

鹿児島大学 地震火山地域防災センター

令和3年度報告書

令和4年3月

はじめに

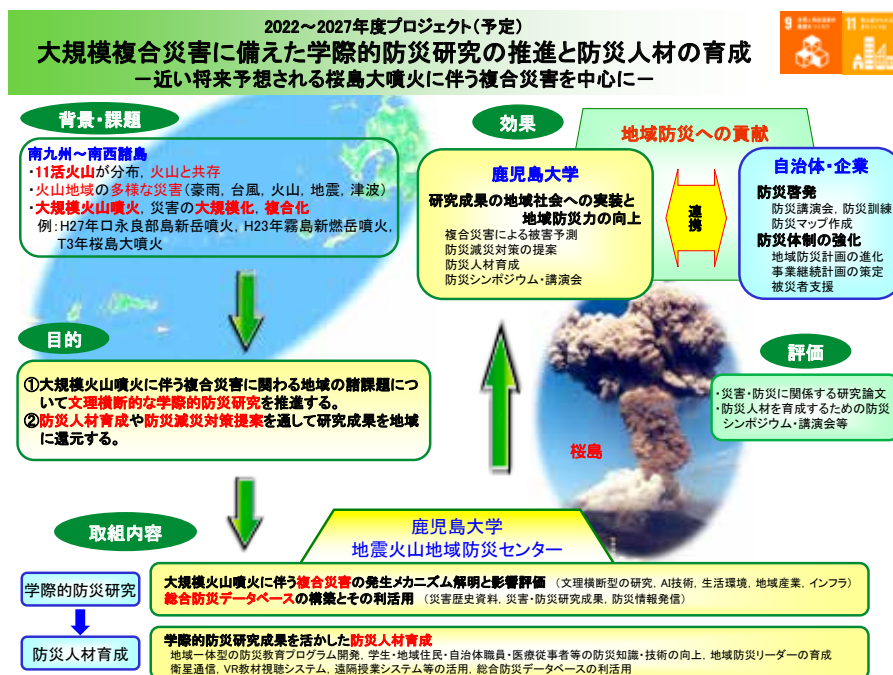
地震火山地域防災センター
センター長 地頭 菌 隆

毎年、大雨、台風、地震、火山噴火による災害のニュースが続いていますが、令和3年も各地で記録的な大雨に見舞われ、特に鹿児島県北部は2年続けての大雨特別警報発表となり、洪水災害や土砂災害が発生しました。本センターのメンバーも学会等の災害調査に参加し、被災地の復旧・復興に貢献しました。

新型コロナウイルス感染症の対応は3年目に入りましたが、まだ収束の見通しが立たない状況です。一般社団法人国立大学協会と共催で毎年開催している防災・日本再生シンポジウムは、新型コロナウイルスへの感染対策を取りながら鹿児島大学稲盛会館で実施するとともに、インターネットを利用してライブ配信しました。県内外から多数のオンライン参加もあり、参加者が200名を超えて盛況裏に終わりました。感染症収束後もこのスタイルを継続できればと思います。

学内共同教育研究施設の改組に伴って、令和4年4月から南西島弧地震火山観測所は理工学研究科附属となり、本センターの名称は「鹿児島大学地域防災教育研究センター」に変わります。また、新しいプロジェクト「大規模複合災害に備えた学際的防災研究の推進と防災人材の育成」を開始します。プロジェクトは、下図に示すように、南九州から南西諸島における火山噴火、豪雨、台風、地震等に伴う大規模複合災害に備えた防災減災に関わる課題について、本学の文理横断の知を総動員して災害・防災研究を推進し、その研究成果を基に学生、住民、自治体職員等の防災人材の育成や地域防災力を向上するための提案を通して地域に貢献するものです。今後とも、災害・防災研究、防災教育の中核的センターとして活動していきますので、よろしくお願い致します。

さて、本報告書は、平成28年度から令和3年度まで実施してきたプロジェクト「大規模火山噴火にレジリエントな地域社会の実現に向けた防災減災の取り組み」を総括するとともに、センターの各部門および南西島弧地震火山観測所の活動、シンポジウム等の開催記録、公募プロジェクト研究成果を取りまとめたものです。ご覧いただければ幸いです。



組 織

センター長	地頭菌 隆（農水産獣医学域農学系教授）
調査研究推進部門長	寺本 行芳（農水産獣医学域農学系准教授）
防災教育推進部門長	松成 裕子（医歯学域医学系教授）
社会実装推進部門長	田松 裕一（医歯学域歯学系教授）
附属南西島弧地震火山観測所長	中尾 茂（理工学域理学系教授）
地震火山防災研究分野責任者	西 隆昭（農水産獣医学域水産学系准教授）
気象水象地盤災害研究分野責任者	酒匂 一成（理工学域工学系教授）
災害医療総合防災研究分野責任者	垣花 泰之（医歯学域医学系教授）
センター教員	浅野 敏之（地震火山地域防災センター特任教授）
センター教員	眞木 雅之（地震火山地域防災センター特任教授）
センター教員	中谷 剛（地震火山地域防災センター特任研究員）
センター教員	八木原 寛（附属南西島弧地震火山観測所准教授）
センター教員	仲谷 幸浩（附属南西島弧地震火山観測所特任助教）

（令和4年3月現在）

<特任教員・兼務教職員>

(令和4年3月現在)

	職名	氏名	部局等名1	職名 (部局等)	運営委員	調査研究推進部門			防災教育 推進部門	社会実装 推進部門
						気象水象 地震災害 研究分野	地震火山 防災 研究分野	災害医療 総合防災 研究分野		
1		浅野 敏之	地震火山地域防災センター	特任教授	○	○	○	○	○	○
2		眞木 雅之	地震火山地域防災センター	特任教授	○	○	○			○
3		中谷 剛	地震火山地域防災センター	特任研究員	○	○			○	○
1		八木原 寛	附属南西島弧地震火山観測所	准教授	○		○			
2		仲谷 幸浩	附属南西島弧地震火山観測所	特任助教	○		○			
1		松田 忠大	法文教育学域/法文学系	教授				○		
2		森尾 成之	法文教育学域/法文学系	教授				○	○	○
3		小林 善仁	法文教育学域/法文学系	准教授		○	○			
4		南 直子	法文教育学域/法文学系	助手				○		
5		松井 智彰	法文教育学域/教育学系	教授			○			
6		黒光 貴峰	法文教育学域/教育学系	准教授				○	○	
7		佐藤 宏之	法文教育学域/教育学系	准教授				○		○
8		関山 徹	法文教育学域/教育学系	准教授				○	○	
9	南西島弧地震火山観測所長	中尾 茂	理工学域/理学系	教授	○		○			
10		小林 励司	理工学域/理学系	准教授		○	○	○	○	○
11		安達 貴浩	理工学域/工学系	教授		○	○			○
12		山口 明伸	理工学域/工学系	教授				○		
13		川畑 秋馬	理工学域/工学系	教授			○			
14		佐藤 紘一	理工学域/工学系	教授				○		
15	気象水象地震災害研究分野責任者	酒匂 一成	理工学域/工学系	教授	○	○	○			○
16		柿沼 太郎	理工学域/工学系	准教授		○	○	○	○	○
17		齋田 倫範	理工学域/工学系	准教授		○				
18		木村 至伸	理工学域/工学系	准教授			○			
19		審良 善和	理工学域/工学系	准教授			○	○		
20		上田 岳彦	理工学域/工学系	准教授		○	○	○		
21		加古 真一郎	理工学域/工学系	准教授		○		○		
22		長山 昭夫	理工学域/工学系	助教			○			
23		小池 賢太郎	理工学域/工学系	助教			○	○		
24		伊藤 真一	理工学域/工学系	助教			○			
25	センター長	地頭 隆	農水産獣医学域/農学系	教授	○	○	○	○	○	○
26		寺岡 行雄	農水産獣医学域/農学系	教授		○		○		
27		岡 勝	農水産獣医学域/農学系	教授		○		○		
28		肥山 浩樹	農水産獣医学域/農学系	准教授		○				
29	調査研究推進部門長	寺本 行芳	農水産獣医学域/農学系	准教授	○	○	○	○		
30		加治佐 剛	農水産獣医学域/農学系	准教授		○				
31		平 瑞樹	農水産獣医学域/農学系	助教		○	○	○		○
32		西 隆一郎	農水産獣医学域/水産学系	教授		○				
33		山本 智子	農水産獣医学域/水産学系	教授		○	○			
34	地震火山防災研究分野責任者	西 隆昭	農水産獣医学域/水産学系	准教授	○	○	○			
35		小澤 真	農水産獣医学域/獣医学系	准教授				○		
36		松嶋 彩	農水産獣医学域/獣医学系	准教授				○		
37	災害医療総合防災研究分野責任者	垣花 泰之	医歯学域/医学系	教授	○			○		
38	防災教育推進部門長	松成 裕子	医歯学域/医学系	教授	○			○	○	
39		八代 利香	医歯学域/医学系	教授				○		
40		吉浦 敬	医歯学域/医学系	教授				○		
41		兒玉 慎平	医歯学域/医学系	准教授				○		
42		稲留 直子	医歯学域/医学系	講師				○		
43		日隈 利香	医歯学域/医学系	助教				○		
44		菊地 聖史	医歯学域/歯学系	教授				○		
45	社会実装推進部門長	田松 裕一	医歯学域/歯学系	教授	○			○		
46		宇都 由美子	鹿児島大学病院	教授				○		
47		寺薗 英之	鹿児島大学病院	准教授				○		
48		新磯河 洋子	鹿児島大学病院	副看護部長				○		
49		西郷 康正(放)	鹿児島大学病院	診療放射線技師長				○		
50		土橋 仁美(看)	鹿児島大学病院	看護師				○		
51		升屋 正人	学術情報基盤センター	教授				○	○	○
52		岩船 昌起	共通教育センター	教授		○	○	○	○	○
53		井村 隆介	共通教育センター	准教授		○	○	○	○	○
54		福満 博隆	共通教育センター	准教授				○		
55		尾上 昌平	研究支援センター	技術専門職員				○		
					13	24	23	41	12	14

目 次

令和3年度 地震火山地域防災センター活動概要	1
令和3年度 活動報告（調査研究推進部門）	5
令和3年度 活動報告（防災教育推進部門）	9
令和3年度 活動報告（社会実装推進部門）	13
令和3年度 活動報告（南西島弧地震火山観測所）	17
総合防災データベースの構築	21
[プロジェクト報告]	
WG-II 「生命と暮らしへの影響」に関するワーキンググループ	23 松成 裕子
WG-III 「交通への影響」に関するワーキンググループ	27 三田 和朗
2021年福徳岡ノ場噴火によって形成された海上軽石群の漂流解析	37 浅野 敏之・中谷 剛
桜島大規模噴火を想定した気象レーダ噴煙モニタリングプラットフォーム	45 眞木 雅之・西 隆昭・小堀 壮彦・牛尾 知雄・海賀 和彦・今井 克之・徳島 秀彦 川原 一枝・佐野 香那・藤吉 康志・木下 紀正
降灰リアルタイムハザードマップ作成手法の検討（最終報）	71 中谷 剛
火山防災意識の啓発と研究成果の社会実装を目指した桜島防災情報提供に関する検討	79 中谷 剛
不飽和土の水分保持特性把握のための連続加圧型加圧板法に関する研究	81 酒匂 一成
沖永良部島における侵食にともなう農地災害を防ぐ工法に関する研究	87 肥山 浩樹
シラス地盤における水分特性曲線および不飽和透水係数の関数の推定	93 伊藤 真一
桜島火山灰を構成する斜長石の構造状態に関する研究（2021年1月～6月）	99 松井 智彰・立山 剛吉

薩摩半島市来断層帯五反田川断層の活動履歴調査	105	井村 隆介・植木 翼
令和2年7月豪雨による地盤災害調査と地質の異なる法面復旧対策の検討	111	平 瑞樹・上田 陽平
東日本大震災被災3県（岩手県、宮城県、福島県）の児童発達支援・放課後等デイサービス施設における災害への備えに関する研究	117	日隈 利香
軽石群の狭窄部と波の打ち上げ帯における堆積課程の実験的検討	123	長山 昭夫
I C Tを活用した防災教育の実践的研究	129	佐藤 宏之
船舶用レーダ観測結果と気象観測を結びつける為のレーダサイト気象観測	135	西 隆昭
地すべり津波の水理実験及び数値解析	141	柿沼 太郎・入部 綱清
令和2年7月豪雨時に鹿児島県内で発生した浸水被害に関する検討	147	齋田 倫範
[イベントポスター関連]	153	
[防災関連の論文について]（論文名・著者名・掲載誌名・巻・頁）	155	

令和3年度 地震火山地域防災センター活動概要

1. 防災セミナーの開催

本センターでは学内外から講師を招いて防災セミナーを実施している。セミナーは学内外に公開している。令和3年度においては第30回から第33回まで4回のセミナーが実施された。セミナーはzoomを使ったオンラインで実施した。

(1) 第30回セミナー

開催日 令和3年6月8日

演題・講師 鹿児島市の児童発達支援・放課後等デイサービス施設における災害への
取り組みの現状と今後求められるもの

医歯学域医学系 助教 日隈利香

桜島から噴出する火山灰を構成する斜長石の構造状態に関する研究

—火山防災上の意義と今後の課題—

法文教育学域教育学系 教授 松井智彰

(2) 第31回セミナー

開催日 令和3年8月31日

テーマ：火山災害に関する防災リテラシー向上のための教材の開発

演題・講師 桜島火山版避難所運営ゲーム（HUG）開発について

医歯学域医学系 教授 松成裕子

GISを活用した桜島噴火による降灰を対象とした防災教材の作成

地震火山地域防災センター 特任研究員 中谷剛

(3) 第32回セミナー

開催日 令和3年11月29日

演題・講師 自然災害を想定した文化財保全オンラインワークショップの試み

法文教育学域教育学系 准教授 佐藤宏之

近年の豪雨に伴ういくつかの事象と関連する研究の取り組みについて

理工学域工学系 准教授 齋田倫範

(4) 第33回セミナー

開催日 令和4年3月15日

演題・講師 沖永良部島における侵食にともなう農地災害防止に関する基礎的研究

農水産獣医学域農学系 准教授 肥山浩樹

機械学習による斜面崩壊予測に関する研究

理工学域工学系 助教 伊藤真一

2. シンポジウム等の開催

令和3年度に本センターが開催したシンポジウム等は以下の通りである。

(1) みんなで作る地区防災計画

「防災に活用する地理情報システム (GIS)」

主 催 長崎大学大学院災害・被ばく医療科学共同専攻

共 催 鹿児島大学地震火山地域防災センター

開催日 令和3年11月27日

会 場 労働福祉センター (オンライン開催)

(2) 防災・日本再生シンポジウム

「桜島大規模噴火時の降灰による地域社会への被害想定と減災対策」

主 催 鹿児島大学地震火山地域防災センター

共 催 一般社団法人国立大学協会

開催日 令和3年12月11日

会 場 鹿児島大学稲盛会館キミ&ケサメモリアルホール (オンライン同時配信)

(3) 保健師の方を対象とした放射線に関する研修会

共 催 環境省、鹿児島大学地震火山地域防災センター

開催日 令和3年12月18日

会 場 オンライン開催

(4) 放射線に関するセミナー

共 催 環境省、鹿児島大学地震火山地域防災センター

開催日 令和3年12月19日

会 場 鹿児島大学 桜ヶ丘キャンパス共通教育棟 501号室 (オンライン同時配信)

3. 学内における防災教育および防災に関する研修会等の実施

共通教育および教員免許状更新講習において防災に関する科目を提供するとともに、防災士養成等に取り組んでいる。

(1) 共通教育の提供

共通教育科目3科目の実施

いのちと地域を守る防災学I (前期毎週水曜日 1時限 8:50~10:20)

いのちと地域を守る防災学II (後期毎週水曜日 2時限 10:30~12:00)

地域リサーチ・スタートアップ (後期毎週水曜日 2時限 10:30~12:00 2コマ)

(2) 防災士養成の取り組み

防災士資格取得試験対策講座の実施

日本防災士機構による防災士資格取得試験の実施 (年1回)

鹿児島市消防局が行っている「普通救命講習」の開催

しかしながら、令和4年2月現在、新型コロナウイルス感染症オミクロン株の感染急拡大により、資格取得試験の延期、救急法の講習の予定ができない状況にある。

(3) 令和3年度免許状更新講習の開設

開設講習名：「地域防災の最前線」

実施日時：令和3年8月6日 8:50～16:45

4. 地域との連携による事業の実施

(1) 大規模火山噴火にレジリエントな地域社会の実現に向けた防災・減災の取組専門部会ワーキンググループ(WG)の活動

WG-II 「生命と暮らしへの影響」

WG-II は事業目的「桜島火山災害に関する防災リテラシー向上のための教材としての桜島版避難所運営ゲーム（HUG：Hinajo Un-ei Game の頭文字）を開発する」を中心とした活動を行った。

令和3年度は、桜島火山版 HUG 避難所運営ゲームパイロット版が完成した。この試作版は、自治体や災害に関わる関係職種が火山災害に関わるための知識や対応を学ぶことができるものになっている。そして、この研究では、住民の火山災害に関する防災教育による自助力の向上を目的としている。今年度は、日本地球惑星科学連合学会発表、「こども消防士育成プロジェクト」ファシリテーター研修会、防災セミナー、第52回桜島火山爆発総合防災訓練時に参加し、広報活動を行った。

WG-II の活動記録の詳細は本報告書 23 ページに記述されている。

WG-III 「交通への影響」

これまでの成果報告を令和3年12月に開催した「防災・日本再生シンポジウム」にて報告を行った。

WG-IV 「産業への影響」

これまでの成果報告を令和3年12月に開催した「防災・日本再生シンポジウム」にて報告を行った。

5. 調査研究の実施

(1) 総合防災データベースの構築

本センターでは、平成25年度～平成27年度の文部科学省地域防災対策支援研究プロジェクト事業「南九州における地域防災支援データベースの構築」の支援を得て開発されたオンプレミス型のデータベースシステムを構築し、活用してきた。しかしながら、ハードの故障の懸念やOSのサポート期間終了などの問題から、継承システムとして、クラウド型のデータベースシステムを構築し、安定的なシステム運用とサポート体制を得ることができるシステムの構築を計画した。当初、次期プロジェクトが開始される令和4年度からのシステム構築を予定していたが、令和3年度経営戦略経費（学長裁量経費）により、総合防災データベース活用システムの構築事業に対する費用の配分がなされ、前倒しでシステムの整備を令和3年度に実施した。

今回構築した総合防災データベースにより、防災教育研究リソースを把握し、防災に関する学部横断的な教育研究の推進、災害発生や地域課題解決の調査研究チーム構築の迅速化等につながると考えられる。また、本学が蓄積してきた防災に関する講演会・セミナー等のコンテンツを一元管理することは、防災に関する学生教育やリカレント教育に必要な教育プログラムの開発やステークホルダーへのPR活動に役立つものと考えられる。

(2) 外部機関との共同研究など

- (国研) 防災科学技術研究所・南日本新聞社・(株) 南日本情報処理センター・(一社) 日本自販機利活用社会貢献事業機構・ダイドードリンコ株式会社の5機関と連携して行なっている共同研究「災害対応型自販機とサイネージBOXによる災害情報提供実証実験」を継続して実施した。
- 降灰リアルタイムハザードマップシステムの有効な利用方法を検討するため、国交省航空局、鹿児島空港事務所、民間航空会社等との勉強会を開催した。技術紹介として、「将来の航空交通システムに関する長期ビジョン(CARATS)情報管理検討WG(令和3年5月)」で話題提供を行なった。
- 降灰リアルタイムハザードマップ(数日先の降灰予測情報)を、将来的に一般市民に向けて情報提供する場合の課題抽出を目的に、気象予報士会鹿児島支部との共同研究を行なった(令和3年8月)。

6. その他

自治体・学校等への協力

- 鹿児島県立国分高校の科学技術振興機構の支援事業である「スーパーサイエンスハイスクール(SSH)」事業(舞鶴フィールド研修II)の一環で、理数科2年生のグループを対象に中谷特任研究員による講義が行われた(令和3年7月)。
- 鹿児島市八幡校区防災士の会メンバーを対象に、中谷特任研究員による「桜島の大規模噴火から身を守る」と題した講義が行われた(令和4年1月)。最悪な場合を想定した降灰シミュレーション結果をもとに、防災士の方々と八幡校区内を巡回し、どの程度の降灰が危惧されるのかをフィールドで確認を行った。

令和3年度 活動報告

調査研究推進部門

1. はじめに

防災に関する教育・研究や行政等の取り組みについて、本センターに関わる教職員および関係機関の情報交換や交流を目的に平成25年度から「鹿大防災セミナー」を実施している。令和3年度（第30回～第33回）の概要を報告する。

2. 鹿大防災セミナー開催報告

第30回（オンライン開催）

開催日時：令和3年6月8日（火）16:30～17:50

講演：

「鹿児島市の児童発達支援・放課後等デイサービス施設における災害への取り組みの現状と今後求められるもの」

医歯学域医学系 助教 日隈利香

「桜島から噴出する火山灰を構成する斜長石の構造状態に関する研究—火山防災上の意義と今後の課題—」

法文教育学域教育学系 教授 松井智彰

概要：本学の教職員および学生、鹿児島地方気象台など学外の方々を含め、44名の参加があった。日隈利香助教は、鹿児島市の児童発達支援・放課後等デイサービス施設における災害への取り組みは現時点では不十分であるため、今後同市が主体となった災害対策に関する取り組みと支援の拡充が望まれることなどを報告した。松井智彰教授は、斜長石などの火山灰構成鉱物の構造状態を従来の火山観測手法によるデータと比較・照合することで、火山活動の監視に新たな視点を提供することなどを報告した。

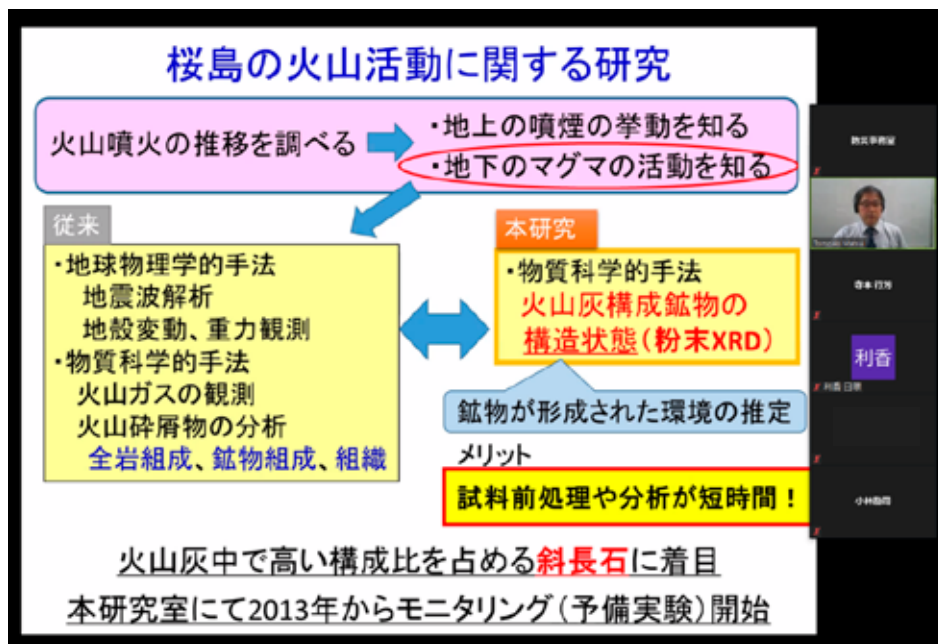


写真1 第30回鹿大防災セミナー講演の様子（松井氏）

第31回（オンライン開催）

開催日時：令和3年8月31日（火）16:30～17:50

テーマ：火山災害に関する防災リテラシー向上のための教材の開発

講演：

「桜島火山版避難所運営ゲーム（HUG）開発について」

医歯学域医学系 教授 松成裕子

「GISを活用した桜島噴火による降灰を対象とした防災教材の作成」

地震火山地域防災センター特任研究員 中谷剛

概要：本学の教職員および学生、福岡管区気象台など学外の方々を含め、59名の参加があった。松成裕子教授は、HUG開発の経緯や現在の活動状況について報告するとともに、最終目標の「地域で暮らす住民の火山災害に関する防災リテラシーの向上」に向けての教材の改善や、普及のためのファシリテーターの必要が説明された。中谷剛特任研究員は、火山災害の特徴やハザードとリスクの違い、これらを見える化のためのGISを活用した教材開発の現状などについて報告した。



写真2 第31回鹿大防災セミナー講演の様子（左：松成氏、右：中谷氏）

第32回（オンライン開催）

開催日時：令和3年11月29日（月）16:30～17:50

講演：

「自然災害を想定した文化財保全オンラインワークショップの試み」

法文教育学域教育学系 准教授 佐藤宏之

「近年の豪雨に伴ういくつかの事象と関連する研究の取り組みについて」

理工学域工学系 准教授 齋田倫範

概要：本学の教職員および学生、福岡管区気象台など学外の方々を含め56名の参加があった。佐藤宏之准教授は自然災害の発生を想定し、どのように文化財保全をしていくかを検討するためのワークショップをオンラインで実施することの利点や具体的な実施例について報告した。齋田倫範准教授は、近年の豪雨に伴う川内川における河川水位の上昇率の特徴や肝属川における内水氾濫解析例などについて報告した。



写真3 第32回鹿大防災セミナー講演の様子（左：佐藤氏、右：齋田氏）

第 33 回（オンラインでの開催を予定）

開催日時：令和 4 年 3 月 15 日（火）16:30～17:50

講演：

「沖永良部島における侵食にともなう農地災害防止に関する基礎的研究」

農水産獣医学域農学系 准教授 肥山浩樹

「機械学習による斜面崩壊予測に関する研究」

理工学域工学系 助教 伊藤真一

令和3年度 活動報告

防災教育推進部門

1. はじめに

当センターでは、本人の防災力の向上や、地域防災に貢献する人を育てることを目的として、共通教育科目において科目を提供している。地域社会貢献のために、公開授業にも提供されており、一般社会人の受講も可能となっている。しかしながら、今年度もコロナ禍の影響により、公開授業は中止している。

そして、この共通教育科目は「防災リーダーの育成」に関わる「防災士」養成の研修講座としても認定されている。これらの単位取得および別途救命講習の修了証取得によって、防災士の資格取得試験を受験できる。しかし、今年度は年明けから新型コロナウイルス感染症オミクロン株の感染が急拡大したことにより、令和4年2月現在、資格取得試験が延期され、救急法の講習も実施できない状況にある。感染状況が改善され次第、実施に向けて調整する予定である。

また、本年度も教員免許状所持者のための教員免許状更新講習も開催し、実施した。

2. 共通教育科目2科目の提供（公開授業にも提供）

(1) いのちと地域を守る防災学I (Disaster mitigation to guard lives and communities I)

開講期：前期／講義形式／2単位／大分類：教養教育科目(教養活用科目)／小分類：統合I(課題発見)／受講対象：全学部／担当教員：松成裕子他13人

授業概要：

授業では、自然災害やその対策について正しい知識を持つと同時に、地域自治体や防災組織が現在行っている防災への取り組みや新しい技術を理解し、災害時にはいのちを自ら守ることができ、かつ支援やボランティア活動を担うことのできる態度・志向性を獲得することを目的とする。この講義は、自然・人文に及ぶ複合的・総合的な「防災学」のかなりの範囲を網羅するものであり、本学のさまざまな学部・大学院・教育研究施設に所属する「防災学を専門とする教員」がそれぞれの得意分野をオムニバス形式で担当講義する。ただし、今年度はハイブリッド講義として、防災士資格取得希望の学生については、対面授業とし、その他の学生へは遠隔授業にて実施した。

また、後期の「いのちと地域を守る防災学II」と対になる構成となっており、前期の本授業では、災害を知り、それに対する対処・対策を考えることに重きが置かれている。なお、この授業の概要・性格から本授業は、「防災士」受験資格取得科目の1つとなっている。

学習目標：

1. さまざまな自然災害の発生のしくみを始めとして、防災にかかわる知識や技術などを理解し、災害種ごとに説明できる。
2. 災害種ごとに一般的な対策・対処のしかたを理解し、地域の特性に応じておおよそ適当な対策などを選択できる。
3. 万が一に災害が生じた場合、いのちを自ら守ることができ、かつ支援やボランティア活動を担うことのできる態度・志向性を獲得する。

授業内容と担当者：

1. 講義の目的/災害における防災士の役割(医学部保健科;松成裕子)
2. 災害における医療活動(医学部保健科;松成裕子)
3. 津波のしくみと被害(理工学研究科;柿沼太郎)
4. 地震のしくみと被害(理工学研究科;小林励司)
5. 風水害と対策(理工学研究科;安達貴浩)
6. 歴史災害に学ぶ防災意識(教育学部;佐藤宏之)

7. 避難と避難行動（地震火山地域防災センター；浅野敏之）
8. 社会基盤の地震被害（理工学研究科；木村至伸）
9. 土砂災害と対策（農学部；地頭菌隆）
10. 鹿児島島の自然災害史（共通教育センター；井村隆介）
11. 火山噴火のしくみと被害（附属南西島弧地震火山観測所；八木原寛）
12. 島嶼の自然災害（共通教育センター；岩船昌起）
13. 自然体験活動と防災及び避難生活者の健康づくり支援について（共通教育センター；福満博隆）
14. 中山間地域における地盤災害と農地復旧対策（農学部；平瑞樹）
15. 学校教育における防災教育の実情と課題（教育学部；黒光貴峰）

(2) いのちと地域を守る防災学 II (Disaster mitigation to guard lives and communities II)

開講期：後期／講義形式／2単位／大分類：教養教育科目(教養活用科目)／小分類：統合II(課題解決)／受講対象：全学部／担当教員：松成裕子他11人

授業概要：

授業では、自然災害やその対策について正しい知識を持つと同時に、地域自治体や防災組織が現在行っている防災への取り組みや新しい技術を理解し、災害時にはいのちを自ら守ることができ、かつ支援やボランティア活動を担うことのできる態度・志向性を獲得することを目的とする。この講義は、自然・人文に及ぶ複合的・総合的な「防災学」のかなりの範囲を網羅するものであり、本学のさまざまな学部・大学院・教育研究施設に所属する「防災学を専門とする教員」がそれぞれの得意分野をオムニバス形式で担当講義する。そして、今年度もハイブリッド講義として、防災士資格取得希望の学生については、対面授業とし、その他の学生へは遠隔授業にて実施した。しかし、年明けには、新型コロナウイルス感染症オミクロン株の感染急拡大により、すべての学生に対し、遠隔授業の実施となった。

前期の「いのちと地域を守る防災学I」と対になる構成となっており、後期の本授業では、災害にかかわる情報を知り、新たな減災や危機管理の手法を身に着けることに重きが置かれている。また、鹿児島地方気象台、県危機管理課、県原子力安全対策課からの授業を用意しており、行政の防災関係機関の現場対応などを知ることができる。なお、この授業の概要・性格から本授業は、「防災士」受験資格取得科目の1つとなっている。

学習目標：

1. 災害にかかわる情報の種類やその発信・入手方法の概要を理解し、災害種や災害ステージ等に応じてそれらを説明できる。
2. 新たな減災や危機管理の手法を一般的なレベルで理解し、地域の特性に応じておおよそ適当な手法を選択できる。
3. 万が一に災害が生じた場合、いのちを自ら守ることができ、かつ支援やボランティア活動を担うことのできる態度・志向性を獲得する。

授業内容と担当者：

1. 講義の目的/災害における防災士の役割(医学部保健科；松成裕子)
2. 気象災害の監視と予測ハザードマップ(地震火山地域防災センター；中谷剛)
3. 地震に関する知見・情報/災害と流言・風評(理工学研究科；小林励司)
4. 大規模災害と情報通信I(学術情報基盤センター；升屋正人)
5. 大規模災害と情報通信II(学術情報基盤センター；升屋正人)
6. 自然災害に対する行政の危険を防止(管理)する責任(法文学部；森尾成之)
7. 福島第一原発事故の概要と放射線による健康影響(公益財団法人原子力安全研究協会放射線災害医療研究所 主任研究員；山口拓允)
8. 災害情報とリスクコミュニケーション(医学部保健科；松成裕子)
9. トラウマの理解と心理的ケアI(教育学部；関山徹)
10. トラウマの理解と心理的ケアII(教育学部；関山徹)
11. 地域の復旧と復興(法文学部；小林善仁)

12. ハザードマップ(共通教育センター;井村隆介)
13. 鹿児島県の原子力防災対策(鹿児島県原子力安全対策課;西博夫)
14. 火山の監視と防災情報(鹿児島地方気象台;米満俊郎)
15. 鹿児島県の災害と危機管理(鹿児島県危機管理防災課;松崎早博)

(3) いのちと地域を守る防災学 II の特別な講義について

後期に開催される「いのちと地域を守る防災学 II」の1コマについては、環境省の「令和三年度放射線健康管理・健康不安対策事業(福島県外における放射線に係る健康影響等に関するリスクコミュニケーション事業)」として遠隔講義にて開催された。講師は、公益財団法人原子力安全研究協会放射線災害医療研究所主任研究員の山口拓允先生であり、環境省の放射線リスクコミュニケーション専門官としての活動を交え、「福島第一原発事故の概要と放射線による健康影響」と題し、放射線の健康影響について、考えさせられる講義であった。学生には、その後の鹿児島県の原子力防災対策の講義とともに原子力災害の防災を考える良い機会となった。

3. 防災士養成の取り組み

(1) 研修講座相当(認定)の共通教育科目の提供

2. の共通教育科目2科目について、日本防災士機構に研修講座相当と認定してもらう手続きを行っているが、今年度は年明けから新型コロナウイルス感染症オミクロン株の感染が急拡大したことにより、令和4年2月現在、資格取得試験が延期され、救急法の講習も実施できない状況にある。

(2) 救命講習会の実施

防災士資格取得のためには、指定された救急法の講習を修了する必要がある。今年度の共通教育科目受講者向けの講習は実施できない状況にあるが、昨年度の防災士資格試験合格者向けに鹿児島市消防局協力の下、普通救命講習を実施した。

日 時：2021年11月21日(日)9時30分～12時30分

2021年12月4日(土)9時30分～12時30分

場 所：鹿児島大学

内 容：救命措置(胸骨圧迫・人工呼吸・AED使用)の実習、異物除去・回復体位の演習解説

受講者：昨年度 防災士資格試験に合格し、普通救命講習を希望した者18名

(3) 防災士資格取得試験対策

防災士資格取得試験は、『防災士教本』の内容に基づいて行われる。2. の共通教育科目2科目では網羅できない部分があるため、その部分の学習が必要となる。

今年度もそのために補講し、試験対策の予定であるが、感染者数から予測が立たない状況である。

(4) 防災士資格申請者

申請者：令和2年度に防災士資格試験に合格し、申請した者は、15名であった。

(5) 防災士資格取得試験の実施(予定)

受験希望者：防災士資格取得希望者は未定

4. 教員免許状更新講習について

開設講習名：地域防災の最前線

実施日時：2021年8月6日 8時50分～16時45分

会場：鹿児島大学

講師：本センター兼務教員：「地盤災害」 酒匂一成 (理工学域 教授)
「河川災害」 齋田倫範 (理工学域 准教授)
「災害医療」 田松裕一 (医歯学域 教授)

受講生：33名

令和3年度 活動報告

社会実装推進部門

1. はじめに

社会実装推進部門では、国・地方自治体等、学外の組織や個人と連携し、シンポジウムやワークショップ等の開催を通じて、防災減災策の検討、防災啓発活動等に取り組んだ。また、防災に関する外部からの問い合わせや相談に応じた。以下は主な活動の報告である。

2. シンポジウム等の開催

1) 防災・日本再生シンポジウム

令和3年12月11日、鹿児島大学稲盛会館キミ&ケサメモリアルホールにおいて、令和3年度防災・日本再生シンポジウム「桜島大規模噴火時の降灰による地域社会への被害想定と減災対策」を、一般社団法人国立大学協会の共催を得て本センター主催行事として実施した。このシンポジウムは会場における対面実施とオンライン配信を併用して開催した。県内外の一般市民、学生、教員、自治体・防災機関関係者などから、会場84名、オンライン133名、計217名の参加があり、盛況裏に実施された。

地震火山地域防災センターは、2016年度から開始された研究プロジェクト「大規模火山噴火にレジリエントな地域社会の実現に向けた防災減災の取り組み」の下、高性能レーダによる降灰予測システムの開発、降下火砕物量の予測手法の開発、分野別ハザードマップの作成、被害想定や避難計画の策定等の研究を実施してきた。本シンポジウムは、プロジェクトの最終年度にあたり、これまで得られた研究成果を、自治体・防災関係機関や市民・教職員・学生に広く公表・周知することを目的として開催された。

シンポジウムの冒頭、佐野輝鹿児島大学長からの主催者としての開会挨拶、一般社団法人国立大学協会の森山睦企画部長の来賓挨拶があり、それに続いて講演が開始された。

最初に地頭菌隆センター長が、「プロジェクトの概要」と題して本センターの前身となる組織を含めた活動の歴史を紹介した後、2022年度から開始される新たなプロジェクトについて説明を行った。続いて眞木雅之特任教授から、「気象レーダによる降灰モニタリングはここまで可能になってきた」と題して、噴煙柱の観測、火山噴出物の検出、降灰量分布の推定についての研究成果が発表された。中谷剛特任研究員は、「火山噴火の降灰予測とハザードマップ作成」と題して、降灰予測計算の概要説明と大規模噴火時の被害想定、降灰リアルタイムハザードマップの作成と応用について報告した。

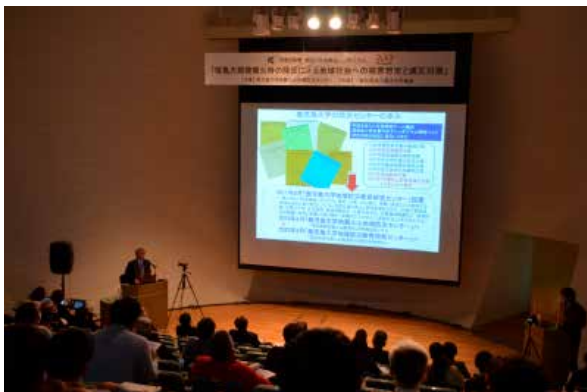
次いで、降灰被害の各分野への影響評価についてのワーキンググループの研究成果として3件の講演が行われた。松成裕子教授（医歯学域医学系）は、「生命と暮らしへの影響」と題して、防災リテラシー向上のための教材となる桜島火山版避難所運営ゲームの開発などについての活動

を紹介した。浅野敏之特任教授は、「港湾への影響」と題して、大規模噴火時に鹿児島湾内の港湾区域や航路に降下する軽石群体積の見積もりとそれを揚収するのに必要な作業期間の試算結果などについて報告した。株式会社ハウセイ・技研の三田和朗氏は、「交通への影響」と題して、噴出物の交通への影響、土石流や洪水の交通への影響等を説明した上で、交通復旧を解決する上での課題の提示、将来想定される桜島大規模噴火に備えた道路復旧への提言を行った。

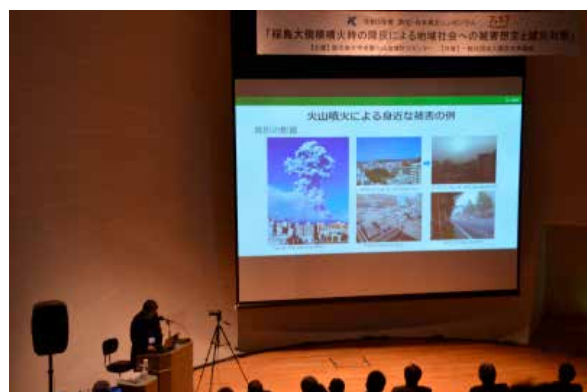
さらに、山梨県富士山科学研究所 富士山火山防災研究センターの石峯康浩氏から、「富士山の火山噴火と防災対策」と題する特別講演があった。そこでは、富士山の火山としての特徴、貞観噴火や宝永噴火といった富士山における過去の大きな噴火災害、現在の富士山の噴火対策について詳しい解説があった。

続いて、地頭菌隆センター長を座長として行われた総合討論では、オンライン、会場から受け付けた質問に対して各講師からの回答が行われた。討論の最後では今回のプロジェクト活動の最終的な振り返りと、次期プロジェクトへの期待などについて各講師から発言がなされた。

最後に岩井久鹿児島大学理事が、本プロジェクト活動は、研究成果の地域社会への実装を最終目標としており、関係機関と連携して火山防災・減災対策への活用を検討してきたことを改めて述べるとともに、次年度からのプロジェクトでは、大規模な複合災害に対して文理横断の学際的な災害・防災研究を推進し、その研究成果を還元することにより地域防災力を向上させ、より一層地域に貢献する、との決意表明によってシンポジウムを締めくくった。



講演の様子 1



講演の様子 2



講演の様子 3



総合討論の様子

3. 地域との連携による事業の実施

1) 令和3年11月、鹿児島市国土強靱化地域計画改定有識者会議委員に、地頭菌センター長と中谷特任研究員が就任した。11月に開催された第1回委員会において、平成31年3月に制定された国土強靱化地域計画の改定に基づき、特に桜島の大規模な噴火・土砂災害等に対する現行の脆弱性評価と市地域計画の推進方針についての協議が行われた。なお、地頭菌センター長が同委員会の委員長に推挙された。第2回有識者委員会は令和4年2月に予定されており、国土強靱化地域計画の改訂版案についての確認が行われる予定である。

2) 研究プロジェクト「大規模火山噴火にレジリエントな地域社会の実現に向けた防災・減災の取り組み」の社会実装活動の一環として、2日後および1.5日後に大正噴火級の大規模噴火を想定した降灰堆積深分布を示すリアルタイムハザードマップシステムを構築した。これを令和3年7月に鹿児島市危機管理課に限定して情報公開した。このシステムは、毎日6時間ごとに更新される。大規模噴火から18時後の降灰堆積分布、推定される被災人口、高齢者人口、通行止めが想定される道路や治水安全度が一時的に低下する河川等の情報を、公開用ホームページで閲覧できるようになっている。こうした情報を避難にどう活かすかという観点から、市危機管理課とは引き続き数回の不定期の勉強会を実施した。

3) 鹿児島県が主催する「桜島火山対策に関わる県・関係市勉強会（案）」に参加し、桜島の火山災害想定に係る確認事項について、コメント等を行なったほか、8月の第2回勉強会では、降灰リアルタイムハザードマップなどの最新研究成果の紹介を行なった。11月の第4回勉強会後には、R3年度内予定されている第5回勉強会に向けて、勉強会参加機関に限定してリアルタイムハザードマップシステムを公開した。

4) 空港の火山災害の低減を目的に、空港施設の火山灰の除去対策、噴火時の飛行空域の火山灰濃度予測、噴火時の航行運行管理などについて情報交換を行っている鹿児島空港事務所との勉強会を、令和2年度に引き続き実施した。R3年度は、国交省航空局、民間の航空会社らも勉強会に参加した。5月には、国交省航空局の将来の航空交通システムに関する推進協議会が開催する「第44回将来の航空交通システムに関する長期ビジョン（CARAT）」情報管理検討WGで、中谷特任研究員が「航行障害の最小化を目指した大気中火山灰濃度シミュレーション手法開発」と題した話題提供を行い、CARATSの視点に沿った検討結果を報告した。



鹿児島空港事務所等との勉強会の様子

4. 外部からの問い合わせや相談、訪問への対応

1) 社会福祉法人 建昌福祉会

始良市において児童福祉施設、障がい福祉施設、高齢者福祉施設の運営を行う建昌福祉会から浅野特任教授に依頼があり、令和3年7月1日同法人が実施した津波を対象とした合同避難訓練に立ち会った。避難訓練の後、報告会が同法人本部内で行われ、身体や精神に障がいを持つ入所者、介助の必要な高齢者がいる施設の避難体制の整備等について意見交換を行った。その後、「福祉施設における地震・津波の心構え」と題する講演を行った。



建昌福祉会での講演の状況

2) MS&AD インターリスク総研株式会社

令和3年8月、最近の火山噴火の規模と発生頻度、火山噴火による道路交通など流通網への影響、降灰シミュレーションの手法、火山災害損害リスクの評価などについて、MS&AD インターリスク総研株式会社から問い合わせがあり、本センターにおいて意見交換を行なった。

3) (一社) 建設コンサルタント協会九州支部「防災シンポジウム」

同協会九州支部から依頼を受け、令和3年12月に中谷特任研究員が「地球温暖化と九州地方への影響」と題した講演を行った（オンライン形式）。講演の内容は、1. 地球温暖化の概要、2. 日本への影響（文献・委員会資料等より）、3. 九州地方への影響、4. 九州各県への影響（地球温暖化予測計算を利用）、5. 地球温暖化予測計算データ等の取得方法で、最後に、一般に公開されている地球温暖化計算結果データベースへのアクセス方法についても紹介した。

令和3年度 活動報告

南西島弧地震火山観測所

1. はじめに

南西島弧地震火山観測所は、令和2年度に引き続き九州南部から南西諸島北部域の地震・地殻変動観測を主体とした観測研究や、地震火山地域防災センターと連携したデジタルサイネージ等への取り組みを推進した。平成31年4月に開始された国家プロジェクトである「災害の軽減に貢献するための地震火山観測計画（第2次）」に基づき、当該計画の実施機関である他大学との共同観測研究を推進した。なお、令和3年の顕著な地震活動として、4月にトカラ列島近海で発生したマグニチュード5.3を最大地震とする群発地震活動、及び12月に再活動した群発地震活動とその北側で発生したマグニチュード6.1の地震の発生が挙げられる。これらの活動に伴い有感地震が4月9日～30日に265個、12月4日～31日に308個と多数にのぼったことから社会的にも注目され、12月には十島村悪石島で一部の住民の島外避難が行われた。これらの地震活動を踏まえ、当観測所では緊急対応として臨時に海底地震計の投入を行った。以上の観測研究の推進・実施においては新型コロナウイルス感染症の拡大の影響を少なからず受けたが、概ね計画どおりに進捗した。なお、令和4年1月22日には日向灘北部でM6.6の地震が発生したが、震央が地震観測のインフラが整っている陸域の近傍であったため、臨時で海域観測を実施する等の特段の対応は取らなかった。以下は令和3年度の主な活動報告である。

2. 九州南部から南西諸島北部域における定常地震観測

南西島弧地震火山観測所では、データがリアルタイムで送信される微小地震観測点を27地点に設置して、主として九州南部から南西諸島北部域の地震観測研究を推進してきた。これらの観測地点数は令和3年度中の増減していない。このうちの11観測点は、地震予知計画に基づき1989～1996年にかけて設置され、全国の高感度地震観測網を構成する基盤的観測点に位置づけられている定常観測点であり、通信回線等の維持経費を国から予算措置されている。これらの観測点のデータは、当観測所のみならず、気象庁、国立研究開発法人防災科学技術研究所、及び地震観測研究を実施する他の国立大学法人にもリアルタイムで送信されている。さらにこのリアルタイムデータは、気象庁が発表する地震や火山に関する防災情報の発信に恒常的に利活用されている他、データ利用を希望する研究者等により、地震データの流通と利用の枠組みに基づき使用される。以上のように、定常観測点の地震観測データは学内だけでなく学外にも広く流通し利用されているため、観測機器や通信機器・回線等に障害が発生した場合には速やかな復旧に努める必要がある。令和3年度においても、雷害、機器の不具合・故障、及び通信障害等の発生に応じ、大学院理工学研究科技術部（当観測所勤務）の平野舟一郎技術専門職員が即時的な原因調査にあたり、かつ可能な限り速やかに当該観測点に向いて復旧作業を実施した。当該職員単独では現地へのアクセスや作業において安全の確保が困難と予想される場合や、機材等の搬入出に人員が必要な場合等に応じて仲谷幸浩特任助教が当該作業に加わった。これらの、前もって予期できない日々の作業は、安定して観測データを収録・送信し、地震活動が静穏な期間を含めた地震現象の時間発展を中長期に捉え観測研究を推進するために不可欠である。なお、障害復旧作業時には現地観測点と当観測所との間で連携する必要があり、仲谷幸浩特任助教もしくは八木原寛准教授が受信再開とデータが正常であるかの確認、及び復旧しない場合の対応を観測所側で行っている。なお、当観測所の地震データリアルタイム受信処理システムの構築、企画立案、管理保守、システムに障害が発生した場合の復旧作業については、年度を通じて八木原寛准教授が担当した。一方、他大学等の地震データ利用者のシステムである全国地震等データ利用システムの管理は仲谷幸浩特任助教が担当した。

3. 九州南部から南西諸島北部域における臨時地震・地殻変動観測

九州南部から南西諸島北部域は、フィリピン海プレートがユーラシアプレート下に沈み込むプレート境界域に位置し、火山活動だけでなく地震活動も活発である。大学の定常観測点が設置されていない屋久島以南の中でも奄美大島周辺は特に地震活動の高い領域であり、過去には津波を伴う巨大地震（1911年喜界島近海地震、マグニチュード8.0）が発生している。このため当観測所は、1990年代にオフライン（現地収録方式）の観測点を奄美大島及び喜界島に展開して開始した臨時地震観測を皮切りに、2000年代には観測点の増設やリアルタイム化を進め、トカラ列島にも地震観測点を展開した。さらに、「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画」（平成26～30年度の5か年）の研究課題として南西諸島北部域における地震・地殻変動観測研究を提案し、それまで観測点が設置されていなかった無人島・有人島に地震・地殻変動観測点を展開した。平成31年4月に新たに始まった「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画（第2次）」

（令和5年度まで）の研究課題においてもこれらの観測点を継続し、当該領域の地震・地殻変動の観測研究を推進している。次章に記述するとおり、本課題においては1911年喜界島近海地震の推定震央域とその周辺における通常の地震やスロー地震の震源や活動の時間発展の理解を深化させるための機動的な海域地震観測を柱とする。この海域観測に係る機材や航海に関する準備は、主に仲谷幸浩特任助教と平野舟一郎技術専門職員が担当している。無人島観測点（女島、宇治島、臥蛇島、横当島）の設置・データ回収・保守作業は、主に平野舟一郎技術専門職員と八木原寛准教授が担当し、業務の都合等の必要に応じて仲谷幸浩特任助教が加わる。概ね年1回以上を目標とする各無人島への渡島の際には隣接有人島から小型兼用船を用船するため、その可否は気象・海象に大きく左右される。加えて令和3年度は、新型コロナウイルス感染症の拡大に伴い、奄美大島や十島村等の離島自治体から来島自粛要請が発出された。女島と横当島に渡島できたものの、本稿の執筆時点で臥蛇島と宇治島には渡島できていない。令和2年度末の時点においては仮復旧の状態であった女島のGNSS観測点は本復旧させることができた。

以上に記した観測点は、運営費の削減が基調である中で辛うじて維持できている状況である。令和3年度は、台風の直接的な襲来が無かった等、気象災害が少なかったことや、新型コロナウイルス感染症の拡大に伴う来島自粛要請、及び学内における出張禁止（時期・状況により異なるが、主として、まん延防止等重点措置が適用されている都道府県）の発出に伴い出張経費が縮小した結果として観測点の維持に係る経費（通信料等）を賄えたことも否めない。

4. 大学の附属練習船を利用した喜界島東方海域の海域地震観測

南西島弧地震火山観測所では、長崎大学水産学部附属練習船・長崎丸を教育関係共同利用して、海底地震観測および離島における地殻変動観測を中長期的に継続している。国の推進プロジェクト「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画（第2次）」（2019～2023年度）で観測所が提案・推進している課題「南西諸島北部域におけるプレート間すべりの特性に関する地震・地殻変動観測研究」に基づき、令和3年度は4月・8月の計2航海を実施した。昨年度に続く新型コロナウイルス感染症の影響により、制限の多い中での実施となったが、計画通り2回の航海を実現することができた。観測内容としては、1911年喜界島地震（マグニチュード8.0）の推定震央付近に観測点間隔約20kmで稠密展開した8台の長期収録型海底地震計（LOBS）の回収と新規8台設置、および男女群島・女島での地殻変動観測を推進した。

(1) 長崎丸第067次航海

期間：2021年4月15日～2021年4月21日

海域：喜界島東方海域、男女群島・女島、甌島周辺海域、悪石島西方海域

担当：八木原寛准教授(代表)、仲谷幸浩特任助教(乗船)、平野舟一郎技術専門職員(乗船)

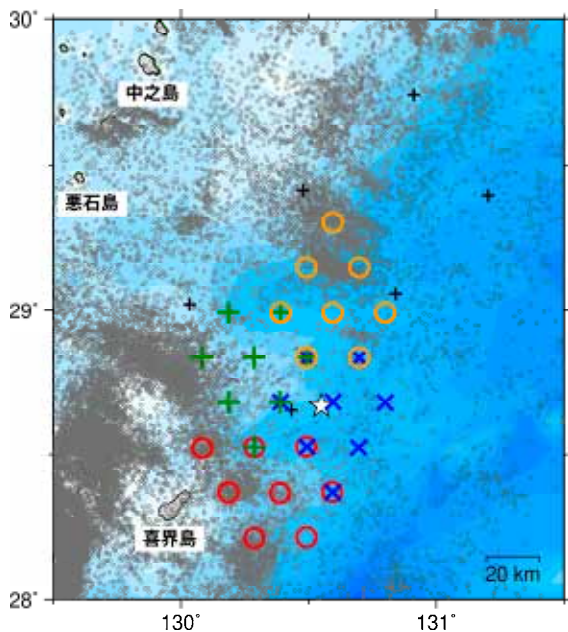
(2) 長崎丸第076次航海

期間：2021年8月1日～2021年8月5日

海域：日向灘、男女群島・女島（海況不良で上陸断念）、甌島周辺海域

担当：八木原寛准教授(代表)、仲谷幸浩特任助教(乗船)、平野舟一郎技術専門職員(乗船)

本観測で対象とする南西諸島北部域では、フィリピン海プレートが大陸プレート下に沈み込み、地震・火山噴火活動が活発である。九州南部～南西諸島の東シナ海では沖縄トラフの拡大が進行中で、対象領域は複雑なプレート運動下にある地域である。1911年には喜界島近海でマグニチュード 8.0 の巨大地震および津波が発生したと考えられているが、当時の観測データや歴史記録が少なく、震源域などの詳細は明らかになっていない。加えて、現在でも定常地震観測点は島嶼部に限られているため、遠く離れた海底下の地震学的情報を得るには、海底地震観測が極めて有効かつ不可欠である。今年度までの LOBS 観測によって得られたデータから、プレート境界面上で発生する、通常の地震と比べてゆっくりとしたすべり現象である浅部低周波微動が発見された。浅部低周波微動の震源分布は空間的に一様でなく、海底下の地殻構造や通常の地震との関係の理解が進展すると期待される。尚、本観測航海は、京都大学防災研究所・九州大学・東京海洋大学・東京大学地震研究所との共同研究・共同利用の一環である。



(凡例)

- : 2016/1/1-2020/12/31 に発生した地震
- +
- : 2019～2020年に観測した LOBS
- × : 2020～2021年に観測した LOBS
- +
- : 2022年に設置予定の LOBS
- ☆ : 1911年巨大地震の想定震央[後藤, 2013]

(説明)

2014年から5か年実施した LOBS 観測 (+) の次期計画として、1911年喜界島地震 (☆) 周辺に焦点をあて、地震・低周波微動を捉えるための稠密 LOBS 観測を 2019年より開始した。今年度は、8台の回収 (×) および設置 (+) に成功した。

LOBS 配置と過去 5 年の地震の震央分布

長崎丸航海においては、甕島周辺海域にて短期収録型海底地震計を用いた海底地震観測も実施している。本観測に係る海底地震計の取り扱い等を、理学部カリキュラム「地球物理学実習 II」の実習の一部としており、基礎的な地震学および観測の知見を伝える教育活動にも貢献している。

5. トカラ列島近海の群発地震発生に伴う緊急海底地震観測

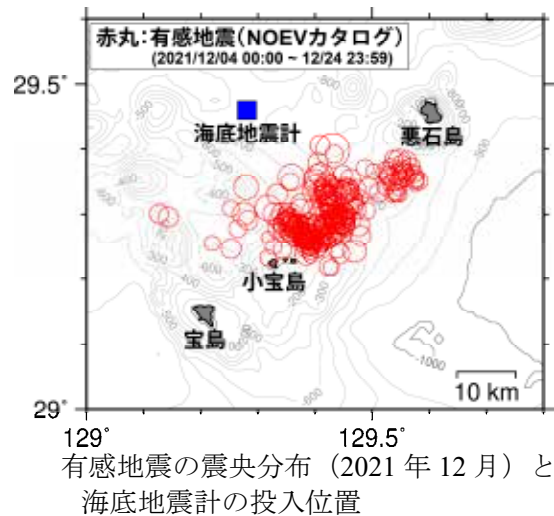
2021年4月9日23時台から、トカラ列島近海(十島村悪石島～小宝島の周辺海域)において多数の有感地震(震度1以上の地震)を伴う群発地震活動が開始した。一連の地震活動では、約3週間で260回以上の有感地震が発生し、十島村悪石島で最大震度4を複数回観測(最大マグニチュード5.3)した。南西島弧地震火山観測所と京都大学防災研究所宮崎観測所は、群発地震発生を受けて緊急海底地震観測を実施した。この観測では、島嶼域の陸上地震観測点のみの解析では限界のある震源精度を改善し、地震発生領域の把握や地域社会への情報発信に不可欠なデータ収集を目的とした。海底地震計の設置・回収を実施する船舶の確保が最重要課題であったが、設置航海は前述した長崎丸第067次航海により、回収航海は十島村高速観光船ななしま2により、それぞれ計画した。4月17日に悪石島西方海域に短期収録型海底地震計を設置し観測を開始したが、9月24日の回収航海で機体を揚収できず、残念ながらデータ取得に至らなかった。

2021年12月4日12時台から、再びトカラ列島近海において群発地震活動が開始した。約3週間で300回以上の有感地震が記録され、12月9日に十島村悪石島で最大震度5強(マグニチュード6.1)を観測する地震が発生した。南西島弧地震火山観測所と京都大学防災研究所宮崎観測所は、4月と同様の緊急海底地震観測を計画し、十島村高速観光船ななしま2により12月15日に短期

収録型海底地震計を悪石島西方海域に設置した(右下図)。回収は2022年春～夏に予定している。



海底地震計の投入前作業(2021年4月)



有感地震の震央分布(2021年12月)と海底地震計の投入位置

6. 外部からの問い合わせ等への対応

(1) 2021年4月トカラ列島近海の群発地震発生に伴う取材対応および情報提供

2021年4月9日からトカラ列島近海において群発地震が発生した。短期間で相当数の有感地震が発生したため、全国的な関心も高く、NHK 鹿児島放送局・日本テレビ・テレビ朝日・TBS テレビ・鹿児島読売テレビ・鹿児島放送・南日本放送・鹿児島テレビ放送・南日本新聞・朝日新聞・毎日新聞(順不同)・朝日新聞出版社 AERA の計12社(計16回)の取材に対応した。地震発生場の構造的特徴、最大地震の発震機構、地震活動の推移等を説明するとともに、地震への備えなど注意喚起をした。また、災害警備を担う鹿児島県警察本部警備部に情報提供を実施した。

(2) 2021年12月トカラ列島近海の群発地震発生に伴う取材対応および情報提供

2021年12月4日からトカラ列島近海において群発地震が発生した。4月の地震活動を超える有感地震数であったことに加え、最大震度5強の地震も発生したことから、NHK 鹿児島放送局・テレビ朝日・TBS テレビ・鹿児島テレビ放送・南日本放送・共同通信・朝日新聞・読売新聞・しんぶん赤旗・朝日新聞出版 AERA・Vice World News(順不同)の計12社(計18回)の取材に対応した。一般的な群発地震の特徴、4月の活動との比較、地震活動の推移等を説明するとともに、地震への備えなど注意喚起をした。また、災害警備を担う鹿児島県警察本部警備部に情報提供を実施した。さらに、十島村から12月16日に照会があり、情報提供を行った。

(3) その他

9月6日に十島村から諏訪之瀬島の避難施設に関する照会があり、情報提供を行った。10月6日に大隅地方東方沖で発生したマグニチュード5.4の地震に関して鹿児島テレビ放送の取材に対応した。

おわりに

平成30年4月に地震火山地域防災センターの附属施設としてスタートした当観測所は、令和4年4月に理工学研究科の附属施設に改組されることとなった。

これまでの期間において、当観測所の事務に携わっていただいた地震火山地域防災センター事務室の皆様、産学・地域連携係をはじめとする社会連携課の皆様、財務部財務課・経理課の皆様、プロジェクト等を通じて関わりのありました地震火山地域防災センター長をはじめとする特任教員、特任研究員、兼務教員の皆様に厚く御礼申し上げます。

総合防災データベースの構築

地震火山地域防災センターは、これまで、南九州から南西諸島地域における災害の防止と軽減を図るため、災害の実態解明、予測、防災教育、災害応急対策、災害復旧復興等の課題に地域と連携して取り組み、地域防災力の向上に向けた活動を行ってきた。

これからの活動目標として、『大規模複合災害に備えた学際的防災研究の推進と防災人材の育成』に取り組む方針を策定している。この活動において、これまでに蓄積してきた南九州から南西諸島にかけて繰り返された災害の歴史資料および学内の災害・防災研究成果のデータベース化、デジタルサイネージによる情報発信、防災人材育成のための総合的な教育支援プログラムの開発に取り組むため、「総合防災データベース活用システム」の導入を試みる。このデータベースを導入することで、災害・防災に関する資料を活用して文理横断の知を総動員した災害・防災研究が推進されることが期待されている。図-1 に総合防災データベース活用システムの開発過程と期待される成果をまとめる。

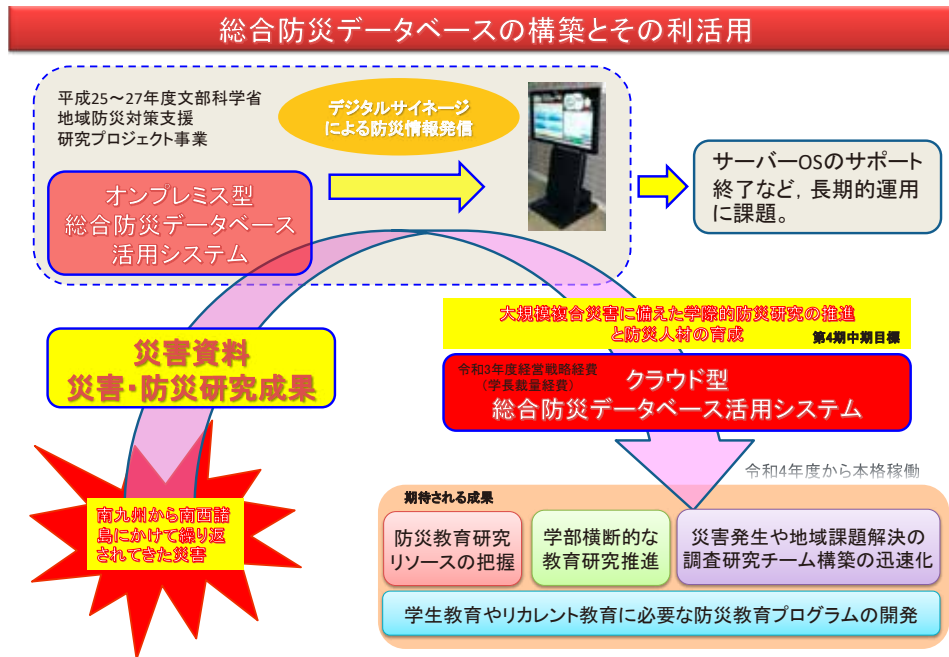


図-1 総合防災データベース活用システムの開発過程と期待される成果

本センターにおける防災データベース活用システムの開発背景についてまとめる。本センターでは、平成25年度～平成27年度に、文部科学省地域防災対策支援研究プロジェクト事業「南九州における地域防災支援データベースの構築」の支援を得て、オンプレミス型のデータベースシステムを構築してきている。なお、オンプレミス型とは、利用内容に合わせた専用システム（サーバー、ソフトウェアなど）を自前で調達し、運用する仕組みのことである。自前でシステムを構築・管理することができるため、システムのカスタマイズの自由度が高いことが利点である。事業終了後も、本センターでは、引き続き資料の収集の登録作業を行いつつ、平時の防災啓発として日本気象協会と共同でデジタルサイネージによる情報発信を行ってきた。しかしながら、ハードの故障やOSのサポート期間（令和2年11月サポート終了）などの問題から、長期的運用に懸念があり、OS更新に伴うシステムの再構築費用などの課題について検討されてきた。

そこで、令和4年度からの第4期中期計画を策定にあたり、上記のデータベースの継承システムとして、クラウド型のデータベースシステムを構築し、安定的なシステム運用とサポート体制を得ることができるシステムの構築が計画された。なお、クラウド型は、オンプレミス型に比べ、システムカスタマイズの自由度は低くなるが、低コストで導入ができ、システム構築や管理が不要で、ハード及びソフトウェアの更新などに柔軟に対応できる利点がある。また、運用しながらユーザーからシステムの機能への要望を集約し、予算に応じて機能のカスタマイズを検討し、より利用しやすいシステムに発展させていくことも可能である。ただし、クラウド型は外部サーバーにデータを置くため、本学のクラウドサービス利用ガイドラインを踏まえ、基本的には公開可能な情報のみを掲載する（公開・非公開を設定するも可能）。また、システムの構築・管理に関する問題以外に、本センターの兼務教員による災害・防災に関する研究、教育、地域貢献等での多くの成果を一元的に整理して情報発信する仕組みが既往のデータベースには無かったという課題があるため、新規データベースに組み込むこととした。

