

令和 7 年度
東北地域災害科学研究集会
講演予稿集

開催：令和 7 年 12 月 22 日(月)・23 日(火)
会場：いわき産業創造館 セミナー室・会議室 1

＜第1会場＞

いわき産業創造館 セミナー室

第1部 12月22日(月) 13:00~14:45

(司会:岡田 里奈 先生)

第2部 12月23日(火) 10:15~11:30

(司会:山本 英和 先生)

第3部 12月23日(火) 12:30~14:00

(司会:サッパシー アナワット 先生)

第4部 12月23日(火) 14:15~15:45

(司会:大野 晋 先生)

R7年度東北地域災害科学研究集会 発表プログラム 第一会場(セミナー室)

【第1部】司会:岡田 里奈 先生		
12月22日(月) (セミナー室)	13:00-13:15 UAVとスマートフォンを利用した海岸地形の把握	○山形朔矢(秋田大学理工学部)、齋藤憲寿、渡辺一也(秋田大学大学院理工学研究科)、廣田諒(ビーコン)、関谷努力、上原子満成、石井翔也(ENEOLリニューアブル・エナジー)
	13:15-13:30 西津軽、出来島海岸におけるテフラについて	○伊藤慶人、松田銀次、岡田里奈、梅田浩司(弘前大学理工学部)
	13:30-13:45 鉄鋼スラグを用いた八郎潟干拓地に湧出するリン酸の回収実験	○南田悠(旭川工業高等専門学校)、齋藤憲寿、齋藤菜月、加賀谷史(秋田大学大学院)
	13:45-14:00 馬場目川におけるUAV空撮と植生の変化に関する研究	○山田晃平(秋田大学理工学部)、齋藤憲寿、渡辺一也(秋田大学大学院理工学研究科)
	14:00-14:15 サケ回帰率に寄与する流域環境の検討	○高橋智也(福島大学大学院共生システム理工学研究科)、藪崎 志穂(総合地球環境研究所)、川越清樹(福島大学共生システム理工学類)
	14:15-14:30 浸水と共生できる農業持続性に関するデータセット開発	○我妻成貴(福島大学大学院共生システム理工学研究科)、川越清樹(福島大学共生システム理工学類)
	14:30-14:45 しなりを有する植生模型を用いた水理実験	○室橋慧太(秋田大学理工学部)、齋藤憲寿、渡辺一也(秋田大学大学院理工学研究科)
	14:45-15:00 休憩	
	15:00-17:20 公開講演(企画展示ホール)	

	9:15-10:00 地区総会(セミナー室)	
【第2部】司会:山本 英和 先生		
第2部	10:15-10:30 斜面崩壊に対する溪岸樹林帯の土砂捕捉に関する検証	○渡部泰介、池本海周、川越清樹(福島大学大学院共生システム理工学研究科)
	10:30-10:45 空撮情報を用いた荒川遊砂地の樹林、土砂動態の分析	○星歩武、川越清樹(福島大学共生システム理工学類)、鈴木皓達(三井共同建設コンサルタント株式会社)
	10:45-11:00 干渉 SAR 解析による愛媛県千町地すべりのメカニズム推定	○三井洸、道家涼介(弘前大学)、山崎新太郎(京都大学防災研究所)
	11:00-11:15 林冠ギャップを含む環境因子が斜面崩壊発生に及ぼす影響	○池本海周、渡部泰介、川越清樹(福島大学大学院共生システム理工学類理工学研究科)
	11:15-11:30 干渉SAR解析による津軽平野の地盤沈下	○小岩圭吾、道家涼介(弘前大学)
	11:30-12:30 昼食	

【第3部】司会: サッパシー アナワット 先生		
第3部	12:30-12:45 東北地方太平洋沿岸における包括的な確率論的津波ハザード評価	○三木優志(東北大学大学院工学研究科)、Suppasri Anawat、Cheng An-Chi、今村文彦(東北大学災害科学国際研究所)、岩崎智哉、篠塚友吾、小川剛史(スイス・リー・インターナショナル・エスイー日本支店)
	12:45-13:00 衝突条件の違いによる津波漂流物の挙動	○太田賢文(秋田大学理工学部)、齋藤憲寿、渡辺一也(秋田大学大学院理工学研究科)
	13:00-13:15 周波数領域応答解析を用いた共振特性の解明 - 2025年カムチャツカ津波による養殖施設の被害を受けて	○田中 健登(東北大学工学研究科)、Anawat Suppasri、An-chi Cheng、今村 文彦(東北大学災害科学国際研究所)、鷗原 良典(防衛大学校 建設環境工学科)
	13:15-13:30 一ノ目潟の年縞堆積物に挟まれるイベント堆積物の識別	○永田篤規(弘前大学大学院地域共創科学研究科)、梶田展人、梅田浩司(弘前大学大学院理工学研究科)
	13:30-13:45 1983年日本海中部地震に伴う津波堆積物	○松本苗幸、岡田里奈、梅田浩司(弘前大学理工学部)
	13:45-14:00 西南北海道、奥尻島で見出された津波堆積物	○長谷奎弥、松本苗幸、岡田里奈、梅田 浩司(弘前大学理工学部)
	14:00-14:15 休憩	

【第4部】司会:大野 晋先生		
第4部	14:15-14:30 GNSS 観測データに基づく箱根火山周辺における非定常地殻変動のパターン分類	○田代惣一朗、道家涼介(弘前大学)、栗原亮(神奈川県温泉地学研究所)
	14:30-14:45 岩手県運動公園における直線アレイを用いて観測された微動記録の3成分空間自己相関法によるLove 波位相速度の推定	○安藤佑真、山本英和、齋藤剛(岩手大学理工学部)、大向歩(株式会社昭和コンクリート)、野田克也、萬谷亮平、鈴木貴司(株式会社ジオシス)
	14:45-15:00 水平微動から求めた回転成分アレイ記録によるLove 波位相速度の推定—3重同心正六角形アレイによる微動記録への適用—	○田村喬、李偉璽(岩手大学大学院)、山本英和、齋藤剛(岩手大学)、野田克也、萬谷亮平、鈴木貴司(株式会社ジオシス)
	15:00-15:15 回転成分から求めたLove 波位相速度と並進成分から求めたLove 波位相速度との比較検討	○町田鍊太郎、山本英和、齋藤剛(岩手大学)、鎌田昂樹(宮城県庁)、野田克也、萬谷亮平、鈴木貴司(株式会社ジオシス)
	15:15-15:30 十和田火山周辺の微小地震活動様式:深層学習に基づく再検討	○鈴木栄、前田拓人、平野史朗(弘前大学大学院理工学研究科)
	15:30-15:45 東北地方日本海東縁の地震におけるS波エンベロープ拡大現象	○楠美紀公、前田拓人、平野史朗(弘前大学大学院理工学研究科)

＜第1会場 セミナー室＞

— 第1部 (7題) —

司会：岡田 里奈 先生

12月22日(月) 13:00~14:45

UAV とスマートフォンを利用した海岸地形の把握*

秋田大学理工学部 山形朔矢

秋田大学大学院理工学研究科 齋藤憲寿・渡辺一也

ビーコン 廣田 謙

ENEOS リニューアブル・エナジー 関谷努力・上原子満成・石井翔也

1. はじめに

秋田県では平成 23 年 5 月に、秋田県新エネルギー産業戦略を策定、平成 27 年 5 月には、「あきた洋上風力発電関連産業フォーラム」を設立するなど、本格的に洋上風力について整備を進めている¹⁾。そのため、波浪や気象条件などの影響を受けて変化する海岸地形の把握やモニタリングは、環境保全や今後の施設計画において重要な役割を持つことから、地形変化を定期的に観測、定量的に把握をすることが重要となる。

従来は深浅測量（断面測量等）や汀線測量（GNSS 測量）等が行われ、画像解析技術（定点観測、UAV 撮影、衛星画像解析等）を用いた汀線抽出なども活用されている²⁾³⁾。本研究では、従来の UAV (Unmanned Aerial Vehicle : 無人航空機) 撮影や衛星画像解析の問題点（撮影頻度、天候、コスト等）⁴⁾をスマートフォン撮影で改善、または代用できるかを検討する。

2. 対象海岸

本研究の観測場所である鹿の浦展望所と観測する対象である周辺海岸を図-1 に示す。

展望所からは砂浜海岸が北側、南側にそれぞれ形成されており、特に南側の海岸は突堤と泊川の河口部の間に位置しており離岸堤により保護されている。

3. 研究手法

1) UAV

UAV (Phantom 4Pro V2.0) を用いて鹿の浦展望所周辺海岸の撮影を行った。上空 150 m から約 215 m × 115 m (5472px × 3648px) の鉛直方向の写真を 75 % オーバーラップ率で撮影した。次に、



図-1 鹿の浦展望所と周辺の海岸

*Investigation of coastal topographic change using UAV and cell phone by Sakuya YAMAGATA, Noritosi SAITO, Kazuya WATANABE, Ryo HIROTA, Doryoku SEKIYA, Mitsunari KAMIHARAKO and Syoya ISII

撮影された写真からSfM処理を行い三次元点群データ作成、周辺海岸の形状を復元し、海岸堤防から汀線までの距離を算出した。

2) スマートフォン

スマートフォン(iPhone 14)を用いて展望所から周辺海岸の撮影を行った。標高約20mの展望所の柵上に設置し、倍率1×1の斜め写真を撮影した。この写真を用いて人工物の距離(海岸堤防と離岸堤の距離)と海岸堤防から汀線までの距離を図-2のように比較し算出した。その後、UAVと斜め写真で求めた数値の比較を行った。

4. 結果

観測期間(2025/5/16～)におけるUAVで求めた距離と、斜め写真で求めた距離の経時変化をまとめて図-3に示した。さらに、UAVで求めた距離と斜め写真で求めた距離の関係を図-4に示した。

それぞれの求めた距離の関係として近似直線 $Y=1.04x-4.41$ 、決定係数 $R^2=0.75$ となった。この近似曲線に基づくと、UAVでの距離が62mのとき斜め写真は63.61m、誤差率2.60%となり、UAVでの距離が72mのとき斜め写真は73.19m、誤差率1.65%であることが得られる。

5. まとめ

本研究では鹿の浦展望所周辺の砂浜海岸を対象とし、UAVを用いた三次元点群データとスマートフォンを用いた斜め写真の異なる手法からそれぞれ距離を算出、その値について比較検討を行った。結果として近似直線 $Y=1.04x-4.41$ 、決定係数 $R^2=0.75$ となった。精度は差異が生じたものの、コストや簡便性が評価できるため代替的手段の一つとして活用が期待できる。ただし、データ数が少なく個々のデータによりばらつきが出やすいため今後も追加データを取得し精度の検証を続けていく必要がある。

参考文献

- 菅原喬：秋田県における風力発電に係る取組について、風力エネルギー、Vol.41, No.4, pp.590-593, 2017.
- 山中玲、青木賢人：加越海岸における汀線の時空間変動とその要因—GISを用いた汀線変化の定量的解析—、日本海域研究、Vol.52, pp.13-30, 2021.
- 辻本剛三、澁谷容子：鳥取砂丘海岸の汀線の時空間変動特性に関する研究、土木学会論文集B2(海岸工学)、Vol.75, No. 2, I_613-I_618, 2019.
- 黒崎弘司、由比政年、石田啓：画像情報を活用した海浜地形変動の簡易モニタリングシステムの構築と珠洲市鉢ヶ崎海岸への適用、日本海域研究、Vol.42, pp.9-25, 2011.



図-2 斜め写真での距離比較の目安

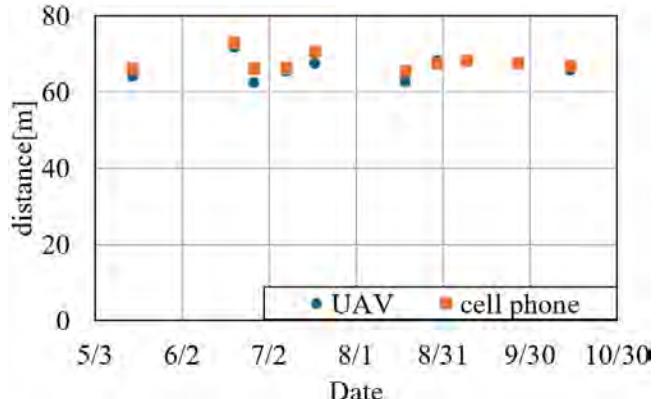


図-3 UAV・斜め写真での観測距離の経時変化

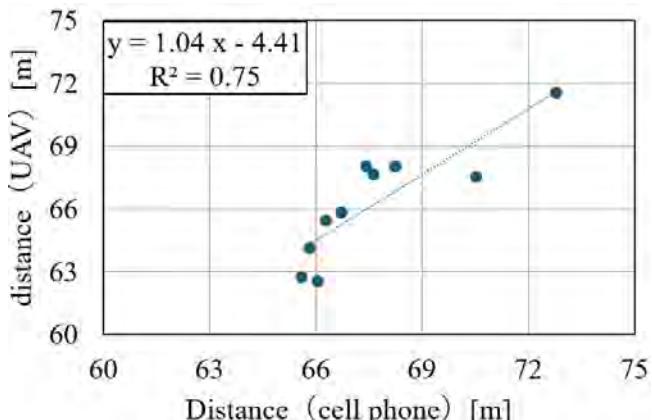


図-4 UAVと斜め写真での観測距離の関係

西津軽、出来島海岸におけるテフラについて*

弘前大学理工学部 伊藤慶人・松田銀次・岡田里奈・梅田浩司

1. はじめに

七里長浜は青森県津軽半島西部にある砂浜海岸であり、南北に約 30 km の縦列砂丘が続いている。このうち、つがる市の木造出来島集落周辺には、最終氷期以降の泥炭層が約 1 km にわたってみられる。泥炭層は堆積構造及び色調によって 2 層に区別されており、下部を館岡層、上部を出来島層と呼ぶ（辻・遠藤、1978）。この泥炭層の見られる露頭中には数枚のテフラが確認されており、一つは始良・丹沢テフラ（以下、AT），もう一つは十和田大不動テフラ（To-Of）（小岩ほか、2007）であることが明らかにされているものの、それ以外のテフラについては給源、分布範囲、降灰年代ともに不明な点が多い。そこで本研究では、これらのテフラの対比・同定を行うとともに、この地域の後期更新世以降の層序について検討した。

2. 調査方法

木造出来島周辺の海食崖に沿って層相観察とテフラの採取を行い、偏光顕微鏡によって鉱物組成、火山ガラスの形状を記載した。テフラに含まれる火山ガラスの主成分元素組成については、弘前大学共用機器基盤センターに設置されている電子プローブマイクロアナライザ（EPMA：日本電子 JXA-8230）を用いて主成分 9 元素（Si, Ti, Al, Mn, Mg, Ca, Na, および K ただし Fe は全鉄）について定量を行った。試料はエポキシ樹脂を用いてスライドガラス上に包埋し、薄片を作成した。測定条件は加速電圧を 15 kV、照射電流を 6.0×10^{-9} A、ビーム径を 5 μm に設定した。

3. 結果と考察

現地調査では露頭中に 4 枚のテフラ層（下位から Dk-1～4）を確認した。このうち、Dk-1 は To-Of に、Dk-2 は AT、Dk-3 は給源不明テフラ層、Dk-4 は岩木火山灰層（遠藤・辻、1977）にそれぞれ対比できる。本研究では Dk-3 と Dk-4 の鉱物組成や火山ガラスの主成分元素組成に基づき給源の検討を行った。Dk-3 は館岡層の中位に挟在するガラス質のテフラであり、層厚は 0.5 cm で、約 1 km にわたって連続性を追跡できる。辻（2001）の泥炭の放射性炭素年代測定によると約 18000～11000 年前に降灰したものと考えられる。図-1 に主成分元素組成のハーカー図を示す。また、図-1 には 946 年の白頭山-苦小牧テフラ（B-Tm）のアルカリ流紋岩質ガラスと粗面岩質ガラスの組成を併せて示す（Chen et al., 2016）。これらによると、Dk-3 は B-Tm の粗面岩質ガラスの化学組成に極めて類似することから、給源は白頭山である可能性が高い。Dk-4 は、最終氷期の館岡層と完新世に堆積した出来島層の境界に位置するテフラである。層厚は 20 cm で七里長浜全域にわたって追跡できる。葛西（2006）では、Dk-4 を十和田八戸テフラ（To-H）

* Tephra deposits on Dekijima coast, Nishitsugaru by Keito Ito, Ginji Matsuda, Rina Okada and Koji Umeda

に対比できる可能性を示唆しているが、EPMAで測定された火山ガラスの数が少ないとことや、 FeO^* 、 MgO の値が低いことから、さらなる検討が必要である。また、藤木ほか（2018）の出来島層最下部の放射性炭素年代測定では、5990～6182 cal BPという結果が得られていることから、To-Hより若い時代のテフラの可能性がある。本研究では、Dk-4の主成分元素組成のデータを現在、測定しており、その結果についても併せて報告する。

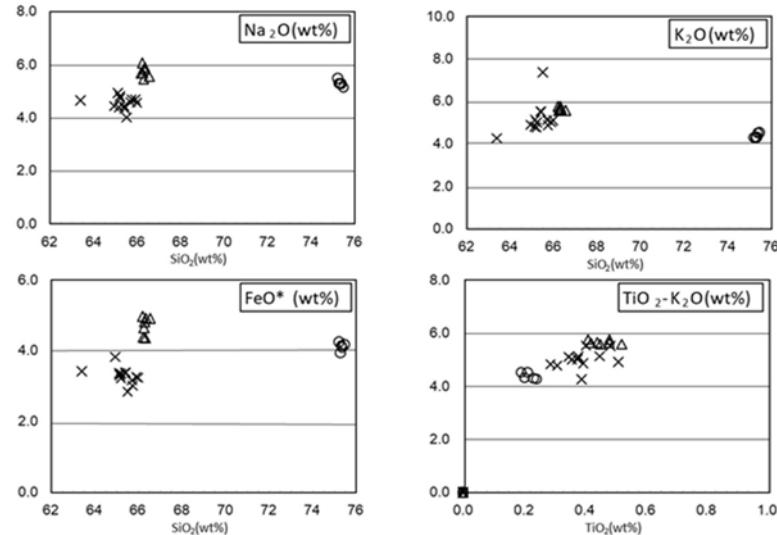


図-1 Dk-3 の主成分元素組成 (○, △は 946 年 B-Tm のアルカリ流紋岩と粗面岩の値を示す)

4. 引用文献

- 辻 誠一郎・遠藤邦彦（1978）津軽半島西海岸の第四系に関する新知見. 日本大学文理学部自然科学研究所「研究紀要」13, 69-72
- 小岩直人・柴正敏・葛西優貴（2007）青森県屏風山砂丘地帯, 館岡層中の十和田大不動テフラのAMS¹⁴C年代. 第四紀研究, 46, 437-441
- 遠藤邦彦・辻 誠一郎（1977）青森県西津軽郡出来島海岸の第四系. 日本大学文理学部自然科学研究所「研究紀要」, 12, 1-10
- 辻 誠一郎（2001）木造町西海岸, 出来島の泥炭層と埋没林. 生態系のタイムカプセル～青森県埋没林調査報告書. 青森県教育委員会, 28-33
- X.-Y. Chen, S.P.E. Blockley, P.E. Tarasov, Y.-G. Xu, D. McLean, E.L. Tomlinson, P.G. Albert, J.-Q. Liu, S. Müller, M. Wagner, M.A. Menzies (2016) Clarifying the distal to proximal tephrochronology of the Millennium (B-Tm) eruption, Changbaishan volcano, Northeast China, Quat. Geochronol, 33, 61-75
- 葛西優貴（2007）屏風山砂丘地域館岡層に教材するテフラの発見とその意義. 弘前大学教育学部地理学研究室, 2006-12-01, 40, 1-7
- 藤木利之・田島正博・北川浩之（2018）青森県出来島海岸埋没林の花粉分析によるホモ・サビエンス定着時の古環境復元, パレオアジア文化史学 計画研究 A03 班 平成 29 年度研究報告書, 10-15

