Fuzzy代数を用いた総合評価に関する基礎的考察

東京工業大学土木工学科　正員　石田　東生

1.はじめに

道路，鉄道，住宅地等の土木施設の総合評価を試みるにあたっての大きな問題点は，i)土木施設が多目的なものであること，ii)これらの施設を複数の主体が評価すること，iii)土木施設が空間的・時間的に大きなスケールを有するため社会に複雑なインパクトを及ぼすこと，がまずあげられる。これらの問題を解決するにあたっては，土木施設の及ぼす総合的インパクトを分析・記述するための現象予測モデルと現象予測モデルによって記述された状態に適用される評価モデルの開発が不可欠である。評価モデルは費用・便益分析以来数多く提案されているが，近年では上記の問題i)，ii)に対処するため，効用関数あるいは効用関数に類似の概念を適用したものが多くなっている。これらのモデルでは，評価要因，指標の探索選定，効用曲線・無差別曲線の抽出という手順を踏むのが一般的である。

土木施設の最も主要な評価主体の1つとして地域住民があげられる。地域住民の評価を表現するために，従来の研究では「代表的個人」とでもいうべきものを想定し，アンケート調査等のデータから種々の技法を駆使してこれらの「代表的個人」の有する平均値的な価値感，効用曲線，無差別曲線等を抽出するものが大部分をしめている。従来のモデルに対する批判としては，a)住民1人1人の評価構造は実に多様なものであり，「代表的個人」なる擬制によっては必ずしも充分には表現できないこと，b)「代表的個人」の数の設定が恣意的なものであり，合理的な根拠は存在しないこと，c)モデルに人間の思考過程が必ずしもうまく組みこまれていないこと，d)評価構造を抽出する際には，評価要因の列挙，測定指標の選択・計測等にともなう不確実性の問題があげられている。筆者らは，c)の問題に対してはFuzzy積分論によるモデルを提案し[1]，目下研究を進めつつある。また，住民の土木施設に対する評価構造を現象面に関する認識から説明するモデルを開発しており，ケース・スタディの結果，一応の成果を得ている[2]。

本考察の目的は，主として上記のa)，b)の問題に対する知見を得ることにあり，本考察において提案するモデルは，「代表的個人」という擬制を採用せずに，多様な構成員から成る主体の土木施設に対する総合的評価を構成員の多様性をいかした形で表現するものである。即ち，土木施設に対する総合的評価を従来の研究にみられるように平均値的に表現するものではなく，構成員の多様性を総合的評価のとる分布形で表現しようとするものである。ここで，構成員の多様性は次の2つに分解することができる。1つは土木施設が与える社会経済的インパクトの空間的スケールの大きさに対応するもので，構成員各々が受けるインパクトの差異によって発生するもの，他の1つは，構成員が有する価値観の多様性によるものである。

本考察では，構成員の多様性を表現するモデルとして，Fuzzy論的モデル，確率論的モデル，個人評価分布モデルの3つを提案し，住宅地環境評価問題をケース・スタディとして，3つのモデルの比較・検討を行っている。

2. 構成員の多様性を反映した総合評価モデルの定式化

2－1　モデルの基本式

本節では前述のFuzzy論的モデル，確率論的モデル，個人評価分布モデルの3つのタイプのモデルを定式化するが，3モデルの前提となる基本式について略述する。土木施設の代替案iに対して，評価要因がnコあるものとする。評価要因間の独立性と加法性を仮定すれば，代替案iに対する総合評価値V_iは

$$r_i=\sum_j^n w_j r_{ij} \Big/ \sum_j^n w_j \qquad (1)$$

と表現できる。ただし，w_j：$0 \leqq w_j \leqq 1$ は評価要因 j の重みであり，$w_j=0, 1$ は各々重要度の最底，最高レベルに対応する。また，r_{ij}：$0 \leqq r_{ij} \leqq 1$ は代替案 i の評価要因 j 軸上での効用値であり，$r_{ij}=0, 1$ はそれぞれ効用値の最底，最高レベルを表現する。従って，(1)式で計算される総合評価値 r_i も，$0 \leqq r_i \leqq 1$ の範囲の値を有し，$r_i=0, 1$ もやはりそれぞれ総合評価の最底，最高レベルに相当する。

