

IV-16

可能性理論に基づくファジィ意思決定の地域整備効果評価への適用

北海道大学 正員 加賀屋 誠 一
テラウェア大学 菊 池 慎 也

1.はじめに

近年、社会のシステムが大規模で複雑になり、そのシステム環境の下での意思決定は、難しくなっているといわれる。土木工学の最も重要な部分を占める地域基盤整備計画での意思決定問題も例外ではないといえる。それは、1つに基盤整備の効果そのものが多様化していること、他の1つは、整備計画に対する住民などのニーズが、質の充実への重要度を増してきていることに起因すると考えられる。例えば、一般的な道路の整備計画を考えると、直接的な効果は、地域間のアクセスの上昇、利便性の向上、輸送効率の改善、交通圏の拡大等が考えられ、従来の道路計画は、交通量の予測とそれに対する道路計画の適応が中心課題であった。また、計画に対する住民の参加システムも、直接的利害に関わる地域のみに限定されている場合が多かった。しかしながら、現在の道路計画を考えると、安全性、環境保全性、あるいは、生活に直結した道路網の整備などへの配慮が、重要性を増してきている。これらが、基盤整備に対する多様化の例である。また、後者の例としては、住民のコミュニティから発信する道路計画への要求が、具体的になってきていることが上げられる。すなわち、農業を主とする産業地域では、生産物の物流体系の整備に極めて高いニーズがあり、また、交通事故多発地域では、信号の設置や、歩道の整備が強く求められているといえる。

このような特性を持つ整備計画の基本的施策立案のためには、画一的な上位計画、例えば、道路網整備等、と共に、地域の個性や、特性、風土に根ざしたきめの細かい面的整備の考え方が必要である。そしてそのためには、多様化する整備プログラムをどのように作り、どのようなプログラムが、地域の意思決定として受容されるかを考える必要がある。

ここでは、このような観点から、地域での道路環境整備に対する広範なアイデアを案出し、それら

のアイディアの中で、地域の意思決定者である住民が、どのような考え方を選択するか決定プロセス、すなわち、意思決定支援システムを構築し、実際例によって、その妥当性を検討するものである。

2.検討方法の提案

(1)意思決定支援システム構築の条件

ここでは、前述したように地域基盤整備効果の多様性と、住民に代表される意思決定者のニーズの整備計画への反映といった側面からの意思決定支援システムについて、新しいアプローチを考える。新しいアプローチを考える上で、最も基本的な視点は、a)問題志向的に対応できる柔軟なシステム、b)人間の主観を忠実に再現できるあいまいシステム、c)人間の知識・常識を明示するわかりやすいシステムであるといえる。これらの基本的な考え方については、前年度の報告で詳細に説明しているが、次の(2)では、図1に示す意思決定支援システムの構築方法を考え、上述した条件をどのように考え、システムを構築したかについて、さらに説明を加えるものとする¹⁾。

(2)検討方法と手順

意思決定支援システムとしての基本的検討項目と、手順は、図1に示される。

i)地域基盤整備計画に関わる地域特性に基づく要素・要因の案出は、広範で、かつ自由な発想によるものでなければならない。また、得られた自由アイディアは、できるだけ統合化されなければならない。そのためには、ここでは、少し一般的な方法であるが、ブレインストーミング・KJ法の組み合わせが、効果的な方法と考える。結果的には、いくつかの整備施策として、集約することがここでの目的である。この場合は、整備施策とそれに対する評価基準が、記述的に与えられるので、あいまい性や恣意性が存在している。

ii) 地域基盤整備に関する施策の評価のための評価属

性は、重要度、達成必要性、非代替性など基盤整備の内容によっていくつか設定される。この場合は、従来の方法では、総合化する場合、各評価属性は、完全独立性の下で選択されるが、実際的意思決定者が考える基準は、そのような厳しい基準によらない場合が多い。したがって、評価属性の選定に自由度を付加すると、測度としては、ここで導入されるファジィ測度がよいと考えられる。また、それらの評価は、得点や重みを与えることが一般的である。しかしながら、このような人間の判断は、より弾力性のある、すなわち、「非常に重要である」とか「あまり重要でない」などの程度を表す表現、ここでは、記述形容詞として、調査をおこなったほうがより現実的である。これは、人間の主観を忠実に再現できるシステムにほかならない。

iii)得られた人間の主観的判断を表す言語表現を、数学的な表現に変換する方法として、ここでは、記述形容詞の程度をファジィ数として定義する方法を考えた。ここでは、その程度を5段階とし、一般的なカテゴリーと異なり、ある幅を持つカテゴリーとして定義する。これがファジィ辞書である。

