

セッション C

- | | | |
|------|---|-------|
| C-1 | 道路インフラ復旧優先順位判断支援の定性的評価手法の一提案 | 山崎 暢 |
| C-2 | 市町村境界を越えた3次緊急輸送道路の接続に向けた取り組み | 千葉 啓広 |
| C-3 | 道路啓開を担う地場の建設会社の災害対応能力の検討 | 新井 伸夫 |
| C-4 | 2021年2月の福島県沖の地震の強震動分析 | 鈴木 崇伸 |
| C-5 | ALOS-2画像を用いた2021年2月福島県沖地震の被害抽出と現地確認 | 山崎 文雄 |
| C-6 | 地震動分布のモード分解とランダムフォレストに基づく予測モデル | 高橋 幸宏 |
| C-7 | 「住まい」をテーマとした構成要素の構造化と災害による変化を表現する試み | 荒木 裕子 |
| C-8 | 2016年熊本地震における益城町の罹災証明データに基づく全壊建物に占める層破壊建物の割合についての考察 | 河辺 賢 |
| C-9 | 夜間発生地震に対する人体損傷度関数の適合性並びに応用拡張性の検討 | 小林 純平 |
| C-10 | 地震火災時におけるリアルタイム避難誘導情報伝達のためのプロトタイプシステムの開発 | 鈴木 雄太 |
| C-11 | 津市消防本部救急活動記録を用いた救急搬送実態評価
2020年4月新型コロナウイルス感染症緊急事態宣言前後に注目して | 志垣 智子 |
| C-12 | GISを用いたコンテキストを含む津波避難行動のデータベース化
ー岩手県大船渡市綾里地区・陸前高田市小友地区での事例ー | 池田 浩敬 |
| C-13 | 地方自治体の建設関連部局での水害対応ヒヤリ・ハット事例の分析 | 大原 美保 |
| C-14 | 常時微動による吾妻小富士火口縁の振動特性の分析 | 山田 雅行 |
| C-15 | 2011年紀伊半島大水害の経験を踏まえた公共土木施設災害復旧における現場対応の課題について
ー建設部長経験者へのアンケート調査ー | 太田 和良 |

- | | | |
|------|---|-------|
| C-16 | 群衆シミュレーションを適用したペDESTリアンデッキ上の避難誘導方策の評価 | 糀谷 幸嗣 |
| C-17 | 横浜市の地域防災拠点を対象としたマルチハザード評価
－避難者数に着目した基礎的研究－ | 落合 努 |
| C-18 | マルチハザードを想定した農作物被害のリアルタイム推計について | 崔 青林 |
| C-19 | 火山の噴火事象系統図・状態遷移図に期待すること | 南沢 修 |

道路インフラ復旧優先順位判断支援の定性的評価手法の一提案

Proposal of a new qualitative evaluation method
to support road infrastructure restoration priority judgment

○山崎 暢¹, 西川 智¹

Toru YAMAZAKI¹ and Satoru NISHIKAWA¹

¹名古屋大学減災連携研究センター

Disaster Mitigation Research Center, Nagoya University

Roads are one of the most important items in social infrastructure. The Nankai Trough earthquake, which is feared to occur in the near future, is foreseen to cause great damage to the Pacific Ocean side of western Japan. There is a great concern that numerous roads will be damaged by debris of collapsed buildings, tsunami inundation, liquefaction, etc.

However, the number of heavy construction equipment required for road restoration is limited, and it is practically impossible to restore all damaged roads at once. Furthermore, since a system that supports the determination of priorities in recovery has not yet been established, it is inevitable that parties to undertake recovery will clash to secure heavy machinery for their missions. This paper proposes an evaluation method that supports the decision-making of road managers when prioritizing road restoration.

Keywords : Nankai Trough Earthquake, Road infrastructure restoration, Construction heavy equipment competition, Priority evaluation method, Decision support

1. はじめに

道路は社会インフラの中で最も重要なものの一つである。将来発生が予測される南海トラフ大地震では西日本の太平洋側地方が甚大な被害を受けることが想定されており、道路も同様に津波浸水や液状化等の被害を受けることが懸念されている。

いかなる社会インフラの復旧もまずは道路を機能させることが必要である。しかし前出論文（地域安全学会梗概集 No. 47, 2020. 10 ; 16）で考察したように道路復旧に必要とされる建設重機の数は限られており、不足気味なことがわかった。そしてこれに対して道路復旧計画にあたり優先順位の判断支援をするシステムは未だ確立されていない。

南海トラフ地震に対しては国土交通省中部地方整備局が“中部版くしの歯作戦”を作成し、被害想定の下、三日以内の人命救助、一週間以内の緊急物資輸送用の道路啓開を実施すべく計画している。しかし、その後の道路復旧計画の方針は練られていない。本稿は道路復旧の優先順位付けにあたり、道路管理者の意思判断を支援する一評価手法を提案するものである。

2. 優先順位の考え方

被災後一週間は“中部版くしの歯作戦”の主旨に則り“重要かつ緊急性の高い”道路が優先して復旧される計画になっている。当評価手法は想定地震被災一週間以後の状況を想定している。

一週間以後はそれまでの“重要かつ緊急性の高い”ことを念頭におきつつ、道路復旧優先順位判断の指標として“難易度”と“復旧効果”の2つの評価軸を設定する。すなわち、“難易度が低くて復旧効果の高いものは優先度が高く、難易度が高くて復旧効果が低いものは優先度が低い”という考え方である（図1）。

ここで、難易度としては復旧工事期間の長短を考慮し、

復旧効果としては社会インフラ復旧効果と個人生活に対する復旧効果を考慮する。なお、個人生活の復旧に対しては更に“生活”と“生業”の二つを考える（表1）。

なお、本評価手法の目的は比較検討する道路の優先順位をつけることであり、復旧目的に該当しなければ表-1のすべての項目について評価する必要はない。

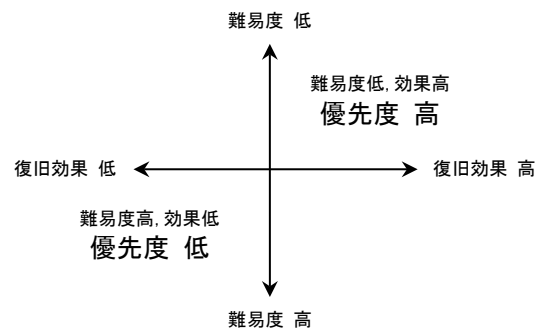


図1 優先順位の考え方

表1 定性的評価システムの評価の視点

評価の視点		
難易度	1	物理的復旧難易度 (工事期間)
復旧効果	地域	2 社会インフラ復旧効果
	個人	3 生活復旧効果 4 生業復旧効果

3. 評価項目

(1) 難易度

1) 復旧工事の難易度を工事期間で評価

道路の位置・形態と地震時の主な被害の有無を整理す

るとおおよそ表2の通りになる。

表2 道路の位置・形態の種類と主な地震時の主な被害
(太字は一般的に総工事期間が長い)

	平地地			山間地	川・海の 橋梁	山・海底 トンネル
	直上	高架	土盛			
	構築物被害	—	あり			
瓦礫堆積	あり	—	—	—	—	—
段差・陥没	あり	—	あり	あり	あり	—
土砂崩れ	—	—	—	あり	—	—
液状化	あり	あり	あり	—	—	—
津波浸水	あり	—	—	—	—	あり

道路関連の構築物に限らず人工的に作られた地上の構築物は地下埋設物と比べて相対的に地震に弱い。地上構築物が被害を受けると、工場での製作部材が生じるために図面の作成・材料手配から一連の製造手順の流れがあるため総じて工事期間が長くなる。人海戦術による大幅な工期短縮が成立しない。

では工期が短い、あるいは短くできると復旧計画に対してどのような影響があるのか。例えば複数の現場がある場合、人・資材を集中配置させることが有効であることは一般的に知られている。図2は復旧資材を集中させ、かつ工期の短い工事を優先させた場合に復旧範囲が早期に広がることを示す比較図であり、これが“復旧工事期間が短いほど難易度が低く、優先度が高い”とする理由である。

復旧資源	現場	工事期間	一時間
集中配置	A	工事	使用可能
	B	→ 工事	→ 使用可能
	C	→ 工事	→ 使用可能
	D	→ 工事	→ 使用可能
分散配置	A	→ 工事	→ 使用可能
	B	→ 工事	→ 使用可能
	C	→ 工事	→ 使用可能
	D	→ 工事	→ 使用可能

図2 資源の集中配置と短工期優先による復旧効果

工事期間は重機や人材等の復旧資源の配分により異なってくるため、現実に可能な組み合わせとすることが必要がある。検討時点で配分可能な復旧資源の多少の組み合わせにより複数の工事期間案があっても構わない。

なお、工事期間の算出にあたっては土木・建築業者の協力が不可欠であるが、道路管理者が早期に優先順位の目安をつけることを目的に被災内容別の超概略期間を選択できるメニューを用意した(図3)。

(2) 復旧効果

道路を復旧した場合の効果の有無については、地図を利用して目視確認する。当手法では基盤地図に中部地方整備局が扱う KML ファイルと親和性が高い Google Earth Pro (フリー) を使用した。なお、Google Earth Pro は GIS に広く用いられる Shape ファイルをそのまま読み込むこともできる。

1) 社会インフラ

“社会インフラ”とは日常生活の活動基盤となるものである。具体的には道路・鉄道・上下水道・電気・情報通信・港湾・ダムといった産業基盤となる施設の他、生活基盤となる学校・病院・公園等、公共性の高い施設・設備を示す。本手法ではこれらの社会インフラを主にして

道路復旧による効果の対象を内容別に6つにグルーピングした(図4)。

被害場所	被害形態	概略復旧期間								
		3日	1週間	1ヶ月	2ヶ月	半年	1年	2年	2年起	
切土・盛土	1 崩壊	盛土の大規模崩壊							2年	
		盛土の中規模崩壊						1年		
		源状化による路面損傷						半年		
	2 亀裂・陥没・段差・隆起	切土の大規模な斜面崩壊								2年起
		切土の中規模な斜面崩壊							2年	
		擁壁崩壊・崩土堆積						半年		
橋梁	4 落橋	高架橋倒壊・せん断破壊・座屈							1年	
		橋げた移動						半年		2年
	6 支大部の損傷	支束の破損(全体)							1年	
		支束の破損(部分)							半年	
	7 橋脚・橋台・基礎の損傷	既設段落下部損傷・S造座屈							1年	
		軽微な部分的損傷							半年	
	8 橋梁取付部の段差		1週間							
	9 覆工コンクリートの崩落							半年		
トンネル	10 横断歩道橋の被害	道路構造物に与える影響小さい								
付帯施設	11 信号機等の被害	3日								
	12 占用施設の被害					2ヶ月				
占用・沿道施設	13 沿道建築物からの落下物		1週間							
	14 沿道建築物の倒壊			1ヶ月						
	15 樹・積石の倒壊	3日								
	16 電柱・立木の傾斜・倒壊	3日								
	17 道路への積落下			1ヶ月						
その他	18 津波による浸水			1ヶ月						
	19 市街地火災	3日								

図3 被害形態毎の超概略工事期間

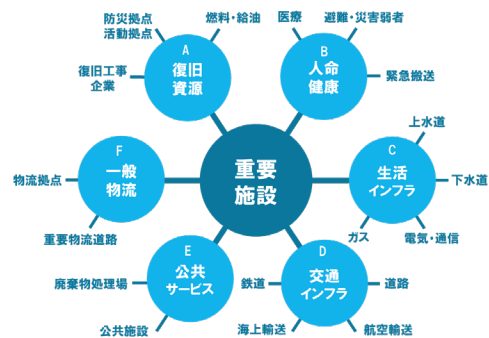


図4 グルーピングした復旧効果

実際に評価する場合には図4に示す全ての項目に対して効果を確認する必要はない。復旧のタイミングや目的・社会の要望等に応じて比較検討する項目を絞って検討するのが検討時間が短くなり効率が良い。

2) 生活復旧

災害後には“より多くの人を立ち直らせる”ことが重要である。“早く立ち直った人が多いほど全体復旧が早い”からである。図5は人口割合の高い、あるいは低い順に復旧した場合の全体復旧期間の長短のイメージ図である。人口割合の高い順に復旧した方の全体復旧時間が短いことは明らかで、これが人口密度の高い地区の道路復旧優先順位を高くする理由である。

当手法では人口の多少の区分として DID (人口集中地区) を指標とした。その理由は DID が国勢調査による統計上の地区であり、狭義の都市としての市街地の規模を示す指標とされているからである。

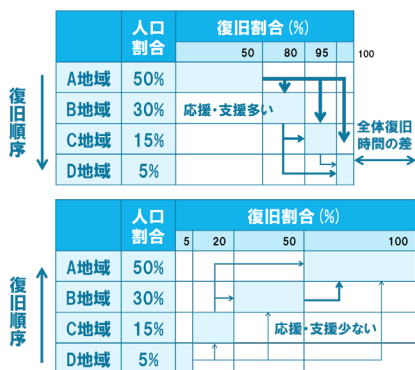


図5 復旧順序による全体復旧時間の違い

3) 産業復旧 (生業)

当手法では愛知県を事例として設定した。愛知県の産業は自動車産業に代表される製造業が突出している。愛知県と全国平均の産業構成比において製造業の占める割合は多く、全国平均の1.7倍の数値である。また出荷額においては42年間連続日本一の出荷額を誇っており、比肩する都道府県はない(図6)。

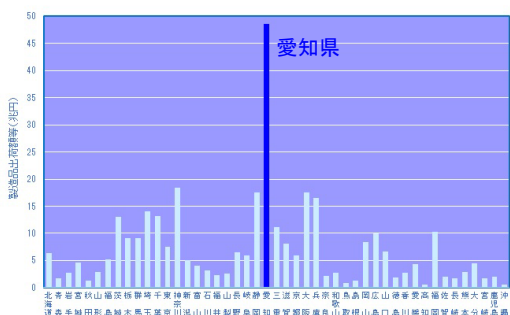


図6 各都道府県の製造品出荷額 (経済産業省;2019年工業統計速報)

愛知県内の製造業の内、トヨタ自動車グループに代表される輸送用機械器具製造業は日本で第一位である。しかし、その他の製造業の多くも第一位、もしくは上位に位置している。県内の産業集積地の概要は図7の通りである。製造業にとって物流は復旧の要であることから、産業復旧の効果としては“産業物流復旧”について評価する。



図7 産業別集積地区と出荷額全国順位 (●白抜き数字が順位)

全国の物流調査結果及び平日の大型車交通量調査等から、日本の主要な物流道路は太平洋ベルト地帯となる東西軸の道路(高速道路及び一般道路(国道23号線, 国道1号線))であることがわかる(図8)。



図8 主要な物流ライン (平日の大型車交通量調査を利用して作図)

一方、中部都市圏内々の物流量については中京都市圏物流流動調査にて明らかにされており、“物資流動量の約半分は中京都市圏内で占められている”ことが報告されている(図9)。

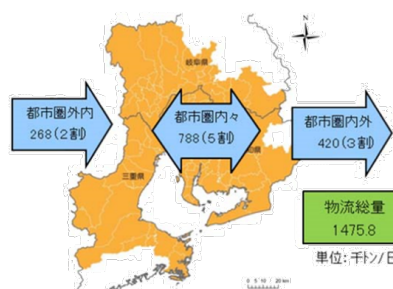


図9 中部都市圏の物流

以上のことから、中部都市圏内の産業復旧には関東・関西に繋がる主要物流道路のみでなく、中部都市圏内の物流道路も併せて考慮する必要がある(図10)。

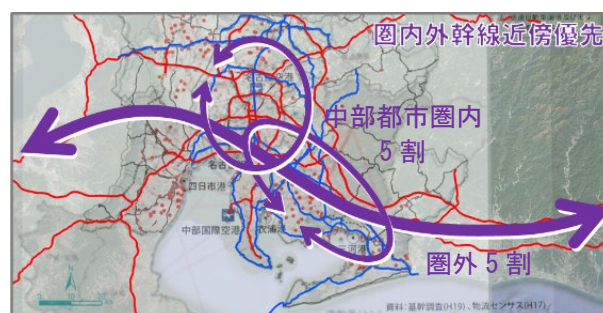


図10 産業復旧のための主要物流道路イメージ図

当手法では県内の大規模事業所の位置を考慮し、産業復旧効果を評価するための主要な道路として以下の道路を指定した。

高速道路, R1, R23, R41, R155, R247, R248, R259, R366, R419, 知多中央道路・横断道路, 知多と西三河を繋ぐ道路(衣浦トンネル+県道, 衣浦大橋+県道)

優先度については指定道路に近い順に優先度が高いものとする(図11)。なお、高速道路から距離についてはI.C.からの距離とする。



図11 道路復旧優先順位の基本的な考え方 (数字は優先順位)

4. 評価手法

優先順位決定にあたっては4つの視点からの評価点と、地域住民や産業界からの要望等を考慮して決める。

各項目の点数のデフォルト値として以下の数値を設定する。但し、あくまでも優先順位をつけるための区分・点数付けなので、区分数の変更や点数の設定等を復旧タイミングに応じて自由にカスタマイズして構わない。

表3 評価区分と初期デフォルト値

評価の視点		評価点			
難易度	工事期間の長短	A	6	一週間以内	
			5	一箇月以内	
			4	三箇月以内	
			3	六箇月以内	
			2	一年以内	
			1	一年超え	
復旧効果	地域	社会 インフラ 復旧効果	B	2	項目毎に評価し、効果ありの場合はそれぞれ2点
				1	比較する全ての項目に対して効果なし
	個人	生活 復旧効果	C	3	人口集中地区を貫通、又はその周囲の道路
				2	人口集中地区を結ぶ主要な道路
				1	上記以外
		生業 復旧効果	D	3	指定道路から1.5km、又は指定高速道路I.C.から2.5km以内
				2	指定道路から3.0km、又は指定高速道路I.C.から5.0km以内
				1	上記以外

総合評価点を以下のようにして求める。

$$\text{総合評価点} = A \times B \times C \times D$$

掛け算にした理由は、

- ・評価項目毎の重みづけを不要にする
- ・難易度・復旧効果が高いものを際立たせる

ためである。なお、社会インフラ復旧効果において効果が複数ある場合は点数の総和をBとする。

5. 評価

評価は一覧表示とし、数値で評価された優先度の高さをレーダーチャートで目視確認できるようにしている。例を図12に示す。当然ながら優先順位の最終決定は人間の判断によるものとしている。



図12 評価作業イメージ写真

6. 手法の拡張性

本手法の将来拡張項目として以下に示すデータの活用も視野に入れている。但し、データ入手において関連業界関係者や市民の協力が必要になるために、公的

機関の後押しと個人情報を守る仕組みが必要になると考える。

復旧難易度

工事期間の精度向上のための復旧データの追加
GPSによる災害時の建設重機の情報共有化

社会復旧効果

即時情報の共有化
(生活・交通インフラ, 被災者, 医療等)

生活復旧効果

スマートホン等を利用した鮮度の高い人口密度情報

産業復旧効果

業界団体による企業活動の復旧状態情報

全ての情報を得ることは難しいが、広い視野からより多くの即時情報をつかむことでより適切な判断を下すことができると考える。

7. おわりに

本稿では現段階で入手可能なデータを元に道路復旧優先度の判断支援手法を提案した。当手法は地震被災時に限らず活用でき、広域に離れた複数の道路や狭域の近場の道路でも適用可能である。

また、立場の異なる道路管理者間における重機分配調整時の話し合い時にも俯瞰的な観点から比べることで重機使用衝突を回避することができると考えている。

謝辞

本研究は、内閣府総合科学技術・イノベーション会議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(防災・減災)の強化」(管理法人:防災科研)によって実施されました。

参考文献・資料

- 1) 南海トラフ地震後の道路復旧に必要な建設重機に関する実態調査と考察(地域安全学会梗概集 No. 47, 2020. 10; 16, 山崎他)
- 2) 中部版「くしの歯作戦」(令和元年5月改訂版)
https://www.cbr.mlit.go.jp/numazu/bousai/kushinoha/pdf/1905_kushinoha.pdf
- 3) 道路震災対策便覧(震前対策(H18)・震災危機管理(H23)・震災復旧(H19)編改訂版(公社)日本道路協会)
- 4) 国土数値情報(国土交通省)
<https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/index.html>
- 5) 都道府県別製造品出荷額等(愛知県産業立地通商課:2019年工業統計概要版(経済産業省))
<https://www.pref.aichi.jp/ricchitsusho/gaiyou/structure.html>
- 6) 平成27年度全国道路・街路交通情勢調査
<https://www.mlit.go.jp/road/census/h27/>
- 7) 第10回2015年全国貨物純流動調査(物流センサス)
<https://www.mlit.go.jp/common/001184113.pdf>
- 8) 第5回, 第6回物資流動調査報告書(中京都市圏総合都市計画協議会)
<https://www.cbr.mlit.go.jp/kikaku/chukyo-pt/buturyu/p05.html>

市町村境界を越えた3次緊急輸送道路の接続に向けた取り組み

Efforts to Connect Third Emergency Transport Roads that cross municipal boundaries

○千葉 啓広¹, 幸節 静奈², 倉田 和己¹, 新井 伸夫¹, 野村 一保¹, 福和 伸夫¹

Chiba YOSHIHIRO¹, Shizuna KOSETU², Kazumi KURATA¹, Nobuo ARAI¹,
Kazuyasu NOMURA¹ and Nobuo FUKUWA¹

¹名古屋大学減災連携研究センター

Department of Disaster Mitigation Center, Nagoya University

²知立市役所安心安全課

Safety and Security Division, Chiryu City

Of the emergency transportation roads in Aichi Prefecture, only the primary and secondary roads are designated by the prefecture, and the tertiary emergency roads are designated by each basic municipality as needed. At this time, the focus is mainly on disaster response and goods transportation within each municipality, lacking the perspective of wide-area goods transportation and mutual support. This paper shares the current issues and examines how tertiary emergency transport roads should be designated and the challenges of connecting them across municipal boundaries in the Nishi-Mikawa region of Aichi Prefecture, with a view to implementing mutual support in times of disaster.

Keywords : emergency transportation roads, mutual support, Regional Collaboration, municipality

1. はじめに

緊急輸送道路（以下、輸送道路）は、「災害直後から、避難・救助をはじめ、物資供給等の応急活動のために、緊急車両の通行を確保すべき重要な路線」であり、高速自動車国道や一般国道及びこれらを連絡する幹線的な道路を主な対象として、全国に約 10 万 km が指定されている¹⁾。輸送道路の指定は主として都道府県や政令市が行い、1 次、2 次、3 次の 3 つに区分される。

愛知県における輸送道路の内、県が指定するのは 1 次・2 次のみで、3 次輸送道路⁽¹⁾については、必要に応じて主として各基礎自治体が指定する²⁾³⁾(表 1)。

この時の視点は、各市町村内の災害対応や物資輸送が主で、それぞれの実情に合わせた指定ができる可能性の一方で、広域物資輸送や、相互応援の視点が欠けている。本稿ではこうした現状の課題を共有するとともに、災害時の相互応援の実施を視野に、3 次輸送道路の指定のあり方や、市町村境界を越えた接続に向けた課題について、愛知県西三河地域を対象に検討するものである。

2. 研究方法

本稿では、市町村が指定する 3 次輸送道路の市町村を

越えた接続の取り組みの事例として、愛知県西三河地域の 9 市 1 町が協定に基づいて進める、西三河防災・減災連携研究会（西三河研究会）の道路プロジェクトチーム（道路 PT）の取り組みをケーススタディとして、その会議資料の文献調査や各市町の担当者へのヒアリングやアンケート結果に基づいて、市町が指定する 3 次輸送道路の課題や可能性の検討を行う。

研究は、まず 3 章で対象地域のこれまでの取り組みを概括した上で、各市町の 3 次輸送道路の指定方針や市町を越えた接続に対する意向について、アンケート結果に基づいて整理を行う。次いで、4 章では、接続に向けた取り組み状況のケーススタディとして、知立市と周辺 3 市の取り組み結果を考察し、次の 5 章で、その取り組み結果の考察から、市町村境界を越えた 3 次輸送道路の接続を検討する上での課題と可能性について述べる。

3. 対象地域とこれまでの取り組み

本研究の対象地域である、愛知県西三河地域を構成する 9 市 1 町は、災害時の自治体間連携を達成するために、2013 年に、「西三河災害時相互応援協定」を結ぶとともに、「西三河研究会」を結成し、特に中部圏で想定され

表 1 緊急輸送道路と関係する拠点

種別	関係する拠点
第1次緊急輸送道路	県庁所在地、地方中心都市、重要港湾、空港等
第2次緊急輸送道路	第1次緊急輸送道路、市区町村役場、防災拠点(行政機関、公共機関、港湾、災害医療拠点、自衛隊等)
第3次緊急輸送道路	その他の道路 ※愛知県緊急輸送道路ネットワーク計画等策定協議会、又は市町村の防災計画で定める
【参考】くしの歯ルート	津波等により甚大な被害を受けた地域での救援・救護活動を支援するための「道路啓開」を最優先に行う道路(第1次及び第2次緊急輸送道路から選定する)

ている、南海トラフ地震等の大規模広域災害の発災に備え、地域連携による共助の取り組みについて継続的な協議を行っている。研究会では、取組みの一環として、各年度1回、ワークショップ形式の議論の場を設けている。3次輸送道路の市町を越えた接続については、2016年度のワークショップにおいて、「緊急輸送道路などの道路被害と復旧の課題」をテーマに議論を行った結果、検討課題として示されたものである。その後、各市町が個別に検討を進めていたが、2019年度の研究会において、緊急輸送道路プロジェクトチーム（道路PT）を立ち上げ、各市町の輸送道路の現状を確認するとともに、市町を越えた3次輸送道路の接続の可能性について、検討を進めることとなった。

(1) 研究会における道路PTの取組み

研究会では、協定に基づいた連携の取組みを進めるべく、それぞれが抱える課題をベースに複数（概ね3つ）のプロジェクトチームをつくり、各年度活動を行っている。道路PTは、2019年度と2020年度の2カ年取組みを行っている。活動内容は、西三河地域を構成する9市1町（以下、各市町）の第3次輸送道路の指定状況及び指定方針の情報共有及び、市町間で未接続の3次輸送道路について、市町境界を越えた接続の検討が行われた。

(2) 3次輸送道路の指定方針

道路PTでは、2019年度の取組みを行うにあたって、3次輸送道路の指定方針の調査を行った（表2）。この結果、避難所や防災活動拠点など、10市町中、7ないし、6項目と比較的共通する項目はあるものの、市町ごとに指定方針が必ずしも一致しないことがわかった。一方で、

表2 3次緊急輸送道路の指定方針

市町	防災活動拠点	医療拠点	避難所	ライフライン
岡崎	○	○		
碧南市			○	
刈谷市			○	
豊田市	○	○	○	
安城市	○	○	○	○
西尾市	※	※	※	※
知立市	○	○	○	
高浜市	○			
みよし市			○	
幸田町	○		○	○

※西尾市は、各項目と1次・2次との未接続区間を指定する方針

このことは視点を換えれば、各市町の実情に合わせて柔軟に指定されている表れともとれる。

(3) 3次輸送道路の市町を越えた接続に関する考え

3次輸送道路を市町境界を越えて接続することへの各市町の考え方は、表3の通りである。概ね接続に向けた取組みを行うことには反対意見はなかった。しかし、豊田市では、既に市町を越えた接続に向けて取り組んでいる一方で、接続に向けたスタンスには差異があった。そこで、一部の市町からの意見（表3のアンダーライン）も踏まえ、災害時に緊急性の高い項目の内、相互応援の視点も含めた、物資輸送の観点に絞って、3次輸送道路の接続の検討を行うこととなった。

4. 3次輸送道路の接続に向けたケーススタディ

本稿では、接続に向けた取組みの中から、知立市の取組を整理し、考察を行う。知立市は、西三河地域のほぼ中央に位置し、尾張地域と東三河地域を連絡する交通の要衝であり、豊田市、安城市、刈谷市と接している。また、相互応援協定に従って、南海トラフ地震発災後に地域連携による共助を行う場合、相対的に影響が軽度と考えられる西三河北部から、南部の西尾市や碧南市等に向けての応援が考えられる。知立市は、西三河地域の南北の交通においても要衝にあることから、災害時の物流を考える上で重要な自治体であるといえる（図1）。

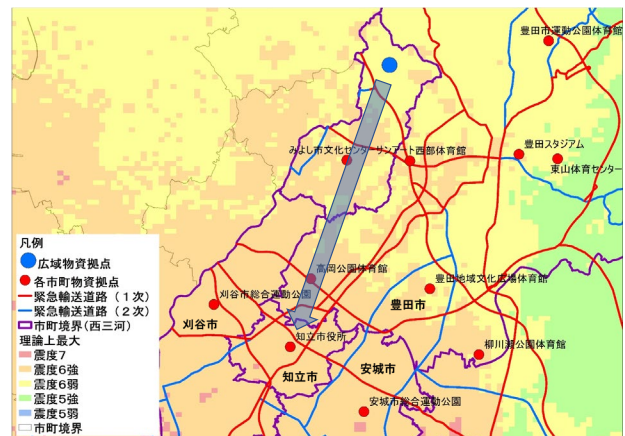


図1 広域物資拠点と対象地域の物資拠点（市町）

表3 3次輸送道路の接続に向けた各市町の考え

市町	接続に向けた考え
岡崎	市町を越えた接続について反対ではないが、必要性や効果を示す必要がある。
碧南市	災害相互応援協定を踏まえた物資支援を目的として繋げていく考えでよい。
刈谷市	接続については同意するが、どういう条件で指定するか基準の擦り合わせ等が行えるとよい。
豊田市	既に、市外のネットワークが必要と考え、隣接市町と調整をした上、緊急輸送道路と啓開道路を指定している。
安城市	片方の市境まで指定されている箇所を結ぶのか、全体的にカバーできるように結ぶのか検討が必要。
西尾市	「物資」の支援を目的として市町間をつなぐことは大切であると思います。ただし、一定の基準を設けることが必要。
知立市	啓開する道路の考え方や規格（道路幅など）が自治体により異なるので、隣接する自治体間同士で検討するのが望ましい。
高浜市	道路啓開の優先度を踏まえると、「救助・消防活動」を検討の切り口とする必要であると考えます。
みよし市	物資輸送を目的とした緊急輸送道路を結ぶ必要と考えており、出発地点と目標地点を設定し合理的な輸送路の検討が必要。
幸田町	まず、生活に必要な物資の支援について検討し、その後ライフラインや産業界の復旧等についてもクリアしていく。

(1) ケーススタディ地域における取組み

知立市では、2016年に実施した西三河研究会によるワークショップ時の指定方針は、全ての防災備蓄倉庫を結ぶルートを選定しており、3次輸送路の指定が他の市町に比べ多い状況だった(図2)。その後、ワークショップでの他市町の指定状況(図3に例示)や優先して啓開すべき道路の再検討を行った結果、後述(図4)のより重要な拠点を結ぶルートへ絞り込む見直しが行われた。見直し後、2019年度の道路PTの開始時点では、知立市境界でつながっていない3次輸送道路が1箇所あった。

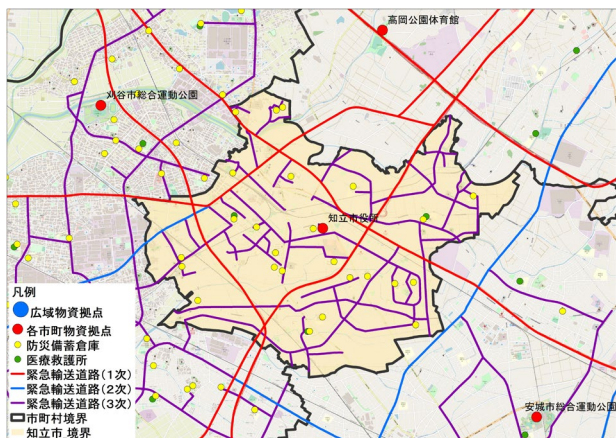


図2 知立市の3次輸送道路の指定状況(2016)



図3 他市町の3次輸送道路の指定状況の例

(2) 市町を越えた3次輸送道路の接続の検討

図4は、2020年度までの道路PTの取組みの結果の一部を示すものである。西三河地域における取組みの内、知立市とその隣接市である、刈谷市との接続(A地点)、安城市との接続(B地点)、豊田市との接続(C地点)の3つを示している。以下、それぞれの結果と接続により発揮されることが期待される効果について考察を行う。以下の考察では、市町の物資拠点と北部の広域物資拠点間の輸送を想定し、かつ、3次輸送道路が1次・2次に輸送道路に準じて早期に啓開対象⁽²⁾であることを前提に行うものである。

① 刈谷市と知立市の3次輸送道路の接続

知立市の北西部のA地点は、刈谷市との市境であり、双方の3次輸送道路が近隣まで指定されていた。2020年度における取組みにより、双方が互いの3次輸送道路を延伸し、接続することになった。

この結果、知立市側から見ると、A地点から刈谷市の

3次輸送道路に入り、1次輸送道路に指定されている、国道23号線(R23)の北側の地点へのアクセスが可能となる。知立市においては、既存の3次輸送道路でも、R23に接続している。しかし、南海トラフ地震の被害想定を考えたとき、震源の近い知立以南の想定が相対的により影響が大きいことが推測され、現状より北側に、1次輸送道路へのアクセス場所が増えることは、発災後の物流を考えると、冗長性が向上したと捉えることができる。一方、刈谷市側の視点から見ると、A地点から新たに指定された知立市の3次輸送道路を通り、1次輸送道路の国道155号線(R155)を経由し、より北側の豊田市内にアクセス可能となる。既存の3次輸送道路の指定状況でも、刈谷市内の国道1号線(R1)やR23の1次輸送道路にアクセス可能であるが(西まわり)、今回のA地点における双方の3次輸送道路の接続により、東まわりのルートでも、相対的に影響が少ないことが想定される西三河の北部にアクセスが可能となっている。

② 安城市と知立市の3次輸送道路の接続

知立市の北東部のB地点は、安城市との市境であり、双方の3次輸送道路が近隣まで指定されていた。2020年度における取組みにより、刈谷市のA地点と同様に、双方が互いの3次輸送道路を延伸し、接続することになった。

この結果、知立市側から見ると、B地点から安城市の3次輸送道路に入り、2次輸送路に指定されている、県道12号線(K12)を経由して、豊田市へのアクセスが可能となった。知立市においては、既存の3次輸送道路でも市内のR155を経由して豊田市へのアクセス(①の刈谷市から知立市を経由するルート同)が可能であるが、冗長が向上したといえる。また、安城市内から、R1へアクセスすることも可能となり、1次輸送道路を利用する上での迂回路となり得る、一方で、安城市側からの視点からは、反対に、既存の3次輸送道路の指定状況でも、K12を経由して、豊田市側へアクセス可能であるが、双方の3次輸送道路の接続により、知立市の3次輸送道路から、R155を経由するルートでも豊田市側へアクセスできることとなった。

③ 豊田市と知立市の3次輸送道路の接続

知立市の北部のC地点は、知立市側が市境まで、豊田市側は市境付近まで、双方の3次輸送道路が指定されている(本章の1節で示した)、知立市で接続が成されていない(1箇所)。表3の通り、豊田市は3次輸送道路の市町を越えた接続について、道路PTの取組み以前から西三河の他市町と比較して積極的なスタンスであった。しかし、2020年度における取組みの中で、接続を検討したもの、現時点では見送りとなった。理由としては、接続を検討していた路線の橋梁区間の耐震性について、道路部局から懸念する旨の助言があったこと、また、知立市と豊田市間のルートは、①②でも示したルートが指定されていることなども踏まえて、現状では3次輸送道路の指定をしないとの結論となった。

④ 3次輸送道路の接続の取組み結果

知立市と隣接3市の市境を越えた3次輸送道路の接続に向けた取組みの結果、刈谷市と安城市の2市とは接続が実現し、上記で考察した通り、広域物資拠点と各市町の物資拠点間の輸送において冗長性が向上する可能性が示された。知立市では、2021年3月の地域防災計画の改定時にこの結果を反映させている。一方で、豊田市と

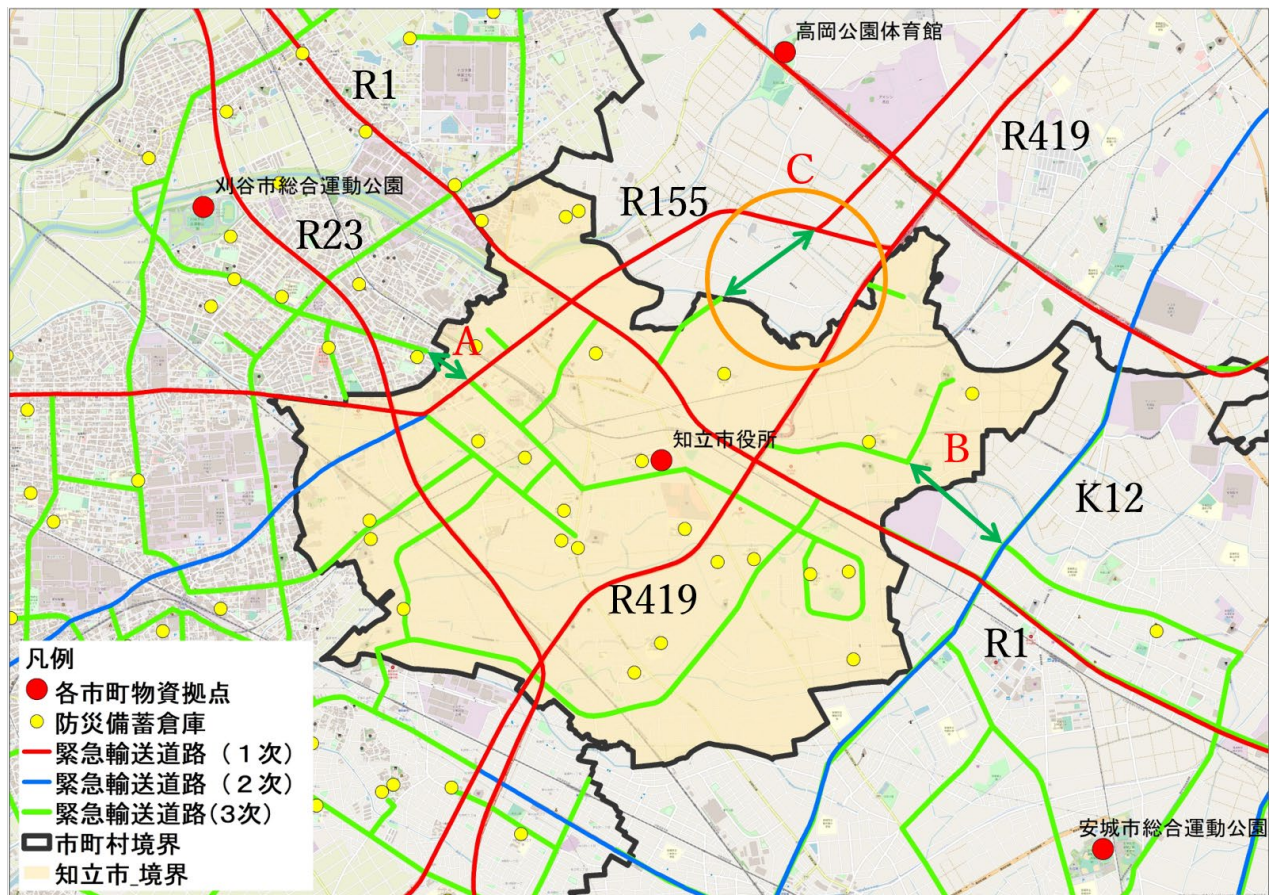


図4 3次輸送道路の接続に向けた取組み結果

の接続の検討においては、指定を検討していた路線に、耐震性の懸念があり、実現しなかった。その他の検討過程でも、沿道の建築物の耐震性を考慮する等、指定において、単に接続ありきではなく、慎重な指定方針が重要であることも示された。

5. 3次輸送道路の接続に向けた課題

最後に、市町村を越えた3次輸送道路の接続について、愛知県西三河地域の取組みから、その可能性と課題について示す。

前述の通り、西三河地域の9市1町の3次輸送道路の指定方針は異なっている。取組みを進める上で、統一した指定方針を検討することも考えられたが、検討に時間を要し、実務ベースの取組みにつながらない可能性も考えられた。本稿が対象とした道路PTの取組みで、物資輸送に対象を絞ったように、関係市町村が取組みやすい対象に絞ることで、実務ベースの取組みにつながる可能性がある。実際に知立市においては、隣接2市と3次輸送道路を接続し、地域防災計画の改定につなげている。

一方で、3次輸送道路の指定及び接続を行う上では、橋梁や沿道建築物の耐震性も影響することが、事例から明らかとなった。しかしながら、今回の検討の対象としたのは、「物資輸送」の観点からのみに過ぎない。「救助・医療」や「ライフライン」をはじめとした、他の観点からの接続に向けた取組みを検討することも重要であると考えられる。

謝辞

本研究の執筆にあたり、調査等にご協力を頂きました、西三河防災・減災連携研究会の関係者各位に深く感謝申し上げます。また、本研究の一部は、南海トラフ地震調査研究プロジェクト（文部科学省科学技術試験研究委託事業）によって実施されました。

補注

- (1) 愛知県地域防災計画には、3次緊急輸送道路について、愛知県緊急輸送道路ネットワーク計画等策定協議会、又は市町村の防災計画で定めた緊急輸送道路で、第1次、第2次緊急輸送道路以外の「その他の道路」とある。
- (2) 知立市の地域防災計画には、3次緊急輸送道路を早期啓開の検討対象とすることが、示されている。

参考文献

- 1) 国土交通省 web サイト（道路防災情報）
<https://www.mlit.go.jp/road/bosai/measures/index3.html>
 （最終閲覧日：2021年4月13日）
- 2) 愛知県：愛知県地域防災計画 一地震・津波災害対策計画一（令和2年月修正）年,pp.42-43,2020
- 3) 愛知県建設局道路維持課 web サイト
<https://www.pref.aichi.jp/douroji/business/calamity/>

道路啓開を担う地場の建設会社の災害対応能力の検討

Research on Disaster Response Capabilities of Local Construction Companies Responsible for Road Restoration

○新井 伸夫¹, 太田 尚², 加藤 直也²
 Nobuo ARAI¹, Hisashi OTA² and Naoya KATO

¹名古屋大学 減災連携研究センター

Disaster Mitigation Research Center, Nagoya University

²応用地質(株)

Oyo corporation.

If damage occurs on the route to the destination and movement or transportation is hindered, it is necessary to promptly restore the road, but for that purpose, the local construction company responsible for the work is required. It is necessary to start the activity promptly. So we conducted a questionnaire survey for the purpose of searching the actual conditions of disaster response capabilities of local construction companies in Tokai area. In this simple survey, it became clear that more than 70% of companies are worried about whether they can play the required role. And they are worried about arrangement of construction machinery as well as securing workers.

