

首都圏における鉄道ネットワーク配分手法の検討* A Study on Method of Railway Network Assignment in Tokyo Metropolitan Area*

日比野 直彦** ・ 内山 久雄*** ・ 仮屋崎 圭司**** ・ 石渡 正範*****
By Naohiko HIBINO**, Hisao UCHIYAMA***, Keiji KARIYAZAKI**** and Masanori ISHIWATARI*****

1. はじめに

ネットワーク配分計算を行う際に、分析ネットワークの設定や配分手法によって結果が大きく異なることが、ここ数十年間で問題とされてきた¹⁾。これは、従来よく用いられてきた非均衡型の配分手法が、分析者の経験に基づくところが多く、その意思が反映される結果になってしまうこと等に原因があるとされている。近年、これに対する配分手法として、より理論性のある均衡配分が主流となってきた。しかし、均衡配分は、コンピュータ技術が進歩しているといえども、完全な均衡点に至るまでの計算時間は非常に長くなるという欠点がある。そこで、分析ネットワークを簡略化することや、均衡条件を緩和して収束計算回数を減少させることをし、完全均衡状態ではなく近似値を求めるといった策がとられているが、その設定の根拠が明確ではないのが現状である。

鉄道ネットワークのボトルネックを発見し鉄道整備をより効果的にする改善策を講ずる際および利用者の旅行状況を把握し便益を求める際に、鉄道ネットワークにおける配分計算は必要である。また、近年の鉄道の問題点として、通勤時の混雑、乗換抵抗等が挙げられている^{2,3)}。今後の鉄道計画において、ネットワーク配分計算をする際には、これらの問題点への対策を反映できる形にネットワークを設定する必要がある。つまり、必然的にノード数、リンク数が増えることで分析ネットワークが複雑となり、計算量が莫大になってしまう傾向がある。

これらの背景を踏まえ、本研究では、首都圏鉄道ネットワークを対象として、分析ネットワーク、均衡配分法、分割配分法の特徴を整理する。また、実際に配分シミュレーションを行い、均衡配分と分割配分の結果を比較することにより、それぞれの手法の欠点を明らかにし、今後の分析の方向性を示すことを本研究の目的とする。

2. 鉄道ネットワーク

(1) 鉄道ネットワークの特徴

これまでに幾つかの配分手法は提案されてきたが、これらの殆どは道路ネットワークを主眼においてつくられたものである。このため、これらの手法をそのまま鉄道ネットワークに適用すると不都合が生じる。例えば、所要時間について考えると、道路交通では混雑は渋滞発生という形で直ちに表面化するため、所要時間の増大という形で考慮することができる。ところが、鉄道の場合は混雑によって所要時間が直ちに増加するわけではなく、利用者に身体的あるいは心理的なストレスとなって潜在的に蓄積されるため、時間変化に反映しづらい。また、費用については、道路交通の場合は費用が距離に概ね比例しているが、鉄道の場合は会社ごとに運賃設定が異なり、費用が距離に比例するとは言えない。さらに断面交通量を見ても、道路交通の場合は走行車線と追越し車線の区別があまり明確にされていないが、鉄道の場合は列車の種別がはっきりと別けられている。このように、道路ネットワークと鉄道ネットワークでは、その特性が大きく異なっている。したがって、配分を行う際には鉄道ネットワークの特徴を把握し、考慮することが必要である。道路ネットワークとの相違点、すなわち鉄道ネットワークの代表的な特徴を以下にまとめる。

- ① 列車が混雑しても、所要時間の変化がほとんどない。
- ② 通常、同一路線に複数の種別の列車が存在するため、同一路線内に複数のリンクが存在する。
- ③ 同一種別でも行き先の違う列車が同一路線上を走っている。
- ④ 同一路線内の他種別の列車、あるいは他の路線への乗換が可能であり、しかも乗換に要する時間が場合によって異なる。

