

令和 5 年度
東北地域災害科学研究集会
講演予稿集

開催：令和 5 年 12 月 26 日(火) ・ 27 日(水)

会場：秋田大学工学部 1 号館

<第1会場>

秋田大学工学部 1号館 共通 127室

第1部 12月26日(火) 13:00~14:30

(司会: 佐藤 健先生)

第2部 12月27日(水) 10:00~12:00

(司会: 岡田 真介先生)

第3部 12月27日(水) 13:00~14:45

(司会: 大野 晋先生)

第4部 12月27日(水) 15:00~16:30

(司会: 岡田 里奈先生)

R5年度東北地域災害科学集會 発表プログラム 第一会場(共通127室)

12月26日(火) (共通127室)	【第1部】司会: 佐藤 健 先生			
	第1部	13:00-13:15	2011年東北地方太平洋沖地震の際の津軽平野における長周期の地震動の振動分布	○小田島智弘(弘前大学大学院地域共創科学研究科)、片岡俊一(弘前大学)
		13:15-13:30	東北地方の酒蔵の地震被害 - 日本醸造協会誌の被害報告からのまとめ -	○鏡味洋史(北海道大学(名))、水田敏彦(秋田大学地域防災減災総合研究センター)
		13:30-13:45	1914年秋田仙北地震における由利郡の被害 - 郷土誌邑知にみられる震災記録	○水田敏彦(秋田大学地域防災減災総合研究センター)、鏡味洋史(北海道大学(名))
		13:45-14:00	大学附属図書館における貴重図書地震被害と実態把握	○嶋田瑠美子(東北大学大学院工学研究科)、佐藤健、柴山明寛(東北大学災害国際研究所)
		14:00-14:15	東日本大震災からの復興を支えた復元力の要因 - 宮城県山元町を事例として -	○岩佐優穂子(山形大学人文社会科学部)、本田広樹(山形大学人文社会科学部)
		14:15-14:30	災害時に避難所として利用される公共建築物の被災がもたらす被害・事故等の想定 - 建築基準法に基づく定期報告内容を通して -	○若狭潤一(岩手大学大学院総合科学研究科/秋田県庁)、福留邦洋(岩手大学地域防災研究センター)
	14:30-15:00	休憩		
	15:00-17:10	公開講演(共通127室)		

12月27日(水) (共通127室)		9:00~9:50	地区総会(共通127室)	
	【第2部】司会: 岡田 真介 先生			
	第2部	10:00-10:15	地下構造探査から明らかになった仙台平野南部の伏在活断層	○岡田真介(岩手大学)、岡田知己(東北大学)、越谷 信(岩手大学)、住田達哉(産業技術総合研究所)、新沼徹徳、田中美咲、平出裕博(元岩手大学)
		10:15-10:30	仙台平野南部伏在活断層の震度予測の試み	岡田知己(東北大学大学院理学研究科 地震・噴火予知研究観測センター)、岡田真介(岩手大学理工学部)
		10:30-10:45	重力調査による山形県庄内平野の伏在活断層の解明	○佐々木直史、越谷 信、岡田真介(岩手大学)、梅本健太郎(バシフィックコンサルタント)、佐々木亮輔(東日本高速道路)、中里 颯(土木技研)、佐藤比呂志、石山達也、加藤直子(東京大学)
		10:45-11:00	重力探査による北上低地帯北部から奥羽脊梁山脈にかけての地域における地下地質構造の解明	○岡田精平、越谷信、岡田真介、佐々木洋輔(岩手大学)、滝本彩乃(岩手大学、現:中日本ハイウェイエンジニアリング東京(株))、大坊尚弘(岩手大学、現:東京都庁)、増澤良(岩手大学、現:国土交通省東北地方整備局)、中里颯(岩手大学、現:(株)土木技研)
		11:00-11:15	水平動微動アレイ記録から求めた回転成分によるラブ波位相速度の推定の試み - 盛岡市内で観測された記録を用いた検証 -	○山本英和、董迎聖(岩手大学理工学部)、李偉壁(岩手大学大学院)、齊藤 剛(岩手大学理工学部)
		11:15-11:30	稠密微動アレイ探査による岩手県盛岡市中心部におけるS波速度速度構造の推定	○及川兼史朗、田村全、齊藤剛(岩手大学総合科学研究科)、山本英和、李偉壁(岩手大学理工学部)、
		11:30-11:45	サイト増幅特性がマグニチュード推定に及ぼす影響:観測点-平均マグニチュード偏差に基づく検討	堀井信之介、前田拓人、高野智也(弘前大学大学院理工学研究科)
	11:45-12:00	日本海東縁部における震源深さの再検討	○小菅正裕(弘前大学理工学研究科)	
		12:00-13:00	昼食	
	【第3部】司会: 大野 晋 先生			
	第3部	13:00-13:15	地震規模を考慮した地震波スペクトル形状による日本海東縁で発生する地震の特徴	○片山藍貴、前田拓人、高野智也(弘前大学大学院理工学研究科)
		13:15-13:30	常時微動の地震波干渉法解析に基づくRayleigh波位相速度を用いた福島県における3次元S波速度構造の逆解析 - その2 -	○田村全(岩手大学大学院総合科学研究科)、泉川大和、山本英和、齊藤剛(岩手大学理工学部)
		13:30-13:45	地震波干渉法に基づく岩木山周辺の地下構造長期間モニタリングの試み	成田朱音、前田拓人、高野智也(弘前大学大学院理工学研究科)
		13:45-14:00	二次元谷地形の地震応答の特徴	賈川瑠璃(弘前大学大学院地域共創科学研究科)、片岡俊一(弘前大学)
		14:00-14:15	仙台市を対象とした機械学習による準即時地震動スペクトル分布推定	大野晋(東北大学災害科学国際研究所)
		14:15-14:30	エキスパンションジョイントを挟んだ2地点間の相対地震応答変位について	○水野智貴(弘前大学大学院地域共創科学研究科)、片岡俊一(弘前大学)
		14:30-14:45	広帯域地震波記録の粒子軌跡解析に基づく脈動起源の時空間変動の追跡:令和元年東日本台風への適用	下間翔太、前田拓人、高野智也(弘前大学大学院理工学研究科)
		14:45-15:00	休憩	
【第4部】司会: 岡田 里奈 先生				
第4部	15:00-15:15	秋田県および山形県沿岸域にみられるイベント堆積物の成因と分布に関する再検討	○角舛祥、鎌滝孝信、石塚桃恵、川田駿、和田凌汰(岡山理科大学理学部)	
	15:15-15:30	青森県鰹ヶ沢町の沖積低地で見出された津波堆積物	鈴木勇斗、岡田里奈、梅田浩司(弘前大学理工学部)、鎌滝孝信(岡山理科大学)	
	15:30-15:45	鹿鹿半島、一ノ目潟の年縞堆積物に挟まれるイベント堆積物の特徴	永田篤規、梶田展人、梅田浩司(弘前大学)、安藤卓人(秋田大学)	
	15:45-16:00	クッタラ火山、Kt-3テフラの層序と噴出物の化学組成	花田一秀(弘前大学理工学部)、近藤美左紀、梅田浩司(弘前大学理工学研究科)	
	16:00-16:15	八郎潟干拓地に湧出する高濃度リン酸の回収に適した副産物の探索 第2報	○南田悠、齋藤憲寿、加賀谷史(秋田大学大学院理工学研究科)	
	16:15-16:30	4種の鉄鋼スラグによる田沢湖水の中和及びその性能比較	○加賀谷 史、齋藤 憲寿、南田 悠、網田 和宏(秋田大学大学院 理工学研究科)	

<第1会場 共通127室>

— 第1部 (6題) —

司会：佐藤 健 先生

12月26日(火) 13:00~14:30

2011 年東北地方太平洋沖地震の際の

津軽平野における長周期の地震動の振動分布

○弘前大学大学院地域共創科学研究科 小田島智弘

弘前大学 片岡俊一

2011 年東北地方太平洋沖地震の際の車力町観測点における震度は周辺の観測点に比べやや大きかった。その理由として、NS 成分に周期 2 秒程度のパルス的な位相の影響が考えられる。また、1983 年日本海中部地震の際に津軽平野の中心部に位置する津軽大橋観測点の記録も周期 2.5 秒の地震動が卓越していた。そこで、本研究では 2011 年東北地方太平洋沖地震の際の津軽平野の長周期地震動について検討した。そのために、18 カ所の震度計の記録、3 カ所の K-NET 観測点の記録、1 カ所の気象観測点の記録を収集した。ここでは長周期地震動として振動数が 0.2Hz から 0.5Hz の範囲を取り上げる。また、観測は加速度成分であるが、以下ではそれを積分して 0.1Hz から 1.2Hz のバンドパスフィルターを施した速度波形で考察した。

卓越する振動数成分を確認するために、全地点の記録が同等に比較できる S 波初動から 140 秒間を対象にフーリエスペクトルを求めた。さらに、スペクトルを 0.2Hz(図 1), 0.3Hz(図 2), 0.4Hz(図 3), 0.5Hz(図 4)を中心としたバンド幅 0.6Hz の帯域に区切り、その帯域のスペクトル振幅の平均値を求め、空間分布を比較した。その結果、各観測点の場所によって卓越振動数が異なっていた。津軽平野の南部に位置するつがる市木造観測点から青森鶴田町鶴田観測点にかけては水平動では 0.2Hz と 0.3Hz, 上下動でも 0.2Hz と 0.3Hz 程度の成分のものが卓越していることがわかった。また、0.2Hz においてもつがる市柏観測点や気象庁観測点の五所川原栄町、K-NET 五所川原では観測点同士の距離が近いにも関わらず、振幅の大きさが大きく違うこと、青森市浪岡観測点は 0.2Hz の成分のスペクトル振幅の値が周辺の観測点に比べて大きいこともわかった。

次に地震ハザードステーションで公開されている深部地盤構造(以下、J-SHIS モデル)と観測結果を比較してみた。まず、J-SHIS モデルを用い、鉛直入射する SH 波の増幅倍率を求めた。その増幅倍率を観測結果の分析と同様に 0.2Hz, 0.3Hz, 0.4Hz, 0.5Hz を中心としたバンド幅 0.6Hz の帯域に区切り、その平均値を求め、観測結果と比較した。その結果、両者は概ね対応するものの、0.2Hz においては弘前市賀田観測点、K-NET 弘前、つがる市森田町観測点、気象庁観測点の五所川原栄町、青森市浪岡観測点が観測記録と増幅倍率の平均値との対応が悪かった。0.3Hz においては弘前市賀田観測点、K-NET 弘前、藤崎町西豊田観測点、田舎館村田舎館観測点、0.4Hz においては平川市柏木観測点、K-NET 五所川原、五所川原市金木町観測点、0.5Hz においては平川市柏木観測点、青森市浪岡観測点の観測記録と増幅倍率の平均値との対応が悪かった。

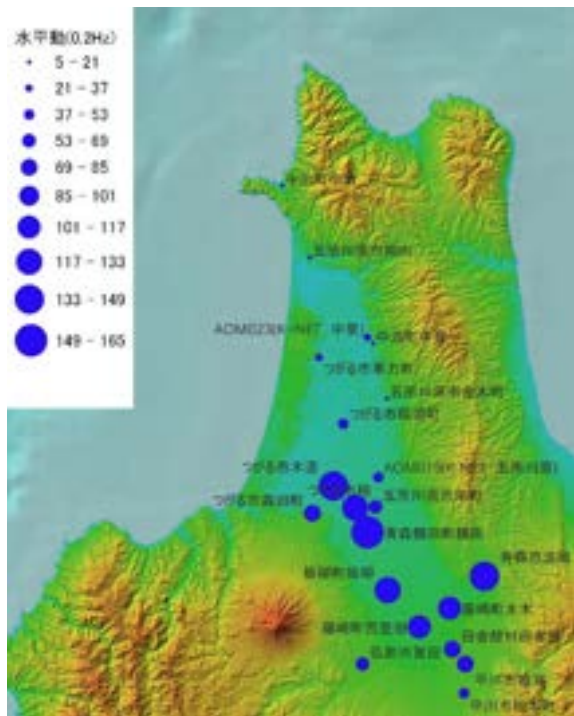


図1 観測記録の水平動 0.2Hz

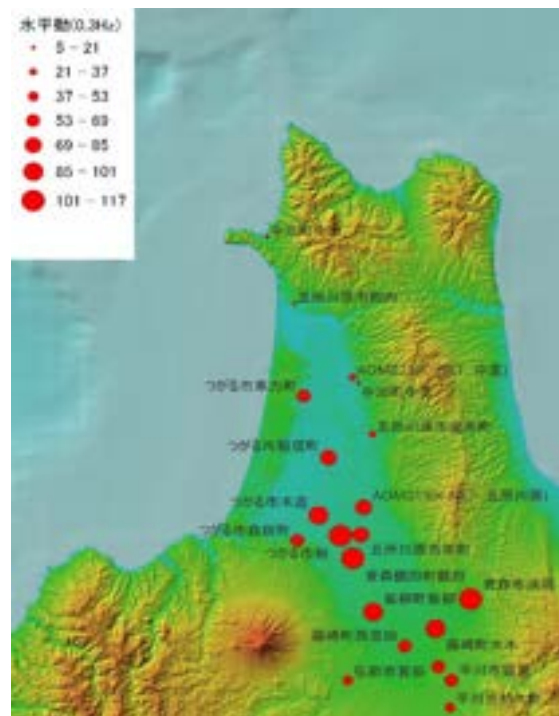


図2 観測記録の水平動 0.3Hz

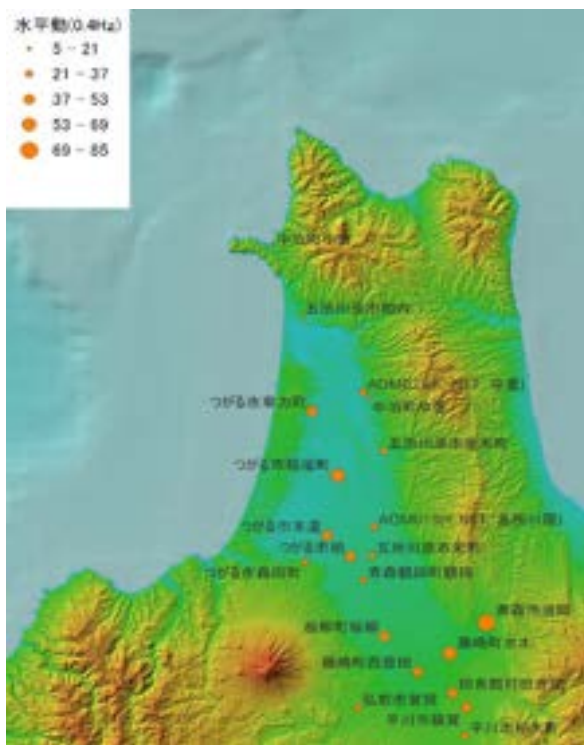


図3 観測記録の水平動 0.4Hz

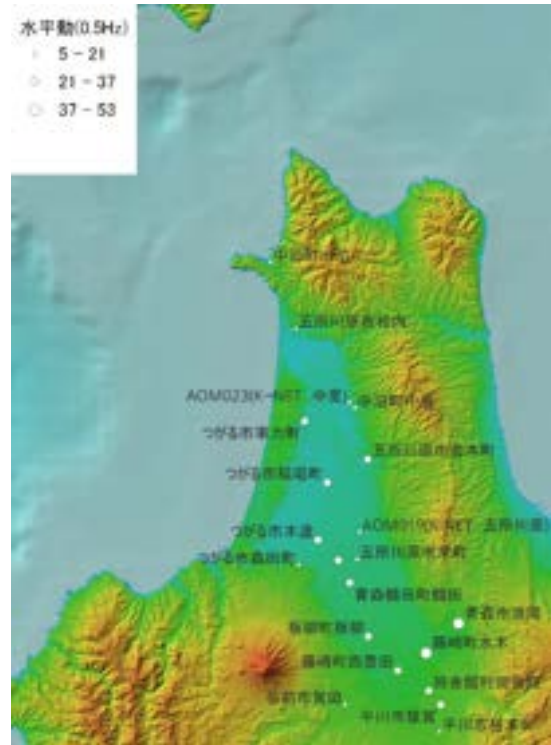


図4 観測記録の水平動 0.5Hz

東北地方の酒蔵の地震被害

－日本醸造協会誌の被害報告からのまとめ－*

北海道大学 鏡味 洋史

秋田大学地域防災減災総合研究センター 水田 敏彦

1. はじめに

地震災害の報道の中で酒店や小売店での酒瓶の落下・散乱被害や醸造場の被害はしばしば大きく報道される。しかし、地震被害調査報告書の中では大きく取り上げられることは少ない。被害統計では商工被害として一括して集計されていることが多い。筆者らは 1963 年越前岬沖地震の被害に関する文献調査を行った際、日本醸造協会誌に同地震の被害の報告があり、局所的な地震にかかわらず福井県を中心に石川県、富山県の広い範囲に被害が及んでいたことを知った¹⁾。東北地方は酒造業が盛んで多く被害地震のたびに被害が発生している。ここでは日本醸造協会誌を紐解き被害報告を纏めてみる。

2. 日本醸造協会

日本醸造協会は同ホームページ²⁾によるとは、設立は古く 1906 年に醸造協会として設立され、醸造協会雑誌（現在の日本醸造協会誌）の発行、全国品評会の開催、酒造講習会の開催などの事業を行ってきたとしている。月刊誌として「醸造協会雑誌 Vol.1-9」、1915 年から「日本醸造協会雑誌 Vol.10-82」、1988 年から「日本醸造協会誌 Vol.83-」として現在に至っている。

3. 日本醸造協会雑誌の地震被害に関する報告

被害地震発生に伴う報告は、地方の国税局の報告として酒造場の被害と清酒などの亡失量の把握報告がなされている。国税庁は国内を 12 地区に区分し国税局を設置している。仙台国税局項税局が東北 6 県を管轄している。以下に、地震ごとに東北地方の報告の概要を示す。

3.1 1964 年新潟地震³⁾ 1964 年新潟地震については詳細な報告がなされている。特に被害の大きかったのは山形県鶴岡市大山町、酒田市の一部、秋田県由利郡の海岸端の製造場である。大山町には清酒製造場が 5 場あり、明治の中頃建てられた漆塗りの土蔵の壁は全部内外とも落下していた、開放式貯蔵タンクに被害が多かったことを指摘している。

3.2 1968 年十勝沖地震⁴⁾ 作業場内で負傷者 4 名があったことを報告している。建物被害は青森太平洋側で見られ土蔵壁脱落、煙突 4 本の被害があった。亡失は合計 131kl 余で大部分が貯蔵原酒の亡失で小売業関係では 92kl 余りであった。

3.3 1978 年宮城県沖地震⁵⁾ 建物被害は屋根瓦、壁の脱落が多い。管内の 63 業者にて、49.6 kl の亡失があり、宮城県内の亡失が、全体の 68.5%であった。密閉タンクは亡失なく開放タン

* Earthquake damage to sake breweries in the Tohoku region - Summary of damage reports from the Journal of the Society of Brewing, Japan - by Hiroshi KAGAMI and Toshihiko MIZUTA

クのみであった。宮城県内に 2 ビール工場あり倉庫内に山積みしてあった製品に壊滅的な被害を受けた。

3.4 1983 年日本海中部地震⁶⁾ 秋田管内の被害は建物全半壊 3, 蔵壁の剥離 6, 煙突の破損 12, 酒類の流出場 39 (清酒 36), 同流出量 160kl (清酒 158) であった。青森県下では建物全半壊 2 場, 煙突の破損 7 被害, 酒流出があった。昼過ぎの地震で工場内の人身事故はなかった。これら 4 地震の被害を比較して表 1 に示す。

表 1 4 地震の被害の比較

	新潟地震	十勝沖地震	宮城県沖地震	日本海中部地震
発生日・時	1964.6.16 13 時	1968.5.16 9 時	1978.6.12 17 時	1983.5.26 12 時
M	7.5	7.9	7.4	7.7
全体被害	死者 26 全壊 1960	死者 52 全壊 673	死者 28 全壊 1183	死者 104 全壊 934
報告書巻号	59-9	64-2	73-7	78-8
主被災県	山形・秋田・福島	青森	宮城	秋田・青森
建物	土蔵壁落傾斜 煙突変形	土蔵壁脱落 煙突 4 本	壁剥落, 瓦落下 煙突破損	土蔵壁落下 煙突被害
亡失	127 kl	131 kl	49 kl	160 kl
人的被害	なし	避難時 4 人負傷	なし (終業直後)	なし (昼休)

3.5 その他の地震 上記の地震の他に, 1962 年下北半島の地震 (広尾沖地震) では青森県下北で亡失, 1962 年宮城県北部地震では宮城・岩手県で酒類の亡失, 1962 年岩手県沿岸地震では岩手県内の工場設備被害, 1994 年三陸はるか沖地震では青森県で設備の被害, 製品積の崩壊が報告されている。

4. むすび

小論では, 日本醸造協会誌に報告されている東北地方の地震被害報告について被害の多かった新潟・十勝・宮城県沖・日本海中部の 4 地震を中心にまとめ考察を行った。被害の特徴と問題点として, ①古い土蔵は淘汰されてきているが被害を受けやすい②煉瓦造煙突は被害を受けやすい。使用されずシンボリックなものも多く残る。③タンクからの亡失は多く報告されており特に開放型の対策が肝要である。④箱積瓶の被害が多く積み方の工夫崩れ防止策が論じられている。⑤地震発生が操業時間外であったため人的被害を生じなかった地震も多いが作業現場の安全対策が重要である。

文献

- 1) 鏡味洋史・水田敏彦：1963 年越前岬沖地震の被害, 中部歴史地震懇談会 (名古屋), 2023.
- 2) 日本醸造協会ホームページ：<https://www.jozo.or.jp/> (2023.11.1 閲覧)
- 3) 菊池敬：新潟地震の災害状況と今後の対策, 日本醸造協会誌, 59-9 号, 18-19, 1965.
- 4) 仙台国税局鑑定官室：酒造場の地震対策 十勝沖地震の状況と反省, 日本醸造協会誌, 64-2 号, 125-129, 1979.
- 5) 仙台国税局鑑定官室：宮城県沖地震の災害状況《速報》, 日本醸造協会誌, 73-7 号, 550-551, 1979.
- 6) 池見元宏：日本海中部地震による被害状況と対策, 日本醸造協会誌, 78-8 号, 614-615, 1984.