Keywords : disaster response, local construction company, road restoration

1. はじめに

災害発生後の被災地ではさまざまな対応が必要となるが、それらの対応が叶うかどうかは、必要とされる場所へ必要とされる人が移動できるか、必要な物が必要な量、運搬できるかどうか重要となる。目的とする場所への経路上に被害が生じ、移動、運搬に支障がでた場合、その箇所を速やかに啓開することが求められるが、そのためには、その作業を担う地場の建設会社が速やかに活動を開始することが必要となる。よって、実働部隊としての地場の建設会社の即応体制が十分に担保されるかどうかは、災害後の応急復旧を考えるうえで極めて重要なことである。

建設会社を含む多様な企業のBCPの策定状況については、例えば内閣府が定期的に調査を行っているが¹⁾、それら既往調査のほとんどは計画策定の有無を把握するにとどまっており、災害時の即応体制についての実態把握は十分とは言えない。

そこで、南海トラフ地震のような広域大規模災害に対する復旧戦略をより地域の実態に基づいたものとして策定することを目指し、その基礎的情報収集の一環として、東海エリアの建設会社の災害対応体制の実態把握を目的としたアンケート調査を実施した。本稿では、その調査結果の概要を報告する。

2. 地場の建設会社を対象としたアンケート調査

(1) 調査の概要

地域の道路啓開の実働部隊となるであろう地場の建設会社の備えの実情を把握することを目的にアンケート調査を実施した。アンケートでは、

- 1)大規模地震に見舞われたとしても、期待される初動対応が可能な状況か
- 2)速やかな初動対応の実現のために、道路管理者サイドに望むものはどのようなことか(どのような配慮、施

策があれば、速やかな対応のための準備を促進することにつながるか)

について尋ねている。調査対象は、中部圏の道路啓開作業を担う建設会社を想定し、中部地方整備局に「一般土木」として登録し、かつ管内に本社・本店のある建設会社とした。調査は、上記条件により抽出した137社を対象に2021年の1月末から2月上旬にかけて実施し、約6割にあたる83社から回答を得た。調査の概要を表1に示す。

表1 調査の概要

対象	中部地方整備局管内に本社本店を置いている建設会社
配布数	137社
調査方法	郵送：133社、メール：4社
実施期間	2021年1月27日～2021年2月10日
回収数(回収率)	83社/137社(全体回収率：60.5%)

回答を得た建設会社の規模を表2に、所在地を表3に示した。主に中規模の建設会社が回答を寄せており、愛知県を中心に岐阜、静岡を拠点にするところが多数を占める結果となった。

表2 回答した企業の規模

従業員数	回答数	構成比
20名以下	4	5%
21～300名以下	73	88%
301名以下	6	7%
無回答	0	0
合計	83	100%

表3 回答した企業の所在地

所在地	回答数	構成比
長野県	4	5%
岐阜県	20	24%
静岡県	13	16%
愛知県	35	42%
三重県	9	11%
その他の県	1	1%
無回答	1	1%
合計	83	100%

(2) 調査結果にみる地場の建設会社の即応体制の実情

まず、国、県、市町村等の道路管理者と災害時応援協定を締結しているかどうかを尋ねたところ、80社が「締結している」と回答した。その80社に対し「大規模地震に見舞われた場合でも、協定で求められている通り速やかに道路啓開を行い得るか？」を尋ねたところ、即応することに対して「少し不安がある」との回答が50社（63%）、「かなり不安がある」が10社（13%）と、あわせて60社（76%）が即応体制の構築に不安を感じていることが明らかとなった（表4）。

表4 大規模災害時にも即応することは可能か？

回答項目	回答数	構成比
はい/初動対応の計画を策定し、訓練も行っている	18	23%
少し不安がある/初動対応の計画はあるが、場合によってはすぐには動けないかもしれない	50	63%
かなり不安がある/大地震に見舞われたらすぐに啓開作業を行う自信がない	10	13%
わからない	1	1%
無回答	0	0%
合計	80	100%

さらに、「不安がある」と回答した60社に対してどのような不安があるのか、その具体的な内容を複数回答を許す形で尋ねたところ、作業員の確保、重機やオペレーターの確保に不安があるとの回答が、いずれも7割近くになる結果となった（表5）。これらの結果から、南海トラフ地震のような大規模災害にみまわれたエリアにおいては、道路啓開にあたるリソースの不足が現実のものとなる可能性の極めて高いことがうかがえ、復旧戦略の策定において、対応の優先順位を検討しておく必要のあることが推察される。

表5 即応体制に不安があると回答した会社を感じている不安の内容

回答項目	回答数	構成比
必要な作業員を集められるか不安	40	67%
必要な重機、およびオペレーターを集められるか不安	39	65%
必要な資材を集められるか不安	28	47%
その他	9	15%
無回答	3	5%

調査においては、道路啓開作業に用いる重機類について、自社で管理しているものがあるかどうか、自社で管理しているものがある場合、それはどれくらいの割合かも尋ねている。8割を超える会社が自社管理の重機があると答えているものの、自社で管理している重機の割合が20%以下のところが半数（35社：51%）を占め、他方、6割以上を自社管理の重機としているところは16社（23%）にとどまっていた。このことから、災害発生直後の重機調達に不安を感じる心情を理解することが可能と考える。

なお、即応体制の充実をはかっていくにあたり行政側で行い得る支援にはどのようなものがあるかを複数回答を許す形で尋ねたところ、表6のような回答を得た。入札にあたっての加点といった実利的なサポートに加え、道路管理者と連携した訓練を定期的実施することを望む声も7割近く存在した。

表6 即応体制の充実を手助けする手段とは？

回答項目	回答数	構成比
BCP、あるいはそれに準ずるような初動対応の計画を策定した場合には、総合評価などにおいて加点すること	57	69%
連携した訓練を定期的実施すること	56	67%
災害時にも使用可能な通信機器を貸与すること	46	55%
その他	3	4%
無回答	1	1%
回答総数	83	100%

3. 考察・まとめ

大規模地震に見舞われた時、道路の啓開作業を担う地場の建設会社は即応可能なかどうか、その実態を明らかにすることを目的に、中部圏に拠点を有する地場の建設会社を対象としたアンケート調査を実施した。

中部地方整備局管内に本社・本店を有する会社を対象とした今回の簡易な調査においては、7割を超える企業が、求められている役割を担えるかどうかについて不安を感じていることが明らかとなった。作業員の確保とともに重機や資材の確保についても不安を口に出していることは、災害発生直後の対応戦略を検討するうえで考慮すべき重要なことと考えられる。ただし、その不安は、災害像を身近なものとして描き得ていないことに起因する漠然としたものかもしれない、さらに具体的、かつ詳細な実態調査と分析が必要と考えている。道路管理者と復旧作業を担う地場の建設会社が課題を共有し、連携して対応力の底上げ、強化を図っていくことは極めて重要であり、調査・分析作業を通じてそのサポートを行っていただければと考えている。

参考文献

1)内閣府、令和元年度企業の事業継続及び防災の取組に関する実態調査、令和2年3月。

2021年2月の福島県沖の地震の強震動分析

Strong Ground Motion Analysis for the 2021 Off-Fukushima Earthquake

○鈴木 崇伸¹, 山崎 文雄²
 Takanobu SUZUKI¹ and Fumio YAMAZAKI²

¹ 東洋大学

Toyo University

² 国立研究開発法人防災科学技術研究所

National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience

In the earthquake that occurred off Fukushima Prefecture in February 2021, ground motion close to the JMA seismic intensity scale 7 was observed in Yamamoto Town, Miyagi Prefecture. Although the damage caused by the earthquake was relatively minor, we conducted field survey to analyze the cause of the recorded strong ground motion. The KiK-net observation hut was placed on a mound of about 1-m high, microtremor observation was conducted at the site. We examined the site amplification considering the ground conditions at the recording point.

Keywords : the 2021 Off-Fukushima earthquake, ground motion the JMA seismic intensity, microtremor observation, site amplification

1. はじめに

1995年の兵庫県南部地震以降、全国的に地震観測ネットワークの整備が進められ、政府機関では気象庁と防災科学技術研究所が観測業務を行っている。気象庁は地震に関する情報発信の業務を担っており、計測データに基づき、震源の情報や各地の震度をすばやく公表している。防災科学技術研究所は多面的な地震観測を行っており、広帯域地震観測網 (F-net)、高感度地震観測網 (Hi-net)、強震観測網 (K-NET, KiK-net) が展開されている。強震観測網の KiK-net は地表と地中の2点同時観測が行われており、地層変化による揺れの増幅を分析することができる。

東北地方は2011年東北地方太平洋沖地震の前から大きな地震が頻繁に起き、その後の余震も含めて多くの強震データが蓄積されている。2021年2月13日に起きた福島県沖の地震 ($M_J=7.3$)、同年3月20日に起きた宮城県沖の地震 ($M_J=6.9$) も含めて、データを活用した揺れの増幅に関する研究が望まれている。

2021年2月の福島県沖の地震では、宮城県山元町で震度6.4の揺れが観測されている。2011年の本震時には同観測点で震度6.0の揺れが観測されているが、それをはるかに上回る揺れの大きさであり、2016年熊本地震の益城町に匹敵する震度となっている。山元町には KiK-net 観測点が置かれており、ボーリングデータもあることから、強震動の分析を行いその結果を報告する。

2. 山元町の観測データ

山元町の地表の観測記録を図-1に示す。東西方向の最大値は1076Gal、南北方向の最大値は1426Galが観測され、短周期成分が優勢な波形であり、上下方向は最大400Gal程度と水平方向に比べて小さな揺れであった。計測震度を小数第2位まで計算すると6.47となり、益城町の KiK-net で観測された前震の計測震度と一致している。なお益城町の本震では6.49の揺れとなっている。熊本地震では

KiK-net 観測点近くにある益城町役場にある震度計が6.5以上であったため震度7が発表されている。

山元町の観測点には地下152mの岩盤中にも地震計が設置されている。加速度波形を積分して速度に換算して地中と地表の波形を対比してみる。図-2に3成分の比較を示す。図-1の15秒から30秒までの時間を拡大して示している。ハッチを付けた方が地中の速度であり、黒線が地表の速度となっている。地中では長周期の成分が優勢であるが、地中の地震計よりも浅い部分の影響でひげ状のパルスが多く生じている。特に南北方向は図の20秒付近の数秒間に短周期で大振幅の揺れが生じ、30秒以降は揺れが徐々に減衰している。

次に地中と地表のデータをフーリエ変換して振幅の比

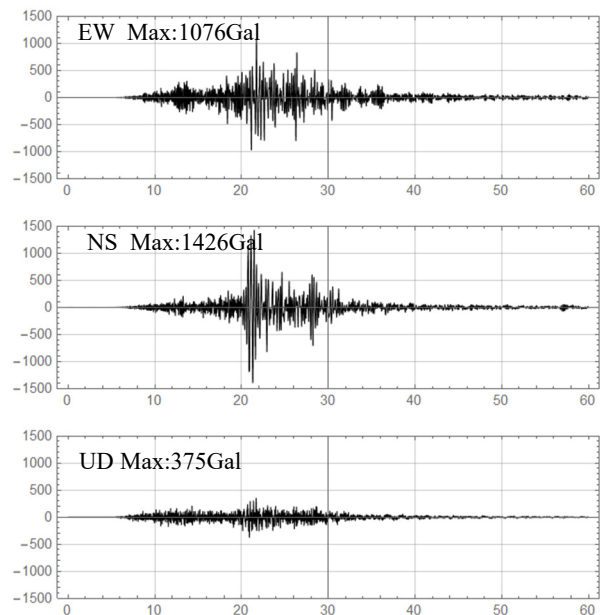


図-1 観測された KiK-net 山元の地表加速度記録¹⁾

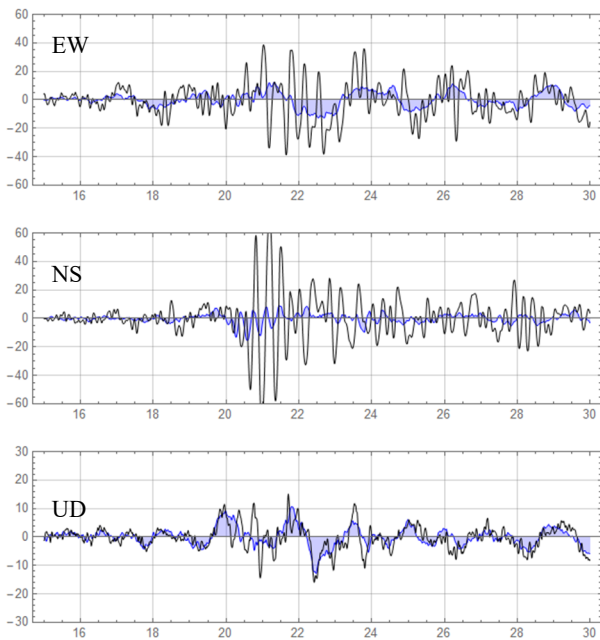


図-2 地中と地表の速度波形の比較
(黒線：地表，灰色の着色：地中)

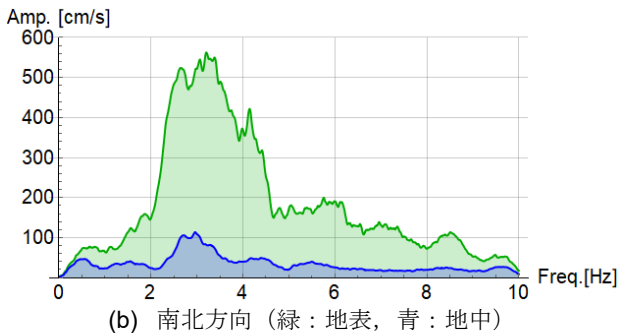
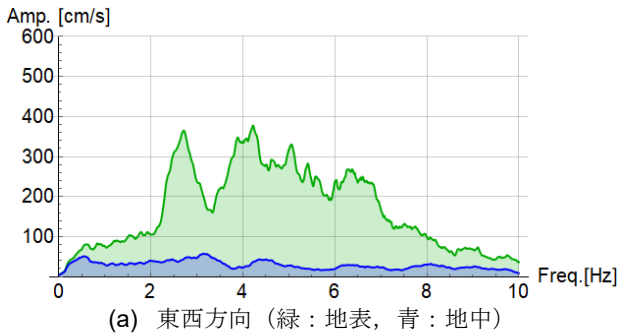


図-3 地中と地表のフーリエスペクトルの比較

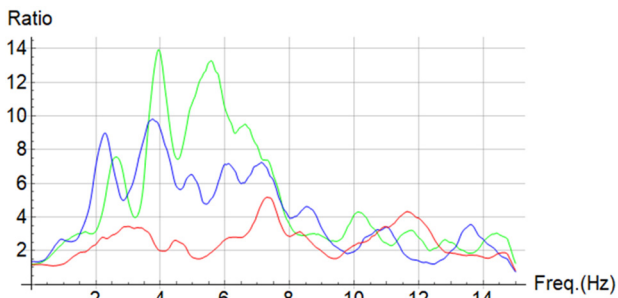


図-4 地表／地中のフーリエ振幅比
(緑：東西方向，青：南北方向，赤：上下方向)

較を行う。図-3 に地下と地表のフーリエスペクトルを重ね書きした結果を示す。緑色が地表で、青色が地下のものである。東西方向では地中の記録は比較的平坦であり、地表では2.5Hz-3Hzと4-7Hzの振幅が大きくなっている。また南北方向は地中では3Hz付近にピークがあり、地表では2-4Hz付近で大きな振幅となっている。この帯域は図-2に示したひげ状の大きな振幅に相当している。

地表／地中のフーリエ振幅比を計算したのが図-4である。水平2方向は2Hzから8Hzで増幅され、地中の振幅の6倍から10倍以上となっている。この増幅作用は主に表層のせん断波速度の小さい堆積層によると考えられるが、周辺の観測点に比べて突出して大きな揺れとなっていることもあり、現地調査を行うこととした。

3. 観測点の調査

山元町のKiK-net観測点は町営の運動場内にあり、体育館とグラウンドの間に1m程度の盛土をした小さなマウンドの上に置かれている。写真-1は観測小屋を示している。写真の体育館は地震被害により立ち入り禁止となっている。この運動場には東日本大震災後に仮設住宅が建てられており、当時の写真から原地盤に1m程度の盛土をして仮設住宅が建設されていた。水回りの配管を簡単に行うためにグラウンドに盛土をしたと考えられるが詳細は不明である。このときは観測小屋が置かれた箇所は小さなマウンドでなく盛土の端部となっており、仮設住宅撤去後に現在の状態になっている。

KiK-net観測点では地下152mまでのボーリングデータが公開され、またPS検層の結果も併せて示されている。表-1に地層と層厚、せん断波速度を示している。地下4m以深は砂岩と凝灰質砂岩となっていて、蔵王の溶岩の上に堆積した砂と粘土が締め固まり隆起した地層となっている。表層は粘性土であり、地表に近い1m層厚の粘性土層は盛土と推定される。

PS検層の結果を使って伝達関数を計算し、図-5に計算結果を示す。伝達関数の計算は地表の振幅(2E)と基準とする面の上昇波と下降波の振幅(E+F)の比率を計算している。黒実線は凝灰質砂岩の上面(-38m)を基準にした場合であり、黒点線は砂岩の上面(-4m)を基準にした計算結果である。計算において減衰定数は $h=0.05$ としている。砂岩の上面と地表の間の共振は10Hz以上となり、10Hz以下ではフラットな形状であり、この帯域において粘土層の共振はない。一方、凝灰質砂岩の上面と地表の間では2.3Hz付近に共振点が見られる。せん断波速度が390m/sの砂岩の層の共振の影響が考えられるものの、インピーダンス比はそれほど大きくなく、入力によって変わると考えられる。



写真-1 KiK-net山元の観測点

表-1 地盤調査結果¹⁾

地層	層厚[m]	Vs[m/s]
粘性土	1.0	110
粘性土	3.0	250
砂岩	34	390
凝灰質砂岩	114	590
凝灰質砂岩		770

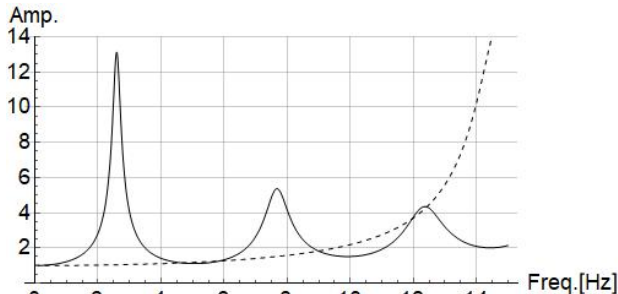
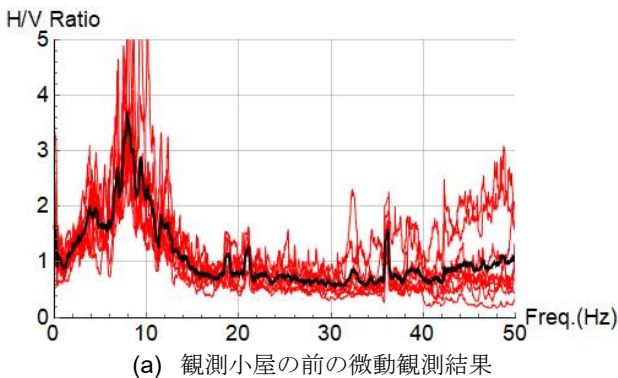
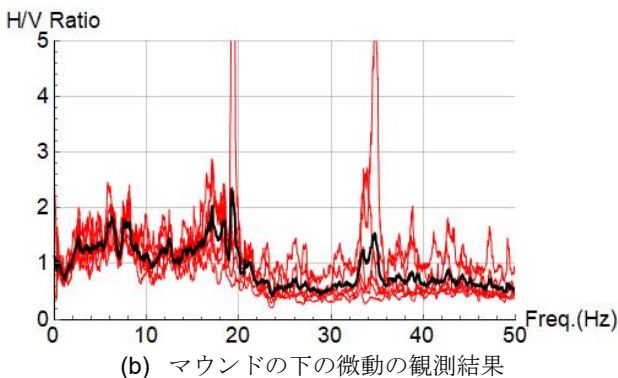


図-5 基準面を変えた地表の伝達関数（実線の基準面はGL-38m, 点線の基準面はGL-4m）



(a) 観測小屋の前の微動観測結果



(b) マウンドの下の微動の観測結果
図-6 微動計測の H/V スペクトル比

観測小屋が置かれたマウンドの影響を調べるために常時微動観測を行った。中村²⁾の研究によれば常時微動の水平鉛直比スペクトル比 (H/V) は伝達関数を近似でき地盤振動特性を知ることができる。今回の計測では、振動計は1台でマウンドの上と下でそれぞれ3成分観測を行い、H/V スペクトル比を計算する。振動計測にはシステムアンドデータリサーチ(SDR)社のNewPICを使用した。約40秒の計測を複数回繰り返して、これらを平均化して地盤振動特性を定量化する。

図-6に微動のデータをフーリエ変換し、水平2成分と上下動の振幅比を計算した結果を示す。赤線は各計測回のH/V スペクトル比を示しており、黒線は各回の結果の

平均を示している。同図(a)はマウンドの上の分析結果であり、8Hz付近にピークが見られる。同図(b)はグラウンド面の分析結果であり、明確なピークは見られないが4Hzから8Hzにおいて1.5倍程度となっている。

ボーリングデータでは砂岩層の2次モードが8Hz程度であり、粘土層の共振は15Hz程度であるが、表層にある1mの盛土が強震時に剛性が低下した状態であれば、揺れの増幅に影響する可能性はある。マウンド上とグラウンド面で揺れ特性が異なることが確認できたので、マウンドの影響を補正したグラウンド面の地震動を推定してみる。

4. 地形効果の補正

地震動の補正計算には丸山ら³⁾の提案した地震動推定法を用いる。丸山らは常時微動と地震動の水平鉛直スペクトル比 (H/V) が良く似た振幅形状を示すことを利用して、常時微動データによる地震動波形の推定法を提案している。2点の常時微動によるH/Vスペクトル比を R_1 , R_2 とし、地点1の地震動のフーリエスペクトル F_1 が既知ならば、近傍にある地点2のフーリエスペクトル F_2 は位相の変化がないという前提で以下の計算により近似することができる。

$$F_2 = \frac{R_2}{R_1} F_1$$

すなわち、微動のH/Vスペクトル比の比率を使い地震動のフーリエ振幅を補正して、フーリエ逆変換を行えば地震記録のない地点の波形を推定することができる。

図-7に図-6で示した2点のH/Vスペクトル比とそれらの比を示している。青線がマウンドの上、緑線がマウンドの下、赤線が両者の比率を示している。比率は低振動数では約1倍であり、8Hzから10Hzでは2倍程度の増幅があり、さらに高振動数の13Hzから20Hzにおいて減衰する特性となっている。

山元町の観測波形はマウンド上であり、図-7に示した比率の逆数をかけてフーリエ振幅を補正して波形推定を行う。速度波形に変換して比較した結果を図-8に示す。黒線が元のデータ、赤線が補正したデータである。8-10Hzの振幅を低減する計算となるので、高振動数成分が小さくなり、速度波形のひげ成分が小さくなっているのがわかる。加速度で見ると最大加速度は東西方向が1076Galから816Galに低減し、南北方向は1426Galから1209Galに低減している。高振動数成分が減衰することにより最大加速度が2割程度小さくなる。

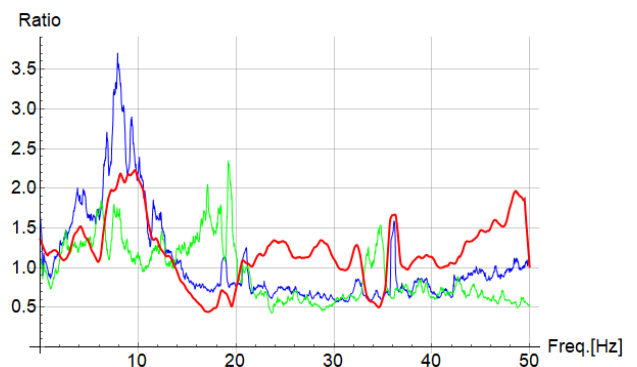


図-7 2点のH/Vスペクトル比の計算結果（青線：マウンド上、緑線：マウンド下、赤線：マウンド上と下の比）

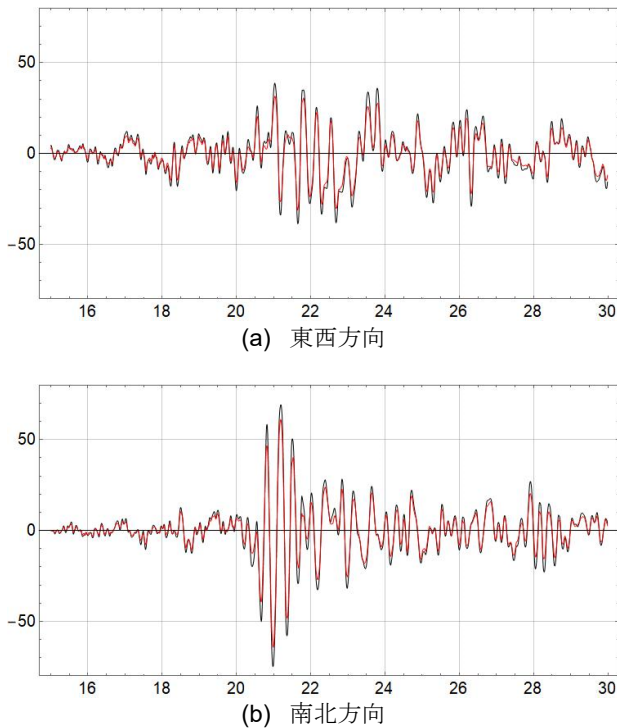


図-8 マウンドの影響を補正をした速度波形と元波形の比較 (黒線：元のデータ，赤線：補正したデータ)

上下動は補正計算が行えないので変化がないとして補正した地震動の計測震度の計算を行ったところ 6.26 となった。元のデータの計測震度は 6.47 であるのでマウンドの増幅効果を取り除くと震度が約 0.2 だけ小さくなる結果となった。図-7 からわかるように、主に 8-10Hz の振動を減衰させる計算を行った結果であるが、観測点の設置条件により、この程度の揺れの大きさの違いが生じることが判明した。小さなマウンドではなく盛土が連続した条件の推定は行えないが、今回の観測記録には小さなマウンドになった影響が入っていると考えられる。

5. 過去の観測記録との比較

山元町の観測点では、東日本大震災の前から観測データが蓄積されている。その中で震度 6 以上 (5.5 以上) となったのは、2021 年 2 月の地震と東日本大震災の本震、さらに 2011 年 4 月の余震の 3 回である。そこで地表と地中の記録からフーリエスペクトル比を計算して揺れが大きくなる振動数を分析してみる。前述したように 2021 年 2 月の地震では山元町の震度は 6.47 であり、2011 年 3 月の本震では 6.06、2011 年 4 月の余震では 5.69 の揺れであった。図-9 に 3 地震の地表と地中のフーリエ振幅比の比較を示している。

山元町の観測点では数多くの記録が蓄積されており、震度 6 となった 3 地震だけでは判断できないが、2021 年の地震 (図の赤線) では 2Hz から 4Hz のピークが特徴的である。これまでの地震では東西方向では 6Hz 前後、南北方向では 4Hz から 6Hz において増幅が顕著であった。およそ 2Hz 付近と 4Hz 付近において水平 2 方向とも倍率が大きくなった原因を明確にする必要がある。

図-5 に示した地層による増幅作用と対比して考えると 2Hz 付近の増幅が大きいのは凝灰質砂岩より上の地層の影響と考えられるが、いずれの地震でも増幅倍率が大きくなっている 4Hz あるいは 6Hz 付近には対象となる地層

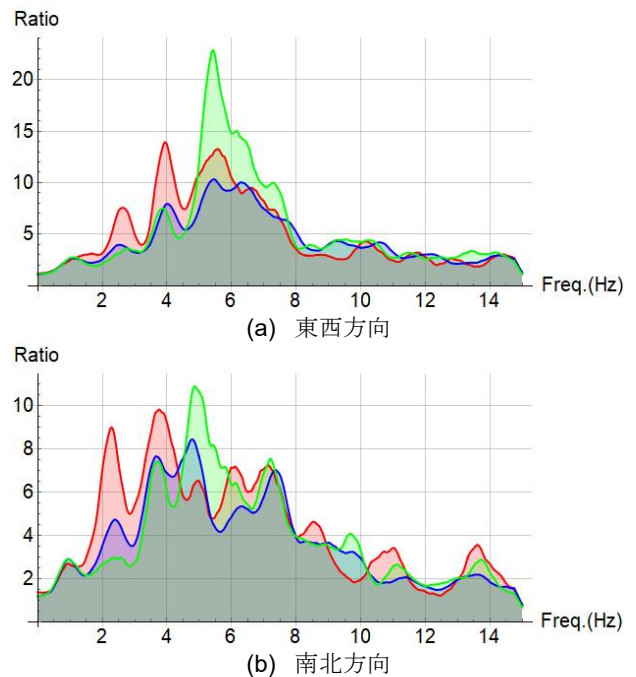


図-9 地表と地中のフーリエ振幅比 (赤線：2011年2月13日の地震，青線：2011年3月11日の本震，緑線：2011年4月7日の余震)

がないことになる。また微動観測で見られた 8Hz のピークも図-9 のスペクトル比では顕著でなく、地形の改変を含めた体系的な分析が必要とされる。

6. まとめ

2021 年 2 月に起きた福島県沖の地震では宮城県山元町の KiK-net 観測点では震度 7 に迫る大きな揺れが観測された。現地調査を行いその原因分析をしたところ、観測点の周辺が改変されて小さなマウンドの上に置かれ、地盤の振動特性が変わっていたことが判明した。小さなマウンドが加速度を約 2 割大きくし、震度では 0.2 程度増幅する結果となった。今後増幅のメカニズムについて分析を進めてみたい。

謝辞

本報告では防災科学技術研究所が公開している KiK-net データを使用しました。関係各位に感謝いたします。

参考文献

- 1) 防災科学技術研究所：強震観測網のホームページ，<https://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/>
- 2) 中村豊：常時微動に基づく地震動特性の推定，鉄道総研報告，Vol.2，pp.18-27，1988.
- 3) 丸山喜久，山崎文雄，木村均，浜田達也：常時微動の常時微動の H/V スペクトル比を用いた地震動推定法の提案，土木学会論文集 No. 675/I-54，pp.261-272，2001,4.

ALOS-2画像を用いた2021年2月福島県沖地震の被害抽出と現地確認 Damage Detection of the 2021 Off-Fukushima Earthquake using ALOS-2 images and its Field Validation

○山崎 文雄¹, 劉 ウェン², 鈴木 崇伸³
Fumio YAMAZAKI¹, Wen LIU², and Takanobu SUZUKI³

¹ 国立研究開発法人 防災科学技術研究所

National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience (NIED)

² 千葉大学 大学院工学研究院

Graduate School of Engineering, Chiba University

³ 東洋大学 理工学部

Faculty of Science and Engineering, Toyo University

Remote sensing is useful to extract damages due to natural disasters. In this study, Synthetic Aperture Radar (SAR) images acquired from PALSAR-2 sensor onboard ALOS-2 satellite were used to observe damage locations due to the 13 February 2021 Off-Fukushima earthquake. Landslides and rockfalls were reported at Joban Expressway, an automobile racing circuit and seaside cliffs. Change detection using pre- and post-event PALSAR-2 images was carried out and the results were compared with field survey data. The landslide at the expressway and the racing circuit were recognized from the SAR intensity data, but rockfalls and other small-scale damages could not be identified from the SAR data.

Keywords : SAR intensity image, the 2021 Off-Fukushima earthquake, landslide, PALSAR-2, damage detection

1. 背景と目的

人工衛星や航空機からのリモートセンシング技術は、地球環境の把握や地図作成とともに、自然災害による被害や影響の把握にも広く使われるようになった。プラットフォームに搭載するセンサは、光学センサ、熱赤外センサ、合成開口レーダ (SAR) などに大別される。SAR は、プラットフォームに搭載されたアンテナからマイクロ波を地上に照射しその反射波 (後方散乱) を観測する仕組みであり、天候や昼夜の時間帯に依らず観測が可能のため、自然災害の影響把握には極めて有効である。しかし、1 時期の SAR 画像のみでは情報量に乏しいため、多くの場合、災害前後に同じ撮影条件で得られた SAR 画像を比較し、その変化抽出により被害把握を行うことが多い¹⁾。また、事前・事後画像の観測時期の違いによる人工物や植生・農地の変化が含まれるため、災害の影響によるか否かを判断するためには、土地被覆や人工物の GIS 情報を併せて利用する必要がある。

本研究では、2021 年 2 月 13 日に発生した福島県沖を震源とする地震を対象として、ALOS-2 衛星に搭載された PALSAR-2 センサで観測された SAR 画像の災害前後比較により、この地震で報告された地盤災害がどの程度把握されるかを検討する。また、現地調査を行って被災状況を確認するとともに、航空写真なども比較して、SAR 衛星による被害検出能力に関して考察する。

2. 福島県沖の地震と使用した ALOS-2 画像

2021 年 2 月 13 日 23:07 に福島県沖の太平洋を震源とする気象庁マグニチュード 7.3 の地震が発生した。この地震は、沈み込む太平洋プレートの内部で発生したスラブ内地震であり、震源が 55km とやや深いため津波は発生しなかった。しかし、気象庁や防災科研が全国に配備した地震計ネットワークにおいて、最大震度 6 強の揺れが観測

された。計測震度 6.4 の揺れが観測された KiK-net 山元の地震動の解釈に関しては、別報²⁾で報告する。

本地震の震源位置と観測地震動の補間による計測震度の推定分布を図 1 に示す。この地震直後に揺れの大きかった地域を撮影し、同一撮影条件の事前画像も存在する ALOS-2 画像としては、表 1 に示す 2 ペアが存在する。

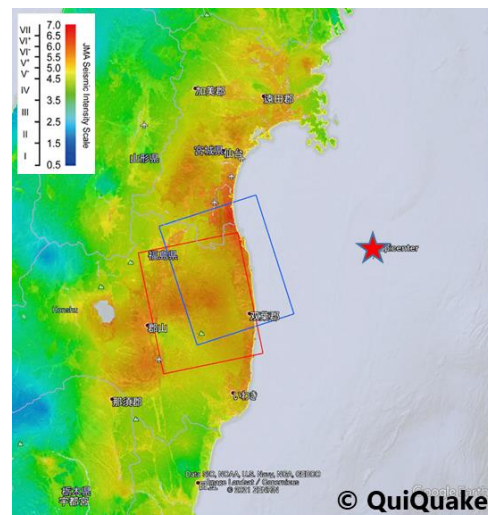


図 1 福島県沖地震の震源位置，推定震度分布³⁾，ALOS-2 画像の撮影範囲 (赤四角が軌道 1，青四角が軌道 2)

表 1 ALOS-2 衛星の地震前後ペア画像の観測条件

PALSAR-2	北行軌道1		北行軌道2	
観測日時	2020/05/26 23:31	2021/02/16 23:31	2018/11/11 22:45	2021/02/14 22:50
入射角[°]	36.18		39.68	
レンジ方向	右観測		左観測	

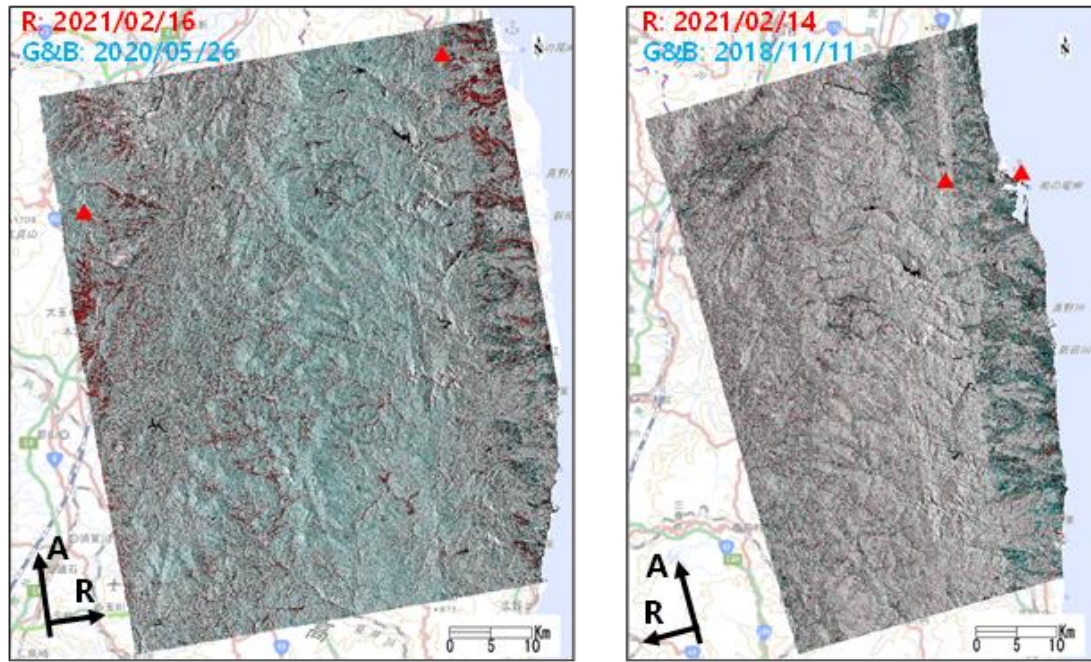


図2 ALOS-2強度画像（後方散乱係数）の地震前後カラー合成（左：北行軌道ペア1，右：北行軌道ペア2，赤△はエビスサーキット，常磐自動車道，松川浦の被災箇所）

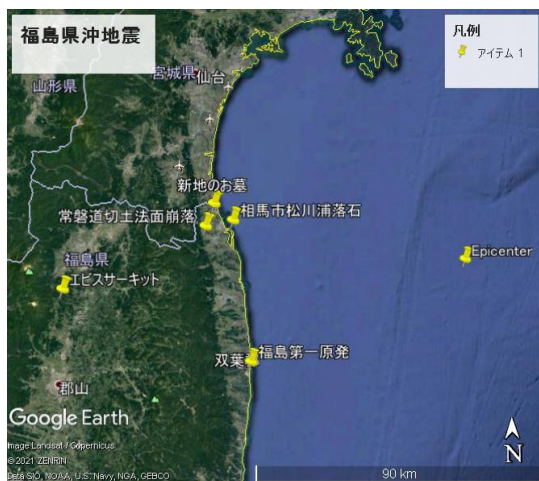


図3 福島県沖地震による主な被災箇所と震源，福島第一原発の位置関係の Google Earth 表示

HH偏波の高分解モード(3m)で撮影された画像を地図投影し，ピクセルサイズ5mにリサンプリングし使用した．ALOS-2強度画像のカラー合成を図2に示す．これは事前画像に青色と緑色を与え，事後画像に赤色を付けたもので，後方散乱が事後画像で強くなると赤く見えるようにしたものである．しかし，このスケールでは，被害や大きな変化を観察することはできない．図のペア1の観測範囲にはエビスサーキットと常磐自動車道の被災箇所が，ペア2には常磐自動車道の被災箇所と松川浦の落石箇所が含まれている．

図3は，地震による主な被災箇所と震源および福島第一原発の位置を Google Earth 上に示したものである．

3. 主な被災箇所と ALOS-2 画像による被害抽出

(1) 常磐自動車道の切土斜面崩壊

今回の地震で一番社会的影響の大きかった被害は，常



図4 常磐自動車道の切土斜面崩落位置（上）と4月10日撮影の現場の様子（下）

磐自動車道の斜面崩壊と東北新幹線の電化柱被害であろう．これらの被害によって，常磐道はこの区間で4日間通行止めとなり，新幹線は全線運転再開まで11日間を要した．しかし，新幹線のこの程度の被害を SAR 衛星から観測するのは困難なので，ここでは常磐道の被災箇所がどのように見えるかを検討した．

図4に切土斜面崩落位置（相馬IC—新地IC間⁴⁾）と筆者らが訪れた4月10日の現場の様子を示す．既に地震発生から約2か月を経過して仮復旧は終わり，速度制限50kmで通行に供されていた．崩壊した斜面は，モルタル吹付とブルーシート保護がなされ，路肩に大型土のうが置かれていた．

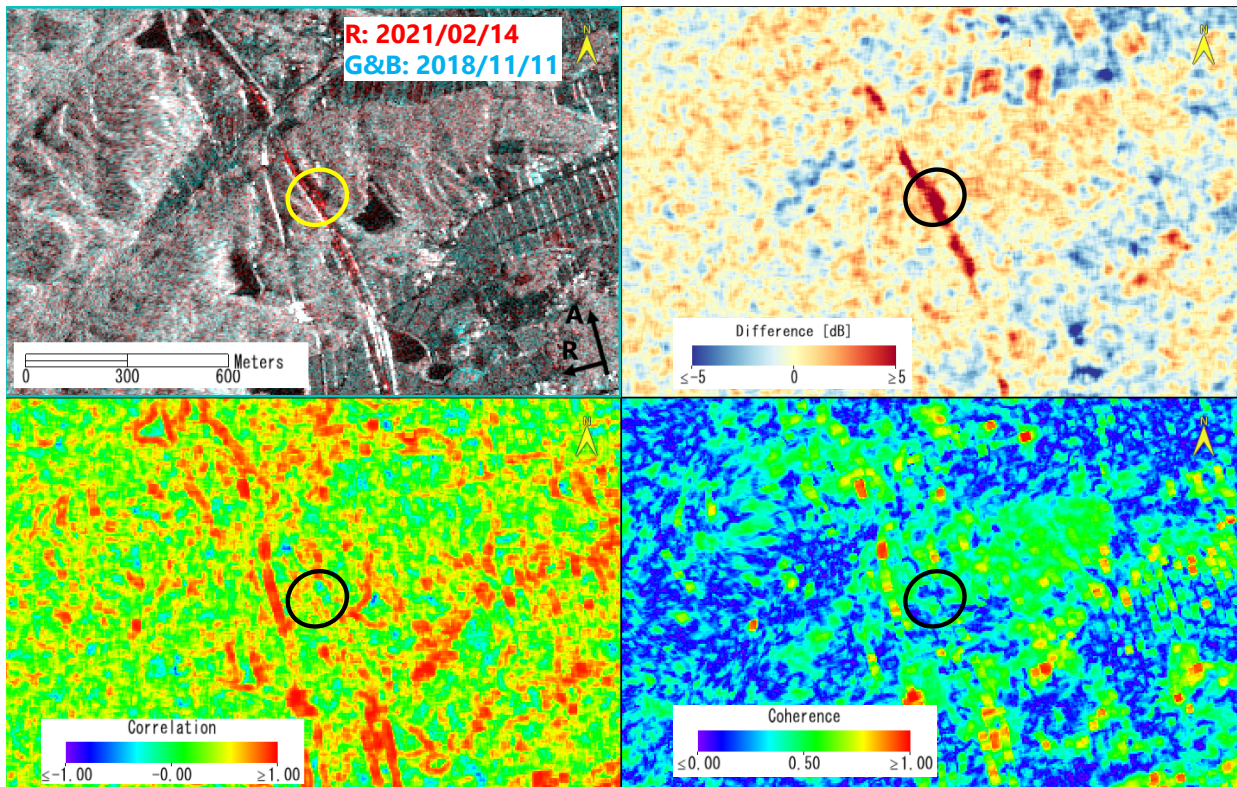


図5 常磐自動車道の斜面崩壊箇所のALOS-2画像（北行軌道ペア2）による変化抽出結果（左上：カラー合成，右上：差分，左下：相関，右下：コヒーレンス）

この範囲のALOS-2前後画像ペアは2組あるが、地震発生後約24時間後に事後画像が観測されたペア2による変化抽出結果を図5に示す。図には、カラー合成、後方散乱係数の差分とその相関、さらにはコヒーレンスを示す。変化が最も明瞭に見られるのは、カラー合成による赤色範囲と差分による赤色範囲である。これらは事後画像において、後方散乱が強くなったことを意味している。地震直後に現場を撮影した航空写真⁹⁾などと比較すると、赤色の範囲は崩落土砂範囲より明らかに大きい。航空写真より、赤色の範囲は工事車両や残された車両を含んでいるものと考えられる。

相関およびコヒーレンスともに、被災箇所で低い値になっていることが分かるが、波長の長いLバンドSARにおいても植生などの季節変化の影響が強く、これらのみから被災箇所の抽出を行うことは困難といえる。GISで高速道路範囲を限定してこれらの指標を計算するなどの工夫が必要であろう。

(2) エビスサーキットの地すべり

二本松市のエビスサーキットの西コース付近で発生した流動性地すべりは、今回の地震による土砂災害の中で最大のものであった。民間航測会社が撮影した航空写真⁹⁾では、長さ約140m、幅約40mの緩やかな斜面において崩壊した土砂は、最大約200mの範囲に広がった⁹⁾。

図6に同サーキット場の地震前全景とALOS-2画像のカラー合成を示す。走行路は平坦なため、SAR画像上では暗く映っており、形状を明瞭に把握することができる。崩壊した斜面と路面に堆積した土砂は後方散乱が大きくなり、赤く表示されている。同様の変化は、2時期の差分画像でも明瞭に見られ、崩壊の大きさとほぼ対応している。しかし、相関とコヒーレンスでは、常磐道と同様、植生などの影響で被害把握は困難であった。

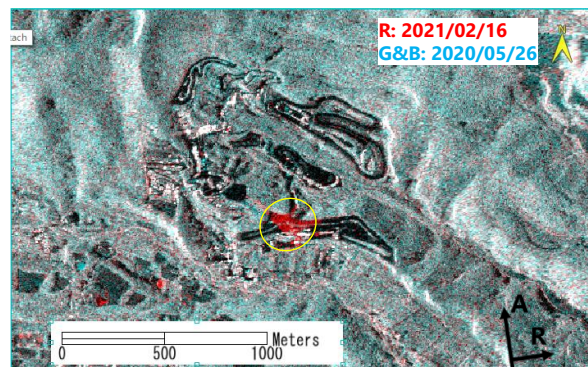


図6 エビスサーキットの地震前の全景（上：Google Earth）とALOS-2画像の2時期カラー合成（下）

(3) 相馬市松川浦の落石

相馬市の松川浦漁港付近では、切り立った崖が一部崩落し、道路上の車が危うく巻き込まれるところであった。図 7 に筆者らによる現地写真を示すが、道路上の落石は早期に除去されていたが、崖直下には落石が残り、大型土のうが設置されていた。2月14日の事後画像を含む ALOS-2 画像を見ると、落石地点付近が赤く変化が見られ、被害が検出できたのかと思った。しかし、現地の状況を詳しく観察し、直後の航空写真と比較すると⁵⁾、赤色範囲には消波ブロックが置かれていたことが分かった。崖下の落石は範囲が狭いため、またレンジ方向に対し角度が浅いため、抽出が困難であったと考えられる。

松川浦大橋を渡った西側地点にも四角い赤色範囲が見られるが、これは 2020 年 10 月に開業した新しい商業施設であり、事前画像の撮影時には存在していなかったため変化域となっている。またこの施設の近くの崖にも落石が観察されたが⁷⁾、SAR 画像からは識別できなかった。

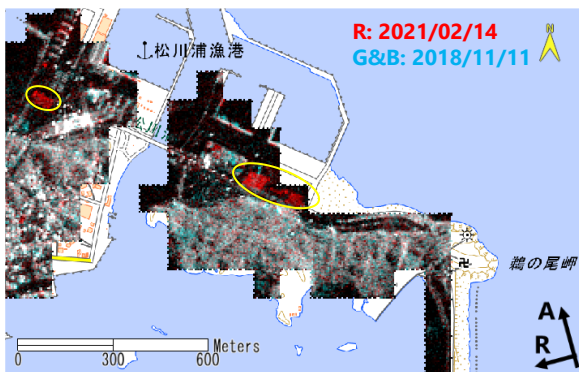


図 7 相馬市松川浦の落石現場の写真（上、4月10日）と ALOS-2 画像のカラー合成

(4) 新地町の墓地

新地町の尚英中学校の周辺は、小高い丘になっており学校の北と西には墓地が広がっている⁷⁾。これらの墓地では、図 8 に示すように、半数近くの墓石が転倒または移動した様子が現地調査で確認された。しかし、空間分解能 3m 程度の観測モード⁸⁾の ALOS-2 画像からは、変化は殆ど観察できなかった。

4. まとめ

本研究では、2021年2月13日に発生した福島県沖の地震を対象として、ALOS-2衛星に搭載された PALSAR-2 センサによる SAR 画像を用いて、斜面崩壊などの土砂災害がどの程度抽出できるか検討した。地震前後 2 時期の強度画像のカラー合成、差分、相関、コヒーレンスなどの指標を用いて、被災箇所を詳細に調べた。その結果、常



図 8 新地町尚英中学校北の墓地の写真（上、4月10日）と ALOS-2 画像のカラー合成（下）

磐自動車道の切土崩壊箇所とサーキット場の流動性地すべりは抽出できたが、松川浦の落石と新地町の墓地被害の抽出は困難であった。今回の地震は被害が限定的であったため、ALOS-2 による被害検出能力の限界を知るのに役に立ったと考えられる。

謝辞 本研究で使用した ALOS-2 画像は、JAXA の大規模災害衛星画像解析支援チーム課題別研究を通して提供を受けた。また、本研究の実施にあたり、科学研究費補助金(17H02066, 21H01598)の助成を受けた。

参考文献

- 1) Y. Aimaiti, W. Liu, F. Yamazaki, Y. Maruyama, Earthquake-induced landslide mapping for the 2018 Hokkaido Eastern Iburu earthquake using PALSAR-2 data, Remote Sensing, Vol. 11(19), 2351, 2019; <https://doi.org/10.3390/rs11202351>
- 2) 鈴木崇伸, 山崎文雄, 2021年2月の福島県沖の地震の強震動分析, 地域安全学会梗概集, No. 48, 2021.
- 3) QuiQuake, 地震動マップ即時推定システム, 2021; <https://gbank.gsj.jp/QuiQuake/QuakeMap/20210213.html>
- 4) NEXCO 東日本 web サイト, 常磐自動車道(相馬 IC~新地 IC)における切土のり面崩落について, 2021. https://www.e-nexco.co.jp/cms_assets/emergency/2021/02/16/36f9b2c7a96f0d0f76f25e3438387324610e35.pdf
- 5) アジア航測(株), 2021年2月13日発生した福島県沖地震被害状況, 2021; https://www.ajiko.co.jp/news_detail/1170
- 6) 森口周二, 福島県二本松市流動性地すべり, 令和3年2月福島県沖の地震に関する被害調査報告会資料, 土木学会地震工学委員会, 2021; <https://committees.jsce.or.jp/eec2/node/177>
- 7) 大角恒雄, 水井良暢, 池田正幸, 松原仁, 令和3年2月福島県沖地震: 松川浦法面崩壊及び新地町住宅被害, 2021; https://dil.bosai.go.jp/disaster/2021_disaster/pdf/20210213_fuku_eq_20210320_miya_eq_fs.pdf
- 8) JAXA EORC web サイト, “ALOS-2 プロジェクト / PALSAR-2”, <https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS-2/about/jpalsar2.htm>

地震動分布のモード分解とランダムフォレストに基づく予測モデル Prediction Model of Ground Motion Distribution using Mode Decomposition and Random Forest

○高橋 幸宏¹, 能島 暢呂², 香川 敬生³
Yukihiro TAKAHASHI¹, Nobuoto NOJIMA² and Takao KAGAWA³

¹ 岐阜大学大学院 工学研究科・日本学術振興会特別研究員DC
Graduate School of Engineering, Gifu University, JSPS Research Fellow
² 岐阜大学 工学部
Department of Civil Engineering, Gifu University
³ 鳥取大学大学院 工学研究科
Graduate School of Engineering, Tottori University

Machine learning is attracting attention as a technique for improving ground motion prediction equation (GMPE). This study proposes a simple prediction model of ground motion distribution using “mode decomposition” and “random forest (RF)” of machine learning technique. Specifically, the mode decomposition technique was applied six hundreds cases of ground motion distribution, and modal shapes (spatial characteristic of ground motion) and weight coefficients were extracted. The input-output relationships between source parameter settings and weight coefficients were modeled by RF. The results show that distance attenuation of ground motion and the rupture propagation effect of the fault appear in ground motion distribution predicted by the RF model.