2－2　Fuzzy 論的モデルの定式化[3),4),5)]　土木施設の与えるインパクトの差異および構成員の価値感の差異を表現するために，w_j, r_{ij} に対するグレードの分布を考える。なお，w_j, r_{ij} に対するグレードの分布は，$\mu_j(w_j)$：$w_j \in [0,1]$，$0 \leqq \mu_j(w_j) \leqq 1$，$(j=1,2,\cdots,n)$　$\lambda_{ij}(r_{ij})$：$r_{ij} \in [0,1]$，$0 \leqq \lambda_{ij}(r_{ij}) \leqq 1$，$(j=1,2,\cdots,n$ $i=1,2,\cdots,N$；　N：代替案数）なるメンバーシップ関数で与えられているとする。(1)式の成立には，評価項目間の独立性と加法性が前提されていたが，以下の議論には，さらに次の3つの条件が付加される。

条件F－1：w_j, r_{ij} $(j=1,2,\cdots,n,\ i=1,2,\cdots,N)$ に対するグレードは互いに独立であること

条件F－2：w_j, r_{ij} $(j=1,2,\cdots,n,\ i=1,2,\cdots,N)$ に対するグレードの分布は単峰であること

条件F－3：メンバーシップ関数 $\mu_j(w_j)$，$\lambda_{ij}(r_{ij})$ $(j=1,2,\cdots,n,\ i=1,2,\cdots,N)$ は連続微分可能であること

今，記法を簡単にするため連続的微分可能な関数 f：$\mathbb{R}^{2n} \longrightarrow \mathbb{R}$ を導入して，

$$f(z_i)=\sum_j^n w_j r_{ij} \Big/ \sum_j^n w_j, \quad z_i=(w_1, w_2, \cdots, w_n, r_{i1}, r_{i2}, \cdots r_{in}) \in \mathbb{R}^{2n} \qquad (2)$$

とすると，総合評価値 r_i がある値 $\bar{r}_i$ をとるグレード　$\mu_{\bar{r}_i}(z_i)$ は，

$$\mu_{\bar{r}_i}(z_i)=\bigwedge_j^n[\mu_j(w_j) \wedge \lambda_{ij}(r_{ij})] \qquad (3)$$

で表現される。なお，(3)式中の記号 $\wedge$ は Fuzzy 演算の1つで，最小値をとる操作を表わす。

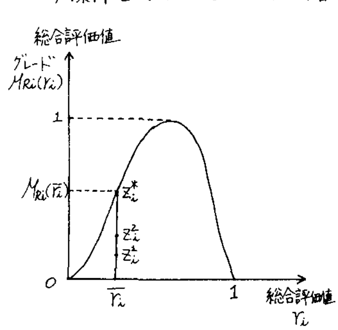
ある1つ $\bar{r}_i$ の値に対して，(2)式　$f(z_i)=\bar{r}_i$ を満足する z_i は無数に存在する。従って，(3)式によって計算される $\mu_{\bar{r}_i}(z_i)$ の値も無数に存在するため，合理的な条件を用いて z_i を決定することが不可欠となる。そのために，次式を導入する。

$$\mu_{R_i}(\bar{r}_i)=\sup_{z_i : f(z_i)=\bar{r}_i} \mu_{\bar{r}_i}(z_i) \qquad (4)$$

ただし，$\mu_{R_i}(\bar{r}_i)$ は代替案 i がある総合評価値 $\bar{r}_i$ をとるグレードである。従って，いくつかの $\bar{r}_i$ に対して(4)式を満足する z_i を決定し，その z_i を(3)式に代入することにより $\mu_{R_i}(\bar{r}_i)$ を求めるという操作をくりかえせば，代替案 i の総合評価値の分布を与えるメンバーシップ関数が計算できる。

さて，(4)式は次の2通りに解釈できる。

1°　ある主体の構成員が土木施設により多様なインパクトを受け，また価値観も多様であるとしたとき，(4)式を満足する z_i^*（図－1参照）は，(3)，(4)式から一種の min－max 解であるということができる。もし，$w_j \cdot r_j$ に対するグレードの分布がある主体のうちどれくらいの割合で，$w_j \cdot r_j$ という値に賛意を表明するかを示しているとすれば，解 z_i^* は総合評価値を $\bar{r}_i$ とすることに反対する構成員を最小，つまり最大の同意をとりつけたものと解釈することができる。この意味で Fuzzy 論的モデルの集団的意志決定理論への応用性には大きいものがあろう。



