

首都圏の鉄道ネットワークを対象とした早期地震警報システムによる減災効果の検討

中央大学大学院 学生会員 ○下野 大樹
 東京大学生産技術研究所 正会員 大原 美保
 東京大学生産技術研究所 正会員 目黒 公郎

1. はじめに

鉄道の早期地震警報は、地震時に新幹線を制御することを目的に、1960年代より開発・導入されてきた。しかし近年では、在来線や多くの私鉄にもP波検知による警報システムが導入されている。そこで本研究では、各鉄道事業者の警報システムが、首都圏の鉄道ネットワーク上で生み出すことができる余裕時間を算出し、鉄道事故のリスク軽減による減災効果を検証する。本研究の対象地震は、中央防災会議で想定される東京湾北部地震(M7.3)¹⁾とし、余裕時間とは、早期地震警報を受信してからS波が到達するまでの時間とする。

2. 時間帯ごとの鉄道利用者分布の推計

はじめに、首都圏における1時間ごとの各駅間の滞留人口の期待値を算出する。まず、第10回大都市交通センサスの鉄道OD調査²⁾のデータを用い、駅間ごとに時間帯による交通量の比を算出した。それを基に、一日の駅間断面交通量のデータ³⁾を1時間当た

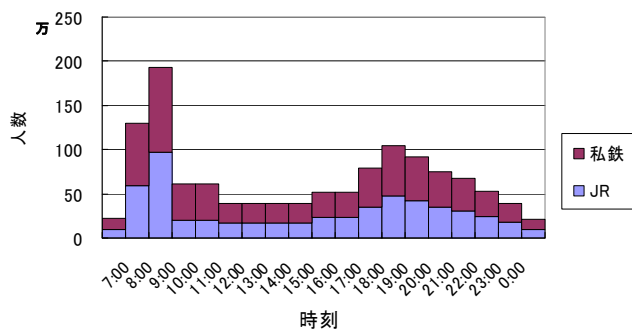


図-1 滞留人口の時間推移

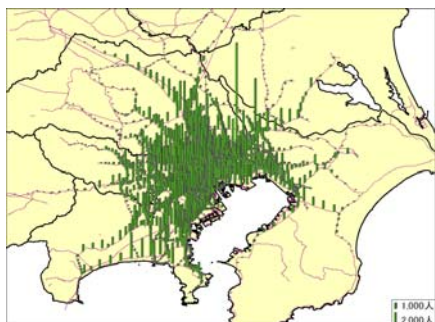


図-2 鉄道利用者の分布 (8:00~8:59)

りの断面交通量へと換算し、さらに駅間所要時間を考慮することで、時間帯ごとに駅間滞留人口の期待値を算出した。図-1は滞留人口の時間推移であり、図-2は朝のラッシュである8:00~8:59の各路線の鉄道利用者分布である。この時間帯の滞留人口は約190万人で、東京湾北部地震の最大震度である震度6強の地域には約24万人が存在している。

3. 余裕時間別鉄道利用者数の算出

次に、余裕時間別鉄道利用者数の算出を行う。ここで、余裕時間別鉄道利用者数を、「任意の時間以上の余裕時間が与えられる地域にいる鉄道利用者数」と定義する。

現在、各鉄道事業者で用いられている早期地震警報システムは、大きく分けると2種類がある。1つは、各鉄道事業者が所有するP波検知地震計により、P波を検知して警報を発信するシステムで、首都圏ではJR東日本と東京メトロが導入している。もう1つは、受信した緊急地震速報の内容から、自社の路線への影響を判断して警報を発信するシステムで、大手私鉄をはじめ、多くの事業者が導入している。

そこで本研究では、各社の警報システムとP波検知から警報発令までに要する判断時間、ならびに東京湾北部地震発生時にはじめにP波を検知する地震計の設置位置を表-1のように仮定し、これをCase1と定める。Case1の条件下では事業者により警報発信時刻が異なるため、Case2として、いずれかの事業者が発信した警報を事業者間で共有し、全ての列

表-1 余裕時間算出における仮定 (Case1)

警報の種類	事業者	P波検知から警報発信までの時間	用いた検知点
自社P波検知	JR東日本 東京メトロ	1 (s) ⁴⁾	東京(JR) 深川(メトロ)
緊急地震速報	その他の事業者	7.4 (s) ^{5),6)} ※	江東

※緊急地震速報の第一報発信までの平均時間(5.4s)と各社での判断時間(2.0s)の和

キーワード 地震防災, 早期地震警報, 緊急地震速報, 東京湾北部地震, 鉄道

連絡先 〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1 東京大学生産技術研究所目黒研究室 TEL03-5452-6437

車が受信できるケースを考える。

東京湾北部地震の震源を点震源(震源位置は北緯 35.563°, 東経 139.897°, 深さ 29.68km)と仮定した。P 波と S 波の速度は、深さ方向の平均速度から、それぞれ 6.15, 3.53(km/s)とし、各駅間までの S 波到達時間を算出して余裕時間別鉄道利用者数を求めた。

