

社会基盤整備計画のためのISM-AHP連動化支援システムの開発*

Development of The Support System for Infrastructure Planning
by Linking ISM and AHP

竹村 哲**, 木保 昇***, 磯村隆司****

By Akira TAKEMURA, Noboru KIMATA, Takashi ISOMURA

There are two kinds of tasks to evaluate infrastructure planning alternatives. The first task is to develop a clear structural model of evaluation and the second is to transfer the model into a numerical one. For the former, we can use ISM method proposed by J.N.Warfield and for the latter AHP method by T.L.Saaty is most suitable. In this paper, we present a support system in which those methods mentioned above are linked together by using a new concept named as weighted skeleton matrix. We also show an evaluation of a regional road plan.

1. まえがき

地方の時代といわれて久しい、しかし、真に地方の時代を迎えるには、計画的な社会基盤整備による個性的で独自性をもつ地域環境の創造とそれを可能にする行政、住民の計画能力の向上化が要請される。

例えば、道路整備計画の作成については、リゾート、学園都市、港湾都市といった各地域で特徴を有し、それを評価に活かした整備計画の実施が求められているのである。しかし、そのためには多くの意見を反映する必要があるものの、担当専門家の不足と地域住民の意見を反映する手立ての難しさからその実現は難しい。

この課題にたいして、問題の評価構造図をもとに計画案を評価する方法が考えられる。評価構造を外

部化することで、問題が明確になり、また、共通の土俵として多くの参加のもとでの合意形成に有効であるからである。この方法で代表的なものに、サティー(Saaty, T.L.)の、AHP法がある¹⁾。しかし、この中では、問題の評価構造の作成のための支援については、あまり議論されていない。一方、著者らは、すでに問題の評価構造図の作成支援をISM法²⁾を基礎としたマルチウインドウ化システムによっておこなってきた³⁾。

そこで、本論では、整備計画案を順位付けするためのISM法とAHP法を連動化した支援システムの開発を中心に報告する。2章では、整備計画案の順位付けに必要なISM法とAHP法の要件について検討し、連動化アルゴリズムについて述べる。3章では、それを実体化したシステムの概要と運用について説明し、4章の事例研究により社会基盤整備計画にむけてのシステムの実行可能性について検討する。具体的には、道路整備計画問題を取り上げ、支援システムによって地域別の代替案評価ができる

*キーワード: 社会基盤整備計画, ISM法, AHP法, 隣接ウエイト行列

**正会員 博士(工学) 星陵女子短期大学講師
(〒920 金沢市御所西1)

***正会員 工博 金沢大学教授 工学部基礎工学教室
(〒920 金沢市小立野2-40-20)

****学生会員 金沢大学大学院 工学研究科専攻
(同上)

ことを示す。5章では、まとめと今後の課題について述べる。

2. 計画案順位付けのためのISM-AHP連動化

(1) 整備計画案の順位付けプロセス

整備計画案を順位付けするためには、ISM法の支援のもとで問題を構造化し、AHP法の支援により順位付けを数値化することが有効である。そこで、本節では、連動化の対象となるISM法とAHP法の基本的概要を述べる。

a) ISM法による評価の構造化

ISM法は、図1に示すようなプロセスで構成されている。このプロセスに沿って、ISM法の基本概念と特徴について述べる。まず、対象として認識している問題に対して、ブレインストーミングなどによって、関連する要素が抽出される。それらの要素の集まりを要素集合Sとする：

$$S = \{s_k\} \quad (k = 1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

次に、これらの要素間の関係の有無を検討するために、現在着目している問題について要素間の関係を表す言葉、例えば、「規定される」「支援される」「影響を受ける」などといった「関係詞」を設定する。その関係詞をもとに $s_i, s_j \in S$ に対して、一対比較を行い、例えば、 s_i が s_j に「規定される」、あるいは「影響を与える」と判断すれば、 d_{ij} に1を入れ、そうでないと判断すれば、 d_{ij} に0を入れる。