図－1　z_i の決定

2°　2番目の解釈は，1人の個人が土木施設の及ぼす影響の中である現

況に遭遇するという事象がFuzzyであり、またその時にある価値観を有しているという事象がFuzzyであると想定することによって可能となる。この場合には、(4)式の解Z_i^*はある総合評価値$\overline{r_i}$をとるときの最も蓋然性の高いw_j・r_{ij}の組を示しており、このときのグレード$M_{Ri}(\overline{r_i})$はその蓋然性を示していると解釈できる。（2-3項参照）

この2通りの解釈により、Z_iを決定するための条件式(4)の妥当性が確認できたと考える。

なお、w_j, r_{ij}に対するグレードの分布に対する条件F－2が成立しない場合、即ち、分布が多峰になる場合には今までの議論は成立しない。このような時には、分布が単峰となるように構成員をグルーピングすればよい。このことは、「代表的個人」の類型数を決定する際の、1つの合理的な目安であることを示している。

2－3　確率論的モデルの定式化[6]　　Fuzzy論的モデルと同様に、w_j, r_{ij}の確率分布を考える。なお、w_j r_{ij}の確率分布は、$P_j(w_j): w_j \in [0,1]$, $0 \leq P_j(w_j) \leq 1$ $(j=1,2,\ldots,n)$, $g_{ij}(r_{ij}): r_{ij} \in [0,1]$, $0 \leq g_{ij}(r_{ij}) \leq 1$ $(j=1,2,\ldots,n,\ i=1,2,\ldots,N)$なる確率分布関数によって与えられているとする。なお、このモデルの場合にも、評価項目間の独立性・加法性に加えて、次の条件が必要となる。

条件P：w_j, r_{ij} $(j=1,2,\ldots n,\ i=1,2,\ldots,N)$の生起確率は互いに独立であること。

(2)式を再記すると、

$$f(Z_i)=\sum_j^n w_j r_{ij} \Big/ \sum_j^n w_j,\ Z_i=(w_1, w_2, \ldots, w_n,\ r_{i1}, r_{i2}, \ldots, r_{in}) \in R^{en} \qquad (2)$$

従って、ある総合評価値$\overline{r_i}$をとる確率$P_{\overline{r_i}}(Z_i)$は、

$$P_{\overline{r_i}}(Z_i)=\prod_j^n P_j(w_j)\cdot g_{ij}(r_{ij}) \qquad (5)$$

となる。しかも、(2)式 $f(Z_i)=\overline{r_i}$を満足するZ_iは無数にあるから、結局総合評価値r_iの確率分布は次のように表現できる。

$$P_{Ri}(r_i)=\int_S \prod_j^n P_j(w_j)\cdot g_{ij}(r_{ij})\, dS \qquad \text{ただし} \quad S: f(Z_i)=r_i \qquad (6)$$

ここで、(6)式と(4)式とを比較検討すれば、両者の類似性は明らかである。(6)式における積分操作は(4)式におけるSUPと、また乗算は演算$\wedge$と、それぞれ演算体系の中での意味はほぼ同じと考えてもよい。この意味で、Fuzzy論的モデルの2番目の解釈が可能となるわけである。

2－4　個人評価分布モデルの定式化　　添字kを、ある主体の各構成員を表現するものとすると、個人kの総合的評価値 r_i^kは、

$$r_i^k=\sum_j^n w_j^k r_{ij}^k \Big/ \sum_j^n w_j^k \qquad (7)$$

で与えられる。ただし、w_j^kは、個人kの評価要因jに対する重みであり、r_{ij}^kは個人kの代替案iの評価要因j軸上での効用値である。個人評価分布モデルでは、(7)式によって計算される個人毎の総合的評価値の分布を求めようとするものである。

3. 構成員の多様性を反映した総合評価モデルの解法

3－1　Fuzzy論的評価モデルの解法　　(4)式を満足するZ_i^*を求める問題は次のように書くことができる。

問題－I　$\max\limits_{Z_i} \bigwedge_j^n [M_j(w_j) \wedge \lambda_{ij}(r_{ij})]$　　sub. to　$f(Z_i)=\overline{r_i}$