1914年秋田仙北地震における由利郡の被害

—郷土誌邑知にみられる震災記録—*

秋田大学地域防災減災総合研究センター 水田 敏彦
北海道大学 鏡味 洋史

1. はじめに

筆者らは秋田県下の明治以降の被害地震について当時の被害調査報告書、新聞記事、郷土史料の文献調査を進め、被害の詳細および分布、行政機関の対応などの実態解明を進めている。1914年（大正3年）秋田仙北地震の由利郡の状況については、由利郡金浦町の行政簿冊を見出し、他の報告書には見られない震災対応を明らかにすることができた¹⁾。秋田仙北地震は震源に近い仙北郡・平鹿郡の被害が大きく由利郡は軽微な被害であったが、金浦町の行政簿冊の中に由利郡の被害が記載されている『由利郡震災之状況』²⁾が残されており、また、大内町の郷土誌『邑知』³⁾に震災記録を新たに発見することができた。大内町は由利郡で被害が集中した大正寺村の南部に隣接する町である。本報告では、これまで取り上げられることが殆どなかった由利郡の被害に着目し、これらの資料を中心にさらに由利郡の被害の状況を明らかにする。

2. 1914年秋田仙北地震と大内町の概要

1914年秋田仙北地震はM7.1の内陸地震であり、震央に近い雄物川周辺の低平地と横手盆地を中心に、死者94、負傷者324の人的被害や、全潰640、半潰575の住家被害が生じた。震災予防調査会報告⁴⁾に秋田県の市町村別被害一覧表が掲げられており由利郡のみ選び簡略化して表1に示す。由利郡に関しては死者4、負傷者29、全潰22、半潰45等となっている。また、被害の概要を図1に示す。図には主な街道と由利郡で住家被害が発生した旧町村名を示し、大内町は境界を点線で表した。大内町は由利郡の北部にあり1889年（明治22年）の町村制の施行により、岩谷村、下川大内村、上川大内村が置かれ、1956年（昭和31年）これらの3村が合併して大内町となった。さらに、2005年（平成17年）の平成の大合併により本荘市および由利郡にあった他の6町と合併し現在は由利本荘市の一部となっている。

3. 由利郡の被害が記載された資料

由利郡震災之状況²⁾：①震動の状況及応急処置、②視察の状況、③交通耕地及用水路の被害、④罹災者の救助、⑤罹災者の状況の5項目よりなる。①～③に被害調査結果が報告されている。また、巻末に「余録」があり、由利郡長が実地踏査した際の被害状況が記されている。

新聞記事：秋田県の代表的な新聞「秋田魁新報」があり、他の報告書にない被害が読み取れる。
邑知³⁾：大内町の惨状を記した日誌や新聞報道が記されている。内容については次章で述べる。

*A Study of earthquake damage in Yuri district caused by the 1914 Akita Semboku Earthquake
— Earthquake records found in local magazine “Ouchi” — by Toshihiko MIZUTA and Hiroshi KAGAMI

表1 秋田仙北地震による由利郡の被害

旧町村	死者	負傷者	住家被害(全潰率)			現在 由利 本荘市
			全潰	半潰	破損	
子吉村				4	4	秋 田 市
北内越村		2	3(2%)	8	19	
本荘町					15	
下郷村			1(0.2%)			
岩屋村				2	18	
上川大内村				4	15	
下川大内村				2	62	
石沢村				3	72	
小友村					7	
玉米村					8	
東滝沢村			2(0.7%)	7	48	
西滝沢村		2	1(0.3%)	3	23	
南内越村				1	10	
亀田町					41	
道川村					1	
大正寺村	4	25	15(4%)	11	357	
下浜村					8	
計	4	29	22	45	708	



図1 秋田仙北地震の被害分布

4. 大内町の郷土誌邑知に掲載の震災記録

大内町文化財保護協会刊行の郷土誌で最初の頁に『誌名「邑知、オフチ」は「大内」の古名』とある。第21号に上川大内村軽井沢出身の畠山九洒の日記を取り纏めた「強首地震と大内町の被害－発見された大地震の記録－」³⁾を見つけた。「大内町軽井沢青年夜学会－畠山九洒の日記の一節から－」と新聞記事を引用した「山の崩壊と溢水－大正3年3月21日の報道から－」の2項目よりなり、他の文献には見られない大内町の被害状況などが記載されている。地震時の状況は『今日は（平鹿郡）大森町の市日なれば、いつもは遅るる我家なれども皆早々と臥床（寝床）を出でて（中略）炉をかこみて談笑に花を咲かせつ吁々（ああ）此一刹那（いっせつな）（中略）生の身は忽ち炉の上に払われたり（中略）釣鍵の茶釜のくつがえらるに、母上とハナエとの身にも怪我あるらし』とあり、また、被害については『身ははらばいて辛くも内庭に出づれど（中略）暫（ようや）くにして室に入りぬれば、千古無柱の破れ寺か、餓鬼の巢窟かの如く、あれにあれはてて、時計さえ5時を指したるまま止まり』などと記載されている。

5. むすび

由利郡旧大内町の郷土誌から震災に関する記事を読み取り、被害統計に載せられてない被害の実態や地震時の様子をうかがい知ることができた。激甚な被害を受けた地域は調査研究が重点的に進められるが、それ以外の地域についても実際に起きた被害の履歴は、地域にとって軽微なものを含め将来の災害予測にとって貴重な情報であると考えている。また、他の町村についても同様の郷土史料が残されている可能性があり、引き続き郷土誌の発掘に努めていきたい。

参考文献 1) 水田敏彦, 鏡味洋史: 秋田県由利郡旧金浦町所蔵の行政簿冊にみられる震災記録－1914年秋田仙北地震を中心に－, 東北地域災害科学研究, 第50巻, pp.13-18, 2014. 2) 由利郡: 由利郡震災之状況, 大正三年分事務簿, にかほ市教育委員会所蔵簿冊, 16pp, 1914. 3) アベツトム: 強首地震と大内町の被害－発見された大地震の記録－, 邑知, 大内町文化財保護協会, 第21号, pp.12-15, 1995. 4) 今村明恒: 大正3年秋田県仙北郡大地震調査報告, 震災予防調査会報告, 82, pp.1-30, 1915.

大学附属図書館における貴重図書の地震被害と実態把握*

東北大学大学院工学研究科都市・建築学専攻 ○嶋田 瑠美子

東北大学災害科学国際研究所 佐藤 健

東北大学災害科学国際研究所 柴山 明寛

1. 研究の背景と目的

東北大学では、2011年3月11日東北地方太平洋沖地震を筆頭に、度重なる大きな地震を経験してきた。その中で、東北大学附属図書館では蔵書の落下を始めとして、空調機の破損などの大きな被害が生じてきた¹⁾²⁾³⁾⁴⁾。東北大学附属図書館本館は現在、漱石文庫を含む多くの貴重図書を保管している。これらの貴重図書は、その資料価値と希少性から、容易には代替が効かないものである。2011年の東北地方太平洋沖地震以前には、漱石文庫を含む一部の貴重図書の1号館の地下書庫に収蔵されていたが、雨水による漏水の被害を受け、2号館4階へと移動された。しかし、地下書庫ではカビの発生や虫食いによる損傷も発生しており、さらに2号館1回でもカビ被害が確認されている。これらの事情から、現在の2号館4階が安定した保存環境とされたが、2021年2月13日と2022年3月16日に発生した福島県沖の地震では、多くの貴重図書が落下し、損傷を受ける結果となった。

この研究では、東北大学附属図書館本館2号館における図書の保存状況を分析し、地震による被害とこれまでに実施された対策の関係を明らかにすることを目的とする。また、図書の保存環境を維持する上で、カビや虫損被害も考慮する必要がある。本研究は、図書の落下を中心に、様々な視点から保存環境を検討し、将来の地震被害の軽減と図書の安全に役立つ情報を提供することを目指す⁵⁾。

2. 東北大学附属図書館への調査

2.1 ヒアリング調査・現地調査

東北大学附属図書館が持っている既存の情報を共有してもらい、整理することを目的としてヒアリング調査を行った。貴重本は2011年東北地方太平洋沖地震時には地下一階に保存されていたが、2回の福島県沖地震においては地上4階に保存されている。これは、地震以外の被害であるカビや虫被害から守ために移動された。ヒアリング調査から、階層が上がるにつれて蔵書の落下率が増加する傾向があることがわかった。また、2011年の地震時にはフロアごとの蔵書落下数の被害が調査されていたが、福島県沖地震では、階層ごとの配架冊数・落下冊数は調査されていないことがわかった。この時、川内図書館では棚によって使用する書架の種類・配架方法や対策方法が異なっていることもわかった。

2.2 2022年福島県沖地震での図書落下被害の推計とその方法

実際に閉架書架となっている4F古典資料の保存環境での被害や保管方法について詳細に把握することを目的とし、2022年福島県沖地震での地震被害をフロアごとに調査した。落下率の推計方法として、図書館被害の推定方法として2022年3月16日福島県沖地震での2号館古典資料に関する図書落下被害の写真84枚を用いて推計を試みる。図書が書架から落ちていない状態での図書が書架を占めている面積を100%として地震発生後に残っている図書の面積の割

*Understanding the Actual Situation of Earthquake Damage of Valuable Books in university library by Rumiko Shimada, Takeshi Sato and Akihiro Shibayama

合を求め、落ちた割合を落下率として表す。また、地震発生前の図書館の写真は残っていない、2022年3月16日から現在までに保存してある古典資料は、遡及事業により常時出入りがあるものの、貴重書係へのヒアリング調査により段や書架の移動など大きな変動がないことを確認できたため、現在の古典資料の配置状態を100%として落下率を推定する。

2.3 結果

2.2の方法で2022年3月16日福島県沖地震における書架の段ごとで図書の落下率(%)を求めた結果を図1に示す。書架の対策ごと(①書架の穴を使用した二次元的な紐かけ・②書架の支柱への紐かけ・仮傾斜)での対策も以下の表1に示す。4F古典資料での被害は図書館がすでに推定したものでは全体数約10万冊の古典資料のうち落下数は約4万冊で落下率は4割となっているが、今回の方法では4F古典フロアの落下率は42.3%となったため、ある程度の妥当性があると考えた。図では、4F古典資料での落下率が一番大きくなっていること、それに加えて配架場所が書架の高い位置になればなるほど落下率が上がっていることが分かる。表の4F古典資料フロアでの対策別で計算したものでは、①の二次元的な紐かけでは最上段でも図書の落下を抑えられたことが分かる。

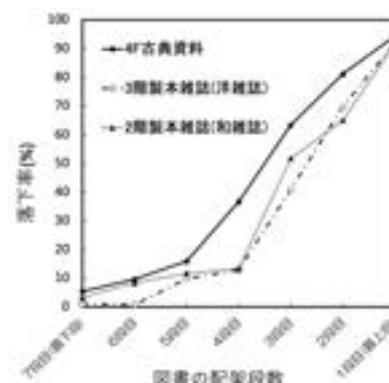


図1 フロアと段数ごとの落下率

また、②の書架の支柱を用いた紐かけでは落下率の減少は見られなかった。③の仮傾斜では、2・3段目においては全体の落下率よりもそれぞれ8.1%, 13.8%下がるという結果になった。

表1 対策ごとの落下率

段数\対策	紐かけ①	紐かけ②	仮傾斜	4F古典資料全体
1階目(最上段)	0	96.7	95.9	94.4
2階目	8.7	99.5	73.1	81.2
3階目	2.2	73.4	49.8	63.4

3. まとめと今後の展望

東北大学附属図書館本館2号館において、地震による図書の被害と実施した対策との関係の現状を整理し、フロア・棚の段ごと・対策ごとの落下率を推定することで2022年3月16日福島県沖地震での地震被害の実態を把握することができた。しかし今回、図書館が行なった地震対策の設置方法では、対策の効果を明らかにするには不十分であり、改善する必要があることが分かった。今回行った落下損傷への対策という切り口に加え、それ以外での損傷にも対応した対策を考える必要がある。また先日、熊本大学附属図書館中央館においてもヒアリング調査を実施し、2016年熊本地震における地震被害について調査した。今後、全国の図書館に目を向け、多様な被害を比較し調査することで、レジリエントな図書館について研究を行うことを今後の展望とする。

〈参考文献〉

- 1) 東北大学附属図書館：“東北大学附属図書館における福島県沖地震(2021年)対応記録”. 2022-3-25. https://www.library.tohoku.ac.jp/news/2020/TUL_EQ20210213report.html. (最終閲覧日 2022-10-25).
- 2) 東北大学附属図書館：“東北大学附属図書館における福島県沖地震(2022年)対応記録”. 2022-10-11. https://www.library.tohoku.ac.jp/news/2021/TUL_EQ20220316report1.html. (最終閲覧日 2022-10-25)
- 3) 長尾 公司：“地震と図書館 東北大学附属図書館からの報告”. 大学図書館研究. 1978. vol.13. p.33-46
- 4) 小陳 佐和子：“そのとき私たちができたこと -東北大学附属図書館が遭遇した東日本大震災-”. 大学図書館研究. 2012. vol.94. p.1-11
- 5) 嶋田瑠美子、佐藤健、柴山明寛：“東北大学附属図書館本館における貴重図書の地震被害の実態把握”. 東北大学工学部卒業論文
- 5) 東北大学貴重書係：“古典資料の地震対策と結果の検証”

東日本大震災からの復興を支えた復元力の要因*

—宮城県山元町を事例として—

山形大学人文社会科学部 岩佐優希子 本多広樹

1. はじめに

近年日本は災害大国とも呼ばれ、主要先進国間での被災可能性および自然災害リスクを比較すると群を抜いて高くなっている。中でも 2011 年に発生した東日本大震災は、「現代日本の防災政策において想定外の災害(矢ヶ崎, 2019)」や「未曾有の広域災害(中村, 2011)」といった位置づけがなされ、その復旧復興においては「単なる復旧ではなく、未来に向けた創造的復興を目指していくこと」との提言が示された。今後も大規模災害の発生が予想される中、長期スケールで東日本大震災の復旧復興の取組を捉えることは、地域のもつ復元力の抽出やそれに依拠する施策提案の一助になると考えられる。

2. 研究の目的

調査対象地域とした宮城県山元町は、集中復興期間内で都市改造型復興に取り組み、宮城県内で最も早くその復興事業を完遂した。また、当町は津波を伴う災害対応経験に乏しいにも関わらず、早期復興を成し遂げており、その要因には、単に津波経験の多寡に寄らないものがあるのではないかと考えられた。そこで、本研究は東日本大震災からの復興過程に着目し、地域が持つ災害からの復元力を構成する要素について明らかにすることを目的とした。また、復元力によって創り変わった地域で、新たな防災教育が施されたことによる復元力の変容についても検討していく。

3. 調査の方法・概要

意識下で東日本大震災を経験していない現在の山元町立山元中学校の生徒を対象にアンケート調査を行った。調査では、保護者の監督下で自記式調査票を用いて生徒の震災や自然災害に対する認識、現在、家庭における防災活動の取組み状況、防災教育に対する生徒の反応や評価、期待する内容などの把握を試みた。

4. 結果

震災前後の居住環境については半数を超える生徒が「被害が有」と回答しており、震災時の被害について認識していることがうかがえた。家庭での防災

表1 アンケート調査の概要

実施時期：令和5年6月～7月
対象：山元町立山元中学校1～3学年
形式：自記式
配布数：219票
回収数：106票（回収率：48.4%）
有効回答数：103票
主な質問項目
1.対象者の震災前後の居住環境
2.東日本大震災の認識や被害について
3.家庭での防災の取組み
4.学校での防災教育

* Resilience and its factors that supported recovery after the Great East Japan Earthquake by Yukiko Iwasa

の取組みでは、家族間の「取り決め-避難場所」が最も多く 85.4%，次いで「備蓄食料や転倒防止対策」，「家具家電の転倒防止対策」が 68%で同率であった。

表 3. は防災学習を通じて生徒が学んでみたいことや知りたいことを尋ねた結果に、東日本大震災時の家屋被害の有無を重ね合わせたクロス集計表となっている。これを見ると当時の住居で被害を受けたとする回答群では「避難所設営体験」や「災害時に必要な物」，「救急救命体験」など、実際に災害が起きた際に役立ちそうな体験や物資・器具に関する取組みが選ばれていた。

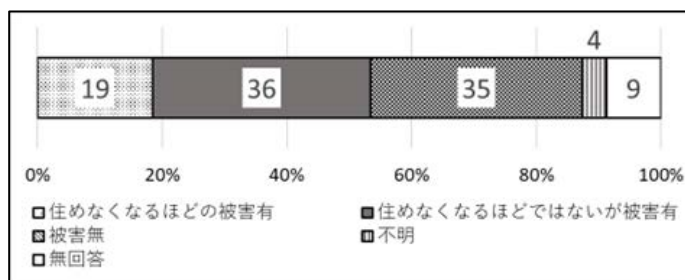


図 1 震災時の住家の被害状況

表 2 家庭での防災の取組み
n=103 (人) (%)

取組み	人数	割合 (%)
非常用持ち出し袋	49	47.6
備蓄食料や物資の備え	70	68.0
家具家電の転倒防止対策	70	68.0
取り決め-避難場所	88	85.4
取り決め-避難方法	41	39.8
取り決め-避難先へ持っていくもの	15	14.6
取り決め-連絡の取り方	35	34.0
取り決め-その他	0	0.0
ハザードマップ確認	63	61.2
ハザードマップ掲示	16	15.5

表 3 住家被害の状況と防災教育内容の希望 (人)

	体験談	避難所	必需品	備える講話	救急救命	見学	その他	とくにない
住めなくなるほどではないが被害を受けた	10	18	15	12	18	9	4	4
住めなくなるほどの被害を受けた	8	9	9	6	11	6	1	1
被害は受けなかった	11	17	15	17	17	14	3	3
不明		1	2	1		2	1	1
無回答	5	3	5	5	4	3		
総計	34	48	46	41	50	34	9	9

5. おわりに

本研究の調査結果から、震災当時に幼児だった現在の中学校生徒たちでも、東日本大震災による住家の被害を認識、記憶していることが明らかになった。また、こうした経験や記憶が影響して、山元町の災害危険性について「地震」と「津波」を高く評価すること、家庭防災の取組みで「避難場所の取り決め」や「食料備蓄」，「家具等の転倒防止対策」の項目が高い回答率を示すことにつながったのではないかと考えられた。今後は、アンケートのさらなる分析を進め、災害からの復元力を構成する要因について検討を進めていく。

参考文献

- 1) 矢ヶ崎太洋：東日本大震災の人口減少と地域社会の再編～宮城県気仙沼市浦島地区の津波災害とレジリエンス～,人文地理 71:371-392. (2019)
- 2) 中村いずみ：未曾有の広域災害がもたらした被害～東日本大震災発生から 2 か月～,参議院事務局企画調整室 317:3-11. (2011)

災害時に避難所として利用される公共建築物の被災がもたらす 被害・事故等の想定－建築基準法に基づく定期報告内容を通して－*

岩手大学大学院総合科学研究科／秋田県庁 若狭 潤一
岩手大学地域防災研究センター 福留 邦洋

1. はじめに

被災者は、在宅避難ができない場合、避難所として学校、公民館等の公共施設を利用することになる。山田哲氏らによる報告¹⁾は、非構造部材の被害防止策を考える上で重要な資料といえる。本研究では、建築物の劣化損傷の状況を比較的容易に把握できる方法として、建築基準法により調査・報告が規定されている建築物定期報告の内容¹⁾に着目し考察した。

2. 調査方法

秋田県仙北管内（大仙市、仙北市、美郷町）の建築物について、令和2年度及び令和3年度に提出された建築物の定期報告²⁾報告書に記載された内容の情報収集をして集計、分析した。

3. 調査結果

(1)避難所となる建築物について

2023年11月現在、秋田県の仙北管内において、定期報告対象件数は196件、うち指定避難所は81件、福祉避難所は23件、合計104件であり、建築基準法に基づく用途分類は、劇場1件、観覧場1件、公会堂2件、集会場20件、病院3件、旅館4件、福祉施設9件、学校52件、防火設備³⁾12件であり、定期報告書に記載された要是正の不具合のある調査項目数について、火災、大雪、地震、土砂災害、風水害、噴火の自然災害毎に集計した。

(2)避難所となる建築物が被災した場合の被害・事故等の想定

各自然災害で該当するとした調査項目のそれぞれについて、具体的に被害・事故等の想定をした結果を表1として示す。6種類の自然災害に共通する想定は、「防水性の低下」「落下の恐れ」が該当数として100以上となった。想定数が多いのは「避難の支障」、「構造耐力の低下」、「延焼拡大の恐れ」と続く。敷地内の想定としては、「土砂流出入の恐れ」等がある。

4. 考察

「防水性の低下」、「落下の恐れ」が全ての自然災害で想定数が多いことで、最も劣化損傷し易く維持管理の重要度が高い部位が屋根・外壁面、非構造部材であることが推測できる。「避難の支障」は地震、土砂災害、風水害で多く、避難施設、排煙、非常照明、防火設備の破損等が原因となることが推測できる。「構造耐力の低下」は地震、土砂災害で多く、躯体劣化の一因であることが類推できる。「延焼拡大の恐れ」は地震、土砂災害、風水害で多く、防火区画や防火設備等の破損が一因であることが類推できる。敷地内では、「土砂流出入の恐れ」、「衛生上の問

*Damage Assumptions of Public Buildings Used as Evacuation Center for Disaster : Contents of Periodic Reports Based on Building Standards Act by Junichi Wakasa, Kunihiko Fukutome

題」,「塀の倒壊の恐れ」等があり,擁壁や塀,排水施設の破損が原因となることが推測できる。集計数のみでは単純に比較はできないが,被害・事故等の傾向は類推,予測できると考える。

5. おわりに

本調査を通じて以下の課題等が挙げられる。

- ① 補修改修を延期すると防水性の低下や非構造部材の落下の恐れ等が高まり,避難所の使用日が予測できず,かつ,緊急に使用されることを考えると日頃の維持管理が望まれる。
- ② 防火設備の既存不適格⁽⁴⁾が多く見られた。建築基準法上は違法とはならないが,利用者の安全性を考えると,所有者・管理者への啓発・指導をした上で早急の改修が望まれる。
- ③ 過去の災害報告書等により想定をする中で,避難所使用の支障となる原因が自然災害毎に異なることが認識できた。建築計画や維持管理の際の参考・検討事項になると思われる
- ④ 避難所を安全安心に利用するためには建物のみでなく,避難時や利用時に支障とならないようにするため敷地内の擁壁,塀,排水施設等を適正に維持管理することが望まれる。

表2 定期報告内容における各項目の不備がもたらす被害・事故等の想定(災害毎) 該当数 比率(単位:%)

火災	数	比率	大雪	数	比率	地震	数	比率	土砂災害	数	比率	風水害	数	比率	噴火	数	比率
構造耐力の低下	43	14.0	構造耐力の低下	47	15.1	衛生上の問題	7	1.1	延焼拡大の恐れ	53	9.9	安全上の問題	12	2.0	構造耐力の低下	43	14.8
類焼の恐れ	2	0.7	類焼の恐れ	4	1.3	延焼拡大の恐れ	67	10.7	構造耐力の低下	59	11.0	衛生上の問題	6	1.0	類焼の恐れ	4	1.4
避難の支障	31	10.1	土砂流出入恐れ	2	0.6	構造耐力の低下	64	10.2	類焼の恐れ	4	0.7	延焼拡大の恐れ	67	11.3	避難の支障	14	4.8
防水性の低下	106	34.5	避難の支障	29	9.3	類焼の恐れ	4	0.6	土砂流出入恐れ	2	0.4	構造耐力の低下	22	3.7	防水性の低下	105	36.2
落下の恐れ	104	33.9	塀の倒壊の恐れ	1	0.3	土砂流出入恐れ	2	0.3	避難の支障	139	26.0	類焼の恐れ	4	0.7	落下の恐れ	104	35.9
消火活動の支障	2	0.7	防水性の低下	105	33.7	避難の支障	171	27.2	塀の倒壊の恐れ	1	0.2	土砂流出入恐れ	2	0.3	消火活動の支障	2	0.7
排煙性能の支障	13	4.2	落下の恐れ	103	33.0	塀の倒壊の恐れ	1	0.2	防水性の低下	105	19.6	避難の支障	139	23.5	排煙性能の支障	12	4.1
歩行の支障	6	2.0	消火活動の支障	2	0.6	防水性の低下	117	18.6	落下の恐れ	104	19.4	塀の倒壊の恐れ	1	0.2	歩行の支障	6	2.1
			排煙性能の支障	13	4.2	落下の恐れ	125	19.9	フラッシュオーバー-恐れ	2	0.4	防水性の低下	105	17.7			
			歩行の支障	6	1.9	フラッシュオーバー-恐れ	5	0.8	煙の拡大の恐れ	6	1.1	落下の恐れ	163	27.5			
						煙の拡大の恐れ	6	1.0	消火活動の支障	2	0.4	フラッシュオーバー-恐れ	5	0.8			
						消火活動の支障	2	0.3	排煙性能の支障	15	2.8	煙の拡大の恐れ	6	1.0			
						排煙性能の支障	15	2.4	歩行の支障	6	1.1	消火活動の支障	2	0.3			
						歩行の支障	6	1.0	遮煙性能の支障	37	6.9	排煙性能の支障	15	2.5			
						遮煙性能の支障	37	5.9				歩行の支障	6	1.0			
											遮煙性能の支障	37	6.3				
	307	100		312	100		629	100		535	100		592	100		290	100

