

金沢大学工学部 正会員 ○高山純一
金沢大学工学部 正会員 飯田恭敏
日 建 設 計 正会員 児玉 健

1. はじめに

土木計画案を評価する上で、より優れた評価を行うためには、評価主体の利害関係を考慮するとともに、各評価主体にとっての様々な評価要因を考慮する必要がある。従来まで、複数の代替案を多種項目から総合的に評価し、序列化する科学的手法がいくつか確立されている。しかし、これらの手法は、個別に議論されることが多く、各手法の比較検討はあまりなされていない。そこで、本研究では、重み付けの変化が最優位案選択にどのような影響を与えるかシミュレーションにより検討する。具体的には評価手法ごとに、インパクト評価値の違いによる検討、評価項目間の重み付けの違いによる検討、パラメータの違いによる検討などを行った。今回、比較対象とした評価手法は、多属性効用理論を利用した乗法的効用関数及び加法的効用関数を使った2つの評価手法である。以下、前者を「乗法型」、後者を「加法型」と呼ぶ。

2. 評価手法の概要

「乗法型」及び「加法型」による総合評価値の算出には、式(1)、式(2)を使う。ただし、パラメータKは式(3)の解である。また、 u_i は $0 \leq u_i(a_{ij}) \leq 1$ である。

$$E_j = \prod_{i=1}^n (1 + K \cdot w_i \cdot u_i(a_{ij})) - 1 / K \quad (1)$$

$$E_j = \sum_{i=1}^n w_i \cdot u_i(a_{ij}) \quad \left(\sum_{i=1}^n w_i = 1.0 \right) \quad (2)$$

$$1 + K = \prod_{i=1}^n (1 + K \cdot w_i) \quad (3)$$

a_{ij} ; 評価項目 i の代替案 j に関するインパクト値
 $u_i(a_{ij})$; 評価項目 i の代替案 j に関する効用値

乗法型は、単一評価項目から受ける効用を、かけ合わせることで、総合評価値を算出しており、加法型は加重線形和として算出している。両手法とも重みの大きさは、 $N(0, 1)$ で与える。しかし、加法型の場合には、重みの合計を 1.0 ($\sum_{i=1}^n w_i = 1.0$) とし、乗法型の場合には重みの合計に条件はない。ただし、パラメータ K の値を計算する必要があるため、加法型と比較し、式が複雑になっている。 K の値は $(-1.0, \infty)$ の範囲にあり、 $K = 0$ の場合、式(1)と式(2)は一致することが証明

されている。

3. シミュレーションの方法と計算結果

多属性効用理論を用いて、複数の代替案を評価し、その中から最優位案を選択するには、i) インパクト値、ii) 各評価項目の重み w_i を知る必要がある。ここで、インパクト値を固定すれば、最優位案は重み付けにより変化する。その変化の仕方をひとつの重み w_i ($i = 1, 2, \dots, n$) に着目して検討する。具体的には、評価項目 i の重みを X_i に固定し、他の重みは、一様乱数により、式(4) (乗法型の場合) または、式(5) (加法型の場合) のように決定する。

$$w_j = X_j \quad (j=1, 2, \dots, n; j \neq i) \quad (4)$$

$$w_j = (1.0 - X_i) / \sum_{j=1}^n X_j \quad (5)$$

X_j ; 評価項目 j に割り付けた一様乱数

着目する重み w_i が、ある値 のとき、代替案 j が最優位になる確率を、最優位確率 P_j^i と呼び、式(6)で定義する。

$$P_j^i = \frac{\text{代替案 } j \text{ が最優位になる回数}}{(\text{シミュレーションの回数})} \times 100 \quad (6)$$

今回、シミュレーションに使用した効用値行列 (インパクト行列 $[a_{ij}]$ を効用関数 u_i により効用値に変換した行列) を、表-1に示す。 w_i の値は、0.0 から1.0まで、0.05きざみで与える。評価項目2の重みに着目した計算結果を図-1、図-2に示す。また最優位確率の平均値を、代替案ごとに表-2示す。図-1、図-2より両評価手法に次のような違いがあることがわかる。

- ① 乗法型の場合、 P_j^i の変化が滑らかであるため、重み w_i の変化 (不確定性) によって、最優位案が入れ換わることは少ないといえる。
- ② 加法型では、 P_j^i の変化が乗法型に比べて大きい。そのため、重み w_i の変化により、最優位案が入れ換わる可能性があるといえる。

