

徒歩誘導を考慮した一斉帰宅時の鉄道利用帰宅シミュレーション

M2012MM042 鈴木成美

指導教員：三浦英俊

1 はじめに

本研究では、時空間ネットワークを用いて一斉帰宅時における鉄道利用帰宅シミュレーションを行う。今回新たに中京圏鉄道網の時空間ネットワークに徒歩リンクを追加し、駅間の徒歩移動を表現する。さらに、待ちリンクコスト関数を導入し、駅の混雑度に応じて徒歩誘導を行う。

災害時には短時間で多くの人が帰宅しようとするため、駅の混雑が予想される。このような一斉帰宅時の電車の運行・混雑状況を把握するために、時空間ネットワークを導入する。時空間ネットワークは、時刻表通りの電車の運行を表現するネットワークモデルである。2005年に中央大学田口東教授によって初めて、実際の時刻表を用いた時空間ネットワークが作成された[2]。時空間ネットワークは、時刻表に従って運行するという特徴を生かし、鉄道網や航空網などの2次元空間ネットワークを、時間軸方向に拡張した3次元ネットワークとして表現する。時空間ネットワークを用いることで、指定した時刻・駅から人を流すことができ、混雑がいつ、どの駅で、どの程度発生するかを知ることができる。中央大学田口研究室では、首都圏鉄道網の時空間ネットワークを用いた災害時の混雑シミュレーション[3]が行われており、災害時の被害予測にも有効な手段であると言える。

中京圏鉄道網の時空間ネットワークを用いて、東海地震注意情報発表時の旅客流動シミュレーション[1]を行った際には、東海地震注意情報発表時に大勢の人が一斉に帰宅を開始するため、名古屋駅・金山駅などの主要駅で混雑が発生した。そのため、すぐに電車に乗れず駅のホームで待つ人が数多く発生することが明らかとなった。この結果を踏まえ、本研究においては駅間の徒歩誘導を考慮する。混雑した駅でただ電車に乗れるまで待つのではなく、徒歩リンクを用いて混雑度の高い駅から徒歩移動を行えば、帰宅がスムーズに行われる可能性がある。駅間の徒歩誘導を考慮することにより、鉄道利用者側には帰宅所要時間の短縮、鉄道会社側には駅の混雑解消といった両者にとってのメリットがあると考えられる。さらに、徒歩誘導が効果的な駅間を明らかにすることで、実際に鉄道会社側が徒歩誘導を行うことも可能になると考える。本研究では、駅間の徒歩誘導を表現するにあたり、中京圏鉄道網の時空間ネットワークに徒歩リンクを追加し、待ちリンクコスト関数を導入する。徒歩リンクは、3km以内の駅間を歩いて移動する行動を表す。待ちリンクコスト関数を用いて、駅ホームの混雑度に応じて待ちリンクを通りにくくすることで、混雑度の高い駅で待つのではなく、その駅からの徒歩移動を促す。駅ホームの混雑度を把握するにあたって、駅ホーム容量を設定する。

本研究では、駅間の徒歩誘導を考慮して一斉帰宅時の鉄道利用帰宅シミュレーションを行う。各駅での混雑度

に応じて駅間の徒歩誘導を行うことで、帰宅所要時間や駅の混雑がどの程度変化するかを調べ、徒歩誘導の効果を示す。

2 中京圏鉄道網の時空間ネットワーク

2.1 時空間ネットワークの概要

時空間ネットワークは、鉄道網や航空網などの2次元空間ネットワークを、時間軸方向に拡張した3次元ネットワークで、空間の移動と時間の経過を同時に表現できる。本研究で用いる時空間ネットワークでは、電車の移動と利用者の乗り換えをリンクで表し、各駅の電車の着発ごとにノードを定義することで、鉄道ネットワークを時間軸方向に拡張する(図1)。

時空間ネットワーク上では、時間・場所・人数を同時に表現できるため、鉄道網の旅客流動を再現することができる。また、時間・場所・人数を詳細に設定することもできるため、災害時などの鉄道網の運行状況を想定したシミュレーションを行うことも可能である。

