

IV-11

土木計画問題におけるファジィ環境下での社会的選好性に関する基礎的考察

北海道大学大学院環境科学研究科 正員 加賀屋 誠 一

北海道大学大学院環境科学研究科 正員 山村 悦 夫

1. はじめに

土木工学は人間の生活環境の創造、改善に寄与する最も重要な工学の1つであり、土木計画学は、それらの規模、進むべき道程などを決定する重要な役割を担う学問の1つであるといえる。この視座に立つと、われわれは、その生活環境を創造するために、限られた条件のもとで、望ましい状態を作り出す工夫を絶えず繰り返していることになる。そして、望ましい状態、あるいは、最良の状態を生み出すためには、環境創造への新しい技術開発と共に、計画対象となる地域でのニーズや反応と計画決定者の相互作用による迅速な意思決定プロセスの確立が、重要であるといえる。

近年、この望ましい状態に関わるなるさまざまな社会的条件が、急速な変化を伴っていることが、指摘されている。具体的に、これは、生活環境に対する価値観が、自然的条件の克服やインフラストラクチュアの整備など、主として、居住環境の基礎的な整備計画から、快適性、満足感の追求、あるいは文化の創造などの価値意識に関わるものの施策づくりへの変化を意味するといえる。視点を変えれば、測定しやすい価値から、測定しにくい価値の把握への欲求の強まりであるといえよう。¹⁾

ここでは、このような背景を考慮し、①地域住民の意思を反映した計画づくり、②快適環境、文化創造を含めた計画の展開、③地域の質的な資源の利用方法といった測定しづらい情報の計画への利用法について考えるものとする。具体的な目的としては、①環境整備における基本的な施策に対する住民意思の明確化、②複数利害グループの意見集約法とその選好性評価、③意見のあいまい性の評価に対する検討方法を考えていくものとする。またこれらの一連の検討プロセスを、都市における河川周辺環境整備問題に適用するものとする。

2. 検討の方法と手順

(1)検討の手順

ここでの河川周辺環境整備施策の評価は、図1のような手順によって行われる。ここでは、整備施策の項目として、具体的な利用者ニーズによって得られた細目を整理し、いくつかの代替案に集約し、それらを河川環境整備の基本的施策課題とする。次に、それらの各課題についての現状における重要性と将来の期待度を調査する。各課題の相対的重要性によって、効用値の算定を行う。効用値の評価の方法としては、各グループごとに、寄与ルールを適用し、さらに、寄与ルール法は、効用値のあいまい性を考慮して、ファジィ数による拡張を試みている。得られた複数のメンバーによる、社会的な選好性評価によって、各グループの集約された意見の構造化を行い、選好構造を把握する。各グループの類似性および構造安定性の評価は、その選好構造を考察するのに重要な検討項目であり、最後に、それらの検討を基にして、意思決定プロセスの位置づけを行う。

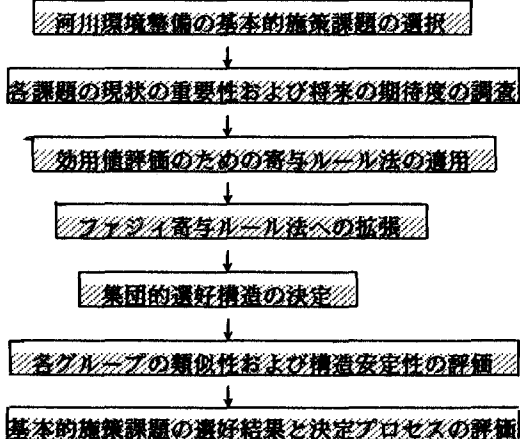


図1 検討手順

(2)方法とアルゴリズム

①合意形成プロセス…人間の主観性を計画プロセスへ導入するためには、その考え方が、浅い知識情報

であること、また、直感的な知識情報であることの前提が必要であると考えられる。すなわち、ここで行われた調査の場合を考えると、まず、図2のようなあいまい性が発生すると考えられ、それらを忠実に再現できる方法を導入することによって、主観性導入の価値も高まると考えられる。ここでは、①評価づけの際のあいまい性については、ファジィ集合の帰属性を考えたファジィ数による処理、②反対意見の強さによる選好のあいまい性および③意見の一致性の不確かさについては、パラメータを導入する方法によつての処理を考えるものとする。²⁾