その結果、集合Sの要素を行、列とする $n \times n$ の「関係データ行列」Dが作成される：

$$D = (d_{ij}) \quad (i, j = 1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

Dの ij 項目 d_{ij} には、この段階では、要素間の直接の関係も間接的關係も区別されずに含まれているISM法の根幹は、この「関係行列」を要素間の直接の關係のみを示す「骨格行列」に変換し、問題認識を「階層構造図」として外部化するアルゴリズムにある。

例えば、道路整備問題を対象とした時、表1に示すように27個の要素が抽出されたとする。そしてこれらの要素間の一対比較結果による「関係データ行列」は、ISM法のアルゴリズム⁴⁾によって図2の骨格行列に変換される。図3は、この行列をもとに作成される「階層構造図」である。

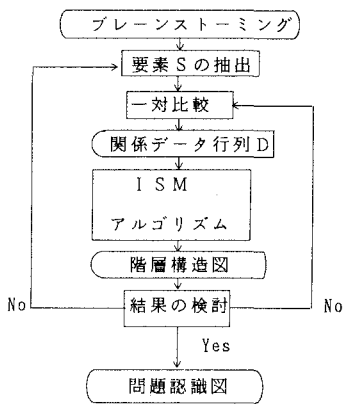


図-1 ISM法のプロセス

表-1 要素表

No.	要素名	No.	要素名	No.	要素名
1	道路整備方針	10	観光拠点	19	加ジェト支援
2	空港、ターミナル	11	広域ネットワーク	20	主要都市間連絡
3	ボトルネック解消	12	産業（工業）地域	21	港湾
4	都市（商業）地域	13	住宅、工業団地造成	22	文化、リゾート施設建設
5	学園都市建設（移転）	14	一時的渋滞	23	高規格道路設計
6	過疎、地域活性化対策	15	交通需要量	24	定住化促進、集客性
7	経済的波及効果	16	文化、リゾート施設	25	上級幹線道路
8	定期的渋滞	17	信頼性向上	26	空港、ターミナル建設
9	幹線整備	18	災害対策	27	ネット、アクセス強化

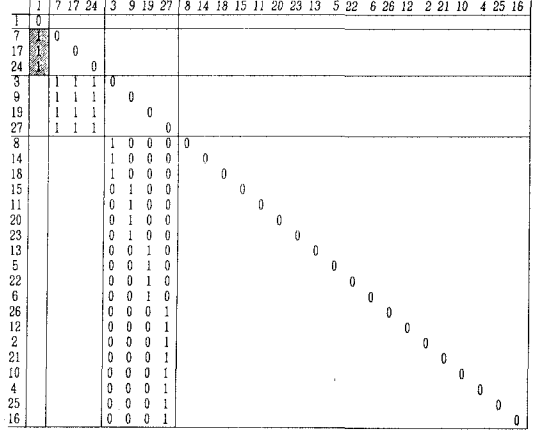


図-2 骨格行列

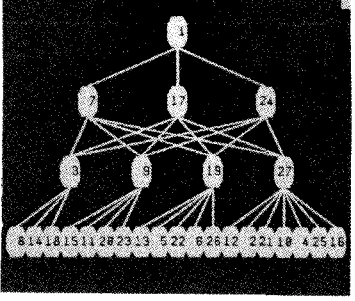


図-3 階層構造図

b) AHP法による評価の数値化

AHP法の基本プロセスは、図4のようになっている。「階層構造図」のレベル1にある要素1を、まず親要素として、この図のレベル2の要素間の一対比較がなされる。具体的には、親要素の視点から見て、レベル2にある二つの要素に対して、「要素iは要素jに対してどの程度重要か」を表2のような意味で一対比較する。その結果を、この表の一対比較値を用いて、 a_{ij} に設定する。「一対比較行列」は、この値を用いて、

