

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

令和2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

最近、毎年のように大雨、台風、地震、火山噴火などによって大きな災害が全国各地で発生していますが、令和最初の年も大雨や台風による土砂災害や洪水災害が多発しました。5月の屋久島大雨では登山客300人以上が一時下山できずに山地に孤立、7月には鹿児島県本土が記録的な大雨に見舞われて土砂災害が発生、8月には九州北部で大雨特別警報が出されて洪水災害が発生、そして10月、台風19号により東日本の広範囲に大雨特別警報が出されて大規模な洪水災害や土砂災害が発生しました。

2019年7月の鹿児島県における大雨について少し説明します。6月末から7月初めにかけて県本土は記録的な大雨に見舞われ、1週間の総雨量がほとんどの地域で400mm以上、多いところでは1000mmに達しました。特に、7月3日は、気象庁から大雨特別警報の可能性もあると発表され、26年前の1993年に大災害をもたらした8・1豪雨や8・6豪雨が思い出されて非常に心配しました。鹿児島大学からも地域へたくさんの緊急対応や防災に関する情報発信がなされました。残念ながら、シラス斜面の崩壊により2人の尊い命が失われました。ただ、今回は崩壊や土石流が集中的に発生して多量の土砂が生産され、広範囲に被害が発生するようなことは免れました。砂防施設等の効果が発揮された個所も見られましたが、今回の雨量を分析したところ、雨の降り方に特徴的な差異が見られました。総雨量は非常に多かったものの、崩壊や土石流を引き起こすような激しい雨が数時間継続したエリアがありませんでした。それは、降雨が一時的に弱まったり、前線が南北に移動したりしたことが原因のようですが、大災害へは至らずに済みました。

気候変動等の影響による集中豪雨、大型台風等の増加に伴って、これまでに経験したことのない大災害のリスクが各地で高まっています。地域の防災力を如何にして高めていくか、様々な場面でのいろいろな工夫が求められています。鹿児島大学では多岐にわたる分野の防災研究や防災教育が行われていますが、それらの成果を日頃から地域の防災力向上に役立て、また災害発生時には効果的な地域貢献ができる体制を維持しておくことも本センターの役割と思って取り組んでいます。今後とも、鹿児島における防災研究や防災教育の中核的センターとして活動したいと考えています。

さて、令和元年度における本センターの調査研究、防災教育、社会実装の3推進部門および南西島弧地震火山観測所の活動、シンポジウムの開催記録、公募プロジェクト研究成果を取りまとめましたので報告書をお届けします。

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	小林 励司（理工学域理学系准教授）
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	安達 貴浩（理工学域工学系教授）
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	柿沼 太郎（理工学域工学系准教授）
気象水象地盤災害研究分野責任者	寺本 行芳（農水産獣医学域農学系准教授）
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2年3月現在）

No.	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 地盤災害 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		深瀬 浩三	法文教育学域/教育学系	准教授			○	○		
10	南西島弧地震火山観測所長	中尾 茂	理工学域/理学系	教授	○		○			
11	調査研究推進部門長	小林 励司	理工学域/理学系	准教授	○	○	○	○	○	○
12	社会実装推進部門長	安達 貴浩	理工学域/工学系	教授	○	○				○
13		武若 耕司	理工学域/工学系	教授				○		
14		本間 俊雄	理工学域/工学系	教授				○		
15		山口 明伸	理工学域/工学系	教授				○		
16		川畑 秋馬	理工学域/工学系	教授			○			
17		佐藤 紘一	理工学域/工学系	教授				○		
18	地震火山防災研究分野責任者	柿沼 太郎	理工学域/工学系	准教授	○	○	○	○	○	○
19		齋田 倫範	理工学域/工学系	准教授		○				
20		酒匂 一成	理工学域/工学系	准教授		○	○			○
21		木村 至伸	理工学域/工学系	准教授			○			
22		審良 善和	理工学域/工学系	准教授			○	○		
23		上田 岳彦	理工学域/工学系	准教授		○	○	○		
24		長山 昭夫	理工学域/工学系	助教			○			
25		加古 真一郎	理工学域/工学系	助教		○		○		
26		小池 賢太郎	理工学域/工学系	助教			○	○		
27		伊藤 真一	理工学域/工学系	助教		○				
28	センター長	地頭 蘭 隆	農水産獣医学域/農学系	教授	○	○	○	○	○	○
29		寺岡 行雄	農水産獣医学域/農学系	教授		○		○		
30		岡 勝	農水産獣医学域/農学系	教授		○		○		
31		角 明夫	農水産獣医学域/農学系	准教授		○	○			
32		肥山 浩樹	農水産獣医学域/農学系	准教授		○				
33	気象水象地盤災害研究分野責任者	寺本 行芳	農水産獣医学域/農学系	准教授	○	○	○	○		
34		加治佐 剛	農水産獣医学域/農学系	准教授		○				
35		平 瑞樹	農水産獣医学域/農学系	助教		○	○	○		○
36		西 隆一郎	農水産獣医学域/水産学系	教授		○				
37		山本 智子	農水産獣医学域/水産学系	教授		○	○			
38		西 隆昭	農水産獣医学域/水産学系	准教授		○	○			
39		小澤 真	農水産獣医学域/獣医学系	准教授				○		
40		松鶴 彩	農水産獣医学域/獣医学系	准教授				○		
41	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	○			○		
42	防災教育推進部門長	松成 裕子	医歯学域/医学系	教授	○			○	○	
43		八代 利香	医歯学域/医学系	教授				○		
44		吉浦 敬	医歯学域/医学系	教授				○		
45		宇都 由美子	医歯学域/医学系	准教授				○		
46		兒玉 慎平	医歯学域/医学系	講師				○		
47		稻留 直子	医歯学域/医学系	助教				○		
48		日隈 利香	医歯学域/医学系	助教				○		
49		森 隆子	医歯学域/医学系	助教				○		
50		今村 圭子	医歯学域/医学系	助教				○		
51		馬嶋 秀行	医歯学域/歯学系	教授				○		
52		菊地 聖史	医歯学域/歯学系	教授				○		
53		田松 裕一	医歯学域/歯学系	教授	○			○		
54		速見 浩士	鹿児島大学病院	准教授				○		
55		寺蘭 英之	鹿児島大学病院	准教授				○		
56		新駿河 洋子	鹿児島大学病院	副看護部長				○		
57		西郷 康正(放)	鹿児島大学病院	診療放射線技師長				○		
58		土橋 仁美(看)	鹿児島大学病院	看護師				○		
59		升屋 正人	学術情報基盤センター	教授				○	○	○
60		岩船 昌起	共通教育センター	教授		○	○	○		
61		井村 隆介	共通教育センター	准教授		○	○	○	○	○
62		福満 博隆	共通教育センター	准教授				○		
63		尾上 昌平	研究支援センター	技術専門職員				○		
(分野・部門別小計)					14	25	25	48	11	13

目 次

令和元年度 地震火山地域防災センター活動概要	1
令和元年度 活動報告（調査研究推進部門）	7
令和元年度 活動報告（防災教育推進部門）	9
令和元年度 活動報告（社会実装推進部門）	13
令和元年度 活動報告（南西島弧地震火山観測所）	19
[ワーキンググループ活動報告]	
WG-I 「噴火と関連現象」に関するワーキンググループ	23
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	25
WG-III 「交通への影響」に関するワーキンググループ	35
WG-IV 「産業への影響」に関するワーキンググループ	41
[プロジェクト報告]	
Xバンド船舶レーダを用いた火山噴火の機動的観測 真木 雅之・西 隆昭・小堀 壮彦・徳島 秀彦・海賀 和彦・遠藤 寛治	53
降灰リアルタイムハザードマップ作成手法の検討（第一報） 中谷 剛	63
島嶼域サトウキビ圃場における夏季干ばつに対する防災研究 肥山 浩樹	69
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 日隈 利香・稲留 直子	74
大規模災害を想定した文化財防災DIG(災害図上訓練)ワークショップの実践と課題 —霧島市を事例として— 深瀬 浩三	80
離島の介護職員を対象とした防災・減災教育の研修報告 今村 圭子・松成 裕子	86
画像を利用した桜島噴火の自動検知手法の開発 中谷 剛	92

令和元年度地盤災害調査と数値解析による斜面崩壊メカニズムの検討	97
平 瑞樹・渡邊 剛・落合 薫平・福元 千賀・山本 祐也	
浅瀬を有する島嶼に入射する津波の数値解析	103
柿沼 太郎・山口 翔	
大規模自然災害に備えうる／耐えうる地域歴史文化の創成にむけて	108
佐藤 宏之	
ディープネットワークを用いた桜島大正噴火映像のカラー化とそれを用いた啓発活動	113
井村 隆介	
シラスおよびシラスを含む地盤材料の不飽和浸透および強度特性に関する研究	119
酒匂 一成・伊藤 真一	
土柱法の試験結果に基づくデータ同化による不飽和浸透特性の推定	125
伊藤 真一・酒匂 一成	
3D スキャナー、魚群探知機、ドローンを活用した河道地形と植生環境の計測手法の確立	131
安達 貴浩	
[イベントポスター関連]	137
[防災関連の論文について] (論文名・著者名・掲載誌名・巻・頁)	139

令和元年度 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。令和元年度においては第23回から第26回まで4回のセミナーが実施された。

(1) 第23回セミナー

開催日 令和元年6月18日

演題・講師 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 中谷 剛
最近の地震に関するスライド教材の開発と2019年5月10日日向灘の地震
(M6.3)の例 小林 励司

(2) 第24回セミナー

開催日 令和元年9月12日

演題・講師 離島における介護職者の防災に対する認識についてー奄美市と五島市の比較ー 今村 圭子
防災と自然体験活動のすすめ 福満 博隆

(3) 第25回セミナー

開催日 令和元年11月27日

演題・講師 島嶼域サトウキビ圃場の消費水量 肥山 浩樹
3.11以降の災害支援・災害調査活動の振り返りー東日本大震災・熊本地震・口永
良部島噴火・東シナ海油類漂着・硫黄山白濁水流出ー 西 隆一郎

(4) 第26回セミナー

開催日 令和2年1月22日

演題・講師 地震体験から得られること・伝えたいこと 審良 善和
船舶レーダによる噴石の検出 眞木 雅之

2. シンポジウム等の開催

令和元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) 防災・日本再生シンポジウム

「地震火山災害の軽減に貢献する鹿児島大学の観測調査研究」

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 令和元年11月9日

会場 鹿児島大学稲盛会館キミ&ケサメモリアルホール (郡元キャンパス)

(2) 防災ワークショップ

「放射線に係るリスクコミュニケーションとヘルスリテラシー」

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 令和元年11月30日

会 場 鹿児島大学桜ヶ丘キャンパス 共通教育棟 501号室

(3) 診療放射線技師向け研修会

「放射線に関する研修会：福島原発事故の概要、放射線の健康影響、相談対応」

共 催 環境省、鹿児島県診療放射線技師会、鹿児島大学地震火山地域防災センター

開催日 令和元年12月7日

会 場 鹿児島大学桜ヶ丘キャンパス 共通教育棟 501号室

(4) 福島災害医療セミナーin鹿児島

共 催 鹿児島県診療放射線技師会、国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構
鹿児島大学地震火山地域防災センター

開催日 令和2年1月11～12日

会 場 鹿児島大学桜ヶ丘キャンパス 共通教育棟 501号室

(5) 新人保健師を対象とした放射線に関する研修会

「放射線に関する研修会：放射線の健康影響、リスクコミュニケーション」

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2年2月1日

会 場 鹿児島大学桜ヶ丘キャンパス 共通教育棟 501号室

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

共通教育及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5科目の実施

いのちと地域を守る防災学Ⅰ（前期毎週）

いのちと地域を守る防災学Ⅱ（後期毎週）

大学と地域（防災クラス）（前期毎週，後期毎週）

地域リサーチ・スタートアップ（後期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）

(3) 令和元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

令和元年8月7日実施

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の開催

令和元年7月19日第4回専門部会を開催した。ワーキンググループの目的、構成、活動の進行状況、各委員からのワーキンググループへの意見・要望などについて議論した。

(2) 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-I 「噴火と関連現象」

今年度はデジタルサイネージを設置している宮崎県高原町において実証実験をおこなった。また、新燃岳の大噴火が発生したときにレーダから得られる降灰情報をどのように活用するかについて高原町の危機管理担当者と議論する予定である。

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:hinanzyo unei gameの頭文字)を開発する」とした活動を行った。

- 第1回 令和元年4月25日 活動方針の確認・メンバー紹介・今後の活動計画の確認と意見交換
- 第2回 令和元年5月23日・令和元年5月31日 活動目的の説明、HUG 試作版についての意見交換、合意のために会合を2回開催
- 第3回 令和元年6月27日 HUG の状況設定について・モデルケースの設定確認事項・危機管理課からの情報提供・市作成シミュレーション動画「知る・備える・行動する”桜島の大規模噴火”～その時、あなたはどうか動く?～」のHUG 実施時の導入使用について・今後の活動について意見交換他
- 第4回 令和元年7月23日 桜島火山DVD視聴・HUG の設定シナリオについて・個人カード・イベントカードの確認・HUG 説明書・コラムの作成・今後の活動について意見交換他
- 第5回 令和元年8月27日 試作版HUG 実施・実施後の意見交換・今後の活動について意見交換他
- 第6回 令和元年9月26日 試作版HUG 実施後の修正の確認・シナリオ・個人カード・イベントカードの確認・今後の活動について意見交換他
- 第7回 令和元年10月29日 試作版HUG プレテスト・HUG 説明書のイラストについて・試作版HUG の実施計画・今後の活動について意見交換他
- 第8回 令和元年12月17日 鹿児島市大量軽石火山灰対策分科会・保健福祉作業部会関係者12名等によりHUG 実施
- 第9回 令和2年1月11日 令和元年度第50回桜島火山爆発総合防災訓練時にHUG 実施(プレイヤー鹿児島市DMAT)・市長に活動説明

- 第10回 令和2年1月22日 試作版 HUG の実施の報告・調査の結果報告・HUG 説明書に挿入するイラストについて・今後の学会発表・子ども用 HUG の実施について・HUG 活用の提言他
- 第11回 令和2年2月18日 修正した試作版 HUG の確認・絵コンテモデル案・CG の活用・TRAIN・GIS・ハザードマップの活用・今後の活動について意見交換他
- 第12回 令和2年3月開催予定 検討内容（試作版 HUG の確認・HUG 説明書の絵コンテ案・今後の活動について意見交換他）

WG-III 「交通への影響」

- 第17回 内容：桜島大噴火対策セミナー
 ー大正大噴火で甚大な被害が発生した大隅半島からの教訓と対策ー
 日時：令和元年10月23日（水）13：00 ～ 16：00
 場所：鹿児島大学郡元キャンパス
 南九州・南西諸島域共創機構棟 2階 セミナー室
 講演者：三田和郎/株式会社 ホウセイ・技研

- 令和元年4月～6月 暫定レポート作成
 令和元年7月23日 暫定レポート公開
 令和元年7月30日 垂水市役所内セミナー 総務・土木・消防など20数名出席
 令和元年8月30日 鹿児島ロータリークラブ講和 解ってきた大隅半島の噴火被害
 令和元年9月 自然災害科学「桜島大規模噴火を考える（特集）」の陸上交通を執筆
 令和元年10月23日 防災担当者セミナー 国土交通省・自衛隊・九電・市町村防災担当などに桜島大噴火が近代社会で起きた場合に考えられる惨状と対応策案を説明
 令和2年1月11日 垂水市防災訓練参加

WG-IV 「産業への影響」

- 令和元年6月20日
 【講演会】
 「火山降灰の配電線路への影響ならびに太陽光発電の出力特性への影響とその対策」
- 鹿児島大学大学院理工学研究科 川畑秋馬 教授
 「火山降灰が配電線路の漏れ電流特性や太陽光発電の出力特性に及ぼす影響」
- 鹿児島工業高等専門学校 楠原良人 元教授
 「桜島火山灰による太陽光発電出力低下の関係と降灰対策について
 ー火山灰自動計測システムと太陽光パネル洗浄ー」

(3) 文部科学省実践的防災教育総合支援事業の支援

文部科学省の表記事業の支援を受け、鹿児島県教育委員会は「学校安全総合支援事業（学校安全推進体制の構築）」において、自然災害から児童・生徒を守る活動を実施している。本センターは、平成24年度から県・市町教育委員会からの要請を受けて、モデル校へ防災教育アドバイザーの派遣および防災実践指導を行っている。令和元年度は、志布志市で実施した。志布志市立野神小学校において地域・保護者向けの防災講話と全校小学生向けの授業を井村隆介が、同市立松山中学校において全校生徒および保護者に向けた授業を浅野敏之が実施した。また児童生徒向けの「洪水・土砂災害から命を守るために」と題する防災対策リーフレット作成に対して助言・指導を行った。

5. 調査研究の実施

(1) 火山観測用 Ku バンド高速スキャンレーダ（KuRAD）による降灰観測

平成30年4月から、霧島新燃岳噴火の機動的観測のために、宮崎県高原町南狭野活性化センター敷地内に KuRAD を設置して観測をおこなってきた。令和2年度からは、下荒田キャンパスに移設し桜島噴火の定常的な降灰モニタリングを実施する予定である。移設のための準備として、本年度は KuRAD 設置場所の補強工事、アンテナ架台の製作と設置、電源・通信工事などを終えた。

(2) 総合防災データベースの活用

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」（平成25年度から平成27年度）を継承するもので、引き続き資料の収集と登録作業を行った。また、平時の防災啓発として、デジタルサイネージによる情報発信を行った。

(3) 外部機関との共同研究など

気象庁気象研究所「気象レーダを活用した火山噴煙に関する研究」（平成26年4月から令和4年3月）を継続して実施した。

京都大学防災研究所「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」（平成30年4月から令和2年3月）を実施し終了した。

特定非営利活動法人雷嵐対策推進機構「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」（平成30年9月から令和3年3月）を継続して実施した。

内閣府戦略的イノベーション創造プログラム（S I P）「国家レジリエンス（防災・減災）の強化」において、国立研究開発法人防災科学技術研究所からの受託研究課題「衛星データ等即時共有システムと被災状況解析・予測技術の開発」の研究題目「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」（平成30年11月から令和2年3月）を継続して実施した。

6. その他

自治体等からの訪問

令和元年 11 月 19 日、神奈川県議会の社会問題・安全安心推進特別委員会委員 7 名および神奈川県職員 3 名の総勢 10 名が、附属南西島弧地震火山観測所の視察のため来訪した。中尾観測所長、八木原准教授、仲谷特任助教が対応し、当観測所の設立等の背景、取り組んでいる観測研究や社会貢献を説明するとともに、当観測所の施設や海底地震計等の観測機器を紹介した。

令和元年度 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、本センターに係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。以下、令和元年度に開催した第23回から第26回の概要を報告する。

2. 鹿大防災セミナー開催報告

第23回

日時：令和元年6月18日（火）16時30分～17時50分

会場：理学部理学系先端研究棟2階理学部大会議室（郡元キャンパス）

講演：

「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」

地震火山地域防災センター 特任研究員 中谷 剛

「最近の地震に関するスライド教材の開発と2019年5月10日日向灘の地震 (M6.3) の例」

理工学域理学系 准教授 小林 励司

(地震火山地域防災センター 調査研究推進部門長)

概要：本学の教職員および学生のほか、鹿児島地方気象台など学外の方々を含め、50名の参加があった。中谷剛特任研究員は、リアルタイムの豪雨・浸水予測の社会実装や、気象災害の防災教育について紹介され、今後の抱負について語られた。小林励司准教授は、国内で発生した地震の解説をするスライド教材について、その開発と実際の例が紹介された。



写真1. 第23回鹿大防災セミナーの様子

第24回

日時：令和元年9月12日（木）16時30分～17時50分

会場：理学部理学系先端研究棟2階理学部大会議室（郡元キャンパス）

講演：

「離島における介護職者の防災に対する認識について－奄美市と五島市の比較－」

医歯学域医学系 助教 今村 圭子

「防災と自然体験活動のすすめ」

総合教育機構共通教育センター 准教授 福満 博隆

概要：本学の教職員、鹿児島地方気象台など学外の方々を含め、27名の参加があった。今村圭子

助教は、介護職員育成における防災教育上の課題を示すことを目的に、鹿児島県奄美市と長崎県五島市とで行われた防災に対する認識の比較調査について報告された。福満博隆准教授は、避難所生活での健康問題を踏まえ、自然体験活動のストレス耐性に及ぼす影響の調査について報告された。

第25回

日時：令和元年 11月27日（水）16時30分～17時50分

会場：大学院連合農学研究科会議室 [3階]（郡元キャンパス）

講演：

「島嶼域サトウキビ圃場の消費水量」

農水産獣医学域農学系 准教授 肥山 浩樹

「3.11以降の災害支援・災害調査活動の振り返りー東日本大震災・熊本地震・口永良部島噴火・東シナ海油類漂着・硫黄山白濁水流出ー」

農水産獣医学域水産学系 教授 西 隆一郎

概要：本学の教職員、鹿児島地方気象台など学外の方々を含め、22名の参加があった。肥山浩樹准教授は、島嶼域における干ばつ等の農業災害を克服するために設置されている地下ダムの歴史や仕組み、サトウキビ圃場の消費水量の測定調査などについて報告され、離島農業が抱える課題と対策を考える機会となった。西隆一郎教授は、同氏が行なってきた多く災害対応から得られた教訓を具体的に説明され、災害調査の際は災害支援も並行して行なうことが重要だと指摘された。

第26回

日時：令和2年 1月22日（水）16時30分～17時50分

会場：工学部共通棟 201 講義室（郡元キャンパス）

講演：

「地震体験から得られること・伝えたいこと」

理工学域工学系 准教授 審良 善和

「船舶レーダによる噴石の検出」

地震火山地域防災センター 特任教授 眞木 雅之

概要：本学の教職員、学生、および鹿児島地方気象台など学外の方々を含め、36名の参加があった。審良善和准教授は、地域住民の防災意識向上を目的とした体験学習プログラムとして行われた、振動台を使った揺れや免震の体験学習や、レゴブロックを使った構造物の振動実験について報告された。眞木雅之特任教授は、船舶レーダを利用した噴石の観測の試みとして、疑似噴石の落下実験や、打ち上げ花火の検出実験、そして実際の桜島での試験観測について報告された。



写真2. 第26回鹿大防災セミナーの様子

令和元年度 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。

これらの共通教育科目は「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。救命講習と資格取得試験も教育部門で準備し、実施している。

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設し、実施した。

以上については、来年度も引き続き実施するため、その準備作業を行った。

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。

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/授業内容/防災士について (医学部保健科;松成裕子)
2. 鹿児島自然災害史 (共通教育センター;井村隆介)
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. 島嶼自然災害 (共通教育センター;岩船昌起)
7. 避難と避難行動 (理工学研究科;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. 災害における医療活動 (医学部;松成裕子)
11. 火山噴火のしくみと被害 (地震火山地域防災センター ; 八木原寛)
12. 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)
13. 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)
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. 歴史災害に学ぶ防災意識 (教育学部;佐藤宏之)

(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。

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、鹿児島市消防局、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. 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)
3. 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)
4. 気象災害の監視と予測(地震火山地域防災センター;眞木雅之)
5. 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)
6. 鹿児島県の災害と危機管理(鹿児島県危機管理防災課;小田健治)
7. 自然災害に対する行政の危険防止責任 (法文学部;森尾成之)
8. 災害報道・リスクコミュニケーション(南日本新聞;桐野秀吾)
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. ハザードマップ(共通教育センター;井村隆介)
12. 地域の復旧と復興(法文学部;小林善仁)
13. 火山の監視と防災情報(鹿児島地方気象台; 稲葉博明)
14. 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)
15. 福島第一原発事故の概要と放射線による健康影響 (長崎大学 ; 鈴木啓司)

(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「令和元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）」として開催された。講師は、長崎大学原爆後障害医療研究所の鈴木啓司先生であり、専門の放射線生物学を基にし「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、DNAの損傷、修復についてのプロセスから健康影響を捉える講義であった。学生には、前時間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た。また、防災士試験の受験者が昨年は8名だったことから受験生が増えるように学生へ働き掛けた。その効果があっただけでなく、20名の受験生となった。

(2) 救命講習会の実施

防災士資格取得のために、指定された救命講習を修了する必要がある。今年度は、下記の定期救命講習を各自受講する。

赤十字社鹿児島県支部が行っている「救急法基礎講習」がある。

日時：2020年2月1日（土）9：00～16：00、2020年3月14日（土）9：00～16：00に実施される「救急法基礎講習」

場所：赤十字社鹿児島県支部

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

講師：各関係の講師等

受講者：防災士資格取得希望者20人

(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。

今年度は、それらを講義形式として、補講し、試験対策とした。

(4) 防災士資格取得試験の実施

日 時：2020年2月15日（土）9:00～10:00

場 所：鹿児島大学共通教育棟3号館312号講義室

実施者：日本防災士機構

受講者：防災士資格取得希望者20人

4. 教員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：令和元年8月7日

講 師：浅野敏之、小林励司、地頭菌隆

会 場：鹿児島大学郡元キャンパス 共通教育棟3号館311号講義室

受 講 生：幼稚園・小学校・中学校・高等学校・特別支援学校等 66名

令和元年度 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、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。主要な活動内容を以下に報告する。

2. シンポジウム等の開催

(1) 「令和元年度・防災・日本再生シンポジウム」の開催

2019年11月9日に、鹿児島大学稲盛会館において、令和元年度防災・日本再生シンポジウム「地震火山災害の軽減に貢献する鹿児島大学の観測調査研究」（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）が開催され、一般市民、学生、教員、自治体・防災機関関係者など、122名が参加した。

シンポジウムは、浅野敏之特任教授（地震火山地域防災センター）の司会で進められた。冒頭、岩井久・理事（企画・社会連携担当）から主催者として開会挨拶があり、続いて一般社団法人国立大学協会の山本健慈・専務理事から共催者として来賓挨拶をいただいた。次に、離島域を含め南北600kmにわたる県土の中で、鹿児島大学が実施している地震や火山活動の観測調査研究について、3つの講演があった。

八木原寛准教授（地震火山地域防災センター附属南西島弧地震火山観測所）からは、「九州南部・南西諸島北部域の地震活動」と題する講演があり、継続的に実施している観測調査活動が紹介されるとともに、プレート境界で生じる多様な滑り現象についての解説、この地における観測調査の重要性等についての説明がなされた。

眞木雅之特任教授（地震火山地域防災センター）からは、「火山噴煙柱のレーダ観測-これまでの成果と今後の計画-」と題する講演があり、これまでの観測調査で、噴煙柱内の3次元の降灰分布の評価が可能になったことや、船舶レーダの活用により噴石や発達する噴煙柱の検出に成功したことなどが報告された。

井村隆介准教授（共通教育センター）からは、「ドローンによる火山観測と火山活動評価」と題する講演があり、ドローンにより空撮した阿蘇山中岳や新燃岳、桜島の火口の写真等が紹介された。さらに、危険で立ち入り困難な場所でも観測調査ができるドローンの有用性や、撮影された写真や動画から火山活動が評価できる研究面での発展性が紹介された。

シンポジウムの後半では、特別講演として、「気象庁の火山監視と情報発表」と題し、鹿児島地方気象台の稲葉博明・次長からご講演いただいた。気象庁が行っているわが国全体の火山の観測体制についてご説明いただくとともに、桜島をはじめ鹿児島県内の火山の観測・監視体制についてご紹介いただいた。さらに気象庁が発表する火山の予報・警報と各種情報についてご説明いただいた。

引き続き行われた総合討論では、パネリストとして講演者4名が登壇し、鹿児島大学が南九州・南西諸島域を観測調査領域とすることの強み、予算削減下でも観測研究を推進することの意義、地震火山防災のために必要な地域への研究成果の発信方法等について、会場から出された質問を踏まえた活発な意見交換が行われた。

最後に、地頭菌隆・地震火山地域防災センター長から、「鹿児島大学の地震火山防災・減災に向けた広範囲にわたる観測研究をさらに推進するとともに、社会に対する効果的な情報発信に取り組んでいきたい」と今後の抱負が述べられ、シンポジウムがしめくくられた。



写真-1 (左) 開会挨拶の様子 鹿児島大学 岩井理事
 (右) ご来賓挨拶の様子 国大協 山本専務理事



写真-2 (上) 講演の様子 鹿児島大学 眞木特任教授
 (下) 総合討論の様子

(2) 「防災ワークショップ」の開催

2019年11月30日、地震火山地域防災センターと環境省の共催による「放射線に係るリスクコミュニケーションとヘルスリテラシー」を開催した。研修会では、まず、長崎大学・原爆後障害医療研究所の鈴木啓司先生から放射線に関する基礎知識についてご講演いただいた。次に、福島県立医科大学・総合科学研究センターの後藤あや教授から、住民の方にわかりやすく情報を伝えるための具体的な方法、さらに放射線に係るリスクコミュニケーションとヘルスリテラシーについてご講演いただいた。その後、具体的な演習を実施し、後藤教授ご自身の福島原発事故のご経験に基づいて、原発立地県である本県における原子力防災計画について貴重な助言をいただくことができた。研修会で得られたことを鹿児島県の原子力防災計画に活かしてもらえるよう、今後も活動の継続が必要だということを改めて考える良い機会となった。



写真-3 (上) 防災ワークショップの様子
(下) 演習実施の様子

(3) 「診療放射線技師向け研修会」の開催

2019年12月7日に、地震火山地域防災センター、環境省、鹿児島県診療放射線技師会の共催により「放射線に関する研修会」を開催した。本センター、環境省および鹿児島県診療放射線技師会の共催による研修会は今回で2度目の開催である。研修会では、昨年度の講師である長崎大学病院副診療放射線技師長の奥野浩二氏、同じく長崎大学病院診療放射線技師である岩竹聡氏、長崎大学原爆後障害医療研究所の山田裕美子助教により、具体的な事例に対応した演習も実施していただいた。今回は、診療放射線技師として今後の活躍が期待される学生（鹿児島医療技術専門学校診療放射線技術学科）の皆さんの参加もあり、将来につながる研修会となった。また、診療放射線技師会の会員の方からは、実際に鹿児島で事故が起こった場合に、診療放射線技師には何が求められ、期待されるのかの質問があった。それに対し、実際に福島で活躍された講師の先生方から、「原子力災害が起これば、診療放射線技師の方々には、第一線での活躍が求められ、診療放射線技師の専門性を活かした活動や他職種との連携が期待されている」という貴重なご意見をいただいた。また今後も鹿児島県診療放射線技師会との共催や他職種との共催による研修会を開催してほしいとの要望の声があった。



写真-4 診療放射線技師向け研修会の様子

(4) 「福島災害医療セミナーin鹿児島」の開催

2020年1月11、12日の2日間にわたり、地震火山地域防災センター、鹿児島県診療放射線技師会、量子科学技術研究開発機構・放射線医学総合研究所の共催による「福島災害医療セミナーin鹿児島」を開催した。これまで、本センターと鹿児島県診療放射線技師会の共催による研修会は開催されていたが、今回は、量子科学技術研究開発機構・放射線医学総合研究所が新たに共催団体に加わった。研修会では、量子科学技術研究開発機構・放射線医学総合研究所の熊谷敦史先生と福島県立医科大学の村上道夫先生に講師を務めていただいた。研修においては、東日本大震災がもたらした震災直後から今現在までに至る福島県での問題について講義していただき、次に福島県で開催されているよろず健康相談についての説明がなされた。さらに、よろず健康相談で

の相談内容を想定したリスクコミュニケーション演習が実施された。2日間にわたる長丁場のセミナーではあったが、参加いただいた診療放射線技師の方々には、演習を通じて、日ごろの診療場面では遭遇しない経験を得る機会を提供できた。また、参加いただいた方々からは、「原子力災害では多くの他職種の方々と連携が必要であり、このような研修会での体験を通じて今後の連携に役立てたい」とセミナーの継続的実施への要望があった。

(5) 「新人保健師を対象とした放射線に関する研修会」の開催

原発立地県である本県においては、毎年、原子力防災訓練が開催されているが、新人保健師も訓練に参加しており、先輩保健師のような活躍が期待されている。このため2020年2月1日、昨年と同様に環境省の「2019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、新人保健師を対象とした放射線に関する研修会（地震火山地域防災センター共催）を開催した。研修会では、長崎大学大学院医歯薬学総合研究科の吉田浩二准教授から「放射線の基礎知識と健康影響」と題して、福島における実際の活動について、ご講演いただいた。その後、長崎大学原爆後障害医療研究所の山田裕美子助教から「被災者が抱える問題」について、事例を交えながらの演習を実施していただいた。新人保健師を対象としていることから、参加者数は少ないものの、本センターの社会実装推進部門と原子力災害時に活躍する自治体等・保健師との連携を促進する活動となった。

(6) 「防災講演会」の開催（2020年3月22日開催予定）※コロナウイルス対策のため中止

地震火山地域防災センターは宮崎県高原町と連携して、新燃岳噴火時の降灰による被害の軽減に向けた取り組みをおこなっている。その一環として、地域住民の方（100名程度を想定）を対象にした防災講演会を宮崎県高原町南狭野活性化センターで開催する予定である。防災講演会では霧島火山の成り立ちや火山防災についての講演に加えて、当センターが高原町に設置しているレーダ施設（写真-5）の見学会を予定している。



写真-5 新燃岳火山噴火の観測のために設置された鹿兒島大学の火山観測用レーダ（KuRAD）、降灰粒子測定装置、機動観測用船舶レーダ（宮崎県高原町南狭野活性化センター敷地内）

3. 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」

デジタルサイネージを活用した防災情報の発信に関して、昨年度に引き続き、学内5カ所（郡元キャンパス3カ所、下荒田キャンパス1カ所、桜ヶ丘キャンパス1カ所）および学外3カ所（県

立博物館，桜島ビジターセンター，宮崎県高原町役場）で実証実験をおこなった。

(2) 「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」の活動

2019年7月19日、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が開催された。専門部会では、プロジェクトの進捗状況と令和元年の計画についての報告がなされた。また、専門部会の下に設けられた4つのワーキンググループの活動報告の後、地域の防災・減災に向けた具体的な課題の抽出と解決策について議論された。

4. 外部からの問い合わせや相談、訪問への対応

(1) 「神奈川県議会 社会問題・安全安心推進特別委員会による視察」への対応

2019年11月19日に、神奈川県議会・社会問題・安全安心推進特別委員会が南西島弧地震火山観測所を視察された。当観測所の沿革、地震観測点の概要、観測研究の取り組み内容等を配布資料とスライドに基づき説明した。その後行われた当観測所内の見学において、所内各所の説明を行うとともに、重点的に取り組んでいる海底地震計の部品を用いながら詳細について説明し、その場で質疑応答を行った。

(2) 「外部からの問い合わせ」への対応

上記のような視察への対応に加え、災害や防災に関する個別の問い合わせに対しても、各専門分野のセンター教員が対応する体制が整えられている。例えば、昨今の水害の多発化に対しては、住民の方からの問い合わせが2件、鹿児島市からの問い合わせが1件、民間企業から1件あったが、問い合わせの内容に応じ、水害ならびに土砂災害等の専門家が個別に対応した。

令和元年度 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、前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を推進するとともに、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継続した。さらに、災害の軽減に貢献するための地震火山観測計画が完了し、新たに同計画（第2次）が本年度に開始された。これに伴い、当該計画の実施機関である他大学との共同観測も新たに開始された。一方で、学内の経営戦略経費に基づき、南海トラフ巨大地震や内陸の被害地震発生時の停電により、地震観測データを収録できなくなるといった電源の脆弱性をもっていった観測点の蓄電・給電システムを計画立案し、導入を開始した。以下は、令和元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いる。このうちの11観測点は、地震予知計画に基づき1989～1996年に設置され、全国の基盤的地震観測網を構成する観測点に位置づけられている定常観測点であり、通信回線等の維持に係る経費を国から継続的に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、及び他の国立大学法人にもリアルタイムで送信されている。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により、地震データの共同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利用されており、観測機器や通信機器・回線等に障害が発生した場合は速やかな復旧に努める必要がある。令和元年度においても、雷害や風水害、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その都度、即時的な原因調査にあたり、かつ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、静穏な期間を含めた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る。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ている。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ている。

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、地震及び火山活動が活発な領域である。屋久島より南には定常観測点が無い一方で、特に奄美大島周辺は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）の地震観測点を奄美大島及び喜界島に展開し、臨時地震観測を開始した。2000年代に入り、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、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)」(令和元～5 年度)の課題において、これらの観測点を引き継ぎ、当該領域の地震・地殻変動の観測研究を実施する。特に、1911 年喜界島近海地震の推定震央付近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した観測研究を推進する。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、必要に応じて仲谷幸浩特任助教が加わる体制としている。渡島手段については、隣接有人島における小型兼用船の用船を基本とするため、気象・海象の影響を大きく受ける。各無人島においては、概ね年 2 回の渡島を計画しているが、令和元年度中にたてた渡島の予定は、悪天候の影響をことごとく受け、延期を重ねることとなった。その結果、本稿執筆時においては、今年度内の渡島が女島に 2 回、宇治島に 2 回に留まっている。

4. 大学の附属練習船を利用した南西諸島北部域の海域地震観測

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である「災害の軽減に貢献するための地震火山観測研究計画(第 1 次)」および「同計画(第 2 次)」の課題に基づき、令和元年度は 4 月・8 月・11 月の計 3 航海を実施した。課題内容としては、トカラ列島東方海域に広域展開した長期収録型海底地震計(LOBs)の回収、1911 年喜界島近海地震の推定震央付近における高密度な海底地震観測の新規開始、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 025 次航海

期間：2019 年 4 月 11 日～2019 年 4 月 17 日

海域：喜界島東方海域、男女群島・女島、甕島周辺海域ほか

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 035 次航海

期間：2019 年 8 月 1 日～2019 年 8 月 5 日

海域：トカラ列島東方海域(台風のため断念)、男女群島・女島、甕島周辺海域ほか

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)

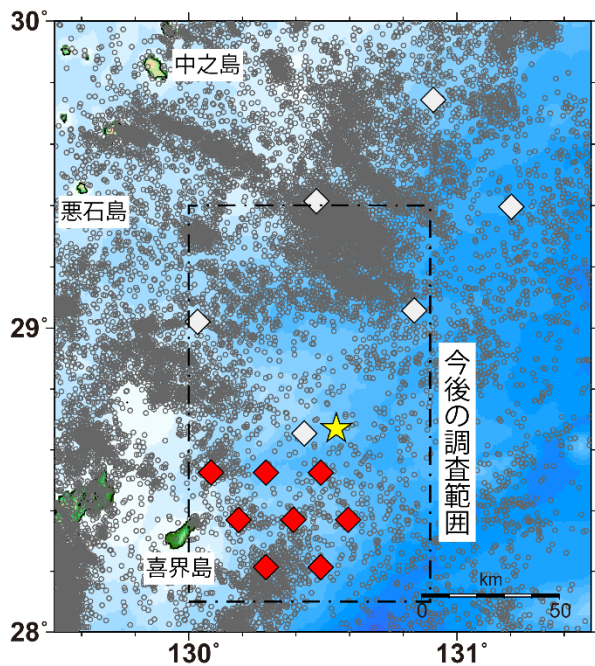
(3) 長崎丸第 042 次航海

期間：2019 年 11 月 5 日～2019 年 11 月 9 日

海域：トカラ列島東方海域

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)

本観測で対象とする南西諸島北部域は、フィリピン海プレートが大陸プレート下に沈み込むプレート境界に位置しており、地震・火山噴火活動が活発である。1911 年には喜界島近海でマグニチュード 8 級の大地震が発生したと考えられているが、震源域などの詳細はよくわかっていない。加えて、常設地震観測点が島嶼部に限られているため、遠く離れた南西諸島海溝域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。本観測で取得されるデータにより、プレート間すべりに伴い当該領域で発生する地震や低周波微動の検出精度の向上が期待される。尚、本観測航海は、九州大学・京都大学防災研究所・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。



【図】 過去 10 年間の震央分布と LOBS 配置

(凡例)

- : 2008/1/1-2018/7/31 に発生した地震
- ◇ : 2019 年度に回収した LOBS
- ◆ : 2019 年度に新規設置した LOBS
- ★ : 1911 年巨大地震の想定震央[後藤, 2013]

(説明)

2014 年 7 月から 5 ヶ年に渡って観測を継続した広域 LOBS 観測(◇)を終了し、1911 年喜界島近海地震(★)や周辺の地震活動が低い領域に焦点をあて、稠密な LOBS 観測(◆)を新たに開始した。2023 年度までに、左図黒破線内の領域を機動的に観測・調査する。

上記(1)(2)の航海においては、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組立や取り扱い等を、理学部カリキュラム「地球物理学実習 II」の学生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。



短期収録型海底地震計投入の様子



長崎丸船内での作業風景

5. デジタルサイネージを活用した情報発信の運用開始

南西島弧地震火山観測所では、地震火山地域防災センター・眞木雅之特任教授と共に昨年度から推進してきたデジタルサイネージを活用した情報発信・共有システムの運用開始を実現した。令和元年度は、デジタルサイネージ用のコンテンツを新たに更新し、観測所に新設されたサイネージ用 PC および大型モニタでの運用設定・試験を実施した。観測所教職員および来訪者に対する情報発信・共有システムとして運用中である。主に仲谷幸浩特任助教が担当した。

6. 大規模地震発生を想定した定常地震観測点への蓄電・給電システム導入

超巨大地震(2011年3月の東北地方太平洋沖地震)だけでなく、内陸を震源とする被害地震(例

えば 2018 年に発生した北海道胆振東部地震)によっても、数日間に及ぶ停電が発生することは記憶に新しい。定常観測点で使用している地震観測機器等は、商用電源の喪失が長時間継続すると、既設の小型 UPS (バックアップ電源) のみでは供給可能な電力はごく限られるため、比較的短時間のうちに観測機器そのものが停止する。規模の大きな地震が発生した場合、その直後の短時間に余震域が拡大するなどの現象が急速に進行している間に電源不足で観測機器が停止し、重要な観測データが得られなくなることが十分に予想され、その結果として学術的な知見を取りこぼすことに直結する。また、商用電源と通信インフラの復旧は同期せず、通信回線が先に復旧した場合は、定常観測点内に電源が確保できていれば即時にリアルタイム送信を再開させられ、気象庁の地震に関する情報等の防災情報を通じた、発災後の情報発信にも大きく貢献できる。以上のことから、今後の被害地震の発生を想定し、商用電源の長時間に及ぶ喪失に備えた対策を講じておくことは重要である。当観測所では、本学の令和元年度の経営戦略経費により、定常観測点に蓄電・給電システムを導入・設置することとした。この際、北海道大学が立案した同様のシステム(先行事例)を参考にした上で、当観測所独自に新たに電源システムを設計し、導入することとした。なお、経費額で導入可能であるのは 3 観測点であったので、将来、発生が想定されている南海トラフ巨大地震の想定震源域に近接する高岡、串間、高隈観測点に導入することとした。

当システムについては、平野舟一郎技術専門職員が機器構成の企画・立案を行い、必要な物品の調達後に、実際に定常観測点で使用しているものと同一の機器構成の試験用観測システムを組み、観測所において当該蓄電・給電システムの実証試験を繰り返し実施した。繰り返し試験により、計画通りの動作を確認できた段階に達した後、高隈観測点に本システムを設置した。設置作業完了後、観測点側において人為的に商用電源を停電させ約 10 日後に復電させるといった停電一復電試験を行い、計画通りの動作を観測点側でも確認した。なお、定常観測点における設置作業、停電一復電試験においては、仲谷幸浩特任助教が平野舟一郎技術専門職員を補佐した。現在、串間、高岡観測点の設置作業の準備を進めており、今年度内に作業が完了する予定である。

7. 外部からの問い合わせ等への対応

(1) 顕著な地震：2019 年 5 月 10 日、日向灘の有感地震の発生に伴う取材依頼

2019 年 5 月 10 日 08 時 48 分、日向灘でマグニチュード 6.3 の浅発地震が発生し、宮崎市と都市で最大震度 5 弱が観測された。鹿児島県内においても霧島市と始良市で震度 4 が観測された。鹿児島県本土において震度 4 以上が観測されたのは 2017 年 7 月 11 日の鹿児島湾の地震(マグニチュード 5.3)以来であったこともあり、鹿児島読売テレビ、南日本放送、鹿児島放送から取材依頼があった。当地震は、従来からの地震活動域、かつフィリピン海プレートとユーラシアプレートとの境界で発生したと推定されたこと、また日向灘ではマグニチュード 6 クラスの地震は過去に発生した履歴があること等を説明した。

(2) 顕著な地震：2019 年 6 月 25 日、山形県沖の有感地震の発生に伴う取材依頼

2019 年 6 月 18 日 22 時 22 分に山形県沖の日本海の深さ 14km でマグニチュード 6.7 の地震が発生し、最大震度 6 強が新潟県村上市で観測された。NHK 鹿児島放送局から取材の依頼があった。

(3) 2017 年 7 月 11 日に発生した鹿児島湾の地震(マグニチュード 5.3)から 2 年が経過することに伴う取材依頼

発生から 2 年が経過する 2017 年 7 月 11 日の鹿児島湾の地震(マグニチュード 5.3)に関する取材依頼が南日本放送からあった。2017 年 7 月の本震発生後の活動の状況や、日常の心構えや備え等について紹介した。

(4) 神奈川県議会 社会問題・安全安心推進特別委員会視察

2019 年 11 月 19 日に、神奈川県議会 社会問題・安全安心推進特別委員会の視察を受けた。中尾茂観測所長の全体挨拶の後、八木原寛准教授が当観測所の沿革、地震観測点の概要、観測研究の取り組み内容等を配布資料とスライドに基づき説明した。その後行われた当観測所内の見学においては、仲谷幸浩特任助教が所内各所の説明を行うとともに、重点的に取り組んでいる海底地震計の部品を用いながら詳細について説明し、その場で質疑応答を行った。

ワーキンググループ活動報告

令和元年度 活動報告

WG-I「噴火と関連現象」に関するワーキンググループ

眞木 雅之

昨年度に引き続き、デジタルサイネージを設置している施設・機関にWG1の委員を委嘱し、大規模噴火時および平時の防災啓発のためのデジタルサイネージの有効利用について議論した。今年度はデジタルサイネージを設置している宮崎県高原町において実証実験をおこなった。以下、実証実験に至る経緯と得られた成果について報告する。

2011年1月に発生した霧島山新燃岳噴火では、噴火に伴う降下火砕物による被害が鹿児島県霧島市や宮崎県小林市、高原町、都城市などで発生した。被害は、空振による家屋窓ガラスの破損、噴石による自動車ガラスの破損や太陽光パネルの破損、降灰による路地野菜、椎茸栽培、飼育作物の被害、灰の重みによるビニールハウス、牛舎、倉庫の破損などであった。また、霧島を中心に観光産業への被害も生じた。

その後、2017年10月に6年ぶりとなる噴火が新燃岳で発生した。このため、鹿児島大学では2017年に導入したKuバンド高速スキャンレーダ(KuRAD)による新燃岳噴火の機動的観測の検討をおこなった。その結果、2011年の噴火時に被害を受けた小林市、高原町、都城がレーダ観測エリア(図1)となるようにKuRADを2018年4月に高原町南狭野活性化センター敷地内に設置した(図2)。同時に、高原町役場の1階ロビーにデジタルサイネージを設置し(図3)、噴火が発生したときの降灰情報の配信実験の準備を進めた。幸い、現時点まで大きな噴火は発生しておらず、実証実験には至っていない。なお、レーダやデジタルサイネージモニターの設置に当たっては、高原町の協力を得た。

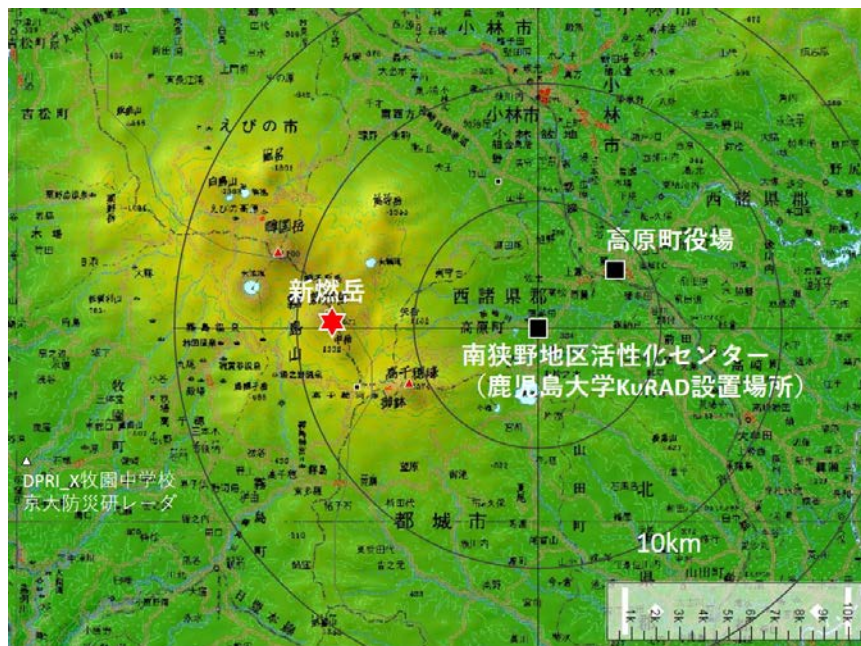


図1 鹿児島大学のKuRAD設置場所とレーダ観測範囲。観測範囲はレーダから半径20km以内で、宮崎県高原町全域、小林市南部、都城市北部が含まれる

新燃岳の火山活動の低下に加え、桜島の噴火活動が活発化していることから2020年4月にはKuRADを鹿児島大学下荒田キャンパスに移設し、桜島噴火に伴う降灰観測をおこなうこととなった。但し、新燃岳噴火時には、本報告書の「Xバンド船舶レーダを用いた火山噴火の機動的観測」で述べたように、船舶レーダによる機動観測を高原町で実施する予定である。このため、デジタルサイネージやレーダコンテナ、発動発電機は現在の場所に継続して設置する予定である。

ワーキンググループ1では、戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)の課題「国家レジリエンス(防災・減災)の強化」課題名:「衛星データ等即時共有システムと被災状況解析・予測技術の開発」の支援を得て、2020年3月に高原町で講師を招いて、住民を対象に、新燃岳の成り立ちや過去の噴火被害に関する講演会を開催する予定であったが、コロナウイルス対策のため中止とした。ただし、新燃岳の大噴火が発生したときにレーダから得られる降灰情報をどのように活用するかについて高原町の危機管理担当者と議論する予定である。



図2 新燃岳の降灰観測のために2018年に宮崎県高原町に設置された鹿児島大学Kuバンドドップラーレーダ。2019年度には桜島降灰観測のために鹿児島大学下荒田キャンパスに移設する予定。なお、新燃岳の噴火の恐れがある場合には、Xバンド船舶レーダによる機動的な観測により降灰情報の表示をおこなう。



図3 宮崎県高原町役場の1階ロビーに設置された鹿児島大学のデジタルサイネージモニター。平時は15分先の雨の予報情報や地域の情報を配信する。台風接近時には台風経路予想図が、また、地震発生時には震度分布の情報が自動的に表示される。

令和元年度 活動報告

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

松成 裕子

1. はじめに

本学地震火山防災センターでは、2016年から「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に関する専門部会」を発足させ、活動を開始した。そして、各専門部会がそれぞれワーキンググループを立ち上げた。そのワーキンググループ（WGと略記）の正式名称は「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・減災の取り組みにおける「生命と暮らしへの影響」」であるが、「WGII生命と暮らしへの影響」と呼称している。このWGでは、県下の有志（末尾にメンバーを記載）が集い、今、桜島が大正噴火規模の噴火を起こすことになれば、人々の生命や暮らしにはどのようなことが起こるのかについて、火山災害、火山の研究者を招聘し、情報収集を重ね、検討してきた。そして、火山災害は降灰による影響から孤立化、長期化することから、避難所生活は避けては通れないという結論に至った。それを基に、災害に関わる人々や市民はどのように対応すればよいのか、メンバー間で検討した。この啓蒙活動には、まず、静岡県が開発した避難所HUG（避難所で起こる様々な出来事にどう対応していくかを模擬体験するゲーム）によって住民への防災、減災の啓蒙活動を広げていく必要があるが、火山災害は特殊であることから、独自の桜島版の避難所運営ゲームの開発の必要を共通認識した。

今年度になり、これまでのWGの委員長（2018年度末まで在職の石峯康浩特任准教授）から引き継ぎ、そして、事業目的を「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：hinanzyo unei gameの頭文字）を開発する」こととし、事業を継続した。この事業により、地域社会で暮らす住民が桜島版の避難所運営ゲームを体験することで、災害における自助・共助の必要性を理解し、その自助力を獲得するための行動を起こすことで、地域の防災・減災の対策の強化となることをねらいとしている。

今年度の報告に際し、この桜島版避難所運営ゲームの開発については、メンバー各自の自主的活動の多大なる成果もあり、軌道に乗り、試作版が完成した。そして、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。まだまだ、開発途中ではあるが、1年間の活動経過をここに報告する。

2. 事業の活動経過

1) 第1回会合議事録

日時：2019年4月25日（木）17：30～18：30

出席者：今村、内田、大山、高間、前野、松成、山内、吉原

(1) 活動内容

①今年度の計画

メンバーより、パワーポイント資料により火山版HUGの必要と社会の反応について説明があり、「市や多くの関係者から早くHUGを作成してほしい」と要望を受けているという情報提供がされた。これを受け、進行工程の説明があり、11月までに試作品を完成し、12月に検討・修正し、1月から試作版実施とし今年度中に作成を目指すこととなった。火山版HUGの想定する状況の説明があった。また、資料により、これまでのWG2の活動のまとめの報告があった。メンバーDrからは火山版HUGの意義とこれにより未曾有の火山災害への防災対策への投げかけにもなるとの意見があった。これにより、火山版HUGのできるだけ早い完成への確認を行った。

②作成過程に関して

状況設定は、噴火前と後の2パターンとする。それに夏、冬の季節をイベントに加える。場所として、避難所が基本であり、「福祉避難所への移送として」イベントに加える。

噴火前、後、火山版HUGの導入となる火山災害概要を説明するCD作成の3つのグループにメンバ

一を分け、作成を行う。グループメンバーの振り分けに関しては、委員長に一任するが、4名の保健師を均等に振り分けすることが望まれること、噴火前のグループ、噴火後のグループには、それぞれに、医師がメンバーとして入ることが決定した。

添付するCDには、現在の内容（火山版 HUG の使用のし方）に火山災害概要、桜島の噴火だけに特化してもよい、それに関する情報を追加したものとする。発災シナリオ、CD 作成に関しては、アドバイザーとして小林哲夫先生（鹿児島大学名誉教授：火山地質学）に協力を依頼する。

③作成する意義の確認

- ・火山版 HUG を作成し、試作を実施していく中で、修正が必要な箇所を抽出し、改編したものを地域防災計画に反映させていけるようになると良いのではないかと。
- ・鹿児島県は断続的に噴火している桜島を抱え、特殊な環境である。特化したものにすれば、この火山版 HUG は一般化できないかも知れないが、他県の参考にはなる。
- ・医療関係施設の避難に関して、地域防災計画に明確にはされていない。そして、大量降灰で、避難するということが想定されていない。今回、医療関係施設に関しての避難を、初めて鹿児島市が取り組むことにも意義がある。

④市民病院が実施している HUG に関する報告

- ・HUG のインストラクターが出来る看護師が 3 名おり、一般 HUG を開催している。今後開催を希望している施設があり、そこでも実施していく予定であり、彼女達がファシリテーターとして育つことができるのではないかと考えているとの意見があった。

⑤他分野への研究への発展

- ・この WG は様々な方面の人材が集まっているので、それぞれの方面で学会発表を積極的に行い、学術的に発展していくことも視野に入れる。

2) 今後の課題

- ・メンバーに鹿大の学生を入れて、欲しいとの要望があり、委員長が人選等の依頼を行う。また、これまでの連絡については、BCC メールであったが、CC によるメールアドレスでよいかの確認があり、了承された。
- ・次回までの実施項目として、参加メンバーの確認、連絡用メーリングリストの作成、3つの作業部会のメンバー編成となった。

