

原 著

ファジイ理論を応用した診断支援システム

—— 前立腺癌超音波診断への応用 ——

堀 義巳¹⁾ 有田清三郎²⁾

川崎医療福祉大学 医療技術学部 医療情報学科¹⁾

川崎医科大学 数学教室²⁾

(平成5年6月16日受理)

Using the Theory of Fuzzy Sets as a Supporting System for Medical Diagnosis

—— Diagnosis of Prostatic Ultrasonogram ——

Yoshimi HORI¹⁾ and Seizaburo ARITA²⁾

Department of Medical Informatics Faculty of Medical Professions

Kawasaki University of Medical Welfare¹⁾

Kurashiki, 701-01, Japan

Department of Mathematics Kawasaki Medical School²⁾

Kurashiki, 701-01, Japan

(Accepted Jun. 16, 1993)

Key words : fuzzy theory, medical diagnosis, supporting system, medical information, computer system

Abstract

Application of the theory of fuzzy sets to the medical field has just started. Application of the fuzzy theory is possible to two areas :

- (1) biomedical control systems such as a blood pressure control system in anesthesia and
- (2) medical diagnostic systems.

In this paper we introduced a new computer system for medical diagnosis using a fuzzy interface.

We applied this system to the diagnosis of carcinoma using medical information obtained by ultrasonography and obtained good diagnostic results for prostatic cancer.

要 約

ファジイ理論の医療への応用が始まりつつある。ファジイ理論の医療への応用の代表的分

野としては主として、医療機器の開発と診断ロジックへの応用が考えられる。医療機器の開発ではファジィ・コントロールの原理を利用するもので麻酔時の血圧制御システム等がある。一方診断ロジックへの応用においては、ファジィ理論を医療診断ロジックに活用しようとするものである。医療で取り扱うデータはファジィ情報を数多く含んでおり診断支援、治療方針の決定の支援システムとしてファジィ理論の応用が期待できる。本稿ではファジィ理論に基づく医療診断支援システム構築のためパーソナルコンピュータを使用して単独に開発したシステムを紹介する。次にこれを前立腺癌診断に適用し、ファジィ理論を使った診断システムの利点等について考察した。

はじめに

検査データ、医用画像、問診情報等による医療診断の分野にファジィ理論の応用が試みられている。ファジィ理論の応用を医用画像診断に注目して考えてみると、画像診断にもちいる判断基準には「境界がやや不明瞭」などのいわゆるあいまい情報（ファジィ情報）を取り扱うため、ファジィ情報の処理が重要な課題となっている。また観察所見のファジィ情報をどのように有効に活用して診断結果に導くかの画像診断ロジックが未だ確立されていない。通常行われている超音波画像診断は与えられた超音波画像が医師の主観によって所見評価され、観察項目（画像情報）の所見評価から最終診断に至るまでの診断過程が不明瞭なため、医師の経験のみにまかされているが、これは医師の心理的な影響と共に直前の画像診断や診断結果に大きな揺らぎを与えている。これらは、画像情報のファジィ性や画像診断そのものに内在するファジィ性を如実に表している。医用画像診断では、このようなファジィ性の壁を乗り越える人間と診断装置と言う機械を結びつけるヒューマンフレンドリーシステムが切望されていた。

我々は、カリフォルニア大学 L. A. Zadeh 教授が提唱した「ファジィ理論」を超音波診断に適用して、腫瘍の良・悪性判定のためのファジィ理論による画像診断ロジックを開発した。これらの分野で標準的な診断ロジックを作成できれば非常に有用であり、且つ利用の推進につながる。本稿ではファジィ理論に基づく医療診断支援システム構築のためパーソナルコンピュータを使用して単独に開発したシステムを紹介する。次にこれを前立腺癌診断に適用し、ファジィ

ィ理論を使った診断支援システムの利点等について考察した。

診断の推論手順

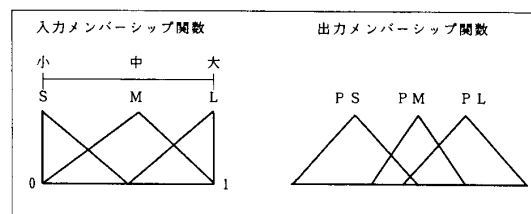
ファジィ理論を用いた診断プロセスを図1の観察項目を用いて説明する。ここでは項目ごとのファジィ推論（単独推論）と相乗効果をもったファジィ推論について説明する。