- ①調査時点での評価に関わるあいまい性(浅い知識、直感的な知識) → ファジィ数による表現
 ②反対意見の強さによる不確かさの影響
 ③意見のばらつきによる不確かさの影響
 → パラメータによる選好強度の修正

図2 合意形成に伴う不確かさの考え方

1) 寄与ルール法…各意思決定者の基数効用値([-5,+5]の範囲)の評価によって、集団の効用総和を算定し、その大小により、選好構造を決定するものである。いま、選択枝(対象とする項目)の2つを a_i, a_j とし、意思決定者(調査対象者) k が、集団の選好に寄与する量を表す関数 C^k (contribution function)を用いて、その選好性を次のように定義する。³⁾

$$a_i R a_j \quad \text{iff } C^k(a_i, a_j) \geq 0 \quad (1)$$

ここで、 $a_i R a_j$ は、意思決定者 k にとって a_i は a_j より好ましいかあるいは、同程度に好ましいことを表し、連結律と推移律を満足する。 $C^k(a_i, a_j)$ は、意思決定者 k の a_i の a_j に対するある種の選好強度を表す。ここで、 $C^k(a_i, a_j)$ を C^k_{ij} と簡略化し、また、意思決定者をメンバーと表す。メンバーの数を m 人として、

$$a_i R a_j \quad \text{iff } g(C^1_{ij}, \dots, C^m_{ij}) \geq 0 \quad (2)$$

で定義される実関数 g および C^k が存在するとき、この個人の選好から集団への写像を寄与ルール(contribution rule)という。この場合の R は、集団の選好を表す。特に、 g が個人の C^k_{ij} の和の時、つまり、

$$g(C^1_{ij}, \dots, C^m_{ij}) = \sum_{k=1}^m C^k_{ij} \quad (3)$$

の場合を、SCR(simple contribution rule)という。メンバー k の選択枝 a_i に対する基数効用値を $u^k(a_i)$ で表す。ここで C^k_{ij} を選択枝 a_i と a_j の効用の差、つまり、 $C^k_{ij} = u^k(a_i) - u^k(a_j)$ (4)

とすると、SCR法では、

$$g(C^1_{ij}, \dots, C^m_{ij}) = \sum_{k=1}^m u^k(a_i) - \sum_{k=1}^m u^k(a_j) \quad (5)$$

となる。この関係によって決まる集団の選好関係は弱順序関係である。

このように、SCR法は、各メンバーの選択枝に対する効用評価と、その効用値の差の集団による総計によって、選好関係を決める方法である。したがって単記投票による選好性決定に比べて、各人の多様な情報をより多く取り入れた方法であるといえる。しかしながら、主観的な情報を計画情報として導入する場合、結果としての決定情報のみではなく、少数意見としての考え方、反対意見の大きさなどをもあわせて考えていく必要がある。むしろ、個性的なアイディアを大切に考えなければならない場合、その意思決定過程を重要視しなければならない。このような意思決定の中間的な考え方を考慮するために、i)で論じた不確か性を寄与ルールに導入する。結果として得られる選好関係を表す式は、(6)のように変形される。

$$g(C^1_{ij}, \dots, C^m_{ij}) = \sum_{k=1}^m C^k_{ij} + \lambda \sum_{k=1}^m \text{Min}(0, C^k_{ij}) - \theta \tau \quad (6)$$

