日本地震工学会誌

Bulletin of JAEE

No.36

Feb.2019

特 集:首都直下地震 —2.被害をどう把握するのか



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36号2019年2月)

Bulletin of JAEE (No.36 Feb.2019)

INDEX

特集:首都直下地震 -2.被害をどう把握するのか

- 総論:危機対応の特徴/沼田 宗純 ······	1
災害時における組織間情報共有を支える3要素/臼田 裕一郎	5
SNS上の災害関連情報をリアルタイムに把握するためのAIシステム/大竹 清敬	9
被害状況把握のための新しい技術/藤重 裕、森田 純一、平出 敦	13
電力関連設備の被害想定技術/庄司 学	17
鉄道用地震情報公開システムによる沿線の揺れ・被害の把握	
/川西 智浩、岩田 直泰、坂井 公俊、山本 俊六、室野 剛隆、青井 真	21
首都直下地震発生時の被害情報把握/入江 さやか	25
シリーズ:温故知新~未来への回顧録~	
P波への思い/泉 博允	29
特別寄稿:	
平成30年北海道胆振東部地震による地盤災害の概要/木幡 行宏	33
学会ニュース:	
第15回日本地震工学シンポジウム開催報告/風間 基樹、高橋 章浩、末冨 岩雄	35
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8巻 第1号 (通算第23号) が2019年4月下旬に発刊されます/ご寄附のお願い /問い合わせ先	39

編集後記

特集:首都直下地震 -2.被害をどう把握するのか

総論:危機対応の特徴

沼田 宗純

●東京大学大学院情報学環/生産技術研究所 准教授

1. はじめに

日本地震工学会会誌編集委員会では、「首都直下地震にどう立ち向かうか」と題し、会誌No.35より3回の連続シリーズを予定している。シリーズ1回目となったNo.35では、首都直下地震で何が起こるか、被害想定を特集した。シリーズ2回目となるNo.36では、地震で生じる被害に対しどのように迅速に情報収集し、状況把握を行うのか危機対応に焦点を当てる。

首都圏で大地震が発生すると、その被害は甚大で、影響範囲は広域となる。これらの被害状況を迅速に収集・把握することは、効果的な応急対応、被害拡大の抑制等につながる。No.36では、過去、近年の災害の事例を踏まえ、情報把握のための新しい取り組みに焦点を当てる。そこで本稿では、まず危機対応について概説した上で、本稿以降の各取り組みに襷をつなげたいと思う。各取り組みの紹介では、首都圏災害において特に課題となる「国の対策や各種情報の統合システム、SNSを利用した情報収集、被害把握のための新しい技術、ライフライン情報の中で特に電力に関する取り組み、鉄道における被害把握、東京都の被害情報の収集」について解説する。

2. 効果的な危機対応のフレームワーク

2016年熊本地震災害、2017年九州北部豪雨災害、 2018年西日本豪雨災害など、2011年東日本大震災以降 も多くの自然災害が発生しているが、未だに首都直下 地震に対する災害対応上の解決すべき課題は残されて いる。図1に示すように、熊本地震を"1"とした場合、 首都直下地震の死者数は約300倍、経済被害は約14倍 となるなど、過去の災害の延長線上では解決できない 課題もあり、規模の大きさを考慮した新たな発想も求 められる。

写真1は、熊本地震の際の益城町の災害対策本部の様子であるが、町の職員、外部からの応援職員、熊本県の職員、国の職員など多くの人員が参集している中で、発災後、刻一刻と変化する状況に対して、迅速かつ課題や現象を先取りした効果的な対応を取るためには、どのような観点が必要なのだろうか。

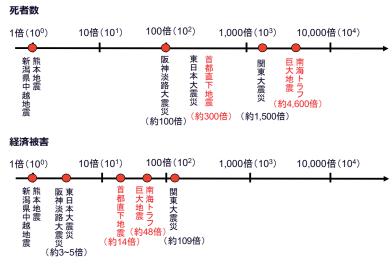


写真1 熊本地震の際の益城町の災害対策本部の様子

発災直後の危機対応段階では、短時間での意思決定 (適時性)、大量の曖昧な情報のトリアージ(正確性、 完全性)、同時多発的に多様な業務の処理(並行性)、

対応する側も被災者であり余震などの危険が伴う中での対応(危険性)、計画していた災害対策本部の崩壊や人的資源を確保できない状況(代替性)に陥る等の特徴がある。

この危機対応の特徴を踏まえ、効果的な 災害対応を実現するためには、(1)災害対 応業務プロセスの体系と実施主体の明確化、 (2)被害状況など収集・共有すべき情報項目 の定義と情報収集・判断・意思決定の動線 設計、(3)交通ネットワークを考慮した避 難場所や物資の拠点などの空間的な機能 配置の設計、(4)これらをオペレーション するために応援職員を含めた多様な実施主 体間でのチームビルディングが必要となる (図2)。



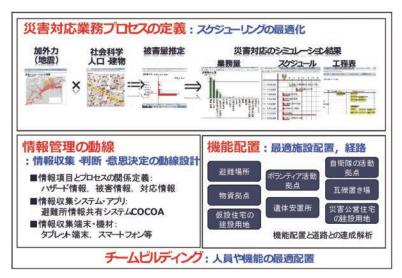


図2 効果的な危機対応のフレームワーク

3. 災害対応業務プロセスの体系

災害対応業務については、地方都市等における地震対応のガイドライン¹⁾、災害対応業務のフレームワークの構築²⁾、アメリカ合衆国連邦緊急事態管理庁FEMA (Federal Emergency Management Agency)による標準作業手順書Emergency Support Functions (ESF) ³⁾が定義されている。これらを比較分析すると表1に示すように47

種に大別した業務体系が考えられる。

そして災害対応業務を支援するシステムとしては、例えば山梨県を中心に展開されている災害対応管理システムや熊本県等で導入されている災害対応工程管理システムBOSS (Business Operation Support System)のように標準的な業務プロセスを支援するものがある。これらは都道府県と市区町村で災害対応業務の進捗状況を共有することで、効果的な災害対応業務を支援するものである。そのため広域的な災害であっても、外部からの応援職員と協働する際には共通認識をもった災害対応業務プロセスを実施できるため効果的な相互応援体制を構築できる。

4. 収集・共有すべき情報項目の定義と情報収集・判 断・意思決定の動線設計

これらの災害対応業務を実施するために、被害状況など収集・共有すべき情報項目の定義と情報収集・判断・意思決定の動線設計が必要となる。被害状況など収集・共有すべき情報項目は、例えば表1に対して、それぞれの業務を実施するために必要な情報項

表 1 災害対応業務の体系例

ID	分類	ID	業務名	ID	分類	ID	業務名	
1		1	災害対策本部の設置・運営		被災 者の生 活支 援	24	避難所の設置・運営	
	組織運営	2	計画立案(BCP、地域防災計画、地区防災計画等)			25	物資の調達・供給	
		3	復旧・復興計画の策定・運用	_		26	要配慮者への支援	
		4	通信機能の確保・復旧	0		27	文教施設の対応、応急教育	
		5	被害情報の収集・報告			28	義援金の受付・配分	
		6	ハザード情報の収集・伝達			29	各種生活再建支援の実施	
2	情報	7	避難勧告の発令・伝達・避難支援			30	被災企業の状況把握・支援	
_	ХТСП	8	住民への全庁的広報・マスメディア対応・WEB発信			31	応急危険度判定の実施	
		9	相談窓口の設置・運営、電話対応	7	住宅	32	公的な建物・住居修理・解体の対応	
		10	土地利用の検討	/	再建	33	被害認定調査の実施	
		11	職員の動員・管理			34	罹災証明書の交付	
			視察等要人対応·議員対応			35	応急仮設住宅の建設・供給・管理	
3			相互応援要請·受援、活動調整			36	道路施設の被害状況把握・復旧	
5		14	自衛隊・広域消防の応援要請・受援				37	警備·交通規制対応
		15	ボランティアとの連携				38	公共交通機関の被害・運行状況把握
		16	自主防災組織等の支援			39	農地・農業施設の被害状況把握・復旧	
	救助・	17	職員による救急・救助活動		*1	40	水道施設の被害状況把握・復旧及び応急給水	
4	救急	18	医療救護活動・衛生管理・心のケア		社会 基盤シ	41	下水道施設の被害状況把握・復旧	
Ì	活動	19	搜索活動·遺体安置等	8	8	を盛り ステム 再建	42	電力・ガス・通信・石油関連施設の被害・復旧状 況把握
		20	物価安定対策の実施		丹廷	43	山地・河川・海岸施設の被害状況把握・復旧	
5		21	財源の確保			44	公共建物・施設の被害状況把握・復旧	
5		22	災害関連の出納			45	危険物施設の状況把握・安全確保措置	
		23	災害救助法等災害関連法令の事務			46	道路上の障害物の除去	
						47	災害廃棄物の処理	

目を対応付けることでも整理できる。また、Essential Elements of Information (EEI)として、1. 電力設備の位置 やタイプ、2. 都市ガス施設の位置やタイプ、3. 上下水 道の位置やタイプ、4. 道路ネットワークの状況 (道路 名称、橋梁位置、舗装の状況、沈下箇所など)、5. 鉄 道ネットワークの状況 (路線位置、鉄道種類、鉄道橋、 沈下箇所など)、6. 航路・水路網の状況、7. 空港の状況、 8. 災害対策本部の開設位置や状況、9. 車両・設備等の 拠点、10. 物資配送拠点の位置等、11. 応援人員の活動 拠点の位置や収容能力等、12. 避難勧告・指示等の発 令状況(地域、発令種類、レベル等)、13.人的被害状 况(人数、状况、最新更新日時等)、14. 避難所状况(位 置、収容能力、現在の人数等)、15. 民間の社会基盤設 備(企業名、種類、位置等)、16. ハザード情報(地震 動のマグニチュード、震源、位置、最大震度分布等)、 17. 通信網の状況、18. 医療機関状況(位置、最大収容 能力、現時点での収容能力、連絡先等)として、18種 類が抽出されている4。これらの情報は、点・線・ネッ トワーク等の種別、求められる属性情報、関連する ESF、状況のトリアージレベルが付与される。

そして、情報収集(判断材料の収集)、状況判断(思考の整理)、意思決定(指示)の基本フローに対して、これを災害対策本部においてオペレーションする方法をデザインしないといけない。図3は、熊本地震の教訓から作成された熊本県の事例であるが、首都直下地震でも同様な基本フローであると考えられる。また、ISO 22302 社会セキュリティー緊急事態管理ー危機対応に関する要求事項(Societal security-Emergency management-Requirements for incident response)では、活動情報提供プロセスとして、a)計画策定及び指示、b)情報収集、c)情報の処理及び利用、d)情報の分析及び作成、e)情報の処理及び利用、d)情報の分析及び作成、e)情報の発信及び統合、f)評価及びフィードバックと規定している。ここで、b)情報収集では、「活動情報の取得に関連する活動(例えば、方向性並びに

いつ、どこで及びどの情報源から確定するか) が含まれ、a) 入手可能な情報源の確認、b) 情報の取得、c) 情報源及び入手時刻の特定も含め、入手した情報の登録及び記録」が規定されている。

5. 空間的な機能配置の設計

交通ネットワークを考慮した避難場所や物資の拠点などの空間的な機能配置の設計では、道路ネットワークを考慮した上で、災害対策本部の代替地、医療救護所の位置、遺体安置場所、避難所の位置、物資の拠点、罹災証明書の交付場所、相互応援活動の拠点、ボランティアの活動拠点、応急仮設住宅の建設用地、道路上の障害物の置き場、災害廃棄物の仮置き場などを決定する必要があり、他にも表1に示した災害対応業務に対して空間的な機能配置を検討すべきものがある。

首都直下地震発生時には、都心に向けた八方向(八方位)毎に高速道路、国道、都道の被災箇所・規模が比較的小さい路線・区間を交互に組み合わせて優先啓開ルートを設定し、一斉に道路啓開を進行(八方向作戦)する。人命救助の72時間の壁を意識し、発災後48時間以内に各方向最低1ルートは道路啓開を完了することが目標とされる(図4)50。この道路の啓開状況を踏まえ、各災害対応の機能配置を迅速に検討することが必要である。

6. チームビルディング

そして災害対応をオペレーションするためには、応 援職員を含めた多様な実施主体間によるチームビル ディングが必要となる。

現在の地域防災計画は、記載事項が膨大かつ複雑であり、また自治体によって構成が異なるため、災害対応に必要な情報を即座に探し出すことが困難な内容・構成となっている。また、多くの自治体では組織や役割分担は曖昧であり、平時の組織体制をそのまま災害

時にも適用するため応援職員など外部からは分かり難い。そのため外部から応援職員を受け入れる場合には、どのような役割でどの組織に配置するのか曖昧なまま支援が実行されるため、非効率な人員配置になる場合が多い。

ICS (Incident Command System)の特徴の一つとして、災害対応業務や機能を組織という観点で規定していることにある。ICSでは、指揮、実行、計画情報、後方支援、財務・総務の5つの基本機能が明確に定義されている。多様

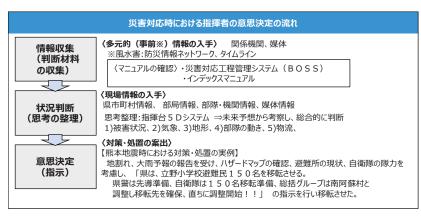


図3 情報収集・状況判断・意思決定の基本フロー(熊本県)

直轄国道における八方向作戦の具体化(案)※南海トラフ巨大地震・首都直下地震対策本部の道路管開の基本方針を受け



図4 八方向作戦の拠点位置と道路啓開(国土交通省)

な実施主体が関わる場合でも5つの基本機能を共通認識とした人材配置が行われるため、災害種別や状況により対応内容が異なる場合であっても効果的な相互応援が可能となる。イタリアでも、全国共通の組織体制の基本概念があるため、初動の組織の立ち上げ等に国の職員としてCivil Protectionが自治体に入り込み、直接、災害対応業務の"段取り"を支援する(写真2)。



写真2 イタリアにおける災害対策本部の立ち上げの様子 (中央、白い眼鏡をかけた男性が国の職員)

日本においては発生した外力 (ハザード)により対応する内容やタイミングが異なることもあるが、多くの場合には共通している災害対応業務も多く、標準的な組織体制の枠組みを決めることは可能である。これにより、現在は過去の固有の経験を持ったバラバラの考え方を持つ応援職員が現場に入ってきても組織体制や基本任務が我が国で統一されていれば、大きな認識のギャップはなく、スムーズな対応を相互に実施できるようになる。このとき被災自治体の防災担当者は、"事務局として"災害対応のプロジェクトマネジメントに専念できるようになる。

7. おわりに

本稿では、危機対応の特徴について概説した。この中で、多様で甚大な被害が想定される首都直下地震では、状況把握が危機対応の重要な要素となる。次稿からは、情報収集に焦点をあて、情報収集に対する現状、および、問題点等の把握等、現在の各種動向について述べる。

参考文献:

- 1) 内閣府:地方都市等における地震対応のガイドライン(平成25年8月)
- 2) 沼田 宗純, 井上 雅志, 目黒 公郎: 災害対応業務のフレームワークの構築~2011年東日本大震災・2015年関東・東北豪雨・2016年熊本地震の災害対応業務の分析結果を踏まえて~, 土木学会地震工学論文集,73 巻,4号, pp. 258-269, 2017年
- 3) Homeland Security: Emergency Support Function 15, Standard Operating Procedures, July 2016, https://www.fema.gov/media-library-data/1469621171375-60d307a634 5fad752633d2e2e21d1db2/ESF15_SOP_07.06.2016.3.pdf [2019年1月11日アクセス]
- 4) Central US Earthquake Consortium (CUSEC): Draft Guidelines for Publishing and Sharing Information, CAPSTONE 2014 Exercise, http://www.cusec.org/capstone14/documents/CAPSTONE_S%26T_Data_Guidelines.pdf [2019年1月11日アクセス]
- 5) 国土交通省: http://www.ktr.mlit.go.jp/ktr_content/content/000112431.pdf [2019年1月11日アクセス]



沼田 宗純(ぬまだむねよし)

東京大学 准教授、博士(工学)、 東京大学助教、東京大学講師を経て、 2018年から東京大学准教授。 主たる研究課題は、防災プロセス工 学であり、災害対応業務のプロセス 化、情報通信システムの研究開発、 意思決定プロセス、災害対策教育学

等を扱い工学と社会科学の両面を研究している。2018年に東京大学に災害対策トレーニングセンターを立ち上げ、国内外の行政、民間、住民、ボランティア団体、NPO、教育機関などに防災プロセス工学を基にしたトレーニングプログラムを展開している。

災害時における組織間情報共有を支える3要素

臼田 裕一郎

●国立研究開発法人防災科学技術研究所 総合防災情報センター長

1. はじめに

災害対応においては、同時に多くの組織が活動を行うことから、組織内だけでなく、組織間で「情報共有」することで、組織同士の状況認識を統一し、それに基づいて個々の組織が的確に対応することが重要となる。

この組織間情報共有の実現のため、筆者らは、 府省庁・関係機関を対象とした「府省庁連携防災 情報共有システムとその利活用技術の研究開発| を2014年から5カ年計画で実施してきた10。この間、 我が国は多くの災害に見舞われることとなり、研 究開発の途中段階でありながら、実災害の現場に システムを投入し、災害対応を支援するとともに、 研究成果の評価・検証を行ってきた。その結果と して、研究開発としての「ツール」の有効性のみ ならず、情報共有を行うための「ルール」と、実 際に情報共有を担う「チーム」の必要性が明らかとなっ た。筆者はこの3要素が災害時における組織間情報共 有を実現し、かつ、支えるための要件であると考える。 そこで、本稿では、この3要素の必要性が明確になっ た経緯とそれに対する具体的な取り組みを時系列的に 紹介し、今後の方向性について述べる。

2. SIPと情報共有のツール「SIP4D」

本研究開発は、総合科学技術・イノベーション会議が推進する「戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)」の「レジリエントな防災・減災機能の強化」のテーマの一つである²)。「府省庁連携防災情報共有システム(SIP4D: Shared Information Platform for Disaster Management, エスアイピーフォーディー)」は、情報の自動変換機能と論理統合化機能により、各組織に存在している防災情報システム間をつなぎ、情報を相互にやり取りするための調整負荷や作業負荷を軽減することを目的とした「仲介型」のシステムである。その概要を図1に示す。

