

土 木 研 究 所 資 料

Fuzzy理論による地震時の斜面崩壊に関する研究

昭和63年3月

建設省土木研究所
砂防部急傾斜地崩壊研究室

Copyright © (1988) by P.W.R.I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

Fuzzy理論による地震時の 斜面崩壊に関する研究

急傾斜地崩壊研究室 室 長 吉松弘行
主任研究員 三井宏人

要 旨

地震による斜面崩壊は地震力と斜面自身の地形・地質的特徴の相互作用によって発生する。本報告は、システムエンジニアリングの分野で注目されているFuzzy理論を用いて地震時の斜面崩壊を予測する手法について検討したものである。昭和53年伊豆大島近海地震による崩壊斜面を対象として地震時斜面崩壊機構の構造化モデルを作成し、このモデルにもとづいてFuzzy推論及びFuzzy積分を行い、地震時の斜面崩壊機構について、定性的、定量的な評価をした。

キーワード：Fuzzy理論，地震，斜面崩壊，構造化

ま え が き

昭和53年伊豆大島近海，同年宮城県沖，55年伊豆半島東方沖，57年浦河沖，58年日本海中部，59年長野県西部，62年千葉県東方沖地震と最近10年間を見ても，2年に1回以上のペースで地震による災害が発生。程度の差はあるものの，いずれの地震でも斜面崩壊が発生して人的及び公共施設に被害を与えている。

降雨とならんで，地震は斜面崩壊を発生させる強力な外的要因であるが，降雨による場合と違い，地震そのものが突発的であり，その間の人間活動を著しく妨げるため，被害をことさら大きくしていることが特徴である。

このような地震による斜面災害を防止あるいは軽減するためには，地震に対する斜面の安定度を事前に評価しておくことが必要で，汎用性がありかつ精度の高い危険度判別手法を確立する必要がある。

地震による斜面崩壊は外力（地盤振動）と斜面自身がもっている地形的な特徴や地質的な特徴，さらにはその斜面を取り巻く環境などのさまざまな要因が発生原因となっていると考えられる。地震時斜面崩壊の危険性を正確に評価するためにはこのような要因間の相互関係を整理し，崩壊の発生機構を支配している要因を抽出しなければならない。

発生機構を構成している要因は確定論的に決定されてその定量的評価が可能なものや，不確定な性質をもっているがそれを確率統計的に定量化できる要因などが考えられ，現在までに行われている数多くの研究は地震が発生した場合，当該斜面の安全性を解析的に検討することが主体であった。

一方，斜面崩壊に詳しい専門家は，目視により，「この斜面の風化はかなり進んでいる」「斜面の植生はまあまあ良い」とか「この斜面はかなり急だ」などの情報を収集し，これを基にして，「斜面の崩壊の危険性は非常に高い」というような判断を下す。このような情報には人間の主観に基づく「だいたい」とか「まあまあ」とか「かなり」というあいまいな量的表現が使われている。

今回，筆者らはこうしたあいまいな情報を解析に導入できる Fuzzy 理論を用いて，地震時における斜面の安定度を事前に評価する手法を検討したので報告する。

昭和 63 年 3 月

目 次

まえがき

1. Fuzzy理論の概要	1
1.1 Fuzzy理論による斜面危険度評価の特色	1
1.2 Fuzzy理論	1
2. 調査方法	6
2.1 調査対象地域	6
2.1.1 調査範囲	6
2.1.2 調査データ	6
2.2 文献収集・整理	9
3. 地震時の斜面崩壊に関する要因の抽出	14
3.1 既往文献からの崩壊要因の抽出	14
3.2 K J法による崩壊要因の整理統合	14
4. 地震時斜面崩壊機構の構造化	20
4.1 構造化手法の概要	20
4.2 ブレーンストーミング法による構造化	20
4.3 F S M法による構造化の定式化	23
4.4 F S M法による構造化	26
4.4.1 アンケート調査	26
4.4.2 構造化解析結果	32
4.5 地震時斜面崩壊機構の再構造化	32
5. Fuzzy推論による解析	35
5.1 Fuzzy推論の概要	35
5.2 Fuzzy推論の定式化	37
5.3 斜面崩壊と各要因に関するFuzzy推論	42
5.3.1 縦断形状に関するFuzzy推論	42
5.3.2 平面形状に関するFuzzy推論	45
5.3.3 地質に関するFuzzy推論	47
5.3.4 断層に関するFuzzy推論	50
5.3.5 震度に関するFuzzy推論	52
5.3.6 植生に関するFuzzy推論	55
5.3.7 斜面高に関するFuzzy推論	57
5.3.8 勾配に関するFuzzy推論	59
5.3.9 土質に関するFuzzy推論	61
5.4 Fuzzy推論による評価	65
6. Fuzzy積分による解析	68

6.1	Fuzzy 積分の概要	68
6.2	Fuzzy 測度と Fuzzy 積分の定式化	69
6.3	Fuzzy 積分計算	74
6.3.1	言語変数の入力	74
6.3.2	Fuzzy 積分による計算結果	79
6.4	Fuzzy 積分による評価	79
あとがき		84
参考文献		84
巻末資料		85
• 解析データ		87
• Fuzzy 積分を用いた地震時の斜面崩壊予測解析結果		100

1. Fuzzy 理論の概要

1.1 Fuzzy 理論による斜面危険度評価の特色

従来、地震時の斜面危険度を判定する手法として以下のような方法が提案されている。

- 1) 従来の経験・資料に基づいて専門家が判断する方法
- 2) 1)を整理して点数制という形で判定する方法
- 3) 数量化判別解析などの統計的手法
- 4) 地盤調査による方法
- 5) 4)をベースにして計算により安定を検討する方法

これらのうち、4)と5)は他に比して精度の高い判断が期待できるが、労力や経費及び多数の斜面を対象とする場合に問題がある。1)は全国に数万ヶ所ある危険斜面を専門家が個々に判断するのは物理的に無理である。2)は多数の斜面を対象とする場合は簡便な方法であるが、点数表にある要因及び危険度が経験的に決められており、実際に発生した崩壊に関しての適中度合は明確には確認されていない。3)は数年来多用されており、客観的に要因を抽出できるが、要因間の相互関係及び崩壊のメカニズムについては言及していない。

このように、上記方法には一長一短があり、客観的で、簡便な、精度の高い崩壊危険度の評価手法の確立が望まれている。

斜面崩壊の危険性を正確に評価するためには、要因間の相互関係を整理し、崩壊の発生機構を支配している要因を抽出しなければならない。

一方、“Fuzzy 理論に基づく斜面崩壊資料の整理と要因抽出”は次の様な特色がある。

1) 「この斜面の風化はかなり進んでいる」、「この傾斜はかなり急だ」、だから「斜面崩壊の危険性は非常に高い」というように、人間は主観に基づくあいまいな情報をもとに判断を下すことがあるが、本方法はあいまいな情報 (very very, low, very low, medium, very high ……) を入力して、客観的な手段 (Fuzzy 推論, Fuzzy 積分) により定量的結果 (崩壊影響度 u^*) を導くことができる。

2) 斜面崩壊に関する要因の相互関係、機構モデルに基づく解析手法である。

3) 上記 2) のためには既往調査資料の収集・整理が必要不可欠で、従来、ややもすると個々に整理されがちな各種調査データが体系的に整理できる。

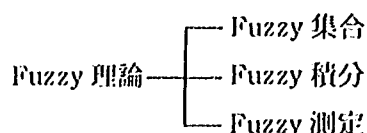
4) 解析結果が定量的に out put されるため、点数表などの危険度判別手法に適用できると同時に、斜面崩壊機構について知見が得られる。

1.2 Fuzzy 理論

(1) 概要

Fuzzy 理論は、1965 年、アメリカの L. A. Zadeh 教授により提案された理論である。Fuzzy 理論の Fuzzy (ファジイ) とは“境界がぼやけた” “あいまいな” という意味で Fuzzy 性を確率論におけるランダム性に対比し、人間の主観に起因する不確かさであると定義している。

主観的なあいまいさを定量的に処理することが可能な Fuzzy 理論は以下の項目から成り立っている。



日本における Fuzzy 理論の応用分野は表 1-1 に示すようになっている。

前述したように、Fuzzy 理論では境界がぼやけた領域（不確定要因）を取り扱うことが可能である。したがって、人間の意味論的な主観性を解析することが可能となる。現在、不確定要因については評価手法の違いによって、次のように分類されている。一つは、従来から確率論的に処理されてきた、客観的に評価でき、確率変数として表現できるランダム性。もう一つは、言語のあいまいさに代表される、統計確率的には表現し得ない、例えば設計者の経験工学的判断により評価が行われる Fuzzy が行われる Fuzzy 性がある。

Fuzzy 性とランダム性について以下に簡単に説明する。「明日は晴れそうだ。」という表現の不確かさと「あの人は、金持ちである。」という表現の不確かさの間の違いを見ると、前者は、これから起こることの生起に関する不確かさ、あるいは、調べる前に推測するときの不確かさ、つまり、ランダム性を示しているものである。後者は、概念の定義の不確かさである。Fuzzy 性の方は、何年かけてどんなに調査・観察しても確かになることはなく不確かのままである。（明確な基準が見つからない）

したがって、Fuzzy 性とは主観的な“あいまいさ”に左右されるものということになる。Fuzzy 理論において対象とする項目は、後者の Fuzzy 性という意味的不確かさを取り扱うものである。

(2) Fussy 集合論

従来の集合論では、ある集合(x)の任意要素が部分集合(A)に属するか属さないかを表現する場合、x が A に含まれる時には $x_A(x) = 1$ 、含まれない時は $x_A(x) = 0$ としている。

Fuzzy 集合論は、従来の 2 値理論で決定される問題に対する拡張理論となる。Fuzzy 集合論では特性関数 $\mu_A(x)$ が 1 に近ければその要素 x は Fuzzy 集合 A に属し、0 に近ければ属さないことを示すものと考ええる。

この考え方を整理するために、身長 140 cm から 200 cm の人を対象と Fuzzy 関係の関係の検討例を示す。図 1-1 には、一般の集合論で考えた例を示す。一般の集合理論では、部分集合 A, B, C のように明確に分類される。これに対して、図 1-2 に示すように、背が高い人のグループ、低い人のグループという分類を考える。この分類の考え方は、境界が明確でなく、ぼやけているために、分類する人の主観により境界が選定される。このように、Fuzzy 集合を用いることにより主観的に判断され

図 1.1 一般の集合論

140 cm ~ 200 cm (集合 X)		
150 cm 未満 (部分集合 A)	160 cm 以上, 180 cm 未満 (部分集合 B)	180 cm 以上 (部分集合 C)
150 cm の人 $X_A(150 \text{ cm}) = 1$ $X_B(150 \text{ cm}) = 0$ $X_C(150 \text{ cm}) = 0$	175 cm の人 $X_A(175 \text{ cm}) = 0$ $X_B(175 \text{ cm}) = 1$ $X_C(175 \text{ cm}) = 0$	182 cm の人 $X_A(182 \text{ cm}) = 0$ $X_B(182 \text{ cm}) = 0$ $X_C(182 \text{ cm}) = 1$

表1-1 日本におけるファジィシステム理論の応用分野（アンケート結果）（昭和59年～60年）

	オペレーションズ リサーチ	社 会 科 学	ファジィ制御	人 工 知 能	調査分析・計画・評価	そ の 他
現在、 利用化の 行われて いる分野 により 応用研究 もしくは	ファジィ理論 ファジィ推論 ファジィ演算 多目的計画法 集団的選択 選考理論 PERT 多変量解析・クラスタ 分析 時系列分析	個性、主観の表現 マーケティングにおけ る市場の選択	学習コントローラ （N社、試験例） 浄水場の制御 （F社、試験例） 列車の自動運転 （H社、試験例） 自動車、船の経路の最適 選択 オペレータの挙動解析 プロセスコントローラ （F社、市販）	画像情報による形状判定 パターン認識 学習システム 厚紙拾いロボット （H大学、試作） プラント診断 データベース CAI（Computer Aid- ed Instruction）	核エネルギー使用につい ての民衆の意識調査と分 析 電力系統の開発計画 過負荷解消問題 水資源問題 工場再配置計画 原子炉電源部の安全性の 評価 環境アセスメント	ファジィ論理回路の構成 （K大学、試作） （アナログ）セルオート マトン
将来考 えられる 応用分野		人間関係論 社会心理学	ロボットの制御 列車のダイヤ制御 科学工学における“乾燥” の制御	自然言語の理解 人間の情報処理システムの 解析 ロボットの知能化 老人介護ロボット エキスパートシステム 故障診断、設備診断 高炉プロセス診断 医療診断、すい臓ガン診断 ・歯科診断 意思決定支援 情報検索 家庭用各種アドバイザー	リスク分析 ファジィデータの評価	ヒューマンインタフェイ ス

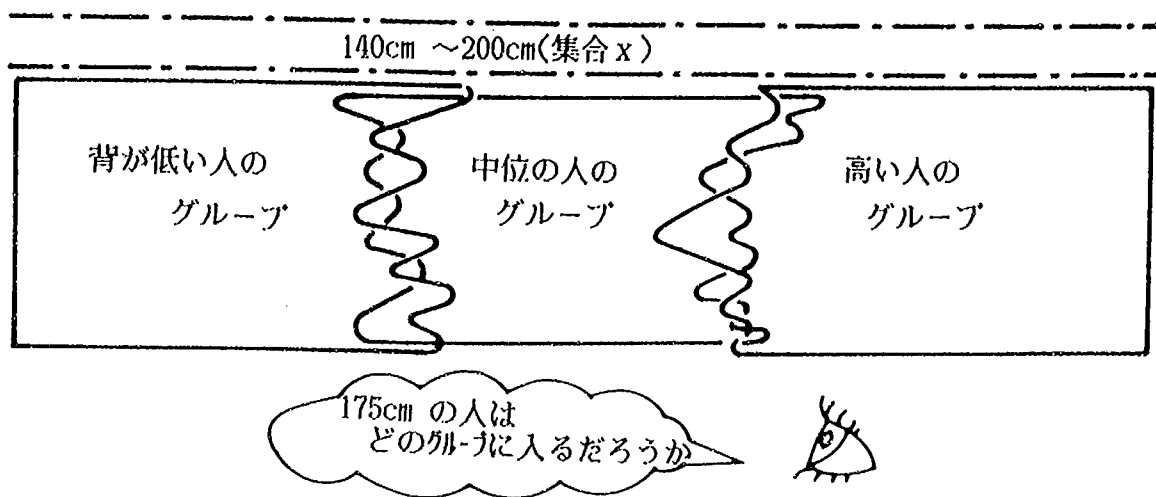


図 1 - 2 Fuzzy 集合論

るものを客観的に判断することができる。

(3) メンバーシップ関数

言語で表現された、例えば“背が高い”という意味はメンバーシップ (μ_A) (特性関数) を用いて定量化できる。

図 1 - 3 に、メンバーシップ関数を示す。Fuzzy 理論では、考える人の主観性に依存するメンバーシップ関数がポイントであり、Fuzzy 推論、Fuzzy 積分の基礎となる。

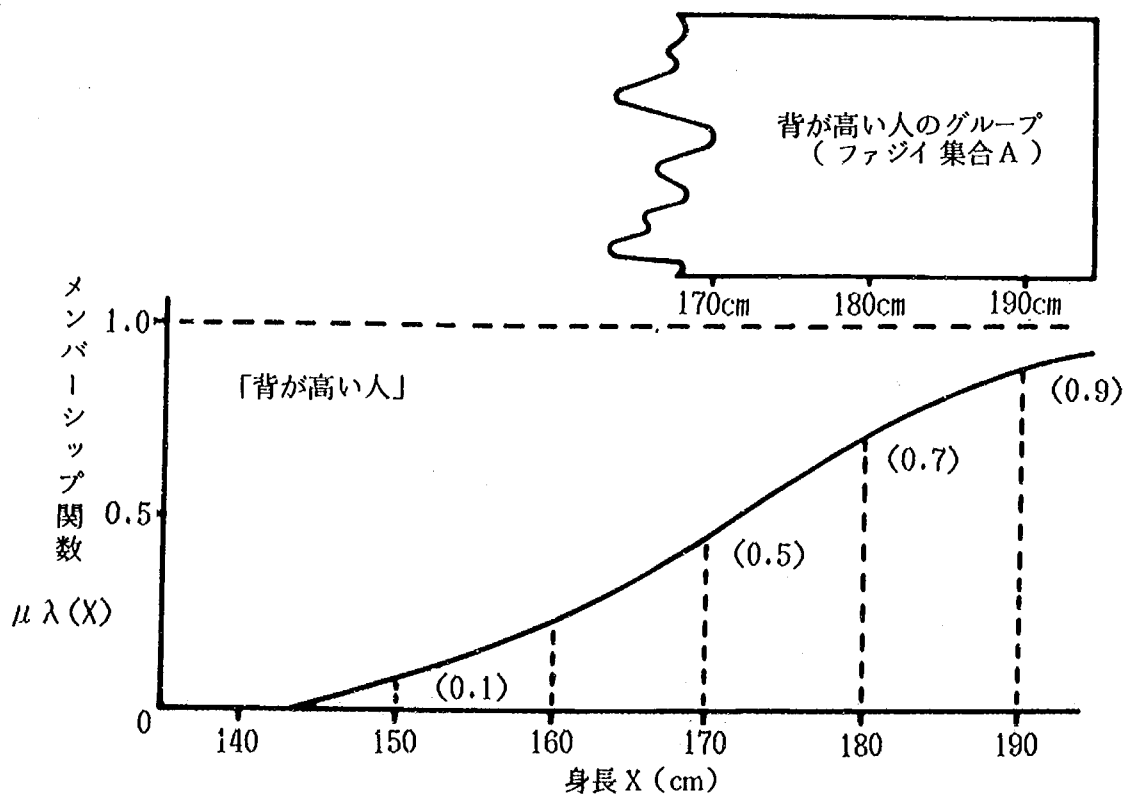


図 1 - 3 ファジィ理論におけるメンバーシップ関数

(4) Fuzzy 演算

Fuzzy 理論の演算は、メンバーシップ関数 ($\mu_A(x)$) により定義される。Fuzzy 理論の演算を一般の集合理論を用い、ベン図により表現すると図 1-4 のようになる。

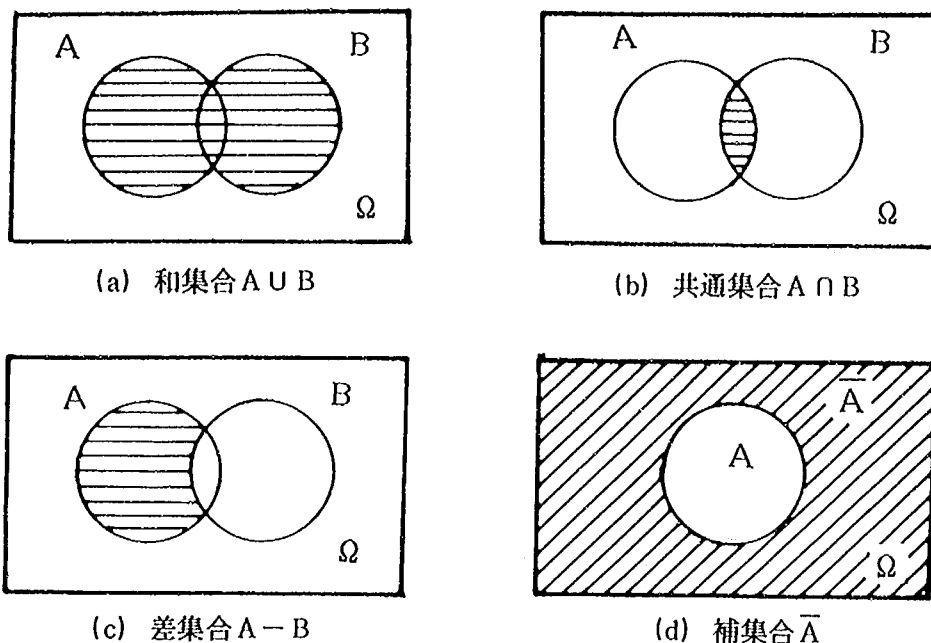
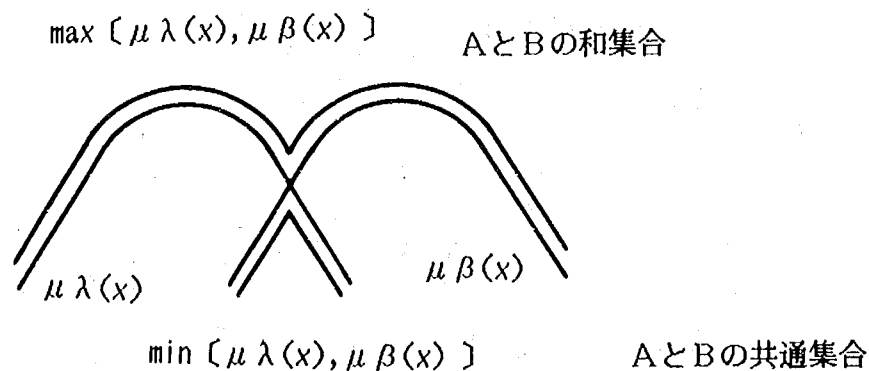


図 1-4 ベン図による演算の考え方

図の関係を Fuzzy 集合、メンバーシップ関数を用いて表現すると図 1-5 になる。この図の演算が Fuzzy 理論の基本演算となり、特に、和集合、共通集合の演算が Fuzzy 積分の演算で重要となる。



1. $A = B$ $\mu_A(x) = \mu_B(x)$
2. 空集合 A が空集合は、 $\mu_A(x) = 0$
3. 包含関係 A が B に含れる場合 $\mu_A(x) \leq \mu_B(x)$
4. 補集合、和集合、共通集合 A の補集合、 $\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x)$

図 1-5 Fuzzy 理論における基本演算

2. 調査方法

2.1 調査対象地域

2.1.1 調査範囲

最近の地震の中から、昭和53年1月14日伊豆大島近海地震（M 7.0）を調査対象地域とした。大島・横浜の震度は5、東京・静岡・石廊崎等は震度4であった。この地震で、伊豆半島東部から中央部にかけて、数百ヶ所にのぼる斜面崩壊が発生した。

図2-1に示すように、調査範囲は崩壊が多発した。伊豆半島南部の加茂郡河津町を中心とした約100 km²の地域である。この地震による崩壊の分布は、本震または余震の影響大なる地域に分けられる。本調査では余震の影響大なる地域を除き本震の最大加速度300 gal以上の地域を対象とした。

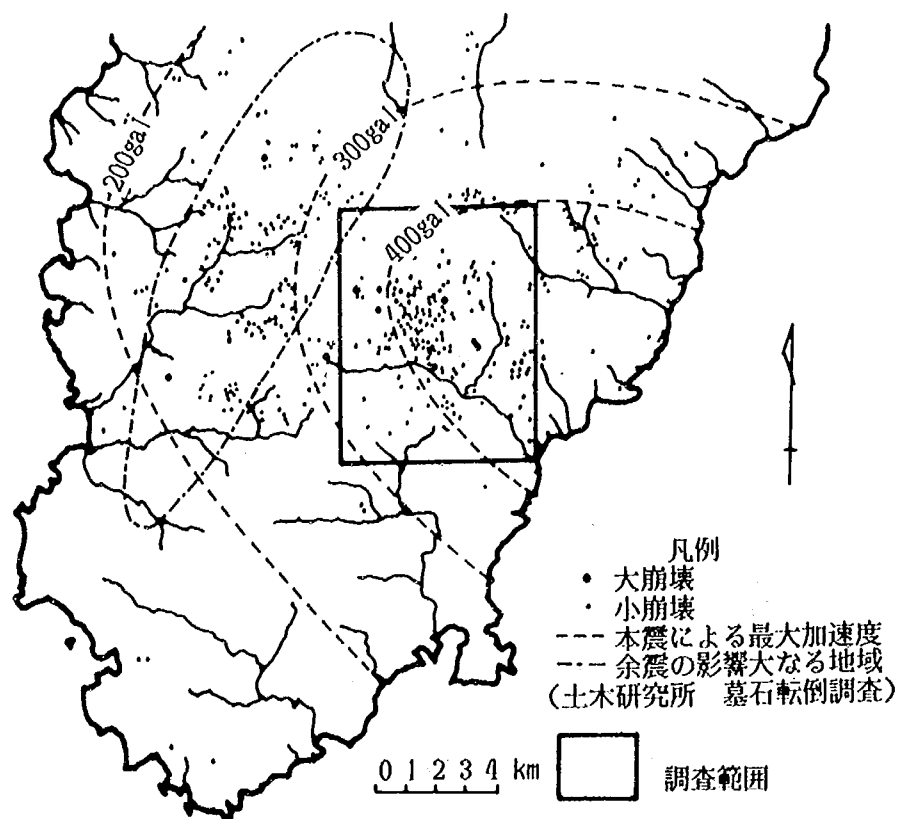


図2-1 調査範囲

2.1.2 調査データ

調査地域内の崩壊地について、災害前と災害後の空中写真を判読し、地形図にプロットした。次に、調査範囲を1辺1 kmの正方形メッシュを1辺100 mの正方形メッシュ（小メッシュ）に区分した。この中から、崩壊サンプルは437箇所（全数）を抽出し、非崩壊サンプルはランダムに396箇所抽出し

表2-1 調査データ

計測項目 (アイテム)	使用した資料・ 原図	区分数	カテゴリー									
			1	2	3	4	5	6				
斜面の縦断形	1/10,000地形図 〔天城湯ヶ島町 河津町 松崎町 下田市〕	4	上昇型 	平衡型 	下降型 	複合型 	オ-バ-ハンク型 					
斜面の平面地形		4	尾根 	平衡 	谷 	複合 						
斜面の勾配		4	0° ~20°	20° ~40°	40° ~60°							
斜面の方位		8	1 N	2 NE	3 E	4 SE	5 S	6 SW	7 W	8 NW	9 その他	
斜面の比高		6	0 ~20m	20 ~40m	40 ~60m	60 ~80m	80 ~100m	100 m~				
標高		5	0~ 300m	300~ 600m	600~ 900m	900~ 1200m						
傾斜変換線		2	無	有								
線状凹地	空中写真判読 (地形図併用)	2	無	有								
滑落崖		2	無	有								
崖錐	1:10,000	2	無	有								
リニアメント	1978.2~1978.3	4	0	1	2	3						
地質	1/50,000地質図 修善寺, 下田 各図幅	4	新第三紀 堆積岩 凝灰岩	古期火山 岩	第四紀 火山岩	第四紀 堆積岩						
土質※		4	硬岩	軟岩	未固結岩	礫まじり 土						
植生	1/25,000 地形図 1/50,000 植生図	6	針葉樹林	広葉樹林	針葉樹 広葉樹 混交林	裸地 荒地	草地	その他				
降雨分布 (直前2週間)	アメダスデータ 6地点	3	28~ 26mm	26~ 24mm	24~ 22mm							
震央距離	図上計測	4	28~ Km	28~ 26Km	26~ 24Km	24~ 20Km						
地表加速度分布	建設省土木研究所 資料	4	250 ~300 ガル	300 ~350 ガル	350 ~400 ガル	400 ~ ガル						

※土質 硬岩 貫入岩, 古期火山岩
軟岩 堆積岩, 凝灰岩, 熔岩とスコリア層の互層, 粘土化変質帯
未固結岩 スコリア層

表 2-1 地震時の斜面崩壊に関する収集文献一覧

番号	著 者	文 献 名	出 典
1	棚倉、安田、榊	長野県西部地震での被災例にもとずいた斜面崩壊予測手法の検討	土と基礎 1985.11、P41~46
2	安江、仲野	地震に対する急傾斜地の危険度評価	土木技術、34巻、8号
3	浅井、三井、大浦	急傾斜地における地震時の危険度判別手法に関する調査	
4	萩原良三	道路施設の耐震判定について	土と基礎 1983. 5、P37~41
5	町田、馬場、泉谷、本多	統計手法を用いた切土のり面の崩壊予測	第22回土質工学研究発表会(昭62. 6)
6	安江、岩崎、川島、仲野	斜面の地震応答特性の解析	土木技術資料23-4(1981)
7	田中耕平	長野県西部地震における斜面崩壊の特徴	土と基礎 1985.11、P5~11
8	矢嶋、小原	長野県西部地震による斜面崩壊の空中写真地質解析	" P13~17
9	後藤、愛甲	長野県西部地震による大規模土砂崩壊のリモートセンシング調査	" P33~37
10	後藤保之	伊豆大島近海地震と急傾斜施設の問題点	土木技術 34巻 8号
11	上田、田崎、柴田	伊豆大島近海地震における沿道斜面の崩壊土量の推定	土木技術資料 23-4(1981)
12	栗林、由井	長野県西部地震によける斜面崩壊の特性について	第20回土質工学研究発表会(昭60. 6)
13	安田、石原、山田、池端	王滝村松岡地区における軽石層の動的強度特性	"
14	田中、古長、安田、中道、 榊	長野県西部地震で崩壊した御岳軽石層の物理力学特性	"
15	許、中角、石原、吉田(喜) 吉田(望)	長野県西部地震による斜面崩壊の考察	"
16	石原研而	土構造物の耐震設計法の現状と問題点	土と基礎 1980. 8、P3~8
17	中野孝正	地震災害と地形・地質(総論的なコメント)	" . 3 P83~86
18	芥川、吉中、安江	" (山地における事例を中心にして)	" . 5 P95~102
19	田村、岡本、加藤	岩盤地帯の地震動の最大加速度について	第15回 耐震
20	栗林、寺島、小山田	十勝沖地震調査速報	土木技術資料10-8(1968)

た。なお、この地震では自然斜面・切土斜面・盛土斜面等、様々な種類の斜面が崩壊したが、本調査では自然斜面に限定した。

崩壊サンプルと非崩壊サンプルについて要因計測を行い、本解析で使用するデータを作成した。計測項目・使用した資料・カテゴリー区分は表2-1のとおりである。従来、この種の調査で取り上げる要因数は5～10程度であるが、今回は資料が存在して計測可能な要因はすべて取り上げた。この結果、計測項目は17項目となった。巻末に解析データ一覧を示す。

2.2 文献収集・整理

地震時斜面崩壊機構の構造化を行う際には崩壊要因を設定する必要があり、次のような文献を収集した。

- ・素因に関する資料……崩壊地調査，地形・地質調査，土質試験，航空写真判読による素因計測
- ・誘因に関する資料……雨量及び地震特性調査
- ・斜面の安定性に関する資料……地震応答解析，安定解析
- ・崩壊発生要因に関する資料……数量化Ⅱ類等の統計解析
- ・既往の斜面耐震判定法に関する資料
- ・伊豆大島近海地震の斜面崩壊に関する数量化Ⅱ類解析資料
- ・その他文献……特に，振動と地盤の強度低下に関する資料

収集した文献一覧表を表2-2に示す。収集した文献の総数は51件で、各文献の内容を表2-3に示す様式で整理した。

表2-2 地震時の斜面崩壊に関する文献(要因抽出に用いた文献)

番号	著 者	文 献 名	出 典
21	井村 勇	伊豆大島近海地震による山崩れ災害	月刊「地球」vol.9 No2、1987. P75 ~78
22	高橋 博	地震による地すべり、山崩れ	月刊「地球」vol.9 No2、1987. P90 ~93
23	川上 浩	長野県西部地震の山崩れ災害と軽石の土性	月刊「地球」vol.9 No2、1987. P79 ~84
24	瀬尾、吉松、水山、仲野、 原	長野県西部地震に伴う土砂災害	新砂防Vol.37、NO4、昭和59.11、P19 ~22
25	東北地方建設局企画部	日本海中部地震を顧みて	建設月報「とうほう」1983.10.11、P371~ 381 P428~ 437
26	岩崎敏男、川島一彦	斜面の耐震性の解析	土木技術資料24-3(1982)、P111~ 116
27	駒田、飯田、龍岡、田中、 岡本、小林	大分県中部地震調査速報	土木技術資料17-7(1975)、P372~ 375
28	土木研究所第一次調査団	1978年6月宮城県沖地震被害調査速報	土木技術資料20-8(1978)、P422~ 433
29	大村 寛	伊豆半島沖地震による山崩れの特徴	新砂防、96、昭50. 7、P17 ~24
30	長岡正利	長野県西部地震による地形変化と土地条件 -主な崩壊の地形特性と発生条件-	国土地理院時報、1985.No62、P44 ~52
31	宇根 寛	長野県西部地震による地形変化と土地条件 -地形変化の地域的特性と土地条件-	国土地理院時報、1985.No62、P53 ~58
32	安江朝光、佐々木康、 浅沼秀弥、中島威夫	浦河沖地震における土木関係被害調査速報	土木技術資料24-7(1982)、P365~ 372
33	土木研究所初動調査団	昭和59年長野県西部地震被害調査速報	土木技術資料26-11(1984)、P630~ 637
34	佐々木康、川島一彦 宇多高明	日本海中部地震被害調査速報	土木技術資料25-7(1983)、P497~ 502
35	谷口栄一、久保田哲也 桑原徹郎	長野県西部地震による松越地区の斜面崩壊調査	土木技術資料28-1(1986)、P26 ~31

表 2 - 3 地震時の斜面崩壊に関する文献（要因抽出に用いた文献）

番号	著 者	文 献 名	出 典
36	松沢 宏	1974年伊豆半島沖地震による道路、港湾の被害特性	土と基礎、24-4、1976.4月、P 5~12
37	荏本孝久、国井隆弘	1978年伊豆大島近海地震における道路斜面の被害分布と被害発生要因の解析	土木学会、第35回年次学術講演会講演概要集、第1部 昭和55年9月、P444~P445
38	田沢誠也、栗林栄一 由井洋三	地震による斜面崩壊の確率的評価手法に関する研究	土木学会、第42回年次学術講演会講演概要集、第3部 昭和62年9月、P84 ~85
39	川島一彦、大日方尚巳 後藤勝志、加納尚史	昭和59年長野県西部地震における震後対応	土木技術資料、28-9 (1986) P492~ 498
40	三東哲夫	地震のマグニチュード、エネルギーおよび震度	土と基礎25-6、1977. 6月 P93 ~99
41	耐震工学委員会	「1978年伊豆大島近海の地震」報告	土木学会誌1978年8月号、P56 ~66
42	色部 誠、古市 等 山口博文	地震による斜面の滑落に対する考察	土木学会、第37回年次学術講演会講演概要集、第1部 昭和57年10月、P715~P716
43	荏本孝久、国井隆弘	道路斜面の地震時被害に関する一考察	土木学会、第36回年次学術講演会講演概要集、第1部 昭和56年10月、P497~ 498
44	桑原徹郎、佐々木康	大規模斜面崩壊時の推定地震動	土木学会、第41回年次学術講演会講演概要集、第1部 昭和61年11月、P1107 ~P1108
45	荏本孝久、国井隆弘	1978年1月伊豆大島近海地震における人工斜面の被害分布	土木学会、第34回年次学術講演会講演概要集、第1部 昭和54年10月、P438~P439
46	澤田知之、能町純雄	地震時斜面の安定について	土木学会、第40回年次学術講演会講演概要集、第3部 昭和60年9月、P161~ 162
47	足立紀尚、岡正治郎 田中美和、山口直宏	地震時の斜面崩壊機構を念頭においたモデル実験及び解析	土木学会、第42回年次学術講演会講演概要集、第3部 昭和62年9月、P86 ~87
48	清家幸蔵	'74 伊豆半島沖地震と道路	道路1974-9、P40 ~46
49	亀田弘行	耐震工学における確率統計的方法	土と基礎、25-11、P43 ~49

表 2 - 3 地震と斜面崩壊に関する文献整理様式

地震と斜面崩壊に関する文献

地震と斜面崩壊に関する文献		分	類
1. 文 献 名		5. 論文の内容（崩壊要因を含む）	
2. 出 典			
3. 著 者			
キーワード			
4. 論文の目的			
6. 論文の結論			

表2-4 地震時の斜面崩壊に関する文献(要因抽出に用いた文献)

[illegible]

3. 地震時の斜面崩壊に関する要因の抽出

3.1 既往文献からの崩壊要因の抽出

前章で整理した文献を基に、地震時の斜面崩壊に関与すると思われる要因をランダムに重複するものも含めて列記した。表3-1にその一例を示す。

3.2 KJ法による崩壊要因の整理統合

前節で地震時の斜面崩壊に関与すると思われる項目、要因を列挙した。表3-1（前掲）の要因の中には、統計的な解析により定量的評価で示されるものと、過去の経験などの定性的評価で示されるものなど多種多様な要因がある。

そこで、KJ法を用いて、重複したり、同じ範ちゅうに入るものを1つのグループにまとめて、そのグループを代表するような主要因名（グループ名）をつけ、地震時の斜面崩壊に関与する要因をまとめた。

図3-1にKJ法で整理統合した結果を示す。地震時の斜面崩壊に関する要因は、以下に示す25要因に整理・統合することが出来た。

次に、その25要因を4つの主要因グループにまとめた。

(1) 地形グループ

1. 縦断形状
2. 方位
3. 斜面高さ
4. 平面形状
5. 勾配
6. 滑落地形
7. 標高

(2) 地質グループ

1. 岩種
2. 地層構造
3. 地質構造
4. 土質
5. 風化・固結度
6. 岩盤の亀列
7. 断層
8. 表土の厚さ

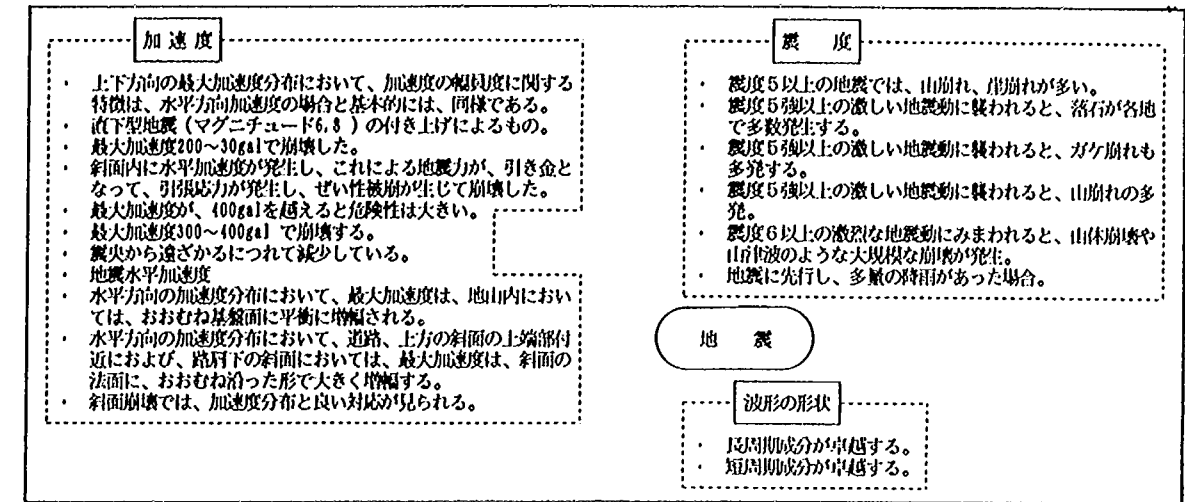
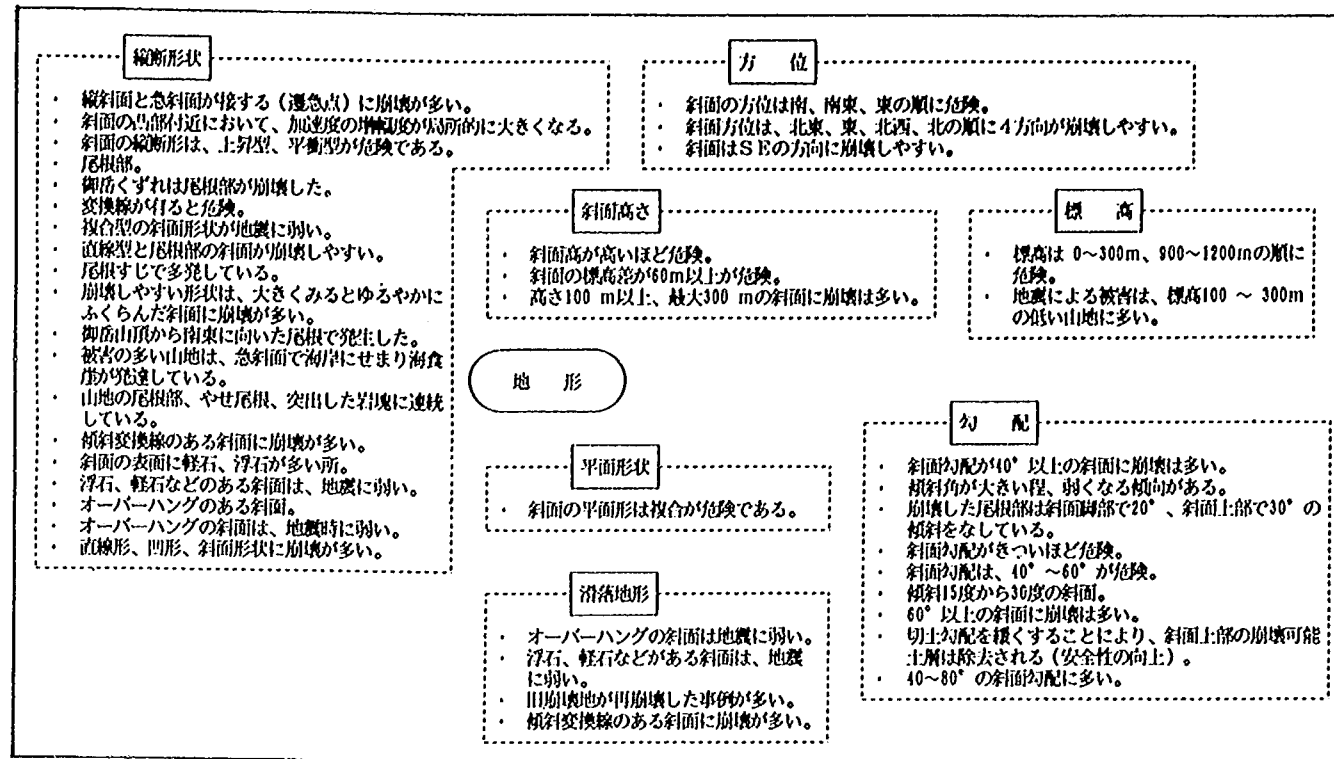
(3) 環境グループ

1. 植生
2. 保護工
3. 周辺の崩壊
4. 斜面下部状況
5. 地下水状況
6. 湧水状況
7. 過去の崩壊履歴

(4) 地震グループ

1. 加速度
2. 震度
3. 波形の形状

以上の4グループ、25要因を用いて、次章では地震時の斜面崩壊機構について構造化を行う。



2.6 地震時の斜面崩壊に関する要因抽出

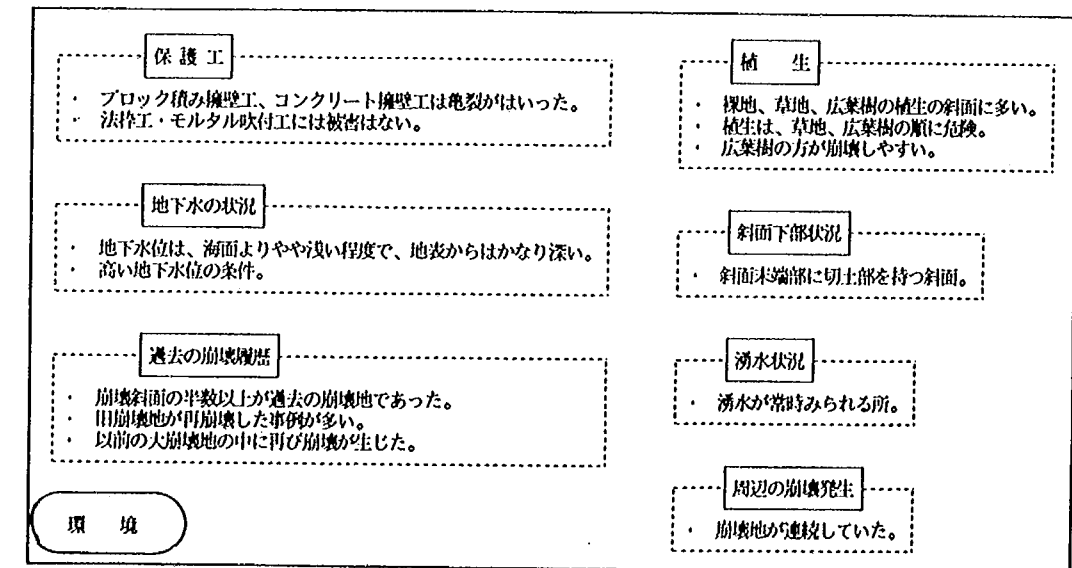
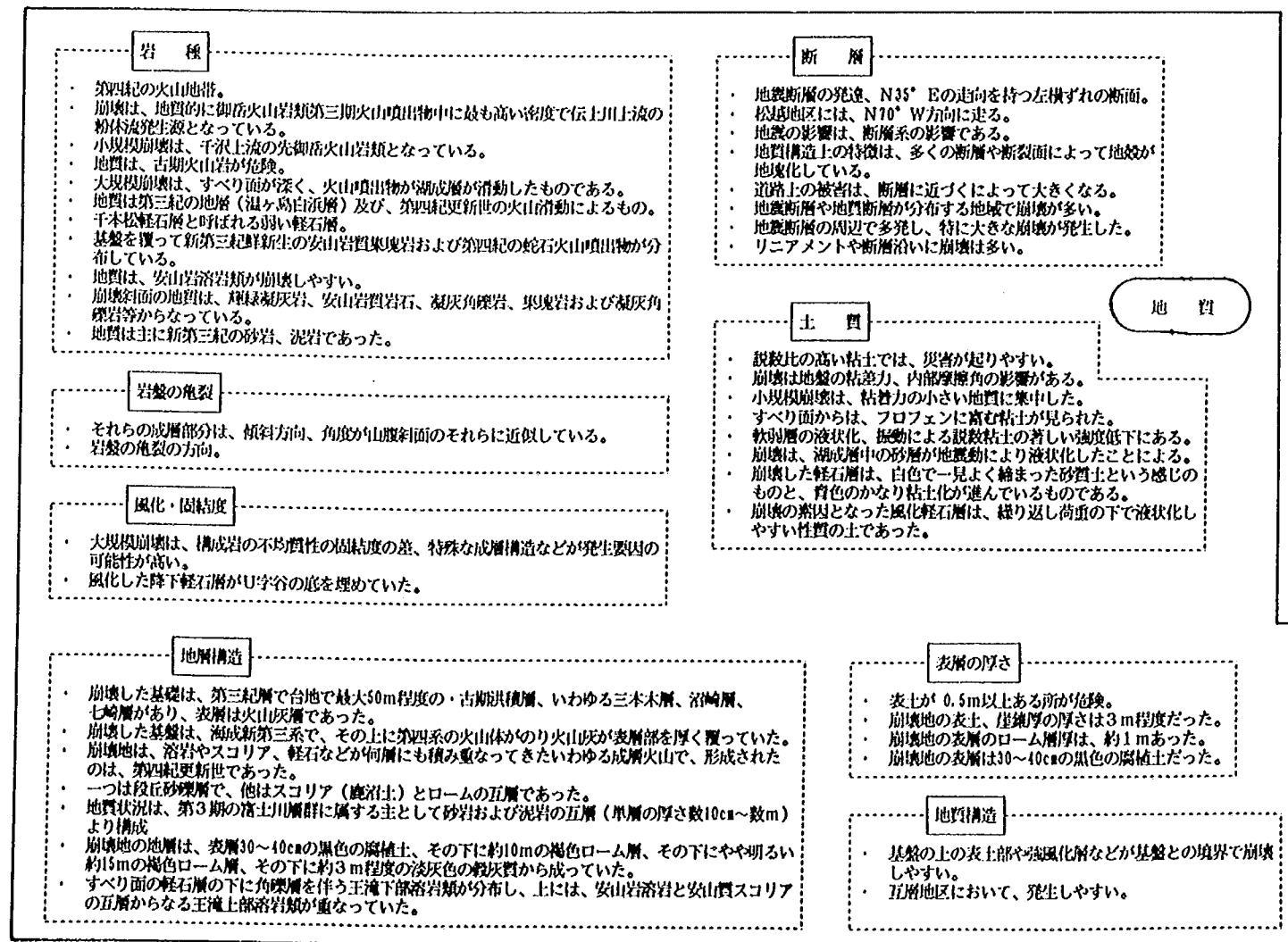


図3-1 KJ法による崩壊要因の整理統合

表 3-1(a) 文献検索から求めた要因・素因

1. 文献名	地震災害と地形、地質、4山地における事例を中心にして
2. 出典	土と基礎 28-6 (269)
3. 著者	芥川真知、吉中龍之進、安江朝光
4. 対象地震	チリ地震、アラスカ地震、ペルー地震、伊豆半島沖地震、伊豆大島近海地震
5. 文献から得られた要因・素因	1・ 斜面表層の弱い部分や風化層が滑落する。 2・ 急勾配の斜面に生じる 3・ 特別な岩盤構造があれば、巨大な山体が崩壊する可能性がある。 4・ 沖積地盤であった。 5・ 更新世の氷河堆積層が厚く分布。 6・ すべり面からはアロフェンに富む粘土が見られていた。 7・ 以前の大崩壊地の中に再び生じた。 8・ 地盤は氷河性の湖成堆積物である飽和シルト、粘土からなる。 9・ 軟弱層の液状化、振動による鋭敏粘土の著しい強度低下にある。 10・ 地盤構成は、河口堆積物で、上層は、粗粘土、その下がブーツレガー・コープ・粘土である。 11・ 粘土層は、シルト質粘土を主とし、1mm~数cmの葉理が部分的にみられ、また、3層に区分され、中間層が極めて鋭敏で強度も低い。 12・ 表土層の滑落型が多い。 13・ 一つは段丘砂礫層で他は、スコリア（鹿沼土）とロームの互層である。

表 3 - 1 (b) 文献検索から求めた要因・素因

1. 文 献 名	地震に対する急傾斜地の危険度評価
2. 出 典	土木技術 34巻 8 号
3. 著 者	安江朝光、仲野公章
4. 対象地震	
5. 文献から得られた要因・素因	1. 複合型の傾斜形状が地震に弱い。 2. 直線型と尾根型の傾斜が崩壊しやすい。 3. 傾斜角が大きい程弱くなる傾斜がある。 4. 雨に弱い斜面は地震にも弱い。 5. オーバーハングの斜面は、地震時に弱い。 6. 浮石、転石などがある斜面は、地震に弱い。 7. 雨に弱い斜面は地震にも弱い。 8. 傾斜が急な斜面は弱い。 9. 浮石・転石などがある斜面は弱い。 10. 斜面途中の盛土は崩壊しやすい。 11. 基盤の上の表土層や強風化層などが、基盤との境界で崩壊しやすい。 12. 山腹斜面では、浸透水が途中で表面に湧出する地点より上の稜線あたりが崩壊しやすい。 13. 地震時に地盤に加わる慣性力により、せん断応力が増加すること。 14. 振動によって地盤内の強度が一時的に低下すること。 15. 地盤中の間げき水圧の上昇によって地盤の強度が低下すること。 16. 斜面方位は、東北、東、北西、北の順に 4 方向が崩壊しやすい。 17. 斜面縦断型は、複合型が地震に弱い。

表 3 - 1 (c) 文献検索から求めた要因・素因

1.	文 献 名	1978年伊豆大島近海地震による崩壊の実態
2.	出 典	土木技術資料
3.	著 者	池谷 浩
4.	対象地震	伊豆大島近海地震
5.	文献から得られた要因・素因	
	1・ 今回の地震のうち、主にSE-NW方向に断層を生じさせた、本震の影響が最も強い。 2・ 震央からの距離と崩壊数とは相関関係を有する。 3・ 崩壊の約半数は、SE (ESE~SSE) ~NW (NWW~NNW) 方向に発生 4・ 地震に起因する斜面崩壊は、振動動の強さとその方向がかなり有効に影響している。 5・ 崩壊は、輝緑凝灰岩、安山岩質岩石、凝灰角礫岩、集塊岩、凝灰角礫岩。 6・ 崩壊は、上昇および平衡斜面で発生している。 7・ 崩壊のほとんどが土の安息角30° ~35° よりも急傾斜面で発生している。	

4. 地震時斜面崩壊機構の構造化

4.1 構造化手法の概要

斜面崩壊のように、多数の要因が影響して発生する現象は、個々の物理的現象をモデル化することは可能と思われるが、斜面崩壊が発生するという全体現象についてモデル化を行うことは難しい。このように、全体現象についてモデル化するのが難しい場合、ある程度、定量的な要因を無視してでも定性的な条件を用いて客観的な構造モデルが作成できれば、地震時の斜面崩壊に関する予測を行うことが可能になると考えられる。

このようなモデル化を行う手法とし、グラフ理論的な構造モデルがあり、現在、定性的な条件から客観的な構造モデルを作成する手法としては、F S M法、ブレーストローミング法などがある。

本解析では、定性的な情報でかつ、あいまいな情報のみから構造化の可能なF S M法（Fuzzy Structural Modeling）とブレーストローミング法により構造化を行う。

4.2 ブレーストローミング法による構造化

ブレーストローミング法による構造化では前章の地震時の斜面崩壊に関する要因抽出におけるK J法の結果を基礎に、要因間のつながりを検討し構造化を行う。

以下、ブレーストローミング法による構造化作成手順を示す。構造化の検討はK J法で求めたグループ単位で行う。

（手順1）

K J法で求めた主要因のグループ単位に、グループ単位の要因を以下のブロックに分類する。

1. 地震時の斜面崩壊の要因とし最も重要度が高い。………Aブロック
2. 地震時の斜面崩壊の要因とし、中位の重要度。………Bブロック
3. 地震時の斜面崩壊要因とし、あまり重要でない。………Cブロック

（手順2）

（手順1）で求めた、A～Cブロックを以下に示すように配置する。

- | | |
|-------|--------|
| Aブロック | 構造化最下層 |
| Bブロック | 構造化中間層 |
| Cブロック | 構造化最上層 |

（手順3）

（手順2）で配置された各要因について要因間の関わり合いを検討し、要因間を結び1次構造化を作成する。

（手順4）

（手順3）で作成した1次構造化の検討し、最終構造化とする。

（手順1）～（手順4）を4主要因グループについて行い、地震時の斜面崩壊に関する構造化を作成する。

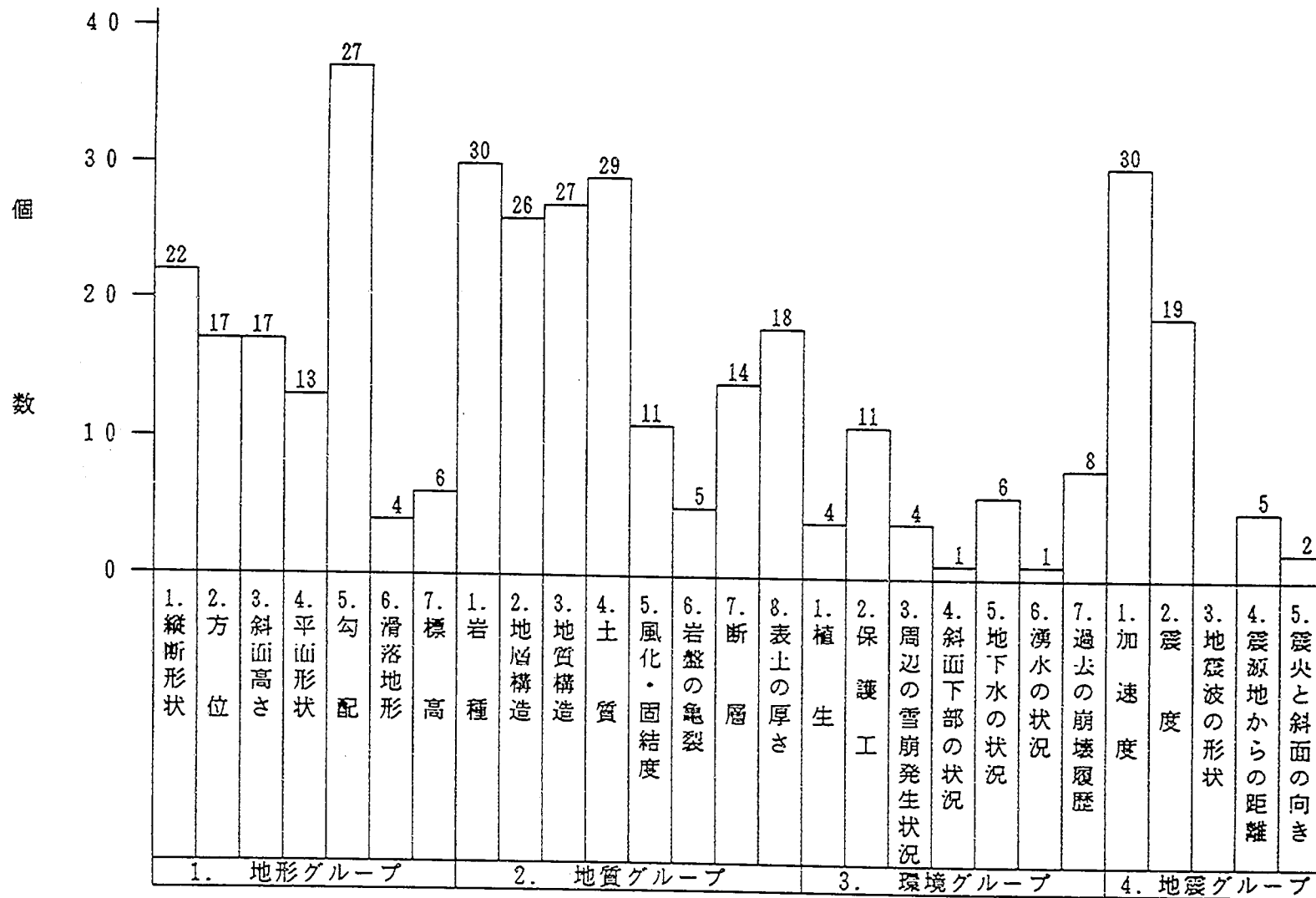


図 4-1 文献による斜面崩壊要因のヒストグラム

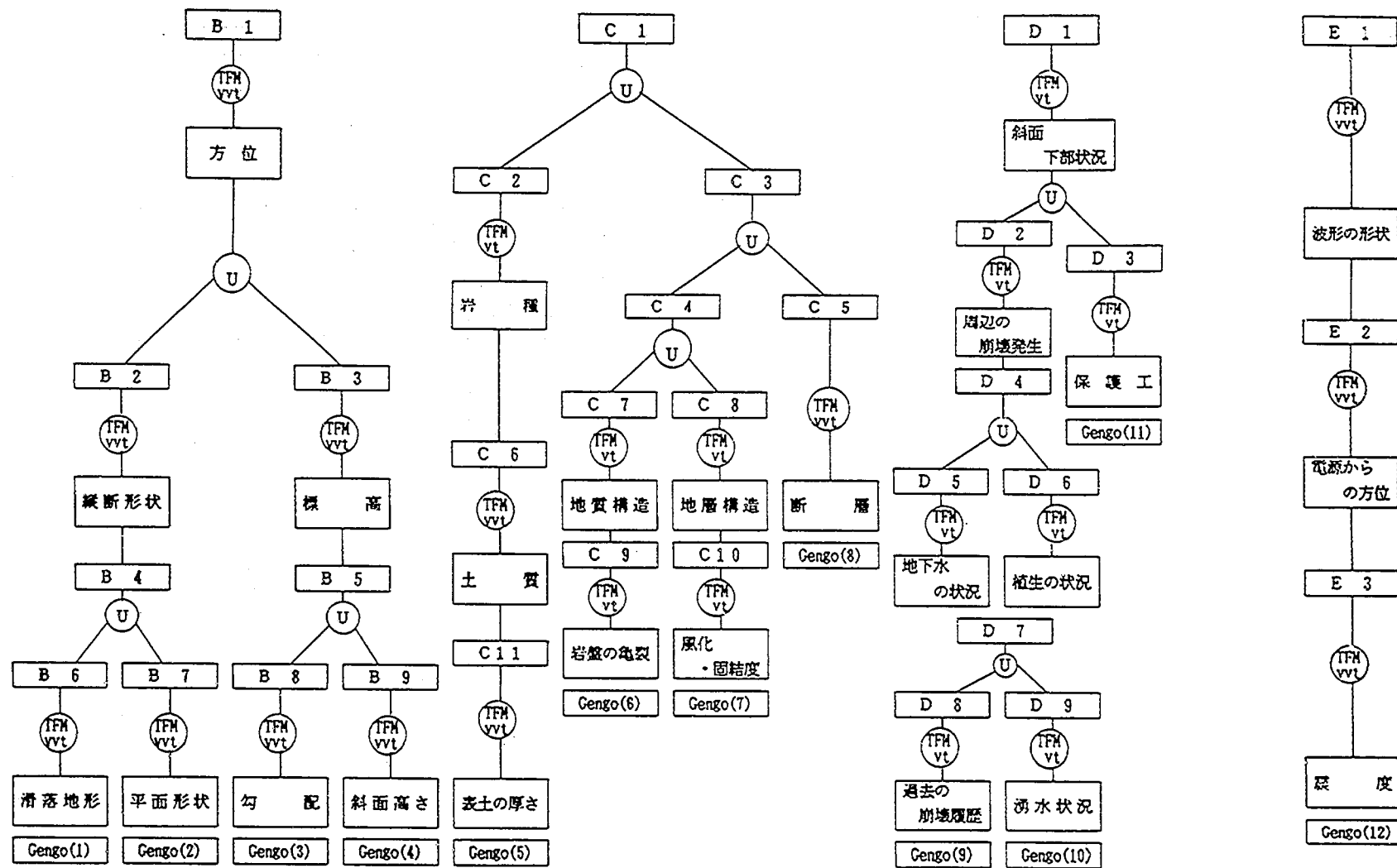


図 4-2 ブレインストーミング法による地震時の斜面崩壊の構造化モデル

ブレンストーミング法による構造化の参考資料として、収集した文献から求めた地震時の斜面崩壊要因のヒストグラフを図4-1に示す。

図4-2に、ブレンストーミング法によって作成した地震時の斜面崩壊に関する構造化モデルを示す。

4.3 FSM法による構造化の定式化

FSM法を定式化するための数学的準備とし、Fuzzy理論に関するいくつかの性質について述べる。
ある空間 $S' = \{S | \mu A\}$ において、その要素のメンバーシップ関数 μA により特性づけられる集合 A を次のように示しこれをあいまい集合と呼ぶ。

$$A = \{S | \mu A\} \quad \dots\dots\dots (4-1)$$

ここで、 $\mu A : S \rightarrow [0, 1]$ とする。

あいまい集合 A のあいまい補集合 $\overline{\mu A}$ の要素は、次のメンバーシップ関数 $\overline{\mu A}$ により特性づけられる。

$$\overline{\mu A} = \frac{1 - \mu A}{1 + \lambda \cdot \mu A} \quad \dots\dots\dots (4-2)$$

$$-1.0 < \lambda < \infty$$

また、任意のあいまいベクトル Y 、あいまい行列 B 、及びそれらの合成 C を次のように表す。

$$Y = (y_1, y_2, \dots, y_n)^T \quad \dots\dots\dots (4-3)$$

ここで、 $0 \leq y_i < 1$, $i = 1, 2, \dots, n$ であり添字 T は、転置を表す。

$$B = [b_{ij}] \quad \dots\dots\dots (4-4)$$

ここで、 $0 \leq b_{ij} \leq 1$, $i = 1, 2, \dots, m$, $j = 1, 2, \dots, n$

$$C = B \circ Y \leftrightarrow C_i = \bigvee_{j=1}^n (b_{ij} \wedge y_j) \quad \dots\dots\dots (4-5)$$

$$\bigvee_{i=1}^n a_i = \max \{a_i\}, \quad a \wedge b = \min(a, b)$$

$$1 \leq i < n$$

をそれぞれ示すものとする。

さらに、集合 S の要素間のあいまい2項関係に関するメンバーシップ関数 f_r と f_r との関係を次のように定義する。

$$f_r : S \times S \rightarrow [0, 1] \quad \dots\dots\dots (4-6)$$

$$f_r : S \times S \rightarrow [0, 1] \quad \dots\dots\dots (4-7)$$

ここで、 $S = \{S_1, S_2, \dots, S_n\}$ とし、 f_r と f_r の関係を次のように与える。

$$f_r = \frac{1 - f_r}{1 + \lambda f_r} \quad \dots\dots\dots (4-8)$$

$$-1 < \lambda < \infty$$

いま、 p をあらかじめ与えられた半開区間 $(0, 1)$ の実数とする時、(4-6)式で与えられた f_r について次の定義をする。

[定義1]

