IV-168　道路除雪問題に関する一考察
―除雪車走行ルート選定―

苫小牧工業高等専門学校　正員　○桝谷有三
北海道大学工学部　〃　加来照俊

1．まえがき

著者等は、除雪車がどの様なルートを走行すればある評価基準（目的関数）を最小なり最大にするかという除雪車運用計画について考察してきた．本稿は、まず除雪車運用計画を行なう際、除雪対象地域の特性及び除雪ターミナル施設の配置等を考慮したとき除雪車をどの様に配置する事ができるかについて考察した．さらに、そのひとつの方法である除雪車1台がある分割された地域を担当する場合の走行ルートについて主にグラフ理論より考察した．これは、一般の道路網（除雪対象路線網）をグラフにモデル化したとき、グラフの構造上はオイラー有向グラフであるが、種々の交通規則（右・左折禁止，転回禁止等）を考慮するとかならずしもそのグラフ上にオイラー線が存在しない場合があり、この存在についてである．

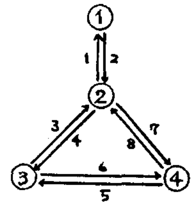
2．除雪車運用計画について

除雪対象地域には何台かの除雪車が配置されている．降（積）雪時において、この限られた除雪車の台数でいかに迅速に、効率的に行なうかの除雪車運用計画は、その地域の住民や道路利用者に対するサービス、及び除雪を遂行する側からみた経済性を考慮すると早急に考えなければならない問題である．除雪対象地域において、各々の除雪車にどの様な走行ルートを与えるかは、除雪対象地域の特性及び除雪ターミナル施設の位置あるいは配置等を考慮すると次の方法が考えられる．ひとつは、その地域を除雪車の台数に相当する数に分割したときそれぞれ分割された地域ごとに1台の除雪車を配置して、ある評価基準のもとで最適な走行ルートを与える方法である．次に、地域を分割しないで除雪ターミナルを同時に出発した各々の除雪車（2台以上）にある評価基準のもとで最適な走行ルートを与える方法である．さらに、この両方法の中間として地域をいくつかに分割したとき、それぞれの地域ごとに1台ないし2台以上の除雪車を配置して前述と同様な方法で除雪車の走行ルートを与える方法である．一車線を除雪するための運行回数は、2回もしくは2台を雁行して行なう方法がとられている．従って、上述の除雪車1台ということは2台を1パーティとして雁行しながら除雪する場合とも考えることができる．以項においては、まえがきで述べたようにすでに分割された地域を1台もしくは2台雁行によって除雪する場合について考察する．

3．除雪車走行ルートについて

グラフ理論より明らかなように、各ノードの出入次数が等しいオイラー有向グラフにおいては、かならずオイラー線が存在する．従って、道路網を有向グラフにモデル化できた場合除雪車は総走行距離がすべて等しいオイラー線の中で，ある評価基準を最小なり最大にするオイラー線を探索して走行する．しかし，与えられた道路網をグラフにモデル化したとき明らかにグラフの構造上オイラー有向グラフになりえない場合がある．このグラフにおいては、あるリンクの走行が重複される必要があり，このとき除雪車の走行ルートは次の方法によって求めることができる．ひとつは、除雪車の経済性を考慮して総走行距離が最小になるように重複されるリンクを求めて，前述と同様ある評価基準を最小なり最大にする走行ルートを探索する方法である．この総走行距離が最小になるように重複されるリンクを求める方法は、Stricker 等*)により研究されてきた．他は、事前に重複されるリンクを求めないである評価基準によって走行ルートを探索する方法である．

次に、グラフの構造上はオイラー有向グラフであるが、前述の種々の規制を考慮するとかならずしもオイラー線が存在しない場合について考える．図－1に示される簡単な道路網において、道路網は明らかにオイラー有向グラフにモデル化でき6個のオイラー線が存在する．しかし、ノード2,3,4において転回禁止を加えるとオイラー線は1個（リンク番号で示すと、7-5-3-1-2-4-6-8）しかなくなり、さらに除雪車がノード1より出発することを考慮したときには存在しなくなる．従って，オイラー線が存在しなくなったときには前述と同様な方法で走行ルートを探索しなければならない．また，この様に種々の規制を加えられたときオイラー線が存在するかしないかの判定は，以後の走行ルートを探索する際の計算を容易にするためにも必要である．この判定については，次項において考察する．



