

首都圏の実時間鉄道利用者流動推計システムの構築

—領域型時空間ネットワークモデルの活用—

本稿では、首都圏鉄道網を対象とした実時間鉄道利用者流動推計システムについて報告する。本システムは、(1) 利用者の時間的変動を扱っている、(2) 電車の運行を1列車ごとの運行として明示的に直接表現している、(3) 利用者を路線ごとではなく、首都圏の全路線を対象として出発地から目的地までの移動を一貫して扱っている、(4) 利用者が乗車する電車の選択を利用者均衡配分問題として扱っている、という特徴を有している。本システムを利用して、(a) 常磐新線の開通に伴う需要予測、(b) 東急田園都市線でのピーク時の優等電車の廃止による輸送能力の変化、(c) 利用者が混雑を回避する選好を持つときの利用状況の計算、のそれぞれについてシミュレーションを行った。

キーワード | 時空間ネットワーク, 利用者均衡配分, 大都市交通センサス

田口 東

TAGUCHI, Azuma

工博 中央大学理工学部教授

鹿島 茂

KASHIMA, Shigeru

工博 中央大学理工学部教授

鳥海重喜

TORIUMI, Shigeki

工修 中央大学大学院理工学研究科

斎藤正俊

SAITO, Masatoshi

工修 中央大学大学院理工学研究科

1—背景と目的

近年の我が国の鉄道会社は、少子高齢化に代表される社会構造変化に対応し、鉄道需要を確実に確保するため、

- 異なる鉄道会社間の直通運転拡大による利便性の向上

- エレベータやエスカレータの設置による移動の円滑化
- バス等との運転調整による移動のシームレス化
- 乗り換えをスムーズにするための列車ダイヤの適正化
- ICカードシステムを用いた多様なサービスの提供

・駅への売店や各種施設の設置によるアメニティの向上
等のソフト的な施策を重点的に進めサービスの改善に努めている。このため、鉄道会社にとってだけでなく、都市交通計画の観点からもこれらの施策が利用者の行動に及ぼす影響を事前に評価することが重要となってきた。これらの影響は、新線の建設等の施設整備に伴う影響以上に、利用者の質的性質、例えば時間帯や利用者属性(性、年齢、利用目的等)によって異なると考えられる。

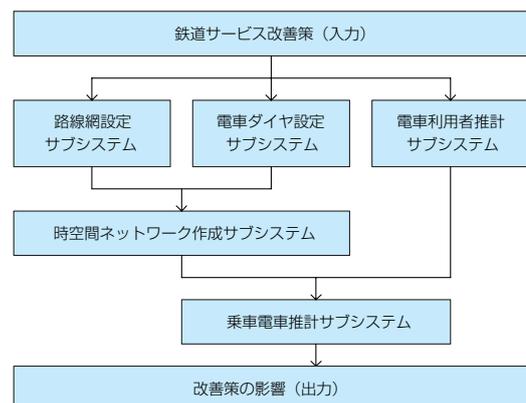
一方、我が国では、これまで大都市中心ではあるものの定期的に鉄道利用者について行われてきた大都市交通センサスや鉄道会社からの報告に基づいて作成される都市交通年報等に加え、鉄道会社による自動改札機の普及に伴う動的な利用者情報が利用可能な環境になりつつある。

本稿は、以上の問題意識の下で著者らが首都圏の鉄道網を対象として構築した実時間鉄道利用者流動推計

システムについて報告することを目的としている。

このシステムは、図—1に示すように首都圏内に鉄道網を設定する路線網設定サブシステム、優等電車を含む実際の電車の運行を設定する電車ダイヤ設定サブシステム、路線網とダイヤから動的配分問題を静的配分問題として解くためのネットワークを作成する時空間ネットワーク作成サブシステム、駅ごとに実時間で属性別の利用者を推計する電車利用者推計サブシステム、利用者の乗車する電車の選択結果を推計する乗車電車推計サブシステムから構成されている。

このシステムの特徴をこれまでの類似のシステムを提案している論文との比較で挙げると、①利用者の時間的変動を扱っている、②電車の運行を1列車ごとの運行として明示的に直接表現している、③利用者の利用を路線ごとではなく、首都圏の全路線を対象として出発地から



