

第2章 多基準分析の概要

近年、日本の公共事業に関しては費用便益分析を中心とする評価手法をそのプロジェクト実施の是非の評価に用いている。費用便益分析は事業による効果を貨幣価値で計測し、プロジェクトに要する費用との関係からプロジェクトの効率性を評価するものである。しかし、効果の貨幣価値での計測において、技術的な問題からすべての効果を貨幣価値で計測することは困難であり、その様な効果に特化したプロジェクトを評価することができないといった課題が指摘されている。

このような状況に対して、プロジェクトにより発生する複数の効果を、それぞれの効果自体の尺度で基準化し、場合によってはそれらを何らかの方法で統合し、評価する手法が多基準分析である。

本章では多基準分析の一般的な評価プロセスを概観したのち、その利点と留意点について検討し、多くのバリエーションが存在する多基準分析の諸手法を紹介する。

2-1 多基準分析の概要

(1) 多基準分析の評価プロセス

多基準分析の種類は多様であるが、イギリスで策定された狭義の多基準分析に焦点をあてた多基準分析マニュアルによると、一般的には以下の手順をふむものと紹介されている。

＜イギリス・多基準分析マニュアルにおける手順＞

1) 意思決定の状況の確立＝評価範囲の特定化

なぜ多基準分析を実施するのか、意思決定者は誰か、その他のキープレイヤー¹は誰なのか、を統一した見解として持つことがこの段階では必要となる。またプロジェクトの目的の明確化もあわせて実施する。

2) 評価対象となる代替案を列举（定義）

プロジェクトの代替案を選別して、列举する。これはこの先の手続きを簡略化するために、重要な作業である。

3) 目標とクライテリア²を定義

各代替案の結果（効果）について評価するためにクライテリアを設定する。

第一段階として、考えられるクライテリアを列举する。

第二段階として、クライテリアをグループ化する。グループ化することで、クライ

¹ 「意思決定にかかわる関連主体」のこと。

² 「評価項目」のこと。

テリヤが適切なものであるかの確認、及び、ウェイト付けの計算プロセスが簡単になる。さらに主要な目標間のトレード・オフ³などに関して、代替案がどのように影響するかといった高いレベルからの視点を持つことが可能になる。

第三段階として、クライテリヤを評価することにより、用いるクライテリヤを決定する。クライテリヤの評価は完全性、重複性、操作性、独立性、二重計算の有無、数、インパクトなど、多様な面から実施されることが望ましい。なお、適切な意思決定を行うためには、クライテリヤの数は適度に少ないことが望ましく、6 個から 20 個が一般的である。

これまでの分析についてはすべての多基準分析について共通であるが、以下で紹介されるスコア⁴付けやウェイト⁵付けを実施しない場合は以下の手順は省略される。

4) スコア付け

各代替案のクライテリヤに対する効果（成果）を分析、それをもとに、クライテリヤごとにスコア付けを実施、そののち、各スコアの一貫性を確認する。

5) クライテリヤに対してウェイトを設定

意思決定の際の相対的重要度に応じて、各クライテリヤにウェイトを設定。

6) 総合評価値の算出

ウェイトとスコアを代替案ごとに統合することで、各代替案の総合評価値を算出。

7) 結果の分析検討

各代替案の総合評価値をもとに最も望ましい案を選定する。

8) （必要に応じ）感度分析を実施

ウェイト付けや選好が、代替案の順序付けに関わっているかどうかを検討するために、感度分析を実施。

上記の多基準分析の評価プロセスにおいても第 1 章で定義した「広義の多基準分析」と「狭義の多基準分析」を確認することができる。すなわち、指標の統合等を実施せず、評価者がクライテリヤごとの評価結果を勘案して判断する場合が「広義の多基準分析」であり、対象とする指標などをスコア付けやウェイト付けを経て数値化し、統合し、評価を行

