

除雪計画作成のための路線トレース・システムの改良について

金沢大学工学部 正員 木俣 昇

名古屋工業大学工学部 正員 山本幸司

星稜女子短期大学 正員 ○ 竹村 哲

1. まえがき

降雪地域の各自治体は、経済活動及び日常生活の円滑化のために、毎年道路除雪計画書を作成し、対策を構じている。しかし、除雪機械、オペレーターの数、除雪予算などの制約から、全ての道を除雪するというわけにはいかず、官民協力のもとで、効率的な分担除雪体制が必要となる。著者らは、この体制を支援することを目的にして、Ⅰ) 除雪道路の社会的順位付けシステム、Ⅱ) 社会的順位と除雪機械系の動きを考慮した除雪路線構成システム、Ⅲ) 作成された除雪計画案の総合評価システムを主サブ・システムとするコンピュータ支援システムの開発を試みてきた。前論文では、このシステムの基本枠組みと、Ⅰ)、Ⅱ) のサブ・システムのコンピュータ・システムについて報告した¹⁾。

Ⅰ) のサブ・システムについては、他の計画分野での適用研究^{2), 3)} も行っており、住民参加型の順位決定システムとして、かなり成熟したものとなってきた。しかし、前論文でも指摘したが、Ⅱ) の路線構成システムについては、除雪機械系の動きの反映という点でも、多くの代替案の評価の実行性という点でも、改良の余地がある。本論文では、路線構成システムにおけるこの2点に関する改良について報告する。

このシステムは、a) マウスを除雪機械系と想定し、Ⅰ) の出力である「社会的順位付道路地図」をトレースするシステムと、b) トレースされた路線を除雪計画の代替案として、その作業完了時間を算定するPERT計算システムより成っている。まず、a) については、出来るだけ除雪機械系の動きを反

映し、より正確な作業時間を持つトレース・グラフが作成可能で、しかも出来るだけ簡単なルールでトレースできることを目標に、トレース結果の実作業形態への展開と、非合理的なトレースに対するアラームの表示というアイディアの下で改良を行っている。次に、b) については、より多くの代替案の評価を可能にするために、トレース・グラフからPERTグラフへの自動変換を目標に、そのアルゴリズムの開発を試みている。そして、最後に、前論文と同地域での適用研究を試み、今後の課題を検討している。

2. トレース・システムの改良

2.1 トレース・システムの改良フロー

著者らのシステムは、住民参加の下で、VISMSと判別関数を支援システムとする社会的順位決定プロセスを実施し、まず、道路の除雪順位を決定する評価モデルを構成し、このモデルを適用して、当該地域における道路を、行政側が直ちに除雪する道路、行政側が次に除雪する道路、住民の協力の下で除雪する道路に分類することから始まる。その結果は、社会的順位付道路地図としてCRTにカラーで表示される。

トレース・システムとは、マウスを除雪機械系に準えて、このようにして作成された社会的順位付道路地図上の第一位、第二位グループの道路に対して、除雪路線の構成を意識してトレースすることによって、除雪計画の代替案を作成するシステムである。この基本的関係は、従来のシステムと同じである。しかし、1. で述べたように、除雪機械系の合理的

な動きからみて、いくつか問題があり、図1に示したような改良を行った。

その第一点は、トレース段階で、明らかに非合理的なトレースがなされようとしているとき、アラームを出すようにしたことである。即ち、

- 1) 除雪機械系の非連続的な動き、
 - 2) 一路線のトレースの延長距離の上限超過、
 - 3) 同一路線内における3重複トレース、
 - 4) 三路線以上にまたがる同一の道路のトレース
- については、アラームを出す。

第二点は、アラームが出た時点で主体はもう一度トレースをやり直すことになるが、その時前回のトレースが参照できるように、新しいウィンドウを表示し、再トレースの効率を上げるようにしていることである。また、順位付き道路地図には、従来は融雪装置の設置は表示していなかったが、除雪機械は、この部分では単なる移動となるので、このことをトレースする主体に示すために、図2のように、社会的順位付道路地図に、第一位、第二位グループの区別(赤、黄)に加え、融雪装置設置道路(青)もCRT上に表示されるように改良した。この図では、実線=赤、破線=黄、太実線=青としている。