■図—1 実時間鉄道利用者流動推計システム

目的地までの移動を一貫して扱っている、④利用者が乗車する電車の選択を利用者均衡配分問題として扱っている、の4点である^{注1)}。

2—システムの構築

2.1 路線網設定サブシステム

路線網は、鉄道路線の整備状態を表す路線ネットワークと異なる路線間及び同じ路線の電車の種類(優等、普通等)間の待ち・乗換えを表す乗換えネットワークから構成されている。

現在作成済みの路線網ネットワークは、大都市交通センサスの首都圏鉄道調査区域(34事業者、128路線、1,815駅)である。ただし、複数路線が乗り入れる駅については、事業者別電車種別に表している。乗換えネットワークは、各路線各電車の駅を表すノードと電車に乗っての移動を表す走行リンク、乗り換え行動を示す乗換リンク、乗り換え電車を含め電車の到着を待つことを表す電車待ちリンクで表されている。

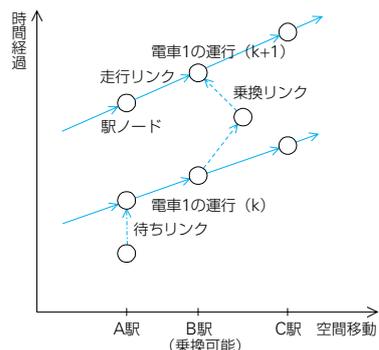
2.2 電車ダイヤ設定サブシステム

本システムでは全ての路線の全ての電車の運行状況を表すダイヤを設定する。

現在は、朝のピーク時間についての検討を行うために午前6時から10時までの実際に用いられているダイヤが入力されている。

2.3 時空間ネットワークサブシステム

設定された路線ネットワーク、乗換えネットワーク、電車ダイヤから時空間ネットワークを作成する^{注2)}。時空間ネットワークは、動的なネットワーク配分問題を静的なネットワーク配分問題に変換するための手法であり、図—2に示すように、ダイヤに従って路線を走行する全ての電車の発着ごとに駅(ノード)を作成し、この間を走行する電車をリンクで表したものである。利用者の動的な移動をこのネットワーク上の流れとして表したものである。現在は、ノード数150,094、リンク数475,435から構成されている。



■図—2 時空間ネットワーク

2.4 電車利用者推計サブシステム

電車利用者の推計は、設定した駅勢圏内の人口関連統計及び住宅分布より、世帯属性別の世帯を生成させ、これを住宅に張り付けることをまず行う。次に、ある場所の住宅に住んでいる世帯の1日の交通行動をシミュレーションし、鉄道駅の利用者数を求める。ただし、駅の乗降客数については、精度の高い実績データが存在するので、この値を用いて推計値を修正する¹⁾。

この方法での利用者の推計は現在作業中であり、現システムでは暫定的に、全ての駅について1995年と2000年の大都市交通センサスを用いて求めた利用者数が定期券利用者及び普通券利用者別、利用時間別(現在は5分単位)で入力されている。

2.5 乗車電車推計サブシステム

本システムでは、利用者は、電車の混雑度や所要時間等の情報を日々の利用によって熟知し、また、経路を合理的に選択していると仮定している。言い換えれば、利用者は、利用可能な経路について完全な情報を持ち、混雑及び乗り換えを含めたリンクコストが最小の経路を選択していると考えている。これより利用者の乗車電車の選択結果はWardropの利用者均衡モデルによって定式化でき、駅間利用者数を固定にすれば、最適化問題として定式化でき、解を求めることができる^{注2)}。

リンクaのコスト関数は、混雑による不効用を表すため、リンク交通量に依存する関数とし、リンクを通過する利用者数に対する単調増加性と列車容量の制約を考慮し、次式で表している。なお、パラメータは現況をよく再現できるように設定する。

$$t_a = \Phi_a \left(1 + \gamma \left(\frac{q_a}{c_a}\right)^\alpha\right) \quad (1)$$

