

1. まえがき

冬期積雪のみられる都市において道路除雪は、今日の自動車交通の発達とともにその重要性を一層増してきている。この道路除雪問題に対しては従来から除雪の程齊効果推定、除雪機械の開発、雪処理技術の開発、除雪システムの開発等種々の面から研究が行われてきた。しかし、この問題を解決しまた改善してゆくためにはこれらの研究を踏えた上さらに言及されなければならない課題がある。そのひとつは、限られた除雪体制と除雪路線と如何に合理的に設定するかという問題である。これは限られた除雪体制でできるだけ多くの路線を除雪するために除雪作業内容を低下させることも実質的效果を減殺させる。そこで、本稿はある需要交通量(OD交通量)を効率的に処理するための除雪路線網を除雪体制に見合わせて合理的に設定する方法を考察する。まず、各OD交通を処理するために必要な除雪路線網を設定する。次に、この設定された路線網を基本にして除雪体制および道路利用者の便益を考慮してさらに増強すべきあるいは新たに除雪すべき路線を設定するという2段階の過程を踏んだ。なお、この考察の対象とする除雪作業は主に新雪除雪とする。

2. 問題の定式化について

道路除雪問題を考える場合には多くの要因を考慮しなければならないが、本稿においてはこの問題を定式化するにあたって基本的な要因のみを取り上げる。また、問題の定式化にあたっては主に線計画法(L.P.)を通して考察する。いま対象とする道路網を m 個のノードと n 個のリンクからなるネットワークにモデル化する。このネットワークに p 個のODペアが存在するものとして、各OD交通ごとに番号をつけその番号のOD交通量を V_k とする。さらに、各OD交通ごとにリンク交通量を区別した各OD交通のリンク交通量を Y_{ij}^k とする。また、各リンクの除雪可能な幅員を x_{ij}^i 、単位幅員当りの交通容量を C_{ij} 、距離を d_{ij} とする。

1) 基本除雪路線網の設定について

各需要交通量を処理するために必要な除雪路線網の設定にあたっては次の2つの方法を考えた。ひとつは、需要交通量を処理するために最低必要な路線網ということでは除雪面積(並べ除雪路線長)を目的関数とした場合である。問題は以下の様に定式化される。まず(1)式はOD交通量に関する条件式であり、(2)式は各リンクの容量制限式である。ここで、 x_{ij}^i は各リンクの除雪されるべき幅員であり x_{ij}^i と(3)式の制約式が考えられる。

$$\sum_j (Y_{ij}^k - Y_{ji}^k) = \begin{cases} V_k & (i \text{ が } p \text{ 個のノードの時}) \\ -V_k & (i \text{ が } q \text{ 個のノードの時}) \\ 0 & (i \text{ が } (p+q) \text{ 個のノードの時}) \end{cases} \quad (i=1,2,\dots,p) \quad (j=1,2,\dots,m-1) \quad \text{--- (1)}$$

$$X_{ij} = \sum_{k=1}^p Y_{ij}^k \leq C_{ij} \cdot x_{ij}^i \quad (ij=1,2,\dots,m) \quad \text{--- (2)} \quad x_{ij}^i \leq x_{ij}^i \quad (ij=1,2,\dots,m) \quad \text{--- (3)}$$

$$Y_{ij}^k \geq 0 \quad (k=1,2,\dots,p) \quad (ij=1,2,\dots,m) \quad \text{--- (4)} \quad x_{ij}^i \geq 0 \quad (ij=1,2,\dots,m) \quad \text{--- (5)} \quad A_1 = \sum_{ij=1}^m d_{ij} \cdot x_{ij}^i \quad \text{--- (6)}$$

また、目的関数は(6)式のように総除雪面積 A_1 を最小にするとなる。そうすると、この A_1 の値より所要除雪台数を算出することができる。しかし、このとき対象路線網などの程度で除雪を完了させるかも大きな要因がある。いま、除雪完了時間 T 、除雪車の単位時間当りの除雪面積 P とすると所要除雪車台数 N_1 は(7)式より求め

$$N_1 = A_1 / (T \times P) \quad \text{--- (7)}$$

られる。また、この問題で設定される路線網などの様な降雪状況に対するものなのか、さらに降雪状況に応じて対象とする需要交通量などの様に把握するかについても十分考慮されなければならない。

他のひとつは、現在ある程度の除雪体制を有しているあるいはさらに増強を計慮している場合についてである。いま現有の除雪車台数を n 増加させたときの台数を N_2 とすると、(7)式と同様の式である(8)式よりある除雪

完了時間に除雪可能本面積 A_2 を導くことができる。とすると、条件式としては前述の (1), (2), (3), (4),

$$A_2 = N_2 \times T \times P \quad \text{--- (8)}$$

$$TL = \sum_{ij} d_{ij} \times X_{ij} \quad \text{--- (10)}$$

$$\sum_{ij} d_{ij} \cdot x_{ij} \leq A_2 \quad \text{--- (9)}$$

$$TD = \sum_{ij} t_{ij} \times X_{ij} \quad \text{--- (11)}$$

(5) 式にさらに除雪可能本面積に関する (9) 式が加わる。また、目的関数は前述の (6) 式に変わって (10) あるいは (11) 式の総走行台時間あるいは距離という道路利用者側に関するものとなる。なおここで、 t_{ij} はリンク ij の走行所要時間である。