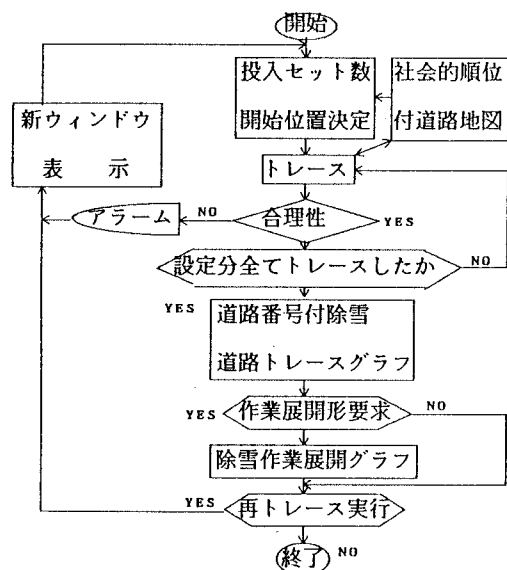


図1 トレースシステム改良フロー

改良点の第三点は、除雪作業グラフへの展開表示機能の追加である。従来システムにおいては、トレースした道路は全幅除雪されるとしてトレース・グラフが作成され、PERTグラフへの変換もなされていた。しかし、このような除雪機械系の運用法は、幹線主要道での初期新雪高速除雪といった特殊な場合のみ使用されるものである。一般には、投入機械系の種類、台数、道路の幅員、形状などに応じてもっと多くの作業パターンがある。本論文では、とりあえず除雪グレーダー1台による作業を想定し、道路幅員との関係で、図3に示すようなパターンを機械系の基本的な動きとして、トレース結果の作業グラフへの展開を考えた。

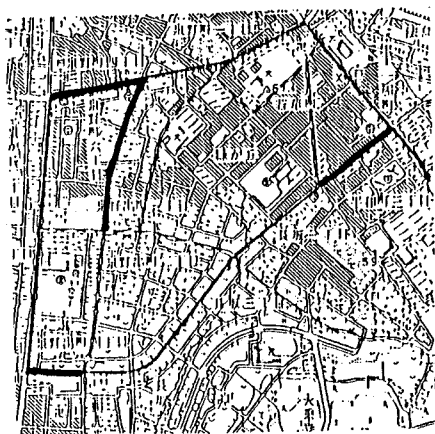


図2 社会的順位付道路地図

		幅員	0 係未満	0 係以上
機 械 系 の 動 き				
			除雪 →	除雪 →
ト レ ース	→		除雪 →	除雪 →
	←		除雪 ←	除雪 ←

図3 単位道路におけるトレースと機械系の動きの関係

ここで、幅員6メートル以上・未満は、グレーダーのブレード長、推進角より、除雪幅を2.5m～3.5mとなること、自動車の幅が2m以下であること、および除雪余裕幅を考慮して、設定したものである。例えば、トレースでは、直線となっていない、6m以上の道路では、全幅除雪のためには、往復除雪と移動が必要になり、作業時間は倍以上となる。この具体的な活用は、トレース・グラフをその作業展開形を考慮し、集約し、合理的な作業単位とその作業時間の算定に際してなされる。また、そのようにして設定された除雪計画の代替案の住民への説明に際しても使用可能である。次項では、前者について説明する。

2.2 集約トレース・グラフの作成

上述のシステムによってトレースされた結果は、図4に示すような、道路番号付のトレース・グラフとして表示されてくる。ここでは、3本の路線が構成されている。このようなグラフを、各道路での作業展開グラフを参照して、機械系の動きとPERT計算への移行を念頭に、合理的な単位作業に集約するルールについて考える。