変数の説明；

t_a : リンクaの通過時間

Φ_a : コスト関数

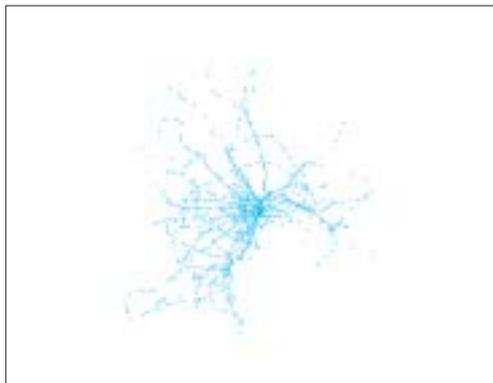
q_a : リンクaの利用者数

c_a : リンクaの容量

α, γ : パラメータ ($\alpha, \gamma \geq 0$)

求解には代表的な解法であるFrank-Wolfe法を改良した方法を用いる。解法の詳細は著者らの他の論文を参照頂きたい¹⁾。

利用者の選択結果の表示例を図—3に示す。図—3は午前8時30分の全ての電車の位置と混雑状況を示したものである。これは、時間を動かすことにより、アニメーションとして見る事ができる。現在は1分ごとの電車の路線網上の位置およびそのときの混雑状況を示すことができる。



■図—3 選択結果の表示

3——システムの検証

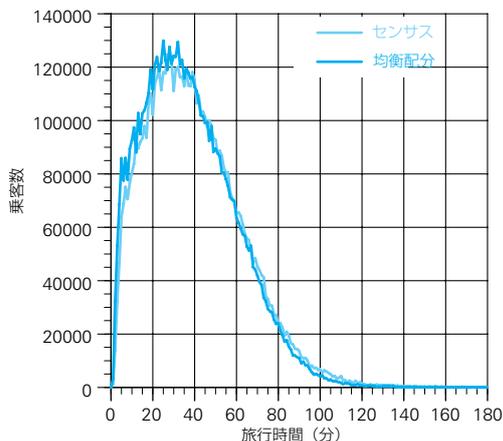
センサスの定期券利用者について駅別利用者数と最寄駅出発時刻を入力して本システムで推計した結果と、センサスの定期券利用者が調査表に記入した経路を用いて再現した結果とを比較することで、システムの再現性を検証する。ただし、出発時刻及び利用者数は15分単位で表し、また、駅間交通量は20分単位でまとめて表している。大都市交通センサスの調査表からの利用者の移動の再現は、利用者ごとに出発駅から最初の乗り換え駅までを調査表の回答の条件に合う路線に回答された電車種別のみを用いて最短経路を求め、次に到着した駅を始点として次の乗り換え駅を同様に最短経路から求めるという手順を到着駅に到着するまで繰り返し求めた^{注3)}。このときの式(1)のパラメータの値を参考までに示す。

■表—1 リンクコスト関数のパラメータ

	7:30まで	7:30以降
α	4.5	4.5
γ	0.02	0.1

3.1 旅行時間の比較

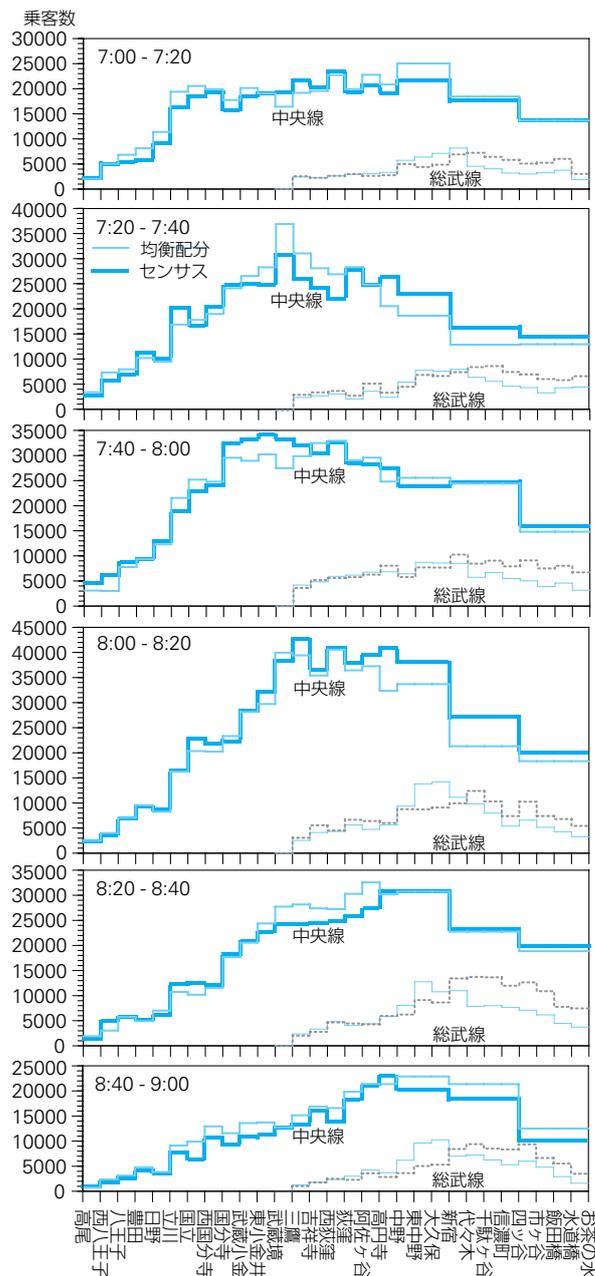
旅行時間の比較結果を図—4に示す。旅行時間とは、最寄駅の出発時刻と目的駅の到着時刻の差である。システムの推計値とセンサスからの集計値がよく一致している。



