【土木計画学研究・講演集 No.8 1986年1月】

最適代替案確率の図形表示による総合評価手法特性の比較分析*

COMPARATIVE STUDY OF MULTIOBJECTIVE DECISION MAKING METHODS THROUGH GRAPHICAL REPRESENTATION OF OPTIMUM ALTERNATIVE PROBABILITIES

飯田恭敬**，児玉 健***，高山純一****

By Yasunori IIDA, Ken KODAMA and Jun-ichi TAKAYAMA

This study investigates characteristics of multicriteria analysis (MCA), multiattribute utility function (MAUF) and fuzzy integral (FI) in decision making for conflicting objectives through proposed graphical representation system showing probabilities of alternatives chosen as the optimum (P_j) for changes in criterion weight (w_i) and scaling parameter (k) and for variation in impact data (a_{ij}), which are produced by simulations. Main results are: (1) the sensitivity of P_j by the change in w_i is the highest for MAUF, (2) the sensitivity with a restriction that $\sum w_i=1$ is larger than that without the restriction, (3) as the variation in a_{ij} increases, P_j gets chose to be equal, (4) if $k<0$, an alternative with a high value of one of a_{ij} is chosen as the optimum, and if $k>0$, one with the highest mean value of a_{ij} , (5) the graphic system could give the optimum alternative under uncertainty of w_i .

1. まえがき

計画において複数代替案の中から最適案を選択決定する場合，利害関係や価値観に依存する部分が多いことから，種々の評価尺度にもとづいた検討が必要となる。そのため，定性的指標をも含めた多種多様な評価項目が多元的に考慮できる総合評価手法が最近数多く提案されている[1]。これらの総合評価手法はいずれも評価項目間の相対的ウェイトが何らかの方法で先決されることが前提となっており，そのウェイトに応じた最適案が選択されるようになっている。しかし，評価項目のウェイトは個人による差異が大きく，一意的には決め難いところがあり，また，ある時点での値がたとえ得られたとしても，社会情況の移り変わりとともに容易に変化する不安定な面を有している。各代替案に対する評価項目別データ（インパクトデータ）にしても，必ずしも確定値で与えられるとは限らない。このように評価項目のウェイトとインパクトデータが不確定に変動する場合，最適代替案としての選択確率（最適代替案確率あるいは最優位確率）が各種の総合評価手法によってどのように異なるかを明らかにしておくことは現実問題への適用に際して採用すべき手法の考え方を示唆することにつながり，きわめて興味ある重要な課題といえる。すなわち，手法間の特性に明白な差があれば，特性に応じた手法の適用がなされるべきであり，もし顕著な違いが見られない場合は，取り扱いの容易な手法が推奨されることになる。またこの特性を考慮することにより代替案の総合評価に

* キーワード；総合評価手法，図形表示システム
** 正会員 工博 京都大学教授 工学部交通土木工学科 (〒606 京都市左京区吉田本町)
*** 正会員 工修 (株) 日建設計 (〒541 大阪市東区横堀2－38)
**** 正会員 工修 金沢大学助手 工学部土木建設工学科 (〒920 金沢市小立野2－40－20)

幅広い解釈ができる。この点でも意義が大きい。

そこで本研究では，総合評価手法のうち比較的よく知られている多規準分析法（MCA），多属性効用関数法（MAUF），ファジィ積分法（FI）を取り上げて特性の比較分析を行う。この分析においては，評価項目のウェイトとインパクトデータを乱数を用いたシミュレーションで変動させ，ウェイトの合計値が 1.0となる正規化条件を有する場合と，そうでない場合について検討する。また，多属性効用関数法とファジィ積分法については構造パラメータｋの違いによる各代替案の最優位確率の変化傾向を調べ，さらに評価手法によって最適代替案順序がどのように異なるかを観察した。

これらの特性比較は，各代替案の最優位確率を図形表示することで行うが，このような図形表示システムを作成しておくと，評価項目のウェイトが与えられたとき，マニュアル的使用が可能であること，ウェイトの変動に対する最適案の安定度が一目瞭然にわかること，ウェイトづけ不能のときの最適案が決定できること，最適案選択における評価項目の重要度が示されることなど，実用面における利用価値はきわめて高い。

