

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^{*}

Study on Group Decision Making System for the Determination
of Snow Removal Order of Roads

木俣 昇^{**}

By Noboru KIMATA

In order to establish wider consensus on the snow-removal-order of roads, we discuss the potential of introduction of a supporting system which consists of following two sub-processes: a) Production of a snow-removal-order diagram of road, supported by VISMS, and b) Numerization of the diagram by Discriminant model. Applying this system to Kanazawa, we demonstrate that

- i) citizens, who are layman about such a system, can also product their own diagram.
- ii) numerical clasification of snow-removal order of roads by Discriminant model is consistent with the result of subjective grouping based on the diagram.

1. まえがき

北陸地方は、豪雪地帯ほどではないが、それでも38年に続き、53、56年にも、最深積雪深が120cm以上の豪雪にみまわれている。この程度の豪雪であっても、車社会への急速な移行にともなって、その影響は重大な社会問題となってきている。そこで、豪雪地帯での対策に学びつつ、独自のシステムの開発が試みられてきている。

さて、豪雪地帯では、毎年200cm以上の積雪がある。このような地帯では、大規模な流・融雪溝の建設や、あるいは機械除排雪システムの整備といったハードな対策に加えて、その運用システムも、永年の雪との戦いを背景として、住民の自発的な運動のなかから発達してきている。例えば、小千谷市では、信濃川からポンプアップした水を用いた流雪溝

の建設を行い、下流から上流の順序で、住民が町内会単位で一斉にこの流雪溝へ、組織的に排雪するシステムをつくりあげている。

一方、北陸地方では、豪雪といわれる雪は、何年間の周期で降る。ちなみに、金沢市における10%確率での最深積雪深は、120cmである[5]。即ち、北陸地方では、除排雪システムが真に活躍するのは5、6年に一度程度である。従って、豪雪地帯と同じようなハードなシステムの整備は、維持費等を考慮すれば当然制約されてくる。そこで、官民が協力して、利用可能な資源を有効に活用した、出来るだけソフトで、システム的な雪害対策を考案していくことが肝要となる。

そのためには、まず、除排雪についての役割分担といった計画の基本的な考え方についての幅広い合意形成が不可欠となる。しかし、これは口でいうほど簡単ではない。例えば、金沢市における耐雪都市研究会の意識調査では、幹線道路については公共と

* キーワーズ：除排雪計画，ISM法，判別関数

** 正会員 工博 金沢大学助教授 工学部基礎工
教室 干 920 金沢市小立野 2-40-20

する（96.3％）、家の前の歩道については住民とする（81.0％）というように、この二つの場所については、住民と公共側との役割分担に関するコンセンサスはある程度得られているが、家の前の車道や、近く的生活道路については、意見がわかれていた〔1〕。また、市の除排雪作業について、「なぜ自分ところの前の道路は除雪してくれないのか」といった苦情もしばしば聞かれる。このような意見や苦情は、また、居住年数によっても異なることも報告されている。

このように、除排雪計画に関する合意形成は、転入人口が多い金沢市や北陸三県の都市では、決して簡単なことではない。本論文では、除排雪計画における役割分担の基礎となる道路の除排雪順位の決定について、その合意形成のプロセスを支援する一つの方法として、VISMS (Visual Interactive Structural Modeling System) による除排雪順位図の作成と、三群判別関数によるその数値化よりなる参加型のシステムの導入を提案し、その可能性と問題点について考察する。

2. VISMSに支援された道路の除排雪順位図作成システム

金沢市の場合、市は除排雪計画を作成するために道路を一次路線から四次路線に分類し、一種の順位付けをし、降雪ないしは積雪量を考慮して、この分類によって除排雪する路線を決定するという方法をとっている。しかし、前述したように、除排雪作業について、住民から苦情がよせられることもしばしば見られる。即ち、市の路線分類方法と、それに基づく除排雪計画については、まだ十分な合意は得られていないのが実情である。