1. 項目ごとのファジィ推論

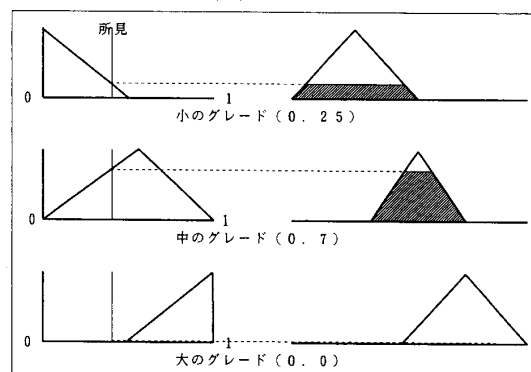
1) 入力部門

与えられた各観察項目において所見0から1までの直線上に、印を付けることによりデータの入力をする。

I. 入力メンバーシップ関数と出力メンバーシップ関数



II. 観察項目でのファジィ診断過程



III. 診断結果



図1 各観察項目でのファジィ推論

2) 入力メンバーシップ関数

観察項目のラベル（カテゴリー）を次のように（小，中，大）の3ラベルに設定する。これらのラベルは次のような表示記号である。

S : Small

M : Medium

L : Large

またこれらラベルに対応するメンバーシップ関数をあらかじめ設定しておく。（図1. I 参照）これを所見評価における「入力メンバーシップ関数」と呼ぶことにする。

3) 出力メンバーシップ関数

観察項目による診断のための重みを表すメン

バーシップ関数を「出力メンバーシップ関数」と名付ける。この出力メンバーシップ関数は入力メンバーシップ関数のラベルに対比してつくられる。例えば，入力メンバーシップ関数（S, M, L）に対応して，出力メンバーシップ関数を（PS, PM, PL）と設定する。PS, PM, PL は次のような表示記号である。

PS : Positive Small

PM : Positive Medium

PL : Positive Large

出力メンバーシップ関数は，中心と幅をもった二等辺三角形で設定した（図1. I 参照）。

入力メンバーシップ関数と出力メンバーシップ関数との関係を図1に示す。

4) ファジィ規則

第 i 番の項目について，入力データ x_i （小，中，大）と診断結果 y （PS, PM, PL）とのファジィ関係を IF-THEN ルールで示すと，次のようになる。

IF x_i is S THEN y is PS.

IF x_i is M THEN y is PM.

IF x_i is L THEN y is PL.

ここに， x_i は観察項目の所見評価， y は診断に対する重みである。

診断システム方式

いま n 個の項目で所見評価が (x_1, x_2, \dots, x_n) と示されたとき，各項目の入力メンバーシップ関数によるグレード（図1. II 参照）が計算され，それに伴う診断のための重みを表す出力メンバーシップ関数（図1. II 斜線部分）が得られる。各項目の所見評価 (x_i) による診断のための出力メンバーシップ関数が次々に評価さ

