

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2008～2009

課題番号：20760349

研究課題名 (和文)

路線再編に向けたバス路線網評価ならびに決定に関する研究

研究課題名 (英文)

Evaluation and decision of bus route for bus route reorganisation

研究代表者

嶋本 寛 (Hiroshi SHIMAMOTO)

広島大学・大学院国際協力研究科・助教

研究者番号：90464304

研究成果の概要 (和文)：多くの大都市において特定道路区間に多くのバスが集中して「団子運転」が発生するなど、バス路線網は必ずしも効率的ではない。したがって、本研究は都市部におけるバス路線網の効率化を目的として、「団子運転」の要因である車両到着の相関を考慮可能な乗客配分モデルの構築し、さらに乗客行動をより正確に考慮し、実規模ネットワークへの適用も可能なバス路線網決定モデルの構築し、広島都市圏のバスネットワークに適用した。

研究成果の概要 (英文)：Many of the bus networks in the big cities all over the world is not necessarily efficient. One of the inefficient situation is the "bunching effect" where several buses is aggregated, which causes reduction of actual frequency. Therefore, in order to realise a efficient bus network in the big cities, this study proposed two types of model; the first one is a transit assignment model considering the correlation between vehicles' arrival at stops, and the second one is a model for simultaneously deciding the transit network configuration and frequency considering the passengers' behaviour more accurately. Furthermore, the latter model was applied to Hiroshima bus network.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2009 年度	1,800,000	540,000	2,340,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学，交通計画学・交通工学

キーワード：交通計画，バス路線網設計

## 1. 研究開始当初の背景

都市圏における交通問題として道路混雑の緩和のための方策に主眼が置かれてきたが、近年は環境問題への関心の高まりを受けモビリティマネジメントなど自動車から他のモードにいかに転換させるかに重点が置

かれている。また、高齢化社会を迎え、今後は自家用車によって自由に移動できない人も増えると考えられるが、このような人たちの移動の自由を確保するためにも公共交通の果たすべき役割はますます大きくなるものと考えられる。

我が国の都市公共交通システムについて見てみると、依然として朝夕のラッシュ時を中心に混雑の激しい路線が多くみられる。しかし多くの都市では私的企業、地方自治体によって競合的にサービスが提供されているため、地域全体を対象とした一体化した公共交通システム計画を策定することは容易ではなく、システム全体として見ると必ずしも効率的なサービスではないことが多い。さらにバス交通に着目すると、乗り換えのたびに追加料金が発生する料金体系であることもありできるだけ多くの目的地への直達性が重視され、結果的に多くの系統のバスが同じ道路上を走行する路線網を形成していることが多い。このような路線網は、いわゆる「団子運転」など非効率な運行の源であるだけでなく、事故や道路渋滞などに対する頑強性が低いといえる。都市部における自動車利用の一因として公共交通サービスが非効率であるという指摘もあり、公共交通の利用を促進する上でも公共交通計画の重要性は大きいといえる。

## 2. 研究の目的

本研究は公共道路線網の形状自体がサービス効率性に及ぼす影響に着目したものであり、道路交通における利用者均衡に準じた乗客配分モデルをベースとし、路線網形状の多角的な評価および最適化に関する手法論を構築する。さらに、構築するモデルを実規模ネットワークに適用して、モデルの実用性を示すとともに実際のネットワークにおける望ましい路線網を考究することを目的とする。

## 3. 研究の方法

上記目的を達成するため、本研究では主に以下の検討、分析を行なった。

### (1) 車両到着の相関を考慮した乗客配分モデルの構築

既往研究で提案されている乗客配分モデルは車両到着の独立性を仮定しているため、「団子運転」など車両集中にともなう定時性の低下を表現することはできない。そこで、車両到着に関する相関を相関係数により表現でき、相関係数が大きくなるほど2台の車両が連続して走行する、いわゆる団子運転が発生すると仮定した。その上でモンテカルロシミュレーションをベースとした、相関を持つ乱数を繰り返し発生させ、擬似的に路線間の相関を考慮した経路選択確率および期待所要時間を算出することにより、特定区間への車両集中にともなう定時性の低下を表現するモデルの構築を行なった。さらに、車両到着に関する相関を表す相関係数を乗降客数の関数として表現することにより、特定区

