

TR-640

知識獲得支援グループウェア GRAPE

国藤 進、上田 晴康、岩内 雅直、
大津 建太 (富士通)

April, 1991

© 1991, ICOT

ICOT

Mita Kokusai Bldg. 21F
4-28 Mita 1-Chome
Minato-ku Tokyo 108 Japan

(03)3456-3191 ~ 5
Telex ICOT J32964

Institute for New Generation Computer Technology

知識獲得支援グループウェア GRAPE

國藤 進、上田晴康

佛富士通研究所国際情報社会科学研究所

岩内雅直、大津建太

佛富士通ソーシャルサイエンスラボラトリ

1. はじめに

人間の問題解決・推論過程の本質を記号論的〔Yonemori 81〕にみると、発想(abduction)・演繹(deduction)・帰納(induction)〔Kunifuji 86a, Arikawa 86〕からなるといわれている。すなわち、未知の観測事実を説明する仮説を生成する過程、得られた仮説から論理的に導出される帰結を得る過程、およびそのようにして得られた帰結を何らかの実験によって検証し、最初に生成した仮説を検定する過程からなる〔Kunifuji 86a〕。このような観点からすると、発想とはある驚くべき事実(困難な未知の問題)に遭遇した人間が、その事実を説明する(その問題を解決する)仮説を直観的に得る人間の思考過程である。周知のように計算機科学での帰納推論は上述の仮説生成・検定過程からなるが、そこではある知識体系の中での知識が完全と仮定し、極限としての同定〔Arikawa 86〕をめざした仮説の生成を行なっている。しかしながら、本当に発想推論(abductive inference)と呼ばれうるものでは、その知識体系に関する知識が不完全なので、人間は種々の知的技法を用いて、何らかの意味のある仮説を生成したり、合理的な仮説検定を行なっている。仮説生成・検定の仕方により、各種の発想推論図式が分類される。著者の一人は、そのうち最も基本的と思われる仮説推論(hypothesis-based reasoning)システム〔Poole 85, 86a, 86b, Kunifuji 86d, 87〕について研究した。何故なら、従来から人工知能研究で取り上げられていた課題は、主として演繹あるいは帰納による推論システム研究であり、発想に連なる推論システム研究はほとんど行なわれていなかったからである。

仮説推論システムは診断型エキスパートシステムの枠組みのみならず、設計型エキスパートシステムの枠組みをも与える高次推論システム〔Ishizuka 86, Kunifuji 86c, 87〕である。仮説推論を用いた診断型システムは、メタプログラミング技法〔Kunifuji 85b〕を用いて実現される。また知識ベース管理システムのもつ基本機能である知識同化機構〔Miyachi 84, Kunifuji 85a〕、知識調節機構〔Kitakami 84, Kunifuji 85a〕やトランザクション管理機構〔Kitakami 85〕と仮説推論との関連は、文献〔Kunifuji 86c, 86d〕で明らかにされた。すなわち、著者の一人は仮説推論というメタプログラミング技法が高次人工知能研究のための「思考のワークベンチ」として有用なことを、諸々の角度から指摘〔Kunifuji 86d, 87〕してきた。しかしながら、仮説推論的アプローチでは、ある種の明確な限界を認識しだすにいたった。それは組み合わせ爆発に伴う計算量の壁である。この計算量の壁を超える抜本的アプローチとして、知識ベースシステムの知識獲得の方法論を調べた。その結果、標準的な知識獲得方法論〔Kunifuji 86b〕を得たが、この方法論にのっとり、計算量の壁を巧みに回避する新しいタイプの知識獲得支援システムの研究開発に着手した。それが、今回紹介する知識獲得支援グループウェア GRAPE である。

本シンポジウムでは、主として知識システム構築最大のボトルネックである知識獲得ボトルネックを解消するために、著者らによって構築中のグループウェア GRAPE (Groupware for Acquiring, Processing and Evaluating knowledge) の設計思想とインプリメンテーションの現状〔Kunifuji 89a, 89b, 90b, Ueda 90b〕を紹介する。GRAPE は、知識システム構築の上流工程支援とグループメンバ全員の合意形成

支援を目指した知識獲得支援ツールである。グループウェアとしては、同期・同室方式のみならず、同期・遠隔方式〔Kunifuji 90c〕も実現中である。GRAPE は初期知識ベース獲得機能と計画問題支援機能とからなり、前者は現在、複数のワークステーションPSI-IIをつないで試作実験中で、後者は基本概念を設計中である。その際、なるべく多項式時間アルゴリズムを採用したり、問題のサイズを分割したり、あるいは高度の問題はユーザの判断に委ねたりして、計算量の爆発を避ける工夫が随所になされている。GRAPE の初期知識ベース獲得機能は、与えられた問題のマクロ決定を支援し、与問題に対する主観的評価のガイドライン（枠組み）を決定する。これに対して、計画問題支援機能は、与えられた問題のミクロ決定を支援し、既存知識を再利用しつつ、前記ガイドラインを満足するプランを生成していく。本発表では、GRAPE の初期知識ベース獲得機能をグループウェア的側面から明らかにしていく。

GRAPE 初期知識ベース獲得機能は、基本的に三つのモジュール（仮説構造化、属性構造化、および評価構造決定）からなる。GRAPE では、仮説構造化モジュールで類似度クラスタリング〔Ueda 90a〕、属性構造化モジュールで拡張ISM(Extended Interpretive Structural Modelling: システムの拡張構造モデリング法)〔Kunifuji 79, 90a〕、評価構造決定モジュールでAHP (Analytic Hierarchy Process: 階層化意思決定法)〔Saaty 80〕を用いた初期知識ベース獲得機能をインプリメントした。本機能を用いて得られた初期知識ベースは、グループ全員の合意形成をあらわす重要度付き決定木（主観的評価木）となる。従って、GRAPE は分類問題、決定問題等の解析型問題を解決する際のラビッドプロトタイプリングを支援するのが得意である。また同一アーキテクチャで、並列論理型言語を用い、計画問題の解決を支援する機能〔Ueda 90c〕を付与することで、計画問題のラビッドプロトタイプリングも支援できることを実証する予定である。このようなシステムの研究開発を通して、著者らは発想支援のためのグループウェアを構築する道を開拓中である。

2. 研究開発の動機

知識獲得は知識ベース・システム構築の際の最大のボトルネック〔Lenat 86〕である。知識獲得は知識ベース・システム構築の上流工程を占め、その開発工数の半分以上を占めるといわれている。知識獲得ボトルネック問題を解決するために、一人の専門家のみならず、複数の専門家・ユーザ層（以下、与えられた問題を解決する計画作りに、積極的に参加していることを強調し、参画者と呼ぶ）からなるその問題に関与するグループでのディスカッションなどを通してグループ・メンバ全員が協力して問題の定式化や、問題評価の骨組みを作成する場合は多い。それにもかかわらず、従来からの知識獲得支援ツールは基本的に一人の専門家からの知識獲得を想定しており、複数の参画者からの知識獲得を対象にするツールはほとんど存在しない。

日本の企業では、KJ法〔Kawakita 87〕などを利用したグループ問題解決のノウハウを結集して、顧客であるユーザの要求を分析して、こういった問題を解決する場合も多い。KJ法では、ブ레인・ストーミング、ラベル集め、グルーピングと一行見出し作りといった手順を繰り返し、知識のネスティング、空間配置と関係付け、および文章化を行なっていく。KJ法をコンピュータで支援する多くのシステムがインプリメントされつつある（KJエディタ〔Ohiwa 88〕、CONSIST〔Shinohara 89〕、D-ABDUCTOR〔Sugiyama 88, Misue 89, 90〕）が、それらは知識ベースの作成を直接の目標としていない。

この問題に対して、著者らは「KJ法の精神」でのシステム設計を行い、複数の参画者から個別の知識を抽出し、ブ레인・ストーミング風のディスカッションや各種システム工学手法などを用いて、問題に対する初期知識ベース（構造化された専門家・ユーザモデルと問題の評価構造の構築）を作成するグ

