

(20) 河川環境管理のための意思決定支援システム

SUPPORT SYSTEM OF DECISION-MAKING FOR MANAGEMENT OF RIVER ENVIRONMENT

加賀屋 誠一*・山村 悦夫*

Seiichi KAGAYA*, Etsuo YAMAMURA*

ABSTRACT: Recently urban and rural planning decision makers have often required opinions and ideas of inhabitants in the formulation of their respective plans. At the same time we should consider how to evaluate vague or subjective opinions of inhabitants appropriately. From such a viewpoint, the aim of this study is to propose a technique for assessing vagueness of human opinions with utility for social measures. In this case, we apply this technique to evaluate the social preference for infrastructural development schemes. The social measure to be assessed are attributes with respect to amenity and culture. Some infrastructural development schemes in river basin of an urban area are examined. We propose the fuzzy contributive rule as a technique for evaluating the preferential scheme out of several infrastructure development alternatives. We construct the structural model of the preferences of each interest group on the basis of individual utility score. The degree of similarity and the degree of stability among group structural models are defined and by using these indexes actual models are evaluated.

KEY WORDS: decision-making process, river basin planning, structural modeling, fuzzy contributive rule

1. はじめに

人間の生活環境を向上させるために、これまで、さまざまな施策が行われてきた。われわれの日頃用いる道路や、公共施設などは、インフラストラクチャとして、大規模に、かつ迅速に整備されたものである。また、急激な都市化は、災害に対して脆弱な河川周辺の低平地や、急傾斜地へ土地利用の高度化をもたらし、それに対する安全性を確保するために、治水、砂防事業の増大を余儀なくしてきた。いわば、このようなハードウェアによる量的な整備の方法が、今までの生活環境整備の方法であったといえる。しかしながら、近年、生活環境への欲求が多様化し、特に、ハードがニューハード、ソフトへとその整備の方法が変わりつつある。すなわち、生活環境の中で、特に、アメニティや、生活充実感、生活の豊かさなど、文化価値意識への欲求が、拡大してきているといえる。これらの、生活環境に対する欲求の変化と、多様性が、われわれの環境整備事業に、大きな影響を与えていることは、いくつかの事業で実際みることができる。例えば、土木建築物の景観的評価、町並み保存による道路整備、あるいは、河川の近自然工法の導入、さらに、親水機能の整備充実などは、ニューハードの考え方の典型であり、今後、益々盛んになる整備の方法である。しかしながら、それらの整備に関わる問題は、問題が多様化しているため、例えば、地域住民のニーズに基づいて整備を行おうとすれば、それらのニーズや、反応を把握する必要があるが、それがなかなか難しいのが現状

* 北海道大学大学院環境科学研究科 Graduate school of Environmental Science

である。その困難さは次のような理由に起因すると考えられる。

- ①施策、基本計画などが、多様性、複合性をもっており、代替案として明確に表すことが難しい。
- ②計画担当者、事業担当者の施策に対する提案が、あいまい性をもっている場合が多い。
- ③実際提案された、施策あるいは、代替案について、住民を含む地域の意思決定者は、あいまいな判断や、保留的考え方を含む評価をする場合が多い。

したがって、これらの点を踏まえ、本研究では、次のような視点から検討を行い、環境整備事業に対する支援システムを作成するものとする。

- ①地域住民の意思を反映した、計画代替案の評価と計画づくりの方法の検討、②環境の快適性、文化性を含めた意見の集約の方法の検討、③計測の困難な情報の計画への利用方法の検討

また、具体的検討項目としては、①河川環境整備のための基本的施策の明確化、②複数利害グループの意見集約法と施策選好性の評価方法、および③意見のあいまい性、直感性を評価できる方法の確立を考えるものとする。

2. 検討方法および手順

2.1 検討の手順

ここでの河川環境整備施策の評価の手順は、図1に示されるフローにしたがうものとする。ここでは、整備施策の項目として、具体的な利用者にニーズによって得られた項目を整理し、いくつかの代替案に集約するものとする。それらを基本的施策課題として位置づけ、それらの重要度と将来に期待度を調査する。ここでの調査は、意思決定者の意思を直接調査するより、むしろ、現在どのような点に重点がおかれているか、また、将来どのような点に重点をおくことが予想されるかを質問している。

