

アメリカにおける金融・財務エキスパートシステムの 現状：その1

時永, 祥三

<https://doi.org/10.15017/4492995>

出版情報：経済學研究. 56 (1/2), pp.351-375, 1991-03-10. 九州大学経済学会
バージョン：
権利関係：



アメリカにおける金融・財務エキスパートシステムの現状

— その1 —

時 永 祥 三

1. ま え が き

計算機により人間の知識や経験を獲得させ知識ベース化するプロセスはエキスパートシステムとして定式化されつつある。エキスパートシステムを一般的なシステム制御に応用する試みは、これまでの研究の段階からシステムの実用化の時期に入っている^{1)~3)}。エキスパートシステムの基礎理論は主としてアメリカにおいて確立されてきたが、推論やデータベース検索などのシステム実用化にあたっての技術開発ではシステムの効率化や処理系の高速化など計算機の性能向上に依存する部分が大きく、今後本格的な展開が予想される。鉄鋼業、建設業、機器製造、電機・計算機製造、自動車生産、電力などの製造業の分野では早期から自動化がすすめられており、エキスパートシステムの導入も比較的順調に行なわれているのに対し、金融・財務の分野への導入は全般的なOA化、自動化の傾向と同様に導入は限定され、急速な展開は見られていない。しかし、金融分野への導入の必要性については以前より指摘されており、例えばデレギュレーションによる銀行業の利益減少は資金運用、顧客サービス充実などの機能拡大を必要としており、従来の要員体制で高い効率をあげるためのエキスパートシステムの導入は不可欠である^{4)~6)}。

本論文ではアメリカにおける金融・財務エキスパートシステムについて開発と実用化の現状分析するとともに、課題とされている点について明らかにしていく。エキスパートシステムの構築手法は無数に存在するといえ、システム分析を行なう場合にこれらを概観することは必ずしも適当ではなく、ここでは主としてエキスパートシステムの基本的技法が応用され実用的にも評価の高いシステムを中心として取り扱っていく。また、システムの規模についても顧客情報、企業情報の他に一般的な経済情報を多量に参照することが必要となり、従来型のパーソナルコンピュータを対象としたビジネスシステムよりは大型汎用機を中心としたシステム分析に重点を置いている。日本においては金融エキスパートシステムの構成例も少なく、それらも部分的なものでしかないが⁷⁾、アメリカでの開発事例はほぼすべての対象分野を含んでおり、今後の日本への導入や日本での開発を考察するうえで基礎的なデータを与えていると言える。

以下では2章において金融・財務エキスパートシステムの概略とその基礎技術を整理し、3章以降は各分野ごとの分析を行なうこととし、3章では銀行、クレジット業、4章では企業財務、経営計画、5章ではポートフォリオ分析、トレーディング、6章では文書処理、法的判断、7章では会計システムのそれぞれの分野の現状

と問題点について述べ、8章は今後の展望と問題点について整理している。

2. 金融・財務エキスパートシステムとその技術

2. 1 エキスパートシステムの基本構成

エキスパートシステムの動作の基本原理や動作環境については多くの記述がなされており、これらを概略的にまとめると図1のように示される¹⁾。システムは大きく推論のデータを提供する知識ベースと推論を行なう推論エンジンに分けられ、更に人間が外部データベースとのデータ入出力を行なうインターフェイスとから構成される。知識ベースは更に推論の過程を記述したルールベースと推論の対象となるデータを格納したオブジェクト（フレーム型知識）とから構成されている。ルールベースについては初期の代表的システムである MYCIN で採用された If-Then 型の推論方式の記述と、これに対する前向き (forward)、後向き (backward) 推論の適用という方式が主流を占めており、ルール記述の方法としては今後とも多用されていくものと思われる。図1に示したシステム構成の基本的な部分は初期の段階から現在まで変化していないが、実際的な処理技術については種々の改善がなされており、推論におけるあいまい

さの処理、外部の環境（経済状況や株価水準の変動など）の大幅な変化が生じた場合にルールやオブジェクトの組みかえを行なう truth maintenance、システム開発を行なう上で種々の仮定を並行して検討するための仮説 (hypothesis) による推論などがあげられる²⁾。これらの技術については後ほど整理することにするが、金融・財務エキスパートシステムを分析する場合に必要な視点として、推論にどのような方法（アルゴリズム）を用いるかということがあげられる。

製造業などの場合には定型的なライン制御やデータモニタリング、数量化された関係式などを基礎としており、エキスパートシステムを構成する場合にもこのような、いわゆる構造化 (structured) された手順が主な部分を占めることになる。これに対して金融エキスパートシステムの場合には構造化された部分も存在する一方で、長年の人間の経験や企業の処理基準を自動化することが必要とされ、会計上の基準や判断、判別関数に対応した分類、あいまいさが生じたときの方策なども含んでいる。また、取り扱うデータ量が一般に多くなるため、人間が判断を行なう情報を提供するための情報ソーティングなどのフロントエンドとして、あるいは知識が十分ではない要員を支援する場合に各種の知識を利用するといった、やや機械的処理の分野においても応用がなされている。このようなことから、エキスパートシステムの推論や決定のアルゴリズムとしては、近年新しい手法が取り入れられつつあるものの、従来からよく用いられている判別関数や決定木といった手法もよく用いられていることに注意する必要がある。以下では、推論アルゴリズムとして用いられている手法という視点から分類を行なってみ

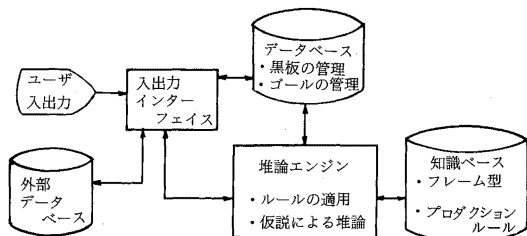


図1 エキスパートシステムの基本構成

る。

(1) 決定木による判別

推論のルールそのものは1つの決定木となすものと言えるが、その目的とするところは組み合わせ論的な処理やデータ間の演算、データ参照、比較を含む広い範囲の制御方法である。これに対して AHP (Analytic Hierarchy Process) に代表される決定木による推論方式は基本的には量的なデータあるいは質的データの数量化値に対する荷重平均と見なすことができ、従来から多くの適用例が見られる⁹⁾。金融・財務エキスパートシステムの分野においても決定木をベースとしたものがかなり存在しており、対象とする問題ごとの適用方法の違いはあるとしても手法としては従来型のものであることは注意を必要とする。これは1つには金融業務そのものが多くの判断業務を含んでいることを反映しているといえ、銀行の貸付け決定、株や債務の格付け (rating)、企業財務状況の財務指標による判別分析などの分野では決定木による方法が最も簡潔であり、また重みパラメータをどのように選ぶかということについても経験が蓄積されている。

またもう1つの側面としてシステムを導入する企業の規模の問題が大きく影響しており、中小企業が導入する場合には中型・大型の汎用計算機よりはパーソナルコンピュータによる運用が好まれるため、処理ソフトウェアや対象データを限定したシステム構成が主流を占めており、動作やメンテナンスが簡単な方式が採用されることになる。これは例えば製造業や鉄鋼業での多数の計算機のグループ制御のエキスパートシステムとは明らかに異なる特性をもっている。

(2) 組み合わせ論による判別

組み合わせ論的な判別を用いた方法では取り得る選択肢の組み合わせごとの評価値を求め、これらの中から条件に適合するものを最適解として採用するという方法が用いられている。わかりやすい例としては生産計画や設備投資計画での設備・労働力の配置や入れかえの問題、商品生産の組み合わせ (プロダクトミックス)、証券投資などがあげられる¹⁰⁾。組み合わせ論そのものは数理計画法や動的計画法により解くことが可能であるが、実際には計算時間がかかりすぎることや数量化することが容易ではないことなどからルールで記述する方法が用いられる。組み合わせ論的な判別を人間の経験をもとにしたルールで記述することにより、より簡潔に推論方法を書くことができる。組み合わせ論による判別は与えられたケースを選択して、その場合の評価値を求め、これらを比較しながら条件に適さない場合にはあともどり (backtrack) を行ない、別の組み合わせを選択し、再度評価値を求めなおすということをくり返すことにより実行される。そのため問題によっては多大な時間を必要とする場合が生じる。このようなことを避けるための1つの対策として後述する仮説による推論が用いられ、あらかじめ可能な組み合わせのすべてを同時並行的に発生させておき、それぞれの評価値の計算を行ないながら一方で推論の結果得られる条件に適合しないケースを消滅させる方法がとられる。

組み合わせ論による判別は金融や企業経営などの広い範囲の問題の推論に用いることが可能であり、予測のあいまいさに関連した問題とともに今後の大きな課題となっていくと思われる。現在のところ組み合わせの評価値そのものを数学的に求めるというよりは、過去の人間の経験を

ルール化することにもつぱら力が注がれており、証券投資の分野などではこの種のソフトウェアが多数存在する。しかし数学的に最適性を保証するということは重要なことであり、定型的な最適化アルゴリズムによって得られた結果を基礎として初期解を求め、これを基礎として学習的に最適解を求める方法が種々考察されており注目される。

このような試みの1つとして Genetic Algorithm による段階的最適化の手法があり、各種の動的計画法が対象とする問題やパターン認識など広範囲に応用されている¹¹⁾¹²⁾。このアルゴリズムは遺伝子の組み換え操作に似せて2つの高性能なルールからより望ましいルールを作り出す一方で、特性の悪いルールについてはこのように発生させられたルールで置きかえるというものである。手法そのものは単純であるが、直接法による解法に比べ極めて少ない計算量で準最適解 (global sub-optimal solution) が得られるなどの利点を有しており、また必ずしも初期解は最適解に近い必要はなく、各種の条件に応じてロバストな特性を有しているため、今後とも応用が広がっていくものと思われる。

