

common linesの概念を導入したマルチモード交通配分モデルの構築*

Multi-modal Traffic Assignment Model with a Concept of Common Lines*

嶋田真尚**・倉内文孝***・高木朗義***

By Masanao SHIMADA**・Fumitaka KURAUCHI ***・Akiyoshi TAKAGI***

1. はじめに

私的交通である自動車交通の分担率増加は、公共交通事業者の弱体化に繋がり、高齢社会となった我が国の交通弱者に対するモビリティの大きな低下を招く。持続可能な社会形成のためにも、公共交通の利用促進が重要である。一方で、道路の容量は限られている。公共交通を優先するために、結果として自家用車のための道路空間を減少させることによって生じる混雑が公共交通のサービスレベルに影響するため、単に公共交通サービスに割り当てる道路容量を大きくすれば問題が解決されるというものではない。本研究では、自動車交通と公共交通に対し、道路空間の適正な再配分を検討するための手法論の構築をめざす。

筆者らは、先行研究^{1,2)}において、公共交通ネットワーク上の乗客フローを再現するモデルの構築を行っている。本研究では、先行研究で構築されたこれらのモデルと自動車交通の配分モデルを統合する。自動車交通とバス交通を分類し検討可能という点を考慮し、マルチモード交通配分モデルと称する。本稿では、このマルチモード交通配分モデルの構築に関して報告する。

2. マルチモード交通配分モデル

(1) マルチモード交通配分モデルの概要

本研究で構築するマルチモード交通配分モデルの基本的な考え方は、一般的な道路網上の利用者均衡と、公共交通ネットワーク上の common lines を考慮した均衡モデルを統合するものである。具体的には、まず公共交通の路線を事前に設定し、バス車両はそれを固定的に走行するものとする。バスの運行頻度、乗用車換算係数を用いることでバス交通量を自動車交通量に変換し、リンク容量からあらかじめ差し引いて、残った容量を元に自動車交通量の配分を行っていく。交通機関分担についてはロジット型の選択を仮定することとし、道路ネットワークへの自動車交通量の配分は確定的利用者均衡配分を前提

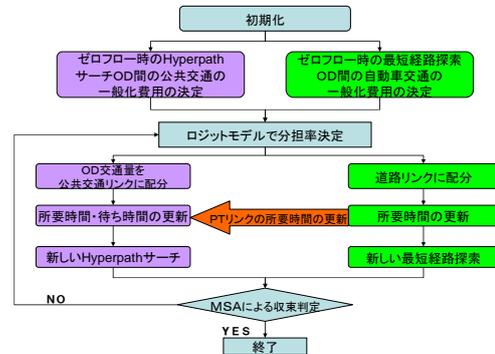


図-1 マルチモード交通配分の計算フロー

とする。公共交通ネットワーク上での経路選択については、common lines problem および車両混雑の影響を明示的に考慮可能な乗客配分モデルを活用することとした。なお、common lines problem を考慮することで、料金施策効果が検討可能であることが先行研究³⁾により示されている。図-1にマルチモード交通配分の計算フローを示す。道路ネットワーク上での最短経路探索と公共交通ネットワーク上での期待一般化費用最小 hyperpath 探索を行い、その結果を用いてロジットモデルで機関分担率を推定する。推定された分担率をもとに自動車および公共交通需要量を求め、それらを各ネットワークに配分することで道路リンクの所要時間と公共交通の待ち時間を更新する。また、逐次平均法 (Method of Successive Average) を用いて計算を繰り返す。

(2) common lines problem

common lines problem とは、「同一目的地に、乗り場を共有している複数の路線を利用して到達することが可能な場合、それらの路線の中から魅力的な経路集合 (attractive set) を選択する問題」、と定義できる⁴⁾。例えば、図-2の例では、Line 1 と 2 のどちらか先に来た車両に乗車するとすれば、期待所要時間は 18 分となり、Line 1 あるいは Line 2 のいずれかを利用するケースよりも期待所要時間は短いことがわかる。簡単のため、バスサービスが頻度ベースで提供されているものとし、各路線 l の運行頻度が f_l で表現されるとしよう。また路線ごとの目的地までの所要時間が t_l であったとすると、路線集合 $l \in S$ を利用した際の期待総所要時間 T は次のように計算できる。