2) 第 2 回会合議事録

日時：①2019年5月23日（木）18:00～19:30 ②2019年5月31日（金）18:30～19:30

出席者：伊東、今村、遠藤、大山、越智、改元、幸福、新、高間、高味、廣庭、前野、松成、山内

(1) 各会合の結論

①前半の会合の結論

- ・噴火前と後の 2 種の HUG を作成する。
- ・噴火前は、市の避難計画を基本とした HUG を作成する。
- ・市の避難先、ルートなどの計画を教えて欲しいが、資料提供はしていただけないか。また、オブザーバーではなく、メンバーに参加して欲しい。
- ・避難シナリオは、桜島地区民 4000 人ではなく、市街地 60 万人の場面設定とする。
- ・噴火後は、避難しなかった人、出来なかった人など取り残された人たちが、集まった場所（市職員など避難所を運営するべき人がいないため避難所ではない場所）の運営を考える。
- ・運営の期間は 7 日間とする。

②後半の会合の結論

- ・噴火前、後と区別するのではなく、避難所の噴火前から後の経時的な流れのなかで、段階を追って、進める HUG を作成する。イベントカードに経時的な事柄を入れていく。

3) 第 3 回会合議事録

日時：2019年6月27日（木） 18:00～19:15

出席者：中、今村、大山、越智、改元、栗脇、幸福、高間、高橋、前野、松成、山内

(1) HUG の状況設定について

HUG の状況設定として、メンバー作成のシナリオを基本にする。

①HUG 作成の確認事項

- ・市の一つの避難所をモデルと想定し、イベント、個人カードを作っていく。
- ・避難所設営や運営だけを目的にするのであれば静岡の HUG を実施すればよい。

- ・火山版 HUG は東北震災等から学んだこと、避難所や孤立した場所からの避難や救済、救出、過ごし方を表現することにより、後世に伝えていく。
- ・静岡 HUG と異なることでオリジナリティがあり、価値が高く、需要がある。
- ・火山版 HUG は、メンバーの構成を活かし、医療的な介入を必要とする症状を訴える人、福祉事務所（設置場所、運営、搬送など）など現在の災害における課題も盛り込む。
- ・火山版 HUG により、自助（各自が自分に必要な避難時の食料等は備え）と共助を知って欲しい。
- ・シナリオは、火山研究の学者に時系列、ストーリー等に齟齬がないかを一読してもらう。
- ・WG のメンバーはそれぞれ活躍の場で、公表し、広めていく。

②モデルケースの設定確認事項

- ・季節：夏（風は東から西）
- ・避難場所：紫原小学校（桜島から 10～15 km の地域で、市が指定している避難所 78 カ所の 1 つ）
- ・避難者対象数：250 名（桜島から 10～15 km の地域の約 25000 人を 78 カ所の避難所に割り振りしたとき、1 カ所に約 320 人となるが、自主避難者と設定を行うため 250 名とする）
- ・避難期間：7 日間（指定避難所の開設期間）
- ・イベント枚数：50 枚
- ・状況：降灰などの堆積物は 50cm とし、避難勧告が発令されるかのぎりぎりの地域。また、市の指定した避難勧告区域は 1 m の降灰を予測し、発令された。
- ・孤立した状況であり、停電し、食料も備蓄したものだけ、情報もあまりない、緊迫した状態。
- ・72 時間を生き延びれば、爆発後 4 日過ぎからは徐々に物資や援助が届くようになる。
- ・しかし、自宅に帰ることに不安の人や家屋が倒壊、降灰量がひどいなどで帰れない人もいる。
- ・後、5 日頃か徐々に主要道路も灰が取り残され、救助隊、救援隊到着し、復旧してくる。この 7 日間をイベントとする。
- ・250 名の避難者は、爆発前から不安で避難する人もいれば、時間の経過とともに、徐々に避難所に集まる設定とする。また、「自宅に留まり、近所に避難しない人がいる」との情報もたらされて、救出して欲しいなどの状況もよいのではないか。

(2) 危機管理課からの情報

- ・自家用車は堆積物で走行できない。自衛隊のキャタピラーは坂道も走行可能。ヘリコプターは降灰のより、運航は不可能。
- ・指定避難所には、食料の備蓄や他に発電機等の資材を備蓄しているが、一日で底をつく。
- ・送電は降灰が認められると、事故発生の危険から停止されることから、停電状態。
- ・福祉避難所については、災害の状況によるので、設置場所をどこにするのか決まっていない。福祉避難所に指定できる機関とは協定はしている。
- ・市が防災計画を改正する毎に、この HUG も関連事項を改正していく。

(3) 作成に関しての分担

- ・委員長に一任する。
- ・市の危機管理所属のメンバーには、HUG 作成時のアドバイザーの位置づけとし、HUG のイベント内容、個人カードの整合性を見極め、助言をもらう。

(4) その他

- ・市が作成しているシミュレーション動画「知る・備える・行動する“桜島の大規模噴火”～その時、あなたはどうか動く?～」は HUG 実施時の導入として使用する。
- ・助成金を提供してくれるスポンサーを獲得する。積極的に助成を受けるように申請する。

4) 第 4 回会議事録

日時：2019 年 7 月 23 日（火） 18:00～19:15

出席者：今村、大山、改元、栗脇、幸福、佐藤、高間、高橋、廣庭、前野、松成、山内
新たに鹿児島市立病院救急科佐藤満仁先生の参加が確認された。

(1) HUG の設定について

- ・これまでの HUG の概要（避難指示区域のぎりぎり外にある紫原を想定した HUG である。従って、避難する人もいれば、できない人もいる。この人たちが避難所に入る、また、避難所に行かない人もいるなどがベースである。）の確認がされた。
- ・年齢層分布を紫原地区の基本台帳の比率にしているが、実際の避難行動には特徴があるのではないか。例えば、レベル 4 にて、市外に避難できない人は、高齢者や車のない母子ではないか

との意見があった。計画を進めるため、今回はこの年齢層分布で行く。

- ・時系列の表、爆発前から6時間でイベントカード2枚が起り、爆発後1日目から1週間を経過させる。爆発前には6名が避難し、1時間後には26名が避難するストーリーになっている。
- ・今回は、紫原避難所を想定して作成するため、外国人の避難者は設定していないが、それでよいかの確認がされた。また、今回は、一般住宅地であることから観光客は入れていないが、今後、バージョンによって観光地の特徴を踏まえた内容に変えていく。
- ・桜島降灰があれば、体育館の屋根は重みで落ちると聞いているが、この想定では、齟齬にはならないか。軽石等が飛び、堆積しないのではないかと意見があった。市が、避難所として指定したときにある程度の耐震調査はなされているのではないかと意見があった。また、体育館が危険であれば、鉄筋の校舎を使うことになる等の意見があった。市へは、避難所の耐震等の情報を提供していただきたい。
- ・72時間を生き延びれば、市の災害時対応策が進み、救助や支援が届く、ストーリーである。
- ・重症者の誰から救出するのか、みんなで協議する事例でもある。熱中症が大勢でること、大丈夫なのか、どんな対策が必要なのか、考える事例にしたい。そうすることで、各自が夏場の避難袋には、水を沢山入れる、瞬間保冷剤を入れるなどの自助対策がとれるのではなか。
- ・場面では、ぎりぎりのところまでヘリが降下し、物資を投下するように設定している。可能か？ぎりぎりかどの距離かは、想定できないが、方法としてはありである。
- ・このHUGにより、高齢者、小学生、実際に災害対応に関わる職員にも参加してもらえるバージョンを検討していき、自助、共助を学んでいくことが重要である。

(2) 個人カードについて

- ・保健師が作成するので、静岡に比べ、疾患等の関する事例は多いが、それでよいのか。静岡は、「ペットを連れてきた」などの問題が多いが、桜島版は、メンバー構成からその件は当然であり、それが桜島火山版と特徴が良いのではないかと思うとの意見があった。問題ない人の割合は、静岡版と同じにしている。

(3) イベントカードについて

- ・イベントカード50枚の確認をする。このイベントで市の防災計画の指針と大きな齟齬はないか確認した。また、実施しながら齟齬を発見したら修正していくことを確認した。
- ・参加者がゲームを進めていく中で、「避難所に留まることができない、自分達でどうにかしないとならない」といった、危機感、自助を発揮することを自覚できるような内容のカードを作る。
例えば：体育館の屋根が降灰物の重みでミシミシ音がする。避難所まで、4輪駆動の車でしか走行できず200食の食料を運搬してきた。各担当者で修正、追加をする。
- ・市の方には、避難所の備蓄品等を教えて欲しい、それによりカードに反映させていく。
- ・通所施設に通う高齢者の集団、学童保育の子ども達の集団が加わるようにしている。
- ・例えば、イベントカードでこのような経緯になったので、県外の親類宅へ避難する家族もあっても良いとの意見があった。
- ・個人カードの氏名は、火山に関する用語を使い、防災用語を理解してもらうことの方針とする。しかし、ユニバーサル化には、日本の火山に関する用語も必要ではないかとの意見があった。
- ・ゲームを実施するにあたり、ゲームコーディネーターがマネジメントできるような取扱説明書が必要ではないか。ゲーム実施での問題点や共通認識できない箇所は脚注を付けるようにすると良いのではないかの意見があった。
- ・このHUGの作成にあたり、問題点が明らかになることもあるので、それを明らかにし、解決するように市に提言してもよいのではないか。
- ・南日本新聞社の方には、分担はないが、文章の校正をしていただきたい。

(4) コラムの作成

- ・栄養管理士の立場から、1日に必要な摂取カロリー、熱中症対策、備蓄食品（米、乾パン）、支援物資を利用した簡単献立の紹介等のコラムカードを作成する。改元先生に一任する。
- ・コラムには、火山災害時に起こりやすい疾患や市民各自で知ってもらいたい防災対策を広めるために使うこともよいのではないか。

(5) その他、HUG分担の提出と今後の予定

- ・8月9日（月）までに委員長へ提出する。8月中旬～下旬にかけて次回の会合を開催する。
- ・試作版HUGは名刺サイズのものを作成し、グループメンバーで実施する。

5) 第5回会合議事録

日時：2019年8月27日（火） 17:50～20:20

出席者：今村、大山、越智、栗脇、幸福、佐藤、高間、高橋、廣庭、松成、山内、吉原

- ・カード、避難所設営ゲーム取扱説明書、火山版 HUG の前後アンケートデータについて（メンバーDr、対象者の検討、いきなりユニバーサルにはならない、実施積み上げ、前後アンケートデータから改訂していく）

(1) 試作版 HUG 実施について

実際に試作版をファシリテーター、補助を各1名選出し、実施した。

(2) 試作版 HUG 実施後の意見

試作版 HUG について、約1時間行った。その後の意見交換で、下記の意見があった。

①設定に関して

- ・避難所に指定されていない、かつ管理者がいない小学校に避難する。これは実際からして問題、矛盾がある。これにより、設定を校長か用務員がいることに変更する。
- ・時間軸が分からないため、状況のイメージが付き辛い。時間経過が示されたカードを追加することの検討が必要ではないか。
- ・噴火最盛期に、現在設定しているように避難者が多数いるのか。これについては、住民の置かれている環境や被災状況に左右され、避難行動となることが考えられるので、それらがわかるように見直す必要があるのではないか。
- ・一般市民にもわかりやすいように、状況設定を分かり易くすることも必要ではないか。

②カードに関して

- ・内容の再検討（一般に人に理解できる内容なのか）
- ・見やすいカード作成（例えば、性別を色分けする等）
- ・慢性期のイベントカード（5枚）は不要である。しかし、対象を一般住民とするものであれば、避難所運営が主である静岡版のように、必要となるのではないか。
- ・避難者が多数は現実的ではないが、避難者を受け入れる時には、家屋の状況を判断する必要があるのではないか、よって家屋の状況を記載する。

③全体を通して

- ・自宅にまだまだ避難せずに住民が居るということが想定できるので、そのように検討する必要があるのではないか。
- ・ファシリテーター用マニュアルの作成が必要であり、避難者の状況によっては望ましい対応策を準備することが必要となる。
- ・避難所アセスメントシートを各避難所に準備することで、避難所運営がスムーズに行くことが予測される。このことから市へ、避難所運営マニュアルには、アセスメントシートのセットで配布しておくことを願います。また、それにより、火山版 HUG を作成することで、アセスメントシートに新たに項目を追加することもありうる。
- ・HUG 作成の目的は、市民による避難所でも暮らしをスムーズにし、市民の自助の防災意識を高める。HUG の実施により、問題点が明らかになり、市の防災体制に提言することにもなる。
- ・HUG の設定は、医療面が詳細に記載されている。これを活かし、まず災害に関わる専門家の HUG として、我々が訓練して、一般住民や小学生、ユニバーサル版にすることが現実的ではないか。

④今後に関して

- ・本日実施しての気づきや修正案などメールで委員長へ送信する。

(2) その他

- ・メンバーからの提案：火山版 HUG 実施後のアンケート調査を行い、ご意見を頂きたいとのこと。
- ・メンバーより、次年の災害学会、臨床医緊急学会、災害看護学会等の学会で火山版 HUG に関する発表を行いたい。発表することで学術的な意味を持たせることが出来る。メンバー全員で発表したいとの提案があった。

6) 第6回会合議事録

日時：2019年9月26日（水） 18:00～20:00

出席者：中、今村、大山、改元、幸福、佐藤、高間、前野、松成、吉原

(1) 試作版 HUG 実施について

- ・前回実施し、市の防災方針との齟齬、現実の火山災害との乖離のないこと、気付いたこと等を

確認した。また、見学に来た医学生が鹿児島救急医学会で発表したことが報告された。

① シナリオの確認

- ・「夏、大正噴火レベルの噴火が発生する」ことを確認した。
- ・通常、爆発時には、市は風向（A, B, C・・・）を考慮し避難勧告を発令する。今回作成する HUG の設定地域は、避難勧告が発令されなかった地域、避難するかどうかのぎりぎりの地域とする。しかし、爆発後、火山灰、噴石（主に軽石）を認める。それにより、市は、この地域へ屋内退避の指示を呼びかける。想定シナリオを確認した。
- ・避難場所は紫原西小学校が指定されている。その体育館（文部科学省は、発災時、避難してきた住民の受け入れをするよう学校へ協力を依頼している）に心配した住民が来る。運よく教員がいたため、住民はスムーズに体育館に避難出来た。しかし、体育館の屋根に積もる降灰の荷重による耐震が不明であることが問題となり、途中で校舎へ避難場所を変更する。期間は 5 日間の想定とする。（理由は、当初法的避難所開設期間の 1 週間と設定したが、イベントや問題が解決されないまま進行するため、積み残した感が残り、参加者がそれ以上イベントを処理しきれないのではないかと意見があり、5 日間となった。）
- ・避難所の備蓄品は 200 人分で 1 日分のみ。
 - * 避難者が来たことが、市へ報告されると 1 時間以内に担当者（あらかじめ担当者 3 名が決められている）が学校の体育館へ派遣される。
 - * 避難者の体調不良者等の対処は、地域対策本部の医療班に連絡が行き、そこから保健所へ連絡が行き、保健師が派遣される。

② 個人カード

- ・リアリティを持たせることが必要である。設定した地域は、避難勧告を発令しない地区であるため、個人 No. 1～No. 155 はレベルⅣの時点で、自主避難した住民と設定する。
- ・No. 156 以降は、レベルⅤに引き上げられた状態の中で（市は、屋内退避の指示）避難所に来た人びとと設定する。降灰や軽石が飛ぶ中の避難によって、No. 156～No. 167 は経時的に怪我をした人と想定し、状況を検討する。メンバー医師が担当する。
- ・また、HUG を通して、要支援者や弱者の方には、避難には余裕を持って避難してもらいたい、住民の方には自助による備えをして欲しいメッセージを送ることができる HUG になればよい。
- ・個人カードの食物アレルギーの内容をもう少し詳しく書かないと対応に困る。

③ イベントカード

- ・No. 239 は除去し、イベントカードをどの個人カードの後ろに入れ込むかを考える。No. 228 は噴火前のイベントとして活用する。No. 217 の 5 名を 10 名に変更する。前回の実施ではアドリブでジェンダー問題を入れ込んだが、現在では重要な問題となっていることから新たに、ジェンダーのことを記したカードを作成する。

(2) 今後の予定

① 日程スケジュール

- ・10 月：火山版 HUG 試作版の完成度をあげるための検討を行う。
- ・11 月～2020 年 1 月：ライフラインの関係者（九州電力、ドコモ、NTT 等）をオブザーバーとし、火山版 HUG 試作版の実施を見学してもらい、送電、通信などの専門的な意見を聞き、修正を行う。その後、メンバーで実施、修正を繰り返す。
- ・2020 年 2 月：カット図、マニュアルの検討（*漫画版 HUG の発注予算は防災センターで獲得するため、2020 年 4 月以降でないとは執行できない）。
- ・2020 年 4 月：完成を目指す。
 - *11 月：静岡県庁へは、これまでも桜島火山爆発の HUG 作成の意向は伝え、許可はもらっていたが、正式に許可をえるために、市関係者が先方を訪問する。ただし、時間の調整が可能であれば前任者の石嶺先生の 3 名で訪庁し、説明を行う。火山版 HUG 作成の主旨を持参する。

(3) その他

- ・火山版 HUG に添付する DVD に、鹿児島市作成の DVD 映像の一部を使用する許可が得られた。
- ・今後、それぞれの専門の学会に発表する場合、筆頭者とワーキンググループと明記せず、鹿児島市危機管理局、鹿児島市保健所、鹿児島女子短期大学 改元香、鹿児島大学地域防災センター 松成裕子とする。

- ・国際火山学会は2020年度イタリア、2021年度ギリシャ、2022年度日本で開催予定である。国内で開催の意思を示したのは、本県だけとの報告がされた。
- ・ヘルスリテラシー戦略の専門家の後藤あや先生（公衆衛生学、産科医）を招聘し講演を計画している。HUGを作成する時の参考になるのではないかとのが、委員長より報告された。
- ・次回までに、今回、確認したシナリオおよび市の防災避難計画との齟齬はないか、各自の個人カード、イベントについて確認し、あれば修正することを確認した。

7) 第7回会合議事録

日時：2019年10月29日（火） 18:00～19:40

出席者：今村、大山、改元、幸福、佐藤、高間、廣庭、松成、吉原、WG活動見学者

(1) 試作版 HUG プレテストについて

- ・HUGを経験することで災害知識、火山知識を得ることを目的としている。実施前後にテストすることで評価することの提案がメンバーより提示された。実際のプレテストの試案を記載してもらい意見をもらいたいとのことから、出席メンバーにより実施し、意見交換を行った。
 - ・その結果、プレテストを行う方法としては、HUGを実施する前に行い、その後、鹿児島市作成の火山噴火DVDを視聴し、HUGを実施し、その後、ポストテストを行う。
 - ・知識獲得を確実にするために、一般的な研修会等ではe-ラーニングを活用するという方法もあり、そうした場合は、ゲーム全体の時間が30分短縮できるのではないかと。
 - ・栄養士の立場からは、要支援者の食事のことに関する問題の追加されたイベントカードの確認があり、さらなる追加について確認された。
 - ・メンバー作成のプレテストは、鹿児島市作成の火山噴火DVDを文字お越ししたものであり、小学生には難解であるかも知れないが、解答集として添付することで、自宅にて親子で学ぶことが出来るのではないかと意見もあった。
 - ・テストの対象によって、文言をどのようにするかという検討がある。後藤あや先生の講演を聴いて検討してもうよいのではないかと意見があった。
 - ・桜島版HUGの大事な言葉と他の言葉に置き換えられる区別を行い、検討する必要がある。
 - ・小4年生以上を対象とした場合、ゲーム感覚で楽しく行える方法を検討することが必要ではないか。また、ゲームを通して、難しい言葉を覚えることに繋がれば良いのではないかと。
 - ・そうなれば、大人版プレテスト、小児版プレテストの作成が必要ではないか。
 - ・子ども版は、市から教育委員会へ検討を依頼しても良いのではないかと。等
- 上記の意見を踏まえ、テスト質問内容については、メンバー2人で検討することが決定した。

(2) 解説書に挿入するイラストについて

- ・メンバー医師より、イラストの著者へは依頼しており、イメージがしやすいように、先生が作成したスライドを送っているとの報告があった。しかし、漫画のように書籍などの保存用にするのか、カードやマニュアルに単発入れるイラストにするのかにより、金額は違うことが報告された。市、大学からの補助は、今のところ期待できない現状を踏まえ、金額を押さえるために、公募サイトのようなものを利用し、若手や無名の作家を登用する手段もある等の意見がでた。また、さらに理解しやすいものにするには、CGを組み合わせた映像を作成するという方法もあり、CG作成は鹿大の工学部の教員に依頼できるのではないかと。将来的には検討してもよいのではないかと意見があった。また、避難所のイメージが出来にくいのではないかと意見があった。避難所の動画かイラストがあると良いのではないかと意見もあり、次回の桜島避難訓練の際に、避難所の設営場を撮影してはどうかとの意見があった。

(3) 試作版 HUG の実施について

- ・開催時期は12月初旬とする。
- ・実施日は平日の午後から（3～4時間）開催する。
- ・方法として火山の知識が全くないグループと災害の有識者のグループの2つのグループで行い、意見を聞いてはどうかとの意見があった。しかし、まず、災害の有識者のグループに参加してもらい、事例やゲーム、イベントカード等に齟齬はないかの意見を聴くことで確かなものができる。それからプレイヤーの意見を取り入れることで、楽しめるものにあるとの意見があった。また、災害の有識者のメンバーとして、防災・減災分科会の係長クラスの作業部会に、市メンバーより依頼してもらおう。知識がないグループメンバーは、学生等に依頼することになった。
- ・HUGゲームに参加するメンバーは1グループ6名とする。

・NTT、ドコモ、九電などのライフラインに関連する企業、部署からの参加も依頼し、HUGの内容に齟齬がないかの意見を聞く。

(4) その他

- ・完成火山版 HUG の公開をすることも必要ではないかという意見があった。2020年1月11日の市の防災訓練の日、神戸で開催予定の災害医療学会でデモンストレーションを行うなどの意見があった。また、時期尚早との意見もあった。
- ・委員長より、以下の情報提供があった。
 - 1) 予算を獲得するために、「異分野融合研究プロジェクト創出研究助成事業」に申請している。
 - 2) ヘルスリテラシー戦略の公演を11月30日(土)に予定している。

8) 第8回会合

12月17日に市の大量軽石火山灰対策分科会・保健福祉作業部会関係者12名等によりHUG実施参加者：今村、改元、幸福、廣庭、松成、吉原

9) 第9回会合

1月11日令和元年度第50回桜島火山爆発総合防災訓練時にHUG実施参加者：高間、廣庭、松成、吉原

10) 第9回会合議事録

日時：2020年1月22日(水) 18:10~20:00

出席者：今村、幸福、佐藤、高橋、高間、前野、松成、山内、吉原
鹿児島大学地震火山地域防災センター 中谷剛先生を紹介された。

(1) 試作版 HUG の実施の報告

①2019年12月17日(木)午後1時~、市役所東別館3階災害対策室にて、市の大量軽石火山灰対策分科会・保健福祉作業部会関係者12名、日本ガス株式会社の協力を得て、専門家の意見を聞くことを目的に実施した。

- ・日本ガスの人より、鹿児島市の下水管は降灰が入らないようにしているものと、普段使用する下水管に区分されている。
- ・小学校のエアコンは、ガス使用のものを設置している。電源はどうなっているのか？フィルターが目詰まりすると質問があった。(※後に調べたところ、電源自立型があるとのことであったが、これらの質問についてはガス協会の方へ情報を提供してもらおう。)以上の情報提供があった。
- ・この参加者からHUGに対する簡単なコメントを可能な限り、収集して欲しいのお願いがあった。
- ・トピックス的情報は、HUGの説明書にコラムの欄を設け付け加えることが提案され、了承された。他にも、情報提供したほうがよい内容は、分科会の記録あれば、コラムに入れていく。

② 反省として、今回の参加者は、市の火山対策に精通した方々なのでシナリオは理解できている状況であり、設定もイメージもできているであろうが、HUGに慣れている訳ではないため、アンケートに自由記載の欄を設け率直な意見を聞けるような工夫が欲しかった。

(2) 1月11日令和元年度第50回桜島火山爆発総合防災訓練時に実施の報告



①ファシリテーターより

- ・警戒レベル4からの一部の自主避難者に始まり、事態や状況が悪化する中でのイベントカードの時間的経緯に齟齬があり、イベントカードも静岡版のように順番に避難者カードの中に入れていくことが必要との意見があった。また、緊迫感がでるような「今、地震が起きて、窓が揺れています」など、災害の状況や変化を示すようなイベントカードも作成した方がよい。
- ・要支援者などカードを色分けしてもよいのではないかの提案もあった。
- ・カードの枚数が多すぎるとの意見が多く、DMATでも1時間で100枚しかできなかった。
- ・災害経過や事態進行の時間軸が分かりづらい。イベントカードに「2日経ちました。3日経ちました。」など時間経過がわかるようなイベントカードを入れる。
- ・避難者カードNo38～No43は問題なしの避難者となっている。問題なしのカードが多すぎる。

②上記の意見を受けて検討

- ・問題なしの避難者カードは静岡版の割合に合わせて組み込んでいる。避難者本人に問題はなくとも家屋状況を記載していることで、それを踏まえた配置していく、プレイの可能性はある。
- ・全体で200枚とし、初級（子ども用）、中級（一般市民用）、上級（専門職者用）とし、区分することはどうかの提案があった。
- ・重要なのは、火山版HUGは、何を目的にし、参加者に何を伝えたいのか立ち返る必要がある。
- ・初級（子ども用）は、ゲームで避難所の生活（様々な人が集まる）を理解できる視点でよい。
- ・中級（一般用）は、イベントカードの中に、命に関わるような選択をしないといけないようなイベントカードを作成する。例えば「福祉避難所へ移送する人を5人選出してください」など。
- ・イベントカードも初級、中級、上級と色分けをする。

(3)大学生実施(1月15日)

- ・避難してきた人の住宅が鉄筋であれば帰ってもらうとか面白い発想をしていた。病気の人が多いとの意見もあった。頭を使い楽しくできたとの意見もあった。

(4)プレテスト、ポストテストの結果報告

- ①市の職員対象(2019年12月17日実施):ある程度火山の知識がある対象者であったことから、市の職員に対しては避難所生活の回答項目は高くなり、教育効果はあるが、火山災害や一般災害の知識を問う項目においては、プレテスト、ポストテストに有意な差はなかった。
- ③ 大学生対象(2020年1月15日実施):プレテスト、ポストテスト各合計、火山災害、ライフライン編では、有意な差を認めたが、一般災害や避難所生活での回答項目は差はみ認めなかった。火山版HUGは学生に対しては火山災害の教育としては効果があるが、避難所運営の教育における効果はなかった結果となった。ただ、ファシリテーターが学生であったことから、ファシリテーターとしての役割認識が不十分であったことも否めない。



(4) 説明書に挿入するイラストについて

①個人的に漫画家に依頼する時、謝金として支払いが可能か否かの確認を行う。

②説明書の原案(イラストを挿入する位置も含め)および絵コンテをメンバー2名が考える。メンバー2名とともに子ども用 HUG 文言を検討する。イベントカードのイラストを委員長が考える。

(5) 学会発表について

① 日本災害医学会での発表: プレ・ポストテストの結果

②火山都市国際会議(ギリシャ)での発表準備、火山版 HUG

(6) 子ども用 HUG の実施について

①8月9, 10日、始良市の小学5, 6年生を対象に実施する予定であるが、始良市で実施する前に、鹿児島市内の小学生を対象に防災教育としてできないか、検討を依頼した。今年度は、サマーキャンプでは福島氏の講演があり、実績から可能ではないかとの意見があった。実施内容は、1限目 DVD の視聴と説明書による HUG の理解してもらい、2限目に実施の計画の提案があった。しかし、小学生の集中力から45分が限界ではないか、カード数を減らしてもよいのではないかとの意見があった。また、小学生の場合には、ファシリテーターの担任の采配にてゲームを途中までにし、HUG を教材にした授業にすることも可能との意見があった。

(7) 中谷剛先生より

・研究の内容説明と火山版 HUG への情報提供

現在、TRAIN と GIS を組み合わせ、ハザードマップのシステム作りに取り組んでいることの説明があり、必要とする情報の提供があれば、情報を基に被災状況を想定することが可能である被災シナリオに役立てることができる、との提案があった。

・2015年の気象状況をベースに、大正噴火クラスの爆発として、各地域の家屋の状況、高齢者の状況等のデータを組み合わせ、孤立する高齢者、倒壊する家屋、それによる道路の寸断などの状況を知ることができ、シナリオに追加できる。

(8) その他

・意見を取り入れながら、修正を行うとともに、誰がファシリテーターを行ってもゲームの質が担保できるようにすることが必要との意見があり、ファシリテーターのガイドブックや研修が必要なことを確認した。

3. まとめ

この研究事業の最終目標は、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を目的としていることから、さらなる開発が必要になる。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とする必要があり、それにはゲームカードに記載する絵や写真、カットの表現から内容理解を安易にする必要がある。これらの課題解決に向け、プロの漫画家による挿絵を予定している。さらには、CG を組み合わせた映像の作成も検討している。そして、桜島大規模噴火に備え、地域社会で暮らす住民が桜島版の避難所運営ゲームを体験することで、災害における自助・共助の必要性を理解し、その自助力を獲得するための行動を起こすことで、地域の防災・減災の対策の強化となることを願って、メンバーは活動している。

WG メンバー: 田中康太(鹿児島県地域医療整備課主事)、山内博之(鹿児島市地域福祉課主査)、前野律江(鹿児島市保健所保健政策課主幹)、大山あゆみ(鹿児島市西部保健センター)、遠藤順子(鹿児島市母子保健課)、高橋理恵および栗脇ひとみ(鹿児島市南部保健センター) 吉原秀明(鹿児島市立病院救命救急センター長) 佐藤満仁(同救命救急センター医師)、能勢圭子(肝付町福祉課参事兼包括支援係長)、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(本学センター災害医療分野責任者) 上國料千夏および高間辰雄(本学救急・集中治療医学分野特任助教)、新枝里子および伊東看護師(鹿児島市立病院看護師)、中豊司(鹿児島市危機管理局参事)、幸福崇(市危機管理課桜島火山対策係長)、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特任研究員)、今村圭子(鹿児島大学医学部保健学科)、越智功太郎(鹿児島大学大学院保健学研究科放射線看護専門コース院生)

令和元年度 活動報告

WG-III「交通への影響」に関するワーキンググループ

三田 和朗 / 榑ホウセイ・技研

1、はじめに

本ワーキンググループは、平成 29～30 年度に鹿児島市街地に多量の降下火砕物（軽石や火山灰）が堆積した場合の対策を検討し、令和元年度は、多量の火砕物が降る可能性が高い大隅半島の交通対策について検討した。これらの検討結果は、地震火山地域防災センターのホームページに公開中である。

検討の過程で、大隅半島の惨状がこれまで、見過ごされていることが解った。大正噴火では、多量の軽石と火山灰が降り積もったので、大隅半島で少なくとも 25 名の方が亡くなり、住宅や生活基盤である耕地を失い、肝付郡内で約 6000～7000 名の方々が、移住を余儀なくされた。多量の軽石が降った地域では、住民の生活は困難になり、土石流が頻繁に発生した現在の国道 220 号（垂水～牛根間の約 19Km 区間）は、噴火した年に復旧することを断念している。

現在までの大噴火の被害が、鹿児島市に住む人の視点で書かれ、桜島の次に被害が大きかった大隅半島の被害が見過ごされていることが明確になった。このため、大隅半島の大噴火対策は進んではいない。このため、ワーキンググループでは、大隅半島の減災対策の重要性を述べた。

2、活動経過

大隅半島に関わる会議などの実施経過を大隅半島の検討を始めた平成 30 年度から記載する。

- ・第 13 回検討委員会 平成 30 年 7 月 30 日 大隅半島の被害抽出
- ・第 14 回検討委員会 平成 30 年 11 月 30 日 大隅半島の被害抽出
- ・第 15 回検討委員会 平成 31 年 1 月 25 日 被害軽減対策検討 提言検討
- ・第 16 回検討委員会 平成 31 年 2 月 22 日 提言検討 ハザードマップ検討
- ・桜島火山東方地域ハザードマップ作製（防災関係者用）公開 平成 31 年 3 月
- ・暫定レポート作成公開 作成 令和元年 4 月～6 月 公開 令和元年 7 月 23 日
- ・垂水市役所内セミナー 令和元年 7 月 30 日 総務・土木・消防など 20 数名出席
- ・鹿児島ロータリークラブ講和 令和元年 8 月 30 日 解ってきた大隅半島の噴火被害
- ・自然災害科学「桜島大規模噴火を考える（特集）」の陸上交通を執筆 令和元年 9 月
- ・防災担当者セミナー 令和元年 10 月 23 日 国土交通省・自衛隊・九電・市町村防災担当などに桜島大噴火が近代社会で起きた場合に考えられる惨状と対応策案を説明
- ・垂水市防災訓練参加 令和 2 年 1 月 11 日

3、研究の成果

桜島の大正噴火の被害は、「地震と噴火活動で 58 名が死亡し、桜島と大隅半島が陸続きになった。」と語られる事が多く、その被災地域として桜島と鹿児島市がクローズアップされ、噴火被害が矮小化されてきた経緯がある。ところが実際には、プリニー式噴火の降下火砕物が厚く堆積した大隅半島地域では、鹿児島市以上の大きな被害があった。それにもかかわらず、大隅半島の甚大な被害が適切な文章量で記載されていなかったため、大隅半島の惨状が広く認識されることは無かった。このため、桜島大噴火対策は、桜島に限定されることが多く、大隅半島まで対策が考慮されることは無かった。下記に、ワーキンググループの研究で改めて解った大隅半島の被害について述べる。

3.1 大隅半島の死者行方不明

大隅半島では、多量の降下火砕物堆積後には、土石流や洪水が頻発した。このために、死者が発生している。「櫻島爆發肝属郡被害始末誌（1915）」では、2 回目の御下賜金（被災関係者への給付金）が、防風雨による死者行方不明者 23 名を対象に給付したに記載されている。この 23 名

は、噴火現象で直接被害を受けたものでは無いが、噴火による土石流と洪水の激化が無ければ、死亡者は発生しなかったと考えられるので、噴火の被害者と考えられる。なお、23名の記録の他にも死亡者があり、岩松（2019）は、大噴火による大隅半島の死者を25名としている。これまでの58名に追加すると桜島大正噴火による死者は少なくとも**83名**である。

3.2 大隅半島の道路被害

大隅半島で10 cm以上の厚さで、軽石や火山灰が堆積した地域では、自動車や馬車などの通行が困難になった。路面に降り積もった降下火砕物を除去できた道路では通行可能になったと推定されるが、土石流や洪水が頻発する道路の回復は、長期に亘って困難であった。特に道路被害が著しかった現在の国道220号の桜島に近い19 km区間は、道路を復旧しても土石流で破壊されることが繰り返され、噴火した年は道路の復旧を諦めざるを得ない状況であった。

大噴火後の道路被害の様子は、郡始末誌（p.428）の交通被害を記載した冒頭の文章に要約されている。冒頭部分を現在の言葉に直すと次の記述がある。

- ・天地が転覆するようだと思われるばかりに砂石を降らせ、一大修羅場を現出した。
- ・そのために、交通機関は途絶し、一時は近隣の情報すら知ることが出来なかった。
- ・降下火砕物の堆積後は、道路が閉塞し、徒歩さえも通行困難になった。
- ・道路には、崩壊した山岳の土砂、岩石、樹木が押し流されてきた。
- ・さらに、道路は埋没、破壊、流出などの大災禍を重ね、橋梁や暗渠も破壊流出した。
- ・佐多街道（現在の国道220号）はもちろん、百引街道も降下火砕物で閉塞された。特に百引二川間の17 km区間は、全く閉塞し牛根村の村民を兵糧攻めにした感がある。
- ・佐多街道の牛根垂水間のうち19 km区間は、応急工事を行い、代道を作り代橋を架けることに、2万円を費やしたが、水泡に帰するため、当分の間危険区域として放棄した。

この記述から、現在の垂水市北部地域における唯一の主要道路である国道220号の復旧が、大噴火の年には諦められたため、現在の牛根付近に住む少なくとも8,000名の住民は、物流や移動経路としての道路を失ったことが解る。

その他、鹿児島県記録では、表-1に示した道路途絶箇所が記録されているが、この表の「安楽、夏井間」は、降下火砕物の堆積量が10~20 cmの地域である。この区間は平地が多いにも関わらず、交通が途絶しているため、当時は、10 cm以上の厚さで降下火砕物が堆積した多くの地域で、交通が途絶したと推定される。

表-1 県記録に記載されている交通途絶箇所
(桜島大正噴火誌 p.233)

路線名	途絶箇所
佐多街道	垂水村界二川間
百引街道	二川、百引間
高隅街道	市成、高隅間
岩川街道	志布志、岩川間
末吉街道	松山、岩川街道分岐点間
鹿屋街道	安楽、夏井間

道路被害は、降下火砕物の堆積により走行不能となる直接的な被害の他に、それを原因とした斜面崩壊、土石流、洪水などにより、**山岳斜面が崩壊して土砂・岩石・樹木などを押し流し、道路の埋没、破壊、流出、橋梁と暗渠の破壊が繰り返り起きた。**

当時の被害の甚大さは、表-2に示した垂水村の記録からも把握できる。垂水村には、噴火した年に土石流が11回発生しているが、そのうち3月6日の記録は、最も被害規模が大きい。道路の被害延長は、16箇所2,450間(4,410m)に及び、流出や埋没した橋梁は10橋に及ぶ。なお、特筆すべき点は、この日の**日雨量**は42.4 mmに過ぎず、土石流が1年間に11回発生したのは、11か所で土石流が発生したのでは無く、同時多発的な土石流が1年間に11回発生したと考えられる点である。

牛根村も繰り返す土石流で甚大な被害を受けたが、降下火砕物の堆積厚さが数cmの内之浦村でも、台風通過による大雨で橋梁の流出と破損がそれぞれ3橋、合計6橋が被害を受けている点にも注意する必要がある。降灰量が、大隅半島よりも少なかった始良地域でも、降灰後は土石流が発

生しているため、数cmの降灰量でも看過できない被害が発生している。

表-2. 堤防・道路・橋梁の被害（3月6日）垂水村郷土誌

種別 字名	2006 堤防						道路						橋梁		
	決壊		破損		計		流失・埋没		破損		計		流失・破損		
	個所	延長	個所	延長	個所	延長	個所	延長	個所	延長	個所	延長	流失	浸没	水
田神	—	—	—	—	—	—	—	—	1	10間	1	10間	1	—	—
市木	4	1,200間	4	60間	8	1,260間	2	900間	5	900間	7	1,800間	—	—	—
中俣	2	4,320間	—	—	2	4,320間	—	—	1	10間	1	10間	—	—	—
海瀉	3	300間	—	—	3	300間	3	180間	—	—	3	180間	—	—	—
新御堂	5	140間	3	20間	8	160間	1	130間	—	—	1	130間	2	—	—
高城	1	70間	—	—	1	70間	—	—	1	60間	1	60間	3	—	—
本城	7	700間	—	—	7	700間	—	—	2	260間	2	260間	4	—	—
計	19	6,730間	7	80間	26	6,810間	6	1,210間	10	1,240間	16	2,450間	10	—	—

この他、桜島大正噴火では、次の道路被害が発生している。

- ・桜島から流出した溶岩による道路埋没
- ・洪水発生による道路通行不能（少なくとも10年に亘って洪水は発生している）
- ・海岸地域での地盤沈下による道路の通行不能
- ・洪水による湛水で池が出来たための道路通行不能

3.3 道路回復に影響を及ぼす大噴火時の降灰特性

本WGの研究で防災上重要と考えられる次の2つの点が明らかになった。一つは、噴火中に視界を取れない事であり、もう一つは大正噴火の火山灰が細粒である点である。それらについて記載する。

3.3.1 噴火中の視界

大噴火では降下火砕物のために視界は不良となり、数日におよぶ噴火継続中には、復旧作業も困難になる。大正噴火では、降下する軽石や火山灰のために、太陽光が遮断され昼間でも真っ暗になる日があるなど、ほとんど太陽が見えなかった期間を、県の大隅郡役所は旬日（10日間くらいの日数）としている〔櫻島爆發肝属郡被害始末誌 p.160〕。

表-3に、大隅半島に降った降下火砕物の性状と期間を示す。大正噴火は、1914年1月12日午前10時頃始まり、噴火初期の段階では軽石が降下していたが、翌日には砂状に変化し、噴火5日目からは火山灰が降下している。火山灰は軽石噴火に続く連続噴火やブルカノ式噴火で放出され、しだいに量を減らしながら1年余り継続した。風下の大隅半島側では、噴煙活動で昼間でも真っ暗な日々が続いたとみられる。この状態では、噴火後5~7日間は、一般車両は勿論、消防車や警察車両もとえ道路が清掃されていても視界不良で通行できないと考えられる。さらに、道路復旧や停電の解消に従事する工事車両の通行も困難となる。

表-3.1 大正噴火の降下物の変化 出典：櫻島爆發肝属郡被害始末誌 1914

パソ	軽石降下開始時刻	軽石の降下激甚	砂状に変化	降砂最盛期	灰状
高隅村	12日午前10時半頃	12日午後2時から	13日午前3時	16日最も盛ん	17日から
百引村	12日午前11時半頃	12日午後2時より	14日より灰砂状	15日まで	17日から
牛根村	12日午前10時より	12日午後2時ごろ最も盛ん	13日午前3時	砂状~灰状 16日まで盛ん	
垂水村	牛根と同じ時間で軽石降下無し				

3.3.2 停電を発生させやすい細粒の火山灰

大正噴火時の火山灰の降下量が減ると、視界が確保できるようになり、道路啓開と道路復旧が急がれるが、噴火開始からすでに5日から一週間程度経過していることになる。したがって、十分な生存物資（水・食料・その他）が整っていない家庭があれば、生命の危険が迫っている状態である。仮に幹線道路の啓開が噴火から5日間経過した時点で開始されたとすると、一般道の啓開は幹線道路の啓開が終了した後となるため、道路の不通はさらに長い期間継続することになる。



図-1 降灰が付着して垂れ下がる杉の枝

道路警戒作業の阻害要因として、火山灰特有の対策も必要である。エンジンに空気を供給するエアフィルターが目詰まり、作業員の目や呼吸器の障害など一般的に知られている障害もあるが、桜島の大噴火では、特に停電の発生が指摘される。停電は、地震発生でも起きるが、軽石の降下が終了し、火山灰になった段階で、発生する危険性が一段と高くなると考えられる。

特に危険性を指摘する理由は、桜島大正噴火の火山灰が、図-2 に示した様に通常噴火の火山灰より相当程度細粒であることと、火山灰の性質が「漆喰」「セメント質」「鍬で火山灰を取り除く」などで表現されるように、電線や碍子に付着し容易には剥がれない性質があるとみられるためである。図-1 は、噴火後の牛根村の杉林の写真であるが、火山灰が付着し、杉の枝が折れている。この様な状況は、湾北部でも記録されており、通常のブルカノ式噴火では見られないが、大正噴火後は一般的に発生していたと推定される。

大正時代は、電力は、室内灯の電源として一般家庭では利用される程度であったので、社会問題にはならなかったが、現代社会では、**停電により社会機能が完全にストップする**。情報・通信・パソコン・水道などが停止し、病院・警察・消防署・復旧機関の機能がダウンする。このことは、道路復旧においても復旧を指揮する機関と現場との情報交換が困難になり、復旧作業員を宿泊させることで支援するホテルや作業所の機能もダウンすることを示唆している。

全国的には、例えば緊急時の非常電源は 3 日程度機能すれば十分と考えられているが、**桜島周辺地域では 3 日間程度の自家発電設備の稼働では到底間に合わない**。同時多発的に停電が発生する可能性があるが、その際の復旧も、軽石が降り積もった山道を登り、碍子にへばり付いた火山灰を取り除く作業をしなければならない。県を超えて広範囲に同じ現象が発生する可能性が高く、停電後の復旧は時間を要するため、停電を起こさない送電方法の対策検討が必要である。

3.4 大噴火対策

ワーキンググループの検討の過程で、桜島大噴火対策がこれまで「桜島からの避難」に重点が置かれ、噴火した場合に約 8 割の確率で多量の火山灰が降下する大隅半島の防災対策がほとんど実施されていない現実に危機感を感じた。その原因が、桜島火山のハザードマップが桜島に限定されているか鹿児島県全体に広域的に被害の危険性を指摘していた 2 種類であったためと推定した。大隅半島の噴火対策が進むためには、大隅半島に特化したハザードマップが必要と判断し、防災専門家向けの「桜島火山東方地域ハザードマップ（降下火砕物の被害）」を委員会で作成し、平成 31 年 3 月に地域防災センターのホームページに公開した。同時に、湾岸地域の行政担当者と同関係機関にハザードマップを配布した。

この後、大正噴火後に最も被害が大きかった垂水市で、市役所職員を対象にしたセミナーを開催し（令和元年 7 月 30 日）総務・土木・消防など 20 数名の出席を得た。100 年前の被災地な

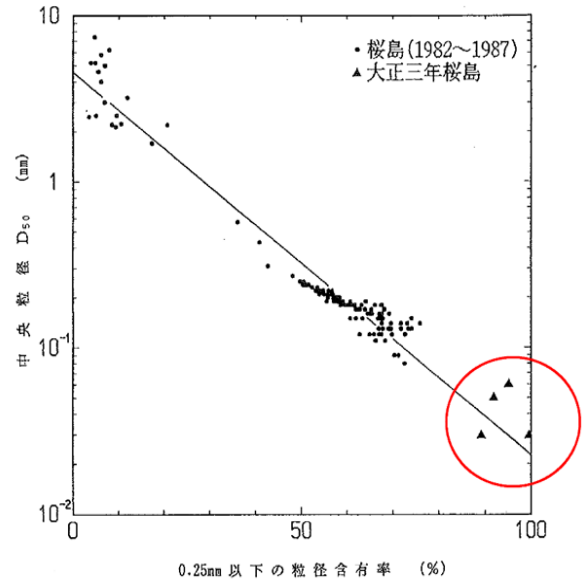


図-1 0.25mm以下の粒径含有率と中央粒径D₅₀の関係

図-2 大正 3 年噴火の火山灰の粒径
出典 下川 (1991)

ので、祖先からの伝聞で当時の惨状が伝えられているかと想像したが、セミナーで初めてその惨状に触れ、危機感を持った職員が多い状況であった。

道路交通に関して大噴火対策を考慮した場合、次の対策が重要である。

① 道路啓開と復旧手法の検討

大噴火後の道路啓開には日数を要するため、噴火中に道路啓開が可能になれば、プリニー式噴火終了後に直ちに救援作業や道路復旧を実施可能となる。現時点では、ほぼ視界が無い状態で重機が稼働できる技術は確立していないが、近い将来ICT技術の進展で、土木分野でも視界が無い状態で作業が可能と考えられる。このような技術を各道路で具体的に取り入れる方向が有用と考えられる。

② 砂防対策

桜島に近い地域で頻発する土石流に対しては、通常の100年確率程度の降雨を考慮した砂防施設を整備中であるが、事実上桜島の大噴火に対応した砂防施設は無い。一方、国内で同様の危険性を有する火山（樽前山・北海道駒ヶ岳・有珠山・十勝岳）では、大噴火時の土石流から被害を抑制する施設を整備中である。国道220号は、現在の状況では、大正噴火後と同じように頻繁に不通となり、同時に、山麓の集落も甚大な被害を受けるとみられるので、ハードとソフトを含め何らかの対策が必要であろう。

③ 道路放置車両

噴火前後に一般車両が避難し、道路に放置車両が発生すると、道路啓開や道路復旧を行う過程で放置車両は障害物となり、同時に道路を通行できないことで救援部隊の到着や救援物資の運搬にも重大な影響を与える。雪道でも埋没車両撤去に多くの時間を要するが、掘っても再度崩れる降下軽石に埋もれた車両を救出するにはさらに多くの日数が必要となる。事前に、道路規制や噴火時の対応策の検討が必要である。

3.5 提言

本ワーキンググループでは、地震火山地域防災センターの設立目的が「減災」であると認識し、桜島大噴火対策が進まない現状に対し下記の提言を行いホームページで公開した。

- 提言 1 桜島は現在100年余りの間隔で、大噴火を繰り返しているため、必ず大噴火する前提で、次の噴火に対する備えを行うことが重要である。
- 提言 2 桜島の大噴火被害が、数年間に亘って大隅半島に継続的な被害をもたらしたことを県民に周知する必要がある。
- 提言 3 鹿児島県全域に甚大な被害を及ぼす桜島大噴火に対し、減災の取り組みが不十分である。行政機関の実践的な対応部署を明確にし、減災と救援・復興の検討を早急に開始する必要がある。
- 提言 4 桜島の大噴火を想定した特例法を制定する必要がある。
- 提言 5 電気・上下水道・道路・情報網などの社会基盤が高度に整備された社会の近郊で起きる大噴火は、世界に事例が無い。このため、未知の災害として大混乱の発生が予想される。したがって、あらゆる事態を想定した事前防災が必要となる。
- 提言 6 扇状地や狭い谷底平野および背後に大きな集水域を持つ海岸平野では、大噴火後に繰り返す土石流や洪水が発生するため、道路は頻繁に不通になる。このため、住民の生活基盤の



図-4 桜島火山東方地域ハザードマップ

保全も含め、砂防対策や河川対策および道路保全対策が必要である。

提言7 道路・航路・空路は、噴火中ないし、噴煙活動中には利用出来ない事態に陥ると考えられる。

提言8 桜島の大噴火後は、活発な噴煙活動が長期間続くので、道路に降り積もった火山灰や堆積物の除去が長期間にわたって必要となる。

提言9 桜島の大噴火を考慮した大隅半島の砂防計画は、降下火砕物の特性を考慮する必要がある、汎用的な指針に加えて地域特性を考慮した規定が必要である。

4. あとがき

桜島の大噴火は、桜島のみならず周辺地域にも大惨害をもたらす巨大災害である。大正噴火の死者数を参考に、当時でさえ100名以下の地域災害であり、現代の科学水準であれば被害をさらに軽減化できるとの認識は誤りである。大正時代には、自宅周辺に井戸があり、生命維持に必要な物資を自宅周辺で確保出来た。現代社会は、大正時代と異なり、電気・水道・道路・流通網が発達し、生活や生存の手段を自分以外の他人や組織に依存する社会に変化している。例えば停電になるだけで、水道・ガス・冷蔵庫・パソコン・携帯電話など便利な現代社会の利器がすべて使用不能となる。大噴火の場合は、その期間が長期に亘る。現代社会では、一歩対応を誤ると想像もできない大災害をもたらす。この様な高度に発達した都市や市街地で大噴火が起きた事例が世界に無いため、対策の検討だけでも相当の時間を要すると考えられる。このため、平常時である現時点で対策を検討する必要があることを本ワーキンググループでは示した。

本ワーキンググループの委員は、土木技術に精通した民間の技術士と大学関係者からなり、さらに行政担当者からの助言も頂いた（詳細は、暫定レポート2019年6月版参照）。特に、民間組織のボランティアとして検討にあたった上小鶴氏、古閑政秀氏、松元慎二氏、柴山修一氏と大学と行政関係者には、深く感謝申し上げる。

最後に、令和2年1月11日に垂水市が、33機関と連携して、自衛隊・海上保安部・漁協・警察・医療機関・住民などと、同市始まって以来の大掛かりな訓練を行った。鹿児島市も本格的な訓練を継続している。ワーキンググループとしても対策が進展する方向性を嬉しく感じ、大噴火への準備が南九州を中心として広域的に進み、次の大噴火で被害が出来るだけ少なくなることを願うものである。

引用文献

鹿児島県肝属郡役所 1914 桜島爆發肝属郡被害始末誌

鹿児島県 1927 桜島大正噴火誌

下川悦郎・地頭蘭隆・小林哲夫 1991 大正3年桜島大噴火が火山周辺域の侵食に及ぼした影響
交通への影響ワーキンググループ 2019 桜島大噴火時の交通対策暫定レポート

令和元年度 活動報告

WG-IV「産業への影響」に関するワーキンググループ

浅野 敏之・高橋 忍

1. 調査研究の視点

2018年度、内閣府中央防災会議は、「大規模噴火時の広域降灰対策検討ワーキンググループ」を防災対策実行会議の下に組織し検討を開始した。これは、富士山の大規模噴火を想定した場合に、都市機能が高度に集積した広域首都圏において火山灰降灰が国民生活や社会経済活動に与える影響予測と応急対策を調査するものである。富士山噴火を想定した降灰の産業への影響については、富士山で低周波地震が多発する時期に実施された関谷・廣井(2003)や熊谷(2002)の研究がある。関谷らは、首都圏周辺のライフラインを維持・運営する電気・通信事業者、製造業者、サービス業者、交通・物流事業者などを対象に、降灰被害があった場合にどのような社会経済的影響が生じるのかの聞き取り調査を実施した。熊谷は、工学的視点から富士山噴火の都市交通・産業活動への影響シミュレーション・予測方法の開発に目的を置いた研究を行った。両者の研究は、降灰被害がどれだけ・どのように影響していくかを考察した貴重なものであるが、富士山が現在噴火活動を行っていないため、大規模降灰による被害形態や災害事象を実態として把握できない限界がある。冒頭の中央防災会議による降灰被害の具体例の検討の多くも、桜島に近接する鹿児島市・鹿児島県の降灰被害例に基づいている。換言すれば、わが国の火山降灰に対する防災研究に、鹿児島大学における研究活動が大きな関心を持って見守られていると受け取ることができる。

本ワーキンググループ(WG-4)は、産業全般に対する大規模火山噴火による降灰の影響調査を目的とする。現代の産業は、半導体など清浄な環境を必要とする高品質部品・素材を生産しており、また交通・通信体制も複雑なサプライチェーンを保障する高度なものとなっている。降灰影響予測を行うにあたって、このような先端的動向の考察も重要であるが、前出の首都圏における研究とは異なる鹿児島県という地域に立脚した視点も十分に考慮しなければならない。

総理府統計局による2019年の社会・人口統計によれば、鹿児島県の第1次産業就業者比率は9.3%で全国7位に位置する。農業産出額においても、2017年時点で、5000億円と全国2位であり、有数の農業県と言える。わが国で第2次産業比率の高い県は、第1位の富山県を除けば、第2位以降は順に滋賀、静岡、岐阜、愛知と東海道沿線の県であり、上位10位内に入る群馬、栃木など北関東の県と言える。本県の第2次産業就業者比率は、19.1%で47都道府県中43位である。さらに本県

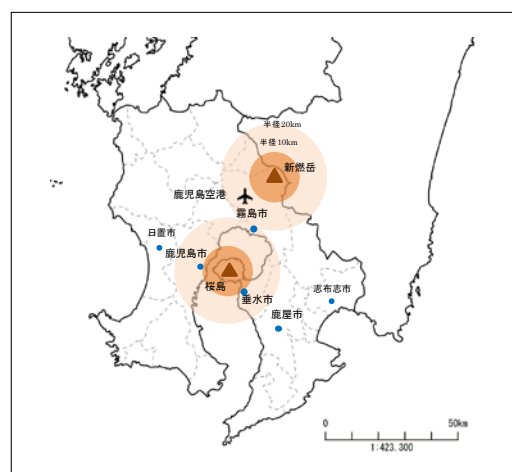


図-1 火山と市町村の位置図

では、機械や電気等の製造業よりも食肉加工業や焼酎などの飲料工業の比重が大きく、これらもともと農畜産業から得られた加工産業である。すなわち、わが国有数の一次製品の生産基地である鹿児島県で降灰が産業に及ぼす影響を調査する場合には、首都圏を対象とした調査研究とは異なり、農業をはじめとする第1次産業に対する影響に大きな比重をかける必要があると考えられる。

他方、道路・港湾・空港による物流、上下水道、電気、通信等のライフライン、工場・病院などの施設に対して、降灰が与える影響に関する調査検討は、前述のように桜島という現在活動する火山を持つ地において、国の内外を問わず適用できる有用な知見が得られよう。また、こうした物流やライフラインは、農・畜・水・林産業の活動を支えているものでもあり、その意味でも本WGの調査検討項目の対象にすべきと考えた。なお、降灰が道路交通に及ぼす影響については、WG-IIIの交通ワーキンググループで調査を実施しているので、本WGでは対象外とした。

調査・検討の内容は、桜島大正噴火級の大規模噴火が発生した場合の、被害想定、防災・減災対応、復旧対応などの検討であり、これによって地域防災計画の策定や、被害を最小限に抑え産業活動を速やかに回復していく事業継続計画の構築に資する成果となることを目指すものである。