※被害・事故等の想定数100以上は灰色でマークした。「類焼の恐れ」とは周囲の建物の火災からの類焼(もらい火)の恐れがあること,「防水性の低下」とは屋根,壁からの防水性能の低下の恐れがあること,「落下の恐れ」とは建物外部の外壁仕上げ材,窓等や建物内部の天井材等の非構造部材が落下する恐れがあること,「消火活動の支障」とは,救助や消火活動に支障が出る恐れがあること,「排煙性能の支障」とは排煙設備(自然排煙や機械排煙)の作動に支障が出て排煙に支障が出る恐れがあること,「歩行の支障」とは屋上面の歩行に支障が出る恐れがあること,「土砂流出入の恐れ」とは敷地内の擁壁が劣化・損傷して土砂が流出入する恐れがあること,「衛生上の問題」とは敷地内排水施設の破損により,汚水が敷地内に溜まり不衛生となる恐れがあること,「フラッシュオーバー-恐れ」とは不燃性の内装材が脱落・損傷して火災が発生した場合フラッシュオーバーの恐れがあること,「煙の拡大の恐れ」とは建物内部の防火区画(壁穴区画)が破損して火災が発生した場合に煙が建物内に広がる恐れがあること,「遮煙性能の支障」とは防火区画を構成する防火設備が破損して遮煙性能に支障が出る恐れがあること,「安全上の問題」とは石綿(煙突内部)が飛散する恐れがあることをそれぞれ表す。

補注

- (1)調査の核となる建築物定期報告内容は,対象となる建築物の維持管理を適正に行うことが本来の目的であり,様式の構成は建築物が被災した場合の被害・事故等の想定をするためには作られていない。
- (2)定期報告の対象は,建築物,非常用照明装置,中央管理方式の換気設備,排煙設備,防火設備,昇降機があるが,対象が建築物となる建物のみとした。建築物の調査報告内容では,非常用照明装置,排煙設備,防火設備等の調査概要を記入するため,本研究内容や方向性を考えた場合,不要であると判断した。
- (3)建築物の防火扉や防火シャッター等の防火設備に対してのみ定期報告提出義務があるもので,今回の調査対象施設では全てが老人福祉施設であった。
- (4)既存不適格とは建築基準法の改正により現在の基準に合わなくなることで,法改正後の新しい基準に適合しない部位を指す。防火設備の場合,平成17年に法が改正された危害防止装置の未設置が多い。

参考文献

- 1)山田 哲,江口 亨,松本由香,清家 剛,伊山 潤,熊谷亮平,島田侑子:「東北地方太平洋沖地震および余震による学校体育館の構造特性と非構造部材の震動被害」,『日本建築学会技術報告集』,第20巻 第46号,981-986,2014年10月 AIJ J. Technol. Des. Vol. 20, No. 46, 981-986, Oct., 2014

<第1会場 共通127室>

— 第2部 (8題) —

司会：岡田 真介 先生

12月27日(水) 10:00~12:00

地下構造探査から明らかになった仙台平野南部の伏在活断層*

岡田真介（岩手大）・岡田知己（東北大）・越谷信（岩手大）・
住田達哉（産総研）・新沼徹磨・田中美咲・平出裕博（元岩手大）

1. はじめに

活断層は、ひとたび地震を発生させると断層周辺に甚大な被害をもたらす。活断層の位置や連続などの評価は、主に地形学的な証拠によって行われるが、伏在活断層では、地形に活断層による変位や変形の痕跡がほとんど残っていないため、評価は難しい。

研究対象地域である仙台平野南部は、その北部に北東-南西方向にのびる長町-利府線断層帯が分布しており、南部には南北にのびる双葉断層帯が知られている。従来から、愛島丘陵東縁の約 2 km の区間では、空中写真判読から、伏在活断層が指摘されていたが（池田ほか、2002）、その詳細は明らかではなかった。岡田ほか（2017）では、阿武隈川河口付近において、浅層反射法地震探査と重力探査を実施した（図）。その結果、測線中央部付近で、地表下数十 m までの地層を変位させている伏在活断層が明らかになり、さらにその東側 500 m 付近にも、現在は活動していない断層の存在が明らかになった。これらの地下地質構造を基にして、仙台平野南部の伏在活断層の北端部および南端部について、重力探査を実施することにより、仙台平野南部の伏在活断層の位置や連続性が明らかになってきた。

2. 研究手法

伏在活断層の北部延長では、名取川右岸から愛島丘陵付近にかけて、長町-利府線断層帯の苦竹伏在断層との関係を明らかにするために、平野を東西方向に横断する 6 本の重力探査測線を実施した。一方、伏在活断層の南部延長は、仙台平野南部の伏在活断層と双葉断層帯の関係を明らかにするために、亘理町から山元町において、平野部から割山隆起帯の東麓にかけて、東西方向の重力探査測線を合計 10 本設定し、その連続性の詳細を検討した（図）。

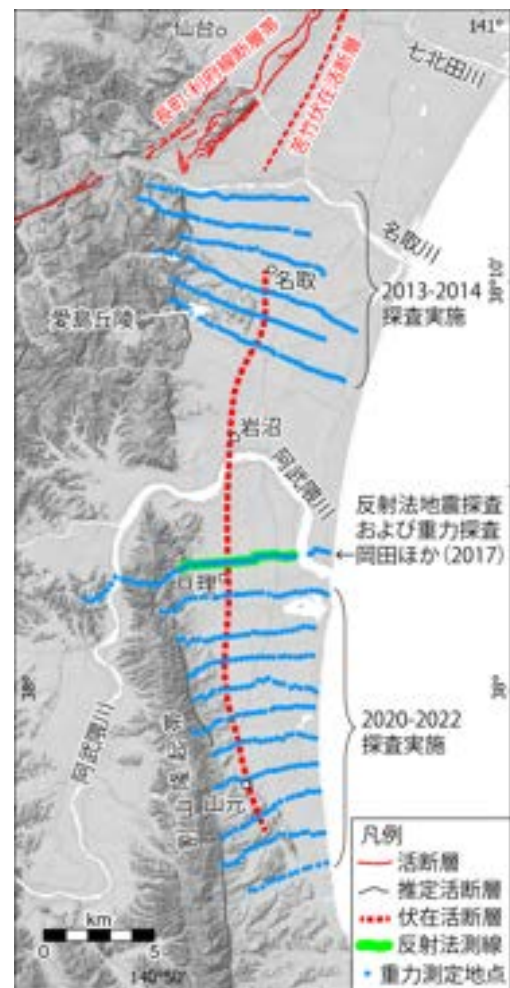


図. 仙台平野南部の活断層分布とこれまでに実施した物理探査位置

*Blind active fault in the southern part of the Sendai Plain revealed by subsurface geophysical explorations by Shinsuke Okada, Tomomi Okada, Shin Koshiya, Tatsuya Sumita, Takuma Niinuma, Misaki Tanaka, and Yasuhiro Hirade

重力探査は、北部延長では測定点間隔を東西方向に 200 m を標準とし、南部延長では 250 m を標準として測定を行った。測定には、LaCoste& Romberg 社製の G 型および D 型重力計を用いた。得られた値には、標準的な重力解析手法を適用し、ブーゲー重力異常値を求めた。伏在活断層の南部延長の検討では、活断層位置が、丘陵地と平野部との地形境界にほぼ一致すると予想したため、仮定密度を慎重に検討し、地形と最も相関のない 2300 kg/m³ を採用した。

3. 結果と考察

伏在活断層の北部延長については、愛島丘陵南部付近の測線では、伏在活断層に対応した顕著な上に凸のブーゲー重力変化が確認できたが、北側の測線に移行するに従って、その変化が小さくなり、名取市よりも北側では、伏在活断層によるブーゲー重力変化が認められないことから、仙台平野南部の伏在活断層は、長町-利府線断層帯の苦竹断層とは連続しておらず、名取市付近が北端となっていることが明らかになった。

一方、伏在活断層の南部延長は、重力変化が微小であり、北部延長のような上に凸の顕著なブーゲー重力異常としては、とらえられなかった。しかしながら、反射法地震探査で得られている伏在活断層とその東側に位置する断層に対応したブーゲー重力変化の屈曲点があり、それらを追跡することで、伏在活断層の連続を明らかにすることができた。伏在活断層は、双葉断層帯とは連続しておらず、やや東側（海側）それて、山元町高瀬付近で南端となっていると考えられる。これらのことより、仙台平野南部の伏在活断層は、名取市から山元町高瀬付近まで約 25.5 km 程度連続すると考えられる。

4. まとめ

本研究では、岡田（2017）で明らかにした仙台平野南部の伏在活断層について、その空間方向の連続性を、稠密な複数本の重力探査を実施することによって明らかにした。その結果、仙台平野南部の伏在活断層は、北部延長上の長町-利府線断層帯の苦竹断層および南部延長に位置する双葉断層とも連続せず、南北約 25.5 km であることが明らかになった。このように、伏在活断層は、地表の地形情報からは、その詳細位置や連続性を明らかにすることは難しいが、まず、反射法地震探査により地下構造を明らかにし、次に、測定点の設定が容易で、探査に人手がかからない重力探査を用いて、測定点間隔が密である測線を設定し、伏在活断層の空間方向の連続性について検討することができることがわかった。

謝辞：本研究は、東北大学災害科学国際研究所共同研究助成金および文部科学省委託研究「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)、地殻応答による断層への応力载荷過程と断層間相互作用の解明と予測(THK_07)」を用いて実施された。また重力測定には、東北大学 地震・噴火予知研究観測センターの重力計を使用させて頂いた。

文献：池田安隆ほか編，2002，第四紀逆断層アトラス，東京大学出版会，254p； 岡田真介ほか，2017，反射法地震探査および重力探査から明らかになった仙台平野南部の伏在活断層，地震 2，70，109-124.

仙台平野南部伏在活断層の震度予測の試み*

東北大学大学院理学研究科 地震・噴火予知研究観測センター 岡田知己
岩手大学理工学部 岡田真介

1. はじめに

岡田真介・他（2017, 2022, 2023）は、反射法地震探査や重力探査により、仙台平野南部において伏在活断層の存在を確認した。その長さは 25km となり、気象庁マグニチュード換算で 7.2 となる。走向はおよそ南で西傾斜が考えられる。一方、平野の軟弱地盤は地震波の増幅率が大きいことから、軟弱地盤下の断層・地震はその規模に比べて、地表での大きな振幅・震度をもたらすことが想定される。本研究では、伏在断層の震度予測の例として、岡田真介・他（2017, 2022, 2023）の仙台平野南部伏在活断層について、震度予測を試みた。

2. 方法

岡田真介・他（2017, 2022, 2023）の想定断層に従うように仙台平野南部下に伏在断層を設定した。断層長は 25km とした。手続きは、「簡便法」に従った。各パラメータは、「全国地震動予測地図 技術報告書(https://jishin.go.jp/main/chousa/09_yosokuchizu/g_model.pdf)」により設定した。断層長 25km は Mw 6.7 と換算された。近傍の活断層である双葉断層帯における設定と同じく、岡田知己・他（2022）の震源分布なども参考に、地震発生層の下限は 20km、上限は 2km と仮定した。傾斜角は 45 度と仮定した。断層幅は 18km とした。防災科研より公開されている「距離減衰式による地震動予測ツール（先名・藤原、2011）」を使用した。

3. 結果

震度 6 弱を超える地域は仙台市付近から福島県南相馬市付近まで南北に約 70km、東西に広いところで約 20km となった。仙台平野南部や断層より西の宮城県角田市付近の盆地では震度 6 強以上が推定された。断層の地表トレースと西側の山地境界の間には帯状の震度 7 程度の領域も確認された。

参考文献

- 岡田真介・他, 2017, 地震第 2 輯, 70, 109-124, doi:10.4294/zisin.2016-20.
岡田真介・他, 2022, 東北地域災害科学研究集会
岡田真介・他, 2023, 東北地域災害科学研究集会
岡田知己・他, 2022, 東北地域災害科学研究, 58, 19-24.
先名・藤原, 2011, 防災科学技術研究所研究資料 第 354 号

* An attempt to predict seismic intensity by the southern Sendai Plain blind active fault by Tomomi Okada and Shinsuke Okada

重力調査による山形県庄内平野の伏在活断層の解明

佐々木直史、越谷 信、岡田真介（岩手大学）、梅木健太郎（パシフィックコンサルタント）、佐々木亮輔（東日本高速道路）、中里 颯（土木技研）、佐藤比呂志、石山達也、加藤直子（東京大学）

1. はじめに

東北日本や西南日本を載せた上盤プレート内地震の長期評価は、活断層の活動履歴を中心に
行われているが、活動間隔や活動時期を把握できている活断層の割合は高くない。20 世紀以降
に日本列島の内陸で発生した M6.5 以上の上盤プレート内地震のうち、伏在活断層を震源断層
とする地震は約 4 割を占めており（佐藤ほか，2020），プレート内地震の長期評価を行うため
には、伏在活断層の構造や活動履歴を明らかにすることは重要である。山形県庄内平野の地下に
は、反射法地震探査の解析結果から、伏在断層が存在する可能性が指摘されている（文部科学
省研究開発局・国立大学法人東京大学地震研究所，2020）。この伏在活断層は 1894 年に発生し
た庄内地震の震源断層である可能性が指摘されているが、正確な位置や連続性については明ら
かにされていない。そこで、本研究では、重力調査によって伏在活断層の地下地質構造や南北
方向への連続性を明らかにし、庄内地震との関連性を明らかにすることを目的とする。

2. 地質概要

庄内平野およびその東の出羽丘陵西部の地質は、下位から花崗岩類，善光寺層，大山層，青
沢層，草薙層，北俣層，楯山層，丸山層，観音寺層，庄内層群，段丘堆積物，沖積層の順で堆
積している。庄内平野東縁部から出羽丘陵西部には、ほぼ南北方向に青沢断層群，酒田衝上断
層帯，庄内平野東縁断層帯などの断層帯とこれらに関連する褶曲構造が発達する。今回の調査
対象である伏在断層は庄内平野中央部の下に存在している。

3. 研究方法

本研究では、測定間隔を約 200m
として、山楯（A-B）測線，最上川
（C-D）測線，余目（E-F）測線，
三川（G-H）測線を設置し、相対重
力測定を実施した。それぞれの測
線での重力測定点は、42 点，116
点，57 点，99 点である。使用した
重力計は、シントレックス社製重
力計 CG-5 で、測定点の位置座標
および標高は、RTK-GNSS と水準
測量を用いて測定した。ブーゲー
補正および地形補正に用いた仮定
密度は、ブーゲー重力異常値と地
形起伏を比較し、最も相関が少な
い 2.10 g/cm^3 とした。密度構造解
析ではタルワニ法（Talwani et al.,
1959）を用いて、観測値と計算値

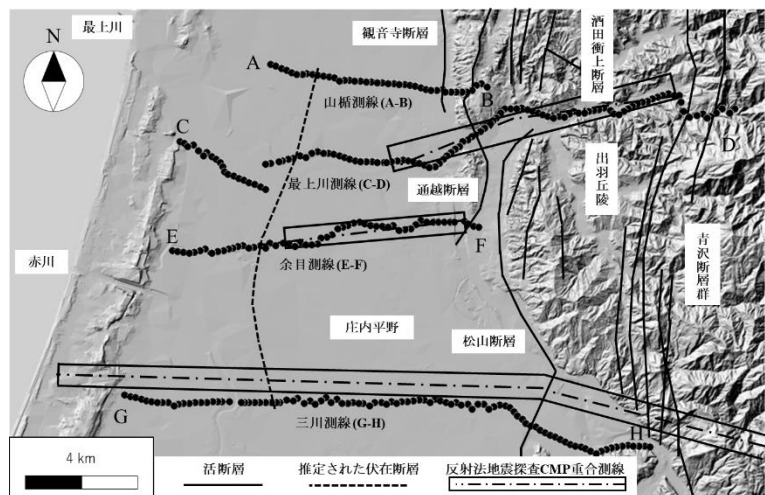


図 1 庄内平野および出羽丘陵西部の地形陰影図
池辺ほか（1979），土谷ほか（1984），
大沢ほか（1986），土谷（1989），
地震調査委研究推進本部（2009）より編集。

*On a blind active fault below Shonai plain, Yamagata prefecture, Japan, using gravity survey by Naofumi Sasaki, Shin Koshiya, Shinsuke Okada, Kentaro Umeki, Rhosuke Sasaki, Hiroshi Sato, Tatsuya Ishiyama, and Naoko Kato

が一致するように試行錯誤的に決定した。反射法地震探査データが存在する測線では、得られている地層境界を密度構造解析にも用いた。

4. 結果と考察

4本の測線全てにおいて、ブーゲー重力異常は東に向かって増加傾向が見られた。しかし、増加の割合は一様ではなく、平野中央部付近において全体の平均的な増加傾向に比べて上に凸のブーゲー重力異常の変化を示す場所が確認でき、これは地下に伏在する背斜構造と対応するものであると考えられる。また、背斜構造を形成する逆断層として、各測線において東傾斜の伏在断層の位置を推定した。最上川測線と余目測線では西端から6 km 付近を最大として上に凸のグラフの形状を示している。また、山楯測線では西端から4 km 付近を、三川測線では西端から6 km 付近を最大として上に凸のグラフの形状を示しているが、ブーゲー重力異常の変化が微少になっている。この結果から、伏在断層は庄内平野中央部に位置しており、断層方位はおおよそ南北方向、断層長さは約12 km 以上であることが推定される。また、山楯測線と三川測線では、ブーゲー重力異常の変化が微小であり、地下の背斜構造、つまり伏在活断層による変形量も小さくなっていることが推測される。これらの結果から、山楯測線よりやや北側と三川測線よりやや南側が伏在活断層の両端となっている可能性がある。

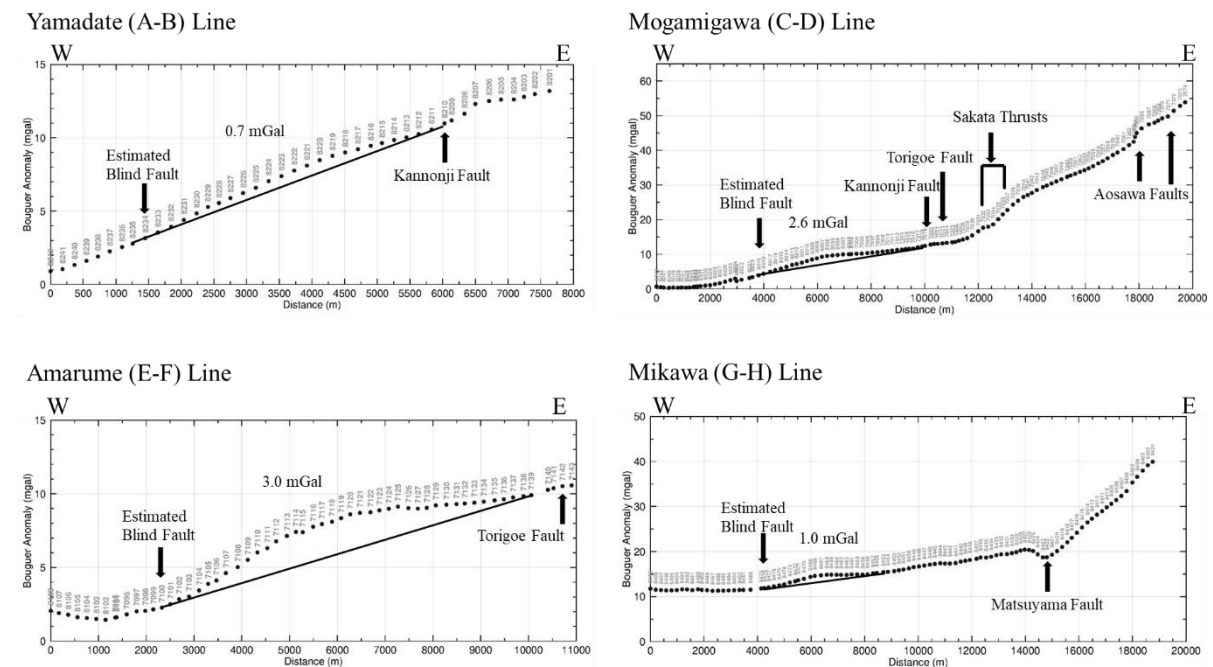


図2 山楯，余目，最上川，三川測線におけるブーゲー異常

5. 文献

- 佐藤比呂志ほか，2020，震源断層の長期評価に向けて，地震予知連絡会会報，104，476-479 p.
 文部科学省研究開発局・東京大学地震研究所，2020，活断層の評価に関する調査研究「断層帯深部形状の評価に関する活断層調査研究」平成29～令和元年度成果報告書．246 p.
 池辺穰ほか，1979，酒田地域の地質，地域地質研究報告，地質調査所。
 土谷信之ほか，1984，鶴岡地域の地質，地域地質研究報告，地質調査所。
 大沢穠ほか，1986，清川地域の地質，地域地質研究報告，地質調査所。
 土谷信之，1989，大沢地域の地質，地域地質研究報告，地質調査所。
 地震調査研究推進本部，2009，庄内平野東縁断層帯の評価（一部改定），41 p.
 Talwani, M., et al., 1959, J. Geophys. Res., 64, 49-59.

重力探査による北上低地帯北部から奥羽脊梁山脈にかけての地域における地下地質構造の解明

岡田脩平・越谷 信・岡田真介・佐々木洋輔（岩手大学）・滝本彩乃（岩手大学，現：中日本ハイウェイ・エンジニアリング東京）・大坊尚弘（岩手大学，現：東京都庁）・増澤良（岩手大学，現：国土交通省東北地方整備局）・中里颯（岩手大学，現：土木技研）

1. はじめに

東北日本弧は、中新世に生じた日本海拡大に伴って伸張変形を受け、その後の静穏期を経て、鮮新世以降には短縮変形を受けている。奥羽脊梁山脈よりも西側では、鮮新世以降、大規模な褶曲衝上断層により大きな短縮変形を受けており（佐藤，1989）、一方で、同山脈東側の北上低地帯南部（胆沢付近）では、反射法地震探査の解析から、中新世に生じた複数の西傾斜の正断層構造が確認されているが、現在ではそのうちの一部が逆断層として再活動しているものの、鮮新世以降の短縮変形は有意に小さいとされる（Kato et al., 2006）。

また、北上低地帯の北部である盛岡市街地周辺（高松の池～前潟）の地下地質構造については、重力探査に基づき、先第三系の基盤岩は西に向かって平坦面と緩やかな傾斜を繰り返しながら低くなる階段状の構造を形成していることが推定されているが（滝本，2023MS）、中新世以降の形成過程を含めて議論の余地が残されている。そこで、本研究では、盛岡市街地の西部から奥羽脊梁山脈東麓（前潟～御所湖～赤渕）にかけて、重力探査およびブーゲー重力異常の解析を実施し、北上低地帯北部から奥羽脊梁山脈の地下地質構造とその発達について検討した。

2. 対象地域の概要

本研究の対象地域には、北上低地帯北部と雫石盆地を挟む形で東側に北上山地、西側には奥羽脊梁山脈が位置している。対象地域の地層は、下位より先新第三系の基盤岩類、新第三系の舩沢層、猪去沢層、男助層、盛岡挟炭層、第四系の古北上川・雫石川堆積物、青山町岩屑なだれ堆積物以浅、橋場層に分類される。また、既知の活断層として、北上低地帯北部の西縁には鶴飼西断層や雫石盆地西縁断層帯が位置しており、いずれの断層も逆断層型である。

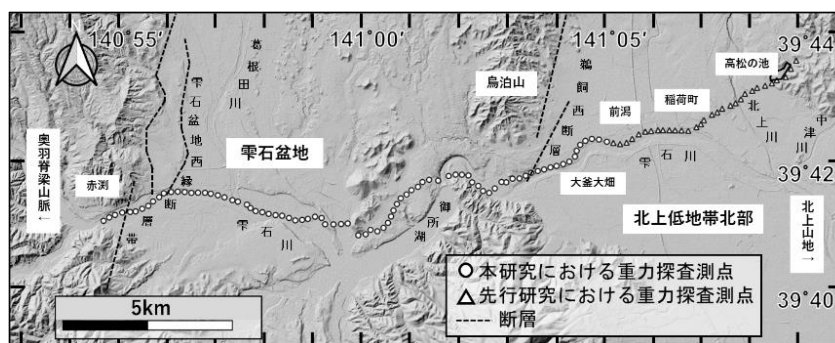


図1 対象地域の地形陰影図と重力測定点位置

また、既知の活断層として、北上低地帯北部の西縁には鶴飼西断層や雫石盆地西縁断層帯が位置しており、いずれの断層も逆断層型である。

3. 重力探査

重力探査測線は、滝本(2023MS)によって行われた重力探査の測線と連続するように、盛岡市前潟から雫石川に沿って雫石町赤渕付近に至る東西方向約15kmの測線を設定した。測定点の間隔は標準200mとして、合計83点の相対重力測定を実施した(図1)。測定には、Scintrex社製重力計CG-5を用いた。また、位置座標および標高を取得するためにGNSS測量を行った。

本研究における測定点に加え、滝本(2023MS)によって行われた重力探査の測定点(計31点、東西方向約6kmの測線)についても合わせてデータ解析を行った。まず、得られた重力測定値

*Subsurface geological structure in the area from the Northern Kitakami Lowlands to the Ou Backbone Range by gravity survey by Shuhei Okada et al.