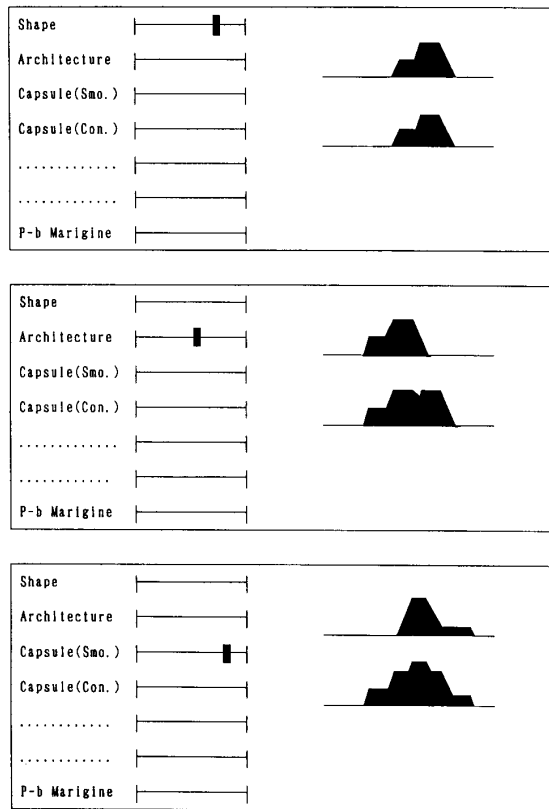


図2 前立腺癌診断でのメンバーシップ関数の動き

表1 ファジィ規則表の例

		入力項目 (x2)		
		S	M	L
入力項目 (x1)	S	NL	NS	
	M	NM	ZR	PR
	L		PM	PL

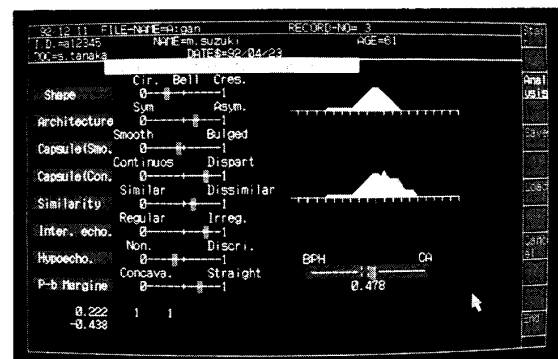


図3 コンピュータ画面上に表示された診断画面

れる総合評価は各グレードの出力メンバーシップ関数を重ね合わせた和集合となる(図1, III参照). 前立腺癌診断での総合診断過程を図2に示す.

2. 相乗効果をもったファジィ推論

入力項目が2項目で出力が1項目とする. 入力項目を x_1 , x_2 とし, 出力項目を y とする. 入力項目 x_1 , x_2 がそれぞれ3ラベル(S, M, L)に設定され, 出力項目 y が7ラベル(NL, NM, NS, ZR, PS, PM, PL)に設定されているとする.

入力メンバーシップ関数 出力メンバーシップ関数

S : Small	PL : Positive Large
M : Medium	PM : Positive Medium
L : Large	PS : Positive Small
	ZR : Zero
	NS : Negative Small
	NM : Negative Medium
	NL : Negative Large

ファジィ規則

x_1 , x_2 と y とが例えば次のようなファジィ規則(表1)で関係づけられているとする.

このとき, これらを IF-THEN ルールで記述すると, 次のようになる.

IF x_1 is S and x_2 is M
THEN y is NS

IF x_1 is L and x_2 is M
THEN y is PM

ファジィ規則表での NS, NM, NL 等の配置は各応用例によって異なり, ファジィ規則はデータ解析及び臨床的知見によって決められる. まず, 臨床データを多変量解析(数量化II類, 判定分析等)により各項目の診断における重要度(category weight)を計算する. この結果を基に NS, NM, NL 等の配置を決定した. さらに各症例ごとの臨床診断結果とコンピュータ診断結果を整合し, 各項目の妥当性, 場合によっては項目の合併などにより多変量解析より再度や

表2 前立腺癌に応用した結果

		ファジィ診断			合計
		前立腺癌	判定不明	前立腺肥大症	
病理 診断	前立腺癌	29	1	0	30
	前立腺肥大症	1	3	30	34

り直すなどの処理を繰り返し, 最終的なメンバーシップ関数を決定した. 項目の決定においては, カテゴリーの分け方, 各項目間の関連度合, 臨床データの再チェック等に特に注意をはらった.

今回ファジィ理論を使って我々が開発したパーソナルコンピュータによる診断支援システムを「ファジィ診断支援システム」と名づける.

応用例

このファジィ理論による診断支援システムを前立腺癌診断に試みた. 前立腺癌は成人男性の中年期から老年期にかけて多発し, この疾患の診断には経直腸的超音波断層法が有用であることが知られているが, その診断方法ではどの観察項目に注目し, どのような診断ウェイトをつけ, どのような診断方法を行うべきか, 超音波診断プロセスが明確にされていなかった. 今回我々が採用した観察項目は, 前立腺癌の超音波診断の項目として日本超音波学会の前立腺癌判定基準などを参考として次の8項目とした.

