

# インフラ極限性への代表民主制における意思決定

河村 廣

## 1. 序

2011年3月11日の想定外の規模の東日本大震災を契機として、その後の復興や再建において生じている混乱や遅滞は、主として合意形成や意思決定のシステムへの認識やその共有が不十分であることによるものと思われる。民主主義に基づく我が国の社会においては、多数決の原理は勿論であるが、制度としては代表民主制が採用されていることを前提として、本稿では $\alpha$ -レベル集合[1,2]を応用したファジィ意思決定[3]としてのモデル化により代表民主制の特質を明らかにすると共に、為政者と世論との協調的な意思決定に至る客観的なアルゴリズムを提示する。本意思決定法は本報前ページで一部に導入されているが、本稿では更に詳細に記述すると共に、地震動評価を踏まえたインフラ耐震計画及び資源循環システムや減災防災システムの計画への応用性についても考察を加える。

## 2. 代表民主的意思決定

### 2.1 世論における許容意見分布[4,5]

先ず国論の基礎となる世論の許容意見分布を求めよう。横軸にインフラの建設や安全基準に関する政策などをとり、各値、各案について許容可能と評価した人の数をプロットしたものが許容意見分布である。その一例を説明のため簡略化して図1に示す。

図1において、横軸 $x$ は基準値や政策などのファジィ変数であり、 $\Delta x$ は区間の大きさ、 $x_i$ は $i$ 番目の区間値を表わす。縦軸 $\mu_X$ は回答者人数 $n$ を総人数 $N$ で除したものであり、 $\mu_X(x_i)$ は $i$ 番目の $x_i, n(x_i)$ から求まり、式表示すれば式1, 2となる。

回答者は図中横線のように複数区間の選択が可能とし、回答者数は24人、図中上部に回答者の一例を示す。

$$\mu_X(x_i) = n(x_i) / N \quad (1)$$

$$N = \sum n(x_i) \quad (2)$$

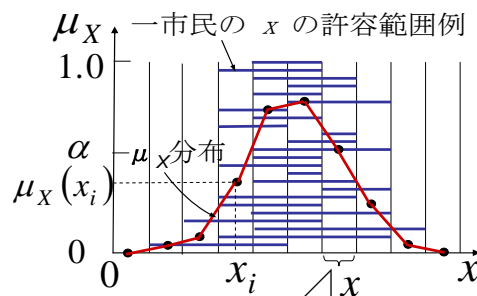


図1 世論における許容意見分布の求め方の例[4]

図1のように幅のある回答を得るためのアンケート調査やメンバシップ関数 $\mu_X$ の同定

については、公共性の高い建築物の耐震安全性の評価を目的として、著者は既に試みている[6]。

## 2.2 代表民主的意思決定ルール[4, 5]

ファジィ変数  $x$  の世論における許容意見分布に基づき、為政者側の意思決定者によってなされる民主的意思決定法の概要を図 2 に示す。但し、ここでは世論の許容意見分布は単峰性とする。

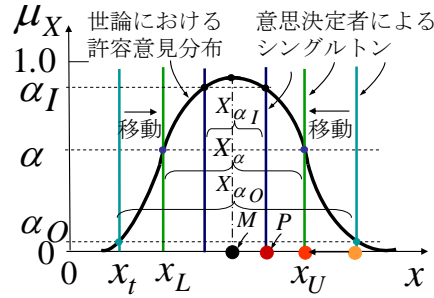


図2 代表民主的意思決定法（単峰性の場合）[5]

意思決定に用いられるファジィ集合として以下の仮定を設ける。

- (1) 世論における意見分布として、 $\alpha$  - レベル集合[2]を採用する。
- (2) 政府側の腹案としてはシングルトンを用いる。

仮定(1)の  $\alpha$  は、政府が世論の支持を得るために必要な最低限の支持率であり次式の範囲内にある。

$$0 \leq \alpha \leq 1 \quad (3)$$

$\alpha$  - レベル集合  $X_\alpha$  は次式で定義される。

$$X_\alpha = \{x / \mu_X(x) \geq \alpha, x_L \leq x \leq x_U\} \quad (4)$$

但し、 $x_U, x_L$  :  $\alpha$  - レベル集合の上下限境界値

仮定(2)で政府側の腹案は単純化のためシングルトンとした。 $x_t$  は腹案としての変数であり、図2では、 $\alpha$  - レベル集合の上下限境界値の外側と内側および上下限境界値の3ケースを同時に記した。外側と内側は各々  $\alpha_0$  -、 $\alpha_I$  - レベル集合の境界上にある。

