３．３　断層帯周辺における強震動予測の高度化のための研究

(1) 業務の内容

(a) 業務題目 断層帯周辺における強震動予測の高度化のための研究

(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	教授	川瀬 博
国立大学法人京都大学防災研究所	教授	松島 信一
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	准教授	浅野 公之
国立大学法人東京工業大学環境・社会理工学院	教授	山中 浩明
国立大学法人東京工業大学環境・社会理工学院	助教	地元 孝輔
国立大学法人高知大学教育研究部	准教授	山田 伸之
国立大学法人東京大学大学院情報学環	准教授	三宅 弘恵
国立大学法人九州大学大学院人間環境学研究院	教授	神野 達夫
国立大学法人九州大学大学院人間環境学研究院	助教	重藤 迪子
国立研究開発法人防災科学技術研究所 社会防災システム研究部門	主幹研究員	先名 重樹
国立研究開発法人防災科学技術研究所 社会防災システム研究部門	主任研究員	前田 宜浩
国立研究開発法人防災科学技術研究所 社会防災システム研究部門	特別研究員	若井 淳
国立研究開発法人防災科学技術研究所 社会防災システム研究部門	特別研究員	岩城 麻子
国立研究開発法人防災科学技術研究所 社会防災システム研究部門	特別技術員	神 薫
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	主任研究員	竿本 英貴
公益財団法人鉄道総合技術研究所 鉄道地震工学研究センター	副主任研究員	津野 靖士
公益財団法人鉄道総合技術研究所 鉄道地震工学研究センター	副主任研究員	是永 将宏

(c) 業務の目的

平成 28 年熊本地震を踏まえて、対象地域（主に熊本平野と八代平野）における強震動評価を行う。そのため、対象地域で実施された、強震観測、地盤構造調査情報を収集・整理し、地下速度構造モデルの高度化を進めるとともに、平成 28 年熊本地震の震源モデルを参考に、震源断層モデルパラメータの特徴を把握する。サブテーマ１、２より提供される活断層位置や地殻内の不均質性に関する情報から震源断層面の位置・形状のモデル化と地震シナリオ設定を行い、既存の強震動予測のためのレシピを用いた広帯域強震動予測を行う。いくつかの地震シナリオの、予測結果への影響評価を行う。

(d) ３ヵ年の年次実施業務の要約

1) 平成 28 年度：

対象地域における地下構造モデルの高度化に資する資料を得るため、臨時地震観測、地震観測点等の微動アレイ観測、単点微動観測を実施するとともに、強震観測点等の観測データの収集とボーリング資料等の既往地盤情報を収集した。また、平成 28 年熊本地震の強震動の成因解明のために行われた各種調査資料を収集した。これらの得られた地震データ及び微動データを用いて、当該サイトの地盤震動特性と地震基盤までの S 波速度構造を把握するとともに、地盤情報の密度に応じた地下構造モデル高度化への展開方法を検討した。

2) 平成 29 年度：

対象地域における地下構造モデルの高度化に資する資料を得るため、臨時地震観測、地震観測点等の微動アレイ観測、単点微動観測を実施するとともに、強震観測点等の観測データの収集とボーリング資料等の既往地盤情報の収集を継続した。また、平成 28 年熊本地震の強震動の成因解明のために行われた各種調査資料の収集を継続した。堆積層地下構造情報が不十分な八代平野において、丘陵地から湾岸に至る P 波反射法地震波探査を行い、地下構造情報を収集するとともに、測線周辺において微動アレイ観測等を行うことにより、地震基盤までの S 波速度構造を把握した。これらの収集資料をもとに対象地域の三次元地下速度構造モデル高度化を進めた。

3) 平成 30 年度：

前年度までに得られた対象地域の地下構造情報に、地下構造情報が不足している地域等で微動アレイ観測や単点微動観測等を追加実施して地下構造情報取得を継続した。平成 28～30 年度に取得したこれらの情報及び既往の調査情報を統合し、当該地域の三次元地下速度（地盤）構造モデルの高度化を行った。既往情報およびサブテーマ１、２の研究等によって得られた布田川断層帯宇土区間、宇土半島北岸区間および日奈久断層帯に対する震源断層モデルを構築し、強震動予測レシピに基づいた強震動評価を行った。

(2) 平成 28～30 年度の成果

(a) 業務の要約

布田川・日奈久断層帯を震源断層とする強震動予測の実施を目的としている。熊本平野およびその周辺地域では、戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）「レジリエントな防災・減災機能の強化」の研究開発課題⑤「リアルタイム被害推定・災害情報収集・分析・利活用システム開発」によって、熊本平野の浅部・深部統合地盤モデルが構築されている。

しかし、対象地震断層帯が活動した場合に八代平野をはじめとする断層帯周辺地域においても強い揺れに見舞われる可能性が高いことから、本事業ではこの地域の調査観測を重点的に進めた。具体的には以下の項目の調査観測を実施した。

1）熊本平野、八代平野等の臨時強震観測：平成 28 年熊本地震発生後に、科学研究費助成事業特別研究促進費「2016 年熊本地震と関連する活動に関する総合調査」において実施された震源域や地震被害域を中心とした臨時強震観測に加え、平成 28 年度には熊本平野を中心として、平成 29 年度には八代平野を中心として臨時強震観測を本調査観測で実施した。強震観測サイトでは小半径の微動アレイ観測を実施し、これらを地下構造モデル構築やモデルの検証のための地震動シミュレーションに利用した。

2）自治体震度計の波形データの収集と整理：熊本県、鹿児島県及び長崎県の震度情報ネットワークシステムの波形データを収集した。これらの波形データは、観測点サイトの震動特性の把握、地盤構造モデル検証のための地震動シミュレーションに利用した。

3）微動アレイ観測及び単点微動観測：想定震源断層に対する強震動予測を実施する際に強い揺れに見舞われることが想定される八代平野を中心として、熊本県のほぼ全域、長崎県島原半島及び鹿児島県出水平野において微動アレイ観測と単点微動観測を実施した。

4）八代平野における反射法地震探査：堆積層の地下構造情報、基盤面深度に関する情報が乏しい八代平野において、平野の東側を区切る日奈久断層帯をまたぎ、平野東端部から海岸方向に向かう東西方向の反射法地震探査を実施した。

5）強震観測点等の地震波増幅特性（サイト特性）の推定：項目３）等の強震観測点での波形データを利用して、観測点のサイト特性評価を実施した。構築された地盤構造モデルの検証を実施した。

6）深井戸ボーリング情報の収集：平野・盆地等の基盤面深度情報の参考とするため、熊本各地域の深井戸の地質柱状図の収集を行った。

7）深部地盤構造モデルの構築：収集された微動アレイ観測結果、単点微動観測結果、八代平野での反射法地震探査、深井戸地質柱状図、既往の地球物理学的調査結果を総合して、当該地域の深部地盤構造モデルを構築した。また、中規模地震の地震動シミュレーションを実施し、モデルの妥当性を確認した。

8）浅部地盤構造モデルの構築：小スパンの微動アレイ調査結果とボーリング情報をもとに当該地域の工学的基盤面相当以浅の浅部地盤構造モデルを構築した。

9）震源断層モデルと強震動予測：既往情報およびサブテーマ１、２の研究等によって得られた布田川断層帯宇土区間、宇土半島北岸区間および日奈久断層帯に対する震源断層モデルを構築し、項目７）および８）に基づいた深部・浅部地盤構造モデルを含む地下構造モデルに基づき、強震動予測レシピによる強震動予測を行った。

(b) 業務の成果

1) 熊本平野、八代平野等の臨時強震観測

当該地域での地盤震動特性を把握するため、平成 28 年度後半には熊本平野中心部から西部に、平成 29 年度には八代平野を中心として臨時強震観測を実施した。図１および表１に本調査で実施した観測点一覧と観測期間、観測実施機関名をそれぞれ示す。センサーの JEP-6A3（ミツトヨ製）は過減衰型の３成分加速度計で、レコーダの LS-8800 は株式会社白山工業製で、GPS による時刻較正機能付きの連続記録計である（写真１）。合計 53 点の臨時強震観測点で観測を実施した。本調査研究で地下構造モデル化を進めた八代平野では、平成 29 年度に約１年間連続観測を実施し、データを蓄積した。観測地点においては、観測撤収時に小スパンの微動アレイ観測等を実施し、項目 7)や項目 8)の深部・浅部地下構造モデルの構築に利用した。臨時観測点で得られた地震記録は、項目 7)の地盤構造モデルの検証に用いられた。なお、図１にはこの臨時強震観測点の他、国立研究開発法人防災科学技術研究所の K-NET、KiK-net、熊本県の自治体震度計観測点位置を示した。臨時強震観測の実施に際しては、熊本県、八代市、宇土市、宇城市、氷川町各自治体にご協力いただきました。記して感謝いたします。

写真１　臨時強震観測の様子。右がセンサー部で左の箱の中にレコーダ、バッテリー等を収納している。K47 観測点での例。

表１　臨時強震観測点一覧

	設置場所		観測期間		観測諸元			
観測点番号	緯度(北緯)	経度(西経)	設置日時	回収日時	地震計	ロガー	サンプリング周波数(Hz)	設置機関
K31	32.71789	130.62773	2016/12/09/15:00	2017/05/08	6A3(10V/G)	LS8800	100	東工大
K32	32.73408	130.63784	2016/12/09/14:15	2017/05/08	6A3(2V/G)	LS8800	100	鉄道総研
K33	32.74177	130.64515	2016/12/09/13:30	2017/05/08	6A3(10V/G)	LS8800	100	東工大
K34	32.75055	130.66287	2016/12/08/15:50	2017/05/09	6A3(10V/G)	LS8800	100	東工大
K35	32.75714	130.68128	2016/12/09/11:00	2017/05/09	6A3(2V/G)	LS8800	100	東工大
K36	32.75227	130.69141	2016/12/08/14:30	2017/05/08	6A3(2V/G)	LS8800	100	東工大
K37	32.76408	130.70033	2016/12/09/09:15	2017/05/08	6A3(2V/G)	LS8800	100	東工大
K38	32.75450	130.71654	2016/12/08/13:00	2017/05/09	6A3(2V/G)	LS8800	100	東工大
K39	32.76694	130.73980	2016/12/08/11:00	2017/05/09	6A3(2V/G)	LS8800	100	東工大
K40	32.77617	130.75261	2016/12/08/10:00	2017/05/10	6A3(2V/G)	LS8800	100	東工大
K41	32.48889	130.61661	2017/05/10	2018/03/22	6A3(10V/G)	LS8800	100	東工大
K42	32.53447	130.57478	2017/05/10	2018/03/22	6A3(2V/G)	LS8800	100	東工大
K43	32.51822	130.59537	2017/05/10	2018/03/22	6A3(10V/G)	LS8800	100	東工大
K44	32.53028	130.66328	2017/05/10	2018/03/22	6A3(10V/G)	LS8800	100	東工大
K45	32.56782	130.66288	2017/05/10	2018/03/22	6A3(2V/G)	LS8800	100	東工大
K46	32.51770	130.61358	2017/05/10	2018/03/22	6A3(2V/G)	LS8800	100	東工大
K47	32.49850	130.60165	2017/05/11	2018/03/22	6A3(2V/G)	LS8800	100	東工大
K48	32.56053	130.60447	2017/05/11	2018/03/22	6A3(2V/G)	LS8800	100	東工大
K49	32.59018	130.63563	2017/05/11	2018/03/22	6A3(2V/G)	LS8800	100	東工大
K50	32.55352	130.66585	2017/05/11	2018/03/22	6A3(2V/G)	LS8800	100	東工大
K51	32.58261	130.66344	2017/06/08	2018/03/22	6A3(10V/G)	LS8800	100	鉄道総研
K52	32.53901	130.60458	2017/06/09	2018/03/22	6A3(10V/G)	LS8800	100	鉄道総研
K53	32.53672	130.63457	2017/06/09	2018/03/22	6A3(10V/G)	LS8800	100	鉄道総研
K54	32.47582	130.58464	2017/06/09	2018/03/22	6A3(2V/G)	LS8800	100	鉄道総研
K55	32.43951	130.58173	2017/06/09	2018/03/22	6A3(10V/G)	LS8800	100	鉄道総研
KUMA01'	32.78178	130.68596	2017/03/23/17:26	2017/06/08/11:15	6A3(10V/G)	LS8800	100	鉄道総研
KUMA1A	32.78035	130.68622	2017/03/23/16:35	2017/06/08/11:30	6A3(10V/G)	LS8800	100	鉄道総研
KUMA1B	32.77737	130.68579	2017/03/23/17:34	2017/06/08/11:42	6A3(10V/G)	LS8800	100	鉄道総研
KUMA12'	32.69059	130.66862	2017/05/10	2018/03/21	6A3(2V/G)	LS8800	100	鉄道総研
KUMA13	32.66515	130.59206	2017/05/10	2018/03/21	6A3(10V/G)	LS8800	100	鉄道総研
KUMA14	32.67372	130.66306	2017/05/10	2018/03/21	6A3(2V/G)	LS8800	100	鉄道総研
KUMA15	32.65735	130.66095	2017/05/10	2018/03/21	6A3(2V/G)	LS8800	100	鉄道総研
KUMA16	32.63842	130.66795	2017/05/09	2018/03/21	6A3(2V/G)	LS8800	100	鉄道総研
KUMA17	32.61733	130.66650	2017/05/09	2018/03/21	6A3(2V/G)	LS8800	100	鉄道総研
KUMA18	32.59825	130.65404	2017/05/09	2018/03/21	6A3(2V/G)	LS8800	100	鉄道総研
KUMA19	32.58097	130.64191	2017/05/09	2018/03/22	6A3(10V/G)	LS8800	100	鉄道総研
KUMA20	32.56176	130.62874	2017/05/09	2018/03/22	6A3(10V/G)	LS8800	100	鉄道総研
KUMA21	32.54024	130.62575	2017/05/09	2018/03/22	6A3(2V/G)	LS8800	100	鉄道総研
KUMA22	32.51908	130.63475	2017/05/09	2018/03/22	6A3(10V/G)	LS8800	100	鉄道総研
KUMA23	32.49718	130.63832	2017/05/09	2018/03/23	6A3(10V/G)	LS8800	100	鉄道総研
KUMA24	32.47364	130.63216	2017/05/09	2018/03/23	6A3(10V/G)	LS8800	100	鉄道総研
KUMA25	32.52349	130.69989	2017/05/10	2018/03/22	6A3(2V/G)	LS8800	100	鉄道総研
KSM01	32.76171	130.80920	2017/01/27	2017/06/04/16:28	6A3(2V/G)	LS8800	200	産総研
KSM02	32.74874	130.76557	2017/01/26	2017/06/05/09:20	6A3(2V/G)	LS8800	200	産総研
KSM03	32.73731	130.77020	2017/01/26	2017/06/04/15:00	6A3(2V/G)	LS8800	200	産総研
UTHZ	32.67564	130.68350	2017/06/06/09:52	2018/03/01/10:24	6A3(2V/G)	LS8800	100	産総研
UKMB	32.65746	130.68478	2017/06/06/13:39	2018/03/01/11:22	6A3(2V/G)	LS8800	100	産総研
UKTF	32.63466	130.69970	2017/06/06/15:32	2018/03/01/13:18	6A3(2V/G)	LS8800	100	産総研
UKTK	32.62476	130.67953	2017/06/06/17:11	2018/03/02/11:13	6A3(2V/G)	LS8800	100	産総研
UKGE	32.59895	130.68974	2017/06/06/11:47	2018/03/01/14:57	6A3(2V/G)	LS8800	100	産総研
UKOH	32.60751	130.71905	2017/06/08/12:09	2018/03/01/14:18	6A3(2V/G)	LS8800	100	産総研
UKOG	32.58219	130.71081	2017/06/08/09:40	2018/03/02/10:19	6A3(2V/G)	LS8800	100	産総研
HKRE	32.57617	130.68998	2017/06/08/14:51	2018/03/01/15:48	6A3(2V/G)	LS8800	100	産総研

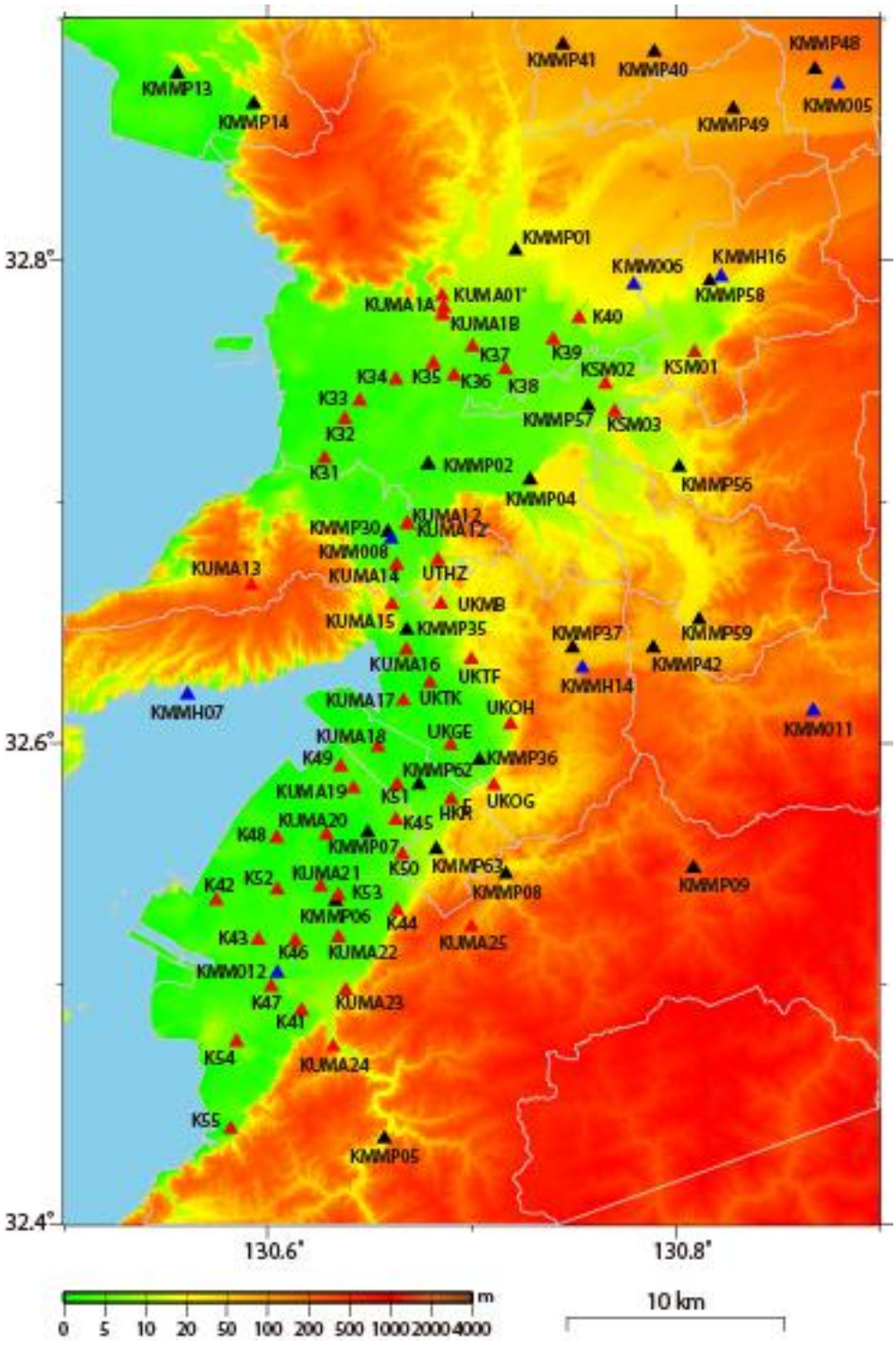


図１　対象地域における強震観測点分布。赤三角が本調査で設置した臨時観測点で、観測点名（表１参照）を示す。青三角（K-NET および KiK-net）、黒三角（熊本県自治体震度情報ネットワーク）も図示した。

2) 自治体震度計波形データの収集と整理

各都道府県には、全国展開されている国立研究開発法人防災科学技術研究所の強震観測網（K-NET)、基盤強震観測網（KiK-net)、気象庁の計測震度計観測点に加えて、自治体震度情報ネットワークシステムの震度観測点が設置、運用されている。サブテーマ３では、熊本県知事公室危機管理防災課､熊本市政策局危機管理防災総室､気象庁熊本地方気象台、鹿児島県危機管理局危機管理防災課、長崎県危機管理課の協力を得て、各県の震度情報ネットワークシステムで記録された強震波形データ及び関連資料の収集を行った。

熊本県震度情報ネットワークシステムでは、平成 22 年度にシステムの更新が行われ、熊本県内 74 地点（熊本市設置分１地点を含む）に計測震度計 KSG-T2030（国際計測器製）が設置され、震度観測及び震度情報の発信が行われている（図２及び表２)。計測震度計 KSG-T2030 はフォースバランス型サーボ式加速度センサーを有し、±3677.5 gal の測定範囲を形式分解能 24bit で A/D 変換し、サンプリング周波数 100 Hz で収録している。強震波形記録は WIN32 形式のデータフォーマットで記録されている。平成 28～30 年度にかけて熊本県が実施した現地メンテナンスの際に震度計から回収したデータの提供を受けた。このため、データ収録期間は観測点毎に少しずつ異なっているが、平成 23 年１月～平成 31 年１月の期間に発生した多数の有感地震の強震波形記録（24,021 記録）を収集することができた。ただし、宇土市役所、大津町役場、益城町役場の３地点は、平成 28 年熊本地震による庁舎の被災・解体に伴い、現在は震度観測を休止している。これらの地点では休止前までの波形データのみを収集することができた。

鹿児島県震度情報ネットワークシステムでは､平成 22 年度にシステムの更新が行われ、鹿児島県内 73 地点に計測震度計 KSG-T2030（国際計測器製）が設置され、震度観測及び震度情報の発信が行われている（図３～４及び表３)。震度計の仕様は熊本県と同じである。平成 29 年度に鹿児島県が実施した現地メンテナンスの際に震度計から回収したデータの提供を受けた。このため、データ収録期間は観測点毎に少しずつ異なっているが、平成 22 年 11 月～平成 30 年２月の期間に発生した有感地震の強震波形記録（3,339 記録）を収集することができた。

長崎県震度情報ネットワークシステムでは、平成 22 年度にシステムの更新が行われ、現在は長崎県内 57 地点に計測震度計 STR-361（高見沢サイバネティックス製）が設置され、震度観測及び震度情報の発信が行われている（図５及び表４)。このうち、長崎県庁よりデータ収集可能な計 45 地点の波形データの提供を受けた。計測震度計 STR-361 はサーボ式加速度センサーを有し、±3920 gal の測定範囲を形式分解能 24bit で A/D 変換し、サンプリング周波数 100 Hz で収録している。強震波形記録は強震 WIN32 形式のデータフォーマットで記録されている。平成 23 年１月～平成 30 年８月の期間に発生した有感地震の強震波形記録（2,491 記録）を収集することができた。

鹿児島県及び長崎県については県域が広いため、布田川断層帯や日奈久断層帯からは遠い市町村も含まれるが､熊本県と同様に利用可能な波形データをすべて一括して収集した。これらの観測網で取得された強震波形記録を、気象庁の震度データベース及び震源カタログを参考に整理した。収集した波形データは、サブテーマ３で実施した調査研究で使用した。その詳細は各調査項目の報告にて説明する。

表２　熊本県震度情報ネットワークシステム観測点一覧

観測点	震度計番号	震度観測点名称	所在地		旧市町村名	備考
KMMP01	93012	熊本市中央区大江	熊本市中央区大江3丁目1-3	熊本市消防局	熊本市	※熊本市管理
KMMP02	93022	熊本市南区富合町	熊本市南区富合町清藤405-3	熊本市南区役所	下益城郡富合町	
KMMP03	93040	熊本市北区植木町	熊本市北区植木町岩野238-1	熊本市北区役所	鹿本郡植木町	
KMMP04	93021	熊本市南区城南町	熊本市南区城南町宮地1050	熊本市南区城南総合出張所	下益城郡城南町	
KMMP05	93060	八代市坂本町	八代市坂本町坂本4228-12	八代市坂本支所	八代郡坂本村	
KMMP06	93055	八代市千丁町	八代市千丁町新牟田1502-1	八代市千丁支所	八代郡千丁町	
KMMP07	93056	八代市鏡町	八代市鏡町内田453-1	八代市鏡支所	八代郡鏡町	
KMMP08	93061	八代市東陽町	八代市東陽町南1105-1	八代市東陽支所	八代郡東陽村	
KMMP09	93062	八代市泉支所	八代市泉町柿迫3131	八代市泉支所	八代郡泉村	
KMMP10	93014	荒尾市宮内出目	荒尾市宮内出目390	荒尾市役所	荒尾市	
KMMP11	93098	水俣市陣内	水俣市陣内1丁目1-1	水俣市役所	水俣市	
KMMP12	93028	玉名市岱明町	玉名市岱明町野口2129	玉名市岱明支所	玉名郡岱明町	
KMMP13	93029	玉名市横島町	玉名市横島町横島3644	玉名市横島支所	玉名郡横島町	
KMMP14	93030	玉名市天水町(旧2)	玉名市天水町小天7195-5	玉名市天水支所(旧庁舎)	玉名郡天水町	
		玉名市天水町	玉名市天水町小天7237-1	玉名市天水支所		2018/12/27移設
KMMP15	93084	天草市有明町	天草市有明町赤崎3383	天草市有明支所	天草郡有明町	
KMMP16	93087	天草市御所浦町	天草市御所浦町御所浦3527	天草市御所浦支所	天草郡御所浦町	
KMMP17	93088	天草市倉岳町	天草市倉岳町棚底1919	天草市倉岳支所	天草郡倉岳町	
KMMP18	93089	天草市栖本町	天草市栖本町馬場179	天草市栖本支所	天草郡栖本町	
KMMP19	93091	天草市五和町	天草市五和町御領2943	天草市五和支所	天草郡五和町	
KMMP20	93094	天草市河浦町	天草市河浦町河浦5253	天草市河浦支所	天草郡河浦町	
KMMP21	93095	山鹿市山鹿(旧)	山鹿市山鹿978	山鹿市役所(旧庁舎跡地)	山鹿市	
		山鹿市山鹿	山鹿市山鹿987-3	山鹿市市民交流センター		2014/10/31移設
KMMP22	93036	山鹿市鹿北町	山鹿市鹿北町四丁1612	山鹿市鹿北市民センター	鹿本郡鹿北町	
KMMP23	93037	山鹿市菊鹿町	山鹿市菊鹿町下内田713	山鹿市菊鹿市民センター	鹿本郡菊鹿町	
KMMP24	93038	山鹿市鹿本町	山鹿市鹿本町来民686-1	山鹿市鹿本市民センター	鹿本郡鹿本町	
KMMP25	93039	山鹿市鹿央町	山鹿市鹿央町合里158-1	山鹿市鹿央市民センター	鹿本郡鹿央町	
KMMP26	93017	菊池市隈府	菊池市隈府888	菊池市役所	菊池市	
KMMP27	93041	菊池市七城町	菊池市七城町甲佐町74-1	菊池市七城支所	菊池郡七城町	
KMMP28	93042	菊池市旭志	菊池市旭志小原240	菊池市旭志支所	菊池郡旭志村	
KMMP29	93046	菊池市泗水町	菊池市泗水町福本383	菊池市泗水支所	菊池郡泗水町	
KMMP30	93097	宇土市浦田町	宇土市浦田町51	宇土市役所	宇土市	2016/10/13撤去
KMMP32	93083	上天草市松島町(旧2)	上天草市松島町合津3538-3	上天草市松島庁舎(旧庁舎跡地)	天草郡松島町	
		上天草市松島町	上天草市松島町合津7915-1	上天草市松島庁舎		2013/5/20移設
KMMP33	93085	上天草市姫戸町(旧2)	上天草市姫戸町姫浦2502-3	上天草市姫戸統括支所(旧庁舎)	天草郡姫戸町	
		上天草市姫戸町	上天草市姫戸町姫浦3384-5	上天草市姫戸地域振興センター		2016/11/30移設
KMMP35	93020	宇城市不知火町	宇城市不知火町高良2273-1	宇城市不知火支所	宇土郡不知火町	
KMMP36	93024	宇城市小川町(旧2)	宇城市小川町江頭100	宇城市小川支所(旧庁舎跡地)	下益城郡小川町	
		宇城市小川町	宇城市小川町江頭80	宇城市小川支所		2018/6/21移設
KMMP37	93025	宇城市豊野町	宇城市豊野町糸石3516-1	宇土市豊野支所	下益城郡豊野町	
KMMP38	93002	阿蘇市内牧	阿蘇市内牧1111-3	阿蘇市内牧支所	阿蘇郡阿蘇町	
KMMP39	93006	阿蘇市波野	阿蘇市波野大字波野2710	阿蘇市波野支所	阿蘇郡波野村	
KMMP40	93045	合志市竹迫	合志市竹迫2140	合志市役所合志庁舎	菊池郡合志町	
KMMP41	93047	合志市御代志	合志市御代志1661-1	合志市役所西合志庁舎	菊池郡西合志町	
KMMP42	93026	美里町馬場	下益城郡美里町馬場1100	美里町役場中央庁舎	下益城郡中央町	
KMMP43	93031	玉東町木葉	玉名郡玉東町大字木葉759	玉東町役場	玉名郡玉東町	
KMMP44	93032	和水町江田	玉名郡和水町江田3886	和水町役場	玉名郡菊水町	
KMMP45	93033	和水町板楠	玉名郡和水町板楠70	和水町三加和総合支所	玉名郡三加和町	
KMMP46	93034	南関町関町	玉名郡南関町大字関町1316	南関町役場	玉名郡南関町	
KMMP47	93035	長洲町長洲	玉名郡長洲町大字長洲2766	長洲町役場	玉名郡長洲町	
KMMP48	93096	大津町大津	菊池郡大津町大字大津1233	大津町役場	菊池郡大津町	2017/3/23撤去
KMMP49	93044	菊陽町久保田	菊池郡菊陽町大字久保田2800	菊陽町役場	菊池郡菊陽町	
KMMP50	93003	南小国町赤馬場	阿蘇郡南小国町大字赤馬場143	南小国町役場	阿蘇郡南小国町	
KMMP51	93005	産山村山鹿	阿蘇郡産山村山鹿488-3	産山村役場	阿蘇郡産山村	
KMMP52	93010	西原村小森	阿蘇郡西原村大字小森3259	西原村役場	阿蘇郡西原村	
KMMP53	93011	南阿蘇村河陰	阿蘇郡南阿蘇村大字河陰145-3	南阿蘇村旧久木野庁舎	阿蘇郡久木野村	
KMMP54	93009	南阿蘇村河陽(旧)	阿蘇郡南阿蘇村大字河陽3574	南阿蘇村旧長陽庁舎	阿蘇郡長陽村	
		南阿蘇村河陽	阿蘇郡南阿蘇村大字河陽1705-1	南阿蘇村役場		2017/6/21移設
KMMP55	93048	南阿蘇村吉田	阿蘇郡南阿蘇村大字吉田1495	南阿蘇村旧白水庁舎	阿蘇郡白水村	
KMMP56	93049	御船町御船	上益城郡御船町大字御船995-1	御船町役場	上益城郡御船町	
KMMP57	93050	嘉島町上島	上益城郡嘉島町大字上島530	嘉島町役場	上益城郡嘉島町	
KMMP58	93051	益城町宮園(旧)	上益城郡益城町大字宮園702	益城町役場	上益城郡益城町	
		益城町宮園	上益城郡益城町大字宮園702	益城町役場		2012/11/14移設
KMMP59	93052	甲佐町豊内	上益城郡甲佐町豊内719-4	甲佐町役場	上益城郡甲佐町	
KMMP60	93054	山都町大平	上益城郡山都町大平385	山都町清和支所	上益城郡清和村	
KMMP61	93007	山都町今	上益城郡山都町今500	山都町蘇陽支所	阿蘇郡蘇陽町	
KMMP62	93057	氷川町島地	八代郡氷川町島地642	氷川町役場	八代郡竜北町	
KMMP63	93058	氷川町宮原	八代郡氷川町宮原栄久69-1	氷川町宮原振興局	八代郡宮原町	
KMMP65	93081	津奈木町小津奈木	葦北郡津奈木町大字小津奈木2123	津奈木町役場	葦北郡津奈木町	
KMMP66	93063	錦町一武	球磨郡錦町大字一武1587	錦町役場	球磨郡錦町	
KMMP68	93068	湯前町役場	球磨郡湯前町1989-1	湯前町役場	球磨郡湯前町	
KMMP69	93069	水上村岩野	球磨郡水上村大字岩野90	水上村役場	球磨郡水上村	
KMMP70	93072	相良村深水	球磨郡相良村大字深水2500-1	相良村役場	球磨郡相良村	
KMMP71	93074	山江村山田	球磨郡山江村大字山田甲1356-1	山江村役場	球磨郡山江村	
KMMP72	93075	球磨村渡	球磨郡球磨村大字渡丙1730	球磨村役場	球磨郡球磨村	
KMMP73	93065	あさぎり町免田東	球磨郡あさぎり町免田東1199	あさぎり町役場	球磨郡免田町	
KMMP74	93099	あさぎり町上	球磨郡あさぎり町上北1874	あさぎり町上支所	球磨郡上村	
KMMP75	93100	あさぎり町岡原	球磨郡あさぎり町岡原北929	あさぎり町岡原支所	球磨郡岡原村	
KMMP76	93101	あさぎり町須恵	球磨郡あさぎり町須恵1227	あさぎり町須恵支所	球磨郡須恵村	
KMMP77	93102	あさぎり町深田	球磨郡あさぎり町深田西955-1	あさぎり町深田支所	球磨郡深田村	
KMMP78	93092	苓北町志岐	天草郡苓北町志岐660	苓北町役場	天草郡苓北町	

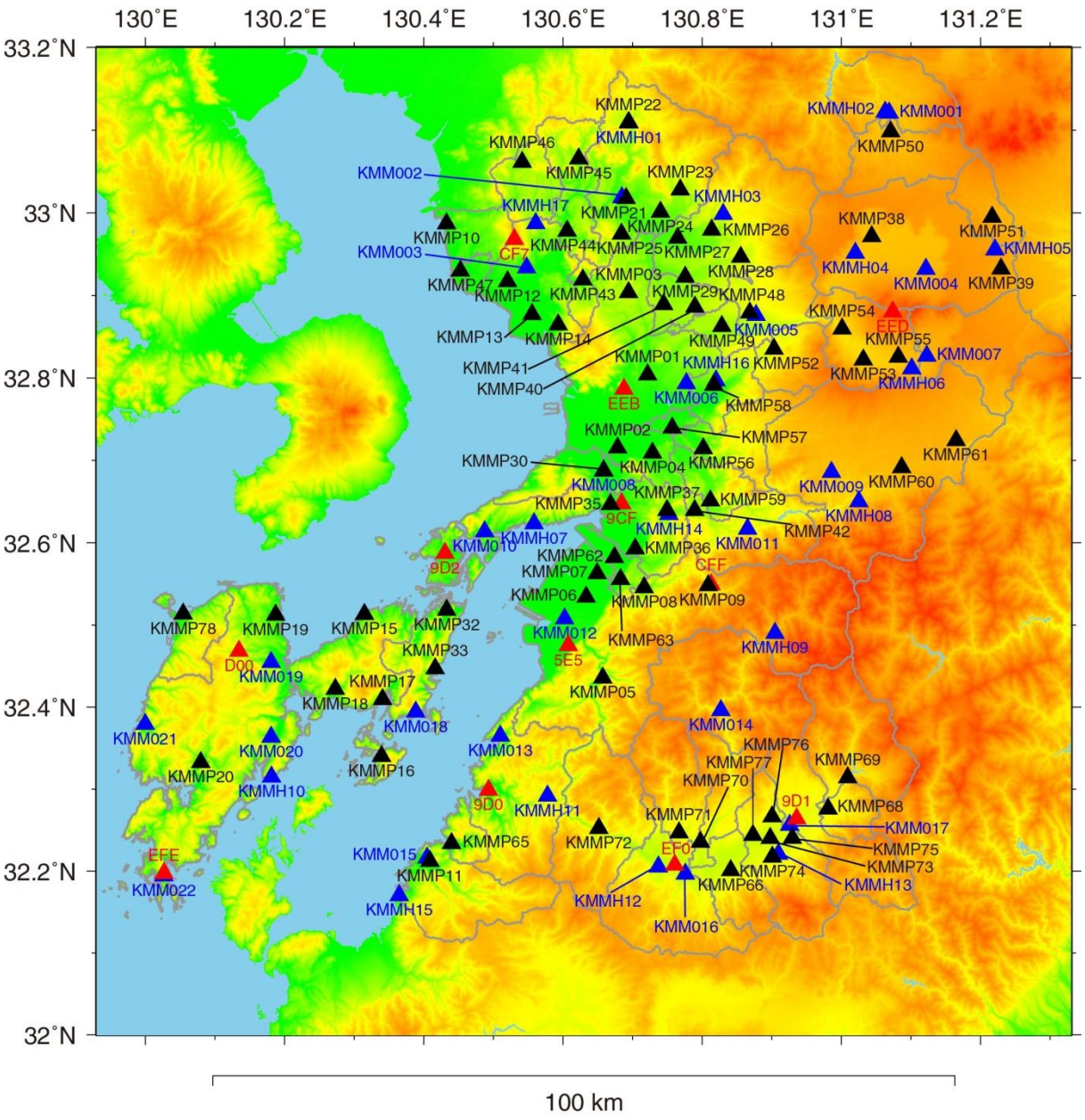


図２　熊本県内における強震波形記録を収集した観測点（黒：熊本県震度情報ネットワークシステム、赤:気象庁、青:国立研究開発法人防災科学技術研究所強震観測網 K-NET、KiK-net）

