

混雑緩和のために必要な時差通勤・通学者人数の見積もり

—中京圏の鉄道網を事例として—

三浦 英俊, 犬飼 楓

朝のラッシュ時の鉄道網においていくつかの駅間リンクの混雑率を一定の値以下にするために必要な時差通勤・通学者人数と変更すべき時差時間を見積もる方法について述べる。鉄道利用者が職場や学校へ通うための最終降車駅の到着時刻分布はすべての駅について同じであることを仮定し、線形計画問題を用いて混雑率を下げる最終降車駅の到着時刻分布を算出する。次に、これら時差通勤・通学を行う人が変更すべき時差時間を、変更時間の和を最小とする目的関数を用いた線形計画問題を用いて見積もる。最後に大都市交通センサスの統計データを使用して中京圏鉄道網を対象とした事例について述べる。

キーワード：時差通勤・通学，線形計画問題，鉄道ネットワーク，シミュレーション

1. はじめに

時差通勤・通学とは、大都市圏の鉄道や道路の通勤・通学輸送ピーク時の利用者の集中の分散を目的として、交通機関利用者や自家用車利用者に混雑時間帯を避けることを呼び掛ける運動のことである [1]。企業や学校の中には混雑ピーク分散へ協力するために、始業時間をずらしたり従業員が仕事の始業時間を自由に設定できるフレックス・タイム制を導入しているところがある。また、通勤時間をずらすことでポイントや景品が当たるキャンペーンを実施している鉄道会社もある [2]。

時差通勤・通学は、交通機関利用者の利用が分散することに意味がある。すなわち、通勤・通学先に早く到着する人、遅く到着する人、時間を変更しない人がそれぞれ適切な人数に分かれることによって混雑が緩和される。しかし混雑率を下げるためにどのくらいの人数がどのくらいの時間差で通勤・通学を行う必要があるのか、その目安となる数値について明らかにした研究はそれほど多くない。

田口 [3] は、時刻表データに基づいて駅および列車の運行をリンクとノードとして表現する時空間ネットワークモデルを作成して、列車1本ごとに算出される輸送人数に基づいて路線の輸送人数や混雑率を算出する大規模で精緻な計算を行う枠組みを提案した。この

時空間ネットワークを用いて、通勤・通学者が混雑率と所要時間を考慮して経路および列車を選択する利用者均衡配分問題を解いた。さらに、通勤・通学者がより混雑を避けて列車を選択するという仮定の下で行った利用者均衡配分の結果をもとに、時差通勤・通学の効果の大きさを論じている。川崎ら [4] は、混雑緩和に対する一つの解決策として、時差通勤をした者に対して抽選で賞金が当たる抽選型報奨金制度を導入した場合の混雑率の変化を検討する数理モデルを構築した。奥村ら [5] は、鉄道通勤サービス市場において始業時刻が異なる通勤者が存在する場合の市場均衡解と社会的厚生を最適解を導出し、時差出勤やフレックスタイム制が鉄道通勤に及ぼす効果を金銭的に評価する道筋をつけた。吉村と奥村 [6] は、大都市の鉄道通勤を対象に通勤者と企業などの効用を用いて、フレックスタイム下の社会的に最適な入社・始業・終業・退社時刻分布を解析的に求めた。さらに、得られた最適パターンを実現するための時刻別運賃の設定値と、フレックスタイムを行うべき従業者の数を算出した。松井と藤田 [7] や赤松ら [8] は自動車通勤を想定した時差通勤について議論している。

これら既往研究を踏まえて、本研究では15分を1単位の時間帯として、駅間路線リンクの時間帯ごとの輸送力と通過人数を用いて、通勤・通学者の最終降車駅の降車時間帯分布の変化すなわち時差通勤・通学行動が路線の混雑率の増減にどのように影響を与えるのかを調べる。鉄道の人員輸送データを用いて、注目する駅間路線リンクの混雑率を目標の値以下にするために必要な時差通勤・通学者の人数とその時差時間を見積