鉄鋼スラグを用いた八郎潟干拓地に湧出するリン酸の回収実験*

旭川工業高等専門学校 南田悠・秋田大学大学院 斎藤憲寿, 斎藤菜月, 加賀谷史

1. 研究背景・目的

八郎潟干拓地は、秋田県の西方に位置し、琵琶湖に次ぐ面積を誇る八郎潟を干拓したものである。その干拓地を囲む八郎潟調整池（八郎潟）は、飲料原水や農業用水などに利用されているが、現在アオコ (*Anabaena oumiana*) による水質汚濁が顕在化している。その要因の一つとして、干拓地南部の方上地区では、アオコの栄養源であるリン酸が高濃度含まれている地下水が湧出しており、そのリン負荷量は、調整池全体の約 27%に相当する¹⁾。そこで我々は、アオコによる水質汚染の防止対策として、干拓地に湧出する高濃度リン酸を副産物内のカルシウムイオン Ca^{2+} やマグネシウムイオン Mg^{2+} との親和力で吸着・回収する試みを実施している。本発表では、カルシウム(Ca)に富んだ副産物として鉄鋼スラグを用いたリン酸回収実験前後における各試料溶液及び回収剤中の化学成分の分析を実施した結果を報告する。また、リン酸回収実験後の鉄鋼スラグを用いた植物の施肥・生育試験の結果についても報告を行う。

2. 実験手法

製鉄過程の副産物である鉄鋼スラグは、生石灰 (CaO) 及び二酸化ケイ素 (SiO_2) を主成分とし、アルミナ(Al_2O_3) や酸化マグネシウム (MgO) 等を含む材料である²⁾。また、我々の先行研究から鉄鋼スラグの主成分である CaO は、水と反応することで最終的に Ca^{2+} 及び水酸化物イオン (OH^-) として電離、溶出する効果が示されている²⁾。本研究では、リン酸回収剤に用いる副産物として、高炉スラグ細骨材 (BFS5), スラグ路盤材(HMS25), クラッシャラン鉄鋼スラグ (CS40-b) 及びこれにエージング処理を行ったもの (CS40-a) の計 4 種を選定して用いた。なお、表 1 に副産物表面における元素分析結果を示す。

表 1 本研究で使用した鉄鋼スラグの EDS 分析結果 (原子数%)

副産物 / 元素	Ca	Mg	Na	K	Si	Al	Fe	P	S	Ti	Pb	Cd	Cr
BFS5	43.35	6.98	0.48	0.38	30.91	15.16	0.32	0.11	1.50	0.56	0	0	0.26
HMS25	53.78	3.69	0.28	0.73	23.85	8.06	0.40	0.11	8.53	0.32	0	0	0.24
CS40-b	58.61	4.20	0.18	0.03	15.24	12.16	6.85	1.82	0.29	0.35	0	0	0.29
CS40-a	79.69	2.71	0.13	0	12.04	1.66	2.73	0.59	0.06	0.18	0	0.03	0.20

次にリン酸回収実験の条件として、2009 年 10 月の報告³⁾より方上地区から採取された地水の全リン濃度は 3.2~17.0 mg/L であった。このリンが全て PO_4^{3-} の形態で存在すると仮定した場合、9.6~51.0 mg/L となることから本研究で用いる模擬水の PO_4^{3-} 初期濃度を 27.1 mg/L とした。なお実験手法は、先行研究³⁾を踏襲して以下のように実施した。先ず、模擬水 100 mL に副産物 1 g を加え、スターラーを用いて 100 rpm の搅拌速度で室温中 24 時間搅拌した (図 1)。実験後、イオンクロマトグラフィー及び多項目吸光光度計、SEM/EDS を用いて試料水及び回収剤にお

* Experimental Study on Phosphate Recovery from Spring Water in the Hachirogata Reclaimed Area Using Steel Slag by Yu MINAMIDA, Noritoshi SAITO, Natsuki SAITO, Fumito KAGAYA.

ける各イオン種, pH を分析・定量した。

さらに, 植物の施肥及び生育試験として, 本ウレンソウを植えたプランターへリン酸回収後の副産物を散布し, 無散布のものと生育状況の違いを比較した。

3. 実験結果・考察

図 2 にイオンクロマトグラフィーの結果から得られた各副産物におけるリン酸イオン除去率を示した。本結果から, CS40-b 及び CS40-a において溶液中からほぼ全てのリン酸イオンの除去が可能であると示唆された。さらに, 各副産物表面における EDS の分析結果より, リン酸イオンの除去後において Ca の割合が低下した。一方で, リン(P) の割合は, 除去後増加する傾向が得られ, CS40-b, CS40-a, HMS25, BFS5 の順で副産物表面の P 割合が増加した(図 3)。以上から, 除去後のリン酸成分が各副産物表面に吸着されている可能性が示唆され, 特に, CS40-b が P を多く吸着する可能性があると考えられた。

4. 結論

本研究では, 湖水中の高濃度リン酸を回収するためカルシウムに富む鉄鋼スラグに着目して検討を行った。その結果, 副産物の中でも CS40-b 及び CS40-a が高いリン酸イオン除去率を示していること, 鉄鋼スラグの中では CS40-b の表面において除去後の P の割合が最も多くなることが明らかとなった。本詳細及び施肥試験の結果を発表時に報告する。

・謝辞：本研究は, 令和 7 年度鹿島学術振興財団の研究助成を受け実施された。記して感謝致します。

・参考文献

- 1) 片野登：八郎潟残存湖に流入するリン負荷量に占める湧出水由来のリン負荷量の割合について, 日本土壤肥料学会誌, Vol.70, No.2, pp.177-184, 1999.
- 2) 加賀谷史, 斎藤憲寿, 南田悠, 綱田和宏：鉄鋼スラグを用いた玉川酸性水の中和に関する検討, 「材料」 Vol.74, No.4, pp.205-210, 2025.
- 3) 川原谷浩, 石山大三, 世良耕一郎：秋田県八郎潟干拓地に湧出する高濃度リン湧出水の地球化学的特徴, NMCC 共同利用研究成果報文集 17, pp.89-95, 2010.



図 1 実験の様子

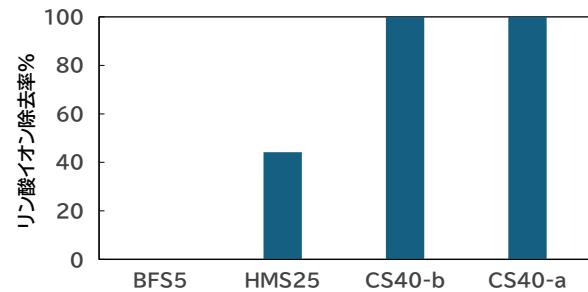


図 2 各副産物における PO_4^{3-} 除去率

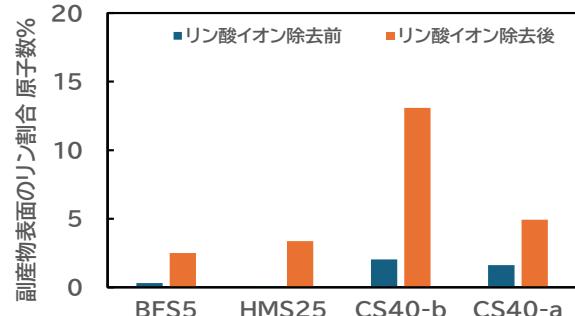


図 3 PO_4^{3-} 除去前後における副産物表面のリン割合

馬場目川における UAV 空撮と植生の変化に関する研究*

秋田大学理工学部

山田晃平

秋田大学大学院理工学研究科 齋藤憲寿・渡辺一也

1. はじめに

我が国では異常気象により全国的に洪水被害が多発しており、2025 年の秋田県においても 9 月上旬に局地的な大雨が降り、氾濫した河川が多く確認されている¹⁾。砂州の発生形態は災害と密接に関係し、挙動を定量的に把握することは河川工学上重要な課題である²⁾。そこで本研究では秋田県にある馬場目川を対象とし水位データと横断測量、UAV 空撮を用いて河床変動について調査した。

2. 研究対象および研究方法

馬場目川は馬場目岳（標高 1,037 m）に発し、幹川流路延長 47.5 km、流域面積が 910.5 km²の秋田県内最大の 2 級河川である。本研究では平ノ下地区を流れる箇所の調査を行った。2020 年から 2022 年、2025 年はトータルステーションを用いた光波測量を行い 2023 年、2024 年は RTK 測量を行った。また UAV の空撮データから三次元点群データを作成し、そのデータを基に図-1 の範囲のように砂州面積 (As)、植生面積 (Av)、と水位 (η) を求めそれらの関係を検討した。また図-1 の黒線は横断測量の測線を示している。

3. 粒度分析

測線に位置する砂州から土砂を採取し、粒度分析を行い D50 と水位を時系列にまとめた。2021 年 11 月から表層の粒径が細かく変化してきている。また 2025 年 6 月と比べ他

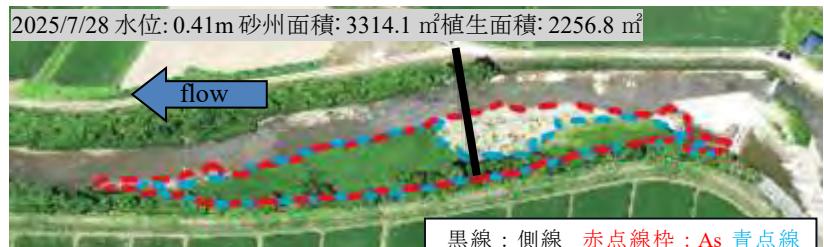


図-1 対象領域

の層の D50 が大きくなっている。過去に洪水が起きた際は 2023 年の大規模洪水以外で粒径が大きくなる傾向が見られている。2025 年の表層以外の D50 が大きくなつた要因の一つとして洪水が考えられる。横断測量の結果では、2025 年は全体的に侵食していた。表層の細かい粒径が洪水によって流され粒径が大きくなつたのではないかと考えられる。

4. おわりに

本編で地形測量と、粒度分布の詳細について述べる。

参考文献

- 1) 秋田地方気象台：秋田県災害時気象資料<https://www.jma-net.go.jp/akita/dada/saigai/pdf/saigai_20250901_03akita.pdf>、(2025 年 11 月 9 日閲覧)
- 2) 大山史晃・渡邊康玄：河川における非定常流化での砂州形成に関する研究、北海道開発土木研究所月報、第 587 号、pp.2-17、2002.

* Study on Vegetation Changes Based on UAV Survey in Babame River by Kohei YAMADA, Noritoshi SAITO and Kazuya WATANABE

サケ回帰率に寄与する流域環境の検討

福島大学大学院共生システム理工学研究科 ○高橋 智也

総合地球環境研究所 藤崎 志穂

福島大学共生システム理工学類 川越 清樹

1. はじめに

近年、福島県浜通り地方において、東日本大震災や原子力発電所の事故からの復旧、山間部の風力発電開発、気候変動などに伴い流域の土地被覆・水環境は大きく変化している。それに伴い流域にすむ生態の大きく変化することが示唆される。こうした流域の土地被覆変化に伴い、持続的に効果が認められる生態と水環境の関係が明らかになれば、流域内の資源の確保や生態の保全、および適応に伴う改変に寄与できる可能性がある。本研究では、包括的な流域条件による土地被覆を中心とした生態機能と流域水環境の関係を検証することを目的に、サケを事例に解析をすすめた。サケは、海域の水温上昇とともに、近年、日本では漁獲量・回帰率が減少している遡河性回遊魚で、北日本の重要な水産資源である。海域の影響を受けて総じて減少傾向である一方で、流域のいずれの環境変化も影響には寄与する。サケ回帰には流域森林面積¹⁾および流域土地利用変化に伴う河川水質変化²⁾が影響しているとされている。また産卵環境において河床礫や影響を与えていているという知見³⁾も得られている。このような背景より、流域の土地利用変化からの河川水質、河床礫を含む河道土砂の運動に着目して調査解析を進めた。

2. 解析方法およびデータセット

解析の全体構成は、①土地被覆変化の抽出、②河川水質の成分分析、③河床礫の組成分析である。対象領域は福島県内でサケ遡上が盛んな河川4河川（新田川、請戸川、富岡川、木戸川 図-1 参照）である。以下①、②に現在までの解析の詳細を説明する。

① 土地被覆変化の抽出

福島県浜通り地方の土地被覆変化を確認するため、衛星画像を用いて土地被覆変化領域を抽出する解析をすすめた。衛星画像には、Landsat4-5、8-9（空間解像度：30m×30m）を用いた。期間は2008～2024年で、サケ生態における降海・栄養蓄積期である3～5月を抽出に画像を取得した。特にサケの稚魚が取得する河道の栄養分供給領域となる森林域に着目し、植生の活性度を表す正規化植生指数 NDVI(Normalized Difference Vegetation Index)より行った。NDVI値の変化が著しい地点を抽出し、土地被覆利用を明らかにした。



② 河川水質の成分分析

対象4 河川31地点において現地調査、および水質試料をサンプリングした。採水地点は図-1に示すとおりである。サンプリングは直近に降雨が見られない平水時に行った。

3. 解析結果

① 土地被覆変化の抽出

対象4 河川のサケ生態における降海・栄養蓄積期である3~5月における各河川のNDVIを取得した結果の代表例として、2024/5/10のNDVI解析結果を図-2に示す。国土地理院より流域における山地部分を抽出し、NDVI値が0以下になる地点を抽出した。結果として、いずれの年においてもNDVI値が植生状態の乏しいと判定される0以下になる領域が微小になることが明らかにされた。この原因として、衛星画像の空間解像度の規模では緻密な改変箇所を抽出できなかつたことが推測される。そのため、細空間解像度の情報(空中写真やSentinel衛星画像など)の併用した解析も進めて、NDVI値の閾値を再検討していくことが必要といえる。

③ 河川水の成分分析

対象4 河川合計31地点において現地調査より資料のサンプリングを行った。(採水日 2025/8/16)サンプリング時に水質の妥当性を把握するため気温、水温、pH、ECの4項目を確認した。なお、現地調査の際に図-3のように木戸川河道内で岩床がむき出しになっている領域が複数確認された。こうした岩床領域は、(a)河床浸食が生じにくくなるため、河川水位低下によっては稚魚回遊しにくい状態になる、(b)粒径の砂礫よりも栄養分が付着しにくい状態になることを示唆している。そのため、水質により河川への流出の供給起源を明らかにすることが重要と考えられる。

4. まとめ・今後の展望

対象4 河川におけるNDVIを取得し、現地調査を進めた結果を示した。ただし、現況は、①土地被覆による空間解像度の問題を改善する措置をすすめなければならないこと、②イオンクロマトグラフィーによる水質の成分分析結果を河川への流出の供給起源を明らかにすることの課題も残されるため、隨時に課題解消の解析をすすめる予定である。

参考文献

- 1) 川越清樹、高橋智也：水環境要因によるサケ回帰率の分析、土木学会東北支部技術研究発表会講演概要集 II-4-03, 2025.
- 2) 佐々木章晴：北海道根室海区におけるサケ増殖河川の流域土地利用と河川水質との関連、環境情報科学術研究論文集, Vol.33, pp.254-258, 2019.
- 3) 矢野雅昭ほか：礫厚が浸透流とシロザケ産卵床に及ぼす影響、土木学会論文集G(環境), Vol.71, No.6, II_191-II_197, 2015.

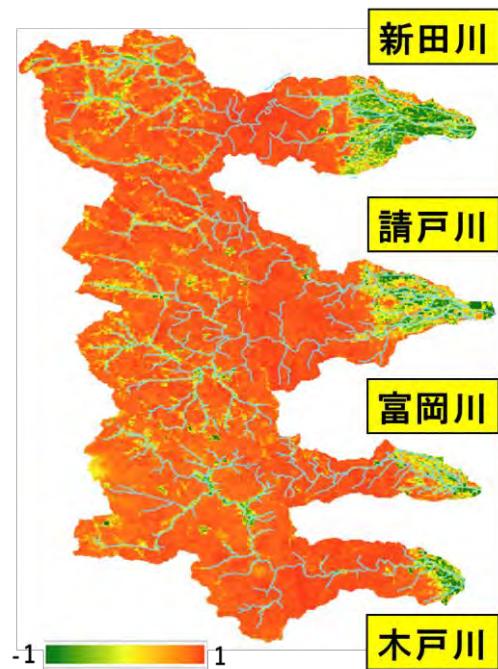


図-2 対象4河川NDVI空間分布



図-3 木戸川岩床露出地点図

浸水と共生できる農業持続性に関するデータセット開発

福島大学大学院共生システム理工学研究科 ○我妻 成貴
福島大学共生システム理工学類 川越 清樹

1. はじめに

気候変動に伴う短時間強雨の増加により、洪水、浸水被害が激甚化している。この適応策として流域全体で水害リスクを軽減する流域治水の取り組みが推進され、流域内的一部で外水の越水、溢水を許容する対策オプションも検討されている^{1,2)}。こうした領域は、人的被害を防止するため立地適正化計画のもと居住は望ましくない一方で、国土利用の観点より浸水する条件下のもと土地の価値、産業生産活動の成立等もふまえた有効活用も検討する余地がある。本研究では、流域治水実践の国土有効活用の一環として、浸水性質と農業による共生、および持続性を目的に浸水と農業の関係性を検討した。検討をする教師データのフィールドを河川区域高水敷に残存する圃場に設定し、圃場の分布位置、生産種目と冠水頻度、時間を基に浸水と共生できる農業持続性に関するデータセットを開発した。

2. 研究方法およびデータセット

東北地方の国管理河川に分布する高水敷圃場を対象領域に設定し、①衛星画像による高水敷圃場抽出、②圃場標高調査、③農業生産種目調査、④河川水位観測（1985～2024年）データを利用して、圃場の分布位置、生産種目と冠水頻度、浸水深、浸水時間を基に浸水と共生できる農業持続性に関するデータセットを開発した。以下に特記すべき主要な方法について説明する。

(1) 対象領域の設定と圃場分布データ整備について(方法①, ②, ③)

衛星画像の判読や河道断面データを用いて圃場の標高位置、面積、河道特性（上下流、右岸・左岸）に基づくデータを整備した。また、圃場の農業生産種目調査を実施した。後続に示す浸水解析および農業持続性評価に活用できる基盤データを整備した。

(2) 浸水分析(方法④)

高水敷圃場の冠水頻度を求めるため、過去40年間の河川水位観測データを整理し、被害甚大になる目安になると推測される浸水深1.0～2.0mの頻度分析を行い、再現年を求めた。また、冠水した事象の時間データを取得して冠水時間も抽出した。

頻度分析には水位データを基に、一般化極値分布(GEV)を用いた統計解析を実施し、浸水発生確率を推定した。式は以下のとおりである。

$$F(x) = \exp \left\{ - \left[1 + \xi \cdot \frac{(x - \mu)}{\sigma} \right]^{-\frac{1}{\xi}} \right\}, \quad \text{ただし } 1 + \xi \cdot \frac{(x - \mu)}{\sigma} > 0$$

なお、 μ ：位置パラメータ、 $\sigma (>0)$ ：尺度パラメータ、 ξ ：形状パラメータである。

SLSC (Standard Least Squares Criterion)は、すべて0.04以下を示し問題ない適合結果であることを得ている。

(3) 冠水実績検証(方法④)

実際に起きた甚大な浸水深の冠水イベントを抽出し、浸水深さと浸水継続時間の関係を求めた。なお、この冠水イベントと比較できるものが(2)より得られた再現年の浸水発生確率である。

3. 結果

結果として、阿武隈川における解析例を示す。方法①～③により阿武隈川では下流～中流に約533.8ha（流域高水敷面積の約5%）の圃場が分布していることを把握した。なお、分布する圃場のうち、水位観測所である笠松(角田市), 丸森(丸森), 八幡(伊達市), 二本松(二本松)に集中していることを確認した。そのため、これらの領域を解析した。

(1) 浸水分析

図1は浸水解析により得られた浸水発生確率と標高(浸水深)の関係図である。下流側より、笠松で10～20年、丸森で5～15年、八幡で5～10年、二本松で20～30年に一度は1.0～2.0mの浸水深で冠水する統計結果を得た。総じて、阿武隈川の宮城県と福島県の県境は冠水頻度が高い傾向が得られている。この結果は河川の狭窄部に位置していることが影響していると推測される。

(2) 冠水実績検証

図2は冠水実績による浸水深と平均浸水深の関係図である。この結果より、被害甚大になると推測される浸水深1.0～2.0mはおおよそ24時間前後の浸水深さにとどまることが示されている。その一方で、2.0m以上の浸水深になる場合は24時間を概ね超過する結果が得られた。なお、(1)に示される通り、河川狭窄部に位置する丸森、八幡では浸水深、浸水時間とも大きな値を示すことが明らかにされた。

4. 考察と今後の方針

本研究の阿武隈川の結果より、狭窄部に位置する丸森や八幡では周期的かつ長時間の浸水が発生し、農業生産に深刻な影響を及ぼす可能性が高い結果が得られた。本領域で生産される農業種目は、丸森ではネギ、サトイモを中心とする多種、八幡ではネギ、キャベツのほかカキであることが確認されている。これらは浸水との共生、および持続性を示す品種である可能性を示唆する。今後も東北地方の国管理河川に分布する高水敷圃場のデータを収集し、最終的な農業持続可能性の結論を得る計画である。

参考文献

- (1) 風間聰, 原田守啓, 堀智晴: 人口減少域の中小河川管理の考察, 水文・水資源学会誌, 37(3), pp.265-269, 2024.
- (2) 妹尾泰史・石川忠晴: 河川上流部における超過洪水用分散型遊水地の提案と阿武隈川を対象とした試算, 土木学会河川技術論文集, 28, pp.439-444, 2022.

