

金沢大学 正会員 木俣 昇
金沢大学 学生員 石橋 聡

1. まえがき

土木計画の分野では、出来るだけ多くの要素、側面を考慮して、代替案ないしは対象の順位を総合的に評価することが求められる問題が数多くある。道路や河川の整備順位や、道路の除排雪順位の決定、あるいは避難路の安全性の評価などがそれである。これらの問題に対しては、われわれ人間が持つとされる総合的判断力を活用することが望ましい。それは、また、近年の参加型社会の進展を背景とする社会的要請でもあるだろう。

人間の直観的な判断力には、確かに総合的な把握力がある。しかし、また、先入観や思い込みによるバイアスや、主観性やし意性による不安定性があるのも事実である。従って、人間の総合的判断力を真に生かすには、主観的判断を何等かの形で外部化し、批判的検討を加えることにより、バイアスや不安定性を除去するためのフィードバック過程を、出来るだけ多く繰り返すことが必須条件となる。それには、この過程を分析し、適切な支援を行なう、迅速で使いやすい支援システムを開発する必要がある。

このような方向の研究としては、1)マトリックス法、2)ファジィ法、3)ISM法、4)AHP法などの活用が提案されてきている。著者らは、それらの中でも、特にISM法の持つ操作性、外部化能力に着目し、ISM法による支援を主とする主観的、総合的順位評価システムの開発を試みてきた。そして、大震時避難路の安全性順位[1]や、道路の除排雪順位[2]の評価に適用し、参加型システムとしての適用可能性と有効性を示すとともに、

- 1) 評価主体の集中力の維持が困難なこと
- 2) その結果、単純ミスや、一貫性の欠如が見られること
- 3) 未経験者や、経験者でも適用初期には、かなり大きな“サイクル”が発生しやすいこと

などの問題点を抱えていることを明らかにした。

本システムが参加型の評価システムとして実用化されるためには、これらの問題点を解決して行く必要がある。本論文では、本システムにおける参加者、即ち、評価主体の負担を出来るだけ軽減し、判断だけに集中できるような支援システムに改良することによって、これらの問題点にアプローチすることを試みる。

2. 参加型順位評価システムの基本構造

本節では、著者らが開発してきたシステムの概要をまず説明する。このシステムは、図1に示すように、次のような3つのサブシステム

S1: 代替案(対象)のプロフィール規定要因の選定システム

S2: 代替案(対象)の順位図の作成システム

S3: 代替案(対象)の順位の数値化システムと、2種類のフィードバック機構

F1: サブシステム内フィードバック

F2: サブシステム間フィードバック

により構成されている。

代替案(対象)の順位付けには、上述したように多くの要素、側面が複雑に関係してくる。そのために、この問題では、これらの要素間の関係を考慮して、まず、代替案(対象)の順位を規定する「プロフィール規定要因」の選定を行なう必要がある。サブシステムS1は、このためのシステムである。本システムでは、ここでも複雑な要素間の関係を把握し、整理するために、われわれの直観力を活用することを考え、そのためにISM法による支援システムをこのシステムのサブシステムとして付与している。ここでは、主観的判断は、ISM法によって、「抽出された要素間の関係図」としてCRT上に外部化され、これを批判的に検討し、フィードバック

することにより、より合理的な、より客観的な判断による「プロフィール規定要因」の選定がなされるように工夫されている。各代替案（対象）は、このシステムによって決定された一連の要因によって、「プロフィールカード」という形で総合的に表現されることになる。

サブシステム S2 では、このようにして表現された各々の代替案が総合的に評価され、順位付けが行なわれる。この評価は、専門家であっても絶対評価という形では非常に難しい。そこで、このシステムでは、上記のように表現された代替案を2個提示し、それらの間の対比較による相対評価のみを求める。そして、その結果をISM法の階層構造化アルゴリズムによって統合することにより、全体的な「順位図」に変換するようにしている。ここでも、CRT上の「順位図」の内容と形を批判的に検討することにより、主観的判断によるバイアスや不安定性を除去するためのフィードバックが繰り返される。ISM法は、このサブシステムでもこのように支援システムとして使用される。しかし、具体的な形式としては、要素、関係、階層構造化グラフ、および幾つかのサブプロセスにおいて、S1におけるシステムとかなり異なる。

