

セッション A

- | | | |
|------|---|-------------------|
| A-1 | 建物被害認定調査における被災地外からの支援の試み
:2022年福島県沖地震における南相馬市の事例 | 辻 翔平 |
| A-2 | 土石流発生危険度の評価のための数値標高モデルによる地形量分析 | 谷崎 巧朗 |
| A-3 | 常時微動観測による狭隘な海岸平野部の地盤評価 | 中村 友紀恵 |
| A-4 | 活断層の減衰特性を推定するための地震観測 | 山田 雅行 |
| A-5 | 多時期航空レーザ計測データから見た熊本地震による南阿蘇村の
建物解体撤去と再建状況 | 山崎 文雄 |
| A-6 | 深層学習を用いた建物被害認定調査への適用 | 上岡 洋平 |
| A-7 | 建物被害認定調査のためのVR研修システムの試作 | 高山 裕希 |
| A-8 | 流量の違いを考慮した土石流シミュレーションによる土砂高さと
建物被害分布の変化の分析 | 橋本 裕輝 |
| A-9 | 近年の気象災害時のライフラインの被害と影響に関する調査分析 | 永田 茂 |
| A-10 | Improved Gabion Technology for Soil Stability and Flood Control at
Nepal | Suresh
LAUDARI |
| A-11 | 岩手県宮古市で実施された学生サークルによるドローンを活用した
東日本大震災行方不明者捜索活動について | 遠藤 隆史 |
| A-12 | 2019年台風15号による千葉県の水道施設のレジリエンス・アナリシス | 岡野 莉子 |
| A-13 | 2022年台風15号による静岡県内の水道施設での
レジリエンス・アナリシス | 相良 翔 |
| A-14 | 神戸市における都市開発と土砂災害リスクの関連性に関する研究 | 北脇 敬吾 |

建物被害認定調査における被災地外からの支援の試み ：2022年福島県沖地震における南相馬市の事例

An Attempt of Remote Assistance in Building Damage Recognition Survey: A Case Study of Minamisoma City in the 2022 Fukushima Prefecture Offshore Earthquake

○辻 翔平¹, 田中 聡¹
Shohei TSUJI¹ and Satoshi TANAKA¹

¹ 常葉大学大学院 環境防災研究科

Graduate school of Environment and Disaster Research, Tokoha University

We report on the support provided to Minamisoma City regarding the building damage certification survey for the Fukushima earthquake that occurred on March 16, 2022. In the response to this earthquake in Minamisoma, a remote support model was tried in which on-site staff conducted the building damage survey and damage assessment was conducted by Tokoha University in Shizuoka. While this allowed the on-site staff to concentrate on the damage assessment, thus reducing their workload and improving efficiency, it also raised issues regarding how to accurately communicate the damage situation to the assessors.

Keywords : *building damage evaluation, local government officials, Fukushima Prefecture Offshore Earthquake, Minamisouma City*

1. はじめに

近年の日本は地震や洪水、台風など多くの災害に見舞われている。これら災害によって建物に被害が発生すると、さまざまな被害状況の調査が実施される。このうち建物被害認定調査は、被災者の生活再建支援を目的に、原則自治体職員によって実施され、その結果に基づいて災証明書が発行される。

建物被害認定調査は、災害時の自治体の業務ではあるが、通常業務とは大きく異なるため、調査結果の公平性や妥当性、あるいは調査員ごとの結果のばらつきなどをめぐり、さまざまな課題が指摘されている。

建物被害認定調査には、現場で建物のどこにどのような損傷が発生したかを目視で調査し記録する「被害の調査」と、調査結果をもとに損傷情報を分析して評価する「被害の評価」の2つの作業がある。一般に「被害の調査」と「被害の評価」は、同一調査員によって実施されるため、担当職員の負担が大きいことが問題となっている。また、同一調査員によって実施されることで調査結果のばらつきの要因が「被害の調査」にあるのか「被害の評価」にあるのかを判断できないという課題もある。

このような課題への対応として、2019年に発生した台風15号災害の際の建物被害認定調査において、千葉県君津市では「被害の調査」と「被害の評価」の作業を分離して実施した。被害の調査を担当する職員は、終日外勤で建物被害の調査のみを担当し、建物に発生した損傷の位置と程度を記入した被害図面を調査結果として報告する。一方被害の評価を担当する職員は、終日内勤で、この被害図面から損傷量を計測し、建物の損害割合を計算、判定を決定する。最後に別の職員が評価結果をダブルチェックを経て、判定が確定される。

このように2つの作業を分け、それぞれに専任の職員を割り当てることにより、作業の単純化・効率化、さらに注意事項の徹底など、短期間で交代する応援職員が担

当しても、判定結果の信頼性が向上したと考えられている。ただしこの方式では、評価担当であっても被災自治体で作業を実施するため、宿泊地や交通手段などの手配が必要となる。

2022年3月16日に福島県沖地震が発生し、著者等の研究グループは、福島県南相馬市から建物被害認定調査の支援依頼を受けた。そこで君津市と同様なモデルを検討したが、2022年3月は新型コロナ禍の影響で、人の移動が制限されるとともに、多くの人々が一つの部屋に集まって作業することにも制約があった。

そこで、現地で自治体職員（応援職員を含む）が被害の調査を実施し、その結果を被災地の常葉大学附属社会災害研究センターに送り、常葉大学で被害の評価を実施し、その結果を南相馬市に返送するという業務モデルを提案し、実施された。このような、調査作業は被災地内で、評価作業は被災地外で実施するような完全分離型の業務モデルは、はじめての事例である。

そこで本論文では、南相馬市の建物被害認定調査において、この業務モデルの実施状況を報告するとともに、発生した課題について検討することを目的とする。



図1. 「被害の評価」専門部署設置の事例
(君津市役所：2019年台風15号)

2. 南相馬市の建物被害認定調査の概要

(1) 第一次調査

南相馬市では、地震発生後、り災証明書発行のための窓口を開設し、建物被害認定調査の申請を受け付けた。調査は、建物の屋根・外壁・基礎の被害を目視で確認する第一次調査で実施された。調査では、自治体職員 2 人 1 組で申請された建物を訪問し、建物の平面図に外観の損傷状況を記録し、損傷箇所の写真を撮影をする。事前に平面図が入手できない場合は、図 2 のように建物の外枠の図面を現地で作成し、損傷箇所の位置と程度を記入する。調査終了後、作成した被害図面をもとに「被害の評価」を実施して損傷量を算出する。最後に損傷量と被害写真を確認して判定を確定し、り災証明書を発行した。

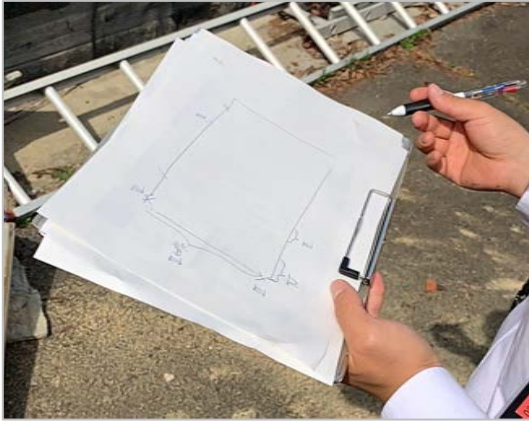


図 2. 現地で作成された一次調査の平面図

(2) 第二次調査

第二次調査は、第一次調査の結果に納得できない場合に実施され、388 件の申請があった（2022 年 8 月 29 日現在）。第二次調査は、建物内外のすべての部位が調査対象となるため、調査する部位の数が多く、また各部位が建物内に入り組んで配置されており、正確な調査・評価は経験者であっても難しい。

そこで南相馬市は、応援職員の派遣を中越大震災ネットワークおぢや^{注1}に依頼した。中越大震災ネットワークおぢやでは、建物被害認定調査の支援に経験豊富な職員を派遣し、彼らが中心となって南相馬市における第二次調査方法を検討した。その結果、調査作業は現地で自治体職員が担当し、評価作業は、被災外で常葉大学附属社会災害研究センターが担当するという、調査と評価を分離する方針が決定された（図 3）。

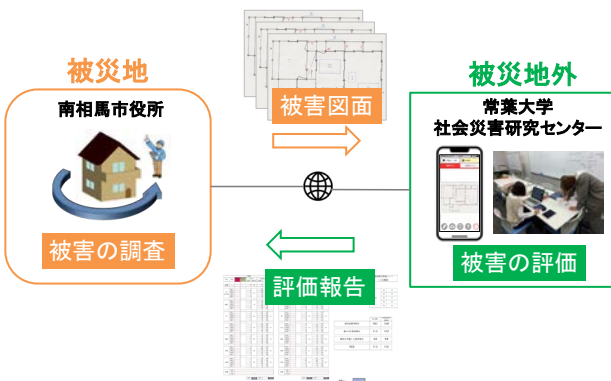


図 3 南相馬市における調査と評価の分離モデル

このモデルを実現するための条件として、1) 第三者に読める被害図面の作成、2) 損傷の統一した表記法の使用、3) 評価プロセスが一目で理解できること、があげられる。1) については、現場で作成した図面を調査終了後に清書することとした。2) については、凡例ならびに図面への記入方法を統一したマニュアルを作成した。この二次調査マニュアルは、10 ページの資料となっており、①調査基準、②1 日の調査スケジュール、③調査における注意点、④凡例、記入例など、平面図への損傷の記入方法の統一等の内容をまとめた（図 4、図 5）。3) については、評価報告において、評価した箇所が一目でわかる図を添付し、評価抜けの確認ができるようにした（後述）。

清書された被害図面は、暗号化されたファイルで常葉大学に送信された。

基礎：	×	外壁：	— (青ペン)
屋根：	屋根伏図に記入	内壁：	— (赤ペン)
床：	□ (青:実線)	柱：	○
天井：	□ (青:破線)	建具：	+

図 4 各部位の損傷の記入の凡例

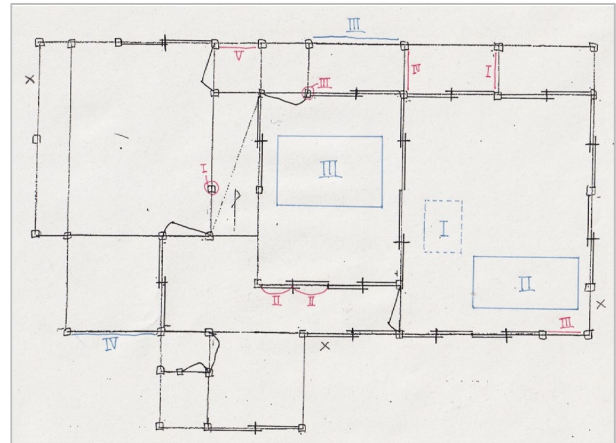


図 5 損傷の記入の凡例

3. 被災地外での「被害の評価」作業

3. 1 「被害の評価」の方法

第二次調査における「被害の評価」作業は、被災地外にいる著者等が所属する常葉大学で実施した。「被害の評価」の方法は、被害図面から各部位ごと損傷程度（I-V）ごとに損傷量（長さ、面積、個数）を計測し、内閣府で定められた計算式を用いて、全壊・大規模半壊などの判定結果を得る。この計測作業は、被害図面から定規などを使用して長さや面積を計測する。しかし一般に住宅の内部は、さまざまな部位が複雑に入り組んでおり、損傷量を正確に計測することは経験者であっても難しい。さらに計測結果の検証も同様に困難な作業となり、判定結果の信頼性を第三者に納得できる形で提示することができない。

そこで今回は、著者らの研究チームがこれまで開発してきた建物被害調査アプリを使用した（図 6）。このアプリでは、タブレット端末を使用して、被害図面を下敷きに、記入された損傷箇所をなぞりマーカーをプロットすれば、損傷長さや面積が自動で計算される。またプロットの有無は目視で確認できるため、計測漏れなどの人

為的なミスの確認はきわめて容易である。また、タブレット端末で図面をなぞるだけなので、誰が作業してもほぼ同じ結果が得られる。

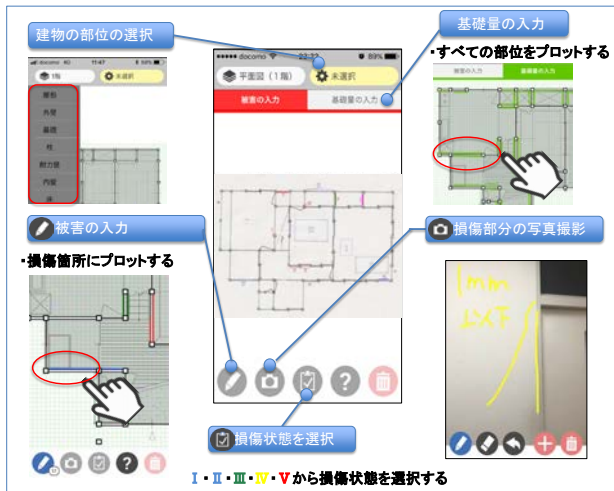


図6 建物被害調査アプリの概要

3. 2 被害の評価の作業結果と考察

建物被害調査アプリをつかった被害評価作業は、常葉大学社会環境学部の学生6名が担当した(図7)。

作業手順は、①アプリに被害図面を取り込み、②被害図面に記入された損傷箇所をなぞり、マーカーをプロットする、③被害マーカーの入力終了後、入力者以外の者がダブルチェックを行う。④被害図面に関する質問がある場合には、南相馬市へ問い合わせ、回答を得られたのちアプリ入力を完成とした。評価結果は、図8に示す通り、アプリへの被害の入力画面、基礎量の入力画面、および計算結果を掲載した評価報告書を建物ごとに作成し、暗号化したファイルで南相馬市に返送した。

このデータ入力にかかった時間は、1階あたり30分程度であった(表1)。常葉大学では、第二次調査が開始された5月10日から6月25日まで、79件の評価作業を実施した。

南相馬市は、その後地元の建築士会に、建物被害認定調査の全業務を委託した。



図7 評価作業の様子

表1 評価作業の概要

評価者:	著者+常葉大学社会環境学部の学生6名	
評価期間:	2022年5月10日~6月25日	
1棟当たりの アプリへの 入力時間	1階平屋:	平均35分
	2階建て:	平均1時間
	2階建て(増築):	平均1時間30分

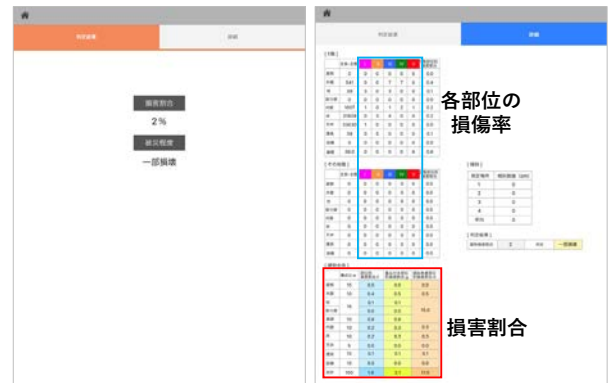
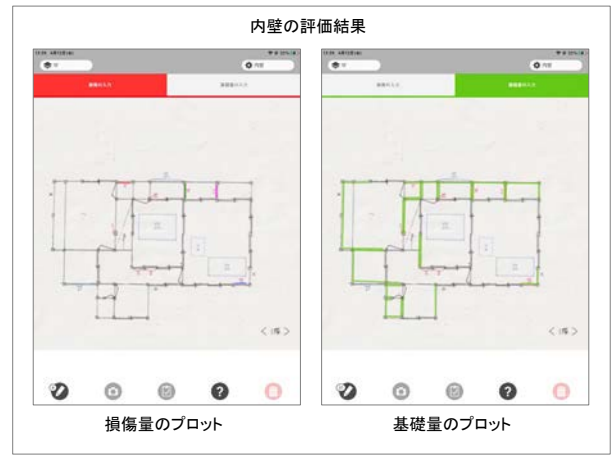


図8 アプリによる評価結果

3. 3 被害評価作業での課題

本業務では、前述の通り、被害の凡例や表記方法を統一するとともに、現場で作成した図面を清書して評価者に渡された。しかしながら送付された被害図面には所々、記入漏れやこのルールに則っていない表記が散見され、南相馬市へ質問をする必要が生じた。具体的には、①凡例がマニュアルと異なる(図9)、②損傷程度が未記入(図10)、③図面が読み取れない(図11)、④床面積比や基礎全長が記入されていない、などの事例が生じた。④については、2階建ての建物の場合、評価過程で1階と2階で建物構成比を案分するため、1階と2階の床面積比がわかる情報が必要となる。また、基礎の損傷率を算出するためには基礎全長の長さが必要となる。これらの情報は、マニュアルでは課税情報から抽出し、被害図面に記入する手順となっていた。

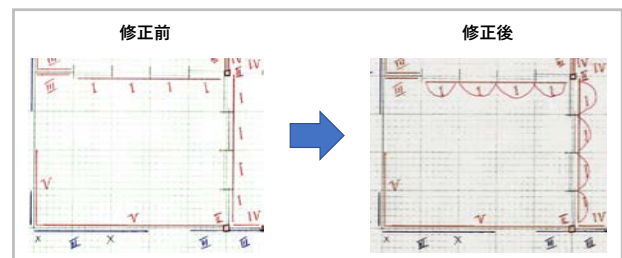


図9 被害の凡例がマニュアルと異なる図面の例

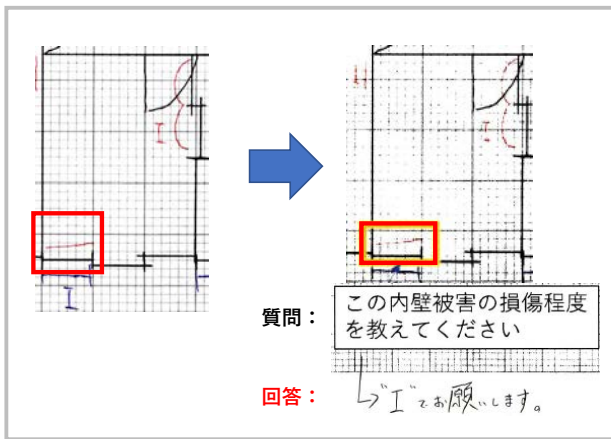


図 10 損傷程度の記録がない図面の例

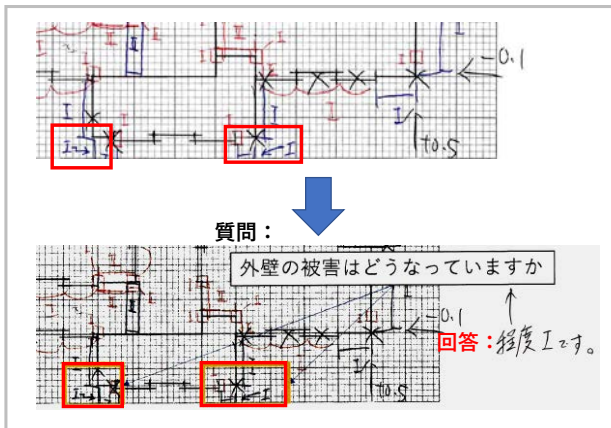


図 11 清書の図面が読み取れない図面の例

今回の作業では、被害図面のみが調査者から送付されるため、評価作業中の図面にこのような問題が一か所でも発生すると、すべて調査者に質問することになる。この場合南相馬市では、とりまとめ担当職員が質問を受け取り、調査を担当した職員へ質問し、回答を担当職員がまとめて常葉大学に返送される手順となる。ただし、調査を担当した職員は、昼間は被害調査で外出しているため、回答は調査終了後になってしまう。また応援職員の場合は、すでに交代した後の場合もあり、質問の回答が戻るまで 1 日以上時間を要した。

4. 考察

本研究の目的は、建物被害認定調査において、被害の調査と評価の作業を分離し、分散処理することによって、作業の効率化と高精度化を目指したモデルの構築である。

本研究では、2022 年の南相馬市の災害対応支援を通じて、従来被災地内で閉じられていた建物被害認定調査業務を、被災地外に拡張し、遠隔地からの支援でも実施可能であることを実証した。特に被災地外での処理をデジタル化することによって、評価作業の効率化と高精度化を実現した。

一方で、調査における図面の作成、調査者と評価者の質問のやりとりなどのポスト・データ処理はアナログ作業であったため、業務処理プロセスの律速段階となった。具体的には、1) 現場で作成した被害図面の清書に時間がかかる、2) 清書された図面であっても統一ルールを守っていない表記が存在する、3) 調査者と評価者の質問のやりとりに時間がかかる、などの課題があげられた。

これらはいずれも被害図面を紙に手書きで作成しているために発生する課題である。統一の表記ルールを徹底しても、手書きの作業では必ずエラーが発生する。そのため、被害の記入もデジタル化し、指定以外のマーカーは使用できないようにするなどの強制的な対応が必要である。また、今回は、被害図面のみをコミュニケーションの対象としていたため、評価者側で疑問が生じた場合、すべて調査者に質問する以外に確認手段がない。そこで被害図面とともにそれぞれの損傷箇所を撮影した写真が添付されていれば、調査者と評価者のフィードバックが減少し、さらなる効率化が可能になると考えられる。

5. まとめ

本論文では、2022 年福島県沖地震における南相馬市の建物被害認定調査について報告した。本事例は、被災地の現場で「被害の調査」をおこない、被災地外で「被害の評価」をおこなう分離モデルで建物被害認定調査を実施した初めての事例である。この結果、現場職員は「被害の調査」に集中することが可能となり、現場職員の負担を軽減することができたことが認められた。

また、「被害の評価」作業は被災地外からでも実施可能であることが実証され、今後の被災地外の人的資源を活用した応援業務を検討するうえで、参考事例となると考えられる。これは言い換えると、被災自治体の応援業務を、被災自治体に向くことなく、応援自治体の自席で対応可能となることを意味する。今後このような応援形態が実現すれば、より多くの多様な人的資源の活用が可能となり、今後の災害対応の効率化に大きく寄与するものと考えられる。これを実現するための鍵は、被災自治体と応援自治体のコミュニケーションの効率化であり、プロトコルの共通化のみならず、データ入力から結果処理までの一貫したデジタル化が必要であり、今後の課題となった。

注 1：中越大地震ネットワークおぢやとは、2004 年 10 月に発生した新潟県中越地震を契機として、新潟県中越地震の災害対応関係者のネットワーク組織として設立され、災害対応で蓄積された経験と教訓を関係者の間で共有し、次の災害では経験者としてアドバイスする人的つながりの拠点の一つである。

参考文献

- 1) 辻翔平・田中聡、自治体職員を対象とした研修結果から見た建物被害認定調査における課題：北九州市役所における事例から、地域安全学会梗概集 No. 50, pp. 207-210. (2022 年 5 月)
- 2) 内閣府(防災担当)、災害に係る住家の被害認定基準運用指針、(2023 年 3 月 28 日)
https://www.bousai.go.jp/taisaku/pdf/r303shishin_all.pdf
- 3) 内閣府(防災担当)、住家被害認定調査票 地震による木造・プレハブ記入の手引き、(2023 年 3 月 28 日)
https://www.bousai.go.jp/taisaku/pdf/jishin_mokuzo_tebiki.pdf

謝辞

本研究の一部は、科学研究費補助金(基盤研究(B))「機械学習に適した損傷分類ルールの構築と建物被災度評価の自動化手法の開発(研究代表者:田中聡)」および 2021 年度常葉大学共同研究「ポスト・コロナ時代における建物被害調査・研修のデジタル化手法の開発(研究代表者:田中聡)」による。

土石流発生危険度の評価のための数値標高モデルによる地形量分析

Topographic Analysis for Evaluation of Debris Flow Risk Using Digital Elevation Model

○谷崎 巧朗¹, 三浦 弘之²

Takurou TANIZAKI¹ and Hiroyuki MIURA¹

¹広島大学 大学院先進理工系科学研究科

Graduate School of Advanced Science and Engineering, Hiroshima University

In order to assess future debris flow risk, topographic indices obtained from digital elevation model (DEM) were analyzed in the affected areas by the debris flow event in Hiroshima on August 2014. The distributions and histograms of the indices were evaluated for discriminating the affected areas and non-affected areas. The results showed that Stream Power Index was a better proxy for identifying the upstream of the debris flows that corresponds to landslide areas in the mountains whereas Flow Accumulation was a good proxy for assessing the downstream of the debris flow that corresponds to debris sediment areas mainly in built-up areas.

Keywords: Debris flow, Topographic index, Digital elevation model

1. はじめに

近年頻発している豪雨や台風により、各地で土砂災害が数多く発生している。特に、2014年8月20日に発生した豪雨災害（以下、広島豪雨災害）では、広島市を中心として多くの土砂災害が発生し、特に広島県では166ヶ所以上の土石流・崖崩れが発生し、死者・重軽傷者118名、被害建物約4,540棟（うち全壊133棟）の甚大な被害が生じたり。このような土砂災害を軽減するために、ハード・ソフト面から様々な対策が講じられている。ハード面では土砂災害の発生危険度の高い溪流における砂防ダムの建設、傾斜地における法面保護工事等が行われ、ソフト面からは土砂災害警戒危険区域の指定・公表によって、住民等に対して危険の周知、警戒避難体制の整備、住宅等の新規立地の抑制等が行われている。

これらの対策を行うには、事前に被災可能性の高い地域を把握しておくことが不可欠である。一般に、土石流を含む土砂災害の発生原因は、地形的特徴が大きい。このため、実際に土石流災害が発生した箇所と発生しなかった箇所の地形的特徴の違いを捉えることができれば、事前に危険度の高い斜面を予測できると考えられる。地形的特徴を捉える方法として、本研究では、2014年広島豪雨災害において土石流が発生した広島市安佐南区八木・緑井周辺を対象として、数値標高モデル（DEM：Digital Elevation Model）から得られる複数の地形量を算出し、土石流発生箇所・非発生箇所における各指標の統計的な特徴から、発生箇所を最も精度良く評価できる指標を検討することで、土石流の発生危険度の評価方法を検討する。

2. 地形量分析に用いた指標

本研究では、国土地理院による5mメッシュのDEM²⁾を解析に利用することとした。このDEMは2013年に作成されたもので、2014年の災害前の地形を表している。一般によく使用されるDEMによる地形量のひとつに傾斜角が挙げられる。ただし、傾斜角は対象となるメッシュとそ

の周辺のメッシュの高さの関係のみから決まる値である。一方で、土石流は上流における斜面の崩壊から下流への土砂や水の流出を含む現象であるので、土石流の危険度を表す指標には地形の変化を連続的に評価できる指標の方が適切と考えられる。そこで、本研究では傾斜角（以下、SLO：Slope）の他に以下の指標を用いることとした。すなわち、流量累積値（FA：Flow Accumulation）、地形潤潤指標（TWI：Topographic Wetness Index）、ストリームパワー指標（SPI：Stream Power Index）、地形位置指標（TPI：Topographic Position Index）である。それぞれの指標の定義を以下に示す。

SLOは、隣接するメッシュへの最急勾配角度を表し、以下の式を用いて算出している。

$$SLO = \tan^{-1} \beta_{\max} \quad (1)$$

$$\tan \beta_{\max} = \max(\tan \beta_i) \quad i=1-8 \quad (2)$$

ここで、 i は隣接するメッシュの数を表し、 β_i は対象メッシュと隣接するメッシュの標高差から計算される下り勾配である。対象メッシュより隣接するメッシュの標高が全て高い場合は0と定義している。

FAは、山の尾根からの水の流量を評価する指標であり、対象メッシュに流入する流量の累積値（ m^2 ）を示している。本研究では、Holmgren³⁾が提案した以下の式を用いて算出している。

$$\Delta FA_i = FA \cdot \frac{(\tan \beta_i)^x}{\sum_{j=1}^8 (\tan \beta_j)^x} \quad \text{for all } \tan \beta > 0 \quad (3)$$

FAは、対象メッシュより標高の低いメッシュへ流入する水の総量を表すため、斜面の谷地形を表す地域や下流側の扇状地の地域で高い値を示す特徴がある。ここで、式(3)中の x については、 $x=4$ を使用した。

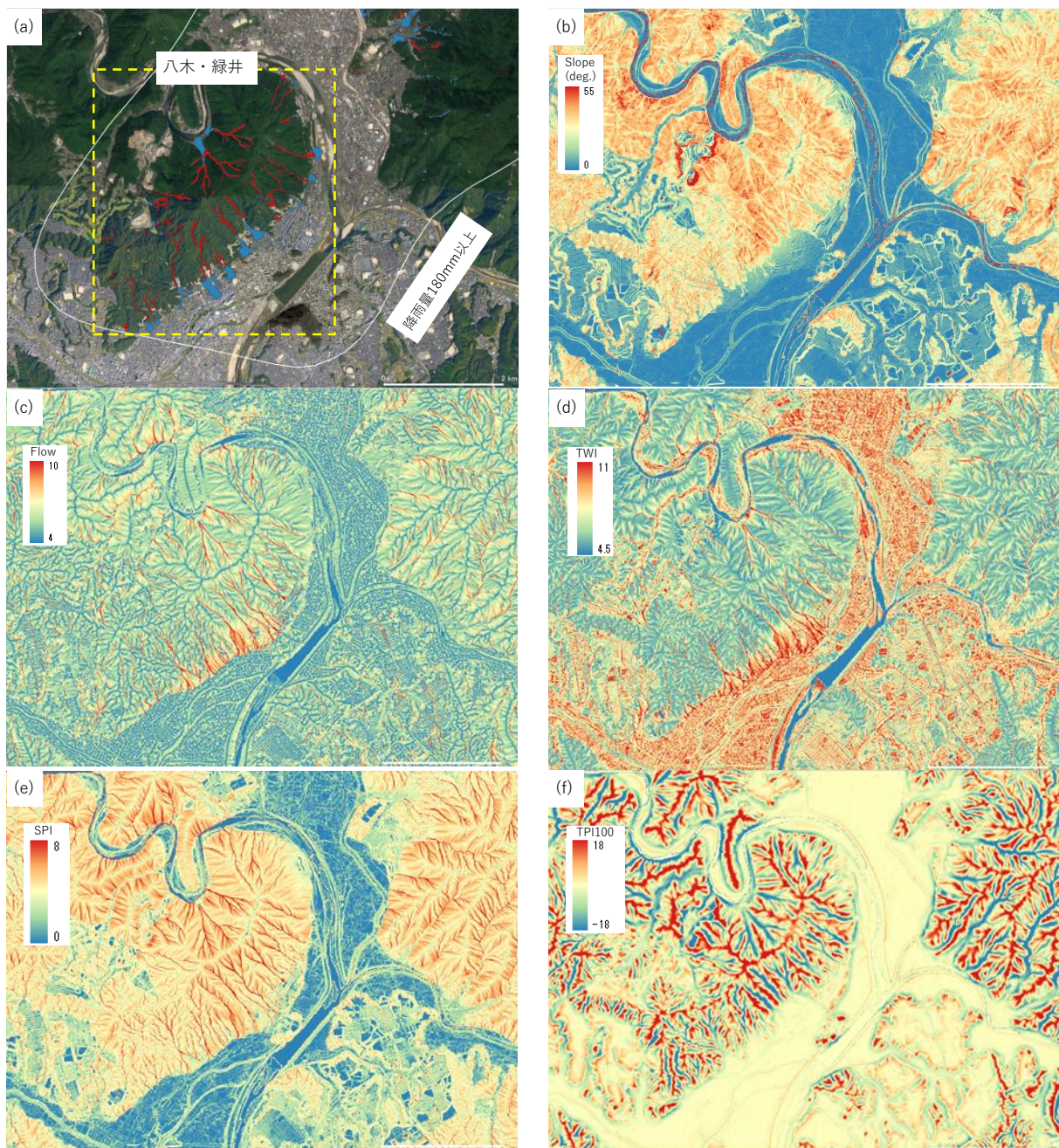


図 1 (a) 2014 年広島豪雨災害における土石流発生箇所。図中の白線は降雨量 180mm の境界を表す。(b) 傾斜角 (SLO), (c) 流量累積値 (FA), (d) 地形湿潤指標 (TWI), (e) ストリームパワー指標 (SPI), (f) 地形位置指標 (TPI) の分布

TWIは、FAと同様にHolmgren³⁾の式を用いて算出している。

$$TWI = \ln\left(\frac{A}{\tan\beta}\right) \quad (4)$$

式中の A 、 β はそれぞれ対象メッシュに対する上流の集水域面積と対象メッシュの傾斜を示し、Quinnら⁴⁾による以下の式を用い算出している。

$$\Delta A_i = A \cdot \frac{(\tan\beta_i)^n \cdot L_i}{\sum_{j=1}^8 (\tan\beta_j)^n \cdot L_j} \quad \text{for all } \tan\beta > 0 \quad (5)$$

$$\tan\beta = \left(\frac{\sum_{j=1}^8 (\tan\beta_j)^n \cdot L_j}{\sum_{j=1}^8 L_j} \right)^{1/n} \quad (6)$$

TWIは式(4)の定義の通り、水が集まりやすく、かつ勾配の緩やかな地域で高い値を示す特徴がある。このため、山地や斜面だけでなく、平地でも高い値を示す。

SPIは、上に示した上流の集水域面積 A と対象画素の傾斜 β を用い、以下の式を用い算出している。

$$SPI = \ln(A \cdot \tan\beta) \quad (7)$$

SPIはTWIと異なり、 β を含む項を乗算しているため、水が集まりやすく、かつ傾斜の大きな地域で高い値を示す。つまり、TWIと異なり、山や斜面の谷地形部で高い値を示すこととなる。

TPIは、Jenness⁶⁾により提案された指標で、対象メッシュの標高とある大きさの円内に含まれるメッシュの標高

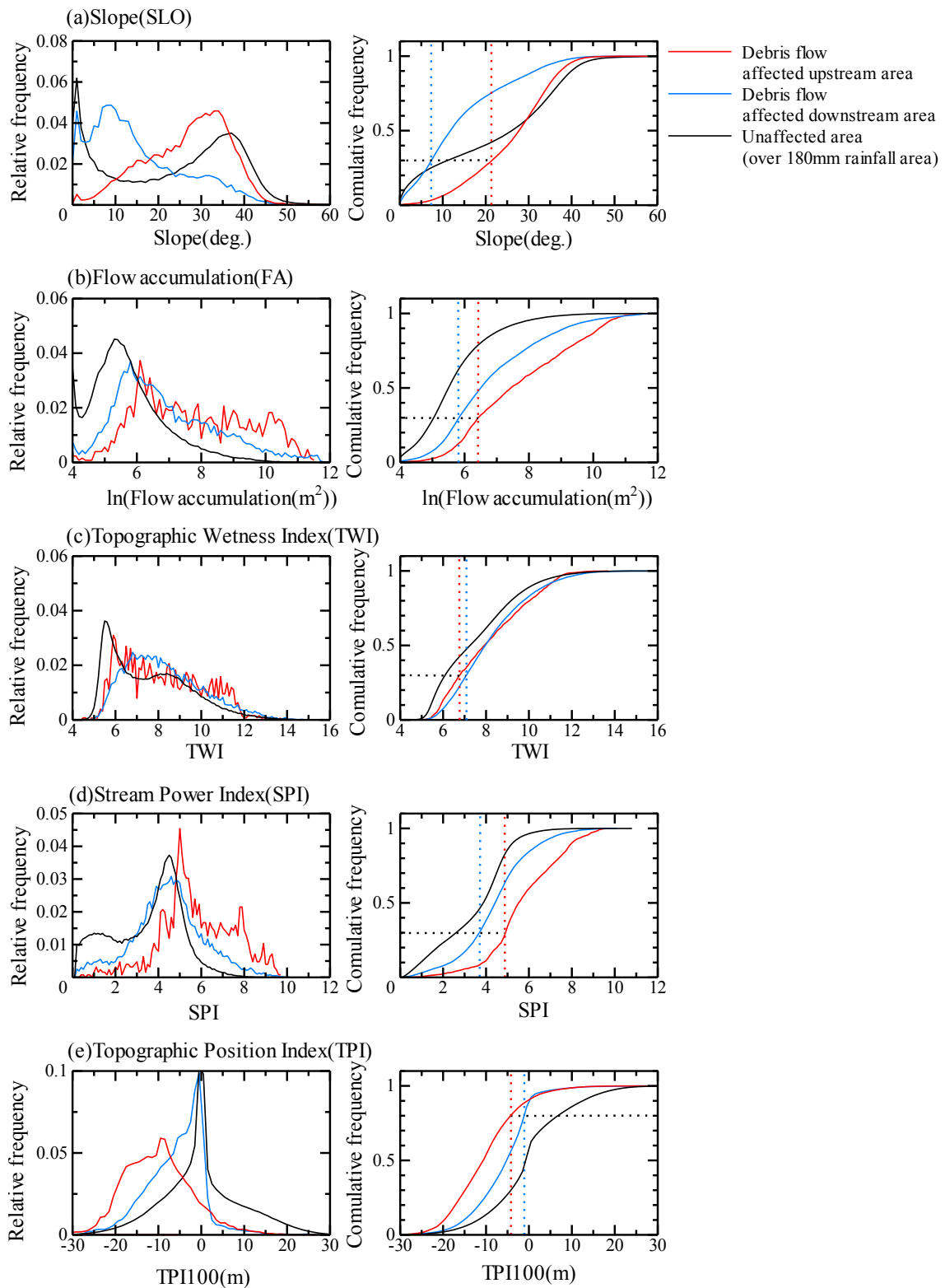


図2 各範囲における指標のヒストグラムと累積頻度分布

表1 崩壊地域上流の累積頻度70%時の非崩壊地域の誤判別率

指標	Slope	FA	TWI	SPI	TPI
誤判別率	60%	20%	60%	15%	30%

表2 崩壊地域下流の累積頻度70%時の非崩壊地域の誤判別率

指標	Slope	FA	TWI	SPI	TPI
誤判別率	75%	35%	50%	55%	40%

の平均値との差として定義されている。TPIの値が正の場合は、山の上部斜面や尾根を表し、負の場合は、下部斜面や谷を表している。TPIは、計算に使用する半径の大きさによって変化する。本研究では、半径100mを採用して計算することとした。

3. 地形量分析結果

土石流が発生するかどうかは、地形量のみでなく、降雨量の大小によっても左右される。広島豪雨災害における降雨量分布と土石流発生箇所を比較したところ、12時間降雨量が180mmを越える範囲で土石流が発生していた。そこで本研究では、降雨量180mm以上だった範囲（図1(a)の白線内）のみを対象として以降の検討を行う。このため、以降の検討では降雨量の違いについては検討しない。また、図1(a)には、土石流の上流側（赤色）、土石流の下流側（青色）をそれぞれ示している。上流側は斜面の崩壊により地形が侵食された地域を表し、下流側は流出した土砂が堆積した地域を表す。土石流の上流、下流およびそれ以外の非崩壊箇所の3区域に分けて地形量分析を行う。

各指標の算出結果を図1(b)～(f)に示す。SLOの分布をみると、山地で値が大きく、平地で値が小さい特徴があるものの、土石流箇所とそれ以外の地域で指標の分布に明瞭な違いはみられない。一方で、FAは谷地形および扇状地となる地域で高い値を示しており、土石流箇所でも高い値を示していることが確認できる。特に、FAが高い値を示す範囲は土石流の下流域とよい対応を示しているように見える。TWIは、傾斜の大きな山地部に加え、道路などの平坦部でも高い値を示しているため、土石流箇所とそれ以外を区別する指標としては、妥当でないことがわかる。SPIは、山地部の谷地形となっている箇所でも高い値を示しており、土石流上流部とよく対応しているように見える。一方で、扇状地地形となっている土石流下流部では必ずしも高い値とはなっていない。TPIは、山地の尾根と谷部が明瞭に判別できるものの、土石流箇所との対応は明瞭ではない。

土石流上流部、下流部およびそれ以外の範囲に対して、各指標の頻度を算出した。図2左にそれぞれの指標のヒストグラムを示す。SLOでは、土石流上流部は主に10～35度に分布しているのに対し、非崩壊箇所でもかなり急な斜面が多く分布していることがわかる。よって、SLOだけでは土石流発生箇所とそれ以外を判別することは難しい。FAは、上流部、下流部、非崩壊箇所の順に高い値を示しており、土石流箇所とそれ以外を判別できる可能性がある。TWIは、区域ごとに大きな違いはみられなかった。SPIは、FAと同様に上流部、下流部、非崩壊箇所の順で高い値を示しており、特に上流部で高い値を示すメッシュが多いことがわかる。TPIは、上流部では負の値となる谷地形のメッシュが多く分布しており、土石流発生箇所とそれ以外を判別できる可能性がある。結果として、土石流発生箇所とそれ以外を判別する指標としては、FA、SPI、TPIであると判断できる。

そこで、各指標の判別性能を評価するために、図2右に

示す累積頻度分布から上流部と下流部に対してそれぞれ閾値を設け、閾値以上（ないし以下）を土石流が発生する可能性のあるメッシュ、それ以外を非発生箇所として分類し、閾値以上ないし以下に含まれるメッシュの割合を求めることで判別性能を評価することとした。表1と表2はそれぞれ上流部と下流部に対して、土石流箇所の累積頻度が70%となるときの閾値を設けた場合の、非崩壊箇所のメッシュが土石流箇所として誤分類されるメッシュ割合を表す。すなわち、表中の値が小さい指標ほど、誤分類が少なく、判別性能の良い指標と判断できる。それぞれの表をみると、上流部に対してはSPIの値が最も小さく、土石流が発生する崩壊箇所を評価するにはSPIが最も良い指標であることがわかる。また、下流部に対してはFAの値が最も小さく、土石流により土砂が堆積しやすい地域を評価するには、FAの値が最も適当であることがわかった。

4. 結論

本研究では、2014年の広島豪雨災害で被害を受けた広島県広島市安佐南区八木・緑井を対象に、降雨量180mm以上の地域で、土石流発生箇所の上流部、下流部およびそれ以外の範囲に区別して地形分析を行った。5mメッシュのDEMを用いてSLO、FA、TWI、SPI、TPIの指標を算出し、指標の分布と土石流発生箇所との比較から、どの指標が土石流発生箇所を判別するのに適切な指標であるかを検討した。その結果、土石流の発生要因となる上流部の崩壊箇所を判別するには、SPIが適当であり、下流部の土砂が堆積する地域を判別するには、FAが適当であることがわかった。

今後は、本研究での地形分析の結果を踏まえ、広島豪雨災害以外の土石流災害を対象に、他地域でも同様の結果を得ることができるかを検討したい。

参考文献

- 1) 広島県：平成 26 年広島豪雨災害調査報告書（最終報）
<https://committees.jsce.or.jp/report/node/81>、(アクセス日：2023年4月1日)。
- 2) 国土地理院：基盤地図情報ダウンロードサービス
https://www.gsi.go.jp/kankyochiri/Laser_index.html、(アクセス日：2023年4月1日)。
- 3) Holmgren, P., Multiple flow direction algorithms for runoff modelling in grid based elevation models: An empirical evaluation, *Hydrological Processes*, 8, 327-334, 1994.
- 4) Quinn, P., Beven, K., Chevallier, P. and Planchon, O., The prediction of hillslope flow paths for distributed hydrological modelling using digital terrain model, *Hydrological Processes*, 5, 59-79, 1991.
- 5) Jenness, J., 2006, Topographic position index (TPI) v.1.3, <http://www.jennessent.com/arcview/tpi.htm> (アクセス日：2023年4月1日)。

常時微動観測による狭隘な海岸平野部の地盤評価

Ground evaluation of narrow coastal plains by microtremor observation

○中村 友紀恵¹, 山田 雅行², 羽田 浩二³, 原 忠⁴, 深津 宗祐¹, 大西 巧真⁵
 Yukie NAKAMURA¹, Masayuki YAMADA², Koji HADA³, Tadashi HARA⁴,
 Sosuke FUKATU¹, And Takuma OHNISHI⁵

¹(株)ニュージェック原子力耐震グループ
 Seismic Engineering Group, NEWJEC Inc.

²(株)ニュージェック研究開発グループ
 Research and Development Group, NEWJEC Inc.

³(株)ニュージェック建築グループ
 Architecture Group, NEWJEC Inc.

⁴高知大学防災推進センター
 Center for Disaster Prevention Promotion, Kochi University

⁵元・高知大学理工学部
 Faculty of Science and Technology, Kochi University

The Nankai Trough earthquake is predicted to cause damage by strong shaking and tsunami in western Japan. Especially in areas where population and industry are concentrated in coastal plains, there is a high possibility that human damage will increase. When considering effective disaster prevention measures within a limited budget, it is necessary to grasp the vulnerability and susceptibility to shaking of the ground in advance. In this study, microtremor observation was carried out in two areas of Okinoshima, Sukumo City, Kochi Prefecture. This paper describes the results of evaluating the fragility and susceptibility to shaking of the ground from the dominant period and peak amplitude of the H/V spectral ratio obtained by observation.

Keywords : Microtremor Observation, Ground Evaluation, H/V Spectrum Ratio

1. はじめに

近い将来の発生が予測される南海トラフ地震では、西日本一帯で強い揺れや津波による被害が想定されている。特に海岸平野部に人口や産業が密集する地域では、地震による建物の倒壊やそれに伴う避難路の閉塞、火災、津波来襲等の複合災害が発生し、人的被害を拡大させることが懸念されている。このような地域に対して、限られた予算の中で効果的な防災対策を検討する際には、地震による揺れの増幅や建物の倒壊に影響する地盤の脆弱性や揺れやすさを事前に把握することが求められている。

本報では、南海トラフ地震発生時に大きな揺れと津波被害が予測される高知県宿毛市沖の島の2地区を対象に常時微動観測を実施した。観測により得られる、H/Vスペクトル比の卓越周期とピーク振幅から地盤の脆弱性や揺れやすさを評価する。

2. 対象地域の概要

対象地域は高知県の西端に位置する宿毛市沖の島の母島地区と弘瀬地区である(図-1)。2地区とも漁港周辺に人口が密集し、急傾斜地に石垣を築き平坦地を作ることで住居や耕地を確保する特徴がある。歩道は狭隘で、築年数が経過した住宅や空き家が多く存在する地域である。

高知県の南海トラフ地震による被害想定³⁾は、震度5強～6弱が予測され、津波浸水深は広範囲で10.0～15.0m、

最大で20.0m以上の来襲が予測されている。

図-1の地質図によると、母島地区は花崗閃緑岩、弘瀬地区は花崗岩が分布している。また、既往のボーリングデータは存在しない地域である。

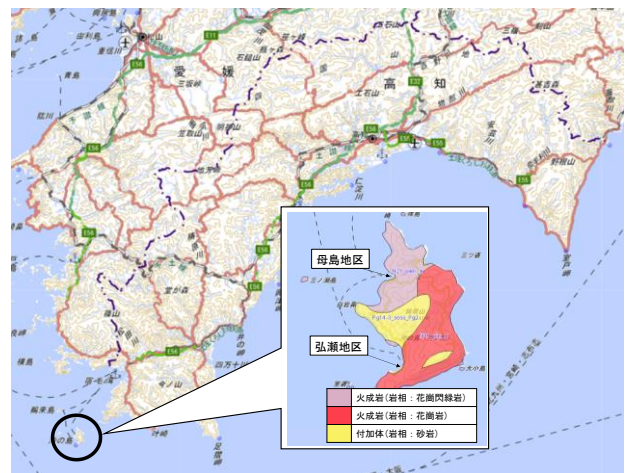


図-1 対象地域(地理院地図¹⁾, シームレス地質図²⁾に加筆)

3. 常時微動観測の概要

筆者らは既往研究⁴⁾において宿毛市の市街地における常時微動観測を実施し、常時微動 H/V スペクトル比の卓越周期やピーク振幅が既往のボーリングデータや表層地質図から読み取った工学的基盤の深度や軟弱地盤と良く対応することを示している。

本研究は既往研究⁴⁾と同じ観測手法を用いることとした。常時微動観測点は住宅密集地を網羅し、局所的な地盤の特徴を把握できるように50mメッシュに1地点、住宅が点在する箇所には250mに1地点を基本とした。母島地区は23地点、弘瀬地区は24地点の観測点を設け、各地点11分間の観測を行った。得られたデータからH/Vスペクトル比を算出した。H/Vスペクトル比の算出は、11分間の記録から40.96秒間のデータを5区間抽出し、その平均値とした。水平成分に関しては、直行する2成分(NS、EW)の相乗平均とした。算出したH/Vスペクトル比の卓越周期とピーク振幅を読み取ることを基本としたが、同等の卓越するピークが2つ以上ある場合は、1次固有周期と考えられる長周期側のピークを読み取った。

4. 常時微動観測結果と考察

常時微動観測の結果はGISを用いて卓越周期、ピーク振幅別のコンターを作図し、図-2、図-3に示す。観測地点間は逆距離荷重法(IDW法)により補間を行った。なお、弘瀬地区の南部は住宅が点在することから250mメッシュに1地点の観測を行ったため、地点間の補間を行わず観測地点を各指標のコンターと同じ色で示した。

母島地区の卓越周期(図-2:上側)は、全域で0.1~0.29sを示した。ピーク振幅(図-2:下側)は中部の1地点で3.0~3.9倍を示したが、その他の地点は1.0~2.9倍を示した。

弘瀬地区の卓越周期(図-3:右側)は、北西部の1地点で0.3~0.39sを示したが、その他の地点は0.1~0.29sを示し

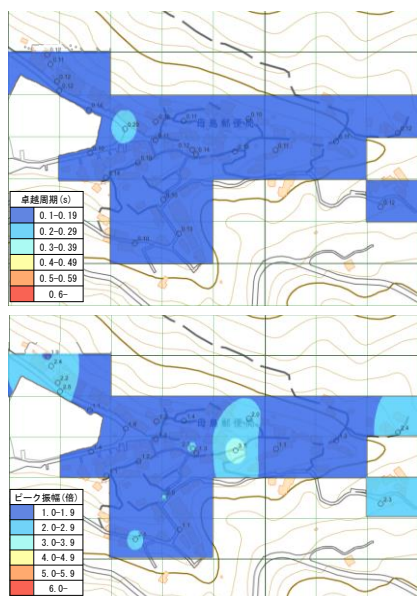


図-2 母島地区の観測結果(上:卓越周期, 下:ピーク振幅)

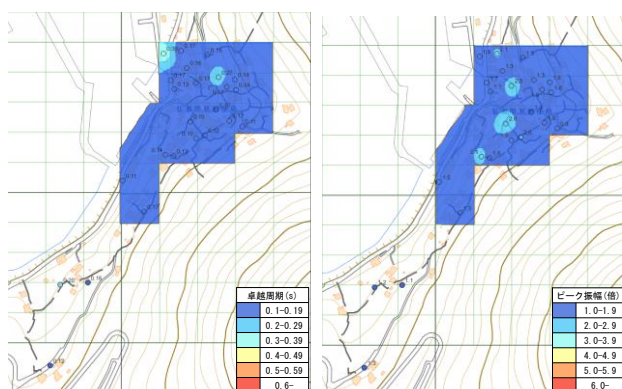


図-3 弘瀬地区の観測結果(左:卓越周期, 右:ピーク振幅)

た。ピーク振幅(図-3:左側)は、すべての地点で1.0~2.9倍を示した。

H/Vスペクトル比の卓越周期は、工学的基盤の深度とよく対応する傾向を示し、ピーク振幅は工学的基盤と地表のインピーダンス比(硬さの比)を表すため、工学的基盤の硬さが一定であれば、軟弱地盤ではピーク振幅が大きくなる傾向を示す。これを踏まえて以下に考察を行う。

母島地区は卓越周期が短周期かつピーク振幅が低い値を示すため、堆積層は浅く硬質な地盤で地震時の揺れは比較的大きくならないと推定できる。しかし、中部でピーク振幅がやや高い値を示した地点は、他の地点よりも地震時に揺れが大きくなる可能性があると考えられる。

弘瀬地区は卓越周期が短周期かつピーク振幅が低い値を示すため、堆積層は浅く硬質な地盤で地震時の揺れは比較的大きくならないと推定できる。しかし、北西部で卓越周期が0.3~0.39sを示した地点では、ほかの箇所と比べ堆積層がやや深い可能性がある。

沖の島は急傾斜地に石垣を築くことで平坦地を作る特徴があるため、局所的に軟弱な地盤が存在することが想定され、結果からも多くの観測点が硬質な地盤と推定されたが、母島地区の1地点ではほかの地点と比べるとやや軟弱な地盤と推定できる地点が見られた。

今後は沖の島内でボーリング調査や標準貫入試験等の地質調査を実施し、さらなるデータ収集を行うことで、常時微動観測結果の精度を検証する予定である。

5. まとめ

地盤の脆弱性や揺れやすさを事前に把握することを目的として、宿毛市沖の島の狹隘な海岸平野部を対象に常時微動観測を実施した。H/Vスペクトル比の卓越周期とピーク振幅から表層地盤の堆積層の深度や硬軟を評価した結果以下の知見が得られた。

1. 対象地域を密な間隔で観測を行うことで面的な評価を行うことができ、局所的な堆積層の違い(軟弱または硬質)を把握することが出来た。
2. 母島地区、弘瀬地区ともに広範囲で硬質な地盤と推定されたが、母島地区の1地点は他の地点よりもピーク振幅がやや高い値を示したため地震時に揺れが大きくなる可能性がある。
3. 母島地区、弘瀬地区ともに広範囲で堆積層が浅いと推定されたが、弘瀬地区の卓越周期が0.3~0.39sを示した地点は、堆積層がやや深い可能性がある。

謝辞:本研究の実施にあたり、宿毛市役所危機管理課 上村秀生氏、伊藤芳文氏、地域住民の方々の協力を得ました。常時微動観測では、元・高知大学理工学部松藤寿林氏、大原陸氏、東京理科大学 栗田哲教授の協力を得ました。コンターの作図はQGISDesktop 3.22.6を使用しました。ここに記して深謝の意を表します。

参考文献

- 1) 国土地理院:電子地形図(宿毛)(2023.2.12 閲覧)
- 2) 産業技術総合研究所地質調査総合センター:20万分の1日本シームレス地質図 2015年5月29日版,2015.
- 3) 高知県:高知県防災マップ(<https://bousaimap.pref.kochi.lg.jp/hazmapkochi/hazmap/>)(2023.03.13 閲覧)
- 4) 中村友紀恵,山田雅行,羽田浩二,原忠,上村秀生:海岸平野部を対象とした常時微動観測による地盤特性の評価,第57回地盤工学研究発表会発表講演集,pp.20-2-1-01,2022.

活断層の減衰特性を推定するための地震観測

Seismic Observation for Estimating Attenuation Characteristics of Active Faults

○山田 雅行¹, 羽田 浩二¹, 吉田 和郎¹, 長尾 毅², 香川 敬生³,
小田 義也⁴, 井上 晏菜⁴, 東 宏幸⁴, 原 忠⁵

Masayuki YAMADA¹, Koji HADA¹, Kazuo YOSHIDA¹, Takashi NAGAO²,
Takao KAGAWA³, Yoshiya ODA⁴, Haruna INOUE⁴, Hiroyuki AZUMA⁴
and Tadashi HARA⁵

¹(株)ニュージェック

NEWJEC Inc.

²神戸大学

Kobe University

³鳥取大学

Tottori University

⁴東京都立大学

Tokyo Metropolitan University

⁵高知大学

Kochi University

We estimate the attenuation characteristics using twofold spectral ratio method, and aim to improve the accuracy of the relationship with the ratio of the lapse time. The 1995 Hyogo-ken Nanbu Earthquake and the 2000 Tottori-ken Seibu Earthquake were selected as the active faults that occurred in recent years with the ratio of the lapse time considered to be zero. Seismometers were installed across these active faults and microearthquake observations were carried out.