当初、次期プロジェクトが開始される令和4年度からのシステム構築を予定していたが、令和3年度経営戦略経費（学長裁量経費）により、総合防災データベース活用システムの構築事業に対する費用の配分がなされ、前倒しでシステムの整備を令和3年度に実施することになった。

本報告では、クラウド型総合防災データベースの仕様の一部についてまとめる。

本データベースシステムの利用者として、一般利用者、データ登録者、システム管理者を想定している。一般利用者は、利用者用目録データ検索及び閲覧などができる。データ登録者は、データ登録者用目録データ検索及び閲覧、データ登録者用検索結果閲覧、目録データの個別登録、個別修正・個別削除などができる。また、システム管理者には、目録データ登録・修正・削除、利用者管理機能、権限管理の権限が与えられる。

次に、防災資料管理機能について述べる。登録可能な防災資料は、文字情報だけでなく、静止画像（JPEG、TIFF、PNG）、動画ファイル（Windows Media、MPEG、FlashVideo）、音声（MP3、WAV）、各種文書ファイル（Word文書、PDF、Excelファイル、PowerPointファイル）等であり、システムでは、これらを登録、管理し、検索、閲覧、削除を行う機能を有している。防災資料は、GUI（Graphical User Interface）画面で、入力や情報検索することが可能となる。また、防災資料の登録件数は、月々の課金額に応じた容量の範囲で登録できる。

現在、本センターでは、登録目録件数：682件、登録ファイル数2,538件に上る防災資料が収集されている。今年度開発されたクラウド型総合防災データベースには、令和4年度からの本格稼働後に、本センターの兼務教員による学内・地域社会の防災教育、防災研究成果の地域還元、学内教員の連携強化に必要なデータ（講演、セミナー、地域貢献活動等）も登録していき、本システムで一元的に管理していく予定である。

最後に、令和3年度経営戦略経費（学長裁量経費）による事業で構築された総合防災データベースを利活用することは、防災教育研究リソースを把握し、防災に関する学部横断的な教育研究の推進、災害発生や地域課題解決の調査研究チーム構築の迅速化等につながると考えられる。また、本学が蓄積してきた防災に関する講演会・セミナー等のコンテンツを一元管理することは、防災に関する学生教育やリカレント教育に必要な教育プログラムの開発やステークホルダーへのPR活動に役立つものであり、本事業の推進によって、本センターのこれまでの成果を第4期中期目標期間のさらなる発展につなげたいと考えている。

プロジェクト報告

WG II 「生命と暮らしへの影響」に関するワーキンググループ

鹿児島大学医学部保健学科 松成 裕子

1. はじめに

この事業の目的は、桜島火山災害に関する防災教育として、桜島版HUG (hinanzyo unei game の頭文字、避難所 運営 ゲーム) を開発することである。それにより、住民が桜島版の避難所運営ゲームを体験することにより、災害における自助・共助の必要性を理解する。そして災害における自助力を獲得するための行動を起こし、地域の防災・減災の対策の強化につながることをねらいとしている。これまで、鹿児島大学の地震火山防災センターでは、2016年からワーキンググループを発足させ、活動を開始した。そのワーキンググループでは、市立病院の救急救命センターの医療スタッフ、鹿児島市の保健師、鹿児島市の危機管理局、鹿児島市の福祉課職員、南日本新聞社の記者、富士火山研究所研究員が集った。そこで、「今、桜島が大正噴火の規模の噴火を起こすことになれば、どのようなことが起こるのか」を検討した。その結果、人々の生命や暮らしに大きな影響を及ぼすことが予測された。火山災害では降灰による影響から鹿児島市は孤立する。そして、災害被害は、長期化し、避難所生活は避けては通れないとの結論に至った。それでは「住民はどうしたらよいのか」の対策を検討した。そして静岡県が開発した避難所 (HUG) ゲームを体験してもらうことにより、住民への防災、減災の啓蒙活動を広げていく必要があると考えた。そしてメンバー間でこのことを共通認識した。

これにより、オリジナルの桜島版の避難所運営ゲームの開発に取り組んだ。この避難所ゲームは避難所で起こる様々な出来事にどう対応していくかの模擬体験ゲームである。そして、現在この桜島版避難所運営ゲームの試作版が完成した。この試作版では、自治体や災害に関わる関係職種が火山災害に関わるための知識や対応を学ぶことができるものになっている。しかし、この研究の最終目標は、住民の火山災害に関する防災教育による自助力の向上を目的としていることから、さらなる活動が必要になる。そこで、一般住民や小学生、高齢者にも普及するには、視覚、感覚でとらえる教材が必要である。そして、この解説付きのゲームカードを完成させ、プレイしてもらうことで、住民への防災、減災の啓蒙につなげる。

2. 事業の活動経過

1) 桜島火山版 HUG 避難所運営ゲームパイロット版 (β version) の完成

(1) 2019年度の産学・地域共創センター社会共創イニシアティブ部会活動助成金獲得

2019年度の産学・地域共創センター社会共創イニシアティブ部会活動助成金により、漫画「桜島とともに生きる」を作成した。作者は、漫画家のイマイ悠先生である。イマイ先生は、第83回小学館コミック大賞 少年部門 佳作「王たる所以」の受賞がある。主な作品には、小学館の「サンデーうぇぶ キズナ」となっている。今回の漫画「桜島とともに生きる」の製作のために、家族と共に、鹿児島市を訪問してくださり、実際に桜島を訪れてくださった。

(2) 2020年度「異分野融合研究プロジェクト創出研究助成事業」の採択

そして、2020年度には、申請した「異分野融合研究プロジェクト創出研究助成事業」が採択されたことにより、その助成金により、完成した桜島版避難所運営ゲームを配布し、実施する計画がなされることになった。以下の写真は、桜島火山版 HUG 避難所運営ゲームパイロット版 (β version) であり、この桜島火山版避難所運営ゲームは、何度も試作を重ね、試作版 (静岡県「避難所 HUG」使用許諾番号 291号) として、今回、200セット、完成しました。

2) Japan Geoscience Union Meeting 2021 発表

2021年6月6日には、日本地球惑星科学連合の学術集会にて、これまでの成果を発表した。この日本地球惑星科学連合の学術集会の2021年大会は、2021年5月30日(日)～6月1日(火)の現地開催 (パシフィコ横浜ノース:横浜市) と、6月3日(木)～6月6日(日)のオンライン開催のハイブリッド形式で実施されました。この日本地球惑星科学連合の学術集会は、日本応用地質学会や日本海洋学会などの Japan Geoscience Union (JpGU 加盟学協会) によって開催されるセッ

ションを持ち、とてもユニークな学術集会でした。そして、AGU(American Geophysical Union)とAOGS(Asia Oceania Geosciences Society)とEGU(European Geosciences Union)、CGU(Chinese Geoscience Union, Taipei)ともジョイントセッションの開催が可能であり、そのためエントリは英語による抄録記載が求められました。



3) 「こども消防士育成プロジェクト」に参加

2021年6月20日には、始良市消防局において実施される「こども消防士育成プロジェクト」におけるゲームのファシリテーター研修会を地元の高校生に実施し、メディアの取材を受けた。これまでも、2020年度にも始良市での実施があった。この成果としては、小学生は、楽しくゲームをすることができていた。また、それにより、災害への興味関心が高くなった。中学生は、小学生の面倒をみて、ゲームの説明を行っていた。これにより、年長者としての態度が芽生えていたとのことであった。そして、今回も始良市の高校生を対象とし、ファシリテーターになってもらうことをねらいとして、研修会を実施した。

4) 第31回鹿大防災セミナーでの発表

地震火山地域防災センター主催の第31回鹿大防災セミナーとして、8月31日(火)にオンラインで開催した。まず、ワーキンググループIIの「生命と暮らしへの影響」の成果を発表した。講演では、「桜島火山版避難所運営ゲーム(HUG)開発について」と題して、開発の経緯から現在の活動状況が報告されました。そして、最終目標の「地域で暮らす住民の火山災害に関する防災リテラシーの向上」に向けて、視覚、感覚でとらえる教材の改善と、普及のためのファシリテーターの必要が説明され、参加者の募集が呼びかけられました。そして、講演後には、他の災害時への活用についても意見が交わされ、希望が持てる情報提供の場となった。また、このセミナーには、関東の企業、鹿児島地方気象台、自治体職員、市議会議員など全国からの参加があり、本学の教職員および学生を含めると46名の参加があり、遠隔での開催のメリットが得られた。

5) 令和3年度防災・日本再生シンポジウム「桜島大規模噴火時の降灰による地域社会への被害想定と減災対策」での発表

令和3年12月11日(土)、鹿児島大学稲盛会館キミ&ケサメモリアルホールにおいて、令和3年度防災・日本再生シンポジウム「桜島大規模噴火時の降灰による地域社会への被害想定と減災対策」(主催:地震火山地域防災センター、共催:一般社団法人国立大学協会)が開催された。シンポジウムは、対面実施とオンライン配信を併用しての開催であった。そして、シンポジウムで

は、「生命と暮らしへの影響」と題して、防災リテラシー向上のための教材となる桜島火山版避難所運営ゲームの開発などについて活動を紹介した。

6) 第 52 回桜島火山爆発総合防災訓練（令和三年度）参加

令和 4 年 1 月 8 日（土曜日）には、令和三年度第 52 回桜島火山爆発総合防災訓練時に参加し、広報活動を行った。今回は、清水中学校で開催され、桜島西道町、清水校区の住民が参加した。訓練の内容は、見学、体験型訓練もあり、清水中学校生徒が参加した。ブースを見学してくれた中学生に対し、桜島火山版 HUG 避難所運営ゲームパイロット版の説明と漫画「桜島とともに生きる」を配布することができた。



3. まとめ

2016 年からワーキンググループを発足させ、「今、桜島が大正噴火の規模の噴火を起こすことになれば、どのようなことが起こるのか」を検討した。その結果、人々の生命や暮らしに大きな影響を及ぼすことが予測され、ワーキンググループの活動を開始した。活動の目標は、桜島火山災害に関する防災教育として、桜島版 HUG（hinanzyo unei game の頭文字、避難所 運営ゲーム）を開発であり、これにより、オリジナルの桜島版の避難所運営ゲームの開発に取り組んだ。この避難所ゲームは、避難所で起こる様々な出来事にどう対応していくかの模擬体験ゲームである。そして、現在、桜島火山版 HUG 避難所運営ゲームパイロット版が完成した。この試作版は、自治体や災害に関わる関係職種が火山災害に関わるための知識や対応を学ぶことができるものになっている。そして、この研究の最終目標は、住民の火山災害に関する防災教育による自助力の向上を目的としている。そして、住民が桜島版の避難所運営ゲームを体験することにより、災害における自助・共助の必要性を理解する。そして、災害における自助力を獲得するための行動を起こし、地域の防災・減災の対策の強化につながることをねらいとしている。さらには、火山災害だけでなく、他の災害における防災・減災意識を高めることにもつながる。このゲームの開発は、桜島だけのものではなく、このゲームが他の火山災害に応用され、富士山の火山災害の可能性もゼロではないことから、火山国日本においては優先されるべき事案として、活動していきたい。

WG メンバー：山内 博之（鹿児島市地域福祉課主査）、大山 あゆみ（鹿児島市保健師）
高橋 里恵（鹿児島市保健師）、遠藤 順子（鹿児島市保健師）、前野 律江（鹿児島市保健師）、栗脇 ひとみ（鹿児島市保健師）、吉原 秀明（鹿児島市立病院救命救急センター長）、高間 辰雄（鹿児島県立大島病院救命救急センター長）改元 香（鹿児島女子短期大学食物栄養学専攻講師）、垣花 泰之（鹿児島大学地震火山地域防災センター災害医療分野

責任者)、上國料 千夏(鹿児島大学救急・集中治療医学分野特任助教)、佐藤 満仁(鹿児島大学救急・集中治療医学分野特任助教)、伊東 公章(鹿児島市立病院看護師)、新枝里子(鹿児島市立病院看護師)、今村 圭子(鹿児島大学客員研究員)、幸福 崇(危機管理課桜島火山対策係長)、石峯 康浩(山梨県富士山科学研究所 富士山火山防災研究センター)、廣庭 直之(南日本新聞社)、中谷 剛(鹿児島大学地震火山地域防災センター)

WGⅢ「交通への影響」に関するワーキンググループ

主査 三田 和朗

1. はじめに

平成29年3月に大規模噴火にレジリエントな地域社会の実現に向けた防災・減災の取り組み専門部会の一部として「交通への影響」ワーキンググループが設立されたが、本ワーキンググループでは、桜島の大噴火時期が不明なので、大噴火が早期に起きる場合でも間に合うようにしたいとの観点から検討を急いだ。その結果、火砕降下物の堆積方向が薩摩半島側になった場合と大隅半島側になった場合の2つのケースについて、暫定レポートを平成30年と31年に作成し鹿児島大学地震火山地域防災センターのホームページで公開した。ワーキンググループとして当初の目的をほぼ2年間で達成し、その後の新型コロナ蔓延下ではワーキンググループの活動を休止した。また、本活動報告では、最終年度としてこれまでの成果の一部を取りまとめる。

2. 平成30年度の検討結果概要

検討結果の重要部分について以下に示す。

2.1 レポート名称

公開時点で「暫定レポート」の名称をつけたが、これは、後に完成版レポートを作成するとの意図で付けたものではない。科学や知見は、時間とともに常に進展する。新たな見解や、新たな技術が加わり、火山噴火に対応する手法も常に進展する。

大学で作成したレポートは、あくまでもその時点で、そのワーキンググループ構成員で了解された事項であり、実際の噴火対応を行う行政の視点をあまり含まない。たとえば、理想的には実施した方が良いが、行政サイドとしては実施不可といった事項も考えられる。また、IT技術の進歩で、全く別の手法で道路清掃をした方が良い場合も将来出てくる。その点を考えて、参考情報として有効活用されることを期待して「暫定」の名称をつけたものである。

なお、公開したレポートは、プロジェクト最終年度の現時点から判断して修正する箇所が無いことも付け加える。この点は、平成31年度も同じである。

2.2 防災行動計画（タイムライン防災）の提案

本ワーキンググループでは、「行動時間計画」の名称で噴火時間と防災行動の取り組み案を作成した。これは、桜島の大噴火が安永・大正噴火の際に噴火前の現象が顕著なため、火山観測技術が進んだ今日では、数カ月以上前から大噴火発生の前兆を把握できるとの観点から作成したものである。本ワーキンググループでは、タイムライン防災が世界の先端的な防災手法として活用され始めた情報を得ていなかったが、防災を重視した結果、タイムライン防災と同じ手法となった。ただ、タイムライン防災の名称は、一般人には解りにくいので「防災行動計画」の名称を今後は用いるものとする。

桜島の防災行動計画は、主に多量の軽石火山灰が薩摩半島側に降った場合、すなわち鹿児島市の対応を主眼に置いて作成したものである。その計画は、平成30年レポートに表-4.2として示したが、一部の名称を判りやすく更新しその構成概要を表-1に示す。

地震や津波災害と異なり、事前に災害が発生する時間を予知できる点が桜島大噴火の特徴である。したがって、噴火予知情報を活かして、住民避難計画が策定され、道路復旧もより適切に実施出来る余地がある。

〔成果〕

①タイムライン防災の概念実装

現時点で、「鹿児島市地域防災計画 桜島火山災害対策 大量軽石火山灰対応計画 平成31年3月 令和2年3月 一部改訂令和3年3月 一部改訂」にも、タイムライン防災的な考えが取り入れられており防災計画の進展がみられる。

表-1 防災行動計画（平成 30 年レポートでは行動時間計画の名称）

準備段階区分	噴火現象区分	対策
平常準備	湾北部のマグマが桜島に移動していない段階	防災対応マニュアルの作成など、噴火対応方法を検討し、噴火に対応する社会インフラを整備する時期である。大噴火対策として最も重要な時期でもある。
準備段階	桜島へのマグマ移動が観測され、五者協議で噴火への懸念が示された時点からスタートする。噴火半年から 10 日前までの期間である。	平常準備段階での検討をもとに、関係機関に連絡を取り、具体的な噴火対策を実施する。また、一般市民に対し、噴火に備えた行動を即すため、情報の周知が重要となる。
直前段階	正確な噴火日は特定できないが、大噴火が予想される 10 日程度前から噴火 3 日程度前までの期間である。	多量降灰（軽石と火山灰）の危険地域を抽出し、道路啓開地域を決め、道路啓開作業班を事前配備する。道路啓開と軽石搬出に支障となる施設は改善する。
最終段階	噴火 2 日前から噴火 12 時間前。	降灰範囲を予想し、道路啓開を行う路線については、12 時間程度前までには全面通行止めとする。道路警戒作業班は、道路啓開の準備を 12 時間程度前には終了。
噴火段階	噴火開始	住民に噴火の状況を知らせ、住民が適切な行動ができるようにマスメディアで解説する。
大噴火ピーク終了後	噴火開始 12～30 時間後以降	噴火後の実際の降灰状況により、具体的な道路復旧計画を作成し、道路啓開を開始する。

②鹿児島市街地住民の大規模避難

鹿児島市では、大噴火に対し桜島住民はもちろんであるが、鹿児島市街地住民の**大規模避難**の検討も行っている。これは、交通ワーキンググループが大正噴火時の住民心理を考察したレポート平成 30 年 WG3 第 10 回レポート「桜島大噴火時の住民心理と放置車両発生対策」等も情報として有効利用されたと拝察される。

従来、大正噴火時に鹿児島市民が避難行動を起こしたことは、「デマに惑わされた」として評価されていた。鹿児島県が噴火後の 1 月 14 日に出した鹿児島県告諭大号「無稽の浮説（デマ）を流布するものあり。爲に人心恟々大いに動揺するあり、・・・漫（みだり）に之が浮説に惑わさるが如きことなき様注意すべし」がその根拠であろう。この点に関し、当ワーキンググループでは、「凄まじい噴火の光景と音や地震」を目の前にして、危険である可能性がある場所から避難すると考えるのは、**正常で合理的な住民行動**と考えている。

噴火後の観点からは、風上であった鹿児島市民は避難しなくても生命に危害は無かったと言える。しかし、当事者としては、見たことも無い巨大な噴火現象に危機を感じている。その不安感ないし恐怖は、噴火時の経験談として各地の手記に残されている。今日の観点からはデマと呼べる情報が種々伝わったが、デマが無くとも人々は凄まじい噴火を眼前に見て、出来るだけ桜島から離れた場所に身の安全を計ろうと考えたと考えられる。それは、湾岸のほとんどの市町村で津波の襲来を怖れて海岸から避難していることや、桜島から 20Km 以上離れた南さつま市金峰町大坂地区で噴火の光景を見ていた住民が不安な心理になり。さらに、地域の青年団より知覧方面まで避難することを勧められている点などからも推定できる。

さらに、当時より情報が豊富になった現代では、火砕流の襲来（襲われる可能性は非常に低い

が完全否定は難しい点もある)や、噴火口の位置(桜島以外に噴火口が出来る可能性もある)、あるいは海底噴火により発生する局所的な高い津波など、様々な情報が満ち溢れる可能性がある。

起きるか起きないかは解らない生命を失う恐れがある現象を眼前にして、人々が避難するのは正常な行動である。起きるか起きないかは解らないので、取りあえず避難する行動は、地震発生直後の津波を警戒する避難行動、裏山が崩壊するか否かは不明であるが、万が一を考慮して避難する行動と、桜島大噴火の避難行動は本質的には同じである。この点から、次の桜島大噴火時には、また、避難行動が起きると考えられる。

避難行動は、路上への放置車両を生む原因となる。放置車両があると道路復旧は遅れる。この観点から、鹿児島市が「大規模避難」を採用する計画にしたのは大いに評価されて良いであろう。ただし、数10万人規模の避難計画の作成は、現時点で非常に難しい課題が山積と拝察される。

2.3 鹿児島市の車両走行実験の成果

本ワーキンググループは、平成29年から鹿児島市に軽石の上を実際に走行する「車両走行実験」の必要性を鹿児島市に訴えた。その世界初の実験が鹿児島市の英断により、平成30年7月26・27日に実施された。

その結果下記の点が判明したことは、今後の防災計画作成の上で非常に重要であった。

- ①現在、一般的に使用されている二輪駆動車(後輪駆動車や前輪駆動車および単車)は、降下軽石の上は走行できない。一方、**四輪駆動車であれば、層厚1mの軽石の軽石の上でも坂道でも走行可能**である。ただし、低速走行となる。
- ②緊急車両(消防車・救急車・警察車両・災害復旧車両など)は、現在2輪駆動車が主体であるが、今後順次四輪駆動車に移行する必要がある。

鹿児島市の走行実験成果は、富士山の防災計画でも反映され、それまでの見解が「降灰の厚さ10cm以上では走行不能」であったものが、現在「四輪駆動車であれば低速ながら走行可能」の評価に代わっている。これは、車両で移動して被災住民支援が困難な想定から、車両を利用した支援が可能なる大転換を意味する。被災後も、四輪駆動車であれば、低速の移動ではあるが災害復旧が可能である。この鹿児島市の実験結果を踏まえ、国土交通省富士砂防事務所や山梨県などでも追加の走行実験が実施されている。



図-1 車両走行実験(鹿児島市)

2.4 火砕物降下物の最終処分場所

地表に降下した火山灰(軽石が主体)は、道路復旧と住民生活や産業復興のために速やかに除去される必要がある。その際にネックになるのが、火山灰の量の多さと最終処分場所である。この点に関し、本ワーキンググループでは、市街地部で約5000万 m^3 の緊急の除去量を想定し、図-2を作成した。これは、除去量が膨大で、仮に100日で除去すると、1日当たり10tダンプカーのべ5万台分の運搬が必要な点を考慮したものである。その結果、比較的容易に多数のダンプカーから軽石を下せる場所として、図-2の黄色の範囲が検討された。それぞれの利点は下記の通りである。

【防波堤外区域(黄色の区域)】

- i 市街地北部から南部にかけて仮置き場所を確保できるため、搬出距離が短くなる。
- ii 現在の港湾・海岸施設をほぼ利用でき、同時に既存の航路への影響が比較的少ない。
- iii 海面上の軽石は20日以内には、概ね海底に沈むと考えられる(今後の研究必要)ので、海面上に露出する軽石は、図-1.10より狭い範囲となる。

【防波堤内区域(緑色の区域)】

- i 防波堤の内部に位置するので、台風の影響を受けにくい。

- ii 港湾内ではあるが、谷山二区には、搬出基地として活用可能な広い海域が存在する。



図-2 軽石搬出基地及び最終処分場所候補地案（平成 30 年レポート）

これらの投入場所については、現在の各法律との整合性が求められるので、ワーキンググループでは平成 30 年の第 10 回委員会で、「廃棄物等の海洋投入処分に関する現行制度」を示し、関係機関との事前の調整が必要であることを示した。海洋投入処分が可能な一般廃棄物(廃掃法施行令 3 条 4 号イ)では、火山灰は、「環境大臣によって指定された一般廃棄物で、環境大臣指定の処理方法に従って処理されたもの」に該当する。この観点から、鹿児島市は環境省に軽石投入の許可を求めたが、令和 4 年 1 月時点では許可されていない。なお、平成 30 年時点で、環境大臣が指定した前例はない。

火山から噴出した軽石や火山灰は、地質学的な時間尺度では陸域に降下したのものも含め、最終的には海に流下する。過去の桜島大噴火で噴出した軽石や火山灰も、錦江湾底に堆積している。桜島大正噴火後にも、漁獲量の変化が大きくなったので、海洋への軽石投入の被害は少ないとみられる。陸域に巨大な軽石処分場を建設する場合に必要な時間と費用、あるいは防災上の懸念などを考慮すると、軽石の採取処分場は錦江湾の深部が最も妥当と考えられる。

桜島大噴火への対応方法は、噴火まで時間的な余裕がある平時に行う必要があるが、最終処分場が決まっていないために、軽石の処分計画は進展していない。噴火後は、担当大臣は、錦江湾深部への採取処分と、陸域隣接海面の仮置きを許可せざるを得ない合理的な理由があるとみられるが、担当大臣が許可する必要があるのは、平時の現時点であろう。また、現在まで、鹿児島市が環境省と協議しているが、本来は鹿児島県の役割であろう。鹿児島市側に多量の軽石が降る確率は 1 割以下とみられるが、鹿児島県全体では、多量の軽石が降る確率は 10 割である。国との軽石最終処分場所の協議の主体は、鹿児島市より県にある。

【平常時に準備すること】

図-2 の黄色や緑の区域に軽石の仮投入を行う場合、その海面を利用している関係者との調整が必要である。防災行動計画で本ワーキンググループが述べたのは、「平常準備段階」の現時点で、その調整や調整のための準備を行う事である。桜島に大噴火の兆候が表れてからは、数カ月程度しか時間的な余裕が無く、協力する関係者も対応に短時間の調整に苦慮するであろう。したがって、海洋投入に必要な技術的な課題や、関係者との利害調整が現時点で進行する必要がある。

2.5 車両通行制限

鹿児島市は、前述の「大量軽石火山灰対応計画」の中で、「車両通行制限の実施に係る考え方」を示している。特に、大噴火前後に住民が自家用車でパニックになって避難すると、その後の道路啓開と復旧作業に甚大な支障となるため、軽石火山灰の降下域内外における車両通行

制限を行い、放置車両等による通行障害が生じないようにすることは重要である。

3. 平成 31 年度の検討結果概要

平成 30～31 年度は、大隅半島側に多量の降灰があった場合について検討した。その重要部分について以下に示す。なお、過去 4 回の大噴火では、多量の火山灰はほとんど大隅半島側に降っている。

3.1 桜島大正噴火の死者数

TV 報道や気象庁のホームページでは、桜島大噴火の死者数を 58 名としている。これは、鹿児島県が 1927 年に取りまとめた「桜島大正噴火誌 pp. 190」の死者 35 名と行方不明 23 名を足した数字である（このうち大隅半島での死者は牛根村の 4 名のみ）。

本ワーキンググループで資料検討する過程で、その数字は修正する必要があることが判った。鹿児島県肝属郡役所が 1915 年に出版した「櫻島爆發肝属郡被害始末誌」では、天皇皇后から大隅半島で亡くなった 22 名の死者行方不明者を対象に、その遺族に第 1 回目の御下賜金（救援金）が与えられている。噴火記録誌に記載されているので、大隅半島に降った多量の降下火砕物による土石流・洪水などの被害などが、その主な原因と推定される。

前述の「桜島大正噴火誌 pp. 317」に記載された死者数は、世帯主 29 名、非世帯主 43 名の合計 72 名である。県資料と肝属郡役所の資料で重複してカウントされている可能性がある牛根と垂水の犠牲者 3 名を 22 名から減ざると、72 名に 19 名足して 91 名が、大正噴火の最小の犠牲者数となる。

3.2 認識されていない大隅半島の惨状

桜島大正噴火を TV 報道では「噴火で 58 名の死者を出した桜島大正噴火・・・」と語られる事が多い。この認識は、鹿児島県・鹿児島市・国でも共有され、多量の火山灰（軽石が主体）が降り積もった大隅半島の惨状がすっぱり抜け落ちたまま、桜島大噴火対策が行われてきた経過があることが明らかになった。

大隅半島の惨状の一例として、図-3 と表-2 を引用する。土石流は、降下火砕物の堆積厚さ 30 cm 以上の地域で発生し、洪水は、桜島から 40 km 以上離れた志布志に注ぐ肝属川や申良川・菱田川でも発生している。

一般的な土石流は、同一地点であれば、人の一生より長いスパンで繰り返し発生することが多いが、大噴火後には、牛根村で 1 年間に 6 回の土石流が発生し、垂水村では、噴火した年に 11 回も発生した。垂水村の土石流発生回数は、噴火 12 年後までに 20 回にもなる。この様に土石流が繰り返し発生すると、住民の生活は困難になる。このため、表-3 に示すと村外移住が起

ると、住民になる。このた住宅被害きている。

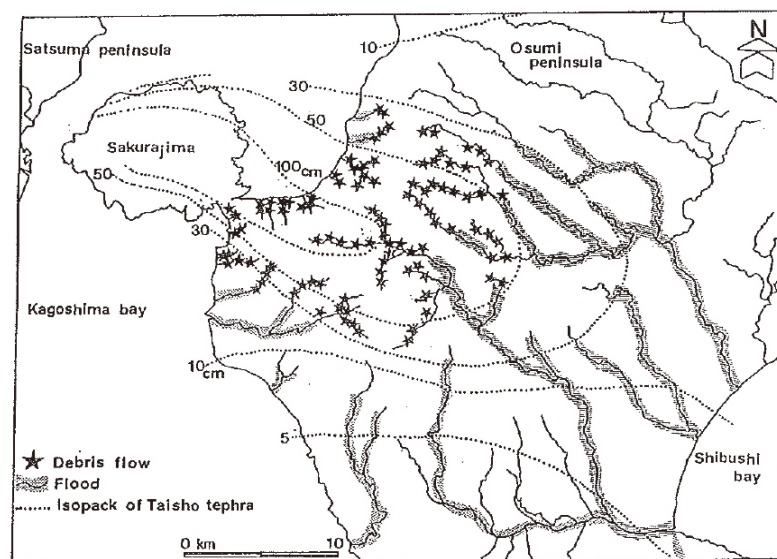


図-2 大正大噴火当時の降下軽石・火山灰の分布（金井 1920を改変）と土石流・洪水発生河川

図-3 大正噴火当時の降下軽石の分布（引用：下川 1991）

表-2 大正3年の噴火後における土石流・洪水被害発生状況
引用：下川 1991

年	月 日	発生場所
大正3年	2月 8日	牛根村 垂水村 高隅村 百引村
	2月15日	垂水村 牛根村 西桜島村
	2月中旬	肝属川
	3月 1日	百引村
	3月 6日	牛根村 垂水村 高隅村 百引村 西串良村 東串良村 西桜島村 志布志町
	3月8・9日	高隅村 百引村 西串良村 東串良村
	3月23日	垂水村 百引村 市成村 西桜島村
	4月24日	野方村
	5月15日	垂水方面
	5月20日	垂水村
	5月21日	垂水村 西串良村 東串良村
	6月2・3日	牛根村 西串良村 高山村 小根占村 田代村 花岡村
	6月19日	垂水村
	6月21日	高隅村 西串良村
	8月22～25日	牛根村 垂水村 高隅村 百引村 鹿屋町 花岡村 新城村 西串良村 東串良村 内之浦村 大根占村 小根占村 佐多村 田代村
9月30日	牛根村 垂水村 鹿屋町 花岡村 西串良村 東串良村 内之浦村 高山村 始良村 大根占村 小根占村	
10月28-29日	垂水村	
大正4年	6月頃	垂水村 串良川
	6月24日	垂水村
	8月頃	垂水村
大正5年	8月頃	垂水村
大正6年	6月頃	垂水村
	6月15,16日	持留川 菱田川 串良川 本城川 市来川
大正8年	6月15日	串良川
大正9年	10月頃	垂水村
大正10年	6月20日	大崎村
	6月頃	串良川
	7月頃	垂水村
	10月頃	垂水村
大正15年	9月頃	垂水村

表-3 住宅の倒壊埋没及び亡失戸数と村外移住戸数 (1914年11月15日報告)
出典：櫻島爆發肝属郡被害始末誌 1915 p.112

村 名	住宅の倒壊埋没及び亡失	村外移住 (降灰による耕作不能または水害危険のため)
牛根村	652 戸	114 戸
百引村	27 戸	275 戸
高隅村	7 戸	18 戸
垂水村	16 戸	—
計	702 戸	407 戸

大正4年の鹿児島県議会の記録では、桜島住民まで含めると約4500名が移住している。その内訳は、「種子島に378戸、肝属郡南部の佐多・田代・大根占に505戸、宮崎県に84戸、朝鮮に10戸の合計977戸が、官の斡旋で移住している。この他に、官有地以外に自由移住したものが2600戸ある。」と議案説明がなされ、移住に伴う予算が可決されている(鹿児島県議会史 第一巻1971年 669pp.)。

当時の一戸当たりの家族が6～7名なので、約3万名程度が移住した大災害であったことも広く知られる必要がある。

3.3 ハザードマップの作製

平成29年まで、桜島大噴火対策がほぼ「桜島住民の避難と桜島島内での防災対策」に限定され、甚大な被害があった大隅半島で抜け落ちていたので、本ワーキンググループでは、図-4に示した大隅半島限定のハザードマップを作成した。このハザードマップは、これから防災対策を検討する機関が参考にできる事を主眼に作成したものである。鹿児島県内のみで、火山灰が20cm以上堆

積し、甚大な被害を受ける範囲に約 12 万人が暮らしている。



図-4 ハザードマップ (作成：交通への影響ワーキンググループ)

3.4 招待セミナーの実施

大隅半島の大噴火後の惨状や防災上のキーポイントを防災検討機関に伝える目的で、本ワーキンググループは、「招待セミナー」を令和元年10月23日に開催した。国立大学からの「招待セミナー」という事で、下記の機関が参加し多くの質問がありワーキンググループでは全ての質問に回答した。参加者が、桜島大噴火時に防災を担う機関に所属するので、寄せられた質問は、今後の防災対策を考える上でも重要なので、本報告に記載しておく。

【参加機関】

鹿児島県警本部警備課・鹿児島県警本部交通規制課・垂水市安心安全課・霧島市安心安全課・国土交通省鹿児島国道事務所・陸上自衛隊鹿児島地方協力本部 陸上自衛隊川内駐屯地第8施設大隊 九州電力送配電カンパニー 鹿児島送配電統括センター企画業務部

【質問内容】

- ・噴火時に大隅地方の道路啓開はどのようにすれば良いか？
- ・噴火後の洪水の規模について教えて下さい。
- ・噴火による地震の影響と津波の影響と危険について教えて欲しい。
- ・噴火後に水道の取水設備が稼働できない理由を教えて欲しい。
- ・噴火後の降灰中に5Gは利用できない可能性があるがどうか？
- ・土砂災害、洪水の発生が多いのでビックリした(感想)。
- ・通常の土砂災害と大噴火時の土砂災害の違いは？
- ・大正噴火で降下火砕物はどのように変化するのか？
- ・道路啓開は何日かかるか？
- ・雨に濡れた火山灰はどの程度の日数で乾いて道路啓開が可能になるか？

- ・道路啓開で発生する火砕物の仮保管場所や処分場所はあるか？
- ・噴火で発生する想定外の事態を考える道筋はあるか？こう考えて行こうと決めておかないと、方針が決まらない。どこまで考えれば良いか？
- ・大隅半島の死者行方不明者の死因は何か？
- ・火山弾の被害はあったか？
- ・粘着性の火山灰が降ると考えた方が良いか？
- ・どの程度経過したら、粘着性の火山灰はもろくなるのか？
- ・道路啓開の試案は、事前に噴火の予知がなされている場合に実施可能か？
- ・噴火時の降灰方向と範囲は、時間ごとに高度ごとに変化するので早い段階での事前の予知は難しい（感想）。
- ・高隅村など、降下火砕物の影響で木が煮えているが、降下物で人的な被害があったケースは？

本セミナー終了後、陸上自衛隊鹿児島地方協力本部から、セミナーで使用した資料を東京に説明するとの理由で CD の送付依頼があった。その後、図-5 に掲載した大規模な訓練が実施された。

令和元年度 桜島火山爆発総合防災訓練

日 時 令和2年 1月11日 (土)
開始式 9:15 修了式 11:30

会場 「道の駅」たるみずはまびら
駐車場 旧垂水フェリー駐車場
(会場までシャトルバスで送迎します)

シャトルバス路線表	駐 場 / 発	訓練会場 / 着
	800	11:35
	825	12:05
	855	12:35
	925	13:05

参加機関等 航空隊、十津川郡、自衛隊、鹿児島警察、鹿児島県センター、NTT西日本、九電、道の駅たるみず、道の駅たるみずはまびら、鹿児島交通、鹿児島川、垂水中央病院、垂水消防団 他

ホバークラフト体験乗船 希望者募集中！
詳しくは垂水市HPまで！

離陸艦「くにさき」もきます

海上ヘリによる 海上ホイスド訓練 11:05～11:20

陸自ヘリによる 離陸乗降訓練 9:45～9:55

陸自高機動車による 機動乗降訓練 8:00～8:30

垂水市消防署による 合同機出・救護訓練 10:30～11:00

海自対空母艦隊による 離陸乗降訓練 8:30～9:40

「道の駅」たるみずはまびら

- 訓練会場付近では、訓練車両（消防車、救急車、パトカー、自衛隊車両等）が通行しますので、会場周辺の通行にはご注意ください。また、上空を航空機（対空母艦隊、ヘリコプター）が飛行し、海上をホバークラフトが航行しますので、ご理解とご協力をお願いします。
- 訓練会場には駐車場がありませんので、旧垂水フェリー駐車場をご利用ください。駐車場から訓練会場までは、無料シャトルバスを運行します。

鹿児島県 垂水市 お問い合わせ/垂水市総務課安心安全係 0994-32-1997

図-5 垂水市の防災訓練の案内資料（垂水市）

3.5 道路啓開

大隅半島での道路啓開は、人口が密集していないので、多くの地域で道路上に堆積した火山灰をモーターグレーダーなどで道の端に寄せる事で車道を確認できると考えられる。一方、人口密集地では、鹿児島市と同じような手法が参考になるであろう。

大隅半島の交通上の最大の障害は、繰り返す土石流である。最も被害が酷かった牛根村では、海岸沿いの主要道路（現在の国道 220 号）を噴火した年には通行可能にする事は出来なかった。それは、多額の費用を投資して復旧しても、土石流の再発で復旧工事が繰り返し水泡に帰すためである。このため、この地域は、県から「危険区域として放棄の姿なり（桜島爆発肝属郡被害始末誌 pp.429）」とされている。この事は、大隅半島の交通を確保するには、土石流対策が最も重要であることを意味する。

ところが、桜島の大噴火災害は「桜島の島内対策で十分」との認識が長年続いたので、大隅半島の大噴対策はほとんど進んでいない。31 年レポートで指摘したが、国内の活動的な火山でハード対策も進みつつあるなかで、大隅は取り残されている現実がある。

4. 今後必要な事項

本プロジェクトに交通ワーキンググループとして参加した感想と、今後必要と考えられる点について述べる。

4.1 地域防災センターの役割

地震火山地域防災センター（以後防災センターと略す）の名称から受ける印象は、鹿児島県内における防災上の拠点である。ところが、実際には研究機関色合いが強いと感じられた。桜島大噴火に対して現時点では名称が示す**防災センター**と呼べるほどの役割は果たしてはいない感がある。

一方、桜島大噴火対策は、国や鹿児島県が率先すべきと考えられるが、現在のところ国も県も、桜島大噴火対策に進展はあまり見られない。北海道の活火山（北海道駒ヶ岳・有珠山・十勝岳・樽前山）で、膨大なハードを含めた防災対策が進展している状況とは著しく異なる。これは、先にも述べたが、桜島のみを大噴火時の防災対象と考え、大隅半島の防災が抜け落ちていた過去の情報に原因があると考えられる。

①鹿児島県の現状

さて、北海道の場合は、北海道開拓局が防災対策を行っているが、桜島の場合は、防災対策の任務は、主に鹿児島県になるであろう。ところが、プロジェクト開始時点から今日まで6年間、地域防災計画の桜島大噴火対策はほとんど変わっていない。一方、鹿児島市は、鋭意取り組んで改定している。

このような現状から、現状のシステムでは、桜島大噴火に対する有効な地域防災計画は策定困難と考えられる。その場合は、大噴火の際に多くの県民が生命の危険に晒され、財産を失うこととなる。危機管理課が2018年の火山砂防フォーラム（全国大会）で、高らかに宣言した**県民の生命・財産を守るの言葉を実践**する必要がある。



図-6 全国大会での鹿児島県の宣言（危機管理課）

②鹿児島県の役割

桜島大噴火対策では、鹿児島県に非常に大きな役割が期待される。まず、大噴火した際には、必ず県内市町村や国との広域的な協力の核となる必要がある。災害復旧は市町村の業務であるが、とても市町村単位で対応できる規模の災害では無い。

また、桜島大噴火の最も有効な減災対策は、平時の現時点で、有効な対策を講じる事である。ソフトとハード対策の両面から、**現時点なら防災対策を講じる事が可能**である。同時に、県内の各市町村や関係団体の指導が期待される。ところが、鹿児島県にほとんどその動きが無い事が、湾岸市町村からは、改善点と期待として漏れ聞こえてくる。この点を解決し、有効な桜島の大噴火防災対策が構築されるためには、次の手法が考えられる。

③鹿児島県の防災対策組織

桜島のインフラ関係の防災対策は、**土木部を中心とした技術者集団**が適任である可能性がある。理由は、実際の建設現場を経験したことが少ない組織では、具体的なイメージをつかみにくくインフラの具体的な防災対策の立案は困難であろうとみられるためである。

次に、桜島大噴火を検討する職員は、20代、30代、40代の職員から当初構成し、**20年以上の長きに亘って、担当する必要が有る**と思われる。それは、この問題が、国内に前例が少なく、桜島の場合は長期間の検討を必要とするためである。この組織を**大噴火対応プロジェクト**と呼ぶことにすると、職員は異動で他の部署に配置されるが、このメンバーは、配置先の各部署で部署内の業務を行いながら、同時にプロジェクトの業務を行う事が考えられる。平時の現在は、現時点で実施出来る対策を指導しながら、桜島に大噴火の兆候が表れた段階では、大噴火対応プロジェクトのメンバーは、**災害対策本部の助言機関**として指揮官を補佐することが求められよう。分野は、インフラ・農業・商工業・医療など多岐および。当初20名程度のプロジェクトメンバーか

ら出発し、順次拡充することが考えられる。

④地域防災センターの役割

鹿児島県内に県全体の桜島大噴火対策の指揮を担う機関が現在無い現状では、地域防災センターとして、その役割を当面担う責務があるであろう。災害対策の実施機関は、主に行政と各機関なので、地域防災センターとしては、それらの防災担当機関に有効となる情報を提供することとなる。やがて、**県と各機関が主体的に防災対策を実施し始めれば、地域防災センターの桜島大噴火に対する初期の大きな役割は完遂した**と考えても良いであろう。

このためには、地域防災センターに次の組織と役割が必要である。

①桜島大噴火対策の全体を俯瞰できる組織の構築と対策ガイドライン案の作成

②県や市町村や地域の各機関に対し大噴火対策実施を啓蒙できる組織の構築

上記①のためには、2～3年程度で、一般人が解りやすい**大噴火対策ガイドライン案**を県や各機関とともに作成し、次期プロジェクトの後半で、県・市町村・各関係団体とともに県民に大噴火対策のポイントを伝え、有効な対策を実施できる様にする事であろう。

5. おわりに

交通への影響ワーキンググループとして平成29年から検討を開始したが、比較的単純な道路啓開にしても、大規模火山噴火の場合は、特殊な事情があることが検討の段階で判明した。それは、噴煙の風下では5～7日に亘って、降りしきる降灰の下では視界が無く、現状では啓開作業が困難な事、仮に電気が止まると、数日後に水道も停止する恐れがあり、災害復旧者の生命さえ危機に晒される可能性が有る事、仮に作業に必要な燃料や水・食料・休憩場所を確保しても、今度は通信がストップしてしまうと作業が順当には進まないことなど、課題が次つぎ浮かび上がってきた。

この他、吉原秀明医師（鹿児島市立病院 救命救急センター）が2017年の「桜島大規模噴火を想定した災害医療体制の構築 日本再生シンポジウム」で危惧した内容など課題山積である。同医師は、大正噴火のモデルで火山灰が10cm以上堆積する範囲に114箇所の医療機関があり、これを薩摩半島側に置き換えた場合、470の医療機関があると分析している。現在の対策としては、大噴火の際には、医師と患者も含めて籠城するしか無く、自家発電設備も3日しか無いと述べ、仮に食料・燃料などを節約しても一週間程度で病院そのものが黒タグ（救命が不可能な者、または既に死亡している者）になると述べている。

その後、鹿児島市の走行実験の結果、四輪駆動車であれば軽石の上をゆっくり走行できるとの明るい知見が得られたが、電気が止まって自家発電設備の燃料も底をついた院内の籠城は、「どう考えて良いか絶望する」と現状でも他の医療関係者からも聞こえてくる。長期停電になる可能性は高いが、実際に停電に至るかどうかは解らない重大なリスクに対しては、たとえば、3日間が標準である自家発電設備を少なくとも1カ月以上は稼働するように増強する事であろう。鹿児島県における指針の改定と国や県の補助も必要になるろう。

大正噴火は58名が死亡したのみで鹿児島豪雨災害より小規模な災害であるとの認識が一部にある。とんでもない間違いである。大正噴火の際には、自宅付近に井戸があり食料の備蓄もあった。ところが、**高度に文明が発達した現代社会では、仮に電気が止まると、情報・冷蔵庫・冷暖房・水道などの全てが停止し生命の危機が訪れる**。このために、大噴火対策を一刻も早く進める必要が有る。

最後に、本ワーキンググループでは防災行動計画策定に際しては、井口教授（京都大学防災研究所附属火山活動研究センター桜島観測所）にご参加頂き、難しい予知の判断情報を提供して頂いた。感謝申しあげる。さらに、ワーキンググループで共に研究したメンバーの方々、特に上小鶴委員、松元委員、古閑委員らの知見と活動に感謝申し上げます。同時に、ワーキンググループにご参加されると同時に、「桜島大噴火アーカイブ」の資料を収集された岩松名誉教授ら多くの関係者にも感謝申し上げます。「桜島大噴火アーカイブ」は、研究資料として非常に有用であった。

2021年福岡ノ場噴火によって形成された海上軽石群の漂流解析

地震火山地域防災センター 浅野 敏之 中谷 剛

1. はじめに

2021年8月13～15日にかけて小笠原諸島福岡ノ場で、噴煙高度16km、マグマ噴出量0.11～0.26km³という大規模な噴火があった¹⁾。この噴火規模は、2012年の南太平洋 Havre 海底火山噴火²⁾より1桁小さいが、21世紀になって我が国周辺で発生した最大の噴火である。この軽石群は筏状 (pumice raft) となり、海流と風的作用を受けて10月10～13日頃に約1200km離れた鹿児島県奄美大島・喜界島周辺に漂着し、数日後には与論島や沖縄県各地にも軽石群が漂着した。各地の港湾・漁港に侵入した大量の軽石は、船舶の航行・接岸に大きな障害を与えた (写真-1)。10月23日には海上保安庁沖縄第11管区の巡視艇が軽石を吸い込んで航行不能となり、11月上旬には与論島で漂着軽石により重油タンカーが着岸できず、いったんは島への電力供給が心配される事態に陥るなど、各地で被害が発生した。その後11月、12月にかけても、南西諸島周辺に漂流する軽石群や沿岸部にトラップされた軽石群が、黒潮に乗って鹿児島県本土をはじめ、四国・東南海道沖・関東沖までの各地で漂着したことが報告された。鹿児島県危機管理課が公開した県内における軽石漂着による県内の被害状況³⁾は、漂着件数が県内の港湾・漁港・海岸に対してそれぞれ、37件、30件、37件 (県管理・市町村管理・未指定の総計、2022年1月17日時点)、漁船被害は43件となっている。軽石の漂着が大量となった与論港 (茶花地区) では、10月30日～11月11日の期間に総量2160m³の軽石を回収しており、奄美大島宇宿漁港 (10月21～22日期間) と喜界島早町漁港 (10月19～21日) でともに200m³を回収している⁴⁾。

筆者らは、地域の港湾物流の中心である鹿児島港が桜島の噴火口に近接して位置していることに着目し、近い将来想定される桜島の大規模噴火に備えて、港湾事業継続計画 (港湾BCP) 立案に資するための研究を実施してきた^{5)~8)}。そこでは、桜島の大規模噴火によって鹿児島湾内の港湾や航路にどれだけの軽石や火山灰が降下堆積するのか、それによりどのような港湾機能の不全が生じるのか、港湾機能を復旧するために降下火砕物を揚収するにはどの程度の作業船量や作業期間が必要であるのかを検討した。東日本大震災では、津波によって破壊された家屋や船舶などが、瓦礫となって航行障害の2次災害を引き起こした。また近年、九州各地で発生した豪雨災害によっても、流木などが港湾に流入し港湾機能障害が発生している。本研究は、主要港湾で立案されつつある災害時・災害後の航路啓開・復旧作業機材調達・荷役航行支援といった港湾BCP構築⁹⁾に関して、軽石漂着を自然災害外力として考察したものである。

上述した将来想定される桜島大噴火に対する港湾機能確保の予防防災の研究は、現実に発生した災害事象に基づかない想定研究としての限界を持っている。今回、福岡ノ場海底火山噴火の軽石群漂着事象に着目して研究を行った目的は、実際に発生した噴火火砕物による漂流・漂着現象を考察検討



写真-1 奄美市笠利町宇宿漁港における軽石の漂着状況 (2021/10/19撮影)

することで、これまで行ってきた予防防災研究を実証性・定量性・工学的応用性の観点から補強することにある。

2. 軽石群漂流の再現数値シミュレーション

2-1 外力である気象・海象条件

噴火火砕物発生源の福徳岡ノ場(N24°, 17'6", E141°28'54")と、主要な漂着先である奄美大島小湊 (N28° 19 '17", E129° 32'00") を含む、E124° ~E148°、N20° ~N36° を解析対象領域として採用した。解析期間は2021年8月13日~10月20日の69日間である。海上風には、気象庁全球数値モデルGSM(空間解像度20km)のオリジナルデータを基に、京大大学生存圏研究所により収集・配布されたデータベースを用いた。海流・吹送流を総合した海面流は、九州大学応用力学研究所が中心となって開発された数値モデルDREAMS¹⁰⁾による結果を使用した。このモデルの空間解像度は西南日本では経度方向1°を16分割、緯度方向1°を20分割と詳細に取られているが、本研究の対象領域全域にわたるものは経度、緯度それぞれ4、5分割で約20kmとなっている。図-1に、海面流と風速の2次元ベクトルの状況を示す一例として、軽石群が奄美諸島に初めて大規模に漂着した10月13日の結果を示す。

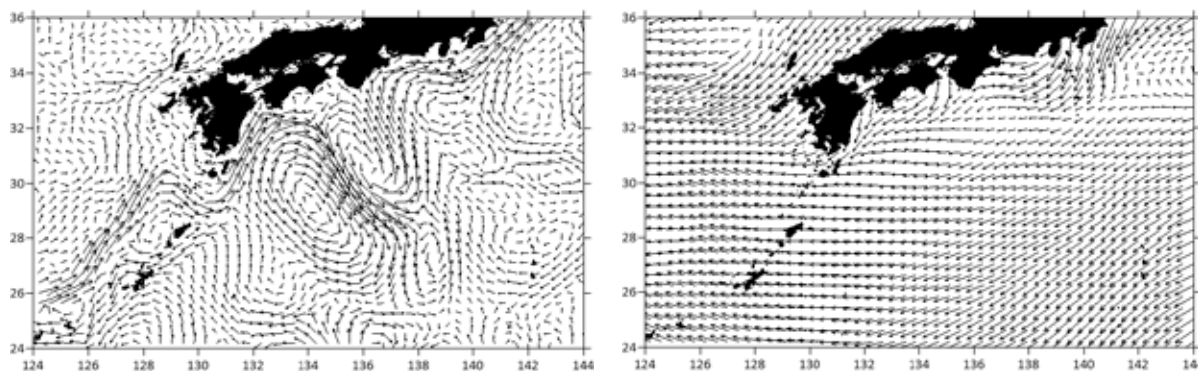


図-1 2021年10月13日の解析対象領域の海面流ベクトル(左図)と海面上の風速ベクトル(煩雑を避けるためベクトルは2計算格子間隔で描画している)

2-2 漂流計算における軽石群分布の初期条件

対象海域の軽石群の漂流計算を行うためには、その初期条件として噴火発生後に海面に降下した軽石群分布を求める必要がある。福徳岡ノ場の噴火は8月13日6:00JSTに始まり、噴火活動の最盛期は同日13:20から、噴火の勢いは20:00頃に弱くなり、8月15日15:55に噴火活動終了と報告されている¹⁾。そこで主要噴火活動期間を8月13日8時~20時とし、総噴出量0.12km³を12時間で案分した時間的に連続な噴出を入

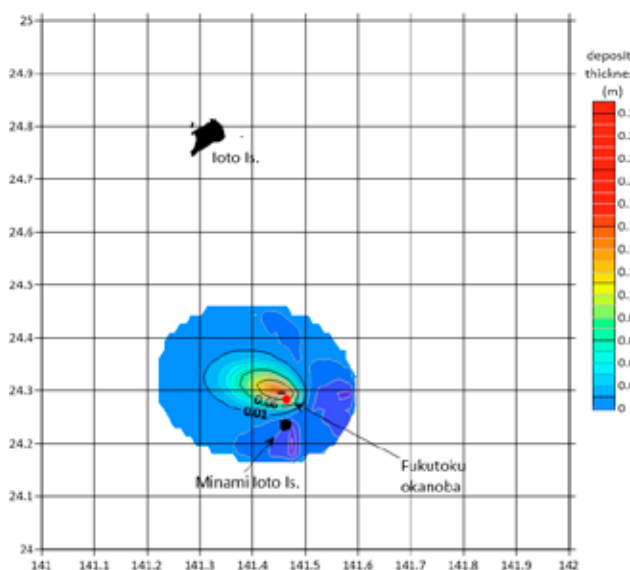


図-2 移流拡散沈降モデルで計算された海面上軽石群の堆積厚(2021年8月13日20:00JST)

力とした。source term として噴煙柱内の火砕物質量分布を Suzuki⁹⁾モデルで与え、当該期間の福徳岡ノ場上空の約 16000m までの風速データを用いて、大気中の火砕物の移流拡散沈降計算³⁾を行い、海面への軽石群の降下堆積量を計算した。降下火砕物の粒径分布は、対数正規分布で与えており、粒径 d から $\phi = -\log_2 d$ で換算される粒子径階級 Φ について -6~5 まで 12 分割して計算を行った。本研究では、港湾や船舶に影響を与える軽石成分を対象とするため、粒径 $d=8\text{mm}$ 以上 ($\Phi=-3\sim-6$) の計算結果を考察の対象とした。図-2 は求められた海面上の降下軽石成分の 12hr 後の堆積厚を示したものである。

トレーサーの初期配置は図-2 に示した軽石海面降下量の分布に比例するように設定し、漂流計算を実施した。総計 6846 個のトレーサーを $\Delta t=1200\text{s}$ の時間間隔で次節で述べる海面流と風圧流の作用の下、乱数発生による拡散効果を加えてラグランジェ的に追跡することで、対象海域の軽石群漂流の再現計算を行った。

2-3 軽石群への作用外力のメカニズム

2-1 で述べたように今回対象とする軽石群は、海面流と風の作用で約 1200km の距離を漂流し約 2 ヶ月間後に奄美大島に漂着した。本研究で海面流とは、衛星高度計データから地衝流として算定される海流、潮流、風による吹送流の和と考えられるが、海面高度は風の吹送作用などによっても影響を受けるため 3 者は明確に区分できるわけではない。また海面を浮遊する物体の漂流は風による風圧流の考慮が必要である。これまでに流木¹²⁾、流氷¹³⁾、遭難船舶・遭難者^{14), 15)}、海洋プラスチック¹⁶⁾、流出油¹⁷⁾などの漂流物に対する研究が報告されているが、いずれも漂流状況を説明するためには風圧流の考慮が不可欠であるとされている。風圧流の特性は、対象漂流物の比重（水面下と水上部の体積比を決める）や形状（風圧流や海面流の作用重心位置を決める）によって異なる特性を持つ。風が水上部を押す力が海面流による漂流力より大きい場合は、物体の水中部が抵抗となって働く。逆に海面流が大きければ風圧流の寄与は小さくなる。

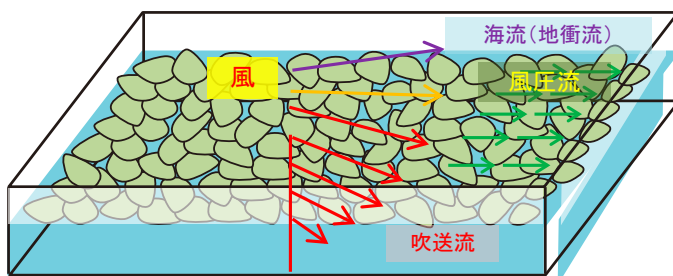


図-3 軽石筏に対する作用外力の模式図

今回の事象では、火砕物総噴出量 0.12km^3 によって生じる大量の軽石群が海面に浮遊するので、時空間的に軽石筏が海面を占有する状況が生まれる。こうした群体に対する風圧流は単体の物体に対するものと異なることが十分に予想される。さらに海水面が軽石群で占有された状態では、風による海水の流れ（=吹送流）が発達しないこととなる。対象とする現象は、図-3 の模式図に示すように複雑な物理過程が関与することが推察できるが、今回の漂流計算では従来の研究にならい、海面流 U と風による風圧流 W のベクトル合成 $U + \alpha W$ で軽石トレーサーが運ばれるものと設定した。風圧流の寄与を示す α の値として福島¹⁴⁾は 0.035 の値を提案しているが、本研究では $\alpha=0.100$ とした。

3. 奄美大島漂着までの再現結果とその考察

図-4 は、軽石群漂流状況の数値解析結果を 5 日間隔で示したものである。8 月 13 日に福徳岡ノ場の噴火があり、その後 8 月末まではほぼ一定に西に向かう漂流状況が読み取れる。9 月については 9 月 4 日と 9 月 30 日の結果を示したが、その間の結果は複雑な様相となったため示していない。

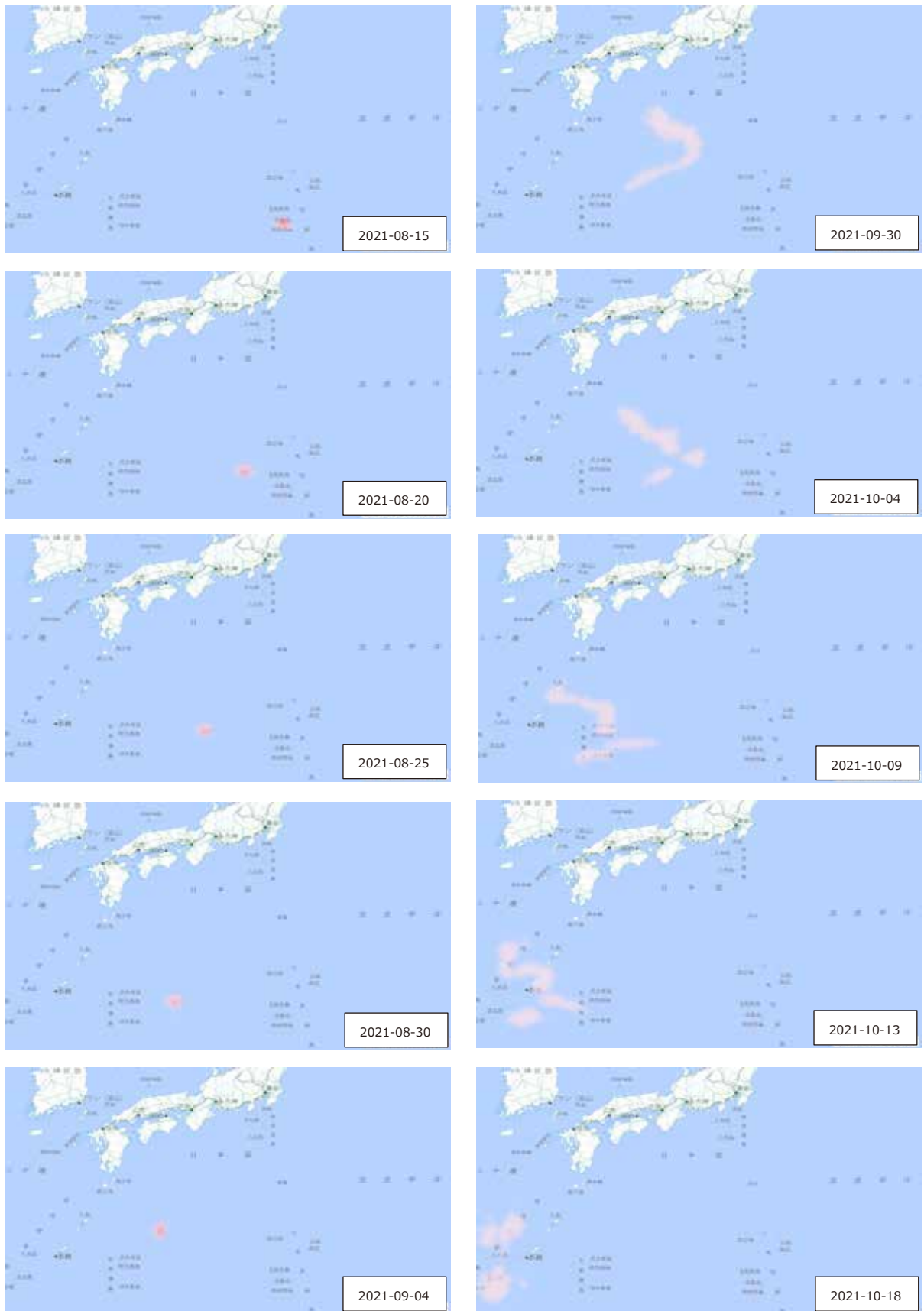


図-4 軽石群の漂流状況の数値シミュレーション結果

い。なぜならこの期間、9月8日付近で台風14号が当該海域の南端付近に近づき、9月末には台風16号がこの海域を進行・北上したことで、数値解析結果に大きな擾乱が生じたためである。9月末までに大きく拡散した軽石トレーサー群は、10月になると整然とした形を取り戻し西方に移動し、10月13日には奄美大島に漂着することが読み取れ、現地で軽石群の漂着が確認された日付と整合する。前述したように本研究では風圧流の寄与係数 α を0.100としたが、 α を小さくすると奄美大島への漂着時が遅れることがわかった。

計算結果の妥当性を検証するために、NASAの衛星アーカイブ画像¹⁸⁾で観察される福徳岡ノ場の軽石漂流状況を水産大学校島田助教が解析した結果を図-5に引用する。図-4に示した軽石群の本シミュレーション結果は、図-5の衛星画像に認められる漂流状況をおおむね再現していることがわかる。

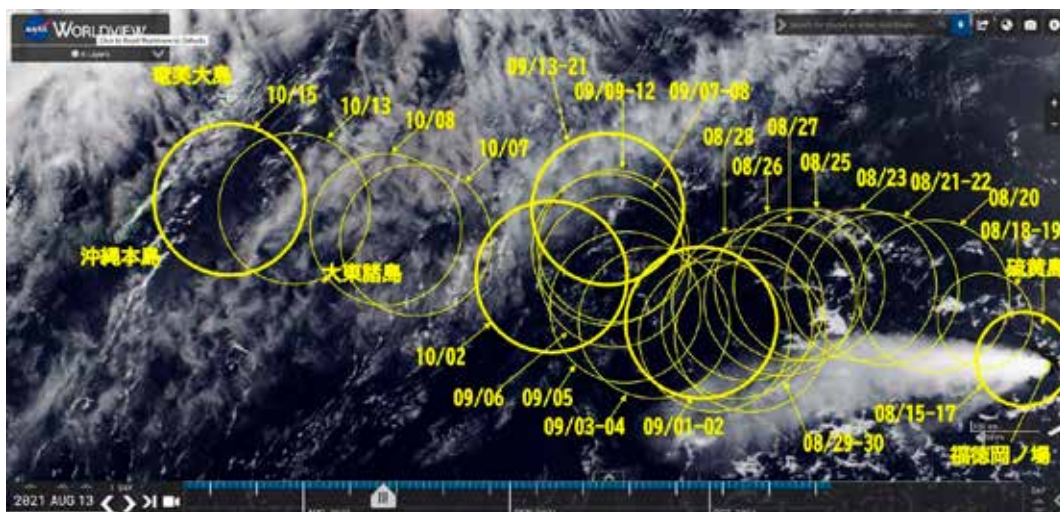
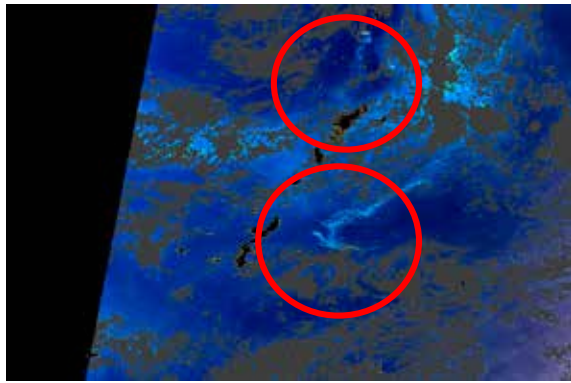


図-5 当該海域におけるNASA衛星画像¹⁸⁾による軽石漂流状況
(水産大学校 嶋田陽一助教の解析結果を引用)

