

3. 3. 2 深部地盤構造モデルの構築と強震動予測

(1) 業務の内容

(a) 業務題目 深部地盤構造モデルの構築と強震動予測

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名
国立大学法人京都大学防災研究所	教授	岩田 知孝
国立大学法人京都大学防災研究所	准教授	浅野 公之
国立大学法人京都大学防災研究所	准教授	関口 春子
国立大学法人京都大学防災研究所附属地震災害研究センター	教授	松島 信一
国立大学法人京都大学防災研究所附属地震災害研究センター	准教授	長嶋 史明
国立研究開発法人産業技術総合研究所活断層・火山研究部門	主任研究員	吉見 雅行
国立研究開発法人産業技術総合研究所活断層・火山研究部門	研究員	二宮 啓
国立大学法人福井大学附属国際原子力工学研究所	准教授	大堀 道広

(c) 業務の目的

森本・富樫断層帯の強震動評価の高度化には、震源断層モデルに加えて、地盤構造の正確な把握が必要となる。強震動予測に必要な深部地盤構造モデル構築に資する調査を実施するとともに、各サブテーマで実施された構造調査に関するデータも集約して、浅部・深部統合地盤構造モデルを構築する。他のサブテーマも含む研究グループ全体で得られた知見をもとに震源断層モデルを設定し、強震動予測を行うことで、地震ハザードに関する知見を得ることを目的とする。

(d) 3ヵ年の年次実施業務の要約

1) 令和4年度：

対象地域の地盤構造モデルと構築に用いられた既往研究情報・資料等を情報収集整理し、地盤構造モデル高度化に資するための盆地基盤面深度程度までを探索対象範囲として、微動アレイ調査観測等の計画立案と観測を実施した。堆積平野での地震動特性把握のための臨時地震観測点（10点程度）を設置した。対象地域の各機関の地震記録の収集を行い、地震動増幅特性評価を行った。

2) 令和5年度：

令和4年度に引き続き、地盤構造モデル高度化に資するための盆地基盤面深度程度までを探索対象範囲として、微動アレイ調査観測等の計画立案と観測を実施する。堆積平野での地震動特性把握のため令和4年度に設置した臨時地震観測点（11点）

を維持する。対象地域の各機関の地震記録の収集を継続し、地震動増幅特性評価を継続する。浅部地盤に関する動的特性に関する資料の情報収集を行い、加賀平野等で情報が不足している地域での浅部ボーリング調査と動的試験を実施する。

3) 令和 6 年度：

令和 4 年度に設置した臨時地震観測点（11 点）の保守を継続し、年度末に撤収を行う。本研究グループで実施された各種探査結果を活用し、当該地域の浅部・深部統合地盤構造モデルを構築する。本研究グループで協働して策定する震源断層モデルに基づき、強震動予測を実施する。

(2) 令和 4 年度の成果

(a) 業務の要約

森本・富樫断層帯が活動した場合に強い揺れに見舞われることが想定される石川県や富山県西部を主な対象として、深部地盤構造モデル高度化のための観測や調査、資料収集等を開始した。初年度は、臨時地震観測点の新規設置や微動観測の現地調査のほか、深部地盤構造モデル構築と強震動予測のための基礎データ収集に重点的に取り組んだ。加賀平野北部の金沢市及び白山市の計 11 地点において、強震計を用いた臨時地震観測点を設置した。また、既存の震度計や強震計で取得された地震波形記録を収集し、臨時地震観測点の記録とともに地震動増幅特性評価のための分析を始めた。盆地基盤面深度程度までを目標探査対象範囲とした微動アレイ観測を金沢市内 2 地点で実施し、堆積層部分の S 波速度構造を推定した。また、金沢市の犀川沿いの測線に沿って、概ね 1～2 km 間隔で単点微動観測を実施し、森本・富樫断層帯の下盤側と上盤側での地盤構造の違いを調査した。石川県全域と富山県西部の震度観測点及び強震観測点において、単点微動観測を実施し、広域的な深部地盤構造の特徴把握を進めた。関係機関の協力のもと、深いボーリングの地質情報資料及び強震動予測における非線形応答計算に必要な動的変形特性を求めるための土質試験結果資料を収集し、整理した。

(b) 業務の成果

1) 堆積平野での地震動特性把握のための臨時地震観測

森本・富樫断層帯周辺の加賀平野（金沢平野）において、強震計による臨時地震観測点を設置した。まず、気象庁計測震度計、石川県震度情報ネットワーク及び国立研究開発法人防災科学技術研究所による既設の震度計及び強震計の分布を参考に、臨時地震観測を行う候補地を検討した。平成 7 年兵庫県南部地震を契機に全国に展開された震度計は、震度情報ネットワーク導入当時の市町村に対して各 1 台以上という基準で配置されている。このため、昭和 37 年にほぼ現在の市域となった金沢市では、平成時代の市町村合併で新設された周辺の市町に比べ、相対的に震度観測点の空間密度が低い。令和 4 年度の本事業開始時点において、金沢市内の震度発表地点は金沢市西念 3 丁目（金沢地方气象台）と金沢市弥生 3 丁目（K-NET ISK010）の 2 地点であった（図 1 の 47605 及び ISK010）。ほかに震度発表地点ではないが、富樫山地に位置する石川県教員総合研修センター（金沢市高尾町ウ）に国立研究開発法人防災科学技術研究所基盤強震観測網 KiK-net の ISKH07 観測点、

金沢港に国土交通省北陸地方整備局金沢港湾・空港整備事務所（金沢市大野町4丁目）の強震観測点として金沢-Cが設置されている。このほか、小松市役所（41334）、白山市役所（67023）、能美市根上分室（67025）、能美市寺井分室（67026）、能美市役所（67027）、川北町役場（67028）、白山市美川支所（67029）、白山市鶴来支所（67030）、野々市市役所（67031）、内灘町役場（67041）等に震度計が設置されている。

以上のような状況を踏まえ、加賀平野における空間的に詳細な地震動特性の把握を目的に、金沢市内8地点及び白山市内3地点に臨時地震観測点（連続観測）を設置することを計画した（図1及び表1）。このうち、富樫山地の新第三系に位置するMTSV10（金沢市立内川小中学校）及び河北潟南岸付近のMTSV11（石川県消防学校）の2地点には速度型強震計を、残りの9地点の中学校には加速度型強震計を設置することとした。令和4年7月に各学校を担当者が訪問し、校長及び教頭に観測目的等を説明し了承を得た上で、地震計の設置場所や安全対策などについて現地で相談した。また、臨時観測点設置のための必要資材の調達と並行し、石川県危機管理監室、金沢市教育委員会、白山市教育委員会において必要な手続等を行った。

令和4年9月13～15日及び9月27～29日に、現地へ地震計を設置した。加速度型強震計設置地点（9地点）では、アカシ製ポータブル加速度計 SMAR-6A3P を使用した。SMAR-6A3P で使用している地震計は3成分の動コイル式過減衰型加速度計 JEP-6A3（約1.1V/G）、収録装置は白山工業製 DATAMARK LS-8800 である。収録装置の形式分解能24bit、倍率1倍、サンプリング周波数100Hz、デシメーションフィルタのカットオフ周波数40Hzと設定した。完全密封型鉛蓄電池（12V）を2式ずつ設置し、収録装置へ電源を供給している。なお、JEP-6A3は外部電源不要で動作する。時刻較正はGPS信号によって1時間毎に実施している。地震計を工作用石膏やL字金具等によって、既存のコンクリート平面上に固定した。地震計及び鉛蓄電池は、風雪雨対策として、ポリプロピレン製コンテナあるいはハウスステップで防護した。地震計の周囲はポリプロピレン製フェンス等による安全対策を行い、「地震観測中」の表示を掲示した（写真1～18）。

速度型強震計設置地点（2地点）には、東京測振製サーボ型速度計 VSE-355G3 を設置した。VSE-355G3 は微動から強震動（最大2m/s）まで測定可能な広帯域速度計であり、測定周波数範囲は0.008～70Hzである。収録装置は白山工業製 DATAMARK LT-7700 を使用し、形式分解能24bit、倍率1倍、サンプリング周波数100Hz、デシメーションフィルタのカットオフ周波数40Hzと設定した。時刻較正はGPS及びGLONASS信号によって30分毎に実施している。地震計のベースプレートを強力粘着テープ等によって、既存のコンクリート平面上に固定した。地震計にはポリプロピレン製コンテナを被せ、地震計用電源装置、収録装置、ラインインタラクティブ方式無停電電源装置、端子台等をポリプロピレン製ツールストッカーに収納した。地震計の周囲はポリプロピレン製フェンスによる安全対策を行い、「地震観測中」の表示を掲示した（写真19～22）。

臨時地震観測点設置後は、令和4年11月、5年1月、3月に観測点を訪問し、観測波形データを記録したSDHCカードや鉛蓄電池の交換、障害箇所の修繕などの観測点保守作業を実施した。本地域は日本海側であり、冬季の積雪についても適切に考慮する必要があった。写真23は白山市鶴来地区にあるMTSM02、写真24は金沢市内川地区にあるMTSV10の積雪時の状況である。特に、MTSV10は1m以上の積雪がある。石川県は令和4年12月

末に記録的な豪雪に見舞われるなどしたが、積雪による観測への支障は生じなかった。表 2 に観測点保守作業時に確認された主な欠測や機器異常等について整理した。設置当初は鉛蓄電池の消耗が当初の想定以上となっていたため、10 月末から 11 月中旬にかけて一時的に欠測となった観測点があった。令和 4 年 11 月の観測点保守作業時に、機器の配線及び鉛蓄電池の容量を見直したことにより、以後は欠測なく順調に稼働している。このほか、夜間に野生動物が学校敷地内に侵入し、GPS アンテナのケーブルが切断される事象が 2 箇所が発生した。GPS アンテナを新しいものに交換し、露出していたケーブルを PF 管で保護する対策を追加で実施した。連続波形記録は、周辺地域で臨時微小地震観測を実施しているサブテーマ 2 にも提供した。令和 5 年度も、これらの臨時地震観測を継続していく計画である。

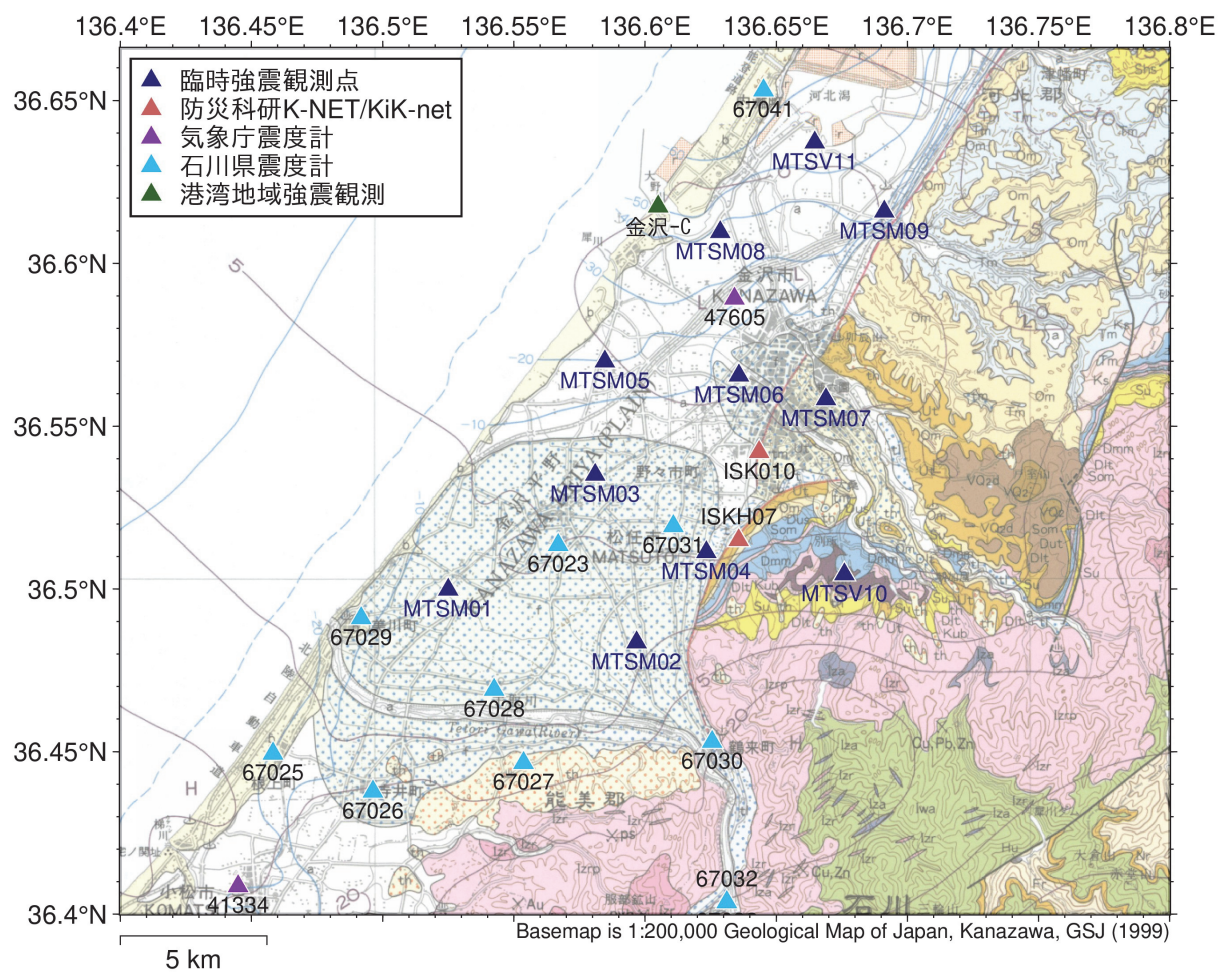


図 1 森本・富樫断層帯周辺における震度・強震観測点及び本事業による臨時地震観測点。基図は 20 万分の 1 地質図幅「金沢」(鹿野・他, 1999)。凡例は出典を参照。

表 1 臨時地震観測点一覧

観測点	緯度 (北緯)	経度 (東経)	標高 (m)	地震計		収録装置		観測開始	設置場所	
				型式	方位	感度	型式		V/LSB	住所
MTSM01	36.49983	136.52502	14	JEP-6A3	UP	0.112 V/ms ⁻²	LS-8800	2022/9/27 14:51	白山市笠間町 157 番地	白山市立笠間中学校
					N000E	0.115 V/ms ⁻²				
					N090E	0.117 V/ms ⁻²				
MTSM02	36.48363	136.59679	58	JEP-6A3	UP	0.113 V/ms ⁻²	LS-8800	2022/9/27 10:27	白山市日向町 24 番地 2	白山市立北辰中学校
					N000E	0.128 V/ms ⁻²				
					N090E	0.121 V/ms ⁻²				
MTSM03	36.53506	136.58102	18	JEP-6A3	UP	0.111 V/ms ⁻²	LS-8800	2022/9/13 10:38	白山市番匠町 468 番地 1	白山市立光野中学校
					N000E	0.117 V/ms ⁻²				
					N090E	0.119 V/ms ⁻²				
MTSM04	36.51127	136.62339	35	JEP-6A3	UP	0.113 V/ms ⁻²	LS-8800	2022/9/14 10:43	金沢市額乙丸町イ 1 番地	金沢市立額中学校
					N004E	0.116 V/ms ⁻²				
					N094E	0.119 V/ms ⁻²				
MTSM05	36.56987	136.58471	4	JEP-6A3	UP	0.113 V/ms ⁻²	LS-8800	2022/9/13 15:18	金沢市みどり 2 丁目 3 番地	金沢市立緑中学校
					N005E	0.115 V/ms ⁻²				
					N095E	0.119 V/ms ⁻²				
MTSM06	36.56556	136.63580	12	JEP-6A3	UP	0.113 V/ms ⁻²	LS-8800	2022/9/15 15:21	金沢市新神田 1 丁目 10 番 1 号	金沢市立高岡中学校
					N118E	0.116 V/ms ⁻²				
					N208E	0.115 V/ms ⁻²				
MTSM07	36.55827	136.66896	55	JEP-6A3	UP	0.108 V/ms ⁻²	LS-8800	2022/9/28 11:08	金沢市飛梅町 3 番 30 号	金沢市立紫錦台中学校
					N000E	0.112 V/ms ⁻²				
					N090E	0.112 V/ms ⁻²				
MTSM08	36.60957	136.62871	2	JEP-6A3	UP	0.107 V/ms ⁻²	LS-8800	2022/9/15 10:03	金沢市近岡町 217 番地	金沢市立港中学校
					N000E	0.113 V/ms ⁻²				
					N090E	0.113 V/ms ⁻²				
MTSM09	36.61587	136.69116	5	JEP-6A3	UP	0.109 V/ms ⁻²	LS-8800	2022/9/14 15:13	金沢市弥勒町ヨ 22 番地	金沢市立森本中学校
					N000E	0.112 V/ms ⁻²				
					N090E	0.112 V/ms ⁻²				
MTSV10	36.50454	136.67598	219	VSE-355G3	N270E	10.0 V/ms ⁻¹	LT-7700	2022/9/28 16:11	金沢市別所町 牛 18 番地	金沢市立内川小中学校
					N000E	10.0 V/ms ⁻¹				
					UP	10.0 V/ms ⁻¹				
MTSV11	36.63711	136.66467	3	VSE-355G3	N000E	10.0 V/ms ⁻¹	LT-7700	2022/9/29 11:47	金沢市東蚊爪町 2 丁目 5 番	石川県消防学校
					N090E	10.0 V/ms ⁻¹				
					UP	10.0 V/ms ⁻¹				



写真 1 MTSM01 観測点



写真 2 MTSM01 観測点



写真 3 MTSM02 観測点



写真 4 MTSM02 観測点



写真 5 MTSM03 観測点



写真 6 MTSM03 観測点



写真 7 MTSM04 観測点



写真 8 MTSM04 観測点



写真 9 MTSM05 観測点



写真 10 MTSM05 観測点



写真 11 MTSM06 観測点



写真 12 MTSM06 観測点



写真 13 MTSM07 観測点



写真 14 MTSM07 観測点



写真 15 MTSM08 観測点



写真 16 MTSM08 観測点



写真 17 MTSM09 観測点



写真 18 MTSM09 観測点



写真 19 MTSV10 観測点



写真 20 MTSV10 観測点



写真 21 MTSV11 観測点



写真 22 MTSV11 観測点



写真 23 MTSM02 積雪状況



写真 24 MTSV10 積雪状況

表2 臨時地震観測における主な欠測、機器異常及び対処内容

観測点	期間	異常の内容及び対処
MTSM01	2022/09/27 14:51-2022/11/21 11:38	収録装置不具合のため日付異常及び時刻較正不良 →2022/11/21 に時刻再設定し再起動
MTSM01	2022/11/10 19:27-2022/11/21 11:38	バッテリー電圧低下のため欠測
MTSM01	2022/11/21 12:09-2022/11/21 12:16	収録装置設定変更作業
MTSM01	2022/11/21 12:16-2023/01/31 10:08	収録装置不具合のため時刻較正不良 →2023/1/31 に収録装置を交換
MTSM01	2022/12/14 12:19-2022/12/14 12:35	収録装置不具合のため欠測
MTSM01	2022/12/27 23:32-2022/12/28 00:05	収録装置不具合のため欠測
MTSM01	2023/01/07 04:05-2023/01/07 04:20	収録装置不具合のため欠測
MTSM01	2023/01/31 10:08-2023/01/31 10:23	収録装置交換作業のため欠測
MTSM01	2023/01/31 11:15-2023/01/31 11:22	観測点保守作業のため欠測
MTSM01	2023/02/01 09:05-2023/02/01 09:10	観測点保守作業のため欠測
MTSM02	2022/11/15 22:05-2022/11/21 13:15	バッテリー電圧低下のため欠測
MTSM02	2022/11/21 13:39-2022/11/21 13:42	収録装置設定変更作業
MTSM03	2022/10/31 21:02-2022/11/21 09:29	バッテリー電圧低下のため欠測
MTSM03	2022/11/21 09:58-2022/11/21 10:15	収録装置設定変更作業
MTSM04	2022/10/31 14:03-2022/11/21 14:44	バッテリー電圧低下のため欠測
MTSM04	2022/11/21 14:48-2022/11/21 14:52	収録装置設定変更作業
MTSM04	2023/01/30 12:57-2023/01/30 13:16	観測点保守作業のため欠測
MTSM05	2022/10/30 23:09-2022/11/21 09:33	バッテリー電圧低下のため欠測
MTSM05	2022/11/21 10:17-2022/11/21 10:21	収録装置設定変更作業
MTSM05	2023/01/31 13:00 (発生日時は不明、上記は確認日時)	防護フェンス転倒を確認 →2023/1/31 に防護フェンスを補修
MTSM05	2023/01/31 15:06-2023/01/31 15:27	観測点保守作業のため欠測
MTSM05	2023/03/14 09:00 (発生日時は不明、上記は確認日時)	防護フェンス転倒を確認 →2023/3/14 に防護フェンスを交換
MTSM06	2022/11/05 03:35-2022/11/22 09:17	バッテリー電圧低下のため欠測
MTSM06	2022/11/22 09:34-2022/11/22 09:37	収録装置設定変更作業
MTSM07	2022/11/15 07:17-2022/11/22 10:47	バッテリー電圧低下のため欠測
MTSM07	2022/11/22 11:07-2022/11/22 11:11	収録装置設定変更作業
MTSM07	2022/12/21 01:14-2023/01/30 15:30	野生動物による GPS アンテナケーブル切断により時刻較正不可 →2023/1/30 に GPS アンテナを交換
MTSM07	2023/01/30 15:30-2023/01/30 15:45	GPS アンテナ交換作業のため欠測
MTSM07	2023/01/31 13:07-2023/01/31 13:12	観測点保守作業のため欠測
MTSM08	2022/11/03 14:34-2022/11/21 11:20	バッテリー電圧低下のため欠測
MTSM08	2022/11/21 11:43-2022/11/21 11:47	収録装置設定変更作業
MTSM09	2022/11/01 05:33-2022/11/21 14:27	バッテリー電圧低下のため欠測
MTSM09	2022/11/22 12:50-2022/11/22 12:54	収録装置設定変更作業
MTSM09	2023/03/06 03:34-2023/03/15 09:38	野生動物による GPS アンテナケーブル切断により時刻較正不可 →2023/3/15 に GPS アンテナを交換
MTSV10	2022/09/28 16:24-2022/12/01 06:26	施設側電力停止のため、夜間・休日の一部に欠測している時間帯あり