2．対象とする総合評価手法の概要

（1）多規準分析法

多規準分析法は数学者B.Roy 等によって開発されたエレクトル手法[2) 3)]を P. Nijkamp 等が改良を加えたものである[4)]。

評価項目ｉによる代替案ｊのインパクトデータを a_{ij} で示し，基準化しておく。すなわち，各評価項目ごとに，その最大値（最良値）を 1.0 ，最小値（最悪値）を 0.0とする。また，評価項目ｉのウェイトを w_i $(i=1,2,\cdots,n)$ とする。ただし，

$$\sum_{i=1}^{n} w_i = 1.0 \qquad (1)$$

次に，ある代替案ｊが他の代替案ｊに対してどの程度優位であるかを示す一致指数 $c_{jj'}$ と，逆にどの程度劣位であるかを示す不一致指数 $d_{jj'}$ を求め，以下の c_j と d_j を計算する（$c_{jj'}$ と $d_{jj'}$ の求め方は省略）。

$$c_j = \sum_{j'=1}^{n}(c_{jj'}-c_{j'j}),\ (j \neq j') \qquad (2)$$

$$d_j = \sum_{j'=1}^{n}(d_{jj'}-d_{j'j}),\ (j \neq j') \qquad (3)$$

代替案の序列化は，次式で行うものとする。

$$e_i = c_j - d_j \qquad (4)$$

（2）多属性効用関数法

消費者が財やサービスの消費から得る満足度を効用といい，これを関数表示したものが効用関数である。効用理論は， R.Keeny, H.Raiffa等が多目標問題の決定理論として発展させ，その体系を作り上げた[5)]。属性間の効用独立と選好独立が成立すれば，多属性効用関数は比較的簡単な形で表示できるのでこの多属性効用関数の値を求めることによって最適順序の決定がなされる。ただし，属性間のウェイトの値によって多属性効用関数は加法型と乗法型に区別される。以下にこの手法の主要な点について述べておく。

いま，相互に選好独立および効用独立である属性 $X=(X_1,X_2,\cdots\cdots,X_n)$ が得られているとする多属性 X の効用関数を $u(x)=u(x_1,x_2,\cdots\cdots,x_n)$，属性 X_i の効用関数を $u_i(x_i)$，そのウェイトを w_i とすると，多属性効用関数の一般式は次式で示される。

$$\begin{aligned} u(x) =& \sum_{i=1}^{n} w_i u_i(x_i) + k\sum_{i=1}^{n}\sum_{j>i} w_i w_j u_i(x_i) u_j(x_j) \\ &+ k^2 \sum_{i=1}^{n}\sum_{j>i}\sum_{e>j} w_i\ w_j\ w_e\ u_i(x_i) u_j(x_j) u_e(x_e) \\ &+ \cdots + k^{n-1} w_1 w_2 \cdots w_n\ u_1(x_1) u_2(x_2) \cdots u_n(x_n) \end{aligned} \qquad (5)$$

ただし，k は構造パラメータ（尺度構成係数）である。このとき， $u(x)$ および $u_i(x_i)$ は基準化されている。また， k $(k>-1)$ は次式の解で与えられる。

$$1+k = \prod_{i=1}^{n}(1+kw_i) \qquad (6)$$

（3）ファジィ積分法

ここでは菅野によって考案されたファジィ積分による代替案評価法[6)]を簡単に述べておく。

まず，項目ｉの評価値 x_i に対する帰属度関数 $h(x_i)$ を作る。ただし，

$$0 \leqq h(x_i) \leqq 1,\ (i=1,\cdots,n) \qquad (7)$$

である。この $h(x_i)$ を値の大きい順に並べる。

$$h(x_i) \geqq h(x_2) \geqq \cdots\cdots \geqq h(x_n) \qquad (8)$$

次に，ファジィ測度 $g_k(X_i)$ の値を式（9）を用いて順次求める。

$$g_k(X_i)=g(x_i)+g_k(X_{i-1})+kg(x_i)g_k(X_{i-1}) \qquad (9)$$

ただし，$g_k(X_1)=g(x_1)$，$X_i=\{x_1, x_2, \cdots, x_i\}$ である。

また，k（$k>-1$）の値は式（10）を満たすものである。

$$g_k(X)=\frac{1}{k}\left[\prod_{i=1}^{n}\{1+kg(x_i)\}-1\right]=1 \qquad (10)$$

ただし，$X=\{x_1, x_2, \cdots, x_n\}$ である。ここで，$g(x_i)$ は評価項目 i の重視度（ウェイト）に相当するものであり，$g_k(X_i)$ は評価項目を部分集合としてまとめたときの k の値によって決まる重視度を表わしている。

なお，ファジィ積分値は，上で得られた $h(x_i)$ と $g_k(X_i)$ を用いて，次式で求められる。

$$f_X\, h(x_i)\circ g_k(X_i)=\bigvee_{i=1}^{n}[\,h(x_i)\wedge g_k(X_i)\,] \qquad (11)$$