ここで、右辺第2項は、反対意見を考慮して、 $C^k_{ij} < 0$ の場合、 $a_i R a_j$ ごとに、反対意見をさらに入だけ余分に取り入れるものである。一方、第3項は、平均値からの下限を定めるしきい値 τ の影響を表すもので、意見の一致度を考慮したものである。そして、選好の強さが、小さい順序関係から切れて行くものである。この選好関係は、推移律は満たすが、連結律は満足されないで、半順序関係になり、順序関係は保証される。(θは平均値、λおよびτはパラメータ)

2) あいまい性のある調査結果を評価する方法…調査は、選択項目ごとに各メンバーが直接評価点づけする方法、一対比較による相対的な評価を、グラフマトリクスでまとめる方法などが考えられる。ここでは、対象となるメンバーが、評価しやすい後者の方法を採用することとした。その手順については詳細な説明は避けるが、結果として、各項目±5の評点で評価される。またその合計は、±0に調整される。この評点は、i)で述べたように、主観によるあいまい性をもつので、ここでは、弾力的に取り扱う方法を考えるものとする。

いま、各評点に、三角型のメンバーシップ関数を当てはめ、それらのファジィ数の演算を拡張原理に

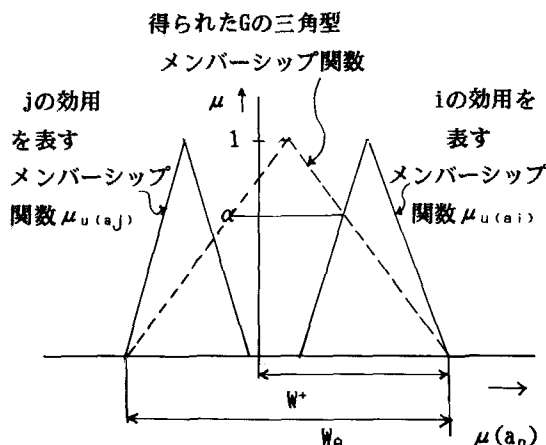
より行えば、上述した寄与ルールが、ファジィ集合によるあいまい基数効用関数に基づいて進められる。またこの場合のメンバーシップ関数は、いずれも同等の型、台の大きさ（三角形の底辺）が等しい関数と考えると、クリスプな集合の演算と同様な演算が可能となる。したがって、(3)、(5)および(6)は、それぞれ次の(7)、(8)および(9)に拡張できる。⁴⁾

$$G(C^k_{ij}) = \sum_{k=1}^m (\mu^1_{cij} \Lambda \cdots \Lambda \mu^m_{cij}) / \sum_{k=1}^m C^k_{ij} \quad (7)$$

$$G(u^k(a_i), u^k(a_j)) = \sum_{k=1}^m (\mu^1_{u(a_i)} \Lambda \cdots \Lambda \mu^m_{u(a_i)} \Lambda \mu^1_{u(a_j)} \cdots \Lambda \mu^m_{u(a_j)}) / (\sum_{k=1}^m u^k(a_i) - \sum_{k=1}^m u^k(a_j)) \quad (8)$$

$$G(u^k(a_i), u^k(a_j), \min(0, C^k_{ij})) = \sum_{k=1}^m (\mu^1_{u(a_i)} \Lambda \cdots \Lambda \mu^m_{u(a_i)} \Lambda \mu^1_{u(a_j)} \Lambda \cdots \Lambda \mu^m_{u(a_j)} \Lambda \mu^1_{\min(0, C^k_{ij})} \Lambda \cdots \Lambda \mu^m_{\min(0, C^k_{ij})}) / (\sum_{k=1}^m C^k_{ij} + \lambda \sum_{k=1}^m \min(0, C^k_{ij}) - \theta \tau) \quad (9)$$

得られたGは、三角型メンバーシップ関数となり、台集合は、実数の集合となる。一般に、図2に示すようにGの台集合の範囲は、-の領域から、+の領域までとることがわかる。ここでの、(8)式に対応する選好関係は、メンバーシップのグレードで表し、図に示すように、台の実数が0となる α (α カットという)を関係の強さを表すマトリクス要素の値とする。これらの要素で表す関係マトリクスを用いて、ファジィ構造モデリング(FSM)により、構造化を行いダイグラフを作成する。⁵⁾⁶⁾