みうら ひでとし
南山大学理工学部
〒466-8673 愛知県名古屋市中区山里町18
hmiura@nanzan-u.ac.jp
いぬかい かえで
東邦ガス情報システム

もる。

鉄道を利用する通勤・通学者の最終降車駅の降車時間帯分布がどの駅についても同じであると仮定して、二つの数理計画問題を用いて問題に取り組む。第1の問題「最終降車駅の降車時間帯分布最適化問題」は、時差通勤・通学を行う場合の降車時間帯分布が現状との差異がなるべく小さくなるように目的関数を設定して、混雑率すなわち時間帯における輸送力に対する輸送人数の割合が高い(複数の)リンクに注目し、線形計画問題を用いてそれらリンクの混雑率を目標の値以下にする降車時間帯分布を求める。つづいて第2の問題「時差時間合計最小化問題」は、時差通勤・通学を行う人の時差時間の合計の最小化を目的関数とする線形計画問題を解いて、時差通勤・通学すべき人数と時差時間の大きさを求める。

これら二つの問題の定式化については4節で述べる。つづいて5節で中京圏の鉄道網を用いて実際の人数と時間を計算した例について紹介する。

2. 通勤・通学モデル

本節では朝のラッシュ時間帯の鉄道を利用する通勤・通学者のモデルについて述べる。

大都市交通センサス [9] の「最終降車時間帯分布」データを使用することを前提に、通勤・通学者の最終降車駅の到着時刻分布は、駅によって到着人数密度の高い時間帯が早朝であったり10時近くであったりすることもあるが、議論を簡単にするためにどの駅についても同じであると仮定する。さらに通勤・通学者は最終降車駅へ各自が決めた時間帯のうちに到着できるように初乗り駅から乗車することを仮定する。隣り合う駅間を結ぶ鉄道路線を駅間リンクと呼ぶこととして、駅間リンクの midpoint を一方の向きについて通過する人数を15分の時間帯ごとに集計する。集計された人数を15分の時間帯に通過する列車の輸送力で割った値を駅間リンクの混雑率とする。列車の所要時間は時刻表を利用して定める。

図1は通勤・通学者の最終降車駅の降車時間帯分布とリンクの通過時間帯分布の例を示す。駅1から駅2へ100人、駅3から駅4へ50人、駅5から駅6へ60人の計210人の通勤・通学者はすべて駅間リンク m を通過する。通勤・通学者の最終降車駅の降車時間帯分布は駅2, 4, 6についてすべて同じであり、8:00-8:14は20%、8:15-8:29は50%、8:30-8:44は30%とすると各駅の降車時間帯分布人数は図中に示すようになる。駅間リンク m の midpoint から駅2, 4, 6への所要時間がそれ