$$A_k = (a_{ij}) \quad (3)$$

k : 親要素, i, j : レベル2の要素
として定められる。ここで、 $a_{ji} = 1 / a_{ij}$ である。

AHP法では、この行列は一対比較が正確になされていれば、要素i, jの個別ウエイト v_i, v_j を用いて、

$$a_{ji} = v_i / v_j \quad (4)$$

となるとし、巾乗法により、この a_{ij} から逆に v_i ,

v_j を推定している。しかし、一般には、この仮定は常に成立するとは限らない。そこで、 a_{ij} をもとに v_i, v_j 推定することの妥当性の根拠が必要となる。AHP法では、CI (Consistency index), CR (Consistency ratio) をその指標として使用することが提言されている。次に、図4の「各レベルの個別ウエイトの合成」は、上述で求められた各親要素に対する子要素間の重要度をもとに、2レベル毎に合成している。いま、レベルuとレベルu+1でウエイト合成を行う時、レベルuの要素jの重要度を w^u_j とする。また、親要素jに関するレベルu+1の子要素mの重要度を v_{mj} とすると、レベルu+1の要素mの合成重要度 w^{u+1}_m は次式で求めることができる。

$$w^{u+1}_m = \sum_{j=1}^{k_u} w^u_j \cdot v_{mj} \quad (5)$$

(2) 連動化の基本アルゴリズム

連動化のために2つ支援を考えた。一つは一対比較の管理のため、もう一つはフィードバックのための支援である。一対比較の管理との関係で言えば、図4の「親要素の選択」によって一対比較すべき要素が、階層構造図をもとに提示できるようにしておくのが望ましい。フィードバック関連でも、どこへフィードバックするかを指示すれば、それに応じた修正、一対比較作業が可能なような支援が望ましい。以下そのためのアルゴリズムについて説明する。

階層構造図としては、前項でも使用した図3を、まず想定する。いま、親要素として、この階層構造図のレベル1にある①(道路整備方針)を指定すると、子要素は、この①と連結しているレベル2にある⑦(経済的波及効果)、⑩(信頼性向上)、⑭(定住化促進、集客性)となる。連動化とは、このような要素間の親子関係、子同士関係をシステムが管理し、必要に応じて提供できるようにすることであるといえよう。

いまの例の場合には、上述した管理すべき情報は、この骨格行列図(図2)の網掛けした部分にある。即ち、この列で1となっている行を見れば、⑦、⑩、⑭の子要素が抽出できる。そこで、この骨格行列を活用して、このような情報を抽出し、これを基に自動的に、AHP法で一対比較を行う前までを連動さ

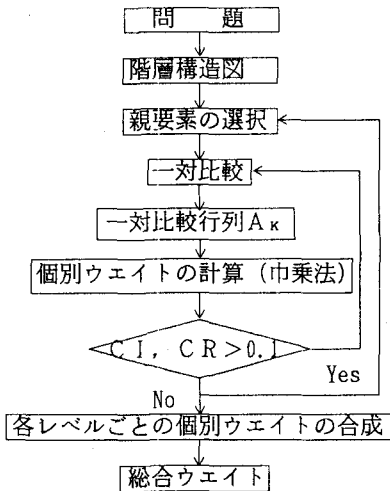


図-4 AHP法のプロセス

表-2 一対比較値の意味

一対比較値	意味
1	i は j と 同じくらい重要 :Equal
3	i は j より 若干 重要 :Weak
5	i は j より 重要 :Strong
7	i は j より かなり 重要 :Demonstrated
9	i は j より 絶対的に 重要 :Absolute
2, 4, 6, 8	補完的意味合い
逆数	j は i より と i と j が逆の意味合い

せたアルゴリズムを考えた。それが図5の(a)の部分に示すアルゴリズムである。

ここで

- $N_{u, u+1}$: レベル u と $u+1$ の隣接従属行列
- k_u : u レベルの要素数
- k_{u+1} : $u+1$ レベルの要素数
- $S_{(u), j}$: レベル u の要素で j 番目の要素
- $S_{(u+1), m}$: レベル $u+1$ の要素で m 番目の要素
- $A(S_{(u), j})$: レベル u の要素で j 番目の要素の先行集合
- H_m : 1 個よりなる集合 $\{S_{(u+1), m}\}$ と $A(S_{(u), j})$ の共通集合
- $S'_{(u+1), a}$: AHP法で一対比較される a 番目の要素
- $V_{(u+1), a}$: AHP法で一対比較される a 番目の要素のウェイト
- V_{ij} : 隣接行列 $N_{u, u+1}$ の i 行 j 列の値

