

# 時空間ネットワークを用いた旅客流動の再現

M2012MM027 二宮翔平

指導教員：鈴木敦夫

## 1 はじめに

本研究では、時空間ネットワーク [2] を用いてシミュレーションを行う際の、旅客流動の再現方法を提案する。

過去の研究において、時空間ネットワークを用いて一斉帰宅時の旅客流動シミュレーションを行った [1]。このとき問題となったのが、旅客の駅での不自然な行動 (以下、「エラー行動」と呼ぶ) である。エラー行動の一例として「途中駅降車」がある。本来、出発駅から目的駅まで乗り換えや待ち合わせをしないのであれば、目的駅まで一度も降車する必要がない。しかし、[1] のシミュレーション結果では、多数の旅客が途中駅で降車し、次の電車に乗車する行動を何度も繰り返していた。途中駅降車を起こす原因の 1 つは、旅客が乗車する電車を決定する際の優先順位が OD (Origin Destination) データのリストの順によって決まっていたことである。そのため、OD データによっては、出発時刻の遅い OD が、出発時刻の早い OD より先に乗車する電車を決定している可能性があった。途中駅降車を起こした旅客は、その途中駅から乗ることが確定している別の旅客に、電車を譲ってしまうため降車したと考えられる。シミュレーションの信頼性を向上させるためには、このようなエラー行動をなくす必要がある。そこで、エラー行動をなくすための解決方法を 4 つ提案する。

「1. UOD (Updated OD) 方式」。OD の流し方は UOD 方式を採用する。この方式では、次の 2 つの作業を繰り返していく。(a) 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。(b) 求めた最短時間経路において、乗り換え・待ち合わせ・待ちのいずれかが含まれていた場合、OD の出発駅と出発時刻を更新する。「2. 乗降回数の最少化」。目的駅までの最短時間経路が複数ある場合、乗降回数の合計が小さい経路を選択する。「3. 待ち優先」。OD の最短時間経路を求める際、乗換リンク先のノードが待ちリンクでもつながっている場合、待ちリンクを通る経路を採用する。「4. 後戻り制限」。OD の最短時間経路を求める際、経路の中に後戻りが含まれているのであれば、その経路は使用不可とする。これら 4 つの解決方法を元に、時空間ネットワークを用いて旅客流動シミュレーションを行う。

時空間ネットワークとは、時刻表通りの電車の運行を表現する 3 次元ネットワークモデルである。2005 年に中央大学田口東教授は実際の電車の時刻表を用いて時空間ネットワークを作成した。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て災害時の混雑シミュレーションなどが行われてる [3][4]。本研究では、中京圏鉄道網の時空間ネットワークを用いて、旅客流動シミュレーションを行い、過去の研究に比べ、エラー行動者がどれほど減少するのか検証を行う。

## 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、時刻表通りの電車の運行を表現する 3 次元ネットワークモデルである。2005 年に中央大学田口東教授は実際の電車の時刻表を用いて時空間ネットワークを作成した。この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。通常の鉄道ネットワークは、駅をノードと定義し、その駅間にリンクを張った 2 次元ネットワークで表現される。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。

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以下のように定義する。

- ・電車に乗って駅間を移動する
- ・駅で次の電車を待つ
- ・駅で待ち合わせを行う電車に乗り換える
- ・駅で別の路線に乗り換える

これら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し、時空間ネットワークを構築する。

- ・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

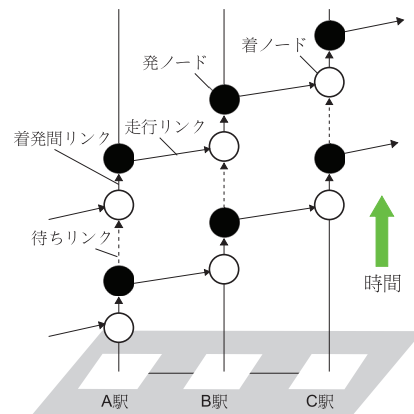


図 1 時空間ネットワーク

## 2.2 構築した中京圏鉄道網の時空間ネットワーク

本研究で使用した中京圏鉄道網の時空間ネットワークの路線対象範囲は、平成17年大都市交通センサス [5] の50路線、684駅である。中京圏鉄道網の時空間ネットワークを作成するにあたり、中央大学田口研究室から首都圏鉄道網の時空間ネットワーク作成のプログラムの提供を受け、そのプログラムを中京圏用に書き換える。図2は、大都市交通センサス、時刻表データ、乗換時間などのデータを用いて作成した中京圏鉄道網の時空間ネットワークである。