グループウェア GRAPE [Kunifuji 89a, 89b, 90b, Ueda 90b] を研究開発中である。GRAPEでは、ネットワークでつながれたマシンを操作している複数の参画者が他人の入力した仮説（代替案）や属性（評価項目）を、“WYSIWIS (What You See Is What I See)” [Stefik 87] で見ながら関連知識を入力する。この際に各人は、自分の知っている知識だけを入力すればよい。GRAPEは各人の入力した個別知識をシステム工学手法で分析して、初期知識ベースの枠組みとなる決定木（階層的代替案）を形成し、画面に表示する。各人はこの決定木をWYSIWIS で見ながら、入力した知識を修正したり、一対比較などの主観的評価を繰り返し、参画者全員の意思を反映した相対的重要度付き決定木（主観的評価木）を作成していく。

3. 同期・同室ツールから同期・遠隔ツールへ

グループウェア [Tazelaar 88, Ishii 89b] とは協調問題解決を行うグループのチームワーク支援を目的に設計されたコンピュータ・システムの総称で、計算能力の進化形態であるAI技術、記憶媒体の進化形態であるメディア技術、通信ネットワークの進化形態であるコミュニケーション技術の融合技術として、今まさに誕生しようとしている。グループウェアの実現には、図1 [Ishii 89a] に見られように、同期・同室ツール（以下、方式Ⅰと呼ぶ）、同期・遠隔ツール（以下、方式Ⅱ）、非同期・遠隔ツール（以下、方式Ⅲ）の3つの段階がある。方式Ⅰの代表例が、Xerox PARCが開発したColab [Stefik 87] である。Colabは同室で協調的に問題解決する際の支援を行なうために開発された実験的会議室、いわばブレイン・ストーミングを支援するためのコンピュータ黒板である。全ての参画者が必要な入出力情報を共有ウインドウで見れるようにするWYSIWIS を用いた情報の共有環境を実現している。

会議への参加者が多忙な場合には、全員が同室に集まるのが難しい場合も多い。方式Ⅱは、このような場合に必要となり、ネットワーク社会の現代人にとって最も標準的な使い方を提供する。一方、方式Ⅲは、超多忙な人々にとって最も期待される方式で、自分の空き時間をその問題の解決に割り当てる方式である。ただし、この方式のツール実現には、非同期・遠隔でありながら、誰がどのようにして問題解決のステップを次に進めるべく決断すべきかという大問題がある。すなわち、必要な情報は全部集まったのか、議論は十分なされたのか、などの不安感が拭い去りがたい。

GRAPEでは、まず第0版 [Kunifuji 90b, Ueda 90b] で方式Ⅰを実現し、次いで第1版 [Kunifuji 90c] で方式Ⅱを実現すべく開発を進めている。方式Ⅲの実現は前述のような検討課題を抱えているので、方式Ⅱの実現完了後に、別途、研究開発計画を立てる予定である。現在、複数のProlog専用ワークステーションPSI-IIをつないで、方式Ⅰと方式Ⅱの試作実験を行なっている段階である。

第0版ではまず、グループウェアに必要な基本機能として、WYSIWISによる入出力知識の参画者間共有、「不完全情報許容（三人寄れば文殊の智慧）」、「親子対等民主主義（参画者対等原理）」を実現した。

WYSIWISによる入出力知識の参画者間共有とは、各人の入力知識およびシステムによるその分析結果の出力知識などを、その問題解決に参加している人全員に情報公開することである。例えば図2では、自分の仮説のクラスタリング結果、他人の仮説のクラスタリング結果、グループ平均の仮説のクラスタリング結果が表示されている。この機能により、参画者は必要に応じて他人の知識も参照できることになり、安心して自分の思考を展開することができる。自分だけでは思い付かない仮説や属性を他人から表示されることにより、自分の発散的思考活動が刺激を受け、活性化され、思いがけない問題解決のヒントを得ることもあろう。他人とのコミュニケーションを促進するには、このようなWYSIWISによる情

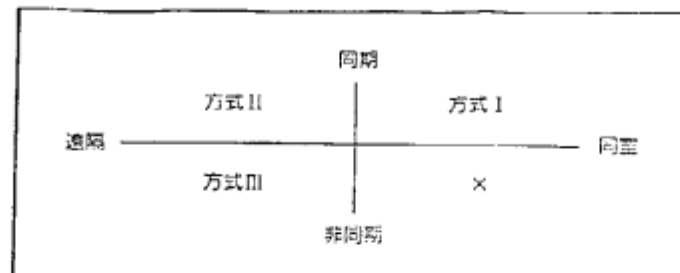


図1 ■ グループウェアの分類。

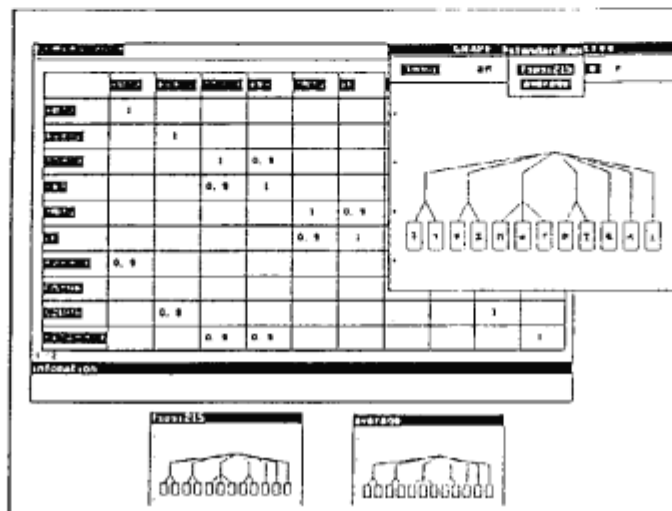


図2 ■ WYSIWIS による類似度クラスタリングの入出力結果の表示。
右上に自分の仮説のクラスタリング結果、左下に他人の仮説のクラスタリング結果、右下にグループ平均の仮説のクラスタリング結果が表示されている。

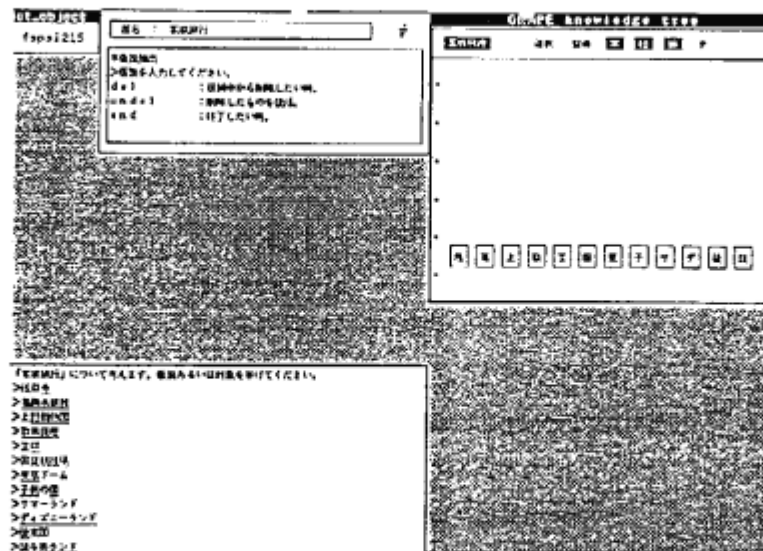


図3 ■ 仮説の入出力画面の例。
左下にテキスト・ベースの入力ウィンドウ、右上にグラフ・ベースの出力ウィンドウが表示されている。仮説の追加や削除に応じて、右上のノードはリアルタイムに増減する。