最後に、本システムでは、このようにして求められた代替案（対象）の「順位図」の客観性評価と、その適用のための一般化手段として、判別関数による評価の数値化システムを付与している。これが、システム S3 である。ここでは、S2 によって求められた「順位図」を幾つかの順位グループに分類し、それに対する判別関数の計算を行なう。そして、この判別関数による数値的再分類における誤判別の有無を検討し、これが最小となるグループ化を求め、その時の判別関数と誤判別率を決定する。

サブシステム S1、S2 においても、ISM法による支援の下で、主観的判断を外部的に、批判的再検討を繰り返すことにより、主観的判断の客観化の努力がなされるが、この誤判別率も、S1、S2 を経て作成された主観的な「順位図」の客観性を判断する一つの基準となる。この結果によっては、今度は S1、S2 にフィードバックされることになる。即ち、本システムは、サブシステム内のフィードバ

ックとサブシステム間のフィードバックに対応する2種類の客観性の検討過程を用意しているところに、大きな特徴があるといえよう。この2種類の検討を経た後に、主観的な「順位図」は、客観性を持つものとして、そのまま、あるいは一般的に数値化されたものとして、活用されることになる。

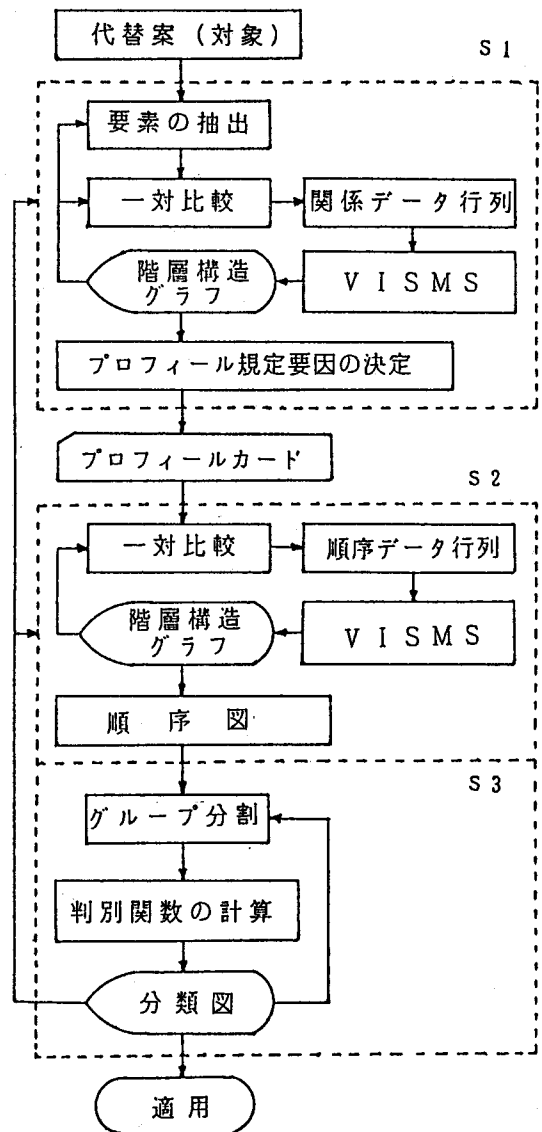


図1 参加型順位評価システムの基本フロー

3. 一対比較とフィードバックの支援システム

以上が著者らのシステムの概要である。著者らは、このシステムを避難路の安全性評価や、道路の除排雪順位決定問題に適用し、

1) 本システムが、計算機の知識を有しない一般の人にも使用できること

2) 主観的なバイアスや不安定性が、ISM法による支援によって、視覚的に検討可能となること

3) 主観的評価も、適切な支援の下では、かなりの客観性を持ち得ること

などを示した。しかし、1. の1)～3)で述べたような問題点を抱えていることも明らかにした。

これらの問題は、本システムにおける評価主体の負担、特にS2の一対比較のプロセスにおける負担と関連している。本システムが実用化されるためには、ここでの負担を出来るだけ軽減し、評価主体が判断だけに集中できるような支援システムに改良していく必要がある。本節では、そのような改良策として、

1) 一対比較のプロセスにおける代替案(対象)の提示システム

11) "サイクル"の処理を中心とするフィードバック・システム

における工夫について報告する。

サブシステムS2の一対比較のプロセスでは、提示された2つの代替案X(1)、X(J)に対して、両者の規定要因の内容を比較し、それらを総合的に判断して、どちらが上位であるかの相対評価が、二