その一つの原因は、市当局による道路の分類、順位付けのプロセス、およびそれに基づく除排雪計画の作成のプロセスが、住民に十分には明らかにされていないことによる。1. で述べたように、利用可能な資源を有効に活用した除排雪体制を確立していくためには、官民の役割分担、より直接的には除排雪を分担する領域について、幅広い合意形成を達成する必要がある。この場合、上述したシステムを踏襲するとすれば、まず、除排雪すべき道路に対する順位付けを行なうプロセスに、住民も参加できる工夫

をし、除排雪順位についての合意を達成し、その後、利用可能な資源、投資可能な資金を明らかにし、役割分担についての合意形成を図るという手続きを取るのが賢明であろう。本節では、この前半の道路の順位付けへの住民参加のプロセスを支援する工夫の一つとして、図1に示すような参加型のシステムを提案する。以下、この図に従って、本システムの基本構造について説明する。

2.1 道路の除排雪順位規定要因の決定プロセス

まず、道路の除排雪順位を決定するためには、いろいろな要素を考慮する必要がある。従って、本システムは、順位決定のために考慮すべき「要素」についての合意形成の支援から始めなければならない。図1に示すように、本システムでは、このプロセス

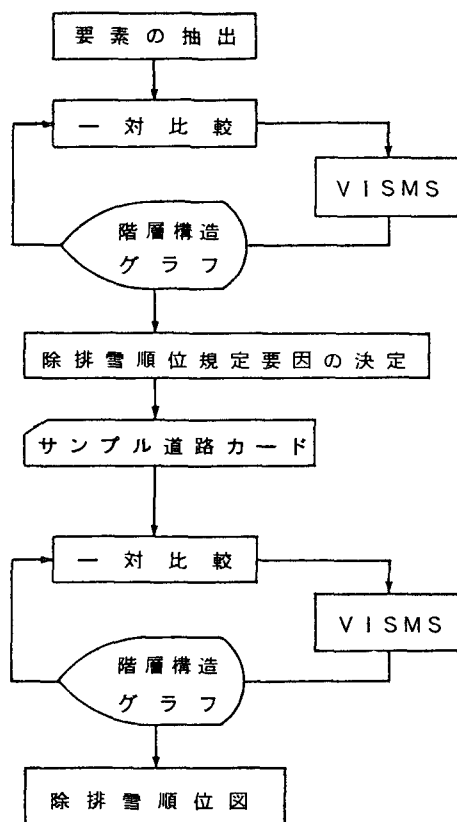


図1 VISMSに支援された道路の除排雪順位図作成プロセス

を支援するために、Warfield によって提案されたISM法を、具体的には、著者がそれをより参加型システムとして開発したVISMSを使用する。この支援方法については、既にいくつかの論文で発表している[2][3]。また、ページ数の制約もあり、ここでは、関連する「要素」を抽出し、その間の「関係」を2値あるいはファジィ・データ行列として求め、それをコンピュータで処理し、要素間の関連を視覚的な「階層構造グラフ」としてCRTに表示し、これを介して参加者がコミュニケーションを行なうことによって、認識の共有化を達成し、合意形成に到達するのを支援するものであることのみを述べておく。

2. 2 道路の除排雪順位図の作成プロセス

これらの要因を用いて、次に、「サンプル道路カード」の作成を行なう。これは、いろいろなタイプの道路を選び、上で選定された要因について調査し、それを図2のようなカードにまとめることをいう。ここで、要因のランク値は、小さいほど早く除排雪する必要があることを示すように設定しておく。

次のステップは、このカードを用いて道路の除排雪順位図を作成することである。このプロセスでは参加者には、数多くの道路について、しかも、多くの要因を考慮して順位付けすることが要求される。これは、専門家にとっても困難なことである。そこで、本システムでは、この判断の負担の軽減をはか

るため、ここでもVISMSによる支援を考える。

即ち、参加者への要求を、二つの「サンプル道路カード」を一对比較し、その間での除排雪順位についての相対的評価のみとし、全体的な順序付けは、推移律をもとにして「階層構造グラフ」を描く、VISMSのアルゴリズムにまかせるという方式をとることを提案している。参加者は、このシステムの支援の下で、CRT上に階層構造グラフとして描かれてくる「除排雪順位図」を検討し、それに修正を加えるという形で、フィード・バックを繰り返す、納得のいく順位図を作成していけばよい。

