

TM-0979

知識抽出における主観的評価の一貫性保持

新谷 虎松（富士通）

December, 1990

© 1990, 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**

# 知識抽出における主観的評価の一貫性保持

富士通（株）国際情報社会科学研究所

新谷虎松

## 1. まえがき

意思決定の主要な4局面[Simon79]として、問題の発見（情報活動）、代替案の生成（設計活動）、代替案の選択（選択活動）、そして過去の決定の再検討（再検討活動）がある。効果的な意思決定支援機能を実現するためには、特に、意思決定者の設計・選択活動において、どのような意思決定問題に直面しているかを明らかにする必要がある。設計・選択活動では、意思決定者の主観的な判断を取り入れたり、数値化できない指標等を取り扱う必要がある。

意思決定における最終的な判断は、意思決定者の主観的な判断を基礎とするのが一般的である。意思決定において数理計画法等により得られた数値的で厳密な最適解は、全体的な意思決定を行なうためのひとつの情報となるがそれが全てではない。また、厳密な最適解を求めることを必要としないならば、意思決定者の行なう主観的な判断やヒューリスティクスを積極的に利用した“柔らかい”最適解を得る必要がある。このような主観的判断に基づく決定に際しては、意思決定者に対し、代替案に関連した種々の情報（つまり、どのような代替案が存在するか、ある代替案を選択したらどのような結果が生じるか等）を提供する必要がある。また、意思決定者がおこなった判断に含まれる矛盾を発見し修正する必要がある。

本論文では、意思決定者の知識の断片を積極的に抽出し構造化することを支援することにより、意思決定の4局面における設計・選択活動を支援する機構について論じる。本機構は、設計・選択活動で必要とされるヒューリスティクスを素直に記述するために、プロダクションシステムKORE/IE[15, 16]をベースにして実現され、代替案選択支援機構CDSS(Choice Design Support System)[17]と呼ばれる。KORE/IEはProlog上に構築された前向き推論型プロダクションシステムであり、論理プログラミング及びOPS 5 [5]風のルールプログラミングを提供する。

CDSSでは、意思決定者を支援するために、意思決定者の信念に基づく主観的評価（価値判断）を積極的に利用・蓄積する。これにより競合する要求の重み付けを明らかにし、代替案の選択を効果的に支援する。具体的には、意思決定者の主観的評価は、意思決定者の信念が付加され、AHP(Analytic Hierarchy Process)[12]に基づく一対比較法を用いて重要度として定量化され、代替案選択における競合を解消するための情報として用いられる。

本論文では、はじめにCDSSの概略を論じ、次に、CDSSにおける支援機能を実現する上で最も重要と思える主観的評価の一貫性保持機構に焦点を当てて、その実現方式について論じる。

## 2. 代替案選択支援機構CDSS

CDSSにおける支援過程は、図1のように示すことができる。図1で示すように、CDSSは、意思決定者の主観的評価を積極的に利用することにより、解決すべき問題の目標及び副目標の設定を支援し、問題の構造を明らかにすることを支援する。CDSSは、具体的には、意思決定において考慮すべき要素を階層的に整理し、要素の主観的評価（もしくは、重要度）とその信念を明らかにすることを支援する。本研究のねらいは、意思決定者がCDSSの支援を通して、意思決定問題に関連した知識を構造化し、代替案選択における競合を解消する機能を実現することである。このように構造化された知識は、知識獲得支援システムの基本的な入力情報として用いることができる。

図1. 主観的評価を用いた意思決定支援過程

CDSSは図2で示すように(1)階層設計支援機構、(2)アウトライン・プロセッサ機構、および(3)主観的評価支援機構の3つのサブシステムにより構成される。(1)の階層設計支援機構は、意思決定問題において考慮すべき要素がどのようにして全体の問題を構成しているかを階層的及び視覚的に整理し明らかにすることを支援する。この階層化により、問題における複雑さが解消され、考慮すべき要素間の関係が抽出される。本機構は、グラフ・エディタ機能により、問題を明確化するための視覚的な支援環境を提供する。本エディタ機能は、グラフ構造を描画・編集するために用いられ、グラフのノード及びアークの編集、そしてグラフの整画機能がある。グラフの整画機能は、階層構造の理解を支援するために用いられ、グラフを視覚的に把握し易い階層構造[19]で描画する。

(2)のアウトライン・プロセッサ機構は知識の断片を整理し構造化するために用いられる。本機構は、ウィンドウをメモ用紙と見做して、メモ（知識の断片）を書き込み、関連した複数のメモやウィンドウに対して見出しを付けていくことにより知識を整理・構造化する。ここで、見出しを付けることはひとつのウィンドウを生成することである。見出しは、ウィンドウのラベルに相当し、それが包含するメモやウィンドウの上位概念となる。アウトライン・プロセッサ機構で整理・構造化された知識は(1)の階層設計支援機構でさらに視覚的に明確化される。

(3)の主観的評価支援機構は、主観的評点法のひとつであるAHP[12]に基づく一対比較による主観的評価の定量的化を支援し、意思決定者の信念を反映した主観的評価の一貫性保持機能を提供する。本機構は、本論文の中心課題であり、3節で論じられる。

図2. CDSSの構成

CDSSにおける意思決定支援過程はCDSSのサブシステムを組み合わせることでより達成される。例えば、主観的評価支援機構は、階層設計支援機構やアウトラインプロセッサ機構で意思決定問題における要素間の関係情報を明らかにすることにより、意思決定者の主観的評価を効果的に支援する。また、主観的評価支援機構と階層設計支援機構を組み合わせることで、主観的評価の感度分析を実現する。本感度分析は、ある要素の主観的評価の変化がどのように結論に影響を与えるかをテストするために用いられる。意思決定者は、本感度分析を通して、意思決定問題に関連して考慮すべき要素を増やしたり、新たな要素間の関係を構築するための情報が得られ、階層設計支援機構において知識（もしくは問題）の効果的な構造化を実現する。