³ 「複数の条件が同時にみたすことのできないような関係」のこと。

⁴ 「評点」のこと。

⁵ 「重み」のこと。

う場合を「狭義の多基準分析」ということができる。

評価プロセスと広義・狭義の違いを取りまとめたものが以下の図 1 のフロー図になる。

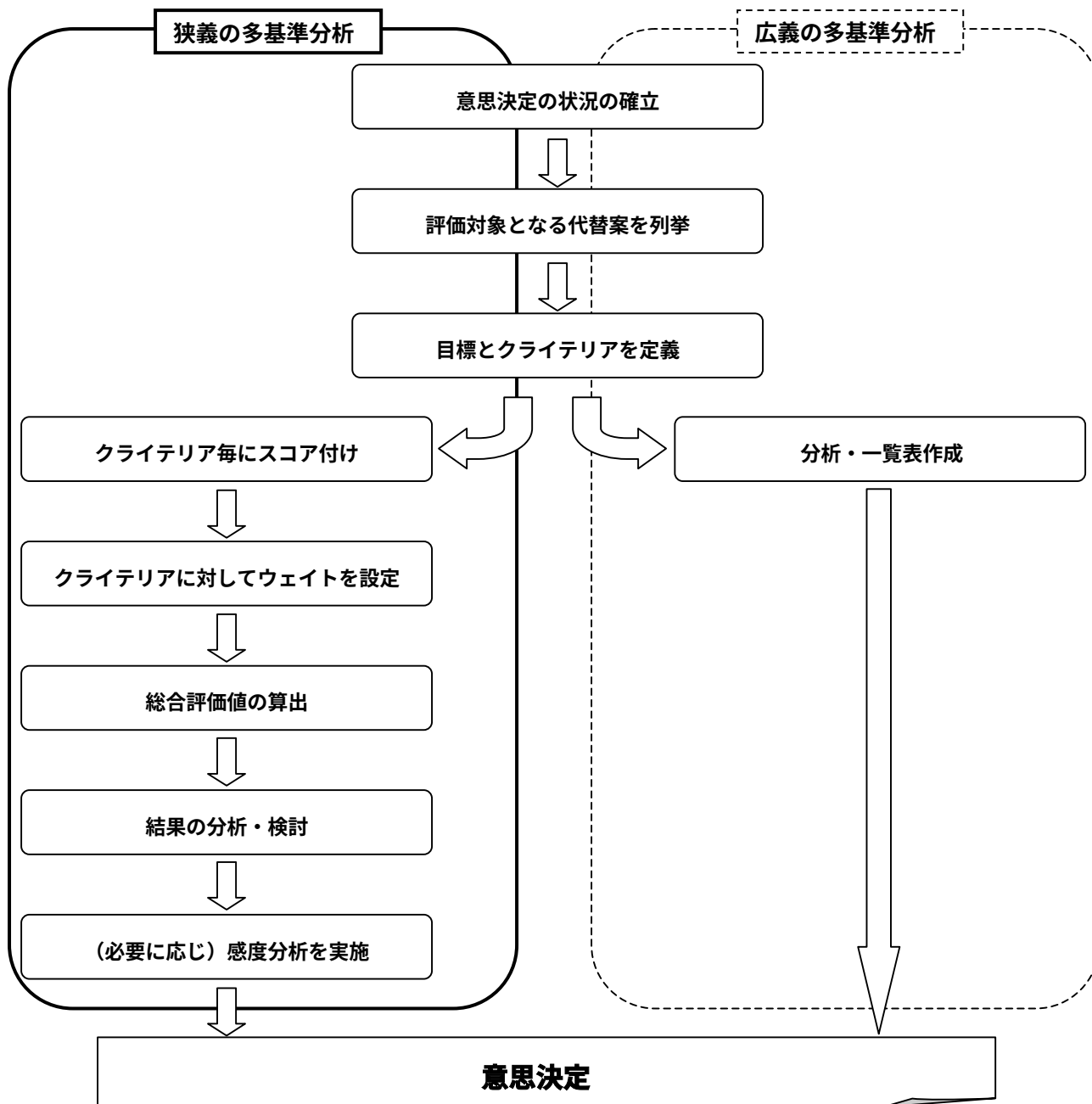


図 1 多基準分析の評価プロセスのフロー図⁶

⁶ この図における狭義の多基準分析はイギリスの多基準分析マニュアルにおける紹介に基づき、広義の多基準分析はイギリス・オランダでのヒアリングに基づくものである。

(2) 多基準分析の利点

多基準分析の最大の利点は、広義・狭義の多基準分析ともに、事業採択の判断に際しての有用な情報をとりまとめることができることにある。プロジェクトの効果をそれ自体の次元（単位）で表現できるため、関連する様々な効果、つまり量的効果、質的效果、貨幣的效果、非貨幣的效果等をすべて同時に考慮に入れることができる受容力（Acceptability）があるといえる。すなわち、多基準分析は多様な目的を取り扱い、それらを総合的に判断することができる手法であり、現実のプロジェクトのもつ多様な目的と多様な効果をより忠実に評価に反映することができるのである。

意思決定に関しては、広義の多基準分析においては代替案間の優劣が数値等で明確にされない分、意思決定者の裁量の範囲が広がるという特徴がある。一方、狭義の多基準分析では意思決定者の裁量が狭くなる傾向があるが、意思決定のプロセスが明確になるという特徴があるといえる。

(3) 多基準分析の留意点

広義の多基準分析においては意思決定者の裁量が大きい分、意思決定者が変わると結果が大きく変わる可能性があることが留意点である。

また狭義の多基準分析は分析作業が複雑であり、操作が難しく、場合によっては専門家が立ち入ることが必要となる。また費用便益分析のように単純で分かりやすいものでもなく、ウェイト付けに関する合意形成のプロセスが困難であると同時にウェイト付けの際に恣意性が懸念されること、項目の網羅的な評価に係る作業量が多く、評価に時間を要するといったことに留意する必要がある。

今回実施したヒアリングにおいては、中立的なコンサルタントの採用、複数の専門家による協議の上でのウェイト付け、及び、それらの公表などがこれらへの対応策として挙げられた。

2-2 多基準分析の扱う指標の分類

多基準分析の手法は、様々なものが考案され、現在も研究が進められている。

多基準分析手法を分類する場合、用途、分析対象、手順の主な特徴など、様々な分類基準が考えられる。このうち、本節では分析対象についての記述を行い、次の 2-3 において、使用されている様々な多基準分析の手法についての概略的な説明を行う。

多基準分析が扱う指標は、1-3 で述べた通り、次の種類に分類できる。

表 3 多基準分析が扱う指標の種類

指標の特徴	指標の種類	指標例
貨幣価値で把握できるもの	定量	時間の節約、事後減少
貨幣価値での把握は困難であるが、数量として把握できるもの	定量	雇用増大（就業者数）、大気汚染
定性的評価にとどまるもの	定性	景観、利用の快適性

ここでは、数量として把握できる（上 2 つの）クライテリアを定量的クライテリア、数値として把握できないものを定性的クライテリアと呼ぶ。

次節の 2-3 における各手法の説明の際に、各手法が扱えるクライテリアの種類を記述する。

2-3 多基準分析手法の概要

以下では代表的な 12 種類の多基準分析の手法を紹介する。これらの各手法のうち、最初に紹介するトレード・オフ分析と二番目に紹介する目標達成マトリックスは広義の多基準分析であり、その他は狭義の多基準分析である。また、日本においては 10 番目に紹介する「階層分析法 (AHP)」の研究が進んでいるといえる。例えば道路投資の評価に関する指針検討委員会による、「道路投資の評価に関する指針 (案) 第 2 編 総合評価」⁷では、道路投資の事業採択の際に AHP を実施することで、有用な判断情報を取りまとめることができると評価されている。また AHP 以外では、3 番目に紹介する「加重総和」や 11 番目に紹介する「コンコーダンス法」などが代表的な手法として挙げられる。また、ファジー集合理論により多基準分析手法の拡張も研究されており、それらについてもあわせて整理する。

【広義の多基準分析手法】

広義の多基準分析手法としては、トレード・オフ分析と、目標達成マトリックスがあげられる。

(1) トレード・オフ分析 (Trade-off Analysis)

トレード・オフ分析はあらかじめ設定された目標の集合を達成するための代替的手段を比較・評価する手法である。他の手法が、主に代替案 A と B のどちらがより優れているかを分析する手法であるのに対して、トレード・オフ分析では、プラン A と B にどのように資源配分を行うのが、最も効率的に目標を達成できるかを導出する。

トレード・オフ分析の手順は、次の通りである。

- 1) 全体目標の識別 (例：大気汚染の緩和)
- 2) 個別目標値の設定 (例：大気状態に関する各種測定値)
- 3) とりうる手段 (例：公共交通機関の迅速化、中古車の改良) ごとに効果の推定
- 4) 数学的手法により、最適な資源配分 (最小コストとなる資源配分) の導出

この手順が示すようにトレード・オフ分析では、各プランが必要とする総コスト情報を必要とするが、他手法のようなクライテリア間のウェイト付けは必要ない。これは目標値の集合を設定する時点で、各クライテリア間のウェイト問題は、既に解決しているからである。

トレード・オフ分析の特徴を考えるには、費用効果分析⁸と比較すると、わかりやすい。

⁷ p.98, 4-3 旧建設省：道路投資の評価に関する指針 (案) 第 2 編 総合評価 参照

⁸ 費用効果分析は貨幣化できない便益を目標の達成度という物理量で表し、費用当たりの効果を評価する手法である。2-3 で紹介する多基準分析手法と異なり、個別目標間のウェイト付けについて明確に示されていないことなどから、本報告書においては、費用効果分析は多基準分析として取り扱わない。

表 4 費用効果分析とトレード・オフ分析の比較表

手法	制約	プランの選択基準	トレード・オフ
費用効果分析	総コスト	総効果が最大	個別目標間
トレード・オフ分析	目標値の集合	コストが最少	個別手段間

費用効果分析は投入できるコストが決まっている際に、最大の総効果が得られるプロジェクト（もしくは、最適な資源配分計画）を決定する手法である。費用効果分析においても、トレード・オフ分析と同じく達成すべき目標の集合を定めることがあるが、これらは、各クライテリアを標準化する際に使用する。そして、目標を達成できない場合でも、貨幣価値で表された総効果の大小でプロジェクトの優劣を判断することができる。しかし、このために、クライテリア間の優劣を、具体的に数値（貨幣価値）で定めなければならないという問題がある。

