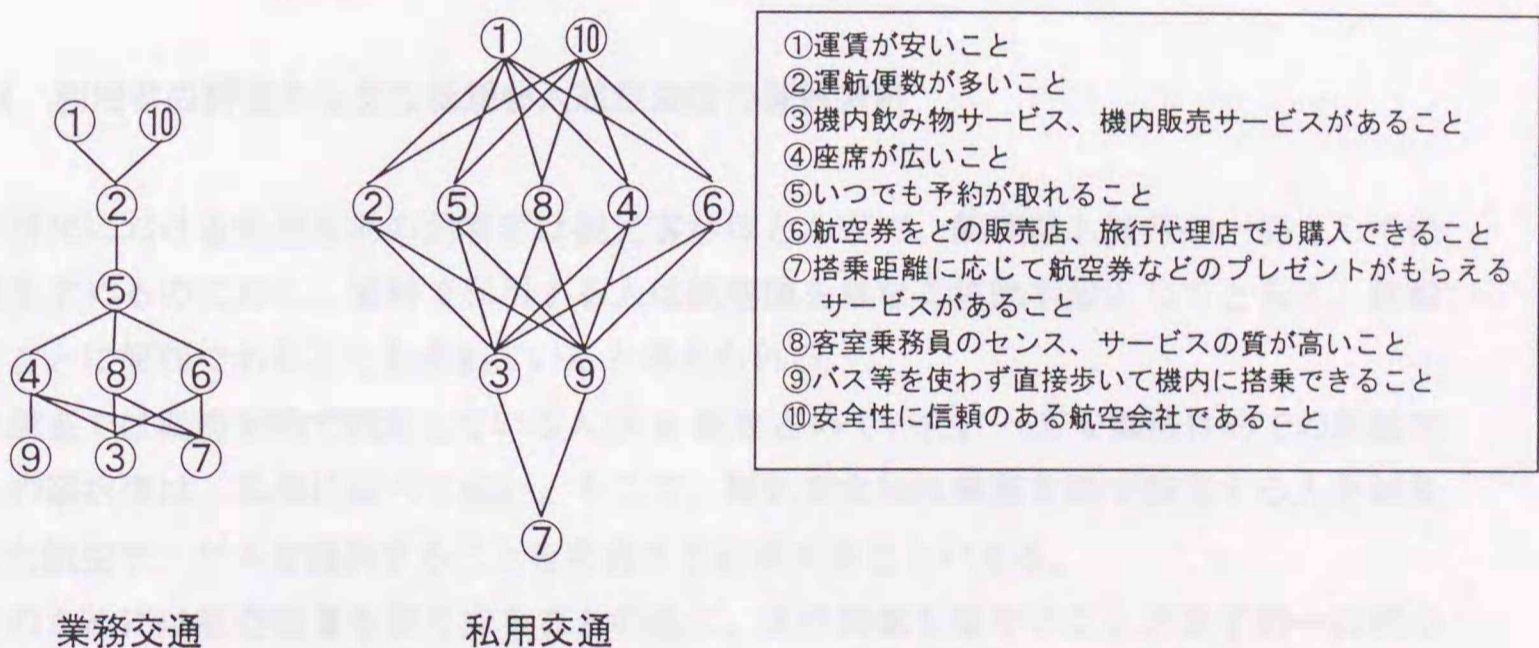


図 3.4.13 交通目的別航空サービス項目評価( $\lambda=1.0$ 、 $\theta=0$ )

また、札幌-東京間の航空機利用回数別に見てみると(図 3.4.14)、10回以上では運航便数をもっとも重要視されている。また回数が多いにも関わらず、「⑦搭乗距離に応じて航空券などのプレゼントがもらえるサービスがあること」についてはここでも重視されていない。機内サービスについても同様である。

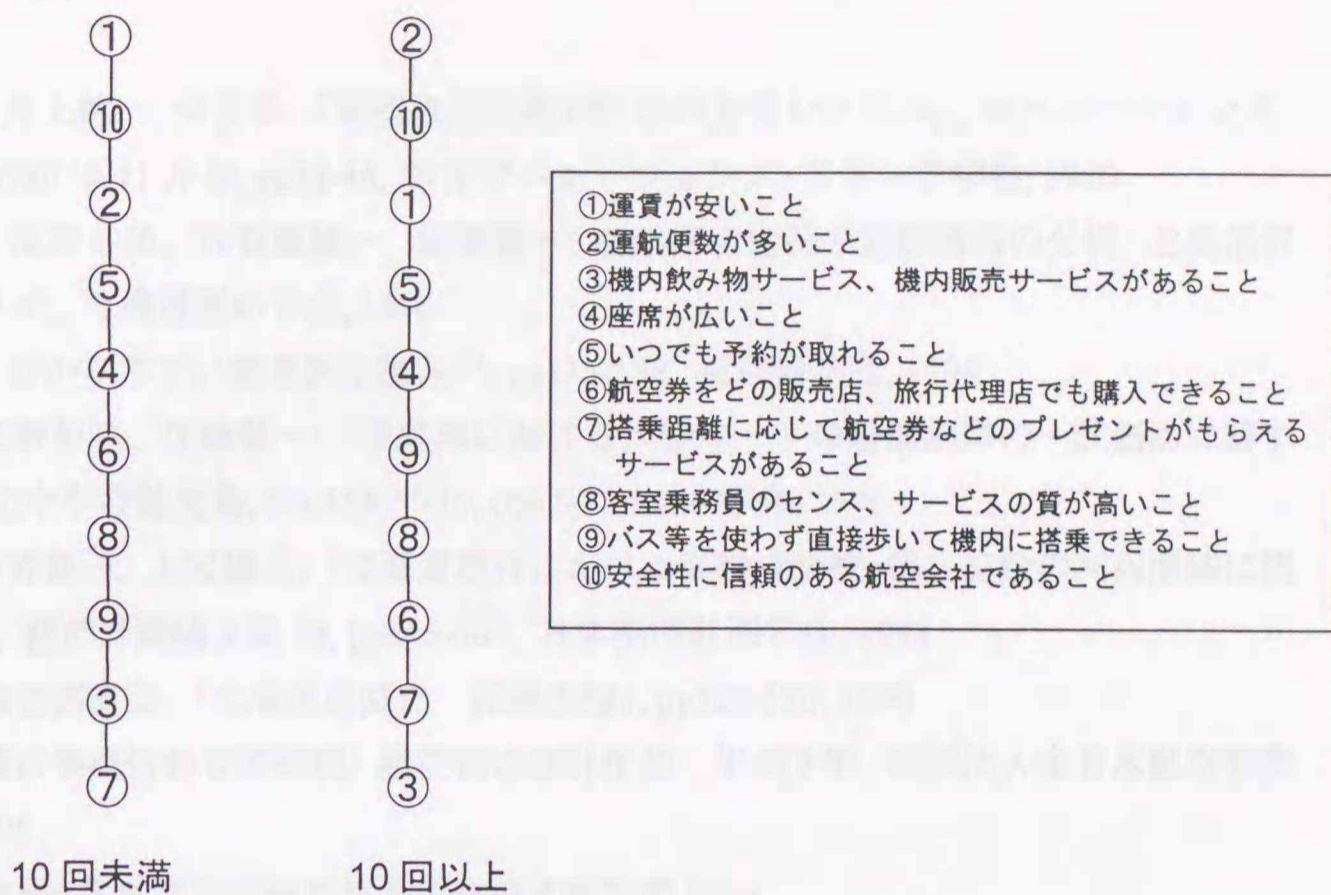


図 3.4.14 年間利用回数別航空サービス重要度( $\lambda = \theta = 0$ )

### 3.4.4 利用者の評価から見た新規参入航空会社の運航方針

本研究における私用目的の回答者は観光客がほとんどで、航空機も旅行の一部として快適性を求めるのに対し、業務で利用する人は航空機を単なる移動手段としてとらえ、移動することに便利であることを求めていると考えられる。

本調査では業務目的で利用している人が 6 割を占めていた。一方で業務目的での新航空会社の選択率は、私用に比べて低い。そこで、新航空会社は業務目的で利用する人を対象とした航空サービスを提供することを考慮する必要があるといえる。

そのためには航空運賃を安くすることの他に、運航便数を増やすことがまず第一に求められる。また、利用者から安全な航空会社であるという評価をされる必要がある。また、コストを抑えるためには、業務目的の場合にあまり重要視されていない、「機内での客室乗務員による飲み物サービス」などは簡素化するといった方策が考えられる。

限られた財源などの条件下で新航空会社が利用者に受け入れられるためには、運航に付随するサービスの提供よりも、運航面そのものの体制を確立することが必要であるということが調査結果から言える。

### 第3章 参考文献

- 1) 榎木義一、井上紘一、守安隆:「集団意思決定のための支援システム」, オペレーションズ・リサーチ 1980年11月号, pp38-46, 日本オペレーションズ・リサーチ学会, 1980
- 2) 鈴木克典、高野伸栄、加賀屋誠一、佐藤馨一: 空港周辺住民の意識構造の分析, 北海道都市 33, pp43-52, 北海道都市学会, 1996
- 3) 木下栄蔵: わかりやすい意思決定論入門, pp135-138, 近代科学社, 1996
- 4) 南正昭、高野伸栄、佐藤馨一: 「道路網における代替ルートの整備水準の一評価法に関する研究」, 土木学会論文集, No.530/IV-30, pp67-77, 土木学会, 1996
- 5) 例えば、竹谷修一、上田陽三: 「北海道農村における高齢者医療・福祉施設の利用圏域に関する研究」, 都市計画論文集 28, pp655-660, 日本都市計画学会, 1993
- 6) 北海道道路史調査会: 「北海道道路史 路線史編」, pp522-526, 1990
- 7) 運輸省運輸政策局情報管理部編: 航空輸送統計年報 平成7年, 社団法人全日本航空事業連合会, 1996
- 8) 運輸省航空局: 平成7年度航空旅客動態調査報告書, 1996



## 4.1 概説

本章では、集団によって初めて見いだされる評価項目として、利用者全体から見た交通運賃の評価方法を提案する。これまで商品の価格が需要と供給から成り立ってきたのに対し、交通運賃に関しては原価主義から供給者側が決定し、利用者はそれを利用せざるを得ない状況が続いてきた。特に航空運賃に対する利用者の割高感は強い。本研究では、価格感度測定法(PSM)を適用することによって、利用者の支払評価価格を分析する技法を提案する。これまでも支払いに関する研究例としては、支払意思額の分析等が挙げられる。しかし、利用者にとっては「いくらまで支払う」という支払意思の他に、同じ支払うにしても「高い」あるいは「安い」という評価もある。このことを突き詰めると「値ごろ」と感じる価格が存在する。これは集団の評価によって初めて見いだすことができるものである。PSMは上限価格・下限価格・無差別価格・最小抵抗価格といった評価指標によって、利用者という集団の価格評価を分析することができる。さらに、航空機利用者を対象に札幌―東京間の航空運賃についてPSMによる調査を行い、既存の正規航空運賃に対する利用者全体の支払評価価格を明らかにした。

## 4.2 価格政策<sup>2)</sup>

交通運賃の評価にあたり、本節ではマーケティングにおける価格について最初に説明する。

### 4.2.1 価格の概念

今日の社会では、人間にとって商品・サービスなど価値あるものは、ほとんどその貨幣的表現である価格によって示されている。経済理論の教えるところでは、価格は一般に商品・サービスの需要と供給との市場関係によって決定される。それゆえに、企業は需要条件や供給条件を自ら有利にコントロールすることによって、市場の圧力を弱めたり、回避したり、ときには利用して価格政策を展開するのである。

### 4.2.2 価格設定の目標

価格は、コスト、需要、競争などの環境要因を考慮しながら、価格設定の目標を定めなければならない。この価格設定の目標が明確になると、より具体的な価格決定が容易となる。価格設定の指針となる目標として、次の6点を挙げることができる。

#### (1) 利潤の最大化

販売数量と単位利益の関係によって規定される。

(2)目標利益率の達成

資産の投下資本額に対する利益の割合であり、投資効率を示している。

(3)マーケットシェアの獲得

販売高や市場占有率の維持・増大である。

(4)安定価格

生産費や需要に多少の変動があっても、価格競争を避け、業界の価格秩序を守ることである。

(5)競争への対応

競争にうまく対応するために価格の設定を行うものである。通常、実勢価格にあわせて価格が設定される。

(6)需要への対応

顧客の価格に対する反応を測定したり、需要の価格弾力性を評価したりして、価格設定の目標にしている。

#### 4.2.3 価格の設定方式

上で述べたように、価格は6つの価格設定目標を考慮に入れながら、基本的にはコスト・需要・競争のうち、どの要因にウエイトをおくかによって3つの価格設定方式に分けることができる。すなわち、価格設定方式には、生産志向のコスト重視型と市場志向の需要重視型、ならびに競争重視型との3つに大別することができる。

(1)コスト重視型価格設定方式

コスト重視型価格設定方式はコストをもとにして価格を設定するものである。これは、長期的な利潤の極大化をめざす寡占企業の価格設定において最も一般化しているコスト・プラス方式と呼ばれる原価加算方式が代表的なものである。この原価加算方式は製造コストおよびマーケティング・コストなどに一定のマージンを加えたものが価格となる。具体的には単位当たりの直接費を算出して、それに一定比率の間接費配賦のマージンを加算したものを総コストとし、それに業界の慣習的マージンあるいは目標利益マージンを加算して価格を決定するものである。

(2)需要重視型価格設定方式

需要重視型価格設定方式はコストよりもむしろ需要に重点をおいて価格を設定する方式であり、消費者が知覚する商品価値を基準に価格を設定する①知覚価格法、②慣習価格法、③差別価格法などがある。また消費者が価格に対して抱く心理を利用して価格を設定する④端数価格法、⑤名声価格法、⑥価格ライン法、⑦特価品法などがある。

#### ①知覚価格法

消費者が当該商品にどれだけの価値を知覚するかにもとづいて、価格を設定する方法である。類似商品や代替商品の価値帯から推計する方法や市場調査によって直接消費者に知覚価値を測定するなどの方法がとられる。

#### ②慣習価格法

商品によっては長期的に価格が一定していて、消費者の心理に習慣化した価格が形成されることがある。たとえば、お菓子や清涼飲料水などのように比較的購入頻度が高い商品に多くみられる。

#### ③差別価格法

市場はいくつかのセグメントに分けることが可能であり、セグメントごとに需要の強度が異なっている場合に、同一商品に異なった価格を設定する方法である。たとえば、運賃や料金に大人・子供料金の顧客別、季節・日時などの時期的な差別価格がある。

#### ④端数価格法

顧客が心理的に割安と思うであろう端数価格を設定する方法である。たとえば、1,000 円の商品を 980 円のように端数をつけた価格を設定する方法であり、大台を若干下回ることによって消費者にきわめて安い印象を与えるものである。

#### ⑤名声価格法

消費者が品質を評価しにくいような商品の場合には、消費者は価格によって評価しようとし、さらにそれが地位を象徴するようなものであれば、企業は意識的に高い価格を設定する方法である。たとえば、宝石・高級衣料品・高級車などのブランド商品や高級商品にみられる。

#### ⑥価格ライン法

顧客が商品を選択しやすいように、いくつかの価格帯を設定する方法である。価格帯は一定水準の品質を表す価格層または値ごろであり、高い価格層・中間の価格層・低い価格層に分類する場合などがある。

#### ⑦特価品法

通常の値入率よりも低い値入率を用いて特別価格ないし低価格を設定する方法である。これは、特価品の購買を刺激し、関連商品の購買増進を図ろうとするものである。

### (3)競争重視型価格設定方式

競争重視型価格設定方式は競争企業の価格を基準として価格を設定する方法であり、製品差別化の程度や企業イメージなどの非価格競争要因、競争上の地位などを考慮して決定されるもので、①実勢価格法、②競争価格法、③入札価格法などがあげられる。

#### ①実勢価格法

業界の平均価格とほとんど同じ価格を設定する方法である。とくに寡占市場では主導的



な地位の企業がプライス・リーダーシップをもち、その企業の設定する価格に各社が追随し、実勢価格が形成されるようになる。

#### ②競争価格法

マーケット・シェア極大化といった目標のもとで採用される価格設定方法であり、競争企業の価格を基準として、それよりも低い価格を設定し、市場の拡大を図ろうとするものである。

#### ③入札価格法

入札によって価格を設定する方法である。入札とは書面で価格を提示して申し込むもので、一番安い入札価格を提示した企業に決定される方法である。

以上、価格政策における価格設定の目標、方式について述べてきたが、本章で扱う価格感度測定法は消費者による価格の受容評価であることから、需要重視型価格設定方式に分類される。

### 4.3 価格感度測定法<sup>3)</sup>

#### 4.3.1 価格感度測定法の概要

価格感度測定法(Price Sensitivity Measurement; PSM)はオランダ統計研究所(NSS)で開発された技法で、ある商品・銘柄の価格に対する消費者の心理的反応を測定するものである。すなわち、ある商品の価格について、「安いと感じる」、「高いと感じる」、「安すぎて買わない」、「高すぎて買わない」といった評価を詳細に分析する。それまでの価格設定が、①需要と供給、②原価主義、③競争企業との価格競争等であったのに比べて、PSMは「価格に対する消費者の反応、消費者の価格受容度に関して提起される数々の問題に解を与える比較的簡単な方法」として開発された点にあり、基本的には計量心理学的なアプローチを用いる測定法である。

価格に関して消費者の心理的特性を計測しようという試みはPSMの他にも心理的サイフ等でも行われているが、PSMでは消費者の価格感を～円という具体的な数値指標でとらえることができる点で他の手法とは異なっている。

#### 4.3.2 PSMから得られる評価指標

PSMでは、ある商品について消費者に表4.3.1に示される4つの価格をたずねる。

表 4.3.1 4つの価格とその基本的質問

① 安いと感じる価格 あなたは、もし「〇〇〇 (個別銘柄)」の小売価格がいくら以下だったら「安い」と感じはじめますか。
② 高いと感じる価格 あなたは、もし「〇〇〇 (個別銘柄)」の小売価格がいくら以上だったら「高い」と感じはじめますか。
③ 高すぎて買わないという価格 あなたは、もし「〇〇〇 (個別銘柄)」の小売価格がいくら以上だったら「高すぎる、この値段なら私は買わない」と感じはじめますか。
④ 安すぎて買わないという価格 あなたは、もし「▲▲▲ (全般)」の小売価格がいくら以下だったら「安すぎる、こんな値段のものならば品質が悪いに違いないから買わない」と感じはじめますか。

このときそれぞれの価格の関係は、

$$④ \leq ① < ② \leq ③$$

となっていなければならない。ここで消費者一人一人の価格に対する評価は、図 4.3.1 のように表すことができる。

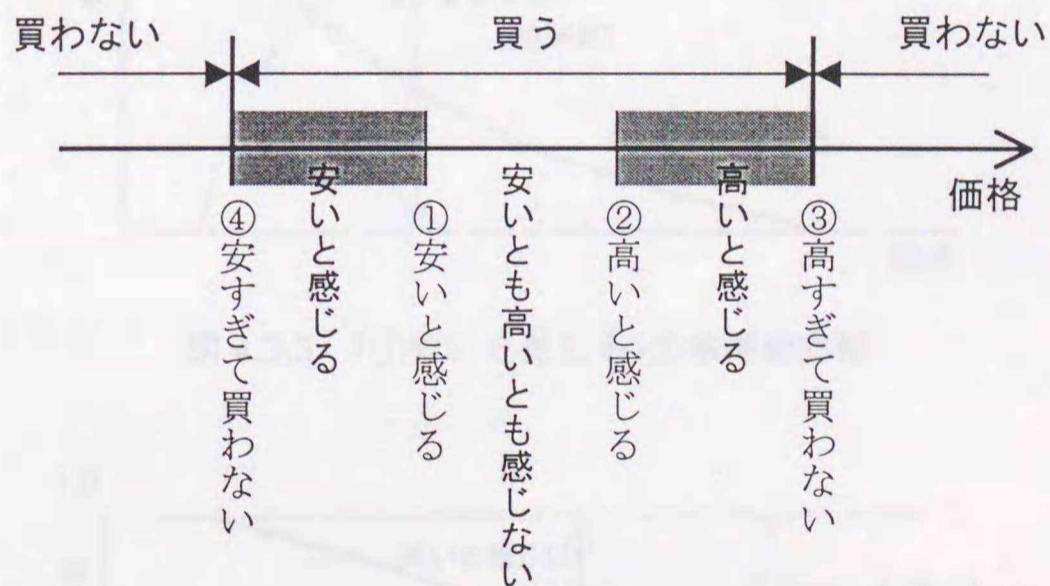


図 4.3.1 消費者の価格に対する評価

次に、4つのそれぞれの価格において、価格の度数分布を求め、それを相対累積度数の形で表す (図 4.3.2)。「①安いと感じる価格」と「④安すぎて買わない価格」は減少曲線、「②高いと感じる価格」と「③高すぎて買わない価格」は増加曲線となる。

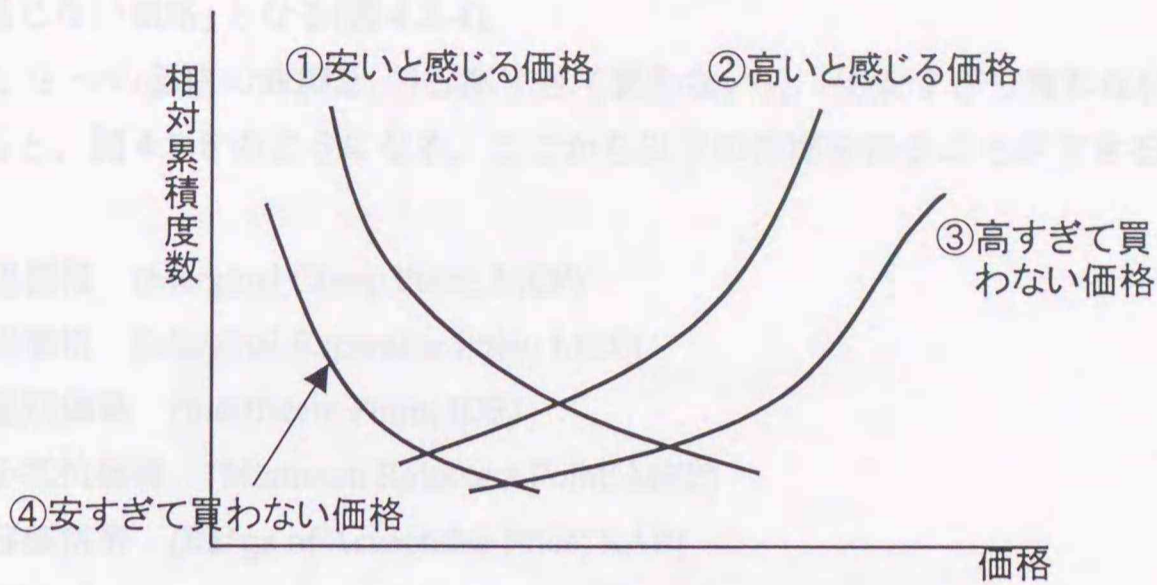


図 4.3.2 4つの価格の  
相対累積度数

PSMにおける4つの価格から評価指標を得るために、まず「①安いと感じる価格」を取り上げる。この曲線に対して、「①安いと感じる」人の余事象の曲線を求めると、図 4.3.3 のよ