トレース・グラフには、一般に、同一路線では、

1)異なる道路が連続する部分、2)同じ道路が連続する部分、および3)離れた部分に同一道路が存在するケースが考えられる。また、他路線との関係でいえば、4)同一道路が重複して出てくるケースが考えられる。これらのケースについて、機械系の動きからみた展開形を考え、トレース・グラフを集約し、合理的な作業時間を算定する必要がある。ちなみに、図4のトレース・グラフでは、1)、2)、および4)のケースが発生している。

R I) まず、トレース・グラフの中で、複数路線において重複する道路(4)のケース)については、それらの間での作業の順序関係が決定していない段階では、集約することはできない。従って、PERTグラフへの変換時まで、そのような道路については集約作業を行わずに、独立させ、太い両端矢線で表示しておく。

R II) 次に、同一路線内での単位作業への集約ルールについて説明する。これには、上述したように

1)、2)、3)の3つのケースがある。これらの展開形を表1に示し、以下に集約ルールを述べる。

- 1) 連続する異なる道路の集約：トレースした道路の先行道路と後続道路の幅員によって作業展開は違ってくる。それに伴い、作業時間も異なる。この時、集約路番の間にあるノードを削除し、一本のアークに道路番号を連記した集約グラフを作成し、表1により作業時間を設定する。この場合トレース形式が連続する限り、全てを集約する訳ではない。機械の作業能力をふまえて、ある一定の延長に到った時や交差点で曲がる時などには一旦そこで集約を分割する。また、融雪装置がある場合、そこは次の除雪作業の区間への移行目的の部分とみなし、集約をそこでも分割する。
- 2) 連続する同一路番の集約：この場合には、幅員6メートル未満の道路では、作業の展開形よりわかるように、後の方は移動で戻ることになる。幅員6メートル以上では、今度は除雪で戻ることになる。
- 3) 離れてある同一路番の集約：後出の路番は、必ず移動作業となる。この部分は集約せずに、単に作業時間のみを移動にする。

図5は、図4のトレース・グラフを、上述のルールを適用して作成した集約トレース・グラフである。

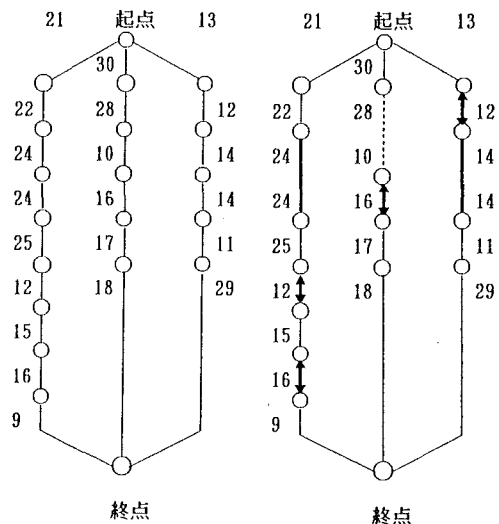
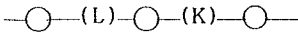


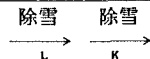
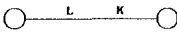
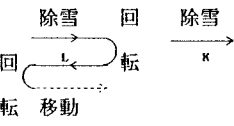
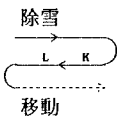
図4 トレースグラフ 図5 集約トレースグラフ

表1 作業集約のためのルール

1) 連続する異なる道路の部分の処理

トレース・グラフの形：

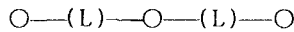
$V1$: 除雪速度
 $V2$: 移動速度
 Tk : 回転時間

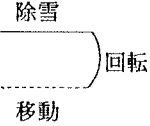
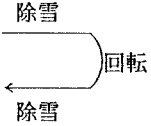
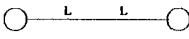
先行 \ 後続		幅員 6 未満	幅員 6 以上
幅員 6 未満	展開形		
	集約グラフ		同 左
	時間	$(L1/V1) + (L2/V1)$	$(L1/V1) + (2L2/V1 + 2Tk + L2/V2)$
幅員 6 以上	展開形		
	集約グラフ	同 上	同 左
	時間	$(2L1/V1 + 2Tk + L1/V2) + (L2/V1)$	$(2L1 + 2L2)/V1 + (2Tk) + (L1 + L2)/V2$

