

日本地震工学会誌

Bulletin of JAEE

No.35

Oct.2018

特集：首都直下地震 —1. 何が起きるのか



<http://www.jaee.gr.jp/>

公益社団法人 日本地震工学会

Japan Association for Earthquake Engineering

〒108-0014 東京都港区芝5-26-20 建築会館

Tel:03-5730-2831 Fax:03-5730-2830

日本地震工学会誌 (第35号 2018年10月)

Bulletin of JAEE (No.35 Oct.2018)

INDEX

巻頭言：

特集：首都直下地震 — 1. 何が起きるのか / 平田 京子 1

特集：首都直下地震 — 1. 何が起きるのか

首都直下地震の被害と様相の全体像 / 中林 一樹 2
関東大震災：最大の首都直下地震災害 / 武村 雅之 8
首都直下地震時の火災被害に関する「想定」 / 廣井 悠 12
首都直下地震による住まい・高層建物の想定被害 / 久田 嘉章 16
地盤被害の実態 / 安田 進 20
首都直下地震の経済被害について / 藤井 聡 24

特別寄稿：

2018年6月18日大阪府北部の地震の概要について / 清野 純史 28

シリーズ：温故知新～未来への回顧録～

見るに如かず / 尾上 篤生 30

学会ニュース：

地域の災害レジリエンスの評価指標開発と政策シミュレーション研究委員会報告 / 目黒 公郎 34

お知らせ：

本学会に関する詳細はWeb上で / 会誌への原稿投稿のお願い / 登録メールアドレスご確認のお願い
/ JAEE Newsletter 第7巻 第3号 (通算第22号) が2018年12月下旬に発刊されます / 問い合わせ先 35

編集後記

特集：首都直下地震 —1. 何が起きるのか

平田 京子

●会誌編集委員会 委員長／日本女子大学 教授

特集解題

2018年6月号にて、地震工学界の第一線を走る著者の力を結集して、「南海トラフ地震対策 —何が見直されたのか、どう備えるか—」という大特集を打った会誌編集委員会ですが、それに続く3号連続の企画「首都直下地震」シリーズがいよいよ始まります。

本特集の企画中に起こった、2018年6月18日の大阪府北部の地震、2018年9月6日の平成30年北海道胆振東部地震、これに加えて平成30年7月豪雨、いわゆる西日本豪雨が続き、国民の自然災害に関する不安感はいや増しています。またこれらの災害によって多くの新しい課題が突き付けられました。これから本会でも多くの研究・調査活動が報告されていくと思われま

2018年6月7日には土木学会から南海トラフ巨大地震が発生した場合、地震発生から20年間の経済的な被害が最悪で1410兆円に達するとの推計結果が発表されました。また首都直下地震についても直接被害が約47兆円、経済被害が731兆円との推計結果が発表されました。このような甚大な被害に対する対応が改めて突き付けられているのです。

日本の心臓部たる東京の被害が大きい場合、それは世界の大都市と比べても、未曾有の規模になることが予想されます。密集した世界有数の巨大都市での自然災害は国家を左右することにもなりかねません。東京首都圏の工業・商業・農業や生活などが機能をいったん停止すれば、日本だけにとどまらず、世界にどのような影響を及ぼすのでしょうか。特にこれまで日本が担ってきた経済・貿易活動は、新興勢力に譲り渡さざるを得ないかもしれません。

日本は土木・建築を始めとして復興力の高さで立ち上がってきた国です。私達はこの復興力、防災力をこれまで同様発揮できるでしょうか。市民の命と財産をいかに守るか、最新情報を俯瞰的に理解して、備える時です。

そこでまずシリーズ最初となる本号では、首都直下地震の被害想定を中心に、首都直下地震で「何が起きるのか」を把握し、歴史的に振り返っています。

具体的には、首都直下地震の被害の全体像、首都直

下地震の歴史、火災における人的被害、住まい・高層ビルに関する被害、地盤被害、経済被害に焦点を絞り、首都直下地震が発生した場合に、何が起きるのかを分かりやすく報告してもらいました。冷静な語り口ながらインパクトは大きく、課題の巨大さが身に迫ってくる臨場感あふれる原稿になりました。会員だけでなく広く社会に同時にお伝えしたいほどの名文とも言える論考が並びます。関東大震災発生後の甚大な被害から昭和の金融恐慌へとつながり、暗い時代に入ってしまった日本（武村氏原稿）。耐震技術と防災対策は進歩したけれども、危機はまだそこここに転がっている感覚をおぼえました。過去の惨禍を二度と繰り返さぬよう、執筆者各氏が述べる最新情報を、ぜひ学んでください。雑誌は白黒のため、PDF版ではカラー図版が見られることもお忘れなく。

また速報的に伝える大阪府北部の地震の緊急報告も、会員諸氏に多くの示唆を与えてくれることでしょう。



平田 京子 (ひらた きょうこ)

1990年 日本女子大学大学院修了、日本女子大学家政学部住居学科教授、博士(学術)、専門分野は市民防災、避難所運営、被災者の生活復興、リスクコミュニケーション

首都直下地震の被害と様相の全体像

中林 一樹

●明治大学 研究・知財戦略機構 研究推進員
首都大学東京／東京都立大学 名誉教授

1. はじめに

M7クラスの首都直下地震は、南海トラフ巨大地震（M8～M9クラス）とともに、30年以内に発生する確率が70～80%と、最も発生確率が高い地震と長期評価されている。両者には地震として特徴的な違いがある。震源が比較的浅いプレート内地震や活断層地震等の首都直下地震は、相模トラフの海溝型地震である関東地震（1703、1923）が発生する前の100年くらいの間に首都圏で複数回発生している。次の関東地震の前にこのような直下地震がどこで発生するのかわからないが、震源直上の半径30km程度の範囲に被害が集中する。

首都圏に影響を与える地震は、この首都直下地震だけではない。日本海溝で発生した東北地方太平洋沖地震（東日本大震災）でも首都圏東部低地で大規模な液状化を発生させ、太平洋沿岸には津波被害、都市地域の超高層ビルには長周期地震動による支障、鉄道の運行停止による500万人を超える帰宅困難者問題など大きな影響を与えた。南海トラフ巨大地震が発生すると、首都圏では長周期地震動の影響、液状化の被害、鉄道の被害や運行停止、沿岸地域の津波被害などは、東日本大震災以上になるのではないかとされている。

本稿では、中央防災会議が2013年に公表した都心南部直下地震の被害想定調査をもとに、M7クラスの首都直下地震が引き起こす被害の規模や様相を論考する。

2. 首都直下地震の多様性と対策の多様性

2.1 発生地域が特定できない首都直下地震

次に発生する首都直下地震は特定できないため、中央防災会議は19の震源で3タイプの地震を設定し、震度分布を想定した。そのうち被害規模が最大で、政治・行政や経済の中核機能への影響が大きい首都直下地震として、都心南部直下地震の被害を詳細に想定した。

しかし、次の首都直下地震は首都圏の全地域の直下で発生する可能性があるため、各地域が備えるべき最大震度を想定し、集めたのが図1である。それは、首都圏の市街地のほぼ全域が最大震度6強、低地部では震度7の強い揺れになる可能性を示しており、各自治体に備えを強化することを求めた。首都圏の各自治体が、被害軽減のための災害予防、発災後に備える災害対応、その後の復旧復興の準備を促進する目標は、

都心南部地震ではない。都心南部地震の被害想定を踏まえ立法された首都直下地震対策特別措置法だが、「緊急対策区域」としては首都圏の全域10都県310市区町村を指定し、うち都心4区（千代田・中央・港・新宿区）を「首都中枢機能維持基盤整備等地区」に指定した。

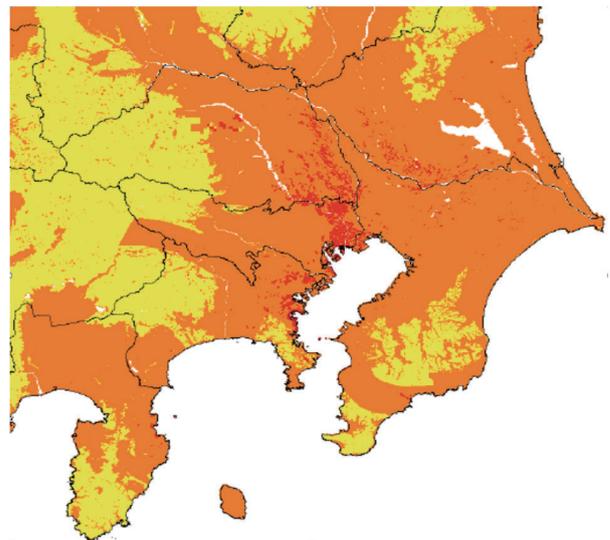


図1 首都直下地震による最大震度の想定

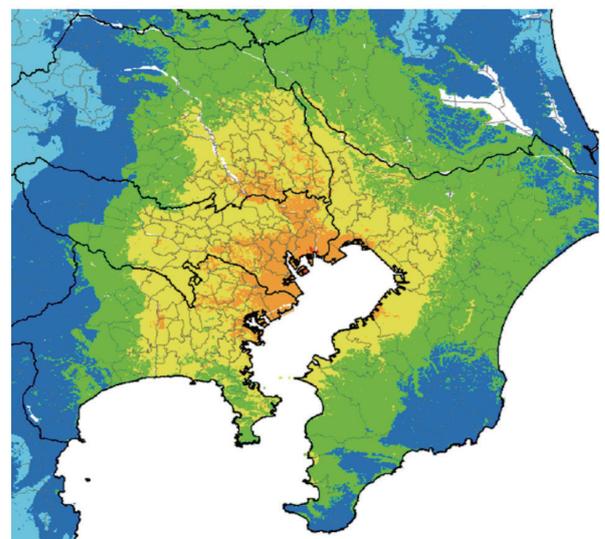


図2 都心南部地震の想定震度の分布

2.2 被災地の土地利用で異なる被害と様相

M7級の直下地震では、震源直上の概ね半径20～40 kmの範囲が震度6弱以上の揺れとなる。被害規模や様相はその地盤や土地利用状況に規定される。家屋密度が低い郊外か、建物密度も人口密度も高く様々な機能が集中している東京区部かで、被害規模も被災様相も異なる。政府が首都直下地震対策特別措置法の前提として、被害規模が最大で首都機能への影響も大きい「都心南部直下地震」の被害想定を詳細に行ったのは、次に起きる首都直下地震だからではない。都心南部地震の想定震度分布では、茨城県南部や埼玉県北部・西部、神奈川県西部、千葉県南部、東京多摩地域などは震度5強であるが、それらの地域は安心できるわけではない(図2)。首都圏の各地域の直下でM7クラスの地震が発生する確率は同程度で、その時は震度7～6強の揺れとなるが、被害の規模や様相も、対策課題も異なる。

2.3 発災時の時節・気象条件で異なる被害と様相

地震動による建物や宅地の被害(倒壊、液状化、盛土・擁壁崩壊など)は、地震が発生する季節、曜日、時刻、その時の気象条件によって異なるわけではないが、その後に発生し拡大する被害や被災の様相は大きく異なる。過去の震災の特徴からは、冬季は出火数が多く、強風下であれば焼失家屋が増えるし、人々が自宅で就寝している深夜は人的被害が増え、逆に、外出者が多い昼間では帰宅困難者が多くなる。

都心南部直下地震の被害想定(以下、被害想定)では、冬の深夜、平日の正午、冬の夕刻の3ケースで、風速3m/秒と8m/秒の2ケースの組み合わせで建物の火災被害を想定した。冬の未明(1月17日5時46分)に、風速3m/秒のほぼ無風状態で阪神・淡路大震災が発生した。出火も延焼による被災も少なく、全壊建物10万5千棟に対して全焼建物は7000棟であった。

しかし、もし12時間後の夕方なら最も暖房具や火気器具が使用される時間帯で、電気火災も含め出火数は最多となり、風速8m/秒の強い季節風下なら建物火災から市街地火災に延焼拡大し、焼失棟数が飛躍的に大規模となる。さらに多くの就業者や来街者が火災に巻き込まれ、帰宅困難ではなく来街者も大火災から命を守るために避難場所への避難を行うことになる。

3. 被害想定に限界一過去の都市を想定する一

3.1 過去の定量想定と未来の定性想定

被害想定が科学的に行われるようになったのは、1960年代以降である。東京では、新潟地震(1964)を教訓に、ポスト東京オリンピックの都市政策として、下

町低地地域の地震火災の被害想定を行い、江東デルタ地区の防災都市づくりを始めた。以降、とくに地震の被害想定は震災対策の前提となった。被害想定を前提に地震対策の立法がなされた最初は東海地震を前提とする大規模地震対策特別措置法(1978)である。首都直下地震対策特別措置法(2013)も、東日本大震災の教訓を踏まえ、首都を襲う最大規模の地震の想定とともに、特別措置の検討のために、被害規模が最大となる都心南部直下地震を詳細に被害想定した。

このように、現今では災害対策を検討するためには、被害想定が不可欠になっている。しかし、被害想定の結果、とくに定量的被害想定に固執することは発災時に「想定外」をつくることに留意すべきである。なぜなら、定量的な被害想定とは、過去の被害発生メカニズムの解明から回帰されたシミュレーションであり、それは被害主体(建物、施設・設備、人口等)に関する定量データも過去の実態データが使用される。中央防災会議(2013)が公表した「首都直下地震の被害想定」では、建築データは2011年1月の固定資産概要、人口データは2010年10月の国勢調査及び2008年の東京都市圏パーソントリップ調査である(表1)。

そのために、被害想定の意味は被害の定量的想定を第一義としても、それは将来の被害ではない。むしろ、これまで定量化できない被害の定性的想定として補完的であったシナリオ想定-災害様相の想像-こそ、将来の被害を想定するものであろう。

表1 建物・人口の状況(2011, 2010)

地域	建物(千棟)			人口(万人)		
	木造	非木造	合計	夜間	昼間	夕方
区部	110	53	163	892	1,251	1,202
4都県	669	234	903	3,560	3,547	3,527
5県	387	160	546	1,162	1,141	1,137
合計	1,055	394	1,450	4,722	4,688	4,664

4都県:東京・埼玉・神奈川・千葉/5県:茨城・栃木・群馬・山梨・静岡

3.2 首都圏の高層化と地下化

1963年の建築基準法の改正により、それまでの最高31mまでの建築物高さ規制に代わり、建物の延べ床面積を敷地面積で除した容積率で建築ボリュームを規制する容積率制度が導入された。東京区部では、1964年から先行導入され、1965年起工の霞が関ビルが超高層ビルの最初で、急速に市街地の高層化が始まった。1968年の新都市計画法の交付により、用途地域に連動して全国に容積率制度が導入され、首都圏全域でも高層化が加速的に進捗し、マンション建設が進んだ。

現在、首都圏における高さ150mを超える超高層ビルは、2018年度竣工・建設中・解体中を含めて東京都170棟、神奈川県(横浜・川崎)23棟、埼玉・千葉・群馬県9棟であり、計画中で予定の高さが150mを超えるのが東京都40棟、神奈川県8棟である(表2)。合計で首都圏には高さ150m以上の超高層ビル202棟が竣工・着工し、48棟が計画中だが、被害想定の対象ではない。

表2 首都圏の150mを超える超高層ビル

2018の現状	東京	神奈川	千葉	埼玉	群馬
竣工	152棟	20棟	5棟	3棟	1棟
建設・解体中	18棟	3棟	-	-	-
計画中	40棟	8棟	-	-	-
合計	210棟	31棟	5棟	3棟	1棟

注:「日本の超高層ビル」¹⁾から筆者が算出

都市の地下化は、道路を含むライフラインの整備拡充に加え、ビルの地下階、公道・広場等の地下を含む地下街、地下鉄施設の拡充で、進んでいる。地震の揺れには、高層階の揺れの増幅とは逆に地下空間は揺れにくい、閉鎖空間であるため火災時のリスクは高い。

首都圏の地下街は、東京都(11)・神奈川県(8)・千葉県(1)の20ヵ所で、その延面積が40万㎡に達する(日本学術会議2005)。地下街の多くは地下鉄駅と接続し、乗り継ぎ連絡のために通路でつながっている。首都圏では区部を中心に地下鉄網の整備が進展し、新設路線は地下深くに設置され、現状は営団9路線195km、都営4路線109km、横浜市営45kmで合計約350kmに達する。その多くが、私鉄・JR線と相互乗り入れし、その地下への乗り入れ場所は、多くが東京区部の木造住宅密集地帯に位置し、地下鉄も地震火災と無縁ではない。

首都圏は、東京区部を中心に、地下50mから地上634mまでの立体都市でもある。そしてこの巨大立体都市を支えているのは、電気をエネルギーとする高度な情報システムである。これが今日の、そして近未来の首都圏である。

3.3 日本社会の高齢化と国際化

日本社会の少子高齢化の進展は世界最速であり、首都圏も例外ではない。全国の高齢化率は2010年には23%であったが2018年には28%に達したと推測され、さらに、2040年には35%前後に達すると推計されている(表3)。

2017年と25年後の2042年の日本の人口規模・構造の変化を踏まえて、各々で都心南部地震の発生を想定し、震度5強以上の被災地域を対象に要支援人口と支援可

能人口を推計した(表4)。社会保障・人口問題研究所の推計(出生率中位、死亡率高位)を基にすると、日本の人口は12,600万人が10,800万人に減少し、高齢化も28%が36%に増加する。首都直下地震の被災地の全人口は3200万人が3000万人に減少し、幼年～中年の人口の急減に対して高齢者人口は微増傾向が続く。

表3 首都圏(4都県)の高齢化率の進捗

	東京	神奈川	埼玉	千葉
高齢化率(2015)	22.7%	23.9%	24.8%	25.9%
高齢化率(2040)	33.5%	35.0%	34.9%	36.5%

原資料:「高齢社会白書 平成29年度版」³⁾

表4 2017-2042年の都心南部地震発生時の支援状況

		2017年	2042年	
日本の全人口		126百万人	108百万人	
被災地内	被災地内の全人口	100%	3,200万人	3,000万人
	要支援人口①	20%	1,280万人	1,340万人
	支援可能			
	前期高齢者②	14%	440万人	460万人
	健常者③	66%	1,480万人	1,200万人
被災地外	被災地外の全人口	100%	9,400万人	7,800万人
	要支援人口④	20%	1,880万人	2,110万人
	支援可能			
	前期高齢者⑤	14%	1,320万人	1,170万人
	健常者⑥	66%	6,200万人	4,520万人
要支援人口の合計(①+④)			2,530万人	3,450万人
支援可能人口の合計(②+③+⑤+⑥)			10,070万人	7,350万人
要支援人口/支援可能人口			1/4.0	1/2.1

①:乳幼児+障がい者+高齢者(前期50%+後期100%)+健常者(30%)

④:乳幼児+障がい者+高齢者(前期50%+後期100%)

②・⑤:被災地内外ともに前期高齢者の50% ③:健常者の70%

さらに、都心南部地震の被災地人口のうち3歳児未満人口、障がい者、70歳以上の後期高齢者の全員、65～69歳の前期高齢者の5割および健常者の3割を被災による「要支援者」と仮定し、一方、非被災地の要支援人口(3歳以下の乳幼児、障がい者、前期高齢者の5割、後期高齢者の全員)は平時のままに要支援人口とすると、2017年における被災後の全国の要支援人口は2,530万人となる。それを支援する日本人は10,070万人であるから、要支援者1人を支援可能者4人で支援できることになる。これは、東日本大震災の沿岸地域の被災地人口750万人全員を残りの11,850万人で支援したとする1:16の1/4である。

2042年に首都直下地震が発生したと仮定すれば、要支援人口3,450万人を7,350万人で支援するので、2人で1人を支援する状況になる(表4)。それは東日本大震災時の1/8の状況である。それが被災地で前期高齢者の5割が被災を免れて支援人口となり、健常者の3割が被

災し、残る7割は被災を免れて支援者になると仮定した場合の推計である。

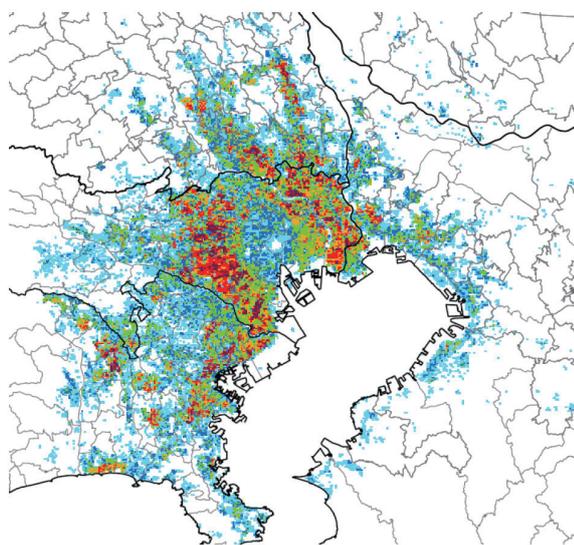
4. 「都心南部直下地震」の被害想定(2013)

東日本大震災を受け、中央防災会議は首都直下地震及び南海トラフ地震について、科学的に起こりうる最大規模の地震を想定するとともに、改めて被害想定を取りまとめ、2013年に公表した。その前提となるデータは、2010年以前のデータに基づくものであり、将来に起きる地震の被害想定ではないが、その結果から、M7.3で被害規模最大となった都心南部直下地震の被害状況と被災状況を考察する。