臨時地震観測では、石川県能登地方を震源とするマグニチュード4程度の地震が多数観測された。このうち、2023年1月6日13時44分に発生した地震 (M_{JMA} 4.5、深さ13 km) の震度分布を図2(左)に、観測波形を図3に示す。比較のため、かほく市から小松市にかけての加賀平野周辺において、国立研究開発法人防災科学技術研究所強震観測網 (NIED, 2019) 及び気象庁が観測し公開している波形も併せてプロットした (以下、同様)。ただし、加速度計の記録は時間領域で積分し、速度波形とした。気象庁の発表による金沢市の震度は1 (計測震度 1.1) であったが、臨時地震観測点での計測震度相当値は 0.0~1.5 (震度0~2) の範囲に分布し、地震動の空間的な違いを把握することができた。観測波形の特徴から、MTSM01 及び MTSM02 では相対的に振幅が小さいことが分かる。これらの観測点は震源からの距離が相対的に遠いこともあるが、手取川扇状地の礫層の上に位置しており、サイト増幅特性が相対的に小さいことが考えられる。令和5年度以降、観測記録の蓄積にあわせて、より定量的な評価を行っていく。

2023年1月30日18時16分に富山県西部 (南砺市と金沢市の境界付近) で発生した地震 (M_{JMA} 3.4、深さ13 km) の震度分布を図2(右)に、観測波形を図4に示す。臨時地震観測点での計測震度相当値は-0.4~1.8 (震度0~2) の範囲に分布した。MTSM04 での最大振幅は 0.5 cm/s であった。いくつかの観測点では、堆積層内での多重反射波と想定される波も確認された。一方で、相対的に距離が遠い上に微動レベルが高かったために、海岸に近い MTSM08 や MTSV11 での波形は明瞭ではなかった。

森本・富樫断層帯周辺で発生した地震の例として、2023年1月14日22時08分に MTSV10 のごく近傍で発生した地震 (M_{JMA} 1.2、深さ13 km) の震度分布を図2(中)に、観測波形を図5に示す。全ての地点で計測震度は0未満であった。震央から相対的に遠い観測点での記録は減衰のためにノイズレベル以下とみられるが、震源に近い観測点では、このような地震規模の小さな地震に対しても良好な記録を得ることができている。

このほか、加賀平野からやや遠い地震としては、2022年10月27日13時09分の三重県北部の地震 (M_{JMA} 3.6、深さ15 km)、11月14日17時08分の三重県南東沖の地震 (M_{JMA} 6.4、深さ362 km) の波形が観測された。また、遠地地震では、2022年11月11日19時48分頃のトンガ諸島の地震 (M_w 7.3)、2023年2月6日10時17分頃のトルコの地震 (M_w 7.8)、同じく2月6日19時24分頃のトルコの地震 (M_w 7.6) の波形が観測されている。

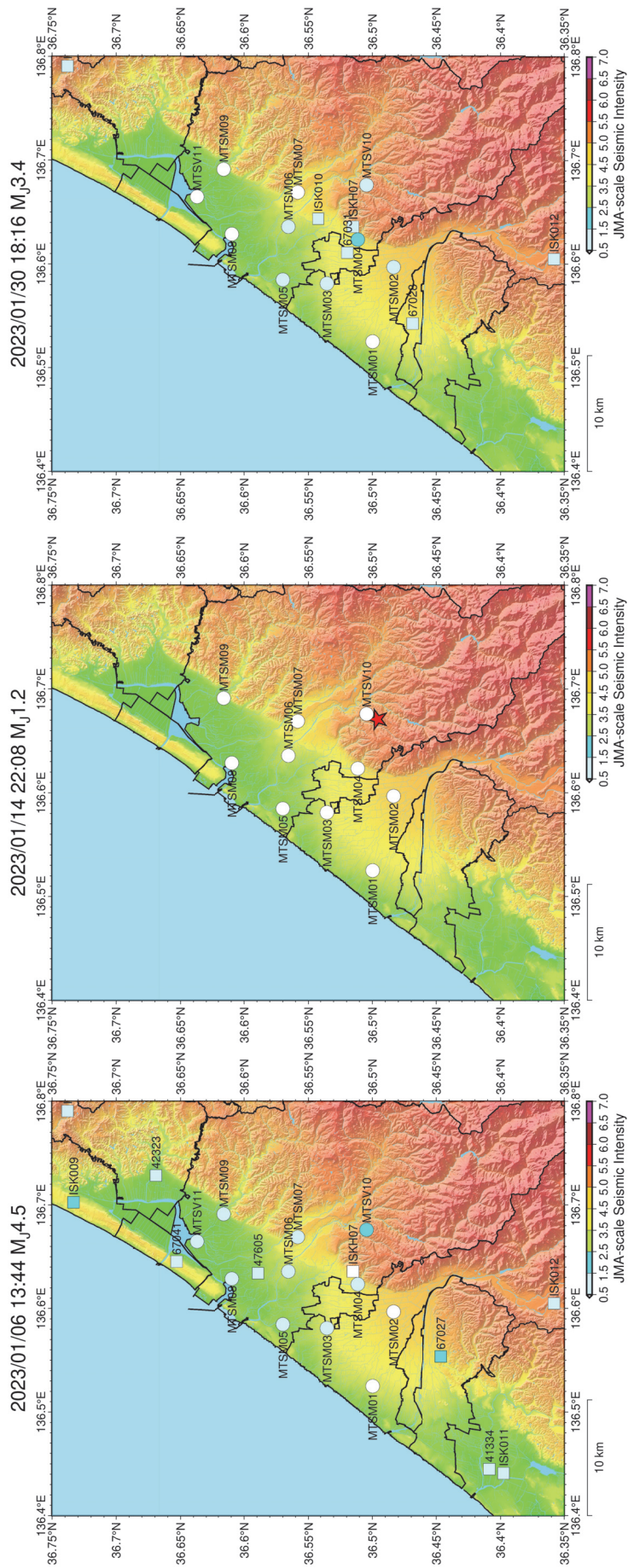


図2 臨時地震観測点で観測された地震の震度分布例。丸印が臨時地震観測点、四角印が既設の震度・強震観測点を表す。赤色の星印は気象庁の決定による震央(震央が地図の範囲内にある図のみ)。基図は国土地理院数値地図(国土基本情報)を用いて作図した。

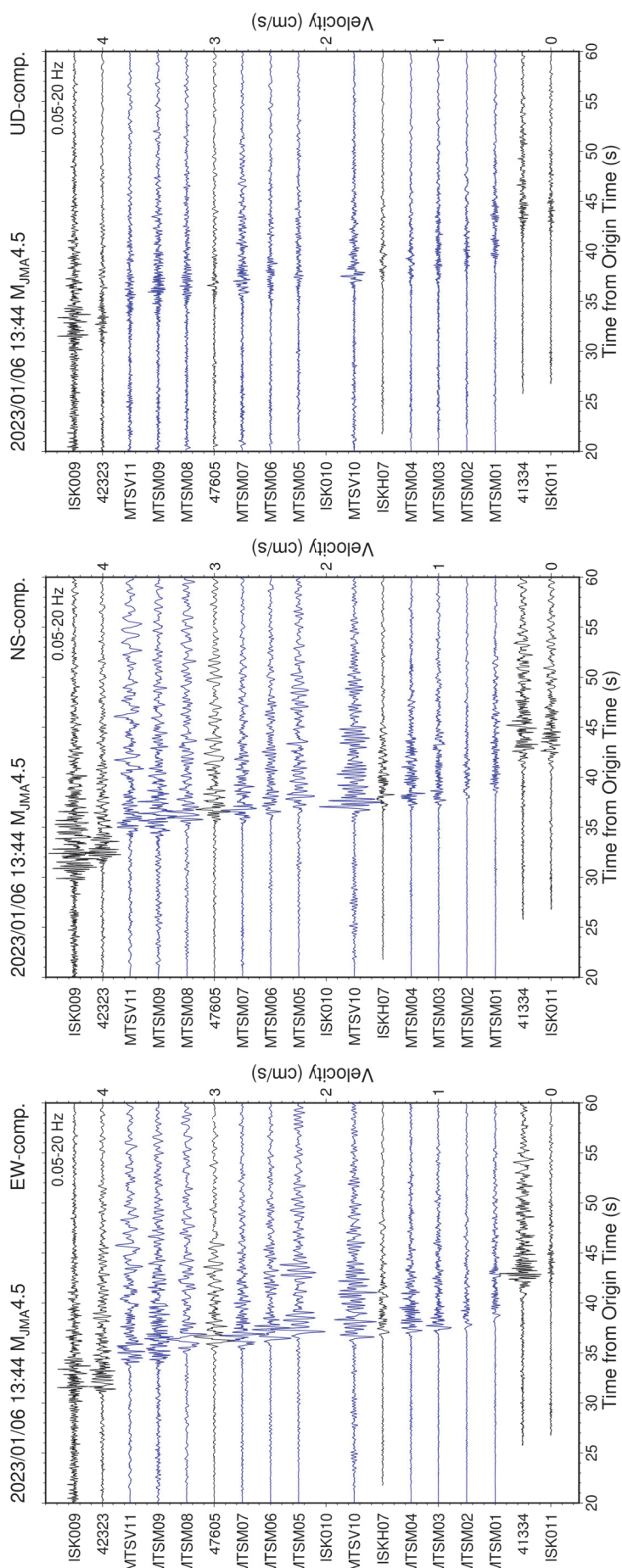


図3 2023年1月6日13時44分に石川県能登地方で発生した地震 (M_{JMA} 4.5、深さ13 km) の観測波形。青色が臨時地震観測点、黒色が気象庁計測震度計及び国立研究開発法人防災科学技術研究所強震観測網の記録を表す。

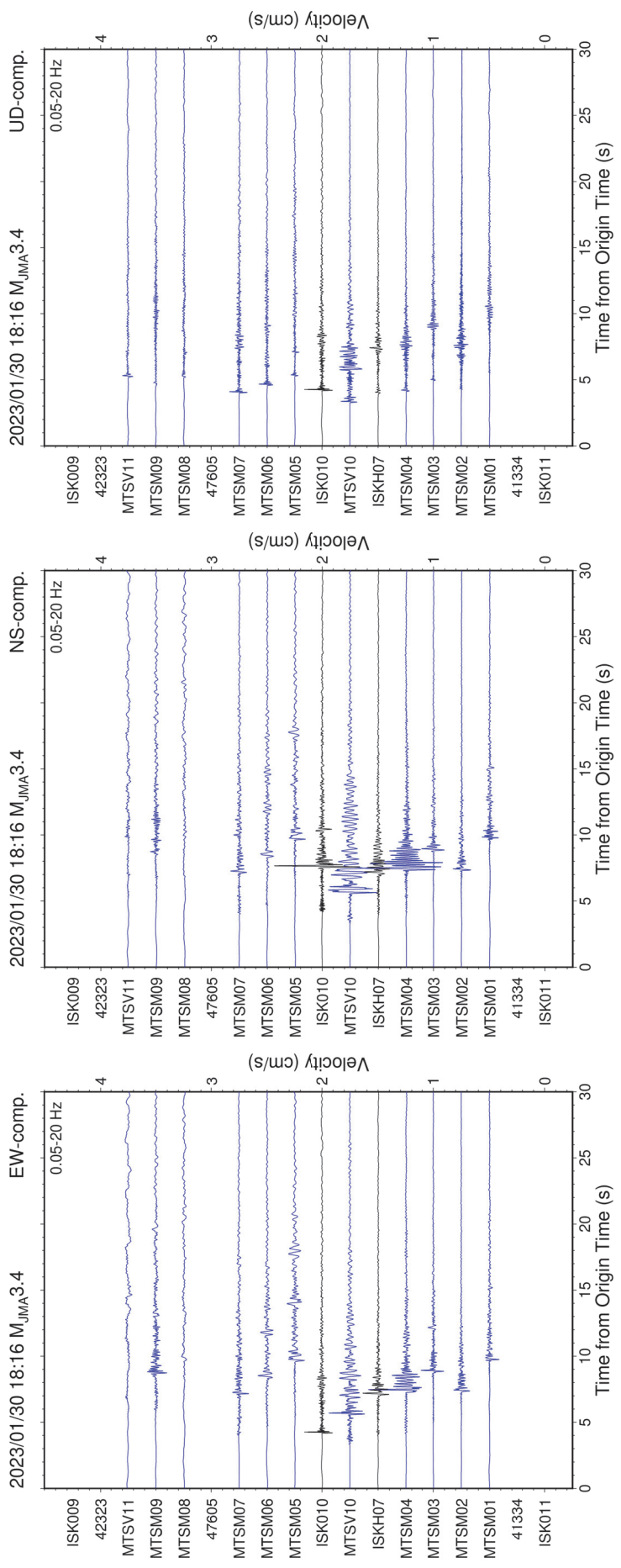


図4 2023年1月30日18時16分に富山県西部で発生した地震 (M_{JMA} 3.4、深さ13 km) の観測波形。青色が臨時地震観測点、黒色が気象庁計測震度計及び国立研究開発法人防災科学技術研究所強震観測網の記録を表す。

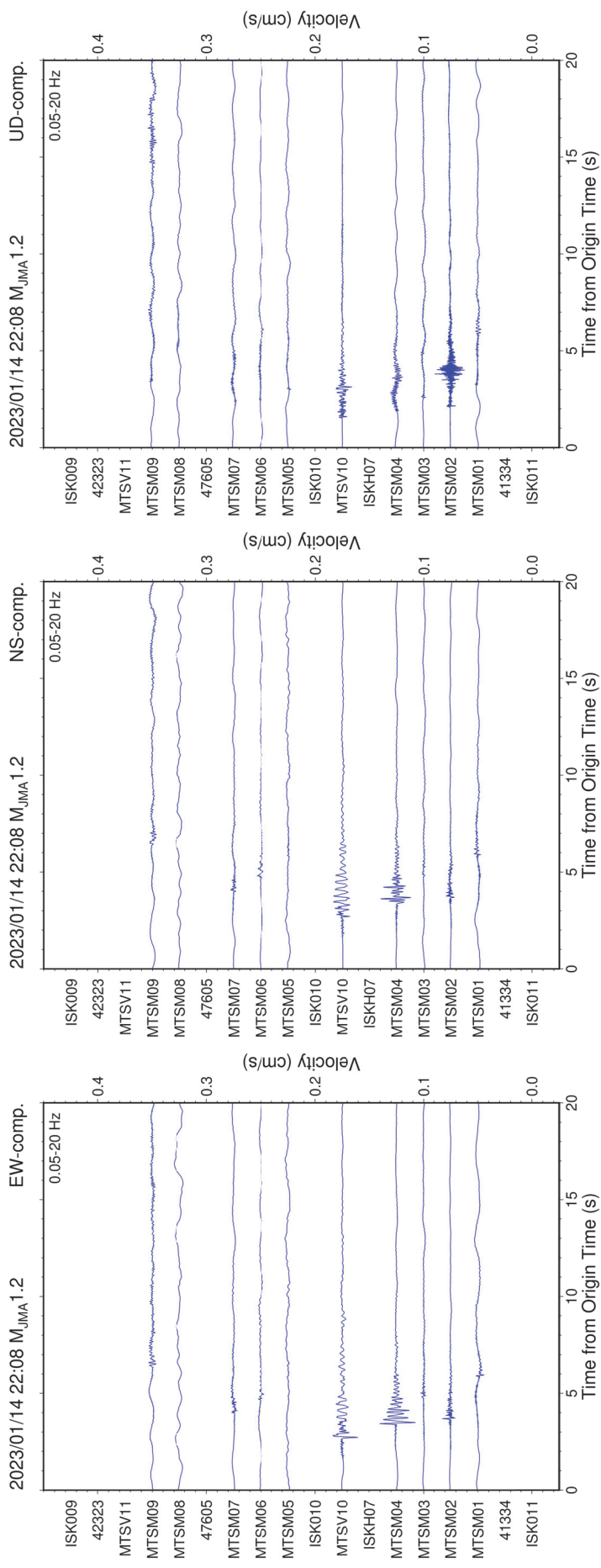


図5 2023年1月14日22時08分に石川県加賀地方で発生した地震 (M_{JMA} 1.2、深さ12 km) の観測波形。青色が臨時地震観測点の記録を表す。気象庁計測震度計及び国立研究開発法人防災科学技術研究所強震観測網での記録は公開されていない。

2) 微動アレイ探査による堆積平野の深部地盤構造調査

堆積平野や堆積盆地の深部地盤のS波速度構造を探査する手法の一つとして、微動アレイ探査が広く利用されている。森本・富樫断層帯周辺の加賀平野では、神野・他(2003)がかほく市から野々市市にかけての10地点で小半径～大半径の微動アレイ探査を行い、深部地盤構造を推定している。また、平成25年度日本海地震・津波調査プロジェクトでは、加賀平野南部の白山市及び小松市、邑知潟平野の羽咋市及び七尾市において、それぞれ微動アレイ探査が実施されている(文部科学省研究開発局・東京大学地震研究所, 2014; 浅野・他, 2015)。富山県の射水平野及び砺波平野では平成26年度及び27年度の日本海地震・津波調査プロジェクトによる調査が行われた(文部科学省研究開発局・東京大学地震研究所, 2015, 2016)。これらの既存調査地点を図6の地図に示す。

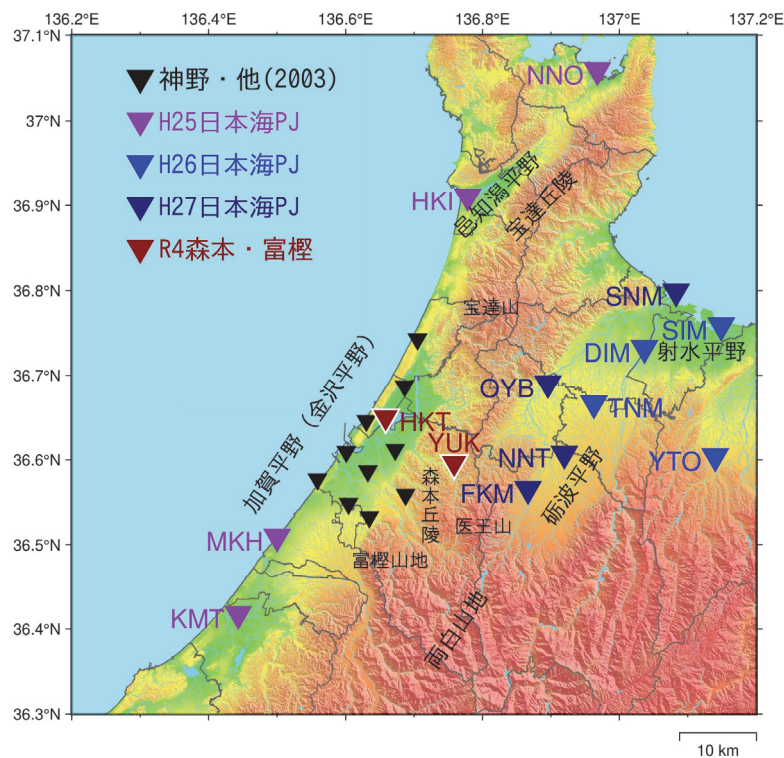


図6 森本・富樫断層帯周辺の微動アレイ探査実施地点(逆三角印)。基図は国土地理院数値地図(国土基本情報)を用いて作図した。

今年度は、金沢市東蚊爪町周辺(HKT)と同市柚木町周辺(YUK)において、微動アレイ探査を行った(図6)。HKTは河北潟南岸周辺の沖積平野に位置する(鹿野・他, 1999)。神野・他(2003)の既往調査を踏まえると、沖積平野の下には、第四紀から新第三紀にかけての堆積層が厚く分布していると考えられる。YUKは森本丘陵内の盆地であり、丘陵には高窪層や大桑層が広く分布し、金沢市柚木町や牧山町付近では沖積層も確認されている(鹿野・他, 1999)。今年度の調査で実施した微動アレイの半径、中心点座標、観測日時等は表3の通りである。

各微動アレイ観測は中心点及び正三角形(外接円の半径がアレイ半径に対応)の各頂点

の計4点に地震計を配置する円形アレイによる観測を基本とした(図7、8)。HKTの半径2m、10m、30m、90m、200mのアレイ、YUKの半径30m、90m、200mのアレイは、それぞれ正三角形の底辺を共有している。また、YUKの半径200m及び400mのアレイは中心点を共有した7点アレイである。YUKの半径10mのアレイ観測は、現地状況により2点アレイとし、そのうち1点は半径30mの中心点と共通である。東京測振製の速度計SE-321(センサー感度5V/(cm/s)、固有周期10秒)を使用し、白山工業製DATAMARK LS-8800で収録した。LS-8800の設定は、形式分解能24bit、倍率8倍、サンプリング周波数200Hz、デシメーションフィルタのカットオフ周波数80Hzとした。各収録装置の時刻はGPS信号で較正することで同期した。観測中はプラスチックバケツを地震計に被せて風除けとし、コーンやコーンバー等で安全対策をした。観測実施状況の例を写真25に示す。

表3 微動アレイ観測一覧

アレイ	半径(m)	中心点緯度(° N)	中心点経度(° E)	観測日	開始時刻	終了時刻	観測時間
HKT 金沢市 東蚊爪 町	2	半径200mと底辺を共有		2022/8/24	18:56	19:11	15分
	10	半径200mと底辺を共有		2022/8/24	18:50	19:07	17分
	30	半径200mと底辺を共有		2022/8/24	18:25	18:40	15分
	90	36.63151	136.65987	2022/8/24	18:10	18:40	30分
	200	36.63199	136.65992	2022/8/24	17:28	18:12	44分
	400	36.63122	136.65641	2022/8/24	16:15	17:49	94分
	800	36.63118	136.65840	2022/8/24	15:35	16:52	77分
	1000	36.63499	136.66175	2022/11/5	14:50	20:40	350分
	1900	36.63492	136.66331	2022/11/5	15:00	翌07:50	1,010分
YUK 金沢市 柚木町	10	半径30mの中心点付近		2022/8/26	11:56	12:08	12分
	30	半径200mと底辺を共有		2022/8/26	11:40	12:08	28分
	90	36.57638	136.75509	2022/8/26	11:37	12:08	31分
	200	36.57685	136.75555	2022/8/26	10:43	11:13	30分
	400	36.57685	136.75555	2022/8/26	9:40	11:10	90分
	800	36.57713	136.75850	2022/8/26	9:40	10:20	40分



写真25 微動アレイ観測の実施状況(左:HKT、右:YUK)

