

第Ⅳ部門 大都市の地震災害による人的被害予測に関する研究

京都大学防災研究所 正会員 河田 恵昭
京都大学防災研究所 正会員 林 春男
京都大学防災研究所 学生会員 ○古市 秀徳

1. はじめに 戦後最大の災害となった阪神・淡路大震災以後、危機管理体制の見直しに伴って各地の自治体でリアルタイム防災情報システムを導入する計画がある。そこでは特に発生直後の人的被害の評価が重要であるが今回の震災が初めての都市災害であったこともあり、データ不足のために人的被害の予測は困難が予想される。そこで、本研究では巨大地震時の人的被害予測手法について考察し、その応用例として今回の震災が異なる時刻に発生した場合の鉄道における人的被害を予測し、実際の被害状況との比較を行った。

2. 防災情報システムとは 防災情報システムとは、地理情報システム（GIS）などを活用した緊急活動支援のための被害評価、被害情報収集および伝達のシステムのことであり、地震発生直後に得られる情報（地震マグニチュード・震源位置等）とデータベース化された地域情報（地形・地質条件・人口密度等）をもとに被害状況を予測、ディスプレイ上に地図等を用いて表示する。さらに、予測結果をもとに必要な人員や物資を効果的に配分し、関係機関への連絡、要請を自動的に行うシステムも計画されている。

3. 人的被害の諸要因と予測手法 地震による人的被害は、揺れによる直接の被害（一次災害）に加えて、地震によって誘発される様々な自然現象および社会現象による被害（二次災害）も含まれるため、複雑かつ多様である。地震直後においては身体的被害の把握が特に重要であるが、被害の規模は地震の三大要素である「震源位置、発生日時、規模」に加えて、二次災害の発生の有無や被災地域の特性（人口密度・住宅の構造・近所づきあいの程度など）、発生直後の捜索・救助活動の規模など、様々な要因によって大きく変化する。よって防災情報システムで人的被害を予測する場合、事前あるいは地震発生直後に諸要因に関するデータを入手すればよいが、地震発生直後には高精度の予測よりも概括情報が必要であるためデータは速報性の強いもの（震度・震源位置・地震マグニチュード・地震加速度・速度など）に絞り込む必要がある。また予測精度を上げるためには、企業や行政・研究機関の積極的な情報公開が不可欠であろう。

4. 地震時の鉄道による人的被害予測 阪神・淡路大震災では道路や鉄道などのライフラインに大きな被害が出たが、発生時刻が早朝であったためこれらに起因する人的被害はわずかであった。しかし、発生時間帯が異なれば莫大な被害が考えられる。そこで、本研究では鉄道事故による人的被害に注目し朝のラッシュ時に地震が発生した場合の人的被害予測を行った。

＜地震による鉄道被害＞ 今回の震災による鉄道施設の被害は、高架橋の倒壊や車両の脱線（営業列車だけで16本）を中心に長期の不通による経済的損失も含め、災害による鉄道被害としては最大級のものであった。我が国においては鉄道の開通以来200件近くの被害地震があるにもかかわらず、営業列車に被害を生じた例は今回を除きわずか8件、36本（うち23本が関東大震災によるもの）である。また、低重心で脱線しにくい電車の被害は初めてであり、今回の地震動の大きさを物語っている。人的被害については列車事故により阪神で35名（うち重傷8）、阪急で18名（2）、六甲ライナーで8名（1）、神戸高速で2名（0）の計63名（11）が負傷、駅舎等の落下・倒壊による被害を含めると死者3名、負傷者77名の計80名であった。

＜人的被害のモデル化＞ 地震時の脱線現象については本格的解明がなされておらず、地震外力による列車挙動のシミュレーション（脱線の有無の判定）は困難である。また、過去の地震被害についてはサンプルが少ないうえに車両構造など過去の地震被害と比較して異なる点が多いため、事故発生件数を予測するにあたり今回の震災の事故資料及び地震加速度の分布図をもとに地震加速度と事故発生確率との関係を求めた。

Yoshiaki KAWATA, Haruo HAYASHI, Hidenori FURUICHI

人的被害の予測についても同様の理由により、まず過去 30 年間の一般の鉄道事故について死傷者数・乗客数・走行速度・事故の状況などを調べ、その特徴・傾向をもとに乗客数と死傷率、死亡率との関係をモデル化した(図 1)。その結果、乗客の増加に伴い人的被害も増加するが、被害の割合は減少することが判明した。

<人的被害の予測> 得られた被害予測モデルをもとに、阪神・淡路大震災が異なる時刻に発生した場合の阪神間の鉄道事故による人的被害(列車事故に起因するもの)について、実際の発生時刻(5:47a.m.)と最大被害が予想される混雑時(8:00a.m.)の2時刻において以下の手順で予測を行った。

- ① 当該時刻に営業運転をしている各列車の走行位置、編成長、乗客数を調べる。
- ② 各列車の運行位置の加速度分布と事故発生確率をもとに、その列車が事故を起こすかどうかを判定する。
- ③ 当該列車における乗客数を危険側、安全側の2つのモデルに適用し、人的被害の予測結果を得る。
- ④ ②、③の結果を合算して事故件数および人的被害(全体)の予測結果を得る。