表３　鹿児島県震度情報ネットワークシステム観測点一覧

観測点	震度計番号	震度観測点名称	所在地		旧市町村名	備考
KGSP01	96012	鹿児島市本城	鹿児島市本城町1696	鹿児島市吉田支所	鹿児島市	
KGSP02	96013	鹿児島市桜島藤野	鹿児島市桜島藤野町1439	鹿児島市桜島支所	鹿児島郡桜島町	
KGSP03	96014	鹿児島市桜島赤水新島	鹿児島市新島町3448-1	桜峰校区公民館新島分館	鹿児島郡桜島町	
KGSP04	96027	鹿児島市上谷口	鹿児島市上谷口町2883	鹿児島市松元支所	日置郡松元町	
KGSP05	96028	鹿児島市郡山	鹿児島市郡山町141	鹿児島市郡山支所	日置郡郡山町	
KGSP06	96007	出水市桂島	出水市荘3670	出水市立米ノ津東小学校桂島分校	出水市	
KGSP07	96039	出水市野田町	出水市野田町下名7035	出水市野田支所	出水郡野田町	
KGSP08	96040	出水市高尾野町(旧2)	出水市高尾野町大久保7	出水市高尾野支所	出水郡高尾野町	
		出水市高尾野町	出水市高尾野町大久保20	出水市高尾野支所(仮庁舎)		2019/1/20移設
KGSP09	96018	指宿市開聞十町	指宿市開聞十町2867	指宿市開聞支所	揖宿郡開聞町	
KGSP10	96022	南九州市知覧町郡	南九州市知覧町郡6204	南九州市役所	川辺郡知覧町	
KGSP11	96023	南九州市川辺町平山	南九州市川辺町平山3234	南九州市川辺支所	川辺郡川辺町	
KGSP12	96044	長島町指江	出水郡長島町指江787	長島町役場指江庁舎	出水郡長島町	
KGSP13	96042	長島町獅子島	出水郡長島町獅子島689-1	獅子島アイランドセンター	出水郡東町	
KGSP14	96043	長島町伊唐島	出水郡長島町鷹巣4524-11	伊唐アイランドセンター	出水郡東町	
KGSP15	96045	伊佐市菱刈前目	伊佐市菱刈前目2106	伊佐市役所菱刈庁舎	伊佐郡菱刈町	
KGSP16	96046	姶良市加治木町本町	姶良市加治木町本町253	姶良市加治木総合支所	姶良郡加治木町	
KGSP17	96047	姶良市宮島町	姶良市宮島町25	姶良市役所	姶良郡姶良町	
KGSP18	96032	薩摩川内市樋脇町	薩摩川内市樋脇町塔之原1173	薩摩川内市樋脇支所	薩摩郡樋脇町	
KGSP19	96033	薩摩川内市入来町	薩摩川内市入来町浦之名33	薩摩川内市入来支所	薩摩郡入来町	
KGSP20	96304	薩摩川内市東郷町	薩摩川内市東郷町斧渕362	薩摩川内市東郷支所	薩摩郡東郷町	
KGSP21	96038	薩摩川内市祁答院町	薩摩川内市祁答院町下手67	薩摩川内市祁答院支所	薩摩郡祁答院町	
KGSP22	96036	さつま町神子	薩摩郡さつま町神子663-1	さつま町鶴田支所	薩摩郡鶴田町	
KGSP23	96037	さつま町求名	薩摩郡さつま町求名12837	さつま町薩摩支所	薩摩郡薩摩町	
KGSP24	96051	湧水町栗野	姶良郡湧水町木場222	湧水町役場	姶良郡栗野町	
KGSP25	96052	湧水町吉松	姶良郡湧水町中津川603	湧水町役場吉松庁舎	姶良郡吉松町	
KGSP26	96025	日置市東市来町長里	日置市東市来町長里87-1	日置市東市来支所	日置郡東市来町	
KGSP27	96026	日置市伊集院町郡	日置市伊集院町郡1丁目100	日置市役所	日置郡伊集院町	
KGSP28	96030	日置市吹上町中原	日置市吹上町中原2847	日置市吹上支所	日置郡吹上町	
KGSP29	96024	いちき串木野市湊町	いちき串木野市湊町1丁目1	いちき串木野市市来支所	日置郡市来町	
KGSP30	96019	南さつま市笠沙町片浦	南さつま市笠沙町片浦808	南さつま市笠沙支所	川辺郡笠沙町	
KGSP31	96020	南さつま市大浦町	南さつま市大浦町2071	南さつま市大浦支所	川辺郡大浦町	
KGSP32	96021	南さつま市坊津町久志	南さつま市坊津町久志2422-1	南さつま市坊津支所久志出張所	川辺郡坊津町	
KGSP33	96031	南さつま市金峰町尾下	南さつま市金峰町尾下1650	南さつま市金峰支所	日置郡金峰町	
KGSP34	96049	霧島市溝辺町有川	霧島市溝辺町有川341	霧島市溝辺総合支所	姶良郡溝辺町	
KGSP35	96053	霧島市牧園町宿窪田	霧島市牧園町宿窪田2647	霧島市牧園総合支所	姶良郡牧園町	
KGSP36	96054	霧島市霧島田口	霧島市霧島田口8-4	霧島市霧島総合支所	姶良郡霧島町	
KGSP37	96056	霧島市福山町牧之原	霧島市福山町福山5290-61	霧島市福山総合支所	姶良郡福山町	
KGSP38	96060	鹿屋市輝北町上百引	鹿屋市輝北町上百引3914-ロ	鹿屋市輝北総合支所	曽於郡輝北町	
KGSP39	96067	鹿屋市串良町岡崎	鹿屋市串良町岡崎2081	鹿屋市串良総合支所	肝属郡串良町	
KGSP40	96071	鹿屋市吾平町麓	鹿屋市吾平町麓3317	鹿屋市吾平総合支所	肝属郡吾平町	
KGSP41	96068	東串良町川西	肝属郡東串良町川西1543	東串良町役場	肝属郡東串良町	
KGSP42	96072	錦江町城元	肝属郡錦江町城元963	錦江町役場	肝属郡大根占町	
KGSP43	96073	南大隅町根占	肝属郡南大隅町根占川北226	南大隅町役場	肝属郡根占町	
KGSP44	96061	曽於市財部町南俣	曽於市財部町南俣11275	曽於市財部支所	曽於郡財部町	
KGSP45	96062	曽於市末吉町二之方	曽於市末吉町二之方1980	曽於市役所	曽於郡末吉町	
KGSP46	96070	肝付町新富	肝属郡肝付町新富98	肝付町役場	肝属郡高山町	
KGSP47	96063	志布志市松山町新橋	志布志市松山町新橋268	志布志市松山支所	曽於郡松山町	
KGSP48	96065	志布志市有明町野井倉	志布志市有明町野井倉1756	志布志市役所	曽於郡有明町	
KGSP49	96090	十島村口之島出張所	鹿児島郡十島村大字口之島19	十島村役場口之島出張所	鹿児島郡十島村	
KGSP50	96091	十島村中之島出張所	鹿児島郡十島村大字中之島17	十島村役場中之島出張所	鹿児島郡十島村	
KGSP51	96092	十島村平島	鹿児島郡十島村大字平島293	十島村役場平島出張所	鹿児島郡十島村	
KGSP52	96093	十島村諏訪之瀬島	鹿児島郡十島村大字諏訪之瀬島	十島村役場諏訪之瀬島出張所	鹿児島郡十島村	
KGSP53	96094	十島村悪石島	鹿児島郡十島村大字悪石島108	十島村役場悪石島出張所	鹿児島郡十島村	
KGSP54	96095	十島村小宝島	鹿児島郡十島村大字小宝島4-19	十島村役場小宝島出張所	鹿児島郡十島村	
KGSP55	96096	十島村宝島	鹿児島郡十島村大字宝島923	十島村役場宝島出張所	鹿児島郡十島村	
KGSP56	96076	薩摩川内市里町	薩摩川内市里町1922	薩摩川内市里支所	薩摩郡里村	
KGSP57	96079	薩摩川内市鹿島町	薩摩川内市鹿島町藺牟田1457-10	薩摩川内市鹿島支所	薩摩郡鹿島村	
KGSP58	96081	三島村硫黄島	鹿児島郡三島村大字硫黄島90-61	三島開発総合センター	鹿児島郡三島村	
KGSP59	96082	三島村竹島	鹿児島郡三島村大字竹島7	三島村役場竹島出張所	鹿児島郡三島村	
KGSP60	96083	三島村黒島	鹿児島郡三島村大字黒島31-2	三島村役場方泊出張所	鹿児島郡三島村	
KGSP61	96085	南種子町中之上	熊毛郡南種子町中之上2793-1	南種子町役場	熊毛郡南種子町	
KGSP62	96087	屋久島町口永良部島公民館	熊毛郡屋久島町口永良部島656	口永良部へき地保健福祉館	熊毛郡上屋久町	
KGSP63	96098	宇検村湯湾	大島郡宇検村湯湾915	宇検村役場	大島郡宇検村	
KGSP64	96100	瀬戸内町加計呂麻島	大島郡瀬戸内町加計呂麻島瀬相字小勝742-7	瀬相待合所	大島郡瀬戸内町	
KGSP65	96101	瀬戸内町請島	大島郡瀬戸内町池地字オコパリ原638	池地集会所	大島郡瀬戸内町	
KGSP66	96102	瀬戸内町与路島	大島郡瀬戸内町与路字村内原383	与路島集会所	大島郡瀬戸内町	
KGSP67	96104	龍郷町浦	大島郡龍郷町浦110	龍郷町役場	大島郡龍郷町	
KGSP68	96106	喜界町湾	大島郡喜界町大字湾1746	喜界町役場	大島郡喜界町	
KGSP69	96089	奄美市名瀬幸町	奄美市名瀬幸町25-8	奄美市役所	名瀬市	
KGSP70	96103	奄美市住用町西仲間(旧2)	奄美市住用町西仲間111	奄美市住用総合支所(旧庁舎)	大島郡住用村	
		奄美市住用町西仲間(旧3)	奄美市住用町西仲間65	奄美市住用総合支所(仮庁舎)		2012/7/12移設
		奄美市住用町西仲間	奄美市住用町西仲間111	奄美市住用総合支所		2014/3/21移設
KGSP71	96107	徳之島町亀津	大島郡徳之島町亀津7203	徳之島町役場	大島郡徳之島町	
KGSP72	96108	天城町平土野	大島郡天城町平土野2691-1	天城町役場	大島郡天城町	
KGSP73	96110	和泊町和泊	大島郡和泊町和泊10	和泊町役場	大島郡和泊町	

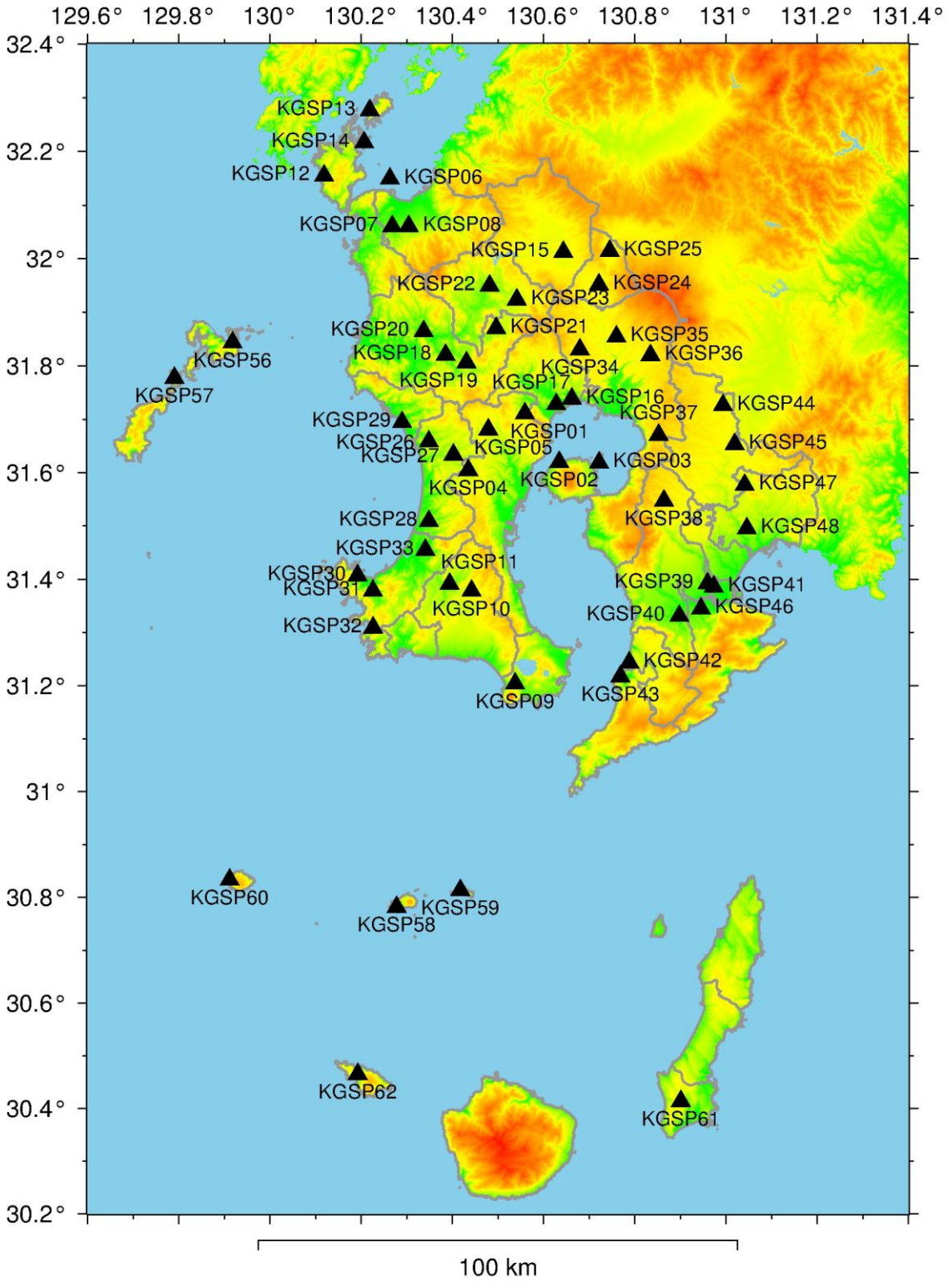


図３　鹿児島県震度情報ネットワークシステムから強震波形記録を収集した観測点
（薩摩地方、大隅地方、大隅諸島及び上三島）

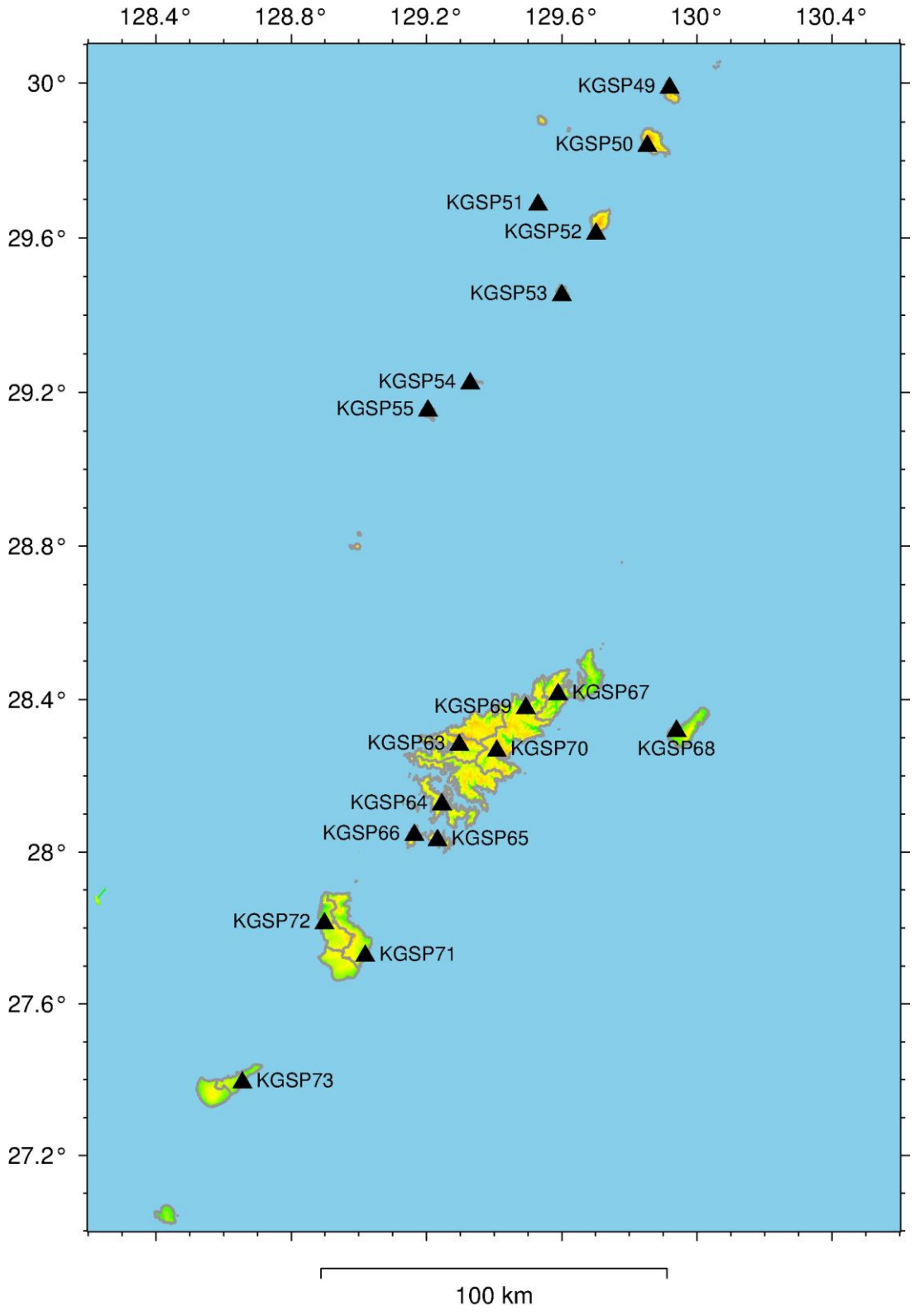


図４　鹿児島県震度情報ネットワークシステムから強震波形記録を収集した観測点
（奄美群島及びトカラ列島）

表４　長崎県震度情報ネットワークシステム観測点一覧

観測点	震度計番号	震度観測点名称	所在地		旧市町村名	備考
NGSP03	92021	長崎市香焼町	長崎市香焼町1070-32	長崎市香焼地域センター	西彼杵郡香焼町	未収集
NGSP04	92022	崎市伊王島町	長崎市伊王島町1丁目甲3271	長崎市伊王島地域センター	西彼杵郡伊王島町	未収集
NGSP05	92023	長崎市高島町	長崎市高島町1728-1	長崎市高島地域センター	西彼杵郡高島町	未収集
NGSP06	92025	長崎市布巻町	長崎市布巻町111-1	長崎市三和地域センター	西彼杵郡三和町	未収集
NGSP08	92035	長崎市神浦江川町	長崎市神浦江川町657-2	長崎市外海地域センター	西彼杵郡外海町	未収集
NGSP10	92014	佐世保市小佐々町	佐世保市小佐々町西川内172-3	佐世保市小佐々支所	北松浦郡小佐々町	未収集
NGSP11	92016	佐世保市吉井町	佐世保市吉井町立石457-5	佐世保市吉井支所	北松浦郡吉井町	未収集
NGSP12	92017	佐世保市世知原町	佐世保市世知原町栗迎246-1	佐世保市世知原支所	北松浦郡世知原町	未収集
NGSP15	92041	島原市有明町	島原市有明町大三東戊1327	島原市有明支所	南高来郡有明町	
NGSP18	92026	諫早市多良見町	諫早市多良見町化屋1800	諫早市多良見支所	西彼杵郡多良見町	
NGSP19	92036	諫早市森山町	諫早市森山町本村1300	諫早市森山支所	北高来郡森山町	
NGSP20	92037	諫早市飯盛町	諫早市飯盛町開1929-3	諫早市飯盛支所	北高来郡飯盛町	
NGSP21	92038	諫早市高来町	諫早市高来町三部壱528	諫早市高来支所	北高来郡高来町	
NGSP24	92007	平戸市大島村	平戸市大島村前平1840-1	平戸市大島支所	北松浦郡大島村	
NGSP25	92008	平戸市生月町	平戸市生月町里免1660	平戸市生月支所	北松浦郡生月町	
NGSP26	92009	平戸市田平町	平戸市田平町里免27-1	平戸市田平支所	北松浦郡田平町	
NGSP27	92010	松浦市福島町	松浦市福島町塩浜免2944	松浦市福島支所	北松浦郡福島町	
NGSP29	92011	松浦市鷹島町	松浦市鷹島町中通免1718-2	松浦市鷹島支所	北松浦郡鷹島町	
NGSP33	92058	対馬市美津島町鶏知	対馬市美津島町雞知甲550-2	対馬市美津島行政サービスセンター	下県郡美津島町	
NGSP34	92060	対馬市峰町	対馬市峰町三根451	対馬市峰行政サービスセンター	上県郡峰町	
NGSP35	92061	対馬市上県町佐須奈	対馬市上県町佐須奈甲567-3	対馬市上県行政サービスセンター	上県郡上県町	
NGSP37	92064	壱岐市勝本町(旧)	壱岐市勝本町西戸触182-5	壱岐市勝本支所	壱岐郡勝本町	未収集
		壱岐市勝本町	壱岐市勝本町西戸触182-5	壱岐市勝本支所		2018/2/12移設
NGSP38	92065	壱岐市芦辺町芦辺	壱岐市芦辺町芦辺浦562	壱岐市芦辺支所	壱岐郡芦辺町	
NGSP39	92066	壱岐市石田町	壱岐市石田町石田西触1290	壱岐市石田支所	壱岐郡石田町	
NGSP42	92070	五島市富江町富江	五島市富江町富江165-1	五島市富江支所	南松浦郡富江町	
NGSP43	92072	五島市三井楽町	五島市三井楽町濱ノ畔1473-1	五島市三井楽支所	南松浦郡三井楽町	
NGSP44	92073	五島市岐宿町	五島市岐宿町岐宿2535	五島市岐宿支所	南松浦郡岐宿町	
NGSP45	92074	五島市奈留町	五島市奈留町浦1818-1	五島市奈留支所	南松浦郡奈留町	
NGSP47	92030	西海市西彼町	西海市西彼町喰場郷736	西海市西彼総合支所	西彼杵郡西彼町	
NGSP48	92031	西海市西海町	西海市西海町木場郷2235	西海市西海総合支所	西彼杵郡西海町	
NGSP49	92032	西海市大島町	西海市大島町1894-5	西海市大島総合支所	西彼杵郡大島町	
NGSP50	92033	西海市崎戸町	西海市崎戸町蠣浦郷1645-1	西海市崎戸中央公民館	西彼杵郡崎戸町	
NGSP52	92043	雲仙市瑞穂町	雲仙市瑞穂町西郷辛1285	雲仙市瑞穂総合支所	南高来郡瑞穂町	
NGSP53	92044	雲仙市吾妻町	雲仙市吾妻町牛口名714	雲仙市役所	南高来郡吾妻町	
NGSP54	92045	雲仙市愛野町	雲仙市愛野町甲3938	雲仙市愛野総合支所	南高来郡愛野町	
NGSP56	92047	雲仙市小浜町北本町	雲仙市小浜町北本町14	雲仙市小浜総合支所	南高来郡小浜町	
NGSP57	92048	雲仙市南串山町	雲仙市南串山町丙10538-4	雲仙市南串山総合支所	南高来郡南串山町	未収集
NGSP59	92049	南島原市加津佐町	南島原市加津佐町己3514	南島原市加津佐支所	南高来郡加津佐町	
NGSP60	92051	南島原市南有馬町	南島原市南有馬町乙1023	南島原市南有馬支所	南高来郡南有馬町	
NGSP61	92052	南島原市北有馬町	南島原市北有馬町戊2747	南島原市北有馬支所	南高来郡北有馬町	
NGSP62	92053	南島原市西有家町	南島原市西有家町里坊96-2	南島原市役所	南高来郡西有家町	
NGSP63	92054	南島原市有家町	南島原市有家町山川58	南島原市有家支所	南高来郡有家町	
NGSP64	92055	南島原市布津町	南島原市布津町乙1623-1	南島原市布津支所	南高来郡布津町	
NGSP65	92056	南島原市深江町	南島原市深江町丁2150	南島原市深江支所	南高来郡深江町	
NGSP66	92027	長与町嬉里	西彼杵郡長与町嬉里郷659-1	長与町役場	西彼杵郡長与町	
NGSP67	92028	時津町浦	西彼杵郡時津町浦郷274-1	時津町役場	西彼杵郡時津町	
NGSP69	92005	川棚町中組	東彼杵郡川棚町中組郷1518-1	川棚町役場	東彼杵郡川棚町	
NGSP70	92006	波佐見町宿	東彼杵郡波佐見町宿郷660	波佐見町役場	東彼杵郡波佐見町	
NGSP71	92068	小値賀町笛吹	北松浦郡小値賀町笛吹郷2376-1	小値賀町役場	北松浦郡小値賀町	
NGSP72	92012	佐世保市江迎町	佐世保市江迎町長坂263	佐世保市江迎支所	北松浦郡江迎町	未収集
NGSP73	92013	佐世保市鹿町町	佐世保市鹿町町下歌ヶ浦290-2	佐世保市鹿町支所	北松浦郡鹿町町	未収集
NGSP74	92015	佐々町本田原	北松浦郡佐々町本田原免168-2	佐々町役場	北松浦郡佐々町	
NGSP76	92076	新上五島町青方	南松浦郡新上五島町青方郷1585-1	新上五島町役場	南松浦郡上五島町	
NGSP77	92077	新上五島町立串	南松浦郡新上五島町立串郷302-2	新上五島町北魚目出張所	南松浦郡新魚目町	
NGSP78	92078	新上五島町有川	南松浦郡新上五島町有川郷720-1	新上五島町有川支所	南松浦郡有川町	
NGSP79	92079	新上五島町奈良尾	南松浦郡新上五島町奈良尾郷379	新上五島町奈良尾支所	南松浦郡奈良尾町	
NGSP80	92100	雲仙市雲仙出張所	雲仙市小浜町雲仙292-1	雲仙市雲仙出張所	南高来郡小浜町	

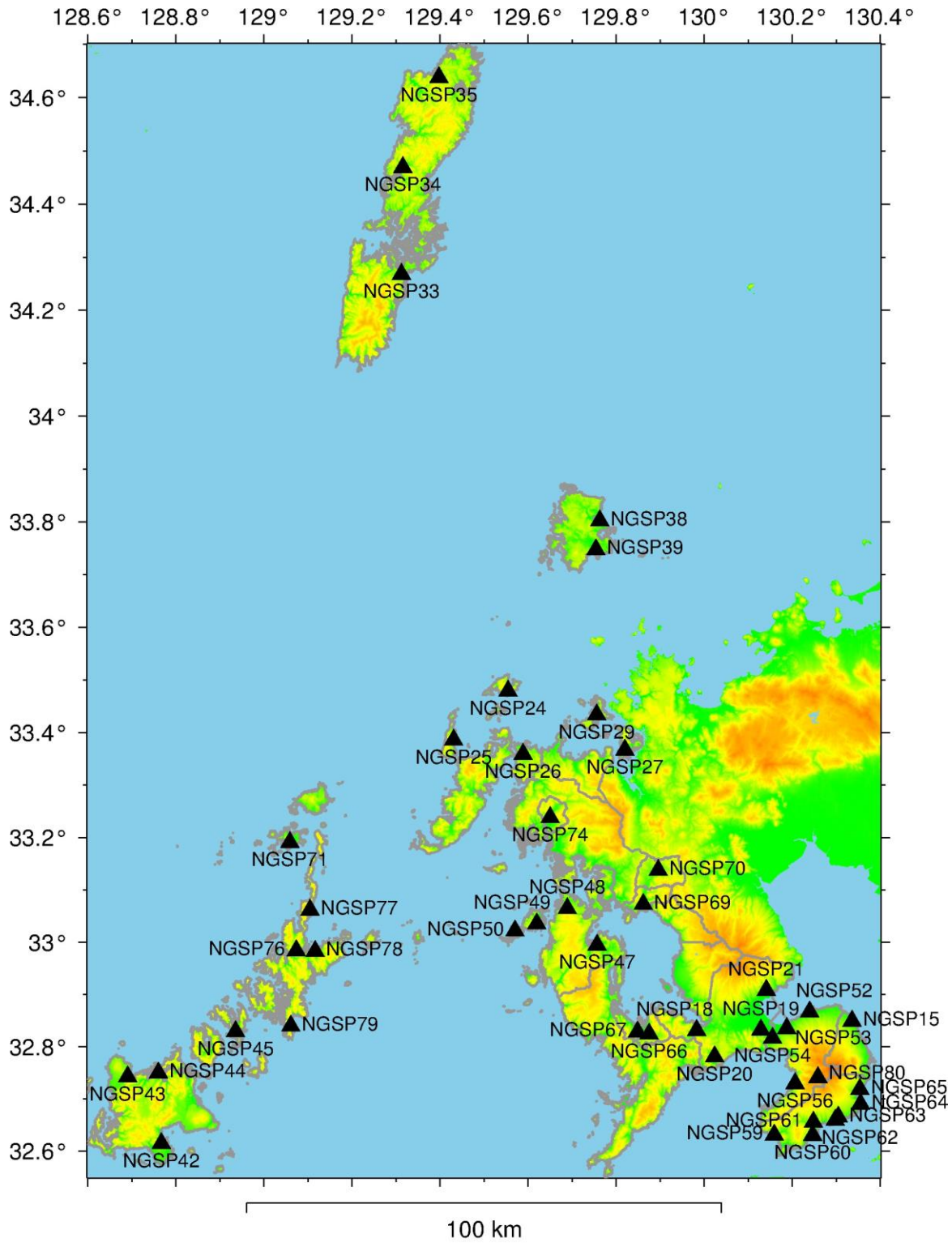


図５　長崎県震度情報ネットワークシステムから強震波形記録を収集した観測点

3）微動アレイ観測及び単点微動観測

a）震度・強震観測点周辺における微動アレイ調査

布田川断層帯及び日奈久断層帯の活動によって強い揺れに見舞われる可能性のある熊本県内のほぼ全域、鹿児島県出水平野周辺及び長崎県島原半島周辺の震度観測点や強震観測点を対象に、小半径の微動アレイ調査を実施した。このほかに、大規模な堆積平野や盆地の基盤までの構造を把握するため、最大アレイ半径 500 m～1000 m の大半径の微動アレイ調査を実施した。これらの観測地点は図６及び表５の通りである。

平成 28 年度の小半径微動アレイ調査は、平成 29 年２月３日～26 日の期間に、八代平野、菊陽町、大津町、阿蘇カルデラ内の３市３町１村の計 20 地点で実施した。平成 29 年度の調査は、平成 30 年２月６日～24 日の期間に、天草諸島、宇土半島、葦北地方、球磨地方（人吉盆地）に位置する５市６町の計 25 地点で実施した。平成 30 年度の調査は、平成 30 年６月１日～７月 22 日及び平成 31 年１月 29 日～２月８日の期間に、玉名平野、菊鹿盆地、人吉盆地、出水平野、島原半島、阿蘇周辺等に位置する７市 11 町３村の計 48 地点で実施した。３年間全体で、熊本県内の 12 市 19 町４村、鹿児島県出水市及び長崎県南島原市の計 93 地点で調査を実施した。調査対象地点の選定に当たっては、調査の重複を避けるため、他機関等により調査結果が既に公表されている地点は除外するようにした。アレイ半径は４ m、15 m、30 m 及び 60 m の４式を原則とし、できるだけ既設の震度観測点・強震観測点の近傍で調査することとし、現場状況や施設管理者との協議結果に応じて、半径や観測場所を調節した。

大半径の微動アレイ調査は、宇土市南部１地点（熊本平野と八代平野の境界部）、人吉盆地６地点、玉名平野３地点、菊鹿盆地２地点、水俣平野１地点、出水平野３地点の計 16 地点において実施した。これらの観測は、平成 29～30 年度の震度・強震観測点での小半径微動アレイ観測と併行して、平成 30 年２月 20～24 日及び５月 31 日～７月 27 日に実施した。

現地での微動観測は日中または夜間に実施し、正三角形の頂点と中心からなる４点アレイで観測を行った。地震計は東京測振製速度計 SE-321（固有周期 10 秒、5V/(cm/s)）、収録装置は白山工業製 DATAMARK LS-8800（形式分解能 24 bit）を使用した。LS-8800 の内蔵アンプの倍率を８倍とし、サンプリング周波数 200 Hz で収録した。観測時間は１アレイあたり 30 分間以上とし、アレイ半径や現場状況に応じて、観測終了時刻を設定した。写真２は現地での観測実施状況の一例である。現地調査にあたり、熊本県知事公室危機管理防災課、熊本県球磨地域振興局、八代市役所、人吉市役所、荒尾市役所、水俣市役所、玉名市役所、山鹿市役所、菊池市役所、上天草市役所、宇城市役所、阿蘇市役所、天草市役所、合志市役所、美里町役場、玉東町役場、南関町役場、長洲町役場、和水町役場、大津町役場、菊陽町役場、南小国町役場、小国町役場、産山村役場、高森町役場、南阿蘇村役場、山都町役場、氷川町役場、芦北町役場、津奈木町役場、錦町役場、多良木町役場、湯前町役場、相良村役場、山江村役場、あさぎり町役場、苓北町役場、天草広域連合、水俣市立水俣第一小学校、玉名市立玉名中学校、宇城市三角 B&G 海洋センター、天草市立天草中学校、天草市立御所浦小学校、山都町立清和中学校、天草市商工会、鹿児島県危機管理局危機管理防災課、出水市役所、長崎県危機管理課、南島原市役所及び多くの地域住民の皆様にお世話になった。

取得した連続微動記録のうち上下動成分を用い、空間自己相関（SPAC）法（Aki, 1957）

にて位相速度を解析した。解析対象とするアレイ半径を増やすため、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。各アレイに対して、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 50 区間以上抽出し、10 区間ずつ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。スペクトルは Parzen Window を用いて平滑化し、平滑化の幅はアレイ半径、対象周波数帯域に応じて調節した。

また、アレイ中心点の H/V スペクトル比も求めた。まず、微動の連続記録から、ノイズの含まれていない 40.96 秒の区間を可能な限り抽出した（最小でも５区間以上)。このため、各地点での解析区間数は観測地点でのノイズ状況や実際の観測継続時間により異なっている。抽出された各区間の各成分の微動波形記録について、フーリエ変換により振幅スペクトルを求め、Konno and Ohmachi (1998)の方法によりスペクトルの平滑化を行った(平滑化の幅を規定する係数 b の値は 40 に設定)。東西成分及び南北成分の振幅スペクトルの幾何平均を水平成分の振幅スペクトルと定義し、水平成分（H）と上下成分（V）のスペクトル比を求めた。各区間について得られた H/V スペクトル比をアンサンブル平均したものを最終的な観測 H/V スペクトル比とした。

図７に推定された位相速度及び H/V スペクトル比を示す。天草諸島などにみられる狭隘な平野の端部に位置している観測点では、異なるアレイ半径間の位相速度のばらつきが大きく、解析が難しい地点もあった。そのような地点では、アレイを含む領域での水平成層の仮定が困難であった可能性も高い。