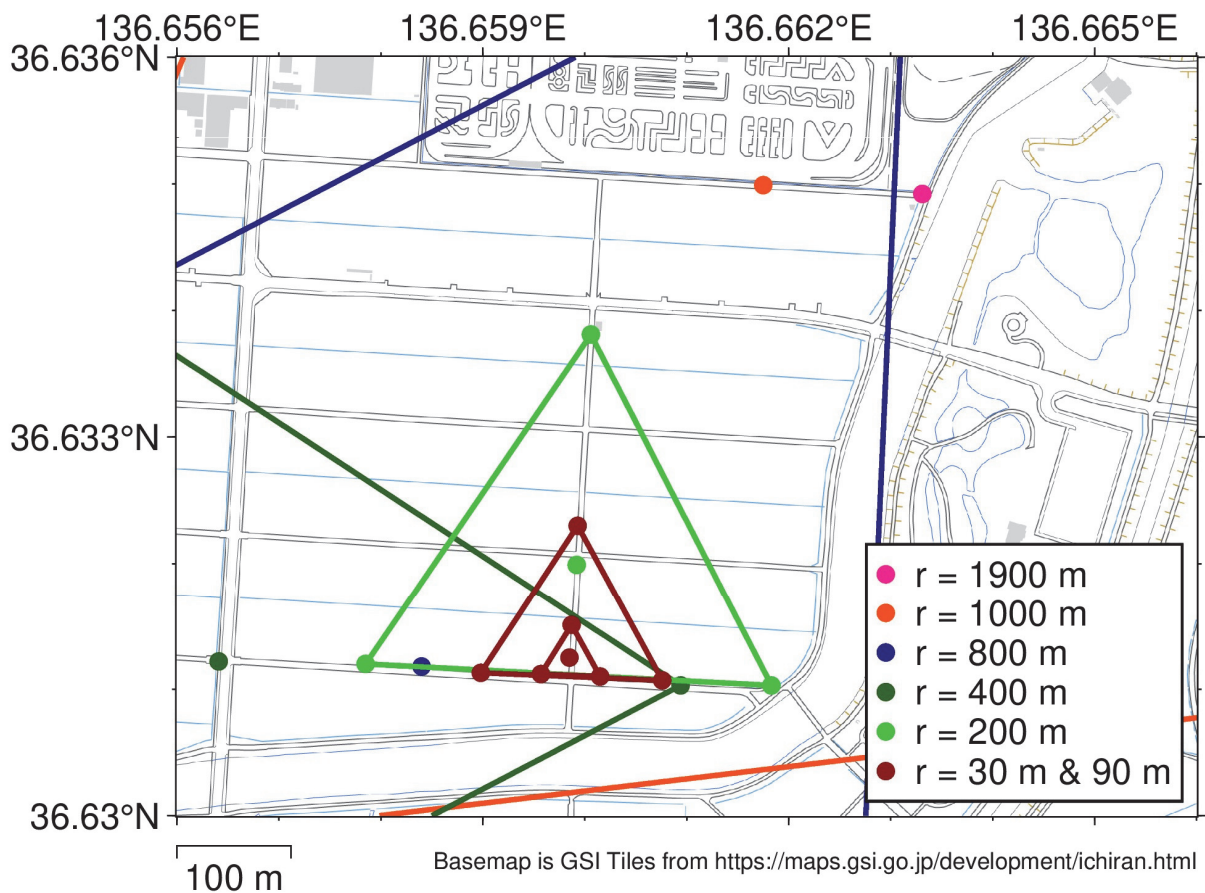
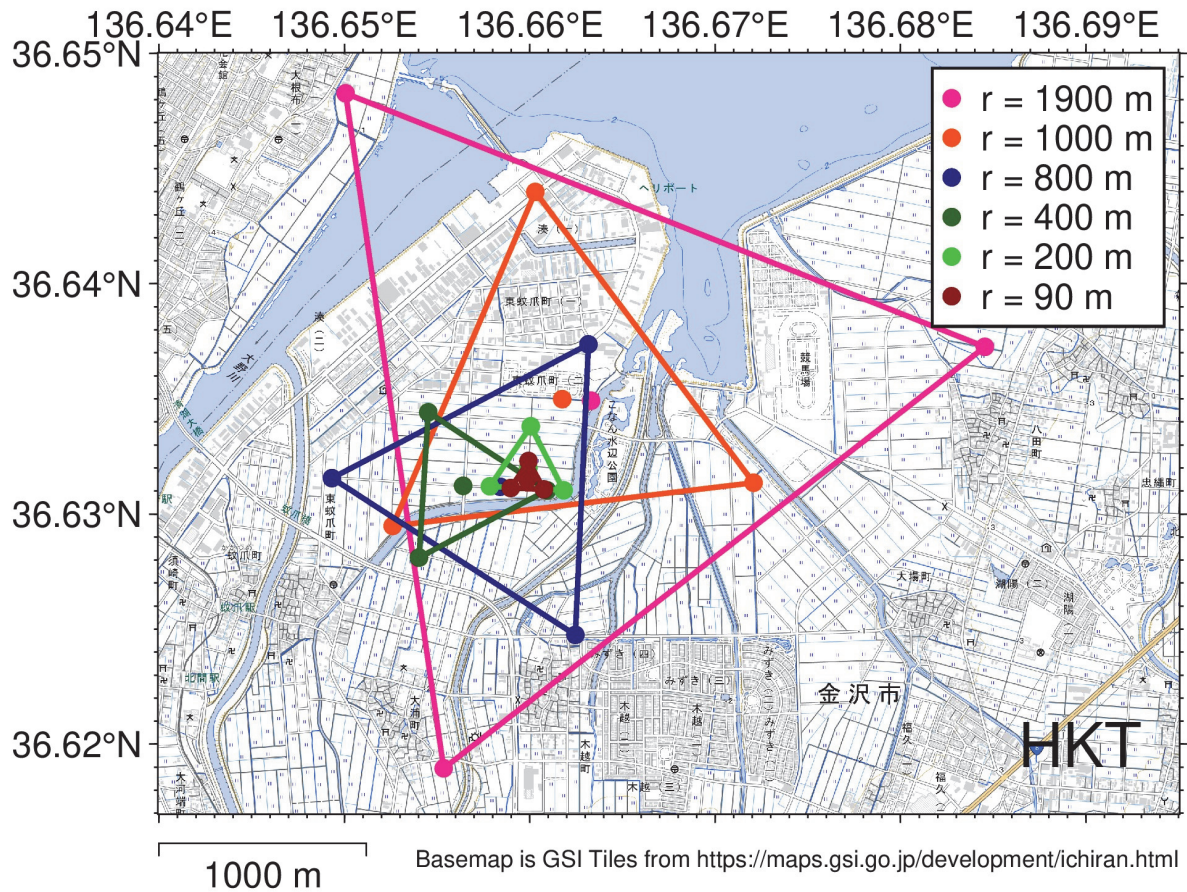


図7 HKTアレイでの地震計の配置。丸印が地震計を表す。基図は地理院タイルを使用。

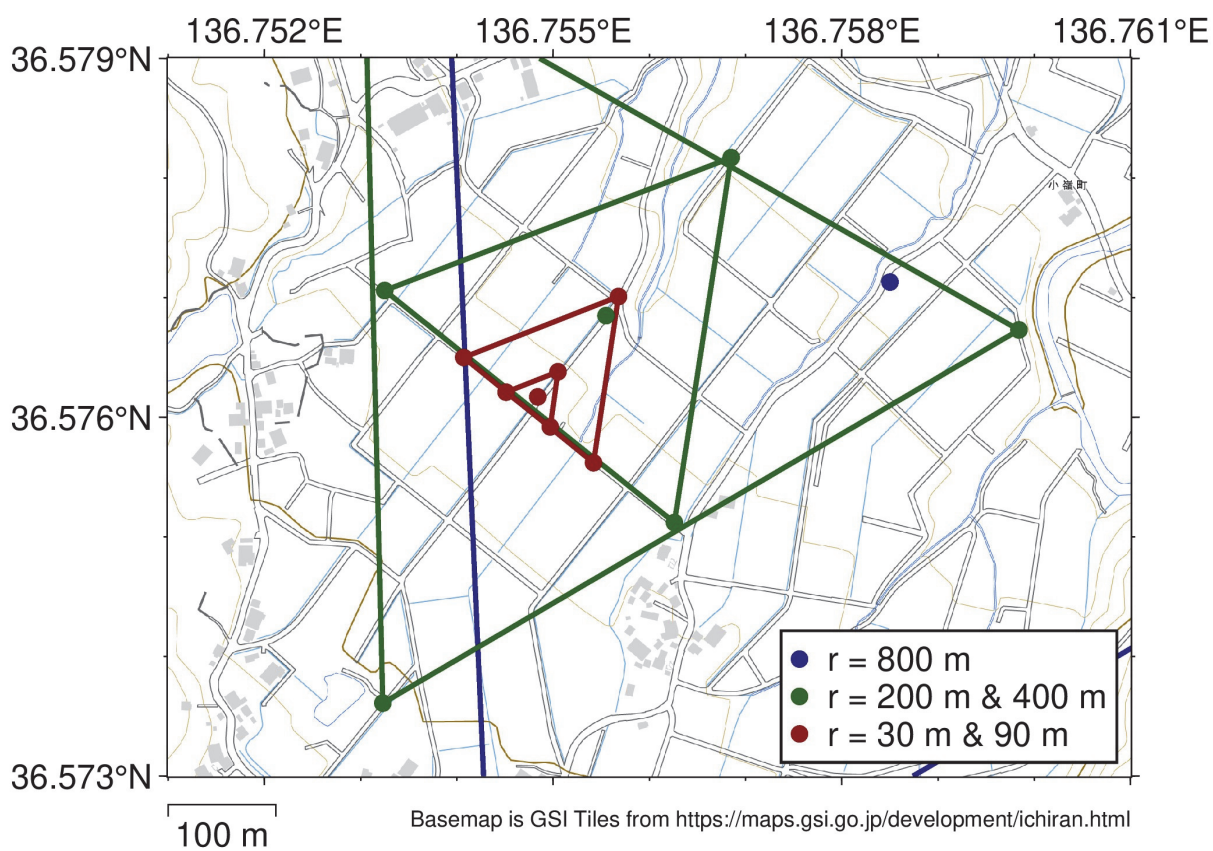
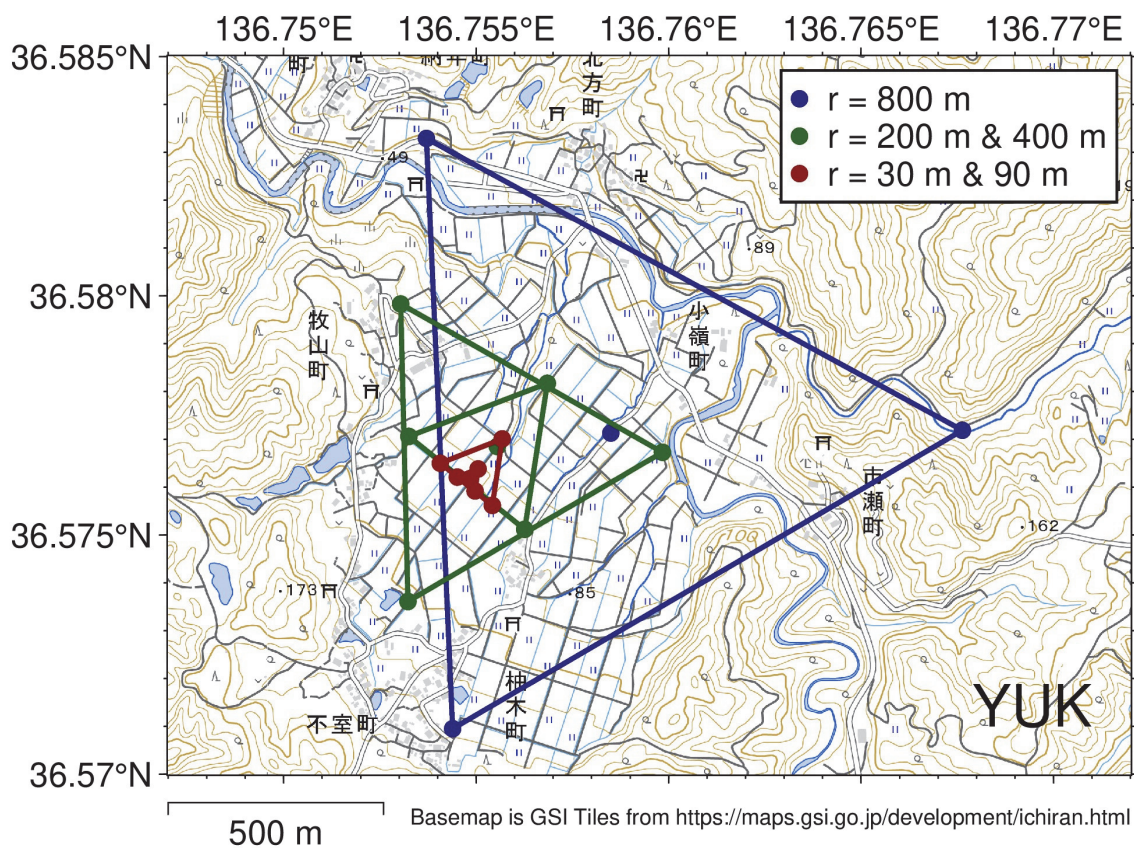


図8 YUK アレイでの地震計の配置。丸印が地震計を表す。基図は地理院タイルを使用。

微動波形記録の上下動成分を用い、位相速度を推定した。解析手順は浅野・他(2021)と同様である。まず、空間自己相関 (SPAC) 法 (Aki, 1957) にて各半径、各周波数の SPAC 係数を求めた。中心点と正三角形の頂点 (半径 r) に対する解析に加え、正三角形の辺を使った解析 (半径 $\sqrt{3}r$ に相当) も行った。各アレイについて、通過交通などの非定常ノイズの影響がなく、同一アレイ内のパワースペクトルが類似している区間を 25 区間以上抽出し、5 区間ずつを 1 セットにしてパワースペクトルやクロススペクトルのアンサンブル平均を計算した。個々のスペクトルは Konno and Ohmachi (1998) の方法で平滑化した (平滑化の幅を規定する b の値は 30 に設定)。各半径に対して得られた SPAC 係数と位相速度を図 9 に示した。最後に、各半径で得られた SPAC 係数を拡張 SPAC 法 (凌・岡田, 1993) により統合して解析し、最終的な位相速度の分散曲線を得た。SPAC 係数の状況から判断し、約 0.2 Hz 以上で信頼できる位相速度を得ることができていると考えている。

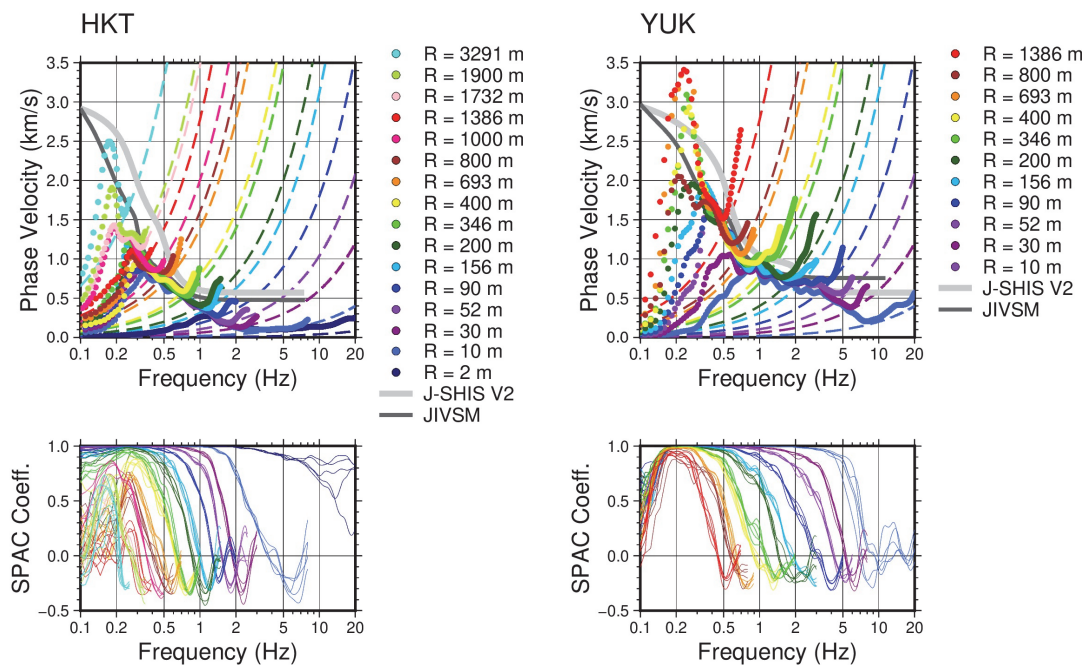


図 9 微動アレイ観測で得られた位相速度 (上図) と SPAC 係数 (下図)。プロットの色の違いがアレイ半径に対応する。波線は、アレイ半径の 2 倍の波長に対応し、SPAC 法で位相速度を推定可能な波長の下限を表す。薄灰線は J-SHIS V2 モデル (藤原・他, 2012)、濃灰線は全国一次地下構造モデル (Koketsu et al., 2012) からアレイ中心点直下の S 波速度構造を抽出して計算した Rayleigh 波基本モードの分散曲線。

河北潟南岸の HKT アレイでは、約 2.5 Hz 以上の周波数帯域で観測位相速度が 0.1 km/s と小さい値が得られている。粕野・編(1993)では、加賀平野の沖積層の基底は河北潟で最も深く、その標高は-70~-60 m であると報告されており、そのような地表付近の沖積層の存在に関係していると考えられる。周波数 2 Hz 以下では、周波数が小さくなるに従って位相速度が徐々に大きくなっており、0.2 Hz で約 2.0 km/s の位相速度が得られた。森本丘陵の YUK アレイの観測位相速度は、HKT のそれに比べて全体的に大きい。3.5 Hz まで

位相速度が 0.6 km/s 程度であり、それ以上の周波数で位相速度が急激に低下する。

同図には J-SHISV2 モデル（藤原・他，2012）と全国一次地下構造モデル（Koketsu et al., 2012）からそれぞれ中心点直下の速度構造を 1 次元構造として抽出したモデルから計算した Rayleigh 波基本モードの位相速度分散曲線も比較のためにプロットした。ただし、本図を見る際、これらの地盤構造モデルによる理論位相速度は深部地盤構造のみを考慮したものであることに注意が必要である。HKT において、位相速度が 0.6 km/s 以上となる周波数帯域での観測位相速度は、J-SHIS V2 モデルによる理論位相速度より全体的に小さめの傾向にある。JIVSM に対しては、約 0.3～0.8 Hz で観測位相速度との差がやや小さかった。YUK についても、JIVSM による理論位相速度は観測位相速度に比較的近く、J-SHIS V2 モデルによるそれは、やや大きい傾向にあった。

微動アレイ解析によって得られた位相速度分散曲線を用いて、S 波速度 (V_s) 構造を推定した。ここでは、観測位相速度を Rayleigh 波の基本モードで説明できると仮定して解析を行った。浅部地盤から上部マントルまでを水平成層構造でモデル化し、第 1～3 層の S 波速度及び第 1～5 層の層厚を未知パラメータとして、観測位相速度を説明できるように推定した。上部地殻の構造（第 6～7 層）は J-SHIS V2（藤原・他，2012）、上部地殻／下部地殻の境界から上部マントルまで（第 8 層～第 9 層）の構造は地震本部全国 1 次地下構造モデル（JIVSM、地震調査研究推進本部地震調査委員会，2012；Koketsu et al., 2012）から中心点直下の構造を一次元モデルとして取り出したモデルをそのまま与えた。

表 4 仮定した一次元構造モデル及び未知パラメータ探索範囲

層 No.	P 波速度 (m/s)	S 波速度 (m/s)	密度 (kg/m ³)	層厚 (m)
1	S 波速度の関数	50～290 (HKT) 50～290 (YUK)	S 波速度の関数	1～100
2	S 波速度の関数	300～640	S 波速度の関数	0～1,000 (HKT) 1～500 (YUK)
3	S 波速度の関数	650～1,000	S 波速度の関数	0～1,000 (HKT) 0～500 (YUK)
4	2,500	1,100	2,150	0～2,000 (HKT) 0～1,000 (YUK)
5	4,000	2,100	2,400	0～4,000 (HKT) 0～3,000 (YUK)
6	5,700	3,300	2,700	J-SHIS V2 の基底深度となるように設定
7	6,000	3,400	2,750	JIVSM の基底深度となるように設定
8	6,400	3,800	2,800	JIVSM の基底深度となるように設定
9	7,500	4,500	3,200	半無限

表 4 に各層のパラメータ及び探索範囲をまとめた。第 1～3 層の P 波速度及び密度は、S 波速度の値から Nagashima and Kawase (2021) の経験式を用いて与えた。Rayleigh 波の理論位相速度分散曲線の計算には工学院大学久田嘉章教授が公開しているプログラム (Hisada, 1995) を使用した。

未知パラメータの推定はマルコフ連鎖モンテカルロ法 (MCMC 法) で行い、サンプリング手法は Metropolis-Hastings アルゴリズム (Metropolis et al., 1953; Hastings, 1970) を用いた。全部で 100,000 回の試行を実施し、最初の 5,000 サンプルを burn-in 期間として棄却した後、残る 95,000 サンプルの中央値を最終的なモデル推定結果として採用した。図 10 に S 波速度構造モデルの推定結果、図 11 に MCMC 法でサンプルされた未知パラメータの推定値のヒストグラムを示す。第 1 層の S 波速度は、HKT で 100 m/s、YUK で 180 m/s と推定された。これらは比較的良く拘束されていることが図 11 のヒストグラムから窺える。第 2 層の S 波速度は HKT で 500 m/s、YUK で 450 m/s、第 3 層は両地点とも 790 m/s が最適解 (中央値) として得られた。また、各層の層厚も比較的よく求まっていると考えている。ただし、堆積層 (第 1～5 層) の S 波速度の値については、既往研究 (神野・他, 2003; 浅野・他, 2015) や次年度に他地点で実施する微動アレイでの結果なども踏まえ、総合的に検討した上で、最終的な深部地盤構造モデルの物性値を設定する必要がある。

HKT アレイで推定された S 波速度構造については、第 3 層以深の層の上面深度は、既存の J-SHIS V2 や JIVSM よりも深い結果になった。特に、地震基盤上面の深さは既存モデルよりも 2 km くらい深くなっており、4.7 km と推定されている。HKT アレイの中心点から約 8 km 南西でサブテーマ 1. 1 が実施した人工地震探査でも、P 波速度が 5.5 km/s を超える速度層が深さ 4 km 以上に推定されているので、微動アレイによる速度構造推定も適切な結果が得られていると判断している。なお、前述の通り、位相速度の逆解析は基本モードのみを考えて実施しているが、周波数 0.18 Hz の位相速度 2.5 km/s は、1 次モードとして説明することができそうである。