本研究で用いる鉄道網の時空間ネットワークでは、鉄道利用者が電車に乗車してから目的地で降車するまでの一連の行動をノードとリンクとして以下のように定義する。

- ・着ノード : 各駅における各電車の到着
- ・発ノード : 各駅における各電車の発車
- ・着発間リンク : 駅での電車の停車
- ・走行リンク : 電車で次の駅へ移動する行動
- ・待ちリンク : 駅で次の電車を待つ行動
- ・待ち合わせリンク : 駅で電車の待ち合わせを行う行動
- ・乗換リンク : 駅で別の路線に乗り換える行動

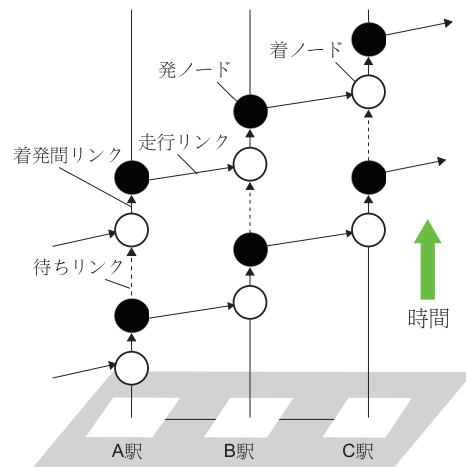


図1 時空間ネットワーク

2.2 対象範囲と規模

本研究では、平成17年大都市交通センサス対象範囲内の50路線、684駅で中京圏鉄道網の時空間ネットワークを作成する。図2は、対象となる範囲を路線図で示す。作成した時空間ネットワークのノード数は200,169、リンク数は593,935である。

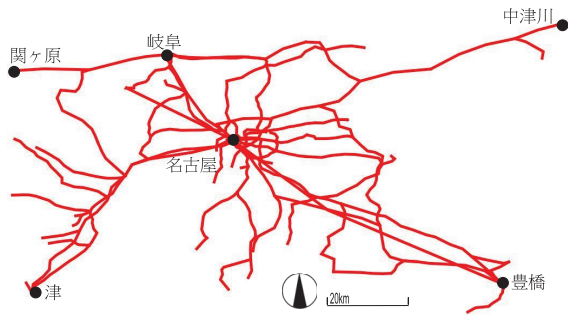


図2 路線対象範囲

3 徒歩誘導

3.1 徒歩誘導の概要

本研究では、駅間の徒歩誘導を考慮する。混雑した駅で電車に乗れるまで待つのではなく、徒歩リンクを用いて混雑度の高い駅から徒歩移動を行えば、帰宅がスムーズに行われる可能性がある。駅間の徒歩誘導を表現するにあたり、中京圏鉄道網の時空間ネットワークに徒歩リンクを追加し、待ちリンクコスト関数を導入する。

3.2 徒歩リンク

本研究では新たに、中京圏鉄道網の時空間ネットワークに徒歩リンクを追加する。徒歩リンクとは、鉄道利用者が3km以内の駅間を分速80mで歩いて移動する行動を表す。ただし、徒歩移動元駅の路線と徒歩移動先駅の路線は異なるとする。また、乗り換えられる駅には徒歩リンクを用いて移動しないものとする。

徒歩リンクは、徒歩移動元駅と徒歩移動先駅の発ノード同士を繋ぐ。この際、徒歩移動元駅の発ノードに徒歩所要時間を足した時刻よりも遅い徒歩移動先駅の最初の発ノードをリンクで繋ぐ。