これに対してトレード・オフ分析は、必ず達成する目標値の集合を定めることで、個別目標値間の優劣について検討する必要性をなくす手法である。このように見ると、費用効果分析は「利益最大化」手法であるのに対して、トレード・オフ分析は「コスト最少化」手法であり、両手法が本質的に同じであるといえる。

つまり、トレード・オフ分析は目標設定の時点で、必ず達成する個別目標値の集合を確定できる場合には適用可能である。しかしながら、目標値を明確に定義できない場合（例：クライテリアの種類だけが識別されている状態）においては、使用できないといった制約がある。

(2) 目標達成マトリックス (Goals Achievement Matrix)

目標達成マトリックスは、意思決定者に、各プロジェクトが多数の項目に対して与える影響についての一連の情報を表すマトリックスである。マトリックス作成後に、さらに狭義の多基準分析手法を適用することができるが、マトリックス作成で手法を完結させる場合は、（定義から）広義の多基準分析手法とみなすことができる。

目標達成マトリックスの作成手順は次の通りとなる。

- 1) 個別のクライテリア（例：関係者の利害、測定値など）の識別
- 2) 各プロジェクトがクライテリアに対して与える費用と便益を算出
- 3) 必要に応じて、クライテリア間のウェイト付けの実施

表 5 目標達成マトリックスの例

	ウェイト	プロジェクトα		プロジェクトβ	
		費用	便益	費用	便益
クライテリア A	ωA	a	b	c	d
クライテリア B	ωB	e	f	g	h

このマトリックスにおいて、費用と便益の対（a と b、c と d など）を同じ単位で表現することで、便益と費用の差（便益－費用、 $b-a$ 、 $d-c$ など）を算出することができ、このとき、その値をあるプロジェクトによるクライテリアの達成度とみなすことができる。この場合便益とは、クライテリアを達成状態に「近づける」ものであり、費用は「遠ざける」ものとなる。

また、目標達成マトリックスから、集計的な指標（例：プロジェクトごとの評価指標）を算出しない場合は、定性的尺度の利用や、費用、便益を、ある一定の数値の幅で表現することができる。

目標達成マトリックスの利点は、横方向にはクライテリアごとの費用・便益の情報がまとめられ、縦方向にはプロジェクトごとの費用、便益の情報がまとめられることで、意思決定者が全体を視野に入れつつ、個別項目を確認できることにある。

また、必要に応じて、（後述の加重総和法などを使用して）集計的指標を算出することもできるが、集計的指標は、マトリックスと補完的な関係にあり、意思決定者が決定を行う際には、両方の情報が提示されることが望ましい。

【狭義の多基準分析手法】

狭義の多基準分析手法のうち、最も単純なものは、加重総和法である。以下、加重総和法の説明から、各手法の説明へと展開していく。

(3) 加重総和法 (Weighted Summation)

加重総和法は、次の手順からなる。

- 1) 全てのクライテリアのスコアを同じ尺度に変換（標準化）する
- 2) 各クライテリアに対して相対的重要度を数値化したウェイトを設定する
- 3) 標準化したスコアとそのクライテリアのウェイトと乗じ、すべてを加算する
- 4) 3)の手順により算出された値を各プロジェクトの評価値とみなす

これは、数式で表現すると次のようになる。

$$S_A = W_1 A_1 + W_2 A_2 + \cdots + W_n A_n = \sum W_i A_i$$

S_A ：プロジェクト A の評価値

W_j ：クライテリア j のウェイト

A_j ：プロジェクト A によるクライテリア j の標準化されたスコア

この手法は、標準化やウェイト付けの際に恣意性が反映されてしまうという点で、多くの手法と同じ問題点を持つが、算出手順が容易であることが大きな利点である。

なお、この手法が有効である前提として、上記の標準化、ウェイト付けの問題に加えて、クライテリアの評価がクライテリアごとに独立していること、つまり、あるクライテリアの価値が、他のクライテリアの状態（数値の大小）に左右されないこと、がある。

(4) 目標達成法 (Goals Achievement Method)

上記の加重総和法においては、スコアの標準化の際に、標準化する方法・尺度については、特に定められていない。

この標準化の尺度として、達成度指標を使用（さらに、必要に応じて、その後、加重総和法を使用）することが考えられる。この場合、特に目標達成法と呼ぶことがある。

達成度指標はクライテリアごとに、次式で算出される⁹。

$$\text{達成度指標} = \frac{\text{プロジェクトによる変化分}}{(\text{目標値}) - (\text{現在値})}$$

⁹ 達成度指標の算出式として、上述の変化分ではなく、次式のように絶対値を使用した次式も考えられる。

$$\text{達成度指標} = \frac{\text{プロジェクト実行後の値}}{(\text{目標値})}$$

しかし、このように算出された達成度指標は、クライテリアの（プロジェクト実施前の）初期値が 0 でない場合に、クライテリアの値が悪化しても、達成度指標が正の値をとりうるため、意思決定者が指標の値を直観的に理解しづらい。また、クライテリアの値を減少させることが目的のプロジェクトにおいても同様に、変化分を使用する式では直観的に意味が伝わるが、絶対値の方法には、そのメリットがない。

次表は、達成度指標を用いたマトリックスの例である。

表 6 達成度指標の例

			プロジェクトα		プロジェクトβ	
クライテリア	現在値	目標値	実行後の値	達成度指標	実行後の値	達成度指標
A	0	60	30	0.5	48	0.8
B	20	50	20	0	65	1.5
C	80	40	50	0.75	90	−0.25

意思決定者は、このマトリックスを見て、各クライテリアがどれだけ改善するかの情報
を容易に把握することができる。例えば、プロジェクトβのクライテリア C に対する達成
度、 $\frac{(90 - 80)}{(40 - 80)} = -0.25$ が負であることから、プロジェクトβはクライテリア C を現状より

悪化させることがわかる。

このように達成度指標は、意思決定者が標準化された数値を直観的に理解しやすいとい
うメリットがある。しかしながら、達成度の数値は、現在値と目標値の差を機械的に等間
隔に区切ったものであり、同クライテリアに対する達成度の数値は（大小により）序列の
情報しか提供していないことに、意思決定者が注意する必要がある。

(5) 目標点法 (Ideal Point Method)

前述の加重総和法、目標達成法は、いずれもプロジェクト同士の優劣を求めるにあたっ
て標準化し、ウェイト付けした値の総和を求める手法であった。これに対し、目標点法は
総和ではなく、目標とプロジェクト結果の間の距離という概念を用いる。