(3) あいまい処理、定性シミュレーション

確率変数によりある事象の不確実性が与えられている場合や、ルールによる推論結果に確信度 (CF: Confidence Factor) を与える方法はすでに初期のシステムから取り入れられている。このようなあいまいさの処理を行なう技法としてはこの地にファジィ推論や Dempster-Shafer 理論などがあり¹³⁾¹⁴⁾、エキスパートシステムの基礎理論として考察が行なわれているが、実際に金融・財務エキスパートシステムとして用いられているものは、大きく条件付き確率による

方法と定性シミュレーション (qualitative simulation) による方法に分けられる¹⁵⁾¹⁶⁾。これら2つの方法は同様にあいまい処理を取り扱っているといえるが、条件付き確率が従来の CF による推論の延長上にあるのにならして定性シミュレーションはシミュレーションの結果得られる結論の原因を backtrack することを1つの目的としており、数量化することにより不明となる原因-結果の関係を意味論的にとらえようとするものである。このことにより、例えば投資選択などの組み合わせ論的な問題の解の見通しをつけることができるし、不都合な結果を予測し入力操作量をあらかじめ変更するということも部分的に可能となる。これら2つの理論については現在も多く議論がなされており、そもそも条件付き確率の値そのものが与えられるものなのかどうか、定性シミュレーションにおいて生じる多くのパスをどのようにして管理するかといった問題は残されたままである。しかし定性シミュレーションは人間の思考方法をよく反映したものであり、確率をベースにした方法よりアルゴリズムとして自然であることは指摘されており、すでに財務会計レベルのエキスパートシステムで試作することがなされている¹⁸⁾。

(4) 自然言語処理、パターン認識

企業が定期的に発行する有価証券報告書とかファックスの形で送信されてくる文書などは金融業にとって従来から大きな情報源となっており、それらの計算機入力をいかに計算機内部の意味情報として蓄積するかは大きな問題となる。文書の認識やその結果得られるデータのデータベース化の手法として自然言語処理やパターン認識の手法が用いられ、これらを統合的に制御するためのシステムとしてエキスパートシステ

ムが導入されている¹⁹⁾。自然言語処理やパターン認識はエキスパートシステムの技術とは独立した分野の技術であり、これらを用いることがシステムの高度化あるいはエキスパートシステム化をうながしていると言え、本質的にはこれら処理技術をフロントエンドとしてどのように組み込んでいくか、あるいはその機能や範囲をどのように制限していくかが1つの課題となる。例えば日常会話に代表される極めて非定型的な自然言語を理解（意味情報を取り出す）するには非常に大きいシステムを必要とするが、有価証券報告書など定型文書の理解に範囲を制限すればシステムは簡略化できる。これと同時にシステムの機能としては対象とする企業がどのような会計基準を用いているのか、どの時期にその変更がおきそれが会計上のデータとしてどう反映されているかという推論とこの自然言語理解との結びつきが重要となってくる。また、ファックス等で世界各地から伝送されてくる業務報告などを分析、分類しデータベース更新や特徴的な事実をリストアップするというシステムについても、単なる自然言語処理技術のみではなく経営上の戦略やその中での各種のルールベースと新たに得られる情報との関係を記述することが重要となってくる。

(5) 説明文あるいは原因の出力

エキスパートシステムが推論の結果として判断を出力した場合や、ユーザに対して質問が寄せられたとき逆にその質問の背景をユーザがシステムに尋ねる場合など、システムが推論のルールをわかりやすい形でまとめて出力するいわゆる explanation の技術は初期の MYCIN にも用いられている基本的な機能である¹⁾。MYCIN の場合にはシステムのユーザに対す

る教示的な意味が大きかったと言えるが、現在この説明文の出力を積極的に用いる分野としては法律関連事柄や交渉の進め方の判断などがあげられる²⁰⁾²¹⁾。例えば法廷で有利な展開を行なうため、相手の弁護士の能力に応じて反応のパターンを入力し、これに対してユーザが取るべき戦略が示されていくが、この場合に多くの法令が参照されることになる、ユーザは“Why?”を入力することにより推論の基礎となっているルールを逆にたどることができ、戦略が出力された過程をたどることができる。このような説明文の出力は If-Then ルールを逆にたどることにより基本的には実現できるが、単純に出力したのでは意味情報がつかめないため、重要ではない部分を省略しできるだけわかりやすい説明文を出力することが要求される。

ルールベースをもとにした説明文の出力とは異なるアプローチとしてシミュレーションによる方法が応用例の一つとして示されている。先述した定性シミュレーションにおいては現象の質的な変化（上昇、継続、下降、大きい、小さいなど）によりシミュレーションがなされ、結果と原因の関係が1つの言語的記述によって与えられるため、推論（シミュレーション）の結果得られる判断の理由をたどることができる。このことにより、例えば企業財務の感度分析などがルールにもとずき言語的に行なえ、見通しのよい予測が得られることになる¹⁸⁾。

(6) 数値計算とルールベース

エキスパートシステムが開発されてくる過程で推論をルールベースという形で定式化することが行なわれてきたが、基本となっているのは人間の経験や種々の基準であったと言える。これに対して問題の数学モデルを与えこれを1つ

の最適化問題として解くことは従来から行なわれており、この両者の関係をどう考えるかということはシステムの効果化の視点から重要である。すなわち問題の最適解が数学的に与えられないあるいは求めるのに多大な時間を必要とするためルールベースを用いることと、もともと最適解が計算可能であるのにルールベースを適用するということの間には大きな差異がある。結論的に言えば数学モデルを用いて解くことのできる範囲については解析的な方法を用い、数学モデルによって記述しても解が求まらない範囲についてはルールベースを用いるという方法が効率的な推論を与えると予想され、この両者を統合的にシステムに取り込むことが試みられている。例えば証券投資の場合に与えられた資金のもとで、リスクとリターン拘束条件を満足する解は数理計画法を用いて解くことができるが、実際には取引単位の制限などで最適解は実際には適用することはできないが、後段のルールベースによる推論の初期値としては非常に有効である。Lisp, Prologなどのプログラミング言語のレベルにおいても初等的な数値計算だけではなく多量の複雑な数値計算が可能な形への拡張が行なわれており、今後とも数値計算とルールベースとの結合は強まってくるものと思われる。また数値計算の方法についても単にパラメータをもとにして関数形の計算を実行するばかりではなく、与えられた条件や方程式の関係を満足する変数の組み合わせを出力する形へ拡張されたものがあり、論理プログラミングに似た動作が実現されている²²⁾²³⁾。このような意味からエキスパートシステムをルールベースにもとづいてモデル化、定式化していくことと並んで数学モデルとその解析解を求めていくことは、エキスパートシステムの開発には重要な要素と

なってくると言えるであろう。

2. 2 エキスパートシステムの基本的技術

金融・財務各分野でエキスパートシステムが提案され実用システムが投入されはじめたのは最近のことであり、現在までの基本技術が整理された形で用いられている。しかしこれらの技術は開発と応用が並行して行なわれている状況にあり、人間の思考過程をモデル化する試みが進められる一方で、これを機能として含むエキスパートシェルの商用システムが利用されるといった展開が見られる。以下では最近のエキスパートシステムの基本的技術について整理するが、その多くが単に理論的なレベルにとどまるだけでなく実際に多用されていることに注意する必要がある。

(1) プログラミング言語とシェル

エキスパートシステムを実現する場合にどのようなプログラミング言語を用いるのか、あるいはシェル(shell)と呼ばれる一種のパッケージを利用するのかは大きな問題である。表1には現在使われている代表的なエキスパートシステムの記述言語とシェルを示している。プログラミング言語に関してはLisp, Prologといっ

表1 主なエキスパートシステム記述言語とシェル

	名 称	適用マシンの例
記述言語	OPS83	Vax 11/780, IBM AT, IBM PC,
	OPS5	Vax 11/780, Symbolics 3640, IBM AT, IBM PC, Machintosh
	CLIPS 4.0	Vax 11/780, Sun3/75, IBM AT, IBM PC, HP9000
シェル	ART	Symbolics 3640, TI Explorer, LMI
	KEE	Xerox 1121, Symbolics
	EXSYS	Vax 11/780

たいわゆる人工知能向きの言語の他にプログラミングの実行速度を向上させるためC言語で記述したものも見られるのが特徴あり、今後ともC言語による記述は増加していくものと思われる。一方、システムそのものをシェルで記述したものが日本の場合に比べて少ないのはアメリカにおけるソフトウェア供給の事情を反映したものであり、日本のように企業の要求する仕様に合わせてシステムを設計するのではなく、汎用的システムをパッケージの形で販売する形態の方が多い。従ってエキスパートシェルとしてよく知られている KEE や ART などは、むしろ日本において利用が活発なように見うけられるが、アメリカで供給されているソフトウェアについては基本的には処理系はシェルと同様の構成がなされていると考えてよく、基本技術はプログラミング言語レベルで生かされている。しかし、このような発注企業とソフトウェア供給会社の関係の違いの他に重視しなければならないことは、プログラミング言語とシェルとの間には機能的な差異があることである。シェルを用いればルールベースやオブジェクトを簡単に記述でき、必要な概念についても汎用的な機能の形で実現されているが、一方では対象とする分野特有の問題記述ができにくいこと、数値計算や外部データベースへのアクセスを記述しにくいこと、全体的にシステムが大型になり、問題解決に必要とする正味のシステムは一部分となることなどが指摘できる¹⁾。プログラミング言語を使った場合にはプログラムサイズの縮小、外部インターフェイス、問題領域ごとの細かな記述は可能となるが、システム構成にはプログラミングの知識をかなり必要とすること、対象とする問題ごとに個別的なシステムとなること、システム管理の面で特別な知識を要する