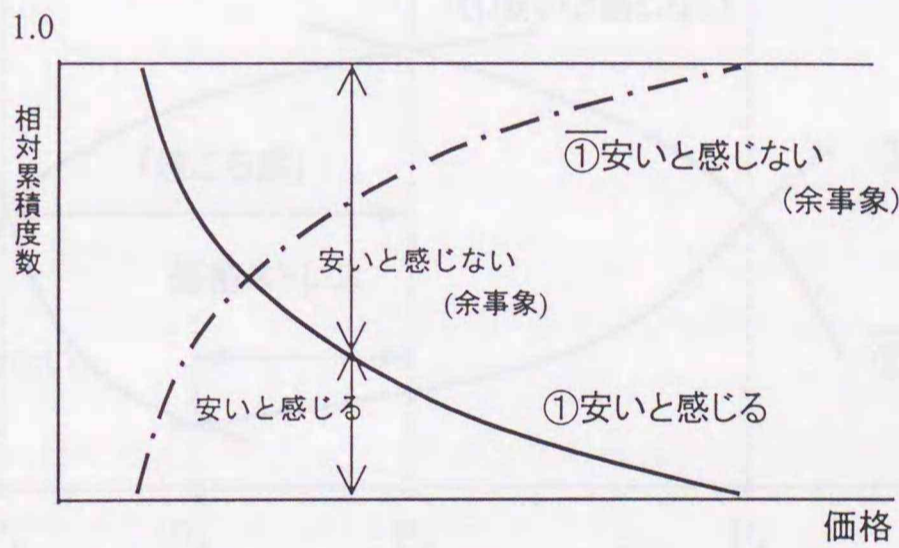


図 4.3.3 「①安いと感じる」の余事象曲線

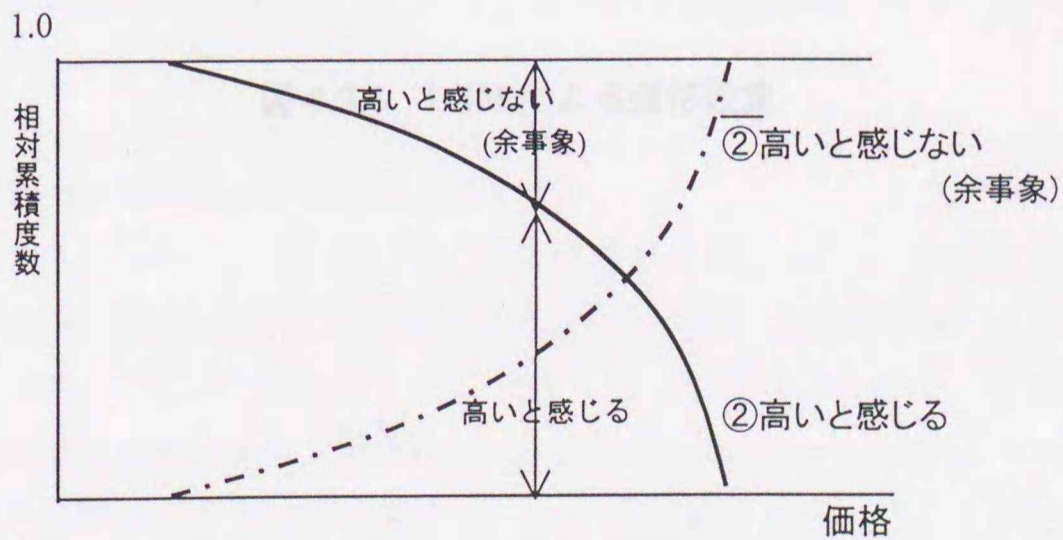


図 4.3.4 「②高いと感じる」の余事象曲線

うに「①安いと感じない価格」になる。同様に、「②高いと感じない価格」の余事象の曲線は、「②高いと感じない価格」となる(図 4.3.4)。

これら 2 つの価格の曲線と、「③高すぎて買わない」、「④安すぎて買わない」曲線を組み合わせると、図 4.3.5 のようになる。ここから以下の指標を得ることができる。

- (1) 下限価格 (Marginal Cheap Point; MCP)
- (2) 上限価格 (Marginal Expensive Point; MEP)
- (3) 無差別価格 (Indifferent Point; IDP)
- (4) 最小抵抗価格 (Minimum Reluctant Point; MRP)
- (5) 受容価格帯 (Range of Acceptable Price; RAP)
- (6) 値ごろ感
- (7) 価格ストレス

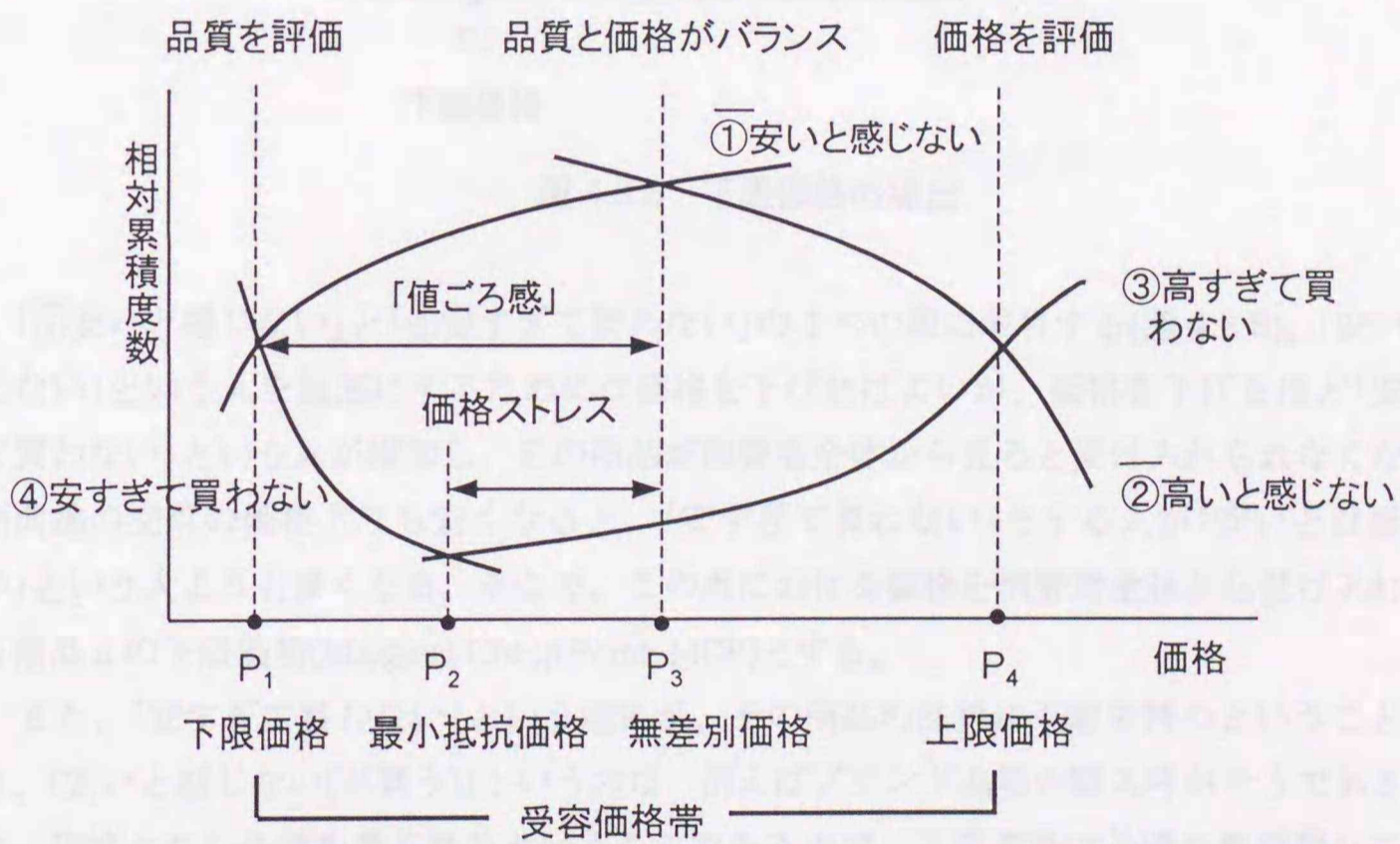


図 4.3.5 PSM による価格設定

### 4.3.3 PSM から得られる評価指標の導出

前節で述べた PSM による評価指標のそれぞれの導出方法について以下に示す。

(1)  $P_1$  : 下限価格(Marginal Cheap Point; MCP)

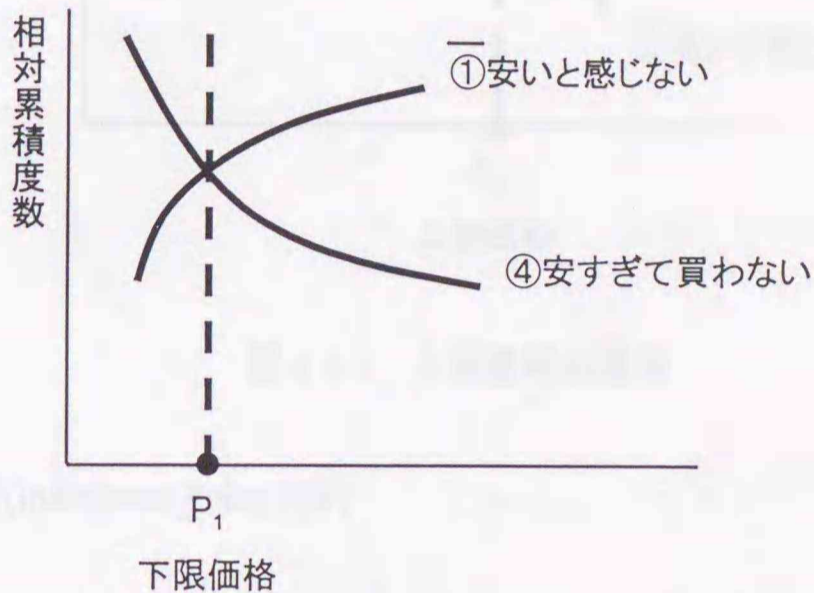


図 4.3.6 下限価格の導出

「①安いと感じない」と「④安すぎて買わない」の2つの線に着目する(図 4.3.6)。「安いと感じない」という人を皆無にするためには価格を下げればよいが、価格を下げるほど「安すぎて買わない」という人が増加し、その商品が消費者全体から見ると受け入れられなくなる。両曲線の交点の価格よりも安くなると、「安すぎて買わない」とする人が「安いとは感じない」という人よりも多くなる。そこで、この点における価格を消費者全体から受け入れられる商品  $\alpha$  の下限価格(Marginal Cheap Point; MCP)とする。

また、「安すぎて買わない」という理由が、その商品の品質に不安を持つということであり、「安いと感じない(が買う)」というのは、例えばブランド品等の購入時がそうであるように、価格よりも品質を重く見るということであるので、下限価格は品質を重要視している点であるといえる。

(2)  $P_4$  : 上限価格(Marginal Expensive Point; MEP)

下限価格と同様に「②高いと感じない」と「③高すぎて買わない」の交点に着目する(図 4.3.7)。交点に対応する価格を超えたところでは、単に「高いとは感じない」というものよりも、はっきり「高すぎるから買わない」と明言しているものの方が多くなる。そこで、この点に対応する価格を商品  $\alpha$  の上限価格(Marginal Expensive Point; MEP)とする。

ふたつの線とも品質というよりは価格を重くみている線であるので、下限価格が品質を重要視しているのに対して、上限価格は価格を重要視しているといえる。

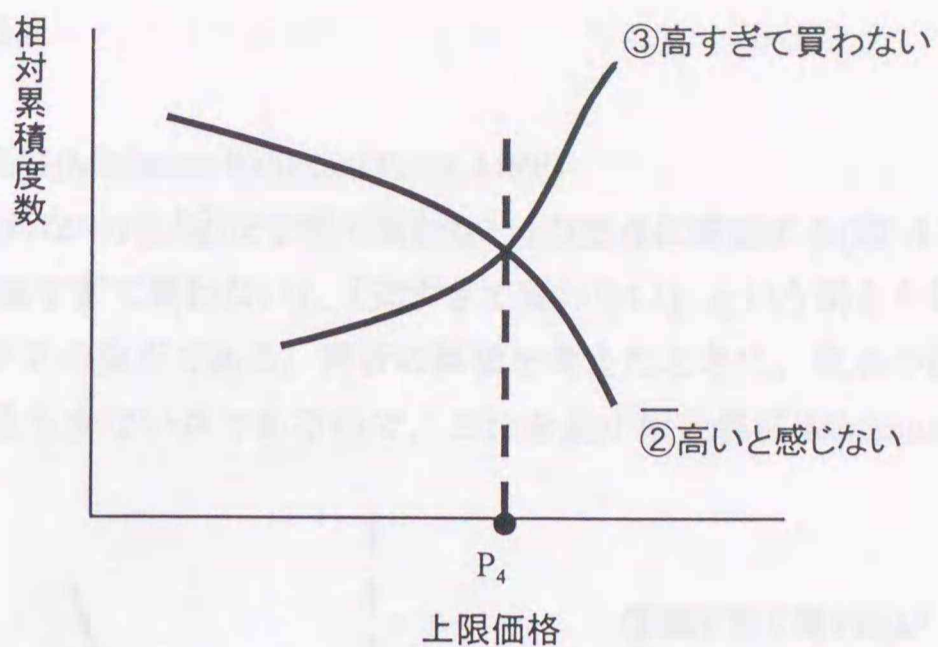


図 4.3.7 上限価格の導出

(3)  $P_3$  : 無差別価格(Indifferent Point; IDP)

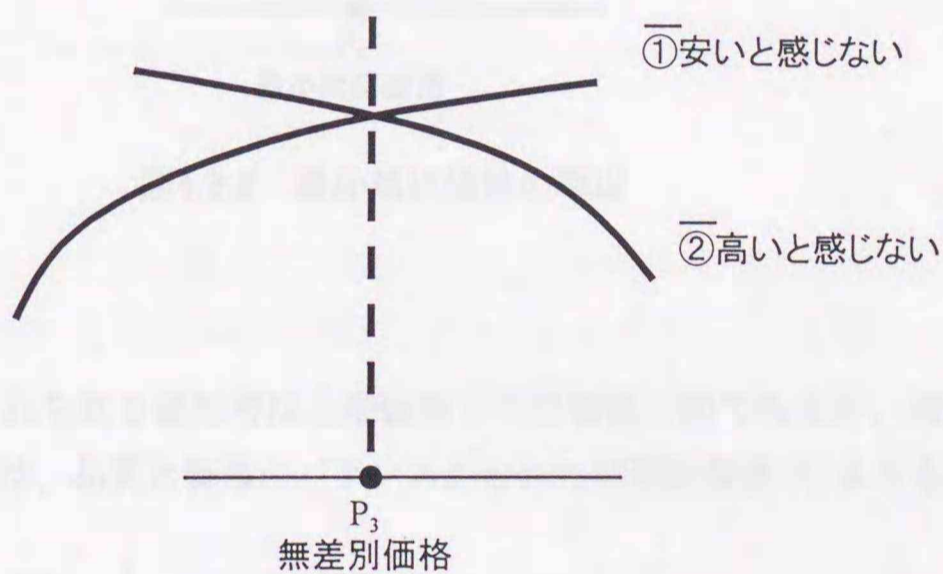


図4.3.8 無差別価格の導出

「①安いと感じない」と「②高いと感じない」の交点における価格は、「安いと感じない」ものと「高いと感じない」が同数の点である(図 4.3.8)。これは余事象の「①安いと感じる価格」と「②高いと感じる価格」の交点も同じ価格になる。つまり、「高い」と「安い」のバランスが取れている点で、消費者全体から見れば「高いとも安いとも感じない価格」になる。この価格を無差別価格(Indifferent Point; IDP)とする。また、「安いと感じない」が品質を重視し、「高いと感じない」が価格を重視しているとするならば、無差別価格は品質と価格がバランスが取れた点であるともいえる。

また、実勢価格が消費者の価格感に適応した結果成立しているとするれば、「安いと感じる」ものと「高いと感じる」もののバランスのとれたこの点での価格は、実勢価格を表していると考えられる。また、この点よりも左側の価格帯では、相対的に安さを感じる消費

者の方が多くなる。

(4)  $P_2$  : 最小抵抗価格(Minimum Reluctant Point; MRP)

「③高すぎて買わない」と「④安すぎて買わない」の交点に着目する(図 4.3.9)。この点に対応する価格は、「高すぎて買わない」、「安すぎて買わない」という明らかに「買わない」という意思を示すグラフの交点である。両者の累積を考えたときに、交点の価格が両者を合わせた購入抵抗が最も少ない点であるので、これを最小抵抗価格(Minimum Reluctant Point; MRP)とする。

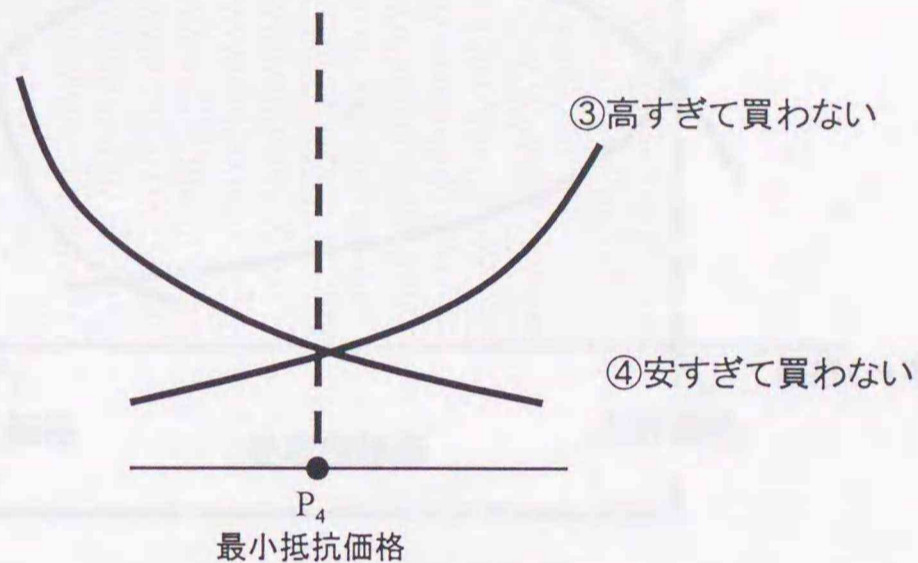


図4.3.9 最小抵抗価格の導出

(5) 値ごろ感

消費者に受け入れられる価格帯は上限価格と下限価格の間であるが、消費者にとって値ごろ感を持つ価格は、品質と価格のバランスがとれた無差別価格  $P_3$  よりも左側で、かつ品

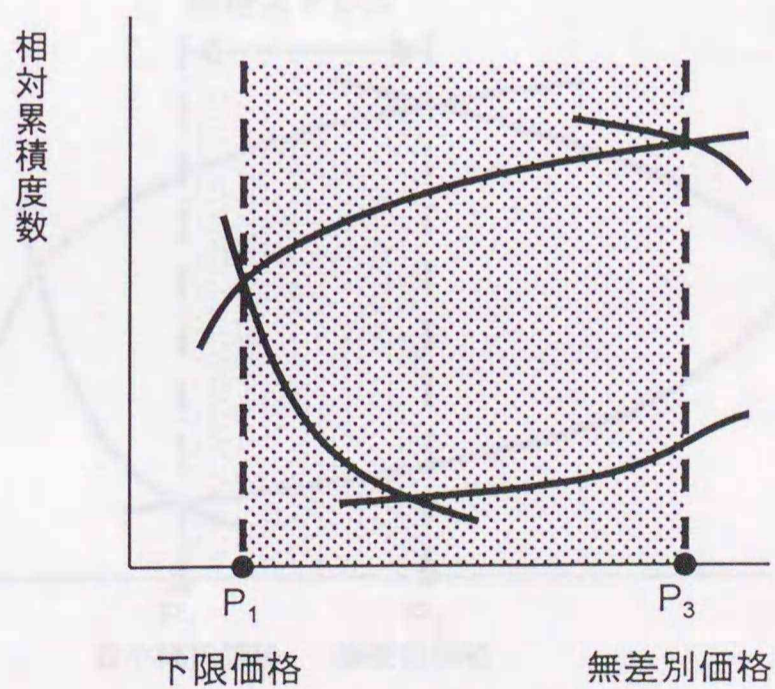


図4.3.10 値ごろ感

質を考慮した下限価格  $P_1$  よりも右側で生ずるものと考えられる(図 4.3.10)。

(6)  $P_1 \sim P_4$  : 受容価格帯(Range of Acceptable Price; RAP)

上限価格と下限価格の間で、この間の価格が消費者全体に受容される。この価格帯を受容価格帯とする(図 4.3.11)。

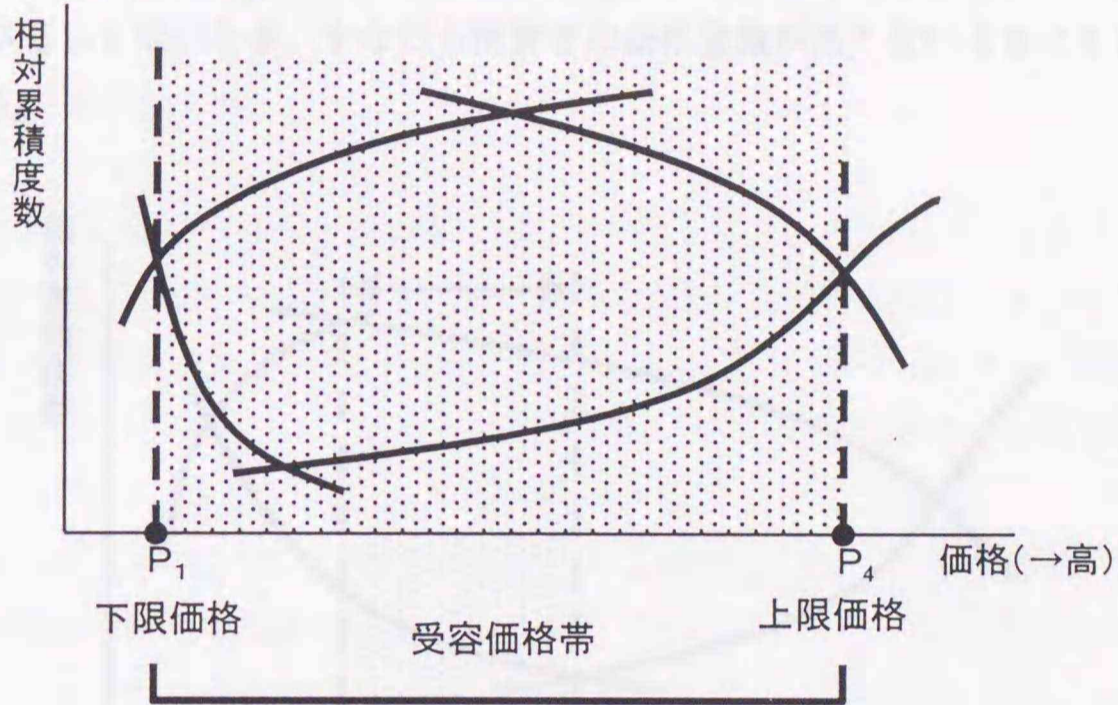


図4.3.11 受容価格帯

(7) 価格ストレス

品質と価格のバランスがとれている無差別価格  $P_3$  が消費者の価格感に合った実勢価格であれば、その実勢価格  $P_3$  と最小抵抗価格  $P_2$  が大きくかけ離れている状況、つまり消費者全体にとって購入抵抗がもっとも小さい価格と実勢価格が大きくかけ離れている状況は消費者にとっては好ましいとは言えない。 $P_3 > P_2$  となっているとき、この差を価格ストレスと呼

