

神戸大学工学部 正員 枝村 俊郎
 神戸大学工学部 正員 森津 秀夫
 神戸大学大学院 学生員 ○土井 元治

1. まえがき

従来、計画者の経験や勘によって行なわれてきたバス路線網の決定を、より合理的に行なおうとするのが、本研究の目的である。バス路線網計画として決定しなければならないのは、運行するバス路線と、その運行間隔とする。そして問題を3つのサブモデルに分割することにより、実用性を重視したバス路線網構成モデルを作った。

2. バス路線網構成モデルの概要

このモデルでは、まず可能なすべての路線の中からいくつかの検討路線を選び、次にそれらの中から最適な路線の組合せをつくり、最適な運行間隔の決定を行なう。そして必要に応じて前のステップにフィードバックさせるものとする。これをフローチャートに表わすと図-1のようになる。

3. 路線列挙サブモデル

このサブモデルは、与えられた起点、終点の停留所間の路線を列挙し、評価値を求める。路線の起終点ではバスの方向転換が必要のため、起終点となり得る停留所は限定される。またトリップ分布などから明らかに路線を設ける必要のない起終点の組合せもある。そこで検討が必要と判断される各起終点ペアに対してこのモデルを適用し、検討路線候補を列挙する。ここでは、停留所を表わすノードと停留所間の区間を表わすリンクとでネットワークを構成し、起点と終点を与え、起点から終点に到る路線を探索する。ただし実現困難な路線が生じるのを防ぐため、路線長さや、同一ノードの通過回数などの制約条件を設けておく。それらの制約条件を満たす実行可能路線を陰的列挙法を用いて求め評価値を計算する。その探索方法はBack track Algorithm に準ずるものである。すべての実行可能路線の列挙が終われば、評価値の高い路線から順に、定められた数の路線を検討路線候補として出力する。路線を評価する基本的な条件には次のようなものがある。①利用する乗客が多いこと。②各停留所間の最短経路を結んでいること。③区間、方向ごとの乗客数の差が小さいこと。このうち条件①を中心に②も含めた形で、式(1)を評価関数として設定した。

$$F = (\sum_i \sum_j g_{ij} - d_{ij})^2 / L \sum_i \sum_j g_{ij} d_{ij} \quad (1)$$

ここにF: 評価値、 g_{ij} : i から j へのトリップ数、 d_{ij} : i から j までの乗車距離、L: 路線長、 i, j : 路線上の停留所、 d_{ij} : i, j 間の最短距離とする。

4. 路線網決定サブモデル

検討路線の中からどの路線を路線網に含めるかを定めるに際しては、できるだけ乗換回数が少なく、かつ総乗

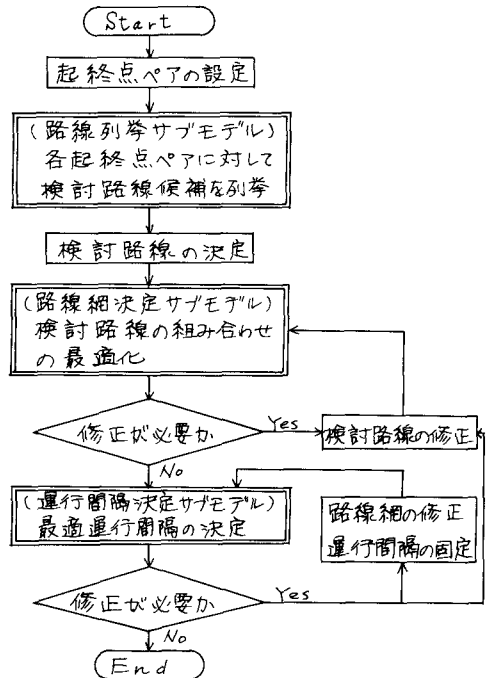


図1 バス路線網構成システムのフローチャート

車距離の短いようにする。そこで問題を次のように定式化する。

$$\min Z = \sum_i \sum_j g_{ij} \{ (d_{ij} + \gamma t_{ij}) y_{ij} + (d_{ij} + \rho) (1 - y_{ij}) \} \quad (2)$$

$$s. t. \quad \left\{ \begin{array}{l} \sum_l \chi_{li} \leq M \quad (3), \quad \sum_i \sum_j g_{ij} (d_{ij} + \rho) (1 - y_{ij}) \leq P \quad (4) \\ t_{ij} \leq N \quad (5), \quad \chi_{li} = 0 \text{ or } 1 \quad (6), \quad y_{ij} = 0 \text{ or } 1 \quad (7) \end{array} \right.$$