" $\forall (Si, Sj) \in S \times S$ に対して $fr(Si, Sj) \leq p$ が満足されるならばあいまい非反射律が成り立つ"

[定義2]

" $\forall (Si, Sj) \in S \times S (i \neq j)$ に対して $fr(Si, Sj) < p$ あるいは $fr(Sj, Si) < p$ の少なくともどちらか一方が成り立つならば、あいまい非対称率が成り立つ"

[定義3]

" $\forall (Si, Sj), (Sj, Sk), (Si, Sk), S \times S (i \neq j, j \neq k, i \neq k)$ に対し

$$M = \bigvee_{j=1}^n (fr(Si, Sj) \wedge fr(Sj, Sk)) \geq P$$

のとき、 $fr(Si, Sk) \geq M$ が満足されるならばあいまいな半推移律が成り立つ"

以上の定義を用いFSM法のシステムの構造を同定する。

ここで検討されるシステムの構造は、要因間の影響度を検討して要因の階層化をし、要因間の従属関係について検討するものである。

以下システム構造同定のための定義、規則について述べる。

対称となるあいまい従属行列を次のように定義する。

$$A = [a_{ij}] \dots\dots\dots (4-9)$$

$n \times n$ 行列

a_{ij} は2項関係より与える

$$a_{ij} = fr(Si, Sj)$$

$$0.0 \leq a_{ij} \leq 1.0$$

(4-9)式における a_{ij} の意味は" a_{ij} は要因 Si が要因 Sj に従属する"らしさ"を示すと考え
る。次に、 S の要素がどの階層に属し、また、階層と階層間の結合の関係を与えるレベル集合の定義
について述べる。

[定義4]

" $S = \{Si : i = 1, 2, 3, \dots, n\}$ に対し最上層レベル(Lt)、最下層レベル(Lb)、中間レベル(Li)、独立レベル(Lis)は以下のように表す。"

$$Lt(s) = \{Sk | \bigvee_{j=1}^n a_{kj} < P < \bigvee_{j=1}^n a_{lk}\} \dots\dots\dots (4-10)$$

$$Lb(s) = \{Sk | \bigvee_{j=1}^n a_{ik} < P < \bigvee_{j=1}^n a_{kj}\} \dots\dots\dots (4-11)$$

$$Li(s) = \{Sk | P < \bigvee_{j=1}^n a_{lk}, P < \bigvee_{j=1}^n a_{kj} \leq P\} \dots\dots\dots (4-12)$$

$$Lis = \{Sk | \bigvee_{j=1}^n a_{lk} > P, \bigvee_{j=1}^n a_{kj} < P\} \dots\dots\dots (4-13)$$

P : あいまい構造パラメーター

以上のように定義された $Lb(s)$ と $Lt(s)$ について $Lb(s)$ に属する要素 Si が従属する $Lt(s)$ の要素を $B(Si)$ で表し、それぞれをブロック化し、ブロック化された行列を単一ハイアラキー行列と呼ぶ。

次にブロック化の定義について述べる。

[定義5]

" $Lb(s) = \{S_1, S_2, \dots, S_r\}$ とする。このとき次の条件のいずれかを満足する Qj ブロックとする。ただし、条件2)は条件1)が満足されないときに限り、採用されるものとする。"

1) $\forall Sl, Sm \in Lb, S(Sl) \cap B(Sm) \neq \phi$ ならば Q_1

$$Q_1 = \bigcup_{i=1}^n B(Si)$$

2) 集合 $S^{(k)}$ を $Lb(S)$ より、 K 番目に任意に u 個とり出し構成された集合とし、

$$S^{(1)} = \{S1^{(1)}, S2^{(1)}, \dots, Sq^{(1)}\}$$

$$S^{(2)} = \{S1^{(2)}, S2^{(2)}, \dots, Sq^{(2)}\}$$

$$S^{(k)} = \{S1^{(k)}, S2^{(k)}, \dots, Sq^{(k)}\}$$

とする。このとき、 $S^{(1)} \subset Lb(S), S^{(2)} \subset Lb(S), S^{(1)} \dots$

$S^{(k)} \subset Lb(s) - S^{(1)} - S^{(2)} \dots - S^{(k-1)}$ の関係が成り立つものとする

$$\bigcap_{i=1}^r B(Si) \neq \phi \text{ かつ } \bigcap_{i=1}^q B(Si^{(1)}) = R_1 \neq \phi$$

$$\bigcap_{m=1}^l B(Sm^{(1)}) = R_1 \neq \phi \quad \bigcap_{m=1}^l B(Sm^{(1)}) = R_1 \neq \phi \dots \bigcap_{m=1}^u B(Sm^{(k)}) = R_k \neq \phi \text{ が成り立ち、さらに } \forall Ri,$$

Rj に対して

$$Ri \cap Rj = \phi, (i=1, 2, 3, \dots, ki \neq j) \text{ ならば } Q_1 = \bigcup_{i=1}^q B(Si^{(1)}), Q_1 = \bigcup_{m=1}^l B(Sm^{(1)}), \dots$$

$$Q_k = \bigcup_{n=1}^u B(Sn^{(k)}), 1 < K \leq r \text{ である。}$$

[定義6]

"同一ブロック Qj に従属する要素について要素間の従属関係を示す行列をあいまい従属行列から構成する。この小行列を単一ハイアラキー行列 $A^{(u)}$ と呼ぶ。"

またシステムの一意的構造化をはかるための準備として、次の命題を与えるものとする。

[命題1]

"閾値 $P, 0 < P \leq 1$ に対してあいまい従属行列 A をあいまい半推移律が成り立つように修正すれば $Li(S), Lb(S)$ に属する要素は常に $Li(S)$ の少なくとも一つの要素に従属する。"

[命題2]

"単一ハイアラキー行列 $A(j)$ において Si に対するレギュラー行を $Sj, i=1, 2, \dots, n'$ とする時、演算 $[a, i^*] = [a, i] \wedge [\overline{a}, 1] \wedge [\overline{a}, 2] \dots [\overline{a}, n]$ を行い $A(j)$ の $[a, i]$ を $[a, i^*]$ で置き換えるならば、 Si に直接従属する要素はあいまい構造パラメーター (λ) に依存して、一意的に決定される。"

以上の定義、命題のもとで、システムの構造化に対して次の定理を与える。

[定理1]

"命題1, 2が成立するあいまい従属行列をもつシステムの構造は一意的に決定される。"

この定理より次に示すシステムの構造同定のためのアルゴリズムが与えられる。

a) あいまい非反射律、あいまい非対称律を満足するようにあいまい従属行列 $A = [aij]$ を設定しあいまい半推移律が満足されるように A を修正する。

なお、閾値 $P, 0 < P < 1$ はあらかじめ設定されているものとする。

- b) 各レベル集合 $Ll(s)$, $Lb(s)$ 及び $Lis(s)$ を求めブロック Qj を決定する。
- c) b) で得られた $Ll(s)$, $Lb(s)$ 及び $Lis(s)$ に属する要素に関して $Ll(s)$ の要素については行を消去し, さらに $Lis(s)$ の要素については行及び列を消去し得られた行列 A' とする。
- d) c) で得られた A' を各ブロック Qj に対応して分割を行い, 単一ハイアラキー行列 $A^{(i)}$ を作る。
- e) あいまい構造パラメータ (λ) の値を設定し, それぞれ単一ハイアラキー行列 $A^{(i)}$ に関して図 4-3 に示す流れ図に従いシステム構造を決定する。
- 以上の過程から, 要因と要因の従属関係及びその方向が求まり, システム構造が可能となる。

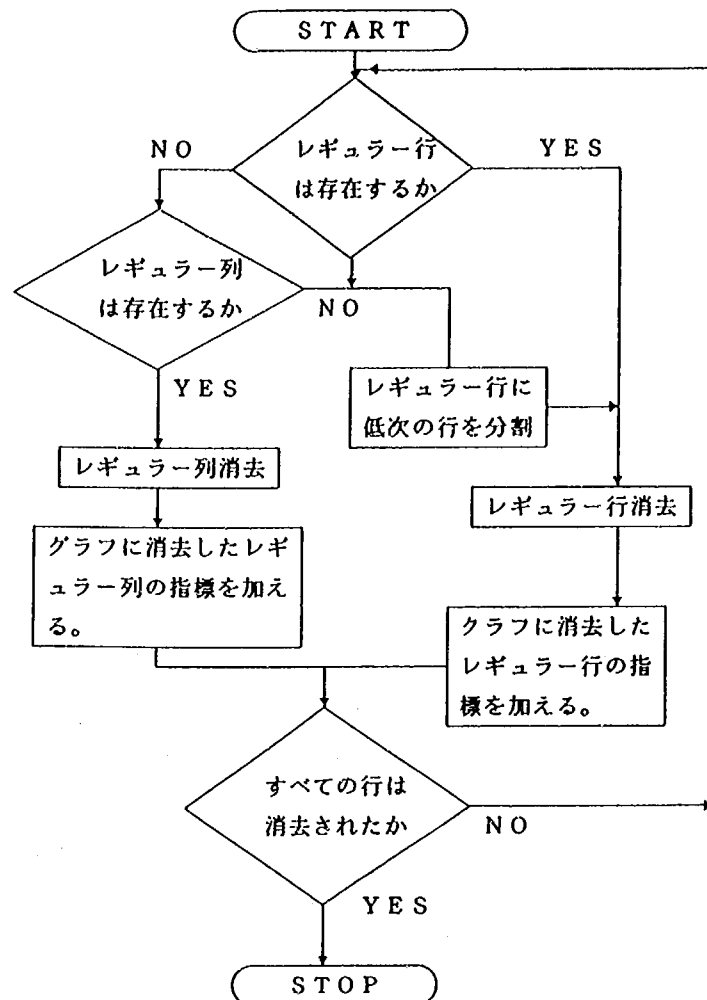


図 4-3 システム構造化のフロー

4.4 FSM法による構造化

3章で求めた地震時斜面崩壊に関する要因を用いてFSM法により構造化を行う。

4.4.1 アンケート調査

FSM法を用いて構造化を行う場合, 抽出した要因項目間の影響度をアンケートによって二項間行列の形で求める必要がある。

そこで, 表 4-1 に示すアンケートを実施し, あいまい従属行列を作成した。なお, アンケート調査では各グループはそれぞれ独立であるものとした。これは要因数があまり多すぎると, 2 項関数を

表 4 - 1 (a) 地震時の斜面崩壊に関するアンケート

1. 地形グループ

1. 影響度 = 1	: 影響度	小
2. 影響度 = 2	: 影響度	↓
3. 影響度 = 3	: 影響度	中
4. 影響度 = 4	: 影響度	↑
5. 影響度 = 5	: 影響度	大

1. 地震時の斜面崩壊に対し縦断形状は方位と比較しどの程度影響しますか (1, 2, 3, 4, 5)
2. 地震時の斜面崩壊に対し縦断形状は斜面高さと比較しどの程度影響しますか (1, 2, 3, 4, 5)
3. 地震時の斜面崩壊に対し縦断形状は平面形状と比較しどの程度影響しますか (1, 2, 3, 4, 5)
4. 地震時の斜面崩壊に対し縦断形状は勾配と比較しどの程度影響しますか (1, 2, 3, 4, 5)
5. 地震時の斜面崩壊に対し縦断形状は滑落地形と比較しどの程度影響しますか (1, 2, 3, 4, 5)
6. 地震時の斜面崩壊に対し縦断形状は標高と比較しどの程度影響しますか (1, 2, 3, 4, 5)
7. 地震時の斜面崩壊に対し方位は縦断形状と比較しどの程度影響しますか (1, 2, 3, 4, 5)
8. 地震時の斜面崩壊に対し方位は斜面高さと比較しどの程度影響しますか (1, 2, 3, 4, 5)
9. 地震時の斜面崩壊に対し方位は平面形状と比較しどの程度影響しますか (1, 2, 3, 4, 5)
10. 地震時の斜面崩壊に対し方位は勾配と比較しどの程度影響しますか (1, 2, 3, 4, 5)
11. 地震時の斜面崩壊に対し方位は滑落地形と比較しどの程度影響しますか (1, 2, 3, 4, 5)
12. 地震時の斜面崩壊に対し方位は標高と比較しどの程度影響しますか (1, 2, 3, 4, 5)
13. 地震時の斜面崩壊に対し斜面高さは縦断形状と比較しどの程度影響しますか (1, 2, 3, 4, 5)
14. 地震時の斜面崩壊に対し斜面高さは方位と比較しどの程度影響しますか (1, 2, 3, 4, 5)
15. 地震時の斜面崩壊に対し斜面高さは平面形状と比較しどの程度影響しますか (1, 2, 3, 4, 5)
16. 地震時の斜面崩壊に対し斜面高さは勾配と比較しどの程度影響しますか (1, 2, 3, 4, 5)
17. 地震時の斜面崩壊に対し斜面高さは滑落地形と比較しどの程度影響しますか (1, 2, 3, 4, 5)
18. 地震時の斜面崩壊に対し斜面高さは標高と比較しどの程度影響しますか (1, 2, 3, 4, 5)
19. 地震時の斜面崩壊に対し平面地形は縦断形状と比較しどの程度影響しますか (1, 2, 3, 4, 5)
20. 地震時の斜面崩壊に対し平面地形は方位と比較しどの程度影響しますか (1, 2, 3, 4, 5)
21. 地震時の斜面崩壊に対し平面地形は斜面高さと比較しどの程度影響しますか (1, 2, 3, 4, 5)
22. 地震時の斜面崩壊に対し平面地形は勾配と比較しどの程度影響しますか (1, 2, 3, 4, 5)
23. 地震時の斜面崩壊に対し平面地形は滑落地形と比較しどの程度影響しますか (1, 2, 3, 4, 5)
24. 地震時の斜面崩壊に対し平面地形は標高と比較しどの程度影響しますか (1, 2, 3, 4, 5)
25. 地震時の斜面崩壊に対し勾配は縦断形状と比較しどの程度影響しますか (1, 2, 3, 4, 5)
26. 地震時の斜面崩壊に対し勾配は方位と比較しどの程度影響しますか (1, 2, 3, 4, 5)
27. 地震時の斜面崩壊に対し勾配は斜面高さと比較しどの程度影響しますか (1, 2, 3, 4, 5)
28. 地震時の斜面崩壊に対し勾配は平面形状と比較しどの程度影響しますか (1, 2, 3, 4, 5)
29. 地震時の斜面崩壊に対し勾配は滑落地形と比較しどの程度影響しますか (1, 2, 3, 4, 5)
30. 地震時の斜面崩壊に対し勾配は標高と比較しどの程度影響しますか (1, 2, 3, 4, 5)
31. 地震時の斜面崩壊に対し滑落地形は縦断形状と比較しどの程度影響しますか (1, 2, 3, 4, 5)
32. 地震時の斜面崩壊に対し滑落地形は方位と比較しどの程度影響しますか (1, 2, 3, 4, 5)
33. 地震時の斜面崩壊に対し滑落地形は斜面高さと比較しどの程度影響しますか (1, 2, 3, 4, 5)
34. 地震時の斜面崩壊に対し滑落地形は平面形状と比較しどの程度影響しますか (1, 2, 3, 4, 5)
35. 地震時の斜面崩壊に対し滑落地形は勾配と比較しどの程度影響しますか (1, 2, 3, 4, 5)
36. 地震時の斜面崩壊に対し滑落地形は標高と比較しどの程度影響しますか (1, 2, 3, 4, 5)
37. 地震時の斜面崩壊に対し標高は縦断形状と比較しどの程度影響しますか (1, 2, 3, 4, 5)
38. 地震時の斜面崩壊に対し標高は方位と比較しどの程度影響しますか (1, 2, 3, 4, 5)
39. 地震時の斜面崩壊に対し標高は斜面高さと比較しどの程度影響しますか (1, 2, 3, 4, 5)
40. 地震時の斜面崩壊に対し標高は平面形状と比較しどの程度影響しますか (1, 2, 3, 4, 5)
41. 地震時の斜面崩壊に対し標高は勾配と比較しどの程度影響しますか (1, 2, 3, 4, 5)
42. 地震時の斜面崩壊に対し標高は滑落地形と比較しどの程度影響しますか (1, 2, 3, 4, 5)

表 4-1(b) 地震時の斜面崩壊に関するアンケート

2. 地質グループ

1. 影響度 = 1	: 影響度	小
2. 影響度 = 2	: 影響度	
3. 影響度 = 3	: 影響度	
4. 影響度 = 4	: 影響度	中
5. 影響度 = 5	: 影響度	
		大

- [illegible]

表 4 - 1 (c) 地震時の斜面崩壊に関するアンケート

3. 環境グループ

1. 影響度 = 1	: 影響度	小
2. 影響度 = 2	: 影響度	↓
3. 影響度 = 3	: 影響度	中
4. 影響度 = 4	: 影響度	↑
5. 影響度 = 5	: 影響度	大

- | | |
|---|-----------------|
| 1. 地震時の斜面崩壊に対し植生は保護工と比較しどの程度影響しますか | (1, 2, 3, 4, 5) |
| 2. 地震時の斜面崩壊に対し植生は周辺の崩壊と比較しどの程度影響しますか | (1, 2, 3, 4, 5) |
| 3. 地震時の斜面崩壊に対し植生は斜面下部状況と比較しどの程度影響しますか | (1, 2, 3, 4, 5) |
| 4. 地震時の斜面崩壊に対し植生は地下水状況と比較しどの程度影響しますか | (1, 2, 3, 4, 5) |
| 5. 地震時の斜面崩壊に対し植生は湧水状況と比較しどの程度影響しますか | (1, 2, 3, 4, 5) |
| 6. 地震時の斜面崩壊に対し植生は過去の崩壊履歴と比較しどの程度影響しますか | (1, 2, 3, 4, 5) |
| 7. 地震時の斜面崩壊に対し保護工は植生と比較しどの程度影響しますか | (1, 2, 3, 4, 5) |
| 8. 地震時の斜面崩壊に対し保護工は周辺の崩壊と比較しどの程度影響しますか | (1, 2, 3, 4, 5) |
| 9. 地震時の斜面崩壊に対し保護工は斜面下部状況と比較しどの程度影響しますか | (1, 2, 3, 4, 5) |
| 10. 地震時の斜面崩壊に対し保護工は地下水状況と比較しどの程度影響しますか | (1, 2, 3, 4, 5) |
| 11. 地震時の斜面崩壊に対し保護工は湧水状況と比較しどの程度影響しますか | (1, 2, 3, 4, 5) |
| 12. 地震時の斜面崩壊に対し保護工は過去の崩壊履歴と比較しどの程度影響しますか | (1, 2, 3, 4, 5) |
| 13. 地震時の斜面崩壊に対し周辺の崩壊は植生と比較しどの程度影響しますか | (1, 2, 3, 4, 5) |
| 14. 地震時の斜面崩壊に対し周辺の崩壊は保護工と比較しどの程度影響しますか | (1, 2, 3, 4, 5) |
| 15. 地震時の斜面崩壊に対し周辺の崩壊は周辺の崩壊と比較しどの程度影響しますか | (1, 2, 3, 4, 5) |
| 16. 地震時の斜面崩壊に対し周辺の崩壊は斜面下部状況と比較しどの程度影響しますか | (1, 2, 3, 4, 5) |
| 17. 地震時の斜面崩壊に対し周辺の崩壊は地下水状況と比較しどの程度影響しますか | (1, 2, 3, 4, 5) |
| 18. 地震時の斜面崩壊に対し周辺の崩壊は湧水状況と比較しどの程度影響しますか | (1, 2, 3, 4, 5) |
| 19. 地震時の斜面崩壊に対し周辺の崩壊は過去の崩壊履歴と比較しどの程度影響しますか | (1, 2, 3, 4, 5) |
| 20. 地震時の斜面崩壊に対し斜面下部状況は植生と比較しどの程度影響しますか | (1, 2, 3, 4, 5) |
| 21. 地震時の斜面崩壊に対し斜面下部状況は保護工と比較しどの程度影響しますか | (1, 2, 3, 4, 5) |
| 22. 地震時の斜面崩壊に対し斜面下部状況は周辺の崩壊と比較しどの程度影響しますか | (1, 2, 3, 4, 5) |
| 23. 地震時の斜面崩壊に対し斜面下部状況は地下水状況と比較しどの程度影響しますか | (1, 2, 3, 4, 5) |
| 24. 地震時の斜面崩壊に対し斜面下部状況は湧水状況と比較しどの程度影響しますか | (1, 2, 3, 4, 5) |
| 25. 地震時の斜面崩壊に対し斜面下部状況は過去の崩壊履歴と比較しどの程度影響しますか | (1, 2, 3, 4, 5) |
| 26. 地震時の斜面崩壊に対し地下水状況は植生と比較しどの程度影響しますか | (1, 2, 3, 4, 5) |
| 27. 地震時の斜面崩壊に対し地下水状況は保護工と比較しどの程度影響しますか | (1, 2, 3, 4, 5) |
| 28. 地震時の斜面崩壊に対し地下水状況は周辺の崩壊と比較しどの程度影響しますか | (1, 2, 3, 4, 5) |
| 29. 地震時の斜面崩壊に対し地下水状況は斜面下部状況と比較しどの程度影響しますか | (1, 2, 3, 4, 5) |
| 30. 地震時の斜面崩壊に対し地下水状況は湧水状況と比較しどの程度影響しますか | (1, 2, 3, 4, 5) |
| 31. 地震時の斜面崩壊に対し地下水状況は過去の崩壊履歴と比較しどの程度影響しますか | (1, 2, 3, 4, 5) |
| 32. 地震時の斜面崩壊に対し湧水状況は植生と比較しどの程度影響しますか | (1, 2, 3, 4, 5) |
| 33. 地震時の斜面崩壊に対し湧水状況は保護工と比較しどの程度影響しますか | (1, 2, 3, 4, 5) |
| 34. 地震時の斜面崩壊に対し湧水状況は周辺の崩壊と比較しどの程度影響しますか | (1, 2, 3, 4, 5) |
| 35. 地震時の斜面崩壊に対し湧水状況は斜面下部状況と比較しどの程度影響しますか | (1, 2, 3, 4, 5) |
| 36. 地震時の斜面崩壊に対し湧水状況は地下水状況と比較しどの程度影響しますか | (1, 2, 3, 4, 5) |
| 37. 地震時の斜面崩壊に対し湧水状況は過去の崩壊履歴と比較しどの程度影響しますか | (1, 2, 3, 4, 5) |
| 38. 地震時の斜面崩壊に対し過去の崩壊履歴は植生と比較しどの程度影響しますか | (1, 2, 3, 4, 5) |
| 39. 地震時の斜面崩壊に対し過去の崩壊履歴は保護工と比較しどの程度影響しますか | (1, 2, 3, 4, 5) |
| 40. 地震時の斜面崩壊に対し過去の崩壊履歴は周辺の崩壊と比較しどの程度影響しますか | (1, 2, 3, 4, 5) |
| 41. 地震時の斜面崩壊に対し過去の崩壊履歴は斜面下部状況と比較しどの程度影響しますか | (1, 2, 3, 4, 5) |
| 42. 地震時の斜面崩壊に対し過去の崩壊履歴は地下水状況と比較しどの程度影響しますか | (1, 2, 3, 4, 5) |
| 43. 地震時の斜面崩壊に対し過去の崩壊履歴は湧水状況と比較しどの程度影響しますか | (1, 2, 3, 4, 5) |

表4-1(d) 地震時の斜面崩壊に関するアンケート

4. 地震グループ

1. 影響度=1	: 影響度	小
2. 影響度=2	: 影響度	↓
3. 影響度=3	: 影響度	中
4. 影響度=4	: 影響度	↓
5. 影響度=5	: 影響度	大

- | | |
|--|-----------------|
| 1. 地震時の斜面崩壊に対し加速度は震度と比較しどの程度影響しますか | (1, 2, 3, 4, 5) |
| 2. 地震時の斜面崩壊に対し加速度は震源地からの距離と比較しどの程度影響しますか | (1, 2, 3, 4, 5) |
| 3. 地震時の斜面崩壊に対し震度は加速度と比較しどの程度影響しますか | (1, 2, 3, 4, 5) |
| 4. 地震時の斜面崩壊に対し震度は震源地からの距離と比較しどの程度影響しますか | (1, 2, 3, 4, 5) |
| 5. 地震時の斜面崩壊に対し震源地からの距離は加速度と比較しどの程度影響しますか | (1, 2, 3, 4, 5) |
| 6. 地震時の斜面崩壊に対し震源地からの距離は震度と比較しどの程度影響しますか | (1, 2, 3, 4, 5) |

答えることが大変煩雑になるためである。

この表で5段階評価値(a_{ij})の考え方は「要因(S_i)が要因(S_j)に従属する“らしさ”を示す値で、言い換えると“要因(S_i)は、要因(S_j)に対して a_{ij} 程度重要である”となり、評価値(a_{ij})を記入することとした。

表4-2にアンケート結果を示す。

表4-2(a) 地震時の斜面崩壊に関するアンケート結果

(地質グループ)

(S a) \ (S b)	岩 種	地 層 構 造	地 質 構 造	土 質	風化・固結度	岩盤の亀裂	断 層	表 土	
岩 種		2	2	4	2	2	2	4	
地 層 構 造	2		2	2	4	1	1	1	
地 質 構 造	1	2		2	2	4	4	1	
土 質	1	2	2		4	2	2	4	
風化・固結度	3	4	4	2		2	4	2	
岩盤の亀裂	2	4	4	2	4		2	2	
断 層	2	4	4	2	4	4		2	
表土の厚さ	4	2	2	4	2	2	2		

* 地震時の斜面崩壊に対して、要因(Sa)は要因(Sb)より a_{ij} 程度重要である。

表 4-2(b) 地震時の斜面崩壊に関するアンケート結果

(環境グループ)

(S a) \ (S b)	植生の状況	保護工	周辺の崩壊状況	斜面下部の状況	地下水の状況	湧水の状況	崩壊履歴
植生の状況		3	2	4	4	2	4
保護工の状況	3		4	4	4	3	4
周辺の崩壊状況	3	1		4	4	3	4
斜面下部の状況	1	1	1		1	1	3
地下水の状況	2	2	2	2		2	3
湧水の状況	3	2	2	4	3		4
崩壊履歴	1	1	1	2	2	1	

* 地震時の斜面崩壊に対して、要因(Sa)は要因(Sb)より aij 程度重要である。

表 4-2(c) 地震時の斜面崩壊に関するアンケート結果

(地形グループ)

(S a) \ (S b)	縦断形状	方位	斜面高さ	平面地形	勾配	滑落地形	標高
縦断方向		5	4	3	2	2	5
方位	1		2	1	1	1	1
斜面高さ	2	5		2	3	2	5
平面地形	2	5	3		2	2	5
勾配	3	4	2	3		2	5
滑落地形	3	4	3	3	3		5
標高	1	4	1	1	1	1	

* 地震時の斜面崩壊に対して、要因(Sa)は要因(Sb)より aij 程度重要である。

表 4 - 2 (d) 地震時の斜面崩壊に関するアンケート結果

(地震グループ)

(S b)			
(S a)	波 形	震 度	方 位
波 形		2	2
震 度	4		4
方 位	3	1	

* 地震時の斜面崩壊に対して、要因 (Sa) は要因 (Sb) より a_{ij} 程度重要である。

4.4.2 構造化解析結果

前項のアンケート結果をもとにそれぞれのあいまい従属行列について F S M法の演算をして構造化を行った。F S M法ではファジイ補集合の要素のメンバーシップ関数を決定するために λ なる変数を導入している。また要因 S の要素がどの階層に属し、階層と階層の結合関係がどの程度であることを定義するために ρ なる変数を用いている。 λ の値は構造化にあまり大きな影響を及ぼさないが、 ρ の影響は非常に大きく $\rho = 0.6$ 未満ではあいまい非対称律が破られ構造化が不可能となり、本解析では $\lambda = -0.3$, $\rho = 0.65 \sim 0.8$ を用いた。

なお、構造パラメータ (λ) は、 -0.3 以外の値を用いて検討した場合にも構造化に変化がなく、一般的に用いられている構造パラメータ (λ) $= -0.3$ を用いるものとした。

図 4 - 4 に F S M法による構造化モデルを示す。

4.5 地震時斜面崩壊機構の再構造化

ブレーストローミング法により構築した構造化モデル (図 4 - 2, 前掲) と F S M法により構築した構造化モデル (図 4 - 4, 前掲) を基本構造化とし、再度、ブレーストローミングを行い、地震時の斜面崩壊に関する最終構造化を作成した。

図 4 - 5 に地震時の斜面崩壊に関する最終構造化を示す。

また、図における要因間の結びつき (関連性) は、図 4 - 2, 図 4 - 4 の基本構造化の結びつきを参考として、true, very true, very very true, Absolutely true の関係で結びつけた。

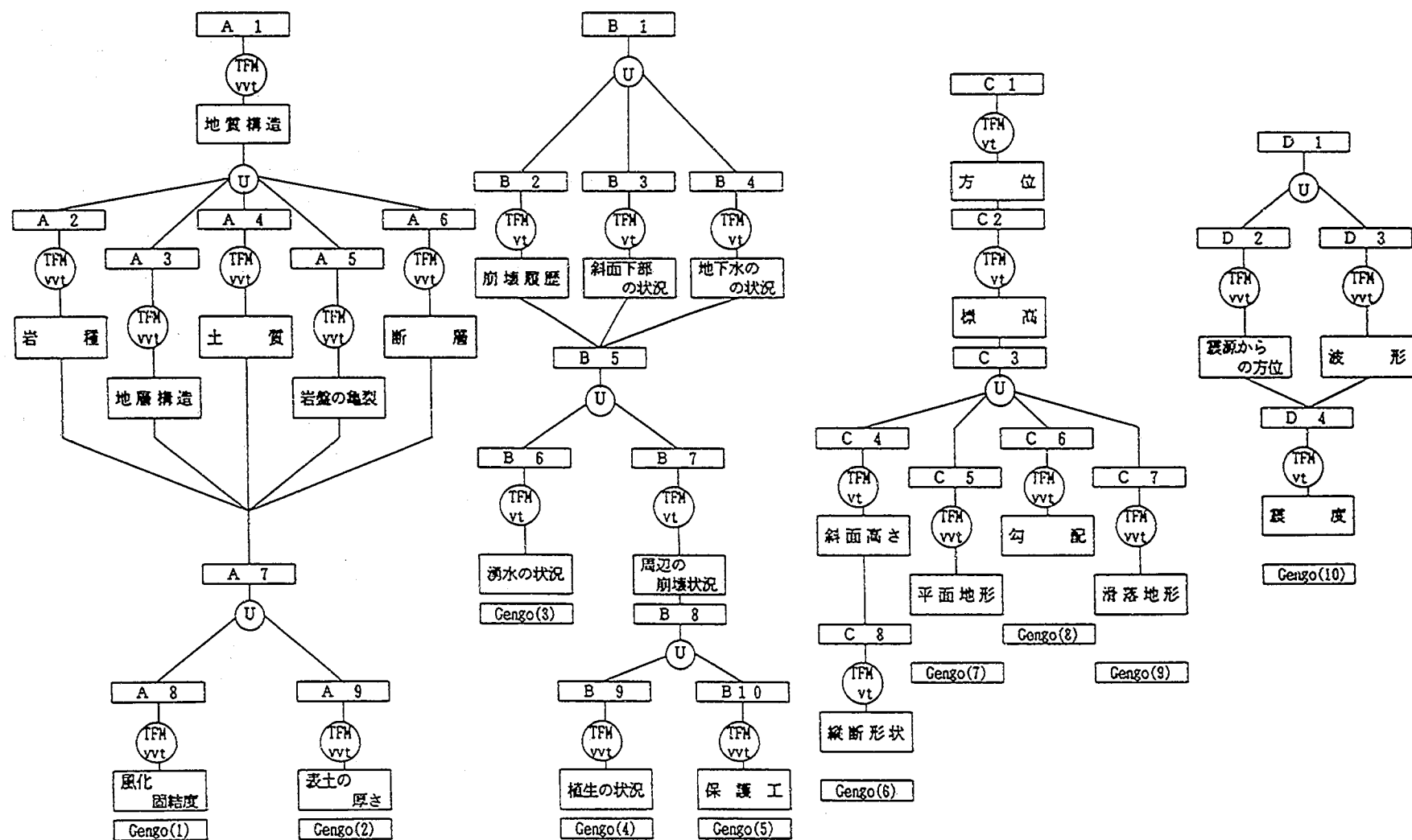


図 4-4 FSM法による地震時の斜面崩壊機構の構造化モデル
($P = 0.65 \sim 0.80$, $\lambda = -0.3$)

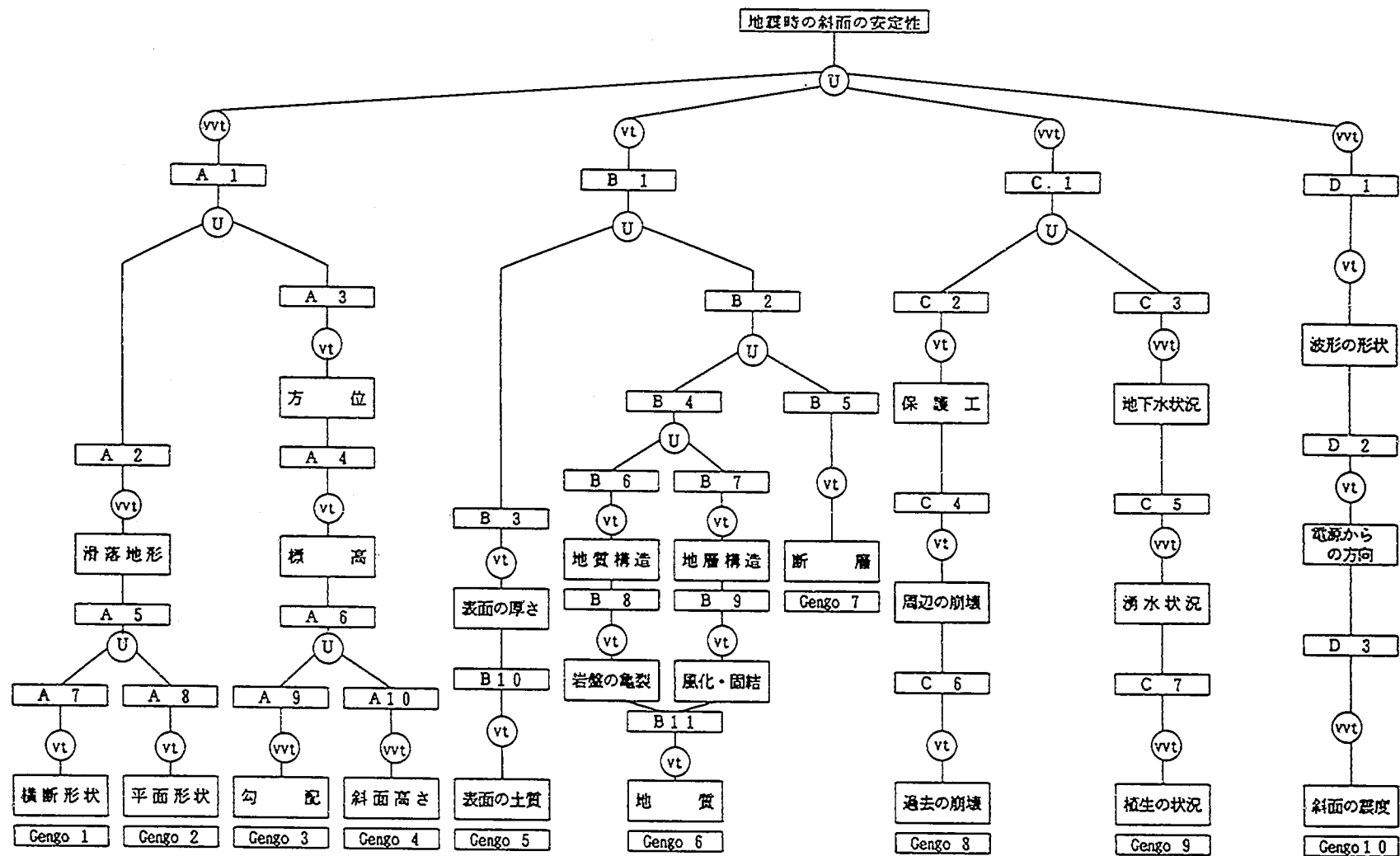


図 4 - 5 地震時の斜面崩壊に関する最終構造化モデル

5. Fuzzy 推論による解析

5.1 Fuzzy 推論の概要

Fuzzy 推論は、日常の中で主観的な“あいまいさ”を含んだ推論を数学的に表現するものであり、推論した要因のある命題に対し、Fuzzy 真理値と比較することにより命題の真偽を検討するものである。

具体的に説明すると、Fuzzy 推論による解析は以下の手順に従って崩壊要因を抽出することになる。

1) Fuzzy 推論の作成

斜面崩壊機構の構造化モデルをもとにして、斜面崩壊機構と要因との関係を影響度の強さに応じて Fuzzy 関係で結び、表 5-1 のような Fuzzy 推論を作成する。

表 5-1 Fuzzy 推論

No.1	If slope is safety	topographical condition is good geological condition is good environment is good precipitation condition is good seismic intensity is (n)	very very true absolutely true very very true absolutely true very very true
No.2	If topological condition is good	shape of slope top is good slope gradient is low	very true very very true
No.3	If geological condition is good	soil textile is good fault and fractured zone is not existed	very very true very very true
No.4	If environmental condition is good	surrounding slope failure is not existed	very true
No.5	If precipitation condition is good	continuous precipitation is little	very very true
No.6	If shape of slope top is good	vertical section of slope is good	very true
No.7	If slope gradient is low	cross section of slope is good slope height is low	very very true very very true
No.8	If soil texture is good If there are no fault and fracture zone	degree of weathering is low spring flow is low	very very true very true
No.9	If there are no surrounding failure	vegetation is good	very true
No.10	If continuous precipitation is little	intensity of rain fall is low	very very true
No.11	If vertical section of slope is good	cross section of slope is good	very very true
No.12	If degree of weathering is low If spring flow is low	geological condition is good geological condition is good	very very true very very true
No.13	If vegetation is good	degree of land use is high	very true
No.14	If intensity of rain fall is low	day precipitation is little	very true

2) Fuzzy推論プログラム作成

1) で作成した Fuzzy推論に基づくプログラムを作成する。

3) Fuzzy推論に基づく計算

「斜面が安全である」という命題を与え、各要因が命題とどのような関係にあるかを、入力基準 (false, very false) を設定し、ITFM法で計算し、それぞれの要因ごとに図5-1のようなメンバーシップ関数を出力する。

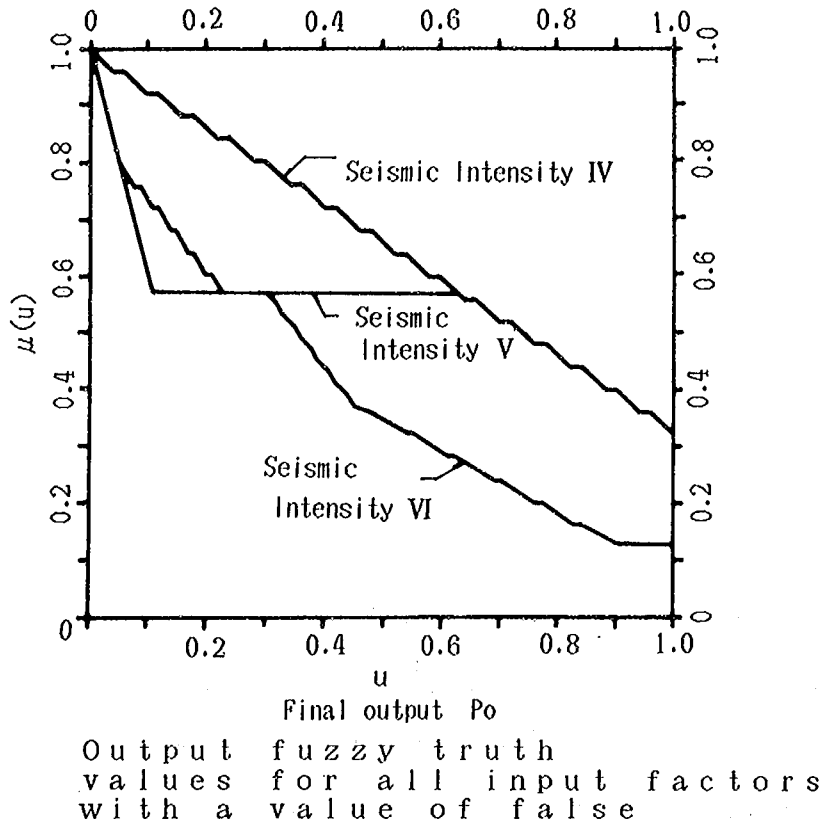
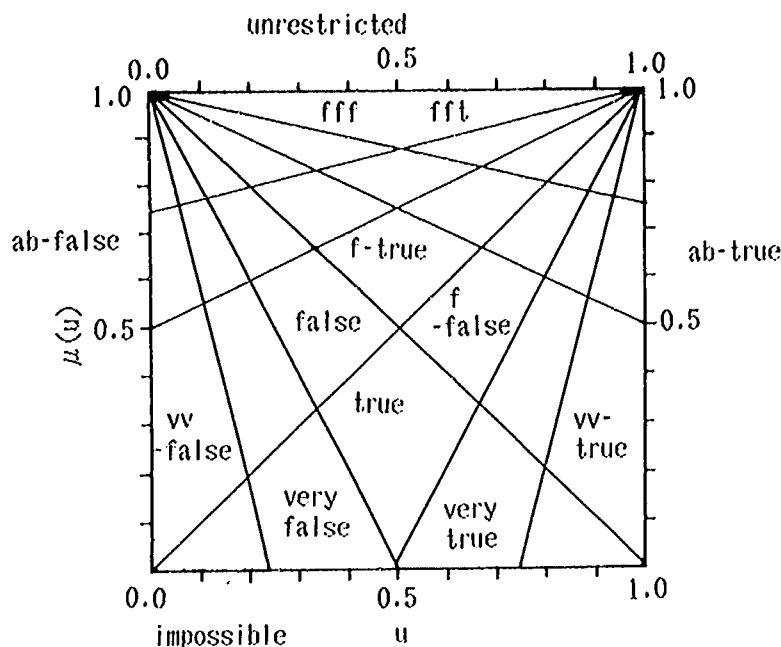


図5-1 メンバーシップ関数

4) 支配要因の抽出

出力されたメンバーシップ関数を図5-2に示すFuzzy真理値図のグラフの型と比較することによって、「斜面が安全である」という命題に対する支配要因を抽出し、同時にその影響度を定性的に評価する。(各崩壊斜面ごと)。



ab-true : absolutely true,
 vv-true : very very true,
 f-true : fairly true,
 fft : fairly fairly true,
 ab-false : absolutely false,
 vv-false : very very false,
 fff : fairly fairly false.
 Truth restrictions

図 5-2 Fuzzy 真理値図

5.2 Fuzzy 推論の定式化

Fuzzy 推論は命題の真理値として Fuzzy 集合 $[0, 1]$ の数値でなく, $[0, 1]$ 上の直線で表現され, これら, Fuzzy 集合に, true, false, very true, quiet false, not false, borderline といった呼び名を与え, 計算の命題に対する真理値を得る手法である。

Fuzzy 推論の演算では, Inverse Truth Functional Modification を用いる。その演算の為の詳細計算規則を示す。

1. Fuzzy 集合の和集合 $A \cup B$

$$A \cup B = \int_v \mu A(u) \vee \mu B / u \dots\dots\dots (5-1)$$

2. Fuzzy 集合の共通集合 $A \cap B$

$$A \cap B = \int_v \mu A(u) \wedge \mu B / u \dots\dots\dots (5-2)$$

3. Fuzzy 集合の補集合 $\bar{A}$

$$\bar{A} = \int_v 1 - \mu A(u) / u \dots\dots\dots (5-3)$$

4. Fuzzy 関数と Fuzzy 合成

$$R = \int_{u \times v} M_F(U, V) / (u, v) \dots\dots\dots (5-4)$$

1~4 を用いて I T F M 法 (Inverse Truth Functional Modification) は以下のように定式化される。

$$(x \text{ is } F) \text{ is } \tau \leftrightarrow (x \text{ is } F') \text{ is true} \dots\dots\dots (5-5)$$

$$\mu_{F'}(u) = \mu_{\tau}(\mu_F(u))$$

この演算は、一般に次のような結果となる。

$$(x \text{ is } F) \text{ is very true} \leftrightarrow x \text{ is very } F$$

$$(x \text{ is } F) \text{ is fairly true} \leftrightarrow x \text{ is fairly } F$$

$$(x \text{ is } F) \text{ is true} \leftrightarrow x \text{ is } F$$

$$(x \text{ is } F) \text{ is false} \leftrightarrow x \text{ is not } F$$

以上の条件を基礎に近似的推論を行うのが Fuzzy 推論である。

Fuzzy 推論では、従来の 2 値理論を拡張した手法、modus ponens 型、modus tollens 型の Fuzzy 規則を定めて演算を行う。

(1) modus tollens 型の推論

$$\begin{array}{l} \text{If } x \text{ is } F \text{ then } y \text{ is } G \rightarrow \mu_R(x, y) = \overline{(F \times V)} \oplus (U \times G) \\ y \text{ is } G' \rightarrow \mu_G(y) \\ \hline y \text{ is } F' \rightarrow \mu_{F'}(x) = \mu_R(x, y) \circ \mu_G(y) \dots\dots\dots (5-6) \end{array}$$

modus tollens 型の推論では、“If x is F then y is G ”なる条件下で“ y is G ”なる命題が与えられる時、“ x is F ”なる命題を推論することを表している。

(2) modus ponens 型の推論

$$\begin{array}{l} \text{If } x \text{ is } F \text{ then } y \text{ is } G \rightarrow \mu_F(x, y) = (F \times V) \oplus (U \times G) \\ x \text{ is } F' \rightarrow \mu_F(x) \\ \hline y \text{ is } G' \rightarrow \mu_{G'}(y) = \mu_F(x) \circ \mu(x, y) \dots\dots\dots (5-7) \end{array}$$

modus ponens 型の推論では“If x is F then y is G ”なる条件下で“ x is F ”なる命題が与えられる時“ y is G ”なる命題を推論することを表している。

本解析では、Fuzzy 関係ルール（後ろ向き推論）の中の modus tollens 型で解析を行う。前述したように、modus tollens 型で解析を行う場合には、最終的に推定しようとする内容と反対の内容をもつ推論を構築する。したがって、本解析の推論作成では、地震時に斜面崩壊が発生しないことを前提に記述することになる。

図 4-5（前掲）の地震時斜面崩壊に関する最終構造化モデルの Fuzzy 推論は表 5-2 となった。

表 5 - 2 地震時斜面崩壊に関する Fuzzy 推論

No 1	地震時に斜面崩壊が なければ	地質の条件が良いことは 地形の条件が良いことは 環境の条件が良いことは 地震の条件が良いことは	V V t V V t V V t V V t
No 2	地形の条件が良ければ	斜面の方位が良いことは 滑落地形が無いことは 標高が低いことは	V t V V t V t
No 3	地質の条件が良ければ	表面層の厚さが薄いことは 地質構造が良いことは 地層構造が良いことは 断層がないことは	V t V t V t V V t
No 4	環境の条件が良ければ	地下水の位置が低いことは 保護工が設置されていることは	V V t V t
No 5	地震の条件が良ければ	地震波形が良いことは	V t
No 6	滑落地形が無ければ	横断形状が良いことは 平面形状が良いことは	V t V t
No 7	標高が低ければ	勾配がゆるいことは 斜面高さが低いことは	V V t V V t
No 8	表面の厚さが薄ければ	表面の土質の良いことは	V t
No 9	地質構造が良ければ	岩盤のキ裂が無いことは	V t
No 10	地層構造が良ければ	風化、固結が良いことは	V t
No 11	保護工が設置されていれば	周辺に崩壊がないことは	V t
No 12	地下水の状況が良ければ	湧水の状況が良いことは	V V t
No 13	震源からの方向が良ければ	斜面の震度が小さいことは	V V t
No 14	岩盤にキ裂がなく 風化がなければ	地質が良いことは	V t
No 15	周辺の崩壊がなければ	過去の崩壊がないことは	V t
No 16	湧水の状況がなければ	植生の状況がよいことは	V t

表5-2 地震時の斜面崩壊に関する言語関数表(その2)

ファジィ要因名	言語関数	感 覚	設 定
Gengo 5 表面の土質	1. V・V・Low		_____
	2. V・Low		_____
	3. Low		硬 岩
	4. Medium		軟 岩
	5. Hight		未固結岩
	6. V・Hight		礫混り土
	7. V・V・Hight		_____
Gengo 6 地 質	1. V・V・Low		_____
	2. V・Low		_____
	3. Low		新第三紀 堆積岩・凝灰岩
	4. Medium		古期 火山岩
	5. Hight		第四紀 火山岩
	6. V・Hight		第四紀 堆積岩
	7. V・V・Hight		_____
Gengo 7 断 層	1. V・V・Low		_____
	2. V・Low		_____
	3. Low		断層なし
	4. Medium		断層あり 1本
	5. Hight		" 2本
	6. V・Hight		" 3本
	7. V・V・Hight		_____
Gengo 8 過去の崩壊	1. V・V・Low		_____
	2. V・Low		_____
	3. Low		無 し
	4. Medium		有 り
	5. Hight		_____
	6. V・Hight		_____
	7. V・V・Hight		_____

表5-2 地震時の斜面崩壊に関する言語関数表(その3)

ファジィ要因名	言語関数	感 覚	設 定
Gengo 9 植生の状況	1. V・V・Low		_____
	2. V・Low		針 葉 樹 林
	3. Low		広 葉 樹 林
	4. Medium		針葉・広葉樹(混合)
	5. Hight		草 地
	6. V・Hight		裸 地
	7. V・V・Hight		_____
Gengo10 斜面における 震度	1. V・V・Low		_____
	2. V・Low		_____
	3. Low		_____
	4. Medium	25 gal~ 80 gal	震 度 IV
	5. Hight	80 gal~250 gal	" V
	6. V・Hight	250 gal~400 gal	" VI
	7. V・V・Hight	400 gal~	" VII
	1. V・V・Low		
	2. V・Low		
	3. Low		
	4. Medium		
	5. Hight		
	6. V・Hight		
	7. V・V・Hight		
	1. V・V・Low		
	2. V・Low		
	3. Low		
	4. Medium		
	5. Hight		
	6. V・Hight		
	7. V・V・Hight		

5.3 斜面崩壊と各要因に関する Fuzzy 推論

本節では 5.1 で述べた手順に従って、地震時の斜面崩壊機構の構造化モデルで最下層に選定された要因について Fuzzy 集合を求め、崩壊発生率との関係をメンバーシップ関数により定義して Fuzzy 関係を求める。

次に、“地震時に斜面が崩壊しない”という命題を与え、地震時の斜面崩壊の要因に対する Inverse Truth Functional Modification を行う。出力されたメンバーシップ関数を図 5-2 (前掲) に示す Fuzzy 真理値図のグラフと比較することにより、“地震時に斜面崩壊は発生しない”という命題の評価を行って影響度について検討する。

なお、“地震時に斜面崩壊は発生しない”という命題は図 5-3 に与える。

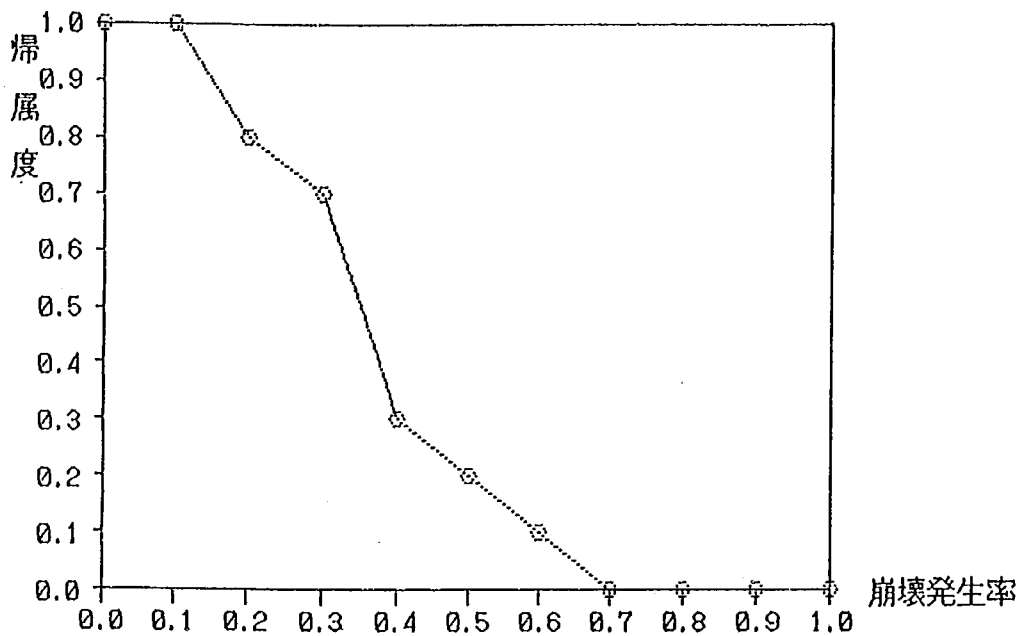


図 5-3 Fuzzy 命題

5.3.1 縦断形状に関する Fuzzy 推論

昭和53年伊豆大島近海地震による斜面崩壊について、崩壊ヶ所の各情報は表 2-1 (前掲) に従って整理してある。そこで、斜面の縦断形状について各カテゴリーごとの頻度分布を求めると図 5-4 (a)となる。

図 5-4 (a)から崩壊発生率を求め、縦断形状との関係が図 5-4 (b)になると仮定した。この図は、斜面の縦断形状が下降型の場合地震時の斜面崩壊の可能性 0.0, 平面形の場合ほぼ 0.5, 上昇型・複合型・オーバーハング型の場合で地震時に斜面崩壊が発生する可能性が 1.0 となることを示している。

次に、縦断形状の分布を式 (5-8) により正規化し、崩壊ヶ所数を Fuzzy 集合と定義した。

$$F = \mu F(u_1)/u_1 + \mu F(u_2)/u_2 + \dots + \mu F(u_r) = \sum_{i=1}^r \mu F(u_i)/u_i \quad \dots (5-8)$$