に潮汐補正・ドリフト補正を行い、各測定点の絶対重力値を算出した。その後、標準的な重力解析補正を行い、仮定密度を 2670 kg/m^3 としてブーゲー重力異常値を求めた。次に、タルワニ法 (Talwani *et al.*, 1959) を用いて密度構造解析を行った。各地層の密度には、試行錯誤的に最も観測値と計算値が一致する密度を適用した。浅部 100 m 程度の境界はボーリングデータにより得られた地質構造を用いて、盛岡挟炭層及びそれ以深の堆積物 (新第三系) と先新第三系の基盤岩との境界は、観測ブーゲー重力異常に最も合うように推定した。

4. 結果と考察

重力探査によって得られたブーゲー重力異常値を図 2a に示す。ブーゲー重力異常は、高松の池付近～稲荷町付近では約 5 mgal 、稲荷町付近～大釜大畑付近では約 15 mgal 減少となり、稲荷町付近を境に減少の割合が大きくなる。鶺鴒西断層付近では約 5 mgal 上昇し、断層以西～雫石盆地では再び西に向かって約 32 mgal 減少し、雫石盆地～赤湊付近では約 15 mgal 上昇する。第四系～新第三系の浅部の地層境界はボーリングデータより、新第三系～基盤岩類の深部の

地層境界はブーゲー重力異常の観測値と計算値を最もよく一致させることにより推定を行った。その結果、図 2b に示すような地下地質構造が推定される。各地層の密度は、上位から $1900, 2000, 2100, 2670 \text{ kg/m}^3$ とした。基盤岩類上面は、北上川付近～大釜大畑付近にかけて下がる階段状の構造をしており、日本海拡大時の伸長に起因すると考えられている (滝本, 2023MS)。また、鶺鴒西断層では、西側隆起の逆断層運動による基盤岩類のずれを約 500 m と推定できた。断層以西～雫石盆地では西に向かって降下しており、特に雫石盆地東部以西では約 1500 m と大きく降下し、測線西端から東へ約 5 km 地点にて基盤岩類上面は、最も深くなる (標高約 -1700 m)。この雫石盆地付近の地下構造の成因については、詳細をさらに検討する必要があるものの、中新世の西傾斜の正断層に起因する可能性がある。雫石盆地～赤湊では、基盤上面は西に向かって約 1000 m 上昇したのちに平坦になる。さらに、雫石盆地西縁断層帯付近から約 1000 m 再び上昇する。この際、ブーゲー重力異常の屈曲点と一致して 2 つの西傾斜の逆断層が推定でき、断層による先新第三系のずれは、それぞれ約 300 m と約 200 m となる。

5. まとめ

本研究では、北上低地帯北部から奥羽脊梁山脈東麓にかけての地域において、ブーゲー重力異常を用いて地下地質構造の推定を行った。その結果、先進第三系の基盤岩類は、北上川付近から雫石盆地東部にかけて上面深度が深くなる構造を持ち、日本海拡大時の前弧域の伸長に関連した構造と考えられる。また、鶺鴒西断層や雫石盆地西縁断層帯の西傾斜の逆断層とそれらによる先新第三系上面のずれ量が推定された。

引用文献:

- 佐藤比呂志, 東北本州弧における後期新生界の変形度について, 地質学論集, 32, 257-268, 1989.
 Kato N., *et al.*, Fault reactivation and active tectonics on the fore-arc side of the back-arc rift system, NE Japan, *J. Struct. Geol.*, **28**, 2011-2022, 2006.
 滝本彩乃, 北上低地帯北部における浅部地質構造の解明, 岩手大学大学院総合科学研究科修士論文, 2023MS.

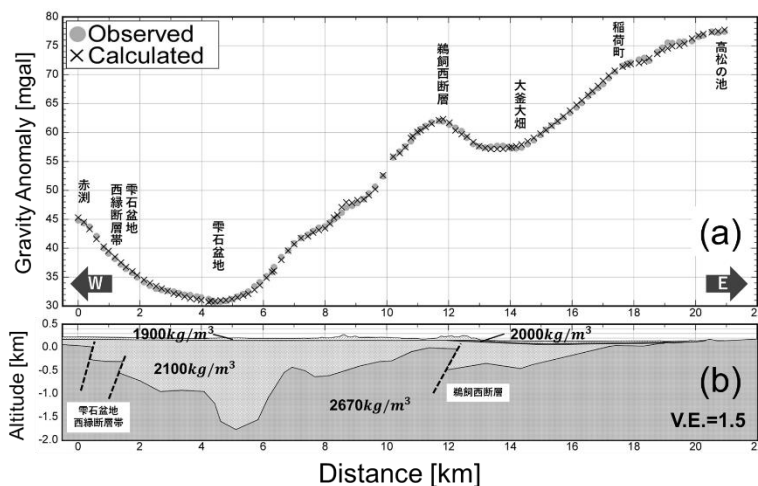


図 2 ブーゲー重力異常値と地下地質構造モデル

水平動微動アレイ記録から求めた回転成分によるラブ波位相速度の推

定の試み -盛岡市内で観測された記録を用いた検証-*

岩手大学工学部 ○山本英和 董迎聖

岩手大学大学院 李偉璽

岩手大学工学部 齊藤 剛

1. はじめに

地盤の S 波速度構造を把握するためによく使用される微動アレイ探査では、上下動成分のアレイ観測記録から Rayleigh 波の位相速度を求めることが一般的である。表面波には Love 波も存在するが、微動探査に利用されることは少ない。その理由は、上下動微動には Rayleigh 波が単独で存在し、水平動微動成分には Rayleigh 波と Love 波 2 つの波が存在するため両者の分離が困難のためである。しかし、Rayleigh 波は S 波速度だけでなく P 波速度にも依存するため、P 波速度は経験式などを使用して換算する必要がある。一方、Love 波は純粋に S 波速度だけの影響を受けるため、Love 波の位相速度を求めれば、S 波速度構造の推定精度が向上が期待される。水平動成分を用いた Love 波の位相速度の推定方法には、これまでにもいくつかの方法が提案されている。本研究では、過去に盛岡市域における微動アレイ探査で得られた 3 成分微動アレイデータを使用し、Yoshida and Uebayashi (2020) によるアレイ観測の水平動記録の空間微分に基づいて回転成分を求める方法を用いて、微動に含まれる Love 波位相速度を推定する手法の有効性を検証する。

2. 方法

本研究では、二重正三角形アレイ微動記録から、空間微分に基づいて、回転成分波形を求める (Yoshida and Uebayashi, 2020)。その手順を図 1 に示す。7 点二重三角形型アレイで東西動南北動が記録されているとする。まず、青丸で示す三点の記録から回転成分を計算する。センサー 1, 4, 6 の水平動から計算した 1 番の鉛直軸に対する回転記録を計算した例が示されている。同様に他の 3 つの三角形からそれぞれ回転成分を計算する。その結果、4 つの正三角形型の回転成分アレイ記録が得られる。鉛直軸まわりの回転成分のみを考えればスカラーのアレイ記録と考えられるので、通常のアレイ解析手法である f-k 法や SPAC 法が位相速度推定に使用可能である。FK 法で得られた Love 波位相速度を、貝沼(2006)の速度構造モデルから得られた Love 波位相速度と比較し、回転成分アレイから求めた Love 波位相速度の妥当性を検証する。

3. 回転成分アレイ記録から得られた位相速度

盛岡市仁王小学校で観測された微動アレイ記録から得られた回転成分のアレイ記録から f-k 法により得られた位相速度を図 2 に示す。各周波数帯における FK パワースペクトル分布から到来方向は全方位を示していることが確認できた。仁王小学校で観測された半径の異なる 3 種類 (最大半径 10m, 25m, 40m) の 7 点アレイ記録から得られた結果として、周波数帯 4Hz~10Hz

* An experiment of estimation of phase velocities of Love wave by using rotational components calculated from array records of horizontal microtremors by Hidekazu Yamamoto, Dong YingSheng, Li WeiXi and Tsuyoshi Saito

の間で非常に連続性の高い位相速度分散曲線が得られた。得られた位相速度は、貝沼（2006）による S 波速度構造モデルから計算される Love 波の位相速度ともほぼ同じ値を示すことから、今回の解析により Love 波位相速度が推定できたと推察される。

4. まとめ

盛岡市内で観測された水平動微動の 7 点二重三角形型アレイ記録を用いて、4 点の回転成分のアレイ記録を求めた。また、求めた回転成分アレイ記録から、FK 法により位相速度を求めた結果、仁王小学校において約 4Hz~10Hz までのラブ波位相速度を推定することができた。モデルから期待される Love 波の位相速度とほぼ一致している結果を得た。今回の研究の問題点の一つとして、水平 FK 解析などと比較すると空間差分を利用するため回転成分の位相速度結果はかなり狭い周波数帯しか算定できない。また、今回は古い機器で測定されたデータを使用したため、最新の機器を使用した場合よりも SN 比が低い可能性がある。微動アレイ記録から求めた回転成分による Love 波位相速度を算出する例が少ないことがあり、今後さらなる検討も必要である。

参考文献

貝沼敬太(2006):岩手大学大学院 修士論文

Yoshida and Uebayashi(2021), Bull. Seism. Soc. Am., Vol. 111, No. 1

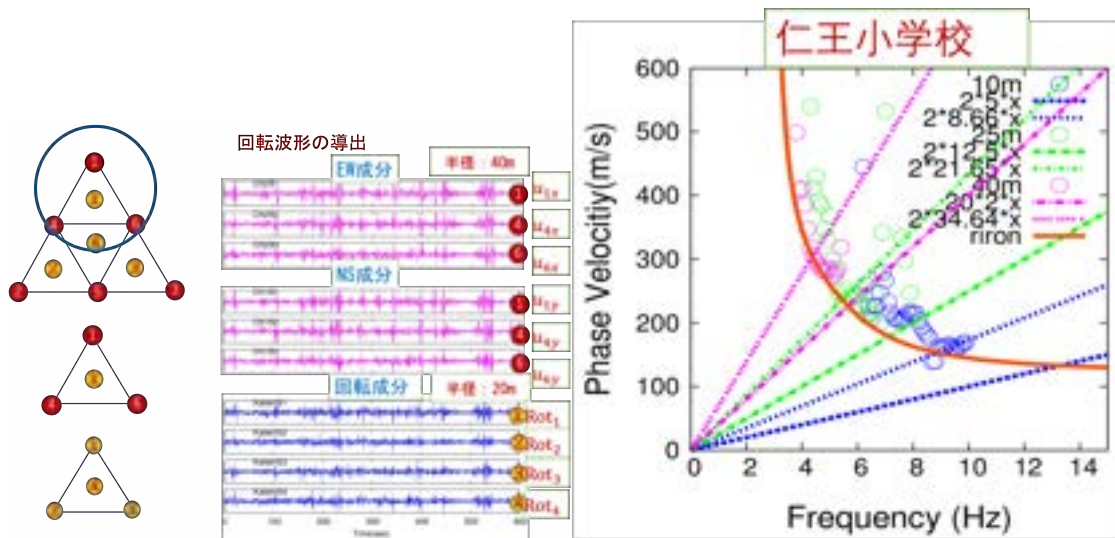


図 1

図 2

図 1 水平動三角形型アレイ記録から回転成分模式図。右図は 1, 4, 6 の水平動から計算した 1 番の回転記録を計算した例。青丸で示した三点の記録から回転成分を計算する。同様に他の 3 つの三角形からそれぞれ回転成分を計算する。その結果、4 つの正三角形型の回転成分アレイ記録が得られる。その結果が他の 2, 3, 4 番の回転成分の波形記録。

図 2 仁王小学校における回転成分のアレイ記録から FK 法により推定された位相速度。最大半径 10m, 25m, 40m のアレイ記録から、それぞれ半径 5m, 12.5m, 40m の回転成分の 4 点三角形アレイ記録を得て FK 法により位相速度を算定した。実線は S 波速度構造モデルから計算した Love 波の位相速度。

稠密微動アレイ探査による岩手県盛岡市中心部における

S 波速度構造の推定*

岩手大学大学院総合科学研究科 ○及川兼史朗, 田村全, 李偉璽
岩手大学理工学部 山本英和, 齊藤剛

1. はじめに

地震時の揺れは表層地盤の影響を大きく受ける。浅い地盤の S 速度構造を空間的に把握することは防災の観点から重要である。岩手県盛岡市中心部で、地震ハザードステーション (J-SHIS) の微地形区分が変更されたことに伴い、表層地盤における地盤増幅率が 2018 年版と 2020 年版で北上川の旧河道を中心に改変された。また盛岡市中心部の浅い地下速度構造が詳細に把握されていない。そのため本研究では、微動アレイ探査により、浅部の S 波速度構造の推定を稠密に実施した。

2. 微動アレイの観測と解析方法

岩手県盛岡市中心部で、センサー間隔 0.6m の極小微動アレイ観測、センサー間隔 6m~10m の小微動アレイ観測を行った。図 1 に観測点位置を示す。極小アレイ微動観測ではセンサーに 4 台上下動速度計 (ジオフォン) を用い、小アレイでは 3 成分加速度計 (JU410) を用いた。観測点数 67 地点、1 地点ごとの観測時間約 10~15 分間、平均観測点間約 250m で観測を行った。

観測された上下動微動アレイ記録から、Aki (1957) による SPAC 法を用いて位相速度分散曲線を求め、微動 H/V スペクトル比のピーク周期を求めた位相速度分散曲線が合うように試行錯誤し、各観測点の深さ 30m までの S 波速度構造モデルを推定する。



図 1 観測点位置図。

3. 結果と考察

観測から得られた位相速度から長尾・紺野 (2002) より、波長 40m の位相速度と基本モードレイリー波の位相速度より 30m 平均 S 波速度を簡易的に直接求める。図 2 の背景は 2020 年版の J-SHIS の平均 S 波速度分布、丸印は観測から得られた 30m 平均 S 波速度を示す。得られた 30m 平均 S 波速度は J-SHIS の S 波速度は旧河道付近で約 180m/s に対し、観測された 30m 平均 S 波速度は約 250m/s~450m/s、J-SHIS は旧河道を除き 300~450m/s と比較的対応している。特に東部でどちらも 400m/s~500m/s と対応している。図 3 は背景に北上川の旧河道の位置 (盛岡中央公民館 (1999))、

*Estimation of S-wave velocity structures in central Morioka area by using dense microtremor array survey
Kenshiro.Oikawa, Tomo.Tamura, Li WeiXi, Hidekazu Yamamoto and Tsuyoshi.Saito

丸印は観測から得られた 30m 平均 S 波速度を示す。図 3 は図 2 の中心部を拡大したものである。旧河道周辺、直上どちらも観測された 30m 平均 S 波速度が 300m/s~400m/s と、J-SHIS の平均 S 波速度に比べ速度の値が大きい。旧河道において、実際の観測されたデータと J-SHIS の平均 S 波速度の差が大きいことが確認された。齋藤 (2005) のアンケート調査による詳細震度分布によれば盛岡市中心部では北部に比べ比較的震度が小さい結果が得られている。また旧河道において震度が大きくなる現象も認められていない。微動アレイ探査から得られた結果とアンケート震度分布が対応していることが明らかになった。

今回の解析では 30m 平均 S 波速度のみを行ったが、より浅部の S 波速度構造や地盤増幅率の算出を行い、より詳細な議論を行う必要がある。

参考文献

- 盛岡中央公民館(1999):盛岡城下の街づくり, 盛岡城下の形成と発展, 江戸中期の城下町, pp.11
- Aki,K. (1957) : Space and time spectra of stationary stochastic waves, with special reference to microtremors, Bull. Earthquake Res. Inst. 25, pp. 415-457.
- 佐野剛・山本英和・齋藤徳美・相坂太郎 (2004) : アンケート調査による盛岡市域の詳細震度分布 2003 年 5 月 26 日に発生した宮城県沖の地震における結果, 地球惑星科学関連学会合同大会予稿集, 2004 巻, S046-P008
- 齋藤裕輔 (2005) : 2003 年 5 月 26 日宮城県沖地震におけるアンケートを用いた詳細震度分布～盛岡市・滝沢村・矢巾町・大船渡市の解析～, 岩手大学卒業論文
- 地震ハザードステーション : <http://www.j-shis.bosai.go.jp>

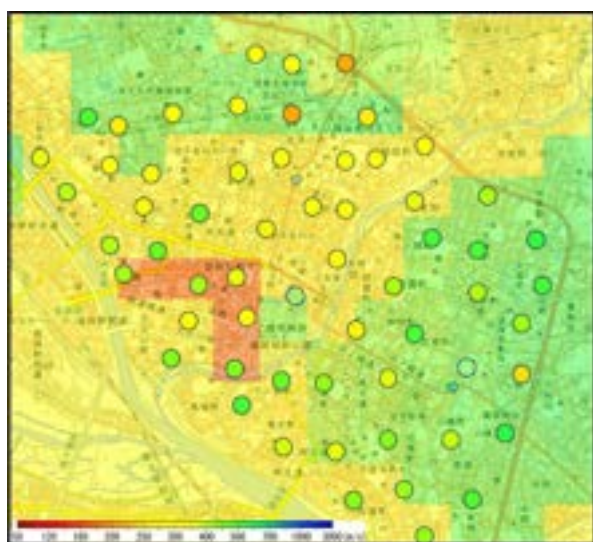


図 2 観測値 (AVS30) と J-SHIS の比較。



図 3 観測値 (AVS30) と旧河道の比較。

*サイト増幅特性がマグニチュード推定に及ぼす影響:

観測点-平均マグニチュード偏差に基づく検討

弘前大学大学院理工学研究科 堀井信之介・前田拓人・高野智也

1. はじめに

地震の正確なマグニチュードの推定は地震学における重要な課題であり、地震活動の理解や災害対策に寄与すると考えられる。気象庁では現状各観測点での振幅を元にマグニチュードを計算しており、大規模地震では変位振幅を用いた変位マグニチュード、小規模地震では速度振幅を用いた速度マグニチュードがそれぞれ用いられている。ある地震のマグニチュードを求めるには、まず各観測点におけるマグニチュードの値を観測点マグニチュードとして求め、その後それらを平均することで求められている。しかし、このような推定では、特に小規模な地震において、その推定の不確実性が高まる可能性がある。これは、速度マグニチュードにはサイト増幅特性が重畳しているが、大規模地震と比較して小規模地震ではマグニチュード推定に少数の観測点しか利用できないため、サイト増幅特性が十分に平均化されず、平均マグニチュードへのバイアスとなりうるためである。そこで、本研究では観測された地震波振幅から観測点マグニチュードを計算し、観測点マグニチュードとその平均マグニチュードとの偏差を東北日本および近傍において網羅的に調査した。

2. 手法

本研究では、まず気象庁による地震検出記録に含まれる振幅値をもとにマグニチュードの再推定を行った。2000年以降に東北日本および近傍で発生したマグニチュード4.0以下かつ深さ40km以浅の地震を対象とし、渡辺(1971)による速度マグニチュード計算式を用いてそれぞれの観測点で観測点マグニチュードを算出し、それを全観測点で平均して平均マグニチュードを求めた。対象とした643061個の地震に対して同様の推定を繰り返し、観測点マグニチュードと平均マグニチュードとの偏差の分布を観測点ごとに調査した。

3. 結果

観測点マグニチュードと平均マグニチュードの偏差の分布の例を図1に示す。一関東においては地震による値のばらつきはあるものの、その平均は-0.06と、観測点マグニチュードの平均が平均マグニチュードに平均としては一致している。一方、大館においては明らかに観測点マグニチュードが平均マグニチュードより下回っている。つまり、この観測点を含み、かつ少数の観測点で平均マグニチュードを推定すると、平均マグニチュードに負

* Effect of site amplification factors on magnitude estimation investigated from station-averaged magnitude anomalies by Shinnosuke Horii et al.

