

鉄道ネットワークの時差通勤による混雑の緩和 —中京圏の鉄道網を事例として—

2016SS016 犬飼楓

指導教員：三浦英俊

1 はじめに

本研究では、時差通勤による朝夕のラッシュ時の鉄道混雑の緩和の効果の大きさについて着目して研究をすすめた。大都市交通センサス [1] より、中京圏の鉄道網を事例とする。中京圏の範囲は名古屋駅から 1 時間半以内に到着できる駅までを対象とする。一日あたりの総輸送人員は約 320 万人である。中京圏の中心都市である名古屋市周辺は勤務先や学校が多く、岐阜県及び愛知県 (名古屋市除く) では約 6 割が名古屋市へ通勤・通学しており、一日に 45 万人が名古屋市内に集まっている。

2 研究の目的

本研究の目的は、朝の通勤・通学時間をずらす時差通勤によって鉄道の混雑の緩和の大きさを見積もることである。鉄道などの交通インフラが通勤・通学ラッシュのピークの通過交通量により遅延等の影響が出ることがあるため、混雑を緩和することで遅延等の解消も期待できる。

本研究では、モデルを用いて時差通勤とピーク時の混雑率の関係を考え、時差通勤の効果について考察した。大都市交通センサス [1] よりそれぞれの路線、駅の利用者数を調べ、中京圏で一日当たりの利用者が多い東山線、名古屋鉄道に着目して取り組んだ。

3 東山線、名古屋鉄道の現状の混雑状況

運輸総合研究所による混雑率の目安 [2] より、混雑率を乗車人数 ÷ 輸送力 (車両数 × 定員) で定義する。目視による混雑率の基準として、100%:座席いっぱい + つり革 90% ほど、180%:中間に隙間はなくなるが若干余裕がある、200%:肩が触れ合いほぼ満員だが新聞は読める、230%:満員になり新聞は読めない、250%:旅客はつり革やパイプにつかまり入り口からの圧力に耐えている状態となる。

そこで本研究では、混雑率を一定の値以下にするために必要な時差通勤の人数を、鉄道の乗車駅と降車駅の組み合わせから観測地から目的地までの所要時間を割り出し z 時間帯ごとに求める。この時、時差通勤によって混雑率の高い時間帯の通過人数をどの程度減らす必要があるのかを考えると同時に、時差通勤を行う人数を最小限に抑えることも考慮して取り組む。問題の解く順番は、始めにそれぞれの目的地へ到着する人数の割合の最適値を求め、全ての時間帯において混雑を緩和する。次に、到着する人数の割合に合わせてどれだけの人がどの時間に時差通勤をする必要があるのかを求める。

4 記号の導入

以下のように記号を定義する。

V, M, K をそれぞれ駅、リンク、時間帯の集合とする。時間帯の長さを t_0 で表し、本研究では $t_0 = 15$ 分とする。現状と時差通勤実施後の時間帯 $k (k \in K)$ に目的地へ到着する人数の割合をそれぞれ q_k, π_k とする。

時間帯 $c (c \in K)$ のときリンク $m (m \in M)$ を通過する人数を $r_{m,c}$ とし、 $r_{m,c}$ を求めるために使う記号として、 $s_{ij} (i, j \in V)$ を駅 i から駅 j への移動人数、 d_{mj} をリンク m の中点から駅 j への所要時間、 $h_{ijm} \in \{0, 1\}$ を駅 i から駅 j への経路がリンク m を通過したら 1、そうでなければ 0 となるパラメータとする。 $r_{m,c}$ は $\sum_{i \in V} \sum_{j \in V} h_{ijm} \pi_{c + \lfloor \frac{d_{mj}}{t_0} \rfloor} s_{ij}$ となる。この時、 $c + \lfloor \frac{d_{mj}}{t_0} \rfloor$ は目的地へ到着する時間帯を表す。 $p_{m,c}$ を時間帯 c のときの混雑率、 $l_{m,c}$ を時間帯 c のときのリンク m の輸送力をとすると、乗車人数 ÷ 輸送力と表されるため $p_{m,c} = \frac{r_{m,c}}{l_{m,c}}$ となる。全ての時間帯の中での混雑率の最大値を $p_{max} = \max_{c \in K} p_{m,c}$ とする。

5 定式化

第 3 章で述べたように、数理計画問題は「混雑率を一定値以下にする問題」と「時差通勤実施者の通勤時間決定問題」の 2 つに分けて考える。

混雑率を一定値以下にする問題

$$\text{minimize} \quad \sum_{k \in K} |q_k - \pi_k|$$

subject to

$$p_{max} \leq \alpha \quad (1)$$

$$\sum_{k \in K} q_k = 1 \quad (2)$$

$$\sum_{k \in K} \pi_k = 1 \quad (3)$$

$$q_k \geq 0 \quad (4)$$

$$\pi_k \geq 0 \quad (5)$$

目的関数は観測区間リンク m を通過する人のうち時間帯 k にそれぞれの目的地へ到着する人の割合 $|q_k - \pi_k|$ の変化の合計を最小化することにより、通勤時間を変更しなければならぬ人をできるだけ少なくし影響を最小限に抑えることを表している。

制約条件の説明は以下のとおりである。

- (1) 最大混雑率を $100\alpha\%$ 以下とする制約.
- (2) 現状の時間帯 k に目的地へ到着する人数の割合の合計は 1 とする制約.
- (3) 時差通勤実施後の時間帯 k に目的地へ到着する人数の割合の合計は 1 とする制約.
- (4),(5) それぞれ非負制約を表す.