間への車両集中と特定車両への乗客集中の両方の要因による定時性低下を表現できるモデル構築を行なった。

最後に、構築したモデルを仮想ネットワークに適用してモデルの特性を把握した。

### (2) 乗客行動を考慮したバス路線網決定モデルの構築

バス路線網決定モデルに関する既往研究において、乗客に異なるバス停への徒歩での移動や異なる路線への乗り換えを認めず総輸送人数最大化を目的関数とする、すなわちODペア間に直通バスがない乗客は移動できないと暗に仮定した研究や、乗り換えを例外的に1回のみ許容した研究、あるいはフィーダーバスの路線最適化モデルにおいて基幹交通との乗り換え場所を与件と仮定した研究などが多い。したがって既往研究で構築されているバス路線網決定モデルの多くが乗り換え行動を含めた乗客行動の扱いが不十分であるとの問題意識のもと、本研究では先行研究で構築されている乗客配分モデルを制約条件とする MPEC (Mathematical Program with Equilibrium Constraints) として定式化することにより、移動コスト最小化という行動規範のもとであるが路線網変更にともなう乗り換え行動を含めた乗客の経路選択行動を明示的に表現したバス路線網決定モデルの構築を行った。また、事業者、乗客双方の目的のトレードオフの関係を明示的に表示するために、構築したモデルの上位問題を多目的最適化問題として定式化した。

構築したモデルは NP-hard 問題と位置づけられ厳密解を求めることが困難であるため、ヒューリスティックな手法である遺伝的アルゴリズム (GA) をベースにした手法を用いた。経路探索問題に GA を用いた場合最短経路以外の経路も記録されるというメリットも存在するが、経路を表さない致死遺伝子が多数発生し計算効率が低下するというデメリットも存在する。本研究では経路探索アルゴリズムのために改良された GA を用いることにより、このデメリットを克服した。

最後に、構築したモデルを仮想ネットワークに適用することにより、モデルの特性を把握した。

### (3) 構築したモデルを用いた施策分析

最後に、(1)および(2)で構築したモデルを用いて以下の分析を行った。

#### ① 車両到着の相関に着目した公共交通旅行時間信頼性分析

まず、(1)で構築したモデルにおいて、混雑の影響を考慮できるようモデル拡張を行い、拡張したモデルを用いて公共交通ネットワークの所要時間信頼性を評価する手法を提

案した。混雑の影響は、既往研究で提案されている有効頻度を用いて、需要が増加するにしたがって駅における期待待ち時間が増加することにより表現した。したがって、本手法で評価できる所要時間のバラツキの要因は、車両到着の相関と乗客需要の増加による混雑の2点である。提案した信頼性評価手法においてまず、すべての乗客は期待所要時間最小化を行動規範としていると仮定してネットワークに配分し、配分の結果得られる期待所要時間をもとに信頼性を評価した。

最後に仮想ネットワークに本手法を適用し、容量超過と車両到着の相関が所要時間信頼性に及ぼす影響を評価した。

## ② 広島都市圏における最適バス路線網の検討

(2)で構築したモデルを大規模ネットワークに対して適用できるように計算効率の改良を図り、その上で広島市バスネットワークへの適用計算を行った。モデルのインプットデータは以下のように作成・加工した。

- ・ 主要交差点上にないバス停は路線網設計に対して影響を及ぼさないため、計算負荷を軽減するために主要交差点上にあるか乗降客数の多いバス停のみを用いた簡略ネットワークを作成した。
- ・ 乗客需要データは、広島市で運行している主要バス会社から提供を受けた整理券データを用いて、上記簡略ネットワークに対応するよう集計した。
- ・ バス停間旅行時間は、GISを用いてバス停間距離を算出した上で、仮定したバスの走行速度で割ることにより算出した。

