



地震時の鉄道運休時間の推定方法

高浜 勉¹⁾、翠川三郎²⁾

- 1) 正会員 株式会社構造計画研究所 博士(工学) (前 東京工業大学大学院生)
e-mail : takahama@kke.co.jp
- 2) 正会員 東京工業大学大学院総合理工学研究科人間環境システム専攻、教授 工博
e-mail : smidorik@enveng.titech.ac.jp

要約

本論文では、地震発生時の鉄道の運休時間を安全確認点検のための時間と、被害の復旧に要する時間の二つの要因に大別し、それぞれに起因する運休時間の簡便な推定方法を過去の被害データ等に基づいて検討した。この推定方法を1987年千葉県東方沖地震に適用し、その運休時間を概ね説明できることを確認した。さらに首都圏を対象として、東京湾北部地震を想定した場合、都心部の主要路線で2週間以上、被害の大きな路線では1ヶ月以上運休する可能性があることを示した。

キーワード： 地震、鉄道、運休時間、地震被害想定、想定地震

1. はじめに

首都圏では1日に約4,000万人が鉄道を利用している。特に東京都23区を通勤・通学先とする利用者は朝8時の時点で移動中である割合が最も高く、首都圏全域で約243万人と推定されている¹⁾。鉄道はこのような多数の人員の移動を可能とする最も重要な交通手段であるため、多くの路線が同時に運休となるような事態が発生した場合には、数多くの利用者が影響を受けることが予想される。

多くの鉄道路線を同時に運休させる要因の一つとして地震が挙げられる。例えば1995年兵庫県南部地震では、神戸ー大阪間を結ぶ主要な3路線は大被害を受け長期間不通となった。復旧には乗り換えながらもこの間が鉄道で往来できるまでに約1ヶ月、地震前の状況に戻るまでには約5ヶ月を要し、物資輸送や人の移動に長期間に渡って影響を及ぼした²⁾。また、2005年7月23日の千葉県北西部の地震では、鉄道構造物に被害は発生しなかったが、多くの鉄道路線では地震発生後安全確認のための点検を実施したことにより、長時間の運休が必要となった³⁾。このような災害発生時の鉄道の運休時間を推定することができれば、事前の対策や復旧計画に活用できるなど、有用であると考えられる。

地震発生時の鉄道の不通・運休時間に関する既往の推定方法としては、畠山ほか(2010)⁴⁾では、鉄道構造物の情報を基に解析的に求めた被害曲線を用いて地震発生時の構造物の損傷レベルや脱線発生率を予測し、それに基づき営業できない日数などを評価する方法を提案している。このような評価方法は構造物等の詳細な情報が得られる場合には有用であるが、情報の収集が困難であることも多い。詳細な構造物の情報に依らない評価事例としては、国土庁(1996)⁵⁾により首都圏で震度5が観測された場合、全面的な運行再開には最短でも1~2日と推定されたものがある。また、東京都(1997)⁶⁾により、1995年兵庫県南部地震の実例に基づき、震度6強の地区で高架区間は1ヶ月、それ以外は数日間、震度5以上の地区は概

ね数時間程度の運休と推定されたものもある。これらは首都圏全体での鉄道の運休時間を大まかに推定したものであり、路線・区間ごとの運休時間は示されていない。しかし、実際に地震が発生した場合は、観測された地震動強さや被害の程度などの状況に応じて路線・区間ごとの運休時間には差が生じる可能性があるため、路線・区間ごとの運休時間の予測が望まれる。

そこで本論文では、事前対策や復旧計画に活用するための簡便な推定方法を提案することを目的として、地震発生時の鉄道の運休の要因を、安全確認点検による運休と被害発生による運休の2つに大別し、それぞれの要因による運休時間を路線・区間ごとに推定可能な方法を検討する。さらにこの方法を首都圏に適用し、想定地震発生時の運休時間を推定し、その影響について考察を行う。

2. 安全確認点検による運休時間の推定方法

著者らは、2005年7月23日の千葉県北西部の地震の直後から、首都圏の24の鉄道事業者に対して聞き取り調査を行い、各事業者が地震発生時に行う安全確認点検の実施基準とその内容、およびこの地震の発生当日に実際に行われた対応についてとりまとめている⁷⁾。本論文では、安全確認点検による運休時間の推定方法として、この既往の研究を基にした方法を採用することとした。

この既往の研究では、首都圏の鉄道事業者の平均的な内容として、基準とする震度を超過した場合に実施する安全確認のための点検を2段階設定し、それぞれの点検を実施した場合の運転再開時間が整理されている。第1段階の基準値は震度4で、基準値を超過した範囲内に含まれる路線・区間では徐行運転による注意運転点検、もしくはこれに加えて重要点検箇所の点検の実施が想定されている。この点検の所要時間は、2005年7月23日の地震での実施事例における平均的な値として30分とされている。第2段階の基準値は震度5弱で、基準値を超過した範囲内に含まれる路線・区間では徒歩点検が実施されることが想定されている。この徒歩点検の所要時間については、図1に示す2005年7月23日の地震での実施事例より、点検区間の長さ： L (km)と運休時間： T (分)との関係が、以下の(1)式のように得られている。

$$T(\text{min}) = 6.0 \times L(\text{km}) \pm 30 \quad (1)$$

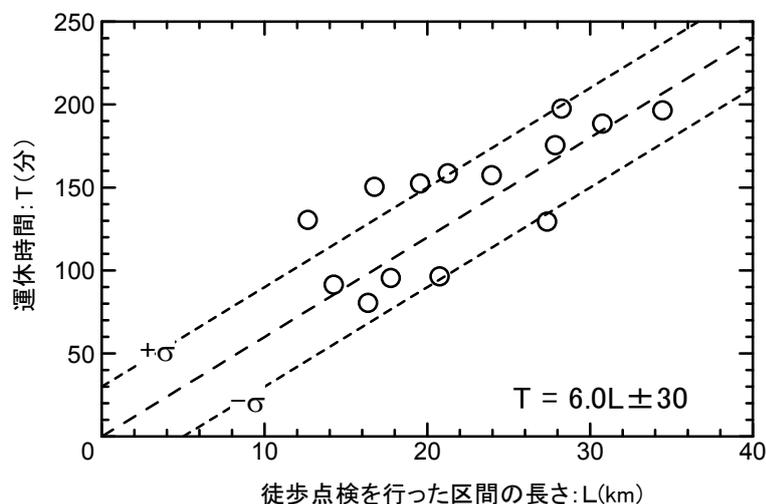


図1 徒歩点検を行った区間の長さとの関係⁷⁾

(1)式には30分程度のばらつきが見られるが、本論文では、(1)式から求められる平均的な運休時間と、前述の震度4の範囲内での運休時間として設定した30分のうち長い方を点検による運休時間として採用することとした。運転再開までの時間は、点検の所要時間と点検終了から運転再開までの所要時間の和とし、後者は2005年7月23日の地震で徒歩点検を実施した8路線での平均的な値である5分とした。以上のように設定した本論文での安全確認点検による運休時間の推定方法を表1に示す。

表1 地震時の安全確認点検による運休時間の推定方法

| 基準値 | 点検方法 | 点検所要時間 | 点検終了から 運転再開まで |
|-------|--------------------|--|------------------|
| 震度 4 | 注意運転点検 重要箇所 の点検 | 30分 | 5分 |
| 震度 5弱 | 徒歩点検 | $[6.0 \times L(\text{km})]$ (分) と 30分のうち長い方 (L: 点検区間長さ) | 5分 |

