Ⅳ-4　輸送施設計画問題へのMIN-MAX配分法によるアプローチ

京都大学工学部　正員　春名　攻

1. MIN-MAX配分法の施設計画問題への適用

公共的な輸送施設の計画主体は施設を利用する個々の単体(たとえば個人，企業，集団他）のすべてであるといえる。従来，数理計画法を用いた計画モデルによるアプローチでは，これら単体の集合としての計画主体(総体)を想定し，この主体にとって望ましいと考えられる評価尺度を一元化して設定して最適化をはかってきた。この結果主体にとって望ましい計画案を求めているが，もともとの単体レベルでの検討を加えると各評価値間に不均衡が生じている場合が多い。つまり，一部の単体は特典をうけるが，一部の単体は犠牲をしいられる。輸送施設のような公共的土木施設でのこのような不均衡は望ましくはない。計画問題には本来，目的の多元性と，主体を構成する単体(あるいはその部分集合)間の競合というやっかいな問題が含まれているが，本稿では，輸送施設計画問題を対象に後者の問題に対して均等化(格差是正)という立場からのアプローチを行なう。この場合，均等化のための尺度としては対象となる単体(or部分集合)ごとの評価尺度値の最高(低)水準をとり，この値の最小(大)化をはかるというMIN-MAX配分法を用いることとする。

2. 輸送問題(Transportation Problem)への適用

古典的な輸送問題では m の供給地と n の需要地間の輸送量 x_{ij}(トン)を，供給地 i の供給量 a_i(トン) と需要地 j の需要量 b_j(トン) $\left(\sum_{i=1}^{m} a_i = \sum_{j=1}^{n} b_j\right)$ のもとで総輸送費用 $z = \sum_{i,j} c_{ij} x_{ij}$ を最小にするような輸送 $\{x_{ij}\}$ を求める問題である。この最適解を(輸送費を需要地が負担するとの仮定のもとで)各需要地レベルで検討すると，一部の需要地は特典をうけるかわりに一部の需要地はそのしわよせをうけることになる。本来平等であるべき需要地間で不平等な結果を生みだすことになり，他の需要地のために犠牲を強いられる需要地は納得できないであろう。このような問題を前述の観点からモデル化するとつぎのようになる。すなわち，n の需要地間での最大の「トンあたり輸送費用を y(円/トン) とすると数理計画法(LP)によるモデル；

$$\text{Minimize} \quad y$$

$$\text{Subject to} \quad \begin{cases} \sum_{j=1}^{n} x_{ij} = a_i, \quad \sum_{i=1}^{m} x_{ij} = b_j \\ \sum_{i=1}^{m} c_{ij} x_{ij} \Big/ b_j \leqq y \\ x_{ij} \geqq 0 \\ (i=1,2,\cdots,m,\ j=1,2,\cdots,n) \end{cases}$$

によって最適値を与える y_{opt} と $\{x_{ij}^{opt}\}$ を求めると可能なかぎり均等化され，かつ小さなトン当り単価を与える輸送計画案が求められる。上記モデルで y_{opt} が求められた後に $y_{opt}=c$ とおいて $z = \sum_{i,j} c_{ij} x_{ij}$ を目的関数として最小化をはかると，格差の少ない範囲での総輸送費最小化がはかれる。もちろんこの値は始めから総輸送費最小化を目指す基本的な輸送問題の与える最適解よりは若干大きくなっているが不均衡は少なくなっている。

3. トラックターミナルの規模と配置計画への適用

大都市を中心とする地域の経済圏との貨物輸送の合理化をはかるため，周辺地域にトラックターミナル施設の建設を計画して対処する場合が多い。ここでは，この施設の規模・配置計画をMIN-MAX配分法を適用して考察する。いま，当該地域を $i=1,2,\cdots,m$ というゾーンに分割し，ターミナル配置候補地を $k=1,2,\cdots,l$ とする。さらに他の経済圏を $j=1,2,\cdots,n$ とすると，i ゾーンと j 圏との輸送需要は d_{ij} (トン/日) のように求めることができる。また i ゾーンとトラックターミナル k の間の集配費用を ${}_1C_i^k$ (円/トン)，ターミナルにおける荷役その他費用を C^k (円/トン)，ターミナルと目的地の経済圏までの輸送費用を ${}_2C_j^k$ (円/トン) とする。さて，当該地域と j 圏とのトンあたりの輸送費が地域内のゾーン位置によって格差の生じないようなターミナルの規模や配置を考慮するならば，この値の最大値を y_j (円/トン) とすると $i=1,2,\cdots,m$ に対して次式が成立する。

$$\sum_{k=1}^{l} \left({}_1C_i^k + C^k + {}_2C_j^k\right) x_{ij}^k \Big/ d_{ij} \leqq y_j$$

ここで x_{ij}^k (トン/日) は i ゾーンと j 圏との間の輸送貨物の中で k ターミナルを利用する量である。この y_j の値を最小化することにより，j 圏とのトン当り輸送費がゾーン間で格差のなくなるようなターミナルの規模と配置が求められる。しかし，一般にはターミナル k ごとに規模の上

