

首都直下地震による鉄道利用者の被害想定

A Damage Estimation of Railway Passengers

by an Attack of a Near-Field Earthquake in the Tokyo Metropolitan Area

情報工学専攻 川口 真由

KAWAGUCHI Mayu

1 序論

現在、首都圏における鉄道定期券利用者はおよそ 800 万人にのぼり、朝の通勤・通学時間帯や夕方の帰宅時間帯には利用者で電車内は混雑する。一方、首都圏では近いうちに直下型の地震が発生すると予想されている。朝夕のラッシュ時に地震が発生すると、鉄道利用者にも多くの被害が生じると考えられる。そこで、本研究では、首都直下地震により鉄道利用者が受ける被害について見積もることを目的とする。

2 時空間ネットワーク

鉄道利用者の流れを詳細に表現するため、図 1 の鉄道ネットワークを時間軸方向に拡張し、時空間ネットワークを構築する。対象とするのは、2000 年に実施された大都市交通センサス[1] が対象としている首都圏 128 路線、1,815 駅である。

乗車から降車までの鉄道利用者の行動をネットワークで表現し、空間ネットワークを時空間ネットワークに拡張する[2]。具体的には、各駅における各電車の停車を停車ノード、電車に乗って次の駅に移動する行動を走行リンク、駅で次の電車を待つ行動を待ちリンク、駅で別の路線に乗り換える行動を乗り換えリンクとして表現する。ところで、本研究では、市販の時刻表の電子データを基に時空間ネットワークを構築する。この時刻表には着時刻と発時刻が記載されているので、停車ノードを各駅における各電車の到着を表わす着ノード、各駅における各電車の出発を表わす発ノード、電車の到着から出発までの停車を表わす着発間リンクに分けて表現する。これにより、各駅停車の電車が後続の優等電車（急行、快速等）を待って発車するような、駅での待ち合わせをネットワーク上で表現できる。このようにして構築した時空間ネットワークを図 2 に示す。対象とした電車 41,495 本に対して、総ノード数

は 746,871、総リンク数は 3,053,930 である。

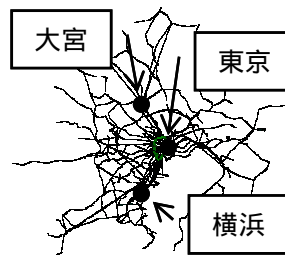


図1 対象範囲

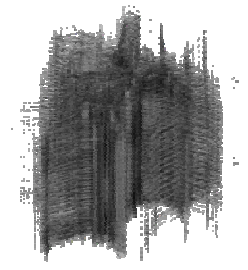


図2 時空間ネットワーク

3 鉄道利用者の時空間分布

2000 年に実施された大都市交通センサス[1] の鉄道定期券利用者調査（以下、センサスと呼ぶ）を用い、鉄道定期券利用者（以下、鉄道利用者または利用者と呼ぶ）の流れを把握する。センサスには、通勤・通学と帰宅に関する乗車駅、降車駅、乗車時刻、降車時刻などの情報が含まれる。また、通勤・通学のデータには鉄道利用経路と電車種別（各停、急行等）に関する回答がある。ここで、利用者は所要時間が最も短い経路を選択すると仮定し、時空間ネットワーク上でダイクストラ法を用いて最短時間経路問題を解き、各利用者の移動経路を求める。ただし、利用者ごとの鉄道利用経路と電車種別は反映させる。また、通勤・通学のための乗車駅と帰宅のための降車駅が同じで、かつ、通勤・通学のための降車駅と帰宅のための乗車駅が同じ場合には、帰宅のための鉄道利用経路を通勤・通学の逆とし、電車種別は通勤・通学と同じとする。

図 3 は、センサスの回答どおりの旅行時間を横軸に、最短時間経路での旅行時間を縦軸にとり、利用者数が多いほど濃く、少ないほど淡く表示したものである。ここで、旅行時間とは鉄道の利用を開始してから終了するまでの時間のことで、乗り換えにかかる時間や電車を待つ時間を含む。センサスはアンケートデータで

あるので、乗降車時刻は7時15分や18時00分という
 ようなきりのいい時刻の回答が多い。そのため、5分刻
 みで縦に濃い線が現われているが、45度の線に沿って
 濃い色が現われていることから、時空間ネットワーク
 上で最短時間経路問題を解くことにより鉄道利用者の
 流れが再現できることがわかる。