ここでは、各課題に対する評点づけによって、効用値の評価を行う。この場合、効用値評価のための、効用関数作成法として、各グループごとに、寄与ルール法を適用し、さらに寄与ルール法は、評価のあいまい性に柔軟に対応させるため、ファジィ効用への拡張を試みている。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。各グループの考え方の類似性および構造安定性の評価は、その選好構造と、それらの指標によって総合的に代替案評価を行うことができる。

2.2 方法とアルゴリズム

(A)合意形成にともなう不確かさ

人間の主観性を計画プロセスへ導入するためには、その情報が、浅い知識であること、直感的情報であることなどを前提として考えていく必要がある。ここでは、①評点づけの際のあいまい性、②反対意見の強さによる選好のあいまい性および③意見に一致性の不確かさに対する情報の不安定性などを考慮することによって、それらの導入を考えていくものとする。

(B)ファジィ寄与ルール法

ここで用いたファジィ寄与ルール法は、情報が直感的、あいまい性をもっている、数学的な厳密性で、忠実な意味づけが可能であるというファジィ理論の特徴を利用した方法である。今、意思決定者（グループメンバー）の基数効用値として、 $[-5, +5]$ 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方法である [1]。

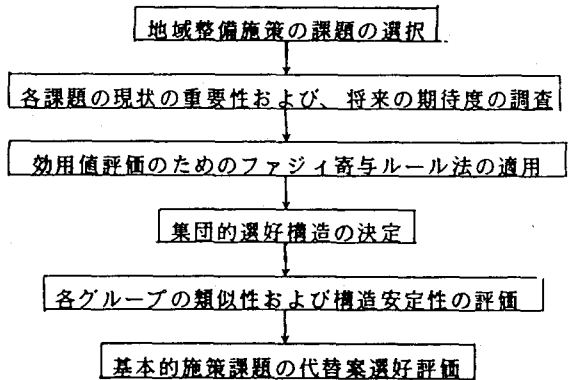


図1 検討手順

今、2つの選択肢（対象とする項目）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 $\widetilde{C}^k$ (Contributive function)を用いて、その選好性を次の(1)のように定義する。

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、同程度に好ましいことを表し、ファジイ連結律とファジイ推移律を満足する。 $\widetilde{C}^k(a_i, a_j)$ は、

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

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

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

意思決定者 k の a_i, a_j に対する選好の強度を表す。ここで、 $\widetilde{C}^k(a_i, a_j)$ を $\widetilde{C}_{ij}^k$ 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 として、(2)で定義されるファジイ実関数 $\widetilde{g}$ および $\widetilde{C}_{ij}^k$ が存在するとき、この

$$\widetilde{C}_{ij}^k = \widetilde{u}^k(a_i) - \widetilde{u}^k(a_j). \quad (4)$$

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

個人の選好から集団への写像をファジイ寄与ルール(Fuzzy contributive rule)とする。この場合の R は、集団の選好を

$$\widetilde{g}(\widetilde{C}_{ij}^1, \dots, \widetilde{C}_{ij}^m) = \sum_{k=1}^m \widetilde{C}_{ij}^k + \lambda \sum_{k=1}^m \min(0, \widetilde{C}_{ij}^k) - \theta \tau. \quad (6)$$

表す。特に、 $\widetilde{g}$ が、個人の $\widetilde{C}_{ij}^k$ の和のとき、つまり、(3)の場合をFSCR(Fuzzy single contributive rule)と定義する。メンバー k の選択肢 a_i に対する基数効用値を $\widetilde{u}^k(a_i)$ であらわすと、 $\widetilde{C}_{ij}^k$ は、選択肢 a_i と a_j の効用差、つまり(4)のように表すことができる。