YUK アレイで推定された S 波速度構造については、S 波速度が 1 km/s 以上の深い堆積層の各層上面深度は、JIVSM と比較的近い結果となった。第 1 層の層厚 18 m の低速度層 (S 波速度 180 m/s) が約 3.5 Hz 以上での位相速度低下に関係している。堆積層全体の層厚は 2.7 km と推定され、HKT よりも約 2 km 薄い。この地点では、S 波速度 1.1 km/s 及び 2.1 km/s の層が堆積層全体に占める割合が大きい。完新統や更新統が比較的薄く、主として新第三系で構成されていると推測される。YUK においても、0.3 Hz 以下での大きめの位相速度は、1 次モードの影響を受けている可能性が考えられる。

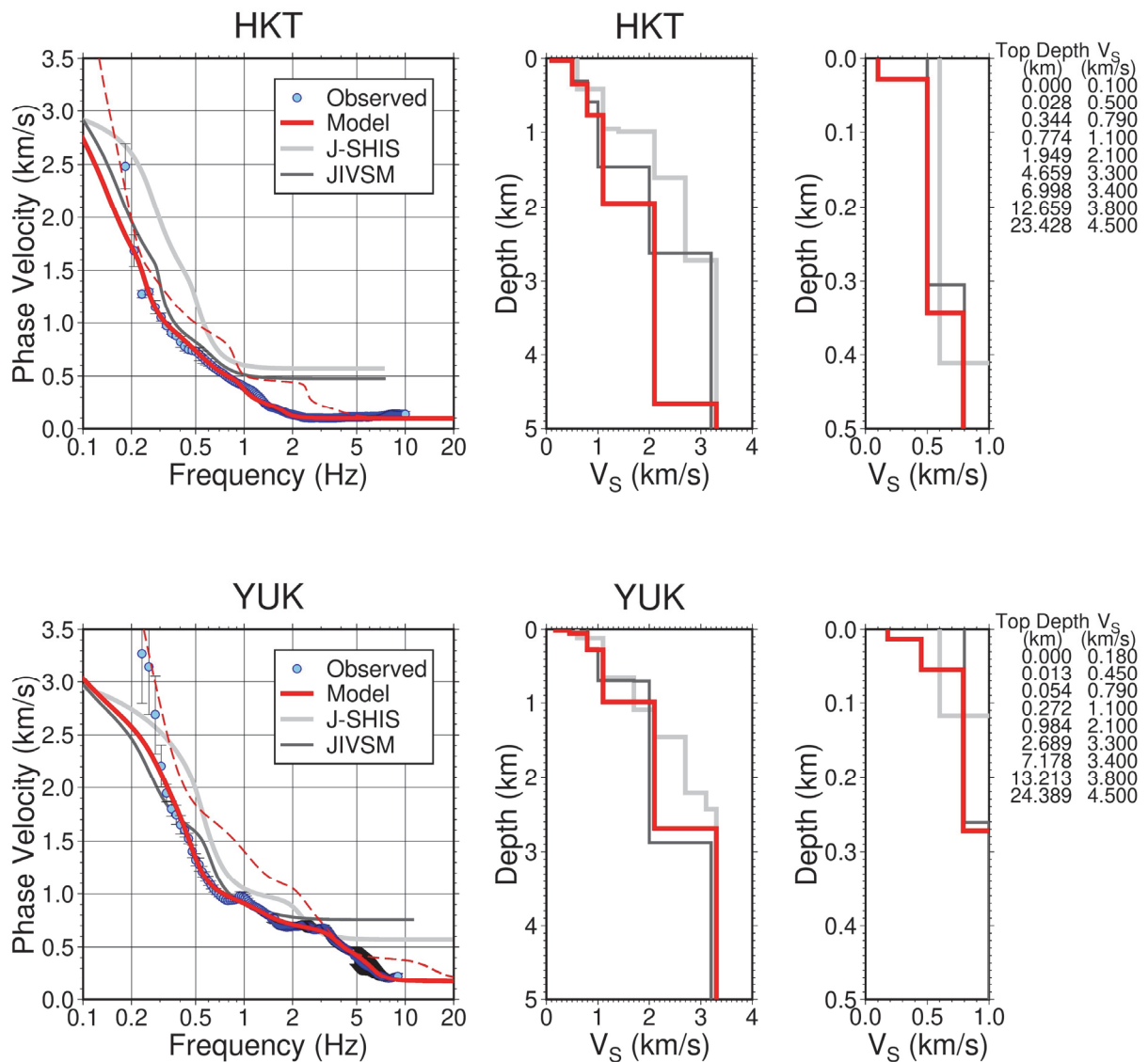
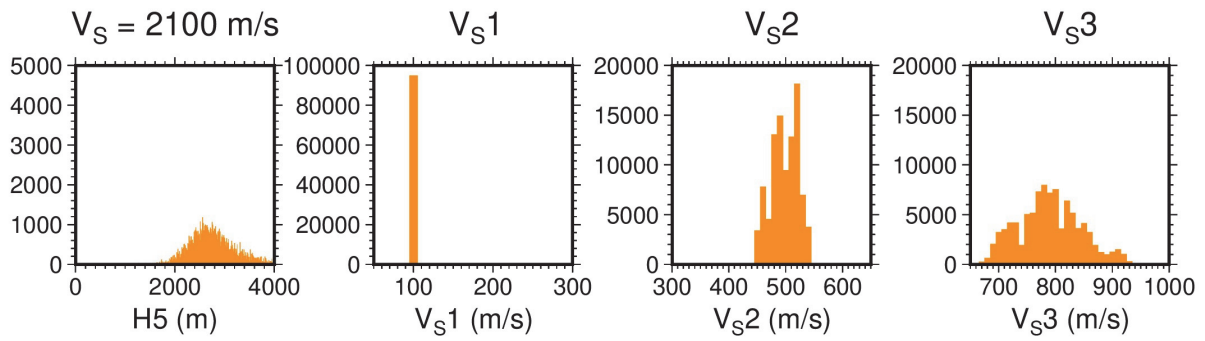
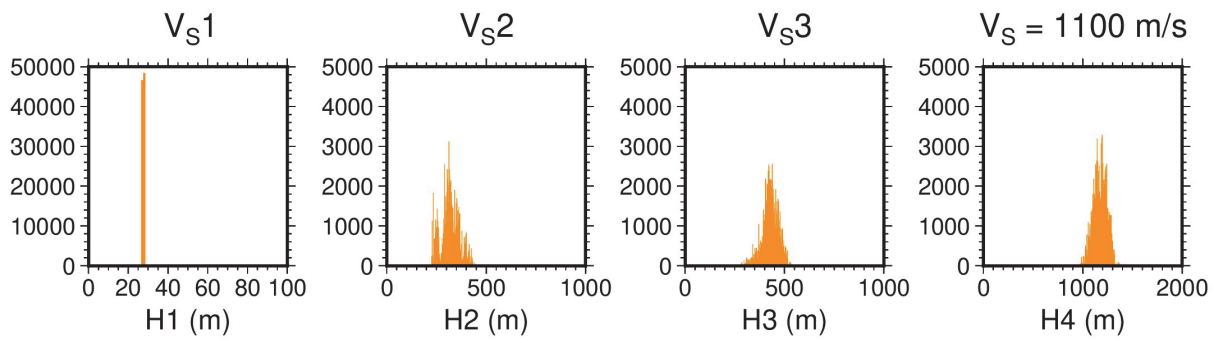
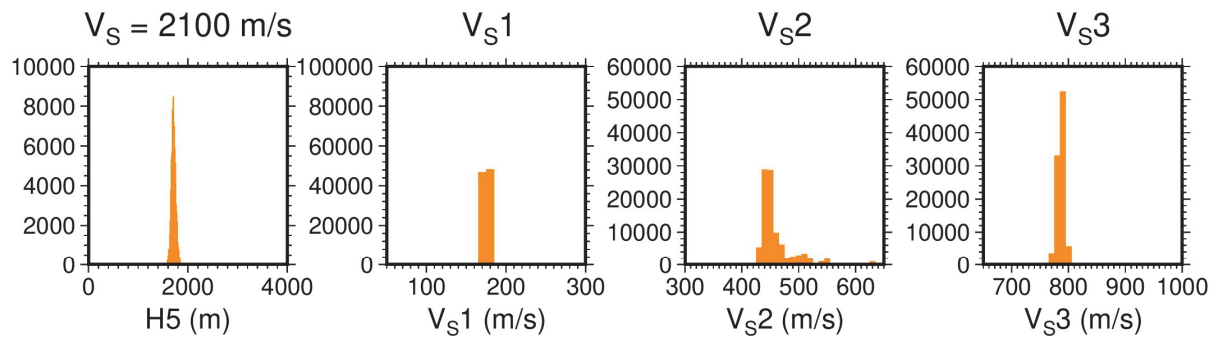
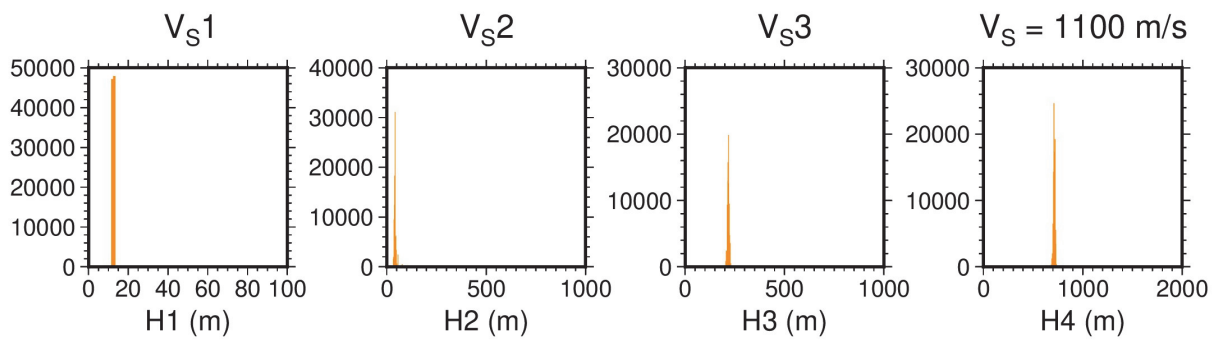


図 10 S 波速度構造推定結果。それぞれ、左図は位相速度分散曲線。青丸：観測、赤実線：推定モデルによる Rayleigh 波基本モードの理論分散曲線、赤破線：推定モデルによる Rayleigh 波 1 次モードの理論分散曲線、薄灰線：J-SHIS V2 による Rayleigh 波基本モードの理論分散曲線、濃灰線：JIVSM による Rayleigh 波基本モードの理論分散曲線。中図は S 波速度構造モデル。右図は深さ 0.5km 以浅を拡大して示した S 波速度構造モデル。右端の数値は各速度層の上面深度と S 波速度。赤線：微動アレイによる推定モデル、薄灰線：J-SHIS V2、濃灰線：JIVSM。



HKT



YUK

図 11 各未知パラメータの推定値の頻度分布

3) 森本・富樫断層帯周辺での稠密な単点微動観測

サブテーマ 1. 1 が実施する反射法地震探査測線に沿って、基盤深度の空間変化に関する資料を得るため、金沢市赤土町から金沢市古郷町にかけての 21 地点で単点微動観測を実施した（図 12、表 5）。現地での微動観測では、東京測振製の速度計 SE-321（センサー感度 5 V/(cm/s)、固有周期 10 秒）を使用し、白山工業製 DATAMARK LS-8800 で収録した。各観測地点では、地震計の方位を磁北に合わせ、地盤上に水平に設置した。形式分解能 24 bit、倍率 8 倍、サンプリング周波数 200 Hz、デシメーションフィルタのカットオフ周波数 80 Hz と設定して、微動を 30 分以上連続収録した。観測中はプラスチックバケツを地震計に被せて風雨除けとし、コーン等で安全対策をした（写真 26）。観測は令和 4 年 8 月 25 日及び 11 月 5 日に実施した。なお、8 月 25 日に観測した地点のうち、MTJ09 及び MTJ10 については、周辺の交通量等の関係で解析結果が良好ではなかったため、最終的な検討には使用しなかった。その代わりに、11 月 5 日に近隣の別地点（MTJ15 及び MTJ21）で単点微動観測を行った。

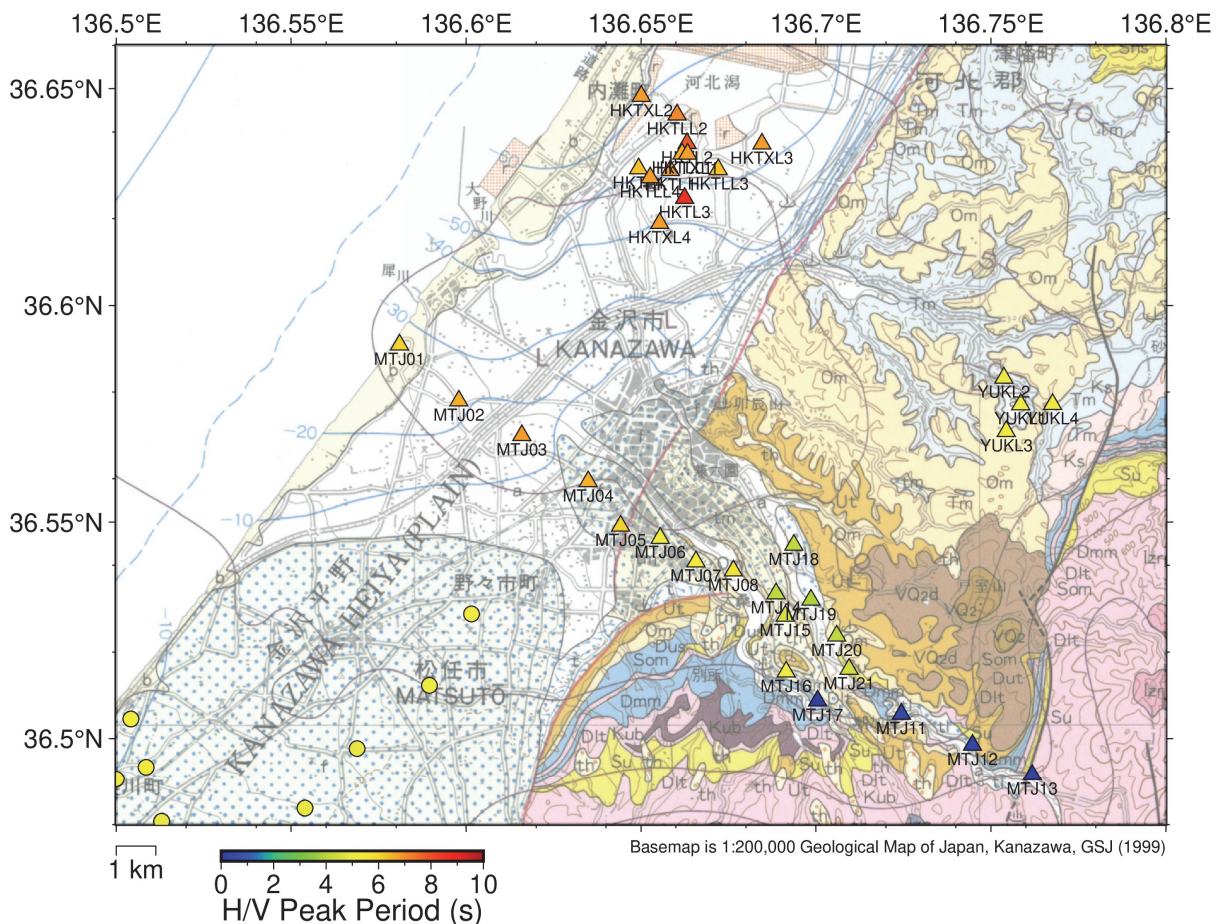


図 12 金沢市周辺における微動 H/V スペクトル比の卓越周期（△：本事業、○：平成 25 年度日本海地震・津波調査プロジェクト）。記号の色が微動 H/V スペクトル比の卓越周期に対応する。基図は産業技術総合研究所 20 万分の 1 地質図幅「金沢」（鹿野・他，1999）。

表5 単点微動観測一覧

観測点	緯度 (° N)	経度 (° E)	標高 (m)	観測日	開始時刻	終了時刻	住所	卓越周期 (s)
MTJ01	36.59092	136.58099	5	2022/8/25	15:52	16:41	金沢市赤土町ワ	6.1
MTJ02	36.57799	136.59796	4	2022/8/25	15:36	16:52	金沢市稚日野町北	6.5
MTJ03	36.57002	136.61594	5	2022/8/25	15:13	17:05	金沢市高島1丁目	6.8
MTJ04	36.55937	136.63492	11	2022/8/25	15:27	16:18	金沢市神田2丁目	6.6
MTJ05	36.54909	136.64417	26	2022/8/25	15:12	16:05	金沢市弥生1丁目	6.1
MTJ06	36.54631	136.65547	44	2022/8/25	14:59	15:56	金沢市泉野町1丁目	5.3
MTJ07	36.54088	136.66571	59	2022/8/25	14:50	15:47	金沢市平和町2丁目	5.3
MTJ08	36.53876	136.67641	39	2022/8/25	11:47	12:24	金沢市大桑町ハ	5.7
MTJ09	36.52575	136.69096	116	2022/8/25	11:30	12:06	金沢市土清水2丁目	—
MTJ10	36.51705	136.70795	68	2022/8/25	11:34	12:34	金沢市袋板屋町西	—
MTJ11	36.50566	136.72441	106	2022/8/25	11:48	12:40	金沢市藤六町ハ	0.40
MTJ12	36.49851	136.74474	140	2022/8/25	12:04	12:46	金沢市北袋町ヲ	0.28
MTJ13	36.49153	136.76180	162	2022/8/25	12:23	12:58	金沢市古郷町ロ	0.13
MTJ14	36.53350	136.68858	76	2022/11/5	11:28	12:50	金沢市涌波1丁目	4.1
MTJ15	36.52832	136.69123	110	2022/11/5	11:37	12:58	金沢市土清水1丁目	4.6
MTJ16	36.51542	136.69150	111	2022/11/5	11:49	13:03	金沢市末町四字	5.1
MTJ17	36.50874	136.70046	116	2022/11/5	11:58	13:08	金沢市辰巳町四字	0.05
MTJ18	36.54470	136.69368	51	2022/11/5	10:59	12:53	金沢市田上の里1丁目	4.2
MTJ19	36.53204	136.69857	53	2022/11/5	11:28	13:01	金沢市田上本町1丁目	3.9
MTJ20	36.52372	136.70592	88	2022/11/5	11:43	13:07	金沢市銚子町リ	4.1
MTJ21	36.51604	136.70944	72	2022/11/5	11:53	13:13	金沢市袋板屋町	4.4



写真26 単点微動観測の実施状況 (左: MTJ01、右: MTJ20)

単点微動観測で取得した3成分の微動波形から、交通ノイズなどの影響の少ない時間区間(区間長40.96秒)を少なくとも5区間以上選び、Fourier振幅スペクトルを計算した。その際、Konno and Ohmachi (1998)の方法($b = 40$ と設定)により、振幅スペクトルの平滑化を行った。水平2成分の幾何平均と上下動成分の振幅スペクトル比をH/Vスペクトル比とし、その対数平均を求めた。図13に全地点のH/Vスペクトル比を示す。また、HKT及びYUKでの半径800m以上の微動アレイ観測時の各点の記録についても、同様にH/Vスペクトル比を求めた(図14、表6)。

得られたH/Vスペクトル比から卓越周波数を読み取り、図12の地図上に卓越周期(卓

越周波数の逆数)をプロットした。犀川沿いでの観測地点の解析結果(図13)については、以下のような特徴がみられた。野町断層よりも西の平野部での観測地点(MTJ02~MTJ04)では、卓越周期が6.5~6.8秒であり、犀川沿いの観測地点の中では、最も卓越周期が大きい。海岸砂丘上のMTJ01も含め、平野部でのH/Vスペクトル比は周期6秒以上の長周期(低周波数)と周期1秒以下の短周期(高周波数)の2つのピークを有することが特徴である。短周期(高周波数)側のピークは浅部地盤と工学的基盤に関係したピークと考えている。犀川西岸のうち野町断層と野田山撓曲の間の区間(MTJ06~MTJ08)では卓越周期5.3~5.7秒、犀川と浅野川に挟まれた段丘(MTJ14~MTJ16)では4.1~5.1秒、浅野川右岸の段丘(MTJ18~MTJ21)では3.9~4.4秒と、短くなっている傾向が見られた。これらの傾向は、森本・富樫断層帯の活動と関係した基盤深度の空間変化と対応していると考えている。MTJ11以東では、低い周波数でのH/Vスペクトル比のピークは見られなくなる。

河北潟南岸のHKTアレイでの観測結果(図14)では、長周期側の卓越周期が約7~8秒であり、犀川左岸よりもさらに大きい。また、短周期側のピークも周期1秒以上(周波数1Hz以下)となっている地点もあり(例えば、HKTXL1、HKTLL1、HKTLL2など)、河北潟南岸での沖積層が相対的に厚いことを示していると考えられる。森本丘陵のYUKアレイでの卓越周期は5.0~5.3秒であり、平野部に比べればやや短いとはいえ、加賀平野に広く堆積する大桑層(第四系)や高窪層(新第三系)などの堆積層が数kmの層厚で存在することを示唆する結果が得られた。

表6 微動アレイ観測時のデータを用いて解析した観測地点一覧

観測点	緯度 (° N)	経度 (° E)	標高 (m)	観測日	開始 時刻	終了 時刻	住所	卓越 周期 (s)
HKTLL1	36.63118	136.65840	1	2022/8/24	15:35	16:52	金沢市東蚊爪町	6.8
HKTLL2	36.63737	136.66317	2	2022/8/24	15:35	16:52	金沢市東蚊爪町1丁目	7.8
HKTLL3	36.62475	136.66246	1	2022/8/24	15:35	16:52	金沢市木越町ヨ	8.6
HKTLL4	36.63156	136.64933	1	2022/8/24	15:35	16:52	金沢市東蚊爪町	6.3
HKTLL1	36.63499	136.66175	2	2022/11/5	14:50	20:40	金沢市東蚊爪町	6.6
HKTLL2	36.64399	136.66030	1	2022/11/5	14:50	20:40	金沢市湊1丁目	7.1
HKTLL3	36.63136	136.67207	1	2022/11/5	14:50	20:40	金沢市大場町西	6.3
HKTLL4	36.62948	136.65261	1	2022/11/5	14:50	20:40	金沢市東蚊爪町	6.8
HKTXL1	36.63492	136.66331	2	2022/11/5	15:00	7:50	金沢市東蚊爪町	6.8
HKTXL2	36.64827	136.65007	0	2022/11/5	15:00	7:50	内灘町字大根布は	6.8
HKTXL3	36.63726	136.68455	1	2022/11/5	15:00	7:50	金沢市才田町中	6.8
HKTXL4	36.61895	136.65536	1	2022/11/5	15:00	7:50	金沢市大浦町ト	6.8
YUKL1	36.57713	136.75850	68	2022/8/26	9:40	10:20	金沢市柚木町に	5.1
YUKL2	36.58329	136.75371	49	2022/8/26	9:40	10:20	金沢市納年町い	5.0
YUKL3	36.57095	136.75439	119	2022/8/26	9:40	10:20	金沢市柚木町い	5.3
YUKL4	36.57719	136.76763	63	2022/8/26	9:40	10:20	金沢市市瀬町	5.3