以上のようにダイクストラ法を用いて求めた最短時
 間経路から、利用者の時空間分布を計算する。図4は、
 各電車の位置を示しており、利用者数が多いほど濃く、
 少ないほど淡く表示してある。朝早い時間帯は、放射
 状に伸びる路線上で郊外から都心に移動する利用者が
 多い。また、8時ごろは都心部でも利用者が多い。本研
 究では、鉄道定期券利用者を対象とするため、昼間は
 利用者数が減少するが、17時ごろから帰宅のための鉄
 道利用がはじまり、18時ごろには朝ほどではないが、
 利用者の動きが活発になる。

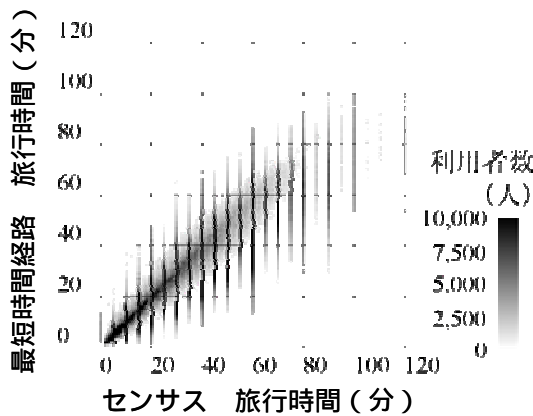


図3 旅行時間

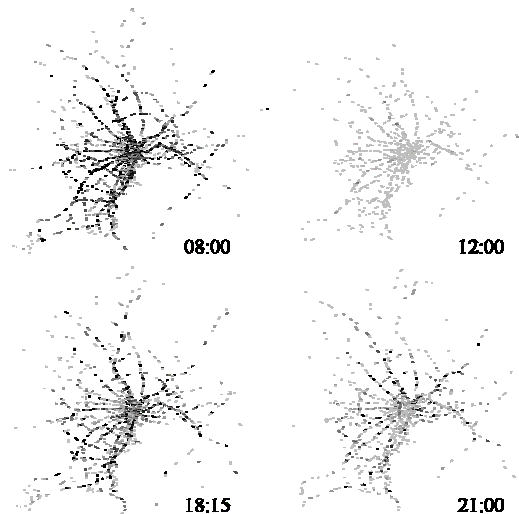


図4 鉄道利用者の時空間分布

時空間ネットワーク上で鉄道利用者の流れを再現す
 ることにより、ある時刻に各利用者がそれぞれ何をし
 ているのか(以下、利用状況と呼ぶ)がわかる。また、
 電車の走行速度がどのように変化するか(以下、運転
 パターンと呼ぶ)を仮定すると、「どのくらいの速度で」
 走行している電車に、「どのくらいの」利用者が乗っ
 ているかがわかる。そこで、利用状況別に集計すると、
 鉄道利用が活発になる朝夕のラッシュ時には、走行中
 の電車内にいる利用者も多く、8時ごろには約120万人
 が、18時ごろには約60万人が走行中の電車に乗っ
 ていることがわかる。つぎに、走行速度別に集計すると、
 通勤・通学時間帯では、走行速度の速い電車の利用
 者数が最も多くなる時間帯は、走行速度の遅い電車
 の利用者数が最も多くなる時間帯より早く、帰宅時
 間帯では逆であることがわかる。これは、駅間の距離
 が長い郊外では電車の走行速度が速く、駅間の距離
 が短い都心では電車の走行速度が遅いためと考えら
 れる。

4 帰宅困難者

鉄道利用者の時空間分布から、大地震が起きたとき
 に発生する帰宅困難者の数を推計する。ただし、本研
 究で対象とするのは、鉄道利用者のうち地震発生時に
 鉄道を利用中の人に限る。まず、鉄道利用者の時空間
 分布から、時間軸に沿って各利用者の現在地から自宅
 の最寄駅あるいは勤務地・就学地の最寄駅までの直線
 距離を計算する。求められた距離から地震が発生した
 ときに帰宅が可能かどうかを判定する。帰宅が困難で
 ある割合(帰宅困難割合)は、内閣府[4]や東京都[3]を
 参考に、図5のように設定する。