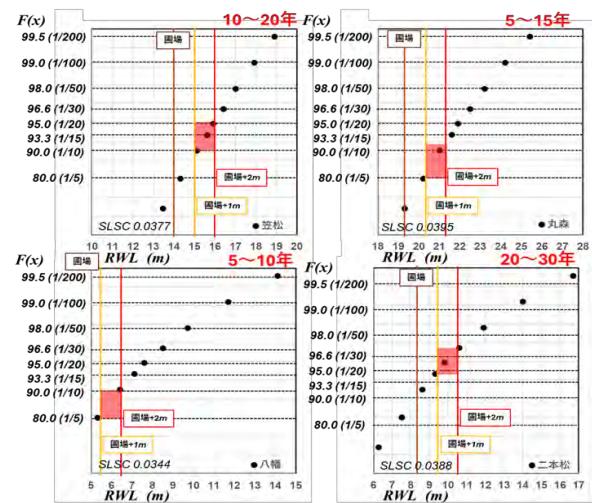


図2 圃場の浸水発生確率関係図

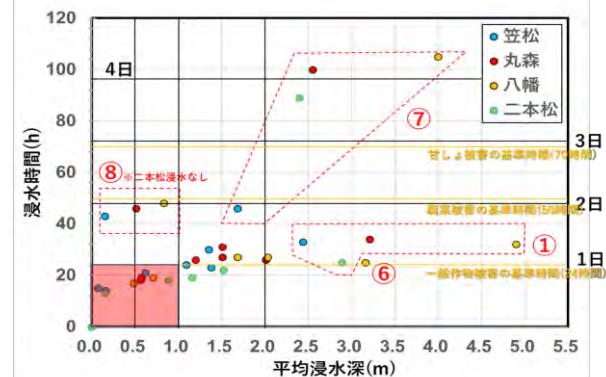


図2 圃場の浸水深と時間の関係図

しなりを有する植生模型を用いた水理実験*

秋田大学理工学部

室橋 慧太

秋田大学大学院理工学研究科 齋藤 憲寿・渡辺 一也

1. はじめに

近年、河川では大雨による水害が増加している。斜面崩壊や土砂崩れにより、河道周辺の樹木が河道内に供給され、堆積することで氾濫が発生する¹⁾。河道内の植生は流水抵抗の働きをし、水位が上昇することで洪水が発生する²⁾。既往研究として、植生と流木が相互作用する際の検討は行われているが、植生のしなりに着目した研究は少ない。以上の背景より、模型を使用した水理実験により、しなりを有する植生と流木が相互作用する際の流木の挙動や、水位上昇に関する検討を行った。

2. 研究対象

本研究では、2023年7月に発生した記録的大雨により氾濫した秋田県五城目町の内川川や富津内川のような二級河川を対象にする。馬場目川流域河川整備計画より、流路長47.5km、流域面積910.5km²の馬場目川の中流部である富津内川合流点の川幅は30~50mである。川幅30mの河川を想定し、縮尺を1/100として実験を行った。

3. 実験方法

実験で用いる造波水路の概略（側面）を図-1に示す。水路幅0.3m、水路長12m、勾配1/300である。実験用の植生模型を図-2に示す。これは、積層式3Dプリンター（Creality Ender3 V3 SE）で印刷したものであり、PLA樹脂を使用している。全長を50.00mmとして半分の25.00mmの位置でしなり始めるように設計をした。下部の12.00mmは、板材への差し込み部分である。直径は3.00mmである。流木模型を図-3に示す。流木の材質は秋田県に多く存在する杉を用いた。流木の比重は、湿潤状態で1.06~1.22である。実験の方法として、流量を馬場目川の計画高水流量（680m³/s）を基準とし、洪水流量（833m³/s）に設定した。縮尺より、0.0083m³/sで行った。杉流木の本数は、秋田県の荒川に流入した杉流木数³⁾を参考に、200mmを40本使

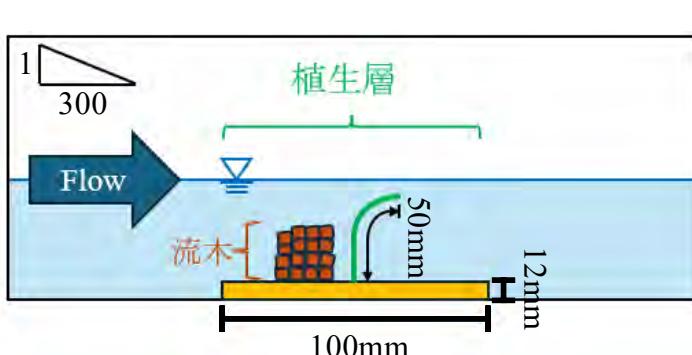


図-1 造波水路の概略（側面）

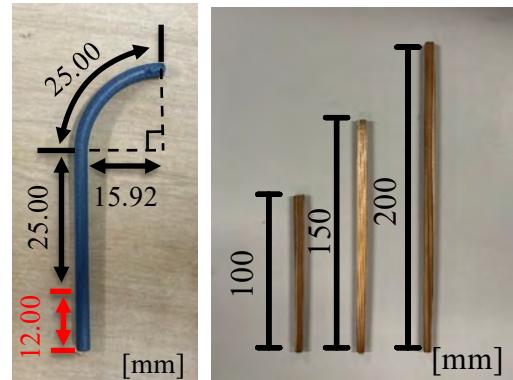


図-2 植生模型

図-3 流木模型

* Hydraulic experiments using flexible vegetation models by Keita MUROHASHI, Noritoshi SAITO and Kazuya WATANABE

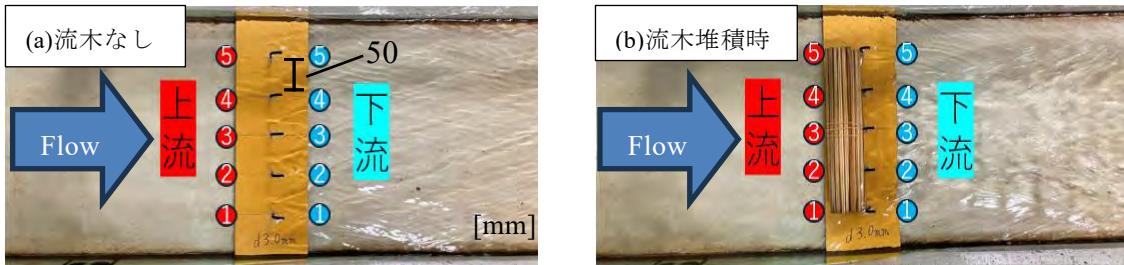


図-4 水位の測定位置（上面）

$$\text{水位上昇率}(\%) = \frac{\text{流木堆積時の水位(mm)}}{\text{流木なしの水位(mm)}} \times 100 - 100 \quad (1)$$

用した。計測方法としては、図-4に示すように流木なしと流木堆積時で、上流と下流それぞれを比較し、水位上昇率の評価を、式(1)を用いて行った。水位の計測位置は植生から5 cmの位置とする。

4. 実験結果

図-5に水位変化の様子（側面）、図-6に水位変化のグラフを示す。流木なしと流木堆積時で水位を比較すると、上流側は平均水位24.1 mm（34.65%）上昇しているのに対し下流側は平均水位18.8 mm（20.15%）減少している。これは、板材の段差が大きく影響しているのではないかと考える。今後の実験では、板材を長くし、スロープ材を設けたものを用いて行う。下流の流木堆積時の測点①と⑤が、流木なしと比べて水位がほとんど変化していない。これは、流木の端部と壁面の間を通過している水が影響しているのではないかと考える。②、③、④は流木が堆積している部分を水が通過しているため、水位変化に大きく影響を与えていることが分かる。

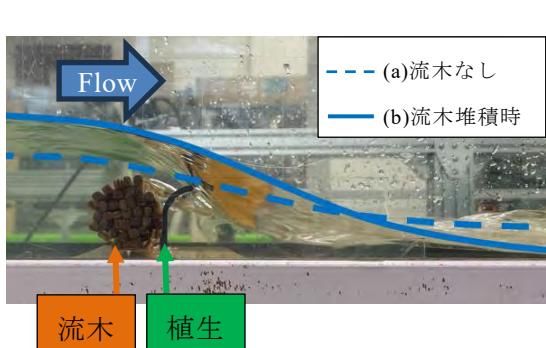


図-5 水位変化の様子（側面）

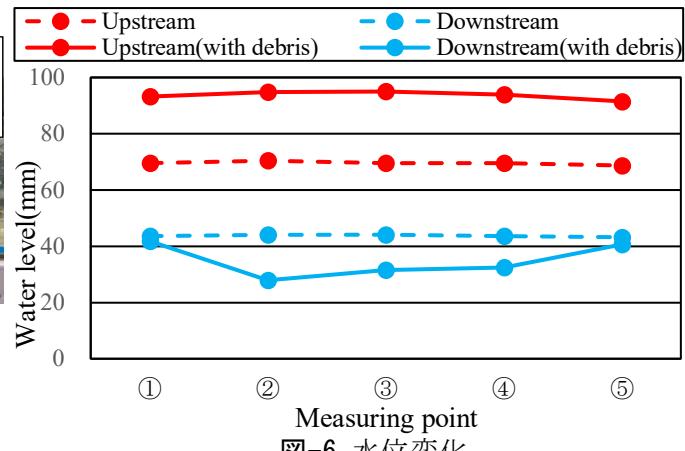


図-6 水位変化

5. おわりに

植生模型を使用して実験を行った結果、上流側と下流側で大きな水位変化がみられた。今後の実験では、しなりを有するものと直立の植生模型を使用して、流木の挙動および堆積率、水位変化に関して検討していく。

参考文献

- 1) 国土交通省土砂・洪水氾濫時に流出する流木の対策計画の基本的な考え方
<dosyakouzuihanran_ryuuboku_r0508.pdf (mlit.go.jp)> (2025年7月アクセス)
- 2) 吉田圭介、前野詩朗、藤田駿佑、松山悟、岩城智大、平井康隆：旭川における植生分布の経年変化を考慮した洪水流の数値解析、土木学会論文集B1(水工学)、第71巻、第4号、pp.I_1039-I_1044、2015.
- 3) 松林 由里子：2017年秋田豪雨によって水田に堆積した流木の特徴：東北地域災害科学研究、第56巻、pp.1-6、2020.

＜第1会場 セミナー室＞

— 第2部 (5題) —

司会：山本 英和 先生

12月23日(木) 10:15~11:30

斜面崩壊に対する渓岸樹林帯の土砂捕捉に関する検証

福島大学大学院共生システム理工学研究科 ○渡部 泰介・池本 海周・川越 清樹

1. はじめに

近年、気候変動の影響を示唆する豪雨に伴う災害の激甚化・頻発化が認められている。そうした中で、既存のインフラに頼らず自然生態系を用いて過大な出水と土砂流出の複合化の抑制、自然資源の有効活用などの多様な効用をもつ Eco-DRR(Ecosystem based Disaster Risk Reduction)を活用する対策が重要である¹⁾。筆者らは、Eco - DRR 実装に向けた知見として、五福谷川を対象に数値地理情報や UAV(Unmanned Aerial Vehicle, 無人航空機)を利用した空撮の情報を基に樹木の環境場に着目した土砂生産緩衝効果を検証した²⁾。結果として、土砂緩衝には、樹種ではなく樹間距離などの森林帯を形成する環境要素が寄与している可能性があり、特に相対幹距離比という指標の寄与率が高い可能性があることを把握した。本研究では、これらの可能性を荒廃地に適用して検証し、土砂緩衝効果の妥当性と普遍性を明らかにするため、松川遊砂地(岩手県八幡平市)において、地形および林相の環境場の関係を空間情報や数値地理情報を用いて Eco-DRR としての機能を解析した。

2. 解析方法、およびデータセット

土砂緩衝効果に寄与する環境要素を明らかにする検証のため、荒廃地の崩壊地を特定する樹林帯の基盤データを整備するとともに、その地域の環境条件(地形、地質、植生など)を比較し、解析を始めた。流域の樹林帯内の崩壊地を抽出するため、衛星画像による土地被覆情報を用いた。衛星画像による土地被覆情報には、Sentinel-2B により取得された衛星画像(空間解像度 10m×10m, 2023 年-2024 年)を用いた。衛星画像によるデータは近年で雲量が少ない(15%以下)データをベースに解読することとした。なお、崩壊は、NDVI(正規化植生指数)を用いて土地被覆の変化を定量化することで抽出した。NDVI の導出式は以下の式(1)に示すとおりである。

$$NDVI = \frac{NIR - N}{NIR + R} \quad (1)$$

ここで、R は衛星データ(可視域赤:Band4)の反射率、NIR は衛星データ(近赤外域:Band8)の反射率を示す。崩壊地を抽出するうえでは、NDVI を Z スコアに変換し、Z<-2 の地点かつ傾斜度 20 度以上の地点とした。なお、得られた NDVI とともに斜面地形形状を比較して、崩壊斜面下部に植生が残存している斜面は緩衝有と判定する方針とした。

緻密な樹林状態について検証するにあたり、緻密なデータを取得するため、UAV を用いて空撮画像を取得した。UAV 空撮には、DJI Mavi 3 Multispectral を使用した。UAV 飛行地点は、河道付近において崩壊地点が集中し、かつ飛行基地として用いることが可能な場所が存在する地点を 3 か所選定し、データを取得した。連続写真を取得して合成することにより、3 次元画像情報(空間分解能:0.04m×0.04m)を取得した。画像合成により、DSM(Digital Surface Model:数値表層モデル)が導出され、DSM と国土数値情報から取得した DEM(Digital Elevation Model:数値標

高モデル,解像度 1m×1m)との差分を求めてることで樹高の算出を行った。また, DCHM のデータを基に樹冠の頂点である樹頂点を抽出した。

3. 解析結果

(1)衛星画像を用いた崩壊地の抽出

流域内の樹林帯の崩壊地点の面積比より, 松川遊砂地の崩壊率は約 1 年経過して 0.65%(2023/09/24, 直近一週間の最大日降水量 79mm) から 0.84 % (2024/09/21, 直近一週間の最大日降水量 102mm) にする変化した結果を得た。なお, 抽出された崩壊地点の中には, 河道付近に集中している部分が複数個所存在し, その箇所において土砂緩衝効果の発揮を推測せる地点も存在していることが明らかにされた。

(2)UAV を用いた緻密な樹林解析

各飛行地の DCHM 導出結果と緩衝効果発揮が予想される斜面ブロックを図 1 に示す。平均樹高は, 飛行地 1 が 16.99m, 飛行地 2 が 18.45m, 飛行地 3 が 23.95m であった。これは, 飛行地 3 のみ標高が 300m 低いため, これが樹高の差に影響している要因の一つだと推測される。各ブロックの DCHM より, 崩壊斜面下部では DCHM の値は 15m 以上の植生が確認され, 植生の再繁茂である可能性は少ない。各ブロックの地形について比較すると, 崩壊面積が大きいブロックは 1 および 4, 崩壊流路長が長いブロックは 4, 緩衝林の傾斜度が崩壊斜面の傾斜度に匹敵する大きさだったブロックは 2 および 3 であった。

樹頂点の抽出結果を図 2 に示す。ブロック 1 を例にあげると, 樹木配列は均一ではなく, 千鳥配列になっていることが分かる。ただし, 樹種が広葉樹であるため樹頂点抽出の制度に課題があり, 樹頂点の過剰抽出地点および未抽出地点についての精査が必要である。

4. まとめ

本研究では, 松川遊砂地において土砂緩衝効果発揮地点の抽出と効果発揮点における植生, 地形の特徴についての検証を行った。

今後は, 各飛行地の斜面について相対幹距離比の導出を行い, 五福谷川流域で得られた結果と比較することで, Eco-DRR における森林の地形・植生的特徴を定量的に検討する予定である。

参考文献 :

- 1)川越清樹・林誠二・風間聰:森林資源の活用を考慮した斜面に対する Eco-DRR の開発, 土木学会論文集 G(環境), Vol. 76(5), I_361-1_370, 2020.
- 2) 渡部泰介, 池本海周, 川越清樹:数値地理と空撮の情報を用いた樹木による土砂生産緩衝の効果の評価, 土木学会論文集, Vol.80(27), ID:24-27014, 2024.

