

ES/KERNEL/Wのファジィ推論機能

Fuzzy Reasoning System in ES/KERNEL/W

専門家の知識を知識ベース化する場合、条件部として2値(真か偽)ではなく、「温度が高い」とか「あの人は背が高い」といった、ことばの主観的なあいまいさを表現したい場合がある。

ファジィ理論では、ある状態のあいまいさを0から1までの値をとる関数を用いて表現できる。そこでエキスパートシステム構築ツールES/KERNEL/W (Expert System/KERNEL/Workstation system)では、従来から制御の分野で実績を挙げているファジィ理論を応用したファジィ推論機能を取り入れた。これにより、ビジネス分野のアプリケーションを構築するうえで、専門家の持つあいまいな知識表現の記述性を高め、適用範囲を拡大させることができた。

さらに、ファジィ推論用の知識を効率よく入力するためのファジィエディタ、推論が正しく動作しているかどうかを検証するためのファジィトレースをサポートすることで、開発環境の充実を図っている。

松井 隆* *Takashi Matsui*
米谷尚久* *Naohisa Kometani*
上野浩一* *Kôichi Ueno*
安信誠二** *Seiji Yasunobu*
津田隆子*** *Ryûko Tsuda*
佐藤 忍**** *Shinobu Satô*

1 緒 言

エキスパートシステムは、プラント制御や故障診断など物理系を対象とした分野からまず実用化が始まり、次いで金融、保険、証券、流通など社会経済状況を対象としたビジネス分野への適用が広まりつつある。一般にエキスパートシステムは、人間の確定的な知識を多くはIF~THEN~のルール形式で計算機上に表現し、人間の知的な行動を代行するものである。これに対し、ビジネス分野への適用が進展するに従って、人間本来の直観的であいまいな知識も、確定的な知識と同時に扱いたいという要求が高まってきた。

このような知識を計算機に組み込む手段として、すでに仙台市営地下鉄の自動運転などに適用し成功したファジィ制御の応用(以下、ファジィ推論と言う。)が提案されている。日立製作所ではこれらの動きに対応するため、エキスパートシステム構築ツールES/KERNEL/W (Expert System/KERNEL/Workstation system)にファジィ推論機能をサポートした。

本稿は、ファジィ推論の概要、ES/KERNEL/Wでのファジィ推論の特長およびファジィ推論用ルール構築のためのエディタ(ファジィエディタ)について述べる。

2 ファジィ推論

2.1 ファジィ理論の概要

ファジィ理論とは、人間のことば、意味、思考、測定などに本質的に含まれている「あいまいさ」を数学的に取り扱う研究分野で、1965年カリフォルニア大学のザデーによって提案された理論である。

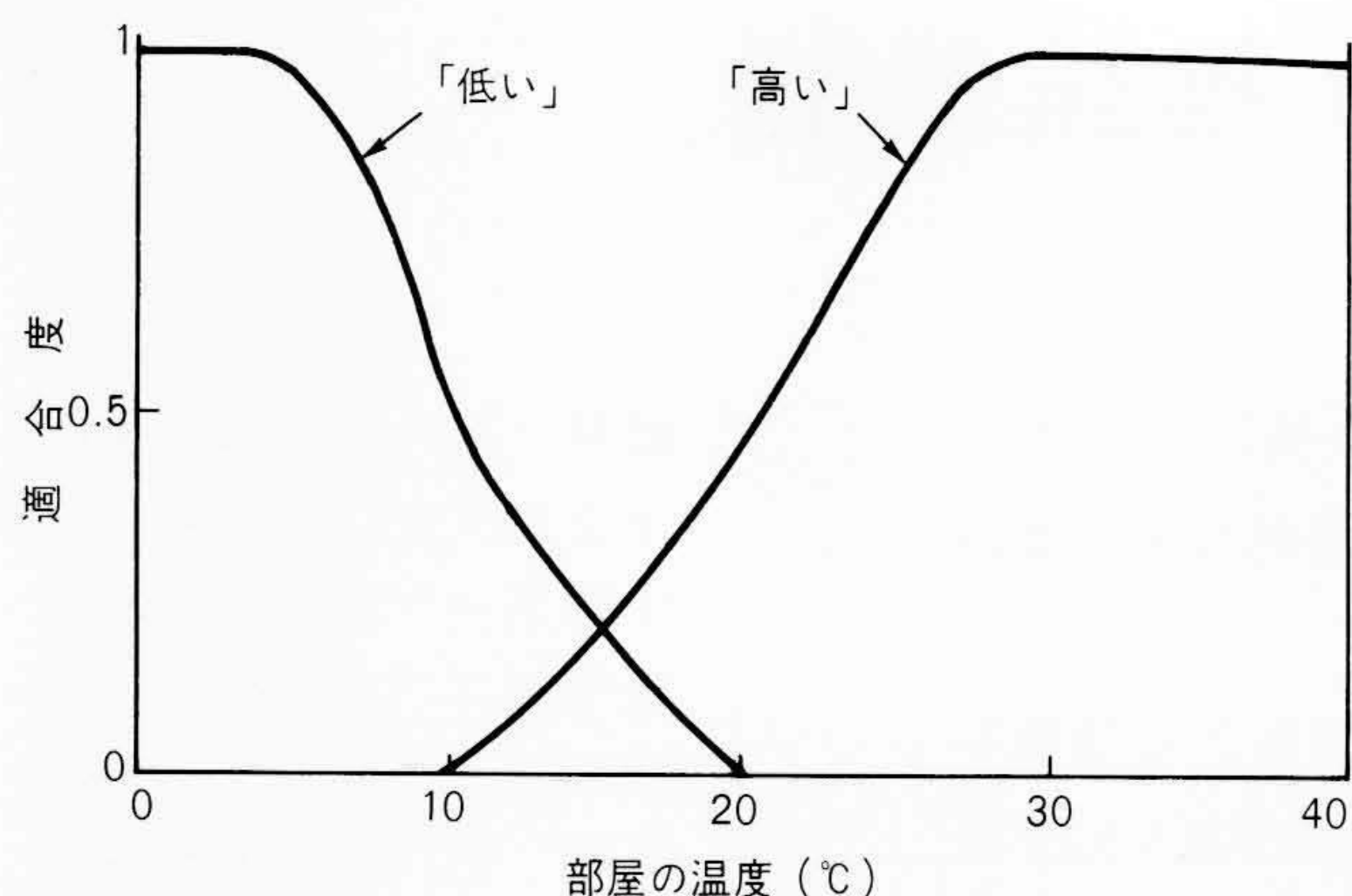
ファジィ理論の基盤となっているのは、ファジィ集合という考え方である。通常の集合論では、ある要素がある集合に属しているか否かは、はっきり決まる。例えば、数値全体の集合を考えると、ある数値が偶数であるかどうかは、2で割り切れるかどうかではっきり決まり、そこには「あいまいさ」は持たない。ところが、「部屋の温度が高い」という場合の「高い」の概念には、「あいまいさ」を含んでいると言える。