CDSSにおけるサブシステムは、扱う情報（例えば、要素間の関係情報、そして要素に付与される重みや名前等の宣言的情報等）を共通な内部表現形式にしたことにより統合

化され、組み合わせて用いることができる。例えば、関係情報は、ネットワーク管理システムKORE/EDEN[14]により統一的に管理される。関係情報の共用化により、階層設計支援機構による関係情報の操作は、直接的にアウトライン・プロセッサ機構での要素間の構造の変化として伝播することができる。

### 2.1. AHPによる主観的評価

意思決定問題における要素間の優劣は主観的評価から得られる重みの大きさで決定される。ここで用いられる主観的評価手法はAHP[12]に基づく一対比較法であり、9点法が用いられる。9点法は、一対比較値として、1（同じくらい重要を示す）から9（絶対的に重要を示す）までの正整数値を与えるものである。一対比較で得られた主観的数値（重み）は重要度と呼ばれる。重要度は一対比較により得られる一対比較行列[12]をもとに固有値や固有ベクトルを求めることにより解析的に得られる。一対比較行列の要素 $a_{ij}$ は項目 $i$ と項目 $j$ とを一対比較することにより得られる。理論的には、要素 $a_{ij}$ は項目 $i$ の重み $W_i$ と項目 $j$ の重み $W_j$ を用いて $W_i/W_j$ として定義される。要素の重要度は、最大固有値の固有ベクトルの値として得られる。一対比較行列は、(1)対角要素が1、(2)要素の値は $a_{ij}=1/a_{ji}$ （つまり、 $n$ 個の項目に対して $n(n-1)/2$ 回の一対比較を行なう）として定義される。

主観的評価支援機構において、AHPを用いた主な理由は、AHPにおいて主観的評価の整合度を表す指標があることである。この指標は非整合度尺度(I.R.(inconsistencyratio))と呼ばれ、次のように定義される。

$$I.R. = (\lambda_{\max} - n)/(n - 1) \dots (1)$$

ここで、 $\lambda_{\max}$ は先に述べた一対比較行列より得られる最大固有値であり、 $n$ は行列のサイズ（一対比較の要素数）である。理想的な一対比較が行なわれると非整合度尺度I.R.は0になる。もし、この非整合度尺度の値が0.1以下であれば、経験的に、一対比較に整合性が有りと判断できる。非整合度尺度の値が0.1より大きくなった場合には、一対比較に整合性がないことを意味しており、一対比較のやり直しが必要となる。一般に、AHPでは、一対比較のやり直しは、煩わしい比較作業の繰り返しを再度強いることになり、意思決定者にとり大きな負担になる。CDSSでは、このような負担を軽減するために、重み付けの整合性を自動的に保持するための機能を実現する。

### 3. 主観的評価支援機構

主観的評価支援機構は、意思決定問題における要素間の重み付けを一貫性をもって行なうために用いられる。図3は、CDSSのサブシステムの協調による主観的評価の支援過程を示している。主観的評価支援機構は、CDSSの他のサブシステムである階層設計支援機構やアウトライン・プロセッサ機構の関係情報を利用することにより、意思決定者から主観的評価を抽出する。この抽出過程では、AHPに基づく一対比較が行なわれる。例えば、図3において、要素Bと要素Cとの一対比較は、具体的な要素X（要素Bと要素Cよりひとつ上の階層にある）を評価基準として実行される。一対比較の結果は、図3で示すような一対比較行列に格納される。このような、具体的な評価基準の導入は、一対比較の信頼性を向上させるうえで重要であり、多属性効用論[9]等と比較してAHP法の優れている利点となっている。

さらに、一対比較の信頼性を向上させるために、主観的評価支援機構のウィンドウには、各要素の重要度及び非整合性尺度IRの変化を表示するためグラフが表示される。CDSSでは、本グラフを表示するためにHarker法[7]を利用する。Harker法は、未決定の一対比較行列の要素を既知の要素を用いて補間することにより全体の要素間の重要度を求めようとするものである。このグラフを用いることにより、現在行なわれている一対比較が全体の整合性にどのような影響を及ぼすのかをチェックすることができる。

図3. CDSSにおける主観的評価の支援

図4は、主観的評価支援機構において一対比較を実行するための入力ウィンドウの概略を示している。図4の例では、要素BとCの一対比較が行なわれ、9点法を用いて要素Bの方が要素Cに比べ4だけ重要であることをマウスを使って入力している。本入力ウィンドウには、意思決定者の一対比較に対する信念を表すためにふたつのボタン“確定”及び“仮定”がある。例えば、“確定”ボタンを選ぶことにより、入力された一対比較値が確信的（つまり、信頼できる）なものとして扱われる。“仮定”ボタンが選択されると、一対比較値は仮定的（つまり、一時的で不確か）なものとして分類される。仮定的な一対比較値は、一対比較の整合性に問題が生じた際にシステムにより優先的にチェックされ、一貫性の保持のために値が変更される。

図4. 一対比較入力ウィンドウ

主観的評価支援機構は、既に得られた一対比較による仮定的な重み付けを±2の範囲で微調整することにより、重み付けの一貫性を保持する。この微調整の範囲±2は経験的（及び実験的）に得られたものである。これは、ミラーの法則[10]により一度に扱う要素数を最大7つに制限する（3.2節参照）ことにより、もとの一対比較法から得られた結果がそれほど矛盾していないことを前提としている。

### 3.1. ルールに基づく一対比較の実行

一般的に、一対比較の順番は意思決定者に任されており、どの評価基準について一対比較をが終了し、どの評価基準についてまだ一対比較が残されているかを迷うことがあり、そのための工夫が必要となる。CDSSでは、一対比較の順番はルールの実行に関連して動的に管理される。比較順序の動的な管理は、意思決定者を関連した問題に集中させる効果がある。例えば、先に述べたHarkerの方法[7]を利用することにより、いくつかの冗長な一対比較を省いたり、一対比較毎に意思決定者から得られる答え（重み）の整合性を動的にチェックすることができる。ルールは、プロダクションシステムKORE/IEを用いて表現・利用される。

