

(172) 地下空間の地震時の心理的不安度推定におけるファジィ推論方法の検討

株式会社フジタ 技術研究所 ○中野浩之, 斉藤悦郎
池見 拓, 中村正博

1. はじめに

都市の密集化・地価高騰などの社会的背景を受け、地下利用に向けての研究開発が近年盛んである。一般の人々の利用を目的とした地下空間開発にあたっては、その利用面・経済面・技術面からの検討とともに防災面に対して特に十分な配慮が必要となる。

筆者らは現在までに「地下空間の地震防災」に対して、VE手法を用いその基本機能の整理や防災対策について検討を行ってきた^{1, 2)}。その結果、一般利用者の地下に対する潜在的な不安感を軽減しておくことが地下防災にとって一つの特徴であり、また重要項目となることが明らかになった。さらに前報告³⁾では「心理的不安」の問題をとりあげ、これに関する因果関係を表す構造モデルを FSM法 (Fuzzy Structural Model-ing) により同定した。

本文は地下に対して人々が持つ地震時の「心理的不安度」を推定するため、この構造モデルにファジィ推論を利用した場合の適用性や推論方法について基礎的事項を検討するとともに、このモデルを用いて現存の新旧地下街を対象にアンケート調査を実施しその検証を行ったものである。

2. 推論方法

FSM 法によって求められた「地震時の心理的不安」を表わす構造モデル³⁾の概略を図-1に示す。構造モデルは6つの主要因とそれらを構成する74の要因から成っており、ツリーを構成する各要因間は下層から上層への影響度の強さを意味する(0~1)の数値関係 a_i で結ばれている。

推論は構造モデルの最下層要因を入力とし、これに対して条件を与え上層に向かって演算を進め、最終的にはその条件によって心理的不安がどうなるか(心理的不安度)を予測するものである。

推論にはファジィ推論を用いた。ファジィ推論は通常の関係概念が持っている論理的な性質にファジィ関係の概念を導入しファジィ関係の合成によって近似的結論を推論する方法である^{4, 5, 6)}。

推論には真理値空間を媒介する方法である間接法⁴⁾や直接法等いくつかの方法があり、今回用いた方法は図-2に示すようなmodus ponens型の推論であり、条件付き命題(IF「x is F」THEN「y is G」; $F \rightarrow G$)で表される2要因間の関係に対して「x is F'」が与えられたとき $G' = F' \circ R$ の合成規則によって「y is G'」を推論するものである。

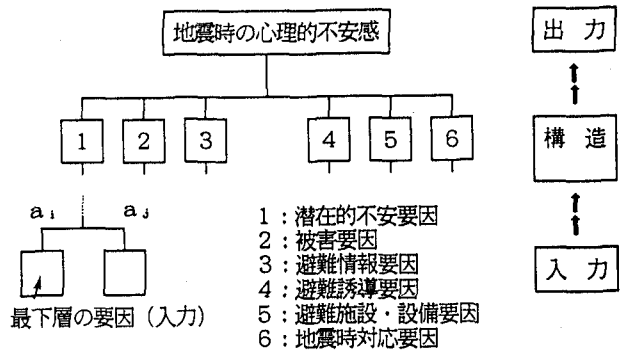
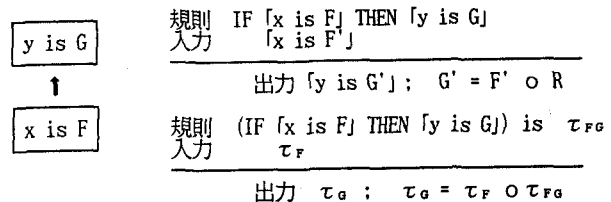


図-1 「地震時の心理的不安感」を表わす構造モデルの概略



ここで、 $R: F \rightarrow G$ より求まるファジィ関係, \circ : 合成規則, τ : ファジィ真理値

図-2 推論方法

推論の作成に当たっては、まずこの構造モデルをもとに各要因間の関係(0~1)をその影響度 a_i の強さに応じてファジ真理値の関係で結びつける。ファジ真理値(図-3)は二値論理での真(1)か偽(0)の真理値区間[0,1]を台集合とするファジ集合であり、命題の正しさの度合いを示すものである。このときの両者の対応関係は表-1の関係を用いた。次にこの関係をもとに構造モデルに従って推論の条件付き命題(ファジ命題)を作成し、合成規則に対し推論演算を行う。この際にファジ命題をファジ関係に変換する関係式が必要になるが、関係式の定義に関しては種々の方法⁴⁾が提案されているものの絶対的評価がされておらず、ここでは多値論理の含意におけるGodel, Rescher, Lukasiewicz, Goguen...等のいくつかの方法を用いこの点を検討する。また推論の合成規則については一般によく用いられているmax-min法を採用した。