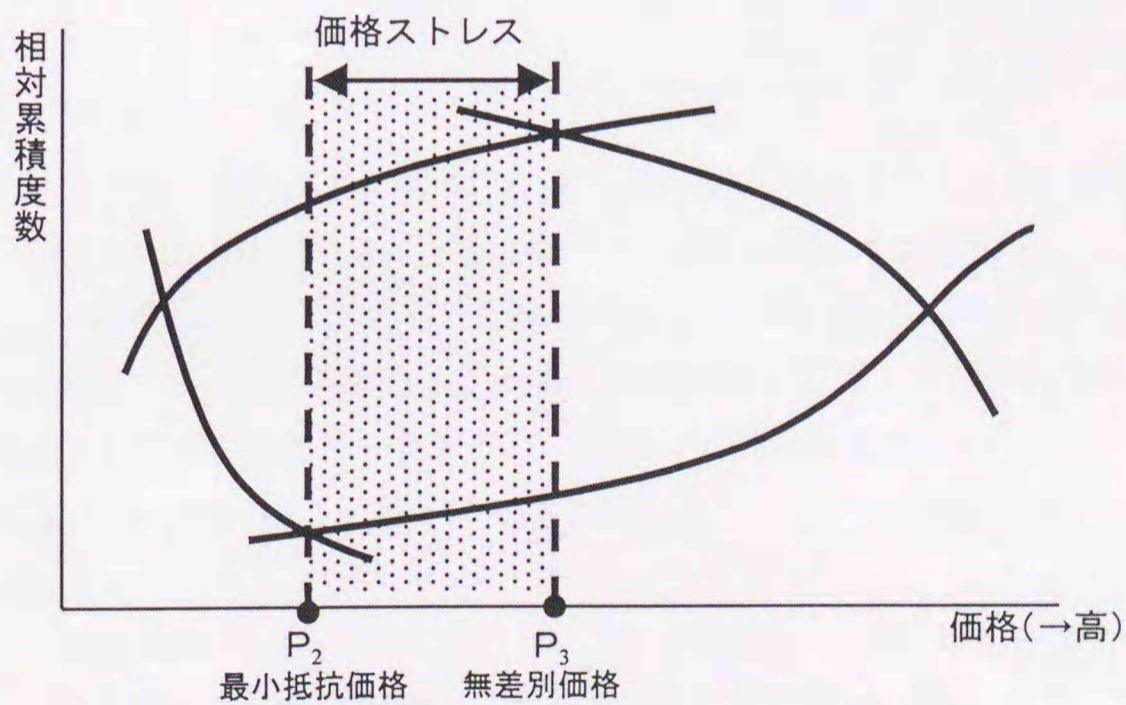


図4.3.12 価格ストレス





#### 4.4 PSMの利用法

PSMがマーケティングの手法であることから明らかであるが、PSMは主に企業が、市場または価格の分析を行うときに用いる手法である。その利用方法として、以下に架空の商品 $\alpha \cdot \beta \cdot \gamma \cdot \delta$ を用いて、例を挙げて示す。

##### 4.4.1 受容価格帯の分析

企業がPSMを利用して受容価格帯を知るメリットは、次の理由から発生する。消費者は商品を購入するときに、品質や便益と価格とを比較する。その商品があまりにも高すぎると感じられると購入されないし、反対にあまり安すぎると感じられても不信感が生じて結局購入されない。このように、消費者は購入価格に対して、受容できる価格帯を持っており、まとまった数の対象者から、この価格帯を知ることができれば、ターゲット(消費者)に受け入れられる価格決定ができる。あるいは現実に売られている価格との格差から、今後の価格戦略を考えることができる。

##### 4.4.2 商品の価格設定の分析

###### (1) 価格設定の妥当性

表 4.4.1 現行価格の妥当性

時期	商品	価格	下限価格	最小抵抗価格	無差別価格	上限価格
97.1	$\alpha$	150	132	146	149	175
98.1	$\alpha$	150	111	128	134	147
	$\beta$	200	166	191	198	243

商品 $\alpha$ は定価150円であるが、97年1月時点には無差別価格が149円、最小抵抗価格が140円で、定価との間に格差はなく、その値付けは当を得たものがあつた。

ところが、1年後の98年1月時点には競合商品 $\beta$ が定価200円で市場参入し、定価に見合った商品であると消費者の評判も良い(最小抵抗価格191円、実勢価格198円)。一方、最小抵抗価格および無差別価格の推移から、商品 $\alpha$ が割高感をもたれるようになり、定価を130円に値下げしない限り、消費者の割高感は拭えないという事態に追い込まれていることがわかる。

このようにPSMは企業間の競争において、自社の製品の消費者の価格受容を調査することにより、今後の価格の戦略に情報を与えるものとして有用である。一方、ある商品に対し新規参入する企業にとっても、現在の既存の商品に対する消費者の価格評価から、自社の商品の価格設定を考えることができる。

(2)競合に関する製品比較

ある競合商品  $\delta$  が現行価格 350 円である限り、商品  $\gamma$  の上限価格 346 円を上回っている  
ので問題はない。ところが商品  $\delta$  が最小抵抗価格 320 円に値下げしてくると商品  $\gamma$  の上限  
価格 346 円を下回り、競合状態に突入することとなる(表 4.4.2)。

自社と他社の商品の価格評価を比較することにより、価格において競合状態にある企業  
の絞り込みができる。

表 4.4.2 製品の競合比較

商品	価格	下限価格	最適価格	最小抵抗価格	上限価格
$\gamma$	300	253	285	301	346
$\delta$	350	280	320	349	424

(3)市場規模の推定

PSM の評価に用いる図の見方を変えると、その商品の属している市場を細分化して、そ  
の各々の市場において商品がどのようにとらえられるかを調べることができる。

実際には、図 4.4.1 に示すように、バーゲン市場・ノーマル市場・プレミアム市場の 3 市  
場に分け、その 3 市場の大きさを測る指標とすることができる。

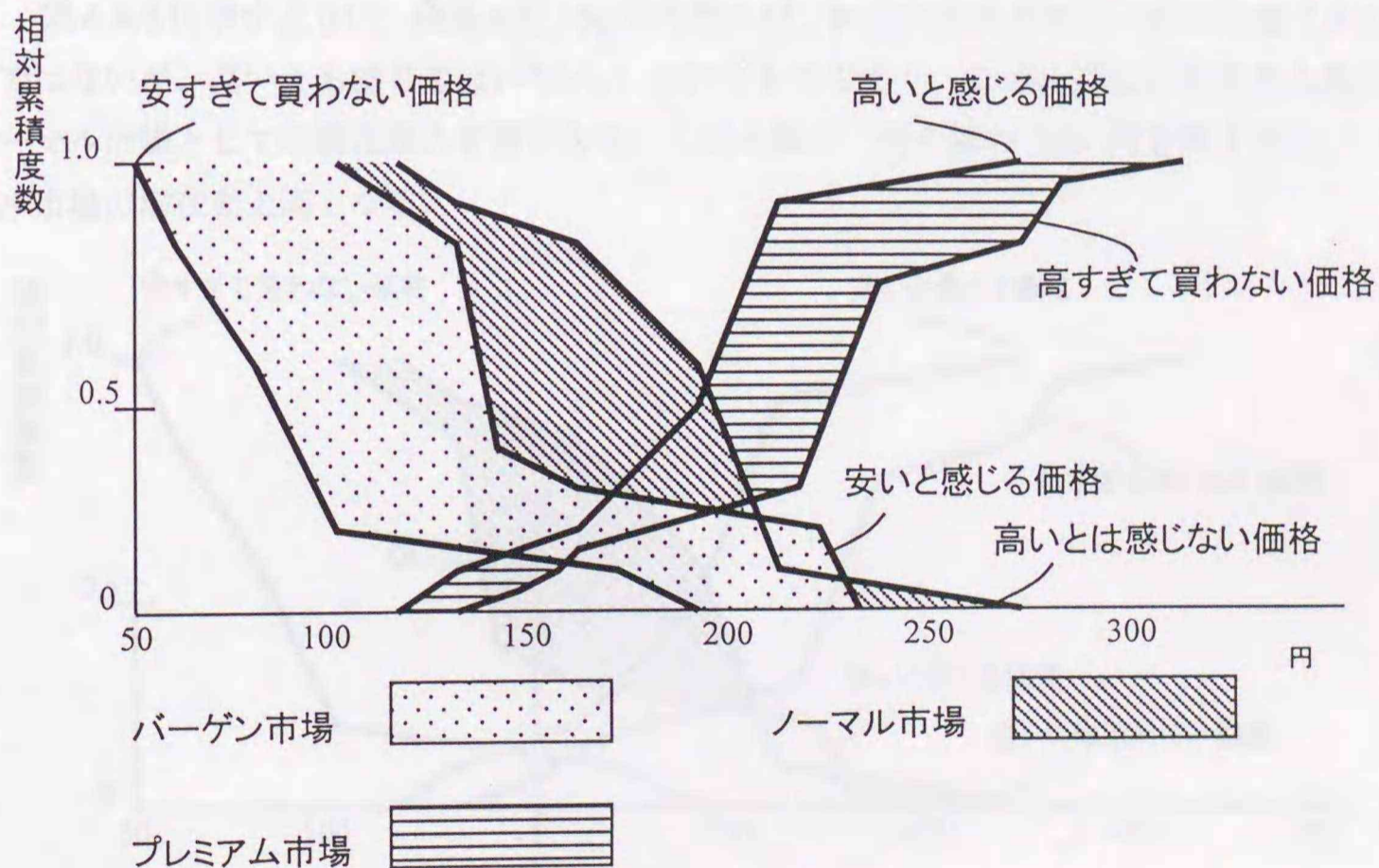


図4.4.1 市場規模の推定

① バーゲン市場

例えば、図 4.4.2 のように商品  $\alpha$  を 135 円で売れば、消費者の約 45%が「安いとは思うが、

だからといって買わないということはない」というもので、潜在的な購入意欲を持つ消費者層である。この比率、言い換えればこの比率に相当する人数（母数）がバーゲン市場としての潜在購入者数であり、この人数に売り値の135円を乗じたものが潜在売上高となる。

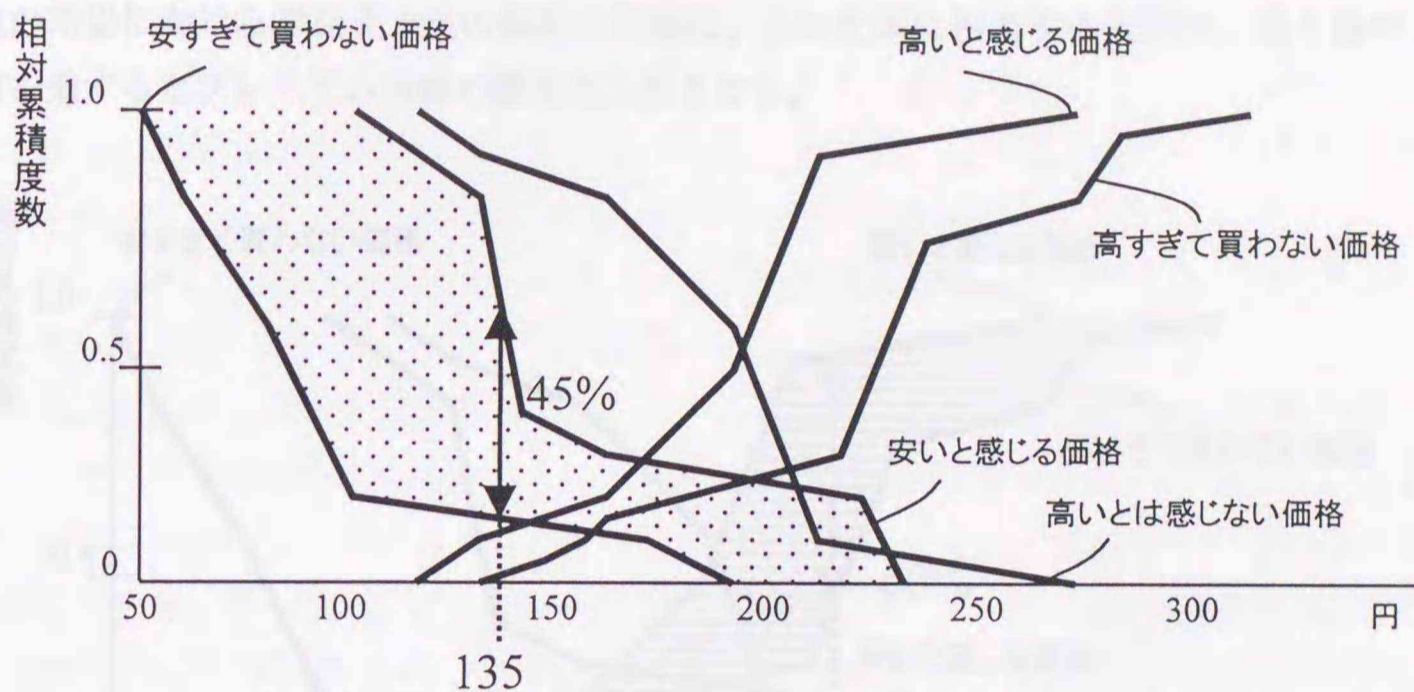


図4.4.2 バーゲン市場

②ノーマル市場

図4.4.3に示すように、商品αを150円で売れば、約60%の消費者が「安いと感じるほどではないが、高いとも感じてはいない。」というものであり、この比率に相当する人数がノーマル市場としての潜在購入者数となる。この人数に、売り値の150円を乗ずるとノーマル市場の潜在売上高となる。

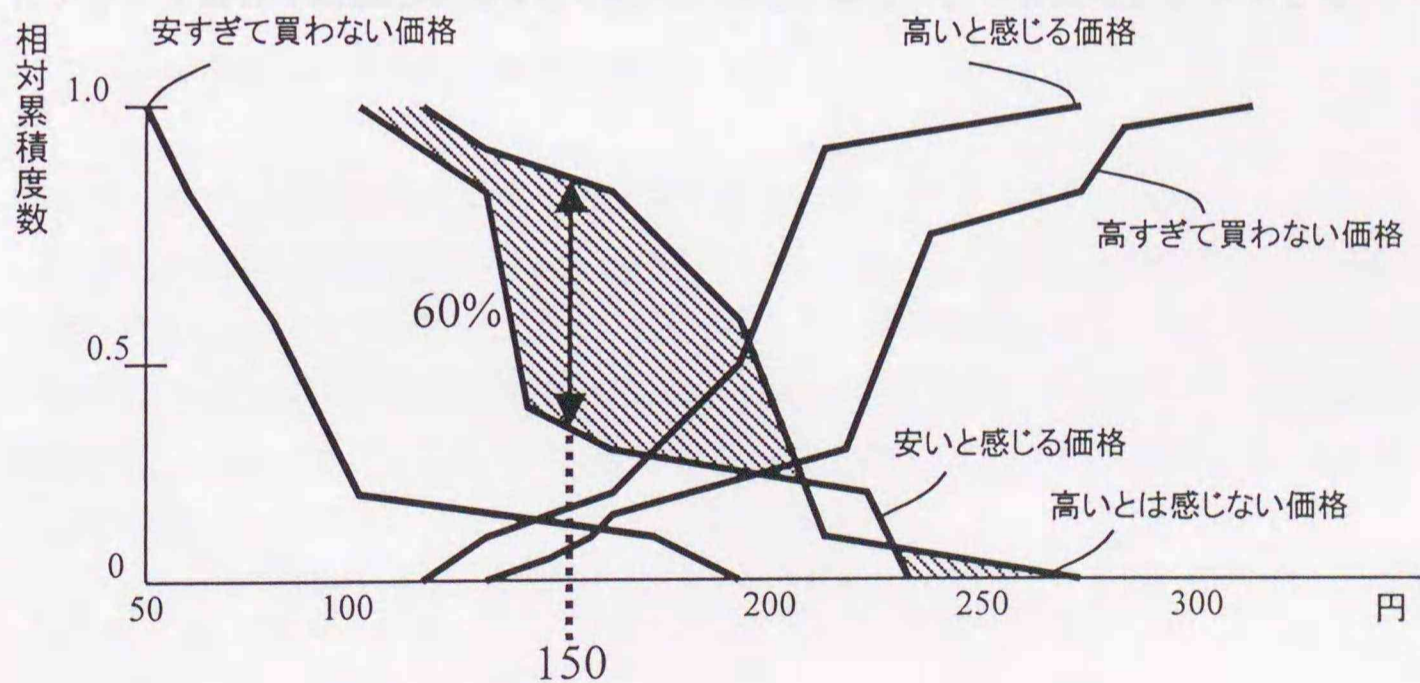


図4.4.3 ノーマル市場

### ③プレミアム市場

図4.4.4に示す通り、商品αを220円で売れば、約60%の消費者が「高いとは思いますが、だからといって買わないということはない」というもので、潜在的な購入意欲を持つ消費者層である。このような消費者は、主にブランド品などの市場で見られる購買者像である。他の市場における潜在売上高の算定と同様に、この比率に相当する人数に、売り値の220円を乗ずるとプレミアム市場の潜在売上高となる。

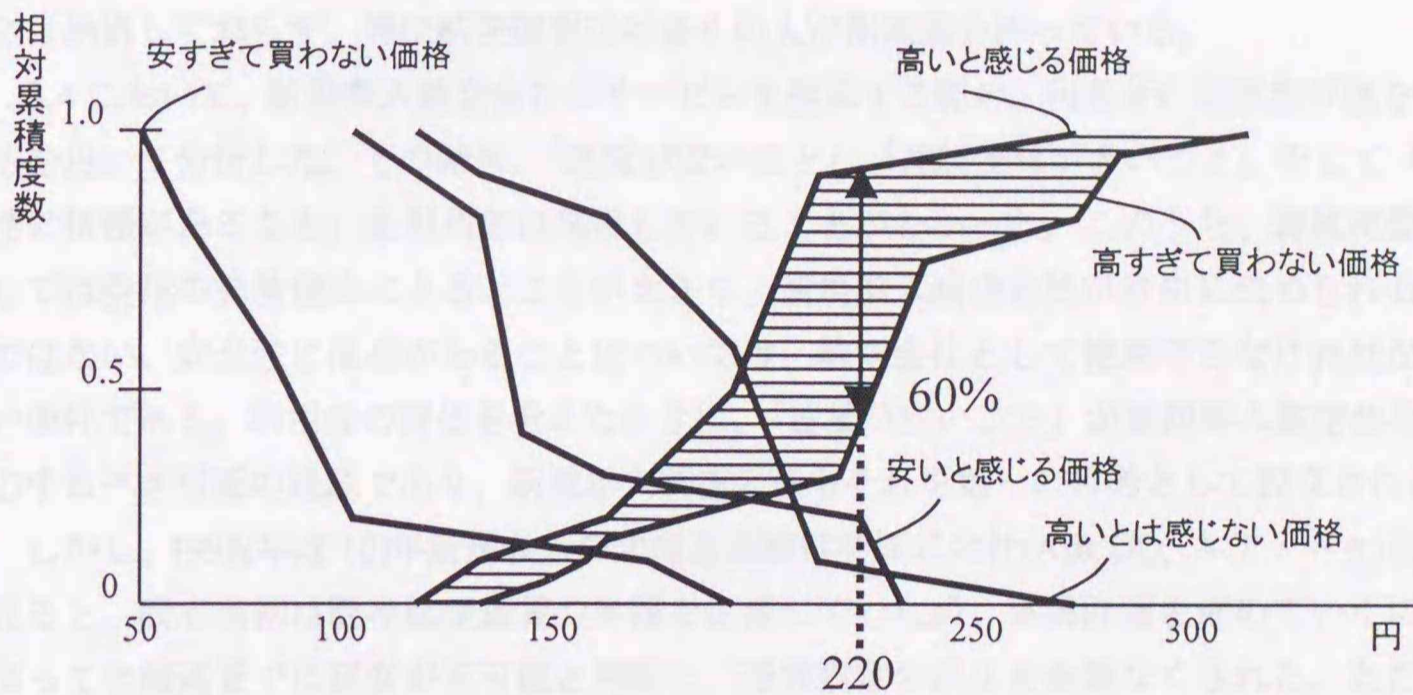


図4.4.4 プレミアム市場

市場分析にPSMを適応するにあたっては、ここで示した例を単独で利用するに限らず、年齢別に分類するなど基本的な細分化の他に、コンジョイント調査・イメージ調査、さらにファジィ分析や数量化理論なども同時に利用すると、より有効な分析ができる。

## 4.5 PSMによる札幌－東京間の航空運賃の評価

### 4.5.1 新規参入航空会社の運賃の設定

これまでの商品の価格は、主に需要と供給の関係から決定されてきた。しかし、交通運賃に限ってみると、原価主義で決定されることが多く、供給者側によって一方的に決められた運賃を利用者は受け入れざるを得なかった。しかし、利用者は原価をもとにした運賃には納得しておらず、特に航空運賃には多くの人が割高感を持っている。

3.4において、新規参入航空会社がサービスを提供する際の、利用者の重要度評価を ECR 法を用いて分析した。その結果、「運賃が安いこと」、「運航便数が多いこと」そして「安全性に信頼があること」を利用者は重視していることがわかった。このうち、運航便数に関しては空港の発着便枠によるところが大きく、新規参入航空会社が自由に決められるものではない。安全性に信頼があることについては、航空会社として絶対守らなければならない条件である。利用者の評価を考えたときに、「運賃が安いこと」が新規参入航空会社が対応すべき当面の課題であり、新規参入航空会社もそれを第一の目的として設立された。

しかし、1998(平成 10)年新規参入の北海道国際航空株式会社(AIR DO; エア・ドゥ)を例に見ると、設立当初は既存航空運賃の半額を目指していたが、事業計画を進めていくにしたがって半額運賃では経営が不可能と判断し、運賃設定の修正を余儀なくされた。ただ単に「運賃を安くする」ことを考えると半額運賃は利用者に与える影響も大きい。一方で会社側は現実として原価主義も軽視できず、マーケティングを見極めて運賃設定をする必要がある。

本節では PSM により、「値ごろ感」の観点から札幌－東京間の航空運賃を評価する。

### 4.5.2 航空運賃に対する利用者の評価

#### (1)札幌－東京間の航空運賃に関する意識調査の実施

札幌－東京間の航空運賃について PSM による分析を行うため、平成 10 年 1 月 29 日に新千歳空港センタープラザにてアンケートを行った。調査方法はインタビュー形式で、その際に平成 10 年 1 月の時点での札幌－東京間の正規航空運賃が 24,600 円、1 日の運航便数が航空会社 1 社につき 13 往復という条件を回答者に提示した。回収票数は男性 95 票、女性 70 票の総計 165 票であった。次ページに調査票を示す。

# 札幌～東京間の航空運賃に関する調査

北海道大学工学部 交通制御安全工学研究室

## I あなた自身の事についてお尋ねします。

問1. 性別は

1. 男性 2. 女性

問2. 年齢は

1. 10代 2. 20代 3. 30代 4. 40代 5. 50代 6. 60代 7. 70歳以上

問3. ご職業は

1. 会社員 2. 公務員 3. 自営業 4. 農業・漁業 5. 主婦  
6. 学生 7. 無職 8. その他( )

問4. 居住地は

1. 北海道( ) 2. 道外( )

問5. あなたは昨年1年間でビジネスと観光・私用の目的で、それぞれ何回札幌～東京間を航空機で往復しましたか。

ビジネスで ( )回

観光・私用で ( )回

## II 札幌～東京間の片道航空運賃についてお尋ねします。

ここからはそれぞれの問いに対して具体的な数字でお答えください。

現在、東京まで飛行機で行くための標準的な航空運賃は **24,600円** とします。

1. 「ビジネス」で東京まで飛行機で行くときに

①航空券を購入するとしたら、いくら以上なら「高い」と思いますか。

円

②いくら以下なら、「安い」と思いますか。

円

③いくら以上だったら「高すぎる、この値段なら私は利用しない」と感じはじめますか。

円

## 2. 「観光・私用」で東京まで飛行機で行く時に

① 航空券を購入するとしたら、いくら以上なら「高い」と思いますか。

 円

② いくら以下なら、「安い」と思いますか。

 円

③ いくら以上だったら「高すぎる、この値段なら私は利用しない」と感じはじめますか。

 円

## 3. 札幌－東京間の航空券を購入する時に

① いくら以下だったら「安すぎて安全性・サービス等に不安を感じるから利用しない」と感じはじめますか。

 円

## 4. 札幌－東京間の航空券が、

① いくらになれば、ビジネスでの利用回数が現在の 2 倍になりますか。

 円

② いくらになれば、ビジネスでの利用回数が現在の 3 倍になりますか。

 円

③ いくらになれば、観光・私用での利用回数が現在の 2 倍になりますか。

 円

④ いくらになれば、観光・私用での利用回数が現在の 3 倍になりますか。

 円

最後に、航空機の運賃についてご意見がございましたらご自由にお書きください。

ご協力ありがとうございました



回答者の職業、年齢、居住地は図 4.5.1～4.5.3 のとおりである。会社員・公務員で約 6割を占めたが、年齢で見ると 20代が 39%と若年層が多かった。また、居住地別では、北海道外居住者が 65%を占めた。