図5は、主観的評価支援機構において一対比較を実現するための基本的なルールの実行過程の概略を示している。

図5. ルールに基づく一対比較の実行

図5の枠で囲まれたシンボルはルール名を表している。ルール“start”はCDSSにおいて一対比較を始める際に必要となる初期設定を行なう。ルール“comparison2”は、2.1節で述べた一対比較行列の対称要素（主対角線に関して対称な位置にある要素）を決定するために用いられ、次のようにルールとして定義される。

”もし、一対比較行列XのR行C列の要素の値がWであり、

C行R列の要素の値が未定ならば、  
そのとき、

C行R列の要素の値を $1/W$ とせよ。”

具体的には、KORE/IEにおいて、ルール"comparison2"は次のように表現される。

```
comparison2: if  matrix_element(name=X, row=R, column=C, weight=(W>0)) &
                  -matrix_element(name=X, row=C, column=R)
                then
                  add(matrix_element(name=X, row=C, column=R, weight= 1/W)).
```

ここで、"comparison2:"はルール名を表す。ルール"comparison2"は2つのLHS(Left Hand Side)パターンとひとつのRHS(right hand side)アクションにより構成される。大文字は、変数を表している。LHSの2つめのシンボル"-"を伴ったパターンは負のLHSパターン（1つめは正のパターン）と呼ばれ、WMにこれとマッチするWM要素がない場合に真となる。LHSパターンは、例で示すように、Prologの項に相当し、そのファンクター名をクラス名とよび、引数としていくつかの"スロット=値" 対で表記されるスロット記述（シンボル"="の左辺をスロット名、右辺をスロット値と呼ぶ）により構成されている。複数のLHSパターンやRHSアクション（ルールのRHSにおけるアクション）はシンボル"&"を用いて区切られる。

ルール"comparison1"は、具体的な一対比較を行なうために用いられる。ルール"comparison1"は次のように記述される。

```
comparison1:
  if  matrix(name=X, status=making, size=S, element=(E > 0))
  then
    modify(1, [element=compute(E-1)]) &
    column_row(S, E, R, C) &
    qa_weight(X, R, C, W, Default) & -
    (Default == assumption,
     add_assumption(matrix_element(name=X, row=R,
                                     column=C, weight=W)))
  ;
  add(matrix_element(name=X, row=R, column=C, weight=W)).
```

ここで、ルールのRHSはPrologのゴールの並びとして解釈される。スロットelementの値である変数Eは、要素番号を表し、一対比較行列において求めるべき要素の場所を表す番号である。RHSにおいて述語column\_rowは行列のサイズSと要素番号Eから求める一対比較行列の要素の場所R行C列を求める。述語qa\_weightは、一対比較行列XのR行C列の一対比較値Wとそれに対する意思決定者の信念Default（つまり確実な値もしくは仮の値（仮定））を得て、その結果をデータベースに保存する（例えば、Prologの述語assertを利用する）。もし、データベースの中に一対比較行列XのR行C列の情報が既にあれば、述語qa\_weightはその値を返す。データベースに保存することにより、将来、一対比較の一貫性保持のためにシステムが後戻りをした後に再度述語qa\_weightが呼ばれた場合（既に決定された一対比較値を参照することにより）、意思決定者が繰り返して一対比較を

することを回避する。RHSにおける4番目のRHSアクションはPrologのOR構造と同様に解釈される。この例では、述語qa\_weightが返す変数Defaultの値がassumptionならば述語add\_assumptionが呼ばれ、さもないと述語addが呼ばれる。述語add\_assumptionは述語qa\_weightから得た一対比較行列XのR行C列の一対比較値Wを仮定的な値としてWM (Working Memory) に追加し、データベースにおけるR行C列の一対比較値W及び信念Defaultを更新する。同様に、述語addは述語qa\_weightから得た情報を確実な値としてWMに追加し、データベースにおけるR行C列の一対比較値及び信念を更新する。

ルール"comparison\_check"は、必要な一対比較が全て終了したかどうかをチェックする。ルール"check"は非整合度尺度I.R.の値を決定するために用いられる。

### 3.2. 要素のグループ分け

ルールに基づく一対比較の動的管理は、意思決定者を関連した問題に集中させる以外に、要素間の独立性やグループ分けのための作業を支援する。一対比較は、グループ分けされた要素間で行われる。一対比較法において、各要素は互いに独立、もしくは独立に近い関係であることが望ましい。なぜなら、従属的な要素を含む一対比較は判断を誤らせる原因となる[13]。そこで、このような従属要素による不都合を避ける手段として、CDSSでは、従属する要素を一つのグループにまとめることを支援する。これにより、従属要素は新たな視点で（つまり、新たな評価基準に従って）独立的に比較することが可能になる。このグループ化は、類似したものどうしをまとめることに相当し、対象とする問題の明確化・構造化を支援するための基本的な情報になる。

類似度を判定する基準として、重要度を用いる。つまり、複数の要素において、全ての評価基準に対して求められる重要度に差がなければ、これら要素は類似しているものとしてグループ化する。要素のグループ化は、具体的に、次のように説明できる。例えば、図6左のグループ2における要素(3)と要素(4)の間に従属関係にあると判定された場合、CDSSは図6右のようなグループ3の階層が新たに作成される。図6右のグループ2の新たな要素名(3-4)（もしくは、キーワード）はグループ3の要素(3)と(4)の新たな評価基準として用いることができる。ここで、重要なことは、意思決定者が新たな要素名(3-4)を決める必要があることである。これにより、知識を構造化するために意思決定者の発想を刺激する。

図6. 要素のグループ化

さらに、同一グループの要素数が7より大きくなる場合もグループ分けされる。これは、意思決定者の一度に扱える適切な数として $7 \pm 2$ が経験的に得られているからである[10]。

## 4. 主観的評価の一貫性保持

図5においてルール"consistency"は、非整合度尺度I.R.の値が0.1よりも大きくなった場合、手続き"contradiction"を起動させる。手続き"contradiction"は矛盾を発見・解消するために用いられる手続きであり、KORE/IEの組み込みの手続きとしてTMS(Truth Maintenance System) [3] に相当する機能を提供する。重み付けに関連したここでの矛盾は、非整合度尺度I.R.の値が0.1よりも大きくなったことである。矛盾の解消は、仮定（ここでは、意