各代替案ごとにファジィ積分値を計算することにより，その値の大きい順に序列化がなされる。

3．シミュレーションによる各総合評価手法の特性分析とその比較

総合評価の代表的手法である多規準分析法，多属性効用関数法，ファジィ積分法の評価特性の差異についてはこれまで明らかとなっていない。インパクトデータとウェイトが同一であっても，どの評価手法を用いるかによって代替案の選好順序が違ってくることが考えられる。また，インパクトデータとウェイトがそれぞれ変動すると，代替案の選好順序は当然変動するが，評価手法間でその感度には差が生じるであろう。さらには，同じ手法でも評価項目ウェイトの合計値が 1.0 であるかどうか，すなわち正規化条件がある場合とない場合で，選好順序が異なってくるものと思われる。解析的にこれらのことを明示することは困難なので，以下ではシミュレーションを用いて各代替案の最優位確率を図形表示し分析することにする。なお，この分析においては，表－1に示す基準化されたインパクトデータ a_{ij} を共通の基本データとして用いる。

Table 1. Impact matrix a_{ij}.

		Alternatives(Plans)					Weight
		1	2	3	4	5	
Criteria	1	0.94	0.81	0.38	0.94	0.64	$w_1, g(x_1)$
	2	0.31	0.64	0.15	0.64	1.00	$w_2, g(x_2)$
	3	0.71	0.79	0.61	0.36	0.61	$w_3, g(x_3)$
	4	0.89	0.78	0.25	0.25	0.25	$w_4, g(x_4)$
Mean value		0.71	0.79	0.35	0.55	0.63	

（1）評価項目の重みづけの変動による分析

最初に所与の a_{ij} を確定値として固定し，各評価項目のウェイトをランダムに変動させ，各種代替案の最優位確率がどのように変化するかを各評価手法別に分析してみる。この分析では評価項目ウェイトの変化に対する評価結果の安定性を見ることができる。もしウェイトの変化がそれほど大きくなくても代替案序列が頻繁に変わるようであれば，価値観が多様な多数の人を満足させる最適案を選択することが困難なことを示す。

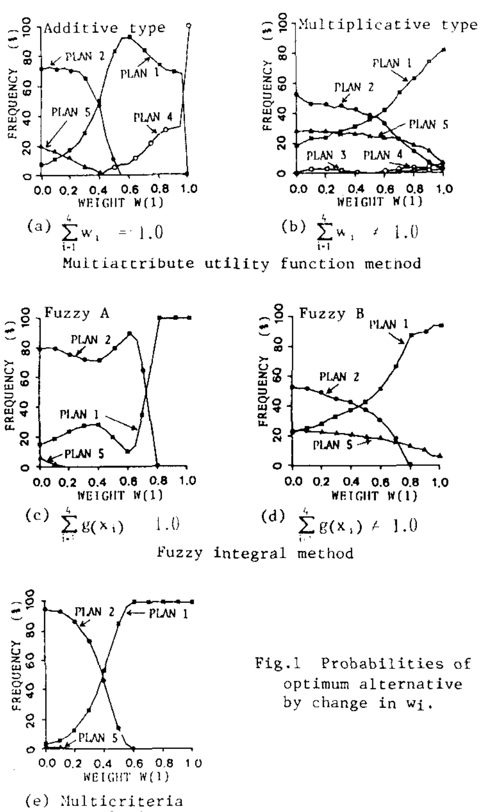
シミュレーションの結果の一例として，ウェイト w_1 に対する各評価手法の最優位確率を図形表示したのが図－1である。この場合，w_i に正規化条件がある場合とない場合で，多属性効用関数法は加法型と乗法型，ファジィ積分法はA型とB型と呼んで区別し，別々にシミュレーションを行っている。

この結果をみると，まず同一の評価手法でもウェイト正規化条件の有無によって，ウェイト変化による各代替案の最優位確率の変化が明確に異なることがわかる。例えば，多属性効用関数法の加法型と乗法型を比べると，加法型では最優位確率が大きく急激に変化するのに対し，乗法型では全体的に緩やかに変化する。ファジィ積分法についても，この傾向は同様なことがいえる。多規準分析法は常にウェイトが正規化されているが，この場合も最優位確率はウェイト変化に対して大きく変化している。このことから一般的には，正規化条件がある場合はウェイト変化に対する最優位確率の感度が高く，代替案間の優劣が明確に表示され，正規化条件のない場合はこの逆の特性を有することがいえる。

