

多基準分析に基づく計画代替案の評価 に関する基礎的研究

FUNDAMENTAL STUDY ON EVALUATION OF ALTERNATIVES BASED ON MULTI-CRITERIA ANALYSIS

天野光三*・戸田常一**・阿部宏史***・中川 大****

By Kozo AMANO, Tsunekazu TODA, Hirofumi ABE and Dai NAKAGAWA

1. 緒 論

各種の都市施設整備をはじめとして公共事業の計画立案にあたっては、基本計画や実施計画の段階でいくつかの代替案が作成されることが多い。その場合、作成された複数の代替案の中から最も好ましい案を選択する必要があるが、その際の有益な情報の提供を目的として、従来より数多くの代替案評価のための手法が提案されている。特に、最近ではプロジェクトの大規模化に伴って、計画目標やインパクトの多様化に対処することが必要となり、多種多様な評価の側面を総合的に考慮できるアプローチが求められている。

本研究では上述の認識に基づいて、代替案を総合的に評価するための1つのモデルを構成する。この評価モデルは、代替案の総合評価のために最近提案された多基準分析 (Multi-criteria Analysis) のアプローチに基づくものであり、その代表的な手法である P. Nijkamp による Concordance Analysis のモデルを改良し、いくつかの検討や拡張を行う。

まず 2. では、費用便益分析を出発点とする従来の代表的な代替案の評価手法を取り上げ、各手法の内容を検討するとともに手法相互の関連を整理することによって、多基準分析の特徴と位置づけを明らかにする。また、P. Nijkamp の Concordance Analysis の構成を概説し、その問題点をまとめる。

次に 3. では、2. で検討した Concordance Analysis の問題点を改良するための新たなモデルを構成し、モデルの感度分析を行うとともに、インパクトの不確実性を考慮した場合についてモデルの検討を行う。

さらに 4. では、3. で構成した評価モデルを、定性

* 正会員 工博 京都大学教授 工学部交通土木工学教室

** 正会員 工博 京都大学助手 工学部交通土木工学教室

*** 学生会員 工修 京都大学大学院工学研究科博士課程

**** 学生会員 京都大学大学院工学研究科修士課程

的な評価項目を考慮した場合の評価にも適用できるように拡張する。

最後に 5. では、3. と 4. で構成した評価モデルを仮想のバイパス道路計画のルート選定問題に適用し、モデルの適用可能性を検討する。

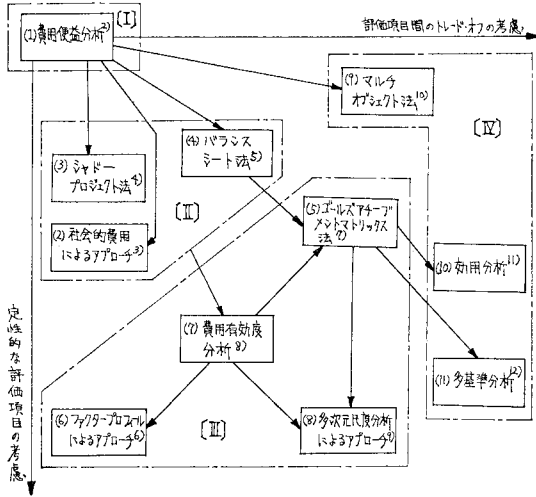
2. 代替案評価のための手法

(1) 従来の評価手法¹⁾

代替案評価のために現在最も広く用いられている手法に費用便益分析がある²⁾。費用便益分析では、あるプロジェクトに関して、その実施に必要な費用と、それから得られる便益を貨幣換算して対比・評価し、そのプロジェクトを実施することの望ましさを検討する。そのため費用便益分析では、貨幣換算の可能な効果を主として取り扱い、換算の困難な効果は便益の対象から除外される。この手法は、① 概念的にわかりやすい、② すべてのインパクトを貨幣換算するため代替案の比較が容易となる、などの利点をもつが、① 社会的環境的な面は貨幣換算が困難なため分析の対象となりにくく、逆に経済的な面は貨幣換算が容易なため強調されやすい、② 便益の分配という公平性の基準に欠けており、複数の目的間の調整が困難である、などの欠点も有している。

しかし、費用便益分析は代替案評価のために最も古くに提案された1つの手法であり、評価の基本的な考え方を端的に示している。以後に提案された多くの評価手法は、この費用便益分析の欠点を補うことを念頭に、修正もしくは拡張されたものと考えられることもできる。この観点から各評価手法の関連をまとめたものが、図-1 である。

まず、[II] のグループに示す3つの手法^{3)~5)}は、いずれも貨幣尺度上での評価を基本とする点で従来の費用便益分析と類似しているが、費用便益分析では取り扱われ

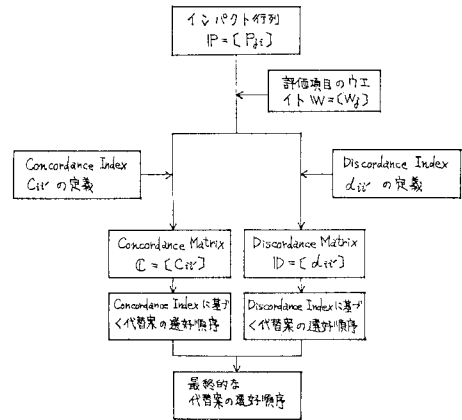


図一 代替案評価のための各手法の関連

なかった貨幣換算の困難な評価項目を考慮しており、費用便益分析を拡張した手法と考えられる。

次に、[III]のグループに示す4つの手法⁽⁹⁾⁻⁽¹²⁾は、代替案評価に必要な情報を多面的に収集・整理し、意思決定者に提供することによって代替案選択を促す手法である。これらの手法は、いずれも各評価項目を共通の尺度上へ換算することを行わず、各評価項目についてそれぞれ適切な尺度上での計測を行っている。そのため、①貨幣換算の困難な評価項目が考慮できる、②便益の分配という公平性の基準が考慮できる、などの利点があるが、①評価情報の総合化が十分に行われていないため、意思決定者の代替案選択が容易でなく、その選択には意思決定者の主観が大きく影響する、②設定する評価尺度の種類が多い場合には評価項目間のトレードオフの把握が困難である、などの欠点を有している。

最後に、[IV]のグループの3つの手法⁽¹⁰⁾⁻⁽¹²⁾は、いずれも経済・社会・環境の諸側面から代替案の優位性を総合的に評価し、序列化するものである。これらの手法は、①価値観の異なる評価主体の取り扱いが容易、②インパクトおよび評価の不確実性の考慮が可能、③多種多様な評価項目の考慮が可能、などの利点を有している。しかし、手法(9)では社会的便益無差別曲線を設定し、手法(10)では効用関数を設定している点で、その計測のために多くの分析作業を必要とし、また分析作業中にならぬかの仮定を設けることが多く、分析者の主観が入りやすいなどの欠点がある。これに対して手法(11)の多基準分析は、評価モデルの構成の際に設ける仮定や作業量をなるべく少なくし、しかも一定の信頼ある評価を行おうとする一種の評価の簡便法である。この手法では一般には評価項目のウエイトと、各代替案の実施によるインパクトという最小限の情報を用いて代替案の優劣を



図二 P. Nijkamp の Concordance Analysis

容易に判定でき、手法(9),(10)のような複雑な分析作業を必要としない。

(2) P. Nijkamp による Concordance Analysis^{(13),(14)}

ここで説明する Nijkamp の Concordance Analysis は、フランスで Benayoun らによって開発された Electre-method を代替案評価のための手法として変形したものである。評価モデルの全体構成を図-2 に示すが、この手法を適用する際に必要な外生情報は、次の式(1)と式(2)に示すインパクト行列 P とウエイト W である。

$$P = \begin{bmatrix} P_{11} & \dots & P_{1I} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{j1} & \dots & P_{jI} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{I1} & \dots & P_{II} \end{bmatrix} \dots \dots \dots (1)$$

ただし、 P_{ji} : 代替案 i による評価項目 j に関するインパクト

$$W = [W_1 \dots W_j \dots W_J] \dots \dots \dots (2)$$

ただし、 W_j : 評価項目 j のウエイト

まず、この外生情報 P, W を用いて代替案の優劣を表わす指標 $c_{ii'}$ 、 $d_{ii'}$ を求める。 $c_{ii'}$ は Concordance Index とよばれ、代替案 i が代替案 i' に対してどの程度優れているかを示し、 $d_{ii'}$ は Discordance Index とよばれ、代替案 i が代替案 i' に対してどの程度劣っているかを示す指標である。Nijkamp はこれらの指標としていく通りかの定義を与えているが、その代表的なものを式(3),(5)に示す。

$$c_{ii'} = \sum_{j \in C_{ii'}} W_j \dots \dots \dots (3)$$

ただし

$$C_{ii'} = \{j | P_{ji} \geq P_{ji'}\}, \geq : \text{選好関係} \dots \dots \dots (4)$$

$$d_{ii'} = \max_{j \in D_{ii'}} \left\{ \frac{|P_{ji} - P_{ji'}|}{d_j^{\max}} \right\} \dots \dots \dots (5)$$