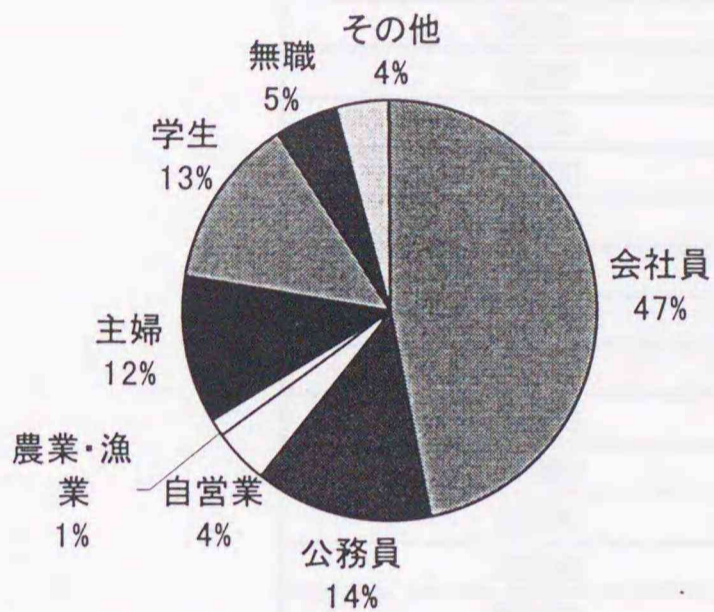


図 4.5.1 回答者の職業

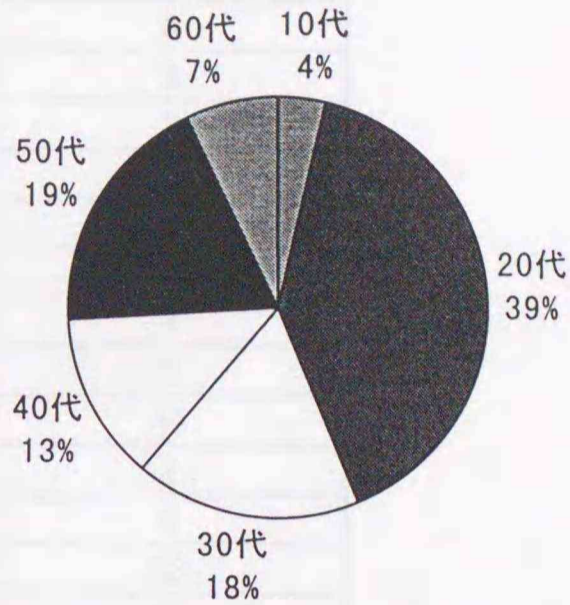


図 4.5.2 回答者の年齢

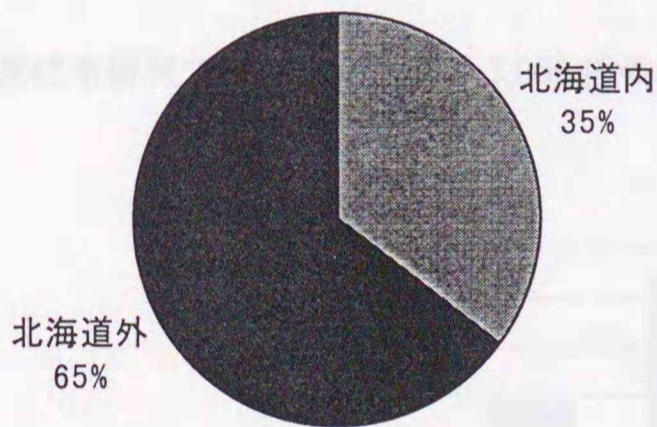


図 4.5.3 回答者の居住地

## (2)PSM による札幌－東京間の航空運賃の評価

本研究では航空機利用者に対して PSM による航空運賃の調査を行うに際し、調査実施時の札幌－東京間における正規航空運賃を片道 24,600 円、1 日の運航便数を各社 13 往復として提示した。そして PSM における 4 つの価格を航空運賃に関して回答者に尋ねた(アンケート票参照)。以下に分析結果を示す。

### ①交通目的別の航空運賃評価

交通目的別に業務交通・私用交通に分類して分析する。

まず、私用交通について見ていくと、PSM における 4 つの価格について尋ねた結果、「①

安いと感じる価格」の度数は表 4.5.1 のようになる。

表 4.5.1 「①安いと感じる価格」度数分布 (私用交通)

①「安いと感じる価格」(円)	度数
5000	3
7000	2
8000	3
10000	32
12000	5
12300	1
13000	3
14000	2
15000	47
16000	2
18000	6
20000	23
22000	1
25000	1
30000	1
計	132

次に本研究では価格について 3,000 円の幅をもたせ、相対度数の形で表した(図 4.5.4)。

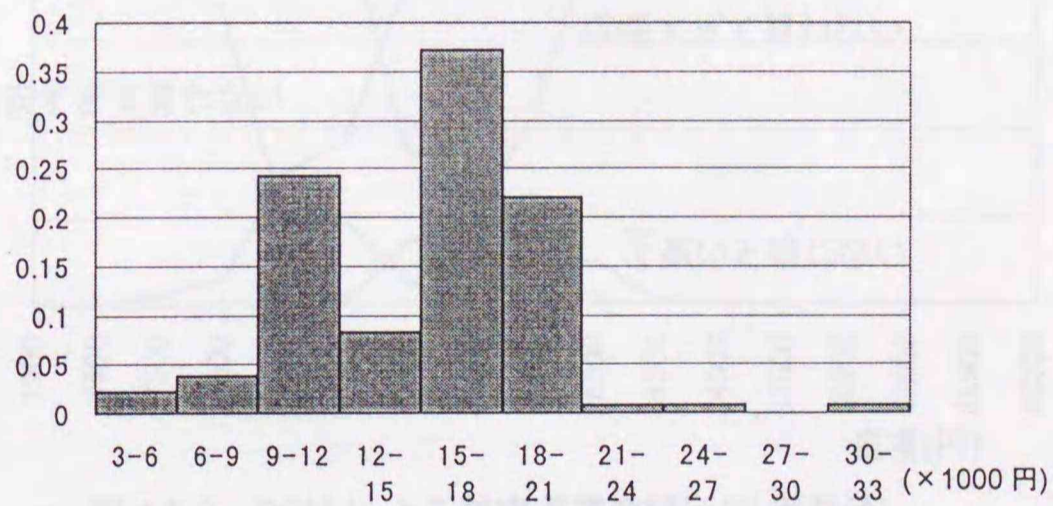


図 4.5.4 「安いと感じる価格」の相対度数分布

図 4.5.4 から相対度数を累積し、さらに余事象をもとめると、「安いと感じない価格」のグラフが図 4.5.5 のようにできる。「安いと感じる価格」は減少関数となる。このときの価格は階級値を用いることとする。

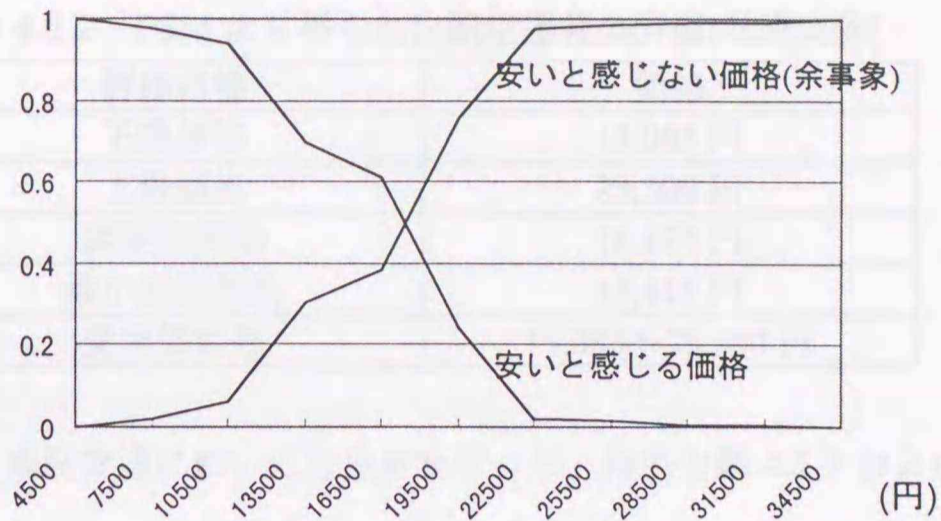


図 4.5.5 「安いと感じる価格」の余事象

同様のプロセスで他の「高いと感じる価格」の余事象の「高いと感じない価格」、「高すぎて買わない価格」、「安すぎて買わない価格」に関して相対累積度数グラフを作成し、4つの価格のグラフを重ね合わせると、図 4.5.6 のように私用交通における PSM の価格評価ができる。

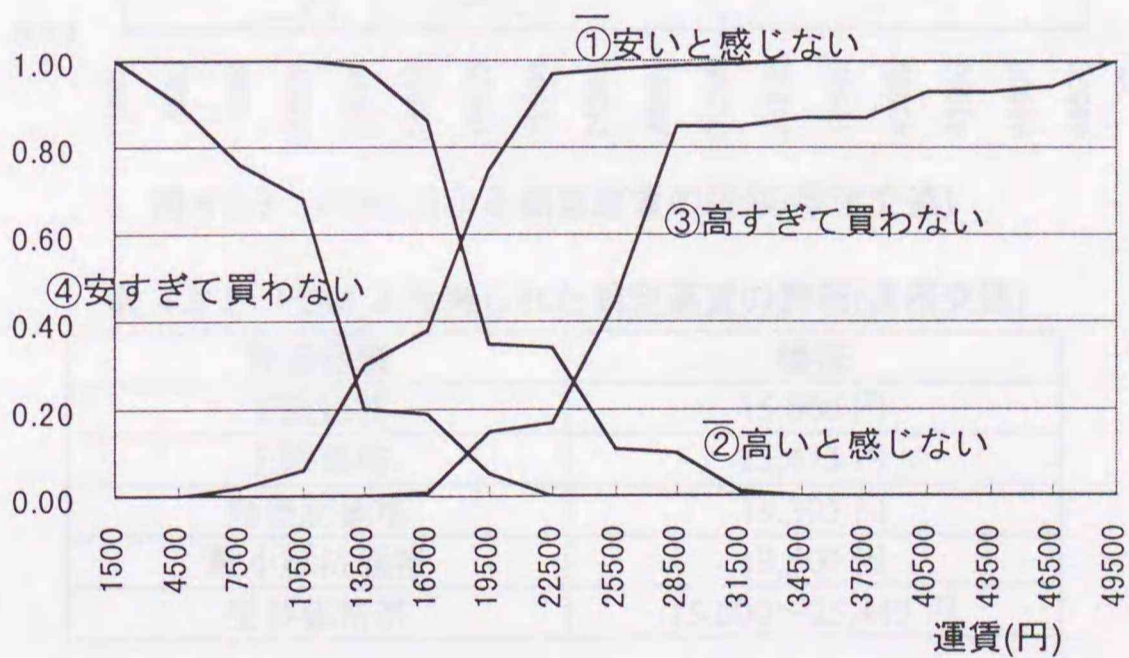


図 4.5.6 PSM による航空運賃の評価(私用交通)

図 4.5.6 より、下限価格は「①安いと感じない」と「④安すぎて買わない」の交点の価格を、上限価格は「②高いと感じない」と「③高すぎて買わない」、無差別価格は「①安いと感じない」と「②高いと感じない」、そして最小抵抗価格は「③高すぎて買わない」と「④安すぎて買わない」の交点の価格をそれぞれ求めると、表 4.5.2 のようになる。

表 4.5.2 PSM より得られた航空運賃の評価(私用交通)

評価指標	価格
下限価格	13,083 円
上限価格	23,500 円
無差別価格	18,191 円
最小抵抗価格	18,415 円
受容価格帯	13,083～23,500 円

同様のプロセスで、業務交通においても分析を行った。結果を図 4.5.7 および表 4.5.3 に示す。

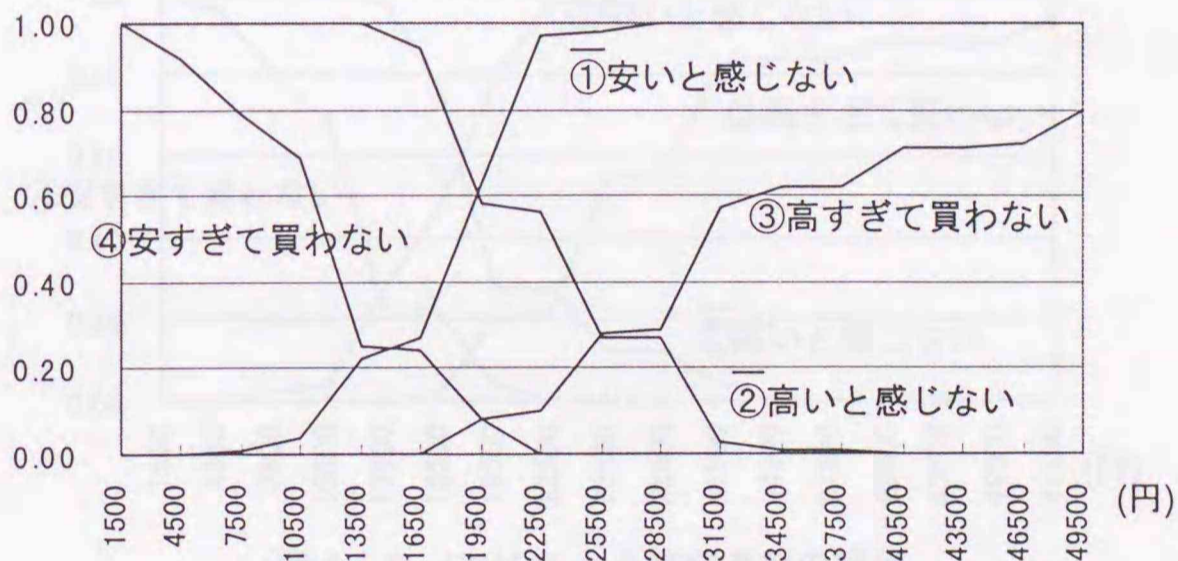


図 4.5.7 PSM による航空運賃の評価(業務交通)

表 4.5.3 PSM より得られた航空運賃の評価(業務交通)

評価指標	価格
下限価格	15,000 円
上限価格	25,443 円
無差別価格	19,305 円
最小抵抗価格	19,500 円
受容価格帯	15,000～25,443 円

今回の結果からは、業務交通と私用交通では、全般的に業務での利用の方が価格の評価が約 1,000 円高くなった。この要因としては、旅費は仕事の場合は会社が払うという意識があることや、仕事は金額に左右されないことが反映されている。逆に言えば、運賃の低減による交通需要の増加が大きいと考えられるのは私用交通であると考えられる。

そこで私用交通に着目すると、利用者の評価する最小抵抗価格は約 18,000 円という結果が出た。この状況下では現在各航空会社が展開している事前購入割引も、2 週間前予約の約 20%割引では、約 20,000 円となり、最小抵抗価格まで及んでいない。これに対して、札幌

市内における金券販売店では、航空券が片道 18,000 円台から販売されており、その利用者も多いことから、利用者の値ごろ感にあった実例として挙げる事ができる。

一方、上限価格は 23,500 円であり、正規運賃を下回る結果となった。つまり正規の航空運賃では、観光を中心とする私用交通においては積極的な需要喚起はできず、これが現在パック旅行等のサービスが充実している理由となっていると考えられる。

## ②居住地別の航空運賃評価

次に居住地を北海道内、北海道外に分類して PSM の分析を行った。結果を図 4.5.8、4.5.9 および表 4.5.4 に示す。

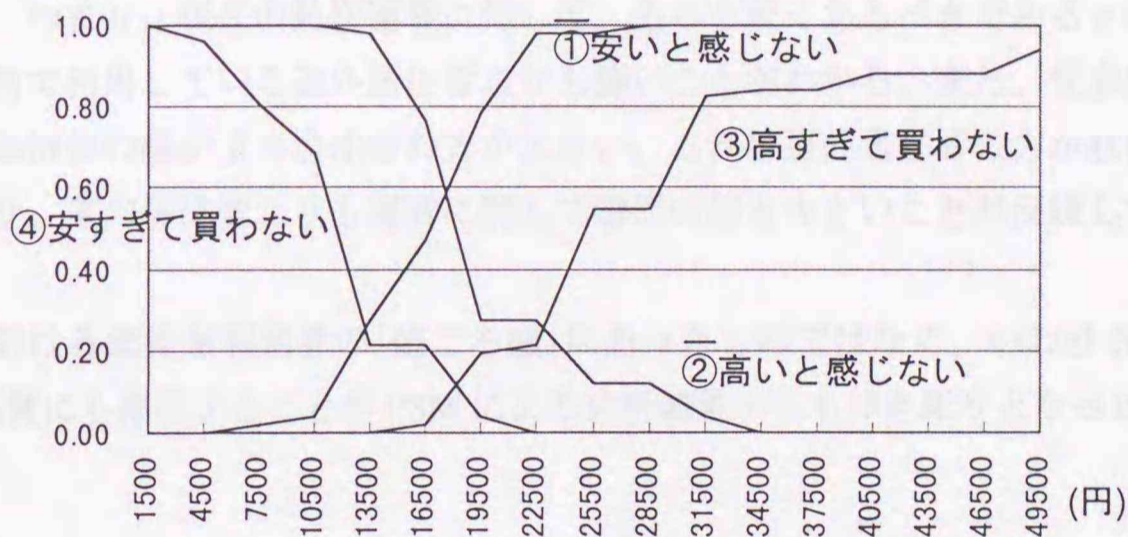


図 4.5.8 PSM による航空運賃の評価  
(北海道内居住者・私用交通)

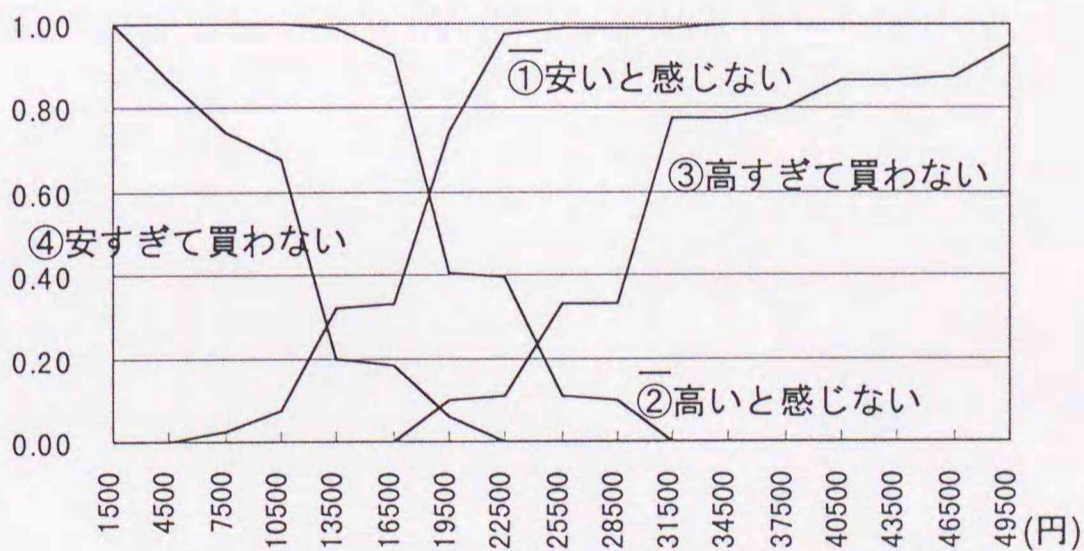


図 4.5.9 PSM による航空運賃の評価  
(北海道外居住者・私用交通)

表 4.5.4 居住地別の PSM による航空運賃の評価

評価指標	北海道内居住者	北海道外居住者
下限価格	13,249 円	12,993 円
上限価格	22,860 円	24,184 円
無差別価格	17,598 円	18,419 円
最小抵抗価格	18,166 円	19,000 円
受容価格帯	13,249～22,860 円	12,993～24,184 円

首都圏では北海道発と比較して格安の札幌旅行パックがあるなど、首都圏の利用者と北海道からの利用者間に格差が存在すると言わざるを得ない。それが今回の分析結果にも反映されていると考えられる。

両者を比較すると道内居住者の方が無差別価格、最小抵抗価格ともに道外居住者よりも低くなった。つまり、現在の航空運賃に対して、もっと安くあるべきであるとの考えが、すでに低価格で利用している道外居住者よりも強いことがわかる。また、受容価格帯に着目すると、価格帯の幅が道外居住者の方が大きい。これは道外居住者の方が航空機を利用するに当たり、道内居住者よりも運賃に関して選択の幅も大きいことが反映していると考えられる。

北海道における価格が利用者の「値ごろ感」にあったものではなく、いわゆる「北海道価格」が航空運賃にも存在することが PSM による分析結果からも浮き彫りとなった。

#### 第4章 参考文献

- 1)たとえば、林山泰久：仮想的市場評価法による環境質の便益評価，現代フォーラム，土木学会誌，Vol.83，pp58-61，1998
- 2)尾碕眞・岩永忠康・岡田千尋・藤澤史郎：マーケティングと消費者行動，pp128-135，ナカニシヤ出版，1992
- 3)(株)社会調査研究所監修：市場調査ケーススタディ改訂新版，pp282-283，みき書房，1997

本章では、都市における交通モビリティの向上に資する、都市計画の意思決定を支援するツールとして DEA 技法を用いた。近年の都市計画分野での DEA 技法の活用は、都市計画の意思決定を支援するツールとして DEA 技法を用いた。近年の都市計画分野での DEA 技法の活用は、都市計画の意思決定を支援するツールとして DEA 技法を用いた。

### 第 5 章

## DEA 技法を用いた都市交通モビリティの評価

#### 5.1 都市交通モビリティの評価

都市交通モビリティ (Urban Mobility) の評価は、1970 年代の初期に Edward Rhodes がニューメキシコ大学において、都市交通モビリティの評価を行うための DEA 技法を開発している。

この研究は、都市交通モビリティの向上に資する都市計画の意思決定を支援するツールとして DEA 技法を用いた。近年の都市計画分野での DEA 技法の活用は、都市計画の意思決定を支援するツールとして DEA 技法を用いた。近年の都市計画分野での DEA 技法の活用は、都市計画の意思決定を支援するツールとして DEA 技法を用いた。

この DEA の基本的考え方は、都市交通モビリティの向上に資する都市計画の意思決定を支援するツールとして DEA 技法を用いた。近年の都市計画分野での DEA 技法の活用は、都市計画の意思決定を支援するツールとして DEA 技法を用いた。

ある一つの都市計画は、それが何らかの人々に利益をもたらす。その利益は、他の人々の利益とともならなければならない。

この考え方に従えば、ある人々が獲得する利益の総額と、他の人々が受ける損失とを比



## 5.1 概説

本章では、集団における優劣の相対評価に関して、都市交通のモビリティを効率という観点から評価した。近年の自家用車依存の交通により、人々の交通モビリティは向上したが、弊害として環境問題も顕在化している。現在、環境負荷を低減するため交通需要抑制方策(TDM)が進められているが、一方でモビリティの向上も必要である。このように両立することが困難である課題については、いかにバランスをとって交通計画を行うかが重要になってくる。そこには企業の経営活動の評価と通じるものがあると考えられる。本研究では企業の経営活動の評価に用いられる包絡分析法(Data Envelopment Analysis; DEA)を用いて、都市交通のモビリティの評価を行った。DEAでは評価対象をDMU(Decision Making Unit; 意思決定者)といい、集団における意思決定者が、その集団の中で効率的に活動を行っているかを相対的に評価するものである。また、非効率と判断されたものについては、効率的になるための改善案も具体的に数値で示すことができる。本論文では国内9都市を対象に、モビリティ・環境負荷・交通にかかる費用・安全性を評価項目として、都市交通をDEAで分析した。

## 5.2 包絡分析法開発の歴史

包絡分析法(Data Envelopment Analysis; DEA)の研究は、1970年代の初期に、Edwards Rhodesがカーネギー・メロン大学において、W.W.Cooper教授の指導のもとで取り組んだ博士論文に端を発している。