思決定者が指定した”仮定的な一対比較値”)を修正していくことにより、非整合度尺度I.R.の値を0.1よりも小さくすることに相当する。ここで用いられる一貫性保持手続き[18]の概略を示すと図7のように示される。

ここでは新たにステップ1-1が追加されている。ステップ1-1は、矛盾の原因となる仮定をチェックする際の順番を指定するためのものである。ステップ1で得られる仮定のリストLはTMSにおけるnogood-setに相当する。TMSでの矛盾解消手続きでは、nogood-setにおける仮定は任意の順（実際は、TMSノードの依存関係に基づく深さ優先の探索）でチェックされる。一方、本手続きのステップ1-1による特長は、問題に依存して（ステップ1-1で示すように）仮定のチェックの順番を指定できることである。これにより、矛盾を効果的に解消することが可能になる。ここでの効果的な矛盾解消とは効果的に非整合度尺度I.R.の値を小さくすることである。

図7. 矛盾解消手続きの概略

ルール"consistency"は、次のように記述される。

```
consistency:
    if matrix(name=X, inconsistency_ratio > 0.1)
    then
        (contradiction(Assumption, decrease_IR)
        ;
        otherwise(Assumption, decrease_IR, new_weight).
```

ここで、RHSにおける述語"contradiction"は先に述べた手続き"contradiction"に相当する。第1引数は手続きが失敗した際に（図7のステップ2の場合）、検査した仮定のリストを返すために用いられる。第2引数で示した手続きdecrease\_IRは、矛盾を生じさせた仮定（つまり、仮の重み付け）の候補が複数ある場合に、検査する順番を決めるためのものである。手続きdecrease\_IRは、Prologの述語として意思決定者により（アリティが1として）定義され、図7のステップ1-1で用いられる。手続きdecrease\_IRは、リストLの要素をソートするために用いられる。具体的には、手続きdecrease\_IRは、4.1節で述べる重みを修正するために決定される重みの増減の量の大きい順にリストLをソートする。第2引数が指定されない場合は、図7におけるステップ1で得られた仮定リストに並んだ順（つまり、推論連鎖の深さ順）に仮定が検査される。

ルールconsistencyでは、もし手続きcontradictionが矛盾の解消に失敗したら（図7のステップ2の場合）、述語otherwiseが呼ばれる。述語otherwiseは、手続きcontradictionと同様にKORE/IEの組み込みの手続きであり、推論を取り消すことにより矛盾の解消を図るが、一度に複数の仮定を修正する。述語otherwiseにおける第3引数のnew\_weightは、4.1節で示すルール"change\_weight"のRHSで用いられる一対比較値を具体的に変更するための手続き名（述語名）である。具体的には、手続きotherwiseは、手続きdecrease\_IRを用いてソートされた仮定リストAssumptionのリストから複数の仮定を取り出し、これら取り出された仮定を同時に修正することにより矛盾の解決を図る。仮定の取り出し方は、先ず最初は先頭から2つを取り出し（1つの場合は既に手続きcontradictionで検査済みだから）、これら仮定の一対比較値を同時に修正する。もしその結果、矛盾がさらに起これば（非整

合度尺度I.R.値が0.1より大きければ)、仮定リストの先頭から3つの仮定を取り出し、3つの仮定を同時に修正する。最終的には、仮定リストの全ての仮定を同時に修正する。ここでの修正は、手続きcontradictionとは異なり、単に仮定の否定を宣言するのではなく、第3引数で指定した手続きを用いて直接に仮定の内容(ここでは、スロット記述の一对比較値)を更新する。これは、前向き型プロダクションシステムにおいて、同時に仮定を修正するには一回の認識-行動サイクル(すなわち、一回のルールの呼び出し)の間で行なわれる必要があるからである。つまり、手続きotherwiseはルール"change\_weight"の機能も包含していることに相当する。

#### 4.1. AHP理論に基づく一对比較値の修正

矛盾解消手続き"contradiction"では、図7のステップ3で示すように検査対象になった仮定の否定を宣言するのみであり、具体的に一对比較値を修正するための手続きが必要となる。ルール"change\_weight"は、この一对比較値を修正するためのものであり、次のように記述される。

```
change_weight:
  if \matrix_element(name=X, row=R, column=C, weight=W)
  then
    new_weight(W, W2) &
    add(matrix_element(name=X, row=R, column=C, weight=W2).
```

ここで、LHSにおけるパターンは否定パターンと呼ばれ、シンボル"\ "を用いることにより、LHSパターンの否定を表している。但し、否定パターンは負のパターンを意味しているのではなく、単にパターンにおけるスロット記述の情報をシンボル"\ " (前置子として定義されている) で表現しているのにすぎない。例えば、この例での否定パターンは次のよう記述したのと同じである。

```
matrix_element(proof=nil, name=X, row=R, column=C, weight=W)
```

つまり、シンボル"\ "は、このパターンの第1引数のスロット記述である"proof=nil"を表現していることに相当する。

ルール"change\_weight"は、矛盾解消手続きにより、仮定的な一对比較値が否定されることにより活性化され、その否定された一对比較値を具体的に修正するために手続き"new\_weight"を起動する。手続き"new\_weight"は、ルールで示すように、一对比較行列XのR行C列の値Wを値W2に更新するために用いられる。値W2は、3節で述べたように値Wを±2の範囲で微調整することにより得られる。増減の方向は、一对比較行列Xの非整合度尺度I.R.を小さくする方向に決定される。これは、2.1節における式(1)の行列Xの最大固有値を小さくする問題に帰着する。しかしながら、一般にはこの種の問題を効果的に解くことが困難なことから、本システムではAHPで得られる一对比較行列の特徴から、修正のための増減の方向を決定する。