具体的には、この一对比較のプロセスと、その結果のコンピュータへの入力のプロセスをも支援するために、さらに、図3に示すように、「サンプル道路カード」の特性をCRT上に、カラーの棒グラフとして表示するとともに、その結果を記号で指定することによって、コンピュータへの入力も同時に行なえるシステムを開発しており、参加者は、提示された二つの「サンプル道路カード」のデータを見て

- 1° 道路iは、jより早く除排雪すべきであると判断すれば、1を
- 2° 道路jは、iより早く除排雪すべきであると判断すれば、2を
- 3° 道路iとjとは、除排雪の順位に差がないと判断すれば、3を

というルールに従って入力していけば、CRT上に一番上に最も早く除排雪すべき道路がきて、一番下

No 10			
	要 因	内 容	ラン ク 値
1	道 路 幅 員	10 (m)	2
2	自動車交通量	6000 (台/日)	2
3	バス交通量	なし	4
4	融雪装置	なし	1
5	勾 配	平 坦 地	3
6	防災的性格	消防車進入路	2
7	降雪量	大 (山側)	1
8	アプローチ機能	病 院	1

図 2 サンプル道路カード

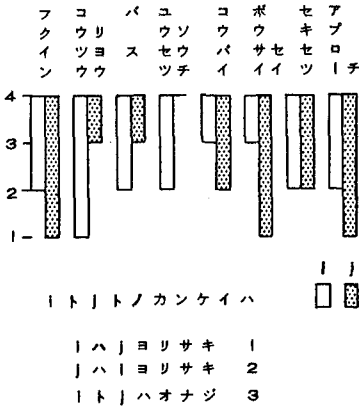


図 3 一对比較支援画面

に最も遅くてもよい道路がくるような形で、「除排雪順位図」が描かれてくるようになっている。

このように、本システムの支援の下で、住民にも自らの判断による「除排雪順位図」が比較的容易に作成できるだろう。なお、このルールの下でのデータ行列の設定は、1°ならば、 $d_{ij} = 1$ ，2°ならば、 $d_{ij} = 1$ ，3°ならば、 $d_{ij} = d_{ji} = 0$ となっている。

2. 3 適用事例

最後に、図1のシステムの適用事例について説明する。まず、われわれのグループは、道路の除排雪順位の決定に関連すると思われる「要素」として、22個のものを抽出し、それらの間の「関係」を討議し、データ行列を作成し、VISMSによって、それらの間の論理的構造を示す「階層構造グラフ」

を求め、除排雪順位規定要因の決定を行なった。表1に、このプロセスを経て、われわれのグループが合意した規定要因とそのランク値の一覧表を示す。

次に、金沢市の道路より20路線を選定し、表1に従って、これら八つの要因について調査し、「サンプル道路カード」の作成を行なった。表2は、これに4本の仮想道路のものを加えて構成した「サンプル道路カード」の一覧表である。これらのデータをコンピュータに入力した後、上述した手続きで、コンピュータ・システムの支援の下で対比較を行ない、VISMSによる「除排雪順位図」の作成を試みた。図4に、われわれが作成した「除排雪順位図」の一つを示す。

この図では、No. 6の道路が最も早く除排雪すべきもので、No. 16は最も後でよいという結果になっている。また、図中、円で表示されているものがあるが、それらは、サイクルをなすいくつかの道路

表 1 除排雪順位規定要因とランク値

要 因	基 準	ランク
1 道路幅員	14 以上 (m)	1
	7 - 14	2
	5 - 7	3
	5 以下	4
2 自動車交通量	10000 以上 (日)	1
	4000 - 10000	2
	500 - 4000	3
	500 以下	4
3 バス交通量	5 以上 (本/時)	1
	3 - 5	2
	1 - 3	3
	なし	4
4 融雪装置	なし	1
	30 % 以下	2
	30 - 70 %	3
	70 % 以上	4
5 道路勾配	大 (7 % 以上)	1
	中 (3 - 7)	2
	小 (3 % 以下)	3
6 防災的性格	消火栓あり	1
	消防車進入用	2
	避難路	3
	特になし	4
7 降雪量	大	1
	中	2
	小	3
8 アプローチ的機能	病 院	1
	雪 捨 て 場	2
	学 校・福 祉 施 設	3
	特になし	4