2014年の研究開発開始当初は、保健医療活動支援とため池防災という2つの災害対応ケースを設定し、これを主体的に進める中で、情報の発信組織、受信・利活用組織の参画を促進し、実践的な



図1 SIP4Dの概要¹⁾

訓練を通じて評価・検証した上で、府省庁・関係機関 全体に拡張していくことを計画としていた。

3. 熊本地震対応と情報共有のルール「災害情報ハブ」

2016年4月、短期間に2度の震度7を記録した熊本地震に対し、SIP4Dはまだプロトタイプの前段階であったが、筆者らは発災翌日に熊本県庁に入り、災害対応機関間での情報共有支援を実施することとした³⁾。その際の情報共有フローを図2に示す。



図2 熊本地震における情報共有フロー 3)

熊本地震では、同じSIPの一環で研究開発を進めている「リアルタイム地震被害推定システム」⁴⁾から発信

された推定建物全壊棟数分布データ(図3)を各所に共有し、初動期における災害規模の概略把握や支援部隊の派遣判断に活用された。また、SIP4Dで集約した各種災害情報のうち、一般にも公開可能な情報については、防災科学技術研究所総合防災情報センターが開設した「防災科研クライシスレスポンスサイト(NIED-CRS)」50から一般への情報発信も図った。

支援開始当初は、研究機関の位置づけで災害対応支援を行うことが各組織に認知されている状況ではなかった。しかし、情報共有支援を続けることで、次第にその意義が認められ、8月31日までの約4か月半、共有した情報数は631に上った。その結果、SIP4Dは、情報共有の「ツール」として、複数組織間での仲介型情報共有による全体効率化、空間・時間・所管を越えた補完的データ統合処理による災害対応の効果的支援の実現、災害対応組織のニーズに直結した情報のマッシュアップ提供など、その技術的有効性が評価された4)。

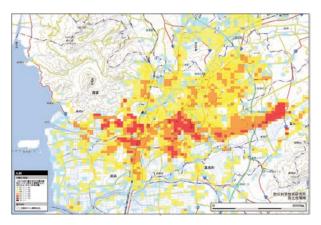


図3 推定建物全壊棟数分布データ3)

一方、この災害で得られた成果は、SIP4Dという情報共有の「ツール」のみで実現するものではないということも明らかとなった。災害時にどのような情報を共有するべきか、その情報はどの組織に存在し、どのタイミングで、どのような形式で、どの範囲まで共有されるのか、など、情報共有のための「ルール」を検討する必要があることが課題として挙げられた。

これを踏まえ、翌年の2017年4月に、内閣府により 設置されたのが、「国と地方・民間の『災害情報ハブ』 推進チーム」である⁶。災害情報ハブは、国・地方公共 団体、民間企業の各機関・組織がそれぞれ持っている 様々な情報について、その取扱いや共有・利活用に係 るルールを定めることを目的としている。その概要を 図4に示す。

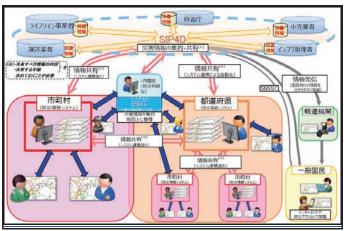


図4 災害情報ハブの概要6)

4. 九州北部豪雨対応と情報共有のチーム [ISUT]

情報共有の「ツール」としてのSIP4Dの研究開発、「ルール」としての災害情報ハブの検討が進められる最中、2017年7月に発生したのが平成29年九州北部豪雨である。この際も、筆者らは発災翌日に現地の災害対策本部に入り、情報共有支援を開始した。前年の熊本地震での対応が評価されたこともあり、災害対策本部内でも、特に、自衛隊、消防、警察といった実動機関の活動拠点の中に席が確保され、機関間での情報共有を直接支援することとなった。支援活動状況の一例を図5に示す。



図5 情報共有支援活動

この災害において、SIP4Dは情報共有の「ツール」として図2で示した情報共有フローを踏襲し、地震だけでなく水害対応においても同様に機能することを示した。一方、熊本地震同様、事前に情報共有の「ルール」を定め、災害時の組織間情報共有を共通化、定常化し

ていくことが重要な課題として挙げられた。

これに加え、例えば本災害の場合は流木の大量発生によりその撤去の優先度を組織間で検討・調整するために、流木の堆積箇所分布図が有効に活用されるなど、事前には想定していない情報が災害時に発生し、それを共有することが災害対応の効果を高めるという事例が見られた。そのため、「ツール」と事前の「ルール」だけでなく、現場での情報集約や共有を人として支援する「チーム」が必要であるということが明らかとなった。

これらの課題を踏まえ、災害情報ハブにおいて議論が進められた結果、官と民とが連携・協働し、災害現場において関係者から情報を集め、地図の形式でまとめて共有する「災害時情報集約支援チーム『ISUT (アイサット):Information Support Team』」を試行することとなった。その概要を図6に示す。

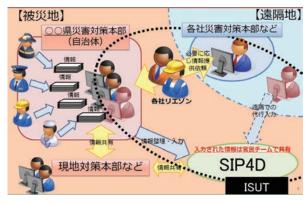


図6 ISUTの概要⁷⁾

5. 2018年度の災害対応

2018年度は、SIP4Dを情報共有の「ツール」として活用し、災害情報ハブで検討を進める「ルール」に則りながら、ISUTが「チーム」として活動するための訓練を毎月実施し、効果の検証やあるべき姿の議論を経て、2019年4月からの正式運用を目指すこととなった。

しかし、その最中、6月18日に大阪府北部を震源とする地震が発生したため、試行段階であったISUTを実災害の現場に派遣し、災害対応支援を行うこととなった。「ツール」としてのSIP4Dは図2のフローを踏襲し、「ルール」に基づいて提供される情報は自動または半自動で情報共有することができた。また、一般公開できる情報と、未確定等の理由で一般公開できない情報を明確に区別し、前者はNIED-CRSから、後者は図7に示すようにISUT限定情報共有サイトからIDとパスワードを発行した組織にのみ共有する形を確立した。

この活動が一区切り付いたところで発生したのが、 平成30年7月豪雨(西日本豪雨)である。この災害では、

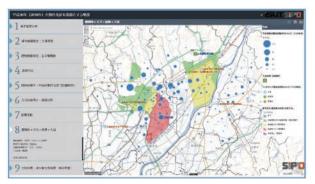


図7 災害情報共有サイト

これまでの単県スケールを大きく超え、西日本全体に被害が発生する広域災害の様相となった。ISUTとしては広島県に入ることとなったが、広域災害であることを踏まえ、岡山県、愛媛県にも防災科研の職員を派遣し、情報共有支援を行った。まだ試行段階で人的リソースも十分に確保できない中での対応となったが、今後、発災が懸念されている南海トラフ地震への対応を検討する上で多くの示唆が得られた。

なお、集約・共有された情報のうち、給水や入浴支援等の情報は一般にも届ける必要があるが、県や防衛省統合幕僚監部等の情報発信(図8)においては、自らの情報だけでなくそれ以外も含む形で情報発信が行われ、組織間情報共有が機能した形を垣間見ることができた。



図8 防衛省統合幕僚監部からの情報発信8)

さらに、9月6日には、北海道胆振東部地震が発生した。この際も、情報共有の「ツール」としてSIP4Dが情報共有フローを効率的に実現するとともに、「チーム」としてISUTが現地において情報共有支援を行うことで効果的な災害対応の実現を図った。この段階では、

多くの組織がSIP4Dの存在やISUTの活動を知るようになり、図9に示すように、災害対策本部の中央にISUT活動ブースが配置され、自衛隊や道庁職員等に災害状況を説明したり、共有された情報から作成した地図を渡すことで活動を支援する形となった。



図9 ISUTとしての説明シーン

6. 今後の方向性

組織間情報共有の「ツール」であるSIP4Dは、さらなる研究開発を防災科研で継続する予定である。「ルール」である災害情報ハブも引き続き検討を続けている。「チーム」であるISUTは2019年4月からの正式運用に向け議論が進められている。

このツール・ルール・チームが三位一体となり、災害時の組織間情報共有を進めていくことが重要であることは、前述した実災害対応を経験する中で明らかとなってきている。この3つの要素を、ある一組織が実現するのではなく、社会全体として協働で作り上げ、社会実装していくことが、今後も想定される災害に的確に対応するために必要不可欠であると考える。

7. おわりに

本稿では、災害時における組織間情報共有を支える 3要素として、ツール・ルール・チームの必要性につい て、実災害での対応事例を踏まえて述べてきた。

従来、研究開発は、実社会とは一旦切り離された中で、実社会ではできない様々な挑戦や試行を行い、評価検証した結果を以って、実社会に適用することが基本とされてきた。しかし、特に災害対応のように、すぐにでも改善策が期待される課題に対しては、研究開発の途中段階でも現場に適用し、現場での実践や意見を踏まえながら研究開発を推進していく方法も効果的であることが示唆された。研究開発と実社会とが密接

に係り合い、協働していくことが、災害に強い社会の 実現において必要不可欠であると考える。

謝辞

本稿の内容は、総合科学技術・イノベーション会議のSIP(戦略的イノベーション創造プログラム)「レジリエントな防災・減災機能の強化」(管理法人: JST)の一環として一部実施されたものである。

参考文献

- 1) 臼田裕一郎: 府省庁連携防災情報共有システムと その利活用技術の研究開発, 日本地震工学会大会予 稿集, CD-ROM, 2015.
- 科学技術振興機構, 戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) レジリエントな防災・減災機能の強化 (2018.12.25参照), https://www.jst.go.jp/sip/k08.html
- 3) 臼田裕一郎: 熊本地震初期対応における各種災害情報の共有, 日本地震工学会誌, No.29, pp.33-36, 2016
- 4) 藤原広行,中村洋光,高橋郁夫:リアルタイム地震被害推定・状況把握システム開発の概要,第15回日本地震工学シンポジウム論文集,pp.2282-2291,2018.
- 5) Usuda Yuichiro, Hanashima Makoto, Sato Ryota, Sano Hiroaki: Effects and Issues of Information Sharing System for Disaster Response, JOURNAL OF DISASTER RESEARCH, 12(5), pp.1002-1014, 2016.
- 6) 内閣府, 国と地方・民間の「災害情報ハブ」推進チーム(2018.12.25参照), http://www.bousai.go.jp/kaigirep/saigaijyouhouhub/index.html
- 7) 内閣府: 国と地方・民間の「災害情報ハブ」推進 チーム第5回資料 (2018.12.25参照), http://www.bousai. go.jp/kaigirep/saigaijyouhouhub/dai5kai/pdf/shiryo3_1. pdf
- 8) 防衛省統合幕僚監部twitterアカウント発信情報 (2018.12.25参照), https://twitter.com/jointstaffpa/status /1018309519418351617



臼田 裕一郎(うすだ ゆういちろう)

慶應義塾大学環境情報学部卒、同大学院政策・メディア研究科修了。博士(政策・メディア)。現職に加え、同所社会防災システム研究部門副部門長、レジリエント防災・減災研究推進センターおよび国家レジリエンス研究推進センターの研究統括を兼任。

SNS上の災害関連情報をリアルタイムに把握するためのAIシステム

大竹 清敬

●国立研究開発法人情報通信研究機構 上席研究員

1. はじめに

東日本大震災では、ツイッター等のSNS上に有用な 災害関連情報が投稿される一方で、それらの情報利活 用するための分析・検索手段が充分では無く、必要と する情報を短時間で得ることは容易ではなかった。国 立研究開発法人情報通信研究機構 (NICT) では、東日 本大震災を契機として、これらのSNS上に存在する災 害関連情報を迅速に分析し、被災者はもとより、復旧、 救援活動を行う人々に対しても有用な情報を提供する システムを研究開発してきた。

その成果の一つがツイートをリアルタイムで分析できるシステムとして2015年 4 月よりhttps://disaana.jpにて試験公開している対災害SNS情報分析システムDISAANA(ディサーナ; DISAster-information ANAlyzer)である。本稿では、DISAANAおよび災害状況の全体像を見渡すことが出来るシステムとして2016年10月より試験公開を開始した災害状況要約システムD-SUMM(ディーサム; Disaster-information SUMMarizer)について紹介する。

2. 対災害SNS情報分析システムDISAANA

2. 1 キーワード検索から質問応答へ

多くの人が情報検索の手段として活用している方法の一つにキーワード検索がある。日常的な検索においては、求める情報を一つでも見つければ事足りる事が多いが、災害時においては、様々なニーズ、あるいは救助要請等を検索する必要があり、網羅的に検索出来ることが重要である。このような場合、キーワード検索では、結果の一つ一つを確認する必要があり、膨大な時間を要する。

たとえば、東日本大震災の際に被災者が宮城県の炊き出し情報を調べるためにキーワード「宮城県」と「炊き出し」で検索した場合、膨大な検索結果について、その一つ一つを読まなければならない。これに対し、DISAANAでは、質問を入力する必要があるものの、求める情報をピンポイントに、しかも漏れなく提供することが出来る。たとえば、DISAANAへ「宮城県のどこで炊き出しをしている」と入力すると、宮城県で炊き出しをしている場所を膨大なツイートから探し出し地図上に表示する(図1)。以下では、この質問応答技



図1 DISAANA動作画面

術のポイントを概説する。

2. 1. 1 パターンベース質問応答

DISAANAでは、パターンと呼ぶ文を構成する述語を 中心として、その構文構造の一部を表現した文字列を 用いて、質問応答を実現する。まず、SNSへの投稿を 解析し、回答候補を抽出するためのパターンを作成 する。一般的なSNSの投稿では、文の区切りが不明確 な場合が多いため、投稿を文に分割するなどの前処理 が必要である。その後、各文の構文構造(係り受け構 造)を解析し、そこからパターンを抽出する。たとえ ば、「天真小学校で毛布が不足しています」という文 からは、「AでBが不足する、A=天真小学校、B=毛布」、 「Aが不足する、A=毛布」などのパターンが抽出され る。パターンの抽出にあたっては、活用語尾は、基本 形に正規化し、また、否定(~ない)や推量(~だろう)、 伝聞(~たそうだ)などをともなっていれば、それらを 識別するためのフラグをパターンに付与する。投稿か ら抽出されたパターンを検索のためのデータベースに 格納しておく。

質問が入力されると、SNSの投稿と同様に質問が解析され、そこからパターンが作成される。たとえば、「何が不足しているか」という質問からは「Aが不足する」が作成される。このパターンをSNSの投稿から抽出されたパターンデータベースに対して検索し、質問文パターンのAに対応する回答候補(上記の場合は、

A=毛布)を出力する。以上が、DISAANAで実現している質問応答機能の概要になる(図2参照)。より詳しい内容については後藤ら¹⁾および水野ら²⁾を参照されたい。

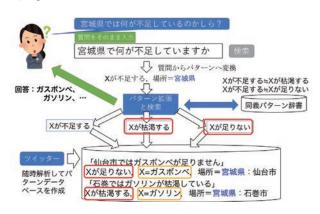


図2 パターンベース質問応答の概要

2. 1. 2 表現の多様性への対応

人は同じ意味を伝える場合でも多様な表現を用い る。たとえば、飲むための「水」ひとつとっても、「飲 料水、飲み水、ミネラルウォーター、...」と多様であ る。このような名詞の多様性については、古くから 類語辞典(シソーラス)が整備され、自然言語処理に おいても活用されてきた。一方で、述語についても 「物資が足りない、物資の不足が発生している、物 資がない、...」というようにその表現が多様である が、従来、このような述語に関するフレーズの大規模 な同義辞書がなかった。NICTでは、人工知能(Artificial Intelligence; AI) を実現する技術の一つである機械学習 を用いてこのような辞書を構築している。「AでBが 不足する」と「AでBが足りない」が同義であり(正例)、 「AでBが不足する」と「AでBが余る」は同義ではない (負例)といった数万件の学習データを用意し、この 学習データとパターンが抽出された元の文やその周辺 の文も含む文脈から特徴を抽出し、機械学習する。そ の結果、任意の2パターン(たとえば「AでBが不足す る」と「AでBが枯渇する」)が同義かどうかの判定がで きるようになる。こうして得られた新しいパターン対 とその同義性の判定結果を人手でチェックし、それを 新しい学習データとする。これらの学習、新規パター ン対のチェックといった工程を繰り返すことで、比 較的低コストで大規模な学習データを整備でき、これ を用いて大規模な同義パターンの辞書を構築できる。 DISAANAでは、3億件の同義パターン辞書を用いて検 索を拡張 (図2右側) することで網羅的に回答候補を抽 出している。

2. 1. 3 地名の適切な処理

スマートフォンの普及によりGPS情報を付与して SNSへ投稿することは容易であるものの、日本では プライバシーの問題から、そのようなツイートは極め て限定的である。そのため、DISAANAでは、投稿さ れたテキストを解析し、そこに出現する地名を特定し、 住所と緯度経度の付与を行う。災害時に重要となる、 学校、病院、ガソリンスタンド、コンビニエンスストア 等のランドマークおよび、通常の住所表現(京都府相 楽郡精華町など) に対して、住所情報と緯度経度情報 を付与するためのデータベースを整備している。これ により、たとえば「ユニバーサルコミュニケーション 研究所で火災が起きている」というSNSの投稿があっ た場合、明確に京都とかかれていないが、その研究所 が、京都府相楽郡精華町光台3丁目にある(緯度経度 は34.7461、135.759) ことがわかるので、「京都で何が 起きているか」といった質問に対してこの投稿から「火 災」という回答候補を挙げ、地図上にその位置を示す ことが可能である。現在では、日本全国を対象として こうした地名データを約400万件整備している。

2. 2 デマへの対応

東日本大震災では、デマによる混乱も大きな問題として認識された。DISAANAでは、ある情報がデマであると誰かが気付き、それを否定あるいは、デマであると明言している投稿をいち早く見つける。具体的には、回答候補の検索を行う場合に、矛盾する情報の検索も自動かつ同時に行い、矛盾する情報が見つかれば、注意喚起し、それを回答候補とともに提供する。

DISAANAでは、回答候補の網羅性を向上させるために同義パターンを用いて検索パターンを拡張していることは既に述べたとおりであるが、同義パターンではなく矛盾する関係にあるパターン対(以下矛盾パターンと呼ぶ)のデータベースを用いることで、矛盾する内容の投稿から抽出されたパターンを検索する。矛盾パターンは、たとえば、「Aが足りない」に対して「Aが余る」といったパターン対である。こうした矛盾パターンのデータベースを同義パターンの場合と同様に機械学習によって250万件整備し、利用している。また、同義パターンとして得られるパターンの否定についても同様に検索することでも矛盾した内容を検索する。