## 4. 研究成果

本研究の研究成果は、大きく以下の2つに分類することができ、それぞれについて成果を述べる。

### (1) 車両到着の相関を考慮した乗客配分の構築ならびにそれを用いた旅行時間信頼性分析

#### ① モデルの性能評価

まずは、図-1に示す簡易ネットワークを用いて構築したモデルの性能評価を行った。前

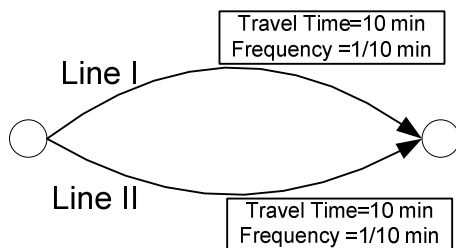


図-1 計算対象ネットワーク

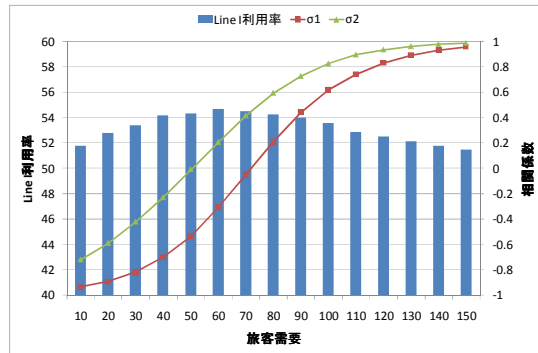


図-2 旅客需要と Line I 利用率の関係

述したように車両到着の相関を表す相関係数は旅客需要の関数であると仮定しているが、同一の旅客需要に対して Line II のほうが相関係数が大きくなるように設定した。図-2に OD ペア間の旅客需要と Line I 利用者数及び Line I, Line II の相関係数の関係を示す。

旅客需要が小さいとき相関係数の差が小さいため Line I の利用率は 50% に近いが、旅客需要が増えるに従い相関係数の差が大きくなり Line I の利用率が増えていることがわかった。ところが、旅客需要が 60 (人/分) から増えるに従い Line II の相関係数が上限値である 1.0 に収束し、Line I のそれも旅客需要が小さいときは相関係数の差が小さくなり Line I の利用率が低下している。すわなち、旅客需要が小さいときは Line II の定時性低下が顕著になり Line I の利用率が上昇するが、旅客需要が十分に大きくなると両路線とも定時性が低下して、再び Line I の利用率が 50% に近づくことを表していることがわかった。以上から、提案したモデルによって旅客需要の増加による定時性の低下およびそれによる乗客フローの変化が表現可能であることが示された。

### ② 車両到着の相関に着目した公共交通における旅行時間信頼性評価

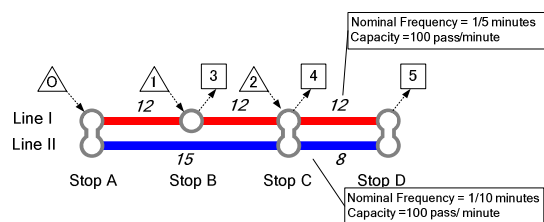


図-3 計算対象ネットワーク

次に、図-3に示すネットワークを用いて、容量制約及び車両到着の相関を考慮した場合としない場合で配分計算を行い、配分の結果得られた相関係数をもとに駅(バス停)ごとの待ち時間の累積分布確率を算出することにより、待ち時間の信頼性を評価した。図-4に結果を示す。図においてグラフの傾きが緩やかなほど信頼性が低いことを表してい

る。これを見ると、Line I の上流に位置する駅（バス停）A においては車両到着の相関を考慮することにより信頼性が低下している、すなわち団子運転による信頼性の低下を表しているものの、車両容量に起因する信頼性の低下は顕著でないといえる。一方で、Line I の中流に位置する駅（バス停）B においては車両容量に起因する信頼性の低下のほうが顕著であることがわかる。

