

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

2008MI150 守屋遼 2008MI168 二宮翔平
2008MI235 鈴木成美 2008MI255 積山侑果

指導教員：鈴木敦夫

1 はじめに

本研究では、南山大学瀬戸キャンパスにおける、東海地震注意情報発表時の避難計画について検討する。

2011年3月11日14時46分18秒、宮城県沖を震源とした東日本大震災が発生した。日本における観測史上最大のマグニチュード9.0を記録し、約2万人もの死者・行方不明者を出した。以前から発生が危惧されている東海地震では、約24,700人もの死者が出ると予想されている。東海地震は、他の地震とは異なり、発生メカニズムや予測震源域がある程度判明している。そして、前兆現象を捉える観測・監視体制が震源域直上に整備されているため、日本で唯一予知できる可能性がある地震だと考えられている。東海地震発生の確率が高まると、気象庁は東海地震に関連する情報 [5] を3段階「1. 東海地震に関連する調査情報（臨時）」→「2. 東海地震注意情報」→「3. 東海地震予知情報」の順に発表する。東海地震注意情報が発表された時点で、学校や企業の中には帰宅措置をとる場合がある。また、東海地震予知情報が発表された時点では、本格的な防災体制が敷かれ、鉄道の運行が中止となる区間がある。各情報が発表された時に適切な避難行動をとることで、被害を最小限に食い止めることができる可能性がある。南山大学瀬戸キャンパスでは、東海地震注意情報が発表されると、学生全員を速やかに帰宅させる措置がとられる。このとき、スクールバスは聖霊中学校・高等学校の生徒たちが使用する。そのため本学生は、大学の最寄り駅である山口駅または尾張瀬戸駅まで徒歩で移動し、電車で帰宅することになる。

東海地震注意情報が発表された場合、本学生も含め短時間で多くの人が帰宅しようとする。そのため、駅が混雑することで電車のダイヤが乱れ、大勢の帰宅困難者が発生することが予想される。よって、避難計画を検討する上で、東海地震注意情報時の電車の運行・混雑状況を把握する必要がある。

電車の運行状況をシミュレーションするのに有効な手段として、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として、2005年に中央大学田口東教授によって考案された [10]。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次元の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、いつ、どこに、どれだけの人がいるのかということがわかるようになり、災害時の帰宅困難者数と分布の推計 [11] など、災害時の被害予測にも有効な手段であるといえる。

首都圏鉄道網の時空間ネットワークを作成している中央大学田口研究室では、時差出勤による混雑緩和の可能性や首都直下地震による鉄道利用通勤・通学客の被害想

定 [12] などの研究を行ってきた。しかし、中京圏鉄道網の時空間ネットワークはまだ作成されていない。そこで、中京圏の時空間ネットワークを作成し、首都圏の場合と同様な災害対策シミュレーションを行う。また、東海地震は予知できる可能性があるため、地震予知から発生までの時間にある程度の猶予があることから、より現実的な避難シミュレーションや避難計画を考えることも可能である。

本研究では、南山大学瀬戸キャンパスの避難計画を検討するために、まず、中京圏鉄道網の時空間ネットワークを作成する。さらに、この作成した時空間ネットワークを用いて、瀬戸キャンパスの最寄り駅である山口駅または尾張瀬戸駅から、各学生の自宅がある最寄り駅までの帰宅シミュレーションを行う。

2 東海地震について

2.1 地震観測について

東海地震に関連する情報は、地震の前兆現象である前兆すべりを観測することにより発表される。前兆すべりとは、震源域の一部とされるプレート境界の強く固着している領域が地震の発生前に剥がれ、ゆっくりと滑り動き始める現象である。前兆すべりはひずみ計で観測する。ひずみ計とは、地下の岩盤の伸び・縮みを非常に高感度で観測できる地殻変動観測装置のことである。図1はひずみ計の観測点を示しており、計26地点設置されている。

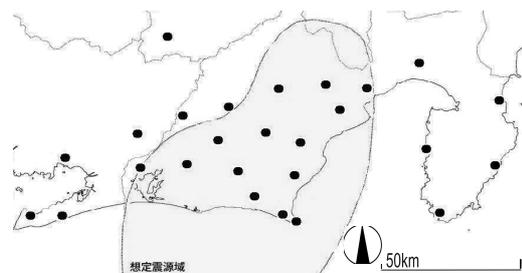


図1 ひずみ計観測点

2.2 東海地震に関連する情報発表の流れと基準

東海地震に関連する情報は、「1. 東海地震に関連する調査情報（臨時）」→「2. 東海地震注意情報」→「3. 東海地震予知情報」の順に発表される。

1. 東海地震に関連する調査情報（臨時）

東海地域における少なくともひずみ計1カ所で有意な変化が観測された場合など。

2. 東海地震注意情報

東海地域におけるひずみ計2カ所での有意な変化が前兆すべりによるものと矛盾がないと認められた場合など。

3. 東海地震予知情報

東海地域におけるひずみ計3カ所以上での有意な変化が前兆すべりによるものと認められた場合など、東海地震が発生する恐れがあると認められ、内閣総理大臣により、「警戒宣言」が発表された場合に発表される。このとき、一部地域を除き電車の運行が中止する。