このように、ある要素がある集合に属していると考えてよい「適合度」が、1(属する)と0(属さない)のどちらかではない場合を関数で表すと図1のようになる。この関数を、メンバーシップ関数と呼ぶ。また、このような関数で定義される集合をファジィ集合という。一般的な集合が客観的なものであるのに対して、ファジィ集合は主観的な集合の概念と言える。

2.2 ファジィ推論

例えば、為替ディーラにとって「公定歩合、ダウ平均株価

* 日立製作所 ソフトウェア工場 ** 日立製作所 システム開発研究所 工学博士 *** 日立製作所 システム開発研究所
**** 日立ソフトウェアエンジニアリング株式会社



注：適合度（「低い」および「高い」と言える度合い）

図1 「高い」、「低い」の適合度 部屋の温度が30℃のときは明らかに「高い」と言えるが、10℃のときは「高い」とはまったく言えなくなり、「低い」が0.5の適合度で言えることを示している。

の状況によってドルの売り買いを決める」ことを、知識で表現してみる。もしファジィ推論を使わないのであれば、「公定歩合が $x_1\%$ で、ダウ平均株価が y_1 万円であれば、ドルを買い控える」……「同 $x_n\%$ で同 y_n 万円であれば買う」等々、ルール数が膨大になる。しかし、ファジィ推論を利用したファジィルールで記述すれば、「公定歩合が高く、ダウ平均株価が高ければドルを買い控える」、「公定歩合が低く、ダウ平均株価が低ければドルを買う」などの、われわれ人間にとって自然な表現によって知識を記述することができる。例えば、公定歩合が「低い」と「高い」との中間的なところにあり、ダウ平均株価が中程度であった場合には、両知識を勘案した適当な取引高を推論する。つまり、対象となるものの代表的な状況についての知識（ルール）を与えれば、推論によってかなり多くの場合に対する判断を導き出すことが可能となる。

2.3 ファジィ推論の効果

2.2節で述べたように、直観的な判断を行う推論でファジィ推論は、通常のIF～THEN～形のルールによる推論（プロダクションルール形推論）に比べ次のような効果がかなり期待できる。

- (1) ルール数が少なくて済む。
- (2) 知識の中に互いに矛盾する点があっても、総合的に判断して良い結果を導き出すことができる。

3 ES/KERNEL/Wでのファジィ推論機能

3.1 ファジィ推論方式

前章では、ファジィ推論の有効性について述べた。この章では、ES/KERNEL/Wでの実現方法について述べる。

日立製作所は、ファジィ推論をオブジェクト指向の考え方に従ってサポートした。すなわちファジィ推論は、システムが提供するある特殊なクラスに属するフレームのメソッドにメッセージを送ることにより、フレームに記述された事実値

を入力として実行される。この方法は、厳密な推論モードとファジィ推論モードを完全に分離した点で、人間のモデルにより近いと言える。また、単なるオブジェクトの追加であるから、システム全体に対する影響はないと考えられる。

ここで具体例を用い推論方法について説明することにする。ルール1「もし公定歩合が低く、かつダウ平均株価が低いならば、ドルを買い控える」、ルール2「もし公定歩合が高く、かつダウ平均株価が高いならば、ドルを買う」と、このルールの入力となる事実値「公定歩合=4.0%、ダウ平均株価=1万8,532円」という知識があったと仮定する。これらの知識がどのようにES/KERNEL/W中で表現され、実行されるかを図にしたものが図2中の黒い矢印である。すなわち、クラス#FUZZYに属するファジィ推論起動フレームではスロットに必要な情報が設定されており、そのフレームに対するメッセージ送信fuzzy_reasoningでファジィ推論を起動する。ファジィ推論を起動すると、以下の手順で推論を開始する(図3参照)。

(1) 条件部適合度の計算

ルール1の条件部を評価する。

“公定歩合が低い”の条件部適合度=0.3

“ダウ平均株価が低い”の条件部適合度=0.8

条件部全体の適合度はこのうちの小さい方をとり(論理積と呼ぶ。), 以下のようにになる。

ルール1の条件部適合度=0.3, 同様にルール2の条件部適合度=0.6

(2) ファジィルール適合度の計算

結論部の重みづけ評価を行う。結論部の各点での適合度に、条件部適合度をかけて(代数積と呼ぶ。)得られるグラフを、それぞれ G_1 , G_2 とする。この G_1 , G_2 をルール適合度と呼ぶ。

(3) 統合適合度の計算

ルール適合度 G_1 , G_2 を合成する。すなわち G_1 と G_2 のうち高い値を取り、その結果のグラフを統合適合度と呼び、 T で表す。

(4) 代表値の計算

統合適合度 T のグラフからその重心を求め、それを代表値とする。

上記に示すようにES/KERNEL/Wでは、標準値として条件部の適合度として論理積をとっているが代数積もとっている。同様に、ルール適合度は代数積によって重みづけしているが、条件部の適合度を超えない部分を取り出して重みづけする(論理積と呼ぶ。)こともできる。これらのメンバーシップ関数の統合適合度の計算をするときの方法(ファジィ戦略と呼ぶ。)はファジィエディタを用いることによって簡単に指定できる。