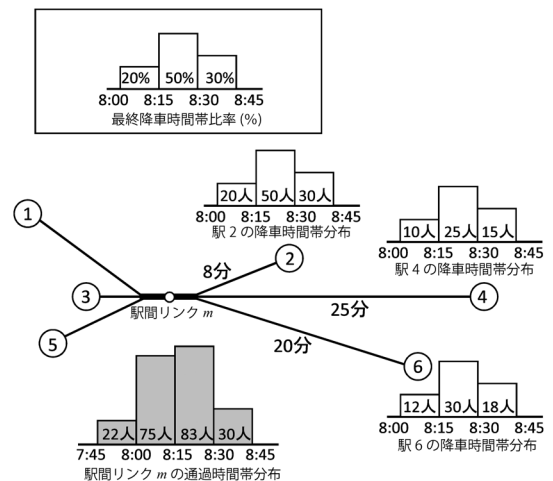


図1 最終降車駅の降車時間帯分布とリンクの通過時間帯分布の例

ぞれ8分、25分、20分であるとき、最終降車駅の降車時間帯から $[8/15] = 0$, $[25/15] = 1$, $[20/15] = 1$ ずつ前の時間帯に駅間リンク m を通過するとして通過時間帯分布を集計する。すると時間帯ごとの通過人数は7:45-7:59が22人、8:00-8:14が75人、8:15-8:29が83人、8:30-8:44が30人となる。ここで時差通勤・通学によって降車時間帯分布が一様分布すなわち三つの時間帯3分の1ずつになったとする。すると駅間リンク m の通過時間人数分布は7:45-7:59が36.7人、8:00-8:14が70人、8:15-8:29が70人、8:30-8:44が33.3人と変化し、ピーク時間帯8:15-8:29の通過人数は13人減少する。初乗り駅からの出発時刻や途中のリンクの通過時刻は通勤・通学者ごとに異なるので、この例のとおり降車時間帯分布が一様であっても駅間リンクの通過時間帯分布は一様とはならない。したがって路線リンクの混雑率を下げることを目的に時間帯あたりの通過人数を減らすにはどのように降車時間帯分布を設定すればよいか、という問題の解は直感的に明らかではない。

3. 中京圏鉄道網の大都市交通センサスデータ

大都市交通センサスとは、国土交通省により三大都市圏で実施されている鉄道・バスなどの大量公共交通機関の利用実態調査である [9]。調査は5年ごとに実施されており、本稿執筆時の最新データは2015年の調査結果である。

本研究では、「初乗り・最終降車駅間経路別人員」、「通勤・通学者の最終降車時間帯分布」、および「路線別着時間帯別駅間輸送定員表」の3種類のデータを使

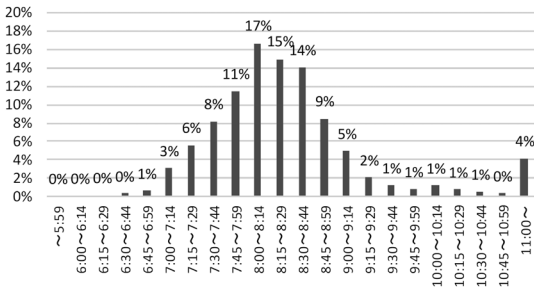


図2 最終降車時間帯分布 (文献 [10] より引用)

用する [10]. 「初乗り・最終降車駅間経路別人員」は、初乗り駅と最終降車駅の組ごとに、経路別の鉄道定期券の利用人員を集計したものである。アンケート回答票および鉄道・バス事業者からの提出データを用いて作成・集計されており、定期券利用者の人数データであることから、これを通勤・通学者の流動データとして扱う。日々の移動にはこれに普通券利用者が加えられるべきであろうが、朝のラッシュ時間帯は定期券利用者数の割合が高いことと、普通券利用者の詳細な流動データが得られないので本研究では考慮しない。「最終降車時間帯分布」は、(明示されていないがおそらく)定期券利用者の分布であり、すべての駅の15分の時間帯ごとの降車人数がこの分布に従うものとする(図2)。7:00 から 9:59 までに最終降車駅で降車する人は全体の92%である。「路線別着時間帯別駅間輸送定員表」は、1時間または30分を一つの時間帯として駅間リンクごとに走行する列車の輸送力のデータである。データを時間帯15分ごとに分割して使用する。

大都市交通センサスにおいて、中京圏は「名古屋駅までの鉄道所要時間が1時間30分以内で名古屋市への通勤・通学者数比率が3%かつ500人以上を満たす市区町村」とされており、これらには愛知県、岐阜県、三重県の108市区町村が含まれる。三大都市圏のうち中京圏は最も規模が小さく、鉄道事業者別の総輸送人員は首都圏44.1(百万人/日)、近畿圏13.4(百万人/日)に対して中京圏は3.2(百万人/日)となっている。都市圏中心部への通勤・通学者人数については、定期券利用者のうち最終降車駅人数で比較すると、東京都区部514万人/日、大阪市93万人/日に対して名古屋市45万人/日であり、名古屋は東京の10分の1、大阪の半分の規模である。