(4)を用いると、FSCRは、(5)となる。この関係によって決まる集団の選好関係は、ファジイ弱順序関係である。このように、FSCRは、各メンバーの選択肢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反映できる方法であるといえる。しかしながら、主観的情報を計画方法として導入する場合、先述したように、少数意見・反対意見も併せて考慮できる考え方が必要である。また意見のばらつきについても検討する必要がある。すなわち、グループ内のさまざまな個性的意見を大切に、グループ内の意見のさまざまな性格を捉えるため、さらに、各施策の複合性などをみるためには、それらの考え方を重視できるような柔軟なシステムを考えていく必要がある。このようなより柔軟な考え方を付加したものが(6)で示される、拡張方法である。

ここで、右辺第2項は、反対意見を考慮して、 $\widetilde{C}_{ij}^k < 0$ の場合、 $a_i R a_j$ ごとに、反対意見をさらに、 λ 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いく構造になる。この選好関係は、推移律は成り立つが、連結律が満足されないで、ファジイ半順序関係となる。（ θ は、平均値、 λ および τ は、パラメータ）

評点は、「およそ5ぐらい」という形で、調査によって得られたものを、ファジイ数として、図2のようにメンバーシップ関数で表し、それらが各施策項目の効用値となる。これらの効用差も、拡張原理を用いると、同図のようにファジイ数で表されることがわかる。このように、得られた各項目間での効用差を正の値の集合にはいる可能性を求めることによって、それらの関係 $a_i R a_j$ が成り立つかがわかる。この場合の、可能性の強さを、いくつかの可能性測度(Possibility measure)で表す。図3の場合、表1のような可能性測度が考えられ、関係の強さは、可能性と必然性の双方の間で評価される。この場合、(7)のような中間的測度を定義し、その値を効用差による関係の強さと定義する [2]。

(C) FSMによる各施策の階層構造評価 [3] [4]

FSM法は、ファジイ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。ここでは、ファジイ従属関係を、前述した、可能性評価に基づき決定された関係の強さをを用いる。今、対象となる要因（この場合は、属性項目である）

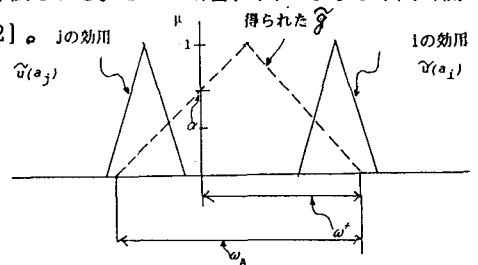


図2 関係の強さの定義

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。ここで、行列Aは、 $n \times n$ 行列である。その要素 a_{ij} は、上述した中間的測度の値である。その要素は、次のあいまい2項関係を与える。

すなわち、 a_{ij} は、要因 s_i が、 s_j に従属する”らしさ”の強さであり、まさに、前項で検討した可能性の強さに対応できる。

F S M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、一般的に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。しかしながら、ここでの関係の強さは、半推移律を満たした値となるので、必要はない。②最上レベル集合 $Lt(s)$ 、中間レベル集合 $Li(s)$ 、最下位レベル集合 $Lb(s)$ 、および独立レベル集合 $Lid(s)$ 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。

(D)評価指標の定義

得られた各グループの効用評価値に基づく構造グラフは、複数利害グループがその意見の集約の方法として、どのような観点から論議するべきかの有効な情報提供を期待できる。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、②構造の不安定性を評価できる目安の2つを定義しておく必要がある。それらの考え方を、(8)および(9)に示す指標で表すこととした。

(1)類似度指数…各グループ間、あるいは、異なった条件間の構造の類似性、相違性を評価する指数である。

(2)安定性指数…あいまい性付加による構造の不安定性を評価する指数である。

類似度： $IS_{ij} = CC_{ij} / TCM$ (8) 安定性： $CS_{i-1} = CCV_{i-1} / TCM$ (9)

ただし、 CC_{ij} は、 i, j 間での関連性ありの共通要素、 CCV_{i-1} は、あいまい性付加強度別各構造間の共通要素数である。また、 TCM は、行列要素総数である。