3.2 ファジィ推論のトレース機能

ファジィ推論が正しく動いていることの検証を行うためには、入力値に対して図3で示したそれぞれの推論の段階が明らかにされねばならない。ES/KERNEL/Wではファジィトレ

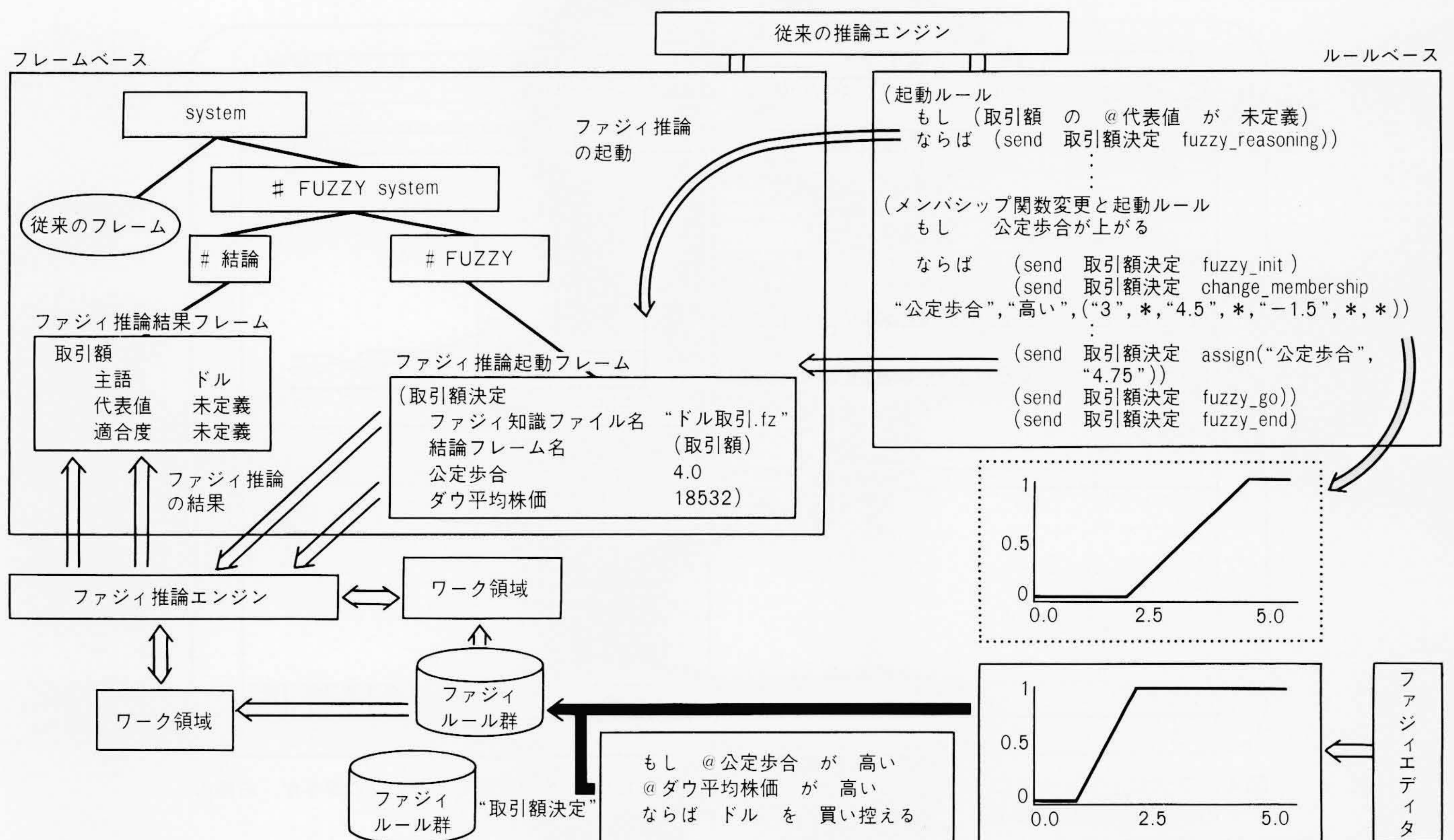


図2 知識表現と推論の流れ ルールと事実の表現形式を示した。また、通常の場合実行されるようすを黒矢印で、メンバシップ関数が動的に変更されたとき実行されるようすを白矢印で示した。