とする。

この部分では、まず親要素を指定し、これに連結した $(u+1)$ レベルにある子要素を抽出する。具体的には、 $N_{u, u+1} = (V_{ij})$ を所与として、 j の指定をする。これは、レベル u の j 番目の要素 $S_{(u), j}$ を親要素として指定することを意味している。これを指定すると、その先行集合 $A(S_{(u), j})$ が定まる。これとレベル $(u+1)$ の要素 1 個よりなる集合 $\{S_{(u+1), m}\}$ の共通集合を取り、それを H_m とする。この H_m は、 $\{S_{(u+1), m}\}$ か ϕ のいずれかである。従って、 $H_m \neq \phi$ ならば、 $S_{(u+1), m}$ は親要素 $S_{(u), j}$ の先行要素であり、結線されていることになる。そこで、この親要素指定で一対比較されるべき要素として、 $S'_{(u+1), a} = S_{(u+1), m}$ として、この要素を登録することになる。また、この数をカウントアップして、この一対比較行列のサイズを MAX として記憶させる。

AHP法では、この要素間の一対比較がなされ、個別ウェイト $V_{(u+1), a}$ が計算されることになる。

図5の(b)では、求められた個別ウェイトの合成管理のために、個別ウェイトを隣接従属行列と同じ形で、 $N_{u, u+1}$ の行列値を $V_{m, j} = V_{(u+1), a}$ と