また，各評価手法間で比較してみると，各代替案の最優位確率にかなり差のあることが判明する。例えば，ウェイトが正規化された場合で代替案1についてみると，w_1 の増加につれて加法型では次第に最優位となる確率が増大し，0.6 付近でピークに達

してからその後減少し，w_1 =1.0 で零となる。これがファジィA型では，w_1 =0.4 あたりまで増大したあと0.6 までは一度減少するが，再び増大して0.8 以後は最優位確率が1.0 となる。多規準分析法では，w_1 の増加にともない最優位確率は単調増大し，w_1 =0.6 に達すると以後は代替案１は常に最優位となる。また代替案５についてみると，多規準分析法では最優位案として選択される確率は極めて低いが，ファジィA型ではこれが少し大きくなり，加法型ではさらに大きい値となる。代替案４が最適案となるのは加法型の場合だけである。この結果から，ウェイト変化に対して最優位確率の変化が大きく応答的であるのは加法型，ファジィA型，多規準分析法の順であるといえる。ウェイトが正規化されていない乗法型とファジィB型を比較しても最優位確率の変化は緩やかであるが，同じようなことが観察され，やはりファジィ積分法のほうが代替案の優劣が明確に表われている。

上の特性が導かれる理由は，次のように考えられる。まずウェイトに対する正規化条件の有無による特性の相違は，ウェイトの相対変化量が正規化されると，非正規化の場合に比べて大きくなるということである。極端な例で示すと，前者の場合，ある１つのウェイト値が1.0 になると，他のウェイト値は零とならなければならない。これに対して後者の場合，他のウェイトは〔0，1〕の範囲で任意の値がとれる。すなわち，正規化条件があるときは，ウェイト値が大きくなると他のウェイト値は小さくならざるを得ないが，正規化条件がないときは，各ウェイト値はいずれも独立した値がとれるのである。ウェイトの相対的変化量が大きければ，最優位確率の変化も大きくなることは明らかであろう。



(a) $\sum_{i=1}^{4} w_i = 1.0$　(b) $\sum_{i=1}^{4} w_i \neq 1.0$

Multiattribute utility function method

(c) $\sum_{i=1}^{4} g(x_i) = 1.0$　(d) $\sum_{i=1}^{4} g(x_i) \neq 1.0$

Fuzzy integral method

(e) Multicriteria analysis

Fig.1 Probabilities of optimum alternative by change in w_i.

評価手法間の特性の相違については，多規準分析法の場合，代替案の優劣は主としてインパクトデータ a_{ij} によって決まり，ウェイトは間接的にしか効いてこない。したがって，ウェイト変化に対して最優位確率は，特定の境界値付近で急激な変化を示すが，他の領域では安定した形となっている。ファジィ積分法では，ウェイトはファジィ測度の中で取り扱われ，最優位案は正規化されたインパクトデータとの相対的関係で決定される。すなわち，ウェイトは与えられた値そのものではなく，ファジィ測度で変換された値が用いられ，またファジィ測度が最適案を常に決定するとは限らない。それゆえ，多規準分析法の場合よりは直接的であるが，ウェイトが最優位確率に明確に効いているとはいえないところがある。多属性効用関数法では各評価項目の効用値にウェイトを乗じた形で多属性効用値が表わされるので，最適案決定にはウェイトが直接関与してくる。このため，ウェイトの変化がそのまま最優位確率の微妙な変化として反映され，全体としては劣位にある代替案もウェイトの付け方によってしばしば最適案となることが起こる。このように各評価手法に関する特性の相違は，最優位案決定におけるウェイトの直接的関与の程度によって異なってくるものと思われる。

（2）インパクトデータの変動による分析

ウェイトの変化に加えて，インパクトデータを変動させてみる。この変動は a_{ij} を平均値，σ をその相対偏差とする正規分布に従うものと仮定し，標準正規乱数を発生させて行う。

a_{ij} の変動を $\sigma=50\%$ としたときの w_1 についてみた各代替案の最優位確率が図－２に示されている。これを $\sigma=0\%$ のときの図－１と比較してみると，ウェイトが正規化されている場合，a_{ij} の変動により各代替案の最優位確率曲線が緩やかに変化し各評価手法とも代替案間の優劣の差がそれほど明確ではなくなってきている。詳細に見れば，評価手法によって特定のウェイト値に対する最優位案が異なるが，概ねの傾向には変わりがない。ウェイトが正規化されていないときは，$\sigma=0\%$ のときでも最優位確率曲線はかなり緩やかであったが，これがさらに緩やかになる。この場合もやはり評価手法によって各ウェイト値に対する最優位案は異なるが傾向は同じである。これらのことから，ウェイトが正規化されている場合，a_{ij} の変動に対する最優位確率の感度は大きく，正規化されていない場合は比較的小さいといえる。また a_{ij} の変動が大きくなるにともない，評価手法に差がなくなり，各代替案の最優位確率が等確率に近づいていくことが推察される[7]。