ただし

$$D_{ii'} = \{j | P_{ji} < P_{ji'}\}, < : \text{選好関係} \dots \dots \dots (6)$$

$$d_j^{max} = \max_{j, 1 \leq i' \leq I} (|P_{ji} - P_{ji'}|) \dots\dots\dots(7)$$

式 (3), (5) はそれぞれ $c_{ii'}$ の値が大きいほど、代替案 i が代替案 i' に対して大きく優れていること、および $d_{ii'}$ の値が大きいほど代替案 i が代替案 i' に対して大きく劣っていることを示している。また、これらの指標では代替案の良さは評価項目のウエイトのみによって反映され、代替案の悪さはインパクトの差異のみによって反映されている。

次に、すべての代替案の組について $c_{ii'}$, $d_{ii'}$ を求めることによって、式 (8), (9) に示す Concordance Matrix C と Discordance Matrix D を作成する。

$$C = [c_{ii'}] = \begin{bmatrix} - & c_{12} & \dots & c_{1I} \\ c_{21} & - & \dots & c_{2I} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{I1} & c_{I2} & \dots & - \end{bmatrix} \dots\dots\dots(8)$$

$$D = [d_{ii'}] = \begin{bmatrix} - & d_{12} & \dots & d_{1I} \\ d_{21} & - & \dots & d_{2I} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{I1} & d_{I2} & \dots & - \end{bmatrix} \dots\dots\dots(9)$$

各行列 C , D は I 行 I 列の正方行列であり、それぞれ代替案の優越性と劣等性を表わすものである。

最後に、これらの行列 C , D を用いて一定の方法で代替案の選好順序を決定する。Nijkamp はその方法として次の2つの方法を提案している。

- ① 指標 $c_{ii'}$, $d_{ii'}$ の有意性を示す基準値 \bar{c} , \bar{d} を設定し、この条件を満足する指標に対してグラフ理論などを適用することによって選好順序を決定する。
- ② 式 (10), (11) で定める Concordance Dominance Index c_i と Discordance Dominance Index d_i を用いて選好順序を決定する。

$$c_i = \sum_{i'=1}^I c_{ii'} - \sum_{i'=1}^I c_{i'i} \dots\dots\dots(10)$$

$$d_i = \sum_{i'=1}^I d_{ii'} - \sum_{i'=1}^I d_{i'i} \dots\dots\dots(11)$$

なお、 c_i は多くの代替案 i の中の代替案の絶対的な良さの程度を表わし、 d_i は同様な悪さの程度を表わす。

上述の2つの方法では、ともに Concordance Index と Discordance Index に基づく2通りの選好順序が求められるので、最終的には両者の結果を総合して代替案の選好順序を決定する必要がある。

以上が Nijkamp による Concordance Analysis の概要であり、この手法によって代替案の総合評価を、複雑な分析作業を必要とせずに容易に行うことができるが、次のようないくつかの問題点をもっている。

まず、評価項目のウエイトはまったく外生的に与えるものとして、モデルの内部でウエイト設定に関する工夫がなされていない。たとえば、多種多様な評価項目を一括してウエイト付けすることは一般には困難であり、また、評価項目の数が増加するにつれてウエイトの信頼性

が低下するなどの問題がある。

次に、インパクト行列に対して代替案の優劣を表わす2つの指標を定義しているが、代替案の良さを表わす指標 $c_{ii'}$ ではウエイトのみ、悪さを表わす指標 $d_{ii'}$ ではインパクトの差のみが考慮されている。したがって、これらの指標を用いる場合、各代替案の優越性および劣等性のそれぞれがウエイトまたはインパクトのどちらか一方のみによって表わされることになり、各指標が代替案間の優劣関係を適切に表わしているとはいえない。さらに、式 (5) の指標 $d_{ii'}$ では、各代替案の悪さが最も質の低い項目のインパクトの大きさのみを用いて表わされており、すべての項目のインパクトを総合的に考慮した指標とはなっていない。

3. Concordance Analysis の改良モデルの構成とその検討^{(15), (16)}

(1) 改良モデルの構成

Nijkamp の Concordance Analysis の概略と問題点を先に述べたが、ここではこれらの問題点を考慮して Concordance Analysis の改良モデルの構成を行う。

改良モデルの概要を図-3 に示すが、以下ではこのモデルの特徴をいくつかの点から説明する。

まず、改良モデルでは各評価主体ごとに分析を行うことを前提として各主体ごとにインパクト行列とウエイトを設定し、それらをもとにして代替案の序列化を検討する。また、このモデルでは Nijkamp のモデルにおけるウエイト設定の問題点を改良するために、評価項目を評価主体に対して望ましい影響を及ぼす項目 (⊕ インパクト項目) と、望ましくない影響を及ぼす項目 (⊖ インパクト項目) の2種類に分け、⊕ インパクトと ⊖ インパクトの2つの側面から代替案を評価する。さらに、前述のように定義上問題のある式 (3), (5) の代わりに、

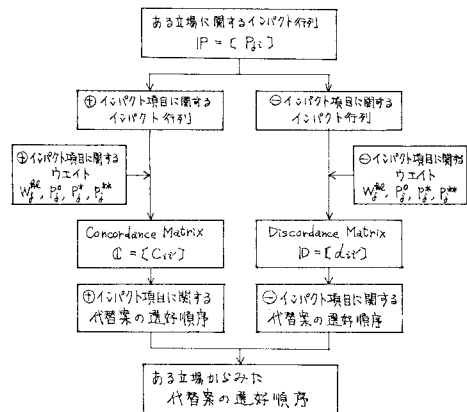


図-3 改良モデルの全体構成

代替案相互のインパクトの差とウエイトを同時に考慮した次の式 (12), (13) で定義する各指標を用いる。

⊕ インパクト項目に対して

$$c_{ii'} = \sum_{j \in C_{ii'}} \left\{ W_j \cdot \frac{|P_{ji} - P_{ji'}|}{\max_{1 \leq i, i' \leq I} (|P_{ji} - P_{ji'}|)} \right\} \dots (12)$$

ただし、

$$C_{ii'} = \{j | P_{ji} \geq P_{ji'}\} \dots (4)'$$

⊖ インパクト項目に対して

$$d_{ii'} = \sum_{j \in D_{ii'}} \left\{ W_j \cdot \frac{|P_{ji} - P_{ji'}|}{\max_{1 \leq i, i' \leq I} (|P_{ji} - P_{ji'}|)} \right\} \dots (13)$$

ただし、

$$D_{ii'} = \{j | P_{ji} < P_{ji'}\} \dots (6)'$$

代替案の最終的な序列化の段階で、 $c_{ii'}$ 、 $d_{ii'}$ の各指標からみた序列を総合化する点では Nijkamp のモデルと同様であるが、このようにインパクトを区別することによって、⊕ インパクト項目間のウエイト、⊖ インパクト項目間のウエイトを個別に求めるだけで代替案の序列化を行うことができる。また、比較する評価項目が等質化されるために、質の異なる項目間でのウエイト設定という難しい問題を避けることができ、ウエイトを同時に設定する必要のある項目数も減少する。

さらに、評価項目を ⊕ と ⊖ のインパクト項目に分けているので、指標 $c_{ii'}$ は代替案 i が代替案 i' に比べてどれだけ優れているかを表わし、指標 $d_{ii'}$ は代替案 i が代替案 i' に対してどれだけ劣っているかを表わしており、これらの指標の意味づけが明確になる。

次に、Nijkamp の Concordance Analysis では各評価項目の重要度に応じて一律にウエイトを設定することが多いが、改良モデルではウエイト

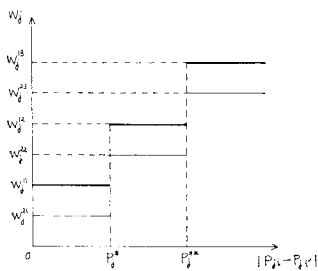


図-4 ウエイト設定の例

はインパクトの大きさによって異なる傾向があるという従来の研究成果¹⁷⁾を踏まえ、評価項目ごとにインパクトに関する基準値を設定し、各代替案のインパクトの大きさや、代替案相互のインパクトの差の大きさを考慮できるようなウエイトを導入する。図-4 にウエイト設定の1つの例を示すが、この例についてのウエイト設定の方法は次のように定式化できる。

