

(13) ファジィ理論による相対的重要度の推定と道路周辺環境の総合評価への応用

THE ESTIMATION OF RELATIVE WEIGHTS USING FUZZZY SET THEORY AND
AN APPLICATION FOR TOTAL ASSESSMENT ON ROAD ENVIRONMENT

永野孝一*、 金安公造**

Takakazu NAGANO*, Kozo KANEYASU**

ABSTRACT; The objectives of this study are to propose the estimation method of relative weights using fuzzy set theory and to certify the usefulness of this method for environmental assessment. The estimation method using fuzzy set theory is mainly based by the pair comparison method, fuzzy relation, and Graph-Matrix method. The proposal method has some merits such as the reduction of burden for answering questionnaire, the increase of freedom for selecting pair comparisons, the acquisition of relative weights without fail, and so on. To show the usefulness of proposal method, this is applied to the total assessment on road environment by carrying out the survey through the questionnaire with the neighborhood along the road. So we get the results as the good estimations of relative weights, total environmental assessment and the usefulness of proposal method.

KEYWORDS; environmental assessment, fuzzy relation, relative weight

1 はじめに

都市内の環境で悪化している現象はさまざまであるが、その中でとりわけ重要な問題となっているのが交通問題である。ここでは、特に都市内環境の悪化という観点から自動車交通による道路周辺環境に着目する。従来道路環境といった場合、自動車の運転者すなわち道路利用者からの利便性・快適性などという評価が行われてきたが、道路周辺の住民の立場からその環境を評価したものはあまり多くない。本研究では、道路周辺の住民による道路交通による影響・道路の存在による効用というものを総合的に評価することを試みる。

道路周辺環境といった場合、典型七公害に代表される大気汚染・騒音・振動などが主に考えられるが、本研究では公共交通機関の利便性や交通事故の不安など幅広く環境評価項目を取り上げる。その意味では、単なる道路交通公害に対する評価ではなく道路周辺環境の総合評価となる。このような総合評価をすることによって、道路周辺の環境を物理的・化学的側面からのみではなく多面的な評価を行うことができ、道路周辺環境の改善を考える時さまざまな対策を比較検討することが可能になる。

一般に環境の総合評価を行う際には各環境評価項目の評価値と各評価項目間の相対的重要度から構成さ

* (財) 計量計画研究所 The Institute of Behavioral Sciences ** 北海道大学工学部衛生工学科
Department of Sanitary Engineering, Hokkaido University

れている方法をとる。つまり、以下のように仮定する。

$$U = f(w_i, U_i(x_i)) \quad (1-1)$$

ここで、 x_i は環境評価項目を表し、 w_i はそれぞれの評価項目間の相対的重要度であり、 $U_i(x_i)$ は各評価項目の評価値である。 f は総合化の関数、 U は総合評価値である。

本研究での適用例では、総合評価の関数として線形重みづけ和を採用した。これは、つぎのように表される。

$$U = \sum_{i=1}^n w_i \cdot U_i(x_i) \quad (1-2)$$

環境の総合評価では、多くの環境評価項目と評価項目間の相互関係そしてある評価項目間の相対的な重大さというものがあると考えるならば式(1-1)のような関数の表現は自然であり、簡便性を考えるならば線形重みづけ和ということになる。

環境の総合評価をする際、各環境評価項目の評価値を得ることと評価項目間の相対的重要度の算出が必要となる。本研究では、評価項目間の相対的重要度の簡便な推定手法を提案する。この簡便な推定手法はつぎのような立場から提案する。

- ① 特に総合評価のための手法である。
- ② 評価主体は住民であり対象はインパクトを受けている環境である。住民とは、インパクトを受けた結果何らかの影響が生じている環境に住む人々である。
- ③ 住民による影響を受けている環境の評価は必要であり、住民の価値観は各環境評価項目間の相対的重要度に反映され、それらは意識調査から得ることができる。
- ④ 各環境評価項目間の直接的・間接的効果を考慮する。