次の問題を解くため新たな記号を導入する.

$A_{kk'}$ を時間帯 k から時間帯 k' へ時差通勤する人の割合, $D_{kk'}$ を時差通勤しなければならない人の変更すべき時間の大きさとする. 本研究では計測開始時間を 6:45 する. また $t_0=15$ 分と設定するため, 時間帯 1 を 6:45-6:59 とし, 順に時間帯 2:7:00-7:14, 時間帯 3:7:15-7:29...時間帯 12:9:30-9:44 とする. ゆえに $k=2, k'=5$ のとき, $D_{kk'}=3$ となる.

時差通勤実施者の通勤時間決定問題

$$\begin{aligned} & \text{minimize} && \sum_{k \in K} \sum_{k' \in K} D_{kk'} A_{kk'} \\ & \text{subject to} && \\ & && \sum_{k' \in K} A_{kk'} = q_k \quad (k \in K) \end{aligned} \quad (6)$$

$$\sum_{k \in K} A_{kk'} = \pi_{k'} \quad (k' \in K) \quad (7)$$

$$A_{kk'} \geq 0 \quad (k, k' \in K) \quad (8)$$

目的関数は「混雑率を一定値以下にする問題」で求めたそれぞれの時間帯に目的地へ到着する人数の割合 π_k をもとに, 時差通勤をする人を最小に抑え, 更に移動する時間帯もできるだけ小さくすることを表している.

制約条件の説明は以下のとおりである.

- (6) 時間帯 k から時間帯 k' へ目的地へ到着する時間帯が変化するとき, 時差通勤実施後の時間帯 k' に目的地へ到着する人の割合の合計は現状の時間帯 k に目的地へ到着する人数の割合を示す.
- (7) 時間帯 k から時間帯 k' へ目的地へ到着する時間帯が変化するとき, 現状の時間帯 k に目的地へ到着する人の割合の合計は時差通勤実施後の時間帯 k' に目的地へ到着する人数の割合を示す.
- (8) 非負制約を表す.

6 時差通勤実施者の人数と変更時間

5 節で求めた定式化を利用し, 東山線 名古屋→伏見, 名古屋鉄道 神宮前→金山の 2 路線で時差通勤に取り組む.

東山線, 名鉄と 1 路線ずつでも考えたが, もう一方の混雑率が最大混雑率を超えることがありしわ寄せが起ることが分かったため, 2 路線で考える.

この時, 計測する時間を 6:45-9:30(時間帯 $t_0 = 15$ 分) までとする. 時間を限定したことで, 大都市交通センサスより目的地へ到着する人数の割合 $\sum_{k \in K} q_k = \sum_{k \in K} \pi_k = 0.918$

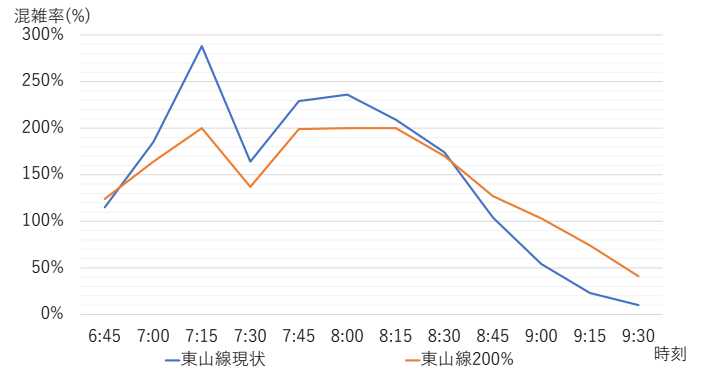


図 1 2 路線混雑率
表 1 時差通勤実施者数

変更時間の大きさ (分)	180%	200%	230%
15-29	29670	20603	16133
30-44	7639	7878	2028
45-59	16637	12532	244
60-74	0	1154	0
75-89	5831	0	0
total	59777	42167	18405

とする. また, 最大混雑率 100α は, $\alpha=1.8, 2.0, 2.3$ の 3 つを設定してそれぞれ問題を解いた.

図 1 は, 例として東山線 名古屋→伏見間の現状と最大混雑率が 200% 時の混雑率を示したもので, 表 1 は, 時差通勤する時間の大きさに対する時差通勤実施者の人数を表している.

時差通勤実施者の割合は, $\alpha = 1.8$ のとき 41.8%, $\alpha = 2.0$ のとき 29.5%, $\alpha = 2.3$ のとき 12.9% となり, 30 分以上の時差通勤実施者の割合は $\alpha = 1.8, 2.0, 2.3$ のときそれぞれ 21.0%, 15.1%, 1.6% である.

7 おわりに

混雑率に一番変化があったのは東山線の 7:15-7:29 分であり, 輸送力の大きさが関係していると考えられる. 1 路線で考えたときにしわ寄せが起る理由も同様である. 取り上げた路線では, 東山線が名鉄より輸送力が小さいため少しの時差通勤で大きく混雑を緩和することができ, 東山線の混雑緩和に名鉄が引っ張られているようにとれる. 本研究では 2 路線で行ったがより現実的な解をだすために路線数を増やし考える必要がある.

参考文献

- [1] 国土交通省, 大都市交通センサス 中京圏報告書, 2016.
- [2] 一般財団法人 運輸総合研究所, 「混雑率について」www.jterc.or.jp/topics/josei_shinpo3.14/8_konzatu_ritu.pdf (2019 年 5 月閲覧)