4.1 建物等の地震動被害

冬の夕方、風速8m/秒の下で、地震動とその後の火災による建物被害の地域空間的イメージが図3である。

行政・政治、経済・業務、商業サービス機能が集中し超高層ビルが増大している東京都心区域を取り囲んでいる木造住宅密集市街地からその外周に広がる住宅市街地で、住家20万棟が倒壊・全壊し、その後の火災で建物43万棟が焼失し、全壊と焼失が重複する2万棟を除いた61万棟が“全損”と推計された(表5)。



■100棟～ ■50-100棟 ■30-50棟 ■10-30棟 ■5-10棟
図3 都心南部地震における建物の全壊・全焼の分布

阪神・淡路大震災での比率と同じ“半壊棟数は全壊棟数の1.2倍”を適用すると、概ね85万棟が全半壊となる。半壊住家も居住は困難とすると、全半壊の85万棟、建物1棟に平均住戸1.8戸とみなすと概ね150万戸が居住継続困難ということになる。

表5 都心南部地震で想定された建物被害

建物被害の項目		冬・深夜	夏・昼間	冬・夕方
揺れによる全壊		175,000 棟		
液状化による全壊		22,000 棟		
急傾斜と崩壊による全壊		1,100 棟		
火災での全焼	風速 3m/秒	49,000 棟	38,000 棟	268,000 棟
	風速 8m/秒	90,000 棟	75,000 棟	412,000 棟
全壊・全焼:合計	風速 3m/秒	247,000 棟	236,000 棟	465,000 棟
	風速 8m/秒	287,000 棟	272,000 棟	610,000 棟
ブロック塀等の転倒数		80,000 件		
自動販売機の転倒数		15,000 件		
屋外落下物の建物数		22,000 棟		
建物からの要救助者数		72,000 人		
エレベーター閉込め人数		17,400 人		
発生建物(台数/棟数)		(30,100 台/14,900 棟)		
災害廃棄物		9,800 万トン/8,500 万㎡		

4.2 被災市街地の被害様相

これらの倒壊建物に加え、ブロック塀、自動販売機の転倒、ビル等からの屋外落下物、さらに想定していないが液状化地域では電柱が傾倒するなど、基盤未整備である木造住宅密集地では、細街路が多いために街路閉塞も多発する(図4)。道路ネット閉塞率とは、交差点間の単位道路を1として、地域の中で街路閉塞している割合で、25%を超える地域とは、地域の全体に対する割合で通り抜けることが容易ではなく、緊急車両による災害対応も困難な地域といえる。

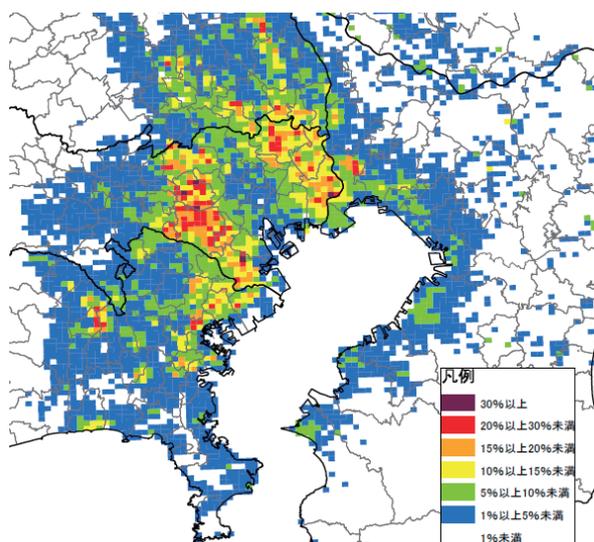


図4 都心南部地震における道路ネットワークの閉塞率

そんな地域で、被災建物からの要救助者は72,000人、また老朽ビル等でエレベーターの閉じ込めによる要救出者が17,400人と想定された。

4.3 地震火災の想定とその様相

被害想定では約2,000か所から断続的に出火し、多くは初期消火されるが約600か所では失敗し、炎上火災が延焼拡大する。都心南部地震でも阪神・淡路大震災の地震火災での出火数の時間経過と同様であると仮定すれば、発災直後15分間で180件が、その2時間後までに新たに120件が、さらにその4時間後までに90件が出火、炎上拡大する。地震火災では、地震後断続的に火災が発生し拡大するので、木造住宅密集市街地では火災が近づく前に避難場所へ緊急避難しなければ、関東大震災時のように避難が遅れ、路上で火に取り巻かれて死亡する「逃げまどい」の可能性があると推定された。「逃げまどい」による焼死は、都心南部地震では最大7,000人と想定された。

4.4 人的被害の概要

これらの建物の震動被害(倒壊・転倒・落下)やその後の火災被害に起因する人的被害は、圧死や窒息死、焼死などで、最大11,100人が深夜・早朝では発生する(表6)。深夜・早朝とはほとんどの居住人口が自宅にいる時間帯で、住宅による死者が9割、家具で1割となる。死者の大部分は住宅被害に起因するが、負傷者の大部分は家具などの転倒に起因する。ブロック塀等の転倒など建物外での死傷は、昼間や夕方の屋外にも人がいる時間帯に発生する。火災の死者は、出火数が多い夕方、風速8m/秒の強風時が最大で、逃げまどいの最大7,000人を含む16,000人が焼死する。

表6 都心南部地震で想定された人的被害の最大値

人的被害の項目	冬・深夜	夏・昼間	冬・夕方
建物倒壊等による死者 (うち家具の転倒・落下)	11,000人 (1,100人)	4,400人 (500人)	6,400人 (600人)
急傾斜地崩壊による死者	100人	30人	60人
火災での死者	風速3m/秒	3,800人	600人
	風速8m/秒	7,000人	1,700人
ブロック塀等屋外転倒物	10人	200人	500人
死者数の合計	風速3m/秒	15,000人	5,400人
	風速8m/秒	18,000人	6,200人
負傷者数	113,000人	90,000人	123,000人
転送が困難な入院患者	13,000人		

さらに負傷者も123,000人と、人的被害も、建物被害が最多となる夕方が最多である。その結果、重篤な負傷者等を緊急入院させて措置するために、震災前の入院患者を他病院に転送するとしているが、他で受け入れが困難になる患者が13,000人と想定された。

4.5 インフラ施設・設備の被災とその影響

阪神・淡路大震災や東日本大震災でのライフラインの復旧は、電気約1週間、通信2週間、上水道2～3か月、都市ガス3か月であった。都心南部地震でのライフライン被害と復旧の想定は表7で、上・下水、電力、通信、都市ガスは各事業者の協力で想定している。

全ての機能を支える基盤エネルギーは電気で、東京湾岸に立地する火力発電所は緊急停止しても被災はしないとした想定である。電力は数日程度は供給電力が制約されるが1週間で回復する。しかし、火力発電所が被災すると首都圏の停電は全域化・長期化を余儀なくされると想定している。また通信は、1週間後でも回線不通率が5割で、全国・世界にも大きな影響を与える「東京の中核機能」には厳しい非常事態である。

日常生活に係る上水道は比較的軽微な被害のように見えるが、液状化の影響を受ける地域では、1か月以上の断水を140万人が、ガス停止を48万戸以上が受け、居住者の生活継続は厳しい状況になることを想定している。さらに東京湾のコンビナートや危険物施設が被災すれば、極めて厳しいエネルギー不足となろう(表8)。

表7 都心南部地震におけるライフラインの被災と回復

ライフライン種別		平時	直後	1日後	1週間後	1月後
上水	影響人口	4,656	1,444	1,355	852	140
	断水率	(100%)	31%	29%	18%	3%
下水	影響人口	3,858	150	150	120	5
	支障率	(100%)	4%	4%	3%	0.0%
電力	供給停止	5,300	2,700	2,500	300	0
	停電率	(100%)	49%	48%	6%	0%
通信	不通回線	968	469	465	450	92
	不通率	(100%)	48%	48%	48%	9%
	携帯電話(停波局率)		4%	46%	46%	9%
ガス	供給停止	939	159	151	126	49
	支障率	(100%)	17%	16%	13%	5%

単位:上水・下水(万人)、電力(万kw)、通信(万回線)、ガス(万戸)

表8 東京湾の危険物・コンビナート施設の被害想定

東京湾岸の危険物施設等	火災	流出	破損等
9,240件	5件未満	60件	730件

4.6 交通施設の被害想定とその影響

被害想定では道路施設はほとんどが中小被害としている(表9)。しかし、問題は道路の被害ではなく、交通機能の障害程度であるが、定量的な被害想定はない。最も影響が大きくなる平日の夕刻とは、首都圏の交通が最も渋滞状況にある時間帯で、発災直後からの自動

車交通の混乱問題は全域的に発生しよう。同時に都心地域を取り囲む木造住宅密集市街地で同時多発する火災は郊外への行く手を遮り、帰宅困難者も含め広域避難場所へ避難するために、渋滞する自動車の間を溢れるように人々が歩く。首都高速道路からは自動車が地上に誘導されたり、車を高速道に置いて人々が降りてくる。道路の被害が中小程度でも、信号停止し、渋滞発生によって、一瞬で身動き出来なくなるであろう。

一方、鉄道は強い揺れを感知すると安全点検のために全線を緊急停止する。鉄道交通の停止は発災時間によって、「出勤困難」と「帰宅困難」の問題をもたらす(表10)。直後の2～3日間の帰宅困難問題に対して、鉄道が数週間も制約されれば、出勤困難は長期化し、首都機能を支える公・民のBCP(業務継続計画)の運用にもかわる大きな影響を及ぼそう。

表9 都心南部地震における交通インフラの被災と回復

都市インフラの被害状況		直後	1日後	1週間後	1月後
道路	国道	高速 620	直後通行不能	1週間後通行確保	
	都県道	幹線 120	緊急交通も困難	1月後交通回復	
	市町村道	大被害 50 中小被 280	瓦礫閉鎖を含め 通行困難発生	1週間後通行確保 1月後交通回復	
鉄道	新幹線	被害軽微	運行緊急停止	新幹線運行再開	
	鉄道	中小被 840	被災外から再開	1月後 60%再開	
港湾	重要港の岸壁	全 923 岸壁 の 250 被災	港湾機能・航路の停止	復旧に 2年	
空港	羽田	2/4 滑走路 で液状化	空港ビル耐震 火災煙でも支障	2 滑走路の運行 1月後には回復	

4.7 避難問題と震災関連死

自宅での生活を断念し避難する人は2週間後に720万人(避難所に290万人)で、1カ月後でも400万人(同120万人)に及ぶ。上水道が断水中の人は1週間後には852万人(表7)と想定しているので在宅で避難生活をする人が200～300万人と推定され、在宅避難者の生活確保の課題は重大である。生活物資の不足量の想定で

表10 都心南部地震における帰宅困難と避難の状況

人的影響	平時	直後	1日後	2週間後	1月後	
帰宅困難者	1,700 ^{*1}	800	800			
避難者	避難所	—	180	290	120	
	難所外	2,000 ^{*2}	—	120	430	280
	計		—	300	720	400
1週目要援護	65歳以上高齢 108千人 / 5歳未満 107千人					
物資	食料	(避難所での1週間の不足分) 3,400万食				
	飲料水	(断水で1週間に不足する給水) 1,700万ℓ				
	毛布	(避難所等で不足する毛布) 37万枚				

単位：万人 *1平日昼間の外出者数 *2平日昼間の在宅者数

は、1週間後には避難所避難者のみで3,400万食、飲料水1,700万ℓ、毛布37万枚と想定された。しかし、水、飲料水は在宅避難者にも給付されねばならない。その不足とは、被害想定されていない「高齢者らの震災関連死」の対策課題でもある。避難所には1週間後で高齢者の要支援者が10万8千人と想定している。

5. おわりに—首都圏の近未来の被害想定と意義—

2010年以前のデータでの都心南部地震の被害想定を見てきたが、近未来には高齢者率が35%に達するスーパー高齢社会とともに、首都圏の高層都市化がさらに進展している。建物被害として想定した火災は、低層建物の出火と木造住宅密集市街地での延焼火災を想定しているが、高層階からの出火・焼失のビル火災も想定される。また、高齢者の在宅避難も含め、震災関連死が直接死を上回る状況の起こり得よう。

高齢者がどれだけ被災後にも生活を継続できるかは、高齢者の自宅の耐震化、室内の安全化、備蓄、近隣関係など事前防災対策の実践(自助)にかかっている。高層ビルも長周期パルスに耐えられるように制震化し、ビル内での在宅避難を可能にする取り組みが不可避であろう。市街地に空地空家は増えても、避難所空間は増えることなく、減り続けるのかもしれない。

これからの首都直下地震対策には、将来推計型データを用いた近未来型被害想定手法の開発で将来の被災事態を想定することが、想定外を無くすと同時に、近未来の都市・地域復興の課題も明確にするだろう。

参考文献

- 1)「日本の超高層ビル」
<http://www.skyskysky.net/renew.html> (閲覧2018.08.31)
- 2)日本学術会議：大都市における地震災害時の安全の確保について、2005.
- 3)内閣府：高齢社会白書 平成29年版、2017.
- 4)中央防災会議：首都直下地震の被害想定と対策について、2013.
- 5)中林一樹：「首都直下地震対策の基本方向」地震ジャーナルNo.57、PP.1-13、2014.



中林 一樹 (なかばやし いつき)

1975年東京都立大学大学院工学専攻退学、1976年の酒田大火から都市防災、災害復興の研究を始める。東京都立大学、首都大学東京の教授、明治大学の特任教授を経て現職。都市防災学・災害復興学が専門で、東京都の各種委員として、「帰宅困難者」、「事前復興」の研究に先駆的に取り組んできた。

関東大震災：最大の首都直下地震災害

武村 雅之

●名古屋大学減災連携研究センター 客員教授

1. 国家存亡の機

明治以降、日本が国家存亡の機に直面したのは、第二次世界大戦、日露戦争、そして1923（大正12）年の関東大震災である。表1は、東京市が震災の1年半後にまとめた報告¹⁾に掲載された関東大震災の被害集計結果である。対象とする地区を1府6県、調査対象項目を表にあるように河港以下14項目と定めており、計算された被害額は概ね今でいう直接被害に対応するものと思われる。

表1 関東大震災の被害額集計（文献2に加筆）

府県など	被害額(万円)	備考
皇室・宮内省	1225	宮城離宮御用邸・御料林陵墓他・庁舎
各省（10省）	21956	工作物（建物は除く）
東京市	366216	対象
東京府郡部	11491	河港、堤防、道路、橋梁、上水道、下水道、船舶、電気事業、建物、家財什器、工場、商品、静岡県
神奈川県郡部	48131	在庫品、樹木（道路並木および水道源林）
山梨県	693	
埼玉県	2465	
千葉県	5233	民有林や田畑の被害は含まれていない
茨城県	43	
合計（直接被害）	550639	日露戦争戦費：198219万円
罹災人口	3404898人	うち、東京市で1700249人
死者	91344人	死傷者合計 156693人
行方不明者	13275人	うち、東京市で94928人（60.6%）
重軽傷者	52074人	日露戦争死傷者 約180000人

その結果、被害総額は約55億円のほった。そのうち東京市の被害は約37億円で全体の66.5%にあたり、次いで横浜市の約9億円で16.4%になる。また郡部では東京府よりも神奈川県の損害額が4倍以上多く、地方の被害の中心は神奈川県下であったことがわかる。

同報告には、参考として罹災人口や死傷者数なども書かれており、それらの数値も表1に列記した。罹災人口は約340万人で、死傷者数は約16万人に達した（死者・不明者数は約10万5千人）。当時、国家存亡を賭けた戦としていまだ記憶に新しかった日露戦争の死傷者数は約18万人、日本側の戦費約19億8千万円と比較し、関東大震災がいかに大きな自然災害であったかが指摘されている。

表2は、最近の地震災害としてよく取り上げられる平成7（1995）年の阪神・淡路大震災と、平成23（2011）年の東日本大震災との比較である。数字の詳しい根拠につい

ては文献(2)をご覧ください。それぞれ、直接被害額が約9兆6千億円と約16兆9千億円と推計され、これらを名目GDP（国内総生産）の比で示すと、それぞれ1.9%と3.4%となる。これに対して関東大震災の被害額は先に示すように約55億円で、当時の名目GNP（国民総生産）の150億円との比率は実に36.7%、3分の1にも達した。平成5年以降GNPの概念がなくなったためここではGDPとGNPを同等として扱った。

表2 近年の大震災との被害額の比較（文献2）

項目	関東	阪神・淡路	東日本
損害総額	55億円	9兆6千億円	16兆9千億円
GDP	150億円	510兆円	490兆円
GDP比	36.7%	1.9%	3.4%
国家予算	15億円	71兆円	92兆円
予算比	366.7%	13.5%	18.4%

関東大震災時はGDP（国内総生産）でなくGNP（国民総生産）

一方、国家予算（一般会計）との比較でも、阪神・淡路大震災が13.5%、東日本大震災が18.4%、関東大震災は366.7%となり、関東大震災はまさに国家存亡の機を招いた災害なのである。

松元崇²⁾は明治以降の国家財政を論じるなかで、震災当時の状況を以下のように述べている。日本の国家財政は、日露戦争の「財政的な負け戦状態」から、やっとのことで第一次世界大戦（大正3-7年）の戦争景気で改善されたのもつかの間、大戦後のバブル崩壊で生まれた膨大な不良債権が、国民総生産の3分の1を失うという関東大震災によって相当部分が無担保となったうえ、拡大再生産され、わが国は再び「財政的な負け戦状態への転落」を余儀なくされた。政府は復興のための大量の公債発行に加え、震災手形の再割引きが4億3000万円にも上り、その後その整理が容易に進捗せず、昭和の金融恐慌（昭和2年）の直接の原因となって、日本は暗い時代へと突入していくのである。

首都圏が、大きな自然災害を受けるということは、その時の国家の状況によっては、存亡の機を招くような状況になる恐れがあるということを歴史は物語っているのである。

2. 220年間かけて築いた過ち

関東大震災は、経済被害をみても人的被害をみても東

京市の被害が60%以上を占めている(表1)。一方、震災を引き起こした関東地震の震源域は相模トラフ沿いで神奈川県のはほぼ全域と千葉県南部が震源断層の直上にあたる。なのに、被害は震源域から離れた東京市で最大であった。「なぜ東京で?」この疑問に答えるために、本誌第20号⁴⁾では、1703(元禄16)年に発生した元禄地震と死者数の比較を行っている。

表3は元禄地震に対してわかっている地域ごとの死者数と、ほぼ対応する地域の大正の関東地震による死者数を比較したものである⁵⁾。全般に死者数は同じか元禄地震のほうがわずかに多い傾向が見てとれるが、東京市(元禄時代は江戸)だけは、大正の地震による死者数が桁外れに多い。元禄地震当時の江戸の人口はすでに約70万人もあり、関東大震災当時の東京市の人口約220万人の3分の1にまで達していたし、震源はお互いによく似た地震であり、江戸・東京での揺れ方はそれほど変わらなかったと考えられる。

表3 元禄地震と大正関東地震の地域別死者数の比較(文献5)

1703年元禄地震		1923年大正関東地震	
地域	死者数	地域	死者数
甲府領	83	山梨県	22
小田原藩領	2291	足柄上郡・下郡	1624
駿河・伊豆	397	静岡県	444
房総	6534	千葉県	1346
江戸府内	340	東京市	68660

詳しい検討は本誌第20号に譲り結論だけを述べると次のようである。もともとデルタ地帯である隅田川の東側、すなわち現在の墨田区、江東区は、元禄地震以前はほとんどが湿地帯で人間が住むことを拒んできた。ところがそれ以降、科学技術の進歩によって堤防がつくられ埋め立てが行われて、広大な軟弱地盤上に居住地が開かれた。それに伴って多くの人々が身を任せるように思い通りに住み始めた結果、気がついたときには防災上最悪の木造密集地が生まれていたのである。危険な兆候は約150年が経過した幕末の1855(安政2)年に発生した安政江戸地震の時にすでに表れていたが、その後明治に入り、十分な都市改造がなされないままに、より一層無秩序な人口集中が進行し、元禄地震から数えて220年後の大正12年にその日を迎えたのである。軟弱地盤で増幅された強い揺れが木造密集地を襲い多数の延焼火災の発生を招き、折からの強風の影響もあって、結局、国家存亡の機を迎えるほどの災害となってしまったのである。

科学技術はわれわれに選択肢の幅を広げるが、何をどのように選択するかによって、返って危機を招くことにもなる。科学技術の根底に流れる“楽観思想”の落とし穴である。あ

れからもう100年が過ぎようとしている。科学技術の目覚ましい進化も手伝って、極度に集中が進んだ東京で、元禄地震からの220年間に犯した過ちを再び繰り返してはいないか、真剣に考えてみる必要があるであろう。

3. 震源直上で何が起こったか

次に、東京に比べてはるかに揺れが強かった震源直上に位置する神奈川県下では何が起こったかについて述べることにする。詳細は文献(5)を参照いただきたいが、見過ごされがちな点を中心に述べることにする。

震源直上の横浜市、藤沢市、平塚市、小田原市などの地域では、地盤が良くないところを中心に、住宅の全潰率が75%以上にもなり、立っているものが一つもないという状況であった。耐震基準以前の当時の建物の実力からして致し方ないかもしれないが、それによって多くの死傷者を出した。一方、強い揺れが人口密集地を襲うと火災が発生し、多くの町を焼き尽くした。大火災が発生したところは、当時の横浜市(焼失率66.6%)、横須賀市(29.1%)、浦賀町(3.6%)、鎌倉町(19.9%)、秦野町(13.2%)、小田原町(70.8%)、真鶴村(59.8%)などである(阪神・淡路大震災の神戸市は1-2%)。