そして、図 5-4 (b)を式 (5-8) の関係で読みかえると、この関係は Fuzzy 関係となり、図 5-

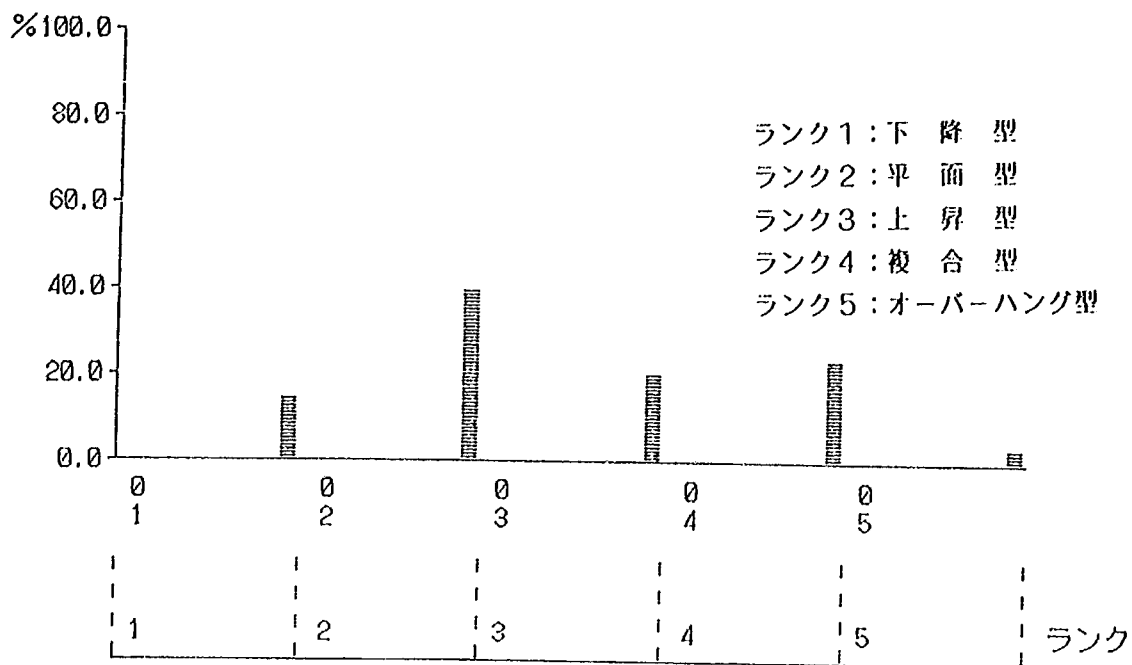


図 5 - 4(a) 斜面崩壊発先頻度

4 (c)で表される。

次に、Fuzzy 推論の最終的な命題「地震時に斜面崩壊は発生しない。」に対して縦断形状がどのような関係にあるかを Inverse Truth Functional Modification 法 (5.2 Fuzzy 推論の定式化参照) で求めた。

地震時の斜面崩壊発生に関する Fuzzy 命題図 (図 5 - 3 前掲) と図 5 - 4 (c)を用いて、縦断形状に関する I T F M 法で解析すると図 5 - 4 (d)となる。縦断形状と地震時の斜面崩壊発生の関係において

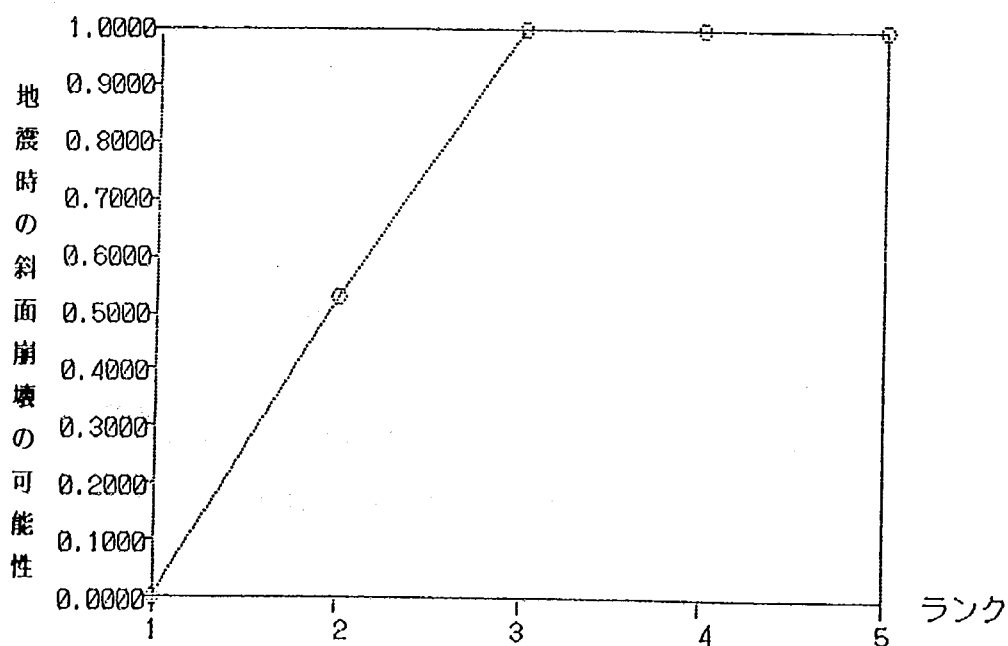


図 5 - 4(b) 斜面崩壊に関する仮定

出力されたメンバーシップ関数は Fuzzy 真理値図の false に似ている。

したがって，“地震時に斜面崩壊が発生しない”という命題に対して，“偽”であるのと評価が得られる。このことは，地震時の斜面崩壊に関して，縦断形状がその要因になることを示している。

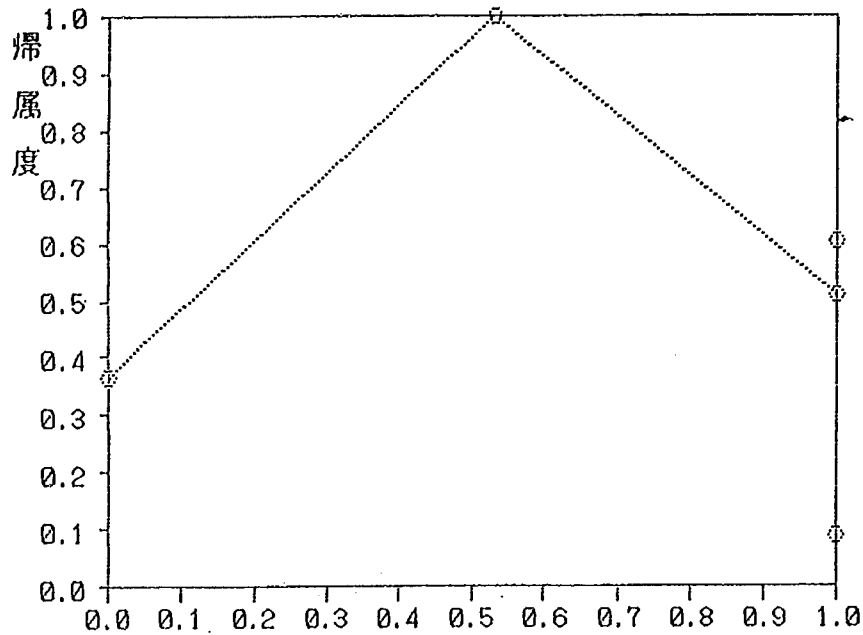


図 5 - 4(c) 地震時斜面崩壊と要因の Fuzzy 関係

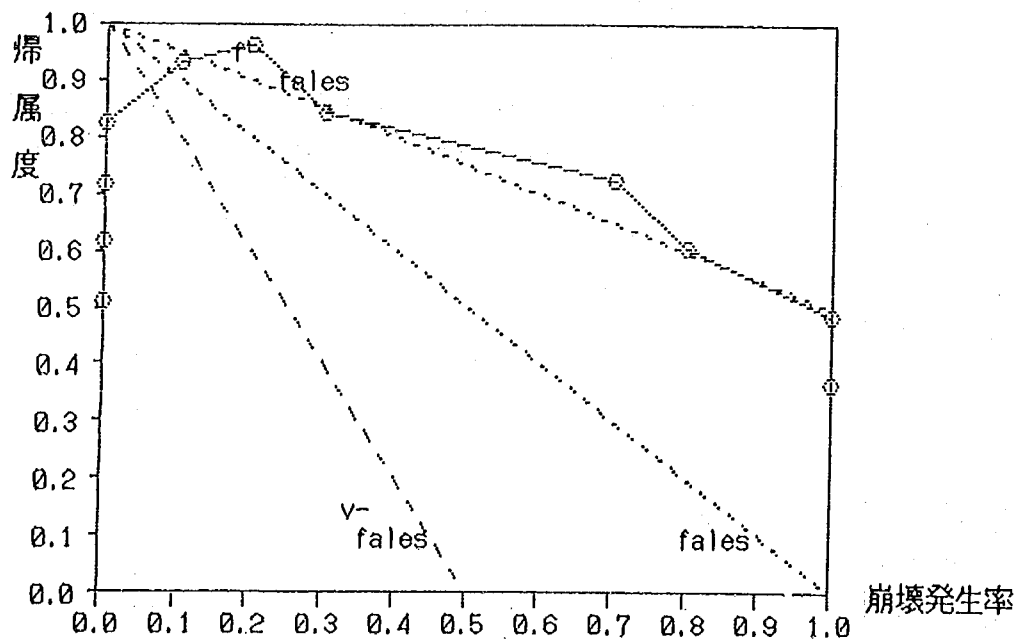


図 5 - 4(d) Fuzzy 推論による定性的評価

5.3.2 平面形状に関するFuzzy推論

前項と同様の手法で平面形状に関する検討を行った。検討結果を図5-5に示す。

平面形状と地震時の斜面崩壊発生の関係について、Fuzzy推論により出力されたメンバーシップ関数はFuzzy真理値図のfalseに似ている。このことは平面形状の影響により“地震時に斜面崩壊が発生しない”という命題が“偽”であり、最終的な評価として、平面形状が地震時の斜面崩壊の要因となることを示している。

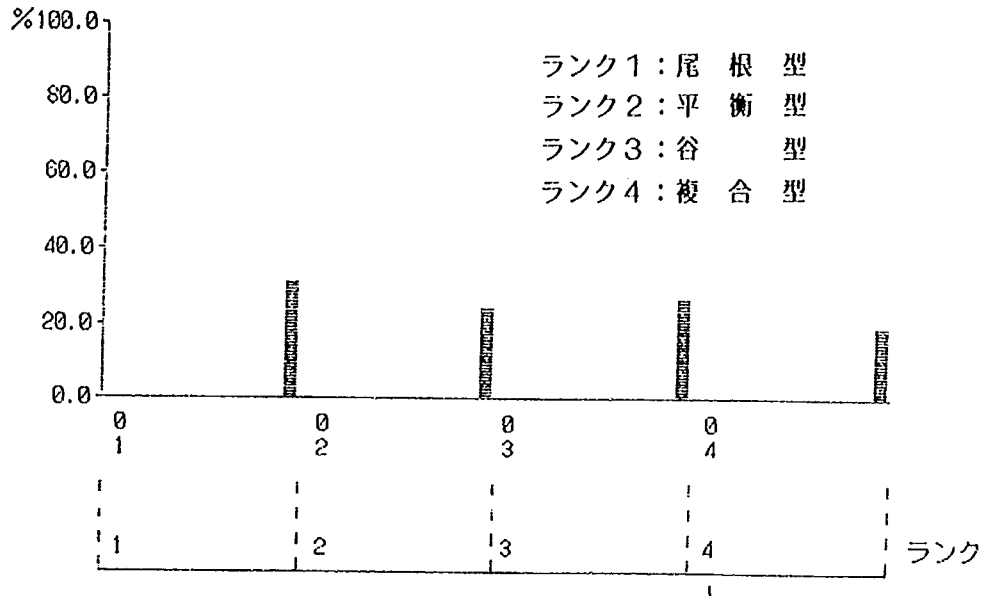


図5-5(a) 斜面崩壊発生頻度

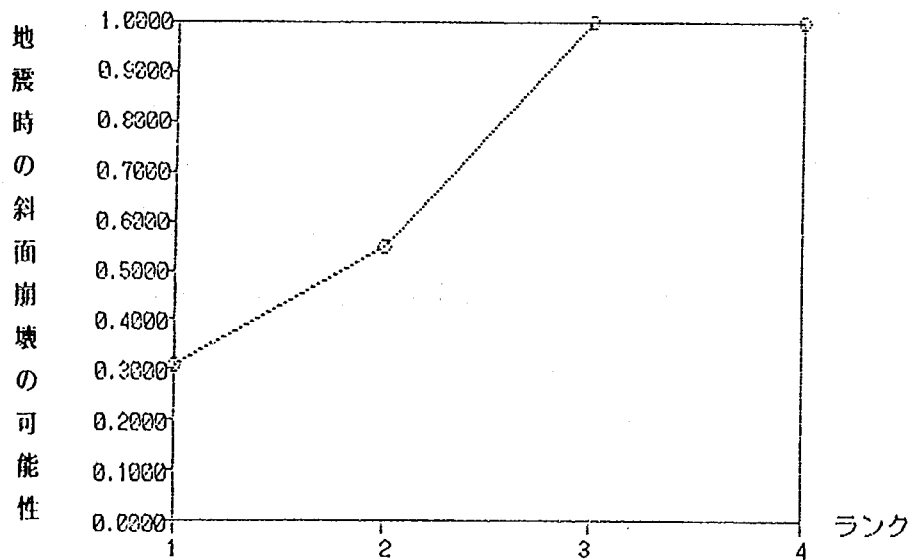


図5-5(b) 地震時の斜面崩壊率と平面形状

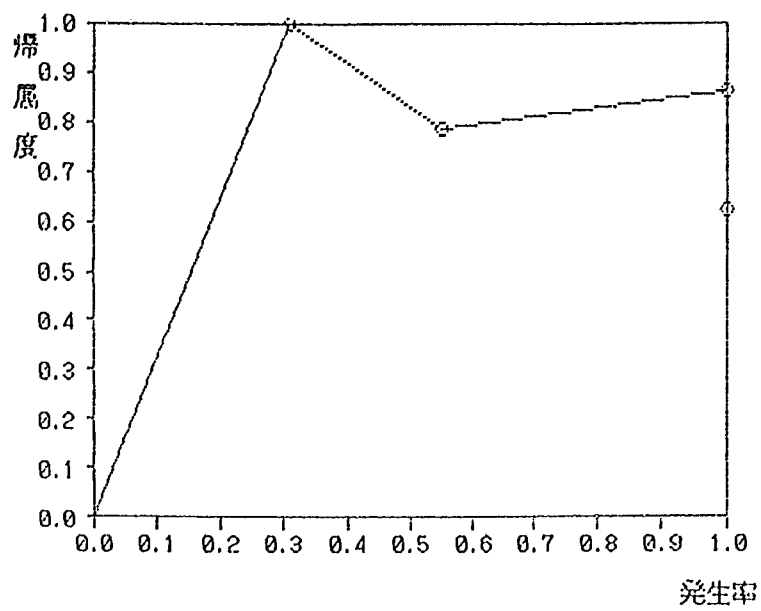


図 5 - 5(c) 地震時斜面崩壊と要因の Fuzzy 関係

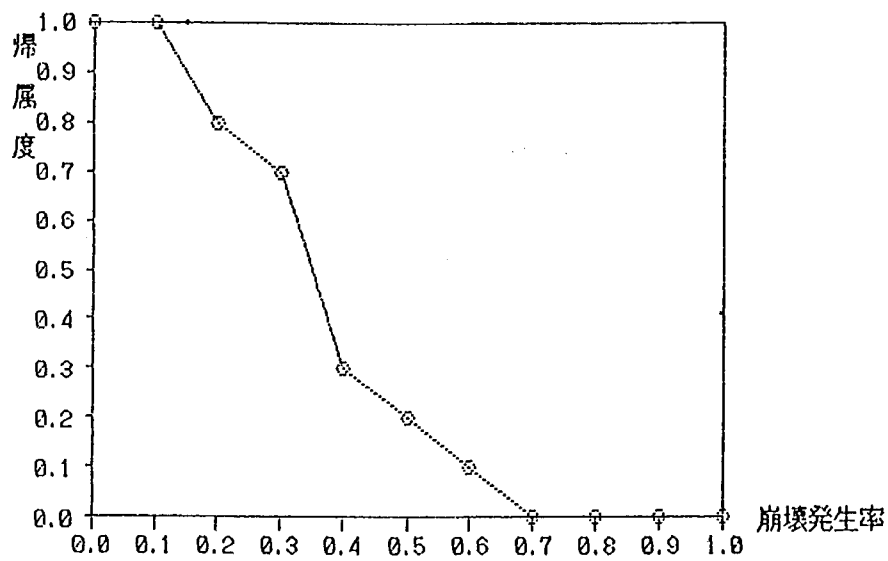


図 5 - 5(d) 地震時の斜面崩壊に関するファジィ集合

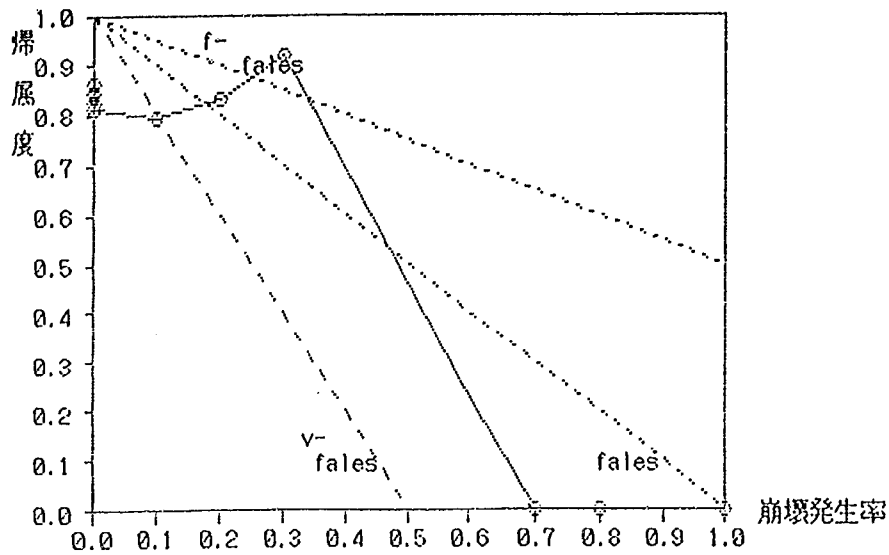


図5-5(e) Fuzzy推論による定性的評価

5.3.3 地質に関するFuzzy推論

前項と同様の手法で地質に関する検討を行った。検討結果を図5-6に示す。

地質と地震時の斜面崩壊発生の関係について、Fuzzy推論により出力されたメンバーシップ関数は真理値図のfalseに似ている。このことは地質の影響により“地震時に斜面崩壊が発生しない”という命題が“偽”であり、最終的な評価として、地質が地震時の斜面崩壊の要因となることを示している。

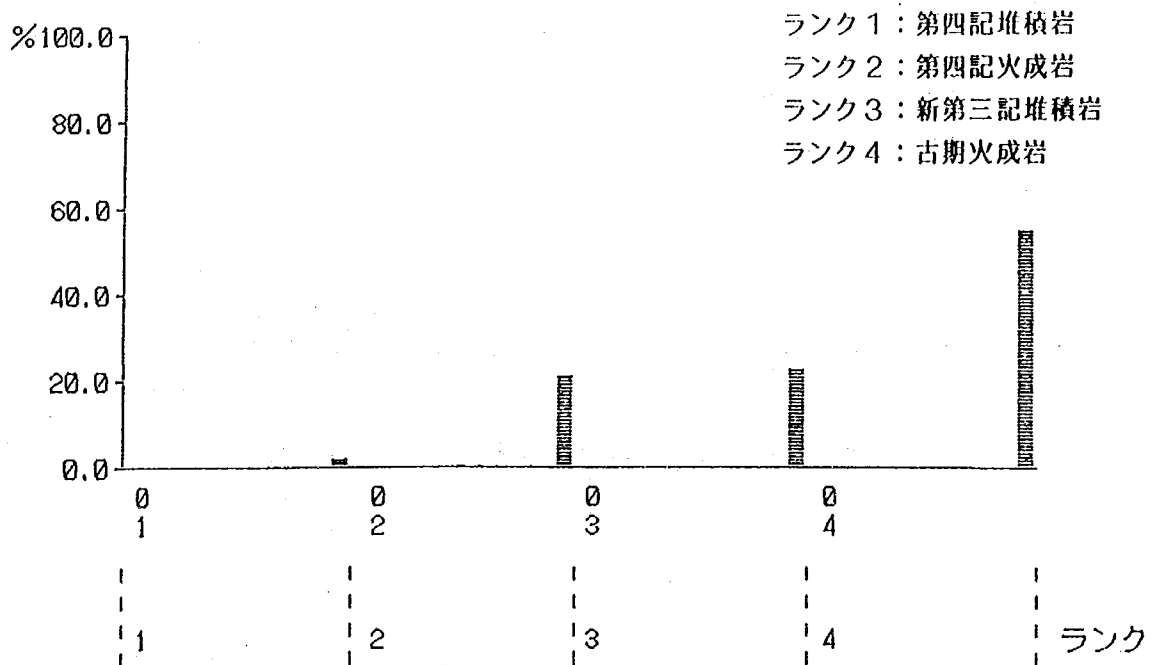


図5-6(a) 斜面崩壊発生頻度

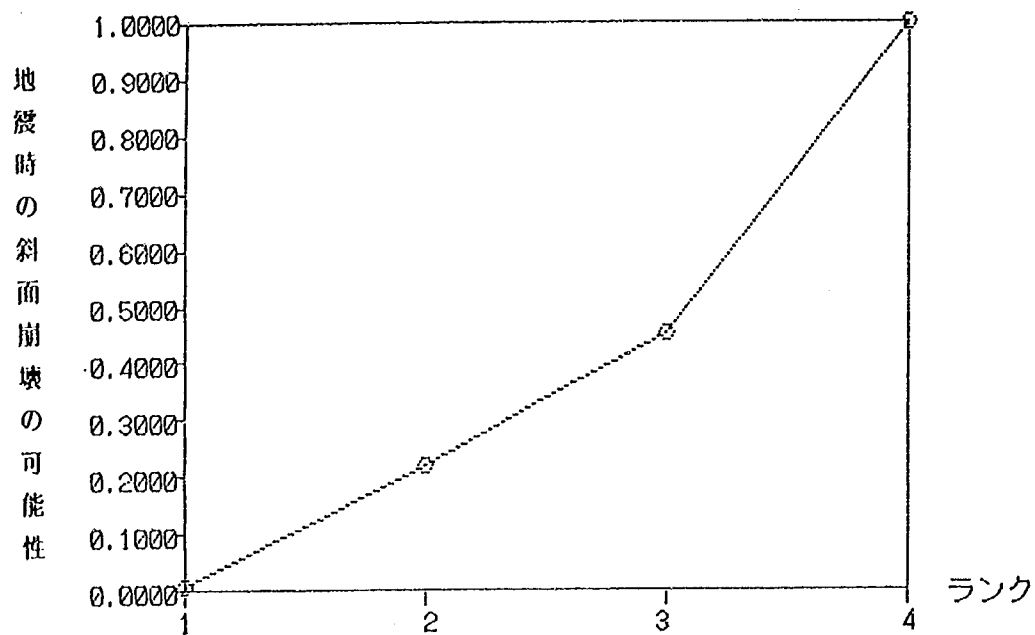


図 5 - 6 (b) 斜面崩壊に関する仮定

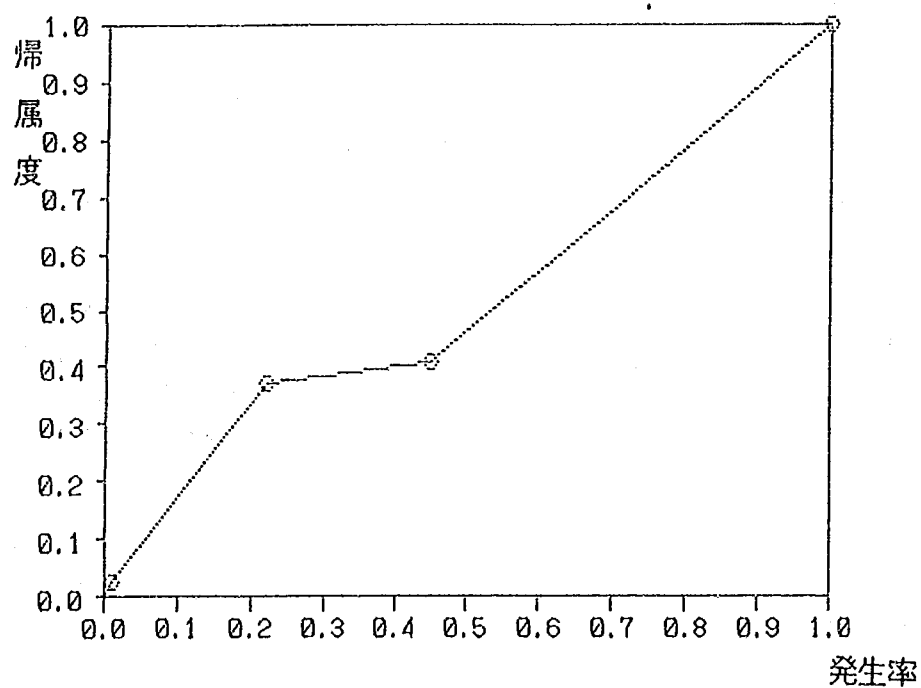


図 5 - 6 (c) 地震時斜面崩壊と要因の Fuzzy 関係

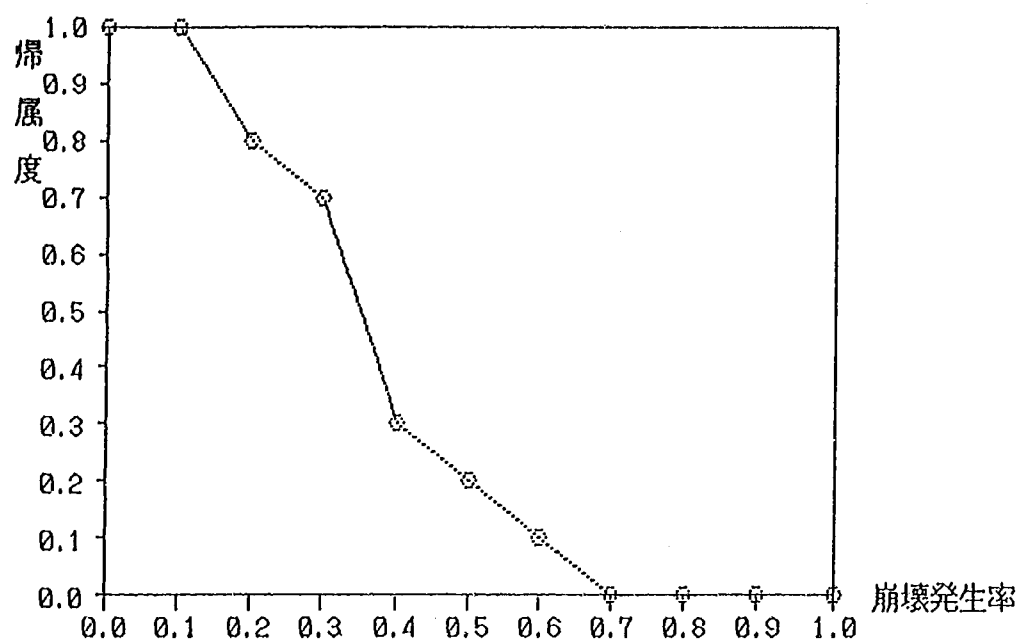


図 5 - 6 (d) 地震時の斜面崩壊発生に関するファジィ集合

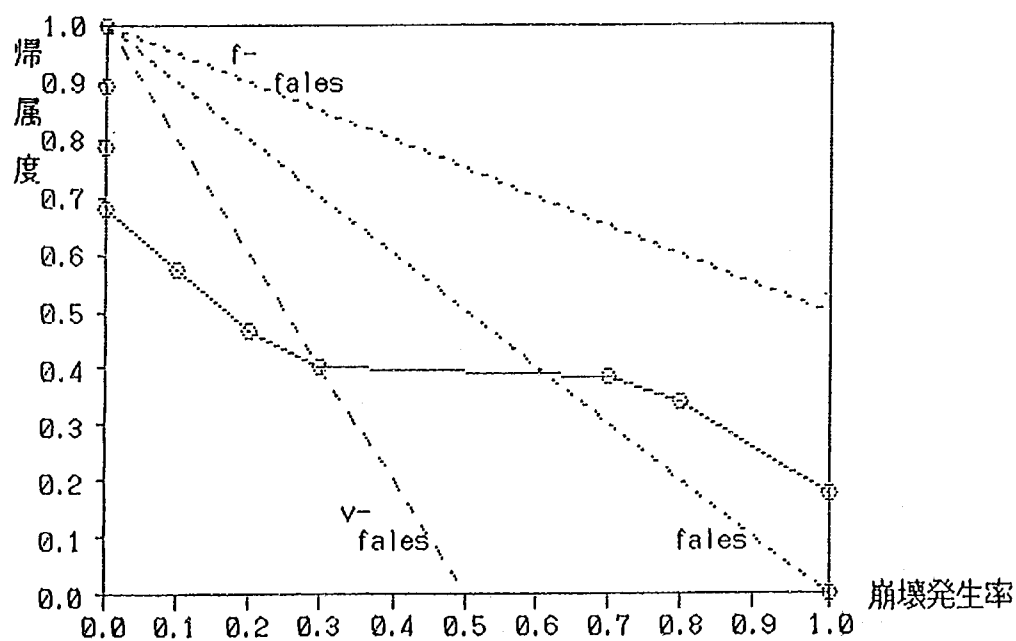


図 5 - 6 (e) Fuzzy 推論による定性的評価

5.3.4 断層に関する Fuzzy 推論

前項と同様の手法で断層に関する検討を行った。検討結果を図 5-7 に示す。

断層と地震時の斜面崩壊発生の関係について、Fuzzy 推論により出力されたメンバーシップ関数は Fuzzy 真理値図の true に似ている。このことは断層の影響により“地震時に斜面崩壊が発生しない”という命題が“真”であり、最終的な評価として、断層が地震時の斜面崩壊の要因とはならないこと

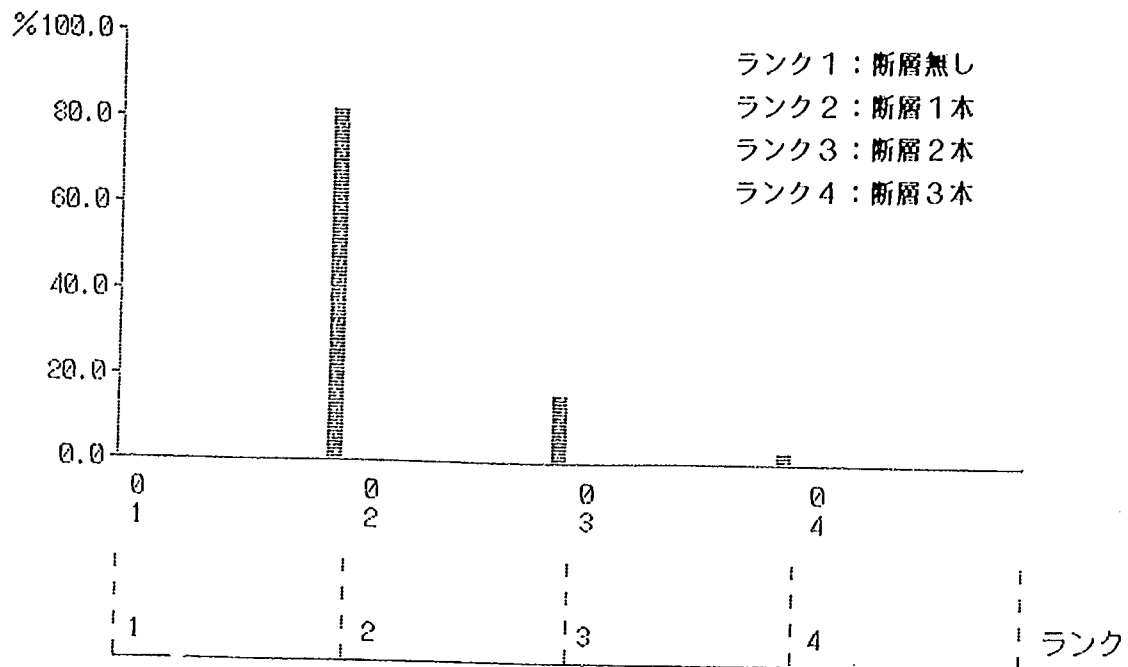


図 5-7(a) 斜面崩壊発生頻度

を示している。

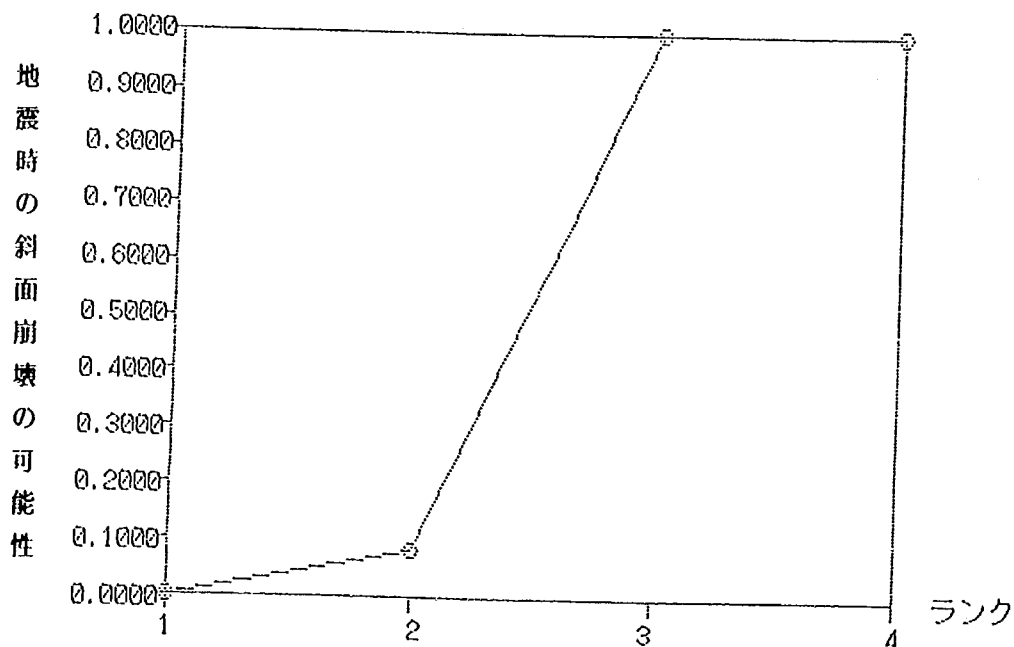


図 5-7(b) 斜面崩壊に関する仮定

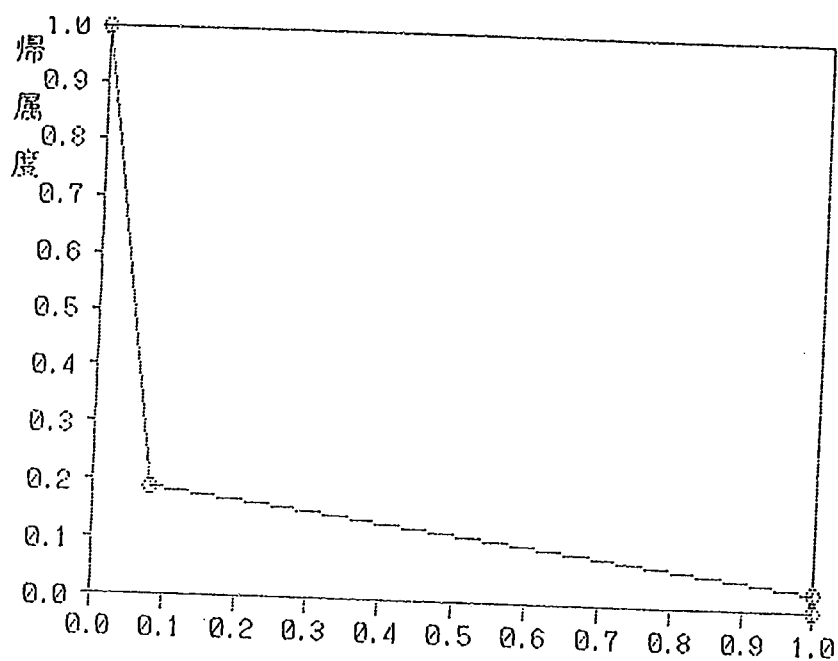


図 5-7(c) 地震時斜面崩壊と要因の Fuzzy 関係

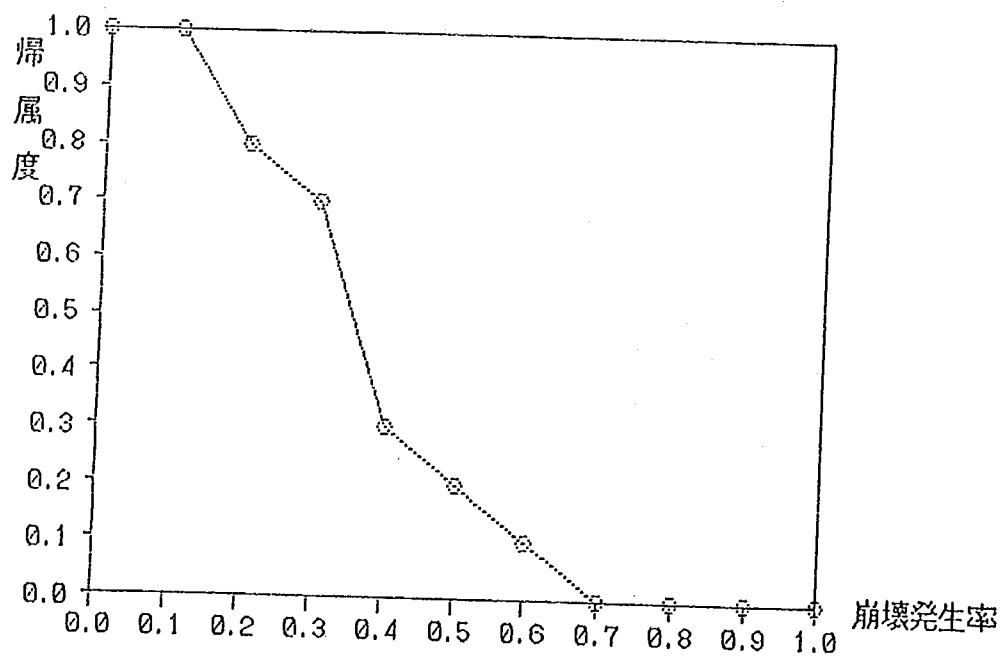


図 5-7(d) 地震時の斜面崩壊に関するファジィ集合

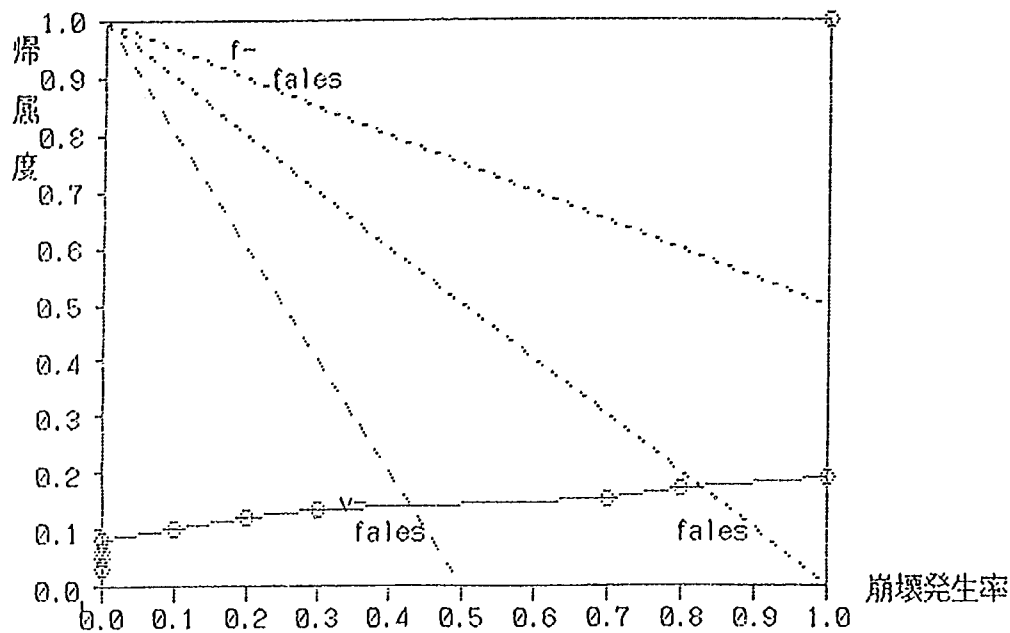


図 5 - 7 (e) Fuzzy 推論による定性的評価

5.3.5 震度に関する Fuzzy 推論

前項と同様の手法で震度に関する検討を行った。検討結果を図 5 - 8 に示す。

震度と地震時の斜面崩壊発生率の関係について、Fuzzy 推論により出力されたメンバーシップ関数は Fuzzy 真理値図の false に似ている。このことは震度の影響により“地震時に斜面崩壊が発生しない”という命題が“偽”であり、最終的な評価として、震度が地震時の斜面崩壊の要因となることを示している。

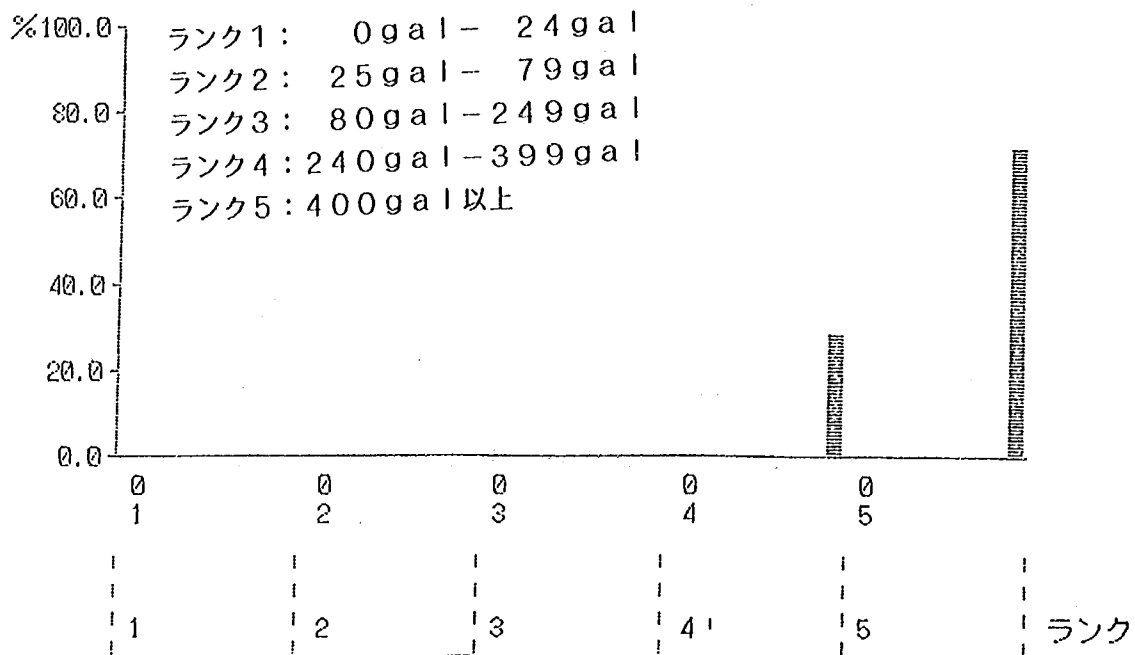


図 5 - 8 (a) 斜面崩壊発生頻度

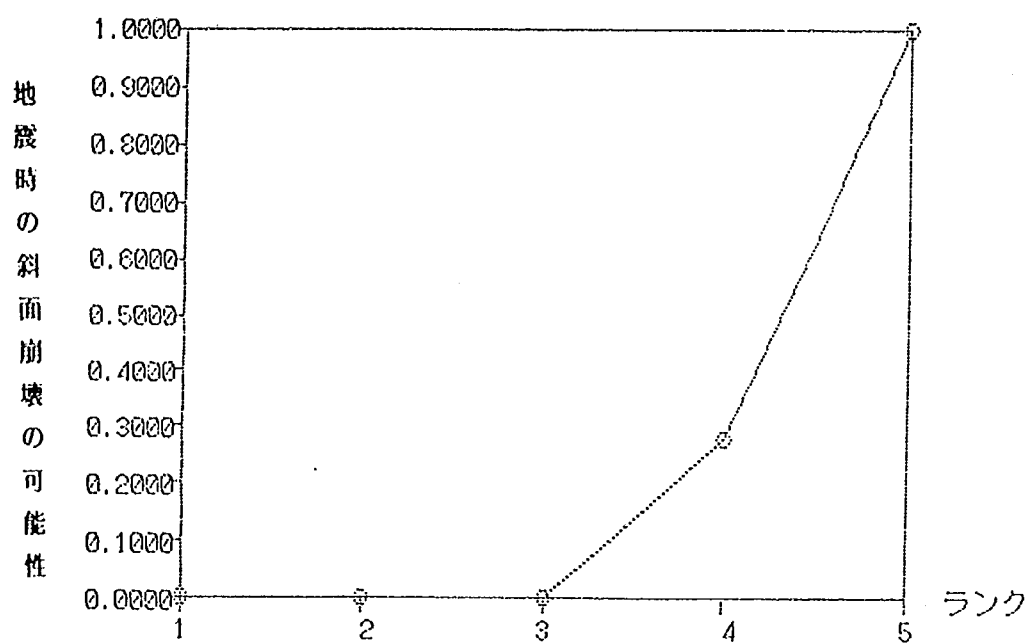


図5-8(b) 斜面崩壊に関する仮定

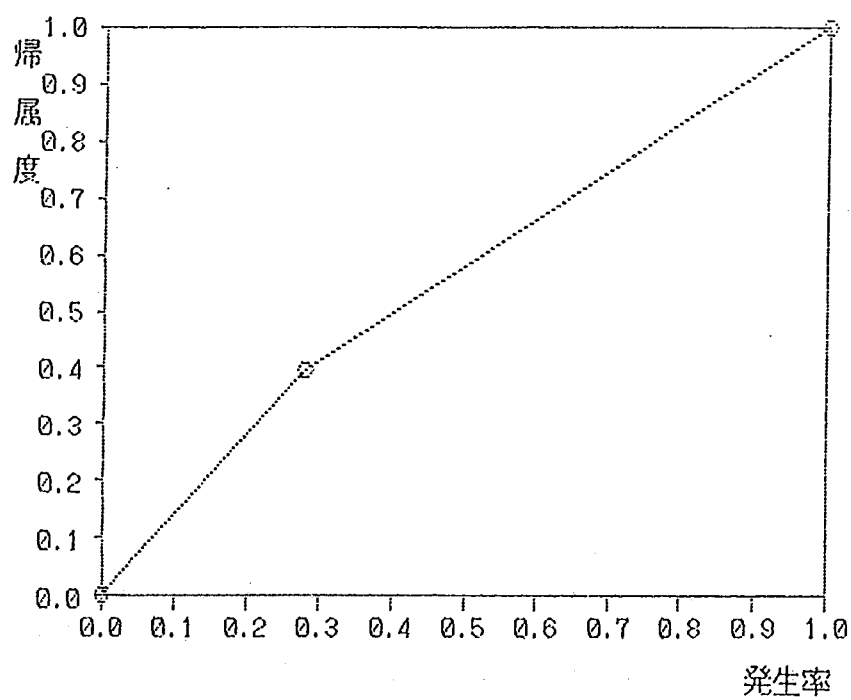


図5-8(c) 地震時斜面崩壊と要因の Fuzzy 関係

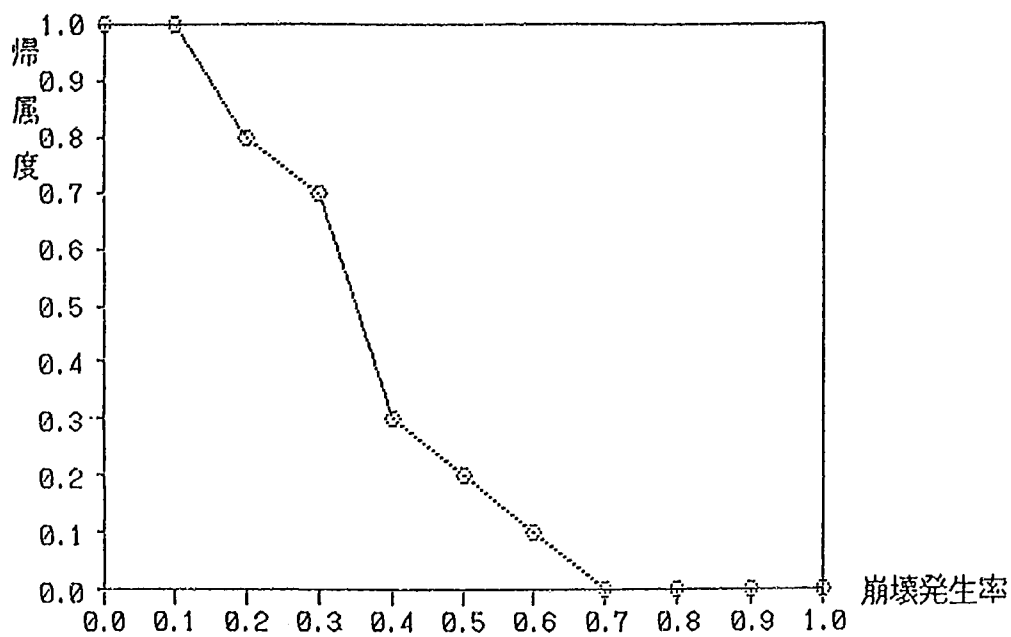


図 5 - 8 (d) 地震時の斜面崩壊発生に関するファジィ集合

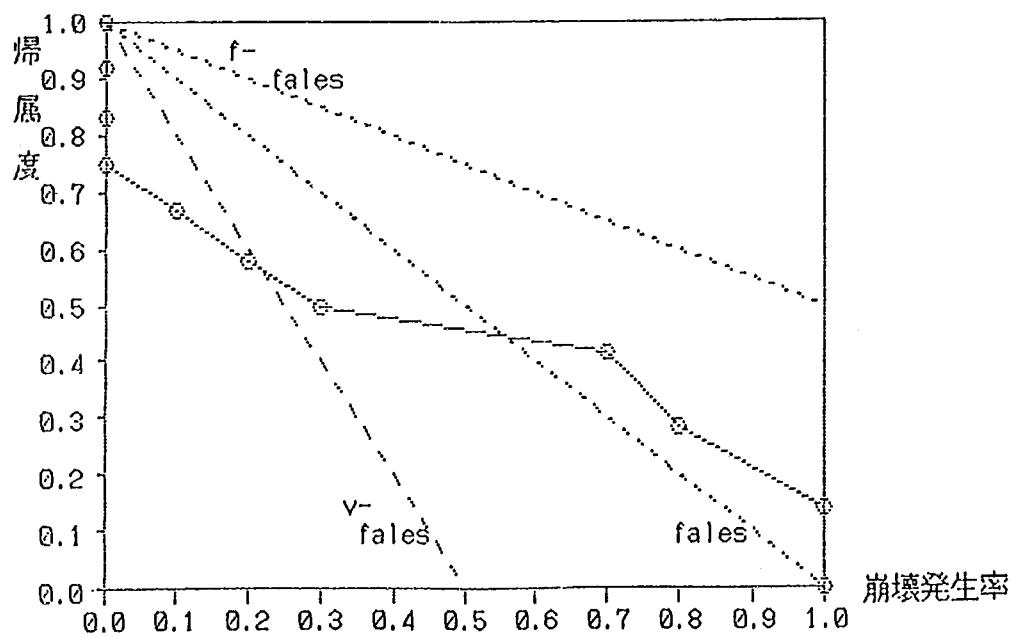


図 5 - 8 (e) Fuzzy 推論による定性的評価

5.3.6 植生に関するFuzzy推論

前項と同様の手法で植生に関する検討を行った。検討結果を図5-9に示す。

植生と地震時の斜面崩壊発生の関係について、Fuzzy推論により出力されたメンバーシップ関数はFuzzy真理値図のfalseに似ている。このことは植生の影響により“地震時に斜面崩壊が発生しない”という命題が“偽”であり、最終的な評価として、植生が地震時の斜面崩壊の要因となることを示している。

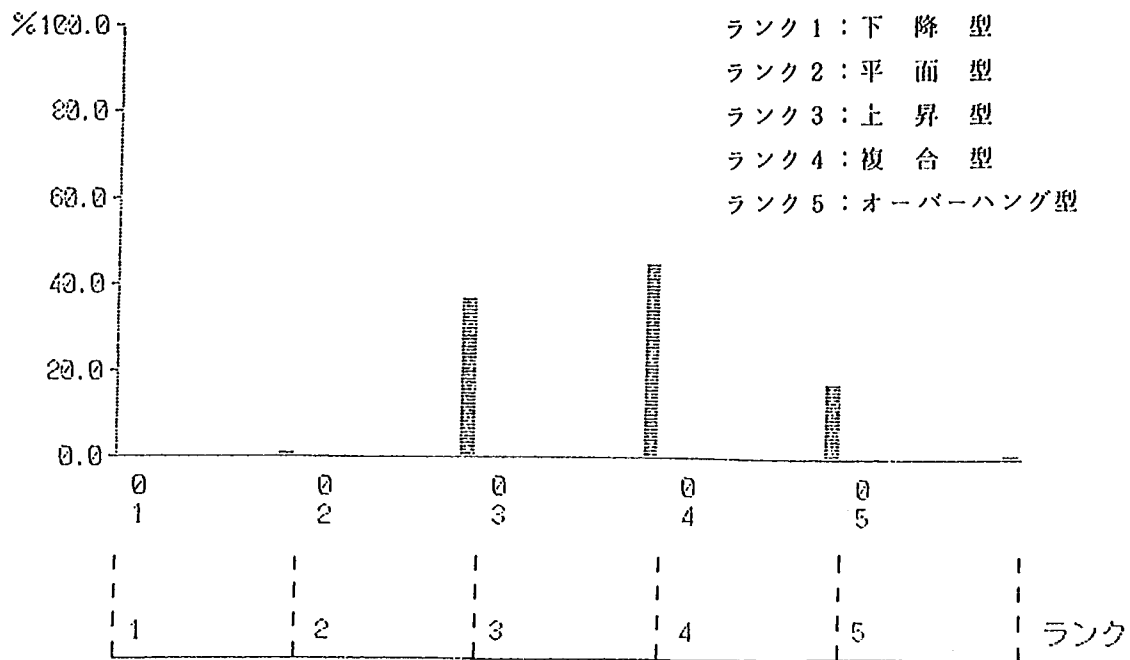


図5-9(a) 斜面崩壊発生頻度

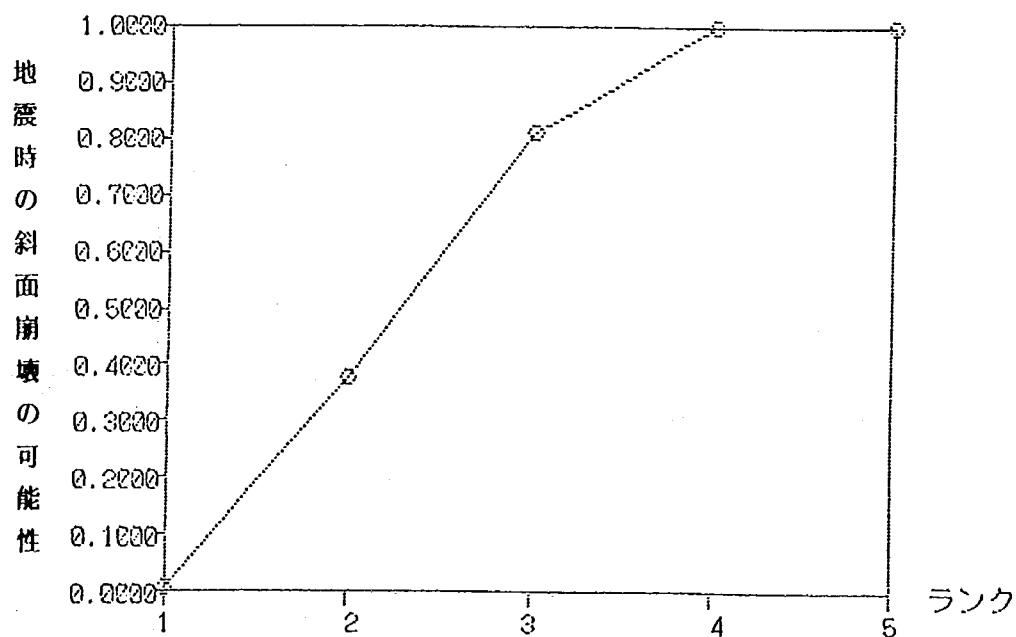


図5-9(b) 斜面崩壊に関する仮定

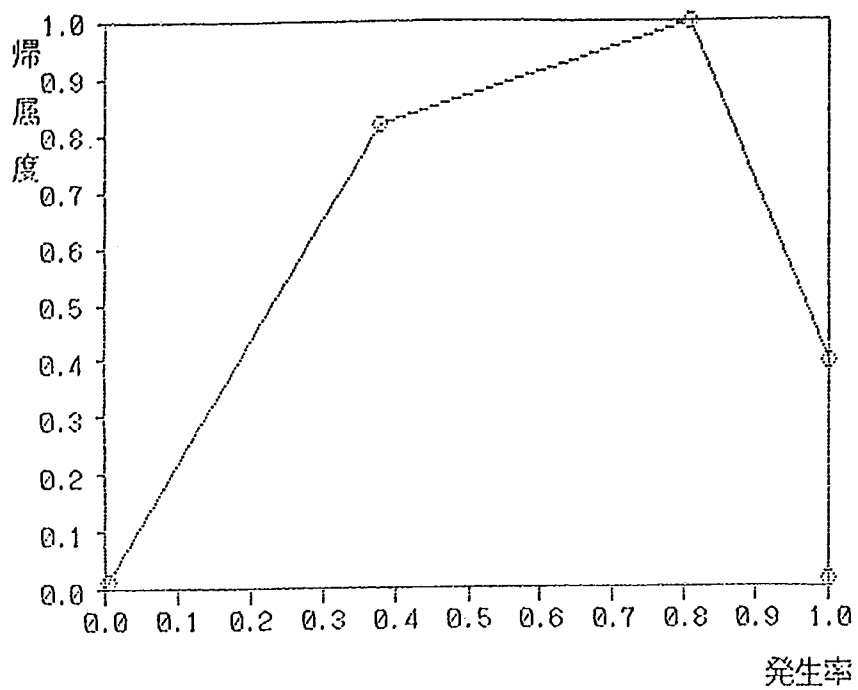


図 5 - 9(c) 地震時斜面崩壊と要因の Fuzzy 関係

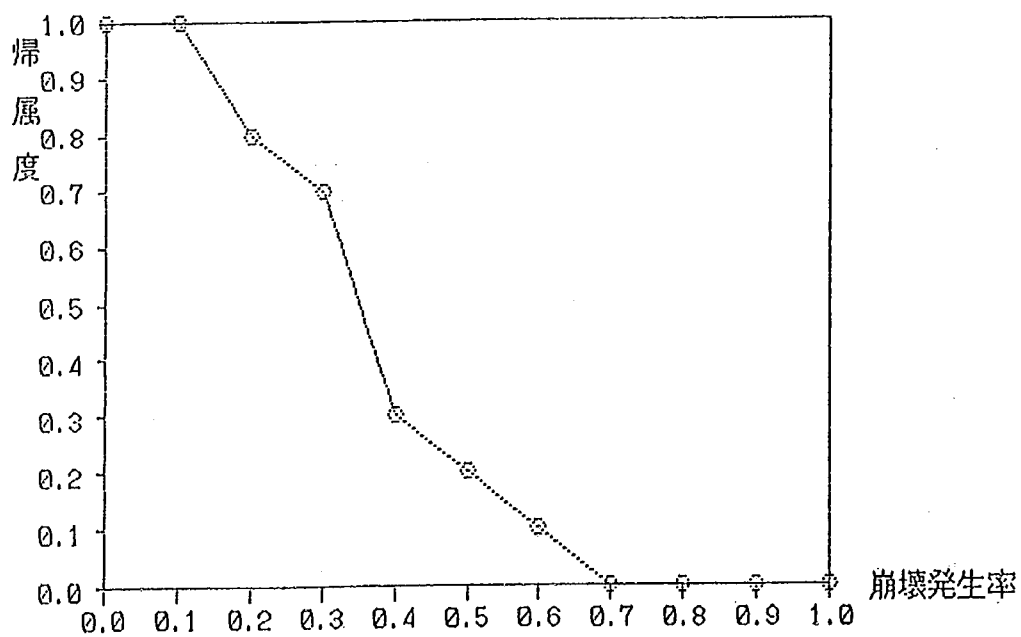


図 5 - 9(d) 地震時の斜面崩壊発生に関するファジィ集合

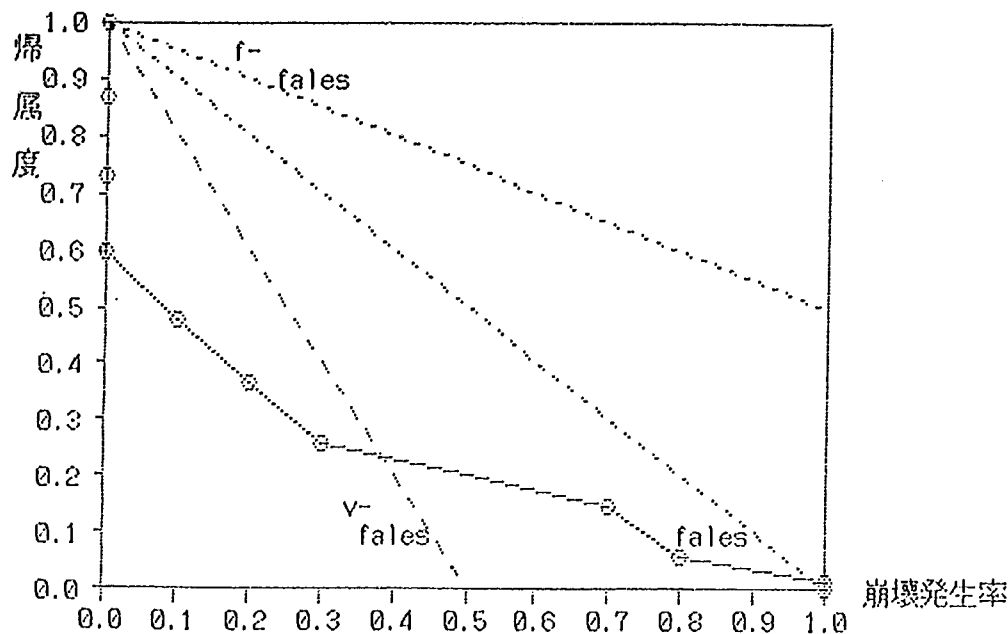


図 5 - 9(e) Fuzzy 推論による定性的評価

5.3.7 斜面高に関する Fuzzy 推論

前項と同様の手法で斜面高に関する検討を行った。検討結果を図 5 - 10 に示す。

斜面高と地震時の斜面崩壊発生率の関係について、Fuzzy 推論により出力されたメンバーシップ関数は Fuzzy 真理値図の false に似ている。このことは斜面高の影響により“地震時に斜面崩壊が発生しない”という命題が“偽”であり、最終的な評価として、斜面高が地震時の斜面崩壊の要因となることを示している。