阿蘇カルデラ北部に位置する阿蘇市内牧（93002）では、1 Hz でも位相速度が 0.2 km/s と極めて小さく、カルデラ内の堆積層が厚いことと対応している。水俣市（93098）では５Hz 付近まで位相速度が１km/s 以上であり、観測点近傍に古期肥薩火山岩（前期漸新世）が露頭していることと対応していると考えられる。また、天草諸島の中でも海岸からやや離れた位置に立地する KMM019、KMM020、93089 では全体的に大きな位相速度（５Hz で 1.0 km/s 以上）が得られている。天草上島や下島は主として古第三系で形成されており、それによる地震波速度構造を反映しているものと考えられる。玉名平野（93029、93030、TNY、93035)、芦北町（JMA9D0)、島原半島の口之津（NGS014）のように、海岸付近の沖積層または干拓地に位置する地点では、５Hz の位相速度が 0.15 km/s 未満と特に小さい。人吉盆地では高周波数側の位相速度が約 0.4～0.5 km/s と比較的大きいが、盆地東部のあさぎり町（HYBA03、93065)、湯前町（93068)、盆地北部の相良村（93072)、山江村（93074）では 10 Hz を超えるあたりから位相速度が低下する傾向が見られた。出水平野の位相速度は、八代平野に比べると大きい傾向にある。出水平野の大部分は扇状地性の堆積物で覆われているためと考えられる。

既存の地下構造モデルとの比較のため、J-SHIS 深部地盤モデル V2（藤原・他, 2012）及び全国１次地下構造モデル（JIVSM、Koketsu et al., 2012）から計算された Rayleigh 波基本モード位相速度の理論分散曲線及び Rayleigh 波基本モードの楕円率も示している。理論分散曲線及び楕円率を計算する際は、各サイトの直下の構造を一次元構造として抽出した。これらの情報を活用し、後述のように、深部地盤モデルや浅部地盤モデルの高度化を進めた。

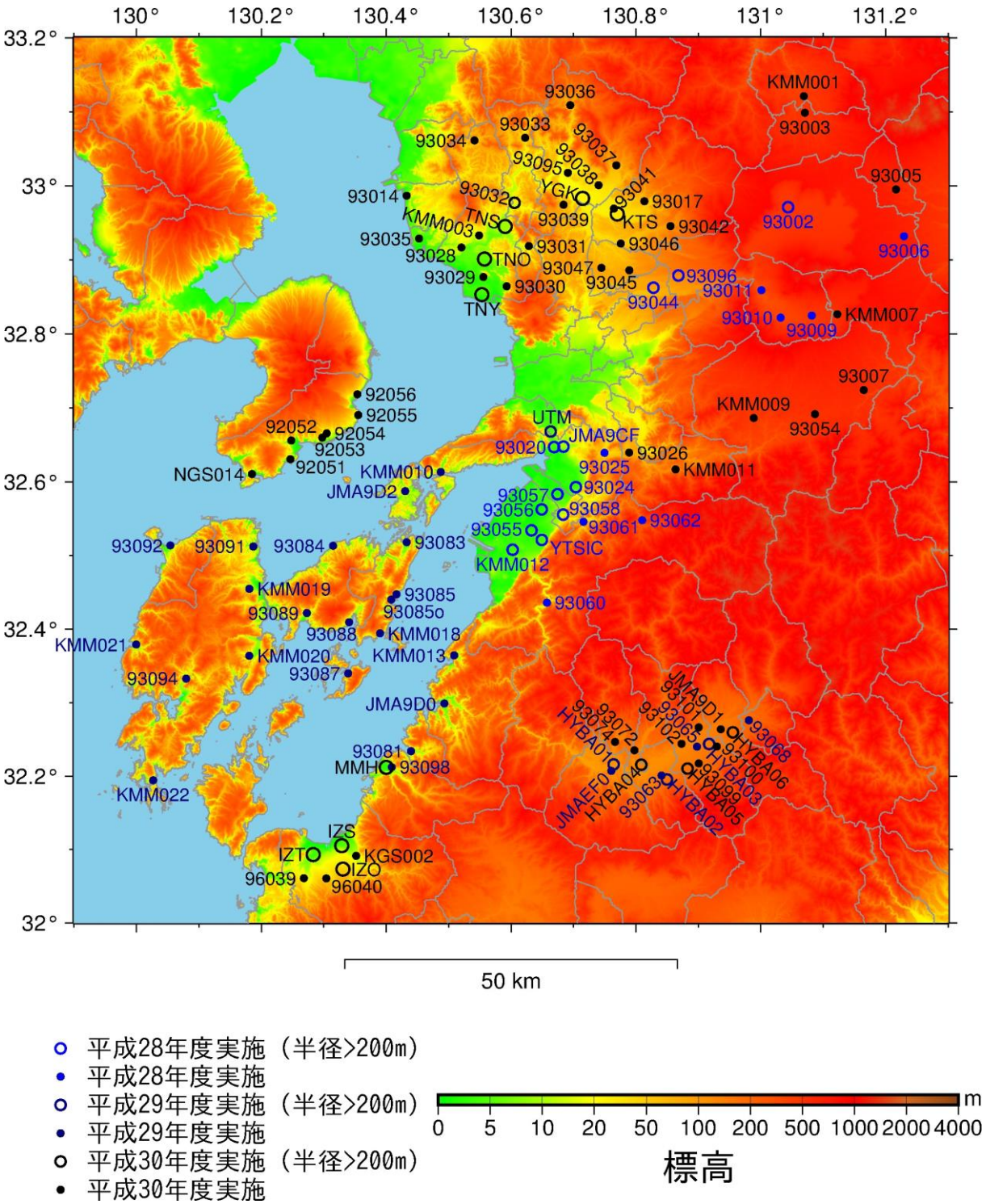


図６　既設震度・強震観測点周辺での微動アレイ調査及び大半径微動アレイ調査地点

表５　震度・強震観測点周辺における微動アレイ調査地点

観測点	所在地	緯度 (°N)	経度 (°E)	半径 (m)	観測日時
93002	阿蘇市内牧支所 (阿蘇市内牧)	32.97140	131.04369	4, 15	2017/2/25 20:50–21:35
				30, 60	2017/2/25 22:10–23:59
				120	2017/2/26 4:05–6:05
				250, 500	2017/2/26 1:05–3:05
93003	南小国町役場 (南小国町大字赤馬場)	33.09870	131.07063	4, 13	2019/2/7 21:05–21:40
				30, 60	2019/2/7 22:15–23:15
93005	産山村役場 (産山村大字山鹿)	32.99538	131.21653	4, 15	2019/2/6 18:55–19:45
				30, 60	2019/2/6 20:20–21:20
93006	阿蘇市波野支所 (阿蘇市波野大字波野)	32.93224	131.22925	4, 15	2017/2/24 15:15–16:15
93007	山都町蘇陽支所 (山都町今)	32.72435	131.16483	4, 15	2019/2/2 21:10–21:40
				30, 60	2019/2/2 22:16–23:16
93009	南阿蘇村旧白水庁舎 (南阿蘇村大字吉田)	32.82495	131.08171	4, 15	2017/2/24 21:25–22:25
				30, 60	2017/2/24 23:03–2/25 1:20
				120	2017/2/25 2:30–4:30
93010	南阿蘇村旧久木野庁舎 (南阿蘇村大字河陰)	32.82217	131.03165	4, 15	2017/2/24 0:40–1:40
				30, 60	2017/2/24 2:20–4:20
				120	2017/2/23 15:30–17:35
93011	南阿蘇村旧長陽庁舎 (南阿蘇村大字河陽)	32.85920	131.00104	4, 15	2017/2/23 22:50–23:50
				30, 60	2017/2/23 20:30–22:18
				120	2017/2/23 14:30–18:00
93014	荒尾市役所 (荒尾市宮内出目)	32.98693	130.43275	4, 15	2019/2/1 0:15–0:45
				30, 60	2019/2/1 1:21–2:21
93017	菊池市役所 (菊池市隈府)	32.97945	130.81351	4, 15	2018/6/13 2:15–2:45
				30, 60	2018/6/13 3:25–4:35
93020	宇城市不知火支所 (宇城市不知火町高良)	32.64671	130.66827	4, 15	2017/2/18 16:35–18:35
				30, 60	2017/2/18 21:35–2/19 0:30
				113, 228	2017/2/19 1:35–3:35
93024	宇城市小川支所 (宇城市小川町江頭)	32.59285	130.70392	4, 15	2017/2/13 21:26–22:36
				30, 60	2017/2/13 23:10–2/14 1:10
				112, 240	2017/2/14 2:05–4:05
93025	宇城市豊野支所 (宇城市豊野町糸石)	32.63931	130.74969	4, 15	2017/2/14 19:06–21:15
				29, 60	2017/2/14 21:50–23:59
93026	美里町役場 (美里町馬場)	32.63953	130.78915	4, 15	2019/2/1 23:05–23:35
				30, 60	2019/2/2 0:08–1:08
93028	玉名市岱明支所 (玉名市岱明町野口)	32.91700	130.52052	4, 15	2018/6/2 20:50–21:20
				30, 60	2018/6/2 21:57–23:00
93029	玉名市横島支所 (玉名市横島町横島)	32.87710	130.55560	4, 15	2018/6/3 0:32–1:10
				30, 60	2018/6/3 1:50–3:00
93030	玉名市天水支所 (玉名市天水町小天)	32.86464	130.59297	4, 15	2018/6/3 21:05–21:35
				30, 60	2018/6/3 22:15–23:15
93031	玉東町役場 (玉東町大字木葉)	32.91898	130.62852	4, 15	2018/6/4 0:42–1:30
				30, 60	2018/6/4 2:15–4:00
93032	和水町役場 (和水町江田)	32.97826	130.60609	4, 15	2018/6/8 0:15–1:00
				30, 60	2018/6/8 1:55–3:30
				125, 250	2019/1/30 23:10–1/31 0:10
93033	和水町三加和総合支所 (和水町板楠)	33.06505	130.62257	4	2019/1/30 19:40–20:10
				15	2019/2/1 3:40–4:10
				30, 60	2019/1/30 20:43–21:43
93034	南関町役場 (南関町大字関町)	33.06152	130.54133	4, 15	2019/1/31 20:25–20:55
				30, 62	2019/1/31 21:36–22:36
93035	長洲町役場 (長洲町大字長洲)	32.92993	130.45268	4, 15	2018/6/1 21:20–21:50
				30, 60	2018/6/1 22:40–23:40
93036	山鹿市鹿北市民ｾﾝﾀｰ (山鹿市鹿北町四丁)	33.10908	130.69481	4, 15	2019/1/29 22:12–22:45
				30, 60	2019/1/29 23:30–1/30 1:00
93037	山鹿市菊鹿市民ｾﾝﾀｰ (山鹿市菊鹿町下内田)	33.02795	130.76860	4, 15	2018/6/8 22:05–22:35
				30, 54	2018/6/8 23:13–24:23

93038	山鹿市鹿本市民ｾﾝﾀｰ (山鹿市鹿本町来民)	33.00112	130.74017	4, 15	2018/6/9 1:28–2:15
				30, 60	2018/6/9 2:54–4:30
93039	山鹿市鹿央市民ｾﾝﾀｰ (山鹿市鹿央町合里)	32.97464	130.68405	4, 15	2018/6/9 20:29–21:00
				30, 60	2018/6/9 21:38–22:40
93041	菊池市七城支所 (菊池市七城町甲佐町)	32.96956	130.76472	4, 15	2018/6/9 23:56–6/10 0:30
				30, 54	2018/6/10 1:05–2:35
93042	菊池市旭志支所 (菊池市旭志小原)	32.94593	130.85533	4, 15	2018/6/13 20:41–21:15
				30, 60	2018/6/13 21:55–23:00
93044	菊陽町役場 (菊陽町大字久保田)	32.86263	130.82797	4, 15	2017/2/20 20:25–21:25
				30, 60	2017/2/20 22:05–23:59
				112, 228	2017/2/21 1:20–3:30
93045	合志市役所 (合志市竹迫)	32.88616	130.78937	4, 15	2018/6/14 0:31–1:31
				30, 60	2018/6/14 2:10–3:15
93046	菊池市泗水支所 (菊池市泗水町福本)	32.92233	130.77570	4, 15	2018/6/12 18:12–19:00
				30, 60	2018/6/12 19:34–21:30
93047	合志市西合志庁舎 (合志市御代志)	32.88952	130.74474	4, 15	2018/6/12 22:22–23:02
				30, 60	2018/6/12 23:36–6/13 1:00
93054	山都町清和支所 (山都町大平)	32.69161	131.08668	4, 15	2019/2/4 18:30—19:00
				30, 60	2019/2/4 19:40–20:40
93055	八代市千丁支所 (八代市千丁町新牟田)	32.53411	130.63324	4, 15	2017/2/7 20:30–21:30
				30, 60	2017/2/7 22:07–2/8 0:22
				125, 249	2017/2/8 1:25–4:25
93056	八代市鏡支所 (八代市鏡町内田)	32.56258	130.64919	4, 15	2017/2/3 21:55–22:55
				30, 60	2017/2/3 23:35–2/4 1:00
				120	2017/2/4 1:55–5:00
				240	2017/2/9 21:30–23:59
				500	2017/2/9 21:30–2/10 2:23
93057	氷川町役場 (氷川町島地)	32.58204	130.67403	4, 14	2017/2/10 21:40–22:45
				30, 60	2017/2/10 23:23–2/11 1:30
				123, 241	2017/2/11 2:22–4:30
93058	氷川町宮原振興局 (氷川町宮原栄久)	32.55597	130.68253	4, 15	2017/2/11 15:25–16:25
				30, 60	2017/2/11 22:00–23:59
				120, 240	2017/2/12 0:55–4:00
93060	八代市坂本支所 (八代市坂本町坂本)	32.43583	130.65746	4, 15	2017/2/9 18:15–19:15
93061	八代市東陽支所 (八代市東陽町南)	32.54581	130.71603	4, 15	2017/2/6 20:30–21:30
				30, 60	2017/2/6 22:10–23:59
93062	八代市泉支所 (八代市泉町柿迫)	32.54780	130.81001	4, 15	2017/2/8 18:15–19:00
93063	錦町役場 (錦町大字一武)	32.20091	130.84096	4, 15	2018/2/21 21:32–22:05
				30, 60	2018/2/21 22:45–23:35
93065	あさぎり町役場 (あさぎり町免田東)	32.24013	130.89778	4, 15	2018/2/22 1:23–2:10
				30, 60	2018/2/22 2:50–4:00
93068	湯前町役場 (湯前町字買元)	32.27604	130.98090	4, 15	2018/2/24 21:50–22:30
				30, 60	2018/2/24 23:12–2/25 0:20
93072	相良村役場 (相良村大字深水)	32.23528	130.79758	4, 15	2018/6/24 6:42–7:15
				30, 60	2018/6/24 5:10–6:10
93074	山江村役場 (山江村大字山田甲)	32.24662	130.76660	4, 15	2018/6/24 1:28–2:00
				30, 60	2018/6/24 2:32–3:35
93081	津奈木町役場 (津奈木町大字小津奈木)	32.23400	130.43971	4, 15	2018/2/17 12:44–13:30
				30, 60	2018/2/17 14:05–15:30
93083	上天草市松島庁舎 (上天草市松島町合津)	32.51804	130.43292	4, 15	2018/2/14 22:55–23:40
				30, 60	2018/2/15 0:17–1:20
93084	天草市有明支所 (天草市有明町赤崎)	32.51321	130.31482	4, 15	2018/2/14 19:15–20:00
				30, 60	2018/2/14 20:33–21:35
93085	上天草市姫戸統括支所 (上天草市姫戸町姫浦)	32.44722	130.41650	4, 15	2018/2/13 12:20–13:00
				30, 60	2018/2/13 13:31–14:50
93085o	※旧庁舎所在地	32.44012	130.40805	4, 15	2018/2/13 15:57–16:30
93087	天草市御所浦支所 (天草市御所浦町御所浦)	32.33980	130.33910	4, 15	2018/2/6 21:50–22:20
				30, 60	2018/2/6 20:16–21:15

93088	天草市倉岳支所 (天草市倉岳町棚底)	32.40942	130.34070	4, 15	2018/2/8 12:13–12:45
				30, 60	2018/2/8 13:30–14:20
93089	天草市栖本支所 (天草市栖本町馬場)	32.42182	130.27284	4, 15	2018/2/8 21:10–21:45
				30, 60	2018/2/8 19:52–20:40
93091	天草市五和支所 (天草市五和町御領)	32.51223	130.18709	4, 15	2018/2/8 23:30–23:59
				30, 60	2018/2/9 0:45–1:45
93092	苓北町役場 (苓北町志岐)	32.51357	130.05441	4, 15	2018/2/11 9:25–10:00
				30, 60	2018/2/11 7:45–8:45
93094	天草市河浦支所 (天草市河浦町河浦)	32.33276	130.07961	4, 15	2018/2/11 14:22–15:00
				30, 60	2018/2/11 12:45–13:45
93095	山鹿市役所 (山鹿市山鹿)	33.01780	130.69089	4, 15	2018/6/7 19:17–19:47
				28, 54	2018/6/7 20:25–21:25
93096	大津町役場 (大津町大字大津)	32.87921	130.86807	4, 15	2017/2/21 20:50–22:53
				30, 60	2017/2/21 23:40–2/22 1:30
				112, 228	2017/2/22 2:25–4:30
93098	水俣市役所 (水俣市陣内一丁目)	32.21226	130.40883	4, 15	2018/2/17 18:25–20:55
				30, 60	2018/2/17 21:37–23:00
93099	あさぎり町上支所 (あさぎり町上北)	32.21732	130.90063	4, 15	2018/6/24 21:20–22:00
				30, 60	2018/6/24 22:40–23:40
93100	あさぎり町岡原支所 (あさぎり町岡原北)	32.24034	130.92950	4, 15	2018/6/25 0:53–1:30
				30, 60	2018/6/25 2:15–3:30
93101	あさぎり町須恵支所 (あさぎり町須恵)	32.26641	130.90042	4, 15	2018/6/25 20:25–21:00
				30, 60	2018/6/25 21:46–23:00
93102	あさぎり町深田支所 (あさぎり町深田西)	32.24408	130.87296	4, 15	2018/6/26 0:13–1:00
				30, 60	2018/6/26 1:40–3:00
JMA9CF	宇城市役所 (宇城市松橋町大野)	32.64820	130.68410	4, 15	2017/2/17 20:10–22:10
				30, 60	2017/2/17 22:50–2/18 0:50
				120, 242	2017/2/18 1:45–3:45
JMA9D0	芦北町役場 (芦北町大字芦北)	32.29891	130.49323	4, 15	2018/2/18 15:31–16:35
				30, 60	2018/2/18 20:05–21:05
JMA9D1	多良木町役場 (多良木町大字多良木)	32.26382	130.93593	4, 15	2018/6/21 21:23–22:10
				30, 60	2018/6/21 22:42–23:59
JMA9D2	上天草市役所 (上天草市大矢野町上)	32.57830	130.43036	4, 15	2018/2/15 20:27–22:00
				30, 60	2018/2/15 22:42–2/16 0:50
JMAEF0	球磨地域振興局 (人吉市西間下町)	32.20719	130.76059	4, 15	2018/2/24 1:16–2:20
				30, 60	2018/2/24 2:58–4:00
KMM001	小国 (小国町大字宮原)	33.12114	131.06896	4, 15	2019/2/8 0:45–1:25
				30, 60	2019/2/8 1:58–3:00
KMM003	玉名 (玉名市中尾)	32.93332	130.54781	4, 15	2018/6/2 1:35–2:05
				30, 51	2018/6/ 2:40–3:40
KMM007	高森 (高森町大字高森)	32.82684	131.12248	4, 15	2019/2/3 1:00–1:50
				30, 60	2019/2/3 2:30–3:30
KMM009	矢部 (山都町浜町)	32.68644	130.98860	4, 15	2019/2/2 3:22–3:52
				30, 60	2019/2/2 4:25–5:25
KMM010	三角 (宇城市三角町波多)	32.61334	130.48734	4, 15	2018/2/15 15:33–16:35
				30, 60	2018/2/15 17:20–18:20
KMM011	砥用 (美里町永富)	32.61668	130.86349	4, 15	2019/2/1 19:03–19:35
				30, 60	2019/2/1 20:13–21:13
KMM012	八代 (八代市松江城町)	32.50805	130.60237	4, 15	2017/2/5 21:23–22:30
				30, 60	2017/2/5 23:15–2/6 1:50
				134, 270	2017/2/6 2:40–5:30
KMM013	田浦 (芦北町大字田浦町)	32.36444	130.50897	4, 15	2018/2/18 12:56–13:50
				30, 60	2018/2/18 17:36–18:40
KMM018	龍ヶ岳 (上天草市龍ヶ岳町高戸)	32.39437	130.39011	4, 12	2018/2/13 21:20–22:00
				30, 60	2018/2/13 22:42–23:45
KMM019	本渡 (天草市本渡町本渡)	32.45477	130.18073	4, 15	2018/2/9 16:07–16:40
				30, 60	2018/2/9 14:23–15:23
KMM020	新和 (天草市新和町小宮地)	32.36372	130.18069	4, 15	2018/2/9 21:05–21:45
				30, 60	2018/2/9 19:30–20:30

KMM021	天草 （天草市天草町高浜南）	32.37926	129.99959	4, 15	2018/2/11 17:15–18:00
				30, 60	2018/2/11 18:45–19:45
KMM022	牛深 （天草市牛深町）	32.19439	130.02690	4	2018/2/12 19:27–20:40
				15	2018/2/12 19:55–20:40
				30, 60	2018/2/12 21:13–22:15
KGS002	出水 （出水市緑町）	32.09147	130.35191	4, 15	2018/7/9 2:07–2:45
				30, 60	2018/7/9 3:22–4:25
96039	出水市野田支所 （出水市野田町下名）	32.06095	130.26810	4, 15	2018/7/8 18:28–19:00
				30, 60	2018/7/8 19:45–20:45
96040	出水市高尾野支所 （出水市高尾野町大久保）	32.06078	130.30408	4, 15	2018/7/8 22:20–23:00
				30, 60	2018/7/8 23:30–7/9 0:30
92051	南島原市南有馬支所 （南島原市南有馬町乙）	32.63054	130.24666	4, 15	2018/7/20 21:03–21:35
				30, 60	2018/7/20 22:25–23:25
92052	南島原市北有馬支所 （南島原市北有馬町戊）	32.65595	130.24808	4, 15	2018/7/21 0:32–1:05
				30, 60	2018/7/21 1:45–2:45
92053	南島原市役所 （南島原市西有家町里坊）	32.65989	130.29764	4, 15	2018/7/20 2:25–2:55
				30, 54	2018/7/20 3:30–4:30
92054	南島原市有家支所 （南島原市有家町山川）	32.66564	130.30482	4, 15	2018/7/19 22:22–22:55
				30, 60	2018/7/19 23:30–7/20 0:30
92055	南島原市布津支所 （南島原市布津町乙）	32.69038	130.35530	4, 15	2018/7/21 20:27–21:00
				30, 60	2018/7/21 21:50–22:50
92056	南島原市深江支所 （南島原市深江町丁）	32.71848	130.35384	4, 15	2018/7/22 0:10–0:40
				30, 60	2018/7/22 1:35–3:00
NGS014	口之津 （南島原市口之津町丙）	32.61050	130.18504	4, 15	2018/7/18 22:42–23:15
				30, 60	2018/7/19 0:00–1:00
YTSIC	八代市川田町西付近	32.52030	130.64824	4	2017/2/19 16:50–17:21
				30, 60	2017/2/19 15:15–16:20
				200	2017/2/19 16:50–17:51
UTM	宇土市松山町付近	32.66800	130.66345	4	2018/2/20 21:00–21:30
				15, 30	2018/2/20 10:45–12:15
				60, 120	2018/2/20 13:20–15:40
				250, 500	2018/2/20 16:53–20:00
HYBA01	人吉市二日町付近	32.21604	130.76422	4	2018/2/22 19:45–20:15
				15, 30	2018/2/22 20:53–22:00
				60, 120	2018/2/22 22:53–2/23 0:40
				250, 500	2018/2/23 2:05–5:00
HYBA02	錦町大字一武付近	32.19543	130.84975	4	2018/2/23 15:58–16:35
				15, 30	2018/2/23 16:50–17:55
				60, 120	2018/2/23 18:57–20:30
				250, 500	2018/2/23 21:25–23:25
HYBA03	あさぎり町岡原北付近	32.24379	130.91718	4	2018/2/24 19:35–20:05
				15, 30	2018/2/24 12:50–13:50
				60, 120	2018/2/24 14:36–16:00
				250, 500	2018/2/24 16:55–18:55
HYBA04	相良村大字柳瀬付近	32.21563	130.80858	4	2018/6/27 3:28–4:00
				15, 30	2018/6/27 2:12–3:00
				60, 120	2018/6/27 0:03–1:35
				250, 500	2018/6/26 21:15–23:15
HYBA05	あさぎり町上西付近	32.21040	130.88269	4	2018/6/28 2:10–2:40
				15, 30	2018/6/28 0:40–1:40
				60, 120	2018/6/27 22:25–23:59
				250, 500	2018/6/27 19:35–21:35
HYBA06	多良木町大字久米付近	32.25960	130.95531	4	2018/6/29 2:10–2:40
				15, 30	2018/6/29 0:37–1:40
				60, 120	2018/6/28 22:27–23:59
				250, 500	2018/6/28 19:40–21:40
TNY	玉名市横島町付近	32.85327	130.55325	4, 15	2018/6/1 3:45–4:15
				30, 60	2018/6/1 2:05–3:05
				125, 250	2018/5/31 23:50–6/1 1:20
				500, 1000	2018/5/31 20:40–22:40
TNO	玉名市大浜町付近	32.90140	130.55734	4, 15	2018/6/5 3:55–4:30
				30, 60	2018/6/5 1:57–3:00

				125, 250	2018/6/4 23:10–6/5 1:10
				500, 1000	2018/6/4 18:50–21:50
TNS	玉名市下小田付近	32.94545	130.59065	4, 15	2018/6/7 3:25–4:00
				30, 60	2018/6/7 1:45–2:45
				125, 250	2018/6/6 23:20–6/7 1:00
				500, 1000	2018/6/6 20:00–22:00
YGK	山鹿市鹿本町下分田付近	32.98331	130.71458	4, 15	2018/6/15 3:57–4:30
				30, 60	2018/6/14 21:50–22:50
				125, 250	2018/6/14 19:10–20:40
				500, 1000	2018/6/15 0:30–2:30
KTS	菊池市七城町新古閑付近	32.96229	130.77010	4, 15	2018/6/16 0:25–0:55
				30, 60	2018/6/15 22:46–23:46
				125, 250	2018/6/15 20:10–22:05
				500, 1000	2018/6/16 1:56–4:00
MMH	水俣市浜町付近	32.21195	130.40009	4, 15	2018/7/1 19:50–20:48
				30, 60	2018/7/1 21:48–22:50
				125, 250	2018/7/1 23:52–7/2 1:30
				500, 1000	2018/7/2 3:25–5:25
IZS	出水市下知識町付近	32.10526	130.32886	4, 15	2018/7/10 3:58–4:30
				30, 60	2018/7/10 2:20–3:20
				125, 250	2018/7/10 0:02–1:35
				500, 1000	2018/7/9 20:50–22:50
IZO	出水市大野原町付近	32.07328	130.33069	4, 15	2018/7/10 19:55–20:30
				30, 60	2018/7/10 21:10–22:10
				125, 250	2018/7/25 22:20–23:59
				500, 1000	2018/7/26 1:05–3:15
IZT	出水市高尾野町下水流付近	32.09311	130.28313	4, 15	2018/7/26 20:22–20:55
				30, 60	2018/7/26 21:47–22:50
				125, 250	2018/7/26 23:41–7/27 1:40
				500, 1000	2018/7/27 3:00–5:00

※緯度及び経度は４ｍアレイ中心点の緯度及び経度（世界測地系）

写真２　半径４ ｍ及び 15 ｍの微動アレイ観測実施状況（相良村役場）

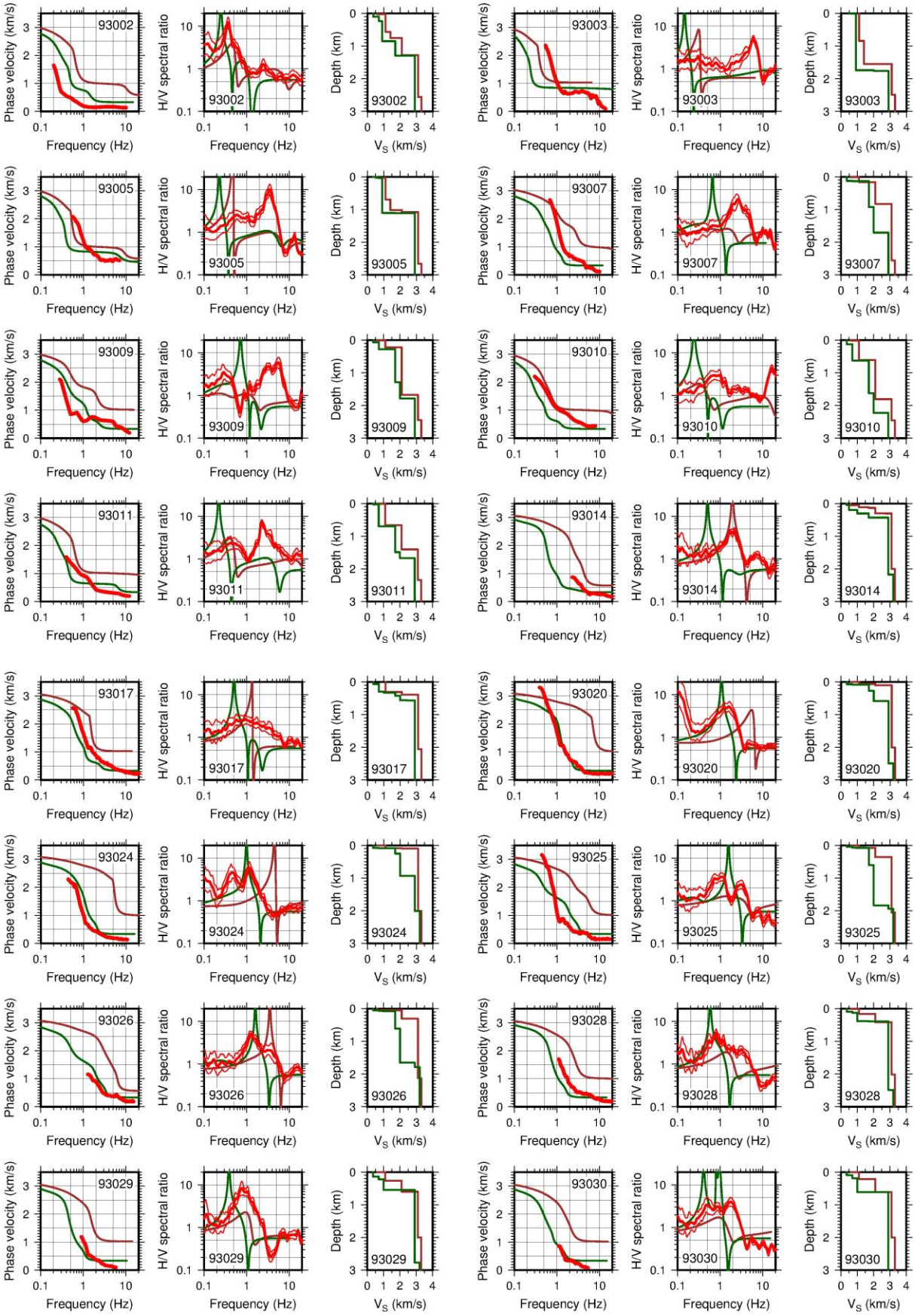


図 7　SPAC 法による位相速度及び H/V スペクトル比（赤）、既往モデルによる Rayleigh 波基本モードの理論分散曲線、楕円率及び S 波速度構造（茶：J-SHIS V2、緑：JIVSM）。

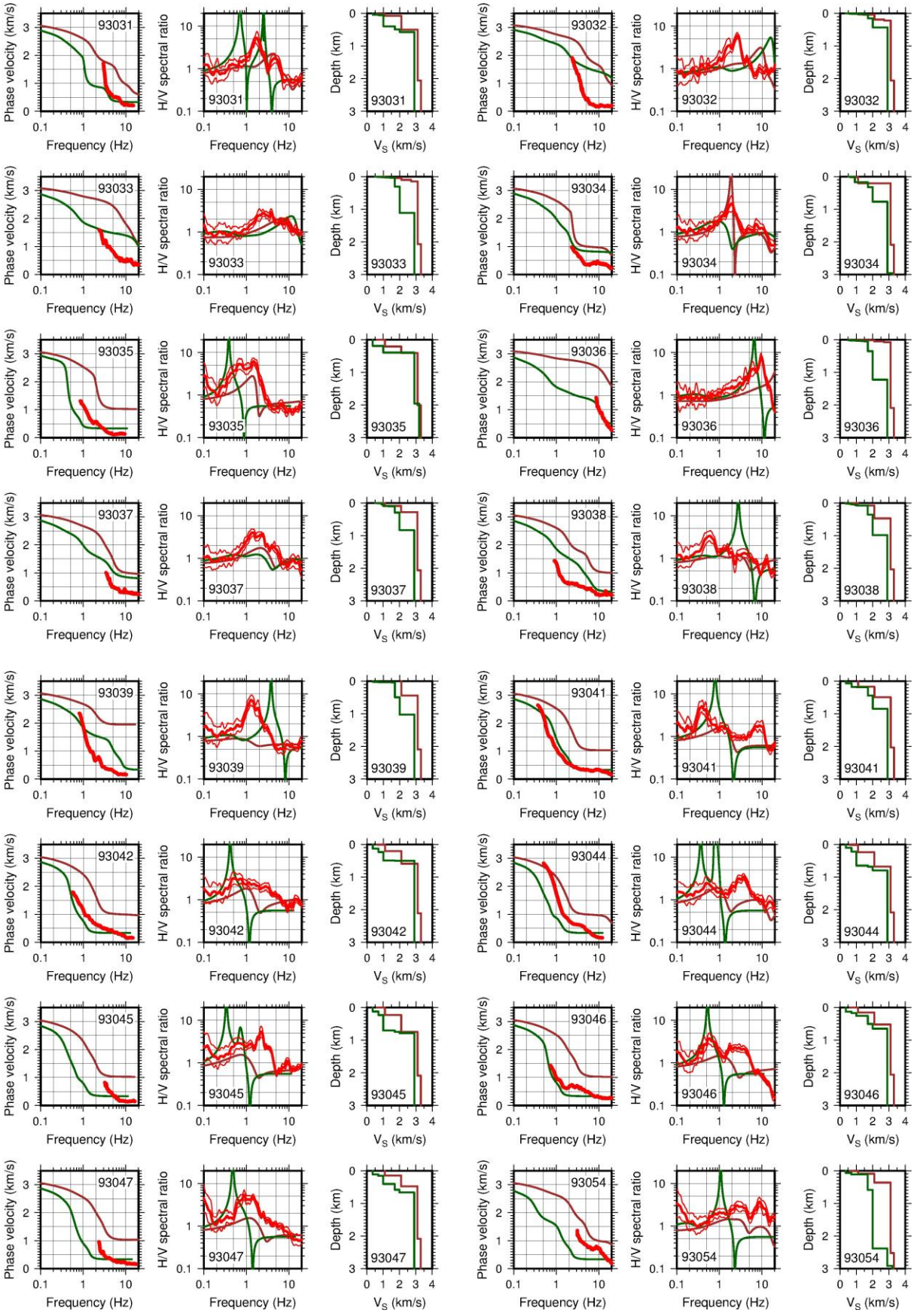

93031
93032
93033
93034
93035
93036
93037
93038
93039
93041
93042
93044
93045
93046
93047
93054
Phase velocity (km/s)
H/V spectral ratio
Depth (km)
Frequency (Hz)
V_S (km/s)