本稿で提唱する代表民主的意思決定ルールを下記に記す。但し、 $x_D$  を意思決定者による決定変数とする。

- (1) 多数決の原理により、 $\alpha \geq 0.5$  (5)
- (2)  $x_t \in X_\alpha$  の場合  $x_D \leftarrow x_t$
- (3)  $x_t \notin X_\alpha$  の場合  $x_D \leftarrow x_t$  に最も近い ( $\alpha$  - レベル集合) の上下限値

ルール(1)では、意思決定者が確信的に0.5未満の $\alpha$ を設定することも現実にはあるが、意思決定者が政権与党の場合は、次回の選挙で多数決の原理により世論の支持を失う

リスクを負うことになる。

ルール（２）は当然の判断であるが、意思決定者が世論の支持拡大を意図するならば、 $\alpha_I$ の最大化を目指すことになる。

ルール（３）は意思決定者の譲歩を意味し、図 2 では水色から緑色のシングルトンへ、即ち  $\alpha$  - レベル集合の上又は下限境界値に変数を移動させる様を示している。

ここで図 2 に示されるように、 $\alpha_I$ 、 $\alpha_O$  に対応して  $\alpha_I$  -、 $\alpha_O$  - レベル集合を  $X_{\alpha_I}$ 、 $X_{\alpha_O}$  とすれば、上記のルールは以下のように言い換えることが出来る。

意思決定者は意思決定点  $P$  を式 6 の制約の下で  $\alpha_I$  の最大化を目指して決定する。

$$X_{\alpha_I} \subseteq X_{\alpha} \quad (6)$$

$\mu$  のピークに対応する  $M$  点は理想であるが、場合によっては、地位の保持へのリスクを覚悟の上で、式 7 の制約に違反することもあり得る。

$$X_{\alpha} \subseteq X_{\alpha_O} \quad (7)$$

### 3. $\alpha$ - レベル集合の多次元化[5]

#### 3.1 2次元 $\alpha$ - レベル集合の場合

前章では図 2 に示されるように 1次元  $\alpha$  - レベル集合（線分  $X_L X_U$ ）内に含まれる点  $P$ （0 個の助変数関数）として意思決定変数を求めようとするものであった。これをケース 1-0 と記号化し、更に次元を一つ増すならば、解として以下のケースが考えられる。

- ・ ケース 2-0：2次元  $\alpha$  - レベル集合（2D 平面）上の点（0 個の助変数関数）
- ・ ケース 2-1：同上平面内の曲線（1 個の助変数関数）

図 3, 4 はケース 2-0、2-1 における意思決定の一例を  $x$  -  $y$  平面上に示すものである。但し、次元が増したので  $\alpha$  - レベル集合は  $R_{\alpha}$  と表記し、 $R_{\alpha_O}$ 、 $R_{\alpha_I}$  も同様とする。点  $P$ 、 $M$  の意味は図 2 と同じである。

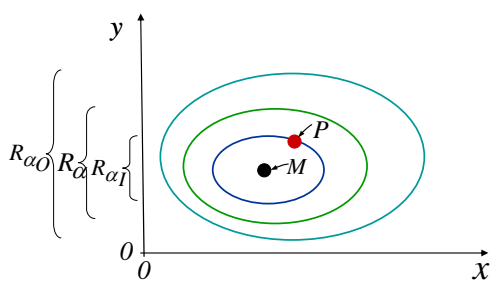


図 3 ケース 2-0 における意思決定[5]

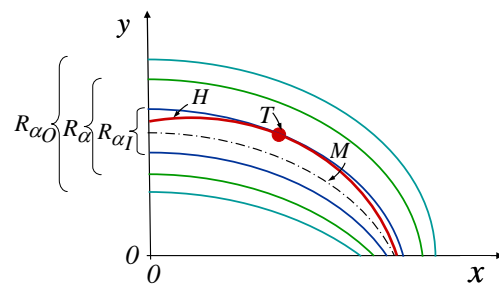


図 4 ケース 2-1 における意思決定[5]

図 3 から  $M \rightarrow H$ 、 $P \rightarrow T$  に置き換えると図 4 となる。H は  $\alpha_I$  - レベル集合  $R_{\alpha_I}$  の境界と T で内接している。