Keywords : Seismic observation, twofold spectral ratio method, active fault, attenuation characteristics, stress accumulation process

1. はじめに

地震調査研究推進本部（以下、地震本部）¹⁾は、全国に多数分布する活断層の調査を効率的に実施するため、活動度や活動した際の社会への影響度を考慮し、基盤的な調査対象として「主要活断層帯」を選定し、優先的に評価、公表を行ってきた。主要活断層帯の長期評価では、位置や形態、過去の活動などについて取りまとめられており、地震被害の軽減を考える上で非常に重要かつ有用な資料となっている。しかしながら、この評価結果の中に、応力やひずみに関する活断層の性状にまで言及するものは見当たらない。

山田・小田(2018)²⁾は、P波初動に対して二重スペクトル比法を適用し、12の活断層の減衰特性を推定した。その結果、二重スペクトル比法により抽出した減衰特性が地震本部¹⁾による地震後経過率と相関があることを示し、このことは活断層における応力状態、すなわち地震発生の切迫度を反映している可能性が示唆されているとしている。

山田ら(2020)³⁾は、長野盆地西縁断層帯と阿寺断層帯を主要部を対象として、それぞれ複数の観測点ペアを選定し、観測点ペアごとに二重スペクトル比法によりP波の減衰特性を求め、その空間分布の推定を行った。

山田・小田(2018)²⁾および山田ら(2020)³⁾において、二重スペクトル比法を用いて推定された減衰特性と地震後経過

率は比較的明瞭な正の相関を示すことが確認されている(図-1)。しかしながら、観測点の制約より減衰特性から地震後経過率を推定することの不確実性を払拭するには至っていない。近年に地震が起こった活断層として兵庫県南部地震と鳥取県西部地震を対象に、新規の地震計を配置し、活断層をまたぐ位置で観測された微小地震記録を用いて算定した減衰特性から「地震後経過率=ゼロ」が推定できることを実証し、減衰特性から地震後経過率を推定する手法の高精度化を目指している。本稿では、地震観測計画や地震計設置について報告を行う。

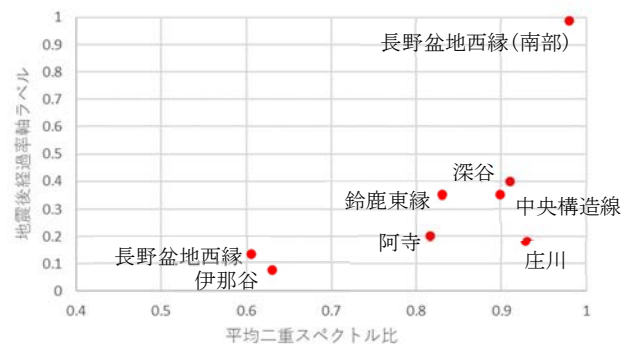


図-1 平均化した平均二重スペクトル比と地震後経過率

2. 地震観測計画の策定

(1) 鳥取県西部地震の震源断層

図-2 は、国土地理院に堀川ら(2001)⁴⁾に示された鳥取県西部地震の震源断層を重ねたものである。堀川ら(2001)⁴⁾によると、震源のすぐ南東側の浅い位置に最終すべり量の大きい部分が示されている。すべり量の大きい部分は、地震発生に伴って応力状態が大きく変化した部分と考え、鳥取県西部地震の震源断層をまたぐ位置の観測点候補として、公共施設を基本として図の1~7を抽出した。各候補地点について現地視察および協議を行い、表-1 に示す施設を地震観測点として選定した。

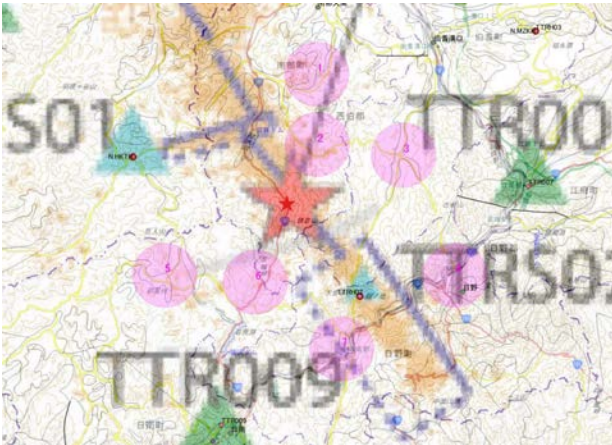


図-2 鳥取県西部地震の震源断層⁴⁾と地震観測候補地点

表-1 鳥取県西部地震のための地震観測地点

No.	自治体・施設名
4	日野町・日野防災福祉コミュニティセンター
7	日野町・公民館
5	日南町・大宮地域振興センター
3	伯耆町・二部公民館

(2) 兵庫県南部地震の震源断層

図-3 は、国土地理院に釜江・入倉(1996)⁵⁾に示された兵庫県南部地震の震源断層を重ねたものである。釜江・入倉⁵⁾や山田ら(2001)⁶⁾は、震源の両側10km程度の範囲に強震動生成域を設定している。強震動生成域は応力降下量が大きい領域であることを勘案し、兵庫県南部地震の震源断層をまたぐ位置の観測点候補として、公共施設を基本として図の1~4を抽出した。各候補地点について現地視察および協議を行い、表-2 に示す施設を地震観測点として選定した。

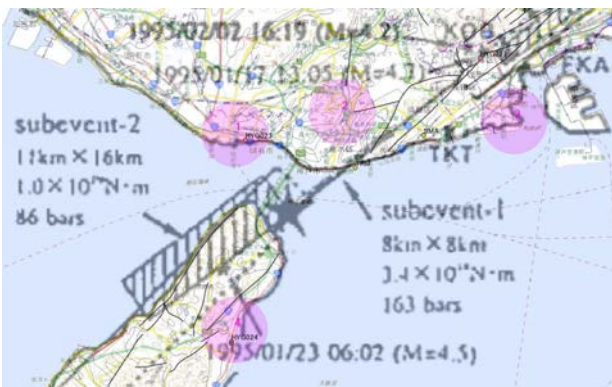


図-3 兵庫県南部地震の震源断層⁵⁾と地震観測候補地点

表-2 兵庫県南部地震のための地震観測地点

No.	自治体・施設名
3	神戸市・中央卸売市場
2	神戸市・北須磨文化センター
1	明石市・消防局中崎分署
4	淡路市・東浦事務所

3. 地震計設置と微動観測

地震計は、商用電源が不要で乾電池で約半年稼働する(株)近計システム製の速度型地震センサ KVS-300 と稠密地震観測用データロガーEDR-X7000 を用いた。設置期間は約2年で、半年ごとに現地で、乾電池とメモ리카ードの交換を行うため、建物内に設置することを基本とした。

(1) 鳥取県西部地震の震源断層に対する地震計設置状況

鳥取県西部地震の震源断層に対する地震計設置状況として、日南町・大宮地域振興センターの例を示す(図-4)。左側に速度型地震センサ、右側の緑色のコンテナにデータロガーと電池が収納されている。室内かつ微小地震を対象とするため、速度型地震センサはパテによる固定とした。



図-4 日南町・大宮地域振興センターにおける地震計設置状況

地震計設置時には、建物内の実際の地震計設置位置と建物から離れた平地において常時微動観測を実施し、顕著な建物の影響がないことを確認した。ただし、本研究では、減衰特性を二重スペクトル比法を用いて推定するため、理論的には設置位置の振動特性は除去され、影響はないと考えている。

日南町・大宮地域振興センターにおける常時微動観測状況とその結果の例を示す(図-5, 6)。常時微動観測には東京都立大学が所有する白山工業(株)製JU410を用いた。建物内の常時微動 H/V は建物外と比べて、ピーク振幅が若干大きい傾向は示すが、ピーク周波数は一致しており、特異な建物の影響はないと考えられる。



(a) 建物内



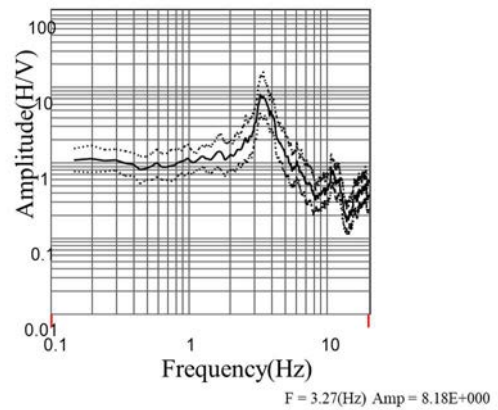
(b) 建物外

図-5 日南町・大宮地域振興センターにおける常時微動観測状況

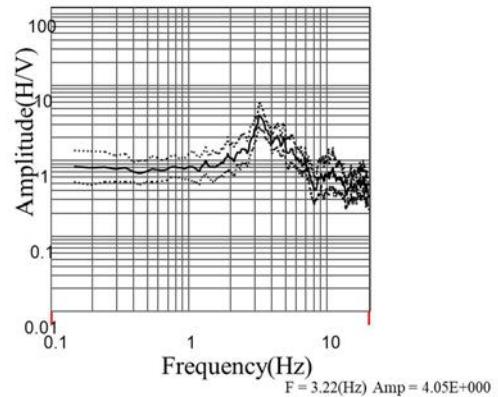
(2) 兵庫県南部地震の震源断層に対する地震計設置状況

兵庫県南部地震の震源断層に対する地震計設置状況として、明石市・消防局中崎分署の例を示す(図-7)。奥に速度型地震センサ、手前の緑色のコンテナにデータロガーと電池が収納されている。微小地震を対象とするが、設置位置が外階段下で風雨の影響が否定できないため、速度型地震センサは石膏による固定とした。

地震計設置時には、建物内の実際の地震計設置位置と建物から離れた平地において常時微動観測を実施し、顕著な建物の影響がないことを確認した。ただし、本研究では、減衰特性を二重スペクトル比法を用いて推定するため、理論的には設置位置の振動特性は除去され、影響はないと考えている。



(a) 建物内



(b) 建物外

図-6 日南町・大宮地域振興センターにおける常時微動観測結果

明石市・消防局中崎分署における常時微動観測状況とその結果の例を示す(図-8, 9)。建物外の写真の右上の階段下が地震計設置位置である。常時微動観測には(株)ニュージェックが所有する白山工業(株)製JU210を用いた。建物内の常時微動 H/V は建物外と比べて、ピーク振幅、ピーク周波数ともに概ね一致しており、建物の影響が少ないと考えられる。

4. おわりに

地震後経過率がゼロと考えられる近年に地震が起こった活断層を対象に、新規の地震計を配置し、活断層をまたぐ位置で観測された微小地震記録に対して、二重スペクトル比法を用いて減衰特性を推定し、地震後経過率との関係の高精度化を目指している。

近年に地震が起こった活断層として、兵庫県南部地震と鳥取県西部地震を選定し、地震観測計画や地震計設置について報告を行った。

今後、今回活断層をまたぐ位置に設置した地震計で得られた微小地震観測記録に対して、二重スペクトル比法を用いて減衰特性の推定やその推定法の高度化、地震後経過率との関係を明らかにしていく予定である。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP22K04648 の助成を受けたものです。鳥取県日南町、日野町、伯耆町および兵庫県明石市、淡路市、神戸市の施設において地震計を設置させていただいたことに感謝いたします。



図-7 明石市・消防局中崎分署における地震計設置状況

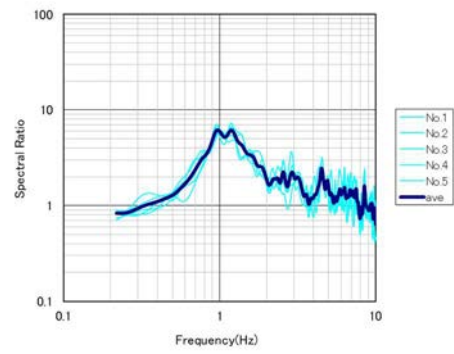


(a) 建物内

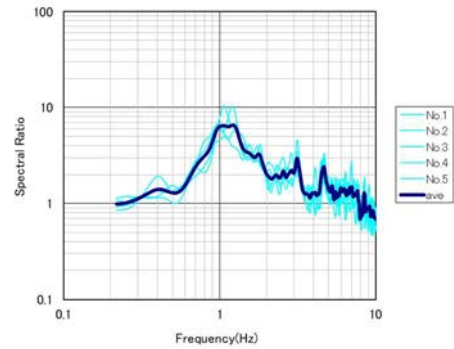


(b) 建物外

図-8 明石市・消防局中崎分署における常時微動観測状況



(a) 建物内



(b) 建物外

図-9 明石市・消防局中崎分署における常時微動観測結果

参考文献

- 1)地震調査研究推進本部, <https://www.jishin.go.jp/> (閲覧日: 2023年4月3日)
- 2)山田雅行, 小田義也: 二重スペクトル比法で推定した主要活断層帯の減衰特性, 日本地震工学論文集, 18, 59-76, 2018.
- 3)山田雅行, 小田義也, 東宏幸, 羽田浩二: 二重スペクトル比法で推定した主要活断層帯の減衰特性~減衰特性の空間分布~, 第46回(令和2年度)地域安全学会研究発表会(春季), 2020.
- 4)堀川晴央, 関口春子, 岩田知孝, 杉山雄一: 2000年鳥取県西部地震の断層モデル, 活断層・古地震研究報告, No.1, pp.27-40, 2001.
- 5)釜江克宏, 入倉孝次郎: 1995年兵庫県南部地震の断層モデルと震源近傍における強震動シミュレーション, 日本建築学会構造系論文集, 62巻, 500号, 1997.
- 6)山田雅行, 平井俊之, 岩下友也, 釜江克宏, 入倉孝次郎: 兵庫県南部地震の震源モデルの再検討, 日本地震学会講演予稿集, 1999年度秋季大会

多時期航空レーザ計測データから見た熊本地震による南阿蘇村の 建物の解体撤去と再建状況

Monitoring of the building removal and reconstruction process in Minami-Aso Town
after the 2016 Kumamoto earthquake based on multi-temporal LiDAR data

○山崎 文雄^{1,3}, 劉 ウェン²
Fumio YAMAZAKI^{1,3} and Wen LIU²

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 株式会社 大崎総合研究所

Ohsaki Research Institute, Inc.

The reconstruction process in Minami-Aso Town after the April 2016 Kumamoto earthquake was monitored using multi-temporal airborne LiDAR data and the results were compared with optical images and building damage data. First, the demolitions of damaged buildings were extracted from the difference of digital surface models (DSMs) from the LiDAR data and the results were compared with the damage certificate data by the municipal government. In the period starting 1.5 years after the earthquake, new construction of public permanent houses was seen in Tateno and Kawayo districts but only a few self-founded houses were recognized.

Keywords : airborne LiDAR, aerial image, demolition, reconstruction, housing

1. 背景と目的

リモートセンシングによる建物の被災度調査においては、2次元的な形状変化に加えて、高さ方向の変化を含む3次元的な被害性状を把握することも可能である。3次元モデルは、通常、数値表層モデル(DSM)、数値地形モデル(DTM)、CADモデルなどの形で表現される。DSMを作成する方法としては、光学画像の立体視に加えて、無人航空機(UAV)から得られた多方向からの画像を用いて、Structure-from-Motion(SfM)という手法で3次元モデルを作成することも頻繁に行われている。より直接的に地表面の3Dモデルを構築する方法としては、航空レーザ計測¹⁾が挙げられる。熊本地震の益城町周辺に関しては、アジア航測(株)²⁾が本震前後に行った航空レーザ計測を用いて、筆者らは本震による3次元地殻変動量³⁾と倒壊建物⁴⁾の把握を行った。また国土地理院が本震前後に行った航空レーザ計測データ⁵⁾に基づいて、筆者らは益城町周辺の斜面崩壊の抽出も行っている⁶⁾。

南阿蘇村では、熊本地震によって阿蘇カルデラの外輪山を中心に多数の斜面崩壊が発生し、阿蘇大橋が落橋するなど大きな災害となった⁷⁾。しかし同村については、地表地震断層に関する研究⁸⁾や阿蘇大橋の崩落原因に関する研究⁹⁾はあるが、建物被害の全数調査に関する研究は見当たらない。筆者らは、地震後の数回にわたって河陽地区を中心とする南阿蘇村の現地調査を行い、衛星画像を用いた復旧・復興状況のモニタリングも行った¹⁰⁾。

そのような中で、南阿蘇村の河陽地区と立野地区を含む地域で、地震前(2013年1月)と地震後(2017年11月)までの期間に5時期の航空レーザ計測データが存在することを知った。既報¹¹⁾では、このデータに基づいて建物倒壊と解体・撤去状況の把握を行い、建物被害認定調査結果⁷⁾と比較した。また、地震による斜面崩壊とその後の降雨による崩壊域の拡大についても別報¹²⁾で報告した。

本報告では、2020年11月に林野庁が観測した航空レーザ計測データを新たに入手し、南阿蘇村の個別建物の被災度レベルと解体・撤去状況の関係を調べるとともに、新築・再建建物の状況について検討する。

2. 熊本地震による南阿蘇村の6時期LiDARデータ

熊本地震の震源と震源断層モデルとGEONET観測点の位置関係を図1に示す。熊本地震において建物損壊や人的被害が最大だったのは益城町であるが、布田川断層帯の東端に位置する南阿蘇村においても、斜面崩壊が多発し、地表地震断層が出現した。建物被害も大きく、河陽地区では木造アパートが数棟倒壊し、立野地区では黒川第一発電所のヘッドタンク・余水路が損壊し、流出した貯留水による住宅損壊も発生した¹³⁾。

図2に南阿蘇村の黒川・白川合流地点付近の航空写真(国土地理院⁵⁾、2016年4月16日撮影)を示す。ここに示す河陽地区と立野地区を本研究の検討対象地域とする。この地域に対して、国土地理院は地震前の2013年1月から地震後の2017年11月までの期間に観測された、5時期

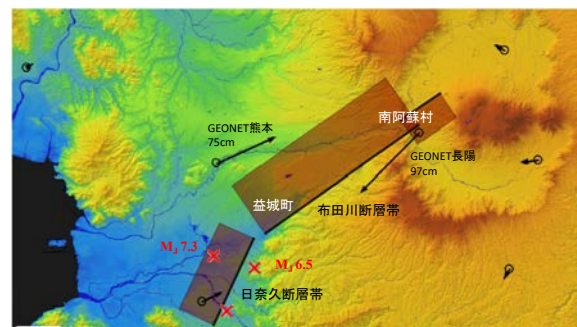


図1 熊本地震の震源と震源断層モデル(地理院地図)



図2 南阿蘇村の黒川・白川合流地点付近の航空写真⁵⁾，建物撤去検討範囲(赤枠)と建物新設検討範囲(黄色枠)

表1 6時期のLiDARデータの観測年月日，平均点密度，DSMメッシュ間隔，対応する光学画像

LiDARデータセット	a. 2013/1	b. 2016/4	c. 2016/7	d. 2017/2	e. 2017/11	f. 2020/11
観測年/月/日	2013/01/10 -02/20	2016/04/ 19-23	2016/07/ 01-05	2017/01/31 -02/03	2017/10/31- 11/02	2020/10/26 12/01
平均点密度[1/m ²]	5	11	28	28	39	18
メッシュ間隔[cm]	50	50	25	25	25	50
対応する航空写真・光学衛星画像	LiDAR撮影時	2016/4/16 GSI	2016/7/5-25 GSI	2017/3/17 Google Earth	LiDAR撮影時	LiDAR撮影時

の航空レーザ計測 (LiDAR) データを保有・管理している。これらに加えて，2020年11月に林野庁が観測した航空レーザ計測データの計6時期のものを使用する (表1)。

これらの LiDAR データの平均点密度(5 - 39 points/m²)は，益城町で地殻変動³⁾と建物倒壊⁴⁾の把握に用いたデータの密度(1.5 - 4 points/m²)と比べてかなり高密度であり，建物倒壊の抽出にはより適している。本研究では，隣接する2時期に得られた LiDAR データの DSM 差分を計算することにより，樹木や構造物を含めた地表面の高さ変化を定量的に検討する。2時期の LiDAR データの差分を取る際には，DSM の水平・垂直方向の位置合わせが重要となるが，地震前後ペアの間には本震による地殻変動量が含まれている。したがって，その影響を極力小さくするために，2地区においてはその範囲内のみで詳細な位置合わせを行った。

南阿蘇村が実施した建物被害認定調査結果⁷⁾は，村の全建物に対するもので，住家が3,140棟，非住家が1,593棟含まれている。しかし，6時期の LiDAR データの得られた河陽地区，立野地区の赤枠内における建物データは，全429棟と村全体の建物数の1/10程度に過ぎない。建物被害データに付属する位置データは建物輪郭内に落ちないことが多く，手作業で両者の紐づけを行わざるを得ないため，今回は赤枠内の建物について，地震後約3か月，約9か月，約1年半，約4年半で建物がどのように解体撤去されていくかを5時期の DSM より検討する。

3. DSM 差分による被災建物の撤去状況の把握

図3に河陽地区の地震後の4期間における DSM 差分の推移を示す。これより，被災建物の撤去は，地震後3か

月以降に始まり，その後，地震後1年半までの間に多くが進められた。さらにその後の約3年間にも建物が撤去されるとともに，16棟ではあるが新築や改築も見られるようになった。このうちの5棟(10戸)は長陽西部災害公営住宅である¹⁴⁾。立野地区に関する同様の検討を図4に示す。建物の解体・撤去は河陽地区と同様に進められているが，対象範囲での新築・改築は8棟のみであった。

これらの図に示された2地区の396棟の建物に関する撤去時期と被災程度との関係を図5に示す。ここで建物が撤去されたとの判断は，1m縮小した建物輪郭内の平均高さが1m以上低下した場合に行った。これより全壊(L4)および大規模半壊(L3)の建物は，4年半以内に約9割が解体撤去されていることが分かる。また半壊(L2)建物も66%が撤去されている。これは，自治体による撤去費用の支援とも関係があるろう。熊本地震による南阿蘇村では，罹災証明において半壊以上と判定された住宅や事業所建物が解体費用の支援を受けることができ¹⁵⁾，このことが半壊家屋においても過半数が解体されたことに繋がったと考えられる。一方，一部損壊(L1)では23%，無被害(L0)の建物でも12%の建物が撤去されており，区画整理や居住を諦めた転出などが理由として考えられる。これらの数字は，同じく公費解体が行われた1995年兵庫県南部地震による西宮市の解体率¹⁶⁾ (全壊：67.0%，半壊：21.5%，一部損壊・無被害：5.5%) と比べても大きい値といえる。

4. 立野地区における新築建物の把握

図2に示す2地区の赤枠内においては，新築された建物はごく少数であった。しかし，立野地区の図2の黄色枠内で見ると，図6に示すように，ある程度まとまった数の建物の新築が見られる。このうち国道57号線の南の

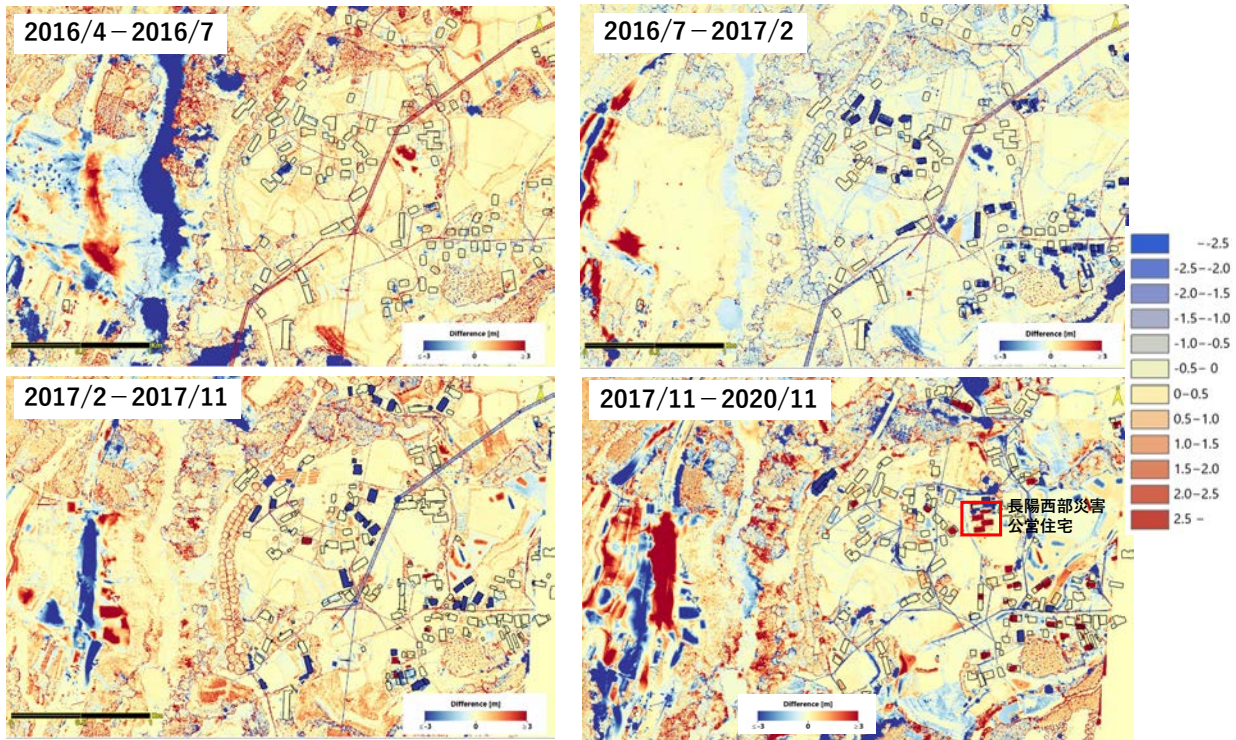


図3 河陽地区の4期間内におけるDSM差分の推移(図2の赤枠内)

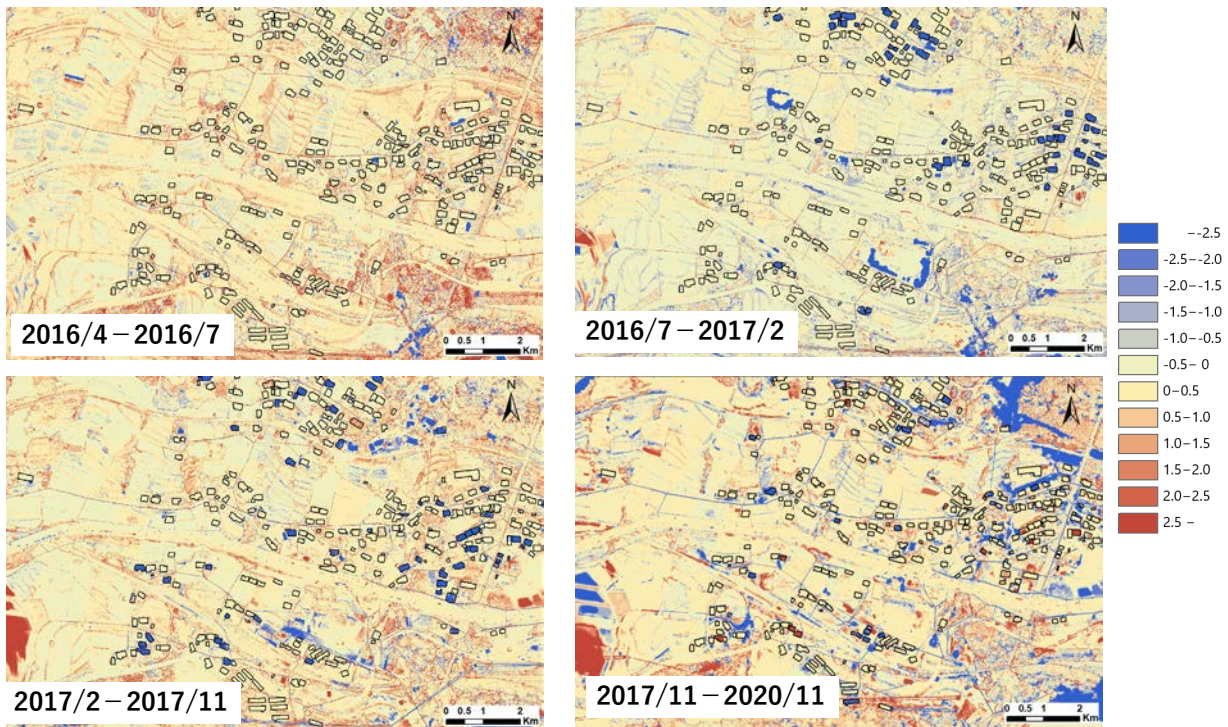


図4 立野地区の4期間内におけるDSM差分の推移(図2の赤枠内)

ものは、南阿蘇村による復興住宅の馬立団地¹⁴⁾である。木道平屋建てで全20棟と集会所が1棟あり、計40戸が入居でき、完成は2019年3月であった。国道を隔てて北側には、立野ダム建設事務所の5棟のプレハブ建物が建てられた。また、立野ダム建設工事による、大規模な地形の改変工事が見られる。このようにLiDARデータは、災害復興や建設工事の進捗を見るのにも有効といえる。

5. まとめ

本研究では、2016年4月の熊本地震で甚大な被害を受けた南阿蘇村の河陽地区と立野地区を対象として、地震前(2013年1月)と地震後(2020年11月)までの6時期において観測された航空レーザ計測データを用いて、数値表層モデル(DSM)の2時期差分に基づき、地震による被災建物撤去状況の把握を行なった。前報で地震前後2時期のDSM差分を個別建物に対して計算した結果、自治体に

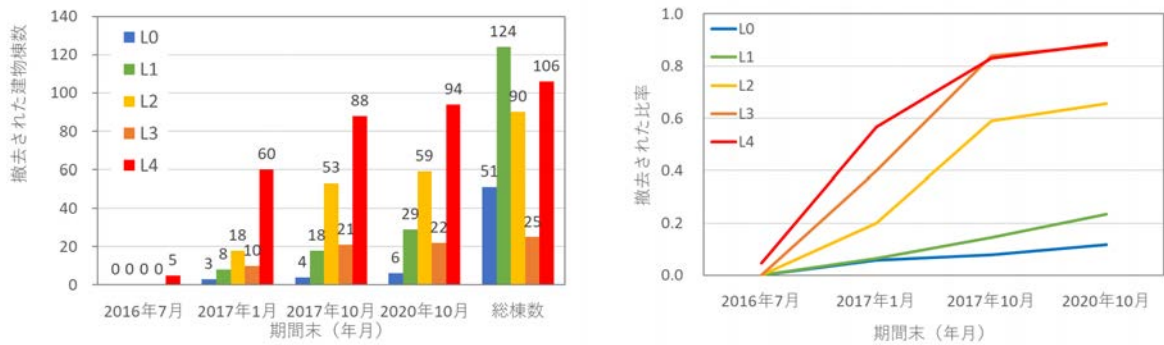


図5 河陽地区+立野地区の396棟建物の4期間末までに撤去された建物数(左)とその比率(比率)



図6 立野地区の2017/11-2020/11の期間におけるDSM差分(図2の黄色枠内)

より全壊判定された建物のうち約4割について、建物輪郭内で平均高さの低下が見られた。今回、地震後の5時期のDSM間の差分によって、被災建物の撤去状況把握を行った結果、地震後4年半までに、全壊及び大規模半壊建物の約9割が、半壊建物の66%が解体・撤去されたことが分かった。また、これらの範囲では同じ場所に再建された建物は少ないが、両地区で災害公営住宅が建設され、立野地区ではダム工事関連の変化が見られた。

謝辞 本論文で使用した航空レーザ計測データは国土地理院と林野庁より、また建物被害認定調査結果は南阿蘇村より提供を受けたことを記す。また本研究の実施に当たり科学研究費(21H01598)を一部使用した。

参考文献

- 1) 国土地理院：航空レーザ測量について https://www.gsi.go.jp/kankyochiri/Laser_index.html.
- 2) アジア航測株式会社：「平成28年熊本地震」災害状況 第二報, 2016. https://www.ajiko.co.jp/news_detail?id=56J145Y2D.
- 3) Moya, L., Yamazaki, F., Liu, W. and Chiba, T.: Calculation of coseismic displacement from Lidar data in the 2016 Kumamoto, Japan, earthquake, NHESS, 17, pp. 143-156, 2017.
- 4) Moya, L., Yamazaki, F., Liu, W. and Yamada, M.: Detection of collapsed buildings from Lidar data due to the 2016 Kumamoto earthquake in Japan, NHESS, 18, pp. 65-78, 2018.
- 5) 国土地理院：平成28年熊本地震に関する情報. <http://www.gsi.go.jp/BOUSAI/H27-kumamoto-earthquake-index.html>.
- 6) Liu, W., Yamazaki, F. and Maruyama, Y.: Detection of earthquake-

- induced landslides during the 2018 Kumamoto earthquake using multitemporal airborne Lidar data, Remote Sensing, 11, 2019.
- 7) 南阿蘇村：2016(平成28)年熊本地震 南阿蘇村復興記録誌 未来への轍, 2022.
- 8) 産業技術総合研究所 地質調査総合センター：平成28年(2016年)熊本地震及び関連情報. <https://www.gsj.jp/hazards/earthquake/kumamoto2016/index.html>
- 9) 千田知弘, 崔準祐, 平川泰之ほか：航空レーザ測量に基づく地盤変動と斜面崩壊による崩土を考慮した阿蘇大橋崩落の可能性に関する検討, 土木学会論文集A1, 74(4), 381-394, 2018.
- 10) Yamazaki, F. and Liu, W., Recovery monitoring of Minami-Aso area after the 2016 Kumamoto earthquake based on remote sensing data, 8th Asia Conference on Earthquake Engineering, 2022.
- 11) Yamazaki, F., Liu, W., and Horie, K. Use of multi-temporal LiDAR data to extract collapsed buildings and to monitor their removal process after the 2016 Kumamoto earthquake, Remote Sensing, 2022.
- 12) 劉ウェン, 丸山喜久, 山崎文雄：航空レーザ計測データを用いた2018年熊本地震と豪雨の複合災害による土砂移動域の検出, 日本地震工学会第17回年次大会梗概集, 2022.
- 13) 九州電力株式会社：水力発電設備の設備損壊事象について, 産業構造審議会保安分科会 電力安全小委員会, 第10回電気設備自然災害等対策WG 資料1.
- 14) 熊本県：平成28年熊本地震災害公営住宅整備記録, 2021. <https://www.pref.kumamoto.jp/soshiki/117/50775.html>
- 15) 南阿蘇村：平成28年熊本地震に係る損壊家屋等の自主解体等費用の支援に関する実施要綱, 2016.
- 16) 牧紀男, 堀江啓, 林春男：阪神・淡路大震災の公費解体と災害廃棄物—どのような物理的被害の建物が解体されたのか—, 日本建築学会計画系論文集, 81(730), 2723-2729, 2016.

深層学習を用いた建物被害認定調査への適用

Using Deep Learning for Building Damage Assessment Surveys

○上岡 洋平¹, 田中 聡²
 Yohei UEOKA¹ and Satoshi TANAKA²

¹ 日本ミクニヤ株式会社
 Mikuniya Co.

² 常葉大学大学院環境防災研究科
 Graduate School of Environment and Disaster Research, Tokoha University.

A building damage assessment survey conducted after a large-scale disaster is a survey that determines the extent of damage to affected buildings. Based on this survey, a disaster certificate is issued, which serves as the basis for providing support to disaster victims such as temporary housing and relief payments. Therefore, in addition to the need for prompt surveys, accuracy and fairness are also required. However, in actual survey situations, there is a shortage of surveyors and significant differences in their experience and abilities, leading to problems where survey results are not understood or accepted by disaster victims, and the survey process becomes prolonged. Therefore, there is a need to establish a system where the same results can be obtained regardless of who conducts the survey. In this study, we attempted to apply Instance Segmentation to disaster images to determine the extent of damage to building exteriors.

Keywords : Building Damage Assessment Surveys, Deep Learning, Instance Segmentation, Disaster Certificate, Photographs of Building Damage

1. はじめに

大規模災害発生後には、さまざまな目的で建物被害調査が実施される。その中でも、内閣府の被害認定基準に基づき実施される建物被害認定調査¹⁾は被災した建物の被害の程度(全壊・大規模半壊・半壊など)を認定する調査であり、この調査をもとに災証明書が発行され、仮設住宅の入居や義援金の支給など支援者支援の基準となるため、迅速な調査に加えて正確性や公平性が求められる。しかし、実際の調査現場では、調査員の不足に加えて、経験や能力のばらつきが大きく、調査結果に被災者の理解と納得が得られず、調査が長期化する問題が発生している。そのため誰が調査しても同じ結果が得られる仕組みの構築が求められている。

これらの課題解決のために、深層学習を用いて被災程度を評価する手法の研究がなされている。例えば、戸澤らは建物全画面像から、建物の全壊・非全壊を判別するモデル構築の検討を進め、高い精度で判別できることが報告されている²⁾。また、建物被害認定調査は、建物を外壁などの部位ごとに評価するため、建物の部位ごとに被災程度を評価する手法も検討されている。例えば、上岡らは、深層学習を用いて被災写真から外壁の損傷程度を3クラスで分類し、約77%と高い精度が得られている³⁾。戸澤らは、Semantic Segmentationを利用して、外壁のひび割れ、仕上げ材剥落、下地材を検出することができるモデルを構築した⁴⁾。また千田らは、Semantic Segmentationを利用して外壁の仕上げ材剥落を分類できるモデルを構築した⁵⁾。既往研究では、外壁の損傷部位の判別を試みているが、実際の被害認定基準に基づいた損傷程度での検証は行われておらず、定量的な評価をすることができていない。

そこで本研究では、建物被災写真に深層学習の技術の

一つである Instance Segmentation を適用させ、損傷程度の自動判別を試みる。建物被害認定調査における1次調査の評価基準は、外壁の損傷程度が大きな割合をしめるため、建物の外壁に着目して検証を行った。

2. 学習モデルの構築

2.1 深層学習を用いた画像解析の概要

深層学習を用いた画像解析には、画像ごとに物体を判別する分類(Classification)、画像から物体の位置を把握する物体検出(Detection)、画像からピクセルごとにクラス分けをする Semantic Segmentation、さらに物体検出と Semantic Segmentation を組み合わせた Instance Segmentation などの技術がある(図1)。Instance Segmentation は、画像中の個々の物体を識別し、それぞれの物体に対してピクセル単位でのセグメンテーションを行うことができるため、同じクラスに属する物体もそれぞれ独立した存在として扱うことができる。また、物体の形状やサイズを定量的に評価することが可能であることから、本手法を用いた。

	Classification	Detection	Semantic Segmentation	Instance Segmentation
入力画像				
出力結果	車			

図1 深層学習を用いた画像解析手法

2.2 学習モデルの作成

モデルの構築には、YOLO (You Only Look Once) ⁶⁾ を使用した。YOLO は、画像全体に対して単一の畳み込みネットワークを適用し、一度の推論で画像内のすべての物体を同時に検出することができる。YOLO は一般的に物体検出の手法であるが、YOLOv5⁷⁾ や YOLOv8⁸⁾ において、Instance Segmentation 機能も追加されている。そこで、本研究では、2023 年に公開された最新モデルである YOLOv8⁸⁾ を用いた。

学習の条件は、表 1 のとおりとした。画像の入力サイズは 1,280×1,280pixel、出力層は 5 クラス (程度 I ~ 程度 V)、バッチサイズは 8、最適化関数は SGD、学習係数は 0.0001、エポック数は 10,000 回とした。なお、エポック数については、過学習が発生し、mAP が向上しなくなった時点で学習を中断させた。

表 1 学習条件

項目	パラメータ
モデル	YOLOv8
画像サイズ	1,280×1,280pixel
出力層	5クラス (程度 I ~ 程度 V)
バッチサイズ	8
最適化関数	SGD
学習係数	0.0001
エポック数	10,000 回

また、本研究では転移学習を採用した。転移学習とは、既に学習済みのモデルの知識や特徴を再利用し、学習時間の削減や学習データ不足等を補う手法である。転移学習を用いることで、少ないデータ数においても高い精度を得ることが期待できる。なお、本研究では、画像解析におけるアルゴリズムの精度検証に用いられる COCO データセット⁹⁾ で学習された学習済みモデル⁸⁾ を用いて、転移学習を行った。

2.3 精度評価

本研究における精度の評価指標は、物体検出や Instance Segmentation で一般的に使用される AP (Average Precision) および mAP (mean Average Precision) を用いた。AP (Average Precision) は、各クラスにおける適合率-再現率曲線の下領域 (AUC) を求めることで計算することができる。IoU (Intersection over Union) の閾値は、モデルの予測が正解かどうかを判断する際に使用される。また、信頼度は、モデルが予測した確率を示し、信頼度が高いほどモデルの予測が正解である可能性が高くなり、信頼度が低い場合は、予測が誤っている可能性が高くなる。IoU の閾値や信頼度を適切に設定することにより、Precision: (P) と Recall: (r) の値が変化し、AP が決定される。Instance Segmentation において、IoU の閾値や信頼度の設定は、モデルの性能に大きく寄与する。Precision は、モデルが正と予測したもののうち、実際に正であったものの割合を示す指標である。Recall は、実際に正であるもののうち、モデルが正と予測したものの割合を示す指標である。AP は、[1]の式で求めることができる。

$$AP = \int_0^1 P(r) dr \quad [1]$$

mAP は、各カテゴリの AP の平均として計算され、mAP が高いほど、モデルの予測精度が高いことを表す。

3. データセットの構築

3.1 画像の収集およびマスク画像の作成

本研究では、2016 年に発生した熊本地震で被災した益城町の木造住家を対象とし、著者が撮影した画像を用いた。YOLOv8 は、判別したい損傷程度のみならず、被害がない画像も学習させることができる。そのため、被害がない建物画像も使用した。

これらの被災建物が写っている画像は、近景や遠景で撮影されており、さまざまな距離や画角となっている。特に、損傷部位に注視して撮影されている画像は、建物に対する損傷程度が不明確である。そこで、本研究で使用する画像は、建物の外壁に対して損傷程度が明確に分かるよう、建物の 1 階部分相当となるようにトリミングを行った。

学習データ作成時のアノテーションには、labelme¹⁰⁾ を使用した。アノテーションは、外壁の損傷箇所の領域を囲むように作成した。画像のトリミングおよびアノテーションの例を図 2 に示す。

アノテーションに対するクラス分類は、内閣府が公開している災害に係る住家の被害認定基準運用指針¹⁾ に記載されている外壁の損傷ランクの画像を参考 (図 3) に、「程度 I」から「程度 V」について、著者が手作業でクラス分けを行った。



図 2 画像のトリミングおよびアノテーションの例

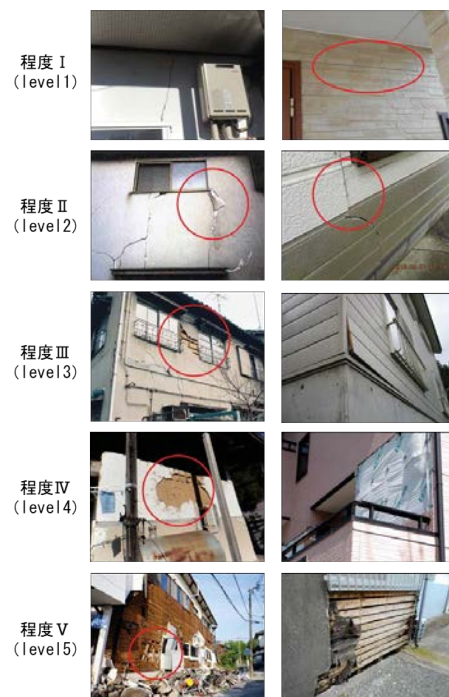


図 3 外壁の損傷ランク¹⁾

3.2 データセットの作成

アノテーションした画像をもとにデータセットを作成した。学習データおよび検証データはランダムに分割し、学習データは 355 枚（うち、無被害画像 108 枚）、検証データは 70 枚とした。作成したデータセットの「程度Ⅰ」から「程度Ⅴ」の各クラスのラベル数を表 2 に示す。損傷程度の低い被害「程度Ⅰ」、「程度Ⅱ」は多く学習データを収集することができたが、「程度Ⅲ」、「程度Ⅳ」、「程度Ⅴ」については収集できた画像は少なくなっている。

そこで、精度向上や過学習抑制のために、データ拡張を行った。データ拡張は、コントラストの変更や鏡像反転を行った。

表2 各クラスのラベル数

程度	学習データ	検証データ	合計
程度Ⅰ	1,337	170	1,507
程度Ⅱ	509	106	615
程度Ⅲ	181	55	236
程度Ⅳ	218	71	289
程度Ⅴ	130	72	202

4. 結果

データセットを YOLOv8 に適用させて学習を行った。学習曲線を図 4 に示す。mAP の精度が上がりなくなったため、エポック数を 592 回で学習を終了させた。学習が進むにつれて、検証データの loss が増加しており、過学習が発生している。

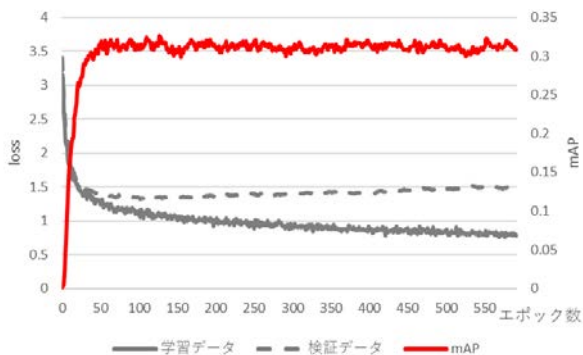


図 4 学習曲線

作成した学習済みモデルをもとに、mAP が上がるよう、IoU と信頼度を設定した。表 3 に IoU と信頼度による精度結果を示す。本研究では、IoU を 0.1~0.3、信頼度を 0.1~0.3 の範囲で設定し、推論させた結果、IoU は 0.3、信頼度は 0.3 に設定時に、mAP が 0.386 と一番高い精度が得られた。

表 4 に、IoU を 0.3、信頼度を 0.3 に設定時の各クラスの精度を示す。「程度Ⅰ」は 0.347、「程度Ⅱ」は 0.251、「程度Ⅲ」は 0.337 といずれも低い精度となった。「程度Ⅳ」は 0.512、「程度Ⅴ」は 0.485 であり、比較的高い精度が得られた。

検証データにおける混同行列の結果を図 5 に示す。図 5 に示す数値は、損傷箇所が正しく予測された割合を示す True Positives (TP)，誤検出された割合を示す False Positives (FP)，損傷箇所を正しく検出することができ

なかった割合を示す False Negatives (FN) を表している。

「程度Ⅰ」は、TP は 0.32、FN は 0.68、FP は 0.48 であり、正しく損傷箇所を抽出できたものもあるが、損傷箇所の見落としや誤検出が多い。「程度Ⅱ」は、TP は 0.16、FN は 0.84、FP は 0.27 であり、正しく損傷箇所を検出できたのは一部であり、損傷箇所の見落としが多い。「程度Ⅲ」は、TP は 0.22、FN は 0.77、FP は 0.22 であり、正しく損傷箇所を検出できたのは一部であり、損傷箇所の見落としが多い。「程度Ⅳ」は、TP は 0.46、FN は 0.54、FP は 0.43 であり、損傷箇所の見落としや誤検出はあるが、他の損傷程度と比較して正しく検出できている。「程度Ⅴ」は、TP は 0.28、FN は 0.72、FP は 0.25 であり、正しく損傷箇所を検出できたのは一部であり、損傷箇所の見落としが多い。以上より、全体的に各クラスにおける損傷箇所の見落とし (FN) が多いことが分かった。また、「程度Ⅰ」、「程度Ⅳ」は、誤検出 (FP) が多くなっている。特に、「程度Ⅲ」、「程度Ⅴ」については、幅広いクラスに誤って検出されていることが分かった。

表 3 IoU と信頼度による精度結果

IoU	信頼度	mAP
0.1	0.1	0.374
	0.2	0.382
	0.3	0.382
0.2	0.1	0.374
	0.2	0.382
	0.3	0.382
0.3	0.1	0.376
	0.2	0.386
	0.3	0.386

表 4 検証データによる各クラスの精度

損傷程度	AP
程度Ⅰ	0.347
程度Ⅱ	0.251
程度Ⅲ	0.337
程度Ⅳ	0.512
程度Ⅴ	0.485

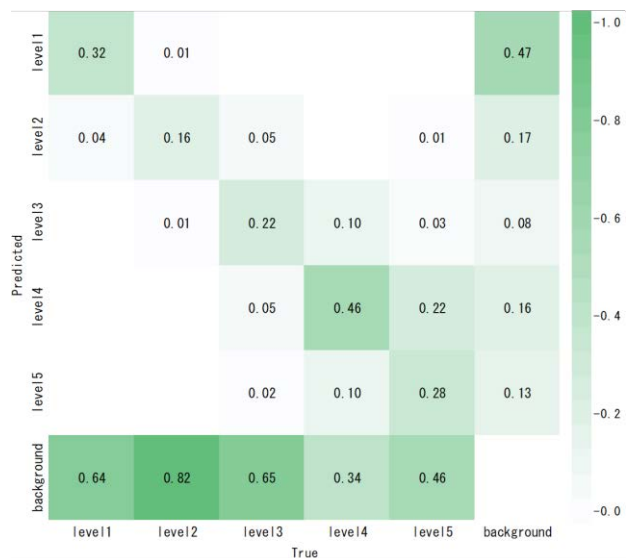


図 5 検証データにおける混同行列

図 6 に正解データおよび推論結果の一例を示す。全体的に、「程度Ⅰ」の小さな被害は多く見落とされていることが分かる。また、右側にある「程度Ⅴ」の被害については、推論結果は、「程度Ⅳ」、「程度Ⅴ」と重複して出力された。小さな損傷箇所の見落としや損傷箇所のクラス分類については課題は残るが、損傷箇所は正しく検出することができた。



図 6 正解データ（上）および推論結果（下）

5. まとめ

本研究では、建物被災写真に Instance Segmentation を適用させることで、建物の外壁を「程度Ⅰ」から「程度Ⅴ」の 5 クラスに自動判別する試みを行った。その結果、以下の成果が得られた。

- 損傷程度が「程度Ⅰ」、「程度Ⅱ」、「程度Ⅲ」、「程度Ⅴ」は誤判別や損傷箇所の見落としが多く、正しく抽出することができなかった。
- 損傷程度が「程度Ⅳ」については、比較的高い精度で抽出することができた。
- 小さな損傷箇所の見落としや損傷程度のクラス分類については課題は残るが、損傷箇所については適切に抽出することができた。

今後の課題として、本研究では学習データ数を十分に集めることができなかったことから、精度向上のために学習データを追加することが求められる。特に、小さな損傷箇所の見落としが多いことから、小さい損傷箇所が抽出することができるよう、ハイパーパラメータの調整が必要となる。本手法を用いることで、損傷箇所の面積も求めることができることから、今後、損傷箇所を定量化する手法の検討を行う必要がある。

謝辞

本研究の一部は、科学研究費補助金（基盤研究（B））「機械学習に適した損傷分類ルール構築と建物被災度評価の自動化手法の開発（研究代表者：田中聡）」、および 2021 年度常葉大学共同研究「ポスト・コロナ時代における建物被害調査・研修のデジタル化手法の開発（研究代表者：田中聡）」の支援によるものである。

参考文献

- 1) 内閣府：災害に係る住家の被害認定基準運用指針, 2021.
- 2) 戸澤謙弥, 劉ウェン, 丸山喜久, 堀江啓, 松岡昌志, 山崎文雄：現地写真を用いた深層学習による地震時の建物全壊判別モデルの構築, 日本地震工学会論文集, 第 21 巻, 第 5 号, pp.27-40, 2021.
- 3) 上岡洋平, 田中聡：深層学習による建物被災写真を用いた建物被害判別モデルの検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.669-670, 2018.
- 4) 戸澤謙弥, 丸山喜久, 劉ウェン：現地写真を用いた深層学習による地震時の建物被災度判別モデルの構築, 千葉大学令和 3 年度修士論文要旨集, pp.028(1)-028(4), 2022.
- 5) 千田紘之, 高橋典之：深層学習を用いた地震被災木造住宅の画像診断システム構築に関する基礎的研究, 日本建築学会構造系論文集, 第 85 巻, 第 770 号, pp.529-538, 2021.
- 6) Joseph Redmon, Santosh Divvala, Ross Girshick, Ali Farhadi: You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection, arXiv:1506.02640, 2015.
- 7) YOLOv5: <https://github.com/ultralytics/yolov5>.
- 8) YOLOv8: <https://github.com/ultralytics/ultralytics>.
- 9) COCO Dataset: <https://cocodataset.org>.
- 10) Labelme: <https://github.com/wkentaro/labelme>.

建物被害認定調査のためのVR研修システムの試作

Development of a prototype of VR training system for building damage assessment

高山裕希¹, 長澤舞², 伊藤綺夏², 牧紀男³, 田中聡⁴
 Yuki TAKAYAMA¹, Mai NAGASAWA², Ayaka ITO², Norio MAKI³
 and Satoshi TANAKA⁴

¹電通 (元京都大学大学院 工学研究科)

Dentsu Inc. (Graduate, Graduate School of Engineering, Kyoto University)

²元 常葉大学社会環境学部

Graduate, Department of Social Environment, Tokoha University

³京都大学防災研究所

Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

⁴常葉大学大学院環境防災研究科

Graduate School of Environment and Disaster Research, Tokoha University

In this study, a VR training system was developed using a game engine that precisely and realistically reproduces a virtual twin of an existing damaged house in order to propose a new approach in the training for building damage assessment. The developed system was tested on local government officials with experience in building damage assessment and evaluated as a training system, and current issues and future development policies were discussed.

Keywords : building damage assessment, VR training system, digital twin, Unreal Engine

1. はじめに

過去の新潟県中越沖地震や東日本大震災などの大規模災害の対応において、建物被害認定調査におけるいくつかの問題点が明らかになっている。そのうちの 하나가、現場で十分な研修を受けていない調査員が建物被害認定作業に従事することにより、判定精度に差異が生じるという問題である。藤生ら⁴⁾によると東日本大震災における被災自治体では、そのうち90%以上が日常的に建物被害認定調査のトレーニングを実施していなかったと言われている。

建物被害認定調査員の育成を目的として、各自治体ではさまざまな研修を実施している。これらのうち多くは、半日から一日の座学による研修である。しかし建築の専門家でない自治体職員にとっては、建物被害認定調査の基本は理解できたとしても、現場での応用問題には対応できない場合がおおい。この課題に対して、体験型研修を取り入れている自治体がある。

中越大震災ネットワークおぢやでは、新潟県小千谷市に現存する実被害建物を用いた実地研修が行われている(図1)。しかし、年間の研修実施回数に限りがある上、定員も限られているため、十分に教育の機会を提供することができていない。また、当該建物は老朽化が進み維持が難しくなっているという課題もある。一方で、被災していない建物を用いた体験型研修も行われている。ただし、損傷箇所を表現するためにマスキングテープなどを用いているため、リアリティに欠ける。また、マスキングテープの色で損傷程度を分けているため損傷程度の判断の研修はできない、などといった課題がある。



図1 小千谷市の実被災建物とその内観

そこで本研究では、建物被害認定調査研修におけるこれらの課題を解決策の一つとして、小千谷市の被災住宅をバーチャルツインとして精密かつ写實的に再現し、ゲームエンジンを活用したVR研修システムを構築した。さらに、VR研修システムをより効果的なものとするために、体験フローの異なる2種類のプロトタイプを作成し、自治体職員に対して試行し、システム評価と改善を行った。

2. VR研修システムの開発プロセス

本研究では、バーチャル空間上に当該住宅の3Dモデルを再現し、HMDを装着した参加者が3DCG空間内を歩き回って損傷箇所の調査を行うことのできる研修システムの構築を目指した。体験のリアリティを担保するために、3Dモデルの制作においては細部の形状とテクスチャの再現度を追求し、ゲームエンジンによるリアルタイムレンダリングでは写實性に拘った。さらに体験価値向上のため、UIの異なる2種類のプロトタイプを構築し、調査員の方々による評価をした上でシステムの改善を行った。なお、検証段階であるため、建物1階内部のみを再現し、損傷箇所を10箇所に限定してCG空間に再現した。

(1) プロトタイプ的设计

まず研修の体験フローが異なる2パターンのプロトタイプを設計した。

〈プロトタイプ① (損傷程度選択画面型)〉

プロトタイプ①の主目的は、被害箇所を漏れなく発見する能力、そして被害程度を正確に判定する能力の向上である。体験者は、レーザーポインターを用いて損傷箇所をクリックする。その後、図2に示すような損傷箇所の被害程度を選択するが表示され、I～Vのうち正答だと思うボタンをクリック入力する。回答が正解の場合は「正解」の文字を、誤答の場合は「残念」という文字と共に、解答の説明を表示する。



図2 プロトタイプ① 損傷程度選択画面型の例

〈プロトタイプ② (損傷程度書き込み型)〉

プロトタイプ②は、図3に示す通り3Dモデル上にコントローラーを用いて描画できる仕組みである。体験者は損傷程度を判断し、その数字を書き込むとともに損傷範囲を線で囲む。プロトタイプ①との違いは、体験者が損傷範囲を適切に捉える訓練を行うことにある。また、研修の流れを止めることなく実体験に近い損傷程度の評価を行うことができる。



図3 プロトタイプ② 損傷程度書き込み型の例

(2) 3Dモデルの制作

3DモデリングソフトウェアBlenderを用い、図面と実写真を基に3Dモデル及びマテリアルを製作した。さらに、Unreal Engine 5.1 (Epic Games社製)を用い、VR研修システムとして実装した。

まず、建物の被害箇所について、図面と実写真を照合し、それらの実物写真を元に損傷箇所をCGで再現した。

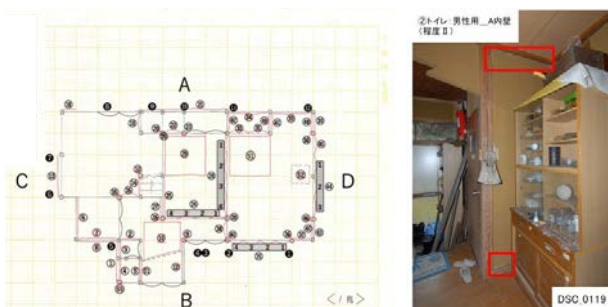


図4 図面と実写真との照合

次に、今回のプロジェクトでは3DCGモデルの写実的表現が重要となるため、損傷箇所も可能な限り忠実に再現する必要がある。図5に実際の写真例、UE5.1での再現例を

示している。損傷箇所の再現方法は大きく2つに分けられる。1つ目はマテリアルによる表現、2つ目はメッシュ形状による表現である。ひび割れや局所的な剥離の表現はマテリアルによって表現した。一方、内壁の大規模なひび割れや剥離（主に程度IV～V）などは、モデリングによるメッシュ形状の変形によって表現した。



図5 損傷箇所のCG再現例 (左:写真、右:CG)



図6 3Dモデルによる内観パース

3. 建物被害調査経験のある自治体職員によるプロトタイプシステムの評価

2022年1月11日に新潟県小千谷市役所において、小千谷市危機管理課で建物被害認定調査の実務経験が豊富な職員4名の協力を得て、プロトタイプの実験を実施した。



図7 小千谷市におけるテストの様子

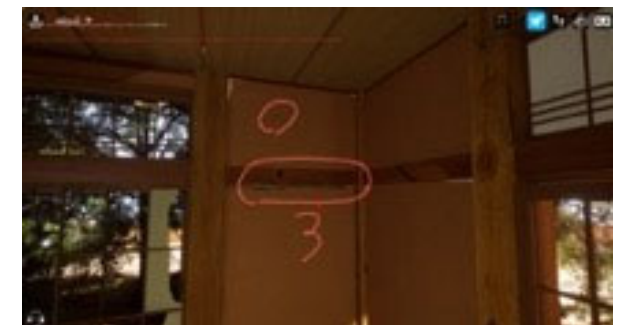


図8 被験者の実際のプレイ画面

テストの後に約1時間に渡ってVR研修の改善点について聞き取り調査を行った。さらにその後1月18日にアンケート調査票をメールにて送付し、1月20日に4件の回答を頂いた。

(1) 聞き取り調査の結果

VRテストの直後に、被験者の方々へ聞き取り調査を行った。トピックはVR研修システムの改善点についてである。調査の結果、「損傷を発見する能力」よりも「損傷程度の判定を行う能力」及び「損傷の範囲を適切に捉える能力」が重視されていることが判明した。そのため研修システムとしては、プロトタイプ②に優位性があることが示された。また、プロトタイプ②では、実際に被験者が書き込んだ損傷範囲と損傷程度の判定をもとに、判定が微妙な箇所について、体験終了後に講師や他の体験者とディスカッションを行うことができるという利点もあることが明らかになった。

(2) 事後アンケート調査の結果

事後アンケートは、以下の質問項目について、自由記述で回答を依頼した。

- 1) VR研修を体験した率直なご感想をお聞かせください。(良かった/悪かった点など)
- 2) VR研修は実際の研修として導入に値すると思えますか?その理由があれば、お聞かせください
- 3) 以下の 7 項目以外に改善して欲しい点があればご教示ください。
 - ① 損傷箇所に色をつけるなどして正解を表示して欲しい
 - ② 被害程度の例示図を VR 上に表示して欲しい
 - ③ 損傷箇所を枠で囲う機能を追加して欲しい
 - ④ ワープ機能による移動ではなくスティックによる連続した移動操作に変更して欲しい
 - ⑤ 完全に内壁が剥がれ落ちている箇所は、床にそのがれきを再現して分かりやすくして欲しい
 - ⑥ 被害箇所をプレイ中に矢印などで指示して欲しい
 - ⑦ 内壁だけでなく、柱や天井、床などその他の箇所の損傷も追加して欲しい

これらの聞き取り、ならびにアンケートの結果をもとにVR研修のメリットを整理すると以下のようにまとめられる。

- ・ 実地研修の事前講習で活用することで説明時間の短縮がはかれる。
- ・ CGモデルや損傷再現にリアル感があり映像も鮮明であり、他の研修に比べて実地での評価作業に限りなく近い感覚が得られる。
- ・ 調査員の調査レベルの均一化、調査要領の習得などをそれぞれの自治体レベルで行うことができる。
- ・ VR研修を体験することで実地研修に行く前にその雰囲気を知ることができる。
- ・ HMDの視界映像をプロジェクター投影することで、体験者の視点を他人と共有することができる。

さらに、「VR研修は実際の研修として導入に値すると思うか?」という問いに対しては被験者4名全員から「非常にそう思う」との回答を得ることができた。本評価では、VR研修システムが研修として有用なものとなる可能

性が示唆された。

(3) システムの改善点

ヒアリング調査及びアンケート調査の結果を元に表2に改善点を整理した。改善点を「ビジュアル」「機能」「操作性」の3つに分類し、改善点にはナンバリングを行った。調査の結果として、「損傷を発見する能力」よりも「損傷程度の判定を行う能力」及び「損傷の範囲を適切に捉える能力」が重視されていることが判明したため、プロトタイプ②を軸とした改善を行う。

表 1 システムの改善点のまとめ

項目	番号	改善内容
ビジュアル	①	被害程度Vの箇所完全に内壁が剥がれ落ちている箇所は、床にそのがれきを再現することで実際の被害との整合性を保つ。
	②	建物外部を再現する。
	③	内壁だけでなく、柱や床、天井などその他の箇所の損傷を再現する。
機能	④	被害箇所を指し示す矢印を空間に追加する。また、ボタンによる表示/非表示の切り替えを行える機能を実装する
	⑤	被害箇所を四角形の枠で囲む機能を実装する。
	⑥	被害箇所の色を変えることで、損傷程度判定の正解を表示する機能を追加する。
	⑦	被害程度の例示図をVR空間上に表示する。
	⑧	家屋平面図をVR空間上に表示する。
	⑨	作業時間を表示するストップウォッチ機能を追加する
	⑩	各部位を見たことをチェック出来るマーカー機能を追加する。
操作性	⑪	ワープ機能ではなくスティックによる移動操作に変更する。これによりワープ機能ボタンと線を書き込むボタンの押し間違えは解消される。

4. システムの改修

前節で整理した改修点に基づき、改修の方向性を検討した。現時点において解決可能な改修を整理し、最終的には、**②⑤⑨⑩**を除いた全7項目について改修した。以下に改修の例を示す。

改修点①

blender の破壊シミュレーションによって瓦礫を生成した(図9)。UE5に取り込んだのち、マテリアル及びピカールの適用によって細部の質感付けを行い、内壁のがれきを再現した(図10)。

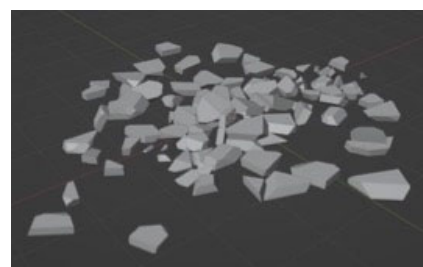


図9 瓦礫の生成



図10 内壁の瓦礫の再現

改修点③

マテリアルまたはモデリングによって柱や天井の損傷箇所を再現した。図1 1に示すCG再現では、モデリングによるメッシュ変形を行った(図1 1)。



図1 1 天井板の歪みの再現例

改修点④

blenderで矢印の形状の3Dモデルを作成した。その後、UE5にインポートしてマテリアルを適用、そして各損傷箇所付近に矢印オブジェクトを配置した(図1 2)。



図1 2 損傷箇所を示す矢印の空間配置

5. まとめ

本研究ではゲームエンジンを用いてVR研修システムのプロトタイプを構築し、自治体職員による評価及びシステムの改善を行った。まず、新潟県小千谷市に現存する実被災住宅のデジタルツインを構築するために、3Dモデリングソフトウェアで3Dモデルを構築し、ゲームエンジンを用いてVR研修システムを開発した。プロトタイプシステムの開発にあたっては、2種類の研修フローを作成し、自治体職員に対して試行テストを実施した。試行テスト終了後、ヒアリング及びアンケート調査を実施し、プロトタイプの評価を行った。その結果、VR研修が他の研修と比較して実地研修に近い感覚で行えるという評価が得られ、実際に研修として有効活用される可能性を見出すことが出来た。また、現場では損傷の発見よりも損傷程度及び損傷範囲の判定が重視されていることが判明したため、プロトタイプ②を軸としたシステム改修をおこなった。

6. 今後の課題および展望

現状では被災家屋を1軒のみCG再現しているが、学習者のアウトプットの機会としては不十分であると考えられる。実際の現場では、地域や建物構造によって被害箇所

や被害程度にはバラつきが存在し、調査員は限られた時間の中で絶対評価を行わなければならない。さらに地震被害だけでなく、風害や水害といった他の自然災害によっても被害の様相は変化する。そこで様々な被害状況下の建物を3DCGアセットとして整備し、VR上で調査を体験することができるようになれば、建物被害認定調査における経験値を疑似的に積むことができる。しかし、3DCGモデルの制作には人的コストが発生してしまう。

そこで、建物3Dモデルのアセット制作に活用が期待される技術としてLiDARスキャンやフォトグラメトリが挙げられる。また、近年ではテキストから3Dモデルを自動生成するAIサービスも発展を続けており、これらの技術が活用される日もそう遠くはないと思われる。

本研究は、実地研修の代替もしくは上位互換となる研修システムの構築を目指しているため、活用するXR技術はVRに留まらない。今後は、VRだけでなくARについても同時並行で検証し、それぞれのメリットデメリットを整理していく必要があると考えている。

参考文献

- 1) 重川希志依、田中聡、堀江啓、林春男(2005)「新潟県中越地震における建物被害認定調査の現状と課題」『地域安全学会論文集』(7)p133-140
- 2) 田中聡(2007)「2007年新潟県中越沖地震における建物被害認定調査プロセスに関する考察：柏崎市における再調査の事例」『地域安全学会梗概集』(22)p35-38
- 3) 堀江啓、重川希志依、牧紀男、田中聡、林春男(2005)「新潟県中越地震における被害認定調査・訓練システムの実践的検証ー小千谷市のり災証明書発行業務への適用ー」『地域安全学会論文集』(7)p123-132
- 4) 藤生 慎、沼田 宗純、大原 美保、目黒 公郎(2013)「東日本大震災における建物被害認定調査の実態に関する分析」『社会技術研究論文集』(10)p96-105

謝辞

本研究の一部は、科学研究費補助金(基盤研究(B))「機械学習に適した損傷分類ルールの構築と建物被災度評価の自動化手法の開発(研究代表者:田中聡)」、および2021年度常葉大学共同研究「ポスト・コロナ時代における建物被害調査・研修のデジタル化手法の開発(研究代表者:田中聡)」による。

流量の違いを考慮した土石流シミュレーションによる 土砂高さや建物被害分布の変化の分析

Analysis of Changes in Flow Depths and Building Damage Distributions by Debris Flow Simulations with Different Flow Volumes

○橋本 裕輝¹, 三浦 弘之¹
Yuki HASHIMOTO¹ and Hiroyuki MIURA¹

¹ 広島大学 大学院先進理工系科学研究科

Graduate School of Advanced Science and Engineering, Hiroshima University

In this study, debris flow simulations using HyperKANAKO were conducted for seven warning areas in the central part of Kure City, Hiroshima Prefecture. Using the amount of sediment and water runoff based on the results of a prefectural basic survey as the basic case, differences in debris flow inundation areas and debris flow depths were evaluated by increasing the flow volumes by a factor of 2 and 4. We also apply the building fragility function to the debris flow depths to estimate the distribution of building damage for each case, and analyze the changes in damage distribution and the number of buildings due to the different flow volumes.