図 7　続き

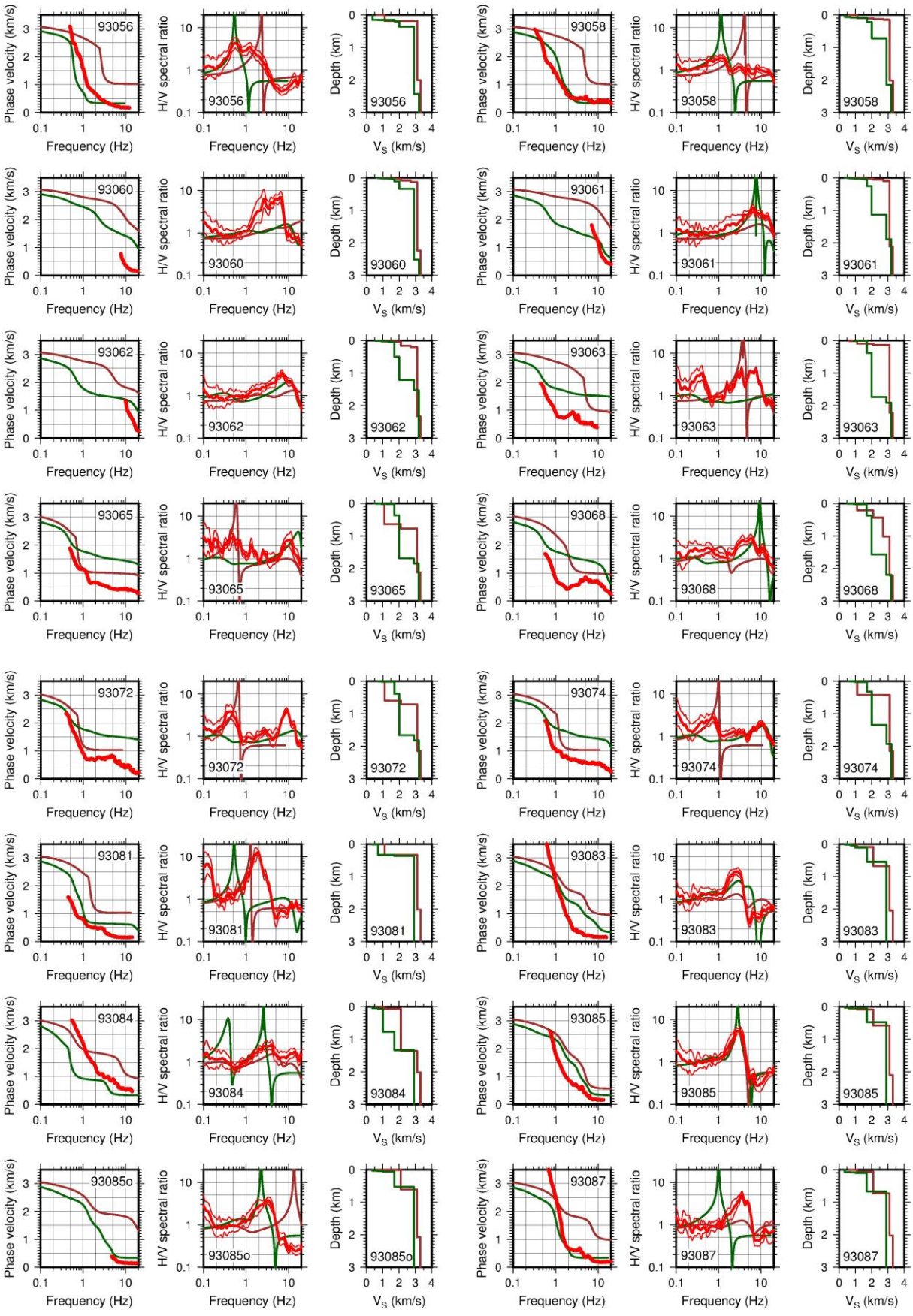

Phase velocity (km/s)
Frequency (Hz)
H/V spectral ratio
Depth (km)
V_S (km/s)
93056
93058
93060
93061
93062
93063
93065
93068
93072
93074
93081
93083
93084
93085
93085o
93087

図 7　続き

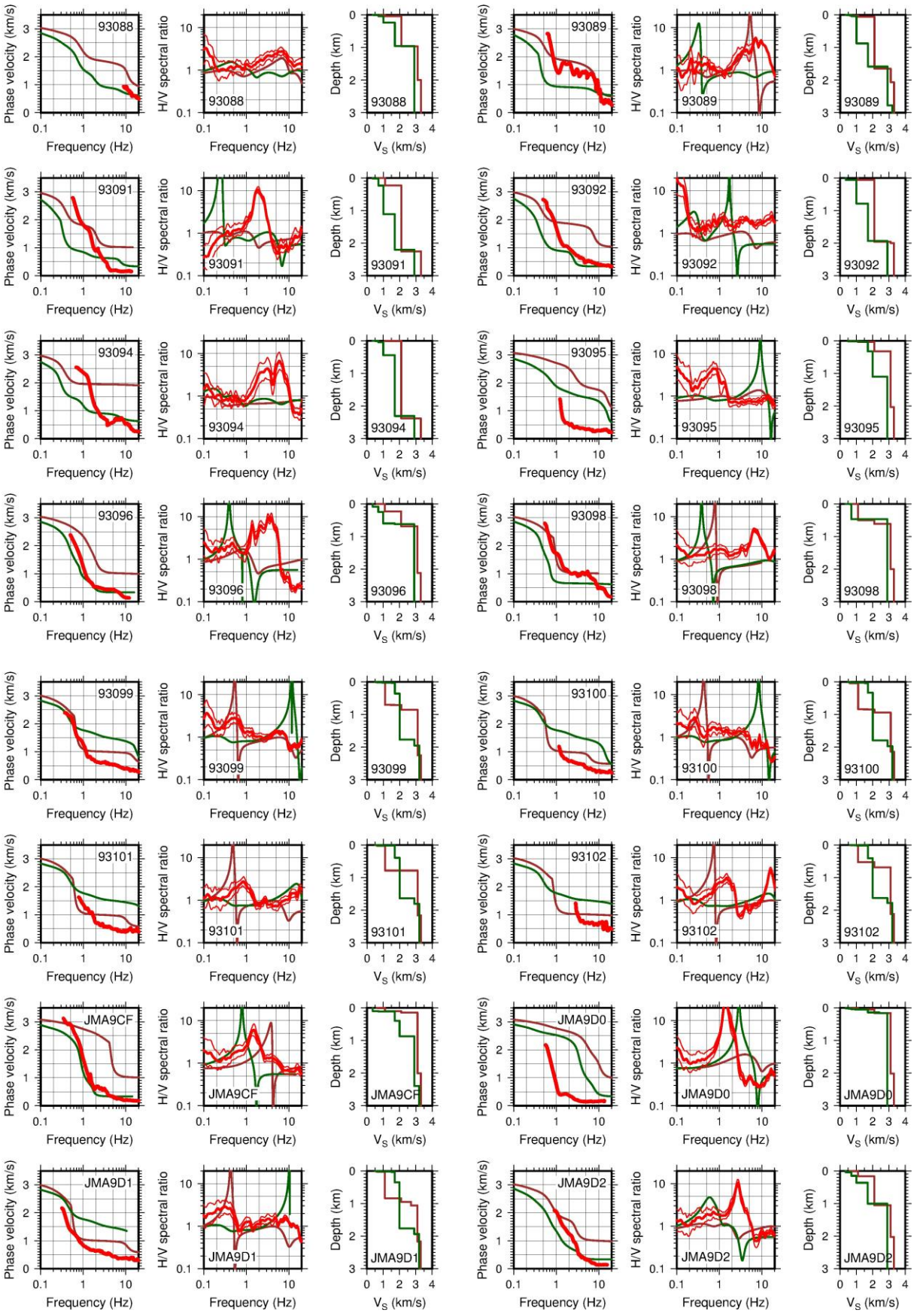

93088
93089
93091
93092
93094
93095
93096
93098
93099
93100
93101
93102
JMA9CF
JMA9D0
JMA9D1
JMA9D2
Phase velocity (km/s)
H/V spectral ratio
Depth (km)
Frequency (Hz)
V_S (km/s)

図 7　続き

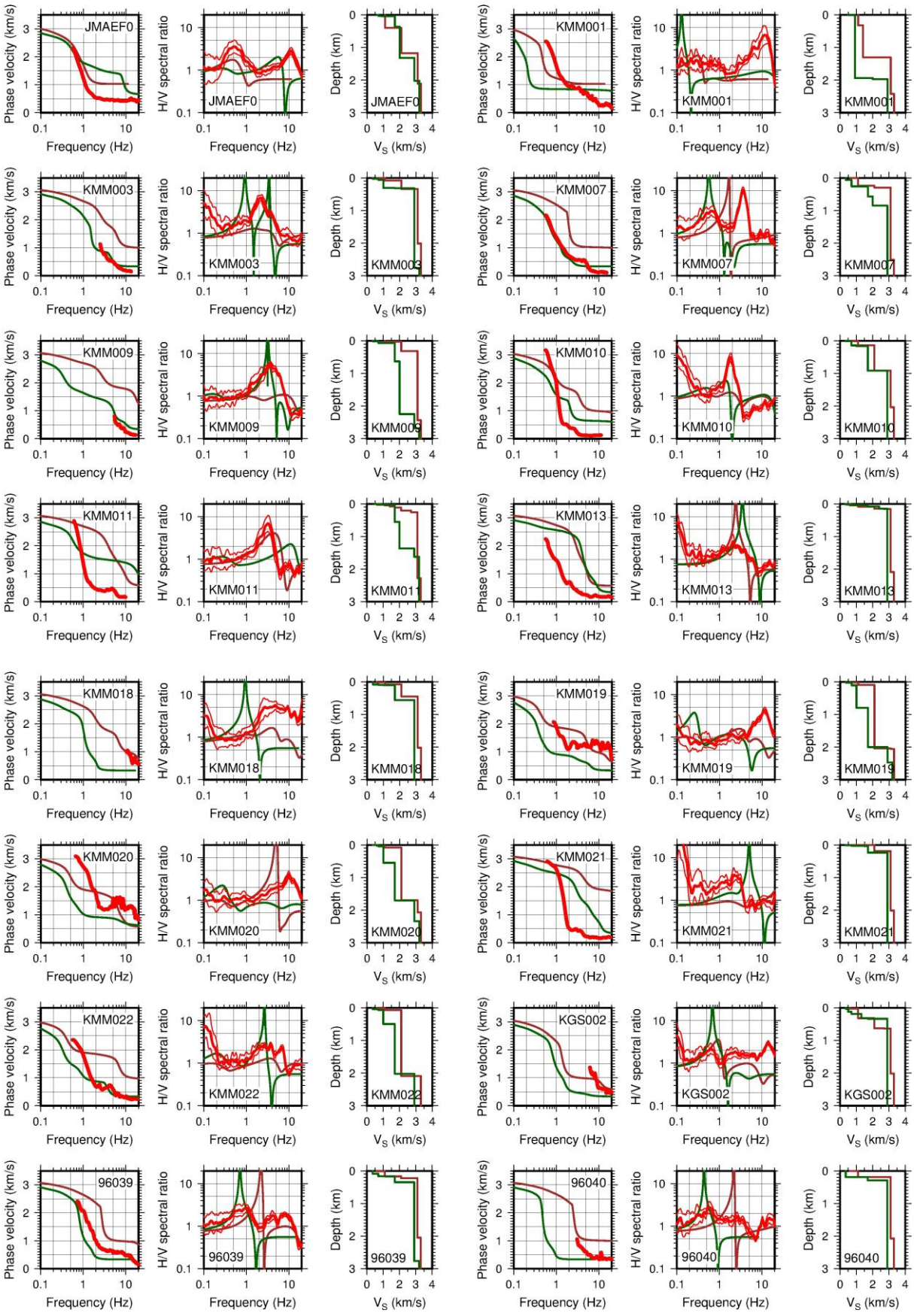

JMAEF0
KMM001
KMM003
KMM007
KMM009
KMM010
KMM011
KMM013
KMM018
KMM019
KMM020
KMM021
KMM022
KGS002
96039
96040
Phase velocity (km/s)
H/V spectral ratio
Depth (km)
Frequency (Hz)
V_S (km/s)

図 7　続き

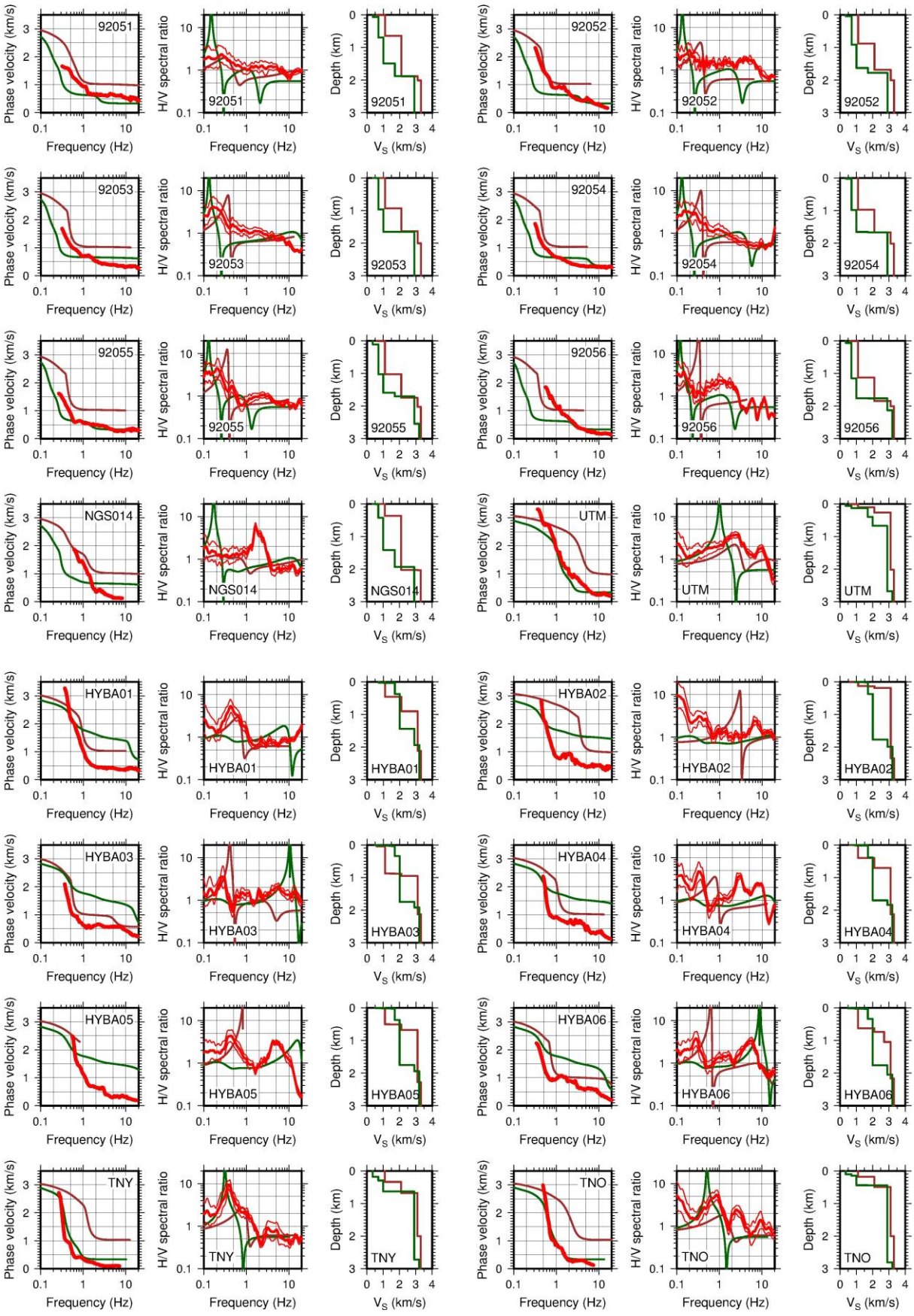

92051
92052
92053
92054
92055
92056
NGS014
UTM
HYBA01
HYBA02
HYBA03
HYBA04
HYBA05
HYBA06
TNY
TNO
Phase velocity (km/s)
H/V spectral ratio
Depth (km)
Frequency (Hz)
V_S (km/s)

図 7　続き

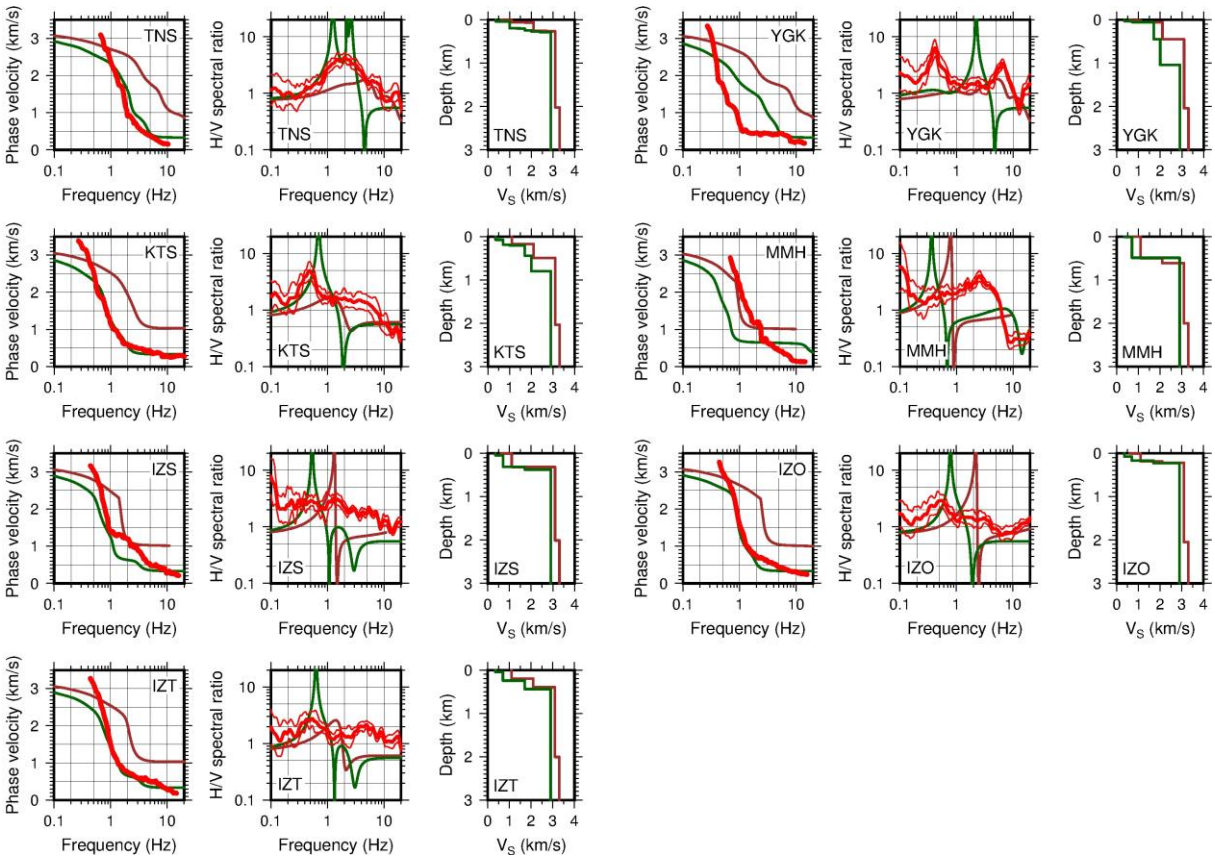

TNS
YGK
KTS
MMH
IZS
IZO
IZT
Phase velocity (km/s)
H/V spectral ratio
Depth (km)
Frequency (Hz)
V_S (km/s)

図 7　続き

b）八代平野における微動アレイ調査

八代平野は日奈久断層と八代海に挟まれた平野である。北側では宇土半島及び雁回山が熊本平野と八代平野の境界をなしている。八代平野の基盤は、肥後帯や黒瀬川帯（秩父帯）であり、その上を白亜系正常堆積物（姫浦層群、御船層群など）や段丘堆積物、火砕流堆積物、沖積層などが覆っていると考えられる（例えば、熊本県地質図編纂委員会，2008)。また、八代平野の約３分の２は、慶長～昭和期にかけての約 360 年間に八代海の干拓事業により造成された土地である。八代平野には八代市、宇城市、氷川町の市街地が発達しており、日奈久断層帯や布田川断層帯宇土区間などの活動で強い揺れに見舞われる可能性がある。また、平成 28 年熊本地震の際も震度５強～６強の強い揺れが観測され、八代市役所本庁舎や横江大橋などが被災している。しかし、八代平野の地盤構造については、川瀬・増田(2004)や久保田(2001)の単点微動観測の他は、ほとんど調査されていなかった。このため、八代平野において、表層から地震基盤までの構造を探査することを目的とした微動アレイ調査を重点的に実施した。

八代平野内の計 23 地点において、最小半径数～10 m から最大半径 500～600 m までの微動アレイ観測を行った。主たる観測は平成 29 年８月 25～29 日の日中に実施し、平成 29 年 11 月 20～22 日及び平成 30 年３月 18 日に補充観測を実施した。このほかに、下益城郡美里町（MST）において、平成 29 年 11 月 22 日に最大半径 100 m までの微動アレイ調査を実施した。表６に観測地点毎の座標、アレイ半径、観測日時、観測機材などの情報を整理した。図８の地質図上に微動アレイ観測地点を示した。

アレイ数が多いため、複数セットの観測機材を準備することで、同時進行で実施した。このため、３仕様の観測機材が使われているが、各チーム内（つまり同一のアレイ観測内）では、機材を統一している。表６の分類に従い、機材Ｙ、機材Ｋ、機材Ｔ、機材Ｓとする。機材Ｙは東京測振製速度計 SE-321(5V/(cm/s))及び白山工業製収録装置 DATAMARK LS-8800（形式分解能 24 bit）の組み合わせである。LS-8800 の内蔵アンプの倍率は８倍とした。機材Ｋ及び機材Ｔは東京測振製速度計 VSE-15D6（10V/(cm/s)）及び白山工業製収録装置 DATAMARK LS-7000XT（形式分解能 24bit）の組み合わせである。LS-7000XT の内蔵アンプの倍率は 10 倍とした。機材Ｓは、アカシ製ポータブル地震観測装置 SMAR-6A3P であり、アカシ製動コイル型加速度計 JEP-6A3P（1.1 V/G）の出力を 5000 倍に増幅し、白山工業製収録装置 DATAMARK LS-8800 で収録した。機材Ｙ及び機材Ｓはアレイ内の全点で３成分測定した。機材Ｋ及び機材Ｔでは、アレイ中心点のみ３成分を測定し、正三角形の各頂点では上下動のみを測定した。表６に記載されているとおり、C2、C4、C5、D7 地点を除く大アレイ及び一部の中アレイでは、中心点または底辺を共有する二重正三角形アレイによる７点同時観測を行った。その他のアレイでは、正三角形アレイによる４点同時観測とした。各アレイの観測継続時間は同表に記載の通りである。半径 250 m 以上の大アレイでは１～２時間の連続観測を行った。半径 20～120m の中アレイでは 30 分以上、小アレイでは 15 分以上の連続観測を行った。地震計設置場所の座標をハンディ GPS で測量し、すべての地震計設置場所で写真を撮影した。写真３は現地での観測実施状況の一例である。

取得した連続微動記録のうち上下動成分を用い、空間自己相関（SPAC）法（Aki，1957）にて位相速度を解析した。解析対象とするアレイ半径を増やすため、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。二重正三角形を用いた大アレイ観測では、外側の正三角形と内側の正三角形の長辺を結ぶ距離を使った解析（半径は内側のアレイ半径の３倍に相当）も行った。各アレイに対して、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 50 区間以上抽出し、10 区間ずつ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。スペクトルは Parzen Window を用いて平滑化し、平滑化の幅はアレイ半径、対象周波数帯域に応じて調節した。解析に際しては、平成 28 年度に実施した震度観測点周辺での微動アレイ調査にて取得した観測データも併せて使用した。特に、C2、C4、C5、D4 の４地点は、大アレイ観測のみ新たに実施し、中アレイ以下は同地点で実施した平成 28 年度の観測データを用い、統合して解析した。図９に D2 地点における解析例を示す。また、アレイ中心点の H/V スペクトル比も求めた。H/V スペクトル比の推定に際しては、a)の解析と同様、連続記録からノイズの含まれていない 40.96 秒の区間を可能な限り抽出し（最小でも５区間以上）、各成分のフーリエスペクトルを求め、Konno and Ohmachi（1998)の方法によりスペクトルの平滑化を行った（平滑化の幅を規定する b の値は 40 に設定)。各区間の H/V スペクトル比をアンサンブル平均したものを最終的な H/V スペクトル比とした。

図 10 に全地点の位相速度分散曲線をプロットした。多数の半径のアレイ観測を実施したことで、表層から深部地盤構造までに対応する広い周波数帯域で、位相速度を良好に推定することができた。八代平野内のほぼすべての地点で、表層のＳ波速度に対応する高周波数側の位相速度は 0.2 km/s 未満であり、沖積層や干拓地の埋め立て地盤の S 波速度に対応する値が得られたと推測できる。緑川沿いの低位段丘に位置する美里町（MST）の位相速度は、八代平野に比べるとかなり速いことが分かった。なお、八代市高田地区で実施した微動アレイ（D6 地点）については、大アレイのみを実施した。この地区は住家等が密集し、道路形状が不規則であることに加え、主要道路の交通量が非常に多く、中規模以下のアレイを実施できなかったためである。ただし、大アレイ内に位置する八代市立高田小学校において余震観測を実施しており（本章 1)の K41 地点)、その一環で同小学校敷地内において小半径の微動アレイを実施したため､高周波数側はその結果を参照することにした。

さらに、工学的基盤より上の浅部地盤構造を詳細に調査するため、平成 29 年８月 26～27 日に八代平野南部の市街地を中心とした領域（概ね旧八代市の領域）の計 32 点で極小・不規則アレイ観測（長・先名，2016）を実施した。地震計は白山工業製ポータブル微動観測装置 JU-410 を６式用い、極小アレイ４点＋不規則アレイ２点の同時観測をした。図 11 に観測点の地図、図 12 に全点の位相速度及び中心点の H/V スペクトル比、表７に調査地点の位置情報を示した。

図 13 に、地下構造の空間変化の特徴を把握するため、周波数別に各地点の位相速度を地図上に示した。この図から各周波数において位相速度の地域性を読み取ることができる。八代から鏡、松橋にかけての歴史ある市街地が形成されている自然地盤の地点（例えば、C2、93056、C4、C5 など）に比べ、干拓地の地点（A2～A5、B1～B7、C7、D7）の位相速度は相対的に遅い。干拓地では、約５Hz 以上の帯域で 0.15 km/s 以下の位相速度であった。特に、B1、B2、C1 は遅く 0.10～0.11 km/s である。ただし、郡築干拓地（A5）は低周波数側の位相速度が相対的に速く、他の干拓地上の地点とは顕著に異なる特徴を有している。郡築地区には、大島、高島、白島、産島といった肥後変成岩（石灰岩）からなる孤立丘が分

布しており（例えば、斎藤・他，2010）、基盤が浅いと考えられる。八代城下町周辺（C5、C6、D6 周辺）では２～５Hz の位相速度が平野内の他地点に比べて速い。

また、既存の地下構造モデルとの比較のため、J-SHIS 深部地盤モデル V2（藤原・他，2012）及び全国１次地下構造モデル（JIVSM、Koketsu et al.，2012）から計算された Rayleigh 波基本モード位相速度の理論分散曲線及び楕円率も図 10 に重ねて図示している。理論分散曲線を計算する際は、各サイトの直下の構造を一次元構造として抽出した。八代平野内のほとんどの地点で、JIVSM による理論分散曲線の特徴は微動アレイ調査から得られた位相速度に類似していた。なお、JIVSM の理論分散曲線と観測位相速度が数 Hz より高周波数側で乖離（観測位相速度が遅い）している観測点があるが、JIVSM は深部地盤構造モデルで表層の S 波速度が 0.35km/s と、工学的基盤相当までのモデルであるけれども、観測にはそれ以浅の浅部地盤の影響が含まれているためである。一方、J-SHIS V2 による理論分散曲線は、観測結果とはかなり異なる特徴を有していることが分かった。

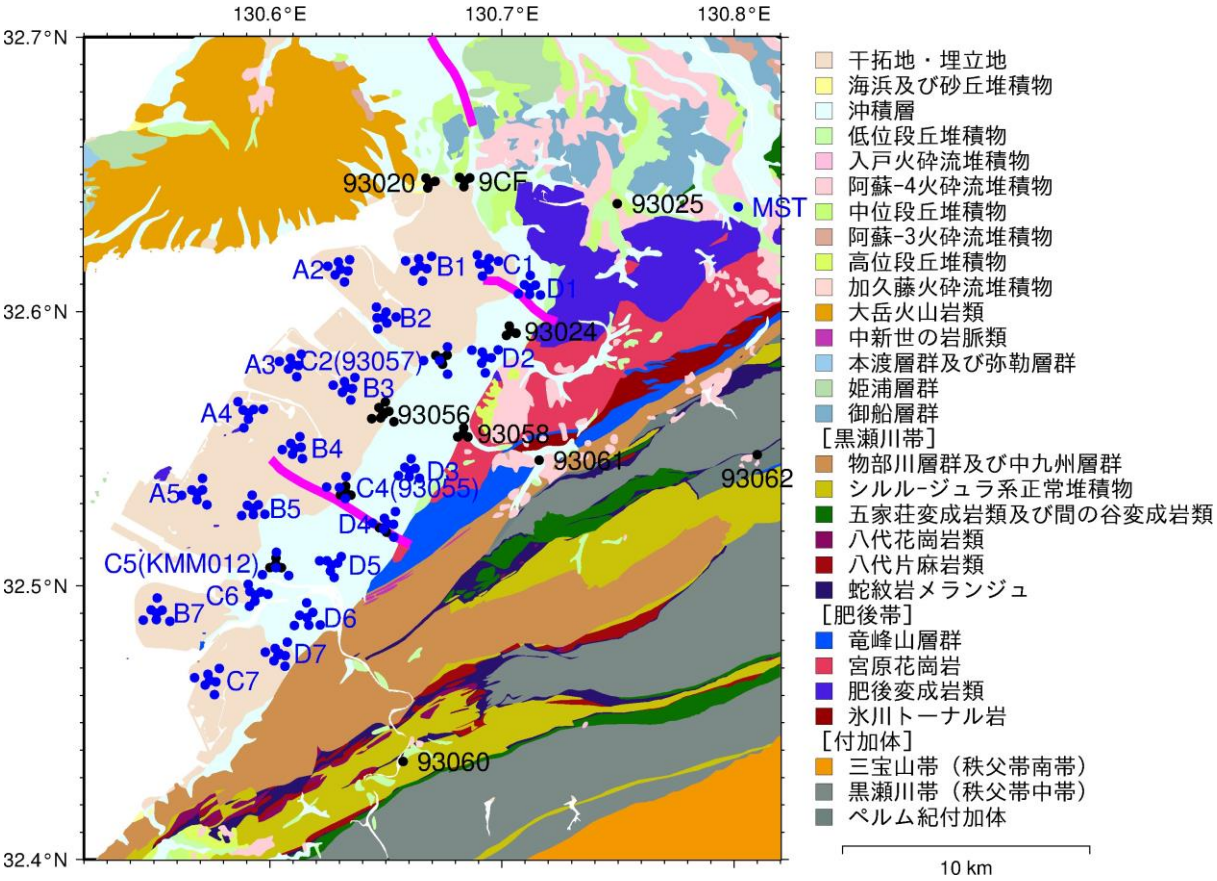


図８　八代平野における微動アレイ調査地点。青：平成 29 年度実施分、黒：平成 28 年度実施分、紫実線：平成 28 年度及び 29 年度実施の反射法地震探査測線。基図は、20 万分の１シームレス地質図 V2（産業技術総合研究所地質調査総合センター，2017）及び 20 万分の 1 地質図幅「熊本」（星住・他，2004）「八代及び野母崎の一部」（斎藤・他，2010）を元に簡略化して作成した対象地域の地質図。

表６　八代平野における微動アレイ調査地点

アレイ	半径	中心点		観測実施日		観測時刻		機材
		緯度	経度			開始	終了	
A2	533,310m	32.61541	130.63046	2017年	8月27日	9:10	10:30	T
	120,40m	32.61680	130.63110	2017年	8月28日	9:20	9:50	T
	10m	32.61648	130.63163	2017年	11月20日	16:59	17:15	Y
A3	539,255m	32.58079	130.60976	2017年	8月28日	9:20	10:50	K
	114,38m	32.57934	130.60907	2017年	8月28日	11:30	12:15	K
	10m	32.57961	130.60864	2017年	11月22日	8:33	8:53	Y
A4	623,252m	32.56305	130.59084	2017年	8月25日	14:45	16:40	T
	100m	32.56347	130.59014	2017年	11月20日	13:21	13:55	Y
	30m			2017年	11月20日	14:06	14:36	Y
	7.0m			2017年	11月20日	13:44	14:17	S
A5	629,261m	32.53380	130.56871	2017年	8月25日	10:50	13:48	T
	100m	32.53678	130.56943	2017年	11月20日	10:55	11:25	Y
	30m			2017年	11月20日	11:37	12:15	Y
	4.8m			2017年	11月20日	11:50	12:20	S
B1	614,298m	32.61657	130.66472	2017年	8月27日	11:55	13:30	Y
	100m	32.61578	130.66725	2017年	8月27日	14:01	15:00	Y
	30m	32.61590	130.66690	2017年	8月27日	14:01	14:10	Y
	6m			2017年	8月27日	14:40	15:00	Y
B2	511,256m	32.59776	130.64886	2017年	8月27日	11:20	12:48	T
	100m	32.59811	130.64864	2017年	11月20日	15:30	16:00	Y
	30m			2017年	11月20日	16:09	16:39	Y
	7.0m			2017年	11月20日	15:51	16:22	S
B3	537,252m	32.57226	130.63297	2017年	8月27日	9:25	10:55	K
	114,38m	32.57093	130.63238	2017年	8月27日	11:30	12:10	K
	11m	32.57124	130.63199	2018年	3月18日	14:35	15:00	S
	5.2m	32.57125	130.63199	2017年	11月21日	16:51	17:11	Y
B4	515,258m	32.55011	130.61076	2017年	8月26日	14:16	15:46	T
	99,51m	32.55355	130.61267	2017年	8月26日	16:28	17:17	T
	20m	32.55383	130.61240	2017年	11月21日	15:49	16:20	Y
	4.6m			2017年	11月21日	15:59	16:20	S
B5	539,257m	32.52823	130.59276	2017年	8月26日	10:55	13:05	T
	100m	32.52986	130.59305	2017年	11月20日	8:58	9:30	Y
	30m			2017年	11月20日	9:41	10:11	Y
	6.0m			2017年	11月20日	9:20	9:50	S
B7	617,257m	32.48998	130.55123	2017年	8月25日	9:32	11:31	K
	114,38m	32.48919	130.55058	2017年	8月28日	16:36	17:25	K
	10m	32.48921	130.55105	2017年	11月21日	11:23	11:53	S
C1	513,257m	32.61737	130.69307	2017年	8月25日	14:55	16:30	Y
	100m	32.61740	130.69395	2017年	8月28日	11:15	12:05	Y
	30m			2017年	8月28日	11:15	11:45	Y
	2.6m			2017年	8月28日	11:52	12:05	Y
C2	642m	32.58220	130.67313	2017年	8月27日	13:25	14:56	T
C4	514m	32.53583	130.62998	2017年	8月26日	14:00	15:30	Y
C5	617m	32.50656	130.60262	2017年	8月26日	15:00	16:30	Y
C6	515,257m	32.49664	130.59375	2017年	8月25日	9:21	11:00	Y
	90m	32.49209	130.59105	2017年	8月28日	9:05	9:50	Y
	30m			2017年	8月28日	9:05	9:35	Y
	2.9m			2017年	8月28日	9:43	10:00	Y
C7	617,260m	32.46546	130.57408	2017年	8月25日	14:30	16:00	K
	114m	32.46519	130.57372	2017年	8月25日	16:30	17:20	K
	38,13m	32.46539	130.57401	2017年	8月29日	9:17	10:00	K
	4.6m	32.46550	130.57416	2018年	3月18日	13:11	13:30	S

表６　続き

アレイ	半径	中心点		観測実施日		観測時刻		機材
		緯度	経度			開始	終了	
D1	513,256m	32.60854	130.71199	2017年	8月27日	9:20	10:50	Y
	100m	32.60634	130.71187	2017年	8月28日	13:50	14:50	Y
	30m			2017年	8月28日	13:50	14:25	Y
	4.6m			2017年	8月28日	14:31	14:50	Y
D2	616,255m	32.58320	130.69276	2017年	8月27日	13:30	15:00	K
	114,38m	32.58324	130.69380	2017年	8月27日	15:30	16:15	K
	10m	32.58199	130.69497	2017年	11月22日	10:54	11:15	Y
D3	494,245m	32.54190	130.66028	2017年	8月26日	15:00	16:30	K
	114,38m	32.54226	130.66251	2017年	8月28日	14:45	15:30	K
	10m	32.54268	130.66280	2017年	11月22日	9:51	10:12	Y
D4	599,257m	32.52261	130.65056	2017年	8月25日	12:15	13:45	Y
D5	514,254m	32.50757	130.62660	2017年	8月26日	11:30	13:10	Y
	82m	32.50767	130.62696	2017年	11月21日	8:50	9:20	Y
	24m			2017年	11月21日	9:42	10:12	Y
	4.0m			2017年	11月21日	9:18	9:52	S
D6	604,314m	32.48835	130.61606	2017年	8月26日	11:40	13:40	K
D7	565m	32.47527	130.60405	2017年	11月21日	10:50	11:50	Y
	290m	32.47473	130.60358	2017年	11月21日	12:44	13:44	Y
	100m	32.47363	130.60264	2017年	11月21日	14:02	14:32	Y
	30m			2017年	11月21日	14:42	15:12	Y
	4.6m	32.47523	130.60395	2017年	11月21日	14:30	14:56	S
MST	100m	32.63811	130.80180	2017年	11月22日	13:00	13:30	Y
	30m			2017年	11月22日	13:50	14:10	Y
	5.2m			2017年	11月22日	14:30	14:50	Y