のバイアスを与えることが示唆される。図2には推定したすべての観測点-平均マグニチュード偏差を示す。この結果から、観測点マグニチュードが平均マグニチュードから系統的に乖離している点が全体の3割程度存在することが確認された。しかしながら、予備的な解析によると、それらの乖離の大きな観測点の位置と、サイト増幅特性の指標であるAVS30との関係には明瞭な相関が見られなかった。観測点マグニチュードの平均からの乖離の原因については、今後さらに他の地盤情報との比較等を通じて精査していく必要がある。

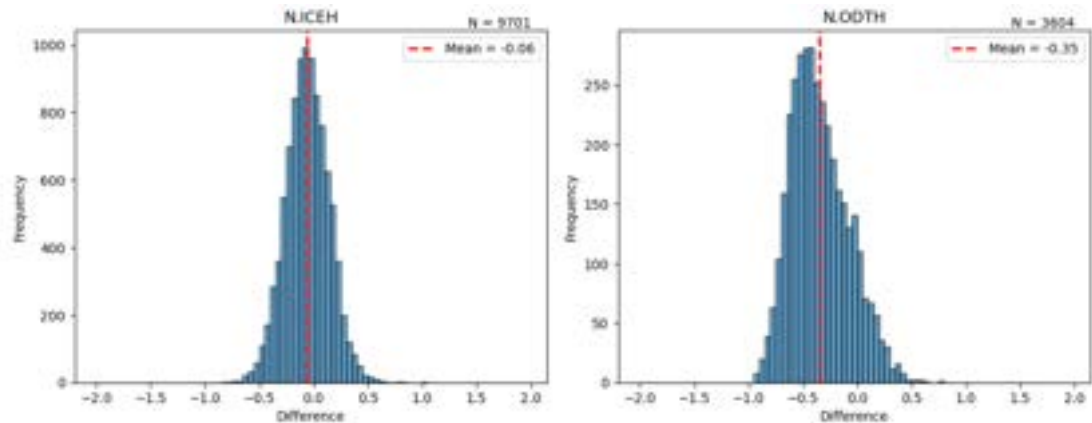


図1. 左図はHi-net一関東、右図はHi-net大館の観測点-マグニチュード偏差を示している。縦軸は地震数、赤波線は各観測点での観測点-マグニチュード偏差の平均値をそれぞれ示す。

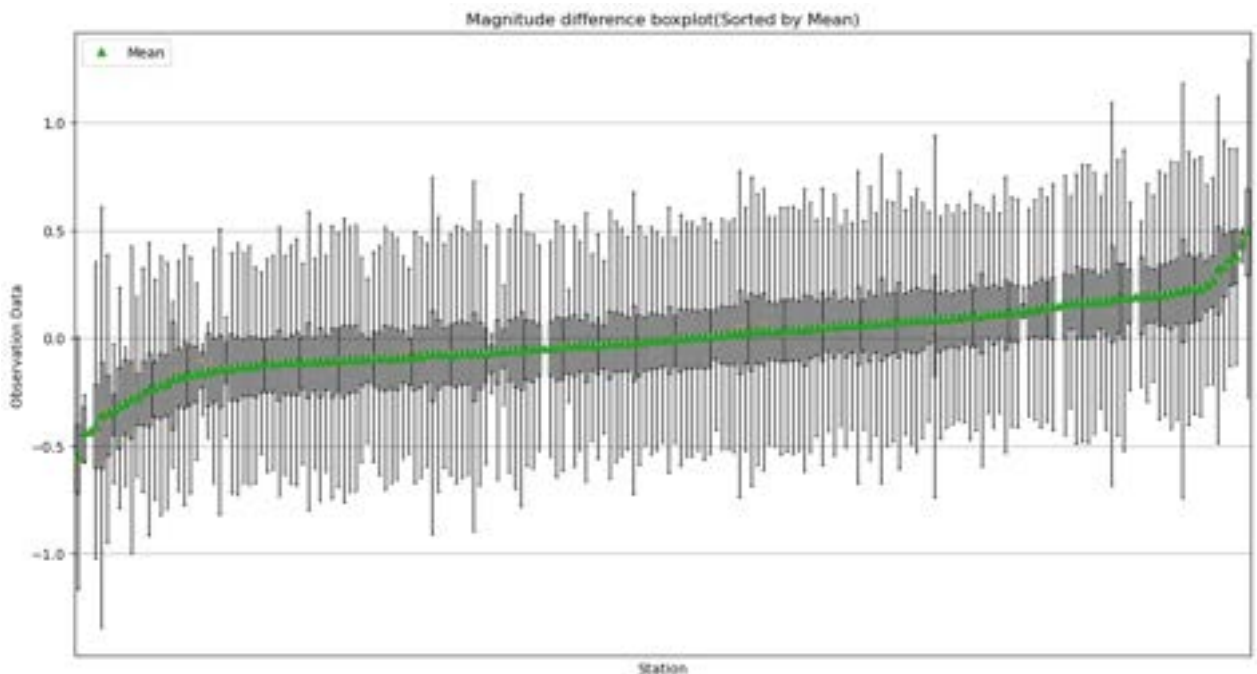


図2. 各観測点におけるマグニチュード偏差を、偏差の平均値の昇順に並べたもの。緑点が各点におけるマグニチュード偏差の平均値を、箱が四分位値を、縦棒の上端下端が最大と最小値をそれぞれ示す。

日本海東縁部における震源深さの再検討*

弘前大学大学院理工学研究科 小菅 正裕

1. はじめに

2023 年は 1983 年日本海中部地震 (M7.7) から 40 年目にあたる。気象庁が防災科学技術研究所や大学等のデータも含めて一元的に処理し公開している震源データ (気象庁一元化震源) で過去 20 年間の震源分布 (図 1) を見ると、日本海中部地震や 1993 年北海道南西沖地震 (M7.8) の余震域の形状が保たれており、余震域以外での定常的な地震活動はそれほど活発ではないことがわかる。一方、震源の深さの下限は場所によってかなり異なっている。地震発生層の下限の深さは、D90 (地震数を浅い方から積算し、全体の 90% に達した深さ) によって数値的に表現できる。津軽半島西方沖や渡島半島北西沖での D90 は 30 km 程度と深く、これが正しいとすると、海域の最上部マントル内でも地震が発生していることになる。しかし、この震源深さには人為的な影響が含まれる可能性があるため、地震波速度構造を変えて震源を決定することにより検討を行った。

2. 定性的考察

D90 が深い領域は近い位置に観測点が存在しないことが共通している。日本海東縁で発生した地震については、震央距離が 100 km 程度を超えると屈折波が初動となる。これは、地殻内の震源から放射された地震波が、地殻とマントルの境界 (モホ) 直下を屈折して伝わった方が、地殻内を伝わるよりも早く到達することによる。一方、気象庁が震源決定に用いている JMA2001 モデル (図 2 の曲線) では、モホに相当する速度の急増 (不連続) がない。この構造で屈折波の走時を説

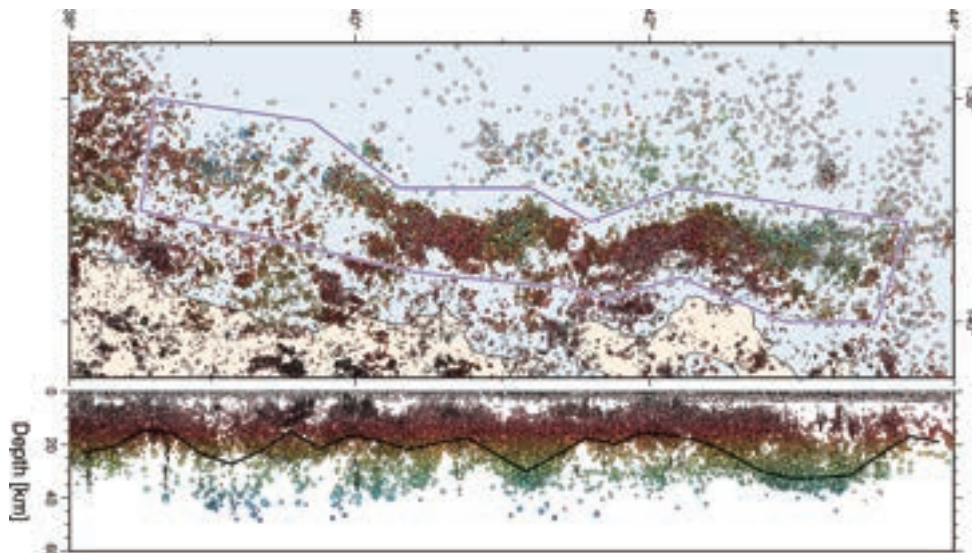


図 1 東北地方から北海道西方沖の日本海東縁で発生した地震の震源分布。期間は 2003 年～2022 年で、震源データは気象庁一元化震源カタログによる。円の色は震源深さを表す。平面図の折れ線は震源再決定の対象領域、断面図の折れ線は D90 の分布を示す。

*Reexamination of focal depths in the eastern margin of the Japan Sea by Masahiro Kosuga

明するためには、深部のより高速な領域を波線が通過するように、震源を深くする必要がある。

3. 震源再決定による検討

上記の考察を確認するため、震源の再決定を行った。対象地震は、図1の震央分布図において折れ線で囲まれた領域内の地震である。使用できる震源決定プログラムは層構造に対するものなので、まず、JMA2001を近似した構造(図2の緑色)で再決定を行った。P波とS波の速度の比はJMA2001に倣った。深さ分布を比較するため、図3には緯度方向のD90の分布を示す。気象庁一元化震源によるD90(青色)とその近似成層構造によるD90(緑色)は概ね整合し、震源決定プログラムと使用した構造の違いは震源深さにあまり影響しないことが確認できた。

次に、モホに相当する速度不連続を加えたモデルで震源を決めた。不連続面の深さは30 km(オレンジ色)、28 km(赤色)、25 km(紫色)とした。それらに対するD90の分布を図3に示す。不連続面が浅くなるほどD90も系統的に浅くなり、一元化震源によるD90とは10 km程度異なる場合もある。しかし、奥尻島に観測点がある北緯42°付近では一元化震源によるD90が浅く、構造を変えてもD90はほとんど動かない。したがって、屈折波が主要なデータとなる位置で発生した地震の震源深さが、仮定した構造の影響を大きく受けることがわかる。JMA2001は内陸での人工地震観測のデータを基にした速度不連続を持たない構造であるが、日本海東縁部においては深さ20 km程度付近に速度不連続があることは海底地震探査によって示されている。

4. おわりに

日本海東縁部において一部の領域の震源が特に深く決められている原因は、速度不連続を持たない構造モデルにあることが確認できた。成層構造では速度不連続を表現することができるが、不連続面の深さは海域で浅く陸域では深いので、1次元の成層構造では十分に近似できない。将来的に3次元地震波速度構造を用いた震源情報が提供されるまでは、震源の深さ分布には仮定した構造に起因する人為的な深さ異常が含まれる可能性があることに留意する必要がある。

謝辞

本研究では気象庁一元化処理の検測値を使用した。記して謝意を表す。

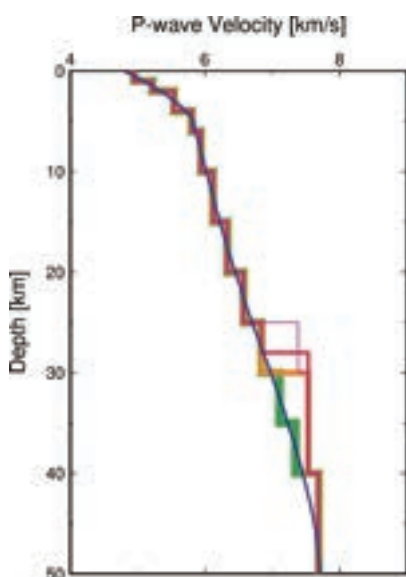


図2(左) P波速度構造モデル。曲線がJMA2001, 階段状の構造が検討に用いた成層構造モデル。

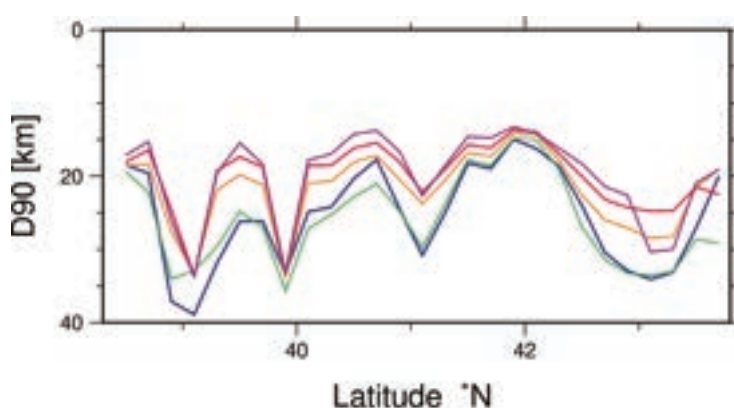


図3(上) 緯度方向のD90の分布。色は図2に対応する。

<第1会場 共通127室>

— 第3部 (7題) —

司会：大野 晋 先生

12月27日(水) 13:00~14:45

地震規模を考慮した地震波スペクトル形状による

日本海東縁で発生する地震の特徴*

弘前大学大学院理工学研究科 片山藍貴・前田拓人・高野智也

1. はじめに

日本海の東側、サハリンから富山トラフにかけて日本海東縁は東西圧縮の応力下にある（大竹・他, 2002）。その中で特に逆断層が集中している地域は歪み集中帯と呼ばれ、過去には日本海中部地震や北海道南西沖地震のような大地震が歪み集中帯に沿って発生し、その余震活動は現在も続いている。他方、内陸地震の解析で近年得られた特徴の一つに、大地震後の余震の一部は低周波に卓越した低周波地震が発生することがあり（例えば 2008 年岩手・宮城内陸地震合同余震観測グループ, 2011）、これらは日本海東縁でも発生している可能性がある。しかし、日本海東縁を対象とした先行研究は少ないため、地震の卓越周波数に関わる特徴は明らかになっていない。そこで、本研究では日本海東縁で発生する地震について、その地震波スペクトル形状から卓越周波数の高低を表す値に指標化し、空間分布の特徴を検討する。

2. 手法

本研究では、北海道沖から能登半島沖までの日本海東縁周辺で 2004 年 4 月から 2022 年 12 月までに発生した M2 以上 M6 以下の地震 10526 個を解析した。地震波スペクトルの解析手法には、Buurman and West (2010) より提案された Frequency Index (=FI 値) を用いた。FI 値は地震波形の卓越周波数をもとに定量的に地震を分類できる指標のことで、高周波数帯と低周波数帯の平均スペクトル振幅の比の対数で定義される。本研究では高周波数帯を 10-20 Hz、低周波数帯を 2-4 Hz と定義した。FI 値は震央距離から 200 km 以内の日本海側の観測点で推定し、各観測点の FI 値を平均して一つの地震に対する FI 値を求めた。観測点を使う際、S/N 比が 3 未満のものは除外した。

FI 値はその値が低いほど低周波に卓越することを意味するが、それがそのまま震源における周波数特性を表すとは限らない。一般に、震央距離が遠くなると高周波の地震波は減衰し、また地震の規模が大きくなるほど震源から輻射される卓越周波数は低周波になる。これらはいずれも FI 値を低減させる効果を持つ。そこで本研究では、標準的な地震と比較した震源における周波数特性を抽出するため、ある地震の規模と観測点までの震央距離から期待される理論 FI 値を求め、観測記録から推定された FI 値との差をとることにより、距離依存性と規模依存性の補正を試みた。本研究では、この値を補正 FI 値と呼ぶ。理論 FI 値の計算には S 波速度、Q 値、地震の応力降下量等のパラメータが必要である。そこで、これらのパラメータを現実に取りうる範囲で組み合わせて補正 FI 値の 2 乗平均を計算するグリッドサーチを行い、最小値になる組み合わせを適切だと判断する。結果、パラメータ間にトレードオフはあるものの、S 波速度

*Characterization of earthquakes on the eastern margin of the Sea of Japan based on spectral shapes of seismic waves with correction for earthquake magnitude by Aiki Katayama et al.

3500 m/s, Q 値 700, 応力降下量 10 MPa の組み合わせが適切だと判断した。理論 FI 値と補正前の FI 値が一致するようにパラメータを求めたため、補正 FI 値はゼロ付近に分布する。

3. 日本海東縁の補正 FI 値分布

推定された補正 FI 値の空間分布を図 1 に示す。空間分布には明瞭な地域性が見られ、北海道・青森の西方はるか沖では補正 FI 値が特に高く、能登半島周辺で特に低いことが観測された。また、理論 FI 値による補正の効果を確認するため、各地震各観測点で計算された補正前の FI 値と補正 FI 値それぞれ 299635 個の頻度分布を調べたところ (図 2), 平均値は期待通り補正 FI 値の方がゼロに近づくとともに、補正 FI 値の標準偏差の方が小さくなった。推定結果のばらつきが小さくなったのは、距離ならびに規模依存性の補正が有効であったためと考えられる。

4. おわりに

本研究では日本海東縁で発生する地震について、そのスペクトル形状を特徴づける FI 値を用いてその空間分布を検討した。ここで、FI 値には距離依存性と規模依存性があるため、理論 FI 値を引いた補正 FI 値を用いた。得られた分布には明瞭な地域性が観測されたため、今後は地域別に補正前の FI 値と補正 FI 値の確率密度の頻度分布を作成し、地域ごとの統計的な特徴について調べる。また、能登半島周辺に代表される補正 FI 値が特に低い領域では低周波地震が発生している可能性があるため、地震波形を確認することで低周波に卓越した地震が観測されていないか、検討する。

謝辞

本研究では気象庁の一元化震源カタログと国立研究開発法人防災科学技術研究所の高感度地震観測網 Hi-net の地震波形記録を使用しました。感謝いたします。

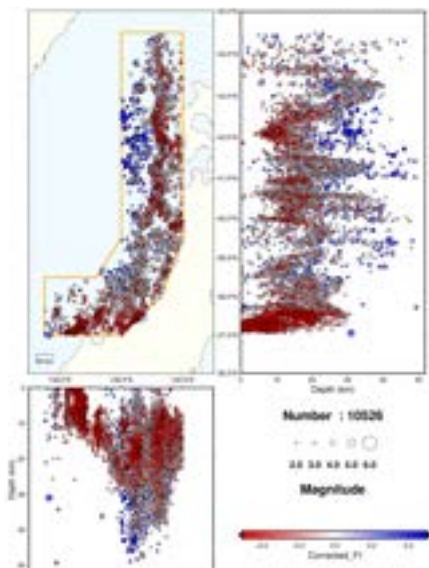


図 1 | 日本海東縁の補正 FI 値の震源分布図。対象範囲をオレンジ色の直線で囲っている。色は補正 FI 値の大きさに対応している。

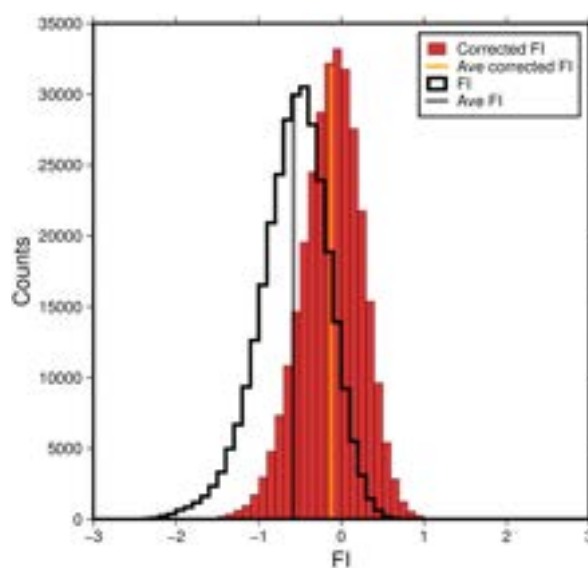


図 2 | 補正前 FI 値と補正 FI 値のヒストグラム。黒線は FI 値, 赤色は補正 FI 値を示す。縦の実線はそれぞれの平均値。

常時微動の地震波干渉法解析に基づく Rayleigh 波位相速度を用いた

福島県における 3 次元 S 波速度構造の逆解析—その 2—*

岩手大学大学院総合科学研究科 ○田村全

岩手大学理工学部 泉川大和 山本英和 齊藤剛

1. はじめに

我々は、福島県直下で発生する地震の発生メカニズムを解明するために、地震波干渉法解析を用いて福島県における地下構造の推定を研究してきた。前報（土屋ほか，2021）では、福島県内及び周辺部の Hi-net, F-net, 広帯域地震計リニアアレイで観測された常時微動記録から、ゼロクロス法による位相速度分布及び 3 次元 S 波速度構造を推定した。しかし、日本全国の深部の S 波速度構造を求めた研究（Nishida et al., 2008）と比較すると、両結果が類似していると言い切れない地域が存在した。また、福島県周辺部になるほど二観測点間のパスの数が少なくなっていた。そこで本研究では、新たな Hi-net 観測点と F-net 観測点によるパスの追加と、位相速度推定の参考基準に相互相関関数から求めた群速度を用いることにより、福島県の 3 次元 S 波速度構造をより高精度に推定する。

2. 常時微動記録と解析方法

本研究では、福島県とその周辺における Hi-net 観測点（60 点）、F-net 観測点（5 点）、広帯域地震計リニアアレイ（10 点）の全 75 観測点（追加 16 点）（図 1）で観測された常時微動を用いた。使用期間は 2012 年 9 月から 2013 年 1 月までの 5 か月間で、上下動成分のみを使用した。得られた常時微動からクロススペクトルを求め、ゼロクロス法（Ekström et al., 2009）を適用することで、位相速度を推定した。土屋ほか（2021）では、気象庁の一次元速度構造による理論位相速度に近い分散曲線を選択した。本研究ではさらに、相互相関関数から求めた群速度を参考基準とした。同じく相互相関関数から求めた SN 比が 20 以上の周波数範囲を信頼性の高い範囲とし、その範囲の群速度の分散曲線の形状や、群速度が位相速度よりもやや遅い値となることを参考基準とした（図 2）。そうして得られた位相速度データに、DsurfTomo（Fang et al., 2015）というプログ

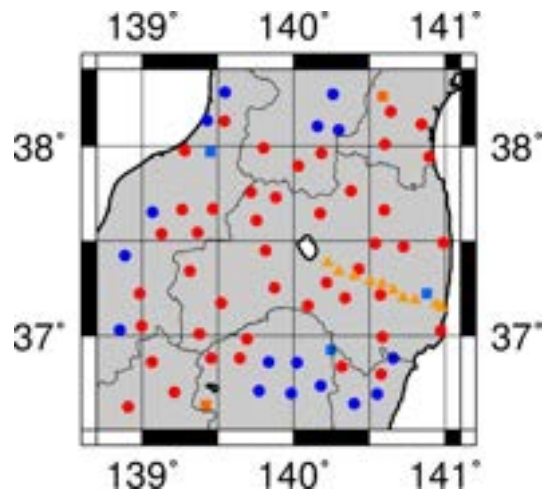


図 1 土屋ほか（2021）（●：Hi-net 観測点，■：F-net 観測点，▲：広帯域地震計リニアアレイ），本研究の追加観測点（●：Hi-net 観測点，■：F-net 観測点）

*An inversion of a three-dimensional S-wave velocity structure in Fukushima Prefecture using phase velocities of Rayleigh wave based on seismic interferometry analysis of microtremors -part2- by T. Tamura, Y. Izumikawa, H. Yamamoto, T. Saito

ラムを適用して直接逆解析をし、3次元S波速度構造を推定した。解析条件として、対象範囲は北緯36.6°~38.3°、東経138.8°~141.0°、緯度経度の分割数はそれぞれ20、使用周期は1.0~10.0sの0.5s間隔、深さは1.5~10.0kmの0.5km間隔、S波速度の解析範囲は2.0~4.0km/s、反復回数は50回、で行った。

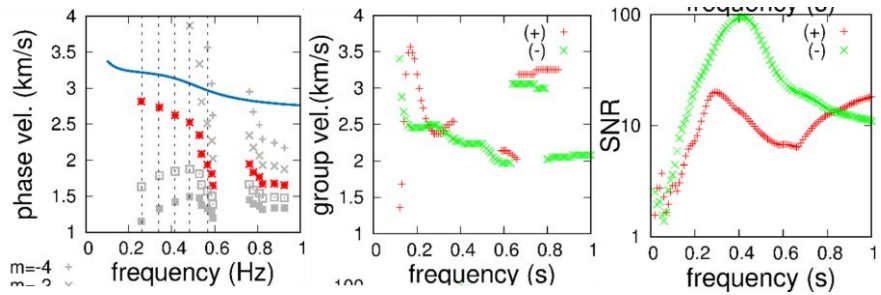


図2 位相速度(左)と群速度(中)とSN比(右)の分散曲線

3. S波速度構造

推定S波速度構造の平面図と断面図を図3に示す。福島県東部の深さ3.0~7.0kmで3.2~3.7km/sの高速帯を、福島県中央部や宮城県・山形県南部における深さ7.0km付近までで2.7~3.1km/s程度の低速帯を、確認できた。また、Nishida et al. (2008)の結果など(図4)と比較することにより、低速帯の位置や値がそれぞれ対応し、求めたS波速度構造図の妥当性を確かめることができた。

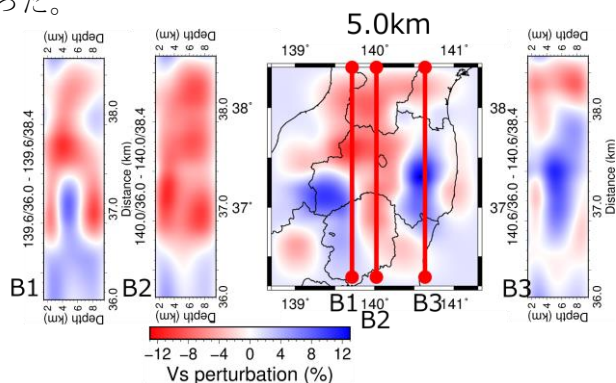


図3 推定S波速度構造の平面図と断面図 (B1:東経139.6°, B2:東経140.0°, B3:東経140.6°)

謝辞

(公財)地震予知総合研究振興会から広帯域地震計リニアアレイの記録を、(国研)防災科学技術研究所からHi-netやF-netの記録を、それぞれ提供いただきました。また、3次元S波速度構造逆解析にはFang博士による解析プログラムDSurfTomoを使用させていただきました。記してここに謝意を表します。

参考文献

- 土屋ほか(2021), 令和3年度, 東北地域災害科学研究集会, 講演予稿集。
- Ekström et al. (2009), Geophys. Res. Lett. 36, L18301。
- Fang et al. (2015), Geophys. J. Int., 201, 1251-1263。
- Nishida et al. (2008), Geophys. Res., 113, B10302。

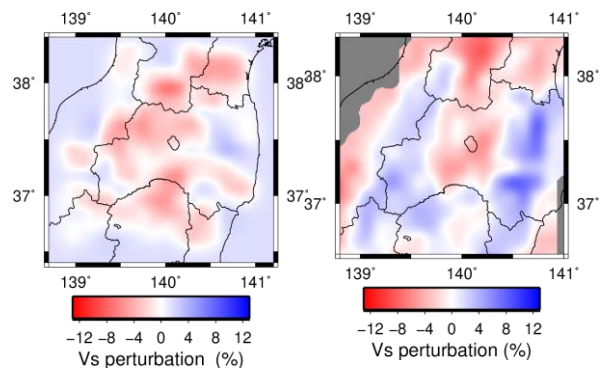


図4 深さ5kmにおける推定S波速度構造 (左:土屋ほか, 2021, 右:Nishida et al., 2008)

地震波干渉法に基づく

岩木山周辺の地下構造長期間モニタリングの試み*

弘前大学大学院理工学研究科 成田朱音・前田拓人・高野智也

1. はじめに

火山活動と関連がある現象のうちの一つに深部低周波地震が挙げられる。深部低周波地震は地殻最下部からマントル最上部で発生し、その発生領域から通常地震と異なるメカニズムで発生すると考えられている。これまでの研究では、発生メカニズムに地下流体が寄与することが指摘されているが、その明確なメカニズムはいまだ解明されていない。この深部低周波地震は、東北地方における多くの火山下でもその発生が確認されている。

地震波から地殻内部の流体の移動を間接的に検知する手法の一つに、地震波干渉法が挙げられる。地震波干渉法とは、二つの地震計で観測されたランダムな波動場の相互相関関数を計算することによって、その2点間の地震波の伝播を抽出する方法である。このとき繰り返し抽出される地震波の伝播速度の時間変化から、地下構造の変化を観測することができる。そこで本研究では深部低周波地震の発生が見られる火山下での地下構造の変化を観察することを目的とし、地震波干渉法を用いて青森県に位置する岩木山周辺の地下構造の長期間のモニタリングを行なった。

2. 使用データ・解析手法

本研究では青森県西部に位置する岩木山周辺の高感度地震観測網Hi-net観測点6点を用いた（図1）。データの使用期間は2010年1月1日から2022年12月31日の13年間である。この期間の上下動成分の連続波形記録を使用し、観測点の2点間ペアにおける1日ごとの相互相関関数を計算した。このとき相互相関関数には0.1-0.2 Hz, 0.2-0.5 Hzの各周波数帯でバンドパスフィルタを適用し、大きな地震等の影響を避けるために Bensen et al. (2007) に従ってスペクトルホワイトニングを行なった。さらに求めた相互相関関数の全期間の平均値を求め、それをリファレンスとした。リファレンス相互相関関数と1日ごとの相関関数関数との位相差から

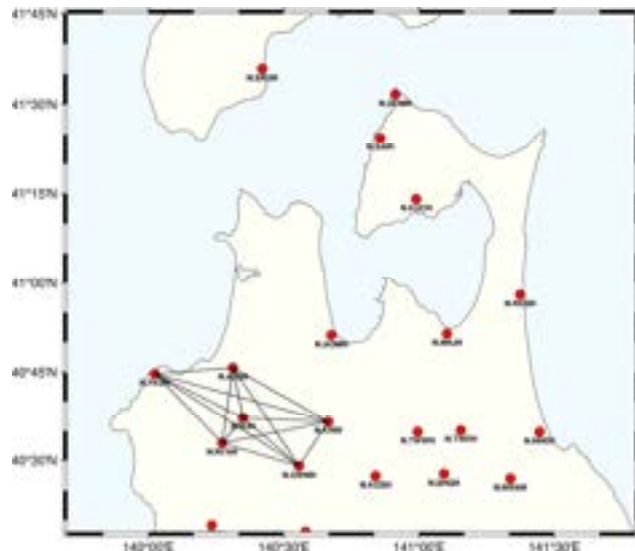


図1 青森県周辺のHi-net観測点（赤丸）と本研究の解析に用いた観測点ペア（黒実線）。

* Towards long-term monitoring of the seismological structure change beneath Mt. Iwaki using seismic interferometry by Akane Narita et al.