値行列としてデータ化される。従って、1)では、

a) 代替案の表示方法

b) 評価とデータ化のルール

c) これらを結合する支援コンピュータ・システムが問題となる。

まず、a)としては、従来は図2に示すように、代替案の各規定要因の内容をカードに記入した「サンプル・カード方式」を採用してきた。ここでは、代替案の各規定要因のランク値を使用して、一対比較の対象となっている任意の2つの「代替案」の違いを、「色違いの棒グラフ」としてCRTに表示する「ベクトル図表示方式」を提案する。その一例を図3に示す。

前者の方法では、情報が多く、評価主体は、各一対比較毎に各要因内容を読み取り、思考して、判断を下す。それは、緊張を強いられる知的活動であり、人間の知恵を活用するというのに相応しい。しかし、その分、評価主体に大きな負担がかかるし、それが誤判断や一貫性の欠如という問題を惹起しているのも事実である。逆に、後者の方法では、情報は整理されており、評価主体の負担はその分軽く、また、判断の一貫性を保持しやすいし、単純な誤判断もなくなる。しかし、その分、先入観に囚われた判断が、無批判的に使用されやすいという危険性を持っていることを付記しておく。

次に、b)としては、大別すれば3種類のルールが考えられる。第一は、X(1)とX(J)との比較によって、二値データ行列のD(1, J)要素のみを決定するもの、第二は、D(1, J)とD(J, 1)

サンプル避難路 NO. 20 (桜橋付近)			
個別災害	要因	内 容	ランク
自動車による障害	1. 道路の幅員	14 m, 片側1車線 + 歩道	3
	2. 交通量	渋滞時間; 5 (分/時間)	1
路上散乱物	3. 路上散乱物	住宅街, 倒壊	4
地盤損傷	4. 地盤タイプ	硬(第2種)	1
橋梁被害	5. 橋梁特性	単純桁, 径間数4, 鉄筋, 評点=30.9	3
火災延焼	6. 危険物の数	1	2
	7. 木造密集度	大	3

図2 サンプルカードの例

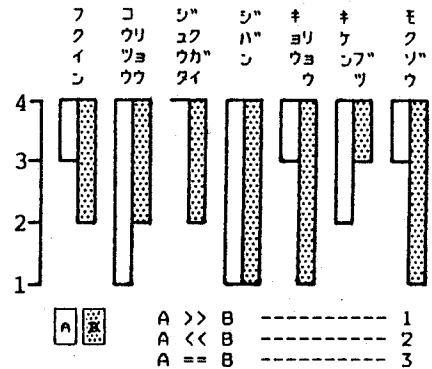


図3 ベクトル図表示の例

1)を同時に決定するもの、第三は、さらに推移律を満たすD(1, K)をも決定するものである。ただし、第三のルールを採用するためには、計算機による支援が不可欠となる。

いま、代替案(対象)の数をMとし、上述の各ルールに対して一対比較を要する回数をそれぞれN1, N2, およびN3とすれば、

$$N1 = M(M-1), N2 = M(M-1)/2$$

となり、

$$N1 > N2 > N3$$

となる。一対比較を要する回数が少なければ少ないほど、評価主体への負担は軽くなる。即ち、ルール1よりはルール2のほうが、ルール2よりルール3のほうが負担は軽い。しかし、ここでも、負担が軽くなるほど、主観的判断がもつバイアスや不安定性は露かれ難くなるという危険性を抱えている。そこで、第二、第三のルールでは、一対比較の終了後に、5~6個程度の対を任意に再提示し、再度一対比較

を求め、データ行列を変更することも可能となるようにしておく必要がある。

支援コンピュータ・システムは、これらを結合するもので、任意の2つの代替案の各規定要因のランク値の違いを、「色違いの棒グラフ」としてCRTにベクトル図表示するサブシステムと、提示すべき2つの代替案を決定するサブシステムによって構成される。当然、後者は、上述の各ルールによって異なることになる。