Keywords : prediction of ground motion distribution, mode decomposition, singular value decomposition, random forest, machine learning

1. はじめに

地震動予測手法の簡便法である距離減衰式の高度化に関しては、これまでも多くの研究^(例えば 1)がなされてきた。近年では、過去の地震記録に機械学習アルゴリズムを適用することで、新しい地震動予測モデルを構築する試みが行われている^(例えば 2)。これまでに筆者ら^{3, 4)}は、文献⁵⁾で設定・計算された 300 ケースの断層破壊シナリオによる地震動分布を用いて、「モード分解による特徴抽出⁶⁾」と「機械学習によるモデル化」とを組み合わせた、簡易的な地震動分布予測モデルを提案した(図 1)。具体的には、地震動分布を特異値分解によりモード分解し、「モード形状」と「モードの特異値」「各ケースのモードの重み係数」を抽出する。次に、「震源パラメータ(説明変数)」と「重み係数(目的変数)」との関係を機械学習の回帰手法によってモデル化する。そして、任意の震源パラメータに対応する重み係数を回帰モデルに

より予測し、そのモード合成により地震動分布を予測する。これまでに回帰手法として「線形重回帰分析³⁾」と「サポートベクトル回帰⁴⁾」を用いており、多様な回帰手法によるモデル化および結果の比較を今後の課題として挙げていた。本研究では、回帰手法として「ランダムフォレスト」を用いた予測モデルを構築する。また、回帰モデルの解釈より、モードの特徴評価を試みる。

2. 地震動分布データとモード分解

(1) 断層設定と地震動分布

文献⁵⁾では、横ずれ断層(長さ 26km, 幅 16km, 傾斜角 90 度)における 300 ケースの断層破壊シナリオを設定し、周期・成分別の絶対加速度応答値の分布を計算した。震源パラメータのうち地震モーメント、破壊伝播速度、断層とアスペリティとの面積比については、強震動予測レシピの標準値を平均値とし、正規分布を仮定したばらつきをランダムに与えている。大小 2 個のアスペリティの位置は互いに重複しないように一様乱数で与えている。破壊開始点は大きなアスペリティ底辺のどちらか端部に設定している。地盤構造は一樣な水平成層としている。

(2) モード分解の概要

文献⁶⁾およびその後の検討では、地震動分布データの対称性を考慮して、断層モデルの垂直 2 等分線を境に断層モデルを反転させた 300 ケースを加えた計 600 ケースを対象に、モード分解を適用した。本稿では、文献^{3, 4)}と条件を合わせるために、破壊伝播効果の影響が顕著に現れている断層直交成分・周期 2.0 秒の結果を示す。モード形状(図 2)の特徴とその支配要因となる震源パラメータを以下に示す。

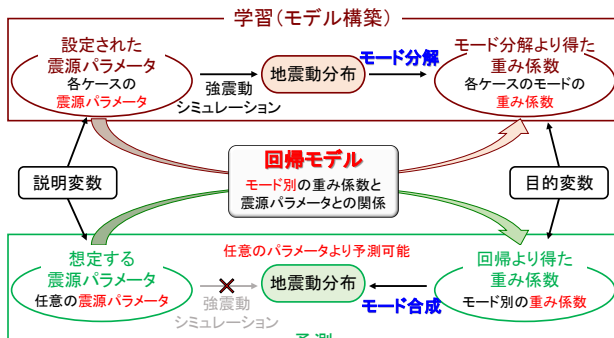


図 1 モード分解と回帰手法に基づく簡易的な地震動分布の予測モデル

- ・モード1：距離減衰勾配とバイラテラルな破壊進展を表すモード（破壊開始点の位置，破壊伝播速度，アスペリティの鉛直位置）
- ・モード2：フォワード・ディレクティブティ効果の影響を表すモード（破壊開始点の位置）
- ・モード3：ほぼ全域での地震動強度の変動とバイラテラルな破壊進展を表すモード（破壊開始点の位置，破壊伝播速度）

モード4以上ではモード形状が複雑化していき，震源パラメータとの関係性に基づくモードの特徴評価が困難となる．モード3, 6, 10, 15までの累積寄与率はそれぞれ96.9%, 97.7%, 98.3%, 98.7%であり，モード3までが支配的なモードであった．

3. ランダムフォレストに基づくモードの解釈

(1) ランダムフォレストの概要

ランダムフォレスト (RF: Random Forest, 図3) は，分類または回帰を行う決定木に基づくアンサンブル学習である（本研究では回帰を目的とする）．決定木は，条件分岐によって学習データを分割していくことで回帰を行う手法であり，個々の決定木自体は弱予測器であるものの，複数の予測結果を平均化することで，データの線形性・非線形性に関係なく，高い予測性能が得られる．複数の決定木を作成する際には，「ブートストラップサンプリング（重複を許したサンプリング）」や「説明変数のランダムな選択」を行うことで，同一の学習モデルから互いに相関性が低い，多様性を持った決定木を作成することができる．

本研究では，既往研究^{3),4)}と同様に300ケースの「震源パラメータ」（説明変数，図4）と「重み係数」（目的変数）のデータセットを，教師データ200ケースとテストデータ100ケースにランダムに振り分けた．次に，教師データにRFを適用し，回帰モデルを構築した．計算には，統計ソフトRのパッケージ“randomForest”を用いた．ハイパーパラメータのうち，決定木の本数は500とし，決定木の作成に用いる説明変数の本数はパッケージrandomForest内の関数tuneRF()によって決定した．

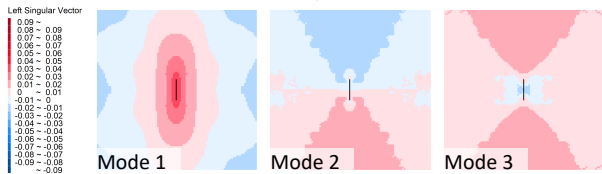


図2 モード形状（断層直交成分・2.0秒）

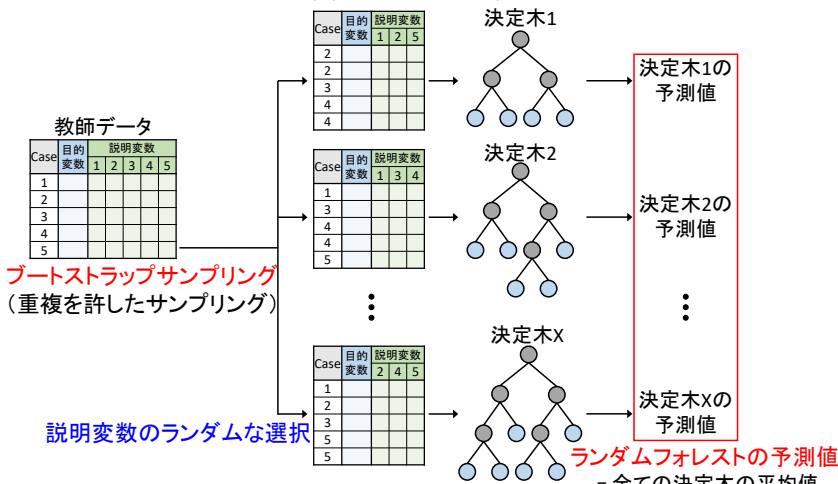


図3 ランダムフォレストの構築イメージ

以上より構築したRFモデルに任意の震源パラメータを入力することで得られる重み係数の予測値と，モード形状・特異値とをモード合成することで，強震動シミュレーションを行わず地震動分布を予測できる．この予測モデルでは，距離減衰勾配を表すモード1に加え，断層の破壊進展による影響を表すモード2・3などを合成することで，従来の距離減衰式よりも多様な地震動分布を予測することができる．

(2) モードの解釈

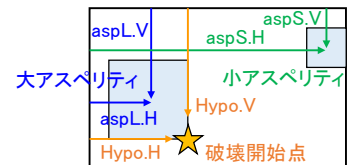
モード1~3における重み係数と震源パラメータとの関係をRFモデルより解釈する．まず回帰モデルにおける各説明変数の重要度 IncMSE (Increase in Mean Squared Error: 2乗平均誤差の増加量) について評価する．説明変数 i の IncMSE の計算手順を以下に示す．

1. 教師データのうちブートストラップによってサンプリングされなかったデータ (OOB: out-of-bag) における，各決定木の2乗平均誤差 MSE をそれぞれ求める．
2. OOB データの説明変数 i のデータ配列のみをランダムにシャッフルしたデータの MSE を求める．
3. 各決定木におけるシャッフルしたことによる MSE の増加量 (「2.の MSE」 - 「1.の MSE」) を求める．
4. 全ての決定木における MSE の増加量の総和を，決定木の数と増加量の標準誤差で除することで，説明変数 i の重要度 IncMSE を得る．

IncMSE が大きいほど，その説明変数の重要度が高いことを意味する．図5に説明変数の重要度を示す．モード1では破壊伝播速度 (V_r) や破壊開始点の水平・鉛直位置 (Hypo.H, Hypo.V)，大きなアスペリティの水平・鉛直位置 (aspL.H, aspL.V) に関する変数の重要度が高い．モード2・3では，Hypo.H の重要度が顕著であり，加えてモード3では V_r や破壊開始点の相対位置 (out_inside) の重要度が高い．これらの結果は，2.(2)で示した結果と整合している．

次に，説明変数が回帰モデルの予測値の変化に与える平均的な影響を可視化する累積局所効果 (ALE: Accumulated Local Effects) プロットを図6に示す（紙面の都合上，地震モーメント M_0 , V_r , Hypo.H, Hypo.V のみ）．モード1では V_r の値が大きいほど，予測値も相対的に大きくなることが読み取れる．Hypo.H が断層中央付近で ALE は正值を示し，外側では負値を示している．これは，破壊開始点の位置が中央寄りなほど，モード1が表すバイラテラルな破壊進展の影響度が大きいことを表している．モード2では，Hypo.H が断層の南部側（図の左側）

- ▶ 地震モーメント: M_0 (常用対数)
- ▶ 破壊伝播速度: V_r
- ▶ 断層とアスペリティとの面積比: ratio



- ▶ 全アスペリティに対する破壊開始点の相対位置: out_inside

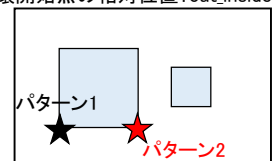


図4 説明変数とする震源パラメータ

で負値、中央で 0、北部側（図の右側）で正値を示す。これは、モード 2 が表すユニラテラルな破壊進展によるフォワード・ディレクティビティ効果の「影響度」と「その方向」を表している。モード 3 では、全域の地震動レベルに影響する M_0 や V_r 、バイラテラルな破壊進展に関連する Hypo.H による予測値への影響が読み取れる。これらの結果についても、2.(2)のモードの解釈と概ね整合している。

以上の 2 つの指標より、モードの空間特性に対する震源パラメータの重要度や関係性を明らかにした。これより、これらの指標はモードの解釈方法として有用であるといえる。ただし、これらの指標はあくまで回帰モデルの解釈手法であるため、モデルの精度が低い場合は意味をなさない。その場合は震源パラメータとの関係性が弱いモード（地震動の特徴的な影響が現れていないモード）であると考えることができる。

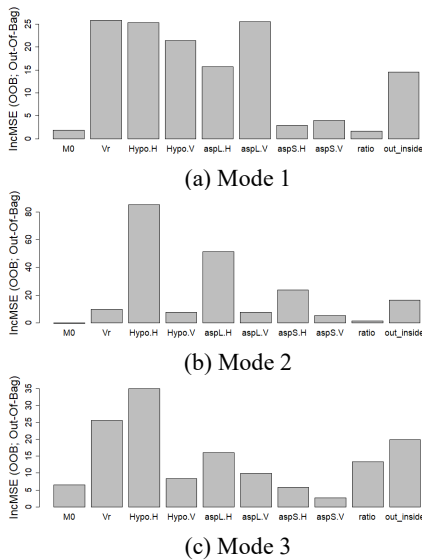


図 5 説明変数（震源パラメータ）の重要度

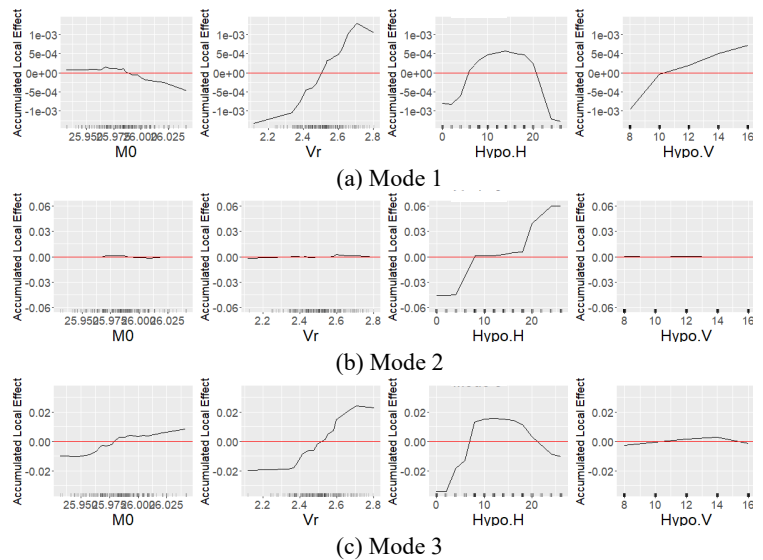


図 6 説明変数の累積局所効果(ALE)プロット

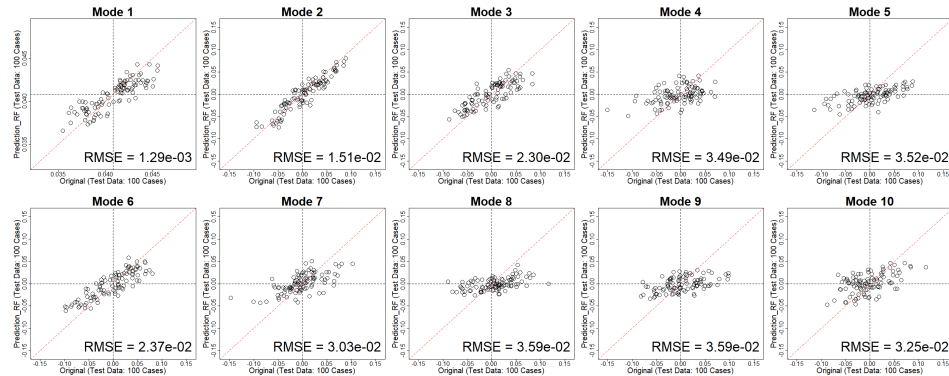


図 7 テストデータの重み係数（横軸）とランダムフォレストモデルによる予測値（縦軸）の散布図（黒色の破線：600 ケースの重み係数の平均値）

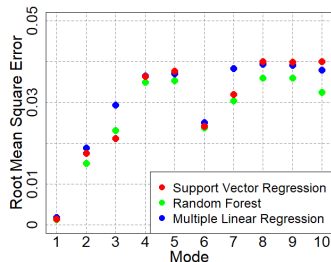


図 8 重み係数の予測値の RMSE に関する回帰モデル間の比較

4. ランダムフォレストモデルに基づく地震動分布の予測モデル

(1) 重み係数の予測

RF モデルによるモード 1~10 のテストデータの重み係数の予測値を図 7 に示す。モデルの精度が高い（重み係数と予測値の 2 乗平均平方誤差 RMSE が小さい）モードとしては、寄与が大きいモード 1~3 とモード 6 が挙げられる。その他のモードに関しては、予測値のレンジが実際の値よりも狭まる傾向にあり、RMSE も大きい。以上の結果は、既往研究の線形重回帰 (MLR: Multiple Linear Regression) モデル³⁾とサポートベクトル回帰 (SVR: Support Vector Regression) モデル⁴⁾による予測結果でも同様であり、整合している。

回帰モデルの比較として、RF, SVR, MLR モデルにおけるモード 1~10 の予測値の RMSE を図 8 に示す。全般的な傾向として、予測精度は RF モデルが一番高く、次に SVR モデルである。本稿では省略するが、断層走向・直

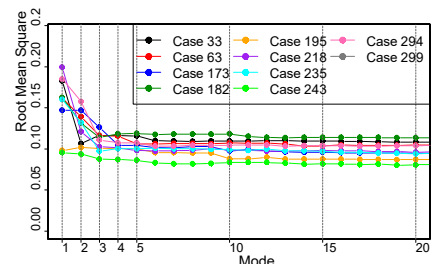


図 9 予測に用いるモード数別の地震動分布の RMSE

交成分の周期 0.1~1.0 秒における低次モードでは、主に SVR モデルの精度が一番高かった。また、短周期帯域の低次モードでは RF モデルよりも MLR モデルのほうが高精度を示した。

(2) 地震動分布の予測

次に、所与の震源パラメータを RF モデルに入力して得た重み係数の予測値をモード合成することで、地震動分布を予測した。テストデータのうちランダムに選択した 10 ケースにおける、予測に用いるモード数別の強震動シミュレーションによる地震動と予測値の RMSE を図 9 に示す。モード数の増加に伴う RMSE の減少効果は、モード 1~3 で顕著であり、モード 5 以降では変化が緩やかになり、モード 15 でほぼ見られなくなった。これより、本研究ではモード 1~15 を予測モデルの対象とした。

図 9 の 10 ケースのうち 5 ケースの強震動シミュレーションによる地震動分布 (図 10) と予測地震動分布 (図 11) とを比較すると、図 10 における断層直上の強震動域や断層の破壊進展に伴う地震動の広がり、図 11 でも概略的に表現されている。両地震動分布の散布図 (図 12) より、予測値は強震動シミュレーションによる地震動の大きさに関係なく、精度良く表現しており、ばらつきは小さい。他成分・他周期に関しても RF モデルの精度はよく、分布の特徴を捉えていた。

回帰モデル間の比較として、テストデータ 100 ケースに対する予測地震動分布の RMSE を図 13 に示す。なお、MLR および SVR モデルもモード 15 までを予測に用いている。散布図より予測精度は、一般的に RF モデルが一番高く、次に SVR モデルである。データ分布のカーネル密度を表すヴァイオリンプロットより、RF モデルにおける RMSE のピークは SVR モデルよりも若干小さいことが読

み取れる。また、MLR モデルにおける RMSE の最小値は SVR・RF モデルよりも大きい。以上の傾向は断層走向成分の周期 2.0 秒でも同様であったが、周期 0.1~1.0 秒では全般的に SVR の精度が一番高く、次に RF モデルであった。また、距離減衰勾配の影響が特に大きい周期 0.1 秒の RMSE は、周期 0.5~2.0 秒よりもばらつきが小さかった。

5. まとめと今後の展望

本研究では、地震動分布のモード分解とランダムフォレスト(RF)に基づく、簡易的な地震動分布の予測モデルを提案した。また、RF モデルの予測値 (重み係数) に対する説明変数 (震源パラメータ) 解釈より、モードの特徴を評価した。RF モデルによる予測地震動分布は、強震動シミュレーションによる地震動分布の特徴を概略的に表現していた。既往研究で提案した線形重回帰 (MLR) モデルおよびサポートベクトル回帰 (SVR) モデルとの比較より、短周期では SVR モデルが優位、長周期では RF モデルが優位であることを明らかにした。

今後は周期・成分・モードが回帰モデルの精度に与える影響について検討を進めることで、モデルの精度向上を図る。また、実地震による地震動分布への適応についても検討を進める方針である。

参考文献

- 1) 王寺秀介, 神原隆則, 澤田純男, 岩田知孝: 等価震源距離に基づくディレクティブティ効果を考慮した距離減衰式, 土木学会論文集 A(構造・地震工学), Vol. 65, No. 1, pp.104-110, 2009.
- 2) Kubo, H., Kunugi, T., Suzuki, W., Suzuki, S. and Aoi, S.: Hybrid predictor for ground-motion intensity with machine learning and conventional ground motion prediction

equation, Scientific Reports, Vol. 10, Article number 11871, <https://doi.org/10.1038/S41598-020-68630-X>, 2020.

3) 高橋幸宏, 能島暢呂, 香川敬生: 地震動分布のモード分解と線形重回帰分析に基づく予測モデル, 令和2年度土木学会中部支部研究発表会, I-05, 2021.

4) 高橋幸宏, 能島暢呂, 香川敬生: 地震動分布のモード分解とサポートベクトル回帰に基づく予測モデル, 第 39 回日本自然災害学会学術講演会, II-3-1, 2021.

5) 香川敬生: 多数の断層破壊シナリオによる強震動周期特性の空間分布, 日本地震工学論文集, Vol. 15, No. 70, pp. 90-99, 2015.

6) 高橋幸宏, 能島暢呂, 香川敬生: 地震動分布のモード分解による周期・方位依存の空間特性の分析, 第 40 回地震工学研究発表会講演概要集, 論文番号 D13-1653, 2020.

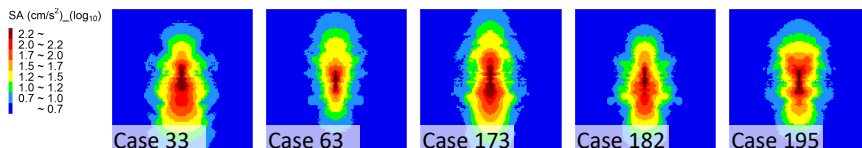


図 10 強震動シミュレーションによる地震動分布 (常用対数)

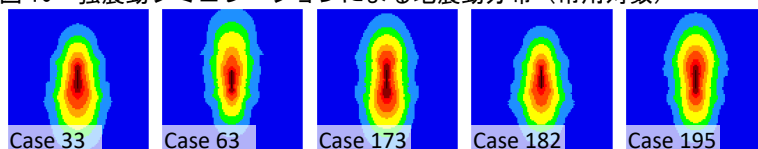


図 11 ランダムフォレストモデルによる予測地震動分布 (常用対数)

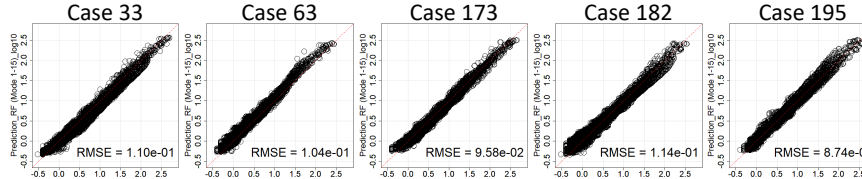
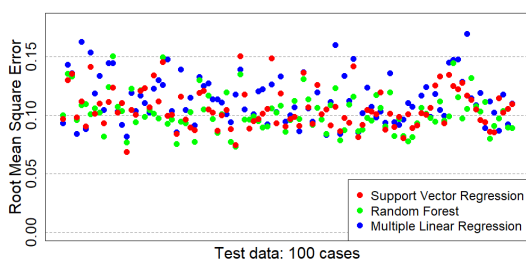
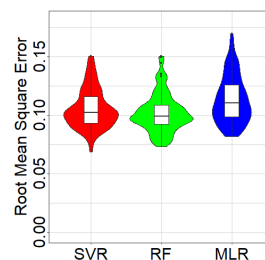


図 12 強震動シミュレーションによる地震動 (横軸) とランダムフォレストモデルによる予測値 (縦軸) の散布図 (両軸とも絶対加速度応答値[cm/s²]の常用対数)



(a) 散布図 (横軸: ケース)



(b) ヴァイオリンプロットと箱ひげ図

図 13 テストデータに対する予測地震動分布の RMSE に関する回帰モデル間の比較

「住まい」をテーマとした構成要素の構造化と 災害による変化を表現する試み

Attempt to Structure Components with the Theme of "Living" and Express Changes due to Disasters

荒木 裕子¹, 鳥居 朱里², 福和 伸夫¹
Yuko ARAKI¹, Akari TORII² and Nobuo FUKUWA¹

¹名古屋大学 減災連携研究センター

Disaster Mitigation Research Center, Nagoya University

²愛知県庁

Aichi prefectural Government

In this study, we have developed a method to show the relevance of individual influences and the overall picture of the influences, and the components and relational elements with the theme of "living" using UML (Unified Modeling Language) class diagrams. We also examined how to express the time-series changes from normal times to disasters. As a result, we were able to express the changes from normal times to after the earthquake by linking changes in housing with changes in social structure.

Keywords : Social structure, Refuge life, Changes in residence, Unified Modeling Language

1. はじめに

大規模な自然災害の発生により私たちの生活は家屋倒壊などの直接的な被災だけでなく、生活環境の変化によっても影響を受ける。生活という行為や暮らしている住環境を含めた広い意味での「住まい」を守るためにはライフラインを支える土木や産業、健康状態を保持するための医療や福祉、生活必需品を提供する流通や商業など様々な分野の活動が関わる必要がある。しかしその影響の全体像を表現することは容易ではない。これまで既往の研究では災害時の具体的な課題や支援策についての検討されているが、それらの関連性や全体像を示すことが出来れば、共通認識の共有や連動する課題の把握、これらを踏まえた事前対策に活用できないかと考えた。

そこで本研究では「住まい」をテーマとして、災害による影響の関連性や影響の全体像を表現する方法を検討した。方法として初めに表現方法に求められる内容と表現方法を検討した上で、実際にモデルを作り表現内容及び方法の再現状況を確認した。

2. 表現方法に求められる内容の検討

(1) 過去の災害対応資料等からのキーワードの分析

どのような整理が必要か検討するためにキーワードの抽出と分類の試行を行った。手順としては過去の災害に関する研究や調査報告書等から、生活への影響が大きいと考えられる事項や課題点を抽出し、キーワードを付箋紙に1つずつ記述して模造紙上で関連するキーワードをまとめ、その特徴を表すグループ名をつけた。さらにグループ間の関係がどのようなものか検討した。この結果以下の2点の特徴が見いだされた。①キーワードは時間、内容、主体の3つの基準で分類された。②グループの関係性は種類、方向、強さが混在している。また下記2点

の課題が見つかった。③グループ間の関係性が分かりやすいように簡略化して図示するとグループ内のキーワードが表現できない。④キーワードの抜け漏れていた場合の追加方法。

(2) 必要な整理内容の検討

上記に挙げた特徴と課題を解消するために、二つの考え方を取り入れることが必要であると考えた。

① 内包関係・階層性の表現

グループ間の関係性のうち内包関係を整理した上で表現することが考えられる。例えば、「食事」グループは「生活必需品」グループに内包される。そのため、「食事」グループと「生活必需品」グループの他グループとの関係性は共通するものが多いと考えられる。このように共通する部分を省略することができれば、より整理された表現になり、また階層に合わせ抽象度の調整も可能になると考えられる。

② 時系列変化による比較

平時と災害時の状況を比較できる状態が求められる。災害時に課題点として挙げられているもの以外にも、「住まい」に必要なものがあるはずである。それらの抜け漏れをなくすため、平時の「住まい」を構造化し、それを基準に災害時の課題を探ることが有効であると考えられる。また、時間で区切って表現することで、その他の内容、主体を分かりやすく表現できると考えられる。

3. 表現方法の検討

(1) 既存の表現方法の検討

表現の方法として、因果関係図¹⁾、組織図²⁾、マインドマップ³⁾の検討を行ったが、性質の異なる事象の表現とグループ化、その関係性の表記を行うには別途表現方法を検討する必要があった。この他UML(統一モデリング言語)を用いて表現が可能か検討した。UMLはオブジェ

5. 被災による影響の表現

4章で示した平時の住まいと社会のクラス図を基本として被災による変化の連動性、時系列での表現、人の特性に対応した表現が可能か検討した。

変化の表現方法として、被災による住まう場所の変化を想定し、在宅避難（図2）、避難所（図3）、福祉避難所、被災地外への疎開、応急仮設住宅（図4）、応急借上げ住宅、災害公営住宅の7つのクラス図を4章と同様の手法で作成した。また被災による機能の変化は、平時と発災後を比較してクラスの機能が変化するかは色の変化で表現した。クラスの機能が消滅もしくは停止する場合は灰色、新たに出現するもしくは別物として扱う場合は橙色、質が低下する場合は青色、量が低下する場合は緑色とした。

(1) 被災による変化の連動性の確認

被災による変化の連動が表現可能か、「平時」に対し「在宅避難」がどのように変容するかを示す。まず被害を受けるのは「社会」においての「空間」にあたる部分である。特に、「ネットワーク」の被災による影響の範囲が大きく、社会基盤の停止という課題を表現している。さらに関連、依存関係の線をたどってその影響を見ていく。まず「伝送システム」の停止は、依存関係で結ばれた「施設」に影響を及ぼす。「住まい」の部分では「住宅」の機能が低下し、それに伴い「暮らし」や「身体」、「精神」に影響が現れる。これは「世帯」や「個人」への影響であるが、それにより「労働」など「社会」に関わる活動が十分に行えず、広範囲への影響となる可能性もある。次に「交通システム」が停止すると、「経済活動」のうちの多くの産業が影響を受け、周辺住民の主に「家計管理」に支障を来す。以上のように、災害時には「ひと」、「こと」、「もの」が連動して影響がすることを一枚の図で表現することが出来た。

(2) 時系列による変化の確認

避難所、応急仮設住宅、災害公営住宅のクラス図を用いて被災後の住まう場所の変化により「住宅」、「暮らし」、「世帯」と「個人」の変化が表現可能か検討した。機能の改善が最も早いのは「住宅」で、避難所から災害公営住宅へと移るにつれて使用できるものが増え、質も改善される。それに伴い「暮らし」も改善されていくが、環境の変化によって人間関係が希薄化し「余暇・交流」が行いづらく面もある。改善が遅いのは「世帯」で、悪化するケースもある。倒産・失業の増加、物資支援の終了、恒久住宅のための出費などによるものが考えられる。また、「個人」は、「住宅」や「暮らし」が改善されてから回復が始まる。特に「精神」は「余暇・交流」と関係があり、人間関係のケアも必要となる。このように時系列の変化をクラス図を基に比較を行った（表2）。

(3) 人の特性に対応した変化の確認

個人の特性によっては「暮らし」の上で「住宅」だけでなく「世帯」や「医療」、「福祉」など他者による支援が必要となる。災害時にはそれらの関係が切れると「暮らし」の継続が難しくなると考えられる。避難所（図3）と福祉避難所に避難した場合のクラス図を比較した。福祉避難所として想定される施設の特性として、平時より居住場所としての環境が一定程度あること、バリアフリーなど使い勝手に配慮されていること、支援のためのマンパワーが確保できる、といった特徴が挙げられる。このため避難所と比較して「住空間」の質や「医療」、「福祉」へのアクセスは保てるとして表現でき

た。また要配慮者支援においては「ひと」、「こと」、「もの」全てからのアプローチが行われていることが読み取れた。これらは平時の機能の継続を前提として保たれることであり、逆説的に言えば被災により欠損すると機能を保てなくなるという視点で考察もできる。このような総合的な支援が必要とされる場面では、今回のようなクラス図による全体像の把握によって、欠落がないかなどの確認に使用できると考えられる。

表2 復旧・復興過程での住まいの変化

クラス	避難所	応急仮設住宅	災害公営住宅
住宅	・設備がそろっていない ・代替品を使用	・必要な設備・居室はそろそろ ・狭いなどの課題	・必要な設備・居室はそろそろ ・間取りなどは改善
暮らし	・保清が行いづらい ・保清は他施設を活用	・平時と同様の行為は可能 ・環境の変化で人間関係希薄化	・平時と同様の行為は可能 ・環境の変化で人間関係希薄化
世帯	・支出の機会が減少 ・収入の減少	・環境に変化に伴う労働・購買活動の変化 ・収入の減少	・環境に変化に伴う労働・購買活動の変化 ・支出が増加
個人	・身体、精神とも状態が悪い ・情報が不十分	・身体状態は回復してくる ・精神状態はあまり改善しない	・身体状態は回復 ・精神状態はあまり改善しない

6. まとめ

本研究では個別の影響の関連性や影響の全体像を示す手法の開発を目的として、UML（統一モデリング言語）のクラス図を援用して「住まい」をテーマとした構成要素・関係要素の構造化と、それらの平時から災害時の時系列変化の表現方法を検討した。住まいの変化を社会構造の変化と連動させ平時から発災後の変化を表現することが出来た。

今回は過去の事例から被災後の変化をクラス図で示したが、課題への対応には「順番」と「継続」という視点が必要と考えられる。「住まい」については器としての建物だけでなく生活の質を確保するためのライフラインや、コミュニティ、健康などの課題も発災直後から存在している。課題に一つずつ対応していくのではなく、注力する部分を検討しながら対策を連動して行うことが求められる。全体像の把握を行うことは優先順位や継続時間などの決定がしやすくなると考えられる。

その一方で、「住まい」の構成要素や関係と比重は地域や主体者の状況により違いが生じると考えられる。また「住まい」だけではなく、企業や行政、医療機関など異なる視点からの検討も考えられる。これらの違いを明らかにすることによる特性の把握も含め、標準的な構造図の作成と共に、違いが表現できるまでのプロセスや手法の確立ができるよう今後も検討を行いたい。

謝辞

本研究の一部は、文部科学省科学技術試験研究委託事業「防災対策に資する南海トラフ地震調査研究プロジェクト」の支援により実施された。

参考文献

- 1) edraw: 活用教室, <https://www.edrawsoft.com/jp/diagram/>
- 2) 小倉仁志: 問題解決力がみるみる身につく実践なぜなぜ分析, 日本経済新聞出版, 2013
- 3) 河合昭男: ゼロからわかる UML 超入門 [改訂2版], 技術評論社, 2017

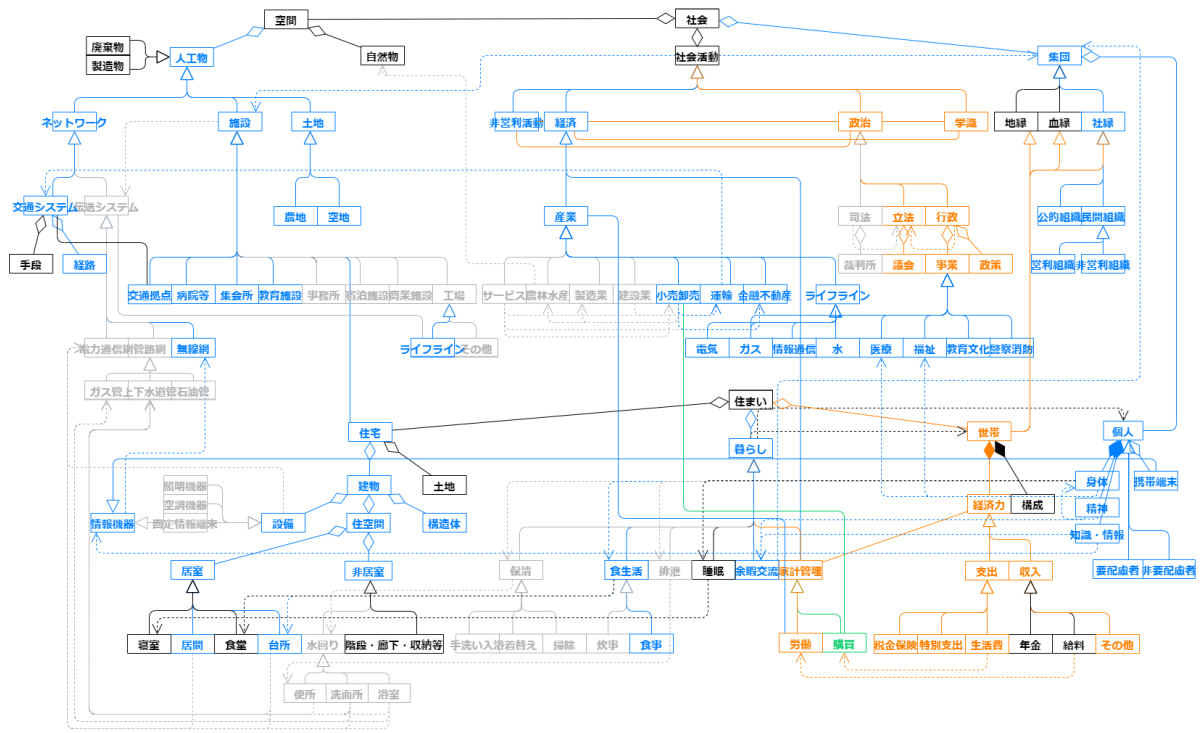


図2 住まいと社会の構造（在宅避難）

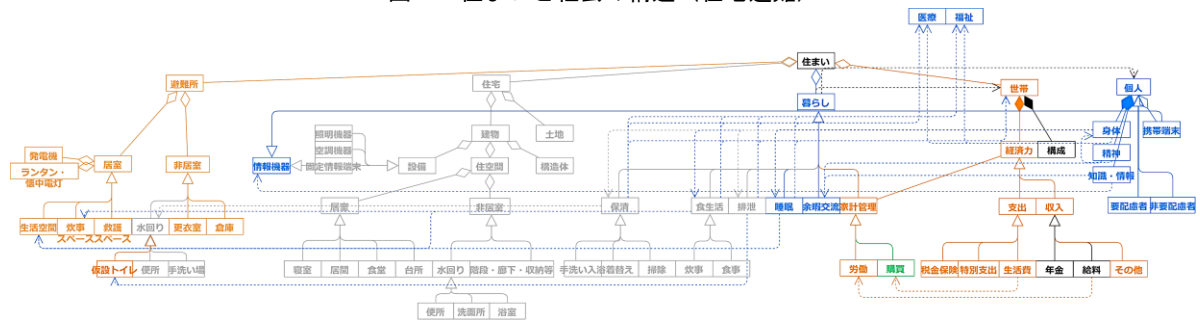


図3 住まいと社会の構造（避難所）※住まい部分

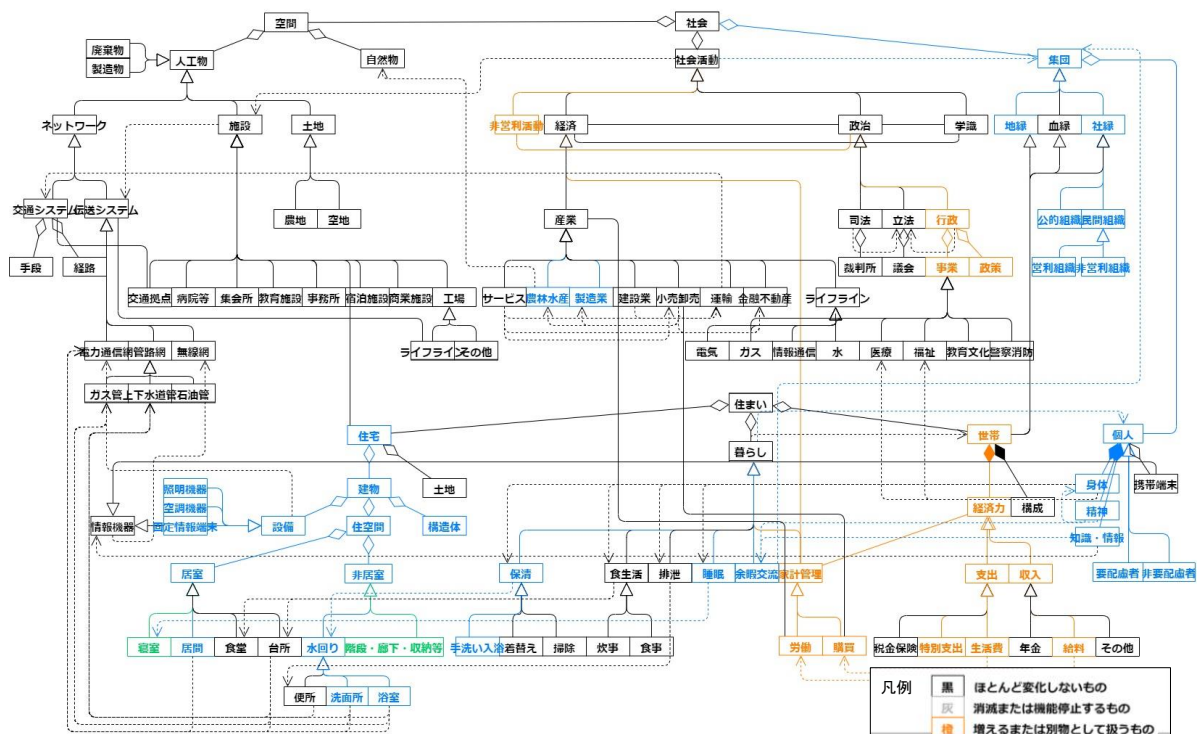


図4 住まいと社会の構造（仮設住宅）

黒	ほとんど変化しないもの
灰	消滅または機能停止するもの
橙	増えるまたは別物として扱うもの
青	質が低下するもの
緑	量が低下するもの

2016年熊本地震における益城町の罹災証明データに基づく 全壊建物に占める層破壊建物の割合についての考察

A Study on Ratio of Story Collapse to Major Damage Based on Mashiki Town's Disaster-Victim Certificate Data due the 2016 Kumamoto Earthquake

○河辺 賢¹, 堀江 啓¹, 井ノ口 宗成²
Ken KAWABE¹, Kei HORIE¹ and Munenari INOBUCHI²

¹MS&ADインターリスク総研株式会社 総合企画部
Corporate Planning Dept., MS&AD InterRisk Research & Consulting, Inc.
²富山大学 都市デザイン学部
Faculty of Sustainable Design, Toyama University

To protect human lives, buildings are required to avoid collapse even if significant damage can be tolerated by strong ground motion. In this study, we investigate the story-collapsed buildings in Mashiki Town, identified based on damage survey data of the local government, due to the 2016 Kumamoto earthquake. The story-collapse ratio to the major damage of wooden buildings was approximately 20%, and it got higher as the construction period becomes older.