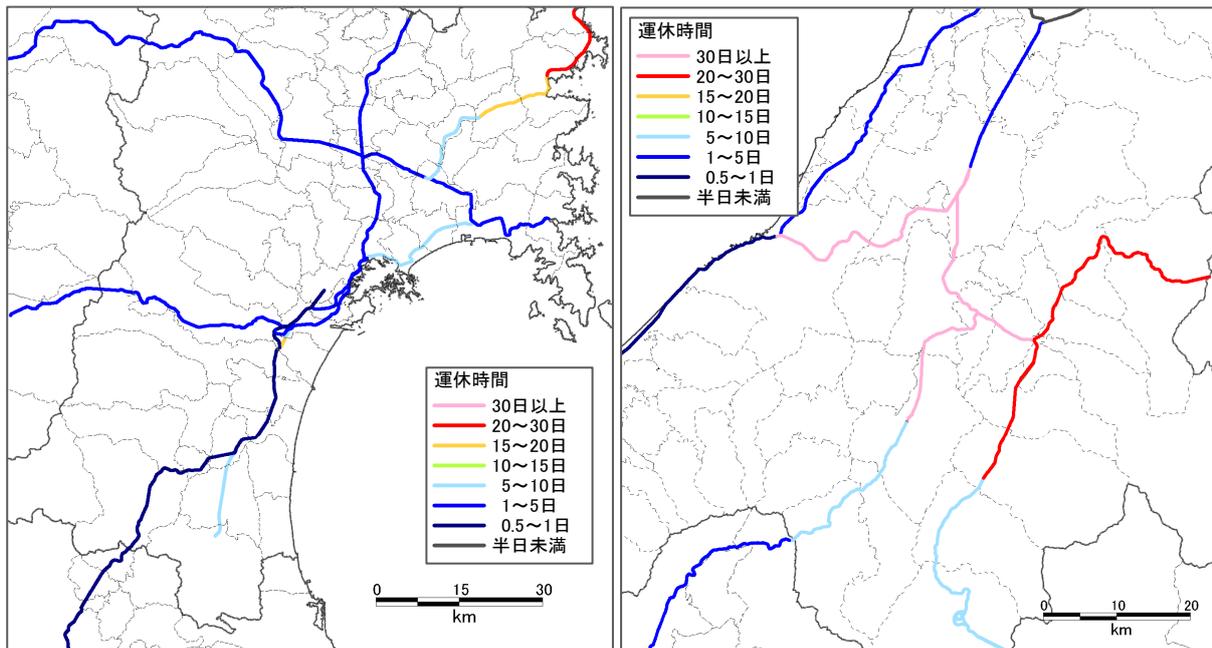


図2(1) 地震による各路線・区間の運休時間
(1978年宮城県沖地震)

図2(2) 地震による各路線・区間の運休時間
(2004年新潟県中越地震)

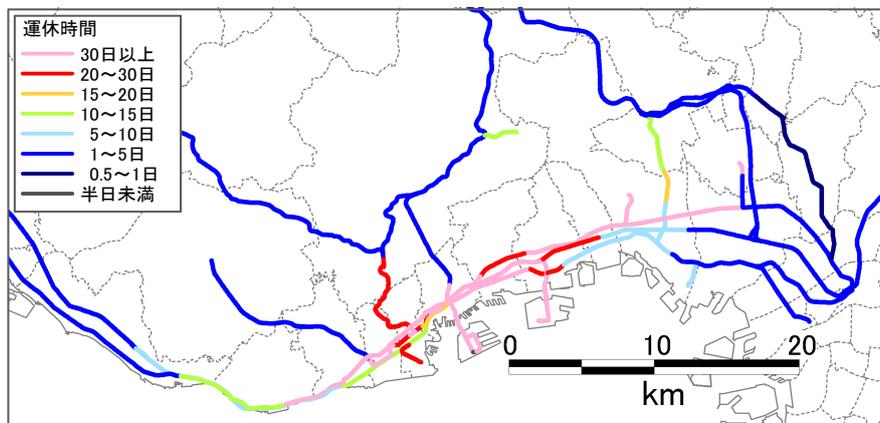


図2(3) 地震による各路線・区間の運休時間
(1995年兵庫県南部地震)

なお、2005年7月23日の地震後の聞き取り調査では、地震発生が土曜の夕方であったため、点検要員が平日と比較するとやや少なかったという回答があったが、それ以外に特筆すべき回答は無かった。ただし、例えば地震が平日に発生した場合には、交通渋滞の影響を受けやすくなり、点検要員の参集や点検箇所への移動などに要する時間が2005年の事例よりも長くなる可能性がある。また、夜間に地震が発生した場合や余震が続く場合などでも同様に運休時間が長くなる可能性がある。

3. 被害発生による鉄道の運休時間の推定方法

3.1 地震による被害発生と運休時間

本論文では、高浜・翠川(2009)⁸⁾において被害や震度の分布が整理されている1978年宮城県沖地震、1995年兵庫県南部地震、2004年新潟県中越地震の3地震を利用して、被害発生と運休時間との関係について検討を行うこととした。運休時間は、各地震で被害が発生した路線・区間について、各種資料^{2),9)~11)}に記載されている運転再開時間を整理し、これから各地震の発震時刻を差し引くことにより算出した。資料に運転再開日のみ、もしくは「始発から運転再開」とのみ記載され、運転再開時刻が不明な場合は、鉄道の運行時間が概ね5:00~24:00であることから、運転再開時刻を当日の始発に相当する5:00と設定した。このように整理した路線・区間ごとの運休時間を図2に示す。

次に、被害情報の整理を行った。鉄道のような線状構造物の被害予測では、単位長さあたりの被害箇所数(例えば箇所/km)という整理単位がよく用いられる^{例えば12)}。しかし、この整理単位では、ある被害の内容を連続した一箇所の被害とするか、複数箇所の被害とするかについて、データの整理の仕方により一定とはならない可能性もある。

また、地震時の鉄道構造物の被害の程度は、構造物の種別や建設時期によって異なることが指摘されており^{例えば13)}、構造種別ごとに被害の発生しやすさを評価するのが最も良いと考えられる。そのためには、検討に用いる全路線区間の地震動強さと構造種別の情報が必要となるが、特に広域を対象とする場合などでは、構造種別情報を得ることは非常に困難である。

一方、地形や地盤の条件は、地盤の揺れやすさ、液状化や斜面崩壊の起こりやすさなどと関係するほか、橋梁やトンネルのように、構造種別とも関係がある。高浜・翠川(2009)⁸⁾では、被害資料から得られる被災した構造物を6種類に大別し、これらが位置する250mメッシュの地形・地盤分類と構造物種別にはある程度の相関がみられるものがあることを示し、これを基にした被害関数を構築している。

本論文は、簡便な運休時間の推定方法を構築することを目的としている。そのため、検討対象区間の鉄道構造種別情報が得られない場合でも利用できること、メッシュ単位で行われることの多い地震動強さの推定結果が利用しやすいことを考慮して、鉄道の被害や地震動強さの指標を250mメッシュ単位で整理することとした。

以上をふまえ、本論文では被害の程度を表す指標を高浜・翠川(2009)⁸⁾の被害関数から得られる被害率との親和性を考慮して設定した。具体的には、まず、それぞれの被害情報を被害発生地点とその延長を考慮して線でプロットし、この被害を表す線が一部でも掛かる250mメッシュを被害を含むメッシュとして数えることにより、被害延長に類似した指標を得た。次に、この被害を含むメッシュ数を、設定した路線・区間の鉄道のラインデータ¹⁴⁾が一部でも掛かる250mメッシュの総数で除して被害率を得た。このように整理した被害発生に関する指標と、各250mメッシュで推定した計測震度を地震動強さの指標として、以下のように被害の発生と運休時間との関係について検討することとした。