東海地震注意情報が発表されると、本学生は帰宅するため電車に乗る。しかし、帰宅途中に東海地震予知情報が発表されてしまうと、一部地域を除いて電車は運行を中止してしまう。そのため、東海地震注意情報が発表されてから東海地震予知情報が発表されるまでの時間が、避難や帰宅に使用できる時間の目安となる。

2.3 東海地震に関連する情報発表のタイミング

東海地震に関連する情報発表のタイミングは、前兆すべりの観測場所や規模によって異なる [5]。ここで使われる規模の単位はモーメントマグニチュード (Mw) と呼ばれ、断層運動の規模そのものを表し、岩盤のずれの規模をマグニチュードより正確に表すことができる。図2は、Mw6.0の前兆すべりが起きた場所を示しており、表1は、このとき想定される地震情報発表のタイミングを示す。

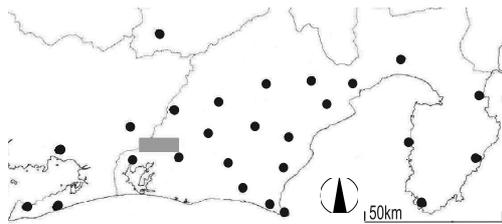


図2 Mw 6.0の前兆すべりが起きた場所 (浜名湖北東)

表1 情報発表のタイミング

発表される情報の種類	発表時間
東海地震調査情報	10時間前
東海地震注意情報	6時間前
東海地震予知情報	4時間前

表1より、この場合の東海地震注意情報から東海地震予知情報までの時間は2時間である。これが想定されている中では最も短い時間である。東海地震注意情報発表後、帰宅までに2時間以上要する場合、帰宅途中に電車の運行が中止する可能性がある。そこで本研究では、限られた時間の中での避難計画を検討するため、時空間ネットワークを用いて帰宅シミュレーションを行う。

3 時空間ネットワークとは

3.1 時空間ネットワークの概要

時空間ネットワークは、2005年中央大学田口東教授によって考案された3次元ネットワークである。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次元のネットワークで表現される。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3)。

時空間ネットワーク上では、場所、時間、人数を同時に表現できるため、鉄道網などの旅客流動を再現することができる。また、時間や場所、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。

既に、首都圏鉄道網の時空間ネットワークは作成されており、それをういた研究が幾つも進められている。本研究に関わるここでは、首都圏鉄道網の時空間ネットワークを用いた、旅客流動のシミュレーション [7] や、東日本大震災などの非常時における鉄道の運行調整 [9] などの研究が行われている。

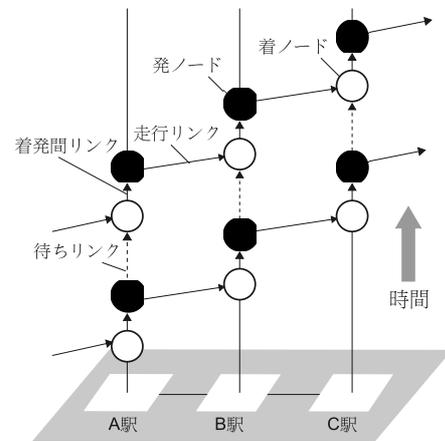


図3 時空間ネットワーク

3.2 時空間ネットワークの構築

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の駅で降車するまでの行動を以下のように分類する。

- ・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

3.2.1 駅の表現

駅は、以下の2つのノードと1つのリンクを用いて表現する。

- ・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

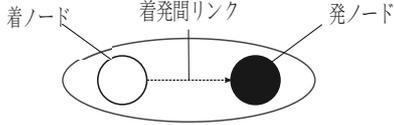


図4 駅の表現

時刻表には、電車の着時刻、発時刻が両方記載されている駅と、発時刻のみ記載の駅がある。そのため、前者を着発別、後者を着発同時と考える。着発別の駅の場合、図4で示したような駅の表現となる。着発同時の駅では、着ノードがないため、発ノードのみで駅を表現する。

また、時空間ネットワーク上では、時刻表の時間を全て[分]単位で扱う。

3.2.2 走行リンク

走行リンクとは、利用者が電車で次の駅へ移動する行動を表す。移動先の駅のノードの種類によって接続するノードが異なる。

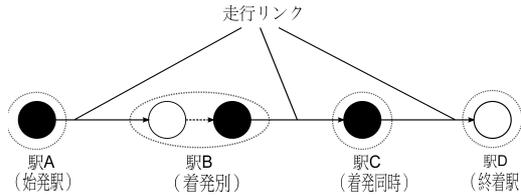


図5 走行リンク

着発別の駅の場合、移動元の発ノードと移動先の着ノードをリンクで繋ぐ。着発同時の駅の場合、移動元と移動先の発ノードを繋ぐ。また、始発駅では発ノードのみ、終着駅では着ノードのみとなる(図5)。