・集約分割条件 1. 延長とコーナーで切る

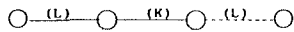
2. 融雪装置で切る

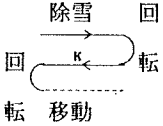
2) 同一路番の連続部分の処理

トレース・グラフの形：

	幅員 6 未満	幅員 6 以上
作業の展開形		
集約グラフの形		同 左
作業時間	$(L1/V1 + Tk + L1/V2)$	$(2 * L1/V1 + Tk)$

3) 同一路番が離れている部分の処理

トレース・グラフの形：

	先行道路 (K)	全 幅 員
作業の展開形		
集約グラフの形		
作業時間	$(2 * L2/V1 + Tk + L2/V2)$	$(L1/V2)$

まず、他路線とで重複する路番としては、12と16の2つがある。これらについては、RⅠ)により、独立とし、図では太い矢線で示してある。次に、RⅡ)の2)で、同一路線で連続する同一路番の24と14が集約されている(太線)。他は、RⅡ)の1)による。10と28では直線で延長が450mであり、分割の延長基準である500m以下のため集約され(図では破線)、21、22と30、28は交差点で曲がっているため、7と18とでは延長が600m余りとなるため、これらは集約されていない。また、13は融雪装置設置道路であるため集約されていない。

他路線間とで重複する道路以外については、この操作で、機械系の動きを反映する形で、単位作業、作業時間、作業順序が決定可能となっている。次節では、残る他路線間とで重複する道路の順序関係の想定について述べる。

3. PERTグラフへの変換

2.2で述べた方法で集約されたトレース・グラフを考える。このグラフには、RⅠ)のルールによって他路線とで重複している道路が、太い両端矢線で表示されている。まず、それらに着目し、このグラ

フにおいて、他路線と重複している道路の前後ノードのみを残し、それ以外は一つのアークとする2次集約グラフを作成する。そして、それらのノードに仮番号を振る。また、集約アークの作業時間は、集約された単位作業の作業時間の和とする。

図5を例とすれば、12、16の道路に着目し、それらの上下のノードを残し、集約すると、図6のようになるだろう。ここで、アーク(0, 1)は、(21), (22), (24, 24(移動)), (25)の単位作業が集約されたもので、作業時間のはそれらの和ということになる。

次に、重複道路間での除雪順序関係を想定する。この場合、起点に最も近い部分については、そこまでの作業時間の累積を比較し、短い方の道路の下方のノードと、長い方の上方のノードとの間に”ダミー作業”を想定する。そして、後続の方の作業時間を移動時間に変更する。図6では、道路12の比較がなされ、右の路線の方が短く、先に除雪されるとして、ノード8からノード1にダミーを入れて、右の路線上の12の作業時間を移動とすることに当たる。