報公開環境が基本となると考える。

不完全情報許容機能は類似度クラスタリングとAHPにおいて実現した。不完全情報許容機能とは、個々人の不完全な情報を暗黙値で補完する機能である。類似度クラスタリングでは、個々人のよく知っている知識（類似度）のみ入力することにする。すなわち、その人が確信のもてない類似度の暗黙値を0（類似度なし）とし、知らないことは知らないで済ませる立場である。同様にAHPにおいても、不完全一対比較行列を用いた不完全情報の補完法であるHarker法〔Harker 87〕を用いて、確信のもてない一対比較は入力する必要はない。このことは確信のもてない一対比較値を、変数として理想的な場合の一対比較行列から推定していくことを意味する。このような補完のなされた不完全情報は次の親子対等民主主義機能のところでグループ全体の知識にマージされて、初めて「三人寄れば文殊の智慧」的な完全な知識へと統合されるわけである。

親子対等民主主義機能は、司会役・参加者が別々に入力した知識をグループとしての知識に統合する際に、どの知識も対等にマージしようという機能である。個々人の入力知識を類似度クラスタリング、拡張ISMやAHPなどのシステム工学的手法を用いてマージする際に行なう。類似度クラスタリングで各人の類似度行列をグループとしての類似度行列にマージする際には、類似度は距離尺度に近い性質をもつので、各人の類似度の算術平均値をグループとしてマージされた類似度とする。拡張ISMでの各人の従属性のマージは簡単で、グループ全体での従属性は単純にマージされるだけである。AHPでは、一対比較行列が比尺度で評価対象間の比のみが意味をもつので、グループとしての一対比較行列は幾何平均を用いてマージ〔Tone 86〕される。どちらの処理でも、司会役・参加者という役割の区別に係わらず、個別知識をグループの知識としてマージする際に、それらの重要度を対等に扱うという民主的精神を反映したものである。

更に第1版では、WYSIWISの徹底によるユーザー・インタフェースの改良、「チャット（おしゃべり、耳打ち）」機能などを追加して方式Ⅱに対応できるようにし、グループウェアとしての機能を向上させた。

第1版におけるユーザー・インタフェースは、ユーザーがグループウェアを利用した場合に必要な多くの情報を得ることに重点において設計した。例えば、どのマシンがコミュニケーションに参加しているのか、その処理を終了したマシンはどれか、など参画者が他者の状態を知るための情報が隅に表示されるようになった。また、入力知識やシステムの分析結果の表示において、図3左下のテキストベースの入力ウィンドウと図3右上のグラフベースの出力ウィンドウという役割分担、図3右上に見られる仮説の増減に伴うクラスタリング結果のリアルタイムの表示、入力データの修正によるクラスタリング結果の後戻り機能をつけ加えた。

チャット機能はサブ・グループや個人間のコミュニケーションを支援する機能としてつけ加えた。議論進行中にも、別のウィンドウを開いて、特定の相手と意思の確認や打ち合わせを行なうことができる。おもな用途として、入力された仮説、属性等のキーワードが理解不十分のときの確認、および全員の決定の前に特定の誰かとの耳打ちなどを想定している。これによって参画者が一堂に会さなくともディスカッションを進めることが可能になるため、特に方式Ⅱのツールにおいて必須である。

4. ネットワーク・アーキテクチャの設計

グループウェアにおけるネットワーク・アーキテクチャの設計は、コミュニケーションがいかに円滑に進むかの決定権を握っており、そのグループウェアが実用システムとして利用されるかどうかを左右

する点で、極めて重要である。具体的には、与えられた環境で相手にどれだけの情報をWYSIWIS できるか、方式Ⅰのみならず方式Ⅱでも適用できる結合方式は何なのか、更に方式Ⅲにも発展可能なアーキテクチャは何なのか、などの項目を決定しなければならない。

ここでは、GRAPEにおけるネットワーク・アーキテクチャについて説明する。第0版では、司会者を中心とした階層構造ネットワークを採用した(図4)。だが、この方式で、方式Ⅱを実現しようとする場合、司会者と参加者のソフトウェア・モジュール構成が異なり無駄なモジュールを作成しなければいけないこと、共通のデータ構造に必要なデータが格納されていないので再利用方式の確立が難しいこと、同期をとるためのモジュール化が不徹底なことなどの欠点があった。

そこで第1版では、ネットワークにおける司会者と参加者の役割を対等にし、ネットワーク系統の一元化を促進して同期・遠隔方式の実現を容易にすること(図5)を図った。また、同時に各処理をモジュール化し、他の処理から完全に見えないようにする情報隠蔽で、同期・実行制御の記述を容易にした。また、各処理を全てESP [Chikayama 84] におけるサブルーチンである「メソッド呼出し」とすることで、同期処理部や実行制御部、ウィンドウ部を一つのクラスにまとめておいて、必要な時にメソッド一つで呼び出せるようにした。

ネットワークが行なっている送信、受信等のデータ処理の流れを図6に示す。第0版と比較すると、同期・実行制御、通信制御もコントローラ部にまかせ、ネットワークからみるとどのマシンも同等になったことがわかる。第0版で司会者が負担していたコントローラ部(サーバー部)の機能を独立・分離し、新たにコントローラ、レシーバ、データ・マネージャ、シンクロナイザ、クライアントを設けた。また、保存するデータの形式を統一化し、データ格納用のクラスを用意して、そこへメソッドより格納・利用を行なえる様にした。その際、第0版のデータ形式をそのまま利用するのは非効率なので、新たにデータの再利用し易いデータ形式を考えた。また、コントローラ部にデータマネージャを作り、一括してデータを管理するようにした。

図6は、PSI-Ⅱを4台つないだときの結合状態である。全体のデータと制御のフローは次のようになる。(1)レシーバはコントローラから送られてきた次に行うべき処理命令をシンクロナイザに送る。(2)クライアントは処理の実行が終わると、シンクロナイザから次の命令が送られてくるのを待っている。(3)命令が届くと、次の処理に必要なデータを読み込んで処理を行う。(4)処理中に格納すべきデータが生じると、外界に送信する。(5)処理が終了すると、まずデータ送信終了報告を送る。各参画者に送られたデータ送信終了報告ごとに、データマネージャはシンクロナイザに、データ格納終了報告を送る。(6)シンクロナイザは全参画者からのデータ格納終了を待ち、クライアントにデータ格納終了報告を、コントローラに送らせる。(7)コントローラは全参画者からのデータ格納終了報告が送られてくるのを待ち、送られてきたら、次の実行制御命令を送る。

5. 初期知識ベース獲得機能

次に、こういったグループウェア機能を前述のネットワーク・アーキテクチャ上に構築したGRAPEの初期知識ベース獲得機能について述べる。

知識ベース・システムの開発は、図7に見られるように、1)ラビッドプロトタイピング、2)プロトタイピング、3)実用システム開発の3フェイズからなる。フェイズ1)では知識ベースの設計に伴う初期知識ベース獲得を、フェイズ2)では初期知識ベースから知識ベースへの洗練に伴う一般知識の獲得を、フェイズ3)では知識ベースのチューニングに伴う例外知識の獲得を行なう。初期知識ベース獲得機能はシ