(1) 被害の程度を表す指標

- ・ 路線・区間内の【被害を含むメッシュ】の数
- ・ 路線・区間内の被害率(各区間での【被害を含むメッシュ】の総数/【鉄道を含むメッシュ】の総数)

(2) 地震動強さを表す指標

- ・ 路線・区間内の計測震度の最大値
- ・ 路線・区間内の計測震度の平均値

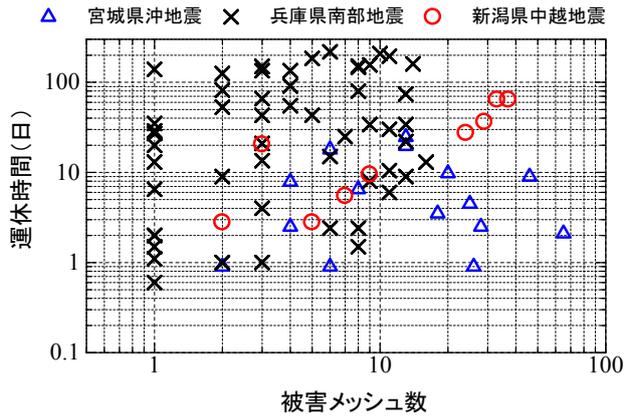


図3(1) 被害メッシュ数と運休時間との関係

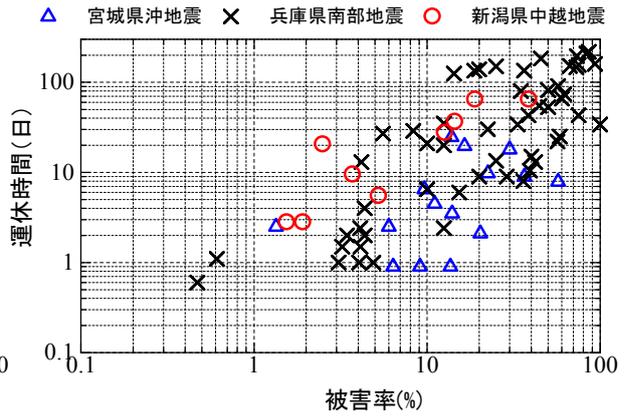


図3(2) 被害率と運休時間との関係

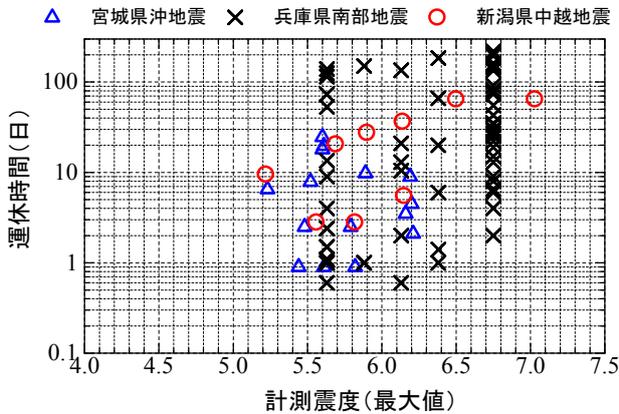


図3(3) 計測震度(最大値)と運休時間との関係

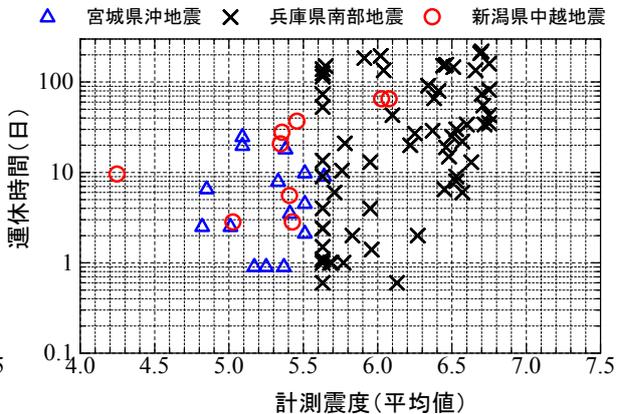


図3(4) 計測震度(平均値)と運休時間との関係

これらの整理結果を図3に示す。被害を含むメッシュ数と運休時間との関係(図3(1))にはあまり良好な関係が見られない。一方、被害率と運休時間との関係(図3(2))では、比較的相関が見られる。計測震度と運休時間との関係(図3(3)、(4))には、計測震度の平均値が最も良い関係にあるように見えるが、それでも被害率より良い関係とは言えない。このことは、被害率という指標が地震動の強さだけでなく、建造物の耐震性も反映しているため、被害率と運休時間との関係が相対的に良いのは当然の結果とも言える。以降では被害率と運休時間の関係を採用して検討を進めることとした。

3.2 被害率と運休時間との関係

図4は被害率と運休時間との関係をプロットしたものである。これらのを両軸対数で回帰すると、被害率(%) : x と運休日数 : y との関係として(2)式が得られた。

$$\log_{10} y = 1.00 \times \log_{10} x - 0.028 \pm 0.49 \quad (r = 0.74) \quad (2)$$

(2)式は整理した複数の説明変数の中ではよりよい関係ではあるものの、そのばらつきは3倍程度である。以降ではこのばらつきの要因として考えられる点を述べる。

図4(1)を見ると、平均的な値である回帰式に対して、1978年宮城県沖地震は運休時間が短く、2004年新潟県中越地震は運休時間が長い傾向にある。1995年兵庫県南部地震は前述の2地震の間に位置し、平均的な関係にあるが、ばらつきがやや大きい。被災路線の地形的な条件に着目すると、2004年新潟県中越地震での被災路線の多くは山地・丘陵や谷底低地などの急峻な地形の間に位置しているのに対し、1978年宮城県沖地震の被災路線は平地に多い。このような被災地域の地形的な条件が被害発生地点への移動

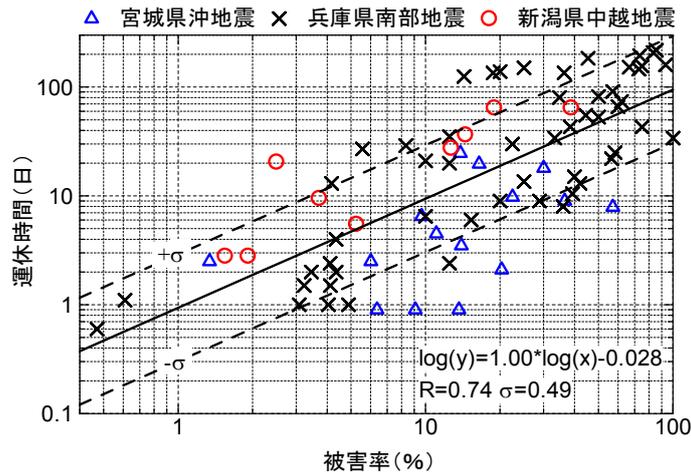


図4(1) 被害率と運休時間との関係

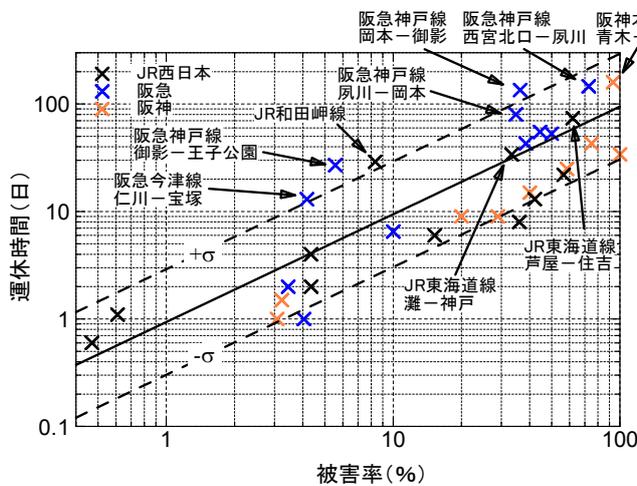


図4(2) 事業者別の被害率と運休時間との関係
(1995年兵庫県南部地震、JR西日本・阪急・阪神)