#### 3.2 3次元 $\alpha$ - レベル集合の場合

前節における次元を更に一つ増すと、解として以下の 3 ケースが考えられる。

- ・ ケース 3-0 : 3次元  $\alpha$ -レベル集合 (3D空間) 内に含まれる点 (0個の助変数関数)
  - ・ ケース 3-1 : 同上空間内の曲線 (1個の助変数関数)
  - ・ ケース 3-2 : 同上空間内の曲面 (2個の助変数関数)
- ケース 3-0、3-1、3-2 を図 5, 6, 7 に示す。

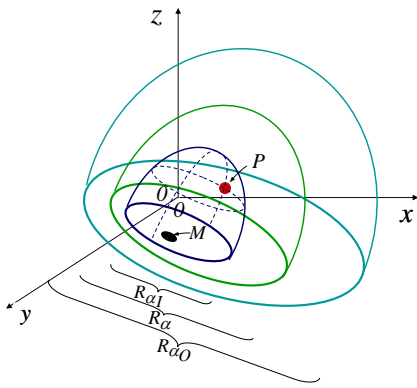


図 5 ケース 3-0 における意思決定 [5]

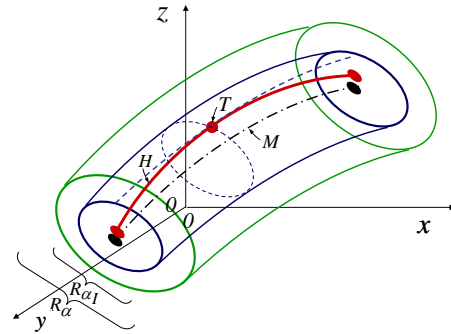


図 6 ケース 3-1 における意思決定 [5]

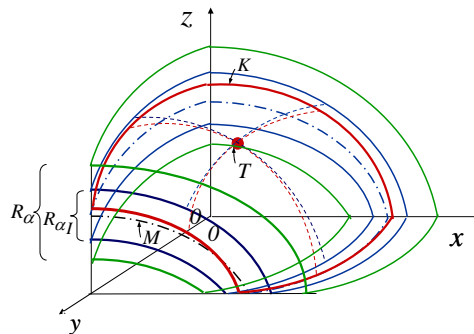


図 7 ケース 3-2 における意思決定 [5]

図 5 の P, M の意味は図 3 と同じ、図 6 の H, M, T の意味は図 4 と同じである。図 7 の K, M, T は図 6 の H, M, T に対応するものである。

尚、図 6 の H 及び図 7 の K は  $\alpha_I$ -レベル集合  $R_{\alpha_I}$  の境界に内接し、T は接点である。

#### 4. インフラ耐震計画への応用性

##### 4-1 インフラ崩壊をもたらす地震の評価 [4, 5]

自然界におけるパターンの多くがフラクタル構造を有しているのと同様に、地震などの自然災害においてもある地震入力  $A$  以上の発生回数はそのべき乗分布で表わされる。本報の前ページで、再現周期  $T_r$  と  $A$  とが下式の関係性を有することから、 $n$  をファジィ変数とすることを提案したが、 $n$  がゼロの側では  $T_r$  の影響を無視し、 $n$  が 1 の側では  $T_r$  を過大評価することを意味する。そしてこの場合は、図 2 のケース 1-0 に対応する。

$$A = \lambda T_r^n \quad (8) \quad 0 \leq n \leq 1 \quad (9)$$

建築や土木のインフラの耐震計画では、技術的および社会的にインフラの耐用年数  $T$  は設定されており、極限耐震設計の観点からインフラ崩壊時の地震入力地震のインフラ耐用年数における発生確率  $p$  を推定すると、インフラ崩壊時の社会的損失の期待値が求まり経済設計に帰することになるが、問題はそう簡単ではない。それは震害そのものが大きく社会や人類の存亡に関わる場合である。発生確率は飽くまでも理論上のことであり、現実には今日明日起きることを心配する人も居れば、地震の再現期間を十分に長くとしているので耐用年数の間は大丈夫という楽観的な人も居る。前者は  $p$  が 1 側の、後者は 0 側のタイプに属することになる。発生確率を主観的に捉えれば、図 2 のケース 1-0 に対応する。

上記の設計変数、 $n$  と  $p$  を組み合わせで設定するならば、図 3 のケース 2-0 に、更に、インフラの耐用年数  $T$  を設計変数に加えれば、図 5 の 3-0 に対応する。

