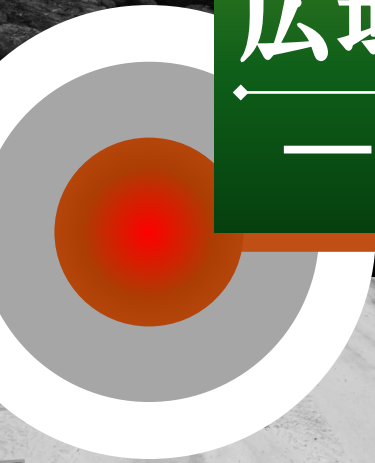




広域複合災害減災の手引き

— 基本的な考え方と理念 —



2024



北海道大学
広域複合災害研究センター

まえがき

近年、全国的に地盤変動の活発化と気候変動による自然災害、特に異種ハザード(地震動、津波、液状化、洪水、斜面崩壊、土石流、雪崩等)と個別災害の複合化、連鎖化、広域化、被害長期化が大きな特徴である「広域複合災害」の発生が常態化しつつあり、大きな社会問題となっています。個別のハザードの現象論的な解析や個別災害対応技術は各々の専門分野で発達しており、相応な減災が可能です。それに対して、「広域複合災害」は、単なる個別災害対応技術の組み合わせでは、効果的な減災対応は困難です。

このような問題の解決に資するために、北海道大学農学研究院寄附講座「国土保全学研究室」(2013年～2018年)、突発災害防災・減災共同プロジェクト拠点(2015年～2018年)を経て、2019年4月に広域複合災害研究センター(以下、当センター)が、北海道で唯一の文理融合した災害研究拠点である全学共同利用施設(研究施設)として設置され、これまでは主に砂防関係の財団や民間機関の寄附金により運営されてきました。当センターでは、異分野融合を柱として災害研究を行い、農、工、理、文、経済および公共政策などの多面的なアプローチを特徴として、その成果を大学院レベルでの教育に活かす人材育成を行うことを目的としています。すなわち、現象論的な専門分野に偏ることなく、地域の特性と人間活動とを反映した災害予測・軽減対策を研究し、その成果を大学院生や官公庁、民間企業の技術者へのリカレント教育、および地域社会のリーダー育成に生かしていくことを目指しています。

この度、2019年度～2023年度までの第一期5か年間の活動成果の一つとして、市町村の危機対策担当者を対象とし「広域複合災害減災のための手引き」(以下、本手引き)を作成しました。本手引きでは、広域複合災害の定義をもとに、北海道における近年の広域複合災害の実態と特徴、今後、北海道で発生される広域複合災害の代表例として日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震によるものをわかりやすく説明しました。さらに、減災の基本的な考え方と対策の理念と留意点を提起しました。

災害対策の最前線となる地方公共団体(市町村自治体)は、防災基本計画に基づき従来からの個別ハザードごとの災害予測図(ハザードマップ)を基に災害対策計画を立案しているところが多く、広域複合災害を地域防災計画の中に明示している地方公共団体は、依然として少ない状況にあります。今後の広域複合災害に効果的に対応するためには、まずは広域複合災害についての理解と情報共有、現行対策の課題を認識し、産官学のより一層の連携・協働によって課題解決に努めていくことが不可欠です。

本手引きがそのための一助となれば幸いです。

北海道大学 広域複合災害研究センター
第一期センター長 山田 孝

広域複合災害減災の手引き

ー基本的な考え方と理念ー

目 次

1. 広域複合災害とは	1
2. 北海道における近年の広域複合災害の実態と特徴	5
2.1 2016 年北海道東部豪雨災害	5
2.2 2018 年北海道胆振東部地震	9
3. 今後、北海道で発生が想定される広域複合災害	12
3.1 北海道が公表した日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震の被害想定について	12
3.2 被害想定的前提条件	13
3.3 本報告書に記載されている複合災害	17
4. 広域複合災害の減災の課題	23
4.1 道内市町村の広域複合災害対策の実際と行政の課題	23
4.2 開催シンポジウムで提起された課題	26
5. 広域複合災害の減災への基本的考え方	37
5.1 広域複合災害対策における基本的な考え方	37
5.2 具体的な広域複合災害対策の立案	38
5.3 具体的な広域複合災害対策を進めていくために	40
6. 広域複合災害対策の方向性の提案	42
6.1 災害対策に関する法規準	42
6.2 災害対策の共通理念	42
6.3 広域複合災害対策の留意点	44

巻末資料

北海道大学広域複合災害研究センター第一期研究概要集

- 北海道の厳寒期での緊急減災施設施工を可能とする寒冷地用砂防ソイルセメント工法の開発
山田 孝・笠井 美青（北海道大学大学院 農学研究院）
厚井 高志（北海道大学 広域複合災害研究センター）
竹原 隆博・岩田 清徳・本間 雄介・宮崎 亮直
（国土交通省北海道開発局苫小牧砂防海岸事務所）
宮木 康二・大岡 辰弥（株式会社北海道土砂資源化研究所）
秋山 祥克（株式会社インボックス）
- 災害時における地域材の活用の可能性
佐々木 貴信（北海道大学大学院 農学研究院）
- 地震・火山噴火・大雨による土砂災害に関する研究
厚井 高志（北海道大学 広域複合災害研究センター）
- 山地斜面で発生する崩壊・地すべりのメカニズムと発生予測に関する研究
桂 真也（北海道大学大学院 農学研究院）
- ロボティクスによる広域複合災害への対応に関する研究
江丸 貴紀（北海道大学大学院 工学研究院）
- 調査分析結果をもちいたモデル化と被害評価減災戦略の立案
中嶋 唯貴（北海道大学大学院 工学研究院）
- 防災教育の教材開発と実践，洪水氾濫予測システムの構築
田中 岳（北海道大学大学院 工学研究院）
- 越境大気汚染を観測し，要因を探り，予測する！
安成 哲平（北海道大学 北極域研究センター）

- 気候変動下の広域複合災害に対する交通インフラ強靱化へのマルチスケールアプローチ
石川 達也（北海道大学大学院 工学研究院）
- 細粒分を多く含む火山灰質砂盛土材が内部侵食を受けた場合の力学挙動に関する研究
渡部 要一（北海道大学大学院 工学研究院）
- 地理空間情報を用いた複合広域災害への社会的脆弱性克服に関する研究
橋本 雄一（北海道大学大学院 文学研究院）
- 北海道内火山を対象とした噴火災害軽減に向けた観測研究の概要
青山 裕・村上 亮（北海道大学大学院 理学研究院附属地震火山研究観測センター）
- 多様な現象によって引き起こされる津波ハザードに関する研究
谷岡 勇市郎（北海道大学大学院 理学研究院）
- 積雪変質モデルを用いた定山溪ダム流域の融雪推定
稲津 將（北海道大学大学院 理学研究院）
- 広域複合災害研究センター第2期の研究フレームの提案
山口 真司（北海道大学 広域複合災害研究センター）
- 地震災害の複合化および人的被害軽減化に向けての戦略
岡田 成幸（北海道大学 広域複合災害研究センター）
- 長距離・長時間飛行が可能な自動巡回型 UAV による安全かつ高精度地形計測・解析手法
村上 泰啓*・山田 孝（北海道大学 広域複合災害研究センター）

*札幌開発建設部

早川 智也（日本工営株式会社）

寺林 修，藤原 卓，（ネクシス光洋株式会社）

森田 直樹・小宮 光裕（株式会社空解）

1. 広域複合災害とは

自然災害の発生タイプの一つとして、個別の誘因によって単一のハザードが発生し、結果、単一の自然災害となるものがあげられる。例えば、豪雨という個別の誘因によって、急傾斜面が崩れ(崩壊)、その崩れた土砂(崩土)によって斜面下の人家が被災するようなタイプである。このタイプは、雨による急傾斜面の崩れが直接的に土砂災害をもたらしたという点で、誘因→ハザード→自然災害のつながりは単純であり、被災区域も限定される。急傾斜面の崩壊以外のハザードやその他の自然災害との複合化、連鎖化は発生せず、自然災害の影響が時空間的に広域に拡大することはない。

一方、豪雨という誘因は変わらなくても、一つの地域で急傾斜面の崩壊に加えて洪水氾濫が発生した場合は(このようなタイプが多い)、土砂災害に加えて洪水災害も発生する。この場合は、急傾斜面の崩壊、洪水氾濫という異なるハザードとそれらによる災害が複合した形で発現する。加えて豪雨によって溪流内で山腹斜面の崩壊によって河道閉塞が発生し、時間差をおいてそれが決壊して土石流となる場合は、山腹斜面の崩壊と土石流という異なるハザードが連鎖する。結果、急傾斜面の崩壊、土石流、洪水氾濫という3つのハザードが複合化、連鎖化することによる自然災害となる。

本手引きでは、後者のタイプによる自然災害を対象とする。

北海道大学広域複合災害研究センター(以下、センター)では、次の通り、「**広域複合災害**」を定義する。

「一つの誘因あるいは複数の誘因の組み合わせにより、異なるハザードが同時的あるいは連続的にかつ**年間の様々なシーズン**に地域で発生し、これらのハザードとそれらによる災害が**複合化**または**連鎖化**することによって、結果、**広域化**し、甚大な**社会経済被害**を**長期間**にわたって広域にもたらす自然災害」

この定義に使用している主なキーワード(強調文字で示した言葉)の意味は以下の通りである。

- 一つの誘因：地震、台風や線状降水帯などによる暴風雨、噴火、豪雪、融雪、熱波 等
- 年間の様々なシーズン：豪雨、台風期、高温気象期、積雪期、融雪期など
- 複数の誘因の組み合わせ：地震と台風、豪雪と地震、噴火と豪雨 等
- ハザード：地震動、津波、液状化、高潮、洪水氾濫(融雪出水も含む)、土石流、斜面崩壊、地すべり(融雪地すべりも含む)、泥石流、降灰、火砕流、溶岩流、山体崩壊、吹雪、雪崩、森林火災、竜巻 等、自然災害をもたらす危険のある自然現象
- 複合化：異なるハザードが様々な場所で発生すること(異なるハザードの発生には因果関係はない)。結果、異なるハザードによる個別災害が合わさって災害も複合化する。
- 連鎖化：あるハザードの発生がきっかけとなって異なるハザードの発生を引き起こすこと。

結果、異なるハザードによる個別災害が合わさって災害も複合化、連鎖化する。

事例：①台風や豪雨⇒河川氾濫、斜面崩壊⇒天然ダムの形成、②地震⇒津波、液状化、斜面崩壊⇒天然ダムの形成、③噴火⇒降灰、火砕流等⇒台風・豪雨による土砂流出、火砕流等⇒融雪型泥流の発生等

●広域化：異なるハザードとそれによる複数の災害の複合化、連鎖化により、それらの影響が時空間的に拡大していくことを意味する。

●社会経済被害：森林、集落、都市、河川、農業、道路、港湾などの被害がきっかけとなって、交通・物流被害、病院、教育・文化施設被害、食料基盤被害、ライフライン被害、公共施設・家屋などの財産被害、人命被害などが発生し、地域社会の資源損失、経済的損失がもたらされる。

●長期化：ハザードとそれによる自然災害が複合化または連鎖化し、結果として災害が広域化し、被害が長期化すること。

広域複合災害は、気候や地殻の変動が顕在化しつつある現在、全国的に常態化している。

図 1.2 に 1981 年から現在に至るまでの間で発生した広域複合災害の事例を示す。北海道においても、1981 年以降、豪雨災害や地震、噴火による広域複合災害が発生しており、最近では、2018 年の北海道胆振東部地震によるものが記憶に新しい。

図 1.3 に、北海道での広域複合災害の事例について、災害誘因別に分類したものを示す。雪氷によるもの、噴火・土砂移動によるもの、豪雨、台風によるもの、地震によるものに分類できる。北海道においても、様々な災害誘因によって広域複合災害が発生している。

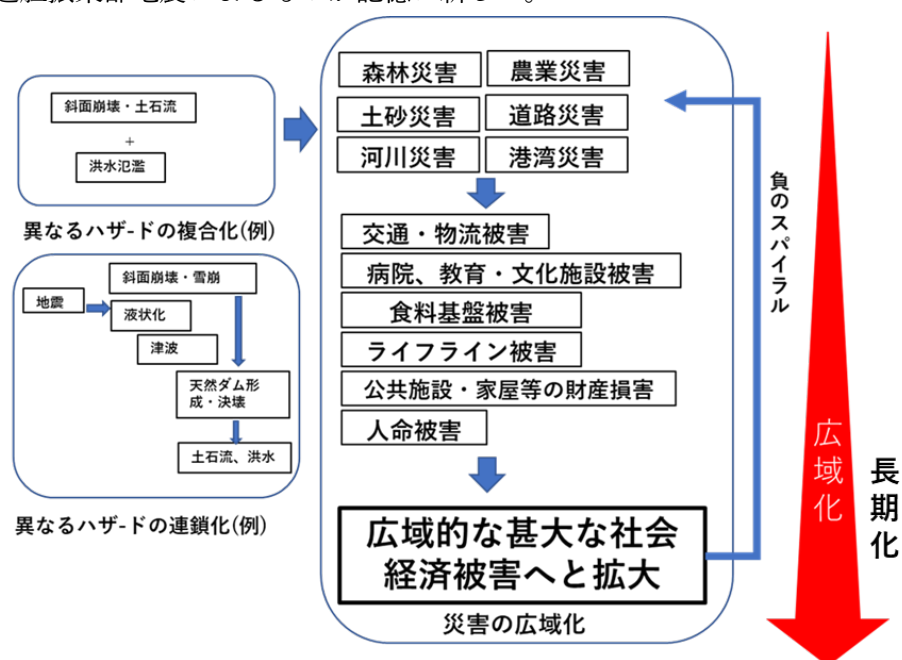


図1.1 広域複合災害をもたらすハザードと災害の複合化、連鎖化、広域化、長期化

広域複合災害は、異なるハザードの発生時期によっても、ハザードや災害の複合・連鎖プロセスは異なる。図1.4に、一つのシナリオとして、気候変動下での台風や豪雨の後に地震が

- 1981 石狩川流域豪雨災害
 1990 雲仙普賢岳噴火
 1993 北海道南西沖地震
 1995 阪神大震災
 2000 有珠山噴火
 2000 三宅島雄山噴火
 2004 新潟県中越地震
 2008 岩手・宮城内陸地震
 2011 霧島山新燃岳噴火
 2011 東日本大震災 ⇒ 国土強靱化基本法(2013)
 2011 紀伊半島豪雨災害
 2016 熊本地震
 2016 北海道豪雨災害(約2700億円超の被害)
 2017 九州北部豪雨災害
 2018 西日本豪雨災害
 2018 北海道胆振東部地震

図1.2 広域複合災害の発生事例

- 誘因：雪氷
 ・2010年石狩大雪災害
 ・2021年札幌近郊大雪災害
 ・2022年紋別市ホワイトアウト
 誘因：噴火・土砂移動
 ・1926年十勝岳泥流災害
 ・1977年、2000年有珠山噴火災害
 誘因：豪雨、台風
 ・2003年台風災害
 ・2016年北海道東部豪雨災害
 誘因：地震
 ・1993年北海道南西沖地震
 ・1994年北海道東方沖地震
 ・2018年北海道胆振東部地震
 ・30年以内の日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震発生予測と被害想定
 ・国内で最も顕著な気候温暖化の影響による降水量等の増大想定

図1.3 北海道内の広域複合災害の発生事例(災害誘因別)

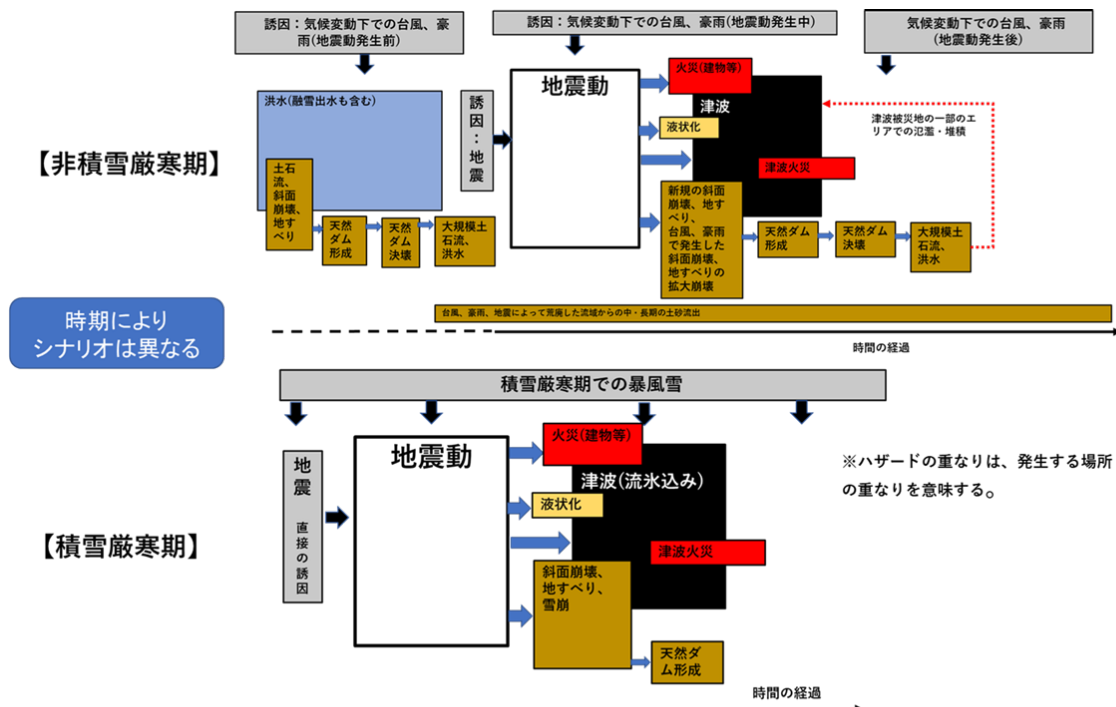


図1.4 広域複合災害をもたらすハザードと災害の連鎖・複合化プロセスの想定事例

非積雪厳寒期に発生した場合と積雪厳寒期に地震が発生した場合のハザードの複合・連鎖プロセスの事例を示す。

地方公共団体（市町村自治体）は、防災基本計画に基づき従来からの個別ハザードごとの災害予測図（ハザードマップ）を基に災害対策計画を立案しているところが多いが、広域複合災害を地域防災計画の中に明示している地方公共団体は近年、少しずつ増えてきている。例えば、埼玉県日高市では、「自然災害は単独で発生するばかりではなく、発生の確率は低いとしても複合的に発災する可能性があること、またその災害の組み合わせや発生の順序は多種多様であることを防災関係機関間で共有するとともに、市民等に対して周知する」ことが重要との認識のもとに、地域防災計画の項目の一つに複合災害対策編を作成している。その中で、単独災害と比較し、複合災害の対応が困難である理由は、大きく次の3つのパターンに分けられるとしている。

- ① 先発の災害により、災害対応資源が著しく低下しているところに、後発の災害が起き、後発の災害の被害を拡大化する。
- ② 先発の災害により被害を受けた地域が未だ復旧・復興活動中に、後発の災害に再び襲われ、元からの災害対応を大規模にやり直さなくてはならない状況になる。
- ③ 市内の別の地域で同時に複数の災害が発生し、災害対応資源を分散しなくてはならない状況になり、結果、対応力が低下・不足する。

いずれのパターンにしても、近隣市町村が同時被災する可能性を含んでおり、近隣市町村からの迅速な支援が得られない可能性があるとしている。

広域複合災害の効果的な減災の難しさと課題は、まさにこれらの点にある。

（文責：山田孝）

2. 北海道における近年の広域複合災害の実態と特徴

前章のとおり、北海道ではこれまで複数回の広域複合災害が発生している。本章では、近年、北海道において発生した広域複合災害のうち、台風、豪雨を誘因として発生した 2016 年北海道東部豪雨災害、地震を誘因として発生した 2018 年北海道胆振東部地震の 2 事例についての災害実態と広域複合災害の特徴を示す。

2.1 2016 年北海道東部豪雨災害

【概要】

2016 年 8 月に 3 つの台風が連続して北海道に上陸後、続いて北海道に接近した台風 10 号に伴う未曾有の大雨により日高山脈東側で斜面崩壊が多数発生し、一部が土石流となって流下した。市街地では洪水氾濫が発生し、十勝地方の帯広市や清水町などで人的被害、落橋や家屋への浸水、停電、断水など大きな被害が発生した。また、農地の流出や家畜被害、道路・鉄道被害も発生した。この災害により農作物の収穫量および出荷量が減少、交通網の混乱により一部サプライチェーンへの影響は全国に波及した。



図 2.1 2016 年北海道東部豪雨災害による被害状況（左：落橋（清水町）、右：洪水氾濫（清水町））

【災害実態】

主な災害実態を以下に示す。

- ◆ 8 月 17 日から 8 月 23 日の 1 週間に 7 号、11 号、9 号の 3 個の台風が続々と北海道に上陸し、北海道東部を中心に大雨により河川の氾濫や土砂災害が発生した。さらに、8 月 29 日からの前線と台風 10 号の接近による大雨で、十勝川水系や石狩川水系、空知川上流で堤防の決壊や河川の氾濫、日高山脈東側での道路や橋梁の流失などが相次ぎ発生した。台風 7 号、9 号は十勝地方を縦断し、NEXCO 雨量観測所（新得町）の日積算雨量は台風 7 号（17 日）が 129.0 mm、台風 11 号（21 日）81 mm、台風 9 号（23 日）96 mm、10 号（30 日）247.5 mm を記録した。日勝峠では 14 日から 31 日の降水量が 929 mm と年平均の 73% を記録した。約半月間に 4 つの台風と前線による異なる

ハザードが連鎖・複数した災害となった。（平成 28 年 8 月北海道豪雨災害の概要；北海道土木技術会土質基礎研究委員会地盤防災分科会）

- ◆ 十勝川水系札内川では、北海道管理河川の支川戸蔭別川の決壊に伴う氾濫水により札内川の堤防が決壊し、浸水被害が発生した。（平成 28 年 8 月北海道大雨激甚災害を踏まえた今後の水防災対策のあり方；H29.3 北海道開発局ホームページ）
- ◆ 十勝川水系のペケレベツ川やパンケ新得川等では、上流域からの土砂の流出や河岸侵食等により、土砂が河道に堆積して河床が上昇するとともに河岸が決壊し、河岸沿いの家屋の流出のほか、河道幅が拡大して橋梁の橋台背面が流出するなどの被害が発生した。（北海道開発局 H29.3）
- ◆ 清水町では、国道 38 号清見橋から車両転落により男性 1 人、久山川氾濫による別荘流失により男性 1 人が行方不明となった（平成 28 年台風 10 号大雨災害対応報告書（平成 29 年 7 月、清水町））。
- ◆ 帯広市では、家畜舎の浸水により仔豚 1,080 頭が溺死した（平成 27 年台風 10 号による災害対応の検証結果（平成 29 年 5 月、帯広市））
- ◆ 国道 39 号石北峠、国道 273 号三国峠、国道 38 号狩勝峠、国道 274 号日勝峠などの国道が、落橋や橋台背面洗掘、法面崩壊等により被災し通行止めとなり、人流・物流に多大な影響を与えた。特に、国道 38 号及び 274 号が日高山脈を境に通行止めとなり、道央地方と道東地方が分断され、一時十勝地方が孤立状態となった。国道 274 号は約 40 km の区間で全線にわたり被災を受け、被害発生後、復旧まで 1 年以上を要した（2017 年 10 月 28 日開通）。（平成 28 年 8 月北海道大雨激甚災害を踏まえた今後の水防災対策のあり方；北海道開発局 H29.3）
- ◆ JR 北海道の石北本線、石勝線、根室本線等で路線流出、路盤流出、土砂流入等により、道東を中心に基幹的な路線網が寸断された。根室本線では不通 5 区間が長期に及んだ。根室線の東鹿越駅～新得駅間は 2024 年 3 月時点もバス代行輸送が行われている。
- ◆ 道内の被害総額は 2,803 億円となり、過去最大規模となった（北海道「平成 28 年 8 月から 9 月にかけての大雨等災害」に関する検証委員会（第 1 回）、2016 年 10 月、北海道総務部危機対策局危機対策課）。

【広域複合災害の特徴】

十勝地方は浸水に弱い畑作農業が盛んであり、農家の多くは専業農家として大規模農業を行っている。経営の大規模化や機械化の進展とともに、小麦、馬鈴薯、てんさいを中心とした輪作体系が確立され、連作障害を回避しつつ長年にわたって土づくりが進められてきた。2016 年台風 10 号に伴う大雨被害によって収穫が遅れ、秋まき小麦が作付できなかった圃場において、輪作体系のバランスが崩れ、その影響は翌年以降も続くことが懸念された（北海道開発局 H29.3）。実際、北海道産ジャガイモの収穫が減少し原料調達が困難となったため、ポテトチップス製造大手のカルビーと湖池屋は 2017 年 4 月 10 日、北海道産のジャガ

イモを原料とした一部商品の販売を休止した。両社とも原料に使うジャガイモの 7～8 割を北海道産に頼っていた（日本経済新聞 2017.4.10）。2017 年 11 月 20 日より「湖池屋ポテトチップスリッチコンソメ」の販売を全国・全チャネルにて再開した（湖池屋ホームページ）。カルビーは『ピザポテト』の販売を 2017 年 6 月 19 日から北日本・東日本エリア、同月 26 日から中日本・西日本エリアで再開。また、同様に販売を休止していた『堅あげポテトブラックペッパー』『ポテトチップスしあわせバター』についても、同月 19 日から順次販売を再開。北海道産でなく府県産の馬鈴薯を使用した（カルビーホームページ）。

相次ぐ台風の襲来と大雨による被害に見舞われた十勝地域に着目し、北海道中小企業家同友会とかち支部の協力を得ながら経済的な側面から企業（207 社）の被害実態を調査した研究によると（大貝ら(2019),「自然災害が地域経済に与える影響に関する分野横断的研究」, 開発こうほう）、自然災害による直接的な被害が、他の業種に波及していることが考えられ、二次的被害の有無を業種別にみると、最も割合が高いのが製造業で 19 社（67.9%）、次いで農業 15 社（46.9%）、流通商業 16 社（32.7%）、サービス業 12 社（24.0%）となった。二次的被害で、回答割合が最も高かった項目は「売上高の減少」 48.6%（34 社）であり、次いで「物流の遅延・輸送費の上昇」 38.6%（22 社）、「資材・原材料不足・価格の高騰」 31.4%（22 社）が続いている。「売上高の減少」に関しては、被害を受けた結果、売上の減少に帰結すると考えれば、十勝地域で生じた二次的被害としては、「物流の遅延・輸送費の上昇」や「資材・原材料不足・価格の高騰」が大きいと考えられた。具体的な内容については、道路や鉄道の寸断による物流の遅延に関する記述が多い。鉄道の寸断や日勝峠不通により、農産物や加工品等のコンテナ輸送が不可能になるなど、とりわけ物流面での困難が生じ、一時的に北見経由の物流ルートを余儀なくされた。

2016 年北海道東部豪雨災害の広域複合災害の特徴は、北海道に連続して上陸した 3 個の台風と、その後北海道に接近した台風 10 号による未曾有の豪雨によって日高山脈東麓で発生した直接的な災害（土砂災害、河川災害）が連鎖化・複合化・広域化したことにより、耕種・畜産農業といった第一次産業が盛んな北海道東部特有の土地利用、およびその物流に大きく影響したことが挙げられる。さらに、製造業だけでなく農業、流通商業といった異なる業種にもその影響が波及したことでサプライチェーンの寸断が発生し、地域レベルから全道レベル、さらに全国レベルまでその影響が拡大したことも大きな特徴の一つである。また、一部鉄道は地震発生から 5 年以上経過しても復旧しておらず、その影響が長期化していることも深刻な問題として特徴づけられる。

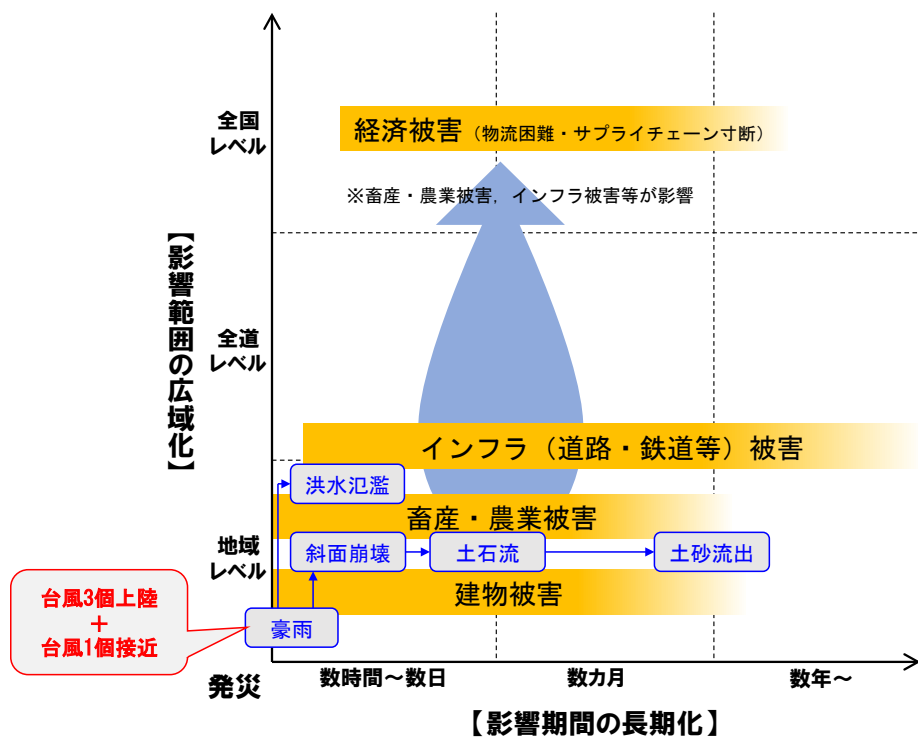


図 2.2 2016 年北海道東部豪雨災害における現象の連鎖発生と被害の広域複合化のイメージ

2.2 2018 年北海道胆振東部地震

【概要】

2018 年 9 月 6 日に厚真町を震源とする内陸地震が発生し（マグニチュード 6.7、最大震度 7）、地震に伴う強振動により厚真町、安平町内の丘陵地帯で数千箇所におよぶ斜面崩壊が発生した。この地震に伴う土砂災害と強振動による建物被害等により 44 人が犠牲となった。さらに、日高幌内川では大規模な河道閉塞も発生した。また、札幌市内などでは液状化現象が発生し、道路陥没や住宅被害、水道管破損などの被害がでたほか、地震発生直後から全道停電（ブラックアウト）が発生し、停電が完全に解消するまでに 1 カ月程度の時間を要した。



図 2.3 北海道胆振東部地震により発生した現象（左：斜面崩壊（厚真町）、右：液状化現象（札幌市））

【災害実態】

主な災害実態を以下に示す。

- ◆ 地震動による斜面崩壊・建物倒壊が複合的に発生し、厚真町では甚大な人的被害（土砂災害による死者 36 人）が発生した。また、日高幌内川では、大規模な深層崩壊が発生し、河道閉塞が形成された。
- ◆ 国土交通省の発表によると、この地震による崩壊面積は 44.0 km² と試算されており、明治以降の主要な地震災害の中で最も広い（国土交通省砂防部 HP）。厚真川流域では多数の斜面崩壊に伴う河道埋塞（複数箇所）や厚真ダムの余水吐への土砂・流木堆積により、洪水時には氾濫被害等が発生する恐れが生じた。
- ◆ 札幌市清田区里塚地区では地震動による液状化現象により、道路 8 路線が沈下したほか、道路の陥没、舗装の損壊等が多数発生、周辺人家も多く被災したほか、液状化に伴う土砂流出が発生した（札幌市ホームページ）。
- ◆ 人的被害は死亡 44 人（警察が検視により確認している死者数 41 人（札幌市 1 人、苫小牧市 2 人、厚真町 36 人、むかわ町 1 人、新ひだか町 1 人）、市町村において災害弔慰金の支給等に関する法律に基づき、災害が原因で死亡したものと認められたもの 3 人（札幌市 2 人、厚真町 1 人）、物的被害は、住家被害全壊 491 戸（厚真町 235 戸、札幌市 101 戸、安平町 93 戸など）、半壊 1,818 戸、一部損壊 47,115 戸に及んだ。また、

