

第IV部門

地震時の鉄道被害に伴う人的被害予測～東京都への適用～

京都大学防災研究所 正会員 河田 恵昭
京都大学大学院 学生員 ○古市 秀徳

1.はじめに

巨大災害における人的被害は、災害が社会に与えるインパクトの大きさを示す重要な指標である。そのため、地域防災計画などでは被災シナリオのもとに人的被害の想定を行っている場合が多い。しかし被害が定量化されているのは木造建造物の倒壊や火災が原因によるものに限られ、時間帯によってその規模が大きく変化することが考えられるその他の要因（鉄道・自動車事故、RC構造物倒壊 etc.）による被害の定量化が大きな課題とされている。そこで本研究では、我が国の中枢機能が集中している東京都において地震時の鉄道被害に伴う人的被害の定量化を試み、得られた結果を東京都が発表している人的被害想定と比較することにより、地震時の鉄道事故が社会にどの程度のインパクトを与えるのかについて考察を行う。

2.基本方針

平成3年の東京都防災会議の調査研究に基づき、関東地震（M7.9程度）の再来を想定、発生時刻は列車の最混雑時と考えられる午前8時として鉄道事故に伴う人的被害を定量化する。なお、定量化の手法としては、阪神地区における人的被害の定量化¹⁾で用いられたモデルを以下の方針で簡便化・一般化した。

〔手法1〕 阪神地区で用いた手法を簡便化して定量化を行い（対象地域を複数のブロックに分割し、ブロック内を走行する列車の乗客は同一であるとの仮定の下に、地震加速度の面積比率と列車の本数とで人的被害の規模を概算）、従来手法との比較・考察を行う。

〔手法2〕 （手法1）では阪神・淡路大震災の事故データをそのまま用いているため、一般性で疑問が残る。そこで、地震時の列車安全性に関する解析²⁾をもとに、ブロック内の路線総延長や単位長さ当たり軌道破壊率、列車の制動距離などをもとにブロック内の列車事故発生件数の解析および人的被害の定量化を試みる。

3.定量化の手順

(1) 東京都防災会議の調査研究³⁾に基づき、東京都を以下の12ブロックに分割する。

- 区部第1：都心3区（千代田区・中央区・港区）
- 区部第2：新宿区・文京区・渋谷区・豊島区
- 区部第3：台東区・墨田区・江東区・荒川区
- 区部第4：品川区・大田区
- 区部第5：目黒区・世田谷区・中野区・杉並区・練馬区
- 区部第6：北区・板橋区
- 区部第7：足立区・葛飾区・江戸川区
- 多摩第1：青梅市・福生市・秋川市・羽村町・瑞穂町・日の出町・五日市町・檜原村・奥多摩町
- 多摩第2：八王子市・町田市・日野市・多摩市・稲城市
- 多摩第3：立川市・昭島市・国分寺市・国立市・東大和市・武蔵村山市
- 多摩第4：武蔵野市・三鷹市・府中市・調布市・小金井市・狛江市
- 多摩第5：小平市・東村山市・田無市・保谷市・清瀬市・東久留米市

(2) 各ブロックにおける地表加速度の出現面積比率および午前8時の列車本数を調べる。また、1列車当たりの乗客数を仮定する（総乗客数のデータは存在しないため、本来ならば駅間断面交通量と駅間運行本数から推計するべきであるが、莫大な時間がかかるため、ブロック毎に主要路線・区間について計算を行った）。

(3) 地震により被害を受ける列車の本数を計算する。

〔手法1〕 阪神大震災での人的被害発生率をもとに、以下の式を用いる。

$$n_d = \left(P_1 \frac{A_1}{A} + P_2 \frac{A_2}{A} \right) n_t \quad (1)$$

- n_d ：ブロック内の列車被害本数（本）
- n_t ：ブロック内の総列車本数（本）
- A ：ブロックの総面積（km²）
- A_1 ：地震加速度250～400ガルの面積（km²）
- A_2 ：地震加速度400ガル以上の面積（km²）
- P_1 ：250～400ガルでの人的被害発生率（3.22%）
- P_2 ：400ガル以上の人的被害発生率（50%）

〔手法2〕 概念図を図1に示す。

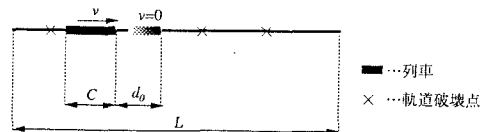


図1 理論解析モデル

被害区間に列車が存在する条件下で1列車が被害箇所へ突入する確率は以下ようになる（近似式）。

$$P(D|C;v,L,d) = \frac{1-d/L}{1+d/L}vd + vc \quad (2)$$

- D：列車が破壊箇所へ突入する事象
- C：列車が区間に入るという事象
- v：平均破壊箇所発生率
- L：ブロック内の路線総延長（km）
- c：列車編成長（km）
- d：走行速度 v（km/h）から完全に停止するまでの走行距離（km）