原発の廃炉計画についてはかつて政府によってアンケートがとられた。質問は年数  $Y$  と原発依存率  $r$  の関係を求めるものであったが、本稿では図 4 のケース 2-1 に対応する。

例えば意思決定者が図 8 のような廃炉プロセス  $H$  を設定し、 $\alpha_I$ -レベル集合  $R_{\alpha_I}$  の境界線と  $T$  で接するならば、 $\alpha_I$  と  $\alpha$  の比較で最終決定に至るであろう [5]。

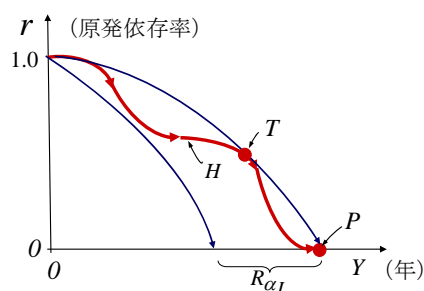


図 8 廃炉スケジュールの意思決定[5]

尚、最終点  $P$  のみを意思決定の対象とするならば、ケース 1-0 に帰することになり、暫定的な措置として  $T$  点を意思決定の対象とするならば、図 3 のケース 2-0 に対応することになる。

先に述べた設計変数  $n, p$  についても両者に関数関係がある場合には、図 4 のケース 2-1 に対応することになる。

#### 4-2 インフラ崩壊及び社会損失の評価

前節ではインフラ崩壊をもたらす地震発生の評価を対象としたが、インフラ崩壊によるインフラ及び社会の損失評価に本稿の主テーマである  $\alpha$ -レベル集合による意思決定法を適用すればどうなるであろうか。一例として本稿の前ページでも扱った資源循環システムについて考察を加えよう。

図 9 はインフラ崩壊後の資源循環システムのモデルを示し、生産、消費、自然の 3 拠点からなっている [7]。  $x, y, z$  は各々の資源量であり、式 10, 11, 12 の関係式を与える。図

10はその解の例を定性的に示すものである[7]。

式 10 は資源循環の連立微分方程式であり、式 11 は資源総量  $K_0$  の一定性を、式 12 は変数や係数が正であることを示している。図 10 は資源循環解軌道で初期値 I 点を通る閉曲線 H 及び、定常解の点 P を示している。

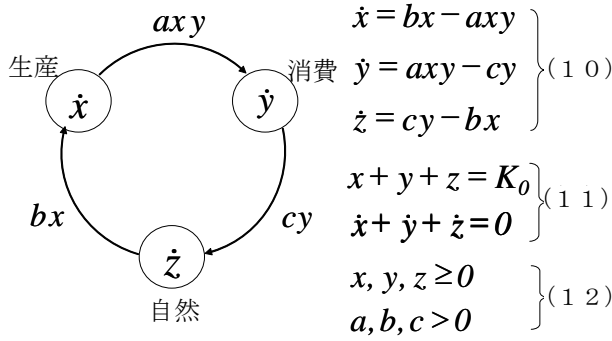


図 9 資源循環モデル[7]

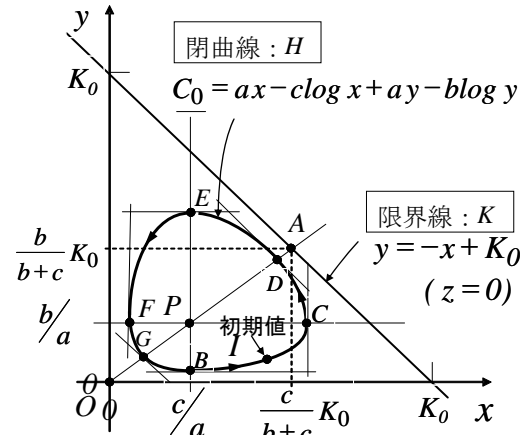


図 10 資源循環の解軌道[7]

資源総量が一定であるから、閉曲線 H と定常解 P は図 11 のように 3 角形斜平面 K 上に在り[5]、図 10 はそれを x-y 平面上へ射影したものである。