#### 図8. 一对比較値修正のための増減方向の決定

例えば、増減の方向の決定は図8を用いて説明できる。図8では2つ(上と下)の"車の選定"に関連した一对比較行列が示されている。一对比較行列(上)の行列要素で下線のある一对比較値は仮の重み付けを表しており、矢印の方向は修正のための増減の方向、

そして矢印の太さは増減の量を表している。例えば1行4列の要素の一对比較値は仮の値として7が与えられ、一对比較の整合性を保持するために7より小さくする必要があることを示している。増減の量は、太さが2番目の矢印で示されているので中程度の減を行なう必要がある。増減の量は3つの矢印（大、中、小）を用いることにより表現される。

図8の一对比較行列（下）は、以上のような増減を決定するために用いられる情報であり、一对比較行列（上）の各項目に対する重み $W_i$ を用いて求める。一对比較行列（上）においてi行j列の一对比較値 $a_{ij}$ は、項目 $I_i$ の重みと項目 $I_j$ の重みを一对比較して得られた相対的重み付けであり、理想的には $W_i/W_j$ を求めたことに相当する。一对比較行列（下）の $a_{ij}$ 要素は、この $W_i/W_j$ より定義される。このように構成される一对比較行列（下）の最大固有値は項目数 $n$ と等しくなり、式(1)から非整合度尺度 $I.R.$ は0となる。つまり、一对比較行列（下）は理想的な一对比較を行なった場合として見なせる。そこで、この一对比較行列（下）に近付けるように一对比較行列（上）の各要素を修正することにより、非整合度尺度 $I.R.$ の値を効果的に小さくできる。先に述べた、一对比較値を修正するための具体的な増減の数値は以上ようにして決定される。

重みの自動調整は、本節で述べた理想的な一对比較に近付ける方向に行なわれる。ここでの自動調整の妥当性は、基本的には、意思決定者の責任においてチェックする必要がある。しかしながら、経験的に次の3つの理由により、意思決定者にとりかなり妥当な結果が自動的に得られている。第一の理由は、一对比較の一度に比較すべき要素数（最大7つ）を制限したことや要素間の独立性のチェックをすることにより、一对比較から得られる最初の結果がそれほど矛盾していないことにある。第二の理由は、一对比較に意思決定者の信念を反映することにより、自信のない一对比較である仮の値を修正したことにある。第三の理由は、重みの自動修正を±2の範囲に制限したことにより、意思決定者の許容範囲と思われる自動修正結果を得られることにある。

## 5. 本研究の特長

AHPに関連した類似の研究として、スプレッドシートを用いることによりAHPの作業を効率化しているものがある[6]。ここでは、非整合度尺度 $I.R.$ の値が0.1を超えたとき、どの項目間の一对比較が原因となっているかを見いだすことは意思決定者の責任に任されている。この場合、感度分析に相当する手法を用いて非整合度尺度 $I.R.$ の値が小さくなるように一对比較の重みを修正する必要がある。また、一对比較の順番やどの一对比較が終了したか等の一对比較の管理は意思決定者に任される。意思決定の局面で多くの一对比較が必要とされる場合、一对比較の管理は困難になる。

一方、本研究では、一对比較はシステムにより動的に管理され、非整合度尺度 $I.R.$ の値が0.1を超えた場合、その原因がどの項目間の一对比較にあるかを自動的に見だし修正する。自動修正のためにKORE/IEの後戻り機能を用いる。本後戻り機能は、TMS的なメカニズムにより実現する。本アプローチの特長は、3節で述べたように、一对比較に意思決定者の信念を反映できることにある（自信のない一对比較を仮の値とすることができる）。一般に、TMS的な機能を用いる場合、解を得るのための収束性が問題になる。本アプローチでは、チェックすべき要素の数を最大7つに制限したことと、収束すべき上限とし

て4節で挙げた理想的な一対比較行列を用いたことにより、実用的な収束性を実現している。

AHPの数学的な基礎は、AHPをより効果的に改良するための数学的根拠を与えている。最近、AHPの数学的基礎に基づいてAHPを拡張する多くの技法が提案されている[13, 7, 2]。一方、本研究の主目的は、意思決定者の信念やヒューリスティクスも取り入れた主観的評価支援を実現することであり、最近のAHP研究成果をそのための基礎的な枠組みとして利用する。既存の主観的評価に関連した数学的な研究を“かたい”アプローチとすると、本研究は、意思決定者の信念やヒューリスティクスを用いる“やわらかい”アプローチとして特徴づけられる。ルールプログラミングによる本アプローチの利点は、主観的評価に関連した数学的な研究成果をインクリメンタルに組み込むことができ、また、システムの挙動を問題領域に即して柔軟に設計変更できることである。

## 6. おわりに

CDSSはESP（及びProlog）上のKORE/IEを用いてインプリメントされている。KORE/IEはOPS5風のルールプログラミング及び論理プログラミングの環境を提供する。CDSSの主機能は、意思決定問題の複雑さを解消するために考慮すべき要素を階層的に整理し、要素の重要度を明らかにすることである。考慮すべき要素は、CDSSにおける階層設計支援機構やアウトラインプロセッサ機構を用いることにより視覚的に整理される。その際、KJ法などの利用が考えられ、本機構は情報を構造化するための機能を提供する。一対比較法は、意思決定者の主観的評価を簡便に取り入れることができる利点を有している。一方、その重み付けの整合性（すなわち、一対比較の推移律）を成立させるためには、要素間で煩雑な一対比較のやり直しを強いられるのが一般的である。CDSSでは、重み付けの整合性を保存するために、KORE/IEのTMSに基づく後戻り機能を用いた。これにより、矛盾を含む一対比較は調整され、重み付けの整合性は効果的に保持される。

CDSSは、インタビューに基づく知識獲得支援ツール[11]であるMORE[8]、MOLE[3]やETS[1]の枠組み（意思決定者に自分自身が持つ知識を意識させるための機能を追求すること）に類似している。これら知識獲得支援ツールの特徴は、問題領域として分類型のエキスパートシステムを想定し、問題領域に依存した知識の獲得のためのインタビュー戦略を用いることにより、診断型のルールを生成・洗練化することである。一方、CDSSの大きな特徴は、問題領域には依存しないで、対象とする問題を明らかにするために考慮すべき基本的な要素を整理し、これら要素に対する主観的評価を整合的に定量化することにより問題の解決を支援することである。今後の課題は、MORE/MOLE等で実現されている問題領域のモデルを構築・洗練する機能を付加することにより、効率的な知識獲得支援システムを構築することである。