*キーワード: Common Lines, 交通計画, 交通量配分

**学生員, 岐阜大学大学院工学研究科

*** 正員, 博 (工), 岐阜大学工学部社会基盤工学科 (岐阜市柳戸 1-1, 058-293-2443, kurauchi@gifu-u.ac.jp)

**** 正員, 博 (工), 岐阜大学工学部社会基盤工学科

$$T = \frac{1}{\sum_{l \in S} f_l} + \frac{\sum_{l \in S} t_l f_l}{\sum_{l \in S} f_l} \quad (1)$$

ここで、第1項が期待待ち時間、第2項が期待移動時間である。また、経路集合 S 中の経路分担率 q_l は、次のように計算される。

$$q_l = f_l / \sum_{l \in S} f_l \quad (2)$$

すなわち common lines problem とは、(1)式を最小化するような経路集合 S を求める問題に帰着される。

(3) 有効頻度による混雑表現

公共交通の混雑は、道路交通のように移動需要すなわち乗客数に依存するわけではない。一方で、混雑が激しくなると予定していた便に乗車できず、次の便を待つことが生じる。したがって、公共交通の混雑は待ち時間の増加に帰着できる。De Cea and Fernandez⁵⁾は、混雑により生じる待ち時間をBPR型関数として定義し、その逆数を有効頻度として活用する方法を提案している。図-3に示すように、交通量が増加することにより、乗車できない可能性があるため、それを頻度低下として表現する。De Cea and Fernandezに従えば、有効頻度は次のように定式化される。

$$\omega_{il} = 1 / f_l + \alpha \left(\frac{v_{bil} + v_{il}}{f_l \kappa_l} \right)^n \quad (3)$$

$$f'_l = 1 / \omega_{il} \quad (4)$$

ただし、 v_l : 駅*l*において路線*l*へ乗車する乗客数、 v_{bil} : 駅*i*における路線*l*の既乗客数、 κ_l : 路線*l*の車両容量、 ω_{il} : 駅*i*における路線*l*の期待待ち時間、 f'_l : 駅*i*における路線*l*の有効頻度、 α, n : パラメータ、である。もし混雑がない自由流の場合であれば、(3)式における第2項がゼロとなるため、有効頻度の f'_l は名目上の運行頻度 f_l と一致する。しかし、車両の乗車乗客数もしくは既に乗車している乗客数が多いとはじめにきた便に乗車できない可能性が高まるため、駅での待ち時間が増加し有効頻度が低下する。有効頻度を用いたアプローチにおいては、経路分岐確率や期待所要時間の計算において、(1)式、(2)式の運行頻度を有効頻度におきかえて計算することによって混雑を加味する。

(4) 道路網上の混雑の表現

ところで、ここではバスネットワークを想定しているため、その走行時間は道路網上の混雑の影響をうける。一般的な乗客流配分モデルにおいては、所要時間の増加を想定することは一般的でなく、式(1)中の t_l は定数として扱われることが多いが、本研究では道路ネットワーク上の配分により得られた所要時間を用いることで、道路混雑とリンクさせることにする。