ことなどの問題がある。このようなことから、プログラミング言語による構成とシェルによる構成については今後とも混在する形で進んでいくものと思われるが、基本的に用いている技術の共通する部分が多く、プログラミングの技法としても差異はなくなりつつあるので、両者により構成されたシステムそのものの差異は縮小していくと考えられ、最終的にはシステムの運用形態に合わせてどちらを選択するかという問題になろう。特に大型汎用機やミニコンピュータの上で実現される場合には従来ほどの処理時間は必要とされないため、システム管理の上からもシェルを利用するメリットが増加していくであろう。

(2) 計算機システムの構成

エキスパートシステムが実現される計算機システムとしては、小さいものはパーソナルコンピュータがあり、大きいものは大型汎用機の上に実現されている。このような広範囲のシステム上に実現されているため、同じエキスパートシステムのカテゴリに属するものでも機能的には大きな差異がある。中小企業向けのシステムは小型のスタンドアロン型の計算機で実現することも可能であるが、金融・財務におけるエキスパートシステムの必要条件を考慮した場合には大型汎用機による運用が不可欠となっていると言え、機能的には次のようなことが必要とされている²⁾。

- 1) 実時間処理：トレーディングに代表されるように瞬間的に商品の売買を完結する必要がある、早い処理速度が要求される。
- 2) オンライン処理：現在のシステムでは人間との対話型処理を多く取り入れているものが多く、早い応答時間とオンライン処理機能が

必要とされる。

- 3) ネットワーク機能：本店—支店の他に海外営業所との間をデータ通信回線で結び、日々のデータ更新や必要に応じてオンライン処理を行なうことが要求される。
- 4) データベース機能：各種の財務ファイルの他に顧客情報、商品情報などをシステム内のデータベースとして格納しておき、問い合わせに対してメッセージを返すなどのデータベース管理機能が必要とされる。

これらの機能は言うまでもなく企業の経営財務や金融オンラインネットワークに必要とされている事柄であり新しいものではないが、エキスパートシステムは独立した存在としてあるのではなく、従来から構成されてきたシステムやその処理データを基礎として形成される必要があることに注意する必要がある。このことは言葉の上では簡単であるが実際には多大な労力と時間を要する作業であり、またシステムの信頼性を保証するための新たな技術や対策（例えばエキスパートシステムによるシステム管理の誤動作の防止）が必要となるので、本格的にトータルなシステムとして実現されることは将来のことになる。現在のところプロトタイプとして作成されたり、あるいは一部実用システムとして用いられているものは、全体の金融・財務システムから見れば部分的なものにとどまっている。しかしながら金融・財務の分野では上に述べた各種の機能が有機的にエキスパートシステムと結合されない限り、業務の効率化という目的は部分的にした達成されえないと言える。従って、システム設計の思想としてはネットワーク・データベース機能との結合を基本とすることが重要であり、その意味ではパーソナルコンピュータをベースとしたシステム設計は将来的

には限界があると言え、プロトタイプレベルの議論とシステムが本来実現すべき機能とは区別して考察される必要がある。

(3) プログラミング言語

エキスパートシステムを記述するプログラミング言語としてはLispとPrologがよく知られており、高級言語のレベルではこの2つの言語でほとんど記述されている。LispはFORTRANと同じ程度の歴史をもちアメリカでは実績が多くSymbolicsなどの専用マシンもよく用いられているため、Prologより多用されている。Lispは記述がやや面倒なことやプログラム理論についての知識を若干必要とすること、メモリ管理 (garbage collection) が必要なことなど問題点があるが、論理型プログラミングや自然語入力との親和性がよいことや数値計算機能ももつことから今後も引続き利用されていくものと思われる。一方、日本の場合には人工知能やエキスパートシステムに関する研究の歴史が浅いことから特定の言語を用いた経験が少なく、電総研など政府系の研究機関がPrologを記述言語として設定していることなどからアメリカよりも利用は多い。Prologは論理型プログラミング言語そのものであり記述方法や機能の理解は比較的容易であるが、数値計算の機能が小さいことやルール記述を間接的に行なう必要があること、ホーン節を基本としていることなどの問題点をもっている。Prologについては利用、経験が少ないため現在機能強化がはかられている段階にあり、特に数値計算機能を付加することが当面の目的とされている。以上のようことからアメリカの金融・財務エキスパートシステムを記述するプログラミング言語としてはLispを用いることが主流となっているが、

実行速度が遅いことやオンライン・データベース機能とのリンクを直接的な形で書くことができないことなどの理由からC言語によりシステムを記述することも行なわれている。C言語は一種の低級言語であるためプログラミングには技術を要するが、処理速度がはやいこと、システム管理ルーチンを記述することも可能なこと、UNIX系の計算機であれば移植も容易であることなど、これから先のエキスパートシステムが成熟期を迎える時期にはかなりの部分を占めることが予想される。

(4) シェル

プログラミング言語を用いて記述されたエキスパートシステムもシェルで記述されたそれも、機能的には同様のことを実現しているので、ここではシェルとその機能について概要を示しておく。図2には現在のところ機能が比較的充実していると見られるARTのシステム構成について示している¹⁾²⁴⁾。ARTは従来のシェルに加

えて仮説にもとづく推論や truth maintenance の機能をもっている。

- 1) オブジェクト：クレーム型の知識を蓄わえる知識ベースであり、オブジェクトの階層性や相互間のインヘリタンスが保証されている。
- 2) ルールベース：If-Then型で記述された推論のルールであり、前向き推論、後向き推論の他に、ルール集合ごとの呼び出し、チェーンの構成が可能である。ルールはメッセージを発し、オブジェクト内部に記述されたメソッドを起動しデータの書きかえなどを行なう。後向き推論のゴールはゴール格納域に入れられる。
- 3) ビューポイント：仮説にもとづく推論を行なう場合に発生させられた個々の仮説をさすものであり、同時並行的に推論の対象として処理されていくとともに拘束条件として新たな入力(evidence)が得られると、これを満足しない仮説は取り消し(poisoned)れる。
- 4) ブラックボード：推論の中間的な結果を格納する領域であり、フレームが長期的なデータを保存するのに対し一時的な作業域として用いる。システムの実行が終了すれば消去される。
- 5) リレーション：相互に関連する事実(fact)を効率よく成立(assert)させるための仕組みであり、対称性、遷移性、反射性といった関係を定義することができる。
- 6) データベース：外部のデータベース管理システムに対して問い合わせを発することにより必要な情報を入力することができる。この処理は非同期的なハンドラを介して行なわれる。
- 7) ユーザ入出力：推論のルールの一部として情報が不足する場合にユーザに対して追加入力を要求するものが含まれ、この場合の質問

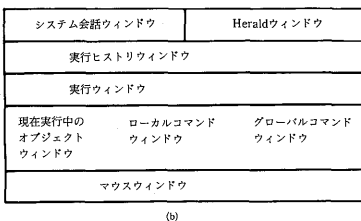
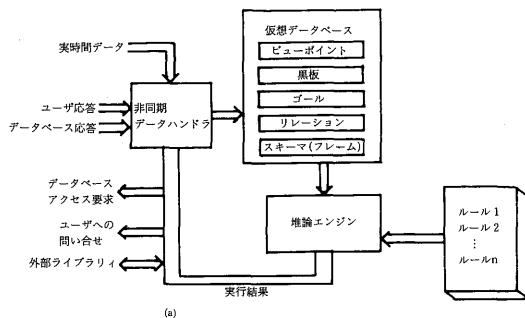


図2 ARTの基本構成 ((a)システム, (b)ウィンドウ)

出力と応答の処理を行なう。

- 8) 論理依存性: logical-dependency mechanisms と呼ばれ, 拘束条件の時間的な変化に伴って事実の変更を行なったり, 特定の条件が成立したときのみルールを有効とするような機能であり, truth-maintenanceやconstraint-logic の機能を部分的に実現している。

以上述べたように ART に代表されるシェルにおいては最初明らかにされてきた基本技法が多く取り入れられており, 高いシステム記述の能力を実現することができている。現在まで用いられてきたシェルも機能的には上に述べた機能を部分的に実現したものであると言え, シェルによりシステムを実現することはもちろん, シェルにより実現できる範囲の検証, シェルによりプロトタイピングなどは ART などを用いれば可能となっている。しかしここで注意しなければならないことは, シェルの機能高度化のみでは金融・財務エキスパートシステムの開発は行なえないことであり, 問題解決のアルゴリズムをいかに発展させるかが大きな問題となる。その意味では金融理論や経営財務理論に負う所が大きいと言え, 例えば新たな金融商品の定式化や計量的な評価はトレーディングルールを作る上では不可欠である。アルゴリズムの設計について最近プログラミング技術として多用されているオブジェクト指向プログラミングは, このような理論をアルゴリズム化としていく上で有用な方法となっている。

3. 銀行の貸付業務, クレジット, 保険

銀行が企業に対して貸付け (business loan) を行なったり, クレジット会社が個人の資格をチェックする手順は, 従来からよく用いられて

いる決定木による方法により行なえる。また, 業務の性格は異なっているが保険業において underwriting を行なうか否かの決定についてもほぼ同様の手順で行なうことができる。この種の問題は計量モデルを用いても分析が行なわれてきており, 手法としてはやや限定されているが, 貸付にあたってのポリシーをルール化すること, 顧客との交渉を行なっているときどのような質問を発するべきかといったガイドラインの表示などがエキスパートシステムとしての特徴的な機能である。

