

市営バス路線決定問題に対する数理計画モデルの適用

三村 庄一

(埼玉大学大学院政策科学研究科 現所属：横浜市)

指導教官 大山達雄教授

1. 研究の目的

運行回数の少ない系統が多いとされる「多系統少便型」の横浜市営バス系統網を、鉄道駅へアクセスする端末バスを主体とする系統網に再編成することにより、系統数が少なく各系統ごとの運行回数が多い、全体として利便性の高い「少系統多便型」に転換するため、パソコンで操作可能な数理計画モデルによる系統網再編成の作成を試みる。

2. 総乗車距離最小化モデル (M1)

停留所を表わすノードとバスの運行経路を表わすリンクで構成されるバスネットワークにおいて、ノード $i \in N = \{1, \dots, n\}$ でバス(系統 $j \in M = \{1, \dots, m\}$)に乗りし、駅 $k \in S = \{1, \dots, s\}$ でバスを降りる端末バス需要をすべて満たすという条件下で、利用者の総乗車距離を最小にする系統網(系統の組合せ)を求めるモデルである。

(連続変数)

x_{ijk} : ノード i から系統 j を利用して駅 k まで行くバスの利用者数

$x_{ijk} \geq 0; i \in N, j \in M, k \in S$

(制約条件)

(a) 需要充足条件

$$\sum_{j \in M} x_{ijk} \geq q_{ik} \quad i \in N, k \in S \quad (1)$$

(b) 系統容量に関する条件

$$\sum_{i \in N} \sum_{k \in S} x_{ijk} \leq c_j \quad j \in M \quad (2)$$

(目的関数)

$$\text{Minimize} \quad \sum_{i \in N} \sum_{j \in M} \sum_{k \in S} d_{ijk} x_{ijk} \quad (3)$$

q_{ik} : ノード i から駅 k までの端末バス需要(利用者数)

$i \in N, k \in S$

c_j : 系統 j の容量

(capacity, 利用可能総数) $j \in M$

d_{ijk} : ノード i から系統 j を利用して駅 k まで行くバス利用者の乗車距離

$i \in N, j \in M, k \in S$

このM1を実際の地域に適用して、系統網再編成を求める(ノード数 $n=22$, 系統数 $m=28$, 駅数 $s=12$)。最適解は、28本の系統の下ですべての端末バス需要が最短乗車距離で移動可能な状態を表わすが、利用者が0の系統が9本存在し、すべての端末バス需要を最短乗車距離で輸送するには19本の系統で足りることがわかる。これらの19系統を1本ずつ除去して再計算することによって、絶対必須系統、必須系統、選択的系統の3種類に分類する。選択的系統を系統網から除去すると、すべての端末バス需要が最短乗車距離で実現可能な最小系統数は15本で、その組合せ(系統網再編成)は8種類あることがわかる。

3. 総系統数最小化モデル (M2)

すべての端末バス需要を満足する最小系統数の系統網を求める全整数計画モデルである。

(整数変数)

$$z_j = \begin{cases} 1 & \text{系統 } j \text{ を選択するとき} \\ 0 & \text{系統 } j \text{ を選択しないとき} \end{cases} \quad j \in M$$

(制約条件)

需要充足条件

$$\sum_{j \in M} a_{ijk} z_j \geq 1 \quad i \in N, k \in S \quad (4)$$

(目的関数)

$$\text{Minimize} \quad \sum_{j \in M} z_j \quad (5)$$

$$a_{ijk} = \begin{cases} 1 & \text{ノード } i \text{ から系統 } j \text{ を利用して} \\ & \text{駅 } k \text{ に到達可能であるとき} \\ 0 & \text{ノード } i \text{ から系統 } j \text{ を利用して} \\ & \text{駅 } k \text{ に到達不可能であるとき} \end{cases} \quad i \in N, j \in M, k \in S$$

M1と同地域を対象としてM2の最適解を求めると、最小系統数は11本となる。最適解の系統網をもとに系統の追加・除去を行なって計算した結果、総系統数が最小の11本となる系統網再編案は6種類あることがわかる。

4. 結合型バス路線決定モデル(M3)