3. 河川環境整備問題への適用

3.1 対象地域と意思決定グループの概要

対象地域としては、札幌市中央区、豊平区を分割する豊平川流域南北約2km、東西約1.5kmの、長方形で区切られる地域を選定し、この流域で、現在どのような施策が重点に行われていると思うか、また、将来はどのような重点が考えられるのかについて、モニタリング的に調査を実施した。この流域は、河川数が最も高度に利用されている地域である。情報を提供していただく対象は、表2のような4つに分けたグループとし、それらの集团的効用値によって、基本的施策課題の構造を算出した。

3.2 基本的施策の抽出

都市環境の中での河川数の役割は、①利水、異常出水の排除などの従来からの機能としての利用から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、最近では、その多様性に着目した議論が盛んに行われている。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、欠くべ

表1 可能性分布による測度の算定

頂点の位置	<0	=0	>0
可能性測度	$\pi_G(0)$	1	1
中間的測度	$a_{ij} < 0.5$	0.5	$a_{ij} > 0.5$
必然性測度	0	0	$1 - \pi_G(0)$

$$a_{ij} = \omega^+ / \omega_A \quad (7)$$

表2 意思決定グループの概要

グループ番号	グループ名	基本的立場
グループ1	自然保全グループ	施設整備より自然の状態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 (9名) (4名)
グループ4	河川整備事業担当者	河川整備事業を担当している技術者

からざるものと考えられる。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を明確にするために、表3のような項目を抽出した。

3.3 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として現れているものの評価、および②将来の施策として重点的になると予想されるものの評価の2つの質問によって行われた。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3は、現状での施策に対する評価である。この場合、ファジィ構造化のためのしきい値 $p=0.5$ 、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、寄与ルールからのパラメータとしては、いくつかの組み合わせを考えた。それらの代表として、 $\lambda=0$ 、 $\tau=0$ の場合と、 $\lambda=0.1$ 、 $\tau=0.03$ の場合の2通りのダイグラフを描いてみた。(ここでは、各グループに内、グループ1とグループ4の構造を表す。)

また、同様に将来の重点的施策の予測について、図4に表す。また、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の高いのは、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に対する意識が強いことのあらわれであるといえる。②次に、各グループで高いランクにあるのは、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、河川生態特性に高い評価を与えている。また、自然保全グループでは、活動特性に高いランクを与えている。③将来の予想からみると、河道トータルの整備の施策に高いランクが与えられている。これは、河川そのものの整備が、今後あまり変わらない形で続いて行くであろうと考えていることのあらわれである。④次の整備施策としては、河道緑地特性が、高い評価を得ている。これは、各グループで、今後期待が高いものとして、また、最近の事業の動向によって評価されたものといえる。河川生態特性と、活動特性については、グループ間で、現状の場合と逆な結果となっている。この場合も、各グループで、それぞれの期待度があらわれたと解釈できる。それらの点から、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、コンフリクトの調整が必要となる。⑤水特性、歴史的特性については、どちらの場合また、各グループとも、比較的下位にランクされていることがわかった。⑥反対意見を考慮した場合、河道特性については、変わらないが、景観、緑地、活動などが同一ステージにランクされる。これは、これらの施策が実際には、非常に近いところにあり、将来、同様に整備の重点がおかれると評価していることを意味している。その意味で、並列的な施策や複合的な施策を実施する必要があるといえる。

3.4 評価指標による構造評価

(A)グループ間構造類似性評価への利用

ここでは、類似性指数による各グループ間の意見一致性について、先に定義した類似度指数を用いて検討を行う。表4は、現状での評価に対する各グループ間の構造の類似度をみたものである。

また、表5は、類似度指数を用いて将来の予想に対する各グループの構造一致性をみたものである。

これによると、①現状評価では、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

表3 都市河川環境整備の基本的施策

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・大きな流れ等河川の部分的特性を最大限活かした整備の方法
2 河道特性	河道全体の特性、その流れや、多様性を最大限活かした整備の方法
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の方法
4 河川生態	魚・動物の棲息・昆虫・鳥・蛙・獣等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の方法
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の方法
6 景観特性	自然景観・夕日・景色・山や町並みなどの調和を最大限に活かした整備の方法
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活かした整備の方法