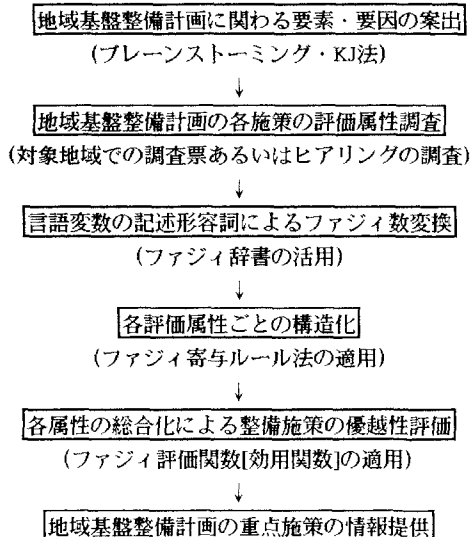


図1 検討方法と手順の概要

iv)結局、ここで得られる評価値を効用値と考えると、意思決定者個人の重要度、達成必要性、非代替性など評価基準ごとの評価がなされる。それぞれの評価属性ごとの整備施策の判断を表すファジィ選好

関係が決定される。具体的には、各評価属性ごとの、整備施策項目間の意思決定グループの効用差関数を定義することで、選好関係が明らかにされる。これらの手法をファジィ寄与ルール法と考える。この手法では、人間の主観的判断と、グループとしての統合的判断が、わかりやすいシステムとして表現される²⁾。

v)各評価属性間での選好性は、ファジィ寄与ルール法で明らかにされるが、評価属性を統合した総合的な評価を最終的におこなう必要がある。ここでも、グループ効用関数を考慮することで、その評価がなされる。これをここでは、ファジィ効用関数と考える。この手法では、人間の知識・常識に基づいた忠実にわかりやすい意思決定システムが、構築される。

(3)本システムのアルゴリズム

1)地域基盤整備施策の評価属性調査

評価属性については、いくつか考えられるが、ここでは、その代表的なものを、重要度、達成必要性、非代替性の3属性に設定した。

重要度・・・各整備施策の重要性の度合いを評価するもので、効果評価への最も基本的属性と考えられる。**達成必要性**・・・各整備施策の現状での緊急性を評価するもので、重要度との関連性は多少あるが、今ただちに必要なものを表す属性とする。

非代替性・・・ある整備施策が、他の整備施策によって、変わることができる度合いを示すもので、独立性が強い施策の場合は、高い評価がなされる。

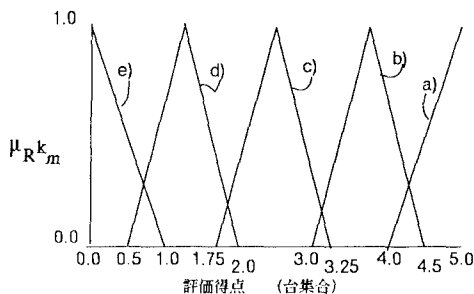


図2 記述形容詞のファジィ数表現

これらの評価属性を、意思決定者に調査する場合、次のようなカテゴリーを考える。

重要度
 a)非常に重要 b)重要 c)どちらでもない d)重要でない e)全く重要でない

達成必要性

- a)非常に緊急に必要 b)緊急に必要 c)どちらでもない
d)緊急に必要でない e)全く緊急に必要でない

非代替性

- a)全く代替性不可能 b)やや代替性不可能 c)どちらでもない
d)やや代替性可能 e)十分代替性可能
それぞれ5段階で評価し、図2のように言語変数の記述形容詞的をファジィ数に近似して表す。

2)地域基盤整備施策、意思決定者、および評価属性によるファジィ選好関係の定義

地域基盤整備施策集合を、 $A=\{a_1, a_2, \dots, a_p\}$ 、意思決定者集合を、 $B=\{b_1, b_2, \dots, b_q\}$ 、さらに評価属性集合を、 $C=\{c_1, c_2, \dots, c_r\}$ とする。

今、この場合の、評価属性 $c_m, m=1, 2, \dots, r$ に関する意思決定者 $e_k, k=1, 2, \dots, q$ による基盤整備施策の優劣を表すファジィ選好関係を R_m^k とし、それらのファジィ選好関係を定義する。