この他にも意外に見過ごされがちな被害は土砂災害である。

主な土砂災害地点を慰霊碑や遺構に則してまとめ、地図上に示すと図1のようになる⁵⁾。図中の地名は全て震災当時のものである。死者数は原則慰霊碑から引用し、わからないものは文献から引用した(詳細は文献(5)参照)。犠牲者の多いところを見ると、小田原市根府川(旧片浦村)では、山津波により集落で289名、駅裏の崖崩れで列車の乗客を含め131名が亡くなった。さらに隣の小田原市米神(旧片浦村)では山津波で66名が亡くなり、旧片浦村全体では486名もの人が土砂災害の犠牲となった。根府川・米神での災害の詳細は文献(6)にまとめられている。このほかには、横須賀市浦賀町蛇島(旧浦賀町)では、背後の愛宕山が崩れて100名あまり、同じく横須賀市汐入町では港町公園裏の湊町見晴山が崩れて、通学途中の横須賀高等女学校の生徒など50名が生き埋めとなった。

図1には市町村毎の震度分布も示されている。揺れが強く震度が7や6強の地域だけでなく、6弱やところによっては5強のところでも土砂災害が発生していることがわかる。なかでも揺れによる家屋の被害が比較的少ない相模原市や愛川町でも大きな土砂災害が発生していることは注視すべきである。

相模原市では、緑区烏屋(旧烏屋村)の馬石橋近くの通称「地震峠」で、相模川水系支流の串川が土砂崩れでせき止められ、9戸が埋没し16名が命を落とした。現地には

「地震峠」の説明板と、地藏尊を中心に右に「大震災死諸精霊碑」、左に「中村喜作家慰霊碑」がある。右の慰霊碑には犠牲者16名全員の名前が刻まれており、そのうちの中村喜作と房次郎兄弟、ならびに母とそれぞれの妻子の合計8名の墓が左の慰霊碑である。中村家は一家全滅であろうか。

土砂災害は逃げる間もなく一瞬にして人々の命を奪うことが多く、一家全滅や一人だけたまたまその場におらず残りの家族全員を亡くしたケースも見られる。根府川集落にある「宮本家慰霊碑」もその例で、建立者は次男の宮本藤吉、13回忌の1935（昭和10）年9月1日建立で、本人のみが米神の鯛網の仕事で家におらず、父母、兄弟合わせて8名が山津波にのまれて命を落とした（「根府川（2）289名死亡」の内）。また、米神の真言宗正寿院の墓地にある「松本利吉方家族墓」も同様で、たまたま小田原へ出張中の松本利吉のみが九死に一生を得、米神に残した父母、妻子合わせて8名が山津波で亡くなった（「米神66名死亡」の内）。建立年は7回忌の1929（昭和4）年9月1日である。

次に、愛川町半原（旧愛川村）では相模川水系支流の

中津川に架かる馬渡橋の下流の右岸の崖が崩れて22名以上の犠牲者を出した。この崖は日蓮宗妙誠寺に隣接し、同寺には「大震災死之精霊塔」がある。碑は7回忌の1929（昭和4）年9月1日に建立されたもので、犠牲者22名の名前が刻まれている。最後に加島金太郎一族とあることから図1では死者数を22名以上とした。冒頭の6名は中村姓、続いて使用人と見られる2人の名前が刻まれている。

慰霊碑の右側には3つの石造物があるが、一番慰霊碑に近いのが「母子地藏」と呼ばれる石像で、建立者はこの家族のなかで唯一生き残った中村博直である。1916（大正5）年生まれで、震災当時7歳であった。川で遊んでいて揺れが収まり振り返れば生家が埋没していたという。成人して彫刻家となり、文部大臣賞や日本芸術院賞などを受賞した。母子地藏には建立年は刻まれていないが、おそらく成人してから建立したものであろう。先の慰霊碑が建立された昭和4年でも13歳で、慰霊碑の台座に刻まれた建立者に名前がないのもなずける。

各地の土砂災害の地点を訪れると、ほとんどの地点で共通していることは、どこにでもありそうな裏山が崩れていると

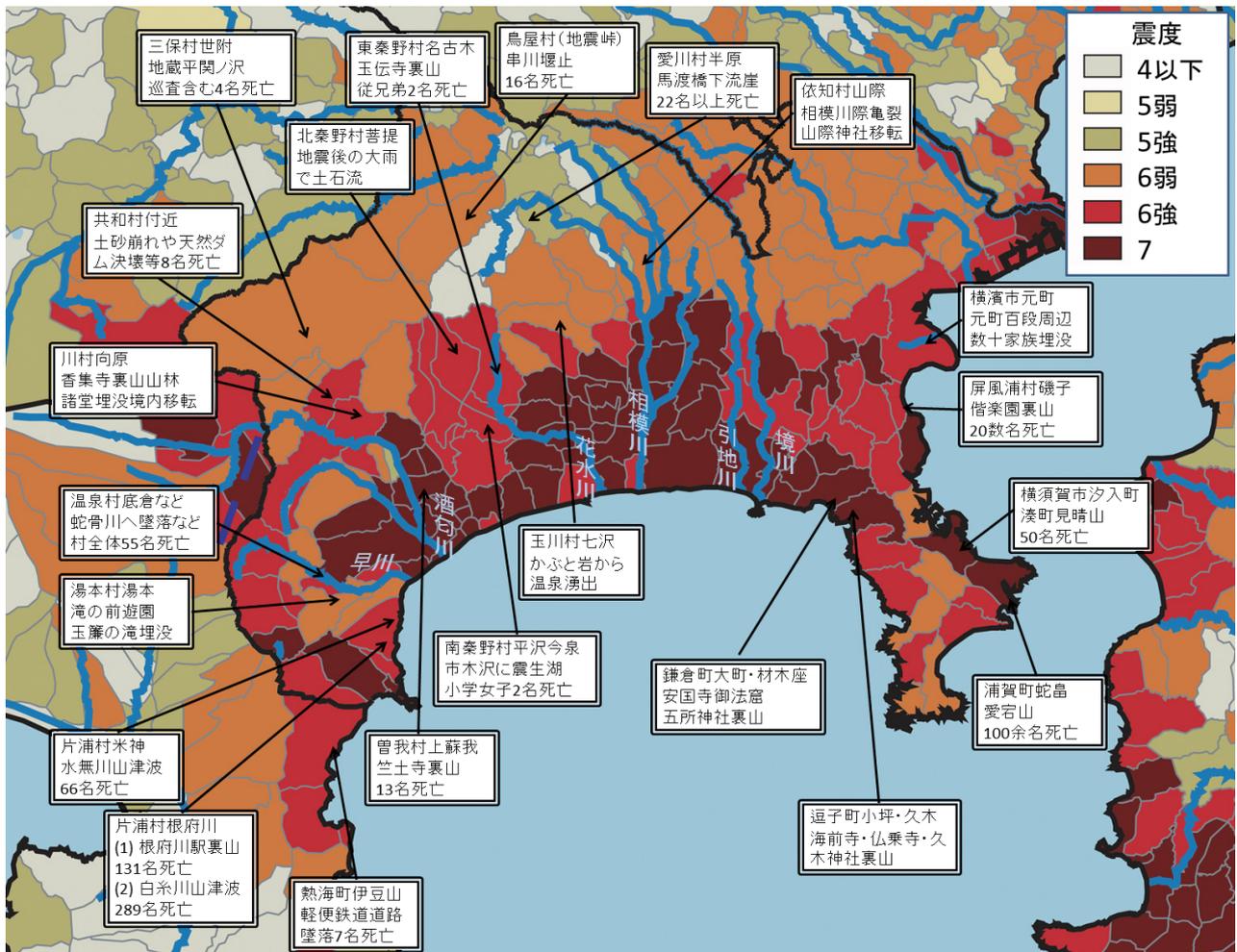


図1 神奈川県における関東大震災による土砂災害の慰霊碑や痕跡が残るところ（文献5に加筆）

ということである。図1を見ると、横浜市の元町や磯子など市街地でも土砂災害が起り、多くの犠牲者が出ていたことがわかる。どこでも山や崖があれば、比較的低い震度でも崖崩れの危険性があるということがわかる。

東京、横浜などの大都市やその近郊では、関東大震災当時よりもはるかに崖下や山際に住む人の数が増えているように思われる。近年大雨が降るたびに大きな被害を出すこの種の地域では、地震の際にも同じような危険が潜んでいることを忘れないようにしたいものである。軟弱地盤などに比べるとはるかに危険性の認識が低いのが気掛かりである。

4. 人事のあえてよくする所

地震災害を防ぐためには、来たるべき地震やそれによる災害を予測し、それに対処すべく地震対策を行うというのが、今日通常とされる考え方である。首都直下地震も同様の道筋で語られることが多い。しかしながら果たして人間に正しい予測ができるのだろうか。関東大震災の被害の中心は東京市の火災であったが、地震の揺れが収まってからでさえ、あれほど大きな被害になると予測できた人は幾人いたのだろうか。

のちに中央気象台の台長になる藤原咲平は、知識として東京で地震が起ると大火災が発生するかもしれないということはわかっていたが、まさか自分のいる気象台が焼けるとは思わなかったと反省の弁を残している。また地球物理学者で随筆家として有名な寺田寅彦は、地震を体験し吹き上げてくる火災の臭を嗅いで大火を予想し、神社の石灯籠が将棋倒しになっているのを眼前に見ても、目の前に迫る大火災を「リアライズ」することは難しかったと証言している²⁾。

東日本大震災の時、地震発生と同時に海岸近くで強い揺れを感じ、脳裏に「津波」の2文字が去来したにもかかわらず、適切な避難行動がとれずに亡くなった多くの人々も、寺田寅彦がいう「リアライズ」の難しさに直面して不幸な結果になってしまったのではないだろうか。

ましてやいつ起るか分からない地震災害を正確に予測することは、近代科学をもってしても困難なのである。このように予測が苦手な人間に対して、関東大震災から鎌倉市の建長寺を再建した菅原時保老師は、自らが中心となって立てた供養塔の前の碑（昭和5年9月1日建立）に「(震災の教訓は)人生無常の実際に覚醒すること」と記している。「現前の予測に期待することなく日頃から過去を反復想定し、あらゆる可能性を覚悟しておけ」ということだろうか²⁾。

これが実践できれば苦労はないという人（筆者もその一人である）には、こんな言葉もある。

神奈川県藤沢市の亀井神社に立つ「大震災復興記念

碑」（昭和10年4月建立）には「苦しき試練は人を偉大ならしめ、大災の人生に与うる教訓の深甚測り難きもの存す」と書かれ、また同茅ヶ崎市小和田2丁目の小和田熊野神社の「大震災碑」（昭和5年8月建立）には「天変地妖は人力の如何ともするべき所に非ずと雖も、災禍の範囲を縮狭し救済の道をして遺算なからしむるは人事の敢て能くする所なり」と書かれている³⁾。天災を被るのはある程度いたしかたないが、その際にお互い助け合って復興を成し遂げるのは人間が進んで得意とするところだという意味であろう。

予測が苦手な以上、被害をゼロにするような完璧な地震対策を立てることはできない。しかしながら、繰り返される過去の地震災害に学び、科学技術を上手に利用して、地道に無理のない範囲で対策を進めていけば、「災禍の範囲を縮狭する」こと、つまり減災は可能である。減災である限り必ず被災する。その時こそ、「救済の道をして遺算なからしむ」という人間が本来得意とする能力を発揮してスムーズな復興を目指すことが必要になる。

科学技術の楽観思想に支えられて大都会の生活を謳歌する我々に、天はどのような未来を準備しているのか。それは誰にも分らない。ただ、100年前に国家存亡の機を経験し、大きな犠牲を出しながらもそれを乗り越えた人々が日本にいたことは、歴史上確かな事実である。過去に学び未来に備える。道はそれしかない。

参考文献

- 1) 東京市：震災ニ因ル日本ノ損失、184p、1925.
- 2) 武村雅之：減災と復興－明治村が語る関東大震災、風媒社、2018（9月出版予定）
- 3) 松元崇：恐慌に立ち向かった男 高橋是清、中公文庫、419p、2012.
- 4) 武村雅之：関東大震災90周年にあたって思うこと、日本地震工学会誌、No.20（過去に学び、未来に備える（1）首都直下の大地震を考える）、pp.8-13、2013.
- 5) 武村雅之：復興百年誌－石碑が語る関東大震災、鹿島出版会、294p、2017.
- 6) 武村雅之：未曾有の大災害と地震学－関東大震災、古今書院、209p、2009.



武村 雅之（たけむら まさゆき）

1981年東北大学大学院理学研究科博士課程修了（理学博士）、鹿島建設（株）小堀研究室プリンシパルリサーチャー、（株）小堀鐸二研究所副所長、名古屋大学減災連携研究センター教授を経て、現在、同センター客員教授、専門分野：地震学・地震工学（歴史地震学）

首都直下地震時の火災被害に関する「想定」

廣井 悠

●東京大学大学院工学系研究科 准教授

1. はじめに

2013年12月に公表された中央防災会議の被害想定によれば、都心南部直下地震による人的被害は、冬の夕方、風速8m/sのケースで約16,000～23,000人と報告されている¹⁾。またこの内訳としては建物倒壊における死者が約6,400人、急傾斜地崩壊による死者約60人、地震火災による死者は約8,900～16,000人であるという。今回の特集「首都直下地震—1. 何が起きるのか」のなかでも、本稿は人的被害を主に扱う立場であるが、本誌はそもそも建物倒壊、液状化などの現象について詳しい読者がたいへん多いと考えられるため、ここでは火災被害に焦点を絞って記述したい。なお首都直下地震を対象とするものであることから、ここでは津波火災に関しては言及しないこととする。

さて、これら人的被害の内訳の中で、最も想定条件による違いが大きい数字が、地震火災に起因する人的被害であろう。上記の被害想定においても、同季節・同時刻のもとで風速3m/sの場合は人的被害が約5,700～10,000人となり、また夏の昼で風速3m/sの場合は約500～900人になるなど、まったく同じ想定地震にもかかわらず、人的被害は500人から16,000人まで文字通り「桁違い」の差異がみられる。この数字を見て、都心南部直下地震による火災被害が甚大であるのか、それとも軽微であるのかを適切に理解し、正しく備えることのできる住民は、果たしているのだろうか。

2. 地震火災被害を事前予測する際の問題点

一般に、地震火災による被害は地震発生時の時刻や季節、気象条件などのパラメータに大きく依存することが知られている。ところがこのようなパラメータは、現代の技術では容易に事前予測することが困難である。つまり、地震火災による被害は本質的に多分の不確実性を含むものである、と考えることができよう。

他方で地震火災被害の事前予測は、再現確率の低さに伴う課題も同時に有している。上記のように地震火災による被害の様相は、時刻や気象条件によって大きく異なる。しかしながら、地震火災による甚大な被害の例はその不確実性の高さゆえ、関東大震災（1923年）、福井地震（1948年）、阪神・淡路大震災（1995年）、東日本大震災（2011年）などごくわずかに過ぎない。例えば東

日本大震災では398件の地震火災が発生しており、筆者らの調査によれば電気による火災が多く、大規模延焼は少なく、人的被害はごくわずか、という傾向が見られた（津波火災を除く）²⁾。しかしながら、ここで得られた被害様相が「現代市街地」における地震火災被害の特徴なのか、それとも「東北地方」という地域性に伴う特徴なのか、あるいは「春かつ昼間で風速が遅い」という時刻・季節・気象条件による特徴なのかを切り分けるのはとりわけ困難である。他の災害研究者と同じく、われわれ地震火災を研究する立場においても災害調査は重要であるが、事前の被害予測を行う際には、このように偏った、またかなり昔のものも含めた、そしてごく僅かなデータ群を参考に、不確実性の高い現象を予測する「作業」を行わざるを得ない。もちろん地震火災研究分野においても、被害データを用いた経験的な手法（例えば出火件数予測で言えば、河角式、水野式、難波式など）のみならず、実験などを経た演繹的な手法（例えばマイクロレベルの出火確率を積み上げて火災危険度を評価する東京消防庁の方法など）なども用いるが、おおむねこのような状況のもとで生み出された数字が、被害想定でわれわれが目にするのできる被害量となっている。

さて本稿は「首都直下地震で何が起こるのか」について、火災被害を中心として概説せよという執筆依頼を頂いたものである。このためいくら論説といえども、被害想定が概数であることを示すのみではなく、読者に地震火災の被害規模をイメージしていただくような記述をせねばならない。積み上げ計算による絶対評価の数字は被害想定が数字として既に紹介しているため、以降では武村雅之先生原稿に続く形で、関東大震災時と現在の東京ではどの程度、地震火災による人的被害ポテンシャルが減っているか、あるいは増えているかという視点に立脚し、相対評価で地震火災による人的被害を論じることとしたい。

ところで原稿執筆時において直近の地震火災事例は、2018年6月に発生した大阪府北部地震と考えられよう。この地震に伴って発生した地震火災について、筆者は現在調査を行っている途中であるが、総務省消防庁による被害報によると、大阪市や尼崎市において計7件の地震火災が発生したとみられている³⁾。他方で地震火災ではないものの、記憶に新しい市街地延焼として

は、2016年12月に強風下の新潟県糸魚川市で発生した大規模火災があげられる。この火災は死者こそ発生しなかったものの、結果として約4haの焼失被害に至ったものであり、わが国の市街地ではいまだ大規模火災のリスクが残り続けていることを示唆した災害といえる。それでは果たして首都直下地震が発生した場合、糸魚川市大規模火災の被害をはるかに越える、例えば約10万人が亡くなったといわれる関東大震災に匹敵するくらいの人的被害は発生しうるのだろうか。この疑問を解き明かすため、本稿では火災被害を規定すると思われる「出火」「延焼」「消火」「避難」という4変数について、地震火災リスクという視点から、それぞれ関東大震災時の市街地と現代市街地を比較してみることにしたい。

3. 地震による「出火件数」

はじめに「出火」を考える。約90年前の関東大震災時は、東京市において130件ほどの出火件数が記録されており、1995年の阪神・淡路大震災では約300件、2011年の東日本大震災では約400件の出火がみられている。他方で首都直下地震時は初期消火の成功率にもよるが、条件が悪いと数百件を超える出火が発生する可能性も示唆されているなど、出火件数は90年が経過しても減少しているとはいえない状況にある。現在は過去の教訓から、火気器具における転倒出火防止措置のみならず、マイコンメータや感震ブレーカーの普及が進んでいる。しかしながら一方で、大都市域では90年前とは比較にならない程の高密な市街地が形成され、かつ拡大しており、季節や時刻によるものの、出火密度も高密化が進めば進むほど増えていく傾向があるといえる。図1は筆者が東日本大震災時の地震火災データを一般化線形混合モデル(GLMM: Generalized Linear Mixed Model)にあてはめ、確率論的地震動予測地図(J-SHIS)のデータを用いて、2次メッシュ内で30年の間に地震火災が発生する確率を計算した地図である(津波火災は除く)。東日本大震災のデータを用いているため「春かつ昼間で風速が遅い」「建物倒壊に伴う大規模延焼はあまりない」といった偏りのあるデータを集計したものに過ぎないが、東京・名古屋・大阪を代表とした大都市の出火率がとりわけ高いことが確認できよう⁴⁾。

ところで関東大震災時には、飛び火によって火災が道路や市街地あるいは河川を跨いで延焼したことが知られている。このように、飛び火で何百メートルも先に延焼する事例は静岡大火(1940年)、鳥取大火(1952年)、能代大火(1949年)など、過去にも多く発生して

いる。このリスクは、建築物の不燃化(特に屋根材)がある程度進んだことで、かなり減少したと一般には思われていた。しかしながら糸魚川市大規模火災では、出火点は一点であったにもかかわらず、強い南風という気象条件もあいまって、多数の飛び火が発生し、10m前後の幅員を有する道路を越えて延焼した形跡が確認できた。地震時は建築物の開口部などが損傷することを考えると、このような飛び火による出火リスクも、いまだ現代市街地は克服し尽くせていないと考えるのが自然であろう。

また東日本大震災や熊本地震の地震火災調査から明らかになった出火要因として、非常用電源設備からの出火が指摘できる⁵⁾。これは地震発生直後の停電によって非常用電源設備が作動したが、それが原因で「自動通電火災」状態になってしまい出火に至ったものであるが、首都圏の事業所の多さを考えるとこのような出火も首都直下地震では多くなることが予想される。

以上の点からも、「出火」という変数に限っては、現代市街地の地震火災リスクは、関東大震災時よりも大きく改善しているとはいえない状況が確認できよう。

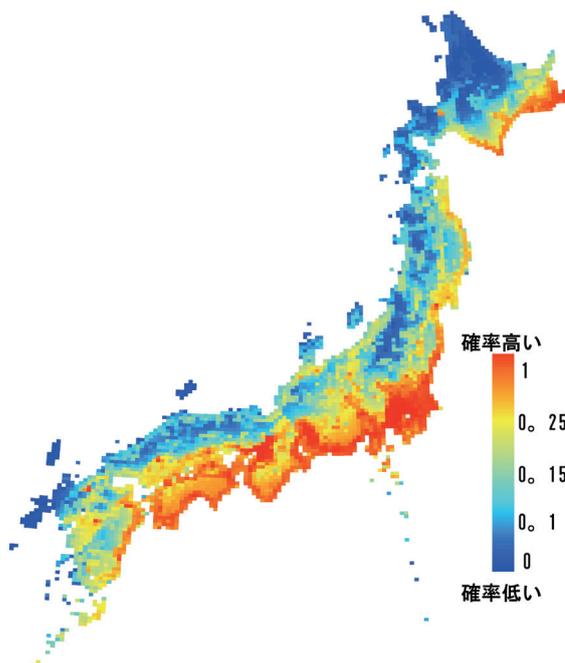


図1 確率論的地震出火予測値図(30年以内に2次メッシュ内で地震火災が1件でも発生する確率)