3.2.3 待ちリンク

待ちリンクとは、利用者が駅で次の電車を待つ行動を表す。同一路線上で、各発ノードとその駅を次に発車する電車の発ノードを繋ぐ。終着駅などの、着ノードのみで表現される駅の場合は、着ノード同士を繋ぐ(図6)。

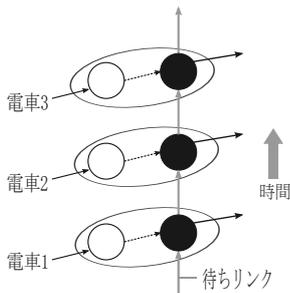


図6 待ちリンク

3.2.4 待ち合わせリンク

待ち合わせリンクとは、利用者が駅で電車の待ち合わせを行い、別の電車に乗り換える行動を表す。先に到着した電車の着ノードから、次に到着し、先に発車する電車の発ノードを繋ぐ(図7)。

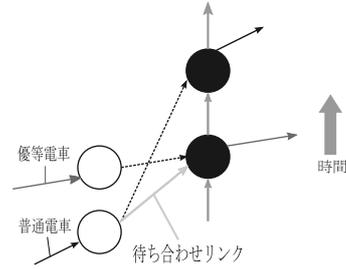


図7 待ち合わせリンク1

図8のように、電車Aの終着駅が、電車Aの走る路線aの最終駅とは異なる場合がある。

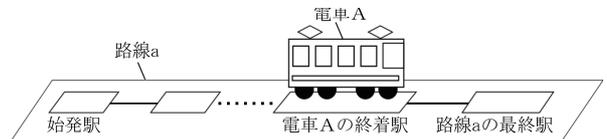


図8 終着駅と最終駅

この場合、終着電車の着ノードと、その電車以降でその駅を最初に発車する電車の発ノードを繋ぐ(図9)。

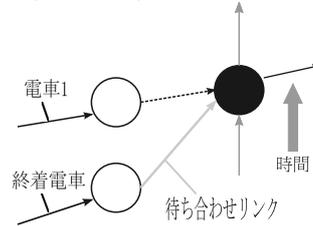


図9 待ち合わせリンク2

3.2.5 乗換リンク

乗換リンクとは、利用者が駅で別の路線へ乗り換える行動を表す。図10は、路線1と路線2がB駅とB'駅で乗換が可能であることを示す。図11は、各路線からの乗換リンクを表す。B駅の着ノードと、B'駅で乗換可能で最も早い電車の発ノードを繋ぐ。B'駅からB駅も同様である。

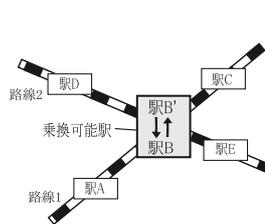


図10 乗換可能駅

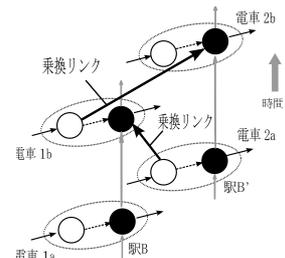


図11 乗換リンク

4 中京圏鉄道網の時空間ネットワーク

4.1 中京圏時空間ネットワーク

大都市交通センサス [13], 時刻表データ [6,8], 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 (図 12) の規模を表すノード, リンク数を表 2 で示す.

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改良し, 中京圏時空間ネットワークを作成した.

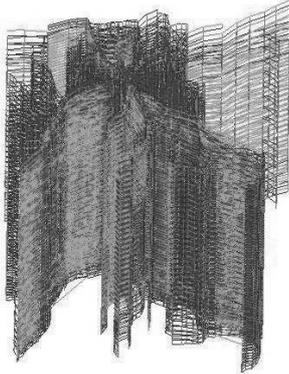


図 12 中京圏鉄道網の時空間ネットワーク

表 2 中京圏鉄道網の時空間ネットワークの規模

ノード数	200,177
リンク数	593,330
走行リンク数	118,281
待ちリンク数	125,831
着発間リンク数	73,277
待ち合わせリンク数	4,511
同一駅間乗換リンク数	126,086
乗換可能駅間乗換リンク数	145,344

4.2 使用データ

1. 大都市交通センサスデータ

大都市交通センサスは, 1960 年以來 5 年ごとに実施されている公共交通機関の利用調査報告である. 首都圏・中京圏及び近畿圏の三大都市圏における鉄道・バスなどの大量公共輸送機関で, 利用者に対するアンケート調査や駅・停留所の乗降状況などを調査している. 時空間ネットワークの作成にあたり, 平成 17 年大都市交通センサスデータのうち, 鉄道駅名コード, 鉄道路線名コード, 鉄道ターミナル乗換施設実態調査のデータを用いる.

2. 私鉄時刻表データ

私鉄時刻表データは, 私鉄時刻表, 分割・併合電車, 直通運行をする電車のデータなどに分けられている. 時刻表のデータは, 路線ごとにデータが分かっている. 分割電車とは, 路線の途中駅で 2 つの電車に分かれる電車を指し, 併合電車とは, 路線の途中駅で他の電車と連結する電車を指す. また, 直通

運行とは, 異なる鉄道事業者の路線にまたがって同一の電車を運行することである.