■図—4 旅行時間の比較

3.2 複数競合区間の分担

中央線と総武線が競合する区間の路線別利用者数について比較した。結果を時間帯別に図—5に示す。中央線の8時から8時20分の時間帯で、推計値が集計値に比べ若干小さくなっているが、傾向は一致していると言える。また、この他の時間帯では推計値と集計値はほぼ一致している。複数路線が競合する区間においても、本システムの推計値はセンサスからの集計値を再現できていると言える。



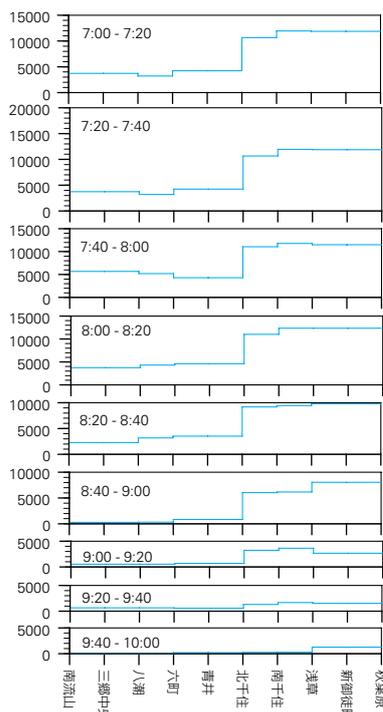
■図—5 複数競合区間の利用者数の比較

4 システムの応用

ここでは、システムの有効性を示すため、3つの適用例を示す。

4.1 常磐新線の需要推計

現在の路線網に常磐新線を加えたときの利用者数の推計を試みた。設定したダイヤは、ラッシュ時の運行間隔を5分とし、駅間の所要時間は秋葉原～つくば間45分を駅間の距離に応じて配分した。結果を図一6に示す。現在の鉄道利用者からの転換だけでは利用者が不足であり、新線の開業に合わせた沿線人口の増加が必要であることがわかる。

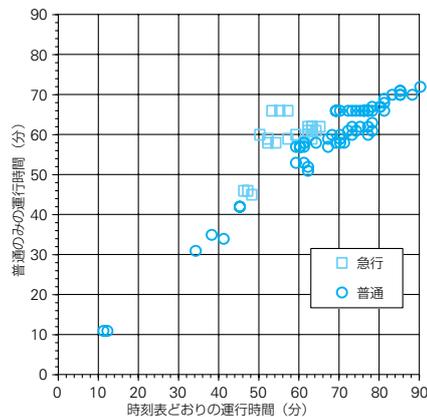


■図一六 常磐新線の利用者数の推計

4.2 田園都市線でのピーク時の優等電車の廃止

郊外から都心に向かう路線についてはピーク時、特に朝のピーク時に電車の運行がダイヤより遅れる現象が多く見られる。この遅れに優等電車の運行が関係していると考え、ここでは、東急田園都市線のピーク時(7時～10時)において、現在、優等電車として運行されている電車を全て普通電車として運行した場合を想定し、運行時間、利用者の所要時間について比較した^{注4)}。