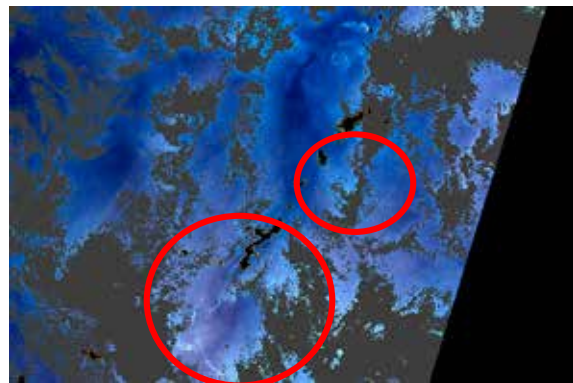
4. 奄美大島漂着後の軽石群北上について

奄美大島に大量の軽石漂着が確認された10月中旬以降、11月～12月になっても鹿児島県や沖縄県の南西諸島各地で軽石の漂着が断続的に確認された。この期間では、10月に沖縄本島や奄美群島周辺とそれらの入り組んだ海岸、港湾などに漂着していた軽石群が、強風により流出しそれが黒潮の強い流れに乗って北上することで、宝島・悪石島などの吐噶喇列島、種子島・屋久島などの大隅諸島に漂着したと考えられる。宇宙航空研究開発機構(JAXA)は、衛星GCOM-C「しきさい」が観測した福徳岡ノ場噴火の軽石群漂流状況をWEB上で公開しているが¹⁹⁾、図-6はそのうちの南西諸島海域での10月中旬～11月初旬における画像を抽出引用したものである。海域の青色の背景上に白く”すじ状”に見える部分が軽石群と推定される個所である。

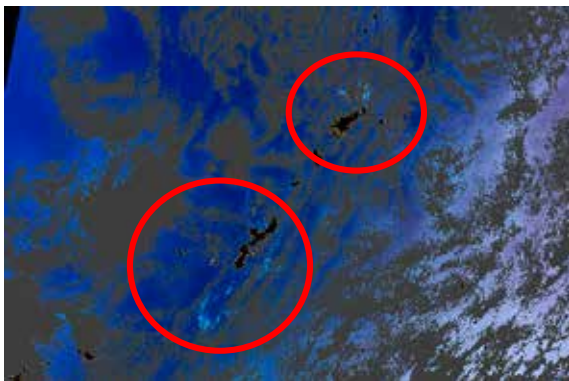
図-6の11月3日の画像を画像解析ソフトウェアImageJを使って白黒2値化し、計算格子の輝度情報から格子内に存在する軽石個数に相当する量を算出し、それを初期条件とした(図-7)。11月～12月初旬期間における沖縄-南西諸島-南九州海域での軽石群北上に関する再現漂流シミュレーションでは、計算対象領域をE124°～E132°、N24°～N32°とした。海上風、海面流のデータは、気象庁のメソスケールモデルMSM(京大生存圏研究所より配布されたものを利用)、数値モデルDREAMSである。この領域では空間解像度が、経度方向1°を16分割、緯度方向1°を20分割と詳細になっており、それを使用して計算を実施した。



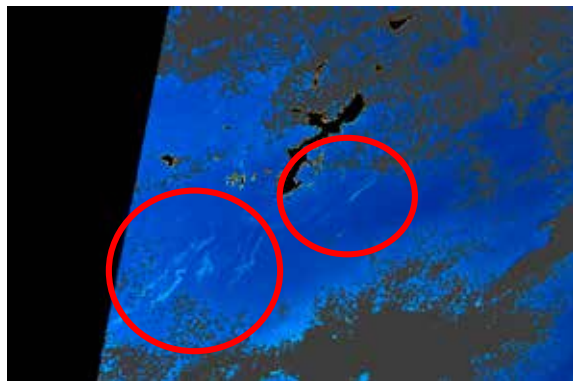
GC1SG1_2021/1015/13400



GC1SG1_2021/1029/020400



GC1SG1_2021/1026/014300



GC1SG1_2021/1103/13100

図-6 衛星 GCOM-C「しきさい」¹⁹⁾が撮影した軽石群 (JAXA 提供、赤丸は著者加筆)

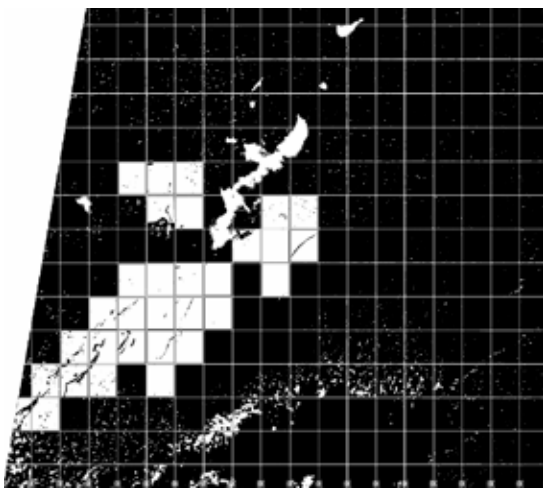


図-7 11月漂流解析における軽石群の初期分布

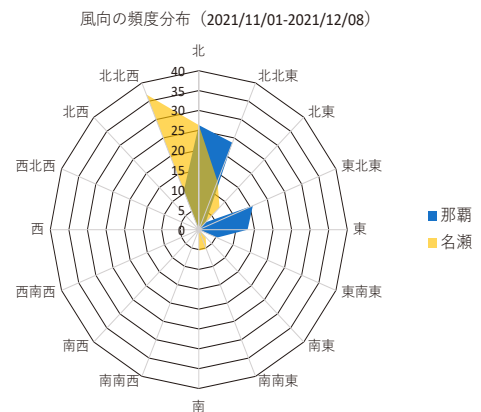


図-8 2021年11月1日～12月8日期间における名瀬市と那覇市の風向分布

当該期間においてこの海域の風向を調べたところ、図-8のように風向は北北西～北～北北東が卓越し、大部分の軽石トレーサーは北上することなく南下する結果となった。乱流拡散係数を大きくすることでわずかな割合で北上するトレーサー粒子も確認されたが、ここでは実際に問題とされた南西諸島を北上する状況を図面上に再現するために、軽石群の初期配置を経度 2° 西方に移動させ、黒潮の流軸に近づけた計算を実施した。その結果を図-9 に示す。主に黒潮の作用により軽石群が北上するようすが再現されている。

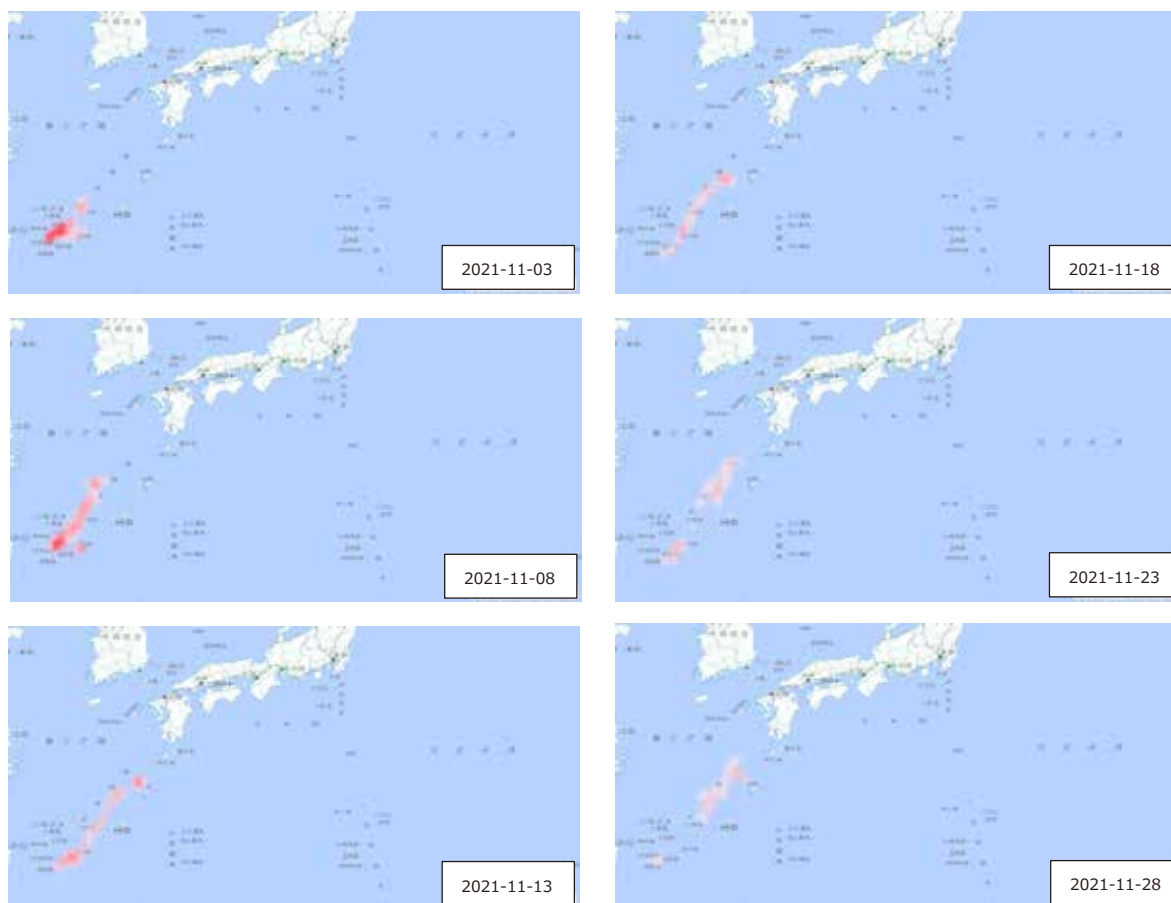


図-9 2021年11月における軽石群の漂流状況

5. 結びに

本研究では、昨年8月に発生した福徳岡ノ場海底火山で発生した大量の軽石群が、約1200km離れた奄美大島まで約60日をかけて漂流した状況、ならびに一旦南西諸島に漂着した軽石群が11月～12月初旬に北上する状況の再現数値シミュレーションを実施した。本研究の目的は、衛星画像などで既に確認されている漂流状況の再現にあるのではなく、再現解析を通じて実現象のモデル化で未解明になっているメカニズムや、数値解析におけるモデル化や技法の中の問題点を発掘することにある。本解析では軽石に作用する風圧力の重み係数 α を0.100とすることにより、衛星画像で観測された軽石の漂流状況のある程度再現することができたが、再現精度は時空間解像度に大きく依拠するので、本解析には明確な限界を有している。風圧力の重み係数 α は、大規模噴火により大量の軽石が海面を覆った状態での、海上風が浮遊軽石群に作用することによる漂流力と表面海水流による漂流力の比を表すが、設定した値が普遍性を持つかは不明である。群体としての筏状軽石に作用する風圧力については軽石個体間の干渉力が発生するであろうし、そうした状況で風による海水の吹送流の評価も軽石群が無いものとした大気-海水間の応力の伝達で説明できるか不明である。現在、長山ら¹⁸⁾が実験風洞水槽内に多数の軽石を投入し、風による漂流状況の研究を行っており、大気-漂流群体-海水間の物理的素過程の解明ができれば、その成果を数値モデルに取り込むことで軽石漂流計算がさらに精度向上していくものと考えられる。

【謝辞】本研究を行うにあたり、NASA衛星画像¹⁸⁾に基づいた軽石漂流の解析結果を、水産大学校 海洋生産管理学科 嶋田陽一助教から提供を受け掲載を許可していただいた。GCOM-Cの衛星

画像¹⁹⁾は JAXA から掲載を許可していただいた。海面流の数値モデル DREAMS による解析結果結果は、本学理工学研究科 海洋土木工学 PG 加古真一郎准教授より提供いただいた。鹿児島県内の軽石漂着状況や回収対応などについては、鹿児島県港湾課・漁港課、大島支庁河川港湾課、奄美市役所土木課・農林水産課、海上保安庁奄美海上保安部の方々からデータや情報の提供を頂いた。本報告の図面作成やデータ整理においては、本センターの技能補佐員 下別府夏美さんにご担当いただいた。ここに記して謝意を表します。

また本研究は、日本学術振興会科学研究費（「火山噴火災害時の港湾 BCP 立案の基礎となる水域内降下火砕物の流動解析」課題番号 19K04952）の研究活動の一環であり、研究費の補助を得たことを付記し謝意を表します。

【参考文献】

- 1) 及川輝樹ら：小笠原諸島 福德岡ノ場における 2021 年 8 月の噴火、2021 年度日本火山学会秋季大会講演予稿集、P1-34, 2021.
- 2) Jutzeler M. et al.: On the fate of pumice rafts formed during the 2012 Havre submarine eruption, *Nature Communications*, DOI: 10.1038/ncomms4660, 10p., 2014.
- 3) 鹿児島県危機管理課：軽石漂着による被害状況、http://www.pref.kagoshima.jp/aj01/documents/90882_20220117110755-1.pdf, 2022 年 2 月 1 日確認
- 4) 国土交通省港湾局・水産庁：漂流軽石の回収技術に関する取りまとめ、令和 3 年 11 月 <https://www.mlit.go.jp/kowan/content/001443575.pdf>, 2022 年 2 月 1 日確認
- 5) 浅野敏之・長山昭夫・加古真一郎：火山噴火災害時の港湾 BCP 立案の基礎となる海域内降下火砕物の流動解析、*土木学会論文集 B2(海岸工学)*, Vol.76, pp.1321-1326, 2020.
- 6) 浅野敏之・高橋忍・甲斐信治：大規模火山噴火災害時における港湾機能維持に必要な降下軽石群の揚収作業量の分析、*自然災害科学*, Vol.39, pp.45-56, 2020.
- 7) 浅野敏之・長山昭夫・加古真一郎：桜島の大規模火山噴火を想定した海域内降下軽石群の漂流解析、鹿児島大学地震火山地域防災センター令和 2 年度報告書、p.25-30, 2021.
- 8) Asano, T. and A. Nagayama: Analysis of workload required for removal of drifting pumice after a volcanic disaster as an aspect of a port business continuity plan, A case study of Kagoshima Port, Japan, *International Journal of Disaster Risk Reduction*, Vol.64, <https://doi.org/10.1016/j-ijdr.2021.102511>, 2021.
- 9) 小野憲司編著：大規模災害時の港湾機能継続マネジメント、公益社団法人日本港湾協会、271p, 2016.
- 10) Hirose N. et al.: Regional data assimilation system extended to the East Asian marginal seas, *Umi to Sora*, Vol.89, No.2, pp.1-9, 2013.
- 11) Suzuki, T.: A theoretical model for dispersion of tephra, *Volcanism: Physics and Tectonics Arc*, Edited by Shimozuru, D and I. Yokoyama, pp.95-113, 1983.
- 12) 例えば、柿木哲哉・辻本剛三・外村隆臣：令和 2 年 7 月球磨川豪雨災害で発生した流木の八代海における挙動に関する研究、*土木学会論文集 B3(海洋開発)*, Vol.77, No.107, 2021.
- 13) 例えば、河合孝治ら：サロマ湖内結氷部氷縁部における流入流水の運動に関する研究、*海洋開発論文集*, Vol.13, pp.795-800, 1997.
- 14) 福島繁樹：漂流予測の高度化のための基礎調査、一風圧流と偏角について一、*海上保安庁海洋情報部技報*, Vol.24, pp.107-115, 2006.
- 15) 浅原悠里ら：漂流予測プログラム Ver6.0 の紹介、*海上保安庁海洋情報部研究報告*、第 52 号、pp.107-113, 2015.
- 16) Kako S. et al.: A decadal prediction of the quantity of plastic marine debris littered on beaches of the East Asian Marginal Seas. *Marine Pollution Bulletin* 81: 174-184, 2014.
- 17) 犬飼直之ら：数値計算による吹送流を考慮した海表面浮遊粒子追跡に関する研究、-ナホトカ号重油流出事故について、第 44 回海岸工学講演会論文集、pp.1046-1050, 1997.
- 18) アメリカ航空宇宙局 NASA: <https://worldview.earthdata.nasa.gov/>, 2022 年 2 月 1 日確認
- 19) 宇宙航空研究開発機構 JAXA: <https://earth.jaxa.jp/karuishi/report/index.html>, 2022 年 2 月 1 日確認
- 20) 長山昭夫・井崎丈・浅野敏之：土木学会論文集 B3 (海洋開発)、Vol.78, 2022 年 6 月(投稿準備中)

桜島大規模噴火を想定した気象レーダ噴煙モニタリングプラットフォーム

眞木雅之¹・西隆昭²・小堀壮彦³・牛尾知雄⁴・海賀和彦⁵・今井克之⁶・徳島秀彦⁷

川原一枝¹・佐野香那¹・藤吉康志⁸・木下紀正⁹

¹ 鹿児島大学地震火山地域防災センター, ² 鹿児島大学水産学部, ³ 三菱スペース・ソフトウェア株式会社, ⁴ 大阪大学工学部, ⁵ 株式会社光電製作所, ⁶ 住友電設株式会社
⁷ FRS コーポレーション, ⁸ 北海道大学名誉教授, ⁹ 鹿児島大学名誉教授

1. はじめに

計 111 の活火山を抱え、火山近くに都市が形成されている我が国では、火山噴火により放出される噴出物は様々な形の被害をもたらす。例えば噴火直後の噴石の飛散は住民、建物、農作物などへの直接的な被害をもたらす。噴火後、大気中に漂う火山灰は航空機の操縦席窓ガラスへの付着やエンジンの停止を引き起こす。市街地への降灰は鉄道などの陸上交通を麻痺させ日常生活や経済活動に影響を及ぼす。さらに、呼吸器疾患などの人体への被害をもたらす。近い将来、大規模噴火の発生が予測されている桜島の場合、大量に噴出される火山灰は人口約 60 万人を抱える鹿児島市を始め桜島周辺の地域に甚大な被害をもたらすことが懸念される。このような火山灰による被害を防ぐためには、噴火現象を検出することに加えて、放出される火山灰を監視しその分布を予測する技術を開発し、事前・事後の効果的な火山灰対策に活用する必要がある。このような社会的な要請に応えるために、鹿児島大学地震火山地域防災センターは、プロジェクト研究「大規模火山噴火にレジリエントな地域社会の実現に向けた防災減災の取り組み」(2016年～2021年)を立ち上げ、1) 降下火砕物の空間的予測手法や噴火被害の定量的評価手法の開発、2) 桜島及び島嶼部の火山を対象にした定量的な被害想定、更に、3) 平時の備えから災害発生時の防災対応、復旧復興までの一連の防災減災対策に資する防災情報の発信に関する研究をおこなった。本報告は、上記の研究項目 1) および研究項目 3) の中で開発した気象レーダ噴煙モニタリングプラットフォームについてまとめたものである。

本報告書の構成は次の通りである。まず、本研究プロジェクト以前に鹿児島大学でおこなわれていた火山噴煙観測研究のレビューをおこなう。次に、気象レーダ噴煙モニタリングプラットフォームの概要と各構成ブロックについて説明する。最後に、開発したプラットフォームの出力例を紹介し今後の展望について述べる。参考として、国内外での気象レーダによる噴煙観測のレビュー表を付録 A に掲載した。また、気象レーダモニタリングプラットフォームの開発に関連して鹿児島大学が実施した科研費研究、共同研究、受託研究の一覧を付録 B に掲載した。

2. 火山噴煙観測研究のレビュー

2.1. 現業気象レーダによる観測

澤田(2003)はスミソニアン協会の火山噴火活動報告と著者自身の調査から、2003年までの気象レーダによる噴煙の観測例を報告している。それによれば、噴煙エコーの世界で最初の観測例は1970年5月5日のアイスランドの Hekla 火山であると考えられる。この観測事例では、高度が

5300 フィートの噴煙が報告されている。観測事例が最も多い我が国では、1974 年 7 月 14 日の国後島北東部の爺々岳の噴火が最初のレーダ観測例である。この事例では風下側に筋状に伸びる噴煙エコーが PPI 画面に表示され、その時間変化が記録された。但し、当時のレーダエコーのスケッチや記録には積雲あるいは対流性エコーとの記述があり、当時の釧路気象台の職員が噴煙エコーと認識していたかどうかは定かではない。恐らく、現業レーダによる本格的な噴煙研究は 1980 年と 1982 年に発生した米国の St Helens の噴火であろう。この噴火はポートランドに設置された NOAA の S バンドレーダ (WSR-74) とシアトルに設置された FAA の L バンドレーダにより観測され、定量的な降灰量推定の研究が Harris et al. (1981) と Harris and Rose (1983) によってなされた。国内外での、現業用気象レーダによる噴煙観測例の一部と研究用気象レーダによる噴煙観測研究を本報告書の付録 A にまとめた。

2.2. 鹿児島大学・熊本大学噴煙研究グループによる研究

鹿児島大学で噴煙研究が開始されたのは 1980 年代後半である (木下, 1989; 木下・吉田, 1990)。本格的に開始されたのは 2002 年で、木下を中心とする噴煙研究グループは「南西諸島における火山噴煙の観測解析と配信」プロジェクトを立ち上げ、諏訪之瀬島・薩摩硫黄島の噴煙映像ネットワークカメラシステムを構築した。同時に桜島の多点観測体制が強化された。2003 年には「西太平洋域における火山噴煙自動観測体制の展開」プロジェクトにより近赤外映像観測が開始される (木下, 2006; 木下ほか, 2006)。これらの研究は、デジタルカメラ、ビデオカメラのインターバル撮影、近赤外ネットワークカメラなどによる噴煙の映像解析を特徴としている。収集された観測記録はアーカイブされ web サイト「火山と噴煙の写真やビデオ映像のページ」で閲覧できる。観測は限られるが、現在も桜島を対象にカメラによる観測が継続されており、2013 年 8 月 18 日の桜島昭和火口の爆発的噴火の映像が紹介されている。

2.3. 気象レーダを利用した新たな展開

筆者は、2013 年に鹿児島大学に赴任し、気象レーダを利用した噴煙柱や火山灰雲の研究を開始した。赴任当初は、ゲリラ豪雨の予測研究や災害情報のデータベース化などが中心で、火山噴煙の研究は京都大学防災研との共同研究の中で開始された。その後、鹿児島大学の火山プロジェクトや受託研究などを実施し噴煙研究が中心となった (付録 B 参照)。噴煙研究の内容を大別すると、1) 気象レーダデータの三次元解析ツールの開発、2) 現業 MP レーダ、研究用レーダ、船舶レーダによる噴煙柱の観測研究、3) 定量的降灰量推定手法および予測手法に関する研究が挙げられる。

第 1 の研究内容「気象レーダデータの三次元解析ツールの開発」では「三次元気象レーダデータ解析ツール (ANT3D: Analytical Tools for Three-Dimensional Weather Radar Data)」と名付けられたソフトウェアが開発された (Maki et al., 2021a; Maki and Kim, 2021)。積乱雲の解析用に開発されていた FORTRAN ベースのプログラムを MATLAB ベースの火山噴火雲の解析用に改良したもので、時空間内挿法による三次元 CAPPI データの作成時にレーダエコーの移流ベクトルを考慮している点が新しい (Maki and Kobori, 2021)。

第2の研究内容「気象レーダによる噴煙柱の観測研究」では、観測のターゲットや目的に応じて様々なタイプの気象レーダが用いられた (Maki et al., 2016; Maki et al., 2019; 真木ほか, 2020)。2017年には政府の補正予算により鹿児島大学に Ku バンドドップラーレーダが導入され Ku-band rapid scanning Doppler radar (KuRAD)と名付けられた (Maki et al., 2019a)。このレーダの特徴の一つは、1分間で噴煙の三次元観測が可能なことである。また、機器一式がコンテナに収納されており南九州地方の火山地域に移動することができる点も特徴の一つである。KuRADによる桜島噴煙柱の観測に加えて、他研究機関のレーダを用いた噴煙柱の観測もおこなわれた。例えば、国立研究法人防災科学技術研究所 (以降, NIED) が所有する、高い空間分解能と高感度の Ka バンドドップラーレーダによる噴煙柱の RHI 観測が 2015 年に実施された (Maki et al., 2016)。京都大学防災研究所 (以降, DPRI) が所有する小型 X バンド MP レーダによる桜島噴煙柱の RHI 観測データが蓄積され、文部科学省のプロジェクト「次世代火山研究と人材育成」(2016-2025) の中で公開されている。鹿児島大学はこのプロジェクトに参加し、過去の顕著な噴火事例のデータを利用して、噴煙柱の鉛直構造の解析を進めている。共同研究をおこなっている気象庁気象研究所から、同研究所の Ku バンド偏波レーダの観測データの提供を受け、噴煙柱の3次元構造の解析をおこなった。

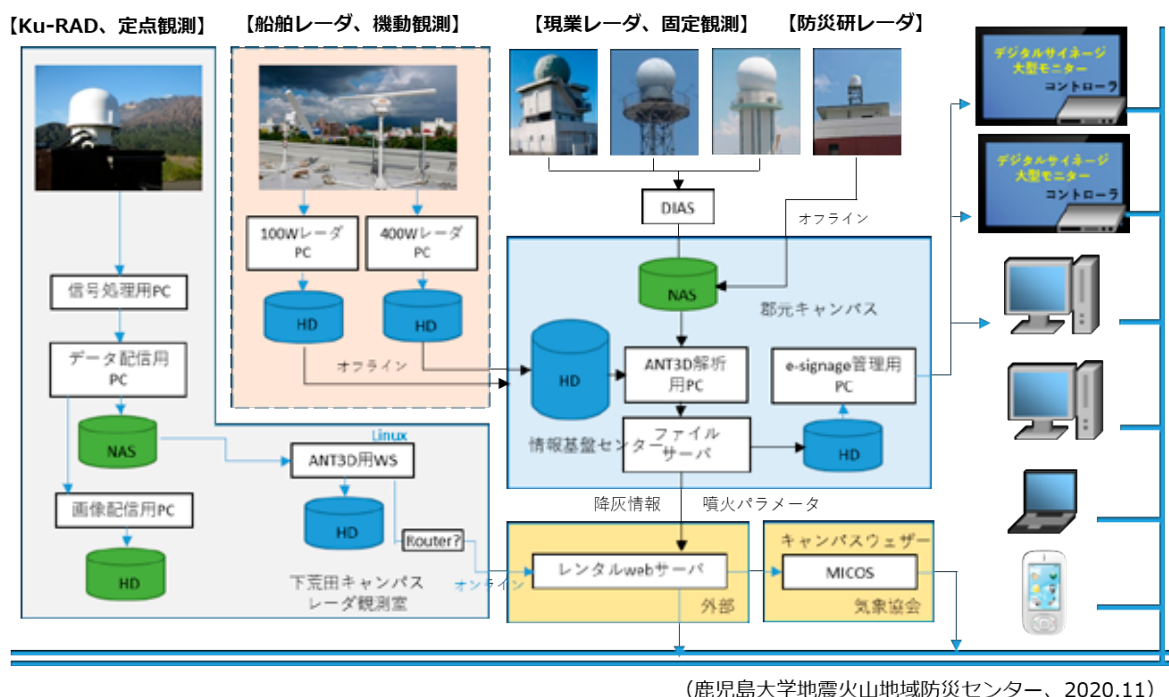
第3の研究内容「定量的降灰量推定手法および予測手法に関する研究」は、気象レーダを用いた噴煙研究の最終目標の一つである。気象レーダの反射因子 Z_A から降灰強度 R_A を計算するいわゆる R_A - Z_A 関係式の導出方法には工学的手法と理学的手法がある。前者は、実際のレーダ観測データと地上で計測された降灰量を比較することにより求める方法である。後者は、降灰粒子の粒径分布モデルから理論的に R_A - Z_A 関係式を求める方法である。工学的手法の例として、真木ほか (2019) は、2013年8月18日の桜島昭和火口の噴火事例で収集された地上の降灰量データと国交省の垂水 XMP レーダの観測データから時間積算降灰量を推定する関係式を求めた。理学的な手法に関して、Maki et al. (2021b) は、DPRI が桜島に展開している光学式ディストロメータ (Parsivel2) で観測された降灰粒子の粒径分布から R_A - Z_A 関係式を導出している。得られた関係式は内閣府プロジェクト「火山降灰等シミュレーション広域被災予測技術開発」(SIP2-II 国家レジリエンス (防災・減災) の強) (2018-2022) の中で過去の桜島噴火事例の降灰分布や総降灰量の推定に利用されている。偏波レーダパラメータを用いる理論的手法で必要不可欠な降灰粒子の形状と落下姿勢に関する研究は、NIED の大型降雨実験施設内でおこなわれた。高度 17m の高さから様々な粒径の降灰粒子を落下させ、地上に設置された 2次元ビデオディストロメータによる個々の粒子の形状と落下姿勢を求めた (Suh et al., 2019)。レーダ反射因子 (Z_{DR}) や比偏波間位相差 (K_{DP}) などの偏波レーダパラメータを利用した降灰強度推定式の理論研究は始まったばかりである。

3. プラットフォームの構成

3.1. 概要

「気象レーダ噴煙モニタリングプラットフォーム」の構成要素を図 3.1.1 に示す。プラットフォームはいくつかのブロックから構成される。鹿児島大学での運用を考えた場合、プラットフォームの中核は【KuRAD】、【船舶レーダ】、【ANT3D】の3つのブロックである。それぞれのブロッ

クは必ずしも 1 カ所に集約されている必要はない。2022 年 4 月以降は【KuRAD】と【ANT3D】は鹿児島大学下荒田キャンパスの 1 号館に集められる。これ以外のブロックとして、【現業レーダ】(例えば、国交省 XMP レーダや気象庁の C バンドレーダ), 【DPRI レーダ】(DPRI の研究用小型 X バンド MP レーダ) がある。また、降灰情報の配信と表示の役割を果たすブロックとして【サーバ】、【サイネージ】、【エンドユーザ】ブロックがある。これらは必ずしも物理的に「気象レーダ噴煙モニタリングプラットフォーム」に接続されている必要はない。各構成ブロックは単独でも運用できるようになっている。また、必要の無いブロックの削除、新たなブロックの追加が可能である。このことから、「気象レーダ噴煙モニタリングプラットフォーム」は自由度のあるバーチャルなプラットフォームと言える。以下、各構成ブロックについて説明する。



3.1.1 気象レーダ噴煙モニタリングプラットフォームの構成。

3.2. KuRAD

このブロックでは、Ku バンド高速スキャンドップラーレーダ (KuRAD) による降灰観測がおこなわれ、収集されたレーダデータはリアルタイムで降灰情報に変換されレンタル web サーバへ転送される。このブロックで用いられる気象レーダ KuRAD は、周波数の有効利用という観点と、積乱雲の高速スキャン観測を目的に大阪大学と住友電工により開発された Ku バンド偏波レーダ (今井ほか, 2008 ; Yoshikawa et al., 2010; Yoshikawa, 2011) を基本にしている。鹿児島大学では、当該レーダの特長であるルネベルグアンテナ (Luneburg, 1944) を利用した高速スキャン性能を活かし、かつ、機動的に火山噴火を観測できるように機器をコンテナに収納した。表 3.2.1 に KuRAD の主な仕様を示す。2015 年度の補正予算により製作を開始し、NPO 法人雷嵐の協力も得て 2017 年 3 月に完成した (真木ほか, 2018)。KuRAD は 2017 年に桜島黒神川左岸に設置され、試験運転期間を含めて約 1 年間、桜島昭和火口で発生する噴煙柱の観測が行われた。その

後、霧島新燃岳の噴火観測のために 2020 年まで宮崎県高原町に設置された。新燃岳の噴火活動が弱まったこともあり 2020 年 7 月に KuRAD は鹿児島大学下荒田キャンパスの水産学部 1 号館の屋上に設置された。

表 3.2.1 KuRAD の主な仕様

アンテナ	タイプ	ルネラル	送信機	周波数	15.75GHz
	直径	45cm		出力	40dBm (max)
	ビーム幅	3° (AZ/EL)		変調	FM _π -7°
	利得	36dB		バンド幅	80MHz (max)
	偏波	単偏波	duty	0-100 %	
	回転速度	20-40 rpm	受信機	MDR	3dBZ@4km
	Scan範囲	AZ:360°, EL:90°		雑音指数	3dB (min)
	Scanモード	Spiral, PPI, FIX	信号処理	レンジゲート	8192
		出力		Zh, V, σ	

観測を開始する前の、9月5日、6日、7日にかけて鹿児島に接近し通過した台風10号により、レドームがレーダ本体から剥がされ、送受信システムが雨ざらしになるという深刻な被害を受けた(図3.2.1)。レドーム内の気温の変化や鹿児島地方気象台の最大瞬間風速の記録の調査などから、9月5日の22時頃、建物を吹き上げる風と強い水平風の組み合わせによりレドームが本体から剥がされたと推定された。



図 3.2.1 左：レーダ本体と剥がれたレドーム，右：レーダドーム接続部。

被災した送受信装置は災害復旧経費により新しいものに置き換えられた。また、剥がれたレドームおよびレーダ駆動部は、Ku バンドレーダの開発者の一人である大阪大学牛尾教授が所有するものを利用することにより、2021 年 12 月に以前と同じ場所に設置された。無線局変更届が総

務省九州総合通信局に受理され、観測が再開されたのは2022年1月中旬からである。図3.2.2(a)は水産学部1号館とその屋上に設置されたKuRADのアンテナ部分の写真である。アンテナ制御装置、信号処理装置、データ解析用WSなどはすぐ下のレーダ観測室に設置されている。レーダ観測室は、元々は水産学部の船舶レーダ用の部屋で、三方がガラス張りになっている。近くに県庁やホテルなどの建物があり水平線は遮られるが、桜島の噴火と噴煙を目視観測するには十分である。KuRADの最大観測範囲はレーダを中心として半径20kmで、桜島全島が観測範囲に入る(図3.2.2.(b))。図中の■はKuRAD、国交省のMPXとDPRIの小型XMPレーダの設置場所である。KuRADを中心とした半径5km以内には、鹿児島大学の郡元キャンパスや桜ヶ丘キャンパス(鹿児島大学病院)がある。また、県庁、鹿児島市役所、鹿児島中央駅、天文館などの主要な施設が含まれる。このように、KuRADの設置場所の利点から、大規模噴火があったとき、KuRADの噴煙モニタリング情報はこれらの地域の防災に役立つであろう。

図3.2.3はレーダ観測室に納められたKuRADの各装置の観測室内でのLAN構成である。レーダ観測はLANを介して、制御計算機とデータ収録転送用計算機内のソフトウェアによりおこなわれる。制御計算機にはBrsとCtrlServerの二つのソフトウェアがインストールされており、前者は観測パラメータの設定、開始/停止、機器の状態監視をおこなうGUIである。後者は制御計算機のサーバとして動作し、各機器との通信・制御を管理する。データ収録転送用計算機にはDataServerとLogServerがインストールされており、前者はリアルタイムに観測データ(rawデータ)の保存をおこなう。同時に2次圧縮データ(2ndデータ)の作成・保存・転送をおこなう。これらの詳細はKuRAD取扱説明書にある。図3.2.4にKuRADの観測データの流れを示す。画像収録転送用計算機は、データ収録転送用計算機から送られてきた2ndデータから画像を作成し指示された場所へ保存する。その際、使用されるソフトウェアがKuViewである。KuViewには仰角毎のPPI画面、任意高度のCAPPi画像、任意鉛直断面画像を作成する機能を有しており観測データのクイックルック用にも使える便利なソフトウェアである。KuViewは一般のPCにもインストールできる。KuViewの具体的な使用方法はマニュアル「火山観測用Kuバンド高速スキャンレーダ補足資料」にある。

図3.2.3および図3.2.4の降灰情報作成用WSは2022年1月に付加された計算機で、KuRAD観測データから降灰情報を作成する。WSの主な仕様を表3.2.2に示す。このWSはLANでレーダ観測室内のPCとつながっている。また、グローバルIPアドレスを持っており、許可された外部のPCとやりとりが可能である。用いられるソフトウェアのアルゴリズムはANT3Dであるが、リアルタイム性を重視してPythonベースのプログラムに変換している。WSはデータ収録転送用計算機から送られてくる2ndデータから、レーダを中心とする半径20km以内のエリアの降灰量分布を作成する。作成される画像のフォーマットは地図情報と重ね合わせることができるGeoTIFF形式である。作成された画像データは、外部のレンタルwebサーバや鹿児島大学の情報基盤センターのファイルサーバ等へ転送され保存される。このデータは、許可された学内外のユーザのダウンロードが可能である。

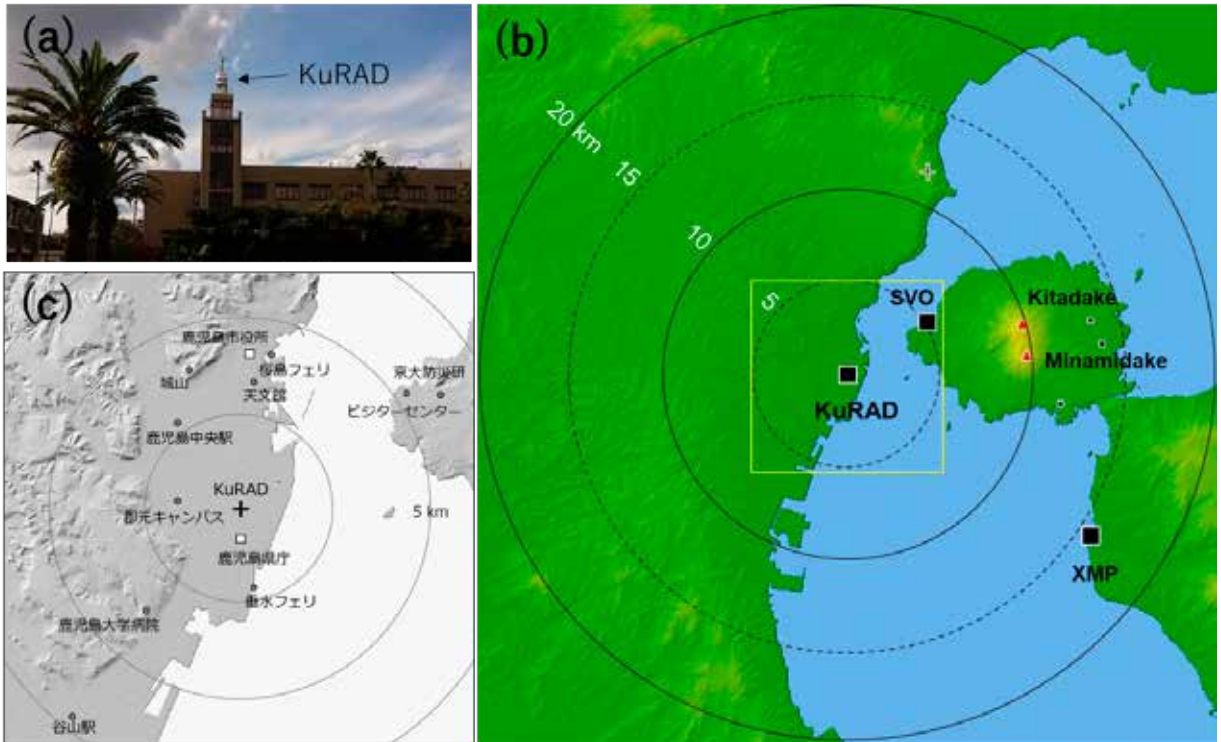


図 3.2.2 (a) 鹿児島大学下荒田キャンパス 1 号館屋上に設置された KuRAD, (b) レーダ観測範囲, (c) レーダから 5km 範囲.

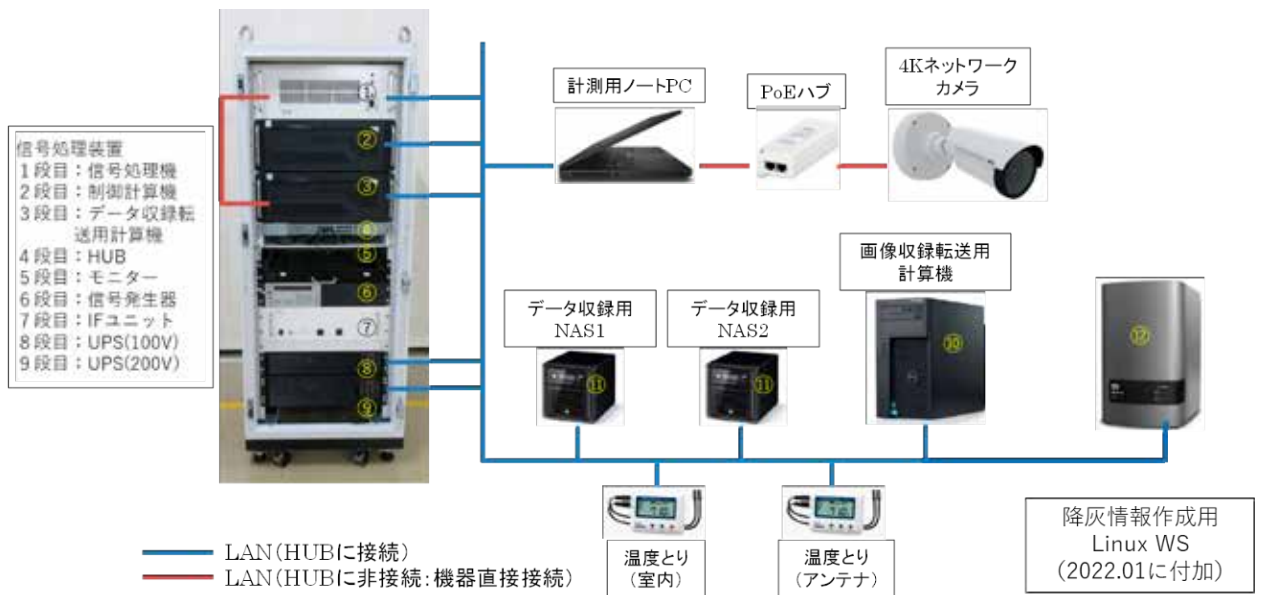


図 3.2.3 KuRAD のネットワーク構成

表 3.2.2 降灰情報作成用 WS の主な仕様

仕様	
機種	BL-i78700A1H1TTSD
Cpu	インテル®Core i7-8700, 動作周波数 3.2GHz 動作周波数 2.10GHz/Max3.0GHz
メモリ	64GB (16GBx4)
OS	Linux CentOS 7.5, 64bit
ドライブ	SSD/HDD1 1TB SSD/HDD2 4TB

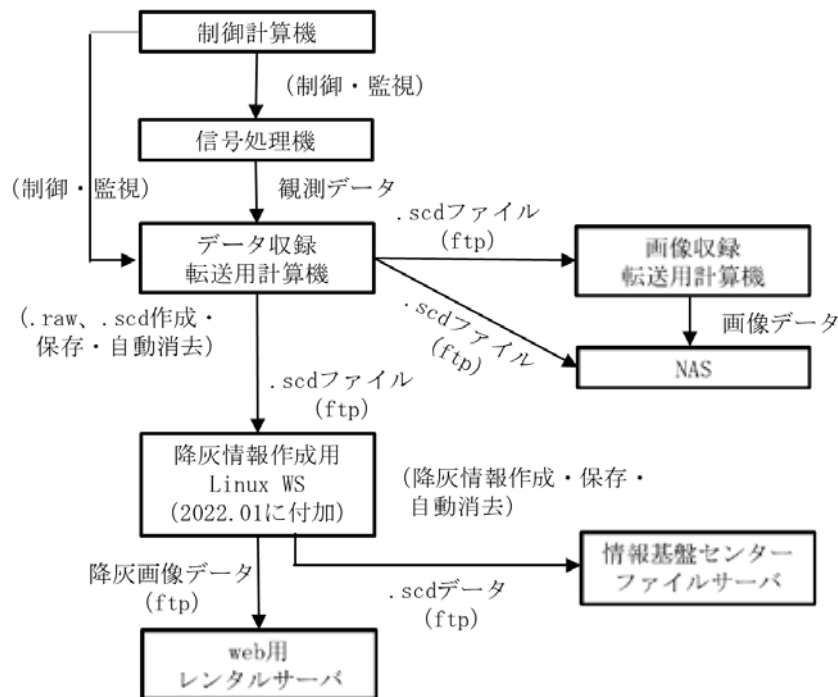


図 3.2.4 KuRAD の観測データの流れ.

3.3. 船舶レーダ

船舶レーダブロックは、船舶レーダにより観測された噴煙柱の発達過程を解析するブロックである。船舶レーダのハードウェアの特徴の一つに、ファンビームを射出するスロットアンテナがある。これは、海上を揺れながら航行する船舶の周りの障害物や他の船舶を検知できるように考慮したためである。また、障害物を素早く検知するためにスロットアンテナを高速度で回転させる。通常の船舶レーダは、仰角を固定してビームの方位角を変化させて船舶の全方位の障害物を探査する。Maki et al.,(2019b)と真木ほか (2020), は、アンテナの回転軸を 90° 傾け、火口方向に向けて縦回転させることにより噴煙柱の発達過程や噴石や火砕流の検出を試みた (図 3.3.1)。使用した船舶レーダは民間企業である FRS コーポレーションが所有する X バンド船舶レーダである。レーダの構成図を図 3.3.2 に示す。レーダはレーダ本体 (送受信機・アンテナ, レーダ制御

パネル) と観測画像収録ユニットの二つから構成される。画像収録ユニットは研究用に追加されたユニットで、レーダ本体から送られてくる画像データを PC のハードディスクへ保存する。レーダの波長は 3cm, アンテナは長さ 2m のスロットアンテナ, ビーム幅は水平 1.2°, 垂直 22°, アンテナの回転速度は 48rpm である (表 3.3.1)。これにより, 成長する噴煙柱の鉛直構造を方位角 22°, 仰角 1.2° のビーム幅で, 48rpm (1.25 秒毎) の時間分解能で観測することができる。

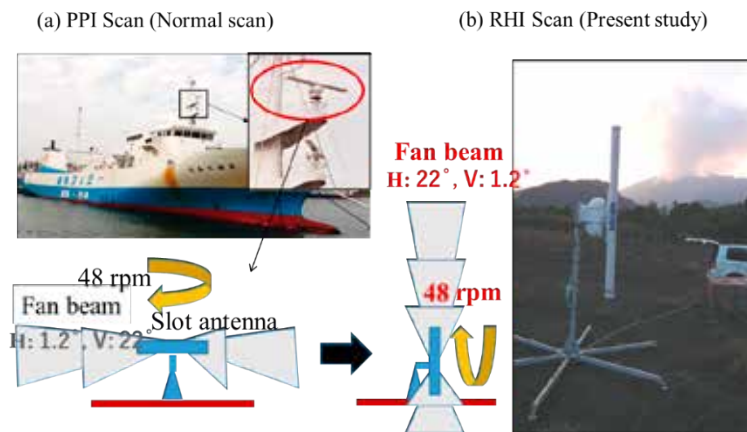


図 3.3.1 (a) 通常の船舶レーダのアンテナスキャンモード, (b) 噴煙柱の観測用のアンテナスキャンモード

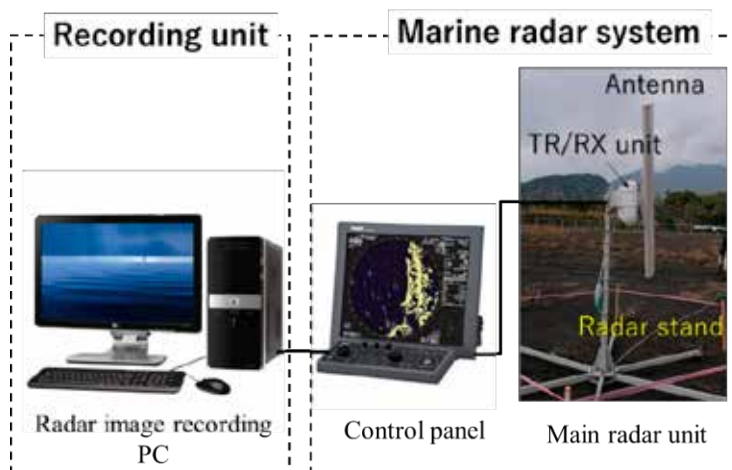


図 3.3.2 マグネトロンタイプの X バンド船舶レーダの構成. 真木ほか (2019) より.

表 3.3.1 マグネトロンタイプの X バンド船舶レーダの主な仕様 (FRC コーポレーションを参考)。

Antenna	Length	197 cm
	Beam width	H: 1.2°, V: 22°
	Scan speed	24, 48 rpm
	Polarization	H
Transmitter	Frequency	9410 ± 30 MHz
	Peak power	25kW, Magnetron
	Pulse width	0.08, 0.2, 0.3, 0.6, 1.2 μs
	PRF	2000 Hz
	Range resolution	12, 30, 45, 90, 180 m
Receiver	IF (bandwidth)	60 MHz (5, 15 MHz)
	Noise figure	≤ 6 dB
Monitor	Size	19 inch colour LCD
	Resolution	1280 × 1024 pixel
	Range accuracy	8 m

近年、周波数の有効利用と保守の利便性からマグネトロンレーダに代わって固体化素子レーダが実用化されている（真木ほか，2019）．鹿児島大学では，株式会社光電製作所から2基の固体化素子レーダの貸出しを受け，船舶レーダによる噴煙モニタリングの研究をおこなっている．図3.3.3にレーダの外観を示す．固体化素子レーダの外観はマグネトロンレーダとほぼ同じである．図3.3.4に基本システム構成を示す．表3.3.2に主な仕様を示す．マグネトロンレーダと大きく異なるのは送信形式である．マグネトロンレーダでは高出力の単一パルスを利用するのに対して固体化素子レーダでは低出力の長パルスを利用し，パルス圧縮技術を用いることでマグネトロンと同等のレンジ分解能を得ている．但し，レーダの近傍の数 km レンジでは長パルスが使えないのでマグネトロンレーダと同様に短パルスでの観測である．固体化レーダシステムの構成や制御用アプリケーションソフトの詳細は，「火山噴火機動観測レーダーの基本設計」（2019年3月，非公開）に記載されている．また，遠隔操作などの将来の運用に関しても記載されている．

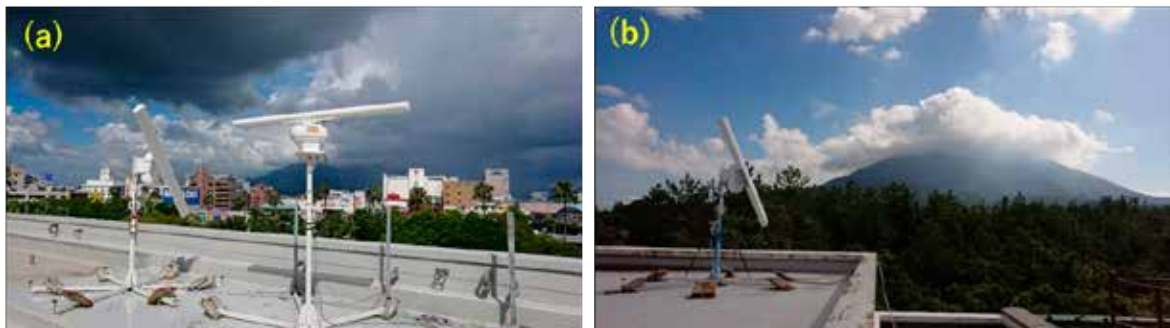


図 3.3.3 固体化素子タイプの X バンド船舶レーダの外観．(a) 鹿児島大学下荒田キャンパス水産学部 1 号館屋上での観測風景（2019 年 8 月 22 日撮影）．左は 400W レーダによる RHI 観測，右は 200W レーダによる PPI 観測．(b) 京都大学防災研 SVO の屋上へ移動しての RHI 観測（2021 年 10 月 8 日撮影）．固体化素子レーダは（株）光電製作所からの貸与による．

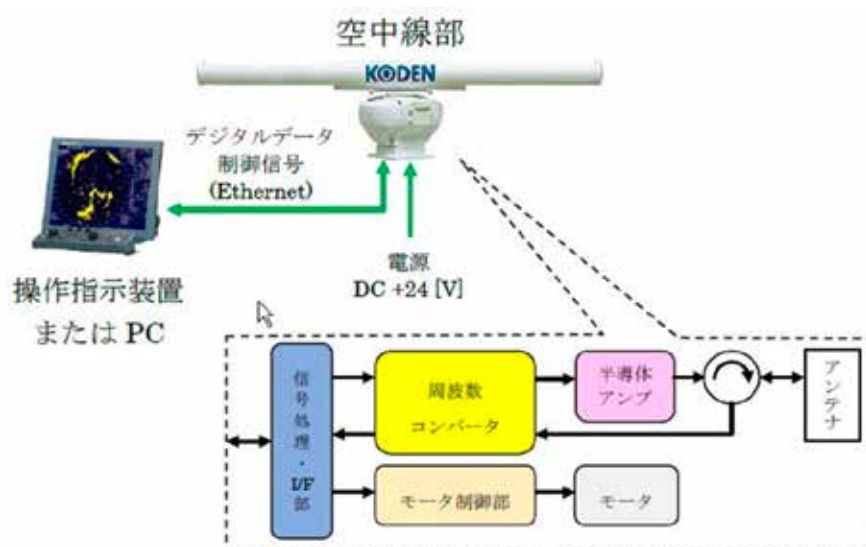


図 3.3.4 固体化素子船舶レーダの基本構成．

表 3.3.2 固体化素子タイプの X バンド船舶レーダの主な仕様

項目	仕様	備考
アンテナ型式	オープンアンテナ	アンテナサイズ 6ft,9ft(公称値)
送信出力 (尖頭値)	100 W \pm 50 % / 400 W \pm 50 %	
送信周波数	9380~9420 MHz	P0N : 9390 \pm 10 [MHz] Q0N : 9410 \pm 10 [MHz]
周波数安定度	\pm 2.0 ppm	
アンテナ回転数	24 or 48 rpm	0.250 or 0.125 deg/s
送信パルス幅	P0N : 0.08~1.2 μ sec Q0N : 5~18 μ sec	P0N : 24~360 m Q0N : 1500~5400 m
掃引周波数幅	Q0N : 5, 10, 15 MHz	
繰り返し周波数	450~2600 Hz	
探知距離レンジ (設定可能範囲)	0.125~64 NM (100 W) 0.125~96 NM (400 W)	0.2~118.5 km (100W) 0.2~177.8 km (400W)
最小探知距離	40 m 以内	
距離分解能	40 m 以内	
距離精度	8 m またはレンジの 1 %以内	
ドップラー周波数精度	TBD	
電源電圧	定格 直流 +24 [V]	
消費電力	100 W 以下 (100 W) 150 W 以下 (400 W)	空中線部のみ
質量	29 kg 以下 (100 W) 33 kg 以下 (400 W)	空中線部のみ
使用温度範囲	-25~+55 $^{\circ}$ C	空中線部のみ
防水	IPX6	空中線部のみ

船舶レーダによる噴煙観測の機動性を確認するために、車による陸域での試験観測 (図 3.3.5) や鹿児島大学水産学部が所有する練習船「南星丸」 (<https://www.fish.kagoshima-u.ac.jp/fish/brochure/r3/nansei2021.pdf>) と小型ボート (KG3-41178) による海域での試験観測 (図 3.3.6) を実施した。車を利用した試験観測 (2021 年 9 月 30 日) では、レンタカー (バンタイプ) の中にレーダ本体、アンテナ用支柱、計測用 PC、バッテリーなどを積み込み、桜島の南岳火口方向を見渡せる場所 (古里公園駐車場, 旧野尻川土石流観測所駐車場, 輝北うわば公園駐車場) に設置し臨時の観測をおこなった。レーダの組み立てから観測開始までの時間は約 60 分であった。小型ボートによる海上での機動観測実験は 2020 年 12 月 7 日におこなわれた。火口からたなびく弱い噴煙の検出を試みたが、当日の海上風の影響のため十分な結果は得られなかった。小型ボートによる観測は陸上での観測に比べてはるかに機動性に富むが、天候に大きく左右されるこ

とを実感した。海上での揺れの問題は、大型の船舶になれば解消されるかもしれない。総トン数 175 トンの南星丸を利用した試験観測は、2019 年 8 月 24 日に行われた。桜島フェリー鹿児島港発着所近くの棧橋に係留中の南星丸甲板に船舶レーダを設置して、当日の夜行われた錦江湾花火大会の打ち上げ花火の検出を試みた。特に、この花火大会の特徴の一つである直径 60cm の花火の玉を火山噴石とみなして、その打ち上げから爆発までの軌跡を捉えられるかに焦点を当てた。桜島フェリーが近くを通過する際の船体の揺れはあったが、それ以外は問題なく、実験は成功した。

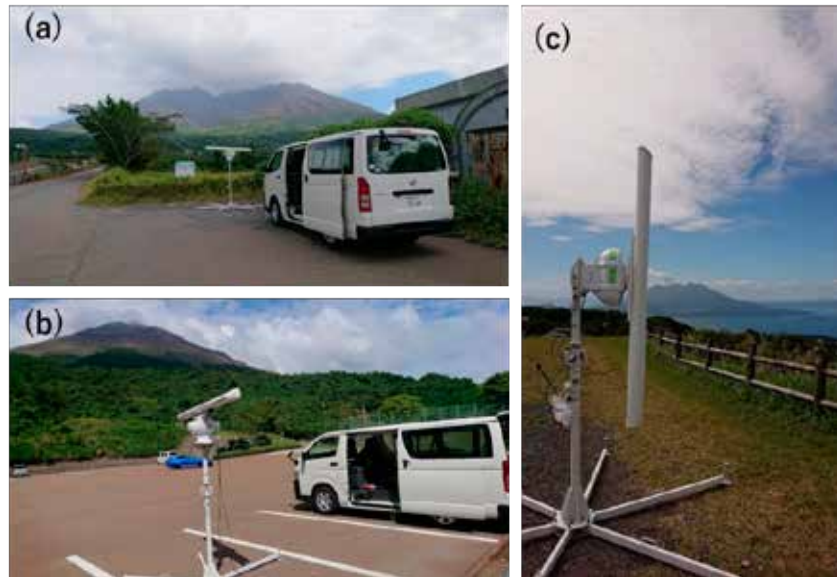


図 3.3.5 固体化素子船舶レーダによる陸域での機動的降灰観測実験。(a)旧野尻川土石流観測所駐車場 (桜島), (b)古里公園駐車場 (桜島), (c)輝北うわば公園駐車場 (鹿屋市)。



図 3.3.6 固体化素子船舶レーダによる海域での機動的降灰観測実験。(a) 鹿児島大学水産学部の小型ボートにセットされた固体化素子レーダ, (b)小型ボートによる桜島噴煙の観測風景。(c) 鹿児島大学水産学部の練習船「南星丸」。(d) 「南星丸」に設置された固体化素子レーダ。

固体化素子船舶レーダの観測データは、.ksd という拡張子のファイル（以下、KSD ファイルという）に格納されている。1つの KSD ファイルには方位角複数周回分の情報が含まれており、長さは可変である。また、ファイル先頭の方位角は 0° とは限らず、方位角 1 周分 ($0\sim 360^\circ$) のデータが複数のファイルに跨って格納されている場合がある。そこで、KSD ファイルに含まれる観測データを方位角 1 週 ($0\sim 360^\circ$) 毎に分割して NetCDF ファイルに保存する Matlab ベースのプログラム (ksd2nc.m) を作成した。ksd2nc.m には、方位角 1 周分のデータが複数の KSD ファイルに跨っている場合には、これらを結合する機能を備えている。使用している固体化素子船舶レーダはプロトタイプのもので、いくつかの制約がある。その一つに、通信環境によってレーダからのデータ受信時に欠測が生じる可能性がある点である。このような場合でも、ksd2nc.m は正常に動作するように配慮されている。なお、ksd2nc.m は KSD ファイル内のデータが方位角の回転に沿って整列していることを前提としている。NetCDF に変換されたレーダデータは、ANT3D に組み込まれた関数 plot_ppixy.m で描画することができる。今後の課題であるが、NetCDF に変換された PPI データから 80×80 km 以内の降灰量分布情報を準リアルタイムで求めることが可能である。このためには固体化素子レーダ用の R_A-Z_A 関係式を確立する必要があり、研究を進めている。

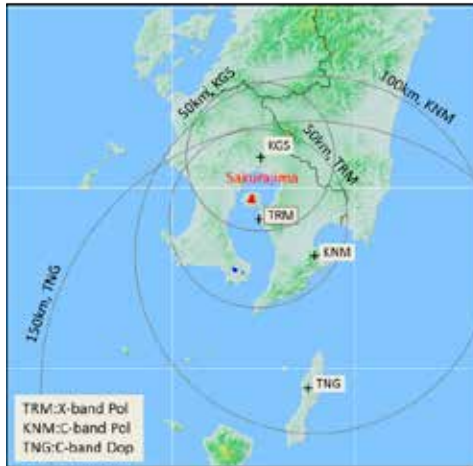
観測データのクイックルックは、上述したプログラム (ksd2nc.m と plot_ppixy.m) を使わなくても、レーダに付属しているソフトウェア (ssrplayer.exe) を用いて可能である。

3.4. 現業レーダ

(a) レーダネットワーク

桜島で大正噴火級の大噴火がおきた場合、降灰域は数百 km の範囲に及ぶと考えられる。その場合、広範囲をカバーする気象レーダネットワークが必要となる。その候補が気象庁や国土交通省の現業レーダネットワークである。図 3.4.1 に桜島を観測範囲に納める気象庁と国交省の現業レーダの配置と火口までの距離や火口上空でのレーダビームの高度、広がりを示す。よく知られたように、地球の曲率のためにレーダビームの高度はレーダからの距離が長くなるほど高くなる。また、ビーム幅も広くなる。例えば、気象庁の福岡レーダは桜島から 208 km 離れており、桜島上空でのビーム高度は 7.9–13.7 km、ビーム幅は 3630 m である。このため、福岡レーダでは桜島の地上付近の降灰を観測できない。高い高度の降灰も空間分解能が粗い情報になる。現業気象レーダによる定量的な観測は 120 km 程度と言われている。地上付近から圏界面付近までの降灰分布を求める為には、複数台のレーダの観測データの合成をおこなうことが必要である。我々が開発している気象レーダ噴煙モニタリングプラットフォームで開発した ANT3D には、複数台のレーダ観測データを合成する機能を備えている。

国土交通省の現業レーダの配置



桜島南岳火口までの距離, ビーム幅, 観測高度

レーダ	距離	観測高度 (火口上空)	ビーム幅 (火口上空)	備考
TRM	11 km	1.2 km - 4.0 km	190 m	X, POL
KNM	45 km	1.1 km - 1.7 km	790 m	C, POL
SKD	180 km	3.8 km - 5.4 km	3140 m	C, POL
TNG	109 km	4.4 km - 14.0 km	1900 m	C, DOP
FKO	208 km	7.9 km - 13.7 km	3630 m	C, DOP
KGS	25 km	1.3, 1.5, 1.6, 1.8, 2.0, 2.2, 2.5, 2.9, 3.4, 4.0, 2.9, 3.4, 4.0, 4.8, 5.8, 7.0, 8.5, 10.5, 13.0 km	260 m	C, DOP
MP-Ka	4 km	0-15 km (artificial)	20 m	Ka, DOP

昭和火口の大きさ: 東西279m南北365m深さ161m(2012年国交省調査)

図 3.4.1 桜島を観測範囲に桜島が含まれる現業用気象レーダの配置点.

(b) 国土交通省垂水 X バンド MP レーダ

国土交通省の現業用 X バンド (波長 3cm) マルチパラメータレーダ (XMP レーダ) は, 桜島の土石流対策として 2011 年に国土交通省により垂水市に設置された. レーダの観測範囲を図 3.4.2 に示す. XMP レーダは仰角 1.7°から 20.0°までの計 12 仰角 (図 3.4.3) の PPI (Plan Position Indicator) により, 半径 80 km 以内の三次元データを 5 分間隔で取得する. ただし, 仰角 1.7°と 6°についてはそれぞれ 2 分間隔で, 下層付近の降雨量を高頻度で観測するために設定されている. レーダの主な仕様を表 3.4.1 に示す. 観測最大仰角が 20°であるため, 桜島昭和火口上空のビーム中心の最高到達高度は火口から約 4km である. XMP レーダは二重偏波機能を有しており, 国土交通省ではこのタイプのレーダを全国の主要な都市域に設置し高精度で高時空間分解能の雨量データを配信している (例えば, 真木ほか, 2017).

表 3.4.1 国土交通省の垂水 XMP レーダの主な仕様.