ファジィ選好関係の強さを示すファジィ測度をメンバーシップ関数で表すと次のようになる。

$$\mu_{R_m^k} \rightarrow [0, 1] \quad (1)$$

この場合、 $\mu_{R_m^k}(a_i, a_j) \in [0, 1], i, j=1, 2, \dots, p$ は、意思決定者 e_k によって評価された施策 a_i の施策 a_j に対する選好の度合いの強さを表す。ただし、 $\mu_{R_m^k}(a_i, a_i)=1$ とする。

3)可能性理論によるファジィ寄与ルール法による効用評価

ファジィ寄与ルール法は、ファジィ理論の人間の主観性を計画情報として導入するために、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た、それらの情報が直感的、あいまい性を持っていても、数学的な厳密性で、忠実な意味づけが可能であるという部分と、寄与ルール法の意思決定者グループの集团的効用総和を算定し、その大小によって選好構造を決定する部分を統合し、弾力的で、問題志向的な方法であるといえる。ここでは、前述したように言語変数によって意思決定情報を与えるという特徴を有している。すなわち、今、2つの選択肢(対象とする基盤整備項目または施策)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 $\hat{C}_m^k$ (contributive function)を用いて

その選好性を次のように定義する。

$$a_i R a_j \quad \text{iff} \quad \hat{C}_m^k(a_i, a_j) \geq 0 \quad (2)$$

$$\hat{C}_m^k(a_i, a_j) = \hat{u}_m^k(a_i) - \hat{u}_m^k(a_j) \quad (3)$$

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、ファジィ連結律とファジィ推移律を満足する。

$\hat{C}_m^k(a_i, a_j)$ は、意思決定者 k の a_i の a_j に対する選好の強度を示す。また選好強度が正であるファジィ測度は、ファジィ数を用いて、 $\mu_{R_m^k}(a_i, a_j)$ と表すこととすると、(4)が得られる。

$$\mu_{R_m^k}(a_i, a_j) = \mu_R(\hat{C}_m^k(a_i, a_j)) \quad (4)$$

$\mu_{R_m^k}(a_i, a_j)$ と $\hat{C}_m^k(a_i, a_j)$ との関係を表すと図3のようになる。

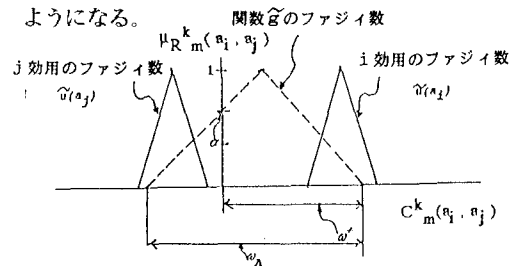


図3 意思決定者の効用差関数の評価

ここで、効用差関数から得られる関係の強さを可能性分布による測度で評価すると、表1となる。

表1 可能性分布による関係の強さの算定

頂点の位置	<0	=0	>0
可能性測度	$\mu_{R_m^k}(0)$	1	1
中間測度	$a_{ij} (<0.5)$	0.5	$a_{ij} (>0.5)$
必然性測度	0	0	$\mu_{R_m^k}(0)$

ちなみに、ファジィ測度の2つの概念、可能性測度、必然性測度については、次のような定義がなされている。これらの測度の概念については、詳細は、拙論文に譲るが、可能性測度は、主として、おこりうと判断されるものをすべて計測するものであり、必然性測度は、確実におこりうるものを計測するものである。

$$\Pi(R) = \sup(\pi_{RS}(\hat{C}_m^k(a_i, a_j)) \wedge \mu_{R_m^k}(a_i, a_j)) \quad (5)$$

$$N(R) = \inf(1 - \pi_{RS}(\hat{C}_m^k(a_i, a_j)) \vee \mu_{R_m^k}(a_i, a_j)) \quad (6)$$

$$\text{ただし } \pi_{RS}(\hat{C}_m^k(a_i, a_j)) = 1 \text{ iff } \hat{C}_m^k(a_i, a_j) \geq 0$$

$$= 0 \text{ iff } \hat{C}_m^k(a_i, a_j) < 0 \quad (7)$$

ただし、ここでの中間測度は、図3によって、次の算定式から測定される。 $a_{ij} = \omega^+ / \omega_A$ (8)