鹿児島県は、図-1に示すように本土に桜島と新燃岳を有し、離島にも複数の火山を有している。鹿児島市、垂水市は桜島から半径10km圏内に所在し、火山灰の影響を大きく受ける。鹿児島空港は双方の火山の影響を受けやすい位置に所在する。

2. 農林水産業への影響

2-1 それぞれの産業への影響評価

2-1-1 農業

本調査では、鹿児島市、垂水市を中心に聞き取り調査を行った。農業従事する環境として、農事組合法人と小規模な家族で営むような農家で分類することができる。農事組合法人においては、広域な農場を主体として作物の栽培を行っていることが多く、栽培している作物も多岐にわたる。一方、小規模な農家では栽培を行うことで収入を得ているが、年配の従事者は年金を受給しながら副業的な農業を行っており、収入は比較的安定している。そのため、火山灰による影響で商品価値を損なった場合は親戚や周辺住民に配布するなどして対応するため、噴火による影響に対する意識は非常に低かった。また、今後大規模噴火があったとしても廃業することに対して抵抗感はない従事者が多かった。一方、若手の農業従事者に多く見られるのが、廃業した農家から安く農地を借り入れ、質の良い作物を作り、さらにその製品を他にない商品に加工して、商品としての収益を得る新しい形の農業である。そもそも農業だけでは生活することが困難であることが念頭にあり、作った作物を安い価格で販売するより同じ商品に手間をかけることで、数倍にもなるとのことであった。このような若手の農業従事者においては商品価値が特に重要になるため、降灰による影響は甚大であり、日常的にも降灰に関しては気をかけていることが分かった。特に大規模な降灰があった際には1日に複数回の散水により降灰を除去している。これは降灰を完全に取りきることは困難であり、散水によりきれいになったとしても周辺から舞い上がる火山灰がまた作物に付着することも多いためである。ブローア等の利用は、根本的な問題の解決には至ら

ないため、使用することは少ない。

降灰の影響を減らすために、活動火山周辺地域防災営農対策事業等の補助を利用し、被覆施設の設置を促進しているが、被覆施設への降灰で受光量が低下し、品質や収穫量が低下する被害もある。通常は被覆施設の降灰は、散水や払落しによる除去を行って対応している。一方、火山ガスによる影響で露地栽培されている植物の葉や実が枯れ、商品価値がなくなってしまうこともある。また、被覆施設から出荷する際にも火山ガスの影響を受けると報告されている。

2-1-2 畜産業

平成 29 年度における鹿児島県の農業産出額の部門別構成比は、米・野菜・果実・花き・工芸農作物等を含む耕種部門が 34.4%に対して、牛・豚・鶏などの畜産部門が 63.2%を占める(鹿児島県農政部, 2019)。そのうち、肉用牛のうちの肉用種の飼育頭数、豚の飼育頭数はいずれも全国 1 位、ブロイラーの飼育羽数は 2 位であり、本県における畜産業の重要性は極めて高いと言える。

降灰による畜産への影響は、畜舎の空調・温度調節機能の阻害、牛・豚・鶏へのストレス、畜舎への降灰荷重、降灰による飼料・えさの供給路の遮断、排泄物等の処理・運搬、土壌への影響等が考えられるが、県農政部畜産課のヒアリングからは、大正噴火級の降灰量ではともかく、通常のドカ灰では大きな影響はないとの回答であった。牧草など飼料作物については、降灰や火山ガスによって、変色や茎葉の枯死などの影響があるが、降灰時には迅速に牧草を刈り取ることで対応している。火山灰が多量に付着した飼料作物の給与は控えることになるが、大規模畜産業者は、牧草を他所から購入することが多いため、降灰被害にあまり関心が無いとのことである。鹿児島県畜産試験場では、桜島降灰が飼料作物に対する直接的影響や降灰付着が搾乳牛の飼料採食量に及ぼす影響について研究した例がある(黒江ら;1979, 賞雅ら;1981)。降灰による牧草の収穫量の減少や、牛の肥育量の減少については、県畜産試験場で検討を行った例はあるが、定量的に評価までには至っていない。

2-1-3 茶業

茶業は農業と比べると早い時期から法人化がなされており、組織化がうまくなされている。野菜を収穫してそのまま販売することが可能な農作物と異なり、必ず加工する工程が必要であるため製品となる段階での火山灰の混入は絶対にあってはならない。降灰により葉に火山灰が付着することで光合成ができなくなり、それだけでも商品価値が下がってしまう。さらに、商品を問屋に納品する際、ランダムにチェックがなされ、少しでも火山灰の混入があった場合、その商品は返品されてしまうため、普段はスプリンクラー等を使い、畑で入念に洗浄している。さらに収穫後、工場でも入念に洗浄を行うことで、火山灰が持つ硫黄臭も除去できる。しかしながら、洗浄にあたってはスプリンクラーのノズルに火山灰が詰まることや、地下水利用で水道代は不要としても、燃料費、修繕費、人件費のコストがかかる。また、収穫用の機械の刃は火山灰が混入する影響もあり、他県と比較しても早い段階で刃こぼれしてしまう。

鹿児島県では、火山灰対策としてサイクロン式吸引洗浄装置(図-2)の購入に補助を出しており、複数の茶業者が購入して活用している。サイクロン式吸引洗浄装置は、前方の異物収集部と後方の洗浄部で構成される。異物収集部では、茶株面上の異物を稼働ブラシで剥離・浮遊させ吸

引し、サイクロン方式で固気分離する。洗浄部では、送風ダクトと散水ノズルにより異物を洗い流す。散水圧力を 2.0MPa にすることで、新芽に付着した桜島降灰を 60～75%程度除去可能である。



図-2 サイクロン式吸引洗浄装置

2-1-4 林業・水産業

その他産業として鹿児島県で多いのが、林業、水産業である。林業においては、火山灰の影響による被害は、現状の降灰レベルであれば大きな影響はない。一般的に降灰による光合成ができないことによる生育不足も懸念されるが、非常に長い期間かけて育てるため、その影響は茶業などに比べ非常に小さいと言える。木材を伐採する際に機具に火山灰が混入することは想定されるが、他県の消耗具合と比較してもその差はなく、火山灰よりも木材を伐採時に発生するおが屑の影響が大きい。

水産業においては、火山灰の影響で収穫が減った等の被害はほとんどない。鹿児島県の漁業は多くが沿岸漁業か養殖業であり、船舶航行には火山灰の影響はない。また、軽石等が船舶のエンジンに入り込みエンジンが破損したこともない。ただし、養殖生簀に侵入した軽石を誤食することで、養魚が死んでしまう被害は報告されている。



図-3 桜島周辺海岸への軽石等の漂着物

2-2 火山地域における農林水産業への防災対策

2-2-1 農活動火山周辺地域防災営農対策事業

国は、活動火山周辺で農業を行う個人、団体に対して、昭和 48 年から活動火山対策特別措置法に基づき「防災営農施設設備計画」を策定し、国庫事業を活用して防災営農対策を開始している。なお、平成 18 年度からは「三位一体の改革」による県への税源移譲に伴い、県単独事業を主体に各種国庫事業も活用しながら対策を講じている。本県における「活動火山周辺地域防災営農対策事業」については以下に内容を記載する。

表-1 活動火山周辺地域防災営農対策事業実施基準

事業の区分	事業の内容	主な採択基準
降灰地区土壌等矯正	土壌酸度矯正 有機質資材投入	被害激甚地区のみ 対象面積：概ね 5ha 以上
畑地かんがい施設整備	水源施設，貯水施設，送水施設，排水施設(散水施設を含む)	受益面積：概ね 1.5ha 以上
降灰地域茶安定対策	茶生葉洗浄施設 摘採前洗浄施設	受益面積：概ね 1.5ha 以上 1 台あたり総事業費 50 万円以上
降灰地域たばこ安定対策	たばこ洗浄施設	
降灰地域飼料作物確保対策	飼料作物収穫調製用等機械施設，サイロ，乾燥施設	
降灰地域野菜安定対策	被覆施設(被覆資材の更新含む)，洗浄施設	【被覆施設の場合】 受益面積：概ね 3,000 m ² 以上 (被覆資材の更新除く) 【露地野菜洗浄施設の場合】 受益面積：概ね 1.5ha 以上 1 台あたり総事業費 50 万円以上
降灰地域花き安定対策	被覆施設(被覆資材の更新含む)	
降灰地域果樹安定対策		

・活動火山周辺地域防災営農対策事業

対象地域：県本土全域 25 市町（17 市 8 町）

事業実施主体：市町，農業協同組合，土地改良区または農業者の組織する団体

①原則，農家 3 戸以上が構成員に含まれる団体であり，特定の農家が全体の議決権の過半以上を占めることなく，事業活動を構成員全体で実施する団体。

②代表者の定めがあること

③組織及び運営に関する規約が定められていること

補助率

●被害激甚地域：事業経費の75%以内

●一般地域：事業経費の65%以内

●被覆資材の更新は50%以内(防災営農施設整備計画に位置付けられた市町村のみ)

※被害激甚地域：鹿児島市(旧鹿児島市，旧桜島町，旧吉田町)，霧島市(旧福山町)，鹿屋市(旧輝北町)，垂水市

※一般地域：被害激甚地域を除く県本土全域

【本事業に対する農業従事者の声】

降灰除去に係る労力が削減できた。

降灰付着により農作物が出荷できないことがなくなり安定出荷につながった。

降灰による農作物の品質低下がなくなり，安定生産・単収向上につながった。

組合員所得が平均10%向上した。

組合員相互の共同作業・情報交換により技術向上につながった。

初期投資が軽減でき，新規就農者の確保につながっている。

【茶農家の声】

確実な除灰ができ荒茶の返品がなくなった。

返品がなくなったことで経営安定につながった。

効率よく茶葉を洗浄できるようになったので規模拡大ができるようになった。

荒茶の品質が安定し，所得維持につながった。

【飼料作物事業者の声】

効率よく飼料作物の収穫調整作業ができるようになり，被害面積が減少した。

良質な飼料が確保できるようになった。

2-2-2 農林水産業における自治体の被害対策

農業，茶業，花き業においては，収穫までの期間が短いため火山灰の影響が出やすい。また，人間の食事や飲料として摂取するため，火山灰の混入が限りなくゼロになるように自治体も補助を出しているケースが多い。一般的には前述の活動火山特別措置法に基づき，農業ではビニールハウスを設置する場合はほとんどである。しかし，小規模な農家ではビニールハウスを設置する数千万の費用を捻出することが困難であるため，農業法人のような大規模な農家が活用するケースが多い。

畜産業では，牛を育てその飼料となる牧草も生産する農家が，本来の降灰に対する防災営農事業の対象となる。事業内容は，飼料作物収穫調整用等機械の導入であり，これにより降灰時にも迅速に刈り取りを行い，降灰の影響を小さくできる。飼料用米の生産は米政策であり，生産量も鹿児島県では多くないため本事業の主要な対象とならない。

茶業では鹿児島県は静岡県に継ぎ生産量が第2位であるため生産農家も多く，歴史も長いいため大規模な会社も多く，洗浄機器の機械の購入で補助を国50%，鹿児島県15%（鹿児島市は激甚地

区であるため 25%)、各市町村 15%の割合で行っている。果樹栽培に関しては、H24 年に桜島小ミカンやみかん農家にハウスを建てる事業として補助を行った。林業においては、火山灰の影響での補助を行ったことはなく、台風での被害に対して、倒木を撤去する費用の補助を H29 年に行ったことがある程度である。

水産業では、軽石除去に対する対策として、補助金を出している実績がある。鹿児島県内では鹿児島市漁協、東桜島漁協が県の補助金をもらい軽石除去の対策を行っている。打ち上げ軽石を回収、土嚢袋に入れて廃棄する費用に対して補助を行っている。(垂水市も同様に行っている) 事業規模としては、農業等の補助と比較しても非常に小さく、鹿児島市漁協 11.5 万円、東桜島漁協 16 万円である。このうち鹿児島県が負担するのは半額である。

3. 建物設備への影響

現代社会において産業を担うのは重厚長大型の工場だけではない。AI や IoT 等の技術革新が進む中で、データセンターの建物や電子部品・半導体の製造工場では高い空気清浄性が必要とされる。また火山の大規模噴火が発生したときには、病院や行政庁舎が災害対応に重要な施設となるが、室内の清浄性確保や非常用発電機の降灰対策を万全にする必要がある。ここでは、以上の観点から、大規模噴火災害時の降灰の影響を建物設備の空調機能にしばって調べることにする。

電力業界では、降下火山灰の原子力発電所や流通設備に対する影響を検討し(例えば土志田, 2010)、気象条件の影響を考慮した降下火山灰の輸送過程を最新のシミュレーションモデルで解析したところ、富士山宝永噴火相当条件に対して従来の想定よりはるかに大きい地面周辺での降灰濃度が算出された(服部ら, 2016)。また、宝永噴火規模の噴火が生じた場合、東京湾岸の LNG 火力発電所の吸気フィルターが従来の予想を超えて数時間程度で目詰まりし、発電できなくなる懸念が報じられた(東洋経済, 2017)。こうした動きは原子力発電にも波及し、2017 年には原子力規制委員会が「降下火砕物の影響評価に関する検討チーム」を組織し、発電所敷地における火山灰濃度評価や施設への影響評価を再検討することになった。検討チームは、対象となる火山灰参考濃度に対する非常用交流動力電源設備の機能維持を要求した。具体的対応として非常用発電装置の前に設置するフィルターの目詰まりが生じた場合に、迅速に交換を行える装置や体制が求められた。

こうした火山灰が建物の空気取り入れ口からの侵入することを防ぐフィルターの性能開発の研究もいくつか行われている。門ら(2014)は、フィルターに必要な要素として、性能に直結する火山灰の捕集効率、空調用電力消費に関連する圧力損失、維持経費に関連する寿命の三点を挙げ、数種類のフィルターに含水率の異なる火山灰の捕集効率について調べたところ、含水率とともに捕集効率が増加することなどを見いだした。久保ら(2018)は、2016 年 10 月の阿蘇中岳噴火において、病院等の建物屋上に設置された空調屋外機について、フィルターや機内のコンプレッサー・モーター等の部品に対する火山灰による障害状況を調査した。

大規模火山噴火災害時には、建物にとどまる避難を行う際にも建物の空調機能は重要な役割を持つ。火山灰を対象とした建設設備への影響については、現在文部科学省の次世代火山研究・人材育成総合プロジェクトの中の「課題 D 火山災害対策技術の開発ーサブテーマ 3」において、

都市部における降灰リスクの評価を実施中である。冷却塔に対する降灰影響評価実験、建設設備の損傷度評価手法の開発などが議論されている。

4. 電力への影響

大規模火山降灰がもたらす電力へ想定される影響について、中央防災会議広域降灰対策検討ワーキンググループ(2018)は、碍子の絶縁低下や送配電線の切断などの送配電網への影響、タービンの摩耗・吸気フィルターの機能低下・太陽光パネルへの堆積など発電所への影響、分電盤等の設備または電源ケーブルの影響を検討の対象に取り上げている。しかし、検討のほとんどは定性的なものである。本稿では定量的な検討が進んでいる碍子の汚染による絶縁低下の影響と、太陽光発電への出力低下の影響について、最近の研究をまとめた。

4-1 碍子の汚染による絶縁低下の影響

火山灰が送電機器の一つである碍子に付着し、雨洗効果が期待できないような小雨による湿潤が重なると、碍子からの漏れ電流が増大し、クランクカバーの焼損や零相電圧の異常上昇による遮断器作動等により事故停電が発生する。桜島では火山活動が活発であった 1984～1985 年に、最大で局所的に $6.7\text{kg}/\text{m}^2/\text{day}$ に達する降灰があり、停電事故をはじめとする多数の配電線路事故が多発した。最近では、阿蘇山の 2016 年噴火でも一時 27,000 戸の停電が発生した。川畑ら(1995)は、4 種類の供試碍子について、取り付け角度や汚損に用いる火山灰の種類を変えたときの漏れ電流の特性を検討した。実験の結果から、耐張碍子の取り付け角を上向きにした場合、碍子内側のひだ部分にたまった水が乾燥しにくくなるために漏れ電流が増加すること、漏れ電流の大きさは火山灰の比伝導度に比例すること、ただし比伝導度が $250\mu\text{S}/\text{cm}$ 以下であれば汚損状況によらず漏れ電流は増大しないこと、暴露耐張碍子ではその表面の凹凸により火山灰が付着しやすく漏れ電流の変動幅が大きくなること、中実ピン碍子では火山降灰があっても漏れ電流はほとんど増大しないこと、などを見いだしている。

4-2 太陽光発電への影響

鹿児島県は日照量に恵まれた地域であり、県内の太陽光発電量は再生可能エネルギー導入量の 84% を占め、10KW 以上の導入量では九州管内では福岡県に次いで 2 番目に多い。しかし、桜島や霧島連峰からの火山降灰による太陽電池モジュールの出力低下が日常的なレベルで問題となっている。そこで降灰環境下での発電量の定量的評価や降灰対策技術の研究が最近も活発に行われている。

川畑・平山のグループ(2016, 2017, 2018)は、太陽電池モジュールを用いた降灰模擬実験を実施し、単位面積あたりの降灰量が同じでも、火山灰の粒径が細くなると光入射量の低下率が増加し、出力の低下が大きくなること、モジュール水平設置の場合には粒径 100 ミクロン以下の火山灰に対して降灰量が $60\text{g}/\text{m}^2$ 程度で出力が半減すること、表面に防汚コートを施すと設置角度 $40\sim 60^\circ$ で効果が顕著となり、粒径が小さい粒子に対して火山灰堆積抑制効果が大きいことなどを見いだした。

宇野ら(2016, 2018)は、霧島市で実施した太陽電池モジュール屋外暴露試験データなどに基づき、降灰時の発電量低下率を評価し、定式化を行っている。その結果、火山灰堆積量と発電量低下率に明瞭な関係が見いだされ、降灰量が $4\text{g}/\text{m}^2$ 以下と少量な場合は降灰量と発電量低下率の関係を示す曲線の傾きは小さいが、 $6\text{g}/\text{m}^2\sim 60\text{g}/\text{m}^2$ では感度が高くなり、 $60\text{g}/\text{m}^2$ 以上となると降灰量による日射量の遮蔽効果が飽和状態となるため傾きは再び小さくなること結果を示した。

楠原ら(2018)や栢ら(2019)は、太陽電池パネル表面の降灰量を自動計測し、グローバル IoT ネットワークシステムを用いることにより、降灰情報を即時に伝達し、ロードスリーパーの出動や農作物場に付着する火山灰を散水機などで速やかに除去することに活用できるシステムの開発を行っている。

5. 上下水道への影響

5-1 上水道

火山灰の影響を検討する上で我々の生活に直結して影響が懸念されるのが、水質への影響である。大規模噴火やその他災害に対する備蓄食料は、多くが備蓄しやすいように小さく加工されたり、乾燥させることで運搬をやすく改良されている。それらを乾燥状態から食べやすくするために必要なのが水であり、一般的には1日に 3.0L の水の摂取が必要とされている。県民全員分の確保となると膨大な量の水が必要になる。そのため、鹿児島市水道局では大規模噴火を含むあらゆる災害に対して、発生から迅速に対応できるよう対策を講じている。

水道水として利用する上水は基本的に川から得るケースと、地下水から得るケースがある。川から取り込まれた水は、沈砂池で大きなごみや砂を取り除く、その後薬物を使い、濁りの原因を固めてろ過、消毒して上水として各配水池に送られる。現状、火山灰もこのような工程を経て除去されるため、通常の噴火では問題なく使用することが可能である。ただし、ろ過池に降灰があると完全に除去できないため、鹿児島市では覆蓋施設の整備を進めている。

鹿児島市では、大規模噴火を含む災害時に飲料水をスムーズに届けるため、水道施設や公共施設等を応急給水拠点として 92 か所設置している。多くは公立の小中学校であるため、災害時に徒歩で向かい給水することが可能である。大規模噴火で軽石や火山弾・火山礫が継続して降下することは考えづらいため、激しい噴火が収束した段階で給水施設から給水することで必要な水分は確保可能である。ただし、大規模噴火時に即座に給水施設に行くことが困難な場合も懸念されることから、常に自宅に災害時の備蓄をしておくことも重要である。

上水に関しては、ライフラインとしての重要性も十分考慮して、九州九都市災害時相互応援に関する協定(北九州市・福岡市・佐賀市・長崎市・熊本市・大分市・宮崎市・鹿児島市・那覇市)、中核市災害時相互応援に関する協定、鹿児島県及び県内市町村間の災害時相互応援協定、災害時における応急復旧に関する協定などの協定に基づき、被災地の支援体制を整えている。また、桜島が大規模噴火した際にも、大規模地震を伴うことがなければ通常の給水は可能であると想定される。ただし、大正噴火時には連続する地震が観測されていることから、古い給水管は徐々に破損が生じて、部分的に漏水が発生する可能性は有りうる。その際に、同時に交通網が遮断された場合、給水車の出動ができない可能性も有る。様々なケースに対応できるように対策は取ってい

るが、交通網の整備がその後の迅速な対応に繋がることも考え、鹿児島県、鹿児島市との連携を取る必要がある。



図-4 鹿児島市浄水場位置図

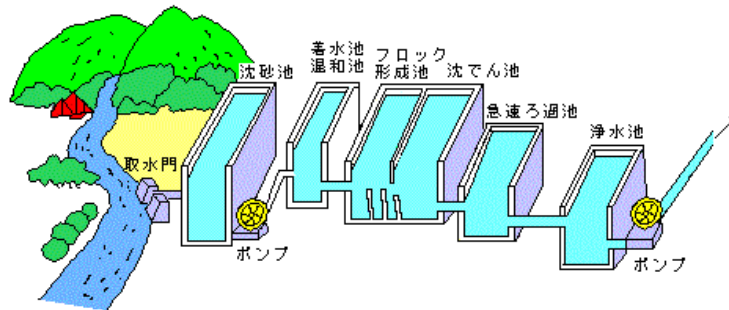


図-5 鹿児島市浄水施設

5-2 下水道

下水に関しては鹿児島県では分流方式を採用している。汚水（生活排水）と雨水を別の管で排除する方式であり、雨水は汚水管を通ることができない。そのため、大規模噴火時に側溝に火山灰が混入しても生活排水には大きな影響を与えることはない。一般的な汚水は沈砂池に流れることにより、砂やごみを取り除いた後、バクテリアの力で汚水を分解して、最終沈殿池で汚泥ときれいな水に分離され、塩素消毒後川や海へ放流される。側溝を通った雨水は、火山灰等が入り込んだ場合でも、通水能力を阻害しない限り、平常時のように直接川や海に放出される。鹿児島県においては、年1回程度のドカ灰程度であれば、想定した範囲で雨水排水を行えるようにしているが、大規模噴火時には側溝に大量の降下火砕物が流入し、閉塞する状況も考えられる。通常噴火により火山灰が道路表面を覆うような場合、ロードスイーパー車が出動し、表面の火山灰を除去することが可能であるが、大きな軽石や火山礫が道路表面に散乱しているような場合は、ロードスイーパー車が出動できないケースも想定される。このような場合、各家庭で降下火砕物を集積し、できる限り側溝に流入する降下火砕物を減らす努力が必要になる。また、ブルトーザ等の建設機械を使ってスピーディーに道路上の降下火砕物を除去し、交通網を整備した後に、ロードスイーパー車が出動し、復旧することは可能であると想定している。2013年8月の爆発的噴火の際にも鹿児島市の下水処理への影響は全くなかったと報告されている。

6. 港湾への影響

桜島の対岸に位置する鹿児島港の港湾区域は、南北約20kmにおよび、桜島への航路や種子島、屋久島、奄美等の離島航路が発着している。内航の乗客乗降人員数は2015年度時点で全国2位の港湾となっている。国土交通省九州地方整備局(2017)は、大正噴火級の噴火を想定した港湾事業継続計画(港湾BCP)について調査を行っている。試算結果では、大正噴火時の火砕物噴出量、噴煙柱高度などの諸元を与えたとき、北向き風のケースで、桜島北部海域を中心に1.8億トン、南向き風のケースで桜島の南西域の海域を中心に1.4億トンの降下軽石量の計算結果が報告された。

アメリカ地質調査所 (USGS)は、火山噴火の降下火砕物による船舶航行への影響として、視程の阻害、海面に浮遊する火山灰や軽石による冷却水の取り入れ口が目詰まりとそれに伴うエンジンのオーバーヒート、火山灰や破砕物による船体・機械部の摩耗などを挙げている。2008年のチリChaiten火山噴火では、海面を浮遊する軽石群が筏状になり、船舶機械部を水冷するための海水取り入れ口を閉塞させ、オーバーヒートを生じさせたとの報告もある。前出の国交省報告書では、わが国の船舶では冷却水吸入口と海水面の位置関係から、軽石群による閉塞の危険性は少ないとしている。むしろ大量の軽石による船舶航行の阻害を最も問題視し、避難誘導支援、支援物資輸送、広域後方支援を行うために、航路啓開をどのように行えばよいかを中心に考察している。軽石は、空隙部への海水の浸透が進めば、数か月から数年かけて沈降し海底に堆積する。降下火砕物の埋没は航路水深の確保に影響を与える。さらには、マグマの滞留、噴火による放出によって海陸を問わず隆起・沈降が生じるので、火山周辺では防波堤高や水深が変化し船舶が接岸できない可能性も考えられる。

7. 空港への影響

火山礫・火山灰は、航空機の航行にエンジン障害、機体損傷、機体内部の電子機器軒脳障害などを引き起こす。滑走路への降下火砕物の堆積も大きな障害要因となる。2010年4月のアイスランドの火山噴火では、西ヨーロッパ全土に拡散した火山灰により、ヨーロッパ約30カ国の空港が一時閉鎖し、航空機10万便が欠航し、航空業界の損失は1,900～3,100億円に達したとされる。

2018年の台風21号で関西空港が空港連絡橋の損壊により孤立状態に陥ったこと、胆振東部地震で北海道全土の停電の中で新千歳空港も機能停止したことを受けて、国土交通省航空局(2019)は、「全国主要空港における大規模自然災害対策に関する検討委員会」を設置し、空港の統括的災害マネジメントを検討した。そこでは、空港の本来の機能に加え、災害時に空港利用者が一定期間、安全・安心に滞在できる物資の備蓄受け入れ体制の構築が必要とし、空港の都市機能に基づいた事業継続計画「A2(Advanced/Airport)-BCP」を各空港において策定すべきとしている。

鹿児島空港におけるA2-BCPは、想定する自然災害として南海トラフの巨大地震等とともに、桜島および霧島山の噴火による火山災害を想定していることが特色である。想定される被害状況は、滑走路・誘導路・エプロン等の空港基本施設、無線施設等に最大40cmの降灰が堆積、降灰により高速道・一般道の通行止めの発生、旅客・送迎者・空港従業員および周辺住民など空港内で夜間を過ごす滞留者が5000人発生、などとしている。

鹿児島空港は、桜島の北25km、霧島山新燃岳の南西20kmに位置するが、噴火時に欠航事例がいくつか発生している。最近では、2015年8月18日桜島の活動がレベル4に達したときは、火口から半径6.5kmの外側に迂回指示を出した。また、2018年3月の新燃岳噴火では78便が欠航した。鹿児島空港事務所では、火山爆発時には、噴煙柱高さの情報と風向きなどの気象情報を福岡地方気象台から入手しており、同時に、気象庁から発行される航空機の運航に関わる悪天情報SIGMET (significant meteorological information)を常時モニターしている。SIGMETが対象とする悪天現象としては、火山噴火とともに雷雲、熱帯低気圧(台風)、並を超える強さの乱気流および着氷を加えた5つであり、英文で通知される。施設管理者として、滑走路、誘導路、エプロンなどの施設に対して、降灰した火山灰の除去などの対策を実施している。滑走路はプロ

アー、エプロンなどはスィーパーで対応し、除灰に水は使用しない。鹿児島空港の運用は降灰量の厚さに対して対応を規定している。それぞれの降灰厚さに対して除灰などの具体的な対応や航空機の運用を定めている。一方、航空各社は独立に火山噴火の際の運航規定を持っており、火山灰濃度のモニターも行っていると見られる。大気中火山灰濃度の高い航路を通過したときのジェットエンジンの点検は、航空各社やエンジンメーカーが基準を持っている。

8 まとめ

本ワーキンググループの活動は、現時点ではほぼ1年の調査を行った段階であり、その対象として、農・畜・林・水産業及び茶業の第1次産業と、電力・上下水道・港湾・空港のインフラストラクチャーに建物設備を加えた2つの分野について議論した。火山噴火の規模としては、最終的には甚大な被害を及ぼす大正噴火級のVEI4以上を想定し、それに対する防災対策や復旧・復興策を議論すべきであるが、現状では年1回程度の「ドカ灰」の被害に対する考察にとどまっている。しかし、人口60万都市の鹿児島市と周辺地域は、現在、直接的な降灰被害を受けているわが国唯一の大きな人口を持つ地域と考えられ、噴火規模を大きくすることで大規模噴火時の災害推定が可能であり、不十分とはいえ一つの段階の研究成果を提示したと考えている。

桜島大正噴火では、桜島島民ならびに降灰により甚大な被害を被った現・垂水市等の大隅住民の中で、鹿児島県が指定した種子島等の指定移住地に移住した者6245人、移住希望者が任意に移住先を決める任意移住者を含めれば、移住者は総計約2万人になったとされる（桜島大正噴火100周年記念誌,2014）。この大災害に対して国ならびに県は、災害地復興・復旧に非常に努力したようで、天地返し・降灰除去・石灰散布などに対する多額の耕地復旧工事費が国庫補助された。大正噴火から1ヶ月後には島民に帰還命令が発令され、徐々に帰還が始まったが、それでも帰還前の元人口（21,267人）に対して帰還できたのは9,188人で約43%に過ぎなかった。

現在の農業は、農業法人等の形で大規模化し、野菜・果樹等の栽培も降灰を遮る建物やハウス内で行うことが多い。自然災害の被害を受けた場合の融資として日本政策金融公庫「農林漁業セーフティネット資金」、JA「農業災害対策資金」などの体制がある。また高額な農業機械の損害は保険でカバーできるような仕組みが整っている。以上のように、仮に現在、大正噴火級の噴火が発生した場合には、大正時代とは被災の規模や復興・復旧の状況が異なるのかも知れない。しかし、農業をはじめ第1次産業は、大地に根ざした産業であるため困難も予想され、大規模噴火が起こった場合の営農の継続性が確保されるのかは今後の検討課題である。

本調査を行うにあたり、門久義 鹿児島大学名誉教授、川畑秋馬 同 理工学研究科教授、楠原良人 地域環境エネルギー研究所代表理事、松江昭彦 (株)ユニパック代表取締役から、それぞれの専門分野から貴重なご助言を頂きました。また、国土交通省九州地方整備局鹿児島港湾・空港整備事務所、鹿児島空港事務所、鹿児島県、鹿児島市、垂水市、日置市、志布志市の関係部局の方々から、資料提供やヒアリング調査実施にご協力を頂きました。さらに農・畜産・製茶業・水産業・林業に実際に従事されているの方々からもご協力を頂きました。ここに謝意を表する次第です。

【参考文献】

- 浅野敏之:火山噴火災害時における港湾の対応課題について,日本自然災害学会学術講演会講演概要集,2018.
- Biass S., Todde A., Cioni R., Pistolesi M., Geshi N. and Bonadonna C. (2017), Potential impacts of tephra fallout from a large-scale explosive eruption at Sakurajima volcano, Japan, Bull Volcanol., DOI 10.1007/s00445-017-1153-5, 2017.
- 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,www.bousai.go.jp/kazan/kouikikouhaiworking/index.html, 2018.
- 原子力規制庁:発電用原子力施設に対する降下火砕物の影響評価に関する検討結果及び今後の予定について,平成 29 年 7 月 19 日,2017.
- Gordon KD, Cole JW, Rosenberg MD, Johnston DM (2005) Effects of volcanic ash on computers and electronic equipment. Nat Hazards 34:231–262,2005.
- 平山斉・齋木翔大・川畑秋馬・平井明仁・吉村幸雄・山本千津子・増田淳:火山降灰が太陽電池モジュールの出力特性に及ぼす影響,AIST 太陽光発電研究成果報告会,p.86, 2017.
- 平山斉・川畑秋馬・吉村幸雄・佐藤梨都子・千葉恭男・増田淳:降灰地域における太陽電池モジュールの発電データ解析,AIST 太陽光発電研究成果報告会,p.89,2018.
- 栢健一,永田亮一,楠原良人ら:“LPWA(Sigfox)機能を付加した火山灰計測システムの開発”,令和元年度(第72回)電気・情報関係学会九州支部連合大会,06-1P-10,2019.9.
- 服部康男・須藤仁・土志田潔・平口博丸:数値シミュレーションによる降下火山灰の輸送・堆積特性評価法の開発(その2)ー気象条件の選定法およびその関東地方での堆積量・気中濃度に対する影響評価,電力中央研究所,研究報告 O15004,p.32, 2016.
- 門久義・大高武士・松江昭彦・藤原孝行:桜島火山灰に対するエアークリナー性能試験(第1報)ータイプの異なる粗塵用フィルターの捕集効率ー,空気調和・衛生工学会学術講演論文集,第7巻,pp.81-84, 2014.
- 鹿児島県農政部:鹿児島の農業,www.pref.kagoshima.jp/ag01/sangyo-rodonoogyo/gaiyodocuments/38640_20190421150917-1.pdf,45p.,2019.
- 鹿児島空港における A2-BCP 協議会:鹿児島空港における A2-BCP(概要版),
http://ocab.mlit.go.jp/top/20191227_PressRelease.pdf,2019.12.,2019.
- 鹿児島市水道局:水道のしくみ,<http://www.city.kagoshima.lg.jp/suidou/index.html>,2019.
- 鹿児島県農政部農政課地域農業振興係:活動火山周辺地域防災営農対策事業について
- 鹿子木聡・長ヶ原智・徳田明彦:茶葉の降灰除去のための新規技術の評価,茶業研究報告,119巻,pp.33-38, 2015.
- 川畑秋馬・入佐俊幸・上妻生朗:火山灰汚染がいしの漏れ電流特性,電気工学論文集,B, 115 巻 8号,pp.956-963, 1995.
- 川畑秋馬・平山斉・田島拓弥・平井明仁・吉村幸雄・増田淳:火山降灰が太陽電池モジュールの発電量に及ぼす影響,AIST 太陽光発電研究成果報告会,p.79, 2016.
- 久保智弘・宮城洋介・宮村正光他:火山灰が及ぼす建設設備などへの影響について,建築防災,Vol.12, pp.45-52, 2018.

- 熊谷良雄:火山灰災害の影響評価及びリスクマネジメント研究の研究,平成 12 年度運輸施設整備事業団「運輸分野における基礎的研究推進制度」受託研究報告書,2002.
- 黒江英雄・折田安行・原田満弘・恒吉利彦:桜島降灰が飼料作物に及ぼす影響,日本草地学会九州支部報告,第 9 卷,第 2 号,pp23-24.
- 楠原良人・栢健一・永田亮一ら:検出装置およびシステム,2018 年 2 月 8 日取得,特開 2018-21855.国土交通省航空局:災害多発時代に備えよー空港における「統括的災害マネジメント」への転換ー,<http://www.mlit.go.jp/common/001284906.pdf>,<http://www.mlit.go.jp/koku/content/001316625.pdf>, 2019.
- 国土交通省九州地方整備局・鹿児島港湾空港整備事務所・日本港湾協会:平成 27 年度九州地域の沿岸部における活火山災害発生時に関する基礎的検討調査報告書,189p, 2016.
- 国土交通省九州地方整備局・鹿児島港湾空港整備事務所・日本港湾協会:平成 28 年度事務所管内活火山災害発生時に関する基礎的検討調査報告書,163p, 2017.
- Magill C, Wilson T, Okada T: Observations of tephra fall impacts from the 2011 Shinmoedake eruption, Japan. Earth Planets Space 65:677–698. <https://doi.org/10.5047/eps.2013.05.010>,2013.
- 文部科学省「次世代火山研究・人材育成総合プロジェクト」, 2018 年度プロジェクト成果報告書, 課題 D 火山災害対策技術の開発, <https://www.kazan-pj.jp/research/d#d-2>, 2019.
- 桜島大正噴火 100 周年事業実行委員会:桜島大正噴火 100 周年記念誌,164p.,2014.
- 関谷直也・廣井脩:富士山火山の社会的影響:火山灰被害の影響についての企業・行政調査,一富士山噴火対策研究:噴火による社会経済的影響に関する調査研究,東京大学社会情報研究所報告,第 20 号,p.1-151, 2003.
- 賞雅 哲・梶山 浩・千葉昭弘:桜島火山の降灰対策に関する研究,一搾乳牛における降灰付着飼料の給与試験ー,西日本畜産学会報,24 号,pp.33-35.,1981.
- 総理府統計局:社会・人口統計体系,統計でみる都道府県のすがた 2019,<https://www.stat.go.jp/data/ssds/>,2019.
- 東洋経済:電力の大問題ー盲点の火山灰リスク,10 月 21 日号,pp.78-81, 2017.
- 土志田潔:降下火山灰の体系的リスク評価に向けて,一留意点と課題ー,電力中央研究所報告,調査報告 N09031,p.25, 2010.
- 内閣府・富士山火山防災協議会:富士山ハザードマップ検討委員会報告書,240p., 2004.
- United States Geological Survey:https://volcanoes.usgs.gov/volcanic_ash/transportation.html, 2018 年 7 月 15 日
- 内閣府:広域的な火山防災対策に係る検討会,第 4 回会議資料,資料 3,2012.
- 宇野史睦・新堀敏基・橋本明弘:鹿児島県霧島市における太陽電池モジュール上への降灰が発電量に与える影響,AIST 太陽光発電研究成果報告会,p.80, 2016.
- 宇野史睦・新堀敏基・橋本明弘:桜島の降灰による発電量低下率評価のための野外実験,AIST 太陽光発電研究成果報告会,p.90, 2018.
- Wardman J, Wilson T, Bodger P, et al Investigating the electrical conductivity of volcanic ash and its effect on HV power systems.Phys Chem Earth, Parts A/B/C 45–46:128–145,2012.

- 渡辺正人:火山の噴火が航空輸送に及ぼすリスク,東京海上日動リスクコンサルティング,TRC EYE, Vol.281, pp.1-12, 2011.8
- Wilson G,Wilson T, Cole J, Oze C Vulnerability of laptop computers to volcanic ash and gas. Nat Hazards 63:711–736. <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0176-7>,2012.
- Wilson et. al.: Volcanic ash impacts on critical infrastructure, Physics and Chemistry of the Earth, 45-46, pp.5-23, 2012.
- 安田成夫・梶谷義雄・多々納裕・小野寺三朗:アイスランドにおける火山噴火と航空関連の大混乱, 京都大学防災研究所年報,第 54 号 A, pp.59-65, 2011.
- Zorn E, Walter TR (2016) Influence of volcanic tephra on photovoltaic (PV)-modules: an experimental study with application to the 2010 Eyjafjallajökull eruption, Iceland. J Appl Volcanol 5:2. <https://doi.org/10.1186/s13617-015-0041-y>

プロジェクト報告

Xバンド船舶レーダを用いた火山噴火の機動的観測

真木雅之¹・西隆昭²・小堀壮彦³・徳島秀彦⁴・海賀和彦⁵・遠藤寛治⁵

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 鹿児島大学工学部、
⁴ FRS コーポレーション、⁵ 株式会社光電製作所

1. はじめに

鹿児島大学地震火山地域防災センターでは、大規模火山噴火時の火山灰や噴石などの降下火砕物のモニタリング技術の開発を進めている。2017年には機動的観測が可能なKuバンド高速スキャンドップラーレーダ(KuRAD)を導入した(Maki et al, 2019a)。桜島での試験運用後、2018年からKuRADは霧島新燃岳の噴煙観測のために宮崎県高原町に設置されている。2020年度には桜島噴火に伴う降灰モニタリングの定常的な運用を開始するために、KuRADを鹿児島大学下荒田キャンパスに移設する予定である。このため、KuRAD導入時に計画していた離島などの火山噴火への機動的な噴煙観測はおこなわないことになる。

KuRADの代わりとなる新たな機動的観測技術として、船舶レーダを利用することを2018年から検討してきた。船舶レーダは安価で、堅牢性と機動性に優れている。また、KuRADと同等かそれ以上の高速スキャンが可能で、変化の激しい火山噴火に伴う噴煙柱の観測に利用できることがわかってきた。Maki et al. (2019b)は、京都大学防災研究所との共同研究において、2018年4月～5月の55日間、船舶レーダによる桜島南岳噴火の観測をおこなった。その結果、計57の噴火事例(うち爆発的噴火は49事例)のデータを取得し、噴煙柱の発達過程を捉えることに成功した。また、噴火に伴って放出される噴石の検出にも40事例で成功した。これらの結果は、船舶レーダによる機動的な噴煙観測の可能性を確信させるものであった。

上述の結果をもとに、火山地震地域防災センターは、戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)の課題「国家レジリエンス(防災・減災)の強化」課題名:「衛星データ等即時共有システムと被災状況解析・予測技術の開発」に参加し、その中で船舶レーダによる機動的噴煙モニタリング技術の実用化に向けた取り組みを開始した。実用化に向けてクリアしなければならない問題点として、①ANT3D(Maki et al., 2020)で解析するためのデータフォーマット変換、②定量的な降灰量の推定アルゴリズムの開発、③噴火自動検出アルゴリズムの開発、④噴石の検知アルゴリズムの開発などが挙げられる。本報告ではこれらの問題点についての現在までの検討結果について述べる。

2. 船舶レーダの概要

2.1 マグネトロンレーダ

試験に使用した船舶レーダは発信機にマグネトロンを使用するタイプのレーダ(以降、マグネトロンレーダと呼ぶ)と固体化素子の発信機を使用するタイプ(固体化素子レーダと呼ぶ)の二種類である。マグネトロンタイプの船舶レーダの外観と主な仕様をそれぞれ表1と図1に示す。図1は、FRSコーポレーションが2018年に桜島京大防災研黒神観測所に設置したレーダの外観で、6本の足で支えられたレーダ

支柱にレーダ本体が 90° 傾けて取り付けられている。写真のように、スロットアンテナを縦回転することにより噴煙柱の鉛直構造を調べることができる。レーダは X バンド（波長が約 3cm）で、アンテナスキャン速度は 48rpm、アンテナの長さは 197cm、ビーム幅は 1.2°（水平）、22°（垂直）である。パルス幅は可変で、それに応じて距離分解能が 12 m から 180 m を選択できる。出力画像は最も細かい分解能で 1280x1280 ピクセルの bmp 形式である。



図 1 マグネトロン船舶レーダの外観（FRS コーポレーション所有。遠方に見えるのは桜島南岳と噴煙）

表 1 マグネトロン船舶レーダの主な仕様

アンテナ	
回転数	48rpm
長さ	197 cm
ビーム幅	1.2°（水平）、22°（垂直）
送信機	
出力	25kW
パルス幅	0.08, 0.2, 0.3, 0.6, 1.2 μ s
PRF	5, 15 MHz
距離分解能	12, 30, 45, 90, 180 m
モニター	
サイズ	19 インチカラーLCD
解像度	1280×1024 ピクセル
距離精度	8m

2. 2 固体化素子レーダ

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。本プロジェクトでは、株式会社光電製作所から 2 式の固体化素子レーダの貸出しを受け、火山噴火のモニタリングに利用するための研究を開始した。図 2 と表 2 にレーダの外観と主な仕様を示す。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。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を用いる。

当センターでは、2 年後の固体化素子レーダによる機動的な噴火モニタリングを目指しており、今年度はそのためのレーダの基本的な性能評価を開始した。レーダの常置場所は鹿児島大学下荒田キャンパスであるが、後述するように、鹿児島大学水産学部の教育船「南星丸」へ臨時に設置して、大きな疑似噴石の検出実験をおこなったり、宮崎県高原町のレーダサイトへ移設して、KuRAD と降雨の比較観測

をおこなった。次年度は、より機動性を高めた検証実験のために、車に搭載したレーダによる陸域での機動的降灰観測や小型船舶に搭載したレーダによる海域での機動的降灰観測を実施する予定である。



表 2 固体化素子レーダの外観。左：RHI 観測用，右：PPI 観測用

表 2 固体化素子レーダの主な仕様

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 ± 50 % / 400 W ± 50 %	
送信周波数	9380~9420 MHz	P0N : 9390 ± 10 [MHz] Q0N : 9410 ± 10 [MHz]
周波数安定度	± 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 °C	空中線部のみ
防水	IPX6	空中線部のみ

3. 機動観測に向けた検討

3. 1 データフォーマット変換

マグネトロンレーダの場合、出力データは0-255の階調数値で画像データ（デフォルトはbmp形式）として収録される。本研究ではビットマップ画像を直接読み込み処理した。なお、画像の階調数値から受信電力への換算式は $P_r(\text{dBm}) = 100 + 0.352N + 20\log_{10} R$ である（北大藤吉名誉教授の私信より）。ここで、 P_r は受信電力、 N は画像から抽出した階調数値、 R はレンジ（km）である。

固体化素子レーダの場合、反射強度（dBm）とドップラー速度（ m s^{-1} ）はレーダ製作会社の設計に従って.ksdフォーマットで収録されている。本研究では、船舶レーダデータを当センターが開発した三次元レーダデータ解析ツール（ANT3D）で扱うためにNetCDF形式に変換するプログラムを作成した。オリジナルデータは1つのファイルに200MBのPPIスキャンデータが収録されるようになっており、ファイル毎に収録開始方位角が変動する。本フォーマット変換プログラムでは、北を収録開始仰角とし、1つのPPIスキャンを1ファイルとして保存するようにした。

3. 2 定量的降灰量推定アルゴリズム

ファンビームを利用する船舶レーダの場合、ペンシルビームを使う通常の気象レーダと異なり、レーダサンプリングボリュームは方位角方向に狭く仰角方向に広がったものとなる。このため、観測される反射強度は鉛直方向に積算された値となる。その際、鉛直積算高度はレーダから遠くなるに従って高くなる。また、ファンビームが地形エコーや海水面からのエコーを捉えると降灰エコーと区別がつかなくなることも考えられる。精度良い定量的降灰量推定には様々なフィルター処理が必要であろう。今年度は、降水を対象に、一時例ではあるが、KuRADとの比較観測や地上の雨滴粒径分布の観測データを取得した。

3. 3 噴火自動検出アルゴリズムの実用化

2018年の4月～5月にマグネトロンレーダを用いた噴煙柱の観測を桜島で実施した。このときのRHI観測により得られた画像データから火山噴火の発生時刻、噴煙高度、検出したエコーの特徴を表すエコーインデックスを求めるアルゴリズムを作成した。このアルゴリズムは特許申請中である。作成したプログラムは次のルーチンから構成される。

1) 画像データの入力

マグネトロンレーダで観測された噴煙柱の画像階調データを入力とする。固体化素子レーダの場合には受信電力値が入力値になるが、プログラムは容易に変更できる。

2) ノイズ処理

まず、点状のノイズエコーの除去を二種類のフィルター（閾値法とメジアンフィルター）により除去する（図3）。次いで、2種類のマスキング（地形マスクと地形エコーマスク）をおこなう（図4）。地形マスクは、国土地理院の数値標高データからレーダ観測範囲内の最大標高を基に作成される。地形エコーマスクは、平穏時に観測されたレーダ画像の時間積算からある閾値以上の画素を取り出して作成する。図5にメジアンフィルター処理した後の画像に、地形マスクと地形エコーマスク処理を施した結果を示す。

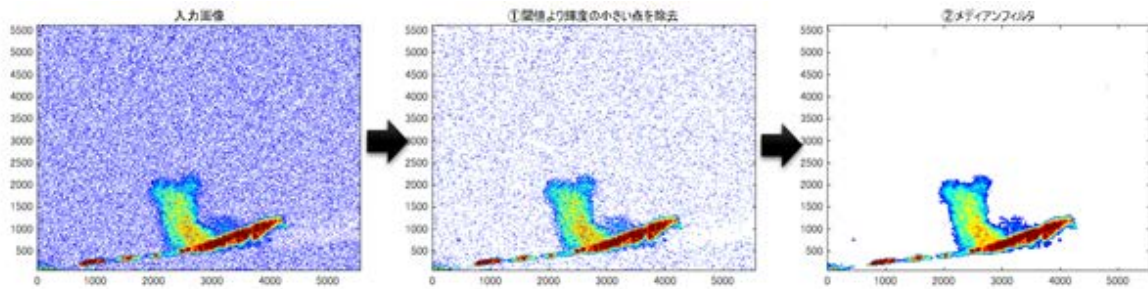


図3 左：入力画像，中央：閾値法による点状エコーの除去，右：メジアンフィルタによる微細ノイズの除去

メジアンフィルタや地形マスク・地形エコーマスクで除去できなかった粒子状のノイズは、図6に示したように、オープニング処理（収縮→膨張）により除去する。次いで、クロージング処理（膨張→収縮）によりエコー内の気泡上のノイズを除去する。いずれのフィルタも画像処理で良く使われているフィルタである。図6右図が様々なフィルタ処理を施した最終段階の画像である。この処理された画像は、次に述べる噴火の発生時刻の検知や噴煙高度などの噴火パラメータの推定に用いられる。

3) 噴火の検知アルゴリズム

火口直上あるいは噴火の可能性がある場所に「噴火検出エリア」を設定し、このエリア内に、ある階調値（受信電力に相当）以上のエコーが占める面積割合を計算して噴火の発生を判定する（図7）。

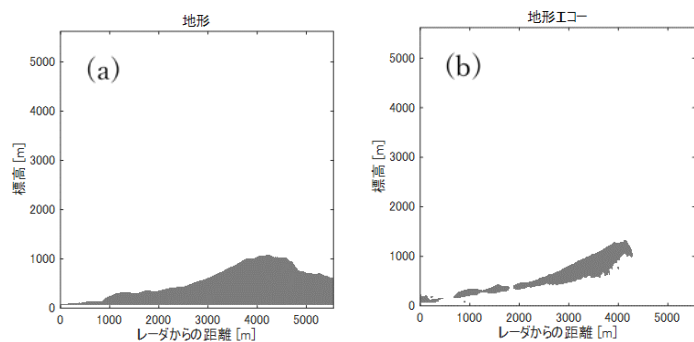


図4 (a)地形マスク，(b)地形エコーマスク

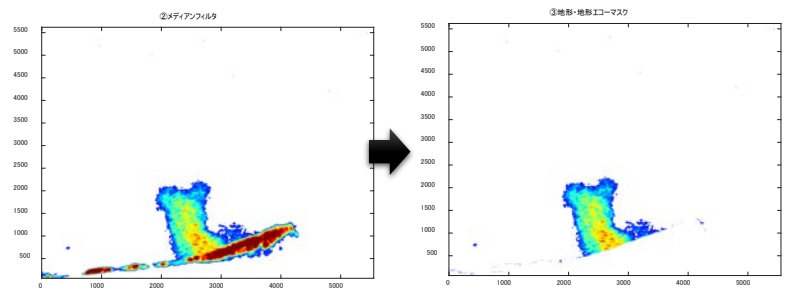


図5 左図：メジアンフィルタ後の画像，右図：地形マスク・地形エコーマスク後の画像

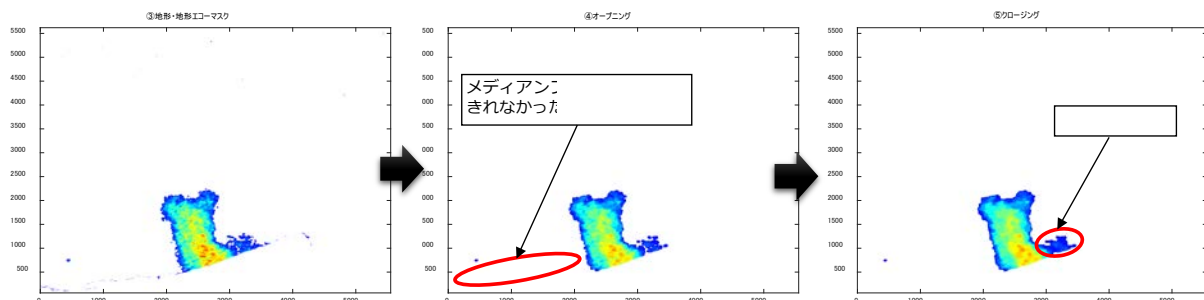


図6 オープニングとクロージングフィルタによる処理結果. 左：地形マスク・地形エコーマスクの結果（図5参照），中央：オープニングフィルタの結果，右図：クロージングフィルタの結果

また、噴煙が観測されない場所に「降水検出エリア」を設定し、このエリア内に、ある階調値以上のエコーが占める面積割合を計算して降水の有無を判定する。

4) エコーインデックスの作成

噴火のエコーインデックス (INDEX_E) と降水のエコーインデックス (INDEX_R) の二通りのインデックスを定義する。INDEX_E は噴火検出エリアのエコーの有無と強弱により、0-2 の数値が割り当てられる。同様に、INDEX_R も降水検出エリア内のエコーの有無と強弱により 0-2 の数値を割り当てる。これにより、合計 9 通りの噴火状況を表現できる (表 3)

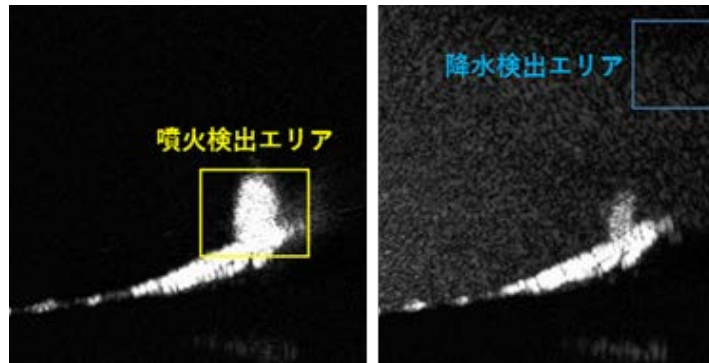


図 7 噴火検出エリアと降水検出エリアの例

表 3 噴火エコーインデックスと降水エコーインデックスによる 9 通りの噴火状況の定義

Case	噴火の分類	噴火エコーインデックス INDEX_E	降水エコーインデックス INDEX_R	噴火の記述
1	噴火無し	0	0	噴火無し, 降水無し
2		0	1	噴火無し, 弱い降水
3		0	2	噴火無し, 強いあり
4	弱い噴火	1	0	弱い噴火, 降水無し
5		1	1	弱い噴火, 弱い降水
6		1	2	弱い噴火, 強い降水
7	強い噴火	2	0	強い噴火, 降水無し
8		2	1	強い噴火, 弱い降水
9		2	2	強い噴火, 強い降水

噴火エコーおよび降水エコーの強弱は次の方法で決定する。抽出エリアの面積をそれぞれ $S_{1,2,X}$ とするここで添字「 X 」は噴火か降水を識別する変数 ($X=E$ は噴火、 $X=R$ は降水、添字「0」、「1」、「2」は対象とする現象が無し、弱い、強いを表す (図 8))。エコーの強さは階調値 (D_X) の閾値で判断する。弱いエコー、強いエコーは、それぞれの閾値を $D_{1,X}$ (デフォルト値 40)、 $D_{2,X}$ (デフォルト値 150) とし、その面積が検出エリアに占める割合で判断する (表 4)。

図 9 に得られる噴火エコーインデックスを模式的に示す。降水エコーインデックスについても同様である。

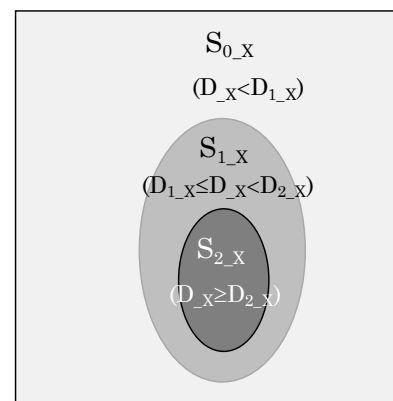


図 8 検出エリアとエコー面積

表 4 噴火と降水の強さとエコーインデックスの定義

Index	Value	Condition
$I_{1,X}$	= 0	$S_{1,X}/S_X < V_{1,X}$
	= 1	$S_{1,X}/S_X \geq V_{1,X}$
$I_{2,X}$	= 0	$S_{2,X}/S_X < V_{2,X}$
	= 2	$S_{2,X}/S_X \geq V_{2,X}$
I_X	= $\max(I_{1,X}, I_{2,X})$	

