快速バスを導入した最適バス路線網計画に関する研究*

A study on optimal design of a bus transportation network considering 'rapid-service bus' *

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、特に地方都市においては非常に重要な交通機関である。

しかし、最近の自動車普及率の増加に伴って、バスの利用者数が年々減少する傾向にある。また、利用者の減少が採算性を悪化させ、その結果運賃の値上げや路線網の縮小などのサービスの低下を招いている。そして、それがさらに利用者の減少を助長す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バスを導入することによって、利用者の利便性を向上させること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、バス利用者にとって最適な快速バスを導入するための計画支援システムを提案する。

2. バス路線網最適化に関する従来の研究

バス路線再編問題については、従来数多くのモデルが提案され、それぞれ成果を上げている。たとえば、枝村ら¹⁾は、バス利用OD需要とバスの保有台数を与えた上で、バスの走行する道路網の決定、最適な路線網の決定及び運行回数の決定を計算機で一貫しておこなうシステムを提案している。また、天野ら²⁾は、バス利用者の乗り換え回数を少なくしつつ、同時に系統数なるべく少なくして、運行頻度と運行効率を高めるという背反する要素を勘案して、最も好ましいバス系統網の設定を行うバス系統の設定計画モデルを提案した。

このようなバス路線再編問題において挙げられる課題としては、路線網とバスの運行頻度や配車計画などを同時に決定する必要があり、バス利用者とバス事業者との双方の制約もからんで、扱う政策変数が多岐にわたる。そのため、一般的には複雑な非線形最適化問題となるため、解の探索が非常に困難なことが多い。特に、路線網とバスダイヤの同時決定問題は極めて難しい問題となっていた。

そこで、著者らは、遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm 以下、GAと記す) を用いることにより、バスダイヤと最適なバス路線網を同時決定する手法³⁾を提案した。しかし、このモデルはプロトタイプモデルであり、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を設定 (既知) している点など、必ずしもバス利用者の速達性を考慮していない。また、バス事業者の運行コストに大きな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いない点など、多少現実的

* 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
〒920-8667 金沢市小立野2-40-20
TEL 076-234-4650, FAX 076-234-4644

*** 正会員，修士（工学），（株）福山コンサルタント
〒802-0062 北九州市小倉北区片野新町1-11-4
TEL 093-931-3101, FAX 093-932-1282

**** 正会員，修士（工学），（社）システム科学研究所
〒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8F TEL 075-221-3022 FAX 075-231-4404

ではない点がある。

一方、鉄道においてはダイヤの組み方を扱った研究が数多く存在する。たとえば、複々線区間上の快速・緩行運転における快速停車駅の最適配置パターンの決定手法ならびに通勤節約時間からみた複々線区間での最適列車運行形態の検討を行った研究⁴⁾や、利用者均衡配分を用いて混雑の影響を考慮した列車運行評価システムの開発とその適用に関する研究⁵⁾⁶⁾などがあげられる。

しかし、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設定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. 快速バスを導入したバス路線網最適化問題の定式化

(1) 快速バス導入の考え方

快速バスを導入することによる効果等をまとめる以下ようになる。

まず、快速バスが停車するバス停を利用することができるバス利用者は、所要時間の短縮化が期待できる。また、快速バスが停車するバス停は、快速バスが停車しないバス停に比べて運行本数が多くなり利便性が向上する。

一方、快速バスが停車するバス停を利用することができないバス利用者は相対的に所要時間が増大し、利便性が減少する。これは、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といった事が考えられるためである。

また、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、バス利用者の利便性のみならずバス事業者の収益が多少異なることも考えられる。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る。そのことにより、事業者の収益増が期待できる。

以上より、快速バスはどの路線にも導入可能で

図-1 累積乗客数構成率で見た路線の需要

あるとは言えず、快速バスの導入を検討するためには、当該バス路線において、バス利用者の利用状況等の路線特性を十分に把握する必要がある。

快速バスの導入が有効な路線は以下のように考えることができる。

郊外起点側で多く乗車し、都心側ではほとんどの乗客が下車するようなタイプの路線(図-1の①)において、有効であると考えることができる。このようなタイプのバス路線では、中間のバス停で乗降する利用者がほとんどいないので、この間のバス停を通過することにより、所要時間の短縮をはかることができる。