Code name		TRM (Tarumizu)
Antenna	Diameter	2.2 m
	Beam width	1.0°
	Gain	44.7 dB (H), 45.1 dB (V)
	Speed	1-4 rpm
	Scan angle, PPI	1.7° - 20.0° (12 tilts)
Transmitter	Frequency	9770 MHz
	Power	200 W
	PRF	1500/2000 pps
	Pulse width	1.0 μs
Receiver	Smin	-109.5 dBm
Measured radar parameters		$Z_h, Z_v, Z_{DR}, \Phi_{DP}, \rho_{hv}, V_d, \sigma$
Resolution		Range : 150 m Azimuth : 1.0°

Z_h : Reflectivity factor (horizontal polarization), Z_v : Reflectivity factor (vertically polarization),
 Z_{DR} : Differential reflectivity, Φ_{DP} : Differential phase, ρ_{hv} : Correlation coefficient, V_d : Doppler

XMPのrawデータはデータ統合・解析システムDIAS(Data Integration and Analysis System)からダウンロードできる。DIASは、地球規模・各地域の観測で得られたデータを収集、永続的な蓄積、統合、解析するとともに、社会経済情報などとの融合を行い、地球規模の環境問題や大規模自然災害等の脅威に対する危機管理に有益な情報へ変換し、国内外に提供することにより、我が国の総合的な安全保障や国民の安全・安心の実現に資することを目的として、2006年度に、東京大学地球観測データ統融合連携研究機構(EDITORIA)により運用が開始された(<https://diasjp.net/about/>)。XMPのrawデータは「XRAIN原データ検索・ダウンロードシステム」(<http://xrain.diasjp.net/original/>)に保存されており、任意の地点のXMPデータを入手することができる。我々は、2012年から2021年の10年間に桜島で発生した噴火のXMP観測データを収集した。その際、気象庁鹿児島地方気象台が公開している桜島火山噴火観測表(https://www.jma-net.go.jp/kagoshima/vol/kazan_top.html)を参考にした。

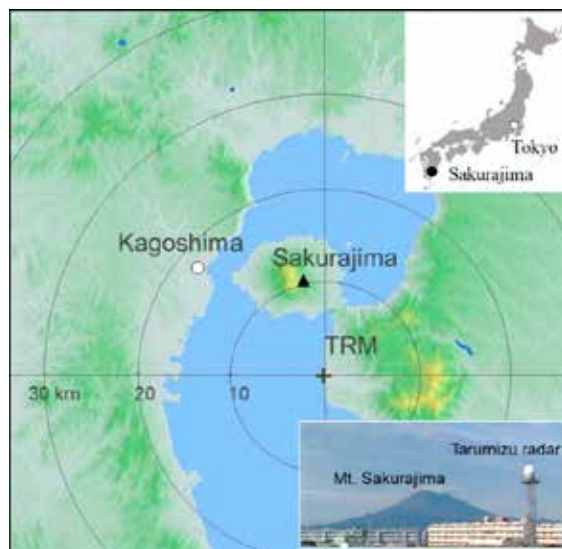


図 3.4.2 桜島と国交省 XMP レーダの位置。

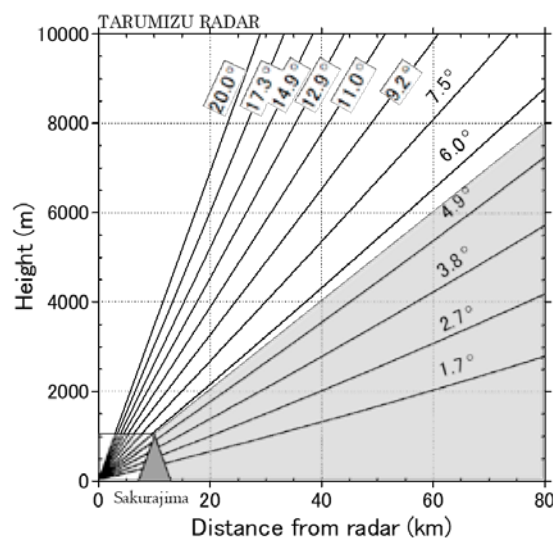


図 3.4.3 XMP レーダのスキャン仰角と桜島。

3.5. DPRI レーダ

京都大学防災研究所桜島火山観測所では 2017 年度に計 6 台の小型 X バンド MP レーダを導入して桜島，霧島，口永良部島，薩摩硫黄島，諏訪之瀬島の 5 つの火山の噴火の観測をおこなっている。データ収集と解析プログラムの作成は 2022 年 1 月から開始した。詳細は省略するが、本報告書の第 4 章に解析結果の一例を紹介している。

3.6. ANT3D

「三次元気象レーダデータ解析ツール」(ANT3D: Analytical Tools for Three-Dimensional Weather Radar Data) は観測されたデータを解析するためのプログラム集であり，気象レーダ噴煙モニタリングプラットフォームの核となるブロックである。ANT3D は MATLAB がインストールされている Windows10 の PC で動作する。例として，本プラットフォームで用いている解析用 PC の仕様を表 3.6.1 に示す。

表 3.6.1 ANT3D がインストールされている PC の主な仕様。

仕様	
機種	WST-XS4110x2S3Q480TSD
CPU	インテル®Xeon®Silver4110 プロセッサ 2 基 コア数 8 コア 716 スレッド (1CPU 当たり) 動作周波数 2.10GHz/Max3.0GHz
メモリ	32GB (4GBx8) DDR4-2400/registered-ECC/DIMM
OS	Windows 10 pro
ドライブ	SSD480GB(SATA3/R500MB/s/W330MB/s/高耐久仕様) HD4TB (7200rpm/キャッシュ 128MB/SATA3/高耐久/平均故障 間隔 MTBF200 万時間) /RAID 対応 光学ドライブ DVD スーパーマルチ

ANT3D の概要は ANT3D のリーフレットにある。ANT3D を利用した国交省 XMP レーダのデータ解析例は真木ほか(2019), Maki et al., (2021a; 201b), Maki and Kobori (2021), Maki and Kim (2021)にある。図 3.6.1 は三次元解析のフローチャートである。図 3.6.2 は，二仰角 PPI 法による降灰量分布推定手法のフローチャートである。解析結果の例は本報告書の第 4 章にある。

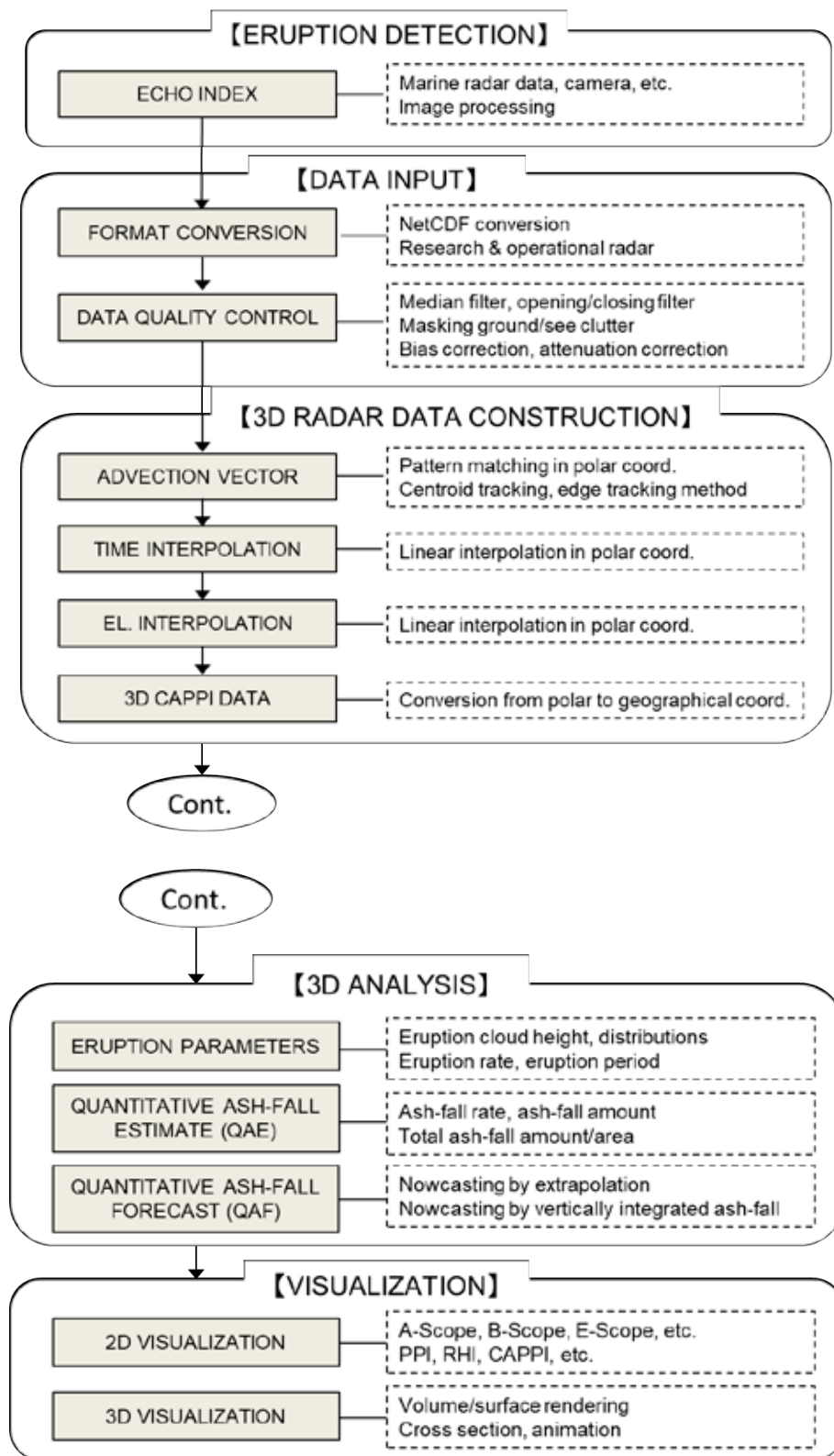


図 3.6.1 三次元解析のフローチャート.

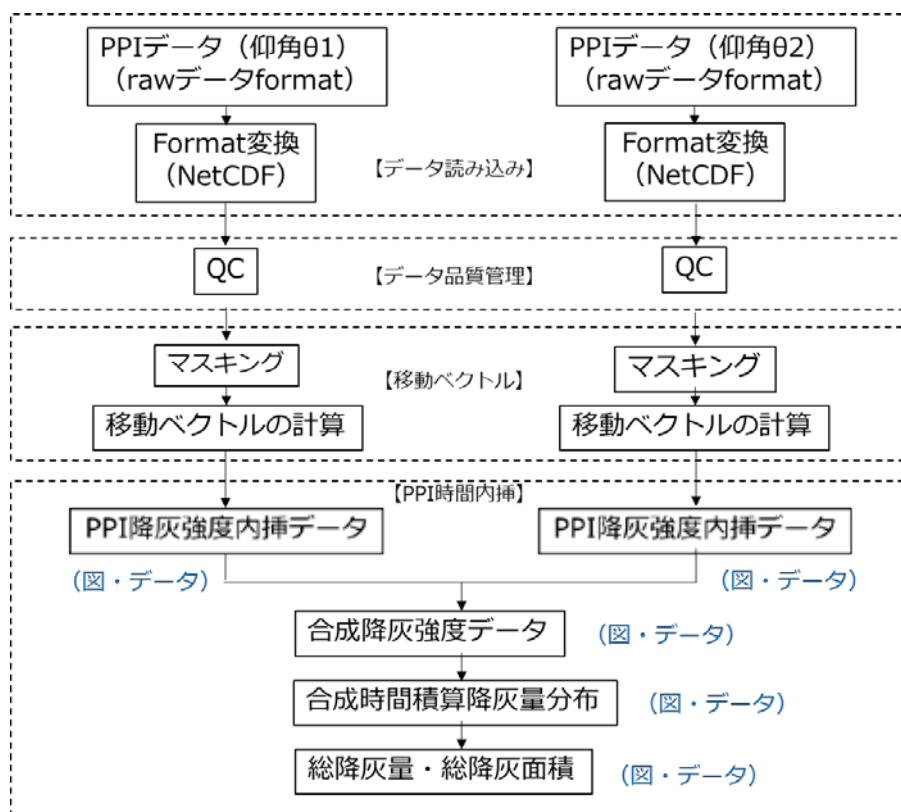


図 3.6.2 二仰角 PPI 法による降灰量分布推定手法

3.7. サーバ

2 台の商用 web サーバにより降灰情報の配信をおこなう。一番目のサーバはオフラインで作成した降灰情報を掲載する。過去 10 年間の国交省 XMP レーダの観測データから、作成される噴火毎の降灰量情報のデータベースが情報配信の基本である。2022 年 3 月から火山研究者、学生、火山防災関係者に公開予定である。二番目の web サーバは KuRAD 専用のサーバで、KuRAD 観測から得られる降灰情報をリアルタイムで公開する。サーバには、1) 降灰量分布図画像の蓄積、2) 古い画像 (1 ヶ月程度) の自動削除、3) 最新の降灰情報の自動更新表示、蓄積した画像から指定した日付の画像を表示する機能、等の機能が実装されている。2022 年 3 月から試験運用を開始する予定である。

3.8. デジタルサイネージ

デジタルサイネージは、2013 年に日本気象界との共同研究の中で、15 分先の雨の予測情報を配信する手段として導入された。開始当初は、鹿児島大学学習交流プラザ玄関のみの設置であったが、2017 年度学長裁量費の支援を受けて、学内の 5 か所と学外の 4 か所にデジタルサイネージモニターが設置された。表示するコンテンツは、鹿児島大学が所有している災害調査資料、桜島大正噴火時の資料、学内外の防災情報などである。これらのコンテンツは、TV 番組のようにスケジュールを組んで放映できるようになっている。また、日本気象協会との共同研究の中で、台風の

発生や地震の発生時には、台風の予想進路図や地震の震度分布図などが表示されるようになっている。今後、桜島の降灰情報も試験的に配信する予定である。

4. 噴火情報の例

ここでは、作成される噴煙情報（画像）についてギャラリー形式で紹介する

4.1. 噴煙柱

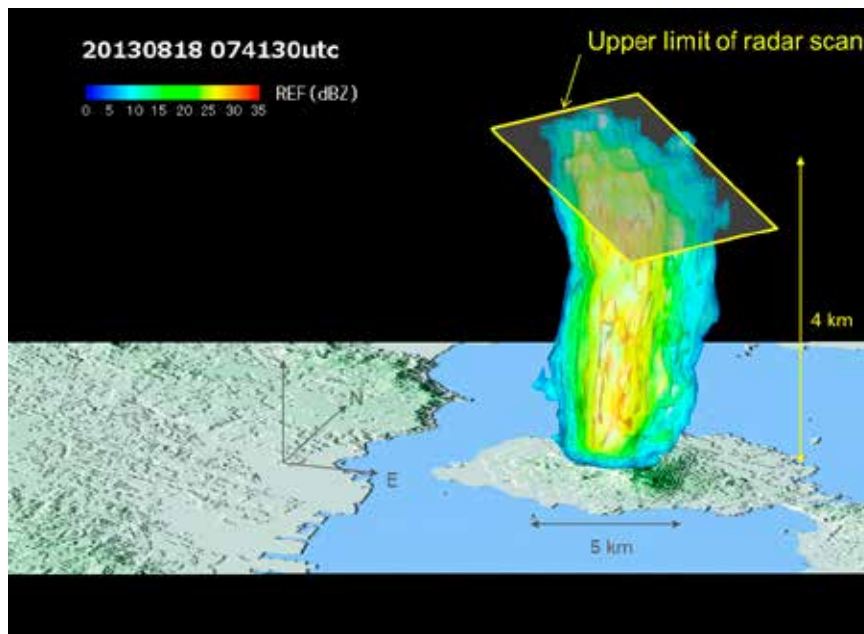


図 4.1.1 噴煙柱のボリュームレンダリング表示。2013年8月18日16時31分噴火、桜島昭和火口、噴煙高度5000m.

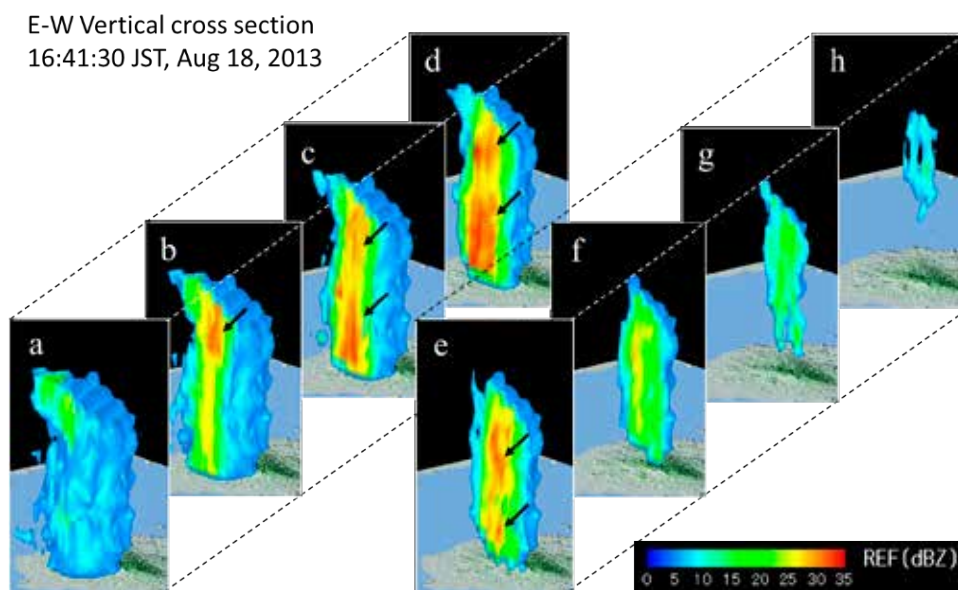


図 4.1.2 噴煙柱の東西断面。2013年8月18日16時31分噴火、桜島昭和火口、噴煙高度5000m.

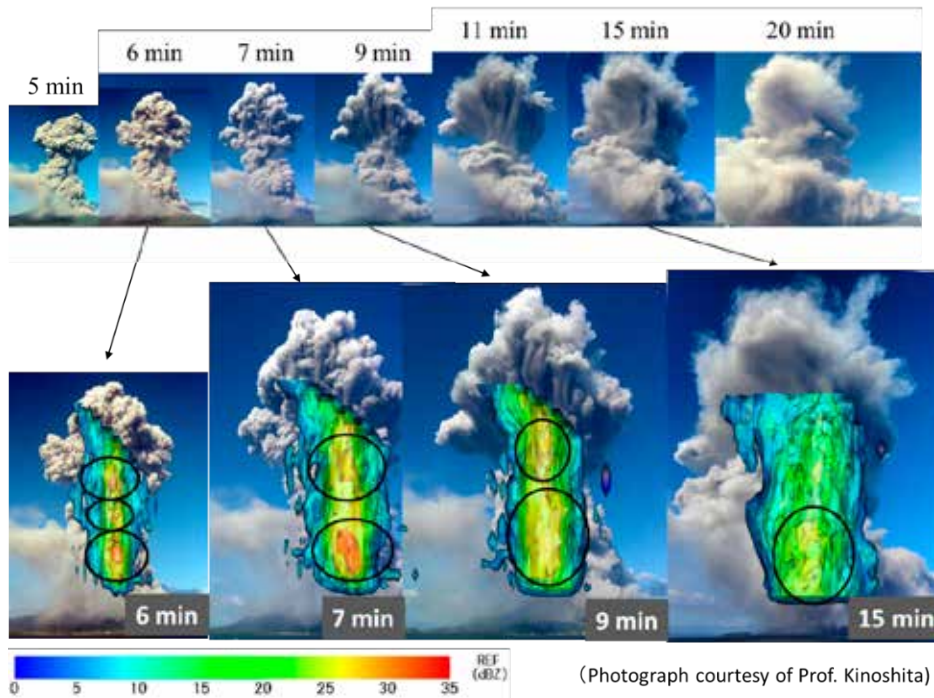


図 4.1.3 写真とレーダ画像の合成. 2013年8月18日16時31分噴火, 桜島昭和火口, 噴煙高度5000m.

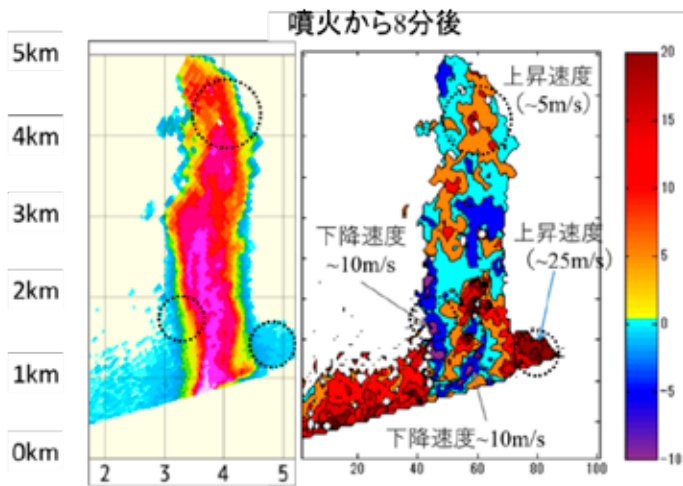


図 4.1.4 防災科学技術研究所のKaバンドドップラーレーダによる噴煙柱のRHI観測. 2015年5月10日13時07分噴火, 桜島昭和火口, 噴煙高度4500m.

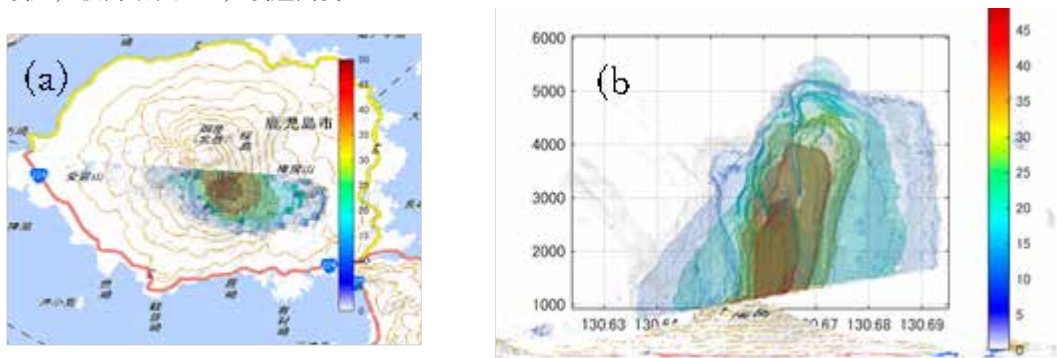


図 4.1.5 京都大学防災研究所の小型XバンドMPレーダによる噴煙柱のRHI観測. 2019年11月8日17時24分噴火, 桜島南岳, 噴煙高度5500m.

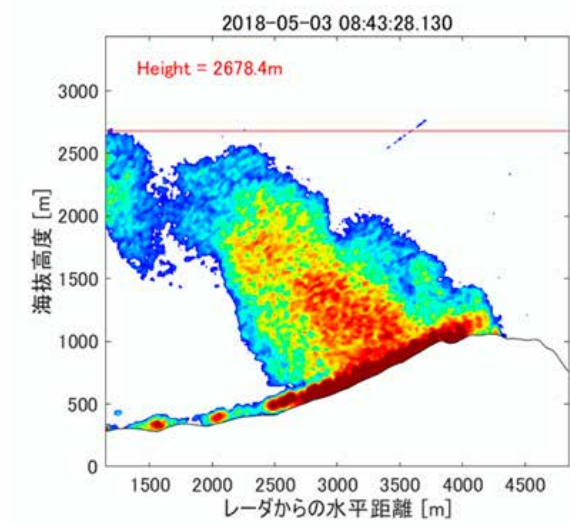


図 4.1.6 2018年5月3日8時40分噴火，桜島南岳.

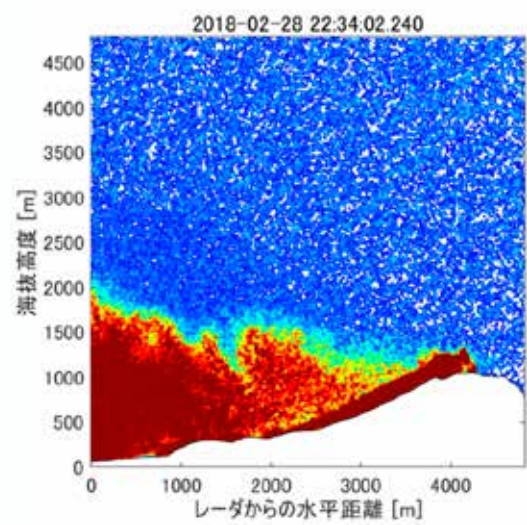


図 4.1.7 2018年2月28日22時30分噴火，桜島南岳

4.2. 降下火砕物

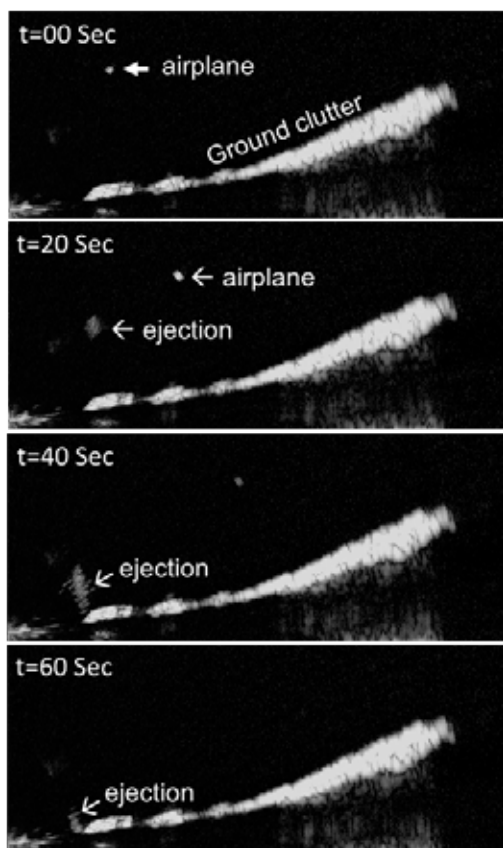


図 4.2.1 2018年3月2日，船舶レーダによる疑似火山礫の検出実験.

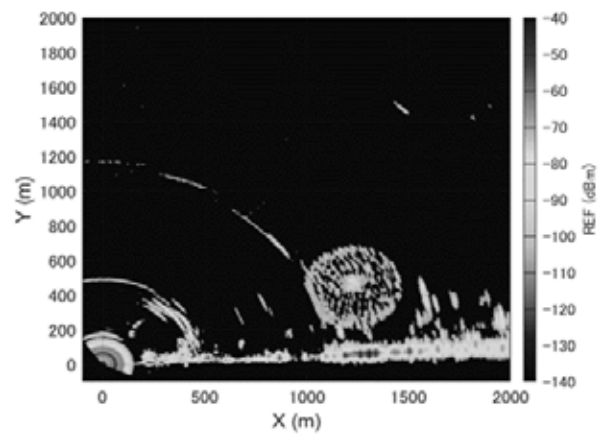


図 4.2.2 2019年8月24日，錦江湾花火大会。
船舶レーダによる検出実験.

4.3. 降灰分布

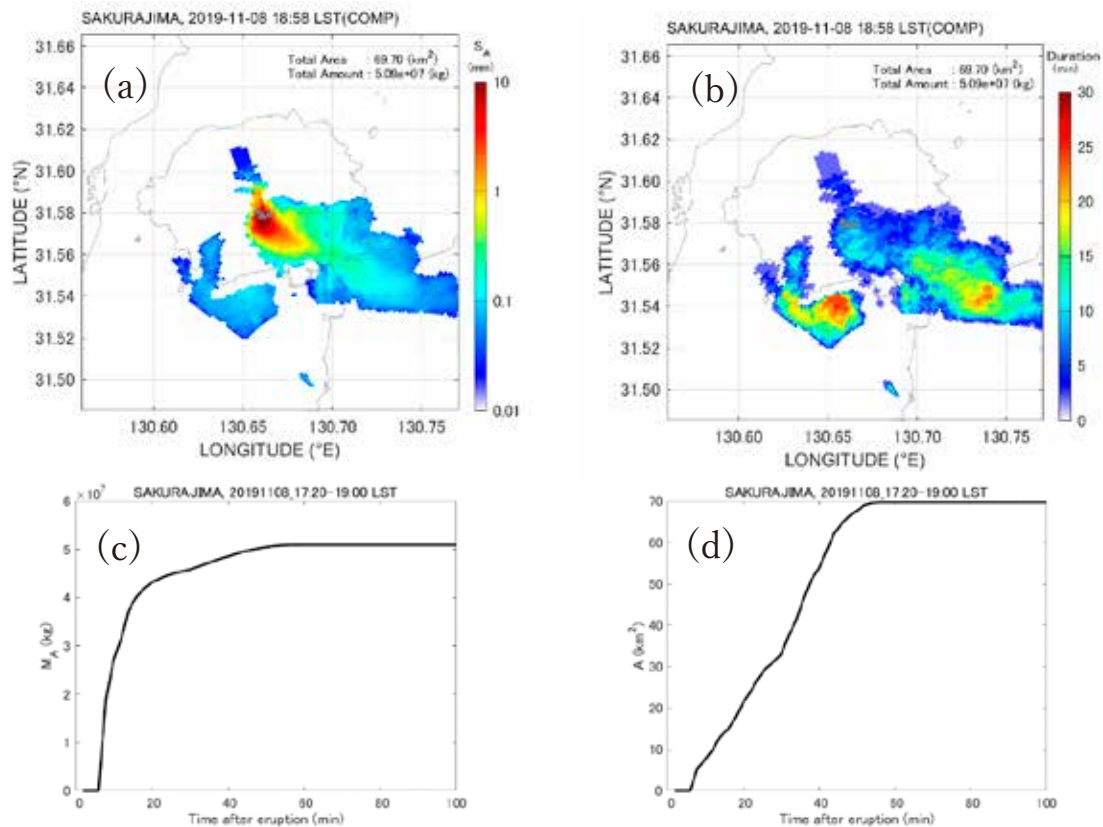


図 4.3.1 データベースに収録予定の降灰量分布情報の例. 2019 年 11 月 8 日 17:24 LST の桜島南岳噴火. (a) 時間積算降灰量の分布, (b) 積算降灰時間の分布, (c) 総降灰量の時間変化, (d) 総降灰面積の時間変化.

垂水 XMP の PPI 観測データを ANT3D (Maki et al., 2021, J. Volcanol Geoterm.) により解析.

5. 今後の展望

個人的な話になるが、気象レーダによる噴煙モニタリングの研究は、筆者が 2013 年 2 月に鹿児島大学に赴任してから始めた研究である。噴煙と積乱雲は似たようなところがあり、筆者の専門であるレーダ気象学の知識と経験を活かすことができた。残念ながら、2022 年 3 月末で鹿児島大学を退職するために、地震火山地域防災センターでのこの研究は一区切りとなる。幸い、4 月からは新たな勤務先である京都大学防災研究所で降灰研究を続けることができるようになった。桜島は火山研究者の観測フィールドとして知られている火山であるが、近年はリモートセンシング、気象分野、災害リスク関係の研究者の関心を集めている火山でもある。噴煙・降灰をキーワードにして、異分野の研究者・実務者コミュニティを立ち上げることができるのではと考えている。本報告で紹介した気象レーダ噴煙モニタリングプラットフォームがそのコミュニティで利用され、大規模噴火時の火山防災に役立てられることを期待したい。

謝辞

噴煙モニタリング研究を進める上で、以下の多くの方（敬称略）の協力を受けました。ここに記して感謝いたします。

- プロジェクト全般：小林哲夫・浅野敏之・地頭菌隆（地震火山地域防災センター長），中谷剛，センター事務職員の皆さん，産学・地域共創センター・知財部門
- ANT3D の開発：Dong-In Lee, Yura Kim, Sung-Ho Suh, (Pukyong National Univ.)，鈴木郁子
- 船舶レーダ機動観測：佐々浩司（高知大学），遠藤寛治（光電製作所）
- Ku バンドレーダ観測：升屋正人・古屋保（学術情報基盤センター），山口博史（住友電設），国交省大隅河川国道事務所，高原町
- Ka バンドレーダ観測：岩波超・前坂剛・Shakti P.C.・平野洪賓・棚田俊收（防災科技研）
- 降灰量推定：福島誠治・水落裕也・高岡蓮（理工学研究科）
- 国交省 MP レーダデータ：国土交通省，DIAS/JISTEC
- 噴煙データ：飯野直子（熊本大学），小園誠史（東北大学）
- 共同研究：井口正人（京都大学防災研究所），佐藤英一（気象庁気象研究所），山路昭彦・中垣壽（日本気象協会），三橋浩治・岡田澄哉（NPO 法人雷嵐）
- 研究の機会と環境：前田芳實・佐野輝（鹿児島大学学長）

参考文献

- Harris, D. M., Rose, W. I. Jr., Roe, R., and M. R. Thompson, 1981: Radar observations of ash eruptions, in the 1980 Eruptions of Mount St. Helens, Washington, edited by P. W. Lipman and D. R. Mullineaux, U.S. Geol. Surv. Prof. Pap. 1250, pp. 323-333.
- Harris, D. M., Rose, W. I., 1983: Estimating particle sizes, concentrations, and total mass of ash in volcanic clouds using weather radar. AGU Publications, 88(C15), 10969-10983. <https://doi.org/10.1029/JC088iC15p10969>
- 今井克之・浦康彦・中川貴央・牛尾知雄・河崎善一郎，2008：高分解能気象レーダーの開発，2008：SEI テクニカルレビュー，第 173 号，105-108.
- 木下紀正，1989：桜島火山噴煙と大気拡散 一序論的考察一．鹿児島大学教育学部研究紀要，自然科学，**41**，1-17.
- 木下紀正・吉田潔，1990：桜島噴煙流の写真解析．鹿児島大学教育学部研究紀要，自然科学，**42**，1-19.
- 木下紀正，2006：フィリピン・マヨン火山の噴火活動を捉える，科学，**76**，1179-1181.
- 木下紀正・八木原寛・金柿主税・三仲啓・土田理・松井智彰・飯野直子・福澄孝博，2008：南西諸島とフィリピン・マヨン火山の噴煙自動観測．南太平洋海域調査研究報告，**49**，29-39. <http://es.educ.kumamoto-u.ac.jp/arist/volc/vcpaperj/OP49Volcr.pdf>
- Lunenburg, R.K., 1944: The Mathematical Theory of Optics, Providence, Rhode Island, Brown University Press. Reprint: Lunenburg, Rudolf Karl (1964). Mathematical Theory of Optics. Berkeley & Los Angeles: University of California Press. p. 401.
- Maki, M., Y. Fujiyoshi, H. Tokushima, and M. Iguchi, 2019b: X-band marine radar detection of ejected lapilli and volcanic blocks. In: Program and abstracts of the 39th international Conference on Radar Meteorology, Nara, Sep. 2019. 5 pp.
- 真木雅之・小堀壮彦・西 隆昭・藤吉康志・徳島秀彦・佐藤英一・井口正人・爲栗 健，2020：船舶

- レーダによる桜島火山の噴煙柱モニタリングー2018年の観測結果ー. 京都大学防災研究所年報, 63B, 136-148.
- Maki, M., Y. Fujiyoshi, H. Tokushima, and M. Iguchi, 2019b: X-band marine radar detection of ejected lapilli and volcanic blocks. *In: Program and abstracts of the 39th international Conference on Radar Meteorology*, Nara, Sep. 2019. 5 pp.
- Maki, M., M. Iguchi, T. Maesaka, T. Miwa, T. Tanada, T. Kozono, T. Momotani, A. Yamaji, and I. Kakimoto, 2016: Preliminary Results of Weather Radar Observations of Sakurajima Volcanic Smoke. *J. Disast. Res.*, **11**, 15-30.
- Maki, M., and Y. Kim, 2021: Visualizing weather radar data from volcanic eruption clouds. *Data in Brief*, **35**, <https://doi.org/10.1016/j.dib.2021.106942>
- Maki, M., Y. Kim, T. Kobori, K. Hirano, D.-I. Lee, M. Iguchi, 2021a: Analyses of three-dimensional weather radar data from volcanic eruption clouds. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **412**, <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2021.107178>
- Maki, M. and T. Kobori, 2021: Construction of three-dimensional weather radar data from volcanic eruption clouds. *MethodsX*, **8**, <https://doi.org/10.1016/j.mex.2021.101535>
- 真木雅之・鈴木郁子・井口正人・Shakti P.C., 2019: 気象レーダによる降灰量推定ー2013年8月18日桜島噴火のZ-R_A関係式ー. 火山, **64**, 219-241
- 真木雅之・西隆昭・小堀壮彦・徳島秀彦・海賀和彦・遠藤寛治, 2019: Xバンド船舶レーダを用いた火山噴火の機動的観測. 鹿児島大学地震火山地域防災センターR01年度事業報告書.
- 真木雅之・高橋忍・岡田澄哉, 2018: 火山観測用Kuバンド高速スキャンレーダ. 地震火山地域防災センター平成29年度事業報告.
- Maki, M., S. Takahashi, S. Okada, K. Imai, H. Yamaguchi, 2019a: Ku-band high-speed scanning Doppler radar for volcanic eruption monitoring. *J. Disast. Res.*, **14**, 630-640. <https://doi.org/10.20965/jdr.2019.p0630>
- 真木雅之・上田博・中北英一, 2017: Xバンド偏波レーダーによる降水観測技術の開発及び社会実装ー2016年度岸保賞受賞記念講演ー. 天気, **64**, 849-872.
- Yoshikawa, E., 2011: A Study of Meteorological Radar Network at Ku-band with High Resolution. Doctoral Thesis, Osaka Univ., <http://ir.library.osaka-u.ac.jp/dspace/handle/11094/1398>
- Yoshikawa, E., S. Kida, S. Yoshida, T. Morimoto, T. Ushio, and Z. Kawasaki, 2010: Vertical structure of raindrop size distribution in lower atmospheric boundary layer. *Geophys. Res. Lett.*, **37**, L20802, doi:10.1029/2010GL045174.
- Suh, S.-H., M. Maki, M. Iguchi, D.-I. Lee, A. Yamaji, and T. Momotani 2019: Free-fall experiments of volcanic ash particles using a 2-D video disdrometer. *Atmos. Meas. Tech. Discuss.*, **12**, 5363–5379. doi:10.5194/amt-12-5363-2019

付録 A 気象レーダによる噴煙観測の歴史

表 A-1 現業気象レーダによる噴煙観測のレビュー

Operational weather radar	Volcano	Year	References
Unknown	Hekla, Iceland	1970	Smithsonian Glob.Volc. prog.
C-band, Kushiro	Chachadake	1973	JMA
S-, WSR-74, King Salmon	Augustine, Alaska	1976	Kienle and Shaw (1979)
C-, Sapporo	Usu, Japan	1977	JMA
C-, WSR-74, Portland L-, FAA, Seattle, Spokane	Mt. St. Helen	1980,1982	Harris et al. (1981); Harris and Rose (1983)
:	:	:	:
C-, Pol., C-, Shizuoka	Miyakejima, Japan	2000	Maki and Doviak (2001); Sawada (2004)
C-, Sgonella	Etna, Italy	2002	Marzano et al. (2006a)
C-, IMO Keflavik	Grimsvotn, Iceland	2004	Marzano et al. (2006a, 2010a)
S-, WSR-88D	Augustine, USA	2006	Wood et al (2007); Marzano et al. (2009, 2010b)
C-, Dop., Tanegashima; C- C-. Pol., Kunimiyama	Shinmoedake, Japan	2011	Shimbori et al (2013); Maki et al (2014)
C-, IMO, Keflavik	Eyjafjallajokull	2011	Marzano et al. (2011)
X-, Pol, Tarumizu	Sakurajima, Japan	2013-	Maki et al. (2014, 2016, 2021)

表 A-2 研究用気象レーダによる噴煙観測のレビュー

Radar (Main specifications)	Volcano	Year	References
Modified Micro rain radar (Doppler, Pointing, K-)	Stromboli, Italy	1996, 2000, 2001,2008, 2011	Hort and Seyfried (1998); Urbanski et al. (2002); Hort et al. (2003); Scharff et al. (2008); Hort et al. (2010); Hort et al. (2013)
	Merapi, Indonesia	2001-2006	Voge et al. (2005); Hort et al. (2006); Voge and Hort (2008a, b, 2009)
	Mt. Erebus, Antarctica	2005/06	Cerst et al. (2008, 2013)
	Santiaguito, Guatemala	2007	Scharff et al. (2012, 2014)
	Colima, Mexico	2007-	Scharff(2012)
	Yasur, Vanuatu	2008	Meier (2014)
VOLDRAD (L-, Doppler, Pointing)	Etna, Italy	1998, 2001	Dubosclard et al. (1999, 2004) Donnadiou et al. (2005), Gouhier and Donnadiou (2008, 2010, 2011)
VOLDRAD2(L-, Doppler, Pointing)	Arenal, Costa Rica	2004, 2005	Valade and Donnadiou (2011), Donnadiou et al. (2011); Valade et al. (2012)
	Popocatepetl, Mexico	2004-2008	Donnadiou et al. (2012) Donnadiou (2012)

VOLDRAD2B	Yasur, Vanuatu	2009-	Donnadieu (2012); Gouhier et al. (2012a, b),
Mobile(X, Dop, scanning)	Sakurajima, Japan	2011	Sakai et al. (2013)
MP-Ka(Dop, scan, NIED)	Sakurajima, Japan	2015	Maki et al. (2016)
KuRAD(Dop, rapid scan, KGU),	Sakurajima etc. Japan	2017-	Maki et al. (2019)
MP-X (Pol., Scan, MRI)	Sakurajima. Japan	2017-	MRI/JMA
Small MP-X(Pol, Scan, DPRI)	Sakurajima et al., Japan	2017-	DPRI/Kyoto Univ.
Marine (X-, RHI, 48 rpm)	Sakurajima, Japan	2018, 2019, 2021-	Maki et al. (2020)
Marine(X-, Dop., RHI, 24 rpm, solid)	Sakurajima, Japan	2021-	Maki (2022, in the present report)

付録 B 噴煙研究プロジェクト一覧

本報告で紹介した研究成果は、学内の研究協力者および学外の研究機関との連携のもとで得られた。研究費等の支援を受けた研究プロジェクトを表 B-1 にまとめた。

表 B-1 噴煙モニタリングプラットフォームの開発と関連した研究プロジェクト

年度	研究テーマ (期間)	分類
2013-2014	気象レーダによる噴煙の実態解明と火山防災	共同研究 (京大防災研)
2013-2015	南九州地方における地域防災支援データベースの構築	委託研究 (防災科研/文科省)
2013-2015	気象レーダによる極端現象の監視と予測に関する研究	共同研究 (防災科研)
2013-2016	火山灰のレーダ散乱特性に関する研究	科研費 A (分担, 文科省)
2016-2019	降水時の爆発的火山噴火に関するレーダ気象学的研究	科研費 B (代表, 文科省)
2018-2019	船舶レーダによる機動的火山噴火監視技術の確立と火山防災への利用	共同研究 (京大防災研)
2016-2020	リモートセンシングによる火山灰放出量の即時把握技術/次世代火山研究と人材育成	委託研究 (京大防災研/文科省)
2018-2020	小型高精度マイクロ波レーダによる局地観測とその応用に関する共同研究	共同研究 (NPO 法人雷嵐)
2013-2021	MP レーダの観測精度向上と短時間予測に関する研究	共同研究 (日本気象協会)
2014-2021	気象レーダーを活用した火山噴煙に関する研究	共同研究 (気象研究所)
2016-2021	大規模火山噴火にレジリエントな地域社会の実現に向けた防災減災の取り組み	運営費交付金 (鹿大)
2018-2022	機動的レーダ観測による火口域降灰分布解析手法の開発/ 国家レジリエンス (防災・減災) の強化	委託研究 (内閣府)

降灰リアルタイムハザードマップ作成手法の検討（最終報）

地震火山地域防災センター 中谷 剛

1. はじめに

火山災害の中で火砕流、溶岩流や噴石等の現象は、直接的に人命を損なう大きな破壊力を持つが、その影響範囲は火山の周辺に限定される特徴がある。一方で最も影響範囲が広いのが降下火砕物（いわゆる降灰）による被害で、噴火の規模によって数 100km に及ぶ。社会や生活への影響が大きく、例えば、微量な降灰であっても鉄道の運行は停止し、上水道は水質低下による断水の可能性がある。3mm 程度の降灰でも降雨時は漏電が発生しやすくなり停電の可能性が高まる。さらに、10cm 程度の降灰で自動車での通行が不能となり、30cm の降灰（湿潤）では木造家屋倒壊の可能性も指摘¹⁾ されている。また豪雨時には、降灰堆積が押し流されて発生する泥流や、堆積した火山灰によって河積阻害を起こした河川からの出水、軽石火山灰の堆積による道路側溝や下水道閉塞による内水氾濫などへの影響が考えられ、こうした複合災害が長期化する可能性もある。

こうした降灰被害への備えには、次のような難しさがある。第一は、もともと大規模噴火は稀な自然現象で、現在の私たちには被災経験がないことである。最も活発な火山と言われる桜島の場合でも、直近の大規模噴火は 1914 年の大正噴火にまで遡る。大正噴火についてはかなり詳細な記録が残されているが、この 108 年間に私たちの日常や社会のあり方が大きく変容した。いま大規模噴火が起きた場合、どのような被害が社会や生活に及ぶのかは想像するしかない。第二は、例えば洪水による浸水範囲や浸水深は地形的要因が支配的なので、土地の低い場所や河川の近くなど危険箇所を事前に把握できるが、降灰の影響範囲や降灰量はその時の気象条件（風向・風速）に左右されるため、事前の被害想定が難しいことである。

このような降灰被害対策の困難さに対応するためには、予想される降灰堆積深といったハザード情報だけでなく、その結果引き起こされる災害リスクを可視化できる降灰リアルタイムハザードマップが望まれる。そのような視点に立って令和元年度報告書（第一報）では、社会が内包する脆弱性による災害リスクを可視化することを目的に、降灰堆積深が 1m を超えると想定される鹿児島市の地域を対象として、GIS を利用した「倒壊した場合に道路閉塞を起こす木造住宅マップ」や「孤立する後期高齢者分布マップ」の作成手法について報告した。また、令和 2 年度報告書（第二報）では、降灰シミュレーションモデルを構築し、1 年間にわたる風向風速の観測値を利用した降灰計算による最大堆積深に基づく「2020 年版降灰ハザードマップ」を作成し報告した。

降灰シミュレーションでは観測された風向風速を利用したが、例えば数日後の風向風速の予測値を利用することで、近未来の大規模噴火を想定した降灰シミュレーションができる。同様に、これまで災害リスク評価は GIS ソフトを利用してマニュアルで実施してきたが、その手法や GIS による処理プロセスがわかってきたので、災害リスク評価をプログラミングすることが可能になった。そこで今年度はこれまでの研究成果を統合し、風向風速の予測値をオンラインで取得し降灰計算に利用することで、数日先の降灰堆積深分布や災害リスクを可視化できる降灰リアルタイムハザードマップシステムを開発した。2021 年 7 月よりシステムの試験的運用を開始したので報告する。

2. 降灰リアルタイムシミュレーションモデルの概要

桜島には多数の観測器が設置されていることから、数日～数週間前に大規模噴火の予兆を捉えることは可能だとされている。しかし噴火そのものの予測は困難である。また、仮に大規模噴火発生直後から降灰シミュレーションを実施するとしても、そのようなシステムを構築するには技術的課題がまだ多く現実的ではない。そこで、大正噴火級の大規模噴火を現在時刻の 2 日後及び 1.5 日後に想定し、それぞれの噴火から 18 時間後の降灰堆積深分布を計算することを 6 時間毎に更新しながら 24 時間連続で継続する待ち受け型の計算を行うことにする。一般的にリアルタイム

計算というと大規模噴火の発生直後から降灰シミュレーションを実施することを想像するが、ここでは待ち受け計算によって、防災担当者に必要な時に必要な情報が届けられているという意味で、リアルタイムシミュレーションと呼ぶことにする。

待ち受け型計算の風向風速データには、気象庁数値予報モデル GPV (GSM 日本域) を利用する。気象庁では、地球大気や海洋・陸地の状態の変化を数値シミュレーションによって予測している。この計算に用いるコンピュータープログラムを「数値予報モデル」と呼んでいる。数値予報モデルは、その予測領域と格子間隔、予測期間などによって幾つかのモデルがあるが、本研究では予測期間の長い全球数値予報モデル GSM (日本域) を利用した。GSM と計算格子の関係を図 1 に示した。

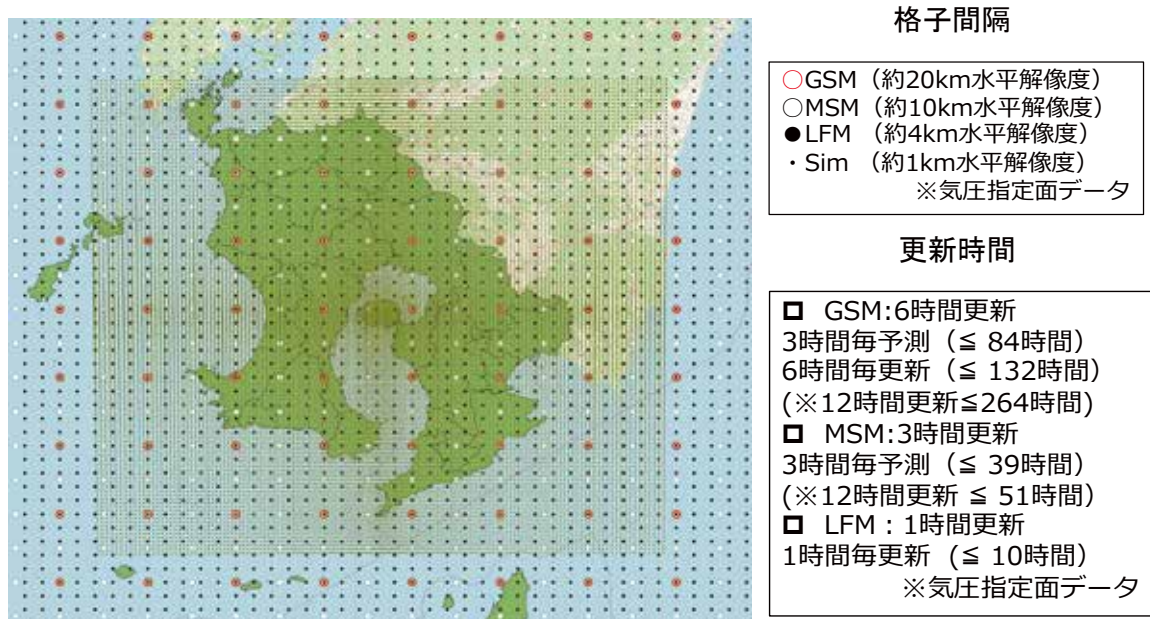


図 1 GPV と降灰計算の格子間隔

降灰シミュレーションモデルは、以下の 2 次元移流拡散方程式を基礎方程式²⁾とした。鉛直方向の運動方程式は考慮していないが、火砕物の降下速度を導入することで 3 次元的な降灰計算を可能にしている。

$$\frac{\partial C_L}{\partial t} + W_x \frac{\partial C_L}{\partial x} + W_y \frac{\partial C_L}{\partial y} - w_{s,L} \frac{\partial (C_L)}{\partial z} = K_x \frac{\partial^2 C_L}{\partial x^2} + K_y \frac{\partial^2 C_L}{\partial y^2} + C * L_{source} \quad (1)$$

ここに、 C_L は粒径別の火砕物濃度、 W_x, W_y はそれぞれ水平、垂直方向の風速、 $w_{s,L}$ は粒径別降下速度、 K_x, K_y は拡散係数、 $C_{L, source}$ は単位時間あたりに放出される粒径別噴煙量で、噴煙高度から噴出量を算出し、次の Suzuki 式³⁾ で鉛直分布を与える。

$$S(z) = S_0 \left\{ \left(1 - \frac{z}{H} \right) \exp \left[A \left(\frac{z}{H} - 1 \right) \right] \right\}^\lambda \quad (2)$$

ここに、 S_0 : 規格化係数、 H : 噴煙柱高度、 A, λ : Suzuki 係数で本研究では標準値 $A=4, \lambda=2$ を与えた。

降下速度 $w_{s,L}$ は、火砕物粒子に働く重力と空気抵抗力のつり合いで決まるが、大気密度や粘性が高度 z や気温の関数となり、抵抗力係数が粒径や降下速度で記述される Reynolds 数の関数とな

るため、粒径ごとの降下速度は標準大気 (U.S. standard atmosphere, 1976) を仮定して算出した。計算に使用する粒径分布は、 Φ スケールで-5 から 5 の 11 粒径(32mm~0.03125mm)とし、標準偏差 $\sigma_\phi=2$ 、平均値 $\mu=-1$ (2mm)となる粒径分布を与えた。2mm 以上の粒径を軽石、それ以下を火山灰とした。

噴火想定規模は、大正噴火級とした。大正噴火は噴煙高度を変化させながら約 39 時間継続している⁴⁾。大正噴火時の噴煙高度の時間変化は図 2 の実線に示すようである。降灰シミュレーションでは、図中の棒グラフのように 1 時間毎の噴煙高度は一定として計算した。一般的に、噴煙高度を H (m)、単位時間当たりの噴出量を ΔM (kg/s) とすると、両者の関係には以下の経験式が提案されている⁵⁾。

$$H(m) = 320(\Delta M)^{0.25}(\text{kg/s}) \quad (3)$$

大正噴火における軽石・火山灰の総噴出量は 4.5~6 億 m^3 であることが報告されている^{6), 7)} ので、本研究では総噴出量を 6 億 m^3 と設定し、(3) 式に図 2 に示した噴煙高度 H の時間変化を与えて得られる総噴出量が 6 億 m^3 となるように補正して 1 時間ごとの ΔM (噴出量) を求めている。図 3 に降灰リアルタイムシミュレーションモデルの概要を示した。

降灰リアルタイムシミュレーションでは、3 次元的に計算格子を配置して 2 次元移流拡散方程式を差分法で解いている。計算領域は鹿児島県本土全域の約 150km 四方で、大正噴火級の大噴火を扱えるように高度 1500m ~20000m までを計算対象とした。また、2015 年以降は昭和火口からの噴火回数は減少し、2019 年からは 0 回 (気象庁) となっていることから、噴火口の想定位置を南岳山頂火口とした。

降灰リアルタイムハザードマップシステムの運用については、噴火の 42 時間前に高齢者等の避

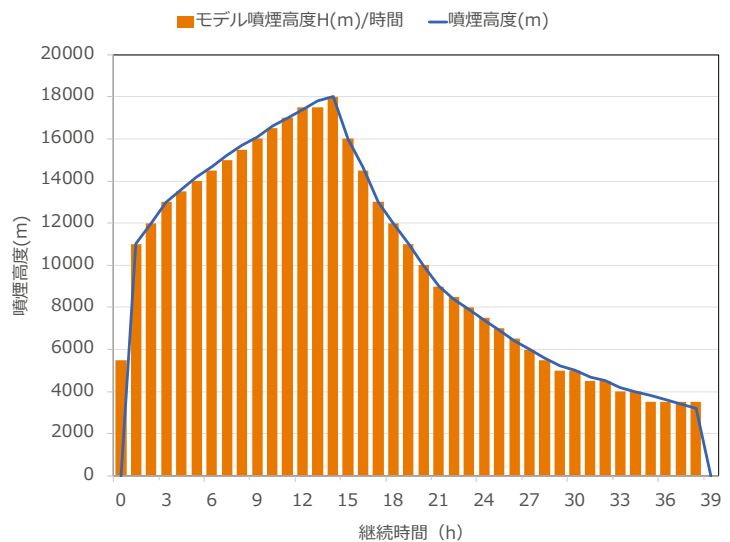


図 2 噴煙高度の時間変化 (大正噴火)

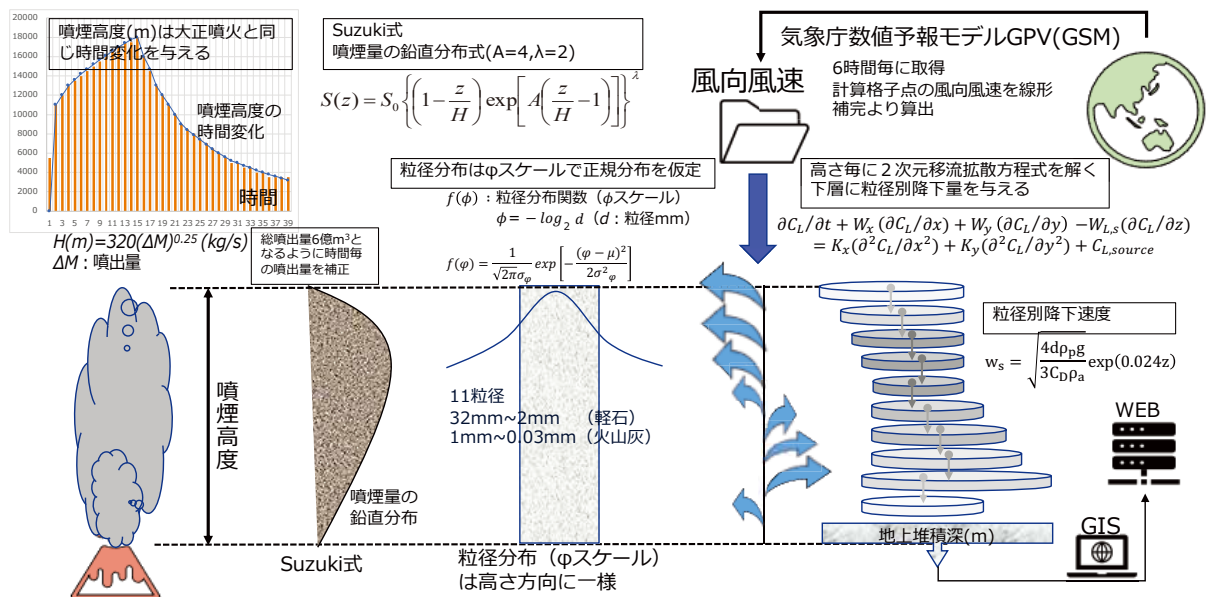


図 3 降灰リアルタイムシミュレーションモデルの概要

難、及び噴火の30時間前に避難指示の発令を想定した。さらに避難判断のリードタイムを確保するため、また気象庁数値予報モデルGPV(GSM日本域)の風向風速の予測値の更新が6時間間隔であることから、現時刻から6時間以内(意思決定プロセスを含む)に情報提供が可能となるような運用を前提とした。6時間の内訳は、GPVデータの取得に2時間、降灰シミュレーションに2時間、情報提供及び意思決定に2時間とした。そのため、現時刻から36時間後に噴火を想定し、その後18時間先の予測堆積深を6時間以内に提供する30時間前予測情報と、現時刻から48時間後に噴火を想定し、その後18時間先の予測堆積深を6時間以内に提供する42時間前予測情報を作成する必要がある。これらの要件を満たし2時間以内に計算を終了できるように、水平方向の計算格子間隔は桜島周辺が700m、計算領域端付近が1400mとなる不等間隔格子を採用した。また、高さ方向は1000m間隔とし、噴火から18時間先の予測堆積深を求めることで計算時間を短縮した。なお、18時間後の予測堆積深は48時間後の予測堆積深の概ね80~90%程度であることが既存の検討からわかっている。表1に、降灰リアルタイムシミュレーションの運用イメージを示した。また表2に、昨年度までの降灰ハザードマップを作成したシミュレーションモデルの諸元と今回のモデルの比較を示した。

表1 降灰リアルタイムシミュレーションの運用イメージ

予測時間	0	1	2	3	4	5	6	7	8	~	33	34	35	36	37	38	~	48	49	50	51	52	53	~	63	64	65
GSM00UTC (6時間更新)	GPV取得	計算	意思決定	リードタイム30時間												噴火	18時間後の降灰深										
	GPV取得	計算	意思決定	リードタイム42時間												噴火	18時間後の降灰深										

表2 降灰リアルタイムシミュレーションモデルの諸元

項目	降灰ハザードマップ(既存)	降灰リアルタイムハザードマップ
噴火規模	大正噴火級	→
基礎方程式	2次元移流拡散方程式	→
計算範囲	150km 四方(鹿児島県本土域)	→
計算高度	20km	20km
水平解像度	500m~1330m	700m~1400m
垂直解像度(高度方向)	500m	1000m
計算時間間隔	$\Delta t=2\text{sec}$	$\Delta t=4\text{sec}$
風向風速の解像度	鹿児島気象台1地点	GSM20km 四方(指定気圧面)
風向風速の更新時間	12時間	6時間
計算結果	48時間後の堆積深	18時間後の堆積深
必要な総計算時間(1ケース)	約53時間	約2時間
備考		2日後及び1.5日後に噴火を想定した計算を同時に実施

3. 降灰リアルタイムハザードマップシステムの概要

システム全体のOSには、Ubuntu20.04LTSを利用した。気象庁数値予報モデルGPV(GSM日本域)の風向風速データをオンラインで取得するプログラムは、Python3.6で記述した、数値予報モデルGPVの気象データは、世界気象機関WMOが定める国際気象通報式FM92GRIB二進形式格子点資料気象通報式(第2版)(略称:GRIB2)というフォーマットが採用されている。これらのデータを降灰シミュレーションに取り込んで計算ができるように処理するために、wgrib2(米国海洋大気庁NOAAが提供しているGRIB2処理プログラム)を利用した。降灰シミュレーションのメインプログラムはGFortranを採用した。降灰計算結果から災害リスクとして、堆積深が10cm以上のエリア内人口及び世帯数(2015年国勢調査)と、65歳以上の高齢者人口及び高齢者の一人世帯数・夫婦世帯数の情報を抽出している。図4にはGISによる人口・世帯数の抽出方法の手順を示した。同様な手法で、通行できない区間があると推定される道路名を抽出している。また、堆積深が30cm以上のエリア内を流下する河川を、降灰による河積阻害によって一時的に治水安全度が低下する河川として抽出している。これらのGIS処理はPython、GDAL、GeoPandas

などの言語で記述したプログラムを作成して自動化している。これらの結果をわかりやすく表示する目的で、鹿児島大学内に公関係 WEB サーバー（仮想環境）を整備し、閲覧サイトを構築した。本システムでは複数の開発言語を使用しているが、いずれもオープンソースなものを採用した。また、GIS データや表示用の背景地図等についても、GIS ホームページ（国交省：<https://nlftp.mlit.go.jp/index.html>）、e-Stat（統計で見る日本：<https://www.e-stat.go.jp/>）、及び国土地理院（<https://www.gsi.go.jp/top.html>）など、無料で公開されているデータを利用している。図5に降灰リアルタイムハザードマップシステムの概要を示した。また、図6には、降灰リアルタイムハザードマップのイメージを示した。

