

IV-372

乗客の乗り換えを考慮した最適バス路線網計画策定システムの構築

金沢大学工学部 正会員 高山 純一*

(社) システム科学研究所 正会員 塩土 圭介**

1 はじめに

実務レベルにおけるバス路線再編問題は、従来から担当者の経験と勘によってなされるものが大部分を占め、システム全体としての最適化はほとんどなされてこなかったといえる。しかし学術的には、ある制約条件の下での数理最適化問題として定式化した研究例がいくつかなされている。ただし、これらの研究においても、バスの運行に関する制約条件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、バスの運行スケジュール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、バス路線網と運行スケジュールを同時決定する新しい手法の提案を行っている¹⁾。しかし、乗客の乗り換えを考慮していないため限られたODにしか適用できないなど、簡略な手法の提案にとどまっており、実際の適用について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、乗客の乗り換えを考慮し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。具体的には、乗客の乗り換えバス停や乗車路線の選択を反映させたサブモデルの提案を行うことにより、最適バス路線網と運行スケジュールを効率よく探索する方法を提案する。

2 乗客のバス路線選択行動とシステムの最適化

ネットワーク上のあらかじめ定められたバス路線を利用者が選択して乗車する際、乗り換えが生じない路線が望ましいが、目的地を通る直通路線が存在しない場合は、できるだけ少ない乗り換えを行って目的地に到着する。この場合、乗り換え地点が複数挙げられる場合は、乗り換えを経て目

的地に到着するのにできるだけ便利な地点、すなわち運行頻度が高い(乗り換え待ち時間が少ない)バス停を選択するものと考えられる。

一方、運営者にとってはできるだけ運行効率を下げないような路線を設定する必要があり、その観点から長大な迂回を含む路線は設定できない。したがって、利用者と運営者はトレードオフの関係にあり、そのことをモデルの中でどのように考慮するかが課題となる。

3 バス路線再編のための定式化

以上により、本研究における前提条件を整理して、バス路線再編問題の定式化を行う。

(1) システムの前提条件

- バスの起終点ならびに着時刻指定のバス停間ODが既知であるものとする。
- 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。
- バスの折り返しは発着点で行うものとし、回送は設けないものとする(着ノードが次のダイヤの発ノードとなる)。
- 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。

(2) 最適化問題としての定式化

本システムでは、利用者と事業者の双方から見た最適化という観点から、次のような最適化問題として定式化する。

○目的関数

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

○制約条件

キーワード：バス交通計画、バス路線網、スケジューリング、遺伝的アルゴリズム

* 〒920-8667 金沢市小立野 2-40-20 金沢大学工学部土木建設工学科 (Tel 076-234-4650)

** 〒600-8492 京都市下京区四条通烏丸西入月鉾町 62 住友生命ビル (Tel 075-221-3022)

$$T^{\tau} = \sum_i \sum_j t_{ij}^{\tau} - \sum_i \sum_j \sum_k t_{ij}^{\tau} \cdot \delta_{ij}^k \Rightarrow \min. \quad (2)$$

$$L(k) \leq \alpha \cdot L_{Min}(K) \quad (3)$$

$$x_{i,i+1,k}^{\tau} \leq f_k^{\tau} \cdot C \quad (4)$$

$$Q_{mB,mD} \geq q \quad (5)$$

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）

T^{τ} : 時間帯 τ においてネットワーク全体の総交通需要から輸送可能人員を差し引いた人数（積み残し人員）

$Q_{mB,mD}$: (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）

$L(k)$: 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)

$x_{i,i+1,k}^{\tau}$: 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）

f_k^{τ} : 対象時間帯 τ における路線 k の運行頻度（本）

C : バス1台当たりの最大乗車人数(人/台)

q : 1ダイヤあたりの最低乗車人数（人）

(3) 最適バス路線網策定モデル

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）、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。計算のフローチャートを図-1に示す。

4 金沢市におけるケーススタディ

ここでは、金沢市を例に取り、本システムのケーススタディを行う。対象路線候補を図-2に示す。投入するバス台数を15台とした場合の計算結果、収束状況を図-3に示す。

世代の進行に従い、直達 OD の比率が大きくなり、平均所要時間も少なくなっており、システム

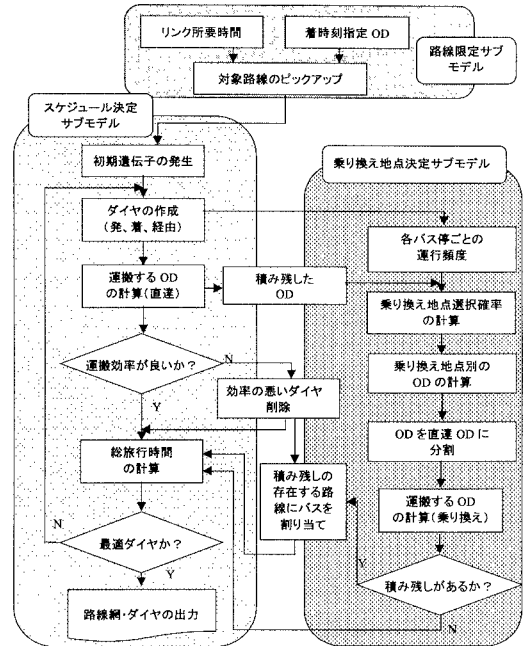


図-1 バス路線再編モデルのフローチャート

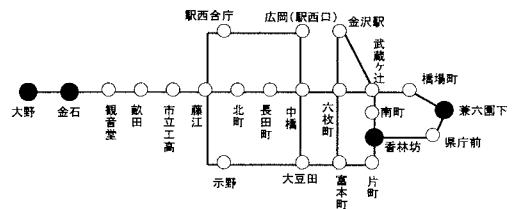


図-2 ケーススタディの対象ネットワーク

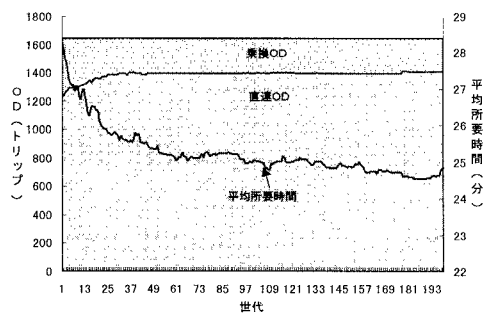


図-3 運搬するODと平均所要時間の収束状況

全体として望ましい路線網とバスの運行スケジュールが決定された。今後の課題として、バス台数を内生的に決定する手法の開発が必要と考えられる。

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再編計画策定システムの構築、第32回日本都市計画学会学術研究論文集、pp. 547-552, 1997.