Keywords : The 2016 Kumamoto earthquake, Building damage, Story-collapsed building

1. はじめに

地震による建物被害のうち人の生存空間が失われる「層破壊」は、人的被害を発生させる要因の一つであり、災害対応や被害推定において用いられる指標である。一方で、自治体の実施する被害認定調査による判定の一つである全壊は、住家の主要な構成要素の経済的被害が住家全体に対し50%以上であること等を基とした指標である。被害認定調査における外観調査においては、調査員が一目で層破壊と認める場合に全壊とすることができるため、層破壊建物は全壊建物に含まれると考えることができる。

人命保護第一の観点からは、大地震に対して大きな損傷は許容できたとしても層破壊は免れることが求められる。2016年熊本地震において、熊本県益城町は震度7の強い地震動を経験し、多数の全壊が発生した地域である。全壊のうち層破壊の占める割合や、その割合と建物属性の関係を明らかにできれば、層破壊の発生要因特定の一助となる情報を得ることができると考えられる。

本研究では、2016年熊本地震における熊本県益城町の住家被害認定調査結果に基づき層破壊建物を抽出し、建物構造別、建築年代別、屋根形式別、階数別に全壊の中における層破壊の割合を算出し、被害を分析する。

2. 益城町における層破壊建物の特定

熊本地震により発生した益城町における層破壊を抽出

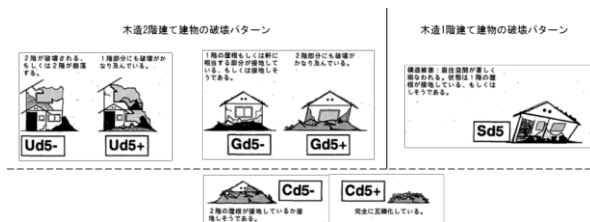


図1 ダメージグレード D5 相当の木造建物の破壊パターン (岡田・高井¹⁾より引用し抜粋)

し、建物被害データに基づき建物属性情報が付与された層破壊建物を特定した。なお、層破壊の定義は、岡田・高井¹⁾におけるダメージグレード D5 以上とした(図1)。

層破壊の抽出に使用したデータは、被災者生活再建支援システム²⁾を用いて益城町により実施された、住家被害認定調査結果である。本システムに収録された各調査対象ごとに調査員が撮影した被災建物の写真画像(以下、調査画像)に基づき層破壊を抽出した(図2)。まず、調査画像の一部を専門家が目視確認によりラベル付けし、それらを畳み込みニューラルネットワークの学習データとすることで、外観画像を層破壊か否かに機械的に分類する「層破壊分類モデル」、および調査画像を外観画像か否かに機械的に分類する「外観画像分類モデル」を作成した。次に、これら2種のモデルを用いて、被害判定区分が全壊とされた調査建物の全調査画像約10万枚を分類した。図3に、層破壊分類モデルにより層破壊と分類された画像の例と、モデルが分類の根拠としている画像領域を可視化した事例を示す。これらの機械的分類の結果、少なくとも1枚の調査画像が層破壊と機械的に分類された調査対象を中心に、調査画像を改めて専門家が目視確認した結果、最終的に1,209件の層破壊を抽出した。

この抽出には建物属性情報が付与されていないため、須藤ら³⁾において使用された、建物被害認定調査結果に罹災証明発行記録および家屋台帳情報を付与した建物被害データを使用することとした。この建物被害データは、

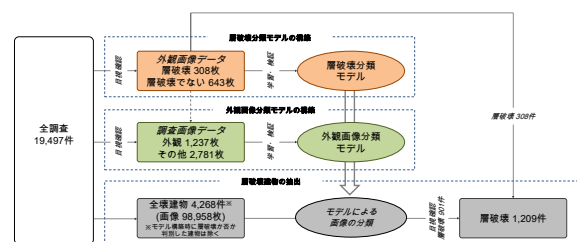


図2 層破壊の抽出手法

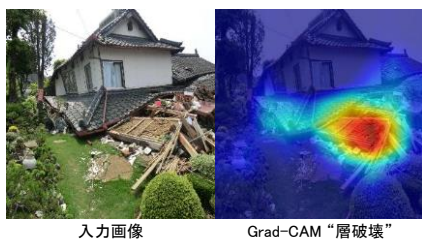


図3 層破壊分類モデルへの入力画像と機械的な分類結果の例

10,159棟分の情報であり、各棟の構造、建築年、屋根形式等が含まれている。前述の層破壊1,209件と建物被害認定調査結果の調査IDに基づき突合した結果、建物被害データに含まれる層破壊建物は571棟と特定した。

3. 全壊建物に占める層破壊建物の割合

建物構造別の全壊建物に占める層破壊建物の割合を図4(a)に示す。木造では全壊建物のうち約20%が層破壊と確認された。鉄骨造(S造)や軽量鉄骨造(LS造)では10%未満、鉄筋コンクリート造(RC造)とコンクリートブロック造(CB造)では層破壊建物が確認されなかったが、全壊棟数が木造と比較して少ないことに留意が必要である。

以降、建物数の多い木造について分析を進める。木造の屋根形式別および階数別の全壊建物に占める層破壊建物の割合を図4(b), 図4(c)に示す。瓦葺と金属葺で割合に大きな差異はみられず、スレート葺の割合が低い傾向がみられた。また階数によって割合に大きな差異は確認できなかった。

建築年代別の全壊建物に占める層破壊建物の割合を図4(d)に示す。また、図5に1年ごとの割合に加え、全建物数に対する全壊建物数または層破壊建物数の割合(全壊率または層破壊率)を示す。特に1960年代前半と2000年頃を境に、建築年代が新しいほど全壊建物に占める層破壊建物の割合が低くなる傾向がみられたが、建築基準法において必要壁量の改正や新耐震設計基準の導入があった1981年頃にはその傾向が認められなかった。一方、全壊率は連続的に建築年代が新しいほど低くなっており、1981年頃にもその傾向がみられた。2000年は接合部金物の使用、耐震壁の偏心の回避が建築基準法で規定された年であり、建物の層破壊防止に効果があったものと考えられる。1960年代前半については、必要壁量の強化や木造軸組の種類や倍率の変更が行われた1959年の建築基準法改正の影響から割合が低くなった可能性があるが、詳細を論ずるほどの情報がない。なお腐朽などの経年劣化、蟻害などの生物劣化も影響を及ぼしたと考えられる。

4. おわりに

2016年熊本地震における熊本県益城町の住家被害認定調査結果に基づき層破壊建物を抽出し、全壊の中における層破壊の割合を算出し、被害を分析した。木造では全壊建物のうち約20%が層破壊と確認され、建築年代が新しいほど全壊建物に占める層破壊建物の割合が低くなる傾向がみられた。

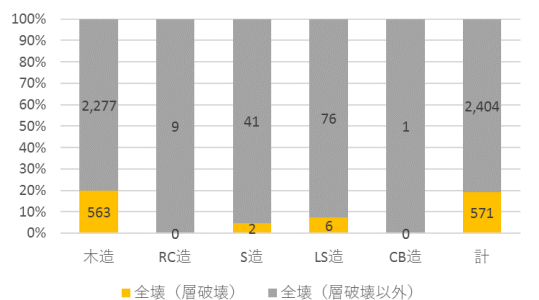
謝辞

本研究で使用した被害認定調査データは熊本県益城町より提供されたものです。また本研究は国立研究開発法人防災科学技術研究所による「首都圏を中心としたレジ

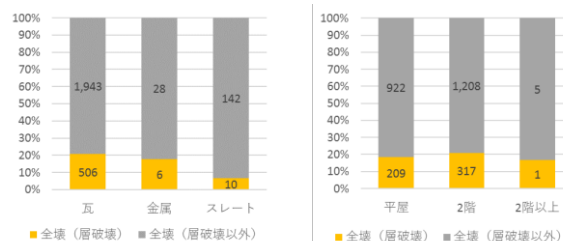
リエンス総合力向上プロジェクト」の一環として実施したものです。関係各位に記して謝意を表します。

参考文献

- 岡田成幸, 高井伸雄: 地震被害調査のための建物分類と破壊パターン, 日本建築学会構造系論文集, Vol.64, No.524, pp.65-72, 1999.
- Urakawa, G., Hayashi, H., Tamura, T., Inoguchi, M., Horie, K., Higashida, M. and Hamamoto, R.: Building Comprehensive Disaster Victim Support System, Journal of Disaster Research, Vol. 5, No. 6, pp. 687-696, 2010
- 須藤巧哉, 山崎文雄, 松岡昌志, 井ノ口宗成, 堀江啓, 劉ウェン: 益城町の罹災証明データに基づく2016年熊本地震に対する建物被害関数の構築, 日本地震工学会論文集, Vol.19, No.4, pp.13-31, 2019.

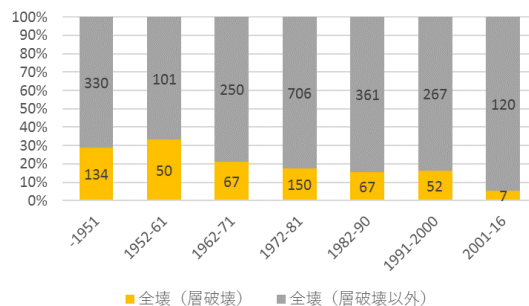


(a) 構造別



(b) 屋根形式別(木造)

(c) 階数別(木造)



(d) 建築年代別(木造)

図4 全壊建物に占める層破壊建物の割合

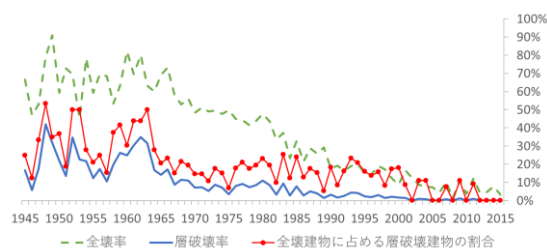


図5 1年毎の全壊率, 層破壊率, 全壊建物に占める層破壊建物の割合

夜間発生地震に対する人体損傷度関数の 適合性並びに応用拡張性の検討 Suitability and Adaptability of Estimation Function of Casualties for Nighttime Earthquakes

○小林 純平¹, 中嶋 唯貴², 岡田 成幸³
Jumpei KOBAYASHI¹, Tadayoshi NAKASHIMA², Shigeyuki OKADA³

¹北海道大学大学院工学院建築都市空間デザイン専攻
Department of Architecture and Urban Space Design, Graduate School of Engineering, Hokkaido University
²北海道大学大学院工学研究院 准教授・博士 (工学)
Associate Professor, Faculty of Engineering, Hokkaido University, Dr.Eng.
³北海道大学大学広域複合災害研究センター・特任教授・工博
Center for Natural Hazards Research, Hokkaido University, Dr.eng.

The 2018 Hokkaido Eastern Iburi Earthquake occurred at nighttime has the same injury rate due to falling furniture, despite the different behavior of people during the earthquake. This means that falling the furniture can cause four times more injuries in a nighttime earthquake than in a daytime earthquake. Using this result, we estimated the human casualties caused by the Tsukisam Fault earthquake, which occurred at night, and found that the number of hospital beds required in the Sapporo area was in excess of the number in a daytime event and that the injured fail to receive adequate treatment.

Keywords : Casualties, Nighttime Earthquake, Population Exposure to Seismic Intensity, Building Damage, Furniture Falls, Indoor Space

1. はじめに

2018年9月6日3時7分北海道胆振東部地震（以下、胆振東部地震）が発生し、死者44名、負傷者785名が犠牲となった。死者44名のうち36名は土砂災害に起因している¹⁾。人的被害は、地震発生時における被災対象者の場所（周辺環境）、そしてそのときの行動が受傷の有無に大きく左右する。すなわち、地震の発生時刻がターゲットの被災シナリオを大きく変える。たとえば同地震は夜間発生であったため、被災中心地であるむかわ町においては複数の建物が1階部分の層崩壊にもかかわらず、その多くが店舗併用住宅であったことにより、同時刻においては2階滞在者が多く、死者・負傷者の発生を抑えた²⁾。倒壊しなかった建物においても発生時刻の違いは室内散乱に伴う負傷発生に関し影響を及ぼすことが考えられる。自治体による既往の人的被害に関する評価・被害想定法においては、発生時刻に関しては建物内の居住者滞在率や火気使用による火災発生率を考慮するのみで、昼夜間の居住者の行動能力の違いには全く配慮していない。そこで、本研究では、午前3時7分という住民が寝静まった時刻における負傷発生状況を評価式に取り入れるべく、同地震における被災三町（厚真町・安平町・むかわ町）を対象とした全世帯アンケート調査結果³⁾を用いて検討する。具体的には、人体損傷度関数⁴⁾を北海道胆振東部地震に適用することで、負傷者数を推定する。アンケートで聞き取れなかった関数パラメータ（家具転倒領域率等）に関しては、北海道の床面積・家具数などを用い、調査結果との比較を実施した。さらに、同様のアンケート調査を実施している昼の地震（2007年新潟県中越地震）と比較検討し夜間の行動能力を評価する。加

えて、胆振東部地震被災三町における人的被害の公表結果と比較することでその適用精度を確認する。最後に応用例として札幌市に適用することで、夜間発生地震に対し地域の医療体制の対応の可否を評価する。

2. 使用したデータ

本研究で用いた胆振東部地震における被災3町の全世帯アンケートは当研究室で独自に設計し、北海道危機対策課の協力を得て配布・回収を行った。総回収数は2370件、回収率22.7%である。回答世帯の位置情報が判明し

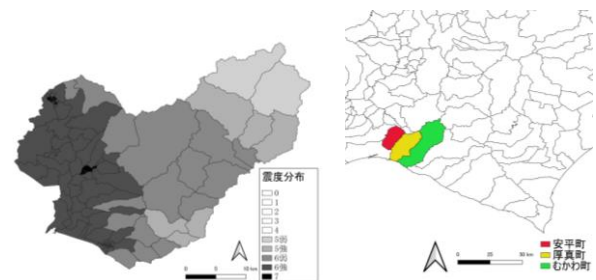


図1 被災三町 QuiQuake 震度分布とその位置

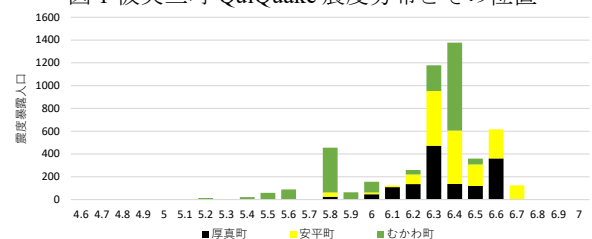


図2 QuiQuake 震度曝露人口

たものが 96.3%、2282 世帯である。また、人体損傷度関数による推定には、消費者実態調査、国勢調査による小地域区分の人口データを用いている。入力地震動に関しては、防災科学技術研究所の共振観測網 K-NET、KiK-net より作成された QuiQuake における震度分布⁵⁾を用いた。被災三町における小地域区分ごとの QuiQuake 震度分布と被災三町の位置情報を図 1、QuiQuake 震度による震度曝露人口を図 2 に示す。三町ともに震度 6 強のエリアに人口が集中している事がわかる。

3. 北海道胆振東部地震における負傷要因

3.1. 負傷要因別割合とその程度

未明に発生した地震による負傷実態を明らかにすべく、アンケート回答者の負傷率を表 1 に示す。三町の負傷率はむかわ町が少し高く 15%であり、厚真町・安平町は 10%程度である。また、アンケートにおける負傷者のうち、「打撲」「擦り傷・切り傷」「捻挫」「やけど」と答えた人を軽傷、「骨折・関節脱臼」「内臓・内部損傷」と答えた人を重傷とした。重傷率は厚真町・安平町・むかわ町でそれぞれ 6%、5%、4%、軽傷率はそれぞれ 84%、93%、89%となっている。次に、負傷者の要因に着目すると(図 3)、厚真町・むかわ町において家具転倒落下による負傷者が 45%、38%となっているのに対し、安平町は 28%と低く、ガラスや金属による負傷割合が高い。また、三町における負傷程度別の負傷要因について図 4~6 に示す。重傷者のうち建物の構造部材損傷による負傷者が厚真町では多く、安平町・むかわ町では家具の転倒落下による負傷が最も多い。また、軽傷者のうち厚真町・むかわ町においては家具の転倒・落下による負傷者が最も多く、安平町では家具の転倒・落下の負傷者とガラスや金属による負傷者が多いことがわかる。家具の転倒・落下による負傷者が多いことは未明に発生した地震において、就寝中である夜間発生地震における特徴であると考えられる。本研究ではアンケートの集計結果より重傷者の要因として多い建物の構造部材損傷と、軽傷者における割合が多い家具の転倒落下による負傷者に対して人体損傷度関数を適用し、夜間発生地震における負傷者数の推定を行う。

表 1 アンケート回答者数における負傷率

	回答者数	負傷者	負傷率	重症率	軽傷率	その他
厚真町	1409人	150人	11%	6%	89%	5%
安平町	1669人	164人	10%	5%	93%	2%
むかわ町	1824人	276人	15%	4%	89%	7%

3.2. 地震時の行動率

地震時の行動が負傷発生の有無に大きな影響を与えることが知られている。アンケート結果(図 5)より、揺れの最中の行動率をみると三町平均で 20%の人がなんらかの行動をしている。これは、中越地震の 47%と比べかなり小さな値となっている。また、2004 年中越地震におけるアンケート調査のみではなく、地震時室内行動調査における 1993 釧路沖地震⁶⁾、2004 年中越地震⁷⁾、2007 年能登半島地震⁸⁾と比較しても、半数以下の値となっており大半の人が就寝中である未明の地震発生は住民の地震時行動率が低くなる。2003 年十勝沖地震⁹⁾においては、4 時 50 分 7 秒と就寝中の住民が多かったが、初期微動が 10 秒と長くその間の行動が多くなっている。

3.3. 揺れの最中の行動の有無による負傷率の比較

地震最中の移動を選択した居住者の負傷率の検討を行う。青木・他¹⁰⁾によれば、地震時において家具が転倒落下してくるような危険領域に存在する人の 75%が避難に成功している。そこで、北海道胆振東部地震においても、同様の傾向がみられるか、揺れの最中の行動した者と行動しなかった者の負傷率の比較を行った。地震最中に行動した者の負傷率は厚真町・安平町・むかわ町でそれぞれ 11.3%・12.3%・16.7%であった。次に、地震時に行動しなかった者の負傷率がそれぞれ 12.3%・9.5%・17.5%であった。行動負傷者に対しての非行動負傷者の割合を負傷増減率と定義し比較すると、負傷増減率は厚真町で 0.9、安平町で 1.3、むかわ町 1.0 となり、3 町とも行動者と非行動者の負傷率に大きな差はなく行動者がうまく負傷を回避できていないことが分かる未明に発生した胆振東部地震では多くの住民が就寝中であり、揺れとともに起床

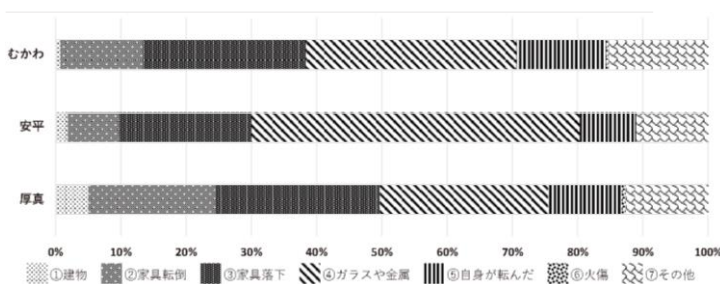


図 3 負傷要因別割合

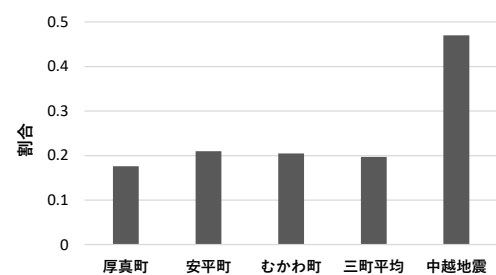


図 7 地震時の行動率

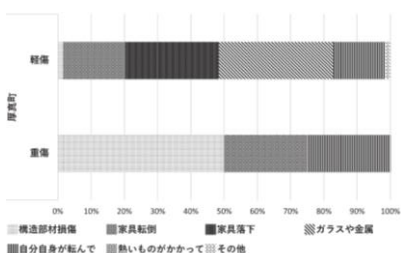


図 4 厚真町負傷程度・要因

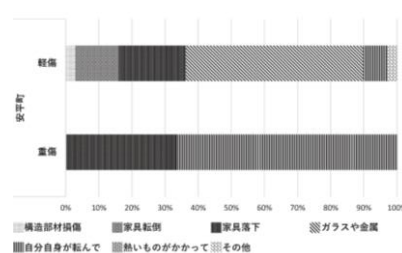


図 5 安平町負傷程度・要因

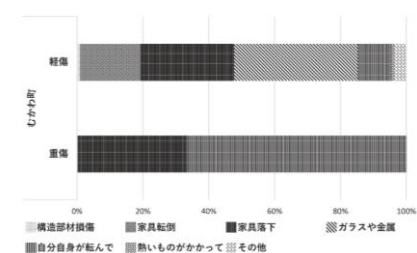


図 6 むかわ町負傷程度・要因

し、行動した者も家具が転倒してくるエリア（危険領域）と家具の転倒してこないエリア（安全領域）を瞬時に把握し適切に移動することができず、負傷率が下がらなかったと推測される。

4. 人的被害推定式

4.1. 建物の構造部材損傷による人的被害推定式

建物被害の推定には、竹内による被害関数¹¹⁾と岡田・中嶋¹²⁾の人体損傷度関数式(1)(2)を用いる。

$$M_{iss}(\theta) = \sum_{\Delta x=0.6}^{1.0} \sum_{I=0}^{I=7.4} P_w(I, \Delta x) \times P_{\Delta x}(\theta) \quad (1)$$

$$P_D = \int_0^{75} M_{iss}(\theta) \times d(\theta) \times E(\gamma) \cdot d\theta \quad (2)$$

$M_{iss}(\theta)$ は ISS(θ)別負傷者確率分布、 $P_w(I, \Delta x)$ は空間損失率 W 値を加味した木造住家の損傷度(Δx)別損失空間人口である。住家木造率は胆振東部全世帯アンケート調査より算出し、各三町の震度曝露人口（図 2）に乘じ、さらに θ を積分することで室内損傷空間での負傷者数が求まる。また死者数 P_D は式(2)より算出する。

4.2. 室内の家具転倒落下による人的被害推定式

室内被害の想定式は岡田・中嶋¹³⁾手法式(3)(4)(5)を用いる。

$$P[n, I, T, U] = T \times U \times \sum_{k=1}^n P[k, n, I] \times k \quad (3)$$

$$W_e(I) = \sum_x^{1.0} (1 - W_{\Delta x}) \times P(I, \Delta x) \quad (4)$$

$$F = \int_{1/6}^1 F_{I,T,U}(\vartheta) \times W_e(I) d\vartheta dl \quad (5)$$

式(3)において、 T が在宅率、 U が非避難行動率を表し、そのパラメータをもとに震度 I での世帯人数別負傷者の発生確率 $P[n, I, T, U]$ を求めた。式(4)で建物因被害を除去すべく、建物の各損傷度における空間残存率 $1 - W_{\Delta x}$ 値に建物が損傷度 Δx となる発生確率 $P(I, \Delta x)$ を乗じ、震度ごとに空間残存率の期待値 $W_e(I)$ を算出した。最後に、式(5)において、 $P[n, I, T, U]$ に世帯人数別震度曝露人口を乗じて求めた家具衝突時の人体損傷度別人数 $F_{I,T,U}(\vartheta)$ と $W_e(I)$ の積より合計を負傷者の総和 F とした。家具寸法と家具保有数は谷川・他¹⁴⁾を参考に、設計資料集成をもと平成 26 年度全国消費実態調査¹⁵⁾から北海道のデータを用いた。推定する人口は胆振東部全世帯アンケート調査での震度曝露人口を用いた。また、未明の地震ということから、 U 値を 1.0（地震時の行動による負傷率の低減なし）とし推定を行う。

5. 人的被害推定結果と被害比較

5.1. 構造部材による人的被害推定結果の評価

式(1)(2)とアンケート回答者による震度曝露回答者数を用い構造部材による負傷者の推定を実施する。全世帯アンケート調査による負傷者数と推定結果を表 2 に示す。ここで、アンケートにおいて建物の構造部材損傷によって負傷したと回答した人のうち、土砂によって建物損傷を受けた人を除き、比較を行う。建物による負傷者数はアンケート調査による負傷者に比べ 5 名から 11 人程度多

く推定されたものの概ね推定できている。

表 2 構造部材損傷に伴う負傷想定式精度確認

[人]	厚真町	安平町	むかわ町
アンケート集計結果	4(4)	3	2
推定式での推定結果	15	16	7

単位 人(カッコ内土砂による建物負傷者)

5.2. 家具転倒落下による人的被害評価確認式

式(3)(4)において、 U 値（非避難行動率）を 1.0 とした人体損傷度別負傷者数を推定する。比較は厚真町・安平町・むかわ町の町ごとの震度別に行い、それらの総和を負傷者として算出した。人的被害指標は AIS¹⁶⁾として、AIS2 を軽傷、AIS3~5 を重傷とした。AIS1 は極めて軽微な軽傷であるため、自己治療をして回復行為を行ったものとする。結果を図 8 に示す。負傷者について、厚真町 66 名に対し、99 名、安平町 41 名に対し 113 名、むかわ町 94 名に対し 86 名と厚真町・むかわ町については、高精度で推定できており、未明に地震が発生した場合、人の活動時間に発生した地震と比べて負傷者数が増加していることが分かる。推定値に比べ半分程度の負傷者数であった安平町においても U 値を 0.25 から 1 としているにも関わらず、推定値の 1/4 とはなっておらず、夜間時の地震発生の影響があったのであろうと考えられる。次に重傷者を比較すると厚真町においては、4 名に対し 2 名、安平町においては 3 名に対し 3 名、むかわ町においては 1 名に対し 2 名と概ね推定できているといえる。これらの結果をもとに、室内における家具転倒落下による負傷者の人的被害想定式の拡張性の確認ができたと言えるであろう。

5.3. 人的被害推定結果と公表データの比較

厚真・安平・むかわ三町全域において人的被害推定を試みる。QuiQuake 震度を用い、統計局¹⁷⁾より 250m メッシュに含まれる人口を用いて小地域別町丁目毎に累計し、QuiQuake 震度による震度曝露人口を作成した。次に式(3)(4)を適用し、負傷者の推定値を算出し、北海道庁¹⁾による公表データと負傷者の比較を行った。結果を表 3 に示す。三町で唯一入院施設（むかわ町鶴川厚生病院）を有するむかわ町においては人的被害推定が精度高く評価できている。しかしながら、厚真町・安平町においては推定結果が過大評価となっている。この一因として、厚真町・安平町には入院可能な病院がなく、行政の公表データが正確に人的被害の状況をとらえていない可能性を指摘できる。特に、厚真町においてはアンケートによる負傷者数がある程度推定できているのに対し、本章での既存人口を用いた推定と公表データの実数値には大きな誤差があることから、厚真町においては町外に搬送された負傷者の移動が多かったため、実数を把握できていない可能性がある。安平町では町外に搬送された人が

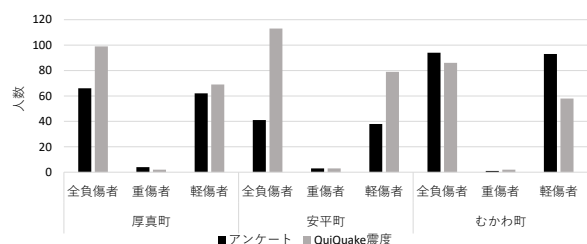


図 8 アンケート集計と推定結果の比較

多数いるものの、アンケート回答者に対しても過大評価となっていることから、室内行動調査などの調査を追加実施し原因を明らかにすることが必要である。厚真町・安平町における人的被害の発生数は他地域搬送の影響により正確な数字はわからないものの、むかわ町においては精度高く推定されており、人的被害の最大値の推定はできていると考えられる。

表3 自治体による公表データと推定結果の比較

	厚真町			安平町			むかわ町		
	死者	重症	軽傷	死者	重症	軽傷	死者	重症	軽傷
北海道庁	0(37)	0	61	0	7	10	1	27	250
本研究による手法	5	20	241	7	33	463	3	14	286

単位 人(カッコ内土砂による死者数)

6. 未明の地震発生における人的被害の発生状況

未明における地震の発生は、就寝中に地震の揺れにさらされることにより的確な判断や行動が出来ず、地震時の行動率と安全領域への避難率を低下につなげる。結果、室内における負傷者数を増加させる。本論においては未明に M_w 6.8、月寒断層¹⁷⁾で地震が発生した場合の重傷者数を図9に示す。谷川・他¹⁴⁾の推定においては、札幌商圏における平均病床数は5,070床、重症者数は5,830人であり、二次、三次病院における緊急時の病床の増加を考慮すれば対応可能な水準であった。しかし未明の地震においてむかわ町と同程度の負傷者が発生すれば室内負傷者が増大し、16,354人と平均空病床数の三倍程度となる可能性がある。自助による耐震化や家具の固定以外にも負傷リスクの低い安全な賃貸住宅の供給や賃貸者の室内負傷発生を防ぐための住宅選択、家具購入時に安全で豊かなコーディネートの提案など、これまでにはない多重な施策で負傷者を軽減していくことが必要であろう。

7. まとめと今後

本研究は、未明に発生した地震における人的被害の実態を明らかにするとともに、人体損傷度関数の拡張性・応用性の確認を実施した。結果、安平町においては過大評価となるものの、厚真町・むかわ町においては全世界アンケート結果を重傷・軽傷ともに精度よく推定可能であり、拡張性・応用性についての汎用性を示した。さらに、未明の地震が人的被害の発生に与える影響評価を実施し、負傷者発生に大きな影響を与えることを明らかにした。ただし被害の最大値は推定できたものの、安平町においては過大評価をしており、室内状況の調査を行うなどさらなる推定精度の向上が必要であろう。今後も継続して研究を実施していく所存である。

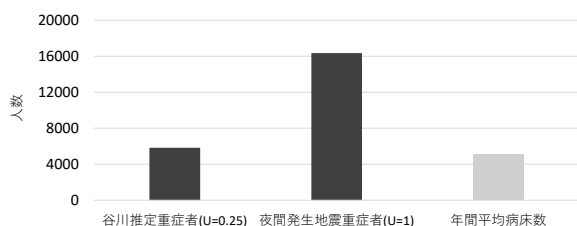


図9 負傷回避率を0.25から1.0にした時の災害対応限界の比較

謝辞

本研究は、2020年度東大地震研・京大防災研の拠点間連携共同研究プログラムの助成を受けたものです。

参考文献

- 1) 北海道庁：令和2年北海道胆振東部地震による被害状況等第122報, 2020
- 2) 岩崎祥太郎（北海道大）・中嶋唯貴・岡田成幸・植松武是・松島信一・佐伯琢磨：2018年北海道胆振東部地震の被害調査 その2 被災中心地域の住家被害悉皆調査, 日本建築学会大会学術講演梗概集（北陸）, 211-74, 2019
- 3) 西嘉山純一郎・岡田成幸・中嶋唯貴・伊藤喜紀：2018年北海道胆振東部地震の被害調査~被害集中地域全世界アンケート調査による人的被害要因分析~, 日本地震工学シンポジウム論文集 15thROMBUNNO.GO, 06-01-04, 2018-11-16
- 4) 村口紗也・岡田成幸・中嶋唯貴：起居様式モデルによる地域の地震時死傷要因別人的被害評価式の提案, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 21239, 2017-07
- 5) QuiQuake 地震動マップ即時推定システム GSJ：<https://gbank.gsj.jp/QuiQuake/>, 2020-04-16
- 6) 岡田成幸・坂井忍：1993年釧路沖地震による室内変容と人間行動調査, 地域安全学会論文報告集(4), 277-286, 1994
- 7) 岡田成幸・名知典之・田守伸一郎：2004年新潟県中越地震における室内人的被害調査, 地震防災分野 2004年新潟県中越地震特集 東濃地震科学研究所報告(18), 65-157, 2006-03
- 8) 岡田成幸・名知典之：2007年能登半島地震における建物・室内・人的被害に関する調査, 地震防災分野 震害と防災特集(Part1) 東濃地震科学研究所報告(22), 89-124, 2008
- 9) 田村篤・岡田成幸・田畑直樹・名知典之・渡辺千明・南慎一・高橋章弘・戸松誠・松岡佳秀：地震時の人的被害軽減に向けた2003年十勝沖地震室内ヒアリング調査, 日本建築学会大会梗概集, B-2, 2004
- 10) 青木俊典・中嶋唯貴・岡田成幸：解剖学的外傷重傷度指標の導入による地震時人体損傷評価, 日本建築学会東海支部研究報告集 47, 201-204, 2009
- 11) 竹内慎一・岡田成幸・中嶋唯貴：地域性及び時代性を考慮した木造建築物の地域被害率関数構築法の提案~北海道を例とした耐震評点分布を利用する方法~, 日本建築学会構造系論文, 第83巻 第753号, 2018
- 12) 岡田成幸・中嶋唯貴：大地震に伴う人的被害の重症度指標別詳細評価法の提案~想定南海トラフ巨大地震による震動及び津波被害を例に試算~大規模地震に対する, 地域保健基盤整備実践研究平成26年度総括・分担研究報告書, 147-162, 2015
- 13) 岡田成幸・中嶋唯貴：建物倒壊及び室内散乱に伴う地域の地震時人的被害評価式の統一, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 21276, 2018
- 14) 谷川真衣・中嶋唯貴・岡田成幸：想定震源距離漸増による札幌市の災害対応限界室内及び建物の複合被害による負傷者推定に基づく患者搬送の限界評価, 日本地震工学シンポジウム論文集 15th, 06-01-05, 2018
- 15) 総務省統計局：平成26年度全国消費実態調査・主要耐久消費財, 2017
- 16) 相川直樹ほか：救急データブック 中外医学社, 149-155, 2001
- 17) 北海道総務部危機対策局危機対策課：平成25年度地震被害想定等調査結果報告書, 2015

地震火災時におけるリアルタイム避難誘導情報伝達のための プロトタイプシステムの開発

Development of Prototype System for Information Distribution of Real-Time Evacuation Guidance in case of Post-Earthquake Fire

○鈴木 雄太¹, 糸井川 栄一²

Yuta SUZUKI¹ and Eiichi ITOIGAWA²

¹前 筑波大学大学院システム情報工学研究科博士後期課程 (現 国立研究開発法人建築研究所)

Faculty of Engineering, Information and Systems, University of Tsukuba (present; Building Research Institute)

²前 筑波大学システム情報系

Graduate School of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba

In evacuation guidance in the event of an earthquake fire, it is important to make a decision given fire information, information transmission between the "fire department that collects fire information" and the "basic municipality that implements evacuation guidance" is an urgent issue. In this study, we developed the prototype system of information distribution that proposes basic information for evacuation guidance decision-making by the government. This system is Web service based on GIS that collect fire information and evacuation information derived by each fire department in the special wards of Tokyo.

Keywords : post-earthquake fire, evacuation guidance, real-time, GIS

1. 研究の背景と目的

我が国では、首都直下地震の発生が30年以内に70%程度の相当高い確率で発生すると予測されている¹⁾。こうした大地震の発生後には、火災に対して脆弱とされる木造住宅密集地域を中心とした同時多発火災による甚大な人的・物的被害が懸念される。東京都による首都直下地震の被害想定²⁾によると、地震火災による被害者数は、最も被害の大きい冬の夕方18時のケースにおいて死者4081人・負傷者17709人と甚大な被害者数が想定されている。その人的被害の主要因は「延焼拡大時の逃げ惑い」とされている。ただし、その根拠となる死者数の算定は、過去の震災被害のデータから統計的に推計したものであり、逃げ惑いのメカニズム自体は明らかにされておらず、現代都市に適用されるのか明らかではない。

一方、先行研究では、一部の避難圏域を対象として住民の避難行動を記述した地震火災避難の計算シミュレーション実験を行い、地震火災避難の特性把握が行われている。加藤の実験³⁾では、出火点分布が異なるシミュレーション実験を3000回試行した結果、悪条件が重なることで、避難に失敗による被災者が多く発生する極端なケースが確認されている。大佛・沖の実験⁴⁾では、避難者に徒歩帰宅者を加え、時間帯による被害の違いを明らかにしている。いずれも、避難者個人の自由意思に任せた避難開始決定や経路選定による避難を前提としている。以上より、不燃化が進行している現代都市においても、住民の自由意思に任せた避難では火災に対する逃げ惑いによる被害の発生可能性が示唆されている。自由意思に任せた避難では、個人に認知できない複数火点や複雑な延焼拡大に対して適切に迂回することが難しく、やがて避難不能を迎えてしまうという構造が考えられる。

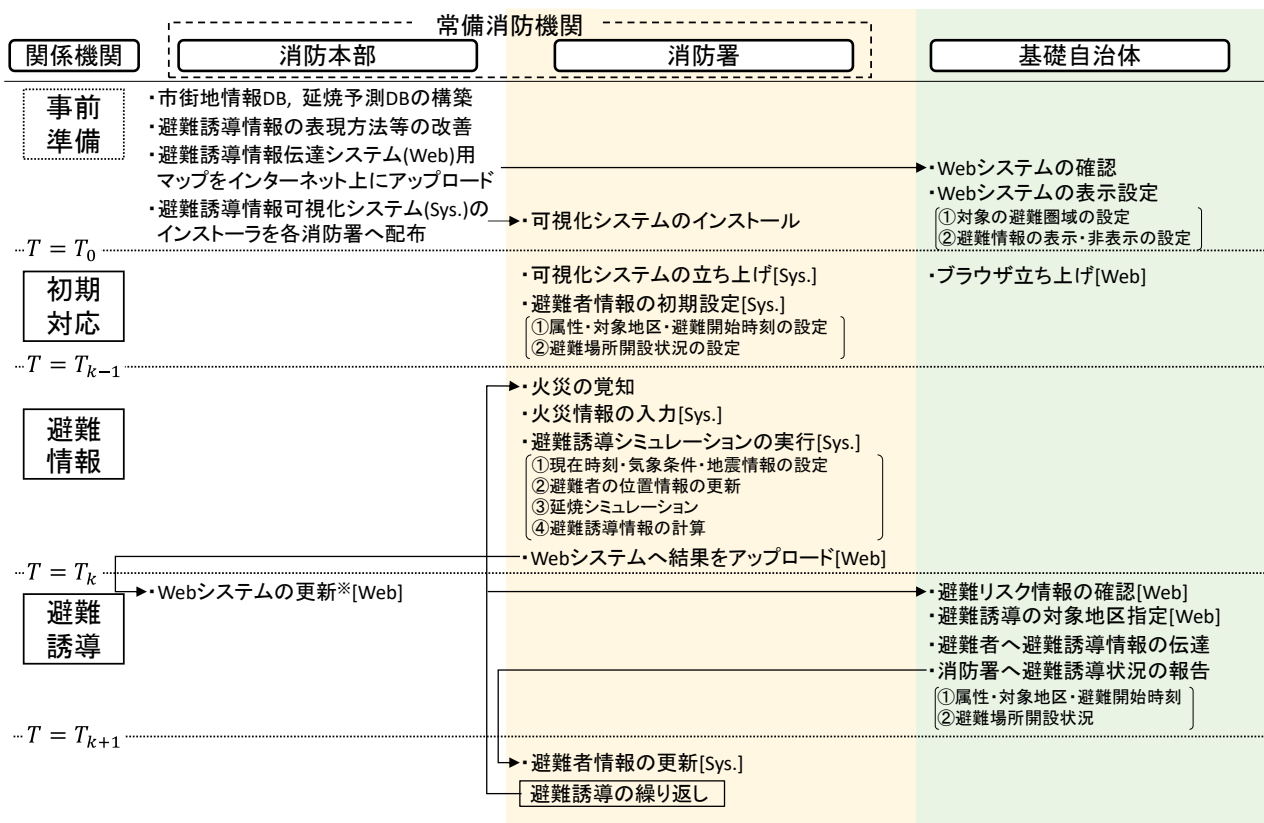
そのため、地域全体を俯瞰した火災の被害状況を把握

した行政主導による住民の避難誘導を行い、十分に安全な時期・経路で避難させることが重要である。地震後の火災情報は、住民通報や職員の巡回によって消防機関へと集約される。そこで、火災情報に基づいて安全な避難経路や避難開始時期及び避難先等(以下「避難誘導情報」)を算出することで、安全な避難誘導が期待できる。

これまでに、筆者らは、こうした火災情報の集約及び延焼予測と避難経路の導出・可視化を行うリアルタイム避難誘導支援システムの開発を進めてきた⁵⁾⁶⁾。このシステムでは、火災情報について、避難誘導時に収集されない「未覚知な火災の存在」と複雑な市街地状況による「延焼予測のばらつき」という2つの不完全性を有する情報として扱い、火災情報に基づき、不完全情報下の避難リスクが低い頑健な避難経路を計算し、GIS上に可視化している。しかし、この既存システムには気象条件・火災情報・避難者属性の入力や延焼予測および避難シミュレーションの実行と多くの作業を要し、システムを利用するにあたり、高度な理解と技術が要求される。

したがって、上記の技術的な作業は火災に精通している消防機関が担当するものとし、導出された火災情報及び避難誘導情報を理解しやすい形式かつ簡単にアクセスでき、上記の既存システムの代わりに参照してもらうシステムが求められる。加えて、火災情報は消防署別に収集されるため、各々の火災が広域に影響を及ぼす同時多発火災下の避難では、各消防署の情報を統合し避難誘導に運用する必要がある。

そこで本研究では、消防機関によって収集された火災情報に基づいてリアルタイムに導出・可視化された避難誘導情報について、WebGIS上に集約・公開し、基礎自治体への情報伝達を行うプロトタイプシステムの開発を行った。本稿では、本システムで想定する避難誘導の流れ及び開発したシステムの概要について報告する。



Sys.: 避難誘導情報可視化システム(可視化システム), Web: 避難誘導情報伝達システム(Web システム), [システム名]: 使用システム
 T_k : k 回目の行動ステップに対応する時刻. T_0 : 地震発生日時
 ※本研究では消防署のアップロードと同時に Web システムが更新されるが, 消防本部の承認によって更新される方法も考えられる。

図1 プロトタイプシステムを利用した関係機関と避難誘導に関する情報伝達の流れ

2. プロトタイプシステムの概要

(1) システムの種類・役割

図1にプロトタイプシステムを利用した関係機関と避難誘導に関する情報伝達の流れを示す。本システムは複数の管轄区域で収集・加工した情報を1つに集約し、避難経路や避難開始時期等の基礎自治体による避難誘導の判断に資する情報を円滑に提供することを目的としている。本システムは、データベース、避難誘導情報可視化システム及び避難誘導情報伝達システムで構成される。