11)の問題も、評価のデータ化のルールと関係している。即ち、「サイクル」とは、図4に示すよう

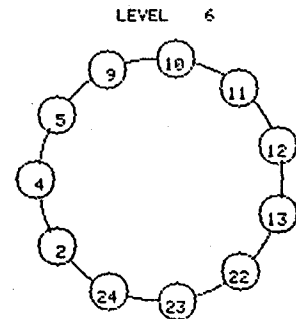


図4 サイクル図の事例

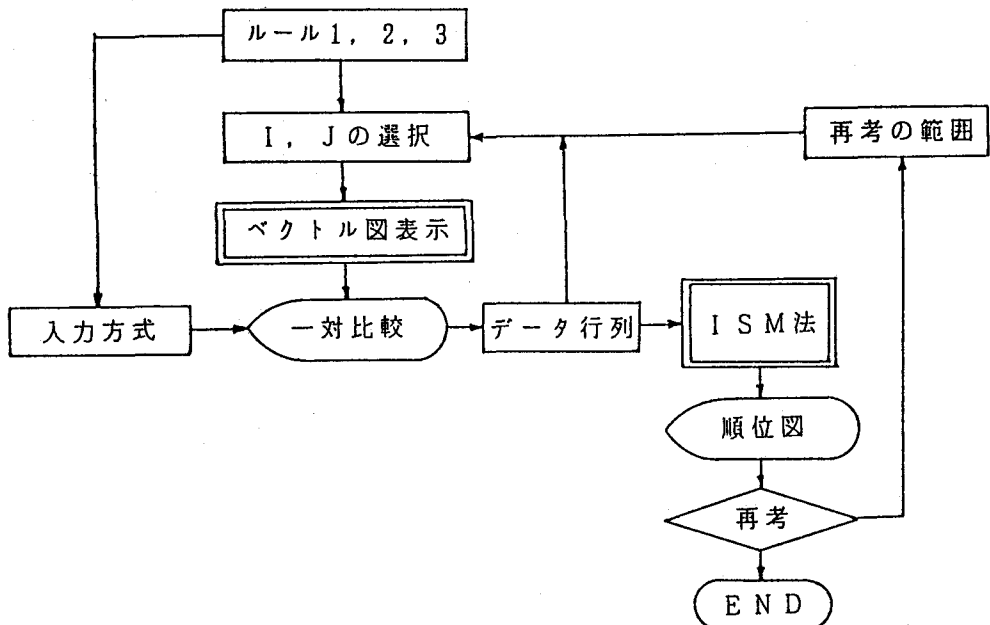


図5 改良システムの概念図

に、図的には、それに属する代替案の間が双方向の矢線で結ばれていることであり、それはデータ化との関連でいえば、 $D(I, J) = D(J, I) = 1$ となっていることを意味する。このことが起きる可能性は、第一のタイプのルールの場合に最も強い。ルール2、3でも、再考のプロセスを実施すれば、このことが起きる可能性がある。

このような“サイクル”に対する解釈としては、次の3つが考えられる：

- i) 代替案 $X(I)$ と $X(J)$ との間に大きな差はない。
- ii) 一回目と二回目の評価の間に矛盾がある。
- iii) 主体の評価に不安定性がある。

i) の場合には問題はないが、ii) または iii) の場合には、再考する必要がある。前述したように本システムの使用経験のない人の場合や、経験のある人でも新規のデータの場合には、大きな“サイクル”が発生しやすい。そこで、この部分を中心とする一対比較の再考のプロセスを支援するサブシステムを付与することを考えた。具体的には、この段階で求まっている「スケルトン・マトリックス」を用いて、“サイクル”の部分に含まれるものと、その直ぐ上と直ぐ下のものを抽出し、これらのもののみを対象として、上述の提示システムにより一対比較を再度求める。そして、この部分だけで順位化のためのマトリックス計算を実施し、その結果を以前に計算されている「スケルトン・マトリックス」に埋め込み、全体の「順位図」を作成する。このことにより、迅速なフィードバックを可能にし、利用者が“サイクル”の発生を負担と感じなくする工夫を行った。

以上のような改良点を概念的に示したものが、図5である。次節では、この新システムの適用を行い、その効用と問題点について考案する。

4. 適用事例による考察

1. で述べたように、われわれは、大震時避難路の安全性評価研究のために、本システムの適用を既に行なっている[1]。ここでは、まず、この事例を対象にして、この改良システムの適用を試みる。

大震時避難路の安全性を評価するためには、種々の要因を考慮する必要がある。この検討を受け持つのが、図1のサブシステムS1である。ここでは、このプロセスは省略し、文献[1]の結果を使用する。即ち、表1に示すように、5つの個別震害に関連する7つの要因を避難路の安全性を評価するのに必要な「プロフィール規定要因」として採用する。