まず、2つの代替案を特定の項目について比較する場合、各インパクトがその項目に対してあらかじめ設定した基準値 P_j^0 を満たすかどうかによって、次式のようにウエイトの大きさを変える。

$$\left. \begin{aligned} & (P_{ji} \geq P_j^0) \text{ かつ } (P_{ji'} < P_j^0) \\ & \qquad \qquad \qquad \text{ならば } k=1 \text{ とし, } W_j^{k1} \\ & (P_{ji} \geq P_j^0) \text{ かつ } (P_{ji'} \geq P_j^0) \\ \text{または,} & \\ & (P_{ji} < P_j^0) \text{ かつ } (P_{ji'} < P_j^0) \\ & \qquad \qquad \qquad \text{ならば } k=2 \text{ とし, } W_j^{k2} \end{aligned} \right\} \dots (14)$$

ただし、 $W_j^{k1} > W_j^{k2}$, $l=1, 2, 3$

また、2つの代替案間のインパクトの差を項目ごとに設けた基準値 P_j^* 、 P_j^{**} と比較し、インパクトの差に応じて次の3通りのウエイトを与える。

$$\left. \begin{aligned} & 0 \leq |P_{ji} - P_{ji'}| < P_j^* \quad \text{ならば } l=1 \text{ とし, } W_j^{k1} \\ & P_j^* \leq |P_{ji} - P_{ji'}| < P_j^{**} \quad \text{ならば } l=2 \text{ とし, } W_j^{k2} \\ & P_j^{**} \leq |P_{ji} - P_{ji'}| \quad \text{ならば } l=3 \text{ とし, } W_j^{k3} \end{aligned} \right\}$$

ただし、 P_j^* 、 P_j^{**} : インパクトの差の大きさを区別するための基準値

$$W_j^{k1} < W_j^{k2} < W_j^{k3}, k=1, 2 \dots (15)$$

式 (14) と式 (15) を組み合わせると、1つの項目について6種類のウエイトが設定できるが、このうち条件に合うものを選択して式 (12), (13) の W_j として用いる。このように各代替案のインパクトの大きさを考慮してウエイトを設定することによって、指標 $c_{ii'}$ 、 $d_{ii'}$ において代替案相互のインパクトの大きさの差異をより適切に反映することができる。また、基準値 P_j^0 の導入によって、インパクトの質が低い評価項目を含む代替案と、それ以外の代替案とを区別できる。

なお、上述のウエイト設定においては、インパクトの大きさとの関連を反映できるように便宜的に6種類のウエイトを設定したが、実際にはアンケート調査やインタビュー調査などを実施し、何種類のウエイト設定が妥当であり、インパクトの基準値やウエイトの大きさをいかに設定すべきかを統計的に分析する必要がある。

以上によって指標 $c_{ii'}$ 、 $d_{ii'}$ を求めることができるが、ここではそれらを Nijkamp の Concordance Analysis と同様に、Concordance Matrix $C=[c_{ii'}]$ 、Discordance Matrix $D=[d_{ii'}]$ として整理する。そして最後にこれらの行列を用いて代替案の選好順序を決定するが、その場合 Nijkamp によって提案されている前述の2つの方法を用いることができる。それによって、⊕ インパクト項目による良い面からの代替案の序列と、⊖ インパクト項目による悪い面からの代替案の序列が検討でき、この両者の結果を比較して特定の評価主体からみた代替案の序列を決定できる。

このようにして、各評価主体ごとに代替案の序列が求められるが、異なる評価主体を総合してどの案を最終的に選択するかは意思決定者の判断に委ねられる。

(2) 改良モデルの感度分析

改良モデルによる代替案の序列化に項目間のウエイトの果たす役割は大きい。モデルではウエイトを外生的に与えているが、一般にウエイトの設定には不確実な面も多く、したがって最終的に求められた代替案の序列が必ずしも信頼できるものとはいえない。そこで、ここではウエイトに関する感度分析を行うことによって、得られた代替案の序列の頑強性 (robustness) を検討する。

改良モデルではウエイトを式 (14), (15) に示す6通りに設定したため、次の3つのケースの感度分析が必要となる。

- (I) 任意の W_j^{kl} について $W_j^{kl} \rightarrow \hat{W}_j^{kl} = (1+\beta)W_j^{kl}$ とする場合,
- (II) 任意の P_j^0 について $P_j^0 \rightarrow \hat{P}_j^0 = (1+\beta)P_j^0$ とする場合,
- (III) 任意の P_j^* または P_j^{**} について $P_j^* \rightarrow \hat{P}_j^* = (1+\beta)P_j^*$

または、 $P_j^{**} \rightarrow \hat{P}_j^{**} = (1+\beta)P_j^{**}$ とする場合,

以上の各ケースについて数式展開による検討を行うことも可能であるが、本モデルでは6通りのウエイトを設定しているので式の展開が複雑になり、そこで計算機によるシミュレーションによって感度分析を行う。

上述の感度分析を行うことによって、① 代替案の序列はどの項目のウエイトに対して安定しているか、② どの程度のウエイトの変化が代替案の序列を変化させるか、などの検討ができる。

(3) インパクトの不確実性の考慮

各代替案の実施によるインパクトは一般にかなり不確実な側面があり、このインパクトの不確実性を改良モデルにおいてどのように取り扱うかを述べる。

インパクトの不確実性の対処として、インパクト行列の個々の要素に対して感度分析を行うことも考えられるが、ここでは確率的な考え方を導入して、インパクトがなんらかの確率分布をもって生じると考えた場合に代替案の序列がどのようになるかを検討する。

確率分布としてはインパクトの性格に応じて種々のものが考えられるが、ここでは便宜上分布形として正規分布 $N_{ji}(\mu, \sigma)$ を仮定し、モンテカルロ法を適用して正規分布に従う乱数を発生させることによってインパクトの値を設定する。この場合、各代替案の各インパクトがそれぞれ別箇の平均と分散に従って生じるとして、多数個のインパクト行列を作成する。各インパクト行列に対して改良モデルを適用することによって代替案の序列を作ることができるが、その結果を表-1のように整理する。表の m_i^k は、代替案 i が k 番目の選好順位と

表-1 インパクトの不確実性を考慮した分析結果の集計表

選好順位 代替案	1	-----	k	-----	l
1	m_1^1	-----	m_1^k	-----	m_1^l
-----	-----	-----	-----	-----	-----
i	m_i^1	-----	m_i^k	-----	m_i^l
-----	-----	-----	-----	-----	-----
l	m_l^1	-----	m_l^k	-----	m_l^l

なった回数を示し、この場合、選好順位1位となる回数 m_i^1 の最も大きい代替案が最良となる可能性が最も高い。

4. 定性的評価項目を考慮した場合へのモデルの拡張

3. で構成した評価モデルは、インパクト行列およびウエイトが数値として与えられる場合に適用できるが、状況によってはこれらを数値ではなく、カテゴリーの形で計測する方が適当な場合も考えられる。そこでここでは、インパクトまたはウエイトがカテゴリーとして与えられた場合に適用できるように、3. で構成したモデルを拡張する。

(1) ウエイトがカテゴリーの場合への拡張

ウエイトのカテゴリーを仮に「 $W^{(3)}$:重要である、 $W^{(2)}$:やや重要である、 $W^{(1)}$:あまり重要でない」の3通りとする。インパクトが数値で与えられているものとすれば、指標 $c_{ii'}$ は次の式 (16) として求めることができる。

$$c_{ii'} = W^{(3)} \cdot c_{ii'}^{(3)} + W^{(2)} \cdot c_{ii'}^{(2)} + W^{(1)} \cdot c_{ii'}^{(1)} \dots \dots (16)$$

ただし、

$$c_{ii'}^{(m)} = \sum_{j \in C_{ii'}^{(m)}} \frac{|P_{ji} - P_{j'l}|}{\max_{1 \leq i, i' \leq l} |P_{ji} - P_{j'l}|}, m=1, 2, 3 \dots \dots (17)$$

$C_{ii'}^{(m)}$: 集合 $C_{ii'}$ の要素のうち、そのウエイトのカテゴリーが $W^{(m)}$ に属するものの集合

ここで代替案の序列化の方法として式 (10) の方法を用いると、Concordance Dominance Index c_i は式 (18) によって求めることができる。

$$c_i = W^{(3)} \cdot c_i^{(3)} + W^{(2)} \cdot c_i^{(2)} + W^{(1)} \cdot c_i^{(1)} \dots \dots (18)$$

ただし、

$$c_i^{(m)} = \sum_{i'=1}^I c_{ii'}^{(m)} - \sum_{i'=1}^I c_{i'i}^{(m)}, m=1, 2, 3 \dots \dots (19)$$

また、Discordance Dominance Index d_i についても同様の手順で求めることができる。それらの計算結果は表-2 に示すように整理でき、ウエイトのカテゴリー別に代替案の序列を決定することができる。

表-2 ウェイトがカテゴリーの場合

カテゴリー 代替案	⊕ インパクト項目			⊖ インパクト項目		
	$W^{(3)}$	$W^{(2)}$	$W^{(1)}$	$W^{(3)}$	$W^{(2)}$	$W^{(1)}$
1	$c_1^{(3)}$	$c_1^{(2)}$	$c_1^{(1)}$	$d_1^{(3)}$	$d_1^{(2)}$	$d_1^{(1)}$
⋮						
i	$c_i^{(3)}$	$c_i^{(2)}$	$c_i^{(1)}$	$d_i^{(3)}$	$d_i^{(2)}$	$d_i^{(1)}$
⋮						
I	$c_I^{(3)}$	$c_I^{(2)}$	$c_I^{(1)}$	$d_I^{(3)}$	$d_I^{(2)}$	$d_I^{(1)}$