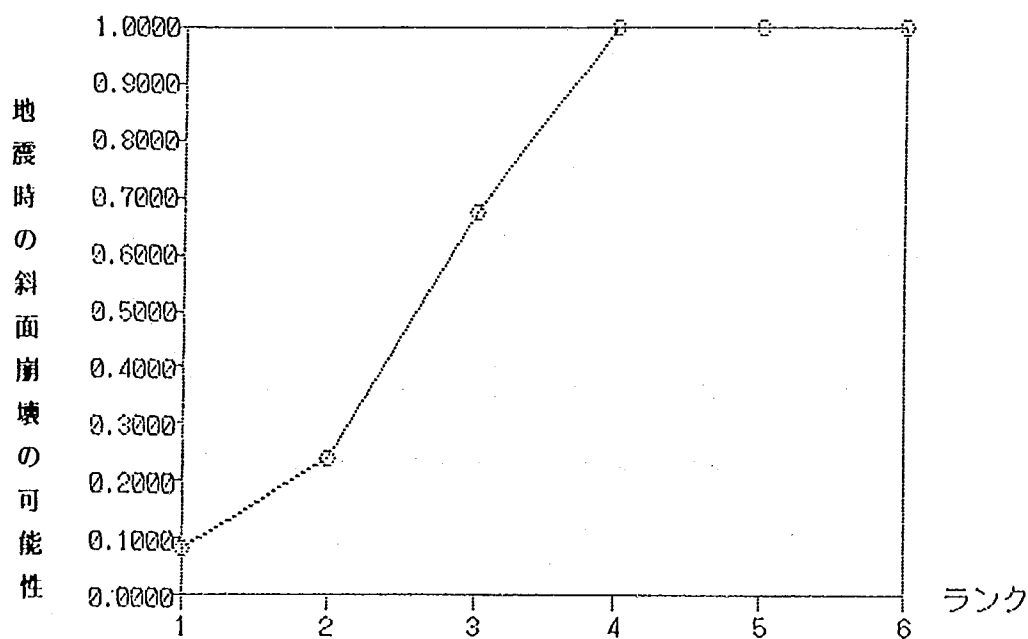


図 5 - 10(b) 斜面崩壊に関する仮定

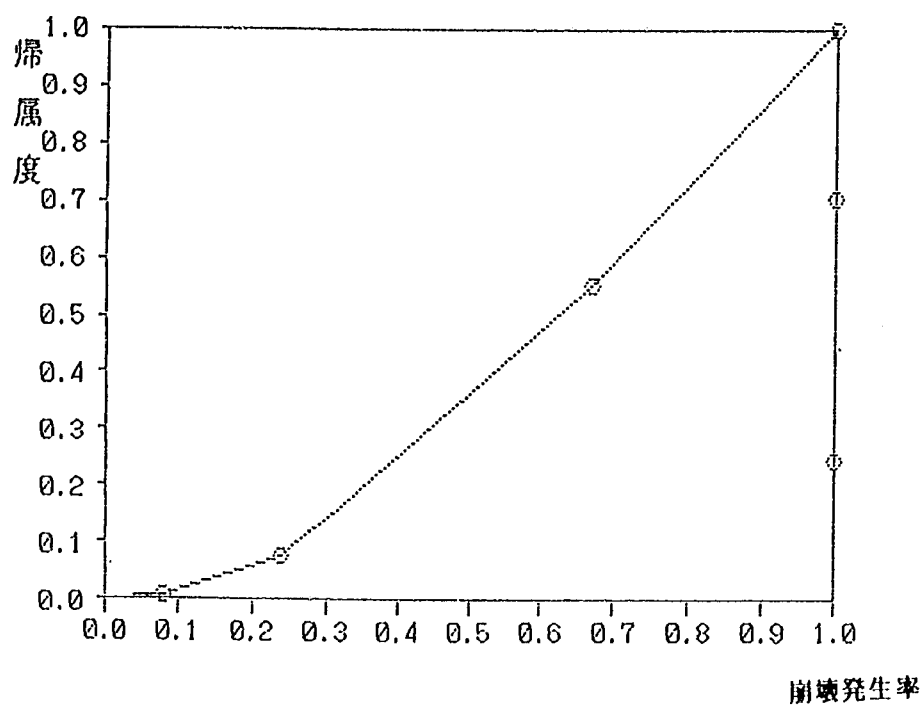


図 5 - 10(c) 地震時斜面崩壊と要因の Fuzzy 関係

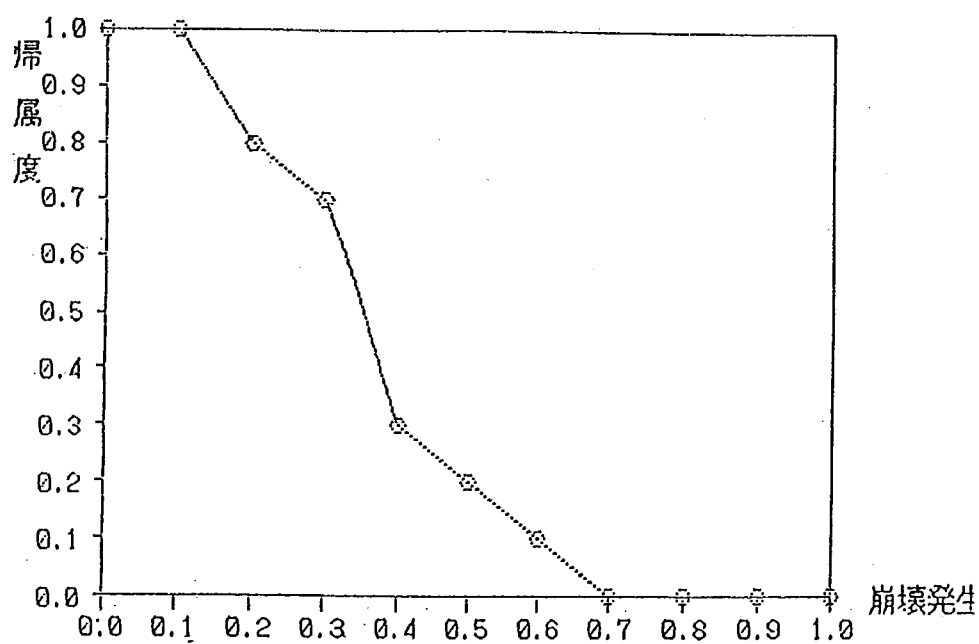


図 5 - 10(d) 地震時の斜面崩壊に関するファジィ集合

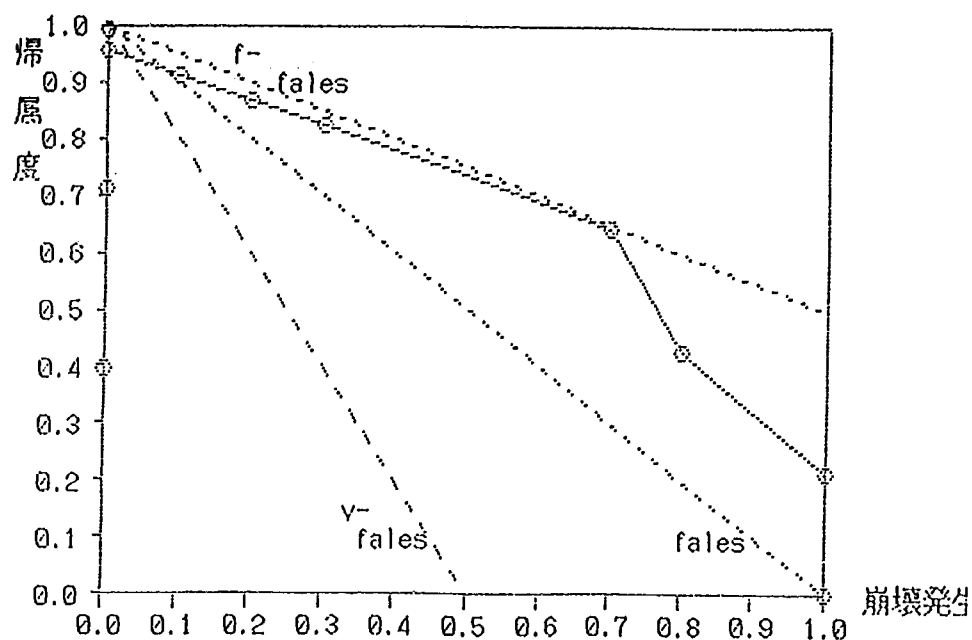


図5-10(e) Fuzzy 推論による定性的評価

5.3.8 勾配に関するFuzzy 推論

前項と同様の手法で斜面勾配に関する検討を行った。検討結果を図5-11に示す。

ランク1：20以下

ランク2：20-25以下

ランク3：25-30以下

ランク4：30-35以下

ランク5：35-40以下

ランク6：40-45以下

ランク7：45-50以下

ランク8：50より大きい

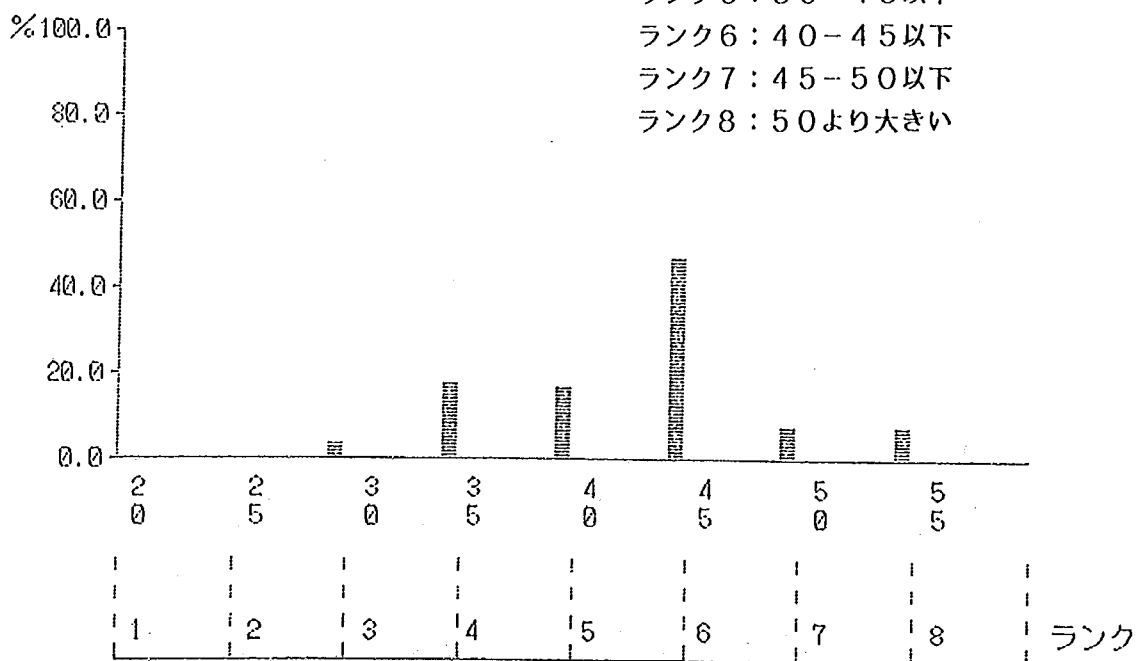


図5-11(a) 斜面崩壊発生頻度

斜面勾配と地震時の斜面崩壊発生の関係について、Fuzzy推論により出力されたメンバーシップ関数はFuzzy真理値図のfalseに似ている。このことは勾配の影響により“地震時に斜面崩壊が発生しない”という命題が“偽”であり、最終的な評価として、勾配が地震時の斜面崩壊の要因となることを示している。

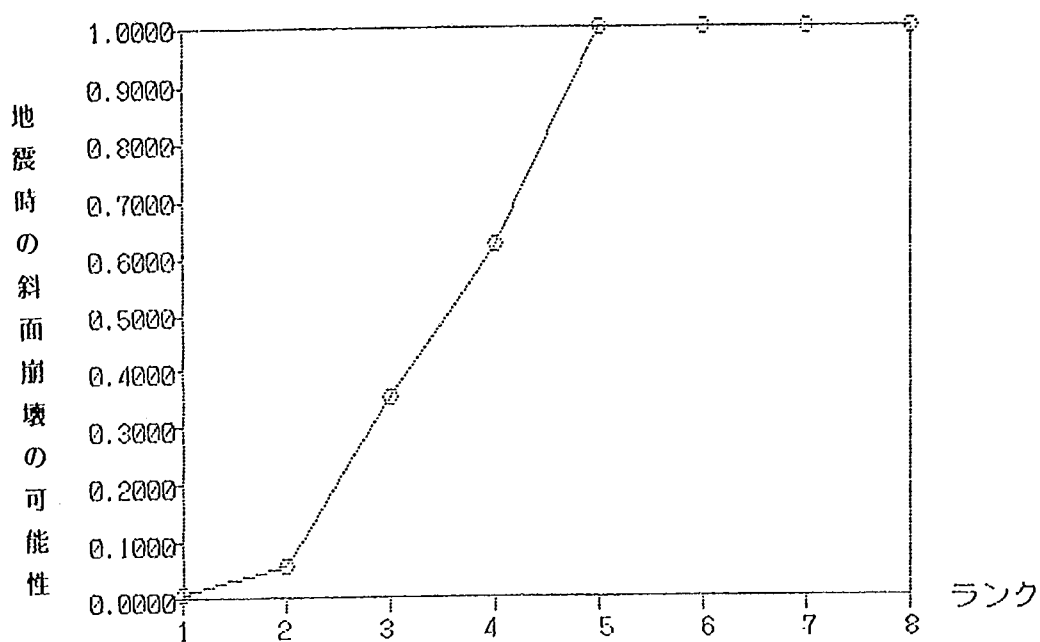


図5-11(b) 斜面崩壊に関する仮定

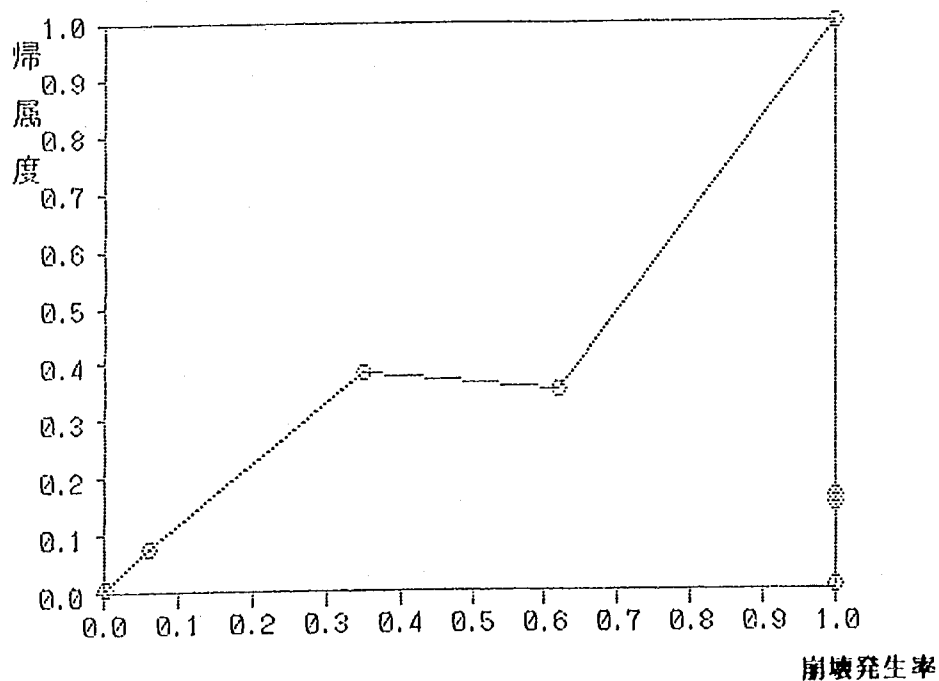


図5-11(c) 地震時斜面崩壊と要因のFuzzy関係

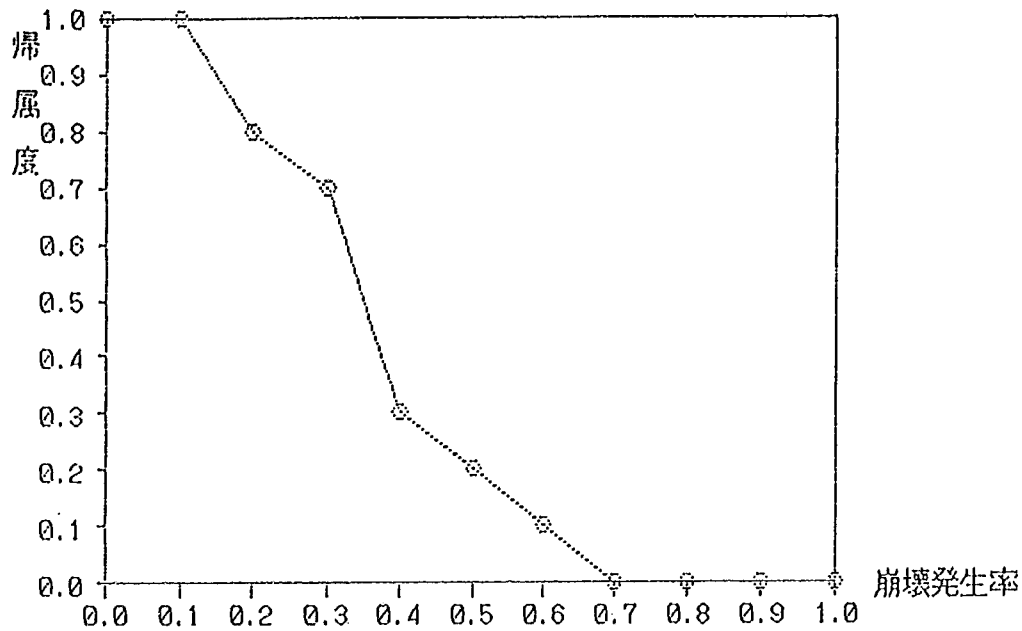


図 5-11(d) 地震時の斜面崩壊に関するファジィ集合

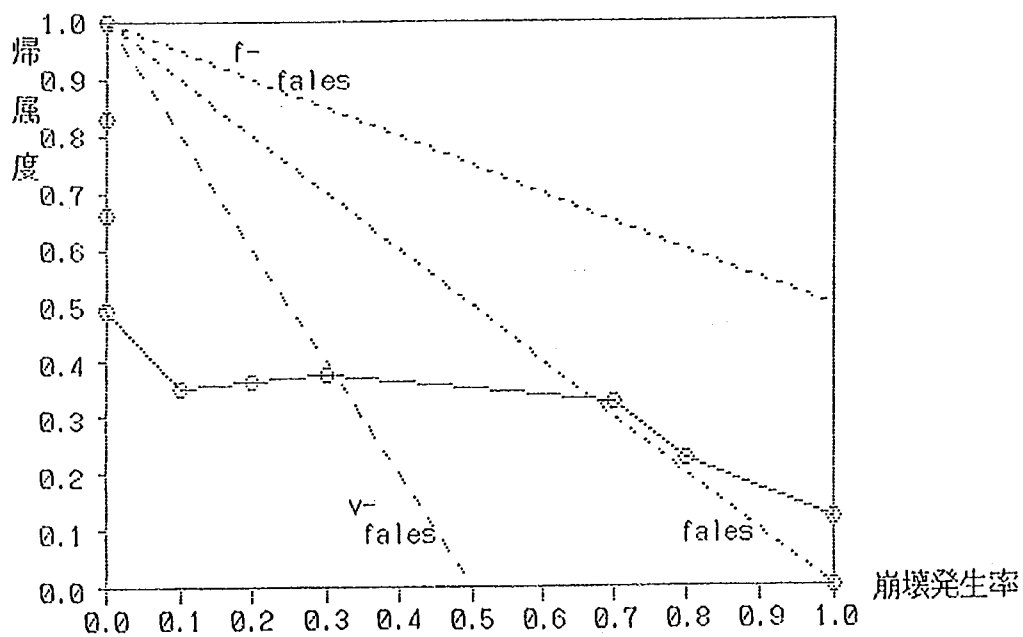


図 5-11(e) Fuzzy推論による定性的評価

5.3.9 土質に関するFuzzy推論

前項と同様の手法で土質に関する検討を行った。検討結果を図5-12に示す。

土質と地震時の斜面崩壊発生の関係について、Fuzzy推論により出力されたメンバーシップ関数はFuzzy真理値図のtrueに似ている。このことは土質の影響により“地震時に斜面崩壊が発生しない”という命題が“真”であり、最終的な評価として、土質が地震時の斜面崩壊の要因にならないことを

示している。

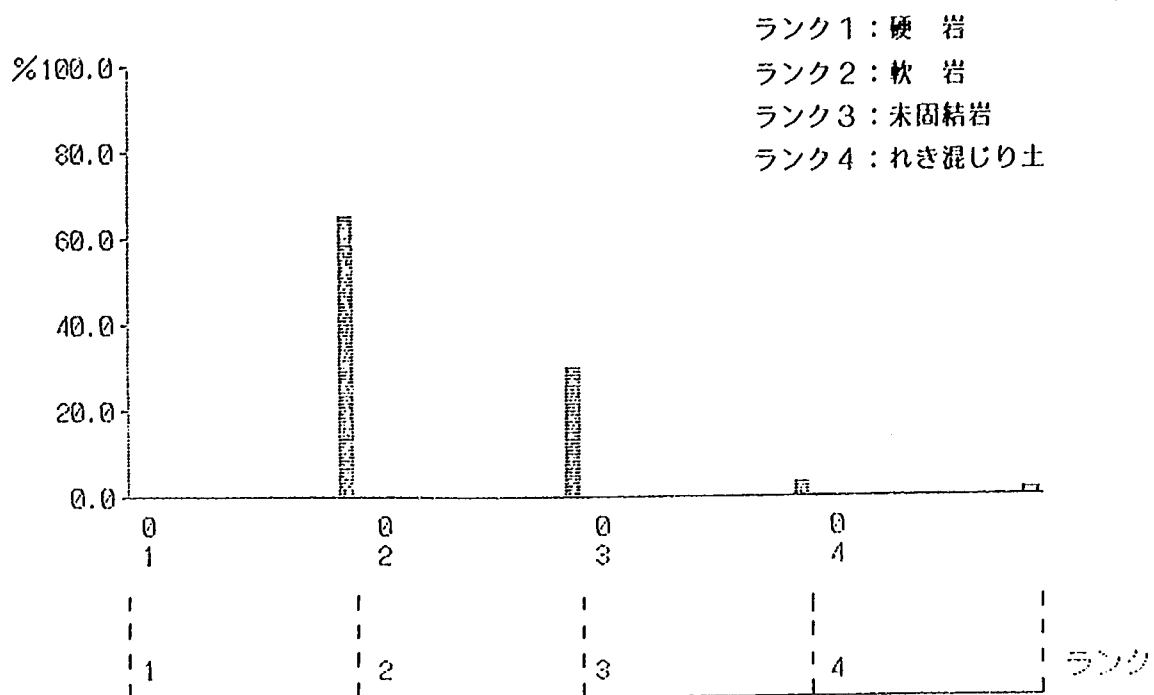


図5-12(a) 斜面崩壊発生頻度(土質)

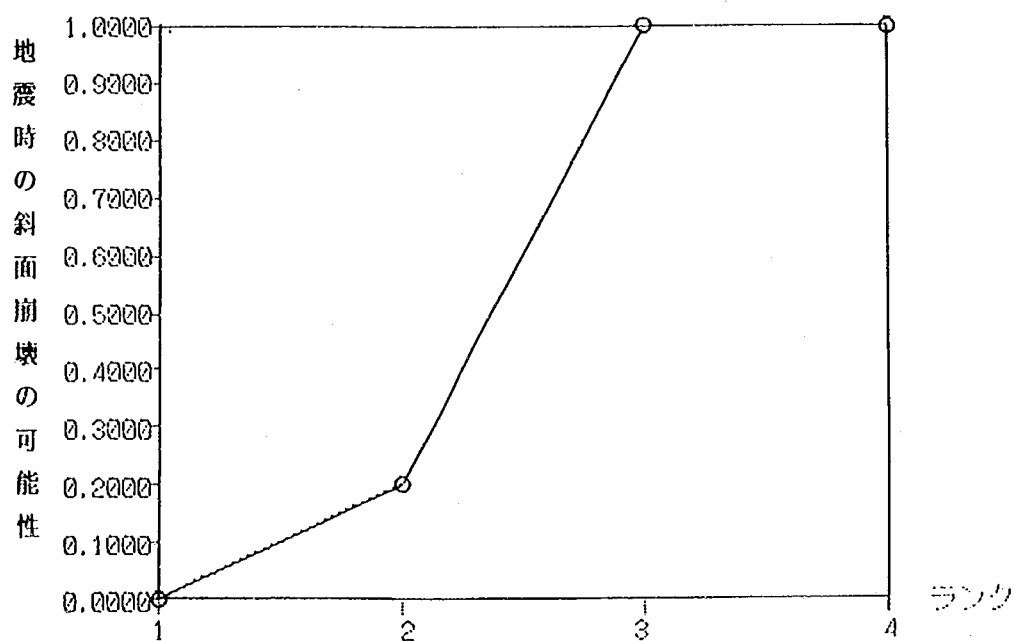


図5-12(b) 斜面崩壊に関する仮定

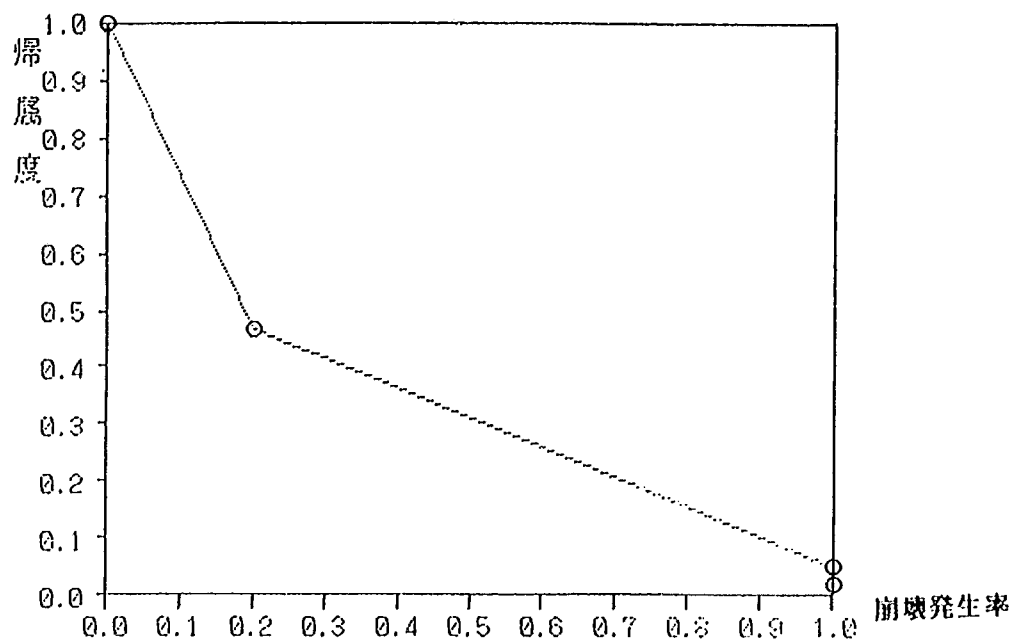


図 5-12(c) 地震時斜面崩壊と要因の Fuzzy 関係

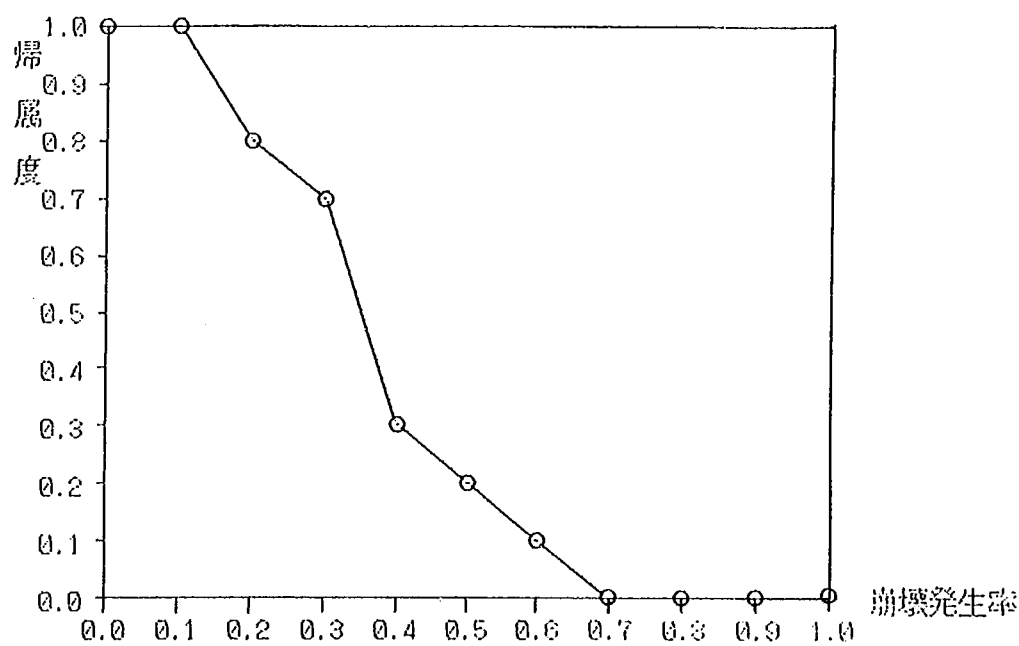


図 5-12(d) 地震時の斜面崩壊発生に関するファジィ集合

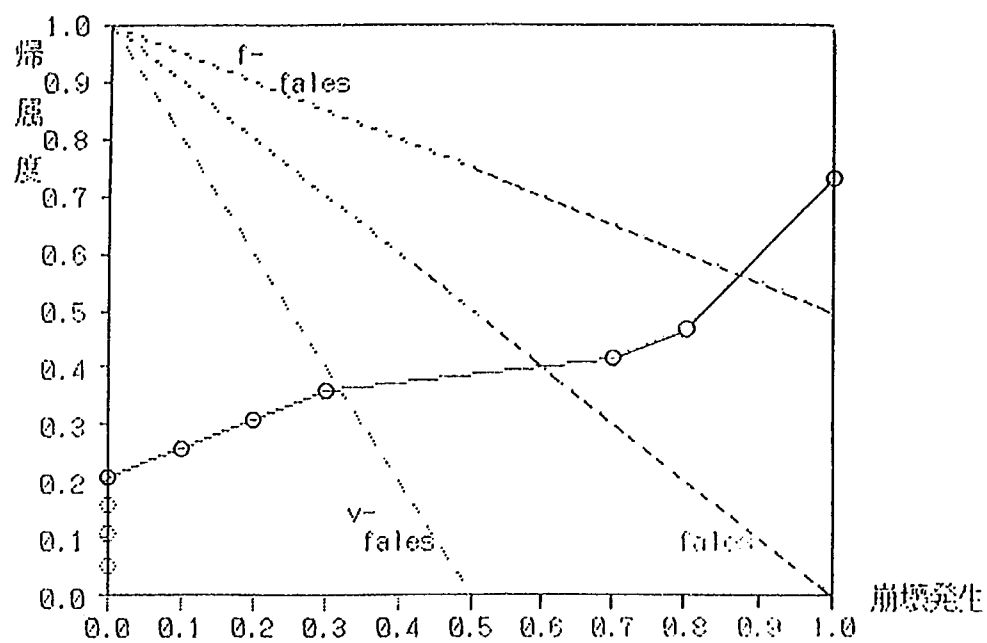


図5-12(e) Fuzzy推論による定性的評価

5.4 Fuzzy 推論による評価

地震時の斜面崩壊に関する各要因について Fuzzy 推論によって解析をし、Fuzzy 関係を求めて各種要因の影響について検討した。その結果を以下にまとめる。

(1) 地形的要因

図 5-13 に地形的要因に関する解析結果を示す。

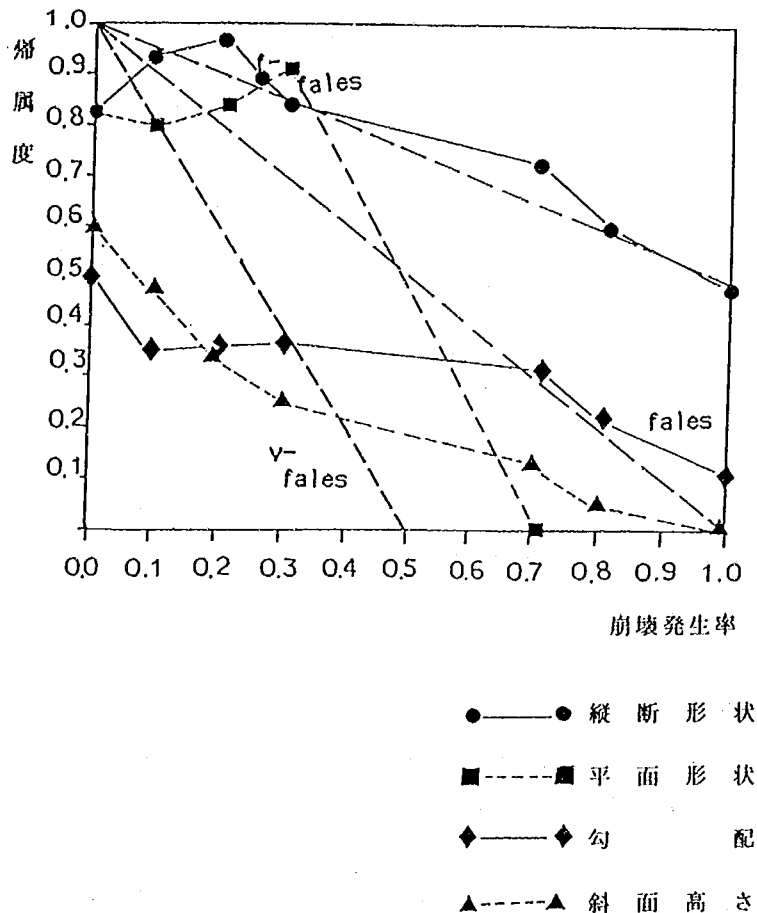


図 5-13 地形的要因に関する Fuzzy 推論解析結果

縦断形状、平面形状、勾配、及び斜面高さ地震時の斜面崩壊の関係について、出力されたメンバーシップ関数は、図 5-2 (前掲) に示す Fuzzy 真理値図の false に似ている。

このことは、地形的要因の縦断形状、平面形状、勾配、斜面高さの影響により“地震時に斜面崩壊が発生しない”という命題が“偽”であり、最終的な評価として、縦断形状、平面形状、勾配、斜面高さが地震時に斜面崩壊する際の影響要因になると言える。

(2) 地質的要因

図 5-14 に地質的要因についての解析結果を示す。

地質的要因の地質、土質、断層と地震時の斜面崩壊において出力されたメンバーシップ関数は、Fuzzy 真理値に対し、地質が false、土質、断層が true に似ている。

このことは、地震の影響により、“地震時に斜面崩壊が発生しない”という命題は“偽”となり、

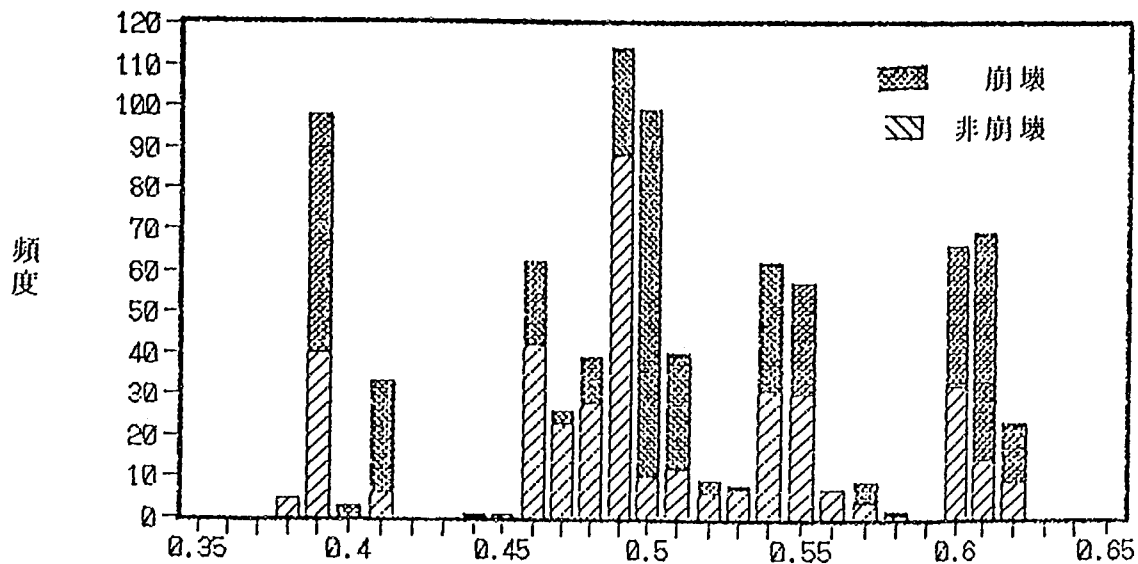


図5-14 境界ファジィ積分値を用いた地震時の斜面崩壊・非崩壊の検証

土質、断層は“真”となることを意味している。最終的な評価として、地質的要因の地質は地震時に斜面崩壊する際に影響し、土質、断層の影響は少ないことを示している。

土質、断層の影響が少なくなった理由としては、

- 1) 伊豆大島近海地震では断層のない場合でも崩壊が多く、崩壊発生比率も断層がない場合に1.0以上である(図5-15)。
- 2) 伊豆大島近海地震では、硬岩、軟岩の発生比率が高く、土砂系の発生比率が少ない(図5-16)。一方、本解析では土砂系が崩壊しやすく岩系は崩壊しにくいメンバーシップ関数を選定したことがこのような結果になったと考えられる。

(3) 環境要因

図4-5(前掲)の最終構造化モデルの各種環境要因のうち、最下層に位置する要因は過去の崩壊と植生であるが、今回は、植生に関してFuzzy推論解析を行った。その結果、図5-9(d)(前掲)から環境要因の植生は地震時斜面崩壊の影響要因になることがわかった。

(4) 地震要因

図4-5のうち、最下層に位置する要因は震度であり、Fuzzy推論解析の結果、図5-8(d)(前掲)から地震要因である震度は地震時斜面崩壊の影響要因になることがわかった。

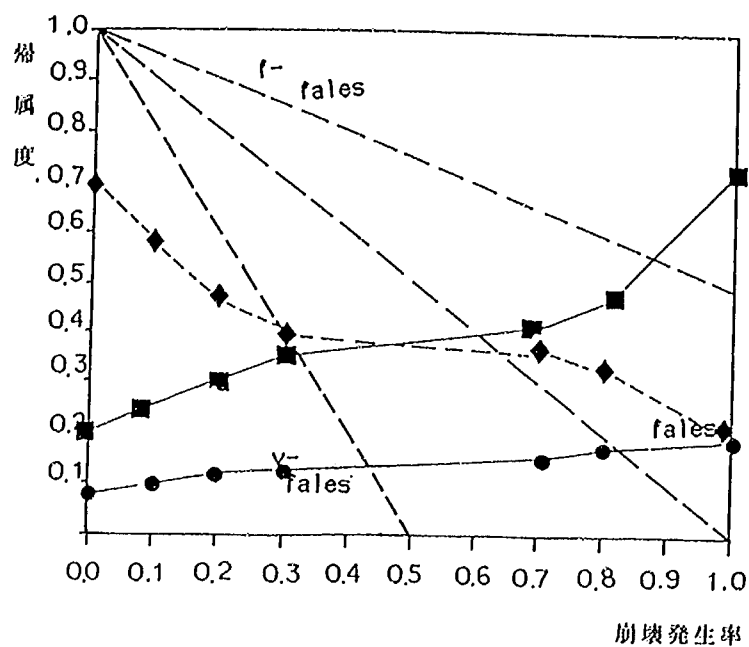


図 5-14 地質的要因に関する Fuzzy 推論解析結果

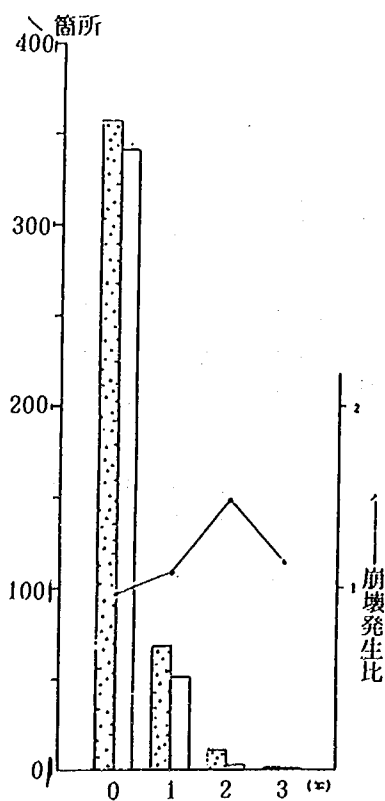


図 5-15 断層の本数(伊豆大島近海地震)

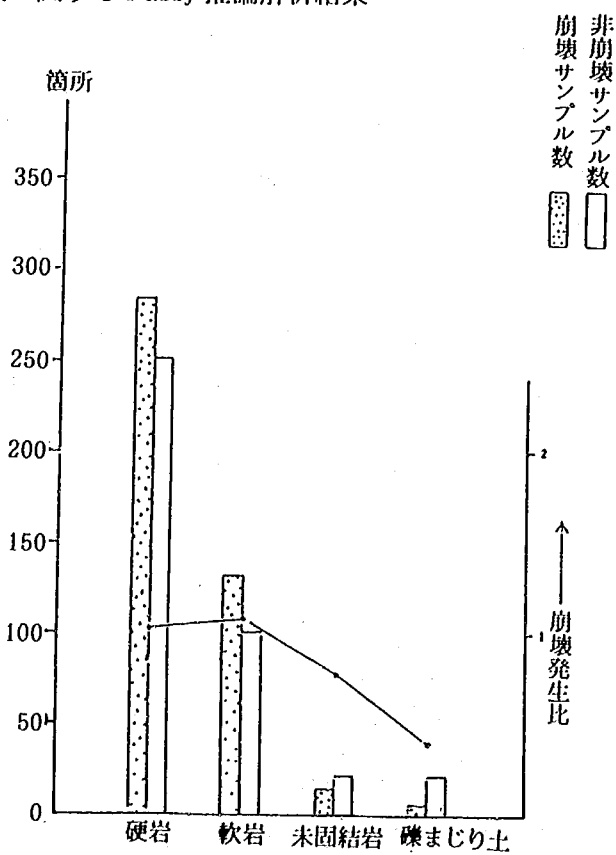


図 5-16 土質状況(伊豆大島近海地震)

6. Fuzzy 積分による解析

6.1 Fuzzy 積分の概要

前章の Fuzzy 推論では、地震時の斜面崩壊に関する要因について Fuzzy 関係を求め、Fuzzy 真理値図と比較することにより、地震時の斜面崩壊に対する各要因の影響度を定性的に評価した。

Fuzzy 積分では、地震時の斜面崩壊の可能性の大・小を high, Medium, Low といった言語変数により評価する。この手法は、地震時の斜面崩壊に関する影響度を言語で入力し、地震時の斜面崩壊について定量的な評価が可能となる。したがって、地震時の斜面崩壊を直接的に予測することができる。

以下に、Fuzzy 積分による解析の具体的な手順を説明する。

1) Fuzzy 積分に関するプログラム作成

斜面崩壊機構の構造化モデルを Fuzzy 積分するプログラムを作成する。

2) 言語変数への変換基準の設定と言語変数

構造化モデルの各要因に関する情報を言語変数に変換する基準を設定する。この場合の基準は 7 段階評価とし、表 6-1 に示すように、各要因を言語変数に変換し、構造化モデルに入力する。

表 6-1 言語変数の入力基準

(佐藤・寺田 原図)

Example No.		1	2	3	4	5	6	7
Input factor								
Topography	Gradient	H	VH	VH	H	M	M	M
	Height	H	H	M	H	VVH	H	M
	Gross section	M	M	L	L	H	H	H
Geology	Soil texture	M	VH	H	VH	VH	H	VH
	Geology	VL	VL	M	H	VL	H	H
Enviroment	Land use	M	M	M	H	H	M	VL
	Surrounding failure	VH	L	L	L	L	L	L
Precipitation	Continuos preci.	H	VH	VVL	H	VH	VVH	VH
	Day Preci.	VH	VH	VH	H	VH	M	VH
Earthquahe	Seismic intensity	no input						
Fuzzy integral value		0.43	0.5	0.6	0.7	0.83	0.67	0.67
Figure		a	b	c	-	d	e	f

VVH : vrey very high
 VH : very high
 H : high
 M : medium
 L : low
 VL : very low
 VVL : very very low

3) Fuzzy 積分計算

入力後、Fuzzy 演算（演算は上位の要因に向かって行われ、その過程で各要因の関わりあいによって言語変数に変形される）によって得られるメンバーシップ関数 $\mu(u)$ を崩壊及び非崩壊斜面ごとに

Fuzzy 積分し、Fuzzy 分布関数 $H\mu(u_i)$ を出力する (図 6-1)。

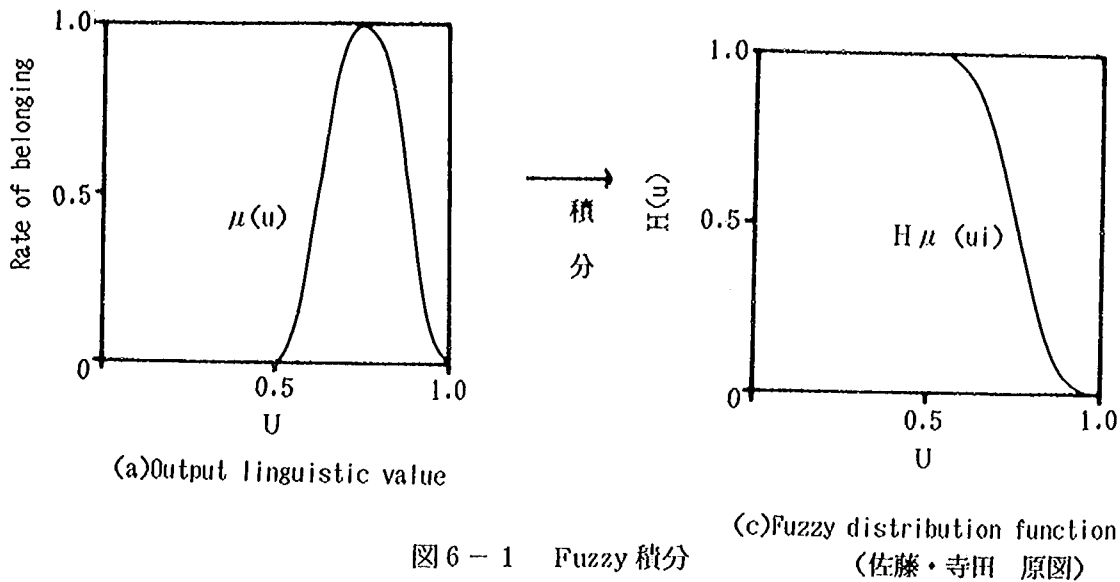


図 6-1 Fuzzy 積分

4) 地震時斜面崩壊要因の評価

次の 2 つの方法により地震時斜面崩壊の要因を評価する。

・定性的評価

Fuzzy 演算によって得られたメンバーシップ関数 $\mu(u)$ の形について定性的評価を行う。この場合、 $u=1$ が斜面が完全に崩壊する状態、 $u=0$ が斜面の崩壊が起こらない状態として評価する (図 6-2)。

・定量的評価

メンバーシップ関数を積分して得られた Fuzzy 分布関数 $H\mu(ui)$ と評価関数 $H(ui)$ を minmax 合成し、その時の u^* の値によって各要因の崩壊に対する影響度を定量的に評価する (図 6-3)。

6.2 Fuzzy 測度と Fuzzy 積分の定式化

(1) Fuzzy 測度

Fuzzy 測定とは、通常の測定における長さ、面積など対象の属性を測るものさしのことであり、通常のものさしに課せられた条件をゆるめたものである。

ある集合 X を考えた場合、 X の部分集合 E, F などを区間 $[0, 1]$ の数値に対応づける関数 g がつぎの性質を持つとき、Fuzzy 測度という。

- (1) $g(\phi) = 0, g(X) = 1$
- (2) $E \subset F$ ならば $g(E) \leq g(F)$
- (3) $E_1 \subset E_2$ あるいは $E_1 \supset E_2$ ならば

$$\lim_{n \rightarrow \infty} g(E_n) = g\left(\lim_{n \rightarrow \infty} E_n\right)$$

性質(1)は有界性、(2)は単調性、(3)は連続性を表している。また、(2)の単調性については、関数 g の性質を次のように変化させることも可能である。

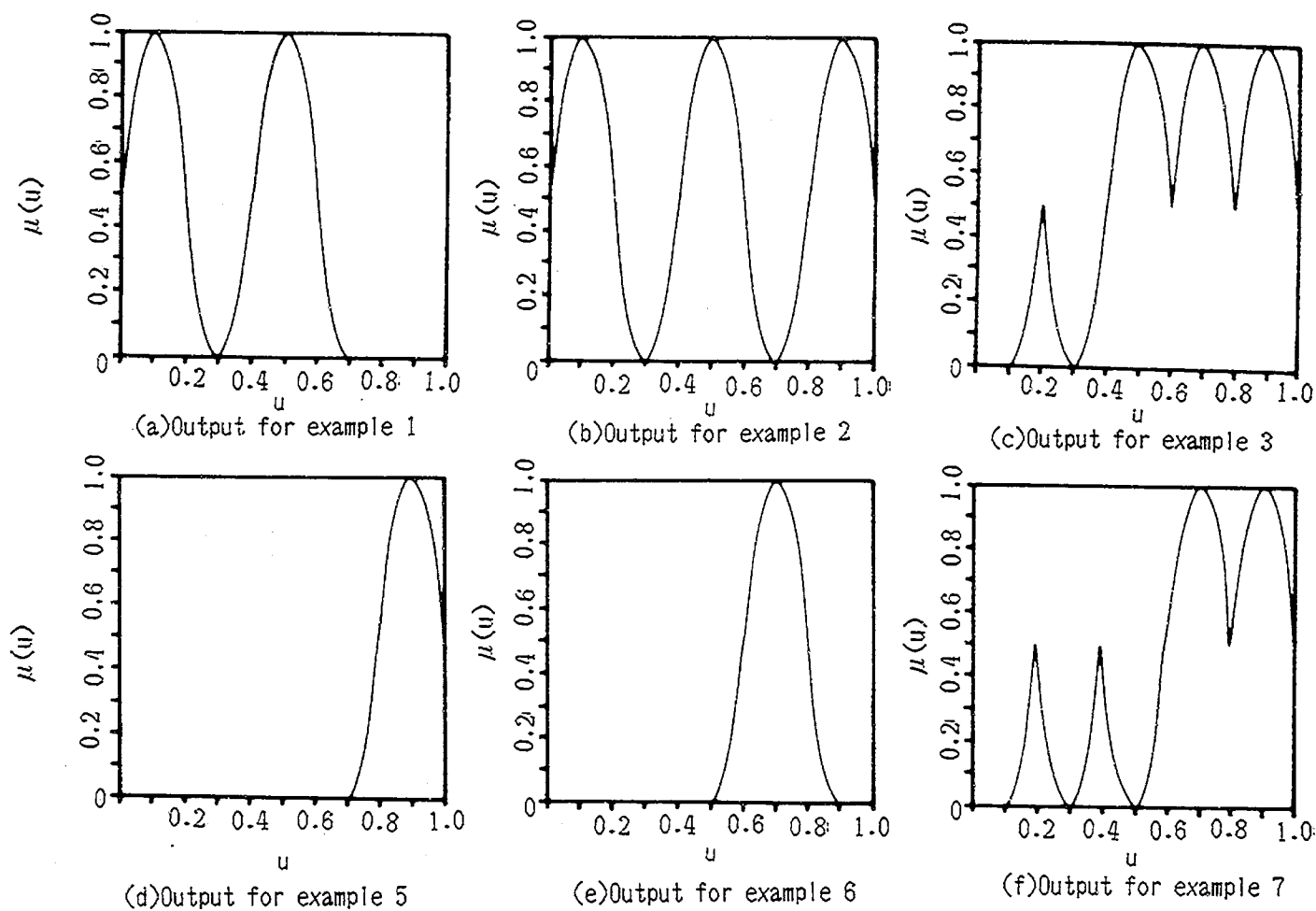
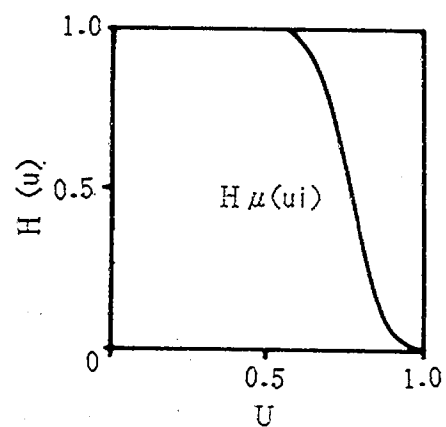
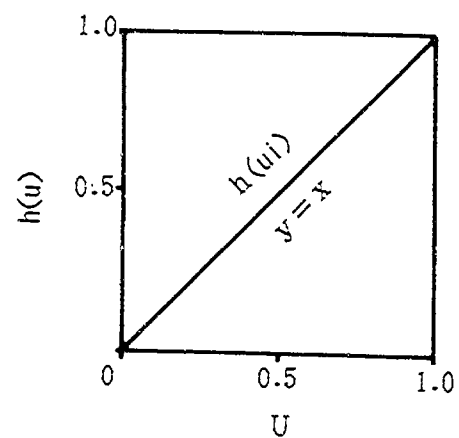


Fig.20 Some examples of fuzzy linguistic output for input values shown in Table 4

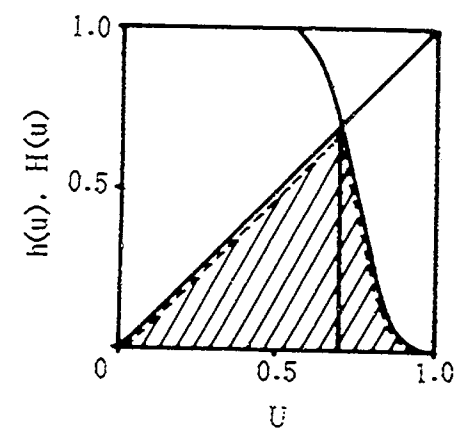
図 6-2 メンバシップ関数による定性的評価



(c) Fuzzy distribution function



(b) Evaluate function



(d) Fuzzy integral

図 6 - 3 Fuzzy 分析関数と評価関数による定量的評価

$$(1) \quad g(E \cup E') > g(E) + g(E')$$

$$(2) \quad g(E \cup E') > g(E) + g(E')$$

以上のように、評価対象の属性に関する評価尺度と属性を数量化したものが与えられると、対象全体の評価をすることが出来る。

したがって、Fuzzy 積分では、評価尺度として Fuzzy 測度を用いる。

(2) Fuzzy 積分の定式化

有限集合を $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ とする時、 x 上の関数 (h) の Fuzzy 測度 g による $E(cx)$ 上の Fuzzy 積分はつぎのように定義される。

$$\int_X h(x_i) \circ g(\cdot) \bigvee_{i=1}^n \{h(x_i) \wedge g(X_i)\} \dots\dots\dots (6-1)$$