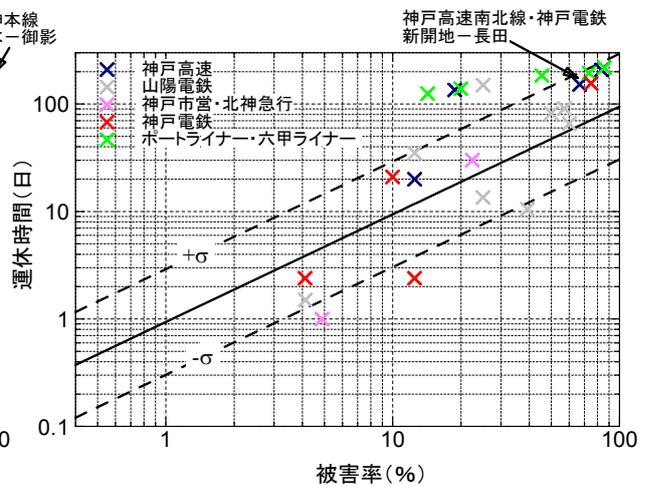


図4(3) 事業者別の被害率と運休時間との関係
(1995年兵庫県南部地震、図4(2)以外の事業者)

時間や復旧作業の難易度などに関連して、運転再開までの時間に影響を与えた可能性が考えられる。その他、1978年宮城県沖地震と比較して1995年兵庫県南部地震、2004年新潟県中越地震は全体的に被害の程度が大きく、同じ被害率であっても復旧に時間を要した可能性も考えられる。

図4(2)、(3)は、図4(1)で同一地震内でばらつきが大きい1995年兵庫県南部地震のデータに事業者の区別を加えて図示したものである。これらを見ると、阪急電鉄神戸線の岡本―御影間、JR東海道線の芦屋―住吉間、灘―神戸間、阪神電鉄本線の青木―御影間、神戸高速鉄道東西線、神戸電鉄の新開地―長田間のような、被害が甚大であった区間やそれに隣接する区間では、相対的に運休時間が長期化している。

また、事業者の規模も関連している可能性がある。図4(2)に示したJR西日本・阪急・阪神のような事業規模の大きな事業者では平均的な復旧時間よりも早く復旧できている路線・区間が多く見られるが、図4(3)の比較的的事业規模の小さい事業者の路線では、平均的な復旧時間よりも早く復旧した路線は少ない。さらに同じ事業者であっても、例えばJR西日本の路線のうち六甲道駅の倒壊など被害が甚大であった東海道線は平均的な運休時間程度であるが、山陽線の支線である和田岬線は、同事業者の路線の中で最も被害率に対して運休時間が長いなど、路線の利用度の高さも関連していると考えられる。

その他、路線の特殊性も関連している可能性がある。1995年兵庫県南部地震でのポートアイランド線（ポートライナー）・六甲アイランド線（六甲ライナー）は被害率が同程度である他の路線・区間と比較して、全区間で運休時間が長期化している。この路線の被害資料²⁾には、地震発生当時軌道部門の人員が少なかったこと、これらの新交通システムの設備は精度の高い整備が必要であることなどが記載さ

れている。両路線は被害自体が甚大であったことに加えて、前述の被害以外の要因などにより、運休時間がさらに長期化した可能性も考えられる。

以上を整理すると、被害率と運休時間のばらつきの要因としては、地震発生地域の地形的特徴、被害の程度、路線の利用度や特殊性などが挙げられる。現状ではデータが不足しているため、今後さらにデータを充実させ、これらを考慮できる推定方法が構築できれば、より精度が向上すると期待される。

4. 運休時間の推定方法の妥当性の確認

4.1 妥当性の確認に用いた地震とデータ

前述の鉄道の運休時間推定方法を1987年千葉県東方沖地震の際に運休した路線に適用することにより、推定方法の妥当性の確認を行った。この地震では当時のJR東日本千葉支社内の12点の地震観測点で79～684galの最大加速度が観測されたため、全列車が抑止され、関係箇所の巡回点検が行われた¹⁵⁾。被害としては橋台の亀裂、橋桁の損傷・移動、高架橋変状、橋台裏盛土沈下、盛土崩壊・沈下、軌道変状、乗降場変状、橋梁変状、建築関係（屋根・窓ガラス破損など）、電気関係（碍子破損、曲引滑車外れなど）が発生している。被害はJR東日本の総武本線、外房線、成田線、東金線、木原線（現いすみ鉄道線）、鹿島線の6線区でそのほとんどが発生している¹⁶⁾。

この地震の被害資料では、千葉県内の路線・区間の路盤および土木構造物の被害についての発生地点（キロ程）と被害内容、各路線の運転再開時間の記載がある^{15),17)}。建築関係、電気関係の被害状況についても記載があるが、これらの被害は区間ではなく路線ごとの整理となっている。このうち建築関係の被害は駅舎の屋根破損等であり、鉄道の運行の支障となる程度ではないと見なし、除外した。また、電気関係の被害は区間が特定できない場合は除外した。その他、成田線の佐倉～成田間では被害の記載は見られないが、乗り入れ先の総武本線の千葉～佐倉間では被害が発生しており、その影響が含まれていると判断して除外した。

4.2 安全確認点検による運休時間の推定方法の妥当性の確認

前述の資料から、安全確認点検により運休したと考えられる路線・区間を抽出すると、表2に示す8区間が得られた。表2には、これら8区間に対して、推定した運休時間と、実際の運休時間（以降、実測という）も示している。ここでは点検区間が不明であるため、単純に運休した区間長を(1)式に適用して運休時間を推定した。これによれば、多くの場合に1時間程度以内の差で運休時間が推定できている。ただし、総武本線の干潟～銚子間、内房線の君津～安房鴨川間、武蔵野線の西船橋～新松戸間の3路線・区間では実測と推定した時間との差が大きくなった。以降ではこれらの区間について、差の要因として考えられる点を述べる。

(1)内房線：君津～安房鴨川間

本区間の推定運休時間は約200分の過大評価となっている。本区間の区間長は約81kmで、表2の路線・区間の中で最長である。前述のように、運休時間の推定では、運休区間を点検区間と仮定し、各区間を一括して点検したと想定しているが、この区間内には通常運行時に折り返し運転の設定がある駅も存在しているなど、本区間を一括して点検を行うにはやや長いと考えられる。常時に折り返し運転の設定がある館山駅で区間を分割して点検が行われたと仮定すると、推定運休時間は君津～館山間（47.6km）が約285分、館山～安房鴨川間（33.5km）が約200分となる。運転再開は両区間の点検が完了後と考えられるため、長い方の約285分をこの区間の推定運休時間とすると、実測の292分と概ね一致する。

(2)武蔵野線：西船橋～新松戸間

本区間の推定運休時間は約120分の過小評価となっている。武蔵野線の間駅である新松戸駅での折り返しは非常時に行われることもあるが、常時に西船橋駅から新松戸駅方面への運行で折り返し運転が設定されている駅はさらに14km先の南越谷駅である。南越谷駅まで一括して点検していたと仮定して、点検区間長が約28kmであったとすると、推定値は約170分となり、実測値との差は他の区間と同程度となる。このように、本区間についても(1)と同様に点検区間の設定が異なっている可能性がある。