3. JR 時刻表データ

JR 時刻表データは, 全国の路線の JR 時刻表と, 分割・併合電車, 直通運行をする電車のデータなどに分けられている. また, JR 以外の路線データも含まれている.

4.3 作成手順

はじめに, 私鉄と JR の時空間ネットワークを段階に分けて個別に作成する. これは, 私鉄時刻表と JR 時刻表では, データ形式が異なるためである. 次に, 2 つのネットワークを合わせて, 乗換リンクを張り, 1 つの時空間ネットワークを作成する. この乗換リンクには乗換時間を与える.

4.4 乗換時間

乗換時間は, 別の路線に乗り換えるための移動時間を表し, 平成 17 年度大都市交通センサスの鉄道ターミナル乗換施設実態調査にあるデータを使用する. このデータには, ピーク時とオフピーク時の 2 つの乗換時間が収録されている. ピーク時とは, 各駅の最も混雑していた 1 時間を指す. 中京圏時空間ネットワークでは, ピーク時の乗換時間を用いる. これは本研究で行うシミュレーションが, 東海地震注意情報発表後の状況を想定しているため, 駅構内の混雑が予想されるためである.

鉄道ターミナル乗換施設実態調査には, オフピーク時の乗換時間しかない駅や, 乗換時間が収録されていない駅もある. この場合, ピーク時とオフピーク時の両方の乗換時間が収録されている駅のデータからピーク時の乗換時間を推計する.

1. オフピーク時の乗換時間のデータしかない場合

オフピーク時の乗換時間のデータからピーク時の乗換時間を推計する. 横軸をオフピーク時の乗換時間 t_o [秒], 縦軸をピーク時の乗換時間 t_p [秒] として両方の乗換時間が収録されている駅対の散布図を作成し, 線形近似を行う (図 13). このときの相関係数 R は 0.8786 である. 得られた式 (1) を用いて, ピーク時の乗換時間を推計する.

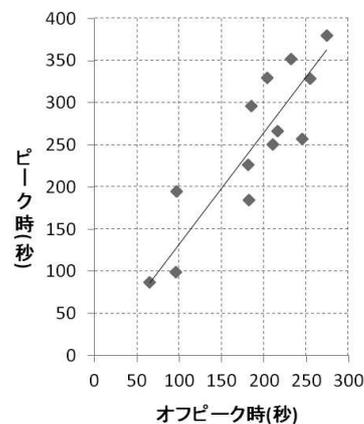


図 13 乗換所要時間の回帰直線

$$t_p = 1.324t_o \quad (1)$$

2. 乗換時間のデータがない場合

ピーク時とオフピーク時の両方の乗換時間が収録されているデータから乗換時間を推計する。大都市交通センサスのデータから、ピーク時の平均乗換時間は4.2分、水平方向の乗換移動距離の平均値は204.1m、平均歩行速度は48.9m/分とわかる。ここで、乗換駅 s, t の座標 (単位 [m]) を $(x_s, y_s), (x_t, y_t)$ 、歩行速度を48.9[m/分]、改札や階段を通過するためにかかる時間の合計を1.25[分]として、式(2)を作成する。この式(2)を用いて、ピーク時の乗換時間 $f(x, y)$ [分]を推計する[7]。

$$f(x, y) = \frac{\sqrt{(x_s - x_t)^2 + (y_s - y_t)^2}}{48.9} + 1.25 \quad (2)$$

4.5 対象範囲と乗車定員

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、690駅で中京圏鉄道網の時空間ネットワークを作成する。対象となる範囲を、路線図で図14に示す。

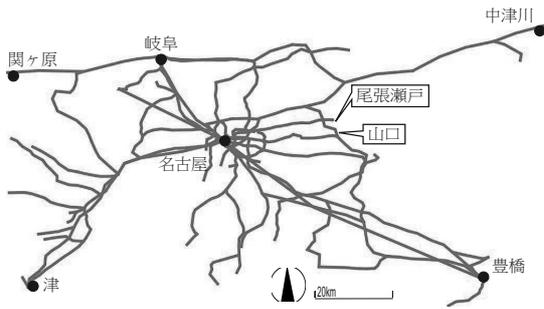


図14 中京圏の路線対象範囲

乗車定員は、中京圏時空間ネットワークの対象範囲内の各路線ごとに調べた定員数を用いる。乗車定員は、車両定員に編成両数をかけたものである。編成両数は時間帯によって変化するため、乗車定員が最も多い時と少ない時の2つのパターンを調べ、想定する状況に応じて適切な定員数を設定する。

4.6 旅客流動の再現

大都市交通センサスの鉄道定期券・普通券等利用者調査に記載されているデータを用いて、旅客流動の再現を行う。記載されている通りの鉄道利用者の移動を再現することによって、中京圏鉄道網の利用状況を詳細に把握することができる。鉄道定期券・普通券等利用者調査には、乗車駅、乗車時刻、降車駅、降車時刻、利用者人数を表す拡大率などのデータが記載されており、これらのデータから鉄道利用者665,366人分のODデータを作成する。ODデータを作成する上で、鉄道利用者は乗車駅から降車駅まで最短経路で移動すると仮定する。鉄道利用者の最短経路を求めるために、Dijkstra法を用いる。