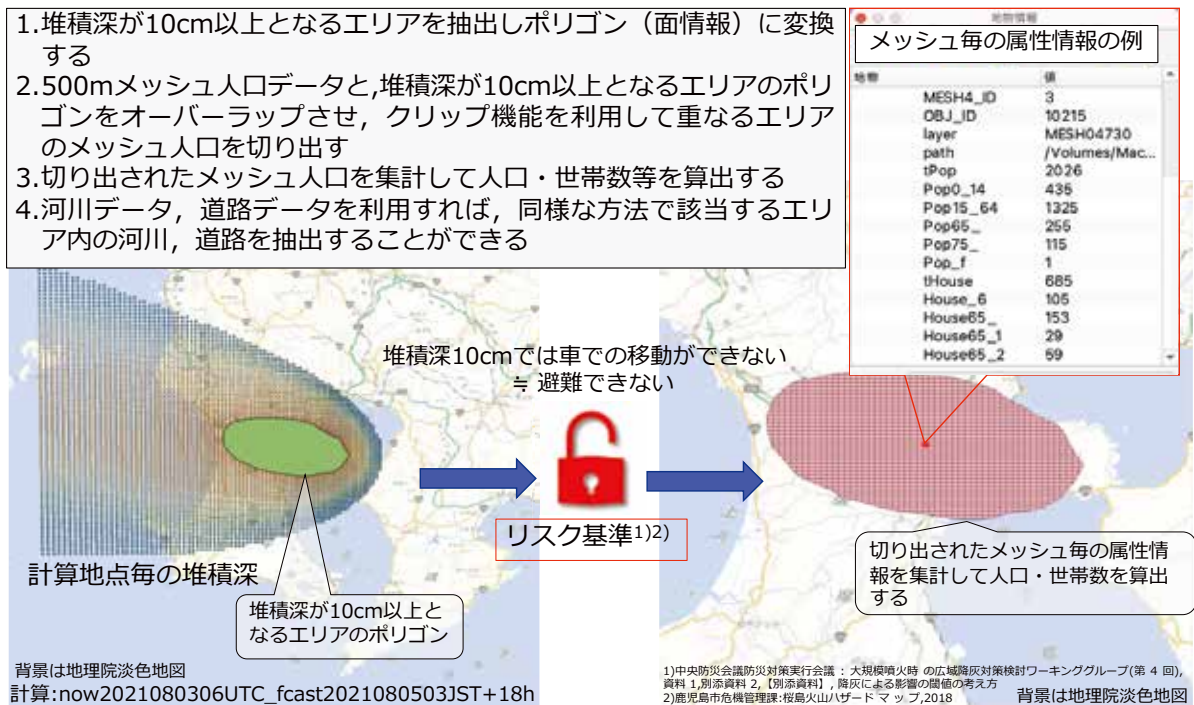


図4 GISによる人口・世帯数の抽出手順

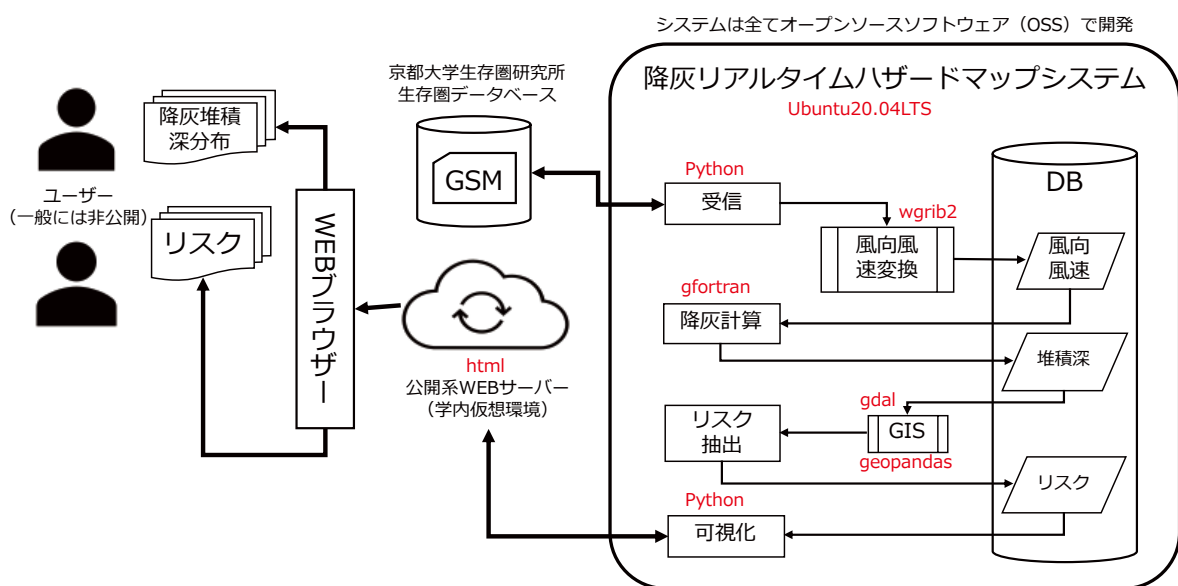


図5 降灰リアルタイムハザードマップシステム概要

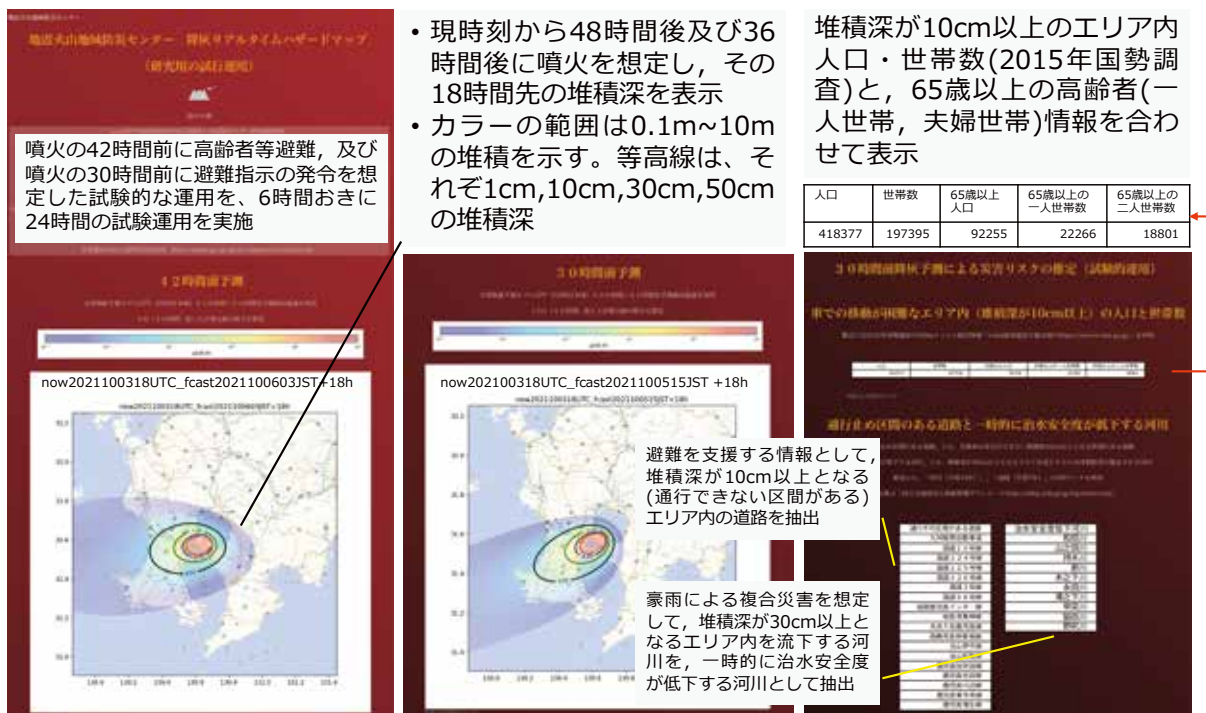


図6 降灰リアルタイムハザードマップ

4. 降灰予測情報の一般公開への課題

降灰リアルタイムハザードマップは自治体の防災担当者だけでなく、市民や民間企業のBCPにも有効だと考えられる。しかし台風の進路予測とは異なり、実際には起きていない大規模噴火が「もし」起きたら、という情報になっている。このような新しい情報を提供する場合には、ユーザーがどのようにしてこの情報を活用できるのかということ併せて検討する必要がある。そこで、将来的に一般市民へ情報公開を行う場合の課題抽出を行う目的で、気象予報士会鹿児島支部の会員の方々に期間限定で降灰リアルタイムハザードマップを閲覧して頂き、情報利用の可能性や課題等について自由記述式アンケート調査にご協力を頂いた。気象予報士の方々は気象一般に関する知識が豊富で、予測された降灰堆積深が示す意味を的確に理解できる。また、会員は多様な職業に就いており、防災にも関わっている方もおられることから、このような新しい情報の活用について共同研究を行う最適な方々である。

公開期間は、2020の8月1日～31日とした。図7に、2020年2月と8月の毎日午前9時に観測(気象庁鹿児島气象台)された風向風速を示した。図の角度は北を0°とし右回りに風向を示している。また、半径方向は風速の大きさを示している。図中の丸印は高度別に観測された風向風速を示している。偏西風が卓越する2月は、西寄りの強い風をどの高度でも観測していることがわかる。偏西風の勢力が弱まる8月は全方向の風向が観測されている。このうちの数日間に桜島が大規模噴火すれば、鹿児島市などが位置する桜島の西側の地域でも大きな降灰被害を被ることとなりやすく、鹿児島市にとって8月は降灰リスクが高まる期間となっている。実際に、2020年の1年間を通した降灰シミュレーションの結果によると、鹿児島中央駅付近の堆積深が大きい上位10ケースの内、9位までが8月に集中していることがわかっている。

公開する情報としては、現在時刻から1.5日(36時間)後に噴火を想定し、その先18時間後の堆積深分布図とした。なお、風向風速データを取得してから情報を提供するまでに6時間の計算時間が必要なことから、公開情報としては「30時間前降灰予測情報」とした。図8に公開したWebサイトのコンテンツ例を示した。表3に、アンケート調査の結果を取りまとめて整理した。アンケート調査の結果から、降灰予測情報の利用可能性が示唆されると同時に、降灰被害の経験がなく降灰そのものへの認知不足等から、情報公開がなされる前に一般市民への防災教育・啓発による理解度の向上などが先行されなければならないという課題があることがわかった。

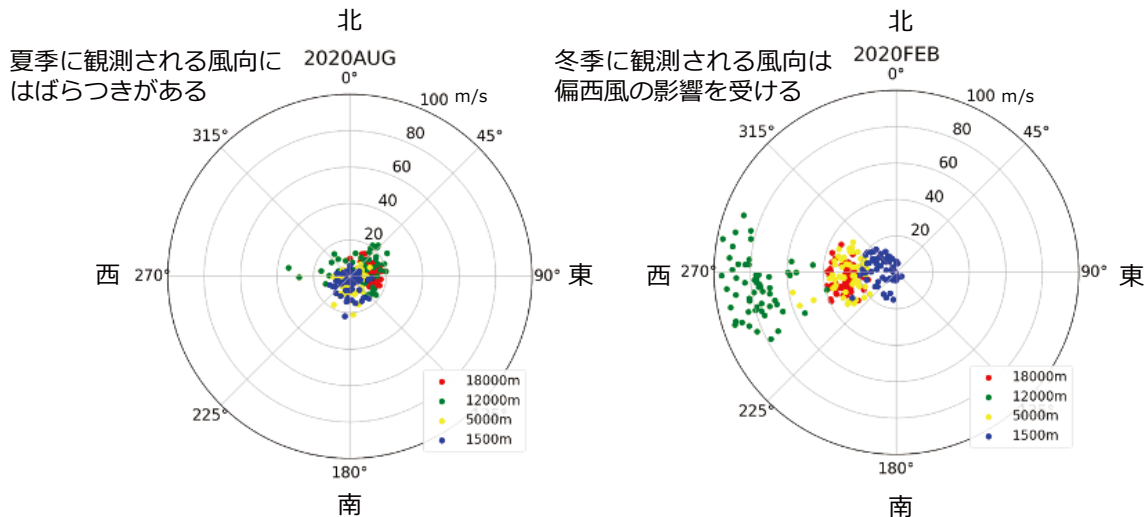


図7 2020年2月と8月に観測された風向風速（鹿児島气象台）



図8 アンケート調査用の公開コンテンツ例

表3 アンケート調査の取りまとめ

Keywords	2021年8月_降灰リアルタイムHM閲覧コメントの整理
避難	日々更新される降灰量予想をもとに、避難ルート選定のシミュレーションを日々行うことができるのではないかと思います。 シナリオ通りにいかないのが火山の噴火だと思います。ありとあらゆるシナリオを想定する必要があると感じます。 風向きが変わりやすいこと、灰が遠くまで飛ぶ場合があることがよくわかります。風向き、飛散エリアの予想をもとに、九州南部（鹿児島・宮崎・熊本）の自治体が広域連携して、避難を考える必要があると感じました。 視程障害により自動車自体は走行できるが前が見えず運転が出来なくなるのはどのくらいの堆積深だと視程障害になる？というのもあっていいと思います。
ライフライン	このような降灰により都市機能が停止した場合、どのような影響が考えられるか、電気・水道事業者の対策を調べてみようと思いました。 防災関係者、一般市民が使用する情報網が遮断されるおそれがあります。携帯電話、光回線、無線、放送電波などの維持・復旧に関して、検討が必要だと思います。 シミュレーションをもとに、機能不全になるライフラインをリストでまとめる必要があると感じます。空路、陸路、海路、電気、水・食料などが断たれて、避難や避難後生活が成り立たなくなる可能性があります。 海上浮遊物（軽石）の量がどれくらいあるのか？ どのような影響があるのか？ 考える必要があると感じます。
教育	視覚的なシミュレーションとしてこのようなものが作れるのではないのでしょうか。 https://m.youtube.com/watch?v=dY_3ggKg0Bc (A Day in Pompeii - Full-length animation) 子どもも、大人も、遊んで、学んで、考えられる、防災カードゲームが開発できたらよいかもかもしれません。 シミュレーションをもとに、降ってくる軽石の重さ、スピード、熱さ、歩きにくさなどを、リアルに体感・実験できる施設や企画展などがあると、市民の理解が深まりやすくなると思います。見たり、触れたりして、実感できるものが大事だと思います。 大量の降灰については過去やほかの地域での経験がほとんどないと考えられます。一般住民が降灰堆積深予測情報を防災行動にどう役立てるか理解が進んでいない中での情報公開には疑問がある。
被害軽減	建築物が軽石の飛来・堆積に対応し、新築する場合の参考になるようなガイドラインを設ける必要がある。行政・病院・避難所などの窓ガラスが、飛来する軽石で割れないようにする。木造民家が軽石の堆積で倒壊しないよう、構造的に強化する、雪国のように屋根に傾斜があるタイプにする。

5. おわりに

図9に示すように、桜島は日常的にも爆発的噴火を繰り返している活発な火山であり、その10km圏内には人60万人都市の鹿児島市中心市街地があることから、大規模噴火時には降灰による被害が懸念される。本研究で紹介した降灰リアルタイムハザードマップシステムをうまく活用することで、被害軽減につながることを期待できる。

技術的に残されている課題としては、噴火規模が大正噴火級に固定されていることがある。噴火想定規模への柔軟なシステム対応が望まれる。実用面での課題としては、こうした情報を誰が継続的に作成し維持管理を行うのかという運用面での課題がある。予測情報を広く一般に公開することは、気象業務法により制限があることを含め、今後は研究成果の出口戦略の検討が必要になると考えられる。

最後に、研究に用いたGPVは、気象庁のオリジナルデータを京都大学生存圏研究所が運営する生存圏データベースによって収集・配布されたものを利用した (<http://database.rish.kyoto-u.ac.jp>)。ここに記して感謝を表します。また、本研究にご協力頂いた気象予報士会鹿児島支部及びコメントを寄せて頂いた会員の皆様に感謝の意を表します。

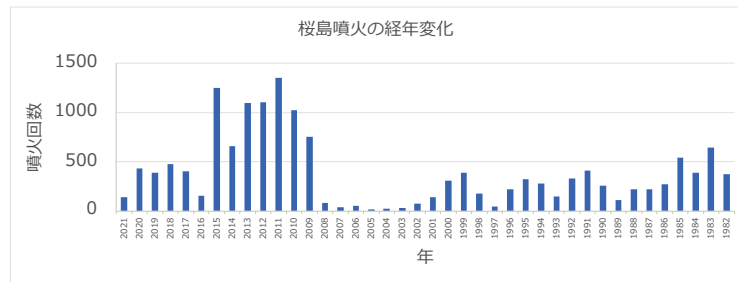


図9 桜島の噴火回数の経年変化（鹿児島気象台）

参考文献

- 1) 中央防災会議防災対策実行会議:大規模噴火時の広域降灰対策検討ワーキンググループ(令和2年4月),「大規模噴火時の広域降灰対策について-首都圏における降灰の影響と対策-~富士山噴火をモデルケースに~(報告),2020.
- 2) 中谷剛・浅野敏之:1年間にわたる風速場を考慮した桜島大規模噴火に対する降灰ハザードマップの作成,自然災害科学 J. JSNDS 40 特別号 175-189,2021.
- 3) Suzuki, T.: A Theoretical Model for Dispersion of Tephra, *Volcanism; Physics and Tectonics*, edited by D. Shimozuru and I. Yokoyama, pp.95-113, 1983.
- 4) 近藤一飛・多々納裕一・井口正人・田中 博:火山灰輸送シミュレーションを用いた桜島における大規模火山噴火時の降灰リスク分析,平成30年度京都大学防災研究所研究発表講演会, A26, 2019.
- 5) 山科健一郎:桜島火山 1914 年噴火の噴煙高度-目撃資料の検討,火山第 44 巻,第 2 号, pp.71-82, 1999.
- 6) 中央防災会議(災害教訓の継承に関する専門調査会):1914 桜島噴火報告書,第 2 章,第 1 節, pp.33-36, 2011, 2021 年 6 月 30 日
- 7) 浅野敏之・高橋 忍・甲斐信治:大規模火山噴火災害時における港湾機能維持に必要な降下軽石群の揚収作業量の分析,自然災害科学, Vol. 39, 特別号, pp.45-56, 2020.

火山防災意識の啓発と研究成果の社会実装を目指した桜島防災情報提供に関する検討

地震火山地域防災センター 中谷 剛

1. はじめに

近い将来に大正噴火に相当する桜島の大規模噴火が懸念されていることや、鹿児島市の市街地中心部は、桜島から 10km 圏内において火山防災への備えが重要な地域であることを、多くの市民が知識として理解している。しかし、大正噴火から 100 年以上が経ち、市街地側にも大きな降灰被害の可能性があるという意識は希薄になってきている。そこで、火山防災意識の啓発と「大規模火山噴火にレジリエントな地域社会の実現に向けた防災減災の取り組み」プロジェクト研究成果の社会実装を目指して、これまでの研究成果の一部を公開・広報することにした。

2. 移動が可能なデジタルサイネージによる桜島監視映像の提供

これまでに桜島監視カメラを 4 基設置し（表 1）、センター内の大型ディスプレイで監視・映像記録を行なってきた（写真 1）が、監視映像の一般公開はしていない。そこで、どこでも誰でもこれらの映像を確認できるように、キャスター付きデジタルサイネージスタンドを、南九州・南西諸島域共創機構棟 1F の多目的ホールエントランス部分に設置した（写真 2）。インターネット接続が可能であればどこにも設置できるメリットがある。写真 3 には、2021 年 12 月 11 日（土）の令和 3 年度防災・日本再生シンポジウムに合わせて稲盛会館エントランスに設置したデジタルサイネージスタンドを示した。

表 1 監視カメラの設置概要

監視カメラ	設置場所	備考
AXIS P1435-LE	南九州・南西諸島域共創機構屋上	2倍ズーム 1920×1080（最大） 60fps（最大）
AXIS Q1941-E	南九州・南西諸島域共創機構屋上	サーマルカメラ 19mmレンズ 384×288 30fps（最大）
AXIS P1435-LE	県立国分高等学校屋上	2倍ズーム 1920×1080（最大）60fps（最大） WiFiによるデータ転送
Panasonic BB-SW172A	南西島弧地震火山観測所屋上	水平垂直回転可 8倍ズーム（最大） 800×600（最大）30fps（最大）



写真1 監視カメラの映像



写真2 多目的ホールエントランス

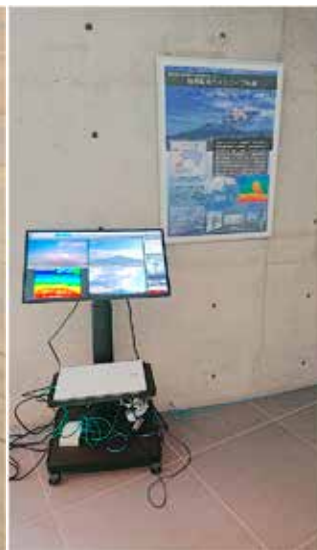


写真3 稲盛会館エントランス



写真4 説明用ポスター

3. ホームページを利用した社会実証実験のための桜島防災情報の提供

研究成果の社会実装を目指し、降灰予測 HP (図 1) 及び大気中火山灰濃度 HP (図 2) の 2 種類の降灰リアルタイムハザードマップを準備し、2021 年 7 月より試験的に運用を行なった。

降灰予測 HP は、GPV(GSM)の風向風速予測値を利用し、1.5 日後及び 2 日後に大正噴火級の大規模噴火を想定し、その後 18 時間先の降灰堆積深(m)分布を 6 時間毎に更新して表示している。降灰堆積深のほか、避難に関わる情報として、想定される被災人口や世帯数、65 歳以上の高齢者人口、高齢者世帯数、通行止めが想定される道路、大雨による複合災害に関わる情報として、一時的に治水安全度が低下する河川など、防災担当者に役立つと思われる情報を提供している。

大気中火山灰濃度 HP は、降灰による鹿児島空港の航行障害の最小化を目的にしている。噴煙高度が 5000m 程度の小規模噴火を想定し、GPV(MSM)の風向風速予測値を利用した 3 時間先の高度別大気中火山灰濃度(mg/m³)を、3 時間更新で提供している。

これらの防災情報の提供は 24 時間連続で継続している。HP には気象業務法によって不特定多数への公表ができない予測情報を含んでいるので、情報の提供は特定の自治体や機関等を前提としており、一般公開はしていない。表 2 に、社会実験として情報公開した実績を整理した。

表 2 HP による情報公開の実績

情報提供期間	情報提供先	HP の種類
6/18～2/28(R4, 予定)	鹿児島市危機管理課	降灰予測 HP
7/ 7～2/28(R4, 予定)	国交省航空局(CARATS)・鹿児島空港事務所	大気中火山灰濃度 HP
8/ 1～8/31	気象予報士会鹿児島支部	降灰予測 HP
8/20～8/31	鹿児島県危機管理課 桜島火山対策に係る県・関係市勉強会関係機関	降灰予測 HP
10/18～10/21	日本火山学会秋季大会	降灰予測 HP
11/24～2/28(R4, 予定)	鹿児島県危機管理課 桜島火山対策に係る県・関係市勉強会関係機関	降灰予測 HP



図 1 降灰予測 HP

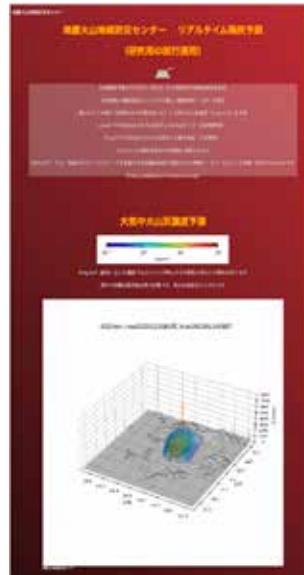
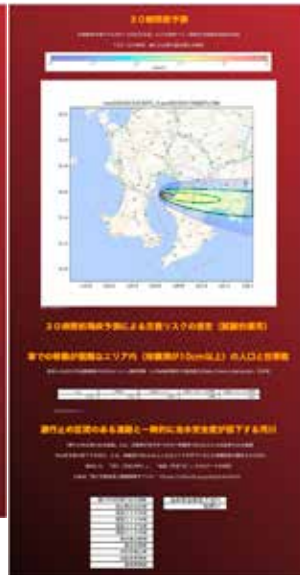
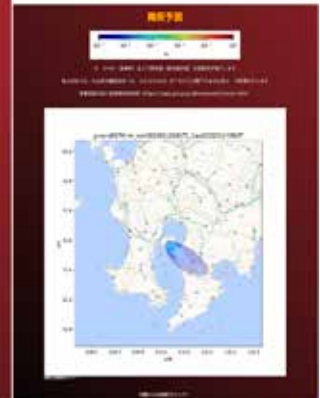


図 2 大気中火山灰濃度 HP



4. おわりに

降灰リアルタイムハザードマップについては、本報告書の「降灰リアルタイムハザードマップ作成手法の検討(最終報)」に詳しい。なお、GPVの風向風速の予測値データは、気象庁のオリジナルデータを京都大学生存圏研究所が運営する生存圏データベースによって収集・配布されたものを利用(<http://database.rish.kyoto-u.ac.jp>)した。ここに記して感謝の意を表する。

不飽和土の水分保持特性把握のための連続加圧型加圧板法に関する研究

工学部 酒匂 一成

1. はじめに

不飽和土の水分保持特性と強度特性を関連付けることにより、豪雨時の斜面、道路法面、河川堤防等の安定性を定量的に評価することができるため、不飽和土の水分保持特性の把握が重要である。

不飽和土の水分保持特性を得るためには、保水性試験を実施する必要があるが、水頭法、土柱法、加圧板法、遠心法、蒸気圧法など、様々な試験法が提案されてきている¹⁾。その中でも豪雨時の土砂災害に必要な圧力範囲を計測するために、加圧板法が良く用いられる。しかしながら、土の細粒分が増えることにより、保水性が高く、透水性が低くなるため、試験時間が非常にかかる課題がある。そこで、近年、計測時間を短縮できると考えられる連続加圧型加圧板法の開発が進められている^{2) 3)}。申請者らもこれまで、その開発を進めてきたが、セラミックディスクの排水性など、試験結果への影響を与える課題が明らかになってきている⁴⁾。

本研究では、それらの課題の改善のため、試験装置の改良に取り組み、改良後の装置を用いた保水性試験から改良効果について考察する。

2. 改良前の保水性試験装置の概要と課題

(1) 改良前の保水線試験装置の概要

図-1 に改良前の試験装置の概要図を示す。この装置は、地盤工学会に基準化されている加圧板方式¹⁾に基づいた試験装置であり、供試体（直径 6cm、高さ 2cm）が入った圧力セル内に間隙空気圧（セル圧、CP） $u_{a,CP}$ を負荷させ、排水容器と電子天秤が入った圧力チャンバー内に間隙空気圧（背圧、BP） $u_{w,BP}$ を負荷することで、サクション制御を行なうことができる（軸移動法）。また、供試体底部のセラミックディスク付きペDESTAL（写真-1）には、間隙水圧測定用と排水用の経路があり、排水用経路は、排水容器と電子天秤が入った容器に接続されている。ペDESTALに付けられたセラミックディスクは、厚さが 5mm、空気侵入値が約 106kPa、透水係数が約 5.78×10^{-9} m/sec のものを使用した。

これらにより、間隙水圧 $u_{w,bottom}$ と排水量がそれぞれ 1 分間隔で計測されている。サク

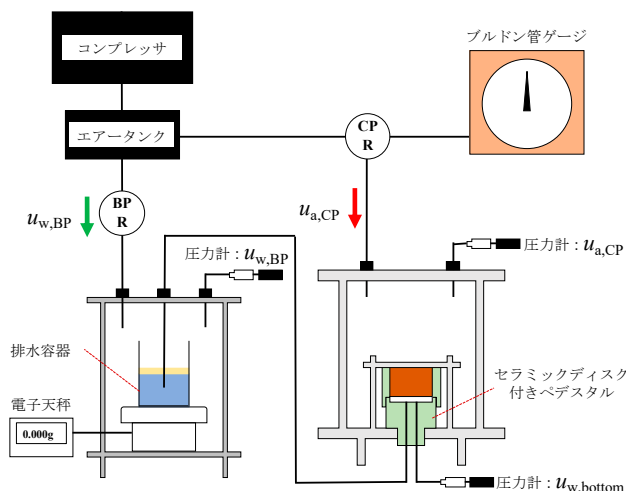


図-1 改良前の試験装置の概要図³⁾

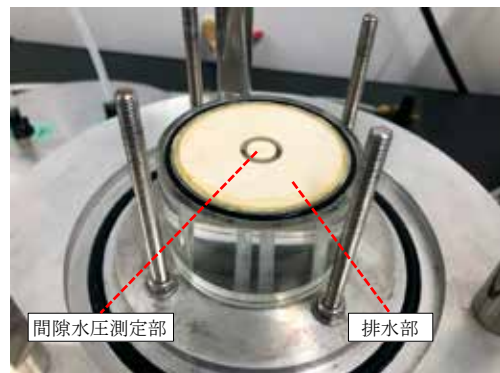


写真-1 ペDESTAL

シヨン $s_{u,bottom}$ は、セル圧 $u_{a,CP}$ と間隙水圧 $u_{w,bottom}$ の差から算定される。図-2 に本試験装置におけるサクシオン測定の概要を示す。図-2 は、一例としてセル圧 $u_{a,CP}=100\text{kPa}$ 、背圧 $u_{w,BP}=50\text{kPa}$ に制御した場合における供試体下部での間隙水圧の計測値 $u_{w,bottom}$ の経時変化の模式図を示している。通常、サクシオン制御後の供試体の間隙水圧は、時間とともに背圧に近づいていく。長期間経過後、供試体からの水の出入りが無くなった時（排水容器の重量変化がほとんどなくなる時）が平衡状態であり、供試体内の間隙水圧は、背圧とほぼ等しくなる。従来の保水性試験では、この平衡時の吸排水量とセル圧と背圧で制御されたサクシオンのプロットを結んで水分特性曲線を描いていた。一方、森本らの試験法²⁾では、平衡に至る過程での間隙水圧値と吸排水量から水分特性曲線を得ており、平衡状態になるのを待たずに次の段階のサクシオン測定過程に移ることで、時間短縮を図っている。

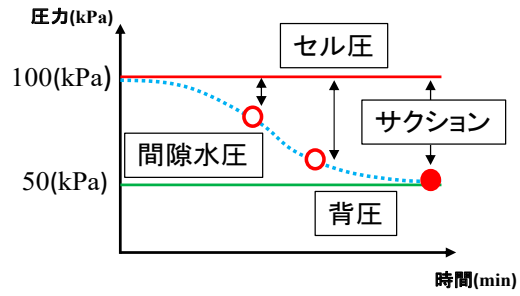


図-2 セル圧、背圧、間隙水圧の経時変化

(2) 改良前の保水線試験装置の課題
ここでは、改良前の保水性試験装置の課題⁴⁾について、試験結果に基づいてまとめる。試験試料として豊浦砂を用い、供試体は直径 60mm、高さ 20mm のモールドに含水比 $w=25.0\%$ 、間隙比 $e=0.78$ で、締固めたものを用いた。試験は、背圧を 50kPa で一定としセル圧を 50kPa、60kPa、65kPa、70kPa と段階的に増加（排水過程）させ、70kPa に達した後、60kPa、55kPa、50kPa と段階的に減少（吸水過程）させて、サクシオン制御を行なった。また、セル圧は、平衡状態に達した（電子天秤で計測される給排水量が 0.01g/hour 以下）後に、次の段階へ手動で変化させた。

(2) 改良前の保水線試験装置の課題

ここでは、改良前の保水性試験装置の課題⁴⁾について、試験結果に基づいてまとめる。試験試料として豊浦砂を用い、供試体は直径 60mm、高さ 20mm のモールドに含水比 $w=25.0\%$ 、間隙比 $e=0.78$ で、締固めたものを用いた。試験は、背圧を 50kPa で一定としセル圧を 50kPa、60kPa、65kPa、70kPa と段階的に増加（排水過程）させ、70kPa に達した後、60kPa、55kPa、50kPa と段階的に減少（吸水過程）させて、サクシオン制御を行なった。また、セル圧は、平衡状態に達した（電子天秤で計測される給排水量が 0.01g/hour 以下）後に、次の段階へ手動で変化させた。

図-3 は、1 分間隔で計測されたサクシオンと含水比の関係である。含水比は、試験後に供試体の含水比を計測し、電子天秤で計測された吸排水量から計算されたものである。図-3 より、セル圧を 60kPa に増加させた排水過程とセル圧を 50kPa に減少させた吸水過程において、水分特性曲線が乱れている様子が見られる。この原因は、セラミックディスクの透水係数が低く、間隙水圧測定にタイムラグが生じている可能性があるためと考えられる。そのため、供試体がない状態での間隙水圧変動を観測したところ、約 30 分のタイムラグがあることが分かった。

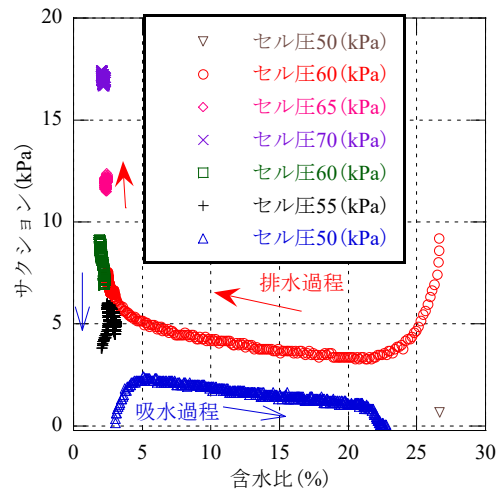


図-3 水分特性曲線

図-4 は、排水過程のセル圧 60kPa、背圧 50kPa に設定した時のセル圧、背圧、間隙水圧の時系列変化を示す。セル圧と背圧を制御後、約 45 分間、間隙水圧はセル圧に近づいていき、その後 200 分近くまで急激に背圧に近づいていく挙動が見られる。図-3 のセル圧 60kPa の際の含水比が約 22%~27% の範囲のサクシオン値が大きくなっているのは、図-4 における間隙水圧がセル圧に向かって上昇しているときの値である。これは、セラミックディスクの透水係数が低いことが原因であると言える。一方、間隙水圧が背圧に向けて減少し始めた以降のサクシオンは水分特性曲線として妥当な値を示しているものと思われる。

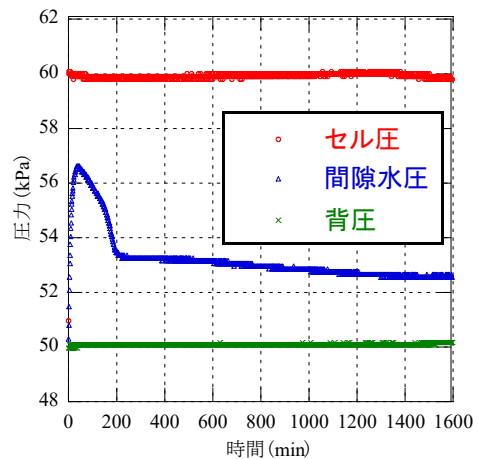


図-4 セル圧、背圧、間隙水圧の時系列変化（セル圧 60kPa、背圧 50kPa）

3. 改良後の保水性試験装置の概要

図-5は、今回改良を行った圧力チャンバー部分のみを示し、それ以外の装置はほぼ同様である。改良前は、土中の間隙水圧を供試体底部のセラミック部分で計測していたが、本来は供試体中央部の間隙水圧を計測する必要があるため、写真-2に示すようなセラミック製ポーラスカップを作製し、供試体中央部に設置可能な試験装置を作製した。

セラミック製ポーラスカップ(大起理化学工業, DIK-8391-51)には、外径8mm、厚さ1.75mm、空気侵入値380kPaのものを使用した。これを接着部分5mm、間隙水圧測定部分10mmとして、長さ15mmのサイズで切り出し、ナイロンチューブに接着した。セラミック製ポーラスカップは、脱気し、管路内に脱気水を充填して、圧力計(共和電業, PGMC-A-500KP)に接続し、土中の間隙水圧を計測できるようにした。

この装置で計測される間隙水圧 $u_{w,center}$ は1分間隔で計測されており、サクシオン $s_{u,center}$ は、図-2に示す方法と同様に $u_{a,CP}$ と $u_{w,center}$ の差から算定される。

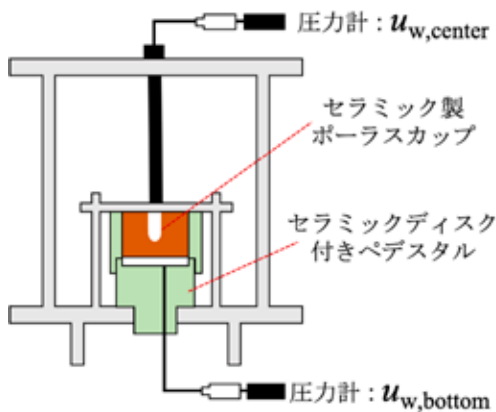


図-5 改良後の試験装置の概要図

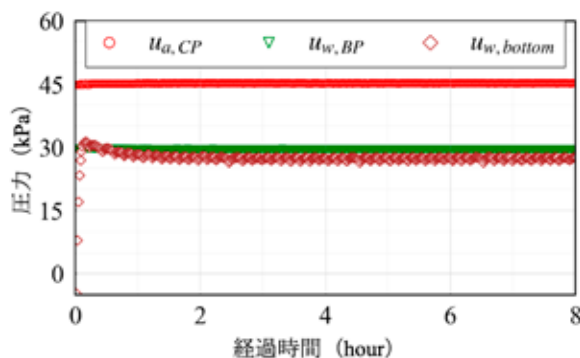


写真-2 セラミック製ポーラスカップ

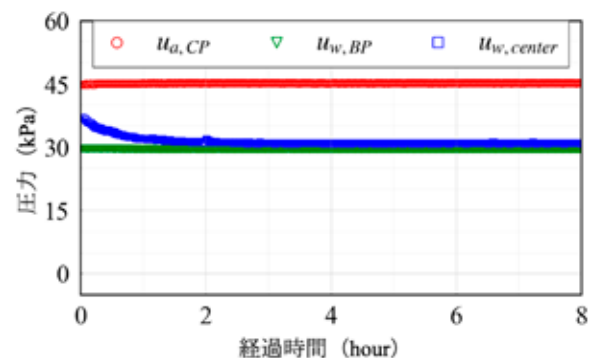
4. 試験装置改良効果および連続加圧型加圧版法の妥当性に関する検討

試験装置の改良前後における土中の間隙水圧や水分特性曲線について確認するために、鹿児島市東俣町の表層から深度50cmで採取した土試料を初期含水比 $w=37.7\%$ 、間隙比 $e=1.06$ に設定した上で締め固め、室内試験を実施した。今回の試験のサクシオン制御は、排水過程のみとし、背圧 $u_{w,BP}$ を30kPaで一定に負荷し、セル圧 $u_{a,CP}$ を45kPa→60kPa→75kPa→90kPaと段階的に増加させた。また、今回の試験では従来の加圧板法と同様に各サクシオン制御段階において、供試体内のサクシオンが平衡状態に達するまで実施することとした。電子天秤で計測される排水量が0.01g/hour以下になったときを平衡状態とした。

図-6にセル圧45kPa時のセル圧、背圧、間隙水圧の時間変化を示す。図-6(a)は改良前の装置



(a) 改良前の装置による試験結果



(b) 改良後の装置による試験結果

図-6 セル圧45kPa時の計測結果

による試験結果を示しており、セル圧 $u_{a,CP}$ 変動直後は、2(2)節で述べた結果と同様に間隙水圧 $u_{w,bottom}$ が、約 10 分遅れて増加した。なお、 $u_{w,bottom}$ の計測結果の微小変動や背圧よりも約 2kPa 低い値を示すことが確認されており、今後、その原因について調査する必要がある。一方、図-6(b)に改良後の装置による試験結果を示しており、セル圧制御後に間隙水圧の時間遅れが生じることなく圧力増加したため、装置の改良効果がみられた。

図-7 に改良前後における水分特性曲線の比較を示す。改良前の曲線は、間隙水圧の応答に時間遅れの影響を受け、2(2)節における図-3 と同様な、一般的な水分特性曲線で観測されない値が示されることが確認された。一方、改良後の曲線は、改良前に比べて、より現実的な曲線が得られていることが確認された。しかし、改良後の水分特性曲線において 1 つ他の点からずれた値 ($w=30.5\%$, $u_{w,center}=39.7\text{kPa}$) が得られたが、セル圧を $60 \rightarrow 75\text{kPa}$ に変動させている途中に計測された値であることから、セル圧変動時の計測結果の取り扱いに気を付ける必要があるといえる。よって、間隙水圧計測部をセラミック製ポーラスカップに変更することで、間隙水圧計測のタイムラグを改善でき、さらに、供試体中央部での計測が可能となり、より精度の良い水分特性曲線が得られるようになったものと思われる。

図-8 に改良後の装置を用いて、従来法と連続加圧型加圧板法から得られた水分特性曲線の比較を示す。従来法とは、平衡状態のサクシジョンのみをプロットする方法であり、一方、連続加圧型加圧板法は平衡状態に至る前でのサクシジョン(セル圧と間隙水圧の差)をプロットする方法である。一般に、加圧板法で得られる水分特性曲線は、平衡時のサクシジョンと含水比との関係を示しており、平衡前のサクシジョンと含水比で描く連続加圧型加圧板法による水分特性曲線の妥当性について検証が必要であることから、図-8 に示すような試験結果の比較を実施した。

図-8 より、連続加圧型加圧板法から得られた水分特性曲線は、従来法の水分特性曲線のプロット間を補間するように表現されている。このことから、連続加圧型加圧板法で得られた結果が、従来法で得られた水分特性曲線と同等に扱える可能性があると思われる。ただし、セラミックの目詰まり等で、間隙水圧の応答に時間遅れが生じるような場合は、その影響が水分特性曲線に含まれるため、間隙水圧計測部におけるセラミックの排水性に関するメンテナンスが重要である。

5. 試験装置改善のための装置開発

本研究では、上述のように、連続加圧型加圧板法の課題解決のため間隙水圧測定部におけるセラミック製ポーラスカップの改良を実施し、十分な改良効果が得られた。一方で、さらに試験装置の改良を行うための装置開発を行っており、その概要をまとめる。

(1) ペDESTALの改良

図-5 に示す改良後の試験装置では、基本的に供試体は締固めにより作製する不攪乱状態の供試体に対応した装置であった。しかし、実務的には、原位置の供試体を不攪乱で採取し、その供試

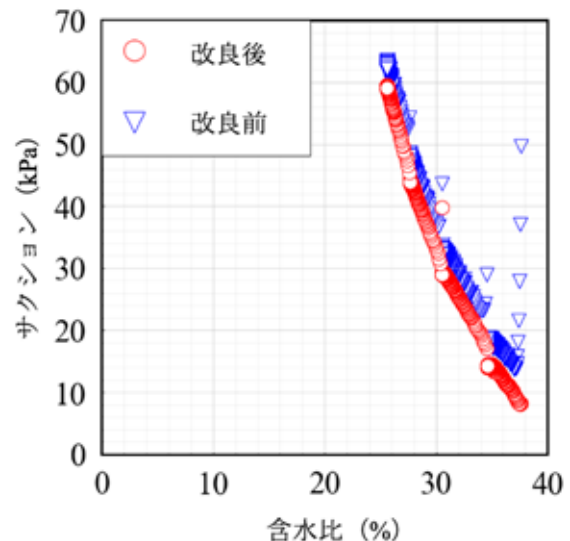


図-7 改良前後における水分特性曲線の比較

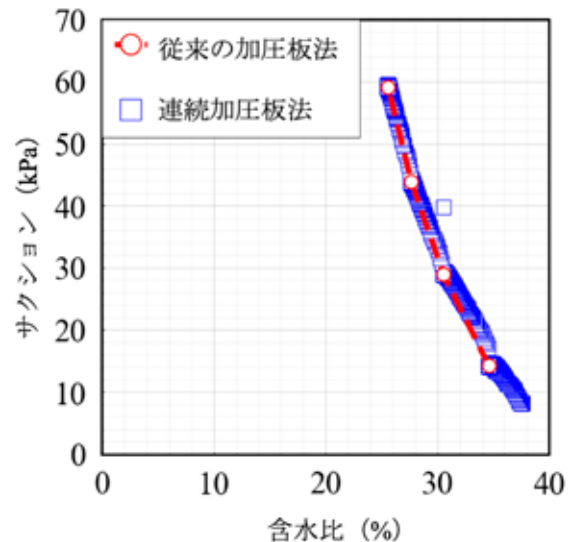


図-8 従来法と連続加圧型加圧板法から得られた水分特性曲線の比較

体の水分特性曲線を得ることが重要であることから、攪乱・不攪乱のいずれの供試体で試験可能なペDESTALを作製した（写真-3）。不攪乱試料を採取するための市販されているステンレス円筒（直径 50mm、高さ 51mm）をペDESTAL上部に設置できる構造とした。また、ペDESTAL底面には間隙水圧測定部が不要になったことから、排水部分をより簡易な構造とし、ペDESTALの耐久性を増すこととセラミックディスクとの接着を容易にするためステンレスで作製した。排水用のセラミックディスク（外形 46mm、厚さ 3mm）は空気侵入値が 70kPa と 300kPa 以上のものを用意し、供試体に応じて使い分けられるようにした。

(2) セラミック製ポーラスカップ部の改善

写真-2 に示したセラミック製ポーラスカップ部に関して、作製自体は容易であるが、ポーラスカップとチューブが接着されており、圧力セルの天板ごと脱気容器に入れる必要があったため、試験準備段階での作業が大変であった。この課題を改善するため、セラミック製ポーラスカップを独立させて、セラミック製ポーラスカップ周辺のみを脱気可能にするための改善を行った。写真-4 に示すように、セラミック製ポーラスカップをステンレス円筒にエポキシ樹脂で接着し、チューブとステンレス円筒部分に継手を入れることで、脱気部分を小型化した。

(3) 圧縮空気加湿容器

セル室に送られる圧縮空気が乾燥していることから、供試体表面部より水分が蒸発していると考えられる。加圧板法では、供試体から排出される水分を計測することで試験値を求めており、排水量の微小変化は得られる結果に影響を与えている。このような課題の改善に向けて、圧縮空気を水中に通すことで加湿し、その空気をセル室へ供給可能な装置を作製した（写真-5）。しかし、加圧段階では問題なく作動していたが、減圧段階では負圧が発生していることで経路内に水分が侵入する課題が確認された。現在、導入には至っていないが、逆止弁を加えることや、別の機構にすることを検討している。



写真-3 改良ペDESTAL



写真-4 改良したセラミック製ポーラスカップ部



写真-5 圧縮空気加湿容器

6. おわりに

本研究では、既往の研究で指摘されたセル圧制御後の間隙水圧の反応の遅れを解決するため、試験装置の改良を行った。改良後の試験装置で得られた結果を考察し、まだ解決すべき点はあるが、概ね課題を改善できたことがわかった。また、従来の加圧板法と連続加圧型加圧板法との試験結果を比較し、連続加圧型加圧板法の結果も従来の加圧板法と同等に扱える可能性を示すことができた。今後は、さらに計測精度や作業性の向上や時間短縮を可能にするための試験装置改良を継続的に実施していきたい。

謝辞

試験装置作製にあたり、理工学研究科技術部の城本一義氏の協力を得た。また、試験を実施に当たり、理工学研究科博士後期課程1年のの中島亮輔氏、博士前期課程1年の石大地氏、高田雄大氏の協力を得た。ここに謝意を示す。

参考文献

- 1) 地盤工学会編, 地盤材料試験の方法と解説, 第3編 7章土の保水性試験, p.162-173, 2009.
- 2) 森本紘文, 阿部廣史, 豊田富晴, 小西純一: 新しい保水性試験による乾湿繰り返しについて,

- 第 41 回地盤工学会研究発表会講演概要集, pp.865-866, 2006。
- 3) 川原孝洋, 畠山正則, 京野修, 阿部廣史: 連続加圧方式による新しい保水性試験方法について (その 1), 第 47 回地盤工学研究発表会講演集, pp.691-692, 2012。
 - 4) 山本孝憲, 酒匂一成: 保水性試験におけるサクシヨン制御後の間隙水圧の変動の観測, 平成 26 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, pp.465-466, 2015。

沖永良部島における侵食にともなう農地災害を防ぐ工法に関する研究

農学部 肥山 浩樹

1. はじめに

沖永良部島は、四万十層群を基盤とし、この上部に琉球石灰岩が位置する地質構造を持つ。表層の大部分は、この琉球石灰岩の風化土に覆われている。近年、地下ダムの建設に伴い、畑地の区画整理や灌漑施設整備が進められている。区画整理工事で新規に造成された琉球石灰岩風化土から成る圃場法面は、造成直後には被覆されていないため、風雨により表土が侵食され、これが進行すると法面崩壊を伴う農地災害に繋がる場合もある。

沖永良部島では、圃場法面の保護工として、従来からヒメイワダレソウの植栽によるカバープランツ工法が多く採用され、良好な結果が得られていた。しかしながら、特定外来生物による生態系、人の生命・身体、農林水産業への被害を防止する目的で、2005年に「特定外来生物による生態系等に係る被害防止に関する法律（特定外来生物被害防止法）」が施行され、外来種対策の一層の進展を図ることと適切な行動を呼びかける目的で、2014年には「我が国の生態系等に被害を及ぼす恐れのある外来種リスト（生態系被害防止外来種リスト）」¹⁾が作成された。このリストでヒメイワダレソウが甚大な被害が予想されるため対策の必要性が高い「重点対策外来種」に指定されたことから、その使用が著しく制限されることとなった。この代替策として、野芝やわら芝を用いたカバープランツ工法や瀝青材吹付けによる法面保護工が実施されたが、いずれも効果が発揮できず、有効な工法が見出せない状況が続いている。

法面の風化や侵食を防止する保護工は、構造物工と植生工の2つに大別される。構造物工には、コンクリート吹付工、ブロック張工や石積み工などがある。いずれも長期的安定が見込めるが、施工費が高いことや離島では専門技術者が確保しづらいなどの問題点を抱えており、圃場法面工法としては採用が困難である。一方、植生工には播種工や植栽工があり、構造物工に比べて安価であることから、造成地の法面にはよく利用されてきた。一般的に、在来種は外来種と比較して発芽が遅いため、造成直後に植生工を施工しても侵食により種子が流亡することが多い。これを防ぐには、発芽までの一定期間、法面に侵食対策を施し、植生を定着させる必要がある。短期的な法面侵食対策として、土壌を団粒化させる土壌改良材の散布がある。これは、薬剤の散布により、土壌の団粒化を促すことで耐食性や透水性を高めると同時に、防塵性を向上させるものであり、土木現場で使われる方法である。

本研究では、沖永良部島の圃場法面保護に有効な工法について検討するために、琉球石灰岩風化土に市販の土壌改良剤を施用した場合の侵食防止効果について、屋外試験から明らかにすることを目的としている。

2. 現地調査地点と実験試料

沖永良部島内で、最近、区画整理が実施された白瀬、畦布、伊美および田皆の4地区を選定し、試料を採取した。いずれも琉球石灰岩風化土であり、その採取地点を図1に示す。持ち帰った試料について、室内で主に物理試験を行い、得られた結果を表1に示す³⁾。

いずれの試料も、琉球石灰岩風化土として共通の特徴を有しているが、同じ島内であっても土色や粒度分布に地域差が認められることが分かった。母岩の生成時期や風化の状況など、環境要因の違いが差異に繋がったものと考えられる。このことから、法面保護工



図1 試料採取地点（文献2に加筆）

法の工種選択においては、土質特性を見極めた上での選定が重要になる。なお、伊美地区の土粒子の密度や粘土分含有量が他より小さい値となっているのは、法面保護工として吹き付けた瀝青材が混入しているためである。

3. 屋外侵食実験

前報³⁾において、伊美地区での経過観察から、琉球石灰岩風化土が乾燥に伴い収縮し、細粒化することで斜面から剥離崩落するために、侵食が進行しているであろうことを推察した。また、現在、造成が進行中である田皆地区において、団粒化を促進する土壌改良剤の実証試験が行われていることから、屋外に模型斜面を作製し、侵食の経過観察とこの土壌改良剤の効果について検討した。

この実験に用いた土壌改良剤は、アクリル酸重合体の高分子化合物であるグラベール B (商品名) である。グラベール B は、薬剤中のプラス電荷が土粒子表面のマイナス電荷と結びつき、土粒子骨格構造を団粒化させる働きを持つ。これにより、地盤の強度増加や保水性や透水性、ならびに耐食性の向上が期待される薬剤であり、公共事業などで広く用いられている。

屋外実験に使用する試料として、現在造成中である田皆と造成直後である伊美を選定した。屋外実験装置の概要を図 2 に示す。実験に用いた土層は市販の雨樋を流用した。土層は幅 110mm、長さ 1,100mm であり、下層に厚さ 25mm の砂を敷き、その上に試料を厚さ 30mm で敷き詰めた。

供試体作製の様子を図 3 に示す。対象土を木槌で突き固めて作製したが、土層の強度不足のため、現地の乾燥密度 (1.2g/cm³ 程度) よりやや低い 1.0g/cm³ 程度となった。作製した土層は、周りに遮蔽物の無い建物屋上に、1 割勾配で設置した (図 2 参照)。

表 1 試料の基本特性

		白瀬	畦布	伊美	田皆
土色*		7.5YR3/2	5YR3/4	5YR3/2	7.5YR3/4
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)		2.723	2.728	2.659	2.735
液性限界	w_L (%)	58.98	74.13	77.03	79.57
塑性限界	w_p (%)	26.21	36.45	31.40	29.61
塑性指数	I_p	32.77	37.68	45.63	49.96
土の工学的分類		(CH)	(MH)	(CH)	(CH)
粒度分布**	礫分 (%)	0.3	0.2	0.6	0.1
	砂分 (%)	26.8	26.3	30.0	11.9
	シルト分 (%)	52.7	33.6	55.5	72.5
	粘土分 (%)	20.2	39.9	13.9	15.5

* 湿潤状態

** JIS法による

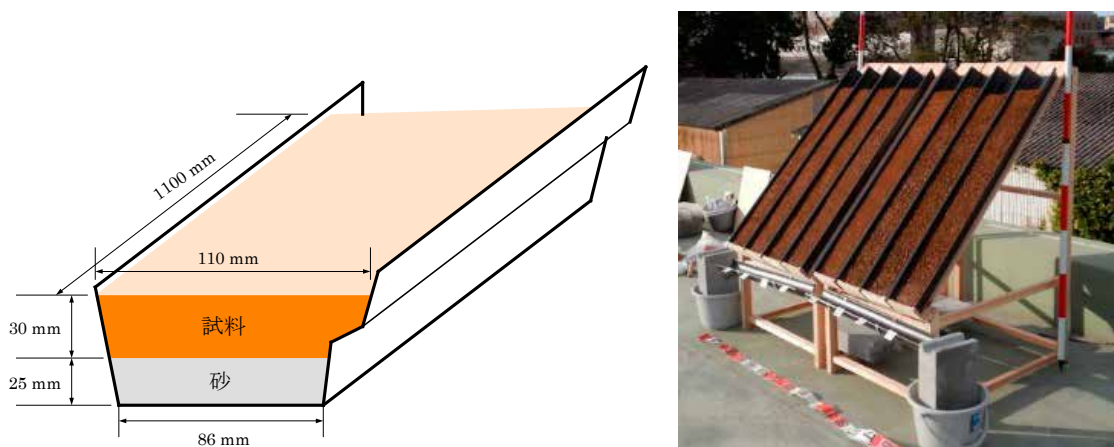


図 2 屋外実験装置の概要

土壌改良剤グラベールBは、原液 250mL を 25L で希釈 (100 倍) し、10m² の面積に散布する事を標準としている。屋外実験では、希釈率を 50~150 倍とし、土層の面積を勘案して約 300mL の希釈液をそれぞれ散布した。設置時の状況を図 4 に示す。

約 1 ヶ月間、屋外において経過観察した。その時の土層下部の様子を図 5 に示す。実験開始後、3 日目まではほぼ降水が無く、この間、土層表面が乾燥するとともに小さなクラックが発生した。表面の状態に大きな変化は無いが、グラベール B の濃度の高いもの (50 倍希釈) 程、表面の乾燥が進んでおり、透水性が向上している事が伺えた。8 日目には 4mm 程度の降雨があり、表面侵食が発生し始めたが、グラベール B の濃度の高いものほど耐食性が高い事が見て取れるようになった。20 日ほど経過すると、この違いは顕著になるとともに、グラベール B の効果は伊美より田皆試料の方が高いことが分かった。34 日経過時に、⑤田皆・無施用の土層が崩壊したため、観察を終えた。崩落の原因は、土層が薄かったことで、自重に耐えられなかったものと考えられる。



図 3 実験土層の作製の様子



- | | |
|---|---------|
| ① | 田無・無施用 |
| ② | 田無・150倍 |
| ③ | 田無・100倍 |
| ④ | 田無・50倍 |
| ⑤ | 田無・無施用 |
| ⑥ | 伊美・無施用 |
| ⑦ | 伊美・100倍 |
| ⑧ | 伊美・50倍 |

図 4 設置時の状況

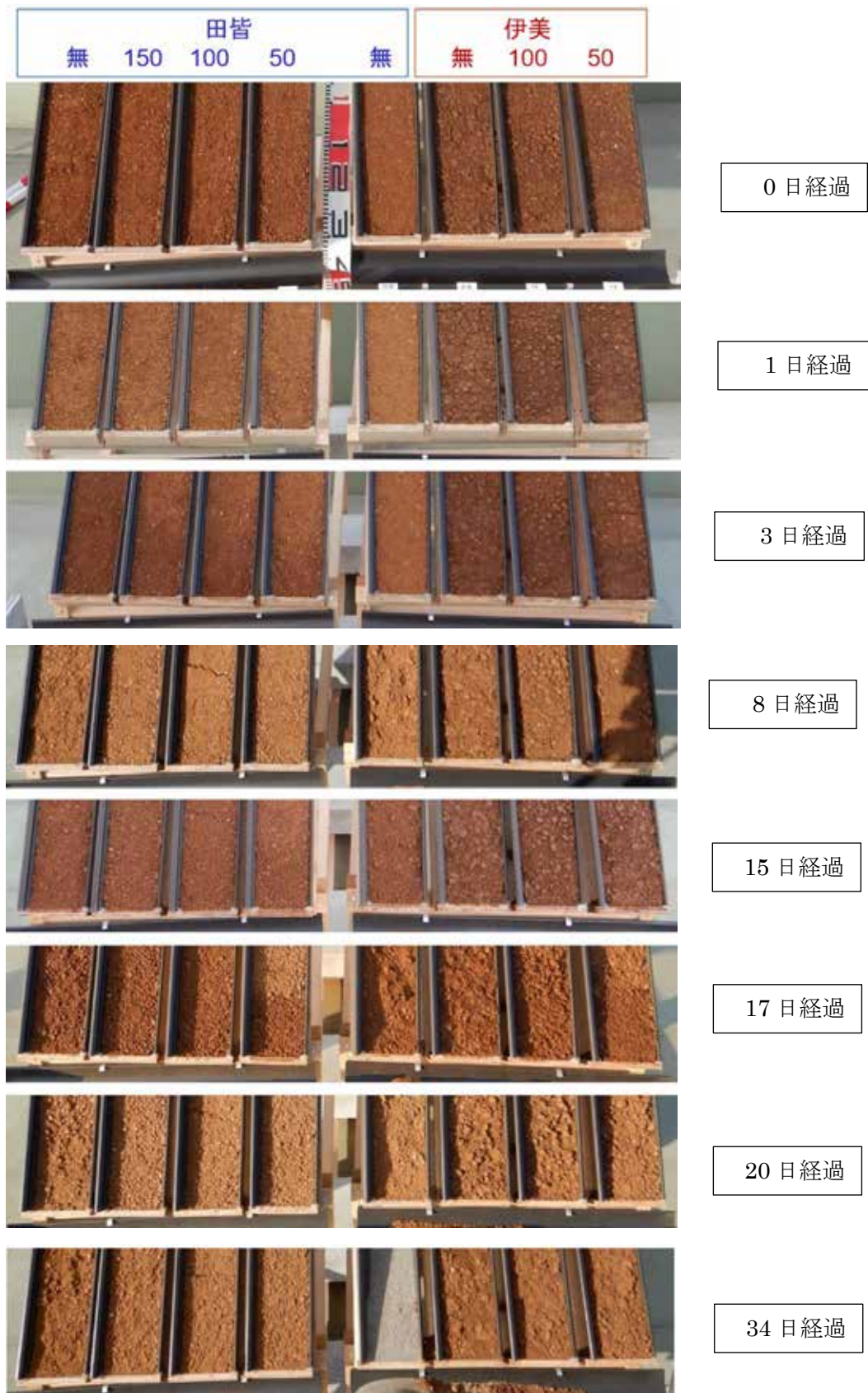


図 5 実験土層の経過観察

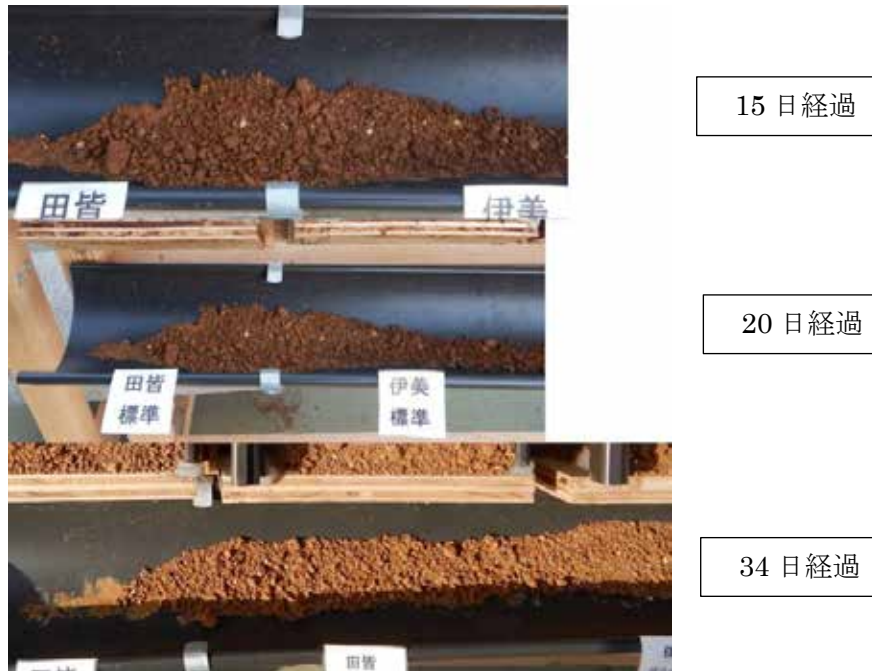


図6 崩落土の様子

グラベール B は琉球石灰岩の表面侵食に対して効果を発揮しており、現地での利用が大いに期待される。希釈率が低い（濃度が高い）ほどその効果は大きくなるが、標準希釈より薄くても、十分な効果が得られる可能性が示唆された。ただし、土壌の違いによって、その効果にわずかな違いがあるので、現地で実証実験を実施する必要があると思われる。図6は、侵食により崩落した土壌の様子であり、小さな塊状のまま侵食を受けている事が分かる。これは伊美地区で現地観察をしたものと同じであり、乾燥による収縮からクラストを形成し、これが降水に流されたり、風に飛ばされて侵食が進行したと考えられる。

4. おわりに

沖永良部島の琉球石灰岩風化土について、圃場法面保護に有効な工法について検討するために、模擬的な斜面を作製し、屋外において侵食実験を行った。その結果、現地と同様に表土の乾燥収縮に伴い小粒のクラストが形成されることで侵食が進行する様子が確認できた。ここに土壤改良剤（グラベール B）を用いると、団粒化によるものと思われる透水性が向上するとともに、侵食が抑制され、その効果が確認できた。この効果は濃度が高いほど強く発揮されるが、標準より低濃度でもある程度の効果が期待された。ただし、試料が変わるとその効果の程度も変化するため、現地での実証実験が不可欠である事も示した。

土壤改良剤は多種多様なものが販売されており、例えば、上水の浄化や水田の汎用化のために用いられるヒドロキシアルミニウムや斜面の強度増加に用いられる竹セルロースなどがある。土壤改良剤の利用は、効果の発現が早く、種子が発芽するまでの侵食抑制には有効である。今後は、現地の土壌に合った改良剤を模索する必要があると考える。

参考文献

- 1) 環境省, 農林水産省(2016): 我が国の生態系等に被害を及ぼす恐れのある外来種リスト
- 2) 鹿児島県地質図編集委員会(1990): 鹿児島県の地質図地質図
- 3) 肥山浩樹(2021): 琉球石灰岩風化土地域における圃場整備法面の侵食防災についての基礎的研究, 鹿児島大学 地震火山地域防災センター令和2年度報告書, pp.75-78

シラス地盤における水分特性曲線および不飽和透水係数の関数の推定

工学部 伊藤 真一

1. はじめに

鹿児島県に広く分布しているシラスは、多孔質であるため土粒子密度が小さく水が浸透すると安定性を失いやすい。さらに、鹿児島県は降雨量が多いため、豪雨による斜面崩壊発生リスクが高いといえる。豪雨時の斜面崩壊の発生を未然に予測して被害を軽減するためには、地盤内への雨水の浸透挙動を適切に把握する必要がある。そのためには、不飽和浸透特性（水分特性曲線および不飽和透水係数の関数）に関するパラメータの推定が重要となる。シラスは鹿児島県特有の土であるため、その不飽和浸透特性を調査した事例が少ないことに加えて、現場のシラスと一度乱したシラスではその性質が大きく異なるため、現地のシラス地盤における不飽和浸透特性の推定は鹿児島県の防災にとって重要である。本研究の目的は、現地のシラス地盤における体積含水率の現地計測を行い、その計測データに基づいてデータ同化を行うことで、シラス地盤における不飽和浸透特性を推定し、その特徴を把握することである。

2. 現地計測データ

本研究では、鹿児島県鹿児島市東俣町の土取場(写真-1)に雨量計とプロファイル土壌水分計(写真-2)を設置して現地計測を行なった。プロファイル土壌水分計の設置に関しては、簡易貫入試験機とオーガを用いて掘削を行い、その穴にプロファイル土壌水分計を設置した後に、0.075mmのふるいを通した現地土で隙間を埋めて、水を流し込み締め固めた。体積含水率は深度10cmから40cmまでを10cm間隔で計測した。降雨量と体積含水率の計測間隔は10分であり、現地計測を行った期間は令和3年6月2日から7月28日までである。図-1は降雨量と体積含水率の現地計測データを示している。深度40cmで計測された体積含水率は他の深度で計測された体積含水率よりも著しく低く、降雨に対してもほとんど反応していないことがわかる。これは、土壌水分計と孔壁の間に隙間があったことが原因だと考えられる。土壌水分計の設置方法に関しては今後も改良が必要であるが、本研究では、深度10cm, 20cm, 30cmで計測された体積含水率のデータを用いてこれ以降の分析を行うこととした。



写真-1 現地計測の様子



写真-2 プロファイル土壌水分計

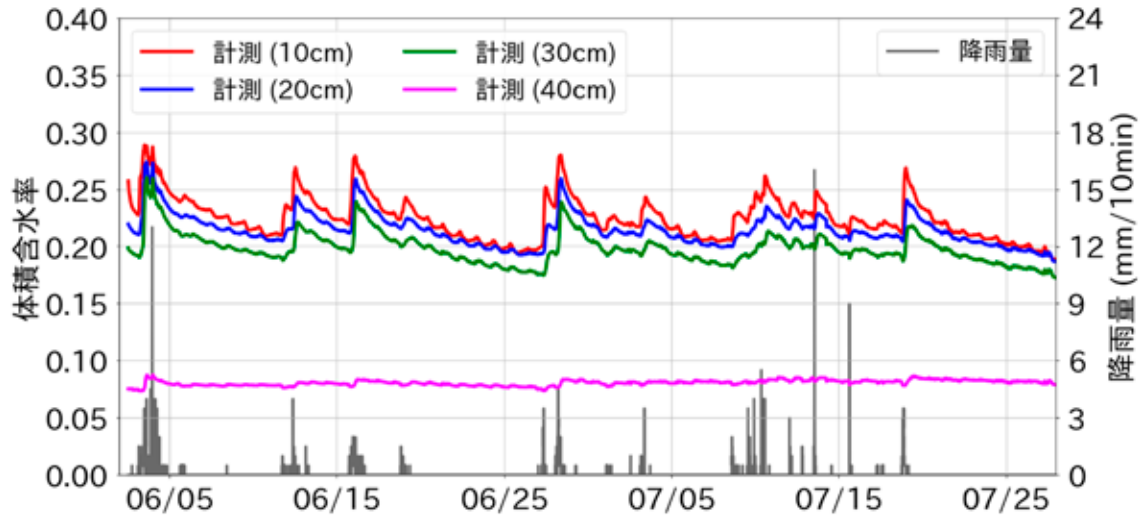


図-1 現地計測データ

3. 解析手法

(1) 不飽和・飽和浸透流解析

不飽和・飽和浸透流解析で用いた支配方程式は次式である 1)。

$$\begin{aligned} \operatorname{div} \rho_w k(\psi) \bar{\nabla}(\psi + x_3) \\ = \left(n S_r \frac{d\rho_w}{d\psi} + \rho_w S_r \frac{dn}{d\psi} + \rho_w n \frac{dS_r}{d\psi} \right) \frac{\partial \psi}{\partial t} \end{aligned} \quad (1)$$