通常の検索エンジンでは困難な矛盾する内容の検出は、デマの判断材料の提供のみならず、「ガソリンが買えた」に対する「ガソリンが売り切れ」のように時間経過によって情報の真偽性が変化している状況を把握す

る上でも役立つ。一方の情報に基づいて行動した場合に、求める結果が得られない可能性があることを示唆するためにも、矛盾する内容を提供できる機能は有用である。

2. 3 リアルタイムシステムを実現するための手段

DISAANAでは、解析モジュールがツイートを受け 取ってから約1秒で解析を終了し、インデックスにパ ターン等を格納する。また、質問を受け取ってから1 秒以内に回答候補を返す。解析に関しては最大、毎秒 5,000ツイートほどを処理し続ける事が可能な規模で 運用しており、また、質問応答に関しては、最大で毎 秒400質問を処理可能な規模で運用している。こうし た、リアルタイム性が要求されるシステムを実現する ためには、それなりの規模の計算機サーバを効率よく 利用する枠組みが必要である。また、研究開発からこ うした実運用へスムースに移行する上でも、研究で用 いたソフトウェアを出来るだけ改変せずに、実運用 規模にスケールできる仕組みが望まれる。たとえば、 Apache Spark等があるが、NICTではそのようなミドル ウェアとしてRaSC (Rapid Service Connector) を開発し、 大規模Web情報分析システムWisdom X (https://wisdomnict.jp)をはじめ、DISAANAや後述するD-SUMMにて 活用している。 このRaSCは、http://alaginrc.nict.go.jp/ rasc/にて一般公開している。RaSCの詳細については、 Webサイトおよび田仲ら³⁾を参照されたい。

3. 災害状況要約システムD-SUMM

ここでは、指定エリアで挙がっている被災報告を自動的に抽出し、それらをわかりやすく整理、要約するためのシステムであるD-SUMMについて概説する。

3. 1 被災報告・対応策の自動抽出と対応付け

(1) 被災報告・対応策の定義

被災報告とは、形式上は名詞と助詞とそれらが修飾する述語の3つ組みにより構成されると定義する。具体的には、「津波が来る」や「電気がつかない」、「毛布がない」といった表現になる。また、被災報告とは、具体的な被災状況の報告の他に解決されるべき問題や、各種トラブルなども含むものとする。一方、対応策とは、「電気がきた」、「毛布が届いた」などの形式上は被災報告と同一であり、その内容は、被災報告への対策とみなせる表現とする。

(2)AI による自動抽出

被災報告および対応策の自動抽出、およびそれらが 対応するかどうかの判定はすべてAIにより行われる。 詳細については、Vargaら⁴⁾を参照されたい。対応する 対応策がある被災報告にはそれとわかるマークを付けて出力する(DISAANA、D-SUMMとも)。これにより、様々な被災報告で状況が変化しつつあるということが分かりやすくなるとともに、救援等にあたる側からすると、マークがついていない対応策にフォーカスしやすくなる。

3. 2 D-SUMMにおける要約とその整理方法

(1) 災害オントロジー (意味カテゴリー辞書)

DISAANAおよびD-SUMMでは、その結果を分かりやすく整理するために災害オントロジーと呼ぶ意味カテゴリー辞書を用いる。D-SUMMで用いる災害オントロジーは、大分類と中分類という2階層からなる意味カテゴリーを有している。たとえば、「火事」という単語に対しては「災害:火災」という大分類が災害で、中分類が火災であるというラベルが付与されている。大分類のラベルは、約70種類あり、一つの大分類の下に平均で11種類の中分類があり、大分類と中分類の組み合わせでおよそ800種類程度のラベルになる。現在公開しているDISAANAでは、大分類のみを用いて結果を整理しているが、将来的にD-SUMMと同様の分類を行う予定である。

(2) 述語の意味的極性辞書

名詞と助詞およびその係先の述語という3つ組みの形式において、助詞と述語の組み合わせが名詞を機能的にオンにする表現を活性とよび、反対にオフにする表現を不活性と呼ぶ。たとえば、名詞をNで表すと「Nがある」「Nが起きる」は活性であり、「Nがない」「Nを失う」は不活性である。また、いずれでもない表現はニュートラルと呼ぶ。5万件あまりのこうした助詞と述語の組み合わせに対し、活性・不活性・ニュートラルのラベルを付与した辞書を、機械学習を用いて整備した。その詳細についてはHashimotoら5を参照されたい。

(3) 要約方法

実際の被災報告に用いられる表現は多種多様であり、自動抽出した結果をそのまま表示すると煩雑になってしまう。被災報告は、その形式上名詞と助詞およびそれが係る述語になっている。そこで、被災報告の名詞が災害オントロジー上で同一の意味分類にある被災報告について、その意味的極性が同一のものをひとまとめにする。具体的には「土砂崩れが発生する」「土砂崩れで寸断される」「山体崩壊で壊滅する」などの多様な表現は、これらの被災報告の名詞が全て土砂災害であり、意味的極性も活性であることから、「土砂災害がおきている」という一つの被災報告に要約する。

要約結果の名詞は、災害オントロジーの中分類のラベルをそのまま用いる。述語については、出力結果が可能な限り自然になるようルールで決定している。

(4) 整理方法(出力方法)

整理の観点からD-SUMMでは、要約を実施する際に「エリア毎に要約」、「カテゴリー毎に要約」、「時系列で要約」の3種類のいずれかを選択できる。加えて、「地図表示」もできるが、こちらは、カテゴリー毎に要約した結果を地図上に表示する。

いずれの機能も同じ要約結果を用いるが、最終的な表現形式が異なる。「エリア毎に要約」の場合は、被災報告を指定エリアの一段下のレイヤーのエリア毎に整理して提示する。「カテゴリー毎に要約」は、要約された被災報告がその名詞の意味カテゴリー(大分類)毎に整理され、指定エリアの一段下のレイヤーのエリア毎にそれぞれ何件ずつの報告があるかとともに示す。「時系列で要約」は、クロノロジーを意識して、カテゴリー毎に要約した場合の結果を時間帯毎に整理して表示する。紙面の都合上、それぞれの詳細は割愛するが、試験公開サイトにて確認して欲しい。

4. 課題と今後の方向性

DISAANAとD-SUMMの課題の一つとして情報源が自発的な報告に基づいている点がある。SNSそのものは、人間をセンサーのように使う事が出来るプラットフォームと見なせるが、大規模災害時には災害対応にあたる組織の人的リソースも限られるため、SNS上で情報を求めたり、情報提供してくれた人、あるいは、してくれそうな人に対して問いかけたり等が困難である。そこで、この役割を近年注目を集めているチャットボットで代替し、災害関連情報を自律的に収集し、また、災害対応組織が有している情報を個人に適した形で配信することで災害対応をより効率化しようとする防災チャットボットのコンセプトが提案された®。

2018年より内閣府の戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) 国家レジリエンスの強化「避難・緊急活動支援統合システムの研究開発」が開始され、この中でNICTは一共同研究機関として防災チャットボットを実現するための研究開発を実施する。今後は、SNS上で双方向コミュニケーションを活用した災害対応を効率化する技術が進展すると期待している。

5. むすび

本稿で紹介した2つのシステム、DISAANAと D-SUMMはAIの一分野である自然言語処理技術を駆 使して構成されたシステムである。今後も試験公開を 続け、改良を続ける一方、防災チャットボットに関する研究開発とあわせて実証実験等を実施し、社会実装を進める。

参考文献

- 1)後藤,大竹, S. De Saeger, 橋本, J. Kloetzer, 川田, 鳥澤: 質問応答に基づく対災害情報分析システム, 自然言語処理, Vol.20, No.3, pp.367-404. 2013.
- 2) 水野,後藤,大竹,川田,鳥澤,クロエツェー,田仲,橋本,奥村:モダリティ解析の導入による対災害SNS情報分析システムDISAANAの質問応答性能の改善,情報処理学会論文誌:コンシューマ・デバイス&システム(CDS18),Vol.6,No.1,pp.106-120,2016.
- 3)田仲,大竹,鳥澤,田浦: RaSC: 高速なストリーム通信をサポートする言語処理プログラムの高速化・高並列化ミドルウェア,言語処理学会第20回年次大会予稿集,pp.705-708,2014.
- 4) I. Varga, M. Sano, K. Torisawa, C. Hashimoto, K. Ohtake, T. Kawai, J. Oh, and S. De Saeger: Aid is Out There: Looking for Help from tweet during a Large Scale Disaster, In Proceedings of the ACL 2013, pp.1619-1629, 2013.
- C. Hashimoto, K. Torisawa, S. De Saeger, J. Oh, and J. Kazama: Excitatory or Inhibitory: A New Semantic Orientation Extracts Contradiction and Causality from the Web, In Proceedings of EMNLP-CoNLL 2012, pp.619-630, 2012.
- 6) 鳥澤: Connecting People with AI for Natural Disaster Ma nagement, 日本学術会議第11回情報学シンポジウム, http://scj-info.nii.ac.jp/data/infosympo11/infosympo11-5. pdf, 2018.



大竹 清敬(おおたけきよのり)

2001年豊橋技術科学大学大学院修 了、ATR音声言語コミュニケーション研究所、NICT知識創成コミュニケーション研究センターを経て現職、博士(工学)、専門分野:自然言語処理、音声言語処理

被害状況把握のための新しい技術

藤重 裕

/森田 純一

●近畿大学医学部 I Rセンター 講師 平出 敦 ●一般社団法人DroneAI技術研究機構 理事長

●近畿大学 I Rセンター、医学研究科救急医学

1. はじめに

大正12 (1923) 年の関東大震災では、地震後に発生した火災で多数の焼死者が生じ、「全市たちまち焦燼して阿鼻叫喚の巷と化し」「死屍、累々と焼跡に横たわって」という状況になった¹⁾。首都直下型地震では、住宅の密集をはじめリスクの高い複合的な脆弱性を有するメトロポリスでの集団災害となることから、被害状況把握は、二次被害の防止、初動活動の安全性、生存者の捜索などの観点から、震災のまず初期のステージにおいて被害状況把握はきわめて重要である。本稿ではこのような被害状況把握のための新しい技術として、近年、開発が進んでいるドローン(小型無人機)を中心に、被害状況把握のための新しい技術について概括した。

2. 視覚情報把握ツールの有用性と現状

2-1. 無人の機器による被害状況把握の有用性

無人の機器による状況把握は、次のような点で特にすぐれている。高所から俯瞰できる、あるいは山間部や水難における要救助者捜索に適しているという観測位置の自由度の高さがあげられる。また環境温や被爆などの条件のきびしい危険な場所からも情報把握でき、人的被害を防ぐことができるという安全面の利得もある。さらに熱画像カメラや各種センシング技術を組み合わせた技術的な発展が期待できる。目視の代替機能の実効性や、二次災害のおそれがある場合に、現場の状況を俯瞰的に把握することで、安全管理を進めることができる点は特に発災後初期の情報把握において重要である。

2-2. 広域俯瞰的情報把握としての衛星の活用の現状

人工衛星は昼夜・天候に関わらず観測が可能であり、衛星画像の活用促進により災害時の被害の広範囲な概略把握や初動活動の迅速化が図ることができる。気象衛星による台風やハリケーンの情報把握にみられるように人工衛星の活用自体は、決して新しいものではない。しかし観測の方法や解析の点で、新しい技術の活用が進んでいる。平成30年北海道胆振東部地震の際には、性質の異なる2種類の電波(偏波)を交互に衛星から地表に送信して、地表の状況を詳しく分析した観測画像が公表された²⁾。この画像では地表の送信した偏波散乱特性に基づいて画像処理がおこなわれ土砂崩壊部分が赤色

で抽出されている(図1)。地形などの状態変化などを細かく確認していけば発災後だけでなく、災害予兆にも役に立つ可能性がある。台風、洪水、地震、津波、火山噴火、森林火事など自然災害観測に広域な情報把握が有効である。このことは地上での視認や航空機では取得困難な広域俯瞰的情報の把握という点で特に重要である。

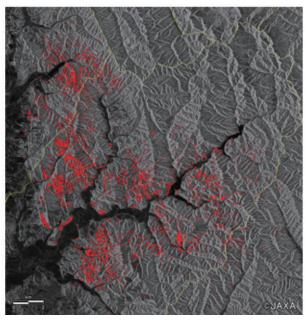


図 1 「だいち2号」による平成30年北海道胆振東部地震の 観測結果土砂崩壊箇所(赤色部分)。JAXAホームペー ジより

2-3. 小型無人機の活用の現状

小型無人機(UAV: Unmanned aerial vehicle) は、通常ドローン(drone) と呼ばれ、近年、その開発や活用の幅が急速に広がりつつある。平成27(2015) 年の改正航空法では、飛行機、回転翼航空機等であって人が乗ることができないもので、遠隔操作又は自動操縦により飛行させることができるもののうち、200g以上のものを無人航空機と定めている³⁾⁴⁾。無人航空機に対する規制としては、たとえば地表又は水面から150m以上の高さの空域では、航空機の飛行に影響を与える可能性があることから、また人又は家屋の密集している地域の上空においては安全性の点から、許可が求められている点があげられる。平成28(2016) 年熊本地震、平成29(2017) 年7月九州北部豪雨等における捜索救助活動においてドローンの活用が推進

された。平成30(2018)年7月豪雨においては被害調査で、 損害保険の迅速な査定のためにも活用された。

現在、風速15m/s前後にも耐え、防水機能をあわせもつ多目的ドローンの製品化が進んでいるが、現状の風速8m/sで使用できるドローンに比較して性能が飛躍的に向上している。ドローンの性能のポイントとしては、現在、動力源と操作性をあげることができる。動力源については、物資輸送もでき長時間の飛行ができるバッテリーの必要性が高まっている。バッテリーとともに燃料を用いるハイブリッドタイプも、パンタグラフ式に電気の供給を受けるタイプもある。また、操作性については、マニュアルで操作する操縦型ドローンに加えて、定められたミッションを自力で果たすことができる自立型ドローンも一般化している。

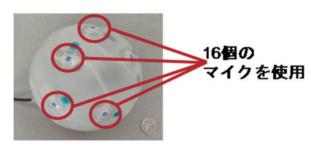


図2 構築したマイクロホンアレイ(マイクを16個搭載、 ケーブル1本で接続可能)

3. ドローン活用の新しい技術 3-1. ドローンと発収音装置

ドローンに、先端技術の球体型の指向性集音マイクを搭載し、「助けて」「誰か」などという救助要請のフレーズに反応するように設計し、そのフレーズを集音する技術が開発されている。これは、ロボット聴覚を提唱する中壺らのなどのグループが推進する技術であり、ドローン自体の騒音や風などのノイズを抑え、要救助者の声などをシグナルとして検知して、迅速な人命救助につなげるというものである。複数のマイクロホンから構成されるマイクロホンアレイデバイスを用いて、騒音下でも音の方向を推定したり、特定の音の分離抽出を行ったりする技術(マイクロホンアレイ技術)が活用されている50。要救助者の発声を検知すれば、ドローンに搭載しているGPSの座標と現場写真を災害対策本部や消防、自衛隊などに送信するという流れが実現すれば、発災後の孤立者や傷病者の救助に威力を発揮することができる(図2)。

逆に、ドローンに搭載したスピーカーから、「誰かいませんか」「救助に来ました」などの声掛けを行う技術も考慮される。 さらには、音声を聞き分けるだけでなく、自ら存在を音声で発信できない傷病者等を想定して、熱セ

ンサーを用いて体温を感知する技術もセンシング技術の 一つとして、ドローンに装備させることは有用である(図3)。



図3 マイクロホンアレイを搭載したドローン

3-2. ドローンとSNS

改正航空法では、200g以下のドローンは、無人航空機とはみなされず、「模型飛行機」に分類され、無人航空機としての規制を受けない。こうした200g以下のドローンは、比較的安価で携帯が可能であり、より簡便、安全である(図4)。被災地にいる人々が、カメラ機能付き機器を有するこうした製品を活用して、被災地の写真や動画をSNS上で発信することは、災害時の情報把握に有力である。



図4 「模型飛行機」に分類されるドローンの例

「災害時ドローンを飛ばしてSNSにアップしよう」と呼び掛けている組織もある⁶。これには、被災地に近くにこうした条件を満たす人々がいること、ネットが利用できる環境が確保されていることが必要である。近年の災害では、安否確認等の電話が殺到して輻輳が起こっていてもSNSによる通信が可能であったことが確認されている。また、

ネット上の行政のホームページにアクセスが殺到して行政からの通知が住民に行き届かない状況でも、SNSからは、発信が可能であったケースも少なくなかった。SNSでは、情報のソースがオープンなことから、情報の共有化が広くできるとともに、双方向性も期待できる。ただし、デマなどの事実と異なる情報に関する注意が必要である。ドローンの活用との併用で、道路の遮断やライフラインに関する情報が迅速に行政等で把握できるという特長がある。さらに、孤立者や傷病者の救出については、迅速な救助にあたれるように民間の方の協力を得ることができる可能性がある。また、平時に使っているツールを活用するので、特別な費用をあまり投入せずに活用できるメリットがある。

しかし、そのためには、SNSを利用できることが前提である。このような仕組みを支援するためには、多目的ドローンに簡易携帯基地局を搭載し、通信の確保を図るなどの対応も考慮できる。また、最近の災害で災害に対する脆弱性が明確になったこととして、スマートフォンの電源確保の問題がある。このために少量の水を注入すれば、発電する電池ボックス(図5)などが開発されている。このようなツールが災害時に求められる場所に、ドローンでこのような電池ボックスを空輸するといったアイデアもある50。



図5 スマートフォンの電源確保のためのツールの例

3-3. ドローン活用の多様性

現在のドローンには多様な形態があり無人航空機のスタイルを越えた活用がある。たとえば瓦礫等を超える陸上ドローン(無人遠隔探査ロボ)(図6)や福島の原発建屋で利用されたワーム型ロボットなどがあげられる。こうした多様性のあるドローンは災害時での活用の幅を広げることができる。



図6 陸上ドローンの例

たとえば、海難においては、無人航空機も要救助者の捜索に有力なツールではあるが、水中探査用、水上用ドローンの活用も考慮される。いわゆるwearable glasses (スマートグラス)とドローンとの組み合わせも、既存の技術で活用が期待できる。これは、特殊な眼鏡をかけることで、眼鏡を通した視界をライブで災害対策本部等で共有できるシステムであり、ハンズフリーであることや、情報の同時共有性という点に特長がある(図7)。スマートグラスには、現地の状況をライブで災害対策本部で共有することができるだけでなく、本部の専用端末から見て気になる箇所をマークをすれば、スマートグラス着用者のグラスにそのマークが反映し、本部から現場に指示を伝えることができるという双方向性も期待できる。