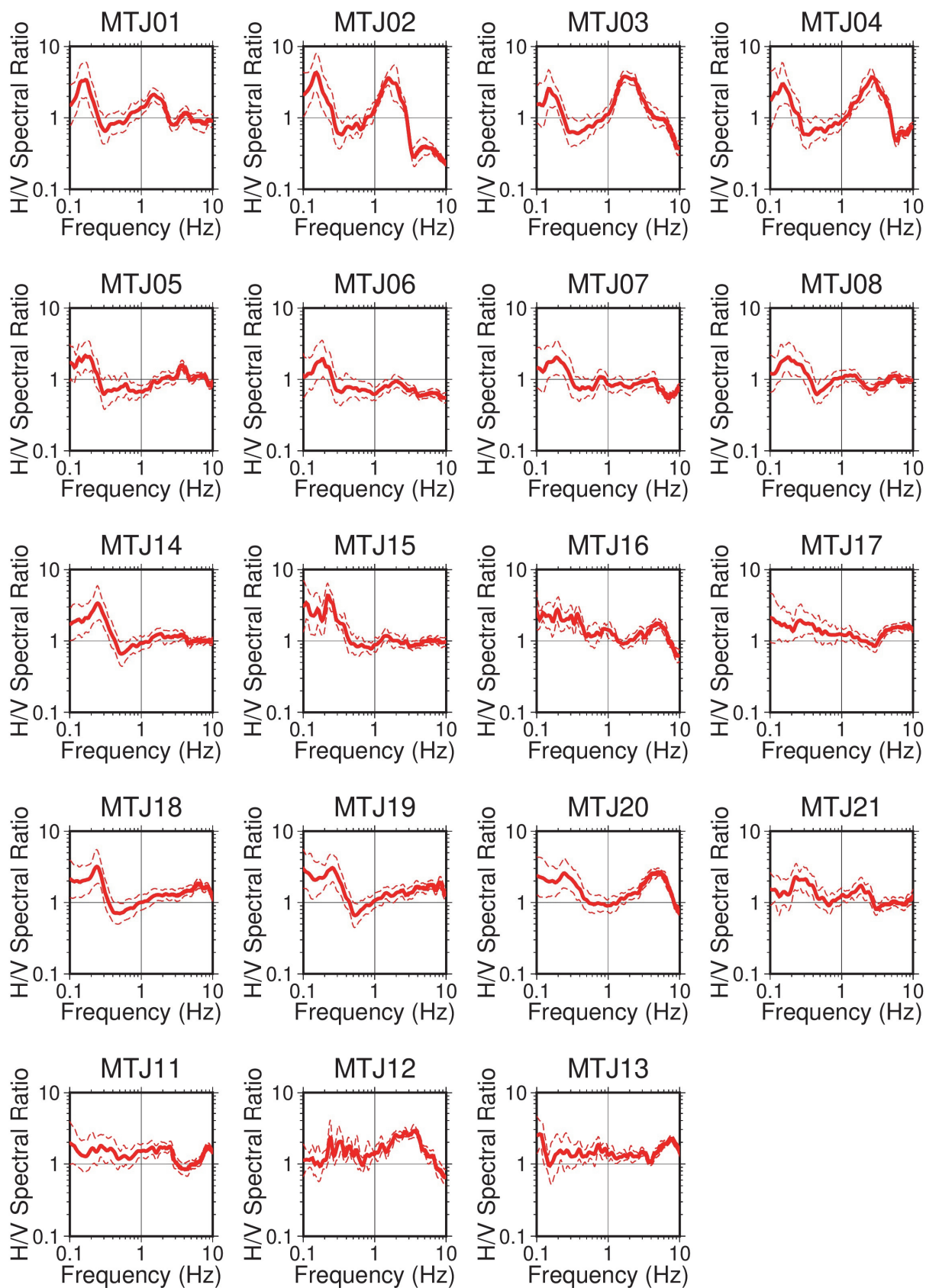


図 13 犀川沿いでの単点微動観測で得られた微動H/Vスペクトル比。太実線が対数平均、細実線が対数標準偏差を表す。

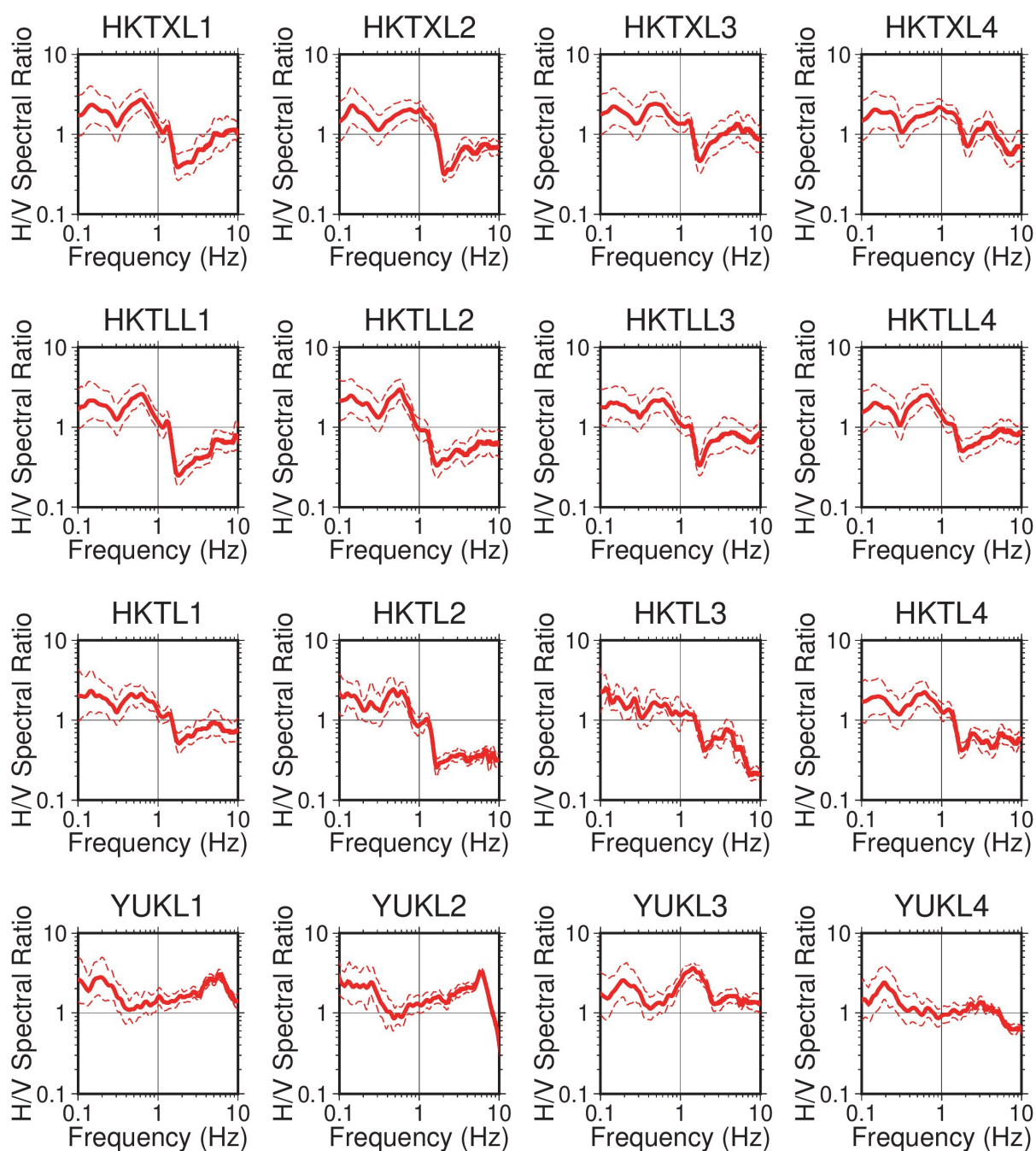


図 14 微動アレイ観測地点で得られた微動 H/V スペクトル比。太実線が対数平均、細実線が対数標準偏差を表す。

4) 震度・強震観測点での単点微動観測

森本・富樫断層帯の地震で強い揺れに見舞われる可能性のある石川県及び富山県西部の広域的な深部地盤構造に関する基礎的資料を得るため、既存の震度観測点（気象庁、石川県震度情報ネットワークシステム、富山県震度情報ネットワークシステム）と強震観測点（国立研究開発法人防災科学技術研究所 K-NET 及び KiK-net、港湾地域強震観測）において、単点微動観測を実施し、H/V スペクトル比を得た。単点微動観測の実施には、震度計や強震計の所在する各施設の管理担当者の協力を得て、震度計や強震計近傍で観測を行った。ただし、震度計が庁舎内の床面等に設置されている場合は、庁舎外の地盤上かつ震度計にできるだけ近い場所にて観測した。同一施設敷地の別な場所に、震度計と強震計がそれぞれ設置されている地点（氷見消防署、大山消防署、八尾行政サービスセンター）では、各々の震度計・強震計の近傍で微動観測した。観測地点数は 103 地点である（図 15）。

微動観測は、Lennartz 製 3 成分速度計 LE-3D/20s（固有周期 20 秒、減衰定数 0.707、感度 1000 V/(m/s)）を用い、白山工業製 DATAMARK LS-8800 で収録した。地震計を地表面に水平に設置し、地震計の N 成分を磁北に合わせた。収録装置は形式分解能 24 bit、倍率 16 倍、サンプリング周波数 100 Hz、デシメーションフィルタのカットオフ周波数 40 Hz と設定した。各地点での観測時間は 30 分以上とし、周辺の交通量など現地状況に応じて、観測時間の長さを調整した。写真 27 は現地での観測実施状況の例である。各観測地点の座標、観測日時の情報を表 7 に整理した。このうち、観測点 ISK009 では、強震計近傍で建設工事が行われていたため、途中で観測を中断し、再開した。

単点微動観測で取得した 3 成分の微動波形を確認し、周辺交通などによるノイズの影響の少ない解析区間を抽出した。1 つの時間ウィンドウの解析区間長は 81.92 秒とし、記録状況に応じて 5～20 区間を選択した。図 16 に解析区間の選択例を示す。図中の着色されている部分が抽出した解析区間を表す。次に、それぞれ抽出した解析区間の Fourier スペクトルを計算した。その際に振幅スペクトルは、Konno and Ohmachi (1998) の方法 (b を 30 と設定) により平滑化した。最後に水平 2 成分の幾何平均と上下動成分の振幅スペクトル比を H/V スペクトル比とし、その対数平均を求めた。図 17 に全地点の H/V スペクトル比をプロットした。長周期成分まで利用可能な地震計（周期 20 秒）を使用したとはいえ、市街地での一時的な観測であるため、周期 5 秒以上（周波数 0.2 Hz 以下）で H/V スペクトル比のバラツキが大きい地点も一部に認められるが、全般的には H/V スペクトル比は安定して求められていると言える。

各観測点の H/V スペクトル比のピークを読み取り、卓越周期を図 18 の地図に示す。ピークを読み取る際は、深部地盤の堆積層厚に関係していると考えられるピークをできるだけ読み取った。まず、石川県内を北から H/V スペクトル比の特徴を見ていく。奥能登地域の海岸沿いの平野では、輪島市鳳至町 (JMAE10) で卓越周期 1.0 秒、輪島市門前町 (ISKP38) で卓越周期 0.90 秒、穴水町 (ISK005) で卓越周期 0.79 秒、志賀町富来 (JMA914) で卓越周期 0.38 秒、能登町宇出津 (ISK004、JMA915) で卓越周期 0.34～0.66 秒、内浦 (ISKH03、ISKP41) で卓越周期 0.24～0.36 秒であった。邑知潟平野では、北端の七尾市 (ISK007、JMA535) で卓越周期 1.0～1.4 秒、中能登町 (ISKP32、ISKP34、ISKP36) で卓越周期 2.2～2.9 秒、羽咋市 (ISK008) と宝達志水町押水 (ISKP30) でともに卓越周期 4.6 秒と南西に向かって、卓越周期が長くなる傾向にあった。宝達山西側の海

岸沿いの平野では、羽咋市周辺よりも卓越周期が短くなり、かほく市高松（ISKP23）で卓越周期 1.3 秒、宇ノ気（ISKP25）で 2.6 秒、七塚（ISK009）で 2.1 秒であった。森本・富樫断層帯の西側に位置する加賀平野では、津幡町（JMA913）で卓越周期 4.8 秒、内灘町（ISKP26）で 6.8 秒、金沢市（ISK010）で 4.6 秒、白山市美川（ISKP14）で 6.3 秒、川北町（ISKP13）で 3.9 秒、能美市根上（ISKP10）で 4.1 秒、能美市寺井（ISKP11）で 0.94 秒、小松市（ISK011、MA536）で 0.85~1.1 秒、加賀市（ISK014）で 0.73 秒であり、加賀平野南部では北部に比べて卓越周期が短い傾向にある。

富山県西部では、氷見市（TYM002、TYMP05）で卓越周期 4.1~4.3 秒、射水平野の射水市（TYM005、TYMH02、TYMP03、TYMP22、TYMP23、TYMP25）で 5.1~6.8 秒であった。砺波平野においても、砺波市（TYMP08）で卓越周期 7.4 秒であるなど、堆積盆地が深いことを反映した結果が得られた。なお、富山平野の一部（TYM007、TYMH03、TYMP01、JMAE17）や石川県白山市の一部（ISKP08）など、深部地盤の堆積層が厚く、本来は周期 5~10 秒の範囲のどこかにピークを持つと予想される地点において、低周波数側のスペクトルが安定せずそのような低い周波数でのピークを判読できない地点もいくつかあった。これらについては、次年度以降も引き続き、データ解析時のパラメータや解析区間を吟味し、H/V スペクトル比の改善に努めていくとともに、既存の深部地盤構造モデルとの比較検討などを進めていく。これらの情報を、次年度以降の深部地盤構造モデルの改良に活用していく。

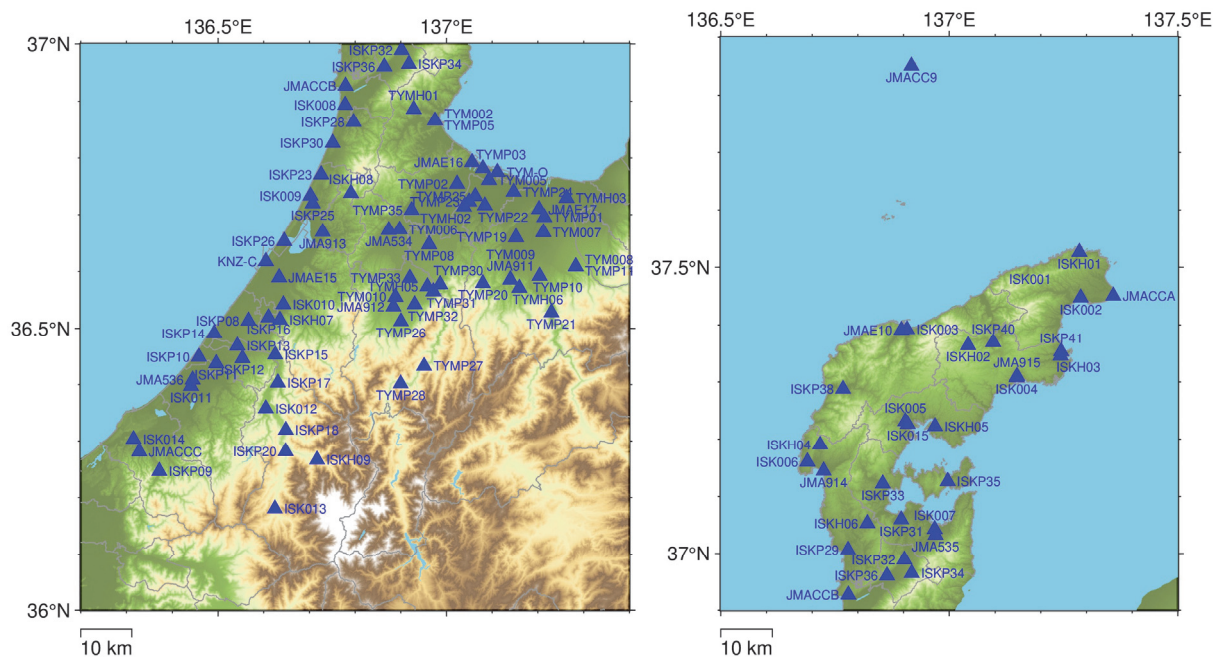


図 15 単点微動観測を実施した震度・強震観測点。灰色実線は市町村界。基図は SRTM3 (NASA JPL, 2013) を使用して作図した。



写真 27 単点微動観測の実施状況例（左上：ISK001 珠洲市立大谷小中学校、右上：ISKH07 石川県教員総合研修センター、左中：JMACC9 舳倉島、右中：ISKP15 白山市鶴来支所、左下：TYMP19 富山市消防局婦中消防署、右下：TYMP24 射水市立下村小学校）。折り畳みコンテナで覆われている白い円筒状の機器が地震計である。

表7 震度・強震観測点における単点微動観測点一覧

No.	観測点 コード	北緯(度)	東経(度)	観測日	開始 時刻	終了 時刻	住所	施設名称
1	ISK001	37.49986	137.17672	2022/10/20	10:15	11:00	珠洲市大谷町1字78番地	珠洲市立大谷小中学校
2	ISK002	37.44735	137.28762	2022/10/20	16:00	16:40	珠洲市正院町正院二丁目1番地3	珠洲市建設課資材置場
3	ISK003	37.39242	136.90773	2022/10/18	06:51	07:35	輪島市河井町14部	一本松公園
4	ISK004	37.30813	137.14731	2022/10/18	13:29	14:15	鳳至郡能登町宇出津タ字97番地	公立宇出津総合病院
5	ISK005	37.23090	136.90395	2022/10/17	09:14	10:00	鳳至郡穴水町宇大町ほの1番地	大町西児童公園
6	ISK006	37.16018	136.68965	2022/10/21	12:41	13:34	羽咋郡志賀町香能い66番地	スギヨファーム志賀農場
7	ISK007	37.04265	136.96818	2022/10/21	09:09	09:49	七尾市袖ヶ江町イ部25番地	七尾市役所
8	ISK008	36.89373	136.77824	2022/10/19	09:00	10:20	羽咋市旭町ア200番地	羽咋市役所
9	ISK009	36.73348	136.70250	2022/10/18	10:37	11:37	かほく市浜北イ19番地1	かほく市立河北台中学校
					12:08	12:29		
10	ISK010	36.54200	136.64326	2023/11/6	15:44	16:34	金沢市弥生三丁目5番1号	金沢市営陸上競技場
11	ISK011	36.39751	136.44105	2023/11/9	14:50	15:36	小松市向折本町ホ60番地	小松市民病院
12	ISK012	36.35787	136.60472	2023/11/10	11:07	11:55	白山市別宮町丙119番地	旧鳥越村旧消防用地跡地
13	ISK013	36.18041	136.62463	2023/11/8	13:03	13:50	白山市白峰ニ56番地	白山市白峰ふれあい農園
14	ISK014	36.30314	136.31536	2023/11/11	12:25	13:10	加賀市大聖寺南町二41番地	加賀市役所
15	ISK015	37.22642	136.90887	2022/10/17	10:30	11:16	鳳珠郡穴水町宇大町ろの18番地	真名井児童公園
16	ISKH01	37.52617	137.28471	2022/10/20	12:01	12:41	珠洲市折戸町ヌ部8番地	滞在交流施設日置ハウス
17	ISKH02	37.36441	137.04131	2022/10/17	14:58	15:45	鳳珠郡能登町宇黒川29号2番地	旧柳田村立黒川小学校プール
18	ISKH03	37.34633	137.24369	2022/10/18	09:53	10:40	鳳珠郡能登町宇布浦ケ字47番地	相撲場跡
19	ISKH04	37.18982	136.71730	2022/10/21	11:10	11:50	羽咋郡志賀町大福寺二の218番地	能登富士ふれあい文化センター
20	ISKH05	37.22235	136.96880	2022/10/17	12:09	12:55	鳳珠郡穴水町宇旭ヶ丘ほの97番地	旧穴水町立岩車小学校
21	ISKH06	37.05289	136.82086	2022/10/20	15:33	16:13	羽咋郡志賀町宇館開し4番9の一部	私有地
22	ISKH07	36.51493	136.63560	2023/11/7	09:29	10:10	金沢市高尾町ウ31番地1	石川県教員総合研修センター
23	ISKH08	36.73816	136.79101	2022/10/4	11:29	12:09	河北郡津幡町宇下河合チ57番地	河合谷宿泊体験交流施設
24	ISKH09	36.26651	136.71681	2023/11/7	16:30	17:10	白山市尾添テ25番地1	白山一里野公園
25	JMA535	37.03273	136.96996	2022/10/21	10:51	11:31	七尾市本府中町ヲ部38番地	七尾サンライフプラザ
26	JMA536	36.40855	136.44471	2023/11/10	09:21	10:05	小松市小馬出町91番地	小松市役所
27	JMA913	36.66892	136.72908	2022/10/17	15:15	15:55	河北郡津幡町加賀爪ニ3番地	津幡町役場
28	JMA914	37.14399	136.72512	2022/10/21	15:28	16:20	羽咋郡志賀町富来領家町甲の10番地	志賀町富来活性化センター
29	JMA915	37.31049	137.14809	2022/10/18	15:00	15:41	鳳珠郡能登町宇出津ト字50番地1	能登町役場
30	JMACC9	37.85064	136.91729	2022/10/19	12:50	14:10	輪島市海士町所属舳倉島出邑山1番3	舳倉島地震観測施設
31	JMACCA	37.45068	137.35896	2022/10/20	14:25	15:15	珠洲市三崎町小泊33字7番地	金沢大学能登学舎
32	JMACCB	36.92723	136.77919	2022/10/19	12:25	13:05	羽咋市柳田町シ1番地	厩丈台地自然緑地公園
33	JMACCC	36.28085	136.32815	2023/11/8	17:00	17:50	加賀市直下町194番地	旧加賀市老人福祉センター松風荘跡地
34	JMAE10	37.39117	136.89512	2022/10/18	16:55	17:35	輪島市鳳至町島田99番地3	輪島特別地域気象観測所
35	JMAE15	36.58925	136.63398	2022/10/17	09:40	10:20	金沢市西念三丁目4番1号	金沢地方気象台
36	ISKP08	36.51347	136.56682	2023/11/7	13:22	14:05	白山市倉光二丁目1番地	白山市役所駐車場
37	ISKP09	36.24661	136.37188	2023/11/8	15:25	16:15	加賀市山中温泉湯の出町タ33番地	旧加賀市役所山中温泉支所跡地
38	ISKP10	36.44937	136.45832	2023/11/9	13:16	14:00	能美市中町子86番地	能美市根上サービスセンター
39	ISKP11	36.43771	136.49625	2023/11/9	11:32	12:15	能美市寺井町タ35番地	能美市役所寺井分室
40	ISKP12	36.44655	136.55363	2023/11/9	10:16	11:00	能美市来丸町1110番地	能美市役所
41	ISKP13	36.46898	136.54252	2023/11/7	14:41	15:25	能美郡川北町壱ツ屋174番地	川北町役場
42	ISKP14	36.49101	136.49166	2023/11/9	08:43	09:30	白山市美川浜町ヨ103番地	白山市役所美川支所
43	ISKP15	36.45301	136.62554	2023/11/10	14:57	15:47	白山市鶴来本町四丁目ヌ85番地	白山市役所鶴来支所
44	ISKP16	36.51929	136.61072	2023/11/7	11:50	12:46	野々市市三納一丁目1番地	野々市市役所
45	ISKP17	36.40368	136.63115	2023/11/10	13:31	14:15	白山市河内町口直海イ15番地	旧白山市役所河内庁舎跡地
46	ISKP18	36.31953	136.64855	2023/11/8	09:42	10:35	白山市市原丁25番地	旧白山市役所吉野谷庁舎跡地
47	ISKP20	36.28141	136.64807	2023/11/8	11:23	12:10	白山市市原ト46番地	旧白山市役所尾口庁舎跡地
48	ISKP23	36.77075	136.72578	2022/10/18	12:59	13:39	かほく市高松ム68番地16	かほく市消防団高松第三分団詰所
49	ISKP25	36.71950	136.70717	2022/10/18	09:18	09:58	かほく市宇野気ニ81番地	かほく市役所
50	ISKP26	36.65304	136.64510	2022/10/17	13:22	14:12	河北郡内灘町大学1丁目2番地1	内灘町役場
51	ISKP28	36.86349	136.79679	2022/10/19	10:50	11:30	羽咋郡宝達志水町宇浦レ236番地1	宝達志水町中央公園