Keywords : Debris flow, Building damage, Flow volume, HyperKANAKO

1. はじめに

日本では豪雨による土砂災害被害が数多く発生している。土砂災害に対するソフト対策のひとつとして、土砂災害警戒区域（以下、警戒区域）の指定があり¹、ハザードマップ等に利用されている。土砂災害警戒区域とは、急傾斜地の崩壊等が発生した場合には住民等の生命又は身体に危害が生ずるおそれがあると認められる土地の区域で、当該区域における土砂災害を防止するために警戒避難体制を特に整備すべき土地の区域のことである。また警戒区域のうち、急傾斜地の崩壊等が発生した場合には建築物に損壊が生じ住民等の生命又は身体に著しい危害が生ずるおそれがあると認められる土地の区域を土砂災害特別警戒区域と指定される。しかし、2014年8月に広島で発生した豪雨災害では、基礎調査調書で想定された土砂量の4倍を超える量の土砂が流出した²。このため、大規模な土砂災害が発生した場合には警戒区域よりも広い範囲で土砂が氾濫する可能性がある。

本研究では、広島県呉市中心部の警戒区域7ヶ所を対象として、基礎調査資料に記載されている土砂量などの数値を基に土石流シミュレーションを行い、土石流高さや土砂氾濫域を推定する。また、推定された土石流高さや建物被害関数を用いて、警戒区域内外の建物の被害発生確率を推定する。さらに、基礎調査資料による土砂流量を基本ケースとし、流量を2倍、4倍と変化させることで、土砂氾濫域や土石流高さ、建物被害分布の変化を評価した。

2. 対象地域と使用するデータ

本研究では、広島県呉市中心部の土砂災害警戒区域7ヶ所を対象とした。この地域では、1945年9月枕崎台風において、土砂災害および河川の氾濫により甚大な被害が発生した箇所である³。2018年西日本豪雨災害では、大きな土砂災害は発生していないが、降雨の状況によっては今後甚大な土石流災害が再度発生するおそれが高い

ものと考えられる。解析では、広島県による基礎調査資料、警戒区域のポリゴンデータ⁴、国土地理院による5mメッシュDEMおよび建物ポリゴンデータ⁵を使用した。後述する土石流シミュレーションに必要な流出土砂量や水量、土石流濃度等の詳細な情報に関しては、基礎調査資料に記載されている値を使用した。

3. HyperKANAKOによる土石流シミュレーション

本研究では、土石流シミュレーションとしてHyperKANAKO⁶を用いた。HyperKANAKOでは、航空レーザ測量などで得られた高解像度な数値標高モデル（DEM）と計算に必要な土石流に関するパラメータを与え、上流の崩壊箇所付近における急峻な谷部では格子法による二次元計算、土石流が流出・氾濫する下流側の谷出口などの緩勾配の範囲では二次元計算することにより、土石流による土砂氾濫域や土石流高さを求めることができる。

計算では、対象地域の基礎調査資料から、土石流の総流量、土砂密度、土石流ピーク流量、マニング係数等を設定した。シミュレーション計算に用いた主なパラメータを表1に示す。その他のパラメータについては、HyperKANAKOで設定されている標準的な値を使用した。土砂と水の流量の経時変化を表すハイドログラフについては、基礎調査資料に記載されている総流量とピーク流量から流量の供給時間を算出し、崩壊開始から供給時間の半分までは単調増加、それ以降は単調減少で、経時変化が三角形になるような値で設定した。ハイドログラフの一例を図1に示す。上記パラメータによるシミュレーション結果を図2に示す。

また、基礎調査資料に記載された土砂と水の総量の値を基本ケースとし、総量が2倍、4倍になる場合も計算した（図3、4）。この場合、ハイドログラフは、供給時間は変化させずピーク流量の値を2倍、4倍とすることで計算を行った。シミュレーションの結果から、土石流が流れる経路は線状となっているが、これは対象地域の住宅

表1 シミュレーションに用いた主なパラメータ

砂礫(小粒径粒子)の密度 σ	2600 kg/m ³
水の密度 ρ	1200 kg/m ³
河床の容積濃度	0.6
マンニングの粗度係数	0.1
シミュレート時間(秒)	4500s
砂の内部摩擦角(度)	35°

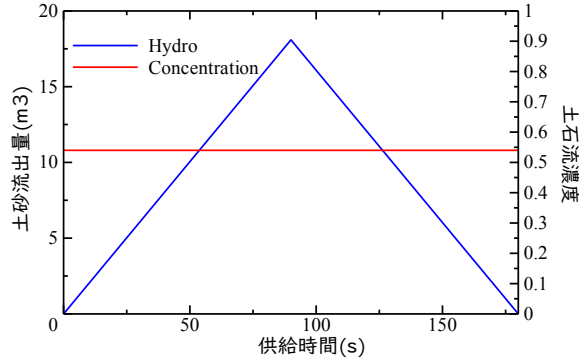


図1 ハイドログラフの例

地では幅5~10m程度の小規模な溪流が存在し、土石流は主にそこを流れて下流へ流れるためである。各ケースにおける最大土石流高さが基本ケースでは2.8m、2倍の時は3.3m、4倍の時は4.3mであることが分かった。また、対象地域における複数の地点での基本ケースに対する各ケースの土石流高さの関係を図5に示す。この図から、流量を2倍としたケースでは、土石流高さは基本ケースと比べて高さが0.5m程度までは2~4倍となる地点が多く、それ以上の高さの場合は1~2倍の範囲となる点が多かった。また、総量4倍のケースでは高さが0.5m程度までは高さも4倍前後となる地点が多いが、それ以上の高さの場合、2~4倍の範囲となる点が多かった。つまり、考慮する流量と土石流高さは、全体としては比例の関係がみられるが、地点によってはバラツキが生じることがわかった。

4. 土石流による建物被害分布の推定

各ケースに対する土石流シミュレーション結果に対して、GIS上で建物ポリゴンを重ねて表示させ、各建物の接するメッシュのうち、土石流高さが最大となるものを、その建物に作用する土石流高さとして各建物に与えた。土石流高さはごくわずかであるが、計算上土砂が到達しているものは高さ0.001mとした。各計算ケースにおける土石流高さと建物に到達する土石流高さの棟数を表2に示す。流量が多くなるほど、土砂が到達する建物数は増える。土石流高さ0.8m以上となる建物数に注目すると、基本ケースと比較して総流量が2倍のケースでは約3倍、4倍ケースでは約6倍になることがわかった。

土石流高さが高くなると、建物に襲来する土砂量が多くなるため、建物に被害が生じる可能性が高くなる。一般に、土石流高さが高くなると、建物に襲来する土砂量が多くなるため、建物に被害が生じる可能性が高まる。土石流高さと建物の被害発生割合の関係については、筆者らの既往の研究⁷⁾で検討している。これによると、一般的な2階建て木造住宅の場合、土石流高さが70cm以下であれば被害が発生する割合は低く、1mを越えると被害が発生割合が高くなる傾向がみられた。この傾向は、

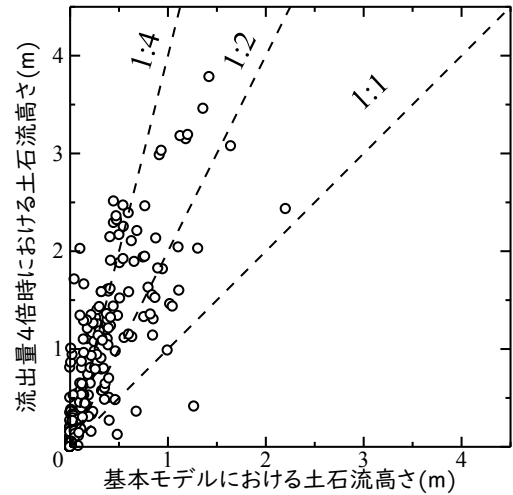
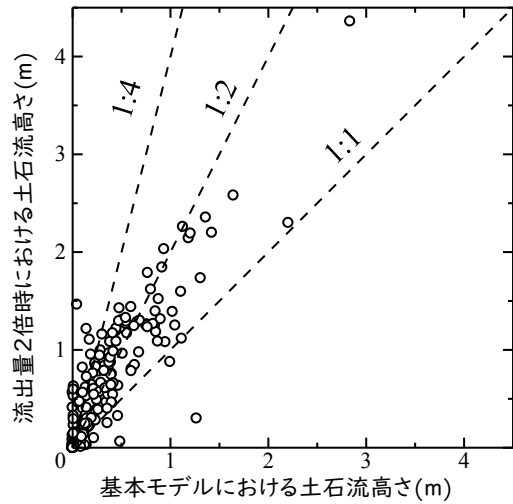


図5 各ケースにおける土石流高さの相関関係

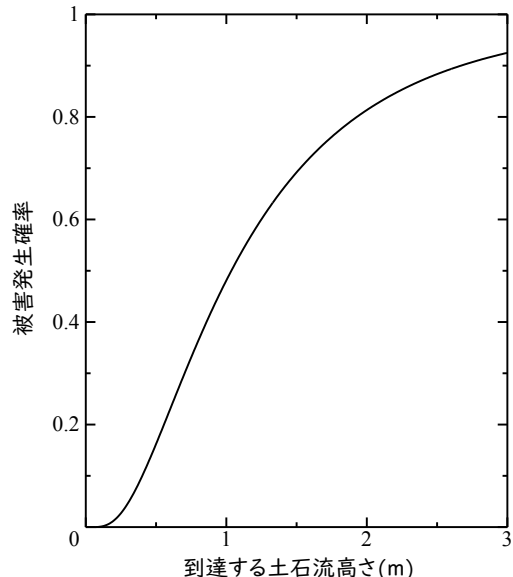


図6 使用した建物被害関数⁸⁾

2011年東日本大震災での津波による津波高さと建物の大破率の関係⁸⁾と非常に近いことが指摘されている。このため、本研究では文献⁸⁾による木造2階建ての建物に対する津波被害関数(図6)を用いて、土石流高さに対する被害発生確率を推定した。

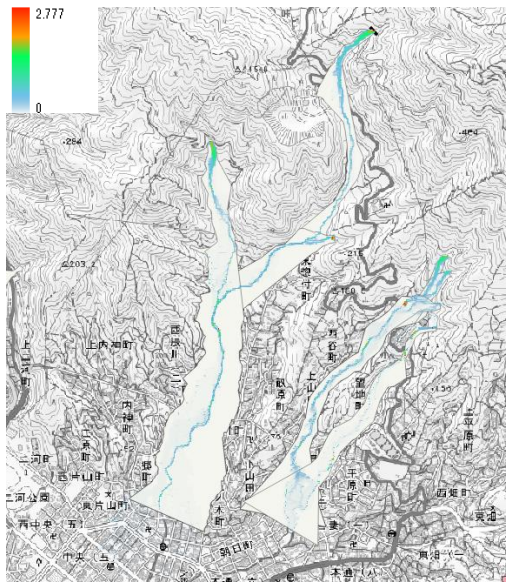


図2 基本モデルにおける土石流高さ (m)

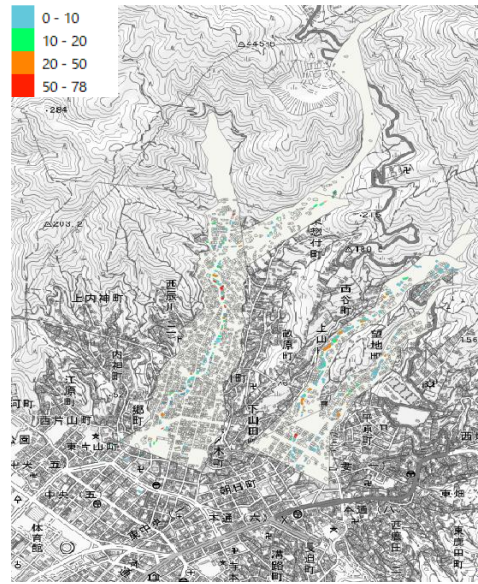


図7 基本モデルにおける建物大破率 (%)

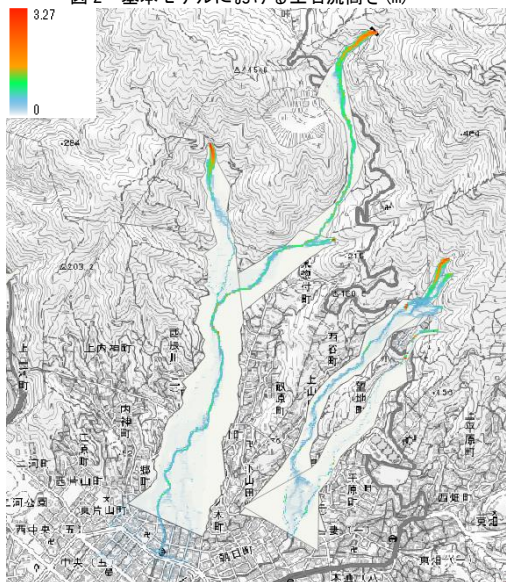


図3 流出土砂量2倍時の土石流高さ (m)

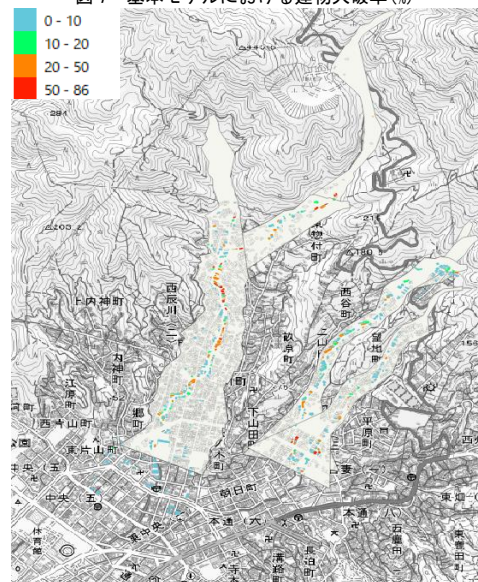


図8 流出土砂量2倍時の建物大破率 (%)

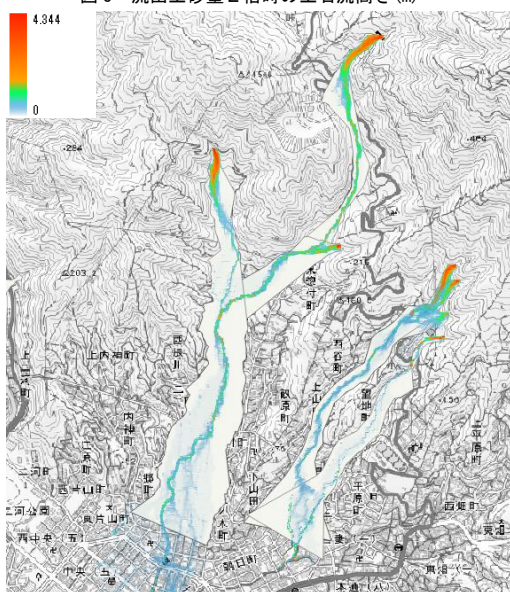


図4 流出土砂量4倍時の土石流高さ (m)

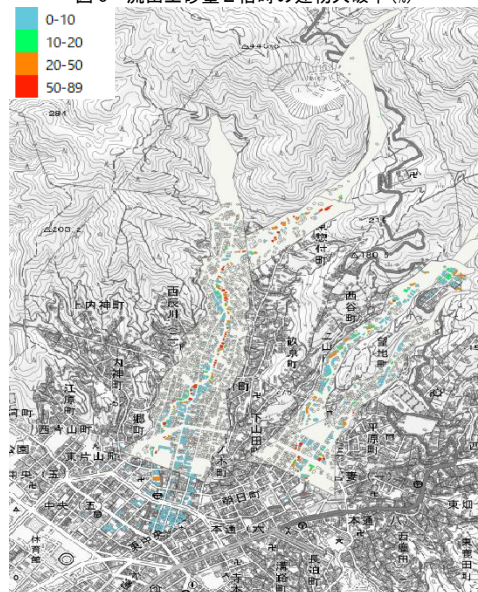


図9 流出土砂量4倍時の建物大破率 (%)

表2 各モデルにおける建物に到達する土石流高さ別棟数

	基本 ケース	2倍 ケース	4倍 ケース
～0.2m	2,454棟	3,190棟	3,246棟
0.2～0.4m	127棟	192棟	328棟
0.4～0.8m	92棟	164棟	236棟
0.8m～	34棟	93棟	189棟

表3 各モデルにおける建物大破確率別棟数

	基本 ケース	2倍 ケース	4倍 ケース
～10%	248棟	444棟	848棟
10～20%	86棟	104棟	123棟
20～50%	51棟	129棟	198棟
50%～	28棟	49棟	117棟

各建物ポリゴンに与えられた土石流高さと被害関数を用いて、各建物の被害発生確率を算出した。推定した建物被害分布を図7～9に示す。被害が発生する可能性の高い建物は、前述したように土石流の主な通り道である溪流近傍の建物である。基本ケースでは、被害が発生する可能性がある建物は、警戒区域内に分布するが、流量が多いケースでは、警戒区域の外側の建物にまで影響が及ぶ可能性があることがわかる。

各被害確率毎の建物棟数を表3に示す。被害発生確率が20%以上となる建物数に注目すると、基本ケースと比較して流量2倍ケースでは被害棟数は約2倍、4倍ケースでは約4倍となることがわかった。

5. 結論

本研究では、広島県による基礎調査資料と土石流高さを推定できるシミュレーション HyperKANAKO を用いて、呉市中心部における警戒区域を対象として、土石流シミュレーションを行い、土石流高さ分布の把握およびそれに基づく建物被害確率の推定を行った。その結果、基本ケースにおいて被害発生率が50%以上の建物が約30棟あることがわかった。また、総流出量を基本ケースの2倍、4倍と変化させることで、土砂氾濫域や土石流高さがどのように変化するのか検討した。その結果、土石流高さに関しては、総流量が2倍の時は土石流高さが1～2倍の高さになり、4倍の時は2～4倍の高さになることがわかった。建物被害に関しては、被害発生確率が20%以上の棟数に注目すると、基本ケースと比較して総流量が2倍のケースでは約2倍の被害棟数、4倍のケースでは約4倍の被害棟数となることがわかった。

謝辞

基礎調査の資料は、広島県土木建築局から提供いただいた。記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 土砂災害警戒区域等における土砂災害防止対策の推進に関する法律, <https://elaws.e-gov.go.jp/document?lawid=412AC0000000057>.
- 2) 土木学会・地盤工学会：平成26年広島豪雨災害合同緊急調査団調査報告書, 296p, 2014, <https://committees.jsce.or.jp/report/node/74>
- 3) 広島県土木部砂防課：昭和20年9月17日における呉市の水害について, 1951.
- 4) 土砂災害ポータルひろしま, <https://www.sabo.pref.hiroshima.lg.jp/portal/top.aspx>
- 5) 国土地理院：基盤地図情報ダウンロードサービス, <https://fgd.gsi.go.jp/download/menu.php>
- 6) 堀内成郎, 岩浪英二, 中谷加奈, 里深好文, 水山高久：LPデータを活用した土石流シミュレーションシステム「Hyper KANAKO」の開発, 砂防学会誌, Vol.64, No.6, pp.25-31, 2012.
- 7) 三浦弘之, 白川隼也：土石流高さに注目した数値解析に基づく木造家屋の倒壊危険度評価, 地域安全学会論文集, Vol.39, pp.73-79, 2021.
- 8) Suppasri, A., Mas, E., Charvet, I., Gunasekera, R., Imai, K., Fukutami, Y., Abe, Y., Imamura, F.: Building damage characteristics based on surveyed data and fragility curves of the 2011 Great East Japan tsunami, *Natural Hazards*, Vol.66, pp.319-341, 2013.

近年の気象災害時のライフラインの被害と影響に関する調査分析 Survey of Damage and Impact of Lifelines During Recent Weather-related Disasters

○永田 茂¹
Shigeru NAGATA

¹国立研究開発法人防災科学技術研究所 災害過程研究部門

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

As a basic study to develop a method for estimating damage to facilities and the period of functional disruption of electric power, water and sewage systems in the event of a weather-related disaster, we surveyed and analyzed the occurrence and causes of damage to facilities and the number of days of functional disruption for 47 weather-related disasters since 2000. From the survey data, we confirmed that approximately 70% of power outages occur within one day, 80% of water outages occur within seven days, and 80% of sewage system failures occur within five days. It was also found that functional disruption was caused by damage to lifeline facilities due to flooding, rising water, landslides, road collapses and bridge spills caused by rainfall. These results confirm the necessity of considering wind and rain information in estimating damage to facilities and the period of functional disruption of electric power, water and sewage facilities.

Keywords : weather disaster, electric power, water and sewer services, facility damage, period of functional inability

1. はじめに

過去の災害時にはライフラインの被害情報や復旧情報に対する関心が集まっており、特に復旧情報は、復旧初期段階の社会経済活動の指標となることから、ライフライン事業者、自治体から多くの情報提供が行われるようになってきている。

一方、ライフライン防災の研究では、発災前から発災後の復旧段階における課題の抽出と改善策の検討に資することを目的として、被害予測や復旧予測手法に関する研究が行われている。特に地震災害を対象として数多くの研究が行われ¹⁾、事前対策や初動対応計画策定などにおいて成果の活用が進みつつある。一方、近年、多発化・激甚化する傾向にある気象災害を対象としたライフラインの被害や影響の評価・分析、さらに予測に関する研究は限定的であり^{2), 3)}、今後さらに研究を進める必要がある分野と考える。

本報告では、国の機関や自治体、ライフライン事業者による公開資料を調査・分析することにより、気象災害による電力、上下水道の被害発生状況と停電・断水・下水道機能支障に代表される影響の実態を把握し、今後の被害・影響予測のための基礎分析を行った。

2. ライフラインの被害・影響データの収集

過去 20 年程度の気象災害における電力、上下水道の被害と影響を把握するため、内閣府⁴⁾、経済産業省⁵⁾、厚生労働省⁶⁾、国土交通省⁷⁾、自治体、ライフライン事業者の公開情報をもとに機能支障の発生及び復旧日時（機能支障日数）、被害状況、影響戸数などの情報を収集・整理した。収集した気象災害事象は 47 事象、被害や影響が発生した自治体数としては、電力は 306 自治体(県単位の事象)、上水道は 695 自治体(市町村単位の事象)、下水道は 167 自治体(市町村単位の事象)である。

表-1 には収集した気象災害事象のリストとライフラインの被害・影響を収集した自治体数を示しており、図-1

には表-1 のデータを図示した。これらの図表に示すように、2019 年台風第 19 号、2018 年 7 月豪雨、2022 年台風第 14 号、2020 年 7 月豪雨などにおいてデータ収集した自治体数が多くなっている。

表-1 調査対象の気象災害事象の一覧表

気象災害名称	ライフラインの被害影響事象を調査した自治体数			
	電力 (停電)	上水道 (断水)	下水道 (支障)	合計
2000年秋雨前線と台風14号に伴う大雨			2	2
2006年台風第13号		9		9
2007年台風第5号	6			6
2007年台風第9号		34		34
2011年新潟県・福島県等における大雨	11	2		13
2012年7月11日からの大雨	19			19
2012年台風第17号	18			18
2013年台風第18号	43			43
2013年台風第26号	17			17
2013年梅雨期等における大雨	39			39
2014年8月19日からの広島県の大雨	5			5
2014年台風第11号	27			27
2014年台風第12号	13			13
2015年台風第18号	13			13
2016年6月20日からの西日本の大雨			2	2
2016年台風10号			4	4
2016年台風第11号及び第9号			3	3
2017年7月22日からの梅雨前線に伴う大	5	3		8
2017年7月九州北部豪雨	6			6
2017年台風第18号			1	1
2017年台風第21号			2	2
2018年7月豪雨	31	80	23	134
2018年台風第21号	42		8	50
2018年台風第24号			2	2
2018年台風第7号	4			4
2019年梅雨前線に伴う大雨	4			4
2019年6月下旬からの大雨	3		1	4
2019年8月の前線に伴う大雨	2	9		11
2019年台風第10号	27			27
2019年台風第13号	1			1
2019年台風第15号	8	39	2	49
2019年台風第17号	16	2		18
2019年台風第19号	36	117	77	230
2019年台風第8号	3			3
2019年台風第9号	1			1
2020年12月16日からの大雪	11			11
2020年7月豪雨	10	48	16	74
2020年台風第10号	17	16		33
2021年12月25日からの大雪	6			6
2021年1月7日からの大雪	9			9
2021年7月1日からの大雨	1	12	1	14
2021年8月の大雨	26	26	4	56
2022年8月3日からの大雨	7	27	8	42
2022年台風第11号	10			10
2022年台風第14号	30	41	5	76
2022年台風第15号	1	7		8
2022年低気圧や前線による大雨	6		1	7
合計	306	695	167	1168

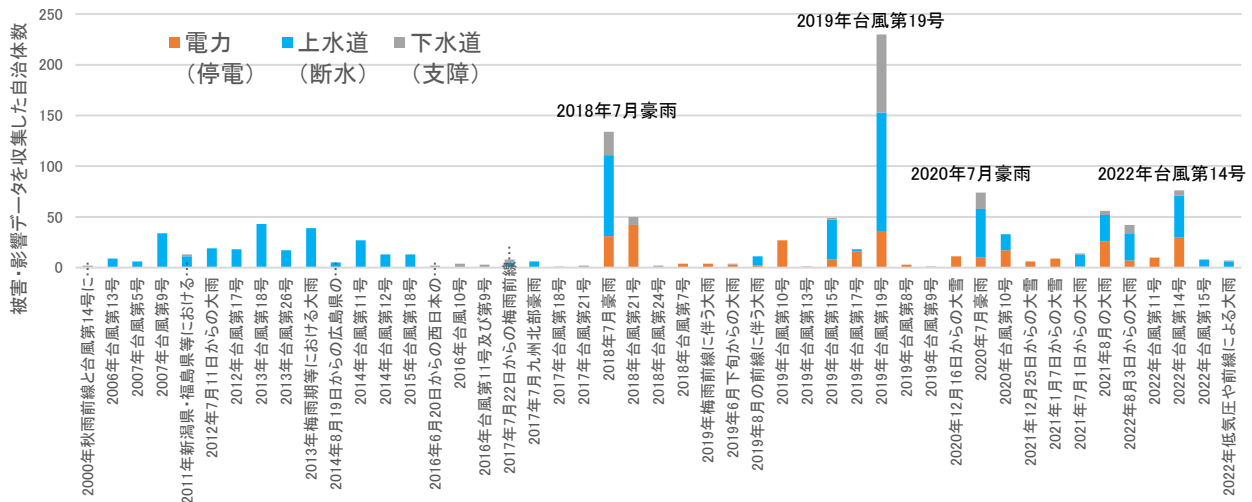


図-1 気象災害事象ごとの電力、上下水道の被害・影響を調査した自治体数

3. 気象災害によるライフラインの被害・影響

収集したデータをもとに気象災害時における電力、上下水道の被害状況と影響である停電、断水及び下水機能支障日数の基礎的な統計分析結果を示す。

(1) 電力

電力の被害・影響を取りまとめた2018年以降のデータでは、図-2に示すように10日以上停電が発生したのは2019年台風第15号の千葉県、2019年台風第19号の宮城県・福島県、2020年7月豪雨の熊本県、2022年8月の大雨の新潟県の4つの気象災害事象であった。また、図-3には、電力について被害・影響が発生した事象の停電日数の頻度及び累積頻度を示したが、約70%が1日以内で、約90%が4日以内であった。

表-2には、停電発生の原因となった施設被害の発生件数及び停電日数の平均値を示したが、今回の調査では、停電の原因となった施設被害や施設の被害発生原因について詳細不明のデータが多いことに加え、都道府県単位の調査のため、複数の施設被害や施設被害の発生原因が混在したため、さらに調査を必要とする。

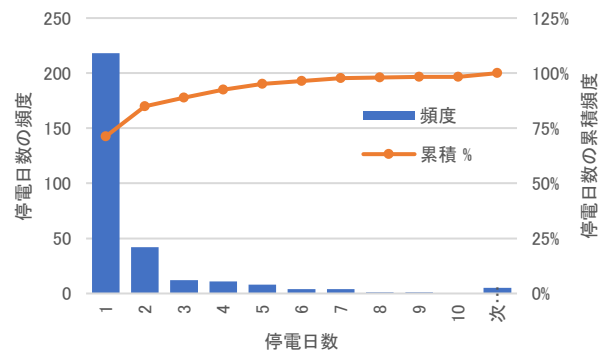


図-3 停電日数の頻度及び累積頻度

表-2 停電の発生に影響を与えた施設被害（数値は被害件数、（）内は平均停電日数）

被害施設	被害発生件数（平均停電日数）
変電設備	1 (1)
変電設備・配電設備	15 (3.8)
送電設備	2 (1.5)
配電設備	170 (2)
詳細不明	118 (1.7)
総計	306 (2)

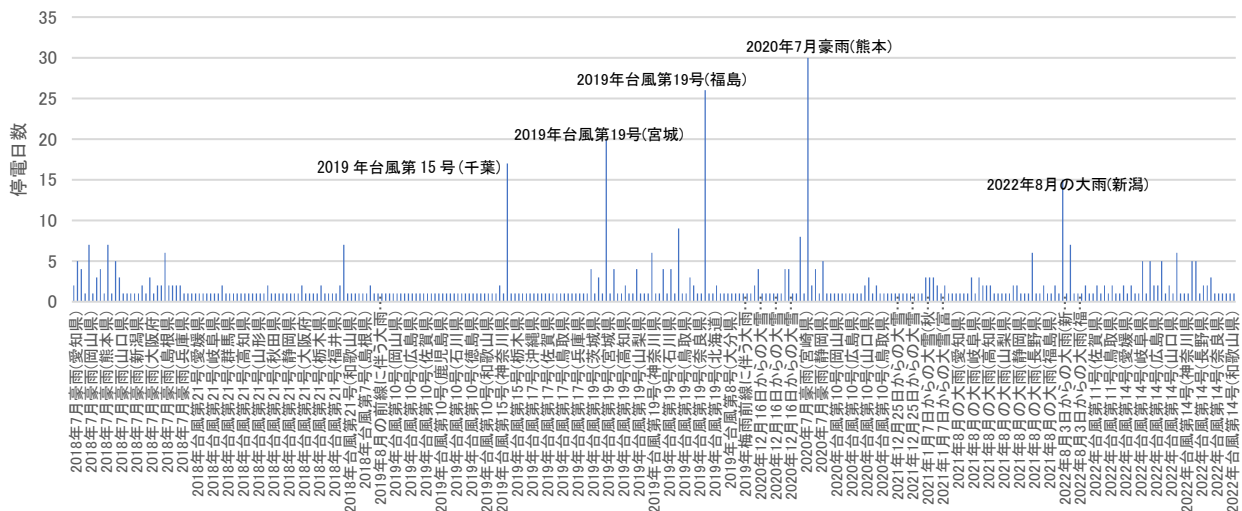


図-2 気象災害事象ごとの停電日数

(2) 上水道

上水道の被害・影響を調査した2006年以降のデータでは、図-4に示すように30日以上断水が発生したのは2011年8月新潟・福島豪雨の新潟県内と福島県内、2014年8月豪雨の広島市、2018年7月豪雨の宇和島市と広島市、2020年7月豪雨の八代市の5つの事象であった。

図-5には、上水道について被害・影響が発生した事象の断水日数の頻度及び累積頻度を示しており、断水日数の約80%が7日以内、約90%が2週間以内であった。

断水発生の原因となった施設被害と施設被害の発生原因について被害発生件数及び機能支障日数のクロス集計表を表-3に示した。断水の原因となった施設は送水・配水・給水施設が最も多く、次いで取水・導水施設、浄水場となっている。なお、浄水場などの主な被害発生原因は浸水・増水であり、取水・導水施設、送水・配水・給水施設などは浸水・増水、土砂崩壊などである。施設被害は無いが停電による断水も多数発生している。また、施設被害が発生した場合の断水日数の平均値は、浄水場などが11.5日、取水・導水施設などが5.2日、送水・配水・給水施設が4.7日となり、浄水場などの被害によって断水日数が長期化する傾向が確認できた。施設被害は無いが停電が原因で断水が発生した場合の平均断水日数は3.1日であった。

これらの基礎的分析から上水道の被害や機能支障日数に関しては、気象災害発生時の降雨量の把握が重要と考

える。

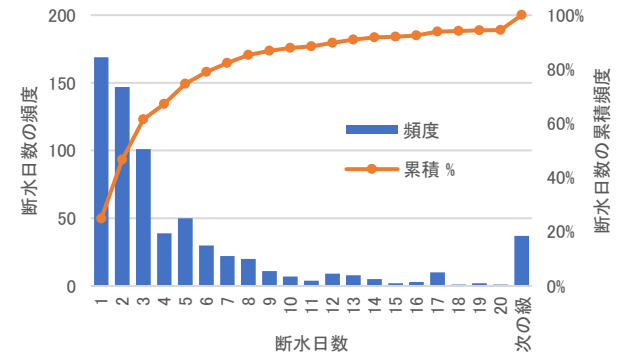


図-5 断水日数の頻度及び累積頻度

表-3 断水の発生に影響を与えた施設被害と被害発生原因 (数値は被害件数, () 内は平均断水日数)

被害施設	被害原因	浸水・増水など	土砂崩壊など	倒木	停電	用水供給停止	濁度	詳細不明	総計
取水・導水施設など		47(5.7)	21(4)	0(0)	6(5.5)	0(0)	0(0)	31(5.2)	105(5.2)
浄水施設など		38(12.1)	4(8.3)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	1(2)	43(11.5)
送水・配水・給水施設		53(5.1)	61(5.2)	2(1.5)	6(3.3)	0(0)	0(0)	171(4.5)	293(4.7)
詳細不明		2(8)	0(0)	0(0)	19(21.5)	0(0)	0(0)	59(5.9)	80(10.2)
施設被害なし		28(2.9)	1(3)	0(0)	123(3.1)	14(4.4)	6(2)	2(1)	174(3.1)
総計		168(6.6)	87(5)	2(1.5)	154(5.5)	14(4.4)	6(2)	264(4.8)	695(5.4)

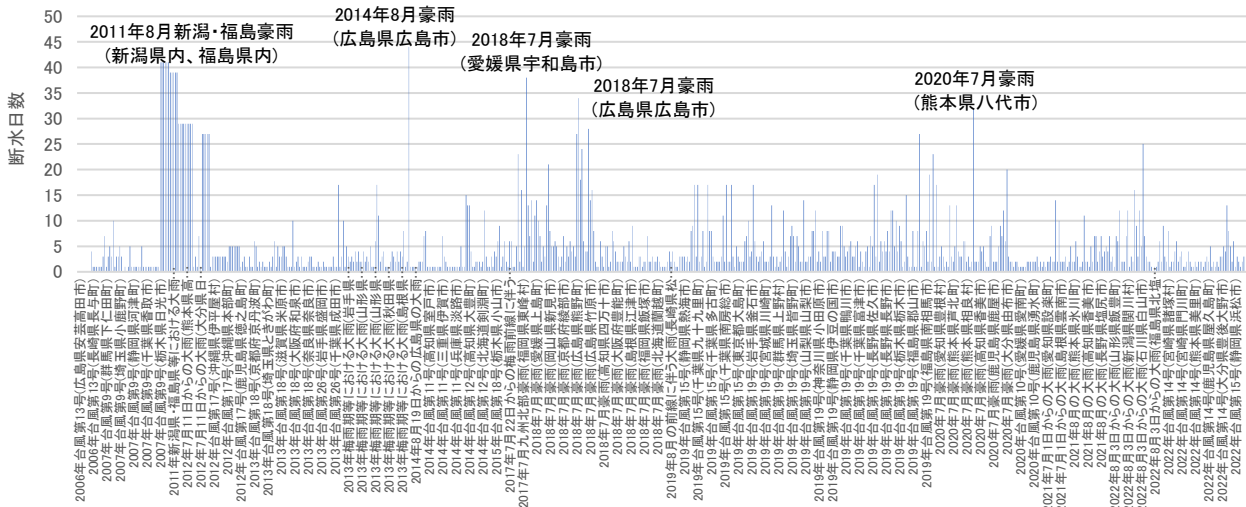


図-4 気象災害事象ごとの断水日数

(3) 下水道

下水道の被害・影響を調査した2000年以降のデータでは、図-6に示すように20日以上機能支障が発生したのは2016年6月20日からの西日本の大雨の山口県田布施市、2020年7月豪雨の熊本県久米市、2021年7月1日からの大雨の静岡県熱海市の3事象であった。

図-7には、下水道について被害・影響が発生した事象の機能支障日数の頻度及び累積頻度を示した。下水道の機能支障日数は、一部復旧困難要因がある地域を除き短期間となる傾向が確認され、約80%が5日以内である。これまでの災害経験を踏まえた、終末処理場・ポンプ場等の柔軟な運転対応や仮設対応など、応急復旧手順の

SOPの普及効果と考えられる。

機能支障の要因となった施設被害と被害発生原因について被害発生件数及び機能支障日数のクロス集計表を表-4に示した。機能支障発生の原因となった施設はポンプ場が最も多く、処理場、管きよ、マンホールポンプ、排水機場の順となっており、ポンプ場、処理場、マンホールポンプの主な被害発生原因は浸水、管きよの主な被害発生原因は道路・護岸崩壊、橋梁流出であった。また、各施設が被災した場合の機能支障日数の平均値は管きよが最も長く4.9日、以下ポンプ場が4.1日、マンホールポンプが4.1日、処理場が2日となること確認できた。

これらの基礎的分析から下水道の被害や機能支障日数に関しては、上水道と同様に気象災害発生時の降雨量の

把握が重要になると考える。

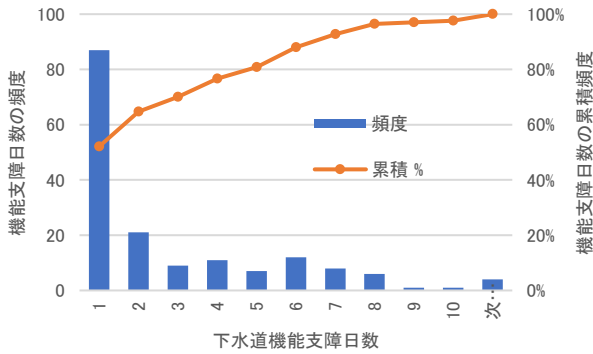


図-7 下水道機能支障日数の頻度及び累積頻度

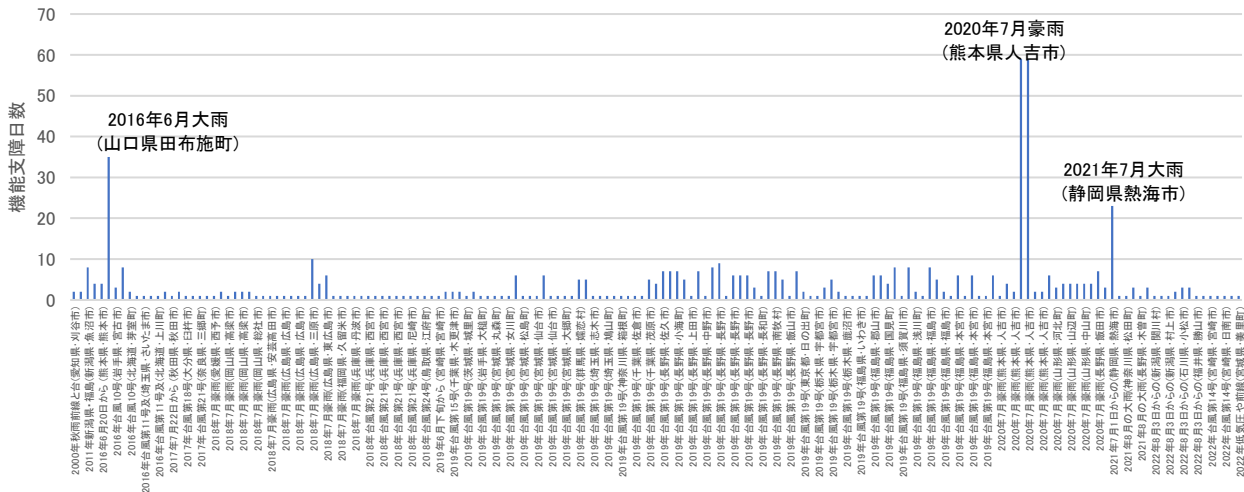


図-6 気象災害事象ごとの下水道機能支障日数

4. まとめ

気象災害発生時の電力、上下水道の施設被害、機能支障日数の予測手法を構築するための基礎検討として、2000年以降の47事象の気象災害を対象として電力、上下水道の施設被害の発生状況や原因、機能支障日数などについて調査・分析を行った。

今回調査したデータから、停電の約70%が1日以内、断水の約80%が7日以内、下水機能支障の約80%が5日以内となることなどを確認した。また、各ライフラインの機能支障の原因となった施設の被害は、多くの施設で降雨による浸水、増水、土砂崩壊、道路崩壊、橋梁流出などによることを確認した。これらの結果から、電力、上下水道の施設被害、機能支障日数の予測手法を検討するには風雨のハザード情報を考慮する必要性を確認した。

謝辞

本研究は日本学術振興会科研費基盤研究(C)「台風の複合要因と相互影響を考慮したライフラインの被害及び復旧過程予測手法の研究(課題番号21K04599)」(研究代表者:永田茂)の支援を受けて実施した。

参考文献

- 1) 例えば加藤宏紀・能島暢呂:供給系ライフラインの地震時機能的被害・復旧評価モデル—市区町村別簡

表-4 下水道機能支障の発生に影響を与えた施設被害と被害発生原因(数値は被害件数, ()内は平均機能支障日数)

被害原因	浸水	道路・護岸崩壊, 道路橋流出	詳細不明	停電	土砂災害	総計
被害施設						
ポンプ場	75(4.1)	0(0)	0(0)	1(2)	0(0)	76(4.1)
処理場	40(2)	0(0)	0(0)	3(1.3)	1(5)	44(2)
管きよ	0(0)	12(5)	7(2.7)	0(0)	3(10)	22(4.9)
マンホールポンプ	19(4.3)	0(0)	0(0)	1(1)	0(0)	20(4.1)
排水機場	2(4.5)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	2(4.5)
詳細不明	0(0)	0(0)	2(1)	0(0)	0(0)	2(1)
その他	1(1)	0(0)	0(0)	0(0)	0(0)	1(1)
総計	137(3.5)	12(5)	9(2.3)	5(1.4)	4(8.7)	167(3.6)

易評価法のシステム構築—, 日本地震工学会論文集, Vol.15, No.7, p.7_354-7_367, 2015.

- 2) 例えば丸山喜久:令和元年台風15号による停電の長期化に伴う影響と風水害に関する総合調査, 自然災害科学総合シンポジウム講演論文集, Vol.57, pp.1-8, 2020.
- 3) 高西春二・中野晋・宇野宏司・仁志裕太:近年の豪雨災害による水道事業者の被災とその対応調査, 土木学会論文集 F6(安全問題), Vol.68, No.2, pp. I_130-I_137, 2012.
- 4) 内閣府:防災情報のページ 災害情報, <https://www.bousai.go.jp/updates/index.html>, (最終参照2023年4月21日).
- 5) 経済産業省:ニュースリリース, <https://www.meti.go.jp/press/index.html>, (最終参照2023年4月21日).
- 6) 厚生労働省:災害への対応について, <https://www.mhlw.go.jp/stf/seisakunitsuite/bunya/0000055967.html>, (最終参照2023年4月21日).
- 7) 国土交通省:災害・防災情報, <https://www.mlit.go.jp/saigai/>, (最終参照2023年4月21日).

Improved Gabion Technology for Soil Stability and Flood Control at Nepal.

○Suresh LAUDARI¹, Tadashi HARA², Motoharu UCHIDA³, Hiroshi NAKAZAWA⁴,
Shoji SHIMOMURA⁵ and Yoshiyuki NISHIMURA⁶

¹The United Graduate School of Agricultural Sciences, Ehime University, Japan.

²Faculty of Science and Technology, Kochi University, Japan

³Graduate School of Integrated Arts and Sciences, Kochi University, Japan,

⁴Faculty of Science and Technology, Shizuoka Institute of Science and Technology, Japan,

⁵SS contec CO Pvt Ltd, Japan,

⁶Shimagawa Construction CO Pvt Ltd, Japan.

Abstract

Mostly gabions are used to stabilize the slopes, uses for reducing water current as levees in the rivers and stabilize the road side walls. Gabion have been widely used in Nepal to control floods and manage riverbank erosion. Nepal is prone to frequent floods and river bank erosion, which causes significant damage to infrastructure and properties of communities. But due to lack of proper planning, design and construction of gabion systems. The constructed gabion structures are not effective and not durable. This study analyzes the effectiveness of gabion technology in terms of controlling flood, stability of gabion, cost effective, ease of construction and protection against river bank erosion between Japanese type and Japanese and Nepali type mix type. The authors do in site experiment for the comparative study among Japanese type and Japanese and Nepali mix type gabion systems at Khar khola river bank, Gorkha, Nepal. We are trying to find out the best gabion technique which is suitable in the context of Nepal.

Key words: Gabion, Flood, Revetment, In-situ Investigation, Construction

1. Introduction

Gabion structures are the wire cases or baskets, resembling cubes are filled with rocks; which are stacked on the top of one another and connected in rows. The case is usually constructed with heavy duty wire and galvanized and PVC coated. Mostly gabions are used to stabilize the slopes, uses for reducing water current as levees in the rivers and stabilize the road side walls. Gabion structure is easy to construct and low-cost structures that makes gabion as an attractive design alternative to other shore-hardening structures¹. The gabion revetment is porous and deforms tenaciously against external force, and is an eco-friendly civil structure that uses few artificial materials. The earliest known gabions are ancient gabions built by the Egyptians about 7,000 years ago on the Nile to protect the river banks; since then they have been refined and turned into one of the most common engineering tools². Nepal gabion structures are uses for several purposes such as roadside construction, river flood management and landslide control. In Nepal, British Engineers uses gabions for the first time in the construction of Dharan Pakhribash Highway of eastern Nepal during 1972 times³. In Japan Gabions are used in early 16th Century for river bank protection by filling stones in bamboo basket⁴. Japan have long history of using gabion. The gabion construction method is also used as a way of creating natural rivers, playing a role in harmonizing with local lifestyles and cultures and in preserving the diverse environment of rivers. Modern form gabion is developed in California's Napa Valley for building purpose, first used wire mesh⁷. Now gabions are the most used construction technology for road side retaining structures and river bank protection worldwide⁸. So far there is no design and construction standard about gabion system installation in Nepal. The present problems in gabion system is less durable, damages within short period of installation and unstable⁵. This is due to not considering the hydrological and geo technical parameters at the time planning. Furthermore, the present construction technology, design system and poor-quality material using for construction of gabion system leads damages and failure of gabion system within few years of installation.



Figure 1 : The location of the construction site

The gabion systems design used in Nepal did not calculate the soil geological characters and hydrological parameters. The present gabion construction methods in Nepal is not proper design, no proper hydrological analysis in practice.

This study analyzes the best technological options among Japanese technology and Nepali and Japanese mix technology for gabion system based on the stability, ease of construction and cost of construction. This paper introduces in-site test construction for gabion revetment via field application and in-situ investigation for stability analysis.

2. Construction Site Situation

Gabion systems have been widely used in Nepal to control floods and manage riverbank erosion. Nepal is a country prone to frequent floods, which causes significant damage to infrastructure and communities⁵.

The study area lies in the Paluntar Municipality-9, Gorkha district Nepal, shown in **Figure 1**. We considered a small river Khar Khola. Flood in the river during monsoon season effects livelihood of people in that area. Total of around 965 people and 215 households are directly affected by the flood in the area⁶. Total population in the Paluntar Municipality is 4,185. Similarly; around 350 students are directly affected by monsoon flood in the river. Furthermore; especially during the monsoon time the river flow over topped the bank of river and flooding the areas nearby river and damages the agricultural crops. Although the gabion systems have proven to be effective for flood control and erosion management in Nepal; there are still some challenges and problems associated with their use³. The present problems in the use of gabion system in Nepal is less durable, damages in short duration and unstable. Japanese gabions are more effective and durable although there is high initial cost⁴. This Khar Khola river is now without any civil structures and embankments for protection of river bank and flooding occur during monsoon season. There is need of bank treatment to protect river bank erosion and flooding from monsoon flood. Every year the flood in the river reduced the agricultural land by bank cutting. Similarly; the monsoon flood inundated the farmland and damages the planted crop. Furthermore, there is deposition of debris in the farmland during monsoon season.

3. Site geotechnical and hydrological condition

Soil sample have been collected from the site for soil property analysis. As shown in the **Figure 2** The top layer lies with in 0.3m, middle layer lies in 1.0m and bottom layer lies in 2.0m. **Figure 3** shows the particle size accumulation curve of the sample collected from the site. The top soil contains 9.4% of the fine particle while the middle and bottom layer contain about 1% of fine particle. Similarly, top surface of the river bank is with more soil and less silt and gravel as shown in the **Figure 3**. More gravel particles found at middle part of the bank and bottom of the bank. The grain size distribution result shows that the foundation soil of the river bed is with about 80% gravel. Almost

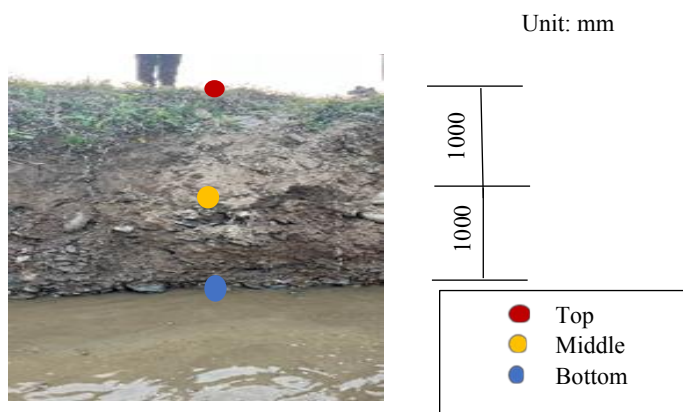


Figure 2 : Sample site location

all of the banks of the Khar River are composed of silt, sand, gravel and cobbles, except at the locations where river flows through bed rock.

Similarly, the Portable Dynamic Cone Penetration (PDCP) test was carried out in the site in two different locations at Japanese gabion installation site and Japanese and Nepali mix type gabion installation site. Since the both locations are nearer both have similar type of soil at the top layer but at bottom layer due to big stone one location soil can't show the result below 1600mm depth.

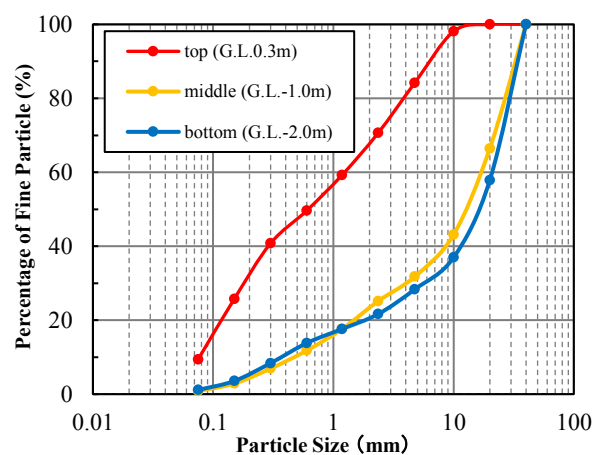


Figure 3 : Sieve analysis of sample soil

The result of the PDCP test shown in the **Figure 4**. On the top layer the N_d value for both locations is low and less than 10, hence contain the softer soil. The top 1000mm layer is with fine soil. Which are now is using as agricultural farm field. In mix type, depth below 1.50 m the N_d values goes more than about 20. It shows that; soil below 1.50m is harder and with higher soil bearing capacity. But in case of Japanese type gabion installation below 1.5m, the PDCP result shows that there is hard rock. Hence; the river bank soil Japanese type gabion installation and mix type location are gravel and harder soil. Since the N_d value of the foundation soil of the river bed exceeds 20, which is suitable for the base of gabion structures without any foundation treatment. The top layer is with softer soil and bottom and middle layer contains harder soil. Hence the bottom and middle layer soil has higher soil bearing capacity and stable for structure. Furthermore, this soil is useful for foundation without any treatment on the foundation soil. It is clear that the bottom soil at the bank of the river is stable since N_d value is more than 20. This allows the installation of gabions without any treatment at foundation.

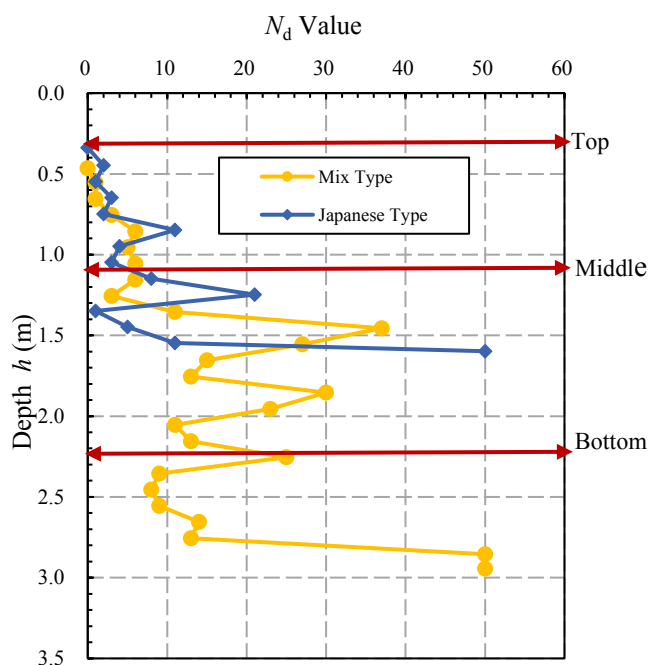


Figure 4 : PDCP Test Result at Site

Overall catchment area of the Khar khola river at the site location is 28.9 km². We have installed rain gauge station in the study area. The measured annual rain fall in the study area is 1986 mm in the year of 2022. Almost all the rain falls from June to

September. We consider our design for 30 years return period of the flow in the river. We consider average width of the river is 18000 mm. This allows high flood level for 30 years of return period flow is 2000 mm.

4. Design, Construction and Planning of Construction methodology for gabion

At present installation of gabion system are not systematic and organized in Nepal. There is no consideration of hydrological analysis and geotechnical analysis of foundation and bank soil

Table 1 Comparative analysis of different gabions

Parameters	Nepali Type	Japanese type	Mix type
Design	Not clear design	Clear design with consideration of Soil parameters and Hydrological Parameters	Clear design with consideration of Soil parameters and Hydrological Parameters
Construction Method	Workers use their own idea	Systematic and planned as per designer	Systematic and planned
Materials used	Locally materials	Local materials	Local materials
Cost	Low cost	High cost compare to Nepali type	Medium level cost
Ease of construction	Easy to construct	Need training before construction	Need training before construction
Life span	Damages soon	More durable	Medium durable
People perception	People don't like	People appreciate this	People also like this

before construction of gabion. Installation are as per need basis without proper planning and design. In this context; our team carried out the experiment to construct new gabion technology at Gorkha site. A gabion revetment was designed from the series of ground survey, designs and discussions with expert team. The following construction methods are carried out.

First selection of site: The site was selected in the most vulnerable location of the river. The selected part of location damaged by floods every year. Which is located at the high hit point of the river because of curvature point of the river. The study team decided selection of that portion of river which is most vulnerable and need prompt protection.

Design and Construction Planning: The gabion construction technical team have had series of discussion and consultation for effective design and planning for construction in the site as per the site condition, material availability and durability of the gabion system. The authors finalized two type of designs shown in the **Figure 5 and Figure 6**. that are suitable for selected locations in the given geotechnical and hydrological condition. We basically applied the Nepali and Japanese mix type design and Japanese type design in the site.

Construction methodology: The construction process started by diverting the river water into opposite river bank side then cut and leveled the river bed. The first base layer and front layer were

staked then 2nd, 3rd layer, 4th layer and 5th layers with height 500 mm stacked by providing half of the height behind the preceding layer for Japanese type design for 15000 mm length. For mix type, 2nd and 3rd layer with height 1000 mm stacked up to 47000 mm length. It takes around twenty days to complete the construction for the both type gabion. To improve the stability of the soil geotextile are placed on the back of the gabion structure. For both type the height of the gabions are 2000mm.

Comparative analysis of different designs

As shown in **Table 1**; Japanese type gabions are well planned and designed well before construction We accessed geotechnical and hydrological analysis before construction. Construction of the gabion is as per design as shown in the **Figure 5 and Figure 6 and Picture 1 and Picture 2**. For both type of design, gabions protect the river bank erosion and normal flood level up to 2000mm. But for high flood condition the constructed gabion can't control the flood for over towards the agricultural.

In Japanese type design includes consideration of hydrological analysis and soil analysis of the foundation soil. While in Nepali gabion there is no systematic design and consideration of soil parameters and hydrological analysis. This leads the failure of gabion in short period of construction. In other-hand; there is no technical supervision from technical experts, the worker self-construct the gabion but Japanese type gabion are constructed under the supervision of technical expert in the site. Nepali type gabion is constructed by low skilled manpower hence easy to construct no need of technical expert support and can complete the work faster than Japanese type gabions. Furthermore; mostly in Japanese type design, there is use of geo-textile at the back side of gabions and slag. Geotextile will prevent clogging and allow water to get through a gabion wall. This will ensure pressure building up and maintain a safer wall installation. Hence make the gabion more stable. But, in Nepali type design very few locations are using geo-textile. But; due to complexity in design and not trained labors in Nepal, training needed for construction of these gabions. Similarly; mix type gabions are with combination of Nepali type and Japanese type design with 1000 mm height of each layer. It follows same design as Japanese type, expect height of slag. But more similar characteristics as like Japanese type. While Nepali type gabions are simple in design but not durable. Most of the constructed gabions are damaged and wash away with few years, they can't not able to resist flood during the monsoon season. Construction cost for mix type design is less than Japanese type. Furthermore; availability of wire mesh for mix type is easy and get any time in the market. But the Japanese type wire design wire mesh needed special order hence takes time to deliver the wire mesh. Similarly; We can say life span of Japanese type gabions are more than mix type gabion.



Picture 1: Japanese Type Gabion constructed at site

Due to low slack height of each gabion that improve the stability of gabion structure. Hence Japanese type gabions are more stable than mix type that increases the lifespan of the gabions.