さらに、⊕ ⊖ の各インパクトの側面からの代替案の最終的な序列化は、次の手順で行うことができる。

- (i) まず、各カテゴリーにおいて選好順位1位の代替案が同じであれば、その案を最良案として選択する。
- (ii) 次に、 $W^{(3)}$ のカテゴリーの各指標 $c_i^{(3)}$ や $d_i^{(3)}$ ($i=1, \dots, I$) の絶対値が他のカテゴリーの指標と比べてかなり大きければ、 $W^{(3)} > W^{(2)} > W^{(1)}$ であることから、 $c_i^{(3)}$ や $d_i^{(3)}$ の比較によって代替案の序列をつけることができる。
- (iii) その他の場合は、ウェイトのカテゴリーをなんらかの方法で数値化する必要がある。ここではウェイトのカテゴリーが各案に共通であることからウェイトの比率と各案の序列との関係を求めることができ、最終的には評価項目の内容を検討することによって適切なウェイトを選び、それに対応する選好順序を選択する。

(2) インパクトの差がカテゴリーの場合への拡張

インパクトの差のカテゴリーを仮に [$P^{(3)}$: インパクトの差が大, $P^{(2)}$: インパクトの差が中, $P^{(1)}$: インパクトの差が小] の3通りとする。この場合、ウェイトが数値で与えられているものとすれば、指標 $c_{ii'}$ は次の式 (20) によって求めることができる。

$$c_{ii'} = P^{(3)} \cdot W_{ii'}^{(3)} + P^{(2)} \cdot W_{ii'}^{(2)} + P^{(1)} \cdot W_{ii'}^{(1)} \dots (20)$$

ただし、

$$W_{ii'}^{(m)} = \sum_{j \in \tilde{C}_{ii'}^{(m)}} W_j, m=1, 2, 3 \dots (21)$$

$\tilde{C}_{ii'}^{(m)}$: 集合 $C_{ii'}$ の要素のうち、インパクトの差のカテゴリーが $P^{(m)}$ に属するものの集合。

また、Concordance Dominance Index c_i は、式 (22) によって求めることができる。

$$c_i = P^{(3)} \cdot W_i^{(3)} + P^{(2)} \cdot W_i^{(2)} + P^{(1)} \cdot W_i^{(1)} \dots (22)$$

ただし、

$$W_i^{(m)} = \sum_{i'=1}^I W_{ii'}^{(m)} - \sum_{i'=1}^I W_{i'i}^{(m)}, m=1, 2, 3 \dots (23)$$

Discordance Dominance Index d_i についても同様の

表-3 インパクトの差がカテゴリーの場合

カテゴリー 代替案	⊕ インパクト項目			⊖ インパクト項目		
	$P^{(3)}$	$P^{(2)}$	$P^{(1)}$	$P^{(3)}$	$P^{(2)}$	$P^{(1)}$
1	$W_1^{(3)}$	$W_1^{(2)}$	$W_1^{(1)}$	$W_1^{(3)}$	$W_1^{(2)}$	$W_1^{(1)}$
⋮						
i	$W_i^{(3)}$	$W_i^{(2)}$	$W_i^{(1)}$	$W_i^{(3)}$	$W_i^{(2)}$	$W_i^{(1)}$
⋮						
I	$W_I^{(3)}$	$W_I^{(2)}$	$W_I^{(1)}$	$W_I^{(3)}$	$W_I^{(2)}$	$W_I^{(1)}$

手順で求めることができ、それらの計算結果は表-3に示すように整理できる。これらの結果を用いて、インパクトの差のカテゴリー別に代替案の序列を決定できる。

さらに最終的な代替案の序列については、先述のウェイトがカテゴリーの場合とほぼ同様に行えばよいが、そのうち (iii) の方法は用いることはできない。この方法によるとインパクトの差のカテゴリーに対して比率を求める必要があるが、同じカテゴリーの中でも案によって考慮する項目が異なるため、それは困難である。そこで、各カテゴリーにおける序列が一致せず、最終的な序列が決められない場合には、次のようなモンテカルロ法に準じる手法を用いる。

まずインパクトの差の各カテゴリーに上限値と下限値を設定し、インパクトの差はそれが属するカテゴリーの範囲内の数値をとるものとして乱数を発生させ、多数個のインパクトの差の行列を設定して各案の序列を決定する。この場合に各カテゴリーには種々の評価項目が含まれており、各カテゴリーに対して1つの分布形を設定することはあまり適切ではないことと、インパクトの差がどのような分布形をとるかはあまり明確ではないため、乱数としては便宜上、各カテゴリーに対して設定した値の範囲で発生する一様乱数を用いる。

(3) ウェイト、インパクトの差がともにカテゴリーの場合への拡張

カテゴリーの設定は (1) と (2) の場合と同様に、ウェイト、インパクトの差のそれぞれについて、 $W^{(m)}$, $P^{(m)}$, $m=1, 2, 3$ の各3通りとする。ウェイトとインパクトの差の両方がともにカテゴリーで与えられる場合には数値を用いた計算はできないので、ここでは各カテゴリーに属する評価項目の数を代替案の序列化の際の指標として用いる。

表-4 に、⊕ インパクト項目についてこの場合の代替案の序列化の手順を示す。

まず、各代替案について、他の案に優越する項目数と優越される項目数を、ウェイトおよびインパクトの差のカテゴリーごとに、表-4(a)~(d) のようにまとめる。

次に、表-4(a) の値から表-4(b) の値を、また表

表-4 ウェイト・インパクトの差とともにカテゴリーで与えられた場合 (⊕ インパクト項目について)

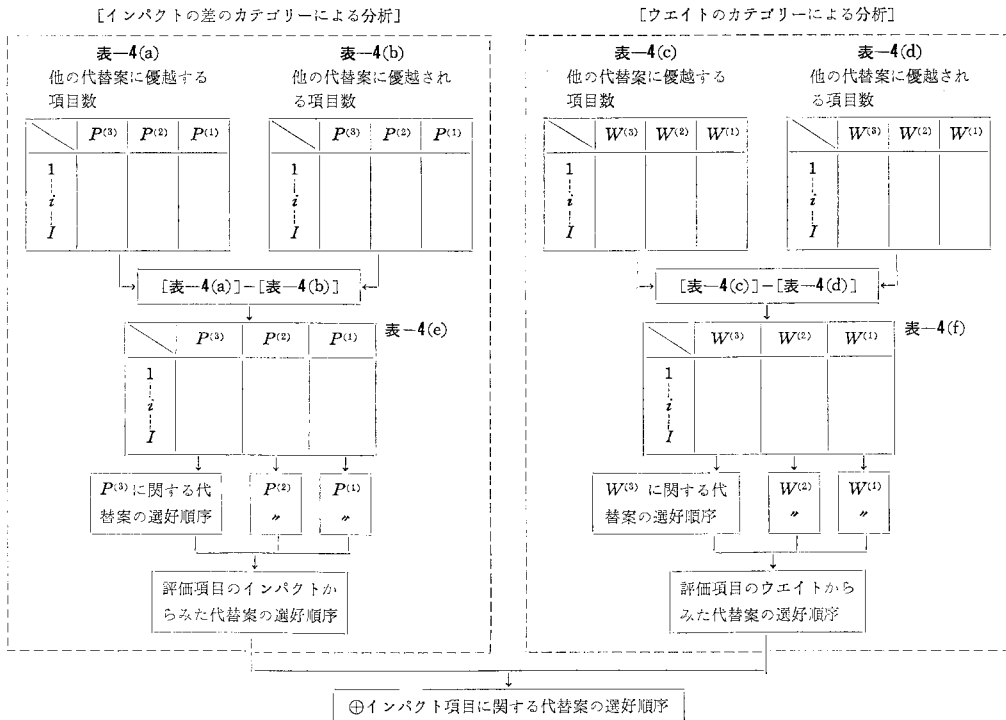


表-4(c) の値から 表-4(d) の値を引くことによって、表-4(e)、表-4(f) を作成する。これらの表は、ウェイト、インパクトの差の各カテゴリーに関して、ある代替案が他の代替案に対して全体として優越する項目数を示している。

さらに、インパクトの差に関しては、表-4(e) の数値によって $P^{(3)}$ 、 $P^{(2)}$ 、 $P^{(1)}$ の各カテゴリーに関する序列を求め、それらをまとめてインパクト面からみた序列を決める。またウェイトに関しては、表-4(f) の数値によって $W^{(3)}$ 、 $W^{(2)}$ 、 $W^{(1)}$ の各カテゴリーに関する序列を求め、それらをまとめてウェイト面からみた序列を決める。