4. 現代市街地の「燃えやすさ」

次に「延焼」について考察する。90年前の関東大震災時と比べて、現代市街地は難燃化が進んだものと推察される。ここではこの「燃えやすさ」を量的に示すこととしよう。一般に建蔽率や木造建物率などの市街地性能から延焼速度を求める式は延焼速度式と呼

ばれ、浜田式などがよく知られているが、ここでは東京消防庁が開発した東消式2001を用いて、過去と現在の密集市街地を比較することとした。さて、この延焼速度式のもとでは、風速6m/sの条件下では、関東大震災前の浅草の市街地（建蔽率55%、道路率15%、木造率90%、防火造率10%、準耐火率0%、耐火率0%）は火災の初期段階において約60m/hという延焼速度が導ける。一方、東京都の調査で地震発生時の火災危険度が最も高いレベルにある墨田区京島の市街地指標（建蔽率50%、道路率15%、木造率15%、防火造率60%、準耐火率10%、耐火率15%）から同じく延焼速度を計算すると、約42m/hという数値が得られる。これによれば、現代市街地の燃えにくさは、関東大震災時から「三分の二くらいの延焼速度になった程度」という評価ができそうである。ここで2016年末の糸魚川市大規模火災を思い出してみたい。この火災の焼失範囲は、道路なども含めるとhaあたり40棟ほどの建物密度であることが分かっている。他方で国土交通省は密集市街地を「haあたり60棟以上で老朽住宅棟数率50%または木造住宅棟数密度がhaあたり50棟以上の地区を基本とした防災上危険と判断される市街地」と定義しており、これらは東京や大阪をはじめとしてわが国にまだ数多く残されている。すなわち、わが国には糸魚川市大規模火災の被災エリアを上回る密度で、なおかつ関東大震災時とそこまで大きく変わらない「燃えやすさ」の密集市街地がまだ数多く存在しているという事実が浮かび上がってくる。

東日本大震災の火災調査から、密集市街地での延焼以外にも、地震時における新たなタイプの被害が顕在化しつつある。筆者らの調査によれば、東日本大震災時、揺れに伴う建物火災の約4割が4階以上の建物内で発生していることがわかっている。他方で仙台市の調査によれば、東日本大震災時の仙台市による調査では中高層建築物のうち約50%のスプリンクラーが、また約30%の防火戸が機能不全を起こしていたことが判明している²⁾。つまり大規模地震発生時には、平常時にわれわれを建物火災から守ってくれる防火設備・消火設備が揺れによって機能不全を起こしてしまい、万一そこで火災が発生してしまうと、死者118人を出した大阪市の「千日デパート」（1972年）ビル火災などに代表される過去のビル火災が震災時に再現されてしまうという可能性も考えられる。筆者はこれを「震災時ビル火災」と呼んでいるが、いずれにせよ90年前の市街地と現在の市街地を「延焼」という切り口から比較した場合、燃えにくさは多少改善されたものの、いまだ予断を許さないという現状が示唆される。

5. 地震火災時の「消防力」

消防力については、90年前と比べてその能力は大幅に向上しているといつてよい。しかしながら、大都市大震災時は複数点から出火することが考えられる。これに対して、現在の消防力であってもこのような同時多発火災には十分に対応できるといえない現状がある。特に大都市部においては、東日本大震災時における東京と同じように、帰宅困難者が自動車で一斉帰宅を試みる、もしくは多くの人が都心部へ家族を自動車で迎えに行く場合、車道で深刻な交通渋滞が発生し、消防の現場到着時間も大幅な遅延が予想される。熊本地震（2016年）では「震災による出動途上の道路の崩壊で迂回しながら現場へ向かい大幅な時間のロスをした」という消防活動上の影響を報告した火災が存在するが、この火災は火元建物が全焼し、熊本地震で隣棟延焼に至った2件のうちの1件であった。

このような状況のなかでは初期消火にその解決策を求めたくなるものの、筆者が行ったいくつかの調査結果を見る限り、地震時に初期消火ができた事例は実際にはごくわずかである。例えば表1は東日本大震災（津波火災は除く）と熊本地震（前震もしくは本震に起因して発生したもの）の調査データを用いて、初期消火が成功した火災と全体の火災件数（不明は除いたため、初期消火成功と消防活動と自然鎮火の和）との割合を初期消火成功率と定義し、まとめたものである⁵⁾。これを見る限り、自助・共助による震災時の初期消火は継続的な訓練を行わない限り、現実には難しいものと見ることができよう。

表1 熊本地震と東日本大震災の初期消火成功率

		震度						
		3	4	5弱	5強	6弱	6強	7
熊本地震	初期消火成功(件)	-	-	-	0	0	1	0
	消防活動(件)	-	-	-	2	1	5	1
	自然鎮火(件)	-	-	-	0	3	0	0
	初期消火成功率	-	-	-	0.0%	0.0%	16.7%	0.0%
東日本大震災	初期消火成功(件)	2	0	5	6	9	4	-
	消防活動(件)	0	0	13	30	20	12	-
	自然鎮火(件)	0	1	2	4	2	1	-
	その他(不明など)(件)	0	1	18	15	22	8	-
	初期消火成功率	100.0%	0.0%	25.0%	15.0%	29.0%	23.5%	-

6. 地震火災発生時の「避難行動」

最後の避難行動については、実態と計画の乖離が非常に大きい変数だと筆者は考えている。というのも、関東大震災時と比べて現代市街地は、避難場所も整備・指定され、道路幅員も広くなり、沿道不燃化の努力によって避難路の安全性も上昇している。このため市街地火災からの避難については、計画上はおおむね安全になったように見える。他方で筆者は5年ほど前に、関東大震災で甚大な被害が発生した被服廠で生き残った方に話を伺ったことがあるが、当時は火災発生時の

避難場所を家族や親戚などで日ごろから確認するほど、市街地火災のリスクは身近であったという。残念ながら関東大震災時は橋梁の被害や火災旋風その他の現象によって、神田駅やオープンスペースで大きな被害が出ているが、いずれにせよ関東大震災時は市街地火災からの避難行動が身近な問題として認識されていたのに対し、現在は市街地火災からどのようにどこに逃げればよいのか、住民のみならず、避難情報を出す市区町村であっても、十分なイメージを持っているとはいえない状況がある。例えば筆者は先述の糸魚川市大規模火災後に避難勧告対象地域において避難行動調査を行っている⁶⁾。ここでは出火から約2時間後に避難勧告が出たにもかかわらず、火の様子を見ていて避難をしなかった人が避難勧告対象地域で4割にものぼり、また避難をしたとしても多くの人が避難場所ではなく路上の交差点など視界が確保できる場所で待機していたことが明らかになっている(図2)。これに対して、何らかの火災対応をしていた人や、要援護者の支援をしていた人はそれぞれ1割程度と、わずかであった。

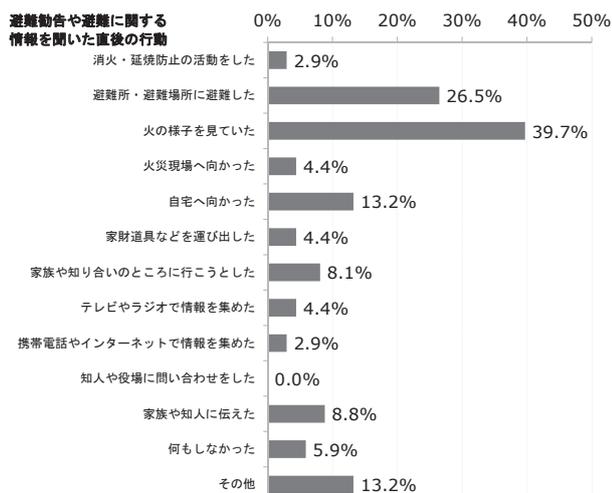


図2 避難勧告や避難の呼びかけを聞いた直後の行動 (N=136、MA)

糸魚川の事例は、地震火災時とは異なり平常時の大規模火災であるため、必ずしも火災発生後すぐに避難することが最善の行動とは言い切れず、要援護者の支援や火災対応などに従事する余裕も残されよう。しかしながら関東大震災の如く、強風下では風向が変わることで飛び火による同時多発状態となり火災に囲まれる危険性も考えられる。このようなことから、ただでさえ同時多発火災が考えられる地震火災発生時を考える上では、風水害や津波災害と異なり、避難情報に関する客観的な基準が不在であり、また避難情報を受け取っていてもすぐに避難せず火災を見ている人が多く存在した、という結果は、必ずしも好ましいもの

とはいえ、逃げ惑い避難による多くの人的被害が発生する可能性も捨てきれない。このように、消防力・避難行動についても、地震時を対象とする限り、90年前と比べて磐石となっているとはいえない現状がある。

7. おわりに

本稿では、被害想定で考慮されていない点も含め、現代市街地の地震火災時における火災安全性能について、それぞれ出火、延焼、消防、避難という4変数から関東大震災当時との比較を行った。紙幅の制限で言及できていない点も多々あるが、結果としてそれぞれの変数を独立にみる限り、首都直下地震においても条件が悪ければ、甚大な被害が発生する可能性がないとはいえないことがわかる。市街地の難燃化がますます進み、密集市街地も減りつつあるなかで、大きな不確実性を内包した地震火災被害を今後どのように減じていけばよいか、目標とする安全水準の再定義も含めた新しい計画論の提案が必要とされる。

参考文献

- 1) 中央防災会議：首都直下地震の被害想定と対策について(最終報告)、2013.
- 2) 日本火災学会：2011年東日本大震災火災等調査報告書(完全版)、2016.03.
- 3) 総務省消防庁：大阪府北部を震源とする地震による被害及び消防機関等の対応状況(第28報)、2018.07.29.
- 4) 廣井悠：階層ベイズモデルを用いた地震火災の出火件数予測手法とその応用、地域安全学会 論文集、NO. 27、pp. 303-311、2015. 11.
- 5) 廣井悠：熊本地震に伴う地震火災の検証、都市問題、後藤・安田記念東京都市研究所、No. 10、Vol. 108、pp. 97-102、2017. 03.
- 6) 廣井悠、松原龍、有友春樹、渡辺竜之：糸魚川市大規模火災における避難行動調査、災害情報学会第19回学会大会予稿集、pp. 76-77、災害情報学会、2017. 10.



廣井 悠(ひろいゆう)

東京大学大学院工学系研究科都市工学専攻・准教授。1978年10月東京都文京区生まれ。東京大学大学院工学系研究科都市工学専攻・博士課程を中退、同・特任助教、名古屋大学減災連携研究センター准教授を経て2016年4月より現職。

博士(工学)、専門は都市防災、都市計画。平成28年度東京大学卓越研究員。JSTさきがけ研究員(兼任)。主な受賞に、平成24年度文部科学大臣表彰・若手科学者賞、都市住宅学会・学会賞など。

首都直下地震による住まい・高層建物の想定被害

久田 嘉章

●工学院大学建築学部 都市減災研究センター長・教授

1. はじめに

被害想定と過去の被害事例等より、近い将来に起こる可能性が高いM7級の首都直下地震による住まい・高層建物で想定される被害の様相について報告する。はじめに被害想定の実状、特に大きな誤解を招いている状況を強調し、次に最悪に近い想定被害を紹介したい。

2. 想定首都直下地震と被害想定について

2.1 被害想定に関する誤解

まず想定被害に関する社会的な誤解を確認したい。想定外であったM9地震による2011年の東日本大震災を受けて、国・自治体は被害想定の見直しを行った¹⁾³⁾。例えば、内閣府は南海トラフ巨大地震の被害想定を公表し、最大で32万人の死者、総額で220兆円の被害を生じるとしている¹⁾。それを受けて土木学会は3次被害(経済的被害等)を含めると20年間で1410兆円もの被害が生じるとし、約38兆円の公共インフラへの投資で被害額を約4割低減できるとしている⁴⁾。しかしながら、最大級のM9地震はあくまで仮想の地震であり、決して科学的根拠による次の南海トラフ地震ではない。この結果は主に前例のない最悪の事態に備えた危機管理(クライシスマネジメント)など主にソフト対策に用いるべき地震であり、公共インフラへの投資は、より可能性の高い災害に向けられる

べきである⁵⁾⁶⁾。

最悪の被害想定は危機管理上重要であるが、あまりに甚大な被害を強調しすぎて、「地震が起きたら死ぬしかない」、「国が助けてくれないと自分たちではどうしようもない」など、重要な自助・共助まで諦めてしまう「逆の想定外」とも言える現象が一部で起きている⁷⁾。過疎化が進み多額の負債を抱える多くの地方自治体の身の丈に合わない公共インフラ等への投資は、維持管理ができず、負の遺産が増え続けることになる。例えば1993年北海道南西沖地震による津波被害の後、収入(町税)が3～4億円規模の奥尻町に750億円以上の国費・義援金が投入され、大規模な公共インフラが整備されたが、高齢・過疎化に歯止めがかからず、地方債など多額の負債を抱え、存続すら危ぶまれる状況となっている⁸⁾。必要なのは住民自らが行ないたいと思う、村・町の活性化を含めた持続可能な対策である。

2.2 様々なM7級首都直下地震と被害の様相

M7級の首都直下地震も全く同様であり、想定と現実の違いをはじめに強調したい。図1に示すように首都圏直下は非常に複雑なプレート構造をしており、浅い地震から深い地震まで様々なタイプの地震が発生し、被害の様相も中小から大災害まで様々である³⁾。実際、表1は

表1 歴史上の首都直下地震(相模トラフ沿いM7以上)と被害、および長期評価に用いた地震データ⁵⁾(☆はM8級地震、○は地震本部による地震発生確率の評価に使用^{9),10)})

番号	前回	今回	地域・名称	西経	北緯	東経	M	被害概要
1			元和江戸	1615	35.7	139.7	6.8	家屋が倒壊し、死傷多く、地割れを発生。
2			寛永小田原	1633	35.2	139.2	7.0	小田原で民家の倒潰多く、死150。熱海に津波が襲来。
3			慶安相模	1648	35.2	139.2	7.0	小田原城破損、領内で潰家がなかった。死1
4			慶安武蔵	1649	35.8	139.5	7.0	川越で大地震、町屋700軒ほど大破。圧死多数
☆			元禄関東	1703	34.7	139.8	8.2	房総半島南部・小田原で被害大、死者約1万人、津波有
5		○	天明小田原	1782	35.4	139.1	7.0	小田原城天守傾き、江戸でも潰家。死者あり
6		○	嘉永小田原	1853	35.3	139.15	6.7	小田原で被害大。潰家あり
7		○	安政江戸	1855	35.7	139.8	7.1	江戸下町で被害大、死者7千人以上
8	○	○	明治東京	1894	35.7	139.8	7.0	東京・横浜の被害が大、東京で死24。川崎・横浜で死7
9		○	東京湾付近やや深い	1894	35.6	139.8	6.7	建物に小被害
10	○	○	茨城県南部	1895	36.1	140.4	7.2	茨城県南部に被害大
11	○	○	茨城県南部	1921	36	140.2	7.0	千葉・茨城県境付近に小被害
12	○	○	浦賀水道	1922	35.2	139.8	6.8	東京湾岸に被害があり、東京・横浜で死各1
☆			大正関東	1923	35.3	139.1	7.9	死者約10万人、住家全潰10万9千余、焼失21万2千余
13			丹沢	1924	35.3	139.1	7.3	死19。家屋全潰1200余。特に神奈川県中南部に著しい被害
14			西埼玉	1931	36.2	139.2	6.9	死16。家屋全潰207(住家76、非住家131)。
15	○		千葉県東方沖	1987	35.4	140.5	6.7	千葉県を中心に死2、傷161。住家全壊16、一部破損7万余

過去400年間に首都圏で発生したM7級以上の地震と被害の概要である。M8級の二つの地震を除く15回のM7級地震のうち、千人以上の大被害を出したのは1855年安政江戸地震の1度だけである。首都直下地震の多くは深い太平洋プレート起因の地震(図1の4など)や、小田原や川越など地方の活断層帯の地震(図1の1)であり、死者0名など殆どの地震では大きな被害は発生していない点に注目されたい。

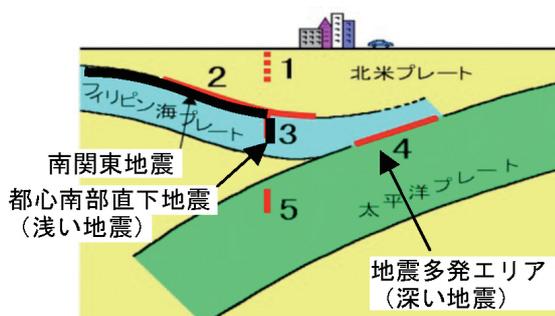


図1 首都圏直下のプレート構造と想定震源(概念図)

さらに被害の様相も、想定と現実では大きく異なる可能性が高い。具体例として、図2(a)はM7.3の想定首都直下地震(都心南部直下地震)³⁾と、同(b)は歴史上最悪の被害を出した1855年安政江戸地震(推定M7)の震度分布¹⁾である。前者では首都圏の中心部全域で震度6弱以上、東京23区内はほぼ全域で震度6強以上である。一方、後者では震度6強以上は軟弱地盤(下町や入江や低湿地を埋め立て地盤)に限定され、山の手台地などでは震度5程度であり、深刻な揺れによる被害は生じていない。

危機管理の点で、両者の対応は大きく異なるはずである。広大な地域が震度6強となる前者(詳細は後述)では、その殆どの建物が被害が生じ、多数の延焼火災が発生する。広域な大災害により地域住民・自治体だけでは対

応が困難となり、周辺自治体や国などの支援が必須となる状況である。一方、後者では、住民・事業者から自治体まで様々な対応が可能である。例えば、甚大な被害地域は下町など限定的なので、自治体は救援救護や消防資源を被災地域に集中させ、その他の地域では住民・事業者による自助・共助で対応できる。さらに被害のない周辺地域の病院や避難所・一時滞在施設と連携すれば、重傷者や避難者・帰宅困難者も何とか対応できるはずである。被害想定の結果を過度に信用せず、可能性の高い中小被害から、可能性が極めて低い最悪の被害まで、実際の状況に応じた柔軟な対応を可能にすべきである⁷⁾。

3. 都心南部直下地震による想定被害

3.1 住まいの想定被害

国や自治体で様々な被害想定結果が公表されているが、ここでは最悪に近い被害を生じる都心南部直下地震による建物の被害の様相を紹介する³⁾。表2は低層建物を中心とする物的・人的被害の一覧である。揺れによる全壊建物数は約17.5万棟、液状化で約2.2万棟、急傾斜地の崩壊で約1,100棟となっている。さらに図3に示す延焼火災が「環七ベルト」等の木造密集市街地を中心として発生し、最大で約41.2万棟が焼失し、全壊と併せると最大で約61万棟が失われる。

人的被害として、まず死者数は夜間人口の増える住宅地での被害が大きく、家屋倒壊では約1.1万人、延焼火災では最大で約1.6万人、合計では最大約2.3万人である。次に負傷者数は最大で約12.3万人、うち重傷者は2.4万人、建物被害に伴う要救護者は最大で約7.2万人である。首都圏は渋滞や通信網の輻輳等で大混乱し、消防や救急救命の活動は困難を極めるため、死者数はさらに万単位で増大する可能性がある。

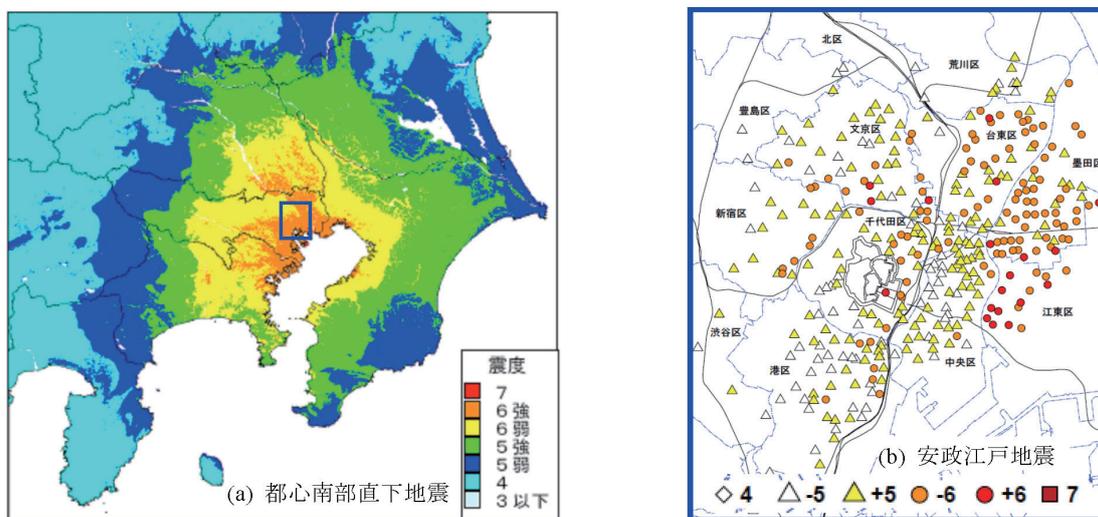


図2 都心南部直下の想定震度分布³⁾と1855年安政江戸地震の震度分布¹⁾(左図の四角が、右図の領域に相当)