関係の強さの算定 $a_{ij} = W^* / W_a$

図3 ファジィ数による関係の強さの算定

iv)FSM法…FSM法は、ファジィ従属関係マトリクスを基本とし、いくつかの抽出した要因の階層化を行い、階層間並びに、階層に属する要因間の従属関係を決定して、それをグラフで表すことを目的とす

るものである。いま、対象となる要因（項目）を、 $S=\{s_1, s_2, \dots, s_n\}$ とし、抽出した要因間の従属関係を示すマトリクスとして、ファジィ従属マトリクスAを次のように定義する。

$$A = [a_{ij}] \quad (10)$$

ここで、行列Aは、 $n \times n$ 行列である。その要素 a_{ij} は、上述したような考え方で決定され、次のあいまい2項関係を与える。

$$a_{ij} = f_r(s_i, s_j) \quad 0 \leq a_{ij} \leq 1 \quad (11)$$

すなわち、 a_{ij} は、要因 s_i が s_j に従属する”らしさ”の強さを表す。FSM法の詳細な説明は、他の文献に譲るが、手順としては、次のようにまとめられる。

①これらのマトリクスは、あらかじめ非反射律、非対称律を満足するように設定されているが、半推移律が満たされるように修正する必要がある。②最上層レベル集 $L_1(s)$ 、中間レベル集合 $L_i(s)$ 、最下層レベル集合 $L_0(s)$ 、および独立レベル集合 $L_{id}(s)$ を求め、ブロック集合を決定するこのとき、各レベル集合の決定のために、しきい値をパラメータとして任意に扱うのが、この方法の特徴である。③ブロック集合を用いて、隣接行列を分割し、それらの行列ごとに、可到達行列を算出する。④ファジィ代数によるレベル法を新たに開発し、逐次グラフを作成する。

表1 調査対象者の概要

グループ番号	グループ名	基本的な立場
グループ1	自然保全グループ	施設整備より自然の状況に近い形で河川環境を考えたい 17名
グループ2	積極利用グループ	施設整備によって、河川数の積極的な利用を考えたい 15名
グループ3	専門家 学識経験者	河川工学・地域計画・都市計画 専門の研究者 4名
グループ4	専門家 技術者	河川整備事業を担当している 技術者 9名

3. 河川周辺環境整備問題への適用

(1)対象地域と意思決定グループの概要

対象流域としては、札幌市中央区、豊平区を分割する豊平川流域地域南北約2km、東西約1.5kmの、長方形で区切られる地域を選定した。この地域は、河川から最も近い地点で、徒歩約20分で接近できる地域である。また、河川数に利用についても最も高度利用がなされている地域である。

意思決定情報を提供していただく意思決定者グループを、表1に示すように、4つに分けそれぞれを集

団として、その考え方を調査表による調査を通して検討を行うこととした。

(2) 基本的施策課題の抽出

都市環境の中での河川敷の役割は、①利水、異常出水の排除などの従来からの機能として利用②都市に残された大きなオープンスペースとしての利用③自然生態の保全に対する寄与などで重要性が増しつつある。また、視点を変えて、都市での居住環境の中で親水機能の果たす役割は、水辺のもつ精神的・文化的機能あるいは、水辺レクリエーション・都市公園としての役割などを考えても、都市を計画する上で、重要なものと考えられる。ここでは、河川流域環境の整備の多様性・複雑性、あるいは、無秩序な開発への恐れなどを踏まえて、河川流域環境整備計画のための、意思決定者のニーズの把握と論点の明確化のために、表2のような項目を抽出した。