避難者数は最大で累計 16,649 人にのぼった（「平成 30 年北海道胆振東部地震による被害状況等」第 125 報（2019.9.5））。

- ◆ ライフライン被害は、道路通行止めが国道 4 路線 4 区間、道道 14 路線 20 区間、高速道路 4 路線 6 区間となったほか、道内全域の 295 万戸で停電が発生（ブラックアウト）した。また、全面断水が 2 町 8,000 戸、一部断水が 43 市町村約 54,000 戸以上となった（平成 30 年北海道胆振東部地震による被害の状況について、平成 30 年 11 月 1 日、北海道総務部危機対策課）
- ◆ 9 月 6 日午前 3 時 7 分地震発生から 18 分後の午前 3 時 25 分大規模停電発生した。地震発生から 2 日後は 99%が復電し、10 月 4 日には停電は全て解消した。ブラックアウトの原因は、主として苫東厚真発電所 1、2、4 号機の停止（N-3）に加え、狩勝幹線他 2 線路の送電線事故（N-4）に伴う水力の停止により周波数制御機能（主に AFC）が喪失したことが複合要因となり発生したものと考えられた。北北連系設備のマーヅィンを活用し緊急融通が行われ周波数を回復させたが、最大受電量に達したため、苫東厚真発電所 1 号機のトリップ時は周波数調整機能が発揮できず、ブラックアウトに至った。（「北海道胆振東部地震対応検証委員会 最終報告」2018 年 12 月 21 日、北海道電力）
- ◆ 農林水産関係の被害状況は、主に農地・農業用施設への土砂堆積や損傷（580 億円）、林地の大規模崩壊や林道の損傷（475 億円）、農作物等の被害（85 億円）等で全体の被害額は 1,145 億円（農林水産省；胆振東部地震による被害状況 R1.12.11）。
- ◆ 商工業被害額；地震による建物や設備の損壊 120 億円、停電による商品廃棄等の二次被害 136 億円、停電による商工業売上への影響額 1,318 億円、観光消費影響額 356 億円。（2018.10）日本政策投資銀行）
- ◆ 物的被害が生じた宿泊・観光施設等の被害は約 2.5 億円である。新千歳空港の国内線・国際線は被災 2 日後に復旧したものの、観光宿泊のキャンセル数は約 114 万件を超え、飲食・物販等も含めた観光消費全体への影響額は約 356 億円が想定されるなど、甚大な観光被害となった（北海道経済部観光局）。

【広域複合災害の特徴】

2018 年北海道胆振東部新の広域複合災害の特徴は、巨大な内陸地震による強振動が引き起こす地域レベルの建物被害にとどまらず、強振動が連鎖的に引き起こした多数の斜面崩壊に代表される土砂移動、都市部での液状化現象、全道レベルのブラックアウトが複合的、かつ広域的に発生したことが挙げられる。さらに全道ブラックアウトは畜産農業、水産業などにも二次被害を与えた。全道ブラックアウトによる主な二次被害は以下のとおりである。

- ・ 搾乳ができない農場や保存されている生乳について冷却ができず損失が発生。停電の復旧に伴い、順次、搾乳及び出荷を再開。
- ・ 冷蔵庫に保存されていた栽培きのこについて冷却ができず廃棄する被害が発生。

- ・ 馬鈴薯デンプンについて、でん粉乳（中間生産物）を攪拌できず、固化及び腐敗し、廃棄する被害が発生（7 工場）していたが、9 月 12 日までに農協系全 10 工場で稼働再開。
- ・ 市場に既に水揚げされていた魚や、既に解凍していた水産加工原料について、保冷ができずに廃棄する被害が発生していたが、通電に伴い、ほぼ通常どおりの出荷、加工が再開された。（農林水産省 R1.12.11）

さらに、自動車産業では、トヨタ自動車が一時的に全国のグループ完成車工場の多くで稼働を停止する事態となった。ただし各工場は迅速な復旧をみせており、一連の大規模災害における生産停止については、物流機能の麻痺や停電など外部要因が強く影響したものとみられている。（2018 年自然災害からの復興と課題－地域と産業のレジリエンス構築に向けて－（2018.10）日本政策投資銀行）

また、地震に伴う強振動により、厚真町、安平町の丘陵部を中心に数千カ所で発生した斜面崩壊が、大量の不安定土砂を供給しており、崩壊があった地域では、地震から 5 年以上経過しても大規模な土砂流出が継続している。山地域から海域に及ぶ広域な自然環境への影響や防災のための調査および対策検討の必要性が長期化していることも特徴の一つである。

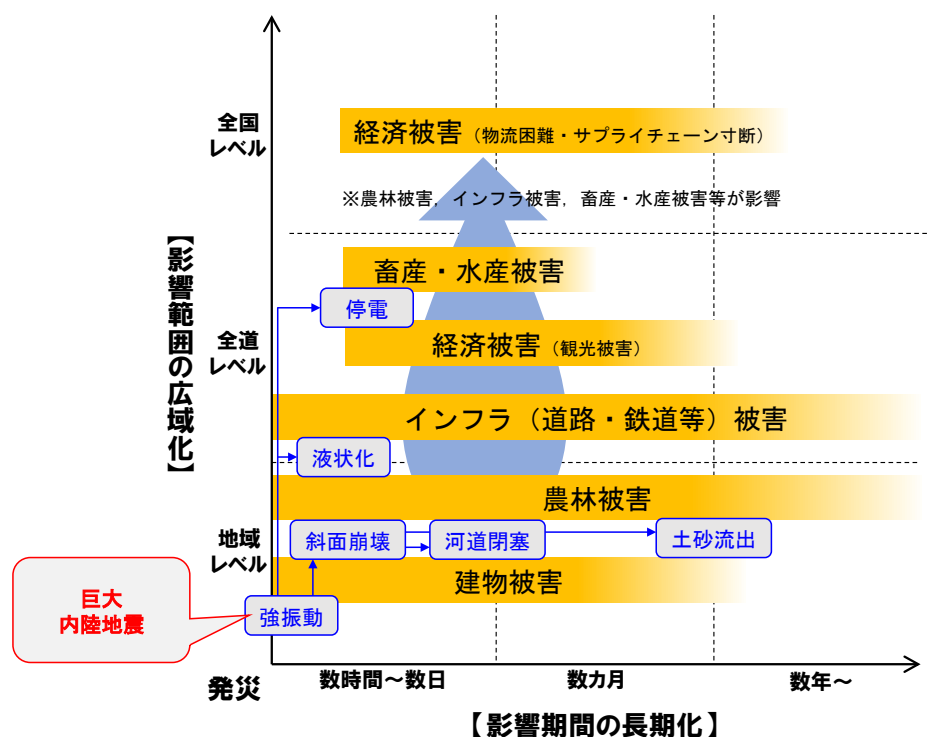


図 2.4 北海道胆振東部地震における現象の連鎖発生と被害の広域複合化のイメージ

（文責：厚井高志）

3. 今後、北海道で発生が想定される広域複合災害

～日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震で想定されている複合災害～

前章のとおり、北海道においても広域複合災害は発生している。この後、気候温暖化などの自然環境変化や少子高齢化加速等の社会環境変化は、当地北海道において広域複合災害の発生及び影響の甚大化がこれまで以上に懸念される。北海道が広域複合災害をどのような災害形態として捉え、対策を練るかは既往の被害関数に基づく定量評価に依るところは大きいものの、未経験の大規模被害に対してはシナリオライティングやブレインストーミング等による定性的評価手法も併せて考えていく必要がある。国は国策対応とすべき重点地震のひとつとして日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震を指定し、被害想定を 2021 年 12 月に中央防災会議・防災対策実行会議「日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震対策検討ワーキンググループ」から報道発表がなされた。これは都道府県を算定単位とするマクロ想定であり、この公表結果を承け、北海道はより詳細な市町村を算定単位とする被害想定を行い、公表に至っている。この算定プロセスにおいて広域複合災害は如何に検討されているかを、本章にて概観する¹。

3.1 北海道が公表した日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震の被害想定について

太平洋東岸では古くより択捉沖の地震(1780(安永 9)年、M8.3)、色丹島沖の地震(1893(明治 26)年、M7.7)、根室沖の地震(1894(明治 27)年、M7.9;1973(昭和 48)年、M7.4)、釧路沖の地震(1993(平成 5)年、M7.5)、十勝沖地震(1952(昭和 27)年、M8.2;1968(昭和 43)年、M7.9;2003(平成 15)年、M8.0)など巨大地震が頻発しており、国(中央防災会議)は 2003(平成 15)年 10 月に「日本海溝・千島海溝周辺の海溝型地震」に関する調査会を設置し、2006(平成 18)年 1 月に同地震による被害想定、それに基づき同年 3 月に「日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震防災対策推進基本計画」を策定し、防災対策が進められてきていた。そこに 2011(平成 23)年 3 月、東北地方太平洋沖地震(M9.0)が発生し、本邦は東日本大震災と呼ばれる未曾有の災害を経験した。

この教訓を踏まえ、国(中央防災会議)はこの海域の地震群を「日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震」と命名し、2015(平成 27)年 2 月に地震のモデル検討会(同地震モデル検討会)を設置し、2020

¹本手引きでは第 1 章において「広域複合災害」の定義をし、個別災害の複合化に合わせ、その影響が時空間的に拡大していく状況を連鎖・広域化として捉え、それ故の対応業務量の爆発的増大・行政界を超えての連携協力の必要性等その重要性に鑑み「広域複合災害」との名称を与え、本手引き内では一貫して「広域複合災害」という語を使用している。一方で、国や道の被害想定等においては個別災害が複合化することを「複合災害」という表記を用いており、当センターが使用する「広域複合災害」というキーワードは使っていない。災害現象としてほぼ同様ではあるものの、その後の影響の広域化をより強く意識し「広域複合災害」という語を我々は用いている。本章以下の節においては、道の被害想定報告書からの引用・抜粋によるため「複合災害」という語を使用する場合もあるが、対応の中身については、「広域複合災害」を意識して分析を行っている。

(令和 2)年 4 月に国(地震調査研究推進本部)は北海道及び東北地方太平洋岸の震度分布・津波高・浸水域等を公表した。

それを承け、北海道は「日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震対策検討ワーキンググループ」を北海道地震防災会議の中に設置し、検討を重ね、2022(令和 4)年 7 月及び同年 12 月に想定被害の公表を行っている。

この巨大地震が発生した場合、どのような複合災害が予想し得るのか。被害想定報告書から探してみる。本報告書(日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震の被害想定について、令和 4 年、北海道)は以下のホームページから閲覧入手可能である。

<https://www.pref.hokkaido.lg.jp/sm/ktk/bsb/0.html>

以下の論考は、上記資料(以降、「本報告書」という)に基づくものである。

3.2 被害想定的前提条件

(1) 想定断層モデル

2006 年 1 月における「日本海溝・千島海溝周辺の海溝型地震に関する専門調査会」においては、M8 クラスの 8 つの地震を想定し被害を検討していた(図 3.1 左図)。東北地方太平洋沖地震の発生を受け、2015 年に国が設置した「日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震モデル検討会」において 2017 年 12 月に同海域における個別地震の連動を考慮し、日本海溝モデル(Mw9.1)と千島海溝モデル(Mw9.3)の M9 クラス²の 2 つの地震モデルを設定し、それらの断層パラメータを公表した(図 3.1 右図)。この地震により、1)地震動、2)液状化、3)土砂災害、4)津波、以上の 4 つのハザードが同時発生すると仮定している。北海道においても国が設定した地震断層モデルをそのまま踏襲し、被害想定を行っている。

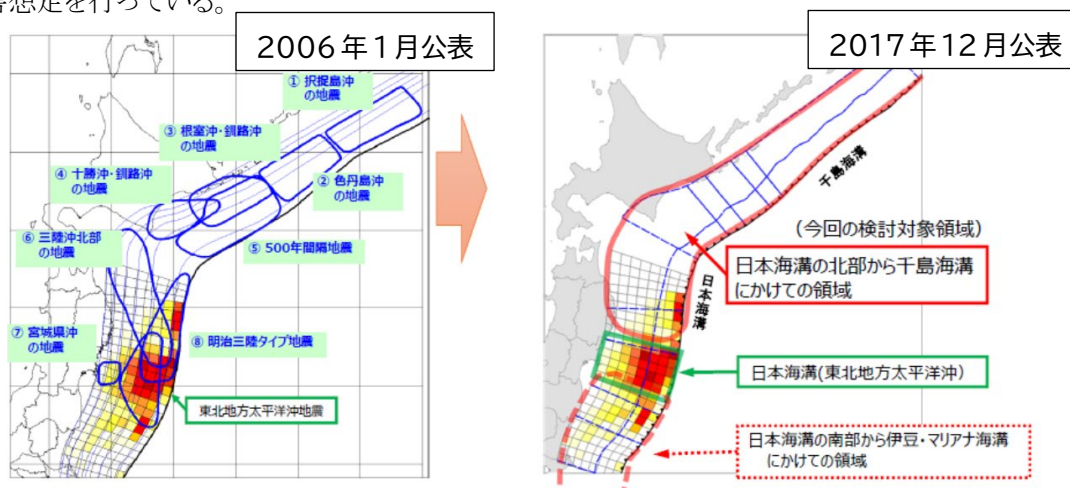
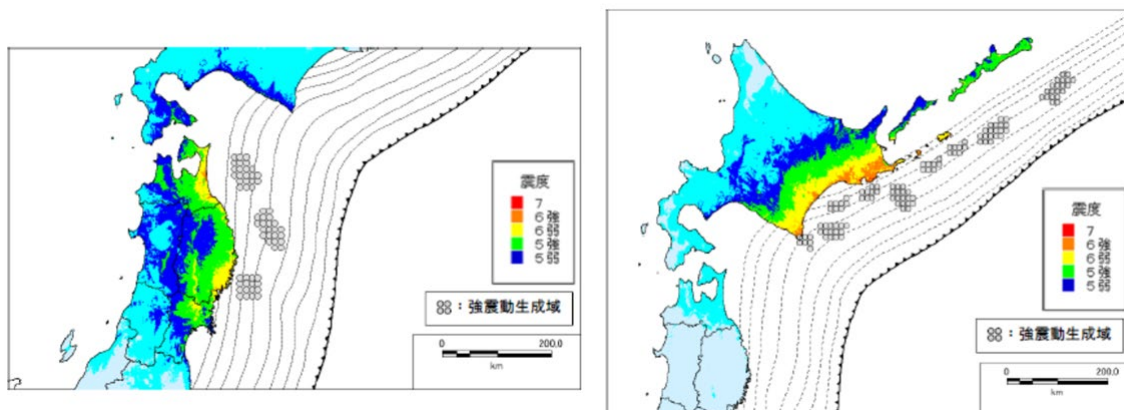


図 3.1 当該海域における地震断層モデル

² 本章表記のマグニチュードは、M は気象庁マグニチュードであり、Mw はモーメントマグニチュードを指す。

(2) 地震動(震度分布)

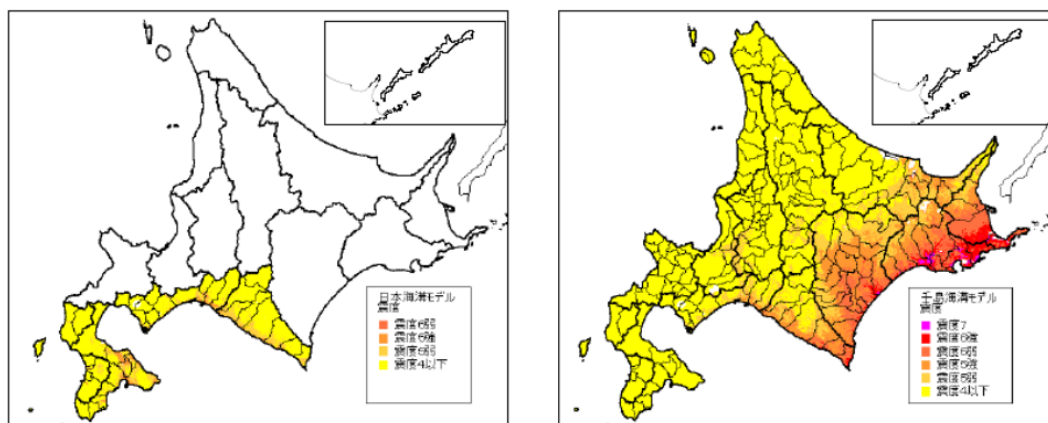
この地震モデルによる国(内閣府)の公表震度分布は統計的グリーン関数法により基盤面での揺れを計算し、各地域の地盤増幅度を加味し計算している(図 3.2(a))。北海道の想定も同様であるが、地盤増幅度に関するデータを増やし、より詳細な震度分布となっている(図 3.2(b))。



日本海溝(三陸・日高沖)モデル

千島海溝(十勝・根室沖)モデル

図 3.2(a) 内閣府公表の想定震度分布図



日本海溝(三陸・日高沖)モデル

千島海溝(十勝・根室沖)モデル

図 3.2(b) 北海道公表の想定震度分布図

(3) 液状化

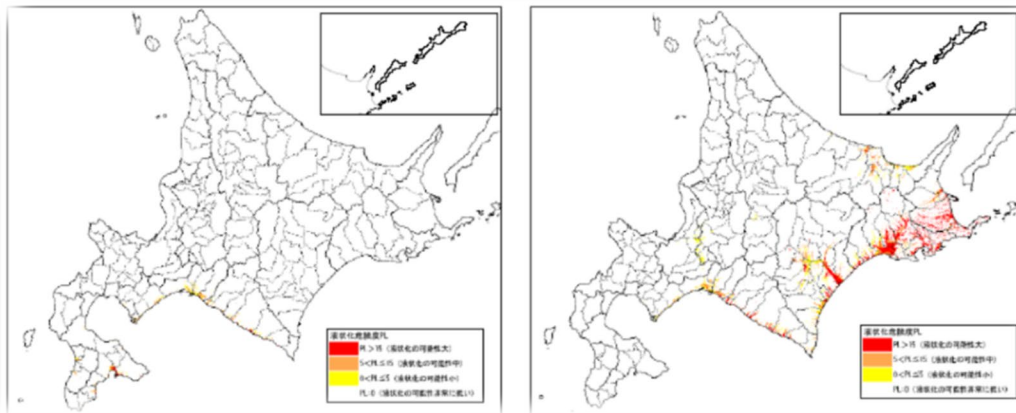
液状化危険地域については、道路橋示方書・同解説(2002)による砂質土層の液状化判定法により、算定された PL 値により危険度を以下の 4 区分とし表示している(図 3.3)。

液状化危険度 かなり低い PL=0

液状化危険度 低い $0 < PL \leq 5$

液状化危険度 高い $5 < PL \leq 15$

液状化危険度 極めて高い $15 < PL$



日本海溝モデルによる液状化危険度

千島海溝モデルによる液状化危険度

図 3.3 北海道公表の液状化危険度

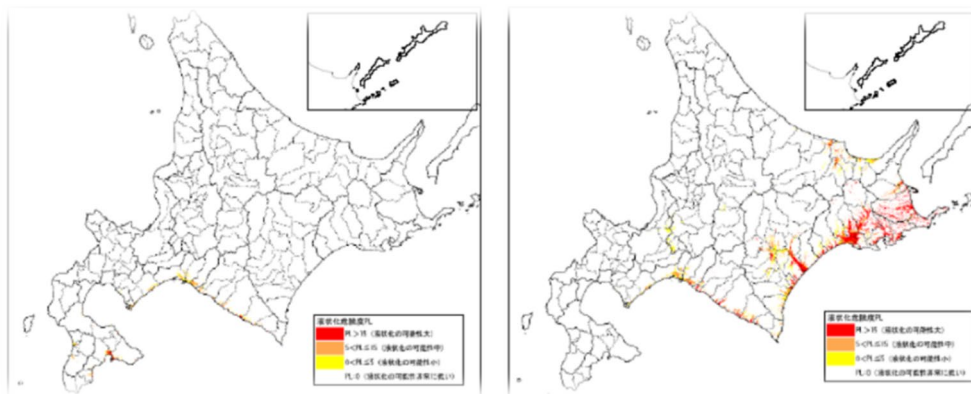
(4) 土砂災害

土砂災害の 3 形態(土石流、地すべり、崖崩れ)の内、崖崩れのみを急傾斜地崩壊危険箇所データから拾い出し、崩壊確率を考慮し以下の 3 ランクで表記している(図 3.4)。

ランク A:危険性高い(崩壊確率 10%)

ランク B:危険性がある(崩壊確率 0%)

ランク C:危険性低い(崩壊確率 0%)



日本海溝モデルによる土砂災害危険ランク

千島海溝モデルによる土砂災害危険ランク

図 3.4 北海道公表の土砂災害危険地域

(5) 津波の最大波高

市町村別の海岸線における最大津波高(津波の越堤が予想されるときは、防潮堤は破壊されるものとして算定)が示されている(図 3.5)。2 つの地震モデルによる津波は干渉しない故に、仮に連動したとしても津波高は個々の地震モデルによる高さを超えないとしている。

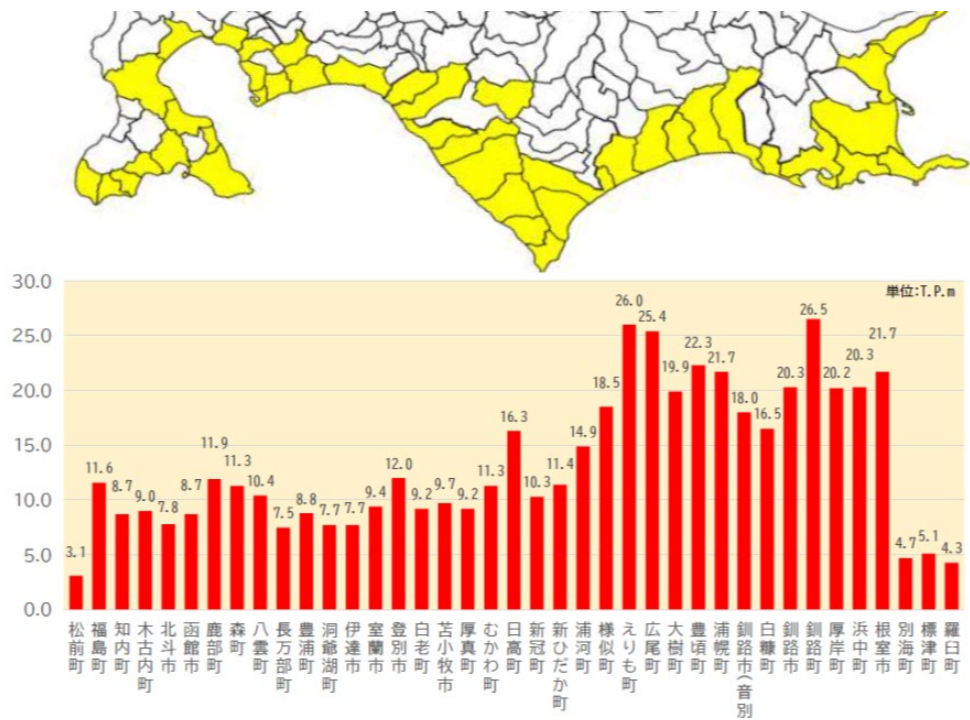


図 3.5 北海道公表の最大津波高

(6) 津波到達時間

歩行速度に影響し始める浸水深 20cm を影響開始時間[分]とし、第一波到達時間[分]、さらに最大津波到達時間[分]について、市町村別に示してある(図 3.6)。

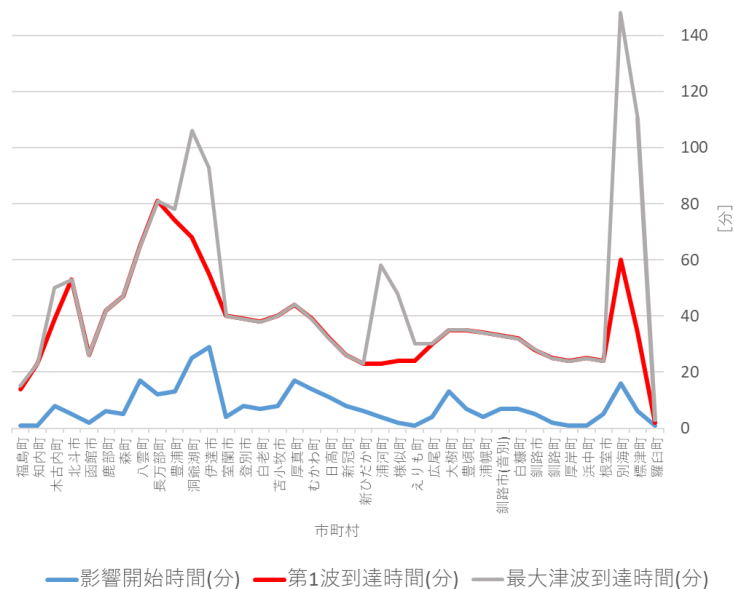


図 3.6 北海道公表の津波到達時間

(7) 発生時期と時間

以下の3パターンを想定している。

- 1) 夏・昼: 積雪凍結心配なし。住家内滞留人口が少ない時間帯。
- 2) 冬・夕方: 積雪凍結により避難速度低下。火気使用量多く出火・延焼の可能性高い。
- 3) 冬・深夜: 自宅就寝中で避難開始遅れる。

天候については特に記載はないが、好天を想定していると思われる。台風や暴風雪などの気候災害とのハザード複合化は想定していない(複合災害の項目で触れている。後述)。気候温暖化に伴い、天候の極端化が著しい昨今である。複合災害で最も恐れなければならないのが、気候災害と他種災害(地震や火山)との複合化であろう。今後、災害シナリオとして想定されるべきである。

3.3 本報告書に記載されている複合災害

ハザードは4種の同時発生を想定しているものの、地震動は千島海溝モデルで一部に震度7の地域が想定されているが、大部分の地域が震度6強以下である(図3.2(b)参照)。液状化や急傾斜地崩壊も限定されており(図3.3及び図3.4参照)、建物被害・人的被害の80%以上が津波によるものである。複合災害と言うよりも、津波による個別災害の様相と言えよう。

(1) 被害項目「複合災害」

本報告書に記載されている「複合災害³⁾」は、4章「被害想定の結果(全体)」の最後に被害項目として「複合災害」が挙げられている。その部分を以下に転記する。

複合災害

複数の自然災害の同時発生による被害の拡大	・風水害等による避難中に地震が発生した場合、避難所の倒壊や屋内落下物等により人的被害が拡大する。 ・堤防や護岸、砂防ダム等が揺れ・液状化・津波により機能低下し、台風や集中豪雨による洪水や高潮等を防ぎきれず、建物被害や死傷者が増加する。 ・地震発生時に悪天候であった場合、自宅外への避難行動が遅れ、津波による死傷者が増加する。 ・地震により弱体化していた建物が暴風により全壊するなど、大きな被害が発生する。 ・激しい揺れにより崩壊、または緩んでいた斜面や宅地造成地が、大雨により崩壊する。 ・地震と風水害が重なると、斜面や地盤の崩壊が起こりやすくなり、孤立する集落が多く発生する(冬季は、雪崩の可能性もある)。 ・地震と火山噴火が重なると、火山周辺からの避難者により、避難者数が更に増加する。 ・暴風雪時、津波から避難する際、視界不良などにより避難が困難となり、死傷者が増加する。
----------------------	---

記載内容は「今回想定した災害に気候災害が重なった場合として、各々の被害が拡大する」という

³⁾ 本報告書には「複合災害」と記載してあるが、本章においては我々が提示している「広域複合災害」の定義に従って本報告書内容を分析する。

量的増加に触れているのみである。定量評価がなされていないのは、発生条件を絞り込めない事情による。しかし明示されていないものの、それぞれの被害の算定式に踏み込んでみるなら、前段事象が影響し後続被害(間接被害)に連鎖するプロセスが見て取れる。

たとえば地震動による人的被害の計算フローは以下となっている。

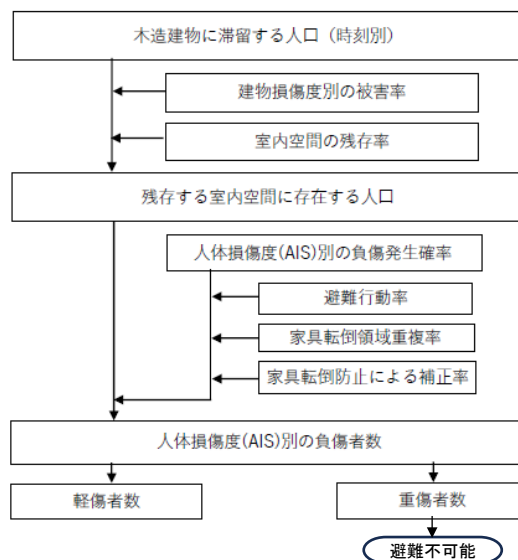


図 3.7 人的被害計算フロー

考慮しているパラメータから、地震動により建物が揺れ、室内が散乱する中を家具が転倒してこない安全領域に避難を試み、不幸にも家具転倒・落下物等に当たると負傷するというシナリオを想定していることが分かる。その確率は住宅の耐震性能や保有家具数・家具固定の有無・住人の行動能力等をこれまでの経験式より確率的に与え算定している。さらに、津波からの避難の成否は、避難前段における住人の負傷程度に左右され、避難歩行速度が決まってくる。津波到達時間内に避難ビルに垂直避難が完了すれば助かるというシナリオである(図 3.8)。

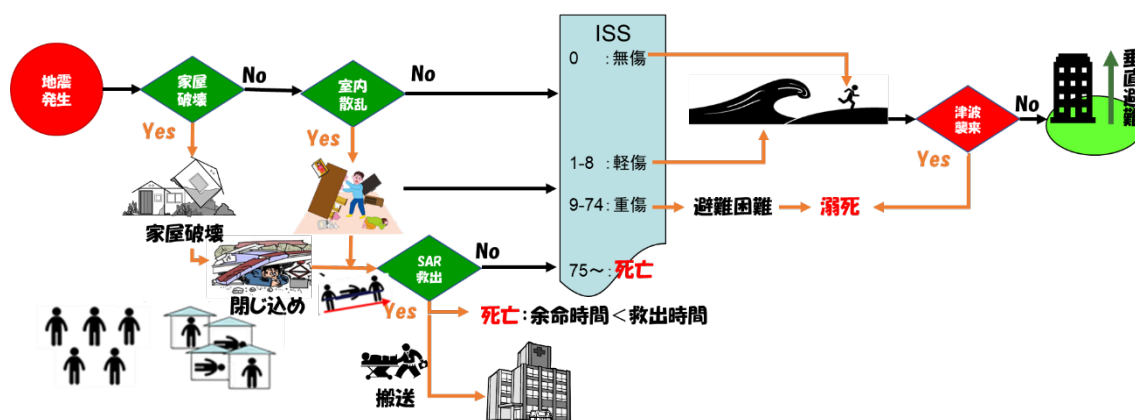


図 3.8 地震と津波同時発生による人的被害算定シナリオ

(2)被害推定式から読み取れる連鎖プロセス

同様に、被害算定式中のパラメータから連鎖が考慮されているものを算定フローとして図 3.9 に示す。本報告書には「定性的に（被害の様相のみ）記載された被害項目」の記載もある。たとえば災害関連死や保健衛生・防疫・遺体処理等が関与する生活への影響や通信障害等々である。同図にはそれらも含め、代表的な事象について相互の連鎖関係を矢印で示している。

個別ハザードによる直接被害については被害量の定量評価が比較的容易であり、各種素因を含め事象連鎖のプロセスは追跡が可能であり、複合災害をイメージする際に有効となろう。ただし、ハザードが実際に複合化した際には前段ハザードによる被災状況下で後段ハザードが襲来するという被害の重畳性を定量評価可能な関数が準備されていなければならず、一部の災害種を除きそれに耐える被害関数はそう多くはないため、複合災害の定量評価には多領域での被害関数の研究の発展を俟たねばならない⁴。

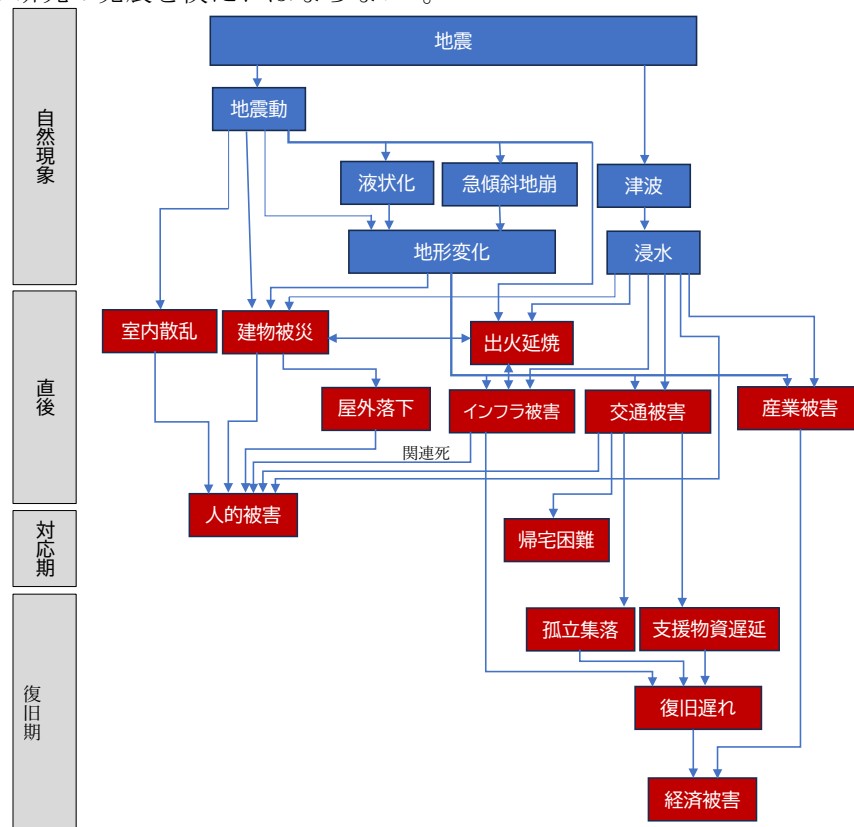


図 3.9 被害算定式にみる各事象の複合化プロセス

⁴ 地震動の繰り返し（本震－余震、誘発地震）による木造被害の重畳性については以下の論文がある。

篠田茜・岡田成幸・中嶋唯貴：繰り返し荷重を受ける木造建物の損傷度重畳問題の取り組み：耐震評点劣化の確率評価を用いた後続地震による2次被害シミュレーション、日本地震工学論文集，20，3，51-69，2020.