ここに、 ρ_w は水の密度、 $k(\psi)$ は不飽和透水係数、 ψ は圧力水頭、 x_3 は位置水頭、 n は間隙率、 S_r は飽和度、 t は時間である。ここで、水の密度 ρ_w と間隙率 n が圧力水頭 ψ によって変化しないと仮定し、体積含水率 θ が $\theta = n S_r$ で表されること、間隙水の流れが一次元的であることを考慮すると、式(1)は式(2)に変形できる。

$$C \cdot \frac{\partial \psi}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_3} \left\{ k(\psi) \left(\frac{\partial \psi}{\partial x_3} + 1 \right) \right\} \quad (2)$$

水分特性曲線モデルとしては式(3)に示す van Genuchten モデル 2)を、不飽和透水係数モデルとしては式(4)に示す Mualem モデル 3)を用いた。

$$S_e = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} = \left\{ \frac{1}{1 + (-\alpha \cdot \psi)^n} \right\}^{1-\frac{1}{n}} \quad (3)$$

$$k(\psi) = k_s \cdot S_e^{0.5} \left\{ 1 - \left(1 - S_e^{\frac{n}{n-1}} \right)^{1-\frac{1}{n}} \right\}^2 \quad (4)$$

ここに、 S_e は有効飽和度、 θ_s は飽和体積含水率、 θ_r は残留体積含水率である。また、 α と n は水分特性曲線の形状を与えるパラメータであり、 k_s は飽和透水係数を表している。本研究において推定すべき不飽和浸透特性に関する未知パラメータは θ_s 、 θ_r 、 α 、 n 、 k_s の5種類である。

モデルに降雨を与える境界条件としては、斜面への雨水の浸透能を考慮した次式 4)を用いた。

$$IR = \omega \tanh(R / \omega) \quad (5)$$

ここに、 IR は浸透能(Infiltration Rate)、 ω は降雨強度を十分に大きくした場合の浸透能、 R は降雨強度である。上述の不飽和浸透特性に関する未知パラメータに加えて ω もデータ同化によって推定することとした。

(2) 融合粒子フィルタ (MPF)

データ同化手法として融合粒子フィルタ⁵⁾ (Merging Particle Filter, 以下 MPF) を用いた。MPF はシステムの状態に関する確率分布を粒子と呼ばれる多数の実現値集合で近似的に表現し、ベイズの定理を応用して各粒子の時間推移を数値的に表現するデータ同化手法である。それぞれの粒子は、数値解析モデル(初期条件, 境界条件, パラメータなど)に関する情報と各モデルにおいて数値解析を行って算出される各時刻の物理量(本研究であれば体積含水率)を情報として有している。図-2 は MPF の概念図を示している。MPF では、(a)Prediction, (b)Filtering, (c)Resampling, (d)Merging という 4 つの手順を逐次繰り返す。粒子数を N 個とすると、(a)Prediction では、時刻 $t-1$ から t までのシミュレーションを N 通り行う。つまり、本研究では、未知パラメータの情報が異なる多数の不飽和・飽和浸透流解析を並列に行う。(b)Filtering では、観測データに対する各粒子の解析結果の適合度に基づいて各粒子に対する尤度を計算する。(c)Resampling では、各粒子の尤度に基づいて復元抽出を行い、粒子を複製・消滅させる。この際に MPF では、 $I \times N$ 個 (I は 3 以上の整数)のサンプルを復元抽出する。最後に、(d)Merging を行い、 $I \times N$ 個のサンプルを、 I 個ずつの組にして、それぞれの組ごとに重み付き和をとることで、 N 個の粒子を再度生成する。この手順を逐次繰り返すことで、事後分布が更新され、計測データとの適合度が高い数値解析モデルへと修正されていく。

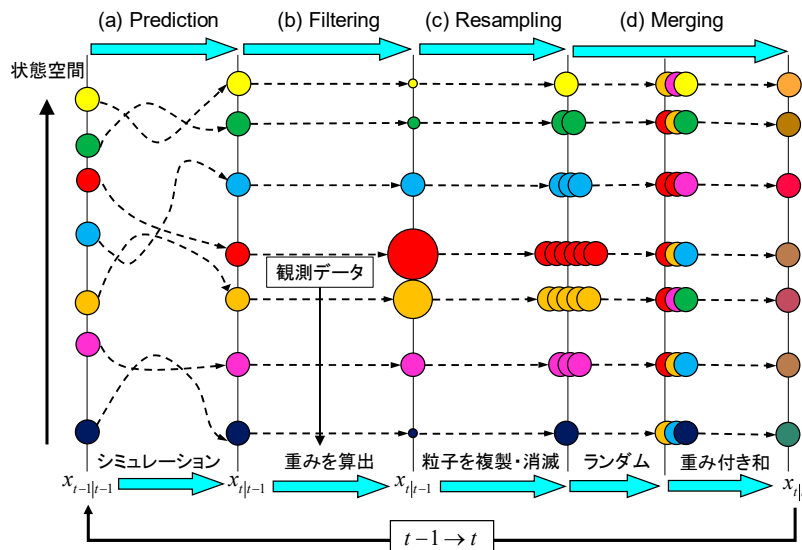


図-2 融合粒子フィルタ (MPF) の概念図

4. 解析結果と考察

図-3 は本研究で用いた解析モデルを示している。深度 15cm と 25cm を境界として 3 層に分割し、モデル上面の境界条件は降雨境界、モデル底面の境界条件は自由排水境界に設定した。降雨境界には上述した浸透能 ω を導入し浸透量を調節した。データ同化に関しては、粒子数 500 個であり、一様乱数によって初期粒子を作成した。観測ノイズは 3 次元正規分布を仮定し、平均は各時刻の体積含水率の計測値、標準偏差は各深度の現地計測データの変動幅の 60%、共分散は 0 とした。なお、データ同化期間は計測期間の最初の 7 日間として、その後の計測データは推定されたパラメータを用いた場合の予測性能を評価するための期間とした。図-4 は各深度における解析結果を示している。上述のように、最初の 7 日間でデータ同化を行い、その後の 49 日間は推定されたモデルに対して降雨データを与えてシミュレーションを行なっている。図中の実線は計測データ、破線は体積含水率の事後分布の平均値 μ 、点線は平均値から $\pm\sigma$ の範囲を示している。これらの結果から、データ同化によって推定されたパラメータ (水分特性曲線および不飽和透水係数の関数) を用いると、データ同化に用いた期間の体積含水率の挙動を再現できるだけでなく、未学習の降雨時の浸透挙動も概ね予測できていることがわかる。図-5 はデータ同化によって推定された水分特性曲線の事後分布を示している。今後は、この推定された水分特性曲線と保水性試験によって得られる水分特性曲線との関係について分析する予定である。

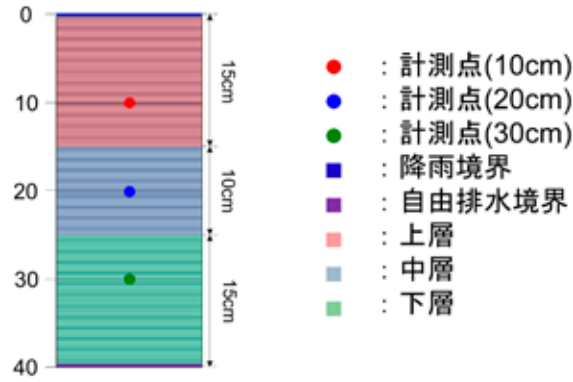
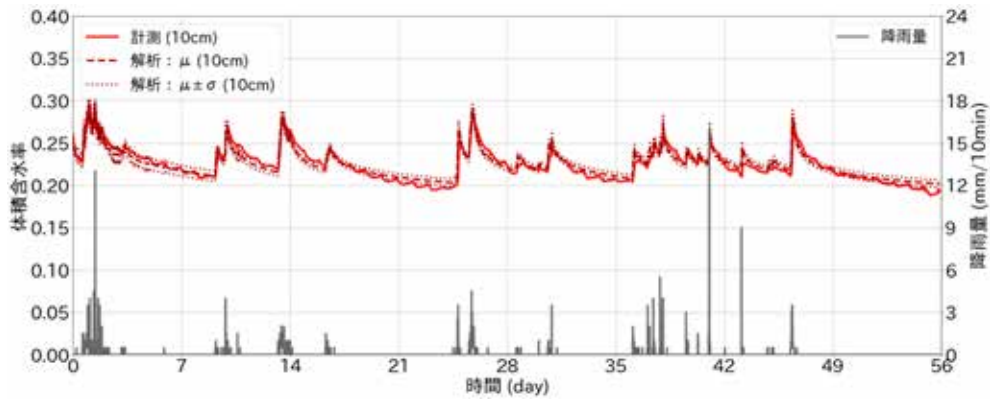
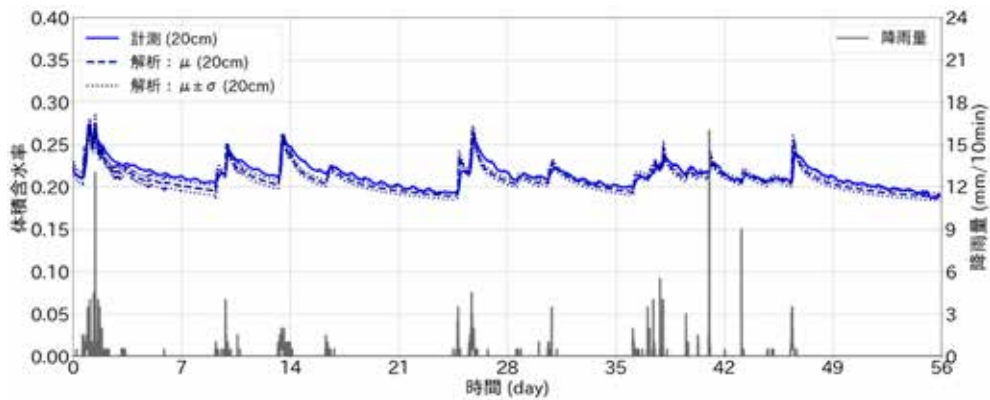


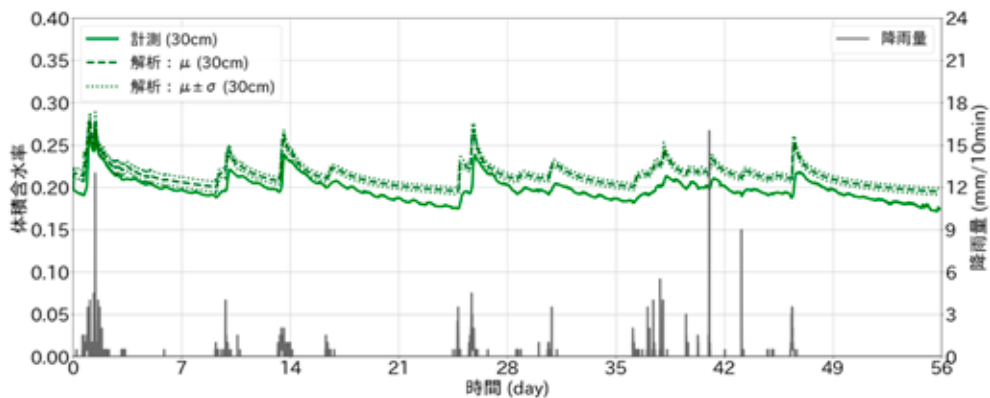
図-3 一次元解析モデル



(a) 深度 10cm



(b) 深度 20cm



(c) 深度 30cm

図-4 解析結果

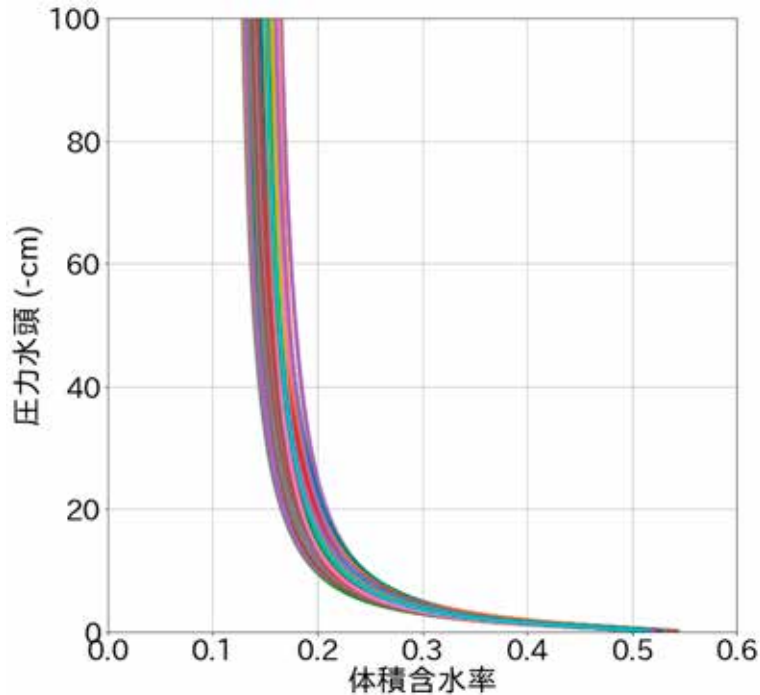


図-5 データ同化によって推定された水分特性曲線の事後分布

5. まとめ

本研究では、不攪乱状態でのシラスの不飽和浸透特性の推定を目的として、シラス地盤における現地計測を行い、それによって得られた体積含水率の計測データに基づく不飽和浸透特性のデータ同化を試みた。その結果、現地計測データを良好に再現できる不飽和浸透特性を推定できることがわかった。今後の展開としては、本研究でデータ同化により推定した不飽和浸透特性と同じ現場で採取した土試料を用いた保水性試験によって推定される不飽和浸透特性を比較し、それらの差異の有無や程度について分析する予定である。

参考文献

- 1) 赤井浩一, 大西有三, 西垣誠: 有限要素法による飽和-不飽和浸透流の解析, 土木学会論文報告集, No.264, pp.87-95, 1977.
- 2) van Genuchten, M.: A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Sci. Soc. Am. J., Vol. 44, No. 5, pp. 892-898, 1980.
- 3) Mualem, Y.: A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media, Water resources research, Vol.12, pp.513-522, 1976.
- 4) 宮田 秀介, 恩田 裕一, 五味 高志, 水垣 滋, 浅井 宏紀, 平野 智章, 福山 泰治郎, 小杉 賢一郎, Sidle Roy C., 寺嶋 智巳, 平松 晋也: 森林斜面におけるホートン型表面流の発生に影響を与える要因—地質および降雨特性の異なる 3 サイトにおける観測結果の解析—, 日林誌, Vol.91, pp.398-407, 2009.
- 5) Nakano, S., Ueno, G., Higuchi, T.: Merging particle filter for sequential data assimilation, Nonlinear Processes in Geophysics, Vol.14, pp.395-408, 2007.

桜島火山灰を構成する斜長石の構造状態に関する研究 (2021年1月～6月)

教育学部 松井 智彰・立山 剛吉

1. はじめに

火山灰は噴火活動の様々な段階の火山碎屑物の混合物であり、起源とするマグマや結晶成長した時期を特定することは火山研究の重要なテーマとして広く認識されている。しかしこれまで「結晶の平均構造を反映する粉末 X 線回折実験で得られる回折線データ」と「桜島火山のリアルタイムの火山活動」を直接関連付ける継続的な取り組みはなされてこなかった。そこで本研究室では、桜島の火山活動を物質科学的に常時監視することを目的として、2012年度から火山灰中で最も構成比が高い斜長石の構造状態に着目して調査を行ってきた。これまでの調査によって、火山灰に含まれる斜長石の構造状態が火山活動（噴火の規模・回数や降灰量等）に対して敏感に変動し、斜長石の構造状態が火山活動の推移をモニタリングするための有力な指標となることが示されている（例えば、松井・足立 2018）。今年度は新たに重液による斜長石の単離を追加し、より精密に構造状態を推定してリアルタイムの火山活動と照らし合わせた結果を報告する。

2. 実験方法

今回の調査も、桜島南岳山頂火口の東北東約 5 km に位置する鹿児島市立黒神小学校に協力を依頼して調査に必要な火山灰試料採取した（図 1）。2017年度から 2019年度まで試料採取地点としていた黒神中学校の北約 900m に位置している。実験方法のフローチャートを図 2 に示す。

採取期間は 2020年12月17日から 2021年6月30日までの約 6ヶ月間で合計 6試料を回収した。火山灰は水洗しトレイに移して数日間乾燥、乾燥試料の質量測定後 1 m²あたりに換算した。電子プローブマイクロアナライザ (EPMA) を用いた化学組成分析用、蛍光 X 線分析（全岩組成分析）用、粉末 X 線回折実験用に各月計 2 g 程度の試料を縮分によって確保し、残りをフルイ分け用とした。

フルイ分けは、ロータップ型フルイ振とう機を使用して各試料につき 150 秒間行い、62μm 未満、62～120μm、120～250μm、250～500μm、500μm 以上の 5 つに分け、粒度分析を行った。その後、250μm 以上 500μm 未満の試料について双眼実体顕微鏡を用いて砂粒組成分析を行った。また、全岩試料および 250μm 以上 500μm 未満の試料においては実体顕微鏡を用いて肉眼観察し写真撮影を行った。

粉末 X 線回折実験は、リガク社製 X 線回折装置 Ultima IV Protectus（管電圧 40kV；管電流 40mA；モノクロメータ（グラファイト）使用；発散スリット・散乱スリット 1°；受光スリット 0.15mm）を用いて CuKα 線によって測定し、回折線データ（XRD 図形）を得た。全岩試料



図 1. 火山灰試料採取地点

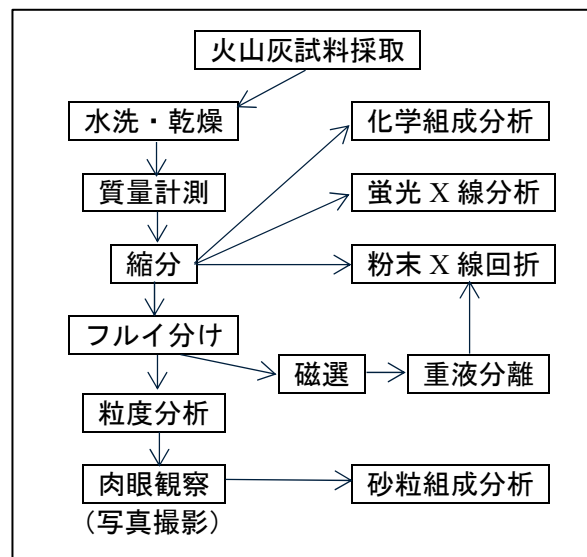


図 2. 実験方法のフローチャート。

では $3^\circ \leq 2\theta \leq 70^\circ$ の範囲を $10^\circ/\text{min}$ で測定し、統合粉末X線解析ソフトウェア PDXL を用いた COD (Crystallography Open Database) とのコンピューター照合により火山灰に含まれる主な鉱物を同定した。火山灰から磁石で磁性鉱物を除去した磁選後の試料については、後述の重液による斜長石の単離を行い、構造状態を判定するために、 $21^\circ \leq 2\theta \leq 33^\circ$ の範囲を $0.1^\circ/\text{min}$ (発散スリット・散乱スリット $1/2^\circ$, 受光スリット 0.3mm) で精密に測定し、Scheidegger (1973) に従って面指数 (-201), (1-11), (1-31), (220), (131) に対応する回折線の角度 (2θ) から $B (= 2\theta_{(1-11)} - 2\theta_{(-201)})$ と $\Gamma (= 2\theta_{(131)} + 2\theta_{(220)} - 4\theta_{(1-31)})$ を求めた。

重液分離では、フルイ分けによって得られた粒径 $120\mu\text{m} \sim 250\mu\text{m}$ の火山灰試料 1～5 月分および 6 月分の火山灰全岩試料において斜長石 (比重 $2.62 \sim 2.76$) を単離するために重液としてポリタングステン酸ナトリウム ($3\text{Na}_2\text{WO}_4 \cdot 9\text{WO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) 水溶液を用いた。比重ガラスを用いて比重が $2.36 \sim 2.46$ (重液 A) と $2.75 \sim 2.93$ (重液 B) の重液を調整し、それぞれ斜長石より比重が大きい鉱物 (輝石類等) と小さい鉱物 (クリストバライト等) を取り除いた。単離した斜長石を前述の構造状態を推定するための粉末 X 線回折実験の試料とした。

斜長石の化学組成分析は鹿児島大学研究支援センター機器分析施設の日本電子社製電子マイクロアナライザー (EPMA) JXK-8230 (電子銃: LaB_6 , 加速電圧: 15kV , 照射電流: $1.0 \times 10^{-8}\text{A}$, プローブ径: $10\mu\text{m}$) を用いて決定した。

火山灰の全岩組成分析は、1月から6月分の全6試料をメノウ乳鉢で粉末化したのち、メルク社製融剤スペクトロメルト ($\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$) の希釈率を $1:10$ (重量比) のガラスビードにして、鹿児島大学研究支援センター機器分析施設のリガク社製蛍光 X 線分析装置 ZSX-100e を用いて、主要 10 元素 (SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , P_2O_5) について行った。今回も、産業技術総合研究所地質調査総合センター調整の地球化学的標準試料 (JA-1, JA-2, JA-3, JB-1a, JB-2, JB-3, JG-1a, JG-2, JG-3, JGb-1, JP-1, JR-1, JR-2) を検量線用の標準試料として使用した。

3. 結果と考察

(1) 試料採取

火山灰試料の採取期間、採取量 (1m^2 当たり) に換算) 及び桜島噴火回数、西風での噴火回数 [URL1] を図 3 に示す。採取量と噴火回数および西風での噴火回数との相関関係はみられなかった。



図 3. 噴火回数と火山灰採取量。

噴火回数は、鹿児島地方気象台 2021 年桜島噴火観測表 [URL1] による。

表 1. 降灰量と粒度分布。

番号	採取期間	日数	質量 (g/m^2)	粒度分析 (%)	
1	2020/12/17 ~2021/1/21	35	344.9	$\leq 62 (\mu\text{m})$	0.2
				62-120	19.7
				120-250	37.3
				250-500	23.7
				500 <	19.2
2	2021/1/21 ~2021/2/24	34	158.0	$\leq 62 (\mu\text{m})$	0.4
				62-120	13.5
				120-250	30.1
				250-500	31.8
				500 <	24.2
3	2021/2/24 ~2021/3/30	34	287.9	$\leq 62 (\mu\text{m})$	35.7
				62-120	3.8
				120-250	20
				250-500	25.6
				500 <	17.5
4	2021/3/30 ~2021/4/28	29	103.9	$\leq 62 (\mu\text{m})$	0.7
				62-120	1.5
				120-250	35.2
				250-500	42.2
				500 <	20.4
5	2021/4/28 ~2021/5/27	29	541.8	$\leq 62 (\mu\text{m})$	8.4
				62-120	28.3
				120-250	21.7
				250-500	17.4
				500 <	24.2
6	2021/5/27 ~2021/6/30	34	9.7	/	

(2) フルイ分け・肉眼観察

採取量が非常に少なかった 6 月分試料以外の試料をフルイ分け・粒度分析の対象とした。500 μm 、250 μm 、120 μm 、62 μm のメッシュクロスを用いてフルイ分けした結果を表 1 に示す。粒度分布は採取期間ごとばらつきが見られた。肉眼観察による砂粒組成分析の結果、クロ岩片が約 50% を占め、シロ岩片とアカ岩片は相補的關係であった。これまでの調査（例えば、松井ほか, 2017; 松井・足立, 2018; 松井・七村, 2019）と同様、岩片の割合が高く、肉眼で判別できる鉱物結晶としては斜長石が多く確認された。これらの斜長石の構造状態を推定するために、120~250 μm の試料を使用した。

(3) 粉末 X 線回折実験

火山灰全岩試料の粉末 X 線回折の結果、斜長石と輝石のピークを確認した。昭和溶岩中に確認されるクリストバライトの最強線が斜長石の(-201)面のピークが現れる 22 度付近に、輝石類の主要な回折線が斜長石の(1-31)面と(131)面のピークが現れる 29.5 度から 31 度付近にかけて重なることから、磁選の後、重液による斜長石の単離を行うこととした。まず試料 1（採取期間：2020 年 12 月 17 日~2021 年 1 月 21 日）について磁選のみと重液 A・B によって分離後の試料をより精密な条件で測定して得られた回折線図形を比較した（図 4）。重液 A に浮いた試料ではクリストバライトと少量の斜長石、重液 B で沈んだ試料には輝石類と少量の斜長石、重液 A で沈み重液 B に浮いた試料では斜長石のみの回折線ピークが確認され、重液によって斜長石以外の鉱物が分離されたことが確認された。クリストバライトや輝石類に混じって見られた斜長石のピークは、空隙や比重の大きい鉱物が共存する岩片中の微小な斜長石に由来するものと考えられる。また重液 A に浮いた試料ではクリストバライトの最強線 ($2\theta = 22$ 度付近) の低角側に小さい肩のようなピークが特徴的に見られる。単離した斜長石（重液 A で沈み重液 B に浮いた試料）全 6 試料を同じ精密な条件で測定し図 5 に示す回折線図形を得た。Scheidegger (1973) に従って面指数(1-11), (-201), (131), (220), (1-31) に対応する回折線の角度 (2θ) から $B (= 2\theta_{(1-11)} - 2\theta_{(-201)})$ と $\Gamma (= 2\theta_{(131)} + 2\theta_{(220)} - 4\theta_{(1-31)})$ を求めた。Ca に富む斜長石の場合 B/Γ プロットによって灰長石成分 (mol%) と構造状態、すなわち長石の結晶構造の T 席における Al と Si の秩序・無秩序配列をある程度推定することができる（図 6）。試料採取期間によるばらつきはなく狭い範囲に収まっているように見えるが、2 月~4 月の期間に、より秩序度が低い構造状態の斜長石を多く含む火山灰が噴出したと推定される。また 2018 年までの一連の調査結果（松井・七村, 2019）と比べて灰長石成分に富む範囲に分布していた。

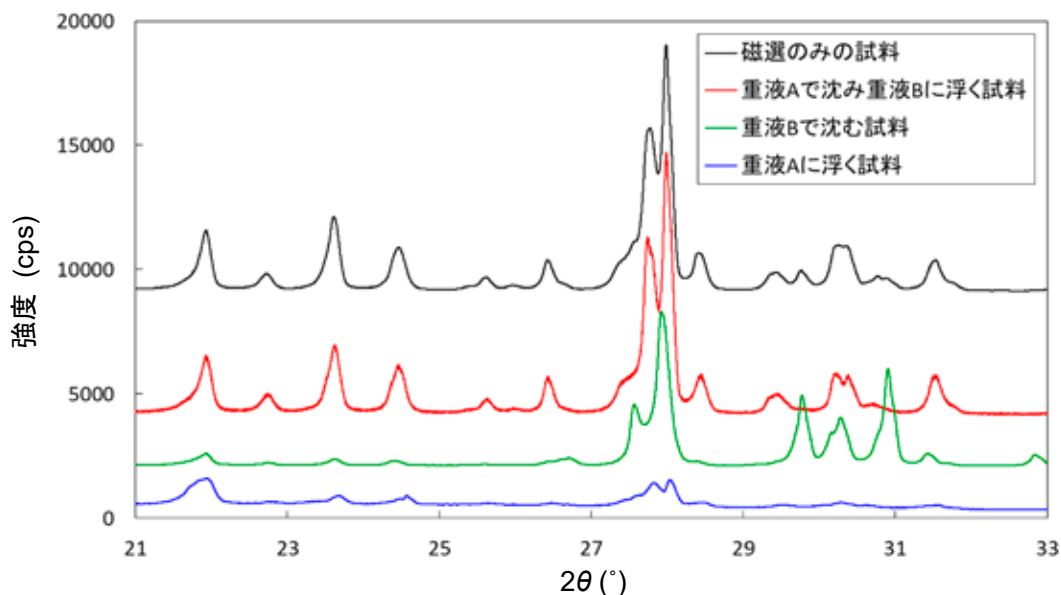


図 4. 重液処理前と分離後の試料の粉末 XRD 図形.

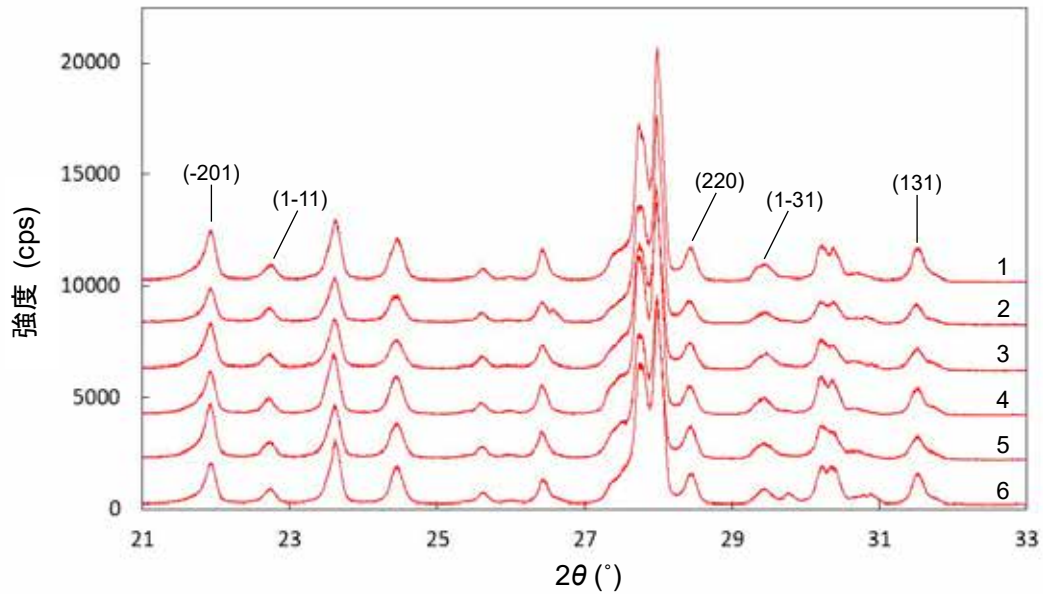


図5. 重液により単離した斜長石の粉末 XRD 図形（上から試料番号 1～6 の順）.

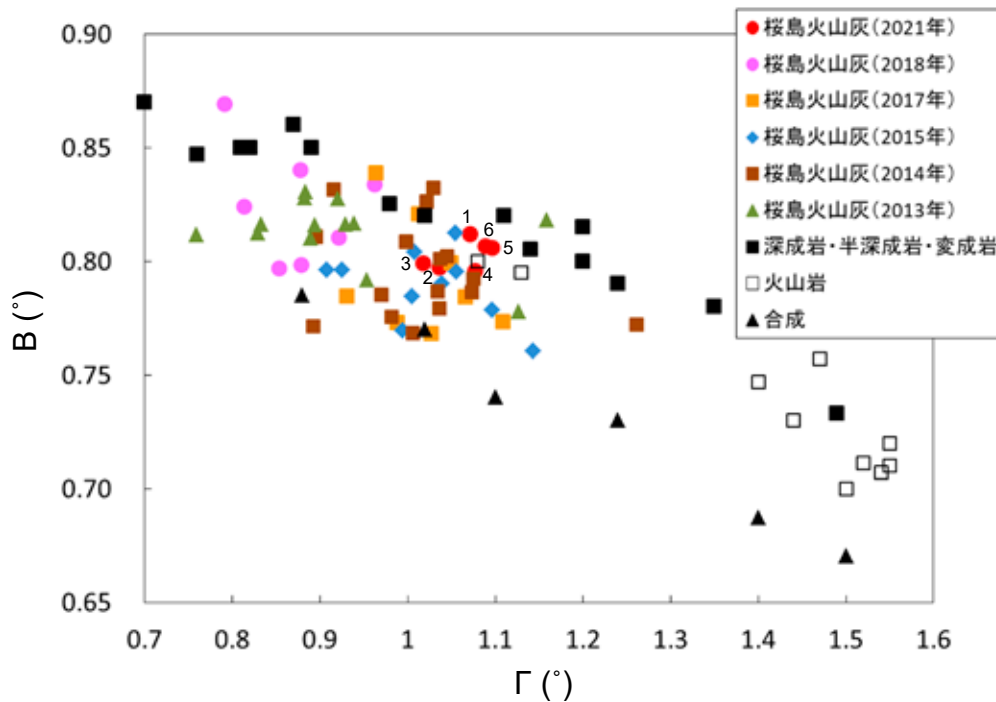


図6. 桜島火山灰を構成する斜長石の B/Γ プロット. 深成岩・半深成岩・変成岩, 火山岩中の斜長石および合成斜長石のデータは Smith & Gay (1957)による. 赤丸の近くの数字は試料番号.

(4) 化学組成分析

全6試料の EPMA による化学組成分析の結果, 各月の試料のうち最も An-rich なものと Ab-rich なものの代表値を表2に示す. 火山灰には火成活動における様々な段階における生成物が混合している. 火山岩中の斜長石斑晶では化学組成の累帯構造がよく観察され, 桜島の火山灰においても一般的に見られることを注意しておかなければいけない. 今回採取した火山灰においても, 組

成幅が中性長石から亜灰長石まで ($Ab_{50}An_{50} \sim Ab_{10}An_{90}$) 広く確認された。前述の粉末 X 線回折実験における回折線は、単離した斜長石であっても様々な化学組成や構造状態をもつ固溶体の回折線のピークが重ね合わさったものを見ていると認識しておく必要がある。

表 2. 2021 年 1 月～6 月に桜島から噴出した火山灰中の斜長石の代表的化学組成.

	1月		2月		3月	
	Ca-rich	Na-rich	Ca-rich	Na-rich	Ca-rich	Na-rich
SiO ₂	48.66	52.79	47.23	53.95	46.53	55.63
Al ₂ O ₃	33.61	29.93	34.99	29.80	35.26	29.05
FeO	0.69	0.66	0.63	0.70	0.64	0.64
CaO	14.81	11.40	15.94	11.18	16.02	9.87
Na ₂ O	2.62	4.44	1.95	4.65	1.67	5.19
MgO	0.07	0.08	0.06	0.06	0.06	0.07
Total	100.46	99.30	100.80	100.34	100.18	100.45
酸素原子8個に対する原子比						
Si	2.213	2.402	2.148	2.426	2.129	2.486
Al	1.802	1.605	1.875	1.580	1.902	1.530
Fe	0.026	0.025	0.024	0.026	0.024	0.024
Ca	0.722	0.556	0.776	0.539	0.785	0.473
Na	0.231	0.392	0.172	0.405	0.148	0.449
Mg	0.005	0.005	0.004	0.004	0.004	0.005
Total	4.999	4.986	5.000	4.981	4.993	4.967
	4月		5月		6月	
	Ca-rich	Na-rich	Ca-rich	Na-rich	Ca-rich	Na-rich
SiO ₂	45.08	52.66	51.01	54.77	47.45	53.43
Al ₂ O ₃	35.31	31.41	31.53	29.29	34.78	29.93
FeO	0.55	0.57	0.57	0.67	0.61	0.67
CaO	16.83	12.09	12.97	10.36	15.61	11.18
Na ₂ O	1.22	3.86	3.70	4.99	2.10	4.71
MgO	0.05	0.08	0.06	0.06	0.04	0.08
Total	99.04	100.67	99.84	100.14	100.59	100.00
酸素原子8個に対する原子比						
Si	2.092	2.364	2.320	2.461	2.160	2.414
Al	1.932	1.662	1.690	1.552	1.866	1.593
Fe	0.021	0.021	0.022	0.025	0.023	0.025
Ca	0.837	0.582	0.632	0.499	0.761	0.541
Na	0.110	0.336	0.327	0.435	0.185	0.412
Mg	0.004	0.005	0.004	0.004	0.003	0.005
Total	4.996	4.969	4.995	4.975	4.998	4.991

(5) 蛍光 X 線分析 (全岩組成分析)

蛍光 X 線分析における全岩組成分析の結果 SiO₂成分の質量は 60 (mass%) 前後であり、すべての試料で安山岩質である。採取期間を通して化学組成の経時変化などは認められず、この期間は桜島火山のマグマ供給系に苦鉄質マグマの注入のような大きな変化はなかったと考えられる。2018 年火山灰試料と比較すると Mg と Na の割合が増大しており、Ca と Fe の割合が減少していることが判明した。

4. まとめと今後の課題

今回の調査では、重液分離により斜長石を単離することによって、これまでより精密に構造状態を推定することが可能になった。2021 年の調査期間では、噴火回数が多い期間に噴出した火山灰中の斜長石がより低い秩序度を示す傾向が確認された。また、2018 年に比べ灰長石成分に富む方向にシフトしていた。一方、2018 年に比べ Ca に乏しく Na に富むことを示す蛍光 X 線分析の結果は、これらの期間の斜長石の化学組成の変化と調和しないことから再検討を要すると思われる。今回の結果をふまえて、2018 年度以前の火山灰試料についても斜長石を単離した後に粉末 X 線回折実験を行い、構造状態と火山活動の推移について改めて考察し直す必要があると考える。更に火山灰中の斜長石斑晶における組成累帯構造を考慮すると、回折線のピーク分離を適切におこなったうえで斜長石の化学組成と構造状態をより精密に議論する必要がある。今後も火山灰を構成する鉱物の構造状態に関するデータを蓄積し地球物理学的観測データの経時変化と照らし合わせることで、火山活動を監視する新たな視点を提供することになると期待される。

謝辞

本調査を遂行するにあたり、鹿児島市立黒神小学校の皆様には火山灰試料の採取にご協力いただきました。また、火山灰の化学組成分析では鹿児島大学研究推進機構研究支援センター機器分析施設の大倉寛一氏、全岩組成分析では同施設の七村和彰氏に大変お世話になりました。記して御礼申し上げます。

引用文献

- 松井智彰・丸本啓介・中村美勇・戸高京介 (2017) 桜島火山から噴出する火山灰を構成する斜長石の構造状態 —火山灰構成鉱物から火山活動を監視するための予備的研究—. 鹿児島大学教育学部研究紀要 (自然科学編), 68, 23-30.
- 松井智彰・足立稜太 (2018) 桜島から噴出する火山灰の構成鉱物に関する研究 (2017 年 3 月~10 月) —地域の自然環境を深く正確に理解した力量ある理科教員の養成—. 鹿児島大学地域防災教育研究センター平成 29 年度報告書, 鹿児島大学地域防災教育研究センター, 69-76.
- 松井智彰・七村玲奈 (2019) 桜島から噴出する火山灰の構成鉱物に関する研究—火山灰中の変質鉱物から火山活動を監視するための予備的調査—. 鹿児島大学地域防災教育研究センター平成 30 年度報告書, 鹿児島大学地震火山地域防災センター, 111-116.
- Scheidegger, K.F. (1973) Determination of structural state of calcic plagioclases by X-ray powder technique. *American Mineralogist*, 58, 134-136.
- Smith, J.V. and Gay, P. (1957) The powder patterns and lattice parameters of plagioclase feldspars. II. *Mineralogical Magazine*, 31, 744-762.
- [URL1] 鹿児島地方气象台, 2021 年桜島噴火観測表 https://www.data.jma.go.jp/kagoshima/vol/data/skr_exp_list/skr_exp_2021.html.

薩摩半島市来断層帯五反田川断層の活動履歴調査

共通教育センター 井村 隆介
理学部 植木 翼

1. はじめに

薩摩半島西部、いちき串木野市に位置する五反田川断層は、『九州の活構造』(九州活断層研究会編, 1989)で確実度 III, 『日本の活断層-分布と資料』(活断層研究会編, 1991)で確実度 II の活断層と記載された断層である。この断層は、渡辺(1989)や九州活断層研究会(1989)によって「今後も活動する活断層とは考えにくい」と評価された。一方、九州電力(2009)は川内原子力発電所の耐震性評価の中で、五反田川断層を「耐震設計上考慮する活断層」として記載を行い、地震調査研究推進本部地震調査委員会(2013)は五反田川断層を含む周辺断層群を「市来断層帯」として長期評価を行った(五反田川断層は市来区間と呼んでいる)。しかしながら、この長期評価を行うにあたっての市来断層帯の最新活動時期・平均活動間隔などの情報は全くなく、将来の活動性はとても評価されているとは言いがたい状況にある。五反田川断層は、いちき串木野市市街地に近いところに位置し、それが活動した時には人口密集地で大きな被害が出ることが予想される。本研究では、五反田川断層の活動区間・最新活動時期・平均活動間隔などの活動履歴を明らかにすることを目的として調査を行った。

2. 五反田川断層の概要

五反田川断層は、いちき串木野市西薩町から薩摩川内市樋脇町市比野まで分布している延長14kmの正断層とされている(九州活構造研究会, 1989)。地震調査研究推進本部地震調査委員会(2013)は、地表で認められる長さを17kmとし、さらに、いちき串木野市の西方海域まで連続する可能性を指摘した。五反田川断層断層の走向はE-NEで、断層面の傾斜は40-60°で南に傾斜しているとされている(産業技術総合研究所, 2005)。

五反田川断層の活動性について渡辺(1989)は、(五反田川断層を含む)市来断層系は第四紀断層ではあるが、周辺の第四紀後期の地層や地形面に変位が認められないため、断層の活動間隔が極端に長くない限り、今後も活動していくとは考えにくいと述べ、「活断層」とは言えないとしている。九州活断層研究会編(1989)も約100万年前に噴出した川内玄武岩(宇都・内海, 1983)に断層変位が見られないことから、「今後も活動していくとは考えにくい」とした。兵庫県南部地震後に地震調査研究推進本部が選定した「基盤的調査観測の対象活断層」(日本全体で98断層、鹿児島県では出水断層帯が選定された)にも市来断層系が含まれることはなく、中田 高・今泉俊文編(2002)『活断層詳細デジタルマップ』にも五反田川断層を含む市来断層系は活断層として掲載されていない。

地震調査研究推進本部地震調査委員会(2013)は、九州電力(2009)や原子力安全・保安院(2010)の調査結果をもとに、五反田川断層(市来断層系市来区間)の活動性について評価を行っている。地震調査研究推進本部地震調査委員会(2013)では、断層の長さからM7.2程度の地震が発生し、そのずれの量は3m程度に達すると想定されている。鹿児島県(2014)ではこの想定を踏まえ、五反田川断層が動いた時の被害想定(県西部直下)を行っている。

3. 五反田川断層周辺の地形・地質と断層リニアメント

五反田川断層の延長14kmのうち、空中写真判読にて顕著なリニアメントが見られた約10kmの区間(Fig. 1)について地形・地質を精査した。リニアメント周辺の地形分類・野外調査の結果、この周辺の地形は、北薩火山岩類(宇都ほか, 1997)が作る山地、阿多火砕流(Ata: 110ka)堆積面、入戸火砕(A-Ito: 29ka)流堆積面、河成段丘I・II面、沖積錐、沖積面に分類できた(Fig. 2)。

Ata面は五反田川上流の冠岳温泉付近に見られた。A-Ito面は五反田川左岸側で厚く堆積し台地

を形成しているが、五反田川右岸側では分布が限られる。河成段丘Ⅰ面は五反田川右岸側、河成段丘Ⅱ面は五反田川中流域の広範囲に分布する。沖積錐は五反田川周辺山地からの小溪流に沿って多数発達しており、一部の地域で河成段丘Ⅰ・Ⅱ面を覆うように堆積している。河成段丘Ⅰ・Ⅱ面には縄文時代早期の遺跡が分布していることから（鹿児島県埋蔵文化センター，2010），両面は10ka以前に形成されたと考えられる。

五反田川断層のリニアメントに沿って、いくつかの断層露頭（Fig. 3）や断層変位地形を確認できたが、いずれも北薩火山岩類がつくる地層や地形の中でのみ認められ、110kaに形成されたAta面やそれ以降にできた地形面・地層を切る断層変位地形は確認できなかった。九州電力（2015）が断層面の可能性を指摘した地表付近の断裂は、この周辺の基盤岩である北薩火山岩類（宇都ほか，1997）に見られる表層崩壊あるいは地すべりに伴う割れ目や断裂（Fig. 4）であり、上下方向や水平方向の大きな変位は認められない。

4. まとめ

薩摩半島西部、いちき串木野市に位置する五反田川断層の活動履歴を明らかにするために、周辺の地形地質調査を行った。九州電力（2009）、原子力安全・保安院（2010）や地震調査研究推進本部地震調査委員会（2013）によって、活断層としてその活動性が検討された五反田川断層ではあるが、少なくとも最近11万年の間に、繰り返し活動しているという証拠は見つからなかった。したがって、五反田川断層は、「第四紀の後期に反復して活動した内因性の断層」という活断層の定義（地質調査所環境地質部地震地質課，1983）には当てはまらず、他の地域で扱われている「活断層」と同等の評価はできないと考えられる。

文献

- 地質調査所環境地質部地震地質課（1983）：50万分の1活構造図シリーズについて。地質調査所月報，34，27-37。
- 原子力安全・保安院（2010）：耐震設計審査指針の改訂に伴う九州電力会社 川内原子力発電所1号機 耐震安全性に係る評価について（基準地震動の策定及び主要な施設の耐震安全性評価），原子力安全・保安院耐震安全バックチェック審議資料，65p。
- 鹿児島県（2014）鹿児島県地震等災害被害予測調査。鹿児島県。
- 鹿児島県埋蔵文化財センター（2010）柗城跡。南九州西回り自動車道建設に伴う埋蔵文化財発掘調査報告，鹿児島県立埋蔵文化財センター発掘調査報告書155。
- 活断層研究会編（1991）新編・日本の活断層-分布図と資料。東大出版会。
- 九州電力（2009）「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の改訂に伴う川内原子力発電所耐震安全性評価結果報告書。
- 九州電力（2015）川内原子力発電所基準地震動の策定について。平成25年度第18回原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合資料。
- 九州活断層研究会編（1989）九州の活構造。東大出版会。
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会（2013）市来断層帯の長期評価。地震調査研究推進本部ウェブサイト（http://www.jishin.go.jp/main/p_hyoka02_danso.htm）。
- 中田 高・今泉俊文編（2002）活断層詳細デジタルマップ。東大出版会。
- 産業技術総合研究所（2005）活断層データベース（<https://gbank.gsj.jp/activefault/search>）。
- 宇都浩三・内海 茂（1983）南九州川内玄武岩類のK-Ar年代。火山，28，204。
- 宇都浩三・阪口圭一・寺岡易司・奥村公男（1997）20万分の1地質図福「鹿児島」。地質調査所。
- 渡辺満久（1989）鹿児島県川内市周辺火山地域の断層系。活断層研究，7，105-112。

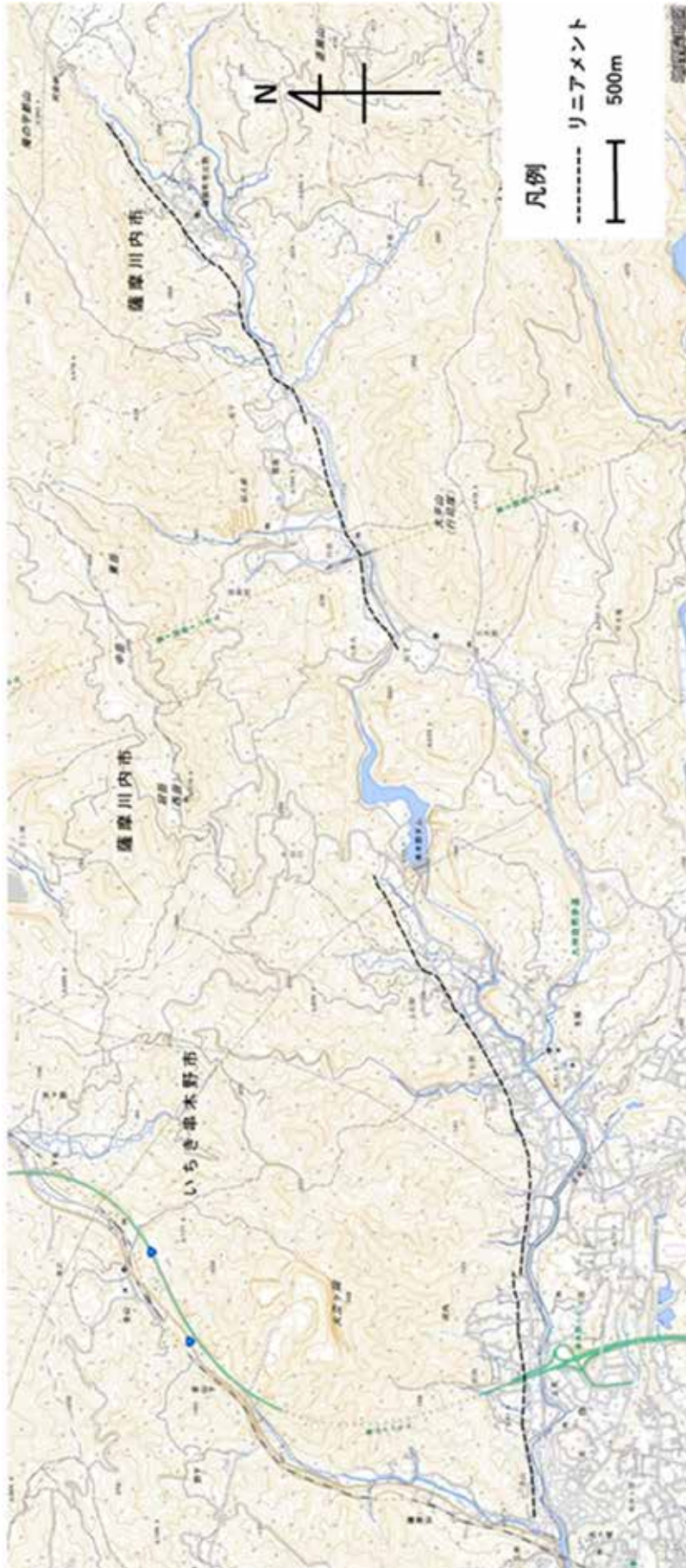


Fig.1 空中写真判読より抽出したリニアメント（地理院地図に加筆）

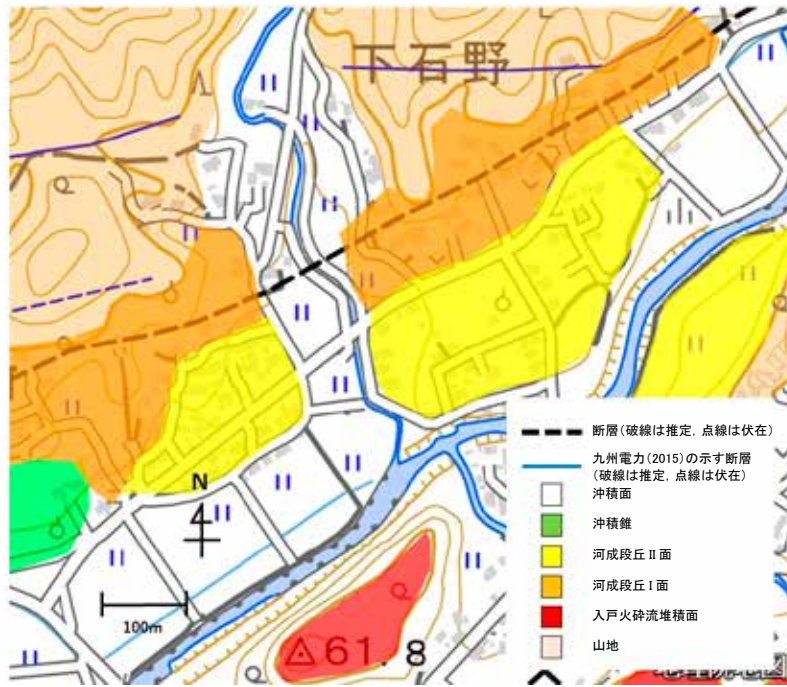


Fig.2 リニアメント付近の詳細地形分類図 (いちき串木野市下石野付近)



Fig.3 北薩火山岩類中に見られる断層 (薩摩川内市樋脇町市比野阿母峠付近)



Fig.4 九州電力（2015）で断層として記載された北薩火山岩類の中の亀裂
（いちき串木野市河内）

開口割れ目で亀裂を挟んだ岩盤をパズルのように合わせることもできるので、断層運動による断層面ではなく、表層崩壊による亀裂と考えられる。

令和2年7月豪雨による地盤災害調査と 地質の異なる法面復旧対策の検討

農学部 平 瑞樹・上田 陽平

1. はじめに

令和2年7月3日から8日にかけて梅雨前線が九州地方から東日本に停滞し、活発なまま九州に停滞し、記録的な大雨となった。気象庁は、熊本県、鹿児島県、福岡県、佐賀県、長崎県、岐阜県、長野県の7県に大雨特別警報を発表した。長野県や高知県では7月の総降水量が2,000ミリを超えたところもあり、九州南部、九州北部、東海や東北地方で24時間降水量が観測史上1位を超えた。

本報では、全国各地で被害を大きくした7月豪雨の特徴について概観し、球磨川水系の氾濫により埋没した農地の被害状況や農道斜面の崩壊など現地調査の報告、埋没した農地への土砂流入および造成団地の法面崩壊の現況について調査した。ここで得られた知見については、球磨川水系沿いの水田復旧や豪雨で崩壊した造成団地の法面对策工法を検討するための重要な基礎資料とする。ここでは、外乱による擁壁の崩壊を和らげるための工法を検討することを目的として、ブロック積擁壁の転倒抑制効果を軽減するために裏込め材の効果について室内試験をおこなった。

2. 令和2年7月豪雨

7月豪雨の特徴は、梅雨前線が華中から九州付近に停滞して、西日本から東北地方の広い範囲で梅雨末期の前線が北上した大雨であった。7月13日から14日にかけて中国地方、26日から29日にかけて東北地方に中心が移動し、九州、東海、東北の多くの地点で24、48、72時間降水量が観測史上1位の記録を更新した地点が多数あった。1時間降水量では、鹿児島県鹿屋市109.5ミリ(6日)、日置市東市来98.5ミリ(3日)、熊本県天草市牛深98.0ミリ(4日)、熊本県葦北郡芦北町田浦86.5ミリ(4日)、24時間降水量では、大分県日田市497ミリ(7日)、鹿児島県鹿屋市496ミリ(6日)、熊本県球磨郡湯前町489.5ミリ(4日)、水俣市474.5ミリ、あさぎり町463.5ミリ、球磨村455.5ミリ、山江村453ミリ(4日)と図-1～図-4に示すように熊本県南部のアメダス観測値からも猛烈な雨が短期間に降ったことがわかる。

死者・行方不明者は86名で、負傷者77名を含む計163名が報告されている。住宅被害は、全壊や浸水など16,599棟(令和2年7月16日現在)が計上された。熊本県球磨地方が67名の死者・行方不明者(球磨村25名、人吉20名、芦北12名、八代5名、山鹿2名、津奈木3名)で

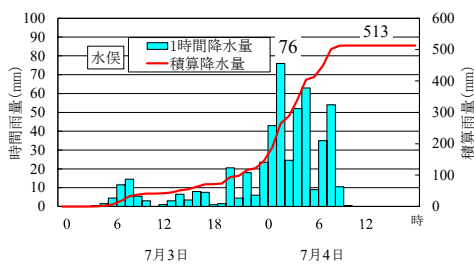


図-1 アメダス降水量(水俣)

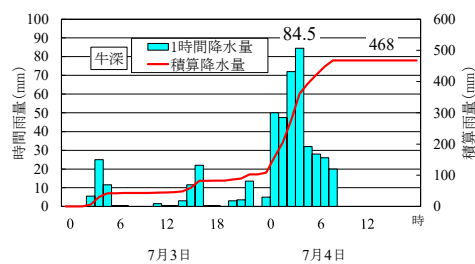


図-2 アメダス降水量(牛深)

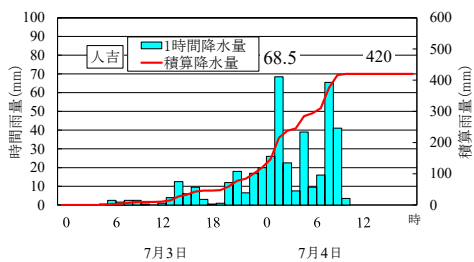


図-3 アメダス降水量(人吉)

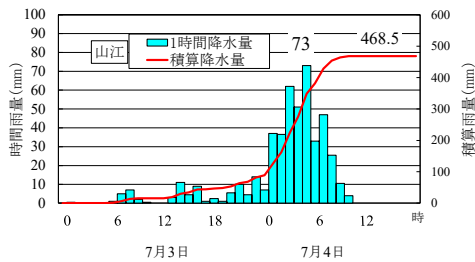


図-4 アメダス降水量(山江)

被害が甚大である。また、土砂災害の発生状況は、全国 961 件で、その内でも熊本県が 226 件、長野県 73 件、福岡 62 件、神奈川 61 件、長崎 42 件、和歌山と広島 36 件などで、芦北町で 8 名、津奈木町で 3 名が土砂崩れによる死亡者が確認されている。

河川の溢水や超水による氾濫が全国で発生しており、芦北町佐敷川の溢水（浸水家屋 1,620 戸、浸水面積 304ha）、相良村川辺川（149 戸、130ha）、日田市玖珠川（290 戸、38.5ha）、大牟田市では、大牟田川（2,168 戸、126ha）、諏訪川（1,885 戸、237ha）堂面川や白銀川の溢水・内水被害が際立っている。また、道路（10 路線、29 区間）・橋梁（球磨川水系、10 橋流失）や鉄道（3 事業者 4 路線）の交通インフラ被害も甚大であるため、関係部署での対策が急がれる。



写真-1 球磨村大瀬森林館



写真-2 球磨川堤防法面の崩壊



写真-3 球磨川河道の現況



写真-4 球磨川沿いの鉄道線路



写真-5 芦北町の農道被害



写真-6 法面の崩壊（芦北町鶴木山）

写真-1～写真-6 は、令和 3 年 11 月に 2 回人吉・球磨地方の現状を調査した際に撮影した現況写真である。橋梁の付け替え工事が進められている一方、河川護岸の法面工事が着手されていない場所が多く、物資の輸送や生活に必要な地域の道路網・鉄道路線の復旧もこれからである。

3. 擁壁の崩壊対策のための室内試験

ブロック積みや石材構造物の多くは築造から長い年月が経過しているものが多く、近年の集中豪雨や地震等の増加による外力の影響、新たな構造物の築造に伴う荷重の増加により、農地や造成地の石積み擁壁の崩壊の危険性が高まっている。そこで、石積み擁壁における裏込め部に着目し、石積み擁壁を地盤内から補強することで安定性を増す方法を模索することを目的として、砂地盤を模したアルミ棒積層体地盤に、離散体の石材ブロックを石積み擁壁に模した室内モデル実験を実施した。

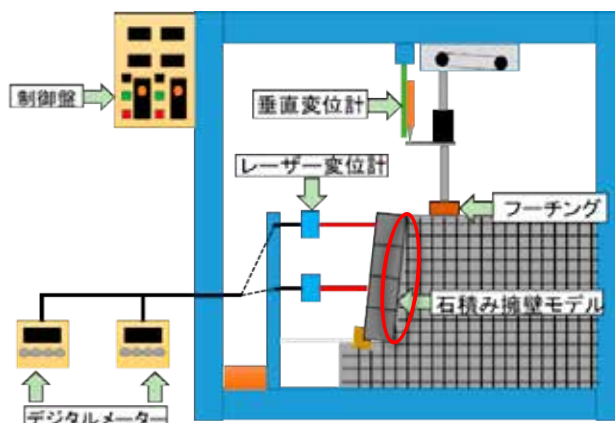


図-5 実験装置の概略図

4. 実験材料および方法

4.1 材料と実験条件

図-5 に実験装置の概略図を示す。実験はアルミ棒積層体を用いて、裏込め材をモデル化する実験(ケース 1)、補強材のみを用いた実験(ケース 2)および裏込め材と補強材の両方を用いた実験(ケース 3)の 3 種類をおこなった。

ケース 1 では、裏込め材として直径 5mm の棒状のゴム材およびバルサ材を縦方向に 2 列で厚さ 10mm となるように設置して実験をおこなった。

ケース 2 では、補強材として、スポンジ、気泡緩衝材、発泡スチロールの 3 種類を厚さ約 7mm の薄いシート状で使用し、図-5 のブロックとアルミ棒積層体の間に①長さ 200mm で設置、②長さ 100mm で 2 つ設置、③長さ 50mm で 4 つ設置、④長さ 50mm で下端から 2、4 段目のみに設置の 4 条件で設置した。また擁壁の勾配は 1 分勾配(84°)および 2 分勾配(78°)に設定した。

ケース 3 の裏込め材と補強材を両方設置した実験では、補強材を石積みと裏込め材の間(裏込め前方部)および裏込め材とアルミ棒積層体の間(裏込め後方部)の 2 ヶ所に設置して実験をおこなった。

4.2 実験方法

室内実験はブロック擁壁の転倒による崩壊を仮定して実施した。石材ブロックおよび裏込め材を設置し、アルミ棒を積み上げた。その際、石材ブロックを自立させるために最下段を固定した。また地盤内の変形の確認を容易にするために、積層体の前面に黒油性ペンで 20mm×20mm のメッシュを描き、レーザー変位計のターゲットが石材ブロックの下端から 2、4 段目の中心に当たるように設置した。その後、上方からの荷重を加えるフーチングを 1.0mm/min の速度で降下させて荷重し、垂直変位計が 0.5mm 沈下するごとに石材ブロックの水平変位量(mm)を記録し、1.0mm 沈下するごとに地盤変形状況をデジタルカメラで記録した。垂直変位計の許容測定範囲である 50mm、レーザー変位計の許容測定範囲である 30mm を超えるもしくは擁壁が崩壊した時点を実験終了とした。

5. 結果と考察

実験結果から転倒抑制効果があると考えられるものを擁壁の水平移動距離および地盤内の変形状況の観察から判断した。まず、ケース 1 における結果を図-6 示す。バルサ材およびゴム材を裏込め材と見立てた実験では裏込め材を設置していない場合と比較した際、ブロックの水平変位の差がほとんどなく両者とも大きな転倒抑制効果は確認されなかった。また撮影した写真においても、類似したすべり面が観察された。このことから裏込め材自体にはほとんど転倒抑制効果がないことが実験的に示された。

次に、ケース 2 の結果を示す。図-7 より 1 分 (84°) 勾配時での条件①および条件②で補強材を用いた場合は水平変位量が減少し、転倒抑制効果が現れたが、条件③及び④ではほとんど変化がなく、転倒抑制効果が殆ど現れていないことがわかる。また効果が現れた条件①および条件②では補強材なしの場合と比較した際、すべり面が移動している。このことから同様の材料を用いても、設置条件により変位量に差が生じることがわかる。

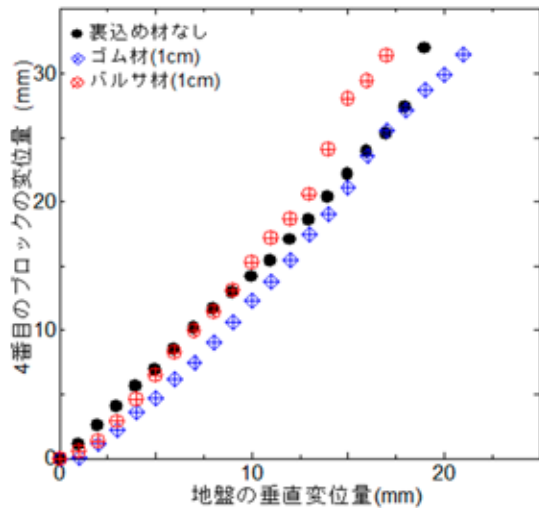


図-6 裏込め材の効果

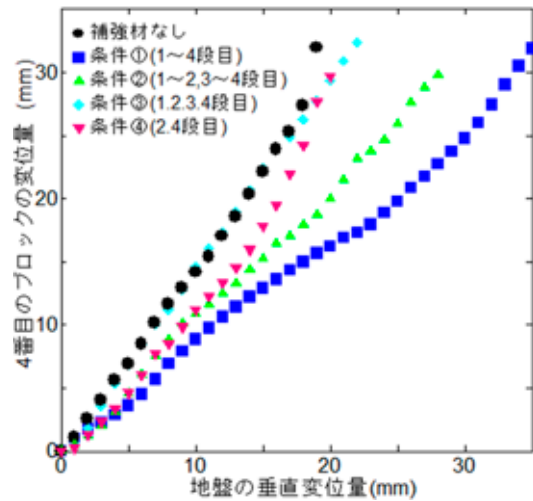


図-7 1分勾配での実験

また2分勾配でおこなった実験(図-8)ではどの条件でもほとんど水平変位量が変わっておらず、転倒抑制効果が現れなかった。これは緩勾配の石積み擁壁ほど石積みの自重が加わり転倒を抑制する力が働くため、補強材による転倒抑制効果が現れにくくなったと考えられる。これらの結果から、急勾配な石積み擁壁ほど補強効果は大きく現れることが実験的に示すことができた。また図-9に示すように転倒抑制効果のた1分勾配の実験結果と2分勾配の結果を比較すると、補強材を用いることで1分勾配の条件でも2分勾配と同じもしくはそれ以下の水平変位量に抑える効果があることがわかった。

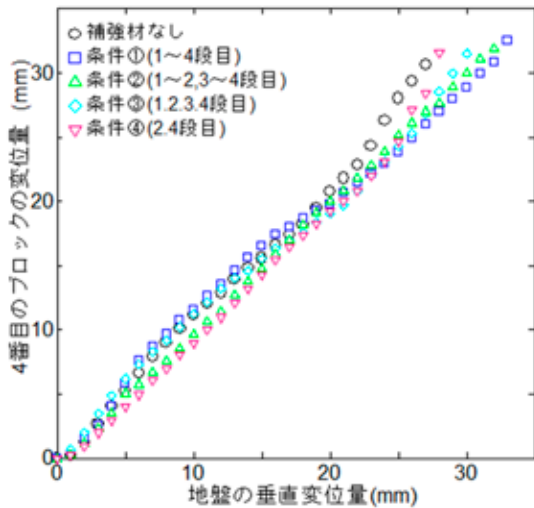


図-8 2分勾配での実験

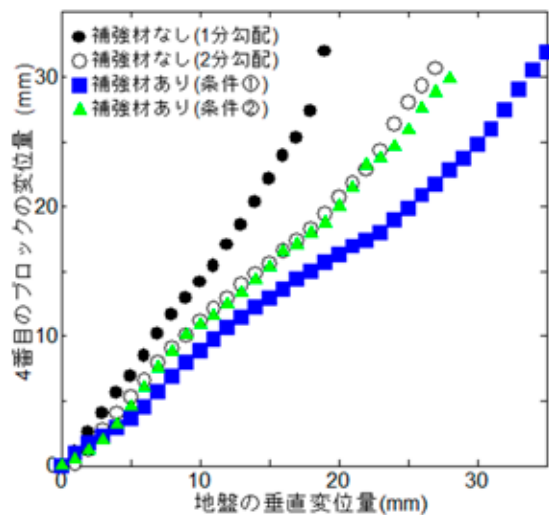


図-9 勾配による変位比較

最後にケース3の結果を図-10および図-11に示す。今回の実験では石積みと裏込め材の間に補強材を設置した場合は、水平変位の減少およびすべり面の移動が見られ、転倒抑制効果が確認された。一方、裏込めの後方に補強材を設置した場合は、水平変位の変化およびすべり面の移動は見られなかった。よって補強材を設置する場合は、石積みと裏込め材の間に設置した場合の方が大きな補強効果が得られることがわかり、補強材を設置する位置の決定を室内実験において示すことができた。写真-7は裏込め材(バルサ材)をブロックとアルミ棒積層体地盤に挟み込んだ時の実験状況である。また、写真-8は上方から载荷してブロック擁壁が崩壊した時の状況を示している。すべり面の形状を可視化することで、崩壊メカニズムを検討する予定である。

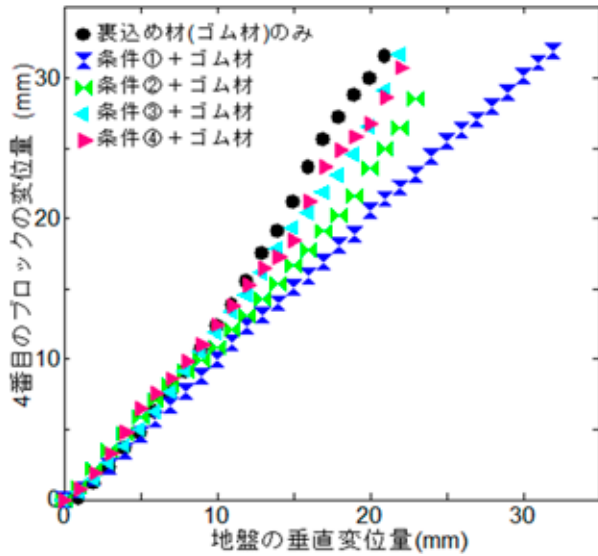


図-10 裏込め前方部に設置

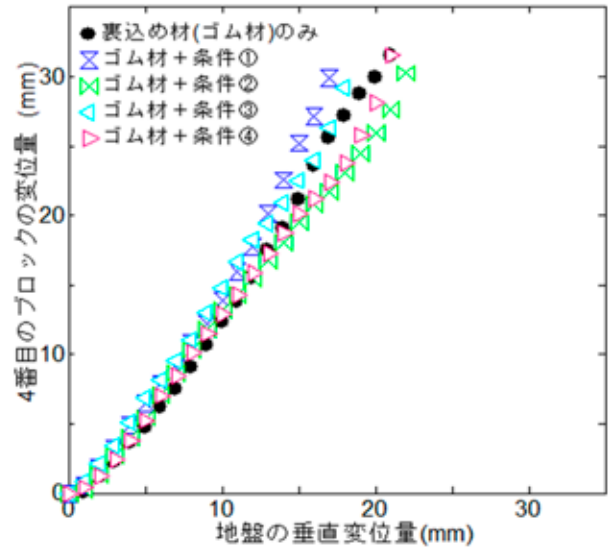


図-11 裏込め後方部に設置

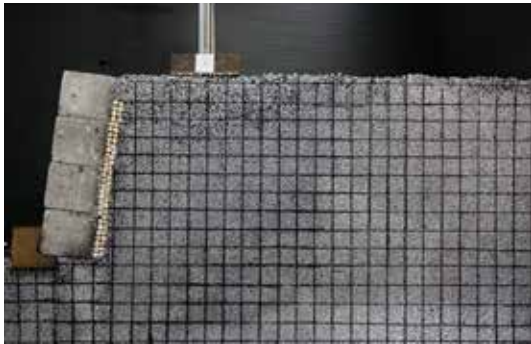


写真-7 裏込め材料を挿入 (バルサ材)



写真-8 ブロック擁壁の崩壊 (バルサ材)

6. おわりに

令和2年7月豪雨災害から1年半経過後の現況調査を2回おこなった。球磨川水系の氾濫により埋没した農地や農道斜面の崩壊などは一部修復が完了している。球磨川本線は手つかずのところが目撃された。今後、球磨川水系沿いの埋没した水田の復旧対策や、豪雨で崩壊した圃場の法面对策工法を検討する必要性から、地質の異なる崩壊現場の地形や地質について調べ、法面形状と保護工法の適用性を定量的な被害規模調査で明らかにする必要がある。

さらに、ブロック擁壁や崩壊した石積みの安定性の向上を目的として、石積み背面の裏込め部に着目した室内実験をおこない、補強材を設置することによる転倒抑制効果について検討した。結果として、補強材の形状、設置位置の違いにより石積みブロックに及ぼす影響に大きく違いが現れることがわかった。課題として、実際の現場を想定した場合に用いることのできる補強素材の検討および補強材設置による石積み背面にかかる負荷の変化などを考慮した定量的な評価方法を検討する必要がある。

参考文献

- (1) 令和2年7月豪雨に関する被害状況 (令和2年9月24日), 農林水産省九州農政局調査報告書.
- (2) 大久保森造, 大久保森一: 続石積みの秘宝とその解説 (1997), pp. 1-100.