地震波速度の時間変化を推定した。この速度変化は両周波数帯において経過時間 10-20 秒, 20-30 秒, 50-60 秒の相関関数を用いて推定した。

3. 結果

ほとんどの観測点ペアで安定した日々の相互相関関数を得ることができ、それに基づいて日々の速度変化を推定することができた (図 2)。ただし、得られた相互相関関数は、観測点ペアによっては大きなラグタイムにおいて季節性の年周変動が見られることがあった。また、速度ゆらぎの推定においては、期間全体の平均相互相関関数と日々の相互相関関数に十分な類似性がなく、適切に速度ゆらぎが推定できなかった場合もあった。図 2 における 2011 年末, 2022 年末などがその例であり、極端に大きな絶対値の速度ゆらぎが推定されるものの、期間全体の平均相互相関関数と日々の相互相関関数との相関が大幅に低下している。このような異常値を除くと、得られた速度変化は一部例外があるものの、0.2-0.5 Hz 周波数帯においてはおよそ+2.5%から-2.5%の範囲内で、0.1-0.2 Hz 周波数帯においてはおよそ+10%から-10%の範囲内で変動することが観測された。また、速度変化は総じて安定しているが、それでも 10-20 秒、20-30 秒の時間窓では周期的な変化が見られる観測点ペアが多かった。

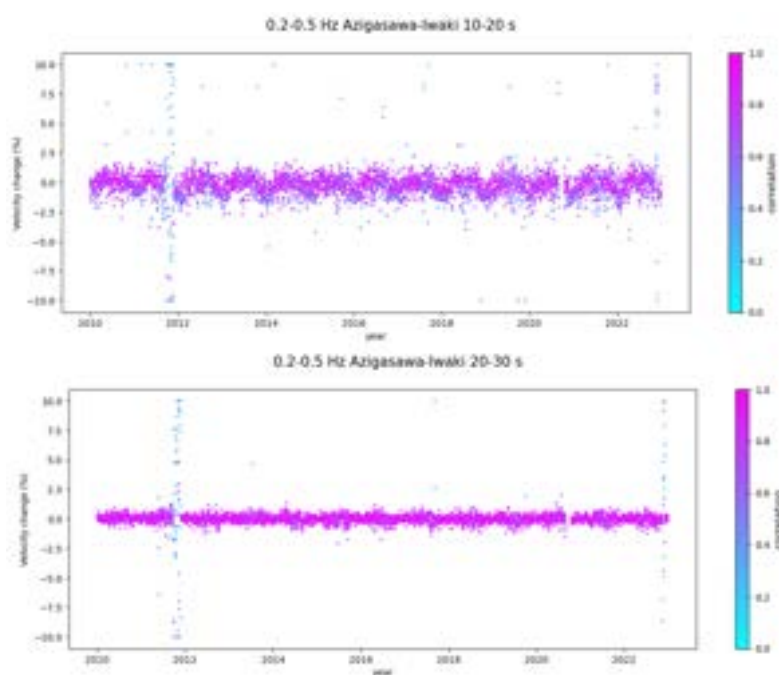


図 2 速度ゆらぎの時間変化図

4

今回本研究で確認できた周期的な速度変化の動向は観測点によって様々ではあるが、これらは構造の変化というよりも脈動源の季節的变化による見かけ上の速度変化が支配的であると考えられる。この結果から、岩木山周辺の地下で流体の移動などの地下構造の変化を観察するには、季節的な年周変動による速度変化の影響を取り除いて地下構造の変化にアプローチする必要があると考える。また岩木山周辺地下での地震波速度変化の成因を調べるためには、岩木山周辺の GPS 観測点を用いて観測される地殻変動と地震波速度変化を比較することも有効であると考えられる。

二次元谷地形の地震応答の特徴*

○弘前大学大学院地域共創科学研究科 寶川 瑠璃
弘前大学 片岡 俊一

谷地形における地震動増幅は古くから研究されているが、青森県の津軽半島に位置する蟹田町に見られる谷地形を参考に、二次元谷地形の地震応答の特徴について検討してみた。

モデルとした層構造をS波速度と合わせてTable 1に示す。層構造は公益財団法人地震予知総合研究振興会が青森県に展開しているAS-netのKNTAを参考にしている。S波速度と密度は我々が仮定した。この構造を持つ一次元モデルと、Figure 1に示す谷幅300 mで堆積層深さ20 mの谷軸直交方向を意図した二次元モデルによる地震応答を計算した（図中の青丸は地震動検出位置）。応答計算は差分法による解析プログラムOpenSWPCを一次元、二次元ともに用いた。

Table 1 モデルとしたS波速度構造

地質	層厚	密度	S波速度 (m/s)	層底 (m)	Qs
細砂	1.5	1.8	65.0	1.5	30
ローム	1.0	1.6	81.0	2.5	30
砂礫	1.5	2.0	196.0	4.0	100
シルト	12.0	1.6	100.0	16.0	30
細砂	2.0	1.9	195.0	18.0	60
砂礫	2.0	2.1	320.0	20.0	120
工学的基盤		2.2	600.0		120

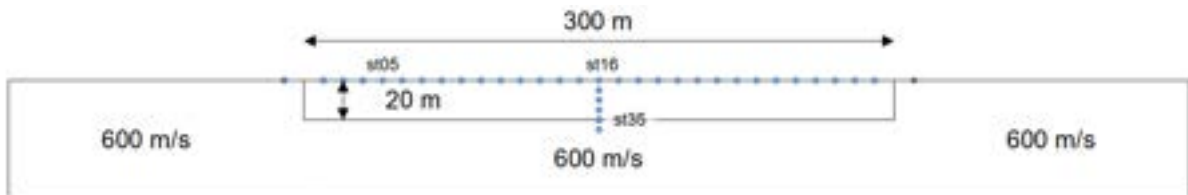


Figure 1 二次元谷モデル

解析の結果、二次元谷構造では一次元構造に比べて多くの地点で地震動が大きくなることが分かった (Figure 2)。さらに、二次元谷構造の中央周辺において、地表と地中のスペクトル比のピーク振動数が一次元構造のものよりも高振動数側にずれる現象が見られた (Figure 3)。谷の幅を変えて計算を行った場合でも同様に地震動増幅とスペクトル比のピークずれが見られ、谷幅が小さいほど顕著であった。

本検討により、二次元谷構造においては、いずれの地点であっても谷地形の影響を大きく受けることが分かった。ここで取り上げた谷地形は谷の深さに比べて谷幅が広く、一次元解析が適用できるように思えるが、そうではなかった。

*Characteristics of seismic motion in 2D buried valley structure by Ruri Hogawa and Shunichi Kataoka

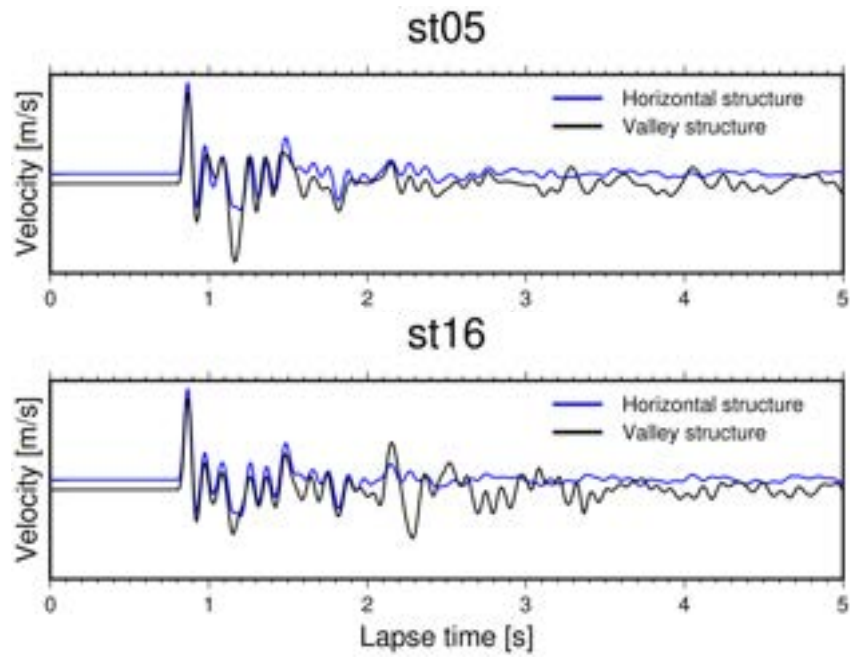


Figure 2 一次元構造と二次元構造の応答波形の比較

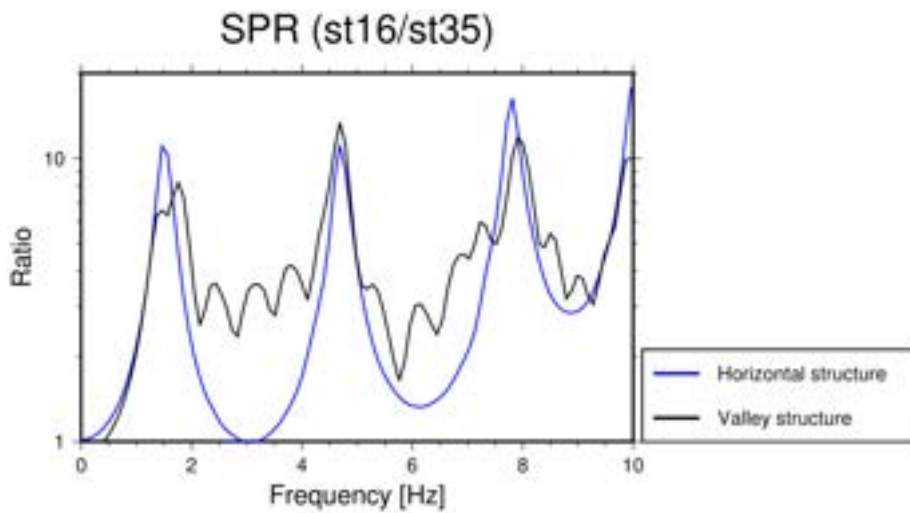


Figure 3 地表と工学的基盤上のスペクトル比

謝辞：公益財団法人地震予知総合研究振興会には、層構造を公開していただきました。記して謝意を示します。

参考文献：Noguchi, S. (2021). Influence of surface reference and upper surface soil on earthquake records observed by borehole seismometer, The 6th IASPEI/IAEE International Symposium: Effect of Surface Geology on Seismic Motion (extension abstract)

仙台市を対象とした機械学習による準即時地震動スペクトル分布推定*

東北大学災害科学国際研究所 大野 晋

1. はじめに

兵庫県南部地震後、地盤系強震観測網は拡充されたが、被害推定に直接用いるには密度は低く、何らかの空間補間により揺れの分布を求める必要がある。その際、建物応答は周期依存性が高いため、建物の被害推定には震度分布ではなく応答スペクトル分布の利用が望ましい。

この問題に対して、著者らは地盤構造モデルが高密度に得られていることを前提として、地盤モデルの等価線形応答解析と空間相関を考慮した補間を組み合わせた応答スペクトル分布の推定方法を提案している(図1)。ただしこの手法を発災時に用いるには、空間メッシュ数に応じて計算負荷が高まるため、推定範囲が広がるほど、もしくは空間メッシュが精細化するほど計算時間がかかるという課題があった。

機械学習は、モデルのトレーニングには時間がかかるが、実適用時の計算負荷は非常に少ないため、災害時の即時利用に適している。本稿では、機械学習を代理モデルとして用いた地震動応答スペクトルの準即時推定について、仙台市を対象に検討した²⁾。

2. 既往手法と機械学習による代理モデル

上記の既往提案手法のフローチャートを図1に、機械学習と組み合わせた代理手法のフローチャートを図2に示す。代理手法は2段階構成で、1段階目では図1の手法で地盤増幅補正に線形地盤応答を用いている。2段階目が機械学習部分であり、1段階目の出力を入力としてニューラルネットワークを推定している。このような構成にした理由は、空間的に疎な観測点からニューラルネットワークのみでの分布推定は困難であったこと、線形増幅率であれば事前計算可能なこと、中間推定を挟むことで欠測点があった場合も対応可能なことによる。

3. 適用例

仙台市内の観測記録を対象に学習した代理モデルの適用例を図3に示す。1段階目では分布形状は目標値と類似しているもの、線形増幅率を用いた結果として、特に短周期で過大評価になっていること、一方2段階目では過大評価が解消され、目標値に近づくことが確認できる。

参考文献

- 1) 大野晋, 柴山明寛: 地下構造と地震動の空間相関の影響を考慮した応答スペクトルの空間分布推定, 13JEES, GO1-Thu-PM-10, pp. 186-192, 2010.
- 2) 大野晋, 森川拓海: 機械学習を用いた準即時地震動スペクトル分布推定, 16JEES, 2023

*Quasi real-time shake-map estimation of response spectra using machine learning for Sendai city by Susumu Ohno

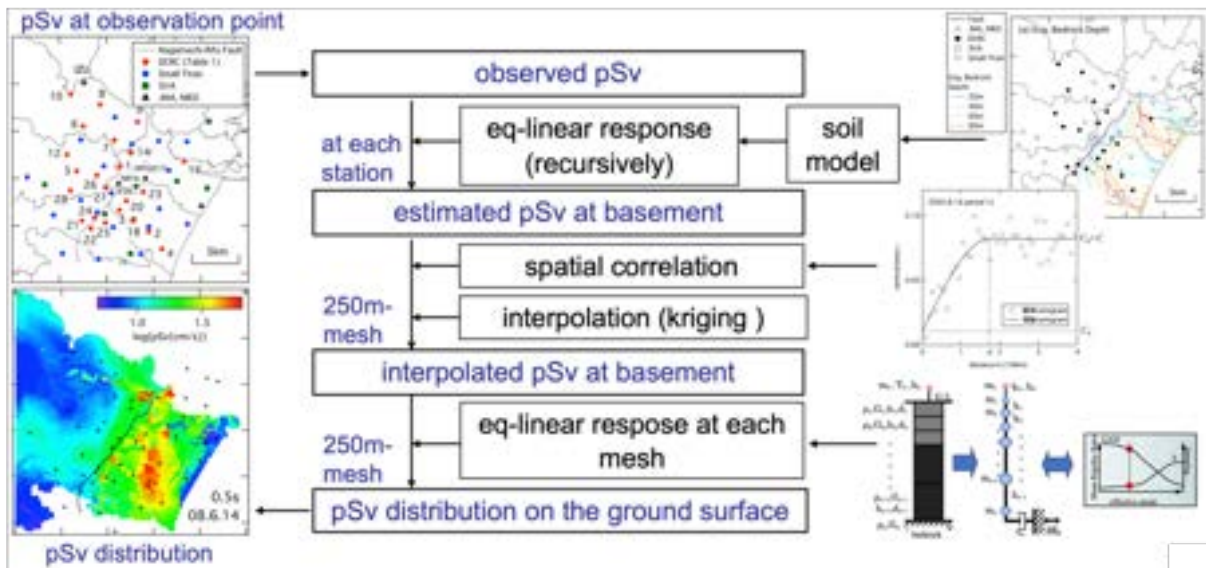


図1 等価線形地盤応答解析と空間補間を組合せた応答スペクトル分布推定フローチャート

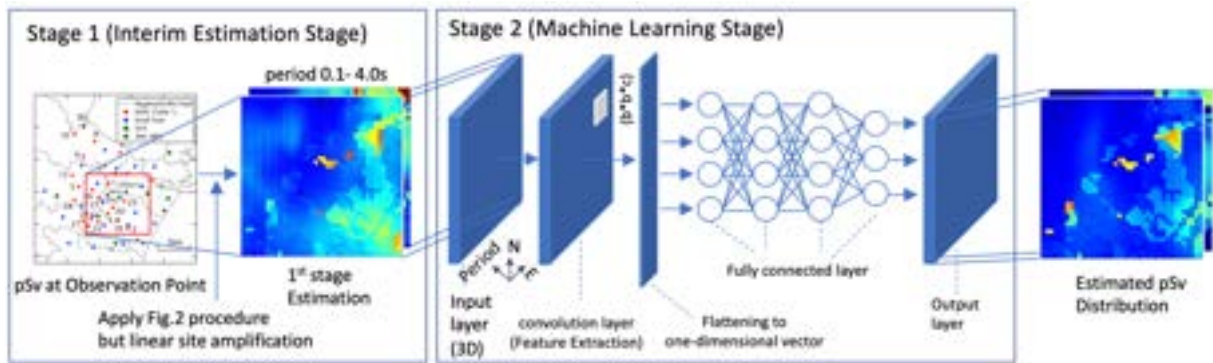


図2 ニューラルネットワークを用いた応答スペクトル分布推定フローチャート

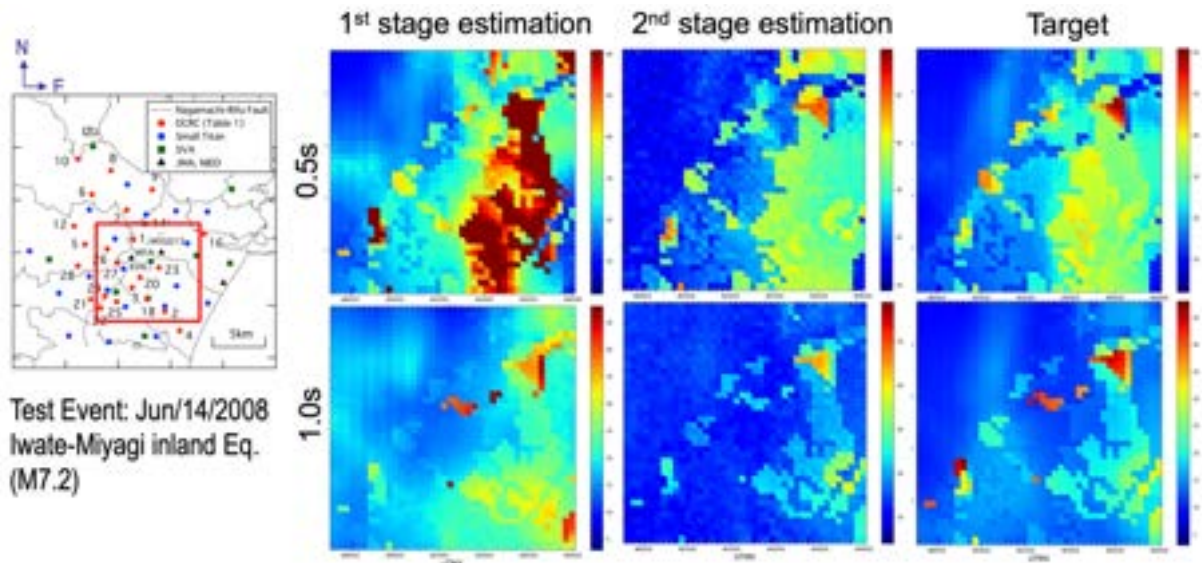


図3 学習モデルの適用例 (対象: 岩手・宮城内陸地震の周期 0.5s, 1s の応答スペクトル)

エキスパンションジョイントを挟んだ2地点間の 相対地震応答変位について

○弘前大学大学院地域共創科学研究科 水野 智貴
弘前大学 片岡 俊一

弘前大学理工学部1号館（以下「1号館」と記す）は図1に示すように建築年代の異なる5個のブロックで構成された建物であり、ブロック間にエキスパンションジョイント（以下「Exp. J」と記す）がある箇所とない箇所がある。本研究では、Exp. J を挟んだ2地点間の相対地震応答変位を確認するため、1号館の屋上のExp. J を挟んだ2地点（図1の①②）と中庭で微小地震を観測して伝達関数を求め、過去に1号館近方で観測された大地震の記録を使用し、Exp. J を挟んだ2地点の相対地震応答変位を確認した。

中庭と屋上の地震観測期間は2022年11月2日から同年12月26日の54日間である。地震観測は連続観測であり、得られた11個の微小地震に対応する時刻データを利用した。この記録をもとにスペクトル解析をおこない、ブロックの伝達関数を求めた。

2つのブロックの固有振動数を伝達関数から推定すると、①の地震計のブロックは南北方向4.0Hz、東西方向3.5Hzとなった。②の地震計を設置したブロックでは南北方向4.0Hz、東西方向3.4Hzとなった。

用いた大振幅記録は、1983年日本海中部地震と2011年東北地方太平洋沖地震の際に、1号館の隣に位置する弘前大学地震火山観測所で観測されたものである。この地震時の1号館の屋上における応答を、大振幅の記録と微小地震から算出した伝達関数を用いて求めた。さらに、屋上における応答波形からExp. J を挟んだ相対変位の最大値を求めると、日本海中部地震時では南北方向0.057cm、東西方向0.26cm、東北地方太平洋沖地震時では南北方向0.015cm、東西方向0.021cmとなった。