得られた結果を表 1、2 に示している。なお、山陽新幹線は輸送人員が非公開のため対象路線から除外した。

5. 予測結果の考察 まず、実際の人的被害と 5:47a.m.における予測結果の安全側とを比較するとよく一致した。今回の震災では転落などの深刻な事故が1件も発生しなかったことを考慮すると、「早朝だから」ではなく、「早朝のわりにはこの程度の被害で済んだ」と認識すべきと考えた。つぎに、朝の混雑時における予測結果について見ると、乗客の増加の割合(約 60 倍)ほどには被害は拡大しない(約 20 倍)。しかし、4 倍以上の列車が被災区域を運行しているため、「激しい構造物の損壊が発生した場所にたまたま列車が居合わせる」確率が高くなるだけでなく、列車の運行密度や乗車密度が大きくなればなるほど事故の内容も複雑化することが予想される。そのため安全側の結果はまず期待できず、この時間帯に地震が発生した場合、鉄道事故による人的被害が人的被害全般に占める割合が大きくなる可能性が高い。自治体が防災情報システムを導入する際には、鉄道会社のもつ防災システムとの連携や情報の共有化をはかることが不可欠であると言える。

6. おわりに 本研究では従来予測が困難とされた地震時の鉄道による人的被害予測を行ったが、同様の地震が異なる時刻に発生した場合、大被害が発生する危険性が高いことが示された。都市の地震被害を軽減するためには、予測が困難である鉄道や高速道路・通信などの都市を形成する個々のシステムによる人的被害予測について、災害時の人間の行動を多面的に理解することにより精度を高めていく必要がある。

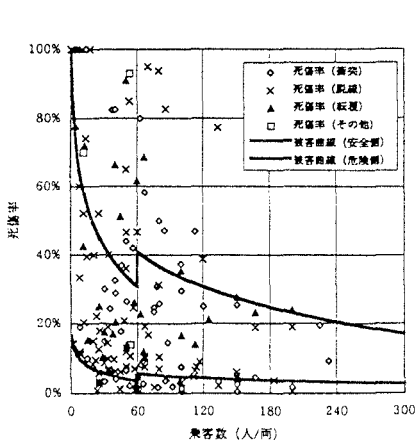


図 1 乗客数と死傷者の割合との関係

路線区間名	運行本数	事故件数	4500m死亡予測(安全側)	4500m死亡予測(危険側)	乗客数
阪神本線	8	2(3)	11 ~ 77(35)	1 ~ 9(0)	520
阪神西大塚線	2	0(0)	0 ~ 2(0)	0 ~ 0(0)	60
阪神武庫川線	0	0(0)	0 ~ 0(0)	0 ~ 0(0)	0
阪神神戸線	4	2(1)	14 ~ 102(41)	2 ~ 12(0)	550
阪神今津線	2	1(2)	2 ~ 19(13)	0 ~ 2(0)	130
阪神伊丹線	1	0(0)	0 ~ 2(0)	0 ~ 0(0)	50
阪神甲陽線	1	0(0)	0 ~ 1(0)	0 ~ 0(0)	10
阪神宝塚線	4	1(1)	5 ~ 38(1)	0 ~ 4(0)	330
阪神東武庫川線	1	0(0)	0 ~ 1(0)	0 ~ 0(0)	10
JR神戸線	7	3(3)	23 ~ 162(70)	2 ~ 17(0)	870
JR宝塚線	0	0(0)	0 ~ 0(0)	0 ~ 0(0)	0
六甲ライナー	1	0(0)	0 ~ 6(8)	0 ~ 1(0)	15
合 計	31	9(11)	58 ~ 415(81)	5 ~ 44(0)	2445

(カッコ内は実際の被害)

表 1 人的被害予測の結果 (5:47a.m.)

路線区間名	運行本数	事故件数	4500m死亡予測(安全側)	4500m死亡予測(危険側)	乗客数
阪神本線	34	10	348 ~ 2437	31 ~ 262	32584
阪神西大塚線	2	0	3 ~ 20	0 ~ 2	317
阪神武庫川線	0	0	0 ~ 0	0 ~ 0	0
阪神神戸線	21	6	325 ~ 2253	29 ~ 245	33030
阪神今津線	10	5	132 ~ 922	12 ~ 100	7493
阪神伊丹線	3	0	12 ~ 87	1 ~ 9	1632
阪神甲陽線	2	0	2 ~ 15	0 ~ 2	460
阪神宝塚線	24	6	329 ~ 2249	30 ~ 250	38251
阪神東武庫川線	2	0	3 ~ 23	0 ~ 2	297
JR神戸線	25	11	336 ~ 2444	30 ~ 356	19347
JR宝塚線	0	0	0 ~ 0	0 ~ 0	0
六甲ライナー	6	2	8 ~ 60	1 ~ 7	592
合 計	131	40	1512 ~ 10694	138 ~ 1153	137580

表 2 人的被害予測の結果 (8:00a.m.)