図 3.9 を眺めると、後続被害へ多くの支線を伸ばしている他種被害へ発展しやすいキーとなる事象や、逆に多くの支線が入力しており些細なことで発現する脆弱な事象などが明確化している。しかし他方、時間軸の後段（対応期・復旧期）ほど事象項目が大掴みとなり、検討項目数が少なくなっている。さらに後続被害や広域被害については、本来因果関係にあるものどうしが連鎖から外れているものもあり、不十分さが際立っている。たとえば、火災延焼が交通被害や産業被害に連鎖するプロセスは仮定していない。支援物資の遅れが産業被害を拡大させ、さらに産業被害の拡大化が復旧遅れに繋がるシナリオは考慮されていない等々。広域複合災害の想定が被害想定において如実に表れている。よって、本報告書においては複合災害については定性的に量的拡大に触れるに留まる記載となっているのであろう。複合災害対策を考える場合、シナリオライティングの不足を指摘せざるを得ない。災害対策はほとんどの場合が未経験者で立ち向かわねばならない。そして一刻の的確な意思決定判断が求められる。その状況下で想定外をできるだけなくし、怠りのない事前準備をなしえるためには、シナリオライティングのその重要性がもう少し強調されても良いのではないかと思う。表記されないもの（可視化されないもの）は検討の対象から外されてしまいがちになるからである。

（3）複合災害シナリオマトリクス

本報告書から各事象発現の時間と関与するエリアの広がりを読み取り、時空間マトリクスとして整理したものが表 3.1 である。本報告書では 4 種ハザードの同時発生とあるものの、地震発生をスタートとしているので、時間原点を地震発生におき徐々に長期化するイメージで、本報告書に記載の時間スケールで「発災時」→「直後」→「超急性期」→「直後対応期」→「復旧期」の 5 区分とする。図 3.10 に防災基本計画に記載の時間軸と 5 章「減災への基本的考え方」に記載の時間軸との関係を示す。本報告書に記載の事象のほとんどが地震発生直後の同時発生のため、時間区分も発災直後に偏らざるを得なかった。後続事象の検討が不足していることが再度指摘できる。空間軸については対策の主体となる自助・共助・公助の順列で空間が広域化するイメージとしている。被災者自らの「自助空間」を空間の原点に置き狭域空間とし、そこから「周辺」→「共助空間（避難所）」→「公助空間（庁舎）」→「交通網」→「経済産業空間」と広がっていく 6 区分とした。

このマトリクスより、どのような広がりて被害を捉えようとしているかが一望できよう。被害算定式から連鎖プロセスを論考したのと同様に、後続被害及び広域に関わる被害については希薄感が否めない。特に、避難者数増大や医療施設不足に伴う行政界をまたぐ広域避難・医療搬送などの課題に対して、要対処者数の算定はしているものの、その対処時に遭遇する問題点までは指摘に至っていない。そのために広域的かつ長期的マトリクス領域に空欄が目立つ。

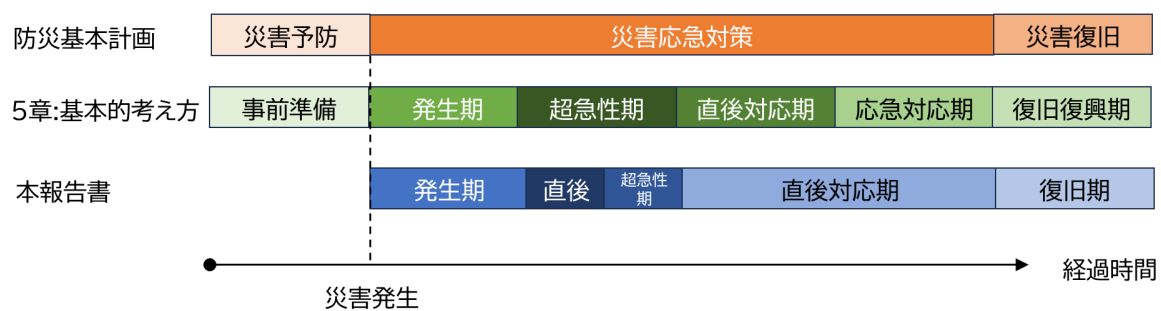


図 3.10 各資料にみる時間軸の比較

表 3.1 複合災害シナリオマトリクス

		時間軸 → (長期化)			
	発生時	直後	超急性期	直後対応期	復旧期
自然現象	・地震動	・斜面崩壊 (降雨等による)	・出火延焼		
	・液状化	・津波	・建物全焼		
	・斜面崩壊 (地震動による)	・急傾斜地崩壊による建物被災	・津波漂流物による火災		
	・震動による建物被災	・津波 (＋流水) による建物被災	・通信 (固定・携帯電話) 障害	・停電(復旧遅れ	・断水継続
自助空間	・液状化による建物被災	・ライフライン被害 (停電・断水・上下水道)	・二次的人的被害		
	・室内散乱				
周辺	・人的被害 (死傷者発生)	・倒壊建物内閉じ込め		・ライフライン復旧資材・人材不足	・上下水道長期運用停止
	・屋外落下物	・避難者移動		・電力利用困難	
	・プロック崩・自販機転倒	・救助活動			
共助空間 (避難所)	・建物倒壊・転倒物による道路閉鎖				
		・津波避難者集中	・一時避難所混乱	・要配慮者対応。関連死	
		・帰宅困難者集中	・屋外避難による低体温症発生 ・2次避難所準備	・低体温症要対応処者対応	
公助空間 (庁舎)	・庁舎被害	・通信障害	・倒壊建物からの救出救命活動	・産業廃棄物処理	
		・行政対応機能不全	・各種証明書発行	・仮設住宅建設計画	
			・医療施設混乱		
交通網	・道路路面被害	・車両運転支障	・孤立集落発生・観光客帰宅困難	・救出救助中の落石・崩土棟により二次災害	
	・橋梁被害	・信号機・道路照明機能停止			・道路・橋梁被害補修
	・道路網途絶	・車渋滞発生			
	・鉄道(軌道)変形	・緊急車両通行支障			
		・鉄道安全点検による一時運用停止			
	・港湾施設被害	・ターミナル駅混乱			
	・空港施設被害	・安全点検による一時運用停止	・救急救命・緊急輸送受入拠点としての運用移行	・旅客施設ビル被害による旅客業務長期停止	
経済産業空間	・大規模集客施設被害	・エレベータ閉じ込め・エスカレーターから転倒転落			・農業生産品出荷停止
	・地下街(天井パネル等落下)	・火災時スリッポンカラー稼働により商品被害			・水産業活動長期停止

(文責:岡田成幸)

4. 広域複合災害の減災の課題

4.1 道内市町村の広域複合災害対策の実際と行政の課題

広域複合災害研究センターは、様々な自然災害をもたらすハザードへの対策実態と広域複合災害対策を行う上での問題点などを明らかにする目的で、道内 179 市町村防災担当部局（総務・危機管理）に対し、アンケートを実施した。アンケート実施期間は、2019 年 10 月～11 月、アンケートの回答率は 43.6%（回答いただいた市町村数：78）であった。以下、アンケート項目ごとに得られた主な結果を示す。

【対象としているハザード】

- ◆ 現在までに対応しているハザードは、洪水、土砂災害が最も多く、80%以上の市町村が対応している。次いで、地震・液状化、津波に対しては、各々50%、40%の市町村が対応している。噴火、雪崩を対象としている事例は少なく、各々14%、9%の市町村が対応している程度である。その他のハザードとしては、大雪、雪害、暴風雪、風害、竜巻、雷、火災などがある。

【ハザードの設定方法】

- ◆ 地震・液状化ハザード、津波、洪水、土砂災害、雪崩の設定方法は、国・都道府県の設定方法による事例あるいはそれに準拠している事例が多い。地震・液状化ハザードのそのほかの設定方法として、耐震改修計画に基づく調査結果を用いている事例もある。噴火の影響範囲については、シミュレーションによる設定方法が多い。

【ハザードマップにおける異種ハザードの影響範囲の重なり】

- ◆ 異なるハザードを想定している市町村は 67%である。異なるハザードの関連性を考慮して対応している市町村は 57%である。
- ◆ 同じ地区で洪水と土砂災害のハザードが重なっている事例を持つ市町村は 62%と最も多く、次いで地震・液状化ハザードと土砂災害ハザードの重複箇所が 23%と多い。地震・液状化ハザードと洪水（融雪出水を含む）の重複箇所が 17%とそれに次ぐ結果である。津波ハザードと土砂災害ハザードは 14%、津波ハザードと洪水ハザードは 8%、噴火ハザードと土砂災害ハザードは 6%、噴火ハザードと洪水ハザード、噴火ハザードと雪崩ハザード、噴火ハザードと津波ハザードは各々2%である。

【ハザードマップに盛り込まれている情報】

- ◆ 地震・液状化ハザード、津波ハザードマップにはいろいろな情報が含まれている。
 - ・ 地震・液状化ハザード：想定震源位置、地震動予測図、一般的な地震発生メカニズム、建物被害率、通行を確保すべき道路、ゆれやすさ、非常持出品

- ・ 津波ハザード：安否確認方法、緊急連絡先、避難経路、情報伝達経路、広域避難情報収集・伝達システムの整備、発災時被害全体の把握手法、警戒避難手法、広域避難場所・避難ルート選定手法、住民への減災教育や合意形成手法、災害担当者人材育成手法
- ◆ 洪水、土砂災害、雪崩ハザード、噴火ハザードは、現象の到達時間や被害想定などの情報がハザードマップに盛り込まれていない事例が多い。

【ハザードマップの課題】

- ◆ 個別のハザードは対象となっているが、広域複合災害は対象とされていない。
- ◆ 異種ハザードが重なる区域での対策が明確でない(例えば、洪水氾濫と土砂災害、津波氾濫と土砂災害など)
- ◆ 季節(融雪期、豪雨・台風期、積雪期)によって異なる異種ハザード発生シナリオを想定していない。
- ◆ 異種ハザードによる被害(経済被害も含めて)の拡大シナリオとその評価手法が確立していない。
- ◆ 現象の発生確率、危険区域、ハザードの到達時間、家屋等(多様な避難所)の被害度、人的被害程度、経済損失等の情報が十分記載されていない場合が多い。ハザードの種類によって、盛り込まれている情報の種類や程度に差がある。
- ◆ 多様な避難路、避難所(在宅避難もふくめて)の危険度・安全度の評価手法が確立していない。
- ◆ 経済被害の拡大を予測する手法が確立していない。

【広域複合災害に対応するための地域防災計画における行政の課題】

以下の事項を課題とする市町村は50%以上と高くなった。「発災時被害全体の把握手法」が70%以上と最も高く、続いて「緊急・応急対策の優先度決定手法」、「広域避難場所・避難ルート選定手法」、「住民への減災教育や合意形成手法」、「災害担当者人材育成手法」が40%以上と高かった。

- ・ 広域避難のための情報収集,伝達システム
- ・ 発災時の迅速な被害全体像の把握手法
- ・ 緊急・応急対策の優先度決定手法
- ・ 警戒避難手法
- ・ 広域避難のための避難場所や避難ルートの選定手法
- ・ 住民への広域複合災害減災教育の方法や住民との合意形成手法
- ・ 適確な災害医療のための情報提供手法
- ・ 行政の災害担当者の人材育成手法

【災害情報システム整備】

- ◆ これまでに広域複合災害を経験した自治体では、危険箇所情報、避難施設、気象情報といったコンテンツへの要望が高い。機能的にはタイムライン、情報一括管理機能への期待が特に多い。広域複合災害を経験した自治体の 40%、未経験の 30%が災害情報システム導入の意思を有している。

【道内市町村が広域複合災害を効果的に減災するための課題】

アンケートの結果から、道内市町村が広域複合災害を効果的に減災するための課題として、以下の事項が重要と考えられる。

- ① ハザードマップ作成手法
- ② リスク（ハザードの発生頻度×被害程度）の評価手法
- ③ 広域避難のための情報収集システム（例えば、地理情報や災害情報、災害リスク情報等の防災情報が示される「災害情報システム」の整備）
- ④ 発災時の迅速な被害全体像の把握手法
- ⑤ 緊急・応急対策の優先度決定手法
- ⑥ 警戒避難手法（例えば、吹雪時のように外部への避難が危険となる場合を想定）
- ⑦ 広域避難のための避難場所や避難ルートの選定手法
- ⑧ 住民への広域複合災害減災教育の方法や住民との合意形成手法
- ⑨ 的確な災害医療のための情報提供手法
- ⑩ 復旧・復興計画の策定手法
- ⑪ 行政の災害担当者の人材育成手法

地方公共団体（市町村自治体）は、防災基本計画に基づき従来からの個別ハザードごとの災害予測図（ハザードマップ）を基に災害対策計画を立案しているところがほとんどであり、広域複合災害を地域防災計画の中に明示している地方公共団体はいまだに少ない現状にある。また、こうした課題の中で、広域複合災害に対応できる解決手法が科学技術的にも十分に確立されていないものもある。

これらの課題解決のためには、行政による『広域複合災害』に対する地域防災計画の策定、具体的実施には、大学を中核とする学術機関と民間機関が行政との強い連携のもとに、『積雪・寒冷地』『他地方にない広い面積』『島地』等の北海道特有の課題解決に向けた“知見の蓄積・体系化、技術の開発及び人材育成”を行うことが不可欠であると考えられる。

（文責：山田孝）

4.2 開催シンポジウムで提起された課題

当センターでは毎年度、産学官地域と連携し地域住民・関係機関に向けて広域複合災害に関する研究紹介・減災への提言を専門家から発信するシンポジウムを主催してきている。地域住民に理解を深めてもらうことを主目的とはしているが、講演やパネルディスカッションを通して専門家から広域複合災害対策に関する課題も数多く指摘されてきた。ここに振り返り、次期センター活動取組指針としたい。

(1) 2020 年 11 月 24 日 北海道大学学術交流会館（オンライン開催）

主題：海溝型地震による広域複合災害の想定と効果的な減災対策・避難を考える

（谷岡）津波について

- ・ 海溝型地震に伴う津波浸水想定解説の後、冬季には津波で流水が押し寄せ被害拡大の事例があった。
- ・ 河川を数 10km 遡上することもあるので内陸奥地においても対策の必要性を強調。

（岡田）自助・共助・公助について

- ・ 釧路市を事例とし、地震と津波を個別評価する従来のリスク評価と地震動による住居内閉じ込めに津波襲来を考慮する複合災害型リスク評価を比較し死者数に 2 倍のリスク差が生じる。それに対する短期的対策としての自助（家具転倒防止）・共助（閉じ込め者救助）、中期的対策としての公助（避難ビル建設）の効果をシミュレーション、より根本的な長期的対策としての公助（土地利用計画・集落移転・まちづくり計画）に言及。
- ・ 災害時の医療対応の現状における限界をシミュレーションし、札幌圏での医療体制の不備を指摘。
- ・ それぞれのシミュレーションを通し自助・共助・公助の役割分担の重要性を示すと同時にそれぞれの限界を理解し、対策のバージョンアップを図る重要性を指摘。

（厚井）地震に伴う土砂移動について

- ・ 降雨に起因する土砂移動と地震に起因する土砂移動の事例比較を行い、移動距離等の災害規模において、被災影響日数において、またより長期にわたる影響年数に至っては 1923 年関東地震による土石流の影響と思われる崩落形態が未だに残っているなど、地震起因の土砂移動の激甚さが顕著である。
- ・ 降雨の後の地震発生においては斜面崩壊規模の上限が外れ複合災害的土砂移動被害の広域化及び傾斜 30° 未満の緩斜面での崩壊可能性も否定できず、従来評価の急傾斜地危険地域に指定されていない場所も対象となってくるため事前対策に繋がる崩壊予測が極めて難しいことを指摘。
- ・ 貯水ダムの堆砂異常による洪水や河道閉塞による居住地域からの離散問題など都市計画に関わる課題も指摘している。

（桂）地震に伴う雪崩現象について

- ・ 豪雪地域における積雪期・融雪期における雪崩現象について解説。これは地震発生に伴

う複合災害現象のひとつであり、雪崩到達地域判定基準として斜面勾配 15° 以上、斜面高さ 10m 以上、頂上からの斜面見通し角 18° の範囲に人家 5 戸以上あるいは重要公共建物がある箇所を挙げ、北海道には 2536 箇所存在していると指摘している。

- ・ 大規模地震による雪崩発生の有無をモーメントマグニチュードと震央距離の関係から考察し、日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震発生を例とすると、震央距離 300km 程度までは雪崩発生の危険性があると注意喚起している。

(石井) 地震の経済被害について

- ・ 地震の経済被害についてマクロ経済学から解説し、東日本大震災の場合は復興に時間を要したため震後 5 年を経過し地域の居住者人口は仙台市を除き 8% 減少し戻っていない。生活復興を如何に早く戻すかが重要であると指摘している。

(橋本) 災害対策への GIS 活用

- ・ 地理情報システム (GIS) を使い、社会情報 (人口) と災害情報 (津波浸水域等) を地理的にミクロも重ね合わせ可視化することで、小地区レベルでの課題と対策が理解できることを事例を以て解説。避難速度に与える積雪期の路面状態の影響は大きく、避難渋滞が発生する箇所が冬季と夏季では異なること、津波と土砂災害が同時発生した場合、避難者が土砂発生を知らずに通常ルートの変更を余儀なくされ津波に巻き込まれるケースがシミュレーションされたこと等から、避難場所とルートを知っているのみでは避難は十分ではなく、状況にあった逃げ方を知ることの重要性を指摘している。
- ・ 警戒警報などはエリアが広く誰に向けての情報なのかが分かり難い。より地域を絞った情報発信が重要。

(草薙) 冬季の避難所運営について

- ・ 避難所運営ゲーム (HUG) を実践し、HUG を通して住民が避難所の実態を理解してもらえること、地域の環境に合わせた HUG を準備する重要性を指摘している。

(根本) 厳冬期における災害時の健康

- ・ 地震 + 冬季 + 感染症は複合災害を甚大化させるが、現在、それらを想定した避難所訓練はできていない。訓練していない対策は実行できない。
- ・ 厳冬期における避難所生活に感染症蔓延化のおそれが複合した際の注意点について、避難所での TKB+W 対策 (トイレ、キッチン、ベッド + 暖房対策) が必須なことに加え、分散避難 (在宅避難 (但し、住宅倒壊のおそれに対しては自己責任)、青空避難 (車中避難)、縁故避難 (親類宅への避難)) の勧めを説いている。
- ・ 我慢・根性・辛抱を強いる避難生活は健康を害する。避難所環境の劣化が健康被害に直結するので、できるだけ早期に避難所を閉鎖し、仮設住宅への移転を強調。

(高橋) 国 (開発局) の取組

- ・ 北海道開発局の避難対策の取組として、国道 38 号線釧路新道を一部避難所及び避難ルートに活用すべく道路への避難階段の整備を紹介。
- ・ 発災時には広域からの支援が届くべく高規格道路の早期道路啓開を計画している。

(頼富) 災害情報について

- ・ 災害時には多くの機関から色々な情報が住民に届く。しかし自分に役立つ情報を選別することができない人が多い。より多くの住民に避難してもらうには、放送局として行政と協力し地域に必要な情報を落とし込むための努力を続けたい。
- ・ 発災時だけではなく、平常時に地域のリスクを解説するなど事前からの情報発信必要。

(2) 2021 年 9 月 9 日 北海道大学鈴木章ホール（オンライン開催）

主題：冬の北海道の広域複合災害

(丸谷) 災害対策は「無用の用」

- ・ 普段役に立つと思われない自然物、たとえば川上にある大きな石は下流の家の土砂直撃を防ぎ、海岸砂丘は砂丘後背への津波浸水を遅らせている。
- ・ 白糠町における治山事業実験：無駄とされる土捨て場に津波対策の海岸砂丘をつくった。
- ・ 富良野川にスクリーンダム（すのこ状のダム）を建設し、川の流れのエネルギーを小さくした。

(稲津) 気候変動下における北海道の豪雪事情

- ・ 太平洋側の市町村は低気圧が北海道南岸を通過するときに豪雪。
- ・ 日本海側内陸の市町村は西高東低の気圧配置で西北西の風が吹くときに豪雪。
- ・ 地球温暖化が進めば、太平洋側は豪雪解消。しかし日本海側内陸は 25～50%豪雪が増える可能性あり。
- ・ 気候変動で道内の雪質は変化する。重量の重いザラメ雪が増え、古い建物の崩壊危険度が高まるかもしれない。

(萩原) 道路交通災害について

- ・ 北海道胆振東部地震は夜間発生で、かつ東日本大震災からの教訓（発災時は自宅待機）が活かされ交通量は普段の 4 割減であったため、交通災害はほぼ発生しなかった。
- ・ 地震が日中発生であるなら帰宅困難者の多数発生が予想される。さらに暴風雪が重なる複合災害を想定するなら多くの車両が道路上で立ち往生。北海道は代替路が少ないため、現状では交通マヒとなり救助や復旧困難が想定される。
- ・ 気候変動で重たい雪が降ると、生活道路の除雪は追いつかなくなる。予測は可能なので早めの報道が効果的。

(桑島) 北海道開発局の豪雪対策について

- ・ 現状、豪雪時には大型車両の通行規制及び集中的除雪計画を準備している。
- ・ 豪雪が予測されるときには事前の通行止め注意喚起による広域的回り道の呼びかけを早期に実施。
- ・ 高齢化により除雪機の操作担当者不足も生じ始めている。遠隔操作・自動運転の技術開発も進めており、オペレータ不足に対応していきたい。

(野崎) 厳冬期の避難所について

- ・ 厳冬期の訓練を行っている。暖房・喚起に加え、毛布や使い捨てカイロの効果を実感している。
- ・ 指定避難所だけではなく、安全な宿泊施設の転用など状況に応じた対応を考えていきたい。

(井上) 胆振東部地震の際の報道について

- ・ 電話・メールの通信手段が使えない状況が続いた。紙媒体である新聞が威力を発揮した。避難所に新聞を届け、被災者からの感謝に勇気づけられた。
- ・ 地震後も継続的に被災者の経験や首長へのインタビューを掲載し、読者の防災意識を高める報道の役割をかみしめている。
- ・ 厳冬期の災害取材は移動にも時間を要し、新聞配送にも遅れが影響する。締切も早まる中で、冷静に情報の取捨選択を心がけたい。

(岡田) 積雪寒冷地域北海道が抱える課題

- ・ 北海道では冬・暴風雪時に避難すること自体が危険。在宅避難も選択肢。
- ・ 人口減少・少子高齢化の社会的要因も複合化する災害リスクを高めている。
- ・ 交通網拡充で人流・物流を活発化・地方活性化で都市一極集中を防ぐことが防災対策。
- ・ 高齢者の情報格差問題も挙げられる。防災意識を高めるためにも蓄積される情報が必要であり、新聞という紙による情報発信を続けていって欲しい。

(3) 2022 年 11 月 2 日 コーチャンフォー釧路文化ホール

主題：海溝型地震の被害想定と減災

(蝦名) 釧路市の取組で見えてきた課題

- ・ 避難タワーには国の予算が使えるが、避難タワーのみでは釧路市民 10 万人を収容することはできない。地区センターや老人福祉施設などを複合施設化し避難所利用できるように改修したいと思っているが、予算ルールでは複合施設は避難タワーではないので現状では措置できない。命を守るために同じ機能を持たせようとしているのにそれができないのは柔軟性がなさ過ぎるのでは。(※その後の国との折衝の結果、複合施設の避難ビル化に対し、改修費用の一部の助成が認められた。)
- ・ 気象庁の津波警報は特別警報と警報の 2 種類であるが、3m 以上の「巨大津波」と 3m 未満の「高い津波」という情報しか来ない。3.2m でも巨大津波としか情報が来ない。もっと細かな対応ができる情報が欲しい。(※後の PD で、谷岡氏から早期津波警報システムが紹介された。これは津波到来時間を早く算出するものではなく、津波高さを精度よく推定するものなので津波規模に関してはより細かい情報提供が期待できそう)。
- ・ 地震発生 48 時間過ぎないと公助は機能しない。それまでは自助・共助で頑張ってくれれば、それ以降は公助が頑張るので、そのことを住民に正しく伝えてほしい。住民への食糧供給にも限界がある。通常の物流（コンビニ等の備蓄量）では 10 万食（釧路全住民の 1 日分）が限界。大地震では 10 日分の備蓄が必要と言われているが、100 万食を市が備

蓄するのは難しい。自助・共助が必要だ。

(岡田) 日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震被害想定概要説明

- ・ 行政視点から見た被害想定活用には短期的視点（想定結果による現行対策チェック）・中期的視点（逃げるための対策）・長期的視点（まちづくりによる逃げない対策）がある。それぞれの重要性を理解してほしい。

(谷岡) 釧路市で想定されている津波浸水

- ・ 津波浸水域については津波堆積物観測により確認可能であるが、ひとつ前の津波発生の時期特定が難しいので発生確率については算定が難しい。

(橋本) GIS で考える津波避難

- ・ 災害の状況を現地で再現すること、これを「災害の現地化」と呼ぶ。防災の学習効果が高い。
- ・ 集団で避難すると危険である。避難は個人それぞれで分散する「分散避難」を勧めたい。
- ・ Competency とは何を知っているかではなく、何ができるかの能力のことを言う。防災には Competency が重要。

(山口) 海溝地震における土砂災害への対応

- ・ 当該地震の被害想定では土砂災害については急傾斜地崩壊（崖崩れ）のみである。地震による土砂災害の大きな特徴は無降雨でも発生し、地震による斜面の緩みの可能性より通常よりも低い降雨レベルで発生する危険性が高いことであり、想定外の箇所でも土砂災害の可能性があることを指摘し、これまでの海溝型地震による調査結果を踏まえ、震源距離と地形・地質の特徴を考察し、北海道については北部を除きほぼ全域が斜面崩壊発生危険地域であることを示した。

(根本) 寒冷期災害における命を護り健康を保つための課題

- ・ 北海道は1年の半分（11月～4月）が冬季であるが、低体温症は気温15℃以下で発症するので年間を通して危険性はあることを認識すべきである。
- ・ 低体温症で中等症以上の状態になった場合、血液を温める必要上ICUのある病院搬送が必要となる。病院は電源が確保されていれば医療停止とはならないので、電源の確保が極めて重要な対策となる。

(草薙) 冬季を想定した避難と避難所運営（DIGとHUGの活用）

- ・ 冬季の避難の難しさ克服のために疑似体験（DIG）と人材育成（HUG）の活用を訴えている。

(田村) 防災・減災のためのインフラ整備と応急対策

- ・ 開発局の取組とTEC-FORCEが保有する対策用資機材を紹介し市町村の活用を呼びかけている。
- ・ 主なハード対策としては、津波浸水を回避する高盛土の高規格道路など道路基盤の整備や、河川樋門等の自動化・遠隔化、海岸防災林の整備などを進めている。
- ・ ソフト対策では、防災拠点の整備や、道の駅の防災拠点化、道路啓開計画や港湾BCPの

確実な実行に向けた関係機関との連携を進めている。

(大西) 道民みんなで取り組む災害に強い北海道

- ・ 被害想定に対する今後の道の取組と防災教育情報発信サイト・YouTube 動画配信・防災教育 Facebook の紹介をした。

(伊藤) 巨大地震における情報収集と伝達の課題

- ・ 科学情報とは別に報道を通して伝えることができる災害情報は、災害時の人の動きや考えを伝え続けていく姿勢が重要であることを語った。

パネルディスカッションの記録を以下に示す。

■話題提供に対する感想

岡田：まずパネラーの方々から感想を伺いたい。

谷岡：色々な対策が紹介され、理解が深まったことと思う。長期的視野からの対策の重要性が明確に示されたと思うが、施策を実行するには色々な困難さがあると思う。

橋本：これまで防災教育はいつ・誰が・どこで・どういう風に行うのかが不明確であったが、高校における地理総合の義務化に伴い、国民全員が防災を知る体制が整ったといえる。

フロアからの質問(Q)：高校の地理総合義務化に向け、教材の現地化を促進するために大学や行政・国ができることはなにか？

橋本(A)：国交省の提供資料に「重ねるハザードマップ」がある。これらを活用すること、どのような資料が欲しいと言うことを担当課に尋ねて欲しい。

岡田(A)：そして行政が持っている災害情報などを教材に利用できるように公開して頂くことでしょうか。

山口：地域の方々に避難して頂くことが重要。そのためには地域が抱えている問題の掘り下げであり、現場に出て何が起こっているかを知ることであろう。

根本：被害想定は一人ひとりに何ができるか、考えるきっかけを与えてくれる。我々ができそうなことも見えてきた。地理総合の義務化により防災が日本国民の常識化に繋がる期待もある反面、その機会を与えられてこなかった人たちに学ぶ機会を作る必要性を感じる。

草苅：自分は大地震には襲われないという根拠のない自信を見せる人もいるが、科学的根拠をもって発生の可能性が示されたと思う。日頃からの防災の重要性を伝えていきたい。

田村：最大津波が注目されるが、これは1000年に一度の話。それだけを主眼とするのではなく、より小さな津波にも全力で立ち向かう大切さを学んだ。

岡田：今の指摘はL1津波対策も重要だということだが、北海道が想定しているのは内陸直下地震もある。それらも忘れてはいけないという指摘だったと思う。

大西：今日の数々の指摘を道の防災対策に位置づけていきたいと思う。防災教育の次のステージを考えていきたい。

伊藤：専門的な面白い話を一般の方々にいかに分かりやすく伝えていくか、その必要性を強く感じた。

■ハード対策について

(1)特措法について

岡田(Q)：本年 9 月末に国から「日本海溝・千島海溝沿いの地震に対する特別措置法（特措法）の改正と特別強化地域指定」が発表されたが、指定の意義とどのような対策オプションが考えられるのか？

大西(A)：特定の地震（日本海溝・千島海溝地震）に対する津波災害への対策強化地域の指定であり、指定された市町村自治体に対しては南海トラフ地震と同等の対策支援が国から得られるというもの。具体的には避難施設（避難路、避難ビル、避難タワー等）の整備にかかる国の予算措置が、1/2 から 2/3 にかさ上げされるというもの。

岡田(Q)：指定市町村に対して、開発局はどのような支援を想定しているのか？

田村(A)：避難施設の整備において補助率がかさ上げされるためには、市町村は緊急事業計画というものを策定しなければならない。市町村の技術力やノウハウの違いにより、策定期間などに極端な差が出ないように避難施設の考え方や構造に関する技術的助言などを、道庁等の機関と連携し行っていく予定。