データベースは、システムを動作させる基本情報として、最新の市街地状況を反映した地理情報(以下「市街地情報DB」)、様々な想定による延焼予測結果の蓄積(以下「延焼予測DB」)及び表現等のテンプレートの3つで構成されている。市街地状況や避難誘導に資する情報は常に変化するため、定期的なメンテナンスが必要である。

避難誘導情報可視化システム(以下「可視化システム」)は、火災情報を集約し、延焼予測及び避難シミュレーションの結果を可視化するシステムである。発災時の状況を常に把握する必要があり、条件設定や結果の解釈等、専門的な技術を要する。

避難誘導情報伝達システム(以下「Webシステム」)は、各消防署が可視化システムで導出・可視化した情報を、避難誘導に資する形式でウェブ上に集約・公開するシステムである。閲覧者は基礎自治体の職員となるため、本システムの熟練者ではなくても利用できるように、一定のわかりやすさ・単純さが要求される。

(2) 避難誘導の流れと関係機関の役割

本研究では、消防機関の本部及び各署所と基礎自治体間の情報伝達を想定してシステム開発を行った。消防本部はシステムの構築・管理を行う。市街地データと避難場所及び圏域に関する情報は定期的に更新されるため、こうした基本情報の更新は地域全体の火災に精通する消防本部が担当するとする。また、継続的な研究・検討等によって延焼予測モデルの改良や伝達すべき避難誘導情報の追加・表現等の変更が行われる場合、消防本部に属する各署が共通した形式で情報伝達が行われるように、消防本部が定期的にデータベースの再構築を行う。

事前的に消防本部によって構築・更新されたシステムを各消防署に配布し、災害時には、自身が管轄する圏域の火災情報の入力・延焼予測の呼び出しおよび避難誘導シミュレーションを実行する。その結果、得られた出火点及び延焼予測(火災情報)と避難開始時刻及びその避難経路(避難誘導情報)を可視化し、基礎自治体向けにWebシステムに情報をアップロードする。以上の作業は火災や避難、本システムに関する専門的な知識や技術を要するため、定期的な訓練による熟達化が望まれる。

基礎自治体は、消防機関によって更新されるWebシステムを逐次確認し、現在の火災状況や延焼予測及び避難誘導情報を確認し、避難誘導の対象地区の選定、避難開始時期・誘導する避難経路及び避難先の判断を行う。また、避難誘導を実施した場合、消防機関への報告を行う。この報告を受け、消防機関は避難者情報の更新を行う。

ここで、ひとつ注意点を挙げる。以上の流れの中で提

示される避難誘導情報は、火災状況及び地域の潜在的なリスクを考慮し、どこに・どの経路で避難すべきかという提案情報である。避難誘導は、基礎自治体の主導で行われるが、火災情報に精通する消防機関が避難誘導の状況判断を実施することが重要であると考えられる。一方で、大地震時のように火災情報が全体の一部のみである不完全情報下では、地域の実態を把握している基礎自治体が避難勧告の最終判断を行うことが望ましいと考えられる。一方で、消防機関側は実際に避難誘導されたのか判断し、次の提案情報を示すことが求められる。そこで、基礎自治体は、避難誘導の実施状況について、対象地域を管轄とする消防機関に報告し、リアルタイムにおいて、システム上と実際の状況に相違が無いようにする必要がある。

2. ArcGISをプラットフォームとしたプロトタイプシステムの開発

(1) システムの構成

本研究では、東京都特別区を対象に、ArcGIS をプラットフォームとして、可視化システム及び Web システムを構築した。ArcGIS とは、ESRI 社によって開発された GIS プラットフォームであり⁷⁾、地理空間情報を扱う一連の機能を有していることに加え、オンラインサービスや簡単なアプリ開発が可能であり、汎用性の高さが特徴的なソフトウェアである。

図2に ArcGIS によるプロトタイプシステムの構成を示す。特別区全域のデータベースを整理し、本データベースを入力して各署所の可視化システムを構築した。Web システムは、可視化システムで導出された情報を統合するために、ArcGIS Online のサーバー上に構築し、各可視化システムから情報をアップロードするようにした。各自治体は、ArcGIS Online のウェブブラウザにアクセスし、情報を取得するようにした。

(2) データベースの構築

データベースは、市街地情報 DB と延焼予測 DB の2つのデータベースで構成される。市街地情報 DB は、東京消防庁で5年に1度実施される市街地状況調査のデータ⁸⁾における市街地データ、東京都都市整備局によって公開されている避難場所のデータ⁹⁾を避難シミュレーション用に加工したもので構成される。以上のデータは、上記の調査が更新されるたびに置き換える必要がある。

延焼予測 DB は、現在の延焼予測モデルで広く使われる東消式 2001¹⁰⁾を用いて、23 区内の各建物を出火点として風速・風向別にシミュレーションを実施した結果をデータベースに蓄積したものである。あらゆるケースに対応するためには、様々な風速・風向・出火点でシミュレーションを実施しておき、災害時の状況と同条件の結果を呼び出せるように備えることが重要である。

これらのデータは非常に大きいデータであるため、各消防署の管轄単位で必要な部分を抽出・分割しておくことで、各消防署で避難シミュレーションを実施する際の計算コストを節約している。

(3) 避難誘導情報可視化システム(可視化システム)

避難誘導情報可視化システムは、データベースを入力して各消防署の管轄単位で火災情報の入力・延焼予測および避難誘導シミュレーションを実施し、延焼予測範囲および避難経路を GIS 上に可視化するシステムである。なお、システムの概要については、既報(文献 6))に詳しい。可視化情報等の内容は、本部が作成するテンプレートで

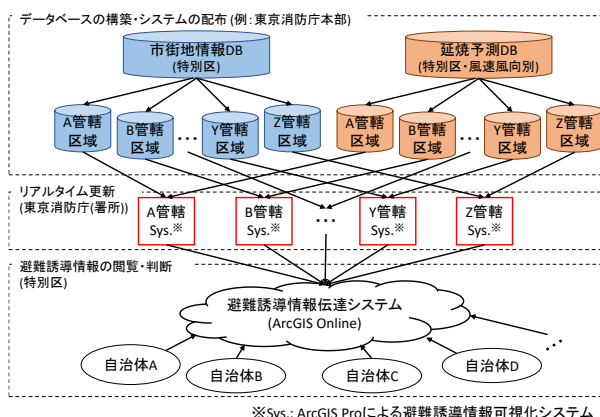


図2 ArcGIS によるプロトタイプシステムの構成

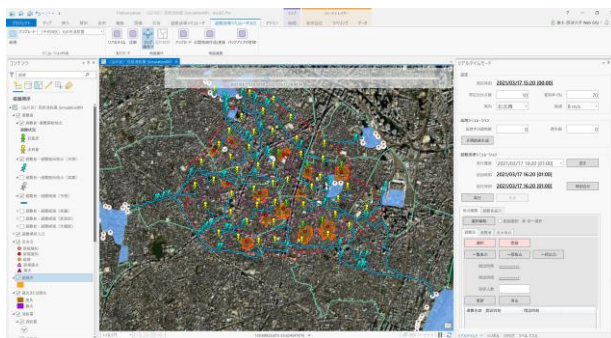


図3 ArcGIS Pro による避難誘導情報可視化システム

設定されており、全消防署が統一した形式の避難誘導情報を発信することができる。

図3に荏原消防署(品川区)の管轄区域について、延焼予測及び避難経路を可視化システム上に表示した例である。避難圏域と消防署の管轄は異なるため、管轄内の複数の避難圏域について同時に計算される。

(4) 避難誘導情報伝達システム(Webシステム)

消防署は各管轄の火災情報及び避難誘導情報を整理するため、可視化システムでは自身の管轄のみを対象とすれば十分である。一方で、避難誘導を実施する基礎自治体(本稿の例では品川区)は、区内の各避難圏域もしくは隣接する区までを俯瞰して被災状況を把握し、避難誘導の対象地区等の決定を行う必要がある。そのため、本研究では、各消防署が計算・可視化した各管轄の火災情報及び避難誘導情報を統合し、一つの地図上で確認できる避難誘導情報伝達システムを ArcGIS Online をプラットフォームとして開発した。

図4に品川区について、各消防署管轄で可視化された情報を Web システムにアップロード・表示した例を示す。図4より、Web システムでは、各消防署がアップロードした火災情報及び避難誘導情報を地図上で確認することができる。また、これらの情報はタイムスライダーを使用することで、現在から将来までの時間的な推移を観察することができる。加えて、避難経路の導出の際の設定や避難経路のリスク情報について、ポップアップもしくはテーブルに表示可能である。本稿の例では避難経路を表示しているが、メッシュによるリスク情報も表示可能である。こうした情報の公開有無は、消防本部によるテンプレートの作成時に設定可能であり、今後、より分かりやすい情報の在り方を検討する度に、逐次システムをアップデートすることができる。

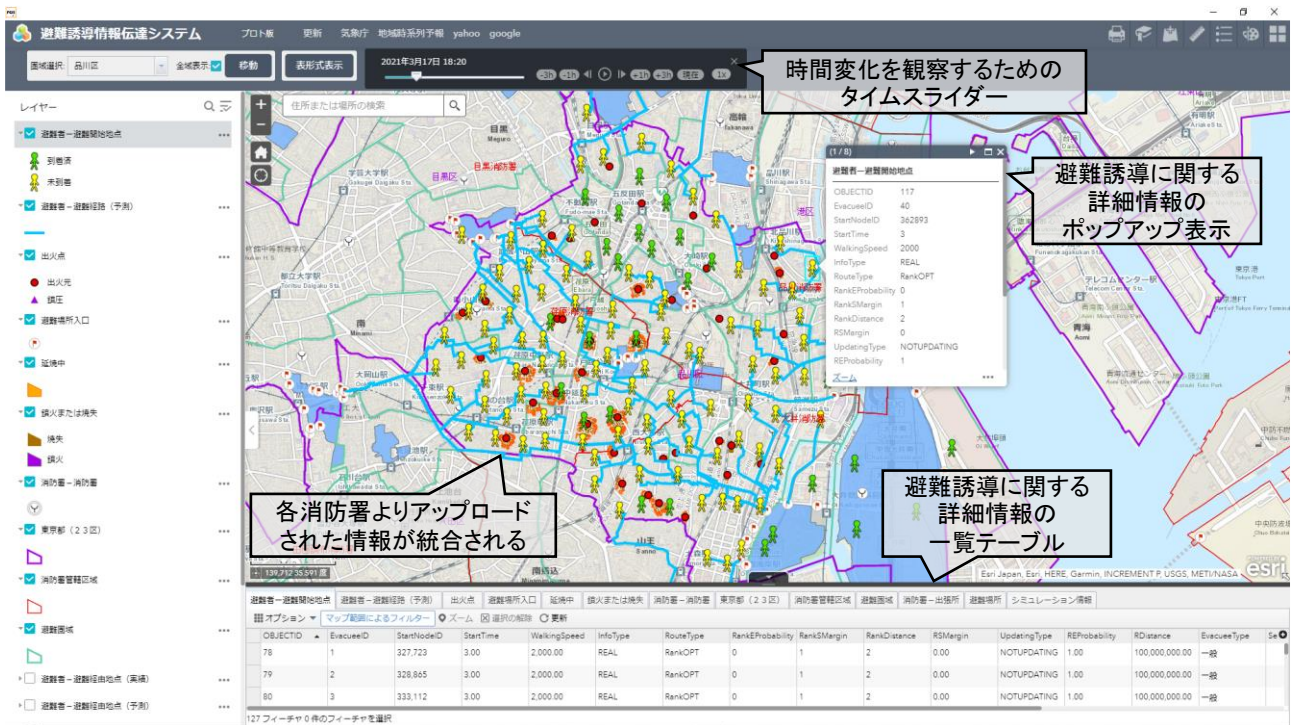


図4 ArcGIS Onlineによる避難誘導情報伝達システムの表示例

4. まとめと今後の展望

本研究では、消防機関によって収集された火災情報に基づく避難誘導情報をGIS上に統合・公開し、基礎自治体によって閲覧するためのプロトタイプシステムの開発を行った。本システムを応用することで、複雑かつ専門性の高い地震火災時の避難誘導に関する情報について、円滑かつ正確な情報伝達が可能になると期待できる。

ただし、本研究のシステムは試作段階であるため、表示する情報形式の自由度を高くする等の汎用性を高めることに注力しており、表示する情報の見やすさや提供情報の選定について十分な検討はされていない。今後、本システムの実用化に向けて、実際の消防職員及び基礎自治体の職員に対して訓練的に利用する機会を設けてフィードバックをいただき、視覚デザインや情報の取捨選択等、表示情報の具体化を進める必要がある。

加えて、避難誘導情報を構築するためのリアルタイム避難誘導モデルの高度化と安全性の検証も重要である。本研究はシンプルなモデル開発であるため多くの現象を捨象している。例えば、本研究で提示している延焼予測と避難誘導情報は飛び火が考慮されていないモデルで算出されたものである。また、建物倒壊による道路閉塞や避難路の混雑情報を反映していない。こうしたモデル上の課題を解決し、現実利用可能なシステム構築によって、リアルタイム避難誘導システムの高度化と社会実装を目指していく。

謝辞

なお、本研究の一部は、総務省消防庁消防防災科学技術研究推進制度による「地震火災時の不完全な覚知火災情報に基づくリアルタイム避難誘導支援に関する研究」によるものである。

参考文献

- 1) 内閣府：首都直下地震対策検討ワーキンググループ最終報告，中央防災会議，http://www.bousai.go.jp/jishin/syuto/taisaku_wg（最終閲覧日：2021年4月19日）。
- 2) 東京都：首都直下地震等による東京の被害想定，東京都防災ホームページ，https://www.bousai.metro.tokyo.lg.jp/_res/projects/default_project/_page_001/000/401/assumption_h24outline.pdf（最終閲覧日：2021年4月19日）。
- 3) 加藤孝明：大都市の地震火災の危険性とその対策課題，日本地震工学会，日本地震工学会論文集，第16巻，第5号，2016。
- 4) 大佛俊泰，沖拓弥：密集市街地における大地震時の避難困難率について，日本建築学会，日本建築学会計画系論文集，第77巻，第681号，pp2561-2567，2012。
- 5) 鈴木雄太，糸井川栄一：地震火災時のリアルタイム避難誘導支援を目的とした避難経路可視化システムの開発，地域安全学会，地域安全学会梗概集，No.44，pp.51-14，2019。
- 6) 鈴木雄太，糸井川栄一：地震火災の延焼拡大予測データベースを活用したリアルタイム避難誘導支援システムの開発，地域安全学会，地域安全学会梗概集，No.46，pp.129-132，2020。
- 7) ESRI ジャパン株式会社：ArcGIS，<https://www.esri.com/products/arcgis/>（最終閲覧日：2021年4月19日）。
- 8) 東京消防庁：東京都の市街地状況調査報告書（第9回），平成31年2月に基づく地理情報システムデータ。
- 9) 東京都都市整備局：震災時火災における避難場所及び避難道路等の指定（第8回見直し），平成30年6月に基づく地理情報システムデータ。
- 10) 東京消防庁：地震火災に関する地域の防災性能評価手法の開発と活用方策，火災消防審議会答申，2001。

津市消防本部救急活動記録を用いた救急搬送実態評価

2020年4月新型コロナウイルス感染症緊急事態宣言前後に注目して

Evaluating for trends of transporting emergency patients using the ambulance activity records of the Tsu City Fire Department: Focused before and after the COVID-19 state of emergency in April 2020

○志垣 智子¹, 今井 寛²

Tomoko SHIGAKI¹ and Hiroshi IMAI²

¹ 三重大学 学生総合支援機構

Organization for Student Affairs, Mie University

² 三重大学医学部附属病院救命救急・総合集中治療センター

Emergency and Critical Care Center, Mie University Hospital

This study evaluated the actual trends and condition of transporting emergency patients before and after the COVID-19 state of emergency in April 2020, using the ambulance activity records of the Tsu City Fire Department, following 2 aspects were obtained. The largest decrease in the total number of emergency transportation was 19% in May. This is the nearly same number of points as the rate of increase in January, July and August 2018 when compared with the same month of the previous year in the 30 months from 2018. Between January and June 2020, frequent use of ambulances aged 60 and over (occurred in dwellings, by external causes) was up to 3 times for 2 people and referrals to medical institutions up to 8 times.

Keywords : Ambulance activity records, The COVID-19 state of emergency in April 2020, The elderly, Dwellings, ICD-10, External Causes, Frequent use of ambulances

1. 研究の背景と目的

全国の緊急事態宣言実施期間は、令和2年4月7日（埼玉県、千葉県、東京都、神奈川県、大阪府、兵庫県及び福岡県以外の道府県については、同月16日）から5月31日までであった¹⁾。三重県の独自の緊急事態措置²⁾は、令和2年4月20日から5月31日である。

本研究は、三重県津市内を対象に、全国の緊急事態宣言、三重県緊急事態措置前後で生活様式が変化し、救急搬送件数が減少傾向にある中で、どのような人から救急要請を受けていたのかを明らかにする。対象とする時期は、2020年1月から6月までとしている。その理由は、本研究で対象とする「コロナ第一波前後」と、今後取り組む「その後」の動向把握を視野に入れてデータを整理・検討できるからである。結果は、消防、社会福祉協議会（地域ケア会議等）、医療機関他と情報共有し、必要な行政サービスの創出とサービスの質の向上に活かす資料としたい。

2. 研究方法

本研究で用いる救急活動記録は、搬送者の属性、疾病内容等多岐にわたって実態を把握できることが特徴である。本研究では、救護台帳・事案台帳他で構成される救急活動記録³⁾を元に、津市内の全搬送件数を対象とした。2017年1月から2020年6月までを用いた理由は、直近の自然災害他（2018年は熱中症搬送者が過去最高を記録⁴⁾、また2018年7月下旬に台風12号、同年8月に台風20号、同年9月に台風21号に伴う被害が津市内で発生している⁵⁾。）に伴う救急搬送件数と比較するためである。

抽出対象項目は、1. 搬送年・月日・曜日・発生時間、2. 事故件数、3. 傷病者数、4. 発生場所、5. 事故種別、6. 年

齢、7. 性別、8. 傷病程度、9. 傷病名、10. 症状、11. 照会回数、12. 同乗者・通報者、13. 病歴、14. 現場滞在時間、15. 収容所要時間、16. 署所コード、17. 指令内容の計17項目である。ただし、記載されていない項目（欠損値）があり、対象項目の集計に差が生じる場合がある。

全救急搬送件数、住宅で発生した救急搬送件数の動向を月単位で比較・検討する。その後、日常生活事故に代表される外因性に注目し、平時から搬送率が高い60歳以上の高齢者による、住宅で発生した救急搬送の実態を明らかにする。なお、本研究で用いる「外因性」の定義は、ICD-10⁶⁾の大分類により区分した外傷、溺水、ガス、薬物、麻薬・覚せい剤、中毒、酸素欠乏症、異物侵入・誤飲、窒息等を対象とし、救護台帳に記載されている傷病名より分類した。以後、これらを「外因性」と記す。同様に、以下で用いる住宅は、居室（居間、応接室、寝室など）、台所（食堂を含む）、便所、浴室（シャワー室、洗面所を含む）、廊下（玄関などの通路を含む）、庭（テラス等を含む）、階段（踊場を含む）、屋根（屋上、物干し台、ベランダ、バルコニー等を含む）、エレベーターを含んでいる。以後、これらを「住宅」と記す。

3. 結果

(1) 月単位による動向：同年同月比による傾向分析

津市内の2020年1月から6月の全搬送件数は6975件で前年の同時期より13%減である。図1をみると、2020年に入り、全体で最も減少したのは5月で、同年同月比で19%減であった。これは、2018年から30カ月のうち前年同月比で比較した際、2018年1月、7・8月の増加率よりやや少ないポイント数である。2018年はインフルエンザや熱中症、台風に伴う救急搬送が前年より増加した

ため、20%以上増が見られる。

同様に、発生場所を「住宅」に限定して抽出し、図1の全体と同様にプロットしている。全体の傾向と大きな差はみられないが、2020年3月以降の減少率は全体と比較して小さい。



図1 全体・住宅の搬送件数 同年同月比 (2018年1月から2020年6月の月単位による推移)

(2) 外因性・住宅からの搬送件数 (人口10万人当たり)

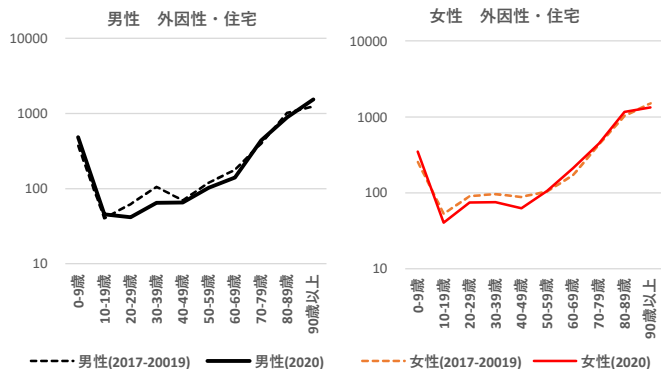


図2 外因性・住宅からの搬送件数 人口10万人当たり 左：男性 右：女性 (対数表示)

ここでは、「2020年1月から6月」と「2017年から2019年の各年1月から6月の合計値」より、外因性・住宅からの搬送件数(各年齢人口10万人当たり)を算出し、性別・年齢10歳階級を対数表示で比較している(図2)。

対象時期にかかわらず緩やかなJ字を描き、高齢層ほど高い割合を示す。20代から60代は、2020年が下回っている。男性の30代は最も減少し、過去3年の平均と比較して0.6倍(2020年1-6月:65件、2017-2019年1-6月:106件、以下同様。)である。

0-9歳では、過去3年と比較して男性1.3倍増(2020年:487件、過去3年:371件、以下同様)、女性1.4倍

増(348件、254件)であった。

3) 外因性・住宅からの頻回利用(選択・依頼搬送)

次に、救急車の頻回利用者の実態を把握するために、津市消防本部に以下を依頼した。すなわち、2017年から2020年の各年1月から6月を対象に、60歳以上でかつ外因性のみに着目し、住宅から2回以上救急車(依頼・選択搬送)を利用している出場番号の抽出を依頼した。その際、同姓同名を避けるため、「住所」、「年齢」を加えて考慮するようにお願いした。

その結果、2020年1月から6月に最大3回利用が2人、2回利用が12人であった。3回利用の2人についてまとめたものが表1である。一人は、昼間に段差で転倒、もしくは早朝、ポータブルを使用しようとした際に、転倒し後頭部を負傷した。中等症であった。もう一人は60代女性で、しゃがんだ際に人工股関節が脱臼し痛みを耐えきれず配偶者が通報している。どちらも病歴はない、戸建て住宅に居住している。また、緊急事態宣言下では、照会回数が最大8回を記録している。過去の頻回利用は、2017年4回1人、2回7人、2018年3回1人、2回14人、2019年2回9人であった。

今回は、2020年1月から6月を過去3年間と比較し、日常生活事故に代表される外因性に注目して検討した。今後は2020年7月以降の搬送件数を加えて、外因性による搬送の実態を詳細に検証する。また住宅のみならず、高齢者住宅等、仕事場、公衆出入り場所他からの救急搬送の動向と地域性を考慮して検討したい。

謝辞

本研究は、三重県防災対策部、津市消防本部より資料提供や貴重な意見をいただいた。記して、謝意を表す。

参考文献

- 1) 内閣官房：新型コロナウイルス感染症緊急事態宣言の期間延長、https://corona.go.jp/news/news_20200421_70.html、(2021年4月2日参照)
- 2) 三重県：三重県緊急事態措置、<https://www.pref.mie.lg.jp/common/content/000888676.pdf>、(2021年4月2日参照)
- 3) 津市消防本部：救護台帳/事案台帳/病歴台帳、2017年1月～2020年6月(2020年10月提供)
- 4) 総務省消防庁：過去の全国における熱中症傷病者救急搬送に関わる報道発表一覧、<https://www.fdma.go.jp/disaster/heatstroke/post1.html>、(2021年4月18日参照)
- 5) 津市：平成30年台風第12号、第20号および第21号による被害状況等について(最終報)(9月21日17時00分現在)、<https://www.info.city.tsu.mie.jp/www/contents/1537941921495/sample/saigaijyohou.pdf>、(2021年3月22日参照)
- 6) 厚生労働省：「国際疾病分類ICD10に準拠」内容例示、<https://www.mhlw.go.jp/toukei/sippe/>、(2021年2月13日閲覧)

表1 2020年1月～6月に救急車を頻回(3回)利用した事例 (外因性・住宅で発生)

救急車 (依頼・選択)	署所	月日	曜日	時間	場所	状況	傷病 程度	傷病名	症状	照会 回数	同乗者	通報者	病歴	現場 滞在 時間 (分)	収容 所要 時間 (分)
80代女性 (一般負傷)	中 消防署	2月18日	火曜	6-12時	廊下・通路	転倒し頭部を負傷	軽症	-	-	1	無	本人	無	24	33
		3月1日	日曜	6-12時	庭	屋外の段差で転倒	軽症	頭部打撲	前額部の痛み	1				32	38
		3月9日	月曜	0-6時	居室	ポータブルを使用しようとした際、転倒し後頭部を負傷した	中等症	-	後頭部の痛み	2				40	54
60代女性 (一般負傷)	河芸 分署	3月24日	火曜	6-12時	居室	しゃがんだ際に左股関節を脱臼	軽症	人工股関節脱臼	左股関節の痛み	2	夫	無	51	68	
		4月21日	火曜	6-12時		しゃがんだ際に左股関節が外れた感じ	軽症	-	-	8			49	56	
		5月15日	金曜	12-18時		股関節の痛み	軽症	-	-	2			47	71	

GISを用いたコンテキストを含む津波避難行動のデータベース化 —岩手県大船渡市綾里地区・陸前高田市小友地区での事例— Development of a GIS Database of Factors Driving Tsunami Evacuation Behavior - Case Study of Sanrikuchoryori Ofunato and Otomo Rikuzentakada, Iwate -

○池田 浩敬¹, 勝海 貴裕², 佐藤 優輝³
 Hiroataka IKEDA¹, Takahiro KATSUUMI² and Yuuki SATO³

¹ 常葉大学大学院 環境防災研究科

Graduate School of Environment and Disaster Research, Tokoha University

² 株式会社アイティエス

ITS Co., Ltd.

³ 駿東伊豆消防本部

Suntoizu Fire Department

We surveyed victims' evacuation behaviors from the Tsunami after the Great Eastern Japan Earthquake by conducting interviews in Otomo-cho Rikuzentakada and Sanrikuchoryori Ofunato, Iwate. Based on the information we gathered, we developed a tsunami evacuation behavior database using GIS. By adding elevation data to this database, it has become possible to display a cross-sectional view and 3D view of the evacuation route. We can add tsunami inundation data to this database to determine at a glance whether evacuees have passed through the inundation area. We added information such as the reason, purpose, and background of behavior to this database so that we could understand the reason and purpose of evacuees movements. By using this database to find out the reasons for the behavior of those who did not immediately escape to the hills, we can think about how we should act to save lives in the event of a future tsunami disaster.

Keywords : evacuation behavior, database, , context, tsunami disaster, the Great Eastern Japan Earthquake

1. はじめに

筆者らのグループでは、2013年3月～2019年9月にかけて、東日本大震災の津波被災地である岩手県大船渡市の三陸町綾里の小石浜、港・岩崎、石浜、田浜、野々前、白浜及び陸前高田市小友町の只出、矢の浦、両替、三日市、森崎の各集落において、津波からの避難行動や津波災害後の避難生活に関する聞き取り調査を行い、その成果は、馬場ら(2013)¹⁾、白井ら(2014)²⁾、白井ら(2014)³⁾、池田ら(2016)⁴⁾、池田ら(2019)⁵⁾において報告されている。

本稿では、綾里地区で聞き取りを行った35人と小友地区で聞き取った19人の計54人分の避難行動データをQGISを用いて作成した津波避難行動データベースの概要・特徴について報告する。

2. 津波避難行動データベースの概要と特徴

本データベースは、「1.はじめに」に記述した聞き取り調査に基づく避難行動中の移動経路のデータに加え、標高データや津波浸水域のデータを付与することにより、避難開始から避難終了までの標高の変動や浸水域への侵入の有無を分析することを目的の一つとした。

加えて避難途中での移動目的、移動手段、当該行動を選択した理由・原因についても可能な限りデータベースに組み込むことにより、自宅外にいた人が一旦自宅に戻るとか、途中で海(津波)を見たり集まったりする行動

をしているか否か、を分析できるようにしている。

また、当該集落の中で、どこから海を見ていたのか、一体どこに集まっていたのか、といった即地的な行動特性の分析を可能にした。

さらに、各避難者の行動のコンテキスト(文脈・背景)を読み解くための情報(行動の理由・原因等)についても可能な限り位置情報を有した形で組み込んだ。

3. データベースの作成手順

(1) 避難経路の平面データの入力

住宅地図に基づき、避難経路を確認しながら行った聞き取り調査の結果に基づき、QGISを用いて避難経路を平面直角座標系(EPSC:2452 - JGD2000 / Japan Plane Rectangular CS X)の地図上にラインとして入力した。

(2) 標高データとの組み合わせ

次に避難経路データに標高の情報を付与するため、国土地理院の5mメッシュの標高データを、基盤地図情報ビューアにより、SHPファイルに変換し座標系は平面直角座標系の10系に設定した。標高データはベクタ形式(ポイント)のデータなので、QGISを用いてこれをラスターデータへ変換した。避難経路のデータに標高を付与するためには経路データを線から点(ポイント)に置き換える必要があり、QGISで線に沿った1m間隔の点群を発生させ、それらのポイントの属性データとして標高を付与した。

(3) 津波浸水域との重ね合わせ

日本地理学会災害対応本部津波被災マップ作成チームが2011年に公表した「2011年3月11日東北地方太平洋沖地震に伴う津波被災マップ」⁶⁾の小友、綾里の浸水域の画像(位置情報を持たないラスターデータ)をダウンロードし、Freehand raster georeferencer plugin for QGISというプラグインを使い位置情報を付加したSHPファイルを作成した。さらにQGISの「空間演算ツール」の「切り抜き」及び「対称差」の機能を使い、避難経路ポイントデータを浸水域内と浸水域外に区分し当該情報を属性データとして付与した。

(4) 避難行動のコンテキストのデータ化

さらに避難経路のポイントデータに対し、「揺れに遭遇」「自宅に戻る」「海を見る」「他者と合流する」「避難完了」「作業継続・片付」など当該ポイントでの出来事を意味する「event」, 「高い方へ避難」「自宅に戻る」「海を見に行く」「他者と合流」「見回り」などの移動の目的を意味する「purpose」, 「徒歩」「自動車」「バイク」など移動方法を表す「way」, 行動の理由・背景等を自由記述形式で入力した「context」といった属性データを付与した。(表1~2参照)

表2 津波避難行動データベースの属性データの凡例

eventの凡例		wayの凡例	
1	揺れに遭遇	1	徒歩
2	自宅に戻る	2	自動車
3	海を見る	3	バイク
4	他者と合流	4	自転車
5	避難完了	purposeの凡例	
6	作業継続・片付	1	自宅に戻る
7	船の沖出し	2	高い方へ避難
8	物を取りに戻る	3	海を見る
		4	他者と合流
context		5	見回り
自由記述		6	作業継続・片付
		7	船の沖出し
		8	物を取りに戻る

方法のデータをcsv形式で出力し、エクセルを用いて標高断面図を描いたものを図2に示した。縦軸は標高を表

表1 津波避難行動データベースの属性データ(抜粋)

wkt_geomfid	distance	Name	elevation	Flooded	event	way	purpose	context
Point (72643.454153	557	A	18.43		1		3	
Point (72642.744420	558	A	18.43		1		3	
Point (72642.034687	559	A	18.43		1		3	
Point (72641.324954	560	A	18.43		1	3	3	放送塔周辺では、12~13人くらいの人が集まっていた。集まった人たちと一緒に海を見ていた。
Point (72640.852841	561	A	18.43		1		1	4
Point (72641.571843	562	A	18.43		1		1	4
Point (72642.261624	563	A	18.43		1		1	4
Point (72642.951406	564	A	18.43		1		1	4
Point (72643.641187	565	A	18.43		1		1	4
Point (72644.330969	566	A	18.43		1		1	4

4. 避難経路の平面図・断面図の表示

QGISを用いて構築した津波避難行動データベースを使い出力したある避難者1人の避難者の行動の軌跡図(平面図)に、行動のコンテキストに関わる記述を各ポイント上に描き加えたものを例として図1に示した。

避難経路の色は各地点での標高を表し、標高の低い方から青→緑→オレンジ→赤の順になっている。また水色で薄く塗られた部分は浸水域を示しており、避難経路との関係を見ることが出来る。

図1内の赤い△は、地域の人たちが集まって海を見ていた場所を表しているが、最終的には浸水域になっていることが分かる。また港の船の上で地震の揺れを感じた後も作業や片づけを続け、その後、自宅の被害を確認しに一旦自宅へ戻った後、再度海の近くまで降りて来て海を見ていたこと、さらに津波が堤防を越えるのを見て、近くの高台まで徒歩で避難し、その後地域の人たちと合流するために高台にある矢の浦公民館へ行っていることが分かる。

津波避難行動データベースから避難行動の軌跡のポイントデータと標高データ、津波浸水域のデータ及び移動

しており、青い点は最終的に浸水域となったポイントを移動していたことを示し、横軸は累積の移動距離を表している。避難行動の途中に標高の高いところから低いところに降りたり、結果として浸水域となった低い場所で海を見ていたことも分かる。

5. 避難経路の3D表示

QGISの機能を用いてある避難者の行動の軌跡を3D表示したものを図3~4に示した。このように様々な角度から避難経路を俯瞰することが可能である。

避難者の行動のコンテキスト(原因・背景)を理解する上で、避難者の行動と現地の地形や環境との関係を把握することは重要であると考えられる。

6. 避難行動のコンテキストから抽出される地域固有の即地的情報

表1~2及び図1に示したように、本データベースには、各避難者の移動経路のポイントデータに属性データとして「海を見る」「他者と合流(集まる)」「避難支障(ボトルネック)」など即地的な情報が含まれている。この即地的な情報を1人1人の避難経路の情報からピッ

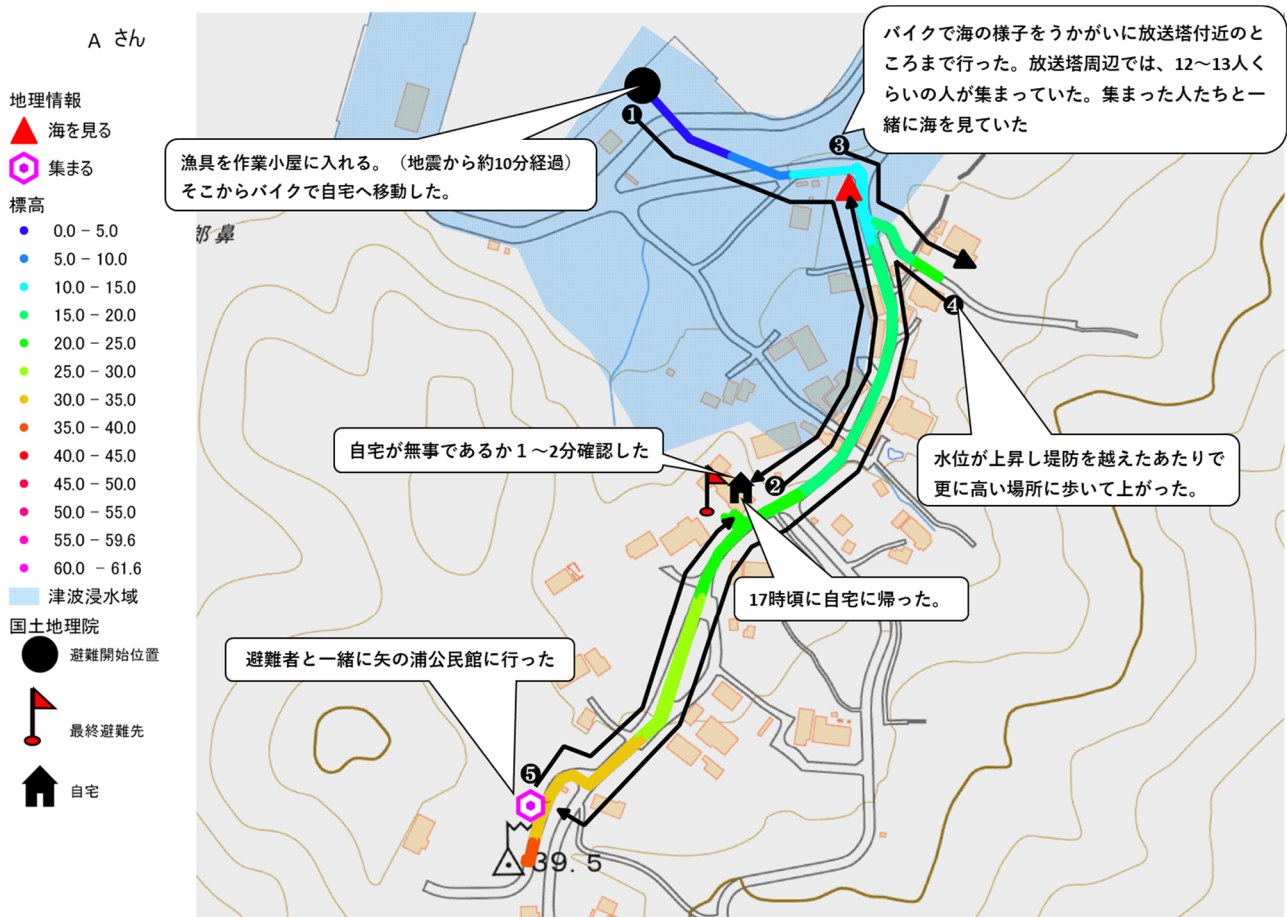


図1 東日本大震災での小友地区でのある津波経験者の行動の軌跡（平面図）

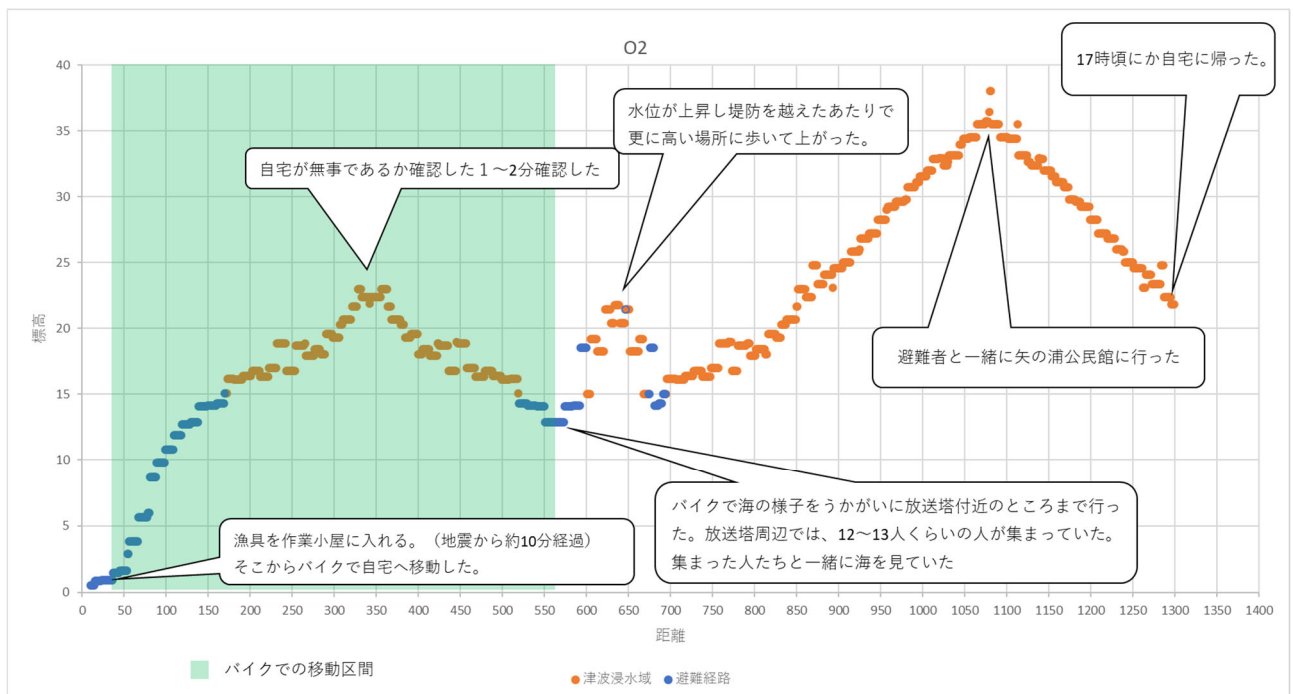


図2 東日本大震災での小友地区でのある津波経験者の行動の軌跡（断面図）

クアックし地図上にプロットすると、津波避難に影響を及ぼした地理的特性を視覚的に把握することが出来る。こうした1人1人の避難経路の属性データから抽出される避難行動に影響を及ぼした即地情報の抽出に加え、聞き取り対象者の“語り”には直接出て来ていないが、

避難行動に影響を及ぼした可能性のある即地的な情報として、過去の津波災害の記録や教訓を記した石碑や集落で予め決めていた避難場所などの情報についてもデータベース化した。当該データの一部を表示したものが図5である。

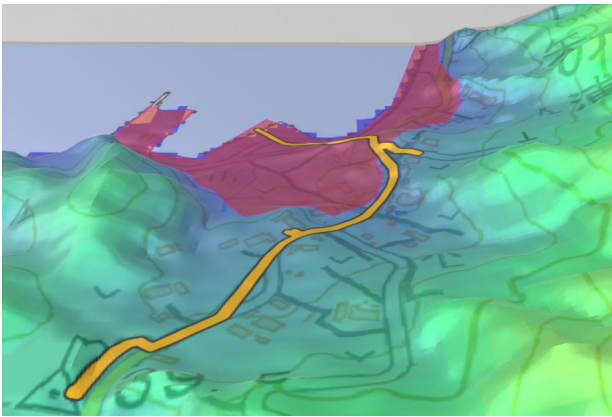


図3 東日本大震災での小友地区でのある津波経験者の行動の軌跡 (3次元表示) 1

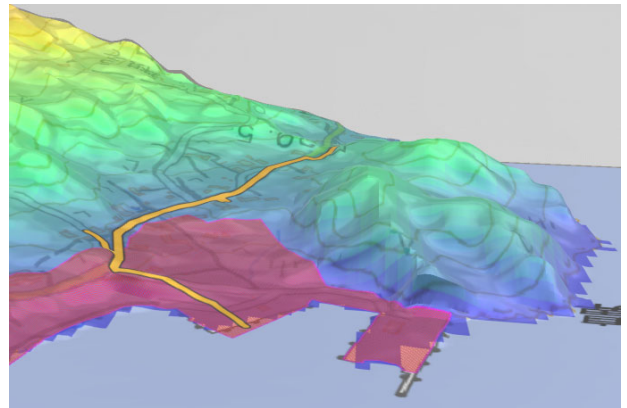


図4 東日本大震災での小友地区でのある津波経験者の行動の軌跡 (3次元表示) 2

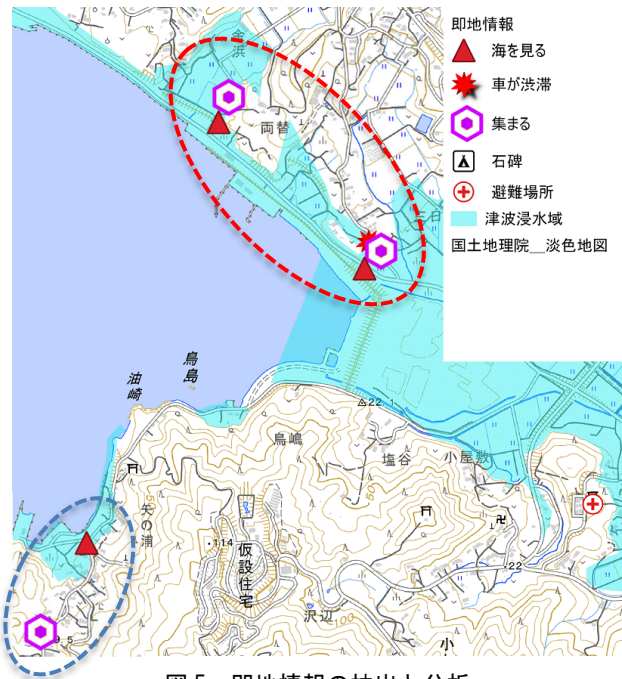


図5 即地情報の抽出と分析

この図を見ると、三日市や両替といった集落（赤点線）では、「海を見る場所」は防潮堤の上やJRの線路の盛土の上など津波浸水域内にあり、日頃から集落の人たちが「集まる場所（＝公民館）」も浸水域内にあることが分かる。このため東日本大震災の際も地震の揺れのあと公民館に集まっている時に、津波来襲に気づき慌てて高台へ避難したり、突然津波に襲われ徒歩や車で逃げようとして津波で流され犠牲になった人もいた。

一方矢の浦集落（青点線）では、「海を見る場所」は港近くで浸水域内であったが、日頃から人々が集まる公民館は高台にあり、そこに集まった人達は被害を受けることは無かった。

7. 本データベースの今後の活用方法

本データベースの今後の活用方法としては、一つは行動経路の位置、標高、浸水域か否か、移動距離といった地理的な定量データと移動手段、行動目的及びその理由・背景といった行動のコンテキストに関する定性的データも踏まえた地震発生後の津波避難に関する行動特性の分析や、それらの行動に影響を及ぼした要因（コンテ

キスト）に関わる地理的・即地的な特性の把握に役立てていくこと。

もう一つは、本稿でも一部例示したように東日本大震災時の津波避難では、すぐには逃げずに一旦自宅に戻ったり、船の沖出しに港へ向かったり、集まって津波を見ていた、といった行動が目立った。では地震の時、みんなが一目散に高い場所に逃げるようにするためにはどうすればいいのか。ただ「揺れたらすぐ逃げろ」を繰り返すだけでは不十分である。なぜなら、すぐ逃げなかったのにはそれなりの理由・背景があったからである。この理由を一つ一つ事前に解消しておく方法を地域の人たち自身が考えるためのツールとして活用していくことである。

謝辞

本稿は、平成 29～令和 2 年度科学研究費助成事業（基盤研究（B））「災害に伴う地域の超長期的な変動の比較研究：東日本大震災被災地を事例に（研究代表：木村周平（筑波大学）」（課題番号：17H02434）の成果を含む。

参考文献

- 1) 馬場拓矢他；東日本大震災における避難行動・避難生活に関する教訓継承の取組-岩手県大船渡市綾里地区の事例-, 地域安全学会梗概集 No.33,pp.67-70,2013
- 2) 白井くるみ他；津波常襲地における防災に関する教訓継承の取り組み-岩手県大船渡市綾里地区の事例-,地域安全学会梗概集 No.34,pp.23-26,2014
- 3) 白井くるみ他；津波常襲地における防災に関する教訓継承の取り組み-岩手県大船渡市綾里地区の3集落での事例（石浜集落を中心に）-,地域安全学会梗概集 No.35,pp.25-28,2014
- 4) 津波常襲地における防災に関する教訓継承の取り組み-岩手県大船渡市綾里地区の事例-,地域安全学会東日本大震災特別論文集 No.5,pp.15-18,2016
- 5) 東日本大震災時の三陸地域での津波避難等に関する調査-岩手県大船渡市綾里地区・陸前高田市小友地区での事例 -, 地域安全学会梗概集 No.44,pp.47-50,2019
- 6) 日本地理学会災害対応本部津波被災マップ作成チーム；2011年3月11日東北地方太平洋沖地震に伴う津波被災マップ, 2011

地方自治体の建設関連部局での水害対応ヒヤリ・ハット事例の分析

Analysis of Critical Situations Faced by Infrastructure Management Divisions of Local Governments during Flood Emergency Response

○大原 美保¹, 藤兼 雅和¹
 Miho OHARA¹ and Masakazu FUJIKANE¹

¹国立研究開発法人 土木研究所 水災害・リスクマネジメント国際センター
 International Centre for Water Hazard and Risk Management (ICHARM),
 Public Works Research Institute (PWRI), Japan

To conduct timely disaster response, it is important to learn lessons from past disasters, predict possible problems we may face in future disasters, and take necessary measures to prevent them. To this end, our research center has published a “Collection of Critical Situations during Flood Emergency Response,” which explains critical situations collected from review reports on past flood disasters. The publication is particularly for local government officers to prepare themselves for similar cases in the future. This study mainly analyzed critical situations likely to be faced by local government officers of infrastructure management divisions, and identified several such situations that typically arise in headquarter management, resource management, and coordination with other organizations.