5) 噴火パラメータ

噴煙高度、噴煙上昇速度、噴火継続時間、総降灰量、噴出率などの噴火パラメータは図 10 の流れ図に従って推定される。マグネトロンレーダによる観測を想定して説明する。まず、入力データとして画像情報が与えられる。本報告書の 3.3 の 2) ノイズ処理で述べたように、入力画像からノイズや地形エコーなどを除去する。次いで、噴煙の境界を検出しやすくするために画像の二値化をおこなう。一定面積以上の連結成分を抽出し、その最も高い高度を噴煙高度の速報値とする。上記の処理は 1.25 秒毎（アンテナスキャン速度が 48rpm の場合）におこなわれ、噴煙エコーが無くなるまで繰り返される。噴煙高度の測定値には細かな時間変動が含まれるので、速報値の時系列データを移動平均することにより噴煙高度の確定値が求められる。求められた噴煙高度の時間変化から噴煙の上昇速度が求められる。噴煙高度と噴煙の上昇速度の時系列の例を図 11 に示す。

3.4 噴石の検知

船舶レーダによる噴石の観測は 2018 年におこなった。その結果の一部は Maki et al. (2019b) に触れられている。結論から言えば、船舶レーダによる噴石の検出は常にではないが可能である。そして検出情報（噴石の位置、噴石からの受信電力など）をどのような目的に利用するのかを明確にしておく必要がある。例えば、防災の観点からは、どの位の大きさの噴石が放出され、いつどこに到達するか（噴石の軌跡）を瞬時に予測し、警報と

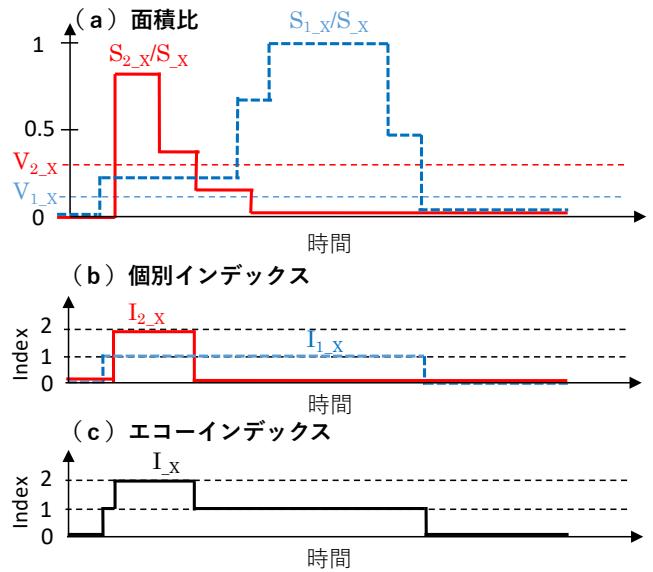


図 9 エコーインデックス時系列の概念図. (a)エコー検出エリア内に占める対象エコーの面積比, (b)強いエコーと弱いエコーの個別インデックス, (c)最終的に求められた対象エコーインデックス

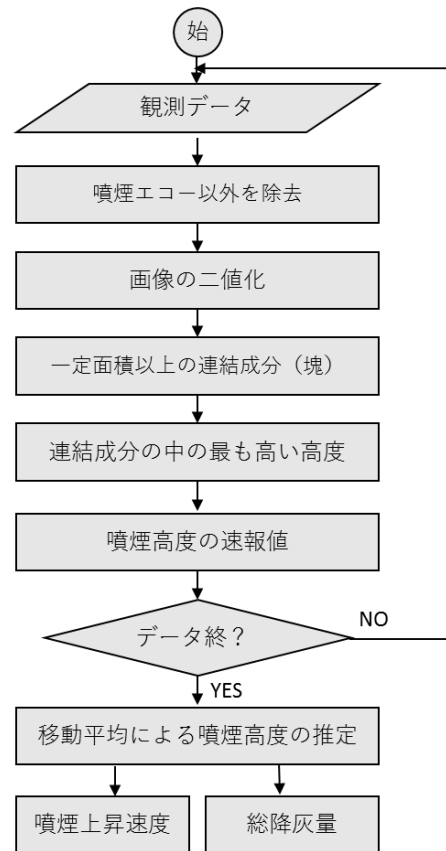


図 10 噴火パラメータの推定手順

して出すことが求められる。一方、火山学の観点からは、噴火の規模や噴火の形式を調べるために、噴石の初速度や噴石がどこから放出されたかなどの情報が求められる。いずれの場合にも問題となるのは、噴石が噴煙柱の中にある場合には検出が困難である点である。噴石の位置の同定は噴石が噴煙柱内から出た後の 2~3 シーン(時間で 2 秒~4 秒程度) である。この情報から、放物線を仮定して噴石の軌跡を求められると考えるのは現実的ではない。噴石の位置情報が接近しすぎているためである。噴石の軌跡を精度良く推定するためには、噴石に関するもっともらしい物理特性(密度や形状)や、一般風の情報、噴出角度などの情報を入力として理論計算をおこない、観測データと最も良く合うように噴石の大きさや軌跡を推定しなければならない。本研究では、実際の噴火の観測に先立って、大きさ・形状・密度と放出源が既知の疑似噴石を用いて 観測結果と理論計算結果に整合性がみいだせるかどうかを実験した。実験は、セスナ機からの小さな疑似噴石の落下実験と打ち上げ花火を大きな疑似噴石と見なした実験の二通りである。

3. 4. 1 小さな疑似噴石の検出実験

セスナ機から火山礫相当の大きさの粒子を投下し、地上に設置した船舶レーダで検出できるかどうかを検証した。使用した船舶レーダは FRS 所有のマグネトロン船舶レーダである(本報 2.1 参照)。投下した疑似噴石は安全面、環境面を考慮して、水、直径 3cm 程度の玉こんにやくと湿った麩を用いた。投下はチャーターしたセスナ式 172P 型の小型飛行機の窓から人手により行った。航空機の飛行高度は海拔高度 1000m、飛行速度は 185km/h である(図 12)。投下は、投下物質が船舶レーダの観測範囲に落下するようにタイミングを見計らって 2 回ずつおこなった。1 回あたりの投下量は 5 リットルのポリバケツ約 1 杯分である。

3 種類の投下物のうち、水についてのみ検出できなかった。これは、投下直後に霧状の水になり反射強度がレーダの検知能力以下の値になったためと考えられる。玉こんにやくと湿った麩は船舶レーダにより検出することができた。湿った麩の検出結果を図 13 に示す。船舶レーダは投下直後から落下するまで

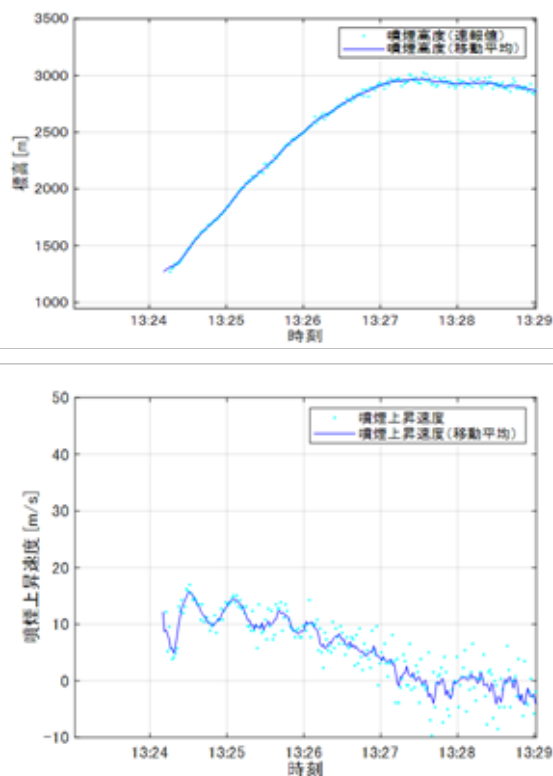


図 11 求められた噴煙高度(上図)と噴煙の上昇速度(下図)。

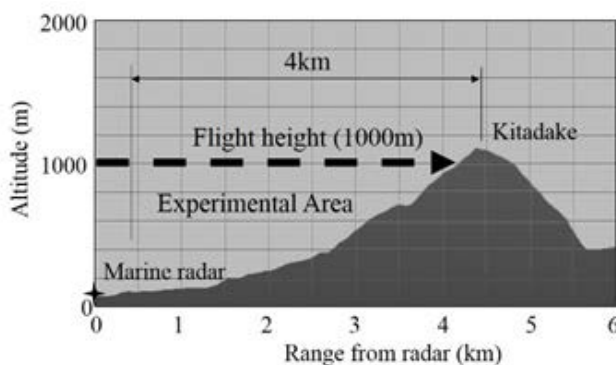


図 12 セスナ機の飛行経路と桜島北岳の鉛直断面

麩を検出できている。麩は落下中、鉛直方向に延びるように落下している。これは、粒子の集団効果により先頭部分の落下速度が速くなるため、および、落下中に空気抵抗を受けて麩が細分化され落下速度の遅い粒子ができたためと考えられる。玉こんにやくについても集団効果が認められた。画像データは 1.25 秒間隔、鉛直方向 4.34m の分解能を持っており、十分な精度で粒子の落下速度を計算することができた。本実験の結果は、高速スキャンが可能な船舶レーダが火山噴火時に放出される火山礫相当の大きさの噴石を検出できることを国内外で初めて示すものであった。

3. 4. 2 大きな疑似噴石の検出実験

打ち上げ花火では直径 30cm~60cm の玉が打ち上げられる。打ち上げ花火の玉を疑似噴石と見なして、船舶レーダで検出できるかどうかの実験をおこなった。対象とした花火大会は鹿児島市が主催する第 24 回錦江湾花火大会(2019 年 8 月 24 日の 19:30~20:00)である。用いたレーダはマグネトロンレーダ(京大防災研桜島火山観測センターに設置)と 400W 固体化素子レーダ(鹿児島大学南星丸に設置)である。

図 14 に南星丸に設置した固体化素子レーダの観測から得られたレーダ画像の例を示す。画像はノイ

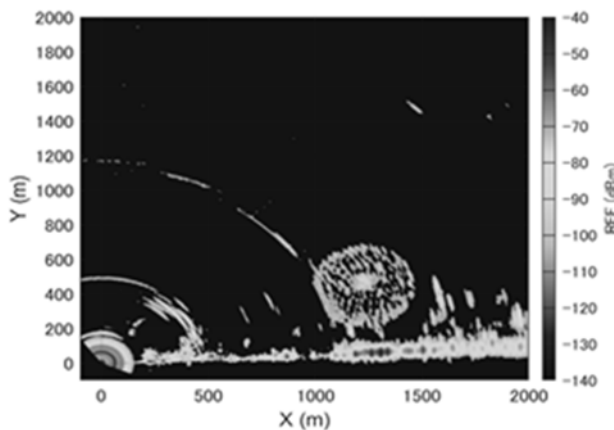


図 14 固体化素子レーダによる花火の検出例

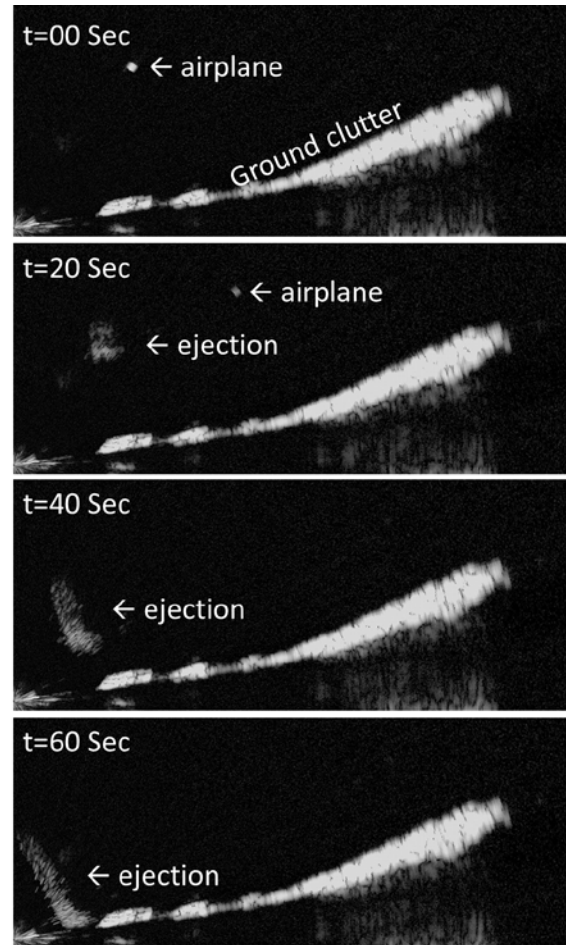


図 13 セスナ機から投下した湿った麩の検出結果。(2018 年 3 月 2 日)

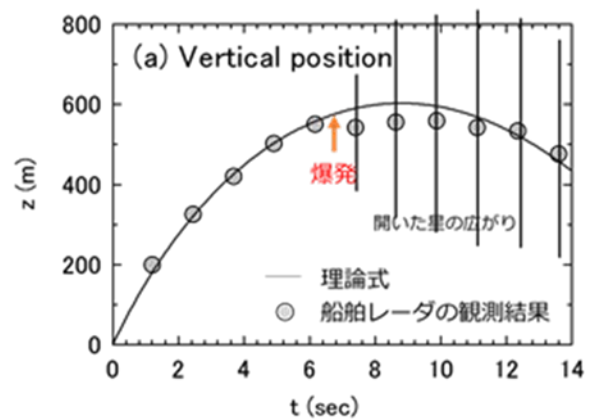


図 15 花火玉の軌跡のレーダ観測値と理論計算結果との比較

ズ処理後のものである。一部のノイズが除去されていないが、開いた花火の高度や形状がはっきりと捉えられている。図 15 は玉の打ち上げから爆発その後の星の広がり過程を数値化して時間高度断面上に示した図である。図には、Mastin (2001) のモデルから計算された結果も示した。初期条件は、花火の玉の直径を 60 cm、密度が 248 kg m^{-3} 、初速度が 130 m s^{-1} 、大気環境場の条件は気温 25°C 、気温減率 $6.5^\circ\text{C km}^{-1}$ 、無風とした。観測値と計算値を比較すると、爆発までの玉の観測された軌跡は理論値と良く良く合っている。このことは、大きな噴石の軌跡を船舶レーダで観測することにより噴石の大きさを推定することができることを示唆している。

3. 4. 3 桜島での噴石の観測

本報では、マグネトロンレーダ観測から得られた噴石画像の解析結果について紹介した。2020 年度は固体化素子レーダによる噴煙柱の観測を計画している。固体化素子レーダ観測から得られる受信電力やドップラー速度のデジタル値が収録されるので、より定量的な噴石のモニタリングが期待される。

4. まとめ

船舶レーダによる火山噴火の機動的観測の現状について報告した。試験観測を通じて、船舶レーダは大規模火山噴火の発生時の有効な降灰モニタリング技術の一つとして期待できることが示された。ただし、観測対象エリアは 20 km 四方程度のため、降灰域の範囲が広がる場合には、KuRAD (40km 四方の観測が可能) や国交省の現業レーダ (200km 四方の観測が可能) の利用が必要であろう。更に、気象レーダでは検出できない小さな火山灰のモニタリングには衛星や写真撮影が必要である。大規模火山噴火時にはこれらの降灰情報を総合的に収集し、防災対策に利用することが必要である。

謝辞

本研究は、地震火山地域防災センターの運営費交付金、京大防災研一般共同研究、内閣府 SIPII の支援を受けたものである。

参考文献

- Maki M., S. Takahashi and S. Okada, K. Imai, H. Yamaguchi, 2019a: Ku-band High-Speed Scanning Doppler Radar for Volcanic Eruption. *J. Disast Res.*, **14**, 630-640.
- Maki, M., Y. Fujiyoshi, H. Tokushima, and M. Iguchi, 2019b, X-band marine radar detection of ejected lapilli and volcanic blocks, *Extended abstract, 39th Conf. Radar Meteorology*, 5pp.
- Maki, M., Y. Kim, T. Kobori, K. Hirano, D.-I. Lee, M. Iguchi, 2020: Analyses of Three-dimensional weather radar data from volcanic eruption clouds. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* (submitted).
- Mastin, L. G., 2001: A simple calculator of ballistic trajectories for blocks ejected during volcanic eruptions. *U. S. Geological Survey Open-File Report 01-45*, 16p, <https://pubs.usgs.gov/of/2001/0045/>

降灰リアルタイムハザードマップ作成手法の検討（第一報）

地震火山地域防災センター・中谷 剛

1. はじめに

自然災害は、誘因となる自然現象（桜島の大規模噴火や大雨など）と社会（地理や経済などを含む広義の社会）の関わり合いの中で、様々な災害形態となって発生する。

図1にその関連を模式的に示した。想定外の自然現象が起こると、第1の歯車が回り始める。それが外力となって第2の歯車（社会・人）を回す。社会は外力に対する脆弱性（災害要因）を内包しており、その結果、第3の歯車である災害が、その社会の弱点を現すような災害形態を伴って発生、進行することになる。

近年の気象変動に伴って、国内ばかりでなく海外でも、これまで経験したことのないような洪水が毎年のように発生している。しかしその後の災害調査によって、浸水被害と社会の脆弱性との関連性を理解し、他地域で同様な洪水が生じた場合に備えることができる。一方で、火山の大規模噴火による降灰被害の場合は、以下のような難しさがある。



図1 災害は社会と関連して起こる

- 大規模噴火が稀な自然現象であること。国内で最も活発な火山と言われる桜島の場合でも、最近の大規模噴火は1914年のことであり、この約100年間に社会のあり方が大きく変容した。そのため、いま大規模噴火が起きた場合、どのような被害が社会に及ぶのかは推測するしかない。
- 洪水の被害想定範囲は、大きく改変されることの少ない地形的要因が支配的なので、ある程度事前に把握できる。しかし、大規模噴火による降灰の被害想定範囲は、その時の気象条件（特に風速、風向）に左右されるため事前の想定が難しい。

桜島の大噴火を想定した降灰ハザードマップは、リアルタイム性があり社会の脆弱要因を含めたハザードマップであることが望ましいのは、上記のような理由による。

2. 降灰リアルタイムハザードマップの概要

(1) 誘因情報

桜島周辺を観測している国交省のXRAINは、噴火による噴煙を5分毎に観測できる。この観測情報は、データ統合・解析システム DIAS (Data Integration and Analysis System) から、オンラインでの取得ができる。また鹿児島大学でも、独自にKuバンドドップラーレーダによる観測を行っている。最近の研究により、観測データを利用した降灰量の定量的推定ができるようになってきている。降灰リアルタイムハザードマップでは、誘因となる降灰量はこれらの観測情報を利用することを前提としている。

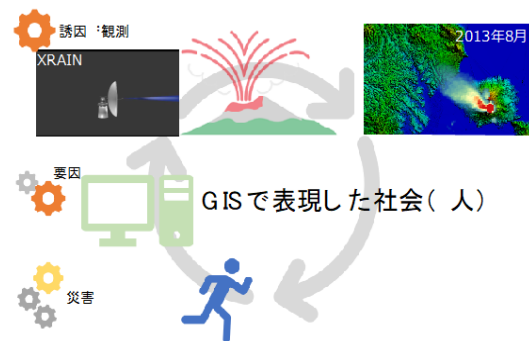


図2 リアルタイムハザードマップのイメージ

(2) 要因情報

大規模噴火による降灰の被害を受ける社会は、GIS (Geographic Information System: 地理情報システム) とリスク基準の組み合わせとして表現する。リスク基準とは、過去の被災事例を参考に、どの程度の降灰 (降灰厚や降灰量など) でどのような被害が生じるかを整理した基準である。図3には、主に「(内閣府)大規模噴火時の広域降灰対策検討WG (H31. 3. 22)」資料から国内の被害事例を参考にしたリスク基準例を示す。

降灰厚 (cm)	生活	健康	道路・交通 (JR/市電)	ライフライン
0.001	鹿児島市清掃開始			
0.01		喘息患者に影響 43%		
0.012				ソーラー発電 25%
0.02			視界不良・市電脱線・JR運休	
0.03	ライト点灯 傘・ハンカチ歩行		滑走路・誘導路が見えない	ソーラー発電 0%
0.05			鉄道停止	
0.073	トカ灰			
0.1			30km/h走行	
0.2				
0.3			(降雨) 10km/h走行	60%停電
1				
2		目・鼻・気管支異常	20km/h走行	
3			(降雨) 自動車通行不能	
5			10km/h走行	(倒木) 送電線切断
6				火力発電停止
10			自動車通行不能	
45	木造住宅倒壊			

図3 リスク基準の例

- 人口 (年齢区分別)
- 世帯 (人員数別、家族類型別)
- 住宅 (一戸建て、階別共同住宅)
- 道路 (高速道路、主要道路、一般道路)
- 鉄道 (JR、市電)
- 行政関連情報 (市町村界、官公庁施設、避難所、学校、福祉施設、病院など)
- 地理 (地形、河川など)
- その他

図4 GISの中の社会情報

地理情報システム (GIS) は、特定の地点又は区域の位置を示す座標 (位置情報) と、その位置に関連付けられた属性情報、もしくは位置情報のみの情報 (これらを地理空間情報という) を総合的に管理するシステムで、情報の分析や集計、視覚的な表示など、様々な判断を支援する情報を作成することができる。身近な GIS としては、カーナビシステムがある。地理空間情報としては、地形、地質、土地利用、道路網、鉄道路線、空中写真、衛星画像等の社会基盤情報と、国勢調査などの社会統計情報等の多様な情報が整備されている。位置情報を軸にして異なる地理空間情報を重ね合わせることで、ハザードマップ (主題図ともいう) を作成できる。

GIS で表現しようとしている社会 (地理空間情報) の例を、図4に示した。地理空間情報は、e-Stat (政府統計ポータルサイト)、国土地理院、国土交通省国土政策局国土情報課 GIS ホームページ、コンサベーション GIS コンソーシアムジャパンのホームページ、自治体のオープンデータなどから無償 (利用条件等には制限があるものもある) で収集し利用できる。そのほか、被災シナリオに基づきさらに詳細な情報が必要な場合は、有償ではあるが様々な地理空間情報を利用することができる。どのような地理空間情報を収集利用するのかは、リスク基準が明確で被災シナリオと整合が取れている必要がある。

3. ハザードマップ作成手法の検討

(1) 桜島大正噴火を想定した降灰シミュレーション

大規模噴火を想定した定量的降灰量 (降灰厚) として、気象庁気象研究所の重点研究「大規模噴火時の火山現象の即時把握及び予測技術の高度化に関する研究」で実施された、桜島大正噴火を想定した降灰シミュレーション結果を利用した。

(2) ハザードマップ事例：木造住宅倒壊により孤立する高齢者分布マップ作成手法

リスク基準によると、木造住宅に45cm～60cmの降灰が堆積すると住宅は倒壊する。倒壊した住宅によって近接する道路閉塞が生じ、その地域への支援や物資の供給などが困難となり地域が孤立する。このような状況を想定して、地域で孤立する75歳以上の高齢者分布

のハザードマップ作成手法を事例として紹介する。対象は鹿児島市とする。なお、ここで紹介する手法の例は中間成果であり必ずしも最適な方法ではない場合があること、前提となる条件の妥当性の検討や、表現方法、リアルタイム処理については今後の課題であることに留意願いたい。

◇ 高齢者が孤立する被災シナリオ

- A) 築年数が古い「木造住宅」という属性データは、一般的な GIS データにはない。そこで、2階建て以下の住宅で個人が所有する住宅を木造住宅と仮定する。
- B) リスク基準によると 45cm～60cm の降灰が屋根に堆積し木造住宅が倒壊した事例が報告されている。ただし、住宅の築年数や屋根の形状（屋根の勾配など）については不明である。鹿児島市建築基準法施行細則第 9 条の 2 によると、住宅の設計では垂直積雪量 0.3m の雪荷重を考慮とする事になっている。そこで、降灰による堆積厚がリスク基準よりは大きい 1m を超えると木造住宅は倒壊すると仮定する。
- C) 一般的な 2階建て木造住宅の高さは約 6m（屋根を含まず）である。敷地には庭などの空間があることを考慮し、近接する一般道路縁から 2m 以内にある（一部でもかかっている）住宅が倒壊した場合は、道路閉塞を起こすと仮定する。
- D) ある地域またはエリア内で、倒壊住宅総数に対して道路閉塞を起こす住宅数の割合が 50%以上に達すると、その地域またはエリアは孤立すると仮定する。その地域内人口のうち 75 歳以上の高齢者数とその分布を解析し、道路閉塞のため孤立する 75 歳以上高齢者分布マップを作成する。

◇ 被災シナリオに基づく GIS の解析手法

上記の被災シナリオ(A)～(D)に基づく GIS 解析の手順を以下に示す。

(前準備)

測地系は、地理空間情報の多くが整備されている JGD2000（日本測地系 2000 と呼ばれるが、適用範囲が全地球に及ぶ世界測地系である）とする。GIS では、測地系の異なる情報の重ね合わせや分析等はできないため、必要な地理空間情報は予め JGD2000 を基準とした測地系に変換しておく。

（補足説明）測地系とは、地球の形状モデルである回転楕円体と楕円体に座標を与える測地座標系の組み合わせで、JGD2000 の準拠楕円体は GRS80 楕円体、測地座標系は ITRF 94 座標系となっている。東日本大震災による地殻変動に伴い、2011 年に測地成果 2011(JGD2011)が公開された。これにより東北地方・関東地方・新潟県・富山県・石川県・福井県・山梨県・長野県・岐阜県は、測地座標系が ITRF2008 座標系となった。その他の地域は ITRF 94 座標系のままとされている。アメリカの測地系は、WGS84 楕円体と WGS84 座標系で組み合わせられた世界測地系 1984 (WGS84) である。そのため、Google Earth に位置情報を表示する場合は、測地系の変換作業が必要となる。

(被災シナリオ A-step)

住宅地図データベースとして、Zmap-TOWN II（鹿児島市 2019 年版）（株ゼンリン）を利用する。住宅の属性情報のうち、「住宅の階数」と「個人の家屋」情報を利用して、木造住宅を抽出する。なお、Zmap-TOWN II の座標系は旧日本測地系の平面直角座標系となっているので、必要なデータは事前に JGD2000 に変換する。

（補足説明）旧日本測地系とは、2002 年まで利用されていた日本周辺のみに適応できる測地系で、ベッセル楕円体と全国を 19 の座標系に区分して利用する平面直角座標系となっている。世界測地系では、方向や距離を曲面上で処理しなくてはならないので、一般的に処理が複雑になる。公共測量のようにその範囲が比較的狭い場合は、誤差も小さくまた平面図等と重ね合わせられるといった

メリットがあるので、平面直角座標系は現在でも利用されている。なお、回転楕円体と座標系による3次元の位置情報を表す測地系は地理座標系(GCS)と呼ばれ、回転楕円体の表面の位置を平面上に変換することを地図投影、その座標系を投影座標系といい、平面直角座標系はその一つである。

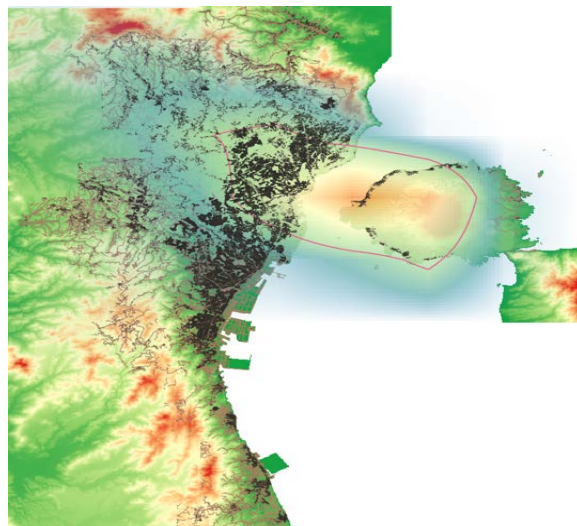


図5 鹿児島市内の木造住宅抽出結果
(木造住宅は128,828棟)
赤線は堆積厚1m以上のエリア

(被災シナリオ B-step)

降灰厚データは、数値シミュレーションによるものであっても観測によるものであっても、テキスト(例えばCSV)形式の2次元配列データ(I, J)であることが多い。一般的な配列データ(I, J)は、配列の順番が定義されているだけなので、I, Jに相当する位置座標を生成した上で1次元配列データに変換してGISに読み込む。読み込むだけではGISによる解析等はできないので、SHP(シェープ)形式に変換する。

降灰厚が1m以上のエリアの抽出は、降灰厚の等高線解析を実施する。等高線解析はラスター形式データに有効な処理であるため、SHP形式の降灰厚データをラスター形式へと変換する。その結果得られるのは、降灰厚1mの等高線(線情報)である。GISによる住宅の抽出のため、線情報である等高線で囲まれたエリアを示す平面情報に変換した後、GISのクリップ処理により木造住宅を抽出する。

(補足説明) GISのデータ形式には、ベクター(SHP形式)とラスター(GeoTIFF)形式がある。ベクターデータとは、建物(地物という)などの情報を、点(ポイント)、線(ライン)及び面(ポリゴン)の3要素で表現したデータである。それぞれが座標と属性情報を持っている。どのような要素の情報かで、GISによってできる分析や解析が相違する。ラスターデータとは、行と列の格子状のデータで、画像情報が代表的な情報である(ただし座標情報を持つ)。気温や降水量、標高や降灰厚データのように連続的に変化するデータに適した形式である。必要な分析に応じて、ベクター形式とラスター形式間の変換を行う。

(被災シナリオ C-step)

道路情報としては、Zmap-TOWN IIを利用する。この道路情報は、道路中心線情報ではなく道路縁(道路の左右の境界)がわかる。GISのバッファ処理によりそれぞれの道路縁から2mの範囲を含むエリア(空間)を作成する。回転楕円体上で2mの距離を表すのは処理が複雑なので、道路情報、木造住宅情報等の必要な情報は、旧日本測地系の平面直角座標系に事前に変換する。そのエリアと木造住宅境界が重なる住宅のみを抽出する(GISのクリップ処理)。その結果を改めてJGD2000へと変換する。

(被災シナリオ D-step)

道路は一か所でも倒壊住宅によって閉塞するとその地域は孤立しやすい。今回の事例では、倒壊住宅の約52%が道路閉塞を起こす住宅であるため、降灰厚1m以上のエリア内の地域は全体的に孤立すると仮定する。

東京大学空間情報科学研究センターが公開している「平成27年簡易100mメッシュ人口」(<https://home.csis.u-tokyo.ac.jp/~nishizawa/teikyo/index.html>)は、平成27年国勢調査の500mメッシュ集計の人口(政府の統計窓口e-Stat)を100mメッシュに按分したデー

タで、男女別・年齢4区分別（総数、0-14歳、15-64歳、65歳以上、75歳以上）の人口データが shape 形式で整理されている。このデータと堆積厚 1m 以上のエリア内の 75 歳以上の高齢者を集計 (GIS 処理のインターセクター) し、その結果をハザードマップとして作成する。

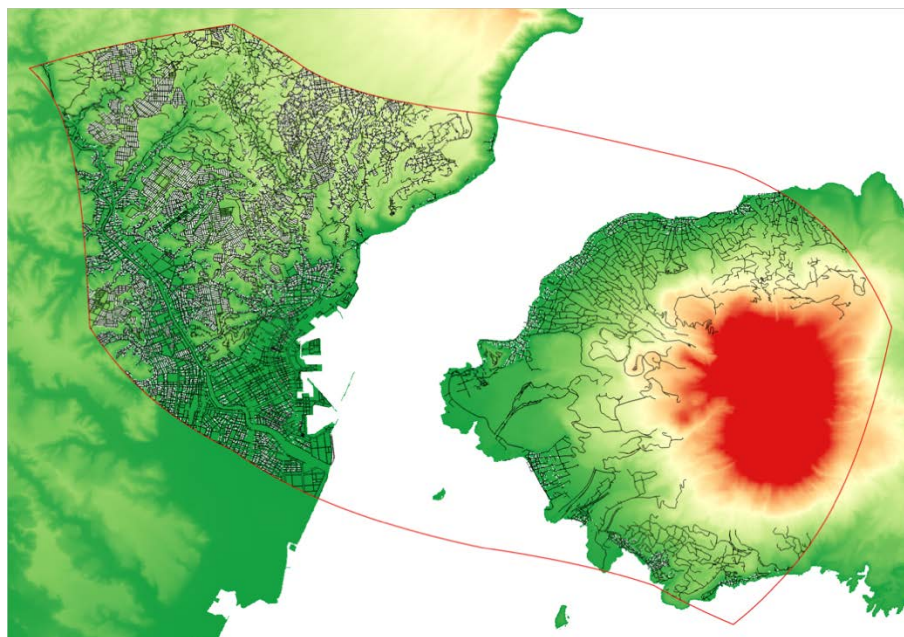


図6 倒壊する木造住宅41,163棟（赤線は堆積厚 1m 以上のエリア）
木造住宅と一般道路が抽出されている



図7 一般道路から 2m 以内にある倒壊住宅は21,681棟（赤で示した住宅）

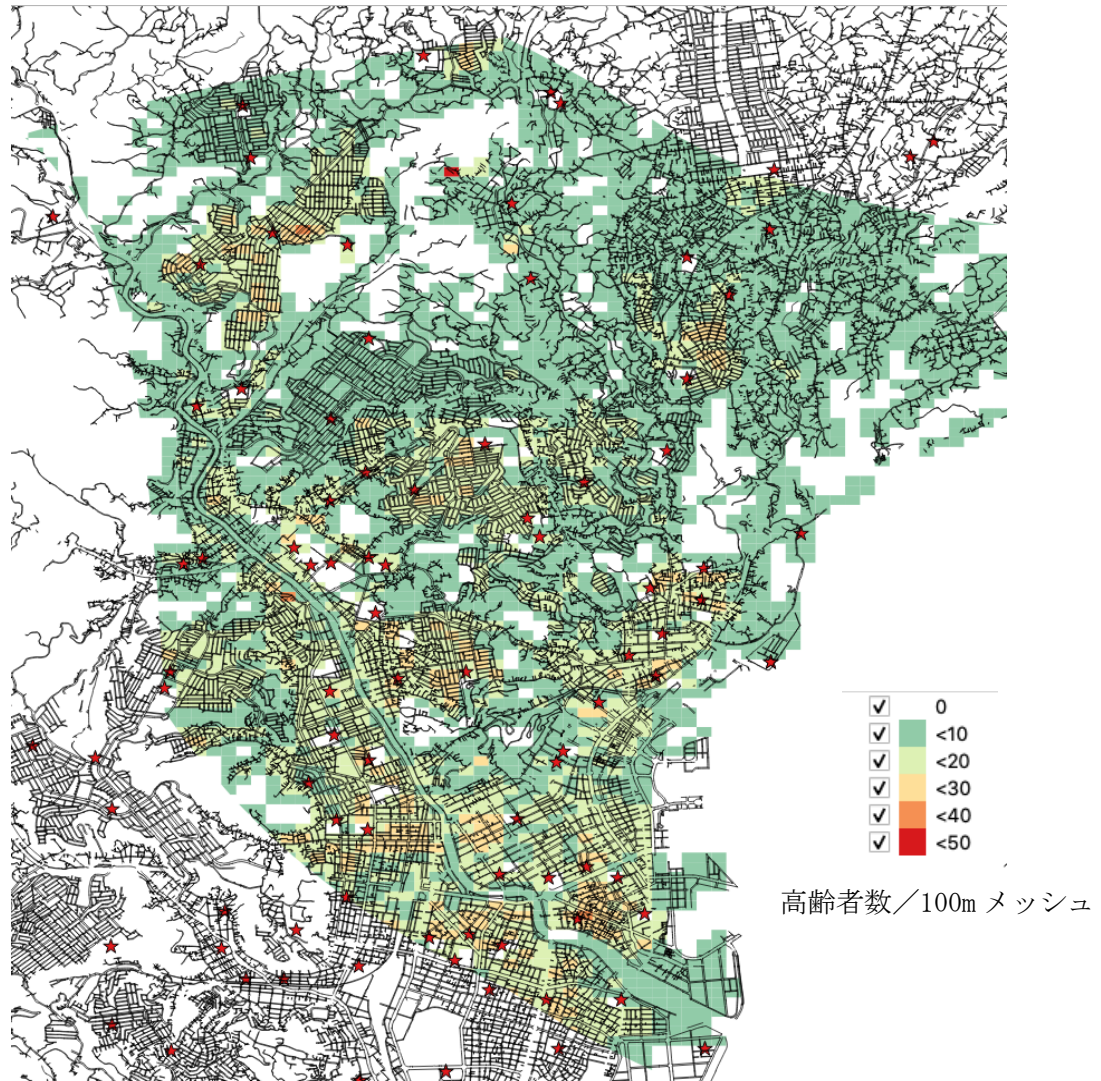


図8 木造住宅倒壊により孤立する75歳以上の高齢者分布マップ（☆印は避難所）

4. 今後の課題

降灰リアルタイムハザードマップの作成手法検討には、どのような被災シナリオを設定するかが重要である。「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」プロジェクトには4つのワーキンググループがあるので、情報交換を進めたい。また、リアルタイムシステムの構築や、得られたハザードマップ情報の提供手段等の課題についても、今後検討していく必要がある。

5. おわりに

降灰リアルタイムハザードマップ作成手法検討の実施にあたり、気象庁気象研究所の重点研究「大規模噴火時の火山現象の即時把握及び予測技術の高度化に関する研究」で実施された、桜島大正噴火を想定した降灰シミュレーション結果をご提供頂いた、気象庁気象研究所及び気象研究所火山研究部第二研究室の新堀敏基室長には、ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- (1) 気象レーダによる降灰量推定：真木雅之・鈴木郁子・井口正人・Shakti P. C., 火山 第64巻(2019)第4号, pp. 219-241
- (2) Ku バンド高速スキャンドップラーレーダによる降灰ナウキャスト：真木雅之・小堀壮彦・平野洪賓, 鹿児島大学 地火山地域防災センター平成30年度報告書, pp. 23-37

島嶼域サトウキビ圃場における夏季干ばつに対する防災研究

農学部 肥山 浩樹

1. はじめに

わが国における島嶼域の多くは、農業が基礎的産業である。持続的な農業生産と振興には農業用水の安定的な確保が必要不可欠である。しかしながら、島嶼域では河川の発達に乏しく、天水やため池に依存した農業が営まれてきた。このため、作物の生育期である夏季に干ばつに見舞われると、代替水源の確保が困難となり、著しい農業被害を受ける。近年、この農業被害を軽減するために、沖縄県や鹿児島県では多くの地下ダムが建設されている。従来の上地上に築造されるダムと比較して、地下ダムは水没地がないことや堤体が安定していることなどの利点もあるが、適地が限られることや貯水効率が悪いことなどの短所も併せ持つ。

農業用水の確保や配水施設の規模決定、さらには、受益面積算定のためには、末端の圃場での消費水量を正確に推定する必要がある。本研究では、南西諸島から沖縄県にかけての島嶼域の基幹作物であるサトウキビの消費水量を、土壌水分の現地観測に基づいて評価すること目的とする。特に、サトウキビの生育にとって最も重要である梅雨明けから夏季にかけての消費水量について検討することで、夏季干ばつ期の生育不良を防ぐ手立てとなる。また、この時期に十分生育させることで、秋季に来襲する台風に対しても強いサトウキビを栽培できる。本研究により、実情に応じた畑地灌漑計画の推進が図られるとともに、気象災害に強いサトウキビ生産基盤の強化に貢献する。

2. 研究方法

2.1 試験圃場

試験圃場は、沖縄県糸満市照屋のサトウキビ圃場であり、前報¹⁾で使用した圃場の北隣に位置する。この圃場には米須地下ダムからの灌漑水が供給されている。観測期間は梅雨明け直後の令和元年6月27日から9月26日の3ヶ月間であり、観測終了時の9月27日における圃場の様子を図1に示す。栽培品種はNiF8(農林8号)であり、栽培型は株出しである。試験圃場の概要



図1 試験圃場

を図2に示す。圃場面積は約51aであり、畝間は通常より若干広い1.36mであった。試験圃場の土質は琉球石灰岩風化土であり、深さ70cmまでほぼ均質であった。試験圃場の中央付近に、4畝に跨がる5.4×5.4mの対象区画を設けた。これの概要も図2に併せて示す。

対象区画において、土壌の緻密度を測定するために、深さ方向の密度と土壌硬度分布を調査した。密度分布は、100cm³の定体積採土円筒を用いてサンプリングした。観測期間中に3回(6, 8, 9月)のサンプリングを行い、密度と同時に得られる体積含水率 θ を後述(2.4)の水分計の校正に利用した。土壌硬度は、先端角30°で底面積2cm²のポータブルコーン貫入試験器を用いて計測した。乾燥密度 ρ_d とコーン指数 q_c の鉛直分布を図3に示す。乾燥密度は、表層では小さいものの、深さ10cm以深では1.20~1.28g/cm³の範囲で推移している。コーン指数は、深さ15cmま

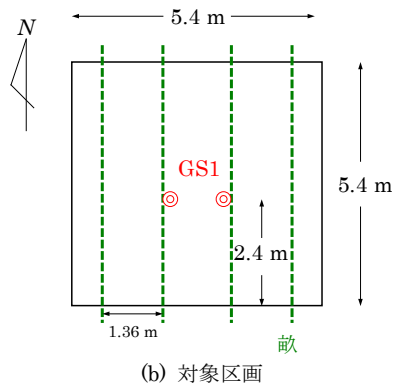
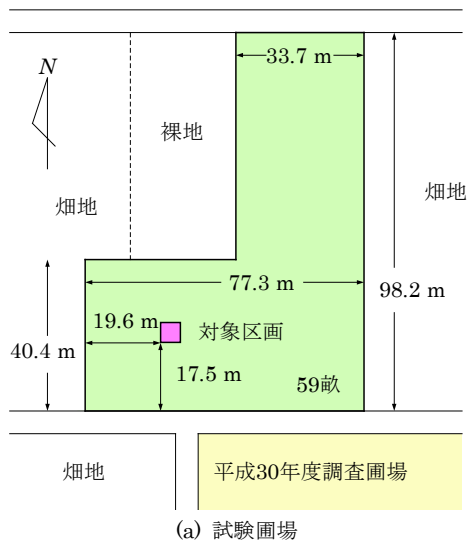


図2 試験圃場と対象区画の概要

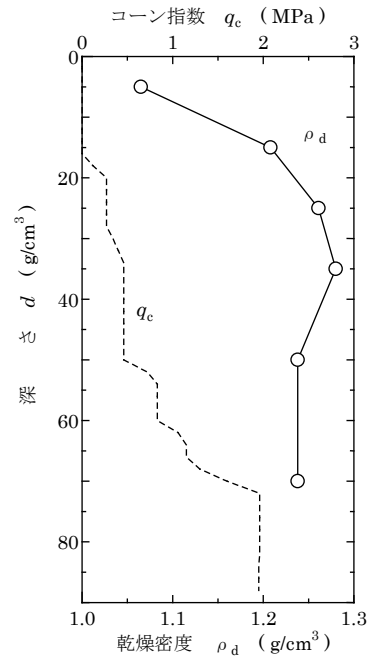


図3 ρ_d と q_c の鉛直分布



図4 GS1の外観

ではほぼ抵抗がなく、サトウキビ圃場の造成で対象となる深さ 60cm までは根の伸張を妨げない 1MPa 以下である。これ以深はやや硬くなるが、調査した深さ 90cm までは全て 2MPa 以下であった。前報¹⁾と比較すると、コーン指数はほぼ同じであったが、乾燥密度は今回の圃場の方がやや大きかった。

2.2 静電容量型土壌水分計

作物の消費水量を決定する方法としては、気象データから蒸発散量を算出するものやライシメータを用いて直接測定するものなどがあるが、従来から最も多く使用されているのが土壌水分減少法である。この方法では、植物根が容易に伸張し、養分を吸収しうる層である有効土層中に水分計を埋設し、経時的な水分変化量から日消費水量を算定する。水分計としては、土壌水分の負圧から水分量を換算するテンシオメータが用いられることが多かったが、近年、土壌の比誘電率 ϵ を計測することで土壌水分を推定する機器が開発され、実用に供されている。

比誘電率は物質固有の値を持ち、土壌中の空気、土粒子および水の比誘電率はそれぞれ 1, 3~5, 81 である。水の比誘電率が他と比べて大きいことから、土壌の比誘電率は水分量変化に敏感に反応する。比誘電率を測定するセンサーは、一般的には 2 種類が提供されている。1 つは電気インパルスが土壌中を通過する時間を計測するものであり、時間領域反射法 (Time Domain Reflectometry: TDR) や時間領域透過法 (Time Domain Transmission: TDT) など数種がある。もう 1 つは土壌のインピーダンス成分を測定することで比誘電率を測定する方式で、静電容量型土壌水分計 (Capacitance Sensor) と呼ばれる。前者と比べて後者は小型で安価なことが特徴である。比誘電率から土壌水分量を換算するには、Topp 式²⁾と呼ばれる式(1)がよく知られている。

$$\theta = -5.3 \times 10^{-2} + 2.92 \times 10^{-2} \varepsilon - 5.5 \times 10^{-4} \varepsilon^2 + 4.3 \times 10^{-6} \varepsilon^3 \quad (1)$$

ここで、 θ は体積含水率 (cm^3/cm^3)、 ε は比誘電率である。

この式は、砂質土壌に TDR を用いて行った実験式である上、比誘電率は土壌の電気伝導度、有機物含有量および温度の影響を受ける。また、製品自体に個体差があるため、精度が高い測定には現場条件に合わせた校正が不可欠である。

本研究で用いた静電容量型土壌水分計は METER 社製の GS1 (現製品名 TEROS-10) であり、データ収集には同社製のロガーである Em50 を用いた。GS1 の外観を図 4 に示す。一般的な TDR や TDT と比較すると、小型であるため埋設が容易である。

2.3 土壌水分の測定方法

土壌水分計は、図 2(b)に示す通り対象区画のほぼ中央部に、隣り合う畝で向かい合うように東西 2 箇所に埋設した。この時、周辺地盤を出来るだけ乱さないように、水分計が埋設可能な最小の幅でサトウキビの茎直下を鉛直に約 80cm 掘削した。埋設深さは畑地での土壌水分計測で標準とされる 5、15、25、35、50 および 70cm の 6 点とした。埋設時の様子を図 5 に示す。水分計の動作確認後、出来るだけ元の密度が確保できるように埋め戻した。その際、水分計のケーブルは、これを伝って水が浸入することを防ぐために、水平方向に充分伸ばし、ロガー側の端子は水分計から出来るだけ離れたところで地上に取り出した。観測期間中 (6/27-9/26) の測定間隔は 1 時間とした。

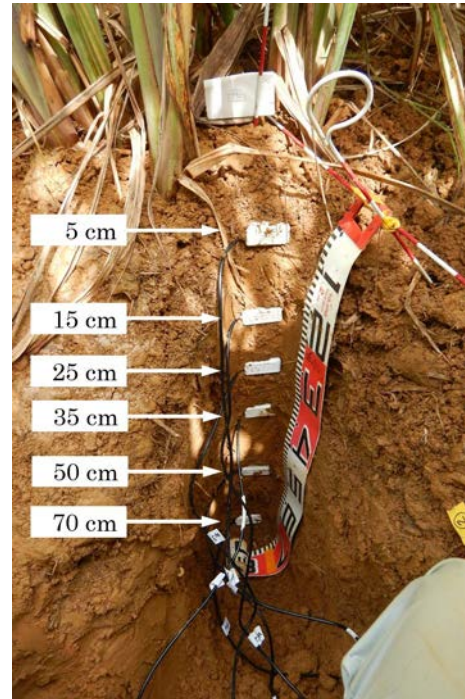


図 5 土壌水分計の埋設 (西側)

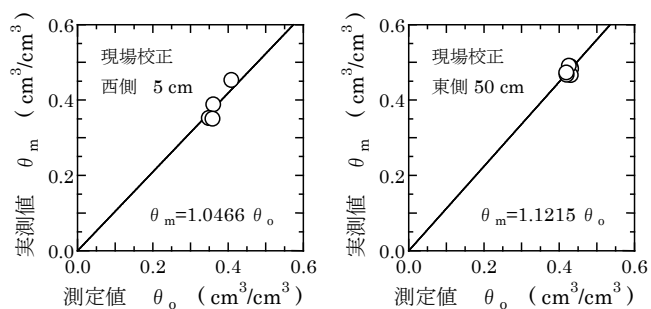


図 6 現場測定値による校正

2.4 土壌水分計の校正

土壌水分計は、前述の通り、現地土壌を用いて校正する必要がある。特に、本研究で対象としている土壌が粘性土であるため、Topp 式をそのまま適用することは困難である。通常は、現地土壌を室内で再現し、様々な水分量において水分計の出力を確認することで実施される。しかしながら、この方法では長時間が必要な上、室内で現地の土壌構造を再現することが極めて困難である。そこで、対象区画内で現地観測期間中に 3 回 (6 箇所)、水分計埋設深度にて定容積土壌サンプリングを行い、室内にて体積含水率の実測値 θ_m を求め、観測現場での土壌水分計の測定値 θ_o と比較することで校正した。その一例を図 6 に示す。現場測定値と室内実測値の間には線形関係が成り立つものと仮定して、両者の傾きを換算係数とし、これを測定値に乗じることで土壌水分を補正した。

上記の補正方法だけでは、校正点が少ないことに加えて水分量の分布範囲が狭いことから信頼

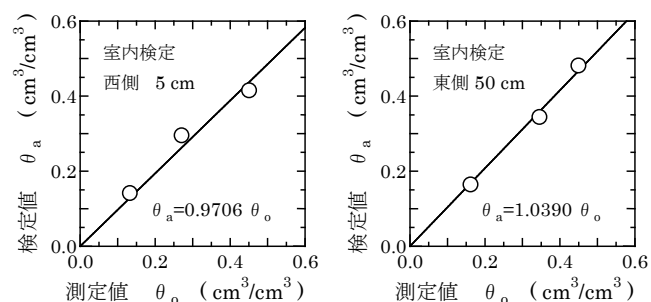


図 7 室内における検定

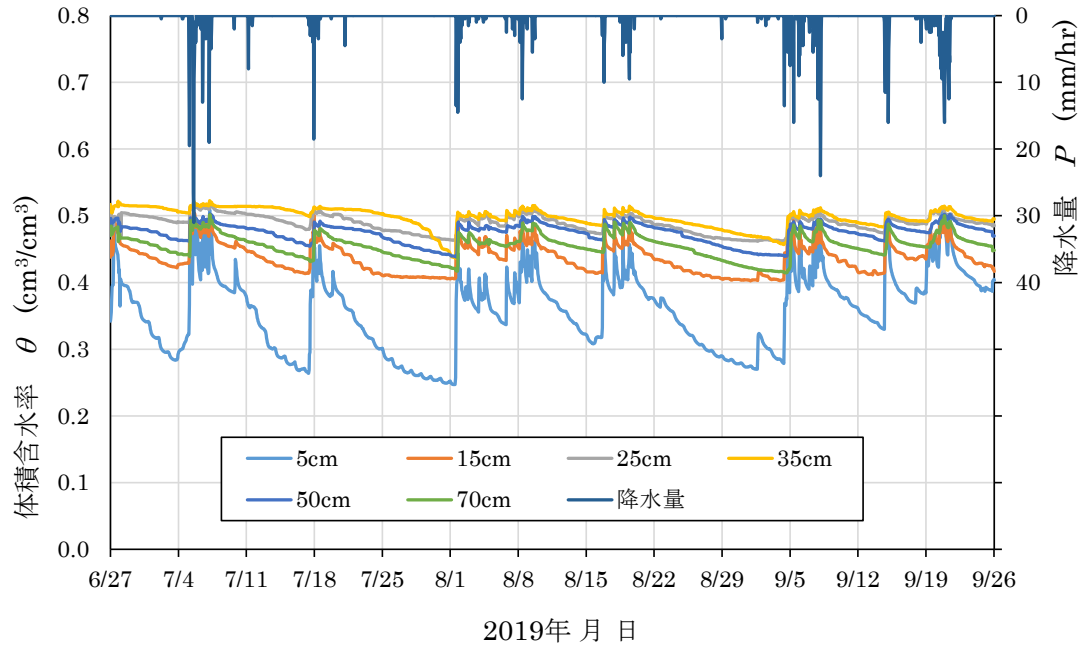


図8 観測期間中の土壌水分の変化

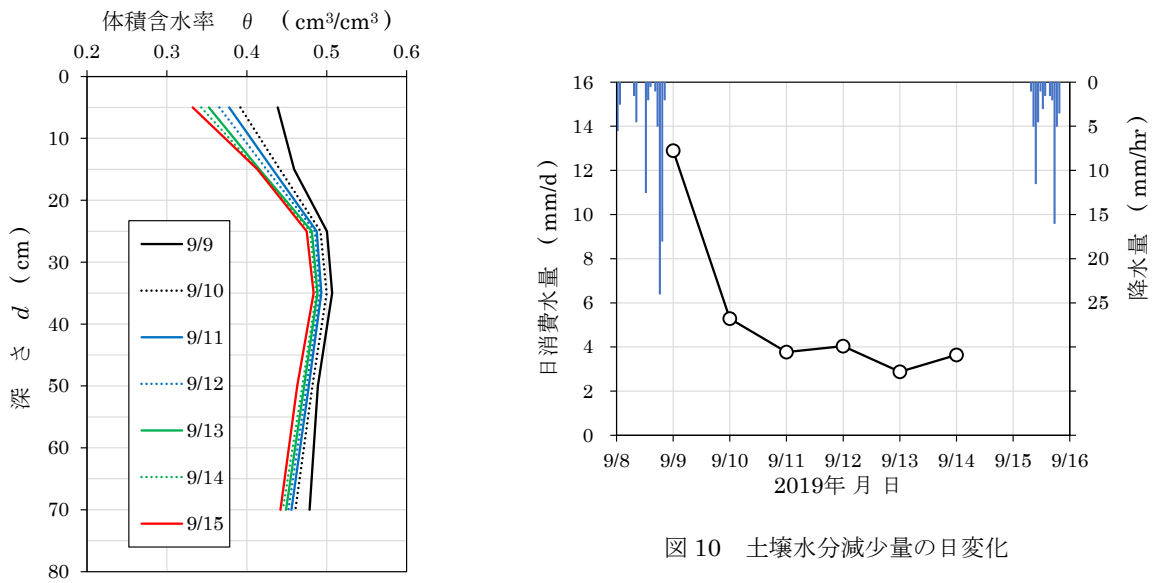


図9 土壌水分鉛直分布

図10 土壌水分減少量の日変化

性に欠ける。そこで、測定値と実測値の間に直線関係が成り立つのか室内で検定した。GS1の測定影響範囲を包含するアクリル円筒内に、水分計が埋設された現地地盤と同じ乾燥密度になるように試料を締め、GS1を埋設した。試料の水分量は、ほぼ風乾状態から飽和に近い状態まで3通りに調整した。得られた検定結果の一例を図7に示す。室内で計測したGS1の測定値 θ_m と検定値 θ_a の間にはほぼ直線性が認められたので、現場サンプリング試料に基づいた校正の妥当性が担保されたと判断した。

3. 結果と考察

観測期間中の土壌水分量と降水量の時間変化を図8に示す。土壌水分量は、前節の校正を施しており、畝間の東西2箇所得られたデータを平均している。降水量は、試験圃場から最も近いアメダスである安次嶺(那覇空港)のデータを用いた。なお、観測期間中に灌水は行われなかった。土壌水分は、降雨イベントが発生すると増加し、その後の無降雨期間に減衰する。この傾向

は最も浅い 5cm で顕著であり、深くなるほど反応に時間遅れが生じると共に変化が緩やかになる。一般的な畑地土壌では深くなるほど水分量が増加するが、この試験圃場では中位の 35cm において最大の水分量を示している。図 3 に示した乾燥密度のプロファイルと併せて考えると、この土壌は高い密度のときに保水性も高くなるであろうことが推察できる。

表 1 観測期間中の消費水量

期 間 (月日)	日数 (d)	総消費水量 (mm)	平均日消費水量 (mm/d)	最大日消費水量 (mm/d)
7/11-7/18	7	32.2	4.6	5.6
7/21-8/2	11	47.1	3.9	5.0
8/9 -8/16	7	32.2	4.6	6.7
8/20-9/2	13	49.2	3.8	7.1
9/9 -9/15	6	32.5	5.4	12.9

時間経過と共に水分量が減少し、ほぼ無降雨期間と考えられる 5 つの期間を抽出し、土壌水分の鉛直分布の日変化からサトウキビ圃場の消費水量を推定した。この一例として、9 月 9 日から 15 日の 6 日間について解析した。この期間の土壌水分鉛直分布の日変化を図 9 に示す。深さ 15cm までの浅い部分での水分減少が特に大きい。最深部の 70cm まで全域に亘って水分減少が認められた。また、時間経過と共に水分の減少割合は減衰した。このことから、この圃場の有効土層を 80cm とし、日消費水量を求めた。得られた結果を図 10 に示す。降雨終了直後に日消費水量の最大値 12.9mm が得られたが、通常のサトウキビがこれだけの水分量を生育に資するとは考えにくいことと、直前の降雨イベントが総雨量 174mm で著しく多かったことから、有効土層最下端から下方への浸透が発生していると推察される。降雨直後を除けば、日消費水量は 3~5mm/d を推移した。この他の期間も含めて消費水量を取りまとめたものが表 1 である。いずれの期間についても同様な結果が得られており、このサトウキビ試験圃場の平均日消費水量はおおよそ 4.5mm/d であった。このことから、灌漑計画の策定において、灌水量を 5mm/d 程度とする必要がある。

4. おわりに

本研究では、小型で安価な静電容量型の土壌水分計を用いて、沖縄県糸満市のサトウキビ圃場において土壌水分を現地観測することで夏季の日消費水量を評価した。有効土層 80cm について土壌水分減少法により消費水量を推定したところ、無降雨期間の平均日消費水量は約 4.5mm/d であり、灌漑計画の策定には灌水量を 5mm/d 程度とする必要があることが分かった。また、従来からの課題であった土壌水分計の校正は、現地での定容積サンプリングや室内での検定試験を行うことにより、比較的簡便に必要な精度を得ることができた。

謝辞

本研究を遂行するにあたって、糸満市土地改良区合同事務所 金城健正 事務局長には圃場の選定や農家との交渉でご尽力頂いた。また、赤嶺氏には試験圃場を快く提供して頂いた。ここに記して謝意を表す。

引用文献

- 1) 肥山浩樹(2019)：島嶼域におけるサトウキビ圃場の消費水量に関する研究、鹿児島大学地震火山地域防災センター平成 30 年度報告書、129-134
- 2) Topp, G. C., J. L. Davis and A. P. Annan (1980) : Electromagnetic determination of soil water content ; Measurement in coaxial transmission lines, Water Resources Research, 16 (3), 574-582.