目標点法の手順を、概念的にとらえると、次の通りとなる。

- 1) クライテリアが N 種類ある場合、N 次元の空間を想定する
- 2) 目標値の集合を標準化し、それを目標点の空間上の座標と考える
- 3) プロジェクトによる各クライテリアのスコアを標準化する
- 4) 3)で求めた数値を、そのプロジェクトの空間上の点の座標ととらえる
- 5) 各プロジェクトの点と目標点の間の距離を算出する
- 6) もっとも距離に近いプロジェクトを最適なプロジェクトとみなす

次図は、クライテリアが X、Y の 2 つの場合の例である（A、B、C は各代替案の座標を
表す）。

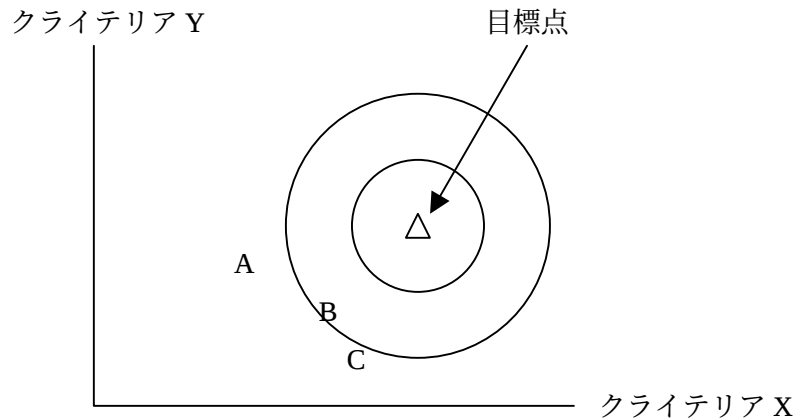


図 2 目標点法のイメージ図

上図ではプロジェクト B が、最も目標点に近いので、最適な案とみなされる。このように、目標点法の採択基準は、目標レベルに近い代替案は、目標レベルから遠い代替案よりも選好されるという仮定に基づいている。この仮定は、直観的にわかりやすい。

目標点法は、計算手順はやや複雑¹⁰だが、上図のように、比較の過程が直観的にわかりやすい点が優れている。しかしながら、実際に使用するにあたっては、標準化の計算に、いかに説得力をもたせるかが課題である。一つの方法として、各スコアを達成度指標に変換し、それに対して各クライテリアのウェイトを乗じたものを、各次元の値として使用することが考えられるが、これは標準化（及びウェイト付け）に関して、加重総和法、目標達成法と同程度の困難性を持つことを意味する。

目標点法の発展版として、TOPSIS（Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution）法が考案されている。これは、最適なプロジェクトは目標点に最も近く、かつネガティブ目標点（negative-ideal point）から最も遠いものであるという仮説に基づき、算出を行う方法である（ここで、ネガティブ目標点とは「現状のまま放置すると到達してしまう状態」と考えればよい）。

具体的には、各プロジェクトの値 C_i は、次のように算出される。

$$C_i = \frac{\text{ネガティブ目標点からの距離}}{(\text{目標点からの距離}) + (\text{ネガティブ目標点からの距離})}$$

¹⁰ 多次元空間内の 2 点の距離 S^* は、次式で算出する。

$$S^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^*)^2}$$

$i = 1, \dots, m$

S^* : 2 点間の距離

v_{ij} : 代替案 i のクライテリア j に対する（標準化・ウェイト付けされた）スコア

v_j^* : クライテリア j の目標点の値

この定義から C_i は、0 から 1 の間の数値となることは明らかである ($C_i=1$ のとき、目標点と一致)。 C_i の直観的な説明は、 C_i は「ネガティブ目標点から C_i を経由して目標点に向かう行程における達成度」ということができる。

図 3 の例では、代替案 A が選好されることとなる。

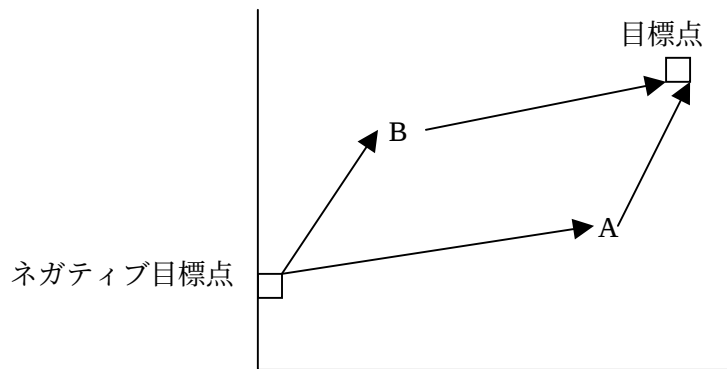


図 3 TOPSIS 法のイメージ図

なお、目標点法及び TOPSIS 法に共通の留意点としては、各プロジェクトの結果が各クライテリアの目標レベルを超えないことがあげられる。なぜならばそれは、あるプロジェクトの結果が特定のクライテリアに関して目標レベルを超えた場合に、目標点からの距離が遠くなってしまい、評価が下がることになってしまうからである。

(6) 価値・効用関数 (Value and Utility Function)

価値・効用関数は、各クライテリアを標準化・ウェイト付けする際に、貨幣価値に代わる尺度として、価値・効用の尺度に変換する関数を設定し、各プロジェクトのもたらす価値(効用)を相互に比較できるようにする手法である。価値・効用関数を用いる手法をそれぞれ、MAVT (Multi-Attribute Value Theory)、MAUT (Multi-Attribute Utility Theory or Technology) 法と呼ぶことがあるが、この 2 つの手法はしばしば同じ手法とみなされる。しかしながら本節においては、経済学上の標準的な区別を用いて説明する。

価値関数は、各クライテリアの値を価値の数値に変換する関数であり、個別のクライテリアごとに関数を設定する。例えば、大気汚染の度合いが a であるとき、価値関数 v により、その価値が $v(a)$ として数値化される。そして、あるクライテリア b の数値が B であれば、価値の総和が B となるようなクライテリアの集合と等価であることを意味する。このように定められた個別の価値関数によって、導出される価値の総和が、代替案の総価値を表すことになる。この手順を加重総和法と比較すると、価値関数は、クライテリアのスコアに対して、標準化とウェイト付けを一度に行う関数であるといえる。このことは、価値

関数が加重総和法と本質的に同じ問題を持つことを意味する。

一方効用関数は、全てのクライテリアを変数とする多変数関数を1つ（だけ）定めるものである。例えば、大気汚染が a 、騒音が b の状態であるとき、その状態から得られる効用は効用関数 u により、 $u(a,b)$ と算出される。そして、効用の数値は序数とみなす点が特徴といえる。このことは、例えばある効用 U の状態を生み出すプロジェクト A と、効用 $U/2$ の状態を作り出すプロジェクト B の2つのプロジェクトは、等価値とはみなされないことを意味する。この点を価値関数と比較すると価値関数では、あるクライテリアのスコアの価値は、他のクライテリア（の状態）とは独立に定まると仮定しているのに対して、効用関数では、そのような仮定をせず、より広範な状況に対応できる概念となっている¹¹。