(2) 分析ネットワークの設定

前節で挙げた代表的な特徴を考慮し、混雑や乗換抵抗の影響を考慮できるように、本研究では以下のように分析ネットワークを作成する。

- ① 乗車時間は混雑による変化はないが、駅における列車の停車時間は乗降客の集中により変化する。また、優等列車の追越し待ちによる時間の遅れも考慮する。
- ② 同一路線を走る様々な種別の列車については、種別

* Key Words: 均衡配分, 分割配分, 首都圏鉄道ネットワーク

** 正会員 修(工) 東京理科大学 理工学部 助手

〒 278-8510 千葉県野田市山崎 2641
Tel: 0471-24-1501 (内線 4058)
Fax: 0471-23-9766 E-Mail: hibino@rs.noda.sut.ac.jp

*** F 会員 工博 東京理科大学 理工学部 教授

**** 学生会員 学(工) 東京理科大学 大学院 理工学研究科

***** 修(工) 愛知県

- 毎にリンクを設け、2 種別以上の列車が停車する駅については各種別を結ぶ乗換リンクを設ける(図 1)。
- ③ 行き先が異なる場合、種別が同じでも別々にリンクを設定する。
 - ④ 他の列車への乗換が可能な駅については、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。別会社の場合は、それぞれの駅ノード以外にはノードを設けない(図 2)。これは、大都市交通センサスのデータが、同じ駅でも会社が異なると別の駅であると扱っているからである。

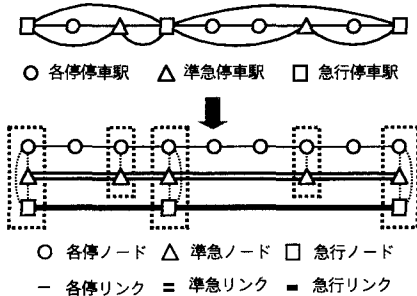


図1 乗車リンクと乗換リンクの関係

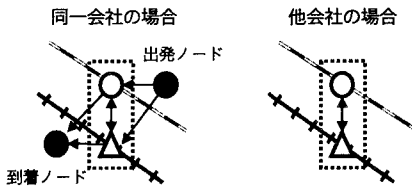


図2 出発ノード、到着ノードの設定

分析の対象は、首都圏全域(東京駅から約 70km 圏内)の在来線(114 路線)とする。鉄道ネットワークは、平成 2 年のものを基に上述の規則で作成し、ノード数 3,892 個、リンク数 11,877 本(乗車リンク 3,881 本、乗換リンク 7,996 本)と設定する。分析対象範囲を図 3 に示す。



図3 分析対象範囲

3. 配分シミュレーション

(1) シミュレーション概要

本章で設定したネットワークを用いて、配分シミュレーションを行う。配分に用いるデータは平成 2 年のデータとし、与件となる OD 交通量は、平成 2 年大都市交通センサスに基づいて定める。対象とする時間帯は、通勤混雑の最も激しいとされる AM7:30~AM8:30 である。

本分析においてリンクコスト関数は、乗車リンクと乗換リンクの 2 つに別けて設定する。乗車リンクは、志田ら⁴⁾によって定義された以下の①式を用いる。混雑率 100% 以上の場合に、混雑による利用者の不快感を所要時間の増大に換算するものである。乗換リンクでは、分析対象範囲内の全乗換駅(183 駅)の駅構造を実際に調査して得られたデータを基に、筆者らの既往研究⁵⁾⁶⁾から混雑を考慮した遅れ時間を算出する。次節以降に、均衡配分と分割配分のシミュレーション例を示す。

$$\Delta T_{i-1,i} = 0.01 \times \{ \exp(0.0197 \times C_{i-1,i}) - 1 \} \times T_{i-1,i} \dots \textcircled{1}$$