表2 河川環境整備の基本的施策課題

施策課題名	施策の基本的な考え方
①水特性	清流・豊かな水・浅瀬・せせらぎ・雄大な流れなど河川の部分的特性を最大限に活かした整備方法
②河道特性	河道全体の特性、その流れや、多様性を最大限に活かした整備方法
③河川緑地特性	緑地空間・樹木・花・草などの緑地や植物を最大限に活かした整備方法
④河川生態特性	魚・動物の生息・昆虫・鳥・蛙・蜚などの動物生態系を中心とした環境を最大限に活かした整備方法
⑤歴史的・特性	歴史的資産・伝統美観・運河と倉庫群など史的特性を最大限に活かした整備方法
⑥景観特性	自然景観・夕陽・景色・山や町並みとの調和を最大限に活かした整備方法
⑦活動特性	釣り・水遊び・遊歩道・休憩施設・筏下りなど活動面を最大限に活かした整備方法

(3) 調査結果と分析

調査は、選定された7つの河川環境整備のための基本的施策課題項目について、①現状での重点的施策が与える効果の評価、および、②将来の施策に対する期待度の2つの質問によっておこなわれた。それらの調査結果を、検討手順にしたがって、各グル

ープごとにその選好構造を評価した。

図4は、現状での施策の効果に対する評価である。この場合、ファジィ構造化のしきい値 $p=0.5$ 、また、補集合のあいまい性を表すパラメータ $\phi=-0.3$ として、相互の関連性を把握した。さらに、寄与ルール法のパラメータとしては、 $\lambda=0, \tau=0$ の場合と、 $\lambda=0.1, \tau=0.03$ の場合の2通りのダイグラフを表した。（ここでは、各グループの内、グループ1とグループ4の構造を表す）

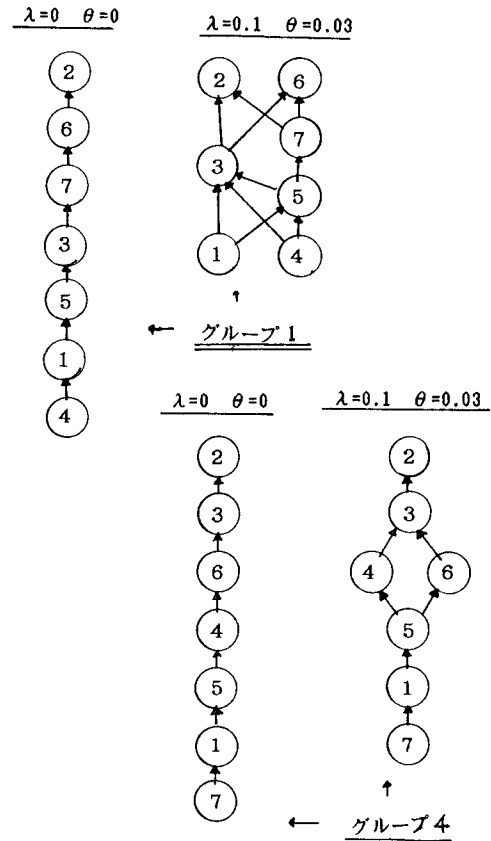


図4 現状の重点的施策の評価

また、将来に対する期待度として、同様な条件で得られた選好構造を、図5に示す。

得られた結果を要約すると、次のようになる。

①現状の効果として、各グループとも評価が高いのは、河道全体のトータルとしての計画、およびその事業であり、これは、従来からの治水対策、すなわち河道改修事業を強く意識している結果であるともいえる。②次に、各グループで高い評価を得ている

のは、景観特性、および、河川緑地特性である。一方、学識経験者グループ、技術者グループでは、河川生態特性に、また自然保全グループでは、活動特性を高く評価している。いずれの場合も、グループ内で、かなり意見の不一致がみられていることが興味深い点である。③将来の期待度からみると、河道トータルの整備の施策に高い期待度がある。これは、川そのものの環境整備のより高いレベルを求めていることを表しており、この点は、いずれのグループからもコンセンサスが得られると考えられる。