2) 増強あるいは新たに除雪される路線の設定について

1) で求められた除雪路線網を基本として、さらに除雪体制、除雪費用あるいは道路利用者の便益をも考慮して増強あるいは新たに除雪される路線の設定について考察する。この場合にも次の2つの場合について考える。ひとつは、基本路線網を除雪した後さらに除雪能力を有する場合である。このとき、需要交通量は除雪路線の拡大によって増加することも考えられるが各OD交通の需要交通量の増加量 ΔR_{ij} とすると、1) と同様の様に定式化される。まず条件式として (1) 式に対する (12) 式があり、(2), (3) 式として (13), (14) 式がある。この

$$\sum_j (Y_{ij}^R - Y_{ji}^R) = \begin{cases} V_{i\Delta} + \Delta V_{i\Delta} \\ - (V_{i\Delta} + \Delta V_{i\Delta}) \end{cases} \quad \text{--- (12)}$$

$$x_{ij}^1 + x_{ij}^2 \leq x_{ij}^0 \quad (ij=1, 2, \dots, m) \quad \text{--- (14)}$$

$$X_{ij} = \sum_{k=1}^2 Y_{ij}^k \leq C_{ij} \cdot (x_{ij}^1 + x_{ij}^2) \quad (ij=1, 2, \dots, m) \quad \text{--- (13)}$$

$$\sum_{ij} d_{ij} \cdot x_{ij} \leq A_2 \quad \text{--- (15)}$$

$$Y_{ij}^k \geq 0 \quad (k=1, 2, \dots, 2) \quad (ij=1, 2, \dots, m) \quad \text{--- (14)}$$

$$x_{ij}^k \geq 0 \quad (k=1, 2, \dots, m) \quad \text{--- (16)}$$

(13), (14) 式における x_{ij}^k は 1) で決定された除雪幅員であり、 x_{ij}^k がさらに増強あるいは新たに除雪される各リンクの幅員である。さらに、この場合も前述と同様除雪体制の程度を示す指標として除雪面積 A_2 を用いると (15) 式がある。また目的関数としては (10) あるいは (11) 式が考えられる。

他のひとつは、道路利用者の走行便益あるいはあまりリンクの交通集中・混雑の回避を考慮する場合である。この要因を定式化するためにあたっては、一般に交通量-走行時間関数を用いなければならぬが、この関係を導入する問題を一層複雑にする等を考慮してサービスレベル(交通量/交通容量比)の概念を用いた。いま、あるリンク ij の設定されたサービスレベルを α_{ij} とすると (17) 式の関係を得る。さらに、この式は (18) 式となる。とすると

$$\frac{X_{ij}}{C_{ij} \cdot (x_{ij}^1 + x_{ij}^2)} \leq \alpha_{ij} \quad \text{--- (17)}$$

$$X_{ij} = \sum_{k=1}^2 Y_{ij}^k \leq \alpha_{ij} \cdot C_{ij} \cdot (x_{ij}^1 + x_{ij}^2) \quad (ij=1, 2, \dots, m) \quad \text{--- (18)}$$

$$A_2 = \sum_{ij} d_{ij} \cdot x_{ij} \quad \text{--- (19)}$$

条件式は前者の (12), (13), (14), (17), (18) 式に加え (18) 式となる。さらに目的関数としては (10) 式の総除雪面積 A_2 が考えられる。なお、(18) 式は積和をばかきリンクのみが条件式として加えられる。

これらの2段階の過程において求められた x_{ij}^1, x_{ij}^2 と x_{ij}^0 から除雪されないリンクの幅員 x_{ij}^0 が (20) 式にて得られる。

$$x_{ij}^0 = x_{ij}^0 - (x_{ij}^1 + x_{ij}^2) \quad \text{--- (20)}$$

このとき、 x_{ij}^0 が x_{ij}^0 に等しいリンクは除雪が全くなされず、時期をまたいで行われる。

このように、対象道路網の各リンクを $x_{ij}^1, x_{ij}^2, x_{ij}^0$ のどれかに分けると得る値から大きかたに3つの除雪レベルに分類することができると。

3. あとがき

道路除雪問題を考える場合には多くの要因を考慮しなければならぬが、本稿においては主に需要交通量、除雪車台数、除雪完了時間、サービスレベル等の要因を通じて考察した。これらのモデルにおいては、需要交通量、除雪車台数、除雪完了時間等を政策パラメータとして感応分析を行なったことにより、この計画の除雪路線網が設定されると思われ。これらの考察は主にある除雪体制における除雪状況とかある状態に対するものだが、今後は長期的視野に立った場合の除雪路線網のあり方についても言及していきたい。