表 2 サンプル道路の一覧表

サンプル NO	要 因 ラ ン ク 値							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	1	4	1	3	2	2	3
2	4	3	4	1	2	2	1	3
3	1	2	4	4	3	4	2	4
4	3	3	4	1	3	2	3	4
5	2	3	4	1	3	1	3	4
6	1	1	1	1	1	1	1	1
7	2	1	2	4	2	2	2	2
8	3	2	4	1	3	2	2	4
9	4	3	4	1	3	1	2	3
10	2	2	4	1	3	2	1	1
11	2	2	3	3	2	3	1	2
12	3	3	4	1	1	1	1	4
13	4	2	4	1	3	1	2	3
14	3	3	4	1	2	1	2	4
15	1	1	2	2	3	4	2	2
16	4	4	4	1	3	1	2	4
17	4	4	4	1	1	1	1	4
18	2	4	3	2	2	3	3	1
19	4	3	4	1	3	2	2	3
20	2	3	4	1	3	2	3	3
21	1	1	1	4	2	2	2	4
22	3	3	4	1	3	1	2	2
23	3	3	4	1	3	1	2	2
24	1	4	2	3	1	3	3	2

の代理要素であることを意味している。そして、その構成要素は、図4の(2)のように、別途表示されることになっている。

このサイクルをなす部分が出現するのは、データ行列で、 $d_{ij} = d_{ji} = 1$ となることによる。そして、その原因は、一対比較のプロセスで、ルール1°あるいは2°でのデータ行列の設定で、 d_{ij} 、あるいは d_{ji} を指定していないところにある。これは、人間の判断における「あいまいさ」ないしは不安定さをチェックするために、敢えてこのようにしておいたのである。この部分については、従って、次の二つのケースが考えられる：

- i) 道路iとjとでは、明確な差はなかったが、1°あるいは2°としてしまった。

- ii) どちらかの判断を誤っていた。

i) の場合は、ルール3°と同じである。ii) の場合には、それらの部分についてのみ一対比較をもう一度繰り返すことにすればよい。

われわれの経験では、本システムの適用に際して最も問題になるのは、このサイクル部の出現である。特に、初心者の場合や、経験者でも比較対象となる道路の数が多い場合には、大きなサイクルができやすい。このことは、われわれにとって、判断の基準を保持することは、なかなか困難なことであることを示唆している。従って、このサイクル部の再検討のプロセスを支援する工夫が重要となる。本システムでは、このプロセスに関しても、図3の画面に前回の判断結果を追加表示したものを提示し、再考を求めるという形で支援を行なう工夫をしている。

図4の事例では、レベル2と6と9にサイクルができていて、ちなみに、その構成要素を図4の(2)で調べ、表2と対比させてみれば、これらの間には明確な差は認められないことがわかる。即ち、一応この場合には、i)と判断してもよいだろう。この図に到達するまでのプロセスについては省略するが、われわれは、このシステムの支援の下で討議を繰り返すことによって、比較的容易に、しかも合意可能な「除排雪順位図」を作成することができることを示した。

しかし、この図だけでは、除排雪計画の作成にとっては不十分である。というのは、表2のリストに入っているタイプの道路については、順位付けは可

能であるが、それ以外のタイプについては、順位付けは困難だからである。また、上述のプロセスからもわかるように、これは参加者の主観的判断に基づくものである。従って、その順位付けが一貫性をもった客観的なものであるかどうかにも不安が残る。

先の問題を解決するには、一つは、表1の要因の全ての組合せのサンプルを使用することである。この場合、その数は、3万を越える。この数の一対比較は、非現実的である。また、後の問題にも答えられない。そこで、まず、本事例程度のサンプルを使