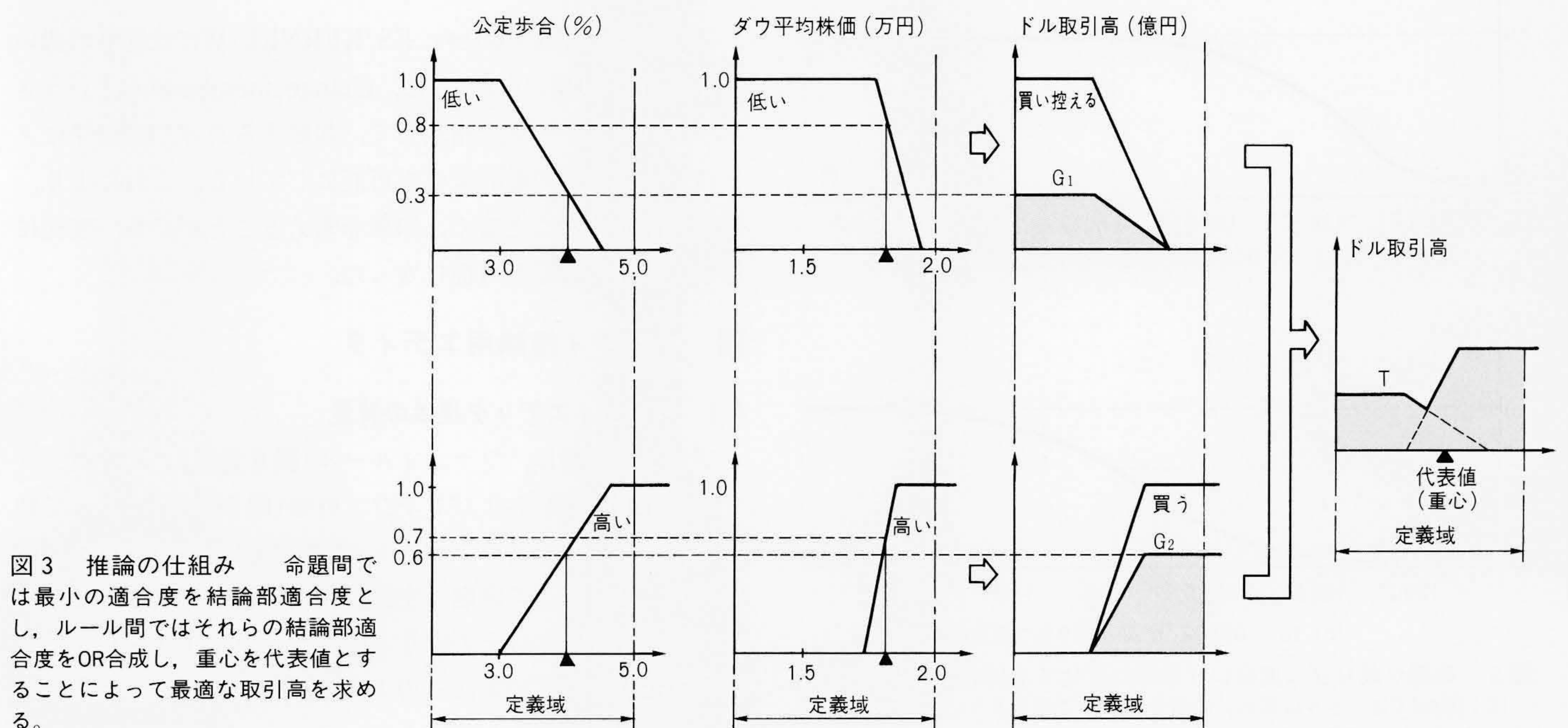


図3 推論の仕組み 命題間では最小の適合度を結論部適合度とし、ルール間ではそれらの結論部適合度をOR合成し、重心を代表値とすることによって最適な取引高を求める。

ースによって、デバッグに必要な情報をグラフ表示させることができる。例えば、ルールが多数あるとき各ルールに書かれた結論の命題が、どのように最終的な結論に寄与したかをトレースによる結論表示で知ることができる。図4はその例で、左側でピックアップされた命題(黒白反転している)の寄与が右側のグラフでは点線で示されている。

3.3 メンバシップ関数の動的変更

実際のシステムでは、ルールや命題そのものは時間とともに変化しないが、命題の成り立ち具合は時間とともに変化することが多い。また、この変化に対して、システムが即座に対応することが要求されている。例えば図5のように10:00 AMでは130円に対して「ドルは高め」の適合度が1.0かもしれ