表2 点検による運休時間の推定値と実測値の比較（1987年千葉県東方沖地震）

| 路線名 | 区間 | | 区間長 (km) | 運休時間（分） | | |
|-------|-----|------|-------------|---------|-----|------|
| | | | | 推定 | 実測 | 誤差 |
| 総武線 | 千葉 | 秋葉原 | 36.5 | 219 | 173 | +46 |
| 総武快速線 | 千葉 | 錦糸町 | 34.4 | 206 | 175 | +31 |
| 総武本線 | 千漣 | 銚子 | 21.7 | 130 | 410 | -280 |
| 内房線 | 千葉 | 君津 | 42.1 | 253 | 258 | -5 |
| 内房線 | 君津 | 安房鴨川 | 81.1 | 487 | 292 | +195 |
| 成田線 | 成田 | 我孫子 | 32.9 | 197 | 215 | -18 |
| 久留里線 | 木更津 | 上総亀山 | 32.2 | 193 | 258 | -65 |
| 武蔵野線 | 西船橋 | 新松戸 | 14.3 | 86 | 212 | -126 |

(3)総武本線：千漣～銚子間

本区間での推定運休時間は2時間強であるのに対し、実測は7時間程度と差が大きい。被害資料からは本区間について軌道や構造物の被害に関する記載は見当たらないものの、総武本線全体としては被害が多く発生しており、特に本区間に隣接している横芝～千漣間では地震発生から約13時間後の運転再開となっている。3章で述べた1995年兵庫県南部地震や2004年新潟県中越地震と同様に、隣接区間での被害発生や復旧状況の影響を受け、本区間の運休時間も長くなった可能性がある。

これらのことから、点検区間を適切に設定できれば、2005年の千葉県北西部の地震から得られた本関係式を用いて、地震時の点検による運休時間を概ね推定可能であると考えられる。

4.3 被害による運休時間の推定方法の妥当性の確認

本論文の被害による運休時間の推定方法では、路線・区間ごとに被害率を得る必要がある。前述の被害率と運休時間との関係の検討では、路線・区間ごとに鉄道を含むメッシュの総数に対する被害を含むメッシュの総数の割合として被害率を算出しているが、実際に被害予測を行う際には、被害率を被害関数等から得る必要がある。ここでは、被害による運休が発生した路線・区間について高浜・翠川(2009)⁸⁾の被害関数により250mメッシュごとの被害率を得て、これを路線・区間内で平均した値を用いることにより、運休時間の推定方法を検討した際と同等の指標を得ることとした。

被害率を得るための震度には、望月ほか(1988)¹⁸⁾によるアンケート震度のコンター図を利用した。ただし得られる震度分布が千葉県内のみであることから、軌道、構造物、電気関係の被害が発生し、千葉県内に位置する10路線・区間を対象として推定運休時間と実際の運休時間との比較を行った。このアンケート震度分布のコンター図を250mメッシュに置換し、運休が発生した路線のラインデータを重ね描いた図を図5に、対象とした各路線・区間に対する運休時間の推定結果と植木・鶴岡(1988)¹⁵⁾による実際の運休時間との比較を表3に示す。なお、望月ほか(1988)¹⁸⁾に掲載されているアンケート震度と気象庁旧震度階との対応表では、アンケート震度と気象庁の旧震度階の震度Ⅳと震度Ⅴおよび震度Ⅴと震度Ⅵの境界値が、現在の震度階での震度4と震度5弱、震度5強と震度6弱の計測震度の境界値とそれぞれ等しい値となっている。そのため、本論文においては、望月ほか(1988)¹⁸⁾によるアンケート震度と現在の計測震度が等しいとして検討した。

推定した運休時間と実際の運休時間とを比較すると、その差は最小で+0.3日、最大で+4.6日、平均で+1.9日で、推定値の方が大きい、概ね2日程度の範囲内で推定されている。この推定精度は、推定方法の構築に利用した3地震と同程度である。また、推定値の方が大きいのは、前述の1978年宮城県沖地震と同様に、1987年千葉県東方沖地震での運休路線の多くは低地に位置しているためとも考えられる。

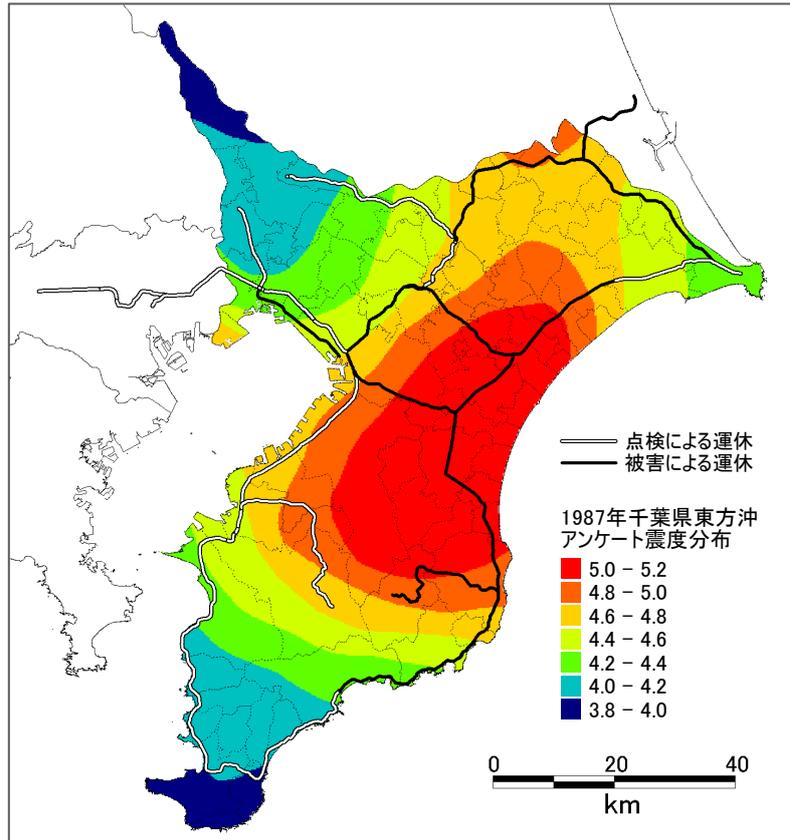


図5 1987年千葉県東方沖地震のアンケート震度分布（望月ほか(1988)¹⁸⁾）と運休路線

表3 1987年千葉県東方沖地震による千葉県内の被害発生状況と運休時間

| 路線名 | 区間 | | 区間長 (km) | 区間内 最大計測震度 | 推定 被害率(%) | 運休時間(日) | | |
|------|-----|-------|-------------|---------------|--------------|---------|-----|-----|
| | | | | | | 推定 | 実測 | 誤差 |
| 木原線 | 大原 | 上総中野 | 26.8 | 5.0 | 2.5 | 2.3 | 0.5 | 1.8 |
| 外房線 | 千葉 | 本納 | 27.7 | 5.2 | 3.3 | 3.1 | 0.3 | 2.8 |
| 外房線 | 本納 | 大原 | 29.5 | 5.2 | 4.6 | 4.3 | 0.4 | 3.9 |
| 外房線 | 大原 | 安房鴨川 | 36.1 | 4.8 | 0.7 | 0.6 | 0.3 | 0.3 |
| 京葉線 | 西船橋 | 千葉みなと | 18.4 | 4.4 | 0.4 | 0.4 | 0.1 | 0.3 |
| 成田線 | 成田 | 銚子 | 65.5 | 4.8 | 1.0 | 1.0 | 0.2 | 0.8 |
| 総武本線 | 千葉 | 佐倉 | 16.1 | 4.4 | 0.7 | 0.6 | 0.2 | 0.4 |
| 総武本線 | 佐倉 | 横芝 | 31.5 | 5.2 | 3.5 | 3.3 | 0.6 | 2.7 |
| 総武本線 | 横芝 | 干潟 | 12.0 | 5.0 | 2.0 | 1.9 | 0.4 | 1.4 |
| 東金線 | 大網 | 成東 | 13.8 | 5.2 | 5.4 | 5.0 | 0.4 | 4.6 |