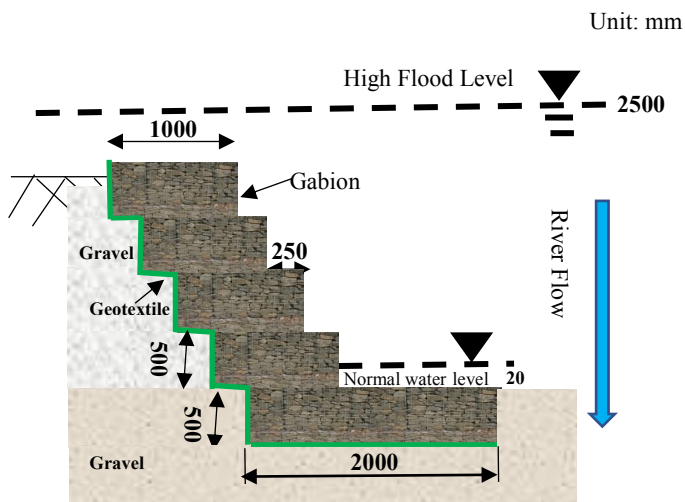


Figure 5: Japanese Type Gabion design

Hence, Japanese type gabions are the best option to protect river bank erosion and control flood during monsoon. Japanese type gabions reduce back water effect, thereby providing geo-textile at the back. In other hand; Japanese type gabions are more stable with lurching apron at the front of the gabions. Although the initial cost of Japanese type gabions is high; the overall cost is lower than Nepali mix type correlating with lifespan.

Furthermore, to explore optimum design parameter of gabion structure and favorable conditions for stable gabion structure we will regularly monitor the horizontal deformation and vertical deformation of the gabion in both Japanese and mix type gabions. Stability of the gabions can be analyzed on basis of the horizontal and vertical deformation condition. We will study the aspects of ease of construction, cost effectiveness and material availability for both type of gabions and present the result in future.

5. Conclusion

Overall, gabion technology is a cost effective and environmentally friendly solution for flood control and erosion control and widely used in many parts of the Nepal to protect communities and infrastructures from the damaging effects of the floods and erosion. Japanese gabion technology seen to be the most effective and durable one among the others. The construction of these technology is eco-friendly and easy. These technology uses locally available materials for construction. The monitoring result of the constructed gabions will definitely recommend the best possible gabion design, construction technology option suitable for Nepalese and similar context.

Acknowledgement

We would like to acknowledge JICA partnership program; project for support to develop low cost gabion for embankment and river disaster prevention with local partners providing us the opportunity to do the research in gabion thereby providing technical and financial support for installation of gabions at the field level. We will appreciate the support from government officials from Nepal, local officials and local people in the Gorkha site for their support at the time of the research work.

References:

- 1) Gabion walls; Baran Toprak, Ozer Sevim, Ilker Kalkan; "GABION WALLS AND THEIR USE" International Journal of Advances in Mechanical and Civil Engineering, ISSN: 2394-2827 Volume-3, Issue-4,2016.
- 2) Chester W Jackson, David Bush William J. Neal Gabions, a poor design for shore hardening: The Puerto Rico experience. Journal of Coastal Research SI v. 39(v. II):852-857.
- 3) Tadashi HARA, Hiroshi NAKAZAWA, Daisuke SUETSUGU, Kentaro KURIBAYASHI, Tsuyoshi NISHI, Yurika TADOKORO, Katsuaki MIYOSHI, Hao ZHANG, Field Survey on damages of gabion structures caused by 2015 Nepal Gorkha Earthquake and examination of specific measures for earthquake resistance improvement; Journal of Japan Society of Civil Engineers Volume 37.
- 4) Hiroshi Nakazawa, Kazuya Usukura, Tadashi Hara, Daisuke Suetsugu, Kentaro Kuribayashi, Tsuyoshi Nishi, Shun Kimura, and Shoji Shimomura, "Problems in Earthquake Resistance Evaluation of Gabion Retaining Wall Based on Shake Table Test with Full-Scale Model"; JDR vol 14, No 9, pp 1154-1169, 2019.
- 5) Global Green Growth Institute, Palungtar Municipality, Nepal, Situation Analysis for Green Municipal Development, 2018.
- 6) Government of Nepal national planning commission central bureau of statistics, Government of Nepal, Office of the Prime Minister and Council of Ministers, National Statistical Office, NATIONAL CENSUS 2021, <https://censusnepal.cbs.gov.np/Home/Index/EN> [accessed April 7, 2023].
- 7) Randolph Langenbach, GABION BANDS: A Proposed Technology for Reconstructing Rural Rubble Stone Houses after the 2015 Nepal Earthquakes; 2015.
- 8) Anusron Chueasamat, Toshikazu Hori, Hirota Saito, Yuji Kohgo, Soil Foundations: Effectiveness of filter gabions against slope failure due to heavy rainfall; May Than Thar Cho 2021.
- 9) Water and Energy Commission Secretariat, HMG. Nepal: Erosion and Sedimentation in Nepal Himalaya—An Assessment of River Processes, 1987.

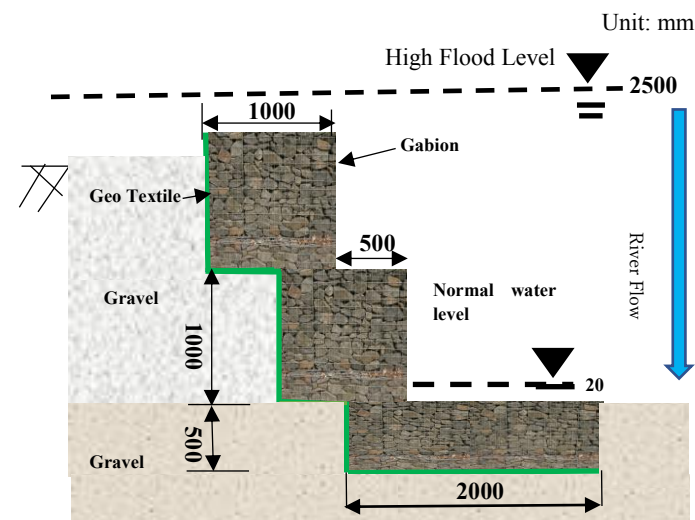
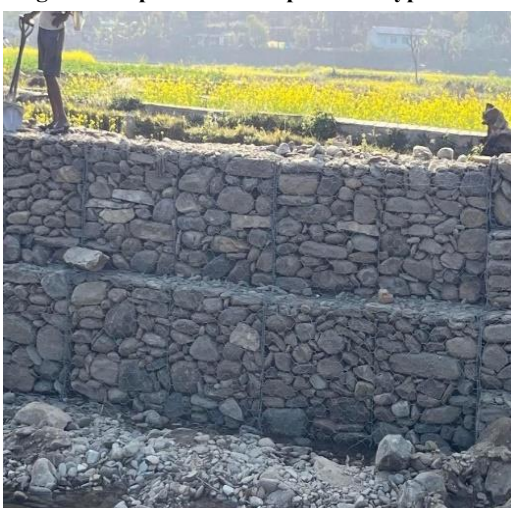


Figure 6: Japanese and Nepali Mix Type Gabion design



Picture 2: Mix Type Gabion constructed at site

岩手県宮古市で実施された学生サークルによるドローンを活用した東日本大震災行方不明者捜索活動について

Search activities for missing persons after the Great East Japan Earthquake using drones conducted by student circles in Miyako City, Iwate Prefecture

○遠藤隆史¹, 三田愛莉彩¹, 菊地由華¹, 船渡大翔¹, 藤田真陽¹, 佐藤明日香², 通駅竜也², 菅原奈々¹, 飯沼純一³, 雲然祥子⁴, 平田哲兵⁴, 杉安和也⁵, Takahumi ENDO¹, Arisa MITA¹, Yuka KIKUCHI¹, Hiroto HUNAWATARI¹, Masaharu FUJITA¹, Asuka SATO², Tatsuya TEIEKI², Nana SUGAWARA¹, Jyunichi IINUMA³, Sachiko KUMOSHIKARI⁴, Teppei HIARATA⁴, and Kazuya SUGIYASU⁵

¹ 岩手県立大学宮古短期大学部ドローンサークル

Drone Club, Miyako Junior College, Iwate prefectural University

² 岩手県立大学ソフトウェア情報学部

Faculty of Software and Information Science, Iwate Prefectural University

³ 一般社団法人 日本ドローン協会

Japan Drone Association

⁴ 岩手県立大学宮古短期大学部

Miyako Junior College, Iwate Prefectural University

⁵ 岩手県立大学総合政策学部

Faculty of Policy Studies, Iwate Prefectural University

Many people went missing after the Great East Japan Earthquake, and the search continues today. In Iwate Prefecture, 1,110 people are still missing. Drones are also being used to effectively conduct search operations. The Iwate Prefectural University Miyako Junior College Drone Club cooperated in the search for missing persons after the Great East Japan Earthquake conducted by the Miyako Police Station of the Iwate Prefectural Police. In this report, we report on the missing person search activities using drones, and look forward to cooperation with local communities and drone-related organizations, as well as future issues.

Keywords : Missing person search, Drone, Student club

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東日本大震災では、現在でも多くの方々が行方不明となっており、岩手県では、1,110名、宮古警察署管内（宮古市、山田町）では238名の方が現在でも行方不明となっている（2023年2月16日現在）。東日本大震災行方不明者の捜索や身元確認について、被災地域で様々な取り組みが続けられている。行方不明者の捜索活動については、家族や地域からの要望があることに加え、災害の伝承という意味においても重要な意義を有していると考えられる。

岩手県警宮古警察署では、海上保安庁、地域団体などと連携し、現在でも捜索活動を実施している。最近では、地中レーダを用いた捜索活動なども行われており⁽¹⁾、ドローンや水中ドローンを含む、新たな機器等の活用が期待されている。特に水中ドローンは、海底に沈んだ物件の捜索に活用される事例⁽²⁾も増えており今後が期待されている。

このように、新しい技術を用いた捜索活動は、その目的である行方不明者や遺留物の発見に留まらず、災害発生時の緊急を有する捜索活動の訓練や、防災を目的とした地形や周辺状況の確認など、派生する意義も大きいと考えられる。

本報告では、岩手県立大学宮古短期大学部ドローンサ

ークルが岩手県警察宮古警察署からの協力要請を受け、宮古市田老地区において実施されたドローンを活用した東日本大震災行方不明者一斉捜索活動について報告する。ドローンによる捜索活動は、岩手県立大学宮古短期大学部学生ドローンサークルが中心となり、一般社団法人日本ドローン協会など関係機関と連携し実施された。本報告では、地域やドローン関連団体との連携や、ドローンなどの技術を活用した行方不明者捜索活動とその展開、今後の課題についても展望する。

2. 活動の目的

ドローンによる空からの広範囲の観測により、東日本大震災行方不明者等の捜索が効果的に実施されることや、本件によるドローン技術の発展普及、ならびにドローン技術等に関する研究の発展、ドローン技術に関する人材育成への寄与を目的とした。

今回の捜索活動では、警察署の警備船も捜索に加わることから、捜索海域のドローンによる空撮と撮影された画像をオルソ画像に変換し、地理情報を含む画像データを生成し、捜索参考図を作成した。これらのドローン測定の作業を通じて、災害発生時の被害状況の迅速把握や、ハザードマップの作製や更新におけるドローンの活用につなげることも今回の活動の目的とした。

3. 実施体制および使用機材

1). 実施体制

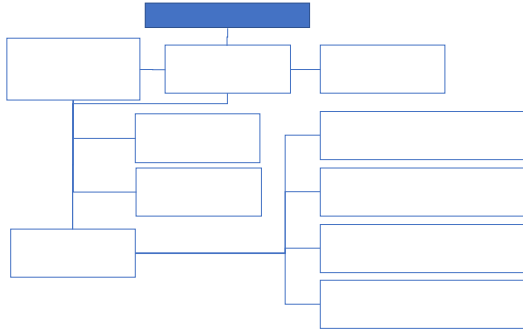


図 1 搜索活動の実施体制図

搜索活動は、宮古警察署が実施し、海上保安庁、ドローンサークルがこれに協力する形で実施された。今回の搜索では、搜索領域に海域も含まれることから宮古警察署に所属する警備船も搜索活動に参加した。

岩手県立大学平田哲兵研究室と杉安研究室では、学生ドローンサークルと共同で、岩手県の防災力向上を目指し、地域の防災訓練への参加、防災活動におけるドローン利活用に関する共同研究を行っている。この活動は共同研究の一環としても実施された。

この活動においては、一般社団法人日本ドローン協会（以下、協会）の協力を得た。協会からは最新の産業用高性能ドローンである DJI Matrice300 RTK が提供されるとともに、ドローンインストラクター1 名が派遣され、同機の操縦方法についての指導が行われた。実施体制図を図 1 に示した。

2). 使用機材

今回の搜索活動では事前準備を含め 5 機のドローンを使用した。搜索参考図の作成は DJI Phantom 4 Pro を使用した。Phantom Pro は、従来の Phantom に比べて高画質で、より鮮明で低ノイズ、高解像度の写真や動画の撮影可能なドローンで、日本国内での最大伝送距離は 4km、最大飛行時間は約 30 分となっている。



図 2 DJI Phantom 4 Pro

当日の搜索活動のうち、海上での搜索支援は DJI Matrice 300 RTK を使用した。高度なフライトコントローラーシステム、6 方位の検知および測位システム、FPV カメラを備えた産業用ドローンであり、幅広い用途のために DGC2.0 コネクタージンバルの多くと互換性があり、その他の拡張ポートを備えている。日本国内での最大送電

距離は（2 つの送信機で制御権をスイッチすることで）8km まで伸ばせる。負荷重量 700g の時、最大前方飛行時間は 45 分、海拔ゼロ地点での最大ホバリング時間は 43 分となっている。



図 3 DJI Matrice 300 RTK

表 1 搜索活動に使用したドローン

用途	使用機材
事前空撮 測量	DJI Phantom 4 Pro
当日の搜索	DJI Matrice 300 RTK
予備機	DJI Mavic Mini 2
	DJI Mavic Mini

4. 搜索方法

1). 事前準備（搜索参考図の作成）

今回の搜索活動では搜索領域に海域が含まれるため、海底に沈む車両やがれき等があれば、警備艇による搜索を重点的におこなうことが出来るため、搜索参考図（地図）を作成することとした。この取り組みは、ドローンサークルが SDGs 達成を目的に実施している藻場観察の取り組みを発展させたものである。

搜索参考図の作成では、測量ドローンとして、DJI 社製 Phantom 4 Pro を用い、自動航行および測量写真撮影のために DJI 社製アプリケーション「DJI Go Pro」を用いた。測量作業は 2023 年 2 月 18 日と 26 日に実施され、その成果により作成された参考図を図 5 に示した。

事前の測量作業によって得られた写真は、事前に確認作業をおこない、車両やがれき等が存在していないかの確認をおこなった。今回の取り組みでは、重点的な搜索を要するような物件は見出されなかった。



図 4 事前測量で使用されたドローン自動航行アプリケーション「DJI Go Pro」の操作画面

令和5年3月8日 岩手県警察 宮古警察署実施

宮古市田老地区 東日本大震災行方不明者等一斉搜索活動 参考図

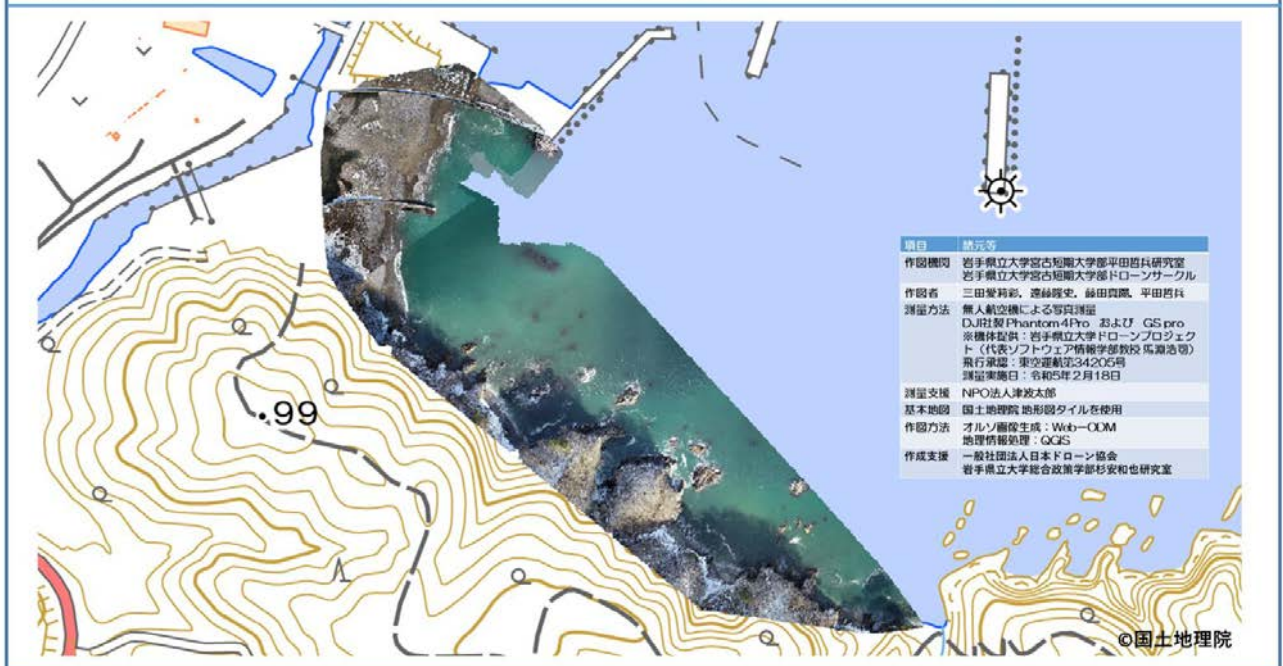


図 5 搜索活動の際に作成された参考図

2). 当日の搜索活動

本節では、2023年3月8日に実施された搜索活動の状況について述べる。当日のスケジュールを表2に示した。

当日の天候は、晴れまたは曇りであり、宮古市に設置されているアメダスの記録によれば、当日の最高気温は20.5℃、最低気温は3.3℃、平均風速は2.8m/sec、最大風速は6.4m/sec(西南西)、最大瞬間風速は12.2m/sec(西南西)であった。搜索活動が実施された場所は、ドローンの離発着地点から西南西の方向に標高100前後の小山稜があり、気流の乱れ等が発生しやすい状況にあったと推測される。

ドローンによる搜索は主にDJI Matrice 300 RTKが使用された。この機体は、機体の操縦と搭載されたカメラの操

表2 搜索活動当日の活動内容(スケジュール)

時刻	活動内容
07:10	集合、点呼
07:15	宮古短期大学部出発
08:00	飛行指揮所等設置作業、ドローン飛行準備、テスト飛行実施
09:15	ドローン関係者朝礼、気象および海況の確認、飛行計画の確認、作業上の注意
09:35	開始式(宮古警察署主催)
10:00	
10:10	搜索活動(午前)
12:00	
12:00	昼食
13:00	
13:00	搜索活動(午後)
14:30	

15:30 | 撤収作業開始

作を別のプロポ(RC, ラジオコントローラ)を用いて行うことが可能であり、ドローンパイロットとカメラオペレーターの2名を配置してドローンの操作を実施した。ドローン及びカメラの操作については指揮者の指示により操作をおこなうこととしたほか、双眼鏡や連絡用の無線機を携帯した監視要員(ナビゲーター)を配置した。指揮者はナビゲーターから伝えられるドローン周辺の状況や方位角、カメラオペレーターから伝えられる離陸地点からの距離や高度、バッテリー残量などの状況を総合的に判断し、安全かつ効果的な搜索活動が実施されるようドローンの操縦についての指示をおこなった。指揮者がドローンの状況を容易に確認できるようにドローンパイロットやカメラオペレーターが使用するプロポに表示される画面を大型モニターにも投影した(図6)。さらに、ドローンの操縦にあたっては、機体に習熟し、ドローンのインストラクター資格を有する日本ドローン協会のスタッフがサポートをおこなった。

今回のドローン飛行では、搜索範囲が広いことから目視範囲を超える領域での飛行や、人や物件からの距離を十分に保つことが出来ない飛行を実施するため、航空法に基づく飛行承認を取得した。承認された飛行形態は、航空法第132条の86第2項の第1号(夜間飛行)、第2号(目視外飛行)、第3号(人・物件から30m以内の飛行)だった。取得した飛行承認は包括申請であり、日本全国で発行日から1年間有効であるものである。また、飛行承認に記載されたドローン操縦者はサークルメンバーを含め一般社団法人日本ドローン協会が発行する無人航空機操縦技能証明1級もしくは2級を取得している。

ドローンの安全な運航のためには、機体の状態を万全に保つことが必要であり、国土交通省が定めるマニュアルにおいても飛行前の機体点検をおこなうことが定められている。今回の捜索活動においても、プレチェックと呼ばれる、プロペラの取付状況、機体の傷やゆがみの有無、バッテリーの取付状況、カメラやジンバルの状態などの確認作業を実施した(図7)。プレチェックはドローンの機体整備を担当するなど、ドローンの構造に一定程度習熟したサークルメンバーとドローンパイロットにより実施した。



図6 大型モニターに投影したプロポ表示画面



図7 DJI Matrice 300 RTKのプレチェックの様子

5. 結果および考察

今回の捜索活動では、事前に行われた海域の空撮画像の解析、当日実施されたドローンによる捜索活動においても行方不明者及びその残留物の発見には至らなかった。

震災から12年が経過しているため、風化や堆積物の影響などにより発見が難しい状況になっていることが推測できる。今後の災害発生において、防災の取り組みにより被害者を発生させないことが重要であるが、行方不明者などの発生の際には迅速にドローンを用いた捜索活動が実施されることが期待される。今回使用したドローンによる観察では、崖やその周辺に存在する数センチ程度の物体もズームカメラにより容易に確認することが出来た。さらには今回使用したドローンには赤外線カメラも搭載されており、災害発生時に生存する要救助者を発見することも可能であると思われる。図8に今回の捜索活動の際に撮影した赤外線カメラの画像を掲載した。海岸線付近で捜索活動に従事する警察官を確認することができる。

今回の捜索活動では、ドローンの操縦やその訓練等においても課題となる事象も発生している。ドローンを着陸させようとする際、風況が悪化し、通常の着陸動作ではドローンがバランスを崩し危険な状況になることが予

想される場面があった。この時は、ハンドキャッチと呼ばれる人の手によりドローンのランディングギアを掴み着陸させる動作を実施した(図9)。当該機体においてハンドキャッチの実施を経験したスタッフがおらず初めての動作となった。

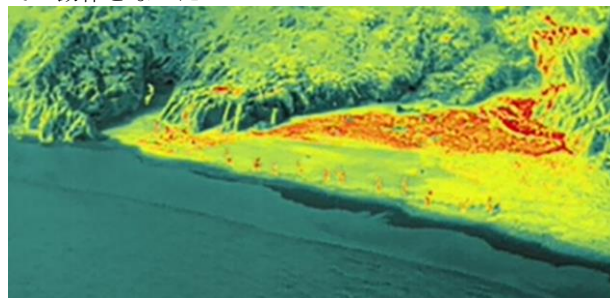


図8 DJI Matrice 300 RTK 赤外線カメラの写真



図9 ハンドキャッチの様子

事前測量などの作業をおこなう際には現場となる田老漁港を管理する岩手県への漁港使用届の提出や地域で防災活動に取り組むNPO法人などの協力を得た。地域の消防団などがドローンを活用した防災や災害対応に関する取り組みをおこなう際には訓練が欠かせないが、訓練を通じて関係する機関との連絡通報体制の確認や、地域の防災組織などとの連携を強めることが出来ると考えられる。また、ドローンの利用には操縦技術の習熟など、要員の知識、技能の向上は欠かすことが出来ない要素である。学生サークルと地域消防団の共同での訓練の実施や、ドローン測量を応用したハザードマップの作製などの平素からの取り組みの実施は総合的な地域防災力の向上に資するものと思われる

謝辞

捜索活動に先立って行われた事前測量はNPO法人津波太郎の協力により実施された。

参考文献

- 1) 園田潤, 渡邊学, 米澤千夏, 佐藤源之, 「地中レーダを用いた東日本大震災の行方不明者および遺留品捜索」, 電気関係学会東北支部連合大会講演論文集 2013 (0), 42-42, 2013
- 2) 渡辺 正之, 門馬 大和, 「水中技術の現状 -H-II ロケット 8 号機のエンジンの捜索と回収-」 海洋理工学会誌 8 (1), 3-13, 2003

2019年台風15号による千葉県の水道施設の レジリエンス・アナリシス

Resilience Analysis for Water Supply Facilities in Chiba Prefecture Subject to the 2019 Typhoon No. 15

○岡野 莉子¹, 相良 翔¹, 庄司 学², 丸山 喜久³

Riko Okano¹, Kakeru Sagara¹, Gaku Shoji² and Yoshihisa Maruyama³

¹筑波大学 理工情報生命学術院 システム情報工学研究群

Degree Programs in Systems and Information Engineering, Science and Technology, University of Tsukuba

²筑波大学 システム情報系

Systems and Information Engineering, University of Tsukuba

³千葉大学

Chiba University

The 2019 Typhoon No. 15 caused a large-scale power outage in the entire Chiba Prefecture, resulting in widespread water outages. This study analyzed the functional and physical damage to water supply facilities in Chiba Prefecture caused by Typhoon No. 15 in 2019 and the emergency recovery process immediately after the disaster, and clarified the relationship between the duration of water outages and wind speed. The main cause of the water outage was a power outage, and in the area located in the southern part of Chiba Prefecture like Kyonan Town and Minamiboso City, the period of water outage lasted for about two weeks. In areas where the maximum average wind speed exceeded 20 m/s, the duration of water outages tended to be rapidly prolonged.

Keywords : 2019 Typhoon No. 15, water supply facilities, functional damage, resilience analysis

1. はじめに

2019年台風15号により千葉県では千葉市で最大瞬間風速35.9 mを観測し¹⁾, 千葉県全域において大規模な停電が発生したことで広範囲に断水が生じた。千葉県南部に位置する鋸南町や南房総市では断水期間が2週間弱にもわたり, 社会生活に大きな影響を与えた。本研究では, 2019年台風15号による千葉県の水道施設の機能的被害並びに物理的被害と, それらによる応急復旧過程を発災直後から時系列で分析し, 断水期間と風速の関係を明らかにした。

2. 水道施設の機能維持

対象とする水道事業体は成田市, 銚子市, 八匠水道企業団, 長生郡市広域市町村圏組合水道部, 山武郡市広域水道企業団, 大多喜町水道事業, 南房総市, 鋸南町水道事業, 三芳水道企業団の9事業体である。なお, データ収集が至らなかった市原市, かずさ水道広域連合企業団, 香取市, 多古町, いすみ市, 鴨川市は分析対象外とする。断水発生の主な原因は停電による水道の機能的被害であり, 三芳水道企業団の配水エリアの一部では土砂崩れによる配水管の破損が原因で断水が発生した。図1はこれらの水道事業体における発災直後からの水道施設の断水戸数の推移を示す。分析対象とする事業体の中で, 断水戸数が最大である山武郡市広域水道企業団は, 断水が64,889戸発生した。しかし, 断水期間は4時間22分であり, 断水が他の水道事業体より比較的短期間であった。次に断水戸数が多かった南房総市では43,380戸が断水し, 断水期間は283時間(11日19時間)と長期間であった。また, 鋸南町水道事業や三芳水道企業団は断水戸数がそれぞれ

258戸, 162戸と比較的少なかったが, 断水期間が327時間(13日15時間), 200時間42分(8日8時間42分)であった。

図2に水道施設の断水の時空間的な影響を示す。9月9日2時00分の時点では, 千葉県南部に位置する南房総市や鋸南町, 三芳水道企業団で断水が発生している。その2時間後である9月9日4時00分以降から千葉県中部である長生郡市広域市町村圏組合や大多喜町水道事業の領域で断水が発生し, 9月9日11時00分から千葉県北部に位置する成田市や銚子市に断水が生じ, 9月9日16時00分に9事業体全域に断水が発生している。断水発生から16時間の間に千葉県南部から北部にかけて断水が発生したものとわかる。9月10日19時02分の時点では千葉県北部に位置する水道事業体は断水が解消し, その後千葉県中部や千葉県南部に位置する水道事業体でも徐々に断水が解消している。9月22日17時00分に対象とした地域の全域において断水が解消した。南房総市, 鋸南町水道事業, 三芳水道企業団においては断水発生から1週間以上経過した9月17日14時00分の時点でも断水が継続しており, 断水が解消するまでに最大で2週間弱の時間を要している。したがって, 断水の復旧は断水発生の流れと異なり, 千葉県北部から南部に向かって徐々に復旧したとわかる。

3. 断水期間と風速の関係

水道事業体における配水エリアごとの断水期間と最大平均風速の関係を図3に示す。図3より最大平均風速が20 m/sを超える領域で断水期間が100時間以上の長期間になっている。最大平均風速が20 m/sを超え, 断水期間が100時間を超える配水エリアは, 鋸南町, 南房総市の富山系, 三芳水道企業団の作名系, 宮本系並びに増間系であり,

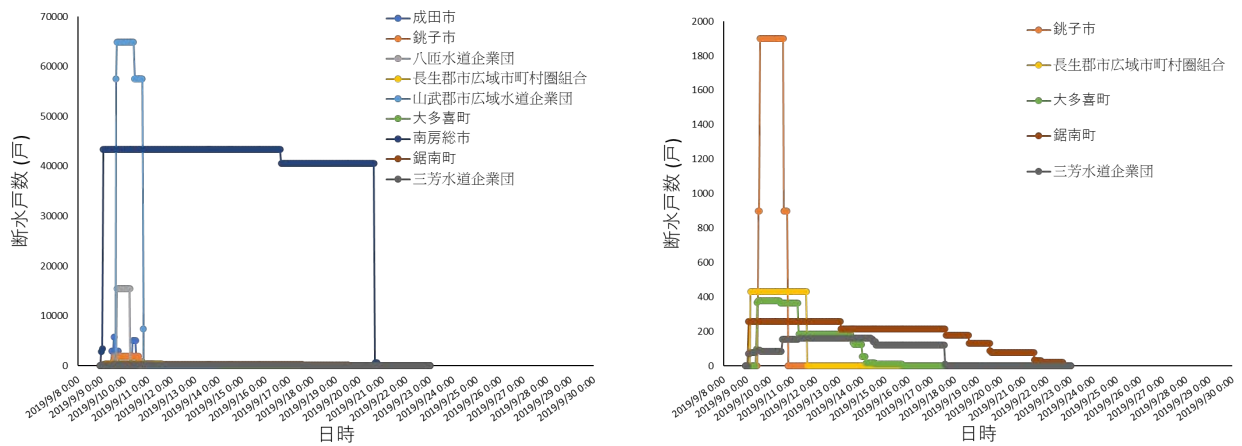


図1 断水の時間的推移

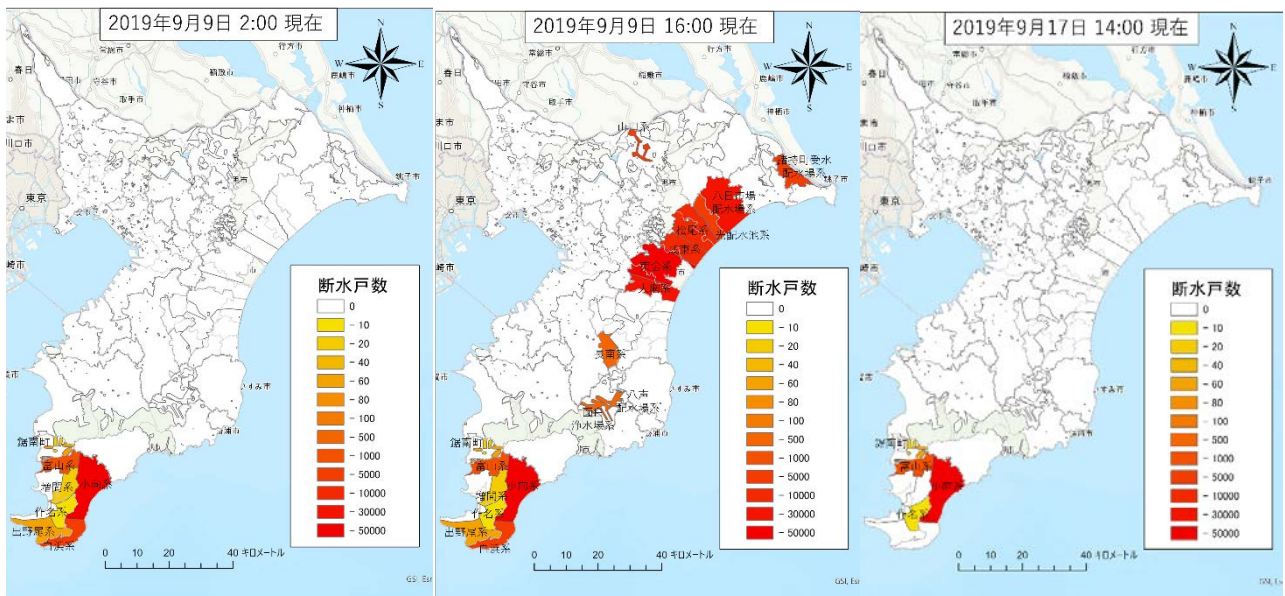


図2 台風15号による断水の時空間的影響：9月9日から9月17日

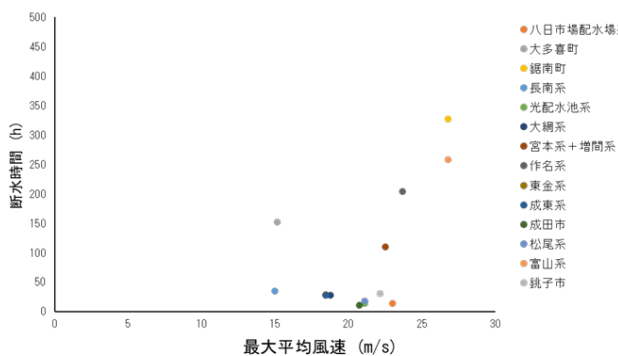


図3 最大平均風速と断水期間の関係

これらの配水エリアは千葉県南部に位置している。2章で千葉県南部の断水期間が長期であったことを述べたが、その理由として非常に大きな風速により停電が長期化し、その結果断水が長期化したと考えられる。

4. 結論

2019年台風15号による千葉県の計9つの水道事業者が管理する水道施設の機能的被害並びに物理的被害を分析するとともに、それらによる応急復旧過程を被災直後か

ら時系列で明らかにした。また断水期間と風速の関係も明らかにした。断水の発生は千葉県南部から北部へと徐々に発生し、断水の解消は千葉県北部から南部へと解消していることが明らかとなった。千葉県南部では断水発生から解消までに最長で2週間弱の時間を要していた。さらに、最大平均風速が20 m/sを超える領域から断水時間が急激に長期化する傾向が見られた。

謝辞

千葉県総合企画部水政課並びに千葉県内関係水道事業者の皆様方には水道施設の被害データや復旧データなどの収集並びにヒアリング調査に際し、貴重な研究情報を賜りました。ここに記して謝意を表します。なお、本研究は、科学研究費補助金・基盤研究(A)(研究代表者：本田利器・東京大学教授、課題番号：20H00258)の研究分担として一部助成を得て実施いたしました。

参考文献

- 国土交通省気象庁：災害自然現象報告書2020年第2号，災害時気象報告令和元年房総半島台風及び8月13日から9月13日にかけての前線等による大雨・暴風等，http://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/saigaiji/saigaiji_202002.pdf (2023/04/19 閲覧)

2022年台風15号による静岡県内の水道施設での レジリエンス・アナリシス

Resilience Analysis for Water Supply Facilities in Shizuoka Prefecture subject to the 2022 Typhoon No. 15

○相良翔¹, 岡野莉子¹, 庄司学², 永田茂³
Kakeru SAGARA¹, Riko OKANO¹, Gaku SHOJI² and Shigeru NAGATA³

¹筑波大学大学院理工情報生命学術院システム情報工学研究群

Degree Programs in Systems and Information Engineering, Science and Technology, University of Tsukuba

²筑波大学 システム情報系

Institute of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba

³防災科学技術研究所

National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience

Typhoon No. 15 in 2022 caused large-scale physical damage to water supply facilities throughout Shizuoka Prefecture, resulting in widespread and prolonged water outages. This study analyzed the functional and physical damage to water supply facilities in Shizuoka Prefecture caused by Typhoon No. 15 in 2022 and emergency restoration immediately after the disaster, and clarified the relationship between the duration of water outages and the amount of precipitation. In Shizuoka City, 13,000 water outages were caused by power outages, 3,500 by the falling Miyajima Bridge aqueduct, and 5,000 by the blockage of the water intake at Shougenji. The duration of water outages tends to be longer at sites with higher maximum amount of rainfall.

Keywords : 2022 Typhoon No. 15, intense rainfall, water supply facilities, physical damage, functional damage, resilience analysis

1. はじめに

2022年台風15号においては、静岡県では24時間降水量が400mmを超える猛烈な雨が降り続いたり、静岡県内の水道施設に甚大な物理的被害が発生し、応急復旧活動に大きな支障が生じた結果、静岡市、川根本町、島田市、浜松市、掛川市、森町、磐田市の広範囲にわたり最大約20日間の長期にわたる断水が発生した。本研究では、2022年台風15号の水害における静岡県内の水道施設の物理的並びに機能的被害と応急復旧過程の関係を発災直後から時系列で明らかにした。

2. 水道施設の物理的被害

図1に、発災後からの各行政区域の断水戸数の推移を示す。9月24日の6時から静岡市において66,300件の突出した断水が発生している。その原因としては、停電によるものが約13,000件、興津川に架かる宮島橋水道橋の落橋によるものが約3,500件、興津川表流水を水源としている承元寺取水口閉塞による清水区全域での断水が約50,000件であった。

図2に、静岡市以外での断水戸数の推移を示す。静岡市を除くと、川根本町が突出しており、最大断水戸数は1,264件に至っている。川根本町では、導水管の破損や浄水場等への土砂の流入が発生し、いずれも土砂崩れによる断水が顕著であった。それ以外の市町村では断水戸数は200件を下回っているものの、藤枝市や島田市においては20日以上断水が生じた。藤枝市においては、沢に土砂が流入したため、物理的被害はないものの安全な飲用水を確保するために時間を要した。一方で、島田市においては、送水管の配水池からの離脱を始めとする、取

水施設やその近辺の破損が多く発生した。それと同時に、停電による断水や取水ピットへの汚泥の流入なども発生し、被害形態が多岐にわたった。

図3に、各自治体での最大時間降水量と断水期間の関係を示す。藤枝市や島田市など、最大時間降水量が大きい地点においては断水期間が長くなる傾向がある。

断水戸数の配水エリアごとの空間分布を発災後からの時刻歴で示したものが図4である。図4から、発災直後においては静岡市をはじめとする広い範囲で断水が生じたことがわかる。また、発災から5日後の9月29日においても、9月24日時点では被害が生じていなかった浜松市や森町、藤枝市などにおいて新たに断水が発生している自治体が多く見られた。10月6日にはほとんどの自治体で断水が解消したものの、島田市や藤枝市では10月13～14日まで断水が続いた。

3. 応急復旧過程

応急復旧において事業者以外への要請が行われたのは静岡市のみである。承元寺取水口の流木などの除去作業等の状況によっては断水が長期化する可能性が検討され、承元寺の取水口破損への対応について自衛隊に撤去作業の支援が要請された。それ以外の自治体では他事業者への応急復旧要請は行われなかった。

静岡市の停電については、自家発電や給水車により対応し、9月25日16時にすべて解消した。承元寺取水口の閉塞については9月25日午後から流木などの撤去作業が行われ、9月28日未明に作業終了した。宮嶋橋落橋については、9月28日から10月1日にかけて道路橋を用いた仮設橋の接続を実施した。その間、9月27日から30

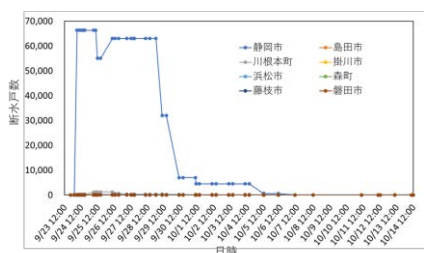


図1 断水戸数の推移

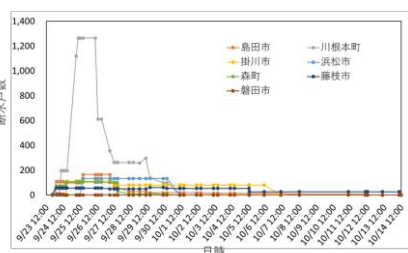


図2 断水戸数の推移(静岡市以外)

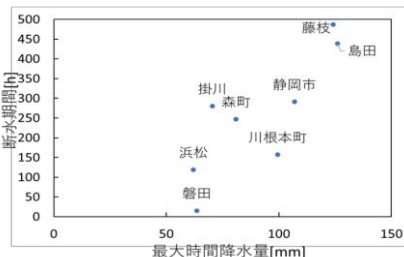


図3 最大時間降水量と断水期間の関係

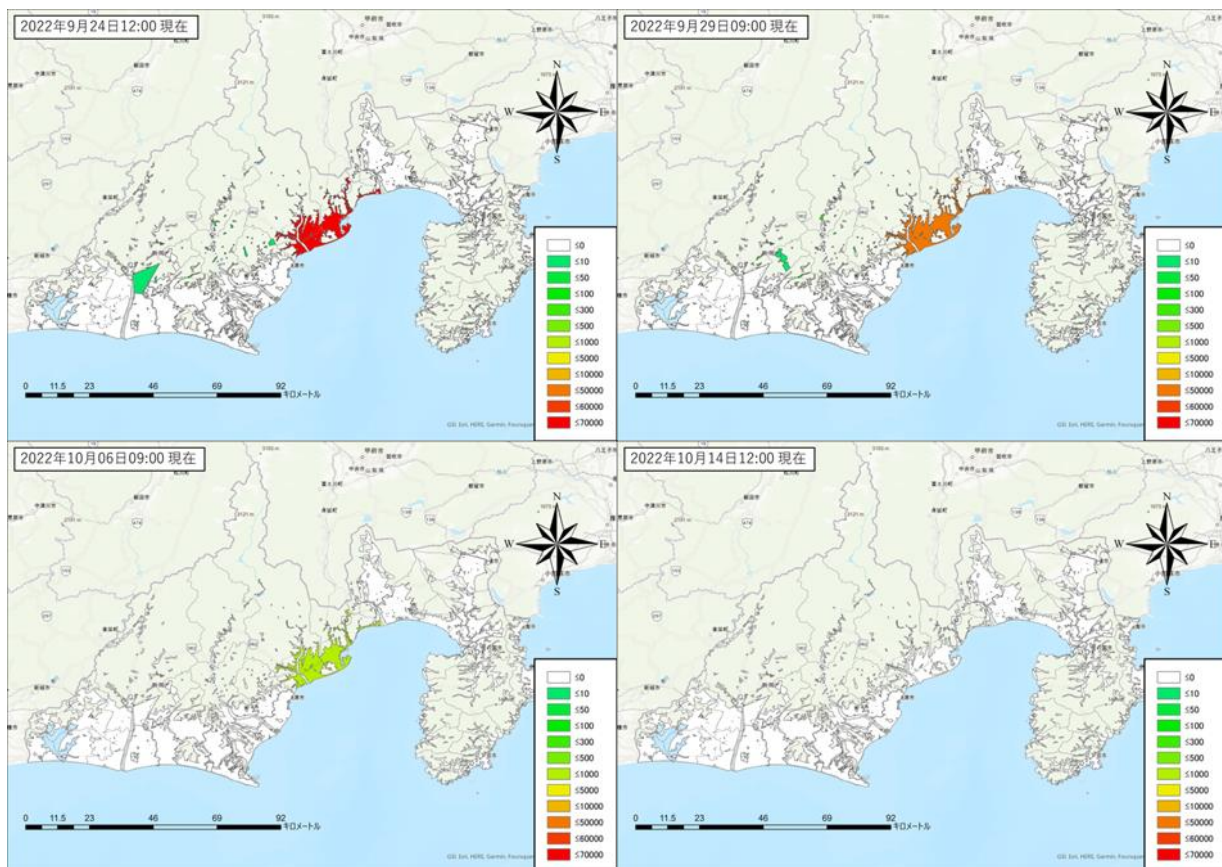


図4 断水戸数時刻歴の空間分布

日にかけて、断水地域を6つのエリアに分け工業用水の切り回しなどによって、約60,000戸の充水を行った。川根本町については、川の氾濫が収まるまで導水管に近づけず、復旧作業が行えない地区があった。その間は補助水源や6tタンクなどで給水した。それらの地区では9月28日中に断水は解消されたが、配水池容量の不足から、6tタンクでの補給作業は29日まで行われた。また、導水管破損が発生した地区では管路の接続に時間を要し、川根本町全体では10月1日に断水が解消された。取水施設の破損が発生した島田市の一色地区においては、10月2日に修繕を行ったが、修繕部品の不足、取り寄せにより10月12日まで追加修繕を行うこととなった。藤枝市では、取水口の修繕により断水が解消された地区もあったものの、坂下地区と羽佐間地区において濁流や地下水の濁りが発生し、それが10月14日まで断水が長期化した要因となった。

4. 結論

2022年台風15号の水害における静岡県内の水道施設の

物理的並びに機能的被害と応急復旧過程の関係を発災直後から時系列で明らかにした。最大時間降水量が大きい自治体においては断水期間が長くなる傾向にあった。静岡市において最大66,300件の突出した断水が発生した。その原因としては、停電によるものが約13,000件、興津川に架かる宮島橋水道橋の落橋によるものが約3,500件、興津川表流水を水源としている承元寺取水口閉塞による清水区全域での断水が約50,000件であった。また、川根本町では、導水管の破損や浄水場等への土砂の流入が発生し、最大1,264件の断水が発生した。

謝辞：静岡県内の台風被害、復旧に関する報告書データなどの収集やヒアリング調査に際しては、静岡県の八木宏晃氏並びに静岡県くらし・環境部環境局水資源課より貴重な研究情報を賜りました。なお、本研究は、科学研究費補助金・基盤研究(A)(研究代表者：本田利器・東京大学教授、課題番号：20H00258)の研究分担として一部助成を得て実施いたしました。ここに記してすべての皆様方に謝意を表します。

参考文献：1)令和4年台風第15号による大雨，気象庁，2022年11月2日

神戸市における都市開発と土砂災害リスクの関連性に関する研究

A Study on the Relationship between Urban Development and Landslide Risk in Kobe City

北脇 敬吾¹, 浦川 豪¹
Keigo KITAWAKI¹ and Go URAKAWA¹

¹兵庫県立大学大学院減災復興政策研究科

Graduate School of Disaster Resilience and Governance, University of Hyogo

After organizing the current status of evacuation-related information in wind and flood disasters, we selected landslide disasters as the target hazard because there is little information available to make decisions on issuing evacuation information, more than half of the cases of damage occurred before the issuance of Level 4, and the lead time is limited. In order to analyze the characteristics of high-risk areas, residential areas developed on the periphery of the city due to the sprawl phenomenon were considered to be high-risk areas for landslide damage. We analyzed whether there is any difference between the developed areas and the areas that include landslide risk polygons in the hazard map in the Kobe City area.

Keywords : Landslide disaster, evacuation-related information, Kobe City, urban development, GIS

1. 研究の背景と目的

日本の国土は、地形、地質、気象等の面で極めて厳しい条件下にある。全国土の約7割を山地・丘陵地が占めており、世界の主要河川と比べ、標高に対して河口からの距離が短く、急勾配であり、降った雨は山から海へと一気に流下する。このような国土条件において、梅雨や台風により大雨が降ることで、洪水や土砂災害がたびたび発生している¹⁾。実際に、総務庁消防庁令和3年消防白書より、平成23年から令和2年の10年間の風水害の被害状況の推移を見てみると、風水害による被害は大きく、平成30年の人的被害（死者・行方不明）は293名、令和元年の住宅被害（全壊・半壊）は38,148件など、近年も風水害による被害は甚大であることが分かる²⁾。

国土交通省より、これら風水害対策における課題として、気候変動に対応した計画や基準になっていない、流域全体で連携して治水を行う仕組みが不十分、災害時に被害を最小化する住まい・まちづくりになっていない、災害や土地リスク情報が不十分かつわかりにくい、情報がわかりづらく、住民に伝わっていない・避難行動につながっていないなどが挙げられている³⁾。

内閣府防災情報のページより、風水害から身を守るためには「把握する」「避難する」「声をかける」の3つが重要であると記されている⁴⁾。「把握する」に着目した研究として、高木らは、近年の豪雨災害において災害リスクの認知が不十分なことにより適切な住民避難行動が取られていない点を課題とし、災害リスクを認知していながら避難しなかった住民の避難行動に焦点を当て、災害リスクの認知と住民避難行動との関連性を明らかにしている⁵⁾。

「避難する」に着目した研究として、木下らは、住民が災害時に避難行動に至るまでの心理過程を4つの心理的段階に分類し計画へと反映させることで、平常時の住民の行動変容が期待でき、災害時の避難率が向上すると示している⁶⁾。「声をかける」に着目した研究として、西岡らは、消防職

団員による呼びかけなどの避難誘導活動は、早期避難を促す有効なツールであるという結果が得られている。また、土砂災害の知識を学ぶことにより、住民自らが土砂災害の想定ができ、安全な避難行動を取ることできると示している⁷⁾。

そこで本研究では、「風水害から身を守るための3つのポイント」をこれまでと異なるアプローチでの対策を検討するものとする。①「把握する」については、行政が発信する避難関連情報の現状を把握すること。②「避難する」については、対象ハザードにおけるリスクの高い地域の特徴を分析することで、避難が必要になる地域を明らかにする。そして、③「声をかける」については、行政と住民の役割を明確にした上で、住民や地域としてどのような対策を行っていく必要があるのかを検討するものとし、本研究は、①と②について整理・分析を行うこととした。

2. 行政が発信する避難関連情報の現状の把握

(1) 避難関連情報と防災気象情報の関連性



図1 避難関連情報と防災気象情報の関連性

内閣府避難情報等より、風水害における避難情報と防災

気象情報の関連性を整理する。洪水等に関する情報は、洪水警報、指定河川洪水予報、内水氾濫危険情報の3つの情報を参考に総合的に避難指示等の発令を判断している。一方で土砂災害に関する情報は、大雨警報・特別警報の延長線上に土砂災害警戒情報があるのみである。避難情報発令の判断材料という視点から見ると、土砂災害における市町村が参考にする情報が少ないことが分かった⁸⁾。

(2) 風水害 36 事例と避難関連情報の現状

避難情報発令の判断材料に違いがあることは、災害時にどのような影響を及ぼしているのかということを災害時自然現象報告書を用いて整理を行った。災害時自然現象報告書には、防災気象情報発令時刻、レベル4発令時刻、被害発生時刻の3つが棒グラフにより記載されている。これら3つの情報が記載されている過去8年間（平成21年、26年、27年、29年、30年、令和元年、令和2年、令和3年）の36事例を対象とした⁹⁾。

また、避難勧告が廃止される以前のデータを含めた整理のため、「避難勧告」と「避難指示」は「レベル4」として統一した。

36事例を調査した結果、37%の事例は、レベル4が発令される前に被害が発生していることが分かった。さらには、そのうちの56%が土砂災害であることが分かった。そして、レベル4が発令されて被害が発生するまでの時間をリードタイムと仮定した場合には、洪水災害のリードタイム平均時間は366分、土砂災害のリードタイム平均時間は93分と、約4倍近く洪水災害のリードタイムが長いことが分かった。

以上より、土砂災害における避難情報発令の判断材料が少ないこと、レベル4が発令される前に被害が発生している事例の半数以上が土砂災害であること、土砂災害は洪水災害と比較してリードタイムが4分の1しかないことから、本研究では、土砂災害を対象ハザードとすることとした。

事例番号	事例名	発令時刻	被害発生時刻	レベル4発令時刻	リードタイム (分)
1	埼玉県川越市土砂災害	18:00	17:30	18:00	30
2	東京都目黒区土砂災害	18:00	17:45	18:00	15
3	東京都目黒区土砂災害	18:00	17:45	18:00	15
4	東京都目黒区土砂災害	18:00	17:45	18:00	15
5	東京都目黒区土砂災害	18:00	17:45	18:00	15
6	東京都目黒区土砂災害	18:00	17:45	18:00	15
7	東京都目黒区土砂災害	18:00	17:45	18:00	15
8	東京都目黒区土砂災害	18:00	17:45	18:00	15
9	東京都目黒区土砂災害	18:00	17:45	18:00	15
10	東京都目黒区土砂災害	18:00	17:45	18:00	15
11	東京都目黒区土砂災害	18:00	17:45	18:00	15
12	東京都目黒区土砂災害	18:00	17:45	18:00	15
13	東京都目黒区土砂災害	18:00	17:45	18:00	15
14	東京都目黒区土砂災害	18:00	17:45	18:00	15
15	東京都目黒区土砂災害	18:00	17:45	18:00	15
16	東京都目黒区土砂災害	18:00	17:45	18:00	15
17	東京都目黒区土砂災害	18:00	17:45	18:00	15
18	東京都目黒区土砂災害	18:00	17:45	18:00	15
19	東京都目黒区土砂災害	18:00	17:45	18:00	15
20	東京都目黒区土砂災害	18:00	17:45	18:00	15
21	東京都目黒区土砂災害	18:00	17:45	18:00	15
22	東京都目黒区土砂災害	18:00	17:45	18:00	15
23	東京都目黒区土砂災害	18:00	17:45	18:00	15
24	東京都目黒区土砂災害	18:00	17:45	18:00	15
25	東京都目黒区土砂災害	18:00	17:45	18:00	15
26	東京都目黒区土砂災害	18:00	17:45	18:00	15
27	東京都目黒区土砂災害	18:00	17:45	18:00	15
28	東京都目黒区土砂災害	18:00	17:45	18:00	15
29	東京都目黒区土砂災害	18:00	17:45	18:00	15
30	東京都目黒区土砂災害	18:00	17:45	18:00	15
31	東京都目黒区土砂災害	18:00	17:45	18:00	15
32	東京都目黒区土砂災害	18:00	17:45	18:00	15
33	東京都目黒区土砂災害	18:00	17:45	18:00	15
34	東京都目黒区土砂災害	18:00	17:45	18:00	15
35	東京都目黒区土砂災害	18:00	17:45	18:00	15
36	東京都目黒区土砂災害	18:00	17:45	18:00	15

図2 風水害 36 事例の整理

3. リスクの高い地域の特徴

(1) 既往文献での課題

豪雨災害による被害拡大の要因としては、降雨強度の増大以外にも、危険性が相対的に高いエリアの都市化（市街地縁辺部へのスプロール、低平地の農地転用による宅地開発など）があると考えられ、これによる土砂災害や水害の危険性増大も指摘されている¹⁰⁾。例えば内山らは、特に危険性が高い地域は、山際まで開発された都市郊外の住宅地、中山間地域に点在する集落であると述べている¹¹⁾。経済発展に伴って都市住民が増大し、居住地のスプロールの拡大が始まった。その拡大は先ず郊外丘陵地に向かい、いわゆる

都市型水害や急傾斜地斜面崩壊による土砂災害を引き起こした¹²⁾。田中らは、土石流被害地域の宅地化、都市周辺部のスプロール現象による住宅地拡大¹³⁾。中谷らは、山裾まで開発が進んだ扇状地の住宅地で発生した土石流により人的・物的被害が生じた¹⁴⁾。これらの被害を受けやすいと考えられるエリアの特性を把握した上で、被害を受けやすいエリアを対象に先駆けた避難関連情報の発令を行うことができれば被害を軽減することが可能であるとする。

(2) 既往文献での手法

土砂災害による被害を受けやすいと考えられるエリアを把握する手がかりのひとつとして、土地利用の変遷に着目し、これと豪雨災害との関係の把握を試みた研究が、これまでいくつかなされてきた。例えば片野らは、広島県三原市を対象として、平成30年7月豪雨の土砂災害と水害による建物被害の特性を罹災証明書データを用いた分析が行われている。被害を受けた建物の特性やその立地特性を把握することを目的としたものである¹⁵⁾。田中らは、広島市安南区阿武山南東麓で発生した土石流被害について、被災建物の分布とその建築年代の関連を定量的に分析し、都市周辺のスプロール現象による住宅地拡大によってもたらされた災害の特徴について議論されている¹³⁾。田村らは、平成30年7月豪雨被災地を対象に、ハザードマップや土地利用図を用いて浸水エリアの特徴を把握すること、また、浸水エリアと宅地開発の変遷および土地利用履歴との関連を調べることで、浸水リスク増大の要因を把握し、洪水被害軽減のための土地利用検討に資すると考えられる知見を得ることを目的としたものである¹⁶⁾。

本研究では、土砂災害におけるリスクの高い地域の特徴を分析することで、早期避難が必要になる地域を明らかにするために、神戸市を対象として、開発地の変遷図とハザードマップの土砂災害リスクポリゴンデータを用いて、ハザードマップの土砂災害リスクポリゴンを含んだエリアと開発されたエリアの相違について分析した。

4. 研究概要

(1) 対象地概要

神戸市の市街地は、明治以降より第2次大戦前までの間に、六甲山地の断層崖下に、幅2~3km未滿、長さ20kmの比較的急勾配を呈する狭長な複合扇状地上に発達してきた。戦後、六甲山地北側および北西側の町村を併合したことにより、市域は東西36km、南北30kmにもわたり、市域面積は541.84 km²となり、戦前の面積の5倍という著しい拡大をみるようになった。市域面積の90%は山地（主として六甲山地裏側）、10%が平地（主として六甲山地表側）という面積比となった。一方、全人口（137万人）の90%が平地に居住している。いずれにしても、著しい不均衡状態がみられた。この不均衡を是正させるために大規模な埋立事業が計画され、その埋立土砂を、後背山地からとることとなった。そして、土砂採取跡地を宅地その他の都市的用地として利用することは、市民に住宅用地を提供し、広い丘陵地・台地に新たな価値を付することになった¹⁷⁾。

(2) 使用データと研究の流れ

開発地の土砂災害リスクを把握するために開発地の変遷図とハザードマップの土砂災害リスクポリゴンデータを用いた。この開発地の変遷図をもとに、開発が行われたエリアを抽出した後、それらのエリアに土砂災害リスクポリゴンが含まれているのかを分析した。そして、土砂災害リス

クをもつエリアにおいて居住地の規模を明らかにすることで、神戸市の都市開発と土砂災害リスクとの関連性を明らかにする。

分析手順を以下に示す。

- ・開発地の変遷図をジオリファレンスし開発地の抽出
 - ・抽出した開発地にハザードマップの土砂災害リスクポリゴンが含まれているかを分析
 - ・ハザードマップの土砂災害リスクポリゴンを含むエリアと開発地を比較
 - ・開発地の土砂災害リスクポリゴンを含むエリアの街区データのみを抽出し、人が住んでいるエリアを再抽出
- 次章以降では、上記の流れに基づき、分析した結果を述べる。

5. 土砂災害におけるリスクの高い地域の特徴を分析

(1) 開発地の変遷図をジオリファレンスし開発地の抽出

神戸市建設局防災課と都市局都市計画課に問い合わせたところ、当時の資料は見当たらないとのことであったため、論文に記載されている変遷図¹⁸⁾をジオリファレンス処理を行った。神戸市域における大規模地形改変の時間的・位置的变化(田中真吾・沖村孝)より、第1図神戸市における人口密集域および開発地の変遷をジオリファレンスした。1956~1960, 1961~1965, 1966~1970, 1971~1975, 1976~1980, 1981~1985, 1986~1990の7枚の図を年代毎に抽出した。変遷図の黒色に塗りつぶされたエリアに相当する大字ポリゴンを抽出した。その結果として、821箇所のうち143箇所のエリアが開発地であることが分かった。

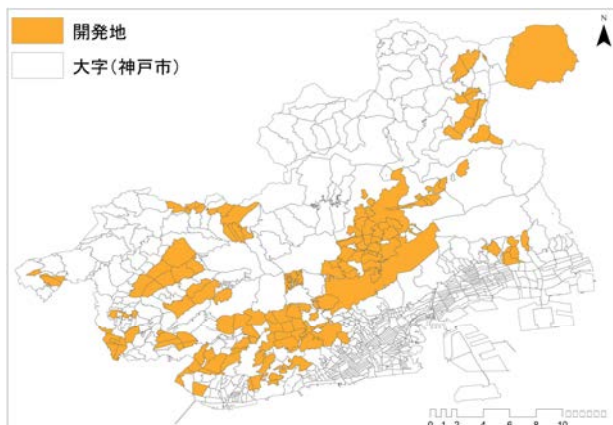


図3 抽出した143箇所

(2) 抽出した開発地と土砂災害リスクポリゴンの関係性

国土数値情報より、令和3年版の土砂災害警戒区域データを用いて目視による分析を行った¹⁹⁾。結果として、143箇所のうち114箇所(79.72%)が土砂災害警戒区域データを含んでいることが分かった。また、年代毎に整理する中で、1968年の新都市計画法が制定される以前に行われた開発地は土砂災害警戒区域データを含んでいる確率が高いことが分かった。その理由として、人口及び産業の都市集中により、都市及びその周辺地域において、市街地が無秩序に拡散するという背景に、1968年に新都市計画法が制定された。その内容は、①都市計画決定主体、②市街化区域と市街化調整区域の区分の創設、③開発許可制度の創設であり、この③により、開発制度が厳しくなった。そして、この新都市計画法が制定される前に、駆け込みのように行われた小さな開発がある。実際に、1956~1960, 1961~1965, 1966~1970に

開発された39箇所のうち38箇所(97.43%)が土砂災害警戒区域データを含んでいたことが分かった。

(3) 土砂災害リスクポリゴンを含むエリアと開発地の比較

土砂災害警戒区域データを属性選択により、急傾斜地の崩壊、地すべり、土石流の3つに分類し、開発地とそれ以外の地域を比較することで開発地の土砂災害リスクの特徴を明らかにした。急傾斜地の崩壊は、336箇所のうち109箇所(32%)、地すべりは、228箇所のうち48箇所(21%)、土石流は27箇所のうち2箇所が開発地であることが分かった。急傾斜地の崩壊の占める割合が高いことから、埋立土砂を後背山地からとったことが原因であると考えられる。また、母数においても急傾斜地の崩壊の数値が最も高いことから、山・海・川の3つがありコンパクトシティと呼ばれる神戸市の特徴が見られた。

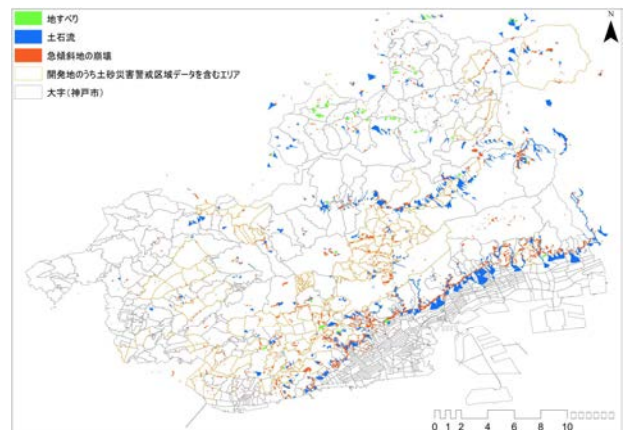


図4 土砂災害警戒区域データを含むエリア

(4) 開発地における土砂災害と居住エリア

開発地のうち土砂災害警戒区域エリアを含む114箇所において、行政区分地図データ2022年版の街区データを用いて、人が住んでいるエリアのみを再抽出した²⁰⁾。大字単位での面積をディゾルブとジオメトリ演算により表示させた後、区画整理されていない街区番号「1」に該当するエリアの面積を引いた。そして、区画整理された箇所のみ76箇所を用いて面積の平均値を算出した。結果として、その平均値は54.9haであることが分かり、741m四方に相当する。キキクルでの公開されている情報の解像度は1km四方であり、神戸市において都市開発が行われ、土砂災害リスクを保有する居住エリアは狭いエリアであることが分かった。

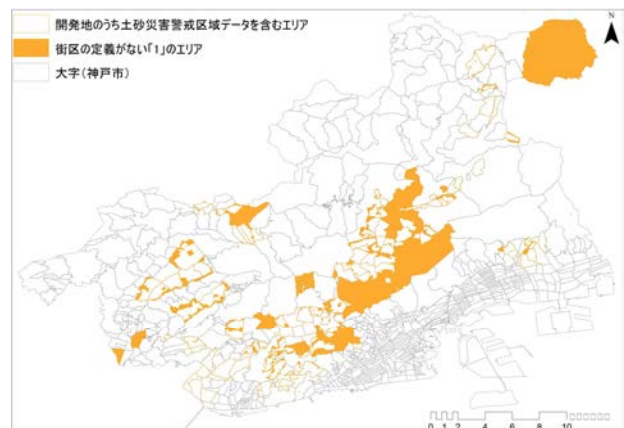


図5 開発地における土砂災害リスクと居住エリア

セッション B

- | | | |
|------|--|-------------|
| B-1 | 熱海伊豆山土石流災害における住民の行動とその要因についての分析 | 柴田 結衣 |
| B-2 | 伊勢湾台風に伴う広域・長期浸水地域におけるライフラインの復旧過程に関するレビュー：
1. 決壊堤防の仮締切に関する時空間変異 | 田代 喬 |
| B-3 | 東日本大震災時の津波避難等に関する調査
－青森県三沢市三川目・六川目地区での事例－ | 池田 浩敬 |
| B-4 | 台風における避難行動を喚起するテレビ報道の実態の分析 | 川坂 勇太 |
| B-5 | 過去 20 年間に対応した危機事象の種類に関する都道府県別比較 | 庄司 秀明 |
| B-6 | 臨時情報発表時の社会事象とその要因の推定に関する一考察
～なぜなぜ分析を応用した災害事象の要因分析手法の検討～ | 千葉 啓広 |
| B-7 | 富士山北麓地域の住民とのリスクコミュニケーションに基づく避難支援ツールの開発 | 佐藤 史弥 |
| B-8 | 関東大震災以降の東京都市圏の露出度変化に関する研究 | 藤原 叶多 |
| B-9 | Assessment of Open Space Performance in Tokyo
from the Perspective of Urban Disaster Resilience | Yitong DONG |
| B-10 | 将来災害想定における災害障害者の発生数推計 | 高原 耕平 |
| B-11 | 海南省事前復興計画策定における継続的な自治体職員研修の効果と課題 | 金 玟淑 |
| B-12 | 徳島県内の社会福祉施設棟への BCP 策定支援からみた災害対策の現状と課題 | 湯浅 恭史 |
| B-13 | 自治体向け時空間地理情報システムにおける滅失家屋の時間消滅処理ツールの試作 | 金子 幸喜 |
| B-14 | 新型コロナウイルス感染症対応における都道府県型保健所および市町村保健センターのアンケート調査による役割分担の実態分析 | 大西 真衣 |

熱海伊豆山土石流災害における住民の行動とその要因についての分析

Analysis of Residents' Behavior and its Factors in the Atami Izusan Mudslide Disaster

○柴田 結衣¹, 辻 翔平², 田中 聡², 重川 希志依³
 Yui SHIBATA¹, Shohei TSUJI², Satoshi TANAKA² and Kishie SHIGEKAWA³

¹ 元常葉大学 社会環境学部

Faculty of Social and Environmental Studies, Tokoha University

² 常葉大学大学院 環境防災研究科

Graduate school of Environment and Disaster Research, Tokoha University

³ 常葉大学名誉教授

Professor Emeritus, Tokoha University

In the mudslide disaster that occurred in the Izusan area of Atami City on July 3, 2021, we analyzed how differences in evacuation behavior and livelihood reconstruction were affected by differences in residential areas and conditions. The results showed, for example, that information on the occurrence of a mudslide was transmitted from the upstream area, where the mudslide was directly witnessed, to the downstream area.