Keywords : emergency response, flood disaster, near-miss, local government

1. はじめに

円滑な災害対応を行うには、過去の災害の教訓から学び、起こり得る困難をあらかじめ予測して必要な事前対策を講ずることができるよう、平常時から職員の災害対応力の向上を図っておく必要がある。

筆者らは、災害対応において地方自治体職員が「困る・焦る・戸惑う・迷う・悩む」などの状況に陥る事例を「災害対応ヒヤリ・ハット事例」として新たに定義し、地方自治体が公表している過去の水害対応の検証資料（災害対応検証報告書等）等からこれらの事例の抽出を行い、典型的な 28 の事例を「水害対応ヒヤリ・ハット事例集（地方自治体編）」（以下、本事例集と呼ぶ）として 2020 年 6 月より公表している^{1,2)}。一般に、労働災害や事故に関する分野では、図-1 のように「事故が起こるかもしれないと思ってヒヤッとしたり、ハットしたりした事例（ヒヤリ・ハット事例）」を収集し、災害や事故の再発防止・予防に役立てている。本事例集は、これらの予防的な取り組みを災害対応分野にも応用することを目指したものである。図-2 に紙面の例を示す。各事例は A4 の見開きページで掲載し、左ページに事例の概要・経過状況・原因・結果・類似事例を、右ページに災害対応検証報告書等で挙げられている教訓、留意事項や関連ガイドライン等を紹介している。本事例集には、新型コロナウイルス感染症の全世界的な蔓延を踏まえ、別冊「新型コロナウイルス感染症への対応編」も添付している。

本事例集は、地方自治体の災害対策本部での全庁的な水害対応に焦点をあてているため、自治体内の特定の部局に関する記述は少ない。一方で、河川・道路に関わる災害対応業務に従事する建設関連部局の職員の方々から本事例についての問い合わせを頂くことがあり、関心が高いようである。本事例集を作成する際には、過去に地方自治体が発行した災害対応検証報告書等 29 点（総ページ数 2,102）から、516 件の「水害対応ヒヤリ・ハット事象」を抽出し、その中から典型的なものを「事例」とし

て事例集に掲載しているため、516 件の事象のデータベースが存在する。よって本稿では、これらの 516 件の事象の中から、建設関連部局での水害対応ヒヤリ・ハット事例を抽出し、これらの傾向を分析する。建設関連部局職員が災害時に直面する典型的な状況をあらかじめ予測しておくことで、円滑な災害対応への貢献を目指す。

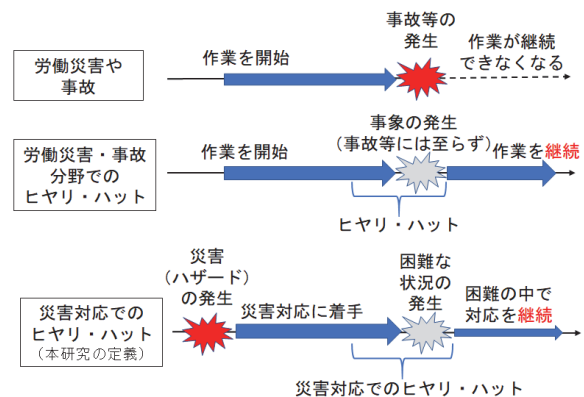


図-1 本事例集での災害対応ヒヤリ・ハットの定義

2. 建設関連部局の水害対応ヒヤリ・ハット事象抽出の手順

(1) 地方自治体における建設関連部局

地方自治体の本庁組織は、一般に「(局) 一部一課一係」の構成であるが、近年は階層を少なくするフラット性や、需要や時期により柔軟に対応するグループ制も採り入れられている。本庁の外に、事務全般に渡って地域的に分掌する総合出先機関（支所等）と特定の事務のみを分掌する個別出先機関を設置している場合もあり、建設関連の出先機関としては土木事務所などがある。

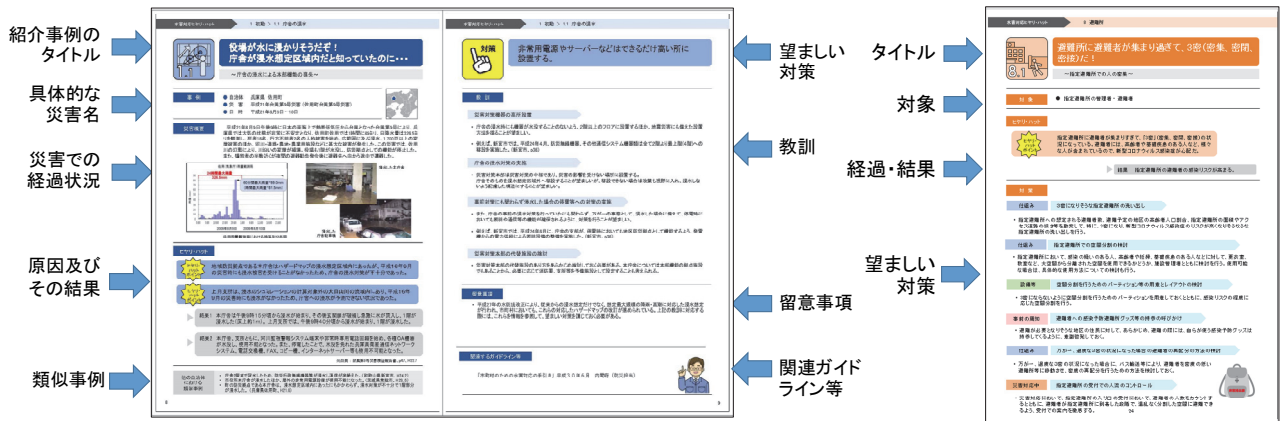


図-2 事例集の紙面例（左：地方自治体編、右：新型コロナウイルス感染症への対応編）

表-1 事例集に掲載済のヒヤリ・ハット事例

章	節	ヒヤリ・ハット事例	ヒヤリ・ハットのタイトル
1. 初動	1.1	庁舎の浸水による本部機能の喪失	役場が水に浸かりそうだが！ 庁舎が浸水想定区域内だと知っていたのに・・・
	1.2	ノウハウがない職員による災害対応の限界	災害対応なんて誰もやったことないぞ！ どうすればいいんだ！
	1.3	災害時体制移行の判断の難しさ	雨がひどくなってきたぞ！ いつ災害対策本部に移行すればいいんだ？
	1.4	参集困難や参集遅れによる人員不足と対応の遅れ	災害が起きそうなのに、職員みんながなかなか集まらない！
2. 本部運営	2.1	災害対策本部室スペースの不足による機能不全	狭くて遠い本部室で、今、何が起きてるんだ？
	2.2	災害対策本部室における情報ツールの不足による対応の遅れ	本部室なのに、無線もテレビもないよ！
	2.3	災害対策本部運営のルール・役割の不備による機能不全	うちの班は何をすればいいんだ？ あの班は何してるんだ？
	2.4	非効率的な情報収集・整理・分析による判断の遅れ	情報が山のようにきているぞ！ どれが重要な情報なんだ？
	2.5	殺到する問合せ電話による職員・回線の占用	電話対応ばかりで、災対本部の業務ができない！
	2.6	応援職員の役割分担・手順のマニュアル化不足による活用困難	応援に来たけど、何をしたらいいんだろう？
3. 庁内体制	3.1	庁内の情報共有不足による対応の混乱	今の状況、誰か説明してよ！
	3.2	業務負荷の偏りによる災害対応体制の維持困難	なんで、自分だけこんなに忙しんだ！ あの班は暇そうだなぞ！
4. 情報収集	4.1	観測機器の故障による水位情報収集の遅れ	水位計が故障しているかも？ どうすればいいんだ？
	4.2	夜間の浸水、道路寸断や孤立による被害情報収集の困難さ	町の中が水浸しだった？ 夜なので分からないぞ！
5. 関係機関との連携	5.1	関係機関（河川事務所・気象台・消防等）との連携欠如による対応の遅れ	この情報って関係機関にどう伝えればいいんだっけ？
	5.2	都道府県・市町村間の情報共有不足	県と市で記者発表の内容が違ってるぞ！
6. 警戒レベル4避難勧告等の発令	6.1	具体的な判断基準の欠如による避難勧告・避難指示の発令遅れ	警戒レベル4 避難勧告って、いつ出せばいいんだっけ？
	6.2	避難所開設の遅れによる避難勧告発令への影響	まだ避難所が開いていないけど、警戒レベル4 避難勧告を出していいのかな？
	6.3	広域避難への認識不足による対応の遅れ	市外にも広域避難させないと！ でも、どうやって？
7. 情報伝達	7.1	メッセージ内容、情報伝達手段不足から生じる、住民に届かない情報	情報は出したけど、住民にうまく伝わっていないようだ！
	7.2	防災行政無線の音達不足や停電・流出による情報発信の漏れ	防災行政無線の音が聞こえないよ！
	7.3	要配慮者施設への情報伝達漏れによる避難の遅れ	この情報はあの要配慮者施設に伝わっているのか？
	7.4	外国人への情報提供の遅れ	この情報は外国人の方も理解できているかな？
	7.5	報道機関への情報提供ルールの不徹底による混乱	廊下にいるマスコミの取材攻勢で何もできない！
8. 避難所等（指定緊急避難場所・指定避難所等）	8.1	浸水等による避難所等の利用不可	この避難所って、浸水するんじゃないの？
	8.2	鍵開錠の権限集中による避難所等の開設の遅れ	この避難所全部をこれから職員が開けるのか！？
	8.3	避難ルートの被災による避難困難	避難場所までの道が水に浸かってるらしいぞ！
	8.4	避難所における情報収集手段の欠如	あ、避難所にテレビかインターネットあったっけ？

地方自治法（1947年）では当初、法定必置の部局が規定され、都では、総務部・会計部・民生局・教育局・経済局・建設局・交通局・水道局・衛生局・労働局の2部8局、道府県では、総務部・民生部・教育部・経済部・土木部・農地部・警察部の7部が掲げられていた。その後、1952年の改正地方自治法により部局は条例設置に切り替えられ、1991年改正により部局の名称や分掌事務の例示が廃止され、2003年改正により法定部数による規制も撤廃された³⁾。よって現状では、建設関連部局の名称や構成は、地方自治体によって、様々である。

地方自治体の建設関連の業務としては、①道路・橋梁・港湾などのインフラ整備、②下水道・公園・住宅などの住環境の整備、③災害対策の観点からの河川改修・ダム整備・地滑り防止など、④都市計画の策定や開発行為の許可、建築確認などがある。一般に、①には「道路建設課」「道路維持課」など、②には「下水道課」「公園緑地課」「住宅課」など、③には「河川課」「ダム砂防課」など、④には「都市計画課」「市街地整備課」などのセクション存在する⁴⁾。本稿では、これらの建設関

連分野のセクションを、「建設関連部局」と称することとする。本稿での「建設関連部局」には、本庁での建設関連部局、総合出先機関（地域の支所など）の建設関連部局、個別出先機関（土木事務所など）を含むものとする。なお、災害対応や危機管理を担当する防災課や危機管理課は、総務部門の中に入っていることが多い。

総務省自治行政局公務員部による平成31年地方公共団体定員管理調査結果⁵⁾によれば、平成31年4月1日現在の地方公共団体の総職員数は2,740,653人であり、都道府県50.8%、市25.7%、指定都市12.5%の順である。分野別でみると、教育部門・警察部門・消防部門・公営企業等会計部門を除く一般行政部門には922,764人の職員がおり、そのうち、土木部門は139,605人であり、一般行政部門職員の15.1%を構成する。

地方自治体職員には、事務職員と技術職員がおり、建設関連部局には技術職（土木）・技術職（建築）等の職員が在籍する。市町村の土木部門の職員数は平成8年度の124,685人をピークに減少しており、技術系職員がいない市町村の割合が約3割に上っており、課題である⁶⁾。

(2) 建設関連部局の災害対応業務

本事例集の作成に際しては、2000年～2017年に地方自治体が公表した災害対応検証報告書等29点を参照しているが、これらは全庁での対応に関する報告書であるため、加えて福島県土木部による平成23年7月新潟・福島豪雨の災害記録誌⁷⁾も参照して、建設関連部局の災害対応業務を概観したところ、おおむね、下記の業務が見られた。本事例集は、より緊急性の高いフェーズとして、避難所の開設までを対象とするため、本稿では下記の①～④までを対象にする。

- ① 水防本部としての初動対応と情報収集
- ② 河川・道路等の被害把握・緊急対応
- ③ 所管するその他の公共施設の被害把握・緊急対応
- ④ 国土交通省事務所・自衛隊等の関連機関との連絡調整
- ⑤ 応急仮設住宅の建設
- ⑥ 災害調査・災害査定に関する業務
- ⑦ 復旧事業の発注・工事監理に関する業務

(3) 建設関連部局のヒヤリ・ハット事象の抽出手順

公表している水害対応ヒヤリ・ハット事例集は、建設関連部局に関する3件の事例を含む。本事例集は、表-1の通り、「初動・災害対策本部運営・庁内体制・情報収集・情報伝達・関係機関との連携・警戒レベル4避難勧告等の発令・避難所等（指定緊急避難場所・指定避難所等）」という8章立てである。例えば、「4章 情報収集」の4.1では、平成21年台風第9号災害での兵庫県佐用町において、「職員が水位情報を監視しており、水位の上昇が見られなかったものの、水位計が故障していた」という事例を紹介した。また、4.2では、平成27年9月関東・東北豪雨災害での栃木県栃木市において、「夜間の災害ということもあり、被害箇所や浸水範囲等の状況把握が難しかった」「市庁舎周辺が浸水し公用車が出られず、パトロールが出来なくなった」「通常では冠水しない箇所も冠水してしまったため、パトロールの人員が足りず、通行止めが遅れた」という事例を紹介した。「5章 関係機関との連携」の5.1では、平成27年9月関東・東北豪雨災害での茨城県常総市において、「市長の携帯電話に直接着信した国土交通省河川事務所からのホットラインの情報が関連部局に伝えられず、河川水位情報等の情報共有が不十分であった」事例を紹介した。本事例集を作成する際には、過去の災害対応検証報告書等29点（総ページ数2,102）から、516件の「水害対応ヒヤリ・ハット事象」を抽出し、それらの中から典型的なものを「事例」として事例集に掲載したため、掲載事例は収集事象の一部に過ぎない。抽出した516件の事象については、参照元の災害対応検証報告書に記載されている経過状況・原因・結果・教訓のテキスト情報をデータベース化しているため、まずはこのデータベースを用いて、「建設」または「土木」という語彙を含む事象を検索した。次に、この手順では「道路課」「河川課」などの語彙が抽出されないため、検索で収集されなかった事象も含めて更に精査し、83件の事象を選定した。

3. 建設関連部局の水害対応ヒヤリ・ハット事例

本章では、前章で述べた手順に従って選定した建設関連部局の水害対応ヒヤリ・ハット事象について記述する。

表-2 建設関連部局のヒヤリ・ハット事例

大・中カテゴリ	No.	内容(要約)	自治体
1.初動	1.3 災害対策本部の立ち上げ	1 河川課が総括する水防体制から、危機管理課が総括する災害警戒体制や災害対策本部体制へ総括業務の移行が困難だった。	草津市
	2.災害対策本部運営	2.3 災害対策本部の運営	2 現地連絡所を設置し、常駐する職員を総務班を中心に建設班や応援職員の構成としたが、現地責任者が不明確で、指揮系統が十分ではなかった。
2.4 情報収集・整理・分析		3 現地水防本部や水防本部の体制が明確ではなかった。	山口市
		4 職員は、カッパを着て雨の中作業をしているため気がないのか、携帯電話に電話してもつながらない。庁舎外の職員が、市役所に電話しても回線がふさがっていたり、つながらなかった。	可見市
		5 現場作業優先により、災害対策本部にリアルタイムな状況が伝わりにくい。	新宮市
		6 県・関係機関及び住民からの被害情報等の収集・整理が効率よく出来なかった。	防府市
3.庁内体制		3.1 庁内の情報共有	7 災害対策本部に入ってきた被害情報等を一元化できていなかった。可茂土木事務所が送信する水防FAXが混乱の中、所在不明になった。
	8 例年の台風をはるかに上回る要請があり、土のう作成、運搬に多くの人員が割かれた。土のう袋も足りなくなった。これまでの災害対策が土木課、維持管理課に偏っていたため他部署が主体的に取り組む姿勢に欠けていた。		可見市
	3.2 人員管理	9 下水道の消毒作業、道路・河川対応の後始末など本部会議解散後の対応について、担当部のみが実施し、相互支援の連携ができていなかった。	草津市
		10 夜間や豪雨を想定した職員の交代体制や休憩等が検討されていなかった。特に風水害の初動対応では、建設部に業務が集中する。所属によっては、作業に必要な長靴、合羽を持たない職員がいる。	草津市
		11 人手不足の班と人手過多の班があったため、配備人員の見直しが必要である。當班は公共施設の被害判断や処置対応にあたるが、被害が比較的生じず、建設班の応援などにあたったが、大半の人員が待機状態であった。	鈴鹿市
		12 ハトロールや災害対応には技術職員が必要となることから、技術職員と事務職員がペアで行動できる班体制が必要であった。	鈴鹿市
4.情報収集	4.1 水位情報の収集	13 水位観測施設の故障に気がつかなかった。	佐用町(掲載)
		14 県の防災Webにより10分ごとに更新される雨量観測値随時確認していたが、地域防災計画で「毎2時間に1時間ごとの雨量を測定」とされているため、10分ごと、30分ごとの雨量の整理はしていなかった。	広島県
		15 消防団や水防団からの河川水位等の正確な現場情報をリアルタイムで収集できなかった。	常総市
	4.2 現地状況・被害情報の収集	16 夜間の災害ということもあり、被害箇所や浸水範囲等の状況把握が難しかった。現地確認の車両が危険な状態になった。	栃木市(掲載)
		17 通常では冠水しない箇所も冠水してしまったため、パトロールの人員が足りず、河川や道路の被害情報が入ってこなかった。通行止めも遅れた。	栃木市
		18 ハトロールをしながら倒木対策を行ったため、状況把握に時間がかかった。	栃木市
		19 孤立する可能性がある集落に対して事前対応が必要であった。	兵庫県
		20 現地の被害状況を収集・判断する体制が十分でなかった。	可見市
		21 排水機場の運転監視を行う委託職員及び管理する市の職員の数が不足したため対応が遅れた。また、所管施設に大きな被害が発生した土木事務所では、応急対策業務に従事する職員数が不足した。	京都市
		22 市長の携帯電話に直接着信した国土交通省河川事務所からのホットライン情報が災害対策本部から関連部局に伝えられず、河川水位情報等の情報共有が不十分だった。	常総市(掲載)
5.関係機関との連携	5.1 防災関係機関等との連携	23 高速道路株式会社との情報共有がスムーズでなかった。	兵庫県
		24 今後の気象予測や降雨の見込みなど最新の気象情報を入力するには、気象台との連携が必要であった。	兵庫県
		25 関係機関との十分な情報共有ができていなかった。防災安全課職員は、被害の電話が多量に電話対応に追われている状況。建設部の職員は土のうの配布や災害箇所へ出勤していた。	可見市
	5.2 都道府県との情報共有・伝達	26 アンダーパスが冠水した場合、速やかに通行規制が行われていない。	岐阜県
		27 落雷等によりアンダーパスの冠水の感知や通行止めを表示する設備に異常が生じた。	岐阜県
		28 水防資機材に不足があったり、保管場所が分散し収集に時間を要した。	草津市
		29 通行止めの看板やカラーコーン等が不足し、現地確認等が遅れた。	栃木市
		30 通行止め解除まで手が回らず、対応が遅れた。	栃木市
		31 道路情報を提供する既存のシステムがあったが十分に周知されておらず、外部からの問合せに忙殺された。	福岡県
		32 国土交通省の地方整備局と協定を結んでおり、道路啓開活動を実施したが、初めての対応で、協定に明記されていない費用負担方法などの課題が見つかった。	福岡県
7.情報伝達	7.1 住民への情報伝達全般	33 中小河川の多い中上流部では河川情報の提供が不十分であった。	兵庫県
		34 府の水防情報伝達FAXシステムの故障により市の下水道室に氾濫注意情報解除情報が届いていなかった。	寝屋川市
		35 浸水想定区域図を作成してなかった河川で浸水被害が発生した。また、浸水想定区域図の想定以上の浸水被害が発生した。	兵庫県
		36 水災情報システム等で把握できない中小河川の情報収集については、区職員や消防隊等の現場からの情報しかなく、水位等のリアルタイムの監視や市民への迅速な避難情報の提供が困難であった。	京都市
		37 市が管理する道路の被害や通行の可否、国道直轄国道や高速道路の被害や通行の可否、バス、鉄道等の公共交通機関の運行状況等に関する情報の収集に時間を要し、適切な情報提供ができていなかった。	京都市

表-2に、建設関連部局の水害対応ヒヤリ・ハット事例の一覧を掲載する。前章で述べた手順に従い、建設関連部局の水害対応ヒヤリ・ハット事象として83件の事象を得たが、いくつかの自治体で類似するものもあったため、更なる絞りこみを行った結果、表-2に示す37の「事例」となった。以下では、建設関連部局の組織としての特性に照らし合わせて、事象の発生傾向について分析する。

①水防本部や現地本部に関する事例

一般に、風水害において自治体は段階的な職員配備体制を取るため、最初は、河川課などの建設関連部局が総括する水防本部を設置し、状況に応じて、危機管理課などの総務関連部局が総括する災害対策本部に移行する。この際、円滑な本部の移行への困難さが報告されている(表-2のNo.1)。本事例集の「1章 初動対応」においても、平常時の公共サービスを提供する体制として組まれている組織・人員配置を、非常時の組織・人員配置に切り替えることの困難さを事例として紹介しているが、特に水防本部から災害対策本部への移行は建設関連部局に深く関わる事例であるため、改めて表-2に挙げた。

また、建設関連部局は現地連絡所や現地水防本部に関わることもあるが、これらの位置付けや体制が不明確であるために混乱した事例もあった(No.2, 3)。

②現場での業務に関する事例

建設関連部局の主な業務として、河川・道路等の被害状況の把握、パトロールなどがあるため、建設関連部局の職員は庁外に出ていることが多い。この際、本庁内と連絡がつかなかった(No.4)、現場作業優先により災害対策本部にリアルタイムに状況を伝えられなかった(No.5)、効率的な情報収集・整理ができなかった(No.6)、パトロールの人員が足りなかった(No.17)等が報告されている。教訓として、各地域の建設会社等から情報提供を受けることが出来るような災害協定を結ぶなどの対策が挙げられており、建設関連部局のマンパワーだけに捉われない体制強化が必須である。また、夜間のパトロール中に車両が危険な状態になった事例(No.16)もあり、現場職員の安全確保も課題である。

近年、技術職員数が減少している⁶⁾が、パトロールや災害対応には技術職員が必要であり、技術職員と事務職員がペアで行動できる班体制への課題もある(No.12)。

③通常と異なる業務量に対応する人員管理に関する事例

建設関連部局は、いつもの災害対応をはるかに上回る要請により人員・資機材ともに限界となり、対応できなくなる。いつもの災害対応が建設関連部局に偏っていたため、他の部署が主体的に取り組む姿勢に欠けていた(No.8)との報告があり、建設関連部局のキャパシティで対応できなくなる業務量を、どのように他部局が補完するかが課題である。

また、夜間や豪雨を想定した職員の交代体制や休憩等が検討されていないため、建設関連部局に過度の負荷がかかると、その他の部局の職員は長靴・合羽を持たないなど十分な装備を持たず、交代も容易ではないことが報告されている(No.10)。

建設関連部局内においても、業務内容によって、人手不足の班と人手過多の班が生じる場合がある。例えば、営繕班は公共施設の被害判断や処置対応にあたることになっているが、被害が比較的生じず、建設班の応援などにあたったが、大半の人員が待機状態であった(No.11)との報告があった。

④防災関係機関との連携に関する事例

建設関連部局は、被害情報の収集・緊急対応等に関して防災関係機関との連絡・調整に携わることが多い。混乱する状況の中で、FAXの紛失、情報システムや機器の故障による情報の未達などの事例が報告されている(No.7, 13, 32)。防災課の職員が電話対応に追われる一方で、建設関連部局の職員は土のうの配布や被害確認で現場に出動していることも多く(No.25)、人員が限られる中で、関係機関との複雑なやり取りは容易ではない。ミス・漏れの無い情報伝達のためのICT環境の改善は必須である。

また、資機材や人員の不足から、道路の通行止め・解除などの防災関係機関等と連携した現場対応が困難な場合も報告されている(No.28, 29, 30)

⑤中小河川での情報収集・伝達に関する事例

住民への情報伝達に関して、中小河川の情報は地区の職員や消防隊等の現場からの情報しかなく、水位等のリアルタイムの監視や市民への迅速な避難情報の提供が困難であった(No.36)点が課題として挙げられている。今後、中小河川での水位情報の更なる充実が期待される。

4. おわりに

筆者らは、地方自治体職員の災害対応力の向上を目指して、過去の災害対応検証報告書等に基づく「水害対応ヒヤリ・ハット事例集」の公表を行っている。この事例集は、地方自治体の災害対策本部での全庁としての水害対応に焦点をあてているが、建設関連部局での事例への関心も高いため、本稿では建設関連部局を対象とした更なる分析を行った。この結果、水防本部や現地本部に関わる事例、被害状況確認等の現場での業務に関わる事例、人員・資源配分等に関わる事例、防災関係機関との連携に関わる事例、中小河川での情報収集・伝達に関わる事例を抽出することができた。

今後は、これらの事例を活用した建設関連分野の地方自治体職員への研修方法を検討する予定である。

謝辞：本研究では、地方自治体の災害対応検証報告書等を利用した分析を行った。これらの報告書の作成に携わった地方自治体の関係者の尽力に敬意を表する。

参考文献

- 1) 土木研究所 水災害リスクマネジメント国際センター:水害対応ヒヤリハット事例集(地方自治体編及び新型コロナウイルス感染症への対応編)、2020年6月、https://www.pwri.go.jp/icharm/special_topic/20200625_flood_response_collection_j.html
- 2) 大原美保・栗林大輔・藤兼雅和:地方自治体職員が直面する水害対応ヒヤリ・ハット事例の分析、土木学会論文集 F6(安全問題)、76巻2号、p.181-188、2020年。
- 3) 大杉覚:日本の自治体行政組織、分野別自治精度及びその運用に関する説明資料 No.11、財団法人自治体国際化協会・政策研究大学院大学比較地方自治研究センター、2009年。
- 4) 新規採用研修研究会:自治体職員スタートブック 第3次改訂版、学陽書房、2020年11月。
- 5) 総務省自治行政局公務員部:平成31年地方公共団体定員管理調査結果、2020年3月。
- 6) 国土交通省社会資本整備審議会 第22回メンテナンス戦略小委員会(第3期第4回)配付資料、2018年10月。
- 7) 福島県土木部:平成23年7月新潟・福島豪雨 災害記録誌【災害対応編】、2013年(平成25年)3月。

常時微動による吾妻小富士火口縁の振動特性の分析

Study on Vibration Characteristics of the Crater Rim of Mt. Azuma-kofuji by Microtremor Observation

○山田 雅行¹, 羽田 浩二¹, 長谷 東子¹, 八木 悟¹, 栗田 哲²,
吉見 雅行³, 藤野 義範¹, 深津 宗祐¹
Masayuki YAMADA¹, Koji HADA¹, Haruko HASE¹, Satoru YAGI¹, Satoshi KURITA²,
Masayuki YOSHIMI³, Yoshinori FUJINO¹ and Sosuke FUKATSU¹

¹(株)ニュージェック

NEWJEC Inc.

²東京理科大学 工学部

Faculty of Engineering, Tokyo University of Science

³(国研)産業技術総合研究所 活断層・火山研究部門

Geological Survey of Japan/AIST

Eight points of microtremor observation were performed at the crater rim of Mt. Azuma-kofuji. The vibration characteristics of the crater rim were analyzed using a simultaneous microtremor observed at the foot of the crater hill. The oscillation of the crater rim was not significant as a whole, but there found some parts of the rim vibrate significantly at a specific frequency. Since the shape of the rim seems regular, it is possible that a part of the crater rim is weakend or separated from the mountain body and becomes unstable.

Keywords : Vibration characteristics, crater rim, Mt. Azuma-kofuji, microtremor observation

1. はじめに

著者らは、硫黄岳(鹿児島県)の火口縁が円周直交方向に大きく振動することを見つけた¹⁾。既報では火口縁の観測点が1点だけであったため、円周直交方向の振動が、火口縁全体の振動モードなのか、特定の観測点付近の振動なのかを判別することができなかった。硫黄岳(鹿児島県)は、入山規制や立地の点からアクセスが容易ではなく再測定が難しい。今回、火口縁へのアクセスが比較的容易な吾妻小富士を対象として、8点(4点同時)の微動観測を行い、火口縁の振動特性の分析を行った。

る火山である。標高 1707m であるが、浄土平ビジターセンターから約 100m の登山で火口縁の散策を手軽に楽しむことができる(図-1)。



図-1 吾妻小富士(地図: GoogleMaps より)

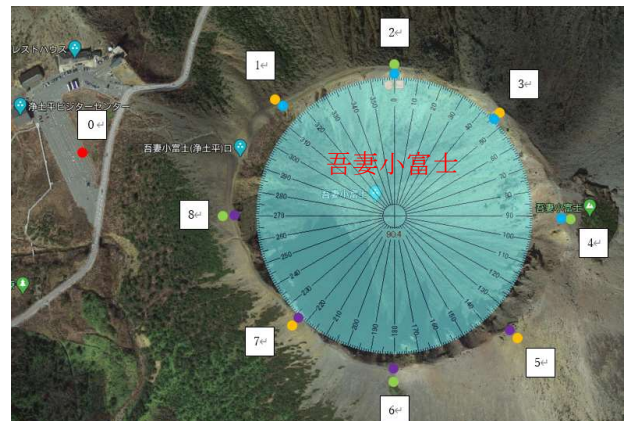


図-2 吾妻小富士の常時微動観測点(GoogleMaps に加筆)

表-1 硫黄岳(薩摩硫黄島)の観測点概要

No	観測開始時刻	観測時間	観測点										
			0	1	2	3	4	5	6	7	8		
1	12:00	15分	○	○	○	○	○						
2	12:34	15分	○	○		○		○			○	○	
3	12:59	15分	○		○		○			○		○	
4	13:38	15分	○						○	○	○	○	

2. 吾妻小富士における常時微動観測

福島県福島市の西方約 20km に位置する吾妻小富士は、吾妻連峰の一つで、すり鉢状の直径約 450m の火口を有す

吾妻小富士における微動観測は、2020年8月18日に実施した。観測点を図-2、観測概要を表-1 に示す。No.0 は登山前に浄土平ビジターセンター駐車場に設置した定点

観測点である。表-1 に示すように火口縁 4 点の同時観測を 4 回実施した。観測には、(株)ニュージェックが所有する白山工業株式会社製の微動計 JU210 を用いた。

3. 吾妻小富士火口縁の振動特性

観測点 No.0 を基準として、同時記録の水平成分(円周直交方向)のスペクトル比(H/H スペクトル比)を図-3 に示す。15 分間の記録から重複の無い 40.96 秒×5 区間を 100 通り作成し、同時刻の基準点とのスペクトル比を計算し、その分散が最も小さい組み合わせの平均値を示した。火口縁の各観測点における 2 回の観測を併記した。

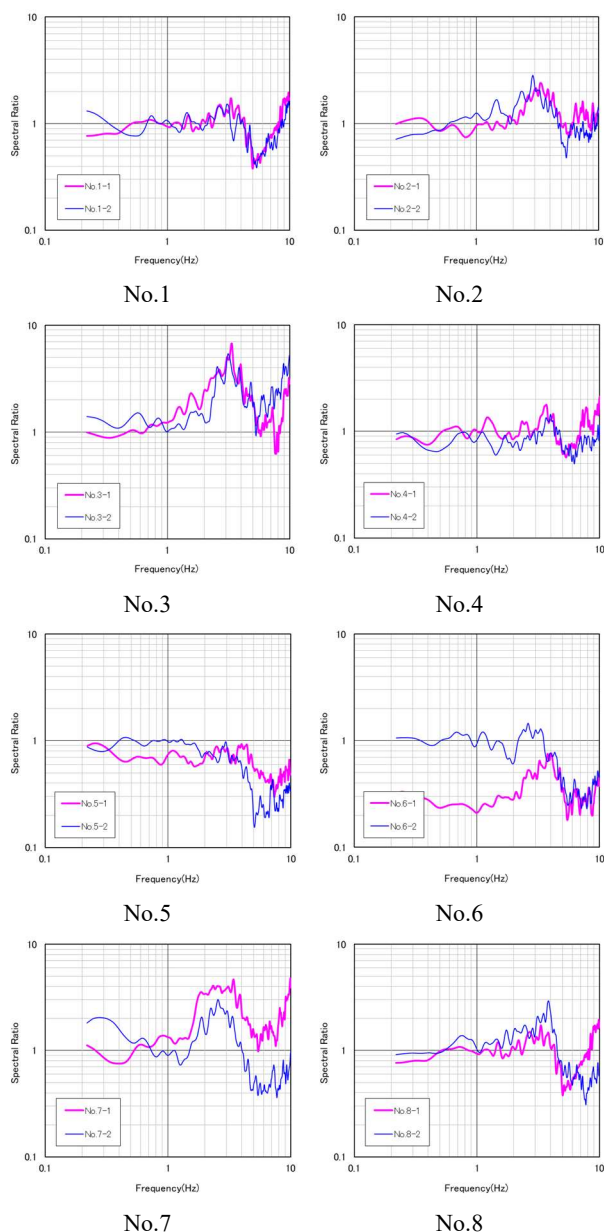


図-3 吾妻小富士の H/H スペクトル比(基準点 No. 0)

No.2,3 は 3Hz 付近, No.7 は 2~3Hz に明瞭なピークを有しており、火口縁は縦横に伸び縮みするような全体が振動するモードではなく、部分的に揺れやすい箇所が存在することがわかった。

図-4 には火口縁観測点の各観測における 200.01~363.84s の秒の水平変位を 0.1s 刻みでプロットした(1.5~3.5Hz のバンドパスフィルタ)。図の No.1-1, No.1-2 はそれ

ぞれ観測点 No.1 の 1 回目, 2 回目の観測を示す。スペクトル比において明瞭なピークがみられた No.2,3 および No.7 は、○印がばらついてプロットされており、大きく振動していることがわかる。

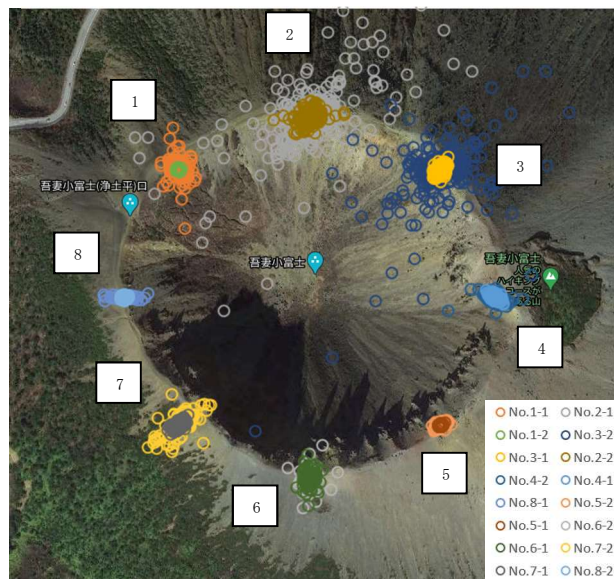


図-4 火口縁観測点の変位分布図(GoogleEarth に加筆)

4. おわりに

吾妻小富士を対象として、8 点(4 点同時)の微動観測を行い、火口縁の振動特性の分析を行った。火口縁が全体として振動するわけではなく、部分的に特定の周波数で大きく振動する箇所の存在が示された。外観から形状が急変するようには見えないことから、火口縁の一部が弱体化している、あるいは山体から分離し、不安定となっている可能性が考えられる。

今後の課題として、対象火口を追加すること、より長期間の観測を実施することと共に、今回の振動特性のメカニズムを解明するための手法について検討を行うことが重要であると考えている。

最後に、研究者や実務者等からの要請があれば、本観測の生データ(win 形式)を提供することが可能である。

謝辞

吾妻小富士において微動観測を行わせていただいたことに感謝いたします。

参考文献

1)山田雅行, 羽田浩二, 藤野義範, 深津宗祐, 栗田哲, 吉見雅行, 大岩根尚, 増野雄基: 微動観測による硫黄岳(薩摩硫黄島)と開聞岳の振動特性について, 第 44 回(令和元年度)地域安全学会研究発表会(春季), 2019.

2011年紀伊半島大水害の経験を踏まえた 公共土木施設災害復旧における現場対応の課題について —建設部長経験者へのアンケート調査—

On-site Response Issues in Disaster Recovery of Public Civil Engineering Facilities
Based on the Experience of the 2011 Kii Peninsula Flood
- Questionnaire Survey of Experienced Construction Managers -

○太田 和良¹, 近藤 伸也²
Kazuyoshi OTA¹ and Shinya KONDO²

¹宇都宮大学 大学院 地域創生科学研究科博士後期課程 (和歌山県県土整備部)

Graduate School of Regional Development and Creativity, Utsunomiya University (Wakayama Prefecture)

²宇都宮大学 大学院 地域創生科学研究科

Department of Regional Development and Creativity, Utsunomiya University

Nearly 10 years have passed since the 2011 Kii Peninsula flood, and assessing the disaster response at that time is crucial in assembling a future disaster response system. This study is based on a questionnaire survey of successive construction managers (heads of local agencies in Wakayama Prefecture), as a construction administration in charge of disaster recovery of public civil engineering facilities. It examines the situation judgments and decisions that are made in the field response of disaster recovery, clarifies whether they were undertaken, and considers the issues that should be utilized for future disaster response.