尚、本研究は第5世代コンピュータプロジェクトの一環として行なわれたものである。

## 謝辞

日頃よりご指導頂く当研究所戸田光彦研究員ならびに國藤進研究員に感謝いたします。本研究を進めるに当たり、貴重な御意見を頂いた当研究所片山佳則研究員及び、平石邦彦研究員に深謝いたします。

## 参考文献

- [1] J.H.Boose: "Personal construct theory and the transfer of human expertise", Proc. of AAAI-84, pp.27-33,(1984)
- [2] D.M.DeTurck: "The Approach to Consistency in the Analytic Hierarchy Process", Mathematical Modelling, 9, pp.345-352(1987)
- [3] J.Doyle : "Truth Maintenance System", Artificial Intelligence Vol.12, pp.231-272,(1979)
- [4] L.Eshelman, et al. : "MOLE: A knowledge acquisition tool that uses its head", Proc. of AAAI-86, pp.950-955,(1986)
- [5] C.L.Forgy : "OPS5 User's Manual", CMU-CS-81-135, July,(1981).
- [6] 権藤 他: ロータス1-2-3によるAHPシート, オペレーションズ・リサーチ, Vol.34 No.4, 1989.
- [7] P.T.Harker: "Incomplete pairwise comparisons in the analytic hierarchy process", Math. Modelling, 9, pp.838-848,(1987)
- [8] G.Kahn, et al.: "MORE: An intelligent knowledge acquisition tool", Proc. of IJCAI-85, 1, pp.581-584,(1985)
- [9] R.L.Keeney and H.Raiffa: "Decision with Multiple Objectives: Preference and Value Tradeoffs", John Wiley, New York(1976)
- [10] G.A.Miller: "The Magical Number, Seven, Plus or Minus Two: Some Limitations on our Capacity for Processing Information", Psychology Review, 63, 81-97(1956)
- [11] 溝口, 角所: 知識獲得支援システム, 人工知能学会誌, Vol.3, No.6, pp.732-740,(1988)
- [12] T.L.Saaty: The Analytic Hierarchy Process, McGraw Hill,(1980)
- [13] T.L.Saaty and M.Takizawa: "Dependence and Independence: From Linear Hierarchies to Non-linear Networks", European Journal of Operational Research, 26, pp.229-237(1986)
- [14] 新谷, 片山, 平石: 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32回全国大会, 5L-9,(1986)
- [15] 新谷: 推論エンジンKORE/IE - 反駁メカニズムに基づく高速な推論エンジン -, Proc. LPC'87, pp.233-242,(1987)
- [16] T.Shintani: "A Fast Prolog-Based Production System KORE/IE", Logic Programming: Proceedings of the Fifth International Conference and Symposium (edited by R.A.Kowalski and K.A.Bowen), MIT Press, pp.26-41,(1988)
- [17] 新谷: 問題解決支援機構KORE/CDSSにおける知識の構造化, 情報37回全国大会, 2J-5(1988)
- [18] T.Shintani: "An Approach to Nonmonotonic Inference Mechanism in Production System KORE/IE", LNAI 383, Logic Programming'88, Springer-Verlag, pp.38-52(1989).
- [19] K.Sugiyama and M.Toda: "Visual Q-Analysis (I) and (II), Cybernetics and Systems 14, Nr.2, pp.185-251(1983)