以上の結果は、他の重みに着目した場合においても同様であった。

次に、各代替案の最優位確率を検討すると、両手法間に相違が見られる(表-2)。加法型では、効用値の平均値が大きい代替案2の最優位確率が最大となり、乗法型では、評価項目1、4について優れた代替案1の最優位確率が最大となっている。このことから、同じインパクト評価値を持つ場合でも、評価手法により、最優位案になりやすい案が異なる場合があるといえる。

そこで、どのような場合に両手法の相違が出やすいかを知るために、パラメータKの大きさに着目したシミュレーションを考える。これは $K=0$ のとき、両手法の評価結果が理論的に一致するため、逆にそのことに着目しKの値がどの程度のときに、評価結果に大きな違いがみられるかを、最優位案の異なる確率により検討するものである。なお、重みは $(0, 1)$ の一様乱数を使って発生させ、それぞれ式(7)(乗法型)、式(9)(加法型)により修正した値を使う。ただし、 α は式(8)の解である。

<乗法型>
$$w_i = \alpha \cdot X_i \tag{7}$$

$$1+K_0 = \prod_{i=1}^n (1+\alpha \cdot K_0 \cdot w_i) \tag{8}$$

<加法型>
$$w_i = X_i / \sum_{j=1}^n X_j \tag{9}$$

両手法間で最優位案が異なる確率 $P(k_0)$ を計算する。

$$P(k_0) = \frac{\text{乗法型と加法型で最優位案が異なる回数}}{\text{(シミュレーション回数)}} \times 100 \tag{10}$$

計算結果を、図-3に示す。パラメータKの値は、-0.9から1.0まで、0.1きざみで変化させた。図-3より、Kが-1.0に近づくにつれて、最優位案の異なる確率が急激に増加することがわかる。 $-1.0 < K < 0.0$ となるのは、重みの合計が1.0以上のときである。従って、重みの合計が1.0以上のときに、乗法型を使って評価した結果と、得られた重みを基準化して合計1.0として評価する加法型を使った場合とでは、評価結果に違いがみられ、最優位案が一致しないことが多いといえる。

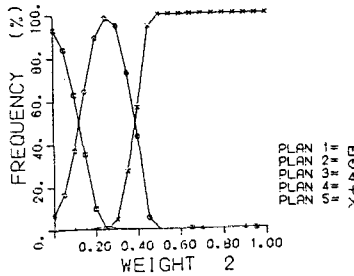


図-1 重み w_2 に着目したシミュレーション (加法型)

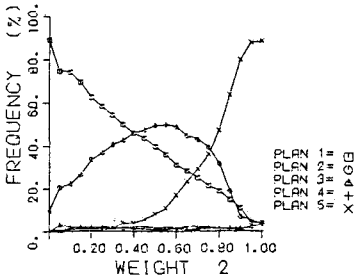


図-2 重み w_2 に着目したシミュレーション (乗法型)

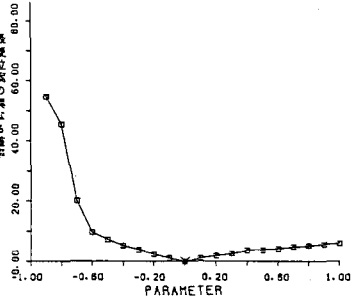


図-3 パラメータKにより最優位案が異なる確率 $P(k_0)$

4. まとめ

本研究では、シミュレーションを使って、乗法的効用関数法、加法的効用関数法の評価特性を検討した。結果をまとめると次のようになる。

- ① 評価手法によって、最優位となりやすい代替案が異なることが明らかになった。
- ② 重みの変化により、最優位案が変わりやすいのは加法的効用関数法である。
- ③ 重みの合計が、1.0 以上の場合、両手法間で評価結果に違いが出やすい。

なお、詳しいシミュレーション結果については、講演時にまとめて発表する。

5. 参考文献

- (1) 戸田常一；交通施設計画の総合評価手法とその応用に関する研究 京都大学学位論文 昭和55年3月
- (2) 飯田恭敬、他3；シミュレーションによる総合評価手法の特性分析 昭和57年度土木学会中部支部研究発表会概要集, pp. 231 - 233

表-1 効用値行列

評価項目	代替案1	代替案2	代替案3	代替案4	代替案5
C 1	0.94	0.81	0.38	0.94	0.64
C 2	0.31	0.64	0.15	0.64	1.00
C 3	0.71	0.79	0.61	0.36	0.61
C 4	0.89	0.78	0.25	0.25	0.25
平均値	0.71	0.79	0.35	0.55	0.63

表-2 最優位確率の平均値

	加法型	乗法型
代替案1	34.7	41.6
代替案2	42.5	32.1
代替案3	0.0	1.8
代替案4	2.2	1.7
代替案5	18.4	22.8