そして、金沢市における31本の道路を新たに選定して、それぞれに対してこれらの7つの要因の調査を実施し、表2の基準に従ってランク値データ化する。このようにして作成されたサンプル避難路群を対象として、3. で説明した新支援システムの下で図1のサブシステムS2の一対比較以後のプロセスを実行する。

本適用事例では、一対比較はルール2のタイプで行なう。即ち、2つのサンプル避難路 I, J の「プロフィール規定要因」を、3. で述べた「ベクトル図表示方式」でCRTに提示し、どちらがより危険かを判断してもらい、 $D(I, J)$ と $D(J, I)$ の両方のデータを入力していく。対象の数は31個であるから、このような一対比較が465回必要となる。

第一回目の一対比較の終了後求めた「順位図」には、レベル2の位置に13個の道路を含む大きな“サイクル”が存在した。そこで、3. で述べたシステムによって、この“サイクル”に属する道路を中心とする「再考」を試みることにした。しかし、この処理後でも「順位図」のレベル10の位置に7個の道路を含む“サイクル”が残存した。そこでも

表1 避難路の安全性規定要因

個 別 震 害		規 定 要 因	
I	自動車による障害	1	道 路 幅 員
		2	交 通 量
II	路 上 散 乱 物	3	ビル街：ビルの高さ
			住宅街：木造建物
III	地 盤 損 傷	4	地 盤 タイプ
IV	橋 梁 破 害	5	橋 梁 特 性
V	火 災 延 焼	6	危 険 物 の 数
		7	木造建物の密集度

う一度この「再考」のプロセスに入り、この7つの道路を中心にして一対比較を再度実施した。その結果、「サイクル」は解消され、図6に示すような比較的明確な「順位図」が求まった。なお、この図で一点破線で囲まれている部分が第一回目に発生した「サイクル」に、破線で囲まれている部分が第二回目に発生した「サイクル」に該当しており、「サイクル」が階層的にうまく解消されてきていることがわかる。

次に、図1のステップに従って、この「順位図」を用いて、サンプル避難路を“安全 (G_1) ”、“中程度安全 (G_2) ”、および“危険 (G_3) ”に分類し、そのときの判別関数の係数を求め、それによる数値的再分類を行ない、誤判別の有無を検討する。3つのグループへの分類は、レベルで分割する。

表2 安全性規定要因の個別評価基準値

要 因		基 準		ランク
1	道 路 幅 員		20 ～ (m)	1
			14 ～ 20	2
			7 ～ 14	3
			～ 7	4
2	交 通 量 (渋滞時間)		～5 (min/h)	1
			5 ～ 10	2
			10 ～ 20	3
			20 ～	4
3	路 上 散 乱 物	住 宅 街	小 被 害	1
			中 被 害	2
			大 被 害	3
			倒 壊	4
		ビ ル 街	～ 7 (m)	1
			7 ～ 12	2
			12 ～ 20	3
			20 ～	4
4	地 盤 タイプ	硬 (Ⅰ・Ⅱ種)		1
		中 (Ⅲ種)		2
		軟 (Ⅳ種)		3
5	橋 梁 特 性	橋 が な い		1
		桁 落 下 せ ず		2
		桁 落 下 直 前		3
		桁 落 下		4
6	危 険 物 の 数	0		1
		1		2
		2		3
		3		4
7	木 造 建 物 密 集 度	小		1
		中		2
		大		3

ある程度同数とする、といった基準で幾つか試みた。その結果、図6の「順位図」において、レベル1~10を G_1 に、レベル11~21を G_2 に、そしてレベル22以下を G_3 に分類すれば、そのときの判別関数は表3のようになり、この係数による数値的再分類の結果は図7のようになり、誤判別はゼロとなった。