表7 続き

No.	観測点 コード	北緯(度)	東経(度)	観測日	開始 時刻	終了 時刻	住所	施設名称
52	ISKP29	37.00631	136.77847	2022/10/19	14:16	14:56	羽咋郡志賀町末吉千古1番地1	志賀町役場
53	ISKP30	36.82644	136.75092	2022/10/18	14:19	14:59	羽咋郡宝達志水町今浜イ4番地1	宝達志水総合体育館
54	ISKP31	37.05932	136.89506	2022/10/20	09:09	09:49	七尾市垣吉町へ部24番地	七尾市田鶴浜地区コミュニティセンター
55	ISKP32	36.98904	136.90170	2022/10/21	13:17	13:57	鹿島郡中能登町末坂9部46番地	中能登町役場総務庁舎
56	ISKP33	37.12166	136.85460	2022/10/20	10:34	11:14	七尾市中島町中島甲部170番地	七尾市中島地区コミュニティセンター
57	ISKP34	36.96512	136.91791	2022/10/21	14:30	15:10	鹿島郡中能登町井田4部1番地1	旧中能登町役場鹿島庁舎
58	ISKP35	37.12611	136.99655	2022/10/20	13:27	14:07	七尾市能登島向田町ろ8番地1	七尾市能登島地区コミュニティセンター
59	ISKP36	36.96083	136.86395	2022/10/21	15:44	16:24	鹿島郡中能登町能登部下85部1番地	旧中能登町役場鹿西庁舎
60	ISKP38	37.28753	136.76761	2022/10/21	09:44	10:25	輪島市門前町走出6の69番地	輪島市門前総合支所
61	ISKP40	37.36961	137.09602	2022/10/17	16:29	17:15	鳳珠郡能登町柳田仁部54番地	能登町立柳田公民館
62	ISKP41	37.35332	137.24494	2022/10/18	11:20	12:05	鳳珠郡能登町松波13字75番地1	能登町役場内浦総合支所
63	TYMO02	36.86585	136.97497	2022/10/3	13:21	14:01	氷見市加納387番地1	高岡市消防本部氷見消防署
	TYMP05	36.86605	136.97487					
64	TYMO05	36.76112	137.09298	2022/10/3	13:18	13:58	射水市久々湊467番地	新湊アイシン軽金属スポーツセンター
65	TYMO06	36.67313	136.89741	2022/10/4	14:36	15:16	小矢部市水牧10番地	小矢部市立大谷小学校
66	TYMO07	36.66854	137.21198	2022/10/5	09:04	09:44	富山市今泉191番地1	富山市消防局
67	TYMO08	36.60851	137.28261	2022/10/5	15:22	16:12	富山市花崎737番地	富山市消防局大山消防署
	TYMP11	36.60848	137.28314					
68	TYMO09	36.58518	137.14026	2022/10/6	11:47	12:37	富山市八尾町福島151番地	富山市八尾行政サービスセンター
	JMA911	36.58557	137.13966					
69	TYMO10	36.55549	136.88830	2022/10/5	14:39	15:19	南砺市福光町荒木456	南砺市立福光東部小学校
70	TYMH01	36.88640	136.92834	2022/10/3	14:46	15:16	氷見市上余川330番地	氷見市立基石公民館
71	TYMH02	36.71388	137.03816	2022/10/6	17:01	17:41	射水市島1499番地	射水市浅井グラウンド
72	TYMH03	36.72938	137.26285	2022/10/4	15:02	15:47	富山市宮町75、76番地	富山市民球場
73	TYMH05	36.57330	136.95827	2022/10/5	11:05	11:45	南砺市高瀬150番地1	井波高瀬除雪機械格納庫
74	TYMH06	36.57104	137.15952	2022/10/6	14:52	15:32	富山市八尾町椋尾162番地	富山市立黒瀬谷公民館
75	JMAE17	36.70958	137.20246	2022/10/4	10:45	11:25	富山市石坂2415番地	富山地方気象台
76	JMAE16	36.79240	137.05594	2022/10/3	10:28	11:40	高岡市伏木古国府12番5号	伏木特別地域気象観測所
77	JMA534	36.67250	136.87378	2022/10/4	13:10	13:50	小矢部市泉町645番地	小矢部市立屋内スポーツセンター
78	JMA912	36.53814	136.88391	2022/10/6	09:37	10:17	南砺市天池99番地	砺波地域消防組合南砺消防署
79	TYMP01	36.69532	137.21401	2022/10/4	09:07	09:47	富山市新桜町7番38号	富山市役所
80	TYMP02	36.75435	137.02315	2022/10/3	09:02	09:32	高岡市広小路5番10号	高岡市消防本部
81	TYMP03	36.78176	137.07967	2022/10/3	09:47	10:27	射水市本町二丁目13番1号	射水市消防本部新湊消防署
82	TYMP08	36.64704	136.96199	2023/11/11	09:45	11:00	砺波市栄町7番3号	砺波市役所
83	TYMP10	36.59198	137.20370	2022/10/5	10:35	11:15	富山市上二杉202番地	富山市消防局大沢野消防署
84	TYMP19	36.65991	137.15202	2022/10/6	09:30	10:10	富山市婦中町笹倉128番地	富山市消防局婦中消防署
85	TYMP20	36.57906	137.07946	2022/10/6	13:21	14:01	富山市山田湯880番地	富山市山田中核型地区センター
86	TYMP21	36.52811	137.22950	2022/10/5	13:38	14:18	富山市楡原1088番地	富山市細入中核型地区センター
87	TYMP22	36.71591	137.08383	2022/10/3	14:37	15:17	射水市橋下条1522番地	射水市消防本部
88	TYMP23	36.72288	137.04933	2022/10/7	09:01	09:41	射水市二口1081番地	射水市消防本部射水消防署大門出張所
89	TYMP24	36.74025	137.14701	2022/10/4	13:21	14:01	射水市加茂中部1051番地	射水市立下村小学校
90	TYMP25	36.73267	137.06296	2022/10/7	10:31	11:11	射水市小島703番地	射水市役所大島庁舎
91	TYMP26	36.51223	136.90037	2022/10/6	10:53	11:33	南砺市城端1046番地	南砺市城端市民センター
92	TYMP27	36.43300	136.95109	2022/10/6	13:16	13:56	南砺市下梨2240番地	南砺市平市民センター
93	TYMP28	36.40174	136.89980	2022/10/6	14:23	15:03	南砺市上平細島879番地	南砺市上平市民センター
94	TYMP30	36.57738	136.98620	2022/10/7	09:28	10:18	砺波市庄川町青島401番地	砺波市役所庄川支所
95	TYMP31	36.56462	136.97125	2022/10/7	11:02	11:42	南砺市井波520番地	南砺市井波市民センター
96	TYMP32	36.54200	136.93051	2022/10/5	13:30	14:10	南砺市蛇喰1009番地	南砺市井口市民センター
97	TYMP33	36.58845	136.91995	2022/10/5	09:47	10:27	南砺市苗島4880番地	南砺市福野市民センター
98	TYMP35	36.70773	136.92371	2022/10/4	09:34	10:24	高岡市福岡町大滝12番地	高岡市役所福岡庁舎
99	金沢-C	36.61751	136.60495	2022/10/17	10:58	11:38	金沢市大野町四丁目甲2番1	金沢港湾・空港整備事務所
100	富山-0	36.77500	137.11126	2022/10/3	10:56	11:36	射水市堀岡新明神字西浜205番150	伏木富山港湾事務所新湊事務所

TYMP08 Vel. (cm/s) [81.92s 20 section ave.]