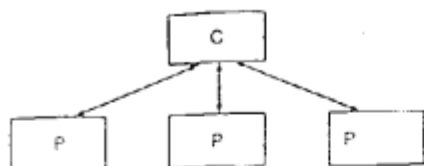


図4 ■ 同期・同室でのネットワーク・アーキテクチャ。
CはCoordinator(司会者), PはParticipant(参加者)を意味する。



図5 ■ 同期・遠隔でのネットワーク・アーキテクチャ。
CはCoordinator(司会者), PはParticipant(参加者)を意味する。

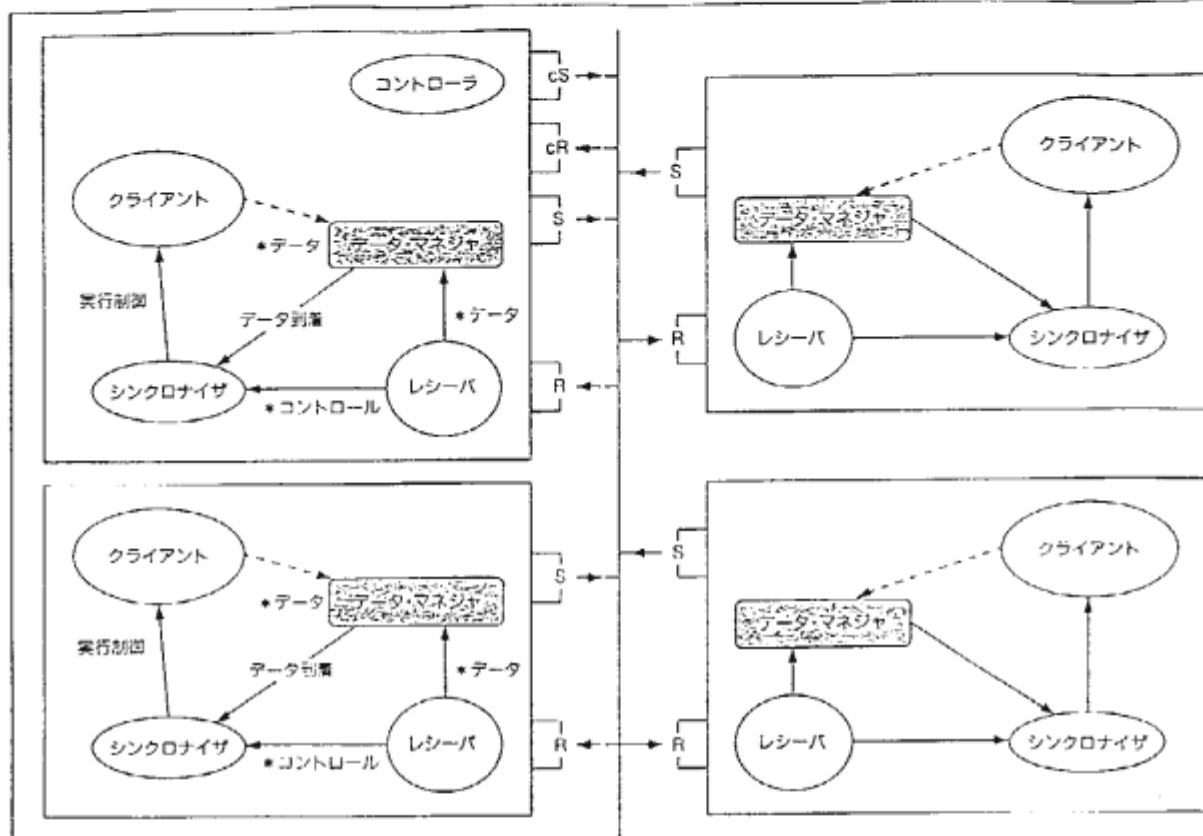


図6 ■ 実際の GRAPE システム第1版のネットワーク・アーキテクチャ。
コントローラ内蔵マシンをサーバーとみなせば、クライアント・サーバー・モデルとなる。

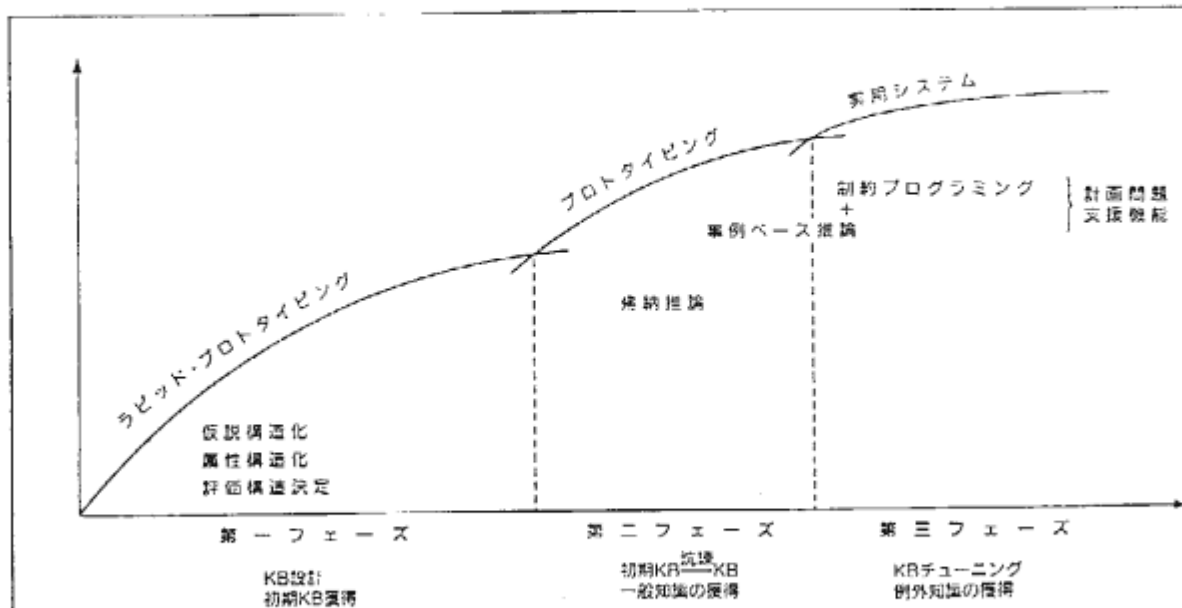


図7 ■ 知識獲得の各フェーズ。図中の KB は知識ベースの意味。

システム分析の各種手法を駆使して、特にフェーズ1)における専門家／ユーザ・モデルの同定、知識表現の選択、知識の抽出の過程を支援する。すなわち、問題定式化を支援する過程を通じて、その問題のラビッド・プロトタイピング用の知識ベースを作成する。また、並行して開発を進めている計画問題支援機能は作成した初期知識ベースに対し、制約プログラミングと事例ベース推論を用い、主としてフェーズ2), 3)における知識の抽出、知識の変換、知識ベースの管理の過程を支援する。

GRAPE初期知識ベース獲得機能では、ラビッドプロトタイピングにおけるグループ全体の主観的評価木が生成される。初期知識ベース獲得機能は、問題決定部、基本（グループ）決定部、決定調整（コンサルテーション）部の三つのモジュールからなる。このうちソフトウェア・モジュールとして試作が完了したのは基本決定部のみで、決定調整部は現在、再利用の方式確立として試作検討中である。問題決定部は、GRAPEで解くべき問題を決定する部分で、機械化の困難な部分である。少なくとも、解くべき問題はクリアで、グループ問題解決に参画する人々はその問題を明確に理解させる必要がある。コミュニケーション機能の充実で、問題決定部の仕様化を検討中である。基本決定部で問題に関与する全てのグループメンバーが参加し、その問題に対するグループ全員の知識をマージした初期知識ベースを生成する。基本決定部は、基本的に三つのモジュール（仮説構造化、属性構造化、および評価構造決定）からなる。GRAPEでは、仮説構造化モジュールで類似度クラスタリング、属性構造化モジュールで拡張ISM、評価構造決定モジュールでAHPを用いた初期知識ベース獲得機能を実現した。最後に、決定調整部でグループ構成員と専門家とのコンサルテーション・プロセスなどを通じて、グループ決定の結果を調整していく。

6. 実行例

旅行の行先決定問題について、実際の入出力例を用いて説明する。

①問題の設定：システム立ち上げの前に、解くべき問題とその問題のグループ意思決定に参加するグループ・メンバーを決定しておく。参画者間で問題意識を共通にしておくことは、電子会議を知的かつ生産的に進めるための決定的要因となるため、この過程は重要である。