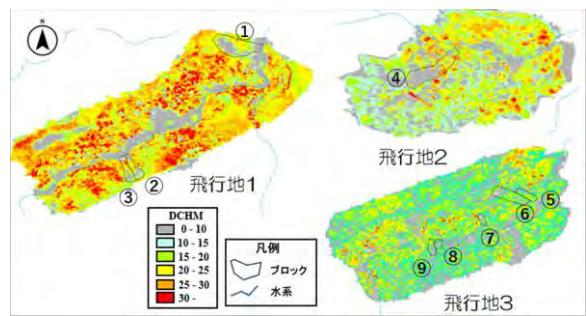


図 1 各飛行地における DCHM

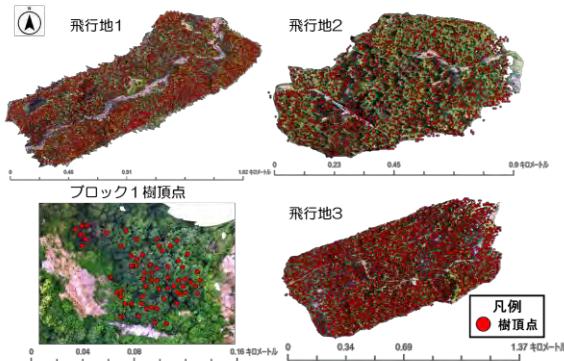


図 2 各飛行地における樹頂点抽出結果

空撮情報を用いた荒川遊砂地の樹林、土砂動態の分析

福島大学共生システム理工学類 ○星 歩武

川越 清樹

三井共同建設コンサルタント株式会社 鈴木 翰達

1. はじめに

気候変動に伴う温暖化、短時間降雨の脅威が顕在化し、日本各地で水災害の激甚化、頻発化が認められている。気候変動による災害発生に対して、CO₂吸収機能による緩和策と防災、減災に寄与する適応策の双方の効果を発揮できるEco-DRR(Ecosystem-based Disaster Risk Reduction)の概念が提唱され¹⁾ており、流域治水において進捗が緩慢になりうる山岳地の対応においても有効な対策になりうる。ただし、この実践には、効果成立の即効性と山岳地環境条件の変化の課題が残される。そのため、早期に科学技術の知見を整備して、緩慢な進捗になりつつも長期的に対処していく必要がある。こうした課題に備えて、樹林帯における斜面崩壊脆弱性を誘導する環境要因²⁾、斜面崩壊の土砂流出緩衝機能³⁾に関する知見を整備してきた。本研究では、これらの知見を包括的に捉えて流域単位で気候変動に対する土砂、流木の評価を進めることを目的としたものである。本書では、この基盤データとして整備した時空間情報を用いた樹林、土砂動態の分析結果を報告する。なお、解析領域は、阿武隈川左支川荒川の荒廃地(遊砂地上流域)を対象とした。荒廃地ゆえ活動性の大きな土砂と樹林帯の関係を明らかにできる。

2. 研究方法

本書で報告する時空間情報を用いた樹林、土砂動態の分析結果では、時空間情報データとして衛星画像(機種:Landsat-5～9、空間解像度:30m×30m、期間:2013～2024年)と、UAVにより取得した空撮画像(使用機種:DJI Mavi 3 Multispectral、空間解像度:0.05m×0.05m)を用いた。衛星画像で巨視的な空間の土砂動態の時間変化を判読し、UAVによる空撮画像で緻密な状態の把握を進める構成で動態を捉えた。以下に、その詳細を記述する。

- ① 衛星画像を用いて土砂動態を捉えるため、NDVI(正規化植生指数)を導出し、裸地領域を抽出した。NDVIは-1.0～+1.0の範囲で値が求められ、値が低いと植生が非活性、もしくは皆無であることを意味する。各年のNDVIより抽出された裸地領域の分布により土砂動態の状況を推定した。
- ② UAVを用いて裸地領域周辺を空撮して、オルソ画像やDSM(数値表層モデル)の情報を取得し、土砂、樹林の緻密な状態を捉えた。なお、取得されたDSMの情報と基盤地図情報より取得したDEM(数値標高モデル、空間解像度1m×1m)の差分より、樹高を示すDCHM(樹冠表層モデル)の導出が可能になる。これにより、樹高の高さ分布や樹木の配列などの緻密な状態が把握することができる。
- ③ 得られた裸地領域とその周辺を構成する樹林情報、および周辺環境状態(地形、地質など)を比較することで、包括的な土砂、樹林の動態の関係性を明らかにする。

上記に示す①～③により、流域単位で気候変動に対する土砂、流木の評価を進めるための基盤データとして利用できる時空間情報が整備できる。

3. 結果

Analysis of Forest and Sediment Dynamics in the Arakawa Floodway using Aerial Photography by Ayumu Hoshi, Seiki Kawagoe, Hiromichi Suzuki

図1に衛星画像による時空間解析結果を示す。なお、True画像は2013年9月17日時のデータ、NDVI解析結果は2013年NDVIと6年間の平均NDVIの差より抽出された植生非活性(裸地化)抽出を示している。解析結果より、大局的に類似した空間分布を示すが、裸地領域の面積は変化している結果得られている。特徴的な領域としては、図中の○印に示した裸地の集中領域であり、裸地領域は植生活性の認められる領域と植生非活性の領域は変化している。この変化は、従来に裸地で植生萌芽している領域と、裸地に拡大した領域が共存していることを示唆している。また、荒川第1砂防堰堤付近で植生非活性の領域が出現していることも特徴的である。この特徴は、流域で生産された土砂が堆積していることを示唆している。

図2に空撮画像による緻密情報解析結果を示す。この画像は河川側に滑落する崩壊が渓岸の樹林により土砂流出緩衝している状態を示す。樹高は30m以上で相応の樹齢も推察され、先行研究で得られたEco-DRRの事例³⁾と一致した現象が荒川流域内でも存在することを示す。また、崩壊周辺の樹高は15~30m程度と渓岸と比較して低いことは、崩壊誘導する林冠ギャップによる影響²⁾も示唆されることが明らかにされた。

4. 考察と課題

現在までの結果より、衛星画像による時空間変化に関しては、時間ステップに応じた植生非活性による領域の面積変化を精密に実施しなければならない。また、緻密な空間情報解析を用いれば樹高によりおおよその動態推測が可能になる感触を得た。これらの情報をもふまえて、周辺環境状態の情報も追加して、気候変動に対する土砂、流木の評価をすすめる基盤データを整備する意向である。

参考文献

- 1) 川越清樹、林誠二、風間聰：森林資源の活用を考慮した斜面に対するEco-DRRマップの開発、土木学会論文集G(環境), 76(5), I_361-I_370, 2020.
- 2) 池本海周、渡部泰介、川越清樹：2022年8月の豪雨事例を用いた斜面崩壊の環境条件の比較分析、土木学会論文集, 80(27), ID:24-7015, 2024.
- 3) 渡部泰介、池本海周、川越清樹：数値地理と空撮の情報を用いた樹木による土砂生産緩衝の効果の評価、土木学会論文集, 80(27), ID:24-7014, 2024.

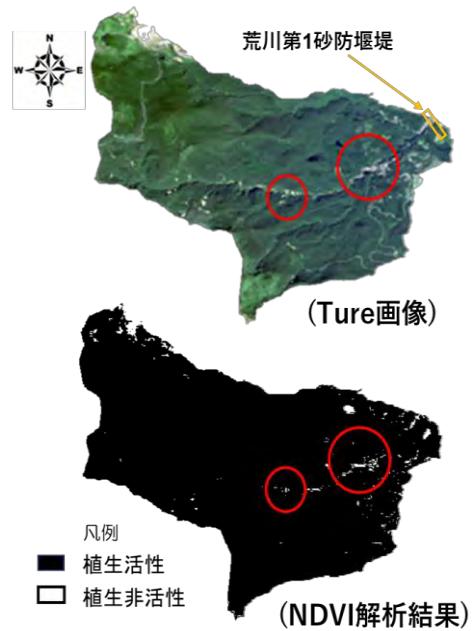


図1 衛星画像による時空間解析結果

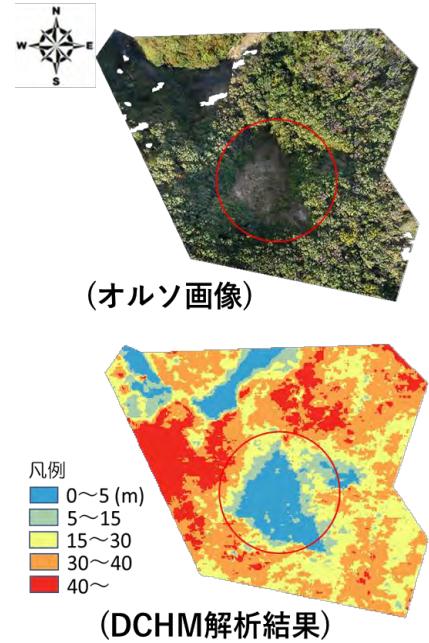


図2 空撮画像による緻密情報解析結果

干渉 SAR 解析による愛媛県千町地すべりのメカニズム推定

弘前大学 三井 洸, 道家 涼介
京都大学防災研究所 山崎 新太郎

1 はじめに

日本国内には数多くの地すべりが存在しており、その変動モニタリングは防災上重要である。近年、干渉 SAR を用いることで、現地調査が困難な場所や広範囲に分布する地すべりの活動性を面的に把握することが可能となってきた。現在、干渉 SAR による観測結果を用いて地すべりのメカニズムを研究する事例は増えてきている（例えば、Usami et al., 2024）。しかし、その多くは地表面の変位把握に留まっており、実際の地下構造と比較して深く考察されている研究事例は未だ少ないのが現状である。そこで本研究では、既往の調査により地質データが蓄積されている愛媛県千町地すべりを対象とする。干渉 SAR 解析結果と現地の GNSS 観測データや地表での観察結果を対比し、地下構造の推定を行い、その推定構造と既存の地質学・地球物理学的な知見との対応性について検討することを目的とする。本発表では対象地域の変位時期や集中箇所について ALOS-2 データを緻密に解析し、詳細に対比した結果について報告する。

2 研究地域

千町地すべりは、愛媛県西条市に位置する地すべりで、三波川帯の結晶片岩類を基盤とし、東側と北側の比高差 200~300m の急崖と、延長約 2 km にわたって北西へ向かう緩い傾斜面との組み合わせからなる（濱岡ほか, 2005）。地すべりのブロックは上部から A~E の大きく 5 つに分かれしており、下部の D, E では変状が大きい（濱岡ほか, 2005）。また、干渉 SAR 時系列解析結果からは、全体で年間数 cm の西向きの変位が確認されている（国土地理院, 2025）。

3 データおよび解析方法

Descending 右観測の path21 について、観測日の間隔が 1 年以内の干渉ペアをとり、RINC (Ozawa et al., 2016) を用いて、差分干渉 SAR 解析を実施した。解析はグランドレンジ 10m の解像度で実施し、その際、国土地理院の 10m DEM から作成された橢円体高モデルを用いるとともに、数値気象モデルを用いた大気遅延の補正および Split-Spectrum 法 (Gomba et al., 2016) による

電離層遅延の補正を行った。また、差分干渉 SAR 解析によって得られた画像ペアに対して LiCSBAS (Morishita et al., 2020) を用いた時系列解析を実施した。

4 結果と考察

干渉 SAR 解析の結果、千町地すべり全体で年間平均 1 cm 程度の衛星から遠ざかる方向への変位が観測された。衛星の視線方向を考慮すれば、この変位は斜面の傾斜方向への変位を見ていると考えられる。しかし、その変位の分布は一様ではなく、濱岡ほか (2005) が、変状が大きいとした地すべり下部の D, E ブロックで、大きな変位を示す。また、このことは、本研究における現地調査においても確認した。D, E ブロックの下端では、道路の変形などが見られ、また、同ブロックの上端においても変形が見られた。このことは、干渉 SAR 解析で変位が見られた箇所の縁辺部で変形が集中していることを示唆している。

今後は、GNSS 観測による変位や地下の地質構造などとの比較を行い、メカニズムの推定を行う予定である。

5 引用文献

- Usami S, Ishimaru S, Tadono T (2024) Advantages of High-Temporal L-Band SAR Observations for Estimating Active Landslide Dynamics: A Case Study of the Kounai Landslide in Sobetsu Town, Hokkaido, Japan. *Remote Sensing*, 16(15), 2687. doi:10.3390/rs16152687
- 濱岡浩・池田仁和・細沼紀康・中司龍明 (2005) 愛媛県の地すべり、地すべり技術, 32(1), 3-14.
- Ozawa T, Fujita E, Ueda H (2016) Crustal deformation associated with the 2016 Kumamoto Earthquake and its effect on the magma system of Aso volcano. *Earth, Planets and Space*, 68. doi:10.1186/ s40623-016-0563-5
- Gomba G, Parizzi A, De Zan F, Eineder M, Bamler R (2016) Toward Operational Compensation of Ionospheric Effects in SAR Interferograms: The Split-Spectrum Method. *IEEE, Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 54 (3), 1446-1461. doi:10.1109/tgrs.2015.2481079
- Y Morishita, M Lazecky, TJ Wright, JR Weiss, JR Elliott, A Hooper (2020) LiCSBAS: An Open-Source InSAR Time Series Analysis Package Integrated with the LiCSAR Automated Sentinel-1 InSAR Processor *Remote Sensing*, 12(3), 424. doi:10.3390/rs12030424
- 国土地理院 (2025) 地理院地図. <https://maps.gsi.go.jp> (2025 年 11 月 17 日参照)

林冠ギャップを含む環境因子が斜面崩壊発生に及ぼす影響

福島大学大学院共生システム理工学類理工学研究科 ○池本 海周・渡部 泰介・川越 清樹

1. はじめに

近年、気候変動の影響を受けて短時間降雨量が増大しており、日本各地で水災害が激甚化・頻発化している。そのため、今後の気候変動の進行により山地からの土砂・流木被害の増加が懸念され、その予測精度の向上が急務である。これに関連して、流木の発生要因を分析する研究¹⁾や、気候変動予測を踏まえた斜面崩壊の動向に関する研究²⁾が進められているものの、強雨そのものの影響評価や山岳地域における災害発生メカニズムの知見は十分とはいえない。これに対し、池本らは、線状降水帯による2022年8月豪雨の事例を参考に、異なる流域環境（中村川・濁川・小白川）における強雨の影響をまとめ、普遍性や特徴を整理した³⁾。その結果、樹高の高低差が大きな領域（林冠ギャップ）で斜面崩壊が多発する傾向が示唆された。本研究では、この現象の普遍性を検証するため、2024年7月豪雨で被害を受けた山形県日向川水系荒瀬川を対象に、林冠ギャップと斜面崩壊の関係性を解析することを目的とした。山岳地および林冠の緻密空間情報を取得するため、高空間解像度の数値地理情報およびUAV（Unmanned Aerial Vehicle：無人航空機）を用いてデータを収集し、数値地理情報、雨量データとの比較により強雨と山岳地域の環境特性が斜面崩壊に及ぼす影響について検討を行った。

2. 研究方法およびデータセット

解析では、特に林冠ギャップ、樹種および地形に着目し、環境条件に関する詳細な検討を進めた。斜面崩壊領域の抽出には山形県荒瀬川流域の2024年7月前後のSentinel-2Bの衛星画像（空間解像度10m×10m, 2024～2025年）を利用した。衛星画像より、NDVI（Normalized Difference Vegetation Index, 正規化植生指標）を導出して空間比較を行い、2024年7月前よりもNDVIの数値が著しく減少して植生被覆から裸地化している場合を斜面崩壊した状態と仮定し、領域を抽出した。NDVIは式(1)より導出した。

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \quad (1)$$

抽出した斜面崩壊領域を基に、流域全体を対象に環境条件ごとの大局的な分析を行うとともに、UAVにより取得した高精細データを基に詳細な空間解析を実施した。また、UAVにより得られた空中写真データを統合し、オルソ画像、DSM（Digital Surface Model, 数値表層モデル）を取得し、DEMとの差分からDCHM（Digital Canopy high Model, 数値樹冠高モデル）を作成し、樹頂点を抽出した。これらの高精細な空間情報（空間解像度約10cm×10cm）を活用し、環境条件の詳細な検証を行った。

3. 解析結果

3.1 斜面崩壊領域の抽出結果

* The Influence of Environmental Factors Including Canopy Gaps on Slope Failure Occurrence by Kaisyu Ikemoto・Taisuke Watabe・Seiki Kawagoe

図-1 に日向川流域の斜面崩壊抽出結果と、UAV による緻密空間解析箇所を示す。日向川流域の森林総面積は 160km²であり、このうち、今回の災害によって確認された崩壊面積 0.65km²（斜面崩壊率 0.4%）であった。

抽出した崩壊地と環境条件を定量的に解析した結果、傾斜 10 度以上の範囲では顕著な崩壊率の差異は確認されなかった。しかし、自然林と比較して人工林における崩壊率が高く、傾斜角の増加に伴いその傾向がより顕著となった。また、樹高は 12~16 m の範囲で崩壊率の低い値を示した。一方で、南向きの斜面で崩壊率が高く、実際の災害時には、南～東南方向からの強い風雨が観測されているため、斜面が降雨や風の影響を強く受けた可能性が示唆された。

3.2 UAV による樹頂点解析

図-2 に地点①～④のオルソ画像、樹頂点解析結果を示す。これにより、崩壊地周辺の林冠構造や樹木の空間分布、樹高分布を視覚的に把握した。地点①～④の平均樹高はそれぞれ 17.7m, 26.4m, 26.8m, 25.3m であり、平均樹高が低い地点①では小規模な崩壊が多数発生している一方、平均樹高が高い地点②～④では大規模な崩壊が点在して確認された。また、崩壊地の頂部周辺では、樹林密度が低い箇所や、植生界付近での崩壊が多く発生する傾向が認められた。

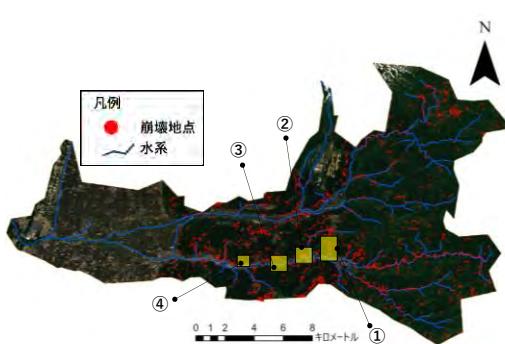


図-1 斜面崩壊抽出結果

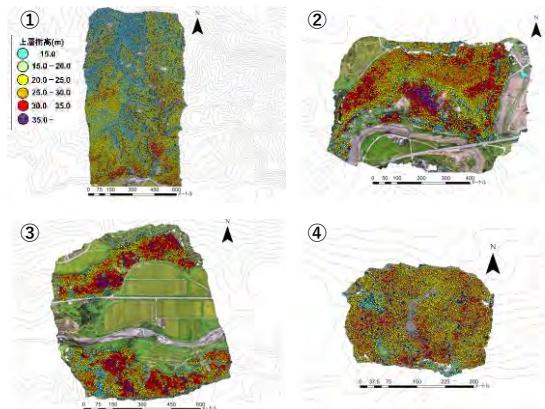


図-2 樹頂点解析結果

4. まとめと展望

本研究では、2024 年 7 月豪雨で被害を受けた山形県日向川水系荒瀬川流域を対象に、斜面崩壊と環境因子との関係について検討した。

今後は、抽出した樹頂点データを用いて樹林密度や林冠ギャップの定量的評価を行うとともに、崩壊発生地点との降雨量の分布との位置関係を検証することで、林冠構造と斜面安定性の関連をより明確にする予定である。

参考文献

- 1) 矢野真一郎ほか: 平成 29 年 7 月九州北部豪雨による流木災害の発生要因に関する分析, 土木学会論文集 B1(水工学), 74 卷 5 号, pp.I_1063-I_1068, 2018.
- 2) 斎藤洋介ほか: 地域への適用性をふまえた斜面崩壊発生確率のモデルとアウトプットの開発, 土木学会論文集 G(環境), 73 卷 5 号, pp.I_229-I_237, 2017.
- 3) 池本海周ほか: 2022 年 8 月の豪雨事例を用いた斜面崩壊の環境条件の比較分析, 土木学会論文集, 80 卷 27 号, ID:24-27015, 2024.