一方、Exp. J 部分の間隔は目視で3cmだった。よって、日本海中部地震と東北地方太平洋沖地震の際の相対変位は、Exp. J の幅よりも十分に小さかったことが分かった。

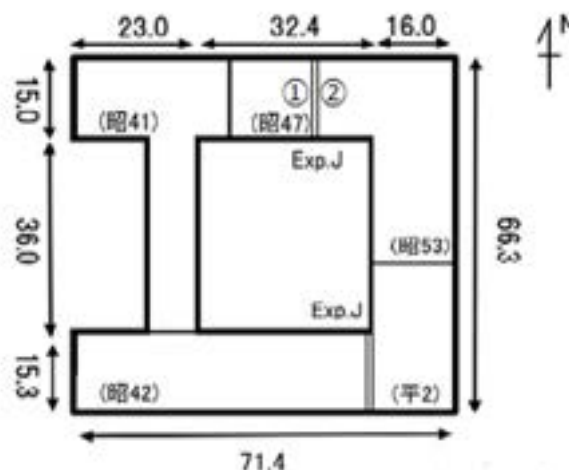


図1 1号館平面図

*Relative seismic response displacement between two points across an expansion joint

by Tomoki Mizuno and Shunichi Kataoka

広帯域地震波形記録の粒子軌跡解析に基づく脈動起源の

時空間変動の追跡：令和元年東日本台風への適用*

弘前大学大学院理工学研究科 下間 翔太・前田 拓人・高野 智也

1. はじめに

地球は地震時以外にも絶えず振動していることが知られている。その大きな原因の一つは海洋の波浪による脈動であり、それらは励起メカニズムによって主に primary microseisms (0.02-0.1 Hz), secondary microseisms (0.1-1 Hz)に分類されている。

脈動の励起源は一様ではなく、時空間変動することが知られている。Takagi et al. (2018)は、高感度地震観測網 Hi-net で記録された連続波形記録に対して粒子軌跡を用いた解析を行い、脈動成分の到来方向（以下、backazimuth）の長期間での季節変動を推定した。一方、台風によって代表されるような急峻な気象変動現象時には、より短時間スケールにおいて脈動の励起の変動が起こることが見込まれるが、その励起過程は明らかにされていない。そこで本研究では、近年日本列島に大きな被害をもたらした令和元年東日本台風（Hagibis）の来襲および通過時の陸海の地震波形記録を用い、台風の移動にともなう脈動励起源の高時間分解能推定を試みた。

2. Backazimuth 解析と脈動源位置推定

本研究では、Takagi et al. (2018)で提案された backazimuth 推定の手法を用い、令和元年東日本台風通過時に励起された脈動に対して 10 分間ごとの backazimuth 推定を行った。この方法は、地震波形記録の振動成分間のクロススペクトルから、Rayleigh 波の粒子軌跡をもつ成分のみを抽出、その到来方向を推定するものである。この方法で各観測点における脈動の到来方向を推定し、その方向を平均的によく説明する位置として、脈動源の推定を行った。

到来方向の解析に用いた期間は、2019 年 10 月 5 日 3 時から 15 日 0 時までとした。解析には防災科学技術研究所が設置している Hi-net, F-net, S-net の上下・東西・南北の 3 成分記録を使用し、primary および secondary microseisms が卓越する 0.02-0.1 Hz と 0.1-1 Hz の 2 つの周波数帯で解析を行った。また、比較のための台風や気圧などの気象データに関しては気象庁のものを使用した。

3. 結果

令和元年東日本台風到来時の backazimuth を図 1 に示す。Hi-net と F-net の陸上観測点による結果はある 1 つの領域に到来方向が集まる結果が得られた。一方で、海底観測点では、backazimuth のランダム性が大きく、特定領域の方向を指すことはなかった。そこで、脈動源の位置は陸上観測点のみを用いて推定した。

得られた backazimuth から脈動源位置を推定したところ、台風が移動するにつれて脈動源が北上していく結果が得られた。台風が通過した後の 2019 年 10 月 13 日 3 時から 14 日 0 時には、推定された脈動源位置が岩手県・宮城県の沿岸部に停滞する様子が見られた。

* Spatio-temporal tracking of the origin of microseisms through particle-motion analysis of broadband seismograms: An application to the Typhoon Hagibis 2019 by Shota Shimotsuma et al.

令和元年東日本台風到来時に励起された脈動源の推定位置が、どのような気象現象と関係しているかを調べた。地表面気圧と波高について脈動源位置と比較したところ、気圧が最も低い領域・波高のピーク領域ともに脈動源位置と完全に一致していなかった。脈動は海底地形と海洋波浪のカップリングによって励起されるため、メソ数値予報モデルでは考慮されていない海底地形の影響を受けたことが示唆された。

また、2021年台風16号について同様の手法を適用して **backazimuth** および脈動源を推定した。陸上観測点では台風の移動に伴って脈動源位置が連続的に変化しており、令和元年東日本台風以外の台風においても、高時間分解能における脈動源位置の連続的なトラッキングをすることが可能であると示唆された。

4. おわりに

本研究では、令和元年東日本台風の来襲・通過に伴って励起された脈動について、高時間分解能における **backazimuth** および脈動源の推定を試みた。その結果、陸上観測点から求められた **backazimuth** はある1つの領域を示し、推定された脈動源位置は台風の移動に伴う連続的な移動が見られた。また、2021年台風16号を用いて検証したところ、台風の移動に伴う脈動源位置の移動が見られた。この結果から、台風の移動にともなう脈動励起源の高時間分解能推定は可能であると考えられた。

謝辞

本研究では防災科学技術研究所が設置している **Hi-net**、**F-net** および **S-net** の地震波形データを利用しました。また、気象データに関しては気象庁の台風位置表ならびにメソ数値予報モデルを使用しました。

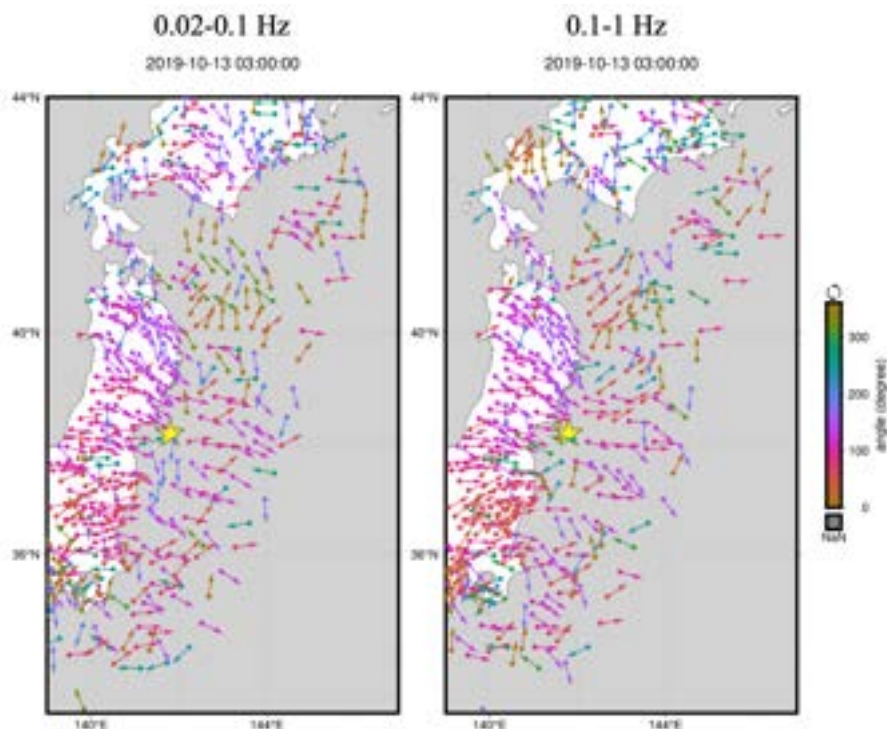


図1. 令和元年東日本台風到来時の **backazimuth**。北を0度、時計回りを正とした角度で色付けしている。ベクトルの先が到来方向を示す。黄色の星は台風を中心位置である。

<第1会場 共通 127室>

— 第4部 (6題) —

司会：岡田 里奈 先生

12月27日(水) 15:00~16:30

秋田県および山形県沿岸域にみられるイベント堆積物の

成因と分布に関する再検討*

岡山理科大学理学部 角舩 祥・鎌滝孝信・石塚桃恵・川田 駿・和田凌汰

秋田県および山形県の日本海側における海域もしくは海陸境界部で発生した歴史地震・津波に関する情報は極めて少なく、850年出羽の地震、1644年羽後の地震、1694年能代地震、1704年岩館地震、1804年象潟地震、1833年酒田沖地震、1894年庄内地震、1939年男鹿地震、1964年男鹿半島沖地震、1983年日本海中部地震などに限られる（宇佐美ほか、2013）。東北地方北部および山形県の日本海側におけるイベント堆積物の形成年代や成因、分布については、いくつかの報告がなされてきた（例えば、鎌滝ほか、2015, 2017；川上ほか、2017；Okada *et al.*, 2023 など）。最近では渡辺ほか（2021）が、津波の数値シミュレーション結果とボーリング調査によって得られたイベント堆積物の分布とを比較、検討している。しかしながら、これらの地域で地層中にみられるイベント堆積物の成因に関しては、津波や洪水といった比較的強い水流が関与したものということは確実と考えられるが、それ以上の確度を持った情報とは言えない状況にある。そこで我々はイベント堆積物の成因や分布範囲の詳細を明らかにするため、すでにイベント堆積物が見いだされている地域について、再度詳細なボーリング調査を実施している。

調査地域は山形県酒田市飛島および秋田県にかほ市三森である。飛島で見られるイベント堆積物は礫質堆積物で（相原ほか、2021）、5地点でイベント堆積物中の礫のインブリケーションを測定した。その結果、これらの礫質堆積物中にみられるインブリケーションは、海側から陸側への流れの影響下で形成されたと推定される。にかほ市三森については、すでに砂質のイベント堆積物が見いだされているが、その成因と詳細な分布を明らかにするため、鎌滝ほか（2017）の調査測線およびその陸側延長部について、ハンディジオスライサー（高田ほか、2002）による計19試料とハンドコアラーによる計55試料のボーリング試料を新たに採取した。にかほ市三森から得られた試料はそれぞれ約2mで、泥炭やシルトを主体とした細粒層に数枚の砂質の粗粒堆積物、すなわちイベント堆積物が挟まれる。本講演では、それらイベント堆積物の構成物質や内部構造などの特徴について報告し、その形成要因と分布様式について議論する。

謝辞:本研究には科学研究費（基盤研究（C）, 課題番号：20K05042, 代表：鎌滝孝信）を使用した。

引用文献:相原ほか（2021）東北歴史博物館紀要, **21**, 1-28. ; 鎌滝ほか（2015）第四紀研究, **54**, 129-138. ; 鎌滝ほか（2017）土木学会論文集 B2（海岸工学）, **73**, 2, I_445-I_450. ; 川上ほか（2017）地質学雑誌, **123**, 857-877. ; Okada *et al.* (2023) *Marine Geology*, **453**, 106905. ; 高田ほか（2002）地質ニュース, **579**, 12-18. ; 宇佐美ほか（2013）日本地震被害総覧 599-2012, 東京大学出版会. ; 渡辺ほか（2021）土木学会論文集 B3（海洋開発）, **77**, 2, I_91-I_96.

*A study on source and distribution of the event deposits in coastal lowland on the Akita and Yamagata Prefectures, the eastern margin of Japan Sea by Sho Kadomasu, Takanobu Kamataki, Momoe Ishizuka, Shun Kawata, and Ryota Wada

青森県鱒ヶ沢町の沖積低地で見いだされた津波堆積物

弘前大学工学部 鈴木勇斗・岡田里奈・梅田浩司
岡山理科大学理学部 鎌滝孝信

1. はじめに

2011年3月11日に宮城県沖を震源とする超巨大地震(Mw9.0)が発生した。そして岩手県・宮城県・福島県の沿岸部では10m以上の津波が来襲し、約2万人の犠牲が生じた。この際に沿岸のみならず、河川を遡上した津波が、河川堤防を越えて沿岸地域に甚大な被害をもたらしたことが判明している。これにより沿岸域においての津波防災を考える上で、津波の河川遡上への対策が重要である。日本海側では太平洋側に比べて津波堆積物の報告が少ないことに加えて、季節風による砂丘の発達が著しいことから(標高20~40m)、津波は河川を遡上しながら堤防から氾濫することが多い。そこで筆者らは、日本海東縁で発生した歴史津波の発生時期や規模を明らかにするための研究の一環として、青森県鱒ヶ沢町の鳴沢川周辺の沖積低地において、イベント堆積物の調査を進めてきた。その結果、これまでに強い水流に伴う土砂移動によって形成されたと考えられるイベント堆積物を複数見いだしたが^{2),3)}、その成因を特定するに至っていない。本研究では、当該地域において新たに実施した調査結果を含めて、歴史津波によって形成されたと考えられるイベント堆積物について報告する。

2. 調査地域及び調査方法

調査地域は鳴沢川河口周辺の高さ10m程度の砂丘に囲まれた沖積低地で、河川を遡上した海起源のイベント堆積物が比較的保存されやすい環境と考えられる。同地域での先行研究のほか、鱒ヶ沢町が公表している津波ハザードマップを基に、海岸線から400~900m、標高1~2mの24地点でハンディジオスライサーとハンドコアラーを用いて1~2mのコア試料を採取し、層相観察を行った。また、比較試料として鳴沢川河口付近で海浜砂を、鳴沢川上流から河床砂を採取した。採取した試料は実験室に持ち帰り、実体顕微鏡で観察した後、粒度分析を実施した。

3. 結果と考察

採取したコア試料の層相観察によると、主に表層の耕作土の直下から深さ約60cmまでが有機質シルト層、深さ80~120cmまでが泥炭層、深さ120~190cmまでが有機質シルト層からなる(図1左)。また、深さ約60cm付近では褐色の火山ガラスのパッチが認められる。なお同地域を調査した熊谷ほか(2017)²⁾によると、このパッチ状のテフラは946年に中国と北朝鮮の国境付近に位置する白頭山から噴出した白頭山-苫小牧テフラ(B-Tm)に対比される。

*Tsunami deposits found in the alluvial lowlands of Ajigasawa Town, Aomori Prefecture by Hayato Suzuki, Rina Okada, Koji Umeda, Takanobu Kamataki

多くのコアで深さ約 30~40cm 付近、深さ約 70~80cm 付近から厚さ 5cm 程度の基底が侵食面を呈する細粒砂層または極細粒砂混じりの有機質シルト層が観察された。

(図 1 左①層；同右②層)。これらの中には 0.5~1 cm 程度の有機質シルトまたは泥炭が挟在し、複数枚に分かれているものもある。しかしながら、①および②層の各コアの連続性は乏しい。鳴沢川のやや上流側で採取したコアからは、深さ約 100 cm 付近からは厚さ 40~80 cm 程度の細粒砂~粗粒砂で構成される砂層、もしくは細粒砂~粗粒砂と有機質シルト、泥炭との互層が認められる(図 1 左③層、右③層)。

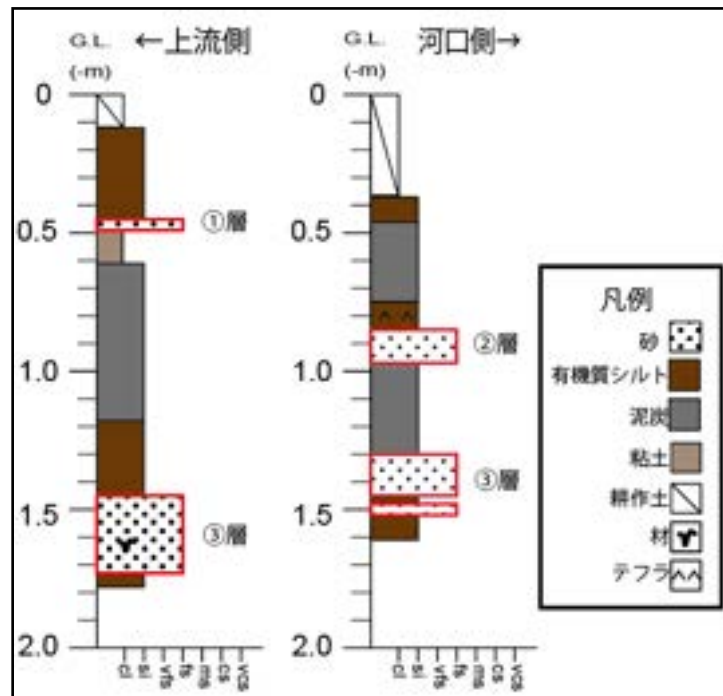


図 1：代表的な柱状図

③層の連続性はよくほとんどのコアで確認することができる。これらの①層、②層および③層は有機質シルト、泥炭が形成される堆積環境に強い流れを伴う突発的なイベントによって形成されたと考えられる。なお、③層に関しては堆積構造や砂粒子の特徴から鍛冶ほか(2018)4)によって洪水起源とされている。以下では①層および②層の成因について議論する。

実体顕微鏡観察の結果。海浜砂は円磨された斜長石や石英、石質岩片から構成される。河床砂は斜長石、輝石、石質岩片、軽石などから構成されバブル・ウォール型の火山ガラスが含まれる。①層・②層はどちらも主に円磨された斜長石、石英、石質岩片からなり、海浜砂と類似している。また、バブル・ウォール型の火山ガラスは見られない。粒度分析の結果、平均粒径は海浜砂が 1.8Φ、河床砂が 1.9Φ、①層・②層などのイベント層が 1.3~1.9Φであった。一方、淘汰度は海浜砂が 0.3、河床砂が 1.8、イベント層の多くは < 1.0 であり、海浜砂とイベント層は淘汰が良く、河床砂は淘汰が悪い。以上の層相観察、実体顕微鏡観察、粒度分析の結果より、①層・②層は津波によって海浜砂のほか、砂丘砂等の沿岸域の堆積物が運ばれて堆積したと考えられる。また、平面的な連続性が乏しい点については、河川を遡上して氾濫した土砂の堆積環境は、河川の形状や地形の小起伏など地形条件の違いが大きく影響することを示唆する。

4. 引用文献

- 1) 佐藤ほか(1994) 活断層研究, 12, 1-23.
- 2) 熊谷ほか(2017) 東北地域災害研究, 53, 7-14.
- 3) 石田ほか(2018) 東北地域災害研究, 54, 61-66.
- 4) 鍛冶ほか(2018) 東北地域災害研究, 53, 49-54.

男鹿半島，一ノ目潟の年縞堆積物に挟まれるイベント堆積物の特徴

永田篤規・梶田展人・梅田浩司（弘前大学），安藤卓人（秋田大学）

1. はじめに

秋田県男鹿半島に位置する一ノ目潟は，マグマ水蒸気爆発によって形成された爆裂火口（マール）に水が溜まった直径約600 m・最大水深約45 mの淡水湖であり，その湖成堆積物には年縞が確認されている．年縞とは長い歳月の中で湖底など静穏な環境に堆積した土などの層が描く特徴的な縞模様のことである．これまでの研究によれば，一ノ目潟の場合，春～初夏に形成される珪藻ブルームを主体とした明色薄層と，晩夏～冬に形成される硫化物・非結晶の有機物・碎屑粒子の混合密集層の暗色薄層の1セットが1年で堆積して年縞を形成していることが判っている(山田ほか，2014)．

年縞には過去に起こった自然災害の様子も記録されており，そこでは地層の乱れや侵食が起こっていたり小規模なタービダイト（混濁流によって運ばれる堆積物）が保存されていたりする場合がある．その原因は男鹿半島を含む日本海東縁で発生する地震によって引き起こされる混濁流によるものと見られ，地震による一種のイベント堆積物とも捉えることができる．歴史地震毎のタービダイトの特徴を明らかにするのに際して，年縞がイベント堆積物の年代決定における新たな指標にできるのではないかという仮説に基づき本研究を行った．今回は過去に日本海東縁で発生したマグニチュード7以上の大規模な地震の中でも，最も直近に発生した日本海中部地震（1983年）のタービダイトを取り上げ，その層序及び堆積構造について記載・分析を行ったので，それについて報告する．

2. 調査地域及び調査方法

調査地点は，斜面崩壊が生じている湖畔からタービダイトの末端と考えられる湖心まで連続的にサンプリングできるように測線を設けた．各調査地点では内径 4 cm 長さ 50 cm のコアサンプラーを湖底へ打ち込むことでコアの掘削を実施した．

採取したコアはサンプラーから抜き出して層相観察・年縞カウント・写真撮影を行った．年縞のカウントは2名で行い，1人あたり3回計測しその平均値を出して目視によるカウントの誤差を減らした．その後，1.5×1.5×30 cm のL字チャンネルを用いてX線CTスキャナ観察と粒度分析に使用する試料として2本切り出した．さらに切り出したコアのうち，粒度分析用のものは上端から下端まで0.5cm間隔で切り分けて深度毎にレーザ回折式粒度分布測定装置（島津製作所SALD-3000J）を用いて粒度分析を実施した．

* Characteristics of Event Deposits Sandwiched between annual laminated sediments of Ichinome Lagoon, Oga Peninsula, by Atsuki Nagata, Hiroto Kajita, Koji Umeda, Takuto Ando

3. 結果

ここでは、年縞とタービダイト層の両方が明瞭に見られた調査地点 NAGA03 (N39.95418 E139.73950) の層相観察・粒度分析の結果を示す。なお、調査地点の水深は 43.5m であった。層相観察の結果、0～7.3cm までが年縞層 (30 本の年縞)、7.3～16.5cm までがタービダイト層、16.5cm～18cm までが年縞層 (6 本の年縞)、18cm から最下端 22.5cm までがタービダイト層であると認定した (図-1)。

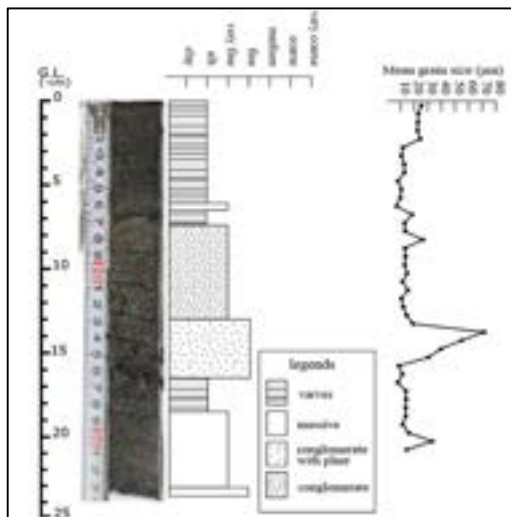


図-1 NAGA03 の記載結果

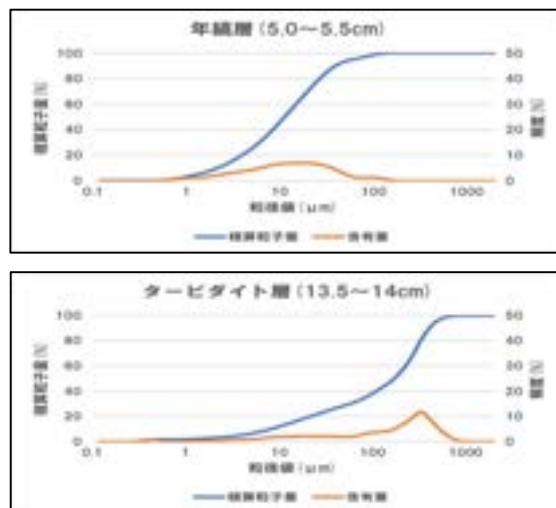


図-2 NAGA03 の年縞層とタービダイト層の粒径分布

また、年縞層とタービダイト層の中から代表的な粒径分布の結果を図-2 に示す。年縞層 (5.0～5.5cm) はシルトサイズの碎屑粒子にピークを持ち、タービダイト層 (13.5～14cm) は砂サイズの碎屑粒子にピークを持ち、含有鉱物は石質岩片・石英・長石・かんらん石である。また、タービダイト層は上方細粒化すること、年縞層には見られなかった葉片等が混入するといった特徴を有する。

コア全体でも同様の傾向が確認され、年縞層は淘汰の良い粘土～シルトが主体でタービダイト層は淘汰が悪く砂～礫サイズの粒子が主体であった。これは年縞を形成する粒子とは異なる碎屑物が供給されていることを示唆している。

4. 今後の課題

NAGA03 の測定の結果、年縞層とタービダイト層で粒径と含有物に明瞭な違いがあることが確認された。今後は、NAGA03 以外のコアについても同様の調査・分析を行い、日本海中部地震のタービダイト層を測線上の他のコアでも確認していきたい。また、タービダイト層を構成する碎屑粒子の供給源の特定も併せて行っていくことで、地震発生時におけるタービダイトの堆積過程の復元を進めていきたい。

参考文献

山田和芳・五反田克也・篠塚良嗣・斎藤めぐみ・藤木利之・瀬戸浩二・原口強・奥野充・米延仁志・安田喜憲 (2014), 年縞編年学の進歩. 月刊地球, 号外 No. 63, 25-30.