入力条件は最下層要因の命題に対してファジ真理値⁴⁾の形で与えるため出力値も同様の形式で得られるが、簡単化のため非ファジ化も行い(0~1)の数値として出力命題の真の程度を算出した。非ファジ化には通常、重心法や最大値法が用いられるが、真理値を確定値に変換するため今回はtrueを0.5と設定し面積による重み付けを行った。また各ツリーの交わり部(○)の計算は真理値集合上で各ツリーからの値の平均をとる処理をした。

3. 推論結果

ここではファジ推論に用いる関係式などの条件を検討するために6つ主要因の中の1つである『潜在的な不安要因』(図-4)を例にとり、この構造モデルに対して試算を行った。

入力命題は最下層の「閉鎖空間である」「不案内空間である」「人工的空間である」の3つであり、これらの命題の真偽に関する入力条件に対して「イメージが悪い」という命題の答えが真理値の形式で得られる。

全ての入力に対して(1) very very-trueの条件を与えた場合と(2) trueの条件を与えた

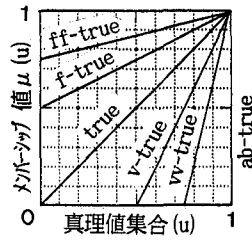
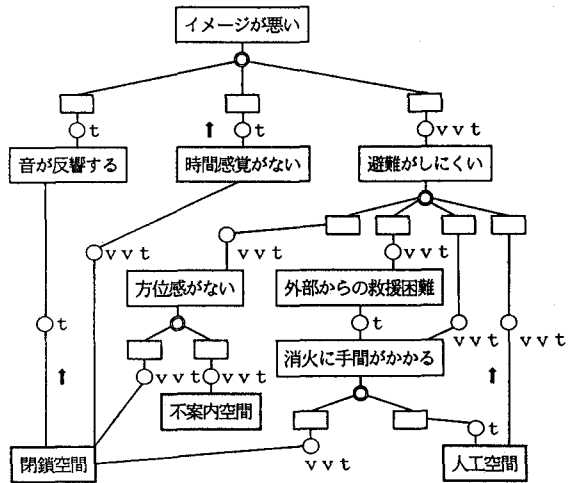


図-3 ファジ真理値(true系)

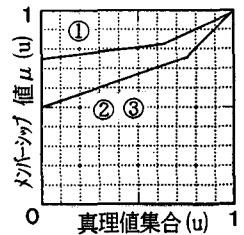
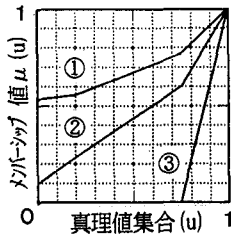
表-1 影響度 a_i と真理値

影響度	真理値
0.5	true
~0.7	v-true
~0.9	vv-true
1.0	ab-true



※) t, vt, vvtはmodus ponens型の推論をtrue, very-true, very very-trueの関係で演算することを意味する。

図-4 『潜在的な不安要因』に対する基本構造モデル



(1) 全てvv-true 入力条件時 (2) 全て true 入力条件時

図-5 各関係式により推論された「イメージが悪い」のファジ真理値

表-2 非ファジ化した「イメージが悪い」の推定結果

No	関係式	入力 vv-true	入力 v-true
①	Luka...	0.293	0.168
②	Godel	0.543	0.313
③	Rescher	0.875	0.313

1.0の場合absolute true

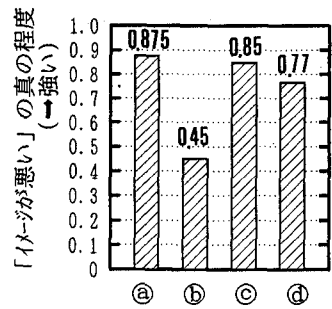
場合を考えてみる。これらの入力条件の意味は前者(1)が「閉鎖性、不案内、人工性」がかなり強く肯定された悪い環境条件を意味し、後者(2)は条件が弱まって通常に肯定された場合を意味する。図-5と表-2にそれぞれ推定結果を示す。図-5の真理値形式の結果は図-3に示したファジ真理値と比較することによって出力命題の真の程度が判断でき、表-2はこの結果を非ファジ化し定量的に数値化(0~1)したものの(1の場合が命題が完全に真)である。