岡田(Q)：蝦名市長からの基調講演で「事業予算の使い方にはルールがあるが地域特有の課題（たとえば複合施設を避難ビルとして活用したいが、事業費運用では避難ビルとしての扱いはできない、等）もあるので柔軟な事業費活用を要望する」という発言があったが、どう考えたらよいか？

田村(A)：地域からの要望が制度を組み立てていく事もあるので、地域として必要な整備について要望していくことも必要ではないか。

(2)ハード対策の内容について

岡田(Q)：特措法では津波対策がメインに考えられているが、千島海溝地震では複合災害なども懸念される。ハード対策をもう一步進めるより効果的なハード対策のあり方はどのように考えていくべきか？

山口(A)：何を護らなければいけないのかをまず考えてハード対策を検討すべきと思う。緊急的輸送道路や保全対策への配慮も重要。

岡田(Q)：道路整備の重要性に加え、道内外からの人流・物流移動手段としての小型航空機（コピューター）・ヘリコプターの空路対策は復旧時はもちろん北海道の経済活性化・地方創成にも重要と考えるが？

田村(A)：既存の空港、港湾の耐震・老朽化対策も重要と考える。

岡田(Q)：予算措置が問題となるが、特措法と強靱化加速化対策の関係は？

田村(A)：直接的には関係はない。特措法は対象とする地震に対し、総合的に対策をしていくというもので、加速化対策は(防災減災・国土強靱化に向けた)インフラ等の整備(を加速させるため)に必要な令和 3～7 年度の予算の確保を主眼においたものである。ただし、千島海溝地震対策の避難施設の整備に加速化対策として措置された予算を充てることも可能であろう。

岡田：防災インフラ整備という事業に対して加速化対策の予算措置の検討可能は市町村にと

り朗報。市町村は地域の事情に配慮して独自の対策立案をする立場ではあるが、一方で、国や北海道を向いて対策を考えていかねばならないという立場でもあるので、国・道は市町村とのコミュニケーションを密にして進めていって頂きたい。

(3)北海道の支援について

岡田(Q):市町村に対して北海道ができるハード支援は？

大西(A):L1 津波に対しては設計津波水位よりも低い箇所3カ所(浜中町、豊頃町、標津町)について堤防のかさ上げを実施し、今年度2カ所(根室市、浜中町)の追加決定。L2 津波に対しては特別強化指定地域について、緊急事業計画の策定に対しその内容・財政負担額を把握し道としての支援を検討していきたい。

■ソフト対策について

(1)津波避難の問題点と対策

岡田(Q):L2 津波に対して避難の際に問題になる点とその対策は？

橋本(A):特別強化に指定されている市町村は通常から避難訓練をしっかりやっている。しかしその避難訓練を疑うことから始めてもらいたい。避難が間に合うのか、避難ビルの避難階までたどり着けるのかなど。自治体ごとにより避難の特徴が異なるので、行政は関連諸情報を提供し考える機会を作ることが重要。

岡田:防災教育等において行政や関係者は、被害想定も様々な条件が重なり合っただけの結果であることを住民に周知することが重要。

(2)津波監視システムについて

岡田(Q):避難開始を早める方法として津波避難情報の早期発出が考えられるが、そのための津波監視システムについての最近の研究を紹介して欲しい。

谷岡(A):国は150点のケーブル式の津波監視点(地震計と津波計)を日本海溝・千島海溝沿いの地震を対象に実現している(S-NET)。気象庁が持つその情報解析能力を技術面で北海道大学が支援している。予測された津波波源に基づく既往の予測法ではなく、台風の進路予測のように観測データを使って津波予測(データ同化方式)を試みている。警報の発出時間は変わらないと思うが、指定地点ごとに津波高さの予測精度の格段の向上が期待できる。

岡田:蝦名市長の指摘にあった「現状の気象庁からの津波避難警戒レベルは3mを越える(大津波警報)か、それ以下(津波警報)の2段階しかないので、津波高さに応じたとるべき行動の判断が十分にできない。行政・住民にとってもっと使いやすいものにならないか」という要望に、将来的に答えるものになりそう。

(2)避難訓練について

岡田(Q):避難に関する訓練(DIG/HUG)はどこが主体となって行っているのか？

草薙(A):避難場所は普通、市町村保有の施設なので、市町村と連携で行うのが理想である。

岡田(Q):訓練にはそれを主導する人(ファシリテーター)が必要だが、そのスキルアップをする仕組みはあるのか？

草苅(A)：一度 DIG/HUG を経験してもらえれば、自分なりに工夫が可能。

岡田(Q)：災害時には訓練マニュアルにない予測外のアクシデントが発生する。DIG/HUG を経験することでそれらアクシデントにも対応できるのか？なにか工夫する点があれば。

草苅(A)：DIG/HUG は避難の条件を色々変えることが可能なので、それを通じてアクシデントに対応できる準備を整えてもらいたい。低体温症への対応も DIG/HUG に加えてもらえればいいのではないか。

岡田(Q)：GIS を使った避難訓練の効果（経験のない災害のイメージ化など）について補足を。

橋本(A)：防災リテラシーは GIS リテラシーである。地図が読めるようになることで安全な場所を考えることができるようになるなど重要である。谷岡先生の話にあった即時予報システムの情報を瞬時に GIS に反映させることもできるので、将来への期待も大きい。

(3)低体温症・医療体制について

岡田(Q)：低体温症への具体的対策は？

根本(A)：衣食住の確保である。L2 地震は住環境整備が難しくなるので、その環境下で対応する人のレベルアップが不可欠。その際、保健医療福祉という概念が重要。普段の生活の中でも低体温症者の医療施設搬送は間々ある。食事が摂取できなくなることで低体温症は発症する。それだけ身近な症状であるし、保健医療福祉の対応が重要であることを理解してもらいたい。

岡田(Q)：発災直後は救急車による医療施設搬送が不可能な場合が出てくる。負傷者は臨時に設置される応急救護所に搬送しなければならないが、現状の準備状況は？

根本(A)：停電が発生したら現地の医療は動かなくなることを大前提とすべきである。そのときは他地域からの医療支援に頼らざるを得ないが、その受援力は保健福祉部が握っている。行政の発災直後対応組織の中に保健福祉部を入れてもらいたい。そして部署横断的訓練が必要。さらに自治体の枠組みを超えた訓練も必要。そこに保健福祉部を加えてもらいたい。

岡田：現在、被害想定を承けて減災目標とそのための対策を、道減災WGで協議中である。そこで検討をお願いしたい。

■情報について

(1)正確な情報発信をするには

岡田(Q)：情報を流すプロの立場から、市町村が市民に情報を正しく伝える上で配慮・工夫すべき点があればコメントを。

伊藤(A)：複数の情報源を持つことが重要と考える。防災無線、防災ラジオ、SNS、個別登録による電話対応、戸別訪問など。住民は知らないことで不安になる。防災教育への参加率を上げる工夫も必要。また正確な危険度の認識が重要であり、そのときに伝える「言葉の選択」も重要と考える。

■最後に

岡田：大きな災害発生時には自助・共助にも限界がある。真に重要なのは大きな災害にさせない事前の予防策にあることを再確認したい。そのためには公助の必要性をもっと訴えてもよいのでは。一市町村の力のみでは無理。国・道からの人材支援・経済支援を重ねてお願いしたい。

基調講演において、災害による死者ゼロを目指すなら、安全な土地への集落移転を長期的対策の選択肢の一つとして忘れないで欲しいとの提案をしたが、L2 災害は津波であるなら数千年に一度、内陸地震であるなら数万年に一度の確率を想定してハザードマップは作られている。なぜ安全なまちづくりが数 100 年のタイムスパンで考えられないのか。現世代では無理でも次世代への誇るべき遺産として我が町を将来の子供たちへ受け渡したいものだ。次世代に何を残すか。防災に限らず、これが「現世代の我々に問いかけられている課題」なのだと思う。

防災対策はどうあったらよいのかを、受け身で待つのではなく、自らが考え・動くことで知恵も生まれてくる。オールジャパン、すなわち産官学に報道と住民も加え、全員が自分事として自発的に日本海溝・千島海溝沿いの巨大地震に取り組んでいって頂きたい。

(1) ～ (3) の各シンポジウムの出席者は以下のとおりである。なお、所属等は当時のものである（五十音順）。

石井吉春：北海道大学公共政策大学院（経済）

稲津 将：北海道大学理学研究院（気象）

井上雄太：読売新聞北海道支社

蝦名大也：釧路市長

大西章文：北海道総務部危機対策課

岡田成幸：北海道大学広域複合災害研究センター（地震防災計画）

桂 真也：北海道大学農学研究院（砂防）

草薙敏夫：釧路工業高等専門学校（建築構造・地域防災）

桑島正樹：北海道開発局事業振興部

厚井高志：北海道大学広域複合災害研究センター（砂防）

高橋丞二：北海道開発局事業振興部

谷岡勇市郎：北海道大学理学研究院（津波）

田村桂一：北海道開発局事業振興部

根本昌宏：日本赤十字北海道看護大学（寒冷地避難）

野崎直人：北海道総務部危機対策局

萩原亨：北海道大学工学研究院（交通工学）

橋本雄一：北海道大学文学研究院（地理情報システム）

山口真司：北海道大学広域複合災害研究センター（地域防災・マネジメント）

頼富重人：NHK 釧路放送局

（文責：岡田成幸）

5. 広域複合災害の減災への基本的考え方

前章（４．広域複合災害の減災の課題）では、道内市町村アンケート及び当センターが毎年開催してきたシンポジウムを通じ、災害対策についての取り組みは進んできているものの、広域複合災害としての取り組みとしてはそれほど進んでいないことが把握できる。そこで、本章では、広域複合災害の減災への基本的な考え方について概説し、実施にあたっての留意点について述べる。

5.1 広域複合災害対策における基本的な考え方

１章で示したように、広域複合災害のキーワードは、災害の『複合化』『連鎖化』『広域化』『長期化』であることから、広域複合災害対策の基本的考え方は、個別災害への取り組みを基本とし、個別災害対策のいくつかを同時に、あるいは時間差で輻輳して実施するものであり、各々取り組む内容が大きく変わるものではない。異なるのは、個別対策では、その地域にある人材や資機材等のリソース（以下、「リソース」と記す）を用いて迅速な復旧・復興を進める計画としてあるのに対し、広域複合災害では、その地域のリソースを、被害状況に応じて複数対策として分散投入を行い、複数対策のマネジメントを行うことである。したがって、その地域のリソースだけでは十分な対応を行うことが困難になることは容易に予想され、被災状況や復旧進捗に応じた追加判断のマネジメントを視野に入れた全体マネジメントが必要となる。ここで言う複数対策とは、

- ① 自分たちの自治体だけでの被災対応だけではなく、圏内の近隣自治体も被災対応を含め、圏域としての復旧・復興を進めるもの
- ② 先に発生した災害に対する復旧・復興が進められている中、新たに発生した災害を加えた復旧・復興を進めるもの

があげられる。例えば、大規模地震による災害は、現象によっては都道府県内の複数の市町村のみならず複数の都道府県に被害を及ぼし、また、積雪期に地震が発生すれば、その後の融雪期や台風期において新たな水害や土砂災害により、一層復旧・復興に時間を要する代表的な広域複合災害と言える。

復旧・復興においては、発災直後での生命保全の優先は言うまでもないが、一日も早い地域の復旧・復興には、地域の社会経済活動の回復も重要であるため、状況を見ながら復旧・復興段階を変えていくことが重要である。そこで、この復旧・復興段階を時系列に４段階に区分した災害マネジメントサイクルに沿った対応を進め、国土強靱化計画で示されている基本的な考え方と同様に『人命＋社会経済の被害最小化』を目指した対策としていくことが重要である。

このように、地域の限られたリソースを、被害状況の程度を考慮しつつ、地域全体の早期復旧・復興に向けて効率かつ効果的な分配を行い、進捗状況に応じたマネジメントを進めていくことが対策の内容であり、そのためには、地域全体で連携し対応できる仕組みを構築し、その地域で補えない部分は、被災していない他の近隣地域からの支援で補完することを含

めた対応が、基本的な考え方である。

5.2 具体的な広域複合災害対策の立案

当該地域における具体的な広域複合災害対策を検討する場合には、まず、その地域でどのような個別災害が発生するかを確認し、どのような個別災害が輻輳して発生すればその地域に最悪な被害を生じさせるのか、を想定することから始まる。つまり、対象とする広域複合災害を決め、人的及び建物被害のみならず、地域経済への被害や社会インフラ被害の想定を行い、この被害想定を基に、復旧・復興対策の検討を行う。加えて、北海道では、積雪・融雪期が非常に長いため、こうした厳冬期での災害を検討する場合は、雪による影響を加味することが必要であり、また、避難においても避難路の積雪や凍結といった状況を考慮した計画とすることが必要になり、非積雪期と比べ災害対応に時間と労力を要することに留意する必要がある。言い換えると、非積雪期では降雨による洪水や土砂災害に留意する必要があり、積雪期と非積雪期では、想定する災害が異なることから、時期により異なる復旧・復興対策とする必要がある。

災害後の復旧・復興を進める考え方として、災害サイクルマネジメントがある。これは、災害発生後に、緊急事態に対する応急対応、被災の経験を踏まえた復旧・復興、次なる災害に向けた防止・減災に向けた被害抑止、災害対応への事前準備の改善を行う被害軽減の4段階で、これらを通じて地域全体の災害対応力を高めていく考え方である（図5.1）。

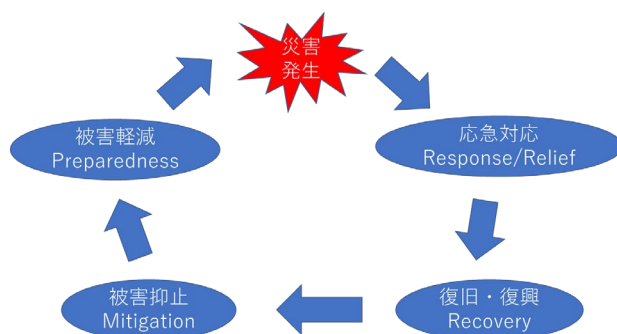


図 5.1 災害サイクルマネジメントのイメージ

【応急対応段階】

災害発生後にまず着手するのが、『応急対応』であり、被災状況の把握を通じた救急・救命活動や緊急・応急対策等の災害救助や緊急避難対応が主な内容となる。この段階では、どのように応急対応するのかを決めるため災害調査、人命被害や避難状況、建物被害、非常通信可否、アクセス可否、インフラ被害等の情報収集等が重要であり、初期対応を大きく左右することになる。また、これらの情報に基づき、警察、消防、医療関係等による救助活動を行うことから、関係機関との情報共有も重要である。したがって、仮にこうした情報が把握できない、入手できない場合は、その地域の情報集や発信機能が壊滅的な被害を受けてい

る可能性があることから、国や都道府県と連携しヘリ調査等による被害状況把握を積極的に行うことも考える必要がある。そして、アクセス道が被災しているが緊急性を要する場合は、救援や緊急物資の輸送確保を行うため、ヘリ輸送に加え道路啓開を合わせて行うことが必要である。

一方、広域的に発生する災害の場合、災害対策基本法に基づき当該被災市町村が全てこのオペレーションを行う。そのため、最悪の場合を想定し、その地域でのリソースで対応できない場合は、被災していない地域からの支援をどのように受けるのかをあらかじめ決めておき、万一の場合に備えた訓練等を行う等の受援体制の整備を日頃から行っておくことが必要である。

【復旧・復興段階】

この段階は、応急復旧段階の進捗や緊急災害調査分析をふまえ、どのような本格的な復旧・復興計画とするのかを検討するとともに、実際に復旧・復興を進めていく段階である。被災した地域住民にとっては、いつ頃までにどのような生活再建ができるのかが最大の関心事であることから、3年後や5年後までにどのような復旧・復興を進めるのかビジョンを示し、具体的な目標指標を示した復旧・復興計画を策定、公表することが多くなっている。実際の復旧・復興にあたっては、その進捗を把握し、目標指標に対してどのような段階であるのかを示すとともに、進捗が芳しくない場合には、その原因を分析し改善策を新たに示す等を行い、地域住民の復旧・復興へのモチベーションを保つ等を行うことが重要である。

また、この段階では、行政による復旧・復興を進めるだけでなく、地域住民同士や NPO 等の支援団体による生活再建支援に向けた地域復興活動への支援を行うことも、重要である。

【被害抑止段階】

この段階は、復旧・復興、今後の恒久的な災害対策に向けた防災・減災計画の検討及び策定を行い、災害経験を踏まえた従来の防災計画の見直しを行うとともに、策定した計画に沿って、具体的な防災・減災対策や防災・減災教育、自助・共助を中心とした地域防災に取り組む防災組織の設立や運営に取り組む段階である。計画の対象は行政機関によるものだけでなく、民間企業の BCP 等の作成や改善も対象とし、地域の将来に向けた『人命＋社会経済の被害最小化』対策を具体的に示し、取り組むことが必要である。

【被害軽減段階】

この段階は、前述の“被害抑止段階”での実施状況を、PDCA サイクルでの分析を通じて計画実施における課題の検討を行い、継続的な計画の実施と改善体制を構築していく段階である。したがって、一度計画を策定すればそれで終わりではなく、人口や産業構成といった社会構造の変化を踏まえた定期的な計画の見直しを図っていくことも必要であり、また、社会経済の変化に応じた広域的な関係機関の連携と支援の構築等、その時代に応じた適切な対応にアップデートしていくことが望まれる。

5.3 具体的な広域複合災害対策を進めていくために

優れた広域複合災害対策を立案しても、その計画を適切に実施しなければ防災・減災に繋がらないのは言うまでもない。また、自治体の災害対応部署全員が災害対応経験有りということとはほとんどなく、災害発生時に初めて実際の災害対応を経験することも少なくない。大規模な災害になるほど、災害対応部署だけの対応ではなく、所属組織全体で日常業務を行いつつ災害対応を行うことになり、復旧・復興期間が長くなるほど、人員の健康の観点からも、災害対応経験の有無に関わらず、災害対応に携わることとなる可能性が高い。したがって、自治体組織全体として災害対応を行うためには、策定した計画に基づいて現在どのような災害対応を行っているのか、今後どのような対応に移っていくのかといった災害対応状況を組織全体で共有し、対応人材がその時の目的を理解して対応できるマネジメントを計量可視化することが有効であると考えられる。そこで、災害発生直後から復興期に至るまで低下させることなく、地域事業継続計画（BCP）との連携を計ることにより、地域住民並びに地域産業活動の早期復旧に向けた効率的な運用を目的とした自治体ガバナンス継続計画 GCP（mutual protection Governance Continuity Plan）を併せて策定し、運用進捗管理を図っていくことが考えられる。

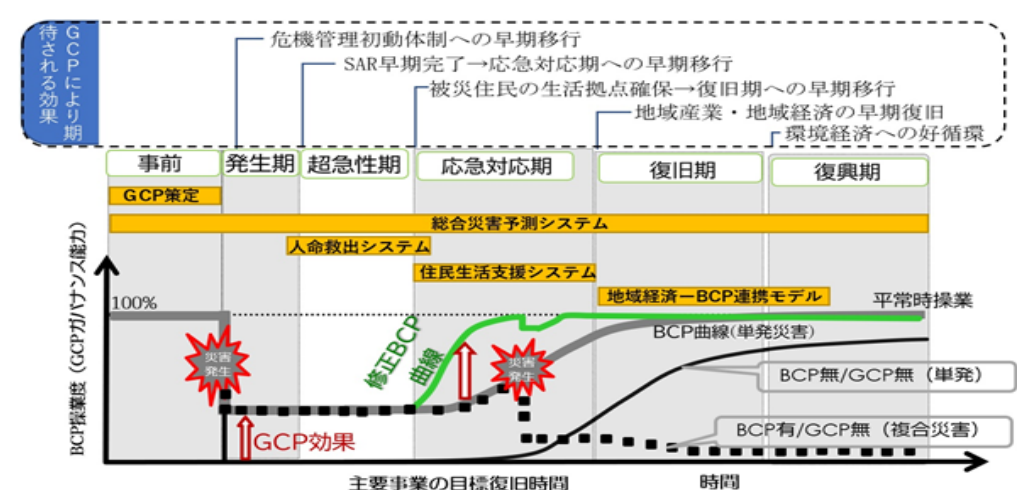


図 5.2 GCP によるガバナンス対応の可視化と効果のイメージ

また、こうした災害対応運用をおこなうためには、発生想定している災害事象やどのような被害が発生するのか、災害発生時に必要となる支援や災害サイクルマネジメントにおける各段階では何を行うべきか等についての基本的な知識を有していることで、円滑な運用を図られると考えられる。したがって、こうした基本的な知識を習得するための人材育成を併せて行うことが望ましい。この基本的な知識は、学術的側面のみならず、災害現場で実際に広く適用することが可能なことも必要であることから、こうした知識の習得にあたっては、大学を中核とする学術機関、民間機関、行政が連携してその地域における課題を共有し、DX 等を活用したリカレント教育として実施していくことで、その地域に応じた必要な知識

の習得を継続的に行うことが効果的であると考えられる。

(文責：山口真司)

6. 広域複合災害対策の方向性の提案

本章では、前章(「5. 広域複合災害の減災への基本的考え方」)に則り、市町村自治体が減災対策を考えるための方向性について提案する。広域複合災害対策は、各自治体が置かれた環境・条件等の地域実態を踏まえつつ立案する必要があるものの、我々は各市町村自治体に共通として検討して頂きたい不可避的対策軸があると考えている。ここではこれをあえて理念と称し、各自治体との議論を深めながら検討していきたいと思っている。以下の記載はそのための議論俎上の Version 1.0 である。各自治体担当各位はもちろんのこと、関係組織諸氏からの忌憚のないご意見を切に要望する次第である。

6.1 災害対策に関する法規準

地方公共団体は「国土強靱化基本法(平成 25 年 12 月法律第 95 号:以下『強靱化法』と略称)」を最上位規準とする防災体制の枠組みにおいて、災害に特化した上位基準に「災害対策基本法(昭和 36 年 11 月法律第 223 号:以下『基本法』と略称)」があり、そこに規定のとおり各自治体は「防災基本計画(昭和 36 年 11 月策定)」を作成指針とし、地域特性を加味して当該地域の「地域防災計画」及び各部署のマニュアルとしての「災害業務マニュアル」を準備しているが、対象としている災害はこれまでの地域の災害歴に基づき、風水害編・地震災害編・火山災害対策編など個別災害別に計画立案をしているところがほとんどである。今般問題視すべき「広域複合災害」について災害予測図(ハザードマップ・被害想定)を基に減災目標・対策にまで明示的に「地域防災計画」の中で計画しているところはほとんどない。本章で記載の減災の理念は、各自治体が地域防災計画の中に広域複合災害対策編を作成する場合の留意点を挙げたものである。平成 25 年改正の災害対策基本法には地域コミュニティによる共助による防災活動推進の観点から地区防災計画制度(平成 26 年 4 月施行)が新たに創設された。本稿では地区防災計画ガイドラインも視野に入れている。当然のことながら、地域防災計画の上位規準である強靱化法、基本法、防災基本計画に加え、大規模地震防災・減災対策大綱(平成 26 年 3 月策定)と当該地域に関わる日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震減災計画(令和 4 年 7 月策定)等に矛盾することのないよう検討を重ねたものである。なお検討に際し、米国連邦緊急事態管理庁(FEMA)のガイドライン(NIMS)を始めとし、諸外国の災害対策に記載の事項を本邦の行政組織に鑑みつつ参考とした。

6.2 災害対策の共通理念

基本法の第 1 章総則 第 1 条(目的)には以下の記述がある。

第一章 総則

(目的)

第一条 この法律は、国土並びに国民の生命、身体及び財産を災害から保護するため、防災に関し、基本理念を定め、国、地方公共団体及びその他の公共機関を通じて必要な体制を確立し、責任の所在を明確にするとともに、防災計画の作成、災害予防、災害応急対策、災害復旧及び防災に関する財政金融措置その他必要な災害対策の基本を定めることにより、総合的かつ計画的な防災行政の整備及び推進を図り、もって社会の秩序の維持と公共の福祉の確保に資することを目的とする。

ここから読み取るべきことは、ある目的達成のために多くの組織・部署が関わる場合、まず図るべきことは以下のことであろう。

- 役割分担・連携協力を確保すること(上記の「必要な体制を確立し、責任の所在を明確にする」に相当)であり、
- そのための行動指針(活動の方向性)を「基本理念」として共有すること(上記の「防災に関し、基本理念を定め」に相当)である。

基本的共通理念

基本理念は基本法第1章第2条の2(基本理念)に記載がある。まず災害一般について、その記載から国・都道府県・市町村に課せられた役割を以下に列举し、その優先順位を次に考えてみる。

- ① 事前の災害の発生を常に想定する(第2条の2第1項。以下「第2条の2」を省略)
- ② 災害が発生した場合における被害の最小化と迅速な回復(第1項)
- ③ 国・地方公共団体等の連携協力を確保し、住民の防災活動その他多様な防災活動を促進する(第2項)
- ④ 科学的知見及び過去からの教訓を踏まえ、絶えず対策の改善を図ること(第3項)
- ⑤ 災害発生時にはできる限りの確に災害の状況を把握し、それに基づき適切な資源配分により人命・身体を最優先し保護すること(第4項)
- ⑥ 被災者の諸事情を勘案し、その時期に応じ適切に被災者を援護すること(第5項)
- ⑦ 速やかに施設復旧及び被災者援護を図り、災害からの復興を図ること(第6項)

以上を総括し、優先順位を付すなら

1 人命救助:save lives (第4項)

2 二次災害(被害拡大)防止～状況の早期安定～:stabilize the incident (第1項)

3 財産と環境の保護:protect property and the environment (基本法第1条)

上記中の英語表記はFEMAガイドラインNIMSの冒頭に記載の「対策の基本理念」として守るべき対象であり、国を問わずその優先順位は共通と考えてよい。まずは人命を最優先し、次に被害を最小に押さえ、そして財産と環境を保護する。ここで言う財産と環境とは国民の財産及び生活環境を言うが、加えて公共の財産・環境(自然・文化等の社会的公共財いわゆるコモンズ)も含まれ、さらに保護とは被害の最小化に加え早急な復興も意図している(第6項)。そして被災者の諸事情(年齢、性別、国籍、障害の有無等々)の差別なくかつ諸事情に配慮し公正に扱われなければならない(第5項)。これらを守るための国を挙げての努力を調整するために、あらゆる組織と人員が関与し、資源共有(share hardware, software, and human ware)・戦術体制統合(integrate command ware)・協力的行動(act collaboratively)が推進運用されなければならない。そしてその前提として、同条第1項に記載のとおり、事前の災害想定を課している。ただし、広域複合災害を対象とする場合、事前の災害想定は困難なことが多いことに留意する必要がある(次節「6.3 広域複合災害対策の留意点」で詳述)。

6.3 広域複合災害対策の留意点

多くの地域防災計画の冒頭において、上記のような基本理念が謳われている。対象災害を「広域複合災害」とした場合も、共通の基本理念として上記3点を掲げることに異論はない。しかし留意しなければならないことがある。それは、本書の第1章「1. 広域災害とは」に示したとおり広域複合災害には一般の個別災害とは隔絶した特徴を有しており、それ故に個別災害対策の延長上に広域複合災害対策を位置づけることは不可能であり、もう一段深めた基本理念を共有する必要がある。

個別自然災害と広域複合災害への対応の大きな違いは以下の2点に集約される。

① 想定災害シナリオの予測不可能性

② 行政界・組織領域界を超えた影響の地域並びに時間拡大性

それに加えて以下の北海道の地域性から、当該地域の広域複合災害対策はより困難性が増す。

③ 冬季対応の難しさと要配慮者へのさらなる支援の必要性

④ 地域経済早期復旧の重要性

すなわち、複合災害は複数のハザードが突発的にかつ時間因果性を持たずに多重的に襲来するためハザード予測が極めて困難なことに加え、後発ハザード襲来時においては被害想定に必要な受け手の条件(Vulnerability)が平常時とは異なりすでに幾ばくかの被害を受けている状況にあり、さらに悪いことに被災地における住民の居場所・人数も前発ハザード襲来時の混乱下にあり平常状態ではない。しかもハザードの条件により大きく影響を受けるため、その把握が事前には不可能に近く、事前の被害想定は実態と大きくかけ離れる可能性が高いと言うことである。これが、広域複合災害の特徴「①想定災害シナリオの予測不可能性」をもたらす主要因であり、基本法第2条(基本理念)に記載の種々の対策を実行する上での前提(同条第1項)として課されている『「事前の災害の発生を常に想定する(事前被害想定)」が広域複合災害の場合は困難なことが多いことに留意する必要がある。』と「6.2 災害対策の共通理念」の最終パラグラフで記載した理由である。

■01 広域複合災害の特徴である「①予測不可能性」が対策にどう影響するか。被害の事前想定的重要性は言うまでもなく、たとえば対策の優先事項1「人命救助:save lives」には関連組織の通常業務体制から如何に早くて確かな緊急体制(ICS体制)に移行できるかが勝負となるが、通常の個別災害では事前被害想定に基づき初動対応レベル(たとえば職員動員レベル等)を意思決定することが可能となる。よって基本法では対策立案に際しての被害の事前想定を課しているわけであるが、複合災害の場合、最初のハザード(1次ハザード)襲来時には個別災害対応で起動したとしても、次なるハザード(2次ハザード以降)襲来においては「①ハザードの予測不可能性」が重畳しており、被害の規模・範囲が全く想定外となってしまう、当初の初動対応では対応不可能な状況となる可能性が高い。すなわち複合災害の場合、通常の事前被害想定は原理的に不可能である。複合災害が発生した場合は対応レベルが予測不可能の状況下で開始せざるを得なく、対策の意思決定には個別被害対応以上に被害のリアルタイム状況把握が重要となってくる。そのための体制準備(情報の収集→分析→伝達)はもちろんのこと、研究的側面からも状況把握実務に留まらずその後の意思決定をサポートする「リアルタイム被害想定手法の開発」が学術研究グループに求められる。

■02 また、広域複合災害の特徴として「②行政界・組織領域界を超えて災害が広域化し、そのことが被災の長期化を誘発」するため、対策の優先事項2「二次災害を防止し事態を安定化させる:

stabilize the incident」ためには、関係機関の資源と知恵を総動員し、効果的に運用させるための指揮権統合化が必要であり、個別災害対応とは比肩できない調整機能が担当部署に求められる。現状の各種支援（国家支援・自衛隊支援・全国自治体対口支援・姉妹都市提携支援・NPO 支援等）に加え、道内自治体対口支援も一考の余地があろう（対口支援⁵については■07 に後述）。

■03 さらに北海道特有の地域性「③積雪寒冷地域」という自然条件により被災者・避難者はより過酷な生活環境を強いられ関連死の可能性が極めて高いことに配慮する必要がある。被災者・避難者を一刻も早く被災地域外に移動し、かつ被災地域の復旧・復興により多くの資源投入が可能となるように広域避難を含む 2 次避難の事前計画と他市町村との広域連携協定が必要となる。

■04 それに加え、地域性「④地方都市の労働人口激減化加速等」の社会条件により、要支援者に対する支援者の比率が下がり対応がより難しくなること、そして対策の優先事項3「道民の財産と環境の保護」の観点より過疎の加速化を止める復旧要求がより高度になってくることが予想される。

以上を広域複合災害の行政対応上の問題点として認識し、それに対する組織運用を円滑にするための指針を基本理念として共有するため、以下の 8 点に落とし込み提案する。

基本理念1：予防－対応－復旧の時間軸対策の重視

■05 複合災害は広域において他種災害の同時多発を特徴とする。よってその影響は長期にわたることが予想され、基本法において一般災害への対応としてすでに重視されていることではあるが、広域複合災害においてはより一層の認識の下、可能な限りの社会活動の早期復旧に努力する必要がある。そのための被災レベルの低減に効果のある事前予防対策と対応－復旧期における早期回復を以下の点に配慮し計画する必要がある。

1) 事前予防期：

■06(防災のビルトイン)平時の社会活動全てにおいて「防災」の視点をビルトインすること。特に当該市町村内の各組織・部署間並びに他市町村間及び上位組織における各種連携協力体制を事前に協議し、明文化しておくことが強く望まれる（■07 ■16 ■17（地域連携支援：対口支援） ■08（代替機能準備） ■42 ■43（広域避難所設定）等の事前協議の必要性）。