クッタラ火山, Kt-3 テフラの層序と噴出物の化学組成 *

弘前大学工学部 花田一秀
弘前大学工学研究科 近藤美左紀
弘前大学工学研究科 梅田浩司

1. はじめに

大規模な噴火により短時間で広域に堆積するテフラは、火山から離れた地域において同時期を示す指標として有用である。北海道南西部に位置するクッタラ火山は 80 ka に活動を開始した火山である¹⁾。その後、5 回の中規模珪長質火砕噴火を経た後、Kt-1 の噴火に伴いカルデラが形成された²⁾。このうち、Kt-3 は約 54 ka に降下軽石、火砕サージ、火砕流を噴出した活動であり、噴出量は 20.1 DRE km³ であり、クッタラ火山の南方から東方にかけて火砕流台地を形成した。本研究では Kt-3 の近傍相の層序、記載岩石学的な特徴を明らかにするとともに、火山ガラスの化学組成について報告する。また、遠方相として安平町早来で採取したテフラとの対比を行った。

2. 調査地点および調査方法

調査地点は近傍相としてクッタラ湖南方の登別漁港付近および蘭法華岬（蘭法華：42° 26′ 26.71″ N, 141° 9′ 50.29″ E / 港町：42° 26′ 53.19″ N, 141° 10′ 44.81″ E / 登別漁港 W：42° 26′ 55.94″ N, 141° 10′ 52.84″ E / 登別漁港 E：42° 26′ 57.82″ N, 141° 10′ 54.91″ E）、遠方相としてクッタラ火山東方に位置する安平町早来（42° 46′ 15.41″ N, 141° 47′ 11.75″ E）である。露頭において層相観察と記載およびテフラ試料の採取を行った。採取した試料は超音波洗浄機で洗浄後に 132~263 μm に篩い分けし、研磨薄片を作成した。その後偏光顕微鏡を用いた鉱物観察と試料に含まれる火山ガラスを電子プローブマイクロアナライザ（EPMA）を用いて火山ガラスの主成分 9 元素（Si, Ti, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, Na 及び K ただし Fe は 2 価とする）について定量を行った。EPMA は日本電子製の JXA-8230（波長分散型・4 チャンネル）を用い、測定条件は加速電圧 15kV、照射電流 6.0×10⁻⁹ A、ビーム径 10 μm とした。

3. 層相観察

図-1 に近傍相の総合柱状図と遠方相の柱状図を示す。登別市港町露頭では最下位に Kt-Hy が確認され³⁾、この上位に降下軽石と降下火山灰の互層が堆積し、厚さ 1.5 m の褐色のレスを挟んで火砕サージ、火砕流堆積物が認められる。また、海岸沿いの火砕流の露頭では厚さ 10m 以上にわたって溶結が観察される。以上のように Kt-3 の近傍相を観察する限り、一連の噴火活動の産物ではなく²⁾、前半の降下火砕物と後半の火砕流の間には時間間隙が存在すると考えられる。一方、安平町早来では支笏火山を給源とする Sp-4, 3, 2 の上位に、給源不明の降下軽石が 3 枚確認され、さらに上位に Kt-1 と Sp-1 がこれらを覆う⁴⁾。Sp-2 は約 55 ka、Kt-1 が 44.1 ka であることから給源不明の降下軽石は Kt-3 の噴出時期と整合的である。

*Kuttara Caldera Volcano, stratigraphy and chemical composition of Kt-3 tephra by Kazuhide Hanada, Misaki Kondo, Koji Umeda

4. 鉱物観察及び化学組成

採取した試料のうち、近傍相の降下軽石と火山灰の互層（試料名：230828-101～103）および安平町早来の給源不明の軽石（試料名：220918-07～09）について鉱物組成および火山ガラスの主成分元素組成を調べた。

・ 鉱物組成：いずれの試料においても斜長石が一番多く含まれ、有色鉱物は直方輝石と単斜輝石を含む。また、230828-102 および 220918-08 には石質岩片が含まれる。

・ 化学組成：TiO₂-K₂O 図（図-2）を参照すると、近傍相の降下軽石と火山灰の互層では TiO₂ が 0.23~0.45wt.%, K₂O が 1.45~2.27wt.%となっており、遠方相の降下軽石では TiO₂ が 0.19~0.53wt.%, K₂O が 1.38~2.80wt.%となっている。両者の組成はよく重なっている。

5. 考察

Kt-3の近傍相と遠方相について、層序、記載岩石学的特徴および火山ガラスの化学組成から、石狩低地帯に広く分布する Kt-3 は³⁾、Kt-3 の後半の火砕サージや火砕流に伴う灰かぐらが飛散したのではなく、Kt-3 の前半に生じたプリニアン噴火に伴う降下火砕物であると考えられる。

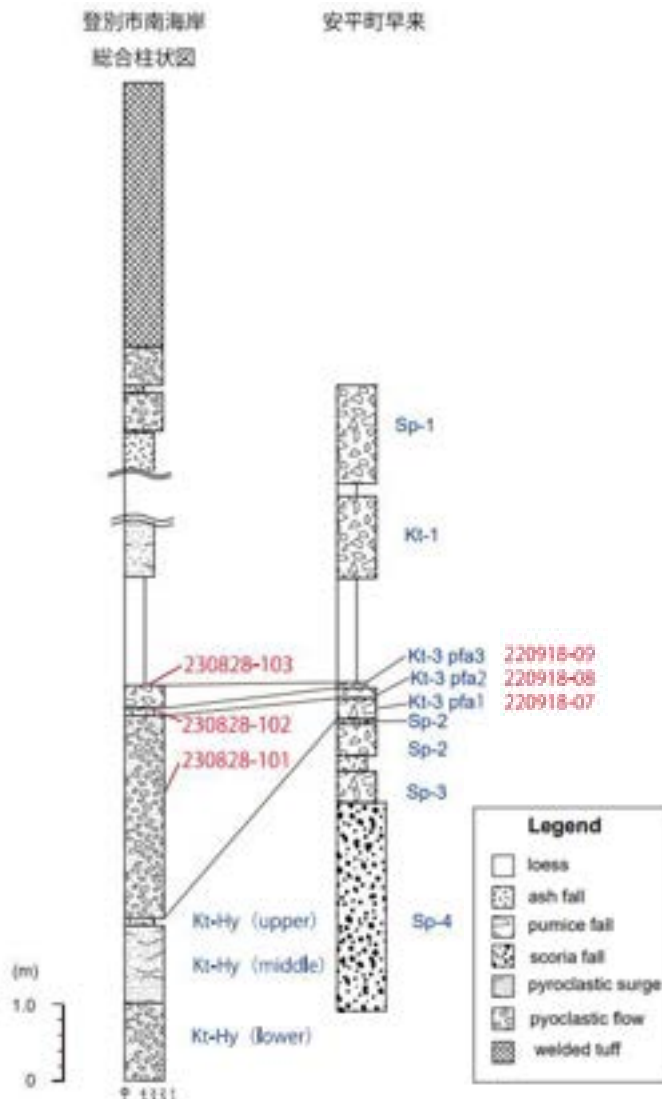


図-1 露頭柱状図

6. 参考文献

- 1) 山縣（1994）地学雑誌，103，268~285.
- 2) 森泉（1998）火山，43，95~111.
- 3) 三浦ほか（2022）火山，67，273~294.
- 4) 中川ほか（2018）地質学雑，124，473~489.

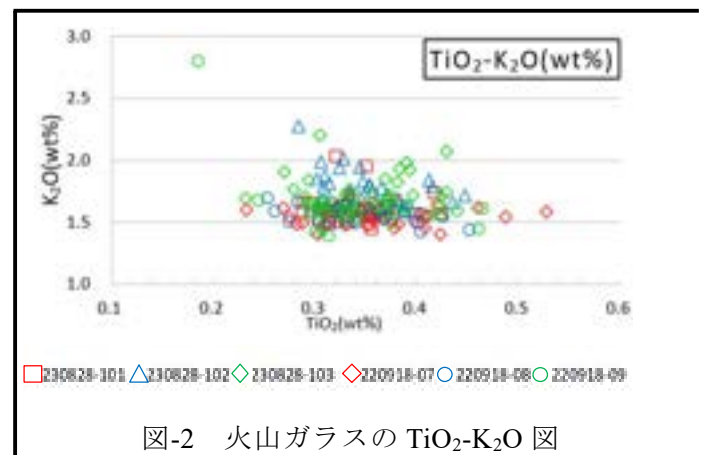


図-2 火山ガラスの TiO₂-K₂O 図

八郎潟干拓地に湧出する高濃度リン酸の回収に適した副産物の探索 第2報*

秋田大学大学院理工学研究科 南田悠・齋藤憲寿・加賀谷史

1. 研究背景・目的

八郎湖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（八郎湖）は、飲料原水・農業用水および内水面漁業など多方面に利用されているが、水質汚濁が顕在化している。水質汚濁の要因の一つとして、*Anabaena oumiana*（和名：アオコ）の異常発生があり、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いる。そのリン負荷量は、調整池全体の約27%に相当する。本研究では、アオコ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及びマグネシウムイオンとの親和力で吸着・回収する試みを行った。

本発表では、昨年度発表分とは異なるカルシウム及びマグネシウムに富んだ副産物を用いて、リン酸回収実験及び各回収溶液中の化学成分の分析を行った結果を報告する。

2. 実験手法

2009年10月の報告²⁾によると、方上地区から採取された地下水の全リン濃度は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となるため、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験を行った。



図1 実験の様子

模擬水100 mlに副産物（ホタテ貝殻（未焼成）、ホタテ貝殻（焼成後）、卵殻、フェロニッケルスラグ）1 gを加え、スターラーを用いて100 rpmの攪拌速度で室温中24時間攪拌した（図1）。実験後、pHメーターを用いてpHを測定し、多項目水質計を用いて PO_4^{3-} 、 Mg^{2+} および Ca^{2+} を測定した。一方、副産物（クリンカアッシュ、フライアッシュ、ペーパーセラッジ灰）において、 PO_4^{3-} 初期濃度を27.1 mg/l及び54.0 mg/lとしたリン酸回収実験を同様に行い、初期濃度における影響を評価した。下記表1に副産物表面における元素分析結果を示す。

表1 本研究で使用した副産物表面のEDS分析結果（原子数%）

副産物 / 元素	Ti	Si	S	Pb	P	Na	Mg	K	Fe	Cr	Cd	Ca	Al
ホタテ貝殻（未焼成）[HM]	0.08	1.01	0.33	0.00	0.25	1.50	0.94	0.00	0.49	0.10	0.08	94.69	0.54
ホタテ貝殻（焼成後）[HS]	0.07	0.33	0.44	0.00	0.19	1.92	0.20	0.01	0.16	0.05	0.05	96.43	0.17
フェロニッケルスラグ [FS]	0.13	48.29	0.43	0.00	0.58	0.27	30.26	0.15	7.43	1.17	0.00	6.48	4.80
卵殻 [KR]	0.19	0.32	0.61	0.01	0.58	0.85	1.44	0.09	0.29	0.06	0.10	95.26	0.21
クリンカアッシュ [CA]	0.92	54.50	0.04	0.00	0.88	1.84	0.64	0.69	1.12	0.03	0.00	5.21	34.13
フライアッシュ [FA]	1.05	60.97	0.74	0.00	1.00	1.26	1.53	1.55	2.99	0.01	0.00	2.97	25.93
ペーパーセラッジ灰 [PSA]	0.87	19.78	0.59	0.07	1.58	0.79	4.62	0.14	0.51	0.17	0.06	52.94	17.89

*Second report, Investigation of suitable by-products for recovery of high-phosphate spring in Hachirogata land reclamation area by Yu MINAMIDA, Noritoshi SAITO, Fumito KAGAYA.

3. 実験結果・考察

図2に副産物毎における PO_4^{3-} 回収率(CA, FA, PSAについては、リン酸初期濃度54.9 mg/lの結果も記載)を示した。本結果から、リン酸の初期濃度に関わらず PSA 及び HS がそれぞれ高い PO_4^{3-} 回収率が得られた。一方、図3に実験後の溶液のpHと PO_4^{3-} 濃度の関係を示した。本結果から、試料溶液のpHが8を境に高くなるほど溶液中の PO_4^{3-} の濃度が低くなったと考えられた。

上記2つの結果は、副産物に含まれる成分に起因していると推測された。特に、PSA 及び HS の主成分である酸化カルシウム(CaO)や水酸化カルシウム($\text{Ca}(\text{OH})_2$)は、副産物から溶出するとpHを上昇させるため、溶液中のリン酸イオンの解離により PO_4^{3-} 等を生成する働きがある。そして、それらと Ca^{2+} 等が反応し、リン酸カルシウム等の沈殿物になることで溶液中の PO_4^{3-} 濃度が低下したと推測された。

4. 結論

本研究では、八郎潟干拓地に湧出する高濃度リン酸を回収するため、様々な成分を有する副産物に着目して検討を行った。その結果、副産物の中でもCaOや $\text{Ca}(\text{OH})_2$ を多く含むHS及びPSAが高い PO_4^{3-} 回収率を示すことが明らかとなった。一方、本研究から副産物中に含まれているCaOや $\text{Ca}(\text{OH})_2$ が溶液中のpHを上昇させ、リン酸と反応し水中で不溶な沈殿物を生じさせていると推測された。

・謝辞：本研究は、第26回公益信託エスペック地球環境研究・技術基金及び秋田大学大学院理工学研究科技術部の支援を受けた。記して感謝申し上げます。

・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) 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.
- 3) 大友崇徳, 網田和宏：高炉スラグによる水中リンの除去, 秋田大学大学院工学資源学研究科研究報告, 35, pp23-28, 2014.

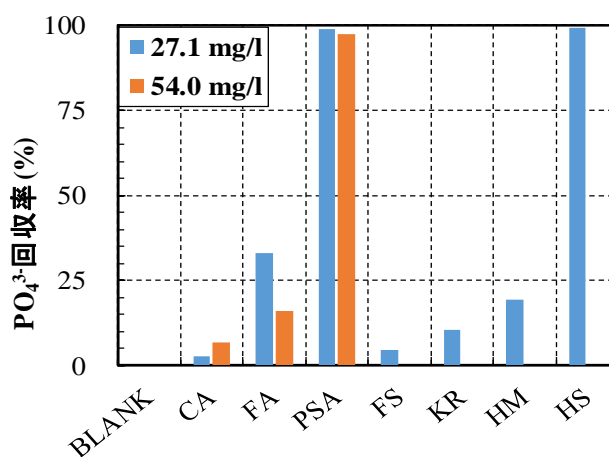


図2 各副産物における PO_4^{3-} 回収率
(CA, FA, PSAのみ初期濃度54.0 mg/lも実施)

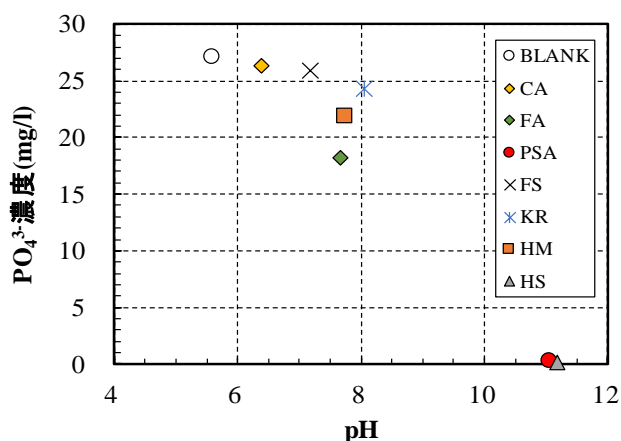


図3 実験後における溶液のpHと PO_4^{3-} 濃度の関係

4種の鉄鋼スラグによる田沢湖水の中和及びその性能比較*

秋田大学大学院 理工学研究科 加賀谷 史, 齋藤 憲寿, 南田 悠, 網田 和宏

1. 研究背景・目的

玉川温泉（秋田県仙北市）の大噴から流れ出す温泉水は、玉川毒水とも呼ばれる pH 1.1 程度の強塩酸・硫酸酸性水である。1940 年以降、電源開発と農業振興を目的とした玉川毒水の田沢湖流入により湖の水質が酸性に傾き、クニマス等日本固有種の生態系破壊が生じている。現在は、玉川毒水を中和処理施設で pH 3.5 以上に調整してから放流しており、田沢湖に到達する頃には pH 5.8 程度まで上昇している。しかしながら、中和処理に年間 1.5 万トン以上の石灰石を消費しており、湖水の pH に関しては、1930 年頃までに観測された pH 6.8 には達しておらず、1930 年当時の生態系を取り戻せていない。以上の現状を踏まえて、我々は田沢湖水の中和剤として、酸化カルシウム CaO 等のアルカリ成分を含む種々の廃棄物に着目した。

本研究では、製鉄所の高炉から副生物として得られる鉄鋼スラグ 4 種を中和剤に選定し、これらの各種物性、及び実際に田沢湖水へ投入した際の中和性能を比較・検討した。

2. 実験

2-1. 試料の選定及び物性試験

今回の試料として、高炉スラグ細骨材(BFS)、水硬性粒度調整鉄鋼スラグ(HMS)、クラッシュラン鉄鋼スラグのエイジング処理前(CS 前)及び処理後(CS 後)の 4 種の鉄鋼スラグを選定した。これらの試料において、ピクノメーターを用いた密度測定、粉末 X 線回折装置(XRD)による結晶構造解析、走査型電子顕微鏡(SEM)及びエネルギー分散型分光分析(EDS)による表面観察及び組成分析をそれぞれ行った。

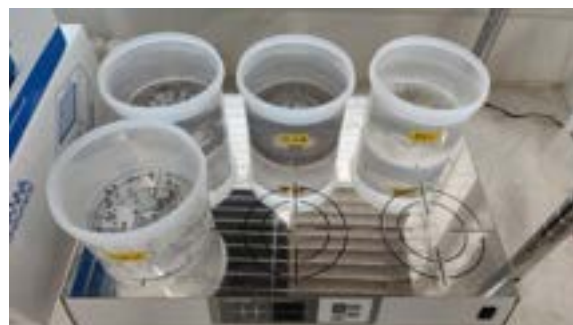


Fig.1 試料による田沢湖水の中和実験

2-2. 田沢湖水の中和実験

各試料及び比較用の石灰石 5.0 g を現地より採水した田沢湖水 1.0 L(実験前 pH 5.6)にそれぞれ投入し、マグネチックスターラーを用いて 100 rpm-48 時間の攪拌を行い(Fig.1)、試験後の湖水 pH 及び試料の質量をそれぞれ測定し、変化量を確認した。pH はいずれもガラス電極型測定装置を用いた。

また、実験前後の湖水中におけるアルカリ成分由来のイオン(カルシウム Ca²⁺, マグネシウム Mg²⁺), 及び重金属イオン(鉛 Pb²⁺, カドミウム Cd²⁺, クロム Cr⁶⁺)の濃度を多目的吸光光度計及び ICP-AES を用いて測定し、これらの溶出の有無についても確認した。

*Research and comparison about neutralization capacity of four iron and steel slugs for lake Tazawa by Fumito KAGAYA, Noritoshi SAITO, Yu MINAMIDA and Kazuhiro AMITA

3. 結果

中和実験前後の湖水分析結果 (Table.1)によると、湖水の pH は 5.6 と弱酸性であったが、中和実験後にはいずれも上昇が見られた。BFS については効果が比較的小さかったものの、他 3 種については pH 10 以上と石灰石以上の効果を示した。また試料からの重金属イオンの溶出は確認されなかった。

EDS 分析結果 (Table.2)によると、いずれの試料も Ca, Si の比率が高く、また中和効果の小さい BFS は他 3 種と比較して Ca が少なかった。一方、3 種の重金属イオンについてはいずれの試料からもほぼ検出されなかった。

XRD 測定結果 (Fig.2)では、HMS 及び CS において、ゲーレンナイト $2CaO \cdot Al_2O_3 \cdot SiO_2$ 及びアケルマナイト $2CaO \cdot MgO \cdot 2SiO_2$ のピークが観測された(ピーク角度はほぼ共通)。これらは希塩酸への溶解性を持つ 1)こと、中和後の湖水では Ca^{2+} 濃度が上昇したことから、弱塩酸酸性の湖水にこれらが溶解したことで中和が起こったと考えられる。

4. 結言

アルカリ成分を含む 4 種の鉄鋼スラグを用いて採水した田沢湖水の中和を試みたところ、4 種全てにおいて中和効果が見られ、一方で中和過程における Pb 等の重金属イオンの溶出は確認されなかった。

また試料の XRD 測定及び中和水の分析結果から、ゲーレンナイト等の Ca 化合物の溶解が中和に寄与することが示唆された。

謝辞

本研究は、公益財団法人鉄鋼環境基金の助成により行われた。

参考文献

- 1)徐 光宝:中国の各種鋇滓の構造と溶解性,東京家政大学生生活科学研究報告 16,1-7(1993)

Table.1 中和前後の湖水 pH 及び金属イオン濃度

	中和前	BFS	HMS	CS前	CS後	石灰石
中和後の試料質量(g)	-	4.8	4.9	4.8	4.9	5.0
pH	5.6	6.5	10.0	11.3	11.4	8.6
Ca^{2+} (mg/l)	35	56	116	102	105	91
Mg^{2+} (mg/l)	10	9	9	11	12	7
Pb^{2+} (mg/l)	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Cd^{2+} (mg/l)	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Cr^{6+} (mg/l)	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01

Table.2 中和試料の EDS 分析結果

元素	試料とその元素組成(原子数%)			
	BFS	HMS	CS前	CS後
Ca	43.35	53.78	58.61	79.69
Mg	6.98	3.69	4.20	2.71
Na	0.48	0.28	0.18	0.13
K	0.38	0.73	0.03	0.00
Si	30.91	23.85	15.24	12.04
Al	15.16	8.06	12.16	1.66
Fe	0.32	0.40	6.80	2.73
P	0.11	0.11	1.82	0.59
S	1.50	8.53	0.29	0.06
Ti	0.56	0.32	0.35	0.18
Pb	0.00	0.00	0.00	0.00
Cd	0.00	0.00	0.03	0.01
Cr	0.26	0.24	0.29	0.20

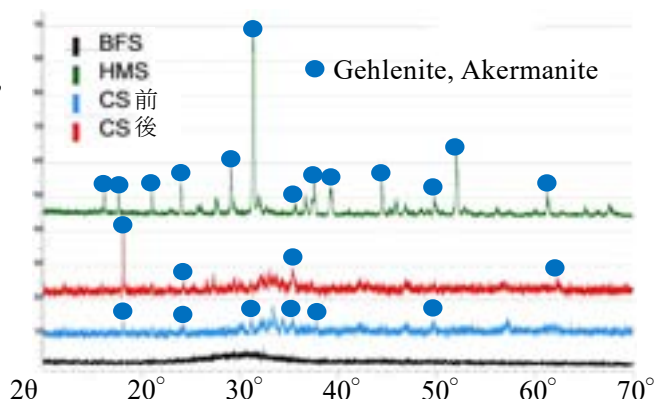


Fig.2 中和試料の XRD 測定結果