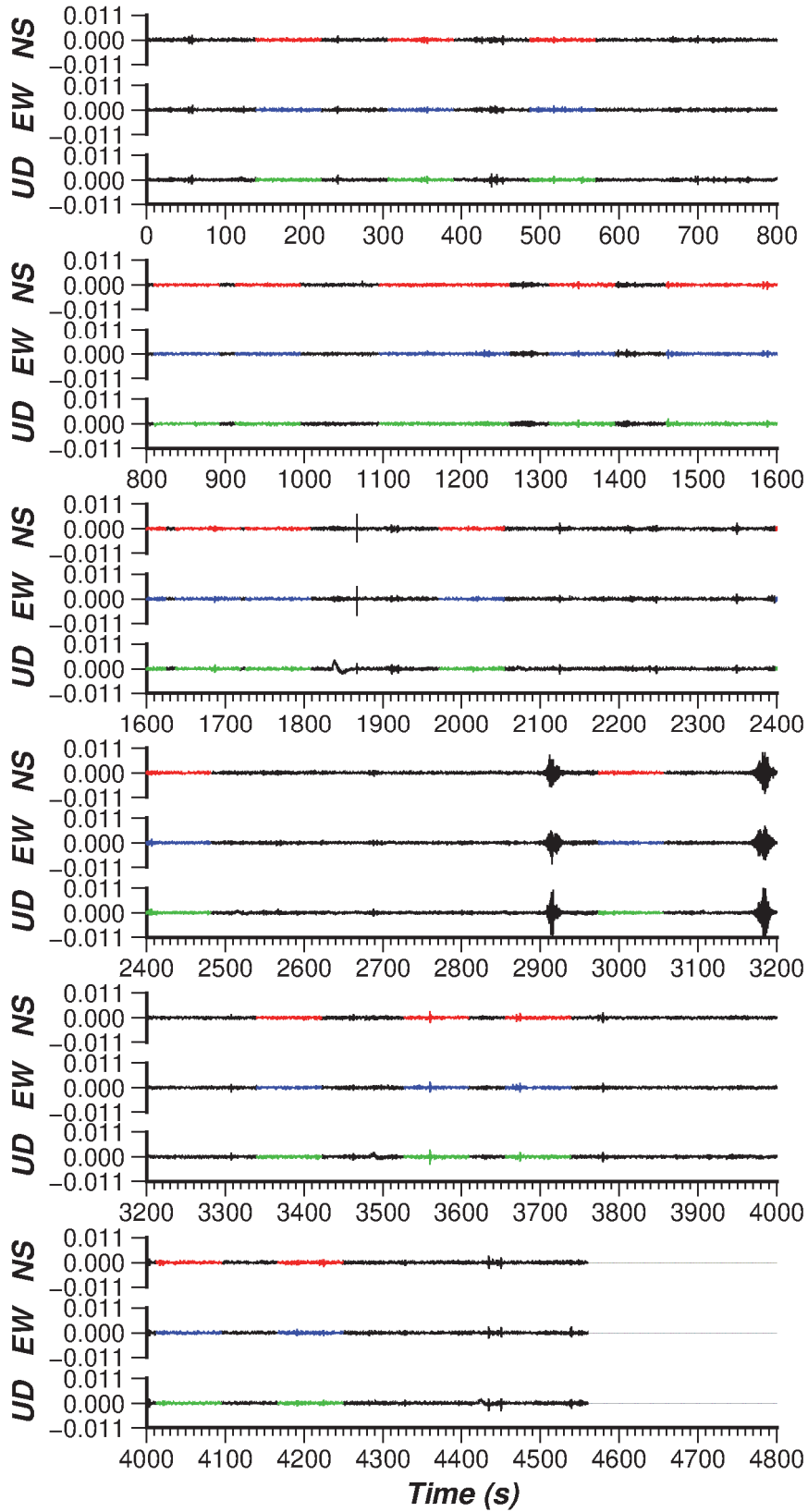


図 16 TYMP08（砺波市役所）における観測微動波形。縦軸は速度（単位：cm/s）。着色した部分が H/V スペクトル比の解析に使用した解析区間を表す。

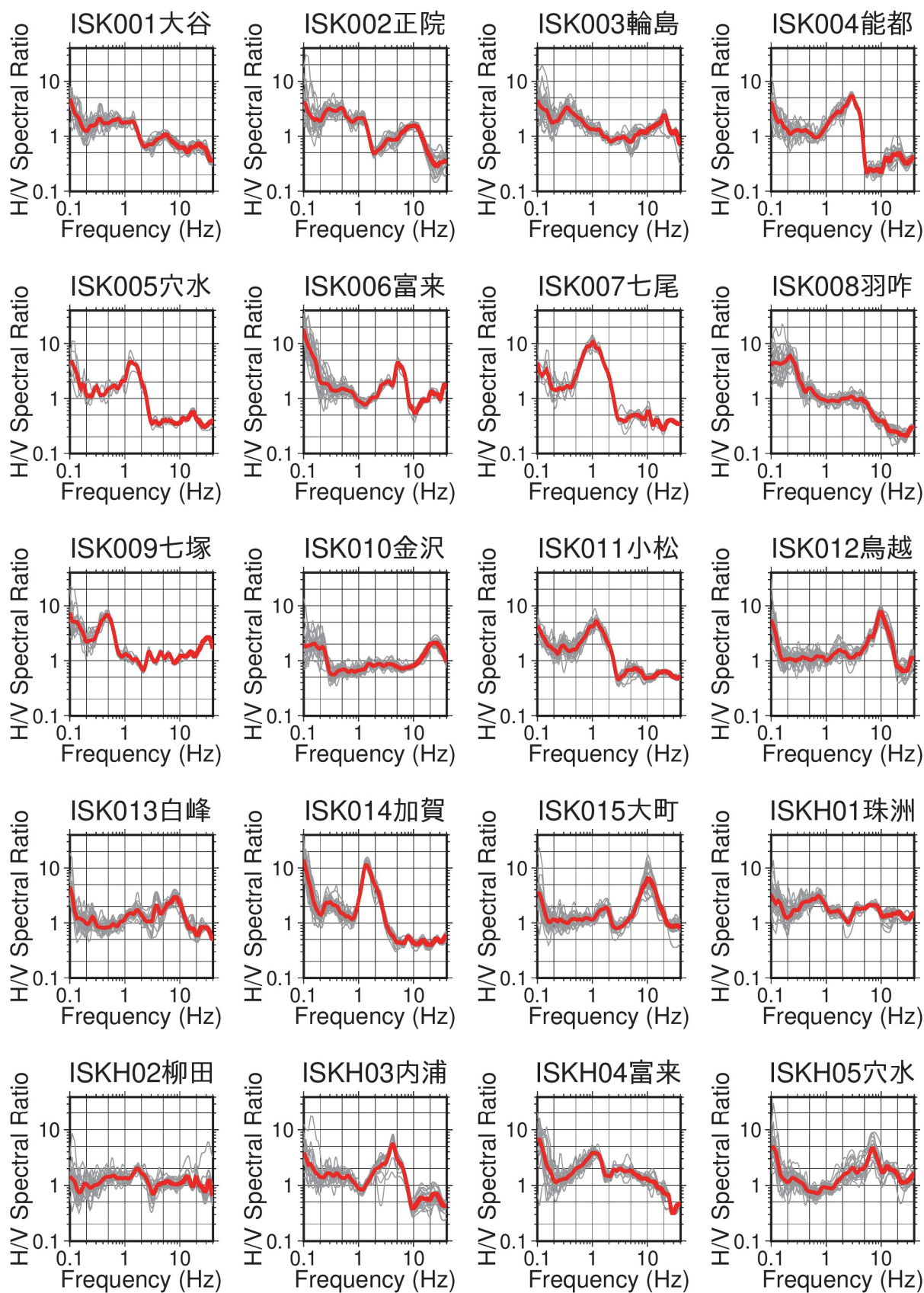


図 17 単点微動観測で得られた H/V スペクトル比。赤線が対数平均、灰線が各解析区間の H/V スペクトル比を表す。

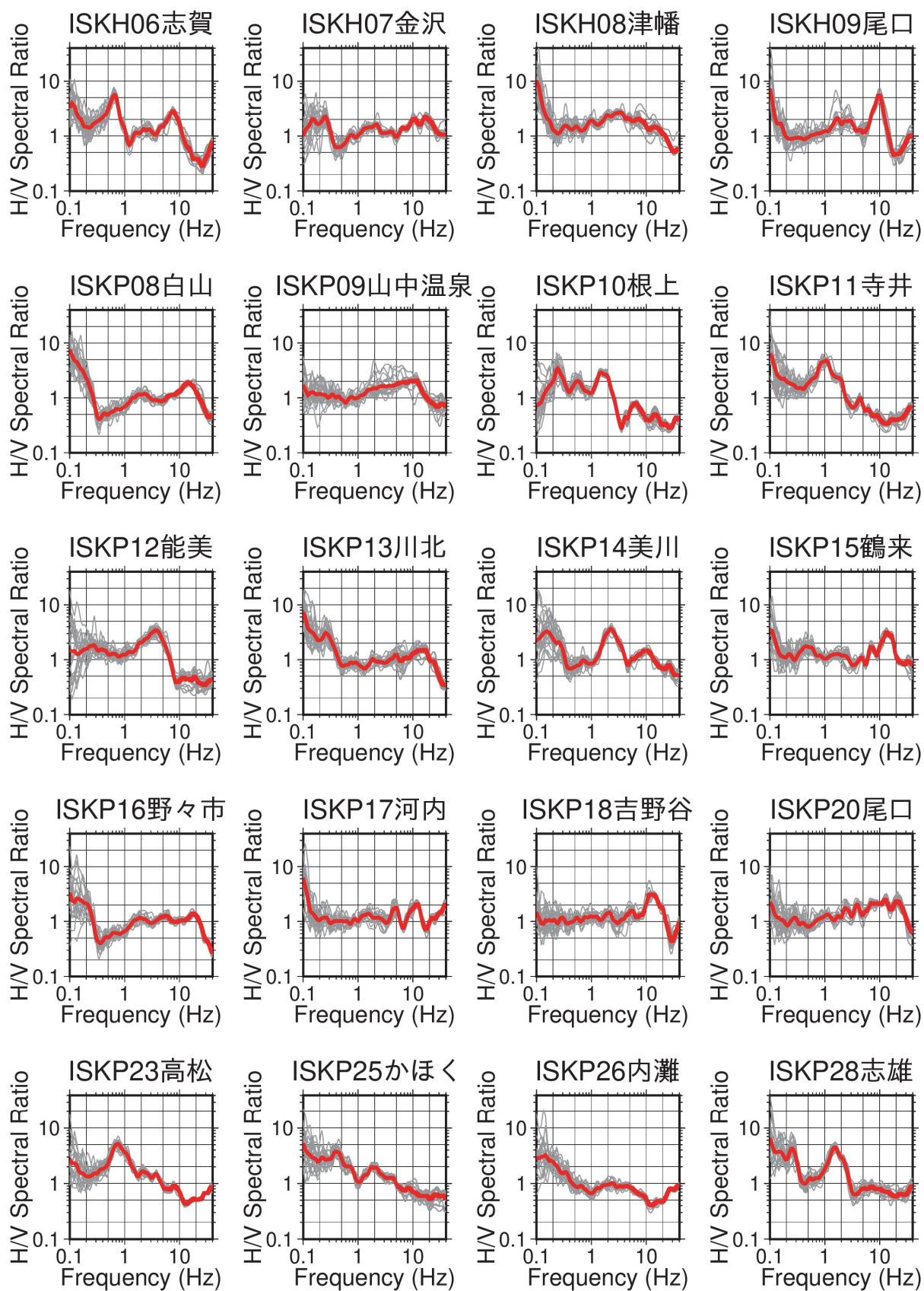


図 17 続き

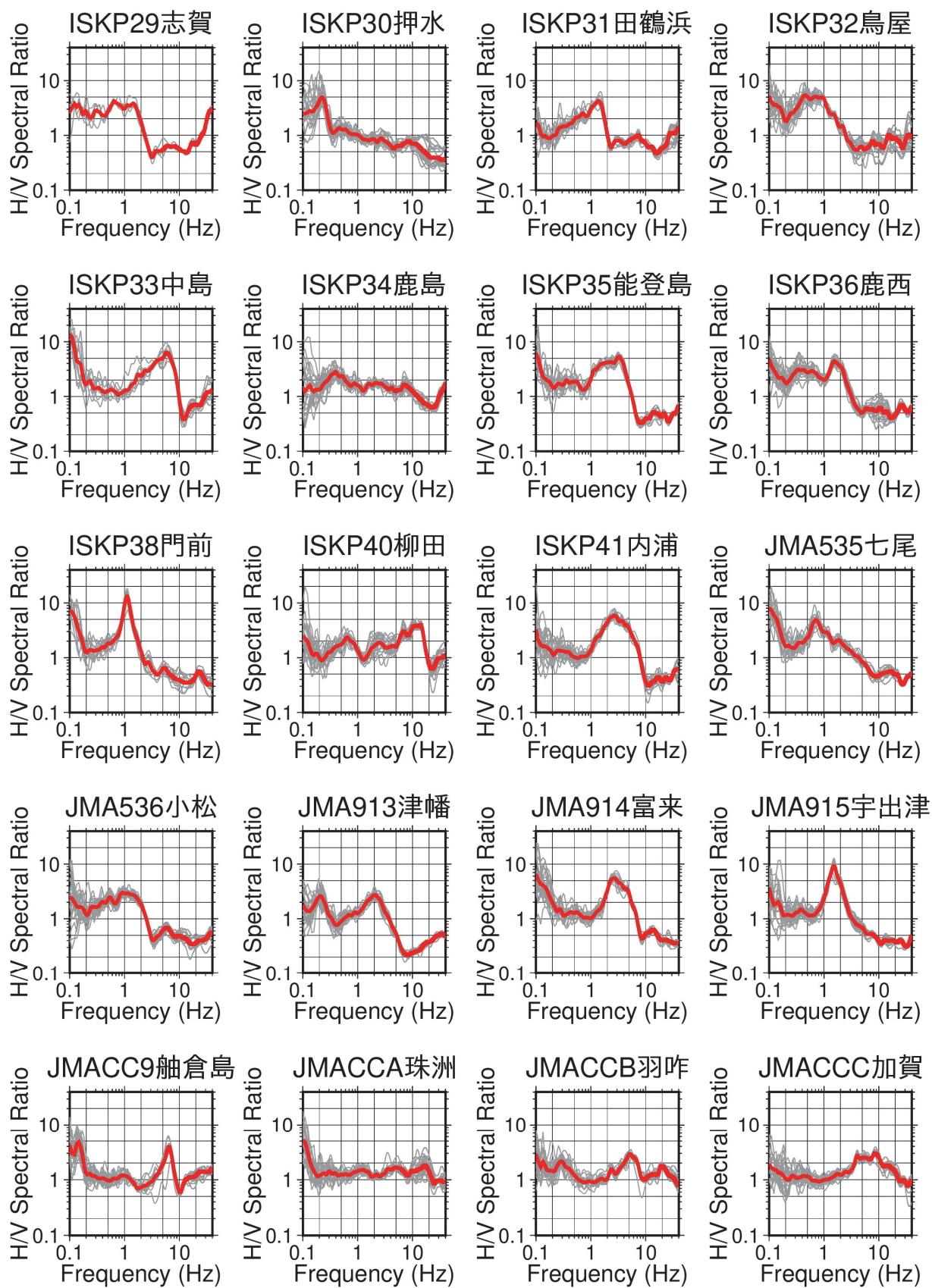


図 17 続き

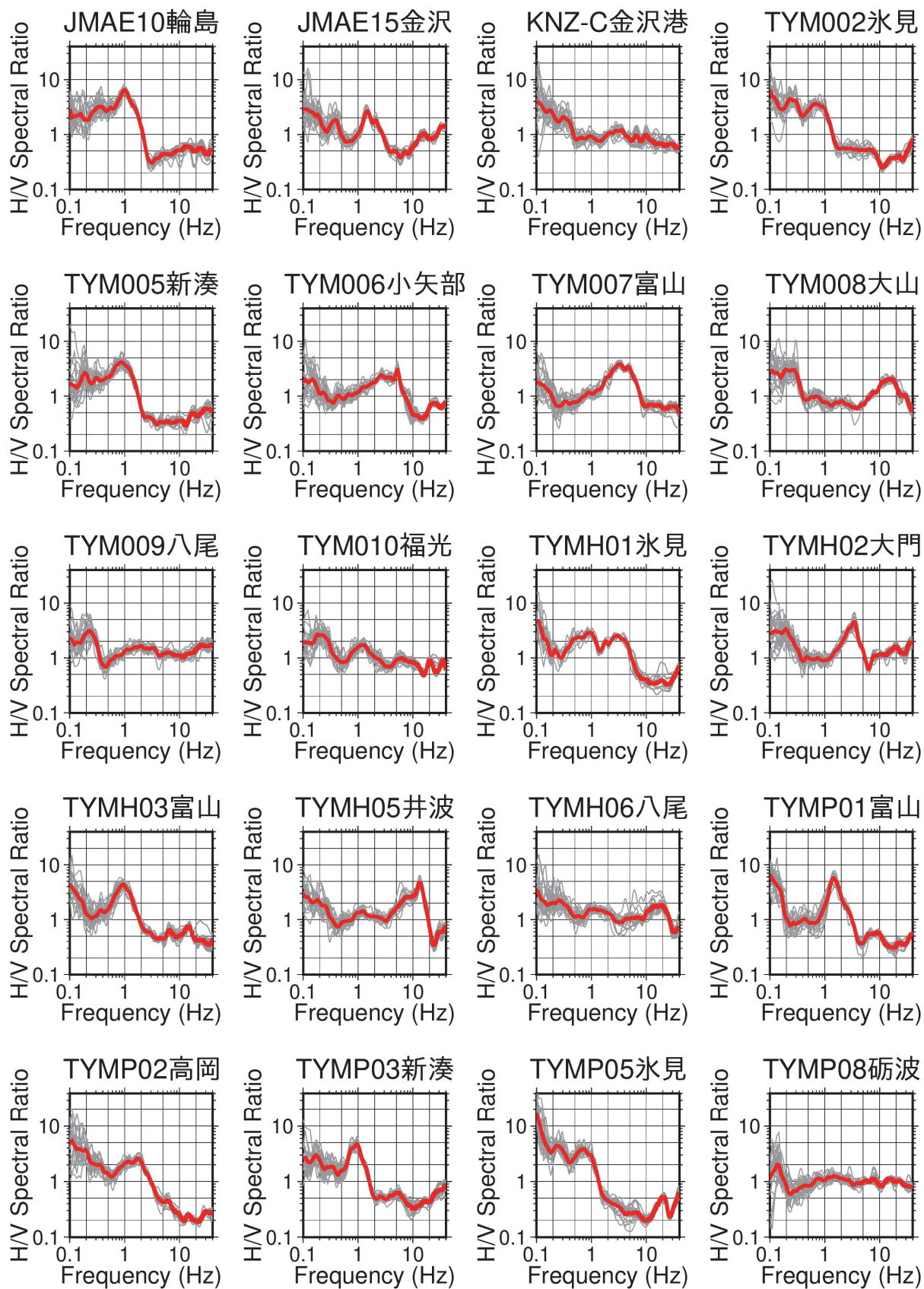


図 17 続き

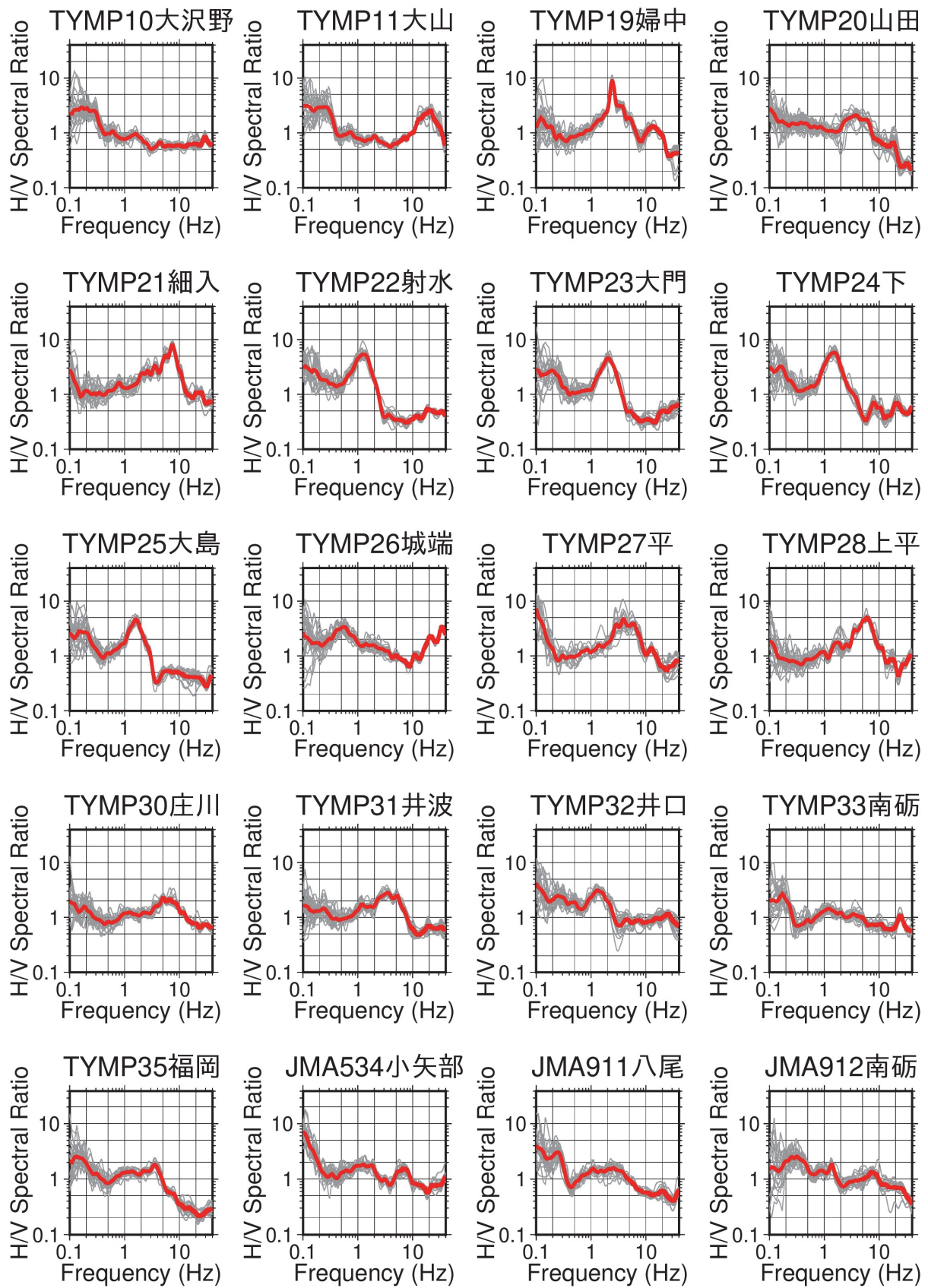


図 17 続き

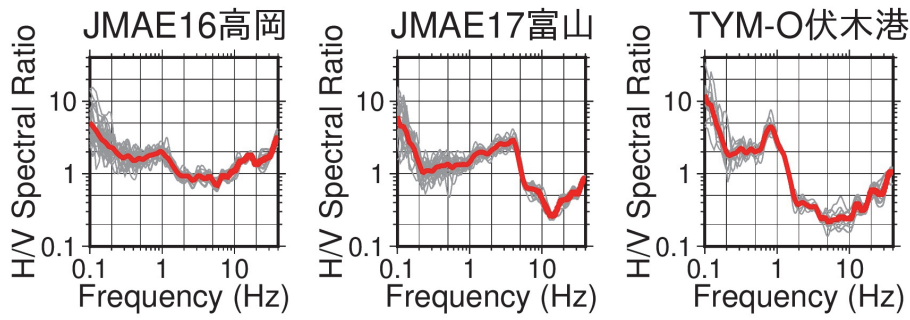


図 17 続き

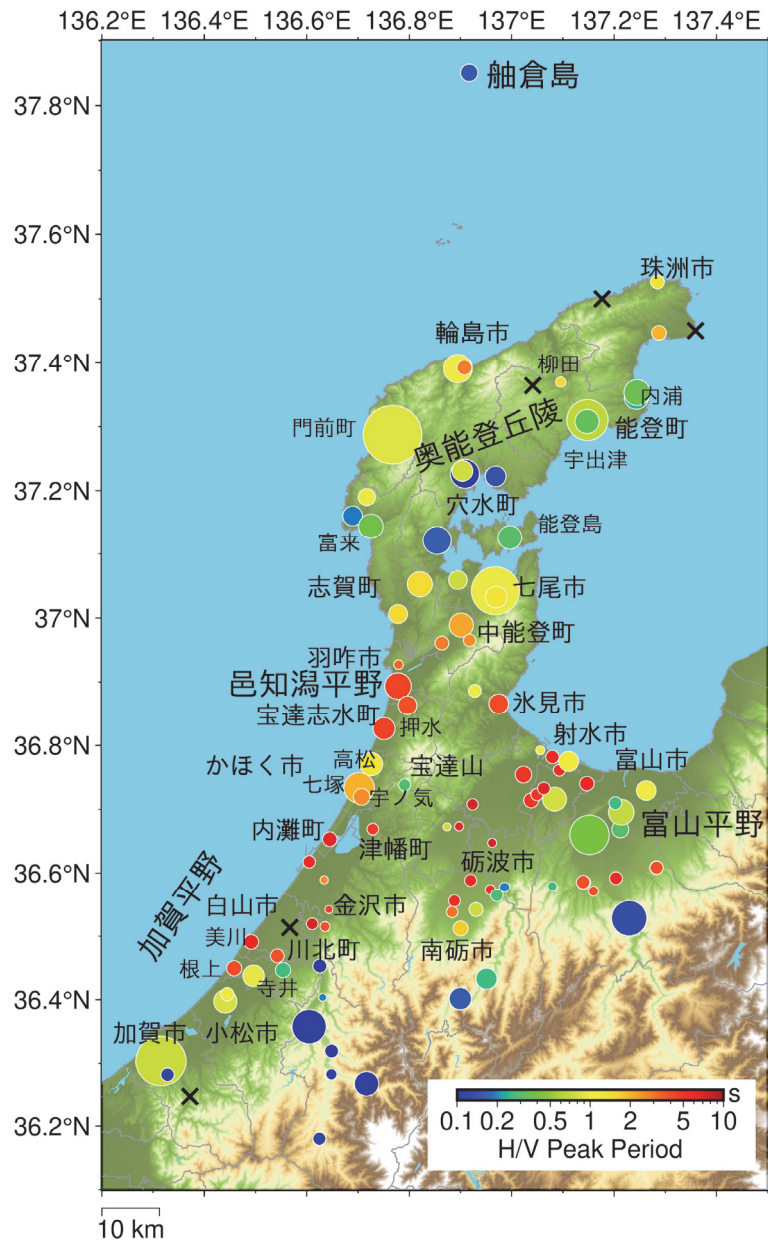


図 18 H/V スペクトル比の卓越周期。丸印の色が卓越周期、大きさがピーク振幅に対応する。×はピークが不明瞭であった地点である。灰色実線は市町村界。基図は SRTM3 (NASA JPL, 2013) を使用して作図。

5) 深いボーリング情報の収集・整理

基盤岩の深度や盆地を埋積する堆積層の構造を直接的に把握するためには、掘削長の大きなボーリング掘削調査が有用である。調査対象地域にある関係機関からの資料提供、地域の地質等に関する既刊の文献、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井のボーリング資料などから地質柱状図の情報を収集した。図 19 (左) にボーリング資料を収集したボーリングの位置を示す。

これらのボーリングが花崗岩や飛騨変成岩の上面に到達した深さを図 19(右)の地図に示した。北陸地方の堆積平野は、新第三系の堆積岩や火山岩の層厚が大きく、基盤岩まで到達するボーリング掘削資料は多くはない(表 8)。石川県内では、宝達山周辺や志賀町の一部に船津花崗岩が露頭している地域がある(図 19)。これらの周辺地域では基盤岩上面が比較的浅くなっている。また、富山県氷見市においても基盤岩に達しているボーリングの例が報告されている(氷見市史編さん委員会, 1999)。一方で、加賀平野や奥能登地方では、掘削深度が 1,000~1,800 m 程度のボーリングでも、基盤岩に到達していない。このようなボーリング資料でも、第四系と新第三系の堆積層の層序に関する情報は深部地盤構造モデル作成や他のサブテーマが行う調査結果の解釈等に活用できるものと考えている。令和 5 年度も引き続き、文献調査や資料収集を可能な限り進めていく予定である。

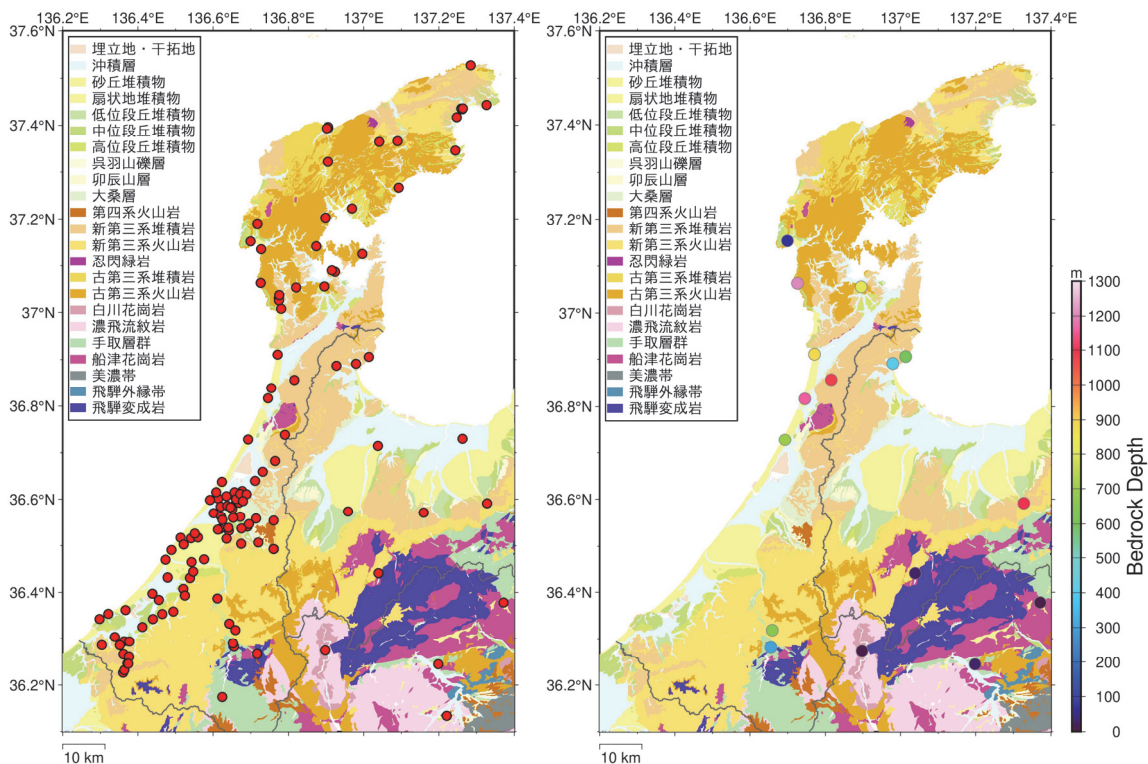


図 19 (左) 地質柱状図の情報を収集したボーリング位置(赤丸印)。(右) 花崗岩または飛騨変成岩の上面の深さ。カラースケールが深さを表す。基図は 20 万分の 1 日本シームレス地質図 V2 (産業技術総合研究所地質調査総合センター, 2022) をもとに編集したもの。

表 8 基盤岩に達しているボーリング例

基盤岩	確認地点	基盤岩 深さ (m)	基盤岩	確認地点	基盤岩 深さ (m)	
花崗岩 (船津花崗 岩、白川花 崗岩など)	羽咋郡志賀町酒見	70	飛驒変成岩 (片麻岩な ど)	白山市瀬波	660	
	羽咋郡志賀町赤住 ^{※1}	1,203		白山市瀬戸	300	
	七尾市高田町	810		氷見市指崎 ^{※2}	482	
	羽咋市西釜屋町	879	手取層群	白山市瀬戸	10	
	羽咋郡宝達志水町石坂	1,080		白山市瀬戸	16	
	羽咋郡宝達志水町米出	1,160		白山市白峰	6	
	かほく市秋浜	700		中新川郡立山町横江野開 ^{※4}	1,048	
	氷見市指崎 ^{※2}	406		※1 北陸電力(2014) ※2 藤井・他(1989) ※3 氷見市史編さん委員会(1999) ※4 藤井(1980) ※5 防災科学技術研究所 KiK-net 無印は新規に収集したもの		
	氷見市宇波 ^{※3}	600				
	中新川郡立山町横江野開 ^{※4}	1,100				
	南砺市利賀村上百瀬 ^{※5}	27				
	飛驒市古川町上気多 ^{※5}	28				
	飛驒市神岡町森茂 ^{※5}	6				
	大野郡白川村飯島 ^{※5}	8				

6) 動的変形特性試験資料の収集

表層付近のS波速度の小さな地盤においては、強震時に微小変形時の線形な応力-ひずみ関係式が成り立たず、非線形応答を示す場合が多い。そのような地盤の動的変形特性の把握は、強震動予測の高度化には必要不可欠である。このため、まず令和4年度は、関係行政機関や民間事業者等の協力を得て、ひずみと剛性率（ $G-\gamma$ 曲線）やひずみと減衰率（ $h-\gamma$ 曲線）の関係を求めるための、繰り返し三軸試験または繰り返しねじりせん断試験結果を収集した。その結果、金沢市内3地点と加賀市内1地点の試験結果を収集することができた（図20、表9）。A地点とB地点は完新統（沖積層）、C地点とD地点は中位段丘など更新統を対象とした試験である。図21～24に各地点における試験結果を示す。