この研究は、連邦政府のサポートにより米国の公立学校で行われた少数民族不遇児童(disadvantaged student, 主に黒人およびヒスパニック系)の教育プログラムを評価するというものであった。この研究に関する調査での入力、出力変数は多数であったが、研究対象のデータベースが十分大きかったため、自由度に関する問題はほとんどなかった。それにもかかわらず、そこで試みられたあらゆる統計的、計量的アプローチ(統計的回帰モデルなど)からは、非実現的で間違った結果しか得られなかった。そこで、この問題を解決するためにDEAの開発が始まった。そして現在でも各種モデルの提案などが行われている開発途上の手法である。

このDEAの基本的考え方は厚生経済学の発想からきている。現在の厚生経済学の基礎を与えた人物である経済学者Paretoは、その著書の中でこう指摘している。

ある一つの社会政策は、それが何らかの人々に便益をもたらし、その際に、他の人々の不便益をもたらさないときに正当化される

この考え方に従えば、ある人たちが獲得する便益の価値と、他の人々が受ける損失とを比

較するという困難な問題を回避することができる。すなわち、各個人の利得と損失の相対的重要性にウェイト付けする必要がない。

Koopmansはこの考え方を受け継ぎ、経済学において「最終財」に応用した。それは、どの最終財についてもそれが改善されるに際しては、それが他の最終財を悪化させる結果とならないなら、その改善が許されるという制約を与えたことである。

そして Farrell はこれらの考え方を投入にも産出にも拡張的に適用し、比率尺度により生産の効率性を相対評価することを初めて行った。また、価格を使うことや、それに関連する交換のメカニズムを使用することを避けた。さらに彼は各 DMU の投入に対する産出の行動を評価するにあたり、他の DMU の業績を使った。これにより、相対的な効率性を実証的に決めることが可能になった。これが DEA の原形である。

しかし、Farrell のそれまでの研究は単一の産出財のケースに限られていた。そこで、Cooper と Rhodes は多重産出財への拡張を行うために相対の線形計画を開発した。これにより、多種の産出財、多種の投入要素の場合において、各 DMU の各投入、各産出での非効率を突き止めることができるようになった。

さらに Charnes は、分数計画法の分野を確立した Charnes と Cooper の初期の研究を活用して、Cooper と Rhodes が考案した相対の線形計画の問題を、それと等価の比率形式に表現した。このように比率形式による分数計画問題に置き換えることによって、問題の解釈を容易に行えるようになった。

## 5.3 DEAの基礎理論<sup>1)</sup>

### 5.3.1 DEAの概要

DEAは、企業において入力（投入）から出力（産出）を得る変換過程を見て、その変換過程の効率性を測定するための手法であり、テキサス大学のA.Charnes、W.W.Cooperの両教授によって開発された。この方法は主に経営工学の分野で用いられており、公共機関から民間企業に及ぶさまざまな事業体の効率性の評価のために適用されている。また、Cooper教授は会計学の権威者として全米の重鎮であることから、企業会計の分野にも次第に浸透しつつある。

この評価方法は、従来の方法とまったく異なった発想によっている。すなわち、この方法を用いることにより優れ者集団（効率的フロンティア）の存在を明示することができ、そのフロンティアを基準として、非効率的な事業体の改善案を具体的に提言できる。

計算方法としては多入力、多出力系システムの効率性を「公平」に評価するために線形計画法を用いている。また、想定される投入対産出の関係を記述する生産関数の形に応じたいくつかのモデルが開発されている。

### 5.3.2 DEAの基本的考え方

事業体の活動を、資源投入から便益産出する変換過程と見た場合、その効率性を測定するために（産出／投入）という比率尺度が用いられることが多い。そして同様の投入と産出を持つ事業体が複数個ある場合、その比率尺度の大小によってそれらの相対比較を行うことが可能であり、現に経営分析の手段として用いられている。

DEAはこのようなことを行うための手法であり、その基本的な考え方を簡単な例をもとに説明する。

#### (1) 1入力1出力の場合

8つの営業所があり、営業人数（人）と売上高（千万円）が表5.3.1の通りとする。営業人数を入力とし、売上高を出力としてグラフにプロットしてみる（図5.3.1参照）。

Bと原点を結ぶ直線の勾配が一番大きく（出力／入力が最大）、この線を効率的フロンティアと呼ぶ。そしてすべての営業所の点はこのフロンティアの下側に包み込まれる。これが包絡分析法という言葉の由来である。

さて、このようなデータがある場合、回帰分析（最小自乗法）による直線の当てはめがよくなされる。原点を通る回帰直線の式は $y=0.622x$ となり、回帰直線はデータ群のほぼ中央を通過する。そして、この線より上にある営業所は成績良好、下にある営業所は不良と判断され、その度合いを偏差値などを用いて測ったりする。

表 5.3.1 1入力、1出力の例

営業所	A	B	C	D	E	F	G	H
営業人数	2	3	3	4	5	5	6	8
売上高	1	3	2	3	4	2	3	5

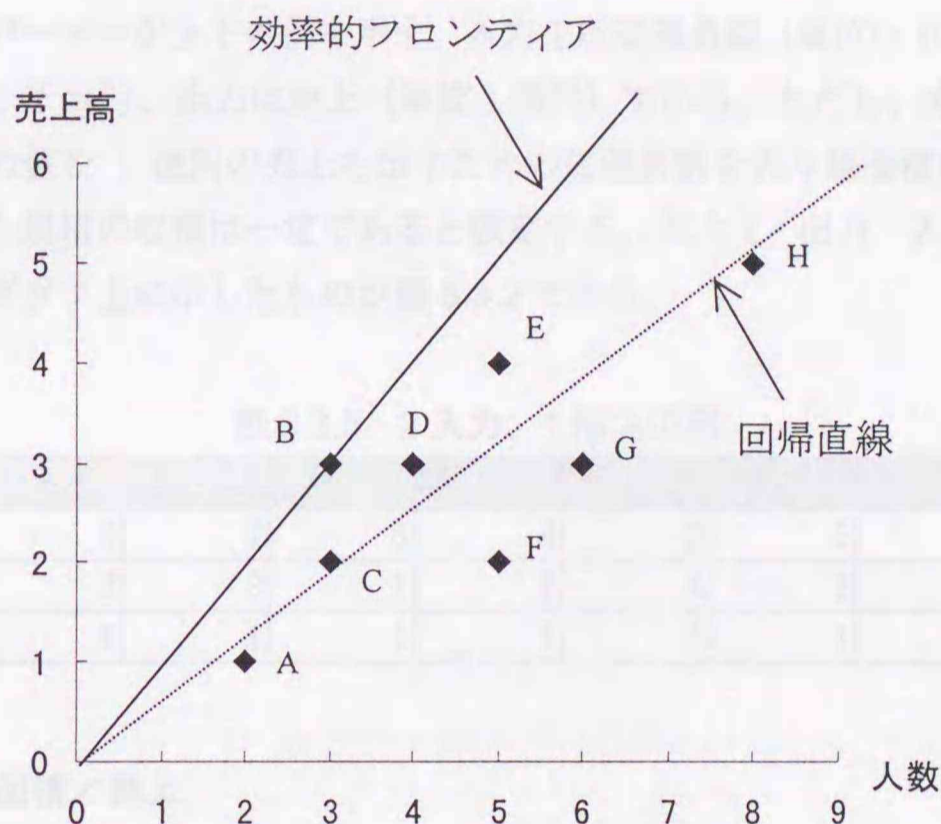


図 5.3.1 回帰直線とフロンティア線

それに対して、フロンティア線は最優秀営業所のパフォーマンスを示す。そして、この最優秀パフォーマンス線をもとに他の営業所の成績を評価するのが包絡分析法の基本的な発想である。回帰分析法が平均像に基づく分析法であるのに対して、包絡分析法は優れ者をベースにした効率性の評価法である。この基本的な観点の違いは具体的な評価法として大きな違いを生み出している。

ここで、このフロンティア線は同じ勾配で伸びていくものとする。経済学の用語でいう規模のリターン（収穫）が一定という仮定である。

営業所Bは効率的であるが、他はすべて非効率的である。そこで、Bの効率値を1と定め、他の営業所の効率値を

$$\frac{\text{他の営業所の1人あたり売上高}}{\text{Bの1人あたり売上高}}$$

と定義する。この例ではBの1人あたり売上高が1であるから、他の効率値は1人あたり売上高そのものにある。こうして表 5.3.2 を得る。

表 5.3.2 効率値

営業所	A	B	C	D	E	F	G	H
効率値	0.5	1	0.667	0.75	0.8	0.4	0.5	0.625

(2)2 入力、1 出力の場合

表 2-3 にスーパーマーケットの例を示す。入力 1 は従業員数 (単位: : 10 人)、入力 2 は売り場面積 (単位: 千 $m^2$ )、出力は売上 (単位: 億円) である。ただし、売上はすべて 1 億円に統一し、入力値を 1 億円の売上を出すための従業員数を売り場面積に換算している。なお、この例でも規模の収穫は一定であると仮定する。入力 1/出力、入力 2/出力を座標軸として各店をグラフ上に示したものが図 5.3.2 である。

表 5.3.3 2 入力、1 出力の例

店	A	B	C	D	E	F	G	H	I
従業員数 $x_1$	4	7	8	4	2	5	6	5.5	6
売場面積 $x_2$	3	3	1	2	4	2	4	2.5	2.5
売上 $y$	1	1	1	1	1	1	1	1	1

売場面積/売上

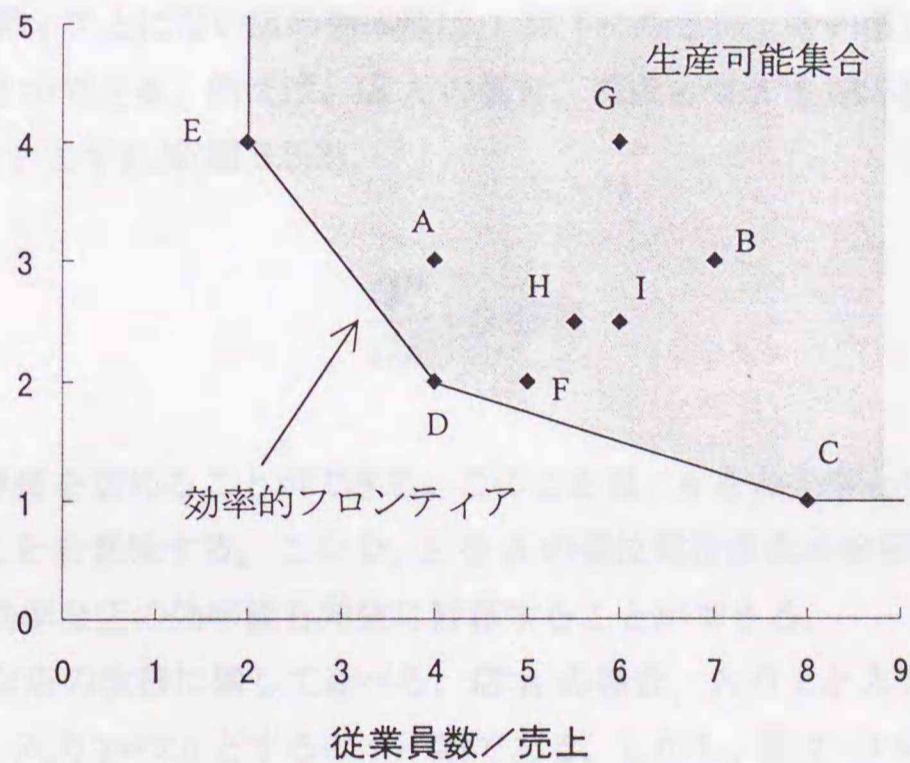
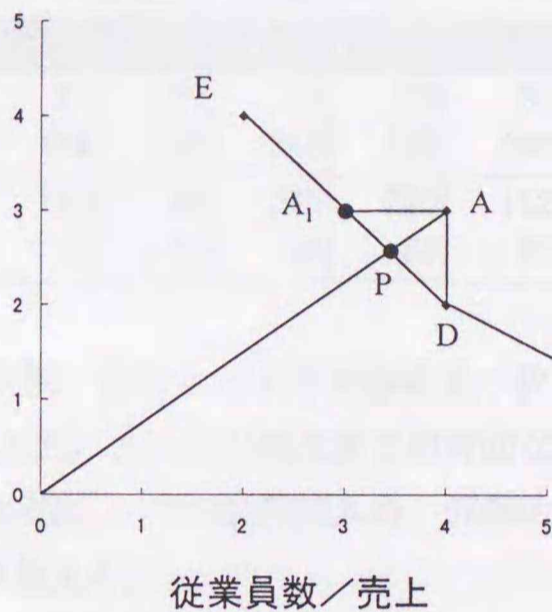


図 5.3.2 2 入力、1 出力の例

さて、効率性を考えた場合、なるべく少ない入力で所与の出力を出している店ほど優れているといえるため、その観点から点 C、D、E を結ぶ効率的フロンティアがクローズアップされる。さらに、C から水平に伸びる線と、E から垂直に立つ線まで考慮すると、すべてのデータはこの線で囲まれる領域内に包み込まれることになる。この領域を生産可能集合（領域）と呼ぶ。

売場面積／売上



従業員数／売上  
図 5.3.3 店 A の改善案

効率的フロンティア上にない店の効率値は 1 以下になるが、その値はフロンティア線をもとに決めることができる。例えば、店 A の場合、原点と点 A を結ぶ線がフロンティア線 DE と交わる点を P とすれば(図 5.3.3)、

$$\frac{OP}{OA} = 0.8571$$

として、A の効率値を定めることができる。このことは、A を非効率と判定させるのは店 D、E の存在であることを意味する。この D、E を A の優位集合または参照集合 (reference set) と呼ぶ。他の非効率な店の効率値も同様に計算することができる。

次に、非効率な店の改善に関して述べる。店 A の場合、入力 1 と入力 2 を点 P まで減らして入力 1=3.4、入力 2=2.6 とするのが一案である。しかし、図 2-3 の線分 DA<sub>1</sub> 上のどの点に移しても良い。点 D は人を減らさず、面積を減らす案に当たり、点 A<sub>1</sub> は面積を減らさず人を減らす案である。また、入力はそのまましておき、出力を増やして効率化を図る案もある。このようにさまざまな改善案が存在するが、DEA ではその一案を明示してくれる。

### (3)より一般的な場合

これまでの例は、入力あるいは出力の数が少なかったため、2次元の図に表示して効率的フロンティアを見出すことは容易だった。しかし、入出力項目の数がさらに増えて多入力、多出力となった場合には事業体の効率性の相対比較はそれほど易しくない。一例として表5.3.4に示す12の病院の場合を考察する。

表 5.3.4 病院の例

病院	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
医師	20	19	25	27	22	55	33	31	30	50	53	38
看護婦	151	131	160	168	158	255	235	206	244	268	306	284
外来	100	150	160	180	94	230	220	152	190	250	260	250
入院	90	50	55	72	66	90	88	80	100	100	147	120

入力として医師と看護婦の人数、出力として外来患者延べ数と入院患者延べ数（単位：100人/月）をとる。（出力/入力）という比例尺度で相対的な効率性を計測するために、これらの多入力、多出力をそれぞれ1つの仮想的入力、仮想的出力に換算してみる。そのため、各項目にウェイトを掛け加える。

$$\text{仮想的入力} = \nu_1 \times \text{医師数} + \nu_2 \times \text{看護婦数}$$

$$\text{仮想的出力} = \mu_1 \times \text{外来患者延べ数} + \mu_2 \times \text{入院患者延べ数}$$

その上で、

$$\frac{\text{仮想的出力}}{\text{仮想的入力}}$$

によって効率性を比較する。ここで問題になるのは $\nu_1$ 、 $\nu_2$ 、 $\mu_1$ 、 $\mu_2$ 、といったウェイトをどう決めるかということである。ウェイトの付け方には主に次の2種類がある。

#### 1.固定ウェイト

各ウェイトの比率を固定する。例えば、

$$\nu_1 : \nu_2 = 5 : 1$$

$$\mu_1 : \mu_2 = 1 : 3 \quad \text{とする。}$$

#### 2.可変ウェイト

各病院毎にウェイトを可変とする。

この2つの方法のうち、DEAでは2.の可変ウェイトを用いて効率性を求めている。ここで、DEAで用いている可変ウェイトの基本的な考え方について簡潔に説明すると、以下のようになる。

入力ウェイト、出力ウェイトは評価の対象毎に異なってよいものとする。それを決める原則は、その対象にとって最も好都合になるようにするということである。自分の最も得意とする項目に大きいウェイトをつけ、苦手とする項目に小さいウェイトを付けてもよい。ただし、その同じウェイトで他の事業体も評価し、その効率値が1を超えないような最大のウェイトをつける。

このような方針でウェイトを決めた場合、入出力項目の選定が適正である限り、おそらくどの事業体からもクレームがつくことはない。もし、ある事業体が非効率的であると判定されたとき、それが他のどの事業体と比べてどの程度劣るのか、どの点を改善すれば効率的となるのかといった重要な事項を具体的に検討することができる。

固定ウェイト法による結果はウェイトの取り方に左右されるので、ウェイトの決め方が大きな問題となる。そして多基準型の問題の場合、適性と認められるウェイトを決めることは非常に困難である。それに対して、DEAは先験的なウェイトの決定を必要としない。ウェイトはモデルの方で最適になるように決めてくれる。具体的には線形計画法<sup>2)</sup>を用いて最適化を行う。

この評価方式は、これまでにない新しい方式である。平均像的な大勢順応型の評価から、个性的かつ多様性を活かした評価方式への展開であり、多基準型の評価問題に解決法に新しい可能性を期待される手法である。



## 5.4 DEAの基本モデル (CCRモデル)

### 5.4.1 データの条件

DEAでは分析対象を一般にDMU (Decision Making Unit: 意思決定者) という。DMUは銀行、デパート、メーカー、病院、自治体、個人などのように多種多様であるが、これらのDMUはそれぞれのカテゴリー毎に似たような機能を持って活動している。ただし、ある程度の独立した経営上の権限は持っているものとする。ここではDMUを事業体または活動と呼ぶことにする。

いま、 $n$ 個の活動があるとして、それらを  $DMU_1, DMU_2, \dots, DMU_n$  と番号を付ける。次に、各活動に共通した投入 (入力) 項目と産出 (出力) 項目を選ぶ。ごく一般的な選び方としては次のような方針をとる。

1. 投入項目、産出項目とも数値データが準備できること。原則として、全活動についてその値は正であること。
2. 投入項目、産出項目の選定にあたっては、自分がみたいと思う (入力対出力の) 効率性の特徴をよく表わしているものを選ぶ。
3. 原則として、ある出力を得るための入力に関していえば、値の小さいものほど好ましく、ある入力による出力に関しては大きいものほど好ましい状態にあるとする。
4. 投入項目、産出項目の数値の単位は任意にとってよい。例えば、人数、金額、面積、台数などである。

いま、 $m$ 個の投入項目と  $s$ 個の産出項目が選定され、 $DMU_j$ の投入 (入力) データを  $x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{mj}$ 、産出 (出力) データを  $y_{1j}, y_{2j}, \dots, y_{sj}$  とする。各活動のデータを縦に並べて行列を作り、入力データ行列  $X$  と出力データ行列  $Y$  とする。 $X$  は  $(m \times n)$  型、 $Y$  は  $(s \times n)$  型の行列である。

$$X = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{pmatrix}$$

$$Y = \begin{pmatrix} y_{11} & y_{12} & \cdots & y_{1n} \\ y_{21} & y_{22} & \cdots & y_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ y_{s1} & y_{s2} & \cdots & y_{sn} \end{pmatrix}$$

#### 5.4.2 CCR モデル

CCR モデルとは、DEA の最も基本的なモデルのことであり、Charnes-Cooper-Rhodes によって 1978 年に提案されたモデルである。CCR とはこの 3 人の頭文字をとってつけられたものである。ここではこのモデルの概念について説明する。

まず、 $n$  個の活動それぞれについて比率尺度で効率性を測定していくが、対象になっている活動を代表的に記号  $o$  とし、 $DMU_o$  と書くことにする。以下、記号  $o$  は  $1, 2, \dots, n$  のどれかを指すものとする。入力につけるウェイトを  $v_i$  ( $i=1, \dots, m$ )、出力につけるウェイトを  $u_r$  ( $r=1, \dots, s$ ) とし、その値を次の分数計画問題を解くことによって定める。

<FP<sub>o</sub>>

$$\text{目的関数} \quad \max \theta = \frac{u_1 y_{1o} + u_2 y_{2o} + \cdots + u_s y_{so}}{v_1 x_{1o} + v_2 x_{2o} + \cdots + v_m x_{mo}} \quad (5.4.1)$$

$$\text{制約式} \quad \frac{u_1 y_{1j} + u_2 y_{2j} + \cdots + u_s y_{sj}}{v_1 x_{1j} + v_2 x_{2j} + \cdots + v_m x_{mj}} \leq 1 (j=1, \dots, n) \quad (5.4.2)$$

$$v_1, v_2, \dots, v_m \geq 0 \quad (5.4.3)$$

$$u_1, u_2, \dots, u_s \geq 0 \quad (5.4.4)$$

この制約式の意味は、ウェイト  $v_i, u_r$  による仮想的入力と出力の比をすべての活動について 1 以下に抑えるということである。その上で、当該の活動の比率尺度  $\theta$  を最大化するように  $v_i, u_r$  を決める。したがって、最適な  $\theta$  の値  $\theta^*$  はたかだか 1 である。

このように、 $DMU_o$  の効率性を求める問題は <FP<sub>o</sub>> のように定式化されるが、分数計画問題のままではその最適解を求めることは一般に困難である。そこで、この分数計画問題を次のような線形計画問題に置き換えることによって最適解を求める。

<LP<sub>o</sub>>

$$\text{目的関数} \quad \max \theta = u_1 y_{1o} + \cdots + u_s y_{so} \quad (5.4.5)$$

$$\text{制約式} \quad v_1 x_{10} + \dots + v_m x_{m0} = 1 \quad (5.4.6)$$

$$u_1 y_{1j} + \dots + u_s y_{sj} \leq v_1 x_{1j} + \dots + v_m x_{mj} \quad (j=1, \dots, n) \quad (5.4.7)$$

$$v_1, v_2, \dots, v_m \geq 0 \quad (5.4.8)$$

$$u_1, u_2, \dots, u_s \geq 0 \quad (5.4.9)$$

この線形計画問題<LP<sub>0</sub>>と前述の分数計画問題<FP<sub>0</sub>>は同値である。このことの証明については省略するが、線形計画の問題に置き換えることにより、普通の線形計画法の解法によって解くことができる。

この<LP<sub>0</sub>>解くことにより得られる最適解を  $(v^*, u^*)$  とし、目的関数値を  $\theta^*$  とする。そのとき、

1.  $\theta^* = 1$  ならば DMU<sub>0</sub> は D 効率的であるという。
2.  $\theta^* < 1$  ならば DMU<sub>0</sub> は D 非効率的であるという。

ただし、 $\theta^* = 1$  の場合でも入力之余剰や出力の不足が発生していることがあるので、必ずしも D 効率的であるとは限らない。このことについては後ほど詳しく述べる。

いま、DMU<sub>0</sub> が  $\theta^* < 1$  (D 非効率) のときを考える。そのとき、制約式 (5.4.7) の中にはウェイト  $(v^*, u^*)$  に対して等式が成立している  $j$  が必ず存在している (そうでなければ、 $\theta^*$  はもっと大きく取れる)。そのような  $j$  の集合を

$$E_0 = \left\{ j : \sum_{r=1}^s u_r^* y_{rj} = \sum_{i=1}^m v_i^* x_{ij}, j=1, \dots, n \right\}$$

とする。E<sub>0</sub> に属する活動は DMU<sub>0</sub> を D 非効率と判定させるものとなっている活動である。その意味で DMU<sub>0</sub> に対する優位集合または参照集合という。また、優位集合 E<sub>0</sub> の活動の張る凸集合を効率的フロンティアと呼ぶ。もちろん、優位集合 E<sub>0</sub> に属する活動はそれ自体 D 効率的である。