干渉 SAR 解析による津軽平野の地盤沈下*

弘前大学 小岩圭吾・道家涼介

1. はじめに

津軽平野は、青森県西部に位置し、奥羽山脈と岩木山に囲まれ、平野のほぼ中央部には岩木川が十三湖まで北流する。津軽平野中部では、新第三紀系から第四紀にかけての未固結な堆積物の厚さが数百 m に及んでいる¹⁾。また、同平野における国土地理院による昭和 43 年以降の一等水準測量において、弘前市から五所川原市に至るまで様々な場所で地盤沈下が認められている²⁾。地盤沈下は、建物の損壊を引き起こすとともに、洪水リスクを増大させる災害要因である。近年の観測では、国土地理院が全国を対象に実施している ALOS-2/PALSAR-2 データの南行軌道における干渉 SAR 時系列解析の結果において、鶴田町と藤崎町で顕著に見られ、衛星から遠ざかる変位（約 3cm/yr）が観測されている³⁾。しかし、津軽平野における ALOS/PALSAR データの南行軌道での 2006 年 4 月 27 日と 2007 年 4 月 30 日の干渉ペアでは、鶴田町での変位は殆ど見られず⁴⁾、観測時期による沈下傾向に差異が見られる。これらの観測結果から、津軽平野の地盤沈下は、時間的および空間的に変動的であることが示唆される。したがって、地盤沈下の実態を把握するためには、近年取得された衛星データを用いたより詳細な解析が不可欠である。本研究では、直近の衛星データを解析することで近年の地盤沈下の挙動を詳細に把握し、沈下傾向の差異をもたらす要因を検討することで、沈下のメカニズムを解明することを目指す。

2. 使用データと解析方法

本研究では、宇宙航空研究開発機構（JAXA）が開発した L-band マイクロ波の合成開口レーダーである PALSAR-2 によって撮像された津軽平野周辺のデータである南行軌道右観測の Path19 (SM1) のデータを使用した。PALSAR-2 の観測が開始された 2014 年から 2025 年上旬までの期間のデータから、2 年以内の観測日同士の干渉ペアをとり、RINC⁵⁾ を用いて干渉処理を行った。また、地殻変動の時系列変化を捉えるために、SBAS 法を用いた時系列解析である LiCSBAS⁶⁾ を使用して解析を行った。

3. 結果および考察

干渉 SAR 時系列解析の結果（図 1），鶴田町と藤崎町および板柳町で顕著な変位が見られたことに加えて、藤崎町から南西部の位置に新たに変位が確認された。この変位においては、近年で変位速度が上昇傾向にある。また、藤崎町における変位が最も顕著な場所は、直線的に減少し続けている。一方で、鶴田町においては変位がもっとも顕著な場所における変位速度は減少傾向にあるが、周囲の変位速度では上昇傾向にある場所も存在する。これらの変位速度の違いは、先述した未固結な堆積物の厚さの違いと地質の不均一性によるものであることが示唆される。さらに、

*Insar analysis of subsidence in the Tsugaru Plain by Keigo Koiwa and Ryosuke Doke

変位は局所的で地域的な傾向は存在せず、沈下地域における構造物等の増加も見られないことから、現在も行われている地下水揚水による影響であることが示唆される。

地下水揚水に起因する地盤沈下の多くは、間隙水圧の低下による圧密で説明される。現在、MCMC を用いたベイズ推定に基づくモデリングを行い、圧力源の深さや圧力変化量の算出を行っている。算出した圧力源の深度が、既存の地質分布とどの程度一致するかを検証し、地盤沈下の主な原因が地下水揚水に起因するものかについて考察した結果も発表予定である。

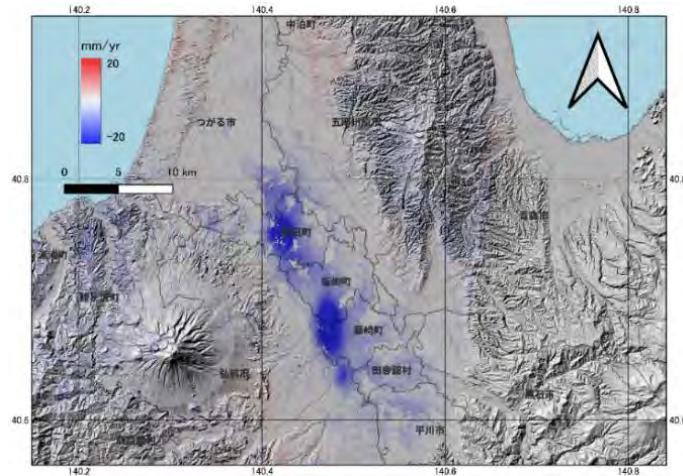


図1 津軽平野における干渉 SAR 時系列解析の解析結果。陰影起伏図（国土地理院）³⁾を加工して

参考文献

- 1) 尾崎次男, 菅野敏夫: 津軽平野の被圧地下水－東北地方総括調査研究－ (1965), 地質調査所月報, 第 16 卷, pp.25-35.
- 2) 環境省: 青森県津軽平野 令和 5 年度,
<https://www.env.go.jp/water/jiban/directory/tsugaru.html>, (2025 年 11 月 04 日閲覧)
- 3) 国土地理院ウェブサイト,
<https://maps.gsi.go.jp/#5/36.104611/140.084556/&base=std&ls=std&disp=1&vs=c1g1j0h0k0l0u0t0z0r0s0m0f1>, (2025 年 11 月 04 日閲覧)
- 4) 森下 遊, 鈴木 啓, 雨貝知美, 唐沢正夫, 藤原みどり (2010) : 干渉 SAR を活用した効率的な水準測量の実施へ向けた取り組み, 国土地理院時報, 第 120 集, pp.17-22.
- 5) Ozawa T. Fujita T. and Ueda H. (2016): Crustal deformation associated with the 2016 Kumamoto Earthquake and its effects on the magma system of Aso volcano, *Earth, Planets and Space*, 68(186). doi: 10.1186/s40623-016-0563-5
- 6) Morishita, Y.; Lazecky, M.; Wright, T.J.; Weiss, J.R.; Elliott, J.R.; Hooper, A. (2020): LiCSBAS: An Open-Source InSAR Time Series Analysis Package Integrated with the LiCSAR Automated Sentinel-1 InSAR Processor. *Remote Sens.* 12, 424, <https://doi.org/10.3390/RS12030424>.

＜第1会場 セミナー室＞

— 第3部 (6題) —

司会：サッパシー アナワット 先生

12月23日(火) 12:30~14:00

東北地方太平洋沿岸における包括的な確率論的津波ハザード評価

東北大学 工学研究科 土木工学専攻

東北大学 災害科学国際研究所

東北大学 災害科学国際研究所

スイス・リー・インターナショナル・エスイー日本支店

スイス・リー・インターナショナル・エスイー日本支店

スイス・リー・インターナショナル・エスイー日本支店

東北大学 災害科学国際研究所

三木 優志

Suppasri Anawat

Cheng An-Chi

岩崎 智哉

篠塚 友吾

小川 剛史

今村 文彦

1. はじめに

確率論的津波ハザード評価 (Probabilistic Tsunami Hazard Assessment; PTHA) は将来の地震の発生確率と津波の規模に関する不確実性を考慮し、地点ごとの津波ハザードを定量的に評価する手法である。東北地方太平洋沿岸域は、現在も津波を引き起こす可能性のある複数の地震発生域に隣接している。したがって、津波波源の不確実性を考慮した包括的な PTHA の実施が不可欠である。また、津波評価地点でどの断層が津波ハザードに寄与しているかを定量化することは地域の災害レジリエンスを強化するために不可欠である。本研究では、津波高さごとの各地震の寄与率を確率論的に定量化する手法を新たに提案する。

2. 研究手法

(1) 地震断層モデルの設定

地震調査研究推進本部 (2019) で評価されている日本海溝の地震の中で Mw8 以上の地震が発生すると評価されている 5 つの地震タイプ (東北地方太平洋沖型 : TOHOKU、青森県東方沖および岩手県沖北部 : HOKUBU、宮城県沖 : MIYAGI、津波地震 : TSUNAMI、アウターライズ地震 : OUTER) を対象地震とし、位置やすべり量分布、Mw の不確実性を考慮するため、合計で 225 個の特性化波源断層モデルを作成した。

(2) 津波数値計算

設定した特性化波源断層モデルから津波数値計算により、評価地点での津波高さを得た。数値計算モデルは TUNAMI-N2 を用いた。

(3) ハザードカーブの算出

津波数値計算で得られた各津波波源による津波高さから、津波数値計算に伴う各種の不確実性を考慮し、津波高さの真の値の確率分布 $f(x)$ を求めた。この $f(x)$ からハザードカーブ $F(h)$ を防災科学技術研究所 (2015) による以下の式を用いて算出した。

$$F_i(h) = P(e_i) \sum_j P(m_j) \int_h^{\infty} f_j(x) dx \quad (1)$$

$$F(h) = 1 - \prod_i (1 - F_i(h)) \quad (2)$$

ここで、 h は津波高さ、 $P(e_i)$ は地震タイプ i の年発生確率、 $P(m_j)$ は地震タイプ i の断層破壊モデル j の重み、津波ハザード寄与率、 $F_i(h)$ は地震タイプ i についてのハザードカーブを表す。

* Probabilistic Tsunami Hazard Assessment along the Pacific Coast of the Tohoku Region, Japan by Yushi Miki, Anawat Suppasri, An-Chi Cheng, Tomoya Iwasaki, Yugo Shinozuka, Takafumi Ogawa and Fumihiko Imamura

(4) 津波ハザード寄与率

津波評価地点において、どの地震タイプが津波高さに寄与するかを定量化するため、以下の式で表される津波ハザード寄与率を新たに導入した。

$$C_k(h) = \frac{F(h) - F_{except\ k}(h)}{F(h)} \quad (3)$$

ここで、 $C_k(h)$ は地震タイプ k の津波ハザード寄与率、 $F_{except\ k}(h)$ は地震タイプ k を除いた場合のハザードカーブである。

3. 結果・考察

東北地方太平洋沿岸におけるハザードカーブおよび津波ハザード寄与率を算出した。ここでは、宮城県と福島県の代表点として、仙台および原町における結果を示す。各地点におけるハザードカーブ $F(h)$ （黒）から、仙台よりも原町の方が各津波高さに対する年超過確率が高いことを示している（図1）。津波高さ 5m の年超過確率に注目すると、仙台では 1.1×10^{-3} であるのに対し、原町では 3.1×10^{-3} である。これは原町では仙台に比べて約 3 倍、5m 以上の津波を経験する確率が高いことを意味する。各地点における津波ハザード寄与率をみると、仙台では津波高さ 5m に対して、東北地方太平洋沖型地震の寄与が支配的であり、全体の 93.5% を占める（図2）。一方、原町では同地震タイプの寄与率は 44.7% にとどまり、代わりに宮城県沖地震および津波地震の寄与が残りのおよそ半分を占めている。このように、津波ハザードに寄与する地震タイプが地域によって異なることから、地域ごとに地震発生特性を考慮した防災・減災対策の立案が求められる。

4. おわりに

本研究では東北地方太平洋沿岸における確率論的津波ハザード評価を実施した。津波高さに対する各地震の寄与を定量化するため、津波ハザード寄与率を提案し、東北地方太平洋沿岸の複数の地点で評価・比較した。津波に対する防災投資の最適化や設計基準の高度化に資するものである。

謝辞

本研究は、スイス・リー・インターナショナル・エスイー日本支店の支援を受けて実施された。ここに記して、感謝の意を示す。

参考文献

- (1) 地震調査研究推進本部 (2019) : 日本海溝沿いの地震活動の長期評価
- (2) 防災科学技術研究所 (2015) : 日本海溝に発生する地震による確率論的津波ハザード評価の手法の検討

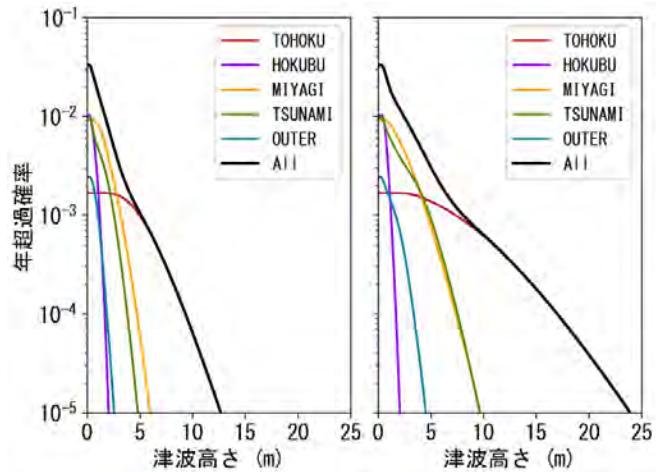


図 1：仙台(左)と原町(右)の津波ハザードカーブ

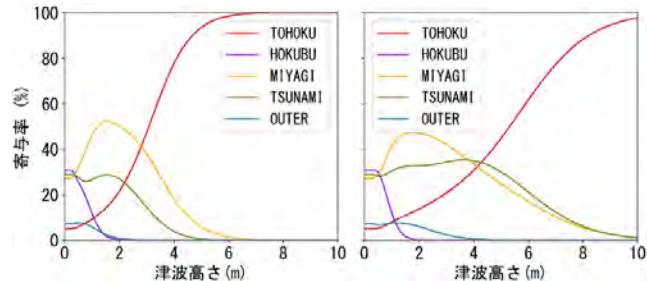


図 2：仙台(左)と原町(右)の津波ハザード寄与率

衝突条件の違いによる津波漂流物の挙動*

秋田大学理工学部

太田賢文

秋田大学大学院理工学研究科 齋藤憲寿・渡辺一也

1.はじめに

2011年に発生した東日本大震災は、津波により東北地方を中心に甚大な被害をもたらした。この地震ではコンテナや流木などが津波漂流物として流出し、被害の悪化につながった。今後も想定される南海トラフ地震においても津波災害が発生する可能性が指摘されており、被害を軽減するためコンテナ模型が洋上風力発電施設の模型に衝突を想定した実験が行われている。

既往研究として池ヶ谷ら¹⁾はコンテナが洋上風力発電施設に衝突する瞬間の加速度をOpenCVを用いて算出し衝突力を求め、池野ら²⁾は流木の衝突実験を行い、流木の衝突角度と衝突力の関係をまとめている。本研究ではコンテナの回転によって衝突力にどのような影響が起こるのかを実験した。

2.実験概要

実験装置の概略は図-1に示す。実験水路は幅0.30m、高さ0.50m、全長11.0mであり、海側5.0m、陸側6.0m、斜面勾配1/26の鋼製矩形水路を使用した。縮尺は1/25のため、実スケール20ftのコンテナ模型のサイズは長さ23.7cm、幅9.4cm、高さ9.5cm、重量1156gであり、実スケール直径300cmのタワー模型は直径15cm、高さ50cmに換算している。コンテナ模型の喫水は4.5cmに設定している。カメラ撮影は120fpsで行い、貯水深Hは25cmで浸水深hは0cm（以降H25, h0とする）、コンテナ模型の設置角度θを0°、90°と設定し、それぞれ3回ずつ測定した。設置角度は水路の水が進行する向きに対してコンテナが横向きになるように設置したときの角度を0°と設定している。

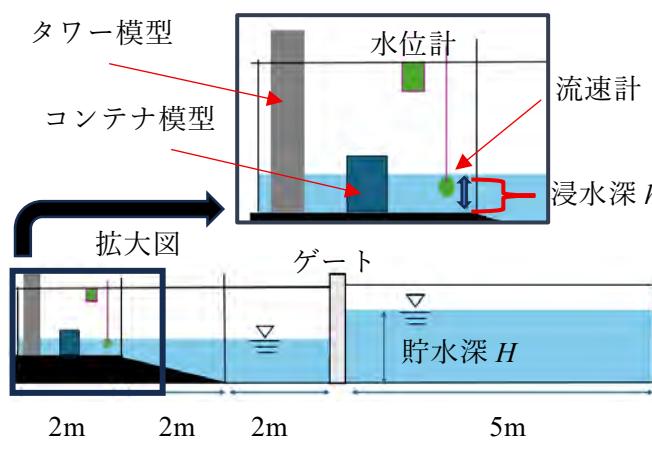


図-1 実験装置の概略

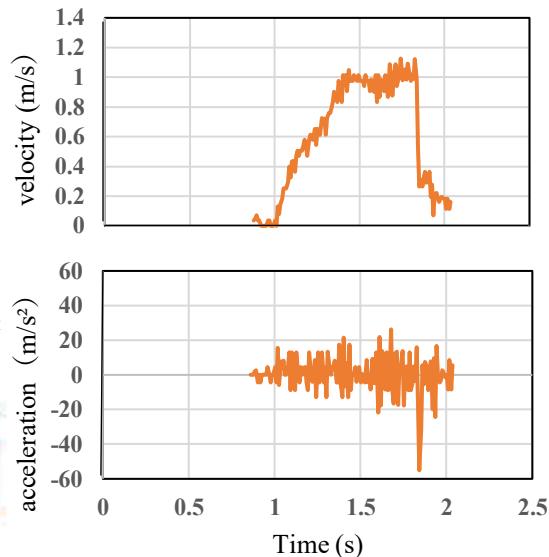


図-2 コンテナ模型の速度、加速度

*Behavior of Tsunami Debris under Different Impact Conditions by Kenya OTA, Noritoshi SAITO and Kazuya WATANABE

OpenCV とは画像解析のことであり、動画を 1 フレームずつ読み込み、画面上の赤、緑、黄の 3 点を抽出し、軌跡の表示後、3 点の平均を重心と置き、その速度と加速度を算出している。その結果を図-2 に示す。コンテナ模型がタワー模型に衝突した瞬間の速度の下降と加速度のピークが検出されているため OpenCV は正常に動作していると判断した。

3.角度の測定

図-3 は $H25$, $h0$, 設置角度を 0° (左) と 90° (右) として上から撮影した図である。津波がコンテナに衝突した瞬間の時間を 1.00 s とし、タワー模型に衝突するまでの時間と角度を計測した。次に、図-4 の OpenCV で算出した速度と加速度を確認すると、設置角度が 0° の場合は津波の衝突後、速度は増加していくが、コンテナ模型の回転により速度が少し減少し、その後タワー模型に衝突した。衝突時の速度の値は 0.96 m/s 、加速度は 44.82 m/s^2 となった。設置角度が 90° の場合は、津波の衝突後、速度は減速することなく大きくなっている、そのままタワー模型に衝突した。衝突時の速度の値は 1.08 m/s 、加速度は 37.46 m/s^2 となった。一般的には速度が大きくなるにつれ加速度も大きくなるはずだが、今回の結果には当てはまらなかった。その原因の一つとして、コンテナ模型の回転が始まる頃に速度が小さくなっているため、コンテナの形状と重心位置が関係していると考えている。

4.おわりに

衝突実験を行い、 $H25$, $h0$ の場合の設置角度 0° と 90° の条件で、上からのコンテナの角度の変化について測定し、OpenCV を用いて速度、加速度まで算出した。今後の検討として、衝突力を求めてその結果の考察を行う他、初期条件を変更し、データ数を増やしていく必要がある。

参考文献

- 1) 池ヶ谷翼・齋藤憲寿・渡辺一也:着床式洋上風力発電施設とコンテナの衝突に関する検討、東北地域災害科学的研究、第 61 卷、pp. 123-128, 2025.
- 2) 池野正明・高畠大輔・木原直人・甲斐田秀樹・宮川義範・柴山 淳:津波・氾濫流水路を用いた流木衝突実験と衝突力推定式の改良、土木学会論文集(海岸工学) Vol.71, No.2, I_1021-I_1026, 2015.

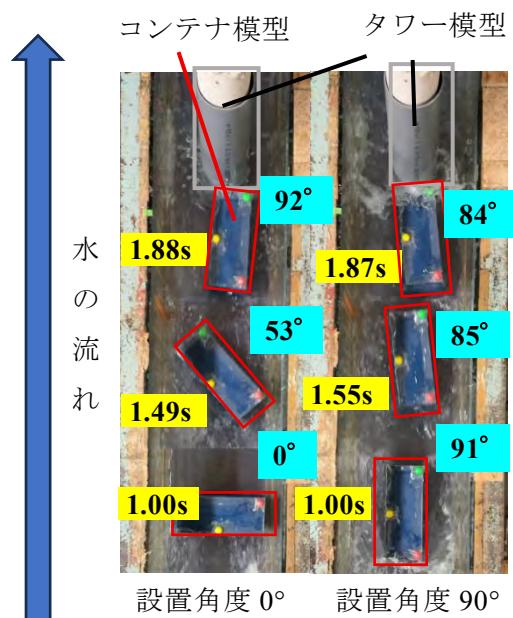


図-3 コンテナ模型の挙動

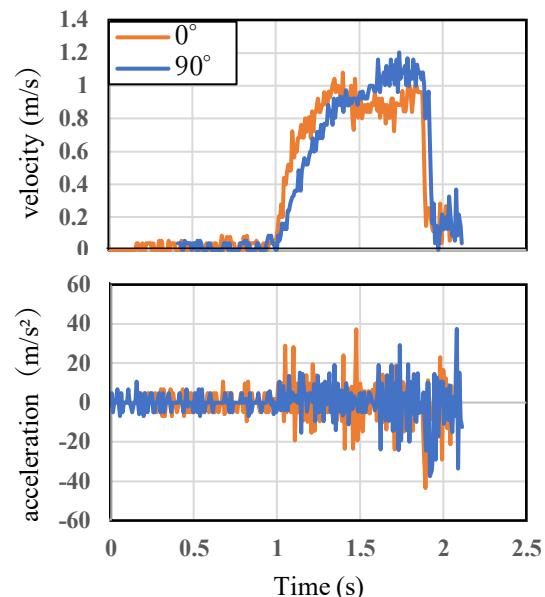


図-4 速度および加速度の経時変化

周波数領域応答解析を用いた共振特性の解明

- 2025年カムチャツカ津波による養殖施設の被害を受けて*

東北大学 工学研究科 土木工学専攻 田中 健登
東北大学 災害科学国際研究所 Anawat Suppasri
防衛大学校 建設環境工学科 鳴原 良典
東北大学 災害科学国際研究所 An-chi Cheng
東北大学 災害科学国際研究所 今村 文彦

1. 背景・目的

三陸沿岸では、近地津波だけでなく遠地・中小規模の津波でも養殖施設に被害が集中する事例が繰り返し報告されている。今年7月のカムチャツカ半島沖地震津波でも、人的・住家被害は限定的であった一方、三陸沿岸の湾内では係留ロープの破断や筏の漂流等の被害が顕著であった。このような被害を減らすためには、入射周期や入射角によって港湾・湾内のどこがどの程度強く振動しやすいかという共鳴特性の構造を周期・方位の両軸から体系的に整理することが重要である。近年の研究¹⁾²⁾³⁾では、観測、津波計算や固有値解析を使用して陸棚や外洋と湾・港湾を含む複数の共鳴域間の結合振動、それらの自然振動モードの卓越周期と空間分布を示している。しかしながら、津波入射波の周期を主眼としており、入射角度をパラメータとして系統的に掃引し、方位別の共振特性を評価した例は限られている。また、共鳴強度の指標として水位に着目する研究が大半であり、港内流速の応答を評価した例は少ない。養殖施設の被害評価では流速が支配的指標となるため水位のみの共鳴解析ではリスクの本質を捉えきれない。そこで、本研究では津波周期 T と入射角 θ に依存する港湾内の空間応答を周波数領域応答解析で定量化するコードを構築した上で岩手県山田湾における港湾の共鳴特性の解明を行った。