まず入力(1) very very-trueの場合の結果を見てみると、出力命題「イメージが悪い」に対する真偽の程度が各方法で異なっており、①Lukasiewiczの方法ではmodus ponens⁴⁾を満たさないことから入力条件に対して弱まった答え(0.293)が得られ、「イメージが悪い」が強く肯定されるはずである」という人間の直感にあった結果が得られていない。一方、②Godelでは0.543、③Rescherでは0.875が推定されておりtrueやvery very-trueに近いファジ真理値が得られている。

次に(2)のtrueを全てに入力した場合は、①Lukasiewiczで0.168、②Godelで0.313、③Rescherでは0.313となっており、very very-true入力の場合に比べ入力条件に対する肯定度が弱まった分(つまり環境が改善された分)だけ出力「イメージが悪い」の肯定度もそれに依りて弱まった推定値が得られていることがわかる。

この他に実施した関係式の結果や『避難施設・設備要因』など別の主要因に関する推論結果も付せて判断すると、GodelやRescherの方法ではmax・min合成下で比較的良好な推定値が得られることがわかった。

次にこの推論モデルを使って感度解析を行った。これは各入力(1)が目的とする最終命題に与える影響の大きさを調べるためのもので、上記と同様に『潜在的不安要因』の構造モデルを例に計算を行った。計算は3入力のうち1つの入力条件をvery very-trueからtrueに弱め、「イメージが悪い」に対する各々の低減効果を比較した。図-6に計算結果を示す。全ての入力(1)がvery very-trueの場合、「イメージが悪い」の真の程度が0.875なのに対して「閉鎖的空間」を改善した場合が0.45、「不案内空間」が0.85、「人工的空間」が0.77にそれぞれ低減されており、地下空間の「閉鎖性」を改善することが潜在的不安を低減させるのに最も効果的であるという推論結果が得られた。



- ①: 全入力条件がvery very true
- ②: 「閉鎖的空間」のみtrueに改善
- ③: 「不案内空間」のみtrueに改善
- ④: 「人工的空間」のみtrueに改善

図-6 『潜在的不安要因』に対する感度解析結果

4. アンケート調査との比較

前述の方法が今回対象とする問題に対して良好な推論結果を導いているかどうか実際の地下街を例にとりアンケート調査を実施して検討した。

アンケート調査方法は、防災対策を中心としたジューションボードを作製し、これを調査対象者に見てもらいその後調査票に回答してもらう形式をとった。対象とした地下街は新・旧を代表すると思われる典型的な2つの地下街である。アンケート対象とした構造モデルは『潜在的不安要因』と『避難施設・設備要因』の2つの主要因に関してであり、これらの構造モデルの入力項と出力項に対応するファジ形式の質問事項(質問の答えとして肯定する度合いを10段階別に評価する形式)の調査票に回答してもらった。対象者は男性15名、女性6名の計21名である。

図-7に新・旧の地下街に対してファジ推論(Rescherの方法)で計算された「イメージが悪い」という命題の真偽の程度とアンケートでの調査結果を示す。アンケート結果を見ると新しい地下街では旧い地下街に比較して「潜在的なイメージ」がかなり改善されてきている傾向が伺える。推論値をこれと比較してみると、度数分布の平均値は計算値が新旧の場合ともアンケート結果より若干小さめの値になっているものの全体的な分布形状はほぼ一致した結果が得られているものと判断できる。また、図-8は『潜在的不安感』に最も影響すると思