すなわち、中間測度は、可能性、必然性の中間的測度として位置づけられる。本研究の場合、この中間測度を採用して以下の議論を進める。

今まで、単一的意思決定者についての議論をおこなってきたが、次に、意思決定者グループでの集団の選好関係を考えてみることにする。

ここで $\hat{C}_{m(a_i, a_j)}^k$ を $\hat{C}_{mij}^k$ と簡略化し、また、意思決定者をメンバーとして表す。メンバーの数は、 q であるがファジィ選好関係を $R_1, R_2, \dots, R_q$ のように表わし、それらに対する最近接ファジィ関係を R^N とすると、それらの関係は、次のように表すことができる。

$$R^N = \min_R \sum_{k=1}^q d(R, R_k) \quad (9)$$

この場合、各個人のファジィ選好関係で次の関係をもつとする。

$$\mu_{R_1}(a_i, a_j) \leq \mu_{R_2}(a_i, a_j) \leq \dots \leq \mu_{R_q}(a_i, a_j) \quad (10)$$

このような場合、最近接ファジィ関係を次のように決定する。

$$\mu_{R^N}(a_i, a_j) = \mu_{R_k}(a_i, a_j) \quad (\text{もし } q \text{ が奇数のとき、}$$

$$k=1/2(q+1) \text{ として}) \quad (11)$$

$$\mu_{R^N}(a_i, a_j) = 1/2(\mu_{R_k}(a_i, a_j) + \mu_{R_{k+1}}(a_i, a_j)) \quad (\text{もし } q$$

$$\text{が偶数のとき } k=1/2q \text{ として}) \quad (12)$$

これらの関係は、ハミングの最近接関係を求めたことになる。

上記のグループファジィ選好関係を用いて集団の選好関係を表す寄与ルールを次のように決定する。

$$\hat{g}(\hat{C}_{mij}^1, \hat{C}_{mij}^2, \dots, \hat{C}_{mij}^q) = \hat{C}_{M(a_i, a_j)}^k \quad (13)$$

ただし $\hat{C}_{mij}^q = \hat{C}_{m(a_i, a_j)}^q$ 、 $\hat{C}_{M(a_i, a_j)}^k$ は最近接関係をもつファジィ数の集合の値を表す。つまり、(13)は、通常の場合の平均的集団効用関数に相当するといえる。なお、この関係によって決まる集団の選好関係は、ファジィ弱順序関係である。このようにファジィ寄与ルール法は、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最近接関係に基づいて選好関係を定める方法である。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、より現実的な計画情報としては、少数意見・反対意見の強さや、意見のばらつきについても反映させる必要がある。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多角的に見るためには、それらの考え方を重視できるような方法を考える必要がある。それらの柔軟なアイディアは、拡張ファジィ寄与ルール法によって達成され、その定式化は、(14)で示される。

$$\hat{g}(\hat{C}_{mij}^1, \hat{C}_{mij}^2, \dots, \hat{C}_{mij}^q) = \hat{C}_{M(a_i, a_j)}^k + \lambda \sum \text{Min}(0, \hat{C}_{mij}^q) - \tau \quad (14)$$

この場合、右辺第2項は、反対意見を考慮して、 $\hat{C}_{mij}^q < 0$ の場合、 $a_i R a_j$ ごとに反対意見を、 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 の影響を評価するもので、意見の一致性が考慮されている。このような要因を付加すると、選好関係の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、連結律は満足されないで、ファジィ半順序関係となる。(0は、中心の値で、 λ 、 τ はパラメータである)

(4)FSMによる選好構造の評価

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おこない、階層間ならびに、階層に属する要因間の従属関係を決定して、それをグラフに表すことを目的とする方法である。したがって、ここでは、ファジィ従属関係を、先に決定された、関係の強さによって作成する。今、対象となる要因を、 $S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$ 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 を定義する。その要素 a_{ij} は、前に算定した中間測度の値である。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分布からの関係強さに対応できる。FSM法の詳細な説明は、他の文献に譲る⁴⁾。