前述の加重総和法、目標達成法、目標点法と、効用関数を比較すると、効用関数の概念は、それらの手法を包含する概念であることがわかる。例えば、加重総和法、目標達成法と比較すると、集計的指標を算出する加重総和関数は、効用関数の一形態であるとみなせる。同様に、目標点法（及び TOPSIS 法）は、目標点法が使用する距離関数の逆数を、効用関数として計算した場合と、結果は同じである。

このように、効用関数は、理論的に優れている概念である。しかし、実用を考えた場合、各クライテリアがもたらす価値（効用）についてのデータを事前にある程度、取得できるケースでないと、関数の推定が困難もしくは事実上不可能となる。

(7) レジーム法 (Regime Method)

(3)～(6)の各手法は、いずれも各クライテリアのスコアを標準化したものを、何らかの関数で1つの数値を算出し、まとめるものであった。

これに対してレジーム法は、2つの代替案について、その効果の大小をクライテリアごとに一対比較していくことで、代替案の優劣を示す値を算出する方法である。

- 1) クライテリアごとにウェイトを定める。
- 2) 代替案 α と β の各クライテリアごとの優劣を示すベクトル（クライテリアの数が M 個であれば、 $1 \times M$ のマトリックス）を作成する。
ベクトルの各要素は表 7 の通り、求められる。

表 7 ベクトルの各要素の意味

α が β より優れている場合	+1
α が β より劣っている場合	-1
両者が等しい	0

¹¹ 効用関数を使用する際には、限界効用逓減など、様々な仮定をするのが一般的である。この詳細は経済学の標準的な教科書（ミクロ経済学等）に記載されている。

- 3) ベクトルの各要素と、各クライテリアのウェイトを個別に乗算し、最後に全てを加算して、1つの指標を算出する。
- 4) 3)で求めた指標が正であれば、 α は β よりも優れていると解釈する。
この際に、指標が0であれば、 α と β は「同順位」ととらえられる。

レジーム法は、クライテリアのスコアの一対比較において、どちらが優れているかの大小情報のみを必要としており、各スコアが定量的尺度である必要がないため、定性的クライテリアも同時に扱うことができ、また、スコアの標準化も必要としない（クライテリア間のウェイト付けは必要）。これは、逆に言うと、代替案を評価する際に、あるクライテリアに対する効果の優劣だけでなく、どれだけ大きいかという定量的情報が、評価において重要な要素である場合には適していないことを意味する。

レジーム法を、費用効果分析、加重総和法、価値・効用関数などと比較すると、レジーム法はスコアの標準化を行わず、一対比較を使用して代替案の比較を可能とする手法であり、定量的クライテリアを定性的クライテリアと同じく、大小のみに着目して、順序付けをする手法であるといえる。

(8) 置換法 (Permutation Method)

置換法は、代替案に関し、順序の組み合わせ全てについて妥当性を表す指標を求め、最大の指標を持つ順序付けを最適な順序とみなす手法である。

置換法の典型的な手順は次の通りとなる。

- 1) 代替案ごとのクライテリアのスコア、及びクライテリアごとのウェイトをマトリックスにまとめる。
なお、表8では、クライテリアYは定性的であり、「++」は「+」よりも優れているとみなす。

表8 クライテリア、代替案の例

		代替案		
クライテリア	ウェイト	A	B	C
X	0.3	80	60	20
Y	0.5	++	+	++
Z	0.2	10	50	50

- 2) 代替案同士のマトリックスを作成する。ここで、マトリックスの要素として、行（横）の代替案の方が、列（縦）の代替案より優れているクライテリアのウェイトの総和をマトリックスの要素とする。

上記の表 8 の例では、代替案 A は代替案 B に対して、クライテリア X、Y が優れているので、2つのウェイトの和である 0.8 が、行 A 列 B の値となる。

表 9 代替案間の優先度を示すマトリックス

	A	B	C
A	—	0.8	0.3
B	0.2	—	0.3
C	0.2	0.5	—

- 3) ここで、マトリックスの右上部分の総和 ($0.8+0.3+0.3=1.4$) は、順序(A, B, C)の妥当性を支持する数値であり、左下の総和 ($0.2+0.2+0.5=0.9$) は否定する数値であると考えられるので、減算することで、順序(A, B, C)の妥当性を示す指標 $r(A, B, C)$ ($=0.5$) が求められる。

なお、この算出による $r(A, B, C)$ の値は、レジーム法で(A, B)、(B, C)、(A, C)を一対比較した値を求め、その総和を算出しても同値となることがわかる。

- 4) 上記手順を繰り返し、全ての順序組み合わせ¹²の妥当性を表す指標を算出する。
 代替案 A、B、C がとりうる順序は、次の 6 通りである。
 (A, B, C)、(A, C, B)、(B, A, C)、(B, C, A)、(C, A, B)、(C, B, A)
 上述の例に応じて、順序ごとに指標を算出すると、次表の通りとなる。

表 10 各順序の妥当性の指標

順序	$r()$ の値
(A, B, C)	0.5
(A, C, B)	0.9
(B, A, C)	-0.7
(B, C, A)	-0.9
(C, A, B)	0.7
(C, B, A)	-0.5

- 5) 指標の値が最大である順序を、最適な順序付けとみなす
 上記例では、(A, C, B)が最適な順序付けである。

¹² n 種類の代替案が存在する場合、並べ替えのパターンは $n!$ ($=1 \times 2 \times \cdots \times n$) 種類となる。

このように、置換法は、全代替案の順序付けの組み合わせに対して指標を算出し、比較する手法である。しかしながら、上記例の手順を採用する場合は、レジーム法が一对の代替案ごとに指標を算出するのに対して、順列ごとに指標を求めるという計算過程の違いがあるものの、最終的には、レジーム法で全組み合わせを試して順序付けた場合と全く同じ結果を示すこととなる。

置換法の難点は、順序付けに使用する数値の算出手法にあると考えられる。例えば、上記のように、本質的にレジーム法と同じ手法を用いる場合は、レジーム法と同じく数量的な差異の度合いを評価に反映させないことが難点である。

(9) エバミックス法 (Evamix Method)

エバミックス法はオランダで開発された手法であり、オランダにおける環境影響評価 (EIA) ¹³でも用いられている。定量的クライテリアと定性的クライテリアの両方を同時に扱うことができるため、多くのプロジェクトで一般的に用いられているといえる。

- 1) 全てのクライテリアに対してウェイト付けを行う。

このウェイトの総和は1となるように定める。

- 2) 代替案間の優劣に関するスコア（以下、優先度スコア (dominance score)）を、定量的クライテリアの集合と、定性的クライテリアの集合の2つについて算出する。この優先度スコアの算出方法は、上記で説明した手法などを用いて算出する。

例えば、定量的クライテリアについては、加重総和法により算出する各代替案の評価値の差で優先度スコアを求め、定性的クライテリアの優先度スコアはレジーム法を用いることが考えられる。