このことは、評価主体の主観的順位付けの結果で

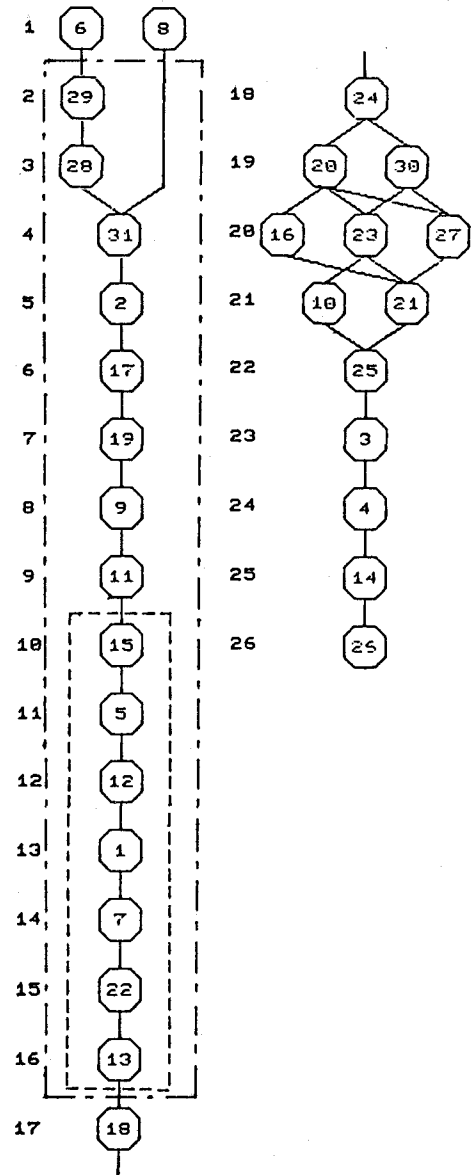


図6 避難路の安全性順位図

ある「順位図」が、ある一貫した説明原理によって再現されたことを意味している。即ち、主観的評価も、適切な支援システムの下ではある種の客観性を持ち得ること、そして、本システムも、そのような支援システムの候補の一つとなり得ることを示していると言えよう。

著者らは、次に、文献〔1〕の事例と同一の24本のサンプル道路を対象として、同一評価主体による本システムの適用を試みた。この事例では、評価主体が、この課題に対して経験済みということもあって、1回の「再考」で比較的明確な「順位図」が作成された。そして、その中に誤判別がゼロとなる3分類が存在することが確認され、上の結論を支持する結果となった。ちなみに、そのときの判別関数の係数を示すと、表4のようにになっている。

前述したように、以上の事例研究では、一対比較はルール2のタイプで行なっている。第一の事例研究では一対比較の数は465回で、その所要時間は62分程度であった。平均すれば、8秒/回となる。第二の事例でも平均値はほぼ同じで、「サンプル・カード方式」の場合と比較すれば、1/3以下であり、大幅な改善といえよう。また、事例1でも事例2でも、一回目には予想どおり“サイクル”が発生したが、「再考」のプロセスによって、それが比較的うまく解消出来ることが示せた。これらの結果より、一対比較のプロセスにおける評価主体の負担は、この改良によってかなり軽減されることが期待されると言ってもよいだろう。

さて、事例1と事例2は、避難路の安全性評価という同じ課題への適用事例であり、サンプルの数と、その構成が異なるだけである。そして、この二つは、共にある種の客観性を持つと見なせる「順位図」を提示している。しかも、両者では安全性の評価の構造にかなりの差があると思われる。

というのは、表3や表4で「順位」とあるのは、 G_1 と G_2 、 G_2 と G_3 の判定に際しての各要因の“重み”の順位である。両表を対比させれば、前者では、“安全”と“中程度安全”との判断には「道路幅員」と「交通量」に着目し、“中程度安全”と“危険”との判断には「橋梁特性」と「道路幅員」に着目しているのに対して、後者では、いずれの場合

表3 判別関数の係数（事例1）

要因 \ 係数	$a_j^1 - a_j^2$	順位	$a_j^2 - a_j^3$	順位
1	-7.09	1	-11.25	2
2	-6.99	2	-6.72	5
3	-0.65	7	-1.98	6
4	-5.23	3	-7.17	4
5	-1.70	6	-12.85	1
6	-3.49	4	-7.75	3
7	-2.47	5	-0.42	7

表4 判別関数の係数（事例2）

要因 \ 係数	$a_j^1 - a_j^2$	順位	$a_j^2 - a_j^3$	順位
1	-4.96	4	-7.13	3
2	-4.17	5	-3.30	5
3	-6.39	3	-6.97	4
4	-6.45	2	-8.00	2
5	-8.14	1	-11.96	1
6	-2.83	7	-3.24	6
7	-3.24	6	0.33	-