■07(一方有難・八方支援)どこか一箇所で災害が発生すれば、四方八方から支援が届くという意味の中国の支援活動の合い言葉であり、そのための事前協定を準備すること。中華人民共和国（中国）ではこれに基づく対口支援活動が行われている。日本型対口支援（カウンターパート支援）は災害支援に限定しているが大規模災害において有効に働いている。支援自治体と受援自治体

⁵ 対口支援（たいこうしえん）とは、中国において 1970 年代から経済発展政策として採用されている支援策であり、中国では比較的経済発展の進んだ省や直轄市が、遅れた特定地域を一对一でパートナーとして支援する仕組みであり、4 種（災害支援、経済支援、医療支援、教育支援）がある。災害支援については、復旧から復興までの 3 年間支援を継続する。本邦においてもその有効性が確認されており、2011 年東日本大震災、2016 年熊本地震、2018 年胆振東部地震、2018 年西日本豪雨、2024 年能登半島地震等において、被災自治体に対して災害支援としての日本型対口支援（カウンターパート支援）が行われた。なお、対口とは中国語で“ペアを組む”という意味を持つ。

は原則一対一であるが、大規模災害の場合は総務省が調整係となり全国知事会や広域連合等に働きかけ支援規模が拡大する。対口支援については全国規模のカウンターパート提携に加え、大規模災害に至らずとも自治体支援の演習的意味合いも含め、道内自治体間におけるカウンターパート事前協定(道内対口支援協定)の積極的検討を提唱する(次項「4)発災直後対応期■16 ■17」においても関連記載)。

■08(代替機能の準備)発災時に組織・部署が被災し機能不全に陥ることがあってはならない。そのための代替機能を以下の5点から事前に検討しておくことが重要である。

- ① 必須機能同定:各部署において優先すべきエッセンシャル機能(必須機能)をあらかじめ同定しておくこと。部署が被害を受けて必須機能を維持できなくなったとき、各部署の機能不全と回復可能期を事前同定してある必須機能から評価し、上に報告すること。機能不全時には代替拠点への権利委譲が発生する重要事項である。
- ② 代替拠点指定:主要拠点が機能不全に陥った場合の代替場所として、できれば以下の3種類をあらかじめ指定しておく。(ア)Hot site(直ちに運用引き継ぎが可能な機能の完全バックアップがなされている場所)、(イ)Warm site(最小限許容されるインフラが配置され、12時間以内に運用が可能な場所)、(ウ)Cold site(スタッフが配置されておらず日常的には稼働していない施設。在宅勤務も選択肢のひとつ)。主要拠点・代替拠点共に、会議・業務執行等に支障のない十分なスペースを確保できること。
- ③ 代替要員指名:代替拠点への機能移転等の緊急事態に対応できる人的資源として、責任能力を果たす指導的人材・補佐要員等をあらかじめ指名しておく。代替要員が必要な際には計画と手順に従い動員をかける。その計画には行政サービスの維持、要員への説明責任、支援サービスを維持するための手順が含まれている。
- ④ 権限委譲の明確化:権限委任の計画手順を準備しておく必要がある。権限委任の状況が発動した場合、12時間以内に必要不可欠な機能の実行能力を備え、最低30日間、通常運用が再開されるまで運用を維持する(文中の時間指定はFEMAによる)。
- ⑤ 平常復帰計画:これまでの記録の保管等を含み、動員要員を元の場所に復帰させるための計画についても準備すること。

2) 第一次災害発生期(災害初動対応期):

■09(対応の目的)その後の対策が後手に回らぬよう、通常業務体制から危機管理初動体制(ICS体制:被災地首長には常にICS専属スタッフが帯同)に早期移行することが求められる。たとえば、市町村首長の緊急的意思決定(避難勧告等の発令)を円滑迅速に行えるように関連情報の解説・見通し等を専門家から助言する仕組み(豪雨災害に対する河川管理者とのホットライン開設等)をあらゆる災害に対して整備し、平時からの運用を定着させる(基本理念4■33に関連記述)。市町村自治体にあっては、たとえば以下のような首長直轄の専属スタッフを災害対策本部体制に組み入れ、発災時には首長に常に帯同し、首長の意思決定をサポートする仕組みとすることを提言する。専属スタッフは以下の4機能を掌握できる複数名(4名以上)とする。

- ① 情報参謀担当:首長が的確な意思決定ができるように気象庁等からの情報を含む各種情報の解説・分析・今後の見通し等の専門的助言ができる者。

- ② 広報担当:住民・マスコミ等への広報を担うものであり、組織からの発信者は首長の意思を把握し誤報を避けるために一本化する必要がある。
- ③ 連絡調整担当:組織内外との連絡調整を担当する者。
- ④ 組織内安全担当:対応は長期にわたるため、人材の過不足把握・適所配置の観点からも組織内職員の安全健康の管理者が必須である。

■10(それぞれの部署の活動)(ア)対策本部(拠点本部)設置・緊急事態要員動員等の初動体制の早期活動開始。(イ)各部署において被災情報収集→被災レベル/対応レベルの初期決定→被災状況更新→被災シナリオの想定→対応レベルの更新。(ウ)各部署の優先機能継続可否の判断→代替拠点への委譲検討。(エ)主担当部署(総務課)への状況報告。

■11(主導的部署と関係部署)中心的活動は総務課危機対策担当となるが、被災状況がある程度把握され ICS 体制が確立されるまでは各部署独立で情報収集及び権利委譲の検討。

3) 超急性期(発災後 24～48 時間):

■12(対応の目的)人命救出救助及び避難支援活動。災害発生の 24～48 時間は災害医療分野では人命救出救助活動 SAR(Search And Rescue)の Golden time と呼ばれている。SAR 時間が長引けばその後の対応全てが停滞してしまう。特に冬季における SAR の長時間化は閉じ込め者にとり死に直結する。SAR を側方支援し早期完了、次段階の応急対応期への早期移行が最優先で要求される。

■13(主な活動)救出班による閉じ込め者の特定と余命時間の推定により、救出トリアージの判定。情報を DHEAT(救出担当)と DMAT(救命担当)に提供し、救出救命活動の活性化を支援。家屋等破壊により住民の死傷リスクが高い場合は適切かつ迅速な避難誘導を要配慮者には特に留意し行う。冬季の積雪寒冷条件を加味し、避難者の低体温症リスクにも配慮する。

■14(主導的部署と関係部署)被災者の情報収集は消防/警察が主担当となるが、情報とりまとめは対策本部が主担当。救出は消防署、医療関係は医療部・保険部。

4) 発災直後対応期:

■15(人命救助最優先)人命救助に関わる機関活動を最優先とする。そのための諸機関の応急対策目標は被災状況把握(基本法第2条2第4項)と対策拠点への報告(情報の一元化)であり、そのための対策計画を準備すること。

■16(直後の対口支援)直後対応期の人的支援で威力を発揮するのが対口支援である(「1)事前予防期■07」参照)。被災地行政職員は地域防災計画に記載の災害時職務(仮設住宅建設計画、復旧計画、ゴミ処理等の地域特化作業)に専念させる必要があり、他地域からの支援自治体職員は、避難所運営・応急被災度判定・罹災証明書発行・支援物資仕分け作業等の事務処理系を担当する。加えて、被災経験のある支援担当職員は電話対応や職員配置等の調整において被災経験を生かせるので大きな戦力として期待される。ただし、対策本部の主導はあくまでも被災地の当該行政であり、国・都道府県・その他支援自治体職員は参謀として参画するべきであり、当該地域の組織体系を乱すことがあってはならない。特に現場職員の声が対策本部に届く体制整備が重要となる。

■17(事前調整の重要性) 日本型対口支援は、多くの支援自治体が被災地に入ってくる事が想定されており、支援と受援の組み合わせは事前に協議されていて、さらにその調整役としてリーダーとなる自治体が年度交代で指定されている。これにより、支援自治体間の調整が整い、短時間で多くの人的資源投入が可能となる。被災地の復興再建は、被災地の自力更生に加え多くの組織が関与する。たとえば国家支援や上記の全国規模対口支援の他、同一対象災害に対する近隣広域連携としてたとえば有珠山火山防災会議協議会(伊達市・洞爺湖町・壮瞥町・豊浦町)や旭川圏防火地域計画区域(旭川市・鷹栖町・東神楽町)、事前のプッシュ型支援を検討した姉妹都市提携など多くの支援が期待される。「1) 事前予防期 ■06 に既述の防災のビルトイン(事前協定の重要性)及び ■07」に既述の「道内対口支援」も検討に値しよう。また関係組織どうしでの「顔の見える関係」を平時から構築しておくことも重要となる(基本理念6:地域特性を踏まえた応急対応・復旧体制の構築「■45 広域連携体制構築」にも関連事項記載)。

5) 応急対応期(被災住民への生活継続支援期):

■18(対応の目的) 被災住民生活を元に戻すための生活拠点を確保し復旧期への早期移行を推進する。

■19(主な活動内容) 目的遂行のための必須機能として、交通・輸送業務を挙げる。交通・輸送手段の早期確保。広域複合災害の様々なハザードの襲来に対しても安全な救出・搬送及び物資輸送等を可能にする交通システムは応急対応期において最優先で状況を確認し、機能障害がある場合は迅速(警報解除後 72 時間以内:国交省基準)な応急復旧を目指すべきである。特に北海道の場合、高速道路は未整備のため“くしの歯”作戦は不可能に近い状況にある。また一般主要道路は海岸線を走っており津波に弱い。交通拠点と見なされている港湾は埋め立て地のため液状化により長期間使用不可能となる可能性が高い。このような状況に鑑みるなら短期間での輸送路確保には北海道の場合、現時点では空路が最重要となる。空港の応急復旧及び被災市町村からの空港へのアクセス路応急復旧をガイドラインに記載しておくべきであろう。(基本理念 6「地域特性を踏まえた応急対応・復旧体制の構築 ■40」にも関連事項記載)

■20(RTO と RLO) 社会活動に影響するエッセンシャル機能の応急的早期回復を最優先とする(図 6.1 参照)ため、各対応期における RTO と RLO について事前協議しておく。また、被災状況把握によりその適時の見直しも必要である。恒久的回復(原状復帰・復興)は次なるステップとする。

(ア) **目標復旧時間(RTO : Recovery Time Objective)**を各組織で設定し、自治体ガバナンス継続計画 mutual protection Governance Continuity Plan(GCP)設定の各対応期の目標レベルとする。たとえば、空路復旧は警報等解除後 72 時間以内とし RTO1 とする(「対策の留意点 ■04」)。

(イ) **目標復旧レベル(RLO : Recovery Level Objective)**を各組織で設定する。たとえば空路復旧は機材発着可能な仮復旧を RLO1 とする。



■25(主な活動:地域産業の迅速かつ確実な復旧・復興を目指す対策の強化)被災地における地域産業(1～3次産業)の存続はその影響の大きさから社会的使命でもあり、迅速かつ確実な業務再開・復興を重視した総合的な対策を推進する。積雪寒冷等の地域特性に合わせ、予防段階における災害に強い関連施設づくりによる被害の軽減化及び被災初期段階における救助・物資運搬等に係る人員・操業物資の確保と広域的な支援体制の構築、全国からの応援を迅速に展開するための道路・港湾・空港等の交通網の啓開・復旧体制の構築等による初動立ち上げの迅速化に加え、復旧段階における労働力・産業需要のボリュームを確保するためのサプライチェーンの早期復旧による被災地域と他地域との関係性が保持されるよう、業種や規模に関わらず地域産業に関連する事業者や行政が業務継続計画(BCP)の策定・充実を図り、実践することにより、迅速かつ確実に復旧・復興を重視した総合的な対策を推進する(基本理念6:地域特性を踏まえた応急対応・

復旧体制の構築「4)広域連携組織構築■46」に関連記載）。

基本理念2:それぞれの時間軸における主導軸(自助・共助・公助)の責任の明確化

■26 広域複合災害は単一の行政組織での対応は不可能である(「対策の留意点 ■01」)。個別災害対策以上に、組織間連携を密にし、適切な調整が図られる必要がある。調整は行政がリードし、当該地域防災計画の中に各組織・機関を組み込み責任を明確化する必要がある。防災に関わりのない組織・人はいない。All Japan・All Hokkaido が当事者であるという意識付けが必要である。

1) 公助:

■27 全ての時間軸において、他市町村・都道府県・国組織との協力体制を明文化する必要あり。対応期における当該地域内民間企業・NPO・防災諸機関等の関係を事前予防期において構築しておく必要がある(基本理念1「1)事前予防期■06」に広域連携協定の重要性を、「1)事前予防期■07」に対口支援の重要性を、「対策の留意点■03」に広域避難計画の事前協定の重要性を既述)。

■28 当該市町村の全ての関係部署(官・民・学・NPO・マスメディア・一般住民等)の全員が対策の当事者であることを認識してもらうことが必要である。さらに、上位機関の関係部署との連携も整理しておく必要がある。役割は部署ごとに検討するのではなく、発生事象に対しての活動内容(Activity)で整理し、そこでの主導者(Leader)の指定と責任を明確にし、さらにその共有が必要である(基本理念1「各対応期」に既述)。

■29 災害発生時には種々の障害により当初指定の拠点部署が機能しなくなることも予想される。そのための代替拠点(代替拠点施設、代替要員)を必ず準備しておく必要がある(基本理念1「事前予防期■08」に既述)。

2) 共助:

■30 発災時の救出救助の積極的協力の義務化。自主防(町内会)による避難所運営・HUG(北海道には積雪寒冷避難所に特化した“Do はぐ”が考案されている)の義務化。地域は地域住民が守るという意識付けが必要(基本理念2 ■26)。

3) 自助:

■31 予防・対応・復旧協力に対する努力義務を明文化すると共に、平時における防災教育への積極参加を働きかけ、市民の防災情報の更新を確実にする(基本理念2 ■26)。

基本理念3:多重防御の重要性

■32 基本理念1と2を通して全組織・全員が多重防御を常に強く意識する(対策の時間軸及び主導軸での多重性 Multiple Axis と各軸の深層性 Defense in Depth に配慮する)。

基本理念4:発災時の情報収集－分析－伝達的重要性

■33 既述のとおり、個別災害対策においては基本データとなる事前の被害想定が、複合災害の場合は原理的に不可能であるので、発災時にはあらゆる部署において関係の被害収集を行い、対策の優先事項1「人命救出(SAR:Search And Rescue 及び DMAT・DHEAT・DPAT・DWAT の出動要請)」のための人員動員・関係組織への伝達・資材調達を開始する必要がある(基本理念1「2」第一次災害発生期■09」に ICS 体制への早期移行の重要性を既述)。被害状況はリアルタイムで収集し更新に努め、次なる被害推定・分析に活用し、関係部署への伝達はもちろんのこと、一般市民への的確な情報伝達を実施し避難所への早期移動を始めとする必要な災害時行動を促し、さらなる被害者の発生を食い止めることに最大限の努力を払う。首長の意思決定を的確迅速円滑に進めることが発災時の緊要となる。そのための情報提供並びに専門家による解説と今後の見通しが首長・関係組織に助言される仕組みが必要である(基本理念1「2」第一次災害発生期■09」。

■34 各種対策拠点においては被害状況把握に努め、代替拠点の必要性の有無を判断し、必要ならば代替拠点へ権限委譲し、二次被害発生防止に全力する(基本理念1「1」事前予防期■08」に代替機能準備の重要性を既述)。

■35 研究グループは、上記業務遂行を支援するリアルタイム情報システムの開発を進める。複合災害の事前被害想定は原理的に無理であるのは既述のとおりであるが、それを補完する手段として複合災害のパターンを数多くシミュレーションし災害発生時の選択肢として準備しておくことが考えられよう。災害発生時には近似パターンをとりあえず“事前確率情報”として設定し、収集されてくる被害情報を“尤度関数”として予測被害状況のベイズ更新を実行するシステムは一案と考える。情報の扱いは以下を基本とする。

- 1) 対策本部(被災者救出):被害情報収集→救出救命部署への伝達→状況更新・分析・その先の予測
- 2) 対策本部(情報伝達):被害情報収集→状況確認→一般住民への広報
- 3) 各部署(二次被害防止):関係被害収集→代替機能の必要性判断→状況更新・分析
- 4) 研究グループ:リアルタイム「被害把握(モニタリング)+被害予測(ベイズ更新)+情報伝達」システムの開発

基本理念5:被災者支援の重要性

■36 疾病や障害等による避難行動要支援・要介護者の冬季避難はより負荷が増す。要支援・要介護者に対しては避難行動のみならず避難先における生活に支障のないよう配慮する必要がある(「対策の留意点 ■03」に冬季対策の重要性を既述)。

■37 避難関係 3 法のうち水防法と土砂災害防止法には対策施設として介護施設が明記されているが、津波防災地域づくり法には施設の指定がないので、ガイドラインに明記しておく必要がある。

■38 既述のとおり、対策の優先事項3「財産と環境の保護」は地域経済力が下向きの北海道(特に地方都市)においては被災後の生活復旧及び地域経済の早期復旧により達成されるものであり、経済的支援は必要である(「対策の留意点 ■04」)。被災者支援の要点は以下のとおり。

- 1) 地域特性に基づく要配慮者支援:積雪寒冷期におけるリスク低減サポートの必要性。
- 2) 要介護施設の予防・対応・復旧支援:要介護者を取り残すことのないように被災時の施設早期

復旧及び関係者支援を推進する。

- 3) 被災者世帯・民間企業の被災後の早期経済活動復旧の支援を国・都道府県に協力要請の下、適切に援護すること。

基本理念6:地域特性を踏まえた応急対応・復旧体制の構築

■39 北海道において積雪寒冷期における複合災害は災害を多様化させ・被災程度を拡大させ・影響を超長期化させる。さらに関係諸機関の対応そのものを阻害させる要因(交通・情報インフラ途絶による孤立化等)が増加しその結果として、対応支援関係諸機関の調整・統括を困難なものとする恐れが高い。地域特性に特に配慮した体制構築が必要となる。

1) 特に交通輸送ネットワークの強化・早期啓開:

■40 積雪等による発災時避難・復旧時人材物資輸送等の活動阻害要因に対して、事前・最中・事後の適切対応を検討・推進する(基本理念 1「5」応急対応期■19■20)に交通網応急修理を到達目標1に設定することに言及)。

2) 低体温症リスクの低減:

■41 避難行動による発汗や津波で衣服が濡れた後に長時間寒気状態にさらされることで低体温症を発症するリスクが高まることから、避難場所等に暖房器具や燃料、衣服等を備蓄するなど、低体温症のリスクを低減する対策を推進する(「対策の留意点 ■03」)。

3) 感染症・関連死に対する避難施設・宿泊施設対策:

■42 感染症の拡大により避難所が不足する場合などにおける、宿泊施設等の活用や、親戚・友人宅への避難などといった分散避難や、膨大な避難者が発生した際の広域避難など、多様な手段による避難について検討を行う。

■43 避難者の一時避難所の劣悪環境(衛生状態、冷暖房環境、医療体制、プライバシー保護等々)による関連死は絶対に避けなければならない。そのために、より環境の整備された見なし仮設住宅や非被災地における二次避難所への早期移動が推奨される。見なし仮設住宅は公共建物その他、民間所有の施設も含み関係諸団体との事前の協定、及び他市町村との間において広域避難計画を事前協議しておく必要がある(基本理念1「1」事前予防期■06)。

4) 広域連携体制構築:

■44 災害応急対策・復旧復興対策遂行にあたり人的・物的資源の絶対的不足に対応するため、被災市町村周辺の市町村のみならず、学術団体及び民間団体や民間組織、NPO、自主防災組織をはじめ、道内全ての市町村や都道府県間の支援が機能的に行われる広域連携体制の枠組を構築する(基本理念 1「1」事前予防期■06)。

■45 他関連組織との連携のあり方について、防災基本計画第 2 編「各災害に共通する対策編」第 1 章「災害予防」第 1 節「災害に強い国づくり、まちづくり」の 2(4)第 2 項において「…関係機関は、お互いが平時から災害時の対応についてコミュニケーションをとっておくこと等により、「顔が

見える関係」を構築し信頼感を醸成するように努める。」との記載がある。これは上位機関(都道府県)の対策本部組織と各市町村自治体の対策本部との組織合わせをしておくことを要求しているが、北海道対策本部組織表の中に市町村は位置づけられてはいない。現実的には、道の各部署のリエゾン対応(現地情報連絡員派遣)で情報共有が係られるはずではあるが、より緊密な関係構築が必要である。対策の内容から関係部署を道と市町村で一対一で対応させ、それぞれをお互い知己の関係とすることが必要である。

基本理念7:災害リスクに対応した多段階的予防対策の重要性

■46 対策目標の理想として死者数ゼロを目指してもらいたい。そのためには複合災害危険域には居住しない土地利用計画・集住移転計画を長期スパンで検討する選択肢を残してもらいたい。逃げる必要のない地域社会形成こそ未来資産としての誰も取り残さないSDGs政策である。将来の世代に負債というツケのみを残すのではなく、安全性と利便性というコモンズを残し・引き継ぐという長期展望に立脚した発想転換が必要である。しかしいつ襲来するか不確定性の高い災害対策としてはそのみでは不十分である。今すぐに行える短期的対策、災害リスクを想定した中期的対策、そして理想を追求する長期的対策のように多段階で対応することで災害に強靱なまちづくりを目指す。

- 1) **短期的対策:**とりあえずできることから始める。体制・人材の整備。
- 2) **中期的対策:**避難重視対策とし、予防としてのハードウェア対策と避難誘導のための防災教育を含むソフトウェア対策。早期復旧のための交通・ライフライン整備。
- 3) **長期的対策:**最大規模の複合災害への対応を含め、災害に強い地域を構築するため、地域の実情や将来像等を踏まえ、住宅や商業施設の災害リスクの低い地域への誘導を図るなど、災害リスクに対応した土地利用計画や事前復興まちづくり計画を策定する取組を始める(基本理念 1「6)事後復旧～復興期 ■21～25」にまちづくり計画について既述)。

基本理念8:事後の振り返り学習

■47 災害及びその対応から教訓を得て次の災害に備えるため、記録文書(業務日誌)の統一化を図り、各部署において記録文書を残すことを義務化する。また、対応が一段落したなら計画を振り返り、災害の状況・各部署の時系列活動内容・学習すべきこと・地域防災計画で更新すべきことを報告書として公表すること。

(文責:岡田成幸)

巻末資料

**北海道大学広域複合災害研究センター
第一期研究概要集**

北海道の厳寒期での緊急減災施設施工を可能とする 寒冷地用砂防ソイルセメント工法の開発

北海道大学大学院 農学研究院 山田 孝・笠井 美青

北海道大学 広域複合災害研究センター 厚井 高志

国土交通省北海道開発局苫小牧砂防海岸事務所 竹原 隆博・岩田 清徳・本間 雄介・宮崎 亮直

株式会社北海道土砂資源化研究所 宮木 康二・大岡 辰弥 株式会社インボックス 秋山 祥克

1. 研究の背景と目的

樽前山直轄火山砂防事業の現場では緊急減災として、大型土嚢やブロックを用いた導流堤工や融雪泥流発生後の降雨による土砂流出捕捉のためのセルダム緊急閉塞工などが検討されています。大型土嚢を使う場合は、融雪泥流の衝撃力や摩擦あるいは火砕流・火砕サージなどにより、土嚢が破れると中詰めの土砂が流出し、仮設堤工の機能低下あるいは機能損失につながるリスクがあります。また、ブロックのみの運搬・設置やセルダム開口部の閉塞のための積み上げには長時間を要するといった問題があります。

こうした課題に対して、私たちは現地発生土砂を用いた流動タイプのソイルセメントをコンクリートポンプ車で圧送してトンパックに中詰めし、それを用いて導流堤工やセルダム開口部緊急閉塞を行うことを検討しています。ただし、融雪泥流の発生前や発生後の出来るだけ早い時期に施工する必要があるために、低温期での施工が基本となります。本研究では、そのための基礎実験として、樽前山直轄砂防事業区域内発生川流域内の現地発生土砂を用いた、流動タイプソイルセメント供試体ならびに土嚢袋中詰め時のワーカビリティと強度特性を明らかにすること、さらに、その成果を基にしてソイルセメント中詰めトンパックを現地で厳寒期に施工し、ワーカビリティと強度特性(7,28 日強度)を明らかにし、サイクルタイムを確認することを目的とします。

2. 研究方法

現地発生土砂の材料特性を表-1 に示します。低養生温度におけるソイルセメント供試体試験の実施のため、以下の条件でソイルセメント供試体(φ150mm,H300mm)を製作し、それらの圧縮強度(7日,14日,21日28日養生強度)を測定しました。11月にソイルセメントを野外で配合することを想定し、苫小牧市の11月平均気温(5℃)を想定したソイルセメントの養生時間と強度発現性の関係を調べました。セメントは、現場で汎用している普通ポルトランドセメントとし、単位セメント量は、250kg、水セメント比は1ケースとした。低温期における施工を想定し、練混ぜ水と養生温度は各々、5℃と5℃を基本とし、20℃と20℃、30℃と20℃のケースを比較しました。次いで、単位セメント量を3ケース(100kg,250kg,400kg)、試験含水比を80～98%(令和4年度試験)、53～72%(令和5年度試験)の範囲で変動させたケースで配合したソイル

表-1 現地発生土砂(樽前山発生川流域)の材料特性

	2022年度試験に使用した現地発生土砂	2023年度試験に使用した現地発生土砂
粒度試験	シルト+粘土: 30.4% 砂: 24.5% 礫: 45.1% 最大粒径: 37.5mm	シルト+粘土: 34.1% 砂: 29.2% 礫: 36.7% 最大粒径: 75mm
土粒子密度試験	2.595g/cm ³ (平均値)	2.653g/cm ³ (平均値)
含水比試験(自然含水比)	62.3%(平均値)	61.1%(平均値)
細骨材の密度及び吸水率試験	絶乾密度 3.62 g/cm ³ (平均値) 吸水率 7.29 %(平均値)	絶乾密度 2.45 g/cm ³ (平均値) 吸水率 2.94 %(平均値)
粗骨材の密度及び吸水率試験		絶乾密度 2.25 g/cm ³ (平均値) 吸水率 6.40 %(平均値)
粗骨材の突固めによる土の締固め試験	試験方法 E-b 最大乾燥密度 1.199g/cm ³ 最適含水比 31.2%	試験方法 E-b 最大乾燥密度 1.341g/cm ³ 最適含水比 24.2%
細骨材の有機不純物試験	暗赤褐色⇒良いコンクリートに使用できない	暗赤褐色⇒良いコンクリートに使用できない

セメントを土嚢袋に充填し、そのワーカビリティ評価と強度発現性を確認しました（養生温度 5℃、土嚢袋から φ100mm、H200 コア 3 本採取、7 日養生強度、28 日養生強度）。各セメントケースの水セメント比の中央ケースでの、5℃養生温度下での水和熱、余剰水排出状況の確認、供試体との比較（余剰水の排出効果の確認）を行いました。なお、ソイルセメントの試験含水率を 80～98%設定したケースは、いわゆる「しゃぶコン」状態を想定し、施工時の高い流動性を確保し、ワーカビリティを重要視したためです。

3. 研究結果の概要

配合したソイルセメントは、土嚢袋に中詰め後、水和反応が発生して数時間で固結すること、十分なワーカビリティを確保できることが確認できました。試験含水比が約 60%の場合、スランプ値は約 4cm であり、試験含水比が約 85%より大きくなるとスランプ値も約 12～18cm と急激に増加し、ワーカビリティも高くなります(図-1)。トンパックに中詰めした場合は、土嚢袋に中詰めした場合に近く、試験含水比に応じて同等のワーカビリティを確保できます。7 日養生強度(平均値)は、0.03～0.11N/mm²程度であり(図-2)、その後の強度変化はあまり認められません。土嚢袋に中詰めしたソイルセメント本体は自立でき、土嚢袋が破損したとしても中詰め材は容易には流出しにくいとみなせます。

トンパックに中詰めした場合、試験含水比 50、60%のときは、土嚢袋での 7 日平均強度と同じ程度、発現しています。単位セメント量 100kg の時の 28 日強度は 7 日強度とそれほど違いが認められませんが、単位セメント量 250kg の場合は、28 日強度が 7 日強度の約 2 倍～14 倍とかなり大きい結果となりました。また、スランプ値は、土嚢袋に中詰めした場合に近く、試験含水比に応じて同等のワーカビリティを確保できることを確認しました。ソイルセメント中詰めトンパック 1 個のみを製作する時間は最大 20 分ですが、同一条件で複数個製作する場合は、より時間短縮が可能になると期待されます。

※本研究は、国土交通省河川砂防技術研究開発地域課題分野「北海道の厳寒期での緊急減災施設施工を可能とする「寒冷地用砂防ソイルセメント工法の開発」の令和 5 年度成果の一部です。

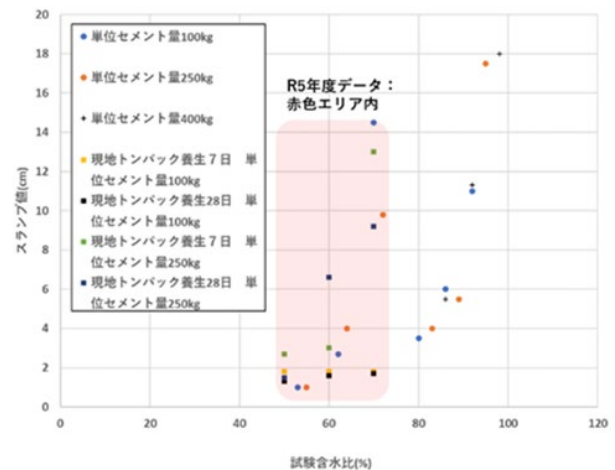


図-1 試験含水比とスランプ値との関係

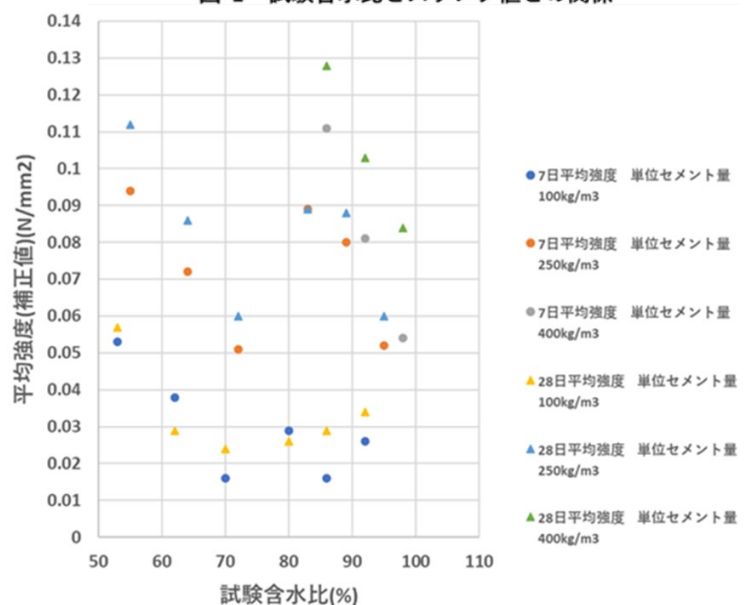


図-2 試験含水比と平均強度との関係



図-3 ソイルセメント中詰めトンパック試験施工
(2023年12月 樽前山麓生川流域)

災害時における地域材の活用の可能性

北海道大学大学院 農学研究院
佐々木 貴信

1. はじめに

我が国において多発する自然災害では、被災地での災害廃棄物の処理が問題となることが多い。木質系廃棄物や流木の処理もその一つであり、東日本大震災での津波被害や西日本豪雨での土砂災害、北海道胆振東部地震での山地災害など、近年の大規模自然災害においても共通の課題であったと言える。

自然災害における木質系廃棄物の活用を検討した報告はダム貯水池に流入した流木の木炭化による再資源化の試み⁽²⁾や、東日本大震災の被災地において木質系震災廃棄物等のエネルギー利用への活用の可能性調査⁽³⁾などがあるが、災害で被害を受けた構造物等の応急復旧において、流木等を現地で加工して用いるなど地域材の利用の可能性について検討された事例は少ない。

2018 年 9 月に発生した北海道胆振東部地震では大規模な山腹崩壊が多数発生し、林道や治山施設の損壊など林業被害が生じている。林業被害が集中した安平町、厚真町、むかわ町では、林業事業者、試験研究機関、国、北海道等と連携し森林や路網の復旧、木材の供給・確保等に向けた対策について検討が進められている⁽⁴⁾。今回、このような復興事業においてカラマツ人工林などの地域材の活用の可能性について検討した。