して登録する。途中のアルゴリズムは、上述の(a)のアルゴリズムを逆方向に進めた形となっている。このように、全ての j を指定することによって、

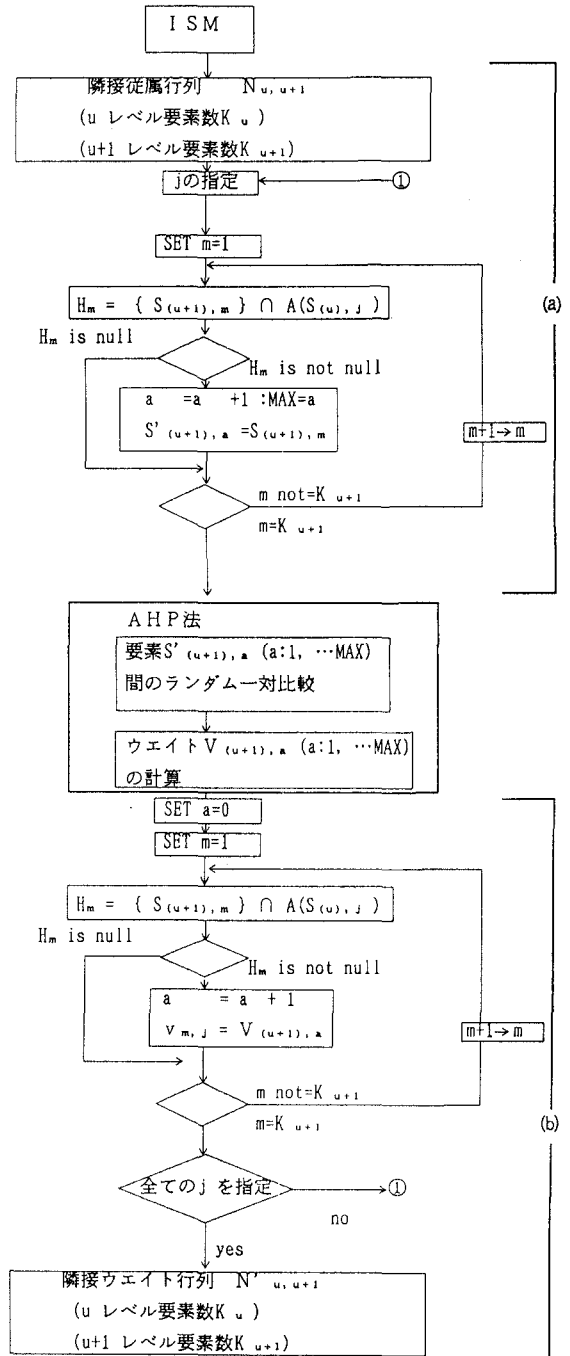


図-5 一対比較連動化アルゴリズム

[illegible]

```

graph TD
    Start([ ]) --> U[u = 2]
    U --> W[uレベルの総合ウエイト w_j^u  
(j=1, ..., K_u)]
    W --> M[SET m=1]
    M --> J[SET j=1]
    J --> Calc["w_m^{u+1} = w_m^{u+1} + (w_j^u × v_{m,j})"]
    Calc --> J1{j+1 → j}
    J1 --> J
    J1 --> D1{j not=K_u  
m not=K_{u+1}}
    D1 --> D2{ }
    D2 --> Wnext["u+1レベルの総合ウエイト w_m^{u+1}  
(u+1レベル要素数 K_{u+1})"]
    Wnext --> Uplus{u+1 = 総レベル数}
    Uplus -- no --> J
    Uplus -- yes --> End([終了])

```

(イ)にあるメニューが表示される。図4のAHP法基本プロセスに対応させれば、「問題」から「階層構造図」へのプロセスを行うか、あるいは「階層構造図」から「一対比較」に連動するプロセスを行うかに対応する。前者の[ISM]の詳細については、文献〔3〕で述べている。ここでは、図3を用い、後者の本システムの連動性について説明する。各要素間の一対比較を行うために、ウインドウ(イ)の[AHP]を選択したする。すると、ウインドウ(ロ)の画面が表示される。3つの選択肢からなるウインドウが表示される。[Comparisons]は、図4の「親要素の指定」から「個別ウエイトの計算」までを行う。[Total weights]は図4の「各レベルごとの個別ウエイトの合成」と「総合ウエイト」までを行う。まず[Comparisons]をマウスで選択し、階層構造図のどの要素を着目して一対比較を行うかの入力を行う。ここでは、「1」が入力されている。ウインドウ(ハ)には、指定した階層構造図が表示されている。ここで親要素として指定した「1」はそれを明示するために四角形で表示され、それ以外の各要素番号は八角形で表示されている。下方のウインドウ(ニ)には、一対比較画面が表示されている。着目要素が「道路整備方針」(①)であり、これに関して、2つの要素⑩「信頼性向上」と⑦「経済的波及効果」の比較を求める画面が表示されている。この2要素は、一対比較の対象となる{⑦, ⑩}

④} からランダムに選ばれている。これに対し、主体は、「信頼性向上」の方が重要であると考えそのウインドウをマウスでクリックしている。”>”の印は「信頼性向上」のウインドウの左に表示されている。次に、相対重要度を判断し,”XXX”の位置[Weak]としていることが判る。さらに「定住化促進, 集客性」と「信頼性向上」について, 「定住化促進, 集客性」と「経済的波及効果」についても同様に, 比較画面が表示され, これに対して判断を入力する。

図9では、この一対比較行列をもとに、計算された結果が右ウインドウに表示されている。上部では [Pair comparison Matrix] と見出しを付けて一対比較行列を表示している。この行、列の番号は、子要素の階層構造図上の左からの連番であり、この場合1が要素⑦を2が要素⑪を3が要素⑭を意味している。次の [Weight] には、求められた各要素の重要度が表示され、[Weighted skelton matrix] にはレベル1とレベル2の”隣接ウエイト行列”が表示されている。そして [Consistency index and ratio] には、この一対比較の整合性を判断する指標であるCIとCRの値が表示されている。これらの値がその基準0.1 以上ならば、再度同じ親要素の

