

機関分担を考慮したバス路線網策定システムの構築に関する研究

A study about construction of a bus route network development system in consideration of an allotment model

高山純一**・中山晶一朗**・遠藤 玲***・宮崎耕輔***・戸瀬 暖****
By Junichi TAKAYAMA **・Syoichirou NAKAYAMA**・Akira ENDO***・
Kosuke MIYAZAKI****・Dan TOSE*****

1. はじめに

都市公共交通としてのバス交通は、都市内及びその近郊において面的な交通サービスを提供する極めて重要な公共交通機関である。また、既存道路を利用するため鉄道など他の公共輸送に比べ運行に関する自由度が高く、需要に合わせてきめの細かいサービスを提供できる中量輸送機関でもあり、その重要性は大きい。しかし、近年の自動車交通の急速な普及に伴い、バスの利用者は年々減少しており、その運営は大変厳しいものとなっている。また、それにともない、度重なる運賃の値上げ、路線の縮小や減便といったバス交通のサービス水準の低下が進んでいる。そのため、バスの利便性が低下し、バス利用者数はますます減少するという悪循環を招いている。しかし、自動車を持たない人々にとって、バス交通は極めて重要な交通手段であり、エネルギー・環境問題、さらには高齢社会に対する観点からみても重要な交通手段である。バス交通を維持し、活性化させるためには、バス交通の利便性を向上させることによりバス交通を活性化させることが必要不可欠である。バス交通活性化方策としては、運行本数の増加、定時性の確保、コミュニティバスの導入など様々な方策が考えられる。本研究では、上記の問題を総合的に扱えるバス路線網再編問題を取り上げる。

2. 既存研究の整理

バス路線網再編問題対象として既存研究としては、高山ら^{1) 2)}のGAを用いた最適バス路線網決定の研究がある。今まで取り扱われなかった路線網とバスダイヤの同時決定問題について、外性的にOD(Origine Destination)を与え、GA(Genetic Algorithm)を用いることにより効率的に最適なバス路線網を探索できることを可能としている。

*キーワード：バス路線網再編、遺伝的アルゴリズム、機関分担

**正員，工博，金沢大学大学院自然科学研究科

(金沢市小立野2-40-20, TEL076-234-4613, FAX076-234-4632)

***学生員，工修 金沢大学大学院自然科学研究科

****学生員，金沢大学大学院自然科学研究科

また、近年では需要変動を取り扱った研究が多く行われている。円山，原田ら³⁾は、発生・分布・分担・配分統合型確率均衡モデルをトリップ目的別のモデルへ拡張し、大規模都市圏へ適用を行っている。嶋本，倉内⁴⁾らは公共交通計画において、バス交通のサービスレベルと乗客配分を組み合わせることでより最適な料金施策を決定するモデルを構築している。統合モデルは、以上のように様々な形態へと発展が行われている。

また、社会的要請という観点からも、需要の変動に対応させたモデルへの改良は誘発交通や道路網の事業評価といった政策評価を行う際には必要不可欠であると考えられる。

一方、これまでのバス路線網再編問題の定式化は、需要固定型による策定が一般的であり、ODの変動を扱う路線網策定はほとんど行われていない。需要固定型でつくられたバス路線網は、それが決定される前の需要によって設定されているため、バス路線網が設定されたことによる策定前後の交通サービスの変化に違いがあると考えられる。つまり、交通行動の変化にともなうサービス変化を考慮していない点に問題が残る。よって、バス路線策定システムをベースとし、変化するバスOD交通量システムを取り込んだモデルへと発展させることが課題であると言えよう。

そこで、本研究ではこれまで当研究室で開発してきたバス路線網策定計画システムにサービスレベルの変化にともないバスODが変化するという点を内生モデルとして扱うことで、より現実に近い状況を反映した最適バス路線網計画策定システムの提案を行う。なお、本システムの特徴はサービスの変化によってバスODが決まり、それにとまった最適なバス路線網とバスダイヤが決定するという点である。

3. モデルの基本的な考え方

(1) GAによるバススケジュール計画

路線の数並びにスケジュールの順番などにより、解の候補が膨大な組み合わせとなる。そのため、総当たりの探索方法は事実上不可能である。しかし、最適化探索

アルゴリズムの一種である GA を用いれば、近似解ながら効率的に解の探索が可能となる。このスケジュール決定問題は、バス 1 台あたりの受け持ちダイヤ数の増大とともに組み合わせが爆発的に増大するため、GA による解法が有効であると考えられる。

(2) ロジットモデルによる交通機関選択

本システムではゾーンペアごとに OD 交通量を設定している。そのため、交通機関を選択するうえでバス LOS(Level Of Service)と自動車 LOS を計算する際、一般化費用の評価に個人差があると考えられるため確率分布に従うものとする。よってバス利用者と自動車利用者の分担関係はロジットモデルを用いて表現するものとする。