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、将来に対する予想では、グループ1はグループ2、グループ4と類似的な考え方になること、③さらに現状の認識より、将来に対する予想に類似性が高いことがわかった。表6は、現状評価と将来予想との間での構造の類似性を算定したものである。これによると、現状と将来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、現状改善への期待が強いことが推定される。

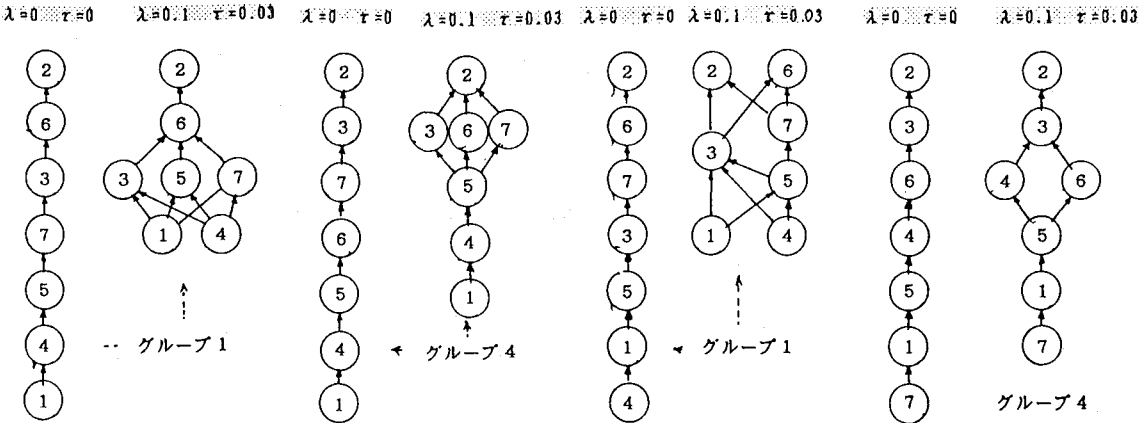


図3 現状の施策に対する評価

(B)安定性係数による各構造の評価

各構造の安定性指数の算定結果としては、グループ3、およびグループ4での安定性係数が、条件変化しても高いことがわかった。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、安定性指数が低下しており多様な意見をもつ集団であることがわかる。

4. まとめ

以上の検討結果としては、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見集約による構造評価ができたこと、②その結果について、指標を定義することによって、意見の類似性、相違性の評価、意見の内部的安定正当の評価が可能になったことなどがあげられる。また今後の検討課題としては、ファジィ可能性変化よっての構造変化の評価、ファジィ数計測の方法と、解析の精緻化などがあげられ、また、河川流域の特性と、整備施策についても考えていきたい。

6. 参考文献

[1]榎木義一他；集団意思決定のための支援システム、オペレーションズ・リサーチ、pp38-46、No.11(1980)．[2]加賀屋誠一他；まちづくり施策の社会的選好におけるファジィ構造化手法の適用、日本都市計画学会学術論文集、No. 24、pp13-18、(1989)．[3]加賀屋誠一；ファジィ環境下での住民意見集約法の地域整備問題への適用、第7回ファジィシステムシンポジウム講演論文集、pp95-98、(1991)．[4]田中英夫；ファジィモデリングとその応用、朝倉書店、(1990)．

図4 将来の施策に対する評価

表4 各グループ間の構造類似性

(現状の評価)

$(\lambda=0.1 \quad \tau=0.03)$				
グループ番号	1	2	3	4
1	—	0.74	0.60	0.64
2		—	0.81	0.88
3			—	0.95
4				—

表5 各グループの構造類似性

(将来に対する評価)

$(\lambda=0.1 \quad \tau=0.03)$				
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				—

表6 現状と将来の間の類似性

	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: $\lambda=0, \tau=0$ F2: $\lambda=0.1, \tau=0.03$
F3: $\lambda=1.0, \tau=0.1$