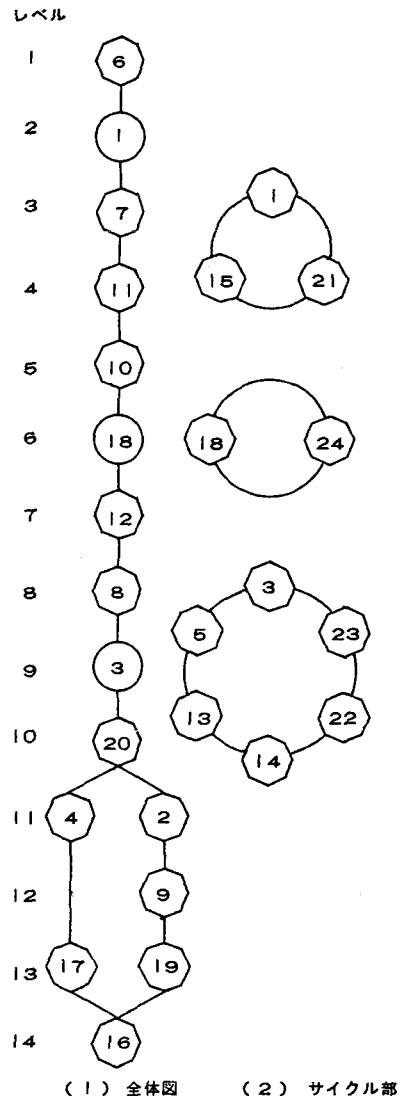


図4 除排雪順位図

用するとして、ここでは、作成された順位図の背後にある評価構造を、数値化することによって、除排雪順位図の客観性を検討するとともに、その適用性の一般化を図るという方法を提案する。

3. 三群判別関数による除排雪順位の数値化

金沢市の場合、前述したように、道路は、1次から4次路線に分類されている。ここでは、もう少し大きく、行政によって素早く除排雪されるべき道路グループ G_1 、その次に除排雪されるべきグループ G_2 、および住民の協力を求め除排雪するグループ G_3 の三つに分類し、除排雪計画を作成するとした場合について、上述した問題点について考察する。

この場合、図4の「除排雪順位図」に基づいて、例えば、レベル1からレベル6までの9路線を G_1 グループ、レベル7からレベル10までの9路線を G_2 グループ、残りのレベル11からレベル14までの6路線を G_3 グループとし、これらの路線と同じ特性、即ち、表1の八つの要因について同じランク値をもつかどうかを基準にして、道路を分類していくという方法が考えられる。この方法では、たとえ図4の順位図について合意が得られたとしても、前述したように、表2にリストされたタイプの道路のみしか適用できないという欠点がある。また、技術的にも、図4のどのレベルで線を引き、グループ分けするのがよいのかも不明である。本論文では、これらの問題に対して、三群判別関数を導入し、「除排雪順位図」を支配している評価構造の数値化を行なうことによって、若干の考察を試みる。

まず、図4の順位図を何等かの基準で三分割し、グループ G_k に属するサンプル道路 i の j 番目の要因のランク値を

$$x_{ij}^k \quad (k=1, 2, 3 \quad i=1, \dots, n_k \quad j=1, \dots, 8)$$

と定義し、この平均値ベクトル $\bar{x}^k$ 、分散行列 $\hat{\Sigma}$ を求め、これらを用いて次式の三群判別関数式の係数 a_j^k 、 c^k を算定する。

$$z_{21} = \sum_j (a_j^2 - a_j^1) x_{1j} + (c^2 - c^1)$$

$$z_{32} = \sum_j (a_j^3 - a_j^2) x_{1j} + (c^3 - c^2)$$

任意の道路 i がどのグループに属するかは、その要因の八つのランク値 x_{ij} ($j=1, \dots, 8$)を用いて、上の判別関数式の値を計算し、次のルールを適用することによって数値的に判定される：

- i) $z_{21} > 0, z_{32} > 0$ ならば G_1
- ii) $z_{32} > 0, z_{21} < 0$ ならば G_2
- iii) $z_{32} < 0, z_{21} > 0$ ならば G_3 。

ここで、 $z_{13} = -(z_{21} + z_{32})$ である。このことは、上の式の定義より明らかであろう。

このルールは、また、横軸右方向に z_{21} を、縦軸上方向に z_{32} を、そして、横軸左方向に z_{13} をとりグラフ化すれば、判定値が第一象限に落れば G_1 グループ、第二象限ならば G_2 グループ、第三象限であれば G_3 グループと図解できる。この方法をとれば、グループ化の適否の判断は、誰にでも明白となるだろう。