(2) 定式化の考え方

バス交通は公共交通機関という位置づけより、公平性と効率性の2面を持ち合わせなければならないが、公平性と効率性とは、トレードオフの関係にあるため、モデルの定式化によっては、最適化問題が解けなくなるおそれがある。

そこで、本研究では、その点に留意しながら、高山・宮崎のモデル³⁾ならびに高山・塩土・宮崎のモデル⁷⁾をより現実になるように改良を行うことにより快速バス導入問題を定式化する。

(a) 公平性

バス交通の公平性は、公共交通機関という立場上、利用したい人は誰でも利用できる交通機関でなければならない。本モデルにおける公平性の制約条件としては、対象地域内におけるバス利用者をできるだけ積み残しのないように輸送できることと考える。

(b) 効率性

バス事業は、基本的には受益者負担による独立採算性が原則であるため、運営者の採算性も重要視される。そのため採算性の悪い路線（需要が少ない路線）では、運行本数の減少（路線の廃止）などを行うことにより効率的な運営を行わざるを得ない場合も存在する。

本モデルにおける効率性の制約条件としては、需要の大きな路線にできるだけ多くのバスを配車し、極力大きな迂回をしないものとする。

(c) 快速バスの役割

快速バスを導入することにより、色々な効果が期待できるが、本モデルでは対象地域内で快速バスを利用する人の所要時間が減少することに注目して、利用者の平均所要時間の最小化を目的関数と考える。

(3) 本モデルの前提条件

以上の点を考慮して、本モデルにおける前提条件を以下のように設定する。

- 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（バス交通需要）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ならびに運行するバスの総台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バス停において、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、バスベイが整備されており、道路形状に充分ゆとりがあるものと仮定して、快速バスのバス停における普通バスの追い越しは自由にできるものとする。

なお、⑤については、本来乗り換え需要があるのを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。

(4) 快速バス導入を考慮した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、積み残し人員ができるだけ小さくなるように、かつ、利用者の総所要時間ができるだけ小さくなるような問題として定式化を行った。具体的には、積み残し人員の最小化問題を第1段階の最適化問題と位置づけ、総所要時間の最小化問題を第2段階の最適化問題とした。

これらの最適化問題は、互いにトレードオフの関係にあるため最適化問題を解くことができないおそれがある。したがって実際には、下位の最適化問題である積み残し人員の最小化問題を制約条件として取り込み、第n番目まで積み残しが小さいものを有効として扱った。そして、総所要時間の最小化問題を目的関数として、以下のように定式化を行った。ただし、ここでは積み残しを時間帯毎に考えるため、時間帯毎に問題を記述した。

目的関数

$$Z = \left(\sum_i \sum_j \sum_k t_{ij|o} \cdot \delta_{ij|o}^k \cdot (tim_{ij|o}^\tau + timw_{ij|o}^\tau) \right) + \sum_i \sum_j \sum_k t_{ij|r} \cdot \delta_{ij|r}^k \cdot (tim_{ij|r}^\tau + timw_{ij|r}^\tau) / \sum_i \sum_j t_{ij}^\tau \Rightarrow Min. \quad (1)$$

制約条件

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

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

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

ここに、Z：ネットワーク全体におけるバス利用者全体の平均所要時間

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：外生変数）

$t_{ij|o}^\tau$ ：バス停 i からバス停 j への普通バスを利用したバス利用者

$t_{ij|r}^\tau$ ：バス停 i からバス停 j への快速バスを利用したバス利用者

$tim_{ij|o}^\tau$ ：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（外生変数）

$timw_{ij|o}^\tau$ ：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（外生変数）

tim_{ij}^r : 時間帯 r 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（外生変数）

$timw_{ij}^r$: 時間帯 r 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（外生変数）

$\delta_{ij}^k|_o$: 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 $\delta_{ij}^k|_o = 0$