最後に、インパクトの差とウェイトの両側面から求めた序列を総合して、⊕ インパクト項目に関する代替案の序列を決定する。なお、⊖ インパクト項目に関する代替案の序列も同様にして決定するが、最終的には、⊕、⊖ の両インパクトより求めた序列を総合して代替案の序列を決定する必要がある。

5. バイパス道路計画のルート選定に対する適用例¹⁸⁾

ここでは、3. と 4. で構成した評価モデルを、バイパス道路計画のルート代替案の評価に適用した計算例を示す。

(1) 問題設定と前提条件^{19),20)}

大都市近郊の人口 10 万人程度の都市の市街地を通る交通量約 3 万台/日 程度の道路に対するバイパス道路計画を考える。バイパスのルートとしては表-5 に示す 4 つの代替案を考え、その中から最も好ましい案の選択を改良モデルの適用によって検討する。その際、次のようないくつかの前提条件を設ける。

① 評価主体と評価項目について：

評価主体としては、利用者・沿道住民・地域・事業主体の 4 つの立場を考えるが、表-6 に各立場ごとに設定した評価項目とその内容を示す。ただし、評価項目のう

表-5 バイパス道路計画の代替案

代替案 *特性	現 道	Aルート	Bルート	Cルート	Dルート
延長 (km)	20.25	19.5	19.5	20.25	18.4
制限速度 (km/h)	40	60	50	60	50
車線数(両側)	2	4	4	4	4
利用条件	自動車以外も可	自動車専用	自動車以外も可	自動車専用	自動車以外も可
走行位置	全区間上	全区間上	全区間上	全区間上	全区間上
車の出入	自由	インターチェンジのみ	自由	インターチェンジのみ	自由
その他	市街地の中心部を通過している	Aルートと同じ場所通過(全区間)	ルートの半分がトンネルおよび橋梁区間	現在ある道とは別(現国道と別)を一部拡幅して使用	

表-6 バイパス道路計画における評価主体と評価項目

評価主体	項目番号	評価項目	内 容	単 位	イ ン パ ク
自動車利用者	1	走行時間短縮	計画交通量(台) × 走行時間減少(時)	台・時	+
	2	交 差 方 式	1km あたりの出入可能交差点数	交差点数/km	+
	3	地 域 交 通	現道における内内交通量 / 全交通量	%	+
	4	対人事故に対する安全性	集落内を通過する延べkm数	km	+
沿 道 住 民	5	日 照	高架道路に隣接する戸数	戸	-
	6	大 気 汚 染	道路より 200 m 以内の戸数	戸	-
	7	騒 音	道路より 60 m 以内の戸数	戸	-
地 域	8	歩行者の安全性	集落内を通過する延べkm数	km	-
	9	集 落 の 分 断	分断された2つの部分の戸数を a, b (a>b) とするときの S=(a+b)・b/a	(戸)	-
	10	市街地間の連絡	道路沿道の市街地のメッシュ(100m×100m)の数	メッシュ数	+
事 業 主 体	11	通過交通の減少	現道における通過交通量の減少の割合	%	+
	12	現道の混雑解消	現道における交通量の減少の割合	%	+
	13	現道との連絡	1km あたりの現道との接続道路数	道路数/km	+
	14	工 事 費		円	/
	15	維 持 費		円	/

ち工事費や維持管理費などは予算規模などを勘案して事業主体が主體的に判断すべきであり、以下の分析においては事業主体以外の3者についてモデルの適用を行っている。すなわち、最終的なルート選定はこの分析によって得られた各ルートの序列を、事業主体が予算規模などと比較対比して決める必要がある。

② インパクト行列とウエイトについて：

まず、4つのルート案に関するインパクト行列を各ル

表-7 各代替案のインパクト行列

立場	項目番号	代替案				
		A	B	C	D	(E)
自利 動用 車者	1	11 515	9 817	11 522	8 145	10 000
	2	0.21	0.72	0.19	0.26	0.5
	3	56.5	48.7	43.6	23.4	70
	4	0	0.5	0	4.25	0.5
沿道 住 民	5	26	0	20	0	20
	6	329	296	306	988	500
	7	42	38	51	241	100
	8	0	0.5	0	4.25	3
	9	0	47.2	0	203.9	100
地 域	10	49	49	57	98	60
	11	97.2	95.4	95.6	68.8	70
	12	82.6	82.2	76.4	56.5	70
	13	0.21	0.72	0.19	0.26	0.5

ートの特性や条件を考慮して表-7の
ように作成した。

次に、改良モデルでは各評価項目ごとに6通りのウエイトを設定しているが、ここでは標準となるウエイト $W_j^{j^2}$ を過去の調査研究を参考にして便宜上表-8のように設定し、他のウエイトは次の式(24)によって求めた。

$$\left. \begin{aligned} W_j^{j^2} &= 1.2 W_j^{j^2} \\ W_j^{k1} &= 0.9 W_j^{k2}, k=1, 2 \\ W_j^{k3} &= 1.1 W_j^{k2}, k=1, 2 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(24)$$

なお、各項目の充足レベルに相当する基準量 P_j^0 は表-9に示すように設定し、インパクトの差の大きさを区別するための基準量 P_j^* , P_j^{**} は次の式(25)によって求めた。

$$\left. \begin{aligned} P_j^* &= 0.2 \left\{ \max_{1 \leq i, i' \leq I} |P_{ji} - P_{ji'}| \right\} \\ P_j^{**} &= 0.5 \left\{ \max_{1 \leq i, i' \leq I} |P_{ji} - P_{ji'}| \right\} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(25)$$

また、表-7で設定した代替案(E)は、各評価項目のインパクトがすべて基準値 P_j^0 と等しい仮想のルートである。この案は、すべての項目が平均して比較的良好代替案がどの程度の序列になるかを調べることによって、改良モデルの信頼性を検討するために設定したものである。

(2) 改良モデルによる代替案評価の結果とその考察

上述の前提条件に基づいて、自動車利用者・沿道住民・地域の各立場ごとに代替案の序列を決定する。この適用例では、各立場に対して使用する評価項目のインパクトの内容が ⊕, ⊖ のインパクトのいずれかで統一されているため、自動車利用者および地域に対しては、⊕インパクトの項目、沿道住民に対しては、⊖インパクトの項目に関して分析する。

まず、各立場ごとに式(12),(13)によって指標 c_{ij} , および指標 d_{ij} の値を求めた結果を表-10に示す。次に、各立場ごとに式(10),(11)に基づいて指標 c_i および指標 d_i を求めた結果を表-11に示す。

これによると、自動車利用者面では $A \succ (E) \succ C \succ B \succ D$, 沿道住民面では $B \succ C \succ A \succ (E) \succ D$, 地域面では $B \succ A \succ C \succ (E) \succ D$ であり、各案の選好関係をまとめたものが図-5である。この図において原点0に近い案ほどどの立場からみても好ましい案であ

表-8 各評価項目に対して標準となるウエイト

項番号	$W_j^{j^2}$
1	0.42
2	0.19
3	0.18
4	0.21
5	0.19
6	0.13
7	0.24
8	0.17
9	0.27
10	0.23
11	0.27
12	0.31
13	0.19

表-9 各評価項目に対する基準値

項番号	P_j^0
1	10000
2	0.5
3	70
4	0.5
5	20
6	500
7	100
8	3
9	100
10	60
11	70
12	70
13	0.5

表一〇 Concordance Matrix C および Concordance Matrix D の計算結果

[自動車利用者の立場 (C)]						[沿道住民の立場 (D)]						[地域の立場 (C)]					
	A	B	C	D	(E)		A	B	C	D	(E)		A	B	C	D	(E)
A	—	0.331	0.056	0.971	0.211	A	—	0.261	0.056	0.251	0.053	A	—	0.020	0.094	0.766	0.435
B	0.241	—	0.269	0.778	0.079	B	0.081	—	0.081	0.000	0.000	B	0.241	—	0.320	0.954	0.490
C	0.001	0.302	—	0.917	0.212	C	0.010	0.176	—	0.161	0.000	C	0.034	0.036	—	0.648	0.344
D	0.016	0.000	0.023	—	0.000	D	1.055	0.960	1.046	—	0.583	D	0.320	0.304	0.277	—	0.196
(E)	0.200	0.133	0.281	0.890	—	(E)	0.365	0.452	0.359	0.161	—	(E)	0.199	0.062	0.162	0.327	—

表一〇 指標 C_i および D_i の計算結果

立場	代替案	A	B	C	D	(E)
自動車利用者	C_i	1.11	0.60	0.80	-3.52	1.00
沿道住民	D_i	-0.89	-1.69	-1.20	3.07	0.70
地域	C_i	0.52	1.58	0.21	-1.59	-0.72