表4 運休時間を推定する基準値と推定方法

| 基準値（区間内の最大値） | 実施する点検・作業 | 運休時間 |
|--------------|------------------------------|---|
| 震度 4 | 注意運転点検、 重要箇所(point)の点検の実施 | 35 分 |
| 震度 5 弱 | 徒歩点検の実施 | $T(\text{分}) = 6.0 \times L + 5.0$ と 35 分のうち長い方 |
| 震度 5 強以上 | 被害発生、復旧作業 | $\log_{10} T(\text{日}) = 1.00 \times \log_{10} P - 0.028$ と 徒歩点検による運休時間のうち長い方 ※地下区間では徒歩点検の実施のみとする |

T：運休時間、L：点検区間長さ(km)、P：高浜・翠川(2009)⁸⁾より得られる被害率の区間内平均値(%)

以上のことから、本論文の方法によって地震により構造物に被害が発生した場合の鉄道の運休時間を概ね説明できると考えられる。

5. 首都圏で想定される地震での運休時間の推定

5.1 想定地震と運休時間の推定方法

ここまで検討してきた地震時の鉄道の安全確認点検、被害発生による運休時間推定方法を用いて、首都圏を対象として想定地震発生時の鉄道の運休時間の予測を行った。表4に推定方法をまとめて示す。

想定地震は、広域で被害が発生し、長期間運休となる可能性が高い地震として、中央防災会議等で被害地震として検討されている東京湾北部地震(M7.3)とし、1kmメッシュでの計測震度¹⁹⁾を250mメッシュに分割して用いた。鉄道路線のデータは、国土数値情報の鉄道ラインデータ¹⁴⁾を利用した。これを250mメッシュで分割し、それぞれのラインデータに対して、それが含まれる250mメッシュの震度をあてはめて、図6に示す。次に時刻表²⁰⁾などを参考に、折り返し運転の設定がある駅間を一つの運転区間として設定し、各区間内の最大震度を代表指標として表4に示す方法で運休時間の推定を行った。区間内の最大震度が震度5強以上である場合の被害率は、震度5強を超過した各250mメッシュについて地形・地盤分類²¹⁾と高浜・翠川(2009)⁸⁾の被害関数から得られた被害率を運転区間内で平均した値を用いた。

ここで、地下区間の取り扱いについて述べる。地下区間については、1995年兵庫県南部地震と2005年福岡県西方沖地震で被害事例がある。このうち2005年福岡県西方沖地震では、福岡市営地下鉄で、駅舎やトンネル内の軽微な漏水、壁タイル、車両工場の壁面、天井等の軽微な損傷等が報告されている²²⁾が、鉄道構造物の直接的被害としては軽微であったと言える。一方、1995年兵庫県南部地震では地下鉄に甚大な被害が発生しているものの、これらの被害は震度7の領域に集中している¹³⁾。今回被害想定に用いる東京湾北部地震では、震度7となる領域は存在しない。また首都圏には比較的建設年代の古い地下区間が存在するが、1995年兵庫県南部地震以後耐震改修が進められており、耐震性は向上しているものと考えられる。以上より、本論文では、地下区間内で震度5強以上となった場合、徒歩点検は行われるものの被害は発生しない設定とした。

5.2 運休時間推定結果

(1)推定運休時間とその影響範囲

図7は、東京湾北部地震発生時の推定運休時間を示したものである。右隅には、1995年兵庫県南部地震の運休時間が1週間以上となる路線範囲について、同じスケールで図示している。両地震の最大値で比較すれば、図6の震度では、東京湾北部地震の最大震度は6強で、1995年兵庫県南部地震の7を下回っている。図7の運休期間でも1995年兵庫県南部地震では3ヶ月以上運休した路線もあったが、東京湾北部地震では

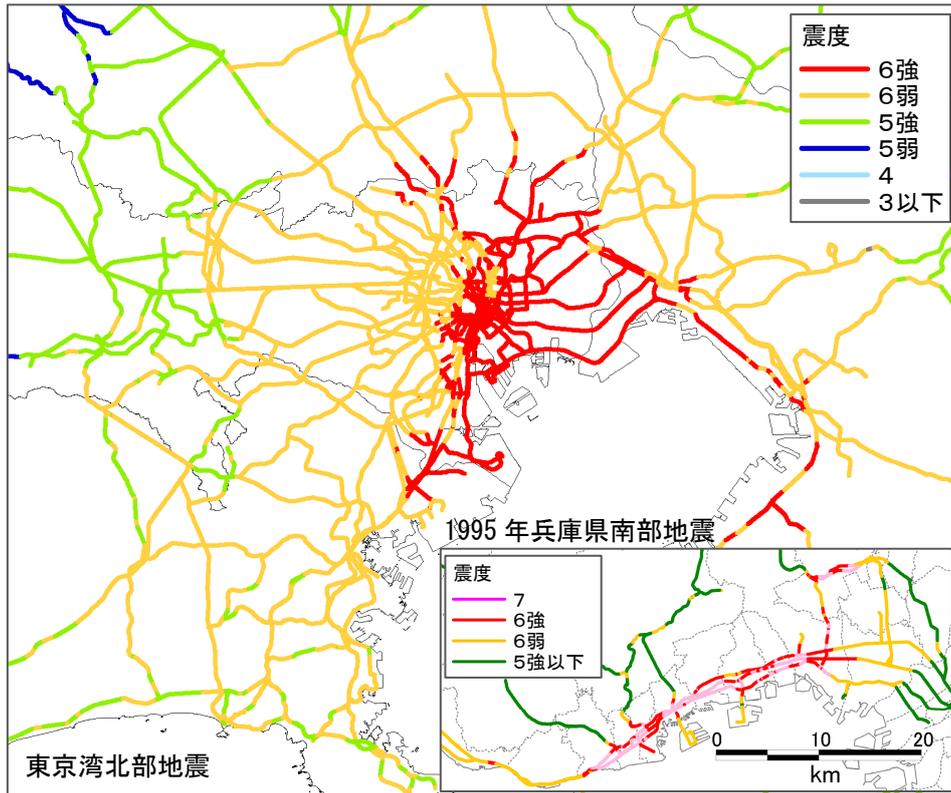


図6 東京湾北部地震発生時の鉄道路線位置での推定震度分布
(1995年兵庫県南部地震での震度分布を同スケールで併記)