図-3 は 8:00~8:59 の震度 6 弱および 6 強の地域における余裕時間別鉄道利用者数である。余裕時間が負のケースは、S 波到達後に警報を受信することを意味する。Case1 では、S 波到達前に警報を受信できる 6 強地域の乗客数は全 53 万人中の 41 万人(78%)にとどまるが、Case2 では 6 強全域で 2.3 秒以上の余裕時間が得られる。以上より、いずれかの事業者による警報を全ての列車で共有することにより、首都圏全体での減災効果が高まることが示された。

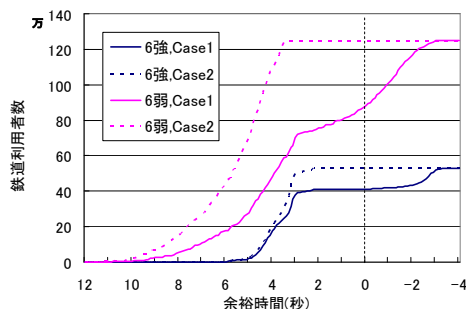


図-3 余裕時間別鉄道利用者数 (震度 6 強, 6 弱)

4. 減災効果の検討

岩田ら(2008)⁷⁾は、鉄道における早期地震情報の減災効果の定量的評価方法として式-1を提案している。

$$Rp(Tm) \propto \left(\frac{Dpv_0}{Dsv_{std}} \right) \cdot \left(\frac{Vpv_0}{Vsv_{std}} \right)^2 \quad (\text{式}-1)$$

その中で、 $Rp(Tm)$ は S 波到達後の警報に対する P 波検知による警報時の走行列車の危険率、 Dsv_{std} は基準速度 V_{std} のときの S 波到達からの停止距離(m)、 Dpv_0 は速度 V_0 のときの P 波検知による警報時の走行距離(m)、 Vsv_{std} は基準速度 V_{std} のときの S 波到達後停車までの平均列車速度(m)、 Vpv_0 は速度 V_0 のときの P 波警報後の平均列車速度(m)と定義される。

列車の走行速度と制動特性を一定とすると、危険率 $Rp(Tm)$ は S 波到達時の速度により決定される。ここで、列車の走行速度を 40(km/h)および 60(km/h)、緊急停止時の減速加速度を 4.0(km/h/s)と仮定すると、危険率と必要な余裕時間の関係は図-4 のようになる。図-5 は、鉄道ネットワーク上での鉄道利用者分布に対して危険率軽減の割合を示したものである。早期

地震警報システムの働きにより、Case1・60(km/h)で走行中の条件では、震度 6 強地域内の 78%の乗客の危険率が 0.5 以下となり、Case2・60(km/h)で走行中の条件では、98%の乗客の危険率が 0.5 以下となる。また、走行速度を 40(km/h)とすると、危険率が 0.5 以下となる乗客の割合はさらに増加する。

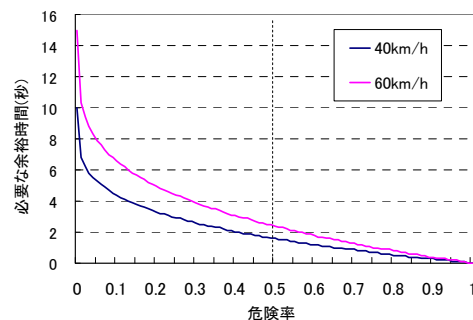


図-4 危険率と必要な余裕時間の関係

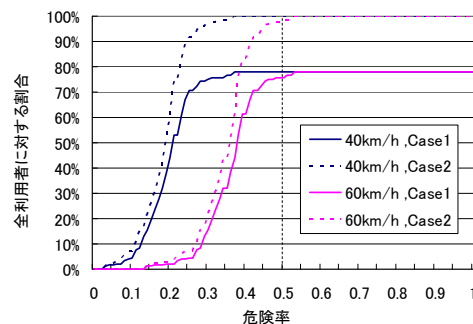


図-5 危険率低減効果 (震度 6 強, 8:00~8:59)

5. まとめ

本研究では、首都圏の鉄道ネットワークを対象として早期地震警報による減災効果を算出した。この結果、鉄道事業者間で警報を共有することにより、S 波到達前に警報を受け取れる鉄道利用者が増加し、走行時の危険率も半分以下となることがわかった。

参考文献

- 1) 内閣府防災担当：首都直下地震の被害想定(概要)。
- 2) 国土交通省：鉄道 OD 調査(第 10 回大都市交通センサス)，2005
- 3) 国土交通省：駅間発着・駅間通過人員表(第 10 回大都市交通センサス)，2005
- 4) JR 東日本：新幹線早期地震警報システムの改良と運転規制判断指標の変更(SI 値)について，2005.1.24
- 5) 緊急地震速報の本運用開始に係る検討会：「緊急地震速報の本運用開始に係る検討会」最終報告，2007.3
- 6) 小田急電鉄：「早期地震警報システム」を 8 月 1 日(火)から導入します，2006.6.12
- 7) 岩田直泰，芦谷公稔，佐藤新二，是永将宏：鉄道における早期地震情報の減災効果の定量的評価方法，土木学会第 63 回年次学術講演会，平成 20 年 9 月，pp.499-500，2008