以後の重複道路の順序については、代替案という意味で、適当に前後を想定し、同様の手続きで”ダミー作業”の挿入と、作業時間の変更を行う。

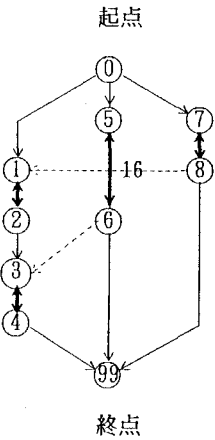


図6 代替案グラフ

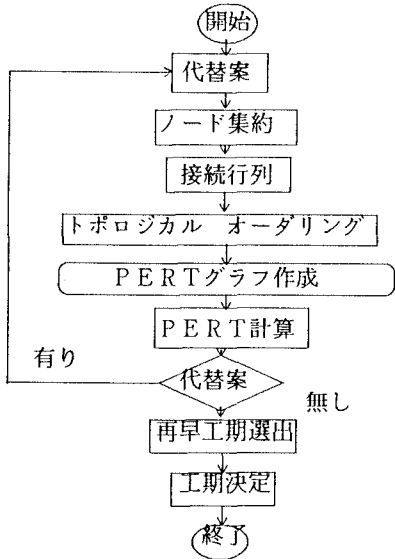


図7 パート計算アルゴリズム

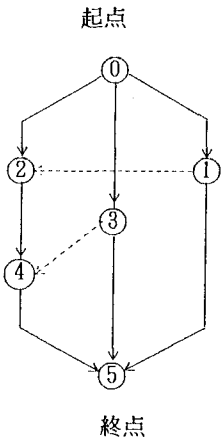


図8 PERTグラフ

このようにして作成されたものを代替案グラフと定義する。PERT計算のためのグラフへの変換は、このグラフを出発点とする。図7に、そのアルゴリズムの基本フローを示す。

まず、この代替案グラフをPERT計算に必要なノードのみを残し、縮小する。次に、そのノードに、起点を0、終点を99として、左の路線より仮ノード番号を割り振る。図6の代替案グラフを例にして示せば、ノード2、4、5、および7は無くてもよい。これらを除去すれば、図8とトポロジカルには同じグラフがえられる。

このグラフでは、仮ノード番号となっているので、次に、その接続行列を作成し、トポロジカルオーダリングで、ノード番号を決定し、PERTグラフを作成する。このアルゴリズムについては、既に開発されているので、省略する。図8は、このようなプロセスで作成された図6の代替案のPERTグラフである。

代替案としては、図6で、路番16の順序を逆にしたものが考えられる。また、別のトレース・グラフから出発したものも考えてよい。それらの優劣は、PERT計算によって算定される除雪作業完了時間の長短や、クリティカル・パスに関する作業展開形の比較などを考慮してなされる。

著者らは、トレース・システムの改良のところで、三路線にまたがる同一道路の重複トレースは不合理としてアラームを出すとした。そのため、代替案グ

ラフで、三路線間での重複は出現しない。このような制約の下では、ここで述べたアルゴリズムで自動変換が可能となる。

4. 適用事例

今回改良したシステムの適用を、前論文と同様に、泉野出町周辺地域を対象として行った。当該地域内（総道路本数446本）において、社会的順位が第1グループの道路は14本あり、その総延長は4.7Km、うち融雪装置設置道路数は4本ある。社会的順位が第2グループ道路は13本あり、その総延長4Kmである。この地域に対し、3台の除雪グレーダーを投入し、30cmの新雪除雪計画案の作成を行った。

まず、図9に、3地点からのトレース図を示す。これより図10に示すトレース・グラフが得られた。他路線との重複は、路番24、12、16および8の4つで発生している。図9でハッチで示した部分が重複しているところである。