2. オンサイト生産システム

東日本大震災で被災した岩手県大槌町では、復興に向けて秋田県立大学木材高度加工研究所（木高研）と、2012 年 5 月に復興支援に関する協力協定を締結し、津波被害を逃れた町有林の復興事業への活用や、津波による塩害木、木質系瓦礫の活用の試みが行われている⁽⁴⁾。この頃、木高研では林地で伐採した原木をその場で製材、加工し、林地に近い現場で土木構造物の施工を行う一連のシステム（オンサイト生産システム）の構築⁽⁵⁾を目指した研究開発を行っており、その成果が復興支援に活用されている。

市販の移動式製材機と、丸太の回転機構を備えた架台（写真－1）を組み合わせた製材装置で製材した部材を用いて木製治山ダム（写真－2）などの木製構造物を施工する本システムは、災害時の応急的な仮設構造物への活用も期待できる。写真－3 は同システムで開発された角材を用いた組立や解体が容易な仮設木橋であり、大槌町内の仮設住宅団地の住民からの要望に応じて、駐車場との間に架設されたものである⁽⁴⁾。

3. 厚真町での取り組み

北海道胆振東部地震の被害が最も大きかった厚真町では山腹崩壊がいたるところで発生しており、民有林道や治山施設の損壊など林業被害が多数生じている。写真－4 は山

腹崩壊により崩れた土砂が沢沿いに堆積し、治山ダムが埋没している箇所である。ここは、前述の厚真町などにおいて森林や路網の復旧が検討される中で、林業試験場が中心となり植林試験が進められている試験地の一つになっている。

なお、山腹崩壊により発生した倒木や流木の処理については、厚真町、北海道、北海道開発局の 3 者が、素材生産業者やバイオマス燃料供給事業者などと協定を締結し、一般材や製紙用の原料、バイオマス燃料などに有効利用されている。災害復旧現場から倒木を撤去し復旧工事を円滑に実施するために、こうした連携は有効であり、今後の災害時の対応としても大変参考になる。



写真－1 移動式製材機によるオンサイト製材



写真－2 木製治山ダムの施工（秋田県鹿角市）



写真－3 角材を用いた仮設橋梁の組立



写真-4 厚真町の林地被害状況

厚真町では、今後の森林管理のために林道等の整備を行うことになるため、北海道大学では木高研や厚真町と連携し、オンサイト生産システムなどにより地域材を活用した支援の可能性を検討した。

震災から1年が経過し、復旧工事が進む状況において作業現場に製材機を設置して作業をすることは適当ではないため、この時は、厚真町で製材業に携わる地域おこし協力隊の中川氏に協力をいただき、木高研から運ばれた製材装置を設置し、製材作業を試行してもらったこととした(写真-5)。

写真-6に前述の植林試験地において作業のために必要な橋や階段が設置された状況を示す。これらは中川氏が地元の森林組合から委託され、カラマツ材の製材から構造物の施工までを行ったものである。



写真-5 厚真町内に設置された製材装置



写真-6 カラマツ製材を用いた階段工や床板

4. 結果と考察

北海道胆振東部地震で多大な被害を受けた厚真町にお

いて、地域材を活用した復興支援の可能性について検討した。移動式製材機を用いてカラマツ丸太を製材し、小規模な構造物等の設置を行うことで、地域の人材、地域の木材を活用した事業の可能性を見出すことができた。

多発する自然災害では、倒木や流木の処理が問題となるが、厚真町では関係事業者などと協定を締結し、一般材や製紙用の原料、バイオマス燃料などに有効に利用されている。したがって、オンサイト生産システムのような現地で製材した材料で仮設構造物を作るような必要性は少ないと感じられた。一方、今後の復興段階においては、低コストの林道や作業道を整備するうえで、地域材を活用した簡易な木製構造物の設置は有効と思われる。

また、発災直後の早い段階での道路や小規模な橋梁などのインフラの復旧工事において木材を用いることは一般的ではないが、材料の軽さや加工が容易な木材の特徴から現場の状況によっては倒木等の活用の可能性もあり得る。函館工業高等専門学校では、木材の軽さを活かした人力で展開可能な木製の応急仮設橋の開発を行っており、歩道橋としての性能が検証されている(写真-7)⁽⁶⁾。こうした取り組み例も参考に、引き続き地域産木材の土木的利用に取り組んでいきたい。

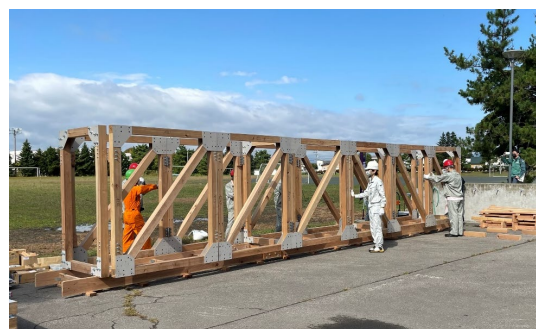


写真-7 木製緊急架設橋の架設実験

謝辞

本研究は、秋田県立大学平成31年度部局提案型研究推進事業の補助の下で行われた。

引用文献

- (1) 北海道水産林務部林務局森林整備課造林推進グループ、胆振東部森林再生・林業復興連絡会議。
<http://www.pref.hokkaido.lg.jp/sr/srs/hukkourenrakukaigi.htm>
- (2) 黒田 重徳・小山 喜久二(1994) ダム貯水池流木の木炭化による再資源化. 土木学会論文集 **503**: 197-205.
- (3) 林野庁林政部木材利用課木質バイオマス推進班(2012) 木質系震災廃棄物等の活用可能性調査.
http://www.rinya.maff.go.jp/j/riyou/biomass/con_4.html
- (4) 佐々木貴信(2013) 大槌町における震災復興への取り組み. 木材工業 **68** (3): 115-118.
- (5) 佐々木貴信・後藤文彦・安部隆一・熊谷誠喜(2013) 秋田スギの角材を利用した組立・解体が容易な木橋の開発. 秋田県立大学ウェブジャーナル A **1**: 10-18.
- (6) 加藤真吾・平沢秀之・菊池幸恵・戸沼淳(2023) 木製緊急架設橋の屋内及び屋外架設実験. 土木学会論文集 Vol.79, No.28, 22-28005.

地震・火山噴火・大雨による土砂災害に関する研究

北海道大学 広域複合災害研究センター

厚井 高志

土砂災害は、地震、火山噴火、大雨など多様な現象を誘因として連鎖複合的に発生します。誘因となる現象規模が大きくなれば、その被害は甚大となり、影響範囲の広域化や、影響期間の長期化が懸念されます。第1期の研究活動では、近年、国内外で発生した大規模な地震、火山噴火、大雨によって引き起こされた土砂災害に関する研究を、UAV（ドローン）を活用したリモートセンシング技術や現地観測手法などを用いて以下のとおり実施しました。

1. 地震による土砂災害研究

2018年に発生した北海道胆振東部地震後の土砂動態に関する研究を実施しました。北海道胆振東部地震では多くの斜面崩壊が発生し、多くの崩壊裸地斜面が出現するとともに、崩壊土砂が不安定土砂として流域内に供給されました。こうした流域環境において崩壊地からの土砂生産や土砂流出を現地観測（ドローンを用いた地形の連続観測）による明らかにして、崩壊裸地斜面からの新たな土砂生産があること、大きな土砂流出が継続していることを明らかにしました（厚井・桂，2023）。さらに、崩壊土砂とともに生産された流木の生産・移動実態を把握したうえで、水理学的手法を用いて将来的な再移動の危険評価手法を提案しました（図1；Koi *et al.*, 2022）。

2. 火山噴火による土砂災害研究

近年わが国で発生した火山噴火を対象として、噴火規模や発生現象など緒元を整理したうえで、降灰後の土石流の発生状況について、発生日時や頻度情報を整理しました。そのうえで、防災上警戒が必要となる少雨時に発生する降灰後の土石流を引き起こした降雨の特徴をID法を用いて特徴づけました（Koi *et al.*, 2021）。2018年ハワイ島キラウエア火山噴火時の溶岩流流出状況およびその対策に関する現地調査を踏まえつつ、噴火に伴う溶岩流およびそれ以外の噴火に伴う各現象による被害と溶岩流対策を国内外事例を対象として整理したうえで、わが国で現実的に実施可能な溶岩流対策について論じました（厚井・権田，2021）。

3. 大雨による土砂災害研究

2017年九州北部豪雨で被害の大きかった赤谷川流域で土砂移動と避難行動を時系列的に把握したうえで、防災情報発表タイミングとの比較から自身に危険が迫ってから避難行動を開始する傾向を明らかにし、この傾向は約30年前の土砂災害時と同様の傾向であることを示しました（厚井ら，2020）。同様に、2019年台風19号によって岩手県内で土砂災害が発生した地域の避難実態を明らかにするためにアンケート調査を実施しました。また、近年発生した豪雨による土砂災害（2019年東日本豪雨災害など）を対象として素因や誘因、土砂移動状況、被災状況を調査して、土砂災害に至るメカニズムを明らかにしました（Irasawa *et al.*, 2020; 鄒ら，2022; 森ら，2023）。

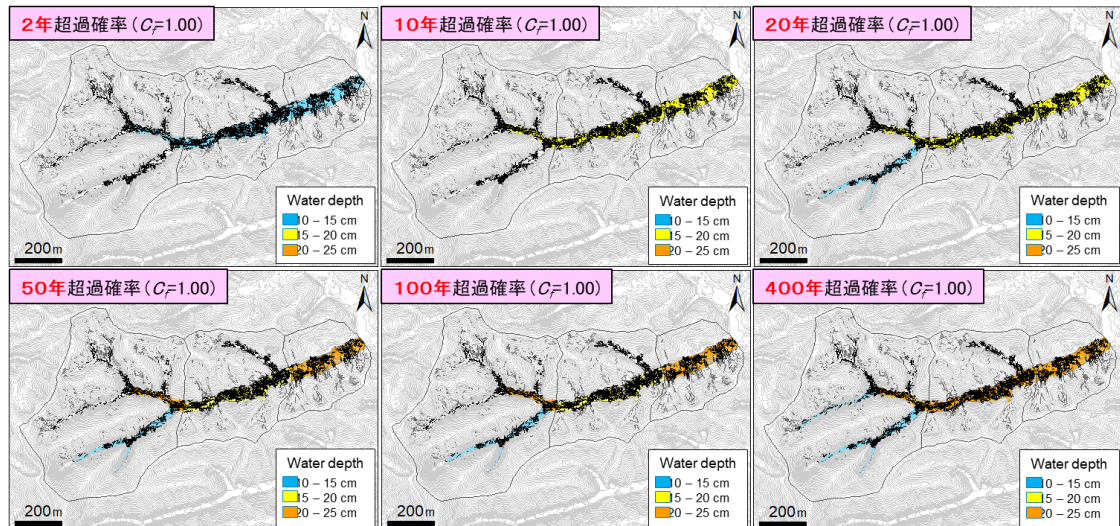


図 1. 降雨の超過確率規模に応じた水深変化。水深が深くなるほど河道内に堆積している流木の移動割合が大きくなり二次移動による流木ハザードが高くなる。Koi *et al.* (2022) を加筆修正

引用文献：

- 厚井高志・長井義樹・菊井稔宏・小林拓也・大野宏之・城ヶ崎正人・野呂智之・水野秀明・田中淳 (2020) 平成 29 年 7 月九州北部豪雨における土砂移動現象の時空間分布の推定と避難実態, 砂防学会誌, 72(3), 54-59
- Irasawa M., Koi T., et al., (2020) October 2019 Sediment Disaster in the Tohoku Region owing to Typhoon No. 19 (Typhoon Hagibis). International Journal of Erosion Control Engineering, 13(2), 48-55
- Koi T., Fujisawa Y., Anyoji N. (2021) Rainfall-Induced Lahar Occurrences Shortly After Eruptions and Its Initiation Processes in Japan. Understanding and Reducing Landslide Disaster Risk, 359-364
- 厚井高志・権田豊 (2021) 溶岩流による火山災害とその対策の方向性ーキラウエア 2018 年噴火時の溶岩流出実態とその対応を踏まえてー. 砂防学会誌 73(6), 27-38
- Koi T., Hotta N., Tanaka Y, Katsura S. (2022) Generation and subsequent transport of landslide-driven large woody debris induced by the 2018 Hokkaido Eastern Iburi Earthquake. Frontiers in Earth Science, 9:769061. DOI: 10.3389/feart.2021.769061
- 鄒青穎・金俊之・厚井高志・山本佑介・小岩直人・野田龍・井良沢道也・加藤清和・對馬博・森洋・岩田英也・佐藤達也・池田一・工藤唯志・小林基比古・荒井健一・黒岩知恵・古賀勇輝・石川丈瑛・對馬美紗・長野英次・三浦順・齋藤はるか・川上礼央奈 (2022) 2021 年 8 月豪雨による青森県下北半島北部における土砂災害. 砂防学会誌, 74(6), 41-51
- 森洋・野田龍・厚井高志・鄒青穎・荒井健一・金俊之・櫻井由起子・對馬美紗・齋藤はるか・佐藤達也・講武学・大坪俊介・金子秀人・丹羽諭・森千夏・松尾新二郎・池田一・工藤唯志・北村一貴・林一成・寒河江岳雄・西尾克人・山口和真・貝羽哲郎 (2023) 2022 年 8 月豪雨により山形県飯豊町で発生した土砂災害. 砂防学会誌, 75(6), 25-35
- 厚井高志・桂真也 (2023) 大規模地震で崩れた土砂・流木の移動. 観測の現場を訪ねて 4. 第 1 編 継続的に生じる土砂移動と中期的な山地環境の変化 第 2 章, (公社)砂防学会編

山地斜面で発生する崩壊・地すべりのメカニズムと発生予測に関する研究

北海道大学大学院 農学研究院

桂 真也

1. 北海道胆振東部地震による斜面崩壊

2018年9月6日に発生した北海道胆振東部地震では、樽前火山等から噴出した降下火砕物（火山灰など）が厚く堆積した斜面で崩壊が多数発生し、大きな被害をもたらした。地震直後から実施した現地調査の結果も踏まえ、本地震で発生した斜面崩壊の特徴を分析し、すべり面となった降下火砕物層が多くの水を含んでいたことを指摘した（小山内ら, 2019; Osanai et al., 2019）。そこで、降下火砕物の水分特性（透水性・保水性）の計測および降下火砕物層内の水分動態の観測を実施し、水が崩壊に果たした役割を明らかにした（Aoki et al., 2022）。

2. 融雪地すべり

積雪地域では、厳冬期に形成された積雪層が融雪期に融け出すことで、大量の融雪水が地盤内に浸透する。これにより、地下水位が上昇して地すべり（融雪地すべり）が発生し、大きな被害をもたらしている。そこで、融雪を考慮しながら地すべり地の地下水位変動を精度よく再現する手法を開発した（溝口・桂, 2019; 松永・桂, 2021; 桂・松永, 2023）。また、地下水位の変動と対応関係があると考えられる水文指標を融雪の影響込みで算出し、地すべり土塊の移動量との関係を検証した（関根・桂, 2020）上で、水文指標を用いた融雪地すべり発生予測の可能性について検討した（桂, 2020）。

3. 山地斜面における土層内地下水の形成

山地斜面で発生する表層崩壊は、基岩層の上に載る土層が豪雨時に崩れ落ちることで発生する。表層崩壊の発生には、土層内に形成される地下水が大きな役割を果たしている。蛇紋岩から成る山地斜面において、土層内に恒常的に形成される地下水が存在することを示し、その形成メカニズムを明らかにした（Yoshino and Katsura, 2022）。また、花崗岩から成る山地斜面において、基岩層から土層に湧出する湧水（基岩湧水）の湧出量を観測し、降雨に対する応答など湧出特性を分析した上で、基岩湧水が土層内地下水や表層崩壊に与える影響を明らかにした（松永ら, 2023）。

【引用文献】 Aoki, T., Katsura, S., Koi, T., Yamada, T. et al., 2022, *Landslides* 19, 1813-1824; 桂真也, 2020, 第10回土砂災害に関するシンポジウム論文集, 187-192; 松永隆正・桂真也, 2021, 日本地すべり学会誌 58(4), 1-16; 桂真也・松永隆正, 2023, 日本地すべり学会誌 60(3), 15-22; 松永一慶・桂真也ほか, 2023, 砂防学会誌 76(1), 34-41; 小山内信智・山田孝・笠井美青・桂真也・村上泰啓ほか, 2019, 砂防学会誌 71(5), 54-65; Osanai, N., Yamada, T., Katsura, S., Murakami, Y., Tanioka, Y. et al., 2019, *Landslides* 16, 1517-1528; 溝口芽衣・桂真也, 2019, 日本地すべり学会誌 56(1), 16-24; 関根猛・桂真也, 2020, 日本地すべり学会誌 57(2), 19-26; Yoshino, T., and Katsura, S., 2022, *Water*, 14, 3122

ロボティクスによる広域複合災害への対応に関する研究

北海道大学大学院 工学研究院

江丸 貴紀

広域複合災害の被災地において、ロボティクス技術を利用した救助活動や支援活動が現実のものとなりつつあります。例えば、無人航空機（ドローン）は被災地の空撮や被害情報の把握、救助隊員の安全な経路の確保などに利用されています。また、各種センサやカメラを搭載した機器を使って、リアルタイムでデータを収集することも重要な技術です。これらの観点から実施した研究について紹介します。

1. ドローンによるインフラ点検

インフラの点検に対するドローンの応用は様々な分野で進んでいます。その中でも我々は港湾環境に着目して研究を進めています。施設の経年劣化を発見するための日常点検のみならず、災害時の臨時点検を想定したシステムを開発しました（岡野・江丸, 2021）。さらに、計測精度について定量的評価を行うため、オブジェクト検出や位置推定を行うマーカーである AprilTag を環境中に設置し、相対的な精度について定量的評価を実施しました（日向・江丸, 2022）。

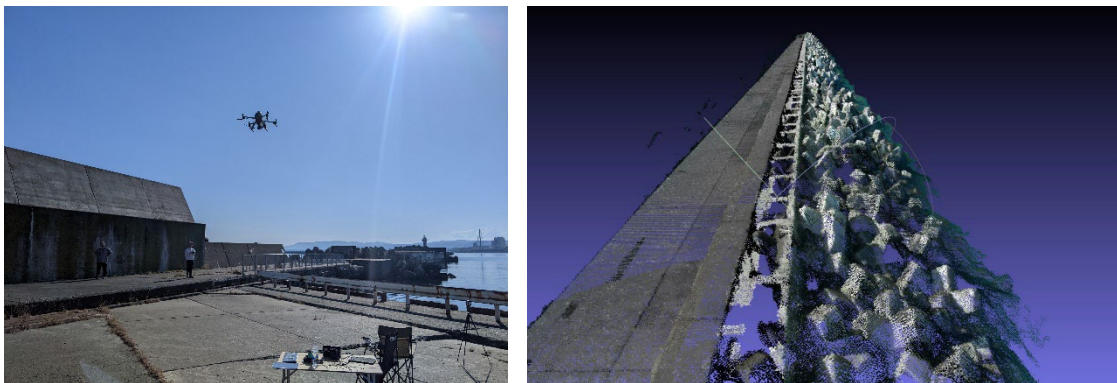


図 1. (左) 実証実験の様子。(右) 提案手法によって得られた防波堤の 3 次元点群。ここからアルゴリズムに従って消波ブロックの欠損量を定量的に評価することができる。

2. 降雪環境下におけるロボラストセンシング

広域複合災害の被災地においてデータを取得するためには、適切なセンサを利用することが必要です。環境情報を取得するために様々なセンサが用いられていますが、たとえば RGB カメラや LiDAR (Light Detection And Ranging: 光による検知と測距) は降雪環境下で利用した場合に降雪が雑音として検出され、正しいセンシングが行えないという問題があります。そこで我々は、除雪機に適用することを想定して降雪環境下でロボラストに人検出を行うシステムを提案しました（高橋・江丸, 2022）。さらに、自動運転を実現するための主要なセンサとして知られる LiDAR について、降雪を雑音として除去する深層学習のフレームワークを提案しました（高野・江丸, 2022）。

また、自動運転を実現するためには高精度な 3 次元地図が一般的に必要となります。この 3 次元地図を事前地図として自動運転が機能することになりますが、積雪環境下においては、例えば道路脇の

雪山によって現在センサによって取得できる情報と事前地図の情報が矛盾することがあります。この問題を解決するために、画像情報を利用することによって LiDAR を用いて構築した高精度 3 次元地図を修正する手法を提案しました (Kubo and Emaru, 2024)。

3. ドローンを利用した森林資源管理

森林資源管理については、平時・災害対応時いずれにおいても大きなニーズがあり、我々は UAV-LiDAR を利用したシステムを提案しています。図 2 に示すとおり実際に森林において得られたデータを処理することにより、個々の樹木を抽出し、それらに対して位置情報を紐付けることによって大域的な管理を実現するシステムを提案しています (西脇, 江丸, 2022)。さらに、北海道では DEM (数値標高モデル) が未整備の山林が数多くあるため、同時に DEM を取得するシステムを提案しました (西脇, 近藤, et. al., 2023)。

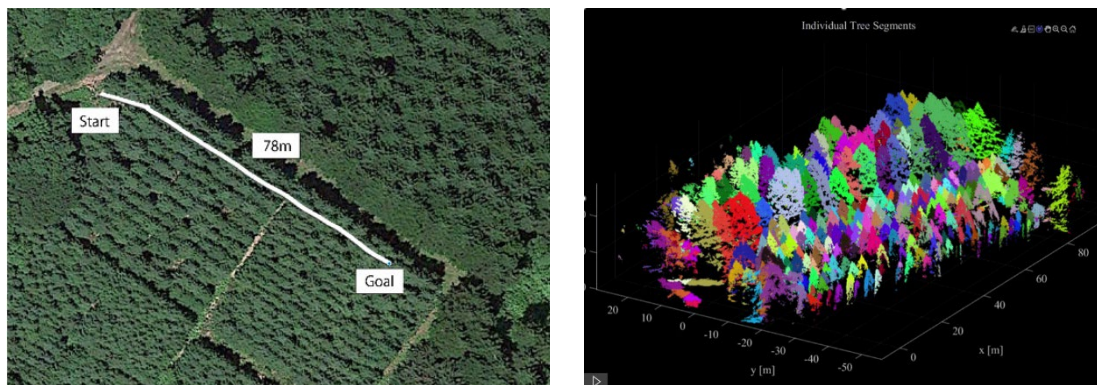


図 2. (左) 計測対象の人工林。(右) 計測結果に対して個々の樹木抽出を適用した結果。

引用文献：

- 岡野裕大, 江丸貴紀, 3D-LiDAR を用いた UAV による防波堤自動点検システムの開発, 第 22 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 2G3-01, 2021.
- 日向涼, 江丸貴紀, 港湾施設の維持管理を目的とした AprilTag の精度評価, 第 23 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, P2-F14, 2022.
- 高橋悠人, 江丸貴紀, 降雪環境におけるサーモカメラを用いたリアルタイム人検出システムの開発, 第 23 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 2A2-D13, 2022.
- 高野睦巳, 江丸貴紀, 深層学習を用いた降雪・除雪状況下での LiDAR データに重畳する雑音除去, 第 23 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 2A2-D12, 2022.
- K. Kubo and T. Emaru, Proposal of Voxel Semantics Estimation System for Automated Snowplow Operation, in Proc. IEEE/SICE International Symposium on System Integration, TueCM2.4, 2024.
- 西脇想起, 江丸貴紀, UAV による森林の 3 次元マップの作成と GPS 情報のアライメント, ロボティクス・メカトロニクス講演会, 1A1-L05, 2022.
- 西脇想起, 近藤春樹, 吉田州平, 江丸貴紀, 北海道内の人工林における UAV-LiDAR での SLAM を利用した高精度 DEM 計測技術の提案, 第 24 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 3F4-07, 2023.

調査分析結果をもちいたモデル化と被害評価減災戦略の立案

北海道大学大学院 工学研究院

中嶋 唯貴

1. はじめに

本邦においては、多数の災害が毎年のように発生している。これらの災害の多くは発生直後多くの関心を集めるものの、何が起こったのか、人々の生活をどのように変えたのか、被害を防ぐためには何をすればよかったのかまで災害ごとに考える機会は限られています。たとえ地域が異なっても、災害の経験は次なる災害時において被害を防ぐための貴重な情報を含んでおり、災害の規模・地域によらず調査を実施し知見を蓄積していくことが減災対策を立案・実施していくためには重要となります。そのため、図1のように調査分析結果を用いた災害発生メカニズムのモデル化とそれらを用いた建物被害から人的被害に至る被害推定、自治体・市民を対象とした減災戦略の立案と実践のための防災教育を行っています。

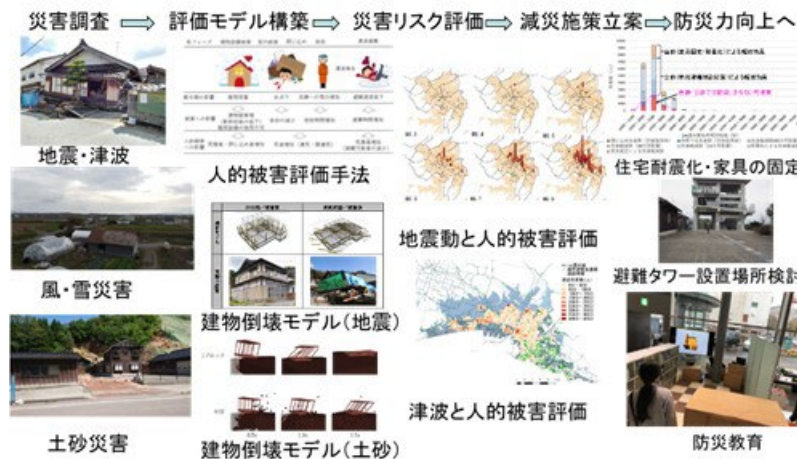


図1 研究の位置づけ

2. 地域・被害調査

被害調査法に関しては、建物の3Dモデルの構築手法の開発¹⁾、RTKを用いた建物被害写真の自動分類技術の開発や車載カメラによる被災家屋の損傷程度の自動評価技術²⁾の開発を行っていますこれらの技術を用いて2023年能登半島地震(図2)と2024年能登半島地震の調査を実施しました。また、災害時の飛散物等の要因となる廃墟建造物のドローンを用いた測量等(図3)も実施しました。



図2 2023年能登半島地震(珠州市)



図3 ドローンを用いた測量(天人峡)

3. モデル化と被害評価・減災戦略の立案

地域における被害評価や減災戦略の立案を実施するため、土砂災害や地震・津波災害を対象に被害推

定と減災戦略の立案を実施しています。具体的には、土砂災害発生時の建物倒壊を個別要素法によりシミュレーションし、部屋別の人的被害発生危険度を明らかにするとともに減災対策を検討しています(図4)³⁾。また、厳冬期を対象に道内自治体を対象に地震発生時の病院の受け入れ限界に関する検証を実施しています。(図5)

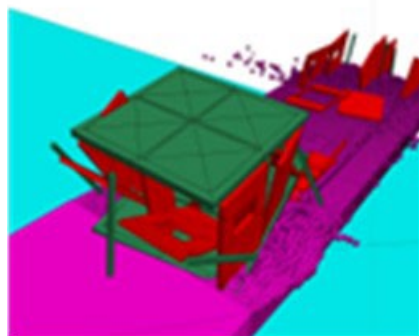


図4 土砂災害シミュレーション³⁾



図5 厳冬期搬送距離と搬送不可人口の分布

4. 減災施策の実現に向けて

研究で得られた知見を実社会の防災施策に役立ててもらうため、北海道の地震火山専門委員として活動するとともに、函館市・釧路市・稚内市等と定期的に情報交換会を開催しました。今後も対象自治体を増やし活動していきます。また、自治体職員や市民を対象に地震対策に関する講演会や津波避難について考える逃げ地図ワークショップを実施しました⁴⁾。(図6)



図6 逃げ地図ワークショップ。

参考文献

- 1) 中田健斗, 中嶋唯貴, 小篠隆生: 人口密度に追随する街区内建築物量が街区へ与える影響評価、地域施設計画研究 41、147-156 2023 年 7 月
- 2) 大笹航汰 加藤圭祐 高瀬裕也 中嶋唯貴: AI を用いた建物の損傷度判定モデルと車載カメラの動画による被災率の評価、日本建築学会技術報告集 30(74) 548-552 2024 年 2 月
- 3) 中嶋唯貴, 小林純平, 小篠隆生: 斜面近傍地の住宅特性の調査と建物倒壊シミュレーション自然災害 II -5-2
- 4) NHK: 津波避難「逃げ地図」作り課題を探る <https://www3.nhk.or.jp/sapporo-news/20240201/7000064592.html> (2 月 13 日閲覧)

防災教育の教材開発と実践，洪水氾濫予測システムの構築

北海道大学大学院 工学研究院
田中 岳

防災教育の教材開発と実践，洪水氾濫予測システムの構築を念頭に，下記に示す研究活動に従事してきました。

1. 小学校児童を対象とした洪水ハザードマップを用いた防災教育実践

洪水による災害が想定されるような場合には，その数日前から，状況推移に注意を払うことに加えて，事前に危険箇所，避難経路や避難場所を確認しておくことは極めて重要です。国土交通省や自治体が公開するハザードマップは，この事前のリスク認識に有用ですが，実際にはこれが活用されていないことも起きています。ここでは，防災知識や意識の醸成を図ることを目的に，洪水ハザードマップを活用した防災教育教材を開発し，小学校児童を対象に実践しました。「家族会議」を模擬する積極的なグループ・ワークが観察されました（写真：学習風景）。家庭での実施に繋がることが期待されます。



2. 多文化共生を踏まえた「やさしい」防災ゲーム(HUG)による防災教育

昨今，多様性社会の推進が求められています。くらしのなかで指摘される様々な問題は，災害時にも同様に生じることは容易に想像し得ます。ここでは特に，超高齢化社会の到来と外国人材の依存度の高まりを背景として，地域社会における非日本語母語話者と日本語母語話者との共生を踏まえながら，地域の共助力向上を目的とした「やさしい」防災ゲーム（多文化共生版「やさしい」HUG）の開発（試作）を試みています。HUGとは静岡県の避難所運営ゲームのことで，その「やさしい」日本語化などは，石井（北海道大学），式部（同），藤原（同）との共同研究として行われました。試作版を用いて，非日本語母語話者と日本語母語話者とのワーク・ショップ（WS）を実施した結果から，コミュニケーションの重要性の指摘と同時に，災害時に想定される状況の新たな気づきといった，共生と防災の意識の芽生えが見られました。本ゲームが「共生」と「防災」の意識向上を図る教材と成り得るよう，今後，その改良に取り組む予定です。

3. 降雨流出から洪水氾濫に至る現象の集中化した予測システムの確率応答解析に基づく構築

地方では，財政面や人材面の課題から，経験則や概念モデルなどの利便性を第一に洪水氾濫予測をせざるを得ない状況にあります。しかし，この概念モデルには，空間スケールなどの適用制限に関わる課題が含まれています。ここでは，実務面での利便性が高い貯留型流出モデルを基本とした洪水氾濫システムを構築するための基盤研究を進めています。この構築は，システム間の確率特性の比較に基づきます。これまでに，洪水氾濫現象に現れる①降雨量，②地形・地質特性，③初期の湿潤状態の不確実性を確率論的に定式化した上で，貯留型流出モデルの流出量の確率特性（流出量の高次モーメント）を記述する微分方程式を導出してきました。今後は，洪水氾濫現象を詳細に記述する物理モデルの確率特性を推定し，貯留型流出モデルを基本とした洪水氾濫システムの構築へと研究を展開する予定です。