(5)グループ効用評価に基づいた多基準分析

最後に、評価属性の統合化による効用評価をおこなうが、これには、多基準分析の手順を用いること

にする。図5は、アルゴリズムの特性化を示したも

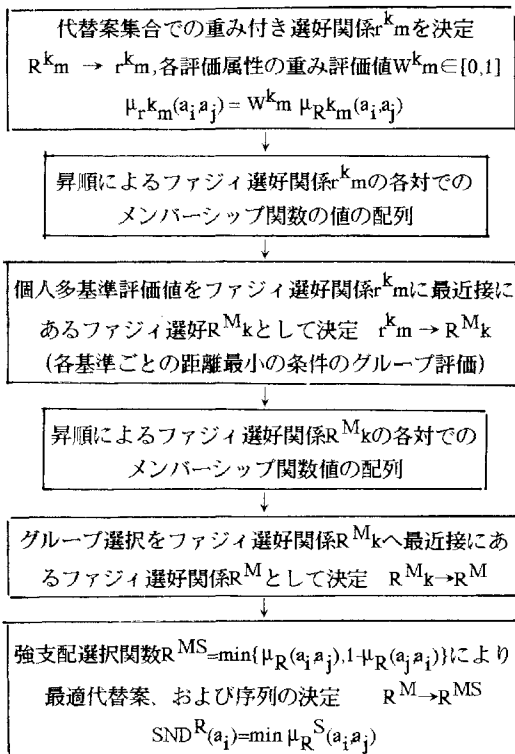


図5 多基準分析による総合評価手順

のである。ここでの手順は、先に示した、ファジィ寄与ルール法と類似しているため、詳細な説明は省くが、ここでは、各評価属性の重み評価が加わり、重み付きの選好関係を決定し、それらの最近接選好関係によって集団の選好性を決定するプロセスをとり、最終的に、強支配選択関数によって、最適代替案、および序列の決定の手順をとる。すなわち、ファジィ強選好関係を表す R^{MS} から $SND^R(a_i)$ の数値が与えられ、その数値の大きいほうから、序列化がおこなわれる。

4. 検討方法の実例への適用

(1) 道路環境基盤整備調査の利用

以上の検討方法を実例に適用して、その妥当性を検討することが非常に重要である。ここでは、基盤整備計画の一例である道路環境基盤整備の問題でその基本的な重要施策の選択について検討してみた。ここでの調査は、以前おこなった道路環境整備の調

査を利用した。この調査については、まずはじめの道路環境基盤整備に関する施策の案出には、8名のシミュレーション会議により、BS・KJ法により14の施策にまとめられた。それらの施策を、4つのこととなる条件をもつ地区で調査票による調査をおこない、重要性、達成必要性、非代替性の評価属性によって各施策の選好性を得ることとした。案出された施策集合は、表2に示される。

表2 道路周辺環境として基本的整備施策

分類	具体的基本的整備施策
道路構造	1)歩道の設置
道路形状	2)悪路の除去
交通公害	3)車粉塵の低減、4)排気ガスの低減 5)騒音・振動の低減
交通事故	6)交通事故対策、7)通学路の安全確保
道路利用	8)歩道の除雪、9)交通渋滞の緩和、 10)自動車による利便性の向上、 11)公共交通の整備
道路周辺	12)路上のごみ・立て看板の除去 13)沿道の町並み・景観
風紀	14)暴走族等風紀の改善

また、意思決定者である地区住民のサンプル数等については、表3に示される。

表3 調査実施計画と回収状況

地区	サンプル数	回収数	回収率
A.月寒中央	200	122	0.61
B.月寒東	200	126	0.63
C.北野	200	144	0.72
D.小樽花園	110	103	0.94

(2) 検討結果

1) 重要度・達成必要度による選好性

調査結果に基づき、上記の検討方法にしたがって、重要度・達成必要性の評価属性ごとに求めた選好構造を、序列化し、表示したのが、表4である。

これによると、i)各地区とも車粉塵の低減に対して、高い需要度、必要達成度がみられること、ii)歩道の除雪、交通渋滞の緩和、交通事故対策等に高い選好性がみられること、iii)全体に道路の量的な整備より、質的な整備の方にウェイトが、高まっていること、iv)地区Dでは、必要達成度で歩道の除雪が最も高い選好が示されていることなどが明かとなった。

表4重要度・達成必要性による選好構造算定結果

地区	重要度選好序列
A	3>8=9>4=6=14>1=11=12>2=5>7=13>10
B	3>8=5=9=6=14>1=4=11=12>2=7>13>10
C	3>9>8>6=14>1=4=11>5=12>2=7>13>10
D	3>8=9>4=5>1=6>14>13>12>7=11>2>10
地区	必要達成度選好序列
A	3>6=9>4=8>5>14>1=11>12>2=13>7=10
B	3>6=9>5=8>4=11>7=14>1=12>2=13>10
C	3=9>6=8>7>4=14>1=5>11>12>2>13>10
D	8>3=9>1=4=6>5>14>13>8>7=11>10>2