沿道住民面については、各評価項目のウエイトがほぼ同じ大きさであるため、全体的に良いインパクトの数値をもつ代替案 B が最上位にランクされ、ほとんどの項目について最低のインパクトの値をもつ代替案 D が最下位になっている。

③ 地域面に関する結果の考察：

地域面については各評価項目のウエイトはほぼ同程度の値である。代替案 D は項目 ⑩ については大きいインパクトの値をとっているが、項目 ⑪ と ⑫ において他の案に対して大きく劣るため最下位となっている。また代替案 A と B はインパクトの数値は項目 ⑩, ⑪, ⑫ ではほぼ同じであるが、項目 ⑬ について大差があるため、指標 C_i の値は代替案 B の方がはるかに大きくなっている。

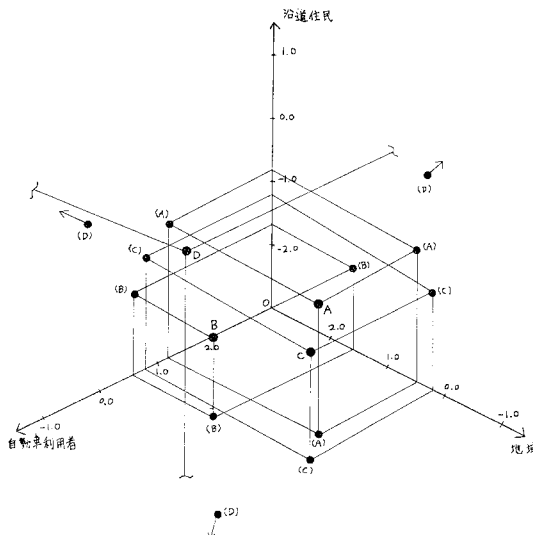
以上、自動車利用者・沿道住民・地域の各立場における代替案の選好順序の考察を行ったが、各立場とも各評価項目のウエイトやインパクト行列の数値からみて、無理のない代替案の選好順序となっており、改良モデルにより妥当性のある代替案の序列化が可能であると考えられる。

(3) 改良モデルの感度分析の結果とその考察

一般に評価項目のウエイトは価値観や環境の変化によって影響を受けやすく、一意的に固定して考えることは好ましくない。そこでここでは、評価項目のウエイトの変化によって、上で求めた代替案の序列がどのように変化するかを検討する。この適用例では各評価項目のウエイトを式 (24), (25) によって設定しているが、この際に各式の係数やインパクトの基準値について一定の数値を仮定している。そこで感度分析は各評価項目ごとにこれらの仮定した数値について行うものとし、次の 4 つのケースを考える。

- (i) W_j^{20} が変化する場合
- (ii) 式 (24) の係数 (AK, BK, CK とする) が変化する場合
- (iii) 基準値 P_j^0 が変化する場合
- (iv) 式 (25) の係数 (DK, EK とする) が変化する場合

これらの各ケースについて感度分析を行った結果を表一〇に示す。代替案の序列に大きい影響があるのは、



図一〇 評価空間における各代替案の関係

る。よって、案 C と案 D は、案 A と案 B よりも劣っていること、案 A と案 B については自動車利用者の立場を重視すれば案 A が選択され、沿道住民や地域の立場を重視すれば案 B が選択されやすいことなどがわかる。最終的にどの案を選択するかは立場間のウエイトに依存し、その判断は意思決定者に委ねられる。

次に、各立場における代替案の選好順序を考察し、改良モデルの妥当性を検討する。

① 自動車利用者面に関する結果の考察：

自動車利用者面については、評価項目 ① の走行時間短縮のウエイトが大きいいため、このインパクトの数値の大きい代替案が上位にランクされている。また、各代替案のインパクトの数値にばらつきがあるので、平均的に比較的良好インパクトの値をもつ代替案 (E) が上位となっている。代替案 D は他の案と比較して明らかに劣っており、最下位にランクされている。

② 沿道住民面に関する結果の考察：

表-12 感度分析の計算結果

立場	評価項目 番号	項目内容	(i)の場合 W_j^{22}	(ii)の場合			(iii)の場合	(iv)の場合	
				AK	BK	CK	P_j^0	DK	EK
自動車利用者	1	走行時間短縮	◎	×	×	×	○	×	×
	2	交差方式	◎	×	×	×	×	×	×
	3	地域交通	◎	×	×	×	×	×	×
	4	対人事故の生じ易さ	○	×	×	×	×	×	×
沿道住民	5	日照	○	×	×	×	×	×	×
	6	大気汚染	×	×	×	×	×	×	×
	7	騒音	×	×	×	×	×	×	×
	8	歩行者の安全	×	×	×	×	×	×	×
	9	集落の分断	○	×	×	×	×	×	×
地域	10	市街地間の連絡	○	×	×	×	×	×	×
	11	通過交通の減少	○	×	×	×	×	×	×
	12	現道の混雑解消	○	×	×	×	×	×	×
	13	現道との連絡	○	×	×	×	×	×	×

(注) ◎……設定値の近傍で序列の変化があるもの
 ○……設定値を大きく変えた時にのみ序列の変化があるもの
 ×……序列の変動が生じないもの

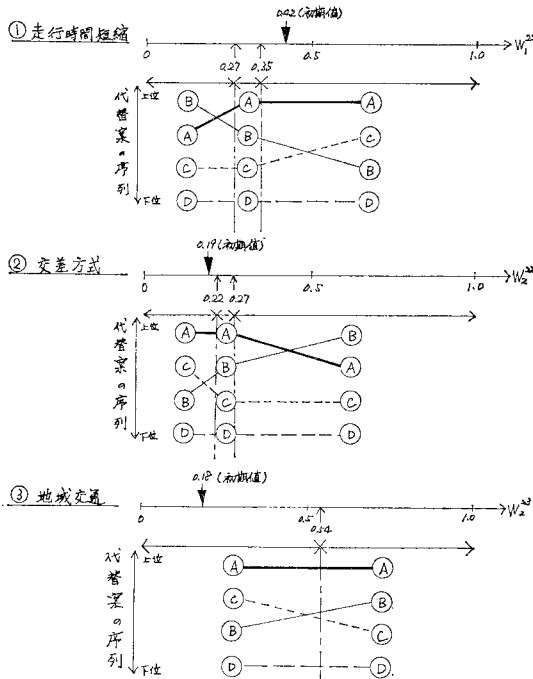


図-6 感度分析の計算結果

自動車利用者の立場で走行時間短縮・交差方式・地域交通の各評価項目の標準となるウエイト W_j^{22} を変化させた場合である。また、沿道住民や地域の立場からみた代替案の序列は、ウエイトの変化に対してある程度安定している。

そこで、上述の3つの評価項目のウエイトに関してより詳しく検討する。図-6は各項目について、ウエイトの変化と代替案の序列との関係を示すものである。たとえば、走行時間短縮の項目では、ウエイトが初期の設定

表-13 インパクトの分散

立場	評価項目	代替案			
		A	B	C	D
自動車利用者	1	490 000	422 500	562 500	302 500
	2	0.01	0.04	0.01	0.06
	3	225	196	101	134
	4	0.56	0.25	0.49	0.0
沿道住民	5	36.0	0.0	9.0	0.0
	6	421	284	264	2,500
	7	17	37	124	2,680
	8	0.01	0.09	0.009	0.13
	9	0.02	100.3	0.04	402.5
地域	10	90.25	81.38	110.24	84.38
	11	8.44	16.25	9.49	64.47
	12	100.3	81.4	126.5	182.4
	13	0.01	0.09	0.009	0.13

値 0.42 から 0.27 以下に変化すると代替案 B が序列 1 位となる。この図から各評価項目とも選好順位 1 位の代替案については、初期のウエイトの近傍では序列に変化はなく、ウエイトの変化は最良代替案の選択に対して大きな影響を及ぼさないことがわかる。

(4) インパクトの不確実性を考慮した評価の結果とその考察

ここでは 3.(3) で述べた方法によってインパクトの不確実性を考慮した場合の代替案の序列を検討する。モンテカルロ法を適用するためには、各代替案の各インパクトに対して平均値と分散を設定する必要があるが、ここでは表-7 の値を正規分布の平均値として与え、分散は表-13 に示す値を設定した。これらの設定に基づいてモンテカルロ法によって正規乱数を発生させ 100 個のインパクト行列を作成し、各行列に対して改良モデルを適用して代替案の序列化を行った。その結果、各代替

表-14 モンテカルロ法による分析の集計結果

立場	代替案	n 番目の選好順位となった回数			
		1 位	2 位	3 位	4 位
自動車利用者	A	54	29	17	0
	B	23	30	47	0
	C	23	41	36	0
	D	0	0	0	100
沿道住民	A	1	14	85	0
	B	99	1	0	0
	C	0	85	15	0
	D	0	0	0	100
地域	A	24	38	27	11
	B	66	28	6	0
	C	10	26	45	19
	D	0	8	22	70