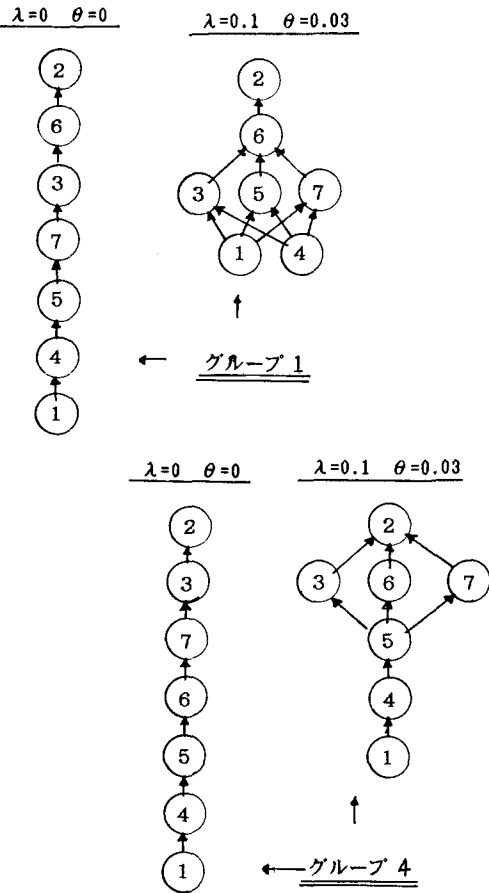


図5 将来に対する期待度

④次善の整備施策としては、河道緑地特性に対して、各グループでの期待度が高い。しかしながら、河川生態特性と、活動特性については、現状の効果とは、逆の傾向が期待度として現れており、整備施策を策定する場合は、技術者グループと住民グループでのコンフリクトの調整が必要となる。この点では、グループ内でも意見が分かれており、これらの施策を

推進するためには、論議の場が必要ということになる。⑤水特性、歴史的特性については、現状、将来において、いずれも下位にランクされており、比重は小さいといえる。

4. 考察とまとめ

(1) 評価のための指標の定義

以上の各グループの効用評価値に基づく選好構造グラフは、複数利害グループがその意見集約の方法として、どのような観点から論議をするべきかの有効な情報を与えることがわかった。しかしながら、これらの情報をよりよく理解するために、①意見の違いの程度を評価できる目安の定義、②構造の不安定性を評価できる目安の定義をしておく必要がある。それらの考え方を、(12),(13)に定義した2つの指標を用いて考察するものとする。

①類似度指数→各グループ間、あるいは、異なる条件間の構造の類似性、相違性を評価する指数
類似度： $IS_{i,j} = CC_{i,j} / TCM$ (12)

ただし、 $CC_{i,j}$ は、 i,j 間での関連性ありの共通要素数、 TCM は、行列要素の総数。

②安定性係数→あいまい性付加による構造の不安定性を評価する係数

安定性係数： $CS_{i,j} = CCV_{i,j} / TCM$ (13)

ただし、 $CCV_{i,j}$ は、あいまい性付加強度別各構造間の共通要素数である。

表3 類似度指数による各グループ間の構造類似性 (現状効果の評価の構造グラフに基づく)

(λ=0, τ=0の場合)				
グループ番号	1	2	3	4
1	-	0.71	0.57	0.67
2		-	0.86	0.95
3			-	0.95
4				-

(λ=0.1, τ=0.03の場合)				
グループ番号	1	2	3	4
1	-	0.74	0.60	0.64
2		-	0.81	0.86
3			-	0.95
4				-

(2)類似度指数のグループ間構造類似性評価への利用
ここでは、類似度指数による、各グループ間の意見に一致性について検討を行う。表3は、現状での効果の評価に対する各グループ間の類似度をパラメー

タを変えてみたものである。

また、表4は、類似度指数を用いて、将来の期待度に対する各グループの構造一致性をみたものである。

表4 類似度指数による各グループ間の構造類似性
(将来の期待度の構造グラフに基づく)