②参画者の決定：司会役が図6のようにサーバ・マシンを立ち上げる。他の参画者はクライアント・マシンに配置される。参画者決定のための機能として、（単数、複数、終了）のマシン選択機能やメンバーの追加・削除機能がある。また参画者の人数は、3～6人位が理想的であろう。参画者の人数がやたら多いと、会議で合意をとるのが困難と同じ現象を呈する。司会役の役割は、以下に述べる各実行過程に関連したデータが揃っているかを確認し、揃っていれば次の実行過程に進行する決定を行い、実行過程全体の進行の同期をとることである。

③仮説の入力：与えられた問題に対して、各自がその問題の解の候補（グループ旅行では、グループで行きたい旅行先という仮説）を片っ端から入力する。図3に画面例を示す。テキスト・ベースのウィンドウから参画者が入力した仮説は、グラフィックス・ベースのウィンドウにノードとして出力される。参画者が仮説を追加（削除）するたびに仮説に対応するノードがひとつずつ増える（減る）ので、現在どのような仮説が挙がっているかが一目でわかる。

④仮説の構造化：これらの全ての仮説に対して、GRAPEはシステム工学でよく知られているクラスタ分析を行ない、仮説間の構造を抽出していく。クラスタ分析の手法として、（KJ法を含む）マニュアル法、類似度クラスタリング、林の数量化理論などがある。GRAPEでは類似度クラスタリングを採用したので、クラスタリングに要する時間は行列のサイズに比例し、他の方法に比べて極めて高速である。

類似度クラスタリングでは、各自が自分の分かる分について仮説間の類似度を、図2に示されるように行列の要素として入力していく。この類似度入力に対しては、類似度行列に関して対称性と推移性という制約を満足するかどうか、入力と同時にチェックされる。ここに対称性とは類似度行列の対角成分が同じ値であることをいう。また推移性とは、任意の二つの仮説間類似度は中間仮説を介在しての類似度よりも大であることを意味する。チャット機能などを用いて、全員の入力が終了したことを確認したら、グループ全体の類似度の値の算出過程に入る。システムは、類似度クラスタリング・アルゴリズムをグループ全体の類似度行列に対して適用し、図2の右ウインドウのような階層的なクラスタ木を生成し、表示する。表示の際には、クラスタ化された木構造表示ルーチンのセンタリング〔Shintani 86, 90〕を行なう。類似度行列の作成途中段階の木構造はリアルタイムに表示する。なお、類似度の修正によって、クラスタリング過程を後戻りすることも可能である。

⑤属性の入力：グループ全体のクラスタ木の下の方から順次、各参画者がクラスタ化された概念を特徴づける属性を与える（図8）。さらに、クラスタ化された概念を分離するための概念（以下、差別化属性）を、それを特徴づける属性とその逆の属性（以下、対属性）とのペアの形で入力する（図9）。差別化属性はAHPの一対比較で用いる評価項目の抽出に、対属性は一対比較の際の主観的評価に利用する。いずれの入力においても、ノードごとに対応する別ウインドウを開き、入力をリアルタイムに表示できる。なお、属性を与える際には、該当する仮説を反転表示させるなど、入力し易いように工夫している。

⑥属性の構造化：クラスタ木の葉に近い方から、図10に見られるように、各参画者が属性間の従属関係を入力していく。これに拡張ISMを適用し、互いに従属しあう属性が等価な属性とみなした縮退した従属構造（骨格構造）を抽出する（図11）。この骨格構造の先頭にある属性がその階層木の分岐点における互いに独立な属性同士である。

⑦一対比較：図12の右上に見られるように、属性ごとに、その属性に含まれる仮説についての一対比較を行ない、どちらがどちらの何倍重要かという値を入力する。同様にして、互いに独立な属性同士の一対比較を行なう。比較値が入力できない場合には空白のままにしておき、GRAPEが前述のHarker法を利用して空欄を補完する。全員が入力を終わると、参画者ごとの一対比較行列を、グループ全体としての値を幾何平均として求める。これは、一対比較行列が比尺度だからである。一対比較値の入力も、全体の整合性を保持するために一対比較に関する推移性制約を満足しなければいけない。この部分の画面インタフェースには、当研究所で開発された問題解決支援環境「KORE/EDEN」の入出力インタフェース〔Shintani 86, 89, 90〕を利用している。次に、AHPを適用し、一対比較行列の最大固有ベクトルを計算する。その結果、図13の真ん中で示されるように、その分岐点における各属性／仮説ごとの重要度を主観的評価値として表示する。

⑧グループ全体の決定木の作成：⑦の過程を繰り返すことで、与えられた問題に対して、グループ全員が提案した仮説（代替案）を、考えられるあらゆる属性（評価項目）で主観的に評価した決定木を得ることができる。すなわち、仮説の階層木全体から見たこの木の葉にある相対的重要度を計算することができる。実行結果を図14に示す。

最後にこの実行プロセスを、本研究開発の動機であったKJ法での概念構造化機能と比較したのが、表1である。GRAPEでの仮説入力とKJ法の紙きれづくりは、ほぼ一対一に対応する。類似度あるいは親近感に基づく類似度クラスタリングや紙きれ集めも精神においては一致する。KJ法の方が自然言語を利用した複雑な表札づくりプロセスを経て、何段にもネストされたグルーピングを行っている。GRAPEにはKJ法のような空間配置はない。また従属関係分析の一種である拡張ISMは、KJ法の関連づけのうち、因