$\Delta T_{i-1,i}$: $i-1$ 駅, i 駅間の所要時間の増分

$T_{i-1,i}$: $i-1$ 駅, i 駅間の所要時間

$C_{i-1,i}$: $i-1$ 駅, i 駅間の混雑率

(2) 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。本節では、Frank-Wolfe 法による需要固定型均衡配分を試みる。Frank-Wolfe 法による計算は、収束が進むにつれて収束速度が緩慢になることが知られている。首都圏鉄道ネットワークに Frank-Wolfe 法による計算を適用した際の収束状況を図 4、図 5 に示す。図 5 は、わかりやすいように収束回数 60 回~110 回の収束状況を拡大したものである。図 4 から、やや不安定ながらも収束に向かっていることが読み取れる。なお、本研究で用いる収束値 ε は、以下の②式である。

$$\varepsilon = \max \left(\frac{|x-y|}{y} \right) \dots \textcircled{2}$$

ε : 収束値

x : 任意のリンクにおける $n-1$ 回目の断面交通量

y : 任意のリンクにおける n 回目の断面交通量

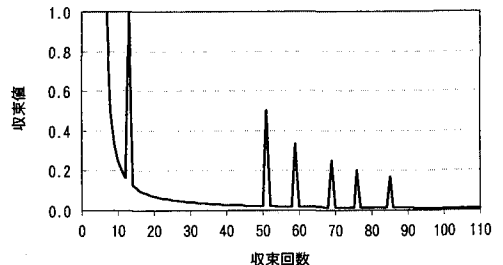


図4 均衡配分収束状況(全体図)

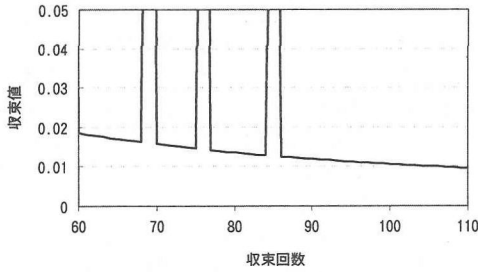


図5 均衡配分収束状況(拡大図)

平成2年大都市交通センサスによると、断面交通量の最大値は約20万人となっている。このリンクに対して1人のずれもない状態まで収束計算を行うとすると、収束値 ϵ の値を 5×10^6 と定めなくてはならない。図5から、収束回数110回時点での収束値 ϵ の値は約0.01と読み取れる。これは断面交通量が100人のリンクにおいて1人の差が生じている状態であり、均衡状態にあるとは言い難い。均衡状態に至るには、先にも述べた通り収束値 ϵ が 5×10^6 になるまで計算を繰り返す必要がある。そのためには約800回の繰り返し計算が必要であることが、概算により求めることができる。本分析において、配分計算には、分析当時最新鋭のベクトル型計算機(スーパーコンピュータ) VPP5000/3を使用しているが、110回の繰り返し計算を行うために約5日間を要した。このことから考えても、完全な均衡状態を求めるためには、1ヶ月以上という信じがたい時間を要すると予測できる。

収束回数110回の時点において、均衡配分による断面交通量と大都市交通センサスによる路線毎の断面交通量を比較したグラフを図6に示す。やや大きな誤差がみられる部分も見受けられるが、全体としては、相関係数は0.929、RMS誤差は17,518というまずまずの結果が得られた。

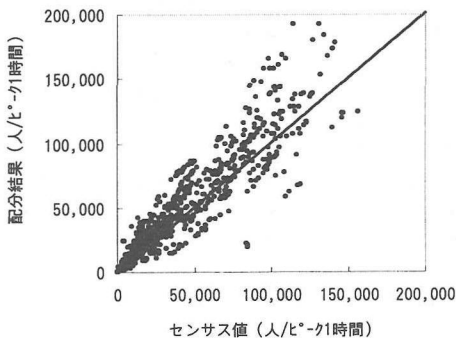


図6 断面交通量の比較(均衡配分)

