

バスの回送を考慮した最適バス路線網策定システムの構築

金沢大学工学部 正会員 高山純一

金沢大学工学部

○加藤隆章

(社) システム科学研究所 正会員 塩土圭介

1 はじめに

バス路線再編問題は、従来から計画者の経験と勘によってなされるものが大部分を占め、システム全体の最適化はほとんどなされていなかった。そこで、ある制約条件下での数理最適化問題として定式化した研究がいくつかなされてきた。しかし、バスの運行に関する制約を明示的に考慮したモデルはほとんど見られない。

そこで著者らは既に、乗客の乗り換えを含んだバス路線選択行動を明示的に考慮したバス路線網再編計画システムの構築を行い、乗り換え待ち時間を含んだ平均所要時間を最小化できる路線網、スケジュールの同時決定手法の提案を行っている¹⁾。しかし、バス台数を与件としているため、乗客のピーク・オフピーク時に対応したスケジュールが決定しにくい。そのため、実際の適用にはまだいくつかの課題が残されている。そこで本研究では、乗客のピーク・オフピーク時を考慮するため、バスの回送を取り扱った上での最適バス路線、並びに最適運行ダイヤの探索を遺伝的アルゴリズムを援用して行う方法を提案する。

2 バス路線網再編のための定式化

(1) 定式化のための前提条件

最適バス路線網を策定する際には、バス利用者から見た利便性（運行頻度、乗り換えが少ないなど）と、事業者から見た効率性（運行距離、収益など）の両面のバランスをいかにとるかが最も重要と思われる。

これらのことを考慮して次の前提条件を設定する。

- ①対象ネットワーク内でのバスの起終点（たとえば、バスターミナルの位置）は予め決定しておくものとする。そして、これらの起終点を結んだ系統（経路が未定で起終点のみ既知であるものを系統と呼ぶ、なお経路が既知であるものを路線と呼ぶ）を設定しておくものとする。
- ②着時刻指定のバス停間OD（バス利用者のOD需

要）が既知であるものとする。

- ③バスの1台当たりの乗車可能人数は与えられているものとする。また、それを越えるODは運搬せず積み残しとして扱う。
- ④バスの1台当たりの最低乗車人数を与えておき、ODがそれ未満ならバスを回送させる。
- ⑤運行時間帯とバス1台当たりの受け持ちダイヤ数を決定しておき、運行時間帯を越えた場合はそのダイヤで運行を打ち切るものとする。
- ⑥バスの折り返しや待機は発着点（起終点）で行うものとする。
- ⑦乗客の乗り換えは、その利便性を考慮して1トリップにつき最大1回までの乗り換えとする。
- ⑧バスの回送は、運行コストを考慮して連続して行わないものとする。

(2) 最適化問題の定式化

以上の条件により、最適化問題を定式化すると以下ようになる。

目的関数

$$Z = \frac{\sum_{\tau} \sum_j \sum_k t_{ij}^{\tau} \cdot \delta_{ij}^k \cdot a_n |_{i,j}}{\sum_{\tau} \sum_j \sum_k t_{ij}^{\tau}} \Rightarrow \min, \quad (1)$$

制約条件

$$L(k) \leq \alpha \cdot L_{Min}(K) \quad (2)$$

$$x_{i,i+1,k}^{\tau} \leq f_k^{\tau} \cdot C \quad (3)$$

$$Q_{mB,mD} \geq q \quad (4)$$

ここに、 Z ：乗客の平均所要時間（分）

t_{ij}^{τ} ：対象時間帯 τ におけるバス停 i からバス停 j へのバス利用者（OD交通量）

δ_{ij}^k ：路線 k によりバス停 i からバス停 j へのトリップが可能ならば $\delta_{ij}^k = 1$ 、不可能であれば $\delta_{ij}^k = 0$

$a_n |_{i,j}$ ：乗客 n が (i, j) 間を乗車したときの乗り換え待ち時間を含んだ旅行時間（分）

$L(k)$ ：路線 k の距離（km）

α : 係数 (許容迂回率)

$L_{Min}(K)$: 系統 K の最短距離 (km)

f_k^τ : 対象時間帯 τ における路線 k の運行頻度

$x_{i,i+1,k}^\tau$: バス停区間 $(i,i+1)$ における対象

時間帯 τ での路線 k における断面交通量 (人)