(Shape, Architecture, Capsule(Smo.), Capsule(Con.), Similarity, Inter. echo, Hypoecho, P-B Marigine) このシステムをコンピュータディスプレイ上に表示させたものが図3である.

図3で左半面に観察項目群と項目所見評価がマウスでファジィ入力され, 右半面に診断結果が表示されている. このシステムを用いて前立腺癌64症例を診断した結果, ファジィ診断では病理診断で検証された前立腺癌30例中29例(96.7%)を前立腺癌と, 前立腺肥大症34例中30例(88.2%)を肥大症と判定した.(表2参照)

前立腺癌で肥大症と判定されたものはなく, 肥大症のものを癌と判定したのは1例(2.9%), 判定不明が3例と, 従来のエキスパート医師の診断に近い高精度の診断成績を得た. 従ってこ

のファジィ画像診断システムが臨床の画像診断支援装置として有効であることを示唆した。

考 察

ファジィ理論を使ったこのシステムには、どのような利点があるかを考察する。

この診断システムは医師の画像診断をはじめ、問診、検査診断などの診断補助支援システムとしても応用できる。医師の診断補助支援システムとしての使用では次のようなことが考えられる。従来の画像診断では、形状は「整か不整」のように各観察項目について Yes, No の評価（2値評価）しか与えられなかったが、このシステムでは所見評価の度合をマウスを使用して手軽にファジィ入力ができる。入力ミスに伴う修正操作もきわめて容易である。また、各項目での入力データや診断結果がデータとして保存できるため、過去のデータを取り出して再評価し、各自の診断方式の変化等を知ることができる。さらに画像が与えられたとき、画像診断では画像の全体像（イメージ）は把握できるが、画像のどこから所見読みをすれば良いかわからず、かつ所見項目の読み落としがある。ところがこのシステムは、観察項目群が次から次へと指定され所見の読み取りミスが防止される。

ファジィ理論の診断システムの応用例として、本システムではこれを超音波診断に適用し、対象疾患に前立腺癌を選んだが、この対象疾患を前立腺癌から乳癌や肝硬変などにかえれば、疾患別の超音波診断支援装置として利用できる。その際、観察項目や診断ウエイトは疾患ごとに変更する必要があるが、このシステムではレイアウトの変更、及びパラメータの変更で対処できる。他の利用法として、問診健康調査や検査診断等にも活用できる。このファジィ診断システムは医療診断にとどまらずファジィ情報を取り扱う分野での汎用ファジィ診断の特質を有しており、その応用範囲はきわめて広い。本診断支援システムを有効に活用するためには、まず観察項目群の選定と各項目の所見評価基準を設定してファジィ入力することが重要である。また、高精度の診断成績を得るためには、課題にあった診断ロジックを構築すると共に診断結果

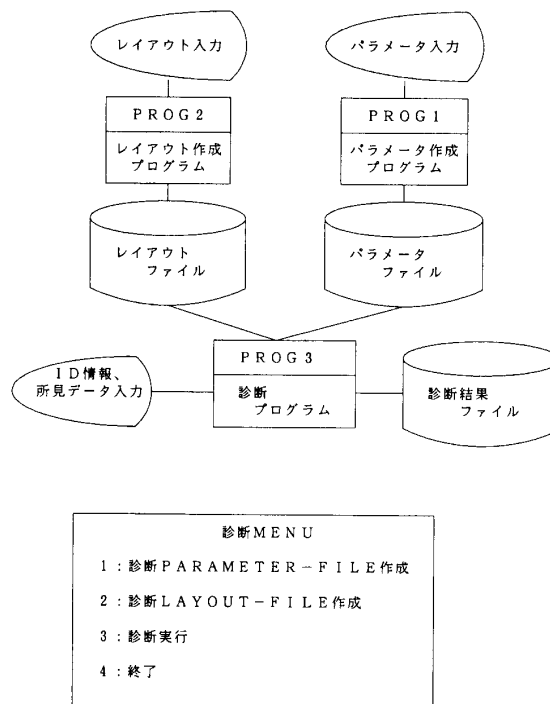


図4 全体の概要図と処理選択メニュー

を1次元尺度（悪性尺度）から2次元尺度（良性と悪性）をもったファジィ推論を構成して診断システムを設計することが必要である。今後の課題としては、各項目の診断ウエイトを変更できる学習機能を持ったFlexibleでヒューマンフレンドリーな診断支援システムを構築してゆきたい。