2. 周波数領域応答解析の手法及び結果

連続の式と運動方程式は次式(1)で表現される。なお、運動方程式の第3項の底面摩擦項と第4項の移流項はそれぞれローレンツ線形化⁴⁾、ピカール線形化⁵⁾で示している。

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \nabla \cdot (h\mathbf{u}) = 0, \quad \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + g\nabla\eta + \gamma\mathbf{u} + (\mathbf{u}^{(k)} \cdot \nabla)\mathbf{u} + (\mathbf{u} \cdot \nabla)\mathbf{u}^{(k)} = 0 \quad (1)$$

ここで、 η ：水位、 \mathbf{u} ：流速、 h ：水深、 g ：重力加速度、 γ ：線形摩擦係数、 $\mathbf{u}^{(k)}$ ：前の反復で計算済みの既知の流速場

時間調和(式(2))を仮定し、式(1)を整理するとヘルムホルツ型調和応答式(3)が得られる。

* Investigation of resonance characteristics using frequency-domain response analysis following the 2025 Kamchatka tsunami damage to aquaculture facilities Kento Tanaka, Anawat Suppasri, Yoshinori Shigihara, An-Chi Cheng, Fumihiro Imamura

$$\eta(x, y, t) = \Re\{\hat{\eta}(x, y; \omega)e^{-i\omega t}\}, \quad \mathbf{u}(x, y, t) = \Re\{\hat{\mathbf{u}}(x, y; \omega)e^{-i\omega t}\} \quad (2)$$

$$\nabla \cdot (gh\nabla\hat{\eta}) + \omega^2\hat{\eta} + i\omega\gamma\hat{\eta} + \nabla \cdot \left(\frac{gh}{i\omega - \gamma} \left[(\mathbf{u}^{(k)} \cdot \nabla)\nabla\hat{\eta} + (\nabla\mathbf{u}^{(k)})^\top \nabla\hat{\eta} \right] \right) = 0 \quad (3)$$

津波入射角に応じた振幅や位相を入射境界条件として与え、この支配方程式を解くと、ある津波周期（周波数）における振幅と位相を効率的に計算することができる。なお、入射波のエネルギー量は入射角 180° で振幅を 0.1m のシナリオを基準として各シナリオで統一している。

本概要では代表的に入射角 130° （数学上の $x-y$ の角度）と 230° でそれぞれの周期の波が来襲したときに山田湾の各漁場（図 1）の代表点でどれだけ流速が大きくなるかを図 2 に示す。また、流速が 1.0m/s を超えるときに被害が生じたという既往研究⁶⁾を踏襲し、養殖施設の施設の位置情報（図 3）と応答解析の結果を照らし合わせ、各シナリオで閾値を超える養殖施設を可視化した（図 4）。結果として、いずれの入射角でも周期 10 分帯で流速の山があるため留意すべき周期帯である。しかし、図 4 を見ると閾値を超える施設の数が角度に大きく依存するということが分かる。周期 20-40 分帯では 2 つの山が観察されるが具体的な周期は入射角によって異なることが分かる。周期 40 分以降は 45 分帯の前後で 2 つの山が確認できる。閾値を超える養殖施設も似たような様を呈している。角度依存性は低いため津波発生の個所に寄らず、周期 45 分帯前後で山田湾広域の被害が発生する可能性があることが示唆される。

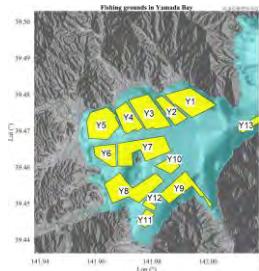


図 1：漁場区画

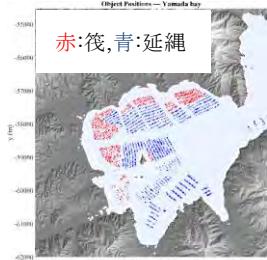


図 3：養殖施設の位置

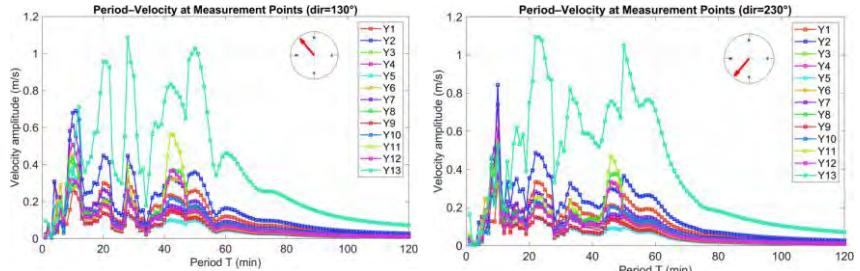


図 2：各漁場の流速の周期特性（左:入射角 130° ,右: 230° ）

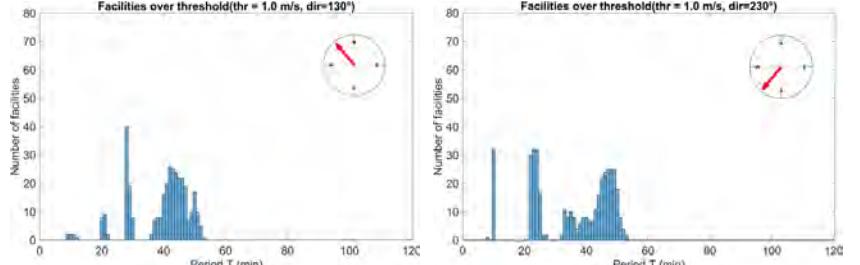


図 4：閾値(1.0m/s)を超える施設の数（左: 130° ,右: 230° ）

参考文献

- 1) Wang et al.: Tsunami Resonance Characterization in Japan Due to Trans-Pacific Sources: Response on the Bay and Continental Shelf, Journal of Geophysical Research: Oceans, Vol.126, 2021.
- 2) Ren et al.: Tsunami resonance and standing waves in Hangzhou Bay, Physics of Fluids, Vol.33, 2021.
- 3) Cheng et al.: Resonance characteristics and impact of the 2006 Pingtung tsunami in southern Taiwan, Geoscience Letters, Vol.10, 2023.
- 4) Terra et al.: Experimental verification of Lorentz' linearization procedure for quadratic friction, Fluid Dynamics Research, Vol.36, pp.175–188, 2005.
- 5) Magdalena et al.: Asymptotic expansion and numerical solution for gravity waves in a porous medium, ANZIAM Journal, Vol.59, pp.C287–C299, 2019.
- 6) 首藤伸夫：津波強度と被害，津波工学研究報告，第 9 号，pp.101-136，1992.

一ノ目潟の年縞堆積物に挟まれるイベント堆積物の識別

○弘前大学大学院 地域共創科学研究科 永田 篤規
理工学研究科 梶田 展人
理工学研究科 梅田 浩司

1. 研究背景・目的

自然災害は、人間社会に深刻な脅威をもたらし、その発生頻度はそれぞれの地域におけるテクニクス過程および気候体制の影響を受け、時間的に変動する。長期的なスケールでこのような事象の発生を促す要因を理解することは、リスク管理の観点から極めて重要である。しかしながら、観測データは一般に期間が短いため、百年規模の自然災害を包括的に理解することは困難である。自然災害などの突発的な事象によって、地質学的な時間間隔からすると瞬時に形成される堆積物はイベント堆積物と呼ばれ、その解析にはイベントの起源の識別、正確な発生年代の特定が重要である。その点、湖沼堆積物は、連続的かつ長期的に堆積する性質、高い時間分解能、および災害事象への高い感受性を有するため、イベント堆積層を識別・復元するのに極めて有用な記録媒体である¹⁾。特に年縞湖(varved lake)では、年ごとの層理構造を通じて高精度な年代制約が得られるため、通常堆積物中に挟在するイベント堆積層を精密に年代決定することが可能である。年縞とは、海洋や湖沼といった静穏な水底において堆積したミリスケールの縞状の泥質堆積物であり、周辺水域の生物学的・地理的学な季節変動を堆積プロセスに反映する。年縞湖で採取された堆積物コアには、年縞の他にイベント堆積物が挟在している場合がある。これらを組み合わせることで、年単位の時間軸に基づく自然災害の発生周期の推定や、イベントの種類の識別ができる可能性がある。しかし、近年積極的に行われている海洋底コアを用いた古地震復元の研究では、イベント層の認定および精密な年代決定が困難であることが多く、堆積物コアから災害復元する研究は依然として難易度の高い課題である。本研究では、各種の堆積学的・地球化学的解析を通して、秋田県に位置する年縞湖、一ノ目潟の堆積物コアに含まれるイベント層の認定と年代決定を行い、日本海東縁で発生した様々な自然災害の識別や周期を理解することを目指す。

2. 調査地域

本研究の調査地点である一ノ目潟は秋田県男鹿半島の北西部に位置しており、第四紀の火山活動によるマグマ水蒸気爆発で形成された爆裂火口(マール)に水が溜まってできた直径 600m、最大水深 45m、1 本の小河川が流入する淡水湖である。先行研究によると、年間を通じて湖底は無酸素状態に保たれており、古環境復元に適した保存状態の良い年縞の存在が少なくとも過去約 3 万年分確認されている²⁾³⁾。また、堆積物コアには年縞だけでなく、分厚い塊状のイベント堆積層が複数挟在していることも報告されている⁴⁾。

* Identification of event deposits in varved sediment in Lake Ichi-no-Megata, by Atsuki Nagata, Hiroto Kajita, Koji Umeda

3. 手法

一ノ目潟の中央湖盆から40.5cmのコアを採取した。採取した試料に対し、層相観察、目視による縞計測、顕微鏡観察、軟X線撮影、 μ XRFを用いた元素マッピング、 μ XRDを用いた鉱物組成マッピング、 $^{210}\text{Pb} \cdot {^{137}\text{Cs}}$ 放射性年代測定、粒度分析、XRFコアスキャナー分析、炭素・窒素安定同位体比測定($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$)を行った。

4. 結果と考察

上記の結果を総合的に解釈し、年縞層と3つのイベント層(E1, E2, E3)を認定した。年縞は基本的には明色層と暗色層の繰り返しで形成され、明色層は碎屑物粒子が多く、MnとFeの濃度が高かった一方で、暗色層は有機物と珪藻殻が多く、MnとFeの濃度は低かった。目視および軟X線画像による観察とMnとFeの変動パターンに基づいた縞数えによる堆積年代推定は、 $^{210}\text{Pb} \cdot {^{137}\text{Cs}}$ 放射性年代測定の結果と概ね一致した。この結果と秋田県の災害史年表との比較から、E1は日本海中部地震(1983年)、E2は男鹿半島沖地震(1964年)、E3は1955年に発生した大雨災害に対応すると判断した。粒度分析によると、地震由来堆積物(E1・E2)よりも大雨由来堆積物(E3)の方が粗粒であった、また、炭素・窒素安定同位体比測定に基づくと、地震由来堆積物(E1・E2)は水中植物プランクトンの影響が大きかったのに対して、大雨由来堆積物(E3)は陸起源有機物の影響が大きいことが明らかとなった。これは地震と大雨それぞれが湖底で引き起こす堆積プロセスの違いを反映していると考えられる。

5. 結論

本研究により、一ノ目潟の堆積物は、当地域に影響を及ぼした地震および大雨などの自然災害の記録媒体として極めて有用であることが示された。さらに、堆積学的、物理学的および有機地球化学的指標を複合的に解析することにより、地震起源堆積物と大雨起源堆積物を識別可能であることが明らかとなった。これらの成果は、一ノ目潟堆積物が過去の自然災害復元に対して高い潜在的価値を有することを示すとともに、年代モデルをより古い時代まで拡張するための今後の研究の必要性を示唆するものである。

参考文献

- 1) Zolitschka et al. (2015). Varves in lake sediments – A review. *Quaternary Science Reviews*, 117, 1–41.
- 2) 草野, 林. (2015). 湖水温鉛直分布の季節変動からみた一ノ目潟の水循環機構. *日本水文科学会誌*, 45(1), 3–13.
- 3) Yamada, K. (2017). Lake varves and environmental history. In Y. Yasuda & M. J. Hudson (Eds.), *Multidisciplinary Studies of the Environment and Civilization: Japanese Perspectives* (pp. 24–42). Taylor & Francis.
- 4) Okuno et al. (2011). Widespread tephras in sediments from Lake Ichi-no-Megata in northern Japan: Their description, correlation and significance. *Quaternary International*, 246, 270–277.

1983年日本海中部地震に伴う津波堆積物

弘前大学理工学部 ○松本苗幸・岡田里奈・梅田浩司

1. はじめに

日本海中部地震は1983年5月26日に発生した、秋田県能代市西岸沖深さ約14kmを震源とするM7.7の地震である。この地震による津波の遡上によって、秋田県北部の日本海に流出する3つの河川、水沢川、塙川および竹生川の河口やその周辺において浸水や土砂の堆積による被害が報告されている (Sato et al. 1995)。このうち、八峰町峰浜目名潟を東西に流れる水沢川では、右岸側の砂丘が河口部より北側約600m付近まで3~4mの高さしかないため、津波はここから浸水し、海岸線から国道101号線の範囲の水田はすべて冠水し、農作業中の高齢者が犠牲になった (宇多, 1985)。この水田の海岸側 (西側) には東西約200m、南北約550m、標高が約4.0~5.0mの砂丘を後背地として小規模な湖沼が点在する湿地がある。国土地理院の空中写真を見る限り、1983年以降、今まで人工改変がなされた形跡もないことから、これらの湖沼に津波によって運ばれた堆積物が保存されている可能性が高い。今回、現地調査によって津波堆積物と考えられる砂質堆積物が発見されたので、これについて報告する。

2. 調査地点・調査方法

調査地域である湖畔 (北緯40°18'29.61", 東経140°01'36.12", 標高4.1m) で長さ1mの小型ジオスライサーを用いて水面下を掘削した。現地では堆積物の層相観察・記載・写真撮影を行った。コアを持ち帰った後、X線撮影用の試料と粒度分析用に1cm毎の試料採取を実施した。X線発生器 (ソフテックス株式会社M-60型) の出力は、電圧35kV、電流2mAにて行った。

3. 層相観察

掘削地点の水深は20cmであった。深度0~17cmまでは細粒砂混じりの有機質黒色軟泥である。深度17~40cmまでは暗灰色の細~粗粒砂で全体として上方細粒化の傾向が認められるとともに、基底部には明瞭な侵食面が存在する。侵食面は海側から陸側に向かってやや傾斜している。深度40cm以深は明灰色のシルトからなり泥炭や植物片を挟む。そのため、深度17~40cmまでの区間をイベント層と考えた。深度32cm付近には、イベント層直下のシルト層を巻き込んだと考えられる偽礫が見られた。また、深度30cmより上位のイベント層には泥成分が多く含まれることを特徴とする。これらのことから、イベント層の下部は、海側からある程度の強い水流により移動した堆積物が再堆積したものと考えられる。また、イベント層の上部は、陸域の侵食した土壤を含むこと、弱いながら逆級化が認められることから、陸側から海側への流れによって急速に堆積した可能性がある。

4. 軟X線撮影

イベント層およびその上位、下位の堆積物を含む深度 8~43 cm のコアの軟X線撮影を行った。イベント層の下部には、海側から陸側に傾斜する斜交葉理が観察された。一方、イベント層の上部には弱いながら陸側から海側に傾斜する斜交葉理が認められる。以上のことから、イベント層の下部は津波の遡上流によって、イベント層の上部は津波の戻り流れによって形成された堆積物であることが示唆される。

5. 今後の課題

以上の結果から、この砂質堆積物は 1983 年日本海中部地震の津波によりもたらされた津波堆積物の可能性が高い。さらなる信頼性の向上を図るため、現在、粒度分析、珪藻分析、イベント堆積物と海浜砂を構成する碎屑粒子の鉱物組成や円磨度の比較を進めている。これらの結果も、本講演で報告する予定である。

引用文献

Sato, H., Shimamoto, T., Tsutsumi, A. and Kawamoto, E., 1995, Onshore tsunami deposits caused by the 1993 Southwest Hokkaido and 1983 Japan Sea earthquakes. *Pure Appl. Geophys.*, **144**, 693-717.

宇多高明,1985, 津波. 土木研究所報告, **165**, 17-54.

西南北海道、奥尻島で見出された津波堆積物

弘前大学理工学部 ○長谷奎弥・松本苗幸・岡田里奈・梅田浩司

1. はじめに

地質学的な時間スケールで考えた場合、津波や洪水、高潮といった突発的な現象によって瞬時に形成された堆積物をイベント堆積物という。このうち、津波によって海底や沿岸部の浜堤等の砂や泥、礫が侵食され、運搬されることで二次的に堆積したものを津波堆積物という。津波堆積物には、堆積物下部の侵食面、偽礫、上方細粒化構造、貝殻や木片の濃集等の特徴的な堆積構造を有している場合が多い。これらの特徴を野外調査や室内試験等から得られたデータから検討することによって津波イベントを識別することになる。

北海道南西部の日本海上に位置する奥尻島には、1993年の北海道南西沖地震による津波、1741年の渡島大島山体崩壊により生じた津波を含めて過去3000~4000年の間に少なくとも6回の津波が襲来したことが知られている（加瀬ほか、2016）。著者らは奥尻島南部の初松前の沿岸砂丘において、イベント層と考えられる砂質の堆積物を見出した。今回は、その調査結果について報告する。

2. 調査地点および調査手法

現地において層相観察、写真撮影、記載を行い、複数のイベント層と火山灰層、風成層等に区分した。この区分に基づいて試料の採取を行い、堆積学的特徴、鉱物学的特徴からイベント堆積物の同定を行った。粒度分析はレーザー回析式粒度分布測定装置（島津製作所 SALD-2300）を用いた。得られた測定結果から、平均粒径値、中央値、淘汰度、歪度を算出した。火山ガラスについては、電子プローブマイクロアナライザー（日本電子 JXA-8230）を用いて主成分9元素について定量分析を行った。

3. 結果と考察

比高5~6mの砂丘は、細粒~中粒砂や有機質シルトのほか、層厚30cm以上の黄桃色のテフラ層で構成されている。このテフラ層の上位には、大量の貝片や植物片を含む層厚80cm以上の砂層が認められ、今回、この砂層をイベント層と考えた。火山ガラスの主成分元素から、このテフラ層は1640年のKo-dに対比できることから、イベント層は1640年以降に形成されたものと考えられる。イベント層とテフラ層の境界は明瞭な侵食面が認められる。また、イベント層中にはテフラの偽礫も含まれる。イベント層は大きく2つのユニットに区分できる。下位のユニットは上方細粒化する2つ以上のサブユニットに分けられ、海浜砂を主体とし破碎された貝片が大量に含まれる。上位のユニットは木片や植物片を多く含み泥成分に富む。以上のことから、このイベントが津波であると考えると、下位のユニットは遡上流、上位のユニットは戻り流れによって形成された可能性が高い。現在、イベント層の粒度分析や海浜砂の碎屑粒子との比較等を進めている。これらの結果についても本講演にて報告する予定である。

* Tsunami deposits identified in Okushiri Island, southwestern Hokkaido, Japan
by Fumiya Hase, Nanase Matsumoto, Rina Okada, Koji Umeda

＜第1会場 セミナー室＞

— 第4部 (6題) —

司会：大野 晋 先生

12月23日(火) 14:15~15:45

GNSS 観測データに基づく箱根火山周辺における 非定常地殻変動のパターン分類*

田代惣一朗・道家涼介（弘前大学）・栗原亮（神奈川県温泉地学研究所）

1. はじめに

箱根火山は、フィリピン海プレート北端部に位置する活火山である。2001年群発地震活動以降、数年おきに群発地震活動とそれに伴う山体膨張がGNSS測位により繰り返し観測されている。これらの地殻変動は、山全体の成分はマグマや流体つまりの膨張を模した点圧力源で、局所的な成分は熱水が浅い地下に割れ目を作つて押し広げるさまを模した開口割れ目を用いたモデルによって説明された（代田ほか, 2009 火山；Kobayashi et al., 2018 EPSL）。一方、新しいより稠密なGNSS観測網を用いて、道家ほか（2024 JpGU）は2023年の地殻変動を解析した結果、箱根火山東部の足柄平野における東向きの変動が中央火口丘付近の変動に先行したことを発見し、その変動源は平野下の断層すべりである可能性を指摘した。箱根火山周辺の地殻変動には非火山性要因も含まれる可能性がある。