C : バス1台当たりの最大乗車人数 (人/台)

q : 1ダイヤ当たりの最低乗車人数 (人)

$Q_{mB,mD}$: (mB) 号車のバスの (mD) 本目のダ

イヤにおける延べ輸送人数 (人)

3 バス路線網再編モデルの概要

(1) モデルの構成

本モデルはまず、ネットワーク内の系統ごとに最短経路距離の探索を行い、距離の制約条件を満たし、かつ沿線ODの多い第 n 番目経路までの探索を行うサブモデル (路線限定サブモデル) と、運行頻度に応じて乗り換え地点の決定を行うサブモデル (乗り換え地点決定サブモデル) ²⁾、そしてGAを用いて最適バス路線網と運行スケジュールを求めるサブモデル (スケジュール決定サブモデル) の3つのサブモデルで構成される。

(2) 回送を考慮したスケジュール決定サブモデル

今まで、バス台数を与件とし、回送を取り扱わずスケジュール決定をしていたため、対象時間が長時間になると乗客のオフピーク時にバスの運行が空バスだらけになる恐れがあった。そこで本研究では回送をするための条件を与えることにより、バスが回送または待機するように設定した。

具体的には、初期遺伝子 (図-2) にランダムに路線番号を割り当て、まずダイヤ作成を行う。割り当てられた路線でバスが運搬するODが、1ダイヤ当たり最低乗車人数以下の場合、バスはその路線では運行せず、同発地の他路線で営業運転出来るか探索する。それでも全ての路線においてODが最低乗車人数以下の場合には回送させる。回送して着地点に到着したバスは、次の路線においても上述と同様、最低乗車人数を調べ運行するか回送するかの決定を行う。ここで、前運行が回送で次運行も回送ならバスは運行せずに発着点で待機し、一定時間待機した後再び運行するものとする。バスの回送は路線の最短経路を通り、運行時間は営業運転時の時間から乗客

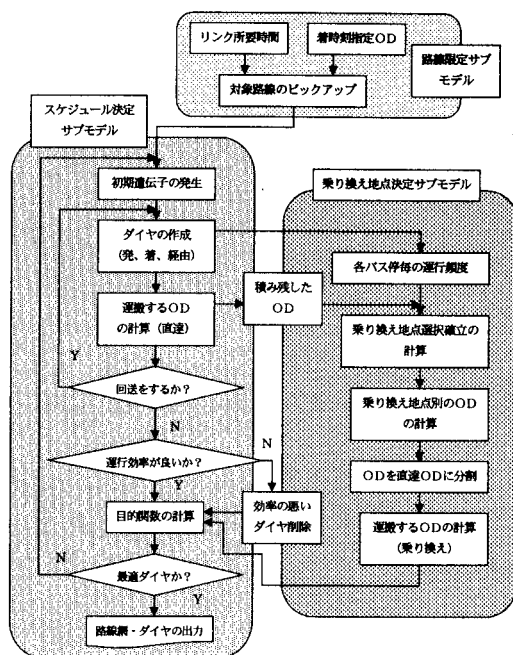


図-1 バス路線再編モデルのフローチャート

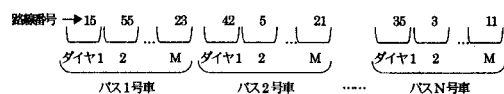


図-2 本モデルにおける遺伝子の設計方法

の乗り降りの時間 (バスの停車、発進遅れを含む) を引いたものとする。また、バスの運行で回送が多いと利用者の利便性が確保されないため、バスの回送が少なくなるように制限を付け、極力バスが営業運転するように工夫するものとする。

4 おわりに

本研究では、バスの回送を考慮した最適バス路線網策定システムの提案を行った。これにより、利用者、事業者の現実の制約に、より近い形での定式化と、ピーク・オフピーク時に対応した効率的な最適バス路線網の探索が行えると思われる。なお、詳しい計算結果等については、講演時に発表したい。

参考文献

- 1) 高山純一・塩土圭介・宮崎耕輔：運行スケジュールを考慮したバス路線網再編計画策定システムの構築、第3回日本都市計画学会学術研究論文集、pp. 547-552、1997
- 2) 高山純一・塩土圭介・宮崎耕輔：乗客の乗り換えを考慮したバス路線網再編計画に関する研究、平成9年度土木学会中部支部研究発表会講演概要集、pp. 661-662、1998