(3) 分割配分

分割配分は非均衡型の配分手法であるが、今日でも一般的な配分手法として用いられている。操作性の良さ、

計算の容易さ等から近似解を求めるための手法としてこれまでも広く用いられてきた。前節の均衡配分と同様の条件で、本節では分割配分による配分計算を試みる。

分割配分を行うにあたり、分割数および分割割合については様々なパターンが考えられる。筆者ら^{7,8,9)}は、これまでの分割配分に関する研究において分割割合に重み付けをしてきた。例えば5分割による分割配分であれば、OD交通量を30%、25%、20%、15%、10%というように徐々に減少させる手法を用いている。これはflow-dependentな場合を想定した場合、飽和状態に近づけば近づく程、旅行者は混雑に敏感になると考えられることへの配慮であった。しかし、計算上で実際に仮定通り作用されているかの検証はされていない。そこで、本研究では、分割数および分割割合についての吟味を行う。表1は、ネットワーク上にOD交通量の10%を流した際に、混雑率が200%を超えた区間をまとめたものである。最混雑区間となった大宮-赤羽間においては、混雑率が621%という現実離れた数値となった。これは、鉄道ネットワークの作成を列車種別毎の詳細な設定にしたため、リンク容量の小さいリンクが多数存在することとなり、そこに大量の交通量が流れることで一気に飽和状態を超えてしまい、この交通量に対して混雑抵抗による制限をかけることができなかつた結果である。Flow-dependentな場合を想定する場合には、致命的な問題といえる。しかし、今後の鉄道計画において混雑の影響をより正確にとらえていく必要があるため、簡略化したネットワークにするわけにはいかない。したがって、OD交通量をできるだけ細かく分割して1つの塊自体の大きさを抑える必要がある。また、各リンクで飽和状態になる時期は一定でないため、OD交通量の分割割合に重み付けを行うことは、実際の現象を表しているとは言えない。ゆえに、分割数を多くし、等分割ですべて同じ条件で流すことが最善策であると考えられる。

最混雑区間となった大宮-赤羽間に着目し、一度に流れるOD交通量の違いによる混雑率の変化を表2に示す。また、表3に各分割数による配分結果の比較を、図7に100分割配分の結果を示す。

表1 OD交通量10%が流れることによる区間混雑率

区間		混雑率
大宮	→ 赤羽 (高崎線池袋行)	621%
新宿	→ 四ツ谷 (中央線通勤快速)	463%
春日部	→ 北千住 (伊勢崎線快速)	375%
西新井	→ 北千住 (伊勢崎線区間準急)	368%
四ツ谷	→ 御茶ノ水 (中央線通勤特快)	358%
草加	→ 赤羽 (伊勢崎線区間準急)	232%
赤羽	→ 池袋 (高崎線池袋行)	205%

表2 OD交通量別区間混雑率(大宮-赤羽)

OD交通量	10%	5%	3%	2%	1%
混雑率	621%	311%	186%	124%	62%

表3 分割数による配分結果の比較

分割数	相関係数	RMS 誤差	混雑率最大値
5 分割	0.954	15,687	1,243 %
10 分割	0.956	14,809	1,563 %
20 分割	0.950	15,051	635 %
30 分割	0.950	14,710	408 %
40 分割	0.948	15,243	366 %
50 分割	0.948	15,123	346 %
100 分割	0.947	15,234	325 %

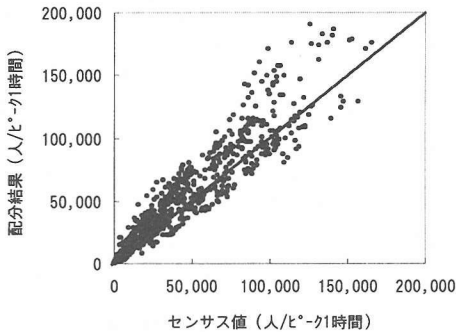


図7 断面交通量の比較 (100分割配分)

全体としての精度は、相関係数、RMS 誤差から判断すれば、各分割数ともある程度良好である。しかし、混雑率の最大値を見ると、100分割ですら300%を超え、問題があると言わざるをえない。この点から考えると、今後の配分結果の精度を確認するには、全体の相関、誤差、路線毎の混雑率だけでなく、1本1本のリンクに着目していく必要があると言える。