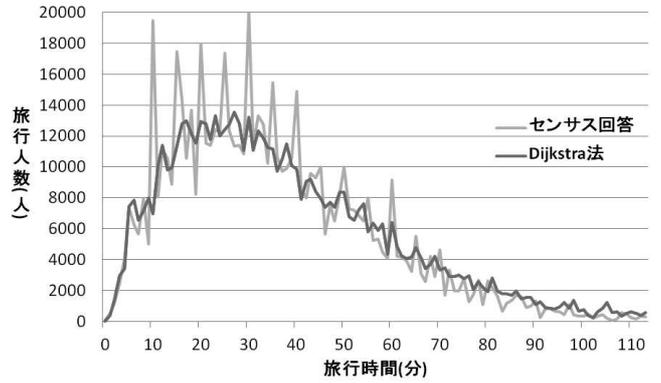


図15 センサス回答とDijkstra法の旅行時間の比較

図15は、センサス回答の鉄道利用者の旅行時間とDijkstra法で求めた最短経路の旅行時間を比較したグラフである。センサス回答のグラフに5分刻みで高い山ができていくことがわかる。その理由として、大都市交通センサスの調査がアンケート形式で行われていることが挙げられる。多くの鉄道利用者は、電車の乗降車時刻を正確に記憶しておらず、アンケートに記入する際、5分、10分刻みで大体の乗降車時刻を記入していると考えられる。Dijkstra法で求めた最短経路の旅行時間のグラフでは、5分刻みの山が解消され、鉄道利用者の旅行時間がほぼ正確に表現されているといえる。

表3 センサス回答よりDijkstra法の旅行時間が1時間以上かかる鉄道利用者の人数と割合

	乗車率 200% まで	乗車率 250% まで
定員 (小)	148,092 人 (22%)	100,051 人 (15%)
定員 (中間)	28,682 人 (4%)	13,879 人 (2%)
定員 (大)	7,510 人 (1%)	3,454 人 (0.5%)

電車1本当たりの乗車人数は、定員や乗車率によって変化する。表3は、定員数や乗車率の上限を変化させた場合、センサス回答よりDijkstra法の旅行時間が1時間以上かかる鉄道利用者の人数と割合を示している。

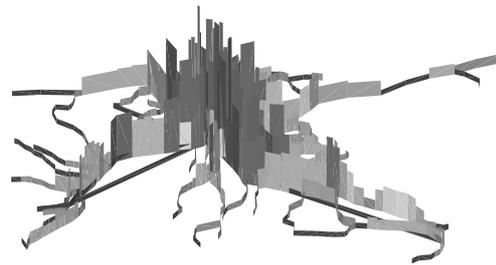


図16 通勤ラッシュ時の旅客流動の再現

図16は、Dijkstra法を用いて作成した鉄道利用者のODデータを時空間ネットワーク上で表現した図である。図の中心付近は名古屋駅周辺を示しており、そこを中心に高い山ができていくことがわかる。山の高さは鉄道利用

者の人数を表しており、通勤ラッシュ時には名古屋駅を中心に大変混雑していることがわかる。本研究では、この通勤ラッシュ時の旅客流動の状況を参考に、東海地震注意情報発表時の帰宅シミュレーションを行う。

5 帰宅シミュレーション

5.1 帰宅シミュレーションについて

本研究では、東海地震注意情報発表時を想定し、山口駅または尾張瀬戸駅のどちらかを出発駅として、各学生の最寄り駅までの帰宅シミュレーションを行う。また、東海地震注意情報が発表される時刻は、10時から18時までの1時間ごと、9つの時刻を想定する。

南山大学では過去に、東海地震注意情報発表時の各キャンパス内の避難計画に関する研究が行われている [1,3,4]。これらの研究では、避難誘導を行う職員の最適配置を行うことで、学生をより安全かつ迅速に避難させたり、廊下や出口の幅を考えた、最適な避難ルートの提案が行われている。しかし、各教室から大学の敷地外、また大学の最寄り駅までといった限られた範囲での避難計画のため、そこから先の避難、帰宅方法といったことまでは考慮されていない。

東日本大震災に代表されるように、災害時は鉄道網を含めた多くの交通網がその機能を失い、主要な駅などは多くの帰宅困難者で溢れかえることが東海地震でも予想される。そのため、鉄道の運行状況や、電車で帰宅する場合どのくらいの時間がかかるのかを把握しておくことは、避難計画や帰宅措置を考える上で重要となる。そこで、本研究では東海地震注意情報発表時の状況を想定することができる、中京圏鉄道網の時空間ネットワークを用いた帰宅シミュレーションを行う。

5.2 鉄道の運行状況

東海地震注意情報が発表された時点では、各交通機関は運行している。しかし、警戒宣言が発表された場合、一部地域を除いて鉄道網は運行を中止する [2]。警戒宣言発表後の路線の運行範囲を図 17 に示す。運行継続区間は太線で示し、運行中止区間は細線で示す。