ただし、 x 上の関数 $h(x_1) \leq h(x_2) \leq \dots \leq h(x_n)$ である。

また、Fuzzy 測度 g は、具体的に区間 $[0, 1]$ で単調に増加する確率分布関数と同じ性質をもつ Fuzzy 分布関数 $H(x)$ を用いて構成される。

Fuzzy 分布関数 $H(x)$ を以下のように定義する。

$$H(x_1) \leq H(x_1) \leq \dots \leq H(x_n) = 1$$

次に Fuzzy 測度 $g(x_i)$ を以下のように定義する。

$$g(x_1) = H(x_1) \dots\dots\dots (6-2)$$

$$g(x_i) = \frac{H(x_i) - H(x_{i-1})}{1 + \lambda H(x_{i-1})}, \quad 2 \leq i \leq n \dots\dots\dots (6-3)$$

Fuzzy 言語変数は要因の崩壊発生に關与する程度の大きさをメンバーシップ関数をもつ 7 段階の言語変数を用いて評価する。

今回の解析におけるメンバーシップ関数型は、Fuzzy 集合を実数上で議論する場合によく用いられる。3つの標準関数 (S 関数, π 関数, Z 関数) を用いた。

以下、メンバーシップ関数を示す。

1. Very Very Small ($u = 0.0 \sim 0.2$)

$$X(u) = 0.5 + (0.5 \cdot \cos(\frac{2\pi}{0.4} \cdot u)) \dots\dots\dots (6-4)$$

2. Very Small ($u = 0.0 \sim 0.3$)

$$X(u) = 0.5 + (0.5 \cdot \sin(\frac{2\pi}{0.4} \cdot u)) \dots\dots\dots (6-5)$$

3. Small ($u = 0.1 \sim 0.5$)

$$X(u) = 0.5 + (0.5 \cdot \sin(\frac{2\pi}{0.4} \cdot u + \pi)) \dots\dots\dots (6-6)$$

4. Medium ($u = 0.3 \sim 0.7$)

$$X(u) = 0.5 + (0.5 \cdot \sin(\frac{2\pi}{0.4} \cdot u + \pi)) \dots\dots\dots (6-7)$$

5. Large ($u = 0.5 \sim 0.9$)

$$X(u) = 0.5 + (0.5 \cdot \sin(\frac{2\pi}{0.4} \cdot u + \pi)) \dots\dots\dots (6-8)$$

6. Very large ($u = 0.7 \sim 1.0$)

$$X(u) = 0.5 + (0.5 \cdot \sin(\frac{2\pi}{0.4} \cdot u + \pi)) \dots\dots\dots (6-9)$$

7. Very Very large ($u = 0.8 \sim 1.0$)

$$X(u) = 0.5 + (0.5 \cdot \sin(\frac{2\pi}{0.4} \cdot u + \frac{\pi}{2})) \dots\dots\dots (6-10)$$

式(6-4)～(6-10)までを図6-4に示す。
この図における横軸(u)は $u=1$ で崩壊が発生し、
 $u=0$ で発生しないことを表しており、縦軸の帰
属度 $\mu(u)$ は u の値の確からしい程度を表してい
る。

(3) Fuzzy 積分値の計算手順

Fuzzy 言語変数のメンバーシップ関数による、
具体的な Fuzzy 積分値の計算手順を説明する。図
6-5に示す言語変数を得たメンバーシップ関数
数を $\mu(u)$ とする。

①メンバーシップ関数 $\mu(u)$ の要素 u [0, 1]
を離散化し $u_1, u_2, \dots, u_n$ とする($u_1 < u_2$
 $\dots, u_n$)。

②評価関数 $h(u_i) = u_i$ とする(図6-5(b))。

③ $h(u_i)$ を大きい順に並べる。

$h(u_n), h(u_{n-1}), \dots, h(u_i), \dots, h(u_1)$

④ $H\mu(u_i)$ を求める。

ここでは $\lambda=0$ とした。また $\mu'(u)$ は $\mu(u_i)$
を正規化した値

$$\mu'(u_i) = \mu(u_i) / \sum_{j=1}^n \mu(u_j) \dots\dots\dots (6-11)$$

$$H\mu(u_n) = \mu'(u_n)$$

$$H\mu(u_{n-1}) = \mu'(u_{n-1}) + H\mu(u_n)$$

↓

$$H\mu(u_1) = 1$$

⑤ Fuzzy 分布関数 $H\mu(u_i)$ と評価関数(H_i)を用いて min-max 合成を行うことにより言語 $\mu(u)$
の Fuzzy 積分値 u^* を得る(図6-5(d))。

$$u^* = \int h(u) \circ g = \bigvee_{i=1}^n [u_i \bigwedge H\mu(u_i)] \dots\dots\dots (6-12)$$

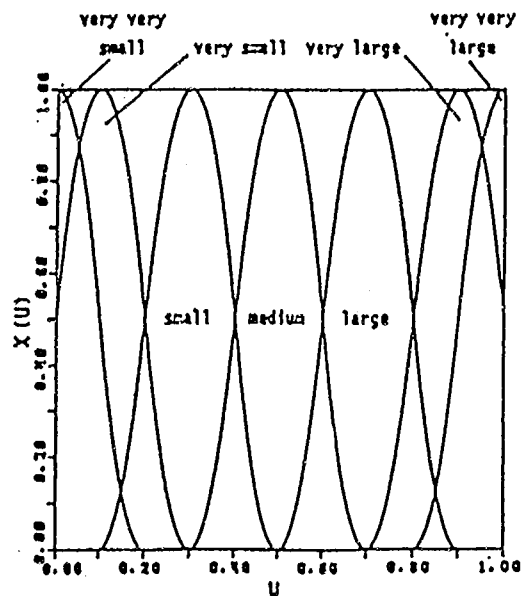


Fig. 17
Membership functions
of fuzzy language
(佐藤・寺田 原図)

図6-4 言語変数のメンバーシップ関数

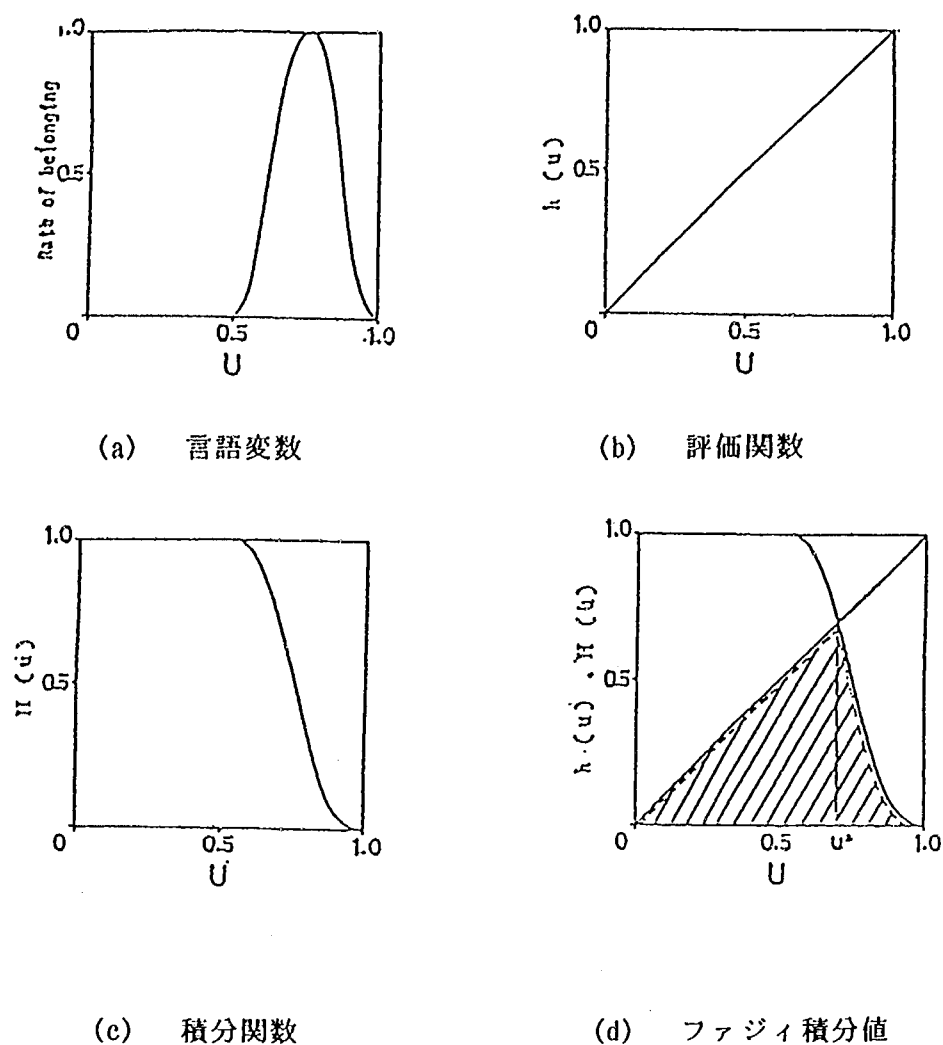


図 6-5 ファジィ積分値の計算手順

6.3 Fuzzy 積分計算

6.3.1 言語変数の入力

Fuzzy 積分は 4 章図 4-5 に示した地震時の斜面崩壊に関する構造化モデルの Gengo (1) ~ Gengo (10) に図 6-4 (前掲) に示す言語変数の中から選択し、入力した。入力された言語変数により構造化モデルの下層レベルから上層レベルに向かって Fuzzy 演算を進め、出力されたメンバーシップ関数を定量的に評価する。

表 6-2 に、地震時の斜面崩壊に関する Fuzzy 言語関数を示す。構造化モデルに入力する情報は、図 4-5 に示す Gengo (1) ~ Gengo (10) を示す。

Gengo (1) 横断形状

Gengo (2) 平面形状

Gengo (3) 勾配

Gengo (4) 斜面の高さ

表 6 - 2 地震時の斜面崩壊に関する言語関数表

ファジィ要因名	言語関数	感 覚	設 定
Gengo 1 横断形状	1. V・V・Low		_____
	2. V・Low		_____
	3. Low		下 降 型
	4. Medium		平 行 型
	5. Hight		上 昇 型
	6. V・Hight		複 合 型
	7. V・V・Hight		オーバーハング型
Gengo 2 平面形状	1. V・V・Low		_____
	2. V・Low		_____
	3. Low		谷 型
	4. Medium		平 衡 型
	5. Hight		複 合 型
	6. V・Hight		尾 根 型
	7. V・V・Hight		_____
Gengo 3 勾 配	1. V・V・Low		0° ～ 5° 未満
	2. V・Low		5° 以上～10° 未満
	3. Low		10° 以上～20° 未満
	4. Medium		20° 以上～30° 未満
	5. Hight		30° 以上～35° 未満
	6. V・Hight		35° 以上～40° 未満
	7. V・V・Hight		40° ～
Gengo 4 斜面の高さ	1. V・V・Low		0 m ～ 5 m 未満
	2. V・Low		5 m 以上～10m 未満
	3. Low		10m 以上～20m 未満
	4. Medium		20m 以上～40m 未満
	5. Hight		40m 以上～60m 未満
	6. V・Hight		60m 以上～80m 未満
	7. V・V・Hight		80m 以上～

Gengo (5) 表面の土質

Gengo (6) 地 質

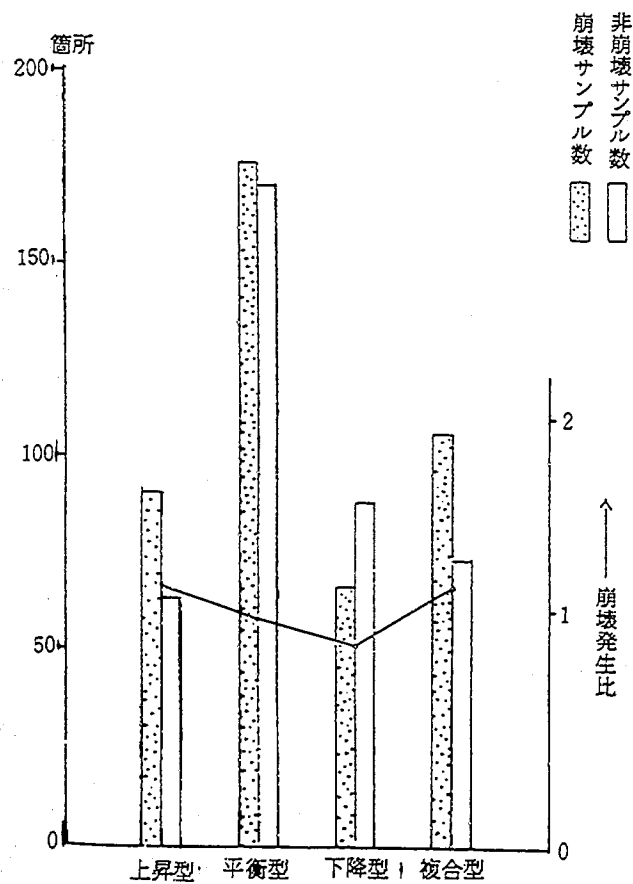
Gengo (7) 断 層

Gengo (8) 過去の崩壊

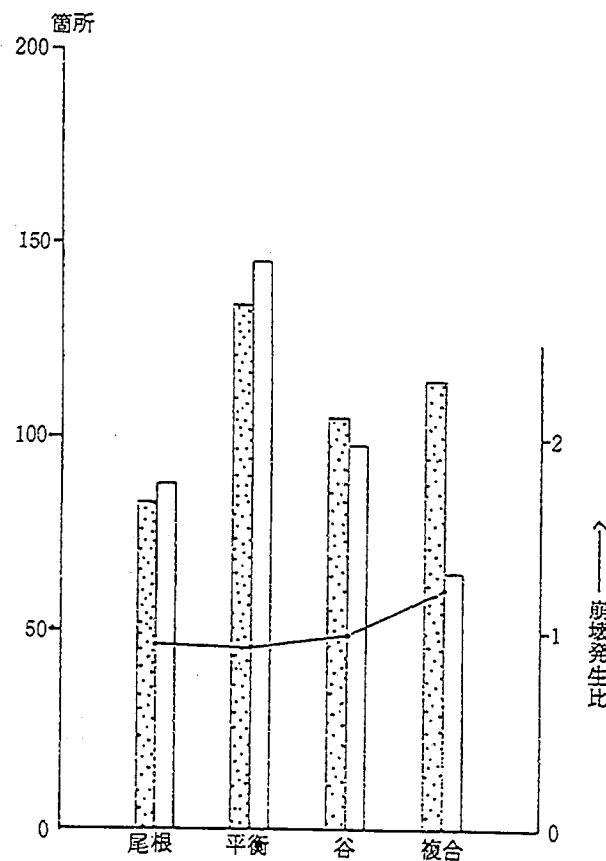
Gengo (9) 植生の状況

Gengo (10) 該当斜面における震度

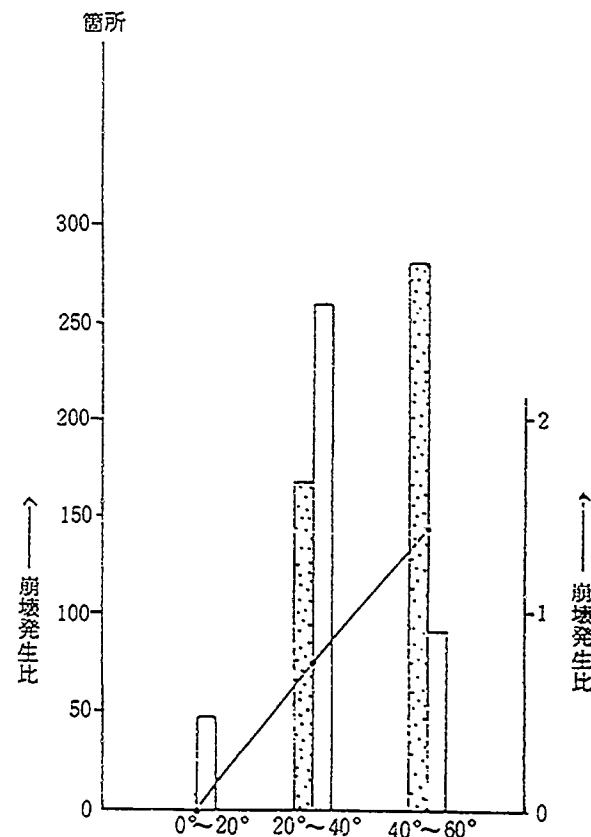
この表で感覚設定は、伊豆大島近海地震における斜面崩壊の発生・非発生箇所に関する計測データから求めた各要因ごとの崩壊発生比率をもとにした(図6-6)。ただし、震度は地表加速度を気象



横断形状



平面形状



勾配

図 6 - 6 (a)

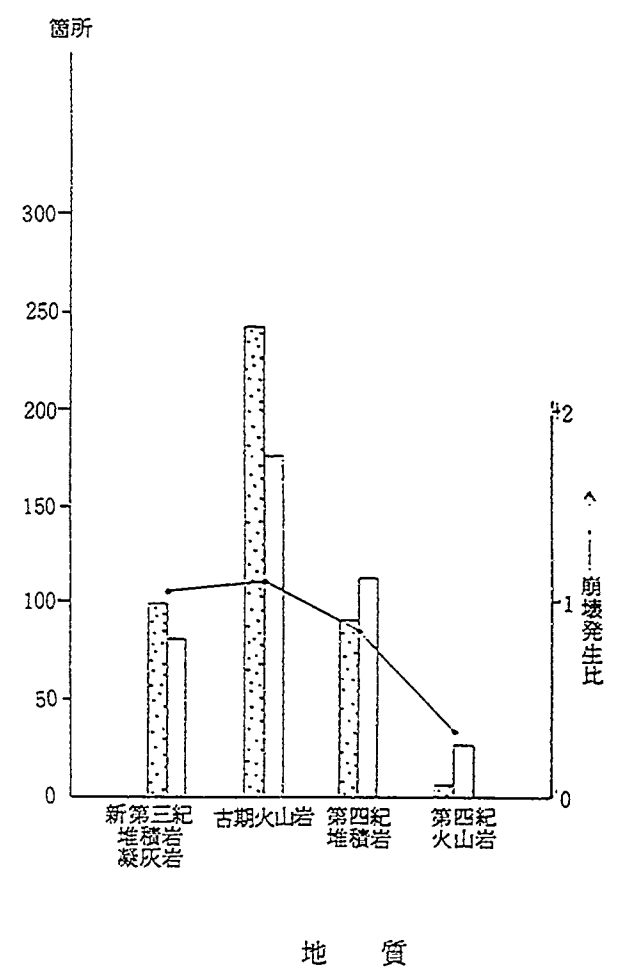
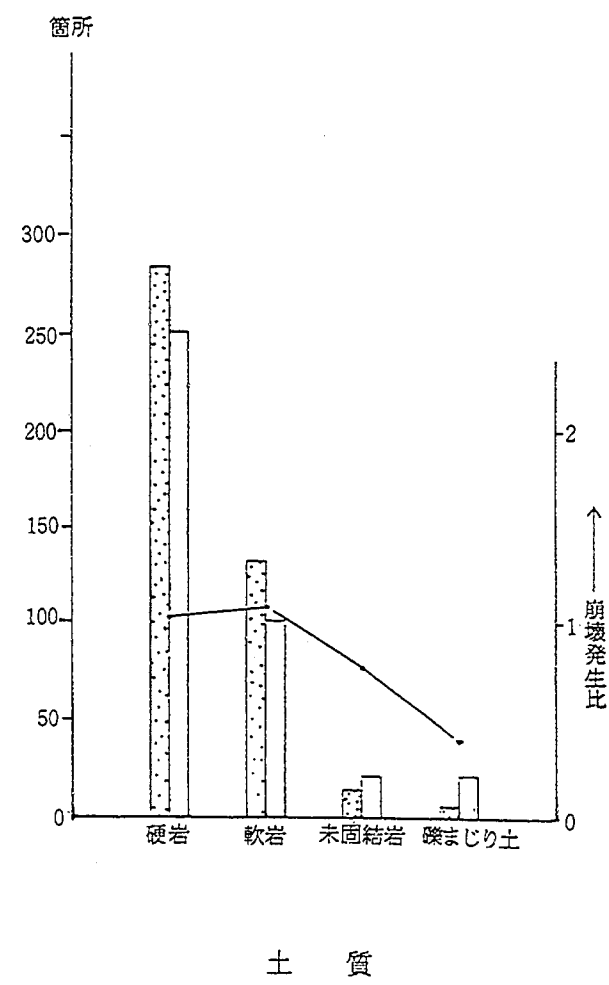
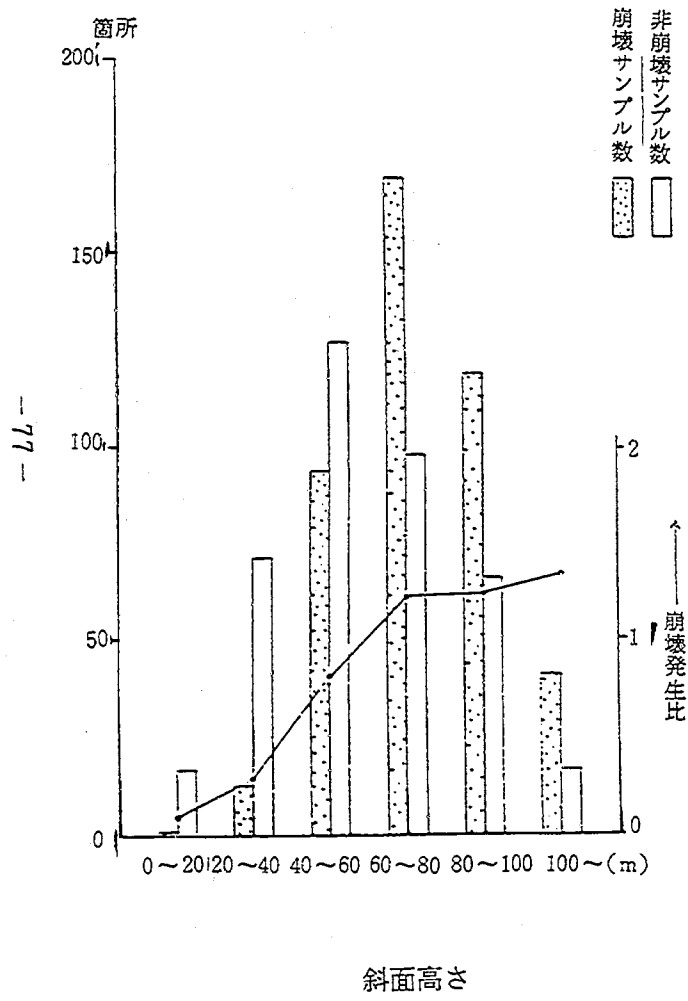
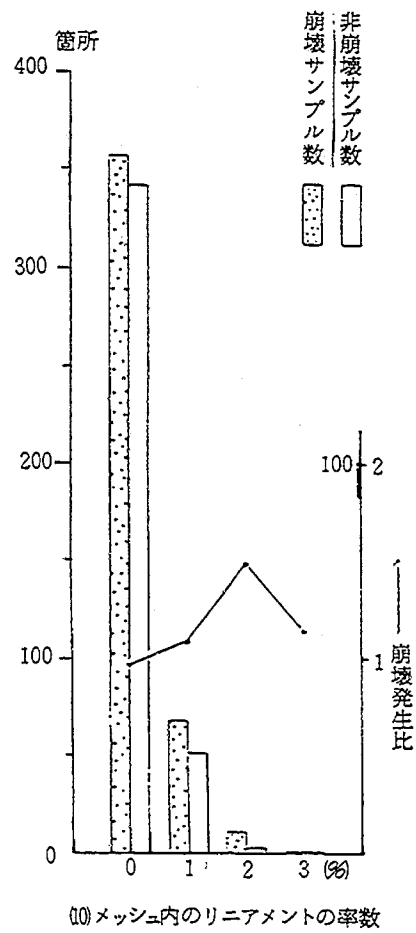
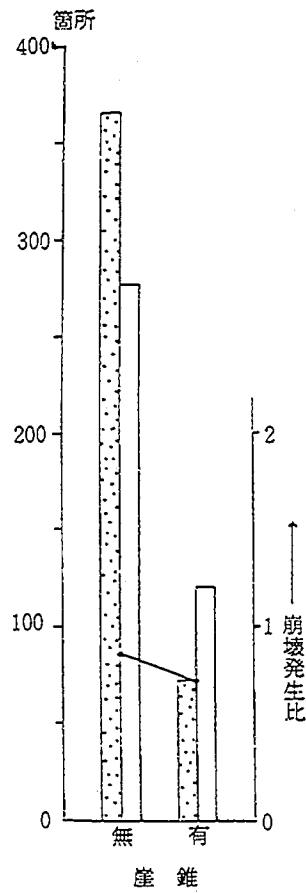


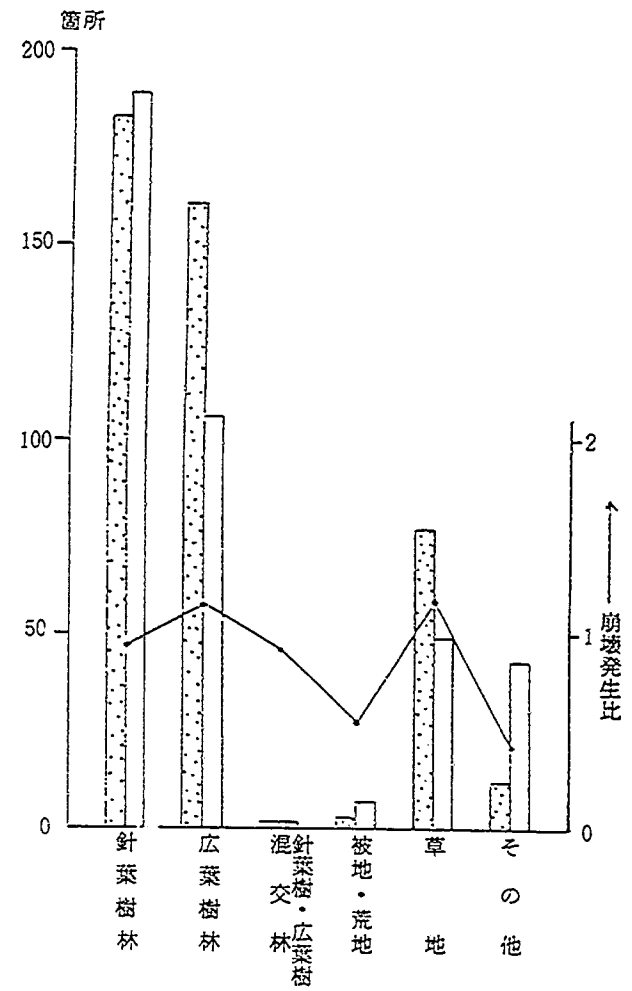
図 6 - 6 (b)



断 層



過去の崩壊



植生の状況

図 6 - 6 (c)

片の基準で変換し言語の分類を行った。

6.3.2 Fuzzy 積分による計算結果

Fuzzy 積分の計算は、4-5（前掲）の地震時の斜面崩壊に関する階級図の Gengo (1) ~ Gengo (10) に、図 6-4（前掲）に示す言語関数の中より選択し入力した。入力した言語関数の一例を図 6-7 に示す。次に、図 4-5 の階級図の下層レベルから上層レベルに向かって Fuzzy 演算を進め出力されたメンバシップ関数により評価する。ここで、図 6-4 の入力する言語関数における横軸 (u) は、 $u=1$ で、地震時に斜面崩壊が発生し、 $u=0$ で、発生しないことを表しており、縦軸の帰属度 $\mu(u)$ は u の値の確からしさの程度を表している。

図 6-8 に、伊豆大島近海地震のデータによる検討結果の一例を示した。図の横軸は、入力する言語関数と同様に、 $u=1$ に近づく程地震時に斜面崩壊が起きやすいことをしめしている。

6.4 Fuzzy 積分による評価

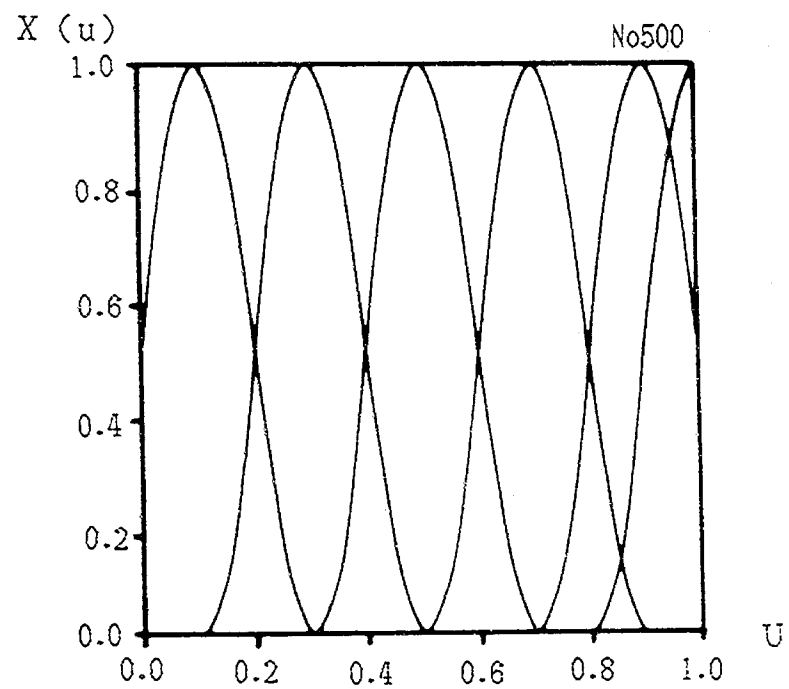
図 6-8 に示すように、入力された言語関数が Fuzzy 演算により複雑に変化するために、崩壊に対する危険度について評価することが難しい。そこで、Fuzzy 積分により、言語関数を定量的に評価する。

Fuzzy 積分値は、図 6-8 に出力されたメンバシップ関数を離散化し、最大値が 1 となるように正規化した Fuzzy 分布関数と評価関数の交点の値である。

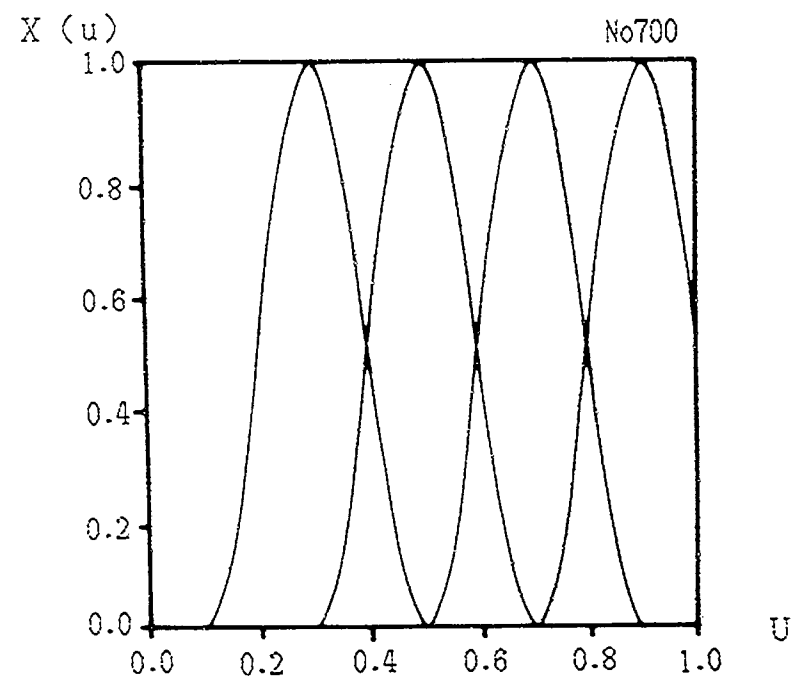
図 6-9 に、計算した Fuzzy 積分値を示した。検討例(1)の Fuzzy 積分値は 0.40、検討例(2)の Fuzzy 積分値は、0.62 で検討例(2)の方が危険例にあることが定量的に評価できる。

表 6-3 及び図 6-10 に、伊豆大島近海地震時の斜面データ 833 件（崩壊サンプル 437、非崩壊サンプル 396）の検討結果を示した。崩壊・非崩壊に関する境界 Fuzzy 積分値は、崩壊したデータ 437 件より求めた。本解析では、境界 Fuzzy 積分値を崩壊したデータの Fuzzy 積分値の平均値 0.50 に設定した。次に、崩壊・非崩壊を含めた全データ（833 件）より検証を行った。

Fuzzy 積分値が 0.5 以上になる場合を斜面崩壊の危険度を評価する目安と考えると、表に示すように正判率は 63% であった。また、崩壊斜面（全数 437 件）のうち Fuzzy 積分値が 0.5 以上の斜面は 288 件で、適中率は 66% であった。

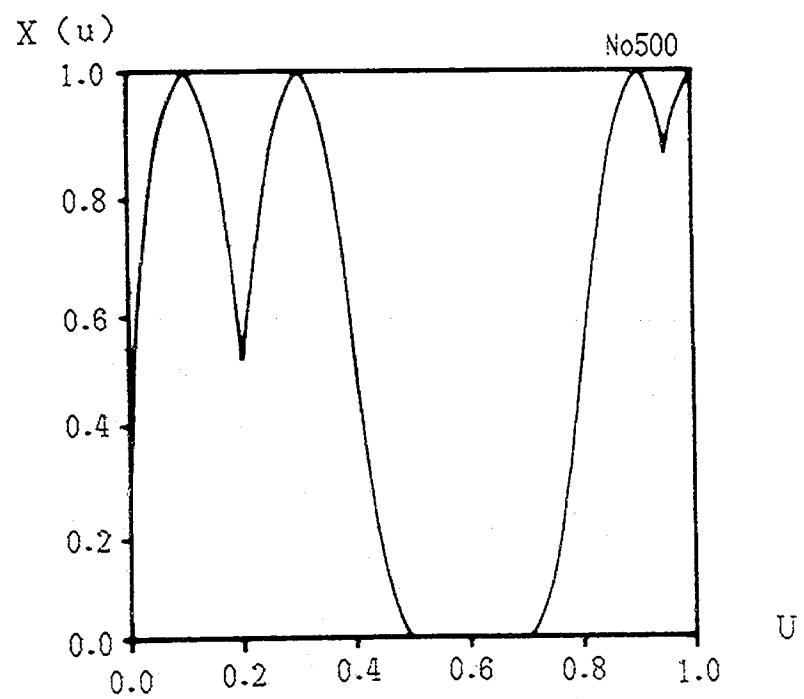


例 1

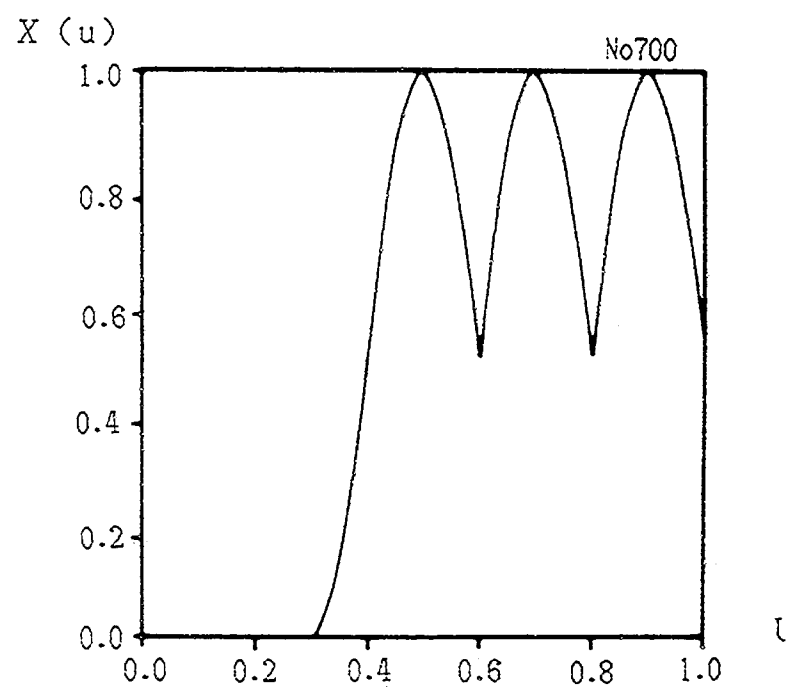


例 2

図 6-7 入力した言語変数



例 1



例 2

図 6 - 8 Fuzzy 積分計算結果 (メンバーシップ関数)

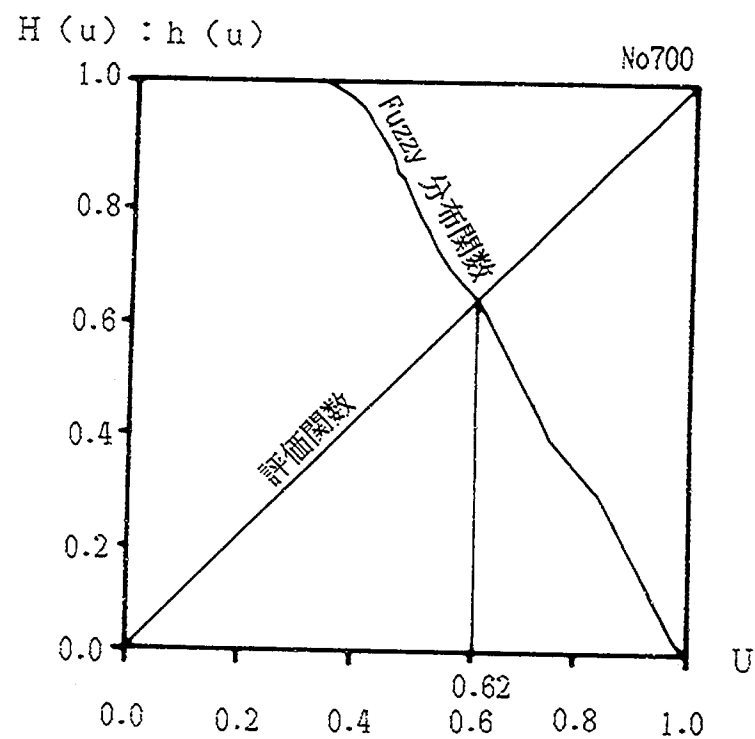
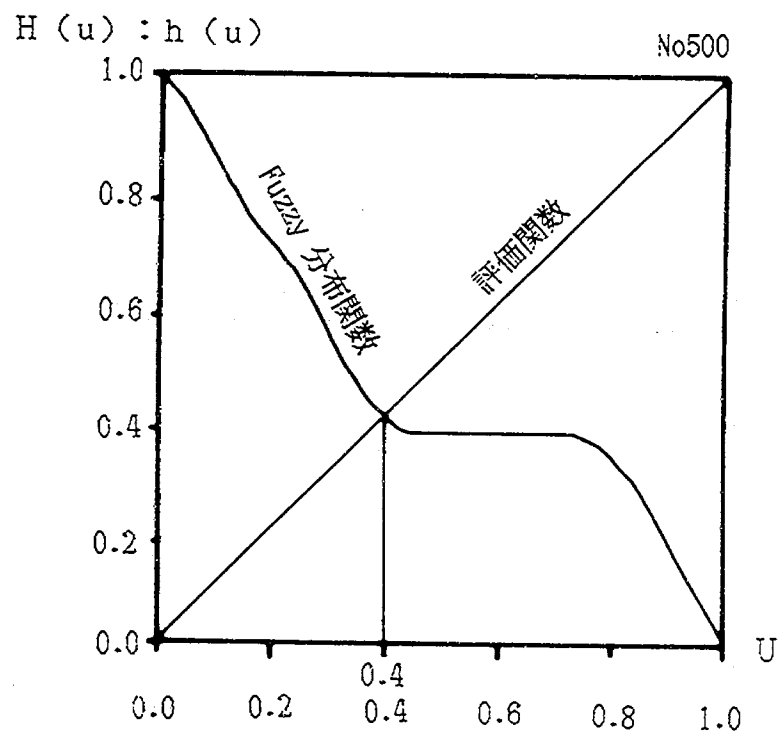


図 6 - 9 Fuzzy 積分値

表 6-3 ファジィ積分値による評価

ファジィ積分値	崩壊データー	非崩壊データー	正解件数
0.38	0	5	5
0.39	58	40	40
0.40	3	0	0
0.41	27	6	6
0.42	0	0	0
0.43	0	0	0
0.44	1	0	0
0.45	0	1	1
0.46	20	42	42
0.47	3	23	23
0.48	11	28	28
0.49	26	88	88
0.50	89	10	89
0.51	28	12	28
0.52	3	6	3
0.53	1	7	1
0.54	31	31	31
0.55	27	30	27
0.56	0	7	0
0.57	5	4	5
0.58	1	1	1
0.59	0	0	0
0.60	34	32	34
0.61	55	14	55
0.62	14	9	14
合 計	437	396	521

833

$$\text{正判率} = 521 / 833 = 63\%$$

あ と が き

Fuzzy 理論は、「若い」「およそ」「だいぶ」などのあいまいさを含んだ情報をあいまいなまま理解し、あいまいな形で思考・判断する。人間の高度な思考の本質はここにあり、こうした人間の定性的な判断方法を定式化し、コンピュータに組み込まれるような形にしたのが Fuzzy 理論である。Fuzzy 理論の応用でこれまで多かったのが制御分野、現在は人工知能やロボットなどの分野に応用が広がっている。

本研究では、地震時斜面崩壊危険度判別手法を確立する目的で、Fuzzy 理論による斜面危険度を評価予測する方法を検討した。

Fuzzy 理論による解析の成果として、Fuzzy 推論による定性的評価と Fuzzy 積分による定量的評価が得られる。前者により、地震的斜面崩壊に影響する要因として、縦断形状・平面形状・地質・植生・斜面高・勾配・震度が抽出された。また、後者によって、今回、構築した構造化モデルの適中率は 0.66 が出力された。

Fuzzy 理論によってこの種の解析を行う場合のポイントは

I) 各要因グループ間の相関性の検討

II) 実際の崩壊システムを出来るだけ反映した崩壊機構の構造化モデルの構築

III) Fuzzy 言語関数（メンバーシップ関数）の合理的主観的な設定

であり、今後、これら諸点の精度を高めるためには、地盤の振動特性、斜面の工学的特性、災害実態に関する資料等を蓄積し、総合的に検討しておく必要がある。

<参考文献>

- 1) 浅居善代治・田中英悲・奥田徹示・Negoita C.V.・Ralessu; D.A. 編著：あいまいシステム理論入門，オーム社，（1978）
- 2) 河村和彦：複雑な社会問題を取扱う一手法，計測と制御 Vol. 16, No. 1, 1977. 2
- 3) 田崎栄一郎：あいまい理論による社会システムの構造化，数理科学 No. 191, （1979. 5）
- 4) 川善田二郎：K J 法，中央公論新書（1972）
- 5) 佐藤忠信，寺田倫康：Fuzzy 理論に基づく斜面崩壊資料の整理と崩壊予測法，京都大学防災研究所年報，第 28 号 B-2（1985. 4）
- 6) 土木研究所資料第 1798 号：地震による斜面崩壊の実態調査資料（1982. 3）
- 7) 土木研究所：地震による急傾斜崩壊に関する要因分析調査報告書（1987. 3）

卷 末 資 料

大メヅリニ

										各要図の категория										(注)		陸面		陸面から		加減	
																								</			

		大メッシュ		小メッシュ		縦断面		横断面		縦断面		横断面		比高		水深(m)		各要図の категория										(注)		陸面		中央から距離		加速反	
0100	37	3	1	3	2	20	4	40	545	0	0	0	0	1	3	1	1	26	32	320															
0100	37	9	3	3	2	45	6	100	535	0	0	0	0	0	1	2	1	26	31	330															
0100	38	2	6	2	2	40	3	75	610	0	0	0	0	0	1	2	1	26	30	360															
0100	38	5	6	2	2	30	6	80	625	0	0	0	0	0	1	2	2	25	30	350															
0100	39	2	7	2	3	45	1	100	500	0	0	0	1	1	2	1	2	25	29	390															
0100	39	3	8	1	1	35	6	50	560	0	0	0	0	0	2	1	5	25	29	390															
0100	39	6	9	2	2	40	7	70	470	0	0	0	0	0	1	2	1	25	29	390															
0100	39	6	10	2	2	40	7	90	560	0	0	0	0	0	1	2	1	25	29	400															
0100	39	7	6	2	2	35	2	90	425	0	0	0	1	0	2	1	1	25	29	380															
0100	39	8	6	3	2	25	4	55	425	0	0	0	0	0	2	1	1	25	29	380															
0100	39	9	9	1	2	25	6	75	385	0	0	0	1	0	1	2	2	25	29	390															
0100	39	10	7	2	1	35	3	90	440	0	0	0	0	0	2	1	1	25	29	390															
0100	40	5	8	4	2	25	6	55	685	1	0	1	0	0	3	1	1	25	28	400															
0100	40	5	10	3	3	20	7	50	710	0	0	0	0	1	3	1	5	25	28	400															
0100	40	6	8	3	2	10	6	35	650	1	0	1	0	0	3	1	1	25	28	400															
0100	40	7	2	3	3	35	7	85	510	0	0	0	0	0	1	1	1	25	28	400															
0100	40	8	4	2	2	30	5	45	520	0	0	0	0	0	3	2	1	25	28	400															
0100	41	2	1	3	1	30	5	45	825	0	0	0	0	0	3	1	5	25	28	400															
0100	41	2	6	4	2	30	6	50	865	0	0	1	0	1	3	1	1	25	27	400															
0100	41	3	2	4	3	30	4	65	775	1	0	0	0	0	3	1	5	25	28	400															
0100	41	3	4	2	2	30	7	60	790	0	0	0	0	0	3	1	5	25	27	400															
0100	41	3	6	2	2	20	7	40	850	0	0	1	0	0	3	1	2	25	27	400															
0100	41	4	2	3	3	30	4	65	745	0	0	0	0	0	3	1	1	25	28	400															
0100	41	4	9	2	1	25	4	55	805	0	0	0	0	0	3	1	2	25	27	400															
0100	41	7	8	3	4	25	4	50	710	0	0	0	0	0	3	1	1	25	27	400															
0100	41	8	2	2	1	40	4	80	665	0	0	0	0	0	2	1	2	25	28	400															
0100	41	8	10	2	4	20	5	35	650	0	0	0	0	0	3	1	5	25	27	400															
0100	41	9	7	4	2	30	6	60	665	1	0	0	0	0	3	1	1	25	27	400															
0100	41	9	8	1	2	25	5	45	665	1	0	0	0	0	3	1	1	25	27	400															
0100	42	1	2	3	2	25	4	60	695	1	0	0	1	0	2	1	1	24	27	400															
0100	42	1	9	4	4	40	5	75	760	1	0	0	0	0	2	1	1	24	26	400															
0100	42	3	5	2	4	25	4	35	625	0	0	0	1	1	2	1	2	24	26	400															
0100	42	4	4	2	3	30	6	40	590	0	0	0	1	0	2	2	1	24	26	400															
0100	42	5	1	1	2	30	2	75	725	0	0	0	0	0	3	1	1	25	27	400															
0100	42	5	5	2	3	35	6	55	580	0	0	0	1	0	2	2	1	24	26	400															
0100	42	7	5	1	1	30	5	55	555	1	0	0	0	0	3	2	2	24	26	400															
0100	43	1	3	4	3	30	8	65	715	0	0	0	0	0	2	1	2	24	26	400															
0100	43	1	6	2	1	30	3	55	650	0	0	0	0	0	2	1	2	24	25	400															
0100	43	1	10	3	1	10	4	20	550	0	0	0	1	0	3	1	1	24	25	400															
0100	43	3	1	2	4	30	8	50	645	0	0	0	0	0	2	1	2	24	26	400															
0100	43	7	1	2	3	40	7	70	545	0	0	0	0	0	1	2	1	24	26	400															
0100	43	7	9	1	4	25	2	45	525	0	0	0	0	0	2	2	2	24	25	400															
0100	44	3	9	2	4	20	7	40	680	0	0	0	0	1	1	2	1	24	24	400															
0100	44	5	1	2	4	30	6	40	480	0	0	0	1	0	3	3	2	24	25	400															
0100	44	5	5	1	1	20	5	40	570	1	0	0	0	0	3	3	5	24	24	400															
0100	44	8	3	3	2	10	6	20	435	0	0	0	1	0	4	4	1	24	24	400															
0100	44	8	4	3	4	15	5	30	450	0	0	0	1	0	4	4	1	24	24	400															
0100	44	8	9	4	2	30	8	50	585	1	0	0	0	0	3	1	1	24	24	400															
0100	44	9	5	3	1	30	7	55	545	1	0	0	1	0	4	4	1	24	24	400															
0100	45	1	1	2	4	20	7	50	775	0	0	0	0	0	2	1	1	24	24	400															
0100	45	1	4	2	3	30	8	65	725	0	0	0	0	0	2	1	2	24	24	400															
0100	45	7	9	1	2	45	1	90	730	0	0	0	0	0	3	1	2	24	23	400															
0100	46	1	2	2	1	40	5	75	515	0	0	0	0	0	1	2	1	26	31	330															
0100	46	2	2	2	2	25	5	60	450	0	0	0	1	0	1	2	1	26	31	330															
0100	46	4	5	2	3	40	2	80	415	1	0	0	1	0	2	2	5	26	31	330															
0100	46	6	2	4	1	35	2	95	620	1	0	0	0	0	1	2	5	26	31	330															
0100	46	9	3	2	1	40	3	90	550	0	0	0	0	0	1	2	1	26	31	330															
0100	46	7	4	3	4	50	3	100	550	1	0	0	0	0	1	2	1	26	31	330															
0100	46	9	1	1	2	35	2	90	730	0	0	0	0	0	1	2	1	26	32	320															
0100	46	10	6	1	1	45	1	30	630	0	0	0	0	0	2	1	2	26	31	330															

		大メッシュ		小メッシュ		斜面傾斜		斜面方位		比高		標高(m)		各要図のカテゴリー										(注)		加減反																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																									
0100	46	10	7	1	1	35	2	55	615	0	0	0	0	0	2	1	2	25	31	330																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															

		大メッシュ		小メッシュ		傾面傾角		傾面方位		比高		各要図のカテゴリー (注)										傾面 の記号		中央から 加速度	
01	00	87	9	5	4	2	35	8	70	215	0	0	0	1	0	2	1	6	25	25	400				
01	00	88	3	9	2	2	40	3	60	160	0	0	0	1	0	1	2	1	25	25	400				
01	00	88	7	10	2	1	40	3	50	110	0	0	1	1	0	4	3	6	25	24	400				
01	00	88	6	4	3	4	30	4	70	335	1	0	0	0	0	2	1	2	25	25	400				
01	00	88	9	7	3	4	30	2	45	225	1	0	0	0	0	1	2	1	25	25	400				
01	00	88	10	4	2	3	30	4	50	290	0	0	0	0	0	2	1	2	25	25	400				
01	00	89	2	9	2	3	40	6	65	165	0	0	0	0	0	2	1	6	24	24	400				
01	00	89	4	2	2	2	10	6	5	20	0	0	0	1	0	4	4	6	25	24	400				
01	00	89	4	6	2	1	30	7	50	125	0	0	0	0	1	1	2	1	24	24	400				
01	00	89	9	4	3	2	30	1	30	60	0	0	0	1	0	2	1	6	25	24	400				
01	00	90	1	9	4	3	25	3	40	230	0	0	0	0	0	2	1	1	24	23	400				
01	00	90	3	5	1	1	35	5	65	220	1	0	1	0	0	1	2	2	24	23	400				
01	00	90	5	10	4	4	30	7	50	250	0	0	0	0	0	2	1	2	24	22	400				
01	00	90	7	2	2	4	30	3	25	155	0	0	0	0	1	2	1	2	24	23	400				
01	00	90	9	1	2	3	30	4	50	35	0	0	0	1	0	2	1	2	24	23	400				
01	00	97	4	1	2	3	40	7	30	255	0	0	0	0	0	2	1	5	25	25	400				
01	00	97	6	3	2	4	30	2	40	260	0	0	0	0	0	2	1	2	25	25	400				
01	00	97	3	4	3	4	40	1	60	240	1	0	0	0	0	2	1	1	25	25	400				
01	00	97	9	7	2	1	40	5	35	215	0	0	0	0	0	1	2	5	25	25	400				
01	00	97	9	9	2	3	30	3	40	145	0	0	1	1	0	1	2	6	25	25	400				
01	00	98	1	6	3	2	30	3	40	50	0	0	0	1	0	4	4	2	25	24	400				
01	00	98	2	10	2	2	0	9	0	10	0	0	0	0	0	4	4	6	24	23	400				
01	00	98	3	1	2	3	20	3	25	130	0	0	0	1	0	4	3	6	25	24	400				
01	00	98	4	9	2	2	0	9	0	10	0	0	0	0	0	4	4	6	25	24	400				
01	00	98	7	3	2	1	20	1	50	70	0	0	1	0	0	4	3	1	25	24	400				
01	00	98	8	8	2	3	25	3	40	75	0	0	0	0	0	4	3	6	25	24	400				
01	00	98	9	9	1	2	20	2	40	75	1	0	0	0	0	4	3	6	25	24	400				
01	00	99	1	10	3	1	30	1	75	195	1	0	0	0	0	2	1	2	24	23	400				
01	00	99	9	7	2	3	30	6	25	40	0	0	0	1	0	2	1	4	24	23	400				
01	00	99	10	9	2	2	40	6	90	135	0	0	0	1	1	2	1	2	24	23	400				
01	00	08	3	5	2	2	0	9	0	5	0	0	0	0	0	4	4	4	25	23	400				
01	00	08	5	2	1	3	30	5	35	75	0	0	0	0	1	2	1	3	25	23	400				
01	00	08	5	10	2	2	0	9	0	5	0	0	0	0	0	4	4	6	24	23	400				
01	00	08	7	2	2	1	25	5	40	65	0	0	0	1	0	4	4	2	25	23	400				
01	00	08	9	6	4	1	25	8	55	100	1	0	0	1	0	2	1	1	25	23	400				
01	00	08	10	6	3	1	30	1	70	165	0	0	0	0	0	2	1	2	25	23	400				
01	01	19	9	2	1	2	35	5	70	620	1	0	0	0	0	1	2	5	25	32	320				
01	01	20	7	3	2	3	35	4	70	840	1	0	0	0	3	2	1	2	26	30	350				
01	01	20	7	10	1	1	35	5	70	915	0	0	0	0	0	2	1	2	26	30	360				
01	01	21	6	6	4	2	35	4	90	920	1	0	0	0	0	2	1	2	26	30	370				
01	01	21	3	4	4	4	40	6	45	330	1	0	0	0	0	2	1	2	26	30	370				
01	01	21	6	8	2	4	40	5	15	795	1	0	0	0	0	2	1	2	25	29	330				
01	01	21	6	10	2	1	50	6	30	735	1	0	0	0	0	2	1	1	25	29	390				
01	01	21	9	5	2	4	35	5	60	210	0	0	0	0	1	2	1	2	26	30	370				
01	01	21	9	6	4	4	30	3	30	340	1	0	0	0	1	2	2	2	25	29	330				
01	01	21	10	5	2	2	40	6	75	220	0	0	0	0	0	1	2	2	25	29	330				
01	01	22	2	6	2	4	40	5	30	830	1	0	0	0	0	2	1	1	25	29	390				
01	01	23	3	3	2	4	35	5	60	250	0	0	0	1	0	3	1	2	25	27	400				
01	01	23	3	10	2	1	30	6	50	330	0	0	0	1	1	3	1	5	25	27	400				
01	01	23	4	9	4	4	30	5	45	840	0	0	0	1	2	3	1	5	25	27	400				
01	01	23	5	9	1	1	35	5	45	870	1	0	0	1	1	3	1	5	25	27	400				
01	01	23	6	3	3	2	40	7	75	255	1	0	0	1	0	3	1	5	25	27	400				
01	01	23	10	4	1	3	30	7	45	820	0	0	0	1	1	3	1	1	25	23	400				
01	01	23	10	10	4	1	30	7	70	920	1	0	0	1	0	3	1	2	25	27	400				
01	01	24	5	7	2	1	20	5	40	020	0	0	0	0	2	1	1	5	24	25	400				
01	01	24	6	3	2	4	30	7	55	040	1	0	0	0	0	3	1	5	24	25	400				
01	01	24	7	2	2	4	30	2	55	060	0	0	0	0	0	3	1	2	24	27	400				
01	01	24	7	4	1	4	35	2	60	060	0	0	0	0	0	3	1	5	24	27	400				
01	01	24	10	1	4	2	35	2	70	065	0	0	0	0	1	3	1	2	24	27	400				
01	01	25	3	6	2	1	30	2	60	005	0	0	0	0	0	2	2	1	24	25	400				