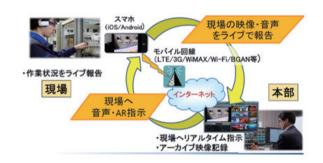


図7 離れた現場から、様々なモバイル回線を介して、情報を交換するシステム

4. 新技術への期待

現状の4Gのモバイル通信方式は、5Gへの移行が予定されている。現行の4Gに比較して5Gの通信速度は飛躍的に増大する。また、水中での通信システムでは過去、有線ケーブルでの通信しか難しかった水深約100mでも20Mbpsでの無線(水中光Wi-Fi)新技術が開発されている。2019年4月には水深約10mでの製品化が予定されている⁷⁾。

通信データの圧縮・セキュリティ技術の開発も進んでおり、より安全に大容量のデータを高速に転送することが可能になってきている。これは、8Kなどの鮮明な画像や大容量のデータをより早く転送することができることにつながり、ドローンの活用にも新しい展開を加速する可能性がある。

一方、情報の分析に関しては、AI(人工知能)による分析・解析技術の展開が新技術としては注目される。従来、多くの個別データを処理する手法として、テキストマイニングの技法で分析してカテゴリカルデータとして解析していく方法がさまざまな領域で展開されてきた。たとえばSNSを介して得られた膨大な情報を、こうした手法で解析することにより、情報をより見やすい形で整理、要約することができる。また、翻訳はAIの得意とする分野でもある。加えてテキストマイニングで用いられる自然言語処理の活用のひとつとしていわゆるフェイクニュースに相当するような信憑性の低い情報を処理することも模索されている。

災害時には、災害対策本部機能が一元的な指揮命令を行うことが、混乱時の効率的で機能的な対応の前提とされているが、ドローン等でえられた災害時の膨大な情報を分析・解析を行うことは、容易ではない。分析・解析の分散化とその統合は、今後の課題の一つである。災害の大容量データを国内外の研究機関などが協力して分散化してAI技術などを利用して分析・解析を行う取り組みが行われている。分析・解析技術の進歩により更に短い時間での処理が期待される。

5. まとめ

被害状況の把握の基本は、被害のありさまを目のあた りにすることである。しかし、さまざまな脆弱性を有する 大都市で引き起こされる首都直下型地震では、被害状 況の把握に適切な技術が活用できなければ、二次被害 や複合的な被害が雪だるま式に増大する懸念がある。消 防庁調査によれば、平成29(2017)年6月1日時点での無人 航空機の保有は、全国732消防本部中、70本部であった。 活用目的の93%(65消防本部)は、現場状況の撮影であっ た⁸⁾。こうした技術をいざという時にどのように活用した ら現実的に有効な対応ができるかについて、より広域な 立場から今後も検討が必要であるとともに、災害への備 えとして取り入れていくことも求められる。これは、国内 だけで完結するのではなく、国内外との連携をはかって いくことも重要である。新しい技術の多くは、もともとは 軍事用であるが、災害時での利用をすることでも、人道 的、平和的な視点からの国際協力につながることが期待 される。

参考文献

- 1) 小泉準一: 惨害写真帳 旧東京名所と関東の大震災、 内外出版協会、pp15、1923.
- 2)JAXA:「だいち2号」による平成30年北海道胆振東部 地震の観測結果について
- https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS-2/img_up/jdis_pal2_hokkaido-earthquake_20180907.htm(2018年12月4日閲覧)
- 3) 昭和27年法律第231号 航空法 http://elaws.e-gov.go.jp/search/elawsSearch/elaws_search/
- http://elaws.e-gov.go.jp/search/elawsSearch/elaws_search/ lsg0500/detail?lawId=327AC0000000231_20170530_428 AC0000000051&openerCode=1(2018年12月4日閲覧)
- 4) 平成27年改正航空法
- 5) 杉山 治、小島 諒介、中臺 一博: UAV 搭載マイクア レイを用いた高雑音環境下における音イベント検出・識 別の並列最適化、人工知能学会 第46回 AI-Challenge 研究会、人工知能学会資料 SIG-Challenge-046-06、 2016.
- 6) 一万人の災害ボランティア
- https://www.facebook.com/1saibo/(2018年12月4日閲覧)
- 7) 林新、澤隆雄: 波長適応技術を用いた海中LED光無 線データ通信、JAMSTEC Rep. Res. Dev. Vol.19, pp11-18, 2014.
- 8) 消防防災分野における無人航空機の活用の手引き、 消防庁 平成30年1月(消防消 第13号) http://www.fdma.go.jp/concern/law/tuchi3001/ pdf/300130_syo13.pdf(2018年12月4日閲覧)



藤重 裕(ふじしげゆたか)

1996年同志社大学大学院を経て財閥系総合商社勤務。通信会社の設立、事業提携や誘致事業に携わる。日本人初となる日本とアメリカの主要通信会社計6社の要職に従事する。各会社でテクニカルトレーニングを受け、技術系業務も兼ねる。国産Drone開発

コンソーシアム推進委員(AI部門兼務)。2018年内閣府 防災推進大会スピーカー。文部科学省課題解決型高度医 療人育成プログラムコーディネータ。近畿大学医学部I Rセンター 講師。



森田純一(もりたじゅんいち)

慶應義塾大学卒業後、松下電器産業株式会社入社(現パナソニック)。 社内留学制度で米コロンビア大学にてMBAを取得。帰国後、本社要職を歴任し、現在、一般社団法人DroneAI技術研究機構理事長。



平出 敦(ひらいであつし)

近畿大学IRセンター、医学部研究科 救急医学

1977年 東京大学教養学部卒 1981年 大阪大学医学部卒

大阪大学 (救急医学)、京都大学医学 部教授 (医学教育)、近畿大学医学部 教授 (救急医学)を経て現職、

博士(医学)、専門分野:救急医学、災害医学、医学教育。

電力関連設備の被害想定技術

庄司 学

●筑波大学システム情報系 准教授

1. はじめに-中央防災会議の被害想定-

中央防災会議の首都直下地震対策専門調査会が2005年7月に公表した電力関連設備の被害想定は表1の通りである¹⁾。併せて、これに基づき、地震動強さの空間分布が最悪シナリオとなる東京湾北部地震M7.3に対して、夕刻18時で風速15m/sの強風のもと、茨城、群馬、埼玉、千葉、東京、神奈川、山梨、静岡の1都7県における停電被害が図1に示すように想定されている。地震発生後1日の経過時点で160万軒の停電が発生し、これを6日間で応急復旧させるという目標が示されている。

これを受け、首都圏に電力を供給している事業主体の東京電力は首都直下地震を念頭におき防災業務計画をリバイスし²⁾、施設の耐震化や災害対応及び応急復旧の効率化に向けた様々な対策を実施してきている。2011年の東日本大震災を経て電源構成が原子力発電から火力発電にシフトし、エネルギーミックスの考え方³⁾に基づく施策の具体化がはかられつつも、首都直下地震に対する電力関連設備並びに停電の被害想定に関わる考え方や技術、被害想定から派生する応急復旧の方策及びそれを踏まえた事前対策に関する大きな枠組みは2018年現在に至っても変わっていない。

このような枠組みを本稿では、事業者サイドでの立場ではなく、一方で、一般市民のような個別分散的な需要サイドの立場でもなく、首都直下地震時の停電に対して危機管理やすみやかな災害対応が求められる自治体並びに他のインフラ事業主体の立場に立って、以下の観点から考察する。

- ・首都圏の停電被害の過去実績は?
- ・応急復旧活動で弱点になり得る―シナリオは?
- ・自衛手段であるバックアップ電源対策は?

2. 電力関連設備の被害推定と停電被害の把握

電力関連設備は発電、送電、変電、配電の大きく4つの設備に分類され、これらが系統をなしネットワーク構造となっている。本来は、設備の要素をノードとリンクに離散化し、位置情報を付与したネットワークとしてモデル化した上で、各設備要素のフラジリティー特性を介すれば、首都直下地震で想定される地震動強さの空間分布に対して首都圏の電力ネットワー

表 1 中央防災会議・首都直下地震対策専門調査会による 電力関連設備の被害想定(文献1)で示された記載内 容を文献11)では表 1 のように取りまとめられてお り、ここではそれを示す)

設備		被害想定
発電調	设備	重要設備は十分な耐震設計あるいは耐震
送電設備		対策、多重化がされており、停電に結び
		つく被害は発生しない.
	重要変電所	一般的な地震動に対しては被害が発生し
変電設備	一次変電所, 配電用変電所	ないような耐震設計(標準設計)をしてい
		るが、設計を上回るような地震動の発生
		を厳しめに設定すると,一部の設備で停
		電に結びつくような被害が発生する可能
		性がある.
配電設備		揺れのほか、隣接する建物倒壊、火災の
		影響により設備被害が発生し、停電する.

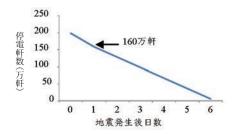


図1 東京湾北部地震M7.3に対する停電推計

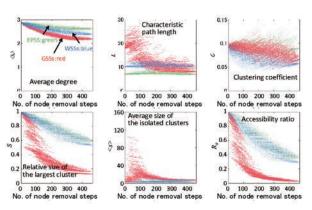


図 2 首都圏相当の空間規模の仮想的な電力ネットワークモデル (EPSS) を対象として設備ノードの故障 (除去) に伴うネットワーク特性値の変動 (文献4) の Figure 2)

クのシステム信頼性を評価することができる。このような評価にはセキュリティーの観点から電力ネットワークの位置情報を得て分析することに制約があるため、文献4)では、首都圏あるいは首都圏の中の一自治体レベルの空間規模の仮想的に抽象化された電力

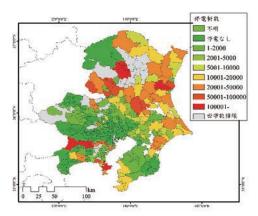


図3 東北地方太平洋沖地震の際の1都5県における停 電軒数及び停電戸数の空間分布(文献5)の図-7)

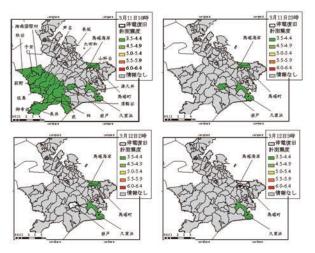


図4 東北地方太平洋沖地震の際の神奈川県横須賀市 の停電解消過程(文献6)の図6)

ネットワークモデルを構築して設備ノードの故障数 (除去数)を変動させた場合のシステム信頼性の振る 舞いを明らかにしている (図2)。実態のない仮想的な 電力ネットワークに対する信頼性・数値計算ではある が、このような計算を通じて首都圏相当の空間規模の 電力ネットワークモデルの中の弱部となるノード特性 を明らかにすることができるため、施設の耐震化の意思決定等に際して電力事業者サイドにも参考となる一定の知見が示されている。

そのような意味で、東京湾北部地震M7.3の震度分布等に対して首都圏の電力ネットワークのサイトスペシフィックな設備被害を厳密に予測することはできない。しかし、系統を形成する個々の設備被害の結果生じる停電は逆に系統の特徴を背景としているので、首都圏で発生した停電の実態を分析することで首都直下地震の際の停電推計の一助にすることができる。文献5)では、東北地方太平洋沖地震の際に停電が発生した、茨

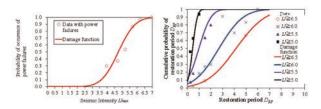


図5 東北地方太平洋沖地震の際の停電に係る基礎 データに基づいた、行政界内で想定される最 大の計測震度IJ_{max}と停電発生確率の関係、及び、 計測震度のクラス別の復旧日数D_{IP}とその累積 確率の関係(文献7)のFig. 5.とFig. 13.)

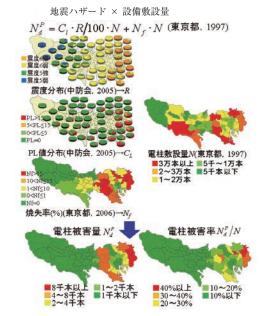


図 6 首都直下地震の停電推計の中での配電設備の被 害推計の方法

城県、栃木県、千葉県、東京都、埼玉県、及び、神奈 川県の1都5県・計315の市区町村の停電の有無、停電 軒数、停電戸数、停電世帯数、及び、復旧日数を調査 し(図3)、それらと計測震度との関係を明らかにして いる。文献6)では、東北地方太平洋沖地震の際の停電 の時空間分布をTwitterの検索機能により把握した先駆 的な事例が示されている(図4)。さらに、文献7)では、 文献5)で得られた停電に係る基礎データに基づき、行 政界内で想定される最大の計測震度IJ_{max}と停電発生確 率の関係、及び、計測震度のクラス別の復旧日数 D_{RP} とその累積確率の関係がそれぞれモデル化されている (図5)。図3から図5は、東北地方太平洋沖地震の時点 における首都圏の電力システムを前提にしており、そ の後の地震対策や施設の更新・整備を反映していない データではあるものの、首都直下地震の際に想定され る停電被害像に、より近いのではないかと筆者は考え ている。

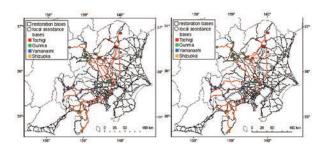


図7 東京都内の電力関連設備の応急復旧活動に係る 18ヶ所の拠点に対して緊急交通路・輸送路の組 み合わせの中から震度曝露(左図)及び道路の混 雑度(右図)の観点を踏まえ導かれた最適ルート (文献12)のFig. 6.(b), (d))

3. 応急復旧活動で弱点になり得るーシナリオー電力 以外のインフラとの関係

1章で述べた首都直下地震における停電の被害想定は図6のような算定方法をベースとしており^{8),9),10)}、建物の火災消失率を考慮に入れて、電力関連設備の中の配電設備の被害を推計している。すなわち、首都圏の膨大な数量の配電設備の被害を「首都直下地震による電力施設の被害」と事実上、見なしていることになる。幅員の広い道路から狭い道路に至るまで建物被害とともに電柱が地震動で損壊したり傾斜してしまった被災地を想像してほしい。被災シナリオとして十分に起こり得る状況ではある。このような状況に接した場合、対症療法的な応急復旧活動では埒が明かず、事前の応急復旧戦略の立案が如何に大切であるかは容易に理解できる。

そこで、文献11),12)では、首都直下地震で被災し 得る膨大な配電設備の応急復旧活動に着目し、その活 動の基盤となるライフライン事業者の拠点9,10)(支社や 資材置場等)への広域応援に関わる緊急交通路・輸送 路の道路交通支障の可能性を評価している(図7)。首 都直下地震による被害を受けて周辺地域から緊急交通 路・輸送路を介して東京都内に広域応援したくも道路 が被災あるいは混雑していて立ち行かずというシナリ オである。東北地方太平洋沖地震の際には東京都内か ら福島に広域応援するという逆の事態に陥ったが、こ のシナリオは電力関連設備の応急復旧活動のような発 災後1日(24時間)から3日(72時間)程度までの時間帯 における応急復旧活動の効率化が極めて重要かつ鋭 敏な場合に当てはまるシナリオである。図7によれば、 対象とする18ヶ所の拠点に対して緊急交通路・輸送路 の組み合わせの中から、震度曝露や液状化危険度、及 び、道路の混雑度や平均旅行速度の観点を踏まえ、最 適ルートを事前に想定可能であると言える。

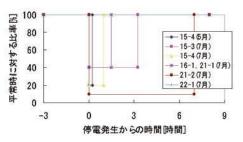


図8 2003年宮城県沖地震及び宮城県北部地震で被災 した医療機関におけるバックアップ電源の稼働 状況(文献13)の図-8)

4. 需要サイドからのバックアップ電源対策

前章まで考察してきた電力関連設備の被害や停電の 事態、及び、発災後の応急復旧活動の効率化に資する シナリオについては電力供給を受ける需要サイドでは 直接コントロールすることができない。このため、本 稿で対象とするような自治体や他のインフラ事業主体 の立場からは、保有・管理する施設の機能と連動した バックアップ電源対策が最も有効と考えられる。文 献13)では、2003年宮城県沖地震及び宮城県北部地震 で被災した医療機関に対してバックアップ電源の有 無、及び、稼働状況に関して実態調査が行なわれ、バッ クアップ電源によって停電時に確保できた電力量に関 する貴重な知見が示されている(図8)。当時の平均的 な医療機関に対しては、平常時において施設の機能保 持に必要となる電力量に比しておよそ4割の電力量を バックアップ電源で確保できれば停電時においても最 低水準レベルの施設の機能保持をはかることができる と言えそうで、自治体や他のインフラ事業主体が保有 する施設の機能に見合ったバックアップ電源のシステ ム最適化が求められる。文献14)では、地震による停 電後に効率的に電力バックアップをはかることができ る4つの代替案が示され、特に、燃料電池等の分散型 電源の技術開発動向を踏まえたパラメータスタディー の結果が示されている。

5. まとめにかえて

現行の首都直下地震における電力関連設備の被害想定は強震動や液状化等の地盤変状に伴う主に配電設備の被災シナリオに立脚した想定であり、建物の火災焼失に巻き込まれて発生する配電設備の被害を含めてその数量の規模は膨大である。最悪の条件が重なると、発災後1日の経過時点において160万軒の停電が見込まれている。これを踏まえ応急復旧にかかる日数は1週間以内と見積もられており、この数値は停電解消までのあくまで目標値と捉えられるべきものである。事業者サイドにおいては施設の耐震化や施設の更新・改

修を継続していくことが求められるとともに、応急復旧活動のシナリオの効率化に資する精査とアクションが停電へのレジリエンスを高めるためにより一層求められる。一方、需要サイドからは、停電からの回復技術の多様化を目指して、電力系統から切り離され自分たちでコントロール可能なバックアップ電源の代替案を技術的に高度化していく必要があろう。停電に至る原因は異なるが、2018年北海道胆振東部地震において発生した295万軒に及ぶブラックアウト¹⁵⁾においても、バックアップ電源の頑強性と代替性の大切さはあらためて確認された。また、北海道胆振東部地震と関連して、エネルギーミックスの施策の展開を鑑みると、首都圏への電力供給に影響を与える火力発電所の地震リスク評価^{16,17)}が喫緊の課題と言えよう。