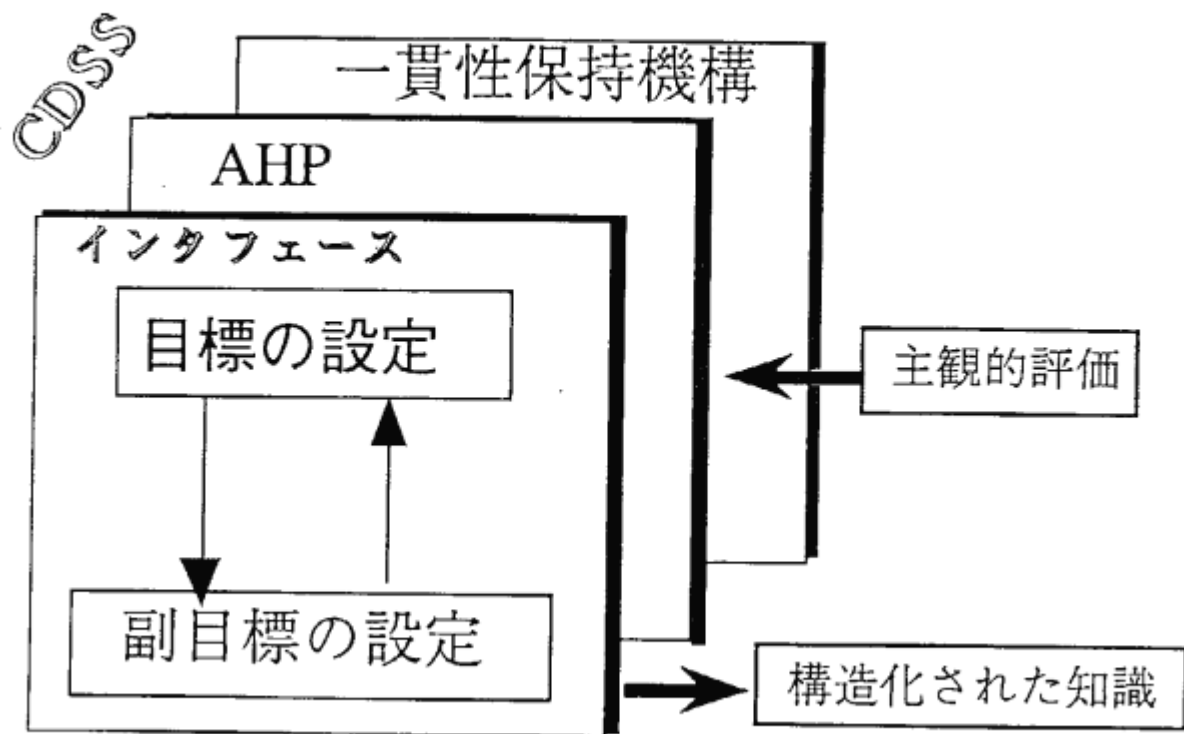


図1. 主観的評価を用いた問題解決支援過程

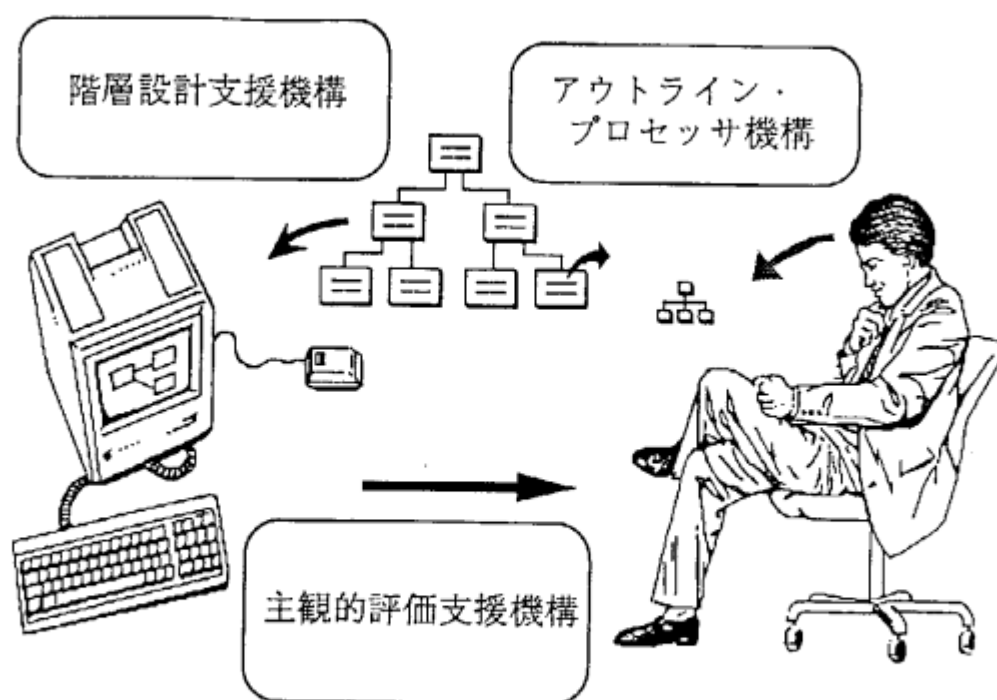


図2. CDSSの構成

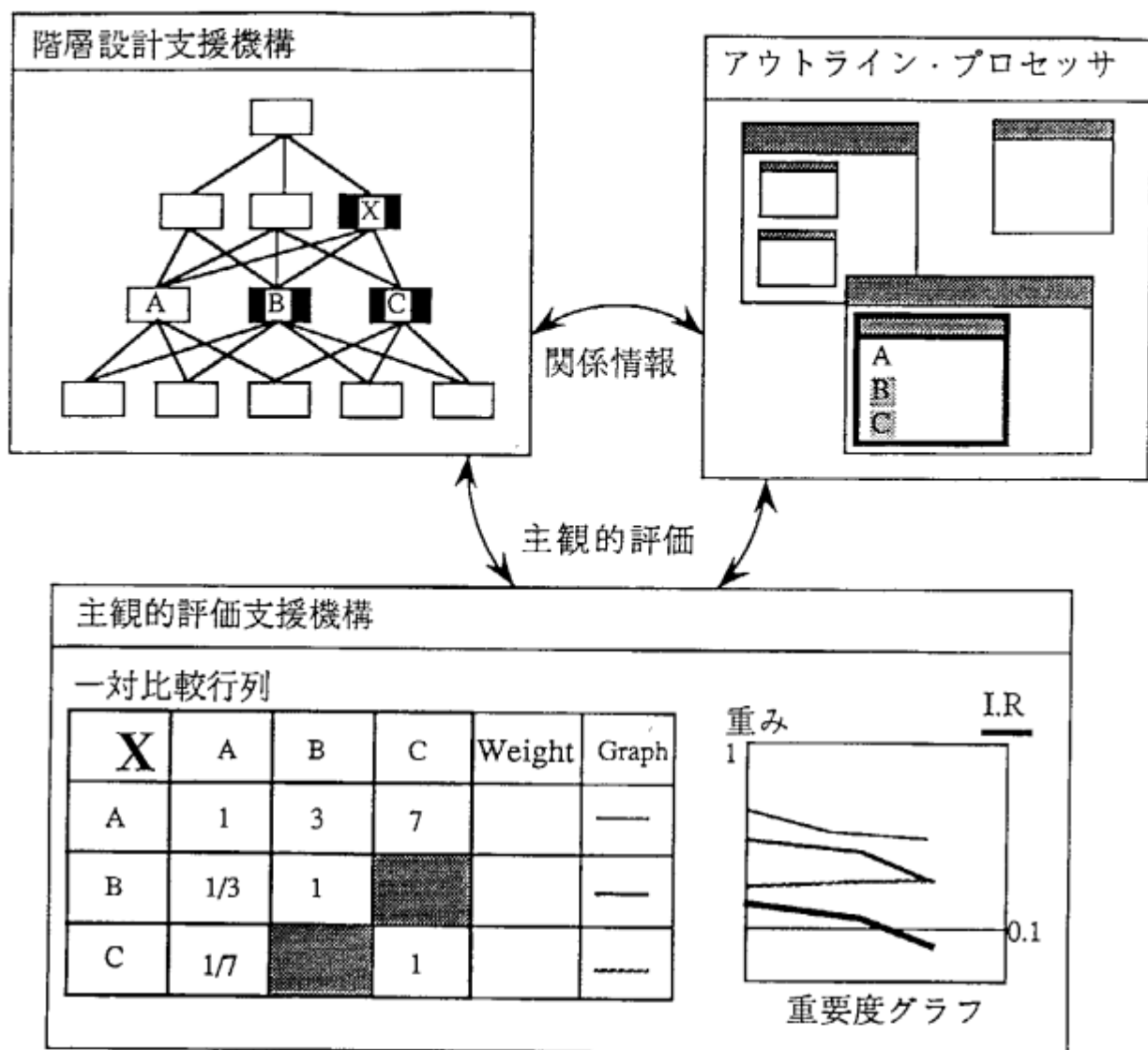


図 3. CDSSにおける主観的評価の支援

# 一対比較ウィンドウ

**X**

仮定
確定
完了

B

9

7

5

3

1

3

5

7

9

C

絶対的重要

重要

同じ

重要

絶対的重要

## 一対比較行列

4

| X | A   | B   | C | Weight | Graph |
|---|-----|-----|---|--------|-------|
| A | 1   | 3   | 7 |        | —     |
| B | 1/3 | 1   |   |        | —     |
| C | 1/7 | 1/4 | 1 |        | —     |

図4. 一対比較入力ウィンドウ

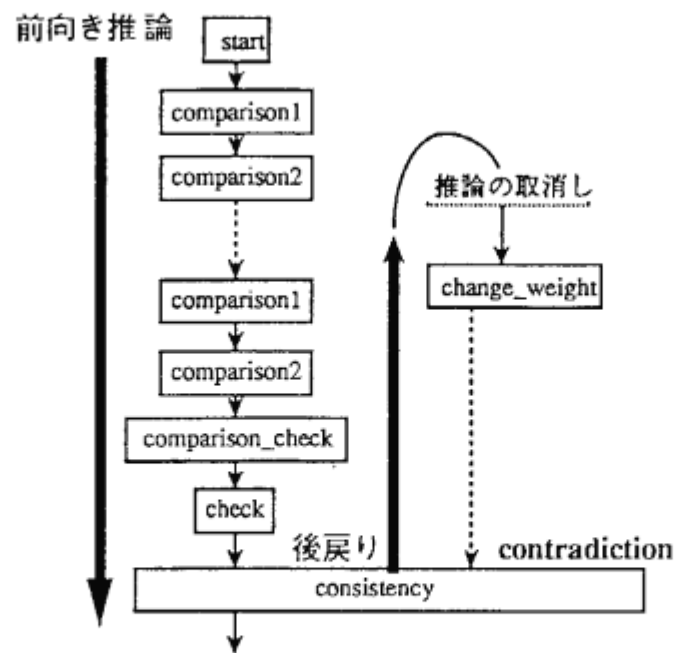


図5. ルールに基づく一対比較の実行

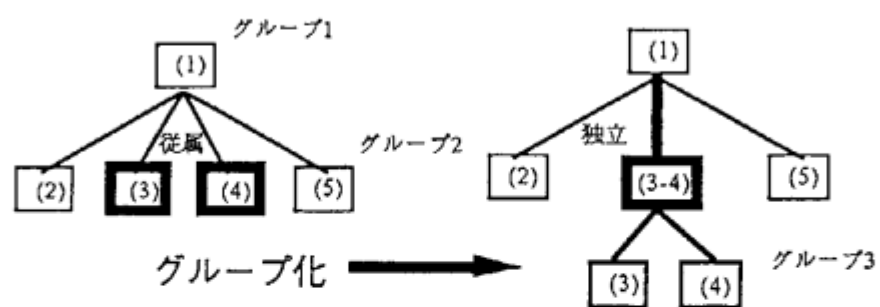


図6. 要素のグループ化

ステップ1：矛盾を導き出した推論連鎖において，矛盾の原因となる仮定のリスト $L$ を求める．そして，ステップ1-1へ行く．

ステップ1-1：リスト $L$ を指定された手続きでソートする．そして，ステップ2へ行く．

ステップ2：もし，リスト $L$ が空リストなら，矛盾解消手続きは失敗となり，手続きを終了する．さもないければ，ステップ3へ行く．