もとで前回の結果を参照しながら一対比較を行なうことになる。この例では、CI、CRが0.1 以上である。これに対し、図10では再考を行っている。一対比較ウインドウの”XXX”の値は、前回の比較で求められたウエイトの値、すなわち図11の [Weight] の値である0.22と0.65をもとに(4)式に従って算出されたものである。これを参考にして必要な変更入力を行っていくことになる。

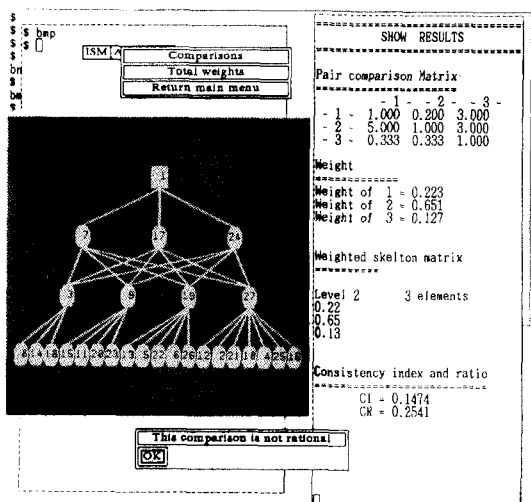


図-9 計算結果の出力画面

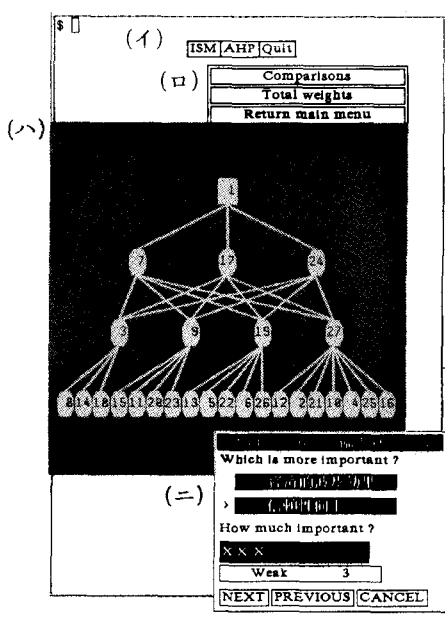


図-8 一対比較画面

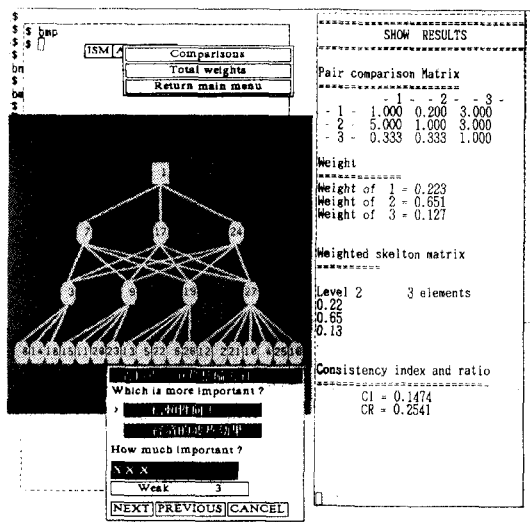


図-10 再一対比較画面

また、この結果を見て特に問題がないと判断すれば、同様に別の親要素の指定を行い、一対比較を行っていくことになる。本システムでは、一対比較が終わる毎に、その時の着目要素番号の表示色が、最初のグリーンから白に変わっている。これにより、一対比較が済か未かが、途中でも簡単に識別できる。

以上のようにして、要素の一対比較とフィードバックを繰り返し、各レベルにある個別ウエイトを求め、全ての要素番号のノードの色が白になっていることを確認したうえで、図8のウインドウ（ロ）の「Total weight」をマウスでクリックした後総合ウエイトを求めるレベルの指定を行う。その結果、瞬時にして図11に示すように、ウインドウに指定レベルまでの総合ウエイトが表示される。ここでは、3レベルまでを指定しているの、レベル2の要素⑦、⑩、⑭間のウエイト、そしてレベル3の要素③、⑨、⑬、⑯間のウエイトが表示される。この結果を見て、納得のいくものであるなら、システムを終了させる。