参考文献

- 1) 中央防災会議「首都直下地震対策専門調査会」: 首 都直下地震対策専門調査会報告 平成17年7月、2005.
- 2) 東京電力株式会社: 防災業務計画 平成18年7月修正、 2006.
- 3) 経済産業省資源エネルギー庁:第5次エネルギー基本計画平成30年7月、2018.
- 4) Shoji, G. and Tabata, M.: Evaluation of System Reliability of Lifeline Networks in views of a Seismic Hazard, The Twelfth East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction, Procedia Engineering 14, Elsevier, pp.590-597, 2011.
- 5) 庄司学、高橋大、築地拓哉、那波悟志:2011年東 北地方太平洋沖地震における1都5県の停電分析,土 木学会論文集A1 (構造・地震工学)、Vol.68、No.4、 pp.I_1210-I_1223、2012.
- 6) 庄司学、高橋大: Twitterを利用した地震災害時における停電情報の時空間分布のセンシング、平成27年電気学会電子・情報・システム部門大会講演論文集、pp.714-718、2015.
- 7) Shoji, G., Takahashi, D., Tsukiji, T. and Naba, S.: Damage Assessment on Electric Power Failures during the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake, Journal of Disaster Research, Vol.7, No.sp, pp.491-499, 2012.
- 8) 東京都:東京における直下地震の被害想定に関す る調査報告書 平成9年8月、1997.
- 9) 東京都防災会議地震部会:首都直下地震による東京の被害想定(最終報告) 平成18年3月、2006.
- 10) 東京都防災会議:東京都地域防災計画 震災編 平成 19年修正、2007.
- 11) 豊田安由美、庄司学: 地震災害時における道路

- ネットワークの機能が配電設備の応急復旧活動に及 ぼす影響、地域安全学会論文集、No.15、pp.169-178、 2011.
- 12) Shoji, G. and Toyota, A.: Function of Emergency Road Networks during the Post-Earthquake Process of Lifeline Systems Restoration, Journal of Disaster Research, Vol.7, No.2, pp.173-183, 2012.
- 13) 庄司学、松島郁美:地震災害時に拠点となる公的施設に対する電力供給形態、土木学会地震工学論文集、Vol.28、Paper No.142 (CD-ROM)、2005.
- 14) Shoji, G. and Matsushima, I.: Electricity Supply Reliability Modelling for Public Sector Facilities in View of Seismic Disaster Risk, Life-Cycle Analysis and Assessment in Civil Engineering: Towards and Integrated Vision eds by Caspeele, Taerwe and Frangopol, CRC Press Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-1-138-62633-1, pp.2799-2804, 2018.
- 15) 経済産業省: 平成30年北海道胆振東部地震に伴う 大規模停電に関する検証委員会 中間報告 平成30年 10月25日、2018.
- 16) Yuyama, A., Kajitani, Y. and Shoji, G.: Damage and Recovery Model of Thermal Power Plants Based on the 2011 Tohoku Earthquake and Tsunami, Proceedings of the 12th International Conference on Structural Safety and Reliability (ICOSSAR2017), Vienna, Austria, Safety, Reliability, Risk, Resilience and Sustainability of Structures and Infrastructure eds by C. Bucher, B. R. Ellingwood and D. M. Frangopol, 2017 TU-Verlag Vienna, ISBN 978-3-903024-28-1, pp.731-740, 2017.
- 17) 湯山安由美、庄司学、梶谷義雄:大規模地震・津 波災害時における火力発電所供給能力評価手法の 構築に向けた発電機能低下・復旧遅延要因の体系 的整理、日本地震工学会・大会-2017梗概集 (DVD-ROM)、P4-26 (Poster)、2017.



庄司 学(しょうじがく)

大学院修士1年の時が1995年兵庫県南部地震にあたり、橋梁の地震・動力学の学問分野に興味を持つ。現在、筑波大学システム情報系・准教授として、インフラ・ライフライン全般の地震・津波工学に係る教育・研究に携わる。土木学会地震工学委員会委員

鉄道用地震情報公開システムによる沿線の揺れ・被害の把握

川西 智浩/岩田 直泰/坂井 公俊 /山本 俊六

● (公財) 鉄道総合技術研究所 主任研究員

● 同 地震解析研究室長

室野 剛隆

/青井 真

● 同 鉄道地震工学研究センター長

● (国研) 防災科学技術研究所 地震津波火山ネットワークセンター長

1. はじめに

地震直後に鉄道構造物に被害が生じているのかどう かを短時間で見極めるための理想的な方法は、構造物 自体にセンサーを設置して被害の有無をリアルタイム に監視することである。ただし、線状構造物である鉄 道においてはこの手法は現実的ではないことから、実 際には地震直後の対応として、沿線に設置された地震 計の観測データとあらかじめ定めておいた揺れのしき い値を比較することにより、鉄道施設の点検範囲を決 定することが多い。ただし、地震計のデータは点の情 報であり、地震計間の揺れは把握できないことから、 点検区間を広範囲に設定せざるを得ない場合がある。 また、揺れのしきい値についても過去の地震被害にお ける揺れの下限値に基づき定められていることが多く、 個々の構造物条件(周期、降伏震度など)が考慮され ていないという課題がある。そこで、地震直後に効果 的な点検を実施して早期の運転再開を支援することを 目的として、鉄道総研では面的あるいは線路に沿った 揺れや被害予測の情報を提供する『鉄道用地震情報公 開システム』を開発し、既に運用を行っている。本稿 では、鉄道用地震情報公開システムの概要と運用状況 について紹介するとともに、本システムを用いた沿線 の揺れや構造物の被害予測結果などの地震情報の提供 について示す。

2. システムの概要およびデータ処理方法

鉄道用地震情報公開システムは、緊急地震速報と(国研)防災科学技術研究所K-NETの地震観測データおよび鉄道総研が独自に作成した地盤データベースに基づき、地震直後に揺れの分布を推定し公開するシステムである。本システムは、2015年6月からサービスの提供を開始し、2017年11月にシステム改修を実施した。

本システムの処理のフローを図1に示す。まず、気象庁から配信される緊急地震速報の最終報を受信し、その最終報における予測最大震度が3以上の場合に、揺れの分布の推定を開始する。次に、揺れの推定に必要となる地震動データの取得を行う。システムの運用開始当初はK-NETのホームページからK-NETの即時データをダウンロードする仕様としていたが、2017年のシステム改修後は、(国研) 防災科学技術研究所と



図1 鉄道用地震情報公開システムの処理フロー

の共同研究により、専用回線にてK-NET観測地点の最大加速度、最大速度を受信している。

そして、それらの情報と鉄道総研所有の地盤データベースを用いて、以下のような流れ (図2) で揺れの空間補間を行う。①K-NET観測点における最大加速度、最大速度と地盤データベースの情報を用いて評価される地盤増幅率¹⁾から、観測点直下の基盤面における最大加速度、最大速度を計算する。②基盤面上において、約500mメッシュごとに最大加速度、最大速度の空間補間を行う。③再び地盤増幅率を用いて、基盤面のメッシュ上の最大加速度、最大速度から、直上の地表面メッシュの最大加速度、最大速度を求める。④地

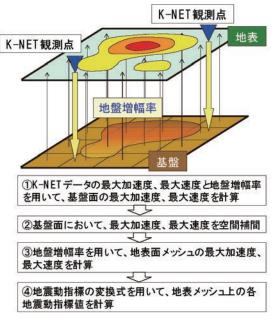


図2 揺れの空間分布推定のフロー

表面上の各メッシュにおいて、式(1)に示す地震動指標の変換式を用いて、最大加速度、最大速度から鉄道の運転規制に用いられる地震動指標である警報用最大加速度を計算する。なお後述するが、路線に沿った揺れのSI値、計測震度は式(2)および(3)により計算する。

$$log_{10}PGA_{JR}=0.496*log_{10}(PGA*PGV)+0.470$$
 (1)

$$log_{10}SI=0.974*log_{10}PGV+0.0566$$
 (2)

$$Is=1.005*log_{10}(PGA*PGV)+1.242$$
 (3)

ここでPGA_{IR}は警報用最大加速度(cm/s²)、SIはSI値(cm/s)、Isは計測震度を示す。また、PGA、PGVはそれぞれ地表面最大加速度、地表面最大速度である。

なお、K-NETデータを用いた揺れの推定結果を公開するまでの間、暫定的に揺れの情報を把握するため、緊急地震速報の情報(震源位置、マグニチュード)より推定した最大加速度、最大速度の分布を計算・公開している。このように、地震情報を段階的に公開することで、即時性と精度を両立している。また、K-NETの観測点数が6点未満の場合には、K-NETデータを用いた揺れの推定はせず、緊急地震速報の情報より推定した揺れの情報のみが公開される。

3. 公開版

本システムでは、図3に示すように公開版と個別版 による2種類の情報提供を行う。

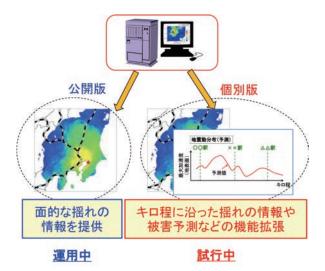


図3 システムによる2種類の地震情報の提供

公開版は図4に示すように、面的な揺れの分布を表示させるものであり、これにより地震発生直後に揺れが大きい箇所を把握することができる。この機能はすでに運用を開始しており、システムの登録者であれば誰でも利用可能である。面的な揺れの指標値として、式(1)で算定される警報用最大加速度を表示させており、また地図上に新幹線・在来線・私鉄の路線位置の表

示・非表示が切り替えられるようになっていることから、地震の揺れが鉄道に及ぼす影響を俯瞰的に捉える ことができる。

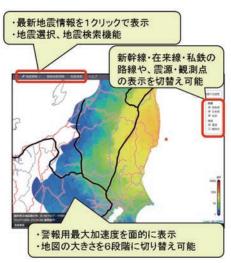


図4 面的な揺れの情報提供画面

本システムで提供している地震情報の精度を検証するため、3791の波形データを対象として、本システムによる推定値(K-NETに基づく推定値)とKiK-netの実測値について計測震度を指標として比較したものを図5に示す。システムによる推定値と実測値の誤差の平均は二乗平均平方根(RMS)で0.58であり、本システムの推定値はこの種のシステムとしては高い精度を有していると考えることができる。

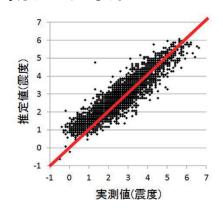


図5 本システムによる推定値と実測値の比較

次に、2017年11月にシステムの改修を実施した後、2018年7月末までの間に地震情報を作成・公開した地震数を月別に整理したものを図6に示す。システム改修後は計193地震(1ヶ月平均:約21地震)について地震情報を作成・公開しており、システムは安定して稼動している。また、地震発生からK-NETデータを用いた揺れの推定・公開までの時間は図7の通りであり、その平均所要時間は7.4分である。

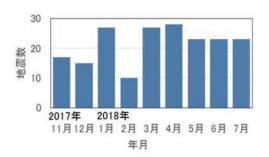


図6 地震情報を作成・公開した月別地震数

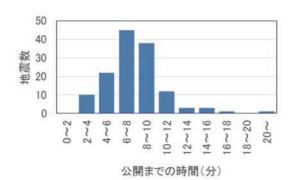


図7 K-NETデータを用いて作成した地震情報を公開する までの時間

4. 個別版

個別版は、個別事業者向けに対象路線のキロ程に沿った揺れの情報や被害予測結果を提供するものである。現時点ではこのうち、図8に示すようにキロ程に沿った揺れの情報を試行的に提供している。またこの場合の揺れの指標値としては、警報用最大加速度に加えて、式(2)および式(3)で算定されるSI値、計測震度の値が切り替え可能になっている。



図8 各路線に沿った揺れの情報提供画面

このように、それぞれの鉄道事業者が運転規制に用いている指標により、各地震の沿線の揺れを即座に把握できることから、点検実施の要否や運転再開の判断の参考とすることができる。本機能は現在、複数の鉄道事業者に試行的に使用していただいている。

本システムにおいて、ある地震における鉄道沿線の 揺れの推定結果と鉄道施設の被害位置を比較した事例 を図9に示す。揺れの大きい位置で鉄道施設に被害が 生じており、本システムを用いることで被害箇所を効 率的に把握できる可能性があることがわかる。

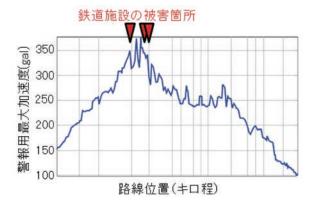


図9 本システムにおける沿線の揺れ推定結果と鉄道施設 の被害位置の比較例

以上に示したように、現在の鉄道用地震情報公開システムでは、面的な揺れのほか、路線沿線に沿った地表面上の揺れを把握することができる。一方、地表面の揺れが同じであっても、構造物条件(周期、降伏震度など)が異なると構造物の被害の有無や被害程度は異なってくるものと考えられる。そこで、本システムにおける追加機能として、地表面の揺れのみならず地震時の構造物被害を予測²⁾し、その評価結果を公開する機能を現在実装中であり、2019年7月より運用を開始する予定である。

この方法では、地表面最大加速度、地表面最大速度、構造物の降伏周期(原点と降伏点を結ぶ割線剛性に対応した周期で、鉄道の耐震設計標準³⁾では「等価固有周期」と呼んでいる)、構造物の降伏震度の計4つのパラメータがあれば構造物の被害ランクの予測が可能である(図10)。このうち、前者の2つは構造物位置での揺れの情報であり、本システムにおいて地震直後に推定することができる。一方、後者の2つは構造物の情報であり、設計図面等をもとにあらかじめ整理し、構造物データベースとして登録しておけばよい。そして、地震発生直後に構造物被害判定図(ノモグラム)を用いることで、図11に示すように路線に沿った被害予測の情報を提供することができる。これらの情報を活用

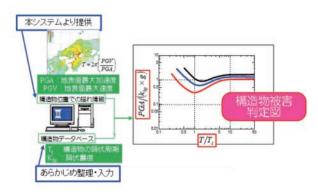


図10 地震時の構造物被害の予測 (2019年7月より本システムにて運用開始予定)

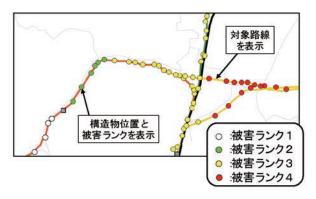


図11 構造物被害の表示イメージ

することでさらに点検箇所を絞り込むことが可能になり、運転再開までの時間のさらなる短縮に寄与することができる。

5. おわりに

ここでは、鉄道用地震情報公開システムの概要と運用状況を紹介するとともに、本システムを用いた個別路線沿線の揺れや構造物の被害予測結果などの地震情報の提供について示した。本システムの利用に興味のある方は、eqinfo-request@rtri.or.jpに問い合わせされたい。

謝辞

本研究は防災科学技術研究所との共同研究の一環として実施しました。また本システムの入力情報や精度検証として、防災科学技術研究所のK-NETデータおよびKiK-netデータ、気象庁の緊急地震速報を使用しました。ここに記して感謝いたします。

参考文献

1)野上雄太,坂井公俊,室野剛隆,盛川仁:表層地盤 と入力波の周期特性を考慮した表層地盤での地盤増 幅率の評価,土木学会論文集A1(構造・地盤工学), Vol.68, No.1, pp.191-201, 2012.

- 2)室野剛隆, 野上雄太, 宮本岳史: 簡易な指標を用いた構造物および走行車両の地震被害予測法の提案, 土木学会論文集A, Vol.66, No.3, pp.535-546, 2010.
- 3) 鉄道総合技術研究所編:鉄道構造物等設計標準·同解説 耐震設計, 丸善出版, 2012.



川西智浩(かわにしともひろ)

2002年京都大学大学院修了、公益財団法人鉄道総合技術研究所主任研究員、専門分野は、耐震設計・地震工学



岩田 直泰(いわた なおやす)

2002年筑波大学大学院修了、博士(エ学)、公益財団法人鉄道総合技術研究 所主任研究員、専門分野は、地震工学



坂井 公俊(さかいきみとし)

2006年東京工業大学大学院修了、博士(工学)、公益財団法人鉄道総合技術研究所主任研究員、専門分野は、耐震設計・地震工学



山本俊六(やまもとしゅんろく)

1988年早稲田大学大学院修了、博士 (工学)、公益財団法人鉄道総合技術 研究所地震解析研究室長、専門分野 は、地震工学



室野 剛隆(むろのよしたか)

1993年京都大学大学院修了、博士(工学)、公益財団法人鉄道総合技術研究所鉄道地震工学研究センター長、専門分野は、耐震設計・地震工学



青井 真(ぁぉいしん)

1996年京都大学大学院博士後期課程修了、博士(理学)、防災科学技術研究所 地震津波火山ネットワークセンター長、専門分野は地震観測・強震動地震学・数値シミュレーション

首都直下地震発生時の被害情報把握

入江 さやか

●NHK放送文化研究所メディア研究部 上級研究員

1. 阪神・淡路大震災の教訓

1995年1月17日に発生した「阪神・淡路大震災 (兵庫県南部地震)」は、大都市を襲った「直下型地震」であった。住宅の倒壊や大規模火災の発生などにより多くの生命が失われたが、被害情報の把握がスムーズに行われなかったことも被害拡大の一因とされている。中央防災会議「今後の地震対策のあり方に関する専門調査会」においても▼官邸への情報連絡をはじめとして、国全体の情報連絡・初動体制が遅れをとった▼大震災直後には被害の確定情報が迅速に収集できず、死者数や建物倒壊数等の被害規模の把握が困難であったことなどが指摘されている¹)。

首都直下地震が発生すれば、その被害は甚大であり、 迅速な被害情報の把握と関係機関相互の情報共有による応急対応が必須である。東日本大震災(2011年)などの教訓も踏まえながら、政府・自治体においては首都直下地震を含めた大規模災害時の被害情報収集体制の整備が推進されている。本稿では、首都直下地震発生時の東京都・政府の情報収集体制の現状についてまとめた。

2. 東京都の被害情報収集体制

東京都の「首都直下地震等対処要領(改訂版)」²⁾は、都の地域防災計画に基づき、発災後72時間を中心に都、警察、消防、自衛隊、海上保安庁、国、他の道府県、ライフライン事業者などとの連携の内容と手順をまとめたものである。