$\delta_{ij}^k|_r$: 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 $\delta_{ij}^k|_r = 1$, 不可能であれば $\delta_{ij}^k|_r = 0$

T^r : 時間帯 r 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）

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（外生変数）

α : 係数（許容迂回率：外生変数）

$L_{Min}(K)$: 系統 K の最短距離

$t_{i,i+1,k}^r$: 時間帯 r での路線 k におけるバス停区間 $i, i+1$ のバス利用者の断面交通量

f_k^r : 時間帯 r 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（外生変数）

4. 快速バス導入を考慮したバス路線網最適化モデル

(1) 本モデルの構成

本モデルは、第3章で定式化を行った最適化問題を解くために、以下に示す4つのサブモデルを作成した。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(3)）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

図-2 本システムのフローチャート

図-3 路線限定サブモデルのフロー

図-4 快速バスの停車バス停決定サブモデルのフロー

図-5 運行スケジュール決定サブモデルのフロー

図-6 快速バスの運行本数決定サブモデルのフロー

ス停決定サブモデル), 利用者の平均所要時間が最小となるような運行スケジュールを決定するサブモデル (運行スケジュール決定サブモデル, 式(1), 式(2), 式(4)), 決定したダイヤのうちのどの路線を快速で運行するかを決定するサブモデル (快速バス運行本数決定サブモデル) 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(図-3)

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乗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る。ただし, $L(k)$: 路線 k の距離 (外生値), α : 許容迂回率 (外生値), $L_{Min}(K)$: 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(図-4)

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 (式(5)) が最大になるように快速バスの停車バス停を決定する。

$$B\tau_n = \sum_i \sum_j (t_{ij}|_r \cdot \Delta actim_{ij}^n) \Rightarrow \text{Max.} \quad (5)$$

ここに, $B\tau_n$: 快速バスの停車バス停が n 個の場合

における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)

$\Delta actim_{ij}^n$: 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 間における短縮時間

(4) 運行スケジュール決定サブモデル(図-5)

このモデルは, ネットワーク全体での利用者の平均所要時間が最小となるような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, 遺伝的アルゴリズム (GA) により, 路線限定サブモ

図-7 本モデルにおける遺伝子の設計方法

デルでピックアップした候補路線のうち、どのようなダイヤを組み合わせて路線網を構築していくかを決定するモデルである。

(5) 快速バスの運行本数決定サブモデル(図-6)

このモデルは、運行するバスを快速バスで運行するか、普通バスで運行するか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たモデルであり、利用者の平均所要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を決定するものである。

(6) 遺伝的アルゴリズム (GA) の適用

本モデルでは、スケジュールの決定が膨大な組み合わせとなるため、近似最適解の探索法として近年応用が進んでいる遺伝的アルゴリズム(GA)を採用する。具体的には、次の手順に従う。

図-8 ケーススタディの対象ネットワーク

①設計変数である遺伝子の情報として、各バス路線候補に割り当てた固有の番号を用いる。

②同一バスのダイヤ同士は、発着点で接続させる必要があるため、初期遺伝子の生成においてこの制約を満たすような遺伝子を発生させる。

以上のように扱うことで、1つの遺伝子列の上に複数のバスのダイヤの情報をのせることにより、バス路線とダイヤを同時に決定することができるわけである。したがって、このところが本モデルの最大の特徴といえる。なお、遺伝子の概要を図-7に示す。