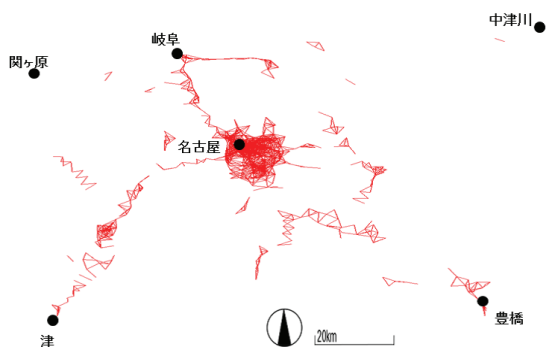


図3 徒歩リンクを上から見た図

図3は、中京圏鉄道網の時空間ネットワークに追加した徒歩リンクを表す。徒歩リンク数は2,413,345である。名古屋駅周辺の徒歩リンク密度の高さが見てとれる。

3.3 待ちリンクコスト関数

記号を、以下のように定義する。

a : 待ちリンク番号

t_a : 待ち時間 (分)

c_a : 駅ホーム容量 (人)

u : 待ち人数 (人)

j : 駅ホームの混雑度

駅ホームの混雑度 j は、式(1)で表される。

$$j = \frac{u}{c_a} \quad (1)$$

このとき、待ちリンクコスト関数は混雑度 j を用いて、式(2)で与える。

$$\varphi_a(j) = t_a + j^6 \quad (2)$$

図4は、 $t_a=1$ のときの待ちリンクコスト関数を表している。この待ちリンクコスト関数を用いることで、駅ホームの混雑度に応じてその駅で待ちにくくすることが可能である。

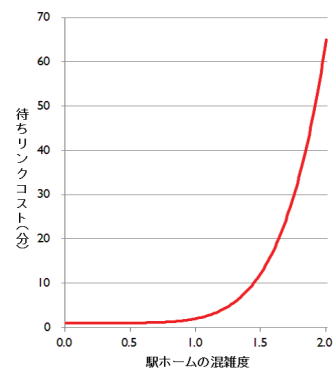


図4 待ちリンクコスト関数

3.3.1 駅ホーム容量の設定

待ちリンクコスト関数で用いる駅ホーム容量を設定する。駅ホーム容量を設定するにあたり、電車の乗車定員の算定方法を参考にする。電車の乗車定員は、電車の床面積を $0.3m^2$ で割って算定している。すなわち、乗車率100%の電車内における一人当たりの面積は $0.3m^2$ である。ゆえに、乗車率200%の電車内における一人当たりの面積は $0.15m^2$ となる。これをもとに、混雑時の一人当たりの面積を $0.15m^2$ と仮定する。

駅ホーム容量は、各路線の乗車定員をもとに算出する。この際、地下鉄東山線の名古屋駅を参考にする。東山線名古屋駅のホームは方面によって2つに分かれており、1つの方面のホーム面積は $600m^2$ である。この面積を混雑時の一人当たりの面積で割ると、ホームには4,000人収容可能であるとわかる。東山線の乗車定員は750人であ

るから、約5倍に相当する。したがって、各駅のホーム容量は、各路線の乗車定員の5倍に相当するものとする。

4 一斉帰宅時の鉄道利用帰宅シミュレーション

4.1 シミュレーションの概要

本研究では、駅間の徒歩誘導を考慮して、一斉帰宅時の鉄道利用帰宅シミュレーションを行う。中京圏鉄道網の時空間ネットワークに徒歩リンクを追加し、待ちリンクコスト関数を導入することで、徒歩誘導を表現する。徒歩リンク追加前・追加後、待ちリンクコスト関数導入前・導入後において、帰宅所要時間や駅の混雑などがどの程度変化するかを調べる。

4.2 シミュレーションの設定

シミュレーションに共通する設定は、以下の4つである。

- 一斉帰宅開始時刻は 13 時
OD は出発駅ホームに 13:00~13:29 に到着する。
- 帰宅人数は 634,096 人
13 時までには職場や学校に到着している人が、帰宅対象となる。
- 使用する OD データ
行きの OD データの出発駅と目的駅を入れ替えたものを使用する。行きの OD データは、大都市交通センサスの鉄道定期券・普通券等利用者調査のデータをもとに作成する。
- 運行状況は平常運転
朝の通勤ラッシュ時の乗車率を参考に、乗車定員の 250% までの人数が乗車可能とする。