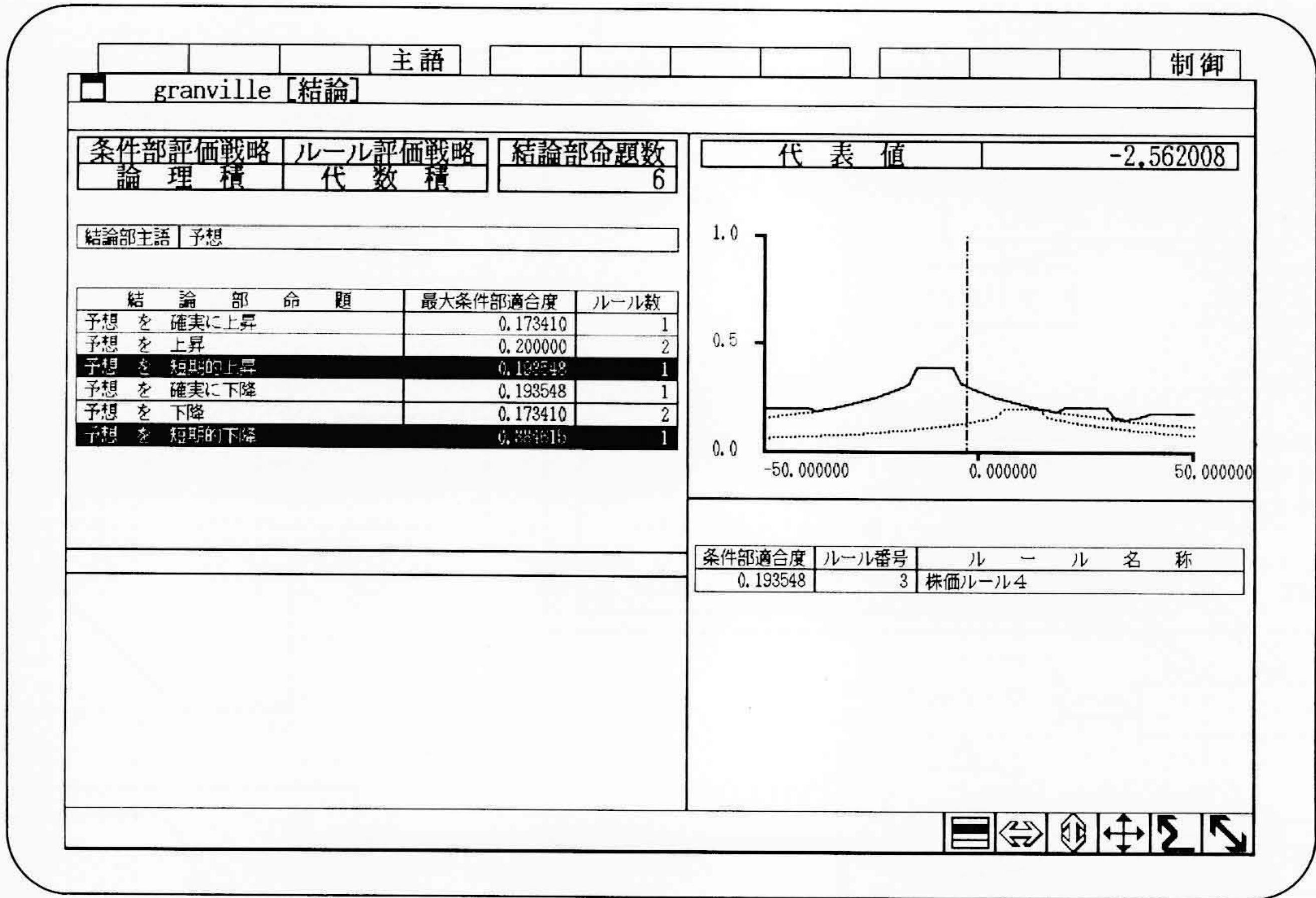


図4 ファジィトレースによる結論表示 左側でピックアップされた命題(黒白反転している。)の寄与が、右側のグラフ中の点線で示している。

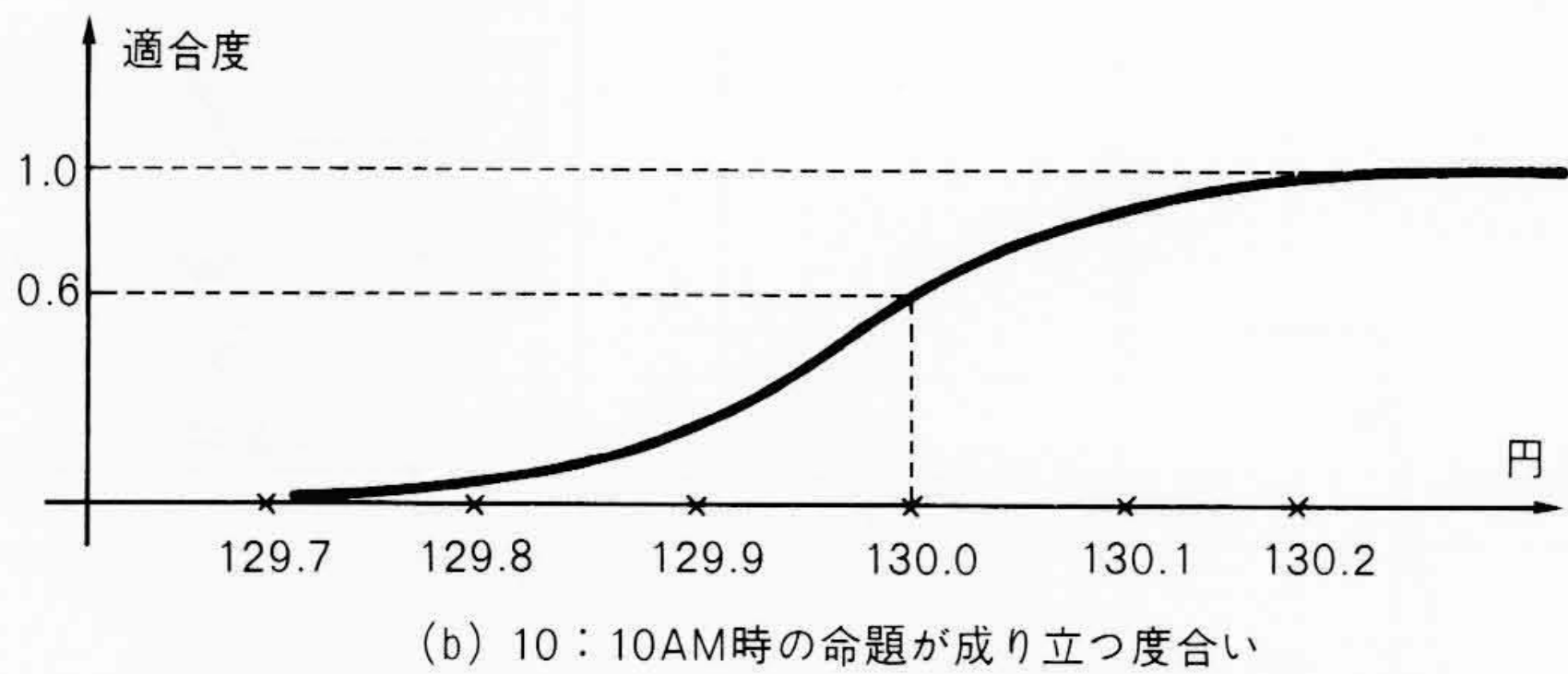
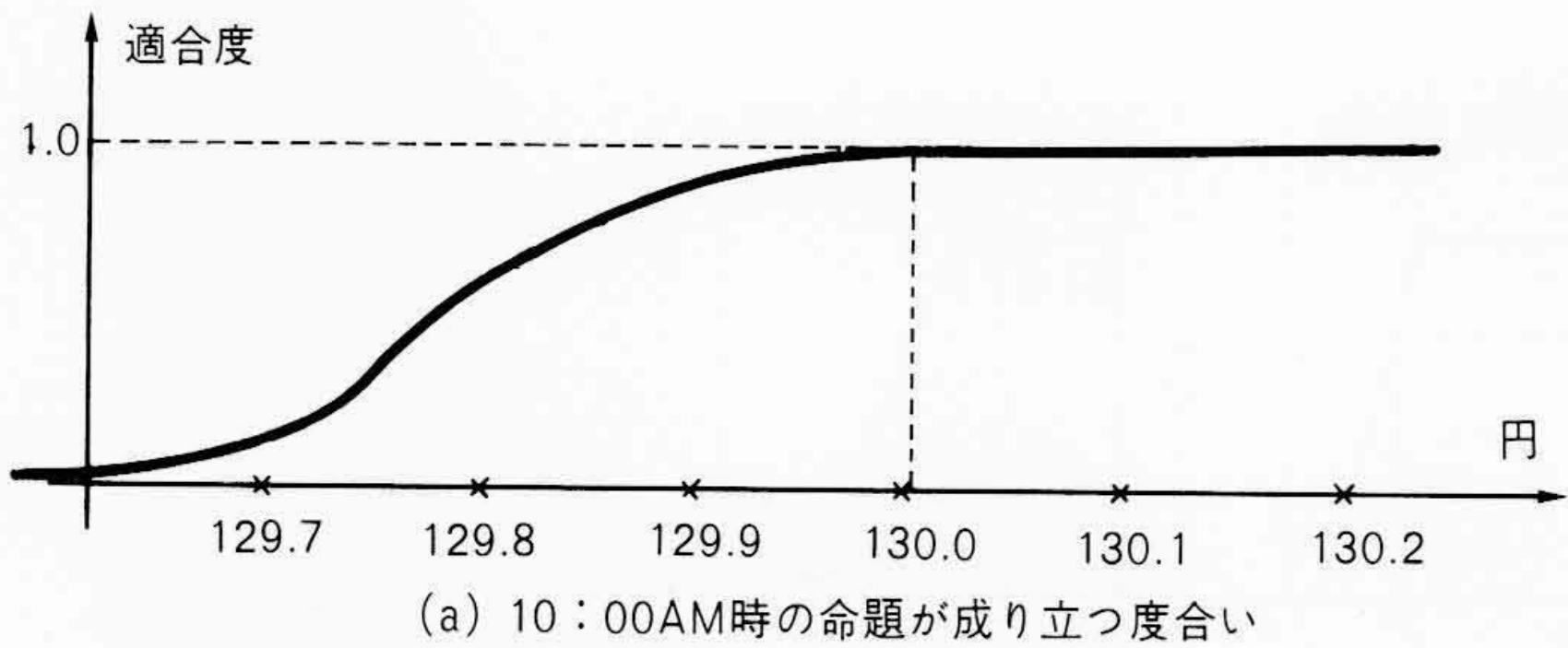