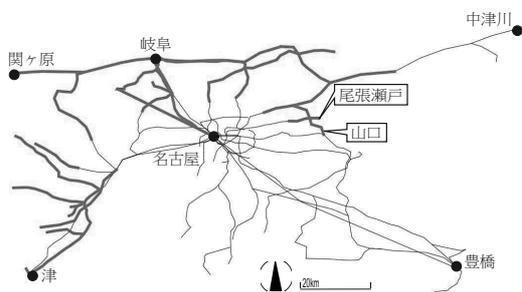


図 17 警戒宣言発表後 (運行区間制限)

警戒宣言発表後は、電車の運行中止となる範囲が名古屋駅を中心に広範囲にわたることがわかる。中京圏鉄道網の主要な駅や路線を利用できなくなることから、学生が鉄道を利用して帰宅することを考えた場合、どのくらいの時間で学生全員が帰宅できるのかを知る必要がある。

5.3 最寄り駅の設定と分布

2011 年度瀬戸キャンパスに在籍している学生数 2,686 人の住所データから、各学生ごとに最寄り駅を設定する。最寄り駅は、中京圏時空間ネットワークの対象駅である 690 駅から最寄り駅選択プログラムによって選択される。このプログラムは、各学生の住所と各駅の 2 つの緯度経度から直線距離を求め、最も直線距離の短い駅を最寄り駅として選択する。また、瀬戸キャンパスから、徒歩 1 時間以内 (4.8km) にある駅が 7 駅ある。これらの駅を最寄り駅とする学生は 330 人おり、この学生たちは電車に乗り帰宅するより、徒歩で帰宅する方が良いと考える。そこで本研究でシミュレーションを行う学生は、この 330 人を除いた 2,356 人とする。

図 18 は、各学生の最寄り駅の分布を示している。学生数により点の大きさを変えて、図 17 の路線図上に表現したものである。多くの学生が電車の運行中止となる区間の駅を最寄り駅としている。また、運行継続区間の駅を最寄り駅とする学生でも、その駅に着くまでに運行中止になる区間を経由している場合がある。

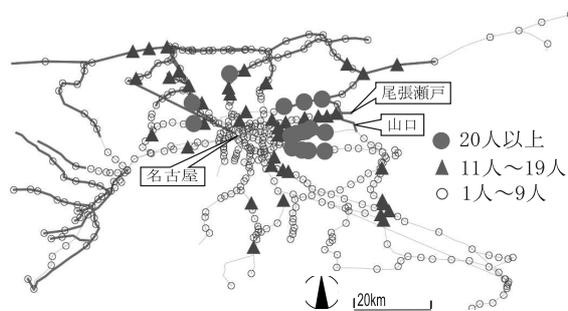


図 18 本学生の最寄り駅と人数の分布

5.4 出発駅の設定

帰宅することを考える場合、帰宅までの所要時間を短くするために、各学生が山口駅または尾張瀬戸駅のどちらを出発駅とするかの振り分けを行う。出発駅の振り分けのために、各学生の最寄り駅までの OD データのみで、時空間ネットワークを用いてシミュレーションを行った。編成両数は各路線の最小の場合を使用し、乗車定員の 2 倍までの人数が各車両に乗車可能とする。

9つの時刻を想定したシミュレーションで、山口駅または尾張瀬戸駅から帰宅までの所要時間を求めた。その結果から、各学生をどちらの駅から帰宅させるのか検討し、2通りの振り分けを行った。表 5 は、各駅に振り分けられた学生数と最寄り駅の数を表している。

- 振り分け 1

各出発駅から帰宅までの所要時間を比較し、帰宅までの所要時間が短い駅を出発駅とする。
- 振り分け 2

尾張瀬戸駅を出発駅とした方が山口駅を出発駅とするより、所要時間が 10 分以上短い場合、尾張瀬戸駅を出発駅とする。

表 4 出発駅の振り分け結果

振り分けパターン		山口駅	尾張瀬戸駅
振り分け 1	人数	1,092 人	1,264 人
	最寄り駅数	130 駅	316 駅
振り分け 2	人数	1,705 人	651 人
	最寄り駅数	260 駅	186 駅

5.5 帰宅シミュレーションの設定と概要

以下の2つのパターンで帰宅シミュレーションを行う。

1. 本学生のみを帰宅させた場合

本学生の各自宅の最寄り駅までの OD データのみを用いて帰宅シミュレーションを行う。

電車の編成両数は各路線の最小の場合を使用し、乗車定員の2倍までの人数が各車両に乗車可能とする。本学生のみを帰宅させるため、乗車定員の条件は厳しく設定している。

2. 混雑時の状況を想定して帰宅させた場合

通勤ラッシュ時の状況を参考に、通勤ラッシュ時の OD データを逆方向に時空間ネットワーク上に流し、帰宅時の混雑状況を想定する。これは、東海地震注意情報発表時に、他の企業や大学も帰宅措置をとると考えられるためである。その OD データと同時に本学生の OD データを流すことで、混雑時を想定した帰宅シミュレーションを行う。