本研究にあたり前立腺癌の超音波診断における臨床知見等につき、岩手医科大学泌尿器科学教室藤岡知昭助教授、川崎医科大学薬理学教室斎藤泰一教授の御指導をいただきました。ここに深く感謝申し上げます。

この研究の一部は、川崎医療福祉大学1992年度プロジェクト研究（責任者：堀義巳）の援助を受けて実施した。

付 録

ファジィ診断支援システムの各機能

今回我々が開発したパーソナルコンピュータによるファジィ診断支援システムの概要を説明する。システムは次の様な機能により構成されており、診断MENU画面により機能を選択して実行する。（図4）

```

***  P A R A M E T E R  ***

SC(1,1) SH(1,1) SC(1,2) SH(1,3) ..... SC(1,6) SH(1,6)

Item1 0.50 0.50 0.00 0.50 ..... 0.00 0.00
Item2 0.00 1.00 1.00 1.25 ..... 2.50 1.00
Item3 0.75 0.75 0.00 0.75 ..... 0.00 0.00
Item4 0.00 0.35 0.50 0.50 ..... 0.00 0.00
Item5 0.00 1.50 1.50 1.00 ..... 0.00 0.00
Item6 0.25 0.25 0.00 0.25 ..... 2.00 0.25
Item7 0.50 1.00 0.00 1.00 ..... 2.00 1.00
Item8 0.00 0.00 0.00 0.00 ..... 0.00 0.00

(OK=Return ,No=9) :

```

図5 PARAMETER-FILE 作成画面 (網かけ部分を入力)

```

***  L A Y O U T  ***

HEADING

AAAAA AAAAA
Item1 0-----+-----1
BBBBB BBBBB
Item2 0-----+-----1
CCCCC CCCCC
Item3 0-----+-----1
DDDDD DDDDD
Item4 0-----+-----1
EEEEEE EEEEE
Item5 0-----+-----1
FFFFF FFFFF
Item6 0-----+-----1
GGGGG GGGGG
Item7 0-----+-----1
HHHHH HHHHH
Item8 0-----+-----1

AAAA BBBBB
----- | | -----

OK=Return, No=Item-No

```

図6 LAYOUT-FILE 作成画面 (網かけ部分を入力)

1. 診断パラメータ・ファイルの作成. (PROG1)

ファジィ理論では各項目の重みをメンバーシップ関数で規定することができる。メンバーシップ関数を定めるための各項目毎のパラメータをキーボードにより入力してファイルに保存し、

診断処理時に読み込み使用する。(図5)

2. 診断レイアウト・ファイルの作成. (PROG2)

