

快速バスの導入計画評価に関する研究*

A study on optimal design of a bus transportation network for running rapid-service busses*

高山純一**, 宮崎耕輔***, 塩土圭介****

By Jun-ichi TAKAYAMA**, Kousuke MIYAZAKI*** and Keisuke SHIOJI****

1. はじめに

バス交通は、面的な交通サービスを担う中量の輸送機関であり、多様な交通サービスを有する公共交通機関として、地方都市においては、非常に重要な交通機関として位置づけられている。

しかし、最近の自動車普及率の増加に伴って、バス利用者数が年々減少する傾向にある。また、利用者の減少に伴い採算性が悪化し、運賃の値上げや路線網の縮小などのサービスの低下により利用者の減少を助長しているという悪循環が起きている。

バス事業者の採算性とバス利用者の公共サービスを確保するためには、バス交通を整備し活性化することが必要である。

そのためには、バスのサービスレベルを向上させる必要があり、具体的には、バス需要に対応したきめ細かなバス交通整備計画の立案とその実施が必要となる。たとえば、バス利用者の利便性を向上させるために①バスターミナルの建設を含めたバス路線網の再編、②バスの運行方法や運賃制度の見直し、③案内情報システムの整備などが必要である。また、最近では快速バスやデマンドバスのような運行形態の違う多様なサービス特性を持つようなバスの導入による利便性の向上も考えられるようになってきた。そこで、本研究では、バス路線網の再編に着目し、多様なサービス特性を持つようなバスとして快速バスを取り上げ、快速バスの導入の検討を考える。

2. バス路線網最適化に関する従来研究

最適なバス路線網の検討を行った研究の例として、バスダイヤと最適なバス路線網を同時決定している研究¹⁾が提案されている。しかし、この研究では、輸送できる乗客の最大化を目的関数にしていることや、所有できるバス台数が既知であるとしているなど、バス利用者の速達性を考慮しているとは言い難い。また、バス事業者の運行コストに大きく影響を及ぼすバスの乗車密度やバスの総走行台キロを考慮しておらず、必ずしも現実的であるとは言い難い。

また、バスの研究においては、多様なサービス形態をとる特殊な運行形態のバスが混在するダイヤや路線網の決定を行った研究は存在しない。

そこで、本研究では、バス利用者の速達性を考慮して快速バスの導入を検討するためのシステムモデルの開発を行う。

3. バス路線網最適化のための定式化

(1) 快速バス導入の考え方

快速バスを導入する事により、どのような効果が期待できるかをまとめると以下ようになる。

①快速バスに乗ることができる利用者は、所要時間の短縮化が期待できる。

②快速バスが停車するバス停は、快速バスの停車しないバス停に比べて運行本数が多くなり利便性は向上するが、快速バスが停車しないバス停では、運行本数の低下に伴う待ち時間の増大化により利便性が下がる。

③運行できる総バス台数のなかで、快速バスとして運行するか普通バスとして運行するかにより、バス事業者の収益のみならずバス利用者の利便性が大きく異なる。たとえば、快速バスで運行することにより、バスの回転率が

* キーワーズ：交通網計画、公共交通計画

** 正会員，工博，金沢大学工学部土木建設工学科

**** 学生員，金沢大学大学院工学研究科

〒920 金沢市小立野2-40-20

TEL 076-234-4650, FAX 076-234-4644

*** 正会員，工修，(株)福山コンサルタント

〒802 北九州市小倉北区片野新町1-11-4

TEL 093-931-3101, FAX 093-932-1282

上がり、需要の大きな路線により多くのバスを配車することが可能となり、事業者の収益増が期待できる。

これらの条件を考慮して快速バス導入問題を定式化する。

(2) 定式化のための前提条件

本研究では、高山・宮崎のモデル¹⁾をより現実に近くなるように改良を行った。そして、以下に示すような前提条件を設定した。

- ①対象ネットワーク内での起終点（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が既知であるものとする。
- ③対象ネットワークにおいてバスの運行が可能な道路網が与えられているものとする。
- ④1台当たりの最大乗車可能人数は与えられているものとする。
- ⑤本モデルでは、乗り換えは考慮しないこととする。
- ⑥快速バスが普通バスを追い越すには、道路形状にゆとりがないと実際には不可能である。本モデルでは、道路形状には充分ゆとりがあると仮定し、快速バスの追い越しは自由にできるものとする。なお、実際に快速バスの運行において、普通バスの追い越しを考慮した運用の例として、金沢市の金石で試みた事例がある。

以上のように前提条件を設定した。⑤については、本来乗り換え需要があるので考慮する必要があるが、ここでは地方都市を対象としており、さらにバス利用者の直達性を重要視して考慮しないものとする。

(3) バス路線網最適化問題の定式化

以上の前提条件をもとに2レベルの最適化問題として定式化を行うと以下ようになる。

主問題

目的関数

$$T^{\tau} = \sum_i \sum_j t_{ij}^{\tau} - \sum_i \sum_j \sum_k t_{ij}^{\tau} \cdot \delta_{ij}^k \Rightarrow \text{Min.} \quad (1)$$