電車の運行時間については、図一7に示すように、優等電車の運行時間は増加するものが多いが、一部の優等電車については運行時間が1～3分程度であるが短縮されることは注目値する。普通電車については、全ての電車で運行時間が短縮され、多くの電車では10分以上の短縮がなされている。利用者の所要時間は電車の運行時間の結果から当然想定されるように短縮される人が多くなる。ピーク時の総所要時間で約3%短縮される。

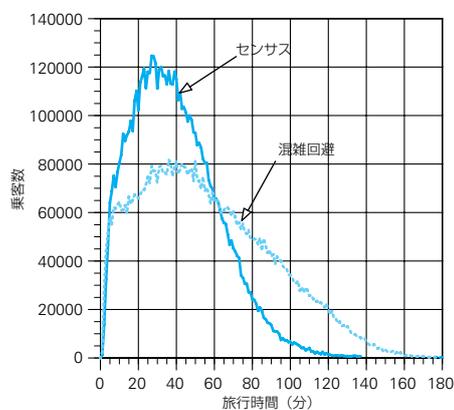


■図一七 運行時間の変化

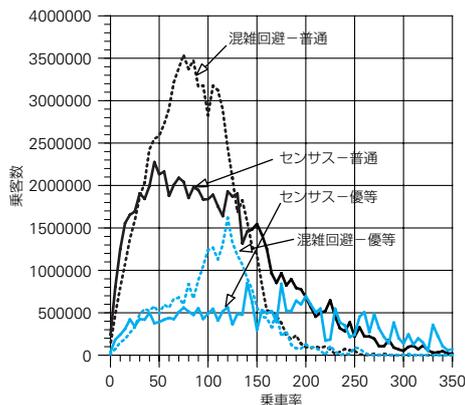
4.3 利用者が混雑を回避

本システムでは、電車の選択時に利用者が混雑をどう評価するかを式(1)で表しているが、ここでは利用者が現状より混雑を回避する傾向が強くなった場合を想定し、現状との比較を試みた。

具体的には、表一1に示したパラメータの値を利用者が混雑をより回避するように $\alpha = 2$, $\gamma = 4$ と変化させた。旅行時間の変化と混雑の程度の変化を図一8と図一9に示す。旅行時間は延びるが、混雑の程度は大幅に改善されることがわかる。総旅行時間は約40%増加するが、乗車率が180%以上となる電車の乗客数は、普通電車では15%から2%となり、優等電車では41%から5%へと改善される。



■図一八 旅行時間の変化



■図一九 混雑の程度の変化

5—今後の展開

本稿は、著者らが首都圏の鉄道網を対象として構築した実時間鉄道利用者流動推計システムについて報告したものである。今後は、以下に述べるようなシステムの改善・拡張を図るとともに、4.2で示したような鉄道改善策について詳細に検討し、具体的な提案をも試みていきたいと考えている。

(1) 駅利用者の予測

現在のシステムでは鉄道利用者は大都市交通センサスの値そのものを用いているため利用者の移動を駅間移動として表しており、自宅から通勤先のように真の発着区間の移動を表していない。言い換えれば、駅勢圏の人口や就業者の分布等と鉄道利用者との関係は考慮されていないため、サービスの改善策が利用者数そのものへ与える影響や、複数の路線が競合している地域に存在する駅についての利用駅の変更等の影響を検討することができない。この点についてシステムの拡充を図る。

(2) 乗換駅の特性分析

乗換駅は近年の駅そのものの大規模化・深度化に加え、各種施設の併設に伴って経路選択に及ぼす影響が増大している³⁾。このため、本システムに乗換駅の特性をより詳細に組み込み、乗換駅の利用者流動の予測・評価に適用する^{注5)}。

(3) 最適ダイヤの設定

現在、朝のピーク時間帯で多くの鉄道会社が特急・急行等の優等電車を走らせている。この事が乗客の集中を生じさせ後続の普通電車の運行の遅れを発生させている可能性が考えられる。本稿4.2で田園都市線を例にピーク時間帯の混雑区間において、現状の運行方式と優等電車を廃止し、全ての電車を普通電車にした場合の運行方式とで総所要時間と輸送力の比較を試みた結果、現行の運行方式を変えた方が改善できることを示した。本システムを用いてピーク時に最適な運行方式を検討する。

