

首都圏鉄道ネットワークの有効活用に向けた鉄道ネットワーク配分システムの開発*

A Development on Railway Network Assignment System

Aimed at Effective Usage of Whole Railway Network in Tokyo Metropolitan Area*

日比野 直彦**・大石 洋也***・内山 久雄****

By Naohiko HIBINO**, Hiroya OHISHI*** and Hisao UCHIYAMA****

1. はじめに

東京首都圏の鉄道ネットワークは、広範囲かつ高密度に概成しつつある。しかしながら、未だに通勤ラッシュ時の混雑等が問題となっており、鉄道ネットワークが有効に利用されているとは言い難い。また、鉄道ネットワークが高密度に整備されるにつれ、鉄道利用者にとっては乗換え機会が増加し、急速に進展する高齢社会と国民の価値観、生活様式の変化から、個々の価値観によって経路選択を行うようになってきている。このような背景の中、今後の鉄道整備においては、各種サービスの質的向上が求められている¹⁾。しかしながら、近年我が国は厳しい財政状況にあるため、大規模開発は困難であり、今後の鉄道整備においては、限られた財源の中で効率的かつ重点的な整備をする必要性に迫られている。また、交通バリアフリー法の施行に伴い、駅整備事業が推進されている。駅整備事業は、比較的廉価な投資で、駅自体の利便性を向上させるだけではなく、特に乗換え駅整備においては、ネットワーク全体のフローに影響を与えることが知られており、今後の鉄道整備において有効な一手段であると考えられる。

そこで本研究では、首都圏鉄道ネットワークを分析対象に、詳細な乗換え駅構造を把握し、利用者の乗換え行動をモデル化した上で、乗換え駅整備等の小さな変化が鉄道ネットワークに及ぼす影響を考慮することが可能な配分システムの開発を行う。そして、既存ストックの活用の面から、特に乗換え駅整備に伴う利用

者の選択経路の変更に焦点をあて、鉄道利用者自身の効用向上の視点から、鉄道ネットワーク全体の有効活用の可能性を検討することを目的としている。

2. ネットワーク配分システムの開発

(1) ネットワークの設定

鉄道ネットワークは、道路ネットワークと異なる特徴がある。そこで、筆者ら^{2),3)}は、**図1**に示すようにネットワークを設定している。乗車部分においては、同一路線に様々な種別の列車が走る場合が存在するため、列車種別毎にノード、リンクを設ける。乗換え部分においては、乗換え駅施設構造を詳細に捉えるため、ホームノード、階段下ノード、階段上ノード、改札口ノードを設定し、階段リンクを設けることにより、エスカレータ設置の有無を表現可能にしている。また、同一会社内の路線の場合に限り、各路線のノードの他に出発ノードおよび到着ノードを設ける。

配分対象となる鉄道ネットワークは、首都圏全域(東京駅から約70km圏内)の119路線を対象とする(**図2**)。なお、本研究のノード数は4,976個、リンク数は14,049本(乗車リンク4,594本、乗換えリンク9,455本)で首都圏鉄道ネットワークを表現している。

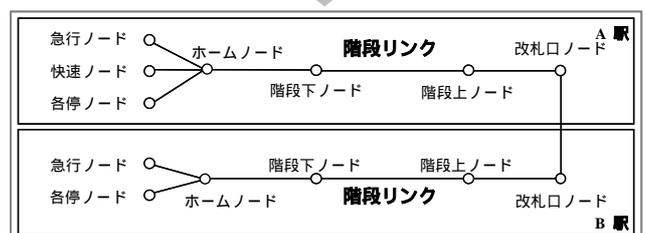
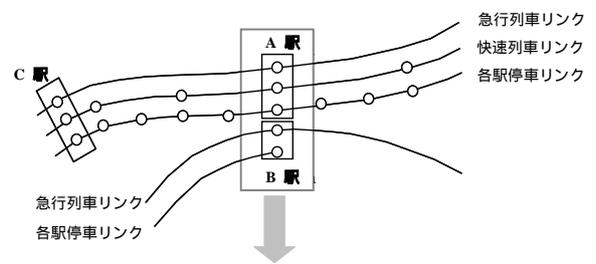