		大メッシュ		小メッシュ		斜面傾斜		斜面方位		比高		斜面高さ (m)		各要図の категория				(注)		斜面天		中央から	加減度
0101	25	4	5	2	3	40	5	80	915	0	0	0	0	1	3	1	1	24	26	400			
0101	25	4	7	2	2	40	6	80	905	1	0	0	0	0	2	2	1	24	26	400			
0101	25	5	2	2	2	40	4	120	940	0	0	0	0	0	3	1	1	24	26	400			
0101	25	5	3	2	3	25	5	55	875	0	0	1	0	0	2	2	2	24	26	400			
0101	25	6	4	3	2	30	5	70	900	0	0	1	0	2	3	1	5	24	26	400			
0101	25	8	9	2	3	30	6	70	820	0	0	0	0	1	2	1	1	24	25	400			
0101	26	1	2	1	2	50	3	90	1010	1	0	0	0	0	3	1	2	24	25	400			
0101	26	1	6	3	4	30	5	65	880	0	0	0	0	1	2	1	1	24	25	400			
0101	26	2	4	2	3	35	4	70	870	0	0	0	0	0	2	1	2	24	25	400			
0101	27	1	4	1	2	40	4	80	600	1	0	0	0	0	2	2	2	24	24	400			
0101	27	1	7	2	1	25	5	40	690	0	0	0	0	0	2	2	2	24	24	400			
0101	27	3	3	1	2	40	6	30	620	1	0	0	0	0	2	2	2	24	24	400			
0101	27	4	7	4	2	40	5	55	525	1	0	0	0	0	2	2	2	24	24	400			
0101	27	4	8	3	3	40	7	80	540	1	0	0	0	0	2	2	2	24	24	400			
0101	27	5	2	1	2	30	5	80	650	0	0	1	0	0	3	1	2	24	24	400			
0101	27	6	6	1	1	30	5	50	540	1	0	0	0	0	2	2	2	24	24	400			
0101	27	10	10	1	2	35	6	75	470	1	0	0	0	0	2	2	1	24	23	400			
0101	28	2	9	1	3	45	7	80	780	1	0	0	0	0	1	2	2	26	31	340			
0101	28	3	8	3	3	45	7	80	700	1	0	0	0	0	1	2	4	26	31	330			
0101	28	3	9	1	2	40	6	100	770	1	0	0	0	0	1	2	4	26	31	340			
0101	28	4	4	2	2	40	6	95	760	1	0	0	0	0	2	1	1	26	32	330			
0101	28	5	7	2	2	40	2	100	660	0	0	0	0	0	2	1	1	26	31	330			
0101	28	5	10	4	2	40	6	95	725	1	0	0	0	0	2	1	2	26	31	340			
0101	28	6	7	2	2	40	3	90	665	0	0	0	0	1	2	1	1	26	31	330			
0101	28	6	9	4	2	35	6	90	630	0	0	0	0	0	2	1	2	26	31	340			
0101	28	7	7	2	2	45	3	100	640	0	0	0	0	1	2	1	1	26	31	330			
0101	28	8	10	1	3	40	8	90	620	0	0	0	0	0	2	1	2	26	31	340			
0101	28	9	5	4	4	45	4	100	620	0	0	0	0	0	2	1	1	26	31	330			
0101	28	9	9	2	2	50	7	100	550	0	0	0	0	0	2	1	2	26	31	340			
0101	29	1	9	1	4	35	4	70	720	0	0	0	1	0	2	1	5	26	30	360			
0101	29	2	3	2	3	40	6	30	740	0	0	0	0	0	2	1	2	26	31	350			
0101	29	2	4	2	2	40	6	120	820	0	0	0	0	0	2	1	5	26	31	350			
0101	29	3	4	2	2	40	6	115	770	1	0	0	0	0	2	1	2	26	31	350			
0101	29	4	3	3	3	40	3	70	650	1	0	0	0	0	2	1	1	26	31	350			
0101	29	4	4	3	2	40	6	100	710	1	0	0	0	0	2	1	2	26	31	350			
0101	29	5	5	4	3	35	7	70	705	0	0	0	0	0	2	1	2	26	30	350			
0101	29	6	6	2	2	35	6	75	730	1	0	0	0	0	2	1	2	26	30	350			
0101	29	7	1	4	2	35	7	90	705	0	0	0	0	0	2	1	2	26	31	340			
0101	29	7	3	2	3	40	4	80	640	0	0	0	0	0	2	1	1	26	31	350			
0101	29	7	4	3	2	35	3	70	640	1	0	0	0	0	2	1	2	26	31	350			
0101	29	8	4	1	2	50	6	110	840	1	0	0	0	0	1	2	2	26	31	350			
0101	29	8	6	2	4	40	5	95	685	0	0	0	0	0	1	2	2	26	30	350			
0101	29	8	9	1	2	35	3	80	615	1	0	0	0	0	1	2	2	26	30	360			
0101	29	9	4	3	2	45	5	75	615	1	0	0	0	0	1	2	1	26	30	350			
0101	29	9	6	1	2	40	5	100	630	0	0	0	0	0	1	2	2	26	30	350			
0101	30	3	7	2	4	30	6	65	660	0	0	0	0	0	2	1	1	25	29	380			
0101	30	4	2	1	2	30	8	30	660	0	0	0	0	0	1	2	1	26	30	370			
0101	30	4	7	3	4	40	5	50	640	1	0	0	0	1	2	1	1	25	29	380			
0101	30	4	9	3	3	40	6	75	630	0	0	0	0	0	2	2	1	25	29	390			
0101	30	4	10	1	1	45	6	80	630	0	0	0	0	0	1	2	2	25	29	390			
0101	30	5	1	2	4	40	6	75	660	0	0	0	0	0	1	2	1	26	30	370			
0101	30	6	1	2	2	40	6	75	640	0	0	0	0	0	1	2	1	25	30	370			
0101	30	6	10	1	4	40	4	65	530	0	0	0	0	0	1	2	1	25	29	390			
0101	30	7	1	2	2	40	6	100	640	0	0	0	0	0	2	1	1	26	30	370			
0101	30	7	7	2	2	40	6	100	535	0	0	0	0	0	1	2	1	25	29	390			
0101	30	8	4	1	1	40	6	50	570	0	0	0	0	0	2	1	1	26	29	380			
0101	30	8	9	2	2	45	5	90	570	0	0	0	0	0	1	2	2	25	29	390			
0101	30	9	3	1	1	40	6	40	565	0	0	0	0	0	2	1	1	26	30	380			
0101	30	9	4	2	3	40	6	60	550	0	0	0	0	0	2	2	1	26	29	380			
0101	30	10	2	2	2	40	6	60	500	0	0	0	1	0	1	2	1	25	29	380			

									主要箇のカテゴリー								(注)	降雨		お穴から	加速度
		大メッシュ	小メッシュ	斜面傾斜	斜面方位	比高	比高(m)														
0101	31	3	3	2	4	40	6	80	600	0	0	0	0	0	1	2	1	25	29	400	
0101	31	4	6	1	4	35	7	45	775	1	0	0	0	0	1	2	2	25	23	400	
0101	31	4	7	4	1	40	6	55	815	1	0	0	0	0	3	1	2	25	23	400	
0101	31	5	9	2	2	45	5	120	930	0	0	0	0	0	3	1	2	25	25	400	
0101	31	6	3	2	4	40	5	60	620	0	0	0	0	0	1	2	1	25	29	400	
0101	31	6	4	3	4	40	6	90	670	0	0	0	0	0	1	1	2	1	25	23	400
0101	31	6	8	2	3	50	7	90	810	0	0	0	0	0	3	1	2	25	23	400	
0101	31	6	9	2	3	50	6	120	910	0	0	0	0	0	3	1	2	25	23	400	
0101	31	8	6	2	4	40	7	80	720	0	0	0	0	1	1	2	2	25	23	400	
0101	31	8	10	2	3	50	7	110	970	0	0	0	0	0	3	1	2	25	23	400	
0101	31	9	6	2	4	45	6	70	650	1	0	0	0	0	1	2	2	25	23	400	
0101	31	9	7	3	3	40	5	90	740	1	0	0	0	2	3	1	2	25	28	400	
0101	31	9	8	2	3	40	6	100	800	0	0	0	0	0	3	1	2	25	23	400	
0101	31	10	6	3	4	40	7	70	690	1	0	0	1	1	1	2	2	25	23	400	
0101	31	10	7	2	4	40	7	115	755	0	0	0	0	2	3	1	2	25	23	400	
0101	31	10	8	2	3	40	7	120	830	0	0	0	0	0	3	1	2	25	28	400	
0101	31	10	10	2	1	40	7	75	955	0	0	0	0	0	3	1	2	25	23	400	
0101	32	2	7	2	2	40	4	90	960	0	0	0	0	0	3	1	2	25	27	400	
0101	32	2	8	2	2	40	5	100	1000	0	0	0	0	0	3	1	2	25	27	400	
0101	32	9	8	2	2	30	4	70	830	0	0	1	0	0	3	1	2	25	27	400	
0101	32	10	10	2	4	40	4	80	760	1	0	0	0	0	3	1	1	25	27	400	
0101	33	1	1	1	2	30	6	65	970	0	0	0	1	0	3	1	2	24	27	400	
0101	33	4	9	2	2	25	4	55	790	0	0	0	1	0	2	1	5	24	26	400	
0101	33	5	3	2	3	40	5	75	870	1	0	0	1	0	3	1	1	24	27	400	
0101	33	7	1	4	2	30	5	65	880	1	0	0	0	0	3	1	1	24	27	400	
0101	33	8	2	1	1	40	5	45	820	0	0	0	1	0	3	1	5	24	27	400	
0101	33	8	9	2	1	40	6	65	735	0	0	0	0	1	2	1	1	24	26	400	
0101	33	8	10	4	1	40	5	50	785	1	0	0	0	2	2	1	2	24	26	400	
0101	33	9	1	2	4	40	6	65	785	0	0	0	0	1	3	1	1	24	27	400	
0101	33	9	9	2	1	40	6	70	750	1	0	0	0	0	2	1	1	24	26	400	
0101	33	9	10	3	3	40	5	70	740	0	0	0	0	1	2	1	2	24	26	400	
0101	33	10	10	1	2	35	2	75	720	0	0	0	0	1	2	1	2	24	26	400	
0101	34	1	3	3	4	40	5	50	830	0	0	1	0	1	2	1	1	24	26	400	
0101	34	1	4	2	3	30	4	50	800	0	0	0	0	0	2	1	5	24	26	400	
0101	34	2	2	2	3	30	4	70	820	0	0	1	0	1	2	1	5	24	26	400	
0101	34	2	3	4	3	40	6	70	800	0	0	0	0	0	2	1	5	24	26	400	
0101	34	2	5	1	2	40	2	60	775	1	0	0	0	1	2	1	1	24	26	400	
0101	34	3	2	4	4	40	5	60	815	0	0	0	0	1	2	1	5	24	26	400	
0101	34	4	3	3	4	35	5	65	770	0	0	0	0	0	2	1	5	24	26	400	
0101	34	4	10	3	3	30	5	40	630	1	0	0	1	0	2	1	2	24	25	400	
0101	34	5	4	4	4	30	5	55	710	0	0	0	0	1	2	1	5	24	25	400	
0101	34	5	5	1	1	40	5	80	740	1	0	0	0	1	2	1	5	24	26	400	
0101	34	6	3	2	4	40	5	30	750	0	0	0	0	0	2	1	5	24	26	400	
0101	34	7	3	3	2	40	2	80	750	1	0	0	0	0	2	1	5	24	26	400	
0101	34	7	4	3	3	40	2	55	700	1	0	0	1	0	2	1	1	24	26	400	
0101	34	7	5	3	4	30	2	60	635	1	0	0	1	0	2	1	1	24	26	400	
0101	35	1	2	4	4	50	5	70	760	0	0	0	0	0	2	1	5	24	25	400	
0101	35	1	3	2	1	40	6	95	815	1	0	0	0	0	2	1	5	24	25	400	
0101	35	2	9	2	2	35	3	110	790	0	0	0	0	0	2	1	5	24	24	400	
0101	35	2	10	4	2	35	4	90	740	1	0	0	0	1	2	1	5	24	24	400	
0101	35	3	6	2	4	35	5	70	810	0	0	0	0	1	2	1	5	24	25	400	
0101	35	4	4	2	3	40	7	80	750	0	0	0	0	0	2	1	5	24	25	400	
0101	35	5	4	2	1	40	7	75	730	0	0	0	0	0	2	1	1	24	25	400	
0101	35	8	9	1	1	25	6	60	710	1	0	0	0	0	1	2	1	24	24	400	
0101	36	5	8	4	3	40	2	80	540	1	0	0	0	0	2	1	1	24	23	400	
0101	37	1	9	2	2	50	5	130	510	0	0	0	0	0	2	1	2	25	31	340	
0101	37	2	5	4	3	45	2	60	410	1	0	0	1	0	3	1	1	25	31	330	
0101	37	2	9	3	2	40	5	90	420	1	0	0	1	0	2	1	2	25	31	340	
0101	38	1	10	3	4	45	5	40	570	1	0	0	0	1	2	1	2	25	30	370	
0101	38	2	3	2	2	40	5	35	600	0	0	0	0	0	1	2	1	25	31	350	

		大メッシュ	小メッシュ	新断面	新断面	新断面	新断面	比高	比高(m)	主要部のカテゴリー																新断面	新断面	加減度
										(注)																		
0101	38	2	4	2	2	40	6	70	600	0	0	0	0	0	1	2	1	25	30	350								
0101	38	2	9	2	2	40	6	95	530	0	0	0	0	0	1	2	2	25	30	360								
0101	38	4	2	4	2	40	5	90	445	0	0	0	1	0	1	2	1	25	31	350								
0101	38	5	3	2	1	40	3	100	530	0	0	0	0	0	1	2	1	25	30	350								
0101	38	10	10	4	2	35	6	80	510	0	0	0	0	0	3	1	1	25	30	370								
0101	39	2	9	4	1	50	6	80	570	0	0	0	0	0	1	2	1	25	29	390								
0101	39	3	10	2	4	40	6	70	570	0	0	0	0	2	1	2	5	25	29	400								
0101	39	4	10	4	4	40	6	35	530	1	0	0	0	1	1	2	5	25	29	400								
0101	39	5	10	4	2	45	8	110	560	0	0	0	0	0	1	2	1	25	29	400								
0101	39	6	1	1	1	40	2	65	620	1	0	0	0	0	3	1	2	25	30	370								
0101	40	1	6	2	2	40	8	35	715	0	0	0	1	1	3	1	2	25	23	400								
0101	40	2	5	3	4	40	7	70	665	0	0	0	0	1	3	1	2	25	23	400								
0101	40	2	6	3	2	40	7	35	735	0	0	0	0	0	3	1	2	25	23	400								
0101	40	3	1	4	4	40	7	70	600	0	0	0	0	1	1	2	2	25	29	400								
0101	40	3	4	3	1	35	6	80	690	1	0	0	0	1	3	1	1	25	23	400								
0101	40	4	2	3	3	45	6	75	610	1	0	0	0	1	1	2	2	25	29	400								
0101	40	4	4	4	2	40	6	80	635	0	0	0	0	1	3	1	2	25	23	400								
0101	40	5	2	4	2	40	5	35	535	0	0	0	0	1	1	2	1	25	29	400								
0101	40	6	2	2	3	40	7	70	520	0	0	0	0	1	1	2	1	25	29	400								
0101	40	6	3	4	1	40	7	60	550	0	0	0	0	0	1	2	5	25	23	400								
0101	40	6	4	3	3	35	7	60	560	0	0	0	0	0	3	1	2	25	28	400								
0101	40	6	5	4	1	50	7	60	620	1	0	1	0	0	3	1	1	25	23	400								
0101	40	7	3	2	3	50	4	70	515	0	0	0	0	0	3	1	1	25	23	400								
0101	40	9	3	1	2	40	5	60	560	0	0	1	0	0	2	2	1	25	23	400								
0101	40	10	7	1	1	40	5	55	525	1	0	0	0	0	2	2	1	25	23	400								
0101	40	10	10	4	2	30	7	60	590	0	0	1	0	0	2	2	1	25	23	400								
0101	41	2	7	1	2	50	3	70	860	1	0	1	0	0	3	1	1	25	27	400								
0101	41	2	3	3	3	45	3	80	805	0	0	1	0	0	3	1	1	25	27	400								
0101	41	5	4	2	3	50	5	100	750	1	0	0	0	0	3	1	5	25	27	400								
0101	41	6	2	4	2	35	3	65	630	1	0	0	0	0	2	1	1	25	28	400								
0101	41	6	5	2	2	50	5	90	720	0	0	0	0	0	3	1	2	25	27	400								
0101	41	6	6	2	3	40	6	80	740	0	0	0	0	0	3	1	2	25	27	400								
0101	41	6	10	2	2	30	5	50	725	0	0	0	0	0	3	1	1	25	27	400								
0101	41	7	2	2	2	35	4	65	665	1	0	0	0	0	2	1	2	25	28	400								
0101	41	8	4	1	2	40	7	80	620	1	0	0	0	0	2	1	1	25	27	400								
0101	41	8	5	1	2	40	6	80	675	1	0	0	0	0	3	1	1	25	27	400								
0101	41	8	6	4	2	30	5	60	635	1	0	0	0	0	3	1	1	25	27	400								
0101	41	9	4	2	4	45	7	50	590	0	0	0	0	0	2	1	1	25	27	400								
0101	41	10	3	2	3	45	7	60	570	0	0	0	0	0	2	1	1	25	27	400								
0101	41	10	5	4	1	40	7	55	600	0	0	0	0	0	3	1	2	25	27	400								
0101	41	10	3	3	3	40	4	80	610	0	0	0	0	1	3	1	2	25	27	400								
0101	42	2	4	2	4	30	5	60	660	0	0	0	1	0	2	1	1	24	26	400								
0101	42	3	4	2	4	40	2	40	550	0	0	0	1	1	3	1	1	24	26	400								
0101	42	8	8	2	1	40	6	60	550	0	0	0	0	0	1	2	1	24	26	400								
0101	42	9	3	4	1	40	6	60	525	1	0	0	1	0	1	2	2	24	26	400								
0101	43	2	4	1	2	40	6	35	710	1	0	0	0	1	2	1	2	24	26	400								
0101	43	3	4	2	1	40	7	45	710	0	0	0	0	0	2	1	2	24	25	400								
0101	43	4	1	2	3	40	5	70	640	0	0	0	0	0	2	1	2	24	26	400								
0101	43	9	6	3	4	40	6	95	595	1	0	0	0	0	2	1	2	24	25	400								
0101	43	9	7	1	1	40	6	65	600	1	0	0	0	0	2	1	2	24	25	400								
0101	43	9	10	2	4	30	6	40	490	1	0	0	0	0	2	1	2	24	25	400								
0101	44	2	6	1	2	35	5	35	655	1	0	0	0	0	3	3	1	24	24	400								
0101	44	4	10	4	2	50	6	70	720	1	0	0	0	1	2	1	5	24	24	400								
0101	44	5	10	2	3	50	7	70	690	1	0	0	0	1	2	1	5	24	24	400								
0101	45	2	3	2	3	50	4	35	565	0	0	0	0	0	2	1	2	24	23	400								
0101	45	3	7	4	2	40	3	90	650	0	0	0	0	0	2	1	2	24	23	400								
0101	45	5	5	1	4	40	4	75	765	1	0	0	0	1	2	1	5	24	23	400								
0101	45	5	6	1	4	40	3	75	725	1	0	0	0	1	3	1	2	24	23	400								
0101	45	2	4	4	1	40	5	30	430	0	0	0	0	0	1	2	1	25	31	320								
0101	45	5	5	1	2	35	3	50	740	1	0	0	1	0	2	1	1	25	31	340								

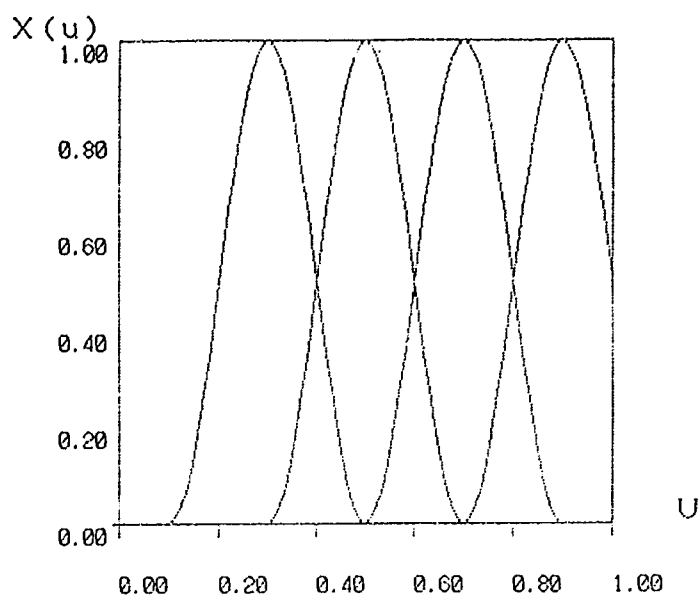
		大メッシュ		小メッシュ		前面傾斜		後面傾斜		前面方位		後面方位		比高		傾斜(度)		各要図の категория										(注)		地面云		の距離		出口から		加速度																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						

		大メッシュ		小メッシュ		前面積		後面積		前面方位		後面方位		比高		傾斜(m)		各要図の категория (注)										距離		加減反																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												

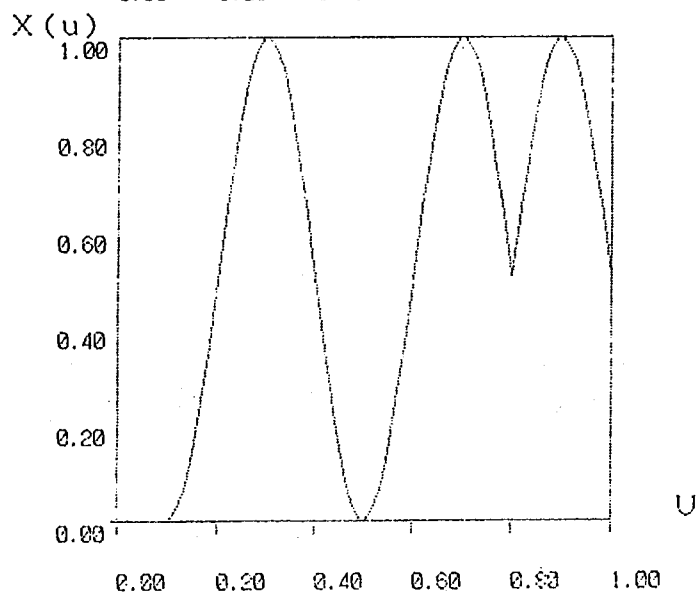
		大メッシュ		小メッシュ		前面傾斜		前面傾斜		前面方位		比高		比高(m)		各要図の категория										(注)		陸田云		の足廻		に尖から		加延度																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	

		大メッシュ		小メッシュ		前面深所		前面傾斜		前面方位		比高		比高(%)		各要図の категория (注)										総高		段差から		加算度	
0101	60	1	1	1	4	30	5	60	365	1	0	0	0	0	3	1	2	24	24	400											
0101	60	1	4	4	3	30	6	55	415	1	0	0	0	0	3	1	2	24	24	400											
0101	30	1	9	4	1	35	4	60	455	1	0	0	0	0	3	1	2	24	23	400											
0101	30	2	10	4	1	40	4	80	330	1	0	0	0	1	2	1	2	24	23	400											
0101	30	3	1	3	3	30	6	70	305	1	0	0	0	0	2	1	1	24	24	400											
0101	30	10	5	2	3	40	5	30	225	0	0	0	0	0	1	2	2	24	24	400											
0101	31	2	1	2	4	50	5	50	315	0	0	0	0	2	2	1	1	24	23	400											
0101	31	5	9	4	4	45	5	85	330	1	0	0	0	0	2	1	2	24	23	400											
0101	31	6	9	4	4	40	5	70	325	1	0	0	0	2	2	1	2	24	23	400											
0101	31	6	10	3	4	40	5	55	330	1	0	0	0	1	2	1	2	24	22	400											
0101	31	3	10	3	4	35	6	60	275	1	0	0	0	0	2	2	1	24	22	400											
0101	31	9	10	2	1	30	4	35	275	0	0	0	0	0	1	2	1	24	22	400											
0101	33	2	6	4	4	30	5	45	290	1	0	0	0	2	2	1	1	25	27	400											
0101	36	2	7	1	1	30	5	55	295	1	0	0	0	0	2	1	1	25	27	400											
0101	36	4	2	4	4	25	6	50	290	1	0	0	0	0	2	1	5	25	27	390											
0101	36	4	5	4	3	25	3	35	230	1	0	0	0	0	2	1	1	25	27	400											
0101	36	5	2	4	1	30	7	30	265	1	0	0	0	1	2	1	1	25	27	390											
0101	36	5	5	1	2	35	3	65	265	1	0	0	0	0	2	1	5	25	27	400											
0101	36	5	10	4	4	40	7	40	275	1	0	0	0	1	2	1	2	25	26	400											
0101	36	6	8	1	4	30	5	45	220	1	0	0	1	0	2	1	2	25	27	400											
0101	37	2	1	4	1	20	4	20	275	1	0	0	0	0	2	1	2	25	26	400											
0101	37	3	3	2	4	30	1	50	255	0	0	0	0	0	2	1	1	25	26	400											
0101	37	4	3	2	3	35	3	60	305	0	0	0	0	0	2	1	1	25	26	400											
0101	37	4	4	3	1	30	8	50	305	1	0	0	0	0	2	1	1	25	26	400											
0101	37	5	1	1	4	30	6	50	235	1	0	0	0	0	2	1	1	25	26	400											
0101	38	5	2	2	1	40	1	60	265	0	0	0	0	1	2	1	1	25	25	400											
0101	39	3	3	3	3	30	6	50	90	1	0	0	1	0	1	2	2	24	24	400											
0101	39	3	8	2	3	25	4	50	135	0	0	0	0	0	2	1	2	24	24	400											
0101	39	9	10	4	4	40	6	65	105	1	0	0	0	0	1	2	2	24	23	400											
0101	40	1	5	1	4	40	3	30	230	1	0	0	0	0	1	2	2	24	23	400											
0101	40	1	8	1	2	30	5	55	245	1	0	0	0	0	2	1	2	24	23	400											
0101	40	2	10	2	1	30	6	30	235	0	0	0	0	0	2	1	3	24	22	400											
0101	40	3	8	4	2	50	7	55	215	1	0	0	0	0	2	1	2	24	23	400											
0101	40	4	8	2	1	40	7	30	205	0	0	0	0	0	2	1	1	24	23	400											
0101	40	5	2	1	1	35	7	70	150	1	0	0	1	1	1	2	1	24	23	400											
0101	40	6	4	2	3	30	4	70	140	0	0	1	0	0	1	2	2	24	23	400											
0101	40	6	9	3	1	40	6	55	215	1	0	0	0	0	2	2	2	24	23	400											
0101	40	7	7	4	2	35	4	30	160	1	0	0	0	1	1	2	2	24	23	400											
0101	40	7	8	2	3	30	6	50	145	0	0	0	0	1	1	2	1	24	23	400											
0101	40	7	9	1	4	25	5	45	170	1	0	0	0	1	1	2	1	24	23	400											
0101	40	8	7	3	1	40	5	80	160	1	0	1	0	0	1	2	2	24	23	400											
0101	40	10	9	4	3	25	2	40	115	1	0	0	0	0	2	1	1	24	23	400											
0101	47	3	1	1	1	25	7	50	255	1	0	0	0	0	2	1	2	25	25	400											
0101	49	2	4	4	3	30	7	60	115	1	0	0	0	0	2	1	2	24	23	400											
0101	49	2	9	2	3	35	5	65	170	0	0	0	0	1	2	1	2	24	23	400											
0101	49	2	10	3	4	40	4	50	135	1	0	0	0	0	2	1	2	24	22	400											
0101	49	3	7	4	4	30	4	50	145	1	0	0	0	0	2	1	2	24	23	400											
0101	49	3	9	4	4	30	6	60	140	1	0	0	0	1	2	1	2	24	23	400											
0101	49	4	8	1	4	30	6	40	25	1	0	0	0	0	2	1	2	24	23	400											
0101	49	4	8	1	3	35	6	55	95	1	0	0	1	0	2	1	2	24	23	400											
0101	03	1	7	3	2	30	7	45	50	1	0	0	1	0	2	1	4	24	23	400											
0101	03	2	9	3	2	40	5	70	95	1	0	0	1	0	2	1	3	24	23	400											
0101	03	3	10	4	1	40	7	45	35	1	0	0	1	0	4	4	2	24	23	400											