写真３　八代平野における微動アレイ観測実施状況（Ｄ３地点）

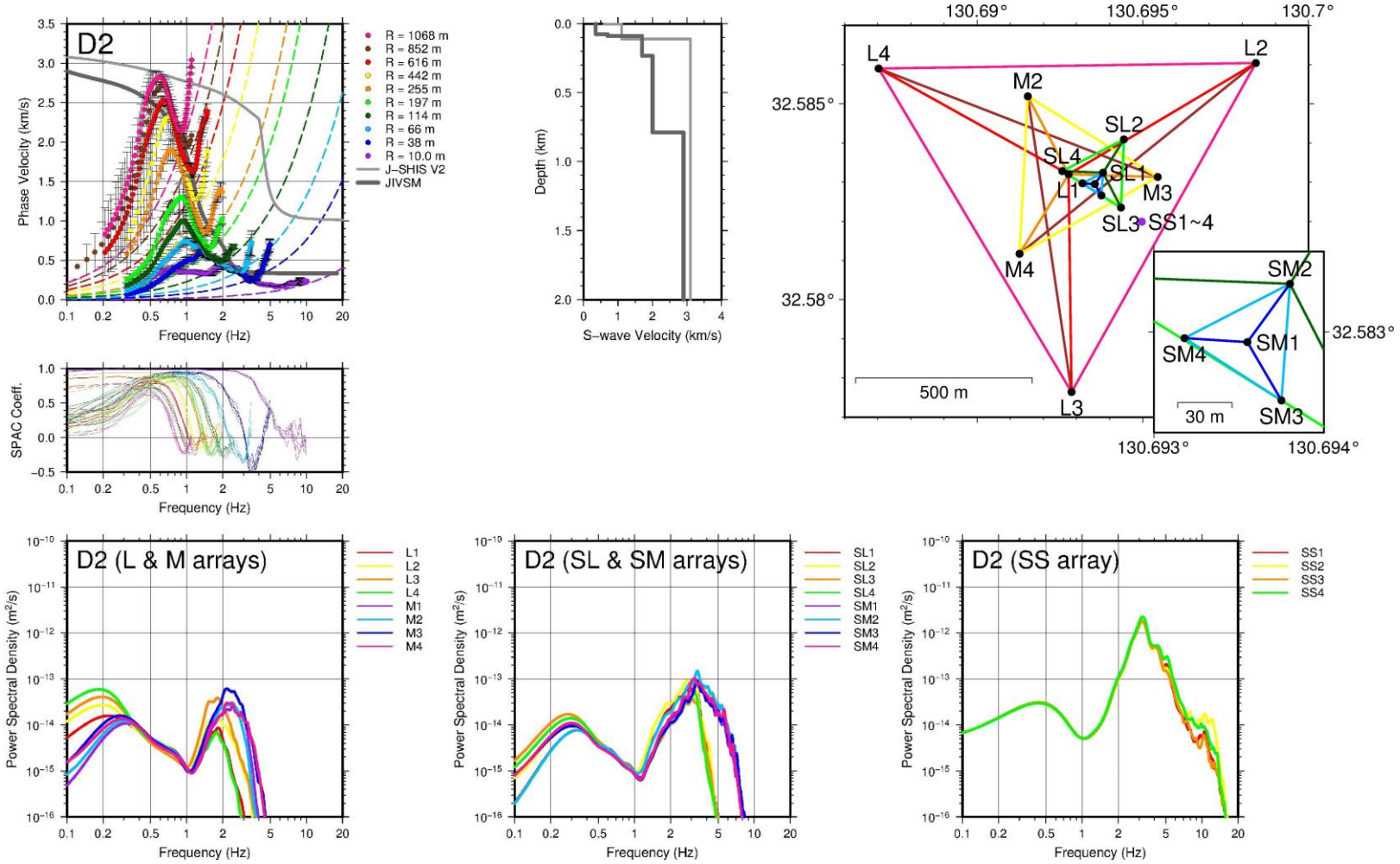


図９　SPAC 法による微動アレイ解析の例（D2 地点）。上段左：位相速度、中：既往モデルの S 波速度構造、右：アレイ配置図（●が地震計の位置。地震計間を結ぶ線の色は上段左図のアレイ半径に対応）。中段 SPAC 係数、下段：パワースペクトルの例（左：大アレイ、中：中アレイ、右：小アレイ。L1、M1、SL1、SM1、SS1 等はそれぞれアレイを構成する地震計の番号（地図参照）。

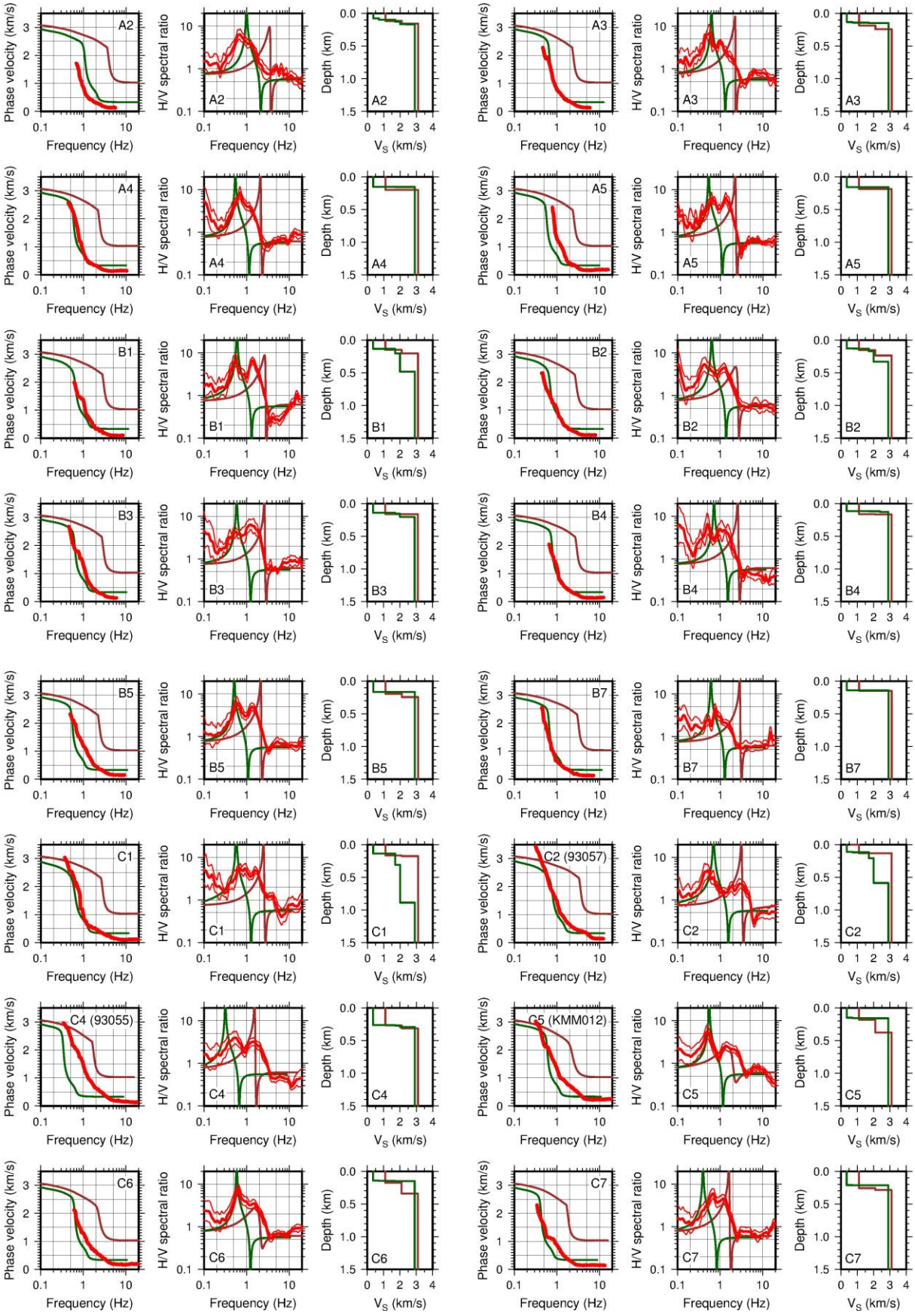


図 10　SPAC 法による位相速度及び H/V スペクトル比（赤）、既往モデルによる Rayleigh 波基本モードの理論分散曲線、楕円率及び S 波速度構造（茶：J-SHIS V2、緑：JIVSM）。

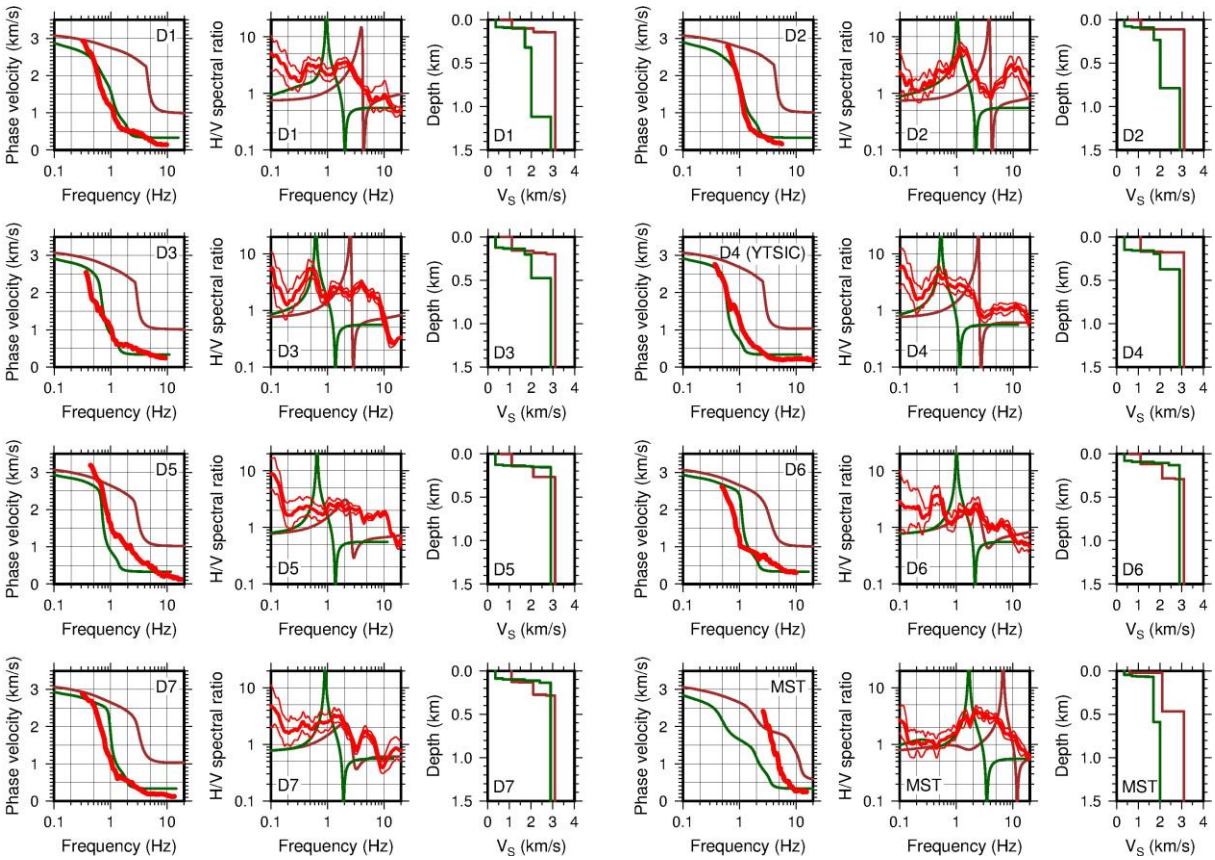

D1
D2
D3
D4 (YTSIC)
D4
D5
D6
D7
MST
Phase velocity (km/s)
H/V spectral ratio
Depth (km)
Frequency (Hz)
V_S (km/s)

図 10　続き

表 7　八代平野南部における極小・不規則アレイ調査地点

観測点	中心点		所在地
	緯度 (°N)	経度 (°E)	
S001	32. 51562	130. 63521	八代市長田町 新八代駅がめさん公園
S002	32. 51877	130. 61795	八代市大村町 会地公園
S003	32. 51685	130. 60789	八代市田中町 田中児童公園付近
S004	32. 51406	130. 58809	八代市松崎町 松崎公園
S005	32. 50921	130. 57476	八代市港町 八代市港湾労働者福祉センター付近
S006	32. 51526	130. 57796	八代市築添町 築添児童公園
S007	32. 52610	130. 59058	八代市高小原町
S008	32. 53419	130. 56738	八代市郡築五番町
S009	32. 50745	130. 62668	八代市福正町
S010	32. 50998	130. 61452	八代市毘舎丸町
S011	32. 50860	130. 59070	八代市新地町
S012	32. 50121	130. 61867	八代市萩原町一丁目 末広児童公園
S013	32. 49667	130. 59387	八代市古城町
S014	32. 49834	130. 57912	八代市中北町
S015	32. 49690	130. 60704	八代市麦島西町 内膳児童公園
S016	32. 50164	130. 64037	八代市宮地町 八代市立宮地小学校付近

観測点	中心点		所在地
	緯度 (°N)	経度 (°E)	
S017	32. 49424	130. 62415	八代市渡町 球磨川河川緑地
S018	32. 49064	130. 60158	八代市植柳上町
S019	32. 47420	130. 60699	八代市平山新町
S020	32. 46526	130. 57037	八代市水島町 水島運動公園
S021	32. 47878	130. 59678	八代市植柳下町
S022	32. 49488	130. 55650	八代市北平和町 北平和町一公民館
S023	32. 48931	130. 58003	八代市葭牟田町
S024	32. 50601	130. 64915	八代市上片町 東片自然公園駐車場
S025	32. 52938	130. 54616	八代市新港町二丁目
S026	32. 52131	130. 56218	八代市郡築一番町
S027	32. 48377	130. 61247	八代市本野町 高田水源地付近
S028	32. 47919	130. 55595	八代市南平和町
S029	32. 45042	130. 58467	八代市日奈久大坪町
S030	32. 47432	130. 57950	八代市高植本町 八代市立金剛みどり保育園付近
S031	32. 46257	130. 59358	八代市平山新町
S032	32. 50617	130. 60513	八代市本町一丁目

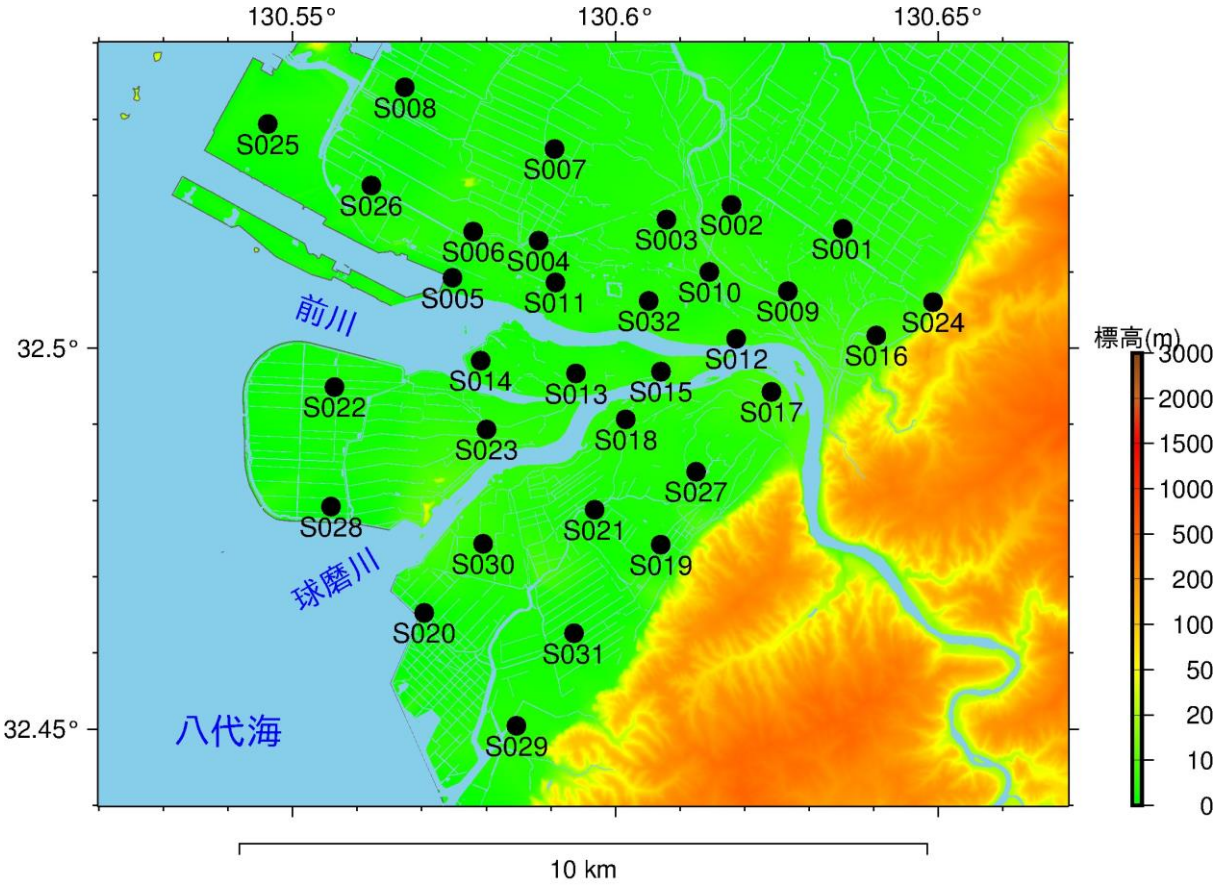


図 11　八代平野南部における極小・不規則アレイ調査地点

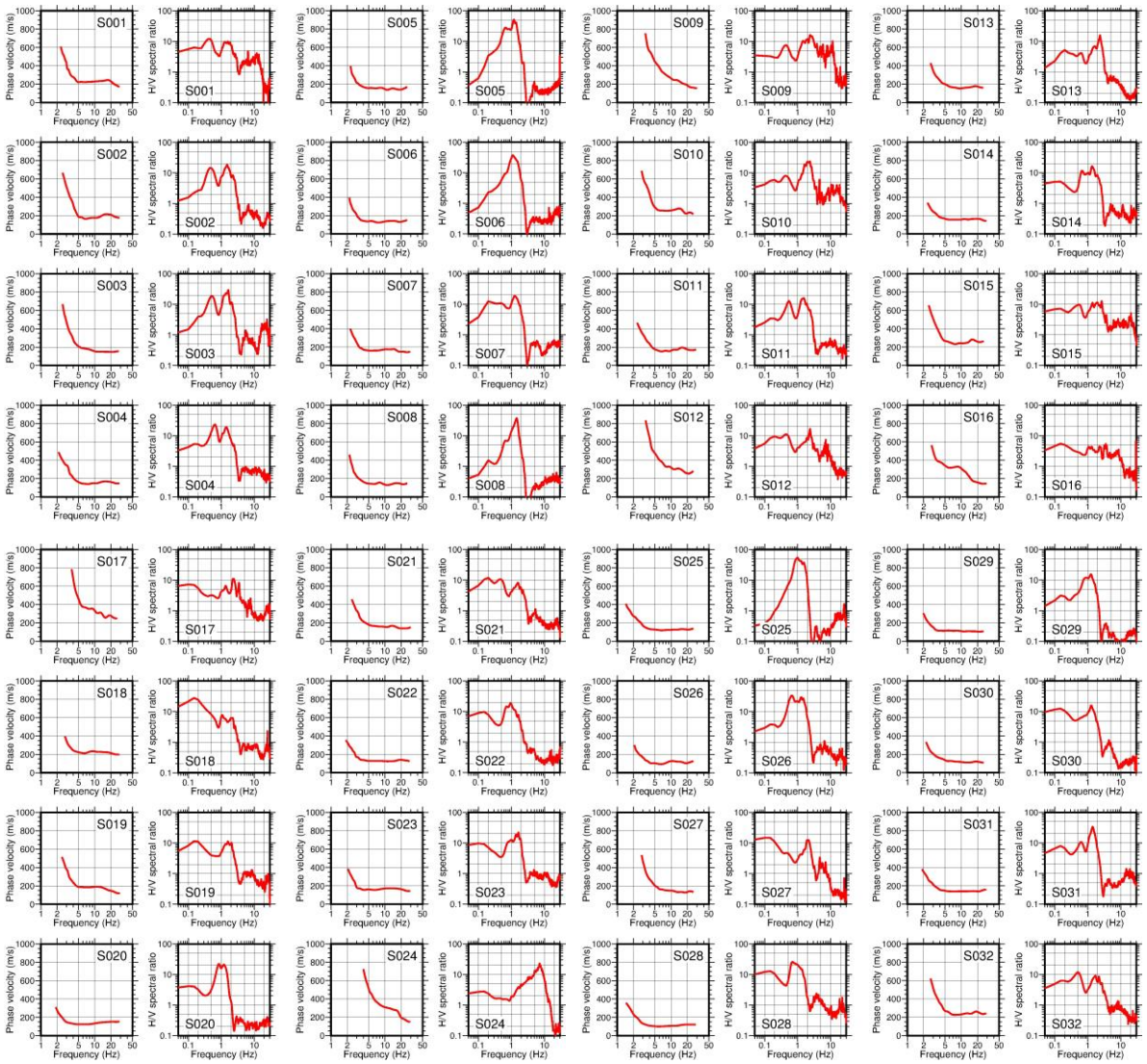


図 12　八代平野南部における極小・不規則アレイ観測による位相速度分散曲線及び H/V スペクトル比

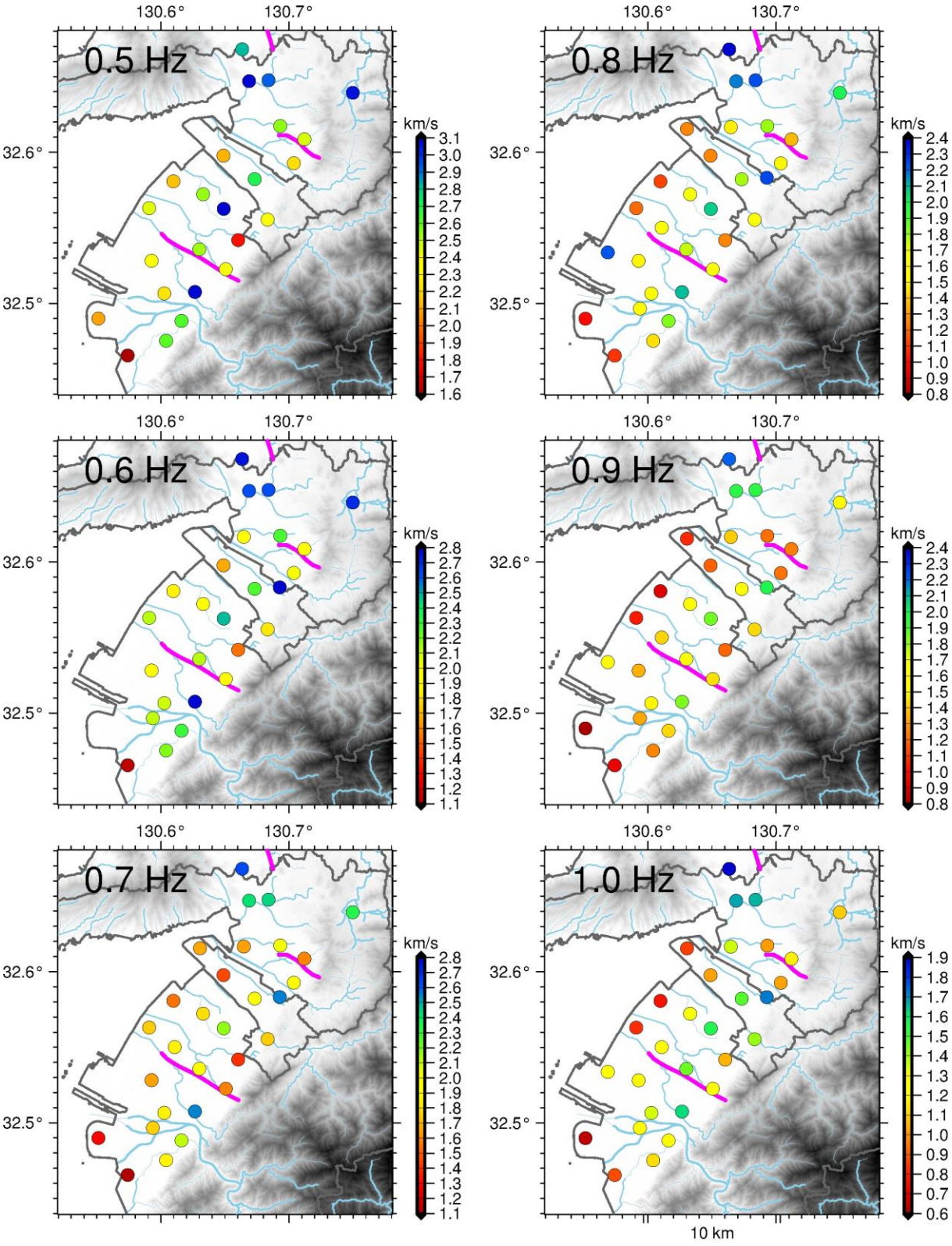


図 13　周波数別の位相速度空間分布

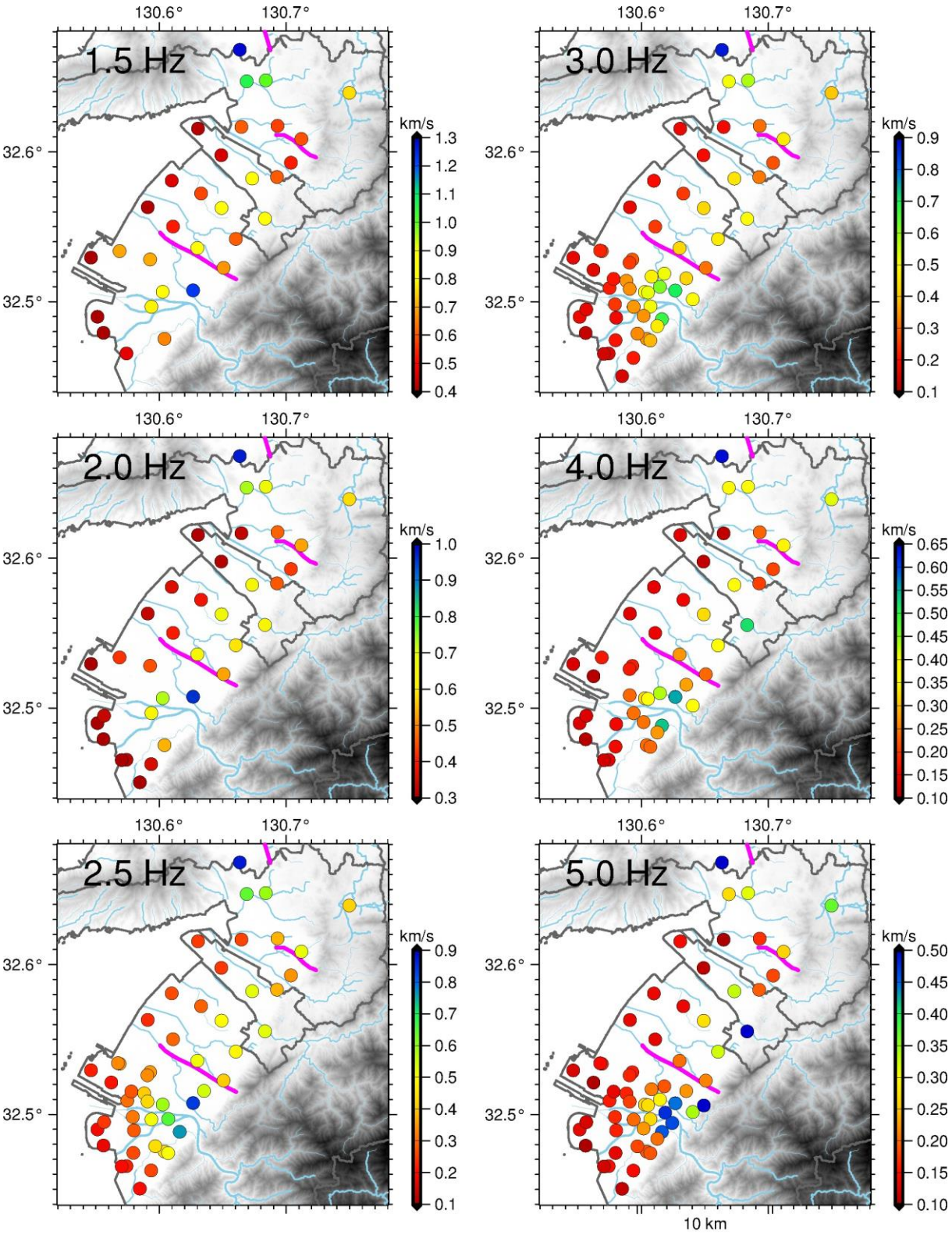


図 13　続き

c）人吉盆地における微動の極小・不規則アレイ観測

人吉盆地は熊本県南部に位置する東西方向約 30 km、南北方向約 13 km の大きさをもつ堆積盆地であり、周囲の山地を形成する四万十帯が基盤をなしている。堆積盆地は、鮮新世～更新世の湖沼堆積物である人吉層、肥薩火山岩類、加久藤火砕流堆積物などで主として構成される。地表地質は大部分が低位段丘堆積物で、球磨川沿いには沖積層が発達する。盆地の南縁部には人吉盆地南縁断層が存在する（千田，2015）。

人吉盆地では、平成 28 年熊本地震の本震の際に、震度５弱の揺れが観測された。第四紀堆積盆地であることから、日奈久断層帯を震源とする地震ではより強い揺れに見舞われる可能性も考えられ、盆地内の震動特性を詳細に把握しておく必要がある。サブテーマ３では、大半径微動アレイ６地点、震度観測点での小半径微動アレイ 11 地点を実施してきたが、盆地全体をカバーする浅部地盤構造に関する詳細な情報を拡充することを目的に、人吉盆地内の計 48 点で極小・不規則アレイ観測（長・先名，2016）を新規に実施した。現地での観測は平成 30 年９月 16～18 日に行った。地震計は白山工業製ポータブル微動観測装置 JU-410 を６式用い、極小アレイ４点＋不規則アレイ２点の同時観測をした。図 14 に観測点の地図、図 15 に全点の位相速度及び各アレイ中心点の H/V スペクトル比、表８に調査地点の位置情報を示す。

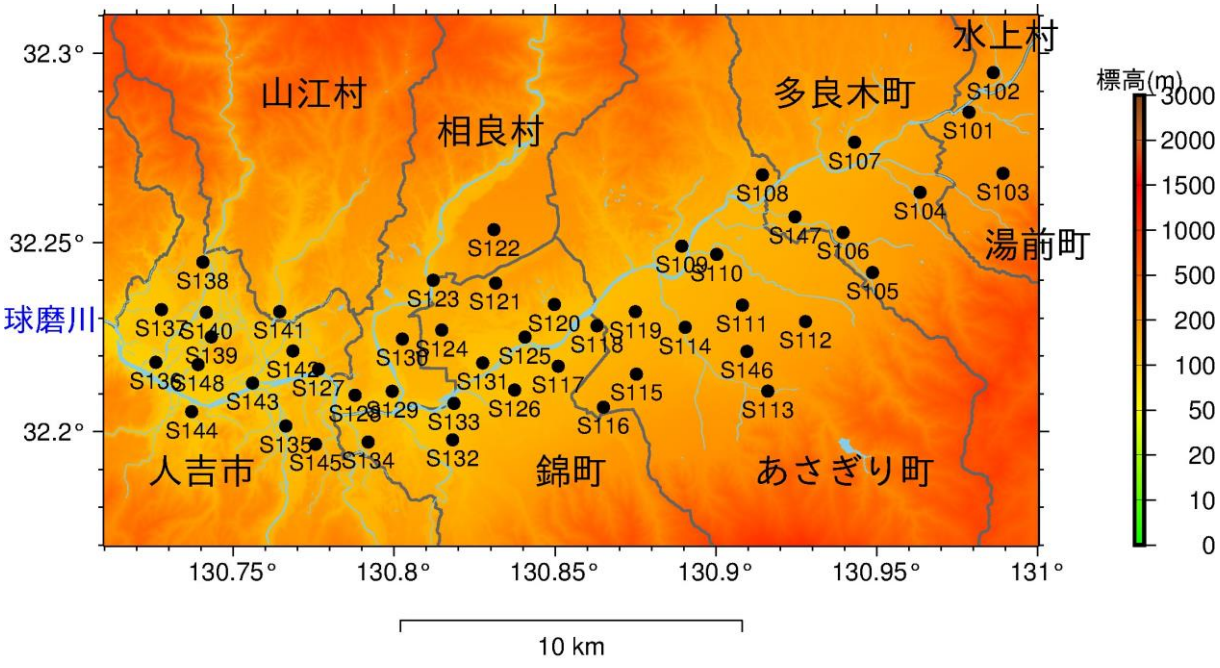


図 14　人吉盆地における極小・不規則アレイ調査地点

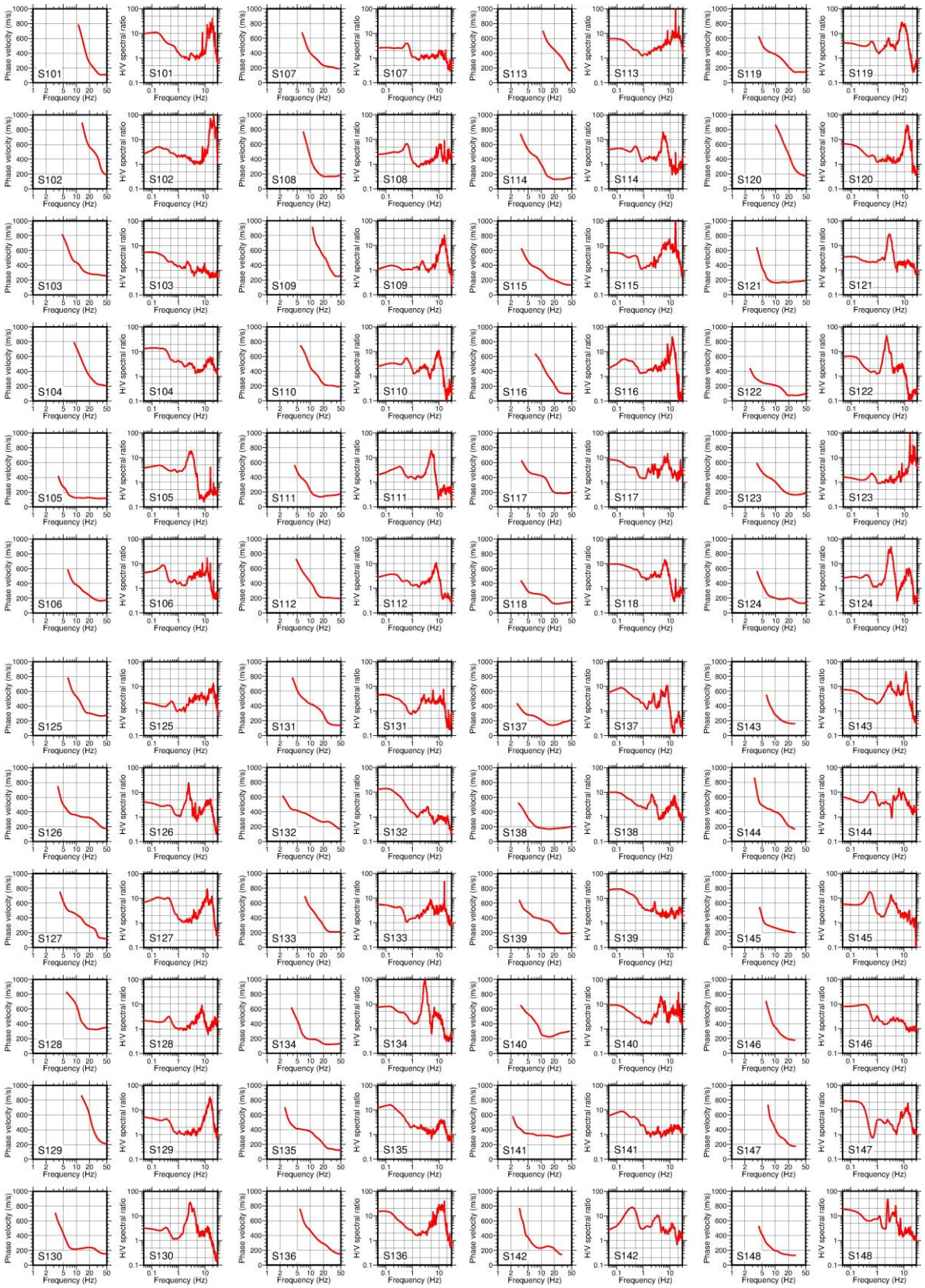


図 15　人吉盆地における極小・不規則アレイ観測による位相速度分散曲線及び H/V スペクトル比

表８　人吉盆地における極小・不規則アレイ調査地点

観測点	中心点		所在地
	緯度 (°N)	経度 (°E)	
S101	32.28448	130.97861	湯前町大字なし 湯前弓道場
S102	32.29492	130.98613	水上村大字岩野 水上村立岩野公民館
S103	32.26827	130.98918	湯前町田上 消防団ポンプ格納庫付近
S104	32.26328	130.96341	多良木町大字久米
S105	32.24210	130.94865	多良木町大字奥野
S106	32.25266	130.93951	多良木町大字久米
S107	32.27652	130.94305	多良木町大字黒肥地 古代の風黒の蔵
S108	32.26793	130.91441	あさぎり町須恵浜上
S109	32.24908	130.88937	あさぎり町深田東
S110	32.24688	130.90022	あさぎり町免田東 人吉球磨広域行政組合免田葬祭場
S111	32.23346	130.90820	あさぎり町上北
S112	32.22911	130.92780	あさぎり町岡原南 公衆便所
S113	32.21070	130.91608	あさぎり町上南
S114	32.22758	130.89044	あさぎり町上北 公衆便所
S115	32.21523	130.87527	あさぎり町上西 下西地区農林漁家婦人活動促進施設
S116	32.20647	130.86501	あさぎり町上西
S117	32.21730	130.85098	錦町大字木上南 平良集落センター
S118	32.22800	130.86302	錦町大字木上南
S119	32.23174	130.87495	あさぎり町免田西 おかどめ幸福駅北付近
S120	32.23363	130.84979	錦町大字木上東
S121	32.23930	130.83156	錦町大字木上北
S122	32.25342	130.83099	相良村大字川辺 実公民分館
S123	32.24006	130.81213	相良村大字深水 相良橋付近
S124	32.22687	130.81476	錦町大字木上北