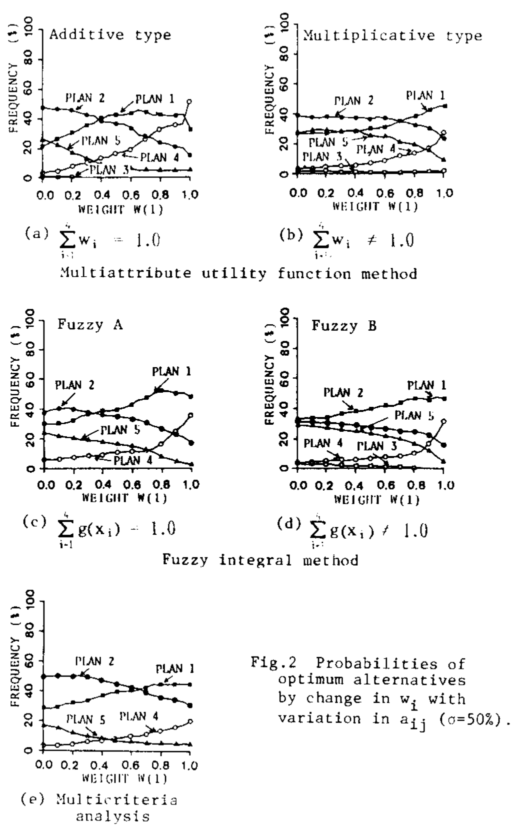


Fig.2 Probabilities of optimum alternatives by change in w_i with variation in a_{ij} (σ=50%).

（3）パラメータ k の変化による分析

パラメータ k の値はウェイト｛w_i｝に対して決まるものであるが，ここでは逆に，k を与えて｛w_i｝を求める。いま各 X_i を〔0，1〕の一様乱数で与えておくと，式（12）を満たす α を求めれば，ウェイト w_i は αX_i で得られる。

$$1+k=\prod_{i=1}^{n}(1+\alpha k X_i) \tag{12}$$

このシミュレーションの目的は k の値によって多属性効用関数法の加法型と乗法型で，またファジィ積分法のＡ型とＢ型で最優位案の異なる確率がどのようになるかを知ることである。図－３はその結果を示したものである。$k=0$ においては，加法型と乗法型，ファジィＡ型とＢ型は同一となるので，最優位案の異なる確率は当然零となるが，この点を境として k が正負いずれの方向に変化しても最優位案の異なる確率は大きくなる。特に $k<0$ では，k が－１に近づくにつれて急激に増大する。一方 $k>0$ では，k が大きくなっても増大はそれほどでもなく，$k=2.0$ を越えるとほとんど一定値になってしまう。また，２つの手法を比較するとファジィ積分法のほうが k の変化による影響が全体としては大きいことを示している。$k>0.6$ ではこの関係が逆転しているが，その差は僅少である。

k が負の範囲で，正の範囲のときより最優位案が異なる確率が大きいのは，

$$\begin{aligned}\sum_{i=1}^{n} w_i>1 \quad &\text{のとき} \quad -1<k<0. \\ \sum_{i=1}^{n} w_i<1 \quad &\text{のとき} \quad k>0.\end{aligned} \tag{13}$$

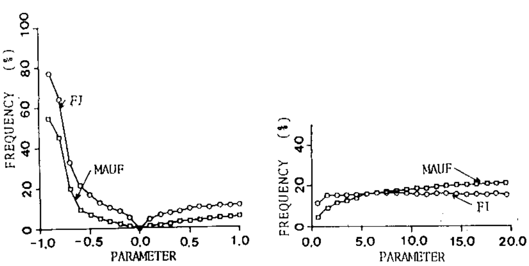
なる性質[5]を有していることと関係している。すなわち，$k<0$ の場合は，$k>0$ の場合に比べて，各 w_i の値が相対的に大きく，そのため w_i の変動量もそれだけ大きいといえる。その結果，最優位案の異なる確率も大きくなる。