(λ=0, τ=0の場合)				
グループ番号	1	2	3	4
1	-	0.95	0.74	0.90
2		-	0.81	0.88
3			-	0.69
4				-

(λ=0.1, τ=0.03の場合)				
グループ番号	1	2	3	4
1	-	0.86	0.69	0.88
2		-	0.74	0.90
3			-	0.69
4				-

これによると、①現状効果の評価ではグループ3とグループ4の構造が高い類似性を示し、これに対し、グループ1は、他のグループとの間で、意見の違いがみられること、②また、将来に対する期待度のついては、グループ1は、グループ2、グループ4と類似の考え方になること、③さらに、現状の認識より、将来に対する期待度に類似性が高いことなどがわかった。

(3)現状効果と将来の期待度の間の類似性

表5は、現状の効果と将来の期待との間での構造の類似度を算定したものである。

表5 現状効果と将来の期待度の間の類似性				
	グループ1	グループ2	グループ3	グループ4
F1	0.90	0.86	0.90	0.76
F2	0.95	0.83	0.95	0.71
F3	0.95	0.90	0.90	0.76

注) F1; λ=0, θ=0, F2; λ=0.1, θ=0.03,

F3; λ=1.0, θ=0.1

これによると、現状効果と将来に対する期待度の間で高い類似性を示すのは、グループ1およびグループ3であり、グループ2、グループ4は、類似性が低い。すなわち、後者のグループでは、現状改善の意識が強いと解釈される。

(4)安定性係数による各構造の評価

表6は、各構造の安定性係数の算定結果である。

これによると、グループ3、およびグループ4での安定性

係数が、条件が変化しても高いことがわかる。すなわち、グループを構成する個人個人の、反対意見の影響が少なく、意見のばらつきも少ない構造であると解釈される。これに対し、特にグループ1では、安定性係数が、低下することがわかり、多様な意見を持つ集団であることがわかる。

表6 安定性係数の算定

各グループの構造		CS _{1→2} (F2/F1)	CS _{1→3} (F3/F1)
現状効果	グループ1	0.90	0.64
	グループ2	0.93	0.71
	グループ3	0.98	0.90
	グループ4	0.98	0.86
将来の期待値	グループ1	0.90	0.64
	グループ2	0.90	0.67
	グループ3	0.98	0.86
	グループ4	0.93	0.71

注) F1, F2, F3は、表6の注に同じ

(5)まとめ

以上、あいまいな条件下での、集団の効用評価に基づく構造化の方法について、事例を基に検討した。その結果、①あいまいな状態を考慮することによって、比較的簡単な調査でさまざまな集団の意思決定構造を明確化できること、②その結果について、指数、係数を定義することによって、定量的に評価でき、意見調整に効果的な情報を得ることができることなどから、本方法の有用性が期待できることがわかった。今回は、ファジ環境の条件変化による分析が不十分であると考えられるので、今後それらについて検討してみたい。終わりに、今回の分析データの多くは、北海道開発局石狩川開建の関係各位、および(株)たくぎん総研加藤修一氏より提供いただいたものである。深い謝意を表したい。

5. 参考文献

- 1) 例えば近藤次郎; 環境科学読本、東洋経済新報社、2) 加賀屋誠一 構造化手法とファジ逆問題に関する基礎的考察、土木学会北海道支部論文集、No.43, PP411-416, 1987.3) 堀木義一他; 集団意思決定のための支援システム、オレションズリサーチ、pp38-46, 1980.4) 加賀屋誠一、山村悦夫; ファジ環境における地域計画施策の多基準評価、第5回ファジシステムシンポジウム論文集、pp391-396, 1989.5) 加賀屋誠一、山村悦夫; まちづくり施策の社会的選好におけるファジ構造化手法の適用、第24回日本都市計画学会学術研究論文集、pp13-18, 1989.6) 寺野寿郎他; ファジシステム入門、オーム社、pp17-37, 1987.