表2 都心南部直下地震による建物の物的・人的被害³⁾

都心南部直下地震における建物等の被害				
項目	冬・深夜	夏・昼	冬・夕	
揺れによる全壊	約 175,000 棟			
液状化による全壊	約 22,000 棟			
急傾斜地崩壊による全壊	約 1,100 棟			
地震火災による焼失	風速3m/s	約 49,000 棟	約 38,000 棟	約 268,000 棟
	風速8m/s	約 90,000 棟	約 75,000 棟	約 412,000 棟
全壊及び焼失棟数合計	風速3m/s	約 247,000 棟	約 236,000 棟	約 465,000 棟
	風速8m/s	約 287,000 棟	約 272,000 棟	約 610,000 棟
ブロック塀等転倒数	約 80,000 件			
自動販売機転倒数	約 15,000 件			
屋外落下物が発生する建物数	約 22,000 棟			
全壊の定義：(以降、同じ)				
都心南部直下地震における人的被害				
項目	冬・深夜	夏・昼	冬・夕	
建物倒壊等による死者 (うち屋内収容物移動・転倒、屋内落下物)	約 11,000 人 (約 1,100 人)	約 4,400 人 (約 500 人)	約 6,400 人 (約 600 人)	
急傾斜地崩壊による死者	約 100 人	約 30 人	約 60 人	
地震火災による死者	風速3m/s	約 2,100 人 ~約 3,800 人	約 500 人 ~約 900 人	約 5,700 人 ~約 10,000 人
	風速8m/s	約 3,800 人 ~約 7,000 人	約 900 人 ~約 1,700 人	約 8,900 人 ~約 16,000 人
ブロック塀・自動販売機の転倒、屋外落下物による死者	約 10 人	約 200 人	約 500 人	
死者数合計	風速3m/s	約 13,000 人 ~約 15,000 人	約 5,000 人 ~約 5,400 人	約 13,000 人 ~約 17,000 人
	風速8m/s	約 15,000 人 ~約 18,000 人	約 5,500 人 ~約 6,200 人	約 16,000 人 ~約 23,000 人
負傷者数	約 109,000 人 ~約 113,000 人	約 87,000 人 ~約 90,000 人	約 112,000 人 ~約 123,000 人	
揺れによる建物被害に伴う要救助者 (自力脱出困難者)	約 72,000 人	約 54,000 人	約 58,000 人	

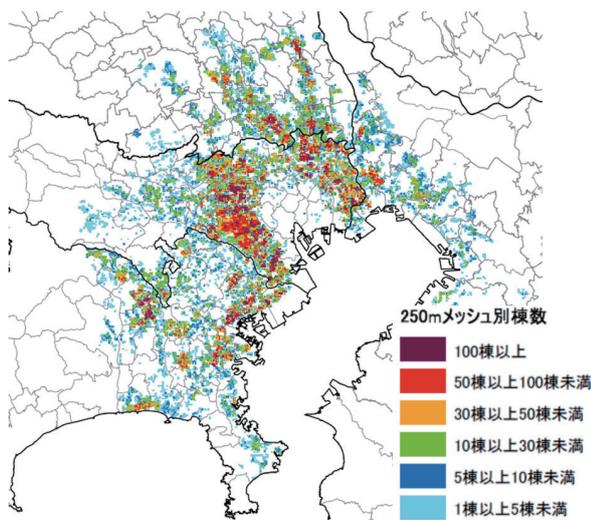


図3 都心南部直下地震の延焼火災による建物被害³⁾

3.2 高層建物と周辺エリアでの想定被害

高層建物の被害を定量的に評価することは不可能であるため、被害推定や過去の事例等から定性的な被害の様相を紹介したい。すなわち、建物の物的・人的被害の推定式は、早朝に発生した1995年阪神・淡路大震災から導かれているため、高層建物、特に昼間人口が集中する中心市街地での統計的な人的被害データが存在しない。都心南部直下地震の被害想定では、主な被害は住宅地に集中し、中心市街地での被害が比較的小さい。これは中心市街地の建物の耐震・耐火性が相対的に高

いだけでないことに注意されたい。朝夕の通勤ラッシュ時などに地震が起これば、被害の様相は大きく異なっていたはずである。

主に短周期地震動が卓越する首都直下地震では、倒壊に至るような高層建物の大被害が発生する可能性は低いと考えられる。但し、大規模な活断層帯(立川断層帯等)の地震のごく近傍で長周期のパルス性地震動が発生した場合や、軟弱地盤の液状化などで多くの杭が損傷した場合などでは、甚大な被害が生じる可能性がある。一方、高層建物の大きな揺れにより、図4に示すように非構造部材(間仕切り壁、天井・内外装材、エキスパンションジョイント、設備・エレベータ、家具類など)では様々な被害が発生する。特に高層階で火災や閉じ込め、負傷者が出た場合、エレベータの停止、通信の輻輳などでその対応活動は困難を極めるはずである。誰も助けにこない前提で、そのフロアにいる住民・在館者が自助・共助で対応する準備(機材の準備と訓練など)が必須である。また停電で空調を失うと、高層建築は一般に避難のための数時間の非常用の電源しか確保していないため、窓が開かないオフィスビルなどでは全館避難が必須になる。

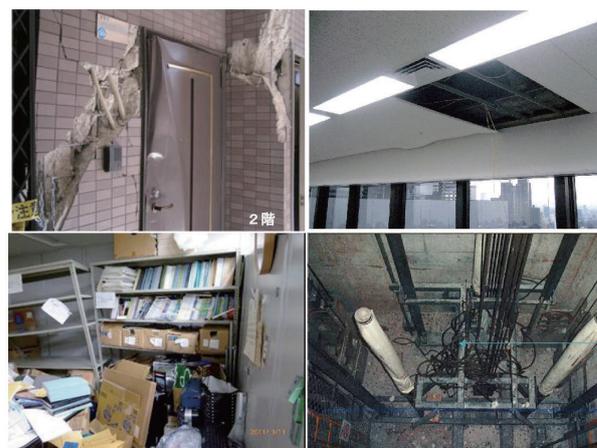


図4 高層建物の様々な被害例
 左上：高層マンションの2次壁の被害(2005年福岡県西方沖地震・福岡市¹²⁾)
 右上：高層オフィスビルの天井板落下(2011年東日本大震災・新宿区¹³⁾)
 左下：什器類の転倒(同上)
 右下：エレベータ・コード類の被害(同上)

膨大な昼間人口を抱える大規模ターミナル駅周辺などの中心市街地では、図5に示すように震災時には膨大な滞留者や帰宅困難者で身動きができないほどの状況となる。このため高層建築など多数の在館者を抱える大規模施設では、在館者を建物内に留め、できれば周辺の帰宅困難者を受け入れることが求められている。

エレベータや電気・ガス・水道等のライフラインが長期

間停止した場合、膨大な「高層難民」が発生する。このためには「大地震で倒壊しない」という全国一律な最低基準である建築基準法だけでは対応が不可能であり、より高い耐震性能と長期の在宅避難を可能とする備蓄等の準備が求められている。



図5 新宿駅周辺の滞留者・帰宅困難者(2011年東日本大震災)

左：新宿駅前の滞留者による混乱の様子
右：帰宅困難者の受入れの様子(工学院大学新宿校舎)

3.3 3次災害について

1・2次災害(倒壊や火災など)に引き続き、甚大な3次災害(機能・経済的被害)が発生し、復旧・復興も困難を極めると予想される。膨大な瓦礫処理、住まいを無くした数百万人の避難所や仮設住宅の資機材・用地の確保なども深刻な状況になる。特に高額な大都市の高層建物には一般に多数・多様なオーナーで構成され、権利関係は非常に複雑である。被害が出た場合、その修復計画や予算の合意形成は極めて困難になると予想される。このような深刻な状況では、災害関連死が直接死の数倍膨らむ可能性がある。例えば2016年熊本地震では直接死が50名に対して、災害関連死は2018年8月30日で271名であり、現在も増加し続けている。同様に働く場所(オフィスビルなど)の確保も深刻となり、東京の一極集中の現況では甚大な経済被害は長期間に及ぶと予想される。ちなみに内閣府の被害推定額が約95兆円に対して、土木学会の報告では20年累計で約731兆円と推定している⁴⁾。

4. おわりに

首都直下地震による住まい・高層建物の被害の様相に関して、都心南部直下地震や東日本大震災等を中心とした事例を紹介した。一方、被害想定は無数に考えられる想定の一例であり、決して可能性の高い次の想定ではないことに注意すべきである。30年で70%の確率で来るといわれている過去のM7級の首都直下地震の大多数は中小災害であり、殆どは自助・共助で対応可能であることを強調したい。一方、東京のような超巨大都市の建物は原則として「避難・帰宅しない」ことが求められており、「大地震で倒壊しない」ことを目標とした全国一律の現行の最低基準では甚大な災害時の対応が極めて困難になる。

一般的な建築であれば建設費の数%で「逃げる必要のない建物」は実現可能であることを改めて強調したい¹⁴⁾。

謝辞：本報告の成果の一部はJSPS科研費JP16K06586、戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)、および、文部科学省私立大学研究ブランディング事業の助成を頂いています。

参考文献

- 1) 内閣府：南海トラフ巨大地震の被害想定(第二次報告), 2013.
- 2) 東京都：首都直下地震等による東京の被害想定, 2012.
- 3) 内閣府：首都直下地震の被害想定と対策について(最終報告), 2013.
- 4) 土木学会：レジリエンス委員会報告書『「国難」をもたらす巨大災害対策についての技術検討報告書」, 2018.
- 5) 久田嘉章：震災・水害等による都市型複合災害の現状と課題, 日本地震工学会論文集, Vol.16, No.5, pp.12-21, 2016.
- 6) 久田嘉章：レジリエンスな社会構築のための被害低減策と対応力向上策の現状と事例報告, 土木学会論文集F6(安全問題), Vol.72, No.2, pp.1-14, 2016.
- 7) 久田嘉章：ゴジラ上陸!その時、あなたはどのようにしますか? ~ブラック・スワンとオールハザードアプローチ~, オムニ・マネジメント, 日本経営協会, pp.8-13, 2018.
- 8) 岡田 豊：津波被災から20年の奥尻町の苦境—多額の公的資金による安全・安心の街づくりの限界—, みずのりサーチ, pp.9-10, 2013.
- 9) 地震調査研究推進本部：相模トラフ沿いの地震活動の長期評価, 2004.
- 10) 地震調査研究推進本部：相模トラフ沿いの地震活動の長期評価(第二版), 2014.
- 11) 中村 操, 松浦律子：1855年安政江戸地震の被害と詳細震度分布, 歴史地震, 第26号, pp.33-64, 2011.
- 12) 瀬尾和夫：社会地震学へようこそ, 2005年福岡県西方沖地震からの教訓.
- 13) 久保智弘 ほか：東日本大震災における首都圏超高層建築における被害調査と震度アンケート調査, 日本地震工学会論文集, Vol.12, No.5, pp. 1-20, 2012.
- 14) 久田嘉章：第7回「数千年に一度の最大級地震に対する建物の対策(その3: 逃げる必要のない建物とまちを指して)」, NHKそなえる防災, 2017.



久田 嘉章(ひさだ よしあき)

1984年早稲田大学卒、早稲田大学・南カルフォルニア大学助手、工学院大学講師・助教授を経て現職、博士(工学)、専門分野：地震工学

地盤被害の実態

安田 進

●東京電機大学 名誉教授

1. はじめに

地震によって液状化や斜面崩壊などの種々の地盤変状が生じる。ただし、地形・地質ごとに発生する地盤変状は異なる。関東地方には自然堆積の沖積低地、台地、丘陵地、山地に加えて多くの人工の埋立地などが存在する。本特集号が対象としている首都直下地震の場合、どの地域を対象に考えるかで、そこに含まれている地形が異なり、地盤被害の種類も異なる。そこで、本稿では対象とする地域を、東京都の23区から西は八王子市付近の丘陵地まで、南は神奈川県川崎市から横浜市まで、北は埼玉県の南東部、東は千葉県の西部と限定し、奥多摩や秩父の山間地や、太平洋側、北関東は対象にしないこととする。

さて、首都圏では30～40年前から地震時の液状化や斜面崩壊といった地盤被害に対するハザードマップが作成されてきている。したがって、このハザードマップで表されている地域的な特徴を解説する方法もあるが、その場合、推定結果をもとに話をするだけになってしまう。そこで、本稿では別の方法を取り、過去の地震時に首都圏で発生した地盤被害を紹介し、それに対して今日までに変化している条件を示し、将来の地震時の地盤災害を議論してみる。首都圏に大きな被害をもたらした過去の地震としては、やはり1923年関東地震であり、最近では2011年の東北地方太平洋沖地震であるので、これらを探り上げる。

2. 1923年関東地震時の被害とその後の状況の変化

(1) 関東地震時に発生した地盤被害

関東地震による地盤被害のうち、液状化が発生した箇所は噴水・噴砂などの記述をもとにいくつかの調査が行われ、かなり明らかになっている。これらの地点を若松が集大成したもの¹⁾を図1に示す。液状化した地区を大まかに分けると、①東京や川崎の海岸の埋立地、②東京低地の古隅田川や中川などに沿った自然堤防や旧河道、③中川低地の古利根川などに沿った自然堤防や旧河道、④多摩川沿いの自然堤防や旧河道となる。ハザードマップでは沖積低地全体で液状化の危険性を指摘しがちであるが、東京の下町全域が液状化したわけではないことに注意が必要である。

液状化にともなう地盤変状としては、地割れが古隅

田川や古利根川沿いで多く発生したこと、また、構造物の被害として住家の沈下や傾斜・土蔵の沈下、工場や小菅刑務所の建物被害などが発生していたことが、被害報告書やヒアリングなどから分かってきている。さらに、東北本線の荒川橋梁が沈下・傾斜し、北千住の古隅田川付近の東武線の盛土が崩壊し線路が宙吊りになったが、これらも液状化による被害ではないかと推察される。

図2には河川堤防が大規模に被害を受けた箇所を示す。多摩川などでは河川堤防が数多く被災しており、その主な原因は液状化にあったのではないかと推察される。

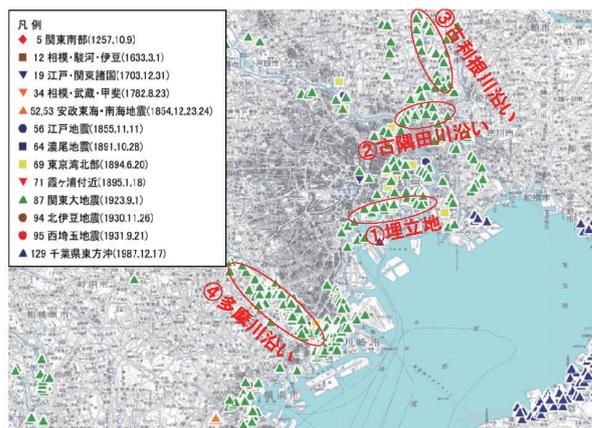


図1 関東地震で液状化した箇所(若松¹⁾)に加筆



図2 関東地震で河川堤防が大規模に被災した地区

地盤構造の違いによる揺れの違いに関しては、台地に比べて低地の方が建物の被害率が大きかったことや、東京や横浜では沖積層の厚さが厚いと家屋の全潰率が高かったことが調べられている。また、台地と低地の

境界で水道管の被害が多かったことが指摘されている。さらに、図3に示すように、谷底低地で建物や水道管の被害が多かったようである²⁾。東京都の中心部では洪積台地から低地に向かって複数の谷底低地が樹枝状に形成されている。谷底低地で被害が多かったのは、谷底低地に堆積している高有機質土・粘性土といった軟弱層の存在や、基盤の不整形性が影響し、地震動が増幅したことが原因ではないかと考えられる。

その他、神田川沿いの崖が御茶ノ水で崩れて神田川の一部が堰き止められたことも報告されている。

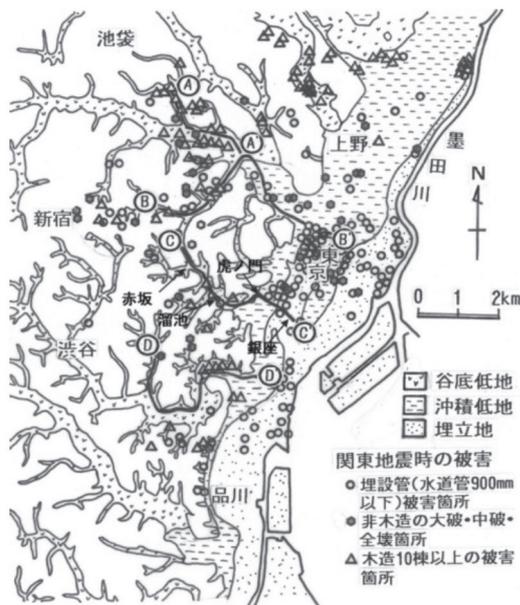


図3 関東地震による谷底低地での被害²⁾

(2) 地盤災害の発生のし易さに関して関東地震以降に変化している事項

関東地震以降約100年の間に、被害を受け易い人工地盤が急増している。一方、液状化や法面崩壊などに対して対策を施して被害を受け難くすることも多く行なわれている。これらには以下のようなものがある。

① 海岸や池・沼などの埋立地の増加：

図4に関東地震当時の海岸線の位置を示す。これに見られるように、関東地震以降、東京湾岸には広大な埋立地が造られてきた。内陸においても各地に点在する池や沼なども埋め立てられ宅地化されてきた。一般に埋立地は砂質土で埋め立てられ地下水位も浅いので、液状化被害が生じ易い場所が増加してきた。

② 丘陵地の盛土造成宅地の建設：

昭和30年代から川崎などの丘陵地に数多くの造成宅地が造られてきた。造成地のうち盛土部では、締固めや地下水の処理の仕方が悪いと、法面のすべりや宅地の沈下などの被害を生じ易い。関東地震の際にはなかった新しいタイプの地震被害が加わったと言える。

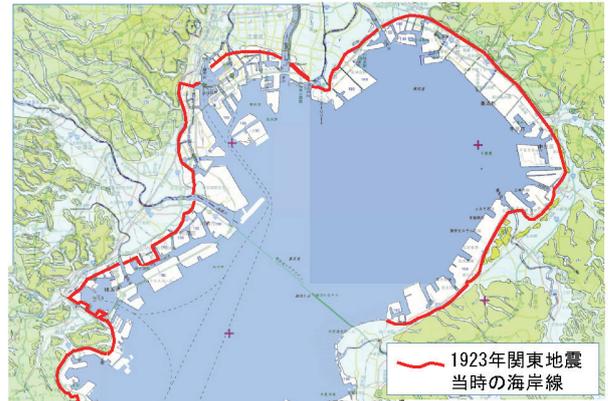


図4 関東地震当時の海岸線 (産総研³⁾ に加筆)

③ ゼロメートル地帯の形成：

明治時代の後半から開始された工業用水の汲み上げにより、東京低地では地盤沈下が始まった。関東地震以降に沈下が加速し、最大で4mを超える沈下量となった。汲み上げの規制により現在では沈下は止まっているが、すでに東京低地のうち124km²がゼロメートル地帯となっており、もし地震によって護岸や堤防が被災すると“地震水害”が発生する危険性が出てきた。

④ 擁壁の増加：

台地や丘陵地で宅地化が進み、それに伴って擁壁が無数に造られてきた。その中には地震時に被害を生じ易い擁壁が多くあると考えられ、擁壁の崩壊による住宅や道路などの被害の危険性が増加している。

⑤ 構造物建設に伴う埋戻し部の増加：

下水道管渠やマンホールのように浅部に地中構造物を建設する場合、一般に掘削して構造物を設置した後、砂質土で埋め戻す。埋戻し土の締固めが不十分で地下水位が浅いと埋戻し土の液状化により、構造物の浮上りが生じる。図5に示すように防火水槽・地下タンクといった構造物や、電柱などでも同様な被害が生じる可能性がある、田んぼに住宅を建てる場合にも軟弱粘土地盤を砂で置き換えた場合に、液状化被害が生じることがある。

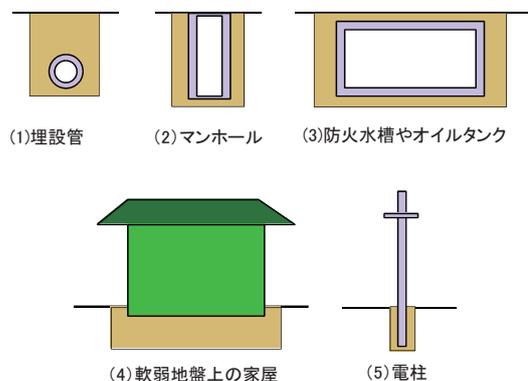


図5 局所的な埋め戻し土や盛土が液状化するケース

⑥地震対策の実施：最近では地盤災害を防ぐために対策を施すことも行われるようになってきている。特に液状化に関しては1964年新潟地震で種々の構造物が甚大な被害を受けたため、その後、対策が施されるようになってきている。その他、御茶ノ水付近の神田川沿いの崖に対し耐震補強工事が行われてきているなど、崖や擁壁の対策も行われている。