制約条件

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

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

子問題

目的関数

$$Z = \sum_i \sum_j t_{ij}^{\tau} \cdot \delta_{ij}^k \cdot (tim_{ij}^{\tau}|_o + timw_{ij}^{\tau}|_o) + \sum_i \sum_j t_{ij}^{\tau} \cdot \delta_{ij}^k \cdot (tim_{ij}^{\tau}|_r + timw_{ij}^{\tau}|_r) \Rightarrow \text{Min.} \quad (4)$$

制約条件

$$\beta \cdot \sum_k f_k^{\tau} \cdot L_k \leq Cr \quad (5)$$

$$t_{i,j+1,k}^{\tau} \geq C_{\text{Min}} \quad (6)$$

ここに、 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）

t_{ij}^{τ} ：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 $\delta_{ij}^k = 0$

$L(k)$ ：路線 k の距離

α ：係数（許容迂回率）

$L_{\text{Min}}(K)$ ：系統 K の最短距離

$t_{i,j+1,k}^{\tau}$ ：時間帯 τ での路線 k におけるバス停

区間 $i, j+1$ のバス利用者の断面交通量

f_k^{τ} ：時間帯 τ における路線 k の運行頻度

C ：バス1台当たりの最大乗車人数

Z ：ネットワーク全体におけるバス利用者全体の総所要時間

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

$tim_{ij}^{\tau}|_o$ ：時間帯 τ におけるバス停 i からバス停 j への普通バスによる所要時間

$timw_{ij}^{\tau}|_o$ ：時間帯 τ におけるバス停 i でのバス停 j 行きの普通バスの待ち時間

δ_{ij}^k : 路線 k の快速バスによりバス停 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 $\delta_{ij}^k = 0$
 tim_{ij}^{τ} : 時間帯 τ におけるバス停 i からバス
 停 j への快速バスによる所要時間
 $timw_{ij}^{\tau}$: 時間帯 τ におけるバス停 i でのバ
 ス停 j 行きの快速バスの待ち時間
 β : 係数 (運行コストの単価)
 Cr : 許容運行コスト
 C_{Min} : バスを運行するための最低乗車人員

4. バス路線網最適化モデル

(1) 本モデルの構成

本モデルは以下に示す4つのサブモデルにより構
 成される。まず、ネットワーク内の系統ごとに距離
 による最短経路の探索を行い、距離の制約条件式
 (式(2))を満たす第 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、快速バスが停
 車するバス停を決定するサブモデル (快速バスの停
 車バス停決定サブモデル), 利用者の総所要時間が
 最小となるような快速バスと普通バスの運行スケ
 ジュールを決定するサブモデル (快速バスの運行本
 数決定サブモデル), 各系統でどの経路を採用する
 かをバスの総走行台キロ (式(5))と乗車効率 (式
 (6))を制約条件として、対象とするネットワーク
 全体で積み残しとなる利用客数ができるだけ小さく
 なるような路線の組み合わせを求めるサブモデル
 (路線網決定サブモデル) の4つのサブモデルで構
 成される。

(2) 路線限定サブモデル

このモデルは、ネットワーク上でバスが通行でき
 る道路のうち、検討対象とする各系統を結ぶ路線を
 限定するモデルである。具体的には、着時刻指定の
 ODからできるだけ多くの客を輸送できるように路
 線を結んでいく方法であるが、たくさんの人を輸送
 できるように必要以上に長い路線ができることは、
 運行効率上好ましくないで、 $L(k) \leq \alpha \cdot L_{Min}(K)$ を
 満たす第 n 番目最短路線までを候補路線とするもの
 である。つまり、対象路線の選定を行うモデルであ