「初乗り・最終降車駅間経路別人員」による中京圏の定期券利用者人数は74.9万人/日である。本研究では、中京圏で最も1日当たりの輸送人員の多い三つの駅間リンク①地下鉄東山線 名古屋→伏見(16.0万人/



図3 中京圏鉄道網(中心部)

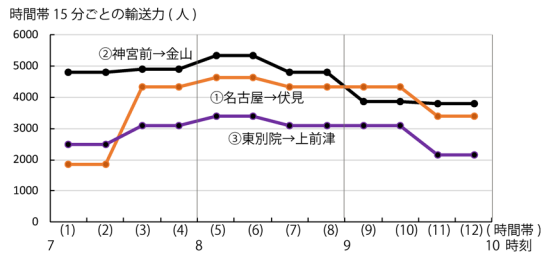


図4 三つの駅間リンクの輸送力

日)、②名鉄名古屋本線 神宮前→金山(15.7万人/日)、③地下鉄名城線 東別院→上前津(8.8万人/日)に注目して問題に取り組む(図3)。

朝の通勤時間帯7時から10時までの3時間を15分ごと12個の時間帯に分ける。「路線別着時間帯別駅間輸送定員表」のデータから三つの駅間リンクの輸送力を求めると図4のようになる。三つとも、8:00から8:29の輸送力が最も大きい。①名古屋→伏見は7:00から7:29の輸送力が極端に小さい。

4. 二つの線形計画問題

4.1 問題の概要

駅をノード、駅間路線をリンクとする鉄道ネットワークを考えて、時差通勤・通学を行う必要のある人数とその時差時間の大きさを算出する。

第1の問題「最終降車駅の降車時間帯分布最適化問題」は、混雑率の上限 S を設定し、混雑率を計測する駅間リンクに関してすべての時間帯において混雑率を S 以下とする制約の下、最終降車駅の到着時刻分布のうち現状からの変化が最も小さい分布を求める問題である。

つづく第2の問題「時差時間合計最小化問題」は、第1の問題で求めた降車時間帯分布を実現するために必要な時間帯ごとの時差通勤・通学者人数とその時差時間を求める問題である。ただし制約として最終降車駅の到着時刻の変更幅に上下限を設けて、時差通勤・通学を行う人の時差時間が大幅に大きくならないようにする。

4.2 定式化

問題の定式化のため以下のとおり記号を導入する。

時間帯の長さを記号 $u = 15$ 分で表す。7:00–7:14, 7:15–7:29, …, 9:45–9:59, の12個の時間帯に1から12まで番号を付し、これら番号の集合を $T = \{1, 2, \dots, 12\}$ とする。 T に含まれない時間に最終降車駅に到着する通勤・通学者は時差通勤・通学を行わないとする。鉄道ネットワーク上の通勤・通学者の最終降車駅の降車時間帯分布は、時間帯 t に到着する通勤・通学者の割合 p_t ($t \in T$) を用いて離散的に $\{p_1, \dots, p_{12}\}$ と表す。また、時差通勤・通学実行時の降車時間帯分布を $\{\pi_1, \dots, \pi_{12}\}$ とする。 $\sum_{t \in T} p_t = \sum_{t \in T} \pi_t$ とする。時差通勤・通学によって混雑率を S 以下にする駅間リンクの集合を M とする。