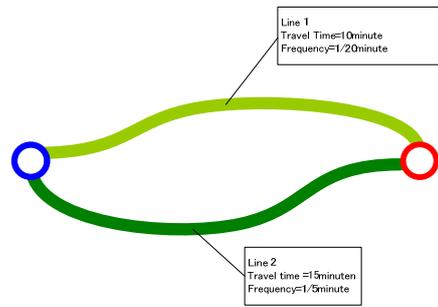


図-2 例題ネットワーク

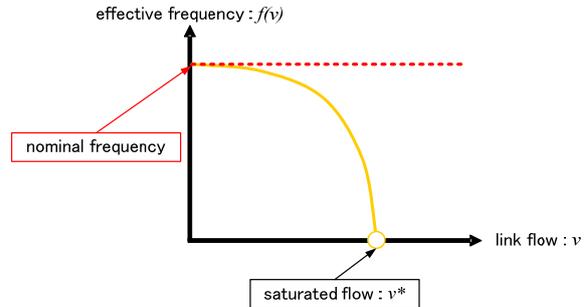


図-3 有効頻度の概念図

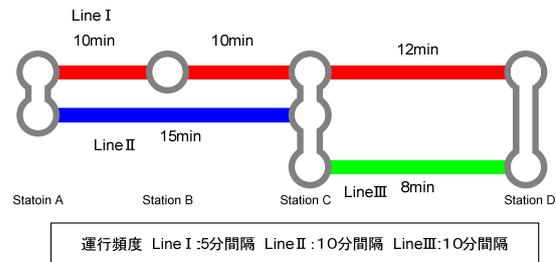


図-4 バスネットワーク図

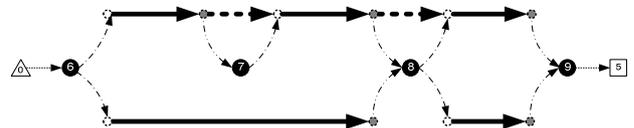


図-5 グラフモデルによるバスネットワーク表現

(5) ネットワーク表現

公共交通ネットワークのグラフ表現については、ここでは Kurauchi et al¹⁾の提案した方法を適用する。図-4を用いて説明する。ここでは、Line I を乗り換え不要の路線、Line II を乗り換え必要な路線とした。両路線は Station C で乗り換え可能な停留所として設定する。このネットワークをグラフで表現すると、図-5のようになる。図中△が出発地、□が目的地を示す。黒丸が駅あるいはプラットホームである。詳細は原著を参照して欲しいが、Station A, C で common lines が成立可能である。

3. 仮想ネットワークにおける計算

(1) 仮想ネットワーク

マルチモード交通配分計算を図-6に記す都市内を想定した仮想ネットワークで行う。ここでは基本検証を目

的とするため、ノード6から9へのひとつのODペアのみを想定することとする。道路は Link 0,2,4 を生活道路, Link 5,7 を幹線道路, Link 8 をバイパス道路と想定している。道路容量は, Link 0,2,4 を 600 台/時, Link 5,7,8 を 1200 台/時とする。バスネットワークとしては, 赤, 青, 緑の矢印がバスを運行している路線である。従って, 赤い路線を利用すれば, 乗り換え無しで移動可能であるが, 青い路線を利用した場合には中間ノード8において, 乗り換えが必要になる。なお, この公共交通ネットワークをグラフ表現すると, 前述の図-5になる。

(2) モデルの基本検証

基本検証には, ネットワークの利用者均衡状態, ロジット配分の確認, パラメータの特性整理について行った。特性整理については, 期待所要時間, 自動車の平均走行時間, 総走行時間, 総期待所要時間の各項目についての変化を確認する。まず, 交通需要を 3,000 人, バスの運行頻度を Line I 12 本時, Line II, III を 6 本時, パラメータを $n=1$, $\beta=10$, $\theta=0.1$ として計算を実施した。図-7のように, 利用者均衡状態の成立が確認された。また, 有効頻度の β と n , ロジットモデルの分散パラメータの θ について検証を行った結果, 特に大きな影響を及ぼすのが分散パラメータ θ であることが明らかとなった(図-8参照)。

(3) 都市交通施策に関する試行計算結果

構築したマルチモード交通配分モデルを用いて, 様々な都市交通施策が表現可能かどうかについて検討を加える。ここでは, バス路線の運行頻度向上, 容量増加, バス専用レーンの導入, ロードプライシング, バス料金均一精度の実施を対象とし, モデルの挙動確認を行った。バス専用レーンは, 幹線道路と設定している Link 5, 7 の交通容量を半減させ, さらに公共交通の arc 3 と 4 の所要時間を link 5, 7 と独立とすることで表現する。バス均一料金制度は, Station C で発生した Line II から Line III までの乗り換えで発生する新たな運賃 (=時間価値) を無料 (=0 分) とすることで実現可能である。ここでは, バス利用料金を 200 円に設定している。乗り継いだ場合には, 基本設定では 400 円, 乗り継ぎ無料では, 200 円のままになる。なお, 詳細の設定方法は, 文献 3) と同様である。仮想ネットワークでのロードプライシングは, 道路 Link 0,5 に通行量を課金することとした。時間価値を 50 円あたり 1 分として料金を時間に換算し, 課金される Link 0,5 の自動車走行時間を増加させることで表現した。課金額は 50 円ごとに増加させ, 500 円まで計算を行った。