2 ファジィ理論による相対的重要度の推定

多くの評価項目間の相対的重要度を推定するために使われる基本的な方法は、一対比較法であろう。この一対比較を行った結果をなんらかの方法で処理して重要度を決定するのが一般的である。この一対比較法が採用される理由は、多くの評価項目を一度に比較するのは困難であるがその中のふたつつまり一対ずつ比較することは比較的容易であるからである。しかしながら、この方法の欠点として評価項目の数が増加すると比較対の数が増加することがあげられる。すなわち、よく用いられる部分一対比較法では、評価項目の数を n とすると比較対の数 m はつぎのように算出される。

$$m = \frac{n(n-1)}{2} \quad (1-3)$$

これは、評価項目の数が少ないときは一対比較の対の数も少なくこの手法の採用は可能となるが、環境評価のように多数の項目を比較しようとする対の数は膨大になりすべての対を比較するために多大な労力と時間が必要となることを意味している。

そこで評価項目数の増加とともに比較対の数が増加することに対処するために以下のことを考える。まず、各々の評価項目の重要度を推定するためには、いずれかの一対比較に各評価項目が含まれている必要

がある。この時、一対比較の質問は「項目 X_i は項目 X_j にどのくらい重要ですか」といった文脈になる。

ここでファジィ関係を導入する [1]。評価項目の集合を X とし、上述の文脈をファジィ関係 R とすると、

$$\mu_R : X \times X \rightarrow [0, 1] \quad (1-4)$$

となるメンバーシップ関数 μ_R で特性づけられる。また、ファジィ関係 R について推移性が成り立つとすると、ファジィ合成 $R \circ R$ は、

$$R \circ R \Leftrightarrow$$

$$\mu_{R \circ R}(X_i, X_j) = \max_k [\min(\mu_R(X_i, X_k), \mu_R(X_k, X_j))] \quad (1-5)$$

で定義される。 $R \circ R = R^2$, $\mu_{R \circ R} = \mu_R^2$ とも書く。この合成の意味は、「項目 X_i が項目 X_k に $\mu_R(X_i, X_k)$ 程度重要であり」かつ「項目 X_k が項目 X_j に $\mu_R(X_k, X_j)$ 程度重要である」ならば「項目 X_i は項目 X_j に $\mu_R(X_i, X_j)$ 程度重要である」ということを表している。つまり、ファジィ推論を行っていると考えてもよい。 $\mu_R(X_i, X_k)$ と $\mu_R(X_k, X_j)$ から $\mu_R(X_i, X_j)$ を $\max\text{-}\min$ 演算で推定しようとするものである。

このことを情報構造の面からみると、 $\mu_R(X_i, X_k)$ と $\mu_R(X_k, X_j)$ の情報から、最大の共通項を抜きだしていることに相当し、確率的な誤差や情報の散逸がないことを仮定している。管路網問題に例えるならば、意識の流れといったものの中から可能な最大流量を推定していることになる。

以上のことを、グラフ理論の言葉で説明すると以下ようになる。グラフ理論でいう最大サイクルとは、項目すべてをもってサイクルを形成することをいう。また、項目間のすべてに関係 R が存在する場合を強連結という。これらの概念をもとに基づきのことをいうことができる。

【命題】項目のすべてによって最大サイクルを形成するように最低限、比較対が設定され、強連結かつ推移性が成り立てば、ファジィ合成によってすべての μ_R を推定することができる。

また、最大サイクルを形成するように一対比較が与えられると、推定するための $\max\text{-}\min$ 演算の使用回数は最大 n 回でよい。

これらのことは、グラフ理論でいうところの可到達行列を計算することと同値である。

以上のことから相対的重要度重要度の推定手順をまとめるとつぎようになる。

手順1 評価項目が最大サイクルとなるように比較対を最低限用意する。これは、すべての比較対の中で属性が2回以上現れることを示している。適宜、比較対を追加してもかまわない。

手順2 一対比較の結果を A^1 とする。

手順3 $A^2 = A \circ A$, $A^3 = A \circ A \circ A$, ..., $A^* = \bigcup_{i=1}^n A^i$ を計算する。