4.3 OD の流し方

一斉帰宅時の旅客流動を表現するため、UOD(Updated OD) 方式に従って OD を流す。鉄道利用者は出発駅から到着駅まで最短時間経路で移動すると仮定する。以下に、UOD 方式の手順を示す。

1. 出発時刻の早い順に OD データを並べ替える。
2. OD データの先頭にある最も出発時刻の早い OD について、Dijkstra 法を用いて時空間ネットワーク上で最短時間経路を求める。
3. 求めた最短時間経路において、乗換・徒歩移動・待ちのいずれかがあった場合、OD を更新して UOD を作成する。そうでない場合は、経路探索を終了する。UOD の作成方法は、以下の 3 通りである。
 - (a) 乗換があった場合
OD の出発駅を乗換先の駅に、出発時刻を乗換先駅の電車の発車時刻に更新する。
 - (b) 徒歩移動があった場合
OD の出発駅を徒歩移動先の駅に、出発時刻を徒歩移動先駅の電車の発車時刻に更新する。
 - (c) 待ちがあった場合
OD の出発駅は待ちを行った駅に、OD の出発時刻を次の電車の発車時刻に更新する。

4. 全ての OD の最短時間経路が求まるまで、手順 1~3 を繰り返す。

4.4 シミュレーション結果

以下の3パターンについて、シミュレーションを行った結果を示す。

1. 徒歩リンクなし
2. 徒歩リンクあり
3. 徒歩リンクあり・待ちリンクコスト関数導入

表1は、この3パターンについて、平均帰宅所要時間と帰宅に2時間以上かかった人数を示す。徒歩リンク追加後は追加前に比べて、平均帰宅所要時間が3分の短縮となっている。また、帰宅に2時間以上かかった人数は、徒歩リンク追加前よりも約10,000人減少している。待ちリンクコスト関数導入時にはさらに減少することがわかる。

表1 平均所要時間と所要時間が2時間以上の人数の比較

	徒歩なし	徒歩あり	徒歩あり+待ちリンクコスト
平均所要時間	61分	58分	58分
所要時間 2時間以上	73,904人	63,939人	60,463人

図5, 6は、主要駅のホームで待っている人数を表す。図5は名古屋駅、図6は栄駅のホームで待っている人数を表す。図7, 8は、主要駅から出発する徒歩移動人数を表す。図7は名古屋駅、図8は栄駅から出発する徒歩移動人数を表す。

栄駅においては徒歩リンクを追加するだけで、そこから多くの人が徒歩移動を開始し、待ち人数が大きく減少することがわかった。一方、名古屋駅においては徒歩リンクを追加するだけではそこから出発する徒歩移動人数は少なく、待ち人数は徒歩リンク追加前とあまり差が見られない。徒歩リンクに加えて待ちリンクコスト関数を導入した場合は、そこから出発する徒歩移動人数が増加し、待ち人数が大きく減少した。