観測点	中心点		所在地
	緯度 (°N)	経度 (°E)	
S125	32.22499	130.84064	錦町大字木上西 木上ひかり保育園付近
S126	32.21100	130.83742	錦町大字一武
S127	32.21650	130.77646	人吉市願成寺町
S128	32.20963	130.78786	相良村大字柳瀬
S129	32.21069	130.79942	相良村大字柳瀬
S130	32.22450	130.80254	相良村大字柳瀬
S131	32.21817	130.82751	錦町大字木上西 石碑前
S132	32.19783	130.81815	錦町大字西 錦太陽光発電所付近
S133	32.20747	130.81859	錦町大字西
S134	32.19724	130.79193	錦町大字西
S135	32.20151	130.76636	人吉市東間下町
S136	32.21833	130.72594	人吉市中神町 中神公園付近
S137	32.23227	130.72768	人吉市下原田町
S138	32.24483	130.74057	人吉市上原田町
S139	32.22508	130.74318	人吉市上林町
S140	32.23154	130.74164	人吉市上林町 人吉たばこ共乾付近
S141	32.23174	130.76442	山江村大字山田
S142	32.22134	130.76856	人吉市願成寺町 熊本県立人吉高等学校
S143	32.21284	130.75603	人吉市上青井町
S144	32.20529	130.73709	人吉市下戸越町 人吉市立西瀬小学校 KiK-net人吉
S145	32.19668	130.77557	人吉市蟹作町 川上哲治記念球場 K-NET人吉
S146	32.22124	130.90962	あさぎり町上東 あさぎり町上総合運動公園 KiK-net上
S147	32.25679	130.92456	多良木町大字多良木横馬場 上球磨消防組合本部 K-NET多良木
S148	32.21772	130.73906	人吉市下林町 人吉市市民プール

d) 八代平野と熊本平野の接合部周辺における単点微動観測

八代平野と熊本平野の接合部の地下速度構造（主として基盤深度の情報）に関する情報を得るため、熊本平野西部及び八代平野の接合部に位置する宇土市から宇城市にかけての計 31 地点（図 16、表９）において単点微動観測を実施し、H/V スペクトル比を解析した。現地での微動観測は平成 30 年３月 18～20 日の日中に実施した。天候は、３月 18 日は晴れ、19～20 日は曇りまたは小雨であった。

観測システムはポータブル地震観測装置 SMAR-6A3P を使用した。本システムはアカシ製動コイル型加速度計 JEP-6A3P（感度 1.1 V/G）３成分、白山工業製収録装置 DATAMARK LS-8800、アナログ増幅器＆フィルタ等で構成される。各観測地点では同一の観測装置２式を用いて同時観測を行い、20 分以上連続収録した。各観測地点での実際の収録時間は現地状況による。このうち１式を増幅器倍率 10000 倍、低域通過フィルタ５Hz（高感度観測）に設定し、もう１式を増幅器倍率 5000 倍、低域通過フィルタ 50 Hz（低感度観測）に設定した。サンプリング周波数 100 Hz または 200 Hz で収録した。なお、データ解析の際は、すべて 100 Hz にリサンプリングしたものを解析している。

データ解析の手順を以下に述べる。まず、微動の連続記録から、通過車両などによる非定常的なノイズの含まれていない 40.96 秒の区間を可能な限り抽出した（最少でも５区間以上)。このため、各地点での解析区間数は観測地点でのノイズ状況や実際の観測継続時間により異なっている。抽出された各区間の各成分の微動波形記録について、フーリエ変換により振幅スペクトルを求め、Konno and Ohmachi (1998)の方法によりスペクトルの平滑化を行った（平滑化の幅を規定する係数 b の値は 40 に設定)。東西成分及び南北成分の振幅スペクトルの幾何平均を水平成分の振幅スペクトルと定義し、水平成分（H）と上下成分（V）のスペクトル比を求めた。各区間について得られた H/V スペクトル比をアンサンブル平均したものを観測 H/V スペクトル比とした。

図 17 に観測 H/V スペクトル比を示す。青色が高感度観測（倍率 10000 倍)、赤色が低感度観測（倍率 5000 倍）の結果を表す。それぞれ、太線が観測 H/V スペクトル比、細線がその対数標準偏差を表している。細線で示されている対数標準偏差が小さいこと、また、広い周波数領域で青色と赤色の線が重なって見えることから、H/V スペクトルは安定して求められている。この図の標準偏差の幅から明らかなように、低周波数側での H/V スペクトルの安定性は、高感度観測（同図の青線）の方が優れている。このため、主として高感度観測の解析結果から H/V スペクトルのピーク周波数を読み取ったが、ピーク周波数が５Hz 以上の観測地点については、低感度観測の解析結果を用いた。図 16 の地図上に観測 H/V スペクトル比から読み取ったピーク周波数をプロットした。観測 H/V スペクトル比に複数のピークが見られる場合は、より深い構造に対応する低い方のピーク周波数を選んだ。この図には、平成 28 年度に実施した単点微動観測結果(平成 28 年度成果報告書に記載のもの)、八代平野内の微動アレイ観測の際にアレイ中心点で取得したデータ及び国立研究開発法人産業技術総合研究所が平成 28 年１月に観測したデータを同様の手順で解析した結果も併せてプロットした。

宇土市から宇城市不知火町へと抜ける薩摩街道に沿った、八代平野と熊本平野の接合部（UT1716、UT1723、UT1705、93020 など）での H/V スペクトルのピーク周波数は、1.2～1.8 Hz 程度と求められた。これは、熊本平野南部の宇土市中心部（UT1719 及び UT1720）や八

代平野主要部（YTS-B1、YTS-C1、YT1610 以南）が 1 Hz 以下のピーク周波数を有するのに比べ、相対的に高いピーク周波数を示す。このため、平野接合部付近では平野主要部に比べて、基盤深度が浅いと考えられる。H/V スペクトルのピーク周波数の空間変化から、八代平野と熊本平野は、宇土市から宇城市にかけての平野接合部において、東西方向の幅として約 1.5 km の範囲で部分的に繋がっているものと考えられる。また、平成 28 年度熊本測線に近い UT1714 での H/V ピーク周波数と熊本測線で推定されている白亜系堆積岩類（御船層群）上面までの深さとの対比から、平野接合部での H/V ピーク周波数が御船層群上面までの深度を反映しているとすれば、その深度は 100～200 m 程度で分布しているものと推測される。なお、平野と山地の境界に近い観測地点で高いピーク周波数をもっている地点が見られた。20 万分の 1 地質図（斎藤・他，2010；星住・他，2004）によれば、UT1718 は大岳火山岩（約 140 万年前）、UT1724 及び UT1731 は御船層群の分布域であり、地表付近の新しい堆積層が薄いことを示唆している。

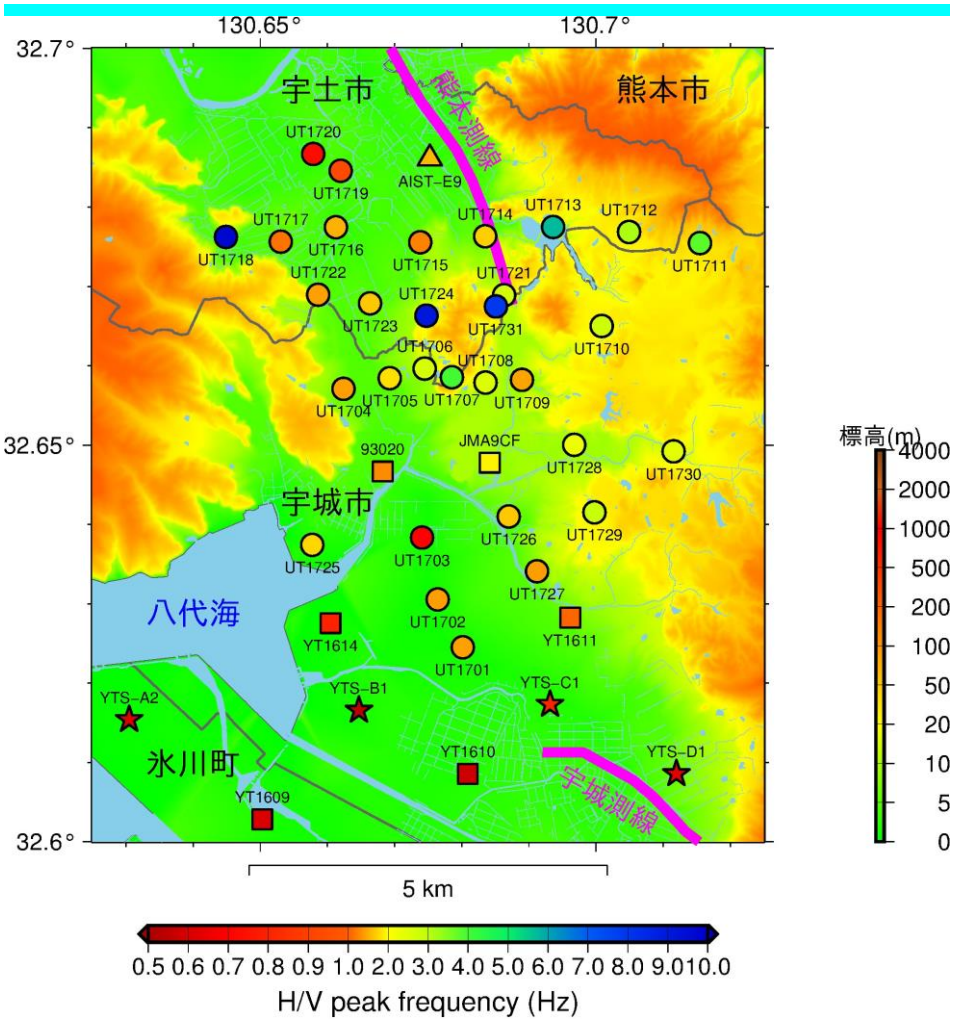


図 16　微動 H/V スペクトル比のピーク周波数の空間分布。○：平成 29 年度に実施した単点微動観測、☆：平成 29 年度実施の微動アレイ観測の中心点、□：平成 28 年度実施分、△：産総研実施分。水色の実線：平成 28 年度熊本測線及び平成 29 年度宇城測線。

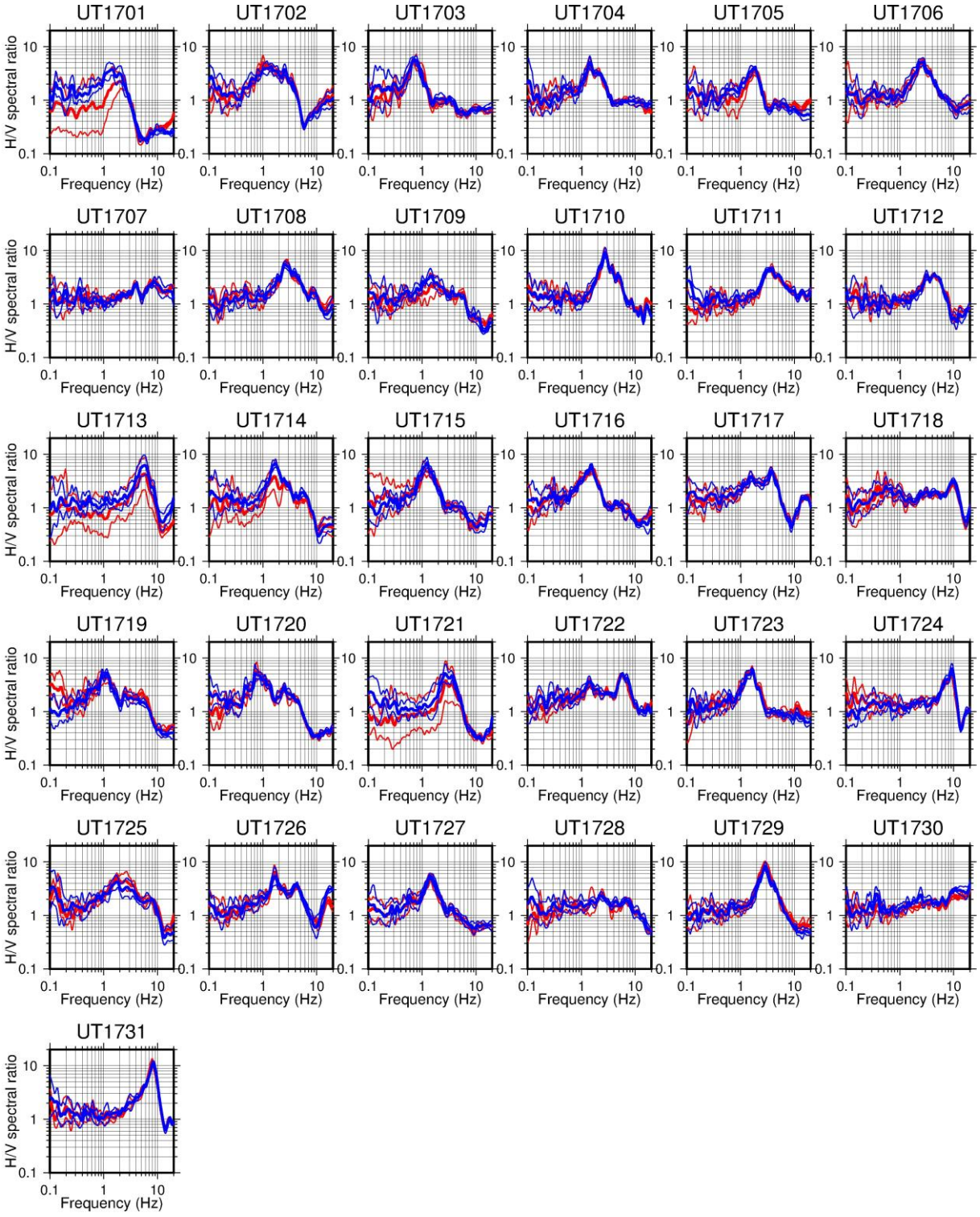


図 17　宇土市から宇城市にかけての単点微動観測による H/V スペクトル比。太線:平均値、細線：標準偏差、青：高感度観測（増幅器倍率 10000 倍、カットオフ周波数 5 Hz)、赤：低感度観測（増幅器倍率 5000 倍、カットオフ周波数 50 Hz)。

表９　八代平野と熊本平野の接合部周辺における単点微動観測地点

観測点	緯度	経度	観測日	観測開始	観測終了	所在地	
UT1701	32.62452	130.68015	2018/3/18	15:51	16:26	宇城市松橋町南豊崎	豊川グラウンド
UT1702	32.63054	130.67642	2018/3/18	16:04	16:30	宇城市松橋町南豊崎	豊川神社
UT1703	32.63835	130.67409	2018/3/18	16:23	16:45	宇城市松橋町豊崎	宇城広域連合南消防署西付近
UT1704	32.65710	130.66240	2018/3/18	17:17	17:49	宇城市不知火町小曽部	小曽部消防ポンプ格納庫
UT1705	32.65843	130.66927	2018/3/18	17:32	17:53	宇城市不知火町柏原	柏原公民館
UT1706	32.65964	130.67447	2018/3/18	17:58	18:18	宇城市不知火町御領	御領5区児童公園
UT1707	32.65856	130.67853	2018/3/19	9:09	9:30	宇城市松橋町松山	岡岳公園
UT1708	32.65788	130.68355	2018/3/19	9:46	10:35	宇城市松橋町松橋	築切集会室
UT1709	32.65823	130.68898	2018/3/19	10:10	10:30	宇城市松橋町曲野	松橋町曲野付近
UT1710	32.66501	130.70084	2018/3/20	13:41	14:02	宇城市松橋町古保山	当尾保育園付近
UT1711	32.67546	130.71548	2018/3/20	13:14	13:52	宇城市松橋町古保山	海ノ平公民館
UT1712	32.67686	130.70493	2018/3/20	12:59	13:46	宇土市花園町	三日地区公民館
UT1713	32.67749	130.69362	2018/3/19	11:06	11:32	宇土市花園町	宇土市スポーツセンター
UT1714	32.67632	130.68349	2018/3/19	11:20	11:43	宇土市古保里町	花園公民館
UT1715	32.67557	130.67383	2018/3/19	12:59	13:37	宇土市境目町	境目団地
UT1716	32.67746	130.66127	2018/3/19	15:32	16:01	宇土市入地町	御領橋東公園
UT1717	32.67564	130.65305	2018/3/19	15:49	16:25	宇土市神合町	神合町付近
UT1718	32.67624	130.64488	2018/3/19	16:19	17:38	宇土市石橋町	轟地区市民グラウンド
UT1719	32.68458	130.66197	2018/3/19	17:03	17:24	宇土市新小路町	宇土市教育委員会
UT1720	32.68669	130.65788	2018/3/19	16:43	17:30	宇土市浦田町	宇土市中央公園
UT1721	32.66889	130.68631	2018/3/19	11:01	11:22	宇土市松山町	百合ヶ丘入口付近
UT1722	32.66895	130.65862	2018/3/19	15:02	15:55	宇土市伊無田町	伊無田公民館
UT1723	32.66786	130.66634	2018/3/19	14:39	15:10	宇土市松山町	下松山地域学習センター
UT1724	32.66631	130.67474	2018/3/19	13:30	14:44	宇土市松山町	五色坂付近
UT1725	32.63742	130.65773	2018/3/20	8:49	9:10	宇城市不知火町亀松	塩浜公民館
UT1726	32.64101	130.68700	2018/3/20	9:34	10:16	宇城市松橋町久具	松橋町久具付近
UT1727	32.63410	130.69121	2018/3/20	9:44	10:24	宇城市松橋町西下郷	本村公民館
UT1728	32.65003	130.69675	2018/3/20	11:03	12:17	宇城市松橋町久具	宇城総合病院
UT1729	32.64153	130.69978	2018/3/20	10:08	12:33	宇城市松橋町豊福	松橋収蔵庫
UT1730	32.64922	130.71156	2018/3/20	14:22	14:43	宇城市松橋町浦川内	松橋IC付近
UT1731	32.66747	130.68509	2018/3/20	10:45	12:43	宇土市松山町	百合ヶ丘付近

e）水俣平野周辺における単点微動観測

水俣市役所（熊本県震度計設置地点）は、水俣川右岸の古期肥薩火山岩からなる山と平野の境界部に位置しており、市役所の地盤震動特性が左岸の平野部に位置する市街地の地盤震動特性を代表しているとは言い難い。このため、水俣市周辺の地下構造の空間変化を把握するため、水俣市内 7 地点及び葦北郡津奈木町 1 地点で単点微動観測を行った（表 10）。現地での観測は平成 29 年 11 月 19 日の日中に実施し、天候は晴れであった。d)での単点微動観測と同じく、ポータブル地震観測装置 SMAR-6A3P を使用し、入力を 5000 倍に増幅して、サンプリング周波数 200 Hz で、10 分以上連続収録した。

データ解析は d)と同様に、通過車両などによる非定常的なノイズの含まれていない 40.96 秒の区間を可能な限り抽出した（最少でも 4 区間以上）。抽出された各区間の各成分の微動波形記録について、フーリエ変換により振幅スペクトルを求め、Konno and Ohmachi (1998)の方法によりスペクトルの平滑化を行った（平滑化の幅を規定する係数 b の値は 40 に設定）。各区間について得られた H/V スペクトル比をアンサンブル平均したものを観測 H/V スペクトル比とした。

図 18 に全地点での H/V スペクトル比、図 19 にピーク周波数の空間分布を示す。この結果、震度計の位置する水俣市役所（MN1701）では 6.3 Hz、K-NET KMM015 観測点（MN1702）では 3.4 Hz であったのに対し、水俣川左岸の主要市街地でのピーク周波数は 1.8 Hz～3.0 Hz の範囲であった。このことから、水俣川左岸平野部の堆積層厚は、市役所周辺に比べて相対的に厚いことが考えられる。

表 10　水俣市周辺での単点微動観測地点

観測点	緯度(°N)	経度(°E)	観測日時	所在地	
MN1701	32.21214	130.40904	2017/11/19 14:35–14:45	水俣市陣内	水俣市役所
MN1702	32.21613	130.40593	2017/11/19 15:05–15:21	水俣市牧ノ内	牧ノ内雨水ポンプ場
MN1703	32.21840	130.40055	2017/11/19 15:34–16:01	水俣市築地	JNC 紫水寮付近
MN1704	32.21483	130.39270	2017/11/19 15:43–16:17	水俣市塩浜町	塩浜グラウンド付近
MN1705	32.21093	130.40245	2017/11/19 15:51–16:31	水俣市浜町一丁目	史跡永代橋跡
MN1706	32.20494	130.40602	2017/11/19 15:58–16:25	水俣市平町二丁目	旧水俣市立第三中学校
MN1707	32.20472	130.39521	2017/11/19 16:12–16:35	水俣市桜井町一丁目	水俣駅
MN1708	32.23440	130.44085	2017/11/19 17:02–17:20	津奈木町小津奈木	さくら団地

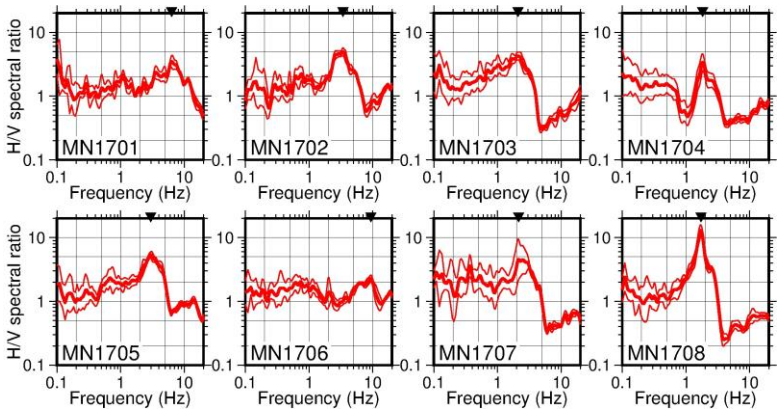


図 18　水俣平野周辺における単点微動観測による H/V スペクトル比（太線：平均値、細線：標準偏差）。

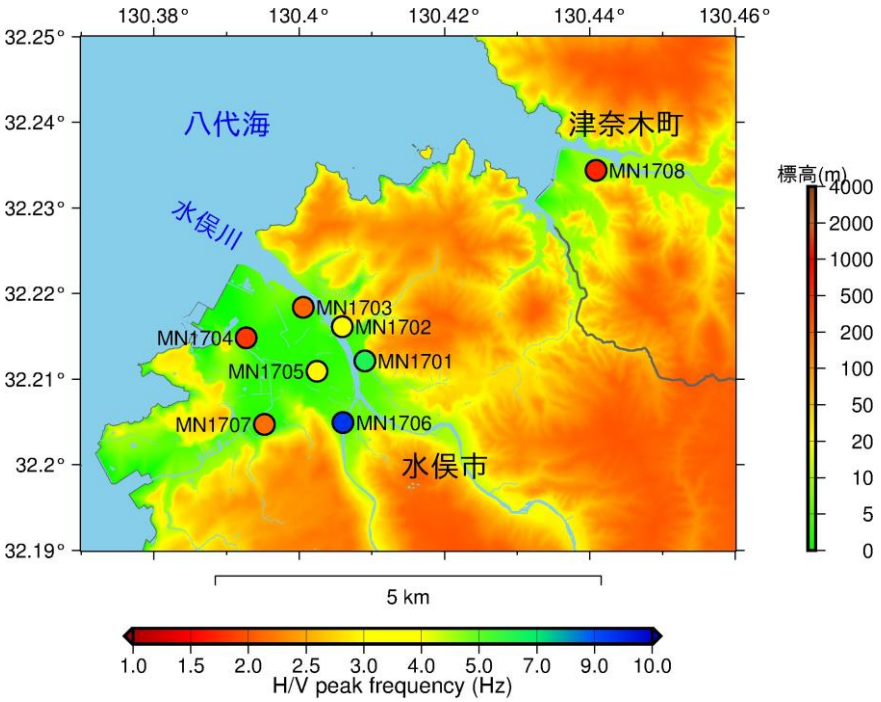


図 19　水俣平野周辺における微動 H/V スペクトル比のピーク周波数の空間分布

f）出水平野における単点微動観測

出水平野は鹿児島県北西部に位置し、出水市の市街地を形成している。出水平野の南縁を北東－南西方向に続く出水断層帯が、出水平野と出水山地の地形境界となっている（千田・中田, 2012)。平野の中央部は更新世の扇状地堆積物からなっており、北西に緩く傾斜している。米ノ津川や野田川の河口付近に沖積平野が広がっている。また、出水平野は八代海に面していることから、日奈久断層帯八代海区間にも近く、日奈久断層帯の強震動予測高度化のためには､出水平野の詳細な地下速度構造情報についても整備する必要がある。このため、項目 a)において出水平野内６地点で実施した微動アレイ調査に加え、出水平野における地下速度構造（主として基盤深度の情報）の空間変化を把握するため、出水市内の５測線 47 地点で単点微動観測を行った（図 20、表 11、写真４）。

現地での観測は平成 30 年 7 月 27 日～29 日の夜間に実施した。天候は晴れまたは曇りであった。地震計は東京測振製速度計 SE-321（固有周期 10 秒、5V/(cm/s))、収録装置は白山工業製 DATAMARK LS-8800（形式分解能 24 bit）を使用した。LS-8800 の内蔵アンプの倍率を８倍とし、サンプリング周波数 200 Hz で収録した。観測時間は１地点あたり 30 分間以上とし、通過交通量等の現場状況に応じて、観測終了時刻を設定した。

データ解析は d)と同様に、非定常的なノイズの含まれていない 40.96 秒の区間を可能な限り抽出した（最少でも５区間以上)。抽出した各区間の各成分の微動波形記録について、フーリエ変換により振幅スペクトルを求め、Konno and Ohmachi (1998)の方法によりスペクトルの平滑化を行った（平滑化の幅を規定する係数 b の値は 40 に設定)。各区間について得られたH/Vスペクトル比をアンサンブル平均したものを観測H/Vスペクトル比とした。

写真４　出水平野における単点微動観測実施状況（E01 地点）

図 21 に全地点での H/V スペクトル比を示し、ピーク周波数の空間分布を図 20 の地図中に示す。H/V スペクトルの卓越周波数は、低位段丘から海岸に向かって、緩やかに低周波数か（長周期化）している。Ａ測線、Ｃ測線やＤ測線の海岸付近にみられる沖積層分布域での卓越周波数は約 0.3～0.4 Hz（卓越周期は約 2.3～3.6 秒）であった。低位段丘堆積物上では、おおむね 0.5～0.6 Hz の範囲の卓越周波数であった。野田川と蕨島に挟まれた国営出水干拓地に位置する E01～E03 においては、卓越周波数が 1.0～1.7 Hz であり、出水平野内では特異に高いという特徴が見られた。干拓地の地下には蕨島や周囲の山と同じく、新第三系の長島火山岩類がやや浅い深さに存在しているのではないかと考えられる。

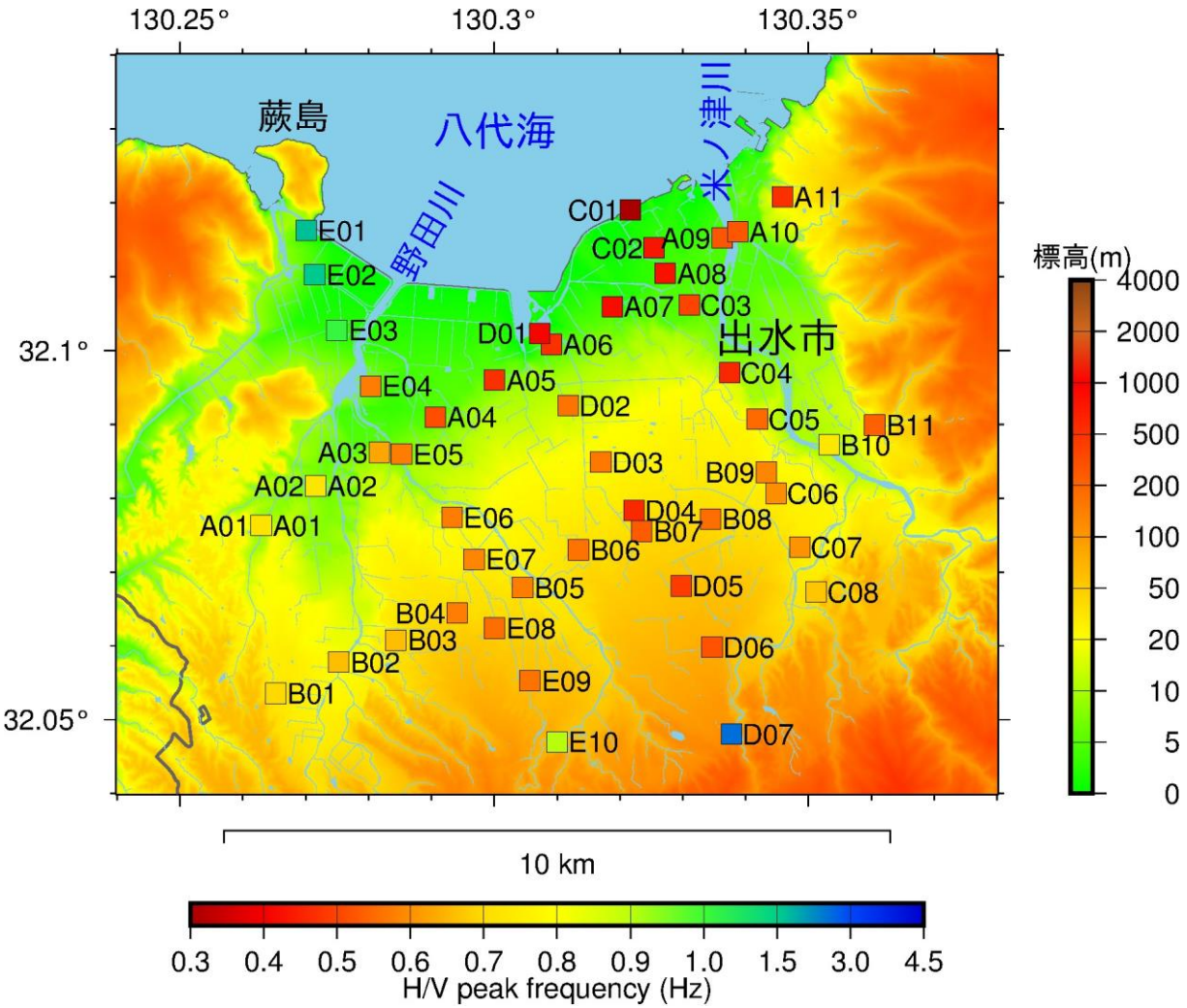


図 20　出水平野における微動 H/V スペクトル比のピーク周波数の空間分布

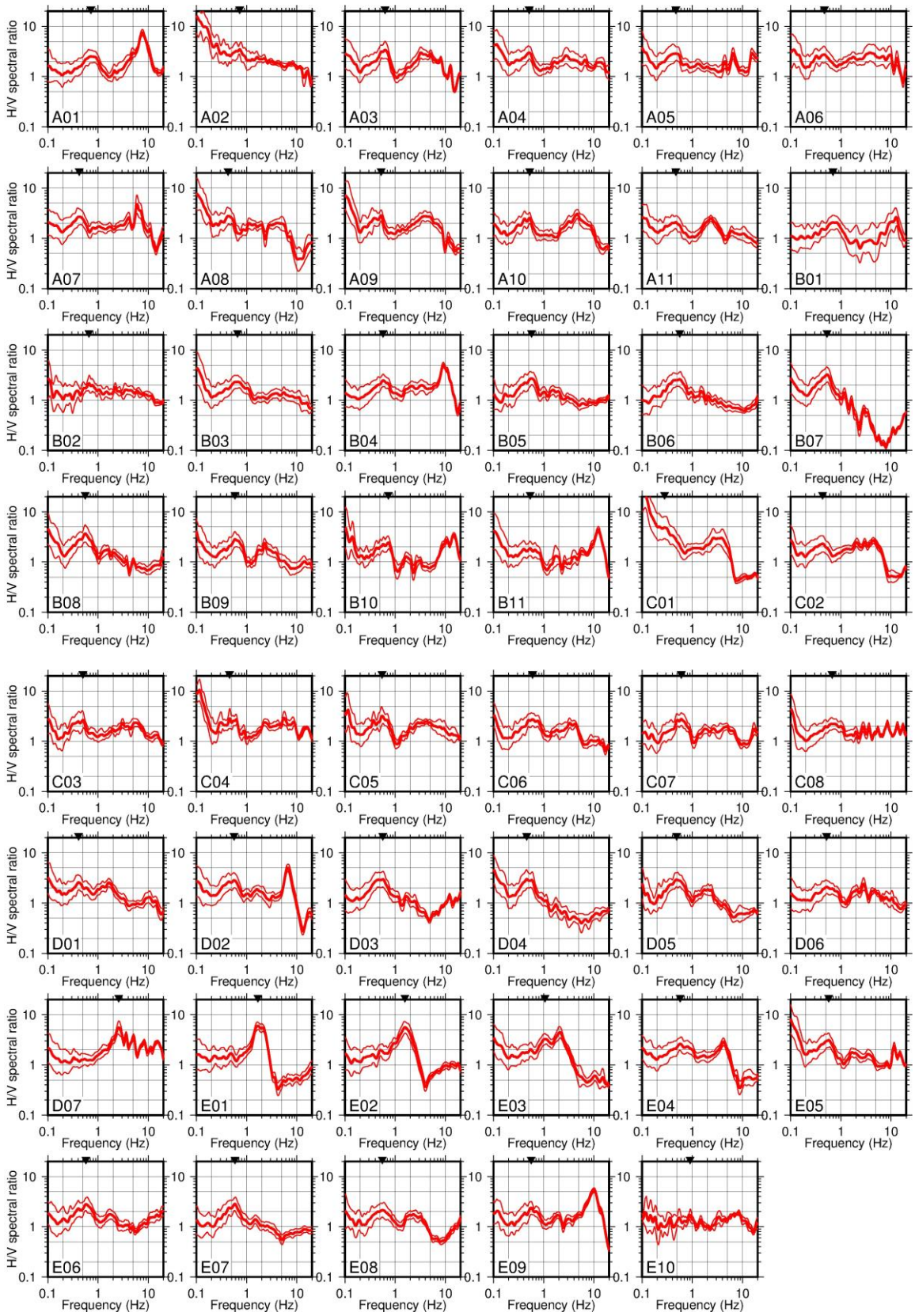


図 21　出水平野における微動 H/V スペクトル比

表 11　出水平野での単点微動観測地点

観測点	緯度 (°N)	経度 (°E)	観測日時				所在地
			観測開始		観測終了		
A01	32.07629	130.26291	2018/7/29	1:24		2:35	出水市野田町下名
A02	32.08166	130.27155	2018/7/29	1:33		2:40	出水市野田町下名
A03	32.08621	130.28171	2018/7/29	1:42		2:43	出水市荘
A04	32.09097	130.29059	2018/7/29	1:50		2:50	出水市高尾野町下水流
A05	32.09600	130.30002	2018/7/29	1:57		3:45	出水市高尾野町下水流
A06	32.10083	130.30908	2018/7/29	2:05		3:50	出水市汐見町
A07	32.10593	130.31876	2018/7/29	2:15		3:55	出水市汐見町
A08	32.11043	130.32719	2018/7/29	2:23		4:00	出水市今釜町
A09	32.11523	130.33629	2018/7/29	3:03		4:10	出水市明神町
A10	32.11609	130.33629	2018/7/29	3:11		4:15	出水市米ノ津町
A11	32.12078	130.33629	2018/7/29	3:21		4:23	出水市下鯖町
B01	32.05356	130.33629	2018/7/28	0:45		2:15	出水市野田町上名
B02	32.05779	130.33629	2018/7/28	0:57		2:25	出水市野田町上名
B03	32.06078	130.33629	2018/7/28	1:07		2:35	出水市高尾野町下高尾野
B04	32.06446	130.33629	2018/7/28	1:17		2:40	出水市高尾野町柴引
B05	32.06789	130.33629	2018/7/28	1:31		2:45	出水市高尾野町柴引
B06	32.07299	130.33629	2018/7/28	1:43		2:50	出水市高尾野町大久保
B07	32.07552	130.33629	2018/7/28	1:53		2:55	出水市大野原町
B08	32.07719	130.33629	2018/7/28	2:03		3:00	出水市西出水町
B09	32.08351	130.33629	2018/7/28	3:18		4:00	出水市中央町
B10	32.08723	130.33629	2018/7/28	3:30		4:10	出水市昭和町
B11	32.08990	130.33629	2018/7/28	3:43		4:25	出水市上鯖渕
C01	32.11904	130.33629	2018/7/28	22:40	7/29	0:20	出水市今釜町
C02	32.11391	130.33629	2018/7/28	22:49	7/29	0:25	出水市今釜町
C03	32.10616	130.33629	2018/7/28	23:00	7/29	0:32	出水市下知識町
C04	32.09703	130.33629	2018/7/28	23:09	7/29	0:36	出水市文化町
C05	32.09070	130.33629	2018/7/28	23:18	7/29	0:41	出水市文化町
C06	32.08064	130.33629	2018/7/28	23:27	7/29	0:47	出水市中央町
C07	32.07340	130.33629	2018/7/28	23:36	7/29	0:52	出水市向江町
C08	32.06730	130.33629	2018/7/28	23:47	7/29	1:00	出水市武本
D01	32.10233	130.33629	2018/7/27	22:22		23:40	出水市汐見町
D02	32.09256	130.33629	2018/7/27	22:35		23:50	出水市浦田町
D03	32.08490	130.33629	2018/7/27	22:44		23:55	出水市平和町
D04	32.07831	130.33629	2018/7/27	22:54		23:59	出水市大野原町
D05	32.06812	130.33629	2018/7/27	23:03	7/28	0:05	出水市大野原町
D06	32.05983	130.33629	2018/7/27	23:12	7/28	0:10	出水市武本
D07	32.04803	130.33629	2018/7/27	23:24	7/28	0:20	出水市武本
E01	32.11626	130.33629	2018/7/27	19:02		20:30	出水市荘
E02	32.11028	130.33629	2018/7/27	19:12		20:35	出水市荘
E03	32.10274	130.33629	2018/7/27	19:25		20:40	出水市荘
E04	32.09517	130.33629	2018/7/27	19:35		20:45	出水市荘
E05	32.08596	130.33629	2018/7/27	19:46		20:50	出水市高尾野町下水流
E06	32.07742	130.33629	2018/7/27	19:55		20:55	出水市高尾野町唐笠木
E07	32.07172	130.33629	2018/7/27	20:05		21:05	出水市高尾野町唐笠木
E08	32.06239	130.33629	2018/7/27	20:15		21:10	出水市高尾野町柴引
E09	32.05527	130.33629	2018/7/27	21:20		21:50	出水市高尾野町柴引
E10	32.04699	130.33629	2018/7/27	21:30		22:00	出水市高尾野町大久保

g）玉名平野における単点微動観測

玉名平野における地下速度構造（主として基盤深度の情報）の空間変化を把握するため、玉名平野内の４測線 44 地点で単点微動観測を行った（図 22、表 12、写真５）。