3. 2011年東北地方太平洋沖地震による地盤被害

東北地方太平洋沖地震では東京湾岸の北東部の埋立地で、図6に示すように広い範囲にわたって液状化による被害が発生した。浦安市から千葉市にかけては住宅地として利用されていたため、多くの戸建て住宅が沈下・傾斜する被害が発生した。住宅地のため上下水道・ガスのライフラインや平面道路も被害を受けた。

これに対し、同じ液状化した地域内でも、杭で支持されている中・高層のマンションや高架橋などは構造的な被害を受けなかった。戸建て住宅や平面道路は液状化対策を施してきていないのに対し、高架橋などは液状化を考慮して設計していたことが、両者の被害を分けた原因と言えよう。なお、液状化した地域の震度は5弱～5強とそんなに強くなかった。それでも液状化が広範囲に発生した理由としては、地震の規模が巨大で震動の継続時間が非常に長く、地盤に繰返しせん断応力が多数回加わったためと考えられている。



図6 東北地方太平洋沖地震により東京湾の埋立地で液状化した地区(国土交通省関東地方整備局と地盤工学会による)

さて、液状化した地域と震度はほぼ同じだった近隣の古隅田川や中川沿いでは、関東地震で液状化したといえどもこの地震では液状化しなかった。緩い地盤においても形成された後に、例えば100年や300年も経つと液状化し難くなる。関東地震以降約100年経っていたためこのようなエイジング効果により、古隅田川沿いなどは液状化しなかったのかもしれない。ただし、関東地震時の地震動より弱かったことも起因している可能性もあり、理由はまだ明らかになっていない。

4. 今後の首都直下地震時の地盤被害の可能性

以上をもとに、首都直下地震が発生した場合の地盤被害の可能性に関して考えてみる。ただし、上述したように液状化は長年経つと発生し難くなるので、何年先までを対象にするかによって被害の発生は異なってくるはずである。そこで、仮に今後30年程度以内に発生する場合と限ってみる。また、地震動のレベルによって被害状況は異なってくるので、震度が6強前後と強い地震動が襲った場合を仮定する。なお、地震動が弱いと当然地盤被害は生じ難くなる。

①液状化による被害：

東京湾岸の埋立地ではやはり液状化が発生し、戸建て住宅、平面道路、ライフライン、工場施設などが被害を受ける可能性が大きいであろう。東北地方太平洋沖地震では液状化した地区でも杭支持の中・高層の建物は被害を受けなかったが、震度が大きい首都直下地震の場合には、1995年兵庫県南部地震の時と同様に、杭基礎自体が被災する危険性もあると考えられる。また、護岸・岸壁が液状化に伴って孕みだすと、背後地盤の流動による被害も発生する可能性がある。

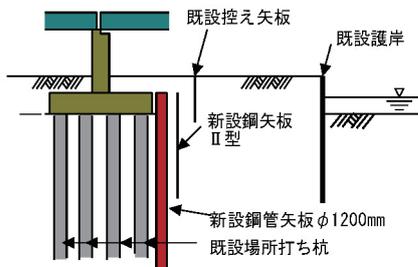
東京低地の古隅田川沿いなどの自然堆積地盤では、東北地方太平洋沖地震に比べて震度が大きい分液状化し易くなるのか、エイジング効果によって液状化し難くなっているのか、判断し難いと言えよう。それよりは、図5に示したような局所的な埋戻し土や盛土の液状化により、地中構造物が浮き上がったり、電柱などが沈下・傾斜する被害が懸念される。このような埋戻し土の液状化による被害は、原地盤が液状化し難い粘土地盤でむしろ発生し易い可能性がある⁴⁾が、当然液状化のハザードマップには表されていない。狭い道路でマンホールが浮き上がったり電柱が傾いたりすると交通障害をおこし、地震時の避難にも影響してくることが懸念される。

なお、埋立地と自然堆積地盤とも、大型の構造物や重要な構造物では既設構造物に対しても図7に模式図を示すような方法で液状化対策が施されるようになっており、甚大な被害は発生し難いのではないかと考えられる。ただし、古い橋や中層ビルなどでは被害が発生する構造物がかなり多くあると考えられる。

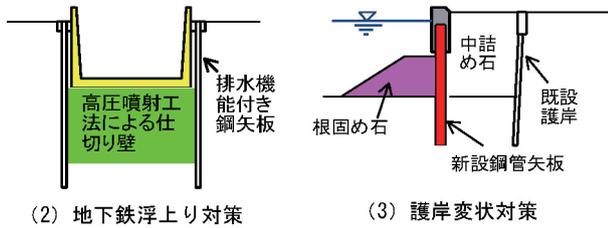
②丘陵地の盛土造成宅地の被害：

この被害が目立ち始めたのは1978年宮城県沖地震あたりからであり、当然一部の自治体しか被害想定に盛り込まれるまでには至っていない。どこに危険な盛土が存在するかすら分からない状況にある。これに対し、国土交通省では宅地耐震化推進事業において、大規模盛土造成地の把握から対策まで進めようとしてきてい

る。例えば横浜市では盛土箇所を調査した結果、図8に示すような箇所が該当すると公表している⁵⁾。ただし、その数は首都圏に数多くあり、その中から危険な箇所を絞り込んで、住民との合意のもとで対策を施していくまでには長い年月がかかりそうである。したがって、首都直下地震ではかなり被害が発生することを覚悟しておかねばならないであろう。



(1) 高速道路橋脚の流動対策



(2) 地下鉄浮上り対策

(3) 護岸変状対策

図7 首都圏の既設構造物に施した対策例の模式図

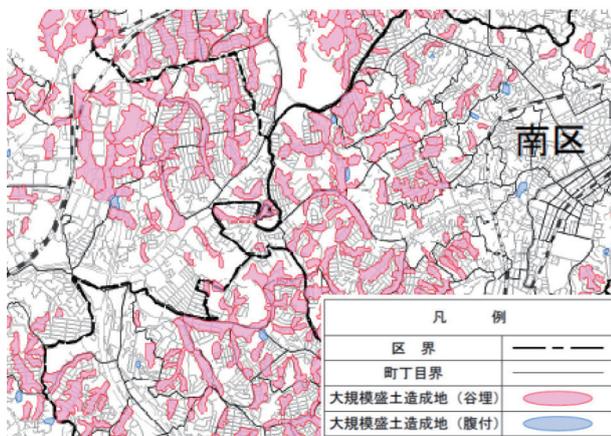


図8 横浜で調査している大規模盛土造成地⁵⁾

③ゼロメートル地帯の地震水害：

護岸や堤防が孕み出したり沈下して川や運河の水が入り込んでくると、市街地が浸水するだけでなく、地下街や地下鉄まで水が入り込んで甚大な被害になる危険性がある。これに対しては、護岸、堤防、水門などで耐震補強工事が行われてきている⁶⁾。

④その他：

東京の山の手と下町の境界などでは崖が多く、強い震動を受けると小規模ながら崖崩れや擁壁崩壊が発生

する危険性を有していると考えられる。また、谷底低地など局所的に地震動の揺れが強くなる箇所もあると考えられる。

5. あとがき

首都圏に被害を与えた過去の二つの地震における地盤被害をもとに、今後の首都圏直下地震で予想される地盤被害について考えてみた。首都圏を構成する地盤は一律でないだけでなく、人工的に改変した地盤が多く造られてきている。さらに多種多様な構造物が建設されてきている。したがって、地盤被害を正確に予想するのはなかなか難しく、基本的な考えだけを述べることにとどまったことをお断りしたい。

参考文献

- 1) 若松加寿江：日本の液状化履歴マップ、東京大学出版会、2011.
- 2) 安田 進・吉川洋一・牛島和子：東京の谷底低地における地震被害と地層構成、土木学会第48回年次学術講演会講演集、III、pp.422～423、1993.
- 3) 産業技術総合研究所：20万分の1日本シームレス地質図、<https://gbank.gsj.jp/seamless/index.html?lang=ja&p=download> (参照、2018年8月).
- 4) Yasuda, S. and Kiku, H.: Uplift of sewage manholes and pipes during the 2004 Niigataken-chuetsu earthquake, Soils and Foundations, Vol. 46, No. 6, pp. 885-894, 2006.
- 5) 横浜市：大規模盛土造成地の状況調査について、<http://www.city.yokohama.lg.jp/kenchiku/takuchi/takuchikikaku/news/morido/> (参照、2018年8月).
- 6) 東京都江東治水事務所：事業概要 (平成29年版)、2017.



安田 進 (やすだ すずむ)

東京電機大学 名誉教授、工学博士、基礎地盤コンサルタンツ(株)、九州工業大学助教授を経て1994年から2018年まで東京電機大学理工学部教授、主たる研究課題：液状化予測および対策、盛土や斜面の地震対策など

首都直下地震の経済被害について

藤井 聡

●京都大学大学院都市社会工学専攻 教授

1. はじめに

土木学会の平成29年度会長特別委員会「レジリエンスの確保に関する技術検討委員会」は、国難と呼ぶような致命的事態を回避し、巨大災害に遭遇してもその被害を回復可能な範囲にとどめる対策、すなわち国土のレジリエンス確保方策を示すための検討を行い、2018年6月にその成果「『国難』をもたらす巨大災害対策についての技術検討報告書」を公表した¹⁾。本報告書は、過去の大災害のもたらした長期的影響を調査し、これをもとに今後起こりうる巨大災害のもたらす被害を推計し、それを減ずるに必要な公共インフラ対策を中心とした諸対策の減災効果を計量化し、対策の早期実施を求めている。本稿では、この報告書において報告されている諸災害の中でも、とりわけ首都直下地震を取り上げ、その経済的被害とそれに伴う財政的被害の推計結果を紹介する。あわせて、それに対する対策を講じた場合の費用と効果を紹介する。

2. 災害被害の考え方

ここではまず、本検討で取り扱った被害の考え方、

および、その推計方法について述べる。

一般に、災害の被害は「直接被害」と「間接被害」に分けられる。直接被害とは、建物やインフラ施設が災害によって物理的に被る被害である。人的な被害も含まれる。一方、間接被害とは、その直接被害によって惹起される間接的な被害である。

なお、この間接被害は、「経済的」なものとして「非経済的」なものにさらに分類される。経済的な間接被害とは、人々の所得の縮小や、各企業の生産額の縮小、あるいは、各経済主体の需要の縮小などを意味する。なお、図1には、そうした経済的な間接被害への伝播構造を記載する。

一方、非経済的な間接被害とは、景観、被災地のイメージや権威の毀損、政体の政治力や行政力の毀損を意味する。この経済的なものと非経済的な間接被害は共に、直接被害により惹起されるが、その双方は双方の原因となり得る、相互依存的なものである。

本委員会では、これらの内、直接被害と経済的な間接被害の一部を評価する。

なお、これまでも直接被害、経済的な間接被害は、

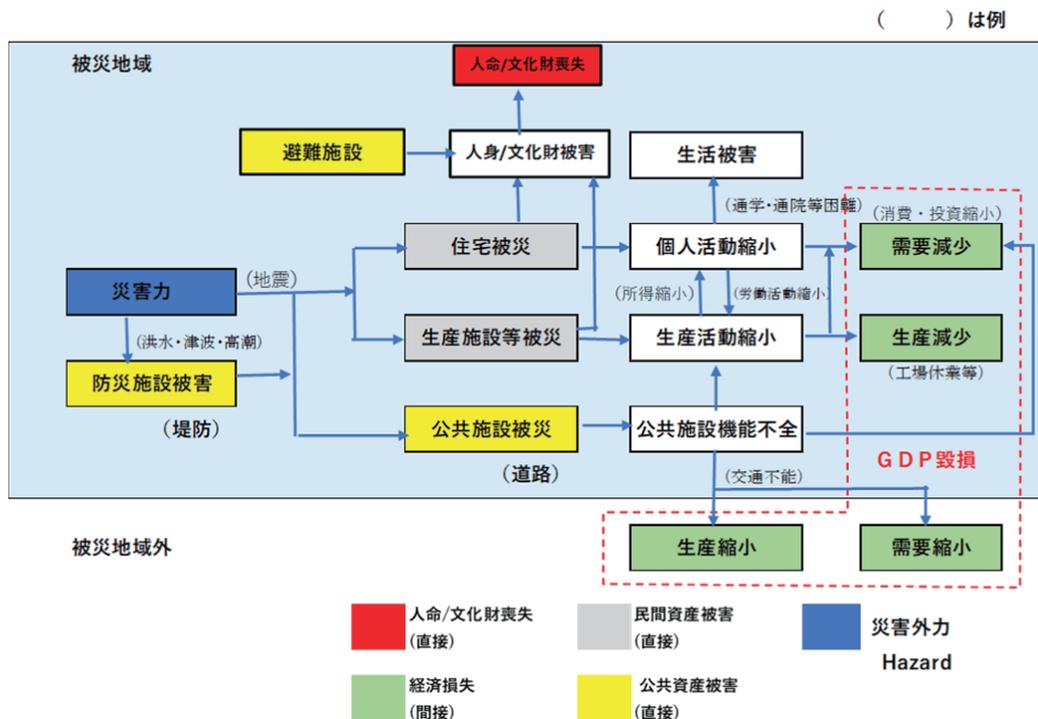


図1 災害による「直接被害」と「経済的間接被害」をもたらす伝播構造

例えば内閣府などで首都直下地震や南海トラフ地震などについて推計されていたが、災害がもたらす様々な「後遺症」、例えば、災害によって人口や生産施設が流出する、土地利用が変わってしまう等の中長期的に継続する被害については、考慮されてこなかった。本検討では、そうした中長期的に継続する被害についても、「長期的な経済損失」の視点から、技術的に「リカバリーカーブ」（回復曲線）という概念を用いることで考慮し、推計する点に大きな特徴がある。

以上の前提に基づき、本委員会では、災害の被害ならびに対策の減災効果を推計するにあたり、下記の評価尺度を用いることとした。

人的被害：死者数。単位は人。直接被害の一種。

経済被害：国民総生産（GDP：実質値）の毀損総額。単位は円。間接被害の一種。

財政的被害：国と地方を合わせた一般政府の税収の縮小総額。単位は円。間接被害の一種。

なお、対策により経済被害が縮小する効果は「経済被害の縮小」効果、財政的被害が縮小する効果は、「税収減少回避（税収増）」効果と呼称する。

「人的被害」と「経済被害」、「財政的被害」は共に異なる尺度として推計する。人的被害は災害による直接被害の一種であると同時に、金銭ベースで評価困難なものであり、経済被害・財政的被害とは独立に推計する。

一方、経済被害は、災害によって惹起される様々な「間接被害」を累計したもので、貨幣価値に換算されるものである。具体的には、日本にかかわる経済主体（国民、法人、政府）が被害によって失う「所得の合計値」である（なお、この値は、各経済主体の「需要の合計値」、あるいは、各経済主体が生産した「付加価値の合計値」でもある）。この尺度が大きければ、その被害による国民の「貧困化」がより大きいと評価することができる。なお、その推計にあたっては、対象とする災害が生じなかった場合と生じた場合の双方の「推移」を想定し、「災害発生時点」から「災害後の回復過程を通して両者が一致する時点」までの間の期間、両者の乖離を合計した。

なお、「地震・津波」については、20年間で回復すると推計された阪神・淡路大震災のケースを基本として、国民総生産の毀損値を20年分累計する。したがって、その経済被害を「20年経済被害」と呼ぶ（推計方法の詳細は、次章で述べる）。

最後に、財政的被害は、経済被害に基づいて推計した。すなわち、2015年度におけるGDP総額に対する一般政府（すなわち、中央政府と地方政府）の総税収は

10.6%であったことから、この比率に経済被害を掛け合わせることで推計した。

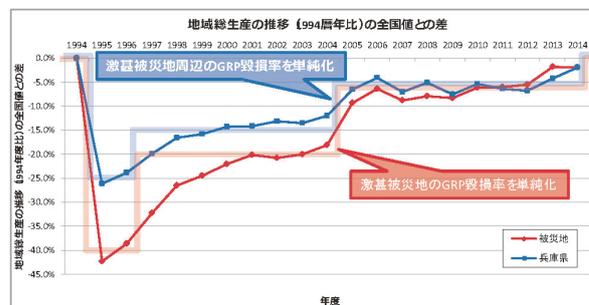
以上3尺度が、本検討における基本的な「評価尺度」であるが、追加的に以下の二つの尺度も活用した。

資産被害：災害によって毀損する建築物、資産等の金額。単位は円。直接被害の一種。

被災者数：災害によって被害を受ける人々の数。単位は人。直接被害の一種。

3. 被害推計の方法

地震によって、生産施設等が破壊され、交通インフラが破壊される事を通して、経済活動が低迷することによって生ずる経済被害の推計にあたっては、首都直下地震による国民総所得（GDP）に対する影響が、阪神・淡路大震災の時（図2参照）と同様に20年間継続すると想定しつつ、首都直下地震が生じた場合に、生じなかった場合に比べて国民総所得（GDP）がどの程度毀損するかを推計し、その差分を20年間累計することで測定した（すなわち、いわゆるwith/without評価の考え方を採用した）。なお、被災地における被害が、経年的に回復し、最終的に被害が無かった場合に想定される水準に戻るまでの、その被害の回復していく曲線を「回復曲線」ないしは「リカバリーカーブ」と呼称する。



注：全国値を規準として基準化した値の推移

図2 阪神・淡路大震災の時の、発災後20年間のGDPの推移

推計にあたっては、首都直下地震が生じた時のリカバリーカーブは、阪神・淡路大震災の時のGDPのリカバリーカーブと「相似」を成すものと仮定した。

その一方で、初期二カ年のGDPの毀損については、図3に示した因果プロセスを想定した空間的応用一般均衡モデル（SCGE）を活用して推計し、この数値を用い、かつ、上記仮定の上で、首都直下地震のリカバリーカーブを特定し、20年経済被害を推計した。なお、モデルの詳細は、文献1）2）を参照されたい。

また、SCGEを用いて推計する際、道路網や生産施設の毀損状況は、文献3）で報告されている被害ケー

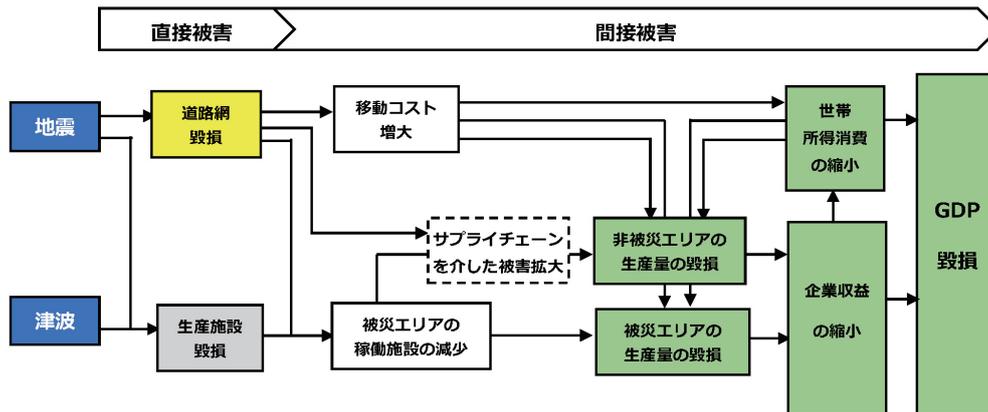


図3 地震・津波が道路・施設を毀損し、GDPが変化する因果プロセスの全体概要

図3 地震・津波が道路・施設を毀損し、GDPが変化する因果プロセスの全体概要

表1 首都直下地震の被害推計(資産被害・20年経済被害・20年財政的被害・人的被害)

資産被害	47兆円	地震、津波で毀損する建築物等の資産量。内閣府試算。
20年経済被害	731兆円	道路破断及び生産施設毀損による678兆円の20年経済被害(本委員会が推計した、GDPの20年間の累計毀損額)に加えて、港湾における交通破断による4.5兆円(内閣府推計)に基づいて求めた20年経済被害の推計値53兆円の合計値。
20年財政的被害	77兆円	20年経済被害の推計値より、一般政府(国と地方)の総税収の縮小額を推計。
人的被害	23,000人	地震、津波による死者数。内閣府試算。

スを前提とした。

4. 推計結果

以上の前提に基づいて推計した結果を表1に示す。なお、これらの内、資産被害と人的被害は、内閣府が算定した数値³⁾の再掲であり、20年経済被害と20年財政的被害が、今回、改めて推定した計算結果である。

なお、20年経済被害については、上記の3章に述べた道路と資産の被害に基づくGDP毀損額と、内閣府が、港湾機能が毀損することで求めていた経済被害をベースに求めた20年経済被害である53兆円を足し合わせて求めている。

ご覧の様に、20年経済被害は731兆円となった。これは、内閣府がかつて推計していた資産被害47兆円の約16倍に相当する水準である。また、この被害を通して、日本の中央と地方をあわせた一般政府が失う税収は77兆円に上ることも示された。

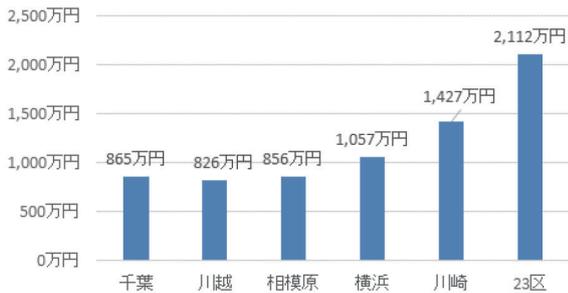
次に、図4に、被災地に含まれる代表都市の損失所得を示す。ご覧の様に、20年間累計で市民一人(納税者)あたり平均、約900万円から2,100万円以上の所得