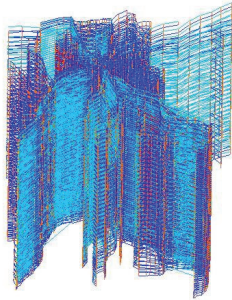


図2 中京圏鉄道網の時空間ネットワーク

## 3 エラー行動の種類と解決方法

### 3.1 エラー行動とは

本研究では、シミュレーション上で起こる旅客の駅での不自然な行動をエラー行動と呼ぶ。エラー行動の種類は以下の3つがある。「1. 途中駅降車」、「2. 連続乗換移動」、「3. 後戻り」。本章では、各エラー行動についての説明と、それが起こる原因について述べる。

#### 3.1.1 途中駅降車

途中駅降車とは、旅客が電車に乗車したあと、乗換駅や待ち合わせ駅でないにも関わらず、途中駅のホームに降車する行動である。途中駅降車が起きる原因は2つある。1つ目の原因は、旅客が乗車する電車を決定する際の優先順位がODデータのリスト順によって決まっていたことである。そのため、ODデータによっては、出発時刻の遅いODが、出発時刻の早いODより先に乗車する電車を決定している可能性がある。図3の例では、A駅から乗車している旅客が、B駅から乗車することが確定している別の旅客に電車を譲ってしまい、途中駅降車を行った。

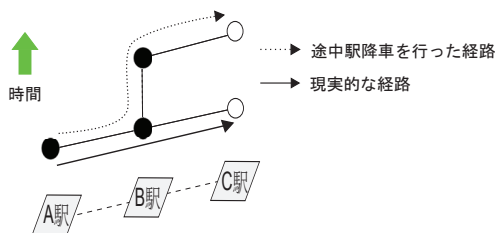


図3 途中駅降車の例 (電車を譲る場合)

2つ目の原因は、Dijkstra法に基づき最短時間経路を探索する際、途中駅降車する経路を選択しても目的駅まで

の所要時間が同じ場合が存在するためである。この途中駅降車の例を図4に示す。この例のように、旅客が途中駅で降車しても、目的駅までの所要時間が同じ場合、途中駅降車を行う可能性がある。

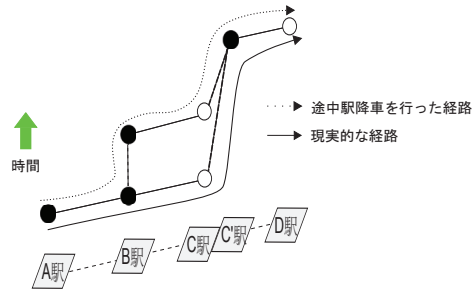


図4 途中駅降車の例 (不必要な降車をする場合)

#### 3.1.2 連続乗換移動

連続乗換移動とは、乗り換え移動を何度も行う行動である。連続乗換移動の例を図5に示す。この例のように、駅のホームで待つ経路の所要時間と連続乗換移動を行う経路の所要時間が同じ場合、連続乗換移動を行う可能性がある。

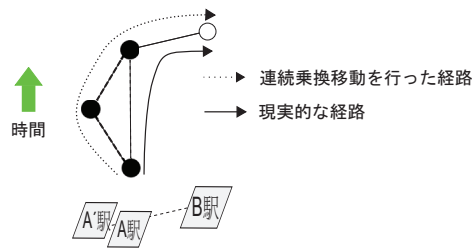


図5 連続乗換移動の例

#### 3.1.3 後戻り

後戻りとは、同じ駅を2度通る行動である。後戻りの例を図6に示す。この例のように、駅のホームで待つ経路の所要時間と後戻りを行う経路の所要時間が同じ場合、後戻りを行う可能性がある。

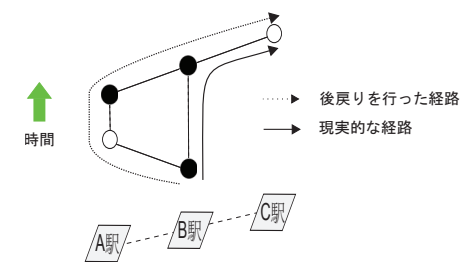


図6 後戻りの例

### 3.2 解決方法

本節では、3.1節で述べたエラー行動を減少させるための解決方法を4つ提案する。「1.UOD(Updated OD)」、「2.乗降回数の最少化」、「3.待ち優先」、「4.後戻り制限」。

エラー行動を起こす原因は、エラー行動の種類により異なるため、各エラー行動に対して解決方法を提案する(表1)。

表 1 エラー行動の種類と解決方法

| エラー行動の種類       | 解決方法     |
|----------------|----------|
| 途中駅降車 (電車を譲る)  | UOD 方式   |
| 途中駅降車 (不必要な降車) | 乗降回数の最少化 |
| 連続乗換移動         | 待ち優先     |
| 後戻り            | 後戻り制限    |