Keywords : *the 2011 Kii Peninsula flood, disaster recovery of public civil engineering facilities, the field response of disaster recovery, Wakayama prefecture*

1. はじめに

2011年9月に発生した紀伊半島大水害¹⁾は、台風12号及び豪雨による災害で、和歌山県においては1953年に発生した7・18水害以来の大災害と言われ、国と三県(奈良県、三重県、和歌山県)による復旧・復興に関する合同対策会議で「紀伊半島大水害」と命名された。和歌山県内では全域で多くの被害が発生したが、特に県中部から南部にかけて最大累計雨量が2,000mm(4日間累計)に達する大雨となり、洪水、浸水、土砂災害により甚大な被害が発生した。災害発生直後の現場における対応としては、被害を拡大させないこと、救助・救援あるいは緊急物資・機材の輸送のためのルートを確保することなどが課題となるが、これらの課題を速やかに解決するためには、行政による現場の状況把握や判断が重要である。

この大災害から10年近くが経過し、当時の災害復旧の状況を検証することは、今後の南海トラフを震源とした巨大地震を踏まえた災害復旧のシステムを組み立てる上でも意義がある。

本稿では、和歌山県の出先機関として災害復旧を担当する所属の長の役職である建設部長を対象とする。歴代の建設部長へのアンケート調査を実施することより、公共土木施設の災害復旧を担当する建設行政として、災害復旧の現場対応において状況判断や意思決定がどのような状況で行われたかを明らかにし、今後の災害対応に生かされるべき課題を検討する。

2. 既往研究

災害発生直後の現場対応は、クライシスマネジメント

の一環として理解される。クライシスマネジメントについては2011年ISO22320として規格化(2018年改訂)され、① 指揮・統制に関する組織体制及び手続き、② 災害・危機対応における活動情報の処理のあり方、③ 組織間の協力と連携、を要求事項として規定している。

中央防災会議では「多様な主体が活動する災害時において、各機関の連携が円滑に行われるとともに、全体として効率的な活動が行われ、災害の種類や大小に関わらず対応できるよう、災害対策の標準化を推進する必要」があるとして、2015年に災害対策標準化推進ワーキンググループが設置され、「災害対応の現場で、どのような課題が生じており、何が求められているのか」といった検討が進められた。同ワーキンググループの第4回会議では中間整理(案)²⁾が提示され、災害対応業務について、的確な組織・運営体制の構築により、被災地の状況に応じた対応の重要性を提言するとともに、マネジメントに関して、PDCAサイクルに基づく管理・評価・改善のための組織の整備及び計画の作成等が重要であることを指摘している。また、第5回会議では、National Incident Management System (NIMS)における「指揮・組織運営能力の向上」の中でIncident Command System (ICS)が位置づけられていることが紹介され、ICSの理解とともに、planning processの理解が必要であるとしている³⁾。

また、災害対策本部のマネジメントに関し、近藤ら⁴⁾はICSの「目標による管理(Management by Objective)」の視点からその組織・体制や運営・機能を分析している。

これらの既往研究では組織全体のマネジメントに着目しているものの、個々の現場において新たに発生する課

題等がどのようにして解決されていくかに関して十分な議論がなされていないものと考えられる。本稿ではこの点に着目して考察する。

3. 紀伊半島大水害時の和歌山県における被害の概要

(1) 紀伊半島大水害の気象状況

2011年台風12号は9月3日10時に高知県東部に上陸し、そのまま北上し、岡山県を通過し日本海へ抜けるという経路を取った。降雨の状況は3日未明まで一つ目の山があり、3日の昼間に時間30mmを超える二つ目の山、さらに三つ目の山が3日の夜遅くから4日未明にかけて多いところで時間50mmを超えるという大雨となった。2日から4日にかけての72時間雨量は古座川町西川での1,112mmをはじめ、県内18箇所のアメダス観測所のうち14箇所を観測史上最高値となるなど記録的な豪雨となった。

(2) 地域ごとの被害の概要

表1は各建設部が所管する地域ごとの雨量及び被害を整理したものである。建設部と管轄エリアの気象観測所の位置は図1に示すとおりである。表1の概要を見ると、県中南部の特に内陸部で雨量が多く、また被害も多く発生している。特に新宮建設部管内では死者数、全壊家屋数をはじめ、多くの被害が発生しているが、これらは那智勝浦町での那智川流域における土砂災害と新宮市での熊

野川流域における洪水によるものがその多くを占めている。

4. 研究の方法

(1) 和歌山県の組織

和歌山県における地域行政は振興局制度をとっており、県内7つの振興局が設置されている。社会基盤整備を担う部署としては本庁に県土整備部、振興局に建設部が設置されている。(図2)建設部における災害対応は総務調整課、管理保全課、工務課(2011年当時は道路課、河港課に分かれていた)の3課で対応することになる。それぞれの業務分担は表2のとおりである。

(2) 研究の対象

従来の研究では県を一括りにし、本庁を指揮・調整、地方出先機関を事案処理の担当としてとらえる場合が多いと思われる。本稿では現場における災害対応の課題を抽出することを目的とし、公共土木施設の災害復旧事業を担当する地方出先機関の長として、振興局建設部長の状況判断や意思決定過程等に焦点を当てていくものとする。

(3) 課題の抽出

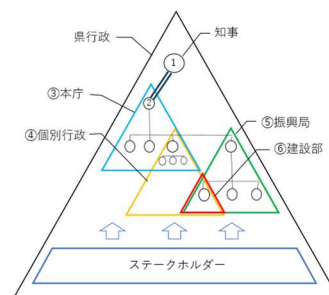
本研究は対象者に対しアンケート調査を実施することにより行う。2011年当時の職等を配慮しつつ、組織、運営、現場対応等に関する質問項目を設定し、強み・弱み・機会・脅威の分類を行うことで、課題を抽出する。

表1 地域ごとの雨量及び被害の概要⁽¹⁾

建設部名	アメダス観測所名	日降水量(mm)			累計降水量(mm)	人的被害(人)		住家被害(棟)				孤立集落	
		9月2日	9月3日	9月4日		死者	行方不明	全壊	半壊	床上浸水	床下浸水	地区数	世帯数
海草建設部	和歌山	25.0	76.0	5.0	117.0				7	19	26		
那賀建設部								1		13	53		
伊都建設部	かつらぎ	66.5	143.0	42.5	342.5					4	13		
有田建設部	湯浅	45.0	228.0	9.5	292.0								
	清水	122.0	330.0	79.5	554.5		1		1	4	11		
日高建設部	川辺	57.0	302.0	8.0	409.0	4	1	13	50	264	281	14	297
	龍神	296.0	486.0	230.0	1036.0								
西牟婁建設部	栗栖川	271.0	396.5	221.5	972.5	8	1	38	182	327	341	6	671
	日置川	216.0	470.5	139.5	840.0								
串本建設部	潮岬	129.0	201.0	64.0	432.5								
	西川	269.0	626.0	217.0	1152.5	3	0	4	363	149	275		
新宮建設部	新宮	108.5	266.5	418.5	832.5	41	2	184	1,150	1,926	2,149	20	1,595
計						56	5	240	1,753	2,706	3,149	40	2,563



図1 建設部の管轄エリアと気象観測所



組織関係図
 1. 県行政トップとしての知事
 2. 本庁のコマンドーとしての知事
 3. 本庁組織：県土整備部-道路局(各課)
 4. 個別行政：道路(管理、建設)etc.
 5. 振興局：地域における知事権限の分掌
 6. 建設部：振興局の構成員
 個別行政のオペレーター

図2 県行政の関係図

表2 建設部における災害対応時の業務分担

2011年当時	現在	災害時の業務	本庁担当課
総務調整課	総務調整課	災害状況の取りまとめ	河川課
管理課	管理保全課	管理G パトロール、規制、水防等	道路保全課、河川課
道路課	工務課	保安G 緊急対応、修繕	道路保全課、河川課
	工務課	道路G 道路の災害復旧	道路保全課、道路建設課
河港課	河港G	河川・土砂災害の災害復旧	河川課、砂防課

5. アンケート調査の実施結果

(1) アンケート調査の対象者

アンケート調査は2011年紀伊半島大水害以降に振興局建設部長を経験した32名のうち、すでに退職した25名を対象として実施した。建設部長経験者を対象としたのは、建設部長時代に建設部長が持つ災害復旧事業の企画・立案や執行の権限を活かして、意思決定に基づく何らかの行動が起こせたと考えるからである。また、現役の職員を対象から外したのは現職に縛られた意見となることを危惧したためである。

(2) 調査項目と回答方法

調査項目については対象者が回答しやすくなるようにと考え、各項目ごとに選択式と記述式を組み合わせた形式で調査票を作成した。具体の調査項目は表3のとおりである。質問3は質問2の回答に対して記述式で具体的に回答を要求したものであり、質問2で複数の回答がある場合は質問2で選択した項目ごとに回答を要求している。質問4、5および6については紀伊半島大水害に限らず建設部長時代の災害について回答を要求するものであり、質問4および6については質問2の項目ごとに、質問5については他の組織（本課、市町村、建設業界、地元、その他）を選択項目として設定し、それぞれ選択式と記述式を対応させて回答を要求している。

また、選択式の回答結果を表4に示す。

(3) 回答者数

アンケート用紙を発送した25名のうち、19名から回答を得た。紀伊半島大水害時における回答者の所属、立場については、建設部長（7名）、建設部で建設部長以外の立場（4名）、本課（8名）という結果であった。

表3 アンケートの調査項目

【質問1】紀伊半島大水害時の所属と立場を教えてください。 a) 所属 b) 立場 【質問2】当時の災害対応で強く記憶に残っていることは次のどれに該当しますか。 a) 建設部内の組織、人員、資機材に関すること b) 復旧工法など現場の対策そのものに関すること c) 市町村との関わりに関すること d) 地元との関わりに関すること e) 本課からの指示あるいは本課への報告、連絡、相談に関すること f) その他 【質問3】質問2の回答について具体的に内容を教えてください。 【質問4】建設部長時代の災害（紀伊半島大水害に限らず）の対応でうまくできたと思うことと失敗あるいはもう少し工夫する必要があったなどと思うことを教えてください。質問2で示した項目から選択し、その具体的な内容を災害の状況を含めて記載して下さい。 【質問5】建設部長時代の災害（紀伊半島大水害に限らず）の対応に関して、他の組織（本課、市町村、建設業界、地元、その他より選択）からの意見で役に立ったと思うことと困ったと思うことをそれぞれ教えてください。 【質問6】その他災害対応に関して強く記憶していることや思いがありましたら教えてください。

(4) 紀伊半島大水害時の対応について

紀伊半島大水害時の対応についての意見としては「a 建設部内の組織、人員、資機材に関すること」への回答が多かった。（19名中11名）

主な回答としては以下のとおりである。

- ・ 災害対応が特定の職員に集中
- ・ 復旧の資材の手配
- ・ 部長としては即断即決のつもりが部下から反抗
- ・ （緊急時の）組織、人員体制に無理あり
- ・ 内部の説明等に多くの労力
- ・ （応援を出す側として）応援の人選と（派遣職員が）抜けたあとの対応

(5) 建設部長時代の対応について

建設部長時代の対応については、紀伊半島大水害時に建設部長であった方も含めて、管内で大きな災害がなく「特に意見なし」とした回答者が19名中8名と最も多かった。

うまくできたことの回答としては、「b 復旧工法などの現場の対策そのものに関すること」が多く（17名中5名）、その主な回答としては以下のとおりである。

- ・ 建設業界との協力
- ・ 将来を見据えた改良復旧
- ・ 仮設道の設置を1か月で完成
- ・ 上空からの現地情報の把握
- ・ 地元が理解を示す復旧工法の提案

また、失敗または工夫が必要とした回答としては、まず、「b 復旧工法などの現場の対策そのものに関すること」が多く（13名中4名）、その主な回答としては以下のとおりである。

- ・ 警告表示で対応が可能と考えて失敗
- ・ 施工の安全性に重点を置きすぎて工期が長期化
- ・ 建設部からの提案を本課に強く推すべきであった
- ・ 原因究明と工法検討に時間を要した

さらに復旧工法と同数（13名中4名）で「d 地元との関わりに関すること」をあげた方の主な意見は以下のとおりである。

- ・ 民家の片づけと道路整備、緊急性の基準がほしい
- ・ 孤立集落の早期解消、生活インフラの早期復旧
- ・ 地元住民からの電話情報をうまく聞き取れず、対応が後手

次に、他の組織からの意見で役に立ったことで、組織としては建設業界をあげる方が最も多く（14名中5名）、その主な回答としては以下のとおりである。

- ・ 意見交換（打合せ）の場を設けて対応
- ・ 業界の中で情報交換し、優先順位を見極め
- ・ 他府県からの応援
- ・ 路線別の啓開業者の割り当て
- ・ その他として、本課のマスコミ対応の一元化や国の直轄事業化

さらに、他の組織からの意見で困ったこととして、組織としてはその他（15名中6名）に次いで、本課と回答した方が多く（15名中4名）、その主な回答は以下のとおりである。

- ・ 災害査定で県外からの応援者を担当にした
- ・ 災害復旧事業を通常事業のように完成目標等を指標化して記者発表
- ・ なぜ早くできないのかと問われる
- ・ 現場の考えを受け入れてくれない

なお、その他としては関電、地権者、国交省、議員、法令等があげられた。

表4 アンケート調査（選択式）の回答結果

質問③の回答数	
質問②の項目	大水害で強く記憶
a	11
b	5
c	1
d	1
e	4
f	7
なし	1

質問④の回答数		
質問②の項目	うまくできたこと	失敗又は工夫必要
a	4	2
b	5	4
c	3	0
d	3	4
e	2	1
f	0	2
なし	7	8

質問⑤の回答数		
組織	役に立ったこと	困ったこと
本課	1	4
市町村	3	2
建設業界	5	2
地元	1	1
その他	4	6
なし	8	7

質問⑥の回答数	
質問②の項目	その他強く記憶
a	6
b	5
c	2
d	4
e	2
f	10
なし	2

6. 考察

紀伊半島大水害という大災害時の現場では、建設部という組織として、人員や資機材など現有資源の中で何ができるか、何をすべきかということに思いが至り強く印象に残っていることは十分に理解できる。一方、大災害時という環境を離れると災害や危機管理に思いを馳せることがなくなるということが、建設部長時代の「特に意見なし」が多いという結果から見て取れる。

建設部長時代に「うまくできたこと」の主な回答として5つの回答を提示した。この内容は「建設業界との協力」ということはコミュニケーション、「将来を見据え

た改良復旧」ということはプランニング、「仮設道の設置を1か月で完成」ということはスピード、「上空からの現地情報の把握」ということはインフォメーション、そして「地元が理解を示す復旧工法の提案」ということはプレゼンテーションといった災害対応時に必要な要素が抽出できる。

また、「失敗または工夫が必要」の主な回答として提示した回答では、「警告表示で対応が可能と考えて失敗」ということは簡易な工法を選択したことによる失敗、「施工の安全性に重点を置きすぎて工期が長期化」ということはバランス、「建設部からの提案を本課に強く推すべきであった」「地元住民からの情報がうまく聞き取れず対応が後手」ということは意思疎通、「原因究明と工法検討に時間を要した」ということは技術力といった問題点を指摘されているものと理解できる。

さらに「民家の片づけと道路整備、緊急性の基準がほしい」ということは業務の優先順位について、現場での苦悩が感じられる回答であると言える。

7. 今後の研究

本稿ではアンケート調査の集計結果から多数意見を整理することにより災害時の現場対応で必要となる要素を抽出することができた。しかし、他の組織からの意見として役に立ったと挙げられた建設業界や困ったと挙げられた本課との関係についてはさらに詳細に検討する必要がある。また、今回のアンケート調査では少数意見であっても、現場として重要な要素がほかにもないかという検証が必要であると考えられる。また、今回のアンケート調査をベースにし、各回答者の立場の違いにより対応に変化が見られないかという検証をする必要があると考えており、ヒアリング調査等の方法を用いて実施していく。

補注

- (1) 紀伊半島大水害記録誌（和歌山県）の情報を元に著者が整理したもの

参考文献

- 1) 和歌山県：平成23年紀伊半島大水害記録誌，2013
- 2) 災害対策標準化ワーキンググループ：災害対策の標準化に係る中間整理（案），第4回災害対策標準化ワーキンググループ会議資料，資料3，中央防災会議防災対策実行会議，2016
- 3) 林春男：効果的な対応計画の策定・指揮命令の手法，第5回災害対策標準化ワーキンググループ会議資料，資料3，中央防災会議防災対策実行会議，2018
- 4) 近藤民代他：新潟県中越地震における県災害対策本部のマネジメントと状況認識の統一に関する研究－「目標による管理」の視点からの分析－，地域安全学会論文集，No.8，pp.183-190，地域安全学会，2006

群衆シミュレーションを適用したペDESTリアンデッキ上の 避難誘導方策の評価

Evaluation of evacuation guidance measures on pedestrian decks using crowd simulation

糀谷 幸嗣¹, 高田 和幸²
Yukitsugu Kojiya¹ and Kazuyuki Takada²

¹東京電機大学理工学研究科

Graduate School of Science and Engineering, Tokyo Denki University

²東京電機大学理工学研究建築・都市環境学系

School of Science and Engineering, Tokyo Denki University

While measures are being taken to prevent people who have difficulty returning home in the event of a large-scale disaster, it is thought that many issues still remain regarding ensuring the safety of those who have difficulty returning home. In particular, sufficient studies have not been made on evacuation guidance at stations and areas around stations where a large number of evacuees can occur. Therefore, in this study, we constructed a crowd evacuation simulation and examined safe evacuation guidance measures at the pedestrian deck at the west exit of Kitasenju Station.

Keywords : Crowd guidance, crowd avalanche, dominoes, inflow control, crowd density

1. はじめに

東日本大震災の際、公共交通機関の運行停止や周辺の商業施設が直ぐに閉鎖されたことなどにより首都圏で約512万人もの帰宅困難者が発生し（内閣府推計）一時退避施設不足や家族の安否確認ができないなど多くの課題が示された。東日本大震災の経験と教訓を踏まえ社会全体で帰宅困難者対策に対する機運が高まっている。

2. 既往研究と本研究の位置づけ

災害時の帰宅困難者対策や避難誘導に関する研究は多く行われている。大原ら¹⁾は、足立区北千住駅周辺の帰宅困難者の混雑について論じている。多くの路線が乗り入れる北千住駅では、乗車・降車人数が最も多くなる通勤ラッシュ時間帯の午前8時半から9時、午後6時台に帰宅困難者数が最も多く発生し得ること、加えて北千住駅周辺は、全時間帯を通して人口昼夜比が1.0であることから、災害時には流入流出者の動線が錯綜し、一層混乱が生じ得ることを示している。一方、新井ら²⁾は、群衆事故による将棋倒しについて論じている。群衆の中で人同士の間隔が60cm以下の場合には、将棋倒しの危険性が高まること、また将棋倒しが生じた際、先頭の人を支えられる人数は平地で7人、階段では4人までであるということを示している。印南ら³⁾は、群衆の誘導方策について論じている。誘導有無や経路誘導といったシナリオを設定し、円滑な誘導方策を求めている。一時退避施設に避難者を誘導することで、歩道への避難者の流入抑制ができ、避難完了時間が短縮できることを示している。また対交流が生じる場合には、滞留解消に時間を費やすことを示している。

群衆避難に関する既往研究を参照した限り、ペDESTリアンデッキにおける群衆を対象として研究は見受けられない。そこで本研究では、災害発生時に鉄道駅からペ

DESTリアンデッキに流出する帰宅困難者が形成する群衆の危険性に焦点を当て、群衆シミュレーションを構築して、ペDESTリアンデッキにおける群衆避難の危険性の評価、および安全な避難誘導のあり方を検討した。

3. 対象地区について

北千住駅周辺地域都市安全確保促進計画によると北千住駅周辺は東日本大震災の際、10万人の帰宅困難者が生じ極めて危険な状態であった。

通勤ラッシュ時間帯に東日本大震災と同程度またはそれ以上の災害が生じた場合、北千住駅周辺の公共交通機関運行停止によって多量の帰宅困難者が発生し、避難場所への適切な誘導が行われれば人の流れが交錯し、群衆雪崩の被害が生じる恐れがある。本研究では北千住駅西口ペDESTリアンデッキを対象地区に設定し通勤ラッシュ時間帯（朝8時から9時）における鉄道運休による帰宅困難者の行動を予測し、帰宅困難者による群衆雪崩による被害の防止を目的としている。

4. 分析方法

(1) 群衆シミュレーションの構築

本研究では、マルチエージェントシミュレーションartiscoc4を用いて、群衆避難シミュレーションを構築した。

(2) エージェントの設定

本研究では、避難者一人が占有する面積が、縦0.3m、横0.6mであると仮定し、1つのエージェントに人が2人が含まれていると設定（縦0.6m、横0.6m）することで、正方形のメッシュを施した空間上でシミュレーションを実行可能とした。

(3) 避難エージェントの発生

地震の発生に伴い鉄道の運行停止をした際、北千住駅

西改札口から出てくる避難者を避難エージェントと設定した。北千住駅西出入口にシミュレーション開始後、発生点で1ステップに1個発生させる。避難エージェント発生点は西出入口に3点設けている。

(4) 目的地

北千住西口から発生した避難エージェントは、ペデストリアンデッキに設置された階段A、Bの何れかを用いて地上階に降りることとし、全て降り切った地点を目的地として設定した。

(5) 移動経路

全避難エージェントは西改札口を発生後地点Cを西へ向かい階段A、Bを用いて地上階へ降りることとした。また避難エージェントが進む際、以下のフローチャートで前方の避難者を避けて行動する。

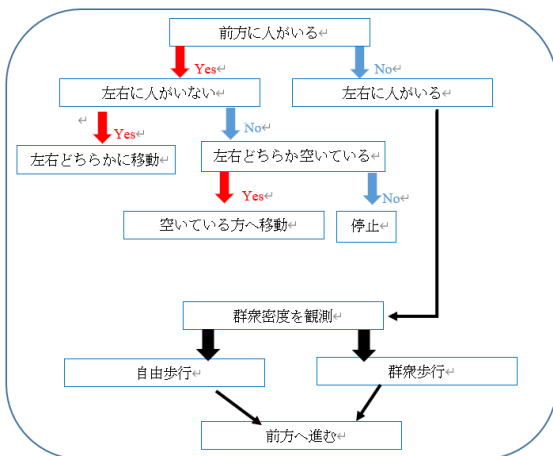


図1 避難エージェントの行動フローチャート

(6) 進路選択

避難エージェントに図のDE領域での密度を観測させる。D領域では、平均2.0、分散2.0の正規分布を仮定して、その正規分布にしたがう認知密度を一人一人に発生させ、またE領域では、1.5、分散5.0の正規分布を仮定して、その正規分布にしたがう認知密度を一人一人に発生させる。避難エージェントは認知密度の小さい方へ進み。D領域は遠いので、分散をE領域より大きく設定してある。



図2 密度領域DE

(7) 移動速度

a) 平坦部

自由歩行時(フルーインのサービス水準 AB)の歩行速度は著書 *artisoc* で始める歩行者エージェントシミュレーション⁵に記載されている自由歩行時の歩行者速度正規分布の各値を用いる。これにより各避難エージェントに予め個々の自由歩行速度が設定されることになる。

群衆歩行時の歩行速度(フルーインのサービス水準 C~F)も同様に著書 *artisoc* で始める歩行者エージェントシミュレーション⁵に記載されている群衆速度密度グラフを用いている。図4の群衆速度はフルーインのサービス水準²の密度から導き算出している。

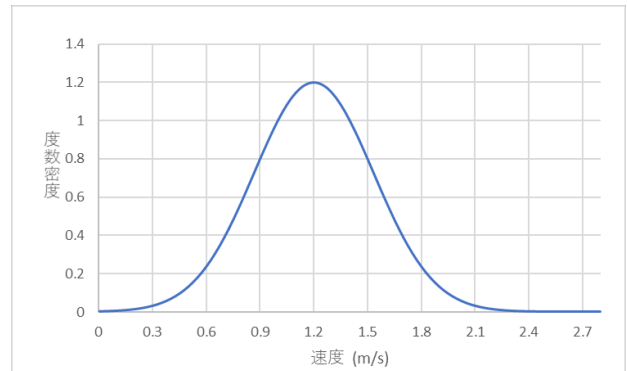


図3 自由歩行速度正規分布

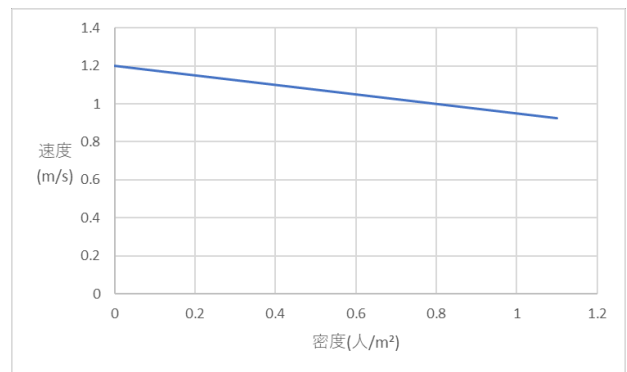


図4 密度に対する群衆歩行速度

b) 階段部

階段の下降歩行速度は奈良ら⁴の研究で求められたものを用いる。また ρ :密度は階段内の歩行者数と階段踏みの面総面積で以下のように算出される。各記号、N...階段内の歩行者数、A...階段踏みの面総面積である。

$$V = 1.03 - 0.203\rho \quad \dots (1)$$

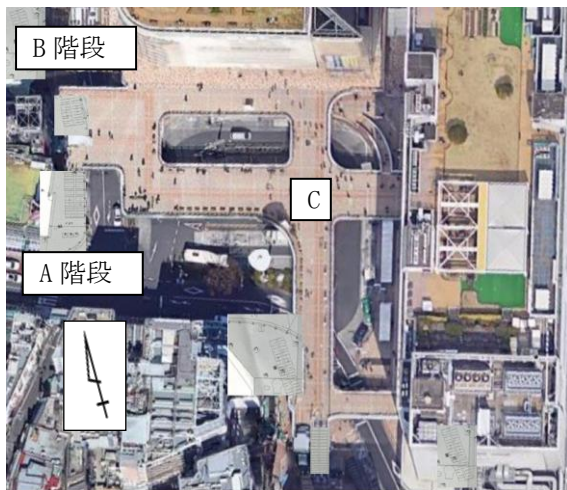
$$\rho = N/A \quad \dots (2)$$

5. 条件設定

(1) エスカレーター設定

災害時は停電が発生しエスカレーターは停止すると予想される。そのため多量の帰宅困難者は停止したエスカレーターを使用すると考えられる。本研究では停止したエスカレーターを階段として利用することを前提としてシミュレーションを行う。

今後本論文ではエスカレーターを階段として言い換えて表現する。北千住駅西口の各階段と各地点を(写真1)のように命名した。



(写真1) 北千住駅西口ペDESTリアンデッキ

(2) シミュレーションステップ設定

ステップ(artiscoc の時刻単位の呼び名でありエージェントが行動を始めてから終わるまでの時間)は1秒としてシミュレーションを行う。

(3) 避難エージェント発生数

西口改札から避難エージェントを599ステップまで毎ステップ発生させる。合計で1797個の避難エージェントを発生させる。避難エージェント1個につき2人含まれている想定なので3594人発生させたこととなる。1797個の避難エージェントが目的地に着くまで群衆シミュレーションを行う。

6. シミュレーションのシナリオと評価指標

(1) シナリオ設定

方策なしと流入制御の2つの状態でシミュレーションを行う。方策なしとはペDESTリアンデッキ上の1階ロタリーに向かう帰宅困難者に対して安全対策や誘導を一切せず、シミュレーションを行うものである。流入制御とは、群衆の状態が階段を降りる際転倒事故が起こりやすいため階段の手前で群衆の流れを制御するものである。流入制御については以下の方法を採用した。

・流入制御

階段部または階段手前で避難エージェントが危険な群衆密度状態(表1表2におけるフルーインのサービス水準E・F)であると観測された時に流入制御を始める。流入制御が一旦開始された場合、シミュレーション終了まで流入制御は継続する。

(2) 評価指標

群衆の密度によって、歩行時の危険性は変動する。そこで本研究では、平坦部、階段部での群衆密度による危険性をフルーインのサービス水準を用いて評価をする。水平路、階段部のサービス水準を表1、2に示す。水準A・Bは自由歩行ができ、C以下は自由歩行ができない群衆歩行となる。本研究ではE・Fの観測回数を計測して評価に用いた。

表1 水平路におけるフルーインのサービス水準

水準	密度[人/m ²]	状況
A	0.31以下	遅い人を追い抜いたり、好きな歩行速度を自由に選択できる十分な面積がある
B	0.31~0.43	対向流や交差流のあるところでは、衝突の可能性がわずかにある。
C	0.43~0.71	追い抜きや、速度選択の自由は制限される。
D	0.71~1.08	追い抜きや衝突回避は困難で、大部分の歩行者の速度は低下する。
E	1.08~2.17	全ての歩行者が通常の歩行速度では歩けず、足取りも頻繁に変えなければならない。
F	2.17以上	もはや、コントロールを逸した交通麻痺であるといえる。

表2 階段部におけるフルーインのサービス水準

水準	密度[人/m ²]	状況
A	0.5以下 [⇐]	遅い人を追い抜いたり、好きな歩行速度を自由に選択できる十分な面積がある
B	0.5~0.7 [⇐]	対向流や交差流のあるところでは、衝突の可能性がわずかにある。
C	0.7~1.1 [⇐]	追い抜きや、速度選択の自由は制限される。
D	1.1~1.5 [⇐]	追い抜きや衝突回避は困難で、大部分の歩行者の速度は低下する。
E	1.1~2.5	全ての歩行者が通常の歩行速度では歩けず、足取りも頻繁に変えなければならない。
F	2.5以上 [⇐]	もはや、コントロールを逸した交通麻痺であるといえる。

結果

表3に、全ての避難エージェントが目的地に到着するまでに要した時間(到着完了時間)とシミュレーション計測中に階段部、階段手前付近でフルーインの評価水準E・Fが観測された回数(危険計測回数)、図4に経過時間と危険計測回数、図5に経過時間と到着人数の関係を示す。到着完了時間では方策なしで27.4分、流入制御時は22.6分であった。流入制御を用いた方が4.8分早く目的地に全避難エージェントが到着できると明らかになった。危険計測回数は大きな差が表れた。つまり流入制御を用いれば方策なしに比べ安全に階段を下りることができ、到着完了時間も短縮できると示された。

経過時間と危険計測回数では方策なしでは大きく増加傾向だが流入制御は微増であった。

経過時間と到着人数では方策なしと流入制御では10分では方策なしが到着人数をやや上回っていたが20分以降では流入制御が到着人数を上回った。混雑具合は時間が経つごとに激しさを増す。20分以降のさらなる混雑状態では流入制御が方策なしより多くの避難エージェントを誘導できると示された。

表3 危険計測回数と到着完了時間

	対策なし	流入制御
危険計測回数(回)	31149	1229
到着完了時間(分)	27.4	22.6

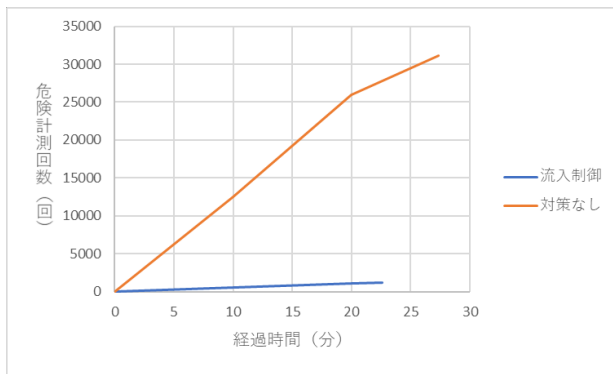


図 4 経過時間と危険計測回数

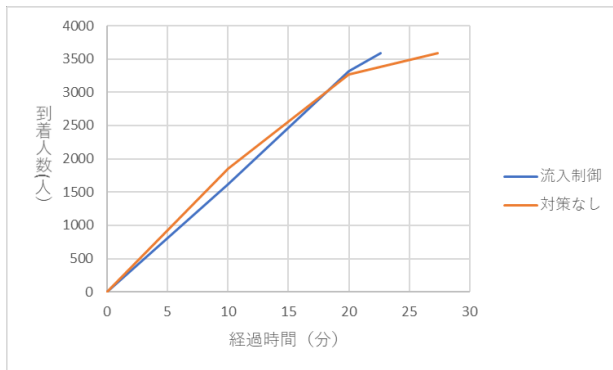


図 5 経過時間と到着人数

- 4) 奈良松範、大島泰伸、渡部学：避難時の群衆歩行速度について-階段における歩行, 1996
- 5) 兼田敏之：artisoc で始める歩行者エージェントシミュレーション, p45, p46, p52, p58, 構造計画研究所, 2010
- 6) 平成 27 年大都市交通センサス路線別着時間帯別駅間輸送定員表

まとめ

本研究では、3594 人を西口改札に発生させ混雑状態をシミュレーションにより表現した。

階段 A, 階段 B で流入制御を用いた場合方策なしに比危険計測回数が少なく安全で群衆雪崩等の事故の可能性が低く、更に到着完了時間が小さいと示された。

考察

通勤ラッシュ時間帯(朝 8 時から 9 時)に北千住駅に到着予定の各鉄道会社に乗っていた乗客が、大規模災害に遭遇した場合を考える。各路線の上下 1 編成が北千住駅に到着しており災害による鉄道運行停止に伴い北千住駅に降りて避難するとする。北千住駅に到着している各路線上下 1 編成の乗客合計は大都市交通センサス⁶によると約 12000 人と想定されている。よって約 12000 人の帰宅困難者が発生すると見込まれる。本シミュレーションでは発生させた帰宅困難者は 3594 人であったが 12000 人の場合では 3594 人の混雑状態がより長く続いた場合である。12000 人でも 3594 人の時と同様に流入制御を用いた方が安全で到着完了時間が小さいと考えられる。また階段部での受け入れ人数が拡大できれば更なる安全が期待できる。そのために上り用階段を下り専用の階段を増やすことが良いと考える。

参考文献

- 1) 大原美保、藤生慎、山下倫央、高田和幸：ターミナル駅周辺における災害時の群衆挙動に関する課題 - 東京都足立区千住周辺地区での事例, 2015
- 2) 新井邦夫・丸井信雄 群衆の流動と事故 1981
- 3) 印南 潤二・正垣 隆祥・笈 文彦・福井 潔・山田 武志：群衆シミュレーション手法を活用した 大規模ターミナル駅周辺の避難誘導情報の施策検討 2012

横浜市の地域防災拠点を対象としたマルチハザード評価 - 避難者数に着目した基礎的研究 - Multi-hazard evaluation targeting evacuation shelter in Yokohama City - Basic research focusing on the number of evacuees -

○落合 努¹, 荻本 孝久²
Tsutomu OCHIAI¹ and Takahisa ENOMOTO²

¹ 神奈川大学工学部 助手

Kanagawa University, Faculty of Engineering, Research Associate

² 神奈川大学工学部 教授

Kanagawa University, Faculty of Engineering, Professor

Japan is one of the countries in the world with a high risk of various natural disasters such as earthquakes and floods. In particular, in recent years, flood damage and sediment disaster have occurred frequently due to the effects of climate change. We conducted a multi-hazard analysis using open data for evacuation shelter in Yokohama. First, the expected number of evacuees for each index was organized, and a ranked distribution map and radar chart were created for relative evaluation. We also created a single multi-hazard map that grouped those maps with similar characteristics. Multi-hazard maps provide an overview of the area's characteristics against disasters.

Keywords : multi-hazard, evacuation shelter, cluster analyst, open data, Yokohama City

1. はじめに

日本は、世界の中でも地震や水害など様々な自然災害の発生リスクが高い国である。特に、近年は気候変動などの影響により水害や斜面崩壊が頻発している。

マルチハザードを複合災害と同義とすると、既往研究として、例えば陶野(1993)¹⁾は複合災害の事例を考慮した総合的な災害予測図の作成方法を提案し、中林、小田切(2009)²⁾は主に自治体の対応や課題について、複合災害や広域巨大災害の定義も明確にし検討が実施されている。また、田村、他(2007)³⁾は、確率論的手法でマルチハザードに関するリスク評価手法を提案し、高田、他(2016)⁴⁾は、複合災害時の避難意識に着目した検討を行っている。我々は、社会の ICT 化が進む中、防災に関するデジタルデータも容易に入手可能となった昨今の状況に着目し、オープンデータを用いたマルチハザードに関して検討を進めている^{5), 6)}。

ここでは、横浜の地域防災拠点を対象として、オープンデータを用いたマルチハザード分析を行う。その結果、各防災拠点で特定の災害時に想定避難者がどの程度見込まれるのか、またどの災害に対するリスクが高いのかを検討するとともに、災害による特性が似たグループ同士に分け、マルチハザードとして評価可能かについて検討を試みた。

2. 横浜市と地域防災拠点

横浜市は神奈川県東端に位置し、国際貿易港である横浜港を基盤として、首都圏の中核都市に位置付けられている。地形的な特徴として、北西側の丘陵地と台地が市域全体の約 7 割を占め、その他河川沿いの扇状地や三角州である沖積低地や臨海部の埋立地で構成される。

また、1923 年関東大震災にて死者 2 万人以上、全壊家屋 6 万戸と甚大な被害を受けた。その後、地震による大

きな災害は発生していないが、台風や豪雨に伴う土砂災害や浸水被害は毎年のように発生している。また、地震被害想定では、元禄型関東地震 (M8.1) が発生した場合、建物倒壊による死者が 1,700 人、全半壊する建物が 137,100 棟、火災による死者が 1,550 人、焼失する建物が 77,700 棟と大きな被害が想定されている⁷⁾。

横浜市では、発災後に避難が必要となった場合、身近な市立の小・中学校等を指定避難場所に指定している(検討実施の 2020 年で 459 箇所)。地形区分⁸⁾と防災拠点を重ねて図 1 に示す。

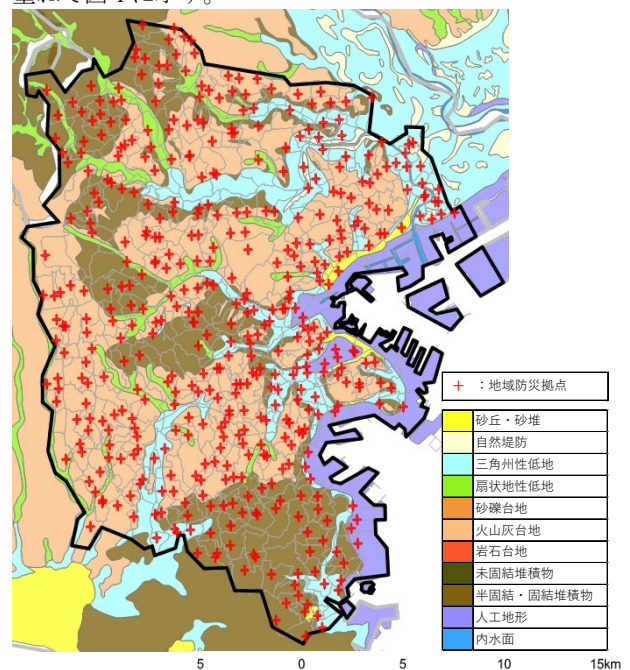


図 1 横浜市の地形区分と地域防災拠点⁸⁾

3. 使用データと検討方法

3.1 使用データ

本検討での使用データは、防災拠点を除くと一般的に入手可能なオープンデータとした。使用データの一覧を表1に示す。使用データは直接GIS形式のデータで提供されている。それぞれを図化して図2に示す。

地震ハザードは、比較的一般の方でも理解がしやすい震度がアウトプットとなるように、30年以内に3%の超過確率で発生する計測震度とした。浸水ハザードと津波ハザードは、神奈川県被害想定により公開されている浸水深とし、土砂災害のハザードは同じく神奈川県によるイエローゾーンとレッドゾーンとする。人口データは、全体の傾向を確認するために人口密度としているが、検討時は各ハザードの暴露人口を算出するための総人口と、災害弱者となりうる75歳以上である後期高齢者のデータを用いた。

地震と洪水のハザードが大きい地域は、河川沿いの軟弱な地盤が分布し標高が低い地域となる。津波ハザードは、当然ではあるが沿岸部にみに分布する。一方で土砂災害は、南西部でやや密度が高いものの横浜市全域にハザードが広がっている。人口密度は東側の臨海部で高く、防災拠点は横浜全域に概ね均等に分布する。

表1 使用データ一覧^{9)、10)、11)}

	入手元	内容
地震 earthquake	J-SHIS	30年以内に3%の確率で一定の揺れに見舞われる計測震度の領域図
浸水 flood	国土数値情報	河川管理者（国土交通大臣、都道府県知事）から提供された浸水想定区域図を浸水深ごと都道府県別に整備したもの
津波 tsunami	国土数値情報	都道府県から提供された津波浸水想定データを想定する津波の浸水域と最大浸水深の区分ごと都道府県別に整備したもの
土砂 sediment	国土数値情報	都道府県が指定する土砂災害警戒区域の範囲または位置、及び種別、名称等のデータを整備したもの
人口 sinior	e-STAT	町丁目単位の年代区分別人口データ（国勢調査）
防災拠点 evacuation	横浜市*	防災拠点の区割りデータ

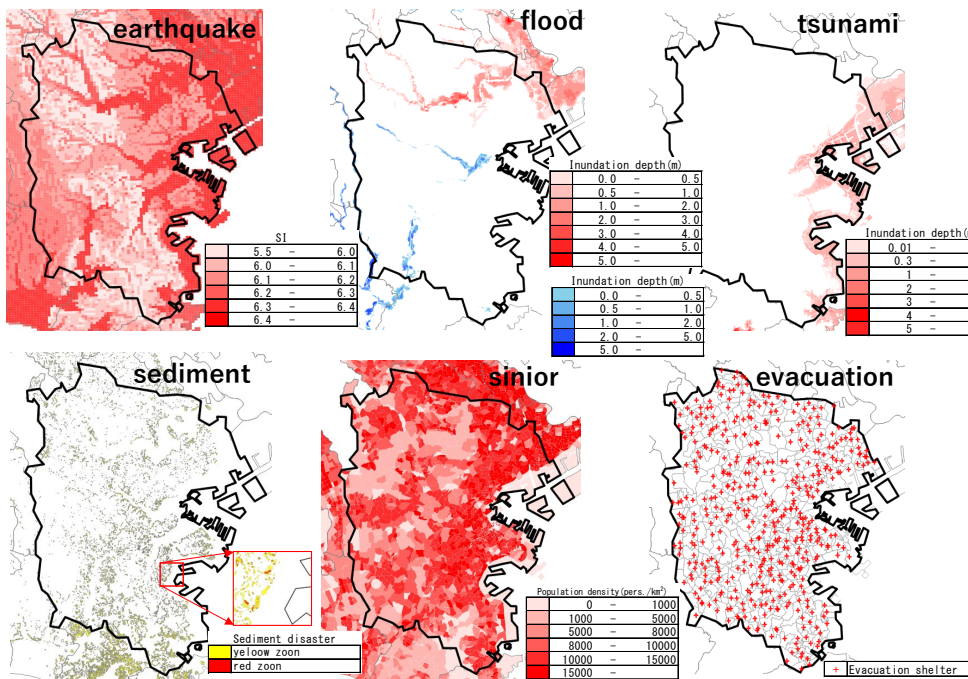


図2 使用データの分布

3.2 検討方法

(1) データの整理

データ整理のフローを図3に示す。最初に、防災拠点区画毎に人口密度を算出する。人口の元データは町丁目単位のデータとなるため、GISを用いて町丁目と防災拠点区画のポリゴンが重なる面積を抽出し、面積按分で人口を割り当て、防災拠点の面積で除して人口密度とした。

本検討では、防災拠点の収容人数に着目している。よって、それぞれのハザードに対し避難行動を起こすと想定される閾値(表2)を設け、防災拠点の区画内でハザードが閾値以上となる面積を抽出し、前記した人口密度を乗じて人数とした。ただし、後期高齢者人口については、発災時とは別の常時の特性の確認として、防災拠点区画内の全人数で評価している。

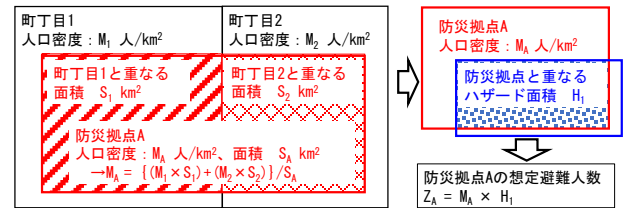


図3 データ整理のフロー

表2 各ハザードの閾値

	各ハザードの閾値
地震	30年超過確率が3%となる震度6.2以上の地域の人数
浸水	浸水深が50cm以上の地域の人数
津波	浸水深が30cm以上の地域の人数
土砂	土砂災害警戒に指定される地域の人数
高齢人口	防災拠点区画内の75歳以上の人数

(2) ランク分けとレーダーチャート

防災拠点がどのハザードで避難者数が多くなる可能性かの把握のために、整理した5つの指標を用いてレーダーチャートを作成した。評価は、相対的な人数の違いに着目し、ハザード毎の想定避難者数を5つにランク分けしたレーダーチャートを作成した。ランク分けは、各ランクで防災拠点数が同程度となるようにした。ただし、高齢者以外のランク1は、想定避難者がゼロ(ハザードが重なる面積がゼロ)とし、その他が同程度の数となるように区分した。

(3) クラスタ分析

防災拠点個別の評価に加えて、各ハザードの想定避難者数の特性から、グループ分けが可能かを試みた。検討は、データパターンが類似する個体を同じグループにまとめる分析方法の一つである、クラスタ分析を用いた。

クラスタ分析を行うために、防災拠点毎の想定避難者数を標準化した。また、クラスタ分析は、ユークリッド距離とワード法を用いた^{12)、13)}。

4. 検討結果と分析

4.1 ランク分けとレーダーチャート

ランク分けを実施した結果を図 4 に示す。図は上段が想定避難者人数分布、中段に頻度分布、下段がランク分布となる。

ランク分布図から、横浜市内で相対的にどのハザードに対する危険性が高いかが確認できる。全体には図 1 の元データ分布特性を反映しているが、高齢者についてやや傾向が異なる。これは、図 1 では人口密度で整理していたが、ここでは避難者数検討のために人数で整理していることによる。すなわち、人口密度で見ると、東側沿岸部が高い値となるが、人口の場合西側にも値が高い範囲が広がる。これは、西側は人口密度は低いものの防災拠点区画の面積が広いことに起因している。

全体にランクが高い防災拠点と低い防災拠点のレーダーチャートの例を図 5 に示す(位置は図 4 参照)。それぞれランクを合算した合計は同じ値の拠点(H:20、L:7)を選んでいるが、防災拠点ごとに異なる特性を示している。

H1 は内陸部であるため、津波のランクは 1 であるが、その他のランクは全体に高い。H2 は、河川から離れているため洪水のランクは 1 だが、その他のランクは高い。H3 は、沿岸部であり河川流域でもあるため、全てのランクが平均的に高い。ランクが小さい場合には、相対的に防災拠点間の違いも小さいが、それでもある程度の特性は確認できる。

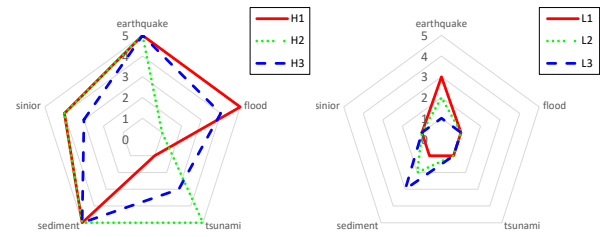


図 5 代表的な避難所のレーダーチャート

4.2 クラスタ分析

クラスタ分析による分割数は、得られた樹形図(テンドログラム)(図 6)やグループ分けした場合の識別のしやすさを考慮し、5 グループとした。散布図行列とその分布、グループの平均値からもとめたレーダーチャートを図 7 に示す。これらの結果から、地震と洪水、津波は正の相関が確認でき、低地の軟弱地盤が発達する地域の特性を反映していると思われる。その他もある程度特性が認められ、まとめると以下ようになる。