手順4 手順1で得られた既知要素が A^* の要素より小さいならば、既知要素に置換する。これは、実測値を尊重するという意味をもつ。

これらの手順から、関係 R による各評価項目間の重要度を表現している行列が推定できる。これを、直接的な各評価項目間の相対的重要度とみなして、後に Graph-Matrix 法 [2] を操作する。いいかえると、フ

ファジィ推論で推定した関係行列は原因と結果の関係はその連鎖の長さに影響されずに保持されているということなので、これを人間の自然な思考するために後にGraph-Matrix法を操作しているのである。

この方法の利点は、最低限、一対比較を最大サイクルを形成するように与えられるならば、それ以上の一対比較の数は任意にしてよいということである。これによって、一対比較法の利点を損なうことなく比較的短時間で容易に被験者から価値観を抽出することができる。また、直接的・間接的影響も考慮されていることになる。

3 道路周辺環境の総合評価への適用

3.1 調査の目的と方法

ファジィ重みづけ法の有効性を検討するために、札幌市内の道路周辺環境の総合評価へ適用を試みた。比較検討のためにGraph-Matrix法と線形重みづけ法[3]のふたつを用いる。前者の特徴は、各評価項目間の直接的・間接的影響を考慮している点である。各環境評価項目間の影響・相互作用はこの相対的重要度を推定する際に取り込んでいる。この手法を利用するためには部分一対比較法あるいは全一対比較法を適用する必要がある。本研究ではふたつの適用例を示すが、第一の適用例では部分一対比較法を用いるためこの手法を利用できる。後者は、最大サイクルを形成するように一対比較を与えると、一貫性係数を満たしていれば相対的重要度が推定できる。この一貫性係数は各評価項目間の重要度の比がある一定以内に納まることを意味している。

適用例での有効性を検討するための視点はふたつである。第一に、ファジィ重みづけ法では最大サイクルを形成するように最低限一対比較が与えられれば相対的重要度が推定できるが、その最大サイクルの取り方で重要度の値がどのように変化するかということである。これは最大サイクルの取り方によって大きく相対的重要度が変動するならば、最も適切に住民の価値観を表明しうる相対的重要度を推定する最大サイクルの選定法が必要になってくることを意味している。第二に、任意の最大サイクルでどの程度住民の意向と一致しているかである。これは、第一の適用例では多数の最大サイクルを抽出し相対的重要度の変動を調べるのに対して、あるひとつの最大サイクルを取り出し住民の価値観との適合性を見るものである。第一の適用例ではその目的のために部分一対比較法を用いたが、第二の適用例は評価項目数と同数の一対比較を用意し調査した。

調査方法のフレームワークを述べる。住民の意向を調査するために調査表を作成し留置方式で調査した。調査表は、一対比較、各評価項目の5段階評価(1…最悪の状態, 5…最良の状態)、総合評価、被験者の属性で構成されている。総合評価値は道路周辺の総合的な評価を表していると考え、式(1-2)を仮定して各環境評価項目の評価値と相対的重要度から計算される総合評価値と実測された総合評価値を比較し有効性を検討する。それぞれの適用例での差異はつぎのようになる。

第一の適用例での評価項目は、①横断障害 ②騒音・振動 ③路上駐車による迷惑 ④交通事故の不安・危機感 ⑤通勤・通学・買物などの普段の歩きやすさ ⑥スパイクタイヤ粉塵 ⑦排気ガス ⑧バスなどの便利さの8であり、一対比較の数は部分一対比較法をとるため28対を用意した。また、対象とした道路は北郷通り地区、石山通り地区の2ヶ所を選定した。

第二の適用例での評価項目は、①騒音 ②振動 ③スパイクタイヤ粉塵 ④排気ガス・悪臭 ⑤ごみ・ほこり ⑥横断障害 ⑦歩道の幅・舗装の状態 ⑧交通事故の不安・危機感 ⑨通学・通園などの児童への配慮 ⑩路上駐車による迷惑 ⑪除雪 ⑫公共交通手段の利便 ⑬道路の舗装 ⑭日あたり ⑮緑の量 ⑯通勤・買物などの普段の歩きやすさの16であり、一対比較の数は評価項目と同数の16である。対象道路は月寒地区、石山通り地区、菊水地区、月寒東地区、旧石狩街道地区の5地区を選定した。