発災後速やかに設置される災害対策本部の応急対策 指令室内には「情報収集・分析チーム」が設けられる。

また「救出・救助統括室」では警察、消防、自衛隊、 海上保安庁との災害情報共有や、これらの機関が救助・救援などの災害対処活動を行うために必要な調整 機能を担う。

前述の「対処要領」では「発災直後における情報収集 は俯瞰的な被害状況の捕捉を心掛ける」としている。

発災直後の情報空白期には、発災から1分程度で火 災や人的被害、建物被害などを推定する「地震被害予 測システム」などを活用しながら、都庁屋上などに設 置した高所カメラなどで被害状況を把握する。東京消 防庁、警視庁、自衛隊のヘリコプターからのテレビ伝 送システム (ヘリテレ) からの映像も確認し、被害状 況を俯瞰的に地図化していく。

活動内容	発災	30分	1時間	2時間
	都職員 (災害	序対策職員住宅に居住 <i>の</i>	D職員) が参集開始	
	警察署、消除	方署による管内の被害な	犬況把握(警視庁、東京消防庁)	
	都内に展開し	情報収集開始(自衛隊	*)	
	システムの立	立ち上げ(システム、~	ヘリテレ、高所カメラ等)	
	地震の概要、	高所カメラ等による	皮害状況把握	
被害等の情報収集	都職員(各局	局職員)が参集開始		
	ヘリテレを用	月いた被害情報の収集	(警視庁、東京消防庁、自衛隊)	
	関係機関から	ら被害状況等の把握(以	以降、随時実施)	
	-			

図1 東京都災害対策本部の発災直後の情報収集体制(東京都首都直下地震等対処要領より抜粋)

地上では、警視庁と国土交通省の道路カメラ、都の保有する河川・水門カメラの映像で被害状況を把握する。また、スマートフォンなどカメラ付きの端末を持っている職員が災害対策本部などへの参集などの途上で大規模な被害を確認した場合は、指定されたサイトにインターネットで画像とコメントを登録するシステムが構築されている。確認された情報は「東京都災害情報システム (DIS)」上の地図に集約され、各関係機関で共有される。

なお、都民から発信される情報も重視しており、東京都の「防災ツイッター」に対するリプライ情報などからも情報収集し、有用かつGPSの位置情報が付いた情報は、DISなどを通じて関係機関にも提供することとしている。

3. 東京消防庁の被害情報収集体制

東京消防庁の管轄区域は都内10方面に分かれており、81の消防署が配置されている。都内で震度5弱以上の 地震が発生すると、自動的に震災非常配備体制が発令 され、勤務中の職員を除く全職員・消防団員が所定の 消防署に参集することになっている。

首都直下地震発生時には同庁本部は警防本部に「最高作戦室」及び「作戦室」「統括室」を立ち上げ、前述の東京都災害対策本部の救出救助統括室と連携しながら対応にあたる。同庁では都内13か所の高所カメラやヘリコプターからのヘリテレ映像などで被害情報の収

集を行う。

あわせて「震災消防対策システム」を運用し、指揮・部隊運用を支援するための情報を多角的に収集する。 「震災消防対策システム」は「地震被害予測システム (東京都と共通)」「地震被害判読システム」「震災消防活動支援システム」「延焼シミュレーションシステム」「早期災害情報システム」等の総称である。

このうち「震災消防活動支援システム」は、震災時に本庁の警防本部・各方面本部・各消防署が、災害の発生状況やそれぞれの活動状況をリアルタイムで共有するシステムで、災害情報や部隊編成などの情報が自動的に集計される。「延焼シミュレーションシステム」は、建物一棟一棟の形状・構造・階層などがあらかじめ地図化されており、そこに実際の出火地点や風向・風速などのデータを入力し、火災の延焼状況や必要な部隊数などを予測するもので、平常時にも住民に対する防災啓発で震災時の初期消火の重要性等を伝えるツールとして活用している。

「早期災害情報システム」は、職員が災害現場で撮影した映像や情報を携帯電話等で登録(もしくはメール送信)、それらを地図上に表示して警防本部、方面本部及び消防署で共有を図る。大規模災害時には細かな被害情報が入ってこないことも想定され、消防職員からの正確な情報は有用である。

首都直下地震発生時には、住民から東京消防庁に 119番通報が集中することが想定される。平常時は、



図2 震災消防対策システムにおける情報の流れ(東京消防庁資料)

災害救急情報センター (千代田区)と多摩災害救急情 報センター(立川市)の2か所で119番通報を受け、警 防本部により部隊を運用しているが、首都直下地震な どの大規模災害発生時には「署隊運用」に切り替える こともある。「署隊運用」とは、各消防署が直接自己 の部隊を運用することを指す。被害の状況、119番通 報の入電状況等から警防本部による部隊の運用に支障 がある場合に行うものである。

4. 政府の情報収集体制

政府は、これまで首都直下地震や南海トラフ地震な ど個別に定めていた応急対応を一本化し、2018年に「大 規模地震・津波災害応急対策対処方針」としてとりま とめた³⁾。首都直下地震が発生した際も、この対処方 針に従って情報収集・分析などが進められる。

東京23区内で震度5強以上、その他の地域で震度6弱 以上の地震が発生した場合、各省庁の局長級職員から 構成される 「緊急参集チーム (緊参チーム) | が官邸危 機管理センターに参集し、内閣危機管理監のもと、被 害状況・対応状況などの情報収集・集約にあたる。

具体的には「地震防災情報システム (DIS)」で、気

象庁の震度情報や建築物・人口などのデータに基づき、 建築物の全壊数やそれに伴う死者数などをおおむね30 分で自動推計する。「地震防災情報システム」は、阪神・ 淡路大震災を教訓として1996年に導入された経緯があ る。さらに緊参チームでは、中央省庁のヘリテレや国 土交通省の道路カメラなどの映像情報、関係省庁や関 係機関の一次情報などを収集する。なお、国土交通省、 総務省消防庁、警察庁、海上保安庁、防衛省、自治体 などのヘリコプターや高所カメラの映像は、中央防災 無線網の映像情報共有システム等により、官邸や行政 機関などにリアルタイムで伝送される。

震度6強以上の場合は、全閣僚が利用可能なあらゆ る手段を用いて官邸危機管理センターに参集する。緊 参チームが収集した情報により、著しく異常かつ激甚 な被害が発生していると認められる場合は、内閣総理 大臣が閣議にかけて「緊急災害対策本部」を設置する。

緊急災害対策本部においては、被害状況の早期把握、 迅速・正確な意思決定を支援するため、「総合防災情 報システム」で情報共有を行う。「総合防災情報シス テム」は、前述の「地震防災情報システム (DIS)」のほ か、「防災情報共有プラットフォーム機能 (PF)」「津



災害発生時における政府の応急対策



緊急参集チーム参集基準(自然災害時)

- 23区内で震度5強以上
- ・その他の地域で震度6弱以上
- · 津波警報(大津波)発表時

◎災害が発生した場合は、国・地方公共団体は、被害 の状況・規模等の情報を迅速に収集分析し、関係機関 相互に伝送情報交換

首都直下型等大規模地震 (震度6強)発生時

全閣僚は、利用可能なあらゆる手段を用いて 速やかに参集

【参集場所及び参集順位】

- ①官邸(危機管理センター)
- ②内閣府(中央合同庁舎8号館)
- ③防衛省(中央指揮所)
- ④立川広域防災基地(災害対策本部予備施設)
- ・警察パトカー等緊急自動車の活用
- ヘリコプターの活用

(内閣総理大臣、総理大臣の臨時代理となり得る 閣僚、内閣官房長官及び防災担当大臣)

○緊参チームによる事態把握、初動対処集約・調整 〇被害状況、対応状況等の情報収集・集約

- ・地震防災情報システム(DIS)
- 画像情報(ヘリテレ映像等)
- ・関係省庁、公共機関の第一次情報等
- 〇防災担当大臣のリーダーシップのもと対応を協議

緊急参集チーム:内閣危機管理監(主宰)関係省庁等の局長等

○情報先遣チーム及び政府調査団の派遣決定

臨時閣議による本部設置 緊急災害対策本部設置 非常災害対策本部設置 (本部長:内閣総理大臣) (本部長:防災担当大臣)

関係省庁連絡会議

(災害警戒、災害対策)

政府調査団の派遣

団 長: 防災担当大臣又は内閣府副大臣、政務官 構成員:関係省庁の課長級職員

災害発生時における政府の応急対策(内閣府資料)

波浸水被害推計システム (2018年から運用)」で構成されている。関係機関から報告される被害情報や活動情報をGISでレイヤー化して表示し、関係省庁間で共有化する。現行のシステムは2006年から運用中だが、最新のICT技術を導入した次期システムの2019年稼動開始に向けた作業が進められている。新システムは、国立研究開発法人防災科学技術研究所の「府省庁連携防災情報システム (SIP4D)」や国土交通省の「統合災害情報システム (DiMAPS)」と連携したものになるとのことである。

また、2016年の熊本地震で、被災地の自治体や避難者の動向や、緊急支援物資の輸送状況などの情報が円滑に共有されなかったことから、内閣府は「国と地方・民間の『災害情報ハブ』推進チーム」も設置した。同チームには、自治体や研究機関のほか、経済団体、運輸、通信、ライフライン事業者などの民間事業者も加わっている。あらかじめ災害発生時の情報共有ルールなどを定め、発災時には被災地のニーズにあわせて必要な情報を組み合わせて地図化する仕組みの構築を目指している。

その取り組みの一環として、政府では、被災地の最前線で対応にあたる自治体などの意思決定を支援するための「災害時情報集約支援チーム (ISUT)」を2018年4月に試行的に立ち上げた。ISUTは、内閣府、防災科学技術研究所などで構成されている。被災地において、避難所開設状況、道路状況、ライフライン状況などのきめ細かな災害情報を整理・地図化する。2018年6月の大阪府北部の地震、平成30年7月豪雨(西日本豪雨)、平成30年北海道胆振東部地震において試行的に運用された。ISUTは2019年4月の正式運用を目指している。内閣府によると、現状では被災地の避難所の状況を手作業で登録したり、自治体から情報を得たりするために時間と人手を要しており、自治体との連携体制の整備等が必要とのことである。

5. おわりに

本稿は、特集のテーマに沿って首都直下地震発生時の被害情報把握の現状について、東京都を中心にまとめた。多忙な中、ヒアリングに応じていただいた関係者の方々にこの場を借りて御礼を申し上げたい。

言うまでもなく、首都直下地震が発生すればその被害や影響は、東京都のみならず隣接県にも及ぶ。あるいは東京都以外の県が震源となる可能性もある。首都直下地震はある意味で広域災害であり、首都機能を維持し、社会的混乱を抑止するためにも、関係する自治体や関係機関の情報共有や救援・支援がスムーズに行

われなくてはならない。阪神・淡路大震災以降、東日本大震災、熊本地震、西日本豪雨などを契機にさまざまな連携や機能強化の取り組みが進められており、さらなる体制の充実に期待したい。

・参考文献

- 1) 中央防災会議今後の地震対策のあり方に関する専門調査会:阪神・淡路大震災の教訓 http://www.bousai.go.jp/kaigirep/chuobou/senmon/kongo/1/2-5-01.html (2018年12月20日閲覧)
- 2)東京都「首都直下地震等対処要領(改訂版)」(平成 28年3月)
- 3)中央防災会議幹事会「大規模地震·津波災害応急対策対処方針」(平成29年12月21日)



入江 さやか(いりぇ さやか)

1987年一橋大学社会学部卒。読売新聞社、スタンフォード大学地震工学センター、(株)日本総合研究所を経て、2000年にNHK入局。報道局社会部、災害・気象センターなどを経て2014年から現職。日本地震工学会理事(広報)、日本災害情報学会企画委員、防災士。専門分野は、災害報道・災害情報。

シリーズ:温故知新~未来への回顧録~

P波への思い

泉 博允

●成和コンサルタント(株) 理事

1.はじめに

阪神大震災の地震の損傷や被害状況を列挙すると、海上の船のエンジントラブル、テレビが跳ぶ、墓石が跳ぶ、電車が跳ぶ、建物の柱のH鋼が引張り破断する、高架橋のRC橋脚が破壊する、高架橋の鋼製橋脚が座屈する、地中のPC杭が引張り破断する、橋脚の鋼製ピポット支承が割裂破断する、建物の構造を変化させた中間階が破壊する、コンクリートが破損する、地下鉄が破壊する、落橋する、等があげられる。

これらの破壊がP波 (粗密波、縦波、上下動)による ものとした場合に、阪神大震災でのP波の加速度の値 はどの程度であるのか?周期特性はどうであるか?に 思いがはせる。

2. P波の加速度500Gはいかがか?

阪神大震災でのP波の加速度の値は500G (500galではない)程度で、周波数は1000Hz~10000Hz程度ではないかと推定している。この数値の根拠は以下のようである。

- (1) 昭和の時代では現場におけるPC杭や鋼管杭を杭打 ち機で打設していた。打設での測定結果は加速度で 200G~300G程度で周波数は1000Hz~10000Hz程度で ある。
- (2) 杭頭のレベルを設計通りにしたいことと、杭頭が 高止まりで残留すると杭頭をカットして所定の高さ に揃える必要があることから、支持地盤に届いても、 どんどん打ち込んだ場合もあり、この時に支持地盤 が固いと鋼管杭には座屈現象がみられ、PC杭には 引張り亀裂の損傷が見られた。
- (3) 現場では鋼管杭の引張り破壊は見られないようであるが、阪神大震災では鋼製の柱のH鋼が引張り破壊した。現場の杭打ちで見られないことが、地震の時に発生した。この理由はいかに?
- (4) 岩盤の掘削に用いる火薬やダイナマイトの発破の 近傍での加速度は10000G程度を計測している。戦 争では船の近くに落ちた爆弾で損傷を受けている。 爆弾の10000G程度で、船に被害が出ることからし て、地震時の船のエンジントラブルもP波での発生 が推察される。

以上の杭打ちの加速度の200G~300G程度の測定結果や火薬やダイナマイトの発破の加速度の10000G程度の測定結果から、加速度を速度に換算した場合に、構造物に被害の出ると一般に言われている100cm/s程度の速度値になるようにすると、加速度の値は500G程度、周波数は1000Hz~10000Hz程度になる。

3.観測されたP波はなぜ大きくないのか?

阪神大震災では地震観測記録での初期のP波の上下動に、なぜ、上述の大きな加速度500G程度や周波数1000Hz~1000Hz程度が記録されなかったのか。通常の地震計の測定周波数範囲は0.1Hz~100Hz程度であり、計測能力を超えていたからである。また、通常の地震観測では、地震の揺れを感知して電源が入り、記録を収録するシステムであるので、時間遅れで初期の短周期のP波の大きな値を記録できない状況であると思われる。また、異常に大きい値を記録することがあるが、これはノイズとしてフィルターをかけて、取り除いてしまう場合があるので滑らかな加速度波形となっている。特に、公表されている記録の初期の部分は滑らか過ぎて、震源域で体感した揺れ方と違和感があると思う。振動台にこの加速度を入力してもテレビや墓石は跳ばない。

一方、杭の打設時の加速度計測は波動が伝わると電圧を感知する特殊な計測装置であるので、高い周波数まで測定可能なのである。地震計で大きなP波の加速度が観測されていないので、被害の状況(座屈破壊・引張り破壊・飛び跳ね現象・海上の船のトラブル等)から推定しなければならないことになる。

4.地下10kmの高拘束圧下での岩盤の破壊

地震動の発生は地下深部の岩盤の破壊現象であるが 岩盤の破壊にはいろいろな破壊パターンがある。す なわち、振動を伴わないで断層が1年に数cm程度のク リープ変形をする場合、振動は小さいが海底面の隆起 や沈下が大きく津波を生じる場合、振動そのものが大 きい場合、断層変位が大きい場合、通常の地震観測用 の地震計で測定できない極短周期の衝撃的振動を伴う 場合等各種パターンが見られると理解しておくのが良 いと思う。要するに、変位、速度、加速度の物理量の 周波数領域は全域であると考えるのが良さそうである。 しかし、岩盤に力が作用すると、電磁波も発生する ので、地震工学で扱う変位、速度、加速度の物理量で はまだまだ、地震現象は表現できていないと言える。

阪神大震災での発光現象や他の地震での地震雲や動 物の異常行動等の地震の前兆現象には、まだ、人間の 把握できていない事柄を多く含んでいるといえる。

そのときの地震のような極短周期の衝撃的振動を伴 う場合の岩盤の破壊はどんなものであろうか?クリー プのように遅い破壊伝播スピードがあるのだから、破 壊伝播スピードが早いのもあるであろうと想定される。

その破壊伝播スピードの極限はどこなのか?岩盤の 破壊伝播スピードは岩盤の波動の伝播スピードを越え ることはないということであるが、複数の領域で破壊 がほぼ同時に起きた場合の見かけ上の破壊伝播スピー ドは波動の伝播スピードを越えてしまうことになるの ではないか?数値解析で岩盤の破壊をシュミレーショ ンする場合、この破壊伝播スピードは算定される加速 度の値に大きく影響するようである。500GのP波の値 を数値計算で算定するにはどのようすればよいのか? 興味があるところである。

地中10km程度の深くの岩盤の破壊が目で見られた としたらどんな状況であろうか? 10kmの深さになる と拘束圧は2000気圧という大きな値になる。ダイヤモ ンドもできそうな高圧である。室内試験で特に固い岩 盤の場合、拘束圧=0での一軸圧縮試験でも音や粉塵を 発生させた「爆発的」なセン断破壊が見られる。トン ネル掘削でも土被りの厚い高圧場所での固い岩盤では 「岩はね」が見られる。これらから類推するに、2000 気圧の高い拘束圧下での破壊はまさに、火薬やダイナ マイトの「爆発」と同じのように思えてくる。

固い岩盤では「爆発的 | なセン断破壊が見られるの であるから、加速度計等をセットして測定してみるの も興味あるところである。

5.海上の船のエンジントラブル

地震の震源の直上近くを航行していた船にエンジン トラブルが発生している。通常の常識では海の上では 横波S波の伝播はないから、地震の時は海の上は安全 であるということになっていたが、これが覆されたこ とになる。この原因は縦波P波の伝播であるが、どの程 度の大きさの加速度と周波数を持つ波動であっただろ うか?