5. 金沢市におけるケーススタディ

(1) 概説

ここでは、金沢市の^{かないわ}金石地区を対象として、快速

表-1 本ケーススタディで用いるOD表（6:30～9:30着，都心内々交通は省く）

区	大野	金石	香林坊	第六園下	観音堂	飯田	市立工業高校前	藤江	北町	釜田町	飯田合庁前	広岡	赤野	大豆田	中橋	金沢駅	六枝町	富本町	飯島ヶ辻	柳町	片町	藤江前	藤塚町	計
大野			31			8										7	8		8	8		15		85
金石			39	16			7	14	7		8	15					7		47	15		8		183
香林坊		7	8		24	17		9			40	137		9										251
第六園下					9				17		17	16												59
観音堂			31	8								8				7			15	8		8		85
飯田		15	54							8							7	8	46		8	15		161
市立工業高校前			43	9													9	9	19	10	10	34		143
藤江			34														9			27			10	80
北町																								
釜田町			18	8		9													10				19	29
飯田合庁前			27																			10		56
広岡			51		9	7	9		14										18					45
赤野				9															9					99
大豆田			10								10													9
中橋			42									8												48
金沢駅					9							8								10			8	68
六枝町						9						8	8											26
富本町							9					8												17
飯島ヶ辻					7									8										15
柳町					15	16			16		19	8												74
片町								7																7
藤江前																								0
藤塚町																								0
計	7	23	380	51	64	66	25	23	61	8	94	217	8	17	0	14	40	17	180	98	18	75	62	1548

図-9 路線限定サブモデルで抽出された路線候補の一例（大野→香林坊の系統）

図-10 快速バス停車バス停の一例（大野発香林坊行き：長岡町経由）

乗車人員				
1号車	1便	3番系統	6時 0分発	29.
1号車	2便	21番系統	6時 38分発	25.
1号車	3便	6番系統	7時 24分発	56.
1号車	4便	31番系統	8時 6分発	47.
1号車	5便	10番系統	8時 50分発	57.
2号車	1便	22番系統	6時 0分発	5.
2号車	2便	10番系統	6時 48分発	37.
2号車	3便	31番系統	7時 28分発	27.

図-11 出力される運行スケジュールの一例

バス導入計画のケーススタディを行うことにより、本システムの有効性を検証する。

(2) 計算の実行条件

対象とする地域は、金沢市金石街道を中心とするネットワークで、都心部の香林坊、兼六園下と、郊外部の大野、金石地区の相互間を結ぶ路線とした。ネットワーク図を図-8に示す。ODは、平成7年度金沢都市圏パーソントリップ調査におけるデータを参考にし、朝の通勤時間帯と考えられる6:30～9:30の3時間に、30分ごとの着時刻指定ODを作成した。OD表を表-1に示す。

このケーススタディにおける計算の実行条件は次の通りである。

- バス運行時間：6:30～9:30（3時間）
- バス路線の発着点：4地点（大野、金石、香林坊、兼六園下）
- バス台数：15台
- バス1台あたりのバス乗車定員：50名
- 快速バスの1バス停通過に伴う短縮時間：1分

(3) 計算結果

(a) 路線限定サブモデル

まず、路線限定サブモデルにより、スケジュール決定のための対象路線の抽出を行った。その結果の一例を図-9に示す。

このモデルにおいては、考えられるすべての経路から、迂回による長大路線と、運搬できるOD（沿線に存在するOD）が少ないと思われる路線を除去して、各系統（発着点同士のノードペア）ごとに第5経路までを探索した。その結果、大幅な迂回を含む路線は除去され、バスの運行効率を大きく妨げないような路線候補が抽出された。

(b) 快速バスの停車バス停決定サブモデル

次に、快速バスの停車バス停決定サブモデルにより、各路線における快速バスの停車バス停を決定した。沿線ODより乗降客が少ないバス停を通過することで、時間便益が最大になるように停留所数を決定した。その結果の一例を図-10に示す。この路線では、郊外部に人口集積地区が存在し、その地区の足の長いトリップについて、近郊のバス停（藤江から六枚町の5つのバス停）を通過することにより、都心部への所要時間（約5分）が短縮される。

(c) スケジュール決定サブモデル

次に、路線限定サブモデルで対象となった路線集合について、GAを用いてバスのスケジューリングを行う。これにより、各路線の運行頻度も同時に決定されることになる。

出力される運行スケジュールの一例を図-11に示す。運行スケジュールは使用するバスごと（1号車から15号車）に出力される。したがって、この出力結果より、各路線の運行頻度と発車時間（発車時刻）、ならびに延べ乗車人員などを把握することが可能となる。