このように、マルチウインドウとマウスの多用、階層構造図と一対比較画面の活用により、容易に、階層構造図で進行状態を管理しながら一対比較がおこなえ、結果も自動的に表示され、フィードバックが自由に行うことができることに、本連動システムの大きな特徴がある。

4. 適用事例

本章では、道路整備計画を取り上げ、開発したシステムの適用を通して、地域別評価に対する支援の有効性の検討を行う。実際の各地域の、道路整備計画では、その特色を活かしたキャッチフレーズと重点項目をたて、そのもとで道路の整備順序を決定し、年度毎の計画をたてている。しかし、キャッチフレーズがどう道路整備の順位づけに反映しているのかについては、十分な理解を得ることが難しい。

そこで、本システムを用い、まず共通の叩き台となる問題の評価構造図の作成を、文献〔3〕のシステムを用いて行った。その結果が、前掲の表1と図3である。この図より、第1レベルが“整備方針”、第2レベル要素が“整備目的”、第3レベル要素が“道路特性”を表し、第4レベル要素は“特性の定義”であると解釈できる。

次に、地域性を反映してかつ、この評価構造図をもとに代替案評価を数値的に表現するために、ある地域を対象として、本研究室で連動化システムを適用し、第3レベルまでの評価を行った。その結果が図11に示されている。対象とした地域は、山間の地域で特別な産業はない。また冬には積雪が多く、温泉やスキー場といった施設を設けて、その観光収入を糧としている実情がある。確かに評価の結果も、第2レベルの目的では、⑭「定住化促進、集客性」を、また第3レベルでは、施設への道を確保するための⑯「ネット、アクセス強化」を最も重視しており、この地域性を反映していることが分かる。

次に、この相対重要度係数をもとに、道路の順位付けをするために、評価構造図の第4レベルの“特性の定義”を活用して道路整備の該当度を示す基準（ランク）を設けた。つまり、各第3レベルの“道路特性”毎に、それに属する第4レベルの該当要素が2つ以上あれば、その道路のその“道路特性”についてはランクを2とし、該当が1つならランク1、該当がなければランク0とした。

さらに、その結果と図11のウエイトをもとに地域内の11本の道路に対し点数化を行った。これは、各道路の4つの

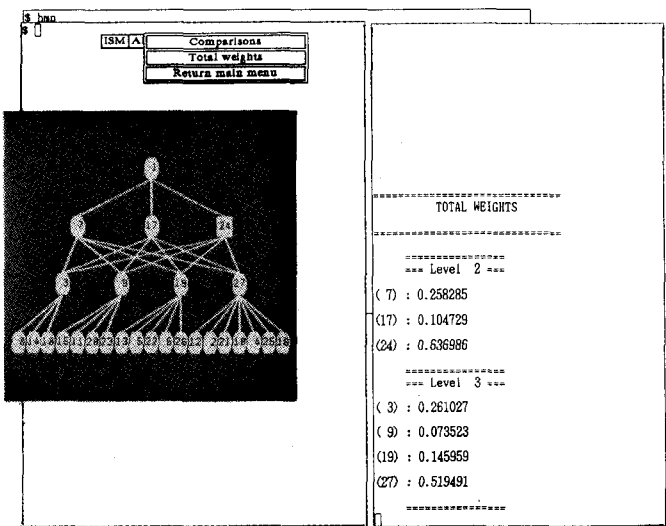


図-11 レベル2,3の相対重要度係数出力画面

要因のランク値に相対重要度係数を掛け合わせ、その結果を加えることによって求めた。そして、道路の整備順序は、点数の降順とした。その結果を表3に示す。

この順位付けは、本研究室での提案であるが、これによって本システムを用いて、問題認識と連動したかたちで独自の計画案を提案できることが示せたといえよう。

5. あとがき

本稿では、個性的で独創的な社会基盤整備計画作成において、地域住民や担当者の計画能力の向上化を計るために、ISMとAHPを連動した計画代替案順位付け支援システムの作成を試みた。