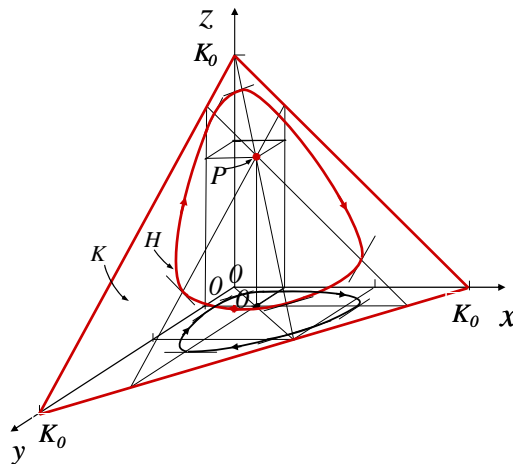


図 11 x-y-z 空間における資源循環の解軌道[5]

図 11 の点 P, 閉曲線 H, 平面 K を資源循環システム設計における意思決定の対象とするならば、図 5, 6, 7 のケース 3-0, 3-1, 3-2 の各々の P, H, K に対応するものである。

尚、 $\alpha_-, \alpha_+, \alpha_0$ -レベル集合による考察は繰り返しになるので、ここでは省略する。社会損失として人的被害も不可欠の因子である。地震直後のインフラ崩壊による被災者の推移を総人口  $K_0$  一定の下で数理モデル化したのが図 12 及び式 13, 14 であり、その解軌道の一例を示したのが図 13 である[8]。

図 11 と同様に解釈すれば、図 13 の終点 B や解軌動 AB を意思決定の対象にするならば、

各々図 5, 6 のケース 3-0、3-1 に対応する。

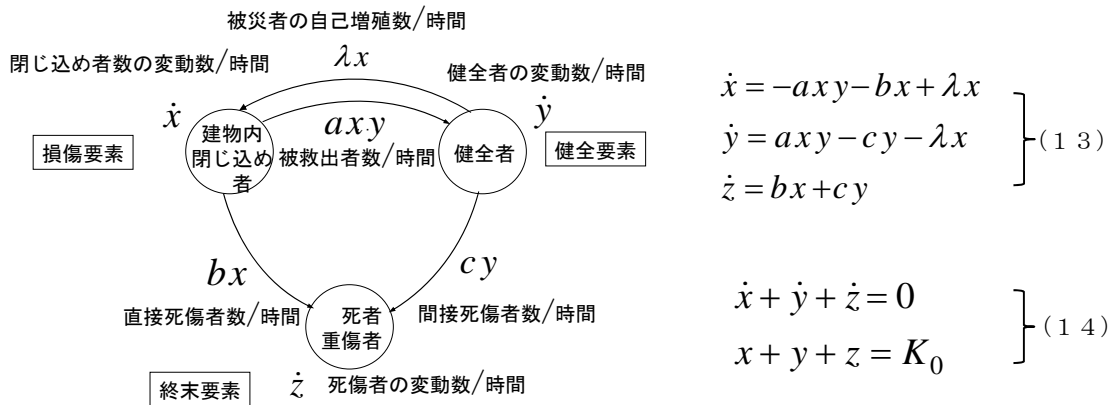


図 12 防災減災数理モデル[8]

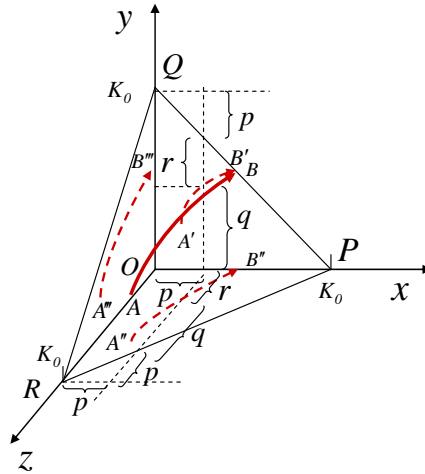


図 13 x-y-z 空間における被災者数変動の解軌道[8]

## 5. 考察

著者はかつてファジィネットワークを提唱し[9]、建築の耐震計画に応用した[10]。そこでは関係者が意思決定にフラットに参加するものであった。本稿で提示した民主的意思決定ルールは、リアリティを高めるため現体制の代表（間接）民主制を前提としている。

本稿で定義した世論の許容意見分布は可能性分布や可能性測度[11]の特殊例に対応し、 $\alpha$ -レベル集合の $\alpha$ は民主度の指標となる。

図 2、ケース 1-0 における世論の $\alpha$ -レベル集合とリーダーのシングルトンによる意思決定は、ファジィ最大化決定[3]の最も単純なケースに属する。