海中の縦波P波の伝播に関しては、戦争中の潜水艦 での体験が参考になる。1つは潜水艦の中で落とした スプーンの音で敵に場所が分かり命取りになること。 2つは海上での爆弾の破裂が潜水艦に大きなショック を与えることである。すなわち、海中の縦波P波の伝 播は減衰が小さくかなり遠くまで伝わり、また、爆発 のショックを大きく受けることからして、今回の地震 での船のエンジントラブルは地震によるP波の大きい 加速度と高い周波数であることいえる。小舟の釣り人 も「暗礁に乗り上げた」感じであったとかなりのショッ クを受けたことを言っている。

6.建物の柱のH鋼の引張り破壊

現場の鋼管杭は杭打ちで座屈はするが、引張り破壊 は見られない。阪神大震災の地震で建物のH鋼の引張 り破壊が見られたことは貴重である。建物の自重が作 用した大きな圧縮力を受けている状態で、複数のH鋼 の柱の1本が引張り破壊している。この柱の構造は基 礎杭と建物のH鋼が連続した一体の剛な(横揺れに強 い) 構造である。下方から伝播してきた引張り波と上 方からの引張りの反射波が何波か分からないが重なっ て、大きな引張り応力となって引張り破断したと推察 している。

短周期の衝撃的振動でこの破壊を再現するには火薬 やダイナマイトの爆発や大砲の弾の衝突による振動を 利用することが考えられるが、なかなか、再現実験が 難しいと言える。現状の耐震設計では全く考えられな い想定外の事象であり、また、直下型地震に耐えられ る構造は不経済であるとも思われる。

7.テレビ、墓石、電車が跳ぶ

テレビが跳ぶ、墓石が跳ぶ、電車が跳ぶ、自動車が 跳んで車庫の天井に当たる、家の門の門柱の笠が跳ぶ 等の色々な物が跳んでいる。昔から、お寺の鐘楼が跳 んだ、竹藪が跳んだといった話もある。まずは再現実 験をしてみたいものである。火薬やダイナマイトは使 えないが、ハンマーで下からたたいて、テレビを跳びあ がらせる程度は出来そうである。

家の墓石が見当たらないので良く探すと壁の向こう に跳んでいたとのことである。周辺のすべての墓石が 跳んだわけではないとのことで、地盤条件や位置や設 置条件等によりバラツキがあるようである。

テレビ、墓石が跳んでも人的被害が少ないが、電車 が跳ぶとなると、大変なことである。待機所にあった 電車が4~5台、レールの脇に着地していた。横倒しに なったものはなかった。阪神大震災では、新幹線は出 発前であったので難を逃れたが、中越地震では新幹線 が横倒しになった例が見られた。時速200Kmで走行し ていて地震を受けたら、脱線して、高架橋から市街地

に突っ込んで、ヤマタノオロチのように暴れまくられたら、多くの人の人命が失われることになる。 地震国の日本では想定される事象ではある。しかし、これに対する良い妙案はない。そもそも、こんなに便利になった世の中であるからこそ、地震にもろい面があることを認識しておかなければならない。今後、新幹線の脱線による損害賠償はどのようになるのか、議論したくない話だが、避けて通れない。

8.P波による液状化

海中で大きい加速度の高周波数の縦波P波の伝播があったことからして、地盤の地下水面まではほぼ同様に縦波P波の伝播があったことが推察される。このP波によって埋め立て地での、粘性土系や砂礫系の土質までもが液状化を呈したと推測している。室内での液状化試験結果や地震時での液状化の状況から液状化しやすい砂系の粒度範囲を決めているが、そのときの地震により粒径の範囲が粘性土の細かい方向へ、また、砂礫の粗い方向へと粒径が両方向に拡大したことになった。

従来の液状化試験はS波を対象としているが、今後はP波を対象とした液状化試験(バケツに粘性土を入れて落下させる。)も検討してみたい。

P波と間隙水圧の関係の参考となる地震観測の例がある。RC貯水タンクの内壁の壁面にセットした間隙水圧計の記録と上下動の加速度記録が全く類似している結果が得られている。このことからすると、地盤にP波がくれば、その値の大きさに対応した間隙水圧が発生する。そのときのP波の加速度の大きさからすれば、粘性土系や砂礫系の土質に関係なく、液状化に十分な間隙水圧が発生したと考えられる。砂礫は間隙水圧の逃げやすいマンホールの蓋を押し退けて飛び出した。

液状化はS波の横波を主対象としているが、コンクリートのバイブレーターはP波で流動化させているし、発破でのP波で液状化させて地盤を締め固める工法も提案されてきている。液状化に関して、P波も検討に加えなければならなくなってきた。

9.コンクリート橋脚の鉄筋の破壊

高速道路のRC橋脚では縦方向の主鉄筋が突き合わせ溶接している部分で全く伸びた様子も示さず、引張りで破断した例が見られる。溶接部は必ず、引張試験を実施して引張り特性を確認しているが、通常の引張り試験はゆっくりとした載荷であり、衝撃的な載荷速度ではないために、確認できていなかったことになる。

また、橋梁のRC橋脚の下部は横揺れに対して曲げが大きくなるために、柱の軸方向の鉄筋の本数が多く

しているが、上部になると、曲げが小さくなるために 鉄筋を減らしている。この部分を「段落とし部」と言 うが、この段落とし部の鉄筋を減らすために頭をカッ トした部分で、P波が反射して引張り波が生じて周囲 のコンクリートを引張り破壊させている。

耐震設計では横揺れに対して安全な設計をしているが、この種の衝撃的な大きなP波に対しては対応していない。

溶接部は一般部より伸びが小さい特性があるので、 対応が難しい。また、段落とし部の鉄筋のカットの形 状をどうしたら良いか?やカットしない隣の鉄筋に溶 接する方法等(効果があるか?)を実験等で確かめるこ とが必要である。これらの破壊現象はあまりに大きな 加速度のP波であるために、耐震設計では想定外である。

ところで、米国のノースリッジ地震では道路の高架 橋で橋脚が床版を突き抜いている例が見られたが、板 にくぎが打ち込まれたのと類似しており、上下動によ る床版の厚さ方向の押し抜きセン断破壊であると推定 される。床版の破壊形状の綺麗さからして破壊スピー ドは早かったものと思われる。

10.橋脚のピポット支承の割裂破壊

橋脚上のピポット支承の下部の荷重を受ける鋼製の 皿が上からの鋼製の球状の荷重伝達部によって、割裂 した損傷が見られた。コンクリートの1軸圧縮試験で 用いる円柱の供試体を横にして、上下に荷重をかけて 割裂引張り破壊させるのと同様な現象が見られた。ピ ポット支承設計では、作用する桁の自重と地震時に作 用する荷重(桁の自重の2割程度)を考慮する程度であ るので、ピポット支承の下部の鋼製の皿が割裂するこ とは全く、考慮していないはずであり、想定外の損傷 である。

11.鋼製橋脚の破壊

鋼製橋脚のうち、円形の鋼管の場合は外側に膨らむ 座屈が見られた。一方、鉄板を加工した箱型橋脚では 橋脚の中間部で1組の向かい合う両面が膨らむ方向に 座屈し、残りの向かい合う1組の両面がへこむ方向に 座屈した損傷が見られた。さらに、鉄板を加工した箱 型の橋脚は花びらが開いたように角が引き裂かれたようになって、上部構造を支持できず大崩壊を示している例が見られた。この破壊形態は横揺れではなかなか説明がつかない。

12.建物の中間階の破壊

建物の中間階の柱が圧縮せん断破壊して層破壊した

例が見られた。上層階の撤去時にこの中間階の破壊した各柱がどの方向に倒れていたかの記録があると興味深い。おそらく、各柱の倒れ方は規則性が無く、上下方向の衝撃的P波で破壊したと考えるのが説明しやすいはずである。横揺れでは同一方向に柱が向いていないと説明が難しい。層崩壊に至らない建物でも、中間階の柱が床からはずれて外に「く」の字に座屈した例も見られることからも、やはり、上下方向の衝撃的P波で破壊したと考えざるをえない。

13.特殊現象

特殊現象として、地鳴り、発光現象、地震雲、FM ラジオのノイズ、動物の異常行動等があげられるが、現在の人間の知見の浅さから特殊現象と言っているだけであろう。時代が進み知見が積み重なるにつれて、特殊現象は少なくなってくるであろう。特殊現象とは言えないが、福井地震の時に、飛んでる鳥の墜落を見たという話しがある。海中および地盤を伝播してきたP波が空中の空気を太鼓と同様にたたいたのである。この振動により、三半器管を痛め、墜落したのであろうと推察される。この話しはP波を理解する上での最も分かりやすい現象であると思っている。

14.今後の課題

(1) 地震観測

実証することが大切であるので、現在、設置されている地震計の隣に圧電素子タイプの加速度計を併設することが良いであろう。なお、現状の地震観測でも地震計の設置数も多くなってきているし、技術の進歩により地震計の測定精度と測定周波数の範囲もそれなりに広がってきているので、益々、記録される加速度の値は大きくなってくるものと推察される。

(2) 材料の載荷速度依存性

現在、鉄筋やコンクリート等の材料試験においては 載荷速度を意識していない。スピードを上げれば上げ るほど、強度は上がるが延びはなくなり、脆性的にな るという定性的な傾向は見られるであろう。今回の地 震では鉄筋の突き合わせ溶接部の破断および鋼製の柱 の引張り破壊は材料の載荷速度依存性による被害であ ると言える。ただ、これで設計するかどうかは、別途、 経済性との関係で議論をしなければならない。

(3) 衝撃的地震動に対する振動実験

振動台の無い時代は鉄球を衝突させての実験をしていた時代もあったようである。考えようによってはこの載荷方法の方がP波に対する構造物の安全性の確認試験では優れている。

(4) 衝撃的地震動に対する解析

通常の応答解析では入力加速度波形を0.01秒刻みに デジタル化してその加速度値を用いて、10秒程度の応 答計算をして、部材に作用する力を算出し地震対する 安全性を検討している。衝撃的地震動では0.000001秒 程度の刻みであろうか?応答計算時間は0.1秒程度で いいのか?杭打ちや落石等の衝撃応答の解析等が参考 となろう。

(5) 衝撃的地震動に対する耐震設計は不経済

衝撃に対する対策方法は直観的にはクッション材を 用いることである。杭打ちの時に杭頭に桟俵を置いて 保護していた。そのときの地震でも、鋼製支承の被 害は多かったが、ゴム支承は被害が少なかったようで あり、柔らかい材料が有効であることを物語っている。 従って、現在のゴムと鋼板の積層構造の免震支承は衝 撃的地震動にも効果があると推察できる。

耐震設計ではこの加速度の大きいP波を今後考慮すべきかどうかは技術的な対応課題や経済性を考慮した上で、判断する必要がある。すなわち、衝撃的地震動を被る領域が狭い範囲であるとすれば、その発生確率は小さくなるので、経済性を考慮すれば、事前の投資費用を事後の復旧費用に回した方が得策かもしれない。

(6) 再建に向けた相互補助制度

地震で将来を案じて自殺する人もいたので、個人の 住宅の再建の相互補助制度を確立したい。

年1人1000円を全国民が積み立てると1年で1000億円である。100年で10兆円である。この金額は阪神大震災で、被災した30万棟の住宅を1棟3000万円で再建できる費用である。100年に1度、この程度の地震が来ても、再建の心配が無いということである。さらに、費用返済を親子2代でも3代でもかけて100年ですれば、1年に1人1000円よりはもっと安くなる。こうすることにより、多くの人が「家も古くなったので、地震よ来てくれ」と、地震が待ちどうしくなりはしないだろうか。

15.おわりに

自然現象の地震に対する人間の理解はまだまだ、「未熟」であり、「人知」の至らないところばかりである。 自然から学ぶ「謙虚さ」を忘れないで欲しい。



泉 博允(いずみ ひろみつ)

1969年早稲田大学卒、大成建設(株)を 経て現職、工学博士

特別寄稿

平成30年北海道胆振東部地震による地盤災害の概要

木幡 行宏

●室蘭工業大学大学院 教授

1. はじめに

平成30年9月6日午前3時7分、北海道胆振地方中東部(北緯42.7度,東経142.0度)を震源とするマグニチュード6.7の直下型地震が発生した。震源の深さは37 km、発震機構は東北東 - 西南西方向に圧力軸を持つ逆断層型とされ、北海道勇払郡厚真町で最大震度7を記録し、平成30年北海道胆振東部地震と命名された。図1に本震による震度分布を示す¹⁾。震央からほぼ同心円状に震度7、6強、6弱と分布しているが、震央から約65 km離れた札幌市東区でも震度6弱を記録している。北海道において直下型地震で震度7を記録したのは、観測史上初のことであった。本稿においては、この地震による地盤災害の概要について述べる。

2. 人的・物的被害概要

人的被害として、死者41名、重傷18名、軽傷731名であり、厚真町での死者が36名となっている。また、物的被害は、建物被害のうち住宅被害として全壊409棟、半壊1262棟、一部破損8463棟、非住家被害として2249棟が報告されている²⁾。全壊住宅は、厚真町92棟、安平町87棟、札幌市83棟となっており、厚真町、安平町が、主に斜面崩壊による被害、札幌市が主に液状化による被害であると考えられる。ライフラインの被害として、北海道電力管内のほぼ全域で電力が止まるブラックアウトが発生し、9月6日午前3時8分時点で最大停電戸数、約295万戸を記録している²⁾。これは1995年に発生した兵庫県南部地震による最大停電戸数の約260万戸を超える規模で、電力会社管内全域での停電は国内初の事態であった。

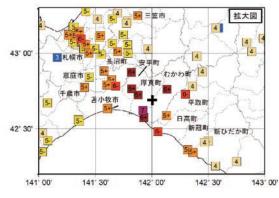


図1 震度分布図1)

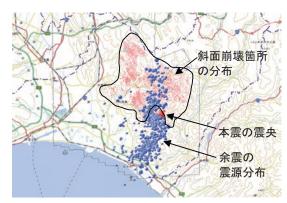


図2 斜面崩壊箇所及び余震の震源の分布図3

3. 厚真町の斜面災害

図2に、厚真町の本震の震央、余震の震源分布およ び斜面崩壊箇所の分布図を示す3。斜面崩壊は、震央 より北側に広範囲にかつ密集して発生していることが 分かる。また、余震の震源は震央を中心にほぼ南北方 向に分布している。厚真町の地質は、深度18 m付近ま で表層から順に、樽前山、恵庭岳、支笏カルデラを噴 出源とする火山灰で構成されており、樽前山起源の樽 前降下軽石(Ta)の地層は、Ta-aからTa-dまで4ユニット で構成されている。それぞれ粒径と風化の程度が異な り、層厚は1~4m程度のものが多く、N値は1~3程 度と報告されている4。写真1、2に、代表的な斜面崩 壊箇所の状況を示す。厚真町吉野地区や富里地区の斜 面崩壊は表層崩壊であり、すべり面はTa-dユニットで あったと考えられる⁵⁾。一方、日高幌内川上流部の右 岸において長さ約1000 m、幅約500 mにわたる尾根部が、 地震により約500 m滑動し河川閉塞が生じた。これは 大規模かつ崩壊面が深い地すべりであると考えられる。



写真1 厚真町吉野地区の斜面崩壊状況



写真2 厚真町富里浄水場の斜面崩壊状況

4. 札幌市清田区の地盤災害

札幌市清田区里塚において大規模な地盤沈下が発生した。写真3は、地盤沈下 (陥没)が顕著な箇所の発生状況である。地表面が局所的に沈下 (陥没)していることが分かる。図3は宅地造成前の原地形に地盤変状が著しい箇所を示したものである。地盤変状箇所は旧河川の低地部に沿って発生している。これは地盤内の盛土材が液状化し、宅地造成前の旧河川の沢沿いに上位箇所 (図3中左下部分)から帯状に流動し、下位箇所 (図3中右上箇所)で地表面に流出して生じたものと考えられる⁶。なお、柱状図ではN値が0~1程度の地層があるが⁶、これは空洞ではなく自沈した状態にあったとのことである。



写真3 札幌市清田区里塚地区の地盤沈下状況



図3 地盤変状による被害箇所と原地形の比較^{6)に加筆}

5. おわりに

筆者は、土木学会北海道支部・地盤工学会2018年9 月北海道胆振東部地震災害緊急合同調査団団長として 現地調査を行った。本稿では、現地調査箇所における 地盤災害の概要について述べたが、他にも札幌市東区 や苫小牧東港等での液状化被害、安平町等の地すべり 被害が生じている。今回の地震による地盤災害につい ては詳細な検討が必要であろう。今後、北海道におい ても、これまであまり注目されてこなかった直下型地 震への備えを早急に講じるべきであると強く感じた。 最後に、今回の地震でお亡くなりになられた方々に心 よりお悔やみを申し上げますとともに、被災された皆 さまに心よりお見舞い申し上げます。

参考文献

- 1) 地震調査研究推進本部:平成30年北海道胆振東部地 震の評価、https://www.static.jishin.go.jp/resource/ monthly /2018/20180906_iburi_3.pdf
- 2) 内閣府: 平成30年北海道胆振東部地震に係る被害状況等について、http://www.bousai.go.jp/updates/h30jishin_hokkaido/pdf/301030_jishin_hokkaido.pdf
- 3) 国土地理院:平成30年北海道胆振東部地震に関する情報、斜面崩壊・堆積分布図、国土地理院地図、http://www.gsi.go.jp/BOUSAI/H30-hokkaidoiburi-east-earthquake-index.html#10
- 4) 北海道の火山灰質土の性質と利用に関する研究委員会:実務家のための火山灰質土〜特徴と設計・施工、被災事例〜、地盤工学会北海道支部、p.14、柱状図No.25、2010.
- 5) 産業技術総合研究所地質調査総合センター: 平成30年北海道胆振東部地震の関連情報、現地調査報告その2「厚真町における表層崩壊」、2018、https://www.gsj.jp/hazards/earthquake/hokkaido2018/hokkaido2018-07.html
- 6) 札幌市:清田区里塚地区における地震被害対策に ついて、第2回説明会、配布資料、

http://www.city. sapporo.jp/kensetsu/stn/documents/dai2kaisetsumeikaisiryo2.pdf



木幡 行宏(こはたゆきひろ)

1989年北海道大学大学院工学研究科 土木工学専攻博士後期課程修了、北 海道大学工学部助手、東京大学生産 技術研究所助手、鉄道総合技術研究 所主任技師、室蘭工業大学工学部助 教授、准教授を経て、2010年から教授、 工学博士、専門分野: 地盤工学