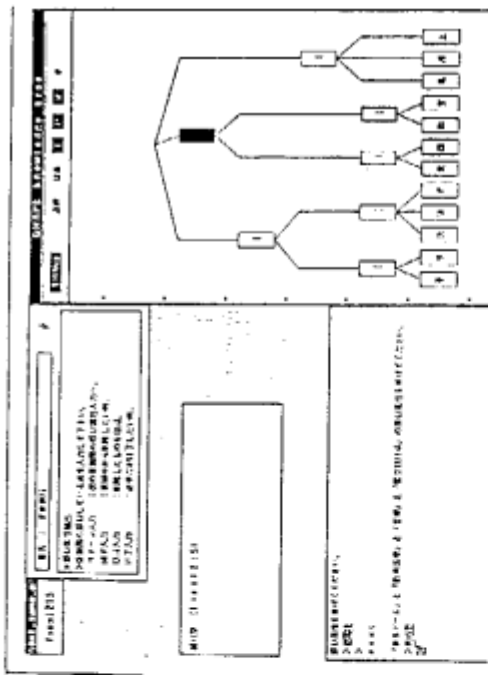


図8 ■ 類似属性の入出力例。
左下ウィンドウからそれぞれのサブクラスを特徴づける類似属性が入力されている。

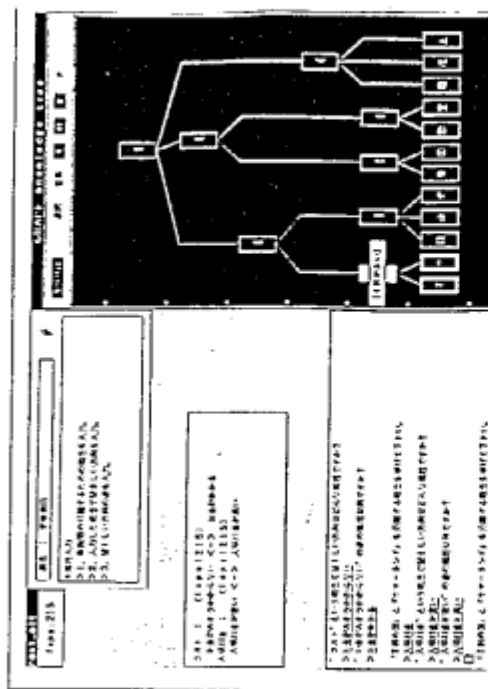


図9 ■ 差別化属性の入出力例。
左下ウィンドウからサブクラス分離のための属性・対属性のペアが入力されている。

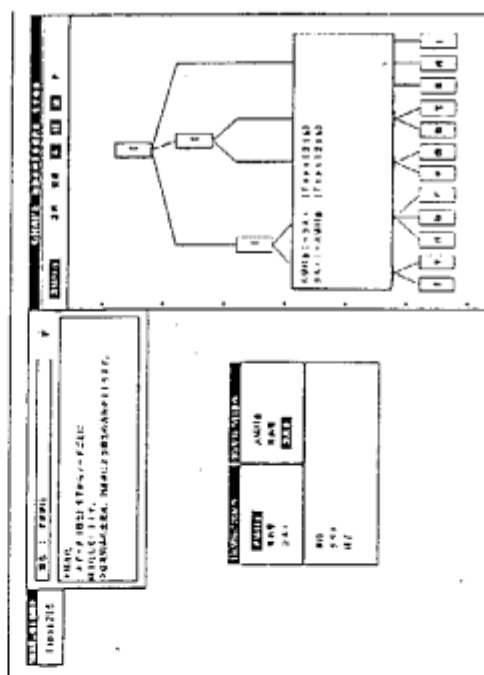


図10 ■ 拡張ISMによる属性間従属関係の入出力途中の例。
左下ウィンドウの左上から従属関係の出発点、右上から従属関係の到達点のマウスで選択され、その従属関係分析の結果が右ウィンドウの該当ノードにウィンドウ表示される。本例では、コストと入量対症が寄与な属性とみなされ、どちらかが削除される。

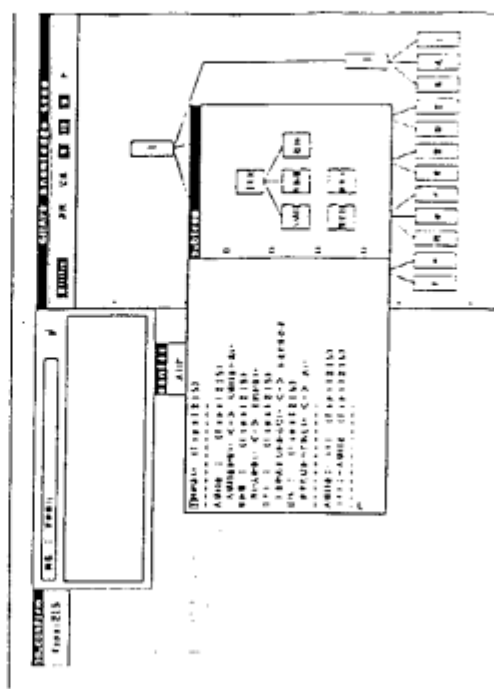


図11 ■ 拡張ISMによる属性間従属関係の分析結果。
中央左ウィンドウに従属関係分析の結果が表示されている。それを、分かりやすくグラフ表示したのが、中央右ウィンドウの階層表示である。

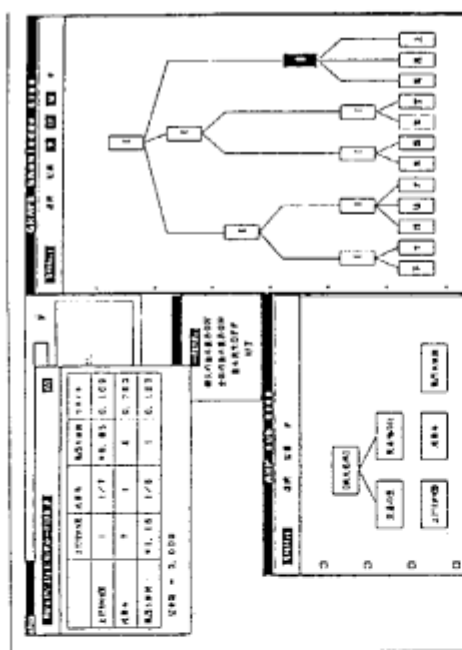


図 12 ■ Harker 法による一対比較行列の補完の例。
 左上の一対比較行列を入力した状態で Harker 法を呼び出すと、葛西水族館と上野動物園の一対比較値が補完され、* 付きで表示される。また、補完された一対比較行列に基づく固有ベクトル値が評価値として、ウエイト（欄目）のところに表示される。

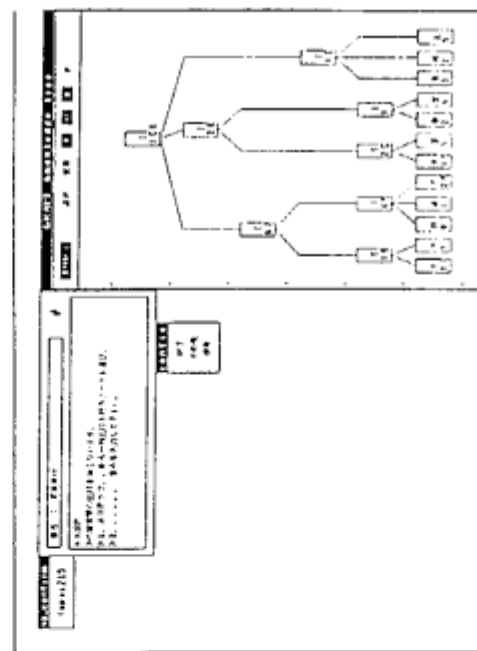


図 14 ■ 個々の相対的相対重要性を計算表示した階層木。
 右ウィンドウの果にある全ての版説のそれぞれにグループ全員の評価に基づく相対的重要性が表示されている。この場合、家族旅行の候補地として一番評価値が高いのはディズニーランドである。

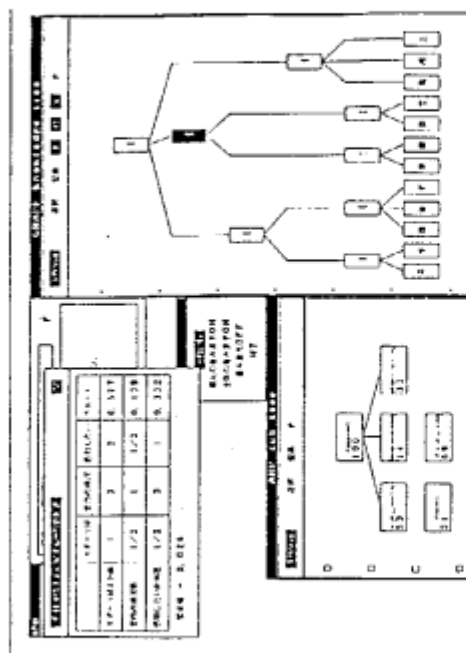


図 13 ■ AHP による一対比較行列の処理例。
 左上の一対比較行列に対して、通常の AHP 計算に基づく固有ベクトルを求め、その値を相対型からみた三つの属性の重要性に割り振る。

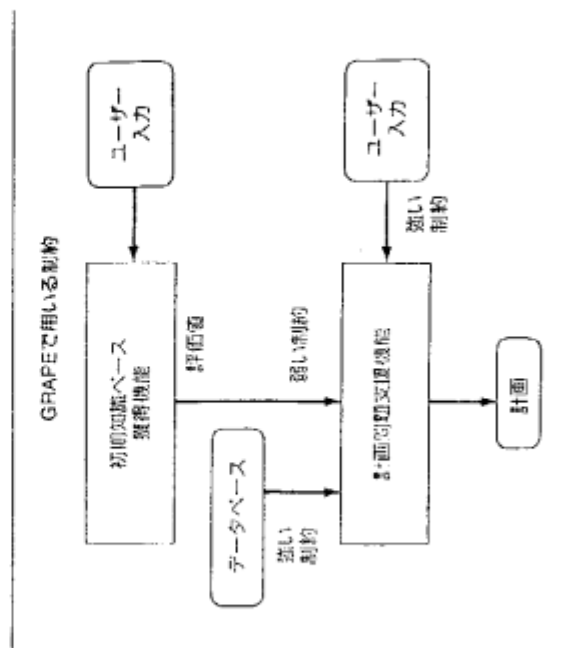


図 15 ■ 初期知識ベース獲得機能と計画問題支援機能との関係。

果関係に代表される矢印のみを、理論的に精緻に分析しているに過ぎない。最後に採用した一対比較による主観的評価手法であるAHPは、KJ法での衆目評価法と似ているが、前者は部分的に主観的評価を繰り返す中で全体の評価を求めていくのに対し、後者は全体の中での部分的評価を主観的に定めている。このように見てくると、表札づくりはKJ法の独断場であり、機械化の困難なプロセスであることは明らかである。KJ法という人間中心の手法のもつ特徴は、この表札づくりにおける自然言語のもつ言語的直感と、空間配置や衆目評価における人間の認知空間的直感を、最大限に利用していることにある。