そこで本研究では、新しい知見に基づき、過去のGNSS観測データを見直し、箱根火山活動由来の変動とそれ以外に由来する変動を分類し、箱根火山周辺の地殻変動メカニズムを理解することを目的とした。具体的には、過去のGNSS観測データの時系列変化から箱根火山の地殻変動をいくつかのパターンに分類し、次に2019年の地殻変動についてモデル化を試みた。

2. 地殻変動パターンの分類

箱根火山全体の地殻変動を捉るために、箱根火山を横断する基線を設定した。その結果を基に、過去の群発地震活動に伴つて生じた全ての地殻変動イベントを対象に、パターンの分類を試みた。用いたデータは国土地理院GEONETのF5解で、用いた観測点は小田原観測点

（950230）、箱根観測点（93068）、裾野2観測点（960621）の3つである（図1右上）。これらの観測点間の距離（基線長）の時間変化をグラフ（図1）にし、その伸張・短縮のパターンから、地殻変動パターンを以下の3つに分類した：

- ① 小田原 - 裾野2（赤の基線）と箱根 - 裾野2（緑の基線）が伸張し、箱根 - 小田原（青

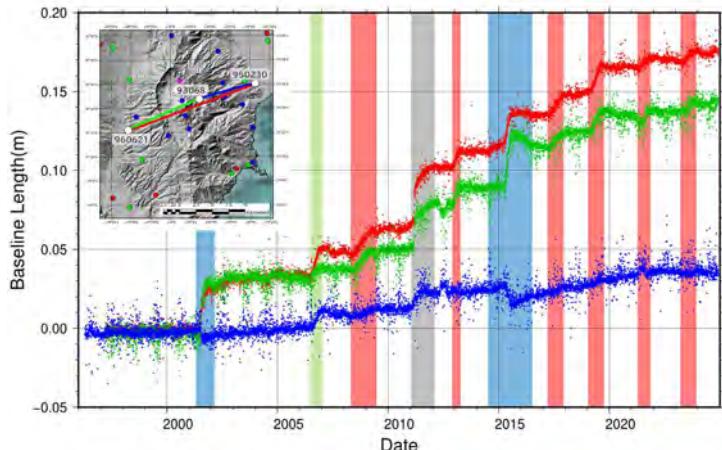


図1 箱根火山を東西に横断する3基線長の時系列変化
これらの観測点間の距離（基線長）の時間変化をグラフ（図1）にし、その伸張・短縮のパターンから、地殻変動パターンを以下の3つに分類した：

* Pattern classification of transient crustal deformation around Hakone volcano based on GNSS observational data by Soichiro Tashiro, Ryosuke Doke, Ryo Kurihara

の基線) が短縮するパターン (図 1 における青帯 ; 2001 年, 2015 年)

- ② 3 つすべての基線が伸張するパターン (緑帯 ; 2006 年)
- ③ 小田原 - 裾野 2 (赤) と箱根 - 裾野 2 (緑) が伸張するパターン (赤帯 ; 2008~2009 年, 2013 年, 2017 年, 2019 年, 2021 年, 2023 年)

パターン①に関しては、顕著な群発地震活動など他の様々な観測項目でも非定常的な現象がみられた時期と一致しているため、火山活動に関連した変動であることは疑う余地がない。小田原 - 裾野 2 基線が大きく伸張していることから、広域にはマグマ/流体だまりによる膨張する変動が見えていると考えられる。また小田原 - 箱根基線が短縮し、箱根 - 裾野 2 基線の伸長が小田原 - 裾野 2 より大きいことは、箱根観測点周辺の局所的な変動源によるものと考えられるため、パターン①は従来の研究通り、箱根火山活動による点圧力源と浅部開口割れ目により説明できると考えられる。

パターン②に関しては、すべての基線長が伸張していることから、比較的広範に影響を与える箱根火山深部のマグマ/流体だまりの膨張を反映していると考え、これは点圧力源で説明できる可能性がある。

一方、パターン③は、小田原 - 裾野 2 と箱根 - 裾野 2 の伸張は山全体が膨張していることを示唆するが、箱根 - 小田原に変化が見られないため、箱根火山東部が一体となって東に変位したものと考えた。このパターン③は、従来のモデルにおける点圧力源のような、箱根火山全体に変化をもたらす変動源によるものではなく、火山活動以外の変動源、例えば断層すべりのような、別の変動源が含まれるイベントである可能性がある。

3. 2019 年イベントのモデル推定

パターン③に該当する 2019 年の変動を対象に、(A) 深部点圧力源 + 浅部開口割れ目、(B) 足柄平野下断層すべり + 浅部開口割れ目の 2 系統のモデルを試した。変動源推定には気象庁の観測点及び温地研が独自に設置した観測点のデータを基線解析した温地研の定常解析を国土地理院 GEONET の F3 解に統合させたデータセット (Doke et.al., 2020 GSL SP) を用いて (図 3), 気象研究所が開発した火山用地殻活動解析支援ソフトウェア「MaGCAP-V」で逆解析により推定した。解析期間は 2019 年 2 月 19 日から同年 6 月 3 日である。

誤差が最小となったのはモデル A であったが、点圧力源が過度に深く、また体積変化量が大きく算出され、これは箱根火山から離れた地域の変動を無理に説明した影響と考えた。モデル B は変位を一定程度再現できたものの、観測値との誤差が大きくなってしまった。また、全体的に誤差が大きく、これはフィリピン海プレートの沈み込みに伴う複雑な定常変動が変動源推定を行う上で強いノイズとなってしまったからだと考えられる。

発表当日は、より詳細なモデル推定を行った結果も併せて報告する予定である。

推定モデル	推定したパラメータ	A	B1
茂木モデル(球状圧力源)	深さ[km]	20.5	-
	体積変化量[$\times 10^6 \text{m}^3$]	11.7	-
浅部開口割れ目	深さ[km]	1.3	5.2
	開口量[m]	0.04	0.15
断層すべり	深さ[km]	-	12.7
	すべり量[m]	-	0.01
	開口量[m]	-	0
	レイク[deg]	-	74
誤差二乗和総和[10^{-4}]		2.6815	6.0001

表 1 各モデルで推定された主要なパラメータ値
と誤差二乗和総和

岩手県営運動公園における直線アレイを用いて観測された 微動記録の 3 成分空間自己相関法による Love 波位相速度の推定*

岩手大学理工学部 安藤 佑真 山本 英和 齊藤 剛
株式会社昭和コンクリート工業 大向 歩
株式会社ジオシス 野田 克也 萬谷 亮平 鈴木 貴司

1. はじめに

微動アレイ探査で Love 波位相速度を利用できれば、モデル推定の精度向上に役立てることができる。また、観測には三角形型アレイを用いることが一般的だが、直線アレイを用いることで作業の効率化を図ることができる。本研究では、岩手県営運動公園で行われた 20 台のチェーンアレイ微動観測の記録を、10 台ずつ 2 本の直線アレイとして 3 成分空間自己相関法で解析を行い、Love 波位相速度の推定を行う。加えて過去の観測で Rayleigh 波位相速度が求められ、岩手県営運動公園の表層の地下構造は西側で速度が遅く、東側にかけて速いことがわかっている。(石塚, 2022) 本研究で解析する Love 波位相速度も場所により速度が変化するか検討する。

2. 観測

微動観測は 2024 年 8 月 19 日から 8 月 21 日にかけて、岩手県盛岡市の岩手県営運動公園で実施された。図 1 に観測地の位置と各測線配置の概略図を示す。5 本の測線で計 11 回の実験を行い観測した。東側南北方向測線(NS1)は 13m 間隔、西側南北方向測線(NS2)と北側東西方向測線(EW1)は 8m 間隔、南側東西方向測線(EW2)は一度目が 6m 間隔、二度目が 5m 間隔で測定された。また、アレイ間隔 10m の東西方向の直線アレイ微動探査が運動公園北側で行われた。図 2 に各測線のアレイ配置を平面直交座標でプロットした図を示す。今回 2 本の直線アレイと仮定する 2 重チェーンアレイのアレイ配置図をそれぞれ図 3 に示す。

3. 位相速度

図 4 に NS1 で観測された位相速度、図 5 に NS2 で観測された位相速度をそれぞれ示す。NS1、NS2 共に Rayleigh 波と Love 波の両方で連続性の高い位相速度を得ることができた。また、NS1 では位相速度の最大値が Rayleigh 波でおよそ 600m/s、Love 波でおよそ 300m/s であるのに対し、NS2 では Rayleigh 波でおよそ 300m/s、Love 波でおよそ 150m/s であり、約 2 倍の速度差がある。すなわち、過去の観測で指摘されていた岩手県営運動公園の地下構造変化に即した Love 波位相速度の推定を行うことができたと考えられる。今後は Rayleigh 波と Love 波、両方の速度を満たす S 波速度モデルの検討を行い、講演時に紹介する予定である。

* Estimation of Love wave phase velocities using three-component spatial autocorrelation method for microtremor records observed using a linear array at Iwate Athletic Park by Yuma Ando, Hidekazu Yamamoto, Tsuyoshi Saito, Ayumi Omukai, Katsuya Noda, Ryohei Manya and Takashi Suzuki

参考文献

大向歩ほか(2025)物理探査学会第 152 回学術講演会

石塚理央(2022)岩手大学理工学部卒業論文

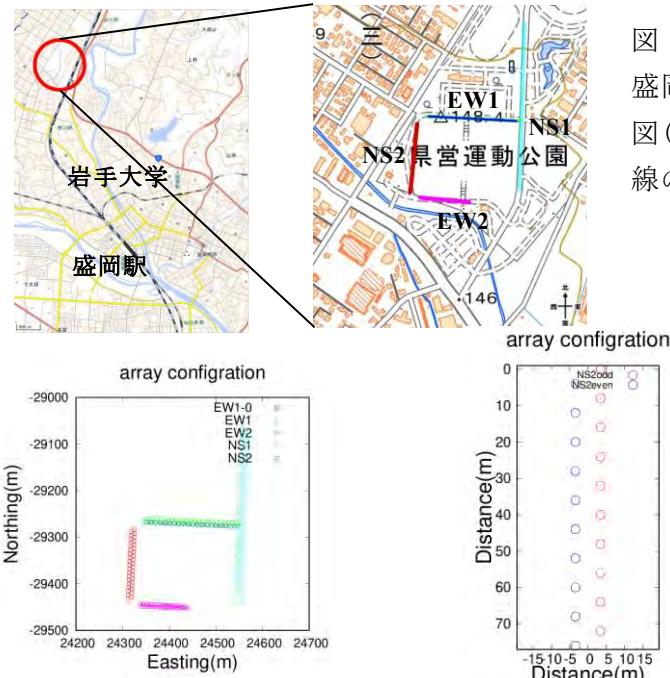


図 2

図 2. 岩手県営運動公園で行われた観測の各測線のアレイ配置図。緑が EW1, オレンジが EW2, 紫が NS1, 赤が NS2, 青が東西方向の直線アレイを示す。

図 3. NS2 のアレイ配置図(左図)と, NS1 のアレイ配置図(右図)。奇数番の直線を odd として赤丸で示し, 偶数番の直線を even として青丸で示す。

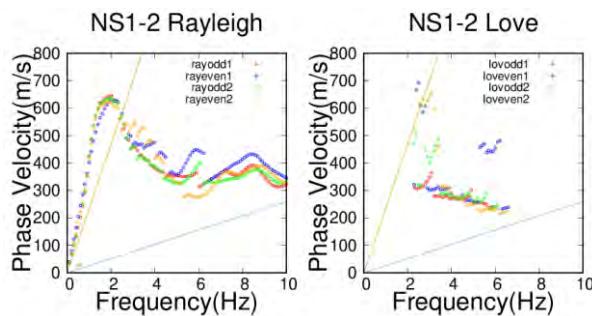


図 4

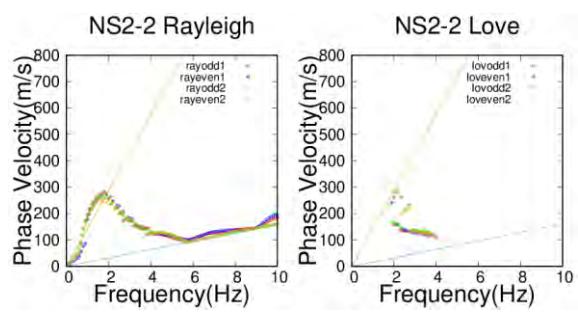


図 5

図 4. NS1 測線で観測された Rayleigh 波位相速度(左図)と Love 波位相速度(右図)の分散曲線。前半 30 分の odd の結果を赤, even を青, 後半 30 分の odd を緑, even をオレンジで示す。

図 5. NS2 測線で観測された Rayleigh 波位相速度(左図)と Love 波位相速度(右図)の分散曲線。前半 30 分の odd の結果を赤, even を青, 後半 30 分の odd を緑, even をオレンジで示す。

図 1.

盛岡市の岩手県営運動公園の位置を示した地図(左図)と, 岩手県営運動公園における各測線の位置を示した拡大地図(右図)。

水平微動から求めた回転成分アレイ記録による Love 波位相速度の

推定—3重同心正六角形アレイによる微動記録への適用—

岩手大学大学院 田村喬

岩手大学 山本英和・齊藤剛

岩手大学大学院 李偉璽

株式会社ジオシス 野田克也 萬谷亮平 鈴木貴司

1. はじめに

微動アレイ探査は、表面波の位相速度分散を利用して地盤の S 波速度構造を推定する方法であり、通常は上下動に含まれる Rayleigh 波が用いられる。もし Love 波も利用できればモデル推定の精度向上が期待できるが、水平動には Rayleigh 波と Love 波が混在するため、Love 波だけを抽出することは容易ではない。鉛直周りの回転動を利用できれば Love 波のみを検出可能である。吉田ほか (2022) では空間微分に基づき水平動並進成分から回転成分を複数算出し、Love 波位相速度の推定に成功した。ただしこの方法には多数の観測点数を持つアレイが必要となる。本研究では、半径が異なる 3 種類の正六角形アレイを同時配置して微動観測を実施した。得られた 6 点の回転成分記録から空間自己相関法 (SPAC) を適用し、Love 波の位相速度の検出を試みた。さらに、観測で得られた位相速度をモデルから計算した位相速度と比較することで、推定結果の妥当性を検証した。

2. 観測および解析

岩手大学理工学部野球場 (図 1) において、中心 1 点と半径 48 m (L), 24 m (M), 12 m (S) の 3 種類の正六角形アレイを用いた微動観測を実施した (図 2)。観測は 2024 年 8 月 17 日時 15 分～23 時 15 分に行い、Lenartz 社製 LE-3D/1s MarkII (固有周期 1 秒 3 成分速度計) を使用した。解析には、吉田ほか (2022) が示した 3 点の水平動から鉛直軸まわりの回転成分を算出する手法を用いた。中心を含む正六角形アレイからは、60° 間隔の 3 点の組から 6 つの正三角形が得られ、それぞれの三角形中心に対応する 6 点の回転成分を算出した。これらの回転成分記録に空間自己相関法を適用して Love 波位相速度を推定し、併せて上下動成分に対して同様に SPAC 解析を行い Rayleigh 波位相速度を求めた。なお、回転成分アレイの半径は元のアレイ半径の $1/\sqrt{3}$ となる。

3. 結果

図 3 に各アレイで得られた 180 分間で解析された位相速度の平均値を示す。各アレイで得られた位相速度の傾向は一致しており、アレイの半径が大きいほど低周波数を、小さいほ

Estimation of Love wave phase velocity from array records of rotational components obtained from horizontal microtremors by Kyo Tamura, Hidekazu Yamamoto, Tsuyoshi Saito, Li Wei Xi, Katsuya Noda, Ryohei Manya and Takashi Suzuki

ど高周波を観測できている。ばらつきの特徴として S アレイの高周波側では特にばらつきが小さく、高周波での推定精度が高いことが読み取れる。

図 4 に観測位相速度と山本 (2000) の S 波速度モデルから計算した位相速度を示す。観測されたラブ波の位相速度はモデル分散曲線と周波数 3Hz から 9Hz の範囲でほぼ一致し、特に中周波帯において適合度が高いことが示された。以上の結果より、回転成分を利用した Love 波位相速度推定の有効性が確認された。

参考文献

山本 (2000) 物理探査, 53, pp. 153 - 156., 吉田ほか (2022) 物理探査, 75, pp. 70 – 78.



図 1 観測点位置

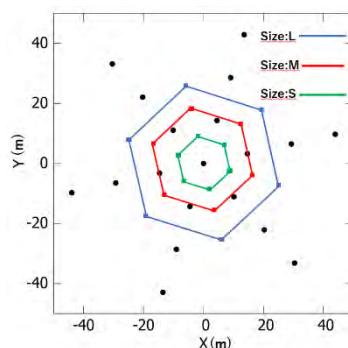


図 2 アレイ配置図
色のついた点は、中心
と 2 点からなる三角形
の重心。この位置で回
転を推定する。

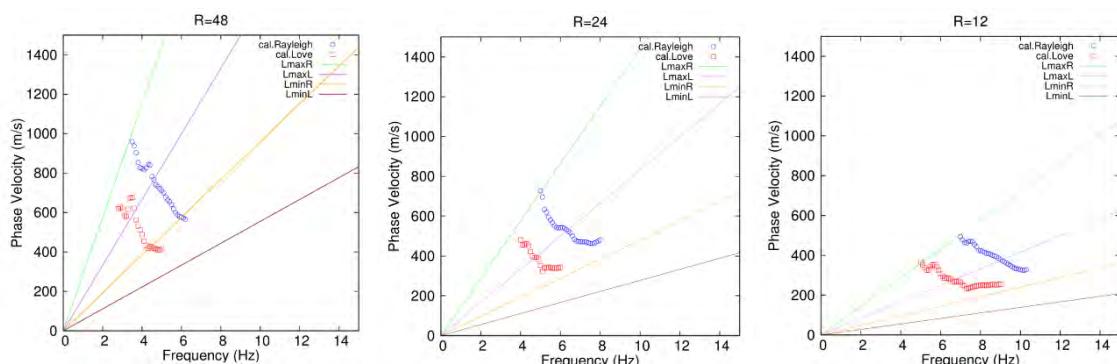


図 3 各アレイで得られた Rayleigh 波, Love 波位相速度。左から L,M,S。

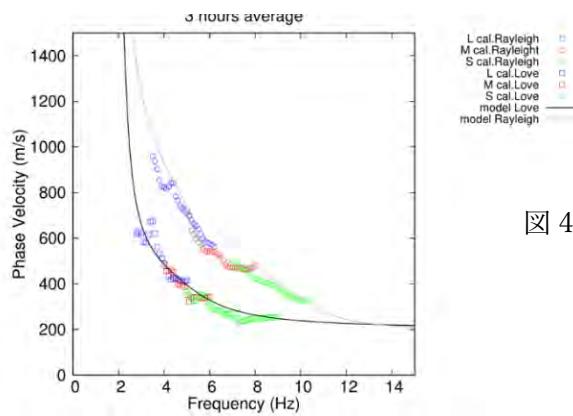


図 4 観測位相速度とモデル位相速度との比較

回転成分から求めた Love 波位相速度と並進成分から求めた Love 波位相速度との比較検討

岩手大学 ○町田鍊太郎, 山本英和, 齊藤剛
宮城県庁 鎌田昂樹
株式会社ジオシス 野田克也, 萬谷亮平, 鈴木貴司

1. はじめに

微動アレイ探査では、微動の上下動成分を利用することが多い、水平動成分はあまり利用されていない。水平動成分を用いた Love 波の位相速度の推定方法には、3 成分空間自己相関法 (SPAC 法) や周波数波数解析 (FK 法) などが適用されている。しかし、従来の 3 成分空間自己相関法 (SPAC 法) は Love 波の位相速度を独立に求めることができず、同時にパワー比を求める必要があり、解析が複雑である。また、周波数波数解析法 (FK 法) は、信頼性の高い結果を得るには、多数の観測点を要する。この問題に対し、水平動微動の「回転成分」を利用して Love 波を識別する新たな解析法が注目されている。吉田ほか (2022) は水平動アレイ記録の並進成分から回転成分を計算する ADR 法を提案した。山本ほか (2025) では岩手大学構内において、三角形アレイを連続展開する「2 重チェーンアレイ配置」を用い、水平動微動から回転成分を連続的かつ多点で計算する手法の妥当性を実証した。しかし、Love 波の位相速度の推定において回転成分と並進成分の解析結果にどれほどの違いが生じるのかに関する比較検証はこれまで実施されていない。本研究では、山本ほか (2025) の観測記録を用い、空間自己相関法 (SPAC 法) による回転成分の解析、周波数波数解析法 (FK 法) による水平並進成分の解析を行い、異なる両手法の Love 波位相速度推定能力の比較検討を行う。