なお、軌道破壊はポアソン過程に従うものとし、cはブロック内の平均値を、vは東京都防災会議による鉄道構造物の被害想定結果を用いる。vは都市圏における列車の平均速度をと考えられる v=40（km/h）を仮定した。列車の減速度を $\alpha=5.0$ （km/h・sec）とすると、

$$d = \frac{v^2}{2\alpha} \quad (3)$$

であるから、ブロック内の列車被害本数 n_d は以下のように表せる。

$$n_d = P(D|C;v,L,d) \cdot n_c = \left(\frac{1-v^2/2\alpha L}{1+v^2/2\alpha L} \cdot \frac{v^2}{2\alpha} + c \right) v \quad (4)$$

(4) 列車被害本数の計算結果をもとに（列車被害本数）×（乗客数）×（死亡率 or 負傷率）をもって人的被害の規模を推定する。

4. 予測結果及び考察

まず、(手法1)の簡略化の妥当性を検証するために阪神間について、従来の手法との比較を行った（表1）。

表1 阪神地区の予測結果の比較

	手法1（簡便法）	従来の手法
被害列車本数	32	40
死者数	107~945	138~1153
負傷者数	1133~8762	1512~10694

その結果、若干低めながら（おそらく神戸地区の列車のほとんどが400ガル以上の地区に分布しているためと思われる）、おおむね近い値をとったため、次に東京都において計算を行った（表2）。

表2 東京都の予測結果（手法1）

ブロック名	列車本数	事故本数	死者数	負傷者数
区部第1	193	7.2	43 ~ 401	459 ~ 3296
区部第2	149	10.7	64 ~ 600	686 ~ 4927
区部第3	122	3.5	24 ~ 216	258 ~ 1950
区部第4	83	2.2	8 ~ 69	82 ~ 623
区部第5	165	4.2	22 ~ 195	232 ~ 1757
区部第6	47	1.8	7 ~ 65	83 ~ 611
区部第7	54	1.5	12 ~ 108	138 ~ 1023
多摩第1	14	0.0	0 ~ 0	0 ~ 1
多摩第2	31	0.2	1 ~ 7	10 ~ 70
多摩第3	21	0.1	1 ~ 8	10 ~ 74
多摩第4	13	0.5	3 ~ 29	36 ~ 265
多摩第5	14	0.4	2 ~ 14	17 ~ 128
計	928	32.3	187 ~ 1710	2010 ~ 14726

午前8時、東京では阪神間の7倍以上の列車が走り、10倍以上の乗客が運ばれている。関東地震は海洋型であるので、直下型の阪神・淡路大震災ほどには地震加速度は大きくないため事故が発生する可能性は低くなり、事故の発生件数は阪神・淡路大震災と同程度の32件となるが、乗客の密度が異なるために、人的被害の規模は2倍弱（死者最大1,710人）に拡大する。また、人的被害が都心部に集中することが計算結果からも明らかになった。

次に、(手法2)の計算結果を表3に示した。

表3 東京都の予測結果（手法2）

ブロック名	積算箇所	事故本数	死者数	負傷者数
区部第1	0.8	0.9	6 ~ 52	59 ~ 424
区部第2	1.9	3.0	18 ~ 168	191 ~ 1376
区部第3	0.9	1.6	11 ~ 102	121 ~ 918
区部第4	4.7	7.6	27 ~ 235	281 ~ 2124
区部第5	2.2	3.7	20 ~ 174	207 ~ 1569
区部第6	0.6	1.8	7 ~ 64	81 ~ 601
区部第7	1.6	2.8	23 ~ 205	262 ~ 1938
多摩第1	0.4	1.1	2 ~ 19	24 ~ 179
多摩第2	0.7	2.3	9 ~ 85	108 ~ 798
多摩第3	0.0	0.1	0 ~ 3	4 ~ 28
多摩第4	0.4	2.0	12 ~ 108	138 ~ 1020
多摩第5	0.4	3.5	14 ~ 126	161 ~ 1192
計	14.6	30.5	149 ~ 1339	1638 ~ 12167

制動距離は速度の2乗に比例するため、例えば v=120（km/h）とおけば死者数は最大11,964人と大きな差が出ることになるが、これはユレダスなどの地震警報システムによって揺れが来る前に減速することができれば人的被害が大きく軽減できることを示している。

また、(手法1)と(手法2)の結果を比較すると、(手法1)（地震動による脱線も考慮している）では地震動の大きな区部で被害が目立ち、それが(手法1)と(手法2)の結果の差につながっているものと思われる。

5. おわりに

阪神・淡路大震災では鉄道被害に伴う人的被害はわずか63名（負傷者）であったが、今回の予測結果を見ると、場所と時間が変われば人的被害全体（東京都の想定では木造・軽量S造家屋倒壊と火災で9,363名）から見て無視できない規模に拡大しうることが明らかになった。鉄道事故のほかにも、都市には人的被害を拡大させる様々な災害シナリオが潜んでいるものと考えられるため、それらの定量化を進めていくことが重要である。

【参考文献】

- 1) 河田恵昭・古市秀徳：大都市の地震災害による人的被害に関する研究、平成8年度関西支部年次学術講演概要
- 2) 白水見生・亀田弘行：地震時の軌道破壊に対する高速鉄道列車の安全性に関する確率論的解析、京大耐震研究報告、No.87-3、1987.5
- 3) 東京都防災会議：東京における地震被害の想定に関する調査研究、1993.9