7. おわりに

現在、GRAPEに計画問題支援機能〔Ueda 90c〕を付与することで、計画問題のラビッドプロトタイピングを支援できることを検討中である。その際、図15に見られるように、並列制約指向の論理型言語を用い、強い制約と弱い制約をもつ制約解消系を実現し、初期知識ベースとして得られた候補の評価値や評価項目を用いて、両制約を満足する評価値の高いプランニング（スケジュール）系列を並列に生成する予定である。探索空間の制御には分割統治型のOR世界管理モジュールを、分割統治された世界での評価関数の生成には初期知識ベースで獲得された評価値を用いる。このような機能の付与は、直観的にはKJ法A型図解をKJ法B型文章化〔Kawakita 87〕に展開することに相当する。つまり、強い制約を満足し、弱い制約に基づく評価関数をグループ全体の平均的評価で極大にするような仮説のプランニング（スケジューリング）系列を得ることになる。

今後の課題として、初期知識ベース獲得機能を類似の問題に対して再利用する場合の方式確立の実験、非同期・遠隔のグループウェアのアーキテクチャの検討、計画問題支援機能とのリンク等の問題を解決することが重要である。

GRAPE初期知識ベース獲得機能の応用分野として、集団意思決定、（使い易さ、見易さ、分かり易さなどの）ソフトウェアの評価、就職先の決定、研修・教育効果の評価、人事考課、R&D予算の配分、商品計画、経営戦略計画などが考えられる。また計画問題支援機能が付与されれば、旅行プランニング、PERTスケジューリング、R&Dプランニング等にも応用できるだろう。GRAPEは主観的評価と客観的評価の入り乱れる問題の解決に寄与しうると考えている。GRAPE開発の長期的波及効果として、図16〔Kata yama 89〕に示されるように、知識ベースの自動知識獲得、グループ意思決定、合意形成支援のみならず、ブレイン・ストーミング支援、知的生産の技術支援、ソフトウェア・プロセスの上流工程支援を挙げることができる。このようなタイプのグループウェア技術と分散協調型ソフトウェア技術が融合した世界に、本シンポジウムのターゲットである発想支援システム構築につながる魅力的な一大研究領域がある。すなわち、グループウェア、ハイパーメディア、ネットワークなどの技術的発展、AIのみならず、ニューロやファジィといった新しいアーキテクチャの登場、およびそれらの融合技術の発展可能性は、機械の得意なことは機械にまかし、人間の得意なことは人間にまかし、『揺りかごから墓場までコンピュータのお世話になる時代』の序章は近いのではないかとことを予感させる。

〔謝辞〕本研究の一部は、第5世代コンピュータ・プロジェクトの一環として行われた。本研究に関連し貴重な先行研究をされた当研究所戸田光彦部長、新谷虎松、平石邦彦、片山佳則研究員、GRAPE初期システム開発に従事された富士通ソーシャルサイエンスラボラトリーの須永知之氏、太田祐紀子嬢、および井深克憲氏に感謝する。

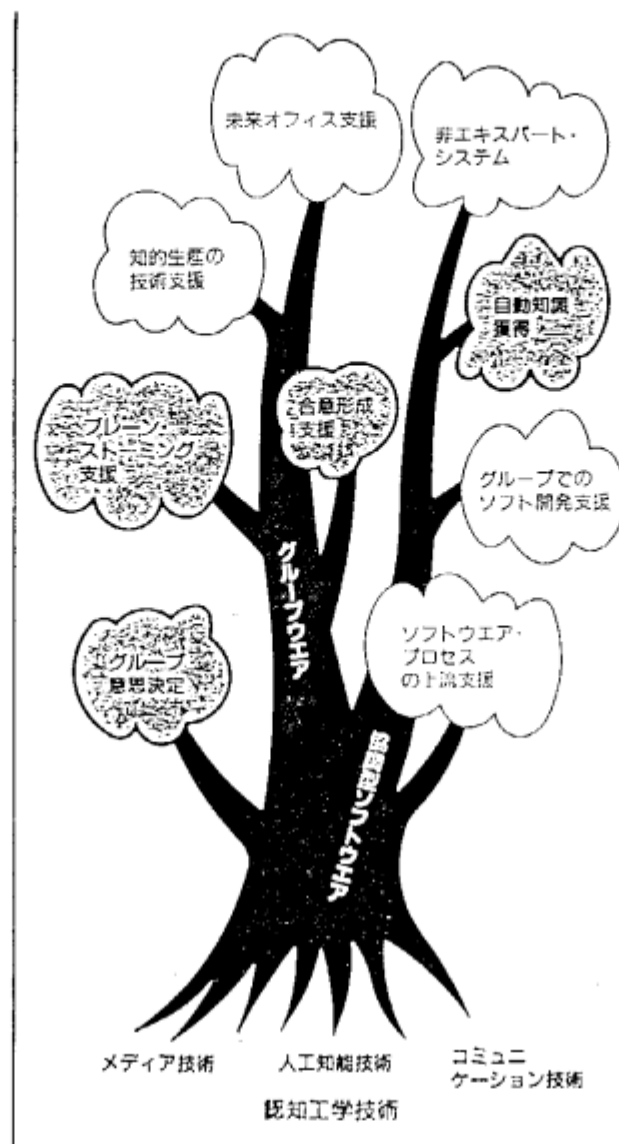


図 16 ■ 協働型グループウェア技術の波及効果。

	GRAPE	KJ法
入力	仮説入力	紙きれづくり
仮説構造化	類似度クラスタリング (類似度) × (類似属性入力) △	紙きれ集め (親近感) 表札づくり グループ編成
属性構造化	× 拡張ISM (従属関係分析)	空間配置 関連づけ (因果関係、矢印)
評価構造決定	AHP (一対比較による主観的評価)	衆目評価 (全体の中での位置付けを踏まえた評価)

