

鉄道ネットワークにおける利用経路選択シミュレーション —名古屋市営地下鉄を例として—

2004MM095 吉川貴士

指導教員: 伏見正則

1 はじめに

利用者が経路を選択する場合には、時間を多くかけてでも混雑を避ける経路を利用する場合と、混雑してでも早く目的地に行くことが出来る経路を利用する2通りが考えられる。本研究では、名古屋市営地下鉄においてWardropの第1法則に従って利用者均衡配分を行う。利用者均衡配分を行う際に、「地下鉄乗り換え駅での乗り換え移動時間」、「乗り換え時の列車到着間隔」、「地下鉄乗り換え駅での混雑」を考慮する。それぞれの状況を考慮した場合の駅間混雑状況や平均乗り換え回数がどのように変化するかを考察していくことを目標とする。

2 研究範囲

本研究では、名古屋市営地下鉄（以下 地下鉄とする）東山線、名城線、鶴舞線、桜通線、名港線、上飯田線の6路線を利用する。また利用者のデータは、平成17年度大都市交通センサスを使用する。

2.1 研究方法

路線上の駅をノードとして考え、駅と駅を結ぶリンクを駅間リンクとする。また、地下鉄乗り換え駅（以下ターミナル駅とする）における乗り換えリンクをターミナルリンクとして、ネットワーク問題として考えていく。

2.2 乗り換え時間の算出

ターミナル駅*i*における乗り換え所要時間を算出する方法として、駅間の距離を時間に換算して与える。1つのターミナル駅における乗り換え可能な2つの地下鉄乗車駅の座標を (x_1, y_1) (x_2, y_2) とする。地下鉄における駅での乗り換えは、すべて徒歩による乗り換えであり、平均歩行速度は分速65mとする。ターミナル駅*i*における乗り換え先である地下鉄*d*線への乗り換え所要時間を p_i^d とする。また、 γ_i^d をターミナル駅*i*における地下鉄*d*線の列車到着間隔とする。人の乗車駅への到着は、列車到着間隔時間内の一様分布に従っているものとして、その平均値を採用する。 p_i^d は以下ようになる。

$$p_i^d = \frac{\sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}}{65} + \frac{\gamma_i^d}{2} \quad [\text{分}]$$

3 all-or-nothing法による利用者配分

all-or-nothing法とは、全ての起終点ペア（以下 ODペアとする）において、最小所要時間で行くことが出来る経路に、そのODペアにおけるすべての利用者を配分する方法である。最小所要時間で行くことができる経路を、ダイクストラ法を用いて算出する。利用者データは、地下鉄利用者のうち定期券利用者のデータを利用した。

3.1 実行結果

all-or-nothing法による利用者配分では、乗り換えがしやすく利用者が多いターミナル駅、上前津・栄・久屋大通駅での利用者が増加し、丸の内・八事など乗り換えに時間がかかる駅での利用者は減少した。

4 利用者均衡配分

全地下鉄利用者の利用コストの総和を最小にするため、Wardropの第1原則に従って配分するものとする。Wardropの第1原則は、以下のように定義されている。

利用される経路の旅行時間は皆等しく、利用されない経路の旅行時間よりも小さいかせいぜい等しい。

5 経路選択シミュレーション

本研究では、以下の3つの状況を考慮して経路選択シミュレーションを行う。

- 駅での乗り換え時間の考慮
- 駅での乗り換え時間と路線別列車到着間隔の考慮
- 駅での乗り換え時間と路線別列車到着間隔と駅での混雑の考慮

5.1 乗り換え時間の考慮

ここでは、駅での乗り換え移動時間によってどの経路を選択するかシミュレーションする。ターミナル駅における列車到着間隔は、乗り換え路線と駅に関係なく一定で5分とする。

f_k^{rs} : ODペア (r, s) 間の第*k*経路を利用する人数

x_b : リンク*b*における利用者人数

t_b : リンク*b*における所要時間

t_b^0 : リンク*b*における標準時間帯の所要時間

C_b : リンク*b*における輸送可能人数

q_i^d : ターミナル駅*i*における地下鉄*d*線への乗り換え人数

Q_{rs} : ODペア (r, s) 間を利用する全人数

Ω : ODペア (r, s) 間の全集合

D : 地下鉄路線名の全体集合

B : リンクの全集合

I : 地下鉄ターミナル駅の全集合

K_{rs} : ODペア (r, s) 間における有向経路集合

$\delta_{b,k}^{rs} = \begin{cases} 1 & \text{ODペア}(r, s) \text{の第} k \text{経路が駅間リンク} b \text{を通る} \\ 0 & \text{それ以外} \end{cases}$

$\eta_i^d = \begin{cases} 1 & \text{ターミナル駅} i \text{で地下鉄} d \text{線への乗り換えがある} \\ 0 & \text{それ以外} \end{cases}$

目的関数：

$$\min \sum_{b \in B} x_b t_b(x_b) + \sum_{i \in I} \sum_{d \in D} q_i^d p_i^d \eta_i^d$$