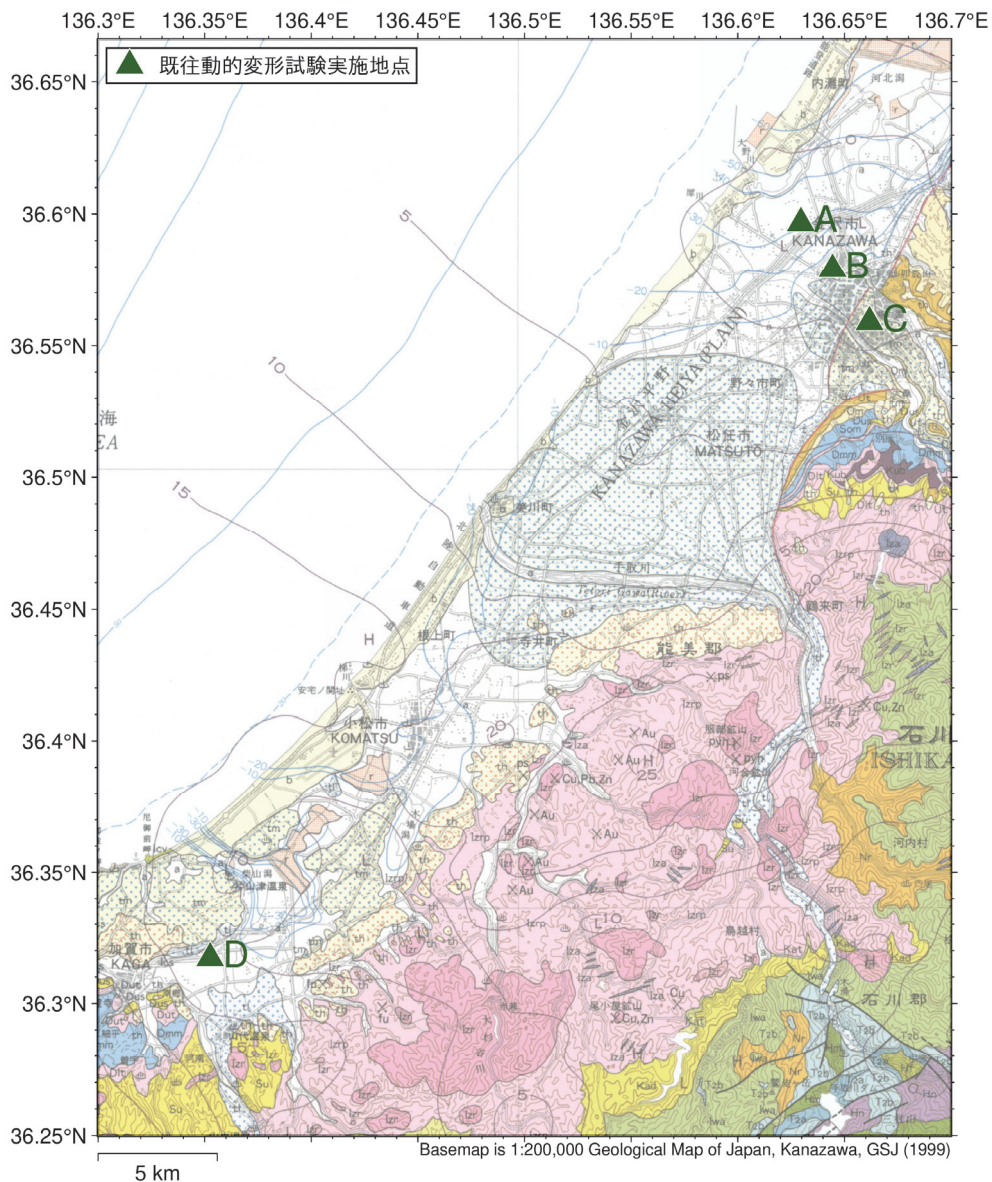


図20 森本・富樫断層帯周辺における動的変形特性試験の実施地点（三角印）。基図は20万分の1地質図幅「金沢」（鹿野・他，1999）。

表9 収集した動的変形特性試験結果の一覧

地点	所在地	対象土質	深さ (m)	V _P (km/s)	V _S (km/s)	密度 (g/cm ³)	N 値
A 病院	金沢市 鞍月東	粘土	3.00～3.95	0.67	0.11	1.726	4
		礫質砂	6.00～7.00	1.56	0.15	1.767	18～23
		シルト混じり砂	9.50～10.50	1.56	0.13	1.720	15
		砂質粘土	14.00～15.00	1.59	0.19	1.741	6
		砂質粘土	19.00～20.00	1.48	0.17	1.776	3～5
		粘土	25.00～26.00	1.53	0.20	1.844	16
		粘土	27.50～28.50	1.51	0.21	1.693	16～20
		シルト質砂	30.00～30.95	1.58	0.20	1.782	25～53
B ビル	金沢市 広岡	沖積上部粘性土層 Ac1 シルト質粘土	5.00～5.70	1.23	0.11	1.705	3～4
		沖積上部粘性土層 Ac1 粘土質シルト	6.50～7.40	1.23	0.11	1.633	3
		沖積上部砂質土層 As1 砂	7.00～8.00	1.11	0.12	1.770	12
		沖積上部礫質土層 Ag1 砂礫	8.90～9.55	1.65	0.16	1.886	16～34
		沖積下部粘性土層 Ac2 砂混じりシルト	10.10～11.10	1.43	0.21	1.774	8～9
		沖積下部粘性土層 Ac2 粘土質シルト	12.60～13.40	1.43	0.21	1.890	12
		沖積下部粘性土・砂質 土互層 Aal2 シルト質砂	13.00～14.00	1.73	0.27	1.792	13
		沖積下部粘性土・砂質 土互層 Aal2 シルト質砂	14.50～15.25	1.73	0.27	1.752	14
C 博物館	金沢市 出羽町	中位段丘粘性土 Dsc_c シルト質粘土	9.30～10.40	1.48	0.28	1.590	4～9
		中位段丘砂質土 Dsc_s シルト混じり砂	12.00～13.00	1.48	0.28	1.884	12～22
D 病院	加賀市 作見町	砂質土層 Ds1 シルト混じり砂	12.50～13.50	1.65	0.22	1.873	17～27
		粘性土層 Dc2 シルト	15.00～16.00	1.56	0.24	1.858	11
		砂質土層 Ds3 シルト質砂	31.50～32.20	1.69	0.32	1.888	17～29

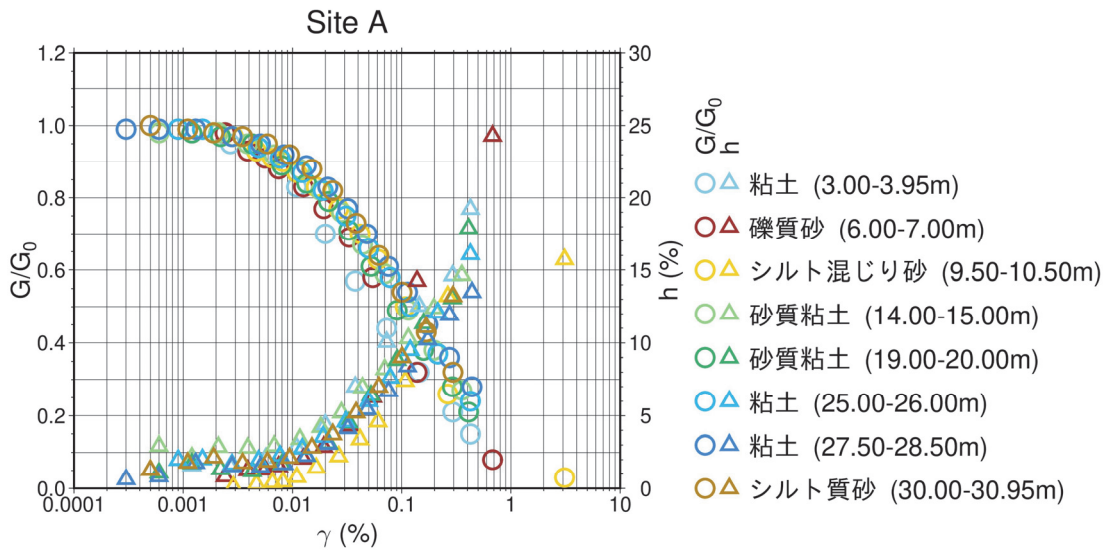


図 21 A地点における $G-\gamma$ (丸印) 及び $h-\gamma$ 曲線 (三角印)。凡例中の数値は供試体を採取した深さ。

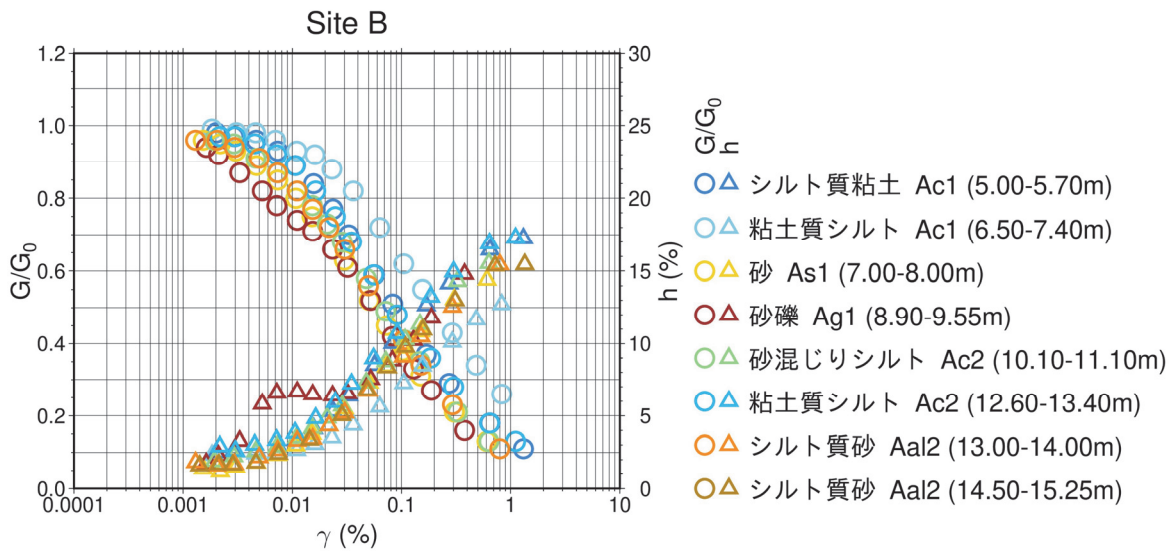


図 22 B地点における $G-\gamma$ (丸印) 及び $h-\gamma$ 曲線 (三角印)。凡例中の数値は供試体を採取した深さ。

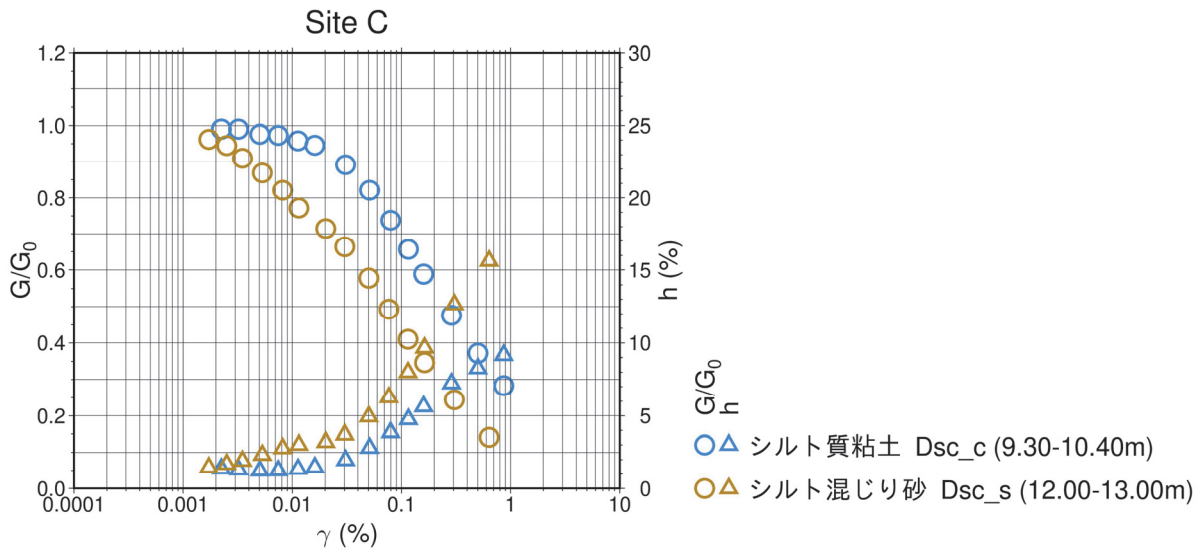


図 23 C地点における $G-\gamma$ (丸印) 及び $h-\gamma$ 曲線 (三角印)。凡例中の数値は供試体を採取した深さ。

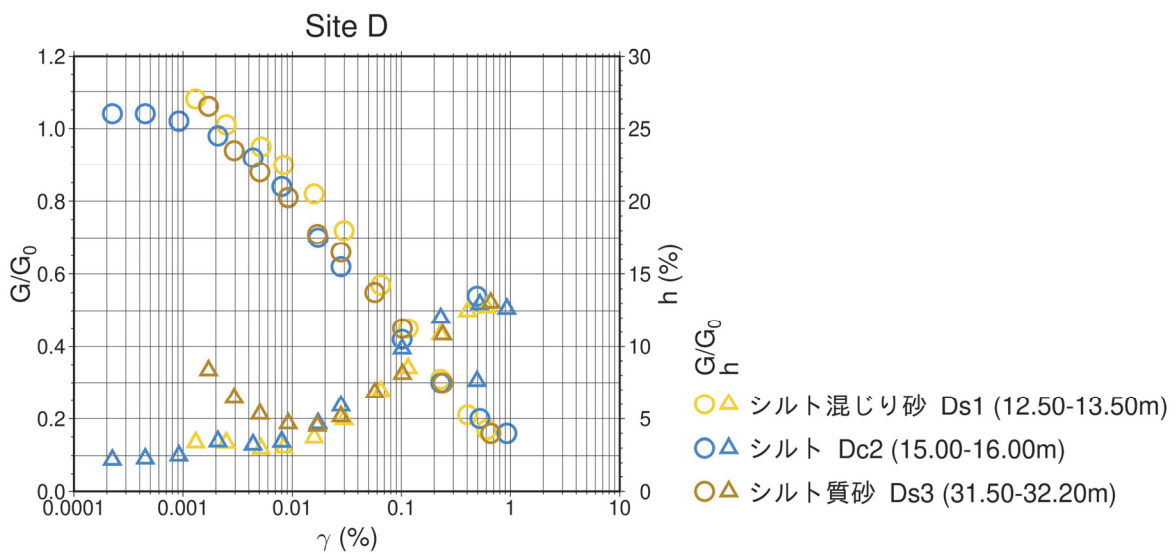


図 24 D地点における $G-\gamma$ (丸印) 及び $h-\gamma$ 曲線 (三角印)。凡例中の数値は供試体を採取した深さ。

(c) 結論ならびに今後の課題

森本・富樫断層帯の地震で強い揺れに見舞われることが想定される石川県や富山県西部を主な対象として、深部地盤構造モデル高度化のための観測や調査、資料収集等を実施した。初年度は、臨時地震観測点の新規設置や微動観測の現地調査のほか、深部地盤構造モデル構築と強震動予測のための基礎データ収集に重点的に取り組んだ。

堆積平野が広がっている金沢市及び白山市の計 11 地点において、強震計を用いた臨時地震観測点を設置し、連続観測を開始した。臨時地震観測で新たに得られた地震波形記録に加えて、既存の各機関の震度計や強震計観測点で記録された対象地域の有感地震等の波形記録を取得し、観測された波形の特徴等を分析した。令和 5 年度以降も、臨時地震観測点の保守作業を継続し、収集された地震波形記録を用いて、加賀平野における地震動増幅特性等を分析する。また、引き続き、連続波形記録をサブテーマ 2 にも提供し、サブテーマ 2 で実施している課題にも活用できるように連携して取り組む。また、石川県及び富山県と協力し、震度情報ネットワークで取得された地震波形記録の収集・分析も引き続き行っていくことで、対象地域の地震動増幅特性や地盤構造の把握に努めていく。

盆地基盤面深度程度までを目標探査対象範囲とした微動アレイ観測を金沢市内 2 地点で実施し、堆積層部分の S 波速度構造を推定した。金沢市の犀川沿いの測線に沿って、概ね 1 ～ 2 km 間隔で単点微動観測を実施し、森本・富樫断層帯の下盤側と上盤側での地盤構造の違いを調査した。また、石川県全域と富山県西部の震度観測点及び強震観測点において、単点微動観測を実施し、広域的な深部地盤構造の特徴把握を進めた。今年度の調査結果も踏まえて、次年度に新たに微動アレイ観測や単点微動観測を行うべき箇所を検討し、深部地盤構造モデル高度化のための S 波速度構造に関する物理探査情報を充実させていく。

既往の調査資料の収集として、関係機関の協力のもと、深いボーリングの地質情報資料及び強震動予測における非線形応答計算に必要となる動的変形特性を求めるための土質試験結果資料を収集し、整理した。整理した資料は他のサブテーマとも共有した。これらの情報を踏まえて、次年度に新たに実施するボーリング試料掘削及び得られる供試体を用いた動的変形特性試験を実施するための調査候補地点を絞り込んでいく。

謝辞：本サブテーマでの各種の現地調査、データや資料収集の実施に関しては、石川県危機管理監室危機対策課はじめ県庁内の各部局、金沢市教育委員会、白山市教育委員会、金沢市立紫錦台中学校、金沢市立高岡中学校、金沢市立港中学校、金沢市立緑中学校、金沢市立額中学校、金沢市立内川小中学校、金沢市立森本中学校、白山市立光野中学校、白山市立笠間中学校、白山市立北辰中学校、石川県消防学校、金沢市、七尾市、小松市、輪島市、珠洲市、加賀市、羽咋市、かほく市、白山市、能美市、野々市市、能美郡川北町、河北郡津幡町、河北郡内灘町、羽咋郡志賀町、羽咋郡宝達志水町、鹿島郡中能登町、鳳珠郡穴水町、鳳珠郡能登町、石川県教員総合研修センター、珠洲市教育委員会、珠洲市立大谷小中学校、能登町教育委員会、公立宇出津総合病院、公益財団法人金沢市スポーツ事業団、公益社団法人七尾市体育協会、田鶴浜地区地域づくり協議会、中島地域づくり協議会、能登島地域づくり協議会、特定非営利活動法人宝達スポーツ文化コミッション、富山県危機管理局防災・危機管理課、富山市、高岡市、氷見市、砺波市、小矢部市、南砺市、射水市、富山市消防局、高岡市消防本部、射水市消防本部、砺波地域消防組合、高岡市教育委員会、氷見市教育委員会、小矢部

市教育委員会、射水市立下村小学校、特定非営利活動法人新湊カモンスポーツクラブ、気象庁金沢地方气象台、気象庁富山地方气象台、宮島昌克金沢大学名誉教授、高原利幸金沢工業大学工学部准教授、中部地質株式会社、株式会社ホクコク地水、株式会社国土開発センター、株式会社北國銀行、一般財団法人地域地盤環境研究所、地域住民の皆様にお世話になった。

(d) 引用文献

- Aki, K., Space and time spectra of stationary stochastic waves, with special reference to microtremors, Bull. Earthq. Res. Inst. Univ. Tokyo, 35, 415-456, 1957.
- 浅野公之・岩田知孝・宮腰 研・大堀道広, 微動アレイ観測と単点微動観測による加賀平野南部及び邑知湯平野の堆積平野速度構造モデルの検討, 日本地震工学会論文集, 15(7), 194-204, 2015.
- 浅野公之・岩田知孝・関口春子・杉山長志, 近江盆地南部における微動アレイ探査, 京都大学防災研究所年報, 64B, 9-20, 2021.
- 藤井昭二, 富山県下の地熱について, 富山県地学・地理学研究論集, 7, 18-24, 1980.
- 藤井昭二・佐竹 洋・高倉盛安・林 隆文・藤平彬文, 氷見有磯温泉について, 富山県地学・地理学研究論集, 9, 15-22, 1989.
- 藤原広行・河合伸一・青井 真・森川信之・先名重樹・東 宏樹・大井昌弘・はお憲生・長谷川信介・前田宜浩・岩城麻子・若松加寿江・井元政二郎・奥村俊彦・松山尚典・成田 章, 東日本大震災を踏まえた地震ハザード評価の改良に向けた検討, 防災科学技術研究所研究資料, No.379, 2012.
- 氷見市史編さん委員会, 氷見市史 9, 資料編七 自然環境, 506 pp., 1999.
- Hisada, Y., An Efficient Method for Computing Green's Functions for a Layered Half-Space with Sources and Receivers at Close Depths (Part 2). Bull. Seismol. Soc. Am., 85(4), 1080-1093, 1995.
- Hastings, W.K., Monte Carlo Sampling methods using Markov chains and their applications, Biometrika, 57(1), 97-109, 1970.
- 北陸電力, 志賀原子力発電所発電用原子炉設置変更許可申請書(2号発電用原子炉施設の変更), <https://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/11068782/www.nsr.go.jp/disclosure/law/BWR/h26fy/0812-1.html>, 2014.
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会, 「長周期地震動予測地図」2012年試作版, https://www.jishin.go.jp/evaluation/seismic_hazard_map/lpshm/12_choshuki/, 2012.
- 神野達夫・先名重樹・森川信之・成田章・藤原広行, 金沢平野における3次元地下構造モデル, 物理探査, 56(5), 313-326, 2003.
- 鹿野和彦・原山 智・山本博文・竹内 誠・宇都浩三・駒澤正夫・広島俊男・須藤定久, 20万分の1地質図幅「金沢」, 工業技術院地質調査所, 1999.
- 紘野義夫・編, 石川県地質誌 新版・石川県地質図(10万分の1)説明書, 石川県・北陸地質研究所, 321 pp., 1993.
- Koketsu, K., H. Miyake, and H. Suzuki, Japan Integrated Velocity Structure Model

- Version 1, Proc. 15th World Conf. Earthq. Eng., paper no. 1773, 2012.
- Konno, K. and T. Ohmachi, Ground-motion characteristics estimated from spectral ratio between horizontal and vertical components of microtremor, Bull. Seismol. Soc. Am., 88(1), 228-241, 1998.
- 凌 魁群・岡田 広, 微動探査法における空間自己相関法の拡張, 物理探査学会第 89 回 学術講演会論文集, 44-48, 1993.
- Metropolis, N., A.W. Rosenbluth, M.N. Rosenbluth, A.H. Teller, and E. Teller, Equation of State Calculations by Fast Computing Machines, J. Chem. Phys., 21(6), 1087-1092, 1953.
- 文部科学省研究開発局・東京大学地震研究所, 平成 25 年度日本海地震・津波調査プロジェクト成果報告書, 313 pp., 2014.
- 文部科学省研究開発局・東京大学地震研究所, 平成 26 年度日本海地震・津波調査プロジェクト成果報告書, 365 pp., 2015.
- 文部科学省研究開発局・東京大学地震研究所, 平成 27 年度日本海地震・津波調査プロジェクト成果報告書, 431 pp., 2016.
- Nagashima, F. and H. Kawase, The relationship between V_s , V_p , density and depth based on PS-logging data at K-NET and KiK-net sites, Geophys. J. Int., 225, 1467-1491, 2021.
- NASA JPL, NASA Shuttle Radar Topography Mission Global 3 arc second, doi: 10.5067/MEaSURES/SRTM/SRTMGL3.003, 2013.
- National Research Institute for Earth Science and Disaster Resilience, NIED K-NET, KiK-net, doi: 10.17598/nied.0004, 2019.
- 産業技術総合研究所地質調査総合センター, 20 万分の 1 日本シームレス地質図 V2, データ更新日 2022 年 3 月 11 日, <https://gbank.gsj.jp/seamless/>, 2022.