初乗り駅・最終降車駅の組に対して複数の経路がある場合を考慮して、鉄道ネットワーク上の二つの駅ペアすべてについての（現実的な）すべての経路の集合を I として、経路 i ($i \in I$) を利用する通勤・通学者数を q_i とする。経路 i がリンク m ($m \in M$) を通るとき、リンク m の中点から経路 i の最終降車駅への所要時間を d_{mi} とする（経路 i がリンク m を通らないときは $d_{mi} = \infty$ とする）。経路 i がリンク m を通るとき、時間帯 t にリンク m を通過する経路 i の通勤・通学者は、時間帯 $t + \lfloor d_{mi}/u \rfloor$ のとき最終降車駅へ到着することを仮定する。経路 i の通勤・通学者数 q_i のうち $q_i p_{t+\lfloor d_{mi}/u \rfloor}$ (人) が時間帯 t にリンク m を通過するので、リンク m を時間帯 t の間に通過する人数を r_{mt} と置くと、経路 i がリンク m を通るなら1、通らないなら0となる0-1パラメータ h_{mi} を用いて r_{mt} は

$$r_{mt} = \sum_{i \in I} h_{mi} q_i p_{t+\lfloor d_{mi}/u \rfloor} \quad (1)$$

と表すことができる。リンク m の時間帯 t の輸送力を c_{mt} 、混雑率を s_{mt} とすると、

$$s_{mt} = \frac{r_{mt}}{c_{mt}} \quad (2)$$

となる。時差通勤・通学実行時の通過人数と混雑率を

それぞれ ρ_{mt} , θ_{mt} と表すと、

$$\rho_{mt} = \sum_{i \in I} h_{mi} q_i \pi_{t+\lfloor d_{mi}/u \rfloor}$$

$$\theta_{mt} = \frac{\rho_{mt}}{c_{mt}}$$

である。これらの記号を用いて、 π_t ($t \in T$) を決定変数とする第1の問題を定式化すると以下ようになる。

最終降車駅の降車時間帯分布最適化

$$\text{minimize } \sum_{t \in T} |p_t - \pi_t| \quad (3)$$

subject to

$$\rho_{mt} = \sum_{i \in I} h_{mi} q_i \pi_{t+\lfloor d_{mi}/u \rfloor} \quad (4)$$

$$\theta_{mt} = \frac{\rho_{mt}}{c_{mt}} \quad (5)$$

$$\theta_{mt} \leq S \quad (m \in M, t \in T) \quad (6)$$

$$\sum_{t \in T} p_t = \sum_{t \in T} \pi_t \quad (7)$$

$$|p_t - \pi_t| < \alpha p_t \quad (t \in T) \quad (8)$$

$$\pi_t \geq 0 \quad (t \in T) \quad (9)$$

目的関数(3)は、現状と時差通勤・通学のときの降車時間帯分布の差の合計の最小化である。式(6)は時差通勤・通学によって混雑率を上限 S 以下とする制約、式(7)は最終降車駅の降車人数は時差通勤・通学によって変化しない制約、式(8)は時差通勤による時間帯 t に最終降車駅に到着する割合 π_t の変化の大きさを現状の割合の α 倍以下とする制約である。

第2の問題「時差時間合計最小化問題」は、第1の問題で求めた降車時間帯分布を時差通勤・通学によって実現する方法を求めるための問題である。最終降車駅において降車する時間帯ごとに、時差通勤・通学を行うべき人数とその時差時間を求める。

通勤・通学者全体のうち、時差通勤・通学によって最終降車駅の降車時間帯を t から τ へ変更する通勤・通学者の割合を $P_{t\tau}$ ($t, \tau \in T$) と置く。ただし $P_{t\tau}$ は $\sum_{\tau \in T} P_{t\tau} = p_t$ ($t \in T$) と $\sum_{t \in T} P_{t\tau} = \pi_\tau$ ($\tau \in T$) を満たすものとする。 $t = \tau$ のとき $P_{t\tau}$ は時差通勤・通学を行わない人の割合を表す。通勤・通学者にとって t と τ の差は小さいほど好ましいであろうから、時差通勤・通学を実行する人の降車時間帯の変化がなるべく少なくなるような $P_{t\tau}$ を求めるためペナルティパラメータ $w_{t\tau} = |t - \tau|^2$ を導入して、目的関数 $\sum_{t \in T} \sum_{\tau \in T} w_{t\tau} P_{t\tau}$ を最小とする $P_{t\tau}$ を求める。第2の問題を定式化すると以下ようになる。