a) バス均一料金制度

バス均一料金制度の結果を図-9に示す。図より, 期待所要時間がバス均一料金制度の導入によって減少したことが確認できる。バスの利用者が増加し, 結果として

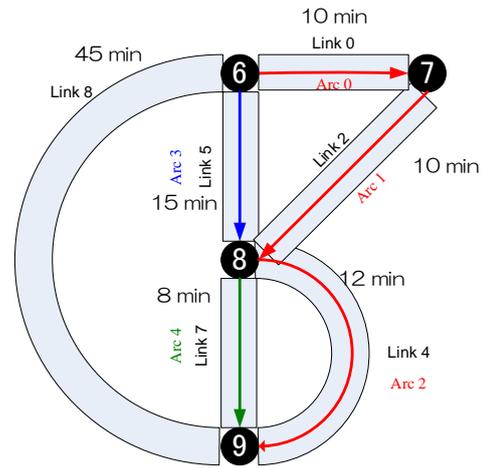


図-6 仮想ネットワーク

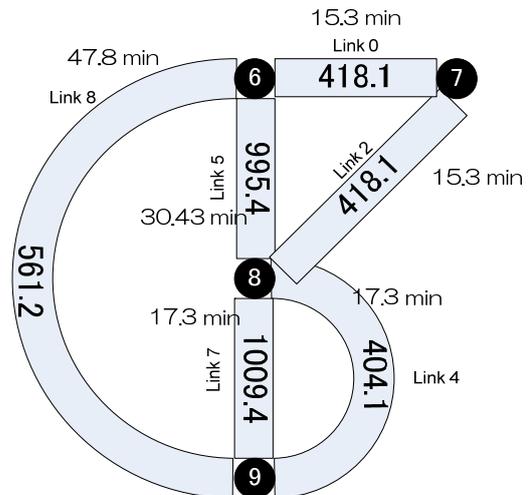


図-7 道路交通量と所要時間

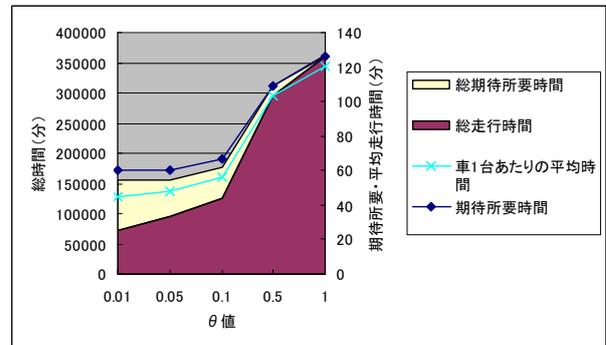


図-8 θ による計算結果の違い

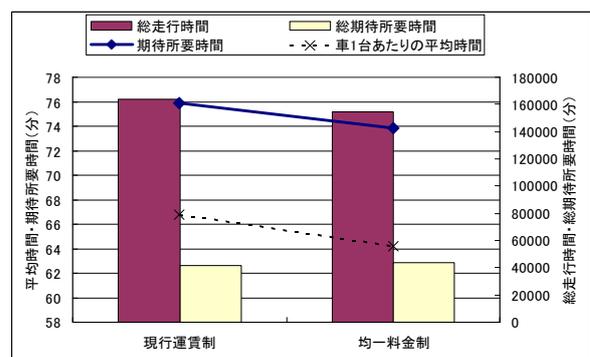


図-9 バス均一料金制度の導入

自動車の総走行時間も若干減少していることがわかる。

b) バス専用レーン

バス専用レーン設置に際しては、ネットワークの混雑を減少させるためにバス交通を多頻度で運行させることを想定し、Line I 60本/時、Line II, III 30本/時として計算した。この結果、図-10に示すように専用レーンの設置により、期待所要時間の減少、車一台あたりの走行時間の減少となった。今回の設定条件では、バス専用レーンを設定することで、バスの所要時間が道路のそれより大きく改善し、結果としていずれのモードを用いても走行時間が減少する結果となっており、条件によってはwin-winの関係が生じうることを示しているといえる。

c) ロードプライシング

次にロードプライシングを導入後の結果について述べる。計算結果は以下の図-11, 12に示す。図-11は課金額による自動車とバス利用者の変化を示した。自動車交通量は、50円を課金した時から課金前より減少している。これは課金による自動車走行時間の増加のため、自動車利用者がバスにシフトしたためである。図-12は自動車とバスを合わせた総走行時間の変化を示したグラフであるが、総走行時間は50円を課金した時に最少となった。また、総走行時間は課金額が大きくなるほど増加していく。自動車利用者は課金額の増加によりあまり減少しなかった。この点については、さらなる検証が必要であるが、今回の設定条件では、課金額を設定しても、バイパス経路の方に道路網利用者が転換し、公共交通への転換がうまく実現しなかったことが考えられる。