表-15 不確実性を考慮した代替案の序列化

立場	1 位	2 位	3 位	4 位
自動車利用者	A	C	B	D
沿道住民	B	C	A	D
地域	B	A	C	D

(注)：□ は強い序列 (回数 50 以上) を示す

表-16 インパクトの差およびウェイトのカテゴリー (自動車利用者の場合)

(1) インパクトの差のカテゴリー

$i \setminus i'$	A	B	C	D
A	/	○	-	◎
B	-	/	-	○
C	△	○	/	◎
D	-	-	-	/

$i \setminus i'$	A	B	C	D
A	/	-	△	-
B	◎	/	◎	◎
C	-	-	/	-
D	△	-	△	/

$i \setminus i'$	A	B	C	D
A	/	△	○	◎
B	-	/	△	◎
C	-	-	/	◎
D	-	-	-	/

$i \setminus i'$	A	B	C	D
A	/	△	-	◎
B	-	/	-	◎
C	-	△	/	◎
D	-	-	-	/

(2) ウェイトのカテゴリー

項目 1	項目 2	項目 3	項目 4
$W_1 = W^{(3)}$	$W_2 = W^{(2)}$	$W_3 = W^{(2)}$	$W_4 = W^{(2)}$
重要	やや重要	やや重要	やや重要

注) ◎: インパクトの差が大, ○: インパクトの差が中
 △: インパクトの差が小, -: i 案は i' 案と同等か劣る
 なお, これらのカテゴリーは表-7, 表-8 より, 次の基準で設定した.
 $0 \leq (P_{ji} - P_{ji'}) / \max(P_{ji} - P_{ji'}) < 0.3 \dots \triangle$; $0 \leq W_j < 0.15 \dots W^{(3)}$
 $0.3 \leq \dots$; $< 0.6 \dots \circ$; $0.15 \leq W_j < 0.25 \dots W^{(2)}$
 $0.6 \leq \dots$; $\leq 1.0 \dots \circ$; $0.25 \leq W_j \leq 1.0 \dots W^{(2)}$

案が各順位に序列化された回数を表-14 に示す。さらに、この表を用いて代替案の選好順序を求めたものが表-15 である。これらの分析によって、沿道住民の立場は安定しているが、自動車利用者および地域の立場ではインパクトの不確実性によって代替案の序列が変化する場合が多く、序列に安定性を欠くことがわかる。

以上の (2), (3), (4) の分析結果を総合すると、自動車利用者面においては、ウェイトとインパクトの両面において選好順位が 2 位以下の代替案に多少不安定な要因が残るが、1 位の代替案はほぼ安定しており、自動車利用者面での代替案 A の選択は問題ではない。また、沿道住民面では、ウェイト・インパクトの両面において代替案の選好順序は安定しており、 $B > C > A > D$ の序列を最終的な選好順序として採用できる。最後に地域面では、序列はウェイトに関してはかなり安定しているが、インパクトの変化に対しては多少不安定な面がある。しかし、選好順位 1 位の代替案 B に関してはインパクト面でもかなり安定しており、案 B を地域面での最良案として選択しても良いと考えられる。

(5) 定性的評価項目を考慮した場合の評価の結果とその考察

ここでは、(1) で説明したバイパス道路計画の問題をウェイトまたはインパクトの差がカテゴリーで与えられる問題に設定しなおし、4. で構成した評価モデルを適用する。

4. で述べたように、ウェイトまたはインパクトの差がカテゴリーとして与えられる場合として、次の 3 つのケースが考えられる。

- (i) ウェイトがカテゴリーの場合
- (ii) インパクトの差がカテゴリーの場合
- (iii) ウェイト・インパクトの差が共にカテゴリーの場合

ここでの適用例では、上記の各ケースのうち (i), (ii) については自動車利用者の立場に関して、また (iii) に

ついては多くの項目を用いる方が好ましいので、自動車利用者と地域の 2 つの立場を合わせた場合について検討する。

カテゴリーは、ウェイト・インパ

クトの差のそれぞれについて 3 段階に分け、表-7 と表-8 に示す数値をもとにして表-16 のように設定した。

① ウェイトがカテゴリーの場合：

まず、自動車利用者に関して、式 (16)~(19) を用いてウェイトのカテゴリー別に Concordance Dominance Index $c_i^{(m)}$, $i=1, 2, 3$ を求めたが、その結果を表-17 に示す。自動車利用者の立場では $W^{(1)}$ のカテゴリーに属する項目はなく、 $W^{(3)}$ に含まれる項目による序列では $C > A > B > D$ となり、 $W^{(2)}$ に含まれる項目による序列では $B > A > C > D$ となった。よって、代替案 D は明らかに棄却すべきであるが、A, B, C の各案のうちどれを選択すべきかは明確ではない。

そこで、 $W^{(3)}$, $W^{(2)}$ がどのような比率のとき、どのような選好順序となるかを求めると、 $0.0 \leq W^{(2)}/W^{(3)} < 1/89$ のとき $C > A > B > D$, $1/89 < W^{(2)}/W^{(3)} < 101/1572$ のとき $A > C > B > D$, $101/1572 < W^{(2)}/W^{(3)} < 503/608$ のとき $A > B > C > D$, $503/608 < W^{(2)}/W^{(3)} \leq 1.0$ のとき $B > A > C > D$ となる。このことから、 $W^{(3)}$ に含まれる各項目を極端に重視する場合には、 $C > A > B > D$ の序列となるが、 $W^{(2)}$ のウェイトを大きくするにつれて $A > C > B > D$, $A > B > C > D$, $B > A > C > D$ と序列が変化する。

② インパクトの差がカテゴリーの場合：

自動車利用者について、式 (20)~(23) を用いてインパクトの差のカテゴリー別に $W_i^{(m)}$, $m=1, 2, 3$ を求

表-17 ウェイトがカテゴリーで与えられた場合 (自動車利用者の立場)

代替案	カテゴリー	$W^{(3)}$	$W^{(2)}$	$W^{(1)}$
A		1.499	1.726	
B		-0.513	4.158	
C		1.507	1.014	
D		-2.493	-6.898	

表一18 インパクトの差がカテゴリーで与えられた場合（自動車利用者の立場）

代替案	カテゴリー	$P^{(3)}$	$P^{(2)}$	$P^{(1)}$
A		0.62	0.6	-0.03
B		0.96	-0.42	-0.42
C		0.81	0.24	0.07
D		0	-0.42	0.38

表一19 モンテカルロ法による分析結果

代替案	k 番目の選好順位となった数			
	1 位	2 位	3 位	4 位
A	83	17	0	0
B	0	4	96	0
C	17	79	4	0
D	0	0	0	100

A \succ C \succ B \succ D の序列が最も標準的なものと考えられ、これを自動車利用者からみた最終的な序列として採用できる。

- ③ ウェイト・インパクトの差がともにカテゴリーの場合：
評価方法の性格上、評価項目の数が多い方が好ましい

めたが、その結果を表一18に示す。この表によってカテゴリー別に代替案の序列が求められるが、これらの序列すべてを考慮した総合的な序列は必ずしも明確ではない。そこで、4.(2)で述べた方法に基づいてモンテカルロ法を用いて代替案の序列を検討したが、その結果を表一19に示す。この表より、

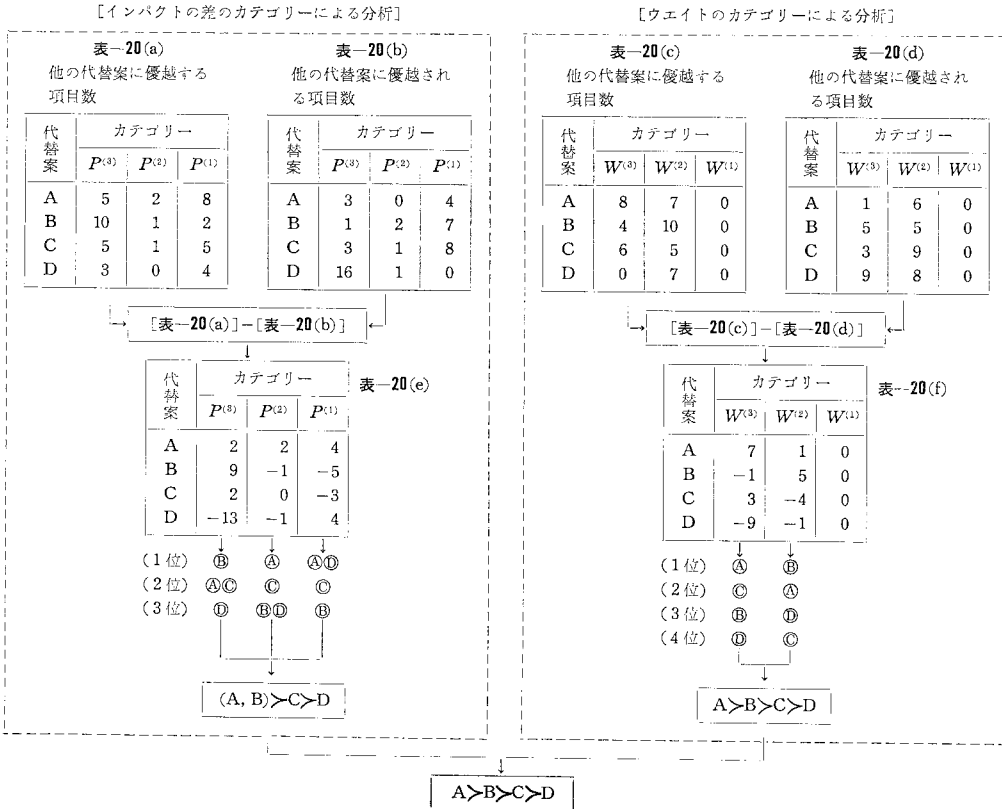
ここで、ここでは便宜的に \oplus インパクト項目をすべて用いるものとし、自動車利用者と地域の各立場の評価項目を同時に用いて分析を行う。表一4に示した手順に基づいてウェイト、およびインパクトの差の各カテゴリーに関して代替案の序列化を行った結果を表一20に示す。