(3) 本研究への適応

本研究では、ロジットモデルを用いてによりバス OD 交通量を設定し、GA によるスケジュール決定問題の着時刻指定 OD として内生化させることで、バス路線網策定システムの最適化システムを提案する。

4. バス路線網再編のための定式化

(1) システムの前提条件

①スケジュール決定問題の前提条件

1. バスの起終点はあらかじめ決定しておく。また、これらの起終点を結んだシステムを設定しておくこととする。
2. バス停間 OD(バス利用者の OD)がサービスレベルにより変動するものであるとする(ただし、自動車 OD も含めた生成量は固定とした)。
3. バス 1 台あたりの乗車可能人数は与えられているものとする。また、それを超える OD は運搬せず積み残しとして扱う。
4. 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。
5. バスの 1 台当たりの最低乗車人数を与えておき、沿線 OD がそれ未満ならバスを回送させる。
6. バスの回送は続けて行わないものとする。(連続した場合は、2 回目の回送を待機とする)。

②交通機関選択問題の前提条件

1. 交通手段はバスと自動車の 2 手段のみとする。
2. ネットワーク全体の OD 交通量は変化しない。

(2) 目的関数の設定と制約条件

以上の前提条件により、双方の最適化問題について目的関数の定式化を行う。

①スケジュール決定問題

目的関数

乗客 1 人当たりの平均所要時間の最小化

制約条件

1. 各路線は、各系統の最短経路に対する迂回限界率をかけた許容迂回距離以下とする。
2. 最終的な積み残し OD はなくなるようにする。すなわち、1 回以内の乗り換えで、すべての OD を運ぶこととする。
3. 運行効率向上の観点から、乗車密度の低いダイヤは削除する。

②交通機関決定問題

目的関数

各交通手段における一般化費用の最小化

5. 最適バス路線網再編モデルの概要

(1) システムの全体構成

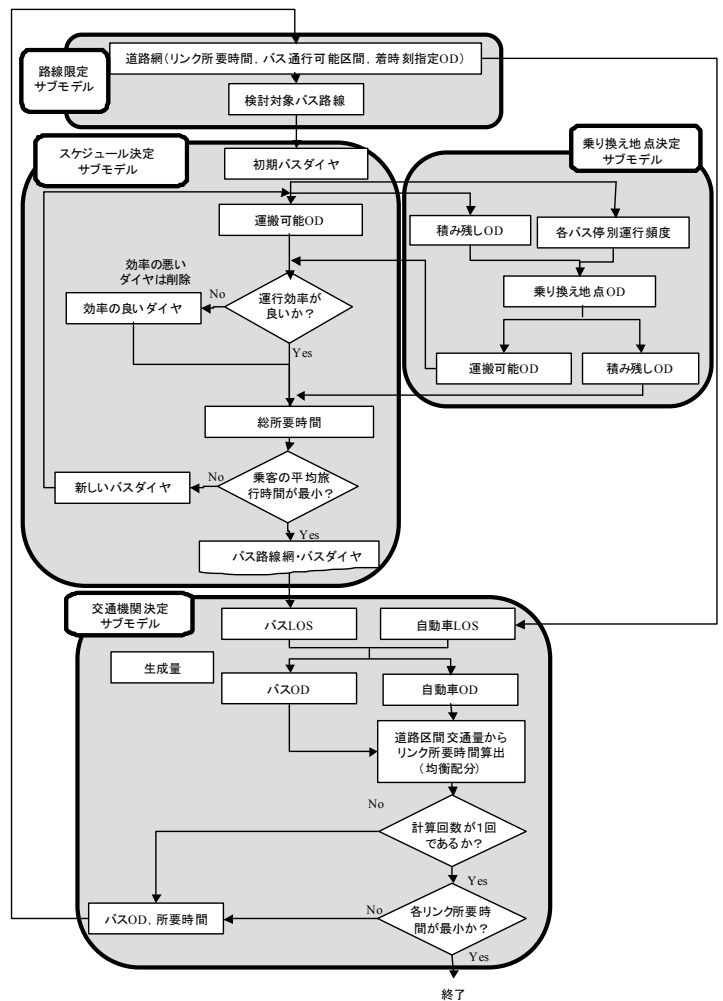


図-1 バス路線再編モデルのフロー

本システム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 番目経路までのバス路線の探索を行うサブモデル（路線限定サブモデル）、対象バス路線と初期バスダイヤから GA を用いて最適バス路線網と運行スケジュール（バスダイヤ）を決定するサブモデル（スケジュール決定サブモデル）、積み残した OD に対し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）、バス、自動車の LOS(Level Of Service)から利用交通手段を決定するサブモデル（交通機関決定サブモデル）の4つのサブモデルで構成される（図-1 バス路線再編モデルのフロー）。なお、システム全体のネットワーク全体での最適化問題として、総所要時間の最小化を目的関数とする。