問題－Iの最大値をM_0とおくと、問題Iは次の問題－IIと同値である。（図－2参照）

問題－II　① $\dfrac{dM_{Ri}(r_i)}{dr_i}>0$の場合　$\min \overline{r_i}$, sub.to $\bigwedge_j^n [M_j(w_j) \wedge \lambda_{ij}(r_{ij})]=M_0$, $f(Z_i)=\overline{r_i}$

② $\dfrac{d\mu_{Ri}(r_i)}{dr_i} < 0$ の場合， $\max \overline{r_i}$ ， sub. to $\overset{n}{\underset{j}{\wedge}} [\mu_j(w_j) \wedge \lambda_{ij}(r_{ij})] = \mu_0$ ， $f(z_i) = \overline{r_i}$

従って，問題-IIを解くことを考える。ラグランジェの未定乗数aを導入して，

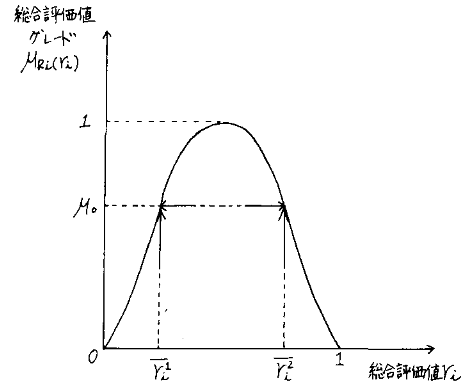
$$Q(z_i, a) = \sum_j^n w_j r_{ij} / \sum_j^n w_j - a\left\{\overset{n}{\underset{j}{\wedge}}[\mu_j(w_j) \wedge \lambda_{ij}(r_{ij})] - \mu_0\right\} \quad (8)$$

Qをそれぞれw_k, r_{ik} ($k=1,2,\dots,n$), aで微分することを考えると，

$$\frac{\partial Q}{\partial r_{ik}} = \frac{w_k}{\sum_j^n w_j} - a\frac{\partial}{\partial w_k}\left\{\overset{n}{\underset{j}{\wedge}}[\mu_j(w_j) \wedge \lambda_{ij}(r_{ij})] - \mu_0\right\} = 0 \quad (9)$$
$(k=1,2,\dots,n)$

$$\frac{\partial Q}{\partial w_k} = \frac{r_k - \overline{r_i}}{\sum_j^n w_j} - a\frac{\partial}{\partial r_{ik}}\left\{\overset{n}{\underset{j}{\wedge}}[\mu_j(w_j) \wedge \lambda_{ij}(r_{ij})] - \mu_0\right\} = 0 \quad (10)$$
$(k=1,2,\dots,n)$

$$\frac{\partial Q}{\partial a} = \overset{n}{\underset{j}{\wedge}}[\mu_i(w_j) \wedge \lambda_{ij}(r_{ij})] - \mu_0 = 0 \quad (11)$$



図－2　問題-Iと問題-IIの関係

ここで，(9)式に着目すると(11)式から，$\lambda_{ik}(r_{ik}) = \mu_0$でなければ，$\overset{n}{\underset{j}{\wedge}}[\mu_j(w_j) \wedge \lambda_{ij}(r_{ij})]$は$r_{ik}$以外の変数の連続微分可能な関数となり，(9)式右辺第2項は0となる。この時には，$w_k = 0$となる。これは価値要因kが総合評価の要因として全く無意味であることを示している。従って全てのkに対して

$$\lambda_{ik}(r_{ik}) = \mu_0 \quad (12)$$

が成立せねばならない。

次に，(10)式に着目すると，(11)式から$\mu_j(w_j) = \mu_0$でなければ，$\overset{n}{\underset{j}{\wedge}}[\mu_j(w_j) \wedge \lambda_{ij}(r_{ij})]$は$w_k$以外の変数の連続微分可能な関数となり，(10)式右辺第2項は0となる。従って，$r_{ik} = \overline{r_i}$が成立しなければならないが，この条件式と(12)式とから，$\lambda_{ik}(r_{ik})$と総合評価値のメンバーシップ関数$\mu_{Ri}(r_i)$が全く同一であることが必要となり，これは全く無意味である。従って，全てのkに対して

$$\mu_k(w_k) = \mu_0 \quad (13)$$

が成立せねばならない。よって，(12), (13)式の条件を付加して問題－IIを次のように書きなおす。

問題－II′ ① $\dfrac{d\mu_{Ri}(r_i)}{dr_i} > 0$のとき，$\min \overline{r_i}$， sub. to $\mu_k(w_k) = \mu_0$，$\lambda_{ik}(r_{ik}) = \mu_0$, ($k=1,2,\dots,n$), $f(z_i) = \overline{r_i}$