画面のレイアウトの作成をするため、見出し、各項目名、項目入力の単位、ファジィ推論の結果表示等、を入力画面に従ってキーボード入力

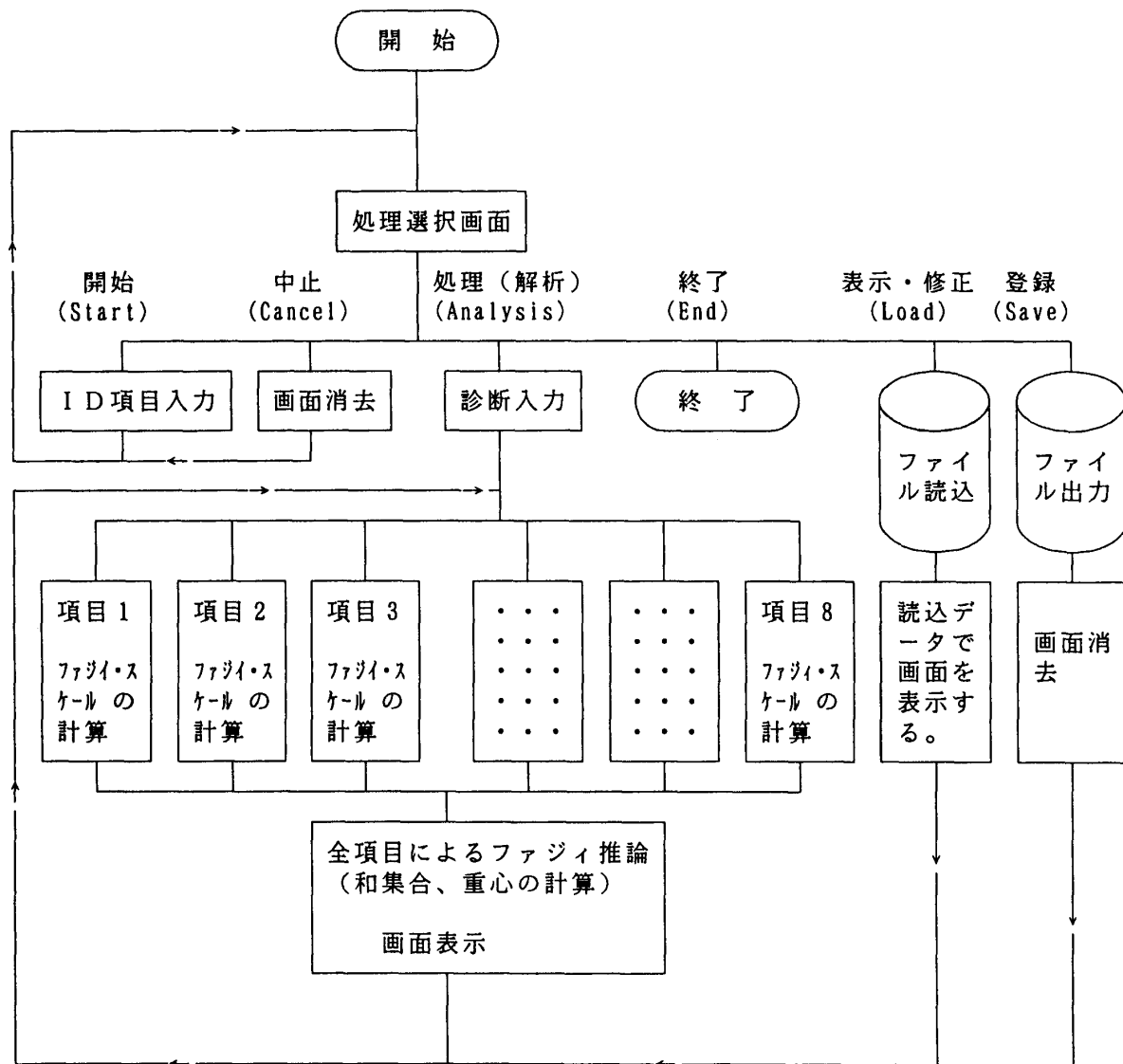


図7 診断処理のブロックダイアグラム

してレイアウト・ファイルとして保存する。診断実行時にこのレイアウト・ファイルを読み込み診断データの入力及び結果表示画面に使用する。(図6)

3. 診断実行。(PROG3)

診断実行を開始すると(PROG1)と(PROG2)で作成したパラメータ・ファイル及びレイアウト・ファイルが入力され診断項目が画面表示される。その後データを入力し診断処理を実行させる。入力データ及び診断実行結果はファイルとして保存できる。また保存した入力データは読み込んで表示、修正が可能である。

4. 終了

全ての処理を終了する。

ファジィ診断の実行過程

システムのコンピュータ・ディスプレイ上に表示された診断画面(図3)で説明する。図3の画面上のアイコン部をマウスでクリックすることにより機能を選択して処理を進める。

診断MENU(図4)で診断実行を選択すると図3画面が表示され、ファイル名の入力を要求する。適当なファイル名(このファイル名はこれから入力するデータの保存や既に保存済のデータの表示及び修正のために使用することができ)をキーボードより入力し、[RETURN]キイを押す。

診断実行(PROG3)のブロックダイアグラムを図7に示す。図7の各機能(開始, 解析, ……,

終了)の詳細を説明する。

1. 開始処理 ([Start]: ID 情報の入力)

アイコン部の [Start] をマウスでクリック選択すれば画面に各項目 (ID 番号, 名前, 年齢, 担当医等) の入力要求があるので, これらを入力して [RETURN] キーを押せばよい。

2. 診断・解析処理 ([Analysis]: 所見データの入力)