3. 1 貸付業務

銀行が資金の貸付け判断 (credit granting process) を行なう場合に必要決定事項としては貸付けの諾否 (grant credit / deny credit) と, 貸付けを行なう場合の制限金額があげられる。従って必要なデータ処理としては顧客の信用調査が可能なデータベースの形成と, 貸付限度を決定するためのモデルや原則のルール化の手順があげられる。貸付けを行なうことはリスクを伴うが, 一方リスクを全面的に避けようとするリターンが得られないため, リスクの良否 (good credit risks / bad credit risks) の判断が最も重要となる。これまで数多くのモデルが提案されているが, 実際によく用いられているのは多変量解析に基づく方法であり, この手法に更に企業の将来性や収益予測, 資産評価などが加えられる。

例えば, Chesser の示したモデルでは次式で求まる y について確率 P を計算し, P が 0.5 以上か否かで貸付けの採否を判断している²⁵⁾。

$$\begin{aligned} y = & -2.0434 - 5.24X_1 + 0.0053X_2 \\ & - 6.6507X_3 + 4.4009X_4 \\ & - 0.791X_5 - 0.1020X_6 \end{aligned}$$

$$p = 1/(1+e^{-y})$$

ここで $X_1 \sim X_6$ はキャッシュフローや総資産などのデータをもとにして求めた比率である(内容は省略する)。

銀行の行なう貸付けそのものは実時間処理の必要性はあまりないので、対話型処理の部分では主として顧客の要求や最新の企業情報などの入力が行なわれる。データベースの構成法としては種々考えられるが関係型によって構成しておけば項目の検索等に便利である。図3には貸付業務エキスパートシステムの基本的な構成を示し、表2には顧客の信用情報をなしているデータの例を示している²⁶⁾²⁷⁾。これらのデータは更に細かく分類されていたり、各種の比率の計算が行なわれたりする場合がある。しかし経験的に明らかにされているように財務諸表などを用いて比率分析を行ないこの数値をもとに判別分析を行なう場合の判別効率、変数の数を増加しても向上しない限界点があり、その意味からせいぜい10個以内の変数を選ぶことが好まし

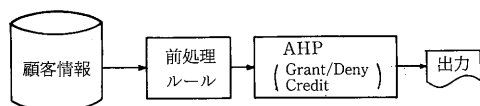


図3 銀行貸付けシステムの構成

表2 銀行の貸付業務における主な顧客情報

カテゴリ	顧客情報
財務状況	財務諸表、経営利益、負債管理、流動資産の状況、有形/無形資産の状況
企業情報	創業後の年数、取引経過年数、経営状況、倒産歴、銀行における評価
決済記録	過去の対銀行決済記録、過去の業界内決済記録、キャッシュフロー特性
経営状態	成長力、市場での位置、受注状況
地理的位置	企業立地個所のビジネス環境、立地個所の過去の評価

資料出所：文献 [26]。

いとされている。従って図3に示した計量的な企業レベルの評価（AHPや決定木による企業信頼度の評価）について判断の1つの材料をなすと考えた方が適切である。この計量的評価を含めた企業に関する数値的データや各種の入力情報に対して、銀行としての貸付けの決定手順をまとめたものが図3に示すルールベースであり、ルールの概要を表3に示している。これらの多くは銀行が長年にわたって蓄積してきたノウハウをルール化したものであり、経験を積んだ行員であれば同等の処理は可能である。現実にはエキスパートシステムの出力がそのまま銀行の方針決定として実行されることはないと思われるが、いくつかのシミュレーション実験では実際の貸付け判断との差異がそれほどない（97%の判別効率）ことが示されており、システムの有用性は高いと言える。

表3に示されたルールを見てもわかるように、ルールとは言っても推論 (reasoning) を行なう

表3 顧客情報の前処理ルールの例

カテゴリ	条件部	出力値
決済記録	対銀行決済=良, 業界内決済=良	良好
企業情報	4年以内の倒産=なし, 創業後年数>5年, 取引年数>3年, 経営方針=良	良好
財務状況 (収益性)	売り上げ=拡大, 収益比率>5%, 収益=拡大, 粗利益>12%, 粗利益=拡大	良好
(流動性)	売り上げ=拡大, 流動比率>1.5, 流動比率=拡大, 当座比率>0.8, 当座比率=拡大	良好
(負債管理)	売り上げ=拡大, 資本負債比率<0.3, 資本負債比率=減少, 短期負債比率<0.4, 短期負債比率=減少, 利払い準備>4.0	良好
(健全性)	収益性=良好, 流動性=良好, 負債管理=良好	良好

注) 条件部はすべての項目のANDをとるものとする。

というよりは入力データをもとにして、対象企業についての項目別の評価値（表2）を出力することが目的とされており、ある意味では従来の判別関数による分類を拡張したものであると見なすことができる。表2のデータについての評価値はそのまま AHP への入力として用いられる²⁶⁾。銀行貸付けのエキスパートシステムはこの他にも見られるが、目的とするところは同様のことがらであり、企業の財務状況の評価と貸付けの可否を求めるものであり、各種の試みが見られるものの従来から議論されている誤判別の確率や AHP など決定木における重み係数の決定アルゴリズムとその妥当性などの問題を解決するものではない。

以上示したように貸付けをめぐる問題は古くから議論が行なわれてきた分野であり、判別関数をどのように構成するか、銀行の政策をどのようにルール化するかが主要な課題となっている。この判別関数の構成について従来の多変量解析による方法にかかわって学習アルゴリズム (inductive learning) を用いる方法が示され、新らしく追加される企業データや新規の企業にに応じて判別関数の再構成が行なわれていく仕組みとなっており、システムの効率化がはかられている²⁷⁾。

表4 個人向けクレジットにおける顧客情報の例

Durand による例	年齢、性別、住居の確定性、職業の危険度、職業の分野、職業の安定性、銀行口座の有無、不動産所有の有無、生命保険加入の有無
Sexton による例	クレジット歴（返済記録）、既婚／未婚、離婚歴、扶養家族数、年齢、月収、特別収入の有無、住居所得の有無、電話所有の有無、クレジット情報の検索対象となったか否か。

3. 2 個人向けクレジット

個人を対象とした貸付けや一般的なクレジット業務においても、前述した銀行が行なう企業向け貸付けと似た手順によりエキスパートシステムが実現されている²⁸⁾。システム構成上もっとも重要な項目は個人の信用度の調査であり、表4に示すようなデータ項目のデータベースが利用されている。しかし銀行の貸付業務と大きく異なっている点は顧客と対面しながら条件を入力しその場で判断を下さなければならないことであり、オンラインでのデータ処理と貸付けファイルなど他システムとの連動が必要となる。また一般に多数の個所に端末が配置され、しかもその要員 (authorizer) は必ずしも十分な経験をもっていない場合が考えられ、この要員を導びく手引きや手順の呈示も重要な要素となっている。アメリカンエクスプレス社の例をあげると以下のような処理方式となっている²⁹⁾。同社のシステムは CAS (Credit Authorization System) とよばれ、データベースそのものは IBM3033 上の実現されエキスパートシステム部分は Symbolics 3645 上の ART により実現されている。このシステムの大きな目的として貸付担当者の支援 (AA: Authorizer's Assistant) があげられ、顧客の過去の貸付け、返済記録の検索、最近の処理実績についてのデータなどの他に銀行の口座の開設状況やその現状についても情報として提供される。アメリカンエクスプレス社はカード貸付けの限度額がないため、Authorizer の判断が重要となり、そのためディスプレイ上には多くの情報が同時に表示され決定のための資料となっている。この場合、原データをそのまま出力することは意味がないため、システムにより Authorizer へ提供されるべきデータや推論の結果 (recommendation) が整理

されることになる。この過程は具体的には同社の規則や政策 (rules and policy) をもとにしたルールベースによる推論であり、約800個の前向き推論ルールのチェーンから構成されている。このルールの中には顧客についての情報入力チェックも含まれており、情報が不足している場合には Authorizer に対し顧客への質問提示を要求するコマンドが発せられる。貸付けの決定がなされた後処理についてもこのシステムと連動しており、ファイル (account file) の更新、通知書の出力などがなされる。

クレジットカードやローンについてのその他のエキスパートシステムについても、本質的にはアメリカンエクスプレス社と同様の構成となっており、顧客の支払能力や特性といったものをいかに適格に把握するかが焦点となる。この場合、対象 (顧客) は不特定多数となるため多量のデータを集積する必要があり、特に信用調査機関 (collection agencies) のデータに大きく依存していることや、逆に過度の顧客チェックは客離れを引きおこし好ましくないという相反する局面が現われていることが指摘できるであろう。貸付け決定のアルゴリズムそのものは決定木に基づいて構成されており、例えば図4のように構成される。決定木の構成方法やそのパラメータ値の学習方法については inductive

learning による試みがなされる²⁸⁾。

3. 3 保険業務

アメリカの大手保険会社28社のうち12社がエキスパートシステムの開発を行っており、10社がすでに運用を行っているとされており (1988年時点での調査)、保険業務にとって不可欠なシステムとなりつつある。保険業務と言っても多くの分野を含んでおり、そのポリシーについても分野ごとに異なっているので、以下、分野ごとにまとめて記述を行っていく。

(1) アンダーライティング

傷害保険に代表される保険引受け (underwriting) の業務であり、この分野では主として顧客やその対象とする物件、条件についてのデータベースの検索と、それにもとづく保険会社の引受け条件の決定や諾否を推論するルールベースがシステムの基本をなしている。従って人間によって得られた過去の経験をルール化することと、そのルールが必要としているデータを適時に提供するデータベースシステムとの結合がシステム構成の中心をなしている。保険業務はいわゆるリスク管理の理論を実際に応用する一つの分野であるといえ、対象とする企業の資産のもつ危険度 (火災などの天災、盗難その他の人災) をいかに評価するかが問題となると同時に、その安全化対策やリスク軽減化の方策なども含まれることになる³⁰⁾。この場合、問題の記述やその解については一つの階層的な推論、決定過程をなしているといえるが、決定木などの単純なモデルを用いたのでは適当でないケースが多く、拘束条件や各種の関係式を同時的にチェックすることが必要となる。この種のシステム構成は損害保険や自動車保険の分野で有効で