時差時間合計最小化

$$\text{minimize } \sum_{t \in T} \sum_{\tau \in T} w_{t\tau} P_{t\tau} \quad (10)$$

subject to

$$\sum_{\tau \in T} P_{t\tau} = p_t \quad (t \in T) \quad (11)$$

$$\sum_{t \in T} P_{t\tau} = \pi_\tau \quad (\tau \in T) \quad (12)$$

$$P_{t\tau} \geq 0 \quad (t, \tau \in T) \quad (13)$$

なお、式 (10) を目的関数とし、式 (4)–(9), (11)–(13) を制約条件とする数理計画問題を解けば、もっと良い解を得られる可能性があるが、二つに問題を分けて解いている。この理由は、本研究が卒業研究として、まず時差通勤によって実現したい最終降車時間帯分布 π_t を求めることを最初の目標としていたためであり、実用では一つにまとめたほうが良い解が得られるだろう。

5. 中京圏鉄道網における時差通勤・通学

図 3 に示した中京圏鉄道網のうち最も 1 日当たりの輸送人員の多い三つの駅間リンク①名古屋→伏見、②神宮前→金山、③東別院→上前津を集合 M の要素として、これらの混雑率を抑えるために必要な時差通勤・通学の人数とその時差時間の大きさを見積もる。

図 2 に示した最終降車時間帯分布と図 4 の輸送力のデータによる駅間リンクの混雑率 s_{mt} を図 5 に示す。ただし駅間リンク m の中点から経路 i の最終降車駅への所要時間 d_{mi} は時刻表データを用いて乗り換えに要する時間を含む標準的な時間を使用した。また中京圏鉄道網において定期券利用者のうち 7 時から 10 時までに最終降車駅に到着する割合は $\sum_{t \in T} p_t = 0.92$ である (図 2)。①名古屋→伏見は、7:15–7:29 の混雑率がとびぬけて高い。この時間帯の輸送力がかなり小さいためである (図 4)。また、7:45–8:29 の混雑率は

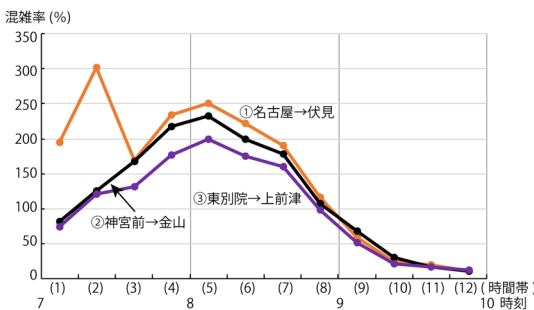


図 5 現状の駅間リンクの混雑率 s_{mt}

200%を上回っており、3 路線リンクの中で最も混雑率が高い。②神宮前→金山も同様に 7:45–8:29 は混雑率 200%を超えている。③東別院→上前津の混雑率は 8:00–8:14 に 200%となるが、他の 2 リンクと比べると混雑の程度はひどくない。なお日本民営鉄道協会による混雑率の目安は、180%が「体が触れ合うが新聞は読める」、200%が「体が触れ合い相当な圧迫感がある。しかし週刊誌なら何とか読める」、250%が「電車が揺れるたびに体が斜めになって身動きできない。手も動かさない」、となっている [11]。

混雑率の上限 S を、230%、200%、180%と 3 ケース設定して、第 1 の数理計画問題を用いて時差通勤・通学を行うときの最終降車時間帯分布 $\{p_t\}$ をそれぞれ求めたところ図 6 に示す解が得られた。第 1 の問題のパラメータ α は $S = 230\%$ 、200% のとき $\alpha = 1.0$ と設定した。 $S = 180\%$ のとき $\alpha = 1.0$ では実行可能解が得られなかったため、 π_t の可動範囲を広げるため $\alpha = 1.5$ とした。図 6 を見ると、3 ケースとも 7:15–7:29 の降車率を大きく低下させる結果となっている。 $S = 180\%$ と 200% のときは 9 時以降の降車率を上昇させる必要がある。