(総額)が失われてしまうと推定された。

なお、阪神・淡路大震災時の神戸における損失所得額(20年累計)を、当時の神戸の所得水準が今日の東京23区のそれと同程度であるという前提で推定したところ、1,479万円と推計された。図4に示した東京23区の損失額2,112万円は、この推計値よりも40%以上も高い水準である。つまり、首都直下地震は、阪神・淡路大震災が神戸に与えたダメージを遙かに上回るダメージを、東京23区を中心とした被災エリアにもたらすことが予想される。

最後に、首都直下地震の直後のGRP(域内総生産、Gross Regional Product)の毀損量がどの程度なのかについてのランク(以下、レジリエンス・ランクと呼称する)を、首都圏における14ヶ所のエリアについて求めた結果を表2に示す(レジリエンス・ランクの定義は、同じく表2に示した通りである)。また、図5は、各エリアの被災直後のGRPの毀損率である。

ご覧の様に、東京23区のGRPの毀損率が各段に高く6割を超えている。多摩地区、川崎地区がそれに次ぐ被害水準であり、表2の定義で、ランクC(GRP毀損率4



注:被災地に含まれる政令指定市を抜粋。20年間の累計喪失額。納税者一人あたり平均。エリアは生活圏単位。当該ゾーンの所得を、中心政令市の所得に等しいと想定して推計。

図4 首都直下地震によって失われる地域別所得総額

表2 首都直下地震のレジリエンスランクと各ランクに属するエリア数(全199エリア中14エリア)

レジリエンスランク	エリア数	(割合)
S (GRP毀損20%以下)	0エリア	(0%)
A (GRP毀損20～30%)	3エリア	(21%)
B (GRP毀損30～40%)	8エリア	(57%)
C (GRP毀損40～50%)	2エリア	(14%)
D (GRP毀損50%以上)	1エリア	(7%)
合計	14エリア	(100%)

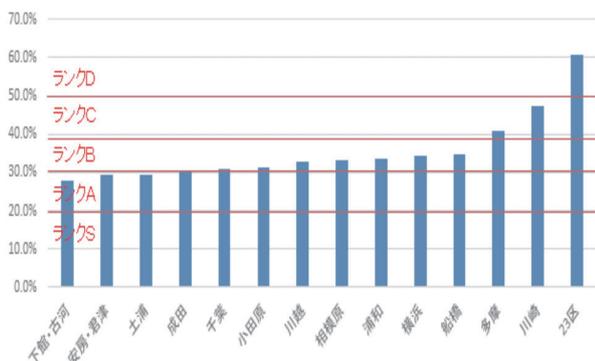


図5 首都直下地震の各被災エリア(全199エリア中14エリア)における被災後初期2年間のGRP毀損率

割合)となっている。そして、GRP毀損率3割台のランクBが最も多く8エリアとなっている。

5. おわりに

本稿では、土木学会の「レジリエンスの確保に関する技術検討委員会」にて行った首都直下地震の経済被害推計について解説した。20年経済被害が731兆円、その被害を通して政府が失う税収は77兆円に上るという結果となった。ただし、財政的負担について言うなら、

この77兆円とは別に、被害の復旧・復興費用も含まれるため、このままでは100兆円規模で財政を悪化させることが予期される。大規模な財政支出に基づく適切な投資を図ることこそが、トータルとしての財政負担を最小化するであろうことを、以上の推計結果は示唆している。

実際、土木学会の報告書では、緊急輸送道路の整備、橋梁の耐震強化、電柱地中化などの「道路投資」と、首都圏における各種の都市資産の「耐震補強投資」を通して、731兆円と試算されている経済被害を485兆円にまで、約34%、金額にして247兆円減災することができるとの試算も報告されている¹⁾。そして、その結果、財政的被害は26兆円減ずることができる。そのため投資額は政府支出ベースで約10兆円であった。つまり、10兆円の政府投資で、その約25倍の247兆円の被害を減じ、その約2.6倍の26兆円もの税収の落ち込みを回避することが可能となることが試算されている。あわせて、全国の新幹線整備を進めれば首都圏から5.4%分散化を果たし、それを通して、経済被害をさらに39兆円減ずることができることも示された。こうした試算に基づいた、合理的かつ速やかな抜本対策が今、強く求められている。

参考文献

- 1) 平成29年度会長特別委員会・レジリエンスの確保に関する技術検討委員会:「国難」をもたらす巨大災害対策についての技術検討報告書、2018。
- 2) 平成29年度会長特別委員会・レジリエンスの確保に関する技術検討委員会・道路分科会:レジリエンス確保に関する技術検討委員会「道路分科会」検討報告書(「国難」をもたらす巨大災害対策についての技術検討報告書:付録I)、2018。
- 3) 『中央防災会議・首都直下地震対策検討ワーキンググループ:首都直下地震の被害想定と対策について(最終報告)～本文～、2013。



藤井 聡(ふじい さとし)

京都大学大学院・工学研究科・都市社会工学専攻教授、同大学レジリエンス実践ユニット長、現安倍内閣内閣官房参与。1968年生、京都大学卒業後、同大学助教授等を経て現職。専門は公共政策論。著書は「列島強靱化論」「巨大地震Xデー」「大衆社会の処方箋」等多数。表現者クライテリオン編集長。

2018年6月18日大阪府北部の地震の概要について

清野 純史

●京都大学工学研究科 教授

1. はじめに

2018年6月18日7時58分、大阪府北部の深さ約13kmを震源とするマグニチュードM_j6.1の地震が発生した。この地震により大阪府内の5つの市区（大阪市北区、高槻市、茨木市、箕面市、枚方市）で震度6弱が観測された。この地震による人的・建物被害は、死者は5名、全半壊家屋は285棟であった。消防庁の統計資料¹⁾に基づく人的・建物被害を示したものが表1である。

表1 大阪府北部の地震による人的・建物被害¹⁾

都道府県名	人的被害			住家被害			非住家被害	
	死者	負傷者		全壊	半壊	一部損壊	公共建物	その他
		重症	軽傷					
人	人	人	棟	棟	棟	棟	棟	
三重		1	1					
滋賀			3					
京都		1	21		5	2,675		
大阪	5	34	346	16	467	51,045	702	21
兵庫		4	38			4		
奈良			4			27		
徳島			1					
合計	5	40	414	16	472	53,751	702	21

一方、この地震では鉄道や道路を含むライフライン系にも物理的・機能的被害が生じた²⁾。特に、近畿圏の鉄道網、および高速道路には甚大な物理的被害はほとんど生じなかったが、運転見合わせの解除や通行止め解除に多くの時間を要した。これは、鉄道の乗客の誘導や運行停止の基準震度、通行止めの基準震度や安全確認の方法などが過去の地震経験を基に決められているためであるが、安全の担保と早期復旧という社会的要請のジレンマは、今後運転再開や通行再開に向けた体制の整備等に関する議論に少なからず影響を与えるものと思われる。

近畿地方は日本の中でも特に内陸活断層が集中している地域であり、今回の震央の周囲にも有馬-高槻断層帯、上町断層帯、生駒断層帯等が分布している。いずれも地震発生確率は高くはないものの、ひとたび断層が動けばマグニチュード7クラスの地震が発生する

と言われている³⁾。また、近い将来にその発生が懸念されている南海トラフの大地震も、今後30年の発生確率は70-80%³⁾と予想されており、近畿圏では常に内陸型・海溝型の双方の地震を憂慮しなければならず、こと内陸地震に関しては、兵庫県南部地震の経験を踏まえ、今回の地震からもできるだけ多くの知見を獲得し、今後の貴重な教訓にする必要がある。

2. 地震動の特徴

この地域の地震は東西圧縮型の発震機構を有するが、今回の余震の初動解は逆断層型と横ずれ断層型が混在しており、特に本震の北側では逆断層型の地震が分布している³⁾。

5つの市区で震度6弱の揺れを観測したが、K-NET高槻のEW成分で、794 cm/s²の最大加速度を記録している。主なK-NET地点の最大加速度を表2に示す。

表2 主なK-NET観測点の最大加速度(単位はgal)

観測点	NS	EW	UD
高槻	521	794	238
亀岡(京都)	388	339	193
四條畷	232	352	133
久御山(京都)	326	259	165
豊中	293	317	113
大阪	191	283	166
生駒(奈良)	213	248	254
三田(兵庫)	206	159	71
宇治(京都)	152	195	123
西宮(兵庫)	124	183	99

一方、高槻の加速度記録の応答スペクトルを震央距離の違う他の3市（大阪市東淀川区、豊中市、西宮市）と比較したものが図1である。全てEW成分の加速度応答スペクトルの比較である。

太実線の高槻市が一番大きく、0.2~0.4秒の周期が卓越していること、大阪市(破線)のスペクトルは高槻市よりも振幅は大大小さいが周波数成分が似ていること、豊中市(点線)では0.6秒、西宮市(細実線)で0.4秒の周期が卓越していることから、応答には地盤条件のみならず震源との位置関係なども複雑に関係している。

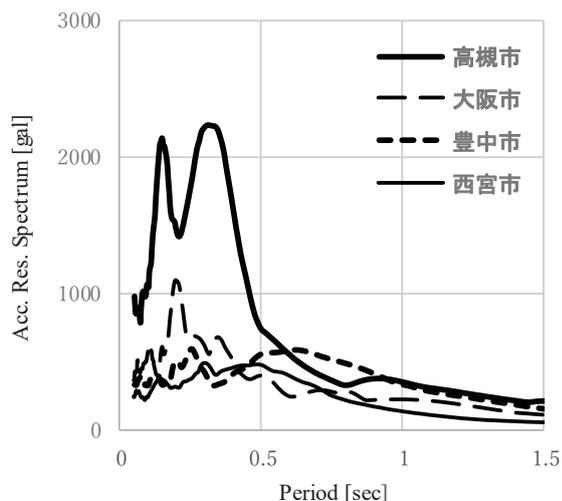


図1 近畿各市で観測された加速度の応答スペクトル

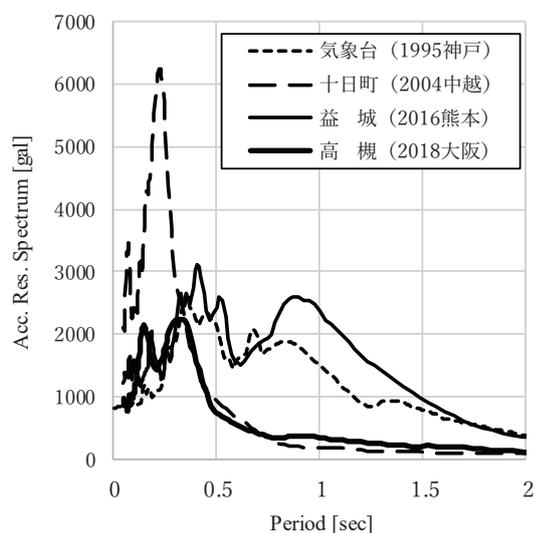


図2 過去の被害地震の応答スペクトルの比較

図2は、K-NET高槻の加速度応答スペクトルを、過去の被害地震の応答スペクトルと比較したものである。用いた過去の記録は、1995年兵庫県南部地震の際の神戸海洋気象台の記録、2004年新潟県中越地震の際の十日町の記録、そして2016年熊本地震の際の益城の記録である。いずれも住家に甚大な被害を与えた地震である。比較のための応答スペクトルの算出に際しては、観測記録の水平成分の内、最大加速度を有する成分を用いている。減衰定数は5%とした。

高槻市(太実線)と十日町(破線)の周波数の周波数成分は似ているが振幅が数倍異なるとともに、神戸海洋気象台(点線)、益城(細実線)との比較では、木造家屋に大きな被害をもたらすと言われる1秒前後の成分が大きく異なることがわかる。

3. 地震被害の特徴

鉄道・道路を含むライフライン被害の概略は以下のとおりである。

- ✓ 電力：直後の停電は最大17万件。6月18日 10時43分時点で停電解消。
- ✓ ガス：中圧～低圧ガバナーの自動遮断による供給停止は最大111,951戸。供給支障は24日22時に解消。
- ✓ 水道：枚方水管橋の空気弁や高槻市の送水管などいくつかの古い管路で脆性破壊が生じた。6月19日までに断水は全て解消。高槻市の断水又は減圧給水(最大で19.4万人(8.6万戸)に影響)は、6月19日15時までに解消。箕面市の一部の区域で発生した断水(最大で2万人(0.8万戸)に影響)は、6月19日16時頃までに解消。吹田市の断水(30戸に影響)は、6月18日までに解消。
- ✓ 鉄道・道路：基準震度以上の揺れにより、関西の鉄道各社の多くは運行を見合わせ、また高速道路各社も全線あるいは一部区間を通行止めとした。その復旧点検に多くに時間を費やした。大阪モノレールは、分岐器の損傷・碇子破損・車両の安定輪やゴムブロックの損傷等が生じたが、最終的に6月25日に全線で運行を再開した。

謝辞

本調査は、土木学会関西支部が中心となり調査団を組織し、日本地震学会、地盤工学会関西支部と連携を取りながら行ったものである。また、解析にはK-NETの記録を利用させていただいた。関係機関および関係者各位に感謝の意を表する次第である。

参考文献

- 1) 総務省消防庁：大阪市北部を震源とする地震による被害及び消防機関等の対応状況(第29報)，平成30年9月18日，[<http://www.fdma.go.jp/bn/2018/>]，(最終検索日：平成30年9月25日)。
- 2) 気象庁大阪管区気象台：震央分布図及び地震活動経過図・回数積算図(平成30年6月18日00時～8月17日09時)，平成30年8月17日，大阪府北部の地震の関連情報，[https://www.jma.go.jp/jma/menu/20180618_oosaka-jishin_menu.html]，(最終検索日：平成30年8月24日)。
- 3) 地震調査研究推進本部：近畿地方の地震活動の特徴，[https://www.jishin.go.jp/regional_seismicity/rs_kinki/]，(最終検索日：平成30年8月24日)。

見るに如かず

尾上 篤生

●興亜開発(株) 顧問、(株)国際地盤研究所 代表

1. はじめに

現場に出向かなくても研究・開発テーマは作れるが、真に重要な課題は見え難い形で現場に潜んでいるので、地盤災害にあたっては現地で有りの儘を見るように努めてきた。ましてスペシャルアドバイザーを拝命し、地盤品質判定士としての的確な助言と有用な情報の発信を求められる今、技術者たるもの「見たこと以上を言うのは言い過ぎ」と心得てこれまでの体験を振り返り、今後の技術研鑽に資する。

2. 地盤工学から地盤耐震へ

山口柏樹先生に頂いた修論のテーマは、コアの有る截頭型フィルダムの振動特性だった。審査会で大町達夫さんに「貯水の影響は？」と問われ、「貯水前の振動特性です」と答えたが、せめて動水圧には言及すべきであった。また、コアは細長いから曲げ振動を仮定したが、ロックである堤体に拘束されて一緒に振動するから実際はせん断変形が卓越するだろうことは、フィルダムの建設現場を見れば分かったに違いない。

1972年に就職した清水建設では、直径12cmの網袋詰めサンドドレーンによる軟弱地盤改良を担当した。このような細径のドレーンは、長尺になると砂の透水抵抗(ウェルレジスタンス)を無視できない。広島大学の吉国洋助教授(当時)がこれを考慮した計算式を提案していたが、実際の現場でその妥当性を調べた研究は無かったので、改良深さ24mに対して透水係数が20倍違う二種類の砂を使った手賀沼下水処理場建設時の現場実験で確かめた。この実験結果の解析用に作った数値解析プログラムは、その後のグラベルドレーンの効果解析で再び生きてくることになる。

1983年5月、日本海中部地震災害調査に加わった。それまで写真や試験室の中で理解していた地盤の液状化であったが、実際に秋田港の埠頭の傾斜や倉庫群の舗床の陥没・亀裂、大潟村の干拓堤防小段の沈下・陥没の惨状を目の当たりにして衝撃を受けた。翌年北海道電力苫東厚真火力発電所取水路周辺の液状化対策工事にあたり、横圧を発生して取水路に悪影響を招くことのないグラベルドレーンを推奨した。ここで問題になったのは、グラベルの透水抵抗は無視できるかという点であった。カリフォルニア大学バークレー校の

Seed教授らは、グラベルの透水係数が砂のその200倍あれば無視できるとしていたが、筆者の解析によれば無視することはできなかった。どちらが正しいかを確かめる実物大の現場実験を行うことにしたが、人工地震を起こすために発破を使う訳にもいかず、さりとて深さ10mに達するコンクリートや鋼材製のせん断箱を作って加振する費用は無い。そこで直径120cmの鋼管を砂層に建て込み、その中にグラベルパイルを造成して、バイプロハンマーで鋼管を上下方向に加振することを考えた。砂層の下にシルト層がある理想的な軸対象の境界条件を有する上、どの深度でも一様な同心円状のせん断振動をするから、この方法で砂地盤が液状化することは分かっていた。

ところがパワーケーシングジャッキだけでは鋼管を11m建て込めず、バイプロハンマーで加振しても管内地盤はなかなか液状化しない、起振力を上げると突然瞬間的に液状化してしまう、などどうやっても上手くいかない。そこで圧入時のウォータージェットの併用、バイプロハンマーのモーメントやスター/デルタの運転切り替え、電源周波数などを試行錯誤した結果、非改良地盤の加振開始から完全液状化までの時間を5～60秒間保つことに成功して実験方法を確立した¹⁾。写真1に、実験の様子と計器の配置を示す。鋼管内にグラベルパイルがないケースと、直径が30cm～50cmのグラベルパイルがある合計4ケースの実験に基づいて、透水係数の比によらずウェルレジスタンスを無視できないことを明らかにするとともに、これを考慮した杭径比設計図を提案し実施設計に適用した²⁾。

なんと、本稿執筆中に設計震度以上の北海道胆振東部地震が発生し、この発電所が被災して道内ブラックアウト。調査に急行したら、案の定いくつかの点検孔周辺に噴砂。それでも地盤変状は軽微で取水路に被害は無く、発電所の全面再開も近そうで安堵した。

1989年から1年間、R. V. Whitman教授のお世話でVisiting EngineerとしてMITで研究する機会に恵まれた。研究テーマはドレーン打設に伴う攪乱帯の透水係数の低下を実験的に調べるもので、隣の部屋のC. C. Ladd教授からも助言等を頂いた。その傍ら、Whitman教授の動土質力学に触れ、彼の研究室の遠心模型実験に参加したこともあって、帰国後は動的地験や解析の仕事

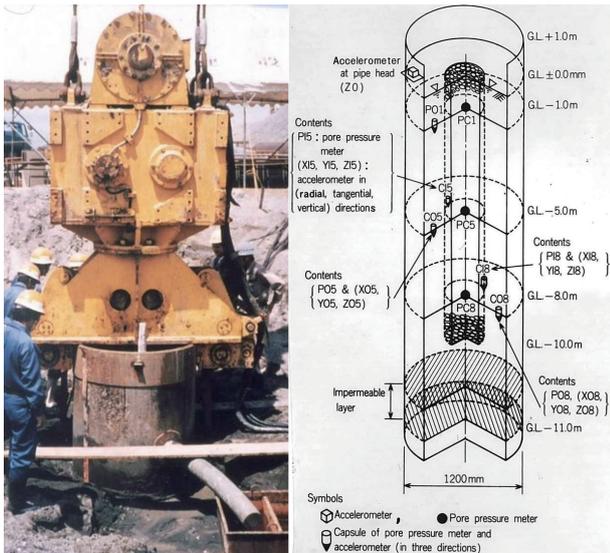


写真1 鋼管とパイプロハンマーを用いたグラベルドレーンの実験(左)と計器配置(右)¹⁾

が増えた。折しも我国は大深度地下利用が囁かれ、米国のMt. Baker ridge tunnelの施工法にヒントを得て、多数の小径のシールドトンネルを一つの大きな円周上にラップして配置し、その円周の内側を排土して構築する大口径積層導坑タイプトンネルの開発に取り組んだ。その地震時挙動をシミュレートするには動的遠心模型実験が適している。導坑に見立てた20本のアルミニウムロッドで覆工したトンネル模型のスウィープ加振によって導坑間軸力の伝達関数を調べ、梁バネモデルに基づく応答変位法解析結果と比較して、地震時の安定性を評価した³⁾。

3. 地盤耐震から地震防災へ

1995年1月の兵庫県南部地震ではまず自分の目で見るに如かずと、週末ごとに金曜退社の足で東京-大阪夜行高速バスで阪神往復、月曜朝に東京駅地下の温泉で汗を流してから出社。これを3週末繰り返して淀川から淡路島北淡町まで被害状況をつぶさに見て歩いた。道すがら群馬大学の鷓飼教授(当時)や東京大学の東畑教授(当時)など知人と行き交う際の、各種被災地へのアクセス、急ごしらえのうどん屋、トイレ開放中のパチンコ屋などの情報交換で効率良い調査ができた。2000年、長岡高専に転職後、2004年7月13日新潟・福島豪雨では堤防決壊のニュースを耳にして職場を抜け出し、豪雨と大渋滞の中、三条の五十嵐川と見附の刈谷田川の氾濫現場に最接近して写真撮影、日を改めて再調査に日参した。同時に多発した斜面崩壊に関しては、栃尾から出雲崎にかけて行われた新潟大学と行政主催の調査団に加わり、豪雨に伴う表層崩壊、深層崩