ステップ3：リスト $L$ の先頭の仮定 $L_{\text{head}}$ （つまり， $L=[L_{\text{head}} \mid L_{\text{tail}}]$ ）がある推論ステップまで（推論連鎖をたどって）推論サイクルを戻し，仮定 $L_{\text{head}}$ の否定を宣言する．そして，ステップ4へ行く．

ステップ4：もし，ステップ3の処理後の新たな推論連鎖の結果，矛盾が発生したなら，ステップ3の宣言を無効にして， $L=L_{\text{tail}}$ としてステップ2へ行く．そうでなければ，ステップ5へ行く．

ステップ5：矛盾解消手続きは成功し，手続きを終了する．

#### 図7．矛盾解消手続きの概略

一対比較行列(上)

|      |    | 価格  | 燃費  | 乗り心地 | 排気量 |
|------|----|-----|-----|------|-----|
| 価格   | W1 | 1   | ↑ 3 | 5    | ↓ 7 |
| 燃費   | W2 | 1/3 | 1   | 5    | 7   |
| 乗り心地 | W3 | 1/5 | 1/5 | 1    | ↑ 3 |
| 排気量  | W4 | 1/7 | 1/7 | 1/3  | 1   |

理想評価:  $a_{ij} = W_i/W_j$

一対比較行列(下)

|      |    | 価格      | 燃費      | 乗り心地    | 排気量     |
|------|----|---------|---------|---------|---------|
| 価格   | W1 | 1       | $W1/W2$ | $W1/W3$ | $W1/W4$ |
| 燃費   | W2 | $W2/W1$ | 1       | $W2/W3$ | $W2/W4$ |
| 乗り心地 | W3 | $W3/W1$ | $W3/W2$ | 1       | $W3/W4$ |
| 排気量  | W4 | $W4/W1$ | $W4/W2$ | $W4/W3$ | 1       |

比較

図 8. 一対比較値修正のための増減方向の決定