表 1 GRAPE とKJ法の概念構造化機能の比較

〔参考文献〕

- 〔Arikawa 86〕有川節夫：帰納推論と類推—理論と応用—、淵—博監修知識情報処理シリーズ第2巻“知識の学習メカニズム”、共立出版、1986。
- 〔Chikayama 84〕Chikayama, T.: Unique Features of ESP, Proc. of FGCS' 84, Tokyo, pp. 292-298, Nov. 1984.
- 〔Harker 87〕Harker, P.T. and Vargas, L.V.: The Theory of Ratio Scale Estimation: Saaty's AHP, Management Science, Vol. 33, pp. 1383-1403, 1987.
- 〔Hayashi 52〕Hayashi, C.: On the Prediction of Phenomena from Qualitative Data and Quantification of Qualitative Data from Mathematico-Statistical Point of View, Annals of the Institute of Statistical Mathematics, Vol. 3, No. 2, pp. 69-98, 1952.
- 〔Ishii 89a〕石井 裕：グループワークのコンピュータ支援に関する研究動向、Human Interface N&R, Vol. 4, 1989, pp. 113-117.
- 〔Ishii 89b〕Ishii, H.: Cooperative Work Models and Groupware, FRIEND21 Int. Symp. on Next Gen. Human Interface Technologies, Sept. 1989.
- 〔Ishizuka 86〕石塚 満、松田哲史：不完全な知識環境下での高次推論、知識システム方法論夏期シンポジウム報告書、富士通・国際研、昭和61年9月。
- 〔Katayama 89〕片山卓也編：次世代基礎技術研究委員会報告書、IPA、1989年9月。
- 〔Kitakami 84〕Kitakami, H., Kunifuji, S., Miyachi, T. and Furukawa, K.: A Methodology for Implementation of a Knowledge Acquisition System, Proc. of the 1984 International Symposium on Logic Programming, Atlantic City, U.S.A., Feb. 6-9, 1984.
- 〔Kitakami 85〕北上 始、國藤 進、宮地泰造、古川康一：論理プログラミング言語Prologによる知識ベース管理システム、情報処理、Vol. 26 No. 11, 1985.
- 〔Kawakita 87〕川喜田二郎：KJ法、中央公論社、1987.
- 〔Kunifuji 79〕國藤 進、竹島 卓：複合頂点間の到達可能性解析、電子通信学会CAS79-110, 1979年10月
- 〔Kunifuji 85a〕國藤 進、北上 始、宮地泰造、古川康一、知識工学の基礎と応用〔第4回〕—Prologにおける知識ベースの管理—、計測と制御、Vol. 24 No. 6, 1985.
- 〔Kunifuji 85b〕國藤 進、武脇敏晃、世木博久、竹内彰一、大木 優、古川康一、鶴巻宏治：メタプログラミングによる論理プログラミングと知識情報処理の融合、第28回自動制御連合講演会前刷“特別講演”、国立教育会館、pp. III-1~III-10, 1985年11月7日。
- 〔Kunifuji 86a〕國藤 進：演繹・帰納・発想の推論機構化をめざして、淵—博監修知識情報処理シリーズ第2巻“知識の学習メカニズム”、共立出版、1986.
- 〔Kunifuji 86b〕國藤 進、小林重信、岩下安男、岡 夏樹、諏訪 基：エキスパート・システム開発事例における知識獲得と学習、知識システム方法論夏期シンポジウム報告書、富士通・国際研、昭和61年9月。
- 〔Kunifuji 86c〕國藤 進、古川康一：学習システム研究の現状と課題、計測と制御、Vol. 25, No. 9, 1986年9月。
- 〔Kunifuji 86d〕國藤 進、鶴巻宏治、古川康一：仮説選定機構の一実現法、人工知能学会誌、Vol. 1

No. 2、1986年12月.

[Kunifuji 87] 國藤 進: 仮説推論、人工知能学会誌、Vol. 2 No. 1、1987年 3 月.

[Kunifuji 89a] 國藤 進、上田晴康、須永知之、井深克憲、岩内雅直: グループ知識獲得支援システム GRAPE 構想、計測自動制御学会、第10回知識工学シンポジウム講演論文集、北海道大学, pp. 47-52, Oct. 19, 1989.

[Kunifuji 89b] 國藤 進、上田晴康、須永知之、井深克憲、岩内雅直: グループ知識獲得支援システム GRAPE における初期知識ベース獲得機能、人工知能学会研究会資料SIG-HICG-8903-5, pp. 41-50, Dec. 6, 1989.

[Kunifuji 90a] 國藤 進、上田晴康、須永知之、井深克憲、岩内雅直: 知識獲得支援のためのグループウェア GRAPE における属性構造化、計測自動制御学会、第11回知識・知能システムシンポジウム、国立教育会館, Mar. 12, 1990.

[Kunifuji 90b] 國藤 進、上田晴康、須永知之、岩内雅直: グループ知識獲得支援システム GRAPE における概念構造化プロセス分析、日本認知科学会第 7 回大会発表論文集、九州工業大学、July 6, 1990.

[Kunifuji 90c] 國藤 進、上田晴康、岩内雅直、大津健太、須永知之: GRAPE の初期知識ベース獲得機能第 1 版—研究開発構想と研究開発現状—、計測自動制御学会、第12回知能システムシンポジウム、三田出版会/大阪, Oct. 23, 1990.

[Lenat 86] Lenat, D., Prakash, M. and Shepherd, M.: CYC: Using Common Sense Knowledge to Overcome Brittleness and Knowledge Acquisition Bottlenecks, AI Magazine, Vol. 6, No. 4, pp. 65-85, 1986.

[Misue 89] 三末和男、杉山公造: 図的思考展開を目的とした複合グラフの階層的描画法について、情報処理学会論文誌、Vol. 30, No. 10, pp. 1324-1334, 1989.

[Misue 90] 三末和男、杉山公造: 図の概略化と発想支援への応用、情報処理学会研究会資料、90-HI-31-1, 1990.

[Miyachi 84] Miyachi, T., Kunifuji, S., Kitakami, H. and Furukawa, K.: A Knowledge Assimilation Method for Logic Databases, New Generation Computing, 2-4, 385/404, 1984.

[Ohiwa 88] 大岩 元編: 発想・概念形成支援ツールKJエディタ、昭和63年 4 月.

[Poole 85] Poole, D., Aleliunas, R. and Goebel, R.: Theorist: a logical reasoning system for defaults and diagnosis, submitted as a chapter in the volume Knowledge Representation, N.J. Cercone & G. McCalla (eds.), IEEE Press, 1985.

[Poole 86a] Poole, D.L. and Goebel, R.: Gracely adding negation and disjunction to Prolog, Proc. of Third International Conference on Logic Programming, Imperial College, London, July 1986.

[Poole 86b] Poole, D.L. and Goebel, R.: Frame Selection based on Defaults and Theory Preference, private communication, April 1, 1986.

[Saaty 80] Saaty, T.L.: The Analytic Hierarchy Process, McGraw-Hill, 1980.

[Shinohara 87] 篠原靖志: 知識整理支援システムCONSIST の開発、電力中央研究所報告Y86003、昭和62年 7 月.

[Shintani 86] 新谷虎松、片山佳則、平石邦彦: 問題解決支援環境KORE (その2)—知識記憶利用機構KORE/EDEN とその応用—、情報処理学会昭和61年前期全国大会, 1145-1146, 1986.

[Shintani 89] 新谷虎松: 代替案選択支援機構における主観的評価の一貫性保持、Proc. of the LP C' 89, pp. 79-87, July 1989.

[Shintani 90] Shintani, T.: Knowledge Table: an approach to speeding up the search for rela

tional information in knowledge base, JIP, IPSJ, 1990 (accepted).

[Stefik 87] Stefik, M., Foster, G., Bobrow, D. G., Kahn, K., Lanning, S., and Suchman, L.: Beyond the Chalkboard: Computer Support for Collaboration and Problem Solving in Meetings, CACM, Vol. 30 No. 1, Jan. 1987, pp. 32-47.

[Sugiyama 88] 杉山公造: 図的思考展開支援に関する基礎的研究—発想系情報学の構築にむけて—、国際情報社会科学研究報告第24号、第25号、富士通㈱、1988.

[Tazelaar 88] Tazelaar, J. M. (ed.): Groupware, BYTE, pp. 242-282, Dec. 1988.

[Tone 86] 刀根 薫: ゲーム感覚意志決定法、日科技連、1986.

[Ueda 90a] 上田晴康、國藤 進、井深克憲、須永知之、岩内雅直: 知識獲得支援のためのグループウェアGRAPE における仮説構造化、計測自動制御学会、第11回知識・知能システムシンポジウム、国立教育会館, Mar. 12, 1990.

[Ueda 90b] 上田晴康、國藤 進、須永知之、岩内雅直: 知識獲得支援のためのグループウェアGRAPE とその実現について、人工知能学会、第4回全国大会論文集、学習院大学, July 24, 1990.

[Ueda 90c] 上田晴康、國藤 進、岩内雅直、大津健太: GRAPE の計画問題支援機能—並列論理型言語に基づくアプローチ—、計測自動制御学会、第12回知能システムシンポジウム、三田出版会/大阪, Oct. 23, 1990.

[Yonemori 81] 米盛裕二: パースの記号学、勁草書房、1981.