東日本大震災被災3県（岩手県、宮城県、福島県）の児童発達支援 ・放課後等デイサービス施設における災害への備えに関する研究

医学部保健学科 地域包括看護学講座 日隈 利香

はじめに

気象庁の発表¹⁾によると2021年に人的被害を伴った地震は世界で32回（2020年は16回）、M7.0以上の地震は19回（2020年は9回）、M8.0以上の地震は2回発生している（2020年は無し）。2021年に世界で発生した地震のうち最も被害が大きかったのは、8月14日にハイチで発生したM7.2の地震で、死者2,248人、負傷者12,763人であった。一方、2021年に日本国内で被害を伴った地震は7回（2020年は5回）発生しており、このうち2月13日に福島県沖で発生した地震M7.3の地震では、重症者12名の被害が発生した（2020年はなし）。また、津波を観測した地震（海外で発生した地震を含む）は、2月13日に福島県沖で発生したM7.3の地震と3月5日にケルマデック諸島で発生したM8.1の地震の2回であった（2020年はなし²⁾。

更に2022年1月15日に発生した南大洋州の島国トンガの首都ヌクアロファの北約65kmに位置する海底火山「フンガトンガ・フンガハアパイ火山」の大規模噴火では、遠く離れた日本にも太平洋側を中心に津波が到達し、鹿児島県の奄美大島・小湊では15日午後11時55分に1メートル20センチ、岩手県の久慈港では16日午前2時26分に1メートル10センチの津波を観測した³⁾。今後必ず起きるといわれている南海トラフ巨大地震では、鹿児島県内では志布志市で最大震度6弱と7mの津波が、鹿児島市内でも最大震度5強、最大津波高4mが発生すると予想されており、県内全体では5900棟の建物が倒壊し、死者は1200人、避難者数は3万2000人に上るとされ、直接被害額は約7000億円と想定されている⁴⁾。

近年増加傾向にある発達障害児は日常生活の変化が苦手な場合が多く、災害時には児童の特性を考慮した支援が求められている。災害リスクが高まっている現在、発達障害を抱えた児童が通う施設においては予てより災害に対する十分な備えに取り組むことが求められている。

筆者らは、令和元年度に『鹿児島市における発達支援・放課後等デイサービス施設170箇所における災害への取り組みについての基礎調査』⁵⁾を、令和2年度に『九州管内における児童発達支援・放課後等デイサービス施設における災害への備えに関する研究』⁶⁾を実施し、いずれも防災対策への取り組みは施設間で差があることや全体的に災害への備えは不十分であることが明らかになった。

そこで今回、東日本大震災で被害が特に大きかった、岩手県、宮城県、福島県に設置された児童発達支援・放課後等デイサービス施設における災害への取り組み状況を明らかにすることを目的に郵送調査を実施した。

研究方法

研究対象者：2021年10月1日現在、各県がホームページ上で公表している582施設の児童発達支援・放課後等デイサービス施設の管理者

調査対象内訳：岩手県152施設、宮城県191施設、福島県239施設

調査方法：自記式郵送調査

質問用紙：過去に発達障害情報・支援センターにより実施された調査報告書を参考に作成したオリジナルのアンケート用紙を用いた。

質問項目：①児童発達支援・放課後等デイサービス施設の施設概要

②災害時の飲料水や非常食の常備の有無、懐中電灯や携帯ラジオ、簡易トイレなどの災害時備品の常備の有無、各児童に対する個別サポートブックの作成状況、心理専門スタッフの配置の有無、地域の危機管理課などの緊急連絡先作成の有無など、各施設における災害を想定とした具体的な備えについて

分析方法：Excelを用いてデータをまとめ、統計ソフトSPSS27.0J for Windowsを用いた

今回、地域別には分析せず、東北3県を一纏めにして分析を行った

倫理的配慮：本研究はヘルシンキ宣言（2008年ソウル修正）に従って実施した。具体的には、

研究対象者の人権擁護を厳守するために、得られたデータは個人が特定されないように、質問用紙、返信用封筒共に無記名にて回答していただくなど、十分に配慮して研究を進めた。調査対象者に対して文書にて本研究の目的・方法についての趣旨を説明し、調査紙の返信をもって研究協力者の承諾を得たものとした。

用語の定義

児童発達支援施設とは：

主に未就学の障害のある子どもを対象に発達支援を提供するものとして位置づけられている。具体的には、療育の観点から集団療育及び個別療育を行う必要があると認められる未就学の障害児が対象であり、市町村が行う乳幼児健診等で療育の必要があると認められた児童や保育所や幼稚園に在籍しているが、併せて、指定児童発達支援事業所において、専門的な療育・訓練を受ける必要があると認められた児童等に支援を行う施設である。療育手帳を所持していなくとも自治体担当窓口で相談し受給者証を取得すれば通所可能。

放課後等デイサービスとは：

主に障害児に対し授業の終了後又は休業日に通所させ、生活能力の向上のために必要な訓練、社会との交流の促進その他の便宜を供与する施設である。対象者は、学校教育法に規定する学校（幼稚園、大学を除く）に就学し、障害手帳、療育手帳、精神障害者保健福祉手帳などの手帳を所持するか、発達の特性について医師の診断書がある6歳から18歳までの児童である。

研究成果

研究依頼施設：東日本大震災で特に被害が大きかった東北3県（岩手県、宮城県、福島県）に設置されている関係施設 582 施設

調査紙票配布施設内訳：岩手県 152 施設、宮城県 191 施設、福島県 239 施設

調査紙票配布数：合計 582 票 研究協力数：208 施設 有効票：208 票

調査紙票回収施設内訳：岩手県 65 施設、宮城県 47 施設、福島県 95 施設、不明 1 施設

調査紙票回収率、有効回答率：岩手県 43%、宮城県 25%、福島県 40%、全体 36%

I. 施設概要

施設概要は、児童発達支援施設 26 か所（12.5%）、放課後等デイサービス 104 ヶ所（50%）、児童発達支援施設・放課後等デイサービスの両方を実施している施設 78 ヶ所（37.5%）であった。

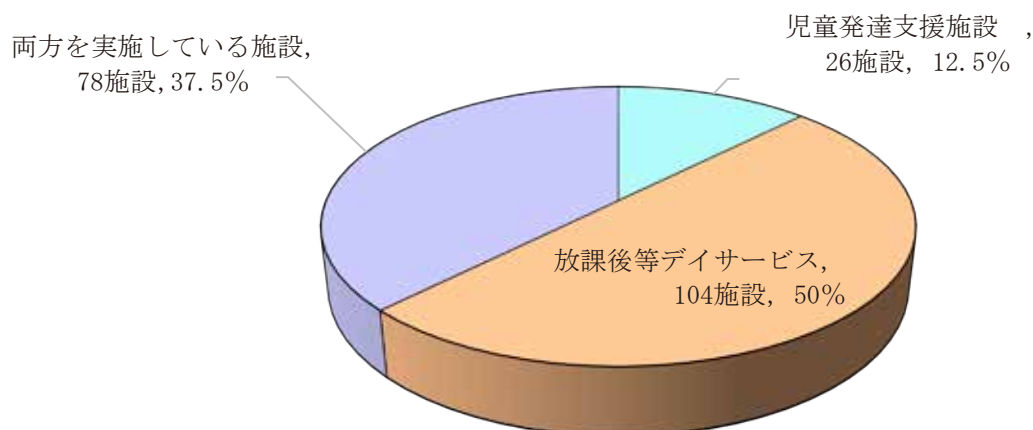


図 1. 支援の種類 (N=208)

II. 災害を想定した具体的な備え

1. 災害に備えて飲料水や非常食を常備しているか

208 施設中、全体の 63.0%の施設が災害に備えて飲料水や非常食を常備していると回答していた。また、6.3%の施設が今後常備する予定であると回答し、9.6%の施設が現在検討中であった。常備していないと回答した施設は全体の 21.2%であった。

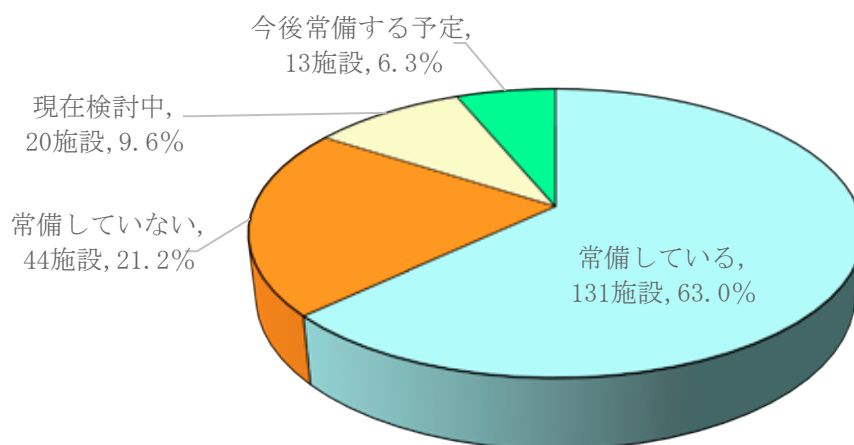


図 2. 災害に備えた飲料水や非常食の常備率 (N=208)

2. 災害に備えて懐中電灯や携帯ラジオ、簡易トイレや毛布、救急医薬品など災害時の備品を常備しているか

208 施設中、全体の 76.0%の施設が、災害に備えて懐中電灯や携帯ラジオ、簡易トイレや毛布、救急医薬品など災害時の備品を常備していると回答し、現在検討中と回答している施設や今後常備する予定の施設は其々6.3%であった。施設内に常備していないと回答した施設は全体の 11.1%、無回答 0.5%であった。

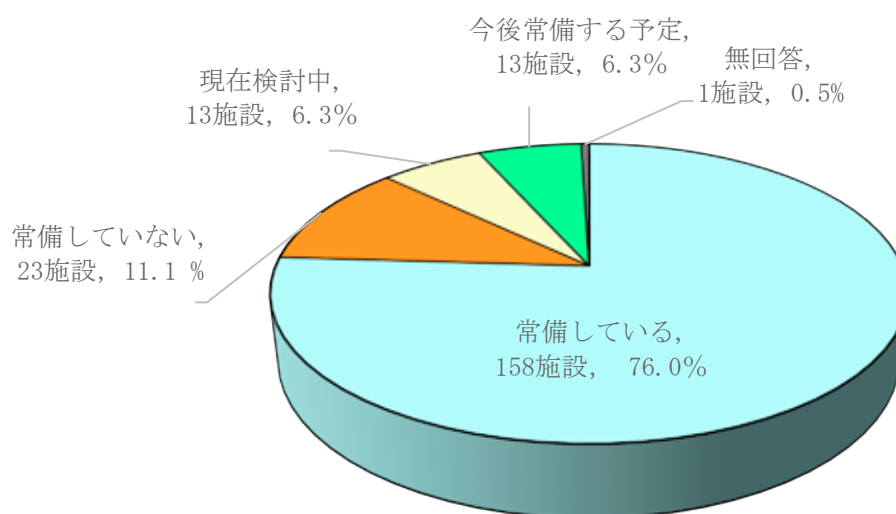


図 3. 災害時必要な備品の常備率 (N=208)

3. 子ども一人一人の特徴を記入した個別サポートブックを作成しているか

災害時に対応出来るように、子ども達一人一人に対する配慮点（アレルギーの有無、本人の行動の特徴等）を書き込んだ個別のサポートブックを作成していると回答した施設は全体の27.4%、今後作成予定と回答した施設は12.0%であった。災害時用には作成していないと回答した施設は全体の59.6%、無回答1.0%であった。

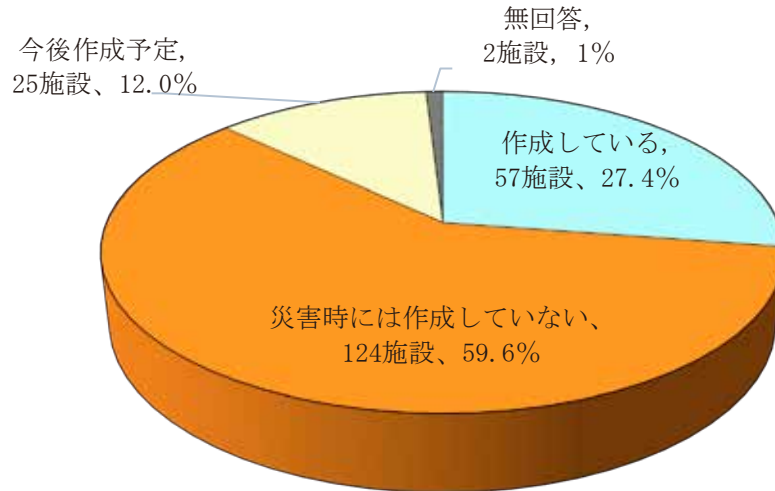


図4. 個別サポートブック作成の有無 (N=208)

4. 被災による PTSD 発生時に相談できる心理専門のスタッフが施設内にいるか

被災後、情緒的反応の一つとして「PTSD（外傷性ストレス障害）」があり、震災体験後数か月経ってから症状が出現することがあり、低年齢児ほど影響を受けやすいことが明らかになっている。災害発生等非常時に直ぐに相談し対処できる心理専門職職員が施設内に在籍していることが望ましいが、現状としては『施設内には専門のスタッフもアドバイス体制もない』施設が最も多く74施設、『何も無い』と回答した施設が60施設であった。『定期的にアドバイスを得る体制がある』と答えた施設は12か所に留まっていたが、『非定期的にアドバイスを得る体制がある』と回答した施設は59施設であった。『常勤スタッフとして勤務している施設』は16施設、『非常勤スタッフとして勤務している施設』は14施設であった。

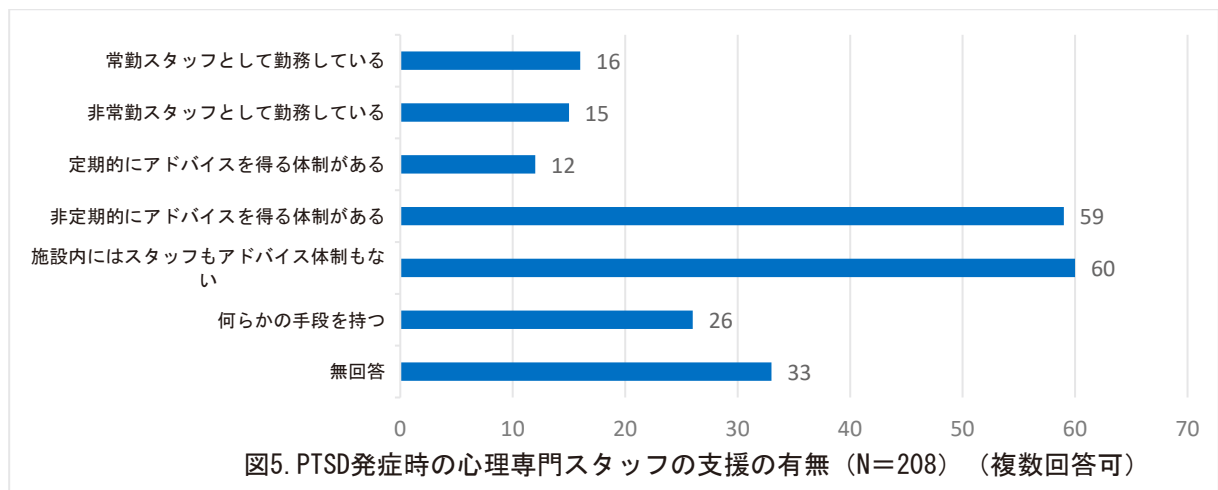


図5. PTSD発症時の心理専門スタッフの支援の有無 (N=208) (複数回答可)

5. 管轄の災害救助業務を行っている地域福祉課や防災に関する業務を行っている危機管理課などの緊急連絡先を作成しているか

全体の約 60.6%が緊急連絡先を作成しており、現時点は作成してはいるが、今後作成予定の施設は 14.4%、現在作成中の施設は 1.4%と、全体の約 76.4%の施設で緊急連絡先を作成もしくは作成しようとしていることが明らかになった。作成していない施設は 22.6%であった。

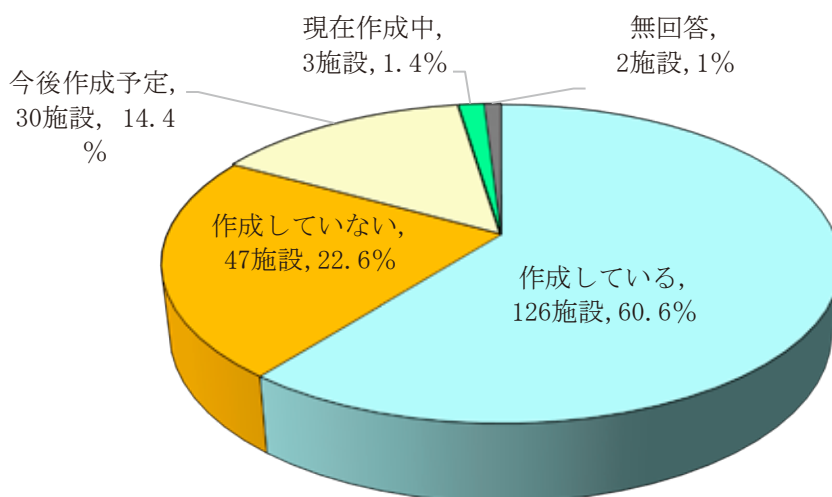


図6. 専門機関等の緊急連絡先作成状況 (N=208)

考察

今回、東日本大震災において特に甚大な被害を受けた被災3県（岩手県、宮城県、福島県）に設置されている児童発達支援・放課後デイサービス施設 582ヶ所を対象に、災害への備えに関する調査研究を実施した。まず災害に備えて飲料水や非常食の準備状況については、約6割の施設で常備されており、今後常備する予定がある施設や現在検討中である施設を加えると、全体の約8割の施設が日頃から災害に備え飲料水や非常食を準備していることが明らかになった。普段から常備していることが望ましい懐中電灯や携帯ラジオ、簡易トイレや毛布、救急医薬品などの備品を常備している施設は全体の約8割、今後常備予定があると回答したり現在検討中であると回答した施設を加えると全体の約9割の施設で準備されていた。

災害時に個別対応が出来るよう子ども達一人一人に対する配慮点（アレルギーの有無や本人の行動の特徴等）を書き込んだ『個別サポートブック』の作成状況に関しては、既に作成している施設は全体の3割以下と少なく、今後作成予定の施設と合わせても全体の約4割以下に止まっていた。災害弱者である高齢者や子どもは心身に強いストレスを受ける可能性が高いと言われており、特に発達障害児は災害に伴う社会全体の混乱に対しパニック症状や極度の不安症状を引き起こす可能性が高い。今後、災害時に施設職員の誰もが対象児に対し、危険を回避しその児に合った適切な支援を実施出来るよう個別サポートブックを整備する必要があると考える。

また、被災後の情緒的反応の一つに「PTSD（外傷性ストレス障害）」があるが、被災後数か月経ってから症状が現れることや低年齢児ほど影響を受けやすいことが明らかになっている。

本間らは東日本大震災によりトラウマを受けた幼児は PTSD 関連疾患の罹患率が高く、子どもの PTSD への適切な理解のためには災害時だけではなく、災害後長期的配慮が必要だと述べている。また本間らが実施した調査では、震災から1年6か月時点で約半数に PTSD 関連疾患が認められ、ある程度時間が経過してもまだ多くの子ども達に震災の影響が残っていることが明らかになっている⁷⁾。被災直後は職員や親自身も被害を受け混乱している状態にあり、子ども達が受ける被害は甚大であるため、出来るだけ早い時期に適切な支援を受けられる体制づくりを構築する事が重要である。

本来は何時でも心理的相談を受けられる体制や PTSD に対処できる心理専門職員が施設内に在籍していることが望ましいが、今回の調査において被災 3 県において『常勤スタッフとして勤務している施設』や『非常勤スタッフとして勤務している施設』はそれぞれ 1 割にも満たなかった。しかし、全体の約 7 割の施設において非定期的ではあるがアドバイスを得る体制やその他何らかの手段を持つなどして PTSD 発症時に対処出来る体制を構築していた。また、約 3 割の施設では PTSD 発生時に全く対応が出来ない状態にあることが明らかになった。

管轄内の災害救助業務を行っている地域福祉課や防災関連業務を行っている危機管理課等の緊急連絡先の作成状況については、全体の約 6 割の施設では既に作成しており、現在作成中や今後作成予定と回答している施設を含めると約 7～8 割の施設が専門機関との連絡体制を構築していたが、残りの約 2 割は緊急連絡先を作成していなかった。

被災 3 県（岩手県、宮城県、福島県）に設置されている児童発達支援・放課後デイサービス施設における災害への備えとして、今後の災害に備え全施設で PTSD 発症時に早急に対応できる体制や非常時に防災対策機関への緊急連絡を取る体制の構築が重要であろう。また、今後はそれぞれの県内で災害対策の予算化や防災対策について組織的に取り組み、発達障害児とその家族が災害発生時に迅速かつ適切な支援を受けられるような体制の充実が望まれる。

謝辞

本研究を実施するにあたり、研究に御協力下さいました、宮城県、岩手県、福島県の児童発達支援・放課後デイサービス施設管理者様方に深く感謝いたします。

参考文献

1. 令和 3 年（2021 年）の地震活動について、気象庁作成参考資料, p. 35,
<https://www.jma.go.jp/jma/press/2201/12a/2112jishin2021.pdf>, 2022. 2. 1.
2. 令和 3 年（2021 年）の地震活動について、気象庁作成参考資料, p. 1,
<https://www.jma.go.jp/jma/press/2201/12a/2112jishin2021.pdf>, 2022. 2. 1
3. 令和 4 年 1 月 15 日 13 時頃のトンガ諸島付近のフンガ・トンガ-フンガ・ハアパイ火山の大規模噴火に伴う潮位変化について第 6 報（2022 年 1 月 17 日現在）, 国土交通省気象庁令和 4 年報道発表資料, https://www.mlit.go.jp/saigai/saigai_220115.html, 2021. 2. 1.
4. 南海トラフ地震の被害想定, 朝日新聞デジタル
https://www.asahi.com/special/nankai_trough, 2022. 2. 1.
5. 日隈利香、稲留直子（2020）：鹿児島市の児童発達支援・放課後等デイサービス施設における災害への備えに関する研究、鹿児島大学地震火山地域防災センター令和元年度報告書、pp74-79、2020. 3.
6. 日隈利香、稲留直子（2021）：九州管内における児童発達支援・放課後等デイサービス施設における災害への備えに関する研究、鹿児島大学地震火山地域防災センター令和 2 年度報告書、pp88-92、2020. 3.
7. 本間博彰、奥山真紀子他：大震災と幼児の PTSD—東日本大震災により Trauma を受けた幼児の追跡研究一、児童青年精神医学とその近接領域 57（2）、pp. 59-73.

軽石群の狭窄部と波の打ち上げ帯における堆積課程の実験的検討

海洋土木工学 PG 長山 昭夫

1. 背景と目的

大正3年(1914年)の桜島の大正大噴火では火山砕屑物である軽石が大量(推定3億トン)に周辺地域に降下し、鹿児島湾内の全ての海水面を覆い尽くし、その滞積厚さは最大で1mに達していた。また復興物資の移動については当時、海上輸送が重要な役割を担っていたが、鹿児島市沿岸に位置するほぼ全ての港湾が軽石群で埋没し、復旧活動が著しく遅延したことが報告されている。写真-1は、沖合に停泊している軍艦による物資移動のために、港湾部に滞積している軽石群を手作業で除去している様子を示す。一方、大正大噴火から100年以上経過した今現在、桜島地下ではマグマの蓄積が進み、大正大噴火を超える噴火の発生が指摘されており、仮に噴火が生じた場合、噴火軽石により周辺地域は甚大な被災を被ることは自明である。

最近では、2021年8月の東京都小笠原諸島の大規模噴火起因の軽石群が約12,000km離れた沖縄・奄美地方の沿岸域に漂着し、観光業や漁業に甚大な被害を与えたことは記憶に新しい。写真-2は、沖縄本島北部の国頭村の辺土名漁港の漂流軽石群の堆積状況を示している。この写真に示すように、沖縄から奄美にかけての多くの漁港が軽石群により埋没し、漁船の操業が停止し、軽石の除去作業に多くの時間を費やした。また小笠原諸島噴火起因の軽石群の漂流予測計算は国内の各研究所で様々な取り組みがあり、一定の成果を上げている。例えば、本学地震火山地域防災センターでは、噴火軽石の漂流予測計算(図-1)を公開し、今回の軽石の漂流は、台風が太平洋沖を通過したため、軽石群が沖縄・奄美地方まで漂流したことを明らかにしている。

一方、国土交通省港湾局は1995年1月17日に発生した阪神・淡路大震災により、神戸港が機能不全に陥ったことを契機に、危機的事象発生時の港湾の重要機能の低下を最小限にするための事業継続計画策定ガイドライン(Business Continuity Plan:以下、港湾BCP)を国内の重要港湾に策定している。鹿児島県内の各港湾に対して、港湾BCPが策定されているが、これは地震や津波による被災を想定しており、火山噴火に対しての想定は現在な



写真-1 港内に堆積した軽石群の除去作業
(鹿児島県立図書館デジタルアーカイブ提供)



写真-2 漂流軽石群による港湾埋没
(引用: NHK NEWS WEB)



図-1 噴火軽石の漂流計算
(引用: 鹿児島大学地震火山地域防災センターHP)

されておらず、桜島が大正大噴火級の大噴火を生じた場合、港湾BCPが機能しない可能性が高い。

以上の背景を受け、本事業は軽石群による港湾の埋塞現象の解明するために、風洞水槽内に港湾を想定した狭窄部を作成し軽石の移動特性について検討を行った。さらに軽石の滞積過程で重要となる波の打ち上げ帯にも注目し、同様の検討を行った。

2. 実験方法

2.1. 実験装置と動作条件

模型実験は海洋波動実験棟内の断面 2 次元風洞水槽 (図-2) を利用した。風洞水槽は、岸沖方向長さ 30m、沿岸方向幅 1.0m であり、静水面は底面から 0.72m に位置する。また水槽内に緩勾配 6/100 の斜面があり、その斜面に狭窄部を想定した構造物模型を設置した。実験ではこの構造物模型の沿岸方向長さを変えて実験を行った。水槽幅と狭窄部沿岸方向幅の比を R とし、構造物が無い場合を $R=1.0$ 、構造物を設置した場合を $R=0.5$ 、 0.3 、 0.15 と設定した。これらは狭窄部沿岸方向幅が 50cm、70cm、85cm に対応する。送風は岸側端部に設置されている送風機を使用し、水槽外に送風することで沖側から岸側に向かって一定風速が作用する。今回の実験における平均風速は 6 m/s であった。また構造物を設置していない場合の有義波高は 1.35cm、有義周期は 0.2sec となった。軽石の漂流方法については、沖側のゲートで軽石 524 個を堰き止め、風波が十分に発達した後、ゲートを一気に解放した。軽石の移動については水槽側面位置にハイスピードカメラを設置して撮影した。水位・風速は図中に示す構造物周りの測定点で実施した。構造物前面を Fr1 から Fr3、狭窄部を入口から RE_n、RM_i、RE_x、構造物背面を Ba1 から Ba3 とした。また Fr3、RE_n、RM_i、RE_x、Ba3 は、狭窄部幅の半分とし、模型の沿岸方向幅により変更した。

2.2. 軽石の物性値

実験に使用した軽石の一部を写真-3 に示す。軽石は鹿児島南部の大隅半島に堆積しているもので、実験前にふるい分けを行い、平均値が短径 50mm、長径 70mm、厚み 45mm となった。図-3 に軽石の Zingg 係数と密度を示す。Zingg 係数は長短度と扁平度の比であり、数値が 1.0 の場合は球状、1.0 以下の場合には扁平形状、1.0 以上は針形状を示す。この図から、多くの軽石は球形状に近い形状であることがわかる。また軽石の密度は 0.5g/cm³ から 0.8 g/cm³ の間にあり、海水密度 (1.03 g/cm³) よりも小さく、水表面に浮遊することがわかる。また軽石の給水実験を行った。水道水に 25 時間浸水した後に密度を算出すると 0.75 g/cm³ から 0.9 g/cm³ となり、密度が増加した。つまり、軽石は内部有気孔に毛管現象で水を吸い上げて、密度自体は大

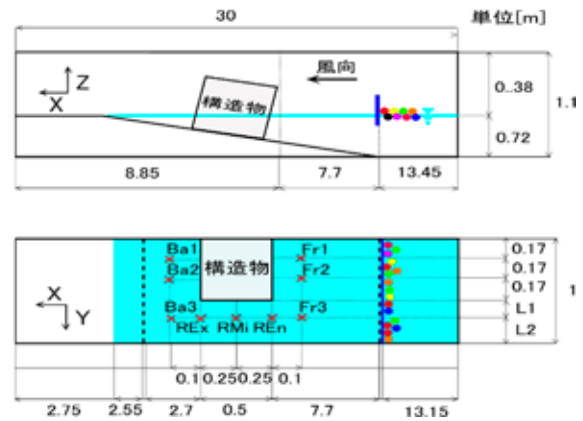


図-2 実験装置全体図



写真-3 実験に使用した軽石

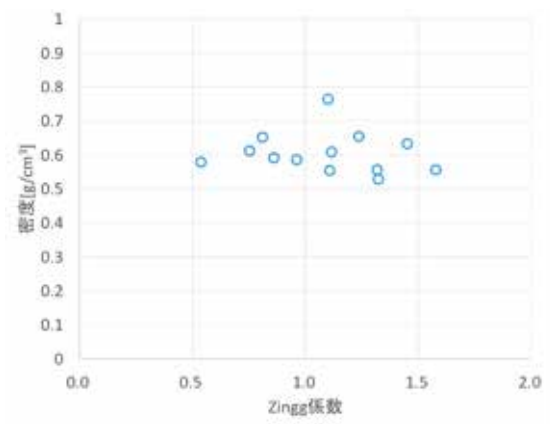


図-3 軽石の物性値

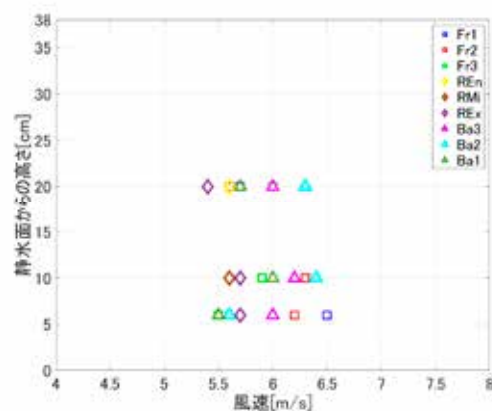


図-4 風速の鉛直方向分布

きくなるが、材料自体の密度が小さいため、給水によっても密度が 1 g/cm^3 を下回り、長時間漂流を継続することがわかる。

3. 実験結果

3.1. 風場の変動

図-4 に風洞水槽の測定点における風速の鉛直分布を示す。この図は、構造物を設置していない条件 ($R=1.0$) での結果である。この図より、水面付近（静水面付近から 6cm ）の風速は、 5.5m/s から 6.5m/s の範囲にあることがわかる。一般的に、風速は壁が存在すると対数則に則るが、今回は水面が存在しており、その水面が常時振動しているために、対数則に則った風速分布とはならなかった。

図-5 に各測定点における風速比を示す。これは構造物が存在しない $R=1.0$ での風速を U_0 、構造物を設置した場合における各点の風速を U とし、その比を整理した結果である。この図より、構造物が設置されている状態では、構造物前面の Fr1、Fr2 背面の Ba1、Ba2 において風速比は 0.5 を下回り、風速が小さくなることがわかる。さらに背面の Ba1、Ba2 においては、 0.1 から 0.2 程度となり構造物による風の遮蔽効果がわかる。一方、構造物の存在により風が集中するとされる狭窄部の REn、RMi、REx では 1.3 から 1.7 となり、強風が作用していることがわかる。さらにこれらの沖側の Fr3、岸側の Ba3 においても、 1.0 以上になることがわかる。つまり、構造物による狭窄部が存在する場合、狭窄部とその沖側と岸側においても風速が増加することがわかる。今回は、最も狭窄部が狭い $R=0.15$ の場合、狭窄部入口である REn で最大 1.7 となった。

3.2. 波場の変動

図-6 に各測定点における有義波高を示す。全ての点において $R=0.5$ の条件で最も高くなることがわかる。特に Fr2 では、最大で 15mm となり、入射波と反射波が合成されるためにこの点で最大値をとることがわかる。一方、狭窄部の REn、RMi、REx は通過面積が狭くなることで波高が大きくなるのが想定されたが、構造物前面とほぼ同様な値をとった。これは、今回は有義波高が 10mm 程度と小さいこと、また駆動力は風速のみ、沖側水深も 0.72m と浅いために、波高が増加しにくい環境であったことが想定される。また構造物背面では、波高がどの条件においても著しく低くなり、構造物の遮蔽効果によるものとわ

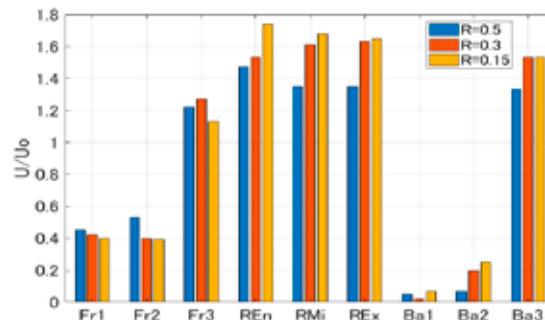


図-5 狭窄部周辺での風速比

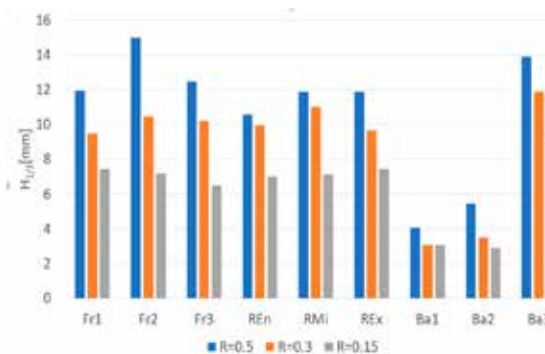


図-6 狭窄部周辺での有義波高

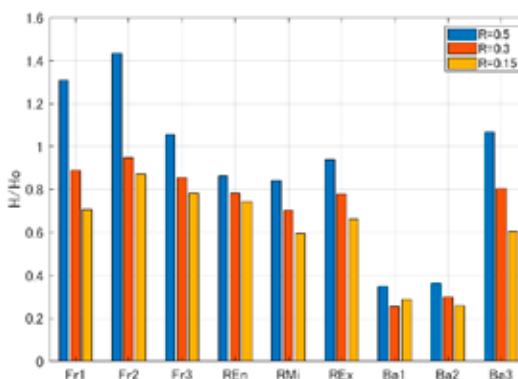


図-7 狭窄部周辺での水位比

かる。

図-7 に各測定点における水位について、構造物が無い条件での最大水位と最低水位の差である水位 H_0 を算出し、構造物がある条件での同測定点での水位 H との比を水位比として求め整理した。水位比については、構造物を設置した状態の $R=0.5$ の構造物前面 Fr1、Fr2 においては、 $R=1.0$ よりも大きな値をとり、構造物背面 Ba1、Ba2 では 0.4 を下回るが、それ以外の測定点においては、 0.7 から 1 程度となり、構造物を設置していない場合と比べて著しく変化は無かった。特に $R=0.5$ における構造物前面の Fr1、Fr2 は有義波高も大きく、水位比も大きいことから、今回の条件下では、波が高い状態が継続していたことが推

測できる。

3.3. 軽石の移動速度と通過流量の関係

図-8 は狭窄部の REn から REx までの通過軽石の移動速度を箱ひげ図として示したものである。今回、狭窄部幅が軽石の長径に比べ2倍から4倍程度で、多くの軽石がこの狭窄部の壁面に衝突しながら滞積と移動を繰り返す現象を確認した。算出した移動速度は狭窄部の入口から出口までを通過した軽石のみを対象としており、狭窄部に滞留して出口まで到達しなかった軽石は対象としていない。この図より、狭窄部幅が狭いほど移動速度が速くなるのが分かり、構造物が無い場合に比べ、最も狭窄部幅が狭い R=0.15 では5倍程度速度が大きくなるのがわかった。また狭窄部幅の広い R=0.5 においては、R=1.0 と比べほとんど移動速度が変化しないこともわかる。今回の条件下では、R=0.5 程度であると軽石の移動速度への影響はほぼないことがわかる。

図-9 に狭窄部における軽石の通過流量について整理した結果を示す。狭窄部を通過した軽石個数と各体積、通過に要した時間から通過流量を算出した。この図においても狭窄部の入口から出口までを通過した軽石を対象としており、狭窄部内で滞留している軽石は対象外とした。この図より、狭窄部幅 R=0.3 の場合、最も通過流量が多くなり、構造物が存在しない場合と比べて、2.5倍増加する結果となった。また狭窄部幅の最も狭い R=0.15 と最も広い R=0.5 では、R=1.0 に比べて通過流量が減少することがわかった。これは、狭窄部幅が狭い場合、多くの軽石が狭窄部に滞留するために、通過流量自体は減少するためである。一方、狭窄部幅が広い場合は、構造物前面の波が高いため、その部分に軽石が滞留しやすいため、狭窄部自体に移動する軽石の総量が少ないためにこのような結果になったことが推測できる。

3.4. 打ち上げ帯における軽石の移動

図-10 には、波の遡上域における軽石の移動距離を示す。これは、波が砕波後の遡上域での軽石の移動について検討したものである。上図は軽石 10 個の移動距離であり、下図は軽石 50 個の移動距離を示している。また沖から運ばれた軽石は、波の遡上により、軽石本体が気中に露出し始める。さらに後からやってきた波で岸向きにさらに遡上するといっ

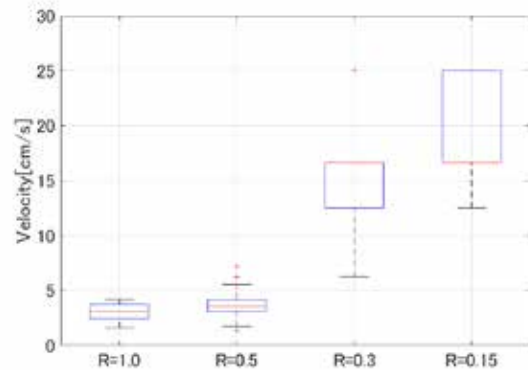


図-8 狭窄部での軽石の移動速度

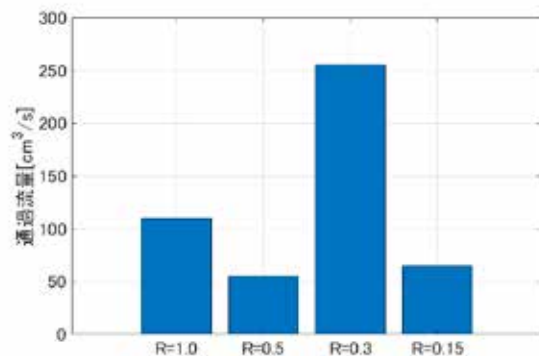


図-9 狭窄部での軽石の通過流量

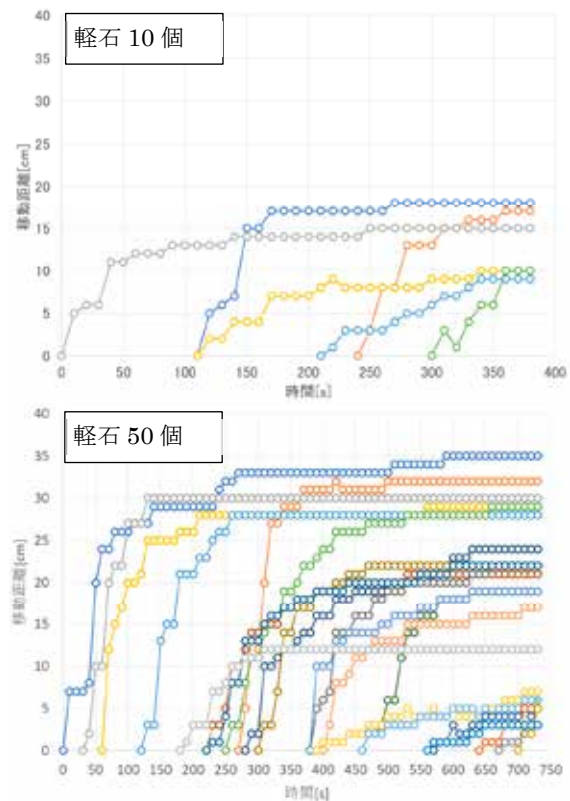


図-10 遡上域における軽石の移動速度

た過程をとる。この過程において、軽石の個数が増加すると、移動距離がどのように変動するかについて検討した。これらの図より、軽石個数が増え、移動距離が増加する傾向にあることがわかる。これは、軽石自体が波の遡上域に複数あることで、衝突しやすく全体として岸への移動が促進される結果だといえる。

4. まとめ

- 1) 構造物模型による狭窄部の有無により、風速は加減速され、構造物前面と背面では、風速比が減少し、狭窄部と狭窄部沖側と岸側では風速比が増加した。今回は狭窄部が最も狭い場合風速比は 1.7 となった。
- 2) 有義波高は、構造物条件により影響を受け、 $R=0.5$ の場合、構造物前面では大きな値となった。また狭窄部の有義波高は、構造物前面との大きな違いは見られず、特徴的な変化はなかった。一方、最大水位と最低水位の水位差を元に、 $R=1.0$ との比である水位比を検討した結果、 $R=0.5$ は構造物前面で大きな値をとった。狭窄部においては 0.7 から 0.9 の値となった。
- 3) 狭窄部の軽石の移動速度については、狭窄部が狭くなるほど移動速度が上昇し、狭窄部の最も狭い $R=0.15$ では、 $R=1.0$ 比べ 5 倍大きくなる結果となった。一方、通過流量については $R=0.3$ で最大値をとり、 $R=0.15$ では $R=1.0$ 以下となった。これは狭窄部が狭いために多数の軽石が滞留することで、通過流量が減少するためだとわかった。
- 4) 波の遡上域における軽石の移動距離について、軽石が複数存在する場合、遡上波の影響で軽石同士が衝突し合い、全体として岸への移動が促進される。

ICTを活用した防災教育の実践的研究

教育学部 佐藤 宏之

1. はじめに

災害とは、物を壊し秩序を乱すことで、それらの課題を人びとの目の前に露わにし、社会のなかでもっとも弱い部分にもっとも大きな被害をもたらす。その災害への対応は、被災前に戻すのではなく、被災を契機によりよい社会を作り出す創造的な復興でなければならない。そのためには、被災前からの課題を知り、それにどう働きかければよいかを理解することが不可欠である。自然現象である災害を完全に封じ込めることはできないため、災害の発生を事前に予知し、被害を軽減する備えを高めるとともに、災害時に被害を拡大させず、相互に助け合って、救援・復興を通じて災害に打たれ強い社会に作り直していくような働きかけが必要となる。そこで2018,2019年度、大規模自然災害時を想定した文化財保全DIGシミュレーションを行った(出水市・霧島市)。しかし、昨今のCOVID-19状況下において、多くの人を集めてワークショップを開催すること自体が難しい。だからといって、災害はこうした事情を鑑みてくれるわけではなく、いつ発生するかわからない。

そこで、2020年度はオンラインを活用したワークショップの方法論的研究を行った(佐藤2021a,b)。オンラインでワークショップを行うことができれば、感染症対策はもちろんのこと、時間的・地理的制約によって参加が難しい方や、他の地域で文化財保全を実践している専門家の方などが、移動距離を気にせずに参加することができ、さらに実践的な知識を共有することができるというメリットがある。

今年度は、前年度の研究をさらに推し進め、GIGAスクール構想に対応したICTを活用した教育現場においてオンラインシミュレーションの実践が可能か、その一端をお示ししたい。

2. オンラインワークショップの設計

ワークショップは、オフラインであってもオンラインであっても、①情報等のインプット→②情報等の処理→③考えのアウトプット→④考えの整理(グループ化・図解化)というワークを、①→②→③→④→①→②→③→④→・・・という具合に繰り返す。

今回のワークショップは、オフラインによる話し合いと「Miro」(オンラインホワイトボード)を活用して行った。もちろん、オンラインホワイトボードには、「Microsoft Whiteboard」、「OpenBoard」、「Google Jamboard」など、複数のツールがあり、使いやすいもの(使い慣れたもの)を選択し、利用していただくのがよい。いずれにせよ、オンラインホワイトボードは無限大のキャンバスであるため、ワークの各段階でのホワイトボードを消さずに、そのまま残しておくことができる。オフラインのワークショップでは、次のワークのためのホワイトボードをその都度用意する必要がある。そのため、それまでの議論の軌跡を消して新たなスペースをつくらなければならない。一方、オンラインのツールでは、無制限に広げていくことができる。そればかりでなく、マウスを動かすだけで、これまでどのような議論がなされてきたのか、振り返ることも可能である。手書きに比べて保存・複製が簡単にできるということも利点である。

3. オンラインワークショップの実践

本ワークショップは、7月31日(土)、教員免許状更新講習「歴史研究と現代社会」において行った。参加者は27名。

まず、全体でワークショップのルールを確認した。このワークショップでは、オンラインホワイトボードを活用したグループワークを中心とするため、各グループで話し合っリーダーを選出し、そのグループリーダーは、グループ内での話し合いのまとめ役を担い、みんなで自由に発

言、意見交換ができる雰囲気を作り、人の意見をよく聞き、異論があるときは、代案を示すこと、そして、このグループワークには正解はなく、参加者の優劣を決めるものでもないこと。したがって、みんなで「よりよいもの」を目指していくことを確認した。

ついで、つぎのような「本日の設定」を確認した。

みなさんは、西郷隆盛をはじめ大久保利通、大山巖、東郷平八郎、山本権兵衛といった多くの偉人を輩出した「加治屋町」に住んでいる。
 20XX年6月から7月にかけて、梅雨前線の影響により鹿児島県を含む九州南部各地で総降水量が1,000mmを越え、土石流や浸水の被害が発生した。7月9日に九州南部地方は梅雨明けの発表が出されたが、1週間も経たずに再び梅雨前線が南下し、戻り梅雨が続いた。
 7月27日には台風5号が大隅半島を縦断し、さらに同29日から30日にかけて台風6号が九州の西側海上を通過し長崎県に上陸、各地に大雨を降らせた。
 7月27日から30日までの雨量は九州南部各地で100mmから300mmに達した。

これをふまえて以下のワークを行った。

(1) 地域の特徴をつかもう。

ここでは地域の構造(空間、つくり)を把握した。

- ① 広場、公園、オープンスペース(学校、神社、空き地、店舗の駐車場など)を把握しよう(緑色)
- ② 水路、用水、河川(大～小)などの自然水利を把握しよう(水色)
- ③ ビル、マンションなど、浸水時に駆け込みできる建物(3階建て以上)を把握しよう(橙色)
- ④ 公的な(自治体が指定する)避難所や避難場所を把握しよう(赤色)
- ⑤ 防災資源(災害時に役に立つところ、モノがあるところ、病院や薬局など、ほかにどんなところがあるかな?)を把握しよう(紫色)

- ① 加治屋まちの杜公園、鹿児島中央高校、中央高校横ローソンは、水防施設(土のうステーション)に指定されている、甲突川浸水想定3～5mの浸水危険地域、歴史が古く、古い民家も多い、歴史的人物の出身地区で、文化財も多く眠っている可能性が高いなど
- ② 甲突川が湾曲している対岸の方が低い
- ③ 3m以上のホテルが3か所、町内が3m未満の浸水水域だか、避難場所は2か所
- ④ 避難所が中央高校と清滝公園の2か所。人の数も多そうなところだから、もう少しあってもいい気がします。
- ⑤ 塾・専門学校が多い→机や椅子等がある、緊急告知病院整形外科田平病院、日高病院、鮫島病院、コンビニや薬局が多い、AEDを設置している場所が多い



①～③は地域をつくりなので、わたしたちの都合では変えることができないが、④、⑤は働きかけによって変えていくことが可能であろう。

(2) 風水害による災害時に危険となるところは？

防災マップ中の災害(浸水想定区域や土砂災害警戒区域など)を参考に、風水害による災害時に危険となるところはどなたころだろうか？その場所と、理由を書いていく(桃色)。こうした災害の外力(浸水やがけ崩れなど)が地域にふりかかったさい、特に危険、あるいは過去の経験から危険な場所(例えば、柵のない用水路、冠水で道路との区別がつかない蓋なしの側溝、水が流れる、土砂が流れるなど)を把握しておく必要がある。

- ・洪水浸水想定区域
- ・甲突川が決壊した場合、3~5m 浸水すれば、加治屋町はほぼ沈む。
- ・加治屋町全域が危険にさらされる。浸水継続時間も長く、土手に水が遮られ、戻らない。
- ・平成5年(1993)の8.6水害で浸かった地域

ビルと古い家が雑居している。	加治屋町全域が危険にさらされる。浸水継続時間も長く、土手に水が遮られ、戻らない。	甲突川北側低地帯
甲突川に向かって土地の高さが低くなっている	8.6水害で浸かった地域	甲突川が決壊した場合、3~5m 浸水すれば、加治屋町はほぼ沈む。
西日本シティーは最大想定5m浸水の超危険地帯	洪水浸水想定区域	加治屋町から南の地域は標高が低くなっており、水害に遭う危険性大

(3) この地域の風水害に対する弱い点と強い点はなんでしょ？

この地域の風水害に対する弱み(黄緑色)と強み(白色)を把握する。

- ・弱み：避難場所が少ない
 避難場所が深い浸水地域となっている／氾濫すればほぼ全域水没する
 水の逃げ場がなく、2階部分も水没する恐れあり／避難遅れると水害に巻き込まれるマンションが多い傾向にあり、隣近所の状況を知らないままである。一緒に災害対策をしようという感覚が薄らいでいる。地域コミュニティが薄らいでいる可能性。
- ・強み：高校があるため、避難時の高校生のボランティア等の活躍も期待できる。
 ビルが多いので、垂直避難できる施設が多い
 避難場所になる公園・学校などが多い
 徒歩なら、道が広いので避難所までスムーズに逃げられるかも
 平坦な土地で高齢者も避難しやすい
 浸水の経験があるので住民の危機意識は高い／住民が普段から備えている
 8.6水害の折に被害を受けやすい老朽化した建築物が整理され、新たな建物は対策を持っている(土地のかさ上げ、住居スペースを2階以上にする)
 土砂災害、鉄砲水の突発性の災害の危険性がほとんどないので、水害の対応が主になり、水位観察を行い、避難行動をとりやすい。

避難場所が少ない	マンションなどオートロックのとき、浸水したら電源は起動するか？	マンションなどオートロックのとき、浸水したら電源は起動するか？	高校があるため、避難時の高校生のボランティア等の活躍も期待できる。	少し移動すれば浸水の被害を避けられる	比較的高層の建物が多く、浸水の危険性が低い
避難場所が深い浸水地域となっている。	避難遅れると水害に巻き込まれる	氾濫すればほぼ全域水没する	避難所が多い	住民が普段から備えている	ビルが多いので、垂直避難できる施設が多い
避難所が少ない、高校でスペースが十分にあるかもしれないが、駐車場は狭い。	水の逃げ場がなく、2階部分も水没する恐れあり。	ビルやマンションが多いので発生スペースは多量に確保されているが、駐車場の数が不足する。	平坦な土地で高齢者も避難しやすい	浸水の経験があるので住民の危機意識は高い	医療機関がある
古い家は水害を免れられない	地面の高さが低い地域が多く、水の災害に弱い。	車が渋滞しやすい地域であり、緊急車両が入りにくい	8.6水害の折に被害を受けやすい老朽化した建築物が整理され、新たな建物は対策を持っている(土地のかさ上げ、住居スペースを2階以上にする)	徒歩なら、道が広いので避難所までスムーズに逃げられるかも	土砂災害、鉄砲水の突発性の災害の危険性がほとんどないので、水害の対応が主になり、水位観察を行い、避難行動をとりやすい。

(4) 指定文化財の分布を見てみよう。

宮崎県は統合型地理情報システム「ひなた GIS」を公開している(2017年5月12日)。

「ひなた GIS」は、国土地理院の地図、地質図、航空写真、古地図、社会・人口統計に加え、九州北部豪雨(2017年)や北海道地震(2018年)といった災害データなど、約5,000件の統計データやオープンデータを簡単な操作で地図に落とし込み、使う人の目的に合わせて無料で活用することができる。また、2画面機能を搭載しており、例えば地震による土砂崩れの前と後のように、時系列の地図を比較しながら新・旧の状況を分析することも可能である。そのなかに、「文化財フォルダ」があり、「国指定文化財等データベース」「全国文化財」などのデータを重ね合わせることができる。



「洪水浸水想定区域」のなかに、鹿児島中央高校本館および講堂(登録有形文化財・建造物)、平田靱負屋敷跡(史跡)、東郷家古文書・南林寺不動明王像(有形文化財)などが所在していることが知られる。

ただし、地域にはこうした指定している文化財だけでなく、指定されていない文化財もたくさんあることに気を配る必要がある。ここでいう文化財とは、古文書(くずした文字で和紙に書いたものなど)、古い本(和紙に書かれて冊子にしてあるものなど)、明治・大正・昭和の古い本・ノート・記録(手紙や日記など)・新聞・写真・絵、古いふすまや屏風(古文書が下貼りに使われている場合がよくある)、自治会などの団体の記録や資料、農具、機織りや養蚕の道具、古い着物など、物づくりや生活のための道具など、社会との関わりのなかで作成される地域の記憶・地域の履歴書であり、いわば人びとがそこで暮らし、生きてきた証拠を示すものである。

(5) 文化財(指定・未指定)消滅のリスクに対する対処方法を4象限にまとめてみよう。

ここでは、「リスク対処法チャート」を用いて、縦軸を「被害は出さない—被害は出る(ことを覚悟する)」、横軸を「被害そのものに立ち向かう—被害そのものには立ち向かわない」と設定し、

- ①軽減対策：リスクの発生確率や影響度そのものを減ずる
- ②受容対策：リスクがいつか顕在化することを想定事象として受け入れ、それに備える
- ③回避対策：リスクにさらされる要因そのものを取り除く
- ④転嫁対策：いざとなったときのリスクの責任を第三者と共有/移譲する



を考えた(右図)。

リスクを軽減したり、回避したりするために、事前に文化財を高い建物に避難させて保管する、文化財周辺に洪水や火災に対する設備を設置する、文化財の所在調査(悉皆調査)と写真撮影・データベース化(維新ふるさと館との連携)、文化財の管理責任者を指定し、災害時の対応をマニュアル化しておく、一般家庭で保管されている未指定の文化財の価値を一般家庭に意識付けする、地域コミュニティの緊密化と歴史学習を通しての文化財の重要性を理解してもらう学習会などの充実。住民の文化財への意識改革の必要性があげられた。

また、リスクの受容では、物はいつか壊れる、把握できていない文化財はあきらめる→人命優先とある一方で、災害時の文化財保護方法の講習会実施(所有者参加)、補修が可能な職人集団のリストを作成し、必要時に備えるなどの、被災後の対応についてもあげられた。

さらに、リスクの転嫁では、職人集団の機能化のために、メンテナンス予算を教育委員会に確保してもらい、定期的な補修を担当してもらい、文化財について熟知してもらい、常に行政や政治に文化財保護を働きかける、分散管理が可能な文化財はある程度分散管理する、災害による被害に備えて保険等に加入しておくなど、より多くの人との連携によってリスクに対処する方法があげられた。



4. おわりに

本ワークショップは、教員免許状更新講習「歴史研究と現代社会」において行ったものであり、物理的な対策だけでなく、社会心理的側面からの対策があげられた点に大きな特徴があると言える。学校教員がこうした考えを有していることに、大変心強く、頼もしく感じられた。なぜなら、災害時の文化財保全において、マン・パワーの不足やシステムの不全を解消すれば文化財が保全されるというような単純で簡単な問題ではないからである。すなわち、わたしたち自身もつ、歴史資料に対する意識や歴史を考えることに対する思考のズレを解消していくことが重要なのである。したがって、市民にとって身近な地域の歴史資料を核に、多様な主体がフラットにつながり協働する関係づくりに積極的に関わろうとする能動的市民性を涵養と、「公共空間」(システムの問題を皆で議論する「場」)を支える仕組みづくりに関わる人材の育成や能力の養成が必要不可欠となってくる。その実現にむけた取り組みをこれからも模索していきたい。

[参考文献]

- 佐藤宏之 a 「大規模自然災害時を想定した文化財保全 DIG オンラインシミュレーションの方法論的探究」『鹿児島大学地域防災教育研究センター 令和 2 年度報告書』2021 年
- 佐藤宏之 b 「大規模自然災害を想定した文化財保全オンラインシミュレーションの方法論的探究」『九州保健福祉大学博物館学年報』第 10 号、2021 年

船舶用レーダ観測結果と気象観測を結びつける為の レーダサイト気象観測

水産学部 西 隆昭

序 論

地震火山地域防災センターは、これまで桜島に設置した気象レーダで桜島の噴煙を観測して成果を出してきた。気象レーダはペンシルビームを用いて噴煙を観測するので、3次元の結果が得られ噴煙の解析に最適である。一方、スパイラル状に観測するので時間がかかることや、可搬型に設計しても小型トラックのコンテナくらいになり専用の電源も必要になった。移動には大型の運搬車を依頼するので手間や日数がかかる。船舶用レーダは重量 30kg 程度であり機動的に観測するためには十分な重さである。

ここ数年船舶用レーダを水産学部屋上や桜島に設置して桜島の噴煙を観測するために動作させて、降灰を船舶用レーダで観測できることを調査してきた。船舶用レーダはビーム幅が水平で 1.2° 垂直で 22° のいわゆるファンビームであるので船舶用レーダの映像をペンシルビームの気象レーダと一概に同一にはできない。火山の降灰は、噴火次第であるので降雨と船舶レーダ映像との関係を申請の気象観測装置の降雨と船舶レーダの観測結果を比較して調べた。

1. 材料方法

1) 総合気象観測装置（ケーブル式ヴァンテージプロ2）の観測項目は

風向，風速，雨量，屋外気温，屋外湿度，屋内温度，屋内湿度，気圧，体感温度であり，雨量の記録を利用した。有線方式を採用したのは，レーダサイトに設置するために電波の影響をできるだけ避けるためである（図1，図2）。



図1 雨量等センサ



図2 総合気象観測装置の制御監視装置

2) 船舶用レーダ

KODEN 固体化レーダ (100W)