② $\dfrac{d\mu_{Ri}(r_i)}{dr_i} < 0$のとき，$\max \overline{r_i}$， sub. to $\mu_k(w_k) = \mu_0$，$\lambda_{ik}(r_{ik}) = \mu_0$, ($k=1,2,\dots,n$), $f(z_i) = \overline{r_i}$

問題-II′を解くために，ラグランジェ未定乗数α_k, β_k ($k=1,2,\dots,n$)を導入して，(14)式を作成する。

$$L(z_i, \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n) = \sum_j^n w_j r_{ij} / \sum_j^n w_j - \sum_k^n \alpha_k(\mu_k(w_k) - \mu_0) - \sum_k^n \beta_k(\lambda_{ik}(r_{ik}) - \mu_0) \quad (14)$$

(14)式を，w_k, r_{ik}, α_k, β_kで微分すると，

$$\frac{\partial L}{\partial r_{ik}} = \frac{w_k}{\sum_j^n w_j} - \beta_k \lambda'_{ik}(r_{ik}) = 0 \quad (k=1,2,\dots,n) \quad (15)$$

$$\frac{\partial L}{\partial w_k} = \frac{r_{ik} - \overline{r_i}}{\sum_j^n w_j} - \alpha_k \mu'_k(w_k) = 0 \quad (k=1,2,\dots,n) \quad (16)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \alpha_k} = \mu_k(w_k) - \mu_0 = 0 \quad (k=1,2,\dots,n) \quad (17)$$

ただし　$\lambda'_{ik}(r_{ik}) = \dfrac{d\lambda_{ik}(r_{ik})}{dr_{ik}}$

$\mu'_k(w_k) = \dfrac{d\mu(w_k)}{dw_k}$

$$\frac{\partial L}{\partial \beta_k}=\lambda_{ik}(r_{ik})-M_0=0 \qquad (k=1,2,\ldots,n) \qquad (18)$$

がそれぞれ得られる。ここで、未定乗数α_k, β_kをシャドウ・プライスとして解釈すると[7]、全てのkに対して、$\alpha_k>0$, $\beta_k>0$の場合は、解は最小値、即ち①の場合に対応することになり、また全てのkに対して$\alpha_k<0$, $\beta_k<0$の場合は、解は最大値、即ち②の場合に対応することになる。(15)(16)式より

$$\alpha_k=(r_{ik}-r_i)/M_k'(w_k)/\sum_j^n w_j \qquad (k=1,2,\ldots,n) \qquad (19)$$

$$\beta_k=w_k/\lambda_{ik}'(r_{ik})/\sum_j^n w_j \qquad (k=1,2,\ldots,n) \qquad (20)$$

が得られ、これらが解かどうかを判定する条件となる。以上をまとめると、Fuzzy論的モデルの解法は、次のようになる。

Step 1：ある適当な値M_0を設定する。

Step 2：$M_k(w_k)=M_0$, $\lambda_{ik}(r_{ik})=M_0$ $(k=1,2,\ldots,n)$を満足するw_k, r_{ik}を全て求める。

Step 3：Step 2で求めたw_k, r_{ik}の全ての組合せに対して、(19), (20)式を用いてα_k, β_kの符号をチェックする。
もし、全てのkに対して$\alpha_k>0$, $\beta_k>0$であれば、その時のw_k, r_{ik}の組合せが最小値を与える。
また、もし全てのkに対して$\alpha_k<0$, $\beta_k<0$であれば、その時のw_k, r_{ik}の組合せが最大値を与える。