（2）路線限定サブモデル

リンク所要時間の情報をもとに、後述記載するスケジュール決定のための対象路線をあらかじめ限定することで、計算負荷を少なくするとともに、迂回による長大路線を対象から外し、より現実的な路線に絞り込むことを目的とする。具体的には、各発着点を結ぶ系統のうち、最短経路から数えて第 n 番目までをピックアップする。したがって、大幅な迂回を含む路線は対象から外れることになる。

（3）乗り換え地点決定サブモデル

利用者が乗り換えを行う際には、そのバス停におけるバスダイヤが大きく影響を及ぼしている。しかしながら、バスダイヤは、以下で述べるスケジュール決定サブモデルにより決定される。したがって、スケジュール決定サブモデルでの情報をもとにして乗り換え地点を選択することにする。具体的には、次の手順にしたがって、乗り換え OD の計算までを行う。

運搬 OD（乗り換える必要な OD）の計算については、1つの (i, j) という OD ペア間を乗り換えバス停 k で (i, k) (k, j) の2つの OD ペアに分割することにより、直達 OD として処理する。また、乗り換え地点の決定の後、再度 OD の配分を行うが、ここで積み残しが出た場合には、運行効率の悪いダイヤを削除して、余りが生じたバスをその路線に割り当てることで、運行効率の向上と積み残しの解消を図るものとする。

（4）スケジュール決定サブモデル

路線限定サブモデルで抽出された路線を対象に、あらかじめ与えられた台数分のバスの運行スケジュールを決定するサブモデルである。

具体的には、GA の考え方に従って、次のように進める。

1. 決められた人口サイズ分だけの遺伝子（0-1 型）を初期値として発生させる。
2. 発生された路線番号の情報に従って、着ノード、経路ならびにバス発車時刻（発車待ち時間）を決定する。ここで、各ダイヤの発ノードは、始発のみ与件としている。
3. 作られたダイヤについて、着時刻指定 OD 表を基に乗車人数を計算する。なお、ここで計算されるのは直達 OD（乗り換えが生じない OD）のみである。
4. 3 で運搬されなかった OD（乗り換えが必要な OD）について、乗り換え地点決定サブモデルより、乗り換え地点、乗車経路選択、乗り換え OD の計算を行う。
5. 各ダイヤの路線の OD が最低乗車人数以下ならバスを回送させる。また、回送が続いた場合、回送を待機に変更して、バスが通常運行するまで待機させる。
6. 評価関数 Z =（乗客の平均所要時間）を計算する。
7. GA のアルゴリズムに従って、淘汰、交差、突然変異の遺伝子操作を行う。
8. 2~7 の操作を繰り返し、評価関数の更新が一定世代数の間で行われない場合、あるいは世代数がある値になったところで計算を打ち切る。

（5）交通機関決定サブモデル

本研究では、新たに「交通手段決定サブモデル」を作成した。本モデルはバス LOS と自動車 LOS により生成量を各交通機関別に割り振ってバス OD 交通量と自動車 OD 交通量を推計するモデルである。

まず、バス LOS についてはスケジュール決定サブモデルにより出力されたバス路線網・バスダイヤより設定する。また、自動車 LOS については初期値として与えた道路網より決定する。これらの LOS を用いて外部から与える生成交通量に対し、バスと自動車の二肢選択ロジックモデルを考える。なお、本研究は、初期モデルであるため生成交通量は変動しない（固定）と考えた。機関分担によって得られたバス OD をスケジュール決定サブモデルの着時刻指定 OD と置き換えて、再度、スケジュールの決定を行う。そして、機関分担によって得られる人ベースのバス OD と自動車 OD を台ベースの自動車 OD に換算し、初期値として与えた道路網を用いて均衡配分を行い、各リンクの所要時間を推計する。各リンクの所要時間がある一定の値となったところで計算を打ち切る。収束しない場合はバス OD を再度、スケジュール決定サブモデルの着時刻指定 OD として扱い、計算をなおす。具体的な OD 交通量の流れを踏まえた計算手順を以下に示す。

6. システム全体のOD交通量の流れ (図-2 OD交通量のフロー)