また、<LP<sub>0</sub>> の最適解として得られた  $(v^*, u^*)$  の値は、DMU<sub>0</sub> に対する最適ウェイトを意味する。このとき、比率尺度の値は

$$\theta^* = \frac{\sum_{r=1}^s u_r^* y_{rj}}{\sum_{i=1}^m v_i^* x_{ij}}$$

である。(5.4.6) より上式の分母は 1 である。そして、

$$\theta^* = \sum_{r=1}^s u_r^* y_{rj}$$

である。この  $(v^*, u^*)$  は DMU<sub>0</sub> にとって比率尺度を最大化するという目的のために最も好意的にウェイトをつけた値である。 $v_i^*$  は入力項目に対する最適ウェイトであり、その大小によってその活動のどの入力項目が高く評価されているかが分かる。 $u_r^*$  は出力項目に対する最適ウェイトであり、その大小によってどの出力項目が高く評価されているかが分かる。さらに、 $v_i^* x_{i0}$  の個々の値を見るならば、仮想的入力

$$\sum_{i=1}^m v_i^* x_{i0} (=1)$$

のなかで、どの入力項目がどのくらいの比重を占めるかが分かる。 $v_i^*$  の値は入力データの単位の取り方によって変わるので、こちらの方が比重を見るのに適している。同様のことが  $u_r^* y_{r0}$  の個々の値についてもいえる。これらの値は加重入出力値と呼ばれるものであり、個々の活動によって、どの入出力項目に特徴があるかを示すものである。

### 5.4.3 生産可能集合

$n$  個の事業体 (DMU) はそれぞれ入力と出力の対  $(x_j, y_j)$  ( $j=1, \dots, n$ ) をもっている。ここで入力と出力の対を一般に活動と呼び、 $(x, y)$  で表わすことにする。 $(x, y)$  は  $(m+s)$  次元ユークリッド空間の点と見ることができる。活動の集合を DEA では生産可能集合と呼び、ここでは記号  $P$  で表わすこととする。CCR モデルの場合、 $P$  に対して次の仮定を設ける。

1. 現存の活動  $(x_j, y_j)$  ( $j=1, \dots, n$ ) は  $P$  に属する。
2.  $P$  に所属する活動  $(x, y)$  に対して、それを  $k$  倍した活動  $(kx, ky)$  は  $P$  に属する。  
これを「規模のリターン (収穫) が一定」の仮定という。
3.  $P$  に属する任意の活動  $(x, y)$  に対して  $x \geq \bar{x}$ ,  $y \leq \bar{y}$  満たす  $(x, y)$  は  $P$  に属する。  
すなわち、 $\bar{x}$  に対して余剰の入力を持ち、 $\bar{y}$  に対して不足の出力を持つ活動は可能である。
4.  $P$  に属する活動の非負結合の活動は  $P$  に属する。

データ  $X=(x_j)$ ,  $Y=(y_j)$  をもとに、1. から 4. までの仮定を満たす集合  $P$  を作れば、

$$P = \{(x, y) \mid x \geq X\lambda, y \leq Y\lambda, \lambda \geq 0\}$$

と表わされる。ここに、 $\lambda$  は  $n$  次元の非負ベクトルである。

以上の仮定を満たす生産可能集合  $P$  を 1 入力、1 出力の場合について図示すれば、図 5.4.1 のようになる。

8 個の活動をもとに構成された生産可能領域を決定するのは点  $B$  である。原点と点  $B$  を結ぶ線分が効率的フロンティアである。

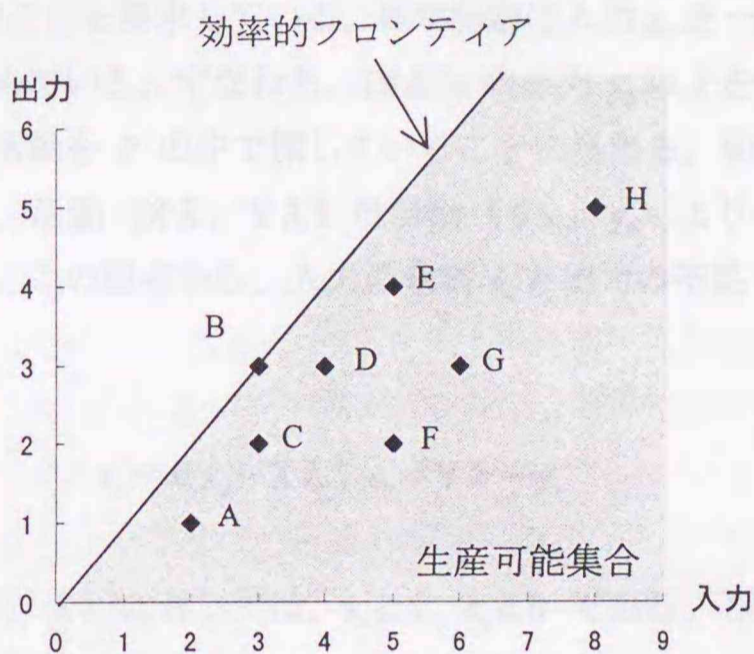


図 5.4.1 生産可能集合

#### 5.4.4 CCR モデルとその相対問題

DEA モデルでは 5.4.2 の  $\langle LP_0 \rangle$  で示されるような線形計画問題を直接解くことは少ない。一般にはその双対問題を求めて上で最適解を求めている。双対問題を用いる理由については後ほど述べることにして、ここでは双対問題による CCR モデルの計算法について説明する。

CCR モデルは、入力のウェイトベクトル  $v$  と出力のウェイトベクトル  $u$  を変数として、次の LP により表わされる。

$\langle CCR_0 \rangle$	目的関数	$\max u^T y_0$
	制約式	$v^T x_0 = 1$
		$-v^T X + u^T Y \leq 0$
		$v \geq 0, u \geq 0$

この問題の双対問題として新たに $\langle LP_0 \rangle$ とし、実数 $\theta$ とベクトル $\lambda = (\lambda_1, \dots, \lambda_n)$

$$\langle LP_0 \rangle \text{ 目的関数 } \min \theta \quad (5.4.10)$$

$$\text{制約式} \quad \theta x_0 - X\lambda \geq 0 \quad (5.4.11)$$

$$y_0 - Y\lambda \leq 0 \quad (5.4.12)$$

$$\lambda \geq 0 \quad (5.4.13)$$

ここで、前節の生産可能集合 $P$ との関係についてであるが、まず $\langle LP_0 \rangle$ の制約式は活動 $(\theta x_0, y_0)$ が $P$ に属することを要求している。目的関数は入力 $x_0$ を一様に $\theta$ 倍縮小するときの、最小の縮小率を求めている。すなわち、 $DMU_0$ の出力 $y_0$ 以上を保証しながら、入力を最大限縮小するような活動を $P$ の中で探していることに当たる。前節の仮説の下では、上の制約式を満たす限り、活動 $(X\lambda, Y\lambda)$ は活動 $(\theta x_0, y_0)$ より一般に優れたものであるということが出来る。この観点から、入力の余剰 $s_x$ と出力の不足 $s_y$ は次のように定義されている。

$$s_x = \theta x_0 - X\lambda, \quad s_y = Y\lambda - y_0.$$

$\langle LP_0 \rangle$ の実行可能解 $(\theta, \lambda)$ に対しては、 $s_x \geq 0, s_y \geq 0$ である。この余剰と不足の可能性を考慮して、次の2段階のLPを解く。

#### 第1段階

$\langle LP_0 \rangle$ を解き、その最適目的関数を $\theta^*$ とする。双対定理により $\theta^*$ は $\langle CCR_0 \rangle$ の最適目的関数と一致する。すなわち、D効率値である。

#### 第2段階

$\theta^*$ を得た後に、 $(\lambda, s_x, s_y)$ を変数とする次のLPを解く。

$$\text{目的関数} \max \quad \omega = e s_x + e s_y$$

$$\text{制約式} \quad s_x = \theta^* x_0 - X\lambda$$

$$y_0 - Y\lambda \leq 0$$

$$\lambda \geq 0, s_x \geq 0, s_y \geq 0$$

ここに、 $e = (1, \dots, 1)$  (全部が1からなるベクトル) であり、

$$e s_x = \sum_{i=1}^m s_{xi}, \quad e s_y = \sum_{i=1}^s s_{yi}$$

である。すなわち、この LP の目的は  $\theta = \theta^*$  を満たす解の中で、入力之余剰と出力の不足の和の最大を見つけることにある。

そしてこの第 2 段階の LP の最適解  $(\lambda^*, s_x^*, s_y^*)$  を最大スラック解と呼ぶ。また、最大スラック解において  $s_x^* = 0, s_y^* = 0$  を満たす活動をスラックレス活動という。また、上の 2 つの LP の最適解  $(\theta^*, \lambda^*, s_x^*, s_y^*)$  において  $\theta^* = 1$  かつスラックレスであるとき、 $DMU_0$  を効率的であるという。それ以外の場合、非効率的であるという。

また、 $DMU_0$  が非効率的であるとき、

$$E_0 = \{j \mid \lambda_j^* > 0, j=1, \dots, n\}$$

なる集合を  $DMU_0$  に対する優位集合または参照集合という。

このように双対問題を解くことにより、D 効率値の他に最大スラック解を求めることができる。この最大スラック解が得られることにより、先程延べた入力之余剰や出力の不足がわかり、D 効率値だけではわからない点が明らかになる。同時に  $\lambda$  の値から非効率な活動の目標となる優位集合をも求めることができる。

また、双対問題を解くもう一つの目的は計算時間を短縮することである。一般に LP の計算量は制約式の個数の数乗に比例して増加する。 $\langle CCR_0 \rangle$  の制約式は活動の個数に等しく、 $\langle LP_0 \rangle$  の制約式は入出力項目の数に等しい。一般に活動の個数は入出力項目の数倍になることが多いので、 $\langle LP_0 \rangle$  を解くほうがはるかに計算の時間が少なくなる利点がある。

これらの理由により、実際の計算においては  $\langle CCR_0 \rangle$  を直接解くのではなく、双対問題に置き換えて解くことが多い。

#### 5.4.5 出力指向型 CCR モデル

これまでのモデルは生産可能集合の中で、当該の活動の出力を最小限保証した上で、入力値を最小にするウェイトを求めることにあつた。それに対して、現在の入力を前提にして、期待できる最大の出力を求めるモデルも考えられる。それは、次の LP により定式化される。

$$\langle LPO_0 \rangle \quad \text{目的関数} \quad \max \eta \quad (5.4.14)$$

$$\text{制約式} \quad x_0 - X\mu \geq 0 \quad (5.4.15)$$

$$\eta y_0 - Y\mu \leq 0 \quad (5.4.16)$$

$$\mu \geq 0 \quad (5.4.17)$$

このモデルの最適解は次のような変形により、入力モデルの最適解から容易に得ることができる。いま、

$$\lambda = \mu / \eta, \quad \theta = 1 / \eta$$

とおけば、上のLPは

<LP<sub>0</sub>> 目的関数 min  $\theta$

$$\begin{aligned} \text{制約式} \quad & \theta x_0 - X\lambda \geq 0 \\ & y_0 - Y\lambda \leq 0 \\ & \lambda \geq 0 \end{aligned}$$

となり、(5.4.10)~(5.4.13)式と一致する。したがって、出力モデルの最適解は、入力モデルの最適解  $\theta^*$  より、

$$\eta^* = 1 / \theta^*, \quad \mu^* = \lambda^* / \theta^*$$

となる。また、出力モデルの最適目的関数値  $\eta^*$  は、 $\eta^* \geq 1$  であり、1より大きいほど効率性は劣ることにある。 $\theta^*$  が入力の縮小率を示すのに対して、 $\eta^*$  は出力の拡大率を意味する。

また、5.4.2で紹介した分数計画問題(5.4.1)~(5.4.4)式において、分子と分母を入れ替えて目的関数を最小化したものが出力指向型モデルになることを付け加えておく。



## 5.5 DEAの各種モデル

### 5.5.1 コスト効率分析法

DEAでは、基本的に入出力の量のみを取り扱い、入出力の価格をモデルの中に組み込んでいない。そのため、DEAはあくまでその生産性を評価するためのもので、コストに関する効率性を測定するものではない。しかし、入力の価格情報が予め判っている場合、コスト効率性は重要な評価基準である。

そこで、ここではコストや価格に関する情報が入手可能な場合を想定し、コスト効率性を測定するためのモデルを紹介する。なお、生産性効率（技術的効率性）とコスト効率性（配分的効率性）の違いについては5.5.3で詳しく述べることとする。

入力変数のデータ  $X$  はすべて技術的要素のみからなると仮定し、そのコスト単価は各活動毎に行ベクトル  $c_k$  ( $k=1, \dots, n$ ) で与えられるものとする。そのとき、次のような問題が発生する。

「各活動  $(x_0, y_0)$  毎に現在の出力  $y_0$  を最小限保証した上で、より安い出力  $x$  はないか？」

この問題に答えるのが次のLPである。

$$\begin{aligned} \text{<LC>} \quad & \text{目的関数} \min w = c_0 x \\ & \text{制約式} \quad x \geq X \lambda \\ & \quad \quad y_0 \geq Y \lambda \\ & \quad \quad L \leq e \lambda \leq U \\ & \quad \quad \lambda \geq 0 \end{aligned}$$

この問題の最適解を  $(x^*, \lambda^*)$  とする。そのとき DMU<sub>0</sub> のコスト効率性  $E_c$  は

$$E_c = \frac{c_0 x^*}{c_0 x_0}$$

で測定される。 $0 \leq E_c \leq 1$  であり、 $E_c = 1$  のときコスト効率的である。また  $E_c < 1$  のとき  $x_0$  と  $x^*$  の差異は現在の入力値をコスト最小化の目的のためにどう動かせばよいかを具体的に示すものであり、改善の方向を示すものでもある。また、活動  $(x^*, y^*)$  は技術的効率性もコスト効率性も、ともに1の活動である。

## 5.5.2 領域限定法

CCR モデルの解において、非効率的な活動の入出力に対する最適ウェイト ( $v_i, u_i$ ) のなかに 0 がしばしば現れる。そのことは、当該の活動にとってその項目をカウントすることは不利となるのでそのウェイトを 0 としたこと—すなわちその項目は無かったこと—として評価したこと—を意味する。しかし、選ばれた入力や出力の項目の幾つかを無視した評価結果は説得力に欠けるという見方もある。また、ウェイトの間にあまりに大きな差異があることは好ましくないという意見もある。そこでウェイトの相対的な大きさに制限を設けることが提案された。それが領域限定法である。

この方法は 1986 年に Thompson と Thrall 両教授によって提唱されたもので、入出力に関するウェイトに対して、その上限と下限を定めることにより、アプリオリな情報（例えば、専門家の意見や経営者の経験）を DEA の計算過程に組み入れるところに特色を持っている。

例えば、入力の第 1 項目と第 2 項目のウェイトの間に

$$l_{12} \leq \frac{v_2}{v_1} \leq u_{12} \quad (5.5.1)$$

といった制約を必要に応じて設定する。 $l_{12}$  は比の下限であり、 $u_{12}$  は上限である。この式を設定することは、ウェイトの存在領域を制限することになるため、領域限定法と呼ばれている。このような制限が加われば、当然のことながら効率値は一般に低下する。もちろん CCR モデルで効率的と判断された活動が非効率的となることもある。しかし、上下限の値が適切に設定されていれば、説得性のある結論が得られる。多くの場合、最適解においてはウェイトの比が上限か下限のどちらかに一致するので、上限値と下限値は慎重に選ぶ必要がある。

上限と下限を決める一般的な方法としては、次に示す方法がある。まず、

$$\bar{x}_1 = \sum_{j=1}^n \frac{x_{1j}}{n}, \quad \bar{x}_2 = \sum_{j=1}^n \frac{x_{2j}}{n}$$

として各項目の平均値を求め、 $M > 1$  である  $M$ 、例えば  $M=2$ 、 $M=10$  をもとに、

$$l_{12} = \frac{1}{M} \frac{\bar{x}_1}{\bar{x}_2}, \quad u_{12} = M \frac{\bar{x}_1}{\bar{x}_2} \quad (5.5.2)$$

などとおけば、項目の値の大きさまで考慮した上下限の設定ができる。

領域限定法は CCR モデルの制約式に(5.4.10)式のような制約を必要に応じて付加したも

のとして定式化される。CCR モデルの場合、(5.4.5)~(5.4.9)式に(5.4.10)式を線形不等式化した

$$l_{12}v_1 \leq v_2 \leq u_{12}v_1$$

の形のものが追加される。実際の解法は他のモデルと同じく、この問題の双対問題を解く方が能率的である。

ここで、2入力1出力の場合を例にとり、領域限定法の適用が効率的フロンティアにどんな影響をあたえるかを図形上で考察してみる。仮に、2入力へのウェイト  $v_1, v_2$  に対して、

$$0.5 \leq \frac{v_2}{v_1} \leq 2$$

という制限を加えてみる。領域 P は図 5.5.1 のようになる。新しい領域 P の境界には D, E および追加された 2 本の制約が登場し、もはや C は領域内に入らない。すなわち、領域を限定しない場合は、C は効率的であり、C を効率的にする  $v_1/u, v_2/u$  の範囲は線分  $P_1P_2$  であったが、この線分は上の領域限定のために締め出されてしまったことにある。そのため、C の効率性は直線 C を点  $P_3$  まで平行移動した直線

$$8(v_1/u) + (v_2/u) = 1/0.8$$

によって測定されることになり、D 効率値は 0.8 に低下する。これがこの場合の領域限定法の影響である。

5.5 領域限定のモデル

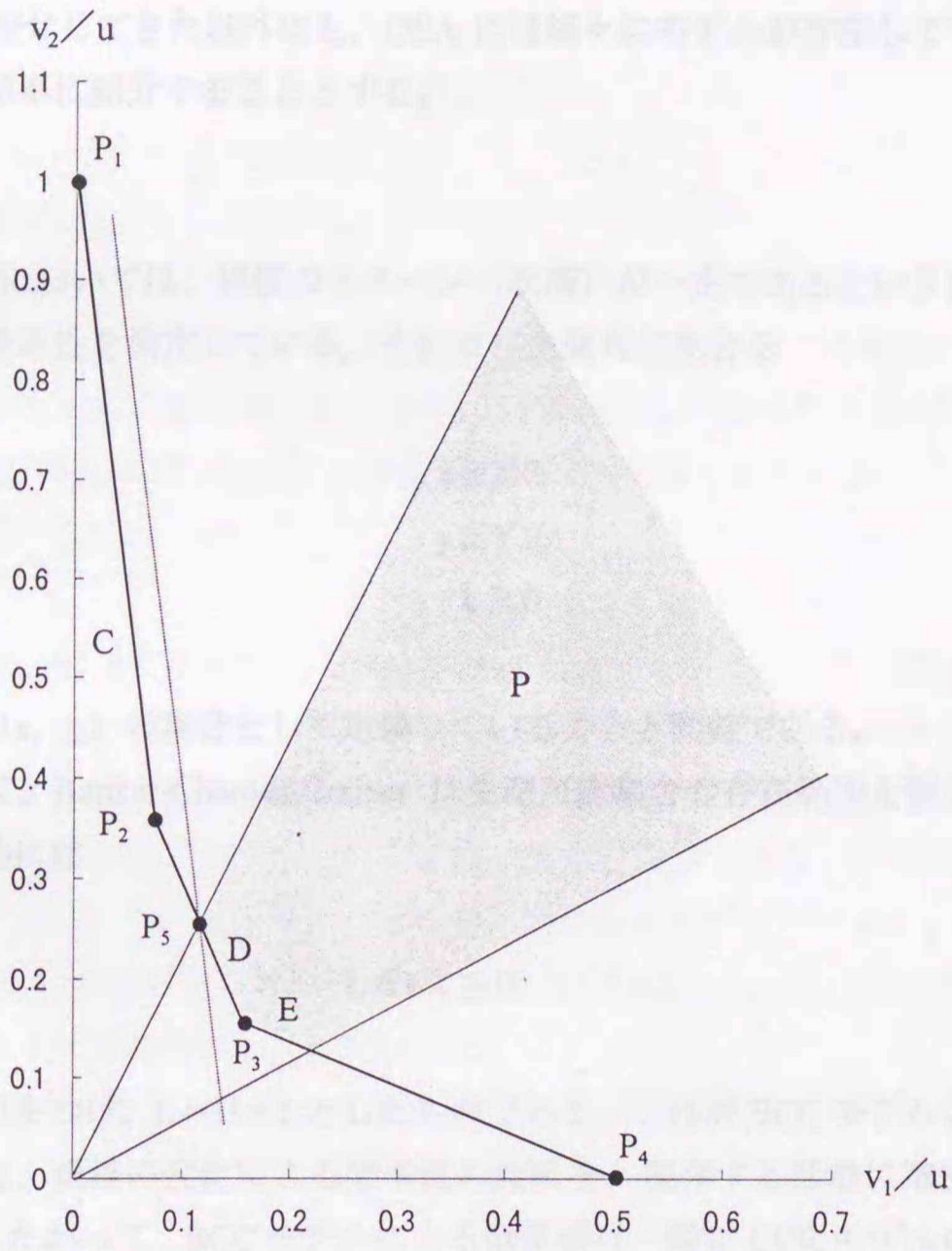


図 5.5.1 領域限定の影響

このように、領域限定を行うことによりウェイトの比の範囲が限定され、CCR モデルに比べてより説得性のある結果を得ることが可能ある。ただし、上下限値をどこに設定すれば妥当であるかという問題は常につきまとう。しかしながら、コスト効率分析法では価格に関する正確な情報を知る必要があったが、領域限定法ではそこまでの情報を必要としない。その代わりに、価格の変動幅として適当と思われる範囲を設定することにより、DEA の評価結果がより現実的になることを目的としている。

### 5.5.3 その他のモデル

ここまでに紹介してきた以外にも、DEA には様々なモデルが存在している。ここではその中の一部を簡単に紹介することとする。

#### (1) BCC モデル

CCR モデルにおいては、規模のリターン（収穫）が一定であるという前提の下で、事業者の相対的な効率性を測定している。それは、生産可能集合を

$$\begin{aligned} x &\geq X\lambda \\ y &\leq Y\lambda \\ \lambda &\geq 0 \end{aligned}$$

を満たす活動  $(x, y)$  の集合として定義していることと同義である。

これに対して、Banker-Charnes-Cooper は生産可能集合の存在範囲を限定したモデルを提案した。具体的には

$$L \leq e\lambda \leq U \quad (5.5.3)$$

という形の制約をつけ、 $L=U=1$  としたものである。これが BCC モデルと呼ばれるモデルである。これは、規模の変化による効率性の変動を、現存する活動に準拠して考慮するモデルである。したがって、BCC モデルによる効率値は一般に CCR モデルのものより大きく

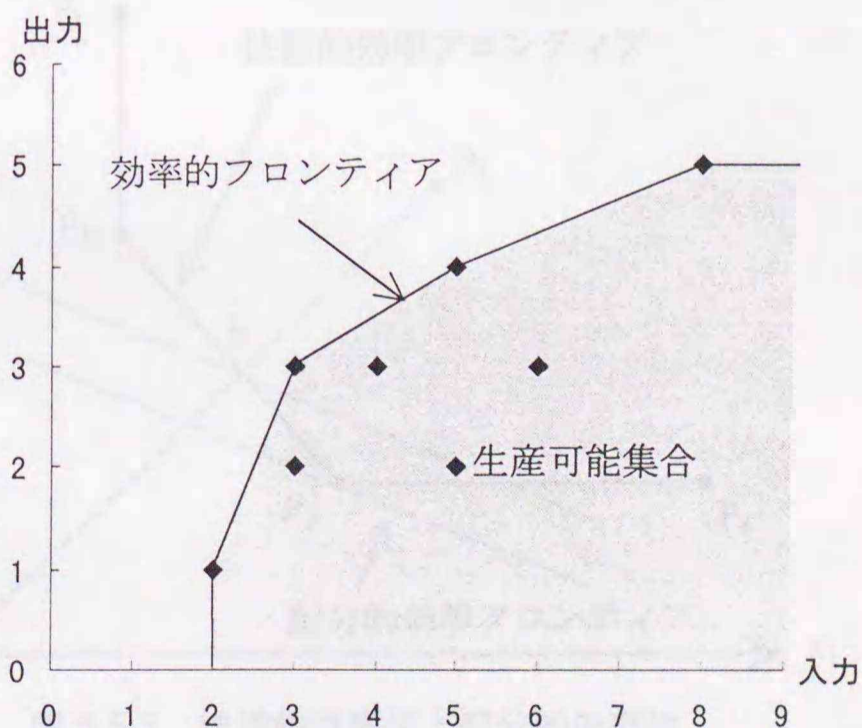


図 5.5.2 BCC モデルの生産可能集合

なる。

また、規模による生産性を考慮したモデルとしては、(5.5.3)式の  $L$  と  $U$  の値を変化させた IRS モデル ( $L=1, U=\infty$ )、DRS モデル ( $L=0, U=1$ )、GRS モデル ( $L\leq 1, U\geq 1$ ) などが提案されている。