図－1

4．オイラー線の存在について**)

前項でのべたオイラー線が存在するかしないかの判定は，道路網をn個のノードとm個のリンクを持つグラフの枝行列（Edge Matrix）を通して考察すると，次の様な計算手順によって行なうことができる．

枝行列Eは，リンクがノードによってつながれていると考えたもので（1）式で表わすことができ，図－1の例は（2）式で表わされる．さらに，この行列Eの要素を $e_{ij}=1$ のときリンクの順序系列を示すリンク積（1*2*…*m）におきかえた行列 R_1 を考える．この行列 R_1 は行列Eと同様，行と列にリンクを対応させたm次の正方行列である．

$$\mathbf{E}=\left[e_{ij}\right]_{m\times m}\qquad e_{ij}=\begin{cases}1; & \text{リンク}i\text{よりリンク}j\text{へ走行可能なとき}\\ 0; & \text{しからざるとき}\end{cases}\qquad \text{—(1)}$$

$$\mathbf{E}=\begin{array}{c@{}c}
 & \begin{array}{cccccccc}1&2&3&4&5&6&7&8\end{array}\\
\begin{array}{c}1\\2\\3\\4\\5\\6\\7\\8\end{array} &
\left[\begin{array}{cccccccc}
0&1&0&0&0&0&0&0\\
\underline{1}&0&0&1&0&0&1&0\\
1&0&0&\underline{1}&0&0&1&0\\
0&0&\underline{1}&0&0&1&0&0\\
0&0&1&0&0&\underline{1}&0&0\\
0&0&0&0&\underline{1}&0&0&1\\
0&0&0&0&1&0&0&\underline{1}\\
1&0&0&1&0&0&\underline{1}&0
\end{array}\right]
\end{array}\qquad \text{—(2)}$$

（1）各リンク間の連結関係を行列Eで示す．

（2）種々の交通規制を加えたとき走行不可能になるリンク間の行列Eにおける要素を0におきかえる．

（3）（2）で求められた行列Eから行列 R_1 を求める．

（4）行列 R_1 から行列 R_2 を R_1*R_1 によって求める．

（5）順次 R_i を $R_{i-1}*R_1$ によって求める．その際，要素はたとえば1*2*1のように同じ数字が現われたときには0におきかえる．これは，同じリンクが重複して走行されることをさけるためである．

（6）順次 R_i を計算する過程において要素がすべて0になれば，その段階でそのグラフにはオイラー線が存在しないことがわかる．

（7）すべてのリンクをただ1度のみ通過するオイラー線は，m個からグラフにおいて行列 R_{m-1} で求めることができる．

$$R_1=\begin{array}{c@{}c}
 & \begin{array}{cccccccc}1&2&3&4&5&6&7&8\end{array}\\
\begin{array}{c}1\\2\\3\\4\\5\\6\\7\\8\end{array} &
\left[\begin{array}{cccccccc}
0&1*2&0&0&0&0&0&0\\
\underline{2*1}&0&0&2*4&0&0&2*7&0\\
3*1&0&0&\underline{3*4}&0&0&3*7&0\\
0&0&\underline{4*3}&0&0&4*6&0&0\\
0&0&5*3&0&0&\underline{5*6}&0&0\\
0&0&0&0&\underline{6*5}&0&0&6*8\\
0&0&0&0&7*5&0&0&\underline{7*8}\\
8*1&0&0&8*4&0&0&\underline{8*7}&0
\end{array}\right]
\end{array}\qquad (3)$$

この手順により図－1の例でノード2,3,4で転回禁止を加えた場合の計算は，まず（2），（3）式における下線を引いた要素は0におきかえられ，行列 R_7 において要素 r_{78} が7*5*3*1*2*4*6*8を取り他はすべて0となる．

上記の手順は，出発ノードを限定しない場合について考えたが，出発ノードを限定した場合には手順（4）以降の行列 R_{i-1} を行ベクトル R_{i-1}^{m} におきかえて行なえばよい．上の例で，ノード1より出発したときには行ベクトル R_5^{1} においてすべての要素が0になり，前述の様にオイラー線が存在しなくなる．

5．あとがき

今後さらに，道路網上のある区間に多車線区間を含んだ場合についても検討を進める．

参考文献；*) Routing for Public Service Vehicles；David H. Marks ASCE 1971・12 **) グラフとネットワークの理論；尾崎他 コロナ社