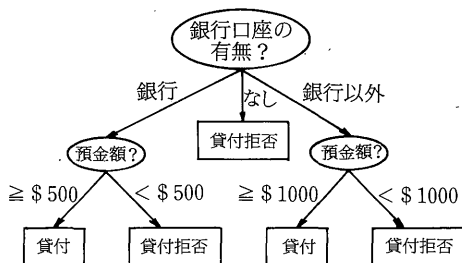


図4 個人向けクレジットの決定木の例

あるとされている。

アンダーライティングの場合には顧客の情報を検索し、それを保険会社のポリシーに照らし合わせて推論を行なうという過程が含まれており、これは基本的には個人向けクレジット業務の場合に行なわれる手段と同じである。このデータベースの基本的な項目について表5にまとめて示している。なおこの部分に関するシステムの動作は前述したクレジット業務の場合と同様であり省略する。アンダーライティングがクレジット業務などと最も大きく異なっている点は、企業資産など物件についての正確なリスク評価とそのリスク回避の方策の推論である。これについてよく知られている Syntelligence 社のパッケージの応用例がある²³⁾。このシステムは非熟練の要員を対象にしたものであり、次のステップを経て保険対象物件についての最終的な判断が示される。まず初期画面では次の項目がチェックされる。

I) 誰が申請を行なってきたか、代理店(agent)

表5(a) 保険業におけるチェック事項の例(火災)

防火装置、散水装置(方向、範囲、カーテン)、消火装置(温度、圧力、フロー)、排気装置、爆発物の有無、可燃性ガスモニタ、遠隔操作の可否、ビル排気、防火壁、粉じん爆発防止の有無

表5(b) リスク軽減(risk reduction)の指針

基本項目	リスク回避, リスク評価, リスク防止, リスク移転(transfer), リスク軽減(hedging)
物理的措置	火災報知機, 散水装置, 防止壁, 防犯装置, 自動消火装置, 機械の保護装置, 危険物質の分散貯蔵, 防止装置メンテナンス
管理システム	安全プログラム(訓練), 安全教育, 防火指針, 製造工程でのリスク回避指針, 他社との緊急時の協力体制, 損害賠償に取り決め

か仲介人(broker)か。

II) 過去の申請記録。

III) 対象物件(例えば情報処理システム)の現在の処理業務

IV) 対象企業の経営状態ないしは業界での評価

これらの各項目について評価値(プラスからマイナスにわたる数ランク)を入力し、同時に対象物件について関連するデータ項目が入力される。これらは過去の保険請求歴, 申請拒否の記録, 事故歴, 保険の範囲, 創業後の年数, 経営の安定度, 業界における格付け, 業界の活動(moral hazard)などである。この結果, 保険引き受けを行なうか否かの判断が下される。結果は確率値で示され(数段階の色調), 最も高い確率の所(例えば条件つき引き受け)を中心として確率値に応じて表示される。

この初期評価が終った段階で火災, 洪水, 安全性などの項目について詳細な分析が行なわれる。例えば火災の項目について可燃性物質が室内にあるか, 室内の喫煙は許されているか, 窓ガラスは割ることができるか, 施設の運転時間, スプリンクラーの有無, ハロゲンガスなど自動消火装置の有無などである。最終結果は初期判断と同様な形態で出力され, 同時に必要な保険額が示される。推論の結果についてその理由を説明させる explanation の機能も備えられている。

このシステムは Syntelligence 社の開発したプログラム言語 Syntel によって記述されており, 関数型言語として特徴的な機能をもっており, 確率的推論(probabilistic reasoning)が取り扱えるほかスプレッドシートやデータベースなどの機能ももっている。変数は確率変数として取り扱われ, 変数間の関係式(方程式)はスプレッドシートの式として機能する。基本

的には Stanford 大学などで研究されてきた確率ネットワーク (influence network) の概念に基づくものであると言えよう。

(2) 保険請求チェック

企業の共済制度として運用されている医療保険の制度のもとでは、医師や医療機関から送られてくる多量の保険請求 (medical charge, 日本ではレセプトとよばれている) が虚偽の申請でないかどうか多大の労力が投入されている。アメリカの経験的な数字として、この分野にエキスパートシステムを導入することにより労力の80%は削減可能であるとされている。この労力削減と同時に不正請求の減少による基金運用の適正化の効果についてもエキスパートシステムの運用により期待することができる。よく引用される例としてロッキード社のシステム medchec (medical charge evaluation and control system) であり、以下のような構成となっている⁶⁾²⁴⁾。システムの対象とするデータは保険請求のデータであり、これは毎日オンライン回線によって医療機関から送信され、計算機システムのデータベースへと蓄積され、翌日、この一日分データが検査される (約800件)。この保険請求データの1件あたり約25秒間の推論がエキスパートシステムによってなされる。エキスパートシステムそのものは Symbolics3670 上に実現されバッチモードで運用がなされている。日本でのレセプト検査と同様にシステムの目的は医療機関による不正請求をチェックすることが主となっており、過去の請求実績との比較の他に場合によっては関連企業に対してなされた同様の保険請求についても参照される。推論のルールベースはこの不正請求のチェックの方法をアルゴリズム化したものであるといえ、

特に、検査項目や投薬などの実績データが与えられている場合 (通常はこのパターンである)、その順序や処理手順について逆向き推論を行なうことが有効であるとされている。患者に対して検査や処置の手順はほぼ一定しており、このようなルール化は有効である。

保険請求チェックエキスパートシステムの運用の結果、明らかに不正 (超過) 請求と判断されたものについては払い戻しの要求がなされ、疑わしいケースについては払い戻しの要求は行なわれないものの、具体的な改善が指示される。

4. 企業財務、経営計画

企業がプロジェクト管理を行なったり設備更新に伴うキャッシュフローを分析したりする問題は当該企業の財務担当者だけではなく設備を納入する企業のセールス戦略としても重要である。この種の問題については従来よりスプレッドシートによる計算や感度分析がよく知られているが、エキスパートシステムにおいては資本予算 (capital budgeting) とそれに関連する投資プロジェクトのもつ問題点の指摘と改善案の提示がなされる。また IBM 社の FAME³¹⁾ に代表されるように、企業キャッシングフロー分析とセールス戦略を結びつける方向は新しい試みである。なお最近でもパーソナルユースを目的としたスプレッドシート型のソフトウェアが多数出されているが、その手法や範囲は自明であるのでここでは省略している。

企業財務や経営計画を考察する場合にはスプレッドシート型の数値計算が基本となるため、エキスパートシステムの開発も何らかの形でこれを処理できる記述言語やシェルが用いられている。現在では、IFIP など多くの財務計画 (資

本予算)のソフトウェアパッケージが利用可能であり、ほとんどがFORTRANなど手続き型言語を用いて記述されている。同時に企業の財務諸表や管理会計の対象となる原価や製造工程に関するデータも必要となるため、一般にはデータベース操作が容易であることが要求される。このようなことから、企業財務、経営計画の分野のエキスパートシステムは数学的アルゴリズムやデータベース推論の結合ということが今後とも大きな課題となってくるものと思われる。

4. 1 資本予算管理

資本予算管理やこれと関連した分野はさまざまな形で計算機処理が試みられてきた分野であり、その理論的基礎についても各種の財務諸表管理の手法、減価償却手法のモデル化、DCF (Discounted Cash Flow) にもとづく計画案の評価など、比較的数量化が行ないやすい手法がととのっている。従ってエキスパートシステムとして実現されているシステムも基本的にはこれらの手法を基本としており、その意味ではスプレッドシートによるくり返し計算と人間の経験的判断とを組み合わせた簡単な手法との質的な相違はあまりないが、入出力やデータ処理などに工夫がこらされており、初心者でも取り扱えることが基本となっている。ここではよく知られている2つのシステムについて特徴点を分析する。

図5にはMITで開発されたManagement Advisorの入力データのパスと画面出力の概略を示している。図よりわかるように手法としては通常のスプレッドシート計算と同様の手順となっているが、フレームによる知識ベース管理、ルールベースによる推論を行なっているため柔軟な記述が可能で、モデルベースの推論や

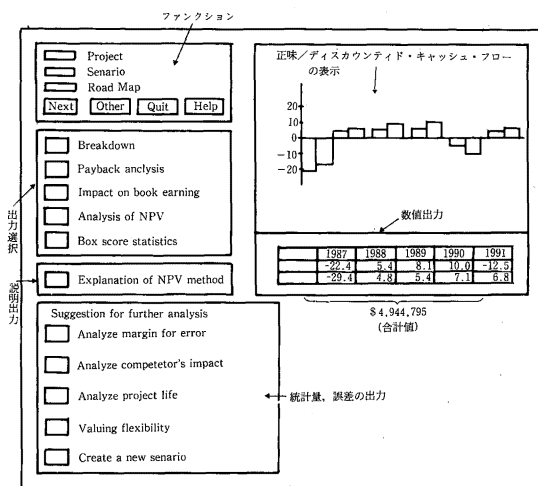


図5 Management Advisorの画面出力

ネットワーク形のデータ間の関係式を用いることにより数学モデルの組み込みや、変数変化の影響の計算などが容易になっている。このような機能を用いて、市場や競合企業との経営上の関係をモデル化することができるし、税の再計算など更新や変更にもなうデータ処理がはやく行なえるようになっていく。しかし、このシステムは1984年～86年にかけて開発され20社が購入したとされているが、パッケージが6万6千ドルでこの他にLispマシンを必要とすることなどから不評であり、ソフト会社自体も倒産したとされている。この原因については種々の見方が可能であるが、高額なわりには機能が限られていること、ユーザの要求する推論方向とは必ずしも一致していないことがあげられる。