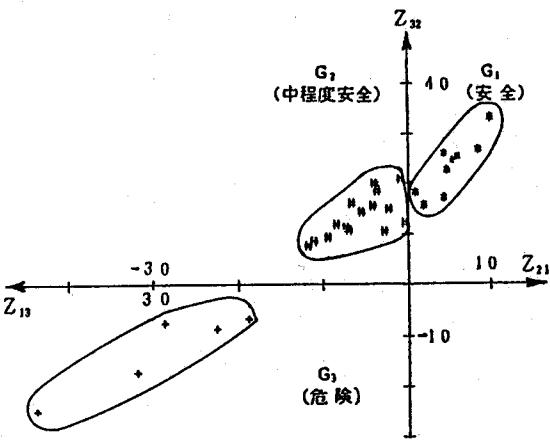


図7 判別関数による分類図

合にも「橋梁特性」と「地盤タイプ」で判断しているといえるからである。即ち、このような構造的差異があるにもかかわらず、表3、表4を係数とする判別関数は、共に避難路の「安全性順位図」を一貫した原理で説明し得る評価モデルとなっているのである。このことは、単にサンプルの数と構成の違い、即ち、「対象」の違いに帰着させることも出来るだろう。評価主体が集中出来る時間を60分程度とすれば、このシステムでも対象とし得るサンプルの数は30程度ということになるだろう。とすれば、この場合には、この範囲でサンプルをどのように構成すべきかが重要な研究問題となる。いま一つには、避難路の安全性を無矛盾的に説明出来る原理が複数個存在し得る可能性を示唆しているとするものである。この場合には、無矛盾性をともに確認した上で、合意形成をはかるためにはいかなる対話が必要か、それを支援するシステムとはと言う新しい課題に直面することになるだろう。

最後に、表4が示唆する評価構造と、一対比較における「ベクトル図表示方式」との関連について触れておきたい。事例2の説明のときに、評価主体は、この課題については経験済みであるため、一回の「再考」で比較的明確な「順位図」が作成されたと述べた。表4の結果は、この「慣れ」によって、評価主体が緊張感を欠き、CRT上の「色違い棒グラフ」を機械的に、パターン的に判断して、入力している可能性があることを示唆しているのかも知れないということである。これは、評価主体の負担の軽減との関係で3.で指摘していたことである。ちなみに、事例2についての「サンプル・カード方式」による旧事例と事例1とでは、判別関数の係数は比較的似た傾向となっている。このことも、上の推論を裏付けているように思われる。従って、「ベクトル図表示式」では、要因名の表示にさらに工夫する必要があるといえよう。

5. あとがき

土木計画において、しばしば見られる代替案の総合的な評価による順位付けには、人間が持つ直観力をより積極的に活用することが考えられる。しかし、

それには直観のマイナス面をできるだけ抑え、プラス面を引き出すための支援システムの開発が必要となる。著者らは、そのようなシステムとして、ISM法と判別関数を組み合わせた支援システムの開発を試みてきた。本論文では、その改良システムを提案するとともに、その適用事例を示し、本システムの可能性と問題点について検討を行った。そして、まず、このシステムが評価主体の負担をかなり軽減させること、さらにある種の客観性を持つ「順位図」の作成に寄与することを示した。しかし、評価主体の負担の軽減が、一方では、機械的な判断に堕ち入る危険性があることをも示唆した。著者らは、本システムの実用化のためには、さらに適用事例を増やすとともに、これらの点をも考慮したシステム改良を行なっていく必要があると考えている。

なお、本研究は、一部文部省の科学研究費の補助によって行われたものである。

参考文献

- [1] 木俣 昇：ISM法に支援された大震時避難路の安全性評価システムに関する基礎的研究，JORSJ，28-1，31～50，1985。
- [2] 木俣 昇：除雪路の順位決定のための参加型システムに関する基礎的研究，土木計画学研究論文集，3，57～64，1986。
- [3] Langhorst, F. E. : Computer Graphics Aided ISM, P. H. D. Thesis, Prudue University 1977。
- [4] Warfield, J. N. : Extended Interpretive Structural Modeling, Proc. 7th Pittsburgh Conf. on Modeling & Simul., 1163～1167, 1976。
- [5] Warfield, J. N. : Priority Structures, IEEE, SMC10-10 642～645, 1980。