- 3) 2)で求めた2つの優先度スコアについて、それぞれ定性的クライテリアのウェイトの合計と定量的クライテリアのウェイトの合計と乗算し、2つを加算することで、代替案間の総合的な優先度を示す指標を作成する。

エバミックス法では、最終的に一对の代替案間に1つの指標を算出する。しかしながら、導出過程における2つの優先度スコアは、定量的クライテリアに対する優先度と、定性的クライテリアに対する優先度の情報に分かれている。そこで、総合的指標と同時に2つの優先度スコアを提示することで、意思決定者は多様な側面から代替案間の比較情報を見ることができる。

このように、エバミックス法は、定量的クライテリアにおける優先度スコアと、定性的クライテリアにおける優先度スコアを個別に求めるところに特徴があるが、その個別につ

¹³ p.51, 3-2 (3) EIA (Environment Impact Assessment) 参照

いての導出方法として使用する方法が持つ難点が、エバミックス法の難点となる。例えば、定性的クライテリアの優先度スコアを、上記例のようにレジーム法で算出する場合は、レジーム法と同じように、定性的クライテリアについて、量的な違いの大小を無視してしまうということが難点となる。

(10) 階層分析法 (Analytic Hierarchy Process; AHP)

階層分析法（以下、AHP）は、主観的であいまいな「各種要素（項目）の一対比較による評価」を数値化することで判断の整合性を高めることができ、それを統合化することにより、判断者の評価基準に基づく各代替案のウェイトを求めるものである。AHP は各クライテリアの尺度が異なる場合や、定性的クライテリアが含まれる場合にも適用できる。

車の購入や進路の選定等身近な問題から、交通システムの選択のような政策決定、あるいはカッターナイフの使いやすさ（どの製品を選ぶべきか）のようにあいまいな問題まで、幅広い適用が可能である。

分析の過程は、次のようになっている。

- 1) 分析の対象を、最終目標、評価項目（クライテリア）、代替案といった要素によって形成される階層構造¹⁴としてとらえる。

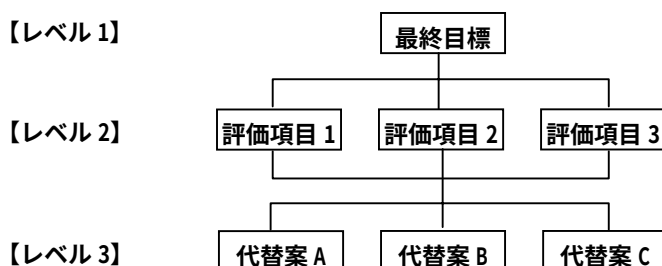


図 4 階層構造の概念図

- 2) レベル 2 の評価項目間のウェイト付けを、次の手順により行う。まず、二つの評価項目について、どちらをどれだけ重視するかを一対比較により数値化する。ウェイトの尺度は、例えば表 11 のように与える。

¹⁴ 評価項目の要素数は、7 個ないし 9 個までが望ましく、評価項目が多い場合には多階層化することによって対処する（木下栄蔵『孫子の兵法の数学モデル』より）。すなわち、評価項目は 1 階層でなくてもよい。なお、階層構造を主観的ではなく、より客観的に作成する手法として階層構造化モデル（Interpretive Structural Modeling：ISM）があり、人間のあいまいさ（ファジー）を考慮し、項目間にあいまい 2 項関係を導入し、多元的価値が錯綜する構造を特定するファジー構造化モデル（Fuzzy Structural Modeling：FMS）がある。

表 11 ウェイトの尺度とその定義

ウェイトの 尺度	i は j に対し
1	同じくらい重要
3	やや重要
5	かなり重要
7	非常に重要
9	極めて重要

ただし、代替案 A が B に対してとりうるウェイトは、代替案 B の A に対するウェイトの逆数として、与える（例えば、A が B に対するウェイトが 5 の場合、B の A に対するウェイトは 1/5）。この結果、M 個の評価項目がある場合は、M×M の行列（ペア比較マトリックス）が 1 つできることとなる。この際、ペア比較マトリックスに対する固有ベクトルとして、評価項目ごとのウェイトを導出することができる¹⁵。この際、導出結果の整合性をチェックするためにコンシステンシー指数¹⁶を計算することができる。

- 3) レベル 3 の要素間のウェイト付けを行う。2) の手順と同様に、レベル 2 の各評価項目に関して、レベル 3 の各代替案を一对比較することにより評価していく¹⁷。評価の尺度は表 11 に従う。全ての代替案の組み合わせについて一对比較をすることによって、レベル 2 の各評価項目に対する、レベル 3 の各代替案間のウェイトが導出される。この一对比較の作業結果を行列にまとめると、評価項目が M 種、代替案が N 種ある場合には M 個の N×N の行列となる。この行列に対して、2 におけるウェイトの導出と同様に、固有ベクトルの考え方を用いて、各クライテリアに対する各代替案のウェイト（すなわち、各クライテリアに対する標準化されたスコア）を算出する。
- 4) レベル 3 の各要素（各代替案）ごとに、各クライテリアに対するウェイト（標準化さ

¹⁵ 固有ベクトルとして重みを導出できる理由については、AHP についての各種文献を参照のこと。

¹⁶ コンシステンシー指数 (C.I.) は、 $C.I. = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$ で与えられる。ただし、 $\lambda_{\max}$ は最大固有値、 n は要

素の数とする。この値が、0.1 以下であれば整合性があると判断される。

¹⁷ ある一つのレベルにおける要素間の一对比較を、一つ上のレベルにある関係要素を評価基準として行う。
n を比較要素数とすると意思決定者は、 $\frac{n(n-1)}{2}$ 個の一对比較を行うことになる。

れたスコア)を、レベル2のウェイト(各クライテリアのウェイト)と乗算し、最後に全てを加算することで、その代替案の優先度指標が算出される。

以上の手順から明らかなように、AHP法では、各代替案によるクライテリアのスコアは必ずしも細かく算出されている必要はなく、意思決定者がウェイトの尺度を主観的に定める際の補助情報としてあればよいという点が、他の手法と大きく異なっている。

AHP法の問題点は、(要素間の)ウェイト付けを行う回数が、他の手法(一般的に、クライテリアの個数ですむ)と比較して多いことがある。このため、多数の代替案が考えられる場合には、向いていない手法である。

(11) コンコーダンス分析 (Concordance Analysis)

コンコーダンス分析は、代替案間の優劣を仮定し、その仮定をデータが支持する度合い、不支持の度合いを指標化する手法である。具体的には、レジーム法においては支持する度合いを不支持の度合いが打ち消すように作用したのに対して、コンコーダンス分析では、支持する度合い(コンコーダンス指標)と不支持の度合い(ディスコンコーダンス指標)を別個に算出する。

コンコーダンス分析は、フランスで開発されたエレクトル(ELECTRE)手法を、操作的に改良し応用したものであり、欧州で広く使用され、拡張案も多数みられる¹⁸。そして、エレクトル手法自体もコンコーダンス分析の一つのバリエーションと分類されることもある。