制約条件：

$$\begin{aligned} \sum_{k \in K_{rs}} f_k^{rs} - Q_{rs} &= 0 \quad \forall (r, s) \in \Omega \\ x_b &= \sum_{k \in K_{rs}} \sum_{rs \in \Omega} \delta_{b,k}^{rs} f_k^{rs} \quad \forall b \in B \\ f_k^{rs} &\geq 0 \quad \forall k \in K_{rs}, \quad \forall (r, s) \in \Omega \\ t_b(x_b) &= t_b^0 \left\{ 1 + \alpha \left(\frac{x_b}{C_b} \right)^\beta \right\} \end{aligned}$$

5.2 列車到着間隔を配慮した経路選択

「駅での乗り換え移動時間を考慮した経路選択」と「all-or-nothing法による利用者配分」を行った場合は、ターミナル駅における乗り換え時の列車到着間隔をすべて一定に5分と仮定していた。しかし利用者は駅での乗り換え時、列車の到着間隔が短い方の経路を使用しようとするのが考えられる。そこで地下鉄の時刻表を参考にし、地下鉄路線別に列車到着間隔を変更し、経路選択シミュレーションを行う。

5.3 ターミナル駅での混雑を考慮した経路選択

次に、駅での混雑を考える。乗り換え移動時間と列車到着間隔の考慮では、多くの利用者が乗り換え時間をかけない経路を選択することが予測できる。また、混雑を考慮してシミュレーションを行っていないことから、多くの利用者が乗り換え回数が少ない経路を選択することが考えられる。そこで、ターミナル駅における乗り換え時の混雑を考慮した経路選択シミュレーションを行う。

5.3.1 駅モデル

駅のモデルとして、名古屋駅を例として以下のように示す。地下鉄を乗り降りするすべての利用者が通るところを、ダミーの「改札口」と定義する。地下鉄乗車駅と改札口との間のターミナルリンク部分を駅での利用度として考える。

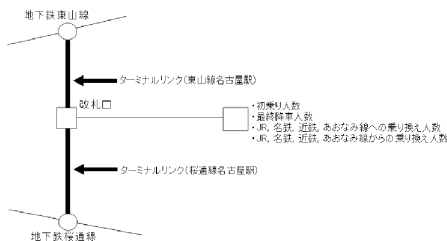


図 1: 名古屋駅における駅モデル

5.3.2 利用度の配慮

本研究では、地下鉄 d 線のターミナルリンクを利用するすべての利用者をターミナル駅 i における地下鉄 d 線の輸送可能人数で割った値をターミナルリンク部分の利用度

z_i^d とする。

q_i^d : 駅での地下鉄 d 線への乗り換え人数
 ϵ_i^d : 駅での地下鉄 d 線の初乗り人数
 μ_i^d : 駅での地下鉄 d 線の最終降車人数
 σ_i^d : 駅でのJR・私鉄から地下鉄 d 線への乗り換え人数
 λ_i^d : 駅での地下鉄 d 線からJR・私鉄への乗り換え人数
 n_i^d : 駅での地下鉄 d 線の輸送可能人数

$$\text{利用度}(z_i^d) = \max\left\{ \frac{q_i^d + \epsilon_i^d + \mu_i^d + \sigma_i^d + \lambda_i^d}{n_i^d}, 1 \right\} \quad i \in I, d \in D$$

h_k^{rs} : ODペア (r, s) 間の第 k 経路を利用する人数

g_b : 駅間リンク b における利用者人数

目的関数：

$$\min \sum_{b \in B} g_b t_b(g_b) + \sum_{i \in I} \sum_{d \in D} z_i^d p_i^d \eta_i^d$$

制約条件：

$$\begin{aligned} \sum_{k \in K_{rs}} h_k^{rs} - Q_{rs} &= 0 \quad \forall (r, s) \in \Omega \\ g_b &= \sum_{k \in K_{rs}} \sum_{rs \in \Omega} \delta_{b,k}^{rs} h_k^{rs} \quad \forall b \in B \\ h_k^{rs} &\geq 0 \quad \forall k \in K_{rs}, \quad \forall (r, s) \in \Omega \\ t_b(g_b) &= t_b^0 \left\{ 1 + \alpha \left(\frac{g_b}{C_b} \right)^\beta \right\} \end{aligned}$$

5.3.3 駅間混雑度の算出

駅間リンクの混雑度を以下の式を用いて算出する。

$$\text{混雑度} = \frac{\text{各時間帯各駅間リンクの利用者}}{\text{各時間帯各駅間リンクでの輸送可能人数}}$$

6 まとめ

乗り換え時間と列車到着間隔を考慮したシミュレーションを行った場合は、駅間リンクや平均乗り換え回数はあまりが変化なかった。駅での混雑を考慮した場合は、東山線や名城線など元々利用者が多い路線の混雑度が減少し鶴舞線や桜通線の混雑度が増加した。それに伴い平均乗り換え回数も増加した。このことからすべての利用者を均衡配分した場合、経路選択に大きく関係する要因は「ターミナル駅での混雑」があることを知ることが出来た。

参考文献

- [1] 田口東：時間依存利用者均衡による首都圏電車利用モデル、都市の交通および施設配置に関する総合的研究（伏見正則編，科研費成果報告書），pp.358-371,2005.
- [2] 川田真由：均衡配分を用いた少子高齢化による鉄道利用変化予測、中央大学理工学部情報工学科卒業論文，2005.
- [3] 国土交通省：平成17年度大都市交通センサス（中部圏），2007.
- [4] 名古屋市交通局ホームページ：<http://www.kotsu.city.nagoya.jp>