アイコン部の [Analysis] をマウスで選択すれば各項目の項目名とそのファジィ・スケールが表示されるので, ファジィ・スケールの部分をマウスでクリックすることによりデータを入力していく。各項目の入力順序は自由であり, データ修正は対象の項目について再度入力すれば後に入力したものにおきかわる。各項目を入力するとファジィ推論を実行したメンバーシップ関数が画面表示され次の項目の入力待ちとなる。全データの入力が終わると解析結果が表示される。

3. 登録処理 ([Save]: データの保存)

データ入力終了した時点で, 現在表示中の画面データを保存したい時はアイコン部の [Save] 部分をマウスでクリックすると, 画面上部に表示のファイルに保存することができる。保存したデータは再度取り出して表示, 修正ができる。

4. 表示・修正処理 [Load]: 登録済みのデータの表示, 修正)

既に登録済みのデータをファイルより取り出

して表示, 修正するためにはアイコン部の [Load] をマウスでクリックすると, 画面上部の [RECORD-NO=] の位置にカーソルが移動するのでレコード番号を入力する。レコード番号入力が終わると, レコード番号で指定のデータをファイルより読み込み画面に表示する。次に修正したい時, アイコン部の [Start] をマウスでクリックすると ID 部分の修正状態となる。現在のカーソル位置の項目について修正後 [RETURN] キーを押せばよい。修正の必要がない場合はそのまま [RETURN] キーを押せば次の項目へすすむ。ID 情報の修正が終わると所見データの修正に進む。アイコン部の [Analysis] をマウスでクリックすると所見データの修正が可能となる。修正したい所見項目のファジィ・スケールの部分をマウスでクリックすると新しいデータが入力され, ファジィ推論が実行され解析結果が画面表示される。全ての修正が終わると [Save] 処理でファイルに保存される。

5. 中止処理 ([Cancel]: データの破棄)

アイコン部の [Cancel] をマウスでクリックすると現在表示中の画面を破棄して開始処理 ([Start]) の状態となる。

6. 終了処理 ([End])

アイコン部の [End] をマウスでクリックすると診断実行を終了させ診断 MENU (図 4) に戻る。

文 献

- 1) Arita S, Yoneda M and Hori Y (1991) Supporting system for the dianosis of diabetes mellitus based on glucose tolerance test responses using a fuzzy inference, IFSA'91 Brussels pp 1—4.
- 2) Fuzioka T, Arita S, Saito T, Hori Y, Koike H, Kubo T and Ohhori O (1991) Application of fuzzy interface to the diagnosis of prostatic cancer by transrectal ultrasonography, Proceeding of the International Congress of Biomedical Fuzzy Systems & the Third Annual Meeting of Biomedical Fuzzy Systems Association pp 75—77.
- 3) Sanchez E, Zadeh L A (1987) "Approximate Reasoning in Intelligent Systems". Decision and Control, Pergamon Press Oxford.
- 4) Tsutsui T, Arita S, Hori Y and Hamada S (1991) Clinical application of fuzzy-logic control of blood pressure through anesthesia, Proceeding of the International Congress of Biomedical Fuzzy Systems & the Third Annual Meeting of Biomedical Fuzzy Systems Association pp 99—100.
- 5) Zadeh L A (1965) *Fuzzy sets. Information and Control*, **8**, 338—353.

- 6) 有田清三郎 (1991) ファジィ理論の医療への応用. 日本ファジィ学会誌, **3**(3), 412—421.
- 7) 有田清三郎 (1991) ファジィ理論を用いた超音波画像による癌診断システムの開発, 日本ファジィ学会誌, **3**(3), 527—539.
- 8) 有田清三郎, 米田正也, 堀義巳 (1991) 糖尿病ファジィ診断ロジックの開発. 医療情報学連合大会論文集: **11**, 411—412.
- 9) 有田清三郎 (1992) メディカル・ファジィのはなし. 初版, 日刊工業新聞社, 東京.
- 10) 水本雅晴 (1988) ファジィ理論とその応用. サイエンス社, 初版, 東京.
- 11) 向殿政男 (1990) ファジィのはなし. 日刊工業新聞社, 初版, 東京.
- 12) 山川 烈 (1988) Fuzzy コンピュータの発想. 講談社, 初版, 東京.