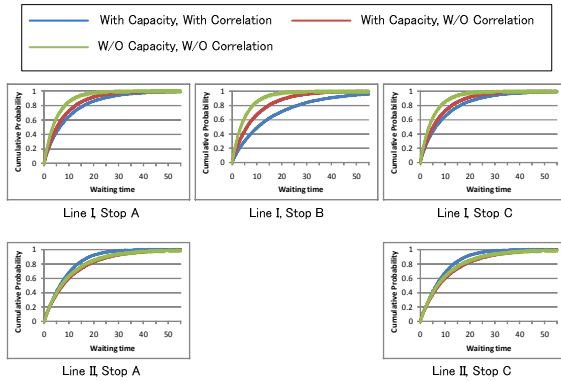


図-4 駅（バス停）ごとの待ち時間の累積分布確率

(2) 乗客行動を考慮したバス路線網の構築  
ならびに広島都市圏への適用

ここでは紙面の都合上、構築したモデルを図-5 に示す広島市バスネットワークに適用した結果のみを示す。



図-5 計算対象ネットワーク

図-6 にモデルから得られたパレートフロントを示す。前述したように本研究で構築したモデルは多目的最適化問題として定式化しているが、図中の横軸が1つ目の目的関数である乗客の一般化費用、縦軸が2つ目の目的関数である事業者の運行コストである。また、現状バスネットワークにおける乗客コスト、事業者コストを図中に点線で示している。運行コストが小さくなるにつれて、乗客コストが大きくなっているが、これは運行コストが小さくなると運行サービスが悪くなるか

らである。合計 46 のパレート解が得られたが、そのうちの2つの解について2つの目的関数の値が現状ネットワークのそれより小さく、これらの解は本研究で仮定した目的関数という観点からは現状ネットワークよりも望ましいといえる。しかし、現状ネットワークにおける目的関数についてもパレートフロントに十分近く、現状ネットワークも本研究で仮定した目的関数という観点からは最適なものに近いといえる。

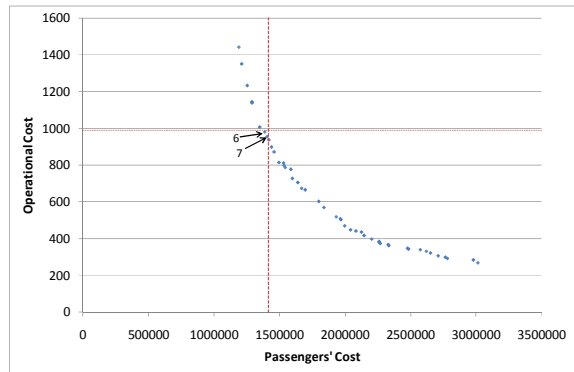


図-6 モデルから得られたパレート解

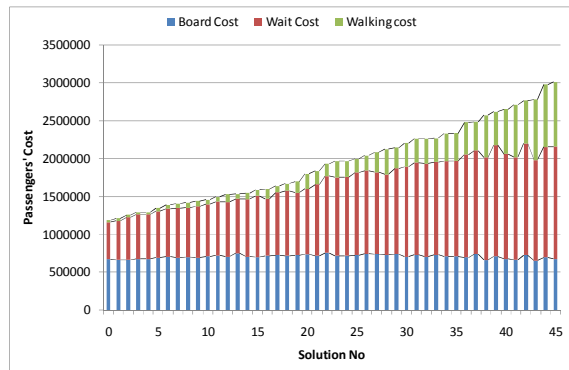


図-7 それぞれの解のコストの内訳

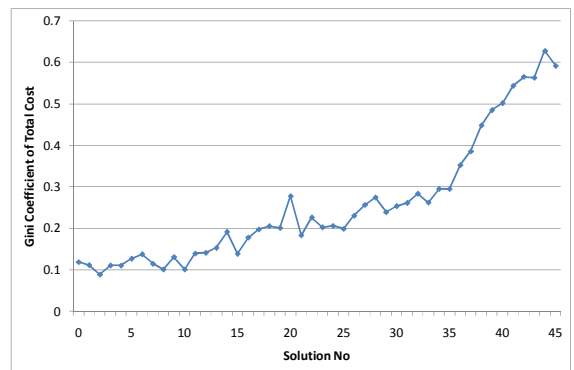


図-8 それぞれの解の現状ネットワークに対する公平性比較

さらに、本研究で構築したモデルにおいて乗客コストのうちの乗車時間、徒歩時間、待ち時間の内訳が算出できるため、図-7 にそれ

ぞれのパレート解におけるコスト内訳の比較を示す。さらに図-8にそれぞれのパレート解における現状ネットワークに対する乗客コストの比に対する公平性を指標化したものを示す。図-7, 図-8において解番号が大きくなるにつれて総乗客コストが大きくなる, すわなち運行コストが小さくなるようになっていく。また, 図-8において公平性をジニ係数で指標化しており, 大きくなるほど不公平な状態を表している。図-7から運行コストを小さくする, すなわち運行サービスを悪くすることは総運行コストの増加をもたらすが, コストの内訳で見ると乗車コストはあまり変わらず待ち時間, 乗車時間コストが増大していることがわかる。また, 図-8からは運行サービスを悪くすることはネットワーク全体の公平性の悪化につながるということがわかる。