調査対象地区の大きさは道路をはさむ片側200mを道路に沿って300mの長さにとり、集計結果は道路端からの距離によって3地域に分割して分析した。

3.2 調査結果

第一の適用例の結果を図3-1に示す。これらは、28対の中から最大サイクルとなるように8対選択しそれぞれの手法で計算したものである。つまり、最大サイクルを選択することは8個の評価項目の円順列の決定と同値なので全部で2520通り計算している。したがって、その最大サイクルの選び方によって相対的重要度が変動する。図中の○印は2520通りで得られた相対的重要度の平均を表し、上限と下限で最大値と最小値をそれぞれ示した。計算にあたっては、一対比較の集計の際、“重要”を1、“やや重要”を0.5と違いを与えた。また、集計後は、集計得点を調査対象者数で除した数値を原データとして用いた。したがって、“どちらともいえない”や無回答があるので正規化されない。さらに、式(1-2)を用いた推定総合評価値と調査から得られた実測総合評価値を図3-2に示した。●印は地区全体を示し、○印は各地域を示している。

3手法で得られた相対的重要度の大きさの順位は、平均点でみる限りどの手法も変わらない。Graph-Matrix法は28対すべてを使用するのでそれぞれの項目に対して1点が決まるが、線形重みづけ法とファジィ重みづけ法は最大サイクルの選び方で相対的重要度が変化する。この2手法を比較すると線形重みづけ法の方が最大サイクルの選定に大きく影響されることがわかる。また、一貫性の条件を満たさないために相対的重要度が求められない場合もあった。ファジィ重みづけ法は、すべての最大サイクルについて相対的重要度を求めることができ、その変動幅が小さい。さらに調査者の対の選定に融通性を持たせることが可能になることも考えられる。

推定総合評価値と実測値との比較でも同様の結果が得られる。各評価値はいずれの手法にも同じ平均点を用いているため、相対的重要度の変動が大きい線形重みづけ法が変動が大きくなる。

第二の適用例では、ファジィ重みづけ法と線形重みづけ法の相対的重要度の相関等を調べ、総合評価という立場から検討する。特にそれぞれの手法から得られた相対的重要度の大きさの順位について相関を考える。これは、どの項目を優先するかという場合重要な考え方である。つまり、重要さの順位が大切であり、それらの大きさは補助的なものとする場合である。その結果、比較的相関がよく、線形重みづけ法と少なくとも同等以上の重要度の順位の提示ができると考えられる。最後に、総合評価という観点から比較する。図3-3からファジィ重みづけ法の方が実測値に近い。線形重みづけ法は実測値より低い値を示した。