(4) 時差通勤方法の検討

首都圏のような複雑な路線網を有し、かつ利用者が長時間鉄道を利用するような地域において、ラッシュ時の混雑を緩和するための効果的な時差通勤方法を検討する。

(5) 将来の路線別利用者の属性の検討

少子高齢化に伴って各路線の利用者の属性は変化していく。鉄道会社はこうした変化に対応して、駅施設等を改善・充実していくことが必要と考えられる。

利用者の属性の変化に伴って、各路線の利用者属性がどのように変化していくのかを検討する。

補注

注1) これらの4つの特徴を全て有するシステムは現在までのところ存在しないと考える。例えば、文献4)のシステムは、特徴の①、②、④は有するものの③は有していない。また、文献5)のシステムは①、④は有するものの②、③は有していない。

注2) 一般に動的利用者均衡配分問題を直接解くことは非常に難しいため、本システムでは、時空間ネットワークを用いて、動的な乗客の移動を静的なネットワーク上での流れとして表している。こうした扱いはこれまでも例が多い⁴⁾。

注3) 調査表の回答には、矛盾点(例えば、回答にある利用駅では、回答にある電車種別には乗り換えられない)が存在するため、必ずしも正確な意味での現状の利用状況の再現とは言えない。

注4) このシステムでは混雑する電車によって生ずるダイヤからの遅れは、駅ノードを時間軸が遅れる方向にずらし、電車のダイヤを変化させることで表している⁶⁾。

注5) このためには、利用者の電車の嗜好を表す式(1)のパラメータの値を、路線ごとに加え、利用者の属性によって異なるとしなければならぬ。こうした問題を効率良く解くアルゴリズムの開発も課題である。

参考文献

- 1) 日本交通政策研究会(2001): “地理情報を活用した微視的交通状況の推計可能性の検討”, 日交研シリーズ, A-298.
- 2) 田口東・中村幸史(2003): “首都圏電車ネットワークの利用者均衡交通配分問題”, 「日本オペレーションズ・リサーチ学会秋季研究発表会アブストラクト集」, pp.30-31.
- 3) 斎藤正俊・谷下雅義・鹿島茂(2002): “駅構内における利用者行動と移動補助設備の配置に関する基礎的研究”, 「土木計画学研究・論文集」, Vol.19, pp.585-592.
- 4) 家田仁・赤松隆・高木淳・畠中秀人(1988): “利用者均衡配分法による通勤列車運行計画の利用者便益評価”, 「土木計画学研究・論文集」, No.6, pp.177-184.
- 5) 内山久雄・日比野直彦(1999): “アクセス交通を考慮した首都圏鉄道計画へのGISの適用”, 「運輸政策研究」, Vol.2, No.4, pp.12-19.
- 6) 中村幸史・田口東(2003): “通勤電車運行スケジュールにおける遅延計算モデルの構築”, 「日本オペレーションズ・リサーチ学会春季研究発表会アブストラクト集」, pp.142-143.

(原稿受付 2004年10月28日)

Real-time Forecasting System of Commuters in the Public Railway Network — Use of a area type time-space network model —

By Azuma TAGUCHI, Shigeru KASHIMA, Shigeki TORIUMI and Masatoshi SAITO

Abstract: In this paper, we propose a real-time forecasting system of commuters in the public railway network in Tokyo metropolitan area. The system has the following characteristics: (1) It treats time dependent traffic demand. (2) It employs a time-space network which could honestly express the timetable of trains. (3) The whole route of each passenger from his/her origin to destination is considered. (4) It assigns each passenger to his/her route by solving user equilibrium flow assignment problem. We considered three applications to demonstrate usefulness of our system. The first is to forecast how many commuters would change their routes to use newly opened railway line "Tsukuba-Express". The second is to calculate change of the transportation capability by degrading express trains to local ones during the morning rush hours in Tokyu Den-en-toshi Line. The last is to estimate the effect of staggered departure of commuters to their offices in order to reduce congestion during the morning rush hours.

Key Words ; *time-space network, user equilibrium, metropolitan traffic census*