2. アレイ観測

2024 年 8 月 18 日の岩手大学構内での 2 重チェーンアレイ配置微動観測の全観測点配置を (図 1) に示す。本研究では測線中央付近での観測微動を解析した山本 (2000) のモデルから計算した位相速度を比較対象とするため、測線



図 1 アレイ配置図

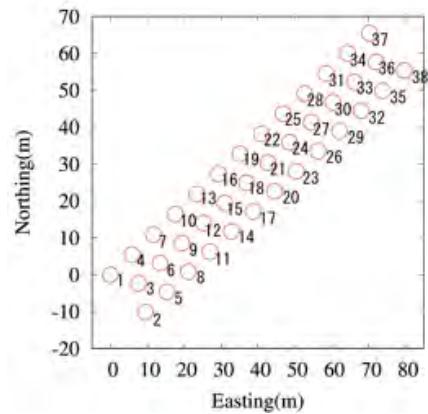


図 2 二重チェーンアレイ
観測での全観測点配置図
(Northing は真北を示す)

*Comparison of Love wave phase velocities obtained from rotational and translational components by Rentaro Machida, Hidekazu Yamamoto, Tsuyoshi Saito, Koki Kamada, Katsuya Noda, Ryohei Manya and Takashi Suzuki

中央付近の観測点番号（図2）10から29の微動データを使用した。微動計はレナーツ社の3成分速度計 LD-3Dlite-MK II, ロガーには GSX-3 を使用した。サンプリング周波数は 250Hz とした。

3. 解析

6点からなる三角形配置の微動計で観測された微動の水平動成分を用いて、中心に1点、三角形型の3点の合計4点の回転成分を、吉田ほか（2022）の方法で計算する。そして、回転成分4点アレイ記録を作成し、SPAC法でLove波位相速度を推定する。次に同じ6点の観測点から観測された水平動微動の並進成分をFFTによりクロススペクトルを求め、FK法（齋藤, 2007）により位相速度を推定する。図3のFKスペクトルは観測された微動の波動場の特性を示しており、解析対象の周波数帯において、観測地点周辺の微動は東から南にかけて到来方向が複数あることが分かる。次に、水平並進成分（FK法）および回転成分（SPAC法）から推定されたLove波位相速度の分散曲線をアレイ半径に応じた検出可能周波数帯において同一地点の山本（2000）のモデル位相速度と比較した（図4）。水平並進成分（FK法）は、全体的に位相速度が速くなっている。これは、水平並進成分の解析ではラブ波とレイリー波の分離がうまくいかなかったためだと考えられる。また、高周波数帯ではモデルと整合性を示したが、低周波数帯になるにつれて、速度の過大評価を示した。これはアレイの最大サイズ不足により、分解能が低下し、複数の到来方向を持つ波動場を分離できず、見かけの速度が速く検出されたためだと考えられる。一方、回転成分（SPAC法）は、Love波位相速度の推定結果が山本（2000）のモデル位相速度と概ね一致している。これは、回転成分がレイリー波の混入を最小限に抑え、ラブ波にのみ焦点を当てているためだと考えられる。さらに、SPAC法が方位平均により、推定結果に統計的な安定性を提供しているためだと考えられる。以上の結果から回転成分は純粋なラブ波位相速度推定することに優位であることが示された。

参考文献

- 吉田邦一ほか（2022）：物理探査, 75, 70-78.
 山本英和ほか（2025）：物理探査学会第153回学術講演会
 山本英和（2000）：物理探査, 53, 153-166.
 齋藤正徳（2007）：物理探査, 60, 297-304

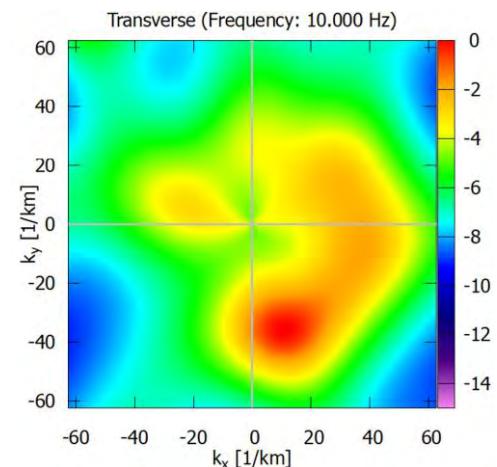


図3 測点中央での10HzのFKスペクトル

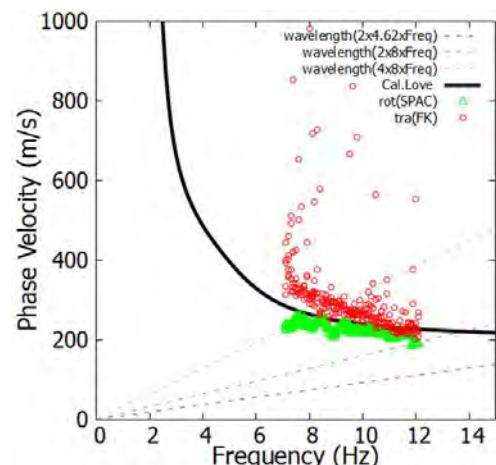


図4 測線中央での水平並進成分からのLove波位相速度（赤点）、回転成分からのLove波位相速度（緑点）、山本（2000）のモデルから計算したLove波位相速度（黒線）

十和田火山周辺の微小地震活動様式：深層学習に基づく再検討*

弘前大学大学院理工学研究科 鈴木 莉・前田拓人・平野史朗

1. はじめに

地震波形の記録から微小地震も含めて数多くの地震を検出することができれば、より詳細な断層破壊の形状、時空間変化を捉えることが可能になる。したがって、微小地震も含むより詳細な地震カタログの作成は地震活動を調べる上で重要になる。気象庁で公開されている一元化震源カタログ（以下、気象庁カタログ）は 2016 年 4 月以降、自動で検測を行い震源決定の後に精査するというフローのもと、その検知能力は目視検測以上である。しかし、この検知能力の高いカタログでも、低 SN 比な微小地震、P 相、S 相が不明瞭な低周波地震などの地震は見逃してしまう場合がある。近年では、深層学習を活用した自動検測技術が開発され、従来の自動検測手法よりも高い検知能力を持つ。多くの地域では、この技術を用いることで大量の地震イベント数の検知が可能なことがいくつかの先行研究で示されている。

本研究で対象とする十和田火山は、秋田・青森両県にまたがる二重のカルデラを持つ活火山である。近現代における火山活動は低調であったが、ここ数年は火山性地震の一時的な増加、火山性微動、地殻変動が確認され、活動の活発化がやや目立つ。火山地域で発生する地震にはP相、S相が明瞭な地震に限らず、多様な地震が観測されるため気象庁カタログでも見逃している可能性が高い。本研究では、それらのイベントを深層学習に基づく自動検測技術で検知し、当該地域の活動様式を詳細に明らかにすることを目的とする。本発表では、当該地域に対する深層学習に基づく自動検測技術を活用した地震カタログの構築について紹介する。

2. データ・手法

本研究は、十和田火山周辺に設置の観測点に記録されている連続波形データを用いた（図1）。使用するデータの期間は2023年1月1日から2024年12月31日までとした。連続波形データから、P相、S相の到達時刻を読み取るために、Zhu and Beroza (2018) によって開発された自動検測モデル PhaseNet を使用した。このモデルは3成分の地震波形を入力すると、入力波形中のP相、S相の到達を確率として予測する。本研究では、日本の地震波形データに特化した再訓練モデル (Naoi et al., 2024) を用いた。

まず、1時間ごと切り出した3成分の観測波形をモデルに入力して、予測されたP相、S相の確率分布に対して、分布のピークが0.025をこえた場合に地震波の検出の可能性があったとみなし、その時刻をP相もしくはS相の到達した

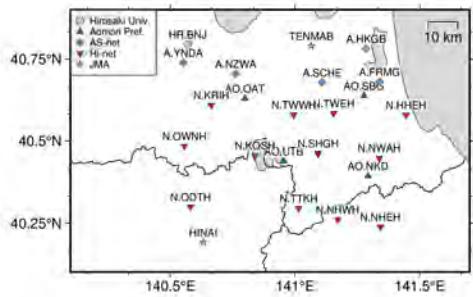


図1 本研究で使用した観測点の分布。凡
例は、観測網 (Hi-net, AS-net, 気象
庁, 青森県, 弘前大学) を示す。

* Revisiting microseismic activity around Towada volcano by deep learning by Shiori Suzuki et al.

時刻とした。次に、検測値から地震イベントを検出するために、位相関連付けアルゴリズム REAL (Zhang et al., 2019) を用いて、検測値を单一の地震イベントに関連付けを行った。このアルゴリズムは、複数の観測点における独立な検測値群の同一の地震イベントへの関連付けと、震源決定を同時にを行うものである。地震イベントの位置は、関連付けられた観測点の個数が最も多く、かつ走時残差が最小となるようにグリッドサーチによって推定される。本研究では、最も早く P 波が到達した観測点を中心とし、水平方向 0.1 度、深さ方向 20 km の範囲で探索を行った。REAL の主目的は各観測点の検測値の関連付けであり、震源の推定自体は単純な構造による仮のものである。そこで、REAL の震源位置を初期震源とし、そのイベントに関連づいた検測値を用いて、あらためて Hirata and Matsu'ura (1987) による非線形インバージョンによる震源決定プログラム hypomh を用いて震源位置を推定した。

3. 結果

対象の期間中、PhaseNet によって約 4000 万個の P 相、約 4300 万個の S 相を検出した。これらの検測値から、地上に震源が特定されたものを除き、さらに、十和田火山周辺だけに範囲を限定すると、最終的に 1628 個の地震イベントが残った (図 2)。気象庁カタログでは、同期間、地域では 962 個の地震イベントが特定されている。気象庁カタログと本研究で構築したカタログを比較すると、本研究で特定したイベントの中には、気象庁カタログ全体の 78% に当たる 754 個のイベントが同じように特定されていた。一方で、気象庁カタログには見られない一様に広がる分布や十和田の南西部に集中するクラスタなどが存在していた (図 2)。

4. 考察

PhaseNet によって期間中に数多くの位相を検知したが、震源の分布は、気象庁カタログで検知しているものと部分的に一致するも一様に広がる結果となった。これは、検出とみなすために設定した閾値が低かったことに加え、関連付けの段階でノイズ由来の誤検出を除去しきれなかったためであると考えられる。また本研究で構築したカタログ中の十和田南西部にあるクラスタは、そのほとんどが決まった時間で発生していた。またクラスタの波形は、共通して P 相付近の振幅は押しで記録されていた。したがって、このクラスタは断層運動でない人工ノイズに起因するものと予想する。このような断層運動以外のイベントが特定されてしまうのは避けられないと考えられる。よって、閾値の最適化やカタログの品質を管理する処理を施すことで、十和田火山周辺の詳細な活動の把握につながると期待される。

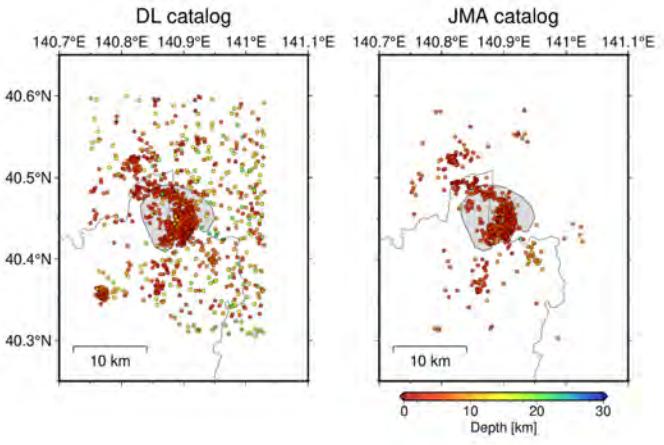


図 2 対象期間、地域における 2 つのカタログから得られた震央分布図。左が本研究で得られたカタログ。右が気象庁一元化震源カタログ。色は震源の深さを表す。

東北地方日本海東縁の地震における S 波エンベロープ拡大現象*

弘前大学大学院理工学研究科 楠美 紀公・前田 拓人・平野 史朗

1. 背景

震源から放射される地震波はインパルス的であるが、地球内部の不均質性に起因する地震波散乱によりその形状が崩れて紡錘形を呈した地震波形がしばしば観測される。これまでの研究により、地震波包絡線の S 波領域拡大（以下、S 波エンベロープ拡大）が、短波長不均質構造に起因することがわかってきており。この、S 波エンベロープ波形から地球内部の不均質性を評価する試みは複数存在する。しかしながら、東北地方におけるその解析はもっぱら沈み込む太平洋プレート周辺の地震に対して行われており、東北日本の日本海東縁で発生した地震についての解析例は存在しないようである。そのため、背弧および、日本海下における S 波エンベロープ拡大の特性については十分に理解が進んでいない。さらに、東北日本の日本海東縁浅部で発生した地殻内地震についても、インパルスが崩れた波形が観測されていることがわかつってきた。本研究は、このような領域で発生した地震の観測波形を用いて、S 波エンベロープ拡大の地域性を調査した。

2. データ・手法

本研究では、気象庁の一元化震源カタログ、防災科学技術研究所の Hi-net 高感度地震観測網の速度波形データを使用した。解析対象の地震は 2004 年 4 月から 2023 年 4 月の間に東北日本の日本海東縁変動帯下浅部で発生したものである。マグニチュードの範囲は 3.0 から 5.5 とした。震源の深さは深発地震を除外する目的で、70 km 以浅であるという制限を与えた。結果、解析対象地震は 337 個となった（図 1）。

S 波エンベロープ拡大を特徴づける指標はいくつか存在するが、従来の指標よりもばらつきが小さく安定した指標であるエンベロープ継続時間 (T_{90}) を用いた。まず、波形のトレンドを除去し、水平動 2 成分の波形にそれぞれ 2–4, 4–8, 8–16, 16–32 Hz の 4 つの周波数帯のバンドパスフィルタをかけた。続いて、各周波数帯で 2 乗和を計算した。2 乗振幅の中心周期の 2 倍のサンプル数で移動平均をとって各周波数帯におけるトレースを平滑化した。得られた MS エンベロープ波

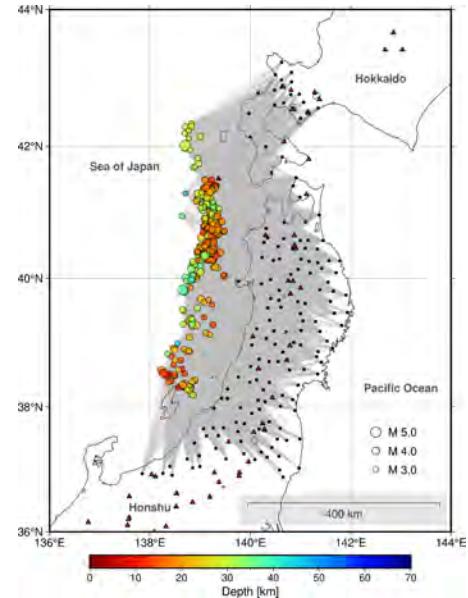


図 1 使用した Hi-net 観測点（黒点）と震央（円）の分布。三角形は火山の位置である。円の色は震源の深さを表し、大きさはマグニチュードを表す。灰線は波線経路である。

* S-wave envelope broadening for earthquakes in the eastern margin of the Sea of Japan in Tohoku region by Kazutaka Kusumi et al.

形を時間積分し、全積分量の 5%から 95%に至る時間である T_{90} を計算した。各イベント・観測点ペアの波線で定まる T_{90} の震源距離依存性を対数回帰直線により求め、波線ごとに求めた偏差である $\Delta \log_{10} T_{90}$ を計算した。そして、対象地域を 10 km ごとのグリッドに分割して、波線経路ごとに $\Delta \log_{10} T_{90}$ を割り当てた。最後に、各グリッドを通るすべての波線の $\Delta \log_{10} T_{90}$ の値のうち、最小値の外れ値を回避するために第一四分位数をその空間グリッドの代表値とし、S 波エンベロープ拡大の地域性を見積もった。

3. 結果

T_{90} は震源距離と共に増加する傾向が確認された。このような S 波エンベロープ拡大の震源距離依存性は、先行研究でも明らかになっている。図 2 は、各周波数帯における $\Delta \log_{10} T_{90}$ の空間分布の下位 25% 分布である。全周波数帯において、わずかな空間変化ではあるが、男鹿半島沖から鳥海山に至る地域で周囲のグリッドに比べて相対的に値が大きくなっていることが確認された。さらに、北海道南西部、十和田周辺、岩手山周辺、栗駒山周辺、鳥海山周辺では、偏差が正の値になる傾向が得られた。このように相対的に大きな $\Delta \log_{10} T_{90}$ の値が得られた地域では、S 波エンベロープ拡大を生じさせる不均質構造や減衰構造が存在する可能性がある。

4. 議論

S 波エンベロープ拡大の地域性と火山分布との対応関係については、東北日本を対象とした先行研究でも示されており、本研究でも同様の傾向が確認された。また、日本海沖で相対的に指標値が大きくなった領域を通過する波線経路では、インパルスが崩れた波形が複数確認された。一方で、今回使用した地震の多くは浅部で発生したものであり、観測される S 波エンベロープ拡大には散乱波だけでなく、モホ面などでの反射波や屈折波も含まれていると考えられる。このような散乱波以外の寄与を明確に切り分けるためには、地震波動伝播シミュレーションにおいて、長波長成分と短波長成分からなる不均質構造をそれぞれ個別に、あるいは組み合わせて仮定し、その影響を対照的に評価する手法が有効であると考えられる。

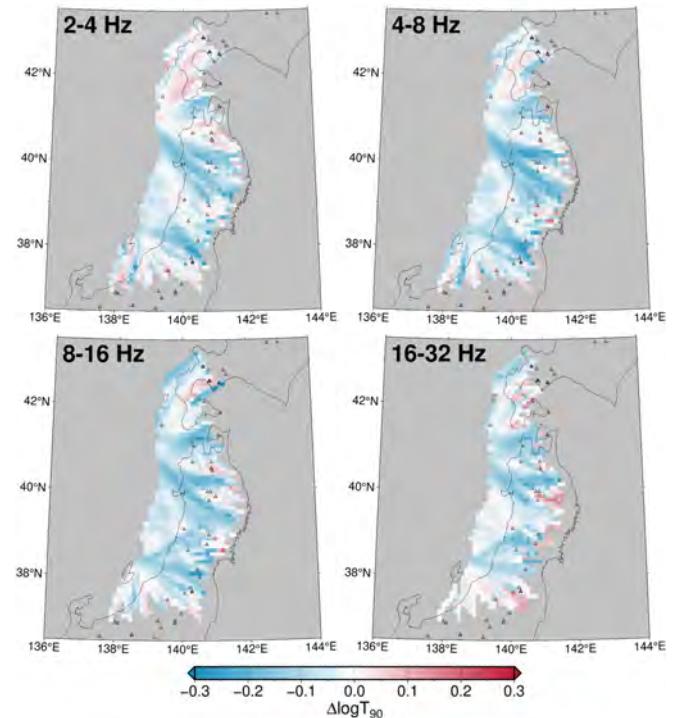


図 2 各周波数帯における $\Delta \log_{10} T_{90}$ の下位 25% 分布。グリッドの赤色が濃くなるほど、偏差の正の値が大きいことを示す。調査対象外のグリッドは灰色で示される。三角形は火山の位置である。