図1 ノード・リンクの設定

*キーワード：鉄道整備，ネットワーク配分システム

**正会員，工修，東京理科大学 理工学部 助手
千葉県野田市山崎 2641

TEL：04-7124-1501（内線 4058）

E-Mail：hibino@rs.noda.tus.ac.jp

***学生会員，東京理科大学 大学院 理工学研究科

****J10-会員，工博，東京理科大学 理工学部 教授

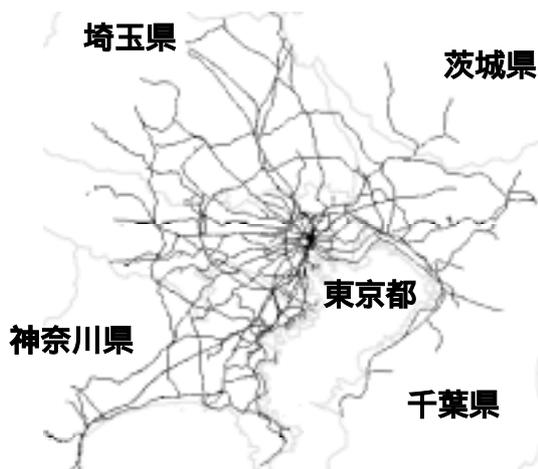


図2 分析対象範囲

(2) 効用関数

本研究では、鉄道利用者の経路選択行動規範は、筆者ら⁴⁾が構築した鉄道利用者経路選択モデルのパラメータ(表1)より導出される効用関数を基にしている。

なお本モデルは、C-Logit モデル⁵⁾を適用し、説明変数として、乗車時間(分)、6ヵ月定期運賃(千円)、初乗り駅の列車本数(本/時)、乗換え駅における水平移動時間(秒)、上り方向移動時間(秒)、下り方向移動時間(秒)、乗換え待ち時間(分)、混雑率関数(分×(%)²)、階段利用率を採用している。下記の式の設定でパラメータ推計を行う。

$$P = \frac{\exp(V - CF)}{\sum \exp(V - CF)} \quad (1)$$

$$CF = \beta \ln \sum \left(\frac{T_{ij}}{\sqrt{T_i T_j}} \right)^2 \quad (2)$$

- P : 選択確率
- V : 確定効用
- CF : Commonality Factor
- : 推計パラメータ
- T_i : 経路 i の所要時間
- T_j : 経路 j の所要時間
- T_{ij} : 経路 i と経路 j の重複時間

(3) OD交通量

配分に用いるODデータは、平成12年大都市交通センサスを基に作成する。本研究では、最混雑時を分析対象とするため、平成12年大都市交通センサスの終日データを市区町村別のピーク1時間出発割合から算出している。

表1 経路選択モデルのパラメータ推計結果

説明変数	パラメータ	t 値	
乗車時間(分)	-0.07771	-2.083	
6ヵ月定期運賃(千円)	-0.02002	-3.814	
乗換時間	水平移動時間(秒)	-0.002615	-1.569
	上り方向所要時間(秒)	-0.009289	-2.185
	下り方向所要時間(秒)	-0.007800	-1.536
	待ち時間(分)	-0.2267	-3.358
初乗り本数(本/時)	0.6529	2.365	
混雑指標(分×% ²)	-0.01153	-1.924	
階段利用率	-0.9635	-2.582	
β	0.9011	-1.513	
尤度比	0.2107		
的中率	73.1		
サンプル数	245		

(4) 配分手法

(a) 選択肢集合

筆者ら³⁾は、これまで各ノード間のリンクコスト関数を基に Dial のアルゴリズム⁶⁾を用いた確率的配分法を適用してきた。しかし、Dial のアルゴリズムには、ネットワークによって極めて不自然なフロー・パターンを生成する場合があります。また、均衡状態に至るまでに長時間かかるという欠点を有している。

そこで本研究では、各リンクの所要時間を基に第 k 番目経路探索法^{7), 8)}を用い、OD間の最短経路を含めた複数の代替経路を列挙することにより、選択肢集合を確定する。第 k 番目経路探索法のアルゴリズムは、Dijkstra 法、次善経路探索、第 k 番目経路探索からなっており、OD間の複数の経路を効率的に列挙することが可能である。また、経路を列挙するにあたって、屋井ら⁹⁾が提唱している選択肢集合の選別基準を用い、探索の上限として最短経路と比較して所要時間が2倍以上、もしくは30分以上かかる経路を除外し、1ODにつき所要時間上位5本の経路を選択肢集合としている。