限が与えられており，経済圏ごとの規模の必要量をすべて満たすことはできない。このための調整には，当該地域と各経済圏とのトン当り輸送費用の関係を表わす統一的指標が必要となる。いま，当該地域と各経済圏の間のトン当り輸送費の最大値をj圏に対して $y_j = r_j y$ とおくことにより統一的な指標 y を導入する。この係数 r_j はj圏との距離や輸送手段を考慮して外的に与えるものである。たとえば単純な形としては距離によるてい減率も考えられる。このようにするとトラックターミナルの規模と配置を計画する問題はつぎのようにモデル化される。

$$
\begin{aligned}
&\text{Minimize } y\\
&\text{Subject to }
\begin{cases}
\sum_{k=1}^{l} x_{ij}^{k} = d_{ij} \\
\sum_{i,j} x_{ij}^{k} \leq T^{k} \ (\text{規模の上限}) \\
\sum_{k=1}^{l} ({}_1C_i^k + C^k + {}_2C_j^k)\, x_{ij}^{k} \Big/ r_j \cdot d_{ij} \leq y \\
x_{ij}^{k} \geq 0 \quad \begin{pmatrix} i=1,2,\cdots,m, & k=1,2,\cdots,l \\ j=1,2,\cdots,n. & \end{pmatrix}
\end{cases}
\end{aligned}
$$

4. 交通量配分問題への適用

(1) 等時間配分——いま，ODペアl ($l \in P$)のk番目のルート($k \in K_l$)を通る交通量を x_k^l とするときのルートkの走行時間が $f(\{x_k^l\})$ とあらわされるとすると，物理的な制約条件のもとで各ODペアーの交通はどのようなルートの遷移を行なってもそれ以上走行時間を最小化できないという均衡状態が生まれるが，このときの交通量を等時間原則にもとづく配分交通量という。見方をかえれば，各ODペアごとの最小走行時間 y_l ($l \in P$)の最大化をはかるような遷移がなされた結果，均衡状態になると考えうる。ただし $x_k^l > 0$ なるルートでは $f(\{x_k^l\}) = y_l$ でなければならない。これをモデル化すると以下のようになる。ここで S_l はODペアlの OD交通量である。

図-1
配分対象
道路ネットワーク
とOD交通量
(K市通過交通)

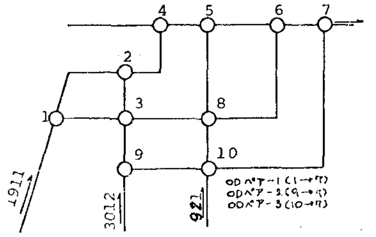
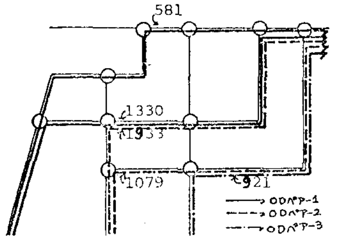


図-2
配分交通量



$$
\begin{aligned}
&\text{Minimize } y = \sum_{l \in P} y_l\\
&\text{Subject to }
\begin{cases}
f(\{x_k^l\}) - y_l - z_k^l = 0, \quad k \in K_l,\ l \in P \\
\sum_{k \in K_l} x_k^l = S_l, \quad z_k^l \cdot x_k^l = 0 \\
x_k^l \geq 0, \quad z_k^l \geq 0 \quad l \in P,\ k \in K_l.
\end{cases}
\end{aligned}
$$

このモデルは少し異なった観点からも論じうるが，ここではMIN-MAX手法との関連で示している。また，このモデルを図-1に示すような道路ネットワークに対して適用した結果を図-2に示したが，解を簡単に求められた。

(2) 沿道騒音レベル最小化のための交通量配分——道路事情が悪化し，幹線沿道の環境問題が深刻化してきている。ここでは，総騒音というような尺度の用いられない問題としての騒音問題をとりあげ，交通流の状態を評価して望ましい状態が生みだせるような交通量の計画的配分のための情報を求めるモデルについて述べる。ここでは，各道路区間における道路騒音をできる限り小さくするような交通量を配分するためのモデルをこの手法を用いて定式化してみよう。また簡単のために沿道の土地利用状況は一様と仮定しておく。いま，道路網におけるノードの集合をI，リンクの集合をLとすると，リンク$(i,j) \in L$の道路騒音 N_{ij} はリンク(i,j)の交通量 x_{ij}^l ($l \in P$)の関数として

$$N_{ij}(x_{ij}) = 10 \log x_{ij} + a_{ij}, \quad x_{ij} = \sum_{l \in P} x_{ij}^l$$

として求められる。したがって，各沿道の道路騒音を可能な限り小さくするような交通量配分を行なうためのモデルは以下のように作成される。

$$
\begin{aligned}
&\text{Minimize } y\\
&\text{Subject to }
\begin{cases}
\sum_{(i,j) \in L} x_{ij}^l = \sum_{(j,k) \in L} x_{jk}^l, \quad \sum_{(o^l,j) \in L} x_{o^l j}^l = \sum_{(k,d^l) \in L} x_{k d^l}^l = S_l \\
\sum_{l \in P} x_{ij}^l \leq C_{ij} \ (\text{容量}) \\
10 \log \left(\sum_{l \in P} x_{ij}^l \right) + a_{ij} \leq y, \quad (i,j) \in L \\
x_{ij}^l \geq 0, \quad (i,j) \in L,\ l \in P
\end{cases}
\end{aligned}
$$

このように本来単体(リンク)ごとの評価されるべき騒音の問題などはこの手法によりアプローチが可能となる。

5. おわりに

以上に簡単ではあるが輸送施設の計画問題を対象に，均等化を考慮した計画問題に対してMIN－MAX配分法の適用例をいくつか示した。

紙面上では多くのことを省略せざるをえなかったので講演時により具体的にかつ詳しく示すこととする。