Keywords : Mudslide Disaster, Atami City, Evacuation Behavior, Livelihood Reconstruction

1. 背景と目的

日本の河川は、標高に対して河口までの距離が短いため、雨が降ると山から海へ一気に流れ出し、そこに台風や梅雨などで大雨が降ることで、洪水や土砂災害が頻発しやすい地形となっている。近年、その土砂災害を引き起こす大雨や短時間強雨が増加している。短時間強雨について、1時間降水量が50mm以上となる年間の回数を「1976年から1985年」と「2010年から2019年」で比較すると、直近の10年間は約1.4倍の発生回数となっており、長期的に増加している。次に、土砂災害の発生件数を見てみると、昭和57年から令和3年までの平均が1,110件なのに対し、平成30年は3,500件近くも土砂災害が起こっている。このように、災害が多発している現在、いつ襲われるかわからない災害のために、どのように行動するかについて事前を知っておく必要がある。そこで、令和3年に発生した972件の土砂災害の中でも最も被害の大きかった「熱海市伊豆山地区土石流災害」に注目した。

熱海伊豆山土石流災害において、被災者の行動を追っていくと、ホテル避難中の一次避難～四次避難には個人で大きな差が見られなかった。そこで、個人の行動に差が出た「発災から避難行動開始まで」と「自宅帰還後またはみなし仮設入居後から現在まで」の変遷に焦点を当て、居住地や条件の違いにより避難行動または生活再建にどのような差が生まれてくるのか分析する。

2. 対象地域と災害の概要

2021年7月3日、熱海市伊豆山地区で発生した土石流は、延長約1km、最大幅120mにわたり、死者28名、建物全壊75棟など大きな被害を出した。逢初川の源頭部（海岸から約2km上流、標高約390m地点）から伊豆山港まで、川に沿って流下した。第一波が発生したのが10時28分頃、その後もあとから発生した

土石流が覆いかぶさる形で巨大化したとみられる。正午過ぎに国道135号線まで到達、さらに海まで流れていったため、約2時間かけて源頭部から海まで流れ下った。

住民はコロナ禍でホテルが休業中であったことから、体育館などではなくホテルで避難生活を送った。

土石流発生の原因としては、連日降り続いた雨と、土石流の土砂の大半が発生地付近に人為的に作られた盛り土であることとされる。残土への警戒から、被災地域には警戒区域が設けられ、区域内の住民は発生直後から現在も他地域での暮らしを余儀なくされている。

3. 研究方法

(1) ヒアリング調査

2021年7月3日に土石流災害が発生した当時、伊豆山地区に住んでおられかつ、被災した方10人（世帯）にヒアリング調査を実施した。ヒアリング対象者とヒアリング日時は表1のとおりである。また、対象者の被災前の居住地を図1に示した。上中下流の分け方は、図1中に示した「神社線」と呼ばれる市道と、国道135号線の上下で区切った。

表1. ヒアリング対象者と日時

事例番号	対象者	居住地域(上・中・下流)	ヒアリング日時
事例1	60代女性	上流部	2022年10月5日 12時～14時
事例2	50代女性	上流部	2022年8月26日 15時～16時
事例3	60代女性	上流部	2022年8月29日 13時～14時半 2022年12月16日 9時半～11時半
事例4	70代女性	上流部	2022年10月5日 14時～16時
事例5	70代男性	上流部	2022年10月5日 14時～16時
事例6	40代男性	中流部	2022年9月8日 13時～15時
事例7	50代夫婦	中流部	2022年9月13日 13時～16時
事例8	70代夫婦	中流部	2022年10月5日 12時～14時
事例9	70代女性	下流部	2022年10月25日 14時～16時
事例10	40代男性	下流部	2022年9月1日 13時～15時

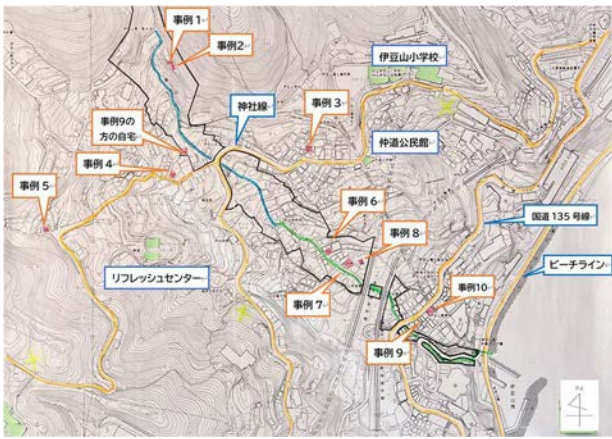


図1. 調査対象者の居住地

(2) 調査対象者の行動分類

ヒアリング調査を実施した10名の記録をもとに、一人(世帯)ずつの行動を5WIHで分類した。これを行うことにより、ヒアリングを行った10名に共通する行動や異なる行動についてを時間軸を含めて比較分析をすることが可能となると考えた。この方法に基づき行動分類した調査対象者T氏の分析結果の一部を表2に示す。

表2. 行動分類表(一部抜粋)

時間	場所	内容
7月4日～20日	ニューフジヤホテル	私は災害に遭って、避難者としてホテルにいて、中でみんなのこと世話焼いてただけど、私ともう1人…。伊豆山の仲道、岸谷、浜以外の民生委員の人は入れなかったんです。だから、孤軍奮闘。3町内の民生委員の人たちのジレンマっていうのが、すごい。被害に遭った民生委員だけが忙しくて、その周りの民生委員は手伝いたくてもホテルの中に入れないジレンマがあって、個人情報とコロナっていうのは、ほとんど困っていました。
7月4日～20日	ニューフジヤホテル	前日から豪雨じゃないんですよ、普通の梅雨だったんですけど、しとしとしと雨が降って。7月2日、3日には伊豆山は避難所を開設してくださいって言われなかった。
7月2日、3日朝	伊豆山地区	七尾の方たちは、10トントラックが山の方へ土を捨てて行くってのは見てるけど、災害にあった岸谷、仲道、浜の人は、そのトラックが土を運ぶ姿を見てないんですよ、こっちへ通らないで135号線から上上がって行くから。
災害発生前	発生現場	朝早く8時頃。1番上のマツモトさんっていう方のご主人から、小さい川から水が溢れてるよって言われて、主人が町内会長だったもんだから見に行った。
3日8時頃	自宅	その水が溢れてるけど、その土石から流れてるなんてわからないから、その現場の隣にオオダテ建設っていう人の作業所があったので、その人たちに見てもらって、土のうを積んでもらった。
3日8時～9時頃	逢初川上流	主人が積み終わったなって、もう1回こう見に行った時には、その土のうを積んだ人たちはもう自分たちの仕事に行っちゃってなくて、土のうも積んでたから、大丈夫だと思って、帰ってきた。
3日9時頃	逢初川上流	サイレンが鳴って、何が起こったんだって、私と主人は外へ飛び出して、昔農協があったところの駐車場まで上って下を見たら、まだパーンっていうんじゃないかって、うちが滑るっていうのかな。ぬるぬるした沼みたいな水で家が土台から外れて、ゆるゆる流れてきた。その1段下がったこの車も動き始めたんです、スローモーションみたいに。
10時40分頃	自宅	私は主人より1足先に公民館に向かって走ってたら、コマゴメさんのとこのお宅から男の子が2人「家が流される！家が崩れる！」って言って、私のところを通り越しながら探で泣いて走ってきた。だからその子たちは危機一発、ゆるゆる動いてたのを見て、まだ家がぶつかる前に、そのお家から逃げ出してきたんだと思うんです。

3. 結果

ヒアリング対象者10名の行動から事象ごとにフェーズ分けを実施した。フェーズは、災害発生前、発生直後、避難行動、一時避難場所、一次避難所、二次避難所、三次避難所、四次避難所、自宅帰還後又はみなし仮設住宅、住民説明会、生活再建である。以上のフェーズのうち、災害発生後、避難行動の2つのフェーズと自宅帰還後又はみなし仮設住宅、住民説明会、生活再建の3つのフェーズ

に被災住民でばらつきが発生していた。そこで、災害発生後、避難行動の2つを「発災から避難行動開始」フェーズとし、自宅帰還後又はみなし仮設住宅、住民説明会、生活再建の3つを「自宅帰還後又はみなし仮設入居後の生活再建」フェーズとして、ばらつきの要因について分析を行った。

(1) 「発災から避難行動開始」フェーズ

被災住民の避難行動は、上流部に住む住民の行動が早く、時間が経つにつれて下流部の住民が動き出していた。避難するきっかけとして、災害を様々な方法で“知覚”し、避難を始めていたことが明らかとなった(図2)。例えば、図1中の事例1や2などの上流部の中でも源頭部近くに住む住民は、流れてきた土砂を見て避難という災害を直接見て開始した。事例3.4.5など上流に住む残りの住民や事例6.7.8のような中流部の住民は、警察から避難するよう指示を受ける、避難を開始した住民を見る、土砂とともに流れてきた建物の瓦礫を見るといった土石流による被害を認識して避難を開始した。事例9.10など下流部の住民は、上流部にいた家族から避難を促されたり、多くの消防車がサイレンを鳴らして出動する様子から異変を感じて避難を開始するといった災害を間接的に把握していた。つまり、川の上流部ほど避難のきっかけは直接的であり、下流へ行くほど間接的になっていた。

その要因として、土石流の発生間隔が空いていたことが考えられる。その間に警察による避難誘導や家族・近所の人による情報の共有がなされた。また、日中に土砂災害が発生したことで、視覚で災害を捉えることができ、遠くからでも土石流を確認できたためいち早い避難につながったといった要因も考えられる。

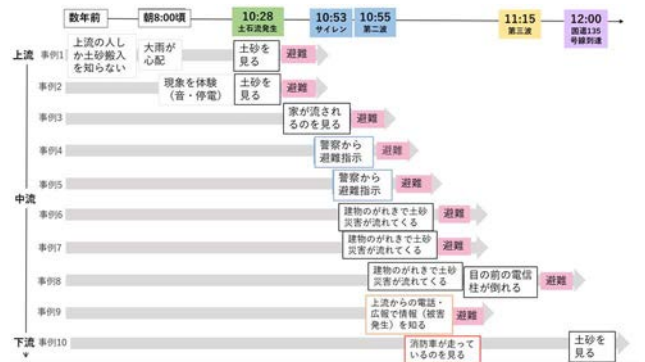


図2. 調査対象者の災害を知覚した要因と時間

(2) 「自宅帰還後またはみなし仮設入居後の生活再建」フェーズ

被災住民10名分の生活再建に向けた行動や、再建にあたってぶつかった課題について分類していくと、①団体、②個人の2つに大きく分けることができた。

①団体では、様々な組織・団体をつくる動きが見られた。被災住民が立ち上げた団体では、市が立ち上げた復興委員会や義援金分配委員会等に対して、住民の声を反映させることを目的とする団体、被害を受けた住民が市に対して賠償責任を追及することを目的とする団体、住民を孤立させないことを目的として立ち上げたボランティア団体等があった。これらは、自分たちの暮らしをよくするため、町を復興復興していくために被災住民が積極的に意見を通すために行動していた。

②個人では、「住宅や事業に対しての補助」、「元の

自宅に戻る・戻らない」、「被災者同士の争い」の3つの問題が発生していた。

「住宅や事業に対しての補助」については、みなし仮設住宅には世帯の人数ごとで補助される金額が異なるため、家賃の高い熱海市や隣接する市町ではなく家賃が安い神奈川県湯河原町へ移り住んだ人が多かった。また、自営業者の事業再開への補助に関する対応が後回しとなったため、資金調達ができずそのまま再建を諦めざるを得ないというような状況も発生した。

「元の自宅に戻る・戻らない」については、長くからこの地に住んでいる住民は、戻りたいと語っているが、住んで間もない住民からは、戻らないと語る方が多かった。また、戻る・戻らないが決定していない住民の意見として、補助金が出ないため修理ができない、解体費用がでないといった金銭的問題と戻れるかわからず、かつ高齢のため再建できないという金銭的問題と時間的問題を含有する意見が語られた。この地区は代々同じ場所に住んでいる住民が多く、ヒアリング調査を行った警戒区域内の住民の大半が元の自宅に戻りたいという意見であった。そのため、戻る・戻らないが決定していない住民も、戻りたいが、障壁があり困っているというような状況であった。

「被災者同士の争い」については、土石流発生によって警戒区域が設けられ、家の被害がないが警戒区域内であるために立ち入ることができなくなった住民と家の被害がない警戒区域外の住民で対立が発生した。また、警戒区域内では、家の被害程度によって支援に差が出たために争いが発生した。

4. まとめ

本研究では、2021年7月3日に発生した熱海市伊豆山地区土石流災害において、被災住民の発災時から現在に至るまでの行動を辿り居住地や条件の違いにより、避難行動または生活再建にどのような差が生まれてくるのか分析した。

「発災から避難行動開始」では、川の上流部に住んでいた住民は、土石流を直接見て避難を開始した。中流部の住民は、土石流とともに上流から流れてきた家の瓦礫を見たり、異音を聞いたり、先に避難した住民を見たりしてから避難を開始した。下流部の住民は、上流部にいた家族からの連絡や出動した消防車を見たことによって避難行動を開始した。つまり、避難する要因は上流に行くほど直接的であり、下流に行くほど間接的であった。これは、今回の土石流が第一波から第八波まであり、一つ一つの発生に時間が空いていたこと、発生したのが日中であり視覚により土砂災害を認知できたことが主な理由と考えられる。

「自宅帰還後またはみなし仮設入居後の生活再建」については、住民の行動を団体と個人に分けて分析を行った。団体では、市民が立ち上げた団体にはそれぞれ目的があるが、どれも自分たちの暮らしを豊かにする、他の住民が暮らしやすくする、といった目的であった。市も住民の意見に応えるべく住民説明会の開催やまちづくりワークショップの開催に力を入れた。個人では、元の家に戻るか戻らないかについて、本人または家族のその土地の居住年数が深く関わっているとみられる。まだ元の家に戻るか決まっていない人は、「戻りたいが何らかの障壁がある」という方がほとんどであった。また、発災から時間が経過するにつれ、自宅に被害があった人もな

かった人も最初は同じ“被災者”が、次第に自宅に被害があった、家族を亡くした人などと状況の差が大きくなり、住民同士のコミュニケーションも難しくなるという問題も抱えていた。

参考文献

「街は2時間土砂に襲われた～検証・熱海土石流～」NHK (9月10日閲覧)

https://www3.nhk.or.jp/news/html/20210818/k1001320769100_0.html

謝辞

本研究を実施するにあたり、ヒアリング調査にご協力いただいた熱海市住民の皆様に深く感謝申し上げます。

また本研究は、2022年度常葉大学共同研究「再被災リスクのある土地での住宅再建における意思決定プロセスの解明 - なぜ人はリスクのある場所に再び住むのか - (研究代表者：田中聡)」ならびに文部科学省科学研究費助成事業「COVID-19 影響下における被災者の自助・共助の災害対応活動に関する研究(研究代表者：重川希志依)」の成果を含むものです。

伊勢湾台風に伴う広域・長期浸水地域におけるライフラインの復旧過程に関するレビュー：1. 決壊堤防の仮締切に関する時空間変異

A Review of Lifeline Restoration Processes in Widespread and Long-Term Flooded Areas Following Damages due to the Typhoon Vera (Ise Bay Typhoon in 1959):

1. Spatio-temporal Variations in the Temporal Closure of Levee Failures

○田代 喬¹, 倉田 和己^{1,2}, 荒木 裕子^{1,3}

Takashi TASHIRO¹, Kazumi KURATA² and Yuko ARAKI³

¹ 東海国立大学機構名古屋大学 減災連携研究センター

Disaster Mitigation Research Center, Nagoya University, Tokai National Higher Education and Research System

² 株式会社ファルコン

Falcon Corporation Co., Ltd.

³ 京都府立大学 大学院生命環境科学研究科

Graduate School of Life and Environmental Sciences, Kyoto Prefectural University

The Typhoon Vera that struck in September 1959 (Ise Bay Typhoon) caused extensive damage due to strong winds, storm surges and flooding. In the Nobi Plain, which has the largest low-lying area in Japan, a large area including urban areas was inundated for a long period of time due to levee failures at many points. In this paper, we report the results of a literature review on the spatio-temporal distribution of coastal and river bank failures in the Ise Bay and Mikawa Bay coastal areas and the subsequent temporary closures in order to analyze the sustainability of livelihoods in the affected areas that were subjected to long-term and widespread inundation from various aspects.

Keywords : Typhoon Vera (Ise Bay Typhoon), levee failure and its temporary closing, priority of restoration works, literature review

1. はじめに

1959年9月26日に襲来した伊勢湾台風は、強風、高潮と洪水により甚大な被害をもたらした。特に、我が国最大の低平地を抱える濃尾平野では、多地点の堤防決壊に伴って都市域を含む広範囲が長期にわたって浸水し、電気、ガス、水道、交通、通信など、都市を担うライフラインの多くも途絶の憂き目にあった¹⁾。しかし、被災後も浸水した自宅に留まったり、浸水域内の避難所に身を寄せたりするなど、浸水した地域に滞留した市民が多数いたと報告されている²⁾。沿岸低平地において生じた広域・長期にわたる浸水状況下において、発災後も住民が浸水域に留まることができたり、そこに留まらざるを得なかったりした要因を明らかにすることは、将来、迫りくる大規模水害への備えを進めるうえで重要である。

本研究では、長期・広域浸水に見舞われた被災地域における生活持続性を多面的に分析するため、その背景情報となるライフラインの復旧過程に着目する。本報ではその端緒として、浸水の直接的原因である海岸・河川堤防の決壊がどの程度生じ、その後の仮締切がどのように進められたのか、文献レビューした結果を報告する。

2. 材料と方法

被災後の応急復旧に関する情報は、各行政機関によりまとめられた災害誌や復興誌に掲載されている。ここでは、建設省中部地方整備局³⁾、愛知県⁴⁾、三重県⁵⁾や郷土史家⁶⁾の記述を材料とし、次のような情報抽出を行った。すなわち、地区名、決壊区間の延長、仮締切の着手年月日と完了年月日である。なお、総延長 34 km に及ぶ決壊

堤防の仮締切については、中部日本災害対策本部内の締切排水委員会により9月30日に大綱方針が定められ、木曾三川は建設省(中部地方建設局)、その他地域は愛知、三重各県が各管内を施行するとされた⁴⁾。

3. 結果と考察

文献^{3)~6)}によると、伊勢湾台風によって愛知、三重両県において、合計243地区、総延長33,965 mにも及ぶ堤防決壊が生じた。この内訳は、愛知県管内が214地区で延長25,989 mと大半を占め、建設省管内が24地区で延長7,013 m、三重県管内が5地区で963 mと続く。ここでの地区は複数の決壊箇所をまとめた場合も含まれ、堤防整備状況の違いから単純に比較できないが、近年最大だった令和元年東日本台風による堤防決壊数(全国142カ所⁷⁾)を遥かに凌駕していることから、当時の社会影響の大きさが想像される。

図-1には、愛知県⁴⁾の整理に倣い標高1.5 m以下の高潮区域内における地区ごとの堤防決壊延長を算出し、伊勢湾・三河湾の海岸線に沿って西側から時計回りに地区を配置した円グラフを示す。堤防決壊延長は、愛知県西部の海部地域を流れる日光川(約5,600 m)、木曾川と長良・揖斐川に挟まれた最下流の長島町(約3,500 m)、知多半島北部西岸の上野海岸(約2,500 m)、木曾川左岸の三重県木曾岬町(約2,400 m)の順で長かった。濃尾平野の海拔ゼロメートル地帯における浸水被害が甚大であったことは疑いようが無いものの、濃尾平野から外れた知多半島沿岸や三河湾においても被害は小さくなかったことが認識される。

また、各地区における決壊堤防の仮締切作業を比較するため、(12月時点で作業開始していない地区を除き、複数箇所を含む地区を対象に、)9月26日からの経過日数により表した作業開始日を図-2に、作業開始から完了に至るまでの各地区の所要日数を図-3に示す。この開始日と所要日数について地区を要因とする一元配置分散分析を行ったところ、作業開始日、所要日数ともに有意差が確認された($P < 0.01$)。そこでScheffe's F testによる多重比較検定を実施したところ、作業開始日では、上野海岸と半田・武豊海岸、東浦海岸との間($P < 0.01$)、ならびに、上野海岸と南陽海岸、山崎川、上野・横須賀海岸との間($P < 0.05$)にそれぞれ有意差が検出された。同じく所要日数については、上野海岸と揖斐川、長島、木曾岬、鍋田海岸、日光川、新川、上野・横須賀海岸、衣浦海岸との間($P < 0.01$)、ならびに、上野海岸と庄内川、山崎川、大江川、半田・武豊海岸、東浦海岸、幡豆海岸との間($P < 0.05$)にそれぞれ有意差が検出された。

三重県所管は川越海岸のみとなったが、作業開始は早かったものの完了までに時間を要する難工事であったことが示唆される。また、建設省所管は作業開始までに時間を要したものの、その後の完了までは順調に進捗した様子が窺える。この結果に対応するように、工事誌にはサンドポンプ船などの機材や締切に用いる資材の調達状況が克明に記されており³⁾、難工事に対する準備を着実に進めた様子が確認された。一方、愛知県管内は作業開始までの時間も所要日数も変異に富んでおり、他地区と統計的有意差が生じた上野海岸における作業の遅れが特に顕著であった。名古屋市南部や庄内川以東などは10月5日までに締切よう知事命令が出されていたが⁴⁾、結局、これに応えられた地域は庄内川などの一部地区に留まったように見受けられる。なお、愛知県では優先順位を付した地区計画が策定されていたが⁴⁾、上野海岸などで被害に見合った作業資源が投入されなかった実態や、名古屋市南部に対する報道頻度が多かったこと⁵⁾に鑑みると、適切な地区計画の策定のための情報収集に課題があった可能性が示唆された。

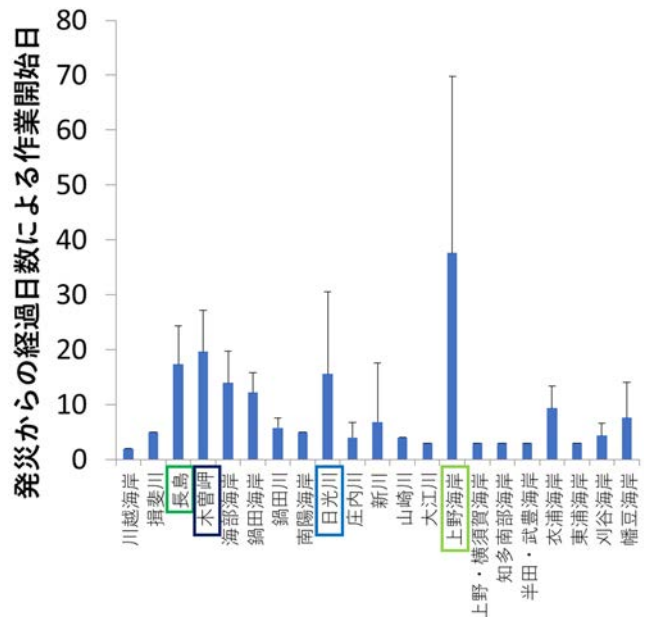


図-2 仮締切作業開始日の比較 (平均と標準偏差)

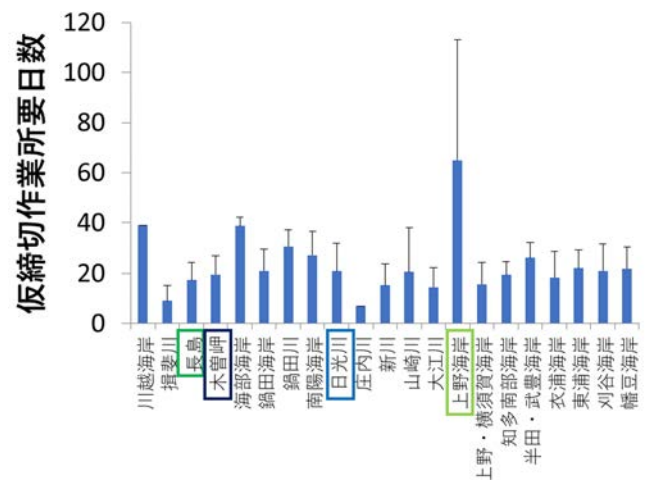


図-3 仮締切作業所要日数の比較 (平均と標準偏差)

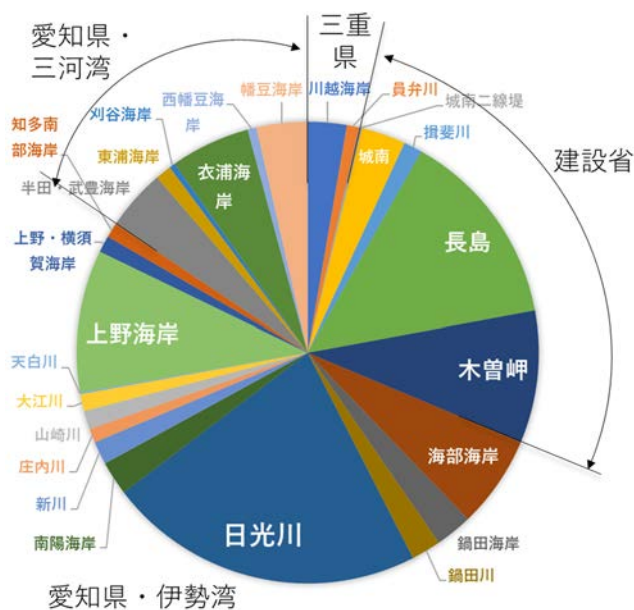


図-1 伊勢湾台風に伴う堤防決壊延長の内訳

謝辞：本研究の一部は、令和3-4年度(一財)河川情報センター研究助成(代表：荒木裕子)、令和4-5年国土交通省河川砂防技術開発公募・提案型流域課題(代表：田代喬)を受けて実施した。

参考文献

- 1) 中部日本新聞社：伊勢湾台風記録—中部日本新聞縮刷版上, 570p, 1959.
- 2) 荒木裕子・倉田和己・田代喬：伊勢湾台風における名古屋市の避難者の分布と移動, 日本災害情報学会第24回大会予稿集, pp.78-79, 2022.
- 3) 建設省中部地方建設局：伊勢湾台風復旧工事誌・上巻, 575p, 1963.
- 4) 愛知県：伊勢湾台風災害復興誌, 499p, 1964.
- 5) 三重県：伊勢湾台風災害誌, 476p, 1961.
- 6) 伊藤重信：輪中と高潮—伊勢湾台風の記録, 三重県郷土資料叢書, 第72集, 171p, 1982.
- 7) 例えば, 佐古俊介・伊藤和久・飯野光則・真野友里子：令和元年東日本台風による堤防決壊と堤防強化について, JICE Report, 37号, pp.2-7, 2020.

東日本大震災時の津波避難等に関する調査 —青森県三沢市三川目・六川目地区での事例—

Survey on Tsunami Evacuation, etc. at the Time of the Great East Japan Earthquake
- Case Study of Mikawame and Mukawame Misawa City, Aomori Prefecture -

○池田 浩敬¹, 辻本 侑生²
Hirotaka IKEDA¹ and Yuki TSUJIMOTO²

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 弘前大学 地域創生本部

Regional Revitalization Division, Hirosaki University

We surveyed victims' evacuation behaviors from the Tsunami after the Great Eastern Japan Earthquake by conducting interviews in Mikawame and Mukawame in Misawa City, Aomori. We analyzed the information gathered by comparing it with the past surveys we conducted in other districts in Sanriku area, Iwate. We clarified common points of evacuation behavior and sheltering in each district and differences by district. We found that the difference in evacuation behavior among the districts is affected by the topography and the past disaster experience. We also found that group relocation project of residents to avoid noise around Misawa Air Base affected the reduction of tsunami damage in Misawa City.

Keywords : evacuation behavior, database, 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⁾、池田ら(2021)⁶⁾において報告されている。

本稿では、2022年9月に青森県三沢市の太平洋沿岸集落で行った津波避難行動等に関する聞き取り調査結果の概要と特徴について報告する。

2. 調査対象地域の概要

三沢市の太平洋岸は、北から天ヶ森、砂森、塩釜、織笠、六川目、細谷、淋代、五川目、四川目、鹿中、三川目があり、おいらせ町の二川目、一川目と集落が続く。これらの集落は江戸期に地曳網漁を営むための納屋が設置され、季節的な居住が発生した後に、漁民が定住化した納屋集落と呼ばれるもので、いずれも小さな沢が海に流れ込む場所(川目)に家屋が建てられていた。定住が始まった詳しい時期は不明であるが、「川目」の数字の順に南から定住化が起こったことが地名から想起される。明治三陸大津波を機に、海岸線の後背にある微高地へと集落が後退するとともに、大正期にかけて、漁獲高が徐々に減少していくにつれ、漁業一辺倒であった集落群は半農半漁の様相を呈するようになった。集落の後退は

初めは津波被害からの回避が原因であったが、次第に畑作適地である火山灰土の台地への接近に向かわせた。⁷⁾

なお、天ヶ森と砂森は航空自衛隊・在日米軍の天ヶ森対地射爆場の、四川目と五川目は三沢基地の騒音問題で集団移転しており、現在は無人となっている。

本調査の対象地域は三川目、六川目集落であり、両者とも海沿いに位置し、それぞれ200世帯程度の規模である。東日本大震災での人的被害は、青森県全体での死者・行方不明者4人のうち、2人が三沢市で発生し、1人は六川目地区の海側にある三沢漁港で船をロープで固定しに行き車ごと流され、1人は三川目地区の海側にあるビードルビーチ付近で第一波後に津波を見に行き第二波で流された。建物被害は市全体で、住家の全壊が19棟、大規模半壊が13棟、半壊8棟、一部損壊が35棟、非住家で、全壊77棟、大規模半壊7棟、半壊21棟、一部損壊5棟で、最大避難人数が1,062人(3/12)であった。

3. 聞き取り調査の概要

2022年9月3日(土)午前中に六川目地区、午後に三川目地区の公民館に於いて聞き取り調査を行った。対象者数は六川目地区が4人、三川目地区が14人であった。このうち避難行動の軌跡が把握できたのは、六川目地区3人、三川目地区11人であった。

4. 他地区の調査結果との共通点と相違点

(1) 前提となる地形と被災経験の違い

筆者らがこれまで津波避難行動調査を行って来た岩手県大船渡市の綾里地区や陸前高田市の小友地区は、典型

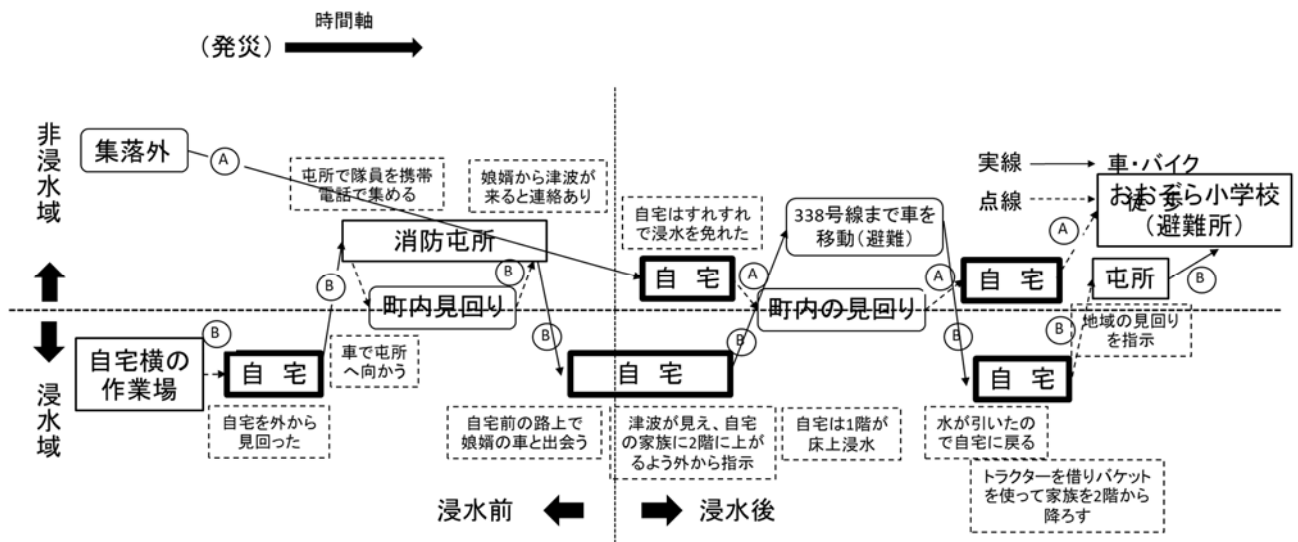


図1 六川目地区での震災後の行動事例

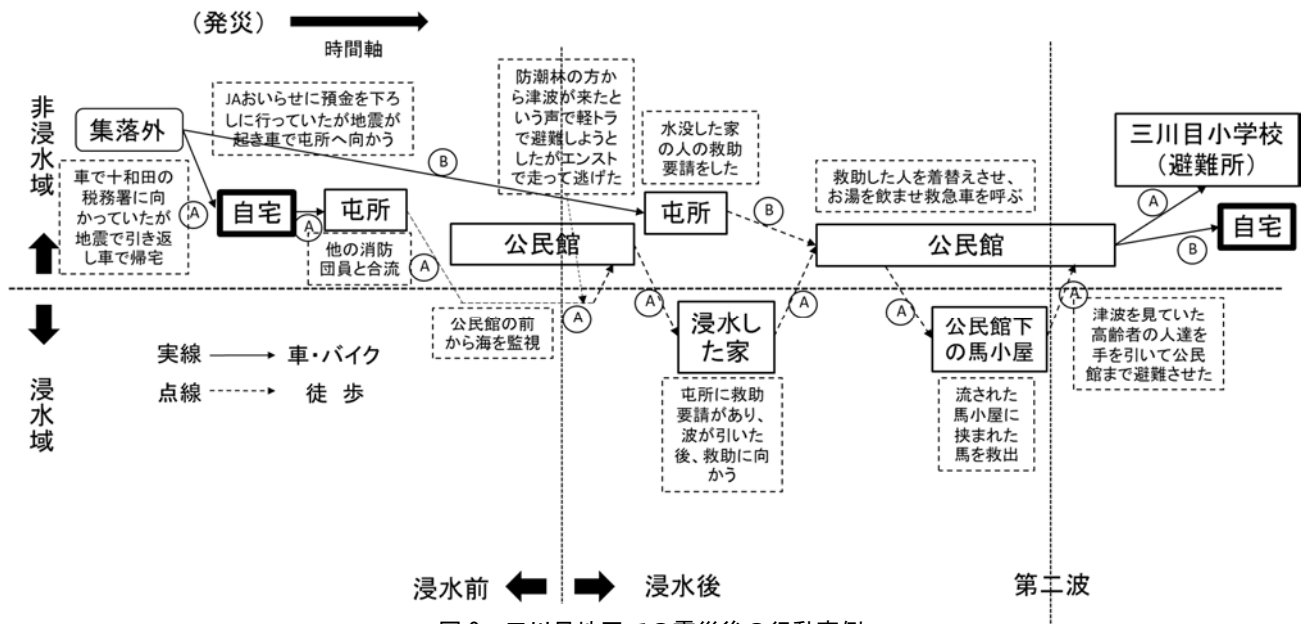


図2 三川目地区での震災後の行動事例

的な三陸のリアス式海岸で、山が海まで迫っていて点在する沢沿いの平地に集落があり、集落の直ぐ近くに避難先あるいは津波観察の場所として適している高台が存在した。一方で、三沢市の沿岸部は平坦な海岸線が長く連なっており、少し高くなっている海岸砂丘の内陸には平坦な火山灰土の微高地が続いていて、海が見渡せるような、あるいは津波からの避難に適しているような高台は殆どない。

1896年(明治29年)の明治三陸地震津波では、全国では死者・行方不明者が21,959人、流失・倒壊家屋は10,393戸に上っているが、三沢市での死者・行方不明者は126人、家屋の流失・全壊も192戸にとどまっている。1933年(昭和8年)の昭和三陸地震津波でも、全国では死者・行方不明者が3,064人、流失・倒壊家屋は1万2千戸程度に上っているが、三沢市での死者・行方不明者は26人、家屋の流失・全壊も100戸程度、津波高も4.5m程度(三川目・六川目地区)にとどまっていて、津波による大きな被害を経験して来た三陸地域とは経験知や意識も異なる。⁸⁾

(2) 相違点

三沢市の三川目・六川目地区では、他地区で見られたような行動途中での津波観察行動はあまり見られなかった(14人中3人)。これは、海を見るのに適した高台が近くに無く、海岸砂丘付近まで行かないと海を見ることが難しいこと、地域として地震津波による大きな被害を経験していないため、揺れの後に直ぐ津波の来襲を想像する人が少なかったこと等が要因として考えられる。(図8参照)

(3) 共通点

一方で、他地区同様に、揺れを感じた後の避難を含む行動の中で一旦自宅へ戻ろうとした人が、地震の時に自宅外にいた12人中10人(83.3%)が自宅へ戻ろうとした。家族の安否の確認、家族との合流等を目的として、帰宅途中に浸水の危険がある場所を通ったり、自宅が浸水が想定される海の傍にあったとしても、帰宅を試みている。(図7参照)

また、消防団員の方や自治会長さんなどは、地震後に屯所へ駆け付け、地域の見回りや被災者の救助などの活動拠点として活用していた。こうした行動は他地区でも

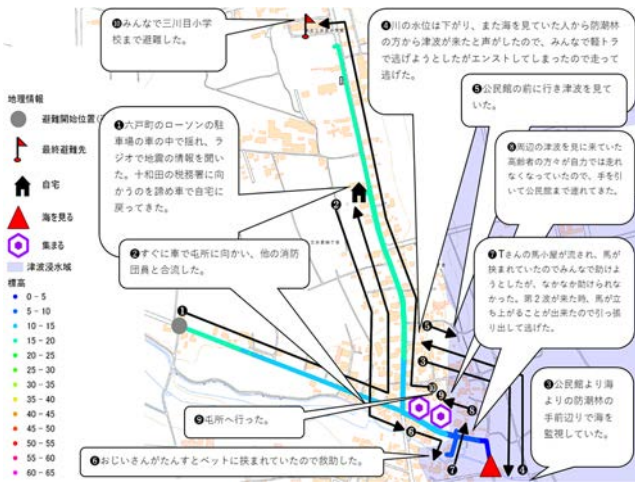


図3 三川目地区での行動軌跡平面図の例(1)

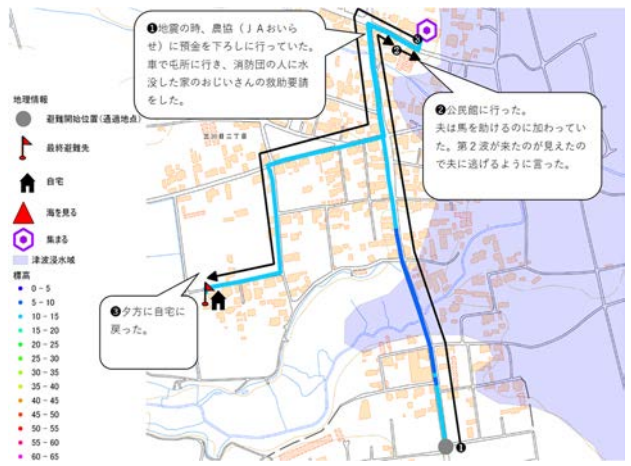


図5 三川目地区での行動軌跡平面図の例(2)

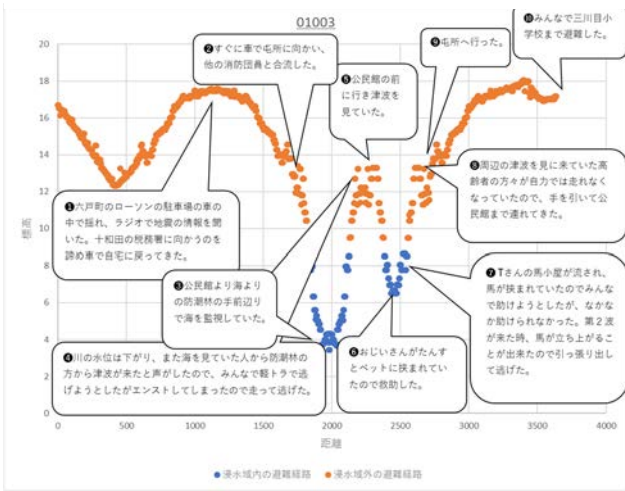


図4 三川目地区での行動軌跡断面図の例(1)

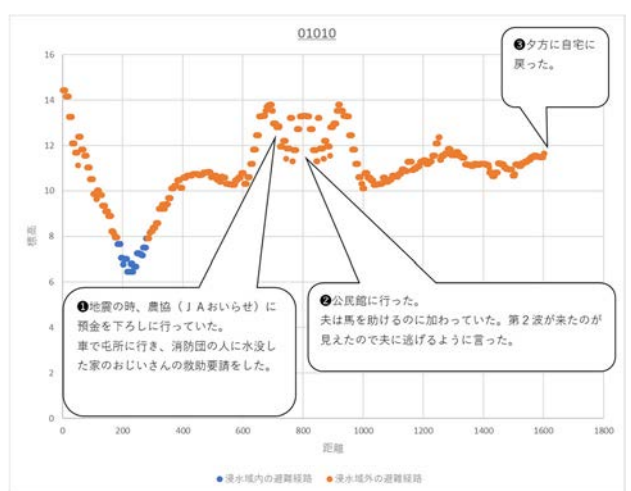


図6 三川目地区での行動軌跡断面図の例(2)

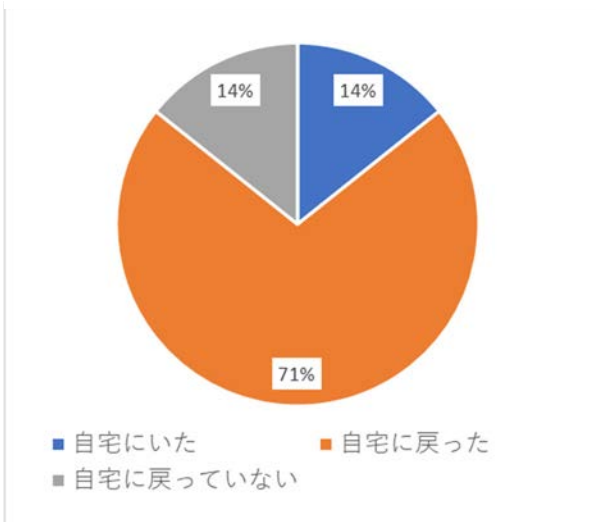


図7 行動途中での帰宅の有無

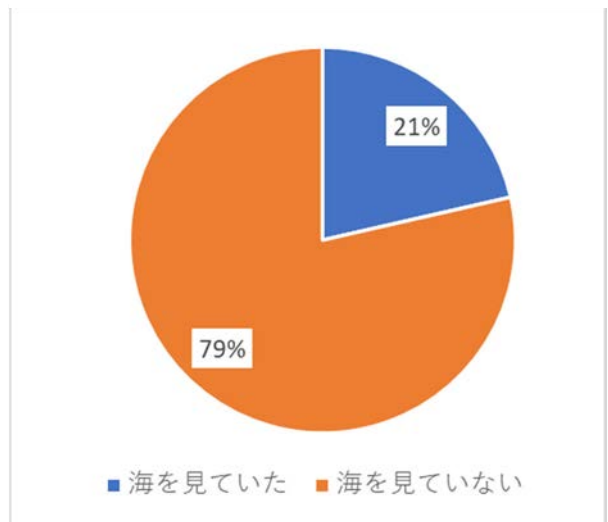


図8 行動途中での津波観察の有無

見られたが、屯所自体も沿岸の集落内にあるため浸水の危険性があり、事前に津波による浸水が想定される場合は施設自体の移転や運用面での配慮が必要となる。

(4) 三川目・六川目地区独自の行動特性

三沢市の沿岸部には、海岸線とほぼ並行して国道 338 号が南北に走っており、東日本大震災時の津波浸水域はこの 338 号線の海側に広がっており、当該国道の内陸側

まで浸水域が広がっているのは川沿いの一部地域に限られる。地震で揺れた後でも仕事を続けたり、地震後に自宅ではなく会社に戻るなど地震後の津波の襲来を想定していない行動をとった人は、国道 338 号線より内陸側に住んでいる人が多く、338 号の海側に住んでいる人で仕事を続けた方は、聞き取った方の中では保育園で子供達を預かる仕事をされていた方のみであった。このように、

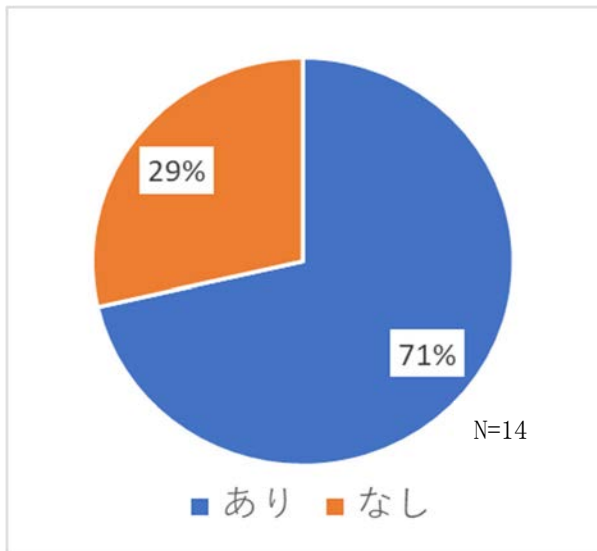


図9 行動途中での浸水域への侵入の有無

国道 338 号線を境に海側と陸側で津波に対する意識や行動の違いが見られた。

5. 三沢飛行場周辺の騒音等による集団移転

三沢飛行場は、戦前は日本海軍が航空基地として建設され、戦後は米国に接収され拡張し米国空軍が使用し、その後航空自衛隊も利用する三沢基地となり、昭和 27 年からは民間航空機も利用できるようになったが、昭和 40 年から 46 年間は民間機の運用を休止し一時的に軍用となったが、昭和 46 年に民間機の運用を再開し軍民共用の飛行場となった。米空軍、航空自衛隊、民間機の 3 者が利用する空港は混雑し離着陸や訓練等も頻繁に行われ、騒音に加え、軍用機の墜落、爆弾、燃料タンクの誤投下などの事故も発生した。

三沢飛行場周辺騒音区域は、障害の程度によって第 1 種から第 3 種に区分されており、第 2 種の区域については土地の買入れ及び移転補償を権利者の希望により国が行い、第 3 種区域内は緑地帯等の緩衝地帯とされている。三沢市では、三沢対地射爆撃場周辺地区を含め、これまで区域の住民が集団で移転できるよう移転先地の整備を国の補助を受けて実施して来た。⁹⁾ (表 1 参照)

表 1 三沢飛行場周辺の集団移転⁹⁾

移転元地	時期	戸数	面積	移転先地
四川目地区	S63~H8	251戸	33.7ha	大津地区
浜三沢地区	H16~H17	31戸	4.7ha	園沢地区
岡三沢地区	H12	15戸	0.5ha	南山地区
五川目地区	H16~H22	163戸	24.7ha	前平地区
天ヶ森 砂森地区	H18~H22	92戸	21.1ha	庭構地区 (新森地区)
合計		552戸	84.7ha	

例えば、航路の真下に位置する四川目地区では、昭和 62 年 5 月 2 日町内全戸全員の総意により集団移転やむなしと決定。三沢市、国に種々の陳情交渉を行い、その結果、昭和 63 年第一次 4 ヶ年 87 戸、平成 4 年第二次 5 ヶ年 159 戸、計 246 戸を国の補償により市内大津地区に集団移転することが決定した。事情により市内外に個人移転した 126 戸、町名変更により他町内に編入された 6 戸も含

めた計 378 戸 1,617 人の移転等が平成 9 年 3 月に完了した。¹⁰⁾

これらの集団移転の結果、三川目地区と六川目地区の間に位置する四川目地区、五川目地区の住民は全員 2011 年時点では内陸の大津地区、前平地区にそれぞれ移転していたため、東日本大震災の津波による被害を免れている。

当該集団移転事業は、津波災害を免れることを意図して実施したものではないが、結果として、事前の集団移転により津波による被災を免れた大変興味深い事例と言える。

謝辞

聞き取り調査実施に当たり、人・自然・教育研究所の川村正所長に多大なるご協力を頂くとともに、常葉大学社会環境学部 4 年生(当時)の青木美那子氏、辻実桜子氏にはご協力頂いた。記して深く感謝申し上げる。また本稿は、令和 4 年度科学研究費助成事業(基盤研究(C))「地域特性やコンテキストを含む津波避難行動データベースの構築と避難準備促進への活用(研究代表:池田浩敬(常葉大学))」(課題番号:22K04641)の成果である。ここに記して深く感謝申し上げる。

参考文献

- 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
- 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
- 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
- 池田浩敬他;津波常襲地における防災に関する教訓継承の取組み-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
- 池田浩敬他;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
- 池田浩敬他;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-岩手県陸前高田市小友地区での事例-,地域安全学会東日本大震災特別論文集 No.10,pp.1-4,2021
- 「角川日本地名大辞典」編纂委員会;角川日本地名大辞典 2 青森県,角川書店,1985
- 三沢市;三沢市国土強靱化地域計画,2020
- 三沢市 HP;三沢市の歴史
(<https://www.city.misawa.lg.jp/index.cfm/23,9428,16,124.html>), 2023年4月7日閲覧
- 四川目町内会建立;四川目移転記念碑 碑文「四川目移転に題す」,1994

台風における避難行動を喚起するテレビ報道の実態の分析

Analysis of Actual Situation of Television Reports Guiding Residents to Evacuate from Tropical Cyclones

川坂 勇太¹, 臼田 裕一郎^{1,2}
Yuta KAWASAKA¹ and Yuichiro USUDA^{1,2}

¹筑波大学大学院 システム情報工学研究群

Degree Programs in Systems and Information Engineering, University of Tsukuba

²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.

This study aims to improve the content of TV reports on evacuation in order to encourage residents to evacuate from weather disasters and reduce the number of casualties. Taking TS MEARI (2208) and TY HINNAMNOR (2211) which occurred in 2022 as examples, I classified the information on evacuation used in TV reports on Tropical Cyclones according to the "Guidelines for Evacuation Information," which categorizes evacuation actions by the Alert Level: "Preparedness," "Preparedness/Measures," "Advance evacuation," "Evacuation," and "Emergency safety measures", and will grasp the actual situation and timing of the information.