図-12 ODの運搬率の収束状況

図-13 平均所要時間の収束状況

次に、GAの収束状況について、ODの運搬率、ならびに乗客の平均所要時間の世代進行に伴う収束状況を、図-12,13に示す。

積み残しODについては、できるだけ少なくするため、積み残しODの多さによりGAの目的関数にペナルティを課すことにする。具体的には、積み残されたODはその分だけ待ち時間が増大することになり、普通バス本来の所要時間と加算されるため、全所要時間が大幅に増大する。したがって、このペナルティによりGA操作の中で積み残しODが多いスケジュールは淘汰されることになる。ODの運搬率を示すと、図-12のようになる。

積み残しがゼロにならない理由として、バスの運行効率をある程度考慮した路線網であることと、本システムでは乗客の乗り換えを考慮していないことが挙げられる。また、バスの投入台数によっても差異が見られるが、投入台数の大幅な増加は乗車効率の悪い路線が多くできるというデメリットがあり、この両者をどのように両立していくかは今後の課題である。ただ、このシミュレーションでは、車内の混雑による乗客の利便性の低下も考慮して、バスの

図-14 主要バス停（発着点以外）におけるバスの運行頻度（大野方面→香林坊方面）

図-15 快速バス導入による乗客の平均所要時間の収束状況

乗車定員Cを物理的な限界（70人～80人/台）よりかなり少なめ（50人/台）に設定している。したがって、このバス乗車定員Cを80人/台のように大きくしてやれば、積み残しをゼロに近づけることが可能であると考えられる。

また、平均所要時間の収束状況では、できるだけ多くのODが最短経路を通るようにスケジュールが決定されたため、おおむね良好な収束状況となっている。

(d) 快速バスの投入状況

快速バス運行本数決定サブモデルにより、快速・普通バスのそれぞれの運行本数を決定した。最終的な出力結果として、主要バス停における普通バスならびに快速バスの運行本数を図-14に示す。たとえば、長田町経由のバスは郊外（大野方面）から都心

表-2 方向別の普通・快速バスの運行本数

方向	普通	快速
上り（郊外→都心方向）	42	2
下り（都心→郊外方向）	36	8

（香林坊方面）の最短経路であり、また沿線ODも多いことから、この地区に重点的に配車されていることがわかる。また、金沢市の都心部である武蔵ヶ辻～香林坊付近の運行頻度も多くなっている。

快速バスの導入により、特に郊外部からの足の長いトリップについては快速バスの導入により最大6分の旅行時間の短縮が図られた。しかし、足の短いトリップも多く存在し、多くの快速バスを導入することは、新たな積み残しを生じさせることになるので、本ケーススタディでは、少数の快速バスを導入するにとどまった。このことについては、必要バス台数、積み残しODとのバランスも含めて、今後検討する必要があると考えられる。

快速バス導入による、乗客の平均所要時間の収束状況を図-15に示す。快速バスの導入により、普通バスのみの場合より平均所要時間が減少しており、快速バス導入の効果が現れている。

なお、最適解探索のためにGAを導入したメリットを定量的に評価する必要があるが、今回のように実際のバスネットワークを対象としたケーススタディでは総当り法（一般的に比較の対象となる探索法）を行うことは不可能であり、GAのメリットを定量的に示すことはできない。ただし、前述のように図-12、図-13、図-15の収束状況から判断して、計算結果がほぼ最適解に近い解であると考えてもよいであろう。

最後に、上り（都心方向）と下り（郊外方向）の普通、快速バスの投入本数の比較を表-2に示す。都心方向については、2本の導入にとどまっているが、郊外方向へは8本とやや多めになっている。これは、上り方向は快速化することにより平均所要時間は減少するが、快速の停車しないバス停において積み残しが生じるおそれがある。一方、ODの少ない下り方向は快速化することで、限られた時間内で多くのODを運ぶため、バスの回転率を上げることができると考えられる。