図5 命題が成り立つ度合いが急激に変化する例(「ドルが高い」)
10:00AMでは「ドルは高め」の適合度は(a)で示すように1.0であるが、
10:10AMでは(b)で示すように0.6になっていることがある。

ないが、10:10AMには「ドルは高め」の適合度は0.6になっている可能性がある。このようにドルの売買を行うシステムでは、この差が巨大な金銭的な損失につながる可能性がある。このため、命題の成り立ち具合を変更する必要があるが、エディタを使用していちいち直していたのでは使い物にならな

いであろう。
この問題に対処するため、ES/KERNEL/Wでは図2の薄い網目部分の矢印に示すように、change_membershipというメソッドのパラメータを指定して、起動するだけで推論中にメンバシップ関数の動的変更を可能にしている。これにより、推論を停止することなく、知識を変えることができ、変化に対して即座の対応が可能になった。

4 ファジィ推論用エディタ

4.1 ファジィエディタ提供の背景

ファジィ推論は、ファジィルール(図6参照)、メンバシップ関数(図7参照)およびファジィ戦略(図8参照)によって結論を求めている。このファジィルールは幾つかの命題から構成され、さらにこの命題は主語と述語の組から成る。また、おのこの命題にはその成り立つ度合いを示すメンバシップ関数が定義されている。このようにファジィルールは通常のルールと同様な形をしているが、ファジィ固有の概念であるメンバシップ関数を汎(はん)用エディタで記述するのは困難である。そのため、ES/KERNEL/Wではファジィエディタを提供している。

4.2 ファジィエディタの特長

- ファジィエディタにより、ファジィファイルの構築は次の手順で行う。
- (1) ファジィルールを作る。
 - (2) ファジィルール内で使用されている命題に対してメンバ