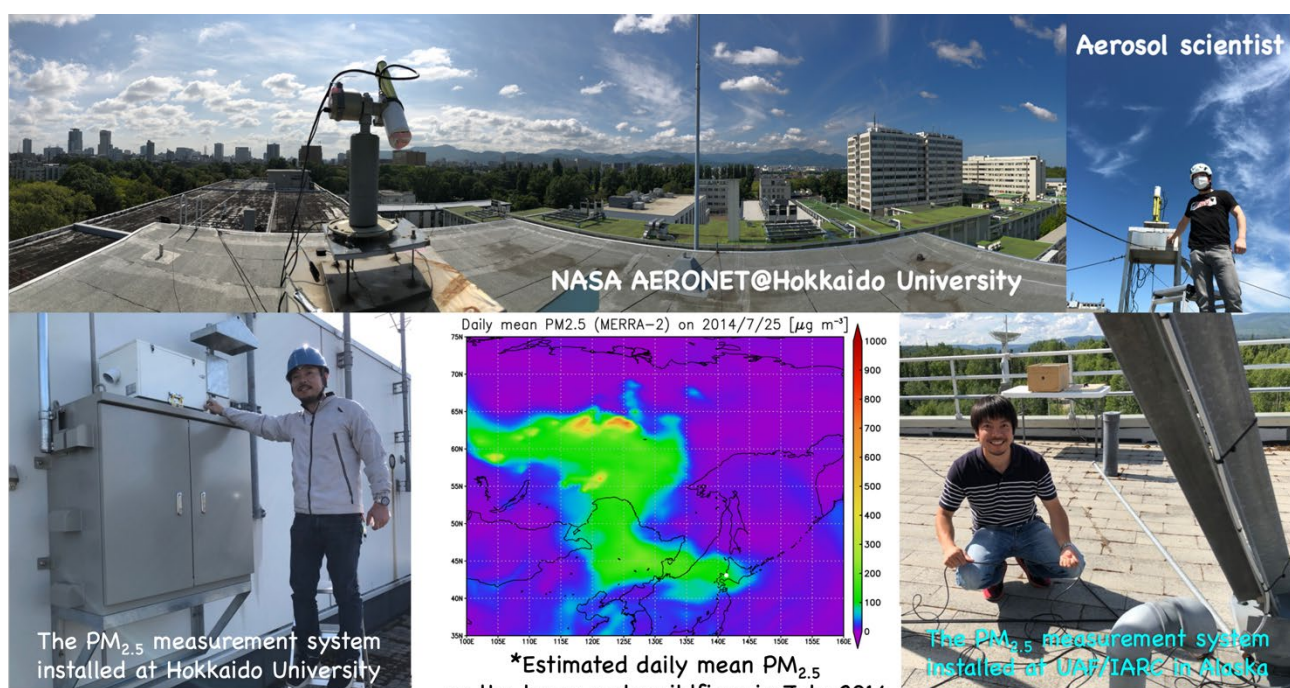
越境大気汚染を観測し、要因を探り、予測する！

北海道大学 北極域研究センター

安成 哲平

安成准教授は、雪氷寒冷圏を中心に「大気エアロゾル」を切り口として、環境科学、気象、気候分野で活躍する研究者である。大学院の頃の氷河のアイスコアの分析から、米国 NASA での全球数値モデルの開発、そして、現在行っている大気エアロゾル・PM2.5 の観測まで、様々な研究手法を導入して取り組んでいる。その安成准教授がここ何年も特に注目して行っている研究が森林火災とその越境大気汚染（大気エアロゾル・PM2.5）の研究である。北海道など北日本は、シベリア及び周辺域の森林火災からの越境大気汚染が輸送されてくる（Yasunari et al., 2018：図参照）。大気汚染に含まれる微粒子 PM2.5 は、人の健康に影響を与え（<https://www.env.go.jp/content/900403822.pdf>）、その PM2.5 を構成する大気エアロゾルは気候に影響を与える（IPCC, 2021）。酷い大気汚染は、災害になりうる。森林火災とその大気汚染排出は今後の温暖化の度合いと共に増加し（Veira et al., 2016）、最新の IPCC の第 6 次報告書では、将来の温暖化と共に多くの地域で火災に関連した天気が増加すると報告されている（IPCC, 2021）。つまり、図のような森林火災による高濃度 PM2.5 の越境大気汚染の事例が将来増えるかもしれない。森林火災火災の要因を知ることは将来予測のために大事であることは元より、その越境大気汚染が起こった時に、それを評価できる観測データがなければ、何も影響は評価はできない。安成准教授は、北大を大気汚染観測のスーパーサイトにしようと、北大に着任した時から（当時、工学研究院所属）、様々な観測機器設置と定常観測に関わってきている。米国 NASA と共同で、NASA が世界中に展開する大気エアロゾル観測サイトネットワーク AERONET（光学的な大気エアロゾル観測）の北海道唯一のサイトを北大工学部に設置し（<https://www.eng.hokudai.ac.jp/graduate/top/news/?topic=15102301>）、Co-I や Site Manager としてメンテナンスなど定常観測維持のために長年貢献をしている（図参照）。また、環境省が黄砂情報として、使用している地上ライダーの北大内設置（工学部）と定常観測維持にも関わっている（<https://www.eng.hokudai.ac.jp/graduate/top/news/?topic=17042401>）。これらに加え、PM2.5 をコストも安価に、かつ寒冷地で安定して観測を行えるように「寒冷地仕様の PM2.5 測定装置」を名古屋大学と共同で開発を行い（採用した PM2.5 センサーは名古屋大とパナソニックが共同開発したもの：Nakayama et al., 2018）、そのプロトタイプの装置を森林火災が夏季に頻繁に起こるアラスカに設置して（図参照）、PM2.5 の測定を行い（Yasunari et al., 2022）、現在までも測定を継続している。同 PM2.5 測定装置の商用版は札幌の企業「(株) タナカ」から販売しており（<http://kktanaka.co.jp/products>）、誰でも同装置を利用できるようになっている（PM2.5 センサーは別途要購入）。この PM2.5 測定装置を、北陸以北から北海道を中心に、長岡市（新潟県）、弘前市（青森県）、函館市・札幌市（北極域研究センター屋上にも設置：図参照）・江別市（酪農学園大学）などに設置展開を行い（各サイトの詳細は、下記 researchmap 内のリンクを参照）、これらの地点で PM2.5 を同時に同じ装置で測定を行い、クラウド上でデータ集約と解析を行えるシステムを開発中である。装置の設置場所は今後も増やす予定である。この

独自の PM2.5 観測ネットワーク構築により、これらの地域で、越境大気汚染があった際には、その PM2.5 の特徴を迅速に捉え、解析できるようにしている。また、最近の研究では、「北極域の森林火災と西欧熱波を同時誘発させうる気候パターン」を初めて特定し（Yasunari et al., 2021: <https://www.hokudai.ac.jp/news/2021/05/post-843.html>）、森林火災と気候（大気循環）の関係についての知見も得ており、今後の森林火災予測研究への発展と応用が期待される。さら安成准教授の研究グループでは、機械学習を使った PM2.5 変動やシベリア森林火災予測につながる研究まで取り組んでいる。北大で北極域を含む雪氷寒冷圏における大気エアロゾル・PM2.5・越境大気汚染・森林火災の研究で気になることがあれば、まず声をかけることをお勧めしたい研究者である。



*Fig. 1b of Yasunari et al. (2018, *Sci. Rep.*, <https://doi.org/10.1038/s41598-018-24335-w>)

安成准教授の研究者情報：<https://researchmap.jp/read0142905>

北大広報誌「リテラポリ」による研究紹介：

https://www.hokudai.ac.jp/pr/webpamphlet/litterae_vol.69/index.html#page=21

研究紹介（中高生向け）：<https://www.sekaiwokaeyo.com/wakate/w2069/>

参考文献

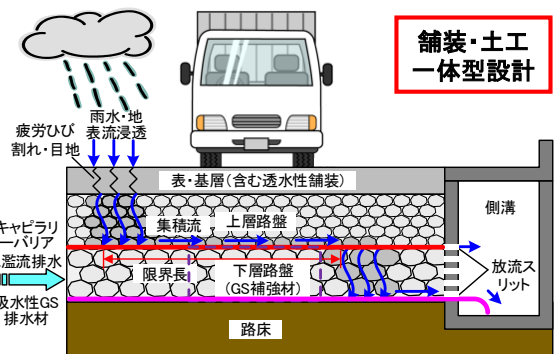
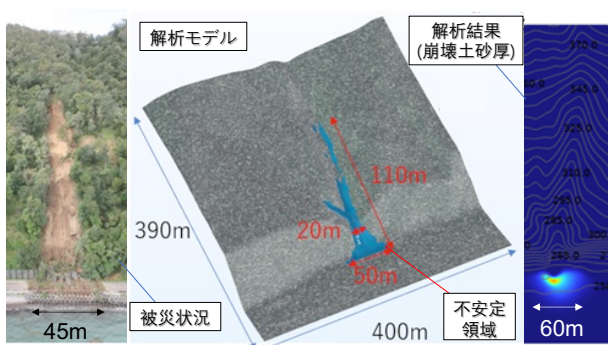
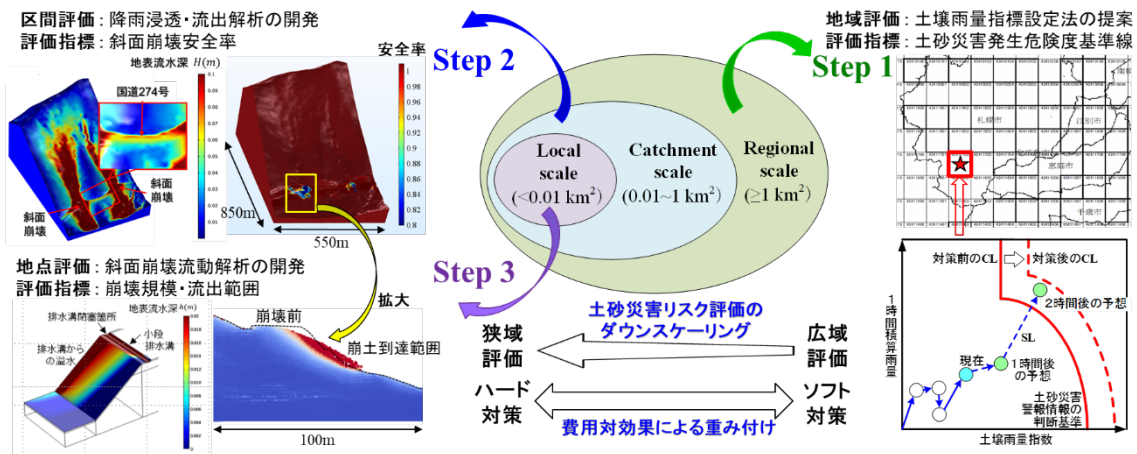
- IPCC (2021), *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., et al. (eds.)]. <https://dx.doi.org/10.1017/9781009157896>
- Nakayama, T., et al. (2018), Development and evaluation of a palm-sized optical PM_{2.5} sensor, *Aerosol Sci. Technol.*, 52, 2–12. <https://doi.org/10.1080/02786826.2017.1375078>
- Veira, A., G. Lasslop, and S. Kloster (2016), Wildfires in a warmer climate: Emission fluxes, emission heights, and black carbon concentrations in 2090–2099, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 121, 3195–3223. <https://doi.org/10.1002/2015JD024142>
- Yasunari et al. (2018), Extreme air pollution events in Hokkaido, Japan, traced back to early snowmelt and large-scale wildfires over East Eurasia: Case studies, *Sci. Rep.*, 8, 6413. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-24335-w>
- Yasunari et al. (2021), Relationship between circum-Arctic atmospheric wave patterns and large-scale wildfires in boreal summer, *Environ. Res. Lett.*, 16 064009. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abf7ef>
- Yasunari et al. (2022), Developing an insulation box with automatic temperature control for PM_{2.5} measurements in cold regions, *J. Environ. Manage.*, 311, 114784. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.114784>

気候変動下の広域複合災害に対する交通インフラ強靱化への マルチスケールアプローチ

北海道大学大学院 工学研究院
石川 達也

【研究概要】

道路舗装・鉄道線路等の交通基盤施設（付帯土構造物を含む）の防災・減災対策の合理化や設計・維持管理手法の効率化を図るため、気候変動に伴い変質する積雪寒冷地域特有の土砂・地盤災害の形態変化を体系化するとともに、その潜在的な危険度を広域から狭域まであるいは現在から将来に亘って評価して、健全な地盤環境の利用を促進しています。特に、近年激甚化・大規模化傾向にある豪雨・融雪時の地表流を伴う水・土複合災害に対する交通インフラの災害耐性強化のため、階層的な水・土複合災害脆弱性評価法（図1）を利用した通行規制指標策定法の提案とともに、災害発生に伴う被災範囲の推定（図2）や対策工の災害抵抗力増強効果の評価、および防災・減災効果・寿命延伸効果を有する交通インフラの開発（図3）を行っています。



【参考文献】

- 1) He, W., Ishikawa, T., Zhu, Y. : Wide / narrow-area slope stability analysis considering infiltration and runoff during heavy precipitation, Soils and Foundations, 63(1): 101248, 2023.
- 2) Zhu, Y., Ishikawa, T., Zhang, Y., Nguyen, B.T., Subramanian, S. S. : A FEM-MPM hybrid coupled framework based on local shear strength method for simulating rainfall/runoff- induced landslide runout, Landslides, 19(8): 2005-2019, 2022.
- 3) Zhu Y., Ishikawa, T., Yamada, T., Subramanian, S. S. : Probability Assessment of Slope Instability in Seasonally Cold Regions under Climate

- Change, *Journal of Infrastructure Preservation and Resilience*, 2: 20, 2021.
- 4)He, W., Ishikawa, T., Nguyen, B.T. : Effect evaluation of grass roots on mechanical properties of unsaturated coarse-grained soil, *Transportation Geotechnics*, 38: 100912, 2022.
- 5)石川達也, 司君嶺, 任道駒, 丸山記美雄, 高橋茂樹 : 交通地盤工学に基づく環境要因を考慮した舗装構造設計・性能評価法の提案, *高速道路と自動車*, 66(5): 13-20, 2023.
- 6)Si, J., Ishikawa, T., Ren, D., Maruyama, K., Ueno, C. : Response Prediction of Asphalt Pavement in Cold Region with Thermo-Hydro-Mechanical Coupling Simulation, *Sustainability*, 15(18): 13614, 2023.

細粒分を多く含む火山灰質砂盛土材が内部侵食を受けた場合の 力学挙動に関する研究

北海道大学大学院 工学研究院

渡部 要一

2018年に発生した平成30年北海道胆振東部地震では、札幌市南部に広がる火山灰質砂による宅地盛り土が広範囲に液状化しました。その一部は地形的な理由も重なって流動化した土砂が大規模に流出したために、住宅地が3m近く沈下するなど甚大な被害が発生しました。その主たる原因は、造成当時は締固め工事の施工管理基準が制定されていなかったことから、今日要求されるような十分な締固めが実施されずに宅地盛り土が造成されてしまったことでした。基準類が整備された現在、盛土工事では十分に締め固められるようになりましたが、造成直後の盛土からの排水は濁っていることからも想像できるように、細粒分の一部が抜ける内部侵食は完全には避けられません。このため、今日の施工管理によって十分に締め固めた地盤でも何らかの内部侵食が生じており、そのことが力学特性や液状化特性にどのような影響を与えるかについては未解明の点が多く残されています。

第1期の研究活動では、2018年に発生した北海道胆振東部地震で被災した札幌市南部の大規模盛土地盤（清田区里塚地区）の被災原因を究明するとともに、当該盛土材料の基礎的な力学特性や液状化特性を明らかにしました。また、里塚地区から採取した盛土材料（火山灰質砂）は細粒分が多く含まれる（約45%）ことが特徴であり、締固め条件の影響が力学特性や液状化特性に与える影響について、これらの特性が内部侵食によって変化することも含めて総合的に明らかにしました。これらの知見は、既存の盛土が地下水位の上昇によって脆弱化しやすいことを指摘するとともに、今日の施工基準によって築造される盛土の性能を評価するのに役立つ基礎的な知見になるものです。

1. 里塚地区液状化被害の発生原因の解明

2018年に発生した平成30年北海道胆振東部地震により大規模宅地盛り土で発生した液状化被害について、公益社団法人地盤工学会の調査団の活動の一環として、詳細な現地調査や原因解明のための土質試験を実施しました。その結果、不十分な締固めと地下水位の上昇が、里塚一条地区での液状化被害の原因として第一に挙げられることに加えて、被災した盛土が傾斜地であることから、液状化した土砂が地中を下流側に流れ出し、下流側の地表面勾配が急になり土被りが薄くなることで地表面に噴出したことが被害を甚大なものにしたことがわかりました（Watabe and Nishimura, 2020）。

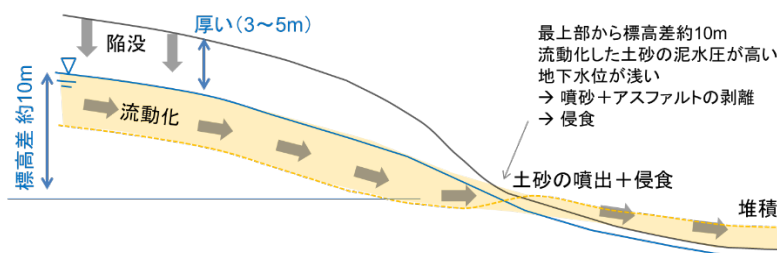


図1. 札幌市清田区里塚一条の液状化による被災メカニズム

2. 締固め条件が液状化特性に与える影響に関する研究

札幌市清田区里塚一条から採取した非塑性細粒分が多い火山灰質土の場合、締固め度 90%では液状化抵抗 R_{L20} （繰返し載荷 20 回で液状化に至る有効圧密応力に対する繰返しせん断応力比）は 0.2 程度しか期待できず、これを 0.3 以上にするには締固め度 95%以上に締め固める必要があることがわかりました。また、同じ乾燥密度であっても骨格構造が重要で、乾燥側の締固め条件の方が高い液状化抵抗を期待できることもわかりました。しかしながら、乾燥側の締固め条件の方が液状化時の変形に関する粘り強さが失われてしまうため、液状化に対する粘り強さにも留意するべきであることがわかりました（渡部ら, 2022; Watabe, 2023）。

3. 内部侵食がせん断特性や液状化特性に与える影響に関する研究

土が骨格を維持したまま細粒分だけが内部侵食される現象のことをサフュージョン (suffusion) と称し、土の骨格ごと流出するサフォージョン (suffosion) と区別されています。この研究ではサフュージョンに着目し、せん断特性や液状化特性に与える影響について調べました。サフュージョンは乾燥密度が低い乾燥側の締固め条件で発生しやすいものの、マクロポロシティと称される大きな間隙のネットワークが発達します。一方、締固め度がやや低い土では、特に乾燥側の締固め条件において、非排水せん断強さはサフュージョンによって増加し、サフュージョンが好影響をもたらしました。一方、締固め度の高い土では、非排水せん断強さがサフュージョンによって低下するなど好ましくない影響を与えることもあるが、密に締め固められた土は、サフュージョンによって非排水せん断強さが低下しても、そもそも十分に高い非排水せん断強さを有しています (Rupali and Watabe 2023; Watabe et al. 2023; 志田・渡部 2022)。

引用文献：

- Watabe, Y., Nishimura, S., 2020. Ground movements and damage in Satozuka district, Sapporo due to 2018 Hokkaido Eastern Iburu Earthquake. *Soils and Foundations* 60(5), 1331-1356.
- 渡部要一, 窪田 翔, 棕木俊文, 佐々真志, 2022. 非塑性細粒分を多く含む火山灰質砂の非排水せん断特性に及ぼす締固め条件と内部侵食の影響. 第 58 回地盤工学研究発表会講演集, 13-6-2-02.
- Watabe, Y., 2023 Influence of compaction conditions on the liquefaction characteristics of pumice sand with non-plastic fines. *Bulletin of L.N. Gumilyov ENU. Technical Science and Technology Series*, No.2/2023, pp.8-18.
- Sarmah, R., Watabe, Y., 2023. Suffusion in densely compacted Satozuka pumice sand and its impact on static loading undrained shear strength and dilation behaviour. *Soils and Foundations* 63(6), 101397.
- Watabe, Y., Kubota, S., Mukunoki, T., Sassa, S. 2023. Influence of suffusion on shear characteristics of pumice sand with non-plastic fines in relation to compaction condition. *Proceedings of the 11th International Conference on Scour and Erosion*.
- 志田恭一, 渡部要一, 2024. 細粒分を多く含む火山灰質砂の締固め条件および内部侵食が液状化特性に与える影響. 地盤工学会北海道支部技術報告集, 第 64 号

地理空間情報を用いた複合広域災害への社会的脆弱性克服に関する研究

北海道大学大学院 文学研究院

橋本 雄一

本研究は、地理空間情報、GIS、衛星測位などにより、防災・減災に関して社会的有効性の高い統合情報システムと活用方法の開発を行い、それにより開発と災害リスクの関係について分析を行いつつ、「災害に対する社会的脆弱性（Vulnerability）」の克服について人文社会科学と自然科学の両方の立場から下記のように研究を行った。

(1)GIS・衛星測位・地理空間情報を統合した基盤システム開発

日本海溝・千島海溝周辺の超巨大地震による津波を想定し、北海道太平洋沿岸地域を対象として地理空間情報、GIS、衛星測位を統合した基盤システムを開発し、Geo-visualization（地理的可視化）を用意とする環境を整えた（図 1）。日本の準天頂衛星システムが 2017 年度に衛星 4 機体制となったことで、衛星測位で取得できる位置データや標高データの精度が大幅に向上した。この測位データの最適な使用環境を考慮してシステムを構築した上で、ジオマイクロデータの活用方法の開発と実証実験を行うための基盤整備を行った。（橋本雄一編 2022）

(2)津波想定域の可視化技術および避難困難地域の抽出法の開発

上記の基盤システムにより、日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震による津波の浸水での被害分析、避難施設と避難困難地域（津波到達までに避難場所に到達できない地域）に関する分析、住民の避難行動に関する分析などを行った。また、国勢調査小地域データにより、避難困難地域の人口動態や高齢化などについても検討した。（橋本 2022a, 工藤・橋本 2023）

(3)津波避難支援システム開発と積雪期の避難障害に関する空間分析

積雪寒冷地である北海道沿岸の事例市町村を選定し、避難訓練などで得られる集団の避難移動履歴データを収集し、それを津波浸水想定 GIS データと重ね合わせることでできる津波避難ナビなどのシステムを開発した。これを用いて集団津波避難移動データの可視化を行い、非積雪期と積雪期における避難の障害を特定し、歩行速度低下の要因について分析した（図 2）。（Fukada, H. et al 2023, 奥野・橋本 2021, 橋本 2022b）

(4)津波集団避難実験と複合災害時避難研究への展開

津波を中心とする複合災害を想定し「災害に対する社会的脆弱性（Vulnerability）」に注目して分析を行った。集団避難の GPS ログと津波浸水想定などの重ね合わせたデータに関する分析手法を複合災害にも適用できるように高度化し、多彩な状況に対応した分析を行えるようにした。（工藤・橋本 2021, 工藤・橋本 2023）

(5)津波避難ビルの階段上昇シミュレーション研究

津波避難ビルの階段上昇シミュレーションなどを行い、水平避難だけでなく垂直避難に関する分析も行うことで、津波避難ビルの課題抽出を行った。（深田・橋本 2021ab）

(6)VR を用いた避難実験システムの構築と検証

夜間の積雪時や、ブラックアウト発生時など特殊な環境での避難移動履歴データを収集するために、VR

を用いた避難実験システムを構築した。これを用いて、避難移動に関して現実空間の模擬避難実験と仮想空間の避難シミュレーションを統合して研究を進めた。また、避難者の意思決定についてはファジーAHPなどの手法を用いて分析した。（塩崎・橋本 2020）

(7) 高校「地理総合」を核とした小中高大の防災リテラシー向上に関する研究

教育機関を中心に研究成果の社会的発信を行った。2022 年度から高校で必修科目となった「地理総合」で、GIS を援用して災害に関する「教材の現地化」を推進することで、防災リテラシーと地図リテラシーを同時に高め、身近で発生する可能性が高い災害について理解を深めるとともに、それへの対応について自ら検討し実行できる力を身につけることができるように、教育プログラムの提案などを行った。（秋本ほか 209, 橋本雄一編 2023）

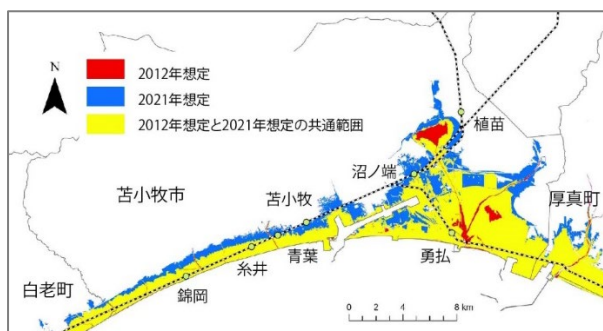


図1 2012年と2021年の津波浸水想定



図2 集団避難のGPSログの可視化

参考文献

- Fukada H., Hashimoto Y., Oki M. and Okuno Y. 2023 Proposal and evaluation of tsunami disaster drill support system using tablet computer. *International Journal of Information Technology*, 15, 4029-4039.
- 秋本弘章, 橋本雄一, 河合豊明 2019 「地理総合」とGIS—その意義と汎用・基礎データの存続・課題と支援・実践. *学術の動向*, 24(11), 18-22.
- 奥野祐介, 橋本雄一 2021 歩行速度に着目した疑似的津波集団避難行動分析. *地理情報システム学会講演論文集*, 30, B30-3-3.
- 工藤由佳, 橋本雄一 2021 北海道日本海沿岸における津波避難の空間分析. *地理情報システム学会講演論文集*, 30, B30-3-4.
- 工藤由佳, 橋本雄一 2023 路面状況と道路ネットワーク途絶を考慮した積雪寒冷地における津波避難困難地域の推定—千島海溝地震による津波の浸水想定事例—. *地理学論集*, 97(1), 1-12.
- 塩崎大輔, 橋本雄一 2020 VR を用いた津波避難行動の空間分析. *情報処理学会研究報告「情報システムと社会環境」*, 2020-IS-151(6), 1-6.
- 橋本雄一 2022a 北海道太平洋沿岸の津波浸水想定変更に伴う避難困難域の変化. *地理情報システム学会講演論文集*, 31, B-O2-4.
- 橋本雄一 2022b ブラックアウトとホワイトアウト. *地理*, 67(2), 16-26.
- 橋本雄一編 2022 『六訂版 GIS と地理空間情報: ArcGIS Pro3.0 の活用』古今書院.
- 橋本雄一編 2023 『「地理総合」とGIS教育: 基礎・実践・評価』古今書院.
- 深田秀実, 橋本雄一 2021a マルチ・エージェント・シミュレーションによる津波避難ビルへの避難行動分析—北海道釧路市中心市街地を事例として—. *地理学論集*, 96(2), 7-18.
- 深田秀実, 橋本雄一 2021b エージェントモデルを用いた津波避難シミュレーション手法の開発・釧路市における津波避難ビルの垂直避難を対象として—. *地理情報システム学会講演論文集*, 30, B30-3-1.

北海道内火山を対象とした噴火災害軽減に向けた観測研究の概要

北海道大学大学院 理学研究院附属地震火山研究観測センター

青山 裕*・村上 亮** (*R3-R5, **H31-R2)

北海道大学大学院理学研究院附属地震火山研究観測センター（以下、地震火山センター）では、文部科学省科学技術・学術審議会測地学分科会から建議された「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画の推進について（第2次）」に基づく5カ年の研究計画に主要機関の一つとして参画しています。私たちの研究グループは、1977年に設立された北海道大学理学部附属有珠火山観測所（当時）の活動を引き継いで、北海道内の活動的火山における観測研究を進めています。この5カ年では、表面的な火山活動に活発化の兆しが認められる十勝岳と、2000年噴火の終息から20年以上が経過した有珠山の観測研究に特に注力して取り組んできました。

20世紀に3回の顕著な噴火活動を経験した十勝岳では、噴気活動の中心である62火口付近の浅い部分の変動源と推測される、長期的な山体膨張が2006年頃から続いていた。同時に、火口域の浅い部分の温度上昇を示唆する地磁気変化も観測されていたことから、地震火山センターでは2014年度から十勝岳火口近傍での観測施設整備を進め、火口域の観測能力の強化を図ってきました。前十勝の西斜面（標高1590m）に新設した地震・傾斜観測施設では、2019年11月からしばしば顕著な山体の膨張－収縮変動やそれに伴う地震活動の増大が観測されるようになり、表面的には分からないものの地下では短期的な活動の高まりが繰り返されていることが明らかになりました。火山体の浅い部分で急速に進行する膨張変動は、水蒸気噴火の短期的な先行現象の一つでもあります。そのため、我々は観測された地盤変動や地震波のデータに基づいて、変動源の位置や発生メカニズムの解明を目指した研究を進めてきました。その結果、十勝岳では活動火口の下数100m（標高1200～1400m付近）に浅部の圧力変動源が、海水面下1km付近に深部の圧力変動源があると推定され、地盤変動イベントによっては深部と浅部の変動源を繋ぐように地震活動域が移動することも分かりました（図1）（田中, 2022；近内, 2023；Permana and Aoyama, 2022）。このような短期的な地盤変動は、噴気放出路の一時的な閉塞と開放を示唆していると考えられ、火山活動の不安定度を評価する上で重要な現象と言えます。

現在の十勝岳は、2006年頃から継続してきた山体浅部の長期的膨張が終わり、2018年頃から若干の収縮変動期へと移行しています。この変化と同期するように62火口や近傍の振子沢噴気孔群の噴気活動が活発化したほか、2021年頃からは前十勝の西斜面にも新たな噴気孔が出現するなど、表面的な熱活動が高まっています。このような変化は、2018年頃までの火道の長期的な閉塞期に地下浅部にため込まれた熱水や火山ガスが、何らかの原因による閉塞度の低下によって放出されるようになったためと理解されています。地下深部からの熱水やガスの供給と地表からの放出のバランスが保たれる方向への変化ですので、全体的な火山活動の状態としては安定化へ向かっていると考えられます。ただ、熱活動域の拡大に伴い前十勝の西斜面に新設した観測施設でも地温が著しく上昇し、地盤変動検出に重要な役割を果たしてきた埋設型地震計・埋設型傾斜計が運用不能・回収不能となりました。火口域の観測能力が著しく低下しており、何らかの対応が必要な状況となっています。また、地熱域の拡大は、岩石の変質に起因する岩盤の支持強度低下をもたらします。将来の部分的な山体崩壊の危険性を考える上で、前十勝西側に拡大した地熱活動のモニタリングは重要です。

有珠山においては、次期噴火を見据えての測地測量観測の強化を図っています。2000 年噴火では、3 月 31 日の噴火開始に先行して進行した地盤変動の GNSS 観測データから、噴火後の解析により、噴火活動域へ向かう地盤変動域の移動と局在化が明らかになりました。現在では、このようなデータをリアルタイムに解析することで、時々刻々と地盤変動の様子をとらえることが可能となっています。そこで我々のグループでは、次の噴火活動への備えとして、有珠山一帯の GPS 等の観測施設を増やすとともにリアルタイム解析の準備を進めています。

その他、道内火山の災害軽減に向けた観測研究の課題についても小論をまとめました（青山, 2022）。

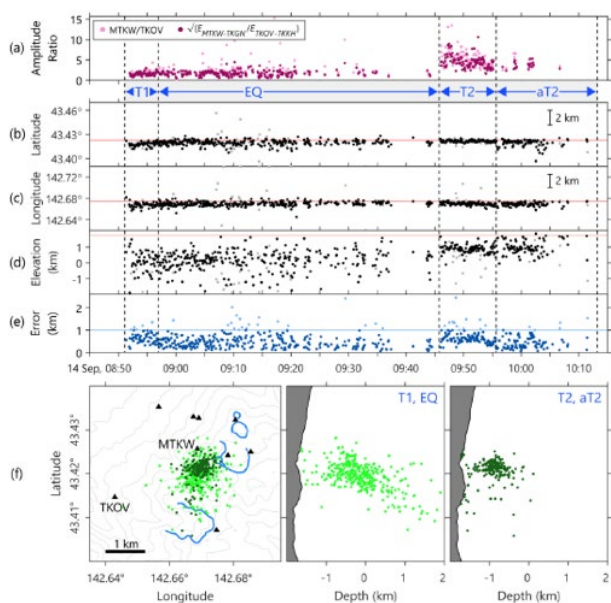


図 1. 2020 年 9 月の地盤変動イベントで見られた地震活動域の浅部への移動 (Permana and Aoyama, 2022).