(b) 確率的均衡配分

利用者均衡状態を理論値として求めるためには均衡配分を行う必要がある。そこで本研究では、得られた選択肢集合より、経路ごとの効用値を表1のパラメータより導出される効用関数より求め、経路ごとの選択確率を計算し、ODベースの確率的均衡配分を行う。以下に配分手法のフロー図を記す(図3)。

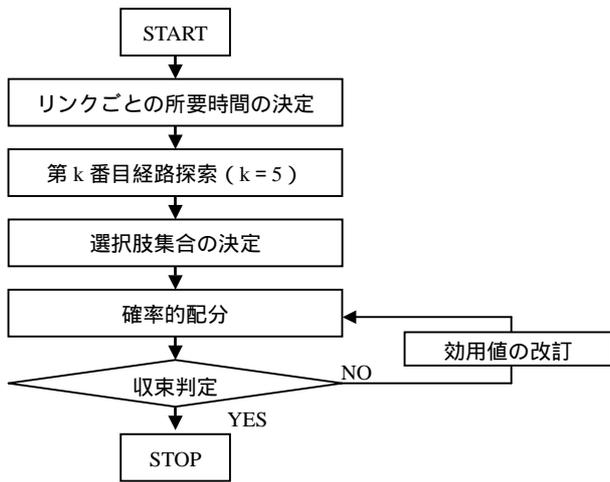


図3 配分手法のフロー図

3. 配分結果

路線部に関して、配分結果と平成12年大都市交通センサス・時間帯別断面交通量データより作成したピーク1時間断面交通量の比較を図4に示す。図4より、多少のばらつきは見られるものの、相関係数は0.978、RMS誤差は4,283であり、再現性の高い配分システムとなっている。

また、Dialのアルゴリズムを用いた配分システムと精度を比較すると、相関係数、RMS誤差ともに精度の向上がみられた。これに関しては、第k番目経路探索法により設定された選択枝集合を使用するODベースの配分により、Dialのアルゴリズムの欠点である不自然なフロー・パターンが解消されたことによるものだと考える。

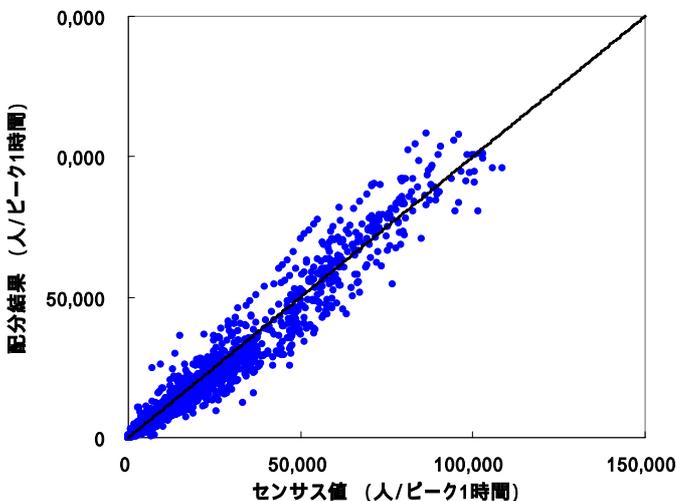


図4 断面交通量の比較

4. ケーススタディー

首都圏鉄道ネットワークにおいて、JR山手線、京浜東北線の上野駅 - 御徒町駅間は、最も混雑している区間（リンク）として知られている。そのリンク周辺を概観してみると、他のJR路線や地下鉄路線が複雑に入り組んでいるのに加えて、乗換え駅も数多く存在している。また、そのリンクのように混雑している路線が見受けられる一方、比較的空いているリンクも見受けられる。そこで、本研究では、この最混雑区間である上野駅 - 御徒町駅間のリンクを対象とし、既存鉄道ネットワークの有効活用を狙い、混雑率の低い路線への利用者のシフトを促す乗換え駅の整備を提案し、その効果を検証する。

改良する乗換え駅の選定基準を以下に記す。上野駅 - 御徒町駅間を経路に含むODパターンは6,159パターンあり、選択枝集合中の経路数は20,661本である。これらの経路上にある乗換え駅から通過頻度が多い順に10駅(表2,図5)抽出し、それらの乗換え駅において、混雑リンクを避ける方向に、～に示す乗換え駅施設整備を行ったときのシミュレーションを行う。

分速40mのエスカレータを上下階段に新設
 分速30mのエスカレータを分速40mに改良
 水平移動距離が100mを超える乗換え通路に分速50mの動く歩道を新設

表2 改良駅および改良方法

NO.	駅名			
1	東京			
2	神田			
3	水道橋			
4	御茶ノ水			
5	秋葉原			
6	御徒町			
7	上野			
8	南千住			
9	北千住			
10	池袋			