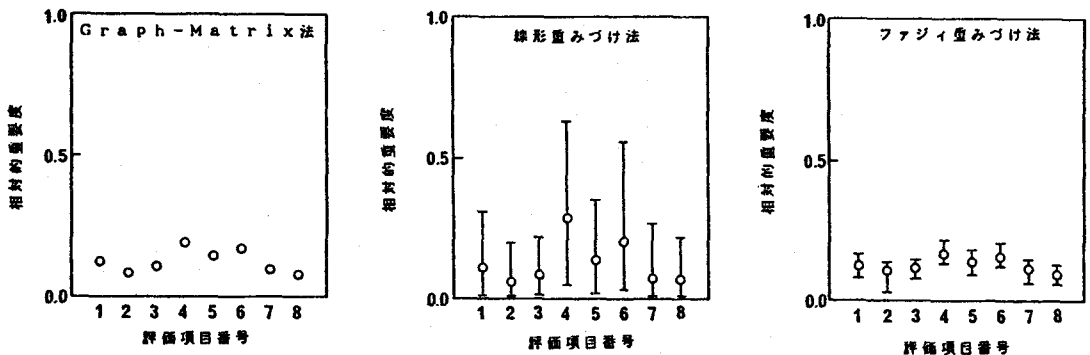


図3-1 評価項目の相対的重要度（北郷通り地区）

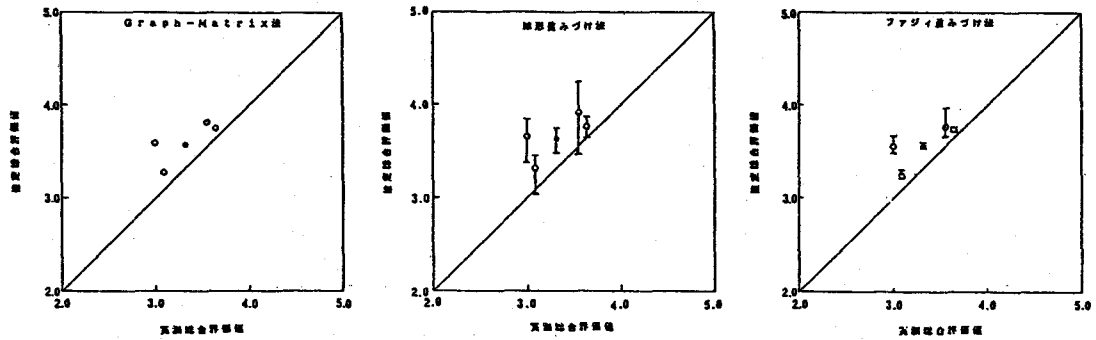


図3-2 実測総合評価値と推定総合評価値（北郷通り地区）

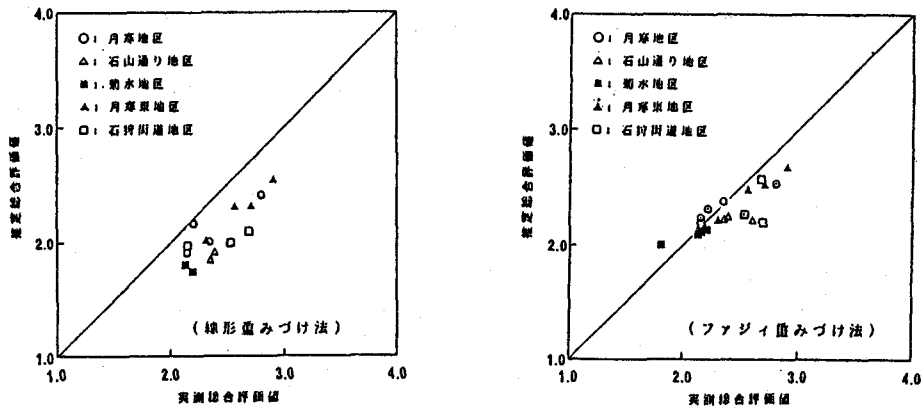


図3-3 実測総合評価値と推定総合評価値

4 結論と今後の課題

道路周辺環境の評価という例を用いてファジィ重みづけ法の有効性を検討した。得られた成果は以下のようになる。ファジィ重みづけ法は、Graph-Matrix法と同程度の精度で相対的重要度の大きさならびに順位を導出することができる。また、線形重みづけ法と同数の一対比較から相対的重要度を推定できることが確認できた。さらに、Graph-Matrix法のように部分一対比較法を使う必要がないため、被験者の負担が軽減され、調査者の対選定の自由度も大きくなる。線形重みづけ法のように、一貫性の条件を満たさないために相対的重要度が求められないという難点がなく、重要度の変動が少ない。

今後の課題としてつぎのようなことが考えられる。適用例では評価項目を8と16の場合について行った。相対的重要度は、正規化の条件をもっているので項目数が増加すると各相対的重要度の大きさは必然的に小さくならざるをえない。評価項目数による相対的重要度の変化と総合評価への影響あるいは正規化の条件がない場合の有効性などを調べる必要があるだろう。

〔参考文献〕

- ①西田俊夫，竹田英二：ファジィ集合とその応用，1978，森北出版
- ②Y.Sawaragi, K.Inoue, H.Nakayama, T.Tanino and K.Matsumoto: Graph-Matrix Method in Environmental Assessment, Environmental Systems Planning, Design and Control, IFAC, 757-764
- ③原科幸彦，皆川泰典：環境保全の都市計画－環境影響を考慮した住宅団地選定－，都市環境工学9, No1, 13-33