6. 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。本研究で提案したモデルは、普通バスと快速バスが混在する運行形態を決定する問題として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所要時間が最小かつ、ネットワーク全体の利用者の積み残し人員が最小になるようなバスネットワークを求める問題として定式化を行った。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が可能であるところにある。

本研究で得られた成果を以下に示す。

- ①すでに著者らが提案した最適バス路線網策定システムをさらに改良することにより、多様なサービス形態（快速バスの導入）を持つバス路線網にもこのシステムが適用できることを示した。
- ②快速バスの停車バス停決定サブモデルの導入により、バス停利用者の時間便益を最大化するように快速バスの停車バス停を決定することが可能である。
- ③運行スケジュールと快速バス運行本数の決定については、遺伝的アルゴリズムの援用により、膨大な組み合わせの存在する本問題において比較的簡便に近似最適解に収束させることが可能となった。
- ④快速バスの導入により、特に足の長いトリップについて快速バス導入の効果（たとえば、途中の5つのバス停を通過することにより普通バスよりも5分所要時間を短縮する効果）が得られた。

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。①については、バス利用者にとれば、乗り換えをせずに直接目的地まで行けるように直達性が確保されていることが望ましい。しかし、直達性を確保すれば、運行効率が低下するというトレードオフの関係にあるため、実際には乗り換えをすることにより対処している。したがって、今後は、乗り換えを考慮する必要があるといえる。また、②については、実際に適用するために、外生的基礎データである着時刻指定のバス停間ODをどのようにして入手するかということが重要である。

以上の点について、今後更なる改良を行っていくつもりである。

参考文献

- 1) 枝村俊郎・森津秀夫・松田宏・土井元治：最適バス路線網構成システム，土木学会論文報告集，No.300，pp.95～107，1980.
- 2) 天野光三・銭谷善信・近東信明：都市街路網におけるバス系統の設定計画モデルに関する研究，土木学会論文報告集，No.325，pp.143～154，1982.
- 3) 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.
- 4) 富井義郎，河内清：複々線区間における列車運行の最適化に関する研究，土木学会論文報告集，第259号，pp.103～109，1977年.
- 5) 家田仁，古川敦：旅客の競争・優先関係を内生化した列車運行計画評価モデル，土木学会論文集，No.431，pp.105～114，1991年.
- 6) 城石典明，梶岡俊彦，家田仁，島村祐司，永井邦彦：列車運行計画評価システムによる通勤列車ダイヤ改善の事例研究，土木学会論文集，No.530，pp.106～116，1996年.
- 7) 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最適化計画システムの構築，都市計画論文集，No.32，pp.547～552，1997年.

快速バスを導入した最適バス路線網計画に関する研究

高山純一，宮崎耕輔，塩土圭介

著者らはすでに，路線網とバスダイヤが同時決定できる最適バス路線網策定システムの提案を行っているが，本研究では，さまざまな運行形態におけるバス路線再編計画として快速バスの導入を取り上げ，快速バス導入に関する考え方を整理するとともに，快速バスの導入による時間便益の向上を考慮できるようにモデルの改良を行った。

具体的には，快速バスの導入により乗客の平均所要時間が最小となるようにモデルを改良することで，快速バス，普通バスの混在するネットワークにおける路線網と運行スケジュールを同時決定することができる。

本研究では，このシステムを金沢市の道路網に適用し，モデルの有効性を検証した。

A study on optimal design of a bus transportation network considering 'rapid-service bus'

By Jun-ichi TAKAYAMA , Kousuke MIYAZAKI and Keisuke SHIOJI

In this paper, we suggest the improvement of the optimum bus transportation network system, considering the 'rapid-service bus'.

The particular feature is follows :

- (1) We organize an effect on bus transportation network , by means of running 'rapid-service bus '
- (2) We improve the optimum bus transportation network system(which is included the schedule of buses), considering 'rapid-service bus '.
- (3) In this study, the useful results can be obtained through numerical analyses applied with reference to Kanazawa city.