われる項目に関するアンケート調査結果であるが図-6と同様に「閉鎖性」に関する項目が挙げられている。

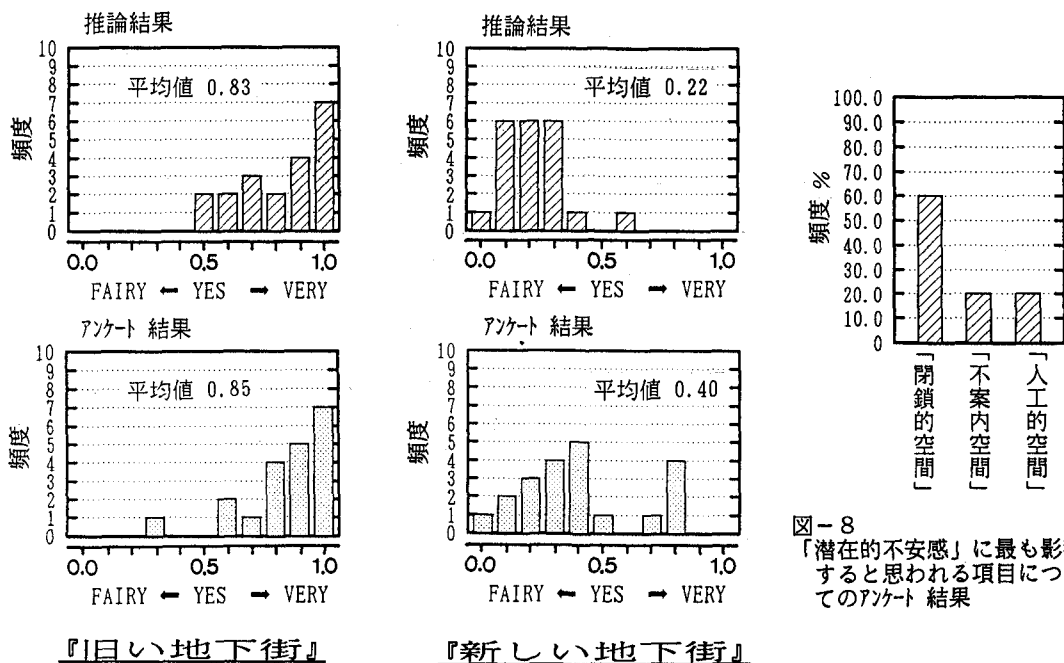


図-8 「潜在的な不安感」に最も影響すると思われる項目についてのアンケート結果

図-7 『潜在的な不安要因 (イメージが悪い)』に関するアンケート調査結果と推論結果の比較

5. おわりに

ファジ推論を利用し「地震時の心理的な不安感」を定量的に推定するに当たって、その際に注意すべき推論の恣意性に関して合成規則、ファジ関係式等の条件から基礎的な検討を行った。その結果、FSM法で構造化したモデルをもとに真理値を利用し推論する場合、Godel や Rescher の方法でmax・min合成する今回の方法は比較的人間感覚に合致した推論結果が得られることがわかった。

また、感度解析を「心理的不安度」の主要因の一つである「潜在的な不安要因」に関して実施した結果、地下空間の「閉鎖性」が人々の潜在的な不安度に及ぼす影響が大きいことがわかった。

今後はこの方法を「地震時の心理的な不安感」を表す全構造モデルに適用して、人々の持つ心理的不安度を定量的に検討していくとともに、感度解析を詳細に実施して地震時の心理的不安の低減に効果的な項目の抽出を行い、不安度改善のための対策事項の検討をしていくとともに改善効果の定量的な予測等を行っていく予定である。なお、本研究は「地下空間の利用技術の開発」(建設省総合技術開発プロジェクト)の中の「地下構造物の耐震設計技術の開発」に関する共同研究の一環として実施したものである。

【参考文献】

- 1) 岸下他：地下空間の地震防災(その1) - K J法による機能抽出 - , 第24回土質工学研究発表会, 1989
- 2) 岸下他：地下空間の地震防災(その2) - 機能分類 - , 第45回土木学会年講, 1989
- 3) 斉藤他：地下空間の地震防災(その3) - 地震時の心理的不安に関する構造化 - , 第45回土木学会年講, 1990
- 4) 寺野, 浅居, 菅野編：「ファジシステム入門」, オーム社, 1987
- 5) 水本雅晴：「ファジ理論とその応用」, サイエンス社, 1988
- 6) 水本雅晴：Fuzzy 論理と近似的推論, 数理科学, NO. 200, FEBRUARY 1980
- 7) 佐藤他：ファジ理論に基づく斜面崩壊資料の整理と崩壊予測法, 京大防災研年報, 第28号B-2, 1985
- 8) Y. Tsukamoto : Fuzzy Logic Based on Lukasiewicz ···· , Ph.D Thesis Tokyo Insti./Tech, 1979
- 9) 建設省土木研究所地震防災部耐震研究室他：「地下構造物の耐震設計技術に関する研究」平成2年度共同研究報告書, 1991