総乗車距離(M1)と総系統数(M2)の2つの評価基準を兼ね備える混合型整数計画モデルである。

(変数)

$$x_{ijk} : x_{ijk} \geq 0; i \in N, j \in M, k \in S$$

$$z_j : z_j = 0 \text{ or } 1; j \in M$$

(制約条件)

(a) 需要充足条件-1

$$\sum_{j \in M} x_{ijk} \geq q_{ik} \quad i \in N, k \in S \quad (6)$$

(b) 需要充足条件-2

$$\sum_{j \in M} a_{ijk} z_j \geq 1 \quad i \in N, k \in S \quad (7)$$

(c) 系統容量に関する条件

$$\sum_{i \in N} \sum_{k \in S} x_{ijk} \leq C_j z_j \quad j \in M \quad (8)$$

(目的関数)

$$\text{Minimize} \quad \alpha W_1 + \beta W_2 \quad (9)$$

$$W_1 : \sum_{i \in N} \sum_{j \in M} \sum_{k \in S} d_{ijk} x_{ijk} : \text{総乗車距離}$$

$$W_2 : \sum_{j \in M} z_j : \text{総系統数}$$

$$\alpha, \beta : \text{パラメタ}$$

W_1 のウェイトを $\alpha=1$ と固定し、 β を変化させて W_1 と W_2 の推移を調べる。 $\beta=1 \sim 10,000$ までは、M1の計算結果で求めた“最短経路系統を確保する最小系統数の系統網”を示し、 β の値をさらに増加させると $\beta=300,000$ 付近で最小系統数11本に達する(図1)。ウェイトを $\alpha=\beta=1$ と固定し、総系統数に関する制約を追加することで、各系統数($m=11, 12, \dots, 15$)において総乗車距離が最小となる系統網を求めると、5組の系

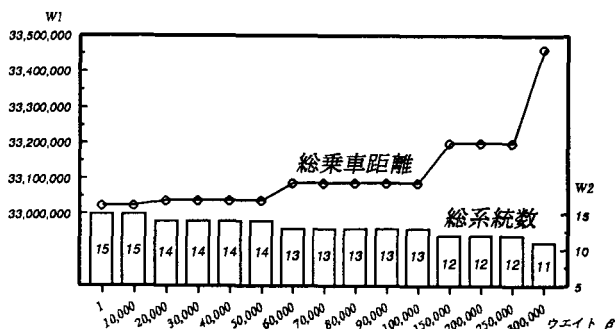


図1: 評価値の推移

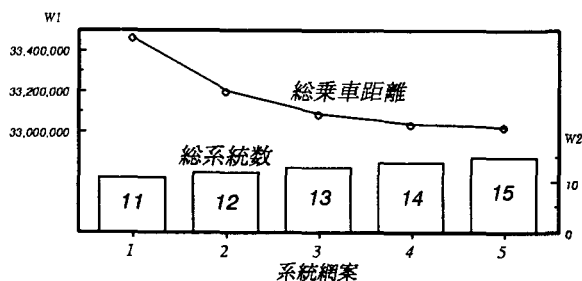


図2: 各系統数のときの系統網再編案

系統網再編案が得られる(図2)。

5. まとめと今後の課題

本研究では、バス系統網再編案を作成する数理計画モデルを構築し、これを実際のバス系統網に適用してモデルの検証を行なった。本研究で構築した3種類のバス路線決定モデルによる系統網再編案を、実際のバス路線再編計画として具体化させるためには、今後さらに潜在的なものも含めて需要(路線のポテンシャル)を計測し、系統別運行回数を求めたうえで現行系統網との得失比較などを行なう必要がある。

主要参考文献

- [1] 大山達雄, 1993. 『最適化モデル分析』日科技連.
- [2] 天野光三編, 1988. 『都市の公共交通』技報堂出版.
- [3] Kuah, G. K. and J. Perl, 1989. "The feeder-bus network-design problem" *Journal of the Operational Research Society* Vol. 40, No. 8, pp. 751-767.

学会事務局年末年始休業のお知らせ

平成6年12月29日(木)~平成7年1月6日(金)