電車の編成両数は各路線の中間の場合を使用し、乗車定員の2.5倍までの人数が各車両に乗車可能とする。

また、各シミュレーションに共通している条件として、以下の3つが挙げられる。

- 出発駅の振り分け人数
5.4の結果より、振り分け1, 振り分け2の各人数を想定して、シミュレーションを行う。
- 東海地震注意情報発表時刻
東海地震注意情報が発表される時刻は、10時から18時までの1時間ごと、9つの時刻を想定して、帰宅シミュレーションを行う。
- 帰宅時の優先順位
各学生を帰宅させる際には、「1. 電車に乗っている時間が100分以上の駅」→「2. 最寄り駅とする学生が多い駅」の順に優先順位をつけて、各学生を帰宅させる。

5.6 シミュレーション結果と考察

「1. 本学生のみを帰宅させた場合」と「2. 混雑時の状況を想定して帰宅させた場合」の2つのパターンで帰宅シミュレーションを行った。

図19, 20, 22はいずれも、東海地震注意情報発表時刻を13時と想定している。これは、13時に最も多くの学生が本大学にいると考えられるためである。また、学生は振り分け1の通りに各駅から帰宅させた(図19, 20)。

1. 本学生のみを帰宅させた場合

図19は、どのくらいの所要時間で何人の学生が帰宅できたのかを表したグラフである。

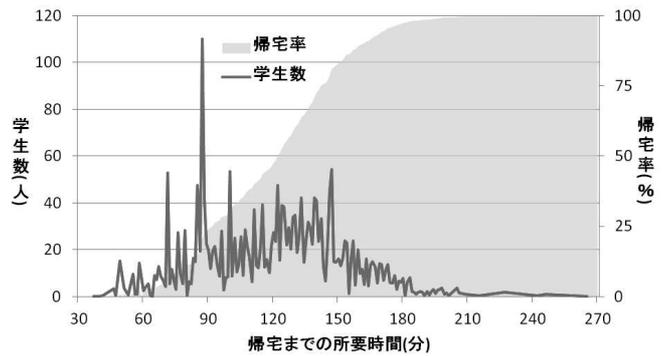


図 19 帰宅までの所要時間と学生数

多くの学生は平均2時間で帰宅できることがわかる。しかし、帰宅完了までの最大所要時間は、本学生のみを帰宅させた場合でも4時間程度かかっている。

2. 混雑時の状況を想定して帰宅させた場合

電車の運行が中止されなければ、混雑時でも本学生全員が自宅の最寄り駅へたどり着くことができることがわかった。

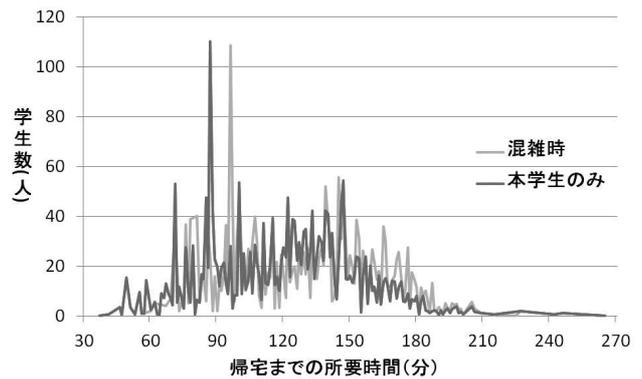


図 20 帰宅までの所要時間の比較

図20は、本学生のみを帰宅させた場合と混雑時に帰宅させた場合の帰宅までの所要時間を比較したグラフである。混雑時を想定した場合、全体で平均20分帰宅までの所要時間が長くなることがわかった。また、最寄り駅の間隔によっては所要時間が1時間程度長くなる学生がいることもわかった。

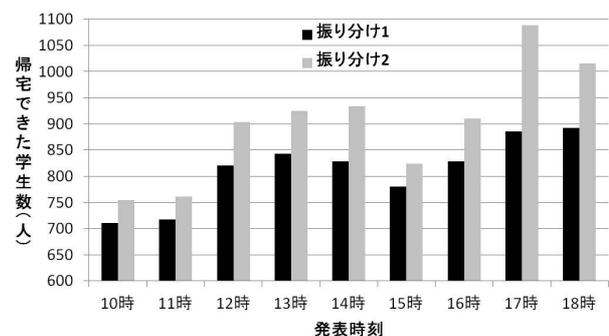


図 21 各時刻の2時間以内に帰宅できた学生数

図 21 は、9つの各時刻で2時間以内に帰宅できた学生数を表したグラフである。どの時刻でも、約4割の学生しか2時間以内に帰宅できていないことがわかる。また、17～18時で帰宅できた学生数が多いのは、帰宅ラッシュの時間帯で電車の本数が多いためだと考えられる。