本節では、エレクトル手法を例として、コンコーダンス分析のプロセスを説明し、特にエレクトル手法に固有の特徴である総合評価の方法については、エレクトル手法と代替的な方法につき、それぞれ説明する。

- 1) 各クライテリアにウェイトを与える。

この際、総和が1となる(例:(0.2,0.5,0.3))ようにウェイトを与える。

- 2) 個別クライテリアに関する達成度を代替案間で対比較し、代替案ごとの優先度を点数化した行列を作成する。

この表をとくにコンコーダンス行列と呼ぶ。この点数化には項目間の選好ウェイトの数値を利用する(なお、この手続きは、置換法の2)の手続きと同じである)。

例えば、代替案が以下のような効果を持つとする。

¹⁸ コンコーダンス分析(及びエレクトル手法)の改良・拡張についてはネイキャン『環境経済学の理論と応用』に詳しい。

表 12 クライテリア、代替案の例

クライテリア	ウェイト	代替案		
		A	B	C
α	0.1	2	1	1
β	0.6	20	50	10
γ	0.3	30	0	40

この場合、上記の例に従えば、クライテリア α 、 γ について A は B よりも優れていることが分かっているので、ウェイトの和である 0.4 ($=0.1+0.3$) を、A の B に対する点数とみなす。また、B を基準とすれば、クライテリア β について A より優れているため、点数は β のウェイトである 0.6 となる。同様に A と C、B と C に関しても、クライテリアごとに優劣を評価して、コンコーダンス行列を作成する。

表 13 コンコーダンス行列

	A	B	C
A	—	0.4	0.7
B	0.6	—	0.6
C	0.3	0.3	—

3) ディスコダンス行列を作成する。

次に、コンコーダンス指数の作成とは異なる方法で代替案の劣位性を示す行列を作成する。エレクトル手法では、代替案 A が B に対して劣位にあるクライテリアについて、次式により、劣位性の得点を求め、最後にその総和を行列における該当要素の値とする。

$$\text{劣位性の得点} = \frac{(B \text{ のスコア} - A \text{ のスコア}) \times \text{ウェイト}}{(A \text{ の最大スコア} - A \text{ の最小スコア})}$$

上記例では、代替案 A は B に対して、クライテリア β で劣っている。この劣位性の得点は、上記式から、 $\frac{(50 - 20) \times 0.6}{(50 - 10)} = 0.45$ と求められる (なお、エレクトル手法では、ウェイトの値の乗算は行わないが、ウェイトの値を乗算することで、ディスコダンス行列の各要素が 1 以下となることが保証され、また各数値が直観的に意味をとらえやすくなる)。

表 14 ディスコダンス行列

	A	B	C
A	—	0.45	0.075
B	0.325	—	0.3
C	0.25	0.6	—

4) 総合評価を行う。

エレクトル手法では、代替案間のコンコードダンス指数、ディスコンコードダンス指数の情報を利用して、後述のアウトランキング手法と同様の手順で、代替案間の順序付けを行う¹⁹（詳細はアウトランキング手法のところで説明する）。しかしながら、アウトランキング手法では、調和条件、非不調和条件の2つの条件を判別する際の基準値（閾値）の選択が恣意的にならざるを得ない。

これに対して、アウトランキング手法を使用する代わりに、代替案ごとの優先度の指数（コンコードダンス優越指標）、劣位度指数（ディスコードダンス優越指標）を、それぞれの行列から算出することがあり、この場合について、以下、説明する。

代替案 A のコンコードダンス優越指標は、代替案 A が他の代替案に対して持つ優越性の総和から、他の代替案が A に対して持つ優越性の総和を減算したものであり、これをコンコードダンス優越指標と定義する。各代替案のコンコードダンス優越指標は、コンコードダンス行列における「行の合計」から「列の合計」を減算することで求められる。

表 15 コンコードダンス行列とコンコードダンス優越指標

	A	B	C	行の和	列の和	優劣指標
A	—	0.4	0.7	1.1	0.9	0.2
B	0.6	—	0.6	1.2	0.7	0.5
C	0.3	0.3	—	0.6	1.3	-0.7

ディスコードダンス優越指標も同様に算出する。代替案 A のディスコードダンス優越指標は、「代替案 A が他の代替案に対する劣位性の総和から、他の代替案が代替案 A に対する劣位性の総和を減算したもの」となり、優越指標が大きいほど、A は他の代替案に比べて劣位であることを表す。

¹⁹ なお、アウトランキング手法を一度だけ適用した場合は「比較不能」の判定が起きうるが、エレクトル手法は、調和条件、非不調和条件を緩めていき（閾値を変化させて）、順序付けを完成させようとする。

表 16 ディスコダンス行列とディスコダンス優越指標

	A	B	C	行の和	列の和	優越指標
A	—	0.45	0.075	0.525	0.575	-0.050
B	0.325	—	0.3	0.625	1.05	-0.425
C	0.25	0.6	—	0.85	0.375	0.475

ここで、コンコダンス優越指標は「 $B > A > C$ 」、ディスコダンス優越指標は「 $B < A < C$ 」となることから、代替案の最適な順序付けは、B、A、C と判断される。

以上の分析の手順から、コンコダンス分析の特色をみると、クライテリアの達成度について一対比較をすること、そして、優先性と劣位性といった双対関係から優先性を実証することが特色となっている。ただし、操作は煩雑になっており、分析者以外の第三者が分析の手続き・内容を理解することは、容易ではないと思われる。

コンコダンス分析とレジーム法を比較すると、レジーム法は、ある一対の順序が支持される度合いから、反証の度合いを減算して一つの数値にまとめる手法であった。レジーム法を使用して、ある代替案 A を含む全ての一対組み合わせについて、代替案 A が優れているという順序に対して指標を算出し、その総和をとると、上述の純コンコダンス指標が得られる。しかし、コンコダンス分析は、さらにディスコダンスの数値を用いて、劣位性の面から、再度、代替案間の順序を検証するという性質を持つ。

次に AHP との違いについて述べる。コンコダンス分析は劣位度指数（ディスコダンス指数）を用いるため、優位性のみならず、劣位性についても分析できるのが AHP と比較した際の優れた点である。これに対して、AHP はわかりやすく、一対比較の精度が高いといえる。すなわち、コンコダンス分析では（優位性の比較において）差の大小にかかわらず、勝っている方に（ウェイトの値が）加点されるのに対して、AHP ではより細かい差の度合いを分析するため、あいまいな要素間でも精緻な分析が可能となる。

(12) アウトランキング法 (Outranking Method)

アウトランキング法は、コンコダンス分析などで作成する、コンコダンス指数、ディスコダンス指数など、順序をデータが支持する度合い、不支持の度合いを表す指標を使用して、代替案間の順序付けを行う手法である。

概念としては、代替案 A が B と比較した場合、全てのクライテリアについて優れていなくても、重要性を加味したうえで全体的に優れていると判断できる場合は、A の順位を上とみなすというものである（レジーム法における優劣の判断は、アウトランキング法を簡略化したものであるといえる）。