注1)ここで与えた条件は、FSMパラメータ しきい値 $p=0.5$, $\lambda c=-0.05$; 寄与ルールパラメータ $\lambda=0.1$, $\tau=0.03$ とした。注2)ここで $>$ は、優越性を示すもので、 $=$ は、無差別状態を示す。

次に、ファジィ拡張寄与ルール法で、反対意見による影響を考慮した場合と、FSMでのしきい値を変化させた場合での構造変化の状態を例を示す。表5は、地区Aでの達成必要性による例である。

これによると、反対意見を付加した場合、しきい値を、0.45におとした場合、いずれの構造も、序列に対する無差別性が高くなり、同一序列での議論が必要となる。また、双方の構造類似性が高まることから、ファジィ性を高めることと、反対意見を重視するということは、同様な視点にあることが分かる。

表5 各条件変化による選好構造の変化

構造変化条件	選好序列
元の条件下	3>6=9>4=8>5>14>1=11>12>2=13>7=10
反対意見	
10%付加	3>4=6=8=9>5=14>1=11=12>2=7=10=13
しきい値	
$p=0.45$	3>4=6=9>5=8>1=11=12=14>2=7=10=13

注) $>$ および $=$ の記号は、表4に同じである。

2)多基準分析による総合評価

最後に、多基準分析による総合評価の結果について検討する。表6は、総合評価による序列結果について示したものである。また、表7は、ファジィ測度を変えた場合の序列の変化の様子である。これによると、i)地区Dで歩道の除雪が最も高い選好性が見られるが、その他の地区では、車粉塵の低減が最も高い。ii) そのほかでは、交通渋滞の緩和や交通事故対策が高いが、個別的な評価では低かった風紀の改

善が、総合的には高い選好を持つことが分かった。また、測度の違いでの評価では、可能性測度を適用すると、序列が完全に決まるが、逆に、必然性測度では、序列のあいまい性が高いことが分かった。つまり、人間の意思決定の上限と下限、その中間的な計測結果を与えることによって、最終的な満足解、妥協解により容易に到達できる可能性を与えてくれるといえる。

表6 総合評価による序列化

地区	総合評価序列
A	3>8>6>9>4=14>5>1=11>2>7>13>12>10
B	3>8>6=9>14>5=7>11>4>12>2>1>13>10
C	3>9>8>6=14>7>4>1>5=11>2>12>13>10
D	8>3>9>6>4>1=14>5>13>7>2=12>11>10

表7 ファジィ測度の違いによる序列の変化

ファジィ測度	総合評価序列(地区Aの例)
必然性測度	3>6=8=9>4=14>1=2=5=7=11=13>10=12
中間測度	3>8>6>9>4=14>5>1=11>2>7>13>12>10
可能性測度	3>8>6>9>4>14>5>1>11>2>7>13>12>10

5.おわりに

本論では、i)意思決定者の情報収集に弾力性を与え、多少あいまいな情報でも、利用可能性が高まったこと、ii)多数決(平均的)意思決定の信頼性と反対意見の尊重性を確認できたこと、iii)意思決定における妥協点と、非妥協点をそれぞれ可能性測度と必然性測度として計測することによって、2者択一的ではない、対話的な本来、われわれがおこなっている意思決定システムを再現できる可能性を示唆したことなどが知見として得られた。今後は、i)ファジィ環境の条件変化によるより精緻な分析をおこなうこと、ii)集団の効用に対する理論的な検討と意識距離の考え方について整理していきたいと考える。

6.参考文献

- 1)加賀屋誠一、菊池慎也;可能性・必然性概念によるファジィモデリングの計画問題への適用について、土木学会北海道支部論文報告集、第47号、pp695-700、(1991。2))横木義一他;集団意思決定のための支援システム、オペレーションリサーチ、No.11、pp38-46、(1980)。4)Zahariev, S, Group Decision Making with Fuzzy and Non-Fuzzy Evaluations, Multiperson Decision Making Using Fuzzy Sets and Possibility Theory pp186-197、(1991。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)。