Step 4：必要があれば、Step−1へもどる。

3−2 確率論的モデルの解法　(6)式を直接的に計算するのは殆んど不可能であるため、本考察においては、モンテ・カルロ法によるシミュレーションを行ない、確率論的モデルにおける総合評価値の分布を求めている。シミュレーションの手続きは以下に述べる通りである。まず確率分布関数 $P_j(w_j)$, $Q_{ij}(r_{ij})$, $(j=1,2,\ldots,n)$に従うように、乱数w_j, r_{ij}を発生させ、基本式(1)を用いて総合評価値r_iを計算する。この手続をM回くりかえすことによって、総合評価値の確率分布を求めている。

4. ケース・スタディによる3つのモデルの比較検討

4−1 ケース・スタディの概要　ケース・スタディは、昭和51年1月に東京城西地区（豊島区、板橋区、練馬区の一部）において実施された住宅地環境に関するアンケート調査（有効サンプル数771）を利用して行った。調査票は、住宅地環境を規定すると思われる主な項目についての現状に対する満足感（5段階評価）とその項目の重要度（7段階評価）に関する質問群および住宅地環境の総合的満足感に関する質問から構成されている。本考察では、評価要因をi)基本式が成立するための加法性と独立性が満足されているかという条件、ii)条件F−1, iii)条件F−2, iv)条件F−3, v)条件P, 及びvi)総合評価を行うのに適当な要因であるかどうかという条件の計6条件から、評価要因として次の7つを選定しており（表−1）、評価要因の組合せとしては表

番号	質問内容
R1	居住地周辺の緑地・空地の広さ
R2	公園・運動場・子供の遊び場等の広さや使い易さ
R3	日常の買物の便利さ
R4	交通の便利さ
R5	医療サービスの質
R6	小・中学校の施設内容と数
R7	図書館・公民館等の文化施設の使い易さ

表−1 評価要因

Case番号	評価要因番号
Case 1	R1, R3, R5, R6, R7
Case 2	R2, R4, R5, R6, R7

表−2 評価要因の組合せ

ー2を考えている。

4－2　3つのモデルの比較検討

1°　Fuzzy論的モデル　計算結果を図－3に示す。図－3から、総合評価についての質問に対する回答パターン（図中には、アンケートと表示してある。図－4，5においても同じ）とFuzzy論的モデルによる計算結果の分布とは非常によく似ていることがわかる。なお、総合評価値グレードの最大値が全て1.0となっているのは、計算の簡略化によるものである。

2°　確率論的モデル　計算結果は図－4の通りである。アンケート結果の分布と計算結果との差異はCase 1，2とも次の2点に集約できよう。即ち、イ)計算結果の分布形がアンケート結果の分布形に比較して非常に険しいものになっていること、ロ)計算結果の分布形がより効用値の高い方へ片寄っていることである。このような傾向の生じる原因は、確率論的モデルの構造によるものと思われる。確率論的モデルは(6)式に示す通り、全ての評価要因jの重要度及び効用値を乗算及び積分という形で完全に平均的に評価している。しかし、アンケート調査表を個人毎に子細に検討したところ、ある1つの評価要因が非常に悪い状態にあるとすれば他の要因が満足すべきものであっても、住宅地環境に対する総合評価は悪いとする個体が数多く存在することが確認された。この事実は確率論的モデルの性格とは、合致しない。この点、Fuzzy論的モデルにおいては、ある総合評価値に対するグレードは基本的に、w_j，r_{ij}に対する最底のグレードによって決定されているため、前述のような好結果が得られたと考えている。

3°　個人評価分布モデル　計算結果を図－5に示す。図からアンケート結果の分布と計算結果の分布は比較的よく似ていることがわかる。しかしながら(7)式により計算された効用値とアンケート結果の相関係数はCase1で0.400，Case2で0.293と良い相関が得られてはいないことを示している。また、個人評価分布モデルの解釈そのものがあまり明確でないという欠点を有する。

4°　検討結果と考察　3つのモデルの結果について順番に検討してきたが、現在の所、モデルの現状説明力、モデルの意味あるいは集団的意志決定問題への応用性等の視点からは、Fuzzy論的モデルが一番有用であると考えている。しかし、これには唯一のアンケート調査による一応の結論であり、今後さらにケース・スタディを続けていきたいと考えている。