現地での観測は平成 30 年７月 31 日～８月２日の夜間に実施した。天候は晴れまたは曇りであった。地震計は東京測振製速度計 SE-321（固有周期 10 秒、5V/(cm/s)）、収録装置は白山工業製 DATAMARK LS-8800（形式分解能 24 bit）を使用した。LS-8800 の内蔵アンプの倍率を８倍とし、サンプリング周波数 200 Hz で収録した。観測時間は１地点あたり 30 分間以上とし、通過交通量等の現場状況に応じて、観測終了時刻を設定した。

データ解析は f)と同様に、非定常的なノイズの含まれていない 40.96 秒の区間を可能な限り抽出した（最少でも５区間以上）。抽出した各区間の各成分の微動波形記録について、フーリエ変換により振幅スペクトルを求め、Konno and Ohmachi（1998)の方法によりスペクトルの平滑化を行った（平滑化の幅を規定する係数 b の値は 40 に設定）。各区間について得られたH/Vスペクトル比をアンサンブル平均したものを観測H/Vスペクトル比とした。

図 23 に全地点での H/V スペクトル比を示し、ピーク周波数の空間分布を図 22 の地図中に示す。玉名平野を南西から北東方向に向かって縦断するＢ測線やＣ測線では、海岸から菊池川に沿って山地の方向に向かうにつれて、徐々に卓越周波数が高くなる傾向が見られた。国営横島干拓地内の C1 では卓越周波数が 0.3 Hz（卓越周期３秒）であるなど、横島干拓地周辺では 0.3～0.5 Hz と、他の地点に比べ相対的に低い卓越周波数を示した。横島干拓地の北にある横島山(更新世の金峰火山の土石流堆積物からなる)及びその周辺域(A08、C05、A10～A12、D04～D05）では、卓越周波数が 0.7～1.0Hz であり、玉名平野の中では相対的に高い卓越周波数であった。

写真５　玉名平野における単点微動観測実施状況（C06 地点）

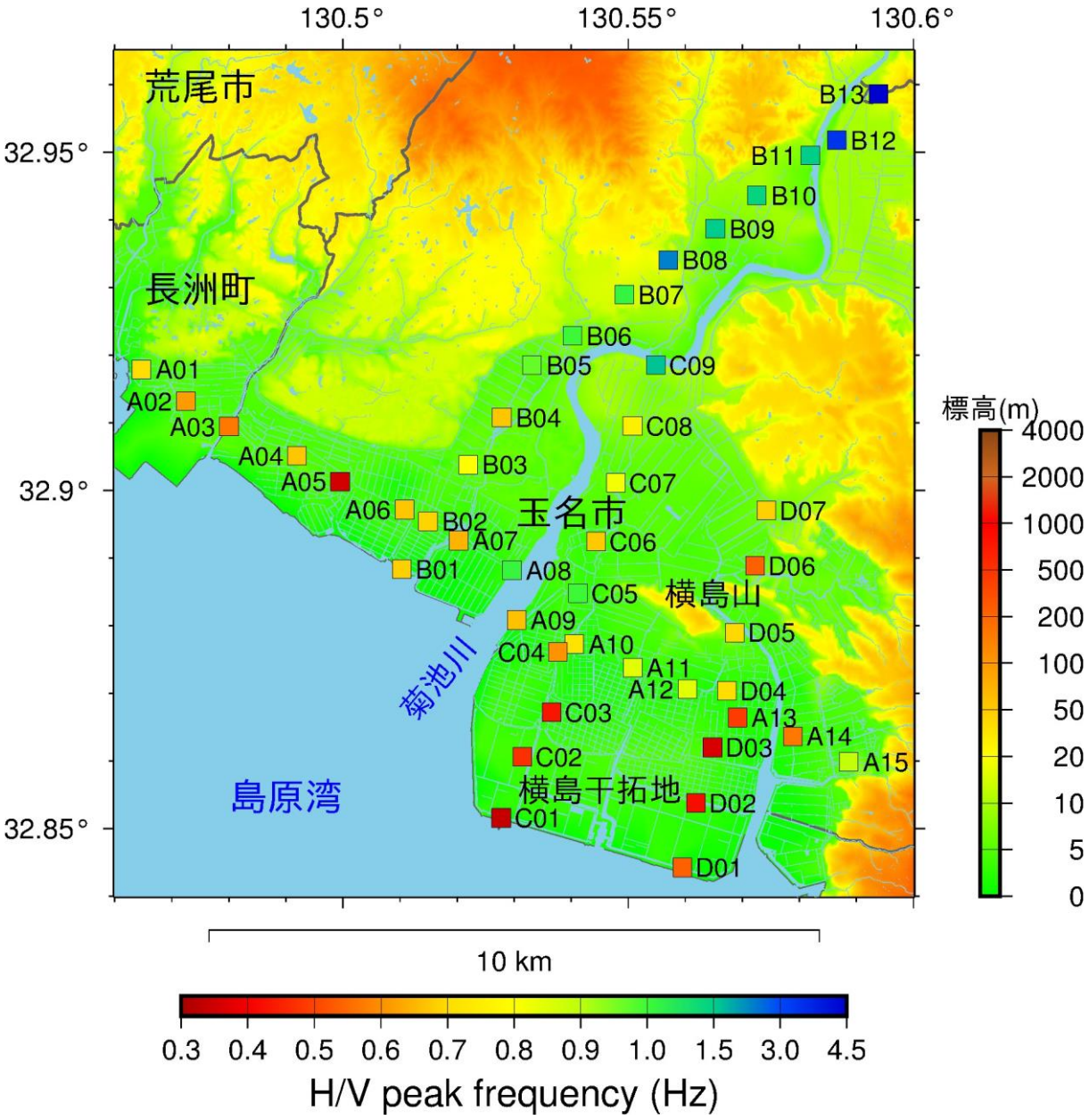


図 22　玉名平野における微動 H/V スペクトル比のピーク周波数の空間分布

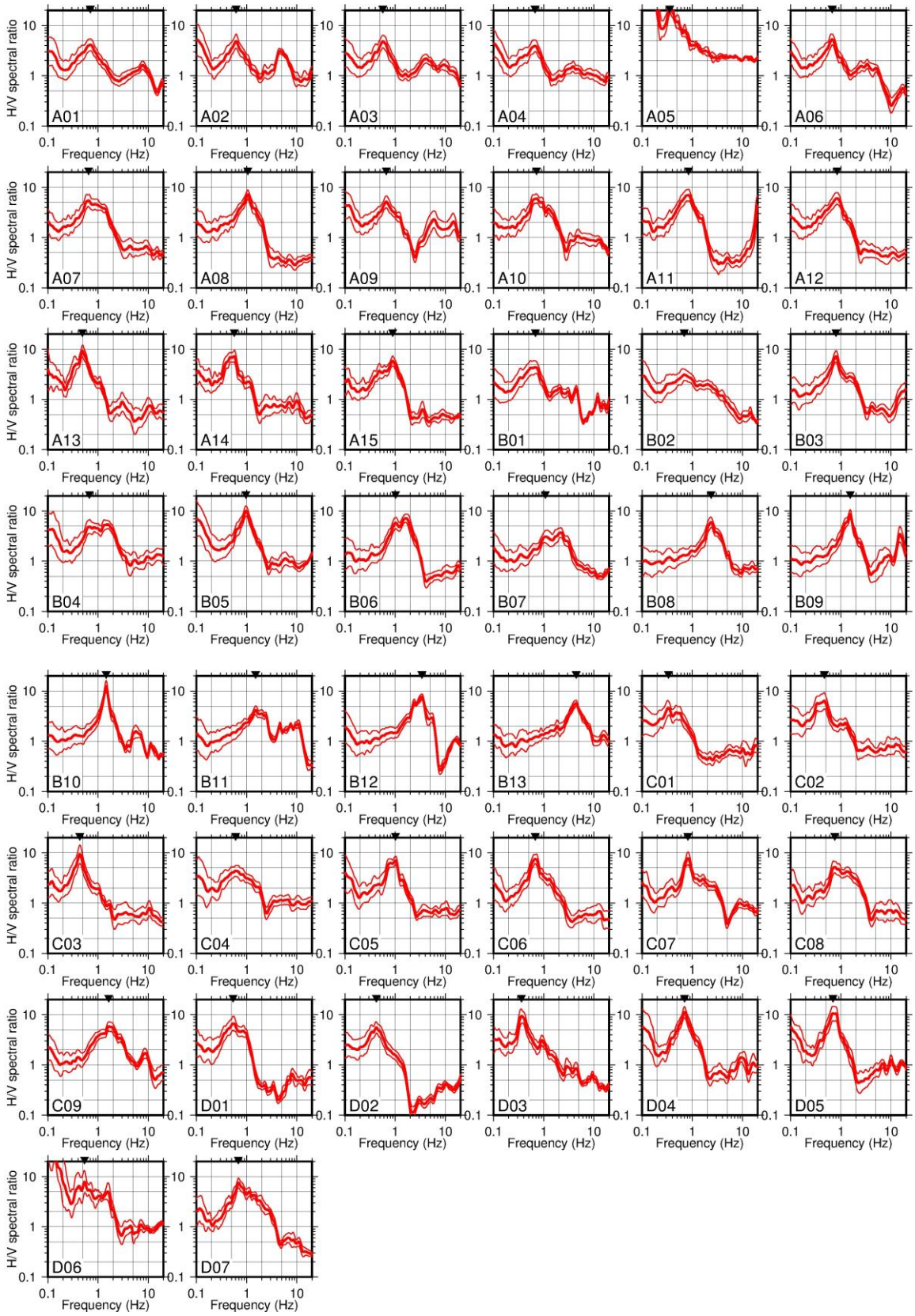


図 23　玉名平野における微動 H/V スペクトル比

表 12　玉名平野での単点微動観測地点

観測点	緯度 (°N)	経度 (°E)	観測日時				所在地
			観測開始		観測終了		
A01	32.91792	130.46469	2018/7/31	19:10		20:55	玉名郡長洲町大字清源寺
A02	32.91320	130.47246	2018/7/31	19:22		20:59	玉名郡長洲町大字上沖洲
A03	32.90945	130.48003	2018/7/31	19:35		21:05	玉名市岱明町下沖洲
A04	32.90514	130.49196	2018/7/31	19:50		21:10	玉名市岱明町鍋
A05	32.90132	130.49948	2018/7/31	20:03		21:17	玉名市岱明町鍋
A06	32.89719	130.51080	2018/7/31	20:16		21:24	玉名市岱明町高道
A07	32.89260	130.52029	2018/7/31	20:29		21:30	玉名市滑石
A08	32.88821	130.52962	2018/7/31	20:40		21:35	玉名市滑石
A09	32.88085	130.53043	2018/7/31	21:51		23:25	玉名市大浜町
A10	32.87731	130.54056	2018/7/31	22:07		23:35	玉名市横島町横島
A11	32.87378	130.55080	2018/7/31	22:18		23:45	玉名市横島町横島
A12	32.87063	130.56036	2018/7/31	22:28		23:50	玉名市横島町横島
A13	32.86642	130.56915	2018/7/31	22:41		23:55	玉名市横島町横島
A14	32.86366	130.57886	2018/7/31	22:57		23:59	玉名市天水町小天
A15	32.85986	130.58867	2018/7/31	23:10	8/1	0:10	玉名市天水町小天
B01	32.88838	130.51031	2018/8/1	22:00		23:20	玉名市岱明町高道
B02	32.89543	130.51489	2018/8/1	22:12		23:25	玉名市岱明町高道
B03	32.90382	130.52194	2018/8/1	22:22		23:32	玉名市岱明町高道
B04	32.91080	130.52784	2018/8/1	22:36		23:40	玉名市岱明町山下
B05	32.91853	130.53314	2018/8/1	22:50		23:50	玉名市岱明町野口
B06	32.92286	130.54021	2018/8/2	0:02		2:00	玉名市岱明町野口
B07	32.92894	130.54930	2018/8/2	0:18		2:15	玉名市中
B08	32.93408	130.55702	2018/8/2	0:31		2:23	玉名市岩崎
B09	32.93869	130.56528	2018/8/2	0:43		2:26	玉名市河崎
B10	32.94361	130.57256	2018/8/2	1:03		2:30	玉名市玉名
B11	32.94954	130.58189	2018/8/2	1:20		2:35	玉名市玉名
B12	32.95178	130.58653	2018/8/2	1:27		2:48	玉名市上小田
B13	32.95862	130.59387	2018/8/2	1:42		2:55	玉名郡和水町瀬川
C01	32.85158	130.52774	2018/8/1	3:53		5:28	玉名市大浜町
C02	32.86066	130.53143	2018/8/1	4:05		5:35	玉名市大浜町
C03	32.86722	130.53659	2018/8/1	4:20		5:40	玉名市横島町横島
C04	32.87611	130.53767	2018/8/1	4:35		5:50	玉名市大浜町
C05	32.88482	130.54118	2018/8/1	4:42		5:55	玉名市大浜町
C06	32.89249	130.54439	2018/8/1	4:53		6:00	玉名市大浜町
C07	32.90112	130.54785	2018/8/1	5:04		6:10	玉名市大浜町
C08	32.90956	130.55075	2018/8/1	5:13		6:15	玉名市小島
C09	32.91856	130.55484	2018/8/1	2:13		3:25	玉名市小島
D01	32.84425	130.55952	2018/8/1	0:53		2:40	玉名市横島町共栄
D02	32.85377	130.56186	2018/8/1	1:03		2:45	玉名市横島町共栄
D03	32.86201	130.56477	2018/8/1	1:13		2:50	玉名市横島町横島
D04	32.87038	130.56728	2018/8/1	1:22		2:55	玉名市横島町横島
D05	32.87899	130.56869	2018/8/1	1:33		3:00	玉名市横島町横島
D06	32.88889	130.57227	2018/8/1	1:45		3:05	玉名市天水町竹崎
D07	32.89704	130.57420	2018/8/1	1:56		3:15	玉名市片諏訪

4) 八代平野における反射法地震探査

a)はじめに

平成 28 年熊本地震では布田川断層帯布田川区間と日奈久断層帯北部の一部が活動したと考えられており、本調査では布田川・日奈久断層帯の活動していない部分を震源断層とした場合の強震動予測の実施を行う。その震源断層が活動した場合に大きな揺れに見舞われる熊本平野、八代平野の地下構造モデル、特に堆積層部分のいわゆる深部および浅部の地盤構造モデルを構築することが強震動予測の高度化に不可欠である。平成 29 年度に八代平野において反射法地震探査を実施し、平野下の基盤面深度や基盤面形状を調査することを目的とした。具体的には八代平野を東西に横断する反射法地震探査を実施した。八代平野東部は日奈久断層帯を平野の区切りとしているが、日奈久断層帯を横断することにより、八代平野の断層帯周辺の地下構造及び断層の位置および形状についての基本的な情報収集も得ることができると考えた。

b) 調査測線および作業期間

調査は八代平野を東西に横断する、宇城測線約４km、八代測線約７km の２測線で行った。P 波による反射法地震探査を行い、探査目標深度１km程度の地下構造をイメージングする。調査測線の概略位置図を図 24 に、概要を表 13 に示す。表 14 は今回の探査仕様を取りまとめている。表 15 には使用機器一覧を示した。震源車は中型バイブレータを用い、受振器としては固有周波数 10Hz の速度型地震計を使用した。収録装置には、無線テレメトリ型データレコーダーを用いた。リモートユニット(WRU)は、１台で１チャンネル（１受振点分）の振動データを連続記録し、GPS 衛星の時刻情報を付加して、2.4 GHz 帯の無線伝送により記録データを観測車に伝送する。バッテリー駆動により単独で長時間の連続記録を収録しているため、無線障害によりデータ伝送ができない時にも、観測車で記録された発震時刻から、後ほどデータを切り出し伝送することが可能である。設置した WRU の GPS 受信状況、接続したバッテリーの残量、および地震計の抵抗値、周辺ノイズの状況等は、観測車でリアルタイムに確認することが可能である。中型バイブレータ発振と収録装置を写真６、７に示す。

現地作業期間は、平成 29 年 11 月 21 日から 12 月 19 日であった。

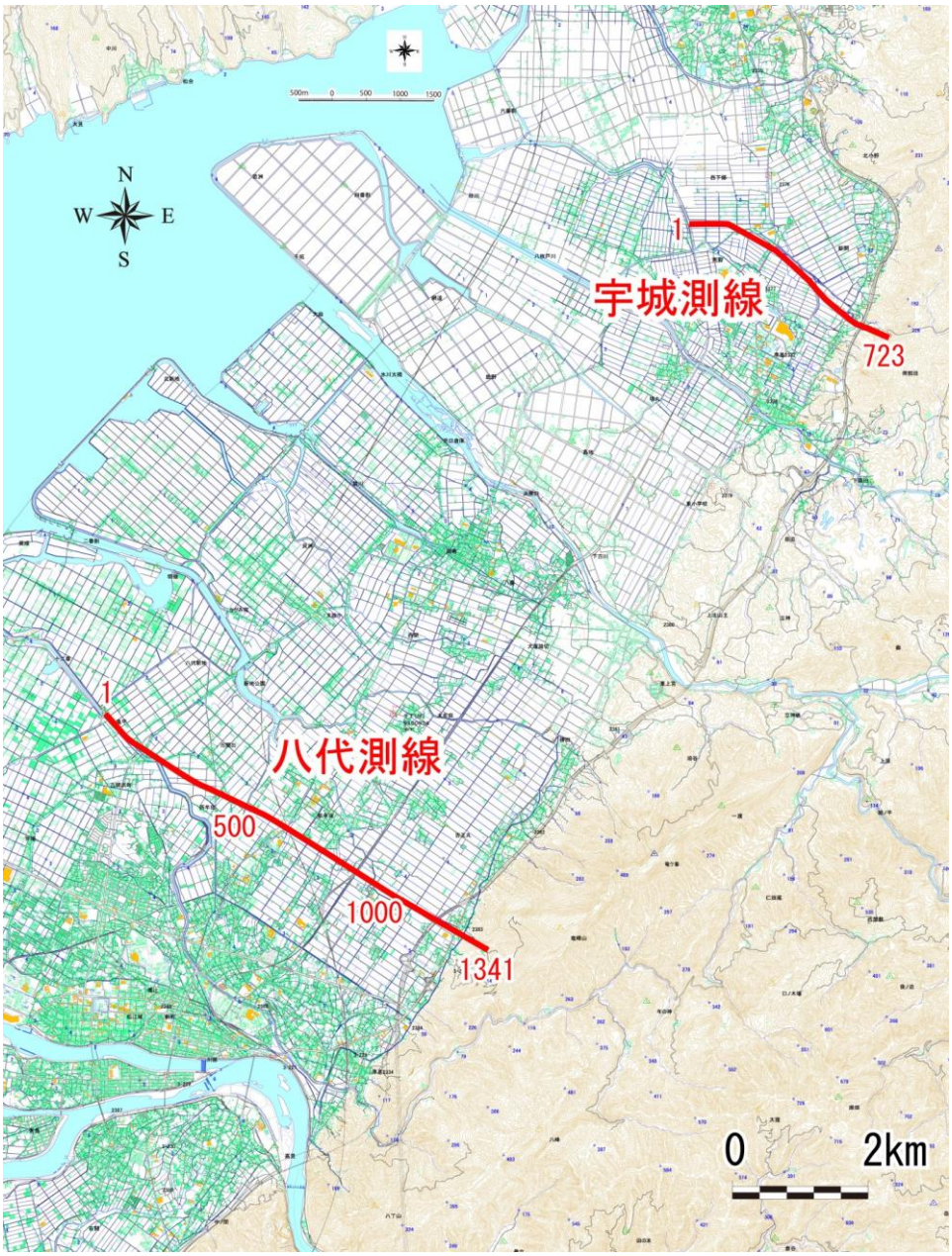


図 24　調査測線の概略位置図（図中の数字は５m 間隔を基本とする CMP 番号）。国土交通省国土地理院「基盤地図情報」に加筆。

表 13　調査測線の概要

測線名	延長	所在地
宇城測線	約４　km	熊本県宇城市小川町南部田～北部田
八代測線	約７　km	熊本県八代市千丁町古閑出～川田町東

表 14　主な探査仕様

項　目	内　容		備　考
探査手法	P 波反射法地震探査		
波動種別	P 波		
測線数	2		
測線名	宇城測線	八代測線	
測線長 (上段：測定 下段：解析)	3,871m 3,505m	7,317m 6,635m	予察調査の結果を踏まえ、決定
標準発震点間隔	10m		
標準受振点間隔	20m		障害物がある場合は受振器設置位置をずらし設置
標準収録 チャンネル数	100 チャンネル （展開長：標準 2.0km）		震源の前方(東側)：60ch、 後方(西側)：40ch
標準垂直重合数	10 回		現地テストに基づき決定
標準スイープ長	16 秒		
スウィープ周波数	10-100Hz		現地テストに基づき決定
収録記録長	20 秒（相互相関前） 4 秒（相互相関後）		
サンプリング間隔	2msec		
収録様式	SEG-Y		
震源	中型バイブレータ　1 台		EnviroVibe（IVI 社製）
受振器	速度型地震計 (固有周波数：10Hz、6 個グルーピング/1 地点)		SM-4（I/O Sensor 社製） スピリアスノイズの発生：約 180Hz 以上
収録装置	無線テレメトリ型デジタルレコーダー (A/D 分解能：24 ビット)		RT System 2（Wireless Seismic 社製）

表 15　使用機器一覧

種類	形式	製品名	製造	主な仕様
震源	中型バイブレータ	Enviro Vibe	IVI	実用周波数範囲：8～200Hz 最大ストローク：6.99cm ホールドダウン重量：約 7.5 トン リアクションマス重量：約 0.8 トン ベースプレート設置面積：約 1.1m^2 総重量：8.4 トン 寸法：(L)6.1×(H)2.4×(W)1.9m
受振器	ジオフォン	SM-4	I/O sensor	速度型地震計（1 成分） 固有周波数：10Hz グルーピング：6 個
探鉱機	無線テレメトリ型 データレコーダー	RT System 2	Wireless Seismic	A/D 分解能：24 ビット サンプリング間隔： 0.5, 1.0, 2.0, 4.0msec 保存データ形式：SEG-Y 周波数特性：3Hz－0.8 of Nyquist プリアンプゲイン：0, 12, 24, 36dB
探鉱機	発震時刻・ パイロット信号 データレコーダー	SDR	OYO-GEOSPACE	A/D 分解能：24 ビット サンプリング間隔： 0.25、0.5、1.0、2.0、4.0msec 保存データ形式：SEG-D,SEG-2 周波数特性：3Hz－0.8 of Nyquist プリアンプゲイン： 0, 6, 12, 18, 24, 30, 36dB

写真６　現地観測風景（中型バイブレータ）

写真７　記録器と感震器

c）データ処理及び解析

収録記録のデータ処理及び解析は、一般に多用される共通中間点(Common Midpoint; CMP)重合法により SN 比(シグナルとノイズの比)を高めた時間断面を作成し、次に、速度解析結果等に基づき、マイグレーション処理を施し、時間断面中の反射面を正しい位置に戻す。さらに、深度変換により、時間断面を深度断面に変換する。データ処理のフローを図 25 に示し、表 16 に処理に使った主なパラメータを記載した。

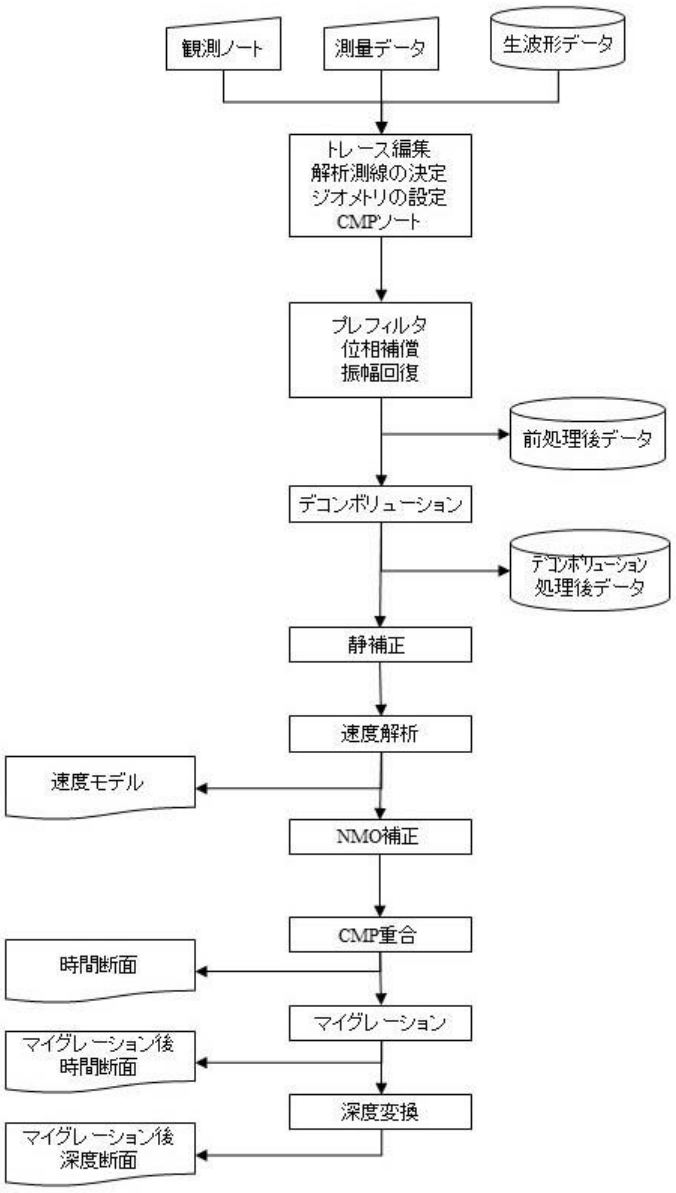


図 25　反射法地震探査標準データ処理フロー

表 16　データ処理に使用した主なパラメータ

処理名	パラメータ	設　定　値		備考
プレフィルタ	バンドパスフィルタ帯域	10～100Hz		
位相補正	－	インパルスに変換するオペレータを設計し適用		
デコンボリューション	自己相関演算用ゲート長	1000msec		ﾀｲﾑﾊﾞﾘｱﾝﾄ ｽﾍﾟｸﾄﾗﾙ ﾎﾜｲﾄﾆﾝｸﾞ等
	フィルタ長	100msec		
	ホワイトノイズ	3%		
静補正	メッシュサイズ	宇城測線	八代測線	
		2m×2m	1m×1m	
	初期速度モデル	深度と共に単調増加（300～4000m/s）		
	最大オフセット距離	500m		
	再構成速度範囲	300～4000m/s		
	トモグラフィ繰り返し回数	72 回	25 回	
	置換速度	1500m/s		
	標高補正用速度	1500m/s		
NMO 補正	ｽﾄﾚｯﾁﾐｭｰﾄ適用比率	1.75		

d) 解析結果と解釈

c)によるデータ処理・解析により、それぞれの測線の断面図を作成した。測線の詳細位置図を図 26、27 に示す。生データのフィルタリングやデコンボリューションを行ったのち、速度解析の前に、静補正を行った。ここでは静補正として、表層付近に偏在する低速度層の層厚や速度の変化の影響を補正する表層静補正と、発震点や受振点の標高が異なる影響を補正する標高静補正を行った。表層近傍の浅部構造もイメージ対象とするため、表層部分に対して震源からオフセット 0.5km 程度までの P 波初動走時を用いた屈折波トモグラフィーを行って、表層静補正とした。図 28、29 に宇城測線、八代測線の屈折波トモグラフィーの結果を示す。深度約 100m 程度までの速度分布が得られた。八代平野内はどちらの測線もほぼ水平な速度構造を示していることがわかる。一方、宇城測線では CMP 番号 600、八代測線では CMP 番号 1250 あたりから東側に高速度の領域が表れているが、日奈久断層帯の境界であると考えられる。これらの図面も含めて、宇城測線、八代測線の断面図は、測線全体が紙面に入るようにしているため、実際は八代測線の方が長測線であることに注意していただきたい。

図 30、31 に宇城測線と八代測線の CMP 重合後の時間断面図（グレースケール）を示す。明瞭な反射イベントは、往復走時として両測線とも約 0.5 秒程度まで見えていて、堆積層内には連続性のよい反射イベントが見えている。図 32、33 にマイグレーション処理をしたあと、深度断面としたものを示す(カラースケール)。宇城測線は縦横比が１：１に対して、八代測線は縦横比を２：１としている。宇城測線、八代測線ともに、上述の浅部屈折法トモグラフィーの変化がみられるところに対応して、反射イベントの連続性が途切れて、西側に向けて構造が深くなっていることが見て取れる。また、堆積層の基盤面深度や堆積層内の反射イベントの並びは、断層近く（測線の東側）で深く、西に向けて徐々に浅くなる傾向が見て取れる。宇城測線では、断層近くで基盤面深度がより深くなっている凹みの部分があるのに対して、八代測線では、断層近傍で一番基盤面深度が深いようである。

反射法地震探査は、九州山地と八代平野を境する日奈久断層帯をまたいだ２測線（宇城測線、八代測線）で実施した。図 34 は測線を熊本県地質図編纂委員会(2008)による熊本県地質図（10 万分の 1）と、産業技術総合研究所地質調査総合センター(2013)による日本重力データベースをもとに作成したものに重ねた。調査地周辺における九州山地の基盤岩類は、図 11 に示すように白亜系堆積岩類、花崗岩類、変成岩類などで構成される。八代平野においては、これらの基盤岩類を不整合に覆って、阿蘇火砕流堆積物(Aso-1～Aso-4)や堆積年代が不明の未区分洪積層が分布すると考えられるが、その地質層序の詳細は不明である。図 34 には、ブーゲー異常値（仮定密度：2.67g/cm^3）のコンターを併記しているが、八代平野においては、日奈久断層帯あるいは臼杵－八代構造線に沿った構造が見られている。八代平野の重力異常分布をみると、日奈久断層帯に平行に重力異常コンターが並んでいて、南北方向（正確には日奈久断層帯の走向と同じく北北東―南南西方向）には比較的似通った形状をしていることが想像され、また、西に向かって重力異常が高くなることから、堆積層厚は大局的には薄くなっていっていると考えられる。その中で宇城測線は、断層近傍の堆積層側に負の重力異常の目玉があるが、宇城測線に現れている、断層直近の堆積層の基盤面深度が深くなっている凹みと対応していると考えられる。

反射法地震探査で得られた深度断面図に現れている反射イベント相の並び（速度構造境

界と考えられる）や基盤面深度といったものは、本来ならば、測線に近いボーリング地質柱状図で対比することにより地質的な解釈ができる。しかしながらこの地域には、この探査と対応するような、深い学術ボーリングは存在しない。したがって、本報では速度解析や反射イベントの特徴を検討しながら、基盤面深度の解釈を行うとともに、平成 28 年度に収集した、八代地域の温泉ボーリング等の資料に記載されている地質柱状図との比較を行った。図 35、36 がそれぞれ宇城測線、八代測線の解釈図である。

宇城測線を東の丘陵部から追っていくと、CMP 番号 600 付近の日奈久断層帯を境に基盤面深度が深くなり、CMP 番号 480 付近で最深約 0.6km となる。そこから基盤面深度は緩やかに浅くなっていく。CMP 番号 200 付近で深度は 0.3km くらいになり、反射イベントを追うと、西にかけてやや深くなっていく。この測線の近くの温泉ボーリングの地質柱状図を反射断面に重ねている。ここでの基盤は花崗岩、閃緑岩などと考えられる。地質柱状図と反射断面の基盤深度が対応していないのは、ボーリング地点が測線より 1 ～1.5km 程度離れていることも考えられるのでここでは参考程度としたい。