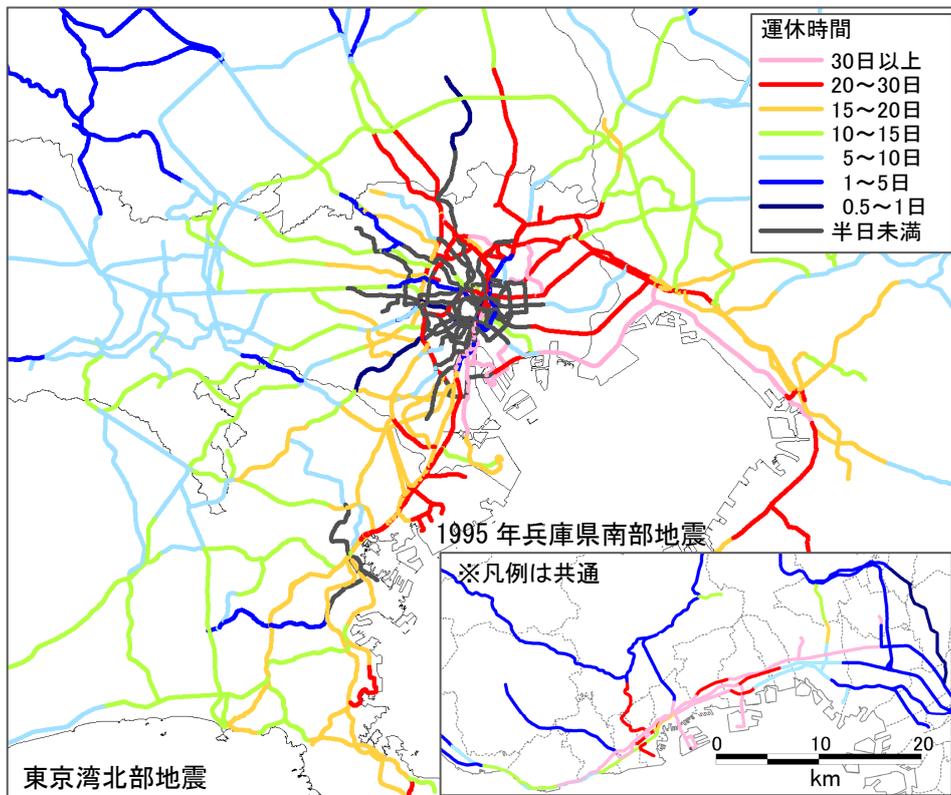


図7 東京湾北部地震発生時の推定運休時間
(1995年兵庫県南部地震での運休時間を同スケールで併記)

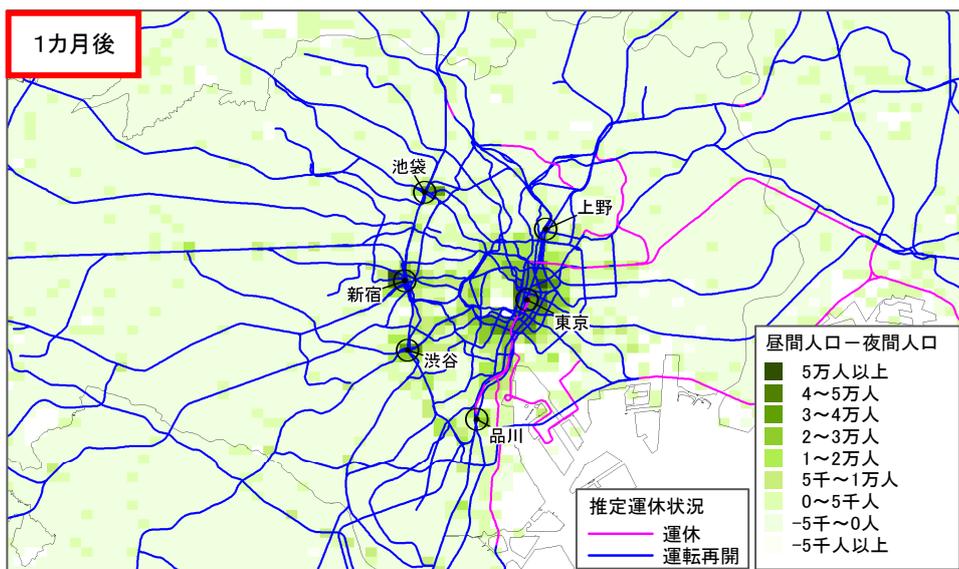
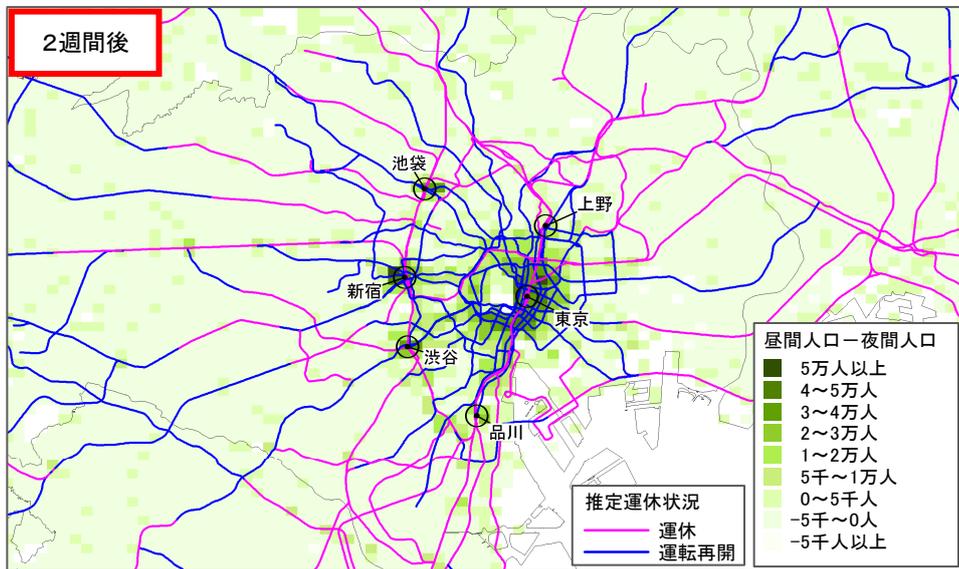
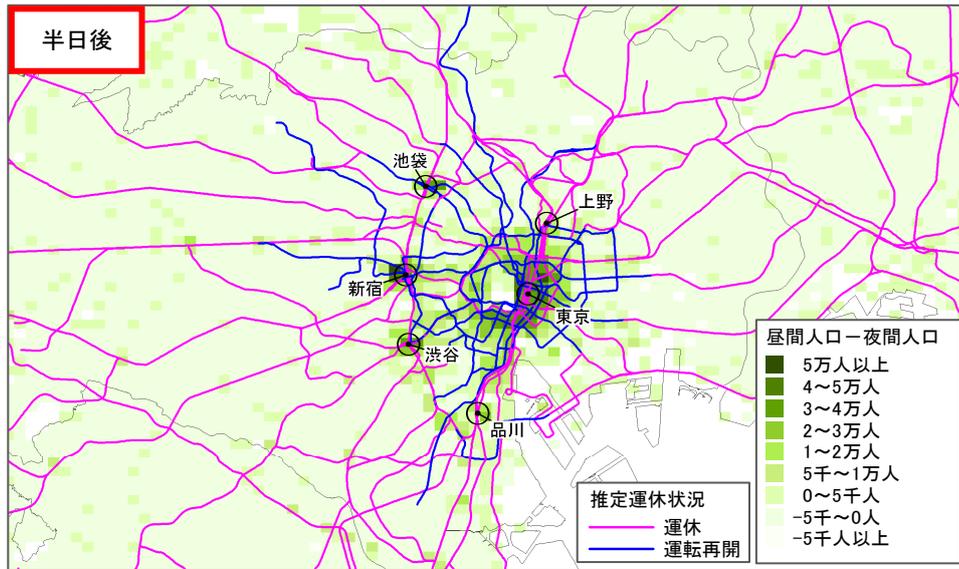


図8 地震発生からの経過時間と推定運休状況（東京湾北部地震）

最長で40日程度と推定されている。しかし、図6で震度6弱以上となる領域を比較すると、東京湾北部地震の方がかなり広いことがわかる。

図7で1週間以上運休する路線の範囲を比較すると、1995年兵庫県南部地震に対し、東京湾北部地震の推定結果では都心へ流入する全路線に渡って広域に分布し、この間は都心への移動に鉄道がほぼ利用できない状況が予想される。このように、東京湾北部地震が発生した場合には、1995年兵庫県南部地震の際と比較して鉄道が運休する最長期間は短い、同時に運休となる路線は多く、これにより影響を受ける人数も多いと考えられる。