資本予算管理などモデルとして明らかであり、数量化しやすい分野であっても経営サイドの要求するエキスパートシステムを構成するのはむづかしいと言えるが、その1つの解決策として経営計画のうえでの入力量と得られる出力量との関係を因果関係として把えることに注目することが提案されている¹⁸⁾。このシステムはもと

も関数型のプログラミングを目的として開発されたものであり、スプレッドシートの各行を関数型の拘束条件として記述することにより資本予算管理へと応用しているものである。従って、この関係式をうまく用いることにより、資本予算管理上のそれぞれの変数の間の定性シミュレーションが可能となる。定性シミュレーションの詳細は省略するが、これは概略的に言えば各変数の変化量を言語的に記述（上昇，継続，下降）することにより，ある変数の変化が他の変数にどう影響するかを言語的に理解するものである¹⁶⁾¹⁷⁾。例えば経済モデルとして

$$A=B+C$$

が与えられている場合、これらの変化量を d (変数名)で占めすと

$$dA=dB+dC$$

と表わせるので、このような関係式がすべて矛盾なく満足される変数の状態を求めればこれが変数変化の新しい状態を与えることになる。定性シミュレーションにより変数間の因果関係を予想することができるので、予算計画の変更や各種の対策の評価などについて見通しをたてることができる。しかしこの定性シミュレーションは変量の不確定性（次の時刻にどのような状態になるかがユニークに定まらない）をもっていること、基本的に組み合わせ論であり場合によっては多大な計算を必要とすることなどから、まだ理論的に解明されるべきことが多く残されている。

このように商用システムとして資本予算管理エキスパートシステムを商品化することは難しいが、企業の部門管理など内部処理を目的とした分野では製造業をはじめかなり使われはじめており、テキサスインスツルメンツ社のCapital Investment Systemはその例である。同社

では190ある部門の設備投資のコンサルティング自動化の目的にこのシステムを用いており、メニューと質問に応じてパラメータや拘束条件、設備の性格などを入力していけば、キャッシュフローなど主要な17個の分析結果を出力したあとこの投資が有益なものかどうかを判断として示すようになっている。この知識をベースとしては同社の財務担当者の経験がルール化されており、いわば会社の経営基準を反映しており汎用性は保証されないが、設備投資にあたってのプランの立案や案が固まったときの資料作成には多大な効果を発揮している。年間6億ドルにのぼる同社の設備投資はこのシステムにより管理され、その結果不必要な投資の削減に役立っていると報告されている。

4. 2 マーケティング戦略

企業のキャッシュフロー管理とマーケティング戦略を結びつけた例としてIBM社のFAMEがよく引用される³¹⁾³²⁾。同社は世界の計算機の6割強をシェアとしてもっており、これら計算機システムの更新は件数としてもかなりの数にのぼる。また、計算機および周辺機器の新製品の特徴把握やシリーズとして生産される計算機の相互の関連性を把握することも、セールスエンジニアにとって重要な情報となる。しかしそれ以上にこのシステムが重視していることは計算機を導入する企業の財務計画に合わせて、どの機種および周辺機器が最適であるかを出力することであり、資本予算管理の基本的項目であるキャッシュフロー値、感度分析、競合企業との比較なども行なっている。更にシステム運用経費やソフトウェア費用、税制上の対策なども合わせて出力される。これらの推論に必要なデータとしてはユーザの希望する性能水準や計算

機の投入分野の諸特性などの入力データがある他に、当該企業の財務状況を把握するための各種の財務諸表が必要となるので、これらはあらかじめデータベース化されている。IBM 社のこのシステムは計算機の販売という特定の分野であるが、一般的なマーケティング戦略として共通する部分を多くもっている。特に設備の投入や更新を行なうことは企業の資本予算管理にとって重要なことであり、適当な償却方法や税制上の配慮を行なうことが不可欠であり、企業そのものの経営計画を知ることが必要となる。もちろん企業経営そのものではないのでキャッシュフロー分析は幾分簡略化されている。

マーケティングの分野においても商品の提案やその機能の説明が必要なのは言うまでもないことであるが、FAME ではフレーム型の知識としてこれを管理している。このフレームを用いることにより例えば IBM3081 KX3を顧客が現有施設として持っている場合に、新製品の 3084QX6により更新した場合と現有施設を強化した場合の性能比較が行なわれ、同時に前述したキャッシュフローの計算が示される。具体的なフレーム構成については IBM 社のオブジェクト、表現ツールである K-Rep (Knowledge representation service) を用いており、通常のオブジェクト指向ツールと異なり自動的な階層化が可能となっている。オブジェクトは concept と呼ばれる単位で階層的に管理され、各 concept はスロットに相当する role をもっている(機能分担、価格など)。この concept では入力、データベース、推論部 (solver)、中間結果、結論のすべてが表現されており、一種の推論ネットワーク (interence network) となっている。例えば商品のフレームが示された場合、これと関連して機器購入 (acquire) について 3

つの susconcept のもとに購入方法を整理し、インスタンスとして合計28種類の方法が示される。一方、顧客の示した現状の問題については別の concept である current problem に情報として蓄積され、これらの concept を用いた推論が実行される。FAME の知識ベースの concept の数について表 6 に示している。

実際にマーケティングにおいて応用する場合の手順については次のように 3 段階のプロセスとして整理される。まず第 1 段階は顧客の要求にもとづいて設備の能力やそれを導入した場合の特性についての分析であり、Capacity Planning のフェーズと呼ばれている。顧客からの入力としては企業の生産活動の拡大見通しやそれに伴う情報処理能力拡大の要求についての予測をたてることである。新規設備について具体的にどの機器を選ぶかという問題は理論的には非常に多くの組み合わせ論的な問題を解く必要があるが、FAME の発見的手法を用いることにより、かなり数的に制限されたクラスに対象を絞ることができるようになっている。この発見的手法としては、例えば旧来の技術をベースとした設備更新はできるだけ避けること、すでにリース用としては考えられない機種は除外すること、また負荷とマシンの能力比を予想することなどがあげられる。この間の推論の過程で con-

表 6 FAMEにおけるconceptの数

分 野	知識ベースの数の数	conceptの数の数
System support	1	13
Product knowledge	13	179
Total cost computing knowledge	1	99
Acquisition planning knowledge	1	14
Presentation knowledge	2	20
Leasing knowledge	4	50

cept が参照され、計算機の購入 (acquire) と廃棄 (deacquire) を下位レベルとしてもつ Action-plan のもとに望ましい機器構成が作りあげられていく。ルールベースを用いて発見的手法を機器の分類や組み合わせの考察に用いることにより、顧客からの入力が入不完全な状態においてもマシンの構成を出力することができるようになっている (選択されたルールについては説明文の出力も可能となっている。)

次の第2段階では購入の手法 (acquisition method) の分析が行なわれ、情報処理システムを構成する各機器の購入方法の望ましい形態についてルールベースをもとにして推論がなされていく。この場合も第1段階と同様に理論的には多数の組み合わせが存在するが (例えば買取り、リースというた方法の他に、システムがいくつかのサブシステムからできているなど)、ルールを用いることにより計画案の数を制限することができる。顧客の過去の性向 (例えば短期はリース、長期は購入といった財務上の政策) は探索すべきケース数を大幅に減少させることになる。

第3段階では最終的に選出された計画案のそれぞれについて、顧客企業のキャッシュフロー分析がなされる (financial analysis and selection)。個々の情報システムの構成案について顧客の予算管理や税制への考え方の違いに応じた選択肢が生じるので、この影響を財務情報として出力するルールが必要となる。FAME では IRS (Internal Revenue Service) と FASB (Financial Accounting Standards Board) により推奨されている手法を組み込んでいる。キャッシュフローから企業の財務へ及ぼす影響が予測されることにより、財務環境や比率 (numbers and ratios) に基づいて最終的に最も望ま

しいとされる計画が出力される。この場合、財務的判断から得られる最適案の他に、定性的判断 (qualitative considerations) により最適と考えられる案も出力され、後者は財務上は不利であっても企業戦略の上からは望ましいとされる案となっている。

5. ポートフォリオ運用, トレーディング

金融分野での規制緩和と経済の低成長化は、従来の証券会社など一部金融機関のみならず、銀行や一般企業についても資産運用の適正化をうながす方向となっている。特に銀行については急速な業務拡大に要員の体制や能力が追いつかない状態にあると言われ、エキスパートシステムの導入は不可欠である。生命保険など従来から資産運用での実績をもっている分野においても、海外への投資など多角化、リスクヘッジ手段の高度化がかはかられている。ポートフォリオ運用そのものは計算機システムを中核としてかなり自動化がはかられており、プログラム売買に代表される証券取引の自動化など省力化とともに処理のアルゴリズム化も進展している。しかしながら損失を回避するためのヘッジングの判断やトレーディングの決定そのものはまだ人間の経験と操作に頼っている部分が多く、エキスパートシステムとしてトータルなシステムを構成することは課題となっている²⁴⁾³³⁾³⁴⁾。