学会ニュース

第15回日本地震工学シンポジウム開催報告

風間 基樹 / 高橋 章浩 / 末冨 岩雄

●東北大学/運営委員長,実施部会長 ●東京工業大学/幹事長,総務部会長 ●エイト日本技術開発/学術部会長

1. シンポジウムの趣旨

日本地震工学シンポジウム (JEES) は、4年に一度開催される我が国の地震工学分野の最大の研究集会であり、世界地震工学会議 (WCEE) の中間年に開催されています。次回の第17回世界地震工学会議(17WCEE) は東京オリンピック・パラリンピックの後に、仙台国際センターで開催されることになっていますが、17WCEEの前段として同会場で15JEESを開催する運びとなったものです。

15JEESは、(公社)日本地震工学会を幹事学会として、(公社)地盤工学会、(公社)土木学会、(一社)日本機械学会、(一社)日本建築学会、(公社)日本地震学会、(一社)地域安全学会、(一社)日本活断層学会、日本災害情報学会、日本災害復興学会、日本自然災害学会の計11学会の共同主催で行われました。今回のシンポジウムでは、「地震に対する社会安全を考える一被災地の復興にみるレジリエントな未来社会一」をテーマとして掲げ、一般論文セッション、オーガナイズドセッションのほか、プレナリーセッションとしてズドセッションのほか、プレナリーセッションとして基調講演、特別セッションとして2018年北海道胆振東部地震調査報告が行われました。また、今回から若手優秀発表者の表彰も行われることになりました。さらに、シンポジウム開催後に、優れた論文を査読付きで集めた特集号を日本地震工学会論文集で編纂します。

我が国では、2011年東日本大震災の後も、2016年4 月に熊本地震で2度の震度7を経験し、海洋性の巨大地 震・津波だけでなく、全国に内陸活断層地震の潜在性 があることを改めて思い知らされました。地震という 自然現象は、太古の昔から現代まで変わることはあり ませんが、受け手である人間社会のあり様はその時々 で様変わりしています。科学技術の発展は防災分野に おいても著しいものがありますが、高度に発達した都 市環境や情報社会はそれ自身が脆弱性を持っているこ とを認識し、想像力を持って対応しなければなりませ ん。今後の地震・津波による被害をできるだけ小さく 抑えることが、我々、地震災害を様々な角度から研究 し対策を推進する者の使命であり、本シンポジウムは そのための情報交換や作戦会議の場として位置づけら れました。

2. 概要

15JEESは、2018年12月6日(木)~8日(土)の3日間の日程で、宮城県仙台市青葉区の仙台国際センターにおいて開催されました。発表された論文は表1の通り、合計395編でした。また、3日間の登録参加者数は、表2に示す通りで、無料公開した基調講演の参加者などもすべて加えると、参加者は合計680名でした。

シンポジウムは、初日の午前9:20から高橋章浩幹 事長の司会で、風間基樹運営委員長の開会挨拶、幹事 学会の日本地震工学会を代表して福和伸夫会長の挨拶 で始まりました。





写真1 受付の様子と開会式で挨拶する風間委員長

表 1 発表論文数

一般論文セッション	323編
内 口頭発表	(222編)
ポスター発表	(101編)
オーガナイズドセッション	72編

表2 登録参加者数と参加費

	項目	参加人数	参加費
論文発表	第一著者(一般)	295名	¥20,000
	同 (学生)	100名	¥10,000
一般参加	事前登録	103名	¥10,000
	当日現地登録	103名	¥12,000
学生参加	事前登録	10名	¥5,000
	当日現地登録	5名	¥6,000

3. 内容

3.1 一般セッション

一般発表論文323編、オーガナイズド72編あわせて395編の論文発表が行われました。この発表数は、前々回(第13回)の583編、前回(第14回)の430編と比較してやや少ない数となりました。一般論文の分野別の発表件数は表3の通りでした。

表3 一般論文の分野別発表件数

発表分野	口頭	ポスター	計
a. 自然現象 (地震動, 地下構造, 地盤, 津波,	歴史地	震ほか	·)
震源特性	10	4	14
地下構造	10	6	16
地盤震動	31	20	51
地盤の液状化・斜面崩壊	22	4	26
津波・歴史地震	10	4	14
b. 構造物 (地震応答, 構造実験, 耐 診断補強, 相互作用ほか)	震設計	,免震	, 制振,
地中構造物・ダム・杭および基礎 構造	9	0	9
地盤と構造物の相互作用	18	3	21
土木構造物	17	4	21
建築構造物	31	8	39
機械設備系			
免震・制振・ヘルスモニタリング	22	9	31
耐震補強および新しい構造・材料	8	2	10
c. 社会問題 (ライフライン, 災害情メント, 防災計画, 復興計画ほか)	報,リ	スクマ	ネジ
ライフラインおよび緊急速報・災	10	7	17
害情報			
防災計画・リスクマネジメントお よび社会・経済問題	12	11	23
d. 被害調査・分析など			
熊本地震等の地震被害の調査分析	12	10	22

論文募集の準備段階からシンポジウム開催までの概要 は下記のとおりです。まず運営委員会でシンポジウムの 論文査読の有無に関して議論した結果、制度を朝令暮改 しないよう第13~14回同様に査読無とし、幅広く論文 を受け付ける方針としました。ただし、査読論文も必要 であるので、前回同様、日本地震工学会論文集に15JEES 特集号を設け、3月31日メ切で査読付き論文として投稿 することを奨励することとしました。

一般論文のうち、口頭発表は4会場で行い、3日間の 延べセッション数は22となりました。口頭発表一件当た りの配分時間は、発表8分質疑4分の合計12分としました。 ポスター発表は1会場で2日目と3日目にて行いました。ポ スターの掲示時間は昼休み開始時から午後の第1セッショ ンの終了時まで(コアタイムは昼休みの1時間)としました。



写真2 一般セッションの様子

3.2 オーガナイズドセッション

表4に示すように、7のオーガナイズドセッション (OS) が企画され、ポスター発表含め計81編の論文発 表が行われました。前回(第14回)の13セッション180 編と比較すると少なくなりました。これは、日本地震 工学シンポジウムが学際的な分野の情報交換を重視し ていることもあり、パラレルに開催される会場数を少 なくし、できるだけ学際的な議論ができるように配慮 すべく、口頭発表セッションを絞ったためです。

前回に引き続き、本シンポジウムでは1人当たりの 講演は1題に制限しましたが、オーガナイザーからの依 頼による講演者については複数編の講演を可能としま した。また、一般からの公募論文も組み入れたOSも ありました。

表4 オーガナイズドセッションの発表件数

	セッション名	発表数
	<u> </u>	光红奴
OS1	地震災害リスクコミュニケーション のモデル形成の現在:3年間のとり組 みをふりかえる	4
OS2	長周期地震動から断層近傍パルスまで:予測と対策に向けて	口頭:35 ポスター:7
OS3	SIP防災の研究開発と社会実装	10
OS4	設計想定と異なる作用に対する構造 技術戦略	口頭:7 ポスター:2
OS5	東北の被害地震を再考する	6
OS6	原子力発電所の地震安全に関する基 本的な考え方	5
OS7	平成28年熊本地震において火山灰質 土やその堆積構造が地盤災害を激化 させたのか?	5

オーガナイザーの皆様のご尽力により、時宜を得た テーマが設定され、活発なセッションとなりました。 各セッションのオーガナイザーは下記のとおりです。

OS1: 糸川栄一(筑波大)、立木茂雄(同志社大)

OS2: 松島信一(京都大)、浅野公之(京都大)、

香川敬生(鳥取大)、永野正行(東京理科大)

OS3: 堀宗朗(東京大)、藤原広行(防災科研)

OS4: 高橋良和(京都大)、本田利器(東京大)、

五十子幸樹(東北大)

OS5: 片岡俊一(弘前大)、中村晋(日本大)

OS6:高田毅士(東京大)、

成宫祥介(原子力安全推進協会)

OS7:村上哲(福岡大)、笠間清伸(九州大)、 石川敬祐(東京電機大)

3.3 ポスターセッション

ポスターセッションは2回に分け、計101編の発表が ありました。コアタイムを昼食時間に設定することで 討議時間を1時間確保しました。午後のセッションと

の兼ね合いで昼食時間を十分に確保できない条件でしたが、会場は広く見て回りやすかったので、闊達な議論が行えていたように感じました(写真3)。

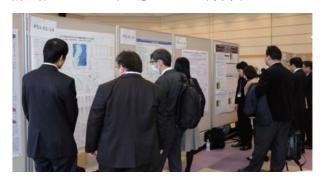


写真3 ポスターセッションの様子

3.4 基調講演

基調講演は、初日の開会式の直後の午前中に、清田隆(東京大学)運営委員の司会で行われました。講演タイトルと講演者は下記のとおりです。

- (1)「東北の復興なくして日本の再生なし」 国土交通省 東北地方整備局 高田昌行局長
- (2)「東北沖地震後の日本列島の地殻変動と内陸地震」 東北大学 災害科学国際研究所 遠田晋次教授
- (3)「予知から脱した俯瞰的視点での南海トラフ地震対策」 日本地震工学会会長 名古屋大学 減災連携研究センター 福和伸夫教授・センター長

高田局長の講演では震災後の復旧状況の紹介から今後の東北地方の活性化におけるインフラ整備の重要性について、遠田教授の講演ではプレート境界型地震に誘発される内陸地震による地震ハザードについて、福和教授の講演では被害軽減対策において地震工学者が果たすべき役割と自身の中部地域でのその実践について、大変興味深いお話を聴くことができました(写真4)。







写真4 講演する高田局長、遠田教授、福和教授

3.5 2018年北海道胆振東部地震調査報告

初日の夕刻、丸山喜久(千葉大学)運営委員の司会で特別セッションとして、3名から本年北海道胆振東部で発生した地震の調査報告をしていただきました。

- (1)「2018年北海道胆振東部地震とその強震動」 北海道大学 高井伸雄准教授
- (2)「北海道胆振東部地震による地盤災害調査報告」 北海道大学 石川達也教授
- (3)「ライフラインの機能障害とその影響波及」 岐阜大学 能島暢呂教授







写真 5 講演する高井准教授、石川教授、能島教授

3.6 懇親会

懇親会は、中日二日目の夕刻17:30~19:00まで、仙台国際センターのレストラン"リーフ"で行われました。実施部会を代表して風間委員長が開会の歓迎の言葉を述べ、主催幹事学会を代表して福和日本地震工学会会長の乾杯の音頭で歓談がスタートしました。参加者数は、一般69名、学生3名、計72名で、地震工学に関わる様々な分野の研究者・技術者などの有意義でアットホームな交流の場となりました。最後は、開催地の東北地方在住の運営委員を代表して、日本大学工学部の中村晋教授の挨拶で締めくくられました。最後に集合写真を撮影し(写真6)、さらに仙台の街へ旧知の友人同士で繰り出していきました。



写真6 懇親会での集合写真

3.7 技術展示

技術展示は、2階の多目的ホール桜の間において、初日の午後から2日半、27ブースを使って開催されました(写真7)。地震計や計測器メーカー、大手ゼネコン、防災・地盤調査関連協会、大学や独立行政法人の研究所など23機関に加えて、開催に後援頂いた東北地方整備局、仙台市および17WCEE開催案内のためのブースなども設けられました。



写真7 技術展示の様子

3.8 見学会

見学会は、仙台市から企画を提供いただいたもので、2日目と3日目の午前中に開催されました(延べ42名参加)。見学先は、東日本大震災で壊滅的な被害を受け、生まれ変わった南蒲生浄化センター(2日目)、あるいは、震災時に津波から多くの人の命を救い、現在、震災遺構となっている荒浜小学校(3日目、写真8)を訪れた後、震災後に新たに建設された避難タワーの一つである中野五丁目津波避難タワーを見学しました。



写真8 震災遺構 荒浜小学校見学の様子

4. おわりに

1978年宮城県沖地震から40年となる本年、伝統ある 日本地震工学シンポジウムを盛会に開催できたこと、 大変喜ばしく思います。本シンポジウムのプログラム がほぼ固まりつつある中発生した北海道胆振東部地震 の調査報告についても特別セッションとして実施する ことができ、多くの皆様に参加いただけました。

地震工学に関係する幅広い分野から研究者・技術者が参加いただき、研究発表等を通して今回のテーマである「地震に対する社会安全を考える一被災地の復興にみるレジリエントな未来社会一」について、様々な角度から考え、議論していただける場を提供できたのではないかと思っています。

第15回日本地震工学シンポジウム若手優秀発表賞

今回から、35歳以下の方を対象に優秀発表者を表彰 することといたしました。受賞者は下記の15名です。 後日賞状を送付させていただきます。

CD A MC 211	c c c . /c/c c & / 0
GO01-02-08	菊地俊紀(千葉大学)
GO04-02-09	奥村豪悠(竹中工務店)
GO05-01-10	関あきり(北海道大学)
GO06-01-02	角田叡亮(北海道大学)
GO09-01-12	杉本浩一(清水建設)
GO10-01-04	寺島芳洋(竹中工務店)
GO11-01-03	中野尊治(大阪大学)
GO12-01-02	上原直秀(東北大学)
GO14-01-03	石川大輔(東京工業大学)
PS1-01-28	石井洋輔(国土技術政策総合研究所)
PS2-02-28	神戸寛史(東京理科大学)
OS1-01-03	松川杏寧 (人と防災未来センター)
OS2-02-05	小穴温子(大崎総合研究所)
OS4-01-07	五島健斗(京都大学)
OS7-01-02	泉谷聡志(東北大学)
	GO04-02-09 GO05-01-10 GO06-01-02 GO09-01-12 GO10-01-04 GO11-01-03 GO12-01-02 GO14-01-03 PS1-01-28 PS2-02-28 OS1-01-03 OS2-02-05 OS4-01-07

謝辞

15JEES運営委員会は、日本地震工学会を中心に11の主催学会から参加いただいた運営委員34名で構成されました。総務、学術、実施の3部会構成で、約1年半前から準備にとりかかりました。17WCEEが控えていることから、前回まであった国際関係の企画はなくし、発表会場数の制約もあったため比較的コンパクトな内容としました。結果的に、本来の学際的な情報交換の場となったと思います。

最後になりますが、後援頂いた国土交通省東北地方整備局、宮城県、仙台市、東北大学災害科学国際研究所、協賛頂いた(公社)仙台観光国際協会にお礼を申し上げます。また、準備や運営に携わった11主催学会の関係各位、運営委員の皆様(市村強、永野正行、松岡昌志、五十子幸樹、伊藤拓海、岩田知孝、植竹富一、奥村与志弘、香川敬生、小濱英司、楠浩一、高橋良和、中村晋、林能成、松岡太一、皆川佳佑、樋口俊一、丸山喜久、秋山充良、入江さやか、小野祐輔、清田隆、酒井久和、森口周二、運上茂樹、大野晋、河井正、柴山明寛、福留邦洋)、本シンポジウムの企画運営の事務作業を担当いただいた日本地震工学会小松康典事務局長、戸田薫子事務局員、東北大学小野田博子事務補佐員に厚くお礼を申し上げます。

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下さい。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。ぜひご活用ください。

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 https://www.jaee.gr.jp/

会員ページ https://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 https://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 (https://www.jaee.gr.jp/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8巻 第1号 (通算第23号) が2019年4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で掲載しており、最新号(第7巻 第3号)では、特集として北海道胆振東部地震 とインドネシア・スラウェシ島地震について、様々な分野の先生方に執筆頂いておりますので、ぜひご覧ください。

https://www.jaee.gr.jp/jp/stack/1925-2/

■ ご寄附のお願い

日本地震工学会は、地震工学及び地震防災に関する学術・技術・教育の進歩発展をはかり、地震災害の軽減に貢献すること を目的に、全ての事業を公益活動として推進しております。

2013年5月に「公益社団法人」格を取得し本会が「公益社団法人」として認められたことから、皆様方からの学会への御寄附に 対して税制上の優遇措置が認められることとなりました。

本会が公益活動をさらに強化し、社会貢献活動を行っていくためには、財政強化が不可欠であり多くの方々のご寄附が必要 です。是非とも皆様からのご支援をお願い申し上げます。

ご寄附をいただける方は、WEBサイト「公益社団法人 日本地震工学会 寄附のお願い」(https://www.jaee.gr.jp/jp/ donation/)をご参照のうえ、お申込みいただきますようお願いいたします。

(連絡先)

公益社団法人 日本地震工学会事務局

TEL: 03-5730-2831 E-MAIL: office@general.jaee.gr.jp

■ 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:

本号は、「首都直下地震」と題した3回のシリーズの第2回目にあたり、地震時の被害の情報をどのように収集するか、に焦点をあてました。緊急時には、迅速な情報収集、組織間の情報共有が、被害の拡大を抑えることにつながります。本記事では、それらを実現するための体制の整備、さらには、被害情報を収集・共有するための技術等を紹介いたしました。執筆者の方々からいただいた記事を拝読するにあたり、こういった備えの蓄積が、想定外の事象に対しても被害を小さくすることにつながると強く感じました。また、被害情報と言っても、国や都道府県レベルから住民レベルまで様々な段階があり、内容も多岐に渡り、全てを網羅するのは難しく、紹介した範囲には限りがありますが、会員の皆様にとって有益なものとなれば、幸いです。

本号を取りまとめるにあたり、年末年始のお忙しい時期に、執筆者の皆様を始めとし、編集・校正作業にご協力いただいた方々に、心より感謝申し上げます。

鈴木 比呂子(千葉工業大学)

本号の特集は、近い将来発生することが予想されている首都直下地震における被害把握をテーマに、関連する各分野でご活躍されている方々にご執筆頂きました。国や自治体、様々な事業者の取り組みから、SNSやドローンなど新しいテクノロジーを用いた被害の把握まで多彩な内容をご紹介いただいています。私自身知らないことが多く大変勉強になると同時に、このような取り組みがなされていることに頼もしくも感じました。読者の皆様にも、きっと有益なものと思いますので是非ご覧いただきたいと思います。

執筆者の皆様には大変お忙しい中ご執筆頂き本当にありがとうございました。また、編集や校正作業に携って下さいました方々にも、心より御礼申し上げます。

西村 隆義(ジェイアール総研エンジニアリング)

会誌編集委員会

委員長 平田 京子 日本女子大学

幹 事 鈴木比呂子 千葉工業大学

幹 事 西村 隆義 ジェイアール総研エンジニアリング 委 員

委 員 入江さやか NHK放送文化研究所

委 員 大野 卓志 高圧ガス保安協会

ブ 委 員 塩見 謙介 IHI

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 沼田 宗純 東京大学生産技術研究所

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 古川 洋子 日本女子大学

委 員 山田 真澄 京都大学防災研究所

日本地震工学会誌 第36号 Bulletin of JAEE No.36

2019年2月28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 2019 本誌に掲載されたすべての記事内容は、日本地変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