Keywords : TV news reports, Guidelines for Evacuation Information, Alert Level, TV-RECS

1. 背景

近年、激甚化する気象現象により全国各地で毎年のように災害が発生している。平成30年7月豪雨では、広い範囲で記録的な大雨となり、11府県に大雨特別警報が発表された。この大雨により河川の氾濫や土砂災害等が発生し、232名の死者・行方不明者を出す甚大な災害となった¹⁾。この災害を教訓とし、平成31年3月に「避難勧告等に関するガイドライン」が改定され、これまでの行政主導の取組みから「自らの命は自らが守る」意識を持ち、自らの判断で避難行動をとる住民主体の取組みを強化する方向へ変わった。その取組みの1つとして、住民や滞在者その他の者を含めた住民等の避難行動を支援するために、住民等が直感的に情報の意味を理解できるように5段階の警戒レベルを用いた防災情報の改善が行われた²⁾。令和元年東日本台風では、1都12県に大雨特別警報が発表され、この大雨により河川の氾濫、堤防の決壊による浸水、土砂崩れ等が各地で発生し、甚大な被害をもたらした。これらの豪雨では、避難をしないこと、または避難の遅れによる被災や、豪雨・浸水時の屋外移動中等の被災が多く存在した。この課題から災害対策基本法を改正し、警戒レベル4の避難勧告と避難指示（緊急）を避難指示に一本化し、警戒レベル5を「緊急安全確保」とすることで、避難のタイミングを明確化する等の改善が行われた。そして、この法改正を踏まえ、令和3年に「避難情報に関するガイドライン」が策定された。このように災害が起こるたびに避難情報等の改善が行われてきた。しかし、住民等の避難行動には大きな変化はなく、依然として避難をしないこと、または避難の遅れによる被災がみられることが問題となっている。

2. 研究目的

気象災害時に住民等が避難行動をとらない要因は、避難情報の内容だけではなく、その伝達にも要因があると

考える。そこで、本研究では、避難情報に関するガイドラインとテレビ報道の関係に着目することとした。

(1) 避難情報に関するガイドライン

「避難情報に関するガイドライン」³⁾は、人的被害が発生するような洪水等、土砂災害、高潮及び津波に伴う避難を対象とし、市町村が高齢者等避難、避難指示、緊急安全確保の避難情報を発令する基準や伝達方法、防災体制等の参考事項を示している。また、住民等が自ら避難行動をとる際に判断の参考となる警戒レベル相当の防災気象情報と住民等がとるべき行動が示されている。これにより、自治体からの避難情報が発令されていない状況下においても住民等が自ら避難の判断をし、主体的な避難行動をとることができるようサポートしている。

(2) 防災気象情報の取得手段としてのテレビ報道

住民等がこれらの防災気象情報を取得する手段は、インターネットやSNSの普及により多様になった。一方で、気象庁の調査によると、住民等の防災気象情報の入手手段として最も利用されているのはテレビであり、その割合は8割を超えている。さらに、男女別、年代別でもテレビから防災気象情報を入手している人が最も多い結果であった⁴⁾。また、総務省の調査によると、世の中のできごとや動きについて信頼できる情報を得るために利用している媒体として、各年代でテレビが最も多かった。メディアの信頼度も10代、30代ではテレビが最も高く、その他の年代でも新聞の次に高い結果となった⁵⁾。そのため、テレビで発信される情報は、住民等の避難を促すために最も有効な手段であるといえる。

以上から、住民等は「避難情報に関するガイドライン」で示されている住民等がとるべき避難行動に対応した防災気象情報をテレビから入手していることがわかる。そ

ここで、大雨や台風等の気象現象は、事前の予測が可能であるため、テレビ報道で警戒レベル相当の防災気象情報と「避難情報に関するガイドライン」に即した住民等がとるべき行動を発信することで、住民等の避難行動を促し、避難をしないこと、または避難の遅れによる人的被害を軽減させることができると考える。

そこで、本研究では、大雨や台風等が予測された時のテレビ報道が「避難情報に関するガイドライン」に即したのものとなっているか検証を行うこととした。

3. 研究方法

テレビアーカイブシステムを用いて、大雨や台風の気象現象におけるテレビ報道の避難に関する情報を「避難情報に関するガイドライン」に即した避難行動別に分類し、避難に関する情報の内容とタイミングを分析し、実態の把握を試みる。

(1) テレビアーカイブシステム

国立情報学研究所は、学術目的のテレビアーカイブシステムのNII TV-RECSを構築している⁶⁾。NII TV-RECSは、2009年8月から24時間連続して東京地区の地上波7チャンネルの放送映像を録画し、テキスト形式で字幕放送の文字字幕および番組情報を蓄積している。

TV-RECSを用いたテレビの災害報道の研究は、片山らの西日本豪雨とコロナ禍のテレビ報道における定型表現に着目した情報抽出・可視化による注意喚起の状況把握⁷⁾等が存在する。この研究では、テレビ報道の中から特定の情報を抽出する手法として、テレビの文字字幕からKWICによる定型表現の探索が行われ、西日本豪雨時のテレビ報道の注意喚起の解析をした。

テレビの字幕放送の文字字幕は全ての番組に付与されていないこと、また字幕放送であっても事前に録画されたインタビュー映像や天気予報で天気アイコンを用いて各地の天気を伝える時間などは字幕が付与されないことがあるなどの制限があり、すべての番組の情報が文字字幕のデータから得られるわけではない。しかし、大量のテレビ放送の中から必要な情報を抽出し、テレビ報道の情報を把握するのに、字幕放送の文字字幕は有効であることが示されている。

(2) 対象気象現象・期間

本研究では、台風を対象の気象現象とし、台風に関する報道がなされてから台風の消滅または報道がなくなるまでを対象期間とする。

気象庁が発表する台風情報には、台風および24時間以内に台風になると予想される熱帯低気圧の実況、予報等が含まれた「台風経路図」や「台風に関する気象情報（全般気象情報）」等が含まれ、台風の接近や上陸、雨や風の強まるタイミングをある程度予測することができ、事前に備えることができる。また、令和3年に「避難情報に関するガイドライン」が策定された後の令和4年に発生した台風のうち、日本に接近または上陸した台風を対象とする。令和4年に発生した台風は25個あり、そのうち日本に接近した台風は11個、上陸した台風は3個であった⁸⁾。

(3) 対象放送局・番組

台風に関するテレビ報道は、報道番組と情報番組に含まれるニュースと天気予報で伝えられる。NII TV-RECSの

録画対象放送局である公共放送のNHK総合と民間放送の日本テレビ、テレビ朝日、TBS、フジテレビ、テレビ東京の合計6局で放送されたニュースと天気予報で伝えられた台風に関する報道を対象とする。なお、本研究において、天気予報とは、気象キャスターやアナウンサーが天気を伝える番組または番組のコーナーに加えて、気象予報士が気象現象等の解説を行うニュース等のコーナーも天気予報に含めることとする。一方、アナウンサーや記者が防災気象情報や避難情報の解説はニュースとする。

(4) 警戒レベルごとの避難行動の分類

「避難情報に関するガイドライン」に示された住民等がとるべき行動を避難行動別に【心構え】【備え・対策】【事前避難】【避難】【緊急安全確保】の5つの段階に分類した。

- ①【心構え】は、警戒レベル1にあたり、今後気象状況が悪化する恐れがあり、防災気象情報等の最新情報に注意し、災害への心構えを高める段階である。
- ②【備え・対策】は、警戒レベル2にあたり、気象状況が悪化しているまたは数時間後に注意報の基準に達する状況にあり、避難に備えて、ハザードマップ等で今いる場所の災害リスク、避難場所、避難経路、避難のタイミング等の自らの避難行動の確認や警戒レベル3または4が発令される前までに避難をするのに必要な準備を行う段階である。
- ③【事前避難】は、警戒レベル3にあたり、災害が発生する状況下にあることから、危険な場所から高齢者等は避難をする必要がある。また、高齢者等以外の人も必要に応じ、普段の行動を見合わせ始めたり、避難の準備をしたり、自主的に避難する段階である。
- ④【避難】は、警戒レベル4にあたり、災害のおそれが高い状況にあり、警戒レベル4の避難指示や警戒レベル4相当の情報が発表されてから概ね2～3時間あるいはそれよりも短時間で災害が発生または避難が困難な状況になる可能性があるため、危険な場所から全員避難する必要がある段階である。
- ⑤【緊急安全確保】の警戒レベル5は、災害が発生、発生直前または既に発生している可能性が高い状況にあるため、直ちに身の安全を確保する必要がある。しかし、身の安全が確保できるとは限らない段階である。

(5) データ抽出方法

文字字幕データから、「台風」をキーワードと指定して、対象期間を設定し検索を行う。得られた結果からニュースまたは天気予報の台風報道を抽出し、その中で使用された避難に関する情報ごとに出現日時、放送局名、番組名を記録し、先に分類した5つの避難行動の段階に当てはめた。

4. 事例検証

令和4年に発生し、日本に接近または上陸した台風のうち台風8号と台風11号を例に検証を行った。表1、表2は、「避難情報に関するガイドライン」が示す避難行動別の各表現の出現回数と出現率を示し、図1、図2は、1時間毎の避難行動の出現回数を表している。

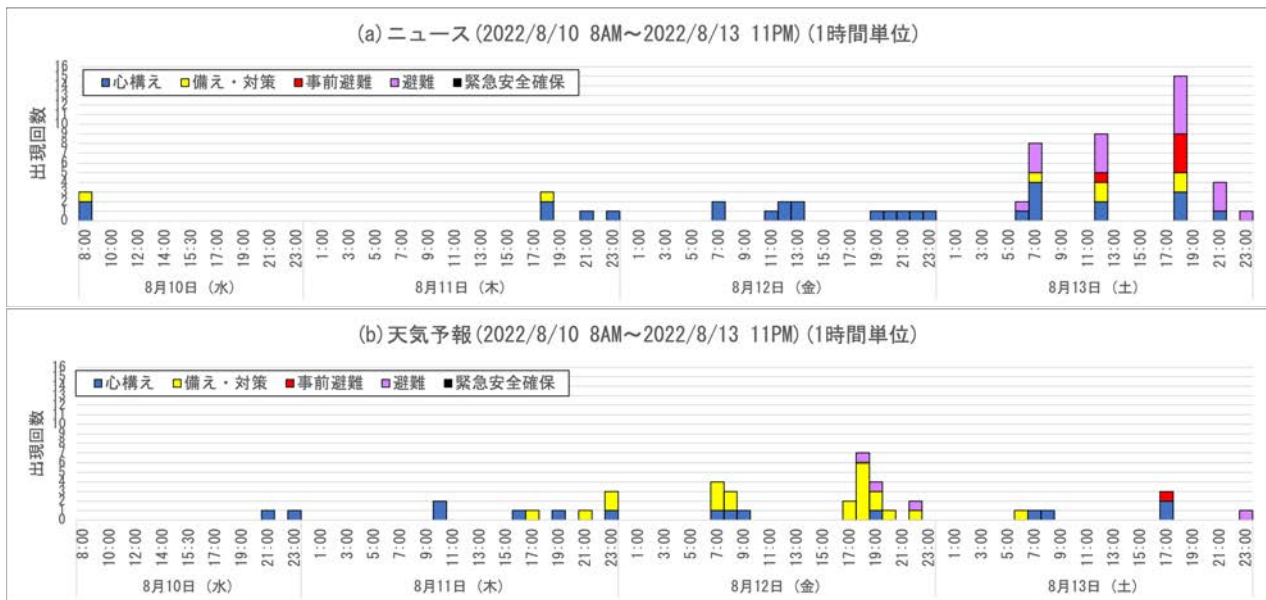


図1 台風8号の避難行動の出現回数

(a) ニュース			(b) 天気予報		
	出現回数	出現率		出現回数	出現率
心構え	29	49.2%	心構え	15	34.9%
備え・対策	7	11.9%	備え・対策	22	51.2%
事前避難	5	8.5%	事前避難	1	2.3%
避難	18	30.5%	避難	5	11.6%
緊急安全確保	0	0.0%	緊急安全確保	0	0.0%
合計	59		合計	43	

表1 台風8号の避難行動別出現回数と出現率

(1) 令和4年台風8号

令和4年台風8号は、令和4年8月12日3時⁽¹⁾に日本の南で熱帯低気圧が台風になった。その後、台風8号は北上し、13日15時前に御前崎付近を通過、同日17時半頃に伊豆半島に上陸した。さらに関東地方を進み、14日21時に北海道の東で温帯低気圧に変わった⁹⁾。この台風の影響で、東海地方、関東地方、伊豆諸島で大雨になった他、13日夜遅くに伊豆諸島北部で線状降水帯が発生した。また、東海地方には、線状降水帯の予測情報が発表されたが、線状降水帯の発生はなかった¹⁰⁾。

台風8号のニュースでは、「心構え」の表現が最も多く、台風発生前の早い段階から災害への心構えを高める表現が使われていた。しかし、「備え・対策」「事前避難」「避難」の表現は、静岡県に線状降水帯の発生の予想や静岡県、関東甲信地方で大雨が予想された13日から使われ始め、それぞれが混在していることから段階的な避難行動の情報発信にはなっていなかった。

台風8号のニュースは、段階的な避難行動の発信にはなっていなかったが、災害の危険が高まった状況下では、避難行動の表現の出現回数が増え、直前の警戒を視聴者に促す結果となった。

天気予報では、台風の発生前から「心構え」の表現が用いられていた。11日の夕方以降は「備え・対策」の表現が、さらに12日夕方から夜にかけて「避難」の表現が使われ始め、警戒を高めた避難行動の表現の移行がなされた。しかし、台風が接近・上陸した13日は土曜に当たり、天気予報の放送回数が少ないことから避難行動の表現も少なくなっている。放送日時が固定されている天気予報では、平日と土日での放送回数の違いから警戒を促

す度合いに差が生じる結果となった。

(2) 令和4年台風11号

令和4年台風11号は、令和4年8月28日15時に南鳥島近海で熱帯低気圧が台風になり、急速に発達しながら西に進み、小笠原諸島や大東島地方に接近した。9月1日に沖縄の南で停滞した後、9月2日に進路を北に変え、先島諸島、九州北部地方、中国地方に接近し、6日21時に日本海上で温帯低気圧に変わった¹¹⁾。台風が接近した小笠原諸島、大東島地方や九州北部では記録的な暴風となった。また、沖縄地方や西日本太平洋側を中心に大雨となった。

台風11号のニュースでは、台風が接近する前の早い段階から「心構え」の表現が使われていた。「備え・対策」と「事前避難」の表現は、小笠原諸島の父島で記録的な暴風が吹いたことをきっかけに使われ始めた。その後は、台風の接近前の雨や風が強まる前の段階からこれらの表現が使われるようになり、視聴者に早めの避難を意識させることができたと考える。しかし、避難のリードタイムが確保されていた9月5日を除き、「避難」の表現は、すでに風が強まっている時または線状降水帯の発生の可能性があり、避難が難しい状況下で使われていることが多かった。

天気予報は、現在の気象状況だけでなく、今後の気象状況の予測を伝えるため、まだ台風が接近していない地域についても今後の見通しを伝えるという特徴がある。そのため、天気予報が放送されるたびに、それらの地域に対して「心構え」や「備え・対策」について言及するため、これらの表現が常に使用される結果となった。「避難」の表現の出現回数は大雨や暴風などの激しい気象現象が発生する都度増えていき、使用されるタイミングも早まっていった。

台風11号の避難行動の出現回数の合計は、ニュースが135回、天気予報が273回あり、天気予報の避難行動の表現の出現回数はニュースのほぼ2倍であった。台風11号は、広い範囲に影響を及ぼしたため、天気予報内で複数地域の避難行動別の表現が使用されたことから、天気予報での出現回数が多くなった。

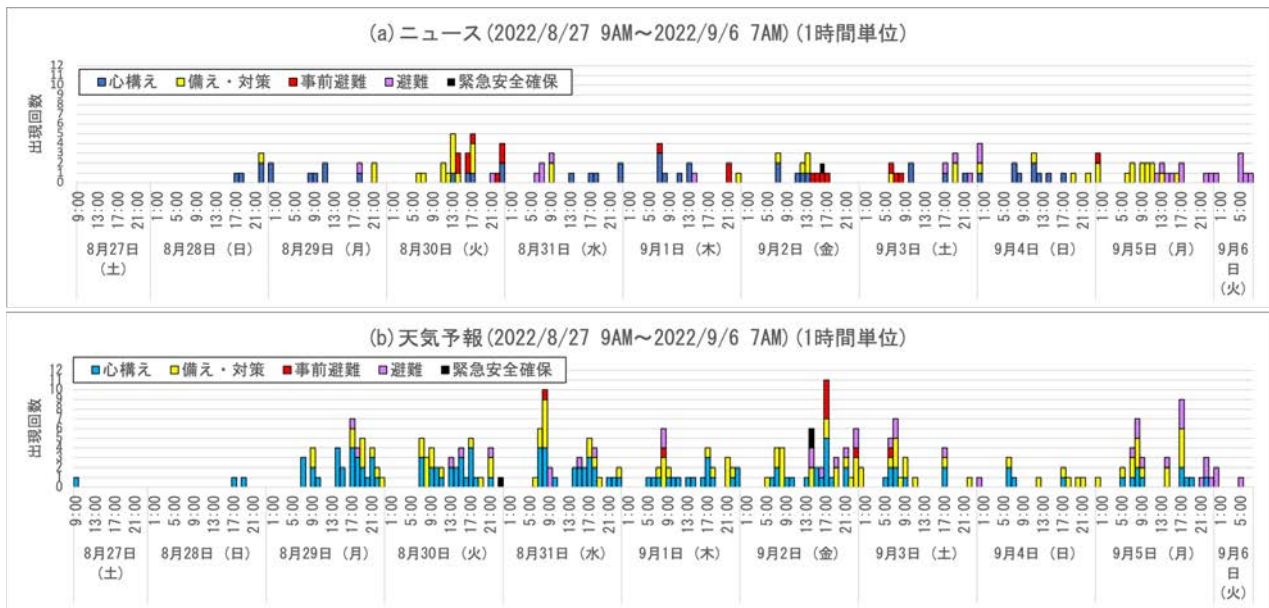


図2 台風11号の避難行動の出現回数

(a)ニュース			(b)天気予報		
	出現回数	出現率		出現回数	出現率
心構え	46	34.1%	心構え	129	47.3%
備え・対策	43	31.9%	備え・対策	97	35.5%
事前避難	19	14.1%	事前避難	8	2.9%
避難	26	19.3%	避難	38	13.9%
緊急安全確保	1	0.7%	緊急安全確保	1	0.4%
合計	135		合計	273	

表2 台風11号の避難行動別出現回数と出現率

4. まとめ・課題

本研究では、住民等の避難を促すためのテレビ報道の内容の改善を行うために「避難情報に関するガイドライン」に着目し、令和4年の台風8号と台風11号のテレビ報道を例として、避難を喚起する情報の内容とタイミングの実態を検証した。その結果として、ニュース、天気予報ともに心構えを高める【心構え】の表現は、早い段階から使われ、住民等に今後の気象状況悪化の恐れを周知していた。また、天気予報では、台風の【備え・対策】の表現も早い段階から伝えていた。しかし、【事前避難】や【避難】の表現は、大雨や暴風などの気象現象の発生直前または発生してから発信され始めることが多く、段階的な避難行動の発信となっていなかった。

今後は、令和4年に発生した他の台風のテレビ報道においても同様の分析を行うことに加え、各放送局、時間帯別や表現内容の分析を進め、より詳細なテレビ報道の実態を把握し、住民等の避難行動を促す情報の内容やタイミングの解明を目指したい。

補注

(1) 気象庁は、後日2022年台風8号の発生日時を8月12日21時に修正した。

参考文献

- 1) 平成30年版 消防白書，総務省消防庁，2018
- 2) 避難勧告等に関するガイドライン①（避難行動・情報伝達編）平成31年3月，内閣府，2019

- 3) 避難情報に関するガイドライン，内閣府，2021
https://www.bousai.go.jp/oukyu/hinanjouhou/r3_hinanjouhou_guideline/pdf/hinan_guideline.pdf
 (2023年4月21日アクセス)
- 4) 令和3(2021)年度 気象情報の利活用状況に関する調査報告，気象庁，2021
https://www.jma.go.jp/jma/kishou/hyoka/manzokudo/R3_manzokudo/R3manzokudo_data.pdf
 (2023年4月21日アクセス)
- 5) 令和3年度情報通信メディアの利用時間と情報行動に関する調査報告書，総務省，2022
- 6) 片山紀生，孟洋，佐藤真一：映像インデクシング研究のための大規模放送映像アーカイブシステムの試作，情報処理学会研究報告(DBS)，Vol.2002，No.41，pp.17-23，2002
- 7) 片山紀生，孟洋，佐藤真一：定型表現に着目した情報の抽出・可視化による防災・安全のためのテレビアーカイブナリティクス，研究報告自然言語処理(NL)，2021-NL-251，No.8，pp.1-8，2021
- 8) 2022年の台風について(確定)，気象庁，2023
<https://www.jma.go.jp/jma/press/2302/24d/2022kakutei.pdf>
 (2023年4月21日アクセス)
- 9) 2022年台風第8号 MEARI (2208) 位置表，気象庁，2022
<https://www.data.jma.go.jp/yoho/data/typhoon/T2208.pdf>
 (2023年4月21日アクセス)
- 10) 令和4年(2022年)8月12日~13日に東海地方に線状降水帯による大雨の半日程度前からの呼びかけを実施した事例，気象庁，2022
<https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/jirei/senjokousuitai/R040812.pdf>
 (2023年4月21日アクセス)
- 11) 2022年台風第11号 HINNAMNOR (2211) 位置表，気象庁，2022
<https://www.data.jma.go.jp/yoho/data/typhoon/T2211.pdf>
 (2023年4月21日アクセス)

過去20年間に対応した危機事象の種類に関する都道府県別比較

A Prefectural Comparison of the Event Type of Emergency Responded over the Last 20 Years

○庄司 秀明¹, 奥村 与志弘²
Hideaki SHOJI¹ and Yoshihiro OKUMURA²

¹ 関西大学大学院 社会安全研究科

Graduate school of Societal Safety Sciences, Kansai University

² 関西大学 社会安全学部

Faculty of Societal Safety Sciences, Kansai University

Local government respond to emergencies by establishing Emergency Operation Centers to protect the lives, bodies, and property of residents from crises. There have been no studies on emergency management focusing on the Type of Emergency Event. This study will clarify the trends in the types of Emergency Event responded to in the past 20 years by comparing prefecture.

Keywords : Local Government, Emergency Operation Centers, Type of Emergency Event, Multi-Hazard, All-Hazard

1. はじめに

近年日本では、2011年東日本大震災、2018年西日本豪雨など様々な自然災害が発生している。また、北朝鮮飛翔体発射事案の国民保護事案や2020年新型コロナウイルス感染症といった自然災害ではない事象も発生している。地方自治体は、災害対策基本法、国民保護法、新型インフルエンザ等対策特別措置法に基づき対応してきた。

行政危機管理は、加藤¹⁾による外交・安全保障を含む紛争管理や、中村²⁾による概念定義の研究など、これまでさまざまに研究が行われてきた。しかし、地方自治体の対応実績として、危機事象の種類に注目した研究は行われていない。

本研究では、知事をトップとする災害対策本部や新型コロナウイルス感染症対策本部など、全庁体制での対応組織を「対策本部」と定義する。そして、2003年から2022年の20年間に地方自治体が対応した危機事象の種類を明らかにするため、都道府県別に対策本部の設置実績を調査した。対象とする危機事象は、対応実績がある地震・津波災害、火山災害、風水害、雪害、山火事、事故、国民保護事案、感染症の8種類とし、データ収集には公的資料と新聞記事を用いた。その結果、最多は6種類の1県（長野県）、次いで4種類の10道県、3種類の16都県、最少は2種類の20府県であった。

2. 調査方法

(1) 調査対象

対策本部の設置は、根拠法、都道府県ごとに規定する設置基準など違いがある。そのため、調査対象は過去に設置された対策本部のうち、死者を伴った危機事象に限定した。ただし、死者を伴う事象が1度も発生していない山火事と国民保護事案は、死者を伴わないものも実績に含めた。また、調査期間は、2003～2022年度の20年間とした。

(2) 使用した資料

使用した資料は、公的資料と新聞記事である。公的資料では、総務省消防庁の「災害情報一覧」³⁾と内閣府防

災情報ページ⁴⁾の「災害状況一覧」から都道府県別の死者数および対策本部の設置状況を確認した。同資料から確認できなかった情報は、都道府県公表の資料⁵⁾⁶⁾および気象庁の「災害をもたらした気象事例」⁷⁾さらに朝日新聞クロスサーチ⁸⁾の新聞記事を使用した。

(3) 集計の方法

集計では、各年度内に対策本部が設置された危機事象の種類を集計した。そのため、設置期間の長短は考慮していない。また、1つの原因事象によって複数年度にわたり対策本部が継続設置される場合には、設置が継続した各年度でそれぞれ1種類として集計した。さらに、危機事象の種類が1つでも、同一年度内に複数回対策本部を設置した事例がある。本事例では、当該年度における危機事象の種類として、1種類として扱っている。

3. 危機事象の種類にみる都道府県別比較

図1は、2003～2022年度の20年間で都道府県が対策本部を設置した危機事象の種類に注目して整理した。長野県が最多で地震災害、火山災害、風水害、雪害、事故および感染症の6種類であった。次いで、4種類の10道県、3種類の16都県、最少は2種類の20府県であった。

4. 考察

都道府県が2003～2022年度の20年間に対応した危機事象の種類数の多寡を規定している要因について考察する。ただし、感染症に関しては全47自治体がCOVID-19の蔓延を受けて対策本部を設置したため、多寡に影響しないのでここでは無視する。

火山災害、山火事、事故、国民保護事案は、対策本部の設置事例が極めて少なく、自治体数はそれぞれ1, 2, 2であった。他方で、風水害、地震・津波災害、雪害は、自治体数が比較的多く、それぞれ42, 22, 16であった。本研究では、前者をレア危機事象、後者をノーマル危機事象と呼ぶ。

表1は、対策本部を設置したノーマル危機事象の種類数別の自治体数を整理したものである。たとえば、Dの

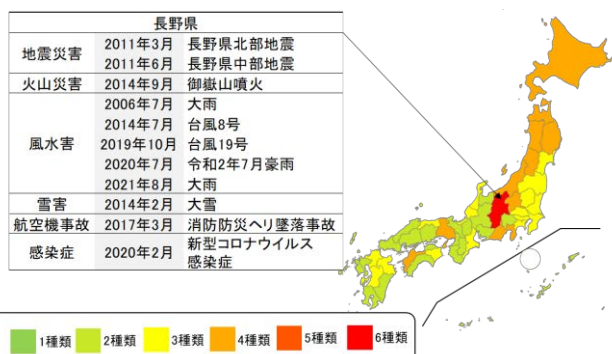


図1 各都道府県が対策本部を設置した危機事象の種類数 (2003~2022年度の20年間)

表1 対策本部を設置したノーマル危機事象の種類数別の自治体数 (2003~2022年度の20年間)

	ノーマル危機事象			計	
	1種類	2種類	3種類		
ノーマル危機事象	0種類	20 ^A	16 ^B	5 ^C	41
レア危機事象	1種類	5 ^D			5
	2種類		1 ^E		1
計	20	21	6	47	

ノーマル危機事象：風水害，地震・津波災害，雪害
 レア危機事象：火山災害，山火事，事故，国民保護事案
 該当する都道府県のグループ名をA~E

セルは，ノーマル危機事象から2種類，レア危機事象から1種類，合計3種類の危機事象に対して対策本部を設置した自治体が5つあったことを意味する。

3種類以上の危機事象で対策本部を設置する自治体の特徴を説明する。

ノーマル危機事象のみはわずか5団体である。ノーマル危機事象とは言え3種類すべてへの対応となると稀となる。

ノーマル危機事象2種類とレア危機事象1種類はわずか5団体である。つまり，ノーマル危機事象2種類は比較的多い一方で，レア危機事象が1種類となると稀となる。

ノーマル危機事象3種類とレア危機事象2種類は1団体のみである。ノーマル危機事象3種類への対応がそもそも稀なうえに，レア危機事象2種類に対応した点で極めて稀となる。

2種類以下の危機事象で対策本部を設置した自治体は，ノーマル危機事象2種もノーマル危機事象1種類も，それぞれ16，20団体と比較的多いといえる。

表2は，各自治体に対応した危機事象の種類が分かるように整理したものであり参考にされたい。

以上から，危機事象の種類数の多寡は，ノーマル危機事象3種類すべて，または，レア危機事象1種類以上に対応することで決定され，これが危機事象の種類数の増大を規定する要因になっていることがわかった。

5. まとめ

2003~2022年度の20年間に設置された対策本部から，危機事象の種類としてノーマル危機事象（地震・津波災害，風水害，雪害の3種類）とレア危機事象（火山災害，山火事，事故，国民保護事案の4種類）に区分した。ノーマル危機事象の3種類すべて，ノーマル危機事象2種類とレア危機事象1種類以上への対応が，危機事象の種類数を増大させる規定要因になっていることを都道府県の対応実績から明らかにすることができた。

参考文献

- 1) 加藤朗：危機管理の概念と類型，日本公共政策学会年報，1999。
- 2) 中野章：行政と危機管理，危機管理と行政，ぎょうせい，pp. 1-26，2005。
- 3) 総務省消防庁：災害情報一覧，<https://www.fdma.go.jp/disaster/info/>（2022年10月31日確認。）
- 4) 内閣府防災情報のページ：災害状況一覧，<https://www.bousai.go.jp/updates/index.html>（2022年10月31日確認。）
- 5) 長野県地域防災計画（令和4年度修正）：資料編01-1 被害地震年表，pp. 17，<https://www.pref.nagano.lg.jp/bosai/kurashi/shobo/kekaku/bousaikaikaku.html>（2023年4月10日確認。）
- 6) 鹿児島県：奄美地方における集中豪雨災害の記録，第1部第3章 警戒避難期の災害応急対策，pp. 34，<https://www.pref.kagoshima.jp/aj01/bosai/saigai/h22/amamigoukiroku.html>（2022年12月23日確認。）
- 7) 気象庁：災害をもたらした気象事例，https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/index_1989.html（2022年10月31日確認。）
- 8) 朝日新聞クロスサーチ：<https://xsearch.asahi.com/kiji/>（2022年10月31日確認。）

表2 各都道府県が対策本部を設置した危機事象の種類 (2003~2022年度の20年間)

都道府県	危機事象の種類														該当する都道府県の数		
	岐阜県、愛知県、滋賀県、京都府、奈良県、和歌山県、島根県、岡山県、広島県、山口県、香川県、高知県、佐賀県、長崎県、富山県、鹿児島県、沖縄県	富山県、山梨県	大阪府	宮城県、福島県、茨城県、栃木県、埼玉県、千葉県、東京都、神奈川県、福岡県、熊本県、大分県	石川県	福井県、三重県、鳥取県、徳島県	北海道、山形県、新潟県、群馬県、静岡県	青森県	秋田県	愛媛県	岩手県	兵庫県	長野県				
ノーマル危機事象	地震・津波災害			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	22	
	風水害	○			○		○	○	○	○	○	○	○	○	○	42	
	雪害		○			○									○	16	
レア危機事象	火山災害														○	1	
	山火事												○	○		2	
	事故													○	○	2	
	国民保護事案														○	2	
	感染症	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	47	
該当する都道府県数		20		A	16			B	5	C	5			D	1	E	47

注) A~Eは，表1の危機事象のグループ名に対応する。

臨時情報発表時の社会事象とその要因の推定に関する一考察
 ～なぜなぜ分析を応用した災害事象の要因分析手法の検討～
 A Study on Social Events and Their Causes at the Time of Nankai Trough Earthquake
 Extra Information
 -Development of Factorial Analysis of Disaster Events Applying Why-Why Analysis-

○千葉 啓広¹, 野村 一保¹, 水井 良暢², 廣井 悠³, 中村 洋光⁴, 平山 修久¹
 Yoshihiro CHIIBA¹, Kazuyasu NOMURA¹, Yoshinobu MIZUI², U HIROI³,
 Hiromitsu NAKAMURA⁴, and Nagahisa HIRAYAMA¹

¹名古屋大学 減災連携研究センター

Disaster Mitigation Research Center, Nagoya University

²リアルタイム地震・防災情報利用協議会

Real-time Earthquake & Disaster Information Consortium

³東京大学先端科学技術研究センター

Research Center for Advanced Science and Technology, the University of Tokyo

⁴防災科学技術研究所

National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience

The Nankai Trough Earthquake Extra Information has never been released so far, and the uncertainty of the social situation has been pointed out. It is indispensable to take pre-disaster measures based on the social situation at the time of the announcement of the extra information. In this paper, we attempted to analyze the factors of disaster incidents that may occur at the time of the announcement of temporary information by applying the "why-why analysis". As a result, it was indicated that this approach should be identify the factors of the disaster incidents during the extra information announcement.

Keywords : Nankai Trough Earthquake Extra Information, workshop, Why-Why Analysis, Disaster Events

1. はじめに

(1) 背景と目的

南海トラフ地震臨時情報（以下、臨時情報）は、個々の状況に応じた避難等の備えを準備・開始を促す上で重要である。一方で、未だ発表に至った事例はなく、その周知も十分とはいえない。発表時の社会様相の把握も不十分であり、臨時情報の目的と異なる社会活動の停滞（必要な備えや準備を越えた萎縮）も懸念される。臨時情報発表時の社会様相を踏まえた対応行動を検討する為には、社会様相や各主体における対応方針について、官民において事前に整理を行うことが必要不可欠である。

倉田ら¹⁾は、臨時情報発表時に行政として望ましい行動と実際の住民意識とのギャップがあること、金ら²⁾は、行政職員を主体とする検討プログラムの中で、臨時情報の不確実性から、フェーズ設定と合わせて具体的な状況の共有の重要性を明らかにしている。これらの研究や筆者らの実践などから³⁾、臨時情報発表時の社会様相の不確実性を踏まえた対応のあり方が整理されつつあるが、より確実な事前対策を進める上では、臨時情報発表により現れる社会の好ましくない状況を「災害事象」と捉え、その要因に基づいた事前の対応が重要である。

(2) 研究の位置づけと方法

災害に伴う課題に対する要因分析については、これまで様々な方法による既往研究がある。例えば、住民や行政等の主体に対するアンケートに基づく定量的・統計学

的手法に基づいて要因にアプローチを行う研究として、梶谷ら⁴⁾や亀田ら⁵⁾らの研究がある。こうした従来の統計的手法の限界を補う方法として、塚本ら⁶⁾の機会学習を用いた方法も示されている。一方で、大原ら⁷⁾は、被災自治体が災害対応の検証報告書等からヒヤリ・ハット事例を抽出しその根本原因と教訓を整理している。これらは整理している。これらは、要因に迫るアプローチは異なるものの今後の災害対応に寄与する研究である。しかし、いずれも災害発生後あるいは、過去の被災イメージを踏まえた研究であり、臨時情報のような未経験の事象を対象としたものではない。労働災害における要因分析として濱島ら⁸⁾は、「なぜなぜ分析」に、時系列分析を加え、基本原因を抽出した上で、背後に潜在する根本原因を①倫理②技術③組織運営④社会制度の4つの視点から原因を究明する手法を試行している。この手法は自然災害における課題解決にも応用可能性のある一方で、臨時情報発表時の社会様相の把握が不十分な現状では、適用が困難である。

そこで本研究では、産官学民の参加に基づく、臨時情報発表時の社会様相並びに、その要因を考えるワークショップ（以下、WS）の実践を通して、事前対策への活用を意図した、臨時情報発信時に想定される災害事象に対する要因分析手法について検討を行う。

研究の方法は、まず WS①で得られた臨時情報発表時に起こり得る社会様相結果について構造化し、想定され

表1 ワークショップの実施概要

項目	WS①	WS②
実施日	2022/6/14 ※オンライン開催	2023/3/6 ※対面とオンラインの併用開催
イベント名	南海トラフ地震研究プロジェクト 情報発信検討会「事業継続」テーマ	南海トラフ地震研究プロジェクト 情報発信検討会「事業継続」テーマ
会場又は、使用システム	Zoom Meetings	名古屋大学減災館（減災ホール）+Zoom Meetings
グループ数	4班（各班9～10名）	4班（各班8～12名）
運営側の構成	各グループファシリテーター1名、記録者1名	各グループファシリテーター1名（記録者を兼ねる）
参加者数と構成	自治体、民間企業、研究機関の各職員37名	自治体、民間企業、研究機関の各職員37名
参加者の居住地	関東から中部以西の西日本各地からの参加	関東から中部以西の西日本各地からの参加
ワーク内容	1. 南海トラフ地震臨時情報に関する話題提供 2. ブレイクアウトルーム機能を用いて、グループに分かれ、半割れケース（各参加者の居住地と異なる側の被災）が発生した際に、参加者の居住地域で生じるイベントやそれぞれの主体の対応について、オンライン上の付箋に見立てたシートに記録者が入力 3. オンライン上の模造紙を模したシートを用いて、付箋のアイデアを構造化	1. 南海トラフ地震臨時情報に関する話題提供 2. ブレイクアウトルーム機能を用いて、グループに分かれ、WS①の結果に基づいた臨時情報（注意）発表時の、災害事象の要因について、会場の付箋、及びオンライン上の付箋に見立てたシートに入力 3. 会場の模造紙、及びオンライン上の模造紙を模したシートに災害事象の要因に関する記載を行い、アイデアを構造化

表2 ワークショップの参加者の構成

集計範囲	総計(人)	小計(人)			A班(人)			B班(人)			C班(人)			D班(人)		
		行政	研究機関	企業	行政	研究機関	企業	行政	研究機関	企業	行政	研究機関	企業	行政	研究機関	企業
WS①	37	15	11	11	4	2	2	4	3	3	3	3	4	4	3	2
WS②	37	14	10	13	5	4	2	4	2	3	3	4	2	2	0	6

「災害事象」として整理する。さらに、その整理した災害事象に基づいて、WS②で、その要因分析を試行し、その結果について整理・考察を行い、事前対策の検討に資する災害事象の要因分析手法について検討する。尚、要因の分析手法としてワークショップ形式の議論を選択した理由として、臨時情報発表時という未経験の状況を扱う上で、産官学の多様な参加者からなる対話型の検討が有効であると考えたからである。

2. ワークショップの実施概要と手法

(1) ワークショップの実施概要

WSの実施概要を表1に、参加者の所属の構成を表2に示す。WSは、2022年6月14日及び、2023年3月6日に筆者らが企画運営を行い実施した。本WSには、行政及び、指定公共機関も含む民間企業と研究機関の各機関から参加者を募り、臨時情報（注意）発表時の社会様相やその要因について考えるワークを行った。参加者数は、6月14日のWS①は37名、3月6日のWS②についても、一部参加者は異なるが同じく37名が参加した。

(2) ワークショップの手法

a) WS①：臨時情報発表時の社会様相を考える

WS①は、2022年6月14日に、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事業の中で、行政や民間企業と研究者との情報交換の場でもある、情報発信検討会の取組みの一環として実施された。当日は、第1部で臨時情報以外の内容も含めた、南海トラフ地震の対応に関わる話題提供を行った後、第2部としてオンライン形式のWSを実施した。使用したweb会議システムは、Zoom Meetings（以下、Zoom）である。グループワーク（以下、GW）時には、本システムのブレイクアウトルーム機能（以下、BR）を活用し、参加者37名を、9～10名ずつ4班に分けて行った。

b) WS②：臨時情報発表時の災害事象の要因を考える

WS②は、2023年3月6日に、WS①と同様に情報発信検討会の取組みの一環として実施された。第1部で臨時情報以外の内容も含めた、南海トラフ地震の対応に関わる話題提供を行った後、第2部としてWSを行った実施形態も同様である。但し、対面とオンラインを併用した

ハイブリッド開催に変更して実施している。参加者37名を、8～12名ずつ4班に分けて行った。この内、表1に示した、D班の8名が会場参加であり、対面によるワークショップを行った（ワーク内容は同様のものを実施）。

3. WS①の結果

(1) WS①で表出されたアイデアカードの整理

WS①において表出された各班のアイデアカードを図1に示す。各班9～10名の参加し、一人あたりの付箋数は、1.9～3.4枚（班ごとの平均）であった。筆者ら⁸⁾の研究で、同様のワークを対面で実施した際は、4.3～7.2枚（3班30名参加）であり、これは、WSに不慣れな参加者並びに、オンラインでの実施を考慮してワークを丁寧に進めることが要因と考えられる。他方、比較的短い時間の中で、概ね一人2枚程度の意見が表出され、一定の意見交換を可能とする意見提示のあったことが確認された。

(2) 災害事象の抽出

WS後に、臨時情報（注意）発表時に起こり得る社会様相（図1）から、想定される災害事象の抽出を行ったのが図2である。抽出された災害事象の概要は、a.企業や行政の業務への影響に関するもの、b.物資の供など生活に関わるもの、c.避難に関わるもの、d.交通機関に関わるもの、e.教育・子どもに関わるもの、f.社会不安に関わるもの、以上6項目、8つの事象がWS①から抽出された。



図1 表出されたWS①各班のアイデアカード



図2 臨時情報（注意）発表時に想定される災害事象

この抽出された8つの災害事象をWS②の状況付与カードとして用いた。GW 時には、各班1つ災害事象を選択し、要因分析を試みた。また、運営側のメモとして、想定される要因とステークホルダーの整理を行った。

4. WS②の結果

WS②の結果、表出された各班のアイデアカードを図3に示す。GWのA～C班の3班は、筆者の内、廣井が開発したシステムの機能であるオンラインワークシートを活用し、アイデアカードの整理を行っている。D班は、会場（対面）で実施したWSであり、オンラインと基本的な手順は同様であるが、従来と同様に、表出されたアイデアカードを模造紙上で整理を行っている。

表3に、WS②で表出された各班のアイデアカード（付箋）の数と、要因の分析により到達した段階を整理した。B班が56枚とやや多いものの、各班40枚以上のアイデアカードが表示されている。到達した段階も、目標とした、4段階目まで到達しなかった班はなく、各班で選択した災害事象について、一定の要因分析がなされたことが示された。また、WS後に筆者らが、上記で示した各班の付箋（図2）について表4の通り整理した。本稿では、紙枚の関係上、オンラインで実施されたGWからB班並びに、会場（対面）で実施したD班の結果について、考察する。まず、A班（オンライン）では、要因を分析する災害事象は、「交通機関の混乱・休止」が選択され、要因の到達した段階は、4～8段階と分析されている。主要な要因分析の過程を整理した結果、第1段階では「移動ニーズ増による対応困難」、「異なる対応方針」、「通信網のパンク」、「安全確認に時間を要する」の4つに要因が分岐して整理された。分岐後、それぞれ2段階目以降の要因が分析される中で、「臨時情報発表後の行動の理解不足」や「発表内容の伝わりにくさ」など、臨時情報の認知不足や理解しにくさなどが挙げられ、最終段階で「防災教育の不足」に集約される結果となった。

次に、D班（対面）では、要因を分析する災害事象と

して、「問い合わせの増加」が選択されている。災害事象の主体を「行政」として要因の分析が行われた。その結果、第1段階では、「住民が次の行動を知らない」、「頼るところを行政しか知らない」の2つに要因が示された。分岐後、それぞれ2段階目以降の要因が分析される中で、住民が次の（とるべき）行動を知らないに関しては、「気象庁の発表内容がわからない」を経て、「気象庁から次の行動（に関する）の説明がない」が最終段階とされた。また、頼るところを行政しか知らないに関しては、「臨時情報を理解していない」を経て、「当事者意識がない」と最終段階となった分岐と「情報に接する機会がない」を経て、「情報発信が積極的に行われていない」と要因をたどり、それを難しくしている要素として、「伝わる説明をできる人がいない」、「不確実な情報だから」等の複数の要素で構成される要因であるこ

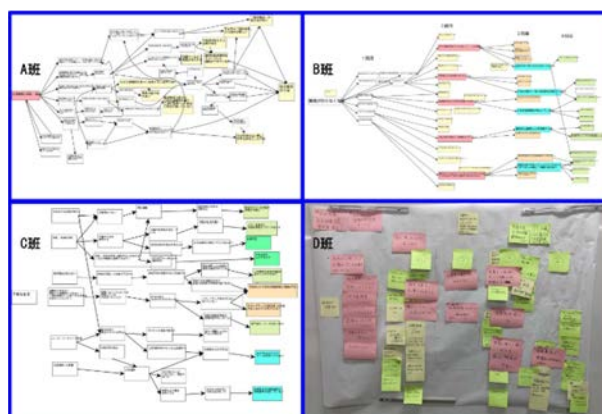


図3 表出されたWS②各班のアイデアカード

表3 WS②で表出された各班のアイデアカード数と到達した要因の段階

項目	A	B	C	D
表出された付箋の数	43	56	44	44
到達した段階	4～8	4～7	3～6	3～5

表 4 WS②のグループワーク結果の整理

赤字：各項目で最も段階を経た要因

班	災害事象	原因の段階									
		a	b	c	d	e	f	g	h		
A	交通機関の 混雑・停止	移動ニーズ増による 対応困難	臨時情報発表後の 行動の理解不足 (2)	発表内容の 伝わりにくさ (3)	臨時情報の認知不足 臨時情報の仕組みの難しさ	---	---	---	---	防災教育 の不足	
		異なる対応方針 (1)	運行情報が伝わらない	発表内容の 伝わりにくさ (3)	臨時情報の認知不足 臨時情報の仕組みの難しさ	---	---	---	---	---	防災教育 の不足
				現場の情報収集・発信の遅れ	人員不足 お客様対応のニーズ増加	---	---	訓練不足	---	---	
				デマや関連した情報	臨時情報発表後の行動の理解不足 (2)	---	---	---	---	---	
				発信地帯の情報との混同	混乱情報を発信できてしまう 匿名での無責任な発信が容易	情報リテラシーが低い 匿名での無責任な発信が容易	---	---	不確かな情報にとらわれる	先が見えない不安	
		通信網のパンク	通信網のパンク	通信ツールの必要増加	---	---	---	---	---	---	
通信網のパンク	運行情報へのニーズの高まり 安全確認に時間を要する	異なる対応方針 (1)	行動による対応ルールの推察不足 要する人員の移動手段がない	---	---	---	---	---	---		
B	業務が回らない	回りの動きが予測できない	---	---	基本的な事象の理解度の差が大きい	---	---	---	---	いつ地震が起きるかわからない	
		相手先の多忙	災害時業務が増える	承すべきことの確認が増える	多忙で電話を受けてくれない	怯弱が不安で 問い合わせが多くなる	---	---	臨時情報の認知不足	臨時情報の 説明がわかりにく	
		乗客人数が通常の2割	対応はすでに確立していない	人手が足りない	後着順に子どもを預けられなくなる	行政の判断で一律に 後着順を体罰にしよう	---	---	---	行政や一辺の判断が不安 路線面などの判断が不安	
		配達ができなくなる	---	---	津波浸水の恐れがある 地域に行けなくなる	交通機関が停止してしまう	---	---	---	番長がトップダウンで 情報を発信してしまう	
		予定されていた 工事の延期が必要	---	---	行政機能が制限される	優先的な業務に 人員を割かれる	---	---	---	安全確保 人命確保が優先される	
		お休みする店舗が増える	従業員が来ない	---	---	---	---	---	---	---	優先業務の遂行に時間 がかかり業務の確保に影響
C	不安な生活	学校、保育所の休止	児童の安全を確保する	---	児童の危険性が高まっている 過大な区域内に施設があるから	---	---	---	---	利便性と災害危険度とのバランス	
		運送する人の出入不足	---	---	ぎりぎりの人数による運用体制	---	---	---	---	資源不足	
		携帯電話が使えない	連絡しなくてもいい人が 避難している	---	真偽不明な情報が拡散する	---	---	---	---	公的機関も確実な情報を出せない	
		避難所での生活	避難しなくてもいい人が 避難している	---	---	ハードマップを見ていない・信じていない	---	---	---	事前の防災関連情報の理解不足	
		スーパーマーケット品薄	物流の停止・ 配送トラックが来ない	---	---	ガソリンの需要が増える 工場稼働率低下による生産力低下	---	---	---	---	被害遭いの被害が恐ろしい 専門家のリソースが足りない
		交通機関への影響	---	計画運休	---	---	---	---	---	---	設備の維持運用の判断基準がない
D	思いがけずの増加 旅行の機会 が回らない	住民が次の行動を 知らない	気象庁の発表内容 がわからない	---	---	---	---	---	---	気象庁から次の行動 の説明がない	
		頼るところを行政 しか知らない	臨時情報を理解 していない	情報に接する機会がない	---	---	---	---	---	---	災害発生後がない 伝える説明を できる人がいない 不確かな情報だから

とを検討し、ワークを終えている。これら 2 班の結果から、いずれも臨時情報の認知不足に関わる要因が示され、その背景にある要因として、制度並びに、現状住民・企業に示される説明の内容自体の理解の難しさが示される結果となった。また、情報発信を担う主体の 1 つである行政の視点として、「伝える説明をできる人がいない」という、人材に関わる要因も示されている。

5. まとめと今後の展望

本研究では、2 種類の WS を組み合わせ、臨時情報発表時の社会様相及び、起こり得る災害事象の要因分析手法の検討を試みた。その結果、産官学の多様な参加者に基づくワークにより、臨時情報発表時の社会様相という未知の状況に対して、6 項目 8 種の災害事象を抽出し、大局的には提示された災害事象に対する要因を見出すことが可能であることが示された。特に、「臨時情報の認知不足」と「制度自体の理解の難しさ」の 2 点が、複数の災害事象の要因の帰結として示される結果となった。一方で、WS②のふりかえりにおける意見交換からは、事前の対策に活かすには、抽出された要因に対応する主体をより明確にすることが必要であるといえた。濱島らが提案する、4 つの視点を臨時情報発表時の社会様相を踏まえて整理を行い、より根本的な要因に迫るアプローチについても検討を要する。

今後の展開として、参加者の属性を考慮した GW を実施する等、抽出された要因に対応する主体をより明確にし、臨時情報発表時に想定される多様な災害事象とその要因に基づいた事前対策に結実させる手法を確立していくことが重要である。引き続き、産官学の連携を踏まえた実践と研究を進めたい。

謝辞

本稿のワークショップ参加者ならびに運用には多くの協力を頂いた。とくになぜなぜ分析の適用においては、名古屋大学減災連携研究センター研究員の土屋泰広氏より多くの有益な助言と協力をいただいた。また、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」の支援による。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 倉田和己, 穴井英之, 荒木裕子, 新井伸夫: 南海トラフ地震臨時情報に関する住民意識の現状と防災対応検討ガイドラインとのギャップに関する考察, 災害情報, No.20-1, pp.63-73, 2022.
- 2) 金玖淑, 牧紀男, 曾我部哲人, 山本俊哉, 森脇環帆: 南海トラフ臨時情報発令時の自治体の対応に関する検討一和歌山県串本町を事例として-, 地域安全学会梗概集, No.50, pp.191-194, 2022.
- 3) 岡田恵実, 高橋拓也, 荒木裕子, 新井伸夫, 平山修久: 南海トラフ地震臨時情報を住民と一緒に考える勉強会の実践, 地域安全学会梗概集 No.50, 2022
- 4) 梶谷義雄, 杉浦聡志, 畑山満則, 高木朗義: 災害時の避難行動に対する態度形成と避難実態に関する要因分析:平成 30 年 7 月豪雨を対象として, 自然災害科学 No.39-3, pp.207-220, 2020
- 5) 亀田一平, 平山修久: 災害廃棄物対策における自治体職員の当事者意識に係る因子の要因分析, 日本リスク研究学会誌, Vol. 29, No. 4, pp. 251-259, 2020
- 6) 塚本 満朗, 高木 朗義: 説明可能な機械学習モデルを用いた豪雨時における住民避難選択行動の要因分析, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol.77, No.5 (土木計画学研究・論文集第 39 巻), pp.1_181-1_191, 2022
- 7) 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 (2), 1_81-1_88, 2020
- 8) 濱島京子, 梅崎重夫: 情報伝達と変更管理に着目した産業機械の労働災害分析手法の提案, 労働安全衛生研究 2 (1), pp.33-44, 2009
- 9) 千葉啓広, 野村一保, 木作尚子, 都築充雄, 平山修久: 南海トラフ地震臨時情報発表時の社会状況に関するオンラインを活用した事前の課題共有手法に関する一考察, 第 25 回災害情報学会 2022 年度秋大会予稿集, p55-56, 2022

富士山北麓地域の住民とのリスクコミュニケーションに基づく 避難支援ツールの開発

Development of Evacuation Assistance Tools Based on Risk Communication with
Residents in the North Foothills Area of Mt Fuji.

佐藤 史弥¹ 秦康 範¹ 本多 亮^{2,1} 吉本 充宏^{2,1} 松崎 元³
Fumiya Sato¹ Yasunori Hada¹ Ryo Honda^{2,1} Mitsuhiro Yoshimoto^{2,1}
and Matsuzaki Gen³

¹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

²山梨県富士山科学研究所

Mount Fuji Research Institute, Yamanashi Prefectural Government

³千葉工業大学

Chiba institute of Technology

This paper reports the results of developing two evacuation tools based on "all-hazard" and "phase free" through risk communication with residents in the northern foot area of Mt. Fuji eruption. As a result of discussions with residents, it was found that "contacting and confirming the safety of family and acquaintances," "preparing emergency supplies," and "confirming evacuation methods" are issues to be addressed when evacuating from lava flows during the eruption of Mt Fuji. Therefore, we developed "My Evacuation Card," which can be stored in a wallet, etc. with contact information of family members, etc., and "My Family's Evacuation Plan," which contains evacuation sites and emergency items to take with you in case of emergency.

Keywords : Mt Fuji, Risk Communication, Evacuation, Phase Free

1. 序論

2021年3月に、17年ぶりに富士山火山ハザードマップが改定された¹⁾。この改定により、従来のハザードマップよりも火口の出現が想定される範囲が広がり、溶岩流、火砕流、融雪型火山泥流及び大きな噴石の到達想定範囲が拡大した。さらに、溶岩流等の想定到達時間が早くなる地域が示された。このことにより、広域避難計画の大幅な見直しが検討されるなど、富士山の火山防災を取り巻く状況は一変したといえる。

富士山は過去に様々な形態の噴火を引き起こしており、噴火の規模や発生する火山現象を絞り込むことが難しい²⁾。さらに、火山現象毎の到達距離の違いと火口の位置関係により、富士山噴火災害のリスクは地域ごとに異なる。そのため、同一市町村内でも、理解しなければならないリスクが異なることから、住民がそれらのリスクを適切に理解することが難しい。筆者らの研究³⁾でも、多様な火山現象を適切に理解することは、住民にとって非常にハードルの高い可能性があることを指摘している。

したがって、住民の適切な火山現象に対する理解を促すためには、火山防災の専門家と住民のリスクコミュニケーションが必要となる。本研究では、筆者らが富士山北麓地域の住民を対象に実施した「富士山噴火災害からの警戒態勢構築ワークショップ（以下、噴火警戒避難体制構築WS）」を通して、「オールハザード」、「フェーズフリー」をコンセプトとした2種類の避難ツールを開発した成果を報告する。

2. 警戒避難体制構築WSの概要

本研究では、富士河口湖町と富士吉田市の地域住民を対象に警戒避難体制構築WSを実施した。富士吉田市は同市の市役所職員（以下、市役所職員）21名、富士河口湖町では同町内にある精進湖民宿村の民宿の経営者（以下、精進湖住民）10名を対象とした。

噴火警戒避難体制構築WSは、参加者に対する富士山噴火に対する防災意識調査を事前実施したうえで、合計4回のWSを実施した。第1回WSでは、事前防災意識調査の結果を踏まえた座学の火山防災講習会を実施した。第2回WSでは、富士山噴火による溶岩流からの避難の際の課題抽出WSを実施した。第3回WSでは、第2回の結果を踏まえて作成した富士山噴火マイ避難カード（素案）を参加者に提示し、富士山噴火マイ避難カード（素案）の修正案を検討した。第4回WSでは、第3回WSの結果を踏まえて作成した2種類の避難支援ツールをWS参加者に提示し、意見聴取を実施するとともに、ツールの活用可否を尋ねるアンケート調査を実施した。なお第4回WSは新型コロナウイルスの感染拡大防止のため、精進湖住民については書面開催とし、市役所職員のみ対面で実施した。

本稿では避難支援ツールの作成に関連する第2~4回のWSの結果について報告する。住民意識調査及び、第1回WSの結果は、既報³⁾に詳しいのでそちらを参照されたい。

3. 噴火警戒態勢構築WSの実施

(1) 溶岩流からの避難時の課題抽出（第2回WS）

溶岩流からの避難時の課題抽出WSは、参加者を5~6人の班に分けてそれぞれの班でグループワークを実施し

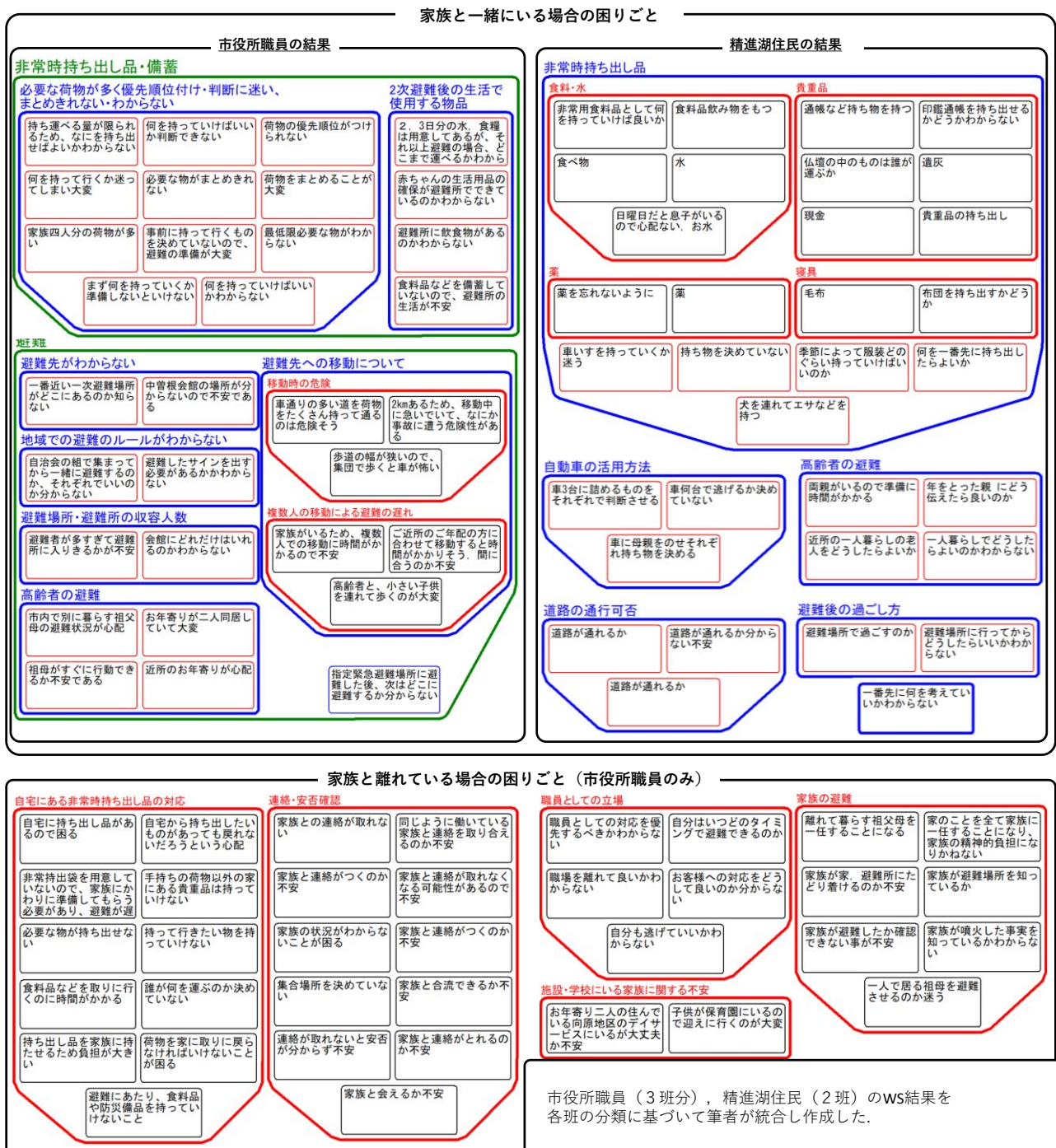
た。最初に参加者に「今は日曜日の午前10時。天候は晴れ。数日前から火山性地震が増加し、2日前に気象庁から火山に関する解説情報（臨時）が出されている。あなたは、家族とともに自宅にて休日を過ごしている。すると突然、富士山が噴火したという緊急速報が入ってきた。30分後にあなたの住んでいる地区に溶岩流が到達するおそれがあるため、避難指示が発令された。」という状況付与をしたうえで、2つの課題を実施した。

1つ目は、溶岩流からの避難先の検討である。この課題では、参加者の自宅周辺が記載された溶岩流の可能性マップ、溶岩流ドリルマップ、防災マップの3種の地図を見比べ、参加者の自宅に最短時間で到達する溶岩流からの避難場所と移動経路を検討した。

2つ目は、避難時の困りごとの検討である。検討した

避難先に家族と一緒に避難する場合に、困ると思うことを付箋に書きだしたのち、各班で付箋の内容を共有しKJ法によるグルーピングを実施した。なお市役所職員は、家族と一緒に避難する場合の困りごとの他に、平日に市役所での仕事に富士山が噴火したという状況付与を行い、家族と離れて避難する場合に困ることについても検討をおこなった。

図1に両地区での避難時の困りごとを取りまとめた結果を示す。家族と一緒に避難する場合の困りごとは両地区ともに「非常時持ち出し品の選定」と、「避難方法の確認」に関する困りごとが出る結果となった。「非常時持ち出し品の選定」については、避難時に何を持ち出したらよいかわからないという意見が多い。また、「避難方法の確認」についても、避難先がわからない等、基本



市役所職員（3班分）、精進湖住民（2班）のWS結果を各班の分類に基づいて筆者が統合作成した。

図1 避難時の困りごとの取りまとめ結果

的なことがわからないという結果となった。また、家族と離れて避難する場合の困りごとを見ると、「非常時持ち出し品」等の困りごとに加えて、「家族との安否確認・連絡手段」に関する困りごとが多数見られた。

(2) 富士山噴火マイ避難カード（素案）の作成と修正案の検討（第3回WS）

第2回WSから、富士山噴火時の溶岩流からの避難時の課題として、「非常時持ち出し品の選定」、「避難方法の確認」、「家族との安否確認・連絡手段」の3つの課題があることが明らかになった。これらの結果をもとに富士山噴火マイ避難カード（素案）を作成した。

富士山噴火マイ避難カード（素案）は、横向きA4サイズ(210mm×297mm)の用紙を2行4列に分割し、各区画に抽出された課題へ対応する記入欄を設け、折り畳みA7サイズ(74mm×105mm)にして、鞆などで持ち歩くことを想定し作成した。

富士山噴火マイ避難カード（素案）には3つの記入欄を設けた。1つ目は、連絡先の記入欄である。この欄には、一緒に暮らす家族の情報、避難時に必要な連絡先、一緒に暮らしていない家族・親戚知人などの連絡先を記入できる。

2つ目は、避難方法の記入欄である。この欄には、避難時の移動方法、避難を始めるタイミング、避難先の名前を記入できる。そして、避難のタイミングを確認するために、噴火警戒レベルを掲載した。

3つ目が、非常時持ち出し品の記入欄である。この欄には、別添の非常時持ち出しリストの中から、各個人が必要な物品を「命を守るための持ち出し品」と、「屋内避難のための備蓄」に分けて記入できる。なお、別添の非常時持ち出しリストは、東京防災⁴⁾、首相官邸⁵⁾、赤十字⁶⁾、人と防災未来センター⁷⁾がそれぞれ作成する非常時持ち出し品リストを参考に作成した。

また、常時観測火山を有する基礎自治体や、近年水害や地震の被害を経験した基礎自治体が発行する非常時持ち出しリストを収集し、作成した非常時持ち出しリストと比較した。その結果、災害経験を有している基礎自治体特有の非常時持ち出し品は確認できなかった。また、火山災害ではゴーグルが必要となるが、それ以外の品目は、ハザードの種別によらず共通していた。

第3回WSでは富士山噴火マイ避難カード（素案）をWS参加者へ提示し、修正意見を議論した。その結果、大きく2つの修正意見が出た。1つ目が、富士山噴火マイ避難カード（素案）に掲載する情報の精査である。具体的には、連絡先の記入欄の項目数が多いという意見や、非常時持ち出し品のリストを携帯する必要性がないという意見が寄せられた。2つ目が、デザインとサイズ感の修正である。富士山噴火マイ避難カードは、携帯するには大きいため、コンパクトなサイズにしてほしいという意見が多数寄せられた。