ファジィ積分法が多属性効用関数法よりもパラメータ k の感度が大きい理由は，先述したように，ウェイトが正規化されている場合，ファジィ積分法のほうがウェイト変化に対して各代替案の優劣が非応答的で，かつあるところで急変的に示されるのに対し，ウェイトが正規化されていない場合は，両手法とも各代替案の最優位確率はほぼ同様な傾向を示

すので，この違いが効いてくるものと思われる。

次に，多属性効用関数法とファジィ積分法について，k の変化による各代替案の最優位確率を示したのが図－4，5である。k の値が－1に近いところでは，多属性効用関数法によれば代替案1が，ファジィ積分法を用いると代替案5が最優位案となっているが，k の値が－0.8 より大きくなると，いずれの方法も代替案2が最優位となる。このようにkの値によって最優位案が異なってくる。このシミュレーション結果でも，多属性効用関数法よりもファジィ積分法のほうがパラメータ変化，すなわちウェイト変化に対して代替案優劣の区別は明瞭であるが，非応答的であることが示されている。

なお，このシミュレーションにおいてウェイトを一様乱数で与えたとき，k 値の出現頻度分布は－1に近づくほど大きく，k 値が増大するにともない急速に減少して，$k>0.5$ となる確率はかなり小さくなる。



(a) $-1<k\leq 1.0$　(b) $0.0\leq k\leq 20.0$

Fig.3 Probabilities of giving optimum alternative different from that at k=0.

ここでパラメータ k のもつ意味を多属性効用関数法を用いた簡単な例で考察してみる。次に示すような評価項目が2個の代替案が4通りあるとする。

代替案A (0.9, 0.1)，代替案A′ (0.1, 0.9)

代替案B (0.6, 0.4)，代替案B′ (0.4, 0.6)

ただし，(,) 内の数値はそれぞれ評価項目1，2の効用値を示している。代替案A，A′ は一方の評価項目の効用値が卓越しているもので，代替案B，B′ は2個の評価項目の効用値が，いずれも0.5 に近い値をもつものである。いまAとA′，およびBとBをそれぞれ0.5 ずつの確率で選好するくじ＜A，A′＞，＜B，B′＞を考え，前者のくじが後者のくじより選好されるとする。

すなわち，＜A，A′＞$\succ$＜B，B′＞のとき，

$$0.5\{(0.9w_1+0.1w_2+0.9\times0.1\times kw_1w_2)+(0.1w_1+0.9w_2+0.1\times0.9\times kw_1w_2)\}$$
$$>0.5\{(0.6w_1+0.4w_2+0.6\times0.4\times kw_1w_2)+(0.4w_1+0.6w_2+0.4\times0.6\times kw_1w_2)\}$$

が成立しなければならない。ただし，$\succ$ は選好の順序関係を示す記号である。これより，$k<0$ が導かれる。この逆が成り立つことも明らかである。同様にして，

＜A，A′＞～＜B，B′＞ $\Longleftrightarrow$ $k=0$

＜A，A′＞$\prec$＜B，B′＞ $\Longleftrightarrow$ $k>0$

なる関係が求められる。このことから，パラメータ k の意味づけについては，$k<0$ のときは，評価項目のうち1つでも優れた効用値をもつ代替案が最優位案として選好され易い，また $k>0$ のときは，評価項目間の効用値の分散の小さい代替案が最優位となり易い，と考えられる。ただし，上のくじの選好においては，両者の効用値の単純平均値は0.5 で同一としている。もし効用値の単純平均値が異なればその値の大きいほうが選好される確率が高くなることは自明のことである。図－4をみると，$k<0$ では，表－1に示されている評価項目のうち，1つでも優れた効用値をもつ代替案1，2，4，5がかなり高い確率で最優位案として選択されている。しかし，$k>0$ となり k の値が大きくなるにしたが

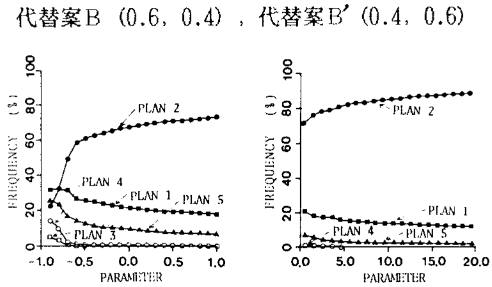


Fig.4 Probabilities of optimum alternatives by MAUF.

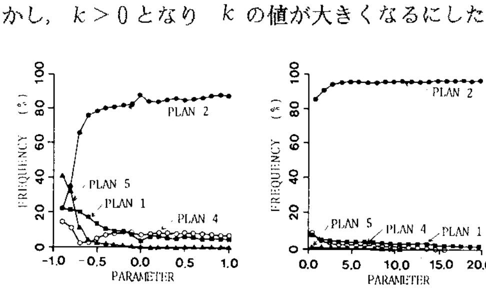


Fig.5 Probabilities of optimum alternatives by FI.