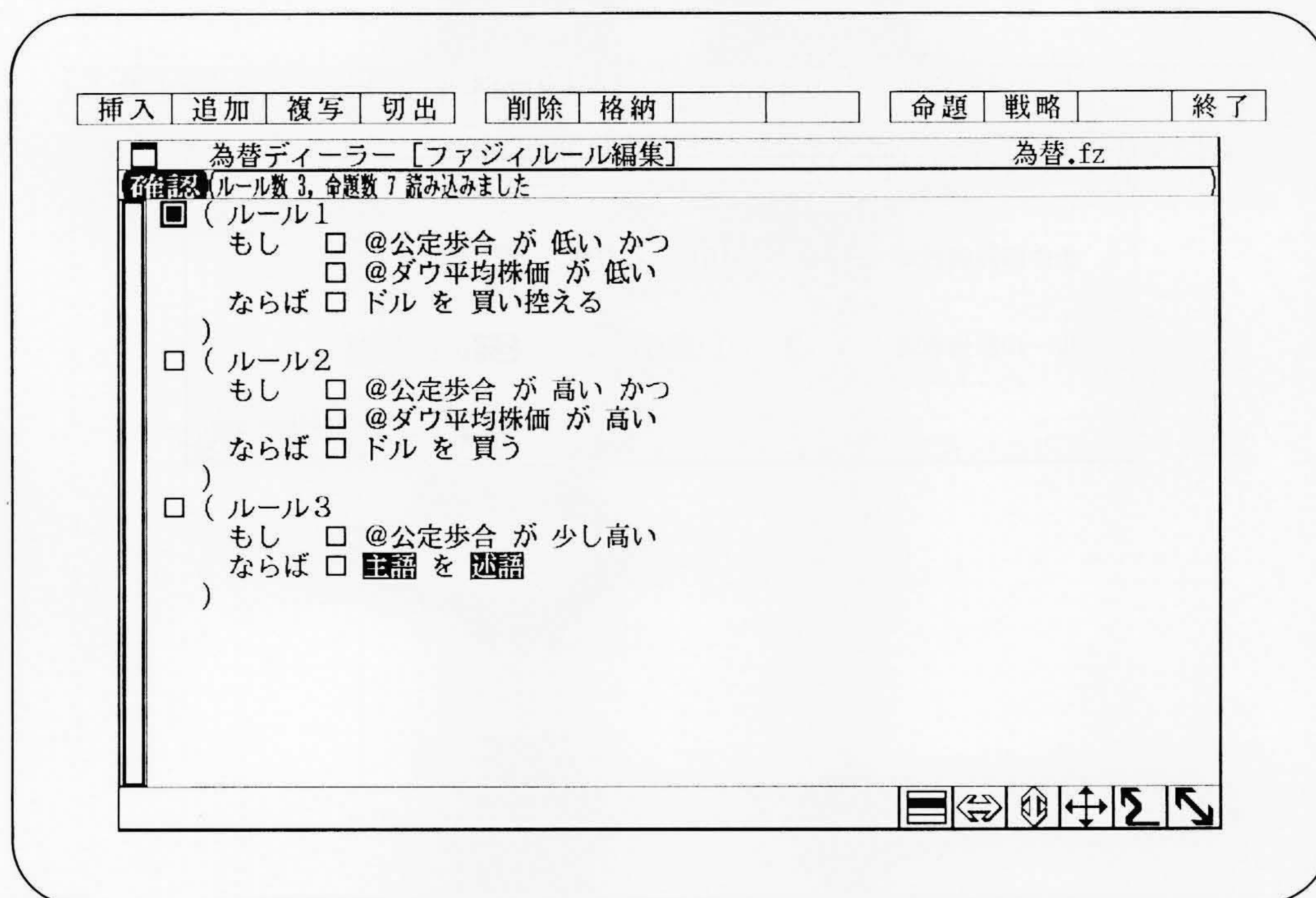


図6 ファジィルール表示画面 ファジィルールをユーザーが定義するための画面を示す。

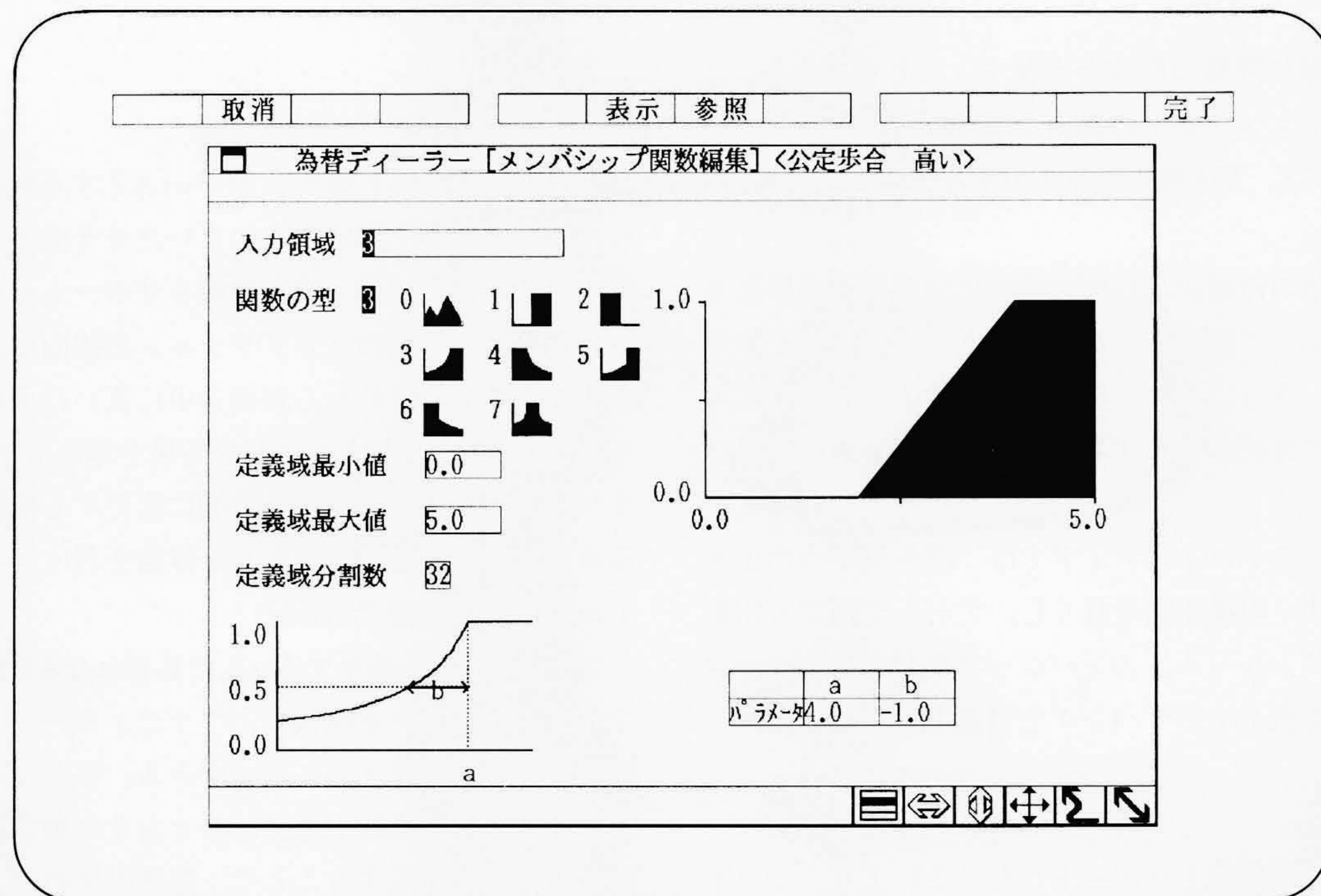


図7 メンバシップ関数表示画面 メンバシップ関数をユーザーが定義するための画面で、定義域の最大値、最小値、分割数および幾つかのパラメータを入力するためのものである。

シップ関数を定義する。

(3) ファジィ戦略を定義する。

ファジィエディタはこれら一連の作業を、対話的に行うための機能を持つ。ファジィエディタを使用すれば、メンバシップ関数を作成したい命題を命題一覧からマウスで選択することによって、図7のようなメンバシップ関数を表示するた

めの画面が簡単に出力される。同図に示すように、7種類のシステムが提供する関数のパターン1～7と、各関数の特徴点を示す数個のパラメータを指定することによって、メンバシップ関数が容易に定義できる。