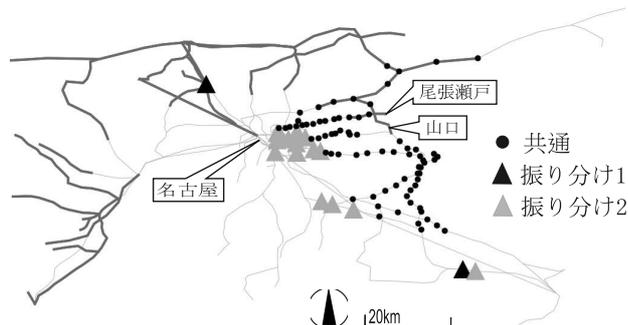


図 22 2時間以内に帰宅できた学生の最寄り駅の分布

図 22 は、2時間以内に帰宅できた学生の最寄り駅の分布を、図 17 の路線図上に示したものである。どちらのパターンも、名古屋駅より東側に最寄り駅が位置する学生は2時間以内に帰宅させることができた。しかし、名古屋駅より南西側に自宅の最寄り駅が位置する学生は2時間以内に帰宅させることができなかった。これは、名古屋駅などの主要な駅で混雑が発生し、電車にすぐに乗れなかったためだと考えられる。

6 避難計画の検討

現状の避難計画では、東海地震注意情報が発表された場合、帰宅措置がとられ、本学生は山口駅または尾張瀬戸駅から電車で帰宅しなければならない。また、警戒宣言が発表されると、各公共交通機関が運行を中止する。現状のデータでは、東海地震注意情報から警戒宣言までの最短時間は2時間である。

東海地震注意情報発表時の混雑を想定した、本研究のシミュレーションの結果では、本学生の6割程度が2時間以内に各自宅の最寄り駅までたどり着けなかった。このとき、名古屋駅などの主要な駅に多くの人々が殺到し、なかなか電車に乗れないという状況が発生した。実際に東海地震注意情報が発表された場合、電車の混雑だけでなく、間引き運転・運転見合わせの可能性もある。帰宅までの所要時間が通常時に比べて長くなるため、帰宅途中で電車の運行が中止し、多くの学生が帰宅困難者となることが予想される。

そのため、現状の避難計画による学生の帰宅措置は適切であるとは言い難く、見直す必要があるのではないかと考える。帰宅措置に替わる手段として、本学生を収容できる十分なスペースがある大学に学生を一時的に待機させたり、帰宅できる学生のみを帰らせることなどが挙げられる。

7 おわりに

本研究では、東海地震注意情報が発表された状況を想定して、帰宅シミュレーションを行った。シミュレーション結果から、本学生の帰宅完了までの所要時間、帰宅さ

せた場合のリスクを示すことができた。しかし、実際に東海地震注意情報が発表された場合、今回の帰宅シミュレーションで行ったような、出発駅の振り分け通りに各学生を帰宅させるのは困難であると予想される。そこで、様々な帰宅パターンを想定したシミュレーションを行うために、中京圏時空間ネットワークを改良することが必要である。

また、東海地震注意情報発表時には、本大学だけではなく、他の多くの企業や学校が帰宅措置をとると考えられる。今後、より現実的な避難計画を考えるためには、今回の瀬戸キャンパスでの帰宅シミュレーションを他の団体の避難計画に応用し、他の企業や学校と連携した避難計画を考える必要がある。

参考文献

- [1] 阿部悦子：地震注意報発令時の避難モデル-南山大学名古屋キャンパスを例として-, 南山大学 数理情報学部 数理科学科 2006 年度卒業論文。
- [2] 愛知県 Web サイト：ライフラインの防災対策 (鉄道) <http://www.pref.aichi.jp/bousai/lifeline/tetudou.html> (参照 2011-05-06)
- [3] 井元太郎, 杉山美帆：東海・東南海地震における注意情報発令時の OR を用いた南山大学名古屋キャンパスの対策について, 南山大学 数理情報学部 数理科学科 2006 年度卒業論文。
- [4] 稲吉敦子, 山内まり恵：マルチエージェントモデルを用いたシミュレーション-瀬戸キャンパス G 棟における避難問題-, 南山大学 数理情報学部 情報システム数理科 2010 年度卒業論文。
- [5] 気象庁：地震情報 <http://www.jma.go.jp/jp/quake/> (参照 2011-06-15)
- [6] 交通新聞社：全国 JR 時刻表 2011 年 10 月号。
- [7] 松本徹朗：首都圏鉄道における旅客流動の再現と運行スケジュールの評価, 中央大学 理工学部 情報工学科 2010 年度卒業論文。
- [8] NAVIT：全国民鉄時刻表 DB 2011 年 10 月号。
- [9] 田口東：東日本大震災による電力供給不足に対応した首都圏鉄道網運転調整の影響と分散乗車, 日本オペレーションズ・リサーチ学会 2011 年秋季研究発表会 アブストラクト集, pp.4-5, 2011.
- [10] 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.
- [11] 鳥海重喜：大規模地震発生後の首都圏鉄道路線の運転再開, 日本オペレーションズ・リサーチ学会 2011 年秋季研究発表会 アブストラクト集, pp.16-17, 2011.
- [12] 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.
- [13] 財団法人 運輸政策研究機構：平成 17 年大都市センサス, 中京, 2007.