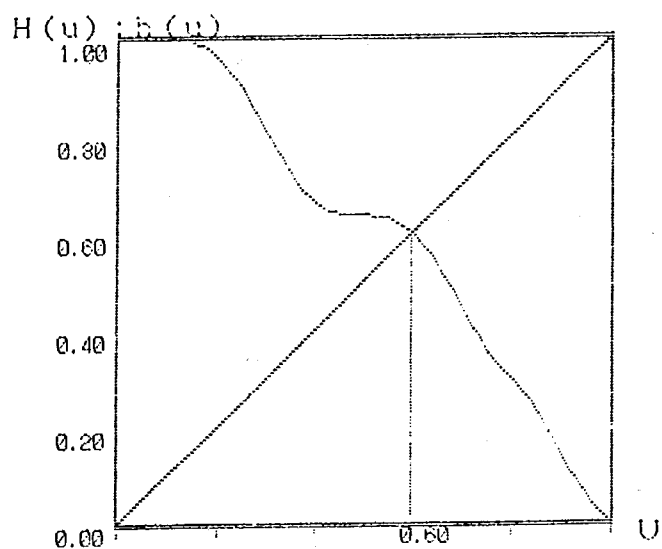
a. 入力された各関数



b. max-min合成図



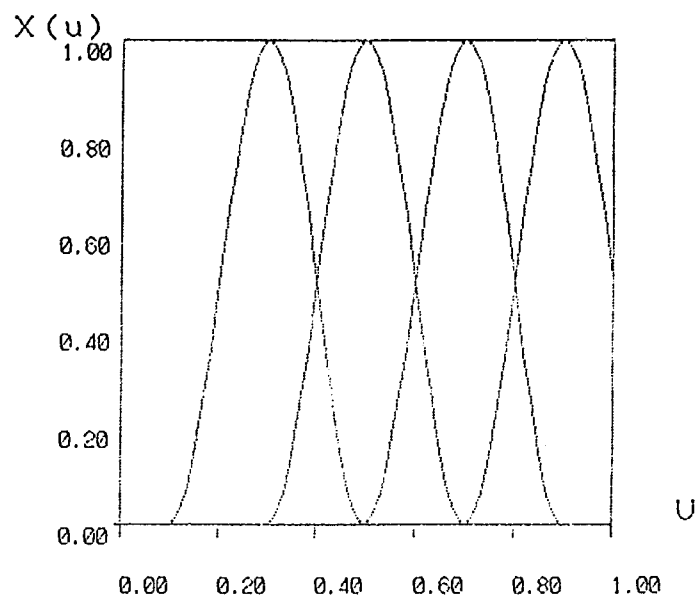
c. ファジィ積分値



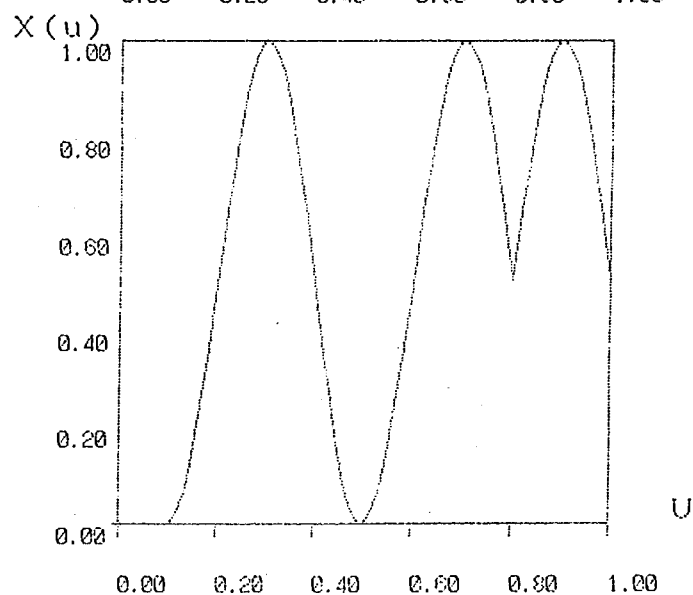
FUZZY積分値
U*の出力

$$U^* = 0.60$$

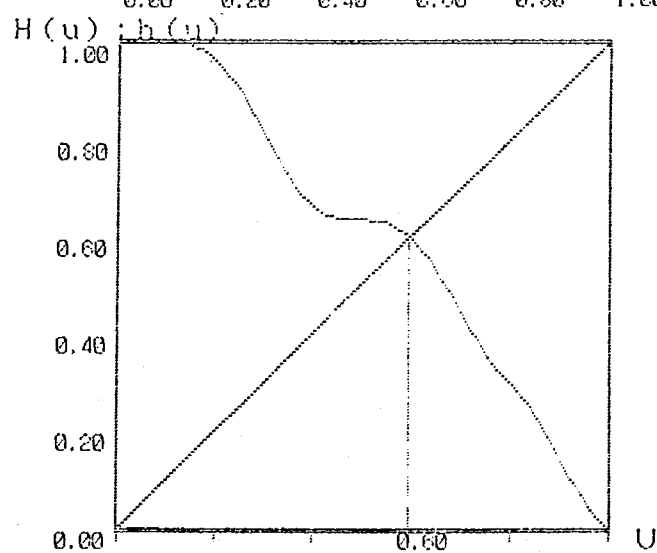
a. 入力された各関数



b. max-min合成図



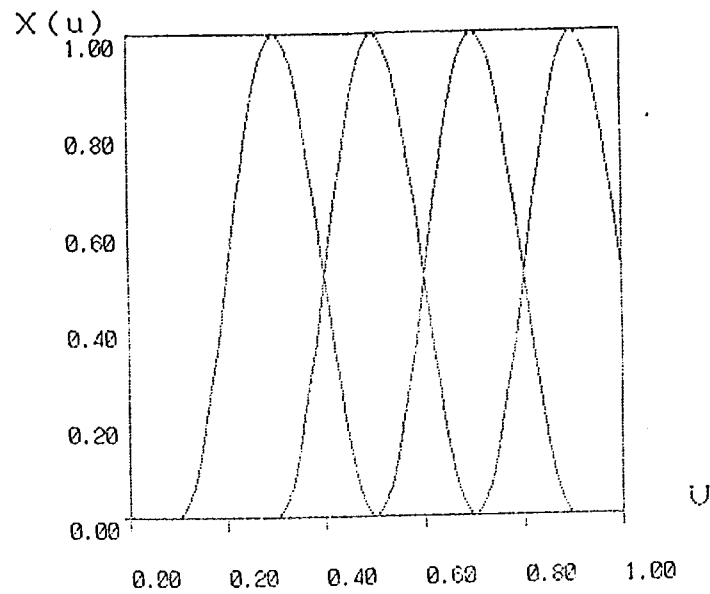
c. ファジィ積分値



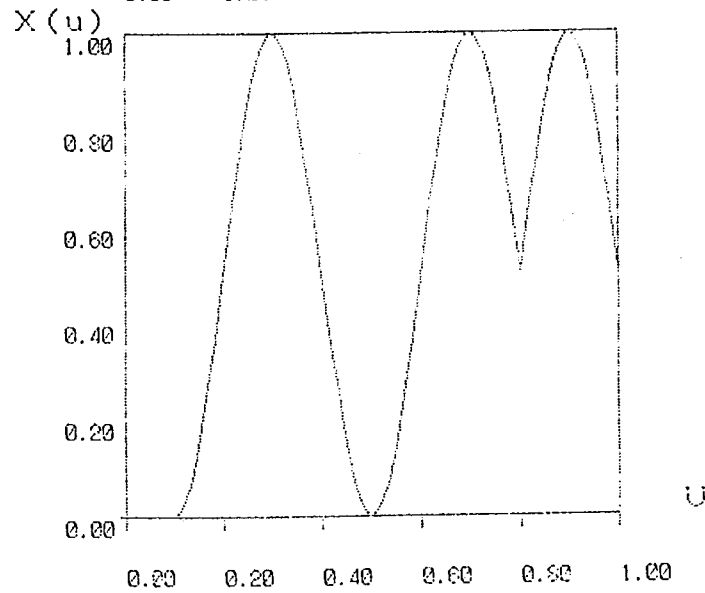
FUZZY積分値
Uの出力

$$U_k = 0.60$$

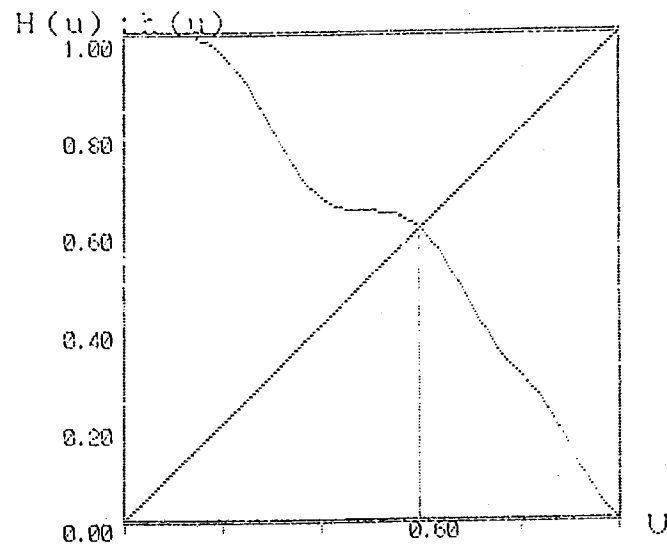
a. 入力された各関数



b. max-min合成図



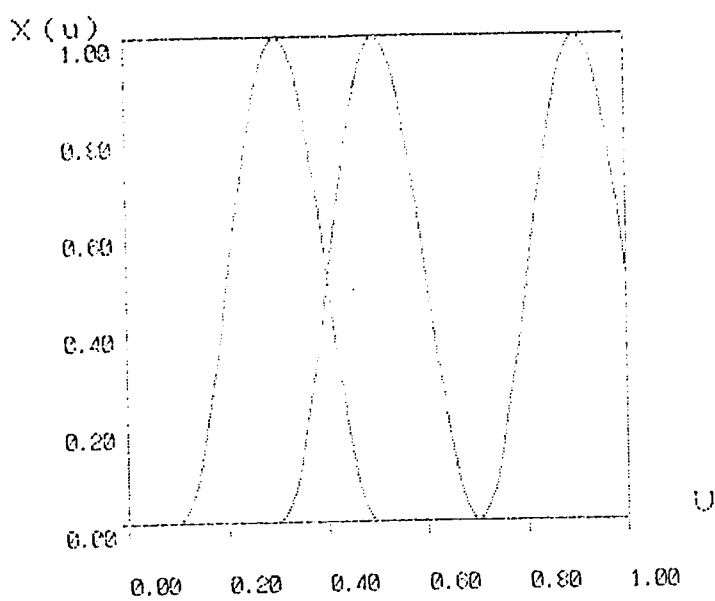
c. ファジィ積分値



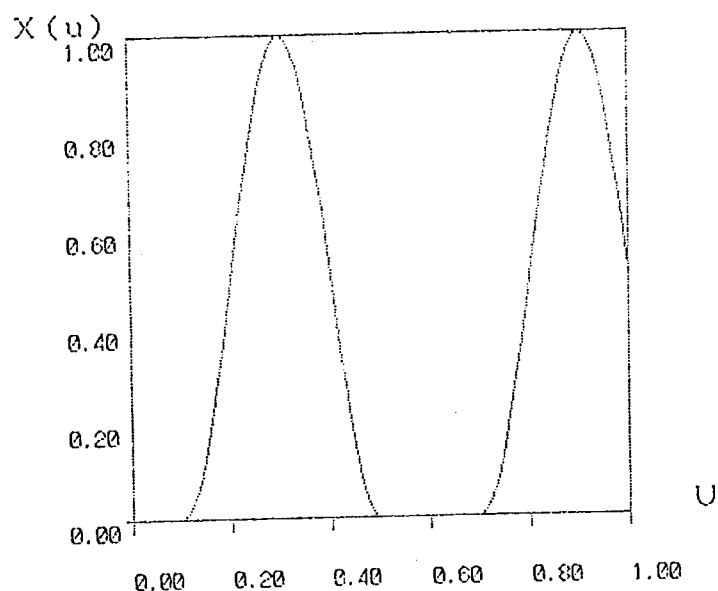
FUZZY積分値
Uの出力

$$U^* = 0.60$$

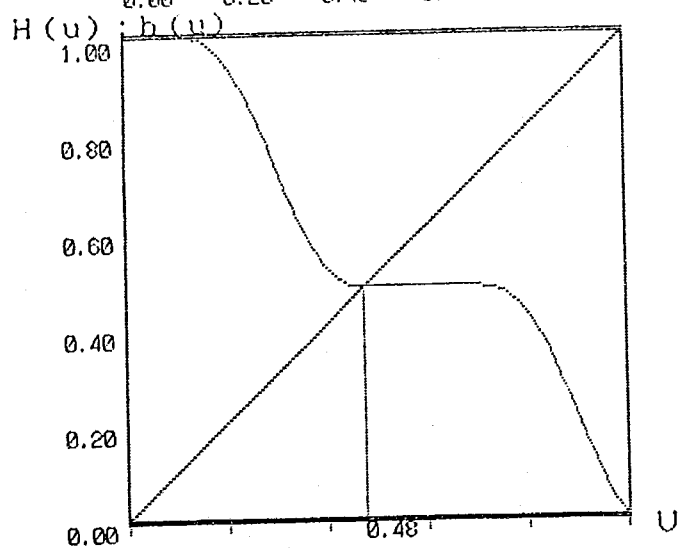
a. 入力された各関数



b. max-min合成図



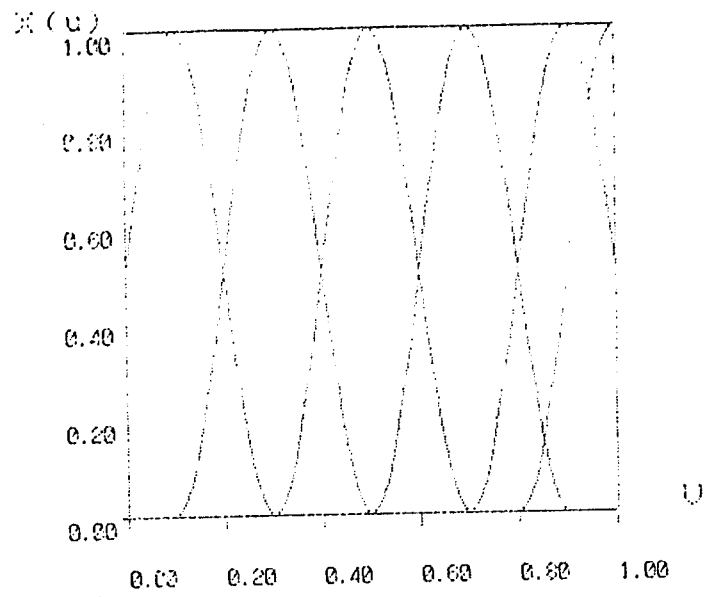
c. ファジィ積分値



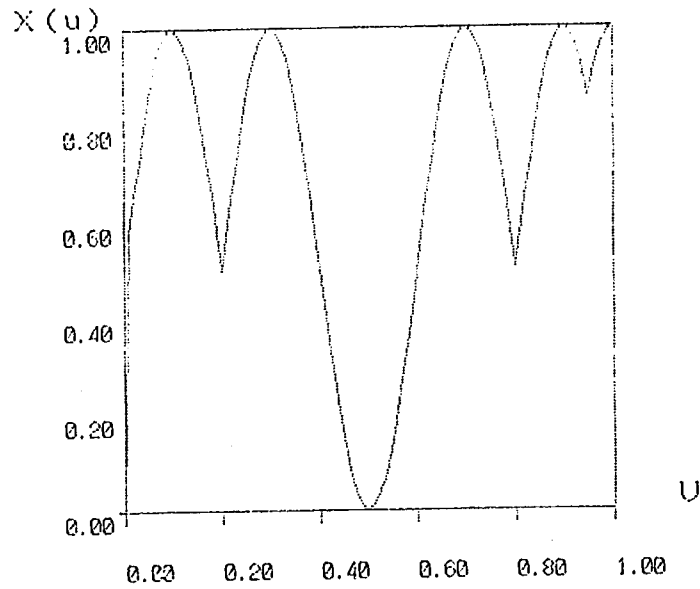
FUZZY積分値
U*の出力

$$U^* = 0.48$$

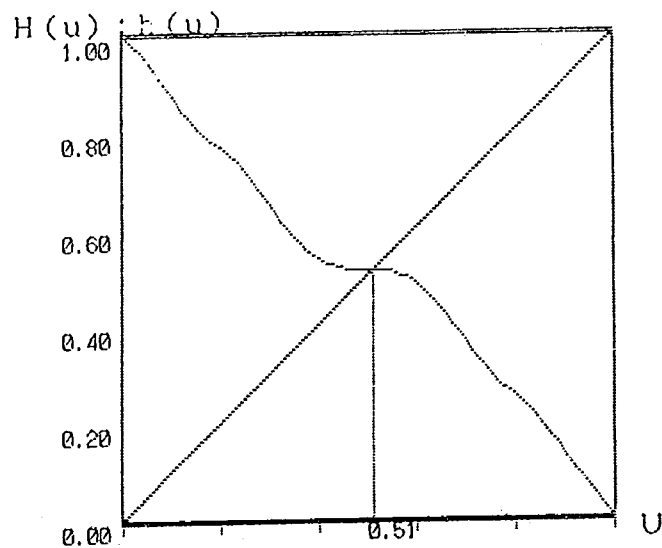
a. 入力された各語関数



b. max-min合成図



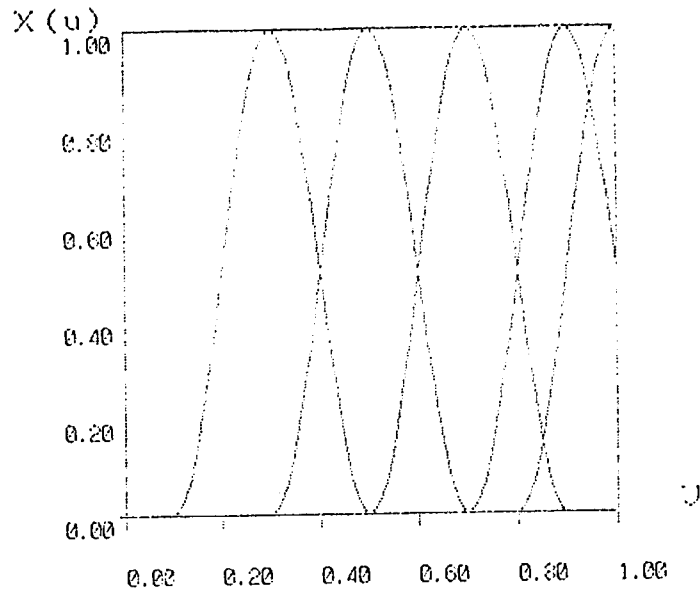
c. ファジィ積分値



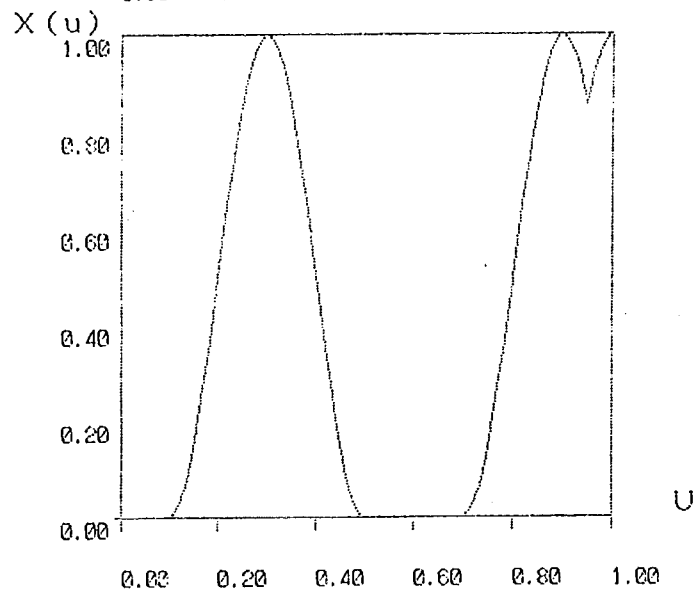
FUZZY積分値
U*の出力

$$U^* = 0.51$$

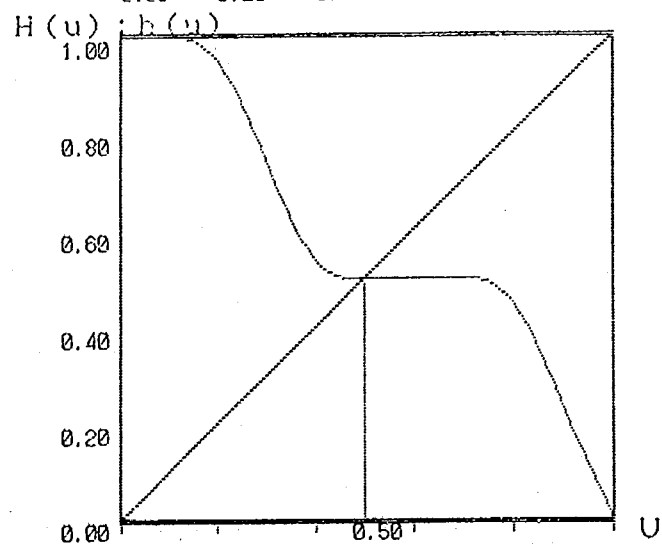
a. 入力された各結節点



b. max-min合成図



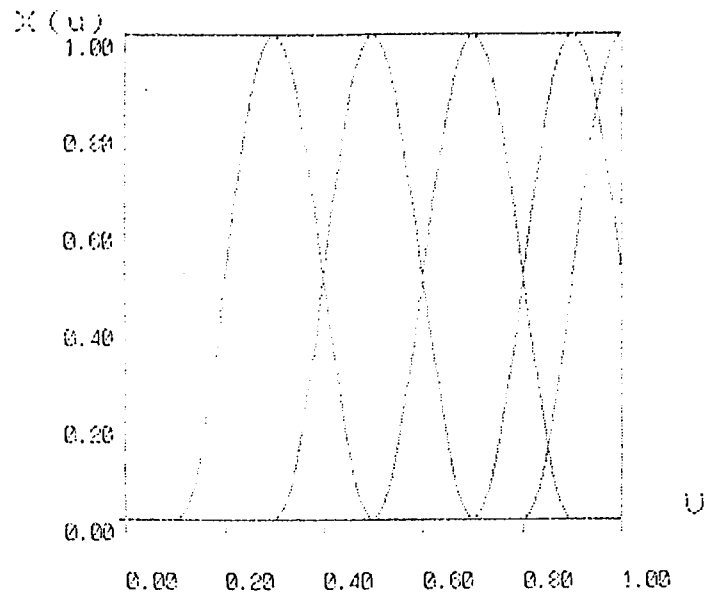
c. ファジィ積分値



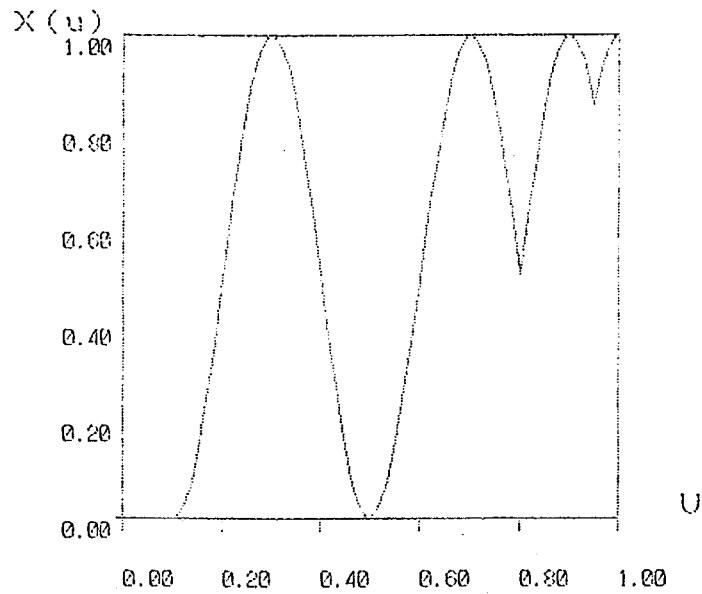
FUZZY積分値
U*の出力

$$U^* = 0.50$$

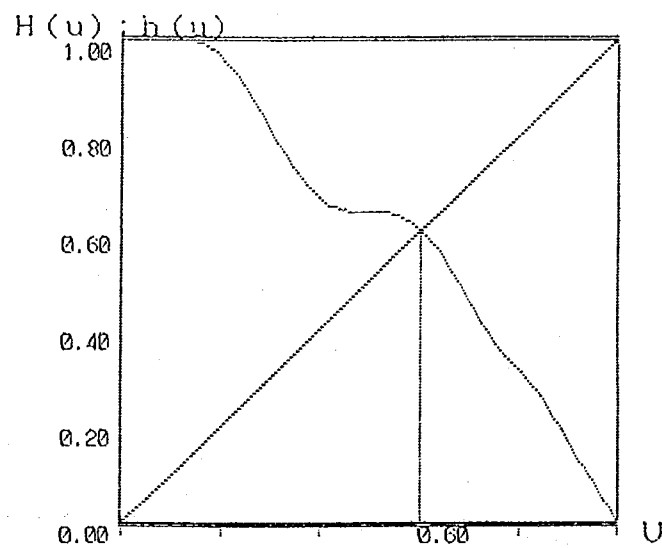
a. 入力された各語関数



b. max-min合成図



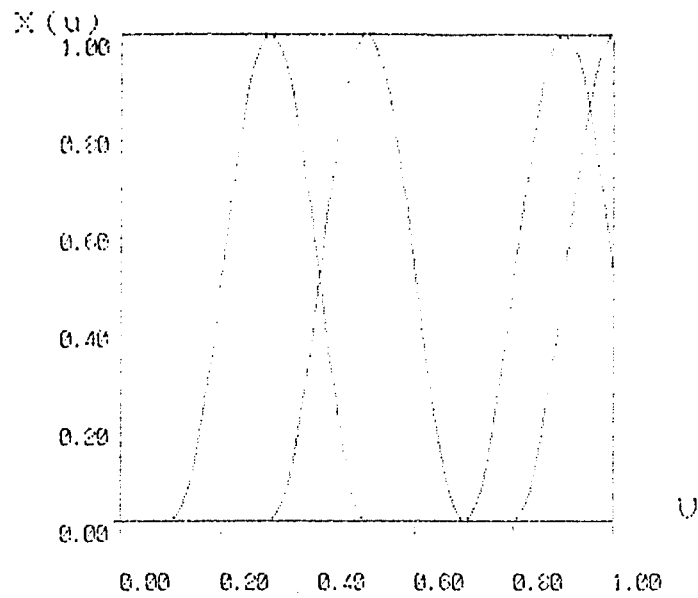
c. ファジィ積分値



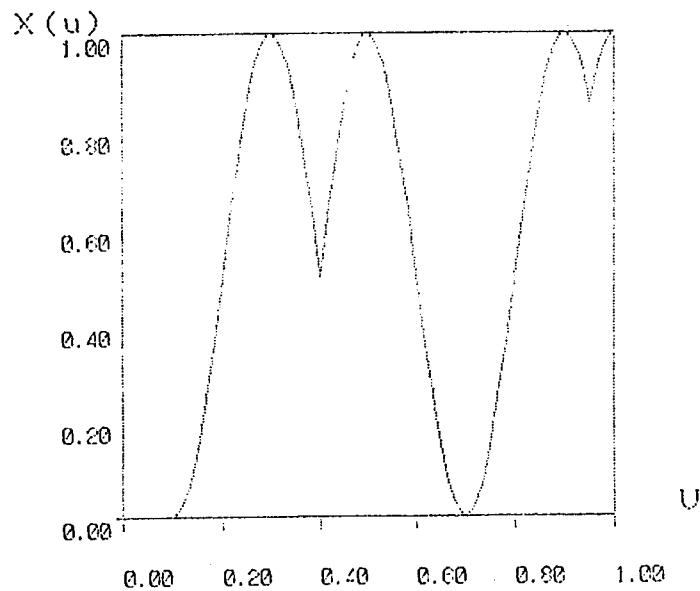
FUZZY積分値
U*の出力

$$U^* = 0.60$$

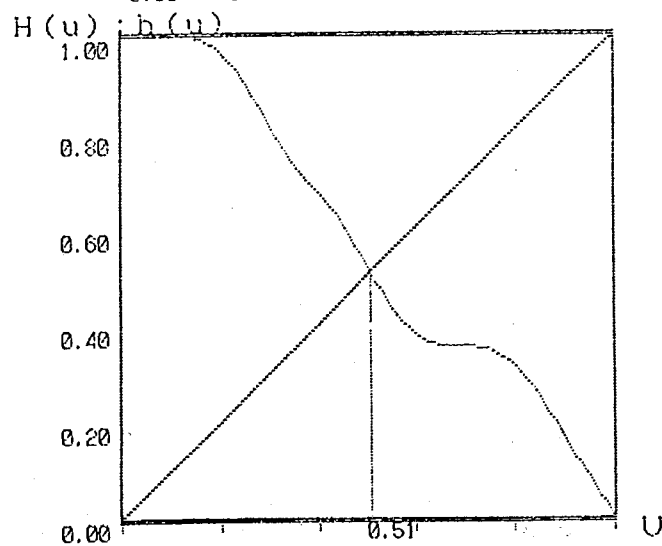
a. 入力された各語関数



b. max-min合成図



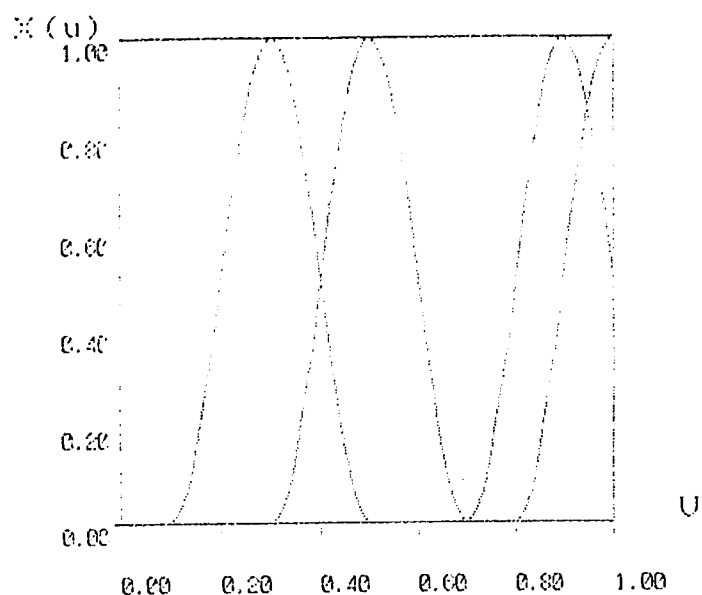
c. ファジィ積分値



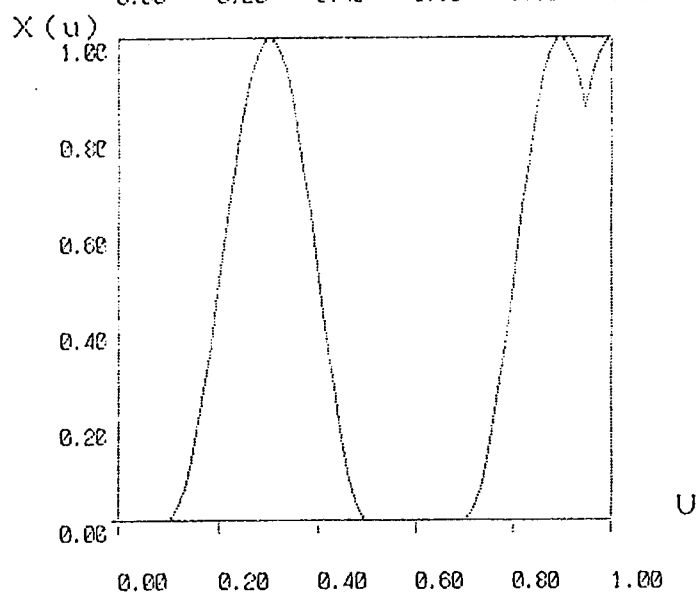
FUZZY積分値
U*の出力

$$U^* = 0.51$$

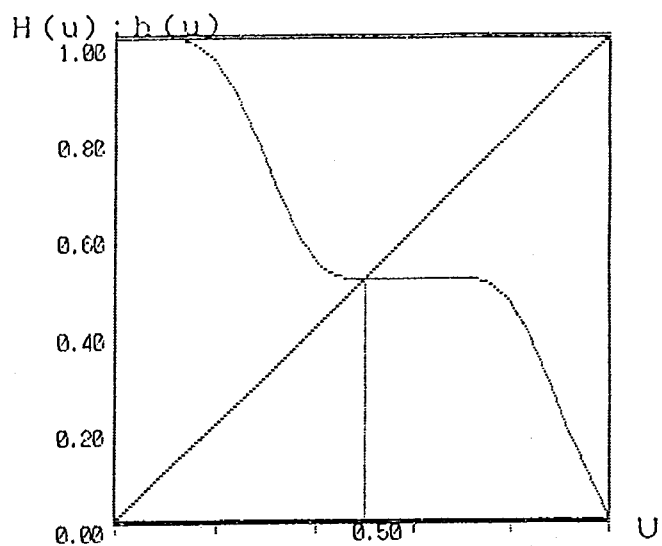
a. 入力された各相関関数



b. max-min合成図



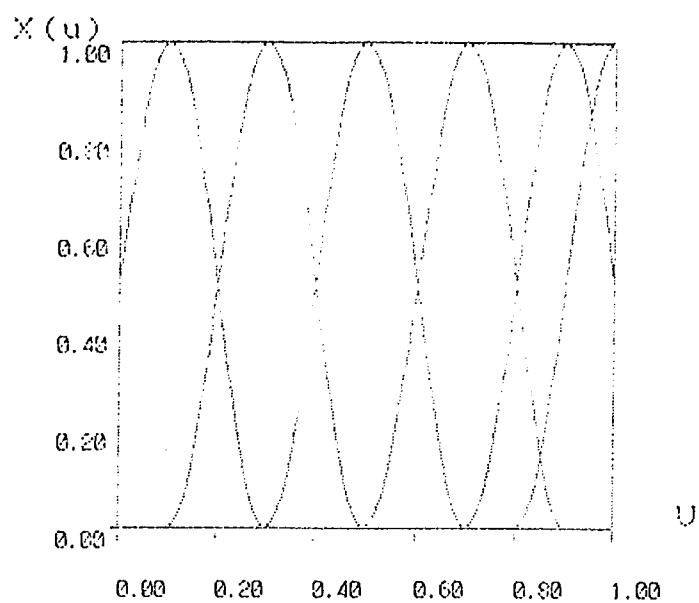
c. ファジィ積分値



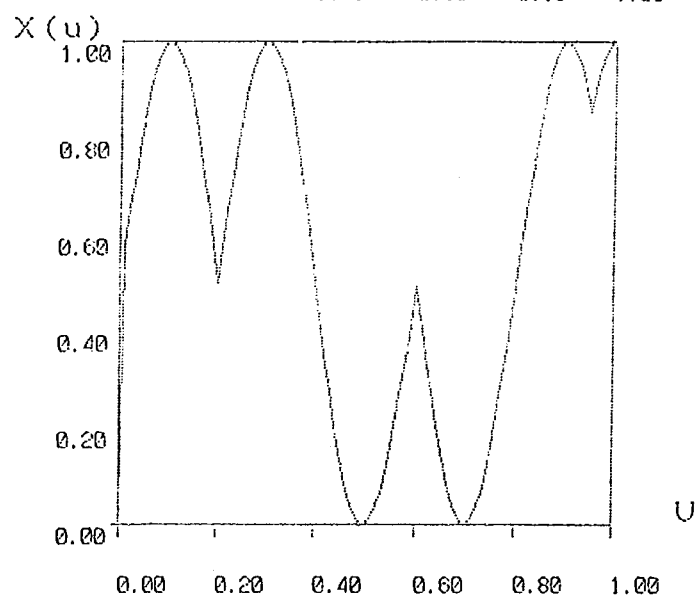
FUZZY積分値
U*の出力

U* = 0.50

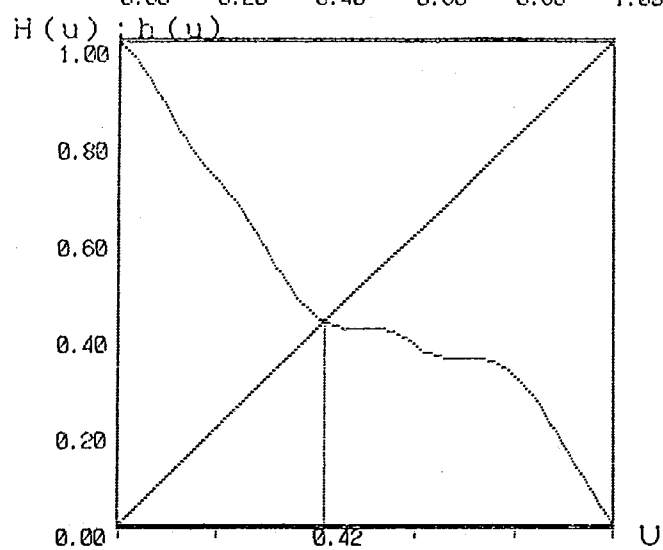
a. 入力された各関数



b. max-min合成図



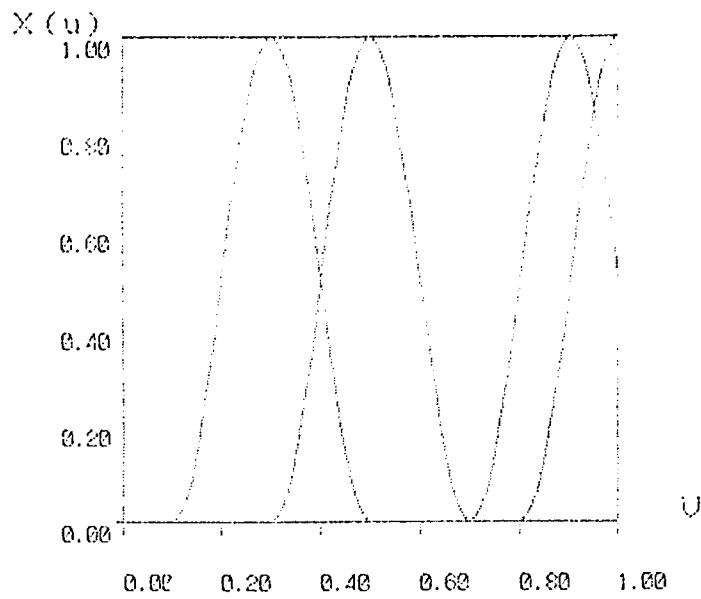
c. ファジィ積分値



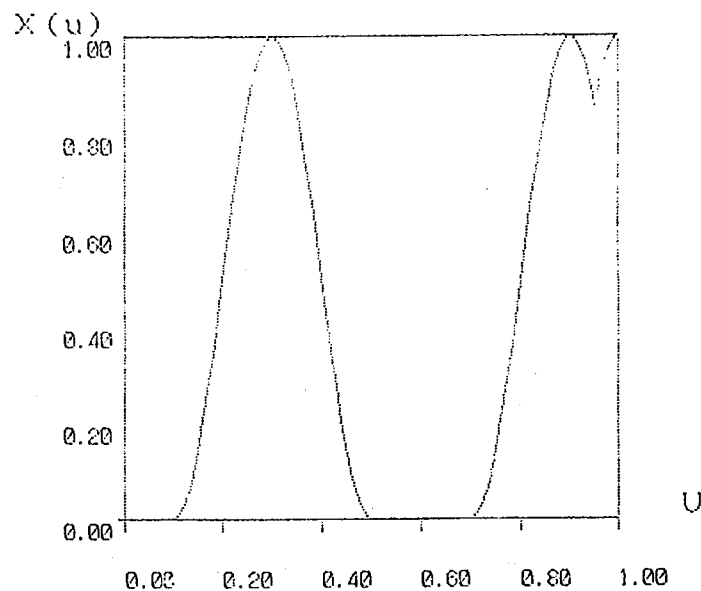
FUZZY積分値
U*の出力

$$U^* = 0.42$$

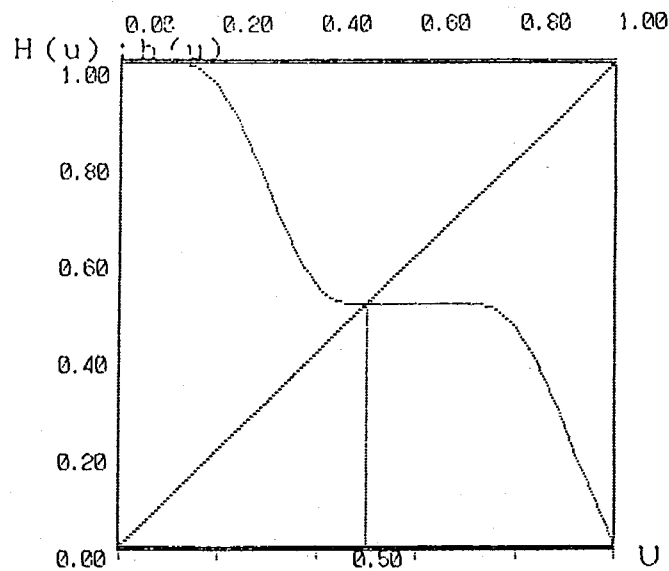
a. 入力された言語関数



b. max-min合成図



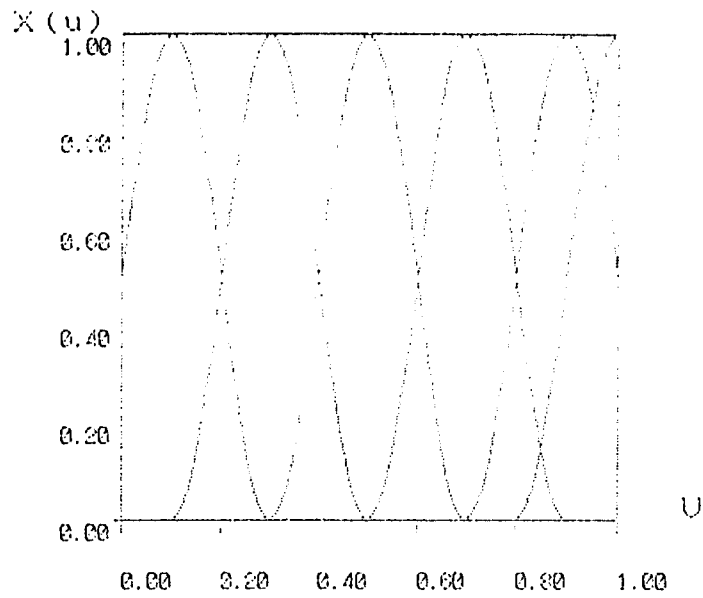
c. ファジィ積分値



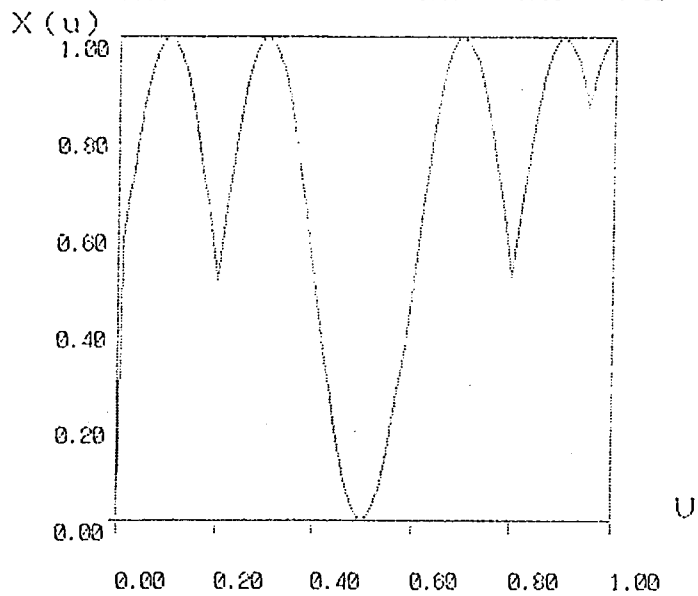
FUZZY積分値
U*の出力

$$U^* = 0.50$$

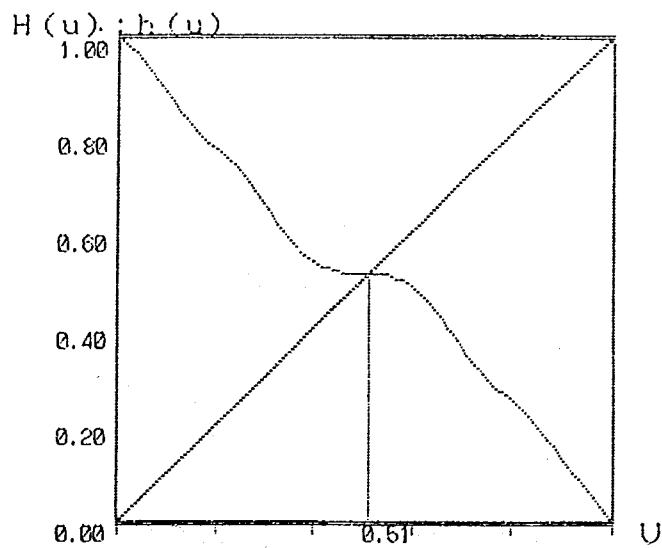
a. 入力された各関数



b. max-min合成図



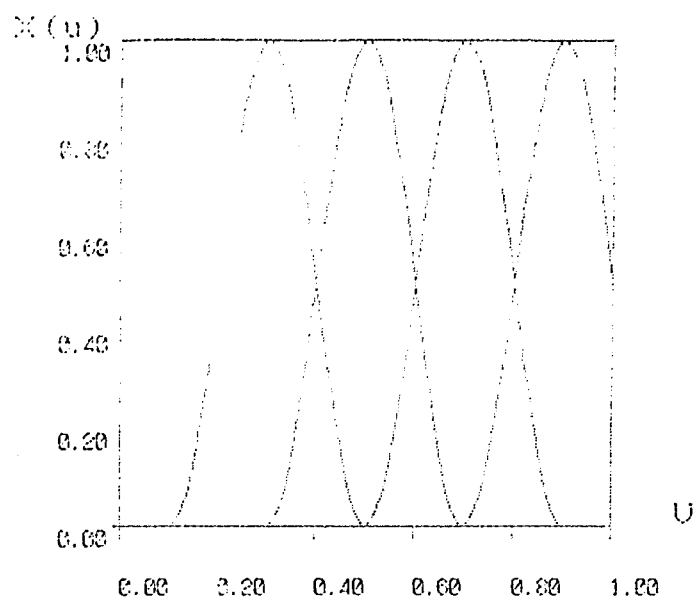
c. ファジィ積分値



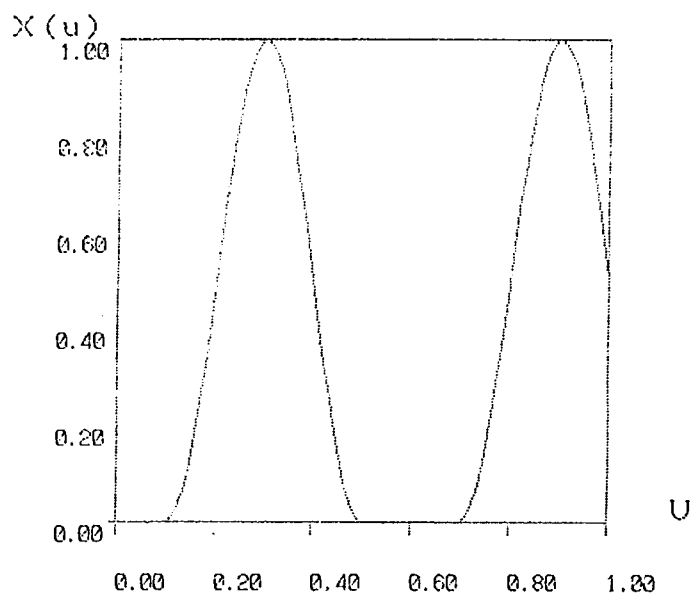
FUZZY積分値
U*の出力

$$U^* = 0.51$$

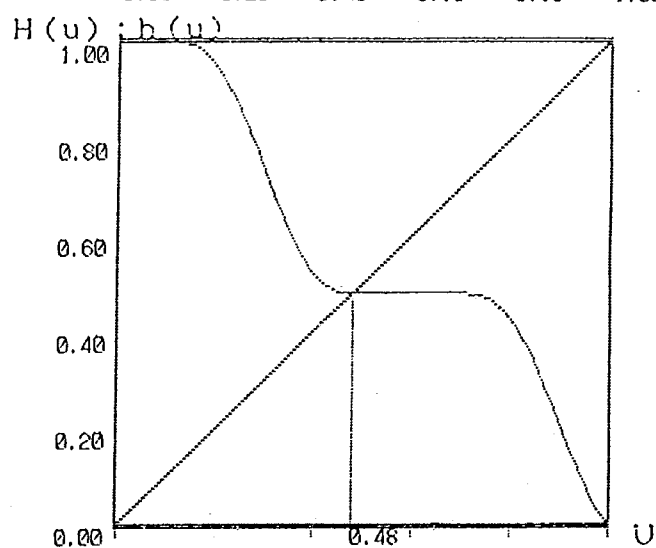
a. 入力された各語関数



b. max-min合成図



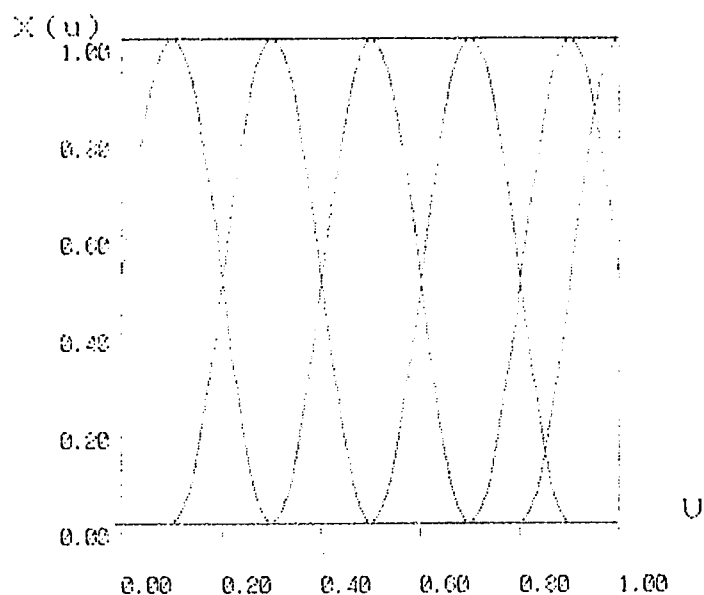
c. ファジィ積分値



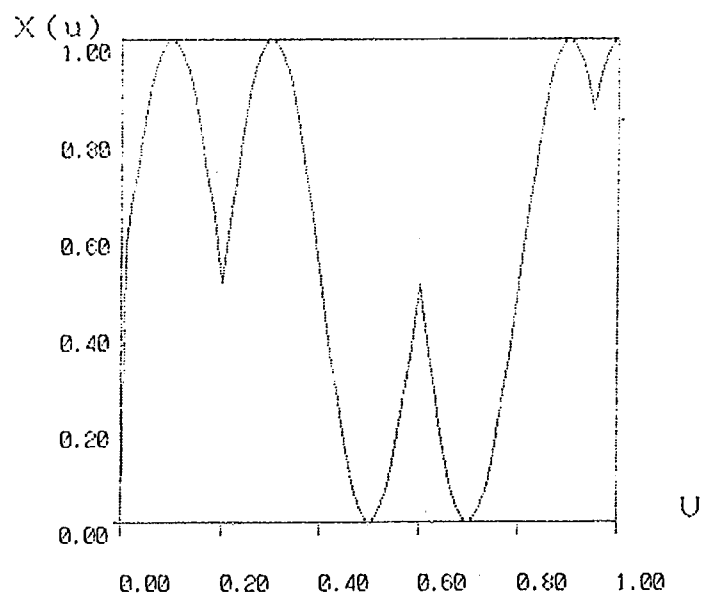
FUZZY積分値
U*の出力

$$U^* = 0.48$$

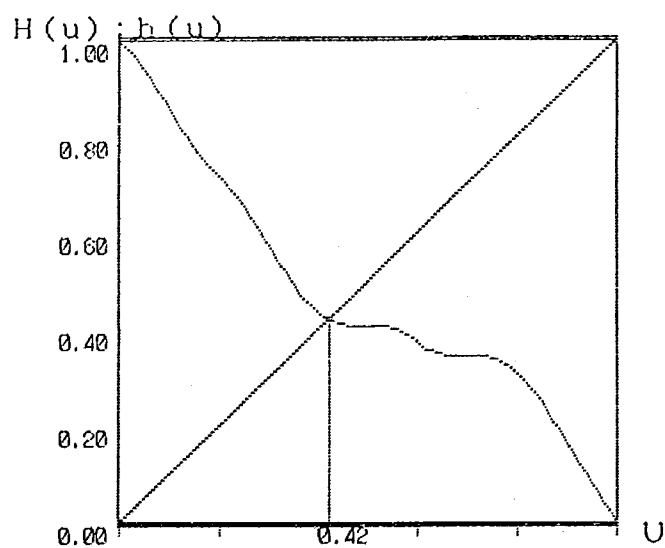
a. 入力された言語関数



b. max-min合成図



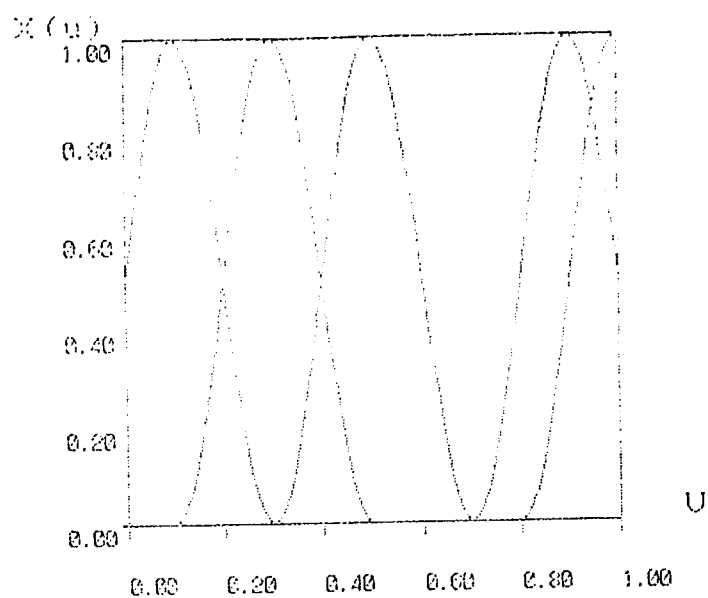
c. ファジィ積分値



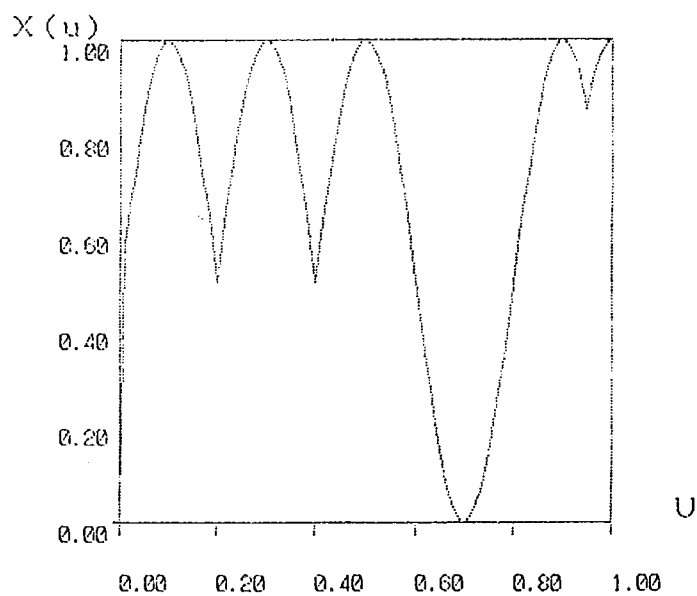
FUZZY積分値
U*の出力

$$U^* = 0.42$$

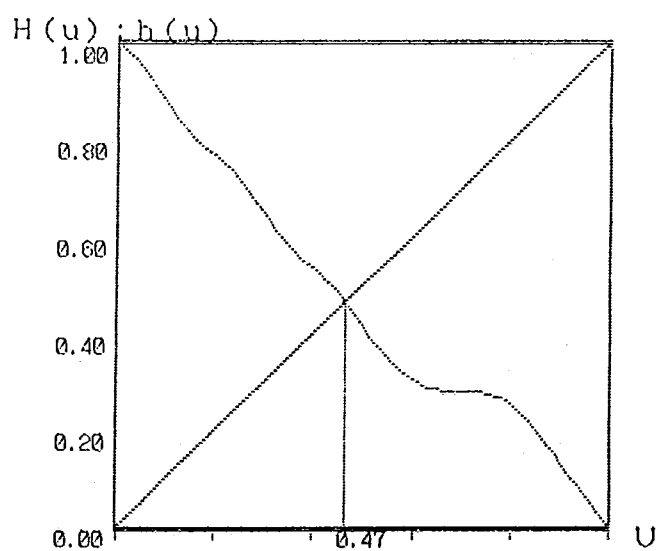
a. 入力された各論関数



b. max-min合成図



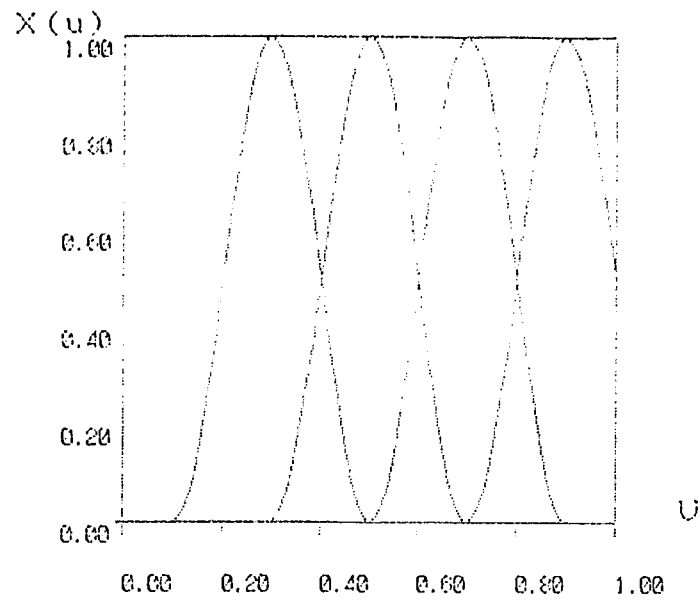
c. ファジィ積分値



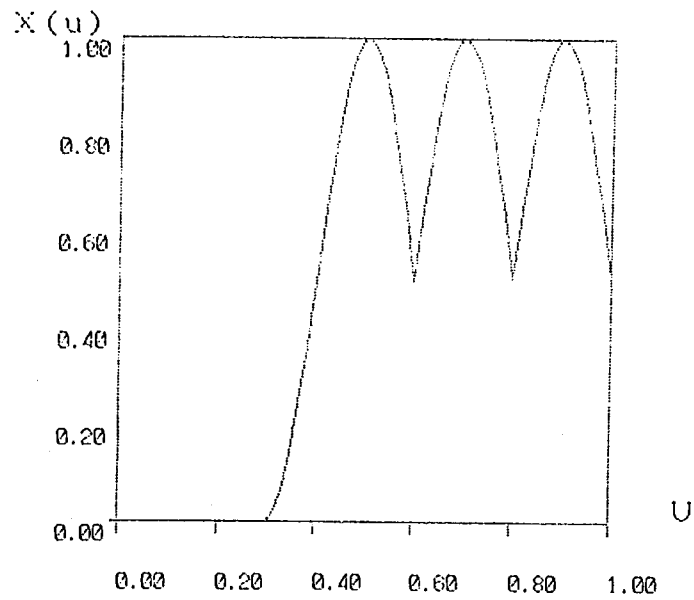
FUZZY積分値
U*の出力

$$U^* = 0.47$$

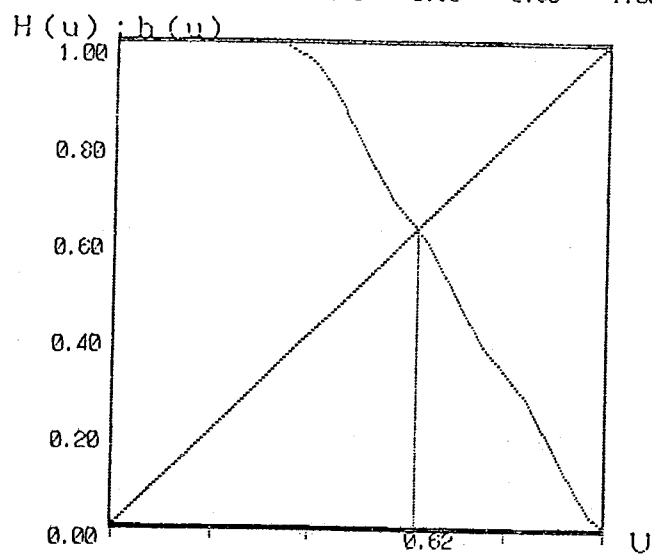
a. 入力された各話関数



b. max-min合成図



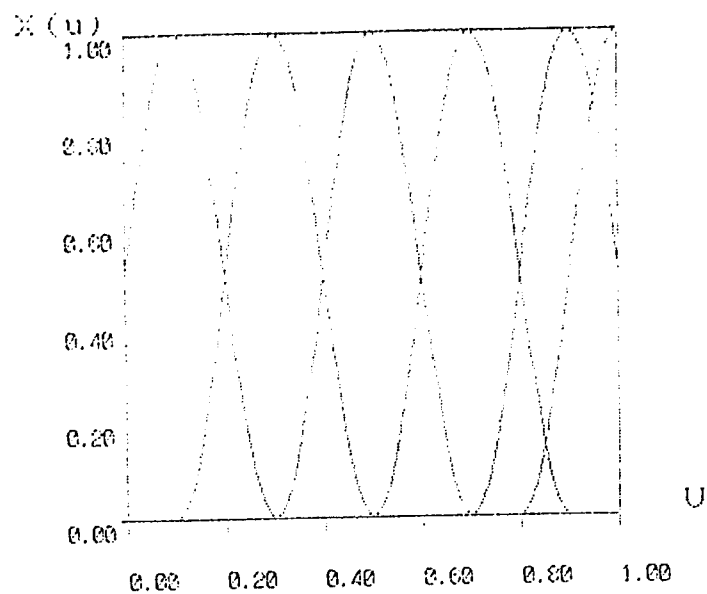
c. ファジィ積分値



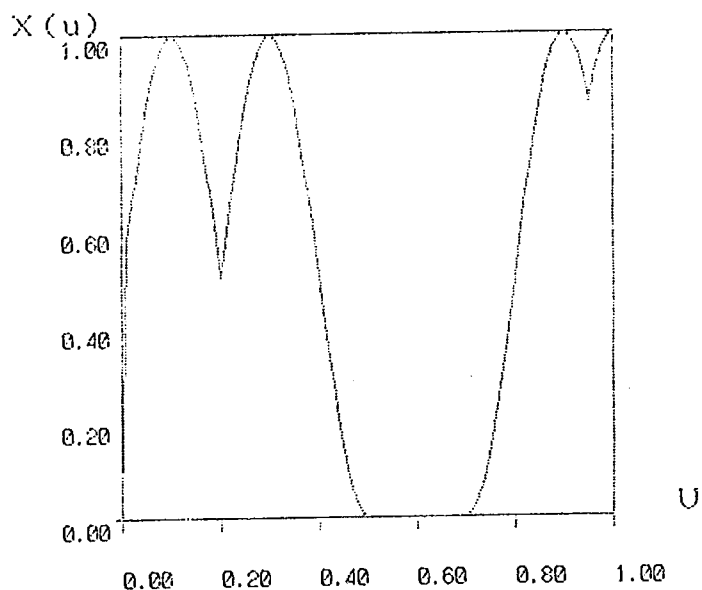
FUZZY積分値
U*の出力

$$U^* = 0.62$$

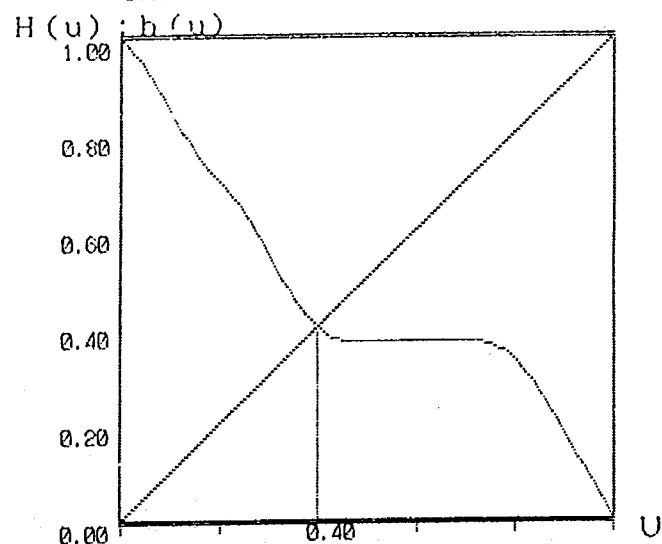
a. 入力された各語関数



b. max-min合成図



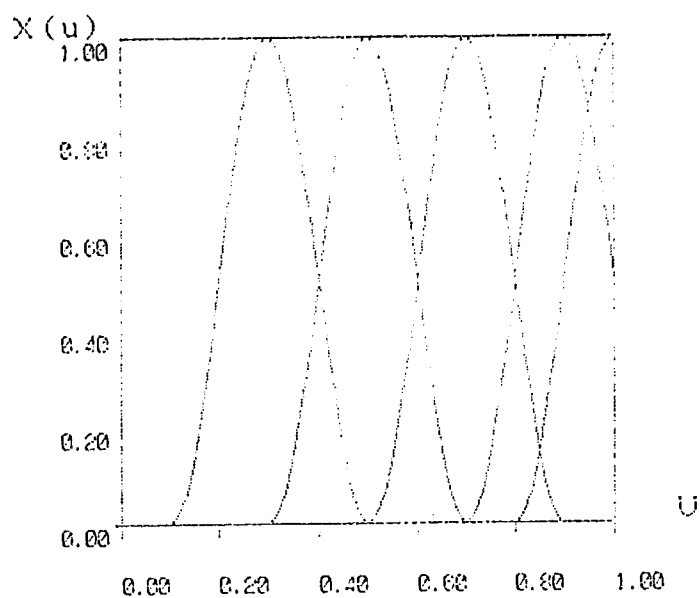
c. ファジィ積分値



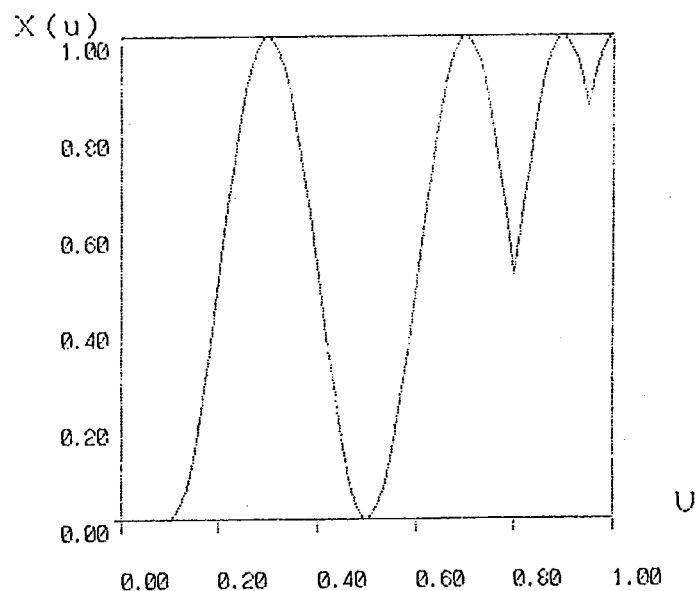
FUZZY積分値
U*の出力

$$U^* = 0.40$$

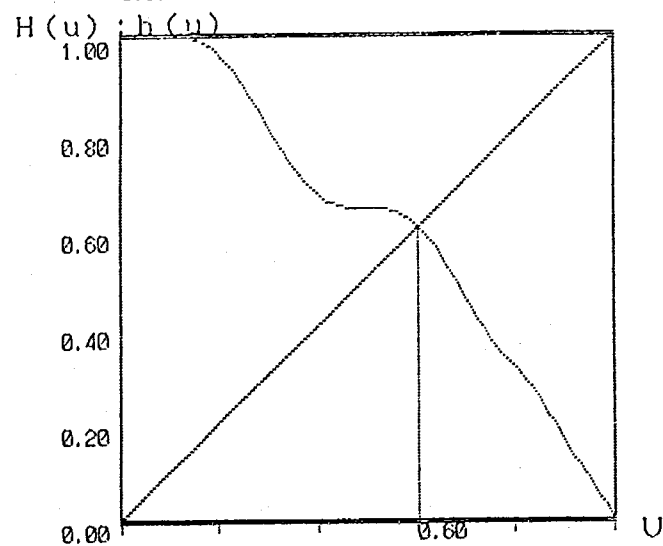
a. 入力された言語関数



b. max-min合成図



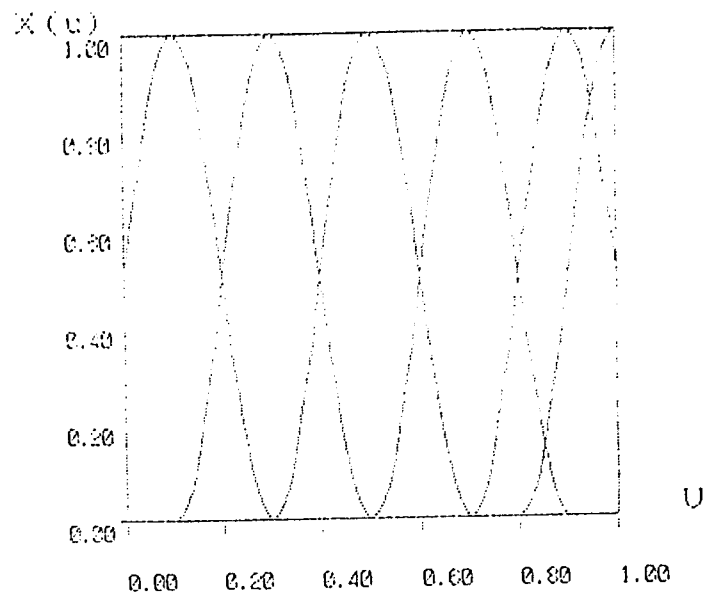
c. ファジィ積分値



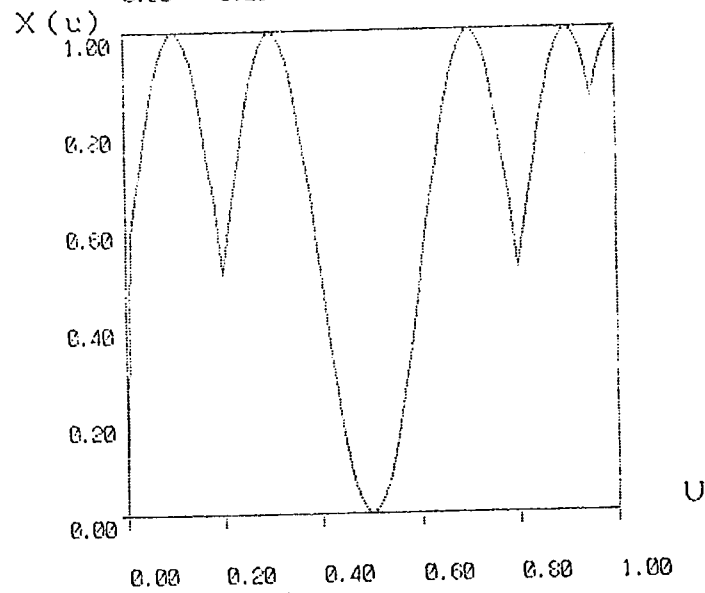
FUZZY積分値
U*の出力

$$U^* = 0.60$$

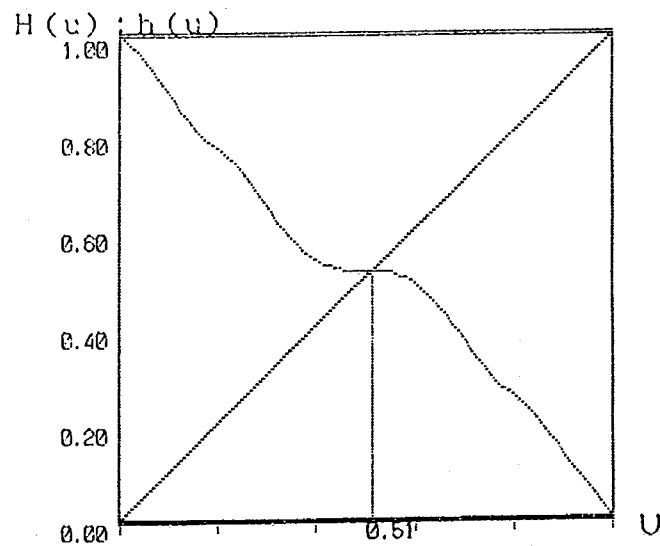
a. 入力された各諸関数



b. max-min合成図



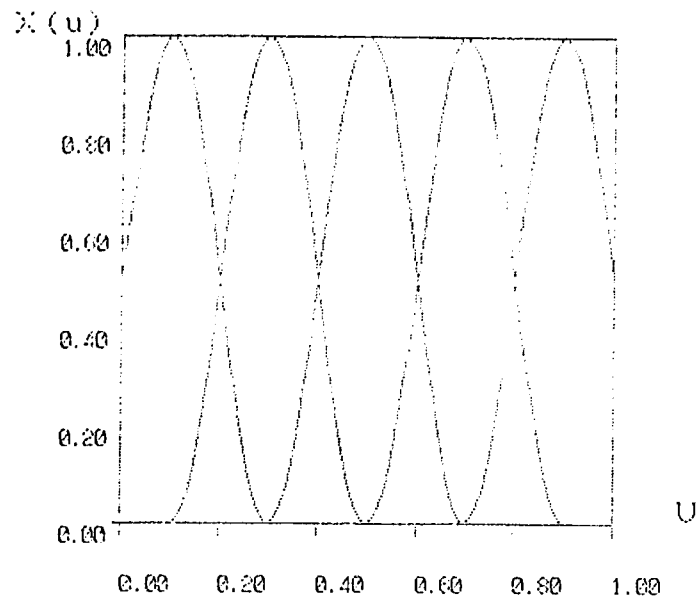
c. ファジィ積分値



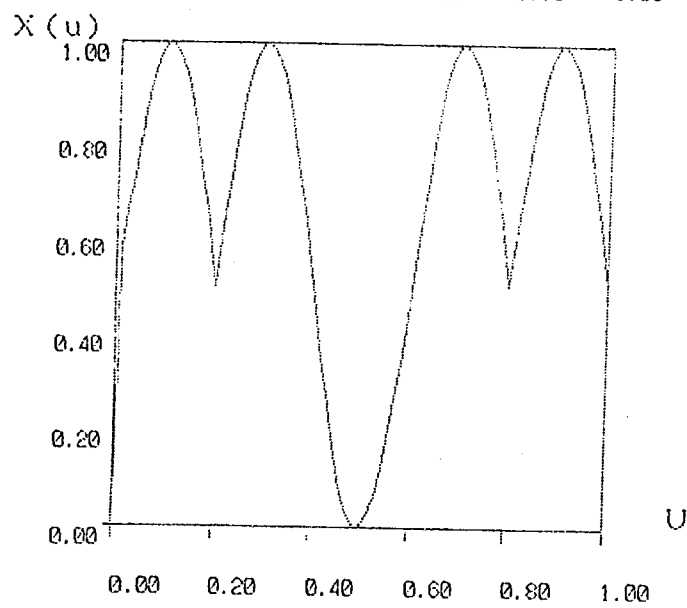
FUZZY積分値
U*の出力

$$U^* = 0.51$$

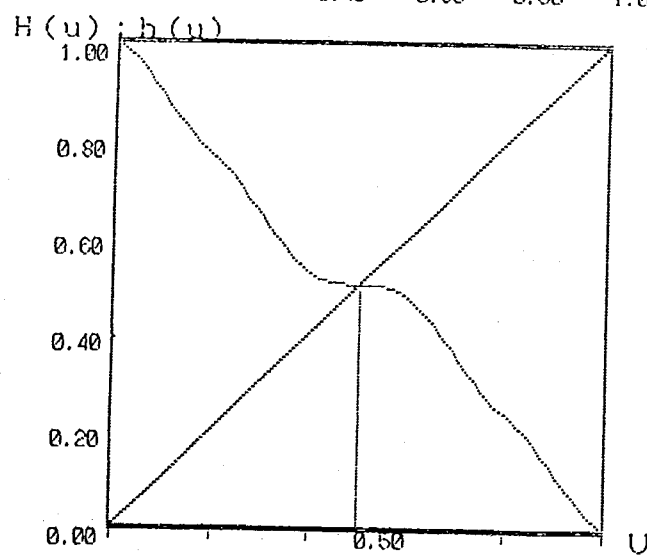
a. 入力された言語関数



b. max-min合成図



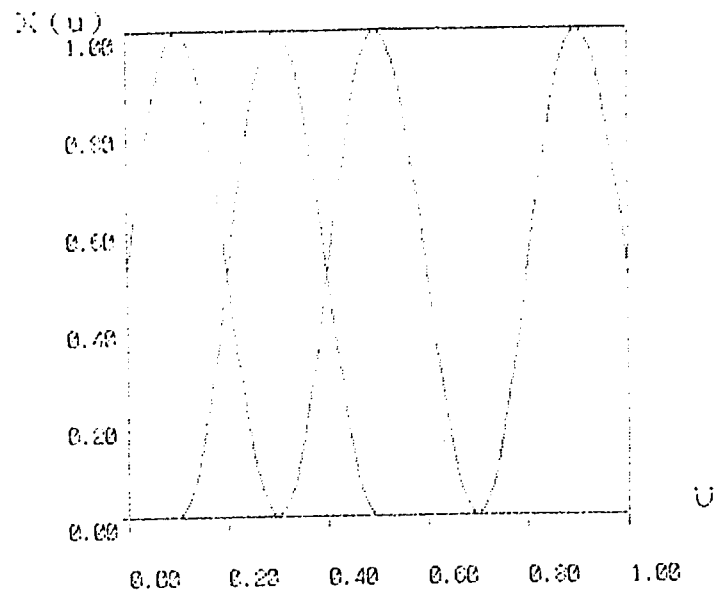
c. ファジィ積分値



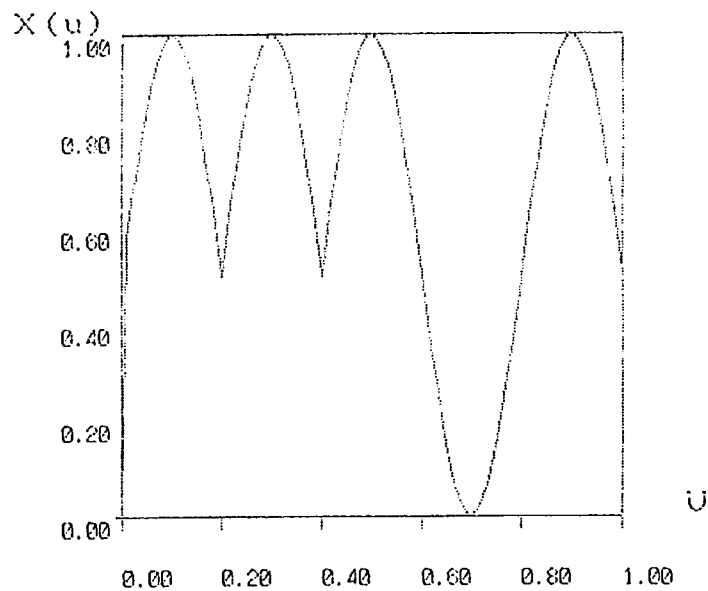
FUZZY積分値
U*の出力

$$U^* = 0.50$$

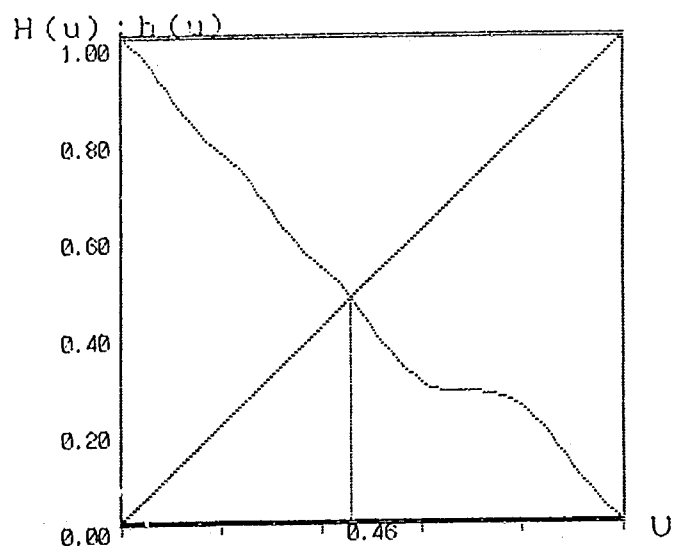