次に、このグラフを2.2で述べたルールで集約し、単位作業と作業時間を算定した。作業時間の算定では、30cmの新雪除雪という条件を考慮して、表1の

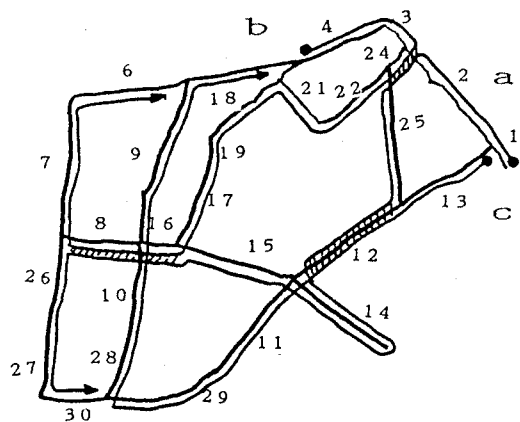


図9 対象地域トレース図

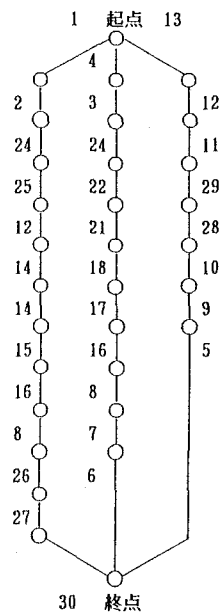


図10 トレースグラフ

除雪速度 V_1 , 移動速度 V_2 の値をそれぞれ133 m/分, 333 m/分としている。図11にその集約トレース・グラフを示す。

次に、このグラフの他路線とで重複する道路24について、まず比較する。図9よりわかるように、これは比較的短い重複である。左路線と中央路線で、この道路に達するまでの累積作業時間は、後者の方が若干短い。そこで、中央の24を除雪、左の24は移動として、順序関係をまず設定する。一方、右と左で重複する道路12と、左と中央で重複する道路16、8に対しては、順序を任意に想定し代替案とすることができる。その適否はPERT計算結果より判断される。ただし、機械系の動きの安全性面より不可となる順序付けもある。

例えば、16と8の順序付けがその例である。図9より分かるように、両者は連続している。そこを2つの路線で作業している機械が重複して来る。図12は、このことをモデル的に示したものである。図12の(1)の案では、同(2)に示すように、16の手前で左の路線の機械が待ち、中央の機械が除雪し、逆に、8では手前で中央機械が待ち、左の路線の機械が除雪するということになる。これは、作業機械系の安全性の面より避ける必要がある案といえよう。

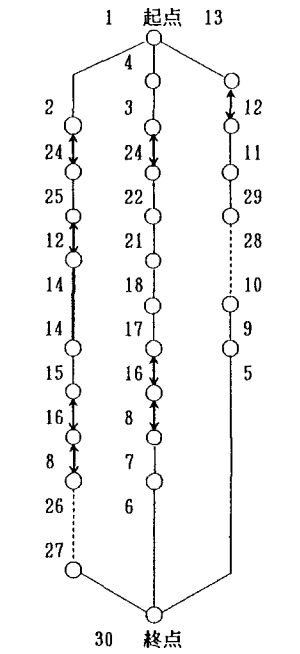
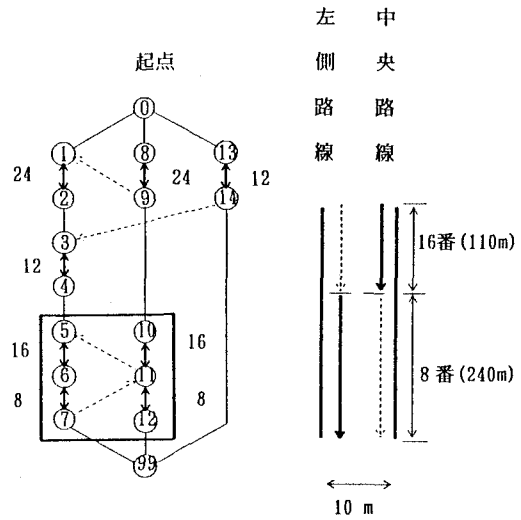


図11 集約トレースグラフ

図13, 14に示した2つの事例は、図9よりいずれの路線でも後半の作業となることが推測される道路16と8の順序を、上のことを考慮して変更した代替案を、図7のアルゴリズムによりPERTグラフに変換したものである。