具体的な条件判定手順は次の通りとなる。

- 1) ある代替案が、他の一つの代替案に対して十分な優位性をもっているかを個別に調べる。この判定条件は「調和条件」(condition of concordance)と呼ばれる。
ここで、コンコーダンス分析で求められたコンコーダンス行列を例として説明する。

表 17 コンコーダンス行列

	A	B	C
A	—	0.4	0.7
B	0.6	—	0.6
C	0.3	0.3	—

代替案 A が代替案 B に対して十分な重要性を持って優れているかの判別は、A の B に対する優位性の値が、ある値(閾値)を超えているかによって判断される。閾値には、行列の要素全体の平均値などを使用する。上記表における優位性の値の平均値は 0.48 である。これを閾値とした場合に、調和条件を満たす順序は次の通りである。
(A, C)、(B, A)、(B, C)

- 2) 次に、ある代替案が、他の一つの代替案に対して十分な劣位性をもっていないことを確認する。この判定条件は「非不調和条件」(condition of non-discordance)と呼ばれる。この判別では、ディスコーダンス行列における劣位性の値が、閾値(平均値などを使用)以下であることを確認する。

表 18 ディスコーダンス行列

	A	B	C
A	—	0.45	0.075
B	0.325	—	0.30
C	0.25	0.6	—

上記の行列における平均値は、0.33 である。これを閾値とすると、非不調和条件を満たす順序は、次の通りである。
(A, C)、(B, A)、(B, C)、(C, A)

- 3) 1)と 2)の両方の条件判定を満たした各順序が当てはまるような、全体の順序を、最適な順序とする。
上記例では、(B, A, C)が最適な順序であると考えられる。

アウトランキング法では、例えば、代替案 A、B の各々において、異なる 2 つの重要なクライテリアのスコアが突出している場合など、条件次第では、「比較不能」という判定となる。しかしながら、上記のような例では、何らかの手法によって、無理やり順位付けを行うことよりも、比較不能であることがわかる方が意思決定者に有益だと考えられる。

また、調和条件、非不調和条件を検証する際に、各指標を比較する値の選択が恣意的なものにならざるを得ないことが問題である。

【ファジー集合理論による手法の拡張】

既存の多基準分析手法をさらに拡張する要素として、ファジー集合理論を取り入れることも研究されている。

意思決定の際には評価として曖昧な言語表現が用いられることが多い。その際に適用できるのがファジー集合理論である。ファジー集合理論では「やや魅力的」「いくらか高価」などの人間の感覚における曖昧な表現を、メンバーシップ関数²⁰を用いて、0 から 1 の間の数値に数値化する（例：「やや魅力的」を 0.6 とする）。このように、定性的な尺度の間に位置する評価もその曖昧さのままで汲み上げることで、無理に定量的に変換した結果による分析よりも、より人間の主観に近い分析結果が得られることが期待される²¹。

このように、ファジー理論の適用が好ましく思われる一方で、手法の理解が難しくなること、意思決定者の判断根拠としても理論的ではないなどといった問題点が指摘されており、現状では、実験的に使用・研究されているにとどまっている。

²⁰ 全体集合を X とし、 x を X の要素と設定した場合、 X 上のファジー集合 A はメンバーシップ関数 $\mu_A(x)$ によって表現される。すなわち、 $\mu_A(x):X \rightarrow [0,1]$ であり、この関数 $\mu_A(x)$ は x が集合 A に属する程度を示すものとなる。

²¹ AHP で曖昧な評価を数値としたように、曖昧性を分析に取り込む手法もある。ただし、曖昧性を扱えばファジー理論手法というわけではなく、ファジー集合理論を利用する手法をファジー理論手法と分類する。

2-4 まとめ

これまで紹介した 12 種類の多基準分析の手法についてまとめた一覧表を以下に記す。

表 19 多基準分析手法の一覧

多基準分析手法	種類	手法の概要	最終成果物	優れている点	主な難点
トレード・オフ分析	広義	あらかじめ設定された同一の目標集合を達成するための代替案を比較する手法。	複数代替案への資源配分量	代替案への資源配分が検討可能	目標を一点に定める必要がある
目標達成マトリックス	広義	各プロジェクトが多数の項目に対して与える影響に関する一連の情報をマトリックスにまとめる手法。	マトリックス	有用な情報が整理される	整理するだけであり、更なる分析が必要
加重総和	狭義	各クライテリアにウェイトを設定、各クライテリアに対するスコアの値をそのクライテリアのウェイトと乗じ、すべてのウェイト付けされたスコアを加算し、代替案の価値を算出する手法。	代替案ごとの評価指標	手法が単純でわかりやすい	ウェイト付けの恣意性
目標達成法	狭義	代替案の目標を定量的尺度に変換することにより、プロジェクトの目標に関する各代替案の達成度を計算し、最も望ましい代替案を選択する手法。	代替案ごとの評価指標、マトリックス	標準化数値に明確な意味がある	目標を一点に定める必要がある
目標点法	狭義	クライテリアの目標レベルを設定し、どれだけ目標に近い状態に到達したかという観点で分析する手法。	代替案ごとの評価指標	手法が図で直観的に理解可能	算出手順が若干複雑
価値・効用関数	狭義	加重総和と異なり、関数を各クライテリアに応じて、個別に設定し、価値・効用の分析を行う手法。	代替案ごとの評価指標	理論的に洗練されている	一般に関数の推定が困難
レジーム法	狭義	代替案の一対比較を行う。各クライテリアについて、代替案同士のペアをすべて比較し、クライテリアのウェイトの総和を算出することで、代替案間の優先順位を決める手法。	一対の代替案間の評価指標	定性に対応可能	量的な違いの評価値への影響を無視
置換法	狭義	代替案を一対比較して並べ替えることにより優越代替案を選別する手法。	順序ごとの評価指標	順序ごとに指標を出す	* 指標の算出方法に依存
エバミックス法	狭義	クライテリアを定量的クライテリアと定性的クライテリアに分け、両者のスコアを標準化し統合することで、すべての代替案について完全な順序付けを可能にする手法。	一対の代替案間の評価指標	定性・定量別の指標が中間成果物	* 指標の算出方法に依存
階層分析法（AHP）	狭義	プロジェクトの最終目標、クライテリア、代替案の関係をあらかじめ階層構造化し、上位項目に対する下位項目に関する一対比較を行うことで、各階層の要素間のウェイトを算定、さらに階層全体の総合ウェイトを算定することで、代替案の優先順位を決定する手法。	代替案ごとの評価指標	一対比較の精度が高い 定性対応可能	一対比較が多く、作業量大
コンコーダンス分析	狭義	代替案の一対比較を、プロジェクト効果や選好ウェイトが代替案間の一対の優先関係を承認するか、または否定する度合いによって行われる手法。	代替案ごとの評価指標	順序を、調和、不調和の両面から検証	手続きが複雑
アウトランキング法	狭義	コンコーダンス分析で作成する指標を用いて、代替案間の順序付けを行う手法。	順序付け	優越性の意味を緩めた順序付け	「比較不能」のケースがある 閾値の恣意性