a. 入力された言語関数



b. max-min合成図



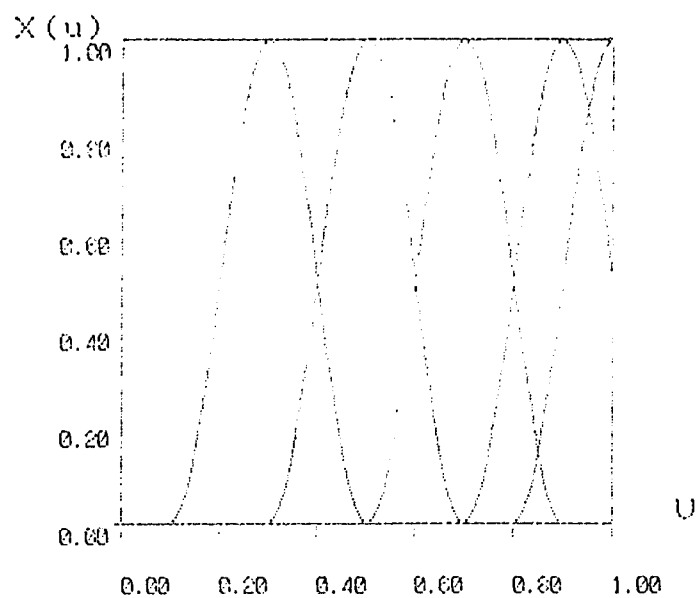
c. ファジィ積分値



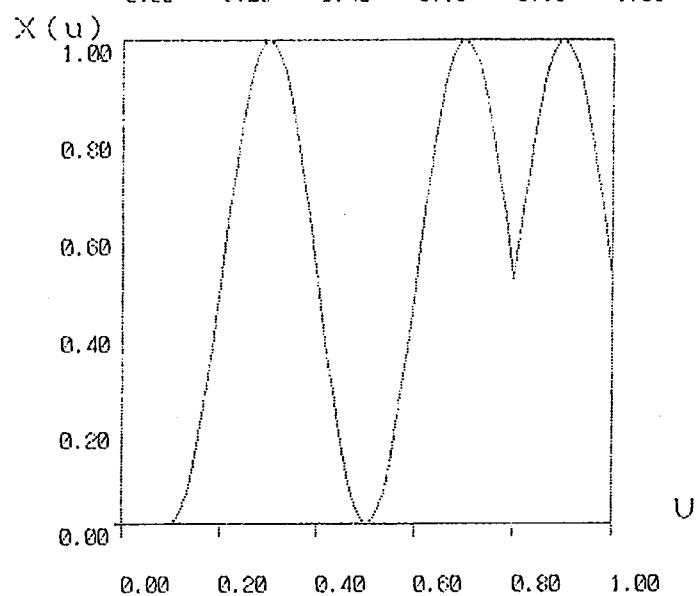
FUZZY積分値
U*の出力

$$U^* = 0.46$$

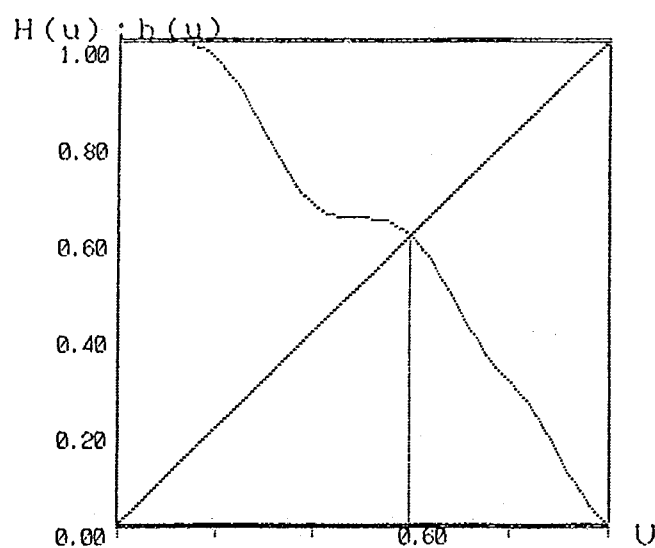
a. 入力された言語関数



b. max-min合成図



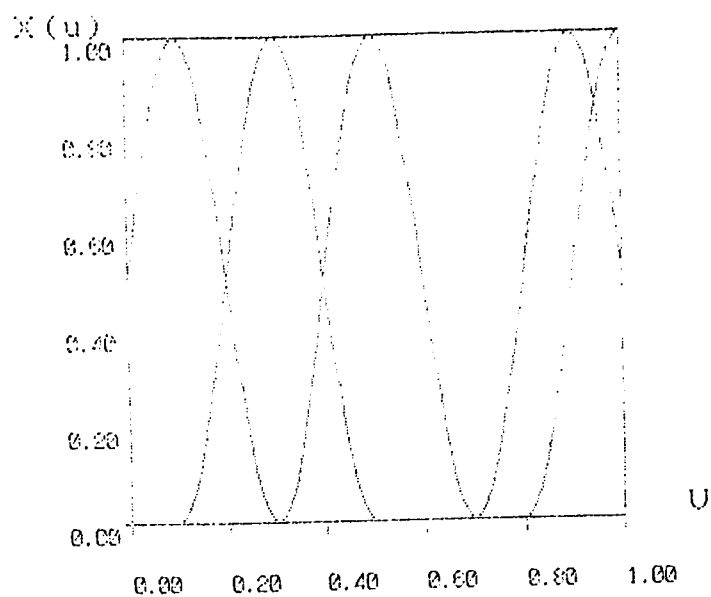
c. ファジィ積分値



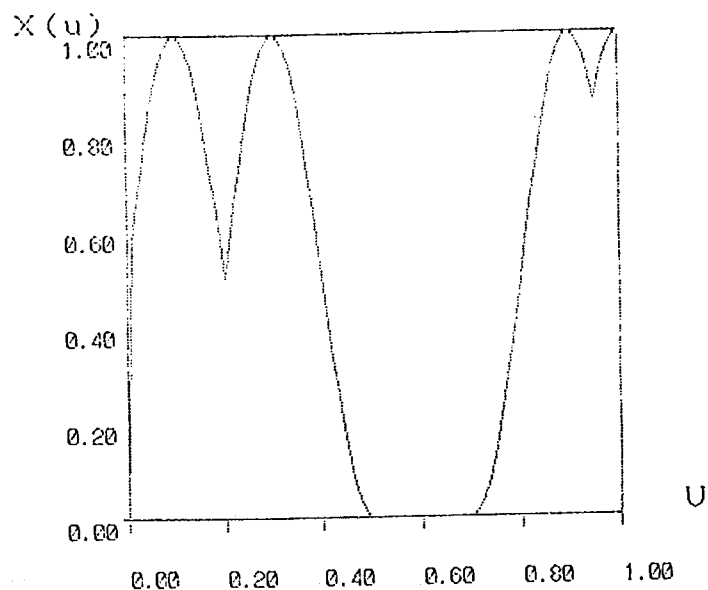
FUZZY積分値
U*の出力

$$U^* = 0.60$$

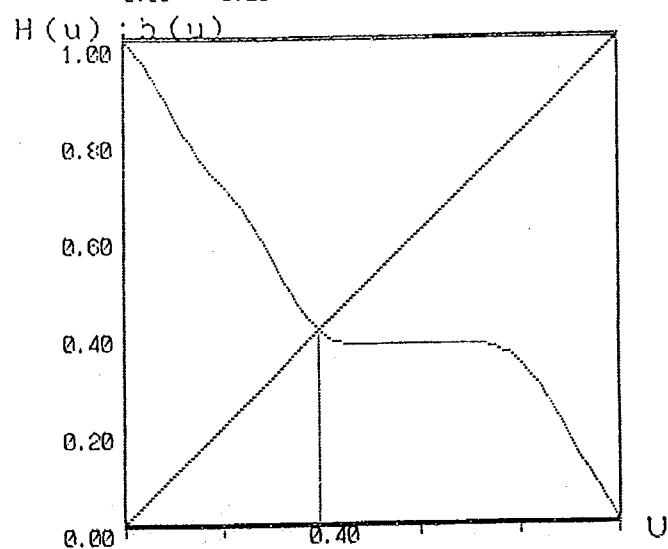
a. 入力された各諸関数



b. max-min合成図



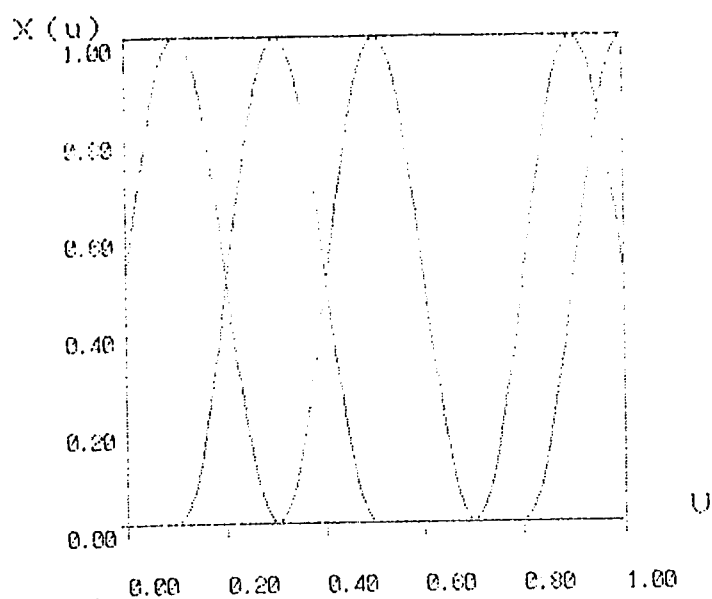
c. ファジィ積分値



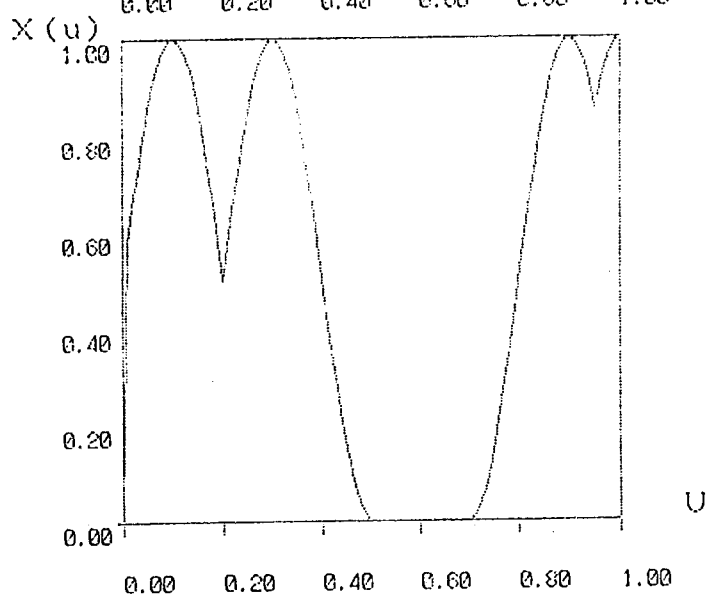
FUZZY積分値
U*の出力

$$U^* = 0.40$$

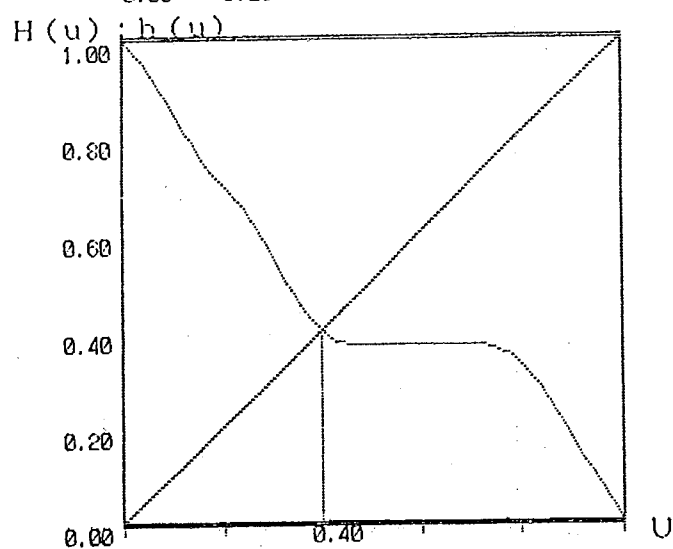
a. 入力された各関数



b. max-min合成図



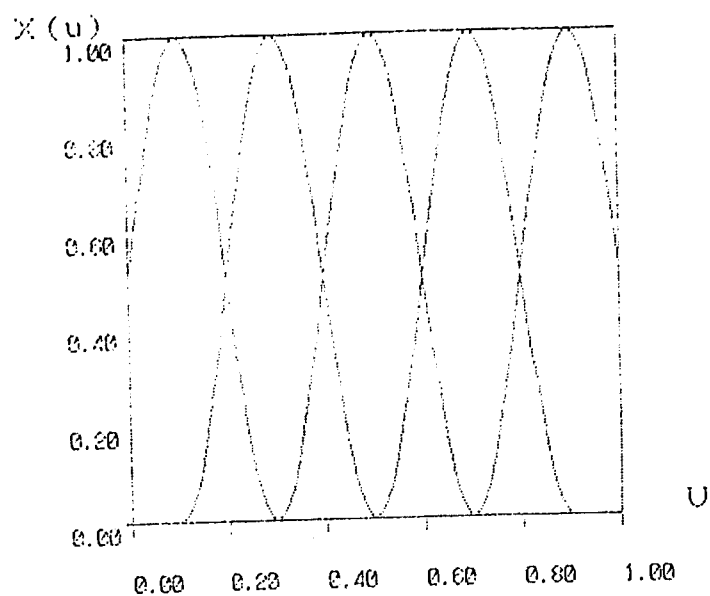
c. ファジィ積分値



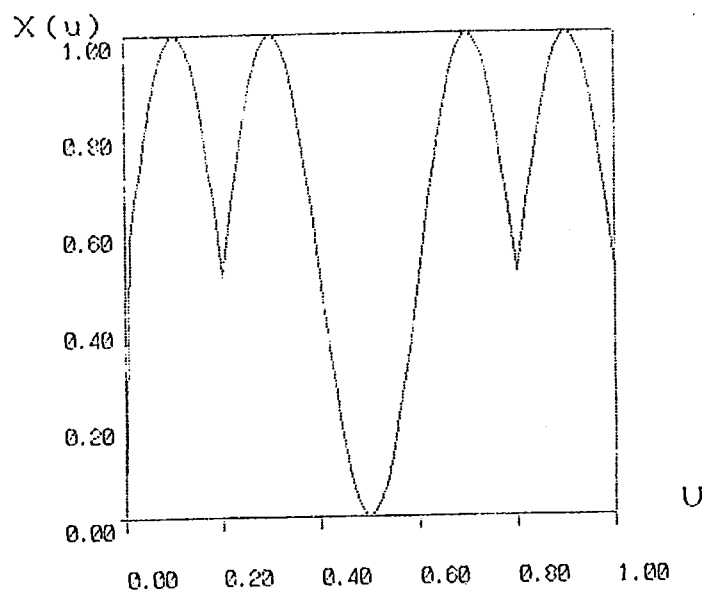
FUZZY積分値
U*の出力

$$U^* = 0.40$$

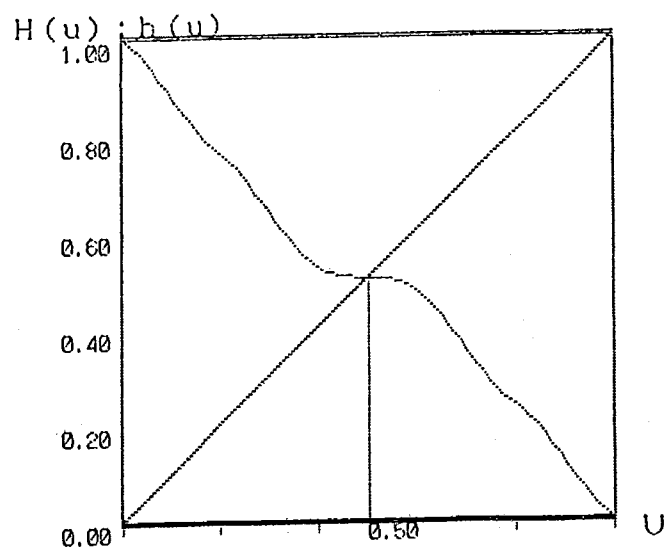
a. 入力された各関数



b. max-min合成図



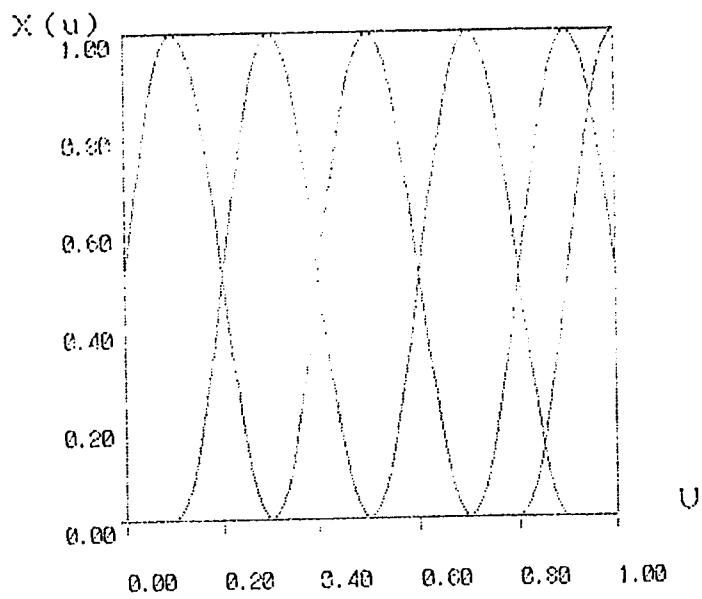
c. ファジィ積分値



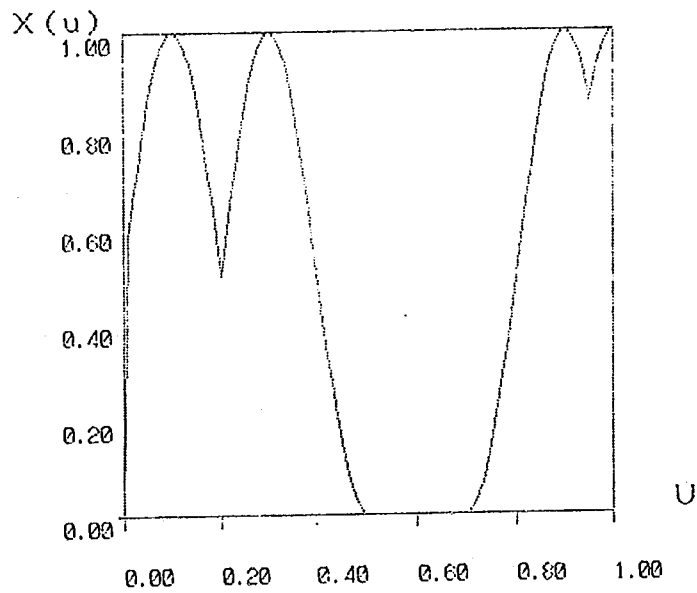
FUZZY積分値
U*の出力

$$U^* = 0.50$$

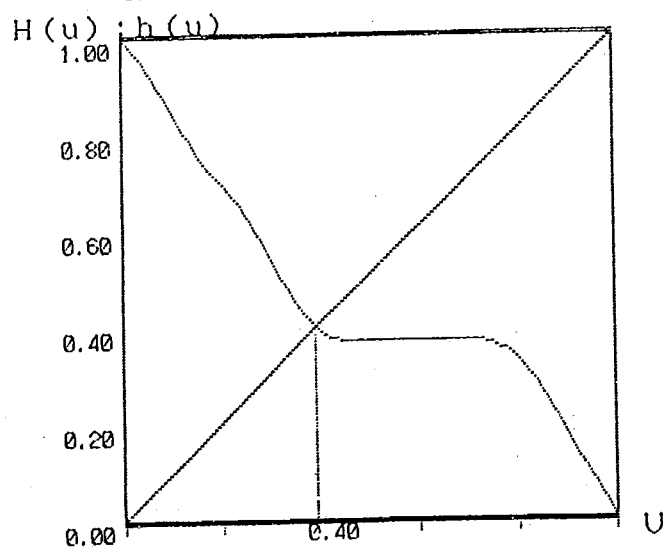
a. 入力された言語関数



b. max-min合成図



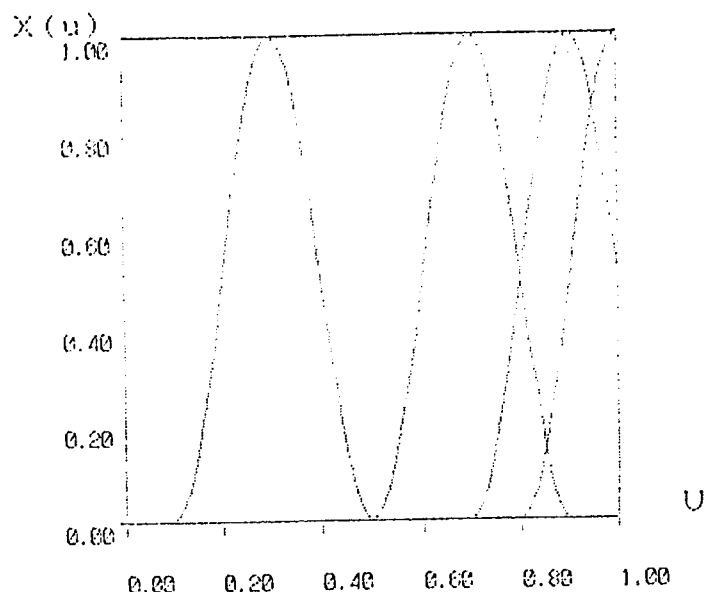
c. ファジィ積分値



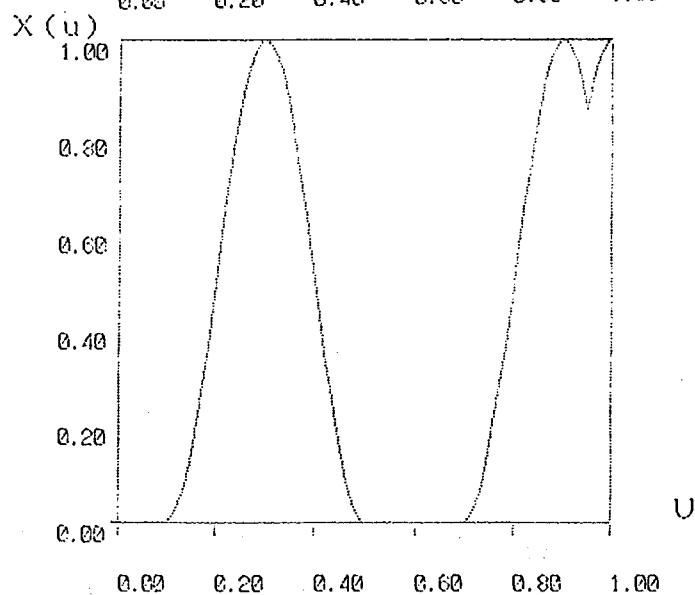
FUZZY積分値
U*の出力

$$U^* = 0.40$$

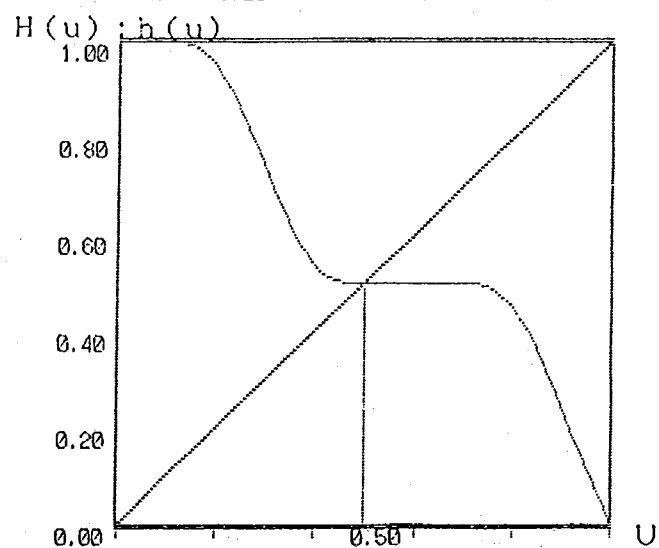
a. 入力された各語関数



b. max-min合成図



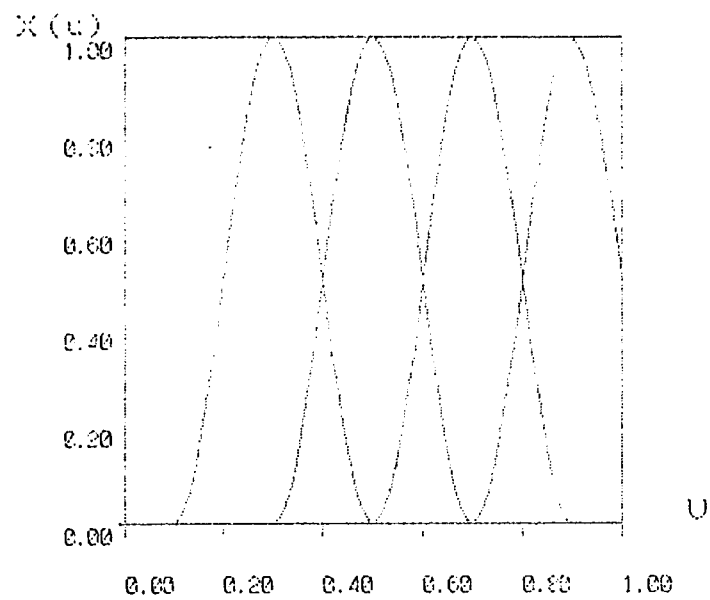
c. ファジィ積分値



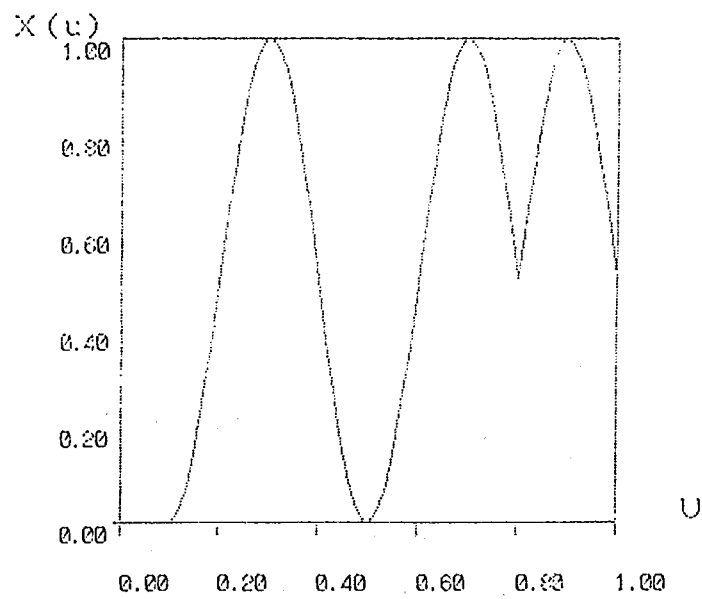
FUZZY積分値
U*の出力

$$U^* = 0.50$$

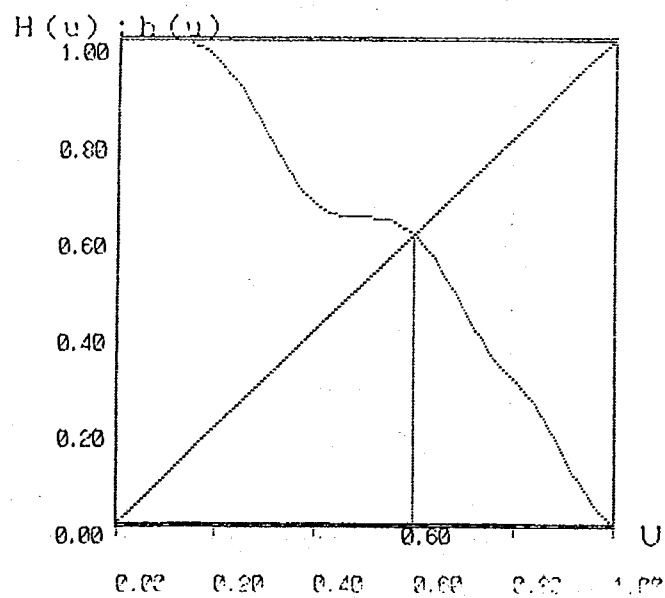
a. 入力された各関数



b. max-min合成図



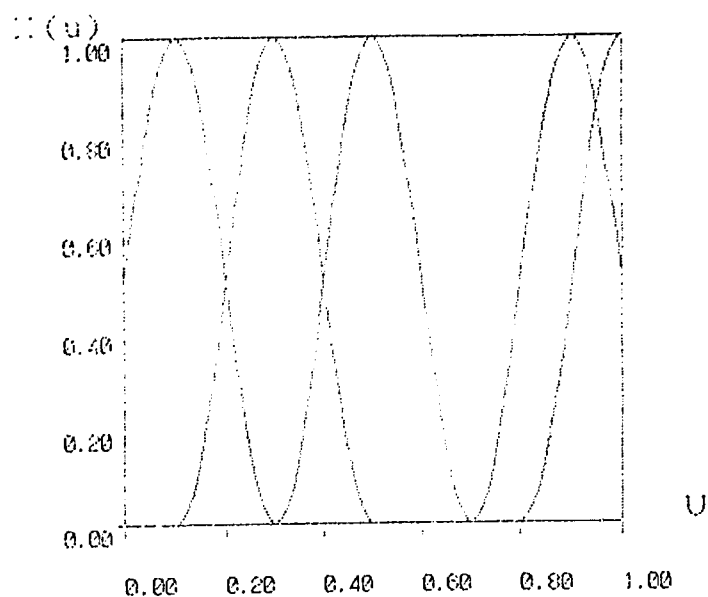
c. ファジィ積分値



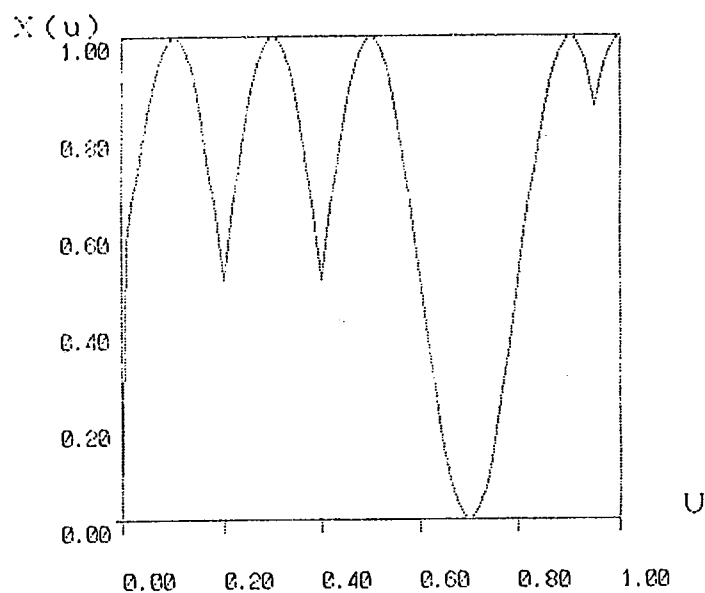
FUZZY積分値
U*の出力

$$U^* = 0.60$$

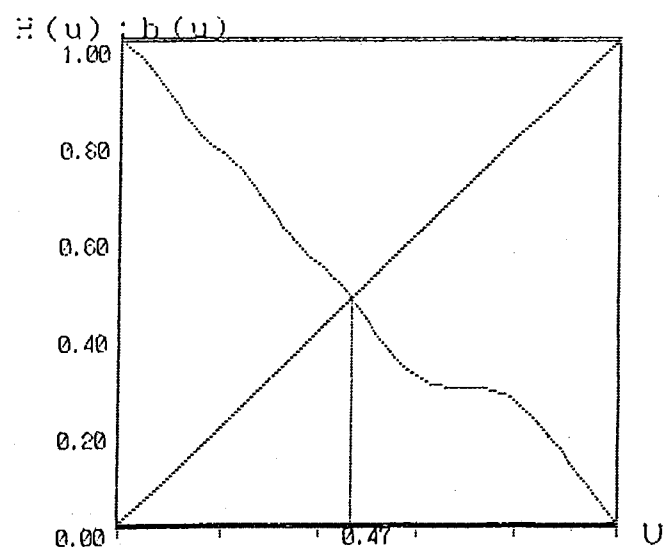
a. 入力された各語関数



b. max-min合成図



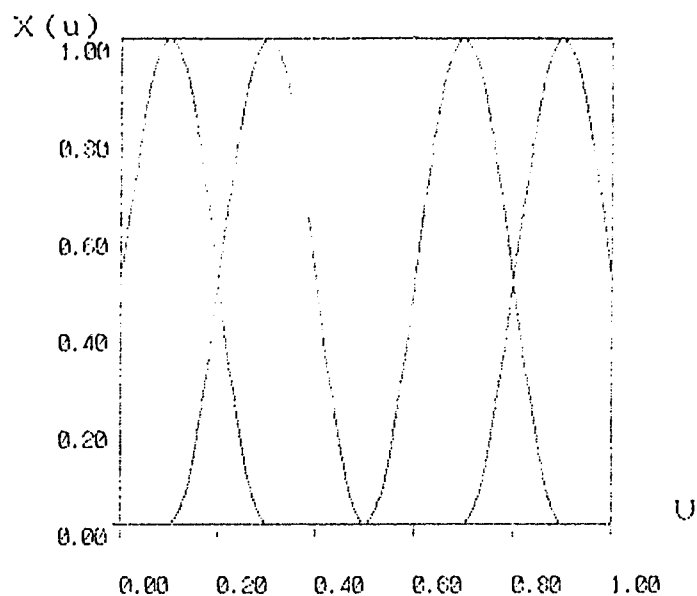
c. ファジィ積分値



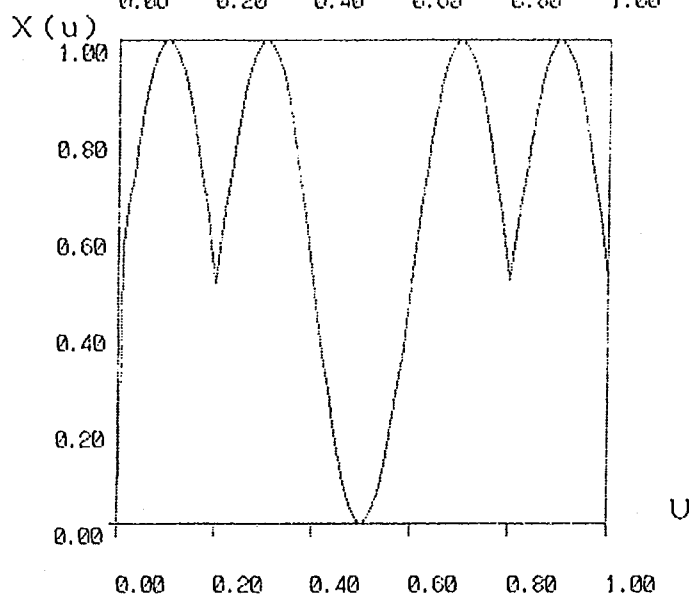
FUZZY積分値
U*の出力

$$U^* = 0.47$$

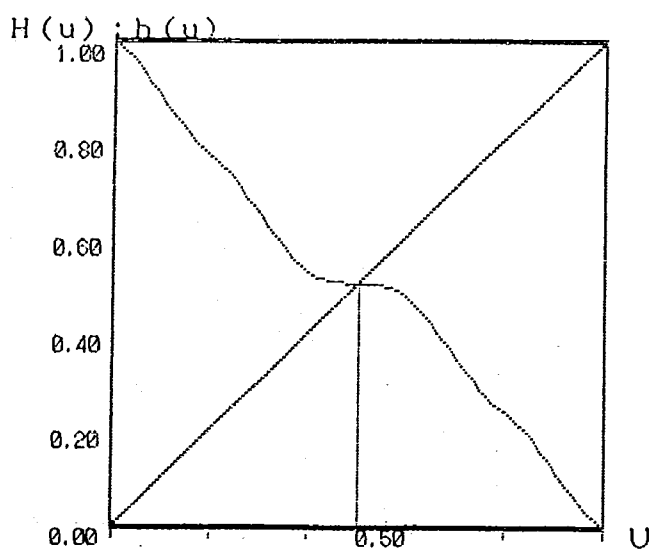
a. 入力された各関数図



b. max-min合成図



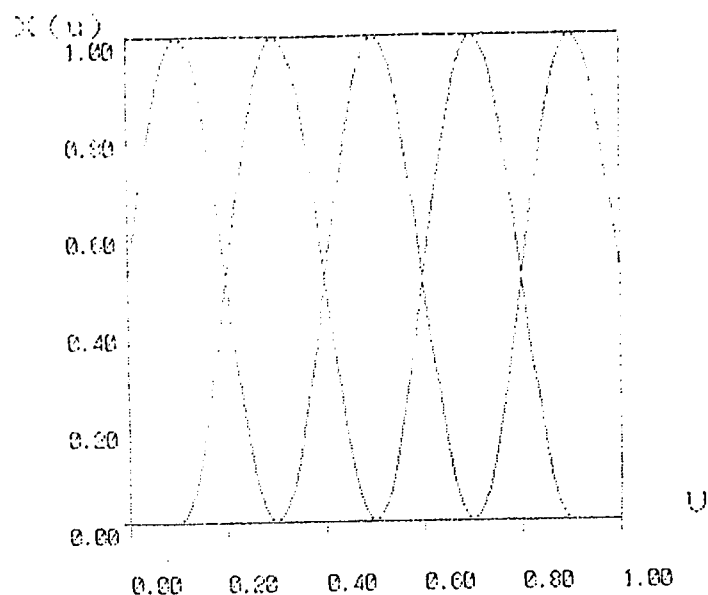
c. ファジィ積分値



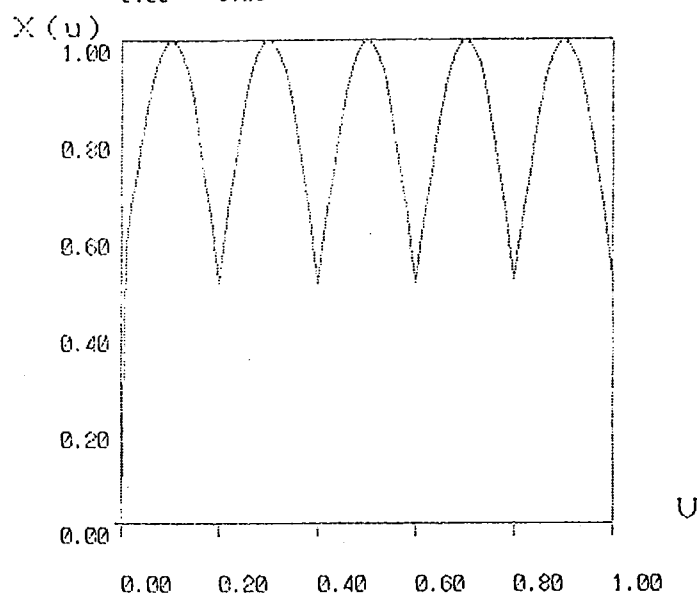
FUZZY積分値
U*の出力

$$U^* = 0.50$$

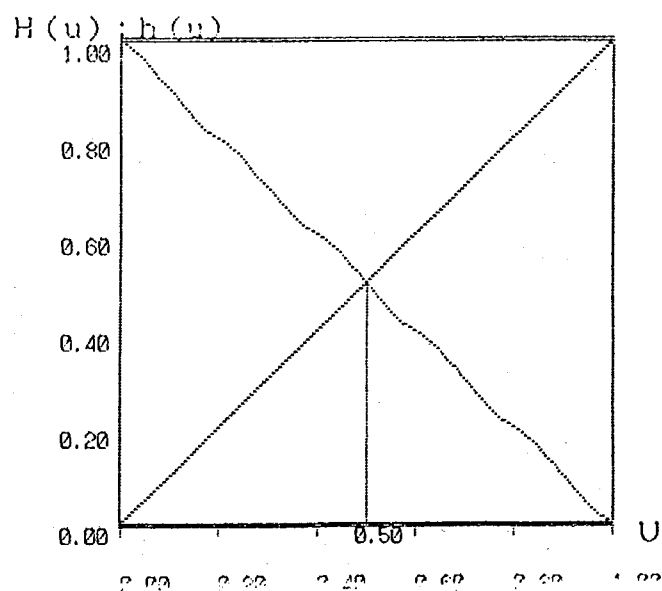
a. 入力された言語関数



b. max-min合成図



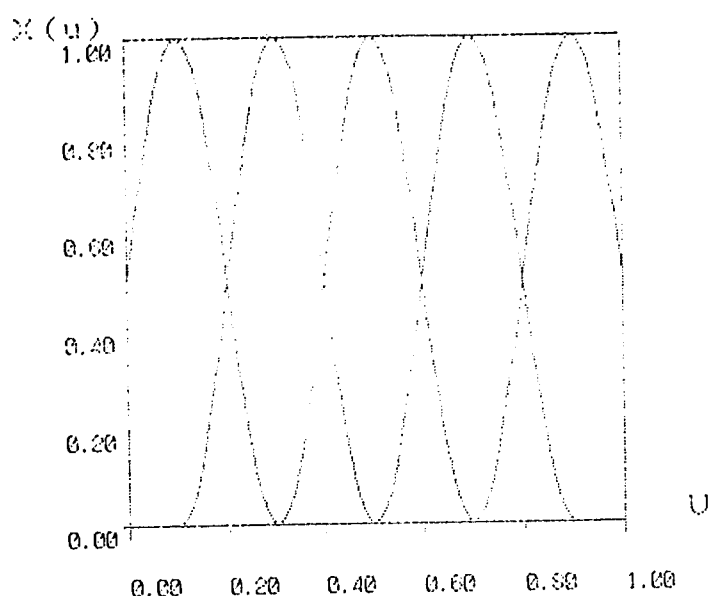
c. ファジィ積分値



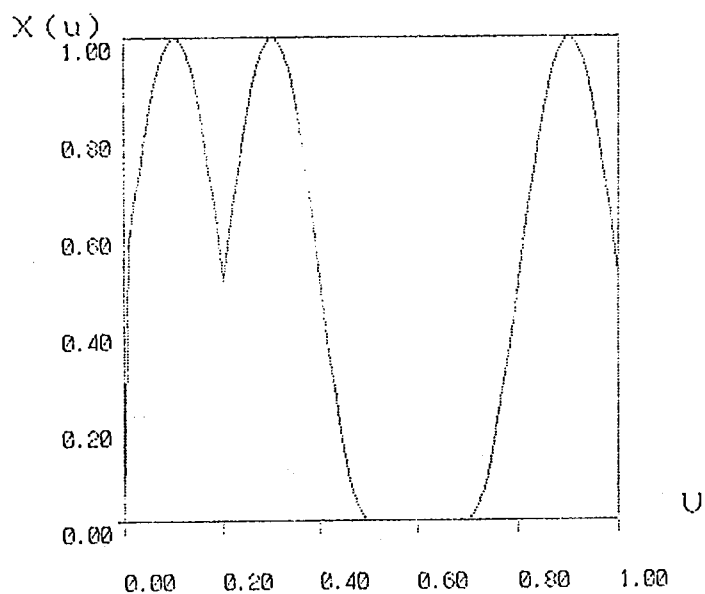
FUZZY積分値
U*の出力

$$U^* = 0.50$$

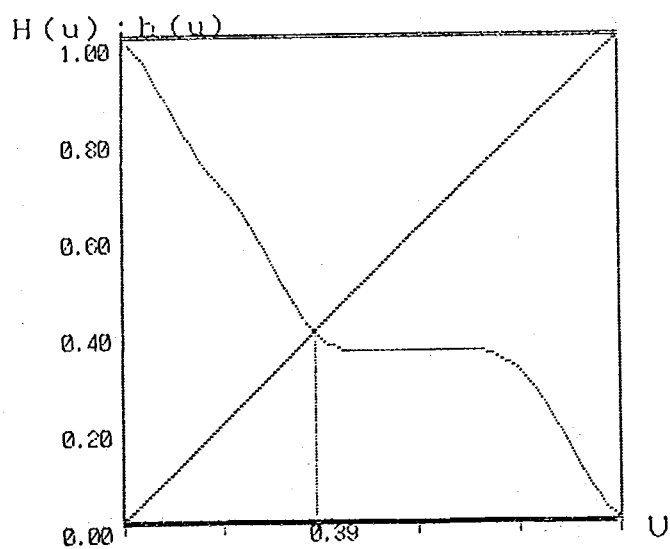
a. 入力された各諸関数



b. max-min合成図



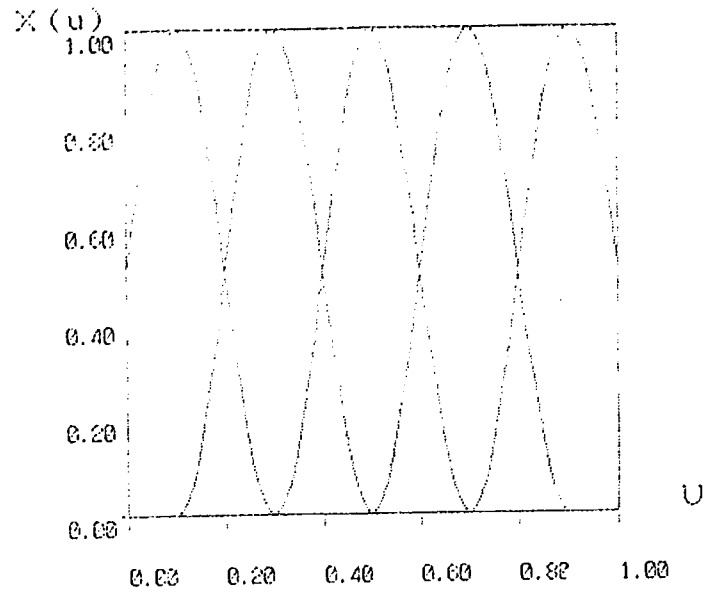
c. ファジィ積分値



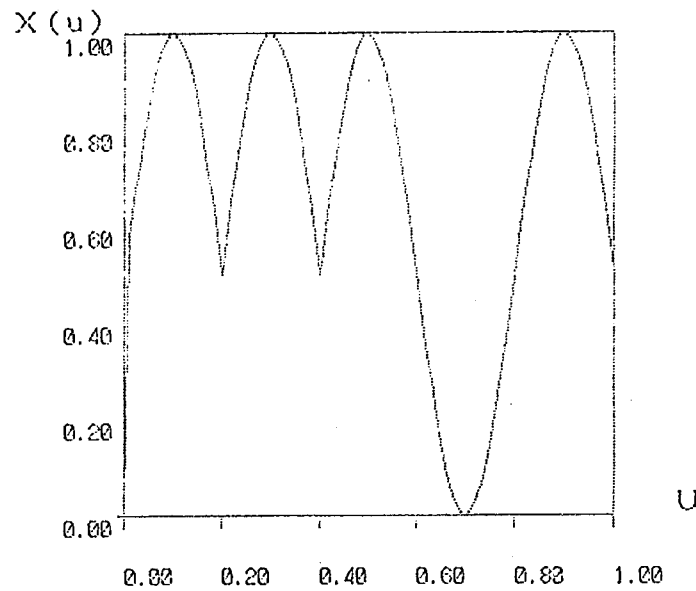
FUZZY積分値
U*の出力

$$U^* = 0.39$$

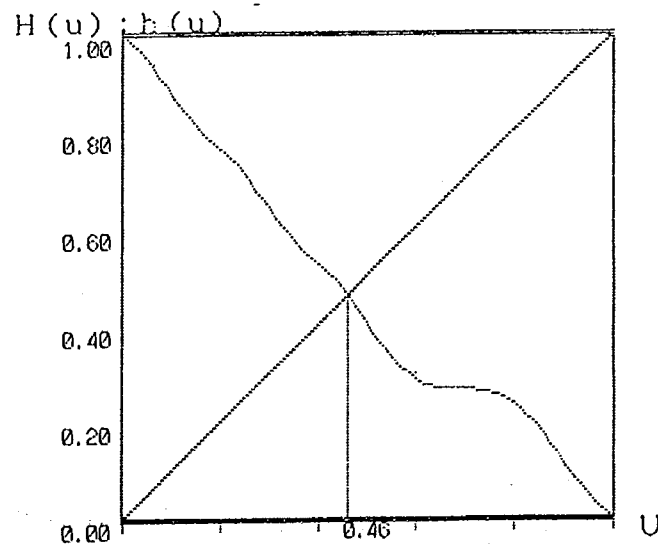
a. 入力された言語関数



b. max-min合成図



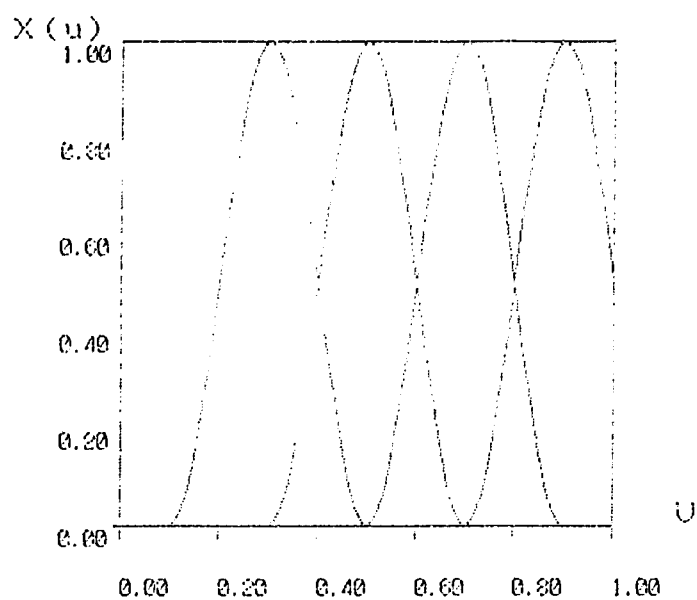
c. ファジィ積分値



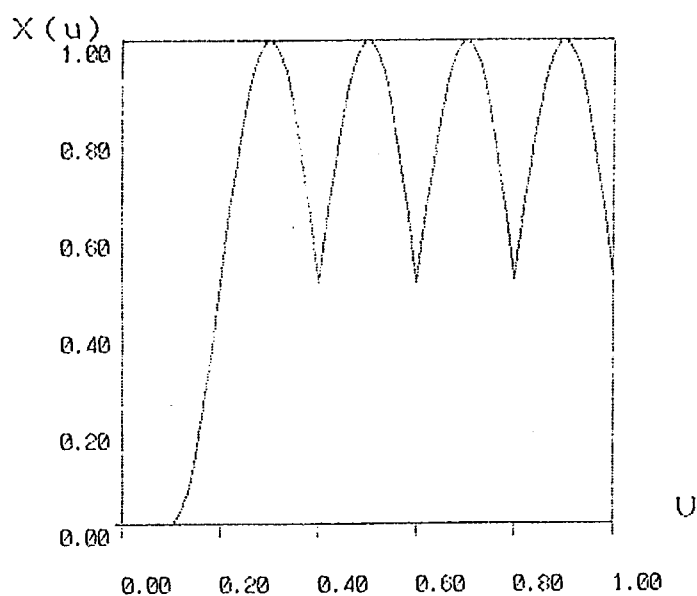
FUZZY積分値
U*の出力

$$U^* = 0.46$$

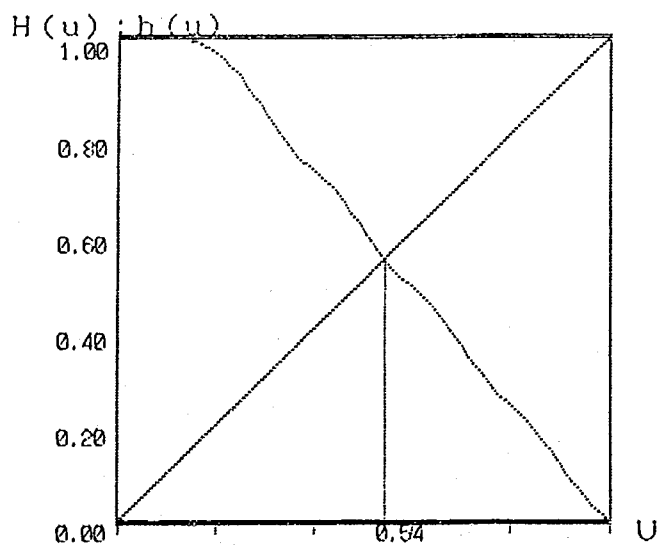
a. 入力された各メンバー関数



b. max-min合成図



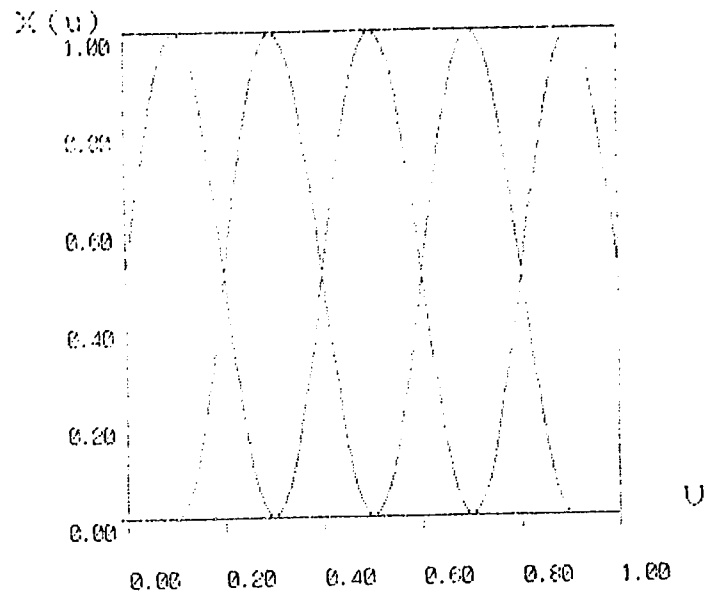
c. ファジィ積分値



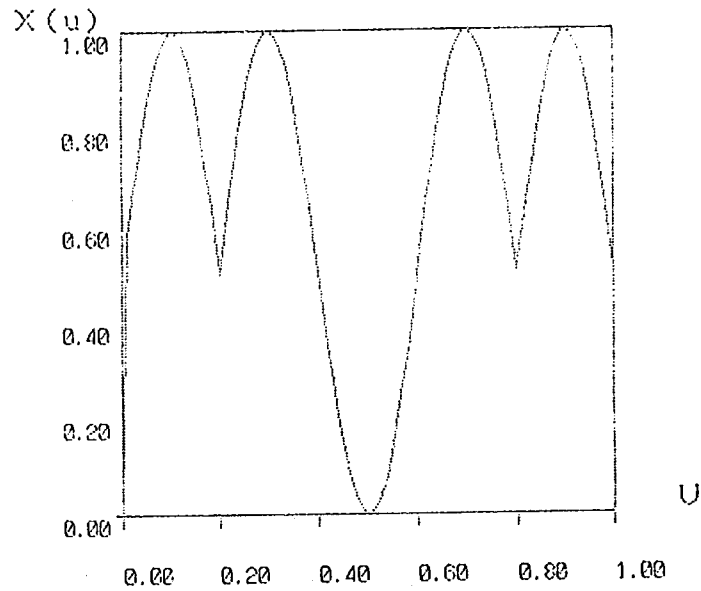
FUZZY積分値
U*の出力

$$U^* = 0.54$$

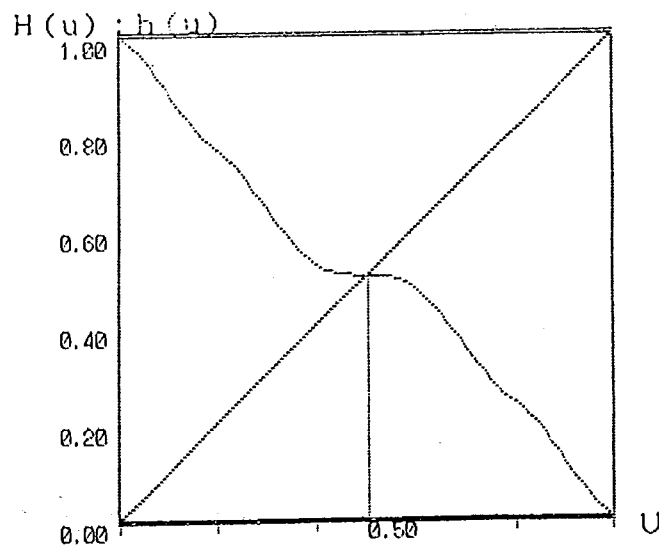
a. 入力された言語関数



b. max-min合成図



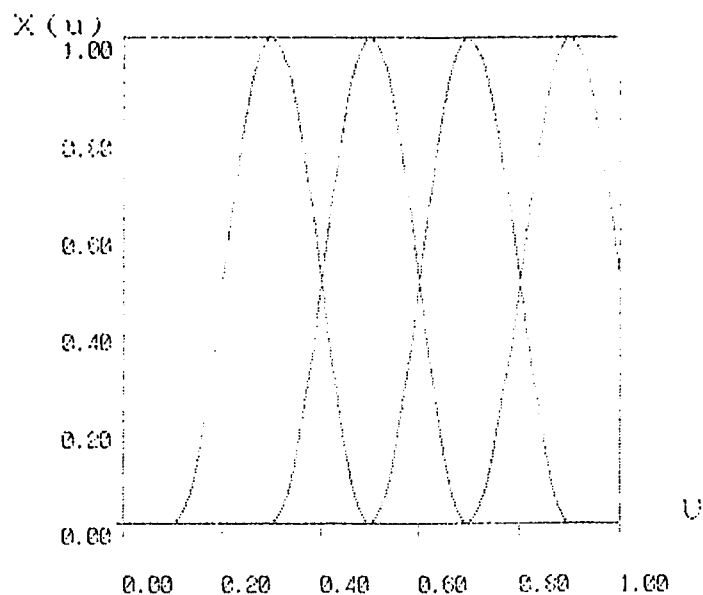
c. ファジィ積分値



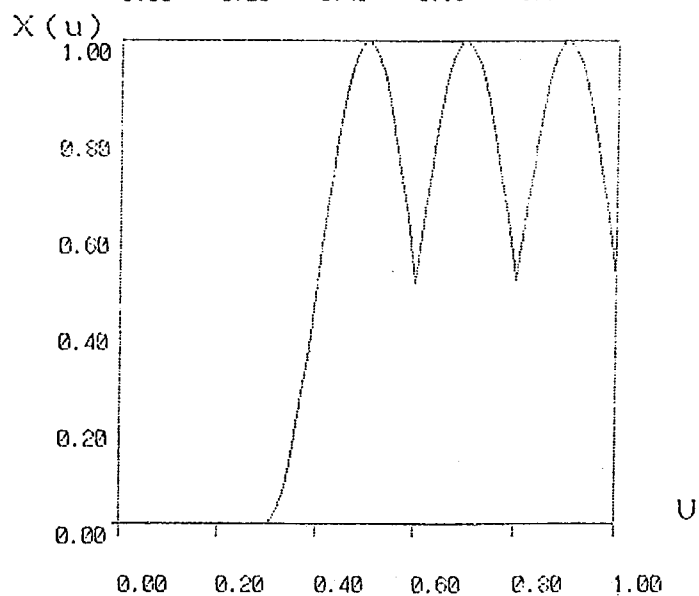
FUZZY積分値
U*の出力

$$U^* = 0.50$$

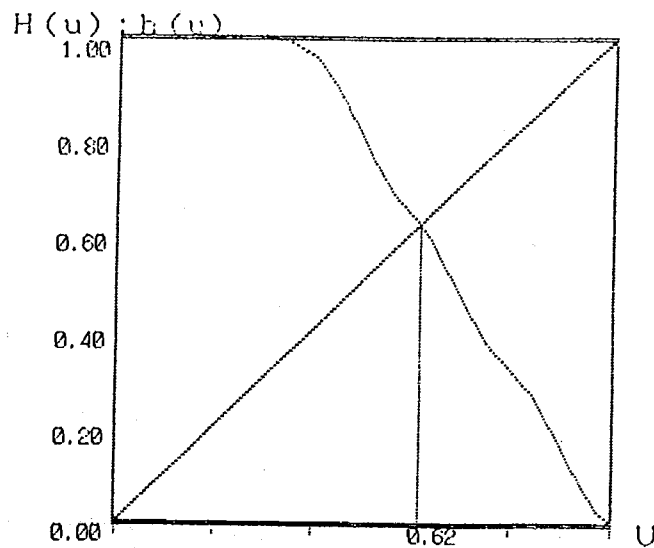
a. 入力された言語関数



b. max-min合成図



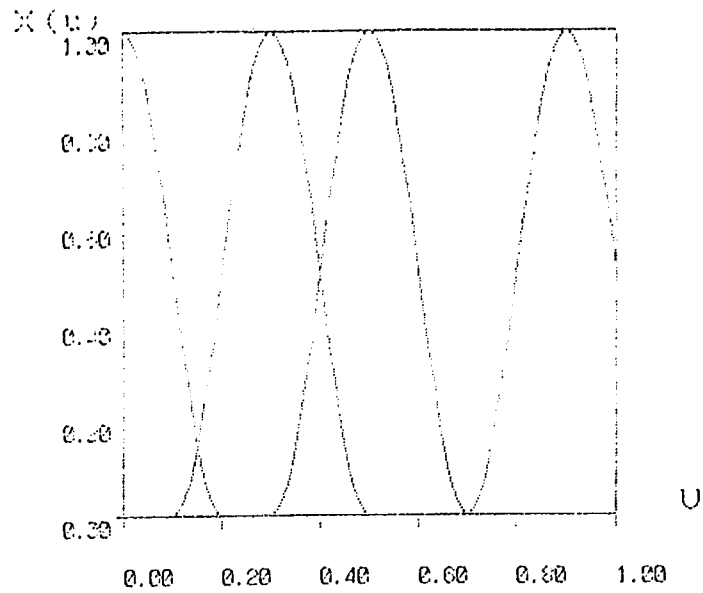
c. ファジィ積分値



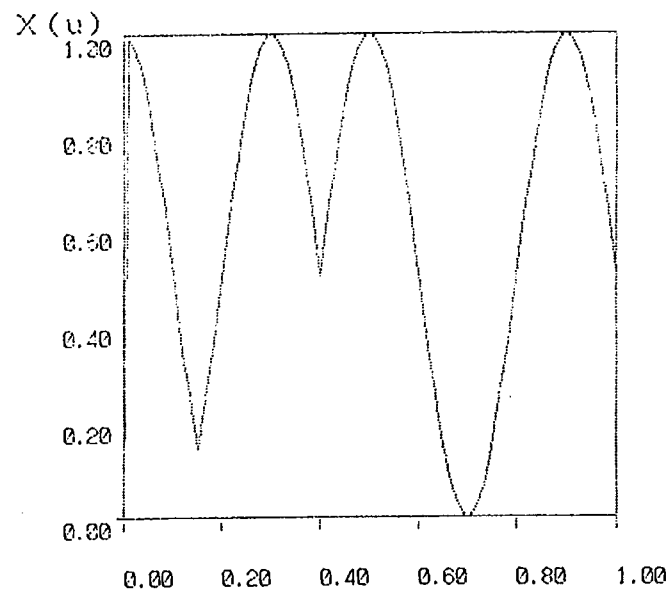
FUZZY積分値
U*の出力

$$U^* = 0.62$$

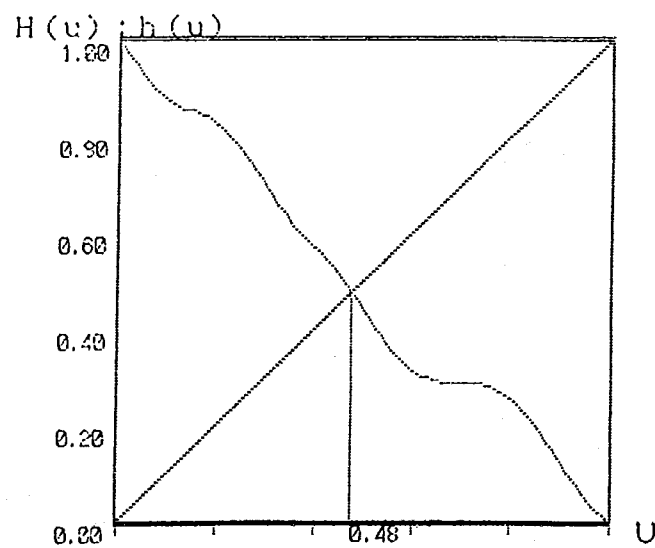
a. 入力された各語関数



b. max-min合成図



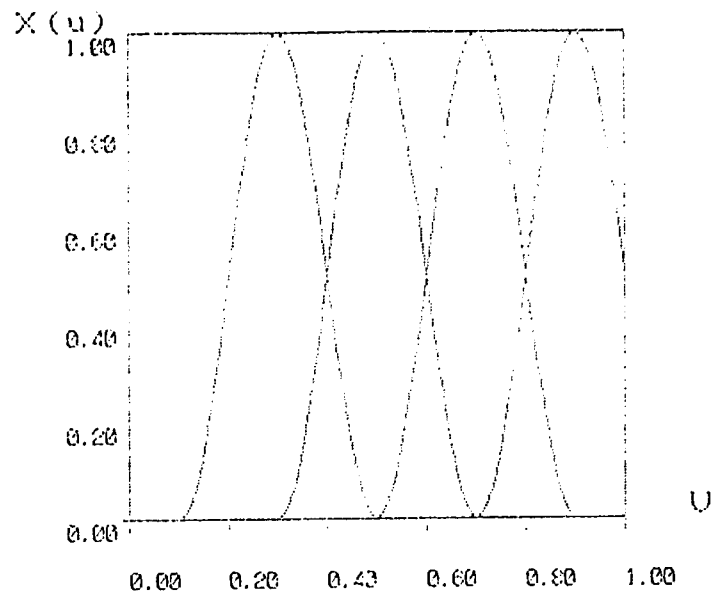
c. ファジィ積分値



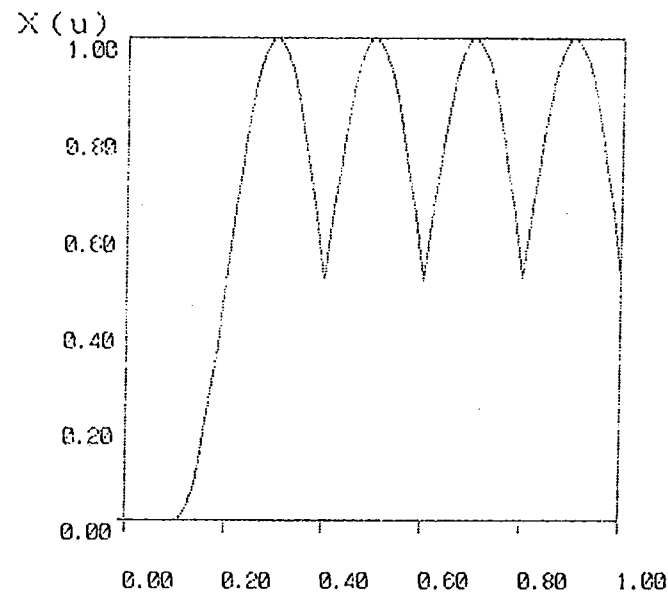
FUZZY積分値
U*の出力

$$U^* = 0.48$$

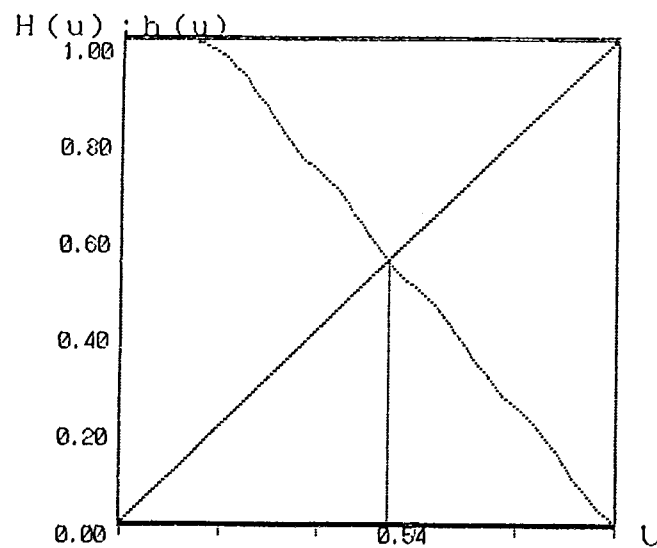
a. 入力された各関数



b. max-min合成図



c. ファジィ積分値



FUZZY積分値
U*の出力

$$U^* = 0.54$$

Fuzzy理論による地震時の
斜面崩壊に関する研究

ISSN 0386-5878
土木研究所資料第2625号
昭和63年3月(1988)

急傾斜地崩壊研究室 室 長 吉松弘行
主任研究員 三井宏人

要 旨 地震による斜面崩壊は地震力と斜面自身の地形・地質的特徴の相互作用によって発生する。本報告は、システムエンジニアリングの分野で注目されているFuzzy理論を用いて地震時の斜面崩壊を予測する手法について検討したものである。昭和53年伊豆大島近海地震による崩壊斜面を対象として地震時斜面崩壊機構の構造化モデルを作成し、このモデルにもとづいてFuzzy推論及びFuzzy積分を行い、地震時の斜面崩壊機構について、定性的、定量的な評価をした。

キーワード：Fuzzy理論，地震，斜面崩壊，構造化

郵便はがき

は 40
い 円
っ 切
て 手
下 を
さ

3 0 5 - □ □

茨城県つくば市大字旭一番地
建設省土木研究所
砂防部急傾斜地崩壊研究室 御中

No. _____

No. _____

配布先氏名

配布先住所



土木研究所資料第2625号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名 印