- グループ A: 全体に想定避難者数は少なく相対的には安全性が高い避難所
- グループ B: 高齢者や地震による想定避難者がやや多くその他は少ない
- グループ C: 高齢者や土砂災害の想定避難者が多く地震による想定避難者もやや多い
- グループ D: 地震や洪水、津波の想定避難者が多い
- グループ E: 土砂災害以外の想定避難者が多い

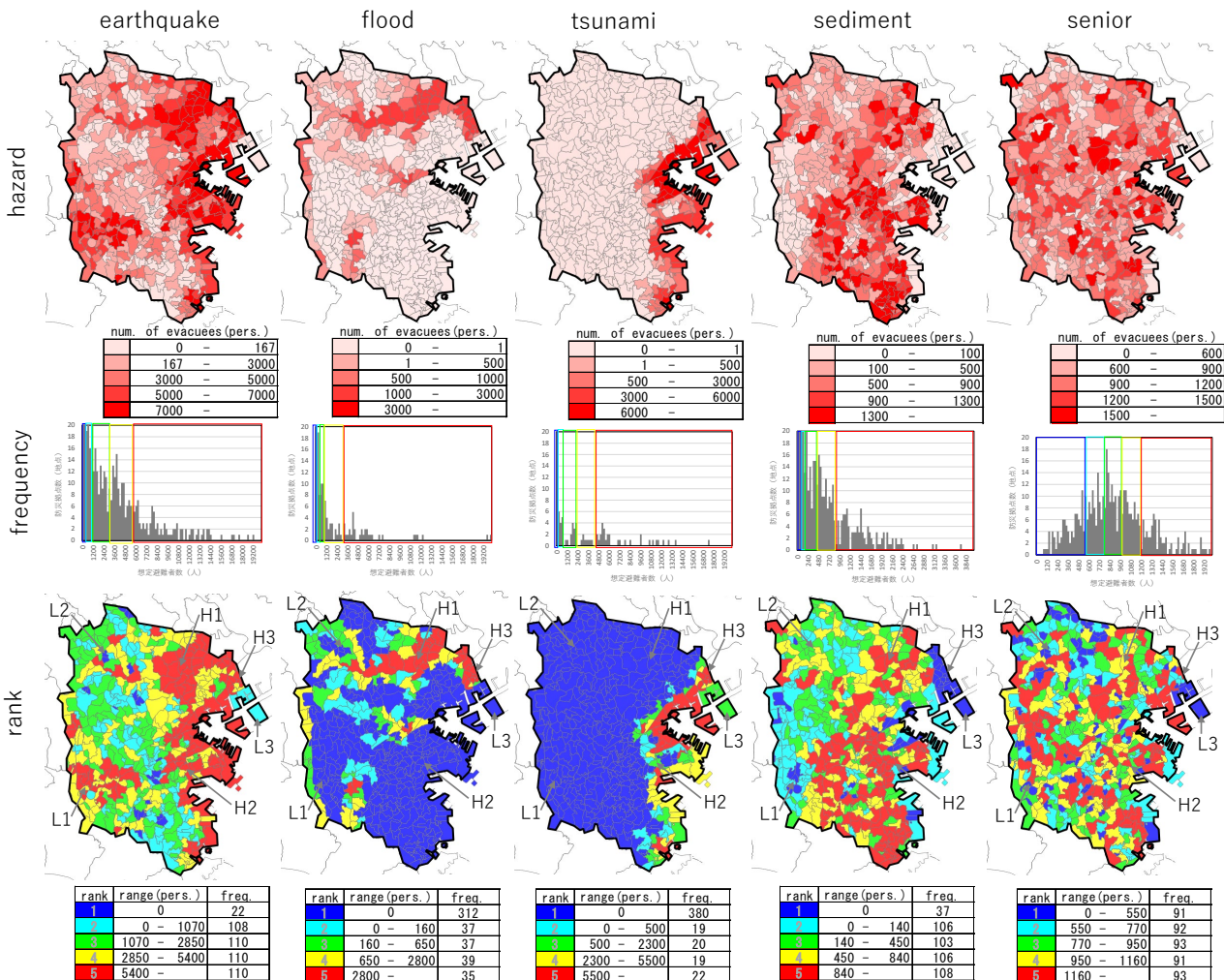


図 4 想定避難者、頻度、ランクの分布

5. 検討結果の活用方法の一提案

本検討結果の活用方法の一つとして、地域住民や防災拠点のリーダー、自治体職員などによる次のような運用などが考えられる。

- ① 1枚のマルチハザードマップで災害に対して避難所周辺の地域にどのような特性があるかの概要を把握する
- ② 避難所個別のレーダーチャートで相対的にどの災害がどの程度危険かを調べる
- ③ 特に危険性が高い災害に対して個別のハザードマップを調べ具体的な対応策を確認・検討する
- ④ 特に複数災害の危険性が高い場合は詳細な検討を行う

6. まとめ

横浜市の地域防災拠点を対象に、地震・洪水・津波・土砂災害の4つの災害で想定される避難者数と、災害弱者となる可能性が高い後期高齢者人数を指標とした安全性の検討を行った。

最初に、各指標に対し想定される避難者数を整理し、相対的な評価を行うためにランク分けした分布図とレーダーチャートを作成した。図より、災害によって想定される避難者数は地域的な特性があることや、各ランクを合算した値が同程度であっても対象となるハザードの特性が大きく異なるケースなどが確認できた。

また、それらのマップから特徴が似ているものをグループ化した1枚のマルチハザードマップを作成した。マルチハザードマップにより、災害に対するその地域の概略的な特性の把握が可能となった。

なお、本検討は現時点で公開されているハザードデータを用いて作成している。よって、データが公開されていない中小河川の洪水リスクなどは対象外であるが、データの公開が進めば比較的容易に反映が可能である。

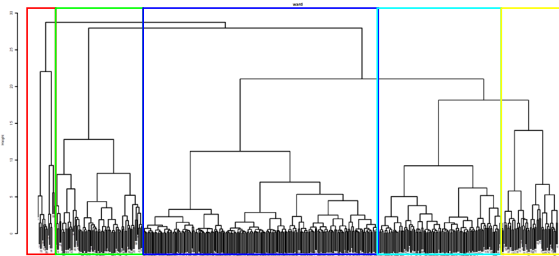


図6 樹形図(テンドログラム)

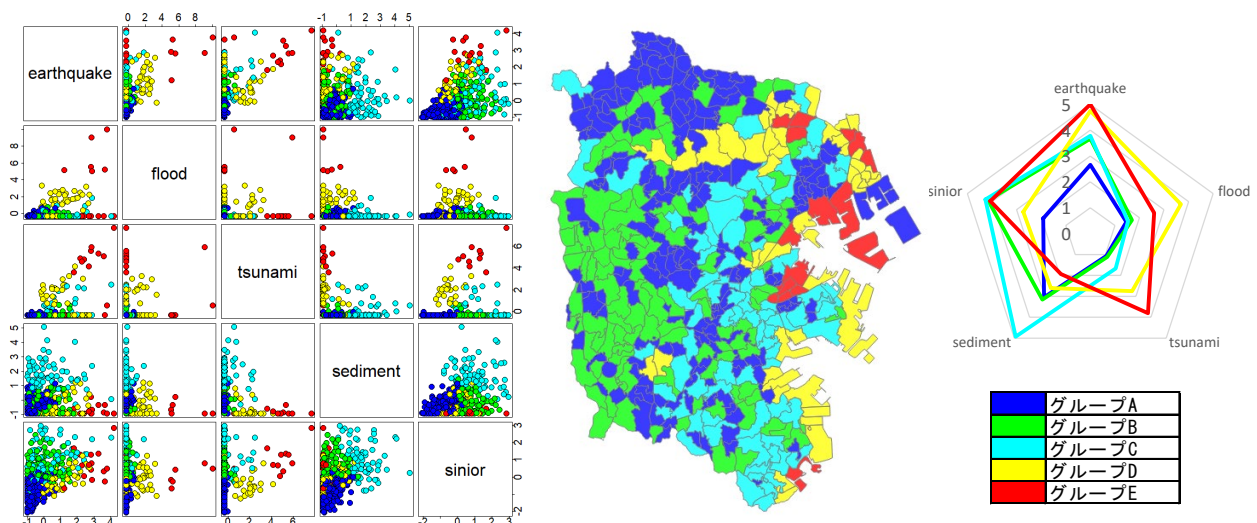


図7 クラスタ分析結果 (左: 散布図行列、中: 分布、右: グループ平均のレーダーチャート)

【謝辞】

本検討にあたって、横浜市総務局地域防災課より地域防災拠点のGISデータを提供いただいた。人口データはe-STAT、各種ハザードデータは防災科学技術研究所のJ-SHISと国土交通省の国土数値情報のデータを利用した。ここに記して謝意を示す。本研究は、神奈川大学工学研究所共同研究「体育館を対象とした継続使用性の判断方法に関する検討 - 振動特性とコンクリート基礎の損傷関係 - (研究代表者: 白井佑樹)」の成果の一部である。

【参考文献】

- 1) 陶野郁雄: 複合災害と総合的災害予測図、第四紀研究、32(5)、pp.339-352、1993
- 2) 中林一樹、小田切利栄: 日本における複合災害および広域巨大災害への自治体対応の現状と課題、地域安全学会論文集No.11、pp.33-42、2009
- 3) 田村敬一、永田茂、高原秀夫、若林亮: マルチハザード・リスクの実用的な評価手法の提案: 土木学会地震工学論文集、29巻、pp.88-97、2007
- 4) 高田和幸、藤生慎、金野貴紘: 複合災害時における避難に関する意識分析 ~東京都足立区千住地区を対象にして~、日本地震学会論文集、第16巻、第2号、pp.12-26、2016
- 5) 落合努、荏本孝久: マルチハザード評価のための基礎的研究、地域安全学会梗概集、No.44、pp.43-46、2019
- 6) 落合努、荏本孝久: マルチハザード評価のための基礎的研究 -その2 横浜市の町丁目を対象としたクラスター分析-、地域安全学会梗概集、No.46、pp.19-22、2020
- 7) 横浜市危機管理室: 防災横浜 第三版、令和2年6月、<https://www.city.yokohama.lg.jp/kurashi/bousai-kyukyubohan/bousai-saigai/wagaya/bosaiyokohama/>
- 8) 国土交通省: 20万分の1土地保全シームレスデータ <http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/>、2021.4
- 9) 防災科学技術研究所: J-SHIS 地震ハザードステーション、<http://www.j-shis.bosai.go.jp/>、2021.4
- 10) 国土交通省: 国土数値情報ダウンロードサービス、<http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/>、2021.4
- 11) 独立行政法人統計センター: e-stat 政府統計の総合窓口、<https://www.e-stat.go.jp/>、2021.4
- 12) R version 3.6.3 (2020-02-29) -- "Holding the Windsock" Copyright (C) 2020 The R Foundation for Statistical Computing, Platform: x86_64-w64-mingw32/x64 (64-bit)
- 13) Peter J. Rousseeuw: Silhouettes a graphical aid to the interpretation and validation of cluster analysis. Journal of Computational and Applied Mathematics. 20, 53-65、1987

マルチハザードを想定した農作物被害のリアルタイム推計について

Real-Time Estimation of Crop Damage assuming Multi-hazard

○崔青林¹, 花島誠人¹, 臼田裕一郎¹
Qinglin CUI¹, Makoto HANASHIMA¹, and Yuichiro USUDA¹

¹防災科学技術研究所 防災情報研究部門

Disaster Information Research Division, National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience

The basic idea for estimating the agriculture damage by natural disasters is to make a trial calculation from the area of paddy fields affected in order to evaluate proactive measures such as the development of embankments and dams. This idea is also necessary for the rapid assessment of agricultural damage after disasters. In this paper, we attempted real-time estimation of crop damage caused by natural disasters such as heavy rains and earthquakes assuming multi-hazard. In addition, we estimated the damage to crops caused by the 2017 Northern Kyushu Heavy Rains as a case study.

Keywords : Multi-hazard, Crop damage, Real-time estimation, Mesh scale, Natural disasters

1. はじめに

自然災害による農林水産関係の被害額は増加傾向にある¹⁾。農業は、例年4月以降、低温による霜の被害、梅雨時期における大雨、台風、11月からの大雪等により、農産物生産や園芸施設、農業用施設等に様々な被害が生じる。特に、2018年度は、「平成30年7月豪雨」、「台風第21号」、「北海道胆振東部地震」、「台風第24号」等の自然災害が多発しており、これらの自然被害による農業関係の被害額は、全体で5,678.7億円にのぼり、東日本大震災(2兆3,841億円)を除くと過去10年で最大であった。法制度等の適用による復旧費用の確保は、農業関連の被災者支援と地方公共団体の財政にとって重要である。

自然災害による農業関係の被害は、農作物等と農地・農業用施設関係から構成される。その被害の範囲や程度によって、激甚災害の指定を受けるなどの判断基準となる²⁾。効果的な復旧・復興につながるために、農業被害の迅速なアセスメントが重要である。しかし、近年では、広域・大規模災害が増えており、判断基準となる被害状況の把握に時間がかかることが課題として挙げられている。

本研究では、自然災害による農作物被害を推計する方法の提案と検証を目的とする。そのために、水害や地震などマルチなハザードに適用するために、4分の1地域メッシュ(250mメッシュ)で水田・畑の面積データを作成する。また、検証事例として、2017年九州北部豪雨における農作物被害を試算する。

2. 方法

(1) 基本的な考え方

本節では、農作物被害のリアルタイム推計について基本的考え方を整理する。例えば、国土交通省は、堤防やダム等の治水施設の整備によってもたらされる経済的便益や費用対効果を計測するための治水経済調査を実施するための治水経済調査マニュアルを整備・公開している

³⁾。中には水田・畑面積から農作物被害額や農地・農業用施設関係を試算する方法が示されている。この考え方は、堤防やダムの整備等の事前対策の評価に用いられる。著者らは、この考え方をを用いて、発災直後における農業被害の迅速なアセスメントにこの考え方を農作物の被害を試算する方法として採用する。

(2) 農作物の推計方法

本研究では、被災された水田・畑面積を用いて、農作物の被害を推計する。農作物の推計は、下記の方法³⁾を用いた。この推計方法は水害による農作物被害を対象とするものである。なお、地震による被害も、農作物被害額(風水害)と同様に、浸水被害または土砂堆積被害などの被害エリアを想定すれば、被害率との関係で計算可能と考える。

$$Yc = Ac \times r \quad \dots [1]$$

ただし、Yc: 農作物の被害額

Ac: 農作物の資産額

r: 被害率

$$Ac = Sf \times Ny \times Pc \quad \dots [2]$$

ただし、Sf: 水田・畑面積

Ny: 農作物の年平均収量

Pc: 農作物の価格

式[1]、式[2]を用いれば、被害率(r)、年平均収量(Ny)、農作物の価格(Pc)について、その値が設定できれば、水田・畑の被害エリアとなる水田・畑面積(Sf)から農作物被害(Yc)の推計が可能となる。なお、前者の設定項目は、治水経済調査マニュアル R2.4 修正版³⁾の関連資料より参照できる。

(3) リアルタイム性

リアルタイム性を持つ農作物被害の推計を実現するために、水田・畑の面積データを事前に構築することが重要である。洪水や土砂災害などの被災エリアの情報は、ハザード評価技術や、人工衛星、航空機、ドロンを用い

たりリモートセンシング技術の発展により、事前もしくは発災後の比較的早いタイミングで入手できるようになってきている。さらに、センサー技術や ICT 技術の活用によって、被災エリアの情報はよりリアルタイムに共有されることも期待できる。水田・畑の面積データを構築できれば、被災エリアが想定・特定することで、ハザード情報を用いた事前対策や、リアルタイム性のある災害情報を用いた農作物被害（もしくはそのリスク）の推計が可能となる。

(4) マルチハザード対応

被災された水田・畑面積を特定するための水田・畑面積データは、土地利用細分メッシュ（国土数値情報ダウンロードサービス⁴⁾）を用いて作成する。各種データの整備実態を考えれば、推計に用いるデータは、各種スケールのメッシュの間でスムーズにメッシュ変換ができることが理想である。しかし、マルチハザードを想定した場合、広域大規模の自然災害の対応と自然現象の観測データとの相性や自動化の解析負担を考えれば、4分の1地域メッシュ（250mメッシュ）で統一されたデータ整備と活用がニーズとして挙げられる。

(5) 水田・畑の面積データの作成

本研究では、マルチハザード対応を目的に、水田・畑の面積データを250mメッシュで構築する。メッシュデータは、100mメッシュ（細分メッシュ）と250mメッシュ（4分の1地域メッシュ）、1kmメッシュ（基準地域メッシュ）の3種類のスケールがある。例えば、100mメッシュで土地利用種ごとの面積を整備した「土地利用細分メッシュ」（国土数値情報ダウンロードサービス⁴⁾）を250mメッシュに割り当てる場合、100mの細分メッシュと250mメッシュを重ね合わせ、250mメッシュに含まれる領域の100mメッシュの情報を積み上げる。ここで、100mメッシュの一部が重なる場合には、面積按分によりそれぞれ重なる250mメッシュに情報を割り当て、水田・

畑データのスケール変換を行う。

農作物の被害額を算出するための水田・畑面積については、現状250mメッシュで整備されたデータは存在しない。土地利用細分メッシュ（100mメッシュ）に一意的利用区分が指定されているため、「田」「その他の農用地」に指定されるメッシュを抽出した。抽出したデータをそれぞれ水田・畑としたうえ、4分の1地域メッシュ（250mメッシュ）と重ね合わせ、250mメッシュに含まれる細分メッシュ（100mメッシュ）の面積を合算する。上記の方法で、4分の1地域メッシュ（250mメッシュ）における水田・畑の面積データを構築することが可能である（図1）。

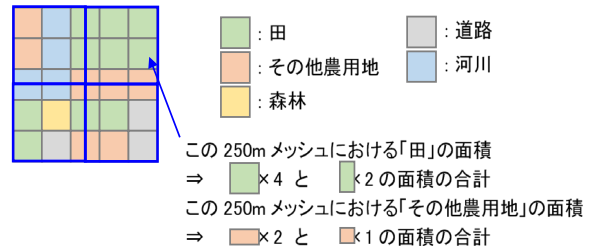


図1：100mメッシュから250mメッシュへの変換

3. 検証事例

今回の検証事例は、平成29年7月九州北部豪雨の福岡県朝倉市を対象とした（図2）。平成29年7月5日から6日にかけて、発達した雨雲（線状降水帯）により、九州北部地方で記録的な集中豪雨⁵⁾が発生した。線状降水帯がもたらす局地的な集中豪雨が長期間続いた特異な状況であることや、人的被害が大きいことなどを理由に「平成29年7月九州北部豪雨」と命名された。特に、朝倉市は、河川の氾濫によって市内広範囲での浸水被害が発生した。

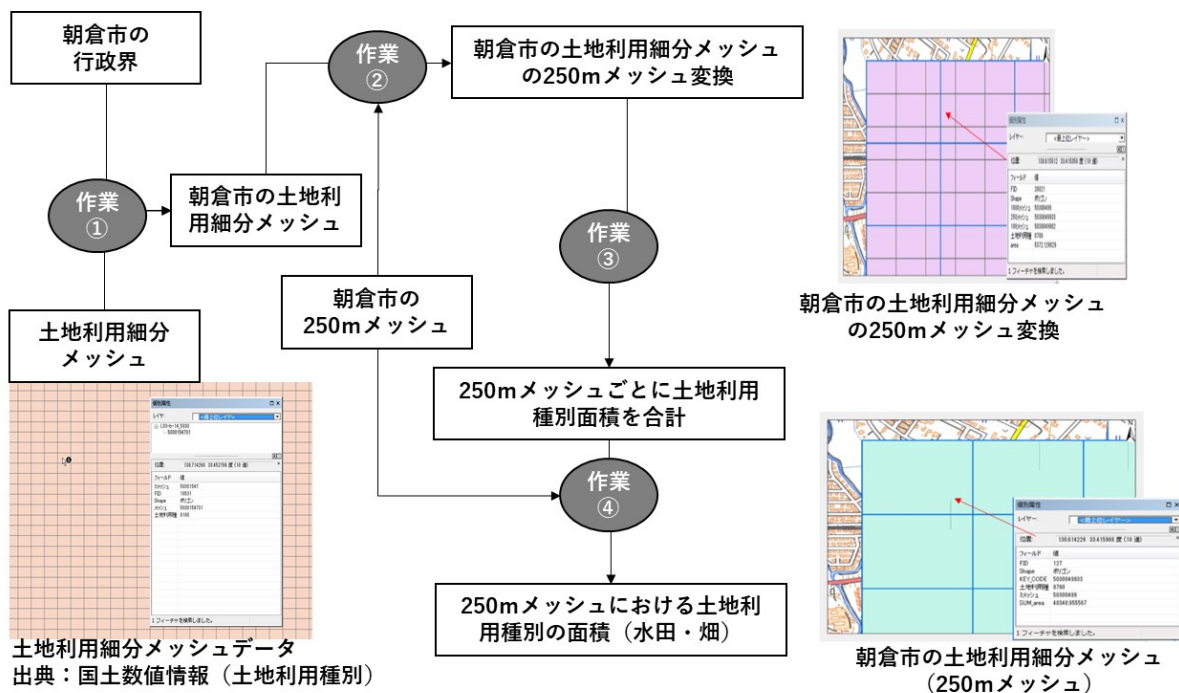


図2：水田・畑の面積データの試作

(1) データの試作

水田・畑面積データの試作は、2014年に整備された100mメッシュ単位の土地利用細分メッシュの田及び畑（その他農地）を250mメッシュに割り当てる作業を実施した。福岡県朝倉市を対象に水田・畑面積データを作成する作業手順（図2）は、具体的に作業①～作業④の4つの作業から構成される。

作業①：土地利用細分メッシュを国土数値情報のダウンロードサービスからダウンロードし、対象地域の行政区と重なる領域を抽出した（図3）。

作業②：土地利用細分メッシュ（100mメッシュ）を250mメッシュで分割（インターセクト機能）し、分割したポリゴンに対して250mメッシュコードと分割後のポリゴンの面積を格納した。

作業③：②のポリゴンの属性に対し、250mメッシュコードおよび土地利用種別（田及び畑）で結合（テーブル演算）した。

作業④：③で統合した属性データを、250mメッシュに結合し、250mメッシュ単位の田及び畑の面積データ（図4、図5）を作成した。

(2) 浸水エリア

今回の浸水範囲は、国土地理院の正射画像判読図⁶⁾を洪水流到達エリアのデータ（図6）として用いた。ただし、7月13日撮影の空中写真では、雲の影響で正射画像が作成できない欠損箇所があったため、7月31日に朝倉地区および東峰地区の再撮影で作成した正射画像判読図を用いた。

(3) 設定事項

被害率や平年収量、農作物価格については以下の通りに設定した。

a) 被害率について

治水経済調査マニュアル（案）³⁾をもとに、最も高い被害率（冠浸水深1.0m以上で浸水日数7日以上）を想定して水田（74%）、畑（91%）を設定した。

b) 平年収量（10アール）について

朝倉市で一番生産される畑作物は麦であるため、畑の平年収量は麦の値（27kg）を設定した。また、水田の平年収量は水稻の値（479kg）を設定した。

c) 農作物価格について

治水経済マニュアル（案）³⁾をもとに、米（169千円/トン）と麦（47千円/トン）の農作物価格を設定した。

(4) 推計結果と課題

農作物の被害額の推計（式[1]、[2]）には、上記の設定事項を取り入れて、浸水被害が発生したエリアに水田・畑の面積データと重ねて被災した水田・畑の面積データを抽出した。また、被災した水田・畑の面積に基づく推計の結果、朝倉市では農作物の被害額は約11億円であった（図7）。福岡県から報告されている九州北部豪雨の被害額のうち、農業関連の被害額は389億円程度であった。中には、九州北部豪雨による朝倉市と東峰村の農作物の被害金額が約17億円にのぼっている⁷⁾。これより、算出した朝倉市だけの農作物被害額約11億円は、福岡県が公表した農作物の被害金額（約17億円）に含まれていることが分かった。

ただし、今回の試算では、朝倉市の水田・畑で一番多く生産される作物のみを考慮した単純な設定を用いた。実際に、朝倉市の被害は、被害面積を見ると水田が517.1ha（83.0%）、畑が43.6ha（7.0%）を占めた。しかし、農作物の種別が多く、例え全てを考慮することが難しくても、重要な作物については、その実態をお

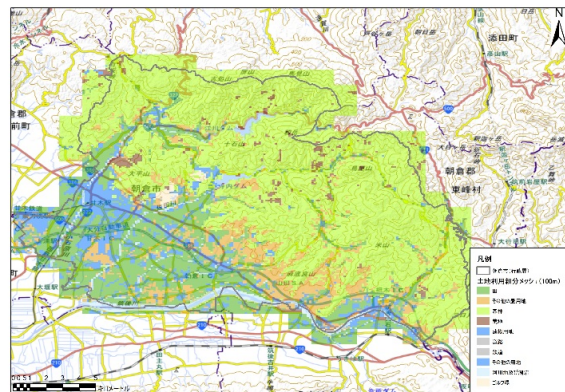


図3：朝倉市における土地利用細分メッシュ（100mメッシュ）分布

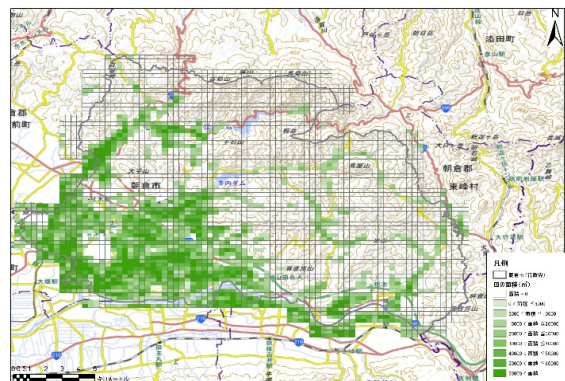


図4：朝倉市の水田の面積分布（250mメッシュ）

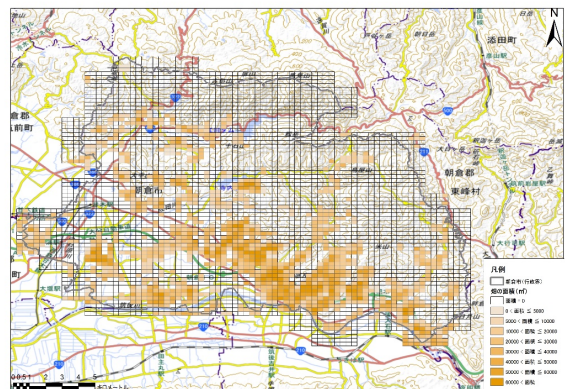


図5：朝倉市の畑の面積分布（250mメッシュ）

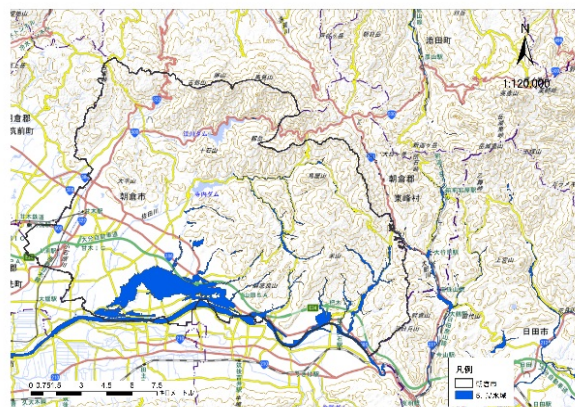


図6：試算に用いた洪水流到達エリア⁶⁾（浸水域ポリゴン）

さえることが農作物の被害額を精度よく推計するためには重要と考える。例えば、山下ほかは、土地利用の変遷に着目して、河道に近い低平地の果樹園地の被害など、高付加価値の被害も含まれると報告している⁸⁾。それだけでなく、該当地域における農作物の種別や分布についても、現実に即した平年収量や農作物価格がどれぐらいのレベルで設定すれば最適なパフォーマンスで精度向上につながるかを検討する余地がある。また、そのために、栽培されている主要の農作物についてもデータベースの構築や設定事項の整理が望ましい。

また、本研究では、農作物のみを対象とした。農地・農業用施設関係の被害については、災害に暴露した農地面積と被害率の関係（被害関数）で試算できる。ただし、被害関数を構築するために、（自然現象のレベルと被害が含まれる）過去の各種自然災害の災害事例データベースを構築し、これまでの被災経験に基づく推計モデルの構築が有効と考える。

4. おわりに

本研究では、平成 29 年 7 月九州北部豪雨の福岡県朝倉市を対象に、洪水流到達範囲から特定した水田・畑面積を用いて農作物の被害額を推計した。そのために、土地利用細分メッシュ（100m メッシュ）から水田・畑の面積データ（250m メッシュ）へのメッシュ変換を行った。これらの水田・畑の面積データを用いることで、マルチハザードを想定した農作物被害（もしくはそのリスク）を

リアルタイムに推計することができる。

今回の試算では、用いた洪水流到達エリアが比較的被害の甚大なエリアを絞っている。そうではない被災エリアの面積特定や被害率の設定が今後の課題である。

参考文献

- 1) 農林水産省：近年の農林水産関係の被害状況，平成 30 年食料・農業・農村白書，特集 1（1）令和元年 5 月 28 日公表
- 2) 内閣府：激甚災害指定制度
<http://www.bousai.go.jp/taisaku/gekijinhuikko/index.html>
- 3) 国土交通省：治水経済調査マニュアル（案），令和 2 年 4 月版
https://www.mlit.go.jp/river/basic_info/seisaku_hyouka/gaiyou/hyouka/r204/chisui.pdf
- 4) 国土交通省国土数値情報ダウンロードサービス：
<https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/>
- 5) 気象庁：平成 29 年 7 月九州北部豪雨について，2017.07
http://www.jma.go.jp/jma/press/1707/19a/20170719_sankou.pdf
- 6) 国土地理院：平成 29 年 7 月九州北部豪雨に関する情報（正射画像判読図），国土地理院技術資料 D1-No.874
- 7) 共同通信：福岡の豪雨被害 1197 億円，2017 年 7 月 24 日
- 8) 山下奈央・山本晴彦・山崎俊成・坂本京子：2017 年九州北部豪雨における福岡県朝倉市の土地利用変遷に基づく農業被害の特徴，自然災害研究協議会 中国地区部会 研究論文集 第 4 号，5-8，2018。

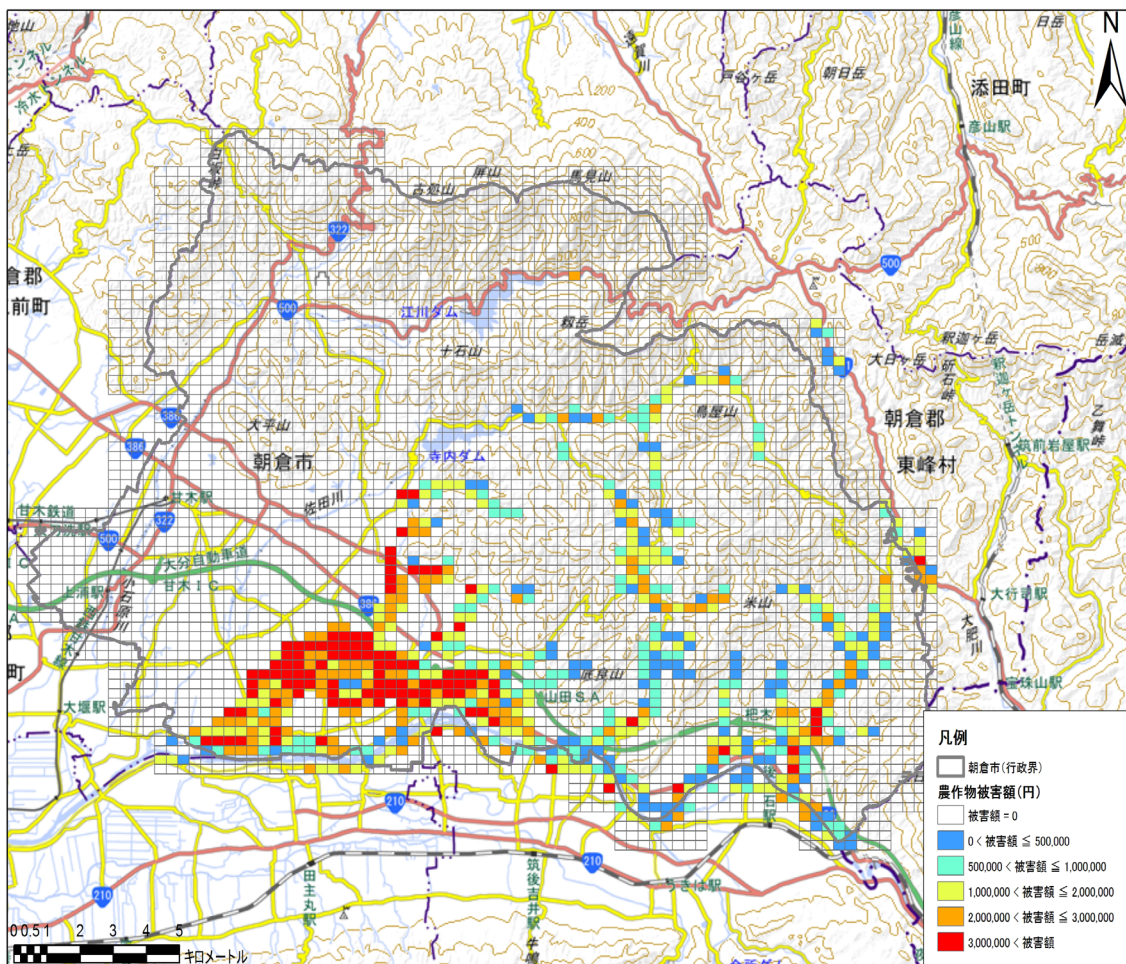


図 7：農作物の被害額の推計結果（朝倉市）

火山の噴火事象系統図・状態遷移図に期待すること

Expectations for Event Tree and State Transition Diagrams of Volcanoes

○南沢修¹, 秦康範²
Osamu MINAMISAWA¹ and Yasunori HADA²

¹ 長野県長野建設事務所

Nagano Construction Office, Nagano Prefecture

² 山梨大学地域防災・マネジメント研究センター

Disaster and Environmentally Sustainable Administration Research Center, University of Yamanashi

In the wake of the Mt. Ontake eruption in 2014, various universities and institutions have been researching on volcanic observation under the government program. Among them, research on the development of volcanic event tree and state transition diagrams has been conducted. For local governments that are responsible for volcanic disaster management, exact information on volcanic activities is an important source of decision-making for disaster reduction measures and search and rescue operations. Therefore, there are high expectations for the research results of the volcanic event tree and the state transition diagram.

Keywords: *Volcano, eruption, event tree, state transition diagram, disaster response*

1. はじめに

2014年御嶽山噴火災害により多くの犠牲者が発生したことを受け、火山活動や現象を把握するための新たな観測技術の開発や、観測されたデータの活用方法、噴火のメカニズムのモデル化など、国の事業の元に、様々な機関・大学において研究が進められている。その研究の中に、火山の「噴火事象系統樹」と「状態遷移図」の作成がある。

「噴火事象系統樹」は、その火山で起こり得る事象をツリー状に整理したもの、また、「状態遷移図」は、火山活動の推移を表したものであり、地方公共団体（以下「自治体」という。）の火山防災対策や噴火時の災害対応の判断等に有効に活用できるものであると期待する。

本稿では、大きな被害が発生した火山災害の対応を経験し、また、自治体の火山防災対策を担った立場を踏まえ、「噴火事象系統樹」・「状態遷移図」の可能性について議論する。

2. 災害対応での「噴火系統図」・「状態遷移図」

全国で活火山に定義される火山は111ある。その内、気象庁が火山活動を24時間体制で常時観測・監視する49火山で、23都道府県、167市町村が火山活動火山対策特別措置法（以下「活火山法」という。）第3条第1項に基づき、火山災害警戒地域（内閣府、2016, 2019）（以下「警戒地域」という。）として指定されている。

多くの自治体職員が、火山の噴火を経験し、災害対応を行うことは稀である。そのため、火山警戒地域に指定された自治体の職員で火山噴火災害の経験がある者は数少なく、火山の専門的な知識も持ち合わせていないのが現状である。

御嶽山が噴火した際には、救助活動を行うにあたり、今後、火山活動がどのように変わっていくのか、現在の火山活動がどのような状態にあるのかを把握することは難しかった。気象庁や火山専門家の助言等により意思決定を行ったが、今後起こり

得る火山現象や火山活動の推移を把握しきれていない中で、様々な意思決定を行わなければならなかった。特に、危険な火山口近くで救助活動を行う際に、救助隊の様々な活動を行う上で、火山活動の現状が可視化された「噴火事象系統樹」と「状態遷移図」があれば、判断を行う上で重要な資料になったと考える。

また、噴石、火砕流、溶岩流などの火山現象（以下「火山現象」という。）が今後どのように推移するかを踏まえ、市町村長が、予め噴火警戒レベルに応じ、定めてある警戒区域の設定のみでよいのかの判断する根拠として活用することも期待できる。

このため、御嶽山噴火時に「噴火事象系統樹」と「状態遷移図」があれば、災害対応上様々な意思決定に活用できたと考える。

3. 「噴火事象系統樹」

火山ハザードマップ（以下「火山HM」という。）は、火山現象が及ぶ恐れがある範囲を地図上に示し、避難等の防災対応をとるべき範囲を分かり易くしたものの、「噴火シナリオ」（以下「シナリオ」という。）は噴火に伴い起こりうる火山現象とその影響の推移を時系列で示したものである。

シナリオの作成には、「噴火事象系統樹」（イベントツリー）の活用が有効である。火山はそれぞれ性格が異なるため、火山現象の起こり方も異なる。現在、警戒地域が指定された火山の火山防災協議会（以下「協議会」という。）では、過去の噴火等を参考に、シナリオを作成しているが、起こり得る火山現象全てを想定しているとは言い難い。

「噴火事象系統樹」は、火山が初期の状態から、最終的な噴火の状態になるまでの起こりうる可能性を過去の噴火や同じ性格を持つ火山の活動等を踏まえて事象別に分岐（ツリー化）し、確率的に整理するため、その火山において、どのような火山現象が起こりうるのか、どのように噴火が推移していくのか

を可視化することができる。

これにより、その火山の具体的な火山現象や火山活動の推移をシナリオに反映し、事前に火山現象にどのような対策を行っておくべきか、また、噴火時に活動の推移に応じてどのような対応行うべきか対策目標が明確になる。

図1の霧島山の「噴火事象系統図」(イメージ図)では、噴火による起こる火山事象やその影響を具体的に示されている。この起こりうる現象と影響をシナリオに明確に記載し、また、火山HMと連携することにより、行わなければならない対策と範囲を具体的に検討する根拠となり得る。

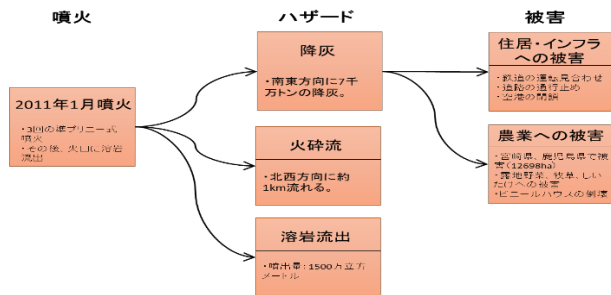


図1 「噴火事象系統樹」イメージ図(霧島山) (防災科学技術研究所 上田英樹博士 提供)

協議会の参画機関がこの検討を踏まえ、各自治体の地域防災計画や関係機関の防災業務計画に、行わなければならないことを明確に位置づける。そして、避難計画等の作成や火山防災用の堰堤建設などソフト・ハードの火山防災対策を行うことにより、地域の火山防災力の向上につなげていくことが期待できる。

御嶽山では、県の建設事務所が、火山砂防として、河川に堰堤の建設を行っている。防災対策を行う上での必要性が「噴火事象系統図」でより理解されると思われる。

4. 「状態遷移図」

災害対応は自治体の責務である。そのため、事前の対応としては、「噴火シナリオ」等を活用して備えることになるが、実際の噴火は必ずしもこのシナリオどおりに起きるわけでない。

「噴火事象系統樹」の中では、起こる可能性の低い事象が突然に発生し、人命に関わる事態となることも有り得る。

火山の専門家でもなく、火山に関する知識も豊富に持ち合わせておらず、また、火山災害を経験したことがない多くの自治体の職員が、火山観測データ等から現在の火山の状態を正確に読み解くことは現実的には困難である。

火山噴火が発生し、対応を行う自治体が求める情報としては、現在の火山活動がどの状態にあり、今後、拡大していくのか、縮小していくのかとの情報である。

例えば、火山活動に応じ、噴火警戒レベルに応じて定めてある地域・エリアへの避難勧告・指示だけでよいのか、また、拡大傾向であればそれ以上の地域・エリアへ避難勧告・指示を行わなければならないのか、警戒区域の設定は、現状のままでよいのか、更に広げなければならないのか、つまり、行うのか行わないのか、0か1の判断を即時即決しなければならない。

このため、現在研究が行われている「状態遷移図」は災害対応上、非常に有効なツールとなり得ると期待する。

前述のとおり、火山活動傾向によって、自治体として行わ

なければならない又は備えなければならない災害対応は大きく変わる。そのため、時点々での火山の状態を把握することは、災害対応上重要で、自治体が最も欲しい情報である。

火山活動は不規則に拡大・縮小を繰り返すことが想定され、その点からも、この「状態遷移図」により、火山専門家の協力のもと、火山活動の状態を可視化することが出来れば、災害対応上、非常に効果が期待できる。

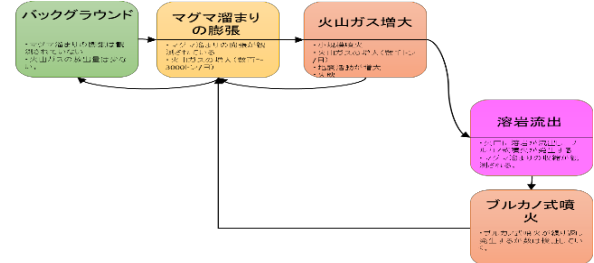


図2 「状態遷移図」イメージ図(浅間山) (防災科学技術研究所 上田英樹博士 提供)

図2の浅間山の「状態遷移図」(イメージ)で、現在の火山活動がどの位置にあるのかが可視化できれば、救助・救急活動や防災対策の判断に有効に活用が見込まれる。

御嶽山の噴火の際には、噴煙が立ち上る火口付近に要救助者がいたことから、警察・消防・自衛隊による救助活動が行われた。しかし、搜索時に再び噴火することや、火山活動によっては、有毒な火山ガスの放出が増加することなども十分に想定された。

結果として、この時には再噴火は起こらなかったものの、「状態遷移図」があれば、気象庁の火山データや火山専門家の見解と合わせて、救助活動の実施や部隊撤収の判断材料として役割を果たせたと思われる。

5. おわりに

現在の観測技術等では、火山の活動状況を的確に把握することは困難である。また、過去の火山履歴をすべて把握することも難しい。このため、火山の噴火事象や活動を整理し、「噴火事象系統樹」や「状態遷移図」の詳細な図示や活動の位置、活動の状態などを的確に示すことも困難である。

しかし、現在、研究が行われている様々な火山活動の予測推移のための手法や研究分野間での火山観測データの共有など様々な観測技術やデータ活用方法等が研究結果として、近い将来に実用化され、「噴火事象系統樹」や「状態遷移図」が現場で活用できるようになれば、火山防災対策に大きく貢献することが期待できる。

研究には多くの時間や経費が掛かる。国においては、短期的な支援ではなく、中長期に立った研究への人的・財政的支援を期待する。

参考文献

- 1) 防災科学技術研究所: 令和元年度研究開発課題外部評価(中間評価)報告書, 火山災害の観測予測研究
- 2) 上田英樹, 廣瀬郁, 松澤孝紀, 三輪学央, 永井雅史, 河野裕希: データ活用と研究分野間連携に資する火山の状態遷移図とイベントツリー, 日本火山学会講演予稿集, 02-19, 2020

令和3年5月発行

地域安全学会梗概集 No. 48 (2021年)

発行：一般社団法人 地域安全学会 事務局

〒102-0085 東京都千代田区六番町13-7 中島ビル2階

株式会社 サイエンスクラフト内

電話/FAX：03-3261-6199

E-mail：iss2008@iss.info

編集：東京都立大学 市古 太郎

東北大学 越村 俊一

筑波大学 梅本 通孝

印刷：有限会社 レイ・プリンティング

E-mail：rayms@rayp.jp