図 2. 有珠山一帯の GNSS 観測施設配置と 2023 年度の整備作業箇所。

引用文献：

- 青山 裕 (2022) 北海道の活火山における減災に向けた観測研究の取り組みー物理観測と物質科学の今後の連携を見据えてー, 火山, 67, 2, 171-193.
- 田中佑樹 (2022) 十勝岳の長周期振動の波形インバージョン解析, 北海道大学理学院自然史科学専攻修士論文, 108p.
- 近内雪乃 (2023) 解析的地形補正法と有限要素法を用いた十勝岳の傾斜変動源推定ー浅部熱水活動の理解に向けてー, 北海道大学理学院自然史科学専攻修士論文, 121p.
- Permana T. and Aoyama, H. (2022) Locating volcanic earthquakes and tremors using delay time and amplitude ratio information from cross-correlation functions, Seim. Res. Lett., 94, 871-886.

多様な現象によって引き起こされる津波ハザードに関する研究

北海道大学大学院 理学研究院

谷岡 勇市郎

広域複合災害として大きく分けて2つの研究課題を実施した。それらは、①津波励起過程（ハザード）を理解する研究（大地震と大津波、火山噴火による山体崩壊と大津波、火山噴火による大気・海洋結合により励起される津波等）、②それらのハザードを即時に予測するための研究、である。

① ー1 巨大地震と大津波のハザードの理解に向けた研究

巨大地震による津波ハザードを理解するために、大きな障害となっているのは「津波地震」の存在である。「津波地震」とは励起された津波が地震の大きさ（特に揺れの大きさ）に比べて異常に大きくなる地震の総称である。その1つとされるのが1611年慶長三陸地震による津波であり、Yamanaka and Tanioka (2022)はその津波の励起過程を明らかにした。また、1923年関東大震災は日本で最も被害の大きかった地震であるが、津波による被害も甚大であった。Nakadai et al. (2023)はその津波の励起における新しいモデルを提案した。最後に、Tanioka and Yamanaka (2023)では巨大地震による大津波のハザードの研究について最近の科学的進展をレビューし今後の研究進展の方向性について議論した。

① ー2 火山噴火による大津波の理解に向けた研究

2018年インドネシアのクラカタア火山の噴火に伴い山体崩壊が発生し、その山体崩壊が大津波を励起し、スマトラ島やジャワ島沿岸は大きな災害を被った。Ratnasari et al. (2023)はその山体崩壊及び大津波を数値計算によりモデル化し、津波励起過程及び沿岸の津波を再現した。2022年トンガ火山噴火により、今まで考えられていたより早く津波が日本に到達し気象庁の警報の発令が遅れたことは良く知られている。Tanioka et al. (2022)はその津波が大気・海洋の結合モデルにより説明できる事を明らかにすると共に、日本沿岸での伝播特性を明らかにした。この論文はEPSの**2022年度 Highlighted Paper**に選出された。

② ー1 巨大地震による津波の即時予測に向けた研究

2011年東日本大震災の後、日本では津波の津波即時予測の精度を向上させる事を目的として世界で初めて150点ものケーブル式地震・津波観測装置を海底に設置した。それらを用いた津波即時予測手法の開発は急務となった。現在津波の予測には地震の情報が用いられているが、Tanioka (2020)は稠密な津波の観測データのみを用いて津波の即時予測を実施する手法を開発した。この手法は地震の大きさに見積もりに頼ることなく直接津波波形から沿岸での波高を予測するため、高精度になる。Inoue et al. (2019)はさらに簡易的な手法を開発し、稠密観測データを用いて津波の波源を予測する手法を開発した。Ratnasari et al. (2020)やTanioka et al. (2020)は日本のような稠密

観測網が存在しないインドネシアやニカラグアでも津波の即時予測を改善する手法を開発した。

② ー2 火山噴火に伴う山体崩壊による津波の即時予測に向けた研究

日本やインドネシアでは頻度は少ないものの火山噴火に伴う山体崩壊により大きな津波を発生させ甚大な被害を被ってきた（例 1741 年渡島大島噴火津波・1881 年クラカトア噴火津波）。山体崩壊による津波の計算手法はいくつか提案されているものの、山体崩壊のパラメーターを即時予測する事は難しく、その津波の即時予測手法はほとんど存在しない。そのような状況で Ratnasari et al. (2023)は火山性山体崩壊の津波を数値計算とデータベースを組み合わせる事で即時予測できる手法を開発した。

発表論文

Tanioka, Y., Y. Yamanaka, (2023) Recent progress in research on source processes of great earthquakes using tsunami data, *Prog. Earth Planet. Sci.* 10, 61, [doi:10.1186/s40645-023-00593-9](https://doi.org/10.1186/s40645-023-00593-9)

Ratnasari, R.N., Y. Tanioka, Y. Yamanaka, I. Mulia, (2023) Development of early warning system for tsunami accompanied by collapse of Anak Krakatau volcano, Indonesia, *Frontiers in Earth Science*, [doi:10.3389/feart.2023.1213493](https://doi.org/10.3389/feart.2023.1213493)

Nakadai, Y., Y. Tanioka, Y. Yamanaka, T. Nakagaki, (2023) Re-Estimating a Source Model for the 1923 Kanto Earthquake by Joint Inversion of Tsunami Waveforms and Coseismic Deformation Data, *Bull. Sei. Soc. Am.*, [doi:10.1785/0120230050](https://doi.org/10.1785/0120230050)

Yamanaka, Y. and Y. Tanioka, (2022) Short-wave run-ups of the 1611 Keicho tsunami along the Sanriku Coast, *Prog. Earth Planet. Sci.*, 9, 37, 2022, [doi:10.1186/s40645-022-00496-1](https://doi.org/10.1186/s40645-022-00496-1)

Tanioka, Y., Y. Yamanaka, and T. Nakagaki, (2022) Characteristics of the deep sea tsunami excited offshore Japan due to the air wave from the 2022 Tonga eruption, *Earth Planet. Space*, 74:61, [doi:10.1186/s40623-022-01614-5](https://doi.org/10.1186/s40623-022-01614-5)

Tanioka, Y., (2020) Improvement of near-field tsunami forecasting method using ocean-bottom pressure sensor network (S-net), *Earth Planets Space*, [doi:10.1186/s40623-020-01268-1](https://doi.org/10.1186/s40623-020-01268-1)

Ratnasari, R.N., Y. Tanioka, A.R. Gusman, (2020) Determination of Source Models Appropriate for Tsunami Forecasting: Application to Tsunami Earthquakes in Central Sumatra, Indonesia, *Pure Appl. Geophys.*, 2020, [doi:10.1007/s00024-020-02483-3](https://doi.org/10.1007/s00024-020-02483-3)

Tanioka, Y., A. G. Cabrera, G. J. Arguello, Y. Yamanaka, (2020) Tsunami hazard in the Caribbean coast of Honduras due to large earthquakes occurred along the Cayman Trough at the northwest boundary of Caribbean plate, *Coastal Eng. J.*, [doi:10.1080/21664250.2020.1744061](https://doi.org/10.1080/21664250.2020.1744061)

Tanioka, Y., U. G. Grillo, G. J. Arguello, (2020) Near-real time tsunami inundation forecast for Central America : case study of the 1992 Nicaragua tsunami earthquake, *Coastal Eng. J.*, [doi:10.1080/21664250.2019.1708536](https://doi.org/10.1080/21664250.2019.1708536)

Inoue, M., Y. Tanioka, Y. Yamanaka, (2019) Method for Near-Real Time Estimation of Tsunami Sources Using Ocean Bottom Pressure Sensor Network (S-Net), *Geosciences*, [doi:10.3390/geosciences9070310](https://doi.org/10.3390/geosciences9070310)

積雪変質モデルを用いた定山溪ダム流域の融雪推定

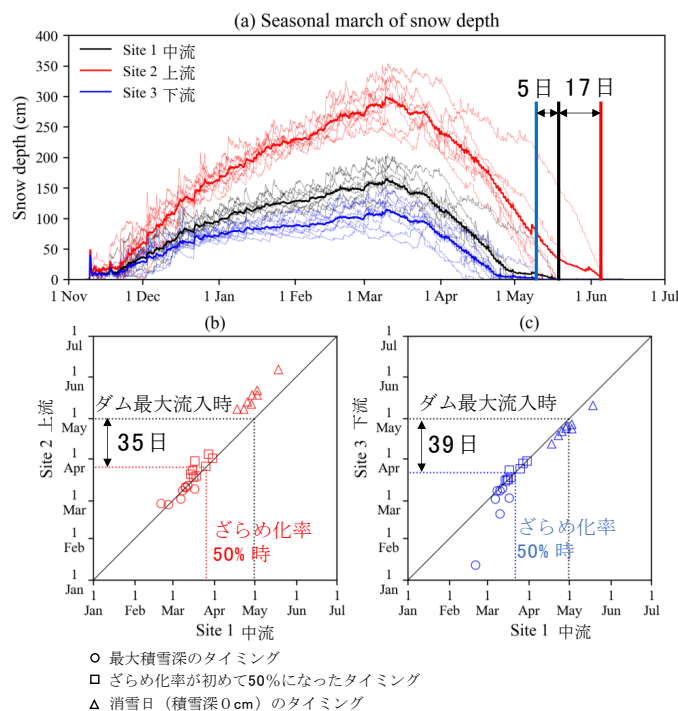
北海道大学大学院 理学研究院

稲津 將

北海道における災害の中でも気候変動の影響を大きく受ける現象は、雪に関係すること
も多い。その中で、春先の高温環境における融雪出水は、近年、災害が顕在化しており、浸
水や土砂崩れを伴って、複合災害となることもある。そこで、降水や積雪の観測データがあ
る定山溪ダム流域を対象とした積雪変質モデルに基づく融雪量の面的な推定を行った。物
理的に積雪内の物性を数値計算するソフトに、定点観測された気象データを入力し、定山溪
ダム流域の雪質変化も含めた融雪分布を示した。一般的に積雪の観測は難しく、長期間の観
測値は蓄積されていないのが常である。本研究では、8年間にわたる定山溪流域内の2点
の観測値、流域全体の水収支、衛星データによる積雪域との比較により、数値計算の結果が
実態に即していることを確認した。レーダーアメダス解析雨量を入力値として計算された
積雪深は、上流側の標高が高い地域で過小評価だったものの、中下流域の積雪環境はよく再
現した。上流地点と下流地点では完全に融雪するのに22日の差がある一方で、ざらめ雪に
変化するタイミングには差が見られず、全層がざらめ雪に変化してから35~40日後にダム
流入量がピークを示すことが分かった。これらのことから、融雪水のダム流入予測において
ざらめ雪の観点から示すことで、予測のリードタイムを延長できる可能性を示唆した。この

結果は融雪期の治水対策や効率的な水資源量の供給をする上で重要となる、ダム流域への融雪水の流入予測に貢献できる。

2010年11月から2018年5月までの8冬季に渡るSNOWPACKのシミュレーション結果。定山溪ダム流域における上流、中流、下流の積雪深の経過比較(a)、最大積雪深の時、雪質の50%が初めてざらめ雪になった時、完全に融雪した時の地点によるタイミングの比較とダム流入量が最大になるタイミングの比較(b, c)。



謝辞

本研究は、環境省・環境再生保全機構の環境研究総合推進費 JPMEERF20232003、文部科学省気候変動予測先端研究プログラム JPMXD0722680734 により実施した。また、観測データは国立研究開発法人土木研究所寒地土木研究所より提供された。

引用文献

Taniguchi, Y., Y. Katsuyama, M. Inatsu, and T. Yamada, 2023: [Snow melting estimate in the Jozankei dam basin based on snowpack simulation](https://doi.org/10.2151/sola.2023-036), *SOLA*, **19**, 274-281, doi:10.2151/sola.2023-036.

広域複合災害研究センター第2期の研究フレームの提案

北海道大学 広域複合災害研究センター

山口真司

(現 政策研究大学院大学)

当センターに着任したのは令和4年6月であり、着任後、令和6年度からの当センター第2期研究活動の方向性について、それまでのアウトリーチ活動をふまえ、北海道での喫緊の課題である千島海溝・日本海溝沿いの巨大地震を主眼とした広域複合災害への対応のあり方についての研究を進めてきた。そこで、これまでの災害対応や研究をふまえ、①海溝型地震による土砂災害への対応のあり方、②災害復旧・復興に現地で直接従事するインフラ産業としての建設業のあり方、についての研究概要を示すとともに、これらの研究をふまえた③当センター第2期での研究の方向性についての検討について述べる。

1. 海溝型地震による土砂災害への対応のあり方

平成30年9月に発生した北海道胆振東部地震では、がけ崩れ、土石流、大規模崩壊といった現象が発生し、河道閉塞を引き起こしたことが確認されている。しかし、北海道が2022年7月に公表した日本海溝・千島海溝沿い巨大地震による土砂災害による人的被害は「がけ崩れ」のみの推定であり、他の現象や避難地や避難路への影響も考慮されていない。そこで、既往の砂防学会が発表した海溝型地震による調査報告にある震源領域から水平距離160 km以内では、土砂災害が発生する可能性があり、かつ、本震時だけでなくその後の余震や降雨時に死者が発生した事例も複数あることから、災害復旧・復興期間における2次災害対策にも留意すること、地域の実情に応じた地区防災計画となるよう留意が必要であることを示し、令和4年11月に釧路市で開催した当センターシンポジウムで話題提供を行った¹⁾。一方、災害復旧時での復旧遅延が、具体的に生活にどのような影響を与えるのかは明らかではない。そこで、地元の新聞記事を用いて、いくつかの災害事例を対象とした自然言語処理と多変量解析を組み合わせた手法により生活の影響の推移を把握、分析を行った既往研究成果を用いて、土砂災害による生活の影響の考察を行った。その結果、土砂災害と水害等や地震災害において、生活の影響の推移を俯瞰的に可視化や復旧の長期化が産業・就労や暮らしに及ぼす影響やその構造を比較分析したところ、土砂災害は、水害等と比べ生活再建が長期化しやすく困難になりやすい特徴を把握できること、この生活再建の長期化や困難さは、近年の土砂災害による人命を失う人的被害の増加傾向や住宅の全半壊は土石流によるものが顕著であることから妥当であることを示した²⁾。これらの結果は、第2期での研究活動における課題として取り組んでいくものと考えている。

2. 災害復旧・復興を大きく左右する建設産業のあり方

近年、自然災害の激甚化が顕著になっており、今後の気候温暖化を踏まえると、地域の

災害復旧を担う建設業が果たすべき役割はますます重要になっている。しかし、少子高齢化の進行により、地方部を中心に建設業の衰退も顕著になっており、将来的には、災害が生じた場合に十分な対応ができなくなり、地域コミュニティの崩壊や地域社会の維持に深刻な影響が生じることが危惧されている。そこで、近年、大きな災害が発生しその災害復旧に取り組んできた北海道、福島県の建設業者及び鳥取県県土整備部に、災害応急対策時における人的・資源的リソースの効率的なマネジメントに向けた現状と課題、制度上の問題についてヒアリング調査を他大学の研究者等と行った。その結果、(1) 発注・契約手続き、(2) 災害協定、(3) 安全管理と被害補償、(4) 経費の負担・精算、(5) 労働基準法への対応、(6) 工事成績評定、(7) その他として課題と方向性を整理し、工事を発注する行政側と受注する建設業者間での意識の相違を把握し、災害時対応ルールが通常工事ルールをベースにしていること、災害対応の経験の有無が円滑な対応に大きく左右すること、日常からのコミュニケーションをふまえたルール運用の重要性等を明らかにした。この結果は、第2期での研究活動における課題として取り組んでいくものと考えている。

3. 当センター第2期研究活動の方向性

当センターでは、各研究者の個別研究活動をふまえつつ、広域複合災害研究へのアプローチの方向性や進め方について、センター内研究会を通じて議論を行い、毎年開催しているシンポジウムにおいて提言している。令和4年11月のシンポジウムでは、日本海溝・千島海溝沿い巨大地震への対応をテーマとし、一番被害が大きくなると想定されている厳冬期では、氷点下での積雪・凍結条件での避難や救命活動、災害応急対応といった北海道ならではの課題対応の必要性を示した¹⁾。一方、災害対応の最前線となる市町村においては、風水害、地震災害、雪害といった個別災害への対応は計画されているが、輻輳する災害条件での災害対応は計画されておらず、また、社会経済活動を含めた災害後の復旧・復興を視野に入れたビジョンも明らかではない。加えて、災害対応ができる職員も十分ではないことが、当センターのアンケート結果で明らかになっている³⁾。そこで、センター内での議論を通じ、モデル市町村を対象として『事前防災、復旧・復興計画作成』『計画策定ができる／策定した計画を実施できる人材の育成および連携フォロー体制の構築』『寒冷地である北海道での研究開発による国際的かつ先導的な誘導』を目標とし、災害マネジメントサイクルの各フェーズに応じた研究グループ体制として研究を進めていく方向性の確認を行った。具体的な組織の整備を進めるため、これらの内容を踏まえたセンターの拡充組織要求及び研究に関する概算要求に反映し、令和6年度からこうした方向性で、第2期の研究活動を進めていくこととしている。

(参考)

- 1) 講演概要集：令和4年度広域複合災害研究センター活動報告書
- 2) 山口真司：新聞記事を用いた災害復旧の長期化に伴う生活の影響から見た土砂災害の特徴，令和5年度（公社）砂防学会北海道支部研究発表会予稿集
- 3) 全道アンケート調査：令和元年度広域複合災害研究センター活動報告書

地震災害の複合化および人的被害軽減化に向けての戦略

北海道大学 広域複合災害研究センター

岡田 成幸

地震災害を主としながらも、それが複合災害に関わる影響の大きさ並びに減災戦略を研究対象としている。センター開設前より継続しているものも含め、第1期においては主に以下の2つの観点から研究を進めてきた。

1. 災害の複合化がもたらす地域の社会構造への影響に関する一連の研究

文献(1)は近年の本邦における災害事例から災害要因（素因及び誘因）が複合化することで災害規模の拡大並びに災害の質の変化を伴う複合災害を定義し、かつその減災戦略について検討している。文献(2)は釧路市を事例に減災戦略の対効果シミュレーションを行っている。誘因ハザードに地震と津波の複合化を想定し、さらに素因の時間変化として少子高齢化の社会的変化を組み合わせ、自助（住宅耐震化+家具固定）・共助（周辺住民による救出救助活動）・公助（避難ビル建設）の対策効果を検討した結果、ウォーターフロントエリアではそれらの効果は薄く、津波の影響から逃れる高層ビル街の再開発や居住制限地域指定等の大規模都市計画による対策の必要性を指摘している。文献(3)は2018年北海道胆振東部地震の災害調査より地方中小都市の社会的脆弱性を指摘している。本来耐震性に優位にある積雪寒冷地域の住宅であるが、地方都市では住宅の新築更新が進まず気候温暖化の影響により耐震要素が劣化し、加えて災害襲来により被災住民の地方離脱を加速し、社会構造を変えてしまう懸念が極めて大きくなることを指摘している。2024年能登半島地震でも同様の問題点が指摘されている。

- (1) 岡田成幸：近年の地震災害態様に学ぶ複合連鎖化，東濃地震科学研究所防災研究委員会 2020 年度報告書，No.45，1-14，2020.
- (2) 角田勲亮・岡田成幸・中嶋唯貴：少子高齢化現象が地震津波複合災害の人的被害に与える影響評価～自助・共助・公助による減災対策効果の限界～，日本地震工学会論文集，19，5，423-439，2019.
- (3) 岡田成幸：地震発生 of 切迫性を伝える災害情報モデルとシナリオの構築～北海道胆振東部地震からみえた新たな課題としての複合連鎖問題の解釈を通して～，地震・火山噴火予知研究協議会，拠点間連携研究報告，2022.

2. 複合災害を想定するための被害要因関数化に関する一連の研究

複合災害には様々な要因が関与している。それらを数量的に処理する関数が準備されなければ被害想定は不可能である。内閣府の日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震防災対策推進基本計画（2022 年）前文において「何としても命を守る」という理念に着目し、その戦略を科学的に展開するため人的被害に係る要因を災害シナリオの中で記述できるべく数量化を試みている。取り上げる要因は、地震時の圧死に直結する「住家被害」「室内家具散乱」「閉じ込め者の余命時間」「医療対応」「低体温症」「精神的被害」等々である。複合災害は個別災害と異なり、先行ハザードにより被災した建物にさらに後発ハザードが襲来する。文献(4)は被災した建物にさらに地震動が加わったときの建物被災評価の方法を提案したものである。文献(5)は人的損失を伴う建物被災度判定を写真から AI 判定を行う方法を提案したものである。文献(6)は地震による室内散乱の様子を夜間停電時の暗視状態からでも判定できるべく室内で発生する音情

報による危険度判定手法の提案である。文献(7)は地震で倒壊した建物内の閉じ込め者の余命時間を負傷状態から判断する提案であり、交通事故死によるデータを用いた災害医療研究者との共同研究である。文献(8)は札幌圏の想定地震を事例とし、地震による負傷者を搬送する二次救急病院の病床数及び医療従事者の患者数をシミュレーションし対応限界を示した。文献(9)は積雪寒冷地において問題となる低体温症の評価方法を提案したものである。これまで関連データは冬登山における遭難事例しかなく、平地における評価はほとんど不可能な状態であったが、気温・風速等の環境条件に加え着衣状態・代謝エネルギーなどの個人特性に関与するパラメータも考慮できる汎用性の高い評価関数である。文献(10)は被災者の災害経験や環境悪化が心身に与える影響を K6 指標で評価し、心の復旧に至るまでの精神状態をシミュレーションするモデルの開発である。

- (4) 篠田茜・岡田成幸・中嶋唯貴：繰り返し荷重を受ける木造建物の損傷度重畳問題の取り組み：耐震評点劣化の確率評価を用いた後続地震による 2 次被害シミュレーション、日本地震工学論文集，20，3，51-69，2020.
- (5) 中野秀洋・岡田成幸・中嶋唯貴：畳み込みニューラルネットワークを用いた建物被害分類判定，第 15 回日本地震工学シンポジウム，1267-1274，2018.12.
- (6) 大久保光・中嶋唯貴・岡田成幸：地震時室内状況把握のためのリアルタイム音情報解析，地域安全学会論文集，37，1-9，2020.11.
- (7) 西嘉山純一郎・岡田成幸・中嶋唯貴・伊藤喜紀：多発外傷性重症度指標を用いた建物倒壊による閉じ込め者の震後余命曲線の構築，第 15 回日本地震工学シンポジウム，915-923，2018.12.
- (8) 谷川真衣・岡田成幸・中嶋唯貴：札幌市近傍断層の想定震源距離漸増による災害対応限界の評価 ― 医療従事者・患者搬送の観点から ―，第 15 回日本地震工学シンポジウム，924-933，2018.12.
- (9) Iida A., T. Nakashima, and S. Okada: Development of an estimation method for accidental hypothermia risk due to cold exposure in disasters triggered by earthquakes and tsunamis, International Journal of Disaster Risk Reduction, 96, 2023, 103999.
- (10) 岡田成幸・中嶋唯貴・有吉一葉・牧紀男・瀬瀬一起：被災者の心の復興 ～精神的苦痛の計量及びその時間推移モデルの構築～，平成 29 年度拠点間連携共同研究（課題募集型研究），「地震・火山噴火災害発生機構の解明」平成 29 年度成果報告シンポジウム，2018.3.14（東京大学武田先端知ビル武田ホール）.

長距離・長時間飛行が可能な自動巡回型 UAV による 安全かつ高精度地形計測・解析手法

広域複合災害研究センター（札幌開発建設部河川整備保全課） 村上 泰啓
日本工営株式会社広島支店 早川 智也，北海道大学広域複合災害研究センター 山田 孝
ネクシス光洋(株) 寺林 修，藤原 卓，(株)空解 森田 直樹，小宮 光裕

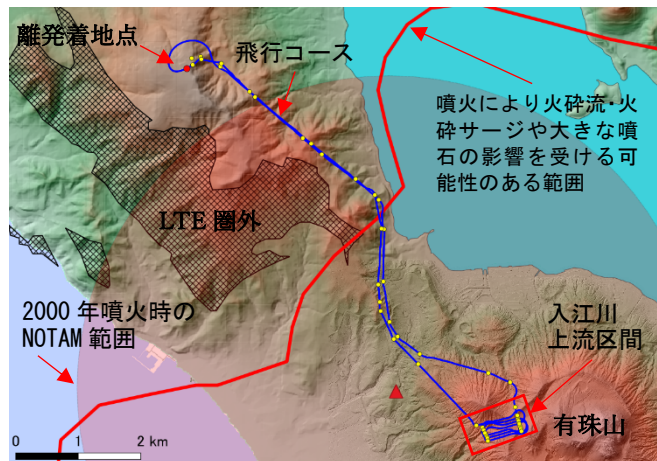
1. 研究の背景と目的

火山噴火時，土砂災害防止法に基づく降灰厚調査のほか，現地状況の把握のため，様々な土砂移動現象（泥流，岩屑なだれ，地盤の隆起など）や社会インフラの被災状況の実態を調査する必要があります。しかしながら，噴火警戒レベルの上昇に伴い，立ち入り禁止区域が拡大するほか，NOTAM（飛行情報）が発行され，半径数キロにわたり，有人の航空機による調査が困難になる可能性も出てきます。一般的なマルチコプタードローンはリモコンの通信限界がおおよそ 5km ですので，噴火に伴う火砕流などの影響がない十分離れた場所から離発着可能で，しかも長距離飛行可能なドローンによる調査の必要性が高いと考えられます。本研究では，そのための実証試験として，LTE 通信可能な VTOL 固定翼ドローンを採用し，往復約 20km の飛行試験を行うとともに，今後の課題について把握することを目的としました。

2. 研究方法

図－1 に示す離発着地点は，卓越風向やアプローチ標高 600m 程度の台地に位置する宿泊施設の駐車場です。有珠山までの見通しが良く，

LTE の通信圏内であり，車両でのアプローチが容易であることから，所有者様のご了解を得た上で駐車場の一部を離発着場としました。離発着地点から有珠山火口原の入江川上流までは，直線距離で約 8km あります。したがって，往復 16km 以上の飛行が可能で，LTE 回線を介した操縦，飛行状況の常時モニタリングが可能な機種として，国内メーカー製の VTOL 固定翼機である Qu-Kai FUSION 2.4（図-2）を採用しました。本機は垂直離発着可能な固定翼機であり，LTE 通信が可能なほか，本体下部にジンバル付きの高倍率ズームカメラを有しています。また，最大航続距離 120km，最大航続時間 120 分であり，今回の調査に十分な性能を有しているものと考えられました。試験飛行にあたっては，LTE 圏内を通過し，なおかつ人家や自動車道上を極力通過しない様，有珠山の入江川上流端までを結ぶ，概ね 20km の飛行コースを設定（図－1）し，やむなく道路上を通過する地点では監視員を置き，安全対策を講じました。



図－1 ドローンの飛行コース



図－2 Qu-Kai FUSION 2.4

3. 研究結果の概要

令和5年11月13日に試験飛行(図-3)を実施しました。試験飛行に当たっては航空法上の申請・許可を得たほか、周辺自治体、環境省、森林管理局、北海道庁など関係機関への説明を行っています。飛行ルートはLTE通信を行う関係上、対地高度150m以下を維持し、往復で高低差約300mの下降・上昇を2回繰り返す必要がありました。往復20kmの飛行に要した時間は約20分で、途中、LTE回線の途絶もなく、

概ね良好な通信環境であったことが把握されたほか、バッテリーの残量は約46%でしたので、余裕を持った飛行が可能だったということも把握できました。実際の噴火を想定すると、対地高度150mでの飛行は降灰や噴石の影響を受け易くなるため、今後は、LTE回線以外の通信方式も検討する必要があると考えています。例えば近年急速に整備が進んでいるLEO(地球低軌道)通信衛星を活用することで、高高度での飛行やLTE圏外の飛行も可能になることも十分想定されと考えています。図-4は北海道庁次世代社会戦略局デジタルトランスフォーメーション推進課のWEBサイトで公開頂いた、本プロジェクトの概要です。今後も国、自治体、関係機関、民間企業との協働で高性能ドローンによる災害時の地形計測・解析方法の検討や平常時の利活用について検討を進めていきたいと考えています。

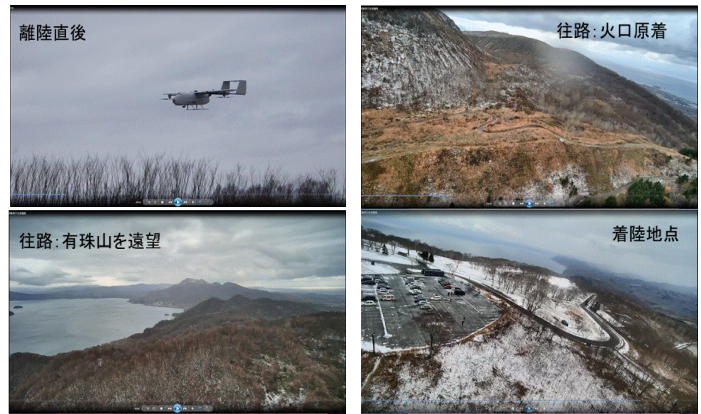


図-3 飛行状況

有珠山噴火時の被災状況確認を想定した 固定翼ドローンの活用		防災	洞爺湖町
目的 無人機であるドローンは、危険なエリアであっても被災状況の把握が可能であり、火山噴火を想定した活用可能性を探る	背景・課題 火山噴火時は、広域な危険区域が設定されるが、その区域外よりドローンを飛行させ、被災状況を確認する手法の確立が必要	事業のポイント 危険区域外から有珠山までの往復約20kmをドローンで飛行させ、被災状況を確認	
期待される効果 火山噴火時など災害発生時のドローンの活用可能性の拡大および迅速な災害対応		推進体制 北海道大学広域複合災害研究センター、北海道開発局、日本工営(株)、(株)ネクシス光洋、(株)空解、(公社)砂防学会北海道支部、洞爺湖町	
概要	- 有珠山は、2000年の噴火から20年あまりが経過し、次期噴火とそれに起因した土砂災害の発生が懸念されている。 - セスナ等の有人機による被災状況の確認手法は既に確立されているが、有珠山噴火の際には安全管理上、飛行が困難となる恐れがある。無人機であるドローンは、有人機が飛行困難なエリアでも飛ぶことが可能であるが、航続距離に限られるため、広域な危険区域が設定される火山噴火時の活用に懸念がある。 - 今回、長距離飛行が可能な固定翼ドローンを活用し、想定される危険区域の外から往復20kmの試験飛行を行い、災害時に活用できることを確認。		
	○有珠山噴火時に想定される危険区域 	○今回の飛行ルート 	○活用した固定翼ドローン Qu-kai Fusion2.4 (最大航続距離120km)

図-4 北海道庁のWEBサイトで公開された試験飛行の概要

あとかき

広域複合災害研究センター第一期の様々な活動を推進していくうえで、関係行政機関(国土交通省北海道開発局、北海道建設部、総務部危機対策局、全道 179 市町村)や北海道総合研究機構、民間会社などから多大なご支援とご指導をいただきました。とくに、(一財)砂防地すべり技術センター、アジア航測株式会社、国土防災技術株式会社、明治コンサルタント株式会社、共和コンクリート工業株式会社、(株)北海道技術コンサルタント、日本工営株式会社、株式会社ドーコンからは多大な寄附金をいただきました。心から感謝申し上げます。

当センター第二期では、第一期の成果を基に、より一層の学術研究・技術開発の促進、産官学社会連携の推進、人材育成、特にリカレント教育の促進を行うことにより、以下の課題を達成することを目指します。

- 自治体が広域複合災害に立ち向かうための手法として、広域複合災害を総合的に評価する手法を開発する。
- 行政のガバナンス力を数値指標化し、複合災害発生時の行政必要能力向上の評価により「自治体ガバナンス継続計画(GCP)」作成手法を開発する。
- 災害発生から復興まで行政を支援する 4 つのシステム（総合災害予測システム、人命救助システム、住民生活支援システム、地域経済—BCP 連携モデル）を開発する。

今後とも、皆様のご支援、ご指導をよろしくお願い申し上げます。

北海道大学広域複合災害研究センター
第一期成果報告書

**広域複合災害減災の手引き
ー基本的な考え方と理念ー**

令和 6 年 4 月 25 日発行

発行者 北海道大学広域複合災害研究センター
〒060-8589
北海道札幌市北区北 9 条西 9 丁目
北海道大学農学部棟本館 N307
TEL 011-706-3882
Email: cnhr_unei@agr.hokudai.ac.jp
URL <https://www.cnhr.info/>