5. 1 ポートフォリオ運用

(1) ポートフォリオ運用の基礎理論

投資 (investment) の理論はアメリカにおいて確立され、証券市場の安定化などの実際的な要求から理論を投資判断に組み込むことが従来からなされている。これら理論は初期の Mark-

owitzの一般理論からSharpe-LintnerのCAMP (Capital Asset Market Pricing) モデル, RubinsteinらのAPT (Arbitrage Pricing Theory) などの証券価格やリスクに関する理論へと展開がなされてきた³⁵⁾。CAMPが提案されたときには β (ベータ) 値にもとづく投資が多用され, β -革命とよばれたほどであるが, その後, APTによる別の視点からの分析手法の提案がなされたり, 実際のデータとの乖離などの批判がなされているものの, 現在でもCAMPに基づく運用は基本をなしていると言える。特にブラックマンデー以降の証券運用において市場ポートフォリオが重視される傾向にあり, 各種のインデックス運用が多用されている。このような意味から株価などの指標の他に企業収益 (earning) や配当 (dividend) を時系列に管理することや, 一般的な経済指標, 政治的なインパクトなどをどのようにモデル化するかということとは重要な要素となっていることには違いがないと言える。

一方, 市場でのリスクや不確実性を回避する手段として各種の金融商品 (financial instruments) が開発され, 特にオプション取引によるリスクヘッジは大きな役割を果たしている³⁶⁾。オプション価格の理論についてもBlack-Sholesモデルとして定式化されて以降, 証券に対するオプション取引のみならず, 債権その他への拡大, 更には先物取引によるヘッジの導入など, いわゆるsynthetic securitiesを構成することを可能にしている³⁷⁾。このような証券投資理論の確立とそれにもとづく金融商品の多用化は各種のヘッジ手段をトレーダーに提供する一方, 最適な戦略を決定する支援システムとしエキスパートシステムの導入が試みられている。

ポートフォリオ運用の基礎はリスク・リター

ン平面でのポートフォリオの挙動であり, リスク・リターン分析のための二次計画法と投資配分の時間的推移を決定する動的計画法を用いることにより理論的には定式化できるが, 各種の取引条件は制約条件として必ずしも記述しやすい形ではなく, また各種の不確実性はリスク回避の手段を用いることを不可欠としている。また, 動的計画法などの効率的な解法が与えられていないことからこれを効率化することや, 多量のデータから意味のある情報のみを抽出するという分野ではエキスパートシステムによる運用が有用である。このようなことから, ポートフォリオ運用の基礎理論とそれを適用するための各種のデータの統合化, 予測分析, 取引手順のアルゴリズム化などでのルールベースによる推論という形で今後とも展開していくものと思われる。

(2) システム構成の概要

現在のところポートフォリオ運用については担当者 (portfolio manager) に対して各種の情報を提示したり, 株価の傾向をプロットしたりする図6のようなシステムがエキスパートシス

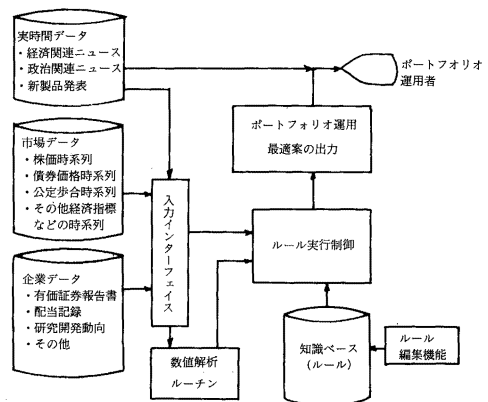


図6 ポートフォリオ運用エキスパートシステムの構成

テムとして構成されている²⁴⁾³³⁾。従ってシステム自体としてはすべてが自動化されているわけではなく、重要な決定の部分は人間の操作によって行なわれている。しかしこの人間に提供するデータを選択したり、購入／売却の recommendation を出す機能そのものにエキスパートシステムとしての特性が生かされている。システムの機能としては大別してデータ検索・表示機能と拘束条件のチェック機能とポートフォリオ構成の推論の3つがある。最初のデータ検索・表示の機能としては担当者の要求に従って特定の銘柄の株価の動きや、これに伴う technical analysis の結果を表示するものであり、複数個を同時並行的に見たり種類の異なるデータを同一画面で見るウィンドウ機能をもっている。担当者はこれらデータを利用しながら購入／売却すべき銘柄を見つけだしていく。第2番目の拘束条件のチェックにはついては SEC (United States Securities Exchange Commission) の課している取引規則のほかに、複数ポートフォリオから成っている場合の各ポートフォリオ間のバランス、投資家の指定した条件などがあり、これら拘束条件をチェックしながらポートフォリオ構成について修正が行なわれていく。修正が行なわれた場合にはその理由となったルールについて自然言語の形で説明文 (explanation) として出力されるように蓄積がなされていく。

以上の2つの機能がいわば人間の操作を支援するものであるのに対して第3番目のポートフォリオ構成の推論については与えられた条件のもとで最適と思われるポートフォリオを推論していく機能であり、数値解析による投資理論の適用とルールベースによる投資組み合わせなどの決定過程が統合されたものとなっている。推論

の結果については担当者に表示されるが、同時に結論に至った経過について説明文の出力がなされ理由の説明がなされる。

エキスパートシステムによる推論とその後の担当者によりなされた決定はそのままポートフォリオ全体を管理している計算機へ入力され、証券の売買などのプログラムが実行される。プログラム売買という言葉の中にはこの種の自動取引の処理が含まれている他に、先物と現物との価格差に応じてこれらを自動的に組み換えていく機能がある。このプログラム売買も自動化に大きな役割を果しているが、アルゴリズム自体は複雑ではないため自動化システムのレベルに属すると言え、また1987年の暴落からは運用が規制されているなど、今日ではすでに一定の構成要素として考えられている。

(3) オプション・ヘッジング

債券など基本的にリスクフリーの金融商品についても実際には金利の変動を大きく受けるためヘッジングの方法と組み合わせられて運用がなされる。また証券についても値下がりによる損失を最小限にくい止めるためのヘッジングの手段が用いられる。ヘッジングの方法やこれらと関連した金融商品は今日多用化しその数も多数にのぼっているほか、流動性 (liquidity) や保証金 (margin) のレベル、メンテナンスの難易度などの異なった特性をもっているため、これらの性質ごとにフレーム化を行ったり、相互間の関連づけを行なうことが必要となる。更にオプションの組み合わせによる各種のスプレッドが可能となるため、このうちどれが最適であるかを決定する必要がある。現在のところ、このヘッジングの手段の決定は人間の経験にもとずいて行なわれているが、これを部分的にフレーム

化し、市場や証券の条件に応じて流動性などの優劣を比較し出力するシステムが考察されている。この種のヘッジング手段を取引き量の多いケースに適用したシステムとしては Integrated Analytics 社のシステムがあり、オブジェクト指向により実時間での各証券価格の変動を見ながらヘッジングを行なうべき価格レベルを検出するアルゴリズムを用いている。また、オプション価格そのものが大きく変動している場合など適正な価格を数値計算によって求めるなどの、いわゆる推論と数値計算を結合したプログラミングが必要になるが、Prolog タイプの1階述語論理プログラミング言語を拡張し、数値についても問い合わせや拘束条件を満足する解が求められるような言語で記述した例も示されている。

5. 2 トレーディング

株価の動きや移動平均、取引き量のデータを提供するというシステムは、今日ではいくつかの分析機関により提供されており、個人投資家もパーソナルコンピュータなど端末を用いてアクセスすることができるようになっている。トレーディングにおけるエキスパートシステムも基本的には同様なシステムであると言え、トレーダに対してリアルタイムに各種の情報を提供したり、各種の指標を計算したり、新しく入ってきた政治経済、あるいは企業に関するニュースを表示するなどの機能をもっている。ポートフォリオ運用システムの場合と同様に、人間が決定を行なうという構成となっているが、データ処理や購入／売却のランクづけにルールベースが用いられている。

(1) システムの構成

例としては Knowledge Associate Ltd. により開発された FIQ (Financial Intelligence Quote) があり、同様なシステムとしては他に Arthur D Little (ADL) 社の The Trader's Assistant, Athena Group の The Foreign Exchange Advisory System などが知られている。システムはエキスパートシステム本体の他に市場や株価のデータなどのデータベース、トレーダーとのインターフェイス、数値計算ルーチンをもっており、ポートフォリオ運用の場合に似た構成となっている。ただ基本的に異なっている点として実時間にトレーディングを完結しなければならないことがあり、株価の現在の動向の表示、トレーディングシステムとの連動が考慮されている。以下、各モジュールについて概略を述べる。

データサーバ：市場データやニュースをオンラインで外部から取り込み内部のデータベースへと追加していく機能である。特にニュースについては news basket といわれるキューに蓄積され FIFO で取り出されていく。データベースは取り扱いを簡単化するため shared-memory として構成されている。

解析サーバ：価格や利益などの単純な計算の他に複雑な数値計算も取り扱えるようになっている。問い合わせは最終的にコマンドの形に変換されたあとこのルーチンにわたされ、データベースから値をもってきたりして計算を完了させる。

マーケットマインダ：市場の動向を監視する watchdog であり、特徴的な動きが生じたときにトレーダーに対して注意を促す機能をもっている。例えばある株がある価格

水準をこえるとか、上昇の傾向にあるとかのデータのモニタリングを出力を行なう。

インターフェイス：トレーダーに対して各種のグラフ出力を行なったり、トレーダーからのコマンドを受けつけるルーチンである。コマンドは特殊な制約型文法に従がう英文であり、ATN (Augmented Transition Network) による簡易パーザを用いて命令、条件などのキーワードが描出される。

エキスパートシステム：トレーダーからの要求に応じてデータ検索の計算を指示するルーチンであり、ルーチンは Prolog で記述され、システム全体の命令とデータの流れを制御する機能をもっている。このルーチンを中心とした動作は後述する。