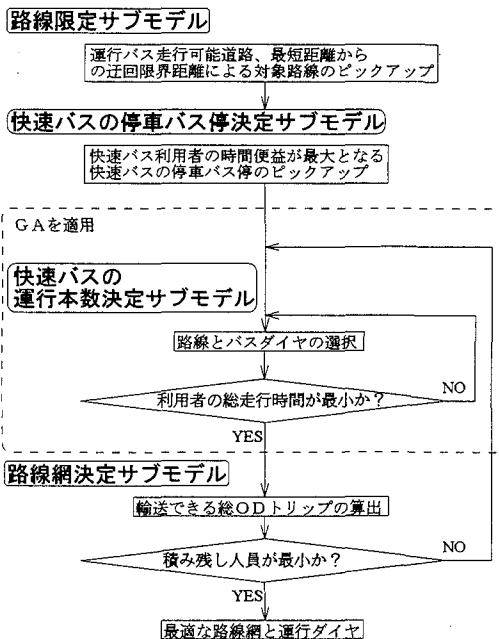


図-1 本モデルのフロー

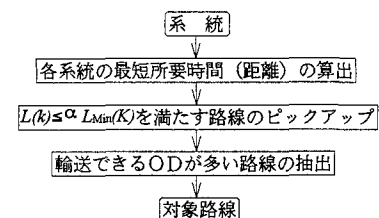


図-2 路線限定サブモデルのフロー

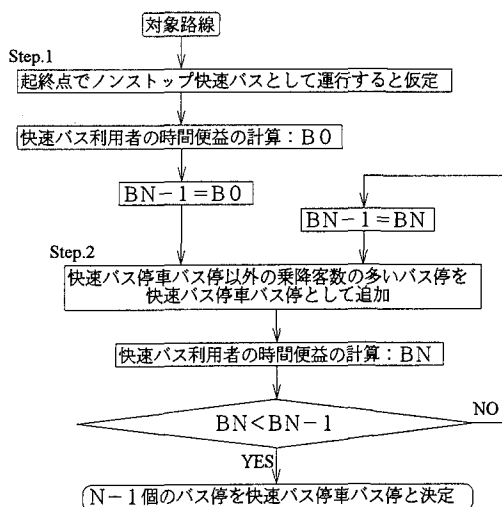


図-3 快速バスの停車バス停決定サブモデルのフロー

る。ただし、 $L(k)$ ：路線 k の距離、 α ：許容迂回率、 $L_{Min}(K)$ ：系統 K の最短距離である。

(3) 快速バスの停車バス停決定サブモデル

このモデルは、路線限定サブモデルで選択したバス路線の中で、どのバス停に快速バスを停車させるかを決定するモデルである。

快速バスの停車バス停を多くすると、速達性に欠け利用者の時間便益が減少する。逆に少なくすると快速バスを利用できる人が減少し、ネットワーク全体での時間便益が減少する。

そこで、乗降客数の多いバス停を順に k 個選択して、快速バスによる利用者の時間便益が最大になるように快速バスの停車バス停を決定する。

$$B\tau_n = \sum_i \sum_j (t_{ij}|_r \cdot \Delta \text{actim}_{ij}^n) \Rightarrow \text{Max.}$$

ここに、 $B\tau_n$ ：快速バスの停車バス停が n 個の場合

の快速バス利用者の総時間便益

$t_{ij}|_r$ ：快速バスの停車バス停 i, j 間のバス利

用者数（OD交通量）

$\Delta \text{actim}_{ij}^n$ ：快速バスの停車バス停が n 個の時の快速バス停車バス停 i, j 間の短縮時間

(4) 快速バスの運行本数決定サブモデル

このモデルは、快速バスで運行する本数と、普通バスで運行する本数を決定するモデルである。

具体的には、バスの総走行台キロと乗車効率を制約条件として、利用者の総走行時間の最小化を目的関数として快速バスと普通バスの運行本数ならびにそのスケジューリングを決定するモデルである。具体的には、組み合わせ最適化問題となるので、その解法には遺伝的アルゴリズム（Genetic Algorithm 以下、GAと記す）を用いる。

(5) 路線網決定サブモデル

このモデルは、快速バスの運行本数決定サブモデルで選択したダイヤから、ネットワーク全体での積み残し人員が最小となる運行ダイヤの最適な組み合わせを求めるモデルである。具体的には、快速バスの運行本数決定サブモデルでピックアップした候補ダイヤのうち、どのようなダイヤを組み合わせで路

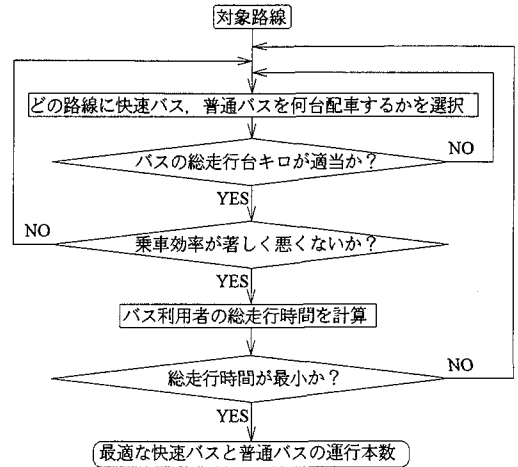


図-4 快速バスの運行本数決定サブモデルのフロー

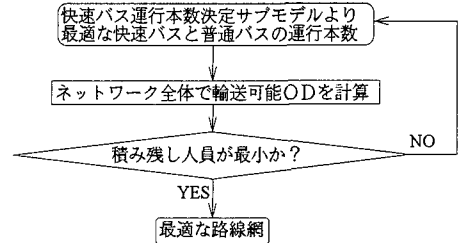


図-5 路線網決定サブモデルのフロー

線網を構築していくかを決定するモデルである。

4. まとめ

本研究では、普通バスと快速バスが混在するバス路線網最適ネットワーク策定のためのシステムモデルの開発を行った。そして、その解法にGAを用いる方法を提案した。このモデルの特徴は、路線網とバスダイヤを同時決定することにある。

今後の課題としては、①乗り換えを扱っていない、②着時刻指定のODをどのようにして入手するのか、という点が挙げられる。

参考文献

- 1) 高山純一，宮崎耕輔：バスダイヤを考慮した最適バス路線網再編計画策定に関する研究，土木計画学研究・論文集 No.13，pp.827～836，1996年。