

58 Multi-criteria methods for quantitative, qualitative and fuzzy evaluation problems

Ron Janssen (Vrije Universiteit, Netherlands)

Giuseppe Munda (Universitat Autònoma de Barcelona, Spain)

数量評価、質的評価、ファジー評価問題の多基準分析法

栗山浩一（早稲田大学政治経済学部）

1. イントロダクション

- 一つの基準のみで判断することが困難な状況が増えている。例えば、プロジェクトのコストを最小化し、環境質を最大化し、公平性を維持するなど。
- 多基準分析は複数の対立する基準を同時に分析する手法。環境問題では、対立する利害団体の間で意思決定を行うことが多いので、多基準分析への関心が高まっている。
- 多基準分析の定式化
 - n 種類の代替案 a_j ($j = 1, 2, \dots, n$) によって構成される代替案集合を A とする。
 - m 種類の評価基準 g_i ($i = 1, 2, \dots, m$) によって構成される基準集合を G とする。
 - $g_i(a_1) > g_i(a_2)$ ならば第 i 基準にもとづくと a_1 は a_2 よりも好ましい。
 - この関係は表 58.1 のような $n \times m$ の行列 P として表現できる。この行列は評価表(evaluation table)と呼ばれる。

表 58.1 評価表

基準	単位	代替案			
		a_1	a_2	a_3	a_4
g_1		$g_1(a_1)$	$g_1(a_2)$		$g_1(a_4)$
g_2					
g_3					
g_4					
g_5					
g_6		$g_6(a_1)$	$g_6(a_2)$		$g_6(a_4)$

- 基準のスコアは不確実なこともあるが、その場合は感度分析やファジイ理論の適用が可能。

2. 評価法の分類

- 評価法を分類すると図 58.1 のとおり。
 1. 代替案集合：離散問題か、それとも連続問題か
 2. 評価スケール：質的か、それとも数量的か
 3. 意思決定ルール：価格か、それとも優先順位か
 4. 評価関数：標準化か、それとも関数か

3. 多基準分析の手法

- 多基準分析には様々な手法が存在する。
- 加重総和(weighted summation)

- 各代替案を各基準に適当なウェイトをかけて、総和を計算して比較。各基準のスケールが異なる場合は標準化が必要。代替案 j の評価は $W_j = \sum_i w_i g_i(a_j)$
- 価値関数と効用関数
 - 効用分析では価値関数や効用関数が用いられる。価値関数は各基準の物理的スコアを価値のスコアに変換する。 $W_j = U(g_i(a_j))$
- 目標点法(ideal point method)
 - ある目標点を設定して、どれだけ目標に到達したかという観点から評価。 $W_j = L(g_i^* - g_i(a_j))$ ただし、 L は距離関数、 g_i^* は目標値。
- 順位法(outranking methods)
 - 代替案 A が少なくとも B より良く、 B は A ほど良くないときに、 A は B よりも順位が上位であるという。より厳密にいうと、以下の二つの条件を満たしていることをいう。
 - (1) 調和条件(condition of concordance)
 - A が B より優れている基準が十分に重要性を持っている
 - $$W_a = \sum_i w_i g_i(a) > \underline{W}_a, \quad \forall i \in \{g_i(a) > g_i(b)\}$$
 - (2) 非不調和条件(condition of non-discordance)
 - その他の基準では $g_i(b) - g_i(a)$ が大きくない
 - $$L_{b-a} = L(g_i(b) - g_i(a) < \bar{L}), \quad \forall i \in \{g_i(a) \leq g_i(b)\}$$
- 階層分析法(AHP)
 - AHP は意思決定をいくつかの階層構造に分解して分析を行う。AHP は以下の仮定に基づく。
 - (1) あらゆる代替案の対比較では、どんな基準に対しても言語スケール(良い、かなり良いなど)によって評価できる。
 - (2) あらゆる対比較のときに、どんな基準に対しても片方が他方よりも無限に良いと判断することはない。
 - (3) 意思決定は階層構造として定式化できる。
 - (4) すべての基準と代替案は階層構造によって表現される。
- レジーム法(regime method)
 - レジーム法も代替案の対比較を行い、各基準の比較が行われる。良いときは +1、悪いときは -1、両者が等しいときは 0。各基準のウェイトにより、どちらの代替案が好まれるかが決まる。
- 並び替え法(permutation period)
 - 代替案を並び替えて、最も好ましい順序付けがどれかを選んでもらう。I 種類の代替案の場合、可能な並び替えは $I!$ 種類。

- **エバミックス法(evamix method)**
 - エバミックス法は順序基準と数量基準の両方を扱う。効果表を順序基準の集合Oと数量基準の集合Qに分割。質的スコアと量的スコアを標準化して両者を結合。
- **画像評価**
 - 情報提供に画像を用いることの効果については多数の研究がある。評価することは、代替案の情報からあるパターンを識別することと本質的には同じなので、画像は評価に役立つ。
- **感度分析**
 - 評価スコアや優先順位には不確実性が存在することもある。代替案の順序付けの不確実性を調べるためにモンテカルロ法によって代替案の順序付けの確率を発生させて感度分析を行うことができる。

4 . ファジー環境下での多基準分析

- **ファジー理論**
 - 意思決定モデルでは、「環境質は良い」「失業率は低い」などのあいまいな言語表現が用いられることがある。このような場合に、ファジー集合理論が適用できる。評価モデルや意思決定モデルで質的情報が用いられるとき、言語表現には以下の二種類が存在する。
 - (1) 言語表現をある区間スケールや比率スケールに変換可能。年齢（少年、青年、成人）や距離（近い、遠い）
 - (2) 言語表現を区間スケールや比率スケールに変更不可能。外見、快適さ、美しさなど。
 - ファジーモデルでは、例えば 10 という数値に対して「ほとんど 10」という表現が可能となる。
- **NAIADE モデル**
 - ファジー測度に対応したモデル。経済 - 生態系モデルに適している。
 - NAI ADE モデルのステップ。
 - ◇ 代替案を各単一基準にもとづいて一対比較を行う。
 - ◇ 各スコアを集計して、すべての基準にもとづいて代替案の評価を行う。
 - ◇ 代替案の順序付けを行う。比較不可能な関係も許されるので、全ての順序づけと部分順序付けの両方が可能。

5 . 適用例

- 高速道路の整備についての評価事例。
 - 評価基準：費用、旅行時間、容量、NOx 排出、景観
 - 代替案：高速道路、道路 / バス、鉄道
- 評価結果

加重総和	鉄道 > 道路 / バス > 高速道路
感度分析	99%の確率で鉄道が最も好ましい
レジーム法	鉄道 > 道路 / バス > 高速道路
画像評価	図 58.2 および図 58.3
費用便益分析	機会費用や NOx 排出の外部効果に関する仮定が必要
NAIADE	鉄道 > 道路 / バス > 高速道路

6 . 結論

	費用便益	多基準分析
合理性の仮定	市場価格(もしくは WTP)の優先順位に従い、経済効率性の最大化が目的。	意志決定者の選好を評価。多数の対立する基準を同時に考慮。効率性は分析目的の一つ。
情報	環境の価値評価が必要	質的・量的データの両方を分析可能。不確実性がある場合はファジー評価が可能。
選好体系	市場にもとづく。	意志決定者の優先順位にもとづく。
持続可能性	人工資本と自然資本との代替を仮定。不可逆性が存在するときは非持続可能な結果を導く。	弱い持続可能性と強い持続可能性の両者の概念に対して適用可能