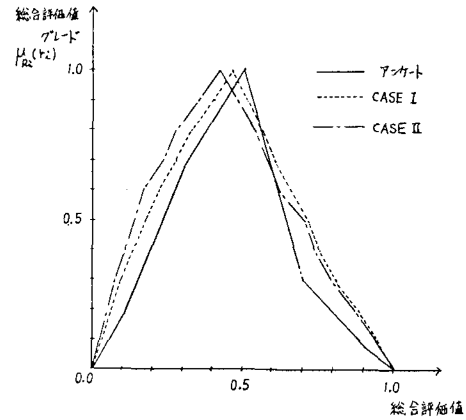


図-3　Fuzzy論的モデル

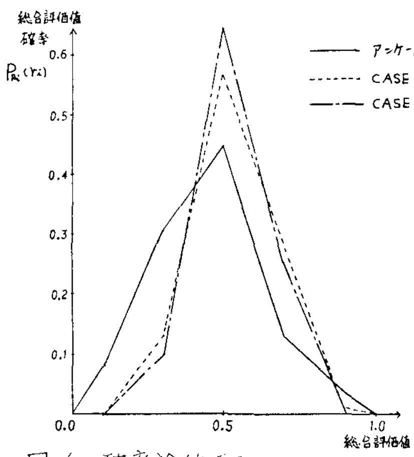


図-4　確率論的モデル

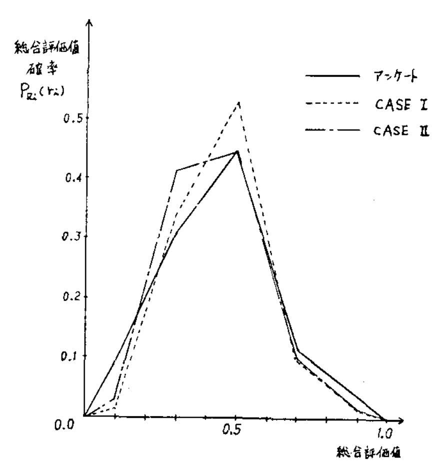


図-5　個人評価分布モデル

5. おわりに

本考察の目的である i)主体構成員の価値観、受けるインパクトの多様性を表現する形で土木施設を総合的に評価すること、および ii)住民をいくつかの主体に層別するときの合理的な根拠を与えることは、ほぼFuzzy論的モデルによって達成できたと考えている。

しかしながら、Fuzzy論的モデルには解決すべき問題点が残されている。そのうちの主なものを以下に列挙する。

1° Fuzzy論的モデルが個人の土木施設に対する評価構造つまり人間の思考過程にどの程度適合するのかについての検討がなされていない。

2° 評価要因の選択する際に恣意性が混入している。評価要因の選択要因としてFuzzy論的モデルでは、5つの条件を考慮しているが、これらの条件だけで充分であるという保証はないし、また評価要因として適当であるという全くあいまいな条件が存在しているなど問題は多い。

3° Fuzzy論的モデルへの入力情報としては、評価要因の現状に対する満足度が使用されており、その評価要因に対応する物理指標との関係は全く明らかにされていない。

4° 本考察におけるケース・スタディとしては住宅地環境の現状というように、代替案は1つしか考えられていない。従って複数の代替案に対して、Fuzzy論的モデルが意志決定に際してどの程度有用な情報を提供するかについての確認はなされていない。

これらの問題は、いずれも非常に重要なものであり、今後の課題としてケース・スタディを積み重ねることによって検討していきたいと考えている。

本稿を終えるにあたって、計算及び資料の整理に協力して頂いた東京工業大学大学院 平野邦彦君に感謝の意を表したい。

参考文献

1)石田・森地・土屋：バス導入計画に対する住民の評価に関する研究，第34回年次学術講演概要集，1979

2)石田・柳川：都市交通管理計画に対する住民意識の分析，第14回日本都市計画学会学術研究発表会論文集，1979.

3)浅居喜代治他編：あいまいシステム理論入門，オーム社，1978.

4) Ramesh Jain ; A procedure for multiple-aspect decision making using fuzzy sets, Int. J. Systems Sci., Vol. 8, No.1, pp 1～7, 1977.

5) S. M. Baas and H. Kwakernaak ; Rating and ranking of multiple-aspeck Alternative using fuzzy sets, Automatica, Vol.13, pp 47～58, 1977.

6) S. Kahne : A procedure for optimizing development decisions, Automatica, Vol.11, pp261～269, 1975.

7)志水清孝：システム最適化理論，コロナ社，1976.