4. 配分結果の比較

シミュレーションにより算出した均衡配分結果と分割配分結果の比較し、配分手法の検討を行う。相関係数、RMS 誤差、混雑率最大値の比較を表4に示す。

表4 均衡配分と分割配分の比較

配分手法	相関係数	RMS 誤差	混雑率最大値
均衡配分 (110回)	0.929	17,518	2,021 %
分割配分 (100分割)	0.947	15,234	325 %

均衡配分法を用いる際には、収束条件が大きな影響力を有しており、収束条件を厳しく設定しない限り計算の精度が保証されない。特に、本分析のようにリンクコスト関数に混雑を導入すると収束が不安定になり、高精度な分析が不可能なことが判明した。110回の収束計算において、混雑率が2,021%となる箇所が存在することからも、精度の低さがはっきりしている。

分割配分法は均衡状態を近似的に求めているに過ぎないが、均衡配分法に比べて比較的短時間で配分計算を行うことができる。もちろん、近似解である以上、この結果を用いた解析は理論性に欠ける点も否めないが、均衡配分法による均衡解の算出が困難な場合には、その代用として十分通用することが確認できた。また本分析のように大規模なネットワークに対して、リンクを細分化して比較的ミクロな解析を試みようとする場合に、100回程度の繰り返し計算では、むしろ分割配分法の方が現象を捕らえているとも言える。この点から、分割数および分割割合を適切に定めることが最も重要であることが確認できた。

5. おわりに

本研究では、道路ネットワークと鉄道ネットワークとの比較および均衡配分法と分割配分法との比較により、分析ネットワーク、均衡配分、分割配分の特徴を整理した。また、首都圏鉄道ネットワークを対象として、実際に配分シミュレーションを行い、様々な条件下での配分結果を算出することで、各問題点を明らかにすることができた。

本研究では、配分手法の特徴を主として扱ったため、リンクコスト関数、OD交通量については既往研究のものを適用している。リンクコスト関数、OD交通量の設定も配分結果に大きな影響を与えると考えられるため、本研究の結果を踏まえ、これらの吟味を行うことが今後課題として挙げられる。現在、非集計分析による経路選択モデルから求められたリンクコスト関数を適用した配分計算を試みている。

参考文献

- 「交通ネットワーク均衡分析 - 最新の理論と解法 -」, 社団法人土木学会, 1998.
- 家田: 通勤鉄道 混雑解消は可能か, 東京大学工学部交通工学研究共同体編, 「東京の交通問題」, 技報堂出版, pp.85-106, 1993.
- 家田: 交通問題とその対策, 中村編著・東京大学社会基盤工学教室著, 「東京のインフラストラクチャー 巨大都市を支える」, 技報堂出版, pp.308-338, 1997.
- 石渡, 内山, 星, 池田: 首都圏における鉄道均衡配分モデルの構築, 土木学会第54回年次学術講演会講演概要集 第4部, pp.734-735, 1999.
- 志田, 古川, 赤松, 家田: 通勤鉄道利用者の不効用に関数パラメータの移転性に関する研究, 土木計画学研究・講演集 No.12, pp.519-525, 1989.
- 内山, 武藤, 桜井: 鉄道の乗換抵抗に関する研究, 土木計画学研究・講演集 No.12, pp.229-234, 1989.
- 日比野, 内山, 篠原: 混雑を考慮した乗換時間の算出に関する研究, 土木学会第54回年次学術講演会講演概要集 第4部, pp.250-251, 1999.
- 内山, 星: 首都圏鉄道計画分析評価のためのGISの構築, 土木計画学研究・論文集 No.15, pp.705-712, 1998.
- 石渡, 内山, 星: 首都圏鉄道網の配分システムに関する基礎的研究, 土木学会第53回年次学術講演会講演概要集 第4部, pp.616-617, 1998.