表 1 は、図 6 に示した最終降車時間帯分布を用いて第 2 の問題を解いた結果を示す。この表は混雑率の上限 S の 3 ケースごと、時間帯ごとに、朝の通勤・通学時間帯に中京圏鉄道網において時差通勤・通学する割合を表している。 $\tau - t$ の値は時差時間の大きさに対応しており 0 は時差時間ゼロ、-1 は 15 分早める、+1 は 15 分遅くする、+2 は 30 分遅くする、をそれぞれ示している。たとえば $t = 2$ の行の $P_{t\tau}$ ($S = 230\%$) の枠の数値 0.027、0.018、0.014 は、もともと図 2 に示した 7:15–7:29 の最終降車割合 6%のうち時差通勤・通学をする必要のない人が 2.7 ポイント、15 分早める必要のある人が 1.8 ポイント、15 分遅くする必要のある人が 1.4 ポイントであることを表している。

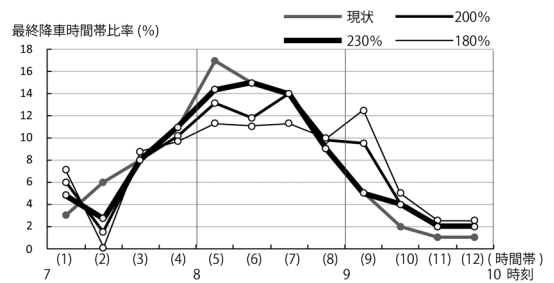


図 6 最終降車時間帯分布

表1 3 ケースの時差時間

t	$P_{t\tau}(S = 230\%)$			$P_{t\tau}(S = 200\%)$			$P_{t\tau}(S = 180\%)$			
	$\tau - t$			$\tau - t$			$\tau - t$			
	0	-1	+1	0	-1	+1	0	-1	+1	+2
(1) 7:00-7:14	0.030	—	—	0.030	—	—	0.030	—	—	—
(2) 7:15-7:29	0.027	0.018	0.014	0.015	0.030	0.015	0.001	0.041	0.018	—
(3) 7:30-7:44	0.066	—	0.014	0.065	—	0.015	0.070	—	0.010	—
(4) 7:45-7:59	0.096	—	0.014	0.087	—	0.023	0.087	—	0.023	—
(5) 8:00-8:14	0.130	—	0.040	0.109	—	0.061	0.090	—	0.080	—
(6) 8:15-8:29	0.110	—	0.040	0.057	—	0.093	0.032	—	0.113	0.005
(7) 8:30-8:44	0.100	—	0.040	0.047	—	0.093	0.000	—	0.095	0.045
(8) 8:45-8:59	0.050	—	0.040	0.005	—	0.085	0.000	—	0.080	0.010
(9) 9:00-9:14	0.010	—	0.040	0.010	—	0.040	0.000	—	0.040	0.010
(10) 9:15-9:29	0.000	—	0.020	0.000	—	0.020	0.000	—	0.015	0.005
(11) 9:30-9:44	0.000	—	0.010	0.000	—	0.010	0.000	—	0.010	—
(12) 9:45-9:59	0.010	—	—	0.010	—	—	0.010	—	—	—
合計	0.629	0.018	0.272	0.435	0.030	0.455	0.320	0.041	0.484	0.075
	(0.709)			(0.515)			(0.400)			

t : 時差通勤・通学前の時間帯の番号, τ : 時差通勤・通学後の時間帯の番号

最下行の合計は、3 ケースそれぞれについて時差時間の大きさごとに割合を集計した値である。分析対象時間である7時から10時までの降車人数割合は92%であり、その他の時間帯に降車する8%の利用者は時差通勤・通学しないとして、かっこ () 書きで0.08を加えた数値が時差通勤・通学する必要のない利用者の割合である。S = 230% のとき時差通勤・通学する必要のある利用者は29%である。S = 180% の場合はその割合が60%となり、このとき30分の時差時間を求められる通勤・通学者の割合は7.5%であり、8:30以降に降車するほとんどの利用者は時差通勤・通学が必要がある。計算に使用した「初乗り・最終降車駅間経路別人員」による中京圏の定期券利用者人数は74.9万人/日であるので、これら3 ケースについて時差通勤・通学を必要とする人数は22万人から45万人程度と見積もることができる。