以上から, 本研究では以下の点における新たな貢献を行った。

- ・ 既往研究ではほとんど考慮されていない車両到着に関する相関を考慮した乗客配分モデルの構築およびそれを用いた信頼性分析手法の提案
- ・ 既往研究より詳細に乗客行動を考慮し, 実規模ネットワークにおいても評価可能なバス路線網決定モデルを構築し, 実規模ネットワークにおけるバス路線網の評価を行った。

現状では車両到着の相関を考慮した乗客配分モデルとバス路線網決定モデルを独立に構築しているが, 今後の展望として両者を融合させ, 車両集中による定時性の低下を考慮した上でのバス路線網設計を行うことが必要であるといえる。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計5件)

- ① Hiroshi Shimamoto, Fumitaka Kurauchi, Schmöcker, JD., and Bell, MGH: Transit Assignment Model Considering the Correlation of Vehicles' Arrival, Proceedings of 89<sup>th</sup> Annual Meeting of Transportation Research Board, 査読有, DVD-ROM, 2010
- ② Hiroshi Shimamoto, Fumitaka Kurauchi, Schmöcker, JD., and Bell, MGH: Transit Assignment Model Considering the Inter-dependent of Each Line's Arrival, Proceedings of CASPT, 査読有, CD-ROM, 2010
- ③ Schmöcker, JD., and Bell, MGH, Fumitaka

Kurauchi, Hiroshi Shimamoto: Frequency-Based Transit Assignment With Consideration of Seat Availability, Proceedings of CASPT, 査読有, CD-ROM, 2010

- ④ 倉内文孝, 原尾彰, 嶋本寛: 所要時間の不確実性を経路選択基準に考慮した乗客配分モデルの構築, 土木学会論文集, 査読有, D(46), 531-541, 2008
- ⑤ Hiroshi Shimamoto, Fumitaka Kurauchi, Schmöcker, JD., and Bell, MGH: Evaluating Critical Lines and Stations Considering the Impact of the Consequence Using Transit Assignment Model- Case Study of London's Underground Network, Journal of Advanced Transportation, 査読有, 42(3), 291-310, 2008

[学会発表] (計6件)

- ① 嶋本寛: 乗客行動を考慮したバス路線網決定モデル, 第40回土木計画学研究・発表会, 2009年11月23日, 金沢大学(金沢市)
- ② Hiroshi Shimamoto: Development of Transit Assignment Model Considering the Bunching Effect, The 8<sup>th</sup> International Conference on Civil and Environmental Engineering, 2009年10月29日, Pukyong National University (韓国・釜山)
- ③ Hiroshi Shimamoto: A Transit Assignment Model Incorporating the Correlation of Vehicles' Arrival, 第5回日中共同セミナー, 2009年8月23日, 広島大学(東広島市)
- ④ Hiroshi Shimamoto: Optimisation of Public Transportation Network Configuration and Frequency, 23<sup>rd</sup> EURO Conference on Operational Research, 2009年7月8日, Maritim Hotel (ドイツ・ボン)
- ⑤ 嶋本寛: 車両到着に関する相関を考慮した乗客配分モデルの開発, 第39回土木計画学研究・発表会, 2009年6月13日, 徳島大学(徳島市)
- ⑥ 嶋本寛: バス路線網再編計画のための乗客配分モデルの拡張, 第37回土木計画学研究・発表会, 2008年6月7日, 北海道大学(札幌市)

#### 6. 研究組織

##### (1)研究代表者

嶋本 寛 (Hiroshi SHIMAMOTO)  
 広島大学・大学院国際協力研究科・助教  
 研究者番号: 90464304

##### (2)研究分担者

( )

研究者番号:

(3)連携研究者 ( )

研究者番号：