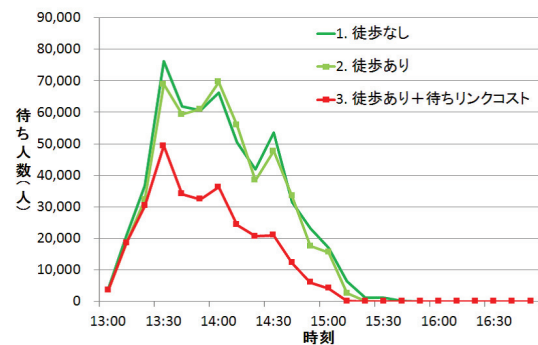


図5 名古屋駅待ち人数

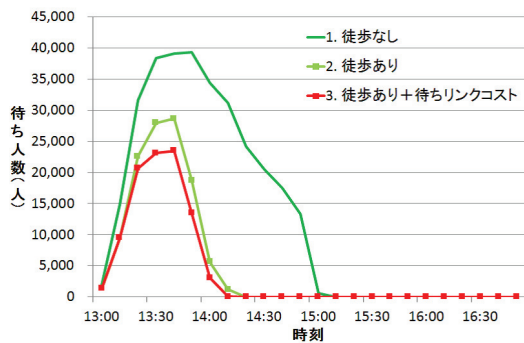


図 6 栄駅待ち人数

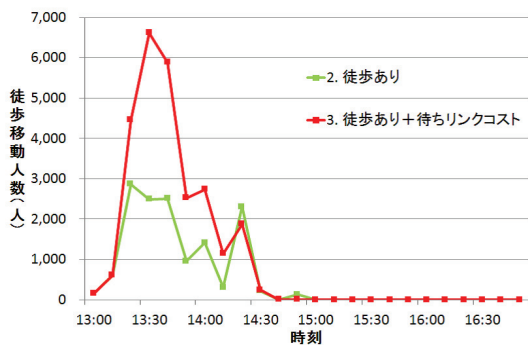


図 7 名古屋駅から出発する徒歩移動人数

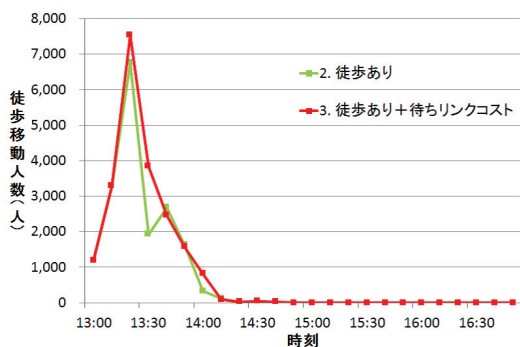


図 8 栄駅から出発する徒歩移動人数



図 9 徒歩移動人数が 5,000 人以上の駅間 (2. 徒歩あり)



図 10 徒歩移動人数が 5,000 人以上の駅間 (3. 徒歩あり+待ちリンクコスト)

図 9 は、徒歩リンクを追加するだけで徒歩移動人数が 5,000 人を超える駅間を示す。図 10 は、徒歩リンクに加えて待ちリンクコスト関数を導入した場合に、徒歩移動人数が 5,000 人を超える駅間を示す。待ちリンクコスト関数を導入する・しないに関わらず、名古屋駅に向かう徒歩移動人数が多いことがわかる。待ちリンクコスト関数を導入すると、名古屋駅や金山駅などの主要駅から出発する徒歩移動人数を増加させることができる。

5 おわりに

本研究では、時空間ネットワークを用いて、徒歩誘導を考慮した一斉帰宅時の鉄道利用帰宅シミュレーションを行った。駅間の徒歩誘導を表現するため、中京圏鉄道網の時空間ネットワークに徒歩リンクを追加し、待ちリンクコスト関数を導入した。徒歩リンクを追加することで、鉄道利用者の帰宅所要時間を短縮させることができた。さらに待ちリンクコスト関数を導入することで、主要駅から出発する徒歩移動人数が増加、主要駅ホームでの待ち人数が減少し、混雑を緩和することができた。

シミュレーションの結果、駅間の徒歩誘導の効果を示すことができた。しかし、現実的には積極的に駅間を徒歩移動する鉄道利用者は少ないと予想される。そこで、混雑した駅において駅員が徒歩誘導を行う必要があると考える。今後は、どの方面に行く人はどの駅間を徒歩移動した方が良いかといった、鉄道利用者の帰宅方面を考慮した徒歩誘導の検討を行いたい。

参考文献

- [1] 二宮翔平, 鈴木成美, 鈴木敦夫, 三浦英俊: 時空間ネットワークを用いた東海地震注意情報発表時の旅客流動シミュレーション, 日本オペレーションズリサーチ学会 2013 年春季研究発表会 アブストラクト集, pp.96-97, 2013.
- [2] 田口東: 首都圏列車ネットワークに対する時間依存通勤配分モデル, 日本オペレーションズリサーチ学会和文論文誌, 48 巻, pp.85-108, 2005.
- [3] 田口東: 東日本大震災後計画運転時の首都圏電車ネットワーク混雑シミュレーション, スケジューリング・シンポジウム 2012 講演論文集, pp.133-138, 2012.