4. おわりに

本研究では、様々な都市交通施策の評価が可能なマルチモード交通配分モデルの構築を行い、性能検証を行った。モデルは、想定された通りの挙動を示した。また、設定したパラメータにより結果が大きく変化することが明らかになり、それらの設定には慎重を期する必要がある。今後の課題として、実ネットワークにおける配分計算にて実証を行い、実際の社会実験などと比較することでモデルの精度を高めていくことがあげられる。

謝辞

本研究は、科学研究費挑戦的萌芽研究：「経路選択原則の新しいパラダイム：戦略・戦術的行動の数理的記述」（課題番号 20656080，研究代表者：倉内文孝）の成果の一部である。記してここに謝意を表する。

参考文献

- 1) F. Kurauchi, M. G. H. Bell and J.-D. Schmöcker: "Capacity-constrained Transit Assignment with Common

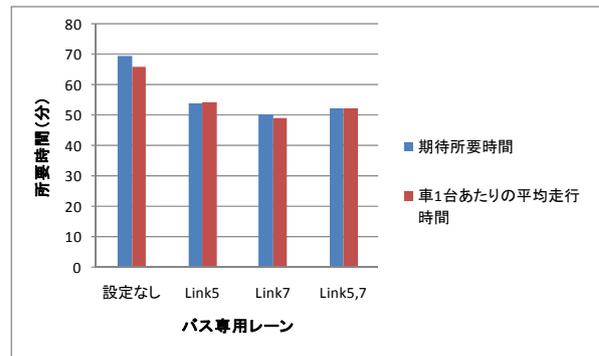


図-10 バス専用レーン導入の導入

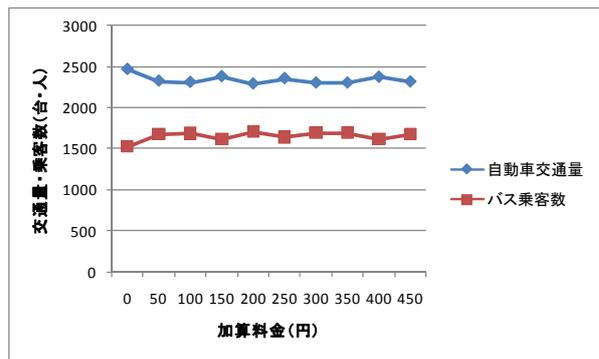


図-11 自動車交通量とバス乗客数の変化

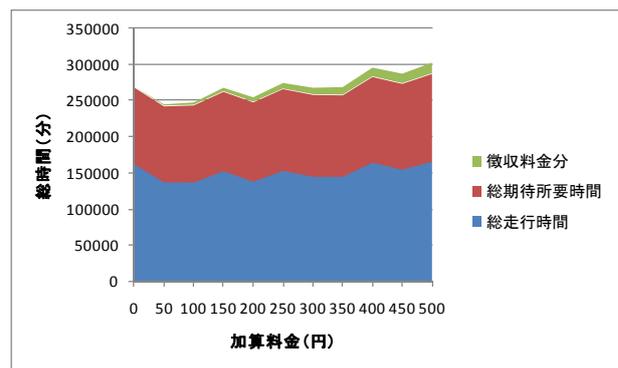


図-12 総走行時間の変化

Lines”, Journal of Mathematical Modelling and Algorithms, Vol.2, 309-327, 2003

- 2) 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D, Vol. 64, No. 4, 531-541, 2008.
- 3) 倉内文孝, 嶋本寛, 王萍, 飯田恭敬: “最小費用 Hyperpath 探索アルゴリズムを用いたバスサービス評価に関する研究”, 土木計画学研究・論文集, 23(3), 755-761, 2006.
- 4) Chiriqui, C. and Robillard, P., “Common Bus Lines”, *Transportation Science*, **9**, 115-121, 1975.
- 5) De Cea, D. and Fernandez, E.: “Transit Assignment for Congested Public Transport Systems”, *Transportation Science*, Vol. 27, No. 2, pp.133-147, 1993.