(2)地震発生後の時間の経過と復旧状況

図8は地震の発生からの経過時間と各路線・区間の運休状況を示したものであり、背景には滞留者数に近い指標として夜間人口と昼間人口の差を1kmメッシュ単位で算出した値を重ね描いている。なお、昼間人口は平成12年国勢調査²³⁾、平成13年事業所・企業統計調査²⁴⁾より推定したものである。これによれば、東京の中心である山手線沿線の東京、新宿、池袋など主要ターミナル駅の周辺に夜間人口に対し昼間人口が1万人以上となっているメッシュが集中している。山手線沿線とその内部での昼間人口を概算すると350万人程度となるため、この地震の発生により鉄道が長期間運休となった場合に影響を受ける人数も膨大となる恐れがあるものと考えられる。

図8から地震発生からの時間の経過と鉄道路線の運転再開状況を概観すれば、点検が終了した後運転再開可能な路線は地下区間のみで、それ以外の首都圏のほぼ全域で最低でも半日以上運休すると予想されていることがわかる。都心部では山手線も2週間以上の運休となる可能性があるが、点検終了後に地下鉄が復旧すれば、都心内の滞留者はある程度郊外までは移動可能となることが予想される。

一方、都心から千葉、埼玉方面へ向かう路線では、運休が長期化する傾向が見られ、移動はより困難である。地震発生から1カ月経過すれば、ほとんどの路線は運転が再開されていると考えられるが、一部の路線では運転再開まで最大約40日必要と予測されており、1カ月経過後でも運転が再開できない可能性がある。そのため、これらの路線では事前の耐震改修や、地震発生時には点検・復旧作業の優先順位を高くするなどの対策が必要であると言える。

6. 結論

本論文では、過去の被害地震の実例を基に、事前対策や復旧計画に活用することを目的とした地震発生時の鉄道の運休時間を推定する簡便な方法について検討し、以下の結論を得た。

- ・ 地震発生時の鉄道の運休の要因を、安全確認点検実施と被害による運休の2つに大別し、それぞれの要因による運休時間の推定方法を既往の研究による鉄道事業者に対する聞き取り調査、過去の被害データ、実際の地震発生時の運休時間などを基にして構築した。
- ・ 構築した鉄道の運休時間推定方法を1987年千葉県東方沖地震で被害の発生と施設の点検により運休が発生した鉄道路線に適用し、推定運休時間と実測値との比較を行った。その結果より、本推定方法により実際の運休時間を概ね説明できることを示した。
- ・ 首都圏で被害を伴う地震として東京湾北部地震を想定した場合、1995年兵庫県南部地震と比較して1週間以上運休となる範囲はより広く、一定期間中に影響を受ける人数は膨大となることが予想されることを示した。

謝辞

250mメッシュ地形・地盤分類データは、独立行政法人防災科学技術研究所地震ハザードステーションJ-SHISの公開データを利用させて頂きました。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 国土交通省：第10回「大都市交通センサス」の調査結果について、2007。
http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha07/01/010330_3/01.pdf

- 2) 阪神・淡路大震災鉄道復興記録編纂委員会：よみがえる鉄路 阪神・淡路大震災鉄道復興の記録、山海堂、1996.
- 3) 廣井脩：初動の引き金は、複数点の観測などに見直しを、日本災害情報学会ニューズレター、第23号、2005.
- 4) 畠山直、柴田徹、豊岡亮洋、坂井公俊、室野剛隆：地震動の解析モデルに基づいた鉄道のリスク評価手法、鉄道総研報告、Vol.24、No.11、pp.47-52、2010.
- 5) 国土庁防災局：政府中枢機能に対する南関東直下の地震の影響に関する調査 報告書、1996.
- 6) 東京都防災会議：東京における直下地震の被害想定に関する調査報告書（被害想定手法編）、1997.
- 7) 高浜勉、翠川三郎、大堀道広：鉄道事業者の地震時対応の調査に基づいた地震発生後の鉄道輸送能力低下に関する検討、地域安全学会論文集、No.8、pp.253-258、2006.
- 8) 高浜勉、翠川三郎：地盤条件を考慮した地震による鉄道構造物の被害関数の構築、日本地震工学会論文集、Vol.9、No.5、pp.57-72、2009.
- 9) 土木学会東北支部：1978年宮城県沖地震調査報告書、1980.
- 10) 加藤正三、伊勢勝巳、福島裕彦：新潟県中越地震からの復興におけるJR東日本の取り組み、JR gazette、2005-3、pp.19-30、交通新聞社、2005.
- 11) 新潟日報社：新潟日報、2004年10月24日～2004年11月29日、2004.
- 12) 東京都総務局総合防災部防災管理課：首都直下地震による東京の被害想定（最終報告）、2006.
- 13) 財団法人鉄道技術総合研究所：兵庫県南部地震鉄道被害調査報告書、鉄道総研報告、特別第4号、1996.
- 14) 国土交通省：国土数値情報 鉄道（線）（平成19年）、2007.
http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/jpgis/datalist/KsjTmplt-N02-v1_1.html
- 15) 植木保之、鶴岡操夫：千葉県東方沖地震による災害、日本鉄道施設協会誌、第26巻、第6号、pp.416-419、1988.
- 16) 岡田勝也、那須誠、市原久義、興石逸樹：千葉県東方沖地震による鉄道盛土と橋台裏盛土の被害、土と基礎、Vol.37、No.8、pp.63-68、1989.
- 17) 那須誠：千葉県東方沖地震の被害調査、日本鉄道施設協会誌、第27巻、第6号、pp.423-426、1989.
- 18) 望月利男、谷内幸久、塩野計司、江原信之：1987年12月17日千葉県東方沖地震調査 一震度分布と被害の概要一、総合都市研究、第35号、pp.5-31、1988.
- 19) 中央防災会議首都直下地震専門調査会：東京湾北部地震1kmメッシュ計測震度データ、2004.
- 20) 交通新聞社：東京時刻表、2009.
- 21) 若松加寿江、松岡昌志：地形・地盤分類250mメッシュマップ全国版の構築、日本地震工学会大会2008梗概集、pp.222-223、2008.
- 22) 福岡県：福岡県西方沖地震震災対応調査点検委員会報告書、2005.
- 23) 財団法人統計情報研究開発センター：平成12年国勢調査に関する地域メッシュ統計、2001.
- 24) 財団法人統計情報研究開発センター：平成13年事業所・企業統計調査に関する地域メッシュ統計、2003.

（受理：2010年11月15日）
（掲載決定：2011年4月20日）

A Study for Estimating Suspension Time of Railway Lines Due to Earthquake

TAKAHAMA Tsutomu ¹⁾ and MIDORIKAWA Saburoh ²⁾

1) Member, Kozo Keikaku Engineering, Dr. Eng. (Former Graduate Student, Tokyo Institute of Technology)

2) Member, Professor, Department of Built Environment, Interdisciplinary Graduate School of Science and Engineering, Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng.

ABSTRACT

When an earthquake occurs and ground motion observed along railway line exceeds a criterion, the railway line operation is suspended to inspect railway facilities and structures. Furthermore if they are damaged due to the earthquake, the railway line operation is suspended until damaged structures finish repairing. In this study, the methods to estimate the suspension time which need to inspect and to repair railway facilities and structures are constructed. The validation of the methods is checked by comparing estimated and observed suspension times during the 1987 Chiba-ken Toho-oki earthquake. Applying the method in the Tokyo metropolitan area, suspension time of railway lines during scenario earthquakes are estimated. The estimation indicates the operation of major railway lines in the area may be suspended for two weeks or more when the anticipated Tokyo $M_{JMA}7.3$ earthquake occurs.

Key Words: Earthquake, Railway, Suspension time, Damage estimation, Scenario earthquake