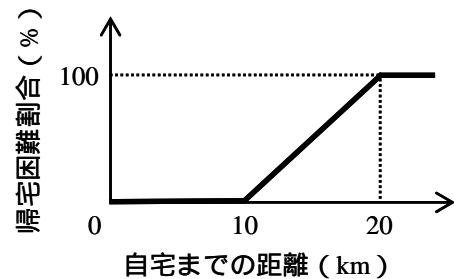


図5 帰宅困難割合

以上の判定方法に従って帰宅困難者数を推計し、図6
 に示す。ここで、パターンAは全員が自宅に向かうと

仮定した場合で、パターン B は自宅あるいは勤務地・就学地のうち近いほうに向かうと仮定した場合である。図 6 から、大地震が発生したときには、自宅に向かうことだけを考えるのではなく、勤務地・就学地に向かうことも考えると、帰宅困難者が大幅に減ることがわかる。

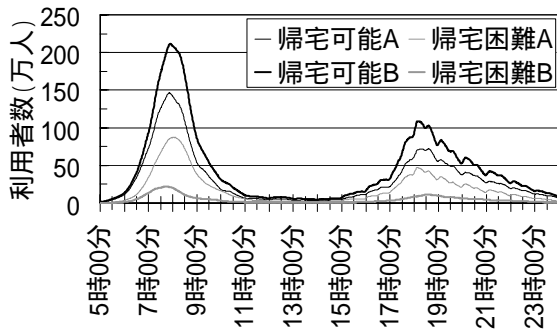


図 6 帰宅困難者数

5 被害推計

5.1 想定する地震

本研究では、内閣府[4] が想定する 18 タイプの地震のうち、東京湾北部地震と都心西部直下地震について考える。東京湾北部地震は、東京湾の江東区沿岸を震源とするマグニチュード（以下、M）7.3 の地震で、想定されている 18 タイプの地震の中でも発生の可能性が高い。また、都心西部直下地震は、西新宿の都庁直下を震源とする M6.9 の地震で、発生の可能性は低いが、18 タイプの地震の中で人的被害が最も大きくなると考えられている。本研究では、内閣府[4] による震度分布にあうように、同心円として震度分布を仮定する(図 7)。

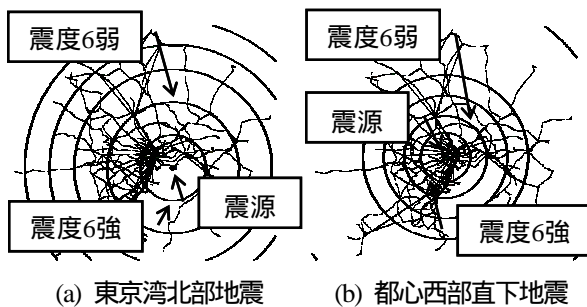


図 7 震度分布と路線図

鉄道利用者の時空間分布に、上記の震度分布を重ねることにより、震度ごとの地域内にいる利用者の数を求める。東京湾北部地震では、最も利用者の多い 8 時

ごろには、強い揺れを受ける震度 6 強の地域を約 2,500 本の電車が走行し、鉄道利用者数は 110 万人を超える。一方、都心西部直下地震では、最も利用者の多い 8 時ごろには、震度 6 強の地域を約 2,600 本の電車が走行し、鉄道利用者数はおよそ 122 万人にのぼる。

5.2 地下鉄

大地震が起きると、地下鉄ではパニックが発生しやすいと考えられる。また、停電などにより徒歩で地上に向かう可能性があるため、地下深い階にいると負担が大きくなる。そこで、東京地下鉄と東京都交通局が運営する 12 の地下鉄路線の利用者について、地下鉄駅の階数別に集計する。ただし、地下 7 階から地下 3 階を「深い」、地下 2 階から地下 1 階を「浅い」、1 階から 3 階を「地上」とする。8 時 15 分ごろに地下鉄利用者は最も多くなり、「深い」駅に約 13 万人、「浅い」駅に約 25 万人、「地上」駅に約 4 万人の利用者がいる。また、対象とする地下鉄路線は、想定する 2 タイプの地震において、震度 6 強と震度 6 弱の地域のみを走行しており、どの路線も強い揺れを受けると考えられる。

5.3 死傷者数

脱線率、死傷率を仮定することにより、首都直下地震による鉄道利用中の死傷者数を見積もる。脱線率は東京都[3] に準じ、震度 7 の地域では 92.9[%]、震度 6 強の地域では 23.1[%]、震度 6 弱以下の地域では 0.0[%] とする。また、比較的深部を通る地下鉄は地表より 1 ランク低い震度を受けるとする。