### (2) ウィンドー分析法

ここまで紹介した手法は主に一時点における事業体の効率性比較を行うためのものであった。しかし、時系列的にデータがある場合には、各時点における事業体を独立した活動とみなして、時系列的に効率性の測定を行い、その変化の傾向などをみることが考えられる。このように、時系列データを用いて効率性の比較を行う方法をウィンドー (WINDOW) 分析法と呼んでいる。

### (3) 技術的効率性と配分的効率性

上で述べた Farrell の方法によって求められる効率性の指標は「Farrell の効率性尺度」と呼ばれており、これは「技術的効率性」を意味するものである。ここで、「技術的効率性」とは投入も産出も悪化せずに排除できる無駄の量を意味している。言い換えれば、DEA における効率的フロンティアを基準とした改善可能な量を表すものであり、当然 DEA における効率性は、「技術的効率性」である。この技術的効率性を Farrell は経済学でいう「配分的効率性」または「規模の効率性」と区別した。

ここで、「配分的効率性」の概念を図 5.5.3 を用いて説明する。

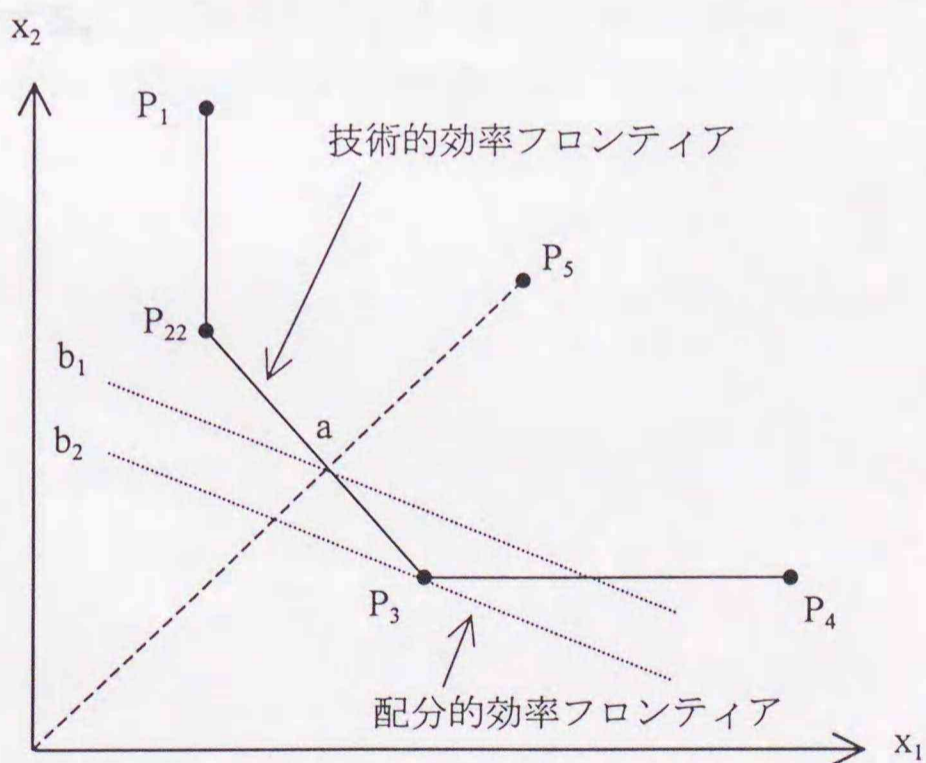


図 5.5.3 技術的効率性と配分的効率性

投入要素 1 と 2 の価格をそれぞれ  $p_1$ ,  $p_2$  とすると、これらを  $x_1$ ,  $x_2$  の量だけ投入することの総費用は、 $p_1x_1 + p_2x_2$  である。これらの費用は、図 2-7 の点線で描写されるような「予算線」と関連付けられる。例えば、 $P_3 (x_{13}, x_{23})$  の座標を用いて表すと、 $b_2 = p_1x_{13} + p_2x_{23}$  は、これらの投入で 1 単位の産出をなす総費用を示している。この  $b_2$  は他のどの点の予算線よりも低いので、この線は配分的効率フロンティアである。また  $b_2$  は  $a$  での投入にかかる費用  $b_1$  より低い。よって、 $a$  は技術的に効率的ではあるけれども、配分的に効率的ではない。したがって、費用最小化が目的であるなら、これらの価格のもとでは、 $a$  から  $P_3$  へと動くというトレードオフは効率的フロンティア上において実行する価値がある。このように、「技術的効率性」は「配分的効率性」を保証するためには十分でないことが明らかである。

しかし、配分的効率性を求めるには、すべての投入財（そして産出財）の価値についての正確な情報が必要であるが、現実にはそのような正確な情報が得られない場合も多い。そこで、配分的に最も効率的な点—AME (allocatively most efficient) 点—を見つける代わりに、配分的に最も選好される領域—AMP (allocatively most preferred) 領域—を求めることで扱うことができるような手法が開発された。これが領域限定法をはじめとする応用的手法である。

これらの手法の開発により、技術的効率性と配分的効率性の概念を融合させることができ、DEA を応用する可能性の範囲が拡大された。

これらの他にも現在までに様々なモデルが提案されてきており、本研究においては重要なモデルである Inverse DEA などもあるが、Inverse DEA に関しては節を改めて次節で詳しく述べることにする。

## 5.6 Inverse DEA

### 5.6.1 Inverse DEA の概要

Inverse DEA は東京理科大学の山田らによって 1992 年に発表されたモデルであり<sup>3)</sup>、その名のとおり、一般的な DEA とはまったく逆の考え方により構築されたモデルである。

例えば、企業の管理者や管理部門が、支店や営業所の経営管理に DEA を用いた場合、その分析によってよい評価を受けた支店は当然その評価を受け入れようとする。しかし、悪い評価を受けた支店はその悪い評価を受け入れず、自らが置かれる環境の特異性を列挙して、悪さを正当化することがある。この主張を DEA モデルの観点から解釈すると次のようになる。それは、分析対象にとって最も不利な条件の中で、その悪さを評価することである。

そこで、このような考え方に基づく評価モデルを開発することにより、そのような主張に対抗する必要があった。そして、そのために開発されたモデルが Inverse DEA であり、これは分析の対象にとって最も不利なウェイト付けを行って効率を評価する手法である。

### 5.6.2 Inverse DEA の定式化

Inverse DEA でも DEA と同様に分析の対象を DMU を呼ぶ。いま、DMU が全部で  $n$  個あり、 $m$  個の入力項目と  $s$  個の出力項目が選定され、任意の DMU である  $DMU_0$  の入力データを  $x_{10}, x_{20}, \dots, x_{m0}$ 、出力データを  $y_{10}, y_{20}, \dots, y_{s0}$  とする。さらに入力項目間のウェイトを  $v_i$  ( $i=1, \dots, m$ )、出力項目間のウェイトを  $u_r$  ( $r=1, \dots, s$ ) とすると、Inverse DEA は次式に示すような分数計画問題〈FP-L〉に定式化される。

〈FP-L〉

$$\text{目的関数 } \min Z_0 = \frac{u_1 y_{10} + u_2 y_{20} + \dots + u_s y_{s0}}{v_1 x_{10} + v_2 x_{20} + \dots + v_m x_{m0}} \quad (5.6.1)$$

$$\text{制約式 } \frac{u_1 y_{1j} + u_2 y_{2j} + \dots + u_s y_{sj}}{v_1 x_{1j} + v_2 x_{2j} + \dots + v_m x_{mj}} \geq 1 (j=1, \dots, n) \quad (5.6.2)$$

$$v_1, v_2, \dots, v_m \geq 0 \quad (5.6.3)$$

$$u_1, u_2, \dots, u_s \geq 0 \quad (5.6.4)$$

ここで、分数計画問題〈FP-L〉の最適値を  $z_0^*$  とするとき、L 効率値と L 効率性は次のように定義される。



[定義1] L 効率値

$$1 - (1/z_0^*) = g_0^* \quad \dots \text{L 効率値}$$
$$(0 \leq g_0^* < 1)$$

[定義2] L 効率性

$$g_0^* = 0 \quad \dots \text{DMU}_0 \text{ は L 非効率的}$$
$$0 < g_0^* < 1 \quad \dots \text{DMU}_0 \text{ は L 効率的}$$

分数計画問題<FP-L>の最適値  $z_0^*$  は、評価対象である  $\text{DMU}_0$  に最も不利なウェイトづけのもとで、最も効率の低い  $\text{DMU}$  を基準とした  $\text{DMU}_0$  の効率の割合を意味している。そして [定義1] では、L 効率値を感覚的に捉えやすいものとするために、効率の低い  $\text{DMU}$  の効率値を小さく、しかもそれが 0 から 1 までの間になるように  $z_0^*$  の値を変換している（ちなみに  $z_0^*$  は必ず 1 以上の値をとる）。また [定義2] で L 効率的と定義される  $\text{DMU}$  は、自分にとって最も不利なウェイト付けを行っても、その同じウェイトで自分より効率値が下回ってしまう  $\text{DMU}$  が存在しているということである。

### 5.6.3 DEA と Inverse DEA による $\text{DMU}$ の分類

各  $\text{DMU}$  の活動の特性を理解する際には、DEA によって得られる D 効率値だけでなく、他の情報にも注意する必要がある。例えば CCR モデルでは、他と相対的に比較できない特殊な活動を行っている  $\text{DMU}$  は D 効率的と判定される。しかし、これを効率的であると判断してよいかどうかは現実的には疑問である。そこで、山田らは DEA と Inverse DEA を組み合わせることにより、 $\text{DMU}$  を 4 つのタイプに分類することを提案している<sup>4)</sup>。この分類により、他と相対的に比較できない特殊な活動を行っている  $\text{DMU}$  を判定することができる。

4 つの分類は以下のようなになる。

- A : 効率的な活動を行っている  $\text{DMU}$
- B : 効率的ではあるが、特殊な活動を行っている  $\text{DMU}$
- C : 特色のない活動を行っている  $\text{DMU}$
- D : 非効率的な活動を行っている  $\text{DMU}$

これを1入力2出力に単純化して図示したのが図5.6.1である。

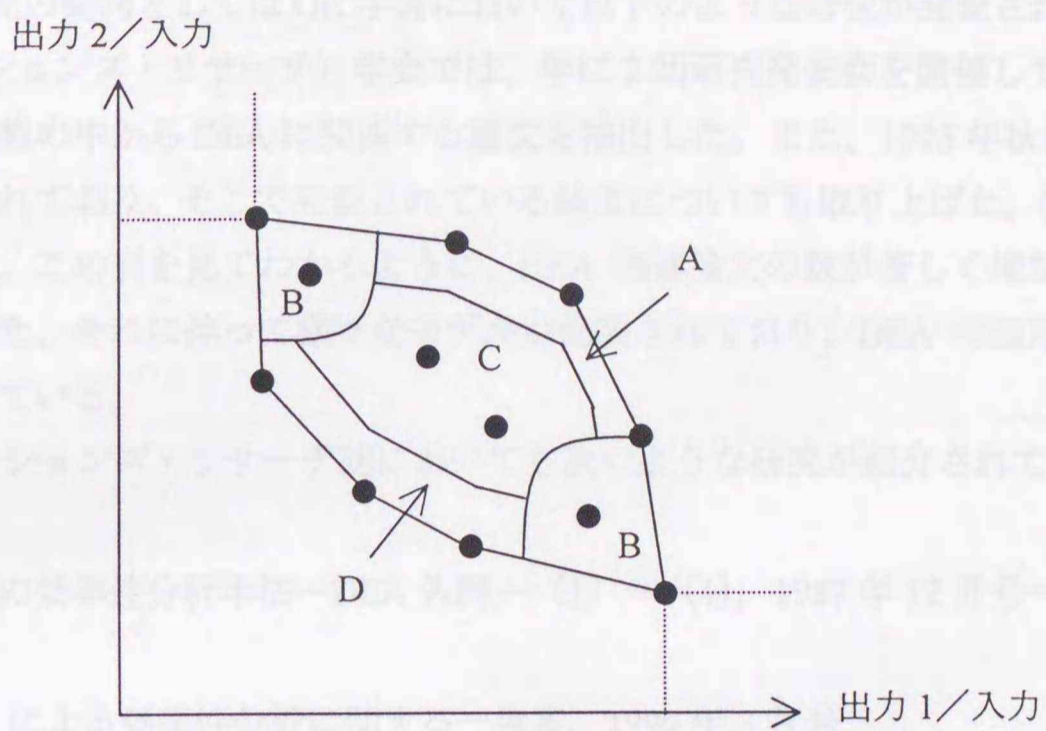


図 5.6.1 4種のDMU群

このように、Inverse DEA を用いることにより、CCR モデルだけでは判らなかった新たな観点からの情報を知ることができる。

## 5.7 DEAの研究の動向

最近の DEA 研究の動向としては OR 学会において以下のような研究が発表されている。

OR (オペレーションズ・リサーチ) 学会では、年に 2 回研究発表会を開催しており、そのアブストラクト集の中から DEA に関連する論文を抽出した。また、1995 年秋に DEA シンポジウムが行われており、そこで発表されている論文についても取り上げた。表 5.7.1 にそのリストを示す。この表を見てわかるように、DEA 関連論文の数が著しく増加していることがわかる。また、それに伴って様々なモデルが提案されており、DEA の適用事例についても多数行われている。

また、オペレーションズ・リサーチ誌においても次のような研究が紹介されている。

- ・ 刀根薫：企業体の効率性分析手法—DEA 入門— (1) ~ (4), 1987 年 12 月号~1988 年 3 月号
- ・ 末吉俊幸：DEA による効率性分析に関する一考案, 1990 年 3 月号
- ・ 末吉俊幸：DEA/WINDOW 分析法による電気通信事業体の経営効率と規模の経済性の比較、検討, 1992 年 5 月号
- ・ 刀根薫：DEA のモデルをめぐって, 1993 年 1 月号
- ・ William W.Cooper, 刀根薫, 高森寛, 末吉俊幸：DEA の解釈と展望—その 1~その 3—, 1994 年 8 月号~10 月号
- ・ 平瀬哲太, 山口俊和, 合田充利, 福川忠昭：CFA を用いた対数型 DEA モデル, 1994 年 11 月号

一方、交通計画に関して DEA の適用例は少なく、北出らが北海道新幹線整備案をケースに建設費、経営費、想定される乗車人数、短縮時間を評価項目に代替案評価を行っている<sup>9)</sup>。

表 5.7.1 DEA 関連論文リスト

年次	論文題目	内容
1991年秋	銀行間の合併効率評価のためのDEA DEAモデルにもとづく新規出店問題	事例分析 応用手法開発
1992年春	区間AHPを用いるDEAの領域限定法 DEAモデルにもとづく新規出店問題の対話型解法 DEAモデルに基づく下包絡分析の提案	補助手法開発 応用手法開発 モデル開発
1992年秋	DEAとInverse DEAを用いたDMU活動の特異性分析 統制不能な入力をもつDEAに関する一考察 非分母、線形計画法による総合病院の技術的効率及びコスト効率の測定 DEAのモデルをめぐって	応用分析 モデル開発 事例分析 モデル評価
1993年春	An $\epsilon$ -Free DEA and a New Measure of Efficiency DEAによる医療機関の効率性評価に対する実証的分析 DEAにおける実現性を考慮した改善案導出法 DEA効率値行列を用いる複数事業体の総合効率性評価法 DEAによる主要産業の実証分析	モデル開発 事例分析 補助手法開発 応用手法開発 事例分析
1993年秋	不確実性を考慮した改善案を求めるシナリオDEAの提案 確率的DEAモデルについて CFAを用いた対数型DEAモデル DEAの計算法をめぐって DEA法における入出力値に関する一検討 DEAにおける非効率な事業体の改善案 日本的経営の為のDEA法：日本経済に果たす公共事業投資の役割 DEA入試選抜システム	応用手法開発 モデル開発 モデル開発 手法評価 補助手法開発 応用手法開発 応用手法開発 応用手法開発
1995年春	DEAにおけるクロス効率値を用いた評価法 主成分分析を用いるDEAに関する一考察 On Restricting Virtual Multipliers in Come-Ratio DEA フロンティアからの偏差を考慮したDEAの加法型モデル DEAモデルにおける入力項目改善に関する事例検討 確率的DEAモデルにおけるウェイト付けの方法	応用手法開発 補助手法開発 モデル開発 モデル開発 事例分析 補助手法開発
95年シホ	DEAのモデルをめぐって-再論- DEAにおけるスラックを考慮した効率性の評価法 包絡分析と回帰分析を含む性能評価法DEA DEA/DR法を用いた事業体の判別予測 DEAに基づく限界費用価格形成：NTT電話基本料金に関する一考察 通信事業におけるDEA法の適用事例 対数型DEAモデルを用いたウェイト付けの方法 第三セクター鉄道の効率性に関する研究 農協経営評価のためのDEA適用に関する一試論 資本市場の効率性とDEA分析	モデル評価 モデル開発 モデル開発 応用手法開発 応用手法開発 事例分析 モデル開発 事例分析 モデル開発 事例分析
1995年秋	DEAにおける特異値分解の活用について DEAにおける時系列データの分析法 分析者の先験的な情報を用いた優先順位モデル	応用手法開発 応用手法開発 モデル開発

## 5.8 DEAによる都市交通モビリティの評価

### 5.8.1 都市交通モビリティと効率性

これまでの交通計画の代替案の評価手法としては、費用便益分析が多く用いられてきた。しかし近年、過度の車依存交通による弊害として環境問題が顕在化してきており、費用便益分析ではこれらの社会・環境といった要素を十分に評価しがたい状況になっている。

一方で、交通のモビリティの向上と環境への負荷を抑えることを両立することは難しく、いかに効率的に計画するかが求められる。そこには企業の経営活動の効率化と通じるものがあると考えられる。

そこで本研究では、企業の経営活動の評価に用いられる包絡分析法 (Data Envelopment Analysis, DEA) を適用し、エネルギー、環境、社会、経済等の複数の評価基準を取り入れて、都市交通水準を総合的に評価する。ここでの DEA における意思決定者(DMU)は評価対象となる都市であり、複数の都市という集団の中で相対的に都市交通を評価する。さらに非効率的と評価された都市については、同じ集団の中で効率的と評価された都市を目標とし、その改善方策も提示することができる。

### 5.8.2 都市交通モビリティの評価対象と評価項目

#### (1) 評価対象と評価項目の設定

本研究では都市交通モビリティの評価対象として、政令指定都市の中から札幌市、横浜市、川崎市、名古屋市、京都市、大阪市、神戸市、北九州市、福岡市の 9 主要都市における都市交通モビリティを評価することとした。

評価にあたっては、都市交通水準が以下の 4 つがバランスがとれていること、つまり効率的にお互いが作用していることが、理想の都市交通であると仮定した。

- ① 交通のモビリティが優れている
- ② 都市交通に関する維持・運営費用が少ない
- ③ 環境への負荷が少ない
- ④ 安全である

そこで、DEA での評価項目を以下のように設定した。

#### ① モビリティ(千人あたりの 1 時間の移動距離)

$$= \sum ((\text{各交通モードの平均速度 km/h}) \times (\text{各交通モードの利用者数}) \times 1000 / \text{人口})$$

#### ② 費用(千人あたりの公共交通にかかる費用)

$$=((\text{道路・都市計画街路事業費})+(\text{公共交通事業費}))\times 1000/\text{人口}$$

③環境負荷(交通機関のCO<sub>2</sub>排出量)

$$=\Sigma((\text{各交通機関CO}_2\text{排出量原単位(トン/十億人km)}\times(\text{各交通機関の利用者数}))$$

交通が与える環境負荷として、本研究ではCO<sub>2</sub>の排出を対象とした。

④安全性(千人あたりの交通事故死者数)

$$=(\text{年間交通事故死者数})\times 1000/\text{人口}$$

「①モビリティ」に関しては、利用者が1時間あたり移動できる距離を「移動のしやすさ」として評価することとした。ここでは実際に移動した距離ではなく、移動が可能な距離として各交通機関の平均速度を原単位としている。「②費用」は、道路建設・維持費、公共交通機関の事業費という、公共交通にかかる費用を対象とした。本研究のDEAによる分析は、各都市が交通計画を策定するにあたり、どれだけ交通に費用をかけるかという改善案を提案することも目的としているので、自動車のガソリン代等、個人の自家用車維持に関する項目は除いた。「③環境負荷」に関しては、交通機関が与える環境への影響としてCO<sub>2</sub>の排出量で評価した。「④安全性」は、軌道系交通機関は安全であるという仮定で、自動車交通による事故死者数を対象とした。

(2)評価項目のデータ作成

評価項目のデータを加工するために、以下のデータを取りあげた。

表 5.8.1 評価対象都市データ<sup>9)</sup>

都市	面積 (km <sup>2</sup> )	人口 (千人)	道路・都市計画街 路事業費(百万円)	公共交通事業費 (百万円)	年間交通事故 死者数(人)
札幌市	1121.12	1733.86	126440	216342	87
横浜市	433.21	3280.82	163020	228161	159
川崎市	143.85	1178.76	75095	86152	46
名古屋市	326.37	2097.88	118348	250698	131
京都市	610.21	1395.61	44527	97217	107
大阪市	220.53	2482.02	160888	368180	156
神戸市	545.80	1488.30	96326	144242	96
北九州市	482.86	1018.48	62863	66200	71
福岡市	336.81	1232.58	111708	143681	85

表 5.8.2 交通機関別利用者数(1日あたり)<sup>7)</sup>

都市	鉄道	バス	自動車
札幌市	164564	112899	183700
横浜市	292733	92442	139433
川崎市	66766	29589	36923
名古屋市	216581	109137	227580
京都市	86017	111482	106956
大阪市	360338	55290	110580
神戸市	199953	54002	72975
北九州市	87425	76116	129615
福岡市	48071	132789	108992

表 5.8.3 に都市内平均自動車速度を示すが、鉄道については 24km/h、バスについては 12km/h と、各都市共通であると仮定した。また、環境負荷に関して、各交通機関の CO<sub>2</sub> 排出量は、10 億人キロあたり自動車が 44.25 千トン、鉄道が 5.28 千トン、バスが 10.86 千トンであるとした<sup>8)</sup>。

表 5.8.3 都市内平均自動車速度<sup>8)</sup>

都市	平均自動車速度 (km/h)
札幌市	30.0
横浜市	23.7
川崎市	16.9
名古屋市	21.8
京都市	22.3
大阪市	22.4
神戸市	29.2
北九州市	26.7
福岡市	23.6

以上のデータをもとに、前述の DEA での評価項目の定義にあわせ、表 5.8.4 のように加工した。

表 5.8.4 DEA 評価項目データ

都市	モビリティ	費用	環境負荷	安全性
札幌市	10815324	0.020003	9120.14	5.11
横浜市	11439458	0.019945	20131.27	4.89
川崎市	2581451	0.033373	16045.16	3.94
名古屋市	11468832	0.021859	37995.17	6.25
京都市	5787311	0.016798	10485.55	7.67
大阪市	11788584	0.031232	33546.51	6.25
神戸市	7577766	0.019035	8927.13	6.54
北九州市	6472313	0.010228	14547.28	6.99
福岡市	5319383	0.027011	19356.33	7.00