って効用値の単純平均値が大きくその分散が小さい代替案２のみが最優位案として卓越するようになる。

ファジィ積分法についても，同様な性質があることが推察される。図－５からは，多属性効用関数法よりもむしろその性質は顕著であるかも知れない。

（４）評価手法による最優位確率の相違

評価手法ごとに各代替案の最優位確率を示したのが表－２である。

Table 2. Probabilities of optimum alternatives by each method.

Weight		Σ wᵢ = 0			Σ wᵢ ≠ 0	
Method		Additive	Fuzzy A	Multi-criteria	Multi-plicative	Fuzzy B
Alternatives	1	22.8	5.0	23.2	42.3	39.8
	2	65.5	84.5	76.7	29.8	28.8
	3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	4	0.5	9.5	0.0	1.3	11.4
	5	11.2	1.0	0.1	26.6	20.0

これを見ると，ウェイトに正規化条件がある場合とない場合で，各代替案の最優位確率が明確に異なっていることがわかる。まず，正規化条件があるときは，代替案２の最優位確率が最大となっており，各手法とも効用値の単純平均値の大きさにほぼ応じた形で代替案の優先順位が決まっている。このときファジィ積分法で，代替案４が代替案１よりも優先順位が高いことが異なっているだけである。一方，正規化条件がない場合は，代替案１が多属性効用関数，ファジィ積分法とも最優位確率が最大となる。このように正規化条件の有無で最優位案が異なるのは，ｋの値の影響が関係している。ウェイトが正規化されない場合は，　$k<-0.5$ となる確率がきわめて高く，　$k<0$ では評価項目のうち１つでも優れた効用値をもつ代替案が最優位案として選択されるようになる。これに対して正規化条件のあるとき（ $k=0$ ）は，先の場合に比べて相対的に効用値の単純平均値で代替案の優先順位が決まってくる傾向が強くなる。

４．最優位確率図形表示システムの他の利用法

代替案ごとの最優位確率を w_i の変化に対して図形表示することは，上の特性分析の他にも，次のような点で有用性が高い。第１点は，各種代替案の選好順序決定に関して，マニュアル的利用が可能であるということである。評価項目のウェイトは人により，また状況により変化するものなので，特定のウェイト値のみに対して選好順序を決定するより，どのようなウェイトづけにも対応できるほうが，ウェイト値の不確定性を考えるとより現実的であろう。第２点は，この図形表示により選好順序の安定性が明示されることである。ウェイトの少しの変化で選好順序が頻繁に激しく変わるようでは，意志決定者は最適案を選択するのにためらうことになる。逆にウェイトが少し変化しても選好順序にそれほど影響がなければ最適案を決定し易い。選好順序が不変のときの各ウェイト値の範囲，および選好順序が変化するときの各ウェイトの境界値は図から容易に求められる。第３点は，ウェイト値が確定しなくても選好順序が決定できることである。このとき各ウェイト値は0.0 から1.0 まで一様に分布すると考えればよい。図－６は多規準分析法を用いて，代替案と評価項目がともに３個，$\sigma=0$％のときの先とは異なる例に対する結果[7]を示したものであるが，この場合は図－７のような代替案ごとに集めた表示法に直しておくと便利である。すべての w_i についてみた最優位確率の期待値（面積で求めてもよい）は代替案２が最大になることは明らかであろう。これとは

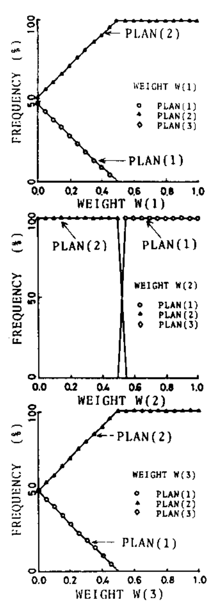


Fig.6 Probabilities of optimum alternatives collected for each weight (MCA).

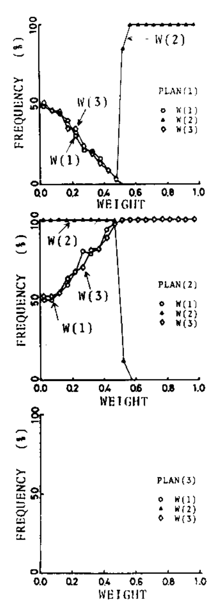


Fig.7 Probabilities of optimum alternatives collected for each alternative (MCA).