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 医学部保健学科 地域包括看護学講座 日隈 利香
鹿児島大学 医学部保健学科 地域包括看護学講座 稲留 直子

はじめに

近年増加傾向にある神経発達症（神経発達障害）を持つ児童は、見た目では障害があるように見えない事も多く、周囲の理解と支援を必要としている。また、これらの児童は日常生活の変化が苦手な場合が多く、適切な支援が必要不可欠であるため、かねてより災害に対する事前の備えが必要である。

2019年10月1日時点で、鹿児島市には170カ所の児童発達支援・放課後デイサービス施設があるが、これらの施設における災害への備えに関する調査報告書は見当たらなかった。そこで今回、鹿児島市の児童発達支援・放課後デイサービス施設における、災害への備えの現状を明らかにすることを目的に研究調査を実施した。

研究方法

研究対象者：2019年10月1日現在、鹿児島市が把握する「鹿児島市の児童発達支援・放課後等デイサービス」を実施する施設170カ所の管理者

調査期間：2019年11月1日～2019年12月31日

調査方法：自記式郵送調査

郵送調査の回答率を上げるため本調査を実施する前に、鹿児島市健康福祉局福祉部障害福祉課ゆうあい係の担当者に本研究の趣旨を説明し研究協力を御願いし、市担当者より鹿児島市170カ所の児童発達支援・放課後等デイサービス施設にメールにてアンケート実施の周知を図っていただき、その後郵送調査を実施した。

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等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SPSS 26.0J for Windowsを用いた

倫理的配慮：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すすめた。

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

神経発達症とは、多くの障害を発生原因に注目してグループ化したものであり、2013年に米国精神医学会の『DSM-5』に採用された。DSM-5では、知的能力障害群（知的障害）、コミュニケーション症群／コミュニケーション障害群（吃音など）、自閉スペクトラム症／自閉症スペクトラム障害、注意欠如・多動症／注意欠如・多動性障害、限局性学習症／限局性学習障害、運動症群／運動障害群（発達性協調運動障害、チックなど）、他の神経発達症群／他の神経発達障害群、といった障害をまとめて神経発達症と呼んでいる。これらの障害は、神経の発達阻害という共通の原因を持つ連続的な障害という考え方に基づいているため、「神経発達症」はこれまでの「発達障害」よりも広い範囲を指す言葉である。

研究成果

研究依頼施設数：鹿児島市の児童発達支援・放課後等デイサービス施設 170 カ所

調査紙票配布数：170 票 研究協力数：89 票 有効票：89 票

調査紙票回収率：52.4% 有効回答率：52.4%

I. 施設概要

施設概要は、児童発達支援施設 16 カ所（18.0%）、放課後等デイサービス 34 カ所（38.2%）、児童発達支援施設・放課後等デイサービスの両方 39 カ所（43.8%）であった。

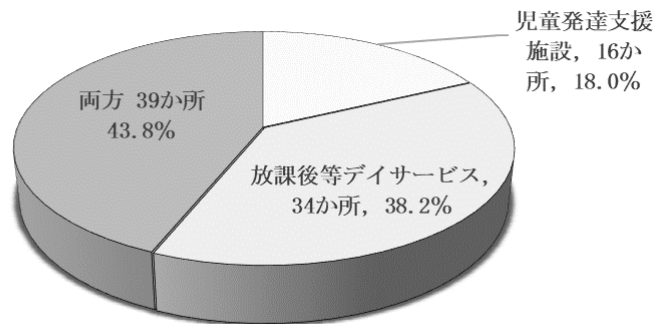


図1 支援の種類 (N=89)

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

全体の 51.7%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。

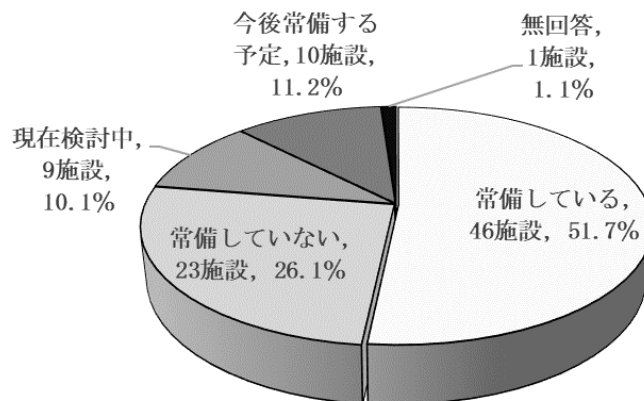


図2 災害に備えた飲料水や非常食の常備率 (N=89)

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

全体の 59.6%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ていた。

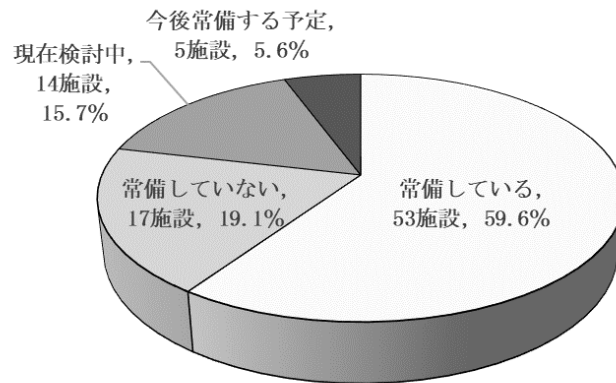


図3 災害時必要な備品の常備率 (N=89)

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

災害時に対応できるように、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 27.0%であった。今後作成予定の 6 施設を合わせると 33.7%という結果であった。

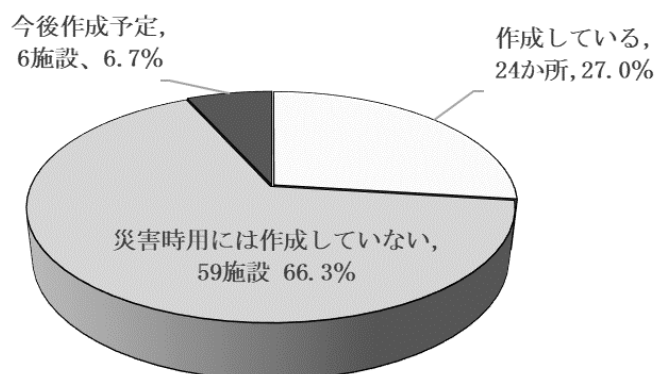
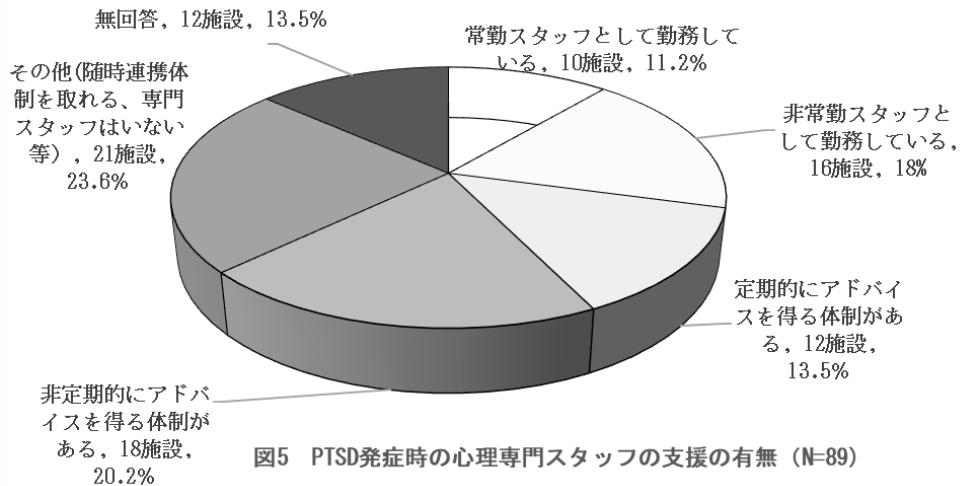


図4 個別サポートブック作成の有無 (N=89)

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

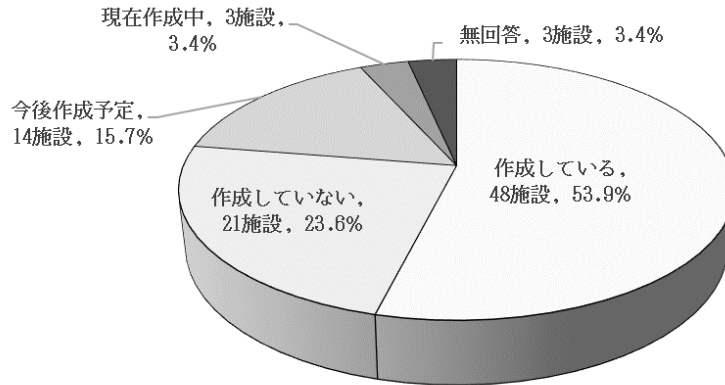
災害を体験した場合、情緒的反応の一つとして「PTSD(外傷性ストレス障害)」を引き起こすことがあり、体験後数か月経って症状が現れることもある。この様な時に相談できる心理専門のスタッフが施設内にいるか質問したところ、77カ所の施設から回答が得られた。心理専門の職員が常勤スタッフとして勤務している施設は全体の 13.0%という結果であった。

しかし、20.8%の施設で心理専門の職員が非常勤スタッフとして勤務し、15.6%の施設で定期的にアドバイスを得る体制を取っているなど、約半数の施設で比較的に心理的アドバイスが得やすい環境にあった。その他、23.4%の施設で非定期的にアドバイスを得る体制があり、9.1%の施設で随時連携がとれる体制を整えているなど、非定期ではあるものの何らかのアドバイスを得ることが出来る体制を作っていた。現時点で PTSD 発症時に相談できる心理専門の職員がいないと回答したのは 6 施設 (7.8%) であった。



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

全体の半数以上の53.9%の施設が「緊急連絡先を作成している」と回答し、現時点では作成はしていないものの、今後作成予定の施設15.7%、現在作成中の施設3.4%と、全体の73%の施設で緊急連絡先を準備している事が明らかになった。



6. 災害への備えとして必要だと思うこと

児童発達支援・放課後デイサービス施設の管理者に、災害への備えとして必要と思うことについて記述してもらったところ、約20名から回答を得ることが出来た。

災害の備えに対して必要なこととして、「システムの整備」、「訓練や研修が必要」、「備えが必要」、「連携が必要」、「保護者との連絡方法等の確認」を上げていた(表1)。

表1 災害の備えに対して必要だと考えること

システム の整備	<ul style="list-style-type: none"> ・障害のある子どもたちが落ち着いて避難生活を送ることができるシステム ・聴覚障害のみならずコミュニケーションに障害をかかえている人専門の障害センターが要る
訓練や研 修棟が 必要	<ul style="list-style-type: none"> ・回数（訓練の）を積んでいく事 ・昼間と夜間、室内と外出先、送迎中の車内などに合わせた訓練や研修を定期的に確実にやっていくこと ・訓練に対して職員は真剣に取り組むこと ・日頃の訓練など。遊びの中で災害が起きた時は？など話をする ・昼間と夜間、室内と外出先、送迎中の車内などに合わせた訓練や研修を定期的に確実にやっていくこと ・発災から施設の再開までの詳細なシミュレーション
備えが 必要	<ul style="list-style-type: none"> ・送迎時に災害に合った際、車両に必要な飲料水や非常食の常備について ・緊急時対応食材・水・毛布等 ・マニュアルとしては、あっても、それが実際起こった時にいかすことができるような備えが必要 ・おさんぽに行っている際の避難場所等を今後検討していきたい ・一人一人の災害時対応の認識を高めていくこと ・想定外の想定外の難しさ。弱者のケア。 ・地域として降雨災害は直接的ではないが、交通事情の混乱衣夜職員の移動手段。・桜島の想定外の大噴火による災害予想 ・保育園に併設している施設なので「大規模災害防災マニュアル」は整えている。これで万全ということは無いので、気が付いた事は取り入れていきたい ・避難危険度の認識
連携が 必要	<ul style="list-style-type: none"> ・地域の中にあるデイ事業所なので地域の方との連携が必要だと感じます ・水害時等、災害時〔究明ボードでの呼びかけは聴覚障害者には聞こえない。町内放送等音声〕インフラの崩壊がおこった時の情報獲得に限界がある。近隣との共同での情報交換が必須と感じる。
保護者との 連絡方 法等の 確認	<ul style="list-style-type: none"> ・5月に教室が出来たばかりで検討中の項目が多くなっています。保護者との確認が先決だと思います。 ・家族との連絡方法をしっかり取り決めておく必要があると感じた。 ・学童の活動をしている際の電話等が使えない時の保護者への連絡方法や引き渡しの方法等も検討していきたい。
その他	<ul style="list-style-type: none"> ・千葉や長野の事例では移動中（避難中）に死亡する人もいた。避難所も被災した所もあって判断の難しさを感じる。災害に対しては臨時休業を基本にしているが気象状況によってはサービス利用もリスクとなり得ることにも目を向ける必要があるように思えます。 ・避難所の整備、障害児・生徒が利用できるか心配 ・パニック、規制など市や県の職員は、地域の方々はどう対応してくれるだろうか？

考察

今回、鹿児島市の児童発達支援・放課後デイサービス施設 170 か所における災害への備えに関する調査を実施したが、災害に備えて飲料水や非常食の準備状況については、常備している施設と今後常備予定の施設と合わせても約 6 割に留まっていた。

懐中電灯や携帯ラジオ、簡易トイレや毛布、救急医薬品などの災害時の備品に関しても、常備している施設と今後常備する予定の施設と合わせても約 6 割に留まっていた。

災害時に適切な対応が出来るように子供一人一人の特徴を記入した『個別サポートブック』の作成状況については、作成している施設は今後作成予定の施設と合わせても約 3 割に留まっていた。災害直後の混乱時には社会全体が混乱することは想像に難しくなく、社会的弱者である子どもが被害者となる可能性が高い。特に神経発達症を持つ児童はパニック等の症状を引き起こすこと

も考えられるため、本人の行動の特徴やアレルギーの有無など記した個別サポートブックは、適切な支援の為にも必要不可欠であると考えます。

施設における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の作成状況については、約 7 割の施設が、作成済・現在作成中・今後作成予定と回答しており、準備が進んでいることが明らかになった。

その他、災害を体験した場合、体験後数か月経って PTSD の症状が現れることがある。被災した子どもたちだけではなく子どもたちを支援する施設職員に対しても継続した心理的ケアが求められる。しかしながら、心理専門のスタッフが勤務している施設は常勤・非常勤と合わせて約 3 割弱という結果であった。その他、約 3 割の施設で定期的または非定期的アドバイスを得る体制を確保しているものの、問題発生時に迅速かつ適切に支援を受けるためには、現体制では不十分ではないかと推測する。

児童発達支援・放課後デイサービス施設の管理者 20 名が考える『災害の備えに対して必要なこと』として、「システムの整備」、「訓練や研修が必要」、「備えが必要」、「連携が必要」、「保護者との連絡方法等の確認」が上がっていたが、今回の調査結果で見えたこととして、災害に対する取り組みは各施設で差があり、対策が十分といえない施設もあった。

災害を防ぐことはほぼ不可能であるが、災害への事前の準備や整備によりある程度の減災は可能であるため、神経発達症の子どもたちの被害を最小限に止め適切な支援を実施するためにも、早急に食料品や備品、個別サポートブック等の整備、PTSD 発症時の心理専門スタッフの支援体制の充実が必要不可欠である。しかしながら、災害に対する対策は各施設の責任者の考えによることも大きく、各施設の予算等にも関係してくることから、画一的な整備の充実は難しいと推測する。今後不足している部分を各施設其々で対応するには限界があるため、先ずは鹿児島市全体で児童発達支援・放課後デイサービス施設における災害対策に関する基準を作り、災害対策の予算化、防災・減災についての啓もう活動を行うなど、組織としての取り組みと支援の拡充が望まれる。

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、鹿児島市の児童発達支援・放課後デイサービス施設の管理者の皆様へ深く感謝いたします。

大規模災害を想定した文化財防災 DIG（災害図上訓練）ワークショップ の実践と課題—霧島市を事例として—

教育学系 深瀬 浩三

1. はじめに

近年多発している異常気象や地震、津波、火山噴火などによる自然災害は、人命や地域のインフラだけではなく、人々の歴史や生活に密着した地域の文化遺産である古文書や考古・民俗資料、歴史的建築物などの文化財等にも甚大な被害をもたらしている¹⁾。これまで日本各地の歴史資料ネットワーク組織は多くの被災資料を救出しているが、災害で失われる前に、平常時から地域に伝えられた豊かな歴史資料を調査・記録・保全する活動と、未来に継承するための取り組みがますます重要となっている。

2013年9月に、鹿児島大学の佐藤宏之准教授を中心とする教員らによってボランティア組織として結成した鹿児島歴史資料防災ネットワーク（以降、鹿児島資料ネットと称す）では、自然災害発生前から資料保全活動に取り組む「予防ネット」として、鹿児島県内の地域の歴史資料の調査・保全、デジタル記録化、歴史資料の活用を行っている²⁾。また、単に地域の歴史文化資料を保全するだけにとどまらず、市民参加型のワークショップやシンポジウムを開催するなど実践的な研究を行っている。これら活動を通して、地域の歴史文化の担い手となる一般市民や自治体職員、資料保存機関職員などの幅広い層のボランティアの輪を広げてきた。

しかし、大都市に比べて地方では人的・物的資源に限りがある。また、2016年4月14日の熊本地震の際の歴史資料レスキュー活動における混乱状況などを教訓とし、持続的な歴史資料の保全活動を行うためには、平常時から県域を越えた相互支援が求められることが、筆者を含めた鹿児島資料ネットのメンバーで痛感した。2016年度から鹿児島資料ネットでは、宮崎資料ネットワーク（以降、宮崎資料ネットと称す）と沖縄県の研究者と連携して研究活動を進めている。この頃から、既存の文化財行政に依拠したトップダウン型から、市民参加のボトムアップ型の歴史資料防災・保全活動に転換し、広域連携による歴史資料ネットワークの形成によって、相互支援体制の構築をめざしている（佐藤、2019b）。

鹿児島資料ネットと宮崎資料ネットの連携の一環として、宮崎資料ネットのメンバーである九州保健福祉大学の山内利秋准教授による考案で、2018年度から大規模自然災害を想定した予防・対応策を考えるために、自衛隊で行われている指揮所演習を応用した災害図上訓練(Disaster Imagination Game : DIG)³⁾と、博物館などが実施している防災シミュレーション活動を合わせた「文化財防災 DIG」のワークショップに取り組んでいる。

近年、各自治体では災害からの避難や人命救助を最優先とした防災対策の一環で、地域住民の「災害を理解する」「町を探求する」「防災意識を掘り起こす」などの観点から、参加者が対象地域の大きな地図や各種ハザードマップなどを取り囲んで、経験したことのない災害をイメージして、みんなで情報を書き込みながら議論していく、DIG（ディグ）のワークショップが盛んに行われている⁴⁾。DIGは、地域の防災力、災害への強さ・弱さを認識し、防災（減災）に対して今後どのように対応していけば良いのかに気づき、理解することが特徴である（瀧本、2019）。防災教育において、DIGが地図に親しみのない人たちには読み取りづらいハザードマップに対する理解を深める方法の一つとして評価されている（大西ほか、2007）。

これまでに、鹿児島資料ネットと宮崎資料ネットの共催で、2018年9月に宮崎県日向市（ワークショップは宮崎市で実施）で、南海トラフ地震によって大規模津波災害を想定したワークショップ⁵⁾を、2019年1月には、鹿児島県出水市で、2006年7月に実際に発生した鹿児島県北部豪雨災害をもとにした文化財防災 DIG のワークショップ⁶⁾を開催した。具体的には、鹿児島県で災害が発生した場合は、宮崎県で情報収集・発信を行い、宮崎県で災害が発生した場合は、鹿児島県がそれを担う協力体制で歴史資料レスキューのシミュレーションを行った。

その結果、災害時における歴史資料の保全活動を、平常時に DIG によってシミュレーションしていく必要性が高いことが分かった。だが、DIG に文化財防災に応用した実践は少ないことから、

地域の実情、災害の種類に応じて文化財防災 DIG の実践的研究の蓄積が求められる。そこで本研究では、鹿児島県霧島市を事例に、集中豪雨災害を想定した文化財防災 DIG のワークショップを実践し、その成果と課題を明らかにすることを目的とする。

研究方法については、霧島市教育委員会の協力の下で、鹿児島資料ネットと宮崎資料ネットの共催で、2020年2月1日～2日にかけて文化財防災 DIG のワークショップと巡検を開催した。参加者は、筆者も併せて大学教員や学生、学芸員、霧島市役所職員の計19人が参加した。一日目は、霧島市内にある国分シビックセンターの研修室で、歴史文化資料の所在確認と災害時におけるそのレスキュー活動をDIGでシミュレーションしていった。具体的には、災害発生から歴史資料レスキュー活動実施までの組織・連絡網の確認と情報伝達、状況把握、諸手配、歴史資料の保管場所の確保、実際の活動時における手順の確認、歴史資料の搬出と保管などについて検討、問題点の確認などを行った。二日目は、ワークショップでシミュレーションした現場を、実際に自動車で巡検しながら実況検分を行った。

2. 文化財防災 DIG の準備とワークショップの実践

1) 当日までの準備

2018年度に2回実施したワークショップと同様に、鹿児島資料ネットと宮崎資料ネットのメンバーが事前に打ち合わせを行い、テーマや対象地域、二日間の日程の決定を行った(図1)。そして、当日のスケジュールとスタッフの役割分担(進行役(ファシリテーター)、各グループのリーダー、受付係、記録係など)を確認し、地図・小道具の準備、配布資料の作成を行った。参加人数がある程度分かってきた時点で、名簿の作成と当日のグループ分け(1グループ:4人～5人)を行った。また、今回は霧島市教育委員会の協力で、会場の手配、各種ハザードマップ⁷⁾、スクリーンとプロジェクターなどの機材を準備してもらった。

ワークショップのシナリオ内容については、佐藤宏之先生の協力を得て、自然災害の想定は、過去に霧島市を含む鹿児島県内で発生した自然災害の情報⁸⁾、地元新聞記事⁹⁾などを参考にした。また、災害発生からの被災地での歴史資料レスキュー活動のタイムライン(時間軸に沿った経過)

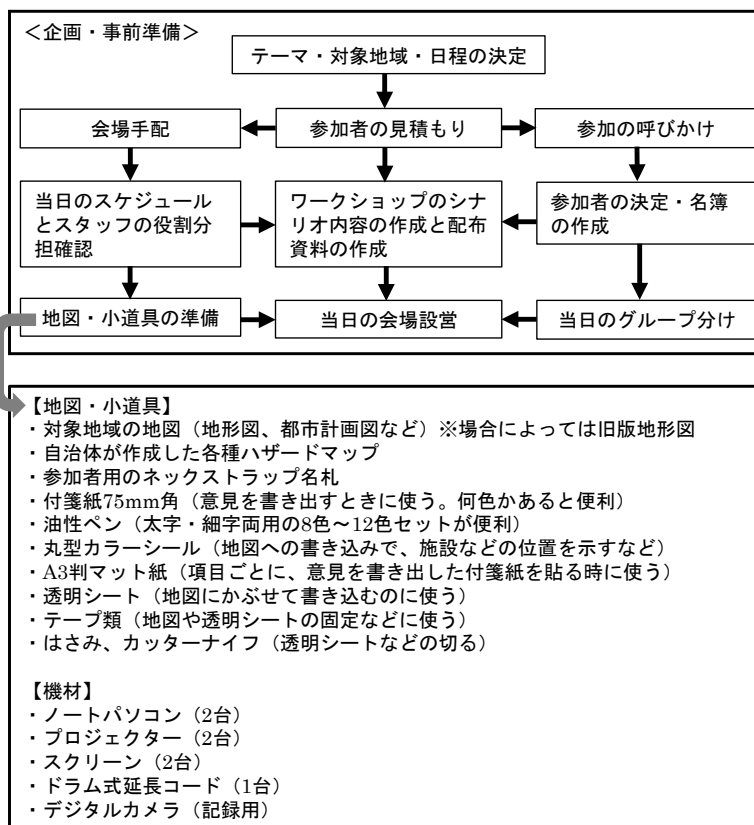


写真1 DIGワークショップで使用される地図、ハザードマップ、小道具
(2020年2月1日 深瀬撮影)

図1 DIGワークショップの企画・事前準備のフロー
(筆者作成)

形式によるシナリオの作成については、近年の大規模災害における日本各地の歴史資料ネットワークの活動や松尾・CeMI タイムライン研究所（2016）などを参考にした。そして、災害発生からしばらくは日単位での活動とし、実際の被災現場に入る際には時間単位の活動となるようなタイムラインにして、地図などで確認しながら、現地入り前の準備物や現地への移動経路、活動内容、記録、保管場所などで準備・実施すべきことは何かについてグループで議論し、記載していくシナリオ内容にした。

ワークショップ当日の会場設営については、スクリーンとプロジェクター、ノートパソコンの設置と接続を行った。また、作業台は4グループ分設営し、各机の上に地図、各種ハザードマップを置き、フィルムシートを貼り付けた（写真1）。その他に、油性ペン、付箋紙、丸形カラーシール、タイムラインごとに対応を書いた付箋紙を貼り付けるA3判ワークシートを各机の上に置いた。

2) ワークショップの実践

一日目のワークショップでは、会場の前方にスクリーンを進行用と計時・地図などを映し出す用に2台用意することで進行の効率を図った（図2）。当日のスケジュールについては、受付・資料配布→開会の挨拶→事前説明→シミュレーション作業活動→グループ発表・評価→閉会の挨拶→アンケート調査票の実施・回収→後片付けの順に進めた（図3）。

事前説明では、進行役の筆者からDIGの概要、目的・目標の確認、進行ルール（ワークショップの流れとシミュレーション作業の手順）を説明した。鹿児島資料ネットと宮崎資料ネットと地域（被災地）の連携による資料レスキュー活動の流れの理解や課題点を把握することを参加者に伝えた。次に、グループごとに自己紹介と役割決めなどを行ってもらい、対象地域の概要については霧島市役所職員から説明してもらった。

今回のワークショップでは、実際に1993年8月1日に鹿児島県始良郡を中心とした地域を襲った集中豪雨（8.1水害）、同年8月6日に鹿児島市を中心とした地域を襲った集中豪雨（8.6水害）を事例に、霧島市内を流れる天降川とその支流の洪水被害を想定してシミュレーションを行った。進行役から、災害時の現場では状況は時々刻々と変化しており、とるべき対応も当然変化することと、仮定の被害想定を説明し、過去の災害被害などの写真を見せて、具体的な被害イメージを共有した。また、アドバイザーについては、九州保健福祉大学の山内利秋准教授にお願いした。

シミュレーション作業活動では、災害発生直後からタイムラインに沿って、進行役が出した地域の情報を聞いて、参加者は時間経過とともに変化していく状況を確認しながら、予想した被害様相を前提に、「自分たち（両資料ネットと地域）がなすべき、迅速に対応した行動、その時、遭

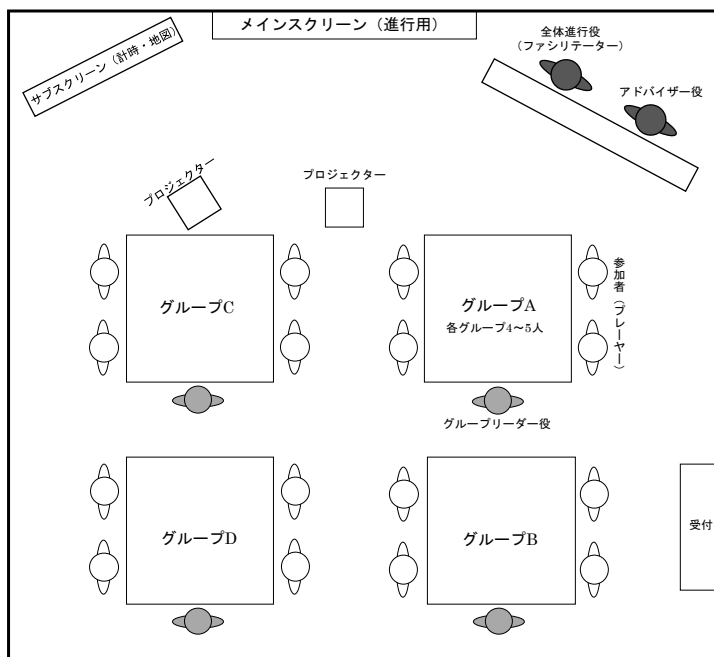


図2 DIGワークショップの会場配置
(筆者作成)



写真2 グループでのシミュレーション作業活動
(2020年2月1日 深瀬撮影)

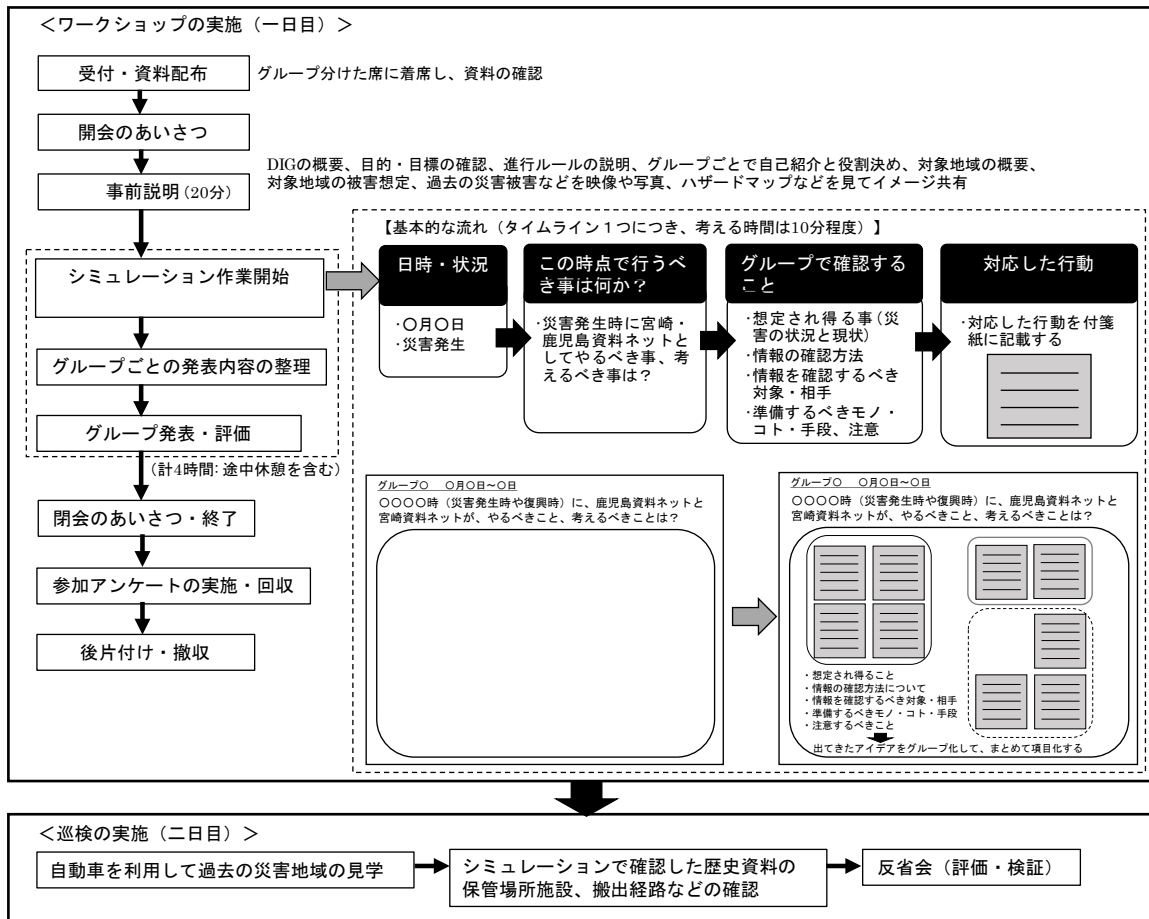


図3 DIGワークショップ・巡検実施のフロー
(筆者作成)



遇すると思われる問題」を付箋紙に記載していく作業（約10分ずつ考えていく）を行った（写真2）。両資料ネットや地域が、現地入り前の準備物や現地への移動経路、活動内容、記録、歴史資料の搬出、一次保管場所などの準備・実施に対して、「やるべきこと」「考えるべきこと」「想定されること」「情報の確認方法」「情報を確認するべき対象・相手、準備すべきモノ・コト・手段」「行動する時に注意すべきこと」を書き出した付箋紙をワークシートに貼り付け、その内容に応じてグループ分けする。また、進行役やアドバイザーから、訓練の進行中の評価や、見落とされている防災上の論点などについてコメントして参加者にイメージを膨らませるようにした。

シミュレーション作業が終わったら、再度、グループでタイムラインをさかのぼって、内容を整理した。最後に、グループ発表・評価では参加者自身が地域の防災力と特徴を理解し、それを発表することによって、実際の資料レスキュー活動の流れを理解するとともに、課題となるべき点（困難さ、足りないところ）を把握し、参加者全員が「気づき（発見）」を共有した（写真3）。



写真3 各グループの発表
(2020年2月1日 深瀬撮影)

3. 巡検の実施

地形図やハザードマップで架空のシナリオに従い DIG のワークショップを行っても、現実の空間で起こる出来事と実感されづらい。そのため、二日目は自動車で霧島市内の過去の災害地域や前日のワークショップで取り上げたレスキューした歴史資料の一時保管候補施設（国分郷土館、隼人歴史民俗資料館）と行動経路の確認を行った。机上での地形図やハザードマップなどを使ったシミュレーション作業で気がつかなかったことをメモしたり、写真撮影を行った（写真 4）。



写真 4 霧島市教育委員会職員による
地域の説明（於：城山公園）
（2020年2月2日 深瀬撮影）

4. おわりに

本研究では、鹿児島県霧島市を事例に、集中豪雨災害を想定した文化財防災 DIG のワークショップを実践し、その成果と課題を明らかにした。

文化財防災 DIG のワークショップは、実際の災害が発生した際に必要な準備と現状では「何が不足しているか」を俯瞰し、さらに様々な立場の参加者が連携してアイデアを出し合うことで、相互理解を深め、効率的に議論を進めることができた。参加者の感想をみると、「歴史資料保全などの専門性を高める上でとても意義があった」「改めて歴史資料の保護や重要性について感じた」「広域連携の重要性を認識できた」と答える参加者が多かった。アンケート結果の分析については別の機会に改めるとして、参加者の多くは土地勘がないので、空中写真の活用や地形図やハザードマップの読図学習などが課題の一つであることが分かった。この点も含めて、今後のワークショップ内容の改善に努めたい。

以上のように、平常時からの歴史文化資料の防災対策に DIG を活用する本研究のような実践は、地域の防災上の長所・短所が理解でき、防災ネットワークの形成が図れ、防災意識が育まれる。そして、地域防災力を高めるための防災対策、防災計画に還元できると考える。また、巡検を組み合わせることで、体験の共有と共同作業の実感を高めることができ、いっそうの教育効果が期待できる。今まで実践した宮崎県日向市と鹿児島県出水市での文化財防災 DIG のモデルとともに、このような取り組みが他地域へ波及することが期待される。

今後も鹿児島資料ネットの「予防ネット」としての存在意義や、宮崎資料ネットなどとの広域連携によって、地域ぐるみで歴史を継承し、また、新たな歴史文化を育てていく基盤としての役割を、一般市民に分かりやすく伝えていきたい。

注

- 1) 地域の歴史文化資料の保全問題は災害時ばかりの話ではない。地域の歴史文化資料が最も失われやすいのは、世帯の代替わりや家の改築、取り壊しや引っ越しの時などである（奥村、2014）。とくに、地方の中山間地域では、都市部への人口流出による過疎化などによって、若い世代へ地域の歴史文化の継承が進まず、地域の歴史資料が散逸・滅失の危機的状況にあり、それを近年の大規模自然災害の頻発が加速化させている。
- 2) 詳細な活動内容については、鹿児島歴史資料防災ネットワークの Web ページ（<http://kagoshima-shiryounet.seesaa.net/>）を参照されたい。
- 3) DIG（Disaster〔災害〕、Imagination〔想像力〕、Game〔訓練〕）は、1997年に小村隆史氏（防衛庁防衛研究所）と平野 昌氏（三重県消防防災課）が、自衛隊が行う指揮所訓練（Command Post Exercise）などのノウハウを応用し、三重県県の災害救援ボランティアなどとともにワークショップを開催したことがきっかけである（小村・平野、1997）。一般市民が独力で企画・運営できる簡易型の図上防災訓練として誕生した。英語の dig は、「掘り起こす、探求する、理解する」との意味があるが、「防災意識を掘り返す」「地域を探求する」「災害を理解する」といった意味も込めて、この災害図上訓練のノウハウを「ディグ」と呼んでいる。小村氏と平野氏の発案による DID のワークショップの準備と進め方については、その後、日本各地の各自治体で、行政、住民、各種団体などで DIG のワークショップが普及していった（災害対策研究会 Web ページより）。また、学校教育現場の防災教育でも DIG を導入した授業実践が行われている。
- 4) DIG には決まったルールはなく、対象となる災害や参加者の立場・役割、関心に応じてさまざまなやり方がある。どの場合も大きな地図を使って、その上に透明なフィルムシートをかぶせて油性ペン、大きめの付箋紙などを使って書き込みを行いながら、参加者全員で議論することが共通点である。より有効な成果をあげるためには、多様な立場の地域住民の参加が望まれる。DIG の概要やワークショップの準備と進め方のマニュアルなど

- については、図上型防災訓練マニュアル研究会（2008、2011）、災害対策研究会、岐阜県、埼玉県、静岡県地震防災センターなど、以下の URL 一覧に示した Web ページを参照されたい。
- 5) 2019年9月9日に、宮崎県宮崎市にあるみやざきアートセンターで、文化財防災 DIG のワークショップを開催した。9月10日には、自動車を利用してワークショップで取り上げた日向市美々津重要伝統的建造物群保存地区とレスキューした資料の一時保管候補の施設の確認を行った。ワークショップの詳細については、松山・山内（2019）を参照されたい。
 - 6) 2019年1月26日に、鹿児島県出水市内にある出水麓歴史館で、出水市教育委員会の協力の下で、2006年7月に実際に発生した鹿児島県北部豪雨災害をもとに、文化財防災 DIG のワークショップを開催した。1月27日には、自動車を利用して2006年の集中豪雨で土砂災害地域と、ワークショップで取り上げたレスキューした資料の一時保管候補の施設の確認を行った。ワークショップの詳細については、佐藤（2019a）を参照されたい。
 - 7) 霧島市の各種ハザードマップについては、霧島市役所の Web ページ（<https://www.city-kirishima.jp/anshin/shobo/kazan/bosai-map/index.html>）から PDF ファイル形式でダウンロードできるので参照されたい。
 - 8) 鹿児島県庁の Web ページ「県内の災害情報」（<http://www.pref.kagoshima.jp/bosai/saigai/index.html>）では、鹿児島県内の江戸時代以前から現在にかけての歴史災害のデータが公開されているので参照されたい。
 - 9) 鹿児島大学附属図書館から南日本新聞データベース（<https://mall.373news.com/pdb2/login.php>）を活用した。

文献

- 大西宏治・廣内大助・富田啓介（2007）：災害・防災に関する生涯学習地理教育の試み—愛知県天白川を事例として—。小林浩二編：『実践地理教育の課題』 ナカニシヤ出版，pp.208-221.
- 奥村 弘編（2014）：『歴史文化を大災害から守る—地域歴史資料学の構築—』 吉川弘文館。
- 小村隆史・平野 昌（1997）：図上訓練 DIG (Disaster Imagination Game) について。地域安全学会論文報告集，7，pp.136-139.
- 佐藤宏之（2019a）：地理情報システムを用いた歴史文化情報の可視化と災害対策への活用に向けた基盤構築。鹿児島大学地震火山地域防災センター平成 30 年度報告書，pp.73-78.
- 佐藤宏之（2019b）：鹿児島歴史資料ネットワーク、再始動—少ない人数で広範囲な地域の歴史資料を保全するために—。第 5 全国史料ネット研究交流集会・人間文化機構編：『第 5 全国史料ネット研究交流集会 in 新潟報告書』 人間文化研究機構，pp.54-57.
- 図上型防災訓練マニュアル研究会（2008）：『市町村による図上型防災訓練の実施支援マニュアル』 総務省消防庁国民保護・防災部応急対策室。
- 図上型防災訓練マニュアル研究会（2011）：『市区町村による風水害図上型防災訓練の実施支援マニュアル』 総務省消防庁国民保護・防災部応急対策室。
- 瀧本浩一（2019）：『地域防災とまちづくり—みんなをその気にさせる災害図上訓練—（第 5 版）』 イマジン出版。
- 松尾一郎・CeMI タイムライン研究所（2016）：『タイムライン—日本の防災対策が変わる—』 廣済堂出版。
- 松山真弓・山内利秋（2019）：隣接地域間での連携について考える。第 5 全国史料ネット研究交流集会・人間文化機構編：『第 5 全国史料ネット研究交流集会 in 新潟報告書』 人間文化研究機構，pp.58-61.

URL

- 鹿児島県庁「県内の災害情報」（<http://www.pref.kagoshima.jp/bosai/saigai/index.html> 最終閲覧日 2020 年 1 月 15 日）
- 鹿児島歴史資料防災ネットワーク（<http://kagoshima-shiryonet.seesaa.net/> 最終閲覧日 2020 年 1 月 15 日）
- 霧島市役所「ハザードマップ」（<https://www.city-kirishima.jp/anshin/shobo/kazan/bosai-map/index.html> 最終閲覧日 2020 年 1 月 15 日）
- 岐阜県「災害図上訓練 (DIG:ディグ) で地域の防災力をアップしよう」（<https://www.pref.gifu.lg.jp/kurashi/bosai/bosai-taisaku/11115/dig.html> 最終閲覧日 2020 年 1 月 15 日）
- 災害対策研究会「災害図上演習を活用した防災対策推進サイト」（<https://www.saitaiken.com/> 最終閲覧日 2020 年 1 月 15 日）
- 埼玉県「災害図上訓練 (DIG) テキスト」（<https://www.pref.saitama.lg.jp/a0401/zusyokunren.html> 最終閲覧日 2020 年 1 月 15 日）
- 静岡県地震防災センター（<http://www.pref.shizuoka.jp/bousai/e-quakes/index.html> 最終閲覧日 2020 年 1 月 15 日）
- 南日本新聞データベース（<https://mall.373news.com/pdb2/login.php> 最終閲覧日 2020 年 1 月 15 日）

謝辞

本研究を進めるにあたって、鹿児島大学教育学系の佐藤宏之准教授、同大学法文学系の丹羽謙治教授、九州保健福祉大学の山内利秋准教授、霧島市教育委員会社会教育課文化財グループの小水流一樹氏には大変お世話になりました。ここに記して厚く御礼申し上げます。

離島の介護職員を対象とした防災・減災教育の研修報告

医学部保健学科 今村 圭子・松成 裕子

1. はじめに

2019年12月5日 ドイツの環境NGOは、去年1年間に世界で最も深刻な被害を受けたのは、日本だったという報告をした。これほどまでに日本においては、異常気象で記録的な豪雨や猛暑に見舞われ、災害が多発していた。また、これまでも1995年淡路・阪神大震災、2011年東日本大震災、2016年熊本地震、2018年北部九州豪雨災害、2019年台風15号、19号等々により甚大な被害を被っている。そして、日本各地の離島においても多岐にわたる災害ではあるが、高波・高潮、地震、火山、土石流、津波などの複数のリスクにさらされている。

このような現在、自然災害にどのように備えるべきかという防災・減災意識が必要である。田原ら¹⁾は、被災経験があるほうが防災・減災意識が高いという調査結果を明らかにしている。また、松橋ら²⁾の福祉施設における災害に備える研修の取り組みに関する調査では、「実施している」と回答した施設は37.9%、「実施していない」施設は62.1%であった。そして、研修の主催は「施設」「地域」「社会福祉協議会」であり、研修内容は「防災知識」「災害事例検討」「災害設備や器具の取り扱い操作」「救命救急訓練」であったとの報告をしている。一方、2018年に著者らが行った離島の介護老人施設に勤務する職員を対象にした防災・減災に関する調査においては、それらの研修は行われてはいない状況であった。そして、対象である介護職員の防災・減災意識は、その被災経験の有無に関係なく共通していることは、「危機感がない」という回答であり、感想では「今は過去のことになってしまっている」「テレビの中の、他所で起こっている出来事といった感じ」という記述があり、いくら災害を経験しても、人の記憶は薄れていくことが示された。このように災害が多いというニュースに対してもどこか他人事、自分は災害には合わないという思いがあることが容易に推測できた。

しかし、日本各地の離島において災害が発生すると、救助・救援活動には多くの困難が立ちほだかり、孤立が推測される。これを更に悪化させることは、離島では高齢化率、人口減少率いずれも高い傾向を示し、独居世帯数および高齢者世帯数も顕著な増加は事態を増悪させるであろう。このように災害時、高齢者は災害の影響を受けやすく、そのような日常生活の支援を行う介護職員の役割は大きくなっている。

そして、前述した調査では、介護職員から「防災・減災等について何も知らない」「自分たちのこととして捉えられない」「防災・減災の知識として何が必要で、何が不足しているのかも分からない」等の声が聞かれ、防災・減災に対する知識及び関心の薄さを感じた。一方、避難者の健康維持を考え「緊急時の観察（看護師に的確に報告できるため）が出来るようになりたい」の声も聞かれた。そこで、離島の介護職員の防災・減災に関する関心を高めることに繋がることへの一助となることを目的とし、五島市の介護職員を対象に防災・減災に関する研修を行った結果を報告する。

2. 研修

- 1) 目的：離島の介護職員の防災・減災意識の向上とする
- 2) 日時：2019年12月16日9:00～15:30
- 3) 研修内容と方法

表1に示す。

表1 研修内容

内容	方法
五島市の地域防災計画を理解しよう ・防災計画の目的 ・(離島の)地域防災の特徴 ・発災時の他機関との連携	講義

・ 備蓄品の状況等	
五島に起こりうる災害（水害・土砂災害）について知り、命を守る手段を考えよう ・ 水害・土砂災害の被害の実際（奄美の事例） ・ 五島の地形を知る ・ 施設の防災・減災対策 ・ 介護職者としての防災・減災対策等	講義
フィジカルアセスメントを学ぼう 情報共有に役立つフィジカルアセスメントの基礎について バイタルサインの観察	講義
避難所運営ゲーム（HUG）を通して、避難所での生活環境を整える援助を考えてみよう	演習

4) 研修終了後、研修内容等に関するアンケートを実施する。

アンケートの内容は、参加者の属性、研修内容である1. 五島市の地域防災の理解、2. 五島の地形と災害の危険性との関連付け、3. 介護職者の防災・減災に関する認識、4. フィジカルアセスメントについて、5. 避難所運営ゲームについてとし、各項目3件法「思う」「どちらともいえない」「思わない」のリッカート法式で行った。

3. 結果

1) 参加者

五島市内の介護福祉施設に勤務する介護職者を対象とし、五島市の市民生活部長寿介護課の協力を得て、参加募集した結果27名の参加者があった（1日参加者は25名）。参加者の概要を表1に示す。

表1 参加者の概要

項目	内容
性別	男性 8名 (32%)
	女性 15名 (60%)
	回答なし 2名 (8%)
年代	20歳代 1名 (4%)
	30歳代 6名 (24%)
	40歳代 8名 (32%)
	50歳代 8名 (32%)
	60歳代 2名 (8%)
研修参加の意思	自主的 12名 (48%)
	施設から 13名 (52%)
役職	管理者 9名 (33%) (短期入所生活介護施設・デイケア施設・居宅介護支援事業所・グループホーム)
	職員 18名 (67%)

2) 研修終了後のアンケートの結果

(1) 五島市の防災計画は、施設の防災計画の見直しなどに役にたったか。

役に立ったとしたものは18名（72%）、どちらともいえないは7名（28%）であった（図1）。

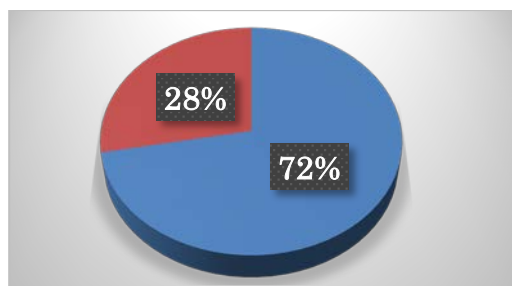


図1 五島市の防災計画は、施設の防災計画の見直しなどに役にたったか

(2) 五島の地形と災害の危険性との関連付けが出来たか。

出来たとするものは19名(76%)、どちらともいえないは5名(20%)、回答なし1名(4%)であった(図2)。

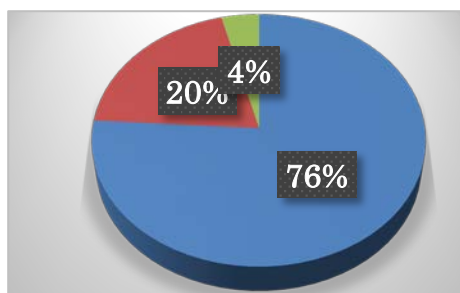


図2 五島の地形と災害の危険性との関連付け

(3) 災害時の介護職者としての役割認識の変化

変わったとするものは21名(84%)、なんともいえない2名(8%)、変わらない2名(8%)であった(図3)。

変わらないとした理由は、「自分で認識していたものと内容は変わらないと思った」であった。

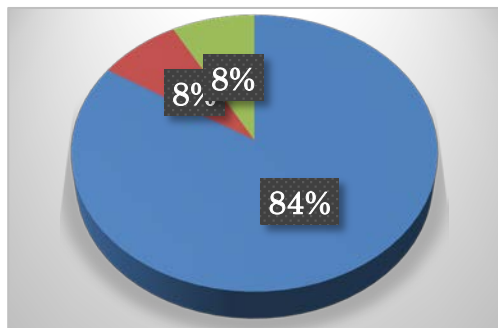


図3 災害時の介護職者としての役割認識の変化

(4) フィジカルアセスメントについての知見を広めたか

広めることができたとするものは17名(68%)、どちらともいえないは7名(28%)、無回答1名(4%)であった(図4)。

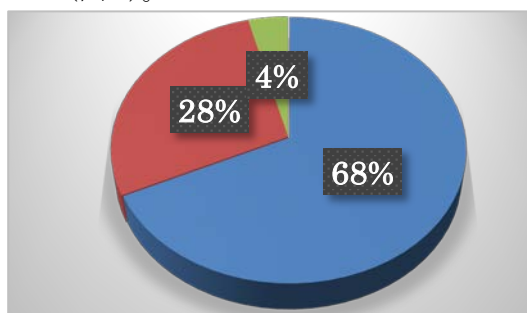


図4 フィジカルアセスメントについての知見を広めたか

(5) 避難所運営ゲーム (HUG) は、実際に役に立つと思うか

避難所の運営に役にたつとするものは 20 名 (80%)、何ともいえないは 4 名 (16%)、無回答 1 名 (4%) であった (図 5)。

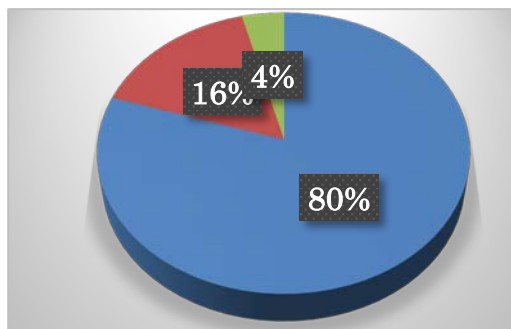


図 5 避難所運営ゲーム (HUG) は、実際に役に立つか

(6) 防災・減災に関して、研修前と後では関心度は変わったか

防災・減災意識が研修前と後で変化したもの 20 名 (80%)、何ともいえない 3 名 (12%)、無回答 2 名 (8%) であった (図 6)。

意識が変わった理由として「防災に対して認識が足りず大丈夫だと思っていた」「施設だけでなく地域での防災という視点を持つことが出来た」「いつ起こるか分からない災害に対して、日頃の備えなどの必要性をさらに感じた」「火災訓練しか実施していないので、他の災害も想定して訓練を行いたいと思った」「事前の準備の必要性を感じた」などの意見があった。

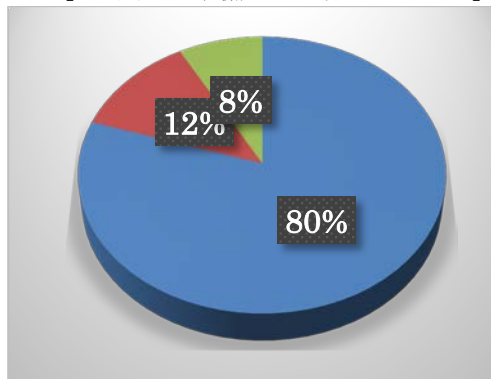


図 6 防災・減災に関して、研修前と後では関心度の変化

4. 考察

今回、離島の介護職員の防災・減災意識の向上とすることを目的に、長崎県の離島の 1 つである五島列島の五島市内に勤務する介護職員を対象に研修を行った。研修後のアンケートの「防災・減災に関する関心度の変化」と「介護職員の役割認識の変化」を中心に考察する。

1) 参加者の背景

今回の研修の参加において、施設長からの勧めではなく自主的に参加した人は、約半数であった。自主とは、他からの干渉や保護を受けず、独立して事を行うことである。多発する災害への恐怖心が防災・減災というキーワードとマッチしたことが、自主という行動に表れたと推測される。災害はいつ・どこで起こるか予測がつかないため、危機感や対策には結びつきにくいという傾向がある³⁾が、研修に自主参加したことで、これらは結果に影響したものとする。そして、さらに防災・減災への関心を高めや役割認識に変化を及ぼしたと考える。また、今回の研修参加者の 3 割は管理者であった。松橋ら¹⁾の調査によると約 8 割が災害に備えた災害介護の研修の必要性を感じていたが、実施していた施設は約 4 割であったと報告をしている。離島の教育環境には不利な点が多いと言われる。研修を受けようと思うと島外に出ないといけない。時間を要するという点である。このような離島特有の環境の中、防災・減災に関して学習する機会があれば参加し、災害時に利用者の命を守りたいとの思いの表れではないだろうか考える。また、管理職の施設は、短期入所生活介護、グループホーム、居宅介護支援事業所など比較的小規模の関係者であっ

た。介護職者に対する教育は、介護福祉士養成校においては、平成21年4月からカリキュラム改正により、災害介護教育が行われるようになってきているが、現場の職員に対する災害介護教育等を含む防災教育は、各施設に委ねられているのが現状である。離島という立地条件が学ぶ機会を難しくしていることは否めない。防災・減災に関する教育は、高齢者の命を守ることと直結していると言っても過言ではない。職員の教育は管理職の考えにより左右されることもある。防災・減災に対する職員の意識を高めるために、管理者の受講があったとするのであれば、研修を開催した意義があったと評価したい。

2) アンケート結果

(1) 「介護職員の役割認識の変化」

介護職員の役割認識が変わったと回答したものは84%を示した。一方、介護職員の役割認識の変化で変わらないと回答したものは2名(8%)であり、その理由として「自分で認識していたものと内容は変わらないと思った」であった。これにより、変わらないと回答したものは受講者の8%でしかなかった現実には、介護職員が災害時における役割をほとんどの介護職者は認識していないということを明らかにした結果であったと言える。

(2) 「防災・減災に関する関心度の変化」

介護職員の防災・減災に関する関心度が変化したと回答したものは80%を示した。一方、井上³⁾は離島で勤務する職員の災害に対する関心度を調査し、その結果92%と高い関心度を示したことを報告している。数位だけを比較すると、関心度としては十分とは言えないのかもしれない。しかし、関心度が変化した内容として、「防災に対して認識が足りず大丈夫だと思っていた」「事前の準備の必要性を感じた」などであり、「災害は人事」とした思いがあったことを裏付けるものであり、言い換えると、いつ、どこでも災害は発生する可能性があることを認識することができたということであろう。

災害は、いつ、どこで起きるか予測がつかないため、危機感に結びつき難く、関心が低くなることはやむを得ないことであろうと思われる。だからこそ、知識を得る場を設定することは必要なことであると考えられる。今回の研修を受講し知識を得たことで、「役割認識の変化」「防災・減災に関する関心度」が変化したことからも、定期的に研修などの教育の場を提供することは、離島など立地条件が悪い場所ほど必要性があると考えられる。

3) 災害対策において、被災経験のある地域とない地域との結果比較

北川⁴⁾が高齢者施設を対象に防災意識に関する調査結果において、防災意識は総じて「高い」と評価した施設は、被災経験有の場合は18.3%、被災経験無の場合は8.2%であり、日常的な介護を担う施設の職員が、自然災害への備えを意識しているとはいえない状況であることを報告している。また、防災意識が低いほうであると回答した施設は、被災経験有の場合は32.1%、被災経験無の場合は46.6%であり、日常的にあまり防災に関心が払われていない施設が多いことを明らかにしており、今回の結果と一致していると言える。この結果の根底にある物は、「災害は人事」ということであろうと考える。

4) 研修の内容と方法について

高室⁵⁾は「災害研修は知識と情報だけでなく、訓練も含めた演習を行うことでより実践的な内容となり、「受講+話し合い+演習」をセットにした参加型研修が効果的である」と述べている。今回の研修内容に「避難所運営ゲーム(HUG)」を取り入れた。アンケートの自由記載の欄に、「HUGは大変参考になった。考える良い機会となった」「HUGゲームは、とても頭を悩ましたが勉強になった」などの記述があった。実際、実施時の様子から真剣に取り組む姿が見られた。このようにゲームであるが、演習を取り入れたことが防災・減災に対する意識の変化に効果をもたらしたと考えられる。

5) 今後の課題

今回の研修結果をまとめ、正しい知識とその知識に基づいて判断、行動変容があることが教育であると筆者らは考える。研修受講後の行動変容を直接、確認することが出来ないことが残念ではあり、今後の課題ではある。しかし、今回の研修の目的である「離島の介護職員の防災・減災

意識の向上の一助となる」は、研修後の調査の結果から達成できたと判断して良いと考える。今後は、防災・減災教育の推進をどのように行っていくことが、防災・減災意識の向上に繋がるのか、災害時に適切な行動がとれる人材育成をどのように行うのかなど研修方法、内容など行政と一緒に検討していくことが必要と考える。

5. 結論

1. 離島で介護職者を対象に行った研修は、「介護職員の役割認識」に変化を生じさせ、「防災・減災に関する関心度」を高めることに繋がった。

引用文献

- 1) 田原美香, 北川慶子, 高山忠雄 (2012): 社会福祉施設の避難所機能に関する研究—介護保険施設・障害者自立支援施設に対する全国調査から—, 社会福祉 53(1), 16–28.
- 2) 松橋朋子, 村上照子 (2010): 高齢者施設における災害対策の実態と災害介護教育に関する意識—A 県内の特別養護老人ホーム管理者への調査から (第 1 報)—, 日本赤十字秋田短期大学紀要・日本赤十字秋田短期大学紀要, 15, 33–40
- 3) 井上静子, 大藪隆昭, 近井優美子他 (2006): 離島で勤務する災害に関する意識調査, 中国四国地区効率病院機構・国立療養所看護研究会誌, 2 (1), 163-166.
- 4) 北川慶子, 宮本英揮: 介護保険施設の自然災害被災体験と防災意識に関する研究, extwww.c.c.saga-u.ac.jp/~kitagake/image/articles-3.pdf, 2019.3. 29.
- 5) 高室成幸 (2009): おはよう 21, 20(7), 27.