判別関数の係数は、上述の手続きからわかるように、各グループの構成によって支配される。即ち、「除排雪順位図」を三分割する仕方によって異なってくる。何処で線を引き、三つのグループに分類するのが望ましいかという問題については、それぞれの分割法に対して、三群判別関数を求めてみて、上述のルールに従って数値的に再分類してみればよい。そして、この再分類が、「除排雪順位図」による分割結果と一致すれば、その分割法および順位付けには、少なくともそれを説明する何等かの一貫性ない

表 3 三群判別関数の係数

要因	係数	$a_j^2 - a_j^1$	順位	$a_j^3 - a_j^2$	順位
1		-4.51	1	-4.30	1
2		-0.12	6	-2.78	2
3		-2.48	3	3.49	-
4		1.09	-	1.50	-
5		0.02	-	-2.71	3
6		-0.29	5	-2.03	6
7		-2.06	4	2.16	5
8		-3.96	2	-2.36	4
定数項		30.9	-	20.2	-

しは客観性が認められるといえよう。

ここでは、紙数の制約もあり、前述の三分割の場合について考察してみる。この例の場合には、 G_1 に9、 G_2 に9、 G_3 に6というように、各グループにサンプル数がある程度均等になるよう、また、出来るだけ上下の区別が明確な位置で、ということに注意して分割している。もちろんレベル7の道路12を G_1 グループに入れる分割も可能である。これについても、以下と同様の検討を行ない、上述したような判断をすればよい。

図4の「除排雪順位図」を上のように三分割し、まず、各グループの道路のランク値データ x_{ij}^k を、表2より作成し、次に、それらの平均値ベクトル $\bar{x}^k$ 、分散行列 $\hat{\Sigma}$ を計算し、判別関数の係数 a_j^k 、 c^k を算定した。その結果を表3に示す。また、これらの係数を用いて、表2のサンプル道路に対して z_{21} 、 z_{32} を計算し、プロットしたものを、図5に示す。

まず、この図より、「除排雪順位図」を主観的判断で三分割した分類結果と、その結果を用いて三群判別関数を決定し、それに基づいて、数値的に再分類した結果とが一致していることがわかる。ちなみに

に、レベル7の道路12を G_1 に入れた場合には、この道路に関して、主観的分類と数値的分類とで食い違いが生じるという結果になったことを付記しておく。

次に、表3の $(a_j^2 - a_j^1)$ は、ある道路が、グループ G_1 か G_2 に属するの、また、 $(a_j^3 - a_j^2)$ は、それがグループ G_2 か G_3 に属するのかの判定に際しての要因の規定力を示している。この表にも示してあるように、まず、 G_1 と G_2 とを区別する要因としては、第一に道路の幅員が、第二にはアプローチ機能が、そして第三にバス交通量がきている。一方、 G_2 と G_3 とを区別する要因としては、第一はやはり道路の幅員であるが、第二には道路の勾配が、そして第三には交通量がきている。このことは、図4の「除排雪順位図」と、その上述の三分割法では、次のような評価構造が用いられていると解釈できる。即ち、行政側が第一位にやるかどうかについては、アプローチ機能や公共交通といった面からソーシャル・ミニマムとして確保すべきかどうかという判断に、また、行政がやるか住民に協力を求めるかについては、勾配や交通量の大小といった除排雪の効果についての評価に基づいてなされ