すなわちAHP法での一対比較を自動化・管理化するために、ISM法で作成される骨格行列を活用するアルゴリズムを開発し実体化した。そして、適用事例では、道路整備計画にこのシステムが機能し、よって各地域で説明力のある計画が作成できうることを示した。

しかし、実用化のためには多くの課題がある。

まず、第1に、不完全な構造図で評価できるのか、評価構造のどのレベルで評価すべきか、道路のランク付けは適当かといった連動化システムによるAHP法の信頼性に関する疑問がある。

第2に、問題の構造化や評価は、誰がするのかといった実証的研究を行う必要がある。

第3に、地域別に評価した結果を地図上に反映することで、計画代替案の進行イメージをもとに全体的な計画へのフィードバックに役立つシステムを考えていくという課題がある。

今後、これらの課題に対して、さらに研究を進めていかなければならない。

参考文献

- 1) Saaty, T.L.: The Analytic Hierarchy Process, McGraw-Hill, 1980.
- 2) Warfield, J.N.: Toward Interpretation of Complex Structural Models, IEEE.SMC-4, No.5, 405-417, 1974.
- 3) 木俣昇, 竹村哲: 問題認識のためのマルチウインドウ型支援システムの開発, 土木学会論文集, No. 449, IV-17, 203-212, 1992.
- 4) Warfield, J.N.: Crossing theory and hierarchy mapping, IEEE.SMC-7, No.7, 505-523, 1977.
- 5) Saaty, T.L.: A scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures, JOURNAL OF MATHEMATICAL PSYCHOLOGY, 15, 234-281, 1979.
- 6) 野村淳二, 沢田一哉: ワークステーションの機種選定, AHP事例集, 日科技連, 37-47, 1990.
- 7) 福島 徹, 坂井 信行: 対話型システムにおける代替案評価モデル, 土木計画学研究・論文集, No. 8, 289-296, 1990.
- 8) 寺野 隆雄: ダムゲート診断エキスパートシステムとAHP: オペレーションズリサーチ, Vol.31, No.8, 500-504, 1986.

表-3 道路整備順位付けの提案

表対上 路線名、系統 (整備延長)		③幹線 0.261027	②幹線整備 0.073523	①カシゲ 0.145959	④ネット、アセス 0.519491	道路 E.点数	整備 順位
国道 157 号 (0.97km)	ランク	1	2	1	2		
	点数	0.261027	0.147046	0.145959	1.038982	1.5930	3
白川小松 線 (4.00km)	ランク	1	1	1	2		
	点数	0.261027	0.073523	0.145959	1.038982	1.5195	4
小松金丸 線 (0.25km)	ランク	1	1	0	2		
	点数	0.261027	0.073523	0.000000	1.038982	1.3735	7
金丸金丸 線 (0.38km)	ランク	1	2	0	1		
	点数	0.261027	0.147046	0.000000	0.519491	0.9276	10
道法寺源兵衛 美川線(1.45)	ランク	1	2	0	2		
	点数	0.261027	0.147046	0.000000	1.038982	1.4471	5
阿手尾小豆 線 (0.46km)	ランク	2	1	0	2		
	点数	0.522054	0.073523	0.000000	1.038982	1.6346	2
木曾釜清水 線 (1.60km)	ランク	2	1	0	1		
	点数	0.522054	0.073523	0.000000	0.519491	1.1151	9
内田口直海 線 (0.50km)	ランク	1	1	0	1		
	点数	0.261027	0.073523	0.000000	0.519491	0.8540	11
白山公園 線 (6.98km)	ランク	1	1	0	2		
	点数	0.261027	0.073523	0.000000	1.038982	1.3735	7
岩田町神野 線 (1.75km)	ランク	2	1	1	2		
	点数	0.522054	0.073523	0.145959	1.038982	1.7805	1
小松島越金丸 線 (4.89km)	ランク	1	2	0	2		
	点数	0.261027	0.147046	0.000000	1.038982	1.4471	5