画像を利用した桜島噴火の自動検知手法の開発

地震火山地域防災センター 中谷 剛

1. はじめに

桜島は日本で最も活発な活動をしている火山の一つで、2019年には393回（気象庁）の噴火と爆発があった。このうち噴煙高度が3000mを超えるケースが18回であった。また桜島の10km西には、60万人都市の鹿児島市の中心部が位置しており、都市圏に近い火山でもある。

最近の大噴火は1914年で死傷者も出ている。現在、当時に匹敵するマグマ量の蓄積が観測されており、近い将来に大噴火が起きる可能性があるという警鐘が鳴らされている。また、中規模な噴火であっても、都市圏に近い火山であることから、観光、農業、漁業、一般的な生活・健康への被害等、経済的損失は地域の発展の妨げともなる。

桜島噴火を監視するために国や県だけでなく、民間企業も多数の監視カメラを設置している。しかし、噴火の判断は目視に頼らざるを得ないため、火山防災システムとしての利用は限定的となっている。そこで、監視画像を利用した噴火の自動検知手法を開発した。人に頼らず監視映像から自動で噴火の瞬間を捉えることができると、既に整備されている注意喚起システムや警報システムと連動した火山防災のシステム化が可能となり、防災の高度化に貢献することができる。

2. 画像による噴火の検知

(1) 画像による監視の課題

火山噴火に関する監視情報としては、以下のようなものがある。

- 地震情報
一定レベル以上の振幅を持つ地震波形を観測する。火山の活動状況の判断材料として利用。
- 空振情報
噴火による空気の振動を空振計（マイクロフォンの一種。耳に聞こえない低音も観測できる）によって観測する。火山の活動状況の判断材料として利用。
- 傾斜計
マグマの活動等に伴い火山体の傾斜が変化することを傾斜計で観測する（地殻変動観測）。噴火の前兆等の火山活動の推移を予想する。
- 監視カメラ画像情報
火山の活動状況を画像・高感度または熱赤外面像等として記録する。長時間の録画が可能。
- 土砂移動検知情報
ワイヤセンサ、振動センサ、音響センサ等により、火山堆積物の土砂移動を検知する。
- その他
火山ガスや気象条件等

これらの火山監視情報の中で、監視カメラ画像情報以外は、観測センサからの出力によってその後の情報処理の自動化が可能であるが、監視カメラの画像利用では目視等の人の判断を要する。

(2) 混合ガウス分布による動体検知

画像を利用する検知手法の最も一般的な方法は、画像の「背景差分」を利用する方法である。この方法は、予め背景として対象とする現象前（例えば噴火前）の状況を画像として準備し、現象が起きた後（噴火後）の画像との差分から相違点を求めることで、対象とする現象を捉えようとする方

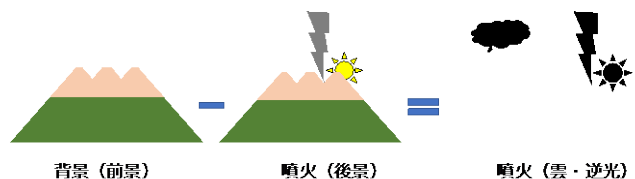


図1 背景差分の概要

法である。

この方法は、室内の環境変化が少ないか、制御可能な空間での現象を対象とする場合はある程度適用できる。一方、火山噴火のような自然環境の中で起こる現象を対象とする場合は、雲や太陽の逆光、雨等の天候による自然変化が背景画像に大きく影響するので不向きである。

この欠点を改善する方法として、直前の画像を背景差分として置き換えていく方法、差分後の画像から速度ベクトルを求めることで背景と対象とする現象を分離する方法等が提案されているが、防災を目的とする野外監視の場合は、自然条件も厳しくカメラの振動や画質劣化など背景画像に依らない影響も大きく実用化を妨げている。

本研究では、最近特に技術が進んできた混合ガウス分布による「動体検知」手法を応用する。火山噴火に限らず土石流や地滑り等の現象は、静止状態から動的状態へ突発的に変化する現象といえるので、動体検知手法が適用できる。この手法は、画像の入力毎に混合ガウス分布モデルを用いて背景モデルを構築できるため、背景画像を準備しなくても良いというメリットがあり、リアルタイム処理に向いている。

(3) 画像を用いた検知実験

動体検知手法の適用性を確認するため、国交省よりご提供頂いた噴火画像を用いた検知実験を行った。噴火画像は、噴火の直前から約2分間の動画ファイルで、10地点(内2地点は赤外画像)、23の異なる時間帯の230ケースとなっている。検知実験に用いた動画の諸元を表1に示す。また、表2には検知実験の結果を示す。監視カメラの機器によって著しく画像の悪いものを除いた202ケースの内、約90%のケースで画像による噴火の検知ができた。検知不可のケースは、目視によっても噴火を確認できないものも多数含まれていた。図2に、画像による検知事例を示す。

表1 動画の諸元

監視カメラ地点(10地点)	観測期間2013年	画像ファイル数	観測時間	画像ファイル数
海潟	5月	10	6-12時	80
黒神川1号ダム上流右岸	6月	20	12-18時	120
黒神川1号ダム上流左岸	7月	50	18時以降	30
黒神川右岸導流堤	8月	30		
重富	9月	50		
早崎	10月	60		
浮津	11月	10		
野尻川砂防センター				
黒神川(赤外)				
早崎(赤外)				

表2 画像による検知

画像ファイル総数	230	46ファイルが、赤外画像ファイル
有効画像ファイル数	202	14ファイルが、カメラ機器による画像の乱れ、振動、録画ミス等 14ファイルが、夜間撮影、雲によって目視でも確認できない
検知画像ファイル数	181	21ファイルは、コントラスト不足、雲による部分的な遮蔽、低い画質等により目視でも確認が難しいものが含まれている

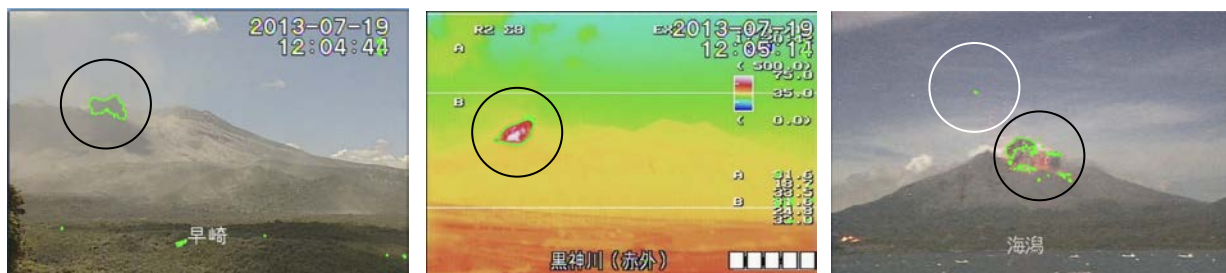


図2 画像による検知事例(左:可視画像、中央:赤外画像、右:噴石検知事例)
(緑線は噴火として判断された画像の輪郭を示している)

3. 噴火の自動検知手法

動体検知の手順を図3に示す。図4にはそれぞれの処理事例を画像で示す。動体検知によって画像による噴火の検知は確認できた。しかし、このままでは噴火の判断は目視に寄らなくてはならない。そこで、動体検知画素数に着目して、噴火の自動判定基準を検討する。

図3 画像による動体検知のフローチャート

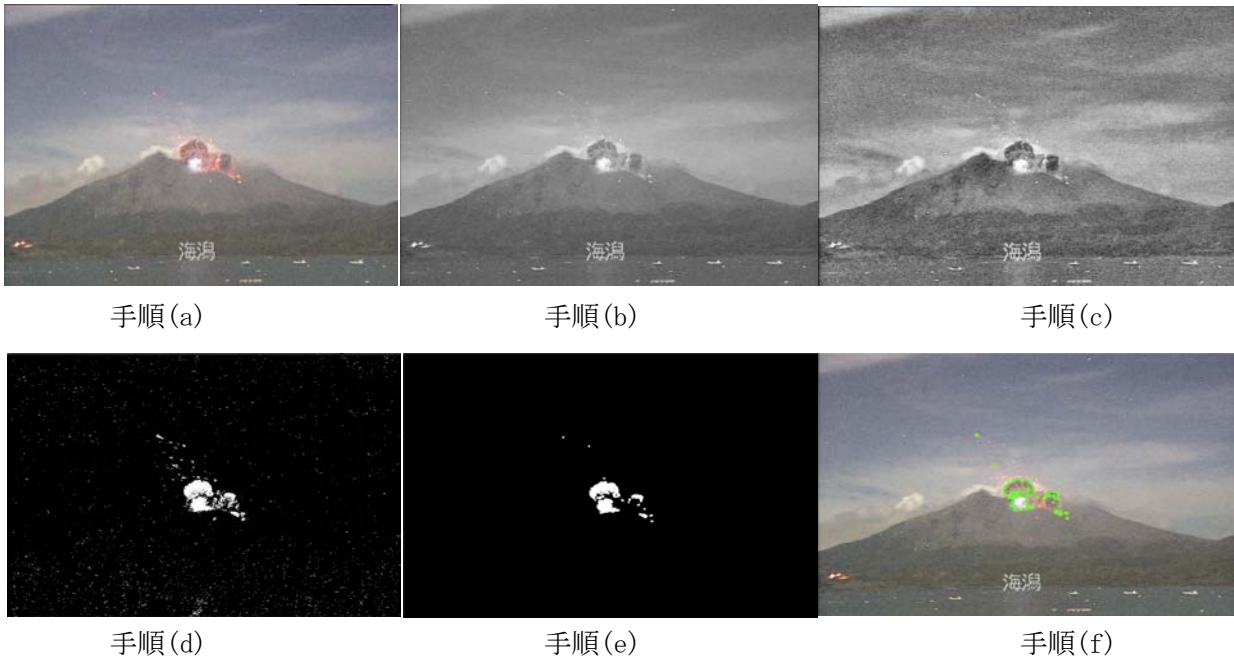
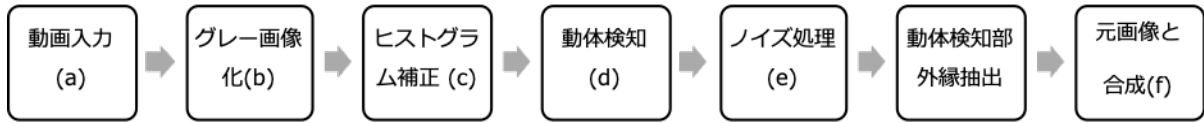


図4 動体検知処理による画像

図5に、検知画像（処理手順(e)）を用いて、動体として検知された画素数（動体画素数）の時間変化を示した。図中の矢印で示す時刻に動体画素数が急増していることがわかる。この時刻は噴火の発生時刻と一致している。したがって、動体画素数が急増する点を判定することで、噴火の自動検知が可能となる。

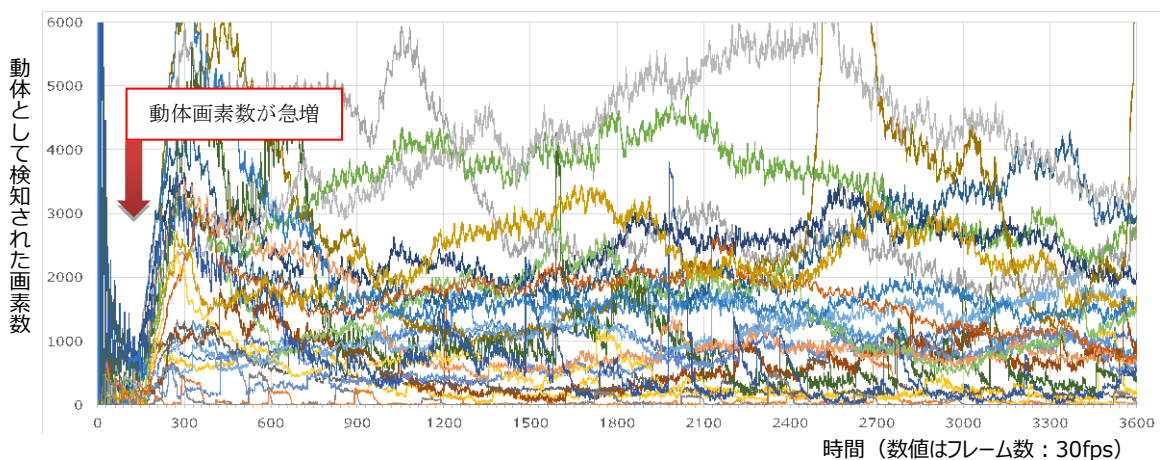


図5 動体（噴火）として検知された画素数の変事例（手順(e)の画像）

噴火の自動検知の判定は、時刻 t での動体検知画素数を $P_x(t)$ 、噴火前の一定時間内で想定さ

れる動体検知画素数の最大値を $P_{\max}(t-1)$ とすると、次のように決定できる (図 6)。

$$P_x(t)/P_{\max}(t-1) > \alpha \quad (\alpha \doteq 1.0) \quad (\text{eq. 1 噴火の判定基準})$$

画像を用いた噴火検知実験の全ての動体画素数の時間変化から、噴火前画像には一定数のノイズによる動体検知画素が含まれていることがわかった。この噴火前ノイズには、噴火とは関係のない動体検知 (例えば雲や雲影、虫や鳥等の飛行体、船舶や車両、夜間照明等) によるものと、監視カメラ機器によるノイズや振動等から構成されていることがわかった (図 7)。そこで、噴火前の動体検知画素数の想定される最大値を以下のように定義する。

$$P_{\max}(t-1) = \text{ave}P_x(t-1) + 3\sigma(t-1) + N \quad (\text{eq. 2})$$

ここに、 $\text{ave}P_x(t-1)$ は一定時間前の動体検知画素数の平均値、 $\sigma(t-1)$ は平均値周りの画素数の標準偏差、 N は監視カメラの機器によるノイズ (画素数) である。

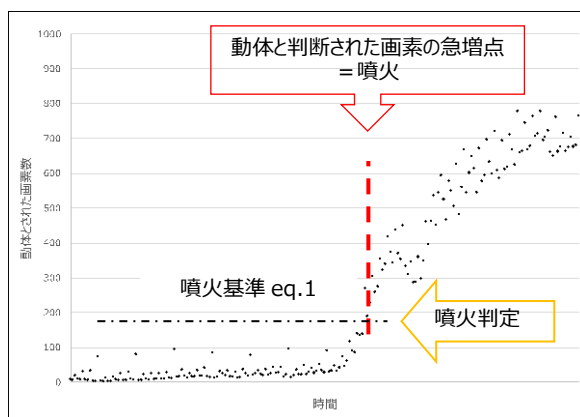


図 6 噴火の検知基準の概要

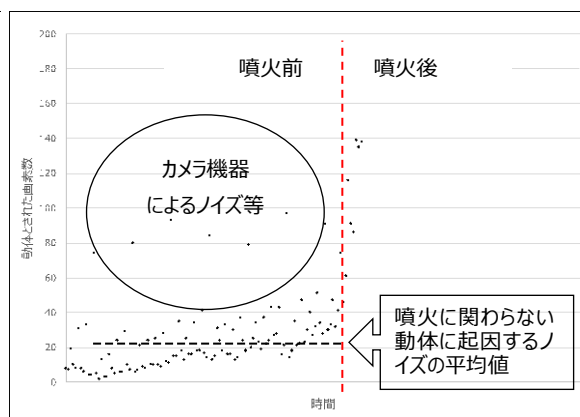


図 7 検知基準の構成

eq. 1 と eq. 2 の判定基準による噴火の自動検知手順を図 8 に、また噴火の自動検知事例を図 9 に示す。図 9 の事例では、30fps の画像入力に対して 1 秒間前までの $\text{ave}P_x(t-1)$ を、1 フレーム毎 (1/30sec) に更新した。また $N=100$ とした。噴火を検知したら、画像に「Eruption」と表示させた。図中の緑線は噴火として判断された画像の輪郭を示している。噴火の瞬間に検知ができていることがわかる。



図 8 噴火の自動検知のフローチャート



図 9 噴火の自動検知事例 (N=100)

4. 土石流発生の自動検知への応用

動体検知手法は突発的な現象への応用が可能であると考えられるため、土石流の自動検知への応用について検討した。今回開発した自動検知手法の特徴の一つは、画像全体に対してだけでなく、動体検知の妨げとなる部分を除いた特定の領域を指定して解析できることにある。最も対象領域を狭くすることで、ライン状の領域を検知対象とすることもできる。

1999年9月11日に雲仙赤松谷川で発生した土石流画像（鹿児島大学・地頭菌先生より提供）による自動検知実験を行った。解析対象は画像中央1/3領域とした。図10にその結果を示す。図中（右）の緑線は土石流として判断された画像の輪郭を示している。土石流画像による検知ができることがわかる。図11には動体検知画素数の時間変化を、画面全体を検知対象とした場合（図中の青色）と中央領域とした場合（図中の茶色）の比較で示す。入力画像には、動体検知には不利な霧や降雨が映っているが、対象領域を狭めることでノイズを低減し、自動検知を行い易くする効果があることがわかる。



図10 土石流の画像による検知事例（左：検知範囲（緑枠）、中央：入力画像、右：検知事例）

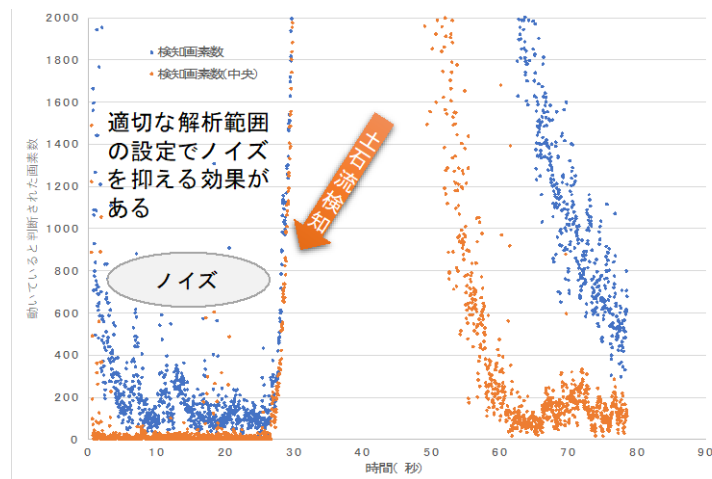


図11 適切な検知領域によるノイズ低減効果（青：画面全体、茶：画面中央1/3）

5. おわりに

大規模噴火時の危機管理は重要であるが、火山には観光資源としての側面もある。また防災意識を高めるためには、手軽な防災システムも必要になる。そこで自動検知ソフトを組み込んだ簡易な自動検知カメラを試作した（図12）。この自動検知カメラは安価で製作できるので、個人利用、小さなコミュニティでの利用、観光施設での利用等も期待ができる。

今後は、自動検知カメラの検知情報をトリガーに、メールやLINE、スマートプラグやスマートスピーカーといったソーシャルメディアを活用した情報提供システムについても検討を行う。



図12 自動検知カメラ（試作品）

令和元年度地盤災害調査と数値解析による斜面崩壊メカニズムの検討

農学部 平 瑞樹・渡邊 剛・落合 薫平・福元 千賀・山本 祐也

1. はじめに

西日本豪雨災害や九州豪雨災害および熊本地震の発災以後、福岡県、大分県、熊本県の中山間地域では、農業をはじめとする各種地域産業、インフラや生活基盤にも支障をきたしている。平成30年7月の九州北部での豪雨による数多くの斜面の崩壊、平成29年5月大分県豊後大野市での農地地割れ被害、福岡県八女市の棚田地帯でも稲作ができない水田がいまだに存在している。また、熊本県山都町の農業用水を流す通潤橋は、熊本地震により被害を受け、平成30年5月の豪雨で石積の擁壁が崩落しているなど一刻も早い復旧・復興が望まれている。

本報では、福岡県北九州市を中心に斜面崩壊の現況を調査し、斜面地盤の原位置試験、現場の土砂の室内試験とデータ分析から、地盤の物理的特性と被害の状況について考察する。九州内における地盤災害調査は、鹿児島県における農地基盤、農業用施設の防災・減災対策、老朽化したため池や農道などの農業用施設の法面の設計方法を検討するための知見を得ることを目的としている。熊本地震から3年が経過し、活断層の移動による農地地盤の復旧工事が進められている。老朽化したため池や井堰等の農業用施設も大きな被害が発生していることから河川堤防や農地法面の設計指針も豪雨や地震への対応が喫緊の課題となる。

ここでは、平成30年北九州市での豪雨災害後の斜面崩壊場所での各種調査、令和元年7月九州南部豪雨災害による現況を調査し、現場の地形・地質や地盤の状態と原位置で強度を評価する実験を行い、原位置試験で得られた値を有限要素解析に導入して数値解析を実施した。さらに、被災現場を模した地盤を想定し、現地で得られた土質定数を導入した数値シミュレーションから斜面崩壊メカニズムについても検討を加えた。

2. 令和元年梅雨末期の九州南部豪雨

令和元年6月下旬から梅雨前線が西日本から東日本付近に停滞し、前線に向かって暖かく湿った空気が流れ込み、九州南部を中心に大雨となった。6月28日～7月5日までの総降水量は、宮崎県えびの市えびのので1089.5mm、九州北部地方や九州南部で460mmを超えたところがあり、7月の月降水量平年値の2倍となる大雨となったところがあった。大雨の影響で、河川堤防の決壊（鹿児島県いちき串木野市大里川、写真-1、2）や氾濫や浸水被害、土砂災害等が発生し、鹿児島県で死者2名となった。また、西日本や東日本で住家被害が発生し、停電、断水、電話の不通等ライフラインに被害のほか、鉄道の運休や不通など交通障害が発生した。

活発な梅雨前線が九州付近に停滞している影響で、鹿児島、宮崎、熊本各県は7月1日も大雨に見舞われた。鹿児島県薩摩川内市や宮崎県えびの市では1日午前中に1時間の降水量が65mmを超える非常に激しい雨を観測した。土砂崩れや河川の氾濫、家屋の浸水被害など各地で被害が広がった。5段階ある警戒レベルのうち「4」にあたる避難指示や避難勧告が各地で出された。1日15時の時点で避難指示が出されたのは、鹿児島県の2,859世帯6,051人で、同じく避難勧告が発令されたのは、鹿児島、宮崎、熊本3県で計48万3,902世帯103万1,734人に上った。



写真-1 いちき串木野市大里川の堤防決壊



写真-2 河川堤防法面の崩壊（大里川右岸）

一方、平成30年6月28日～7月8日の期間に、台風7号や梅雨前線などの影響による集中豪雨が西日本を中心に全国的に広いエリアで被害を及ぼした平成30年7月豪雨では、7月6日17時10分に福岡、長崎、佐賀の3県に「大雨特別警報」が発表され、8日に高知、愛媛と運用を開始して最多となる11府県で大雨特別警報が発表され、西日本の多くの地域での河川の氾濫や浸水被害、土砂災害が発生して200人を超える死者が出るなど甚大な被害で、平成時代の最後の大水害となった。

九州から東海地方にかけての線状降水帯が15箇所が発生したため、局地的な集中豪雨が発生したという気象庁の報道であった。北九州市門司区では崖崩れが発生し住宅が全壊、2人が死亡した。筑紫野市の水路で避難中に土石流に巻き込まれた方が発見されている。6日には、北九州市小倉北区の板櫃川などの複数の河川が氾濫し、久留米市では広範囲で浸水している。北九州市では9日までに土砂崩れなどにより約680棟が被害を受けた。佐賀県で2人、宮崎県1人、鹿児島県でも桜島の古里町で2棟が土砂に巻き込まれて2人が死亡している。写真-3は道路斜面が豪雨により崩壊した地区で、写真-4は崩壊現場の調査状況である。

3. 斜面崩壊地での原位置試験

地盤の原位置試験で強度を調べるため、ロッドの先端に取り付けた抵抗体を地中に挿入し、貫入、回転、引き抜きの抵抗値から、原位置の土層の状態や土の強さなどの力学的性質を推定するサウンディングを実施した。ボーリング調査時に標準貫入試験機を利用するN値の測定法が一般的であるが、急斜面やあまり狭小な現場で簡易にできる原位置試験が有効である。

現地調査地点は、福岡県北九州市門司区大里東の斜面崩壊現場（図-1）で、露頭観察と図-2に示すベーンコーンせん断試験と簡易動的コーン貫入試験、原位置透水試験を崩壊地の斜面3箇所で行った。



写真-3 斜面崩壊現場（北九州市門司区）



写真-4 斜面崩壊状況調査（頂部より）



図-1 調査位置図（北九州市門司区）

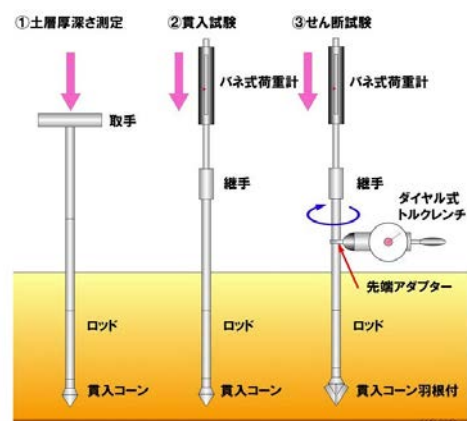


図-2 ベーンコーンせん断試験

3-1. ベーンコーンせん断試験

簡易的な原位置での試験の一つとして、土層強度検査棒（土検棒）を実施した。斜面の崩壊範囲から上部の斜面と下部の斜面を選定して、地盤強度定数の内部摩擦角（ ϕ ）と粘着力（ c ）を算出する。貫入コーンを目的的位置までロッドをつなぎながら押し込んでいき、バネ式荷重計で力を計測する。その後、先端アダプターをロッドに接続して、ダイヤル式トルクレンチでせん断抵抗値を測定する。利用した土層強度検査棒の一式を写真-5に示す。ベーンコーンせん断試験（写真-6）から土質定数としての粘着力と内部摩擦角を整理する方法¹⁾として、経験式法と相関式法がある。横軸に鉛直応力、縦軸をせん断力とした図を作成して測定点毎に回帰式から粘着力 c_{dk} と内部摩擦角 ϕ_{dk} を求める。相関式法とは、横軸をベーンコーンにかかる鉛直荷重（ W_{vc} ）と縦軸をトルク（ T_{vc} ）として土質ごとにその回帰式の切片を粘着力、傾きを内部摩擦角として求め、室内強度試験（一面せん断試験や三軸圧縮試験）を実施した c と ϕ 両者の相関式から c_{dk} と ϕ_{dk} を求める方法である。経験式法と相関式法による結果の一例を表-1に示した。

表-1 ベーンコーンせん断試験の結果（粘着力と内部摩擦角）

地点	深度 (m)	調査場所	地質	経験式法		相関式法	
				粘着力 c (kN/m ²)	内部摩擦角 ϕ (°)	粘着力 c (kN/m ²)	内部摩擦角 ϕ (°)
4	1.0	崩壊地左	崖錐堆積物	27.61	27.70	18.70	5.78
5	1.0	崩壊地左	崖錐堆積物	32.16	17.68	21.78	3.51
1	0.8	崩壊地内	崩土上部	39.99	28.97	27.08	6.12
まとめ		崩壊地外	崖錐堆積物	30.75	20.18	—	—
		—	全体	32.45	26.85	—	—

3-2. 簡易動的コーン貫入試験

簡易な原位置試験として、簡易動的コーン貫入試験を斜面の崩壊範囲の上部と斜面崩壊を起していない地点で実施した。簡易動的コーン貫入試験による N_d 値の算定式 (1) を以下に示す。

$$N_d = \frac{10N}{\Delta h} \dots (1)$$

ここに、 N : 打撃回数 (回)、 Δh : 貫入量 (cm) である。

図-3に簡易動的コーン貫入試験装置の概略図と先端が60°で直径25mmの円錐型コーンの模式図を示す。高さ500mmからハンマーをノッキングヘッドまで自由落下させて、100mmごとの打撃回数を測定する。

図-4に簡易動的コーン貫入試験の実施場所、結果を整理したものを図-5に示す。貫入深さを縦軸に、横軸に計算による N_d 値をプロットしている。崩壊斜面上部 (No.1) は、深さ約2.5mまで小さな値をとりながら地山に達している。崩壊していない地山 (No.4, No.5) は、約3.0mで N_d 値が大きく変化しながら固い風化岩まで到達していることがわかる。貫入試験の値が大きく変化しているところから基盤岩との区別を推定できる。

3-3. 原位置透水試験

北九州市消防局で開発された透水試験機を用いて現場透水試験を実施した。試験区内に注水を行う長さ300mmのストレナを打ち込み、上部に注水時の水頭差を観察できるアクリル製の測定用パイプとその上部に注水タンクを装備したものである。現場用に改良された透水試験装置であり、比較的軽量に設計されているが、



写真-5 土層強度検査棒一式

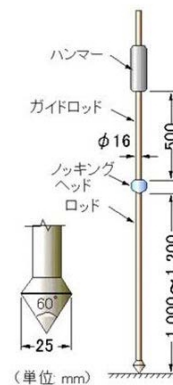


図-3 簡易動的コーン貫入試験装置

急斜面に打ち込む際は場所の選定には注意を要する。図-6に現位置透水試験装置の概略図と現地での実験状況を写真-7に示す。



写真-6 ベーンコーン貫入試験

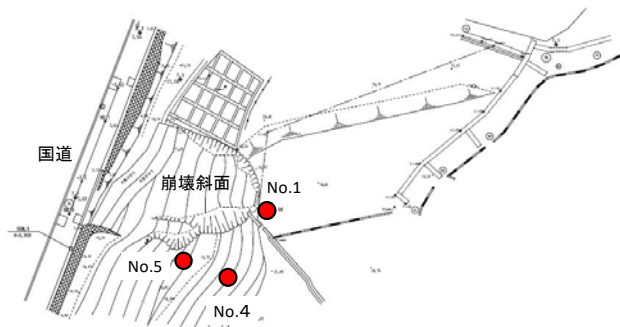


図-4 斜面崩壊地の平面図 (門司区大里東地区)

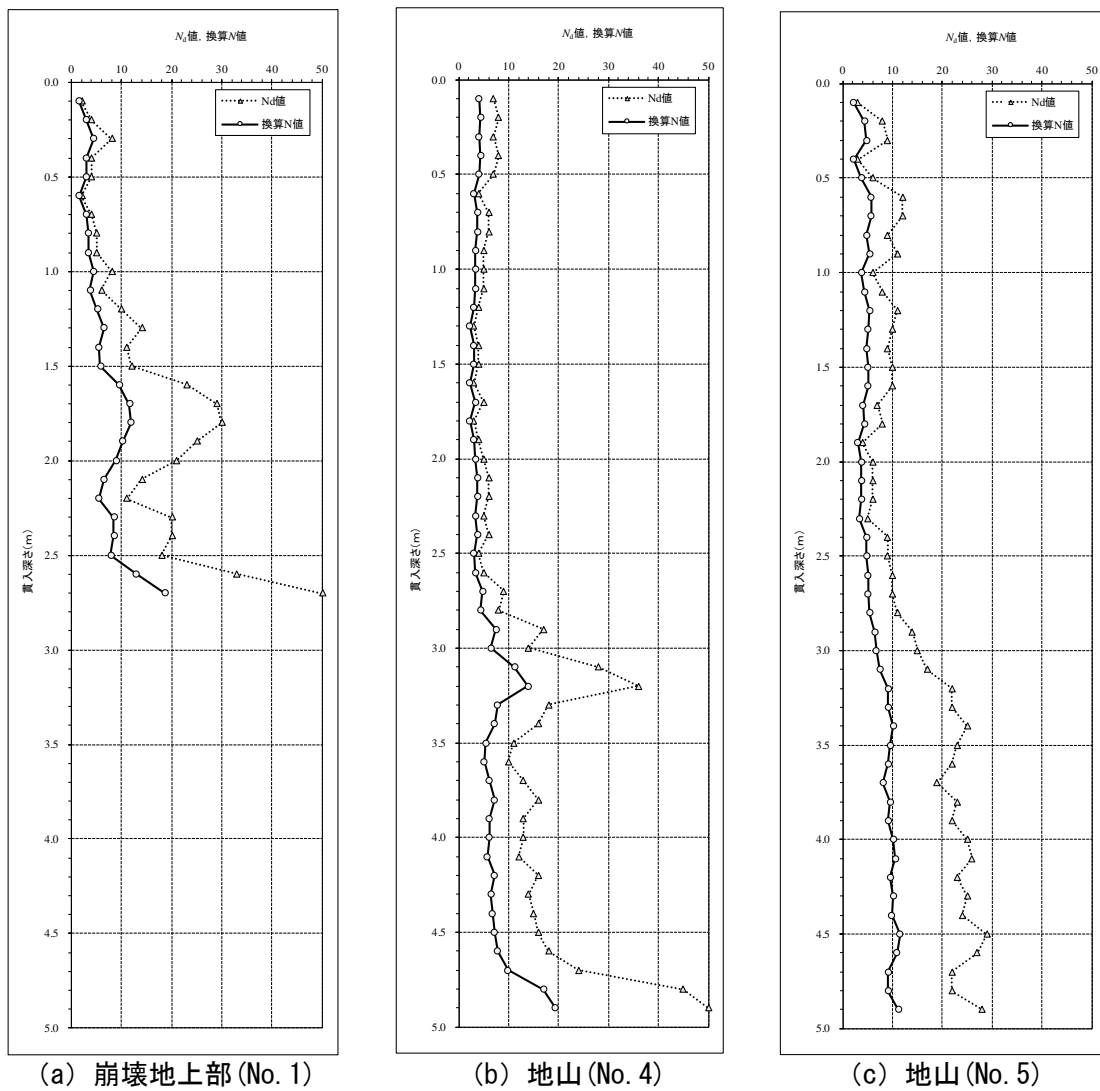


図-5 簡易動的コーン貫入試験 (地盤への貫入深さと N_d 値の関係)

4. 現場斜面を想定した数値解析

局所的な変形挙動を3次元的に観察し、評価する数値解法の一つである有限要素法 (Finite Element Method) による斜面の安定性を評価するための数値解析をおこなった。今回は、Bentley Systems 社の PLAXIS 3D を使用²⁾ し、実際の斜面崩壊地の現場を想定したシミュレーションを実施して、現場で得られた材料パラメータを導入したケーススタディを行うことで斜面の変形性状を考察した。PLAXIS 3D は、地盤解析に開発された3次元有限要素法解析アプリケーションで、任意形状のモデル作成をし、複雑な地盤構造でも比較的簡単にモデル化することができ、施工プロセスを考慮した条件設定から変形状態を逐次計算できる。数値解析の方法は、解析対象地の外形を入力して、斜面の形状を設計する。次に、斜面を形成している地盤の材料データを入力し、設計した地盤モデルに適用する。そうして、変位や荷重などの条件を入力しメッシュの自動生成を行う。最後に、弾・塑性解析や安全率解析等の解析方法を決定し、計算を実行し出力された変形・強度の結果を評価する。

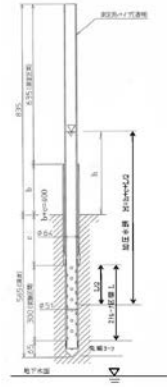


図-6 原位置透水試験装置



写真-7 原位置透水試験

4-1. モデル地盤と材料パラメータ

解析対象は斜面崩壊現場をモデル地盤とした。本解析では植生の現況等を詳細に再現することは困難なため、形状だけモデル化し、崩壊に至る外力による変位や各種条件を仮定した解析をおこなった。モデル斜面の解析幅 26m、高さ 18.0m、斜面勾配 20°、奥行き 52m とし、中心部に幅 22m、深さ 5.0m の崩積土領域を設定、斜面下部を基盤岩とした。図-7 にモデル斜面の要素分割図を示す。節点数は 144,899、要素数は 203,588 である。表-2 に解析パラメータを示す。透水係数は先に示した現場透水試験、粘着力と内部摩擦角はベーンコーンせん断試験の結果を経験式法により求めた値である。また、 N 値は簡易動的コーン貫入試験の結果を式(2)に代入することで決定し、その値を式(3)に代入することで弾性係数 E を求めた。

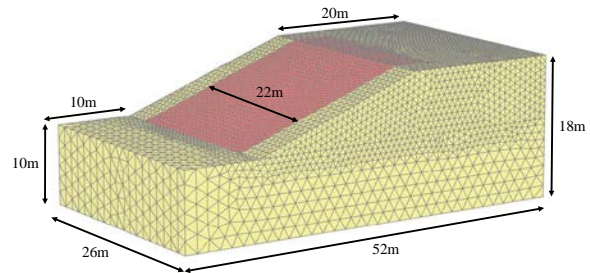


図-7 モデル斜面の要素分割図
(節点数 144,899、要素数 203,588)

表-2 解析に使用した材料パラメータ

材料係数	地山部	崩土部
N_d 値	7	5
N 値	5	4
弾性係数 E (kN/m ²)	5,079	3,308
せん断弾性係数 G (kN/m ²)	1,953	1,272
ポアソン比 ν	0.3	0.3
透水係数 k (m/s)	2.41×10^{-6}	3.66×10^{-7}
粘着力 c (kN/m ²)	30.75	40.00
内部摩擦角(°)	20.18	28.97

$$N = 0.75N_d \cdots (2)$$

 C_1, C_2 は地質による係数であり種々の地盤により判断する。 C_1, C_2 については、盛土がシルト質砂の 12, 5.8, 地山が 24, 5.3 を用いた。せん断弾性係数は、式(4)により算出、ポアソン比 ν は 0.3 と仮定した。

$$E = C_1 + C_2 N \cdots (3), \quad G = \frac{E}{2(1+\nu)} \cdots (4)$$

ここで、破壊もしくは降伏基準については、Mohr-Coulomb の式を用いた。有限要素解析では、斜面上部に道路地盤を設置し、盛土の頂部に変位 10cm を与える変形解析をおこなった。

4-2. 結果と考察

有限要素解析による変位の分布結果を図-8に示す。斜面上部に増分変位を与えた際の斜面の等値線図である。崩積土部分よりも法先部分が大きく変位していることがわかる。土塊が一体となって地山斜面を押し出している現象が見られた。また、断面変位状況から崩積土部分の上方側で変位が大きく出ている。

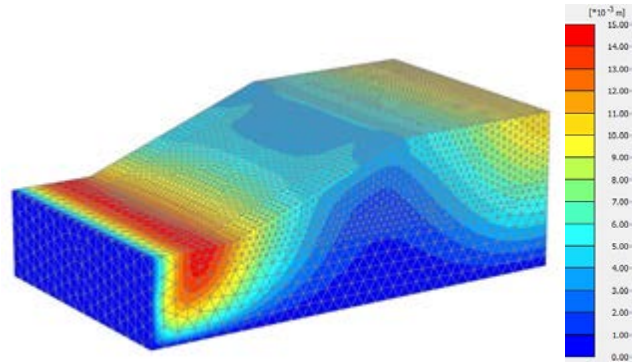


図-8 地盤変位の等値線図

図-9は、断面のひずみ分布と地下水面(6時間後)を示した図である。盛土の下部や僅かではあるが斜面の法先付近にひずみが集中していることがわかる。崩積土部分が地山よりも変位する設定条件下での解析が最も上部と地山の境界部での変位が大きかった。解析条件は、豪雨による崩壊を想定しているため、降雨による斜面変形や地下水による間隙水圧の影響が考えられる。

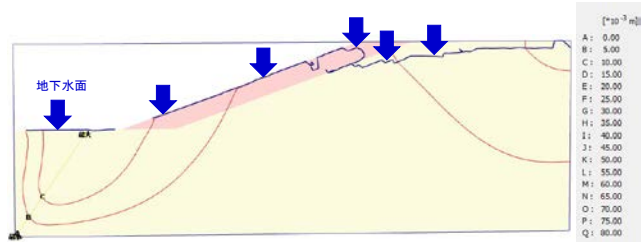


図-9 ひずみ分布と地下水面(6時間後)

図-10は12時間後のひずみ分布と地下水面を示している。崩積土の下方を回り込んで水位が下がっている現象が捉えられている。解析結果から地山と崩積土の内部摩擦角による弾性係数の違いや透水係数に起因する斜面の土自体が斜面の安定性に影響を及ぼして、斜面が崩壊しているのではないかと推測される。

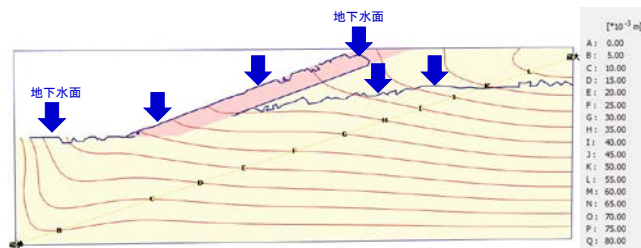


図-10 ひずみ分布と地下水面(12時間後)

5. おわりに

令和元年九州南部豪雨、平成30年7月豪雨により斜面崩壊を起した現場を調査し、地形や地質との関係、地盤の状態と原位置での強度や透水性を調べる目的で、ベーンコーンせん断試験と簡易動的コーン貫入試験、原位置透水試験をおこなった。また、原位置試験から得られた推定N値から算定した粘着力や内部摩擦角などの材料パラメータを導入した有限要素解析を用いて、現場斜面や堤防をモデル化した法面崩壊数値シミュレーションを試みた。

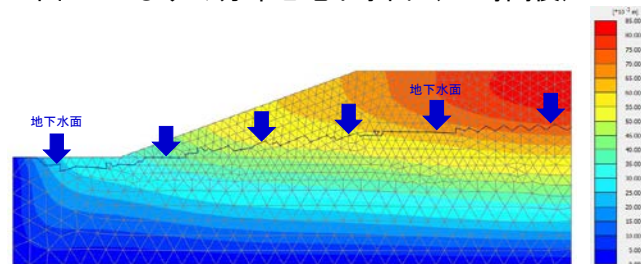


図-11 地盤変位と地下水面(24時間後)

地山の上端に変位を与えた条件において、基盤部との境界部にせん断面が発生し、斜面法先部分に徐々にひずみが集中する現象が現れることがわかった。解析に導入した地山部と崩土部の弾性係数や内部摩擦角の大きさの違いが解の結果に大きく影響している。

また、降雨による地下への浸透が斜面の変形に及ぼす影響について解析した結果、地盤の透水性の違いが、地下水の低下の速度に関係していることから、上部の土塊が一体となって滑り落ちる現象が明らかとなった。さらに詳細な斜面崩壊の発生メカニズムについては、今後も検討を続けていきたい。

また、降雨による地下への浸透が斜面の変形に及ぼす影響について解析した結果、地盤の透水性の違いが、地下水の低下の速度に関係していることから、上部の土塊が一体となって滑り落ちる現象が明らかとなった。さらに詳細な斜面崩壊の発生メカニズムについては、今後も検討を続けていきたい。

参考文献

- (1) 岡田勝也・杉山友康・野口達雄・村石尚：盛土表層部の土質強度に関する異種のサウンディング試験結果の相関性，土と基礎 40-4，pp.11-16，1992。
- (2) PLAXIS 3D マニュアル： <https://www.plaxis.com/support/manuals/plaxis-3d-manuals/>

浅瀬を有する島嶼に入射する津波の数値解析

工学部 柿沼 太郎・山口 翔

1. 序 論

エーゲ海のサントリニ島における火山噴火に伴う津波は、津波に関する最古の記録の一つと言われている（首藤，2017）．火山活動が活発な地域に位置する島嶼では、島嶼及びその近傍に、津波の波源が生じる可能性が高い．火山噴火が引き起こす津波では、海洋で発生する海底地震津波ほど、津波高さが大きくならなくても、津波が発生した時刻から、陸上に遡上した津波が水位のピークを示すまでの時間が短くなるという危険性がある．また、2018年12月には、インドネシアのスダダ海峡にある活火山のアナク・クラカタウが噴火し、これが引き金となって地盤が崩落し、津波が発生した（Tappin ら，2019）．この場合、島嶼自体が、津波の発生源となったことになる．

一方、2004年12月に発生したインド洋大津波は、島国であるスリランカやモルディブにも到達したが、これは、遠方の海底地震に伴い発生した巨大津波が、島嶼を襲った例である．

約500 kmにわたって連なる、鹿児島県の薩南諸島も、こうした津波に対して防災対策を進めておく必要がある．近年においても、2009年10月の奄美大島北東沖地震等に伴い、津波が島嶼に達している（羽鳥，2011）．しかしながら、島嶼部における津波の挙動に関しては、未解明な点が多い．島は、津波を捕捉し、津波高さを増幅させる特性を示す（藤間ら，1996）．また、島嶼周辺の海底地形は、複雑な様相を呈していることが多く、例えば、波浪に対してであるが、南西諸島のリーフ地形上で、水位の異常な上昇が観測されている（仲座ら，1994）．

そこで、本研究では、島嶼周辺における津波の基礎的研究として、鹿児島県の与論島や、沖縄県の伊平屋島のように、サンゴ礁等の浅瀬を有する島嶼を対象として、島嶼のモデル地形に入射する津波の3次元数値解析を行ない、浅瀬の有無や位置が、津波の伝播過程に対してどのような影響を及ぼすのかを調べる．

2. 数値解析の手法及び条件

数値モデルとしてCADMAS-SURF/3D（沿岸技術研究センター，2010）を適用し、図-1～図-4に示すような水域内の3次元流体運動を解析対象とする．

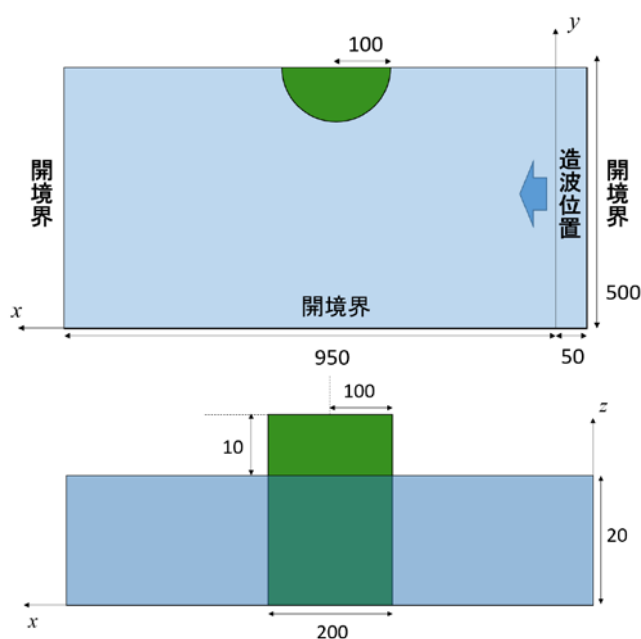


図-1 浅瀬のない島嶼（単位: m）

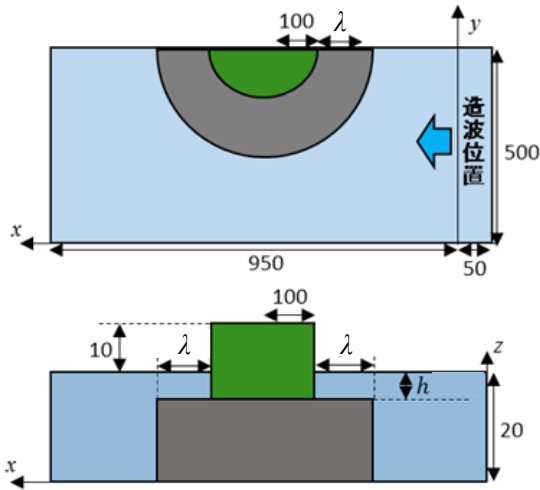


図-2 浅瀬が周囲にある島嶼 (単位: m)

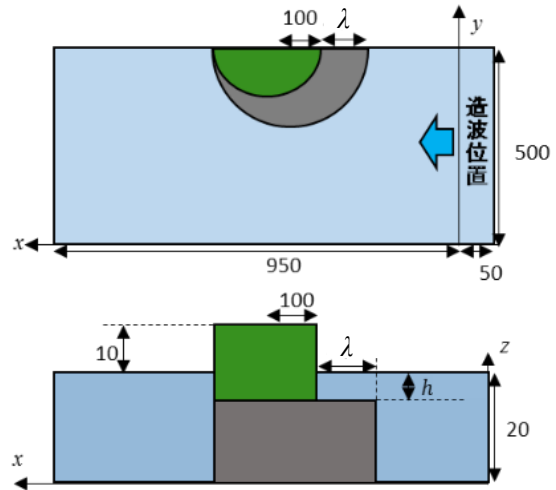


図-3 浅瀬が主として前方にある島嶼 (単位: m)

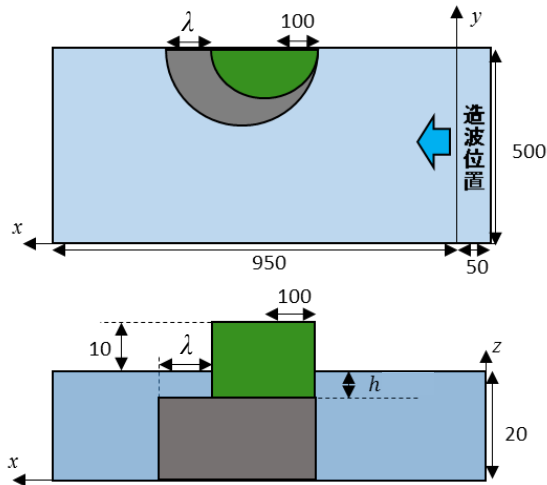


図-4 浅瀬が主として後方にある島嶼 (単位: m)

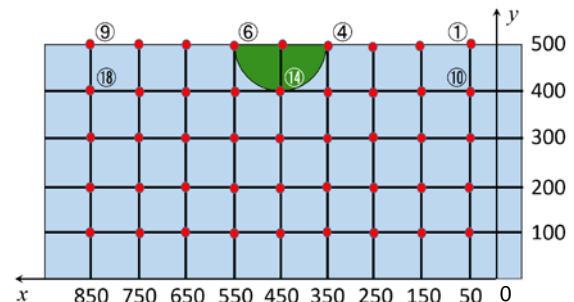


図-5 対象領域の水平方向の座標 (単位: m)

ここで、図-1～図-4には、俯瞰図と側面図が描かれている。このうち、図-1は、浅瀬のない円柱状の島嶼がある水域を示す。本研究において、島嶼底面の半径は、100.0 mとする。

他方、図-2～図-4は、浅瀬に囲まれた円柱状の島嶼がある水域を示す。浅瀬の底面は、円とする。図-2に示す場合、浅瀬が島嶼の周囲にあり、浅瀬底面の半径は、100.0 m + λである。ここで、λは、島嶼前端及び後端位置の浅瀬の幅であり、λ = 50.0 m、または、200.0 mとする。また、図-3に示す場合には、浅瀬が主として島嶼の前方に位置し、浅瀬底面の半径は、100.0 m + λ/2である。ここで、λは、島嶼前端位置の浅瀬の幅であり、λ = 50.0 m、または、200.0 mとする。そして、図-4に示す場合には、浅瀬が主として島嶼の後方に位置し、浅瀬底面の半径は、100.0 m + λ/2である。ここで、λは、島嶼後端位置の浅瀬の幅であり、λ = 50.0 m、または、200.0 mとする。