つぎに、死傷率を表 1 のように仮定する。死傷率 A は東京都[3] に準じ、死傷率 B は過去の脱線事故事例を参考に最悪の場合として定める。

表 1 死傷率

		在来線, 私鉄	地下鉄	新幹線
死傷率 A	死者率	0.47%	0.23%	17.00%
	負傷者率	11.50%	5.80%	39.00%
	重傷者率	1.90%	0.94%	14.00%
死傷率 B	死者率	16.31%	8.16%	33.33%
	負傷者率	83.69%	41.85%	66.67%
	重傷者率	13.83%	6.92%	23.93%

死傷者数の推計は、走行速度にかかわらず死傷率は一定であると仮定した場合（パターン1）と、走行速度により死傷率が変化すると仮定した場合（パターン2）に分けて行なう（図8）。ここで、死傷率Aを p_A [%]、死傷率Bを p_B [%]とする。また、 $V_1 = 55$ [km/時]、 $V_2 = 110$ [km/時]とする。

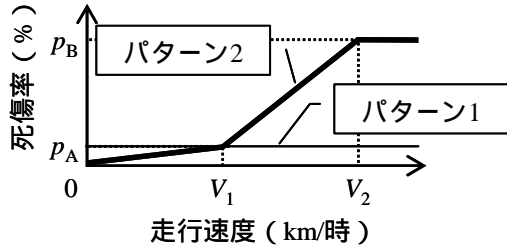


図8 死傷者数推計パターン

5.3.1 東京湾北部地震

東京湾北部地震を想定する。まず、パターン1に従って死傷者数を推計する。鉄道利用中の死傷者数が最も多くなる8時ごろには、死者が1,000人を超え、負傷者も約24,000人（重傷者およそ4,000人を含む）にのぼる。事業者別にみると、死傷者数が最も多いのはJRで、次いで東京メトロである。JRの死傷者数が最も多くなるのは7時45分から8時00分の間で、この時間帯に地震が起きると、JRだけで700人を超える死者と、約16,000人の負傷者（重傷者およそ2,600人を含む）が発生する。

つぎに、パターン2に従って死傷者数を推計する。鉄道利用が最も活発となる8時ごろに地震が発生すると、死者が2,000人弱、負傷者が約22,000人（重傷者およそ3,700人を含む）が発生する。事業者別にみると、死傷者数が最も多くなるJRでは、7時45分から8時00分間に地震が起きると、1,400人近い死者と、約15,000人の負傷者（重傷者およそ2,500人を含む）が発生する。JRに次いで死者数が多いのは東急で、最も被害が多くなる時には約90人の死者が発生する。

5.3.2 都心西部直下地震

都心西部直下地震を想定する。まず、パターン1に従って死傷者数を推計する。鉄道利用中の死傷者数が最も多くなる8時ごろには、死者が1,200人を超え、負傷者も約27,000人（重傷者およそ4,500人を含む）に

のぼる。事業者別にみると、死傷者数が最も多いのはJRである。JRの死傷者数が最も多くなるのは7時55分から8時05分の間で、この時間帯に地震が起きると、JRだけで730人を超える死者と、約15,000人の負傷者（重傷者およそ2,600人を含む）が発生する。

つぎに、パターン2に従って死傷者数を推計する。鉄道利用が最も活発となる8時ごろに地震が発生すると、死者が約2,000人、負傷者が約23,000人（重傷者およそ4,000人を含む）が発生する。事業者別にみると、死傷者数が最も多くなるJRでは、8時前に地震が起きると、1,100人ほどの死者と、約13,000人の負傷者（重傷者およそ2,200人を含む）が発生する。JRに次いで死者数が多いのは東急で、最も被害が多くなる時には約140人の死者が発生する。

6 結論

本研究では、近いうちに発生すると考えられる首都直下地震により鉄道利用者が受ける被害を詳細に推計するためのデータを提供するとともに、このデータを基に首都直下地震により鉄道利用者が受ける被害を推計した。

謝辞

本研究を進めるにあたり、多大なるご指導、ご助言を頂いた中央大学工学部 田口 東教授に深く感謝いたします。また、修士研究を通して互いに学び、励ましあった田口研究室の同輩諸氏に感謝いたします。

参考文献

- [1] 運輸政策研究機構,平成12年大都市交通センサス,財団法人 運輸政策研究機構,東京,2002.
- [2] 田口東,首都圏電車ネットワークに対する時間依存通勤交通配分モデル,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] 東京都防災会議地震部会,首都直下地震による東京の被害想定(最終報告),東京都総務局総合防災管理課,東京,2006.
- [4] 内閣府防災担当,“防災情報のページ”,(オンライン),入手先<<http://www.bousai.go.jp/index.html>>,(参照2006年11月13日).