八代測線も東側から同様にみていくと、CMP 番号 1250 あたりにある日奈久断層帯のところから堆積層は厚くなり基盤面深度は最深で 0.5km 程度（CMP 番号 1100 あたり）で、そこから西に向けてこちらも宇城測線同様に基盤面深度は大局的には浅くなっていく。CMP 番号 100 あたりでは 0.2km くらいの深度であると考えられる。測線の西延長上、測線西端から約 2 km のところでは、産島という基盤岩（石灰岩）の露頭がみられていて、これに向けて基盤面深度が浅くなっている可能性が高い。こちらは日奈久断層帯近くだが、測線から 0.3km ほど離れたところでの地質柱状図が得られていて、石灰岩の深度 415m とほぼ対応する基盤面深度が反射断面でも得られている。このことから、今回の探査で基盤面と考えている地質構造は、石灰岩や場所によっては花崗岩の上面と対応していると考えられる。

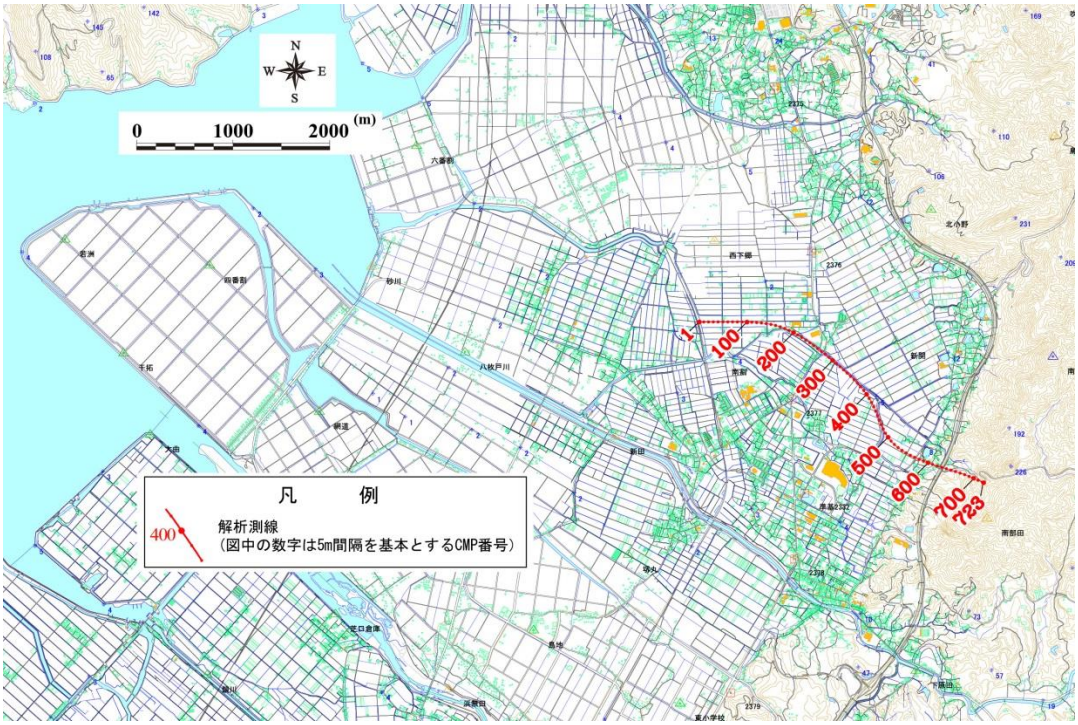


図 26　解析測線位置図：宇城測線。CMP 番号を赤字で表す。国土交通省国土地理院「基盤地図情報」に加筆。

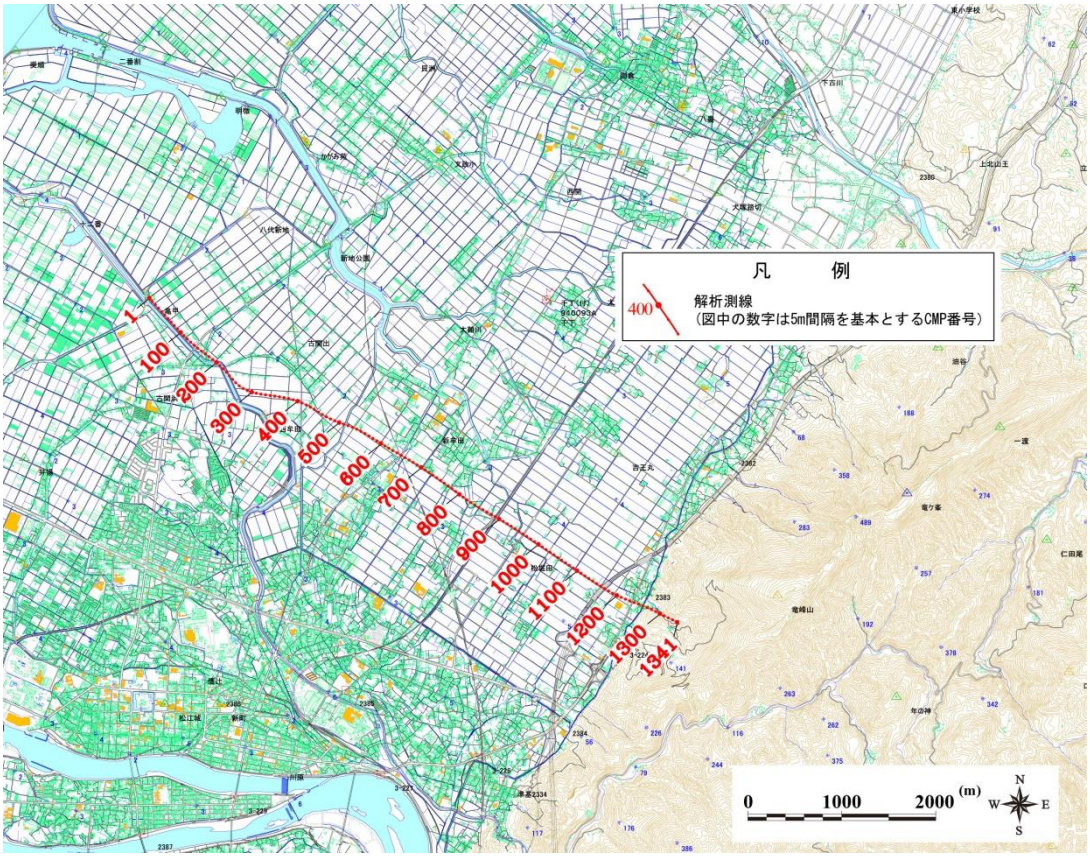


図 27　解析測線位置図：八代測線。CMP 番号を赤字で表す。国土交通省国土地理院「基盤地図情報」に加筆。

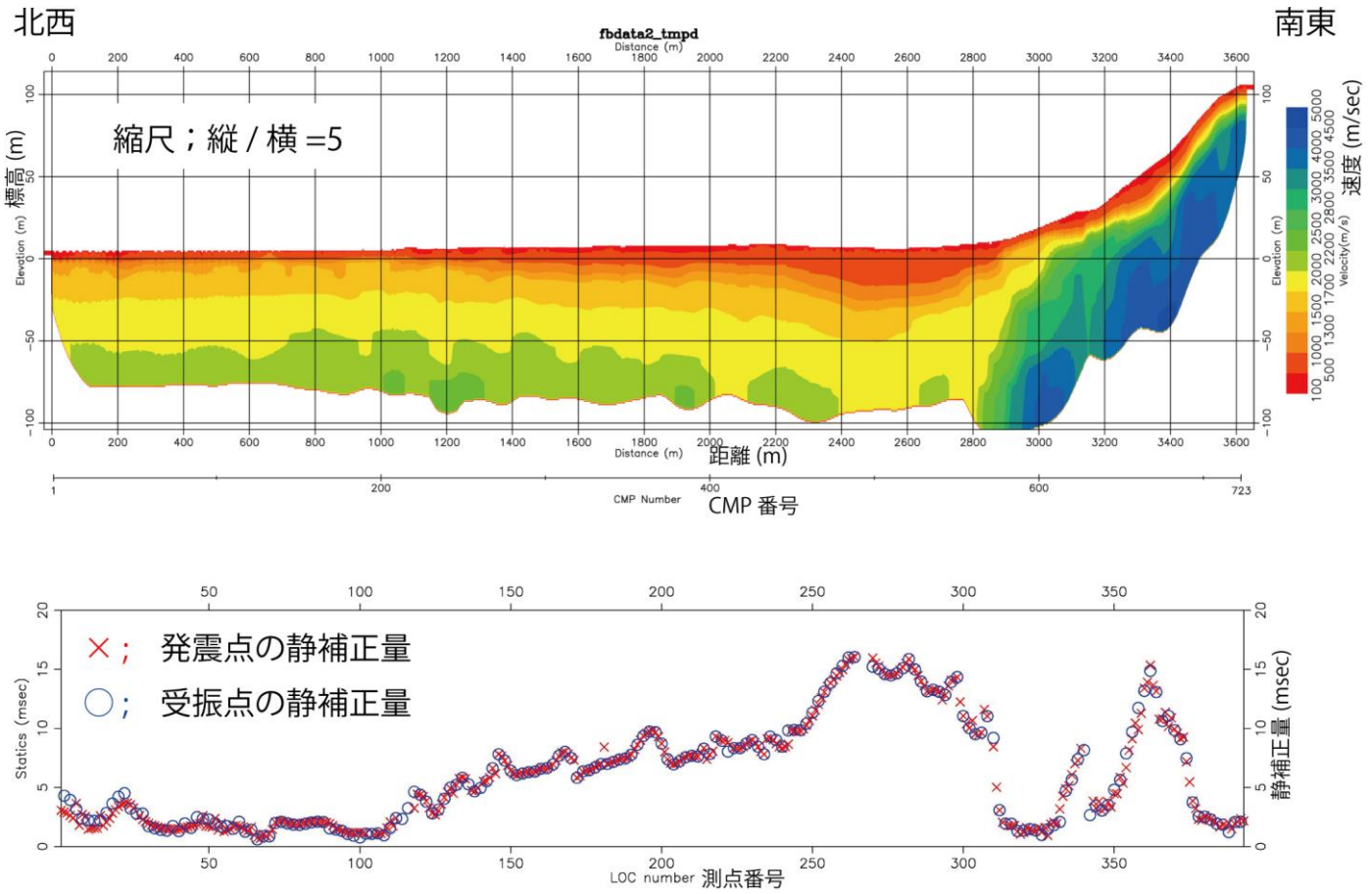


図 28　表層 P 波速度分布・静補正量（宇城測線）

（上段：表層の速度分布、下段：表層静補正量。表層速度分布の縮尺；縦：横=５：１）

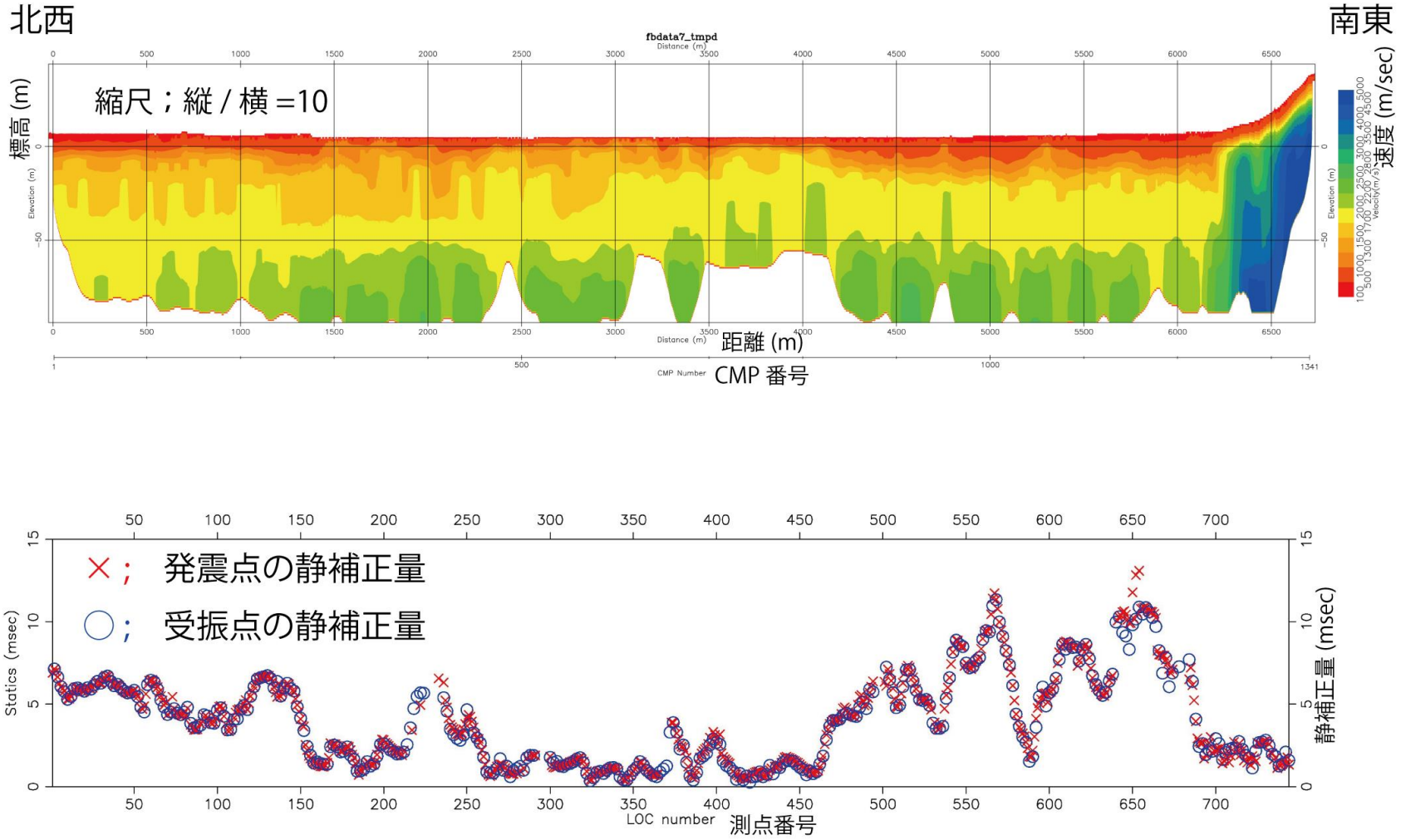


図 29　表層 P 波速度分布・静補正量（八代測線）

（上段：表層の速度分布、下段：表層静補正量。表層速度分布の縮尺；縦：横=10： 1）

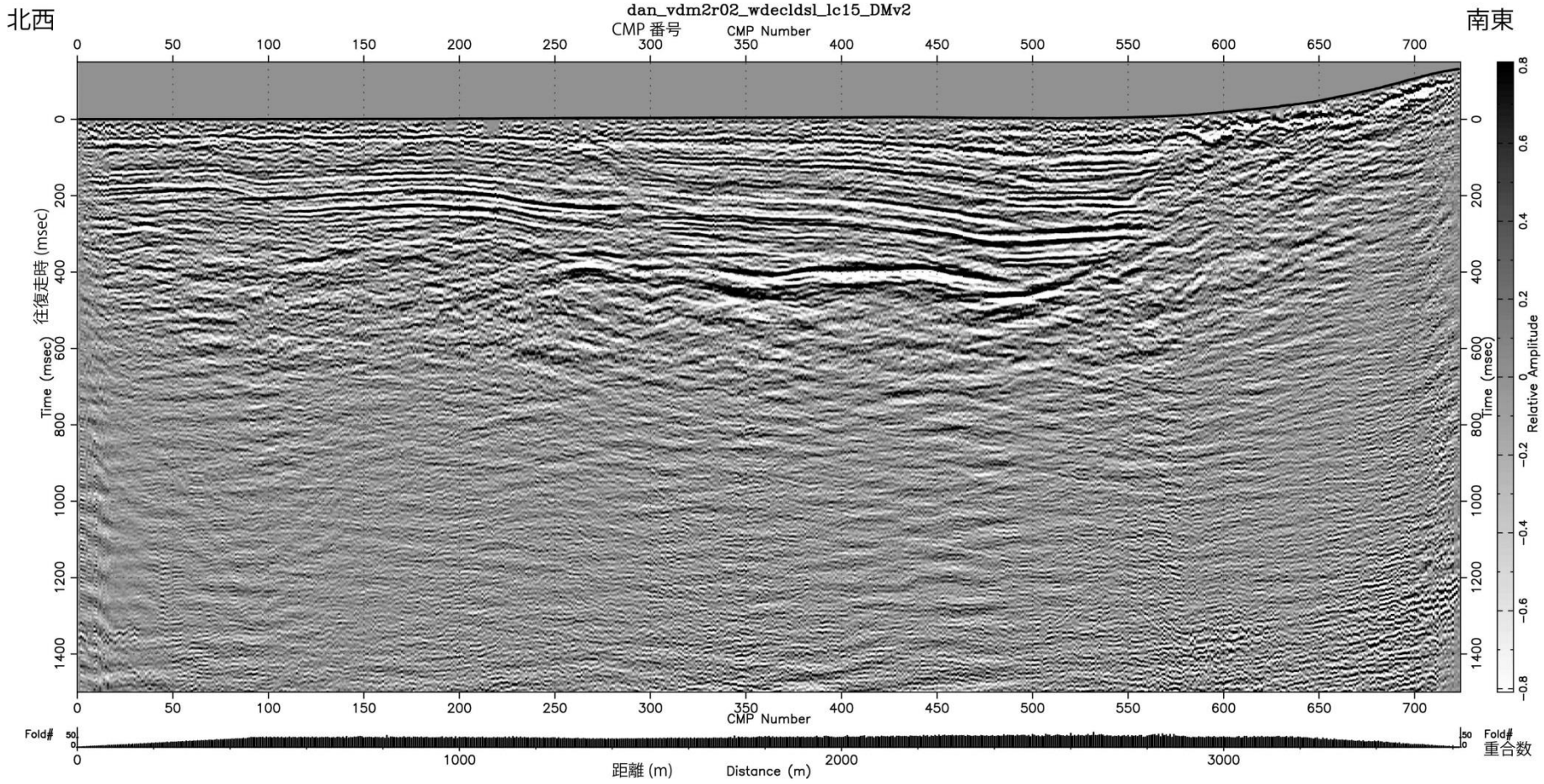


図 30　重合後時間断面（グレースケール表示）：　宇城測線

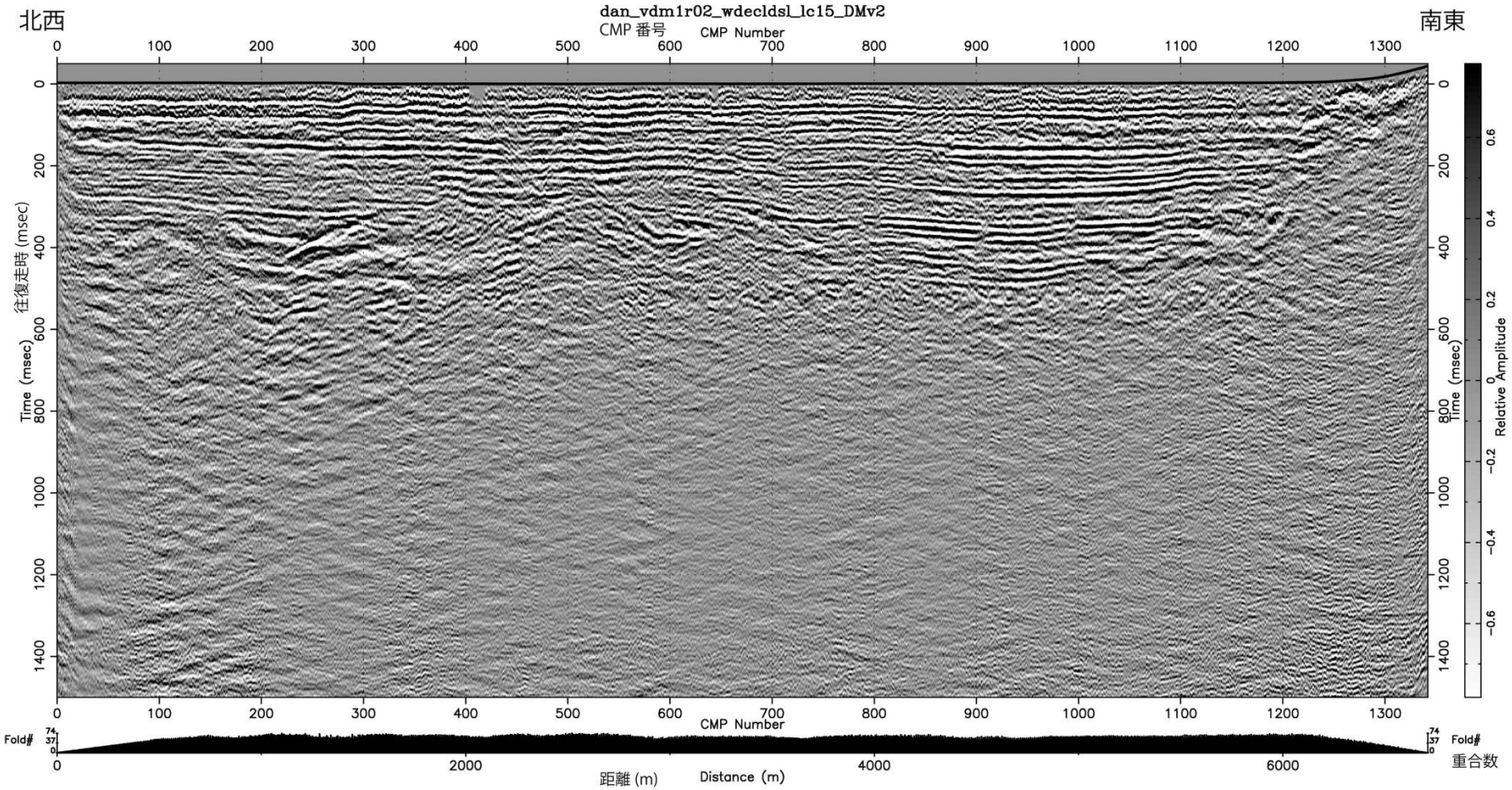


図 31　重合後時間断面（グレースケール表示）：　八代測線

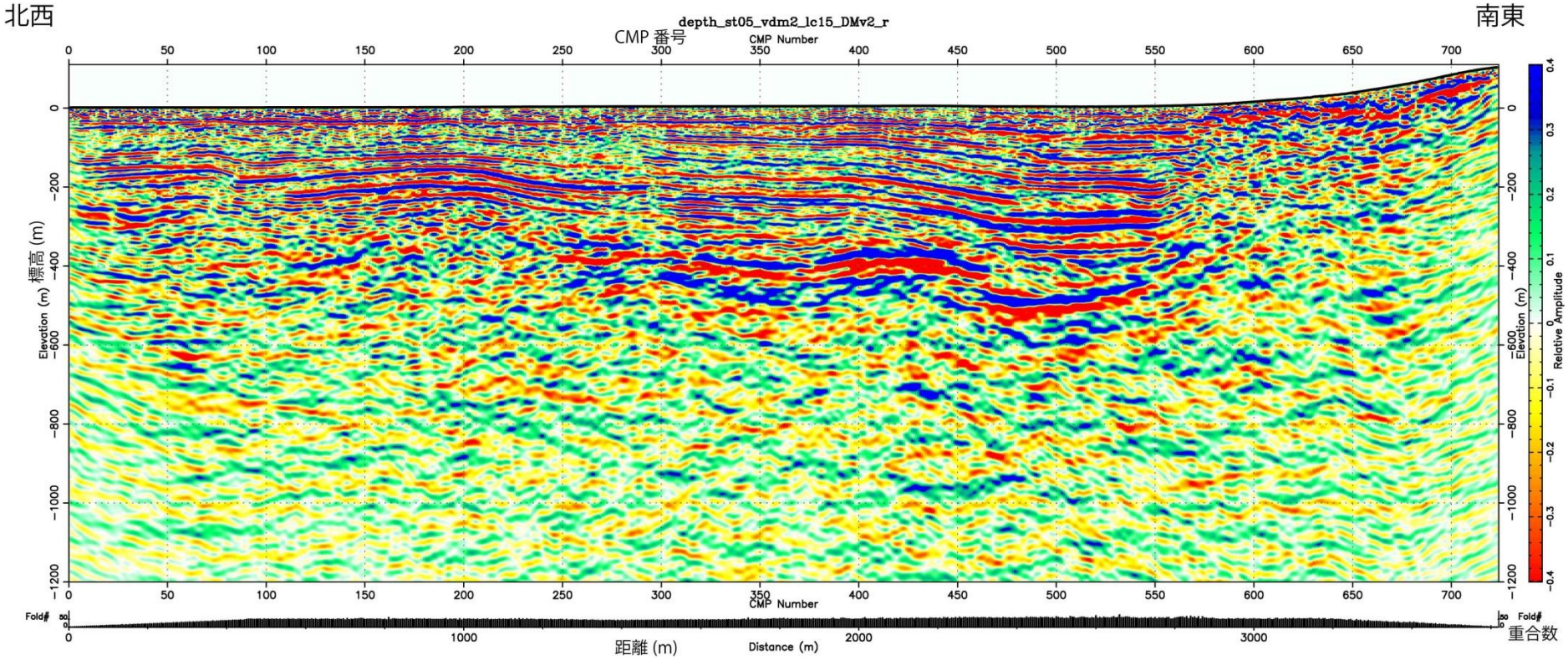


図 32　深度断面（縦横比１：１、相対振幅カラースケール表示）：　宇城測線

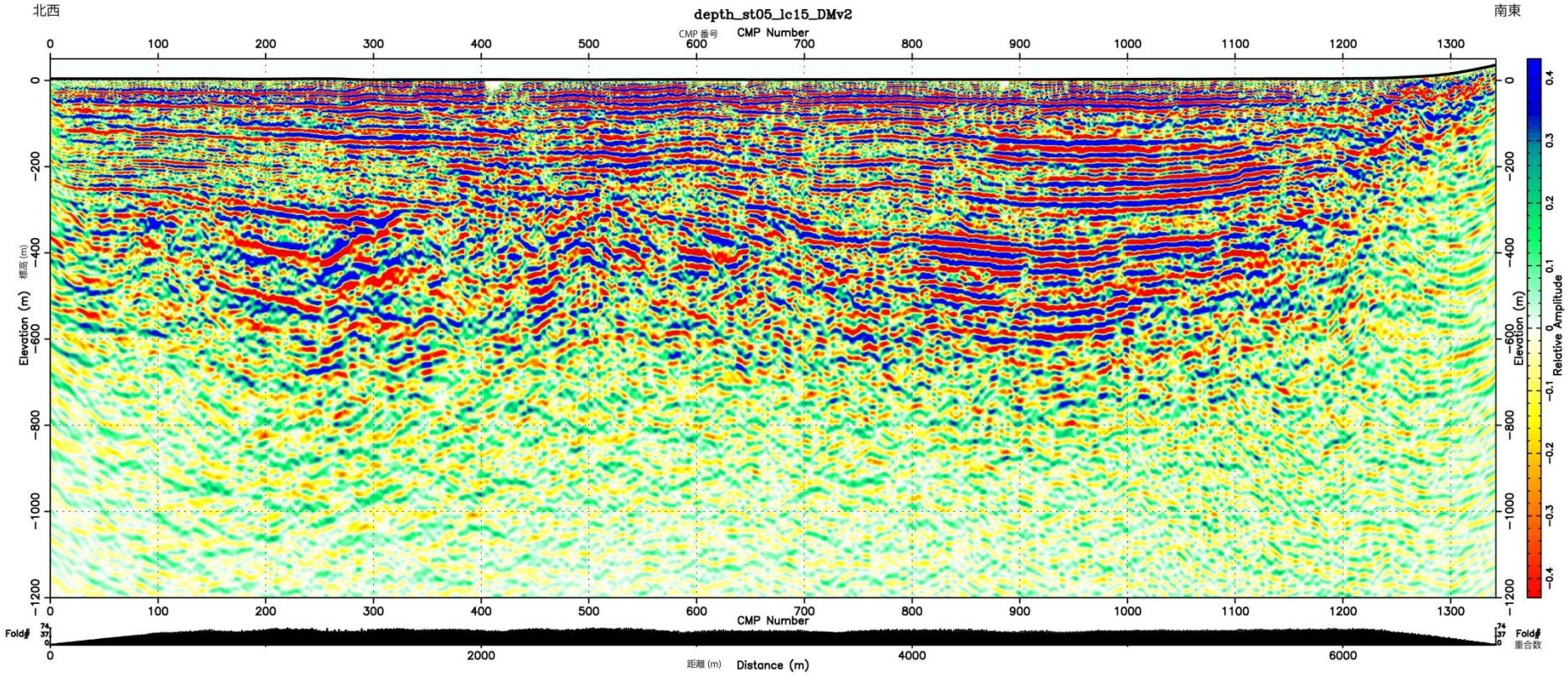


図 33　深度断面（縦横比２：１、相対振幅カラースケール表示）：　八代測線

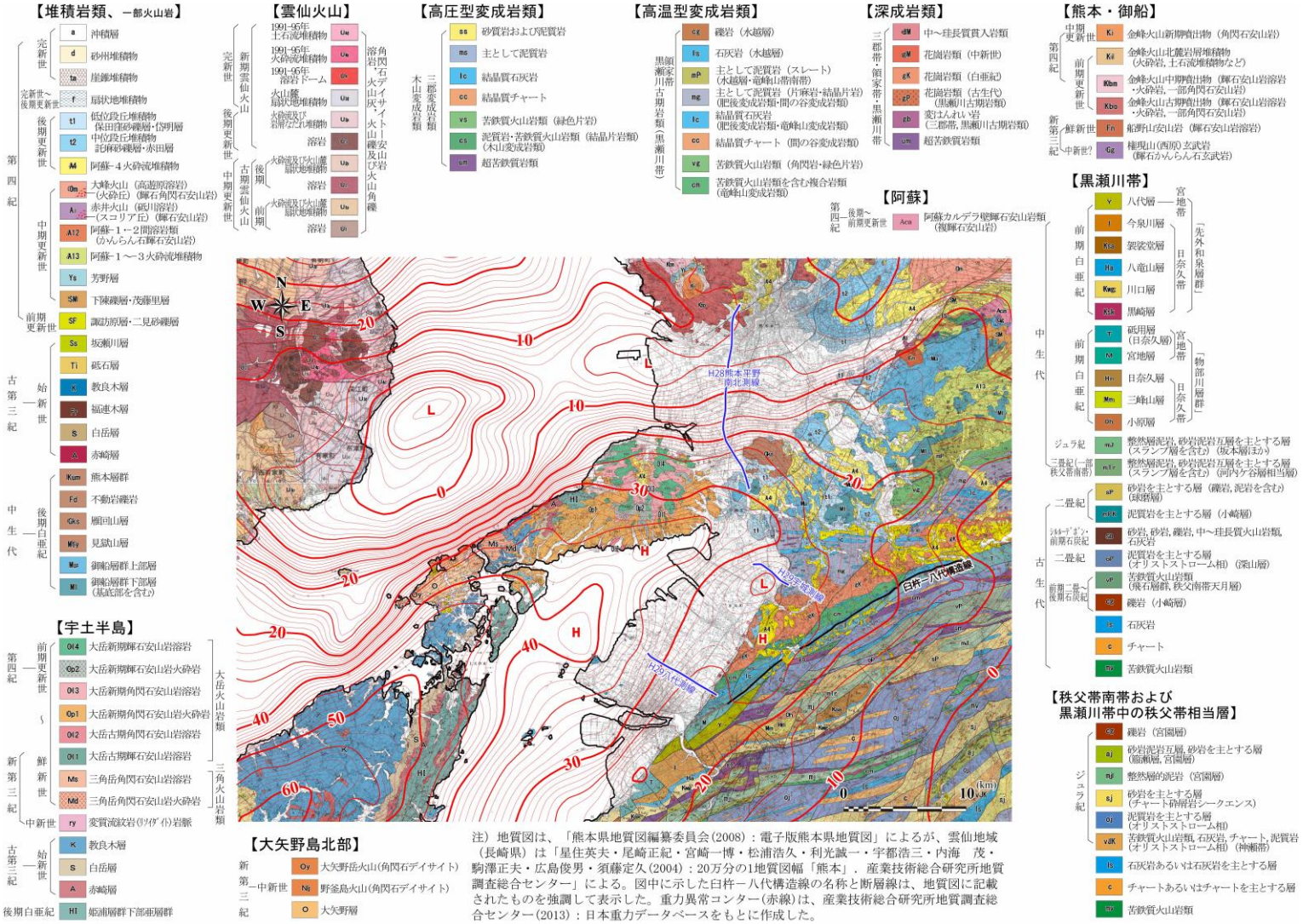


図 34　熊本平野周辺の地質図（熊本県地質図編纂委員会，2008，星住・他，2004），重力図（産業技術総合研究所地質調査総合センター，2013）に反射法探査測線（青色実線）を書き入れた。

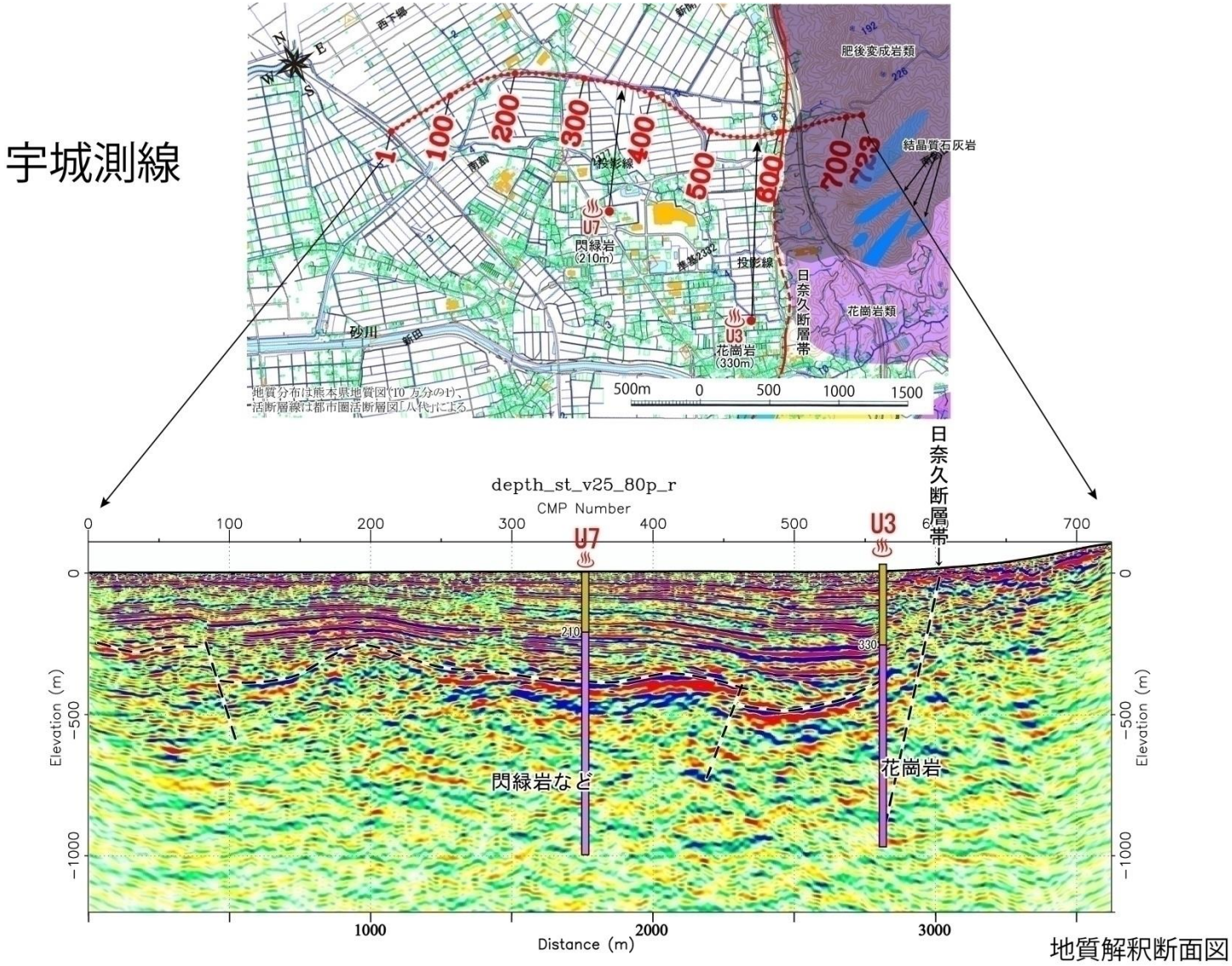


図 35　宇城測線深度断面図の解釈図。U3、U7 は深井戸ボーリングの地質柱状図。