総合気象観測装置は固体化船舶用レーダを設置している下荒田キャンパス 1 号館屋上に並べて設置した。図 3 に機器の構成を示す。

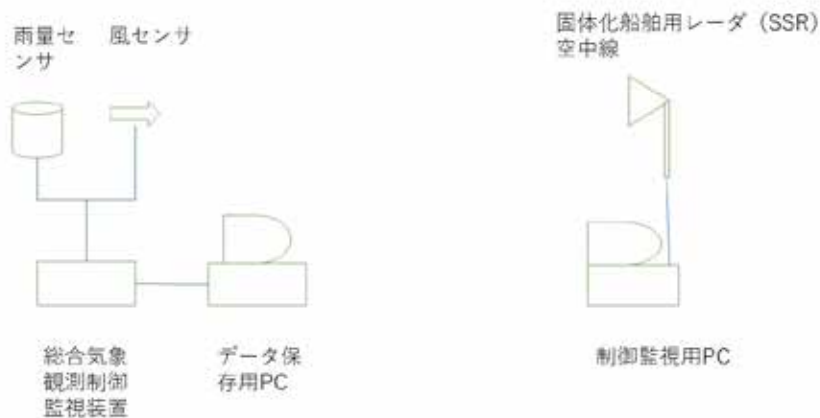


図 3 総合気象観測装置と固体化船舶用レーダの機器構成

2. 方法

総合気象観測装置の雨量は漏斗で集められた雨水がばねで支えられた升に集められ満杯になったら転倒してパルスが発生して制御監視装置で雨量に換算される。雨量はコンピュータ (PC) に送られて、PDF として保存される。

装置は 2021 年 9 月に入手し 1 ヶ月試運転をして雨量が観測されて PC に保存できることを確かめた。

固体化船舶用レーダは 3cm 波を使用して空中線を 10° 上向きにしたまま水平に回転して観測した。観測結果は制御監視のコンピュータ (PC) に外付けしたハードディスク (HD) に保存した。

3. 結果

雨量は 10 月 3 日から 12 月 17 日まで毎分観測された。この期間で降雨があったのは 11 回あった。降雨は 1 分間の降雨率(Rain rate) である。

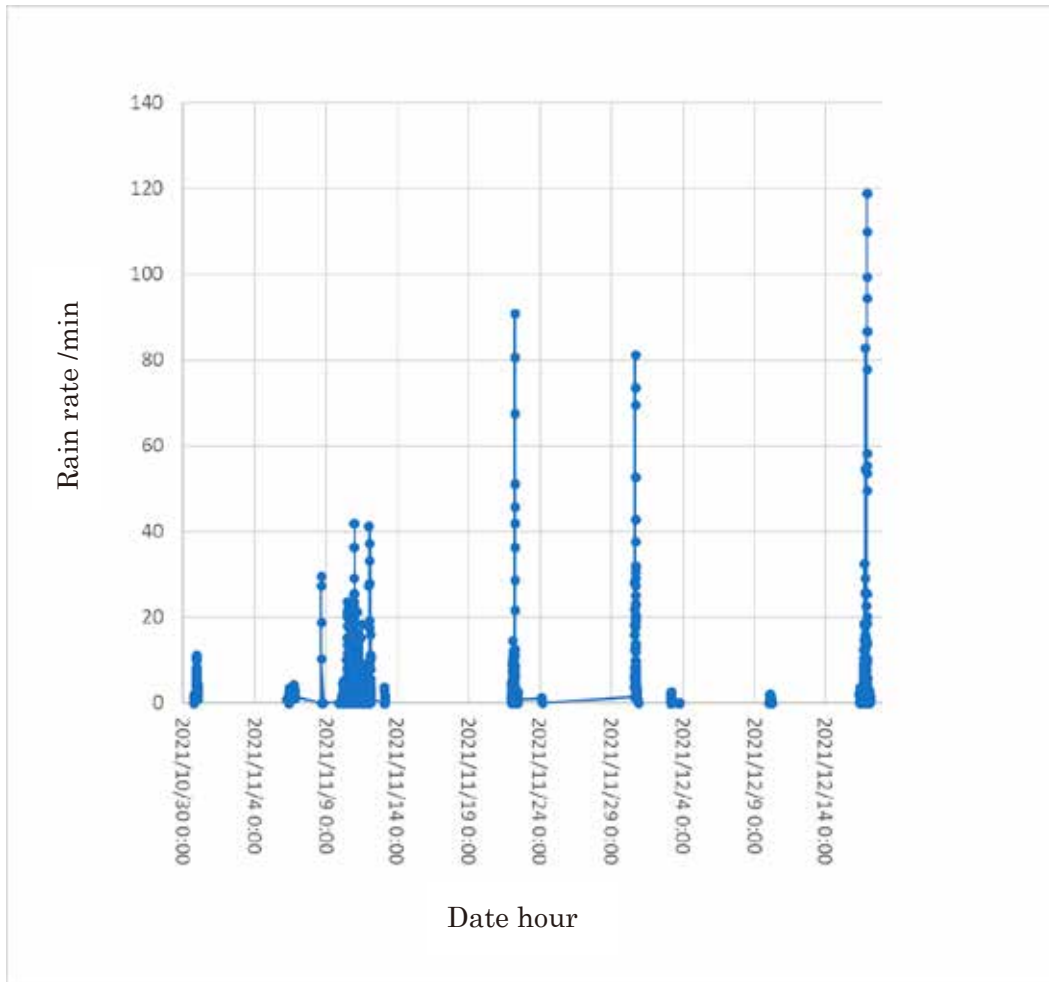


図4 2021年10月から12月までの下荒田キャンパスで観測された降雨

Davis の Rain rate (1分) は鹿児島県全県テレメータなどの10分雨量や時間雨量に比べて大きい値になっていた。図4の10月30日を見ると18:30-22:50の期間で0.0から6.2に変わる。全県テレメータの時間雨量は0から5とほぼ一致していた。Rain rateが1分ごとの時間雨量相当の値として使用できそうであるので、固体化船舶用レーダの観測値と比べてみた。図5は2021年10月30日19:08:19に下荒田キャンパスから約10kmの範囲で観測された映像である。中心から72° 距離3371mの地点で受信電界強度 (dBm) を読み取った。

18:30-22:50の期間に読み取った電界強度とRain rateの散布図が図6である。Rain rate 0-3mmまでは電界強度と比例しているように見えるがRain rate 4mmから7mmでは相関が見られない。

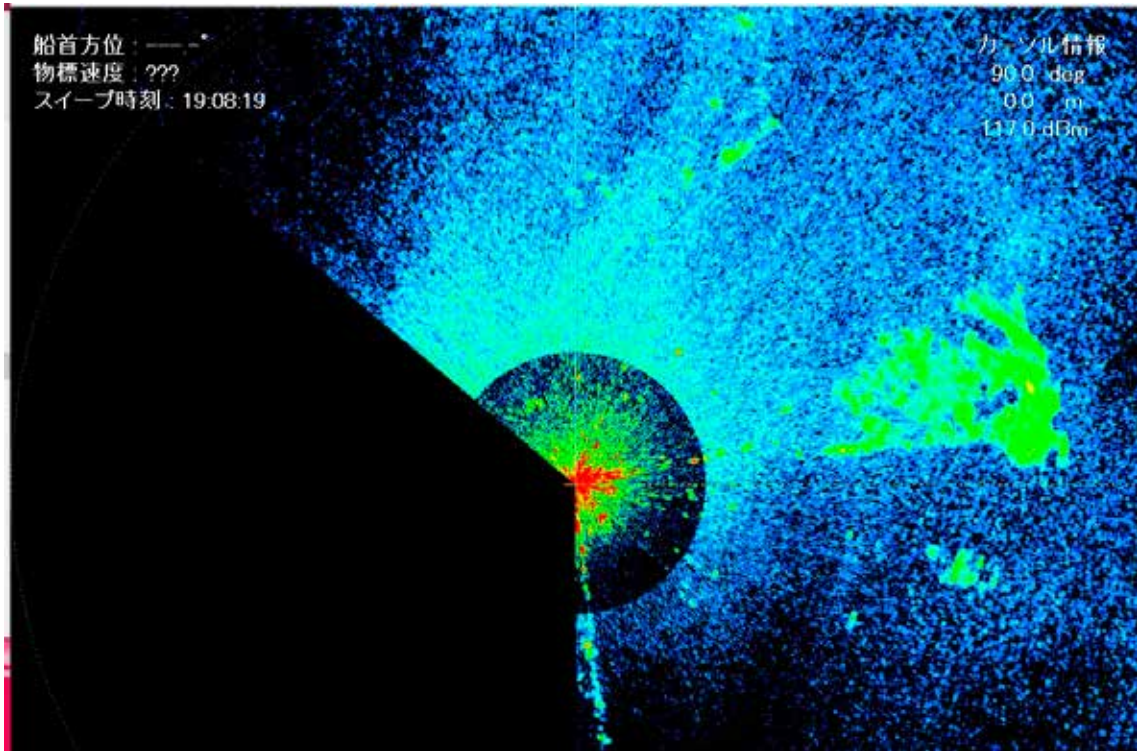


図5 2021年10月30日19:08:19に下荒田キャンパスから約10kmの範囲で観測された映像

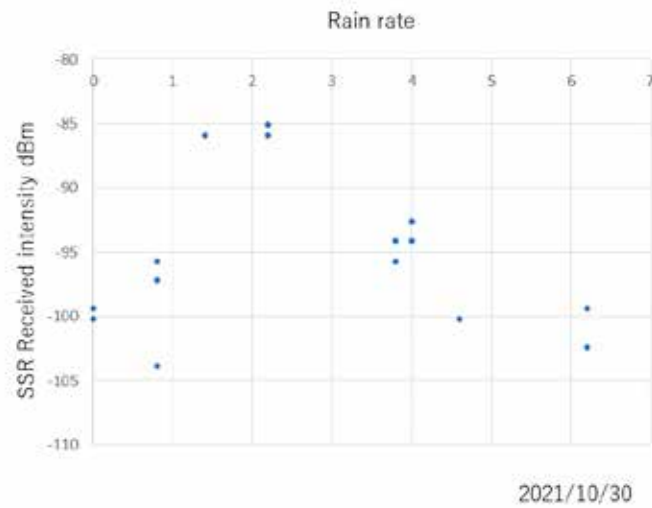


図6 2021年10月30日18:30-22:50のRain rateと固体化レーダ電界強度の散布図

4. 結 論

DAVIS の総合気象観測装置を設置して連続して3か月観測したところ Rain rate(分)が時間雨量相当であることが分かった。次に Rain rate に対する固体化船舶用レーダの電界強度 (dBm) の散布図を作成した。その結果、比例関係がありそうな結果を一部得た部分とそうでない部分があった。Rain rate の生データを読むと1分間隔で観測しているが、降雨状況と Rain rate に時差があるかもしれない。今後も観測・データ整理を続けて他の公開されている雨量データ等との比較もできたらよいと思う。

5. 謝 辞

本研究を実施するにあたり、DAVIS の総合気象観測装置の購入に地震火山地域防災センターから援助をいただいたことに感謝します。

6. 参考文献

- ・レーダ水文学 吉野文雄 2002年 森木出版
- ・レーダ技術 吉田 孝 平成2年 電子情報通信学会
- ・気象と大気のレーダーリモートセンシング 深尾昌一郎・浜津亨助 2005年 京都大学学術出版会

地すべり津波の水理実験及び数値解析

鹿児島大学学術研究院 理工学域 柿沼 太郎
琉球大学 工学部 入部 綱清

1. 序 論

九州本島から、南西諸島、そして、琉球諸島の防災において考慮しなければならない対象の一つに、地すべりや山体崩壊に伴う津波がある。例えば、1771年八重山地震津波では、打ち上げられている巨大石の状況に基づき、海底地すべりが発生したとする研究がある (Imamura ら, 2008)。地すべりや山体崩壊に伴う津波は、断層運動が引き起こす海底地震に伴う津波に比べて、発生頻度が低いが、歴史的観点からは、規模・被害ともに大きくなる可能性のあることが示唆される。1792年には、島原半島における眉山の山体崩壊に伴う津波が有明海を伝播して、対岸の肥後・天草に襲撃し (富樫ら, 1992 ; Wang ら, 2019), その反射波が島原を襲った。地すべりは、津波地震の分類 (柿沼, 2006) によると、「流体と相互干渉する地変」の一種であり、地震の大きさに基づいて規模を予測できない津波が生成される。そして、地すべりや山体崩壊に伴う津波、更に、氷河崩落に伴う津波 (Marchenko ら, 2012) は、生成過程において崩落体が流体と相互に干渉するため、複雑で不明な点が多い。地すべりによる津波は、水理実験や数値解析等によって調べられてきた (重松・河野, 2006 ; 劉ら, 2010 ; 松原ら, 2011 ; 後藤ら, 2011 ; 柿沼ら, 2012)。例えば、水中の斜面を滑り降りる剛体楔によって引き起こされる津波が、3次元 overset mesh 法を用いた OpenFOAM を適用してシミュレートされている (Romano ら, 2020)。

そこで、本研究では、地すべりや山体崩壊に伴う津波に対する、数値モデルの適用性を把握することを目的として、水理実験と数値解析の両者を実施した。ここでは、崩落体が、流体である場合と、剛体群である場合とを対象とし、これらが一様勾配斜面上を落下したときに生成される水面変動の水理実験結果と数値解析結果とを比較した。数値解析には、Lagrange 型の断面 2 次元数値モデルを適用した。

2. 水理実験

2.1 水理実験の手法

図-1 に、勾配 β が一様な斜面を設置した水槽を示す。ここで、表-1 に示すように、Case A1, A2 及び C では、 $\tan \beta = 1.0$ であり、Case B1 及び B2 では、 $\tan \beta = 0.5$ である。また、水槽の内幅は、0.2 m である。

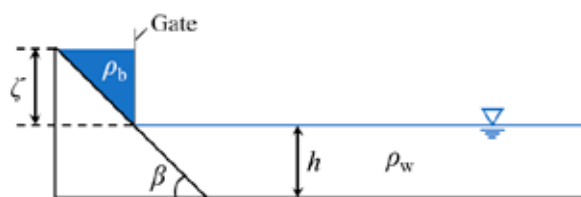


図-1 一様勾配斜面が設置された実験水槽 (静水状態の汀線において、 $x = z = 0.0$ m とする。)

表-1 各ケースにおける条件

ケース	崩落体の種類	崩落体の密度	斜面勾配 $\tan \beta$	崩落体の初期高さ ζ
Case A1	水	1,000 kg/m ³	1.0	0.15 m
Case A2				0.1 m
Case B1			0.5	0.15 m
Case B2				0.1 m
Case C	剛体の円柱群	2,300 kg/m ³	1.0	—

水槽内に貯められた水の密度 ρ_{water} は $1,000 \text{ kg/m}^3$ である。水底における斜面の始点と、沖側端の鉛直壁との距離は、 3.0 m であり、この間の静水深 h は、 0.09 m で一様である。水平方向に x 軸、鉛直方向に z 軸をとり、 x - z 座標の原点を静水状態の汀線におく。ここで、 x 軸の正の方向は、沖向きであり、他方、 z 軸の正の方向は、上向きである。

初期時刻 $t = 0.0 \text{ s}$ において、静水状態とする。水理実験では、図-2 に示すように、汀線の初期位置にある鉛直ゲートを開けて地すべりを発生させる (Kakinuma, 2016)。



図-2 図-1 に示した水槽内の斜面上に設置されたゲート（左右の二つのレバーを下げることで、ゲートが開く。）

Case A1, A2, B1 及び B2 の場合、崩落体は、密度が $\rho_{\text{water}} = 1,000 \text{ kg/m}^3$ の水である。他方、Case C の場合、崩落体は、9本の円柱であり、その初期時刻における設置状況を図-3 に示す。円柱の直径及び長さは、それぞれ、 0.02 m 及び 0.197 m であり、材質は、密度が $\rho_{\text{rigid}} = 2,300 \text{ kg/m}^3$ のポリテトラフルオロエチレン (PTFE) である。

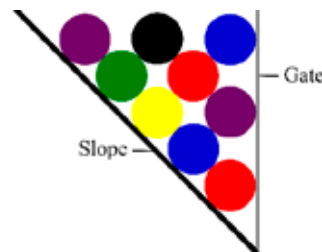


図-3 剛体円柱群の初期の積載状況（円柱の直径は、 0.02 m であり、密度は、 $2,300 \text{ kg/m}^3$ である。）

2.2 水理実験の再現性の検証

静電容量式波高計を $x = 0.7 \text{ m}$ 及び 1.15 m の位置に設置し、水面変動を測定する。図-4 に、崩落体が水である Case A2 の 3 回の実験における $x = 0.7 \text{ m}$ の位置の波高計で得られた電圧の時間変化を示す。また、図-5 に、崩落体が剛体の円柱である Case C の 2 回の実験における結果を示す。いずれの場合においても、電圧の単位を揃えており、実験の再現性が十分高いことが確認される。なお、本報告で示す水面変動の実験結果は、複数の実験結果の平均値でなく、各条件に対する任意の一つの実験の結果である。

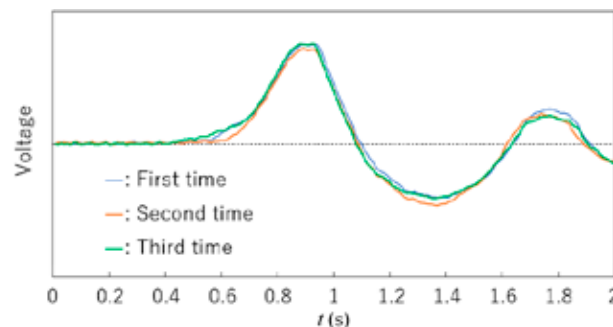


図-4 崩落体が水である Case A2 の 3 回の実験における $x = 0.7 \text{ m}$ の位置の波高計で得られた電圧の時間変化

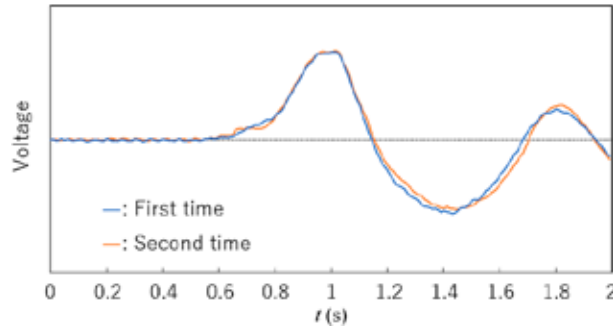


図-5 崩落体が剛体の円柱である Case C の 2 回の実験における $x = 0.7 \text{ m}$ の位置の波高計で得られた電圧の時間変化

3. 数値解析の手法及び条件

上記の水理実験の各条件に対して、数値解析を実施する。乱流モデルを使用せず、簡単のために、表面張力及び海底摩擦を無視する。また、剛体の弾性及び塑性の両者を考慮しない。数値モデルとして、比較的激しい水の運動を考慮するために、移動粒子半陰解法 (MPS 法) (Koshizuka・Oka, 1996) に基づく Lagrange 型のモデル (入部・仲座, 2011; 入部ら, 2020) を適用する。支配方程式は、移流項を含まない Lagrange 方程式と、圧力を算定するための Poisson 方程式である。連立方程式を解くために陰的方法を用い、他の方程式には、陽的方法を用いる。粒子数密度の空間勾配に基づいて水位を決定するため、水面での圧力の乱れが抑制される。

崩落体が剛体である場合には、各剛体を複数の剛体粒子で構成する。各時間ステップにおいて、まず、剛体粒子の一時的な座標を流体粒子の場合と同じ手法で計算する。次に、各剛体の重心移動距離と回転角変化量の両者を剛体粒子の一時的な座標に基づいて算出する。また、剛体粒子と壁粒子の間の距離が一定値より短くなると、壁面方向の摩擦力を剛体粒子に作用させる。

粒子間距離は、 0.005 m とし、粒子の総数は、約 $20,000$ 個である。また、計算時間間隔は、Courant 数が 0.2 となるよう自動的に決定し、約 0.0001 s であった。無次元残余ノルムが 1.0×10^{-9} 未満の場合、計算が収束したと判断する。

4. 一様勾配斜面上を落下する流体によって生成される津波

4.1 Case A1

図-6 に、崩落体が水である Case A1 の $x = 0.7 \text{ m}$ 及び 1.15 m における水面変動の水理実験結果と数値解析結果を示す。図-1 において ζ で定義されている、ゲート背後に貯められた水の初期高さは、 0.15 m であり、斜面勾配は、 $\tan \beta$ は、 1.0 である。図-6(a) において、第 1 波の位相及び津波高さの両者が、水理実験値とほぼ一致している。なお、数値解析結果において、水塊が飛散した液滴であると判断された場合、この液滴を除去して水位を評価している。

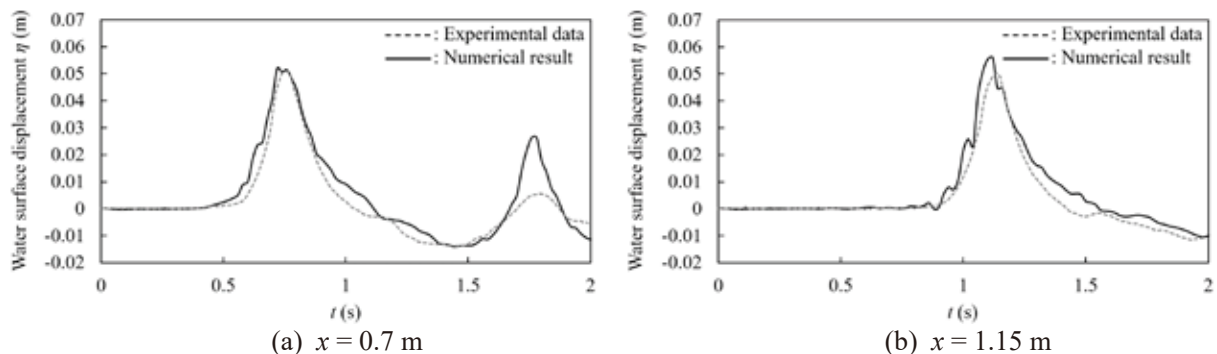


図-6 崩落体が水である Case A1 における水面変動 ($\zeta = 0.15 \text{ m}$, $\tan \beta = 1.0$)

一方、第 2 波は、水が斜面上を遡上したことによって生成された波である。従って、第 2 波の再現精度は、この反射の再現性に依存する。図-7 に、Case A1 の $t = 0.45 \text{ s}$ における数値シミュレーション結果を示す。岸向きの plunging が発生しており、このような場合には、複雑な水の運動を考慮することが要求される。こうした plunging の発生は、Case A1 の水理実験においても確認で

きる。図-6 に示すように、第2波の津波高さは、過大評価されているが、第2波の水位が上昇し始める時刻は比較的再現性がよい。

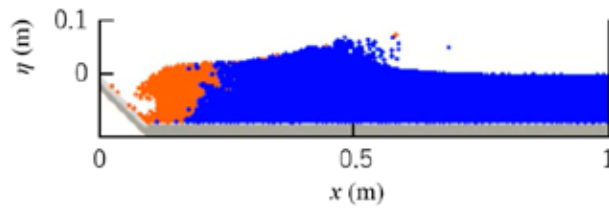


図-7 崩落体が水である Case A1 の $t=0.45$ s における数値シミュレーション結果 (ゲート背後に貯められた水は、オレンジ色で示されている。また、 $\zeta=0.15$ m 及び $\tan\beta=1.0$ である.)

4.2 Case A2

図-8 に、崩落体が水である Case A2 の $x=0.7$ m 及び 1.15 m における水面変動の水力実験結果と数値解析結果を示す。ゲート背後に貯められた水の初期高さは、 $\zeta=0.1$ m であり、斜面勾配は、 $\tan\beta=1.0$ である。

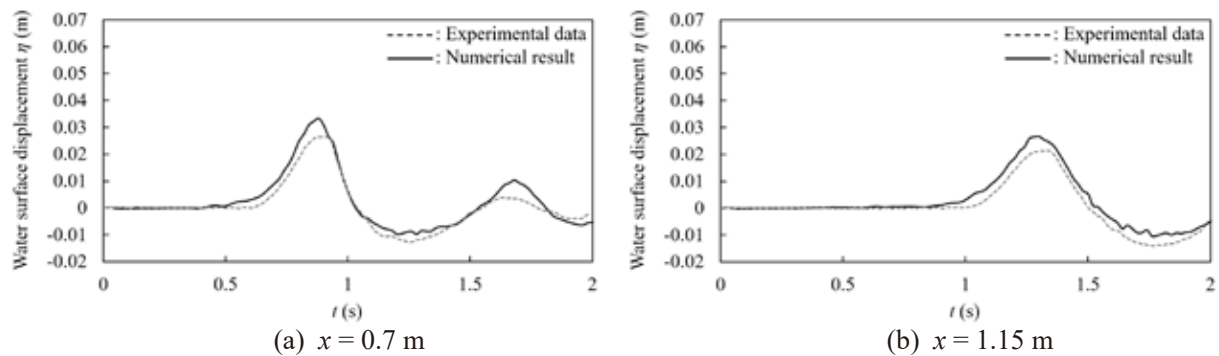


図-8 崩落体が水である Case A2 における水面変動 ($\zeta=0.1$ m, $\tan\beta=1.0$)

Case A1 ほどゲート背後の貯水量が多くない Case A2 では、流体の運動が緩やかであるため、最大水位が Case A1 より低い。流体運動が比較的緩やかな Case A2 では、数値解析結果の精度が、第2波に対しても比較的高い。

4.3 Case B1

図-9 に、崩落体が水である Case B1 の $x=0.7$ m 及び 1.15 m における水面変動の水力実験結果と数値解析結果を示す。ゲート背後に貯められた水の初期高さは、 $\zeta=0.15$ m であり、斜面勾配は、 $\tan\beta=0.5$ である。ゲート背後の貯水量は、Case B1 が最大であり、第1波の水面形の前面勾配及び津波高さが最大となった。数値解析では、波の非線形性が分散性に比べて過大評価されているためか、図-9(b) において、第1波のピーク付近で分裂が発生している。

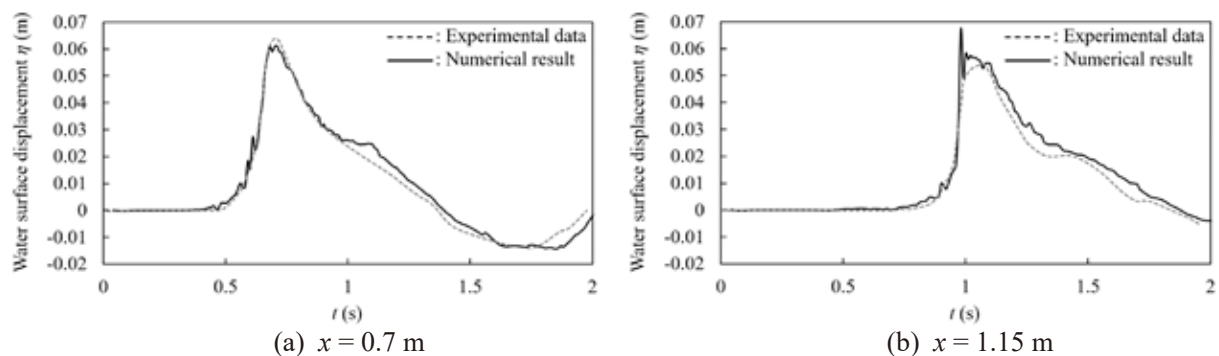


図-9 崩落体が水である Case B1 における水面変動 ($\zeta=0.15$ m, $\tan\beta=0.5$)

4.4 Case B2

図-10 に、崩落体が水である Case B2 の $x=0.7\text{ m}$ 及び 1.15 m における水面変動の水力実験結果と数値解析結果を示す。ゲート背後に貯められた水の初期高さは、 $\zeta=0.1\text{ m}$ であり、斜面勾配は、 $\tan\beta=0.5$ である。数値解析では、実験値と比べて、水位がやや過大評価されているものの、ピークの位相は、比較的よく合っている。

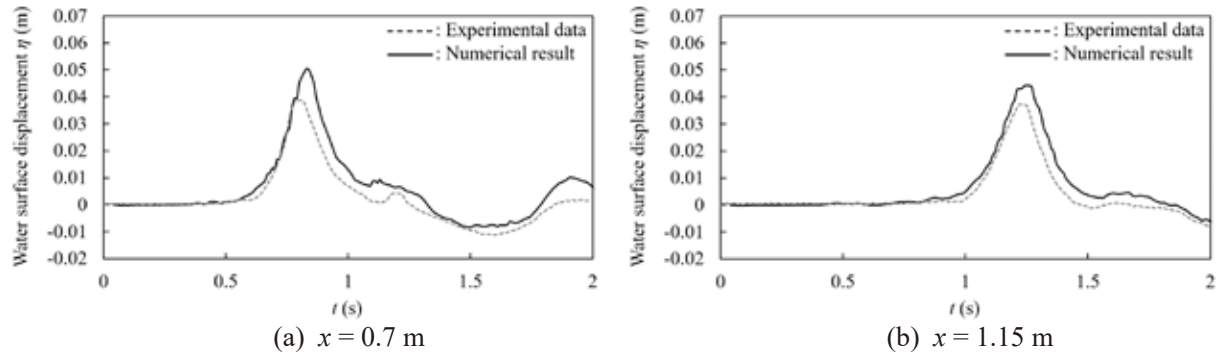


図-10 崩落体が水である Case B2 における水面変動 ($\zeta=0.1\text{ m}$, $\tan\beta=0.5$)

5. 一様勾配斜面上を落下する剛体群によって生成される津波

図-11 に、崩落体が剛体の円柱群である Case C の $x=0.7\text{ m}$ 及び 1.15 m における水面変動の水力実験結果と数値解析結果を示す。斜面勾配は、 $\tan\beta=1.0$ である。数値解析結果は、第 1 波の津波高さとピークの位相の両者の実験値をほぼ正確に再現している。しかしながら、第 2 波の数値解析結果は、第 1 波ほど正確とならなかった。水力実験では、第 1 波の出現後、水が、円柱群の岸側を包み込み、そして、円柱の間に進入した。これに対し、数値解析では、粒子が十分に細かいため、円柱と水との間の力が正確に表現されず、水が円柱の間に進入しにくくなっていた。その結果、上方に移動する水量が大きくなり、第 1 波と第 2 波の間の谷の水位が過大評価されたと考えられる。今後、剛体粒子をより細かくし、粒子総数を十分大きくして、より正確な数値解析を実施したい。

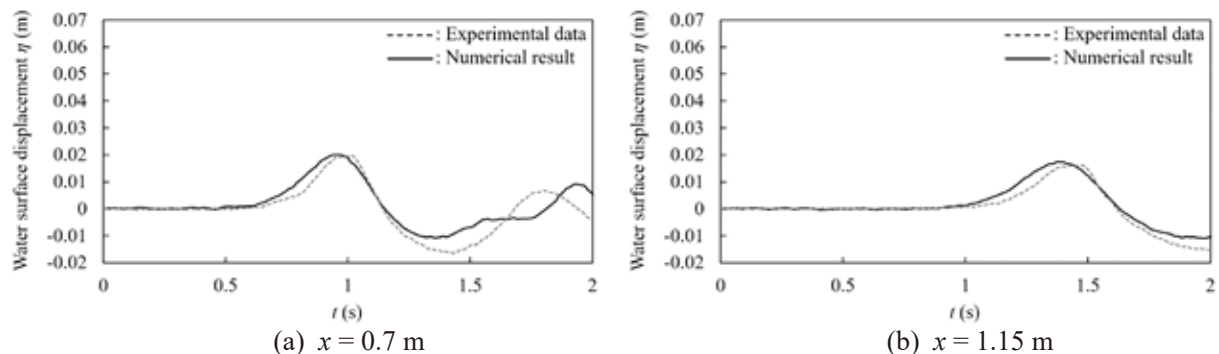


図-11 崩落体が剛体の円柱群である Case C における水面変動 ($\tan\beta=1.0$, $\rho_{\text{rigid}}=2,300\text{ kg/m}^3$)

6. 結 論

地すべりによる津波の生成に関して、水力実験と、MPS 法に基づく Lagrange 型モデルを適用した鉛直断面内の数値解析を実施し、両者の水面変動の結果を比較した。一様勾配斜面上を落下する流体によって生成される津波では、第 2 波の再現性が低下する場合があったが、このとき、冲向きの plunging が発生していた。また、一様勾配斜面上を落下する剛体の円柱群によって生成される津波では、第 1 波の津波高さとピークの位相の両者の再現性が高かった。しかしながら、数値解析では、水が円柱間に進入しにくく、第 1 波と第 2 波の間の谷の水位が過大評価された。

謝辞：愛媛県土木部の柳原 充氏に、鹿児島大学在学中に、水力実験に貢献していただいた。また、琉球大学大学院の永井邦憲氏に、数値解析に御協力いただいた。ここに、感謝の意を表す。

参考文献

- 入部綱清・永井邦憲・Md. M. Rahman: MPS 法の疑似圧縮型ソース項の改良, Transactions of JSCEs, Paper No. 20200007, 7 pages, 2020.
- 入部綱清・仲座栄三: 新たな勾配計算手法による MPS 法の精度向上に関する研究, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol. 67, No. 1, pp. 36–48, 2011.
- 柿沼太郎: 津波地震によってもたらされるであろう幾つかの地変形態と形成される津波の数値解析, 津波工学研究報告, 第 23 号, pp. 69–86, 2006.
- 柿沼太郎・澤田 亮・山下 啓・入部綱清: 地滑りに伴う津波生成の数値シミュレーション, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol. 68, No. 2, pp. 61–65, 2012.
- 後藤仁志・五十里洋行・松原隆之・伊藤 孝: 高精度粒子法に基づく固液二相流モデルによる山体崩壊津波の発生過程解析, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol. 67, No. 2, pp. I_196–I_200, 2011.
- 重松孝昌・河野哲也: 斜面上を運動する粒子群に誘起される流体運動に関する実験的研究, 海岸工学論文集, 第 53 巻, pp. 136–140, 2006.
- 富樫宏由・平山康志・谷口祐治・松本慎市: 1792 年有明海津波の再現性水理実験, 海岸工学論文集, 第 39 巻, pp. 221–225, 1992.
- 松原隆之・関島正浩・神田典昭・今村文彦: 山体崩壊等に伴う津波の発生過程に関する実験的研究, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol. 67, No. 2, pp. I_191–I_195, 2011.
- 劉 魯安・柿沼太郎・入船裕丞・中村和夫: 地滑りや氷河崩壊による津波の生成に関する水理実験, 海洋開発論文集, Vol. 26, pp. 207–212, 2010.
- Imamura, F., K. Goto, and S. Ohkubo: A numerical model for the transport of a boulder by tsunami, Journal of Geophysical Research: Oceans, Vol. 113, Issue C1, 12 pages, 2008.
- Kakinuma, T.: Tsunami generation due to a landslide or a submarine eruption, In: Tsunami (M. Mokhtari, Ed.), InTech, pp. 35–58, 2016.
- Koshizuka, S. and Y. Oka: Moving particle semi-implicit method for fragmentation of incompressible fluid, Nuclear Science and Engineering, Vol. 123, pp. 421–434, 1996.
- Marchenko, A. V., E. G. Morozov, and S. V. Muzylev: A tsunami wave recorded near a glacier front, Natural Hazards and Earth System Sciences, Vol. 12, pp. 415–419, 2012.
- Romano, A., J. L. Lara, G. Barajas, B. Di Paolo, G. Bellotti, M. Di Risio, I. J. Losada, and P. De Girolamo: Tsunamis generated by submerged landslides: numerical analysis of the near-field wave characteristics, Journal of Geophysical Research: Oceans, Vol. 125, Issue 7, 26 pages, 2020.
- Wang, J., S. N. Ward, and L. Xiao: Tsunami Squares modeling of landslide generated impulsive waves and its application to the 1792 Unzen-Mayuyama mega-slide in Japan, Engineering Geology, Vol. 256, pp. 121–137, 2019.

令和2年7月豪雨時に鹿児島県内で発生した浸水被害に関する検討

理工学域工学系 齋田 倫範

1. はじめに

近年、豪雨災害が頻発しており、令和2年7月豪雨の際には、鹿児島県内の各地で氾濫・浸水被害が生じた。将来的に、豪雨災害の頻発化・激甚化が懸念される中、地盤災害リスクが比較的高い南九州固有の地質条件の下では、効率的な水害対策および複合災害（例えば、斜面崩壊＋内水/外水氾濫）への対策が喫緊の課題といえる。本研究では、令和2年7月豪雨時に鹿児島県鹿屋市新川地区で発生した内水氾濫を事例として、数値解析による諸検討を行った。

2. 鹿児島県における令和2年7月3日から8日にかけての気象概況

令和2年7月3日から4日朝にかけて梅雨前線が九州南部から九州北部付近へ北上した影響により、南からの暖かく湿った空気が流れ込み、7月3日昼前から断続的に激しい雨となった。7月3日夜には薩摩半島の西方で発達した雨雲が線状に連なって東進し、鹿児島県薩摩地方や大隅地方を中心に大雨となった（鹿児島地方气象台，2020a）。さらに、7月4日に九州南岸まで南下していた梅雨前線が九州北部付近まで北上して、前線に向かって暖かく湿った空気が流れ込み、大気の状態が不安定となった。このため、鹿児島県本土では7月5日から6日にかけて記録的な大雨となった。特に、鹿屋では、5日から6日にかけての2日間の総降水量が、7月の月降水量の平年値を上回る526.0 mmとなった（鹿児島地方气象台，2020b）。

3. 新川地区の内水氾濫

肝属川沿いの鹿屋市新川地区では、令和2年7月5日から6日にかけての大雨で内水氾濫が発生した。令和2年7月12日（関連する測量は7月25日，26日）に実施した同地域における痕跡調査の結果を図-1に示す。痕跡が明瞭なもののみを測定し、調査で得られた痕跡水位と数値標高モデルから浸水深分布を推定している。新川地区では、最大で約1mの浸水深が確認されており、地区内の複数の家屋が床上浸水に見舞われた。SNSでの情報や住民の方の証言から、浸水深が増大した時間帯は、7時～8時頃と推察される。

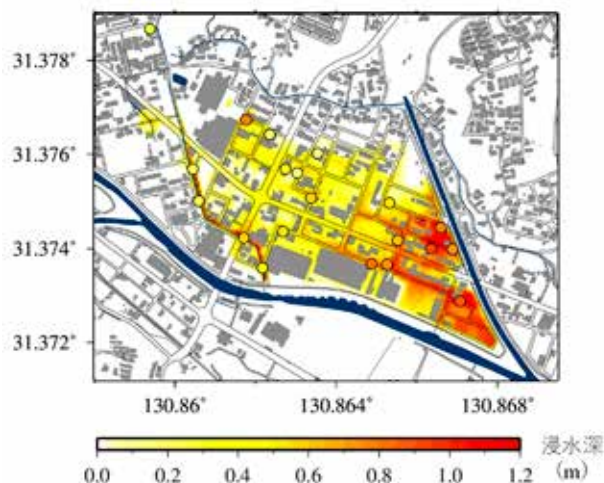


図-1 推定浸水深分布（○印は痕跡高測定地点）

3. 内水氾濫解析

(1) 内水氾濫解析の概要

新川地区を含む鹿屋市市街地周辺を対象とする氾濫解析モデルを整備し、内水氾濫解析を行った。計算期間は、令和2年7月5日0時～7月6日24時の48時間とし、鹿屋における10分雨量

を入力降雨とした。空間解像度は、南北、東西ともに 20m とした。基礎式を以下に示す。なお、浸水域北側のシラス台地上に供給された降雨の流入を考慮するため、シラス台地と谷底平野の間の急斜面部における水の移動量を Kinematic Wave 法で評価することとした。

$$\text{運動方程式：} \quad \frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial uM}{\partial x} + \frac{\partial vM}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - gn^2 \frac{u\sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}} \quad (1-1)$$

(x 方向)

$$\text{(y 方向)} \quad \frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial uN}{\partial x} + \frac{\partial vN}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial y} - gn^2 \frac{v\sqrt{u^2 + v^2}}{h^{1/3}} \quad (1-2)$$

$$\text{(急斜面部)} \quad M \text{ or } N = \frac{1}{n} h^{4/3} \sqrt{i} \quad (1-3)$$

$$\text{連続式：} \quad \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial N}{\partial x} + \frac{\partial M}{\partial y} = r \quad (1-4)$$

ここで、 t は時間、 x, y は空間座標、 M, N は流量フラックスの x, y 方向成分、 u, v は流速の x, y 方向成分、 H は水位、 h は水深、 g は重力加速度、 n はマンニングの粗度係数、 i は斜面勾配、 r は降水量である。粗度係数は、土地利用毎に設定し、建物用地においては浸水深とグリッド内の建物占有率に応じて変化させた。

(2) 内水氾濫解析結果

痕跡調査で特に大きな浸水深が確認された地点に着目し、浸水深の上昇速度が最も大きかった時刻（7月6日午前6:00）、および浸水深が最大となった時刻（7月6日午前6:50）の計算結果を例として図-2に示している。これらの時間帯においては、北側のシラス台地から新川地区への雨水の流入（図中の赤い矢印で表示）の影響が大きかったと推察される。ただし、痕跡調査の結果と比較すると、最大浸水深が過小評価となっていること、および浸水深増大のタイミングが SNS やヒアリングによる情報と比べて若干早いことなどから、解析モデルや条件設定については改良の余地がある。特に、計算領域内には狭隘な道路が多いことから、道路網を介した雨水の移動量や経路をより正確に評価する必要がある。また、同日、新川第8樋管に接続する新川地区西側の内水路（図中の青線）の上流で斜面崩壊が発生しており、内水路への土砂流入に起因する溢水の影響についても詳細な検討が必要である。

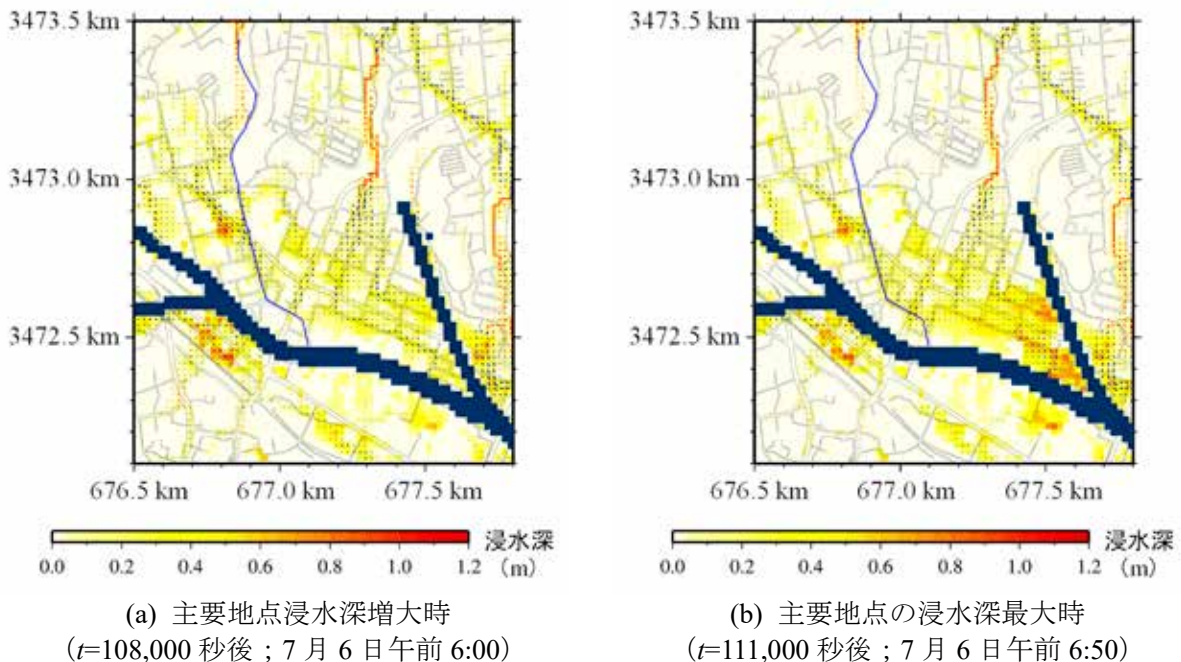


図-2 解析結果の例

4. 内水路への土砂流入に関する検討

(1) 内水路への土砂流入と河床変動計算の概要

前章で言及したとおり、内水氾濫発生当日に、同地区西側の新川第 8 樋管に接続する内水路の上流部における斜面崩壊が確認されている（写真-1）。痕跡調査の際、崩壊した土砂に由来すると推察される軽石の流出・集積（写真-2）も確認されており、少なくとも崩落土塊の一部が内水路に流入したと推察される。



写真-1 斜面崩壊状況



写真-2 内水路沿いに堆積した軽石

そこで、本研究では、新川地区西側の内水路を対象とした 1 次元の河床変動計算により、内水路に流入した土砂の挙動とその影響を検討した。基礎式を以下に示す。

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial vQ}{\partial x} - gAi + gA \frac{\partial h}{\partial x} + gA \frac{n^2}{R^{4/3}} v|v| = 0 \quad (2-1) \quad \frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (2-2)$$

$$\frac{\partial(c_i)h}{\partial t} + \frac{1}{B} \frac{\partial(Q(c_i))}{\partial x} = q_{Si} - q_{Di} \quad (2-3)$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{1}{1-\lambda} \frac{1}{B} \left\{ \frac{\partial}{\partial x} \left(\sum (q_{Bi}B) \right) + \sum (q'_{Si} - q'_{Di}) \right\} = 0 \quad (2-4)$$

ここで、 t は時間、 x は主流方向、 Q は流量、 v は流速、 h は水深、 A は流積、 i は水路勾配、 g は重力加速度、 n はマンニングの粗度係数、 R は径深、 η は水路床変動量、 B は水路の幅、 q_{Si} 、 q'_{Si} は浮遊砂浮上量、 q_{Di} 、 q'_{Di} は粒径別の沈降速度と浮遊砂濃度から評価される堆積量である。浮遊砂浮上量については Itakura and Kishi (1980) の式、掃流砂量については 芦田・道上 (1972) の式で評価した。粗度係数については、 $0.035 \text{ m}^{-1/3}/\text{s}$ (上流の一部区間では $0.060 \text{ m}^{-1/3}/\text{s}$) とした。内水路の縦断形状と断面形状は、水準測量結果に基づいて設定した。

本研究における計算では、現地の状況やヒアリング結果を勘案しつつ試行錯誤を行い、上流端からの流入流量を $12 \text{ m}^3/\text{s}$ 、流入土砂量を約 23 m^3 と設定した。土砂の流入地点は、樋門を起点として 800 m の地点とした。土砂の土粒子密度と粒度分布については、現地で採取した試料を分析して得た値を用いた（図-3）。試料がシラスと軽石で構成されており、一般的な土粒子密度より小さい値 ($1,832 \text{ kg}/\text{m}^3$) を示したため、土粒子密度を $2,650 \text{ kg}/\text{m}^3$ とした計算も行って、土砂挙動に対する土粒子密度の影響を調べた。計算時間は 9 時間（助走 1 時間 + 土砂流入後 8 時間）とした。土砂流入の影響を比較するため、上流端以外からの水の流入および溢水の影響は考慮していない。

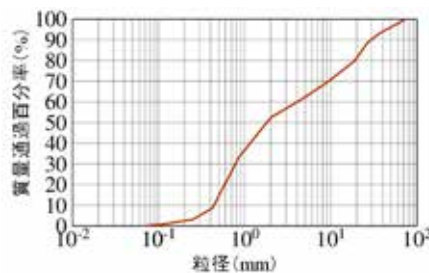


図-3 現地で採取した試料の粒径加積曲線

(2) 河床変動計算の結果

計算結果として、土砂の堆積状況の時間的変化を図-4に示す。土粒子密度を $1,832 \text{ kg/m}^3$ とした結果では、流入した土砂が、樋門（下流端）を起点として $500\text{m}\sim 700\text{m}$ の区間に一旦堆積した後、2時間程度のタイムラグを持って樋門から $200\text{m}\sim 400\text{m}$ の区間に堆積する結果となった。その後は、時間をかけてさらに下流に流送される。一方、土粒子密度を $2,650 \text{ kg/m}^3$ とした場合には、流入した土砂の一部は樋門から 400m の地点付近に移動するものの、大部分が樋門から $600\text{m}\sim 700\text{m}$ の区間に堆積し、長時間にわたって同区間に留まる結果となった。

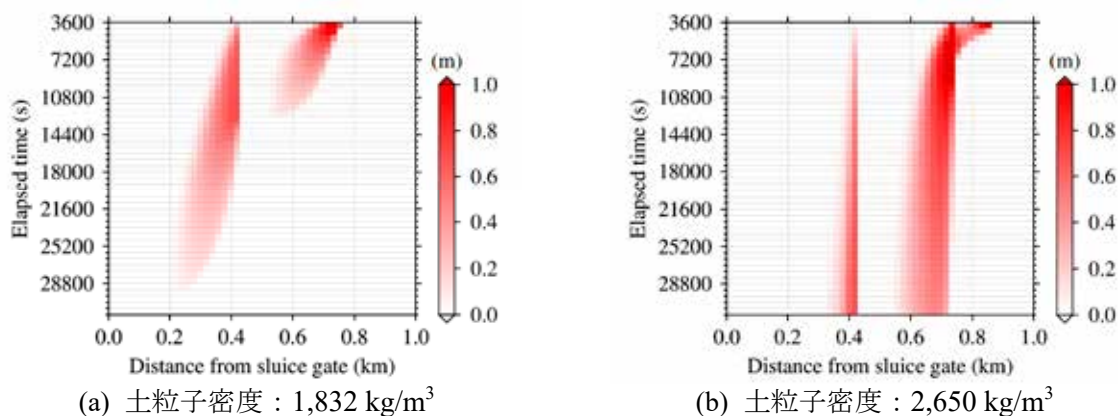


図-4 内水路内の土砂堆積厚の状況

次に、土砂堆積に起因する水位変動量の計算結果を図-5に示す。結果については、土砂を流入させなかった場合との差分として表示してある。いずれの場合も、土砂が堆積する箇所とその上流側（樋門から 450m 付近および 750m 付近）で水位が上昇し、下流側で若干の水位低下が生じる結果となった。樋門から約 450m の地点は、幹線道路下で暗渠が内水路に合流している箇所であり、一方の樋門から約 750m の地点は、浸水が発生した地域の北側を通る用水路と内水路が接続している箇所である。痕跡調査の際に、道路側溝から砂が噴出した形跡も確認されており、内水路からの直接的な溢水だけでなく、内水路への土砂の流入と堆積、およびそれに伴う水位上昇が、下水道や用水路を介して浸水域への水の流入に影響した可能性が考えられる。

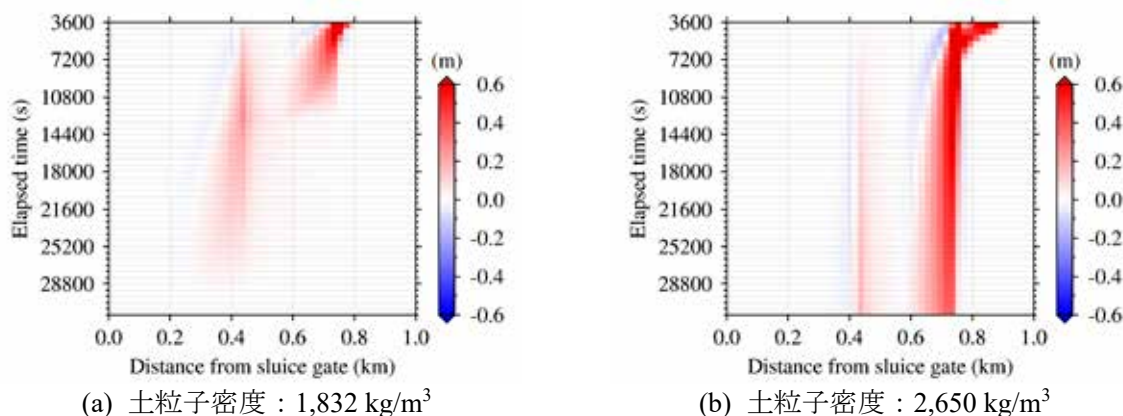


図-5 内水路内への土砂堆積に起因する水位上昇量

6. まとめ

本研究では、令和2年に発生した鹿児島県鹿屋市新川地区における内水氾濫に関する検討を行った。近年は、線状降水帯によって特定の地域に強い雨が長時間降り続けることで災害に至った事例が多くみられる。強い雨が数時間にわたって継続する状況では、比較的規模の大きな河川であっても氾濫のリスクが高まる。また、住民が避難の必要性を感じたタイミングでは、内水氾濫によって既に避難が困難となっている可能性も高い。近年の水害の頻発化・激甚化によって外水

氾濫に焦点が当てられることが多いが、住民の安全な避難の観点からは内水の制御も重要な課題である。本研究で整備した数値モデルの改良を引き続き推進し、新川地区で生じた事象の実態把握に繋げたい。

謝辞：本報告書で紹介した浸水痕跡調査では、九州大学大学院工学研究院環社会部門・田井明准教授にご協力いただいた。ここに付記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 鹿児島地方気象台(2020a):災害時気象資料-令和2年7月3日から4日にかけての鹿児島県の大雨について-, p.19.
- 2) 鹿児島地方気象台(2020b):災害時気象資料-令和2年7月5日から6日にかけての鹿児島県の大雨について-, p.19.
- 3) Itakura T., T. Kishi(1980):Open Channel Flow with Suspended Sediments, Proc. ASCE, HY8, pp.1325-1343.
- 4) 芦田和男, 道上正(1972):移動床流れの抵抗と掃流砂量に関する基礎的研究, 土木学会論文報告集, 第206号, pp.59-69.

イベントポスター関連

みんなで作る地区防災計画

2021年 **11月27日(土)**
9:30～15:00

研修内容 **防災に活用する地理情報システム(GIS)**
鹿児島大学地震火山地域防災センター

講師 **中谷 剛** 先生

研修方法 **オンライン方式** 会場：労働福祉センター
WEBのアドレスは、後日お知らせいたします。

申込 下記の参加申込書を、11月19日迄にメールでお送り下さい。
申込先 **今村直子 akay2728@yahoo.co.jp**
又はFAX 0956-33-1739でも受け付けます。

参加費 無料

参加者申込書
参加者氏名：
職 名：
メールアドレス：

主催：長崎大学大学院災害・被ばく医療科学共同専攻
講師：鹿児島大学地震火山地域防災センター

§ みんなで作る地区防災計画

日 時：令和3年11月27日(土)
9時30分～15時00分

主 催：長崎大学大学院災害・被ばく医療科学共同専攻
共 催：鹿児島大学地震火山地域防災センター
会 場：労働福祉センター
実施方法：オンライン開催

12月11日(土)
13時10分～16時45分

会場 鹿児島大学稲盛会館キミ&ケサメメモリアルホール
オンラインでも同時配信
録画配信も同時配信

**桜島大規模噴火時の降灰による
地域社会への被害想定と減災対策**

参加費 無料

12月6日(日) 13時10分～16時45分
鹿児島大学稲盛会館キミ&ケサメメモリアルホール
TEL: 099-278-2222

富士山の火山噴火と
防災対策

§ 防災・日本再生シンポジウム 「桜島大規模噴火時の降灰による地域社会への被害 想定と減災対策」

日 時：令和3年12月11日(土)
13時10分～16時45分

主 催：鹿児島大学地震火山地域防災センター
共 催：一般社団法人国立大学協会
後 援：鹿児島県、鹿児島市、始良市
霧島市、垂水市、鹿屋市
NHK 鹿児島放送局、MBC 南日本放送
KTS 鹿児島テレビ、KKB 鹿児島放送、
KYT 鹿児島読売テレビ、南日本新聞社

会 場：鹿児島大学稲盛会館キミ&ケサメメモリアルホール
実施方法：オンライン同時配信

**保健師の方を対象とした
放射線に関する研修会**

開催日時 **2021年12月18日(土)13:00-16:30**

対 象 **保健師の皆様**

内 容

- 講 義 「保健活動に必要な放射線の基礎知識について-患者の方への自身の経験から-」
講 師 吉田 浩二先生(長崎大学)
- 講 義 「リスクコミュニケーションとは-いかにしてナラティブとサイエンスをつなぐか-」
講 師 山口 拓次先生(公益財団法人 原子力安全研究協会)
- 講 義 「住民の放射線不安に寄り添う-保健師として-」
講 師 山田 裕美子先生(長崎大学)

オンライン開催

インターネットが繋がるPC、タブレット、(場合によってはスマートフォン)でマイクとカメラが使える環境をご用意ください。(Wi-Fi 環境での参加をお勧めします。)
※講師はご参加いただくために負担をいたしますのでご了承ください。

12月14日(水)までに、「ご所属」、「参加費ご負担」、「電話番号」、「E-mail アドレス」を下記申込み先に E-mail または FAX、お電話にてご連絡下さい。

※Zoom 参加用リンク先を予定で、招待メールをお送りしご参加いただくことから、E-mail アドレスは必ずご連絡ください。
E-mail: r03jimukyoku@nsra.or.jp
電 話: 03-5470-1982
F A X : 03-5470-1978

主催 環境省 鹿児島大学地震火山地域防災センター

§ 保健師の方を対象とした放射線に関する研修会

日 時：令和3年12月18日(土)
13時00分～16時30分

共 催：環境省
鹿児島大学地震火山地域防災センター

実施方法：オンライン開催

診療放射線技師の皆様対象

放射線に関するセミナー

◆開催日時
2021年12月19日(日)午前10時20分～13時

◆会場 鹿児島大学 桜ヶ丘キャンパス
共通教育棟 501号室

◆対象者 診療放射線技師の皆様

◆内容
講演①「福島原発事故について」
(奥野 浩二先生 長崎大学病院)
講演②「原子力災害時の放射線による健康影響について」
(岩竹 龍先生 長崎大学病院)

また、昼1時～2時の時間を設け講演に関する質疑応答の時間を設けております。

オンライン開催も対応可能です。
インターネットが繋がるPC・タブレット・スマートフォンでマイクとカメラが使える環境をご用意ください。(Wi-Fi環境での参加をお勧めします。)

12月19日(月)までに、**お申し込みが web 参加希望の場合は「ご出席」、「参加費ご負担」、「電話費負担」、「E-mailアドレス」**を下記申込み先に E-mail または FAX、お電話にてご連絡下さい。

※zoom を利用する予定です。招待メールをお送りしご参加いただくことから、E-mail アドレスは必ずご連絡ください。

申込み
E-mail: r03jimukyoku@msra.or.jp
電 話: 03-5470-1982 FAX: 03-5470-1978

福島県・鹿児島県放射線技術者会・福井県放射線技術者会・長崎県放射線技術者会・山梨県放射線技術者会・徳島県放射線技術者会
に賛助していただくことにより本セミナーを開催いたします。

共催 環境省・鹿児島大学地震火山地域防災センター

§ 放射線に関するセミナー

- 日 時：令和3年12月19日(日)
10時20分～13時00分
- 共 催：環境省
鹿児島大学地震火山地域防災センター
- 会 場：鹿児島大学 桜ヶ丘キャンパス
共通教育棟 501号室
- 実施方法：オンライン同時配信

防災関連の論文について

(論文名・著者名・掲載誌名・巻・頁)

- The July 2020 Rainfall-Induced Sediment Disasters in Kumamoto Prefecture, Japan, JITOUSONO T. et al., International Journal of Erosion Control Engineering, 13(4), 2021, 76-83
- 地域防災と人材育成に貢献する大学の役割, 地頭菌隆, 砂防と治水, 54(5), 2021, 17-19
- (公社)砂防学会 令和3年8月豪雨災害に係る緊急調査-九州地方で発生した土砂災害について-, 地頭菌隆ほか, 砂防学会 HP, 2021, 1-15, <https://jsece.or.jp/wp-content/uploads/2021/12/nagasaki202111.pdf>
- 令和2年7月豪雨により球磨川流域で発生した大規模崩壊, 砂防学会研究発表会概要集, 地頭菌隆ほか, 2021, 283-284
- 火山性地質の地域における地下水型崩壊発生の警戒対応, 砂防学会研究発表会概要集, 天野祐一朗, 地頭菌隆ほか, 2021, 503-504
- 阿蘇カルデラにおける地下水型崩壊発生の危険箇所抽出, 砂防学会研究発表会概要集, 清崎淳子, 地頭菌隆ほか, 2021, 527-528
- 始良カルデラ壁における地下水型崩壊発生の予測, 砂防学会研究発表会概要集, 由永尚暉, 地頭菌隆ほか, 2021, 535-536
- Analysis of workload required for removal of drifting pumice after a volcanic disaster as an aspect of a port business continuity plan: A case study of Kagoshima Port, Japan, Toshiyuki Asano, Akio Nagayama, International Journal of Disaster Risk Reduction, Vol. 64, <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2021.1025.11>, 2021.
- 1年間にわたる風速場を考慮した桜島大規模噴火に対する降灰ハザードマップの作成, 中谷剛, 浅野敏之, 自然災害科学, Vol. 40, 特別号, pp. 175-189, 2021.
- 火山災害時の港湾 BCP 立案の基礎となる海面降下軽石の漂流実験, 浅野敏之, 長山昭夫, 井崎丈, 松田健宏, 第40回日本自然災害学会学術講演会講演概要集, pp. 163-164, 2021.
- 火山災害時の航路啓開作業量評価のための海域降下軽石群の漂流解析, 浅野敏之, 長山昭夫, 土木学会海岸工学論文集, Vol. 77, No. 2, CD-ROM, i67, 2021.
- Characteristics of particle size distributions of falling volcanic ash measured by optical disdrometers at the Sakurajima volcano, Maki, M., R. Takaoka and M. Iguchi, Japan, Atmosphere, 12, 601. <https://doi.org/10.3390/atmos12050601>, 2021.
- Analyses of Three-dimensional Weather Radar Data from Volcanic Eruption Clouds, J. Volcanol. Maki, M., Y. Kim and T. Kobori, K. Hirano, D.-I. Lee, M. Iguchi, Geotherm. Res. 412. <https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2021.107178>, 2021.
- Construction of three-dimensional weather radar data from volcanic eruption columns. Maki, M. and T. Kobori, , Methods X. 8, <https://doi.org/10.1016/j.mex.2021.101535>, 2021.
- Visualizing weather radar data from volcanic eruption columns., Maki, M. and Y. Kim, Data in Brief, 35, <https://doi.org/10.1016/j.dib.2021.106942>, 2021.
- 2021年4月トカラ列島近海の群発地震に伴う緊急海底地震観測, 仲谷幸浩, 八木原寛, 山下裕亮, 平野舟一郎, 中尾茂, 日本地震学会 2021年度秋季大会, S09P-07, 2021年10月

■Ocean bottom seismological observation of shallow slow earthquakes off the east of Kikai Island, Nansei-Shoto (Ryukyu) Trench, Yusuke Yamashita, Yukihiro Nakatani, Hiroshi Yakiwara, Shuichiro Hirano, Hiroshi Shimizu, Takeshi Matsushima, Kazuo Nakahigashi, Tomoaki Yamada, and Masanao Shinohara, International Joint Workshop on Slow Earthquakes 2021, P-09, 2021年9月

■2015年11月に沖縄トラフ北部で発生した地震の余震活動と背弧リフティング, 柳田浩嗣, 仲谷幸浩, 八木原寛, 平野舟一郎, 小林励司, 山下裕亮, 松島健, 清水洋, 馬越孝道, 篠原雅尚, 日本地球惑星科学連合2021年大会, SSS06-P03, 2021年5月

■様々な平面形状の浅瀬を有する島嶼に入射する津波の数値解析, 柿沼太郎, 桑波田純矢, 津波工学研究報告, 第38号, pp. 95-102, 2021年7月

■Numerical simulations using various models for tsunamis due to a fluid or rigid bodies falling down a uniform slope, Kakinuma, T., Yanagihara, M., Iribe, T., Nagai, K., Hara, C., Hamada, N., Nakagaki, T., Sujatmiko, K. A., Magdalena, I., Nagai, K., Kannonji, R., Chen, S., Shirai, T., and Arikawa, T., Journal of Disaster Research, Vol.16, No.7, pp. 994-1004, 2021年10月

■A 3D numerical study on tsunamis ascending a river, Kakinuma, T. and Kusuhara, Y., Coastal Engineering Journal, Vol. 63, Issue 4, 13 pages, 2021年12月

■気象や火山噴火がもたらす微気圧変動に伴う津波, 柿沼太郎, 国際火山噴火史情報研究集会講演要旨集, 2021-2, 8 pages, 2022年3月.

■火山の爆発的噴火に伴う気圧波に励起され発生した津波:1883年クラカタウ噴火と1956年ベズイミアニ噴火, 小林哲夫, 柿沼太郎, 国際火山噴火史情報研究集会講演要旨集, 2021-2, 13 pages, 2022年3月.

■令和2年7月豪雨による人吉・球磨地方の農地地盤の被害調査, 平瑞樹, 原知輝, 若松海人, 山本健太郎, 自然災害研究協議会西部地区部会会報・論文集, 46号, 2022年2月 pp.37-40

鹿児島大学地震火山地域防災センター
令和3年度報告書

発行日 2022年3月

発行者 鹿児島大学地震火山地域防災センター

〒890-0065 鹿児島市郡元 1-21-40

TEL : 099-285-7234 FAX : 099-285-8495

E-mail: bousai@kuas.kagoshima-u.ac.jp

URL: <https://bousai.kagoshima-u.ac.jp/>

※無断転載・複製を禁ず。