反対に代替案３の最優位確率の期待値は零である。よってウェイト値が不確定の場合，選好順序は代替案２，１，３になるといってよい。第４点は，選好順序の決定における各評価項目の重要度（あるいは影響度）が把握できることである。このときもウェイト値が不確定であると考えるが，従来のようなウェイトごとに着目した図－６の表示法のほうが都合がよい。w_2 についてみると，全域でいずれかの代替案が100 ％の確率で最優位となっている。w_1 と w_3 については，ともに0.5 以上で100 ％の最優位確率を与えているだけである。したがって，選好順序の決定に関しては，w_2 のウェイト変化の影響度が最も大きく，この評価項目が最重要な役割を果していることがわかる。このとき，評価項目の重要度はインパクトデータを基準化する方法で異なる。所与データによるのではなく，別に設定された最良水準，最悪水準に対して基準化するほうが重要度はより顕著に現れるであろう。

５．まとめ

上ではシミュレーション結果の一部を示したにすぎないが，他のいくつかのケースについても同様な結論が得られている。各手法の特性は次のようにまとめられる。（a）ウェイト変化に対して最優位確率変化が応答的なのは，多属性効用関数法，ファジィ積分法，多規準分析法の順である。（b）ウェイトに正規化条件がある場合は，ない場合に比べてウェイト変化に対する最優位確率の感度が高い。（c）インパクトデータの変動に対しては，ウェイトの正規化条件が有る場合，最優位確率の変化は大きく，無い場合は比較的小さい。そしていずれの場合もインパクトデータの変動が大きくなるにつれて，各評価手法とも代替案間の優劣に差がなくなっていく。（d）ウェイトの正規化条件の有無で最優位案の異なる確率は，ファジィ積分法の方が多属性効用関数法よりも大きい。また，この確率はパラメータ k の変化についてみると，k が－１に近づくほど急激に大きくなる。（e）ウェイトに正規化条件のある場合（$k=0$），各代替案のインパクトデータの単純平均値にほぼ応じた形で最適案順序が決まる傾向がある。正規化条件がない場合（$k<0$ となることが多い）は，卓越したインパクトデータが１つでもあれば最優位案となる特性がある。

これらの諸特性は，実際適用における評価手法の選択基準に直接つながるものではないが，多くの点で示唆を与えるであろう。例えば，代替案の優劣差を明確に示したい場合は，多規準分析法を選択するのが適当と思われる。ウェイトに制約がないときは多属性効用関数法かファジィ積分法を用いることになるが，優劣差は後者のほうが明確である。インパクトデータに変動があるときは，各評価手法間に顕著な差はないので，取り扱いが比較的簡単な多規準分析法が勧められよう。ウェイトを正規化するかどうかについては，表示される代替案の優劣差の明確度，安定性および選好される最優位案の特性を考慮して判断すればよい。このようにして，上の特性が明らかになったことから，適用した手法における代替案の総合評価に幅広い解釈ができることになる。また，特性分析で用いた最優位確率の図形表示システムは，次の点で実用的価値が高いものである。

第１点は，各種代替案の選好順序決定に関してマニュアル的利用ができること，第２点は，代替案の優劣の程度，選好順序の安定性が明示されること，第３点は，ウェイト値が不確定のときの選好順序が決定できること，第４点は，選好順序における各評価項目の重要度が把握できること，である。

最後に本研究は文部省科学研究費一般（c）によって行われたものであることを付記しておく。

参　考　文　献

1）近畿地方建設局：総合評価手法に関する文献・資料，昭和53年10月.

2）B. Roy：Classement et choix en presence de points de vue multiples , Revue Francaise de Recherche Operationelle, No.8, pp.57-75, 1968.

3）中村清：地域環境の多規準意志決定モデル，高速道路と自動車，Vol.22, No.2, pp.40-44, 1979.

4）P. Nijkamp：Theory and Application of Environmental Economics, North-Holland, Amsterdam,1977.

5）R.L.キニー，H.ライファ（高橋康彦，高橋亮一，中野一夫監訳）：多目標問題解決の理論と実際，構造計画研究所，1980.

6）菅野道夫： Fuzzy測度と Fuzzy積分，計測自動制御学会論文集， Vol.8, No.2, pp.218—226 , 1972.

7）飯田恭敬，高山純一，小久保正博：多規準分析法のシミュレーションによる最適代替案比較，都市計画別冊，15 pp.361-366, 1980