(3) 富士山噴火マイ避難カード（素案）の修正と意見聴取（第4回WS）

第3回WSの結果を踏まえて、富士山噴火マイ避難カードのコンセプトを整理した。まず、第2回で抽出された溶岩流からの避難時の課題は、他の災害にも共通する課題であることから、「オールハザードに対応できること」をコンセプトとした。さらに、平時から富士山噴火マイ避難カードを活用することで、災害時の円滑な活用につながると考え、日常と非日常（災害時）の垣根をなくす「フェーズフリー」の概念⁸⁾をコンセプトに加えた。また、富士山噴火マイ避難カードの配色もカラーユニバ

マイ避難カード



わが家の避難計画

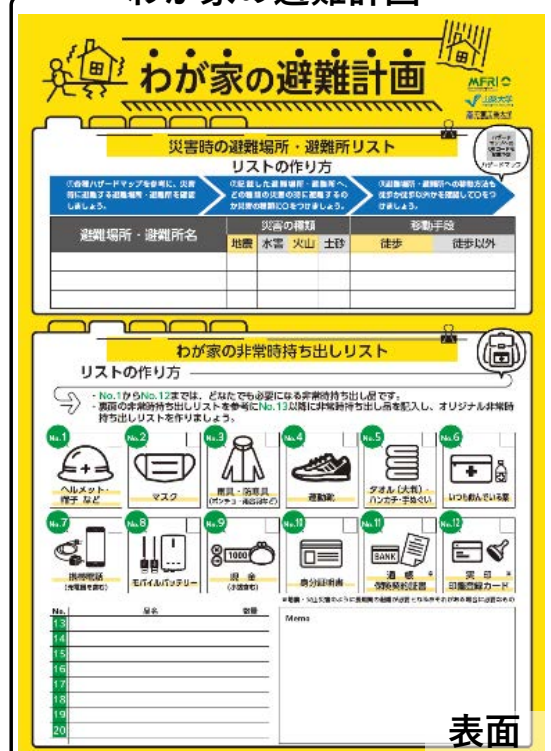


図2 マイ避難カード（上段）とわが家の避難計画（下段）

一サルデザインに配慮することとした。これらのコンセプトに基づき、富士山噴火マイ避難カードを図 2 に示す 2 種類の避難支援ツールとして再作成した。

「マイ避難カード」は、避難時の連絡先や災害時の集合場所を確認するためのツールである。クレジットカードサイズ (53.98mm×85.60mm) で平時から財布等に入れ、連絡先の確認に使用する。平時の活用例としては、携帯電話やスマートフォンの電池が切れた際の連絡先の確認に使用することを想定している。NTT-BJ の調査⁹⁾によると、ここ数年で“電話番号を覚えられなくなった”と「感じる」人は 80.5% に上る結果であり、開発した本ツールの平時からの活用の余地は十分にあると考えられる。

他の類似の避難カードに比した「マイ避難カード」の特徴として、「カード所有者が必要とする情報」のみを掲載していることが挙げられる。例えば、内閣府が公表する災害・避難カード事例集¹⁰⁾に掲載される災害・避難カードには、わたしの情報として、カード所有者の名前や、性別、血液型、生年月日、住所、電話番号、持病の有無を記入する欄が設けられている。これらの情報は、カード所有者の情報を他者へ見せることを目的としている。「マイ避難カード」では、自分のみが使うことを想定しているため、カード所有者の情報は記入しない。

「わが家の避難計画」は、世帯ごとの避難方法や、非常時持ち出し品リストを作成することができる。大きさは、B4 サイズ(257mm×364mm)であり、冷蔵庫などに掲示し、平時から確認することを想定している。

「わが家の避難計画」の特徴として、災害時に誰でも必要になると思われる非常時持ち出し品 12 品目を掲載している点が挙げられる。これら 12 品目は、行政からの支援物資として調達できる物品や、コンビニやスーパーで購入・調達できる物品以外の物品を念頭に、筆者ら研究グループで議論し選定した。これら 12 品目以外に各世帯・各個人で必要な品目を裏面の非常時持ち出しリストから選び、表面に記入できるようにした。

第 4 回 WS では、開発した 2 つの避難支援ツールを参加者に提示し、修正意見の聴取を行うと共に、開発したツールを今後使用したいか否かを問うアンケート調査を実施した。図 3 に今後の活用可否に関するアンケート調査の結果を示す。図 3 から、「マイ避難カード」、「わが家の避難計画」ともに、今後も使用したい参加者が多い結果であることがわかる。しかし、「わが家の避難計画」のみ避難先の検討には使用しないという回答も存在した。その理由を見ると、「わが家の避難計画」を家に掲示する場所がない、対象災害のハザードマップと併用しないと避難先を検討できないなどの意見が挙げられた。今後は、これらの課題へ対応することで、さらなるユーザビリティの向上を目指す。

また、開発した避難支援ツールは、基礎自治体が住民に配ることを想定している。また、これらのツールは、年度初めに住民に配布し、必要な連絡先を毎年見直してもらうことが理想的であると考えている。そのためには、自治体側の継続的な予算確保が必要であり、例えば小野市¹¹⁾や伊那市¹²⁾のように企業からの広告を掲載することで印刷費用を賄うことも必要であると考えられる。

4. 結論

本稿では、富士山北麓地域の住民とのリスクコミュニケーションを通して、「オールハザード」、「フェーズフリー」をコンセプトとした 2 種類の避難ツールを開発した成果を報告した。当初は、富士山噴火時の溶岩流を

想定した避難支援ツールの開発を目指したが、住民との検討の結果、「非常時持ち出し品の選定」、「避難方法

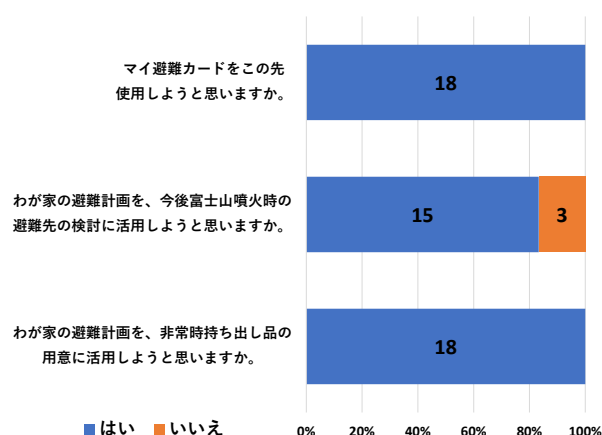


図 3 今後の活用可否に関するアンケート調査の結果

の確認」、「家族との安否確認・連絡手段」と、全災害で共通する課題が抽出された。そこで家族等の連絡先を記入し、財布等に収容可能な「マイ避難カード」と、世帯毎の避難方法や非常時持ち出し品を記入する「わが家の避難計画」を開発した。今後は、開発した避難支援ツールを十分に活用してもらうために、継続的なリスクコミュニケーションが必要である。

謝辞

本研究は、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) の強化防災情報共有システムを基盤とした文理融合型の地域レジリエンス強化の助成を受けたものです。

参考文献

- 1) 山梨県 HP : 富士山ハザードマップ, <https://www.pref.yamanashi.jp/kazan/hazardmap.html>
- 2) 藤井敏嗣: ”活火山” 富士の素顔, 平成 14 年度地震研究所公開講義 (2), <https://www.eri.u-tokyo.ac.jp/KOHO/KOHO/39/39-2.htm>
- 3) 佐藤史弥, 吉本充宏, 本多亮, 秦康範: 富士山周辺市町村住民を対象とした事前アンケート調査に基づく火山防災講習会の試行, 自然災害科学, Vol.41 特別号, pp.111-124, 2022.
- 4) 東京都: 東京防災, <https://www.bousai.metro.tokyo.lg.jp/1002147/index.html>
- 5) 首相官邸: 災害の「備え」チェックリスト
- 6) 日本赤十字社: 非常時の持ち出し品・備蓄品チェックリスト
- 7) 阪神・淡路大震災記念 人と防災未来センター: 減災グッズチェックリスト
- 8) 一般社団法人フェーズフリー協会: フェーズフリーとは, <https://phasefree.or.jp/phasefree.html>
- 9) NTT-BJ: 電話番号に関する意識調査, https://www2.fgn.jp/mpac/_data/8/?d=200708_20
- 10) 内閣府: 災害・避難カード事例集, https://www.bousai.go.jp/oukyu/hinankankoku/saigai_jireisyu.html
- 11) 小野市: 小野市防災マップ
- 12) 伊那市: 伊那市防災ハンドブック (令和 2 年度発行), https://www.inacity.jp/bohan_bosai_kinkyu/bousai/hinankoudou/inashibosaimapR2.html

関東大震災以降の東京都市圏の露出度変化に関する研究

A Study on Exposure Changes in Tokyo Metropolitan Area since the Great Kanto Earthquake

○藤原 叶多¹, 村尾 修²

Kyota FUJIWARA¹ and Osamu MURAO²

¹ 東北大学大学院 工学研究科 都市・建築学専攻

Department of Architecture and Building Science, Graduate School of Engineering, Tohoku University

² 東北大学 災害科学国際研究所

International Research Institute of Disaster Science, Tohoku University

Purpose of this study is to quantify the exposure transition of Tokyo metropolitan area over a period of about 100 years from the 1920s, when the Great Kanto Earthquake occurred, to the present. As a result, the following facts were revealed: (1) DID has expanded rapidly since 1970. (2) Population at locations with ground amplification greater than 2.3 increased approximately seven-fold from 1920 to 2015. (3) Tokyo metropolitan area has been undergoing a transition with high exposure to earthquakes due to population concentration in areas with loose ground.

Keywords : Exposure change, Population density, Geospatial information, Great kanto earthquake, Tokyo metropolitan area, DID

1. はじめに

(1) 研究の背景

2023年の本年は、関東大震災から100周年を迎える。この大震災は東京都市圏を中心に、建築物やインフラの崩壊、火災、そして大量の死傷者を引き起こす大規模な被害をもたらした。死者数・行方不明者数は105,385人¹におよび、近代我が国の未曾有の災害であった。その後、震災や戦争からの復興を成し遂げた東京都市圏は、人口集中が続く都市となった。日本全体では少子高齢化社会で、人口減少が社会問題となっている中、東京都市圏には、2019年において、日本の総人口の29.1%が生活している²状態にある。

災害リスクを測る指標の一つに、露出度（人口や資産など）がある。関東大震災以降、首都圏の発展に伴い人口動態は大きく変化してきた。そのため、露出度の観点から東京都市圏の100年間のリスクを振り返ることは重要である。

(2) 研究の目的

本研究の目的は、関東大震災が発生した1920年代から現在までの約100年間における、東京都市圏の露出度変遷を定量的に示すことである。露出度の観点で、被災地東京都市圏のリスク変遷を検証する。

2. 研究方法と使用データ

本研究では、地理情報システム QGIS を使用する。対象地域は、関東大震災の影響を強く受けた東京都市圏（埼玉県、千葉県、東京都、神奈川県）である。使用するデータは表1に示す。

まず、露出度変遷として100年間のDID（人口集中地区）の分布状況を整理する。1960年以後のDIDデータは整備されているが、以前は存在しない。そのため、1920~1955年分は、市区町村の人口と面積情報から人口密度を算出し、4000人/km²の区域を暫定的にDIDとして、

露出度の変化を把握する。

次に、1920年からの東京都市圏の露出度が、どのような地勢を持つ場所に分布してきたのかを定量的に明らかにする。本研究では、地勢の指標として地盤増幅率を用いる。地盤増幅率とは、地震発生時における地面の揺れの大きさの増幅度であり、地域固有の地理情報である。この指標をもとにした人口分布の変遷をたどることで、露出度からみた地震に対する潜在的なリスクの広がり具合の定量化を試みる。

表1 使用データ

項目	使用データ（出典）
行政区域	国土数値情報ダウンロードサイト ³⁾
人口	国勢調査 ⁴⁾
DID	国土数値情報ダウンロードサイト ³⁾
地盤増幅率	J-SHIS 地震ハザードステーション ⁵⁾

3. 結果

(1) DIDの変遷

1920年から2015年までの、東京都市圏におけるDIDの分布状況を図1に示す。1920年からのDID分布は、現在の東京23区が位置している地域を起点として、沿岸部から内陸部にかけて、連続的に広がっている様子が確認できる。

1923年には関東大震災が発生し、都市部は被災したものの、1925年のDID分布は、1920年より拡大していた。その理由は、東京都市部は、もともと人口密度が4000人/km²を優に越えていたことと、1925年は震災から2年が経過した時点であり、復興が進んでいたからだと考察する。1970年代からは、東京都以外や内陸部、沿線周辺でのDID拡大が顕著に見られる。一方、2000年代のDID（紫色）は、1900年代のDID（赤色）分布図に隠されている。すなわち、2000年以降の都市の拡大は、過去と比

較して、抑えられていることが読み取れる。日本は人口減少社会にあるが、東京都市圏への人口流入は進行している。その首都圏での DID 拡大が、2000 年代から抑えられているということは、DID 内での人口の過密化が著しい状況にあると言える。

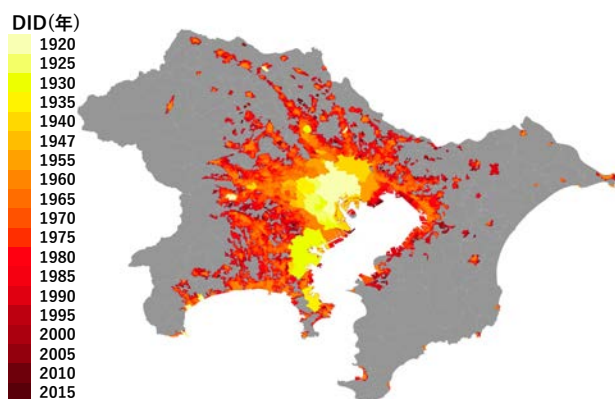


図 1 東京都市圏の DID 分布の変遷

(2) 地盤増幅率を考慮した露出度の変化

地盤増幅率に基づく露出度の分布傾向とその変遷を分析する。1920~1955 年と 2015 年の東京都市圏における、地盤増幅率別人口を表 2 に示す。5 段階に分けた地盤増幅率の尺度は、地震ハザードステーションの地震ハザードカルテ⁵⁾に基づいており、数値が高いほど地震に対する危険性が高い。1920 年以降、全ての地盤増幅率の尺度で、人口が増加傾向にある。関東大震災の直前(1920 年)と直後(1925 年)を比較しても、直後の方が数は上回っている。震災では多数の死傷者が出たが、それでもなお人口が増加したのは、東京都市圏が我が国の主要地であり、現地での復興が進められたからである。

1920 年と 2015 年の人口を、地盤増幅率別に比較する。地盤増幅率別の人口増加率を表 3 に示す。地盤が固い地盤増幅率 1.0 未満の 1920 年人口は 766,827 人、2015 年人口は 1,349,119 人で、人口増加率は 75.9%である。一方、地盤が緩い地盤増幅率 2.3 以上の 1920 年人口は 345,272 人、2015 年人口は 2,858,658 人で、人口増加率は 727.9%となり、明らかに高い率を示す。これは、関東大震災発災前より現在の方が、地震のリスクが大きい場所に多くの人が密集しているという定量的な結果である。人口増加が続いている東京都市圏は、とくに地盤増幅率 2.3 以上の潜在的な地震リスクが大きい場所において、高い露出度変化をたどってきたと言える。

表 2 地盤増幅率別の人口

西暦	地盤増幅率(以上~未満)				
	~1.0	1.0~1.4	1.4~1.8	1.8~2.3	2.3~
1920	766,827	2,126,867	3,188,077	1,223,937	345,272
1925	789,232	2,398,599	3,569,433	1,383,514	460,513
1930	811,642	2,652,997	4,128,296	1,631,647	576,007
1935	837,700	2,934,101	4,725,356	1,907,213	688,551
1940	897,919	4,163,844	4,392,692	2,949,031	277,840
1947	1,131,401	3,609,306	3,796,307	2,317,866	250,901
1955	1,501,503	4,527,521	5,512,831	3,154,890	689,625
2015	1,349,119	10,776,486	15,272,510	5,886,207	2,858,658

表 3 地盤増幅率別の人口増加率 (1920~2015 年)

地盤増幅率	~1.0	1.0~1.4	1.4~1.8	1.8~2.3	2.3~
人口増加率	75.9%	406.7%	379.1%	380.9%	727.9%

続いて、図 2 に地盤増幅率別の人口割合変遷を示す。関東大震災前の 1920 年から 1935 年にかけて、大きい地盤増幅率の人口割合が緩やかに高まっている。1940 年以降はその割合動態に変動はあるが、地盤増幅率 1.8 以上の人口割合は常に 20%以上である。地盤の固い地盤増幅率 1.0 未満の人口割合は、10%以下で推移し、2015 年には 5%未満に縮小している。これらの割合変遷は、地震に対するリスクを抑える動きに反している。関東大震災以降、地盤の固い地域に居住地域を移動するのではなく、被災した地域での再建が進められ、さらに軟弱地盤上への人口過多が進んだ結果が、この人口割合変遷に表れている。

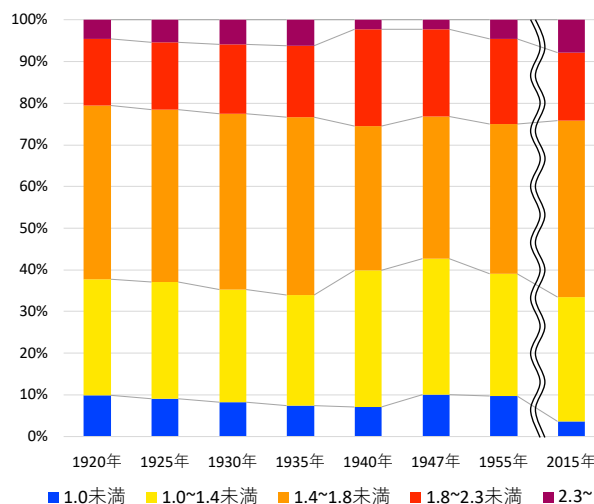


図 2 地盤増幅率別の人口割合の変遷

4. おわりに

本研究では、関東大震災が発生した 1920 年代からの東京都市圏の露出度変遷を、人口と地盤増幅率データを使用して定量的に示し、露出度の観点で東京都市圏のリスク変遷を検証した。

DID は、1920 年から現東京 23 区を起点に分布が広がり、1970 年以降急拡大したが、2000 年からは拡大傾向が見られない。地盤増幅率別の人口を調査した結果、1920 年から 2015 年にかけての地盤増幅率 2.3 以上での人口増加率は、顕著に高い 727.9%を示した。一方、地盤増幅率 1.0 未満の人口割合は 10%以下の低い値で変化してきた。結論として、東京都市圏は、地盤が緩い場所での人口集積が進行し、その密度は関東大震災発災時よりも高く、地震に対する露出度は高い状態で変遷し続けてきた。

参考文献

- 1) 諸井孝文・武村雅之：関東地震(1923 年 9 月 1 日)による被害要因別死者数の推定，日本地震工学会論文集 第 4 巻，第 4 号，2004
- 2) 内閣府：第 1 章 第 1 節 これまでの東京一極集中の社会的・経済的要因，https://www5.cao.go.jp/j-j/cr/cr20-21/chr20-21_01-01.ht ml (2023 年 4 月 20 日閲覧)
- 3) 国土交通省：国土数値情報ダウンロードサイト，<https://nlftp.ml it.go.jp/ksj/index.html> (2023 年 3 月 5 日閲覧)
- 4) 政府統計の総合窓口(e-Stat)：国勢調査，<https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&toukei=00200521&metadata=1&data=1> (2023 年 3 月 5 日閲覧)
- 5) 防災科学技術研究所：J-SHIS 地震ハザードステーション，<https://www.j-shis.bosai.go.jp/> (2023 年 4 月 18 日閲覧)

Assessment of Open Space Performance in Tokyo from the Perspective of Urban Disaster Resilience

Yitong DONG¹ and Osamu MURAO²

¹ Department of Architecture and Building Science, Graduate School of Engineering, Tohoku University

² International Research Institute of Disaster Science, Tohoku University

With the continuous development of the world's economic level and urbanization, the urban system has become increasingly complex, multilevel, and interdependent. Open space, as one of the indispensable elements in urban spatial forms, has gradually become the key component in the holistic urban disaster prevention system. To verify the performance of urban open spaces, we propose a resilience-related index consisting of quantitative and qualitative indicators by using GIS tools. We used the PEOPLES framework to evaluate the open spaces in Tokyo from different hierarchical levels. This study tried to identify the potential limitations in the existing open spaces to provide policy recommendations for improving the disaster prevention performance of open spaces in different urban contexts.

Keywords : *Loss of resilience, Disaster recovery, Resilience quantification, Open space, PEOPLES framework, Tokyo*

1. Introduction

1.1 Background

Against the backdrop of global environmental change and rapid urbanization, the enhancement of urban resilience has become a topic of significant importance as evidenced by the recent disaster framework. One of the priority targets requested by Sendai Framework is to increase resilience, operating an important shift from disasters purely as a matter of relief operations to pre-emptive approach aligned with sustainable development, the Sendai Framework placed a major emphasis on urban areas.

Resilience, a multidisciplinary and broad concept. The generalized concept of resilience was used in physics, material science, and engineering which described as the ability to “withstand stress, survive, adapt and bounce back from a crisis or disaster and rapidly move on”(Wagner and Breil,2013). The notion of resilience appeared in urban planning in the 1990s (Mileti, 1999). Urban resilience refers to the ability of a social-ecological system to absorb, mitigate, and adapt to changes (Desouza and Flanery, 2013), and to withstand an extreme event without undergoing considerable change, or the system quickly recovers to the pre-disturbance state, all without a large amount of assistance from outside the community or system(Mileti, 1999). Based on the understanding of resilience, this study is concerned with assessing the attributes of open space through a resilience lens, supported by the idea that alternative sites in human settlements are part of a dormant network of streets, squares and parks, among other open areas, which in times of crisis can be prepared to adapt to uncertainty (ISDR, 2005), and provide temporal refuge, information, goods and medical care, among other survival needs.

1.2 Open space

Scholars always mention the concepts of “open spaces”, “green open spaces”, “green spaces” when referring to urban environmental disaster prevention. For purpose of this discussion, we don't explicitly distinguish between these concepts, classifying “open space” into five broad groups:

courtyards, parks/playgrounds, agricultural lands (open fields), street (road) networks and others (vacant land etc.) . Only public spaces with free access were evaluated, whereas private parks and gardens with restricted access were neglected.

2. Resilience assessment

Several solutions for measuring resilience are available in the literature. Some scholars describe top-down or bottom-up resilience assessment as a measurement scheme and qualitative or quantitative as a method for the former.

Paula Villagra.et.al(2014) focused on the spatial relationships by GIS between the attributes of the open space system and the urban form after an earthquake to inform about recovery planning and urban system models that improve city adaptability to disaster. Xin.et.al(2021) proposed GIUR-PSS, supporting decision-making for GI planning through scenario comparisons with the urban resilience capacity index. Mahua Mukherjee,Kaoru Takara(2018) proposes the UGS-3CC framework, which is an urban climate resiliency model based on blue-green networking by using a contextual concept, core competency and contribution calculation. Kammouh.et.al(2019) uses the PEOPLE framework as implement and presents indicators defined by weighted functionality functions. These indicators among the variables at the same and different levels is considered through the proposed matrix technique to reflect the quickness degree of the recovery.

On the other hand there are some researchers take a hazards perspective which views vulnerability and resilience as separate, Cutter et al(2008) proposes the theoretical framework of the disaster resilience of place(DROP) model which specially reflecting the process of resilience change in community-scale. According to Bruneau.et.al(2003), the resilience performance of a system can be characterized as its functionality fluctuation performance. The approach is based on a measure which varies with time, the conceptual definition is illustrated as Fig.1. Hence, community loss of resilience could be measured by the change in expected infrastructure quality over the recovery time, mathematically defined as Eq. (1):

$$LOR = \int_{t_0}^{t_1} [100 - Q(t)] dt \quad (1)$$

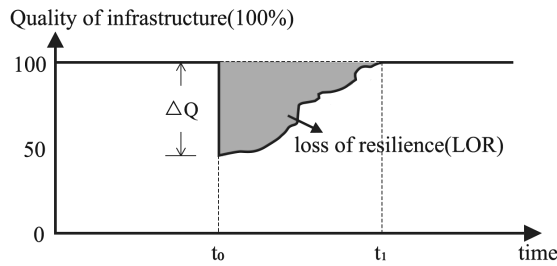


Fig.1 measure of seismic resilience(conceptual definition)

In practice, the initial quality are by their nature highly uncertain, the recovery process may includes other actions that influence the functionality to the system initial state. Therefore, Kammouh.et.al(2019) reset the initial quality as Q_0 , which can take any value between 0% and 100% (Fig. 2).

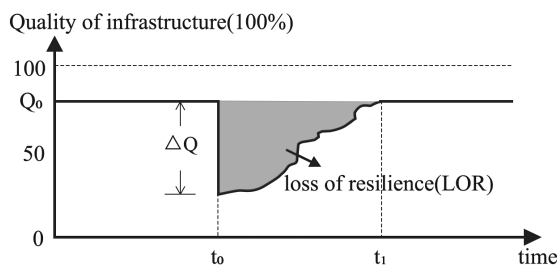


Fig.2 measure of seismic resilience(considering actual initial quality)

Moreover, LOR is measured as a dimensionless function of time so that it must be normalized to be time independent by dividing the control time(Cimellaro et al. 2010). Ultimately, Eq. (1) can be deformed from Eq. (2):

$$LOR = \int_{t=t_0}^{t_1} \frac{[100-Q(t)]}{T_c} dt \quad (2)$$

3. Methodology

3.1 Dimensions of resilience

PEOPLES is a framework to measure the community resilience at different scales (spatial and temporal) by evaluating the performance of the quality of infrastructures. Its attributes were developed at the Multidisciplinary Center of Earthquake Engineering Research (MCEER) (Cimellaro.et al. 2016), which comprises seven dimensions as follows:

- (1) Population and demographics
- (2) Ecosystem and environment
- (3) Organized governmental services
- (4) Physical infrastructure
- (5) Lifestyle and community competence
- (6) Economic development
- (7) Social-cultural capital

PEOPLES is mainly concerned with a community, for purpose of this research discussion, we basically consider dimensions that influence the performance of open space and its resulting urban resilience capacity. To do so, all resilience indicators found in the literature review are collected and then allocated to the proper dimensions: Population, Ecosystem and environment, Economic development, Social-cultural capital.

The four dimensions will further divided into several indicators so that to convert the qualitative version to a quantitative framework. Examples of indicators in the population dimension represent the basic condition of the area, such as the population density, the age distribution and so on. Indicators in environmental dimensions focus on services supported by open spaces, such as land use diversity, runoff, density of green vegetation and so on. Indicators in the economic dimension maintain infrastructure costs and economic level, like average house price, the density of public infrastructure, disaster prevention devices and so on. As for the indicators in the social-cultural dimension, addressing education services, public health care and so on. (table.1)

Table.1 indicators for open space performance in urban resilience capacity with source

Goal	Dimension	Code	Indicator	Source
open space performance in urban resilience capacity	Population	Po1	population density	Modeling
		Po2	the age distribution	Modeling
		En1	runoff	Modeling
	Environmental	En2	land use diversity	Modeling
		En3	density of green vegetation	Modeling
		En4	degree of community disaster risk	Modeling
		En5	water quality	Survey
		En6	pervious surfaces	Modeling
		En7	terrain	Modeling
		Economic	Ec1	public infrastructure construction number
	Ec2		disaster prevention facilities costs	Survey
	Ec3		average house prices	Modeling
	Ec4		food provisioning capacity	Survey
	Ec5		transportation accessibility	Survey
	Social-cultural	So1	emergency response services	Survey
		So2	site identifiability	Survey
		So3	education programs on disaster risk reduction and disaster preparedness for local communities	Survey
So4		the distance to the nearest emergency shelter	Modeling	
So5		increase local development (inducing tourism)	Survey	
So6		increase human Health and wellbeing	Survey	
So7		increase recreational area	Survey	

3.2 Assessment system

Each indicators has a measure assigned to respect a fixed quantity by a level of importance and contribution to resilience. In brief, a weighting matrix system for each variable is computed to define standards to give a target value for each

indicators to present the relative importance of different indicators to the evaluation goal.

Based on the discussion above, the conceptual approach is depicted in a hierarchy flowchart as shown by Fig. 3

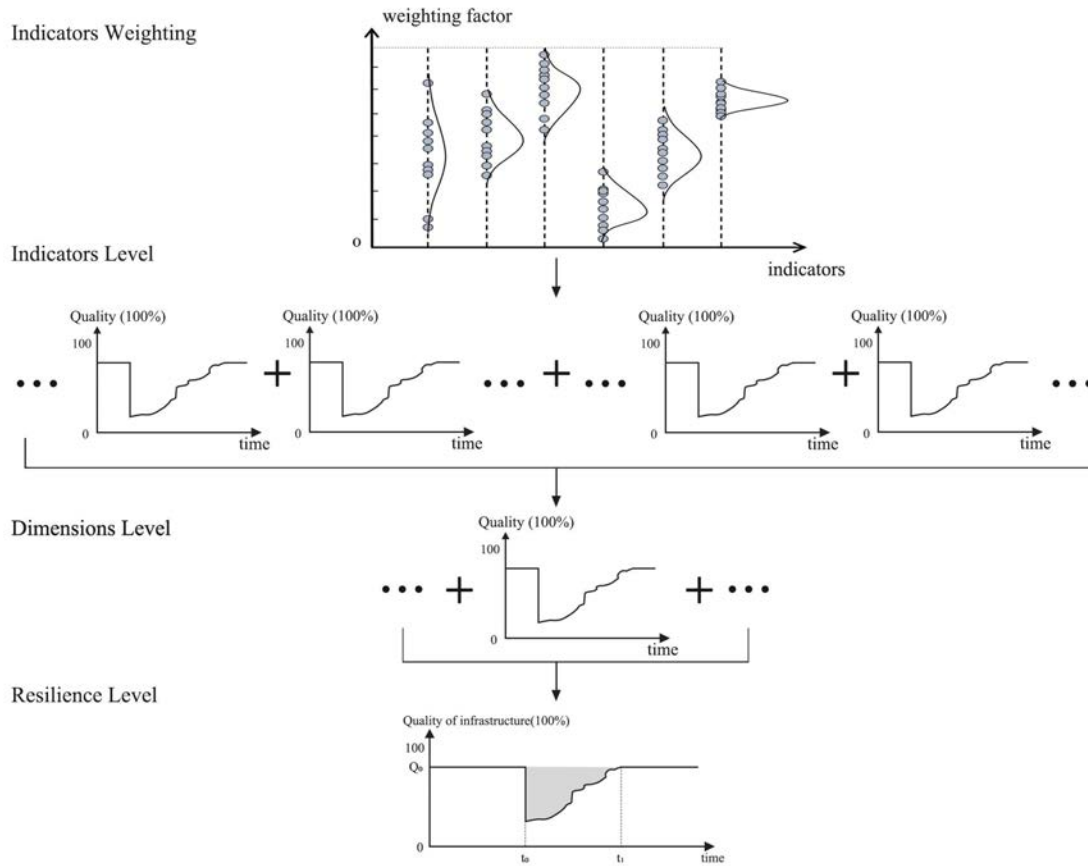


Fig.3 hierarchy flowchart

4. Site area for further research

In this section, as the main aim is to identify the potential of open spaces for purpose of supporting urban disaster reduction planning, we decided the open space in 23 districts of Tokyo as the scope of the study area. Fig. 4 shows the current open spaces distribution obtained from Tokyo metropolitan government through GIS.

According to the spatial distribution, we conducted field investigations of several open spaces in Tokyo, and then illustrated two case studies to show the implementation of the procedure for evaluating disaster resilience. The first is a dedicated disaster prevention park, which named Ike Sun Park(Fig.5) located in Ikebukuro, the second is a general public park, which named Shinjoku Cho Park(Fig.6).



Fig.4 the current open spaces in Tokyo



Fig.5 The basic condition of Ike Sun Park



Fig.6 The disaster prevention devices of Shinjuku Cho Park

5. Conclusion remarks

In this study, we summarized the current literature method, and based on the theme to proposing a specific indicator set and a planning support system to assess open space performance through an urban resilience lens.

In the future stage, we will specifically analysis the two cases through scenario interpretation and model calculation to analysis the limitations of the current planing to implement the goals, so that the open space can be more sustainable and respond and recover more quickly when facing disasters.

6. References

- 1) Wagner, I., and P. Breil. 2013. "The role of ecohydrology in creating more resilient cities." *Ecohydrol.* Hydrobiol.13(2):113 - 134. <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2013.06.002>.
- 2) Mileti, D., 1999. *Disasters by Design: A Reassessment of Natural Hazards in the United States*. Joseph Henry Press, Washington, D
- 3) Desouza, K.C., Flanery, T.H., 2013. Designing, planning, and managing resilient cities: a conceptual framework. *Cities* 35, 89e99. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2013.06.003>
- 4) Villagra, P., Rojas, C., Ohno, R., Xue, M., & Gómez, K. (2014). A GIS-base exploration of the relationships between open space systems and urban form for the adaptive capacity of cities after an earthquake: The cases of two Chilean cities. *Applied Geography*, 48, 64 - 78. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2014.01.010>
- 5) Fu, X., Hopton, M. E., & Wang, X. (2021). Assessment of green infrastructure performance through an urban resilience lens. *Journal of Cleaner Production*, 289. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125146>
- 6) Mukherjee, M., & Takara, K. (2018). Urban green space as a countermeasure to increasing urban risk and the UGS-3CC resilience framework. In *International Journal of Disaster Risk Reduction* (Vol. 28, pp. 854 - 861). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2018.01.027>
- 7) Kammouh, O., Zamani Noori, A., Cimellaro, G. P., & Mahin, S. A. (2019). Resilience Assessment of Urban Communities. *ASCE-ASME Journal of Risk and Uncertainty in Engineering Systems, Part A: Civil Engineering*, 5(1). <https://doi.org/10.1061/ajrua6.0001004>
- 8) Cutter, S.L., Barnes, L., Berry, M., Burton, C., Evans, E., Tate, E., Webb, J., 2008a. A place-based model for understanding community resilience to natural disasters. *Glob. Environ. Change* 18, 598 - 606.
- 9) Bruneau, M., Chang, S. E., Eguchi, R. T., Lee, G. C., O'Rourke, T. D., Reinhorn, A. M., Shinozuka, M., Tierney, K., Wallace, W. A., & von Winterfeldt, D. (2003). A Framework to Quantitatively Assess and Enhance the Seismic Resilience of Communities. In *Earthquake Spectra* (Vol. 19, Issue 4, pp. 733 - 752). Earthquake Engineering Research Institute. <https://doi.org/10.1193/1.1623497>
- 10) Cimellaro, G. P., A. M. Reinhorn, and M. Bruneau. 2010. "Framework for analytical quantification of disaster resilience." *Eng. Struct.* 32 (11):3639 - 3649. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2010.08.008>.
- 11) Cimellaro, G. P., C. Renschler, A. M. Reinhorn, and L. Arendt. 2016a. "PEOPLES: A framework for evaluating resilience." *J. Struct. Eng.* 142 (10): 04016063. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ST.1943-541X.0001514](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0001514).

将来災害想定における災害障害者の発生数推計

Estimation of the Number of Disabled Persons caused by Disasters in Future Disaster Scenarios

○高原 耕平¹

Kohei TAKAHARA¹

¹人と防災未来センター 研究部

Disaster Reduction and Human Renovation Institution

How many people with disaster-related disabilities will occur in future disasters? This paper proposes a simple method to estimate that number. The only reference case is the Great Hanshin-Awaji Earthquake, but the figures obtained there are also unreliable. The essential problem is that data on past disaster-disabled persons has not been accumulated. This paper presents a figure of 38% as the sequelae rate.

Keywords : Disabled Persons caused by Disasters, Disaster Assumption

1. 問題の所在

災害障害者とは、災害を原因として身体・知的・精神の障害を負った人である。阪神・淡路大震災の災害障害者（震災障害者）の調査を行った池埜（2011）は、災害障害者の実態把握が不十分であり、かれらが「忘れられた存在」とされてきたことを指摘している。この状況は東日本大震災以後も本質的には変化しておらず、社会的認知や支援制度の検討は進んでいない。

本稿では、将来災害の被害想定における災害障害者の発生数の推計手法を検討する。現在、中央防災会議や自治体が公表している災害被害想定には負傷者数の項目が含まれているが、災害障害者の発生数の項目は無い。この状況は以下の2点について問題がある。

①復旧・復興期における災害障害者の医療・福祉ニーズの量・内容を見積もることができない。災害前の地域福祉体制でカバーしうるのか、人員追加や体制組み換えが必要なのか前もってわからないまま復興計画を立てるといったことになるおそれがある。結果、窓口に現れた当事者にアドホックに対応する、アセスメントと対応計画が後手に回るといった状況を招くことが予想される

②結果、災害障害者の存在が認知されず、行政や地域コミュニティによる支援の基礎が無いままとなる。生業・暮らし・コミュニティ、そしてときに近親者を失った被災者にとって、自身の心身は生活再建・復興の最後に残った基点である。災害障害者はその基点にハンディキャップを負っている。ゼロからではなくマイナスからの再建と言われる所以である。これは被災者の人権が保障されない状況であり、ひいては被災地域全体の復興についても好ましいことではない。

災害障害者の発生数は、身体障害・知的障害については災害時の負傷者数と相関することが容易に推測される。そのため、各種の災害想定に、負傷者数の推計と合わせて、災害障害者数の推計を追加すべきである。そして、その数字にもとづいた支援策を復旧復興計画に組み込むべきである。

以上の目的のもと、以下では地震災害における災害障害者発生数の推計手法を提案する。負傷者数に対する比

率（後遺化率）を単純に求める簡易手法について述べ、次いで発展的手法の方向性を検討する。

2. 将来地震災害における災害障害者発生数の推計手法の検討

本節では災害障害者発生数の推計手法を検討する。以下、本稿では地震災害を想定し、洪水・高潮・火山噴火等については扱わない。

(1) 簡易手法

地震動による負傷（倒壊家屋・家具の下敷き等による負傷、落下物による負傷、火災による火傷など）と津波被災による負傷を分けたくて、それぞれの負傷により後遺症が生じる率（「後遺化率」と仮に呼ぶことにする）を過去事例から割り出し、その率を災害想定を負傷者数に乗ずる。その際、軽傷が身体障害に発展する事例は少ないと考えられ、また混乱時の記録の不備等により軽傷者数は重傷者数に比べて数字の信頼性が低いと考えられることから、重傷者数を対象とする。

想定される災害障害者発生数 $D =$

$$\begin{aligned} & \text{地震動による想定重傷者数 } I_e \times \text{地震動による負傷の} \\ & \text{後遺化率 } S_e \\ & + \text{津波被災による想定重傷者数 } I_t \times \text{津波被災による} \\ & \text{負傷の後遺化率 } S_t \end{aligned}$$

ここで、 S_e , S_t はともに、=過去事例における災害障害者数/重傷者数として単純に求める。

この方法の長所は計算が簡便であることと、災害様態が変化しても負傷様態は大きく変わらないと仮定できるので、過去事例から算出した後遺化率を使い続けられることである。たとえば耐震化の向上により家屋倒壊と負傷者数そのものが減っても、倒壊家屋による負傷の様態自体が変わるわけではないとみなしうる。そのため古い災害事例から算出した後遺化率を使うことができる。

この方法の短所は、次節の発展的手法が考慮する諸要因を全て捨象しており、正確性に劣ることである。また、あくまで重傷者と障害者の全数推計のみを対象としてお

り、障害程度の差や部位などは考慮されない。しかし災害後の支援や復興に必要な資源の規模感を把握するためには概数で十分であるかもしれない。また、過度に詳細化した推計はかえって実態から乖離するかもしれない。

もう一つの問題は、次節で検討するように、信頼に足る過去事例がわれわれの手に無いことである。本来ならば複数の大災害事例において後遺化率 S を求め、事例ごとの値の違いを検討して S をより精緻化すべきである。しかし残念ながら一つとして数字の揃った事例がない。重傷者数は記録されるが、災害障害者数は調査されていないためである。（「障害者」とは誰のことか、何ををもって「障害」とするかという問いはいったん措いて、少なくとも）障害者手帳の給付数は明確であるのに、そのうちで災害に起因する人々の数が不明である。

(2) 発展的手法

簡易手法に比べて、より多数の要因を追加した推計手法を検討することができる。本稿ではその追加要因として採りうるものを挙げる。たとえば、負傷状態から後遺化率を個別に算出することで推計値をより正確にできるかもしれない。また、障害の程度を分けて推計することができるかもしれない。

発展的手法においては救出資源・医療資源の変化を考慮に入れることも必要である。阪神・淡路大震災時に比べて倒壊家屋等からの救出資源（救出技術・資機材・部隊数・即応能力）は向上しており、また被救出者を受け入れる災害医療資源も増えている。このため、早期の救助・治療により負傷の程度を抑え、後遺症が残らないようになるかもしれない。しかし反対に、従来は命を救えなかった重傷者の救命率が向上し、その分、後遺症が増えるかもしれない。

また、救出資源・医療資源は災害規模により増減する。応援が被災地に迅速に集中する局地災害ケースと、南海トラフ巨大地震津波災害のようなケースでは、被救出者数・負傷者数・治療状況・予後に大きな違いがあると推測される。

以上から、発展的手法において後遺化率 S は救出資源と医療資源を変数とする関数として考えられ、 S は救出資源と医療資源が増大するほど単調増加するとは断言できない。いずれにせよ S を導出したうえで、大規模な災害の想定においては各ケースごとに救出資源・医療資源の様態を検討し、後遺化率と障害者発生数を算出することになると考えられる。

S を導出するためには、過去の複数事例の Se , St と、それぞれの事例における救出資源・医療資源の様態を検討する必要があるが、現状では前述のようにそれらが存在しない。そのため、救出部隊や DMAT 等が被災地に到達するのにかかる時間、治療や広域搬送の状況などについて新たにシミュレーションを行って S を導出することが考えられる。

3. 阪神淡路大震災の災害障害者数

本節では、災害障害者に関する公的調査が唯一実施されている災害である阪神・淡路大震災の事例をもとに簡易手法の後遺化率を求める。同震災の重傷者数は 10,683 人であり、内、兵庫県内の重傷者数は 10,494 人である。ではその内の障害者は何名か。

平成 22 年、兵庫県と神戸市が合同で阪神・淡路大震災の災害障害者（震災障害者）の量的・質的調査を行った。

この調査はまず平成 7 年 1 月から調査時点までの身体障害者手帳交付申請書を調べ、そのうち原因欄に「震災」の記述があるもの、発生年月日が平成 7 年 1 月 17 日で場所が被災地内であるものを災害障害者として特定した。結果、328 人が条件に合致した。さらに郵送による質問紙調査と面接調査を実施している（兵庫県 2011）。

次に、神戸市による生活実態調査では、2005 年時点で約 3.5%が障害の原因を「震災」と答えていた。この調査は市内在住の障害者のうち無作為抽出した 6500 人を対象とするものである。牧（2020）は、この率を市全体の身体障害者数約 6 万 9000 人に単純に掛け合わせると、神戸市内の災害障害者は約 2400 人に上ると推計する。

神戸市内の重傷者数は 6300 人である。仮に同市内の災害障害者が 2400 人であり、兵庫県内の他市町に同じ比率で災害障害者が発生していると仮定すると、神戸市を含めた兵庫県内の災害障害者は約 4000 人と推計される。

4. 阪神・淡路大震災事例に基づいた後遺化率の検討

本稿は将来の災害想定における災害障害者発生数の推計手法を検討するため、簡易手法に必要な後遺化率を阪神・淡路大震災の事例から求めようとしている。しかしここで 2 つの大きな問題に突き当たってしまった。第一に、同震災の災害障害者の人数として桁の異なる 2 つの数字（328 人=3%、約 4000 人=38%）があること、第二に、いずれも正確性に限界があること、である。

まず、後遺化率として 3%と 38%のいずれを採用すべきだろうか。3%が取りうる最小値であることは確かである。交付申請書の「震災」という記載はあくまで医師の任意によるもので、実際には震災障害者でありながらそのように記載されていないケースがありうる。牧（2020）は支援活動のなかで出会った当事者にそのようなケースのひとがいることを紹介している。他方、38%という数字もまた過大ではという印象を受けるものの災害医療に昏い報告者には判断が難しい。

将来災害における災害障害者発生数の推計値を求めるのは、適切な支援の方法や資源をあらかじめ見積もっておくためである。この目的からすれば、過小に見積もるより過大に見積もる方が害は少ない。したがって後遺化率を 38%とさしあたり措いたうえで、算出時に「そこまで多くなるかはわからないけれど…」と言い添えておく、というのが次善の策であろうか。

さて以上から地震動に起因する後遺化率 Se を 38%と仮定する。また（本来は個別に検討すべきだが）津波被害による後遺化率 St もさしあたり同じ数字と仮定すると、南海トラフ地震災害における中部 4 県の重傷者は 68,350 人であると予測されているので、そのうち障害を負う人は 25,973 人である。

参考文献

- 1) 池壁聡, 総論「震災障害者」: 「忘れられた存在」からの脱却に向けて, 災害復興研究, 3, 11-26, 2011.
- 2) 牧秀一編, 希望を握りしめて, 能美舎, 2020.
- 3) 兵庫県, 震災障害者・震災遺児実態調査報告書, 2011.

海南市事前復興計画策定における 継続的な自治体職員研修の効果と課題

Effectiveness and Challenges of Ongoing Municipal Staff Training on Pre-Disaster Recovery Planning in Kainan City, Wakayama Prefecture

○金 玖淑¹, 牧 紀男¹, 上田 知史², 大道 洋幸²
Minsuk KIM¹, Norio MAKI¹, Tomofumi UEDA² and Hiroyuki OMICHI²

¹ 京都大学 防災研究所

Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

² 海南市 危機管理課

Crisis Management Division, Kainan City

This study focuses on the fact that the effects of pre-disaster recovery planning on municipal employees and others who have no experience with disasters have not been well examined. The purpose of this paper is to clarify the usefulness of pre-disaster recovery training and the contents and methods that need to be improved through a questionnaire survey of municipal employees who have no experience in disaster response (emergency response, recovery, and reconstruction) before and after the training. By doing so, this paper aims to contribute to the identification of potential benefits and challenges in applying similar training methods to other municipalities that have not yet experienced disasters.

Keywords : pre-disaster recovery, ongoing training, questionnaire

1. はじめに

海南市は和歌山県の北西部に位置し、市域の西側が紀伊水道に面する。総人口は 47,593 人で、世帯数は 21,978 世帯（令和 5 年 3 月末日現在）である⁽¹⁾。和歌山県の被害想定に基づいて、沿岸 19 市町における南海トラフ巨大地震時の建物被害と人的被害を示すと図 1 のようになる。海南市は他の市町に比べて被害が割と少ない自治体ではあるものの、東日本大震災の検証で「被害大」（死者率 7%以上、全壊住家率 30%以上）の地域分類に当てはまる。かつては市庁舎も津波浸水想定区域内にあったが、平成 29 年 11 月に海拔約 60m の内陸の高台（現位置）に移転した。

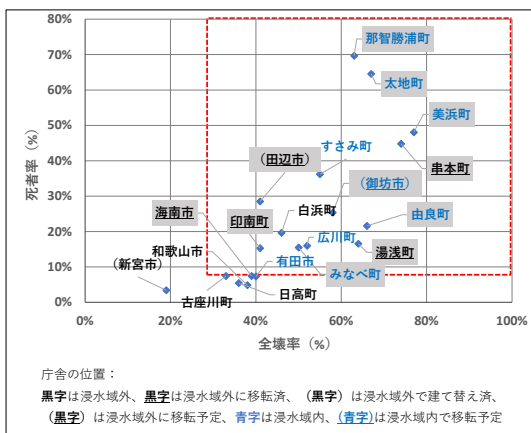


図 1 和歌山県の沿岸 19 市町の南海トラフ巨大地震時の被害想定分布⁽²⁾ (■ 事前復興計画策定済・策定中)

海南市は令和 2 年度から京都大学防災研究所と事前復興計画の策定を検討し始め、令和 3 年度に事業発注をし、

令和 4 年度までの約 3 年間で計画案を完成させた。初期研修の内容や有用性については既発表¹⁾しており、本稿はその続きである。

本研究は、事前復興計画策定が未災地の自治体職員等に及ぼす影響が今まであまり検証されて来なかったことに注目したものである。そのため、本論文は災害対応（応急・復旧・復興）の経験がない市職員等を対象に、事前復興に係る研修の有用性と改善点（研修内容・手法）を抽出することをその目的とする。そうすることで、同様の研修手法を未災地の他自治体に展開していく場合に期待できる効果と課題の究明に資すると考える。研究方法は県・市の担当職員として研修に参加した全参加者を対象として、研修前後に継続的に質問紙調査を実施し、分析考察を行った。

2. 海南市の事前復興研修について

(1) 研修等の概要

海南市における事前復興計画策定のための研修等の概要を表 1 に示す。前期（令和 2 年 4 月～令和 3 年 7 月）と後期（令和 3 年 8 月～令和 5 年 3 月）に分けて実施しており、前期と後期を合わせて取組みは大きく 3 種類（研修会、職員ワーキング、訓練）を継続的に実施している。前期は京都大学防災研究所が開発した WS 手法を取り入れた研修会を 2 回実施した。後期には復興イメージ図（素案）の策定のための復興検討ワーキングを 3 回実施し、全体研修会で共有した。その後、担当職員等の役割分担、事業の進め方等について協議するテーマ別研修会を開催し、事前復興計画案を策定した。その上で、これまで研修会やワーキングに参加していなかった将来の担い手（地元の高校生・大学生・30～40 代の市職員）を対象とした事前復興まちづくり訓練を実施した。

表 1 海南市の事前復興計画策定に至るまでの研修等の概要

	期間	方法	研修会等の名称・開催日と検討手法	参加者	内容		
前 期	令和2年4月～ 令和3年7月	京都大学防災 研究所が開発 したWS手法	① 第1回研修会 ◎ (令和2年10月19日)	市職員(課長・課 長補佐)、海南警 察署、海南保健所	被災後から1年間の復旧・復興におけ る各組織の役割や手順、内容等の確 認、組織間の関係性の理解、課題や確 認事項の共有		
			② 第2回研修会 ◎★ (令和3年7月19日)				
後 期	令和3年8月～ 令和5年3月	事業発注、京 都大学防災研 究所が参与観 察しながら研 修の効果測定 を実施	③ 職員ワーキング 講◎★ ・ 第1回復興検討ワーキング 講◎★ (令和3年11月19日) ・ 第2回復興検討ワーキング ◎ (令和3年12月16日) ・ 第3回復興検討ワーキング 講◎ (令和4年5月26日)	市職員(課長 等)、県職員(防 災企画課・都市政 策課・建築住宅 課・海草振興局)	第1回ワーキングで復興パターンのイ メージ図を検討し、第2回ワーキング で事業メニューに基づいた復興イメ ージ図を検討。第3回ワーキングで産業 や文化を踏まえた復興パターンのイメ ージ図を検討		
			④ 全体研修会 (令和4年6月24日)			市職員(総括班長 等)	復興まちづくり事例及び海南市復興イ メージ図(素案)の紹介
			⑤ テーマ別研修会 講△★ (令和4年7月20日～7月25日)			市職員、関係機関	テーマを7分野(i. 災害廃棄物、 ii. 復興計画の策定、iii. 被災者支援 と医療・保険・福祉、iv. 基盤整備、 v. 住宅再建、vi. 産業・経済、農林 漁業、vii. 学校再開・心のケア)に分 け、役割分担、事業の進め方等につ いて協議
			⑥ 事前復興まちづくり訓練 講◎☆ (令和4年10月8日)			次世代を担う地元 の高校生・大学 生・市職員等	WSで「復興時に目指すべきまちの姿」 等について検討

講 講演 ◎ 図上演習 △ 復興模擬演習 ★ 質問紙調査実施(本論文の対象) ☆ 質問紙調査実施(本論文の対象外)

(2) 研修等における検討手法

事前復興計画策定のための3種類(研修会、職員ワーキング、訓練)の取組みは毎回WS形式で実施している。WSプログラムは講演、図上演習、復興模擬演習を組み合わせたもので、各回の詳細は表1の通りである。成果物としては「復興イメージ図」と「復興時行動マニュアル」をつくっている。

また、計画策定の3年間、研修等の効果を測定するために計4回の質問紙調査を実施した。そのうち、事前復興まちづくり訓練は参加者の属性が異なるため、本論文では市職員や関係機関の担当者が参加した研修等で実施した3回の質問紙調査のみを分析の対象とする。

3. 事前復興研修の効果と課題

(1) 質問紙調査の概要

市職員や関係機関の職員を対象とした質問紙調査の開催時期と内容を図2に示す。質問紙調査は、海南市事前復興計画策定の前期に当たる第1回・第2回研修会が終わった後に実施(「Q1調査」と称す)した上で、後期の第1回復興検討ワーキングの後に再度実施(「Q2調査」と称す)した。しかし、Q2調査の結果から復興イメージ図を検討するワーキング中に効果測定の変化はあまり期待できないと判断したため、質問紙調査を再開したのは約8か月後のテーマ別研修会で、研修会の実施前(「Q3調査」と称す)と実施後(「Q4調査」と称す)に行った。全体的に共通・類似した質問を分類すると4カテゴリーに分けることができ、その詳細は下記の通りである。

- ①参加者の属性に関する内容:担当業務、職種、人事異動の有無、災害対応の経験、事前復興研修会等への参加経験等について質問した。
- ②研修に関する満足度:Q1調査とQ2調査では研修等における講演やワーキングが役に立ったか、困った

ことはあったか、改善すべき箇所を把握するための質問を設けた。ところが、継続して実施する質問紙調査で毎回講演及びワーキングの評価を行っても個々人の学習意欲が不明なままでは研修プログラムや手法の改善箇所を見出すことは困難である。そこで、今後「復興事前準備として何をすべきか」を考えた際に有用な情報を得るためには事前学習と研修、その後の変化を図る必要性があった。そのため、Q3調査とQ4調査では予習を踏まえた研修への満足度について質問した。

- ③事前復興の進め方(行政対応)に関する有用性:Q1調査とQ2調査で研修をきっかけに新たに気づいた行政の立場からの事前復興の課題について聞いた上で、Q4で一緒に取組みを検討する必要があると感じた部署と取組み内容、今までの取組みを通しての感想(全体像・担い手育成等)について質問した。
- ④今後の事前復興の進め方(全体の方向性)の抽出:Q2調査とQ4調査で当該自治体の事前復興で重要だと思ったことについて質問した。

(2) 研修の有用性について

1) 研修の満足度と改善策

前期の第1回・第2回研修(Q1調査)では参加者31人のうち58.1%が「役に立った」と回答し、38.7%が「少し役に立った」と回答した。役に立った理由(複数回答)として最も多かったのは「庁内の関係者等が集まって、各部署の取組みを聞くことができた」(64.5%)で、続いて「改めて課題を認識し、取り組むきっかけになった」(48.4%)、「専門家の意見を聞くことができた」(41.9%)の順であった¹⁾。

Q2調査における満足度を図3に示す。約7割が作業時間・作業方法・難易度が適切であると回答した。ところが、成果物について満足を示したのは約6割に留まった。

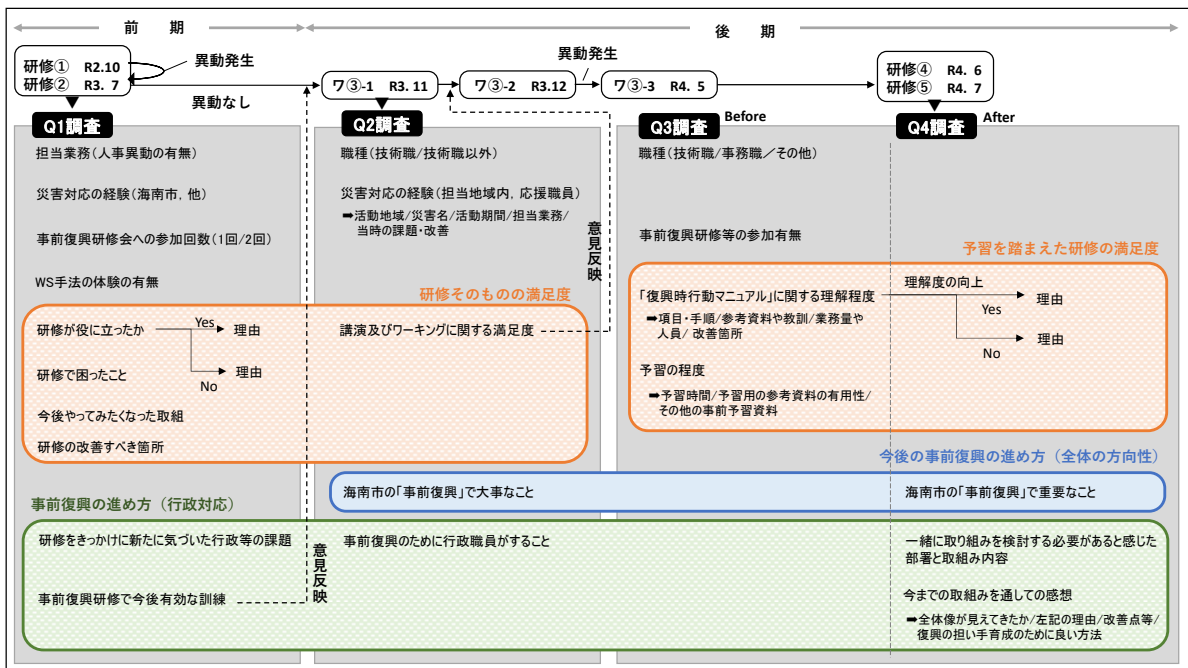


図2 質問紙調査の内容

一方、今後の検討への有用性や総合満足度については7割前後を示した。この調査で「改善の余地がある」と回答した人から「ハードをどうするかという議論では日本全国の被災地が同じデザインになってしまう。もっと地域の特徴や地域らしさについて話できるようにすれば、現状のまちづくりにもつながる。」という提案があった。この調査結果を踏まえ、ワーキング・研修の内容に関する見直しが行われた。

次いで、予習による研修前後の満足度の変化を図4に示す。研修前の「復興時行動マニュアル」(海南市)の理解状況を見ると、マニュアルに示された項目・手順と参考資料や教訓について理解した人が半分程度しかいなかったが、研修後には理解度が向上したことがわかる。また、海南市の研修は復興業務に係る項目・手順を理解してほしいという趣旨のもとで行われているため、項目・手順に関する理解度に変化があるか研修前後のデータをクロス集計した(図4③)。その結果、7割以上が研修後の理解度向上について「達成」「概ね達成」と回答しており、特に研修前に「あまり理解していない」という回答者の7割以上が「概ね達成」と回答した。

なお、図5は予習の状況を示す。予習時間としては1時間以内が最も多く、3時間程度と回答した人は1/3以下

である。予習用参考文献として提示された『東日本大震災復興の教訓・ノウハウ集』については「役に立った」と「わからない」という回答が半々に分かれた。復興に係る対応について「概ね理解している」という回答者は3時間程度の予習をしている人も多いこともわかった。

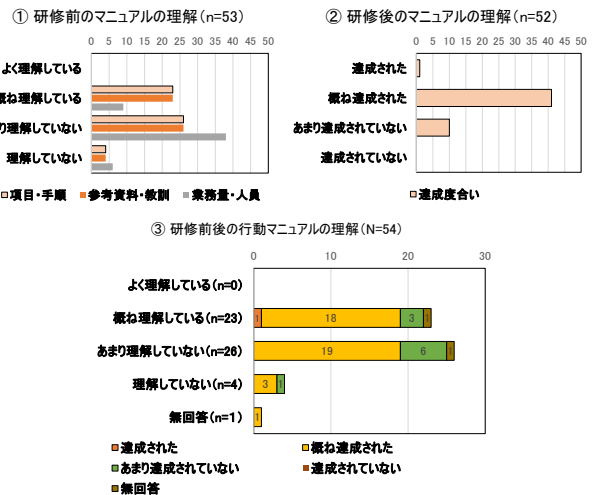


図4 研修の満足度 (Q3・Q4調査, N=54)

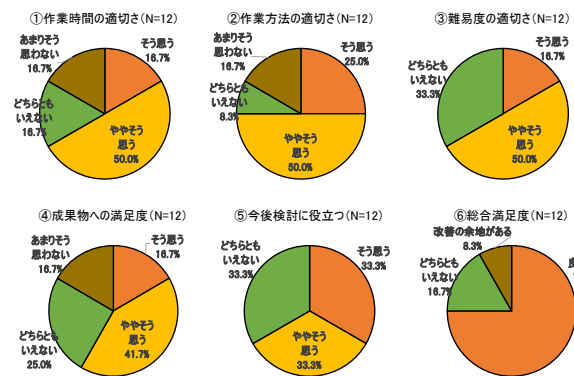


図3 ワーキングの満足度 (Q2調査)

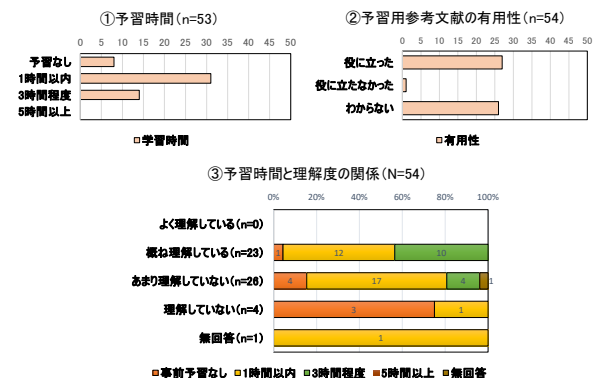


図5 予習時間と参考文献の有用性 (Q3調査)

2) 事前復興の進め方（行政対応）に関する有用性

図 6 と図 7 は事前復興研修を通して行政職員が気づいた課題である。初期から共通しているのは、部署間の横の連携のための話し合いであった。また、復興イメージ図を作成するためのワーキング後の Q2 調査では当該自治体だけでなく、県や他の機関との調整事項の整理、広域連携、住民や企業を巻き込んだ活動、将来のシナリオに基づいた準備等も行政課題として挙げられた。

行政等における事前復興の課題(N=31)

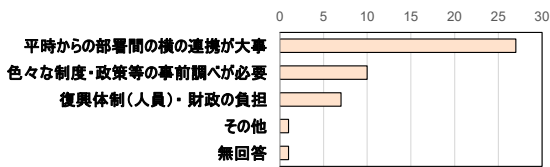


図 6 行政が考える事前復興の課題 (Q1 調査, 複数回答)

事前復興のために行政職員がすること(N=12)

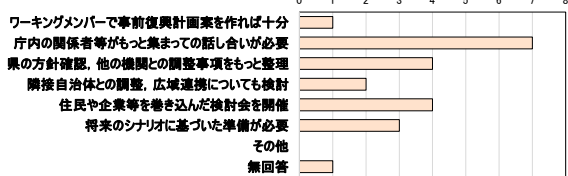


図 7 行政が考える事前復興の課題 (Q2 調査, 複数回答)

次いで、研修等の回を重ねるほど事前復興の全体像が参加者らに見えているか確認する必要があったため、一連の研修会が終わった後の Q4 調査で全体像が見えてきたかどうかについて質問した (図 8-①)。その結果、参加者の 57.4% が「見えてきた」と回答した。その理由としては「経験された方の講話より理解を深めることができた」「具体的な項目について考えてみることで、全体像がよりクリアに見えてくるようになった」「計画策定に取り組んだだけではイメージがわきにくく、今回のように関係課が集まり話し合うことで全体像が見えてきたと思う」「着地点が分かったように感じた」「研修を重ねるうちに少しずつ見えてきた」等が挙げられた。

一方、「全体像が見えない」という回答者も参加者の 35.2% を占めている。その理由としては「基礎知識の不足」「ケースが多く、想像が追いついていない気がする」「部分的にしか研修に参加していないため、課の担当範囲外については理解が届いていない」「産業、農業・漁業のほか住宅、都市計画など一体的に考えていかないと全体が把握できない」等の意見が出された。

また、事前復興の実効性を高めるための次世代の担い手育成について質問したところ、「定期的な研修」が最も多く、続いて「被災自治体との交流会」「復興現場への派遣」「定期的な訓練」の順であった (図 8-②)。

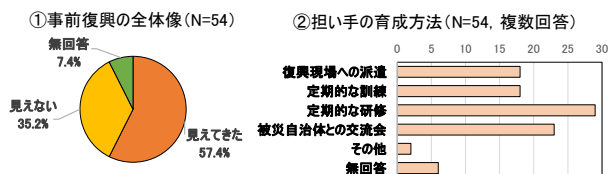


図 8 事前復興の全体像の把握と次世代対応 (Q4 調査)

3) 今後の事前復興の進め方（全体の方向性）の抽出

復興イメージ図作成（その後に Q2 調査）と復興時行動マニュアル作成（その後に Q4 調査）を通して事前復興で重要だと思うことについて質問した結果を集計したものが図 9 である。復興イメージ図作成では「様々な復興事業に関する勉強」が重要だと思う参加者が多い反面、復興時行動マニュアル作成では「マニュアルの整備、訓練の充実」「住民意向の把握」が重要だと思う参加者の割合が高かった。

事前復興で重要なこと(複数回答)

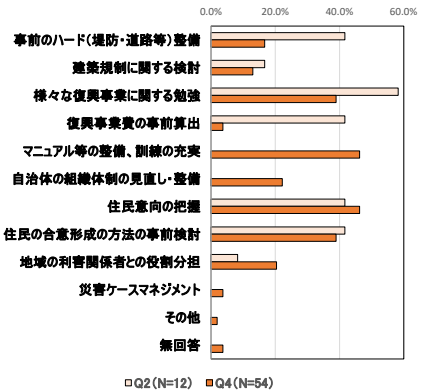


図 9 事前復興で重要なこと

4. まとめ

海南市は自治体職員や関連機関と一緒に事前復興計画策定に臨み、「復興イメージ図」と「復興時行動マニュアル」を作成した。策定プロセスをみると、3 種類（研修会、職員ワーキング、訓練）の取組みがある。計画としての実効性を上げるため、研修等の効果測定を実施し、その結果を次の取組みに活かす方策を取った。

その結果、前期質問紙調査を通して後期では地域らしさを意識した研修にすることができた。後期質問紙調査では予習をした上で研修前後のデータを取り、理解度の向上を確認することができた。しかし、個人の学習時間の確保の問題、事前復興の全体像が見えない職員への支援のあり方等が課題として残っている。

謝辞

本研究をするに当たり、日本工営株式会社のご協力を仰ぎ、質問紙調査を実施することができました。また、研修・訓練の参加者であった和歌山県並びに海南市職員の方々にも大変お世話になりました。ここに記して厚く御礼申し上げます。

補注

- (1) 海南市のウェブサイト (<https://www.city.kainan.lg.jp/>、最終閲覧日：令和 5 年 4 月 21 日) を参照。
- (2) 被害想定は『和歌山県地震被害想定調査報告書』（和歌山県、2014.3）を基に作成した。その上で、東日本大震災の検証結果²⁾で「被害大」と分類された地域を赤い点線で囲み、庁舎の移転状況等をグラフに反映させた。

参考文献

- 1) 金玖淑・牧紀男・上田知史・坂本匡也：自治体職員向けの事前復興研修の効果と課題—和歌山県海南市を事例として—、地域安全学会梗概集, No. 49, pp. 59-62, 地域安全学会, 2021. 10.
- 2) ひょうご震災記念 21 世紀研究機構：総合検証 東日本大震災からの復興, 岩波書店, 2021.