### 5.8.3 DEA による都市交通モビリティの効率性評価

#### (1)CCR モデルによる解析

DEA で解析するにあたり、評価項目のモビリティ、費用、環境負荷、安全性に関して、値が小さい方が望ましい、費用・環境負荷・安全性を入力項目として、値が大きい方が望ましいモビリティを出力項目とした。

表 5.8.5 に、CCR モデルによる D 効率値の解析結果を示す。

表 5.8.5 CCR モデルによる D 効率値

都市	D 効率値
横浜市	1
札幌市	1
神戸市	0.8361
大阪市	0.8063
名古屋市	0.7844
京都市	0.7256
北九州市	0.7068
福岡市	0.3799
川崎市	0.2806

D 効率値を見ると、横浜市、札幌市が D 効率的であると判断され、他の 7 都市は D 非効率的とすることができる。

また、図 5.8.1 に CCR モデルにおける加重入力値の割合を示す。これにより各都市がどの評価項目に重きを置いて効率性を評価したのかがわかる。ここでは、札幌・横浜・川崎・名古屋・大阪のように安全性において優れている都市、また京都・神戸・北九州・福岡のように環境負荷、費用において優れている都市の 2 つのグループに分けられる。各都市は、それ



それぞれのグループの中で最も D 効率値の高い都市を目標として、改善策を立案するという方針を得ることができる。

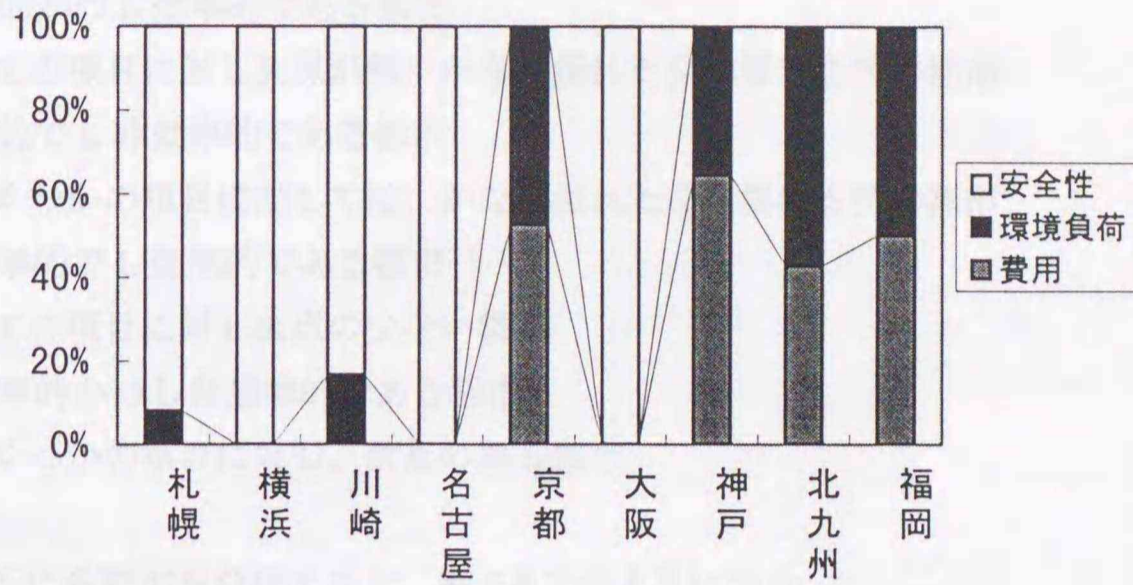


図 5.8.1 加重入力値の割合

(2) Inverse DEA による解析

次に、Inverse DEA による L 効率値の解析結果を表 5.8.6 に示す。

表 5.8.6 Inverse DEA による L 効率値

都市	L 効率値
横浜市	0.7169
札幌市	0.5925
神戸市	0.4345
大阪市	0.5422
名古屋市	0.4670
京都市	0.1317
北九州市	0.2924
福岡市	0.1378
川崎市	0

L 効率値を見ると、川崎市以外の都市が L 効率的と判断されている。

L 効率的であると判断された都市は、4 つの評価指標が他の都市と比較しても遜色なく、欠点といえるような弱い部分を持たない都市といえることができる。逆に川崎市のように L 非効率的と判断された都市においては、他の都市と比較して、この 4 つの評価指標において欠点があるということになり、即座に欠点を改善、検討すべきであるといえる。

(3) D 効率値と L 効率値による分類

5.6.3 で述べたように、DEA と Inverse DEA の解析結果を組み合わせることにより、

DMU(ここでは都市)を4つに分類することができる。本研究では評価対象都市を以下の4つに分類した。

A: D 効率的かつ L 効率的である都市

全ての項目に対し欠点が無くかなり優れた交通要素を持つ都市

B: D 効率的で L 非効率的である都市

いくつかの項目に対しては、かなり優れた交通要素を持つ都市

C: D 非効率的で L 効率的である都市

全ての項目に対し欠点の少ない都市

D: D 非効率的かつ L 非効率的である都市

いくつかの項目に対し、欠点のある都市

これらをもとに各都市を分類すると、表 5.8.7 のようになる。

表 5.8.7 D 効率値と L 効率値による都市の分類

都市名	D 効率値	L 効率値	分類
横浜市	1	0.7169	A
札幌市	1	0.5925	A
神戸市	0.8361	0.4345	C
大阪市	0.8063	0.5422	C
名古屋市	0.7844	0.4670	C
京都市	0.7256	0.1317	C
北九州市	0.7068	0.2924	C
福岡市	0.3799	0.1378	C
川崎市	0.2806	0	D

分類結果を見ると、横浜市、札幌市が D 効率的かつ L 効率的であることから、これらの都市の中では非常に優れた交通状態であるといえる。一方で川崎市については、これらの都市の中では欠点のある都市として評価されている。C と分類された都市については、D 効率的である都市と比較して優れた点は見られないが、L 効率的であることから、欠点も少ない都市として分類される結果となった。

このように DEA の分析により、各都市の交通を大局的に考察することができる。

#### 5.8.4 D 非効率都市への改善案

DEA では D 効率値で非効率と判断された DMU について、効率的となるように改善案を評価項目で示すことができる。

本研究で取りあげている都市についても、さまざまな改善案が考えられる。ここではその一例として、モビリティは一定であるという条件での他の指標の改善量を表 5.8.8 に示す。

表 5.8.8 D 非効率都市の効率化への改善量

都市	費用 (百万円/千人)	環境負荷( $\times 10^3$ ) (トリップ・トン/十億人 km)	安全性 (千人あたりの死者数)
神戸市	-15.89 (16.4%)	-1.46 (16.4%)	-3.01 (46.1%)
大阪市	-76.67 (51.7%)	-12.80 (38.2%)	-1.21 (19.4%)
名古屋市	-49.78 (41.7%)	-17.81 (46.9%)	-1.35 (21.6%)
京都市	-19.13 (27.5%)	-2.88 (27.5%)	-5.07 (66.1%)
北九州市	-19.06 (29.3%)	-4.26 (29.3%)	-4.17 (59.6%)
福岡市	-72.28 (62.0%)	-12.00 (62.0%)	-4.63 (66.1%)
川崎市	-57.15 (78.2%)	-11.54 (71.9%)	-2.83 (71.9%)

注) マイナスは減少する必要があることを示す

非効率であるとされる都市では、表 5.8.8 のとおり、費用、環境負荷、安全性において減少させることが必要である。しかし、実際には費用の面における改善は困難である。そこで、環境負荷と安全性の改善が 1 つの改善案であると考えられる。近年の環境問題への対策から打ち出されている交通政策として、自動車から公共交通機関への転換が浸透すれば、自動車交通が減少することから安全性と環境が向上し、都市交通水準の改善につながる。

また、費用を抑えるということを考慮すると、公共交通機関への転換に際し、新規の公共交通機関を建設するのではなく、既存の交通施設を効率的に有効利用することが必要である。

## 第5章 参考文献

- 1) 刀根薫: 経営効率の測定と改善—包絡分析法 DEA による—, 日科技連, 1993
- 2) 今野浩: 線形計画法, 日科技連, 1987
- 3) 山田善靖・松井知己・杉山学・山口真保子: DEA モデルに基づく下包絡分析の提案, 1992  
年度日本オペレーションズ・リサーチ学会春期研究発表会アブストラクト集, 1992
- 4) 山田善靖・杉山学・松井知己: DEA と Inverse DEA を用いた DMU 活動の特異性分析, 1992  
年度日本オペレーションズ・リサーチ学会秋期研究発表会アブストラクト集, 1992
- 5) 北出徹也・高野伸栄・佐藤馨一: DEA を用いたプロジェクト評価に関する研究, 土木学会  
第49回年次学術講演会講演概要集第4部, pp44-46, 1994
- 6) 全国市長会: 日本都市年鑑 1995, 第一法規出版, 1995
- 7) 運輸省運輸政策局監修: 平成4年版都市交通年報, 運輸経済研究センター, 1992
- 8) 安部誠治・自治体問題研究所編集, 都市と地域の交通問題—その現状と政策課題—, 自治  
体研究社, 1993

本論文は、調査結果を踏まえて、ユーザーと企業との関係性、特に、ユーザーの満足度と企業への信頼感との関係性を明らかにすることを目的としている。また、ユーザーの満足度を高めるための施策を提言することにも貢献したいと考えている。本論文は、ユーザーの満足度を高めるための施策を提言することにも貢献したいと考えている。本論文は、ユーザーの満足度を高めるための施策を提言することにも貢献したいと考えている。

## 第6章

## 結論

第1章では、本論文の目的と研究の背景を説明した。第2章では、調査結果を踏まえて、ユーザーと企業との関係性、特に、ユーザーの満足度と企業への信頼感との関係性を明らかにすることを目的としている。また、ユーザーの満足度を高めるための施策を提言することにも貢献したいと考えている。第3章では、調査結果を踏まえて、ユーザーと企業との関係性、特に、ユーザーの満足度と企業への信頼感との関係性を明らかにすることを目的としている。また、ユーザーの満足度を高めるための施策を提言することにも貢献したいと考えている。第4章では、調査結果を踏まえて、ユーザーと企業との関係性、特に、ユーザーの満足度と企業への信頼感との関係性を明らかにすることを目的としている。また、ユーザーの満足度を高めるための施策を提言することにも貢献したいと考えている。第5章では、調査結果を踏まえて、ユーザーと企業との関係性、特に、ユーザーの満足度と企業への信頼感との関係性を明らかにすることを目的としている。また、ユーザーの満足度を高めるための施策を提言することにも貢献したいと考えている。

## 6.1 本研究の成果

本研究は、集団意思評価技法による交通サービスの考課を行った。個人と違い、集団の意思評価には、ひとつの項目に対して賛成と反対の両方が存在する。また、個人ではなく、集団の評価によってはじめて見出されるものもある。そして、集団の中である人は他の人との相対評価で自分の意思決定の優劣を位置づけることができ、さらによりよい意思決定への目標ができる。本研究は以上の3点を集団意思評価の特徴であると考え、それらに対する考課手法を構築したものである。具体的には、集団の重要度評価の構造化、交通運賃の受容評価、効率性の観点からのモビリティ評価手法を提案した。以下に各章の概要を示す。

第1章では、本論文の背景・目的および内容・構成についてまとめた。

第2章では、意思決定、意思評価技法を体系化し、本研究における交通サービスの集団意思評価技法の位置づけを明らかにした。集団意思評価としては、これまでも実験計画モデルによる交通機関選択モデルなど、意識データを用いたモデルの構築などがなされてきた。しかし、(1)集団の意識の構造化、(2)集団の支払に関する受容評価、そして(3)効率性という観点での集団の総合評価といったものについては、交通サービスについての研究としてあまり扱われてこなかった。本論文は集団意思評価技法として、前述の集団意思評価の特徴をふまえ、この3点を評価できる方法論を提案することを目的とした。

第3章では、交通機関のサービス項目に関して、集団における重要度評価の方法を提案した。これまでも一対比較、階層分析法(AHP)等により評価項目間の重みづけを分析する手法は開発されてきたが、集団の重要度評価をとりまとめる手法については現在も研究が進められている。本論文では、拡張寄与ルール法(ECR法)を適用することによって、集団の評価項目間における重要度の順序関係を構造化する方法を提案した。また、その順序の差の大きさも明らかにすることができ、さらにその集団の中で反対の意見を持っている人も考慮して分析することが可能となった。そしてECR法を用いて、北海道島牧村住民を対象に海岸部集落における道路整備方策について、また航空機利用者を対象に航空サービス項目について重要度評価を分析した。

第4章では、交通運賃に関しての利用者全体から見た評価方法を提案した。これまで商品の価格が需要と供給から成り立ってきたのに対し、交通運賃に関しては原価主義から供給者側が決定し、利用者はそれを利用せざるを得ない状況が続いてきた。特に航空運賃に対する利用者の割高感強い。本論文では、価格感度測定法(PSM)を適用することによって、利用者の支払評価価格を分析した。これまでも運賃に関する研究例としては、支払意思額の分析等が挙げられる。しかし、利用者にとっては「いくらまで支払う」という支払意思の他に、同じ支払うにしても「高い」あるいは「安い」という評価もある。このことを突きつめると、支払い価格の中に「値ごろ感」を与える価格帯が存在する。この「値ごろ感」は、集団の評価によってはじめて見いだすことができるものである。PSMはその点に着目した

ものであり、上限価格・下限価格・無差別価格・最小抵抗価格といった評価指標によって、利用者という集団の価格評価を分析することができた。さらに、航空機利用者を対象に札幌―東京間の航空運賃について PSM による調査を行い、既存の正規航空運賃に対する利用者全体の支払評価価格を明らかにした。

第 5 章では、都市交通のモビリティを効率という観点から評価した。近年の自家用車依存の交通により、人々の交通モビリティは向上したが、弊害として環境問題も顕在化した。現在、環境負荷を低減するための動きも起きているが、一方でモビリティの向上も必要である。このように両立することが困難である課題については、いかにバランスをとって交通計画を行うかが重要になってくる。そこには企業の経営活動の効率化と通じるものがあると考えられる。本論文では企業の経営活動の評価に用いられる包絡分析法(DEA)を用いて、都市交通のモビリティの効率性評価を行うことを提案した。DEA では評価対象を DMU(Decision Making Unit; 意思決定者)といい、集団における意思決定者が、その集団の中で効率的に活動を行っているかを相対的に評価するものである。また、非効率と判断されたものについては、効率的になるための改善案も具体的に数値で示すことができる。また、集団意思評価という観点で見ると、集団になることではじめて優劣の相対評価を行うことができ、その集団の中で効率的とされたものは他の意思決定者の目標と位置づけ、目標を定めた上での改善を行うことができる。つまり、集団の意思決定がよりよい方向に進むことに寄与できるものであると考えられる。本論文では国内 9 都市を対象に、モビリティ・環境負荷・交通にかかる費用・安全性を評価項目として、都市交通を DEA で分析した。

第 6 章では、本研究で得られた結論および今後の課題をまとめた。つまり、集団による交通サービスの考課という観点から、集団意思評価技法として ECR、PSM そして DEA による交通サービスの評価方法を提案した本研究の成果をここにまとめた。次節に今後の課題を記し、発展すべき方向性を示す。

## 6.2 今後の課題

本研究の今後の課題として、以下の点が挙げられる。

- (1) 本研究で適用した ECR 法、PSM、DEA とともに評価対象は一時点のものであった。しかし、人々の評価は社会状況等により変化するものであり、改めて調査を行えば分析結果は違ったものになると考えられる。分析を継続的に行い、時系列評価の方法も確立する必要がある。
- (2) 調査対象の規模についても考慮する必要がある。全体の結果をさらに詳細に分析するために属性ごとに分類すると、サンプル数が少なくなることは避けられない。どのくらいの規模で一般性を持つ評価ができるようになるか、研究を進める必要がある。

今後も、より複雑になってきている社会において、集団の意見をとりまとめ、的確な意思決定を行うことにより、交通システムが社会のニーズをふまえてさらに発展することに寄与できるよう、研究を進めていく所存である。



## 謝辞

本研究を進めるにあたり、多くの方々に貴重なご指導、ご助言、ご協力をいただきました。ここに記し、深く感謝の意を表す次第であります。

北海道大学大学院佐藤馨一教授には、本研究をとりまとめるにあたり、論の中心となる集団意思評価、また個別の技法に対しても貴重なご指導、ご助言をいただきました。そして研究者・教育者としてあるべき姿を学びました。私の人生において、研究者の道を歩む機会を与えてくださったことに対しても、深く感謝申し上げます。

北海道大学大学院森吉昭博教授には、本論文の位置づけを明確にするご助言をいただきました。北海道大学大学院眞嶋二郎教授には、本論文の完成度をさらに高めるご指導をいただきました。そして、北海道大学大学院加賀屋誠一教授には、本論文はもとより、私の修士課程の在学時から今日まで、研究に対する考え方においてご指導をいただきました。深く感謝申し上げます。

北海道大学五十嵐日出夫名誉教授には、北海道大学在職時からこれまで、多くの貴重なご指導、ご助言をいただくとともに、常に私をあたたく励ましてくださいました。研究するときの姿勢、土木技術者としての心構えなど、多くのことを学びました。深く感謝申し上げます。

北海道大学大学院高野伸栄助手、東京大学高橋清助教授には、研究が壁にぶつかるたびに何度も相談にのっていただき、研究の方向性を示してくださいました。

北海道大学大学院小野寺雄輝技官、北海道大学大学院谷本彩子事務補助員には、研究を進めるにあたり多くのご協力、ご助力をいただきました。

また、学生生活をともに過ごした北海道大学交通計画学講座、北海道大学大学院交通システム工学講座交通制御安全工学分野の学生のみなさんには、アンケート調査の多大なご協力や学生の視点ならではのご助言をいただきました。特に博士後期課程でともに学んだ原口征人さんとは、お互いの意見をぶつけ合い、励まし合うことで3年間を過ごしました。学生のみなさんに深く感謝申し上げます。

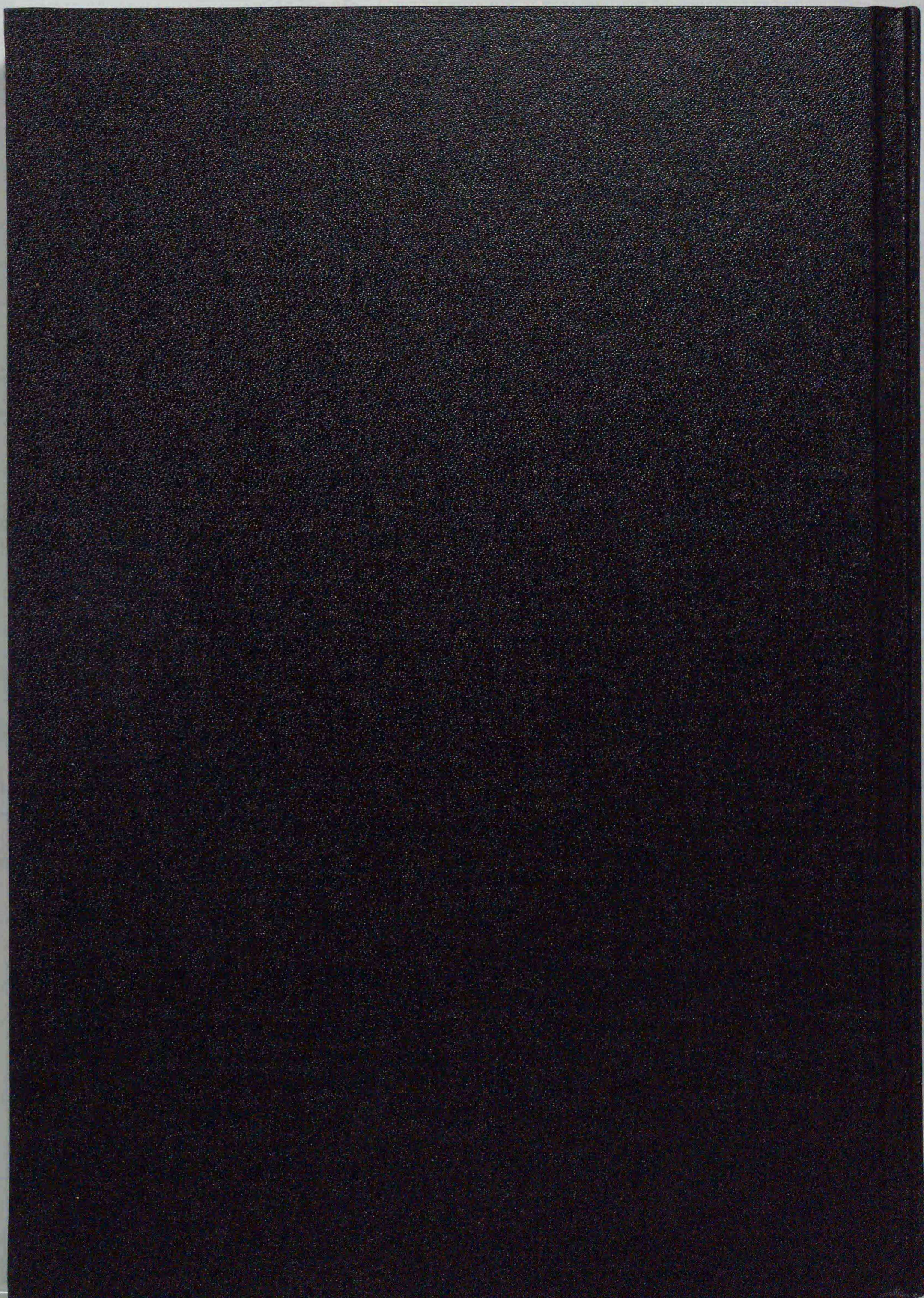
そして、これまで多くのご支援をいただいた父、母、祖母、弟には感謝してもしきれないくらいです。本当にありがとうございました。

多くの方々に支えられ、本論文ができあがりました。北海道大学で学んだ者としての誇りを忘れずに、これからも研究に取り組んでいく所存です。

どうもありがとうございました。

平成 11 年 3 月

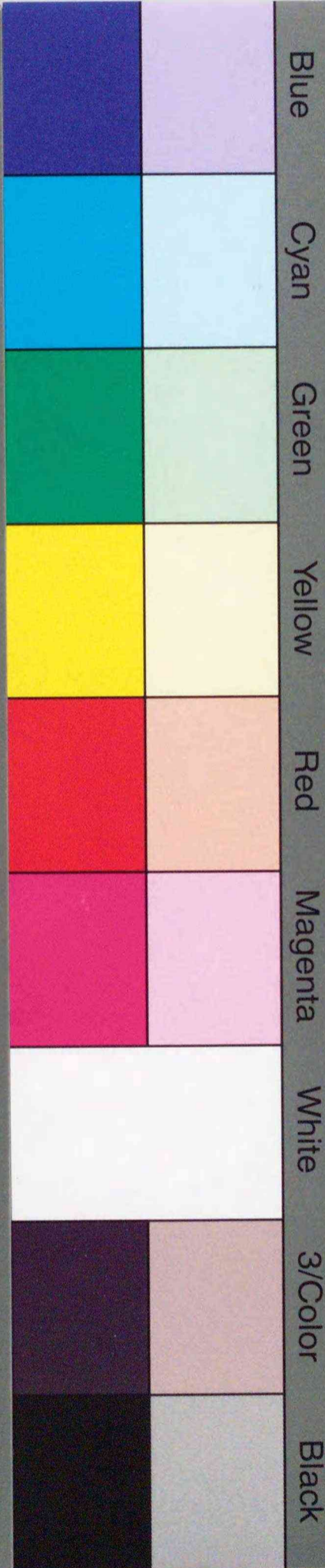
岸 邦宏



Inches 1 2 3 4 5 6 7 8  
cm 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19

# Kodak Color Control Patches

© Kodak, 2007 TM: Kodak



Blue Cyan Green Yellow Red Magenta White 3/Color Black

# Kodak Gray Scale



© Kodak, 2007 TM: Kodak

A 1 2 3 4 5 6 M 8 9 10 11 12 13 14 15 B 17 18 19