### 3.2.1 UOD(Updated OD) 方式

UOD(Updated OD) 方式に従って OD を流す。UOD 方式では出発時刻の早い順に乗車する電車を決定することができるため、図 3 のような旅客に電車を譲る場合の途中駅降車を減少させることができる。以下に、手順を示す。

#### UOD 方式の手順

1. OD データを出発時刻の早い順に並び替える。
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、乗り換え・待ち合わせ・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 2 通りである。
  - (a) 乗り換え・待ち合わせがあった場合  
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。その後、同じ出発時刻の OD データの最後尾に更新した OD を挿入する。
  - (b) 待ちがあった場合  
OD の出発駅を待ちを行った駅に、出発時刻を次の電車の発車時刻に更新する。その後、同じ出発時刻の OD データの先頭に更新した OD を挿入する。
4. 全ての OD の最短時間経路が見つかるまで (1) ~ (3) を繰り返す。

### 3.2.2 乗降回数の最少化

乗降回数の最小化とは、目的駅までの最短時間経路が複数ある場合、乗降回数の合計が小さいほうの経路を選択することである。各ノードに対し、乗車回数と降車回数を記録していく。走行リンクを通る場合、走行リンク先のノードの乗車回数を+1 する。ただし、連続して走行リンクを通る場合、乗車回数は変更しない。走行リンクを通った後、待ちリンク or 待ち合わせリンク or 乗換リンクを通るなら、リンク先のノードの降車回数を+1 する。乗降回数の合計が小さいほうの経路を選択することで、不必要な降車を減らし、図 4 のような途中駅降車を減少させる。

### 3.2.3 待ち優先

待ち優先とは、OD の最短時間経路を求める際に、乗換リンクより待ちリンクを優先して経路を探索していくことである。待ち優先の例を図 7 に示す。乗換リンク先のノード (図中:ノード番号 1) が、待ちリンクでつながっている場合、待ちリンクを通る経路 (図中:実線矢印) を選択する。これにより、図 5 の例のような連続乗換移動を減少させる。

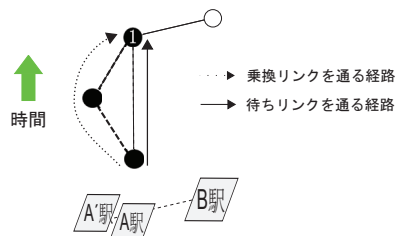


図 7 待ち優先の例

### 3.2.4 後戻り制限

後戻り制限とは、OD の最短時間経路を求める際に、経路の中に後戻りが含まれているのであれば、その経路の探索を終了することである。後戻り制限の例を図 8 に示す。走行リンク先のノード (図中:ノード番号 1) が、以前いた駅 (B 駅)、またはその駅の乗換可能駅であれば後戻りと判断する。後戻りをする経路を制限することで、図 6 の例のような後戻りを減少させる。

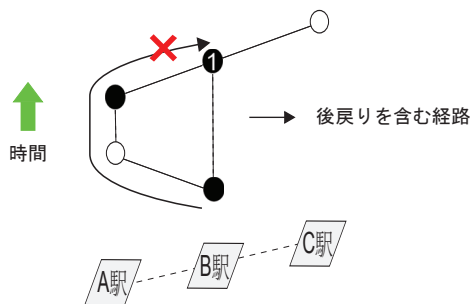


図 8 後戻り制限の例

## 4 旅客流動シミュレーション

### 4.1 設定

本章では、3.2 節で示した解決方法によりエラー行動者がどれほど減少するか調べるため、2 つの OD データを使用して旅客流動シミュレーションを行う。また、過去の研究との比較を行うため、以下の設定で旅客流動シミュレーションを行う (表 2)。各シミュレーションの設定により、エラー行動者数がどれほど変化するかを調べる。

表 2 各シミュレーションの設定

|        | UOD | 乗降回数 | 待ち優先 | 後戻り制限 |
|--------|-----|------|------|-------|
| 卒論時    | -   | -    | -    | -     |
| UOD のみ | する  | -    | -    | -     |
| 提案方法   | する  | あり   | あり   | あり    |

## 4.2 使用した OD データ

### 4.2.1 ランダム OD

ランダム OD とは、出発駅、到着駅、出発時刻をランダムに発生させた OD データである。OD の合計人数は 10 万人とする。

### 4.2.2 一斉帰宅

一斉帰宅時の OD データは、朝の通勤ラッシュ時を参考に 634,101 人分のデータを作成した。朝の通勤ラッシュ時の OD データを、逆方向に短時間で流すことにより一斉帰宅時の状況を想定する。出発時刻は 13 時 00 分～13 時 29 分までの 1 分刻みに設定する。