日立製作所での今までの研究から、実用上メンバシップ関数はこの7パターンで十分であると考えているが、さらにユ

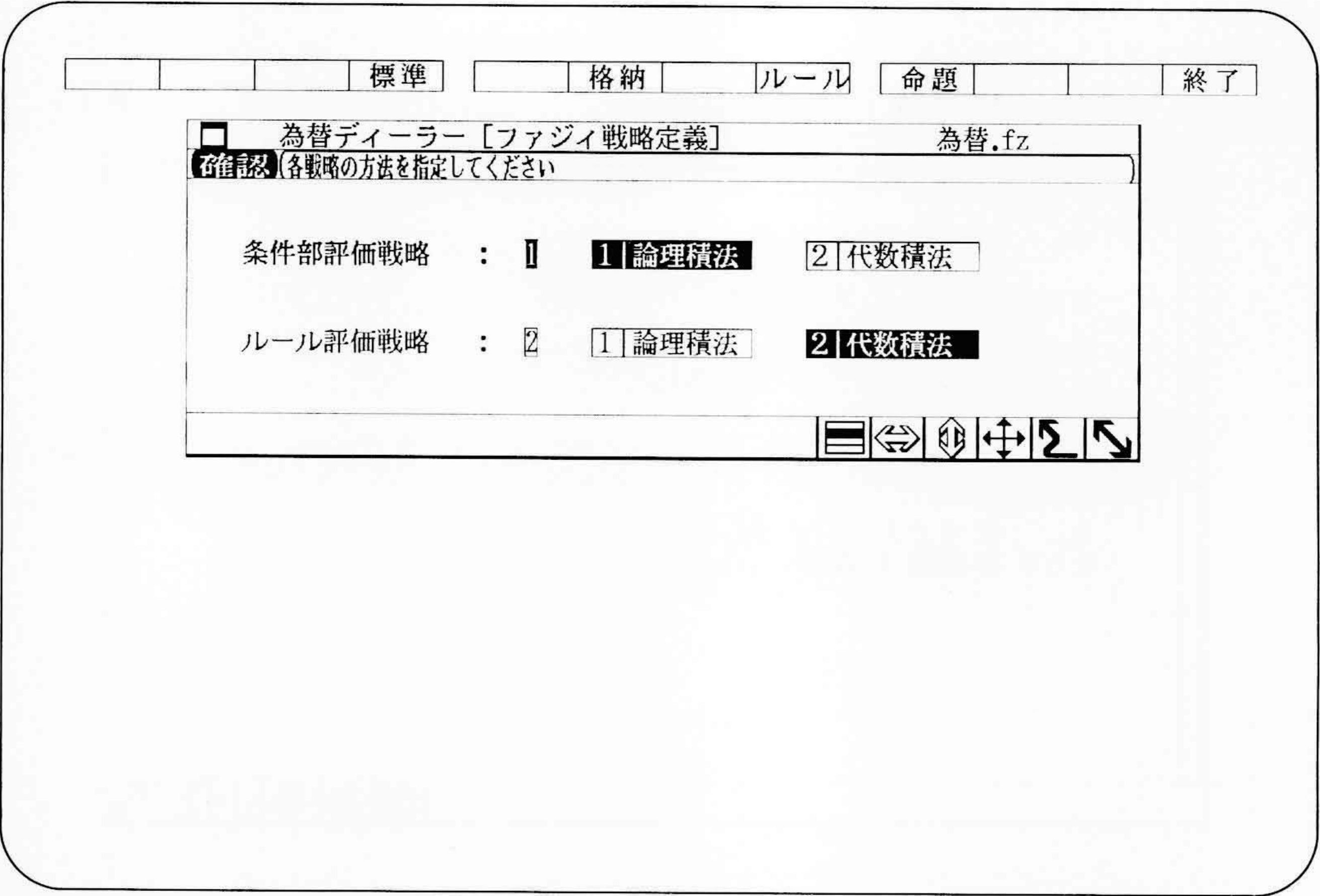


図8 ファジィ戦略の表示画面 ユーザーがどのような計算法で推論を行うのかを定義する画面を示す。上は標準値のときのものである。

ユーザー自身が簡単に関数の形状を定義することもできる。これは同図のファジィエディタの画面で関数の形0を選択し、2組～10組までのX、Y座標の組を入力することによって可能にしている。

また、同じ主語の命題があれば、すでに定義済みの関数を定義中のメンバシップ関数に重ねて表示させることができる参照機能もある。さらに、メンバシップ関数の統合適合度の計算をするときの方法を指定するためのファジィ戦略を設けた(図8参照)。

このようにしてファジィエディタでは、開発効率の向上を目的としてユーザーの操作性を良くし、デバッグ面でも印刷機能を設けファジィルール、メンバシップ関数およびファジィ戦略を印刷して机上でのデバッグを可能とした。

5 適用分野

今回ファジィ推論機能をサポートしたことにより、ビジネス分野で「景気が上昇・下降」、「相場が強気・弱気」など、われわれ人間が日常使っている直観的なことばや、あいまいな表現をルール化することが可能となった。適用分野としては次のようなものがある。

- (1) 株式など有価証券の売買支援などの意思決定問題
- (2) 経営計画、営業店指導、融資審査などの経営分析、診断問題
- (3) 為替リスク、火災リスクなどの各種リスク問題
- (4) あいまいな表現を含んだ各種相談システム

6 結 言

プロダクションシステムをベースとするES/KERNEL/Wに、人間の持つ主観的なあいまいさをそのままのことばで知識表現できるファジィ推論機能をサポートした。ファジィ推論の効果は、通常のプロダクション形推論に比べてルール数が少なく済み、しかも知識の中に互いに矛盾する点があっても、総合的に判断して良好な結果を導き出せることである。また、メンバシップ関数を動的に変更する機能を提供しているので、状況に応じたファジィ推論を行うエキスパートシステムの構築が可能である。

ファジィ知識を構築するうえで重要になる開発環境として、ファジィエディタを提供し、ファジィルールとメンバシップ関数を容易に定義することができる。また、ファジィトレース機能により、推論が意図したとおりに動作しているかどうかを視覚的に検証することで、開発効率の向上を図ることができる。

今後、ES/KERNEL/Wのファジィ推論を利用することにより、エキスパートシステムの適用範囲がさらに拡大することを期待する。

参考文献

1) サイエンス社：数理科学，No.284(ファジィ理論と応用)(昭62-2)
2) 浅井，外：ファジィシステム入門，オーム社(昭62)
3) L. A. Zadeh：Fuzzy Logic “IEEE COMPUTER”，pp.83～92(April 1988)