図-5に、対象領域の水平方向の座標を示す。ここで、y = 500.0 mを完全反射境界とし、対象領域の半分を解析対象としている。海域の他の境界には、Sommerfeldの放射条件を適用する。静水位は、z = 0.0 mとする。また、海域内の位置 x = 50.0 mにおいて与える入射波は、波高が2.0 mである孤立波とする。

図-1の島嶼外及び図-2～図-4の浅瀬外の静水深 h_0 は、20.0 mで一様とし、他方、浅瀬上の静水深 h は、2.0 m、または、8.0 mの2通りとする。簡単のために、底面摩擦の影響を無視し、島嶼の陸域における浸水を考えない。

計算格子間隔は、 $\Delta x = \Delta y = 5.0$ mとし、また、 $\Delta z = 1.0$ mとする。なお、 $\Delta x = \Delta y = 2.0$ m及び $\Delta z = 1.0$ mとした場合と比較して、水位に有意な違いが現れないことを確認した。他方、計算時間間隔は、CFL条件を満足するよう自動的に決定する。

3. 島嶼前方の浅瀬の存在が津波に与える影響

島嶼前方の浅瀬の影響を検討するため、図-1～図-3 の場合を比較する．ここでは、島嶼前端位置の浅瀬の幅を $\lambda = 50.0 \text{ m}$ とし、また、浅瀬上の静水深を $h = 8.0 \text{ m}$ とする．図-5 に示す、 $x = 350.0 \text{ m}$ 、 $y = 500.0 \text{ m}$ の地点④における水面変動 η の数値解析結果を図-6 に示す．

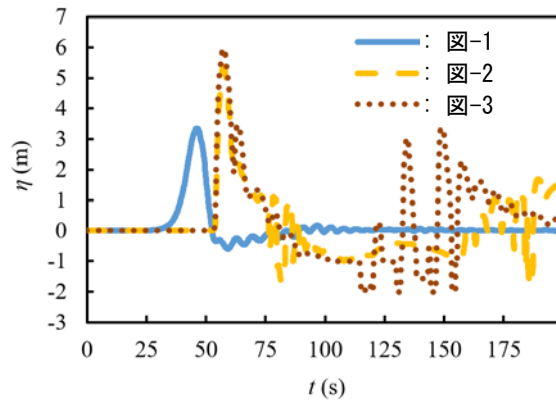


図-6 島嶼前端位置（図-5 に示す地点④）における水面変動の数値解析結果

浅瀬が島嶼の前方にある図-2 及び図-3 の場合に、浅瀬上で浅水変形が生じるため、浅瀬のない図-1 の場合より津波高さが大きくなっている．図-3 の場合における水位分布の時間変化を図-7 に示す．ここで、水位のスケールを図-8 に示す．

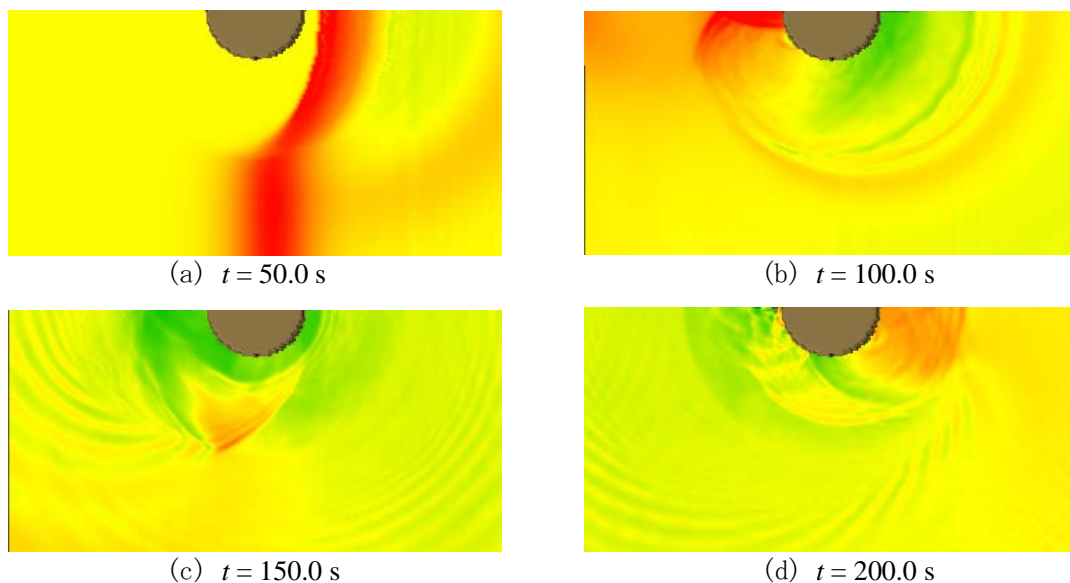


図-7 図-3 の場合の水位分布の時間変化 ($\lambda = 50.0 \text{ m}$ 、 $h = 8.0 \text{ m}$)

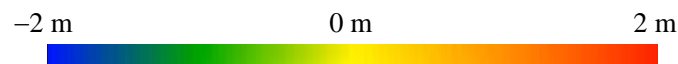


図-8 水位分布のスケール

図-7 より、時刻 $t = 100.0 \text{ s}$ において、島嶼背後で、島嶼の左右を通過した津波の重合が生じ、島嶼後端位置付近の津波高さが増加している．そして、 $t = 150.0 \text{ s}$ において、島嶼を回り込んだ津波が島嶼前方に向かって進行し、 $t = 200.0 \text{ s}$ において、島嶼前端位置付近で津波が重合して、再び津波高さが増加している．

4. 島嶼後方の浅瀬の存在が津波に与える影響

島嶼後方の浅瀬の影響を検討するため、図-1、図-2及び図-4の場合を比較する。ここでは、島嶼後端位置の浅瀬の幅を $\lambda = 50.0$ mとし、また、浅瀬上の静水深を $h = 2.0$ mとする。図-5に示す、 $x = 550.0$ m, $y = 500.0$ mの地点⑥における水面変動 η の数値解析結果を図-9に示す。

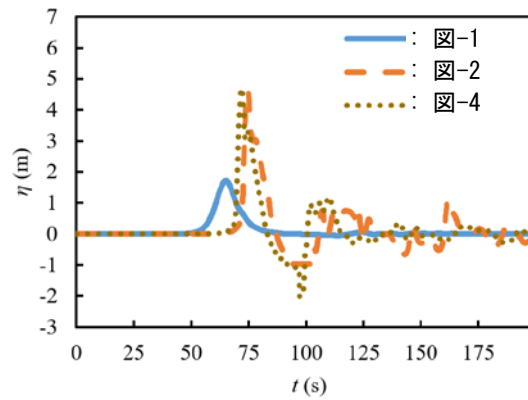


図-9 島嶼後端位置（図-5に示す地点⑥）における水面変動の数値解析結果

浅瀬が島嶼の後方にある図-2及び図-4の場合に、島嶼の左右を通過した比較的津波高さの大きな津波が島嶼背後で衝突し、島嶼後端位置付近で、津波高さが大きくなっている。図-4の場合における水位分布の時間変化を図-10に示す。ここで、水位のスケールは、図-8に示されている。

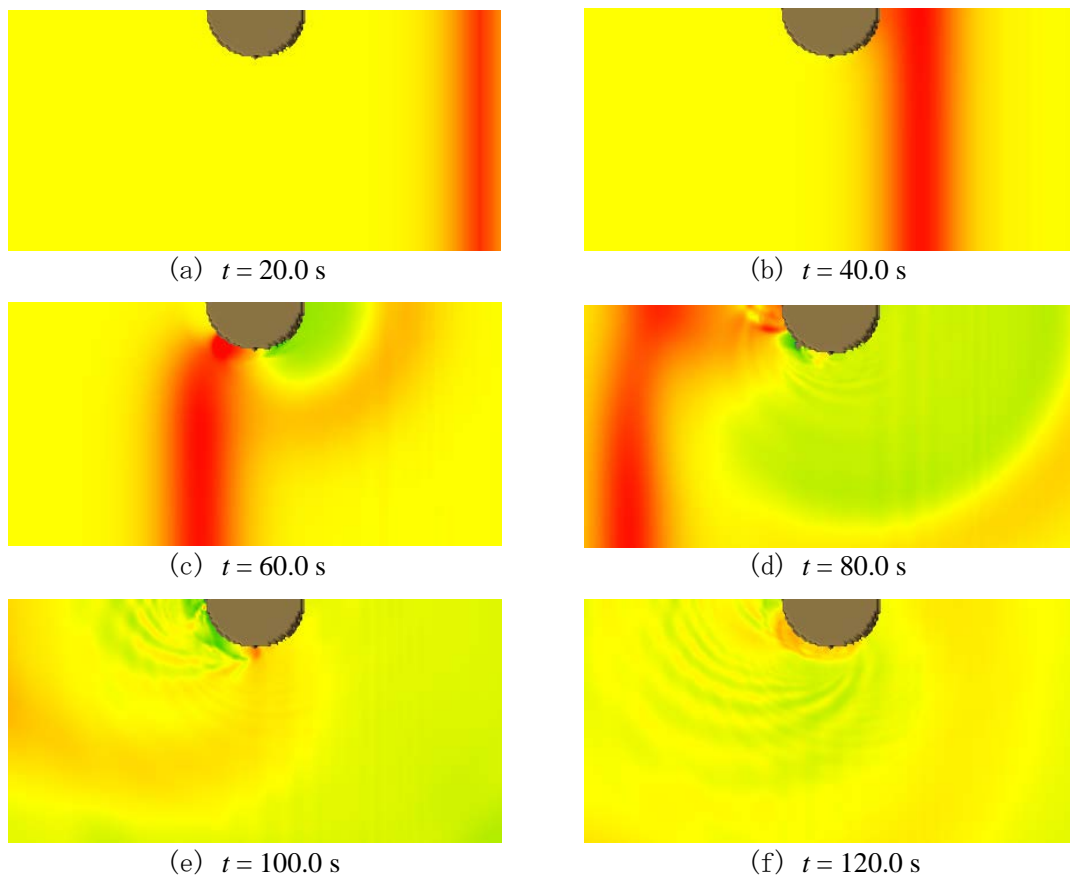


図-10 図-4の場合の水位分布の時間変化 ($\lambda = 50.0$ m, $h = 2.0$ m)

図-10より、時刻 $t = 100.0$ sにおいて、島嶼を回り込んだ津波が島嶼前方に向かって進行しているが、 $t = 120.0$ sにおいて、島嶼前方での津波高さは、あまり大きくならない。

5. 結 論

浅瀬を有する島嶼のモデル地形に入射する津波の 3 次元数値解析を行ない、浅瀬の有無や位置が、津波の伝播過程に対してどのような影響を及ぼすのかを調べた。浅瀬が島嶼の前方にある場合には、浅瀬上で浅水変形が生じるため、浅瀬のない場合より津波高さが大きくなった。そして、島嶼の左右を通過した津波が、島嶼背後で重合し、その後、島嶼を回り込んだ津波が島嶼前端位置付近で再び重合した。一方、浅瀬が島嶼の後方にある場合には、島嶼の左右を通過した比較的津波高さの大きな津波が島嶼背後で衝突し、島嶼後端位置付近で津波高さが大きくなった。そして、島嶼を回り込んだ津波が島嶼前方に向かって進行したが、島嶼前方での津波高さは、あまり大きくならなかった。

参考文献

- 沿岸技術研究センター：CADMAS-SURF/3D 数値波動水槽の研究開発，沿岸技術ライブラリー，No. 39，235p.，2010.
- 首藤伸夫：地中海の津波－主にソロヴィエフ他に基いて－，津波工学研究報告，第 33 号，pp. 1-16，2017.
- 仲座栄三・津嘉山正光・田中 聡：リーフ海岸における波・サーフビートに関する研究，海岸工学論文集，第 41 巻，pp. 86-90，1994.
- 羽鳥徳太郎：2009 年 10 月 30 日奄美大島北東沖地震津波の波源域と津波規模，津波工学研究報告，第 28 号，pp. 1-3，2011.
- 藤間功司・Yuliadi, D.・Briggs, M. J.：島の津波遡上高に及ぼす非定常性の効果，津波工学研究報告，第 13 号，pp. 101-114，1996.
- Tappin, D., Grilli, S., Ward, S., Day, S., Grilli, A., Carey, S., Watt, S., Engwell, S. and Muslim, M.：The devastating eruption tsunami of Anak Krakatau – 22nd December 2018, Geophys. Res. Abs., Vol. 21, EGU, 2019.

大規模自然災害に備えうる／耐えうる地域歴史文化の創成にむけて

教育学部 佐藤 宏之

1. はじめに

21世紀に入り、日本列島で巨大地震・津波や集中豪雨、台風などの大規模自然災害が常態化し、多くの人命・生活環境が奪われた。これまで“異常”と判断されてきた災害は、もはや日常と化し、広範囲におよぶ災害から命や地域社会を守る術を、わたしたちは再考しなければならない段階にあるといえよう。

2011年の東日本大震災のさい、被災地では、瓦礫の中から個人や地域にまつわる記録や記憶を伝える資料が丁寧に拾い上げられるなど、個人や地域の歴史文化資料を守ることの意義が見直され、それ以降、そのことが日本全体に社会通念として定着してきている。

しかし、地域の歴史文化資料の保全問題は災害時ばかりの話ではない。地域の歴史文化資料が最も失われやすいのは、世帯の代替わりや家の改築、取り壊しや引っ越しの時などである〔奥村2014〕。とくに、地方の中山間地域では、都市部への人口流出による過疎化が進むといった地域社会の構造的変化によって、地域社会が本来の機能を失いつつある。若い世代へ地域の歴史文化の継承が進まず、地域の歴史資料が散逸・滅失の危機的状況にあり、それを近年の大規模自然災害の頻発が加速化させている。

わたしたちが暮らす社会は、こうしたさまざまな潜在的な課題を抱えており、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。直接的な被害、すなわち、災害で壊れたものを直し、失われたものの代用品を与えることで被災前に戻そうとすれば、社会が被災前に抱えていた課題も未解決の状態に戻ることになってしまう。災害への対応は、もとに戻すのではなく、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。

わたしたちには、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。

いまを生きるわたしたちに求められている力は、災害を単に恐れるだけではなく、それを科学的に見る目を養い、そこから得た知識や情報を自分の生活に活かし、防災（被害をなくす）・減災（被害を軽減する）・縮災（被害から早く抜け出す）に役立てる対応力である。

そのためには、「過去に何が起きたのか、これから何が起こるのか」という視点が重要であると考える。わたしたちは、“災害列島・日本”と呼ばれる地域に暮らしている。先人たちは、災害に対し、ただ手をこまねいて、それを運命として享受していたわけではない。むしろ、危機に直面して、あるいは危機を予見して、さまざまな短期的・長期的な対策を試みていた。すなわち、社会全体が災害に対応した、あるいは災害からの回復力を組み込んだものであったといえる。しかし、現代における災害対策のマニュアル化・定式化は、住民がかつての経験を活かして自主的に判断する実践的な知恵や文化を奪い取りかねない。それは、自然災害と共に生きてきた事実や文化、復興の過程などの記憶や記憶の消滅（災害文化の消滅）を意味する。わたしたちは、社会の崩壊を避けるために歴史に教訓を学ぶ必要があるだろう。

わたしたちは、これまでどのような災害があったのか、それに巻き込まれた人びとがどのような経験をしてきたかということ、被災前からの課題を知り、被災直後・被災地だけではない時間と空間の広がりの中においてとらえなければならない。その社会的紐帯となるのが、地域歴史文化であると考えられる。

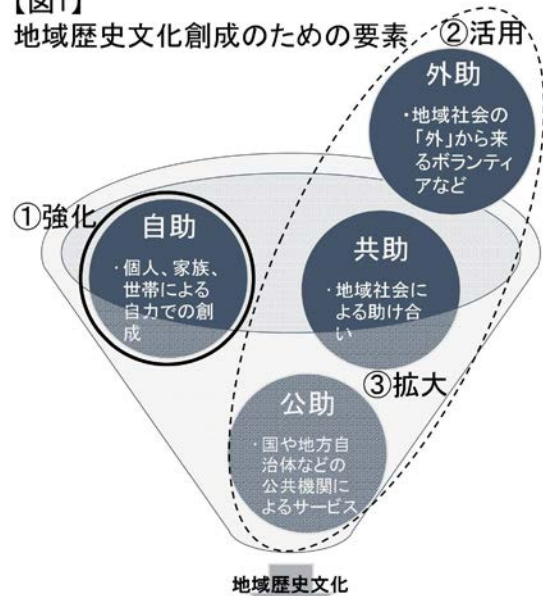
この地域歴史文化の創成にむけて大きな役割を果たす要素として、自・共・公・外が考えられる。すなわち、個人、家族、世帯による自力での創成（「自助」）、地域社会における助け合い（「共

助)、国や地方自治体などの公共機関によるサービス(「公助」)である。しかし、地域社会は、高齢化と人口流出、産業の衰退などが相互に絡みあいながら弱体化しており、在来的・実践的な知恵や記憶の継承を困難にしている。他方で、都市に流入した人口が都市で地域社会的なものを形成しているかといえば、必ずしもそうではない。そうしたとき、地域社会の「外」から来るボランティアなどの「外助」の活用がポイントとなるだろう。

多様な地理的環境や、人的・物的資源に限りがある地域において、大規模自然災害に備える地域歴史文化を創成するためには、「自」から「共」へ、そして、「公」も「外」も含み込むような「共」を創造しなければならない。特に、多様な背景をもった人びとが集まって内部にさまざまな考え方があり、「共」にとって、多様な構成員の間での情報共有と意思決定の力を強める必要があるだろう。

そこで、①「自助」の強化、②地域社会の「外」から来る「外助」の活用、③「公」も「外」も含み込むような「共助」の拡大(ネットワークの形成)の3つの視点から論じてみたい。

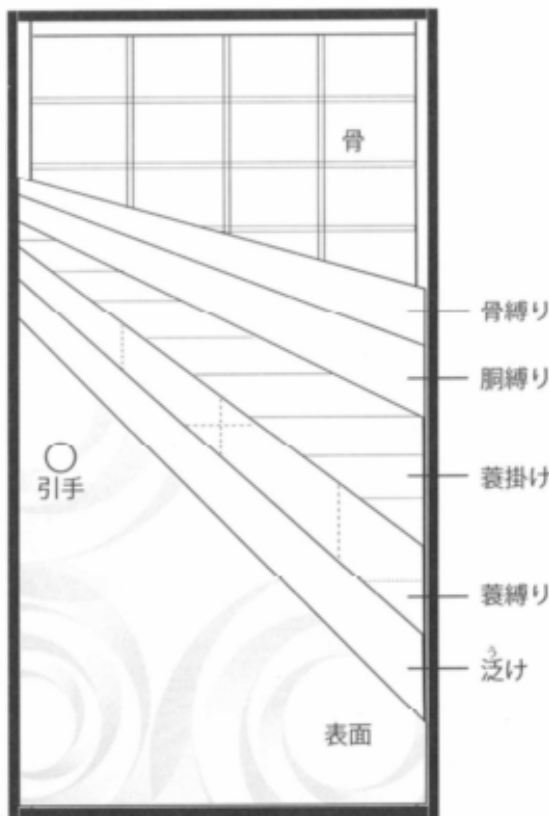
【図1】
地域歴史文化創成のための要素



時間と空間の広がりのなかで
新たな「共」の創造

2. 襖の下張り文書をはがす

2019年8月5日、襖の下張り文書をはがすワークショップ「フスマから歴史を取り出してみよう」を開催し、10名の小学生とその保護者の参加を得た。



襖の下張り構造



襖の下張りの構造は基本的には左図のようになっている。張り替えが行われた場合は表張(表面)や表張に近い層のみをはがして張り直し、その回数が多いと下層に古い下張りが残され、張り替えごとに層が増え20層以上になっているものもある。また、部分的に補修張りがされて複雑になっているなど、基本構造のように各層を判別しがたい場合も少なくなく、一様ではない。

現在、襖自体に触れる機会が少なくなってきており、小学生にとって、そのなかから古

い文字、読むことが難しい墨で書かれた文字が出てくることに興味を示しているように感じた。



こうした襖の下張りに古文書が用いられていることがわかれば、廃棄される可能性を減らすことができる。

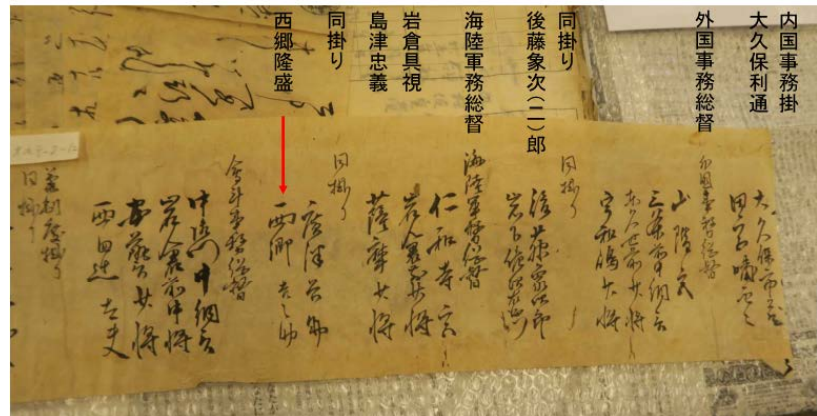
こうして発見された古文書は、襖の下張りという性格上、元の文書が断片化し、一枚ずつはがした断片が接合したり、同じ帳面をバラしたものもあるが、一部が欠落したものも多い。なぜなら、こうした文書は非現用文書、すなわち廃棄文書であるからこそ、襖の下張りに使われているのである。したがって、こうした文書から系統だった、体系だった歴史像を浮かび上がらせることは難しいといえる。しかし、断片的であったも、その地域の様子を知ることはできるだろう。

右図は、2017年3月11日に行われたワークショップにおいて、襖の下張りのなかから「西郷吉之助」、すなわち西郷どんが出てきたのである。

2017年3月11日のワークショップでの発見 慶応4年(1868)正月17日、新政府

同史料には、慶応4年(1868)正月17日時点の新政府のメンバーが記載されており、「内国事務掛 大久保市蔵(大久保利通)」、「外国事務同掛り 後藤象次郎」、「海陸軍務総督 岩倉前少将(岩倉具視) 薩摩少将(島津忠義)」の名が見られる。

こうした襖の下張りから歴史を取り出すことができるということを知っていれば、たとえその文字を読むことができなくても、歴史資料を保全することが可能となる。個人、家族、世帯による自力での地域歴史文化の創成、「自助」の強化につながると考える。



3. 資料保全活動をシミュレーションする

大規模災害を想定した文化財などの保全活動をシミュレーションする方法のひとつとして、DIG (Disaster Imagination Game, 災害図上訓練) が取り入れられている。この方法はもともと自衛隊が実施している訓練方法で、それを防災訓練に応用したものである。

災害発生からのタイムライン（時間軸に沿った経過）に沿って、「自分たちがなすべき、対応した行動」を記載していく作業を行うもので、これを通して、実際の資料保全活動の流れを理解するとともに、課題となるべき点（困難さ、足りないところ）を把握していくことを目的とする。

昨年度の報告書において、2019年1月26日に出水麓歴史館で開催した「大規模災害を想定した文化財防災ワークショップ」について、その具体的な方法を論じたので参照されたい。

今回は1993年8月1日の霧島市周辺の豪雨災害をもとにシミュレーションを行った。

1993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。同年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。長期間の降雨により地盤が緩んでいたところに集中豪雨が重なったかたちとなった。8月1日午後から鹿児島県始良郡を中心とした地域で1時間あたり最大104mm（観測地点：溝辺町）の猛烈な雨が数時間降り続いた。溝辺町（霧島市溝辺町）の雨量は一日で450mmに達し、鹿児島県中央部の各地で死者23名（国分市7、隼人町6、霧島町4、吉田町4、始良町1、大口町1、薩摩町1）を出した。また、各所で土石流が発生し、九州自動車道、国道10号をはじめ多くの道路が通行止めとなった。桜島サービスエリアの建物も土石流の直撃を受けた。日豊本線の国分駅—大隅大川原駅間は線路の盛り土が崩壊するなどの被害を受け長期間にわたって不通となり、バスによる代替輸送が行われた。

7月31日、横川町（霧島市横川町）の中心街を挟んで流れる天降川支流の金山川と清水川が氾濫し、中央商店街を中心に300戸以上が床上・床下浸水した。中央商店街など東西500m、南北300mにわたって浸水、最も深いところで一時2m近くに達した。

8月1日、隼人町西光寺湯田、隼人町松永、霧島町大窪（霧島市霧島大窪）、国分市名波町（霧島市国分名波町）、国分市川内（霧島市国分川内）の住宅の裏山が崩れ、国分市や隼人町では、小さい河川が氾濫し、市街地は水浸しになった。国分市災害対策本部によると、約200戸に被害が出て一時避難した。市役所でも50センチほど水浸しになり、2日朝になりやっと水が引き出した。牧園町宿窪田の九州電力妙見発電所と塩浸発電所が浸水のため停止し、国分市や霧島、横川両町を中心にした約11,800戸が停電した。日豊線の国分—佐土原駅間が早朝から不通となり、運休が相次ぎ、高速道路も、九州自動車道の八代—一人吉間、えびの—鹿児島間、宮崎自動車道えびの—宮崎間が、上下線とも通行止めになった。また、国分市の国道10号の亀割峠付近で、路盤が幅約8メートル、長さ約30メートルにわたってえぐれ、通行止めとなった。道路下を通るNTTのケーブル回線も切断された。

8月2日、土砂崩れのため、日豊線の鹿児島—南宮崎間など4線区で運転を見合わせ、国道10号が宮崎県内で8か所にわたって通行止めになっているほか、鹿児島県内でも国道220号、同226号も各地で通行止め、九州自動車道も鹿児島—えびの間と八代—一人吉間が、宮崎自動車道のえびの—都城間が通行止めとなった。

8月3日、日豊線都城—鹿児島間が、道床の流出や土砂の流入などで不通、吉都線は、土砂崩れの恐れがあるため、全線で運転を見合わせており、肥薩線、日南線、指宿枕崎線、宇部線でも不通区間が出た。また、九州自動車道は栗野—溝辺間、加治木—鹿児島間が上下線とも通行止めとなった。

8月4日、宮崎県小林市南西方付近の宮崎自動車道上り線の路面が約4メートル四方、深さ3メートルにわたって陥没した。このため、えびの—小林インタ間が上下線とも全面通行止めになった。また、日豊線や肥薩線など特急15本、普通115本が運休した。

8月6日、鹿児島県始良郡加治木町の九州自動車道桜島サービスエリア上り線で、道路際のけが地鳴りをして、大規模な崩落の危険が生じたため、鹿児島—加治木間が通行止めとなった。

8月9日、JR九州が10日午前まで全線運休を発表した。

8月10日、九州自動車道や国道3、10号が鹿児島市などの一部区間で通行止めのまま。県道などを含めた幹線道路の通行止めや片側通行は約150か所にも上った。JR各線も指宿枕崎線以外はストップしたままで、8月11日、JR九州は11日、鹿児島地方の豪雨の影響で不通になっていた鹿児島線川内—市来間の復旧に伴い、12日始発から同線の運転を全区間で再開する、と発表した。

以上の被災地をマッピングすると、つぎのようになる。こうした自然災害が発生したさい、なにより人命救助が優先されるべきであり、市の文化財担当者も被災者対応にあたることとなる。しかし、被災資料の廃棄・消滅は待つてはくれない。そうしたときに、地域社会の「外」から来るボランティアなどの「外助」（この場合、鹿児島・宮崎の両資料ネット）の活動が想起される。



実際に現地入りできるのが8月11日以降と想定されるが、霧島市内（国分駅周辺）の被災資料を鹿児島・宮崎の両資料ネット（「外助」）によって保全すると仮定した場合、「霧島市洪水ハザードマップ」と重ねてみると、天降川を越えて集合することは難しく、鹿児島側は県道473号線を利用して隼人歴史民俗資料館へ、宮崎側は県道471号線を利用して国分郷土館へ集まる方法を採らざるを得ない。1993年は、8月6日に甲突川が氾濫し、鹿児島市内に大きな被害をもたらした（8・6水害）。今回のシミュレーションではそのことは除外して霧島市に入ることを想定している。

このタイムラインに基づいたシナリオを作成し、2020年2月1日に霧島市で大規模自然災害発生時の資料保全活動をシミュレーションするワークショップを開催した。19名の参加者を得て、鹿児島・宮崎の両資料ネット（「外助」）、霧島市教育委員会（「公助」）と学生との間で、やるべきこと、考えるべきことはなにかという問いに対応する活動をあげ、「共助」の拡大にむけた取り組みを実践することができた。その具体的な内容については、本報告書83ページの深瀬浩三による活動報告を参照されたい。

4. おわりに

地域歴史文化を創成するためには、時間（被災前・後）と空間（被災地どうし、被災地と他の地域）の広がりの中で新たな「共」を創造し、それを社会実装する試みが求められる。

また、「外助」としてかかわる個人においても、いつまでも同じメンバーで同じ活動ができるとは限らないし、そのメンバー構成によって個人に求められる力も変わってくる。すなわち、個人においても「自助」の力を高める努力が求められるし、むしろそうでなくてはならない。

【参考文献】

- 奥村弘編『歴史文化を大災害から守る』（吉川弘文館、2014年）
- 佐用郡地域史研究会『襖の下張り文書から知る郷土の歴史』（佐用郡地域史研究会紀要、第6号、2018年）
- 瀧本浩一『地域防災とまちづくり』（イマジン出版、2016年）
- 松尾一郎・CeMIタイムライン研究会編『タイムライン』（廣済堂出版、2019年）

ディープネットワークを用いた桜島大正噴火映像の カラー化とそれを用いた啓発活動

共通教育センター 井村 隆介

1. はじめに

桜島では、近い将来に大正クラスの大規模噴火が発生すると考えられている。しかし、鹿児島県民・市民は、近年の小規模噴火に慣れすぎていて、危機感をもって備えているとは言いがたい状況にある。

本研究の目的は、モノクロで記録された桜島大正噴火(1914年)時の映像をディープネットワークを用いてカラー化して、一般の方々にわかりやすくするとともに、それを用いて、桜島大正噴火の規模や被害の大きさと、それに備えることの重要性をわかりやすく伝えることである。

2. ディープネットワークを用いた白黒写真の自動色付け

ディープネットワークによってカラー化する大正噴火の映像資料は、著者が個人で所有している、桜島大正噴火をテーマにした絵葉書(図1)を用いた。いずれも製作から100年程度経過しているため、使用にあたっての著作権上の問題はない。



図1 桜島大正噴火を記念して作成された絵葉書の例

本研究では、まず、モノクロ写真からなる絵葉書をスキャナで360dpi程度の解像度で読み取り、グレースケールでデジタル画像化して整理した(図2)。そしてデジタル化した映像データを、Web上で公開され

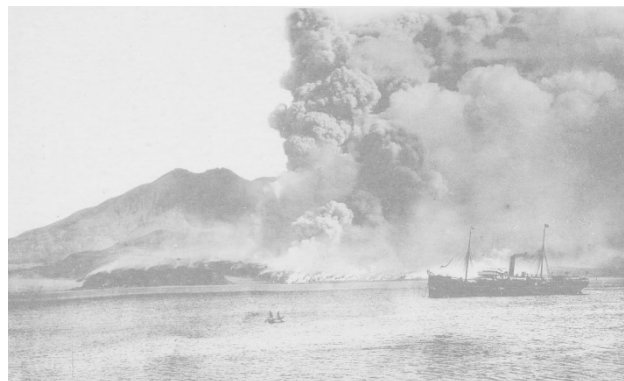


図2 スキャナで読みこんだ画像の例

ているディープネットワークを用いた自動色付けプログラム 3 種 (Larsson et al. 2016:Zhang et al. 2016:lizuka et al. 2016) と自動着色機能のある Adobe Photoshop Elements ver. 18.0 によってカラー化を行った (図 3)。

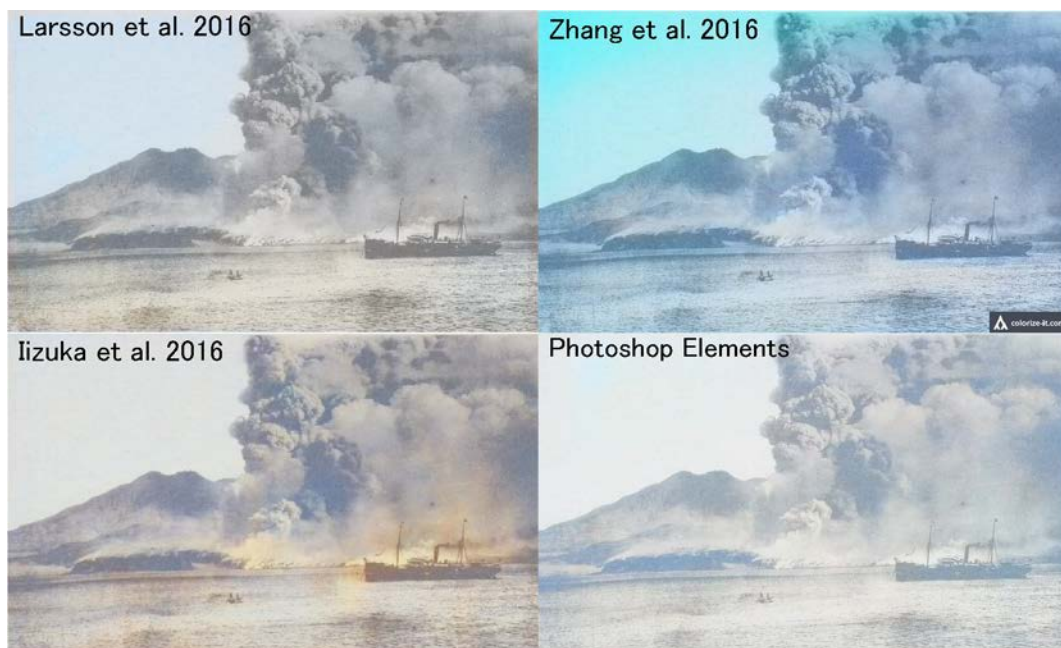


図 3 図 2 の画像をそれぞれの手法で着色したもの

自動着色された写真は、ややコントラストに欠けていたり、色味の薄いものもあるので、自動着色されたそれぞれの画像をさらに Photoshop Elements で画像の自動補正を行った (図 4)。

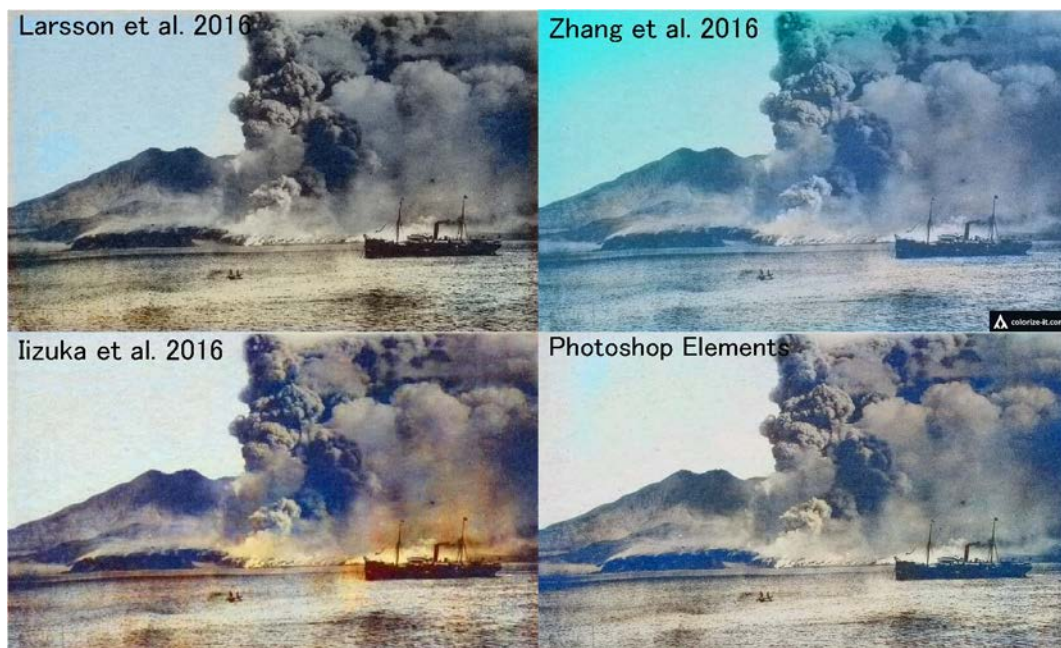


図 4 図 3 のそれぞれの画像を Photoshop Elements で自動画像補正をしたもの

ディープネットワークを用いた自動着色プログラムには、それぞれ一長一短があり、写真ごとに比較してより良い結果が得られているものを採用した。画像補正についても、自動ではなく手動で調整した方がより良い結果が得られるが、画像処理ソフトに習熟しておく必要がある。

3. カラー化した桜島大正噴火

以下では、カラー化した写真をもとに桜島大正噴火を振り返る。



図5 磯海水浴場と大正噴火以前の桜島(Larsson et al. 2016 + 画像補正)

この絵葉書の消印の日付は、桜島大正噴火の3年半ほど前の明治43年8月9日なので、写っている桜島は大正噴火以前の姿ということになる。



図6 大正噴火発生直後(Larsson et al. 2016 + 画像補正)

大正3年(1914年)1月12日10:00の撮影とされるものだが、桜島大正噴火の開始は10:05なので(鹿児島県, 1927), それ以降のものである。この写真には桜島西斜面の噴火の10分後に始まったとされる東側の鍋山火口からの噴煙は見えないので、写真は10:05から10:15の間に撮影されたものであると言える。



図7 大正噴火発生直後(Larsson et al. 2016 + 画像補正)

大正3年(1914年)1月12日10:00の撮影とされるもの。図6同様、撮影時刻は不正確である。桜島南岳山頂を挟んだ東側の火口からも高い噴煙柱が上がっていることから、10:15以降の撮影であることがわかる。城山から撮影されたものと考えられる。



図8 大正噴火発生直後(Larsson et al. 2016 + 画像補正)

大正3年(1914年)1月12日10:30の撮影とされるもの。噴煙の形から図7とほぼ同じ時刻(この写真の方が数秒後か?)に異なった場所で撮影されたもの。帆掛け船が見られるので、海岸沿いで撮影されたものと考えられる。

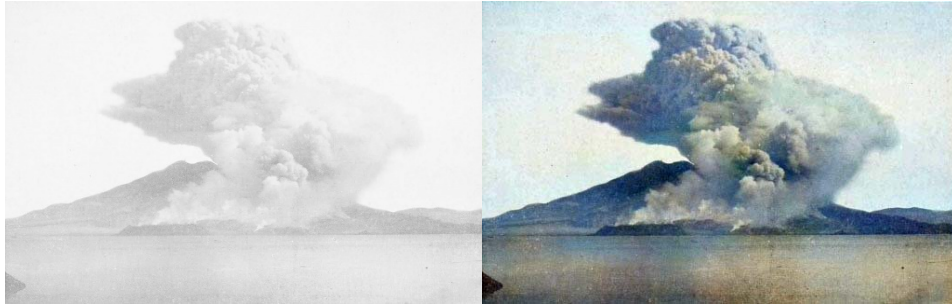


図9 大正噴火発生二日後 (Iizuka et al. 2016 + 画像補正)

噴火開始から2日後の1月14日に鹿児島港付近から撮影されたもの。プリニー式噴火の噴煙柱はなく、噴煙の高さは3000m程度。西側火口から流出した溶岩が袴腰の大地に近づく様子がわかる。溶岩流の先端はまだ海に達していない。



図10 大正噴火発生三日後 (Photoshop Elements + 画像補正)

噴火開始から3日後の1月15日に鹿児島港付近から撮影されたもの。西側火口から流出した溶岩が海に達した。蒸気船の後ろに湯気が白く立ちこめているのがわかる。



図11 大正噴火発生四日後 (Photoshop Elements + 画像補正)

噴火開始から4日後の1月16日に鹿児島港付近から撮影されたもの。東京帝国大学の森房吉教授が来鹿して、現地調査を行った。



図12 黒神埋没鳥居 (Photoshop Elements + 画像補正)

現在、観光名所となっている黒神埋没鳥居の噴火直後の様子(撮影日時は不明)。もともと参道は周りより低かったため、周囲の軽石が再堆積し、最終的に2mの深さで埋もれてしまった。



図 13 軽石・火山灰に厚く覆われた黒神集落 (Iizuka et al. 2016 + 画像補正)

桜島東部の黒神集落は、ほぼ1日程度の中に1m以上の厚さの軽石・火山灰に埋もれてしまった(撮影日時は不明). 後方には桜島の東斜面に開口した火口からの噴煙が見える.



図 14 鹿児島市街地における地震被害の様子 (Larsson et al. 2016 + 画像補正)

現在の鹿児島市山下町周辺の地震被害をとらえたもの(撮影日時は不明). 桜島大正噴火時には、噴火開始から約8時間後に鹿児島市直下でマグニチュード7.1の地震が発生し、大きな被害を出した. 鹿児島市とその周辺では、この地震によって29人の死者を出している(鹿児島県, 1927).

4. おわりに

ディープネットワークを用いて古い災害写真をカラー化して防災啓発に活用することは、きわめて有効・重要である. 今後、大きく発展させることができる分野であるといえる. 本研究で行った成果はインターネット上で公開しているので(<https://note.com/kirishimayama/n/nb15718916914>), 興味のある方は参照していただければと思う.

5. 文献

Iizuka S., Simo-Serra E. and Ishikawa H.. Let there be Color!: Joint End-to-end Learning of Global and Local Image Priors for Automatic Image Colorization with Simultaneous Classification. ACM Transaction on Graphics (Proc. of SIGGRAPH), 35(4):110, 2016.

鹿児島県. 桜島大正噴火誌, P466, 1927.

Larsson G., Maire M. and Shakhnarovich G.. Learning Representations for Automatic Colorization. In ECCV 2016.

Zhang R., Isola P. and Efros A. A.. Colorful Image Colorization. In ECCV 2016.

シラスおよびシラスを含む地盤材料の 不飽和浸透および強度特性に関する研究

理工学域工学系 酒匂 一成・伊藤 真一

1. はじめに

降雨時の自然斜面、道路のり面、鉄道盛土および河川堤防などの安定性を定量的に評価するためには、地盤の基本的物理量および不飽和土の浸透特性や強度特性を把握することが重要である。そこで、特に南九州地域に広く分布しているシラスおよびシラスを含んだ地盤材料の不飽和状態の浸透特性（水分特性曲線や不飽和透水係数）およびせん断強度特性に着目する。

不飽和土の保水・浸透特性および不飽和土のせん断強度特性に関する現状の問題点として、それらの土質試験は試験時間が長期にわたることや試験操作が複雑であることなどの問題が挙げられ、試験結果が十分に蓄積されていない。例えば、堤防の安全照査では、不飽和浸透解析および斜面安定解析が行われるが、土の不飽和浸透解析¹⁾では、土の保水性や浸透特性、すなわち、水分特性曲線や体積含水率－飽和・不飽和透水係数の関係が必要である。その際に、河川堤防の構造検討の手引き²⁾では、それらのモデル関数が与えられ、不飽和浸透解析において、このモデルが利用されることが多い。しかしながら、与えられている曲線は、砂質土、粘性土、礫質土・砂質土といった簡単な分類による土に対するモデルであり、実際に利用する場合に、どれを用いるかを判断するには、かなりの経験を要する。また、鹿児島県はシラスなどの特殊土が分布しており、これらの水分特性曲線として、どの曲線を用いるべきかを判断するには、その試験データが少ないことが課題である。また、斜面の安定解析をする際には、粘着力や内部摩擦角のせん断強度パラメータが必要であるが、パラメータを得るためには多くの時間と費用が掛かるため、多くのケースでは土質の種類ごとに与えられている代表的な値が用いられ、計算が行われている。

本研究では、シラスおよびシラスを含んだ地盤材料に対する土質試験を実施し、基本的物理量、透水特性、強度特性について試験データの蓄積を行う。

2. シラスおよびシラスを含む地盤材料の試料採取箇所

(1) シラスの試料採取箇所

本研究では、鹿児島県鹿児島市東俣町の土取り場（写真-1）において採取した試料を用いて、室内土質試験を実施した。溶結凝灰岩が露頭しており、その上部にシラスが厚く堆積していた。この土取り場の複数箇所において、試料採取を行うとともに、携帯型ミニディスクインフィルトロメータによる現場透水係数の観測を実施した。

(2) シラスを含む地盤材料採取箇所

シラスを含む地盤材料として、大隅河川国道事務所の協力を得て、鹿児島県鹿屋市串良町岩弘地区堤防浸透対策工事施工箇所の堤体土（写真-2）を採取し、室内土槽試験、透水試験、保水性試験、強度特性に関する試験を実施した。



写真-1 鹿児島市東俣町の土取り場

3. 試験結果のまとめ

(1) 採取土の基本的物理量

鹿児島市東俣町の土取り場の敷地内の切土斜面（写真-3）の小段①～③の深さ 50cm



写真-2 堤体土の採取状況

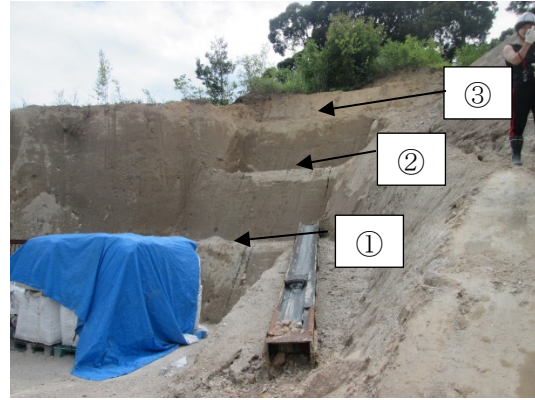


写真-3 鹿児島市東俣町土取り場の敷地内の試料採取箇所

表-1 鹿児島市東俣町の採取試料の基本的物理量 (2019年9月30日, 深さ50cm)

項目		地点①	地点②	地点③
湿潤密度	ρ_t [g/cm ³]	1.08	1.27	1.03
乾燥密度	ρ_d [g/cm ³]	0.91	0.98	0.81
土粒子密度	ρ_s [g/cm ³]	2.45	2.64	2.58
含水比	w [%]	20.8	31.7	26.7
間隙比	e [-]	1.7	1.7	2.2

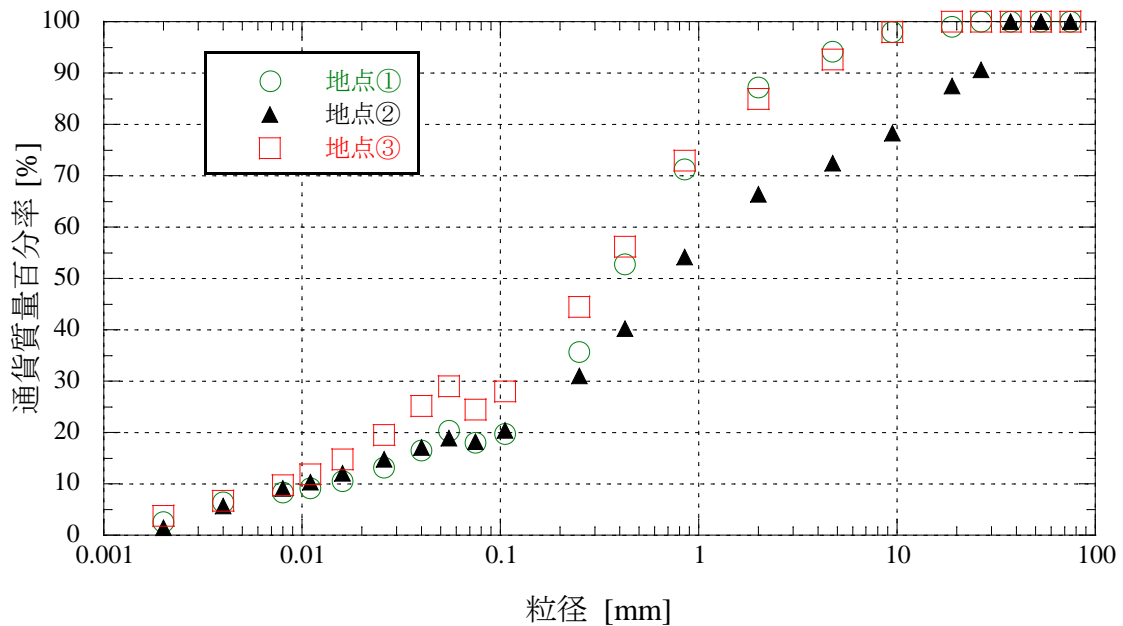


図-1 粒径加積曲線 (鹿児島市東俣町, 深さ50cm, 2019年9月30日採取)

の位置において土を採取し、土の湿潤密度試験、含水比試験、土粒子密度試験を実施した。得られた結果から、乾燥密度および間隙比の計算を実施した。表-1 に得られた基本的物理量をまとめた。表より、土粒子密度は、地点②を除くと一般的な土の土粒子密度 (2.64g/cm³) よりも小さな値を示しており、シラス特有な傾向を示していることがわかる。また、写真-3 に地点①～③の深さ50cm で採取された土の粒度試験結果を図-1 に示す。図より、各地点の粒度はほぼ同様な分布になっていることがわかる。また、粒径75 μ m 付近で、段差が見られるが、これは粒度試験の沈降分析とふるい分析の結果を合わせた際に生じるシラスの粒径加積曲線に見られる特徴である³⁾。これは、写真-4 に示すように、採取試料には2mmふるいに残留する軽石が含まれており、2mmふるいでふるい分けする際に、軽石に細粒分が付着してしまうことが影響している可能性が考えられる。

一方、鹿屋市の串良川で採取した堤体土についても、土質試験を実施した。土粒子密度試験より、 2.470g/cm^3 と一般的な土よりも小さい値であった。また、粒度試験を実施したところ、**図-2**に示すような粒度加積曲線が得られた。

(2) 不飽和土の保水特性

ここでは、不飽和土の保水・浸透特性を得るための土質試験についてまとめる。今回は、堤体土に対して、露点ミラー方式 (WP4C) による土の水分特性曲線の測定と、簡易蒸発法 (HYPROP) による不飽和土の水分特性曲線と比透水係数を得るための土質試験を実施した。WP4C の測定において供試体はサンプルカップの半分程度が推奨されているため、直径 37mm、高さ 9mm のサンプルカップに直径 37mm、高さ 4mm に設定した。HYPROP のデータと組み合わせを行うために、間隙比を $e=1.05$ になるように締固めを行った。また供試体の高さが 4mm と制限されているため、2mm 通過試料を用いて測定を行った。堤体土においては $5\% < S_r < 100\%$ において 87 回測定を行った。HYPROP では、直径 7.98cm 高さ 5cm のサンプルリングに初期飽和度 $S_r=10\%$ 、間隙比を $e=1.05$ になるように締固めを行った。作成した供試体を、脱気水に浸し十分に飽和させた後に測定を開始した。HYPROP の 2本のテンシオメータの高さはそれぞれ供試体の下端から 1.25 cm、3.75cm に設置しポアスカップ内を脱気水で満たし、十分に脱気を行った。HYPROP と WP4C による水分特性曲線の組み合わせを行うにあたり、HYPROP の測定範囲は $16\% < S_r < 100\%$ であり、WP4C は $S_r < 20\%$ の間が測定可能であったため、その範囲の水分特性曲線を**図-3**に示す。HYPROP は供試体を一旦飽和させ、その後に測定を開始させるため飽和域からの測定となる。よって、低サクシオン域の測定に適している。一方、露点ミラー方式に関しては WP4C の測定範囲が $0 \sim 300\text{MPa}$ と設定されているが、実際は高サクシオン域の測定に適した機器だと考えられる。**図-3**より、WP4C の水分特性曲線が、HYPROP の水分特性曲線を補完するようなプロットになっていることがわかる。また今回の測定において HYPROP では測定終了までにおよそ 17 日の期間を要し、WP4C は 1 点測定するのにおよそ 20 分程度時間がかかった。本研究で行った簡易蒸発法と露点ミラー方式による結果を組み合わせることによって、比較的短時間で広範囲の水分特性曲線が得られる可能性が示唆された。

(3) 現場透水試験

ここでは、鹿児島市東俣町の切土斜面 (**写真-3**) で実施した携帯型ミニディスクインフィルトロメータによる現場透水係数の観測について述べる。携帯型ミニディスクインフィルトロメータ (METER 社、以降、インフィルトロメータと称す) は、飽和に近い不飽和地盤の透水係数を求め



写真-4 2mmふるいに残留した土 (東俣町採取土, 地点①)

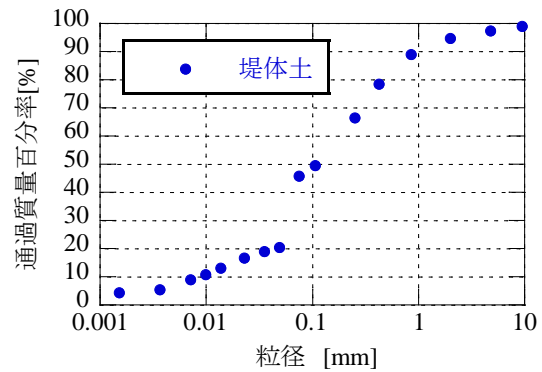


図-2 粒度加積曲線 (堤体土)

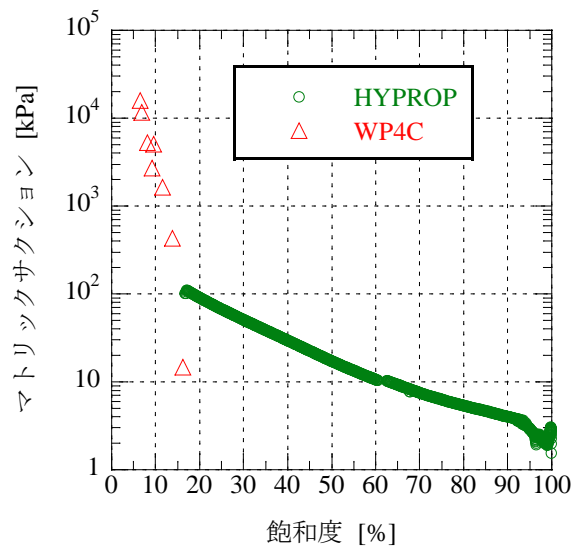


図-3 水分特性曲線 (堤体土)

る手法の一つであり、従来の現場透水試験器に比べ、持ち運びしやすく、試験を速やかに開始できる。本研究では、インフィルトローメータで得られた計測結果から現場透水係数を算出する方法として、杉井らの方法⁴⁾を用いる。現場透水係数の算出式を次式に示す。

$$k_f = \frac{e^{\log_e(Q/t)}}{\pi R^2 + \frac{4R}{a}} \quad (1)$$

ここに、 k_f ：現場透水係数[cm/s]、 Q/t ：定常時の流量[cm³/s]、 R ：インフィルトローメータのディスクの半径[cm]、 a ：パラメータ

得られる現場透水係数は、地下水面より上の封入空気を含んだ飽和に近い地盤の透水係数を示していると思われる。現場透水係数の算出手順を以下に述べる。異なる3つの設定サクシオンで試験を行い、各設定サクシオンにおける経過時間と浸潤量を測定する(図-4)。そして、浸潤量が定常になったときの流量 Q/t を求め、図-5のサクシオン- $\log_e(Q/t)$ 関係の図にプロットする。3つ以上のデータに対する近似直線を描き、その傾きと切片が式(1)に用いる a 、 $\log_e(Q/t)$ となる。本試験では、写真-3に示す地点①と地点②において、試料採取を行った2019年9月30日に試験を実施した。その結果、現場透水試験では、地点①においては、 $k_f = 3.96 \times 10^{-3}$ cm/s、地点②においては、 $k_f = 4.37 \times 10^{-3}$ cm/s の値が得られた。現在、簡易型ミニディスクインフィルトローメータで得られる透水試験の妥当性評価を実施しており、今後、今回得られた透水試験の値の妥当性の評価を行っていく予定である。

(4) せん断強度特性に関する研究

本研究では、鹿屋市串良川の堤体土を用いて、締固め特性と自立高さの関係について実験を行った。まず、自立高さについて、拘束圧がない状態で供試体が自立する限界の高さのことを自立高さとして定義し、土の強度特性を表すパラメータとして考える。供試体が自立する要因として、2粒子間に働く様々な力が影響していると考えられ、これらを総称し、粒子間力と呼び、単位面積内にある粒子間力を粒子間力度と呼ぶこととする。粒子間力として、外力、表面張力、浸透圧、重力、物理・化学的力、浸透力、サクシオンなどによる力が考えられる。本研究では、日本工業規格「突固めによる土の締固め試験方法」(JIS A 1210)のA-a法による締固め曲線と写真-6に示すような塩化ビニール管モールドを用いた自立高さ実験の結果の関連性について検討を行った。

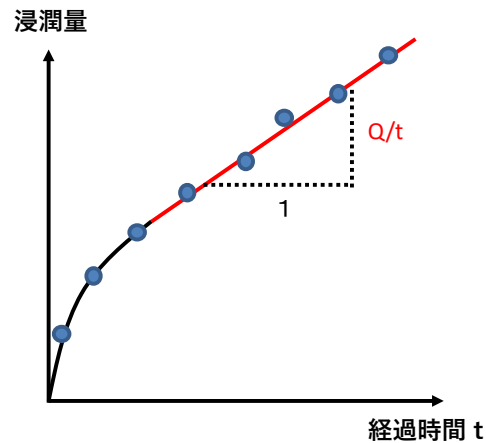


図-4 ある設定サクシオンでの浸潤量の時間変化

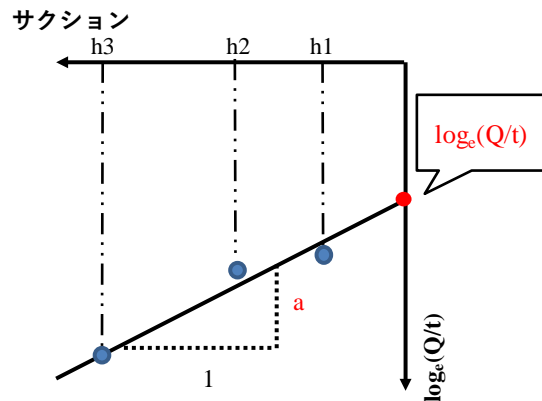


図-5 式(1)中の a 、 $\log_e(Q/t)$ の求め方



写真-5 現場透水試験状況 (地点①)

写真1 塩化ビニール管モールド



締固めエネルギーについては、締固め回数によって制御し、5, 10, 15, 20, 25 回 ($\times E_n$ [J/cm³]) とした。それぞれのエネルギーにおいて含水比 w を 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35% に調整し、実験を行った。また、自立高さに関する実験でも、締固め試験と同じランマを用いて実験を行った。図-6 に締固め試験の結果を示す。図より、締固めエネルギーが増大するほど、左上に締固め曲線が移動する一般的な結果を示すことがわかる。それぞれの締固め曲線において、最適含水比は飽和度 80% 付近に位置していることがわかる。

次に、自立高さの測定結果について表-2 に示す。既定のモールド (高さ約 10cm) による実験では、含水比 5% でのエネルギー 5 回と 10 回、含水比 35% でのエネルギー 5 回の 3 か所のみが崩壊した。次に、塩ビモールドを用いて、供試体の高さ 20cm 付近の各条件下での崩壊の有無を調べた。その結果、含水比 35% でのエネルギー 10 回と 25 回で崩壊が見られた。ここまでの結果を踏まえ、高さ 20cm 以下での崩壊事例付近の箇所 50cm までの実験結果を表-2 に加えた。図-6 と表-2 から、締固めエネルギー 5 回、10 回、15 回の締固め曲線の含水比 35% の自立高さと同含水比 35% のときの間隙比と等しい乾燥側の自立高さを比較すると、乾燥側の自立高さが大きくなることがわかった。このことは、盛土を築造する際に締固め度で管理しているが、締固め度は最大乾燥密度の 90% 程度で管理されるが、乾燥側または湿潤側のどちらで管理するかで、完成時の盛土の強度が異なることを示唆している。

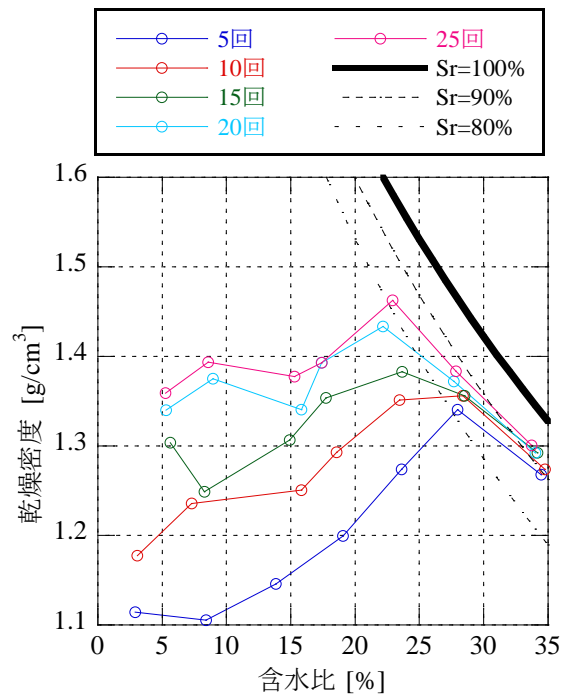


図-6 締固め曲線 (堤体土)

表-2 設定条件下での土の自立の有無

含水比 (%)	締固めエネルギー [回]				
	5	10	15	20	25
5	×10cm	×10cm	○40cm		
10	×40cm	×50cm			
15	○50cm				
20					
25	○50cm				
30	○40cm				
35	×10cm	×20cm			×20cm

4. おわりに

本研究では、シラスおよびシラスを含んだ地盤材料に対する土質試験を実施し、基本的物理量、保水性特性、現場透水特性、締固め特性と強度特性の関係について、試験データの蓄積を行った。特に、今回の試験で得られた成果は、不飽和土質力学の体系化に必要なデータを主に取り扱ったが、保水性試験、現場透水試験、自立高さ実験などについては、今後、その試験結果の妥当性の検討が必要である。これらの試験について、より精度の良い結果が蓄積されることで、シラスからなる自然斜面の安定性評価やシラスを含む地盤材料を用いた河川堤防や道路盛土の設計や安全照査に重要な基礎データとなる。今後も、試験の精度を向上させつつ、データの蓄積を図りたい。

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-不飽和浸透流解析, 土木学会論文集, No.264, pp.87-96, 1977.
- 2) 財団法人国土技術センター編: 河川堤防の構造検討の手引き (改訂版), JICE 資料, 第 111002

号, 2012。

- 3) 北村良介, 松元真一, 鈴木隆文 : 降下軽石 (ぼら) の粒度試験について, 自然災害研究協議会西部地区部会報, Vol.30, pp.87-88, 2006。
- 4) T. Sugii, H. Yokawa, and M. Ishii : Measurement of field-hydraulic soil properties using suction infiltrometer for soil-based pavement, Proc. of the 7th Asia-Pacific Conference on Unsaturated Soils (AP-UNSAT2019), pp.84-89, 2019.