徳島県内の社会福祉施設棟へのBCP策定支援からみた災害対策の現状と課題

Current status and issues of disaster countermeasures from supporting for business continuity planning of social welfare in Tokushima prefecture

○湯浅 恭史¹, 中野 晋¹, 金井 純子¹, 林 淳年²

Yasufumi YUASA¹, Susumu NAKANO¹, Junko KANAI¹ and Atsutoshi HAYASHI²

¹徳島大学環境防災研究センター

Research Center for Management of Disaster and Environment, Tokushima University

²徳島県社会福祉法人経営者協議会

Social Welfare Corporation Management Council of Tokushima Prefecture

This paper introduces the efforts that supported the formulation of business continuity plans for social welfare facilities in Tokushima Prefecture. We will analyze the issues in the business continuity plan at each facility extracted from this initiative, clarify the current state of disaster response capabilities of social welfare facilities, and consider future issues.

Keywords : Business Continuity Plan, disaster response, social welfare facility, inundation damage

1. はじめに

2019年に発生した令和元年台風19号では、社会福祉施設等で浸水被害があり、建物の使用ができなくなったために福祉サービスの継続が困難となり、近隣の社会福祉施設や医療機関に分散避難したケースが発生し、事業再開に長期間を要することとなった。¹⁾

大規模災害時における社会福祉施設の役割は、自らが被災した場合でも可能な限り、最低限の福祉サービスを継続し、地域福祉を守ることが求められている。しかし近年、大規模地震や台風等による豪雨災害などで社会福祉施設が被災し、資源の不足や建物が使用できないなどの事態に陥り、自施設での福祉サービスを提供し続けることが困難となったケースが発生している。このような状況を踏まえ、厚生労働省は令和3年度介護報酬改定において、感染症や災害への対応力強化として、全ての介護サービス事業者を対象に業務継続計画（BCP）等の策定、研修の実施、訓練の実施等を3年間の経過措置期間を設けて義務づけることとなった。²⁾

徳島県では南海トラフ巨大地震の発生が懸念されているとともに、2017年には中央構造線・活断層地震の被害想定も公表されている。³⁾ また、これらの地震への対応だけでなく、近年頻発している豪雨災害による浸水被害や土砂災害への対応など、自然災害リスクへの社会福祉施設等の対応は急務と言え、これらに対応するBCPの策定・運用が求められている。そこで、徳島大学環境防災研究センターは徳島県社会福祉法人経営者協議会と協働で徳島県内の社会福祉施設等を対象にBCPの策定研修会を実施した。

本研究では、徳島県内の社会福祉施設等へのBCP策定支援の取り組みによって抽出されたBCP策定上の課題を分析し、徳島県内の社会福祉施設等の災害対応の現状について明らかにし、今後の課題について考察する。

2. 社会福祉施設等のBCPへの取り組み状況

(1) 社会福祉施設等のBCP策定状況

MS&AD インターリスク総研株式会社は厚生労働省の委託事業において、全国社会福祉法人経営者協議会に加入している社会福祉施設等7,986施設を対象にアンケート調査を2019年9月9日～2019年10月9日に実施し、2,924施設から回答を得た。（有効回答数36.6%）⁴⁾

本調査によると、BCPを策定（文書化）している施設は24.5%、作成中が13.4%、未策定が62.4%だった。

（図-1）BCP策定及び作成中の施設に対し、BCP策定への

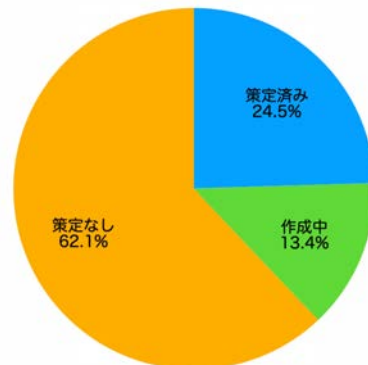


図-1 BCP策定状況 (n=2,924) ⁴⁾

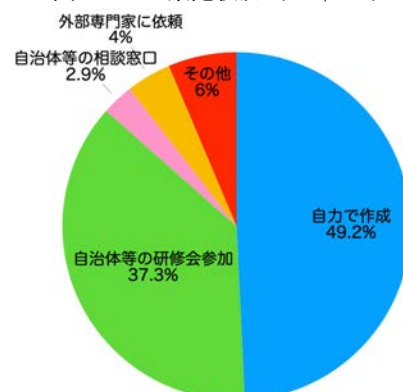


図-2 BCP策定への支援 (n=1,054) ⁴⁾

支援について尋ねたところ、「自力で作成した（49.2%）」「自治体や社会福祉協議会等が主催する研修会に参加（37.3%）」が多数を占めた。半数近くが自力で作成しており、BCP 策定支援の必要性が推察される。（図-2）

(2) 徳島県社会福祉法人経営者協議会の BCP 策定状況

徳島県社会福祉法人経営者協議会が 2019 年度に実施したアンケート調査によると、BCP 策定しているのは 94 法人中 20 法人（策定率 21.3%）となっており、徳島県内においても BCP 策定への取り組みを推進する必要があった。

3. 徳島県内での社会福祉施設等への BCP 策定支援の取り組み

(1) 実施体制及び実施方法

徳島県内での社会福祉施設等への BCP 策定支援の必要性から、徳島大学環境防災研究センターと徳島県社会福祉法人経営者協議会が協働で BCP 策定研修会を実施することとした。実施主体を徳島県社会福祉法人経営者協議会、カリキュラム検討を徳島大学環境防災研究センターが担当する形で 2020 年度に全 5 回の研修会を実施した。

新型コロナウイルスの影響もあり、Web 会議システムと会場での併用で実施した。これは新型コロナウイルス対策だけではなく、業務多忙な職員が移動等の時間負担なく研修に参加できる利点もあり、全受講者数 91 名のうち 68 名が Web 会議システムでの受講となった。

(2) カリキュラム概要

カリキュラムは、これまで徳島大学環境防災研究センターが行ってきた企業向けの BCP 策定支援内容をベースとして、社会福祉施設の特徴を踏まえるために MS&A インターリスク総研株式会社「社会福祉施設等における BCP 様式および解説集」⁵⁾を参考にして検討を行った。また、策定された BCP が第三者認証にも対応できるようにするため、内閣官房国土強靱化推進室「国土強靱化貢献団体の認証に関するガイドライン」⁶⁾の認証基準にも適合する内容とした。

全 5 回のカリキュラムのうち、第 1 回から第 4 回までは受講した内容に沿って、各施設で作成した BCP 文書の提出を依頼することにより、進捗状況の確認と各施設での BCP 策定につなげる構成にしている。各回の間は 1 ヶ月程度の期間を設け、各施設で検討しながら取り組む時

間を確保した。また、その間の疑問や質問等については、メールでの対応や Web 会議システム等での個別面談を行うなど、フォローアップする体制を整えた。

各回では、BCP 策定への解説だけでなく、内容に関係がある過去の被災事例等の災害調査内容を報告し、取り組みの必要性を認識しやすい工夫を行うとともに、第 5 回には、参加者により策定した BCP の発表や BCP 策定時に抽出された課題を共有することにより、他法人との連携や協力の必要性を検討する内容とした（表-1）。

(3) BCP 策定支援の成果

成果として、研修実施後の徳島県社会福祉法人経営者協議会での BCP 策定済み法人は 51 法人となり、策定率は 54.3%となり、実施前と比べて、33 ポイント増加した。

4. 徳島県内の社会福祉施設等における災害対応力の現状

(1) 「課題管理表」による課題の抽出

BCP 策定研修の第 4 回終了後に、これまで BCP を策定する上で課題となっている項目を取りまとめ、それを「課題管理表」に取りまとめを行った。この「課題管理表」は、BCP を策定・運用する上で発生する大小様々な課題を抽出し、それら課題への改善活動の対応状況を進捗管理することを目的に作成するものである。

各施設では、抽出された課題を担当者や実施時期を決め、改善活動により課題を解決していくというサイクルを推進することにより、継続的改善を実現することができる。

提出のあった 46 法人 53 施設の「課題管理表」に記載があった 372 件の課題を分析することで、徳島県内の社会福祉施設等の災害対応力を明らかにする。

(2) 徳島県内の社会福祉施設等における BCP 策定・運用上の課題

372 件の課題を重複、類似しているものを集約すると 7 つのカテゴリーで 30 項目の課題となった（表-2）。マニュアル作成やルール化などのソフト対策、地震対策や浸水対策のハード対策、職員等の対応力向上などのスキル対策に分類すると、ハード対策が 53.5%と半数以上を占めた。次いで、ソフト対策が 37.6%、スキル対策は 8.9%となった（図-3）。

また、全施設で最も多く挙げられた課題は、「マニュアル・行動ルールの整備（77.4%）」であり、「建物・施設

表-1 BCP 策定研修カリキュラム

回数・開催日	内容	提出文書
第 1 回 2020 年 10 月 26 日	・過去の被災事例から学ぶ社会福祉施設の BCP ・BCP 策定の目的 ・自施設のリスクと被害想定	・BCP 方針の策定 ・BCP 推進体制の構築 ・対象リスクと被害想定
第 2 回 2020 年 11 月 18 日	・重要業務と目標復旧時間 ・必要な資源の確認 ・資源の代替手段の検討	・重要業務の選定 ・目標復旧時間の設定 ・必要な資源の抽出と代替策
第 3 回 2020 年 12 月 14 日	・初動対応体制と手順 ・必要な資源の確認 ・災害時アクションカード	・初動対応体制の構築 ・初動対応フローの作成 ・災害時アクションカードの作成
第 4 回 2021 年 1 月 20 日	・教育・訓練 ・必要な事前対策と課題の認識 ・見直しと継続的改善	・教育・訓練計画の策定 ・課題管理表の作成 ・見直し計画の策定
第 5 回 2021 年 2 月 19 日	・各施設による BCP 発表会 ・課題の共有 ・連携可能性の検討	

の地震対策 (56.6%)」, 「停電時の対策 (54.7%)」, 「職員の対応能力・防災意識の向上 (52.8%)」, 「備蓄の整備・不足 (50.9%)」が半数以上の施設での課題として挙がっている (図-4)。

(3) 徳島県内の社会福祉施設等における南海トラフ巨大地震・津波浸水対策の現状

徳島県オープンデータポータルサイト「南海トラフ巨大地震による震度分布図【徳島県想定】」⁷⁾を用いて, GISソフトQGISにより分析すると, 震度7想定に8施設, 震

度6強想定に26施設, 震度6弱想定に19施設が立地している (表-3)。

震度7が想定されている8施設のうち, 「建物・施設」,

表-2 抽出された課題

カテゴリー	抽出課題	件数	
建物・施設	建物・施設の地震対策	30	
	建物・施設の浸水対策	4	
	建物・施設の移転	2	
設備・備品	停電時の対策	29	
	備蓄の整備・不足	27	
	災害時のトイレ・衛生対策	19	
	設備の地震対策	16	
	通信連絡手段の確保	16	
	断水時の対策	11	
	災害時の食事提供対策	11	
	設備の浸水対策	7	
	ガス停止時の対策	3	
	システム	サーバー・データ等の地震対策	16
		サーバー・データ等の浸水対策	8
組織・体制	連携先の確保	18	
	災害時の人員不足対策	17	
	災害時対応体制の整備	12	
行動ルール	マニュアル・行動ルールの整備	41	
	安否確認システムの整備	18	
	災害時連絡先の整備	5	
対応力	職員の対応能力・防災意識の向上	28	
	利用者の対応能力・防災意識の向上	5	
その他	災害時の新型コロナウイルス対策	11	
	地域住民等への対応	6	
	利用者情報の整理	5	
	BCP見直し体制の整備	3	
	災害時の医療体制の確保	1	
	エレベーター閉じ込めへの対応	1	
	資金の不足	1	
	二次災害の防止	1	

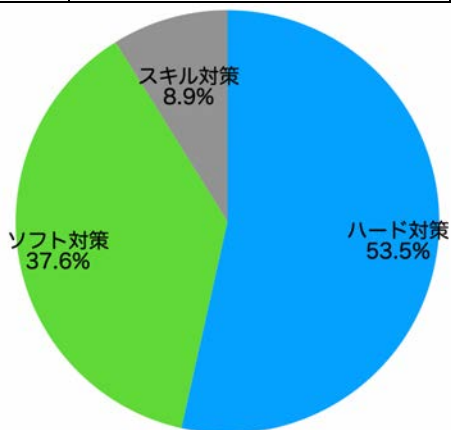


図-3 抽出された課題の分類 (n=372)

表-3 各施設の災害被害想定を取りまとめ^{7) 8) 9)}

震度	施設数
震度7	19
震度6強	26
震度6弱	8

津波浸水深	施設数
浸水なし	38
0.3m~1m	1
1m~2m	4
2m~3m	4
3m~4m	5
5m~10m	1

洪水浸水深	施設数
浸水なし	32
0.5m~3m	11
3m~5m	4
5m~10m	6

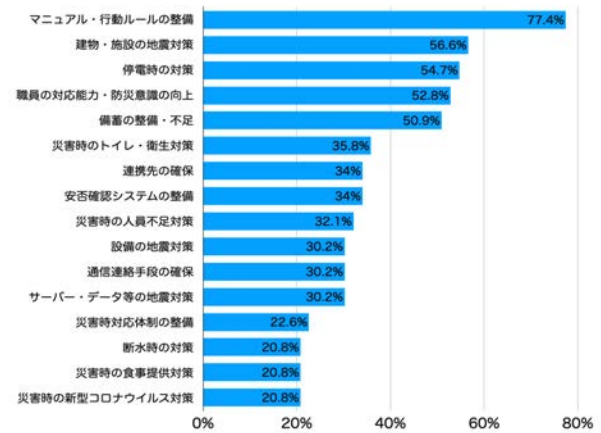


図-4 施設での課題抽出状況 (n=53)

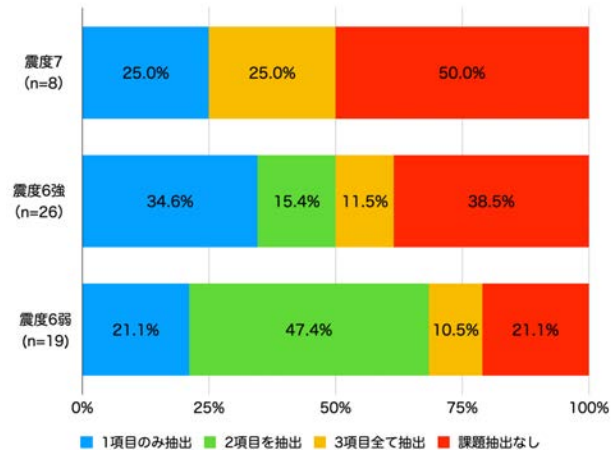


図-5 想定震度ごとの地震対策課題抽出状況

「設備」，「サーバー（データ）」の3つ全ての地震対策を課題として抽出していたのは2施設であり，震度6強想定では26施設中3施設，震度6弱想定では19施設中3施設となっていた。

一方で，地震対策を課題として全く抽出していない施設は，震度7想定では8施設中4施設，震度6強想定では26施設中10施設，震度6弱想定では19施設中4施設となっていた（図-5）。

徳島県オープンデータポータルサイト「津波浸水想定（津波浸水深）」⁸⁾を用いて，QGISにより分析すると，津波浸水が想定されるのは15施設となっている（表-3）。そのうち「建物・施設」，「設備」，「サーバー（データ）」の3つ全ての浸水対策を課題として抽出していた施設はなく，8施設ではいずれの浸水対策も課題として抽出されていなかった。

(4) 徳島県内の社会福祉施設等における洪水浸水対策の現状

国土数値情報ダウンロードサービス「洪水浸水想定区域データ」⁹⁾で公表されている徳島県内の河川（吉野川，那賀川，旧吉野川，勝浦川，海部川，園瀬川，宮川内谷川）の洪水浸水想定区域（想定最大規模）を用いてQGISにより分析すると，21施設が浸水想定区域内に立地している（表-3）。そのうち「建物・施設」，「設備」，「サーバー（データ）」の3つ全ての浸水対策を課題として抽出していた施設は1施設のみであり，14施設ではいずれの浸水対策も課題として抽出されていなかった。

5. 考察と今後の課題

(1) BCPの継続的改善への対応

最も多くの施設で抽出された課題として，「マニュアル・行動ルールの整備（77.4%）」があるが，これはBCP策定を進めていく上で，これまでに決まっていなかったルールを定めたり，対応マニュアルを作成することは多くの施設で必要であり，今後はそれらが災害時に機能するかどうかを訓練等によって確認をする必要がある。「職員の対応能力・防災意識の向上（52.8%）」で示されているとおり，マニュアルや行動ルールを実践する職員の対応能力を向上させるための訓練の実施が必要となることから，BCP策定当初はソフト対策，スキル対策の優先的な充実が求められる。訓練については，自施設での取り組みだけではなく，優良な訓練を実施している施設のベンチマーキングや近隣施設との合同訓練の実施も有効な取り組みとなる。

また，「建物・施設の地震対策（56.6%）」や「備蓄の整備・不足（50.9%）」等のハード対策は，予算の確保が必要となり，対策によっては中長期の課題となることから，優先順位と実施可能性を検討した上で，計画的に取り組んでいく必要がある。

今後もBCPの運用を進めていく中で継続して課題を抽出し，改善する取り組みをしていくことが重要である。

(2) 自然災害リスクへの対応

南海トラフ巨大地震，津波，洪水ともに被災のリスクがありながらも，対策が抽出されていない施設があった。すでに必要な対策が実施されている可能性があるが，自施設を取り巻く自然災害リスクについて再度確認を行い，脆弱性を把握する必要がある。

自施設の脆弱性を把握した上で，事業継続に必要な資源が被災した場合の代替手段や調達方法について検討しておく必要がある。1施設での対応が難しい場合には，近隣の施設と協力して必要な資源を地域内で融通する仕

組みづくりや，被災地域外からの支援や災害派遣福祉チーム（DWAT）等を活用するための受援体制の構築なども検討しておく必要がある。

(3) 今後の課題

各施設で抽出された課題を継続的に改善していくことが重要であるが，すぐに全ての課題を改善できるとは限らない。自施設だけでは経営資源に限りがあることから，地域福祉を継続していく観点から，仮に自施設が被災した場合でも他施設と連携して，事業継続する必要がある。そのためには，平時からの連携を実践しておくことが必要であり，抽出された課題を地域内の施設同士で共有し，相互に課題解決を支援できる体制を組織的に推進していくことが必要となる。

先述のBCP策定研修でも最終回には，課題を共有し，連携の可能性を検討を行っているが，組織的に連携を推進していく枠組みが必要となり，今後の課題と言える。

6. まとめ

本研究では，徳島県内の社会福祉施設等へのBCP策定支援の取り組みから抽出されたBCP策定上の課題を分析し，徳島県内の社会福祉施設等の災害対応の現状について明らかにし，今後の課題について考察を行った。

各施設でのBCP策定・運用の取り組みが始まり，課題も多く抽出されているが，継続的改善を実現していくためにも，自施設での課題解決と共に，近隣施設等と連携した訓練や課題解決の取り組みが不可欠である。

また今後は，地域全体で福祉を継続する観点から，他施設との連携や受援体制の構築などにより，自施設が利用できない場合でも事業継続を実現する体制を整えていくとともに，平時からも，業務のベンチマーキングや人材育成，経営資源の共同管理など防災・危機管理に留まらない組織的な連携を推進していく枠組みが必要である。

参考文献

- 1) 金井純子，中野晋，山城新吾，三上卓：令和元年東日本台風による越辺川沿いの社会福祉施設の被災と業務継続に及ぼす施設特性，土木学会論文集 F6（安全問題），Vol. 76, No. 2, I_211_218, 2021.
- 2) 厚生労働省：指定居宅サービス等の事業の人員、設備及び運営に関する基準等の一部を改正する省令（令和3年厚生労働省令第9号），2021.
- 3) 徳島県：徳島県中央構造線・活断層地震被害想定，2017.
- 4) MS&AD インターリスク総研株式会社：社会福祉施設等におけるBCPの有用性に関する調査研究事業，2020.
- 5) MS&AD インターリスク総研株式会社：社会福祉施設等におけるBCP様式および解説集，2020.
- 6) 内閣官房国土強靱化推進室：国土強靱化貢献団体の認証に関するガイドライン，2018.
- 7) 徳島県オープンデータポータルサイト：南海トラフ巨大地震による震度分布図【徳島県想定】（SHP），2017.
<https://opendata.pref.tokushima.lg.jp/dataset/1176.html>（2023年4月4日閲覧）
- 8) 徳島県オープンデータポータルサイト：津波浸水想定（津波浸水深）（SHP），2016.
<https://opendata.pref.tokushima.lg.jp/dataset/1152.html>（2023年4月4日閲覧）
- 9) 国土数値情報ダウンロードサービス：洪水浸水想定区域データ，2020.
https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-A31-v2_2.html（2023年4月4日閲覧）

自治体向け時空間地理情報システムにおける 滅失家屋の時間消滅処理ツールの試作

Prototype of a Time-Disappearance Processing Tool for Demolished Houses in a Space-Time Geographic Information Systems for Municipalities

○金子 幸喜¹, 浅野 耕一¹
Koki KANEKO¹ and Koichi ASANO¹

¹秋田県立大学 大学院 システム科学技術研究科 総合システム科学専攻

Akita Prefectural University, Graduate School of System Science and Technology, Department of Comprehensive Systems Science

In the operation of space-time geographic information systems (hereafter, space-time GIS) of a municipality, it is important to maintain the freshness of information for regional management, such as disaster information processing. The updating of demolished houses tends to be stagnant because it is less urgent than the input of newly constructed houses. In this paper, we describe the results of a prototype tool for efficiently processing the consistency between the demolition of buildings in the real world and the temporal disappearance of house shapes in a space-time GIS. The data of Y city, A prefecture, was used as a case study.

Keywords : Geographic Information Systems, Disappearance of time, Aerial photograph, House Shape Data

1. はじめに

近年、地方自治体では常に高度化する住民ニーズに対し、行政運用の高効率化を求められている。その一つの補助手段として、多くの自治体は地理情報システム(GIS)の導入を進めている。全庁統合型時空間地理情報システム(以下、時空間 GIS)は、時間軸を有する GIS で、時空間データを一元的に管理することができる。自治体の時空間 GIS の運用において情報の鮮度を保つことは災害情報処理等の地域管理上、極めて重要である。

前報¹では、時空間 GIS を用いた家屋形状データの随時更新体制に関する考察を行った。現状の更新体制の把握と滅失家屋の更新は新築家屋の入力に比べて緊急性が低いことから停滞し易い傾向にあることを示した。

本報では、滅失家屋データ随時更新体制の一環として、現実世界の建物の滅失と時空間 GIS 上での家屋形状の時間消滅^(注1)の整合性をとる処理を効率的に行うためのツールを試作した結果について述べる。試作にあたっては、A 県 Y 市のデータを事例として使用した^(注2)。

2. 滅失家屋の識別ミスの防ぎ方

存在する家屋形状を誤って時間消滅しないように最終確認を行う必要がある。そのため、時間消滅対象家屋を識別し、時間消滅可能と最終確認するまでのステージを以下の四段階に分けて考える(図1)。

第ゼロ段階：道路にはみ出している家屋やポリゴンが重なっている家屋を時間消滅処理対象候補としてリストアップする。

第一段階：航空写真による識別で最終確認とみなす。

第二段階：家屋形状レイヤ及び、建物登記による識別で最終確認とみなす。

第三段階：現地確認による識別で最終確認とみなす。

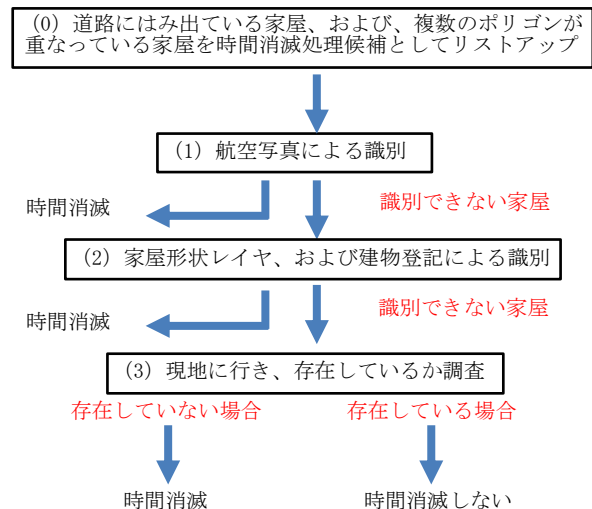


図1 キャッチアップフローのアウトライン

(イ) 第ゼロ段階

道路にはみ出している家屋、および、複数のポリゴンが互いに重なっている家屋を、時空間 GIS 上の幾何情報を参照しながら自動処理でリストアップする。現実世界と時空間 GIS 上の時間軸を合わせるため、航空写真の撮られた以前から存在する家屋のみをリストアップする。

(ロ) 第一段階および第二段階

時空間 GIS の背景画像として航空写真を取り込み、第ゼロ段階でリストアップした家屋に関して、航空写真の情報と照らし合わせることで、家屋が存在しているかを確認する。航空写真上では存在しておらず、時空間 GIS 上で存在している家屋に関しては時間消滅と判定する。

リストアップした家屋を確認していく際、その家屋の発生日を確認できるようにすることで、第二段階を同時に行える。その結果、複数のポリゴンが重なっている家屋に関して、どちらが先に登記されたかをすぐ確認できるため、効率よく作業できる。

第一、第二段階で識別できない家屋は「道路からはみ出しているが、複数のポリゴンが重なっていない家屋」に関して、「航空写真には存在している家屋」である場合が考えられる。この場合は第一、第二段階では識別できないため、第三段階で識別を行う。

(ハ) 第三段階

第ゼロ段階から第二段階で時間消滅が確定できなかった家屋を実際に現地で確認し、現存しているかを調査する。存在していなかった建物については、時空間 GIS 上においても時間消滅を行う。

3. 試作結果に対する考察

3.1 時間消滅日の設定

航空写真の撮影日の関係上、時空間 GIS の表示日時と時間消滅設定日時を撮影年の年末に設定した。表 1 の時間消滅日時が令和 3 年と平成 20 年になっているのは、時空間 GIS に対応している最新の航空写真撮影日が関係している。

臨時的な時間消滅ツールで時間消滅に至ったベクトルは表 1 の示すように令和 3 年航空写真撮影地域が多くなっている。図 2 の発生日が不明となっているのは、平成 20 年に A 県 Y 市が時空間 GIS を導入した際に、入力した家屋ベクトルを表している。

番号	判定	大字・小字・番地	発生日	□□	道□
1				1	
2				2	
3	●	松ヶ崎西藤山71-64	不明	3	ボ
4	●	松ヶ崎西藤山71-64	不明	4	ボ
5	●	松ヶ崎西藤山71-64	不明	5	ボ
6	●	松ヶ崎宮ノ腰17	不明	6	ボ
7				7	
8				8	
9	●	松ヶ崎西藤山71-64	不明	9	ボ
10				10	
11				11	
12	●	松ヶ崎西藤山71-64	不明	12	ボ
13	●	松ヶ崎西藤山71-64	不明	13	ボ
14				14	

図 2 抽出判定リストの例

3.2 抽出したベクトルに対する判定

(イ) 残す判定

表 1 の判定結果において「残す家屋」が多数を占めているのは、1つの家屋が複数のベクトルで形成されている場合、滅失家屋でない家屋も抽出されるからである。「残すベクトル」は、図 3 のように航空写真に存在し、道路や家屋に重なっていないものを残すと判定している。

(ロ) 保留判定

道路の更新をする際に家屋更新との差が生じ、時空間 GIS 上で家屋形状が道路にはみ出している場合がある。航空写真では実際に存在が確認できる家屋や航空写真の画質では存在しているかの判断ができない家屋を「保留ベクトル」とする。図 3 の事例は、道路にはみ出しているが、航空写真に存在しているため保留と判定している。このような「保留家屋」は表示位置の修正なども検討する。

(ハ) 時間消滅判定

「時間消滅ベクトル」は、滅失家屋の識別の 4 段階の確認により、時間消滅すると判定した家屋である。図 3 のように航空写真に存在しないが、時空間 GIS 上に存在するベクトルを「時間消滅」とする。

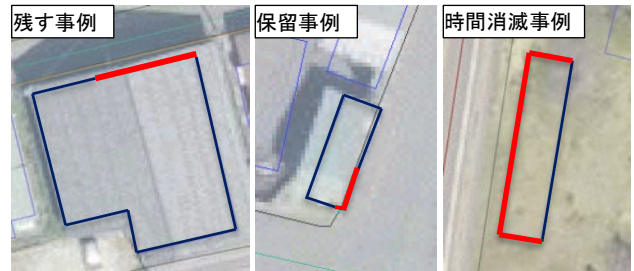


図 3 残す、保留、時間消滅の事例

表 1 抽出判定結果(ベクトル数)

※ベクトル抽出のため、「本数=家屋数ではない」。
作業していく中で 1 つの家屋あたり約 3 ベクトル使用しているため家屋数は件数の 1/3 程度と想定している。
全家屋数 = 全ベクトル - (抽出数/3)
各々の家屋数 (抽出数・残す・消滅・保留) = 本数/3
抽出されていない家屋は 1 家屋 = 1 ベクトルと想定されるため、上記のような計算でおおよその値とする。

	全ベクトル	抽出数	残す	保留	消滅	消滅設定日時
本荘	36697	5868	4942	238	688	R3/12/31
矢島	6448	864	815	2	47	H20/12/31
岩城	8202	4032	3737	9	286	R3/12/31
由利	5402	886	805	2	79	H20/12/31
大内	10410	698	599	19	120	R3/12/31
東由利	5060	717	692	1	24	H20/12/31
西目	6020	1895	1872	19	4	H20/12/31
鳥海	6421	488	439	12	37	H20/12/31
合計	84660	15448	13901	302	1285	

4. まとめ

家屋の滅失に関して対象とする家屋や時間消滅のキャッチアップフローの作成、時間消滅処理ツールの試作から運用まで行った。作業の効率化と簡易化することができ、従来の時間消滅に比べ、作業時間の大幅なが短縮を確認した。

今回の試作ツールは臨時の作業用だが、今後は、自治体内での運用を視野に入れ、機能の追加/削除なども含めて、市役所職員などにヒアリング調査をしながら開発を進めていく。

(注釈 1) 時間消滅は、ある日(日時)から存在しなくなった地物を管理するために使用する。時間消滅した地物の情報は、過去データとしてシステム内に保存されている。表示日を過去に戻す、検索の条件で過去の期間を指定する等で、いつでも表示・参照することが可能である。

(注釈 2) A 県 Y 市は平成 20 年度に時空間 GIS の本格導入に至ったが、道路、筆界、世帯情報、家屋形状(追加のみ)に関しては、着実に更新されてきたのに対し、家屋の滅失作業との連携は滞っていた。そのため、消滅されるべき家屋が地図上に残ってしまい、背景地図としての利用に支障をきたしている現状を改善する必要があった。

引用文献

1) 自治体向け時空間地理情報システムを用いた家屋形状データの随時更新体制に関する一考察～由利本荘市を事例として～

新型コロナウイルス感染症対応における都道府県型保健所および市町村保健センターのアンケート調査による役割分担の実態分析

Analysis of the Division of Roles in Response to the Coronavirus Disease-2019 Based on a Questionnaire Survey Targeting Prefectural Public Health Centers and Municipal Health Centers

大西 真衣¹, 馬場 美智子²
Mai ONISHI¹ and Michiko BANBA²

¹公益財団法人 明治安田厚生事業団 体力医学研究所

Physical Fitness Research Institute, Meiji Yasuda Life Foundation of Health and Welfare

²兵庫県公立大学法人 兵庫県立大学大学院 減災復興政策研究科

Graduate School of Disaster Resilience and Governance, University of Hyogo.

The purpose of this research is to clarify the actual situation how prefectural public health centers and municipal health centers performed their duties against their assigned duties according to the law in responding to coronavirus disease-2019 through questionnaire surveys.

The results revealed that the division of statutory duties and actual duties of prefectural public health centers and municipal health centers was not clearly recognized, that prefectural and municipal health centers had different ideas who are responsible for the same tasks, and that prefectural and municipal health centers recognized the need to understand each other's operations.

Keywords : COVID-19 Prefectural public health centers Municipal Health Center Division of roles

1. 研究目的

(1) 研究の背景

令和2年1月、日本国内において新型コロナウイルス感染症の感染者が確認されて以降、行政は様々な感染症対応を行ってきた。行政における感染症対応を行う機関として、保健所と市町村保健センターの2種類がある。

平川 (2021) は、これまでの感染症対策において、国や保健所、市町村保健センター、本庁を含めた地方の行政機関の現場などの関係機関の役割が明確化されておらず、1980年代以降に行われてきた保健所のあり方検討でも保健所と市町村保健センターの役割分担について十分な議論がなかったことを指摘している。また、新型インフルエンザ (A/H1N1) 対策総括会議報告書 (平成22年6月10日) にて、「地方自治体の保健所や地方衛生研究所を含めた感染症対策に関わる危機管理を専門に担う組織や人員体制の大幅な強化、人材の育成を進めるとともに、関係機関のあり方や相互の役割分担、関係の明確化等が必要である」と総括されていたにも関わらず、具体的対応が示されない状態が続き、新型コロナウイルス感染症の感染拡大が始まったとも指摘している。独自に保健所を設置している市町村より、重層的な地域保健体制で保健サービスを実施している市町村の方が多く、関係機関の役割が明確化されていないことは全国的な課題となっている。

コロナ禍の保健所の現状について、緒方 (2021) は、保健所が多様な業務を担ったことから業務の負担が増加し、保健所としての機能を十分に果たすことが困難になったと述べており、保健所の対応の限界を示唆している。加えて、市町村も対応に追われることとなり、鳩野ら (2021) の調査結果からは、新型コロナウイルス感染症拡大時において市町村保健センターが抱えた問題の1つとして、市町村の役割が明確でないために、関係機関と

の役割分担と連携が難しくなることが挙げられている。すなわち、保健所と市町村保健センターの役割分担が明確でないことで、業務によっては人手不足や輻輳が、適切な保険サービスの提供に影響を及ぼすことが懸念される。

業務逼迫を解消するための策として、対応にあたる人員の増強は既に行われているが、業務遂行体制の根本的な問題解決にはならず、業務にあたる人数が増えることで混乱を増幅させることにもなりかねない。そこで、適切な保健サービスの実施のための、保健所と市町村保健センターの役割分担の明確化に着目し、業務遂行での役割調整において、どのような問題が発生しているのかを本研究の問いとして、研究を行った。

(2) 目的

行政において新型コロナウイルス感染症対応を行う都道府県型保健所 (以下「保健所」と呼ぶ) と市町村保健センター (以下「保健センター」と呼ぶ) の役割分担の実態について、アンケート調査を通じて明らかにすることを研究目的とする。

2. 研究方法

(1) 研究方法の概要

保健所および保健センターの役割分担の実態を明らかにするため、アンケート調査を行った。

調査対象は、都道府県別人口千人あたりの累積検査陽性者数の上位4~8位の都道府県に所在する保健所および各保健所の管轄内で最も人口の多い市町村の保健センター各43機関とした。

内容は、新型コロナウイルス感染症対応において保健所および保健センターが実施している保健サービスに関わる20業務の保健所および保健センターの役割分担につ

いて、それぞれ法制度上実施が規定されている業務、実際に行っている業務、行うべきと考える業務等について、責任認識の程度を4段階（そうである、どちらかといえばそうである、どちらかといえばそうではない、そうではない等）で評価を得た。業務については、表1のとおりである。

実施期間は、令和4年7月15日～8月31日、追加調査は、令和4年10月6～21日で行った。

実施方法は、調査票を対象となる各保健所及び保健センターの担当者へ郵送し、回答を郵送にて回収した。

なお、本調査について、兵庫県立大学大学院減災復興政策研究科倫理審査委員会にて審査の必要なしと判断された。

表1 新型コロナウイルス感染症対応において保健所および保健センターが実施している保健サービスに関わる業務

業務の項目
(0) マネジメント・情報管理
体制整備・関係機関との調整
感染関連情報の管理・入力
(1) 相談対応／受診調整
コールセンター／帰国者・接触者相談センターの対応
帰国者・接触者外来への受診調整
(2) 検査実施
行政検査の実施
検体搬送
(3) 入院調整等
入院・宿泊療養・自宅療養の調整
患者移送
入院勧告・就業制限等の事務
(4) 積極的疫学調査
積極的疫学調査
濃厚接触者、感染が疑われる者への検査
医療機関や福祉施設等における感染症対策の支援
(5) 健康観察等
濃厚接触者や自宅療養者の健康観察等
健康フォローアップ対象者の健康フォローアップ
入院患者・宿泊療養者の病状把握
宿泊療養者・自宅療養者の症状悪化時の入院調整・移送
(6) その他の事務
公表情報の整理、記者発表対応
(7) 住民への対応
感染症に対する知識等の普及啓発
住民からの相談対応
(8) 市町村に対する専門的・技術的な援助
援助の実施

(2) 分析方法

各保健所および保健センターから得た評価を、そうであると考えられる程度が高い順に4→1に数値化した。数値は絶対値とし、業務別に保健所と保健センターがそれぞれ担当すべき業務と担当すべきだと認識している業務、実際に行う業務の間で食い違いや認識のずれがあるかどうかを、数値の差によって評価する。次の5つの観点か

ら「差」を算出し、どのような業務に置いてどの程度の差が発生しているかを分析した。

1つ目として、各保健所および保健センターそれぞれの法定業務と実際の業務の差を、保健所、保健センターの評価別に算出した。業務の重なりが大きい＝評価の差が小さい＝法制度上で規定された業務と実際に行われている業務が一致している状態であるといえる。評価の差が1～3である機関の割合から、分析を行った。

2つ目として、保健所および保健センターそれぞれの行うべきと考える業務と実際の業務の差を、保健所、保健センターの評価別に算出した。業務の重なりが大きい＝評価の差が小さい＝行うべき業務と実際に行われている業務が一致している状態であるといえる。評価の差が1～3である機関の割合から、分析を行った。

3つ目として、保健所および保健センターがそれぞれの業務に対し、法定業務としての役割をどの程度担っているかの度合の差を、保健所、保健センターの評価別に算出した。評価の差が最も大きい3である機関の割合から、保健所および保健センターが認識している、法定上の役割分担ができていのはどの程度なのかを分析した。

4つ目として、保健所および保健センターがそれぞれの業務に対し、実際に実施する役割をどの程度担っているかの度合の差を、保健所、保健センターの評価別に算出した。業務の重なりが小さい＝評価の差が大きい＝保健所と保健センターの役割分担ができてい状態であるといえる。評価の差が最も大きい3である機関の割合から、保健所および保健センターが認識している、実際の業務の役割分担ができていのはどの程度なのかを分析した。

5つ目として、保健所および保健センターそれぞれの互いの業務を把握する必要性と実際の把握の程度を、保健所、保健センターの評価別に算出した。保健所および保健センターが認識している、互いの業務を把握する必要性や実際の把握状況の評価を分析した。

3. 結果

回収結果は、保健所15機関（回収率34.9%）、保健センター18機関（回収率41.9%）であった。

(1) 保健所および保健センターの法制度上の規定と実際に行われている業務の差の実態

法制度上で保健所が行うものと規定されている業務と保健所が実際に行っている業務に差があるかどうかを明らかにするため、保健所の評価の差を業務毎に集計した。また、同様の質問を保健センターに行い、保健センターが認識している法制度上で保健所が行うものと規定されている業務と保健所が実際に行っている業務の評価に差があるかどうかを業務毎に集計した。さらに、保健所および保健センター別に評価に差があった割合を集計した。

20業務中、保健所の業務において、法制度上の規定として業務を行う責任がどの程度あるか、また実際に業務をどの程度行っているのかについて、評価に差があった割合が高かったのは、保健所では「援助の実施（38.5%、n=13）」「公表情報の整理、記者発表対応（25.0%、n=12）」「患者移送（21.4%、n=14）」、保健センターでは、「援助の実施（28.6%、n=14）」「住民からの相談対応（28.6%、n=14）」であった。

法制度上で保健センターが行うものと規定されている業務と保健センターが実際に行っている業務に差があるかどうかを明らかにするため、保健センターの評価の差を業務毎に集計した。また、同様の質問を保健所に行い、

保健所が認識している法制度上で保健センターが行うものと規定されている業務と、保健センターが実際に行っていると評価した業務に差があるかどうかを業務毎に集計した。さらに、保健所および保健センター別に評価に差があった割合を集計した。

20 業務中、保健センターの業務において、法制度上の規定として業務を行う責任がどの程度あるか、また実際に業務をどの程度行っているのかについて、評価に差があった割合が高かったのは、保健センターでは「公表情報の整理、記者発表対応 (22.2%、n=18)」、保健所では、「感染症に対する知識等の普及啓発 (38.5%、n=13)」「住民からの相談対応 (28.6%、n=14)」であった。

保健所および保健センターの法制度上規定されている業務と実際に行っている業務には差があり、同じ業務でも保健所と保健センターで認識が異なることが明らかになった。また、集計結果の傾向として、保健所の業務については、保健所より保健センターの差がある割合が小さく、保健センターの業務については、保健センターより保健所の方が差がある割合が小さかった。

(2) 保健所および保健センターの実際に行われている業務と実施が適切と考える業務の差の実態

保健センターが認識している、保健所が実施している業務と保健所が実施することが適切と考える業務に差があるかどうかを明らかにするため、保健センターの評価の差を業務毎に集計し、さらに、保健所および保健センター別に評価に差があった割合を集計した。

20 業務中、保健センターの評価に差があった機関の割合が高かったのは、「住民からの相談対応 (30.8%、n=13)」「援助の実施 (30.8%、n=13)」であった。

保健所が認識している、保健センターが実施している業務と保健センターが実施することが適切と考える業務に差があるかどうかを明らかにするため、保健所の評価の差を業務毎に集計し、さらに、保健所および保健センター別に評価に差があった割合を集計した。

20 業務について、保健所の評価に差があった機関の割合が高かったのは、「感染症に対する知識等の普及啓発 (50.0%、n=12)」「体制整備・関係機関との調整 (25.0%、n=12)」「住民からの相談対応 (23.1%、n=13)」であった。

保健所および保健センターの業務は、実際に行っている業務と実施が適切と考える業務には差があることが明らかになった。住民への対応に属する項目が、保健所、保健センターともに高い割合であった。つまり、保健所から保健センターへ、保健センターから保健所へ、それぞれの業務における実施状況と期待している状況が異なっている状態であるといえる。

(3) 保健所および保健センターの法制度上規定されている業務の役割分担の実態

保健所が行うものと法制度上規定されている業務と保健センターが行うものと法制度上規定されている業務に差があるかどうかを明らかにするため、保健所及び保健センターの評価の差を業務毎に集計した。両者の評価において差が最も大きい「3」が認められた業務について見ていく。

20 業務中、保健所の認識と保健センターの認識の差が大きかった業務について、保健所では「感染症に対する知識等の普及啓発 (21.4%、n=14)」「住民からの相談

対応 (21.4%、n=14)」「援助の実施 (33.3%、n=6)」、保健センターでは「住民からの相談対応 (13.3%、n=15)」「感染症に対する知識等の普及啓発 (14.3%、n=14)」が挙げられた。また、保健所と保健センターの差が大きかったのは「入院患者・宿泊療養者の病状把握 (47.2%差)」「宿泊療養者・自宅療養者の症状悪化時の入院調整・移送 (38.5%差)」「援助の実施 (28.2%差)」であった。

法制度上規定されている業務について、役割分担が明確になっていない業務があることが明らかになった。つまり、保健所および保健センターの業務における役割の度合の認識が異なっている状態であるといえる。

(4) 保健所および保健センターの実際に行っている業務の役割分担の実態

保健所が実際に行っている業務と保健センターが実際に行っている業務に差があるかどうかを明らかにするため、保健所及び保健センターの評価の差を業務毎に集計し、さらに、保健所および保健センター別に評価に差が最も大きい「3」である割合を集計した。

20 業務中、保健所の認識と保健センターの評価の差が3である割合が小さかった業務は、保健所が「住民からの相談対応 (14.3%、n=14)」「援助の実施 (20.0%、n=5)」「感染症に対する知識等の普及啓発 (23.1%、n=13)」「入院患者・宿泊療養者の病状把握 (38.5%、n=13)」、保健センターが「住民からの相談対応 (14.3%、n=14)」「感染症に対する知識等の普及啓発 (14.3%、n=14)」であった。差が小さいものの上位3位は、「積極的疫学調査 (0%差)」「住民からの相談対応 (0%差)」「医療機関や福祉施設等における感染症対策の支援 (3.3%差)」であった。また、保健所と保健センターの評価の差が大きかったのは「入院患者・宿泊療養者の病状把握 (54.4%差)」「援助の実施 (30.0%差)」「健康フォローアップ対象者の健康フォローアップ (26.2%差)」であった。

実際に行っている業務において、役割分担ができていない業務があることが明らかになった。つまり、保健所および保健センターが実施している業務に重複が起きている状態であるといえる。

(5) 保健所および保健センターの互いの業務の把握状況の実態

保健所と保健センターが実施している業務について、お互いに把握することが必要と考えているか、また実際に把握できているかを明らかにするため、必要性については「必要」「どちらかといえば必要」、把握の状況については「把握できている」「どちらかといえばできている」と評価したの割合を集計した。詳細は、表2のとおりである。

表2 保健所および保健センターの互いの業務の把握状況に関する評価

	保健所の認識 (A)		保健センターの認識 (B)	
	割合 (%)	回答数	割合 (%)	回答数
把握の必要性 (C)	100	13	93.8	16
実際の把握状況 (D)	69.2	13	68.8	16

保健所および保健センターの互いの業務の把握について、どちらも必要性はあると感じているが、実際の把握できている割合は70%以下に留まっていることが明らかになった。

4. 考察

アンケート調査の集計結果の分析から、保健所および保健センターの法制度上実施が規定されている業務と実際に行っている業務、実際に行っている業務と行うべきと考える業務の評価には差があること、法定上の業務の役割分担と実際の業務の役割分担が明確に認識されていないこと、同じ業務に対する評価でも保健所と保健センターで認識が異なること、保健所と保健センターは互いの業務把握の必要性を認識していることが明らかになった。

保健所および保健センターの役割分担が法定上明記されておらず、法解釈のお互いの認識のすり合わせや業務の実施状況の把握ができていないことで、実際に実施している業務の重複による非効率的な業務実施や業務の空白が発生することによる適切なサービス提供が行えない可能性が示唆された。

新型コロナウイルス感染症は、これまで発生してきた他の感染症と異なり、治療法の確立されていない未知の感染症であり、広範囲で大きな感染拡大を長期的に繰り返すという特徴がある。保健サービスを提供する側としても、感染症法上2類相当の感染症として、1人あたりの患者に多量の業務が発生する。これまでの感染症対応は、役割分担が不明確であっても、保健所や保健センター等それぞれの関係機関内でその時実施が必要な業務を遂行することができており、業務遂行ができない部分に関してもフォローし合う余力があった。新型コロナウイルス感染症対応は、それぞれの関係機関が遂行できる以上の業務を求められ、フォローし合う余力がない状態に陥ってしまった。行政の保健サービスは、必要な人に必要なサービスが提供されることが望ましいが、多様な住民を対象とするため、限界もある。役割分担があえて明確になっていないことで、地域の実情に応じて、臨機応変な保健サービスの提供を実現できることは、1つのメリットである。例えば、より手厚い支援が必要な場合には保健所と市町村のサービスの実施を重複させることや対象者がいない場合には空白としニーズの高い業務に集中すること、本来は権限が及ばない業務を独自事業として実施すること等が挙げられる。保健所と保健センターの役割分担の不明確さは、サービス提供の緊急性が高くない平時において、地域の実情に応じた保健サービスの実施には有効であるといえる。新型コロナウイルス感染症対応は、膨大な業務の迅速な遂行、専門的な知識・技術に基づいた援助が求められるが、現在の保健所および保健センターは、それが十分に行える状態にない。住民からの需要に対する行政からの供給が追い付かない場合には、役割分担を明確にすることで、業務効率性を向上させ、サービスの供給を増やす必要がある。

役割分担の不明確さから発生する問題を解決する方法として、法制度上の規定での業務の役割分担を明確にすること、実際に行われている業務について保健所と保健センターで把握しあうこと、分担できない業務を行う際の連携について取り決めておくことの3点が挙げられる。

5. 結論

行政において新型コロナウイルス感染症対応を行う保

健所と保健センターの役割分担の実態について、アンケート調査を通じて明らかにすることを目的として、調査を行った。

分析結果から、保健所および保健センターにおける法定上の業務の役割分担と実際の業務の役割分担が明確に認識されていないこと、同じ業務に対する評価でも保健所と保健センターで認識が異なること、保健所と保健センターは互いの業務把握の必要性を認識しているができていないのは70%以下であることが明らかになった。

保健所および保健センターの役割分担が法定上明記されておらず、法解釈のお互いの認識のすり合わせや業務の実施状況の把握ができていないことで、役割分担が不明確な状態となっている。それによって発生している課題を明らかにし、解決策を検討していく必要がある。

参考文献

- 緒方剛(2021), 新型コロナウイルス対応における保健所の役割と課題, モダンメディア, 67巻2号, 24-30, 栄研化学株式会社
- 厚生労働省新型コロナウイルス感染症対策推進本部, 保健所の業務継続のための体制整備について(令和2年3月13日事務連絡)
- 厚生労働省新型コロナウイルス感染症対策推進本部, 今後を見据えた保健所の即応体制の整備について(令和2年6月19日事務連絡)
- 新型インフルエンザ(A/H1N1)対策総括会議, 新型インフルエンザ(A/H1N1)対策総括会議報告書(平成22年6月10日)
- 鳩野洋子・弓場英嗣・島田美喜・尾島俊之・増田和茂(2021), 新型コロナウイルス感染症流行時に市町村保健センターが抱えた課題, 日本健康開発雑誌, 第42号, 77-83, 一般財団法人日本健康開発財団
- 平川則男(2021), 公衆衛生の環境変化に伴う保健所機能の変遷と課題 新たな感染症の時代を踏まえて, 自治総研通巻, 513号, 1-26, 地方自治総合研究所

6. 総括

本研究で得られた主な知見を以下に述べる。

・洪水災害と土砂災害では、避難情報発令の判断材料という視点から見ると、土砂災害における市町村が参考にする情報が少ない。

・レベル 4 が発令される前に被害が発生している事例があり 37%となり、そのうちの 56%が土砂災害である。

・レベル 4 が発令されて被害が発生するまでの時間をリードタイムと仮定した場合には、洪水災害のリードタイム平均時間は 366 分、土砂災害のリードタイム平均時間は 93 分と、約 4 分の 1 の短さである。

・開発地の 143 箇所のうち、1956~1960、1961~1965、1966~1970 と新都市計画法が制定される前に開発された 39 箇所のうち 38 箇所 (97.43%) が土砂災害警戒区域データを含んでいる。

・急傾斜地の崩壊は、336 箇所のうち 109 箇所 (32%)、地すべりは、228 箇所のうち 48 箇所 (21%)、土石流は 27 箇所のうち 2 箇所が開発地であることから、埋立土砂を後背山地からとった影響が顕著に表れている。

・「山、海へ行く」という標語のものが行われた都市開発により生まれ土砂災害によるリスクを保有するエリアは 741m 四方と狭いエリアである。

最後に、本研究成果をもとに、課題および今後の研究計画について述べる。

本研究で示した土砂災害リスクを持つ狭いエリアに対して、どのようなエリア単位で避難情報を発令しているのかということ自治体へのヒアリング調査を行うことで明らかにする。また、本研究において抽出したエリアの居住する住民が地域としてどのような対策を行っていく必要があるのかを検討する。

参考文献

- 1) 国土交通省白書 (2020), 第 1 節我が国を取り巻く環境変化
- 2) 総務庁消防庁令和 3 年消防白書, 第 5 節風水害対策
- 3) 国土交通省, 災害毎における主な課題と必要な対策
- 4) 内閣府防災情報のページ, 特集風水害の危険! そのとき、あなたは?
- 5) 高木朗義・小山真紀・井草正人・藤井孝文・岩垣津慎太郎 (2021), 洪水・土砂災害リスクの認知と住民避難行動の実態—令和 2 年 7 月豪雨災害における岐阜県を事例に—, pp.93-110
- 6) 木下猛・青柳泰夫・伊藤孝司・平川了治・伊藤誠記・安仁屋勉・山本晶 (2010), 風水害における避難行動に関する心理学的プロセスについての一考察—, pp.4-15
- 7) 西岡恒志・筒井和男・小脇邦雄・榎原伴樹・坂口武弘・木下篤彦・田中健貴 (2018), 平成 23 年那智川水害時の消防職団員の対応と今後の被害軽減の取り組み, pp.21-26
- 8) 内閣府 (防災担当), 避難情報等について
- 9) 国土交通省気象庁, 災害時自然現象報告書
- 10) 片野祐貴・赤松一澄・田村将太・田中貴宏 (2020), 平成 30 年 7 月豪雨の土砂災害と水害による建物被害の特性に関する研究—広島県三原市の罹災証明書データを用いた分析—, pp.851-857
- 11) 内山琴絵 (2018), 中山間地域における土砂災害に対する脆弱性—愛知県豊田市小原地区を事例に—, pp.68-69
- 12) 日下部治 (2007), 国土構造・土地利用と災害脆弱性, pp.31-35
- 13) 田中圭・中田高 (2014), 2014 年広島土石流災害による被

災建物の立地条件

- 14) 中谷加奈・長谷川裕治・笠原拓造・海堀正博・里深好文 (2019), 平成 30 年 7 月豪雨で発生した土石流被害と谷出口の道路の影響, pp.403-413
- 15) 片野祐貴・赤松一澄・田村将太・田中貴宏 (2020), 平成 30 年 7 月豪雨の土砂災害と水害による建物被害の特性に関する研究, pp.851-857
- 16) 田村将太・田中貴宏 (2019), 三原市本郷都市計画区域における平成 30 年 7 月豪雨の浸水エリアの特徴—浸水想定区域および宅地開発の変遷との関連に着目して—, pp.287-294
- 17) 田中眞吾・沖村孝・田中茂 (1983), 神戸市域における都市的開発に伴う地形改変, pp.262-281
- 18) 田中眞吾・沖村孝 (1992), 神戸市域における大規模地形改変の時間的・位置的变化, pp.6-12
- 19) 国土数値情報ダウンロードサイト, 令和 3 年版の土砂災害警戒区域データ「兵庫」
- 20) 行政区分地図データ 2022 年版の街区データ