計算結果から、3 割から6 割程度の通勤・通学者が15分から30分の時差時間によって時差通勤・通学を行うことにより、三つの路線リンクの混雑を一定程度緩和できることが明らかとなった。なお、これらの計算には数理計画ソルバー SCIP (バージョン6.0.2) を使用した。

6. おわりに

本稿は、通勤・通学ラッシュ時の鉄道網において駅間リンクの混雑率を一定の値以下にするために必要な時差通勤・通学者人数と変更すべき時差時間を見積もる

枠組みを提案し、大都市交通センサスの統計データを使用して中京圏鉄道網を対象とした事例について計算結果を述べた。目標とする混雑率に対して時差通勤・通学を行う必要のある人数の試算ができるので、時差通勤・通学キャンペーンで呼びかける対象人数や予算の見積もりなどへ活用できるのではないかと考えている。中京圏鉄道網の場合、15分から長くても30分程度という「現実的」な時差時間によって混雑率の低下が可能であるという結果が得られたが、東京や大阪の場合は、都市圏と鉄道網の規模が大きいのでこの程度では収まらないかもしれない。

なお、本研究では三つの駅間リンクだけに注目して計算したが、鉄道網全体での混雑率を目標値以下に抑える制約とする問題として解くことも可能である。

参考文献

- [1] 角本良平, “時差通勤の必要と可能性,” 運輸と経済, **16**(2), pp. 26-31, 1956.
- [2] 東京メトロ, 東西線オフピークプロジェクト, <https://t.metro-point-club.jp/form/pub/metro/tozailine> (2020年4月閲覧)
- [3] 田口東, “首都圏電車ネットワークに対する時間依存通勤交通配分モデル,” 日本オペレーションズ・リサーチ学会和文論文誌, **48**, pp. 85-108, 2005.
- [4] 川崎智也, 轟朝幸, 小林聡一, “都市鉄道の時差通勤施策における抽選型報奨金制度の有効性,” 土木学会論文集 D3 (土木計画学), **71**, pp. I-523-I-532, 2015.
- [5] 奥村誠, 永野光三, 小林潔司, “始業時刻の設定が鉄道通勤交通に及ぼす影響に関する研究,” 土木計画学研究・論文集, **15**, pp. 831-840, 1998.
- [6] 吉村充功, 奥村誠, “鉄道通勤における最適フレックスタイム

パターンの研究,” 土木計画学研究・論文集, **18**, pp. 779–786, 2001.

[7] 松井寛, 藤田素弘, “交通需要の動的分析フレックスタイム下における通勤時刻選択行動とその効果分析,” 土木学会論文集, **470**, pp. 67–76, 1993.

[8] 赤松隆, 早崎俊和, 前田祐希, “道路交通における通勤混雑緩和のための最適勤務開始時刻分布,” 土木計画学研究・論文集, **16**, pp. 979–989, 1999.

[9] 国土交通省, 第 12 回大都市交通センサス 調査結果集

計表 (2017), http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/transport/sosei_transport_tk_000035.html (2020 年 4 月閲覧)

[10] 国土交通省, 『平成 27 年 大都市交通センサス 中京圏報告書』, p. 86, 2017.

[11] 一般財団法人日本民営鉄道協会, 混雑率 (2017), <https://www.mintetsu.or.jp/knowledge/term/96.html> (2020 年 4 月閲覧)