図5 改良駅の場所

シミュレーション前後において、混雑率が減少したリンクおよび逆に混雑率が増加したリンクから上位3本ずつ抽出し、断面交通量とともに表3に示す。このシミュレーションにより、約4,000人の利用者が最混雑リンクである上野駅 - 御徒町駅間を避ける他の経路を選択し、その影響から混雑率においては、約11%の混雑の減少につながっている。また、混雑が増加したリンクは、比較的混雑率の低いリンクであることから、乗換え駅施設改良による戦略的なフローコントロールの可能性を定量的に示している。

5. おわりに

本研究では、平成12年のデータを用い、乗換え行動や経路の重複を考慮したODベースの確率的均衡配分システムを開発し、現状の首都圏鉄道ネットワークフローを高い精度で再現している。また、ケーススタディとして、比較的廉価である乗換え駅整備に焦点をあて、鉄道利用者の乗換え抵抗を変化させる整備を行うことにより、その整備効果を検証することとしている。これにより財務制約、空間制約下での今後考える鉄道整備計画を検討する際のミクロな分析に対する本配分システムの有効性を示している。

新線建設を行うと、1km単位で数百億の建設費がかかる一方、駅施設におけるエスカレータやエレベータの設置等の駅におけるバリアフリー事業は、数億単位の建設費で可能である。今後の鉄道整備においては、乗換え駅のような既存のストックを活用し、フローコントロール促すといった、言わば鉄道におけるTDM的

表3 シミュレーション結果

駅名	駅名	シミュ前	シミュ後	差
上野 (山手線)	御徒町 (山手線)	96,473	92,537	-3,936
		260.9	250.2	-10.7
錦糸町 (総武線)	馬喰町 (総武線)	52,184	50,385	-1,798
		177.8	171.6	-6.2
町屋 (千代田線)	西日暮里 (千代田線)	102,360	100,096	-2,264
		254.1	248.4	-5.7
御茶ノ水 (総武線)	秋葉原 (総武線)	27,476	29,060	1,584
		119.5	126.4	6.9
八丁堀 (京葉線)	東京 (京葉線)	6,970	7,319	349
		161.1	169.2	8.1
上野 (日比谷線)	仲御徒町 (日比谷線)	72,782	78,943	6,161
		209.3	227.1	17.8

上：断面交通量(人/時)，下：混雑率(%)

施策を計画、施行することが必要であると考える。

謝辞：平成12年大都市交通センサス・時間帯別断面交通量データを運輸政策研究機構に提供していただいた。また、データ作成にあたり、芝浦工業大学の岩倉成志助教授にご指導をいただいた。ここに、記して感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 東京圏鉄道整備研究会著：東京圏の鉄道のあゆみと未来，財団法人 運輸政策機構，2000
- 2) 内山 星：首都圏鉄道計画分析評価のためのGISの構築，土木計画学会論文集 No.15，pp.705-712，1998
- 3) 大石，日比野，飯屋崎，内山：首都圏鉄道整備のためのネットワーク配分分析，鉄道技術連合シンポジウム講演論文集，pp.155-158，2002
- 4) 葉山，内山，星，日比野：鉄道利用者経路選択モデルの構築，第54回年次学術講演会講演概要集第4部，pp.736-737，1999
- 5) Cascetta, E., Nuzzolo, A., Russo, F. and Vitetta, A.: A Modified Logit Route Choice Model Overcoming Path Overlapping Problem. Specification and some Calibration Results for Interurban Networks, *Transportation and Traffic Theory, Proceedings of the 13 International Symposium on Transportation and Traffic Theory*, Elsevier Science, Oxford, pp.195-207, 1996
- 6) 土木学会：交通ネットワークの均衡分析 - 最新の理論と解法 - , pp.167-169, 1998
- 7) Yen, J. Y.: Finding the k Shortest Loopless Paths in a Network, *Management Science*, Vol.17, No.11, pp.712-716, 1971
- 8) 加藤，茨城，三根：無向グラフの第K最短単純路を求める $O(Kn^2)$ アルゴリズム，電子通信学会論文誌，Vol.J61-A, No.12, 1978
- 9) 屋井，清水，坂井，小林：非IIA型選択モデルの選択肢集合とパラメータ特性，土木学会論文集 No.702 ,pp.3-13, 2002