シングルトンは集合論的には単なるクリプスな変数や定数に過ぎないが、ケース 2 以降の高次元化の議論においても、分かり易さを旨として空間的かつ視覚的なクリプスな表現とした。設計変数の多次元化は、変数間の相関関係を考慮すること、そして単なるスカラー一量ではなく多次元的にバランスよく評価することを可能にするものである。

更に本報の手法には、代表民主的意思決定プロセスの客観的で透明な記述という大きなメリットがある。

筆者はかつて阪神大震災直後、研究室で学校建築の耐震安全性に関するアンケート調査を行ったことがある[12]。驚くべきことに、地震入力や損傷などの安全基準値については一般市民のほうが専門家よりも厳しい設定を求めている。東日本大震災後の原発の安全性についても、民意のほうが為政者の意向よりも厳しく見ている様であるが、残念ながらその実態が明らかにされることはない。

尚、説明が前後するが、本稿は既報の文献[5]の構成をベースに、大筋としては前段の $\alpha$ -レベル集合の応用法を再録したものであり、後段の応用性については本報の極限耐震性の観点からインフラ崩壊を起点とする考え方に記述を書き改めたものである。

## 6. 結

本稿は、2013年3月11日の東日本大震災後の安全性に関する合意形成の遅滞や混乱への解決に資する一案を提案するものである。民主的な意思決定法として、 $\alpha$ -レベル集合を応用したアルゴリズムと意思決定ルールを提示すると共に、インフラ崩壊を起点とするインフラや社会システム損失の評価への応用性について、特に設計変数の多次元化において例示した。

本手法の特色は、代表民主制に倣い為政者は意思決定者として臨みその権限と責任を明確にすると共に、最終的には $\alpha$ レベルにおいて世論の影響下に与することにより民主主義を担保することにある。本法により、客観的で透明な意思決定メカニズムとプロセスが記述される。

## 参考文献

- [1] Zadeh, L. A. : Fuzzy Sets, Information and Control, Vol.8, pp.383-353, 1965.
- [2] Zadeh, L. A. : Similarity Relations and Fuzzy Orderings, Information Sciences, 3, pp.177-200, 1971.
- [3] Bellman, R. E. and Zadeh, L. A. : Decision-Making in a Fuzzy Environment, Management Science, 17, pp.B-141-B-164, 1970.
- [4] 河村廣 : インフラ耐震計画におけるマクロ合意形成のファジィ化ー最小期待損失最適解の不安定性と想定外の恣意性ー、日本建築学会、第35回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集、2012.12, pp.227-230. (DVD, 報告H29)
- [5] 河村廣 :  $\alpha$ -レベル集合を応用した代表民主主義における意思決定、日本知能情報システム学会、第29回ファジィシステムシンポジウム、講演論文集、pp.655-658, 9-11, 2013、CD-ROM.
- [6] Ohmachi, Y., Kawamura, H., Tnai, A., and Yoneda, H. : Identification of Fuzzy Relations with Multiple Hyperplanes by Genetic Algorithm in Structural Design, Microcomputers in Civil Engineering, 11, pp.219-238, 1996.
- [7] 河村廣 : ファジィ循環社会数理モデルーその4: 資源量の変動係数のファジィ視覚化(準



- ロトカ・ボルテラモデル) ー、日本建築学会近畿支部研究報告集、第 51 号、構造系、pp. 449-452, 2011.
- [8] 河村廣：震害地域内防災数理モデルー防災要素の総量一定条件の下でー、日本建築学会近畿支部研究報告集、第 48 号、計画系、pp. 373-376, 2008, 6.
- [9] Kawamura, H. : Fuzzy Network for Decision Support Systems, Fuzzy Sets and Systems, 58, pp. 59-72, 1993.
- [10] Kawamura, H. Tani, A. and Kambara, H. : Aseismic Structural Planning System by Fuzzy network, Proceedings of the 10<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering, Vol. 10, pp. 6271-6275, 1992.
- [11] Zadeh, L.A. : Fuzzy Sets as a Basis for a Theory of Possibility, Fuzzy Sets and Systems, 1, pp. 3-28, 1978.
- [12] 中島賢二、河村廣、谷明勲；アンケートによる公共建築物の耐震安全性の意識調査、日本建築学会大会学術講演梗概集、B-2, 構造 II, pp. 117-118, 1996.