## 4.3 シミュレーション結果

エラー行動者数が、設定したシミュレーションによりどのように変化するかを調べる。

### 4.3.1 ランダム OD 時

表 3～表 5 は、ランダム OD 時の各エラー行動の人数を表す。ランダム OD 時では、卒論時と UOD の結果が類似していることが分かる。ランダム OD 時のような混雑があまり発生しない状況において、UOD はエラー行動の減少にあまり影響しないことが分かる。

表 3 途中駅降車人数 (ランダム OD 時)

| 回数  | 卒論  | UOD | 提案方法 |
|-----|-----|-----|------|
| 1 回 | 735 | 717 | 0    |

表 4 連続乗換移動人数 (ランダム OD 時)

| 回数  | 卒論    | UOD   | 提案方法 |
|-----|-------|-------|------|
| 1 回 | 5,344 | 5,304 | 34   |
| 2 回 | 338   | 269   | 0    |
| 3 回 | 18    | 1     | 0    |
| 4 回 | 0     | 17    | 0    |

表 5 後戻り人数 (ランダム OD 時)

| 回数  | 卒論    | UOD   | 提案方法 |
|-----|-------|-------|------|
| 1 回 | 2,057 | 2,056 | 0    |
| 2 回 | 21    | 71    | 0    |

### 4.3.2 一斉帰宅時

図 9 は、一斉帰宅時の途中駅降車人数の合計を表す。UOD にした場合、途中駅降車人数は大幅に減少することが分かる。

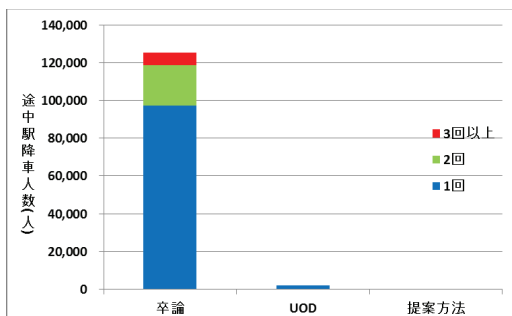


図 9 途中駅降車人数 (一斉帰宅時)

図 10 は、一斉帰宅時の連続乗換移動人数を表す。提案方法により、連続乗換移動人数を 10 万人程度減少させることができる。

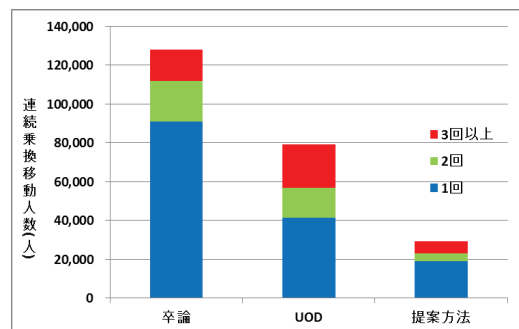


図 10 連続乗換移動人数 (一斉帰宅時)

図 11 は、一斉帰宅時の後戻り人数の合計を表す。UOD にした場合、後戻り人数が減少している。提案方法では、後戻りを制限しているため、後戻り人数は 0 人となる。

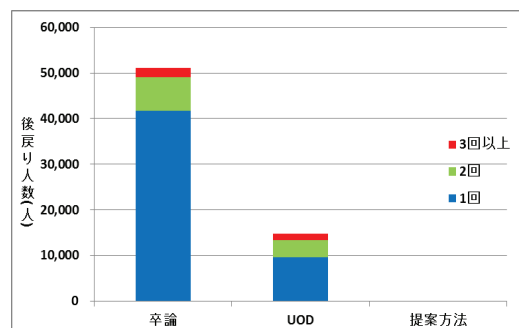


図 11 後戻り人数 (一斉帰宅時)

## 5 おわりに

本研究では、中京圏鉄道網の時空間ネットワークを用いて旅客流動シミュレーションを行った。また、エラー行動をなくすための解決方法を 4 つ提案した。シミュレーションの結果、過去の研究で問題となっていたエラー行動者を大幅に減少させることができた。

## 参考文献

- [1] 守屋遼, 二宮翔平, 鈴木成美, 積山侑果: 時空間ネットワークを用いた瀬戸キャンパスの避難計画の検討, 南山大学 数理情報学部 情報システム数理学科 2011 年度論文。
- [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。
- [4] 鳥海重喜, 川口真由, 田口東: 首都直下地震による鉄道利用通勤・通学客の被害想定, オペレーションズ・リサーチ, Vol.53, No.2, pp.111-118, 2008。
- [5] 財団法人 運輸政策研究機構: 平成 17 年大都市交通センサス, 中京, 2007。