これらの図では、作業時間を分でまらめて表示してある。PERT計算を実施すると、代替案Iでは、除雪作業完了時間は45分となり、クリティカル・パ



(1) (2)
図12 不可な代替案

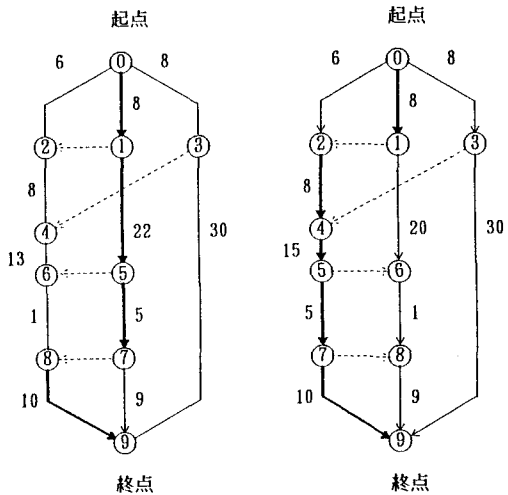


図13 PERTグラフ1 図14 PERTグラフ2

スは、中央の路線に集中している。一方、代替案Ⅱでは、除雪作業完了時間は46分となり、クリティカル・パスは、左の路線に偏っている。両代替案では、作業完了時間には、大きな違いはないが、管理すべき路線が変化してくるという結果となった。このことは、総合評価に際しては、管理の容易さも検討する必要があることを示唆しているといえよう。

5. あとがき

著者らは、与えられた制約の中で、車社会における除雪計画への要求を満たすためには、住民のコンセンサスの下での効率的な分担除雪体制が必要であるとして、その支援コンピュータ・システムの開発研究を行ってきた。本論文では、このシステムの基本サブ・システムの一つである路線構成システムの改良について報告した。

改良の第一は、除雪路線の代替案を構成するトレース・システムの改良である。特に、ここでは、トレース結果の機械系の動きへの展開形を考慮することによって、より合理的な単位作業の設定と作業時間の算定を可能にした。第二は、より多くの代替案の評価を可能にするためのトレース・グラフからPERT計算グラフへの変換アルゴリズムの開発である。このために、トレース段階で非合理的なものに対しては、アラームを出し、トレース・グラフの形を制約することと、トレース・グラフの集約化を進めるルールを明らかにすることを行った。

この改良システムは、適用事例を通じて、十分に機能するコンピュータ・システムとなっていることも報告した。しかし、このサブ・システムに限定しても、まだいくつかの課題が残されている。その一は、ここでの機械系の展開は除雪グレーダー1台による作業のみを考えており、実用化のためにはこの面での拡張が必要である。その二は、他路線と重複している道路に対する順序の設定に関する改良である。適用事例の項でも述べたが、機械系の安全性からみた制約性があり、この判断を支援する機能の追加が必要であらう。支援機構については、アラームを出した後の再トレースについてもいえる。

全体のシステムとしては、総合評価のサブ・システムも課題である。これに関しては、本論文の適用

事例の項で述べたが、作業完了時間に加えて、クリティカル・パスに関する作業の容易さも、評価項目となってくる。今後は、住民、行政官、オペレータなどの参加の下で、システムの適用研究を行うとともに、これらの課題にも取組みたいと考えている。

参考文献

- 1) 金沢市：耐雪都市推進対策調査報告書，Ⅰ，1982，同Ⅱ，1983.
- 2) 木俣 昇：視覚型，対話型情報処理システム，V I S M Sの開発について，金沢大学工学部紀要13-1，9-18，1980.
- 3) 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.
- 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，科研補助金（総合A）成果報告書，1985.
- 5) 日本建設機械化協会：新道路除雪ハンドブック，森北出版，1972.
- 6) 日本建設機械化協会北陸支部：道路除雪オペレータの手引，三盛館，1986.
- 7) 経済調査会：積算資料 88年度雪寒対策特集，1988.
- 8) 木俣 昇：I S M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，J O R S J，28-1，31-50，1985.
- 9) 木俣 昇，石橋 聡：I S M法による参加型順位評価システムの計算機支援システムに関する基礎的研究，電算機利用シンボ查読論文集，12，209-216，1987.
- 10) 木俣 昇，山本幸司，竹村 哲：除雪計画のためのコンピュータ支援システムに関する基礎的研究，電算機利用シンボ查読論文集，13，107-114，1988.