1. 路線限定モデルでバス通行可能区間とリンク所要時間より絞り込まれ検討対象バス路線網に初期バスダイヤと着時刻指定 OD を与え、乗車人数を計算する。また、ここで計算されるのは直達 OD (乗り換えが生じない OD) のみである。なお、与える着時刻指定 OD は第 1 回目のバススケジュールを決定するための仮想的なバス需要である。
2. 1 で運搬されなかった OD (乗り換えが必要な OD) について、乗り換え地点決定サブモデルより乗り換え地点、乗車経路選択、乗り換え OD の計算を行う。
3. 1, 2 でも運搬されなかった最終的な積み残し OD が生じた場合は、運行効率の悪いダイヤを削除して、余りが生じたバスをその路線に割り当てることで運行効率の向上と積み残しの解消を図るものとする。ここで、運行効率が悪く削除されたバスダイヤにおいて考慮する必要がある。後に何回か計算を繰り返すこととなるが、計算するたびに毎回若干の OD が削除されることになる。そこで、本システムでは運行効率が悪いといった理由で、削除された OD については後述に示す 5 において第 n 回目における時間帯別の全交通量に付け加えるといった形式とする ($n+1$)。
4. 1, 2, 3 において決定されたバス路線網とバスダイヤを基にバス LOS を決定する。また、自動車 LOS については初期値として与えた道路網を使用する。なお、ここで推定された機関別 LOS は時間帯における区別はしていないものとする。
5. 4 で計算された機関別 LOS で時間帯別全 OD を割り振る。なお、ここでの時間帯別全 OD は時間帯別に作成された着時刻指定バス OD と自動車 OD が合計されたものである。第 1 回目の計算において用いられる時間帯別全 OD は仮想的に与えるものとする。第 n 回目以降の計算では全 OD を第 $n-1$ 回目で計算されたバス OD と自動車 OD を合計した時間帯別全 OD とする。
6. 5 で計算された時間帯別バス OD と時間帯別自動車 OD から均衡配分を行い、(第 n 回目の計算による各リンク所要時間) > (第 $n-1$ 回目計算によるリンク所要時間) といったようにその差がある一定の値となるまで計算を繰り返す。
7. 6 での収束判定により第 n 回目計算においてネットワーク全体の総所要時間が最小となったところで計算を終了し、第 n 回目計算において出力されたバス路線網とバスダイヤを最適解として扱う。

7. おわりに

本研究では、出力されたバス路線網によって需要が変化する可能性があるといった課題に対して、バス需要を路線網策定システムに内生化させるモデルの提案を行った。

本システムは、バス交通のサービス水準の変更による需要変動を考慮できるため、より合理的なバス路線網とバスダイヤを同時決定できることが特徴である。なお、詳しい計算結果等については、講演時に発表したい。

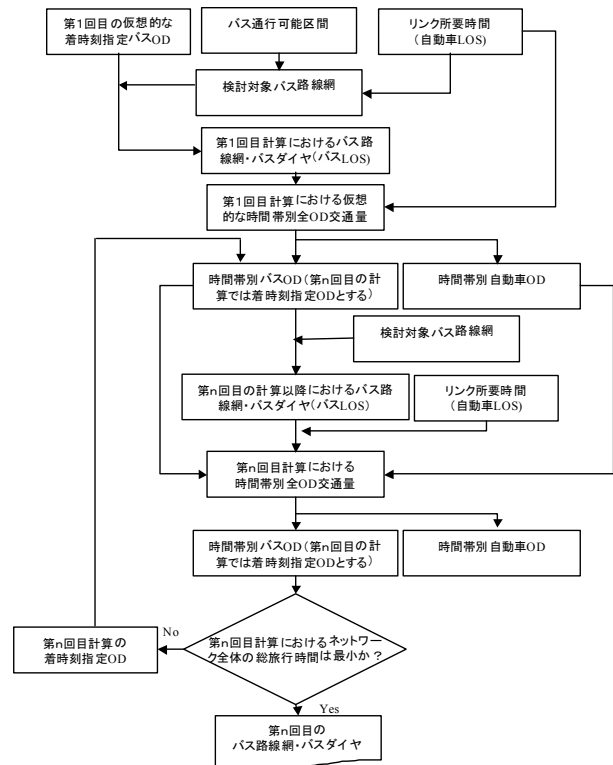


図-2 OD をベースとしたフロー

参考文献

- 1) 高山純一・宮崎耕輔・塩土圭介：運行スケジュールを考慮したバス路線網最適化計画，都市計画論文集，32 pp. 547-552, 1997.
- 2) 高山純一・中山晶一郎・加藤隆章・原口友心：主要施設の移転に伴うバス路線網再編システムの構築，土木計画学研究，講演集，講演番号238, 2002.
- 3) 円山琢也・原田昇・太田勝敏：大規模都市圏への交通需要統合型ネットワーク均衡モデルの適用，土木計画学研究・論文集，Vol. 19, no. 3, pp. 551-560, 2002.
- 4) 嶋本寛・倉内文孝・飯田恭敬：公共交通最適施策決定モデルの構築，土木計画学研究，講演集，講演番号26, 2004.