ここに、 t_{ij} : i, j 間の乗換回数、 y_{ij} : i, j 間に経路があるとき1、経路がないとき0、 d_{ij} : 最大ネットワークにおける i, j 間の乗車距離、 χ_{li} : 路線 l がネットワークに含まれるとき1、含まれないとき0、 γ : 乗換抵抗、 ρ : 経路がないときのペナルティー、 M : 路線数の上限値、 N : 最大乗換回数、 P : ペナルティーの上限値とする。目的関数は、総乗車距離、乗換抵抗、経路がないときのペナルティーの和である。式(2)の d_{ij} , t_{ij} , y_{ij} は χ_{li} によって決まる。式(3)はネットワークに含まれる路線数に対する制約である。式(4)は経路がないときのペナルティーの値をある上限値以内に抑えるものである。また式(5)は乗換回数を N 回以内とするもので $N+1$ 回以上必要ならばそれらのノード間に経路はないものとして扱う。また乗車経路の選択は、乗換回数が最も少ない経路の中から乗車距離が最短の経路を選ぶものとする。対象がかなり大きなネットワークなので、解法としては Backward 法を使用する。すなわちすべての路線を含んだ最大ネットワークから出発し、1路線除いたときに目的関数が最小の路線をネットワークから除く。そしてこれを路線数が制約を満たすまで繰り返す。次に目的関数計算の方法を簡単に示す。 l 路線による i, j 間の乗車距離を d_{ij}^l とする。また乗換が可能なノードの集合を T とする。

①各路線ごとの距離マトリックス d_{ij}^l を与える。② $g_{ij} > 0$ なる i, j について d_{ij}^l を比較してその最小値を i, j 間の距離 d_{ij} とする。このとき $t_{ij} = 0$ とおく。 $d_{ij} = \infty$ のときは直通経路がない。③ $g_{ij} = 0$ なる i, j について、 $i \in T$ であれば d_{ij}^l を比較して d_{ij} を求めておく。このとき $d_{ij} < \infty$ ならば $t_{ij} = 0$ とする。④ $g_{ij} > 0$ で直通経路のない i, j について、式(8)を利用して d_{ij} を求める。 $d_{ij} = \min_{R \in T} \{ d_{iR} + d_{Rj} \mid R \in T, t_{iR} = 0, t_{Rj} = 0 \}$ (8) 同様の考え方で、2回乗換え、3回乗換えをそれぞれ式(9)、式(10)により求める。

$$d_{ij} = \min_{R \in T} \{ d_{iR} + d_{Rj} \mid R \in T, t_{iR} = 0, t_{Rj} = 1 \} \quad (9) \quad d_{ij} = \min_{R \in T} \{ d_{iR} + d_{Rj} \mid R \in T, t_{iR} = 0, t_{Rj} = 2 \} \quad (10)$$

$g_{ij} > 0$ なる i, j についてすべての d_{ij} が得られた時点で式(2)により目的関数値を求める。バス停留所間 OD 表ではトリップのない起終点ペアが多い。また乗換の行なわれる停留所が限定されるので、このように分けて計算することにした。

5. 運行間隔決定サブモデル

路線網に含まれる各路線の運行間隔あるいは運行回数を決めるにあたり、次の仮定を設ける。①乗車経路は乗換回数が最小の経路の中で乗車距離が最短のものとする。②乗換えノードが複数あるときは、最初の路線にできるだけ長く乗るものとする。③乗車経路は運行間隔にかかわらず一定とする。④複数の並行する路線が利用可能なとき、各路線に乗車する割合は運行回数に比例するものとする。このモデルを定式化すると次のようになる。

$$\min Z = \frac{1}{2} \sum_i \sum_j (g_{ij} / \sum_l \delta_{ijl} \chi_{li}) \quad (11)$$

$$s. t. \quad \sum_l \sum_j (r_{ijl} g_{ij} / \sum_l \delta_{ijl} \chi_{li}) \leq C \quad (12), \quad \sum_l a_l \chi_{li} \leq b \quad (13), \quad \chi_{li} \geq 0 \quad (14)$$

ここに δ_{ijl} : i, j 間の乗車経路に路線 l が含まれるとき1、含まれないとき0、 χ_{li} : 路線 l の単位時間内の運行回数、 g_{ij} : 単位時間における i, j 間のトリップ数、 r_{ijl} : i, j 間の乗車経路に路線 l の区間 R が含まれるとき1、含まれないとき0、 C : バスの定員、 a_l : 路線 l の往復運行所要時間、 b : 運行可能バス台数である。式(12)はゆるい制約であるので計算の効率上この式を考慮せず解を求め、その最適解が制約を満たしているかどうかを調べるものとする。こうして非線形計画法により解を求めるが、運行間隔は、3分間隔、5分間隔といったきりのよい値が使われるので、運行回数もそれに対応する離散的な値を使用する。

6. あとがき

本研究ではバス路線網の構成を、合理的に行えるシステムを開発した。そして実際問題へ適用した結果、十分に耐えることがわかった。