まず、各代替案が他の案に対して優越する項目数を表一20(a),(c)に示し、各代替案が他の案に優越される項目数を表一20(b),(d)に示す。次に、表一20(a)の項目数から表一20(b)の項目数を引くことによって表一20(e)を作成し、表一20(c)の項目数から表一20(d)の項目数を引くことによって表一20(f)を作成した。これによって次のようにカテゴリー別に代替案の序列を求めることができる。

表一20(e)によると、インパクトの差のカテゴリーに着目した代替案の序列は、 $P^{(3)}$ について B \succ (A, C) \succ D, $P^{(2)}$ について A \succ C \succ (B, D), $P^{(1)}$ について (A, D) \succ C \succ B が得られる。そこで項目数を考慮して最終的な序列を検討したが、代替案 A と代替案 B の序列がつけがたいため、(A, B) \succ C \succ D を最終的な序列とした。

また、表一20(f)によると、ウェイトのカテゴリーに着目した代替案の序列は、 $W^{(3)}$ について A \succ B \succ C \succ B

表一20 インパクトの差およびウェイトがともにカテゴリーの場合



$\succ D, W^{(2)}$ について $B \succ A \succ D \succ C$ が得られる。そこで項目数を考慮してこれらの結果を総合し、 $A \succ B \succ C \succ D$ をウエイトのカテゴリーからみた最終的な序列とした。

最後に、ウエイトとインパクトの両面を考慮した最終的な序列は、 $(A, B) \succ C \succ D$ と $A \succ B \succ C \succ D$ の結果から、 $A \succ B \succ C \succ D$ が妥当と考えられる。

6. 結 語

本研究では、まず、従来の代替案評価のための手法を整理し、比較検討することによって多基準分析の特徴を明らかにした。次に、多基準分析に基づくアプローチのうち代表的な手法である P. Nijkamp の Concordance Analysis に着目し、その問題点を検討するとともに、その改良モデルを構成し、いくつかの検討や拡張を行った。

本研究で構成した改良モデルの特徴をまとめると、次のとおりである。

(1) 評価主体を明示的に考慮したうえで、評価項目を \oplus と \ominus のインパクト項目に分け、各インパクト面から分析することを前提とした。このようにインパクト内容を区別することによって、ウエイト設定の際に比較する評価項目が等質化されるために、質の異なる項目間でのウエイトづけという困難な問題を避けることができ、しかもウエイトを同時に設定すべき項目数が減少するため、ウエイトの設定がかなり容易となる。

(2) 評価指標について、Nijkamp の Concordance Analysis ではウエイトとインパクトの差を別々の指標で考慮していたが、改良モデルではそれらを同時に考慮できる指標を定義した。また、インパクトの内容を \oplus と \ominus に区別したため、 \oplus インパクト項目では代替案の良さを表わす指標、 \ominus インパクト項目では代替案の悪さを表わす指標となり、Nijkamp の場合には必ずしも明確でなかった指標の意味が明確となった。

(3) 評価指標で用いるウエイトとして、インパクトの大きさを考慮できるウエイトを導入した。これによって代替案間の差異が明確となるだけでなく、質の低い評価項目を含む代替案を他の案とはっきりと区別することが可能となった。

(4) 改良モデルに対してウエイトに関する感度分析とインパクトの不確実性を考慮した分析を検討したが、これらの方法を改良モデルと併用することによって、より精度の高い代替案の序列を求めることができる。

(5) 従来の評価手法では、評価情報を数値として与えることができない場合には分析が困難となることが多いが、本研究ではウエイトやインパクトの差がカテゴリー

一として与えられた場合も扱えるようにモデルを拡張しており、広範囲の問題に対してもモデルを適用できる。

このように改良モデルはいくつの特徴をもつが、本研究ではこのモデルをバイパス道路計画のルート選定問題に適用してほぼ妥当な結果を得ており、モデルの有効性は十分に検証されたと考えられる。

しかし、この改良モデルを現実の事業計画の意思決定にとってより有効なものとするためには、なお次のような課題が残されている。

(1) 改良モデルではウエイトの設定はかなり容易となるが、ウエイトを外生的に与える点では Nijkamp のモデルと変わりはなく、また代替案の序列化の手続きから、代替案間の優位性と評価項目間のトレードオフとの関連を直接的に把握することは容易ではない。

(2) 改良モデルによる評価結果は、順序尺度上での代替案の序列化であり、そのため代替案実施に必要な投資額と各案の好ましさを直接関連づけることはできない。

(3) ウエイトに関して基準値 P_j^0 の設定などいくつかの仮定を設定しているが、実際の適用にあたってはそれらの妥当性を十分に吟味する必要がある。

(4) \oplus と \ominus の各インパクト面からの序列を総合する方法や、複数の評価主体による序列を総合する方法についても、さらに検討する必要がある。

(5) 定性的分析は手法自体がかなり大まかなものであり、問題のフレーム設定などに対しては有効であると思われるが、実際に定性的分析を行うためにはより精度の高い手法を必要とする。

参 考 文 献

- 1) 戸田常一：総合的な代替案評価手法の分類と考察，土木学会関西支部講習会テキスト「都市施設計画の総合評価と住民参加」，土木学会関西支部，1979。
- 2) たとえば Sassone, P.G. and W.A. Schaffer: Cost-Benefit Analysis, A Handbook, Academic Press, 1978.
- 3) 森杉寿芳・岡本憲之：環境悪化の社会的費用に関する測定方法，オペレーションズ・リサーチ，Vol. 22, No. 1, 1977.
- 4) Klassen, L.H. and T.H. Botterweg: Evaluating a Socio-Economic and Environmental Project, Papers of the Regional Science Association, Vol. 33, 1974.
- 5) Lichfield, N., Kettle, P. and M. Witbread: Evaluation in the Planning Process, Pergamon Press, Oxford, 1975.
- 6) Bishop, A.B.: An Approach to Evaluating Environmental, Social, and Economic Factors in Water Resources Planning, Water Resources Bulletin, Vol. 8, No. 4, 1972.
- 7) Hill, M.: Planning for Multiple Objectives, Monograph Series, No. 5, Regional Science Research Institute, Philadelphia, 1973.
- 8) たとえば English, M.J. (ed.): Cost-Effectiveness, Wiley, New York, 1968.

- 9) 林知巳夫他編：多次元尺度解析法，サイエンス社，1976.
- 10) 矢島 隆：マルチ・オブジェクティブの評価と意思決定(上)(下)，地域開発，1977.7 および 8.
- 11) たとえば Keeney, R.L. and H. Raiffa : Decisions with Multiple Objectives, Preferences and Value Tradeoffs, Wiley, 1976.
- 12) Nijkamp, P. and A.V. Delft : Multi-Criteria and Regional Decision-Making, Studies in Applied Regional Science, Vol. 8, Leiden, 1977.
- 13) 12) と同じ
- 14) Nijkamp, P. : Theory and Application of Environmental Economics, Studies in Regional Science and Urban Economics, Vol. 1, North-Holland, 1977.
- 15) 阿部宏史・天野光三・戸田常一：多基準分析に基づく計画代替案の評価モデル，第1回土木計画学研究発表会講演集，土木学会，1977.
- 16) 戸田常一・阿部宏史・中川 大：Concordance Analysis にもとづく計画代替案評価のためのモデル構成，關西支部年次学術講演会講演概要，土木学会關西支部，1979.
- 17) 安井勝史：都市活動立地の評価要因分析に関する実証的研究，京都大学卒業論文，1980.
- 18) 15) と同じ
- 19) 近畿地建道路計画第二課：道路計画の評価システムに関する調査報告書(前編)，建設省近畿地方建設局，1975.
- 20) 近畿地建道路計画第二課：道路計画の評価システムに関する調査報告書(後編)，建設省近畿地方建設局，1976.

(1979.8.14・受付)