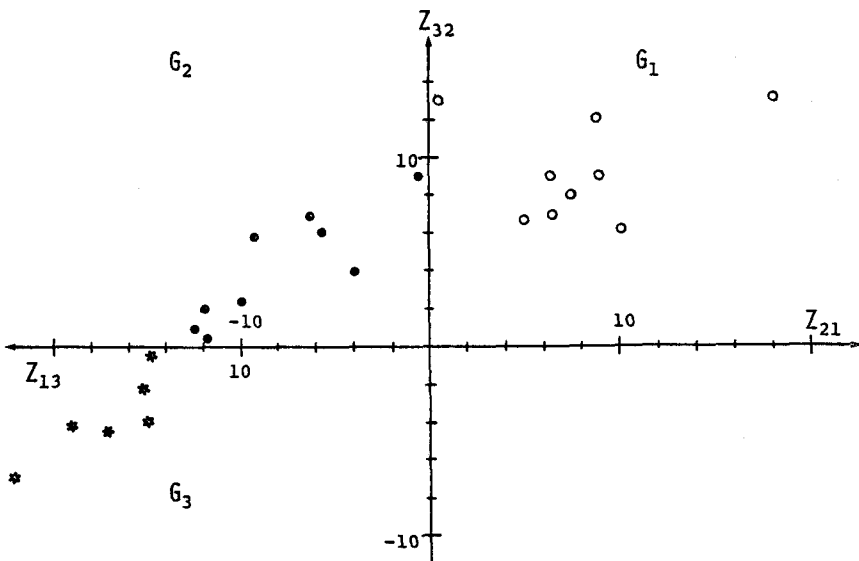


図5 サンプル道路の三群判別関数値による分類

ている，という解釈である。

このように，2. で述べた支援システムを用いることによって，

1° 住民にも，自分達の判断による「除排雪順位図」を作成することが出来る。

2° 主観的評価であっても，一種の客観性をも与えることが出来る

可能性があることが示せた。また，その結果を三群判別関数で数値化することによって，

3° 「除排雪順位図」の結果を一般化することが出来る

可能性も示せた。

4. あとがき

北陸地方の雪対策には，いわゆる豪雪地帯のものとは異なり，出来るだけ利用可能な資源を活用したソフトで，システム的な発想が要請される。それには，住民側の協力が不可欠となる。本論文では，そのための基礎として，住民参加の下での道路の除排雪順位決定の問題をとりあげ，VISMSと三群判別関数モデルよりなる支援システムの導入について検討を行なった。そして，このシステムの支援の下で，住民にも比較的容易に，しかも客観性のある「除排雪順位図」を作成することが出来ること，また路線を，a) 行政による素早い除排雪がのぞましいもの，b) その次に除排雪すべきもの，およびc) 住民の協力を求めて除排雪すべきものに分類するとすれば，三群判別関数による数値化によって，サンプル道路以外についても分類することが出来ることを示した。

今後の課題としては，一つは，利用者との関連で一対比較のプロセスにおける負担をさらに軽減する工夫をすることである。これには，サンプル道路の数を抑えて，いかにして効率的な組合せを実現するか，一対比較の支援のための画面として，図3をさらにイメージしやすいものにするためにはどのような工夫が必要か，といったことが問題となる。また結果の順位図を検討して，フィード・バックするプロセスを迅速化する工夫も必要であろう。第二は，金沢市の計画で採用されている路線の分類と，本システムによって分類したものとの対比等を行ない，両者の異同を明らかにしていくことである。これに

よって，住民側と行政側との対立点，合意形成の可能性が明らかになってくるだろう。さらに，このようにして決定された順位に従って，行政側が所与の除排雪機械系で除排雪するとすればどの程度の時間がかかるかをシミュレーションするシステムを開発し，本システムにフィード・バックさせるといった総合化のための研究も重要になってくるだろう。

参考文献

- 1) 金沢市：耐雪都市推進対策調査報告書，I，II 1982，1983。
- 2) 木俣 昇：社会的計画システムのための視覚型対話型情報処理システムに関する基礎的研究，土木学会論文報告集，295，pp. 93 - 102，1980。
- 3) 木俣 昇：視覚型，対話型情報処理システム，VISMSの開発について，金沢大学工学部紀要 13 - 1，pp. 9 - 18，1980。
- 4) 小堀為雄：都市及び社会構造の変遷にともなう耐雪都市構想策定のための基礎的研究，科学研究費補助金成果報告書，1985。
- 5) 富山地学会：豪雪 - 56 豪雪と38 豪雪 - 古今書院，1982。
- 6) Warfield, J. N. : On Arranging Elements of a Hierarchy in Graphic Form, IEEE, SMC-3-2, pp. 121-132, 1973.
- 7) Warfield, J. N. : Societal Systems, John Wiley & Sons, 1976.