(2) トレーダーの情報

トレーダーの行なうべき操作手順としては具体的にはヘッジング、裁定取引 (arbitrage)、一般株の売買決定といった短期的な判断から、長期的なポートフォリオ運用を考慮した投資決定まで含まれる。このようなトレーダーの操作に必要な情報はエキスパートシステムにより解析され、理解しやすい形で提供され、これには価格変動、取引 quantity などの他にその株に特有の条件や特性など含まれている。現在のところ主たる機能としては株価の変動を時系列として表示し、その移動平均、オシレーション (oscillation)、相対的な株価評価 (業種平均に対する特定株の優劣など) などの関連情報を提供する形となっているが、オプション理論価格の計算結果や時系列解析の結果得られる株の価格変動 (bearish, bullish) などの数値解析、パターン認識のデータも含まれている。また、株価の動向に大きい影響を与えると思われる各種のニュー

ースについても、同一画面上に逐次的に表示される仕組みとなっている。

その他、トレーダーが売買の対象として注目している特定の株について、ある価格レベルを越えて上昇 (あるいは下降) したときにアラームとしてトレーダーに伝える機能がマーケットマイニングとして実現されているので、それに関連した情報も表示される。アラームを取引き自動化システムと連動させれば原理的には効率的な利得や損失回避が得られることになるが、現実には市場の状況によりアラームの出されるレベルが異なること、上下変動の幅を設定することは経験的にしか行なえないことなどからこのような方法はとられていない。トレーダーはアラームを受けて大量取引 (block trading) の有無や最近の値動き、オプションや先物などの関連する情報をチェックして売買を行なうかどうかの判断を行なう。このように各種の定常的な情報やアラームをトレーダーの行なう判断の材料として提供することがエキスパートシステムの主要な機能となっており、一面では完全な自動化とは逆の傾向を示しているように見える。しかし現実にはトレーディングに伴うリスクは大きいことや損失回避の指向はクライアント側に根強くあることなどから、エキスパートシステムそのもので運用を行なうことには問題が多い。また非常に多くの情報 (中には相互に矛盾する情報も含まれる) を瞬間的にかつ総合的に判断する信頼できるルールベースがいまだ確立されていないこと、従って、低レベルから高レベルに至る階層的なパターン認識のむづかしさを示すものである。

アラームの設定については制約的文法をもつ英文を用いてディスプレイ上の操作によって容易に行なえるようになっている。このアラーム

解析の数理的モデルとしてはブローカーなどの経験が生かされており、レベルクロッシングを注目している時点より以前についても考慮したり、関連株の動きなども参照される。アラームは単独の株の他にひとまとまりのグループ (basket) について設定される。アラームの表示については強さと方向 (strength and direction) として表示される。トレーダーはアラームの出された理由について説明 (explanation) を求めることができ、他の矛盾する情報との相互比較やアラーム自体の有意性 (significance) を検証することができるようになっている。

(3) システムの動作とコマンド、ルール

エキスパートシステムの全体の動作は Prolog により制御されており、トレーダーが入力を行えばそのコマンドを読み取り、その構文解析を行なったのち、各ルーチンへの実行命令の形でコマンドが発せられる。この動作がくり返されるほか、アラームの検出を行なうマーケットマインドについては常時タスクとして流されている。コマンドに引き続いて記述される英文の構文解析については文法が制限されているため比較的容易に実現でき、入力文を内部コマンドの形に変換するが、トレーダーの記述誤りにより要求指定がなかったり検索が無意味な場合には再入力促がされる。コマンドには株に関する検索条件がスロット値として入れられるようになっているので、これは構文解析の結果埋められる。検索の実行が正しく行なえない場合には別の形でトレーダーの要求を満足する方向へ修正がなされ、これに対応したコマンドが発せられる。

FIQ では主としてコマンドの形でトレーダーの必要とする情報の指定や処理が記述された

が、トレーディングエキスパートシステムの中には更にこれを進めてルールベースの形で一連の処理を記述することも行なわれている。一般的なものとしては時系列パターンの認識の基準や各種の指標の解釈に関するものであり、最終的にトレーダーに対する recommendation として提示される。トレーディングシステムのルールベースとの一つの特徴的なこととしてトレーダーが自由にルールを編集することができる機能をもっていることがあげられる。これは市場が流動的である場合にトレーダーが判断の基準を対応させて変更する必要があることからきたものであり、既存のルールの修正や削除のほか新しいルールを編集してつけ加えることができるようになっている。一方ではこのように新規のルールを付加していく過程で発火したルールどうしが矛盾する場合が生じる可能性がある。この種の問題についてはすでに他の分野のエキスパートシステムの設計においても経験されていることであり、Voting System や Dempster-Shafer 理論などを用いて矛盾するルールから最適なものが選び出される。

参考文献

- [1] D. A. Waterman (ed): "Building expert System," Addison-Wesley (1983).
- [2] B. G. Silverman (ed): "Expert system for business," Reading, MA., Addison-Wesley (1987).
- [3] C. W. Holsapple and A. B. Winston: "Business expert systems," Home wood, IL, Irwin (1987).
- [4] J. Nisse: "Banking tomorrow big spenders," The Banker, pp. 64-67 (July 1987).
- [5] W. Rauch-Hindin: "Bankers and AI experts up for great resources," System and Software (Oct. 1984).
- [6] New Science: "Expert system: New opportunity for financial services," Conference Report, stamford, CT, New Science Associates (March 1987).
- [7] K. Ishii and S. Hayami: "Expert systems in

- Japan," IEEE Expert, Summer, pp. 69-74 (1988).
- [8] G. Luger : "Artificial intelligence and the design of expert system," The Benjamin/Cummings Publisher Co. (1989).
 - [9] T. L. Saaty : "The analytic hierarchy process," McGraw-Hill, New York (1980)
 - [10] S. C. Myers : "Notes on an expert system for capital budgeting," Financial Management, Autumn, pp. 23-32 (1988).
 - [11] L. B. Booker, D. E. Goldberg and J. H. Holland : "Classifier systems and genetic algorithm," Artificial Intelligence, vol. 40, No. 2, pp. 235-282 (1989).
 - [12] D. E. Goldberg : "Computer pipeline Operation using genetic algorithms and rule learning, Part I : Genetic algorithm in pipeline optimization, Part II : Rule learning Control of a pipeline under normal and abnormal conditions," Engineerings and Computers, 3, pp. 35-58 (1987).
 - [13] G. Shafer : "A mathematical theory of evidence," Princeton University Press, Princeton, N. J. (1976).
 - [14] L. Zadeh : "A simple view of the Dempster-Shafer theory of evidence and its implication for the rule of combination," AI Magazine, Summer, pp. 85-90 (1986).
 - [15] J. Pearl : "Fusion, propagation and structuring in belief network," Artificial Intelligence, vol. 29 No. 1, pp. 241-288 (1986).
 - [16] J. deKleer, J. S. Brown : "A qualitative physics based on confluences," Artificial Intelligence, vol. 24, pp. 7-83 (1984).
 - [17] B. Kuipers : "Qualitative simulation," Artificial Intelligence, vol. 29, pp. 289-338 (1986).
 - [18] P. Hart, A. Barzilay and R. O. Duda : "Qualitative reasoning for financial assessments: A prospectus," AI Magazine, Summer pp. 62-68 (1987).
 - [19] C. Mui and W. E. McCarthy : "FSA : Applying AI techniques to the familiarization phase of financial decision making," IEEE Expert, Fall, pp. 33-40 (1987).
 - [20] D. A. Waterman : "Expert system for legal decision making," Expert System, vol. 3, No. 4, pp. 212-225 (1986).
 - [21] E. L. Rissland : "Artificial intelligence and legal reasoning," AI Magazine, Fall, pp. 45-55 (1988).
 - [22] C. Lassez, K. McAloon and R. Yap : "Constraint logic programming and option trading," IEEE Expert, Fall, pp. 42-50 (1987).
 - [23] R. O. Duda, P. E. Hart, et. al., : "Syntel Using a functional language for financial risk assessment," IEEE Expert, Fall, pp. 18-31 (1987).
 - [24] D. Leinweber : "Knowledge-based system for financial applications," IEEE Expert, Fall, pp. 18-31 (1988).
 - [25] J. F. Sinkey Jr. : "Commercial bank financial management," MacMillan Publisher Co. (1989).
 - [26] V. Srinivasan and Y. H. Kim : "Designing expert financial systems : A case study of corporate credit management," Financial Management, Autumn, pp. 32-44 (1988).
 - [27] M. J. Shaw and J. A. Gentry : "using an expert system with inductive learning to evaluate business loans," Financial Management, Autumn, pp. 45-56 (1988).
 - [28] C. Carter and J. Catlett : "Assessing Credit card applications using machine learning," IEEE Expert, Fall, pp. 71-79 (1987).
 - [29] H. Newquist : "American Express and AI : Don't leave home without them," AI Expert, April, pp. 63-65 (1987).
 - [30] R. C. N. Shukle : "Industrial insurance and loss prevention," Tata McGraw-Hill Pub. Co (1987).
 - [31] E. Mays, C. Apte, et. al. : "Organizing knowledge in a complex financial domain," IEEE Expert, Fall, pp. 61-70 (1987).
 - [32] J. Kastner, C. Apte, et. al. : "A knowledge-based consultant for financial marketing," AI Magazine, Winter, Winter, pp. 71-79 (1986).
 - [33] I. Sobkowski and F. Tischler : "An intelligent financial quote system," AI Expert, April, pp. 38-46 (1988).
 - [34] D. Leinweber : "Intelligent trading systems," in "Complete guide to securities transactions", Wayne Wagner (ed), John Wiley & Sons, New York (1988)
 - [35] W. Sharpe : "Investment," Prentice-Hall (1985)
 - [36] J. Walmsley : "The new financial investments : An investor's Guide," John Wiley & Sons. (1988)
 - [37] W. E. Nix and S. W. Nix : "The Dow Jones-Irwin guide to stock index futures and options," Dow Jones-Irwin (1984).