壊、土石流の実態を大いに学んだ。それまで教室で平面滑りや円弧滑りを講義はしても実際に滑り面は見たことがなかったので、土砂崩落後の鏡のような滑り面や流木が折り重なる溪床を見て、メカニズムの多様性を再認識した。

4. 地震体験

2004年10月23日土曜夕方、新発田市の中학생達への「ワッ!地震だ!」と題するペットボトル式液状化実験授業から帰校した。研究室でガスストーブを点けて論文査読に取り掛かった途端、突然の地鳴りとそれに続く激しい縦揺れに、次に来る横揺れの大きさが予想され、もしや校舎が潰れるかと咄嗟に机の下に潜り込んだ。ガーンという大音響とともに潜っている筆者に机の方から当たってきた。10数秒後に揺れも落ち着いてきたので椅子と机の隙間から這い出たところ、停電した薄暮の中で机上のものは全て飛び、向かいの壁にネジ止めしてある書架がソファと机に被さるように倒れ(写真2)、机はスチール戸棚に衝突していた。

書架から落ちた書類等に埋もれた部屋の中、ストーブの周りで今にも燃え上がらなばかりに山となった書類を見て、足を滑らせながらもストーブまで這って辿り着きガスを止めた。椅子のひじ掛けが机と戸棚の間に挟まって隙間が残っていたから良かったものの、ひじ掛けのない椅子だったら机の下から出られず、資料等に引火して火事になっていたところだった。直後に2回目の地震がきて、再び机の下に潜った。それが収まって、「逃げねば・・・」と閃き、履物を探す時間も無いので靴下で書類の上を這って廊下に出た。地震の衝撃で防火扉が閉まっていたが、押したら開いたので一階に降りたら水道管から水が噴出中。水浸しのタタキを走ってガラスの割れた玄関の扉を開けて校舎外に



写真2 中越地震直後の筆者の研究室

出た。校舎二階同士を繋ぐ渡り廊下の下に居たら3度目の揺れ、震度6強と踏んだ。青空駐車場に逃げたら、渡り廊下のサッシ窓が落ちて来た。間一髪だった。思い起こせばその一月前(9月21日21:41)、研究室で突然地鳴りと強い縦揺れに見舞われ、不気味な感じに襲われた。誰も指摘はしないが、それが前震であった。

全ての研究室・実験室で書棚・PCなどの倒壊率50～80%、実験装置・計測器・データの損壊・消失は甚大であった。学校は建物診断を外注し、環境都市工学科棟は立入り禁止となったので、卒研を急遽被害関連の解析に切り替え、余震止まぬ中、学会の緊急調査団に加わり中越全域の被害調査に取り掛かった。

地震では、地域の誰しも等しく揺すられる訳であるが、筆者が経験した加速度はとりわけ大きかったと思われる。なぜならば環境都市工学科棟(3号館)は、図1に示すように谷埋め盛土と切土に跨って建っており、地震で滑った盛土に引っ張られて千切れたからである⁴⁾。書架を壁に固定している4個の金具(写真2)計12本のビスが抜けて、書架が机を戸棚まで突き飛ばした。背中の壁を境に基礎から屋上までの校舎全断面の梁と床が轟音とともに瞬間的に割け、26cm開口した(図2)ときの加速度はいくらであっただろう。

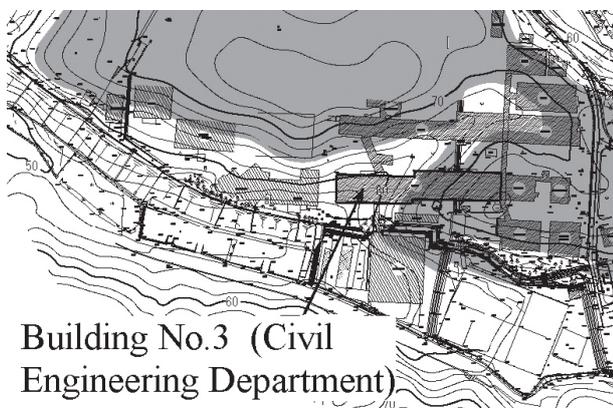


図1 切土(灰色部)と谷埋め盛土(白色部)に跨る環境都市工学科棟(Building No.3、杭基礎)⁴⁾

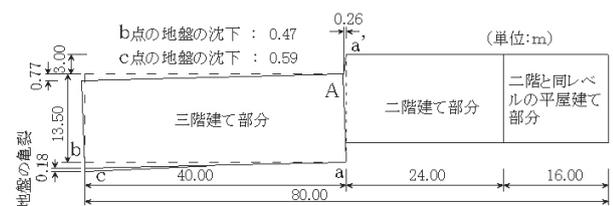


図2 谷埋め盛土の滑りで左半分が反時計回りに回転してa-a'断面で引っ張り破壊した3号館、A点(筆者の研究室)で校舎が26cm開口

能登半島地震の写真整理も終わらぬ2007年7月16日祭日、忘れる前にやってきたまさかの中越沖地震では直ちに学会緊急調査団を立ち上げて、柏崎-刈羽の被災調査に明け暮れた。中越地震時の見附市における刈谷田川旧河道に加えて、この地震では鯖石川旧河道の液状化が目立ったが、調べてみれば砂や粘土混じり砂からなる埋土が非常に緩いことと、旧河道の地下水位は周辺のそれに比べて高いことが分かった⁵⁾。また、荒浜砂丘後背湿地の液状化は、多くが砂丘斜面のすべり破壊を伴ったため、家屋の損壊が甚だしかった。さらに、柏崎平野南側辺縁部の旭丘、ゆりが丘、向陽の各団地の旧段丘開析谷埋め盛土の滑動も著しかった。

2008年5月12日四川大地震では、震源とされる四川省映秀鎮から北東方向に240kmに及ぶ最大隆起高さ5m以上、右横ずれ変位約5mという大規模な地震断層が出現した。10月と11月の2度、映秀から北川までの160kmにわたって調査したが、写真3の白鹿中心学校では、強震後に校庭に避難した生徒達の目の前で断層が現れ、これと直交して建っていた写真奥の教員宿舎は音を立てて崩壊し犠牲者が出たという。校庭は北西側が約2m隆起し、幅が2m短縮した。



写真3 四川地震の地震断層による白鹿中心学校校庭。左側(北西)校舎が2mほど相対的に隆起。

5. 特異な現象の発見

2011年3月、長岡高専を退職して帰京する矢先の東日本大震災。各地の液状化被害の中で、砂鉄採取後の残滓で埋め立てた千葉県旭市の宅地や農地の変状は特異だった。液状化による地盤の変状は、これまで沈下や傾斜と相場が決まっていたが、ここでは砂鉄の掘削境界に沿った線状の隆起が各所で見られた。その原因は、液状化した土水が液状化しない固い非掘削土に衝突して上昇するスロッシングと考えられる。写真4は、その一例である。また本震による液状化で傾いたが、その後の最大余震で元の水平に戻った家があった。



写真4 液状化で地盤が隆起して破壊した家屋
(2011年東日本大震災、千葉県旭市蛇園)

6. 地盤品質判定士制度の発展に向けて

地盤の専門家は、大地震がくれば谷埋め盛土はすべり、緩い砂地盤は液状化すると分かっているが、仙台各地の住宅や千葉県浦安等の住宅を守れなかった。その反省に立って、2013年に地盤品質判定士制度ができた。現在1000人弱の判定士が誕生し、土地取引や災害復旧等で宅地の安全性を評価・助言する公的資格化に向けて、各地で自治体との連携を図っている。熊本では判定士会熊本対策部会が2016年熊本地震の被災者に対する宅地や擁壁の無料相談に与っている。豪雨災害については、2014年広島土砂災害、2015年の常総市



写真5 渓流に盛土で造成されたグラウンドの滑落崖
(2018年7月豪雨災害、福山市向永谷)



写真6 堤防が無い橋の下流側から氾濫した三篠川
(2018年7月、広島市安佐北区上深川)

における鬼怒川氾濫の調査を行った。写真5は2018年7月西日本豪雨災害で土石流が発生した福山市の渓流の源頭部の、真砂で盛土したグラウンドの滑落崖である。

この下にあった駐車場と二つの溜池もとも崩壊して民家が押し流され土砂に埋まったが、渓流の盛土や溜池の危険性を示している。写真6は落橋した広島市安佐北区の鳥声橋から左岸の上深川住宅地を臨むものである。橋の上流側(左)には堤防があるが下流側(右)には無く、下流側から回り込んだ川の水によって町は水深80cm程度浸水した。現地調査は、様々な防災上の問題点を気づかせてくれる。

7. おわりに

災害調査は早いに越したことはない。時間が経ったら事実が分からなくなる。一方で被災者にとっては、精神的・身体的・経済的打撃に加えて、土足で踏み込まれる痛みを感じるであろう。しかし早い調査は必ず学問と技術を進歩させる。事実、戸建て住宅や基礎の耐震基準は地震のたびに改善されてきた。このことに理解を求め、お願いして調査させて頂くほかはない。

参考文献

- 1) A.Onoue, N.Mori and J.Takano:In-situ Experiment and Analysis on Well Resistance of Gravel Drains, Soils and Foundations, Vol.27, No.2, 42-60,1987.
- 2) A.Onoue:Diagrams Considering Well Resistance for Designing Spacing Ratio of Gravel Drains,Soils and Foundations, Vol.28, No.3, 160-168,1988.
- 3) A.Onoue, H.Kazama, H.Hotta:Seismic response of a stacked-drift-type tunnel,Proc. International Conference on Geotechnical Centrifuge, Tokyo, 237-242,1998.
- 4) A. Onoue, K. Fukutake, H. Hotta, H. Nagai:Cause of Earthquake Induced Damage of Building No.3 at NNCT, Proc. Geotechnical Hazards from Large Earthquakes and Heavy Rainfall, 2nd Japan-Taiwan Joint Workshop, pp.237-243, 2006.
- 5) 尾上篤生：中越地震と中越沖地震の被災現場に学ぶ、地盤工学会誌、Vol.59, No.2, pp.16-19,2011.



尾上 篤生(おのうえ あつお)

1972年東京工業大学大学院修士課程修了、清水建設、MIT客員研究員、国立長岡工業高等専門学校教授を経て現職、長岡高専名誉教授、工学博士

地域の災害レジリエンスの評価指標開発と政策シミュレーション研究委員会報告

目黒 公郎

●委員長 東京大学教授・日本地震工学会前会長

1. 委員会設立目的

現在の我が国の人的・財政的制約などの社会環境を考えれば、今後は益々「公助」が縮小していく。ゆえに、その不足分は「自助と共助」で補足する必要があるが、従来のように、その担い手である個人や法人、NPOやNGO関係者の「良心」に訴えるだけの防災はもはや限界であり、この状況は学会活動も同様である。活動主体の個人や組織、さらに地域に対して、CSR(Corporate Social Responsibility: 社会的責任)の範囲を超えて、物的・精神的な利益がもたらされる環境整備が不可欠だ。これはCSRからCSV(Creating Shared Value: 社会的共通価値の創出)への転換と言える。ここでキーになるのが、防災対策の「コストからバリュウ」への意識改革と、この意識改革に基づいた防災ビジネスの創造と育成、さらにこれらの海外展開である。こうしないと、国内の防災の仕組みを高い水準で維持することが難しい。

このような状況を踏まえ、本会長特別研究委員会(2015-2017年度)では、地域の災害レジリエンス(地域社会の総合的な防災力)の向上と我が国の地震工学の更なる発展を見据え、理工学と人文社会学を融合したハードとソフト対策の組み合わせ、産官学に金融とマスコミを合わせた総合的な災害マネジメント対策の理論構築、社会実装のための政策研究を行った。委員会のメンバーは、JAEEの会員のみならず、大学、ゼネコン、保険、金融、メディア、広告、地理情報、教育、自治体実務経験者など、多様な組織と専門分野で構成した(表1)。

2. 委員会活動の概要

地域の災害レジリエンス(地域社会の総合的な防災力)を定義し、以下の構成で研究を行った。

【第1部】地域の災害レジリエンス評価モデルの構築:

- 1)ハザード評価、2)マネジメント評価、
- 3)情報マネジメント評価

【第2部】事例研究、政策提言など:

- 1)事例研究、2)評価制度の社会実装化研究、
- 3)政策シミュレーション

また、報告書の刊行報告と成果の最終報告会を、5月10日にビジョンセンター田町にて実施した。参加者は77名(うち委員は18名)で、委員長による趣旨説明の挨拶

と鍵屋委員の基調講演の後に研究成果報告が行われた。その後の総合討論では、活発な質疑と議論があった。当日はJAEE会員以外の参加者も多数あり、地域の防災力向上に対する関心の高さが伺えた。

3. 結び

研究成果の詳細は最終成果報告書¹⁾を参照いただきたいが、今後の取り組むべき課題として、特に下記の点を強調したい。

- ・地域防災のPDCAやマネジメントが促進される評価制度の全体設計
- ・道路など重要インフラの災害レジリエンスを加味した評価体系の構築
- ・研究成果を踏まえた迅速な社会実装、地域防災評価の事業化

本研究の意義は、限られた時間と予算の中で、将来の人的・経済的な被害の最小化を実現する地域の総合的な防災力を効率的に向上するための環境創造にある。研究成果の直接、間接的な効果は、災害の有無にかかわらず平時から組織や地域に価値(バリュウ)やブランド力を与え、これが継続される文化の浸透、防災の視点からの組織や地域の格付けとその結果に基づく金融サービスやリスク・コントロールに貢献する災害保険の開発、災害ポテンシャルの高い地域から低い地域への人口や財産の移動など、多岐に亘るものと考えられる。

参考文献: 地域の災害レジリエンス評価に関する研究最終報告書(平成30年3月)

表1 研究委員会の委員構成

役割	氏名	所属
委員長	目黒公郎	東京大学
幹事	蛭間芳樹	日本政策投資銀行 サステナビリティ企画部
	梅山吾郎	SOMPOリスケアマネジメント株式会社
委員	沼田宗純	東京大学
	郷右近英臣	東京大学
	鍵屋一	跡見学園女子大学
	入江さやか	日本放送協会
	三浦伸也	防災科学技術研究所
	島崎敢	防災科学技術研究所
	副島紀代	大林組
	品川真尚	ドーン
	木村正清	NTTラーニングシステムズ
	坂口浩規	電通
	神谷俊隆	電通サイエンスジャム
	矢作裕一	ユニスティ
	野村昌子	フリーランサー
	小林賢弘	日本政策投資銀行 地域企画部
	吉田大輝	日本政策投資銀行 地域企画部

お知らせ

■ 本学会に関する詳細はWeb上で

日本地震工学会とは

日本地震工学会は、建築、土木、地盤、地震、機械等の個別分野ではなく、地震工学としてまとまった活動を行うための学会として2001年1月1日に発足しました。その目的は、地震工学の進歩および地震防災事業の発展を支援し、もって学術文化と技術の進歩と地震災害の防止と軽減に寄与することにあります。

ぜひ、皆様も会員に

本会では、これまでに耐震工学に関わってきた人々は勿論のこと、行政や公益事業に関わる人々、あるいは地域計画や心理学などの人文・社会科学に関する研究者、さらには医療関係者など、地震による災害に関わりのある分野の方々を対象とし、会員(正会員、学生会員、法人会員)を募集しています。本会の会員になることで、各種学会活動、日本地震工学会「JAEE NEWS」のメール配信、地震工学論文集への投稿・発表・ホームページ上での閲覧、講習会等の会員割引など、多くの特典があります。ぜひ皆様も会員に、ホームページからお申込みください。

「学会の動き」欄は、下記のホームページでご覧いただくことにしました。

日本地震工学会の会則、学会組織、役員、行事、委員会活動、出版物の在庫案内など最近の活動状況などの詳しい情報はホームページをご覧ください。ホームページには、学会の情報の他に、最新の地震情報、日本地震工学会論文集など多くの情報が掲載されています。ぜひご利用ください。

入会方法や入会後の会員情報変更の詳細は本会ホームページ中の「会員ページ」に記載されています。

日本地震工学会ホームページ <http://www.jaee.gr.jp/>

会員ページ <http://www.jaee.gr.jp/members.html>

■ 会誌への原稿投稿のお願い

日本地震工学会会誌では、「地域での地震防災に関する話題」、「地震工学に関連した各種学術会議・国際学会等への参加報告」、「興味深い実験や技術の紹介」、「当学会や会誌への要望や意見」等に関して、皆様からの原稿を募集しております。なお、投稿原稿は原則として未発表のものに限ります。また、「速報性を重視する内容(原則として年3回の発行であるため)」、「ごく限られた会員のみに関係する内容」、「特定の商品等の宣伝色が濃いもの」はご遠慮下さい。

投稿内容、投稿資格、原稿の書き方・提出方法等の詳細は、本会ホームページ中の「投稿・応募ページ」よりご確認頂けます。

日本地震工学会ホームページ 投稿・応募ページ <http://www.jaee.gr.jp/contribution.html>

■ 登録メールアドレスご確認のお願い

当学会では、会員の皆様のお役に立つ会員限定のニュースやセミナー情報をメールにて配信させていただいておりますが、メールが届かず戻ってきってしまうケースが散見されます。メールアドレスを変更された方、あるいは、このところ弊学会から1通もメールが届いていないという会員の方は、以下の方法で会員登録情報をご変更いただくか、事務局までご連絡いただきますようお願い申し上げます。

【会員登録情報のご変更方法】

日本地震工学会のWEBサイト (<http://www.jaee.gr.jp/>) の「会員ログイン」より、会員番号とパスワードを入力してログインし、「登録情報の変更」を選択して登録情報をご変更ください。尚、会員番号またはパスワードがご不明な方は事務局までお問い合わせください。

■ JAEE Newsletter 第7巻 第3号 (通算第22号) が2018年12月下旬に発刊されます。

JAEE Newsletter は、日本地震工学会誌を補完し、タイムリーに情報発信する目的で2012年9月に創刊されました。2015年より、会誌と連携した情報発信を行うため、会誌と交互となる4月、8月、12月に学会のWebサイト上で発行しています。地震工学に興味を持つ一般の読者も意識したわかりやすい記事を通じて、地震工学と地震防災の一層の普及・発展を目指しています。

過去のJAEE Newsletterについては以下のサイトに掲載していますので、ぜひご覧ください。

<http://www.jaee.gr.jp/stack/1925-2/>

■ 問い合わせ先

不明な点は、氏名・連絡先を明記の上、下記までお問い合わせ下さい。

日本地震工学会 事務局 〒108-0014 東京都港区芝5-26-20 建築会館

TEL : 03-5730-2831 FAX : 03-5730-2830 電子メールアドレス: office@general.jaee.gr.jp

編集後記：

首都直下地震は、全壊建物棟数だけを比較しても2016年熊本地震（約8,000棟）の約21倍、2018年大阪府北部地震（14棟、2018年8月8日 11時30分時点）の約12,500倍の規模で被害が生じます。このような甚大かつ多様な被害に対して、どのような観点で本号を構成するのかを編集委員会で議論を重ねました。その結果、まず、何が起こるのかを理解し、次に、対策や対応を考える“シリーズもの”で構成しようとの結論になりました。本号では、何が起こるのかを中心に考えましたが、紙面の都合で取り上げ切れなかった被害形態があることを読者の皆様にお詫びをしつつ、本号が、首都直下地震に対する事前の被害抑止・軽減に少しでも貢献できることを望んでおります。

著者の皆様、編集・校正作業にご協力いただいた皆様には、短期間での作業をお願いしご対応頂きましたこと、心より感謝申し上げます。

沼田 宗純（東京大学）

本号の企画開始以降だけでも、大阪府北部の地震、北海道胆振東部地震、相次ぐ台風による豪雨、猛暑と立て続けに大きな被害を伴う自然災害に見舞われました。改めて首都直下地震の切迫性、備えの重要性を強く意識せざるをえません。特集では、首都直下地震シリーズ第一弾の被害想定編として、何か起きるのかについて記事をお願いいたしました。被害の想定は不確実性が高いという前提でありながらも、身近な被害が臨場感あるイメージで伝わってくる迫力ある特集となりました。

ご多忙を極める中、貴重な原稿をお寄せくださいました著者の方々、また編集・校正作業にご協力いただきましたみな様に、心より感謝申し上げます。

古川 洋子（日本女子大学）

会誌編集委員会

委員長	平田 京子	日本女子大学	委員	入江さやか	NHK放送文化研究所
幹事	沼田 宗純	東京大学生産技術研究所	委員	大野 卓志	高圧ガス保安協会
幹事	古川 洋子	日本女子大学	委員	塩見 謙介	IHI
			委員	鈴木比呂子	千葉工業大学
			委員	高橋 郁夫	防災科学技術研究所
			委員	高橋 典之	東北大学
			委員	寺島 芳洋	竹中工務店
			委員	西村 隆義	ジェイアール総研エンジニアリング
			委員	肥田 剛典	東京大学
			委員	平井 敬	名古屋大学
			委員	福谷 陽	関東学院大学
			委員	山田 真澄	京都大学防災研究所

日本地震工学会誌 第35号 Bulletin of JAEE No.35

2018年10月31日発行（年3回発行）

編集・発行 公益社団法人 日本地震工学会

〒108-0014 東京都港区芝5-26-20 建築会館

TEL 03-5730-2831 FAX 03-5730-2830

©Japan Association for Earthquake Engineering 2018

本誌に掲載されたすべての記事内容は、日本地震工学会の許可なく転載・複写することはできません。

Printed in Japan