土柱法の試験結果に基づくデータ同化による不飽和浸透特性の推定

工学部 伊藤 真一・酒匂 一成

1. はじめに

不飽和地盤における浸透挙動を定量的に把握するためには、不飽和浸透特性(水分特性曲線および体積含水率もしくは圧力水頭に対する不飽和透水係数の関数)が必要である。不飽和浸透特性を求めるための方法として、従来から保水性試験や透水試験が用いられてきた¹⁾。本研究では、その中でも保水性試験に着目する。保水性試験は、土中水のポテンシャルが平衡状態に達した際の含水比や体積含水率などを用いて水分特性曲線を求める。しかし、地盤工学会基準(JGS 0151-2009)²⁾には、平衡に達する時間の長い試験法も多いこと、平衡状態の確認が難しい場合があることなどの留意点が記載されており、これらが保水性試験を難しくしている要因の1つであると考えられる。そこで、試験途中における経時的な計測データを有効に活用して短時間で水分特性曲線を算出することができれば、保水性試験方法として有用であると考えられる。

筆者らはこれまでに、逐次型データ同化手法の一種である粒子フィルタ³⁾を用いて、降雨量と体積含水率の現地計測データに基づく浸透解析モデルのデータ同化を行ってきた^{4),5)}。その結果、データ同化によって推定された浸透解析モデルを用いると、データ同化に使用した現地計測データより降雨強度の高い場合の計測データも良好に再現できること、粒子フィルタの中でも融合粒子フィルタ(Merging Particle Filter, 以下MPF)⁶⁾が、浸透解析モデルを推定するためのアルゴリズムとして有効であることなどを明らかにした。

本研究では、土試料としては豊浦砂を用いて土柱法による保水性試験を行い、それによって得られた体積含水率の計測データとMPFによるデータ同化を組み合わせることで、豊浦砂の不飽和浸透特性の推定を試みる。本研究の新規性は、不飽和浸透特性のデータ同化という問題において、保水性試験のような境界条件が既知水頭境界となる場合のデータ同化を新たに試みた点である。

2. 土柱法による保水性試験

(1) 土柱法の概要

土柱法は重力場において、自由水面上に立てられた土柱が吸水・排水を行って平衡に達した際の供試体の高さから自由水面の高さの差から圧力水頭を求める試験法である¹⁾。この試験法は、圧力水頭が小さい領域(高サクション域)になるほど土柱が長くなり、さらに不飽和透水係数が低下するため、平衡に至るまでの時間が極度に増加する等の理由から、地盤工学会基準(JGS 0151-2009)では基準化されていない²⁾。しかし、土柱法は、特別な試験装置は必要なく比較的簡易に保水性試験を実施できるという利点もある¹⁾。

図-1は土柱法において平衡状態に達した際の水頭分布を示している。自由水面の高さを基準面、上向き正とすると、平衡状態に達した際のピエゾ水頭は全ての高さで0cmとなる。そのため、圧力水頭は図-1に示すようなマイナスの三角形分布となる。土柱内に土壌水分計を設置し、この時の体積含水率を計測すれば、圧力水頭と体積含水率の関係である水分特性曲線のプロットを推定できる。しかし、体積含水率の計測データだけでピエゾ水頭が0cmに収束しているかどうかを判断するのは難しいという問題点がある。

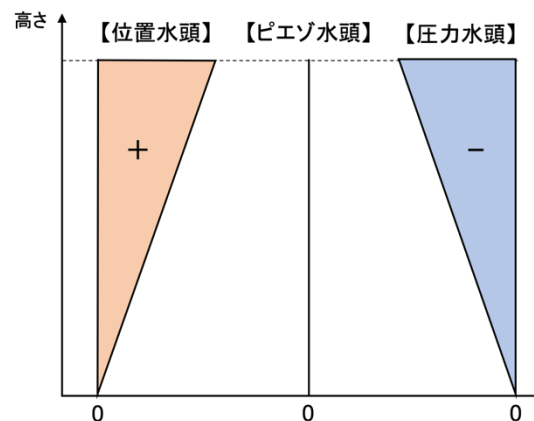


図-1 平衡状態に達した際の水頭分布

(2) 試験概要と試験結果

図-2 は本研究で用いた試験装置の概要を示している。内径 19cm、厚さ 0.5cm、高さ 40cm のアクリル円筒を 2 本用いて片方を水タンクとして、もう片方には高さ 30cm の供試体を所定の空隙比 ($e = 1.0$) になるように締固めて土柱を作製した。図-2 に示すように、水タンクには常に水を供給し、水タンク内の所定の高さでオーバーフローさせることで、土柱に作用する水頭を制御した。土試料としては豊浦砂 ($\rho_s = 2.64$) を用いて、供試体の初期飽和度は $S_r = 10.0\%$ とした。土壌水分計 (Decagon Device 社製, EC-5) は底面の自由水面から 10cm、20cm の高さにそれぞれ設置し、出力電圧と体積含水率の関係は事前に行ったキャリブレーション試験の結果に基づいて算出した。

図-3 は土柱法による体積含水率の計測データを示している。試験開始直後に高さ 10cm の体積含水率が上昇し、その後、高さ 20cm の体積含水率も上昇している。その後は、高さ 10cm の体積含水率の方が高さ 20cm におけるそれよりも常に高い状態を保ちながら平衡していることがわかる。

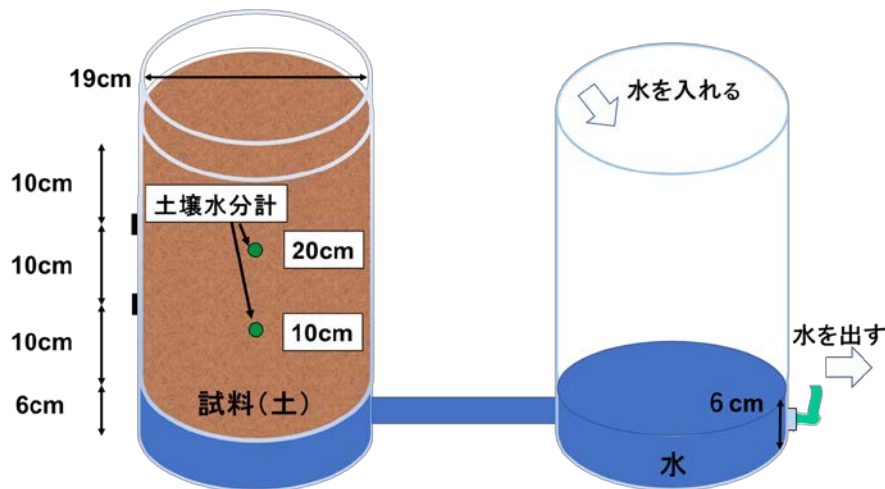


図-2 試験装置の概要

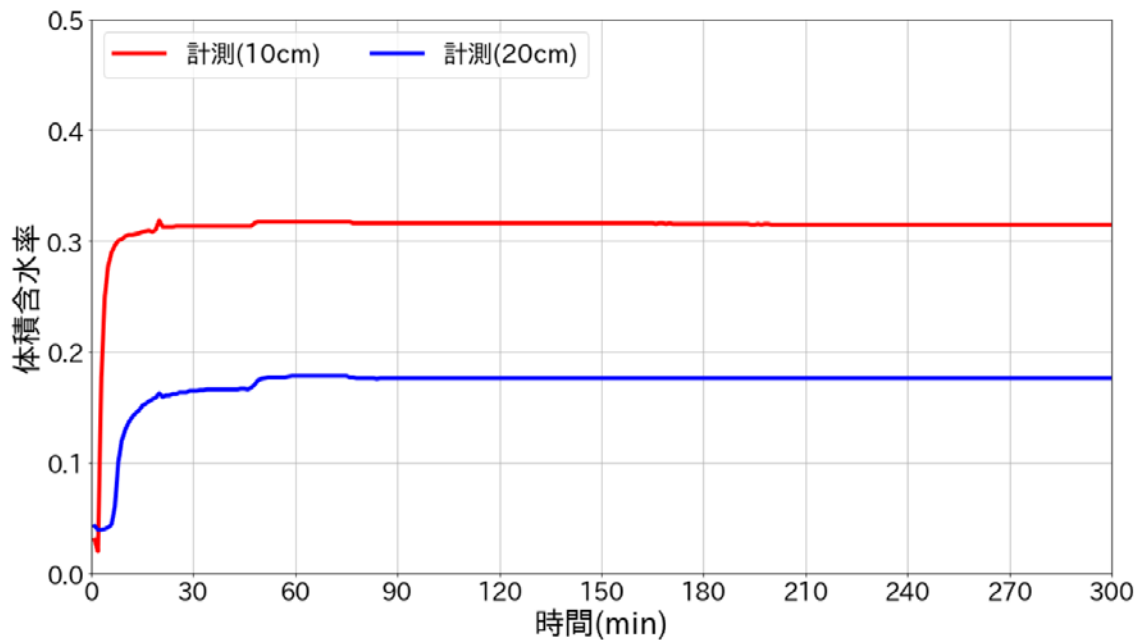


図-3 土柱法による体積含水率の計測データ

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⁷⁾。

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

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⁸⁾を、不飽和透水係数モデルとしては式(4)に示す Mualem モデル⁹⁾を用いた。

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

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

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未知パラメータは θ_s 、 θ_r 、 α 、 n 、 k_s の5種類であり、これらをMPFによって推定することにした。

(2) 融合粒子フィルタ (MPF)

MPF⁶⁾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-4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、 kN 個(k 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、 kN 個のサンプルを、 k 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。

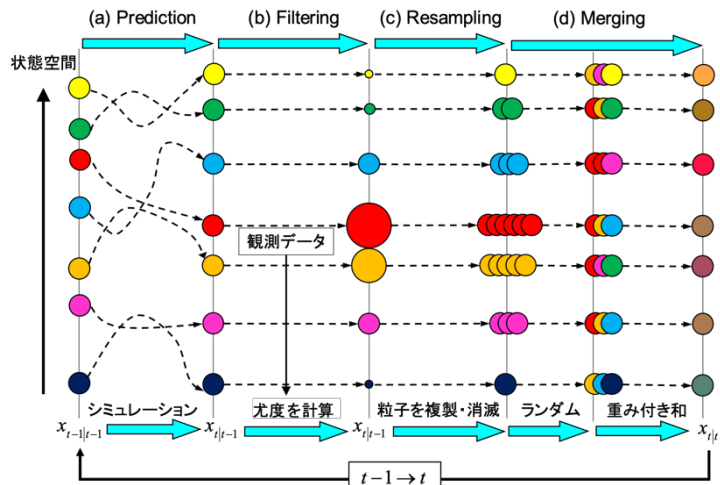


図-4 MPF の概念図

4. 解析結果

(1) 解析条件

図-5 は解析に用いた 1 次元解析モデルを示している。このモデルでは全ての高さで均一な 1 層モデルを仮定している。モデル底面の自由水面に既知水頭境界を設定して、圧力水頭 $\psi=0\text{cm}$ に固定した。モデル側面と上面は非排水境界とした。

データ同化には合計 500 個の粒子を用いた。500 個の粒子は、不飽和浸透特性(θ_s , α , n , k_s)の値が全て異なる。一様乱数を用いて初期の粒子を作成した。なお、図-3 に示す計測データの初期体積含水率が非常に低かったことを考慮して、本研究における θ_r は 0.0 に固定することにした。

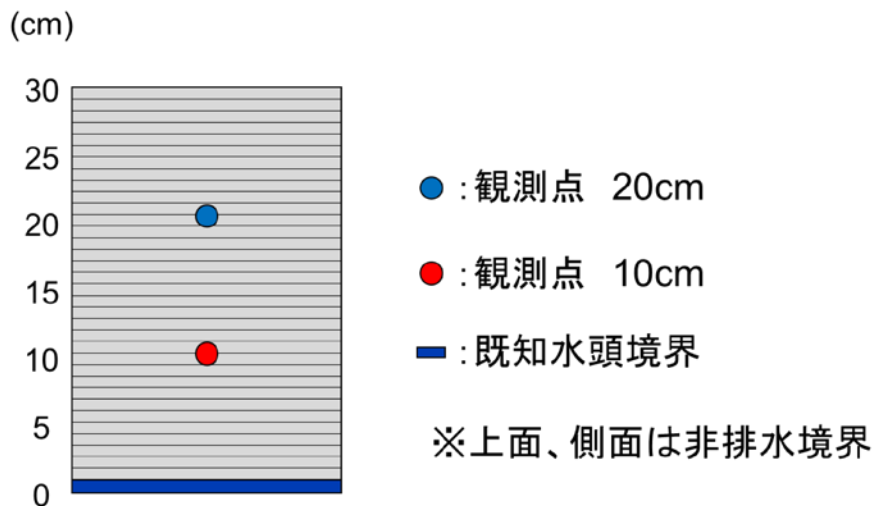


図-5 1次元解析モデル

(2) データ同化結果

図-6 はデータ同化結果を示している。同図は、データ同化によって算出された体積含水率の事後分布の経時変化を表している。実線が計測データであり、破線が事後分布の平均値 μ 、点線は事後分布における平均値 μ から $\pm \sigma$ の範囲を示している。事後分布の平均値は計測データと概ね合致しており、そのばらつきも小さい。このことから、データ同化を行うことで計測データを良好に再現可能な不飽和浸透特性を推定できているといえる。図-7 はデータ同化終了時における各不飽和浸透特性のヒストグラムを示している。同図は各不飽和浸透特性の事後分布であり、事前分布としては一様分布であったものがデータ同化によって、計測データに適合するように更新されている。この不飽和浸透特性の確率分布の更新を水分特性曲線で説明する。まず、一様乱数によって 500 通りの水分特性曲線が作成された。図-8 は作成された 500 本の曲線を示しており、これらの曲線の集合が事前分布である。同図より、ランダムに作成された事前分布は非常にばらついていることが分かる。この状態からデータ同化を行うことで、図-7 に示すようなヒストグラム(事後分布)が得られた。このヒストグラムから得られた 500 通りの水分特性曲線を図-9 に示す。図-8 と比較して明らかなように、水分特性曲線のばらつきが小さくなっている。これは事後分布に対応する不飽和浸透特性値を用いると、計測データを良好に再現できるためである。このように、MPF によるデータ同化は、最適解を求める方法ではなく、各パラメータを確率変数として考えてその事後分布をベイズの定理に従って更新する方法である。

以上の結果から、MPF によるデータ同化を行うことで、土柱法の計測データを良好に再現できる不飽和浸透特性の推定が可能であることがわかった。さらに、本研究の提案手法は、非常に簡易な試験方法であること、データ同化に用いた計測データは 300 分と短時間であり試験の準備から片付けを含めても 1 日以内での試験実施が可能なことなどを考慮すると、提案手法は新たな保水性試験の方法として有効であると考えられる。ただし、提案手法によって得られた不飽和浸透特性が地盤工学会基準(JGS 0151-2009)の試験方法によって得られた不飽和浸透特性と同等の値になるかを確認する必要がある。そのような試験結果の妥当性の検証は今後の課題としたい。

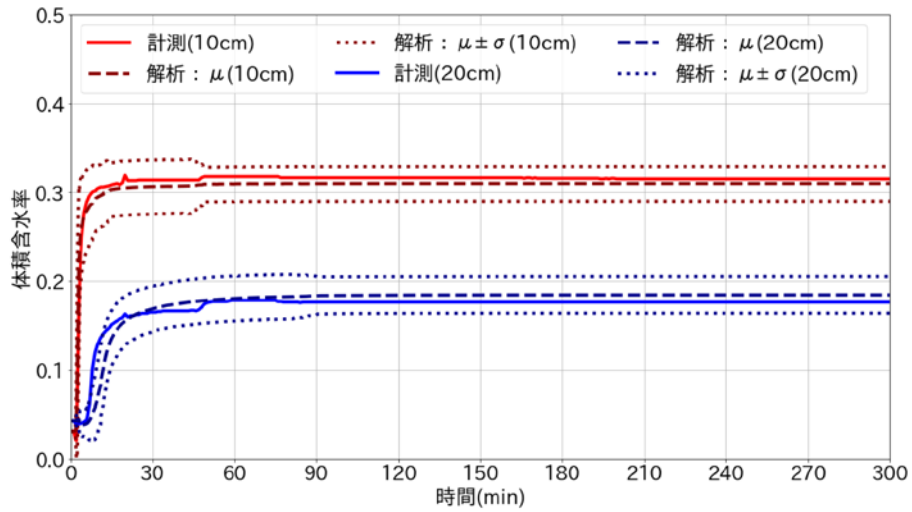


図-6 データ同化結果

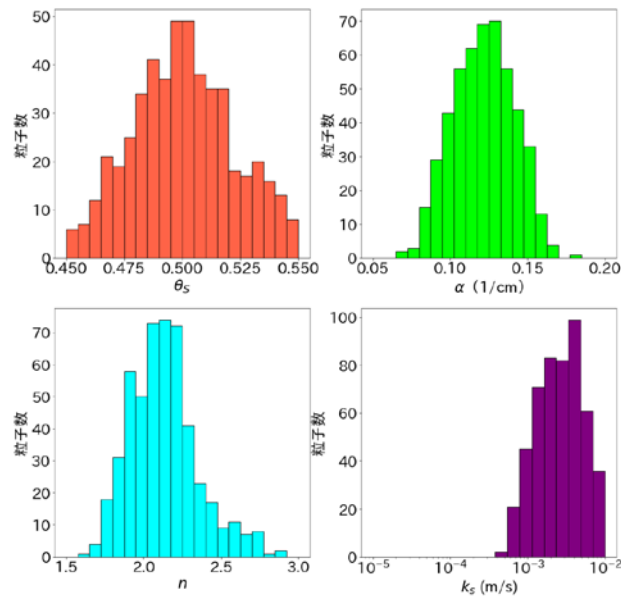


図-7 データ同化終了時における各不飽和浸透特性のヒストグラム

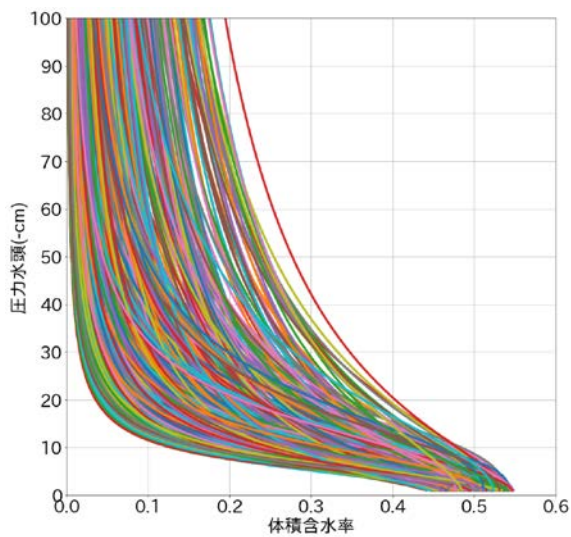


図-8 一様乱数によって作成された水分特性曲線

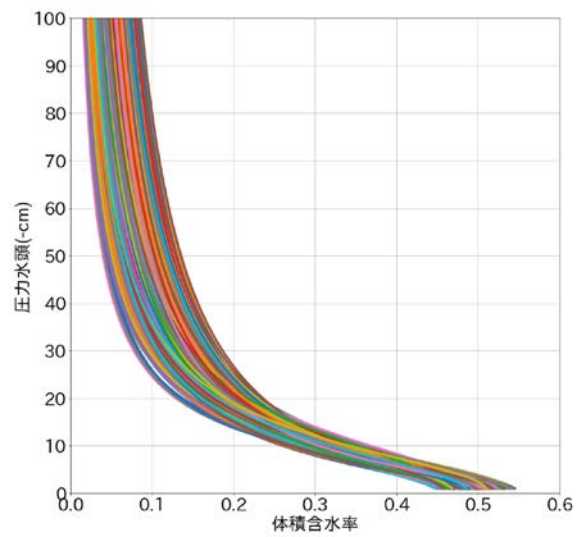


図-9 データ同化によって更新された水分特性曲線

5. まとめ

本研究では、土試料としては豊浦砂を用いて土柱法による保水性試験を行い、それによって得られた体積含水率の計測データと MPF によるデータ同化を組み合わせることで、豊浦砂の不飽和浸透特性の推定を試みた。その結果、本研究の提案手法を用いることで、簡易かつ短時間で土柱法の計測データを良好に再現できる不飽和浸透特性の推定が可能であることが明らかになった。今後は推定された不飽和浸透特性の妥当性を検証する予定である。

参考文献

- 1) 石田朋靖, 相馬尅之, 足立忠司, 河野英一, 飯竹重夫: pF の測定とその原理, 土と基礎, Vol.35, No.1, pp.61-66, 1987.
- 2) 地盤工学会編: 地盤材料試験の方法と解説, 第7章土の保水性試験, pp.162-173, 2009.
- 3) Kitagawa, G.: Monte carlo filter and smoother for non-Gaussian nonlinear state space models, *Journal of Computational Graphical Statistics*, Vol.5, No.1, pp.1-25, 1996.
- 4) 伊藤真一, 小田和広, 小泉圭吾, 臼木陽平: 現地計測結果に基づく土壌水分特性パラメータ同定に対する粒子フィルタの適用, 土木学会論文集 C(地圏工学), Vol.72, No.4, pp.354-367, 2016.
- 5) 伊藤真一, 小田和広, 小泉圭吾, 藤本彩乃, 越村謙正: 現地計測に基づく浸透解析モデルのデータ同化に対する融合粒子フィルタの有用性の検証, 土木学会論文集 A2(応用力学), Vol.73, No.2(応用力学論文集 Vol.20), pp.I_45-I_54, 2017.
- 6) Nakano, S., Ueno, G., Higuchi, T.: Merging particle filter for sequential data assimilation, *Nonlinear Processes in Geophysics*, Vol.14, pp.395-408, 2007.
- 7) 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.
- 8) van Genuchten, M: Calculating the unsaturated hydraulic conductivity with a new closed-form analytical model, *Research report*, No.78-WR-08, Princeton Univ., 1978.
- 9) Mualem, Y.: A new model for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated porous media, *Water resources research*, Vol.12, pp.513-522, 1976.

3D スキャナー、魚群探知機、ドローンを活用した 河道地形と植生環境の計測手法の確立

理工学域・工学系 安達 貴浩

1. はじめに

土砂の堆積によって河道の流下能力が低下すると、洪水発生時に氾濫の危険性が高くなる。また、高水敷に植生が繁茂すると、植生により土砂がトラップされ、流下能力はさらに低下する。加えて植生による流体抵抗により、河道の流下能力の低下は一層加速される。以上のことから、河道の横断地形そのものに加え、地形形状の変化や植生の繁茂状況を適切に把握することは、河道管理において重要な要素となっている。一級河川では、河道形状が定期的に計測されているが、二級河川においては、河道形状の計測がなされていない河川も少なくない。また、河道形状は、河岸の植生を伐採した後に計測されるのが一般的であるが、この点が、河道地形の変化の動態を把握する上で大きな支障となっている。また、植生高は時々刻々と変化することもあるので、できるだけ労力のかからない測量手法の確立・適用が望まれる。

以上の点を踏まえ、本研究では、3D スキャナーならびにドローンを用いて、河道の地形変化ならびに植生の繁茂状況を、効率的かつ高精度に計測する手法を確立することを目的としている。鹿児島県には、160 水系の二級河川が存在し、昨今、水位の計測は重点化が図られている。しかしながら、離島をはじめとして、水害リスクが高い河川であっても、河道地形について計測がなされていない河川は数多い。緻密な河道計画や治水計画を実施するためには、河道の地形の変化や植生の繁茂状況の把握が不可欠な要素であることから、本研究は、正に鹿児島県という地域固有の防災課題解決に寄与する内容である。

2. 植生が流れや河道地形に及ぼす影響の具体的事例

例えば、川内川の菱刈地区では、植生の存在により、洪水後に高水敷に土砂が堆積し、場合によっては樹林化することが知られているが、このような植生の影響は、力学的根拠に基づいた数値計算でも確認することができる。図-1 のような河道横断面と水理条件をもつ直線水路に対して、流れと河道地形を植生の有無により比較すると、植生が存在する場所では、植生の抵抗により流速が遅くなり、結果的に、ウォッシュロードが河床に堆積していることが分かる (図-2, 3)。植生の抵抗は、抵抗係数としてモデル化されているが、その評価において、植生高が重要な指標として用いられる。ちなみに、本計算において、掃流砂による土砂輸送については、芦田・道上モデルによって評価されている。

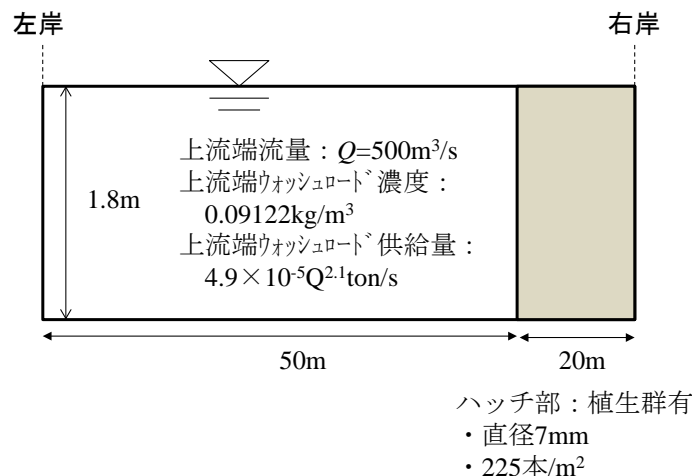


図-1 計算領域の横断面図 (植生あり)

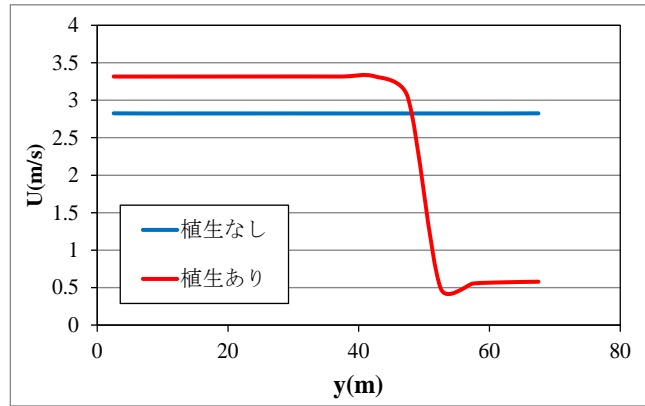


図-2 植生の有無による流速の流下方向成分 U の比較（表層流速）

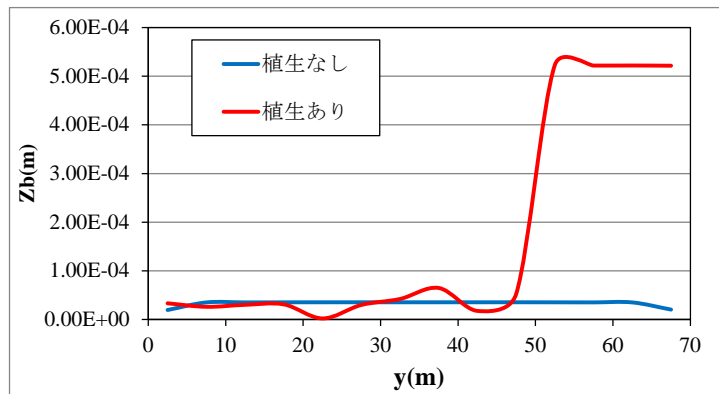


図-3 植生の有無による河床高の比較

3. 3D スキャナーによる地盤高と植生高計測に関する既往の知見

3D スキャナー（写真-1）は多数のレーザーを発生し固体面からの反射を利用して距離を計測することから、植生群に対しレーザーを放射した場合、一部のデータは植生上端での反射を表し、一部のデータは地盤からの反射を表すことになる。このため、3D スキャナーを有効活用することにより、植生を伐採することなし、地盤高と植生高を同時に計測できる可能性が想定される。このような観点から、申請者によって、いくつかの取組が実施されているため、その結果を以下に示す。

- 1) 後述するように、3D スキャナーの距離の測定精度は、公称精度で $\pm 2\text{mm}$ である。
- 2) 直径 6mm、高さ 59cm の円柱を等間隔に配置した植生模型を作成し、その粗密や計測器との距離を変化させる基礎的な実験が実施された。この結果、測定領域を適当なグリッドで分割し、各グリッド内で最大と最小の標高差を取ると、データ数の密度が $1300/\text{m}^2$ であれば、その差は、植生高とほぼ一致することが確認されている。
- 3) データ数の密度が極端に低くなると（ 500 個/ m^2 以下）、上記の手法で、植生高を推定できないが、これは、植生模型では植生設置の間隔が均一であり、実際は空間があっても、角度によっては全く地盤が見えないという状況に起因することが確認されている。
- 4) 川内川・東郷橋周辺で、3D スキャナーによる植生高推定の現場実証試験が実施され、直接計測された数地点の植生高を 3D スキャナーは、比較的正確に推定できることが確認された。ただし、この調査において地盤高を正確に計測できるかどうかについて検討は行っていない。また、植生高の計測についても、計測地点が限られていた。
- 5) 計測条件によって精度は変わってくると考えられるが、鹿児島大学構内で実施した実験によると、標高の再現性は 2cm 程度の範囲に収まり、それを超える 20cm 程度の地形の変化は容易に抽出可能であることが明らかになっている。このように、3D スキャナーの高い再現性が確認されている。なお、この実験で、実河川で地形変化を抽出する場合には、抽出したい空間スケールを定めた上で、3D スキャナーの設置位置や高さを決める必要があることが分かった。



写真-1 3D スキャナー

4. 現地調査の内容

(1) 調査の概要

2019年6月24日に、川内川流域の東郷橋周辺で調査を実施した。現地調査においては、トータルステーション（TS）を用いて、河岸の118地点において地盤ならびに植生天端の標高を測量し、河道の地盤高と、植生高のデータを取得した。

また、ドローンを用いて、標高を計測するとともに、植生帯の存在状況を把握した（写真-2：現地の様子）。これらのデータを参照データとして、3D スキャナーを用いた地盤高と植生高の同時計測を試みた。なお、本調査においては、観測領域内に設けた基準点の標高を原点とし、標高を定義している。



写真-2 ドローンによる撮影結果の一例（上が右岸側）

(2) 3D スキャナーについて

検討対象とした3D レーザースキャナーはFARO社製のFocus3DX330 HDRである。本計測機器は連続的にレーザーを放射し（垂直視野300°、水平視野360°、ステップサイズ（空間分解能）0.009°）、反射した赤外線波の位相のずれを測定することで、対象までの正確な距離を計測することができる（公称精度±2mm）。このため、機器の正確な位置情報が得られれば、機器周辺の測量データ（明瞭距離330m）を一度に入手することが可能となる。

5. 観測結果と考察

既往の知見5)から判断すると、3D スキャナーにより、比較的植生密度が高い場所や植生帯の奥の方でも、地盤までレーザーが届いていると判断できる。ただし、知見2), 3)にあるように、ある程度、計測点がなければ、所定の精度が得られない。

以上を踏まえて、水平面を1×1mのグリッドに分割し、さらに、グリッド内の3D スキャナー

による測得データ数が200個以上のデータを対象として、3D スキャナーの精度を検討した。ここでは、トータルステーションで得られた標高ならびに植生高を正解値とした。

図-4,5 に結果を示す。3D スキャナーによって得られた結果は、1×1mのグリッドの平均値であるのに対し、トータルステーションで得られた結果は、局所的な値であるために、完全な一致は見られない。特に、植生高は、小さな水平スケールで変化し、しかも可撓性を有しており、局所的な高さの特定においてですら精度を確保することが難しい。このような影響もあって、図-3の結果を見ると、植生高については、誤差がランダムに表れている(標準偏差:20cm程度)。地盤高についても標準偏差は20cm程度であるが、全般的に、3D スキャナーでは、トータルステーションによりも低めの標高が得られている。低めの標高であるため、地盤までレーザーが届いていないことが原因だとは考えにくい。今後は、このような誤差の意味を明確にする個が重要だと考えられる。

いずれにしても、データ数によって精度が変わることから、次に、各グリッドでのデータの取得数を調べた。3D スキャナー配置付近では、取得データの密度が高いが、植生の有無に拘わらず、基本的なパターンとして、遠く離れるとデータ密度が小さくなっていることが分かる。この結果から、地表面に対するレーザーの角度が、データ密度を規定する最も重要な要因と考えられる。したがって、効率的に精度の高いデータを取得するためには、撮影場所を変えたり、スキャナーを高く設置する等の工夫が必要になってくると言える。

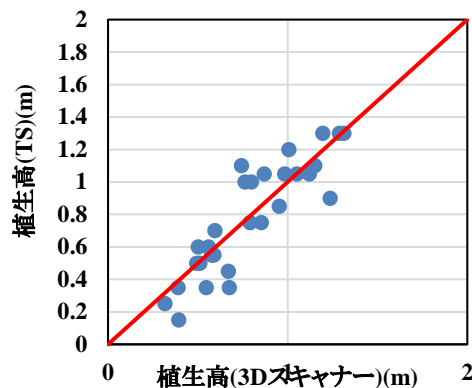


図-4 3D スキャナーとトータルステーションによる植生高の計測結果の比較

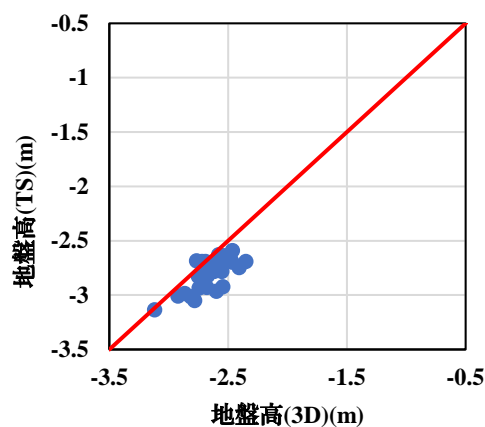


図-5 3D スキャナーとトータルステーションによる地盤高の計測結果の比較

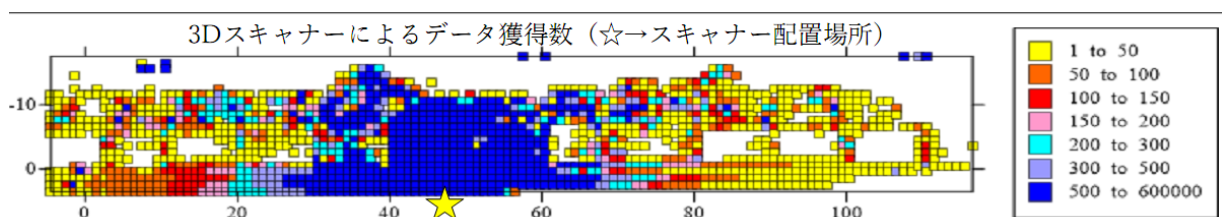


図-6 データ密度の分布(右岸側でのデータ、上が河川側)

6. まとめ

本研究により、以下の知見が得られた。

- 1) 川内川・東郷橋付近の河岸において、3D スキャナーによる地盤高と植生高の計測の可能性を調べる調査を実施した。一定のサイズのグリッドの平均値を用いなければ、データ密度が低くなるが、その影響を現地において具体的に確認した。
- 2) トータルステーションの結果と、3D スキャナーの標高と植生高との間には、標準偏差 20cm 程度の差異が生じたが、局所値とグリッド平均値との比較なので、これを誤差と断定することはできない。今後は、3D スキャナーの妥当性を検証できる、より高密度の標高や植生データを検証データとして取得する必要がある。
- 3) 今回の調査では、1m 程度高い場所から、河岸の地盤高と植生高を計測したが、その設定だと、所定のグリッド面積に対して所定のデータ密度を確保しにくくなるので、効率的な計測を実施するためには、撮影場所を変えたり、スキャナーを高く設置したりする等の工夫が必要になってくると言える。

謝辞

本研究の実施に当たり、現地調査の実施、データ整理において、鹿児島大学工学部技術部、愛甲、中村技術職員にご協力をいただきました。ここに、両名への謝意を表します。

イベントポスター関連



令和元年度 防災・日本再生シンポジウム 「地震火山災害の軽減に貢献する鹿児島大学の観測調査研究」

日 時：令和元年 11 月 9 日（土）
 13：10～17：00
 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：鹿児島地方気象台、鹿児島県
 鹿児島市、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&ケサメモリアルホール（鹿児島市）

防災ワークショップ

**放射線に係る
 リスクコミュニケーションと
 ヘルスリテラシー**

◆内容
 ①講義「ヘルスリテラシー：
 すぐに使える健康情報を伝える知識と技術（基礎）」
 ②講義「放射線の基礎・健康影響」
 ③演習「ヘルスリテラシー（発展演習）」

◆講師：
 後藤 あや 氏(福島県立医科大学 教授)
 鈴木 啓司 氏(長崎大学 准教授)

開催日時
2019年11月30日(土)
 午後13時～17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
医療関係者、行政職員、消防関係者
 11月25日(月)までに、「所属」、「参加者氏名」、「電話番号」、「E-mailアドレス又はFAX番号」を
 下記申込み先 E-mail または FAX、お電話にて
 ご連絡ください。

◆申込み
 E-mail: r01jimukyoku@nsra.or.jp
 電話: 03-5470-1982
 FAX: 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

防災ワークショップ 「放射線に係るリスクコミュニケーションとヘルスリテラシー」

日 時：令和元年 11 月 30 日（土）
 13：00～17：00
 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（鹿児島市）

**放射線に関する
 研修会** ご案内

2019年
12月7日(土) 13時～17時

講 義 「福島原子力発電所事故について」
 講師：奥野 浩二先生(長崎大学病院)

講 義 「原子力災害時の放射線による健康影響について」
 講師：岩竹 聡先生(長崎大学病院)

演 習 「原子力災害時の住民相談への対応」
 講師：山田 裕美子先生(長崎大学 助教)

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 **診療放射線技師の皆さま**

12月2日(月)までに、「所属」、「参加者氏名」、「電話番号」、「E-mailアドレス
 又はFAX番号」を下記申込み先 E-mail または FAX、お電話にて
 ご連絡ください。

環境省 令和元年度放射線健康被害・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)委託業務事務局 公益財団法人原子力安全研究協会
 E-mail: r01jimukyoku@nsra.or.jp
 電話: 03-5470-1982 FAX: 03-5470-1978

主催 環境省・鹿児島県診療放射線技師会・鹿児島大学地震火山地域防災センター

診療放射線技師向け研修会

日 時：令和元年 12 月 7 日（土）
 13：00～17：00
 共 催：環境省
 鹿児島県診療放射線技師会
 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（鹿児島市）

福島災害医療セミナーin鹿児島

**第1回
福島災害医療セミナー**
— 被災く医療基礎コース —

In
Kagoshima

講師：量子科学技術研究開発機構 放射線医学総合研究所
熊谷敦史先生
福島県立医科大学
村上道夫先生

2020年
1月11日(土)12日(日)

無料

共催：
鹿児島県診療放射線技師会
国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構
鹿児島大学地震火山地域防災センター
電話：099-285-7234 FAX：099-285-8495

第1回福島災害医療セミナーin Kagoshima
— 被災く医療基礎コース —

日時：2020年1月11日(土)～12日(日)

プログラム予定 ※変更の可能性あり。

◆第一日
13:00-14:00
①福島原発事故と急性期の健康問題 (60分)
14:10-17:30
②福島原発事故慢性期の健康問題 (180分と休憩計20分)

◆第二日
08:30-10:30
③住民相談にどう臨むかを考えるグループワークと講義 (120分)
10:40-12:00
④模擬相談演習 (80分)
12:10-13:30
⑤リスコム特論 (80分)

【申込み用紙は下記を併記してください】

件名：第1回福島災害医療セミナー申込み

項目：①お名前
②E-mailアドレスもしくは直接連絡の取れる電話番号
(雨天決行で開催が危ぶまれる場合に連絡致します)
③郵便先 ④職種 ⑤専門分野

※申込みの受付を遅くとも開催前日までとさせていただきます。申込が満員の場合はお問い合わせください。

お申込み・お問い合わせ
mailto:matuy@health.nop.kagoshima-u.ac.jp
鹿児島大学地震火山地域防災センター
電話099-275-6754

日 時：令和2年1月11日(土) 13:00～17:30
令和2年1月12日(日) 8:30～13:30

会 場：鹿児島大学桜ヶ丘キャンパス
共通教室棟501号室
(鹿児島市)

共 催：鹿児島県診療放射線技師会
国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構
鹿児島大学地震火山地域防災センター

新人保健師向け研修会

2020年
2月1日(土) 9時30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：保健師の皆さま

講義 『原子力災害後の医療・保健活動について』

講師：吉田浩二先生(長崎大学)

内容：原子力災害後に現場で何が起こったのか、原子力災害後の住民支援など

演習 『原子力災害後の住民相談への対応』

講師：山田裕美子先生(長崎大学)

内容：ロールプレイ(外部連携、内部連携の影響について)など

1月27日(月)までに、「所属」、「参加者氏名」、「電話番号」、「E-mail アドレス」又は FAX 番号を下記申込み先 E-mail または FAX、お電話にてご連絡ください。

開催者 令和元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)鹿児島県環境部 公益財団法人原子力安全研修会

E-mail: r01jimukyoku@nsra.or.jp

電話: 03-5470-1982 FAX: 03-5470-1978

共催 環境省・鹿児島大学地震火山地域防災センター

新人保健師を対象とした放射線に関する研修会

日 時：令和2年2月1日(土)
9:30～13:00

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(鹿児島市)

防災関連の論文について

(論文名・著者名・掲載誌名・巻・頁)

- 火山活動と土砂災害, 地頭菌隆 (共著), 砂防学 (朝倉書店), 2019, 160-169
- 渓流水・湧水を活用した土砂災害予測法の開発, 地頭菌 隆, 西部地区自然災害資料センターニュース, No. 61, 2019, 3-10
- 近年の大規模土砂災害と防災研究, 地頭菌隆, 全国都市問題会議文献集, 2019, 129-135
- 大分県耶馬溪町の火砕流台地周縁における渓流水・湧水を活用した崩壊予測, 砂防学会研究発表会概要集, 2019, 525-526
- 阿蘇カルデラ壁における渓流水・湧水を活用した崩壊予測, 宮本祐成・地頭菌隆・天野祐一郎・清崎淳子, 砂防学会研究発表会概要集, 2019, 541-542
- 湧水を活用した深層崩壊発生の警戒避難対応, 天野祐一郎・地頭菌隆・宮本祐成・清崎淳子, 砂防学会研究発表会概要集, 2019, 547-548
- 火山地域における大規模崩壊の予測と警戒避難対応, 地頭菌隆, 砂防地すべり技術研究成果報告会講演論文集, 2019, 123-147
- 砂防, 防災に関わる技術者の育成, 地頭菌隆, 九州応用地質学会会報, No. 41, 2020, 1
- A 3D numerical analysis for tsunamis ascending a river, Kakinuma, T. and Kusuhara, Y. Mathematical aspects of nonlinear waves and their applications, RIMS Kôkyûroku, Kyoto University, No. 2128, pp. 173-181
- 浅瀬を有する島嶼に入射する津波の数値解析, 柿沼太郎・久保達郎, 津波工学研究報告, 第 36 号, pp. 145-148
- 海洋長波の監視網構築に向けた九州西方海域での水位の現地観測, 山城徹・深田茉莉・齋田倫範・浅野敏之・城本一義, 土木学会論文集 B2, Vol. 75, No. 2, pp.169-174, 2019.
- 指宿港海岸における養浜による温泉地下水への影響把握のための現地観測, 三宅崇智・小野信幸・笠毛健生・中村将平・藤原堯也・雪丸敏昭・甲斐信治・長山昭夫・浅野敏之, 土木学会論文集 B2, Vol. 75, No. 2, pp. 37-42, 2019.
- 指宿港海岸における温泉地下水の熱輸送を含めた浸透流解析モデルの構築, 笠毛健生・小野信幸・三宅崇智・雪丸敏昭・甲斐信治・浅野敏之, 土木学会論文集, B2, Vol. 75, No. 2, pp. 43-48, 2019
- Ku-band High-Speed Scanning Doppler Radar for Volcanic Eruption, Maki, M., S. Takahashi and S. Okada, K. Imai, H. Yamaguchi, J. Disast Res., 2019, 14, 630-640
- 気象レーダによる降灰量推定—2013年8月18日桜島噴火の Z-RA 関係式—, 真木雅之・鈴木郁子・井口正人・Shakti P. C., 火山, 2019, 64, 219-241
- Data that effectively demonstrate the benefits of a 3D CAPPI algorithm, Kim, Y., M. Maki and D.-I. Lee, Data in Brief, doi: 10.1016/j.dib.2019.104116
- Three-dimensional analysis of the initial stage of convective precipitation using an operational X-band polarimetric radar network, Kim, Y., M. Maki and D.-I. Lee, J.-H. Jeong, C.-H. You, Atmos. Res. , 2019, 225, 45-57
- Characteristics of tephra fall from eruptions at Sakurajima volcano, revealed by optical disdrometer measurements, Kozono, T., M. Iguchi, T. Miwa, M. Maki, T. Maesaka, D. Miki,

Bull. Volcanol, 2019, 81: 41 [<https://doi.org/10.1007/s00445-019-1300-2>]

■X-band marine radar detection of ejected lapilli and volcanic blocks, Maki, M., Y. Fujiyoshi, H. Tokushima, and M. Iguchi, Extended abstract, 39th Conf. Radar Meteorology, 2019, 5pp.

■Classification of precipitation and volcanic clouds using operational X-band polarimetric radar parameters, Kim, Y., M. Maki and M. Iguchi, D.-I. Lee, Extended abstract, 39th Conf. Radar Meteorology, 2019, 5pp.

■Characteristics of particle size distribution of falling ash particles from Sakurajima obtained from laser-optical particle size velocity disdrometer observation data, Takaoka, R., M. Maki and S. Fukushima, M. Iguchi, D. Miki, T. Kozono, T. Miwa, T. Maesaka, Extended abstract, 39th Conf. Radar Meteorology, 2019, 6pp

■Observation of volcanic column heights using a marine Radar, Kobori, T., M. Maki and H. Tokushima, S. Fukushima, 2019 URSI-Japan Radio Science Meeting, Program and Abstracts Book (p.91)

■異なるタイプの気象レーダによる火山噴煙柱の観測, 真木雅之・小堀壮彦・キム ユラ・藤吉 康志・佐藤 英一・徳島 秀彦・井口 正人, 日本地球惑星科学連合 2019 年大会予稿集, 2019, MIS16-01.

■Characteristics of polarimetric radar parameters of dry volcanic ash clouds, Kim, Y., M. Maki and M. Iguchi, D.-I. Lee, 日本地球惑星科学連合 2019 年大会予稿集, 2019, MIS16-P07.

■霧島新燃岳 2011 噴火の映像解析, 小堀壮彦・木下紀正・飯野直子・真木雅之・福島 誠治, 日本地球惑星科学連合 2019 年大会予稿集, 2019, MIS16-05.

■光学式ディストロメータによる降灰測定: 噴煙観測におけるレーダーパラメータへの制約, 小園誠史・井口正人・三輪学央・真木雅之・前坂剛・味喜大介・西村太志, 日本地球惑星科学連合 2019 年大会, 2019, SVC37-12.

■Ocean bottom seismographic observation and similar earthquake detection in the northern part of the Nansei Islands, Yukihiro Nakatani, Hiroshi Yakiwara, Shuichiro Hirano, Reiji Kobayashi, Hiroki Miyamachi, Shigeru Nakao, Kazunari Uchida, Takeshi Matsushima, Hiroshi Shimizu, Kazuo Nakahigashi, Yusuke Yamashita, Hideji Abe, Tomoaki Yamada, Masanao Shinohara, 日本地球惑星科学連合 2019 年大会, 2019 年 5 月, SSS10-P07

■南西諸島北部域における海底地震観測と検出された相似地震の特徴, 仲谷幸浩, 八木原寛, 平野舟一郎, 小林励司, 宮町宏樹, 中尾茂, 内田和也, 松島健, 清水洋, 山下裕亮, 中東和夫, 山田知朗, 阿部英二, 篠原雅尚, 日本地震学会 2019 年度秋季大会, 2019 年 9 月, S09-P12

■南西諸島北部の海域及び島嶼域における地震観測によるプレート境界面形状の推定 (6), 八木原寛, 仲谷幸浩, 平野舟一郎, 小林励司, 宮町宏樹, 中尾茂, 馬越孝道, 内田和也, 松島健, 清水洋, 中東和夫, 山下裕亮, 阿部英二, 池澤賢志, 諏訪祥士, 山田知朗, 篠原雅尚, 日本地震学会 2019 年度秋季大会, 2019 年 9 月, S09-P13

■阿多カルデラ周辺の地殻の 3 次元地震波速度構造, 及び加久藤カルデラ下の速度構造との比較, 海野直弘, 八木原寛, 仲谷幸浩, 平野舟一郎, 日本火山学会 2019 年度秋季大会, 2019 年 9 月, A3-11

■火山性深部低周波地震の自動検出及び波動エネルギー推定の試み, 久保武史, 八木原寛, 仲谷幸浩, 平野舟一郎, 2019 年 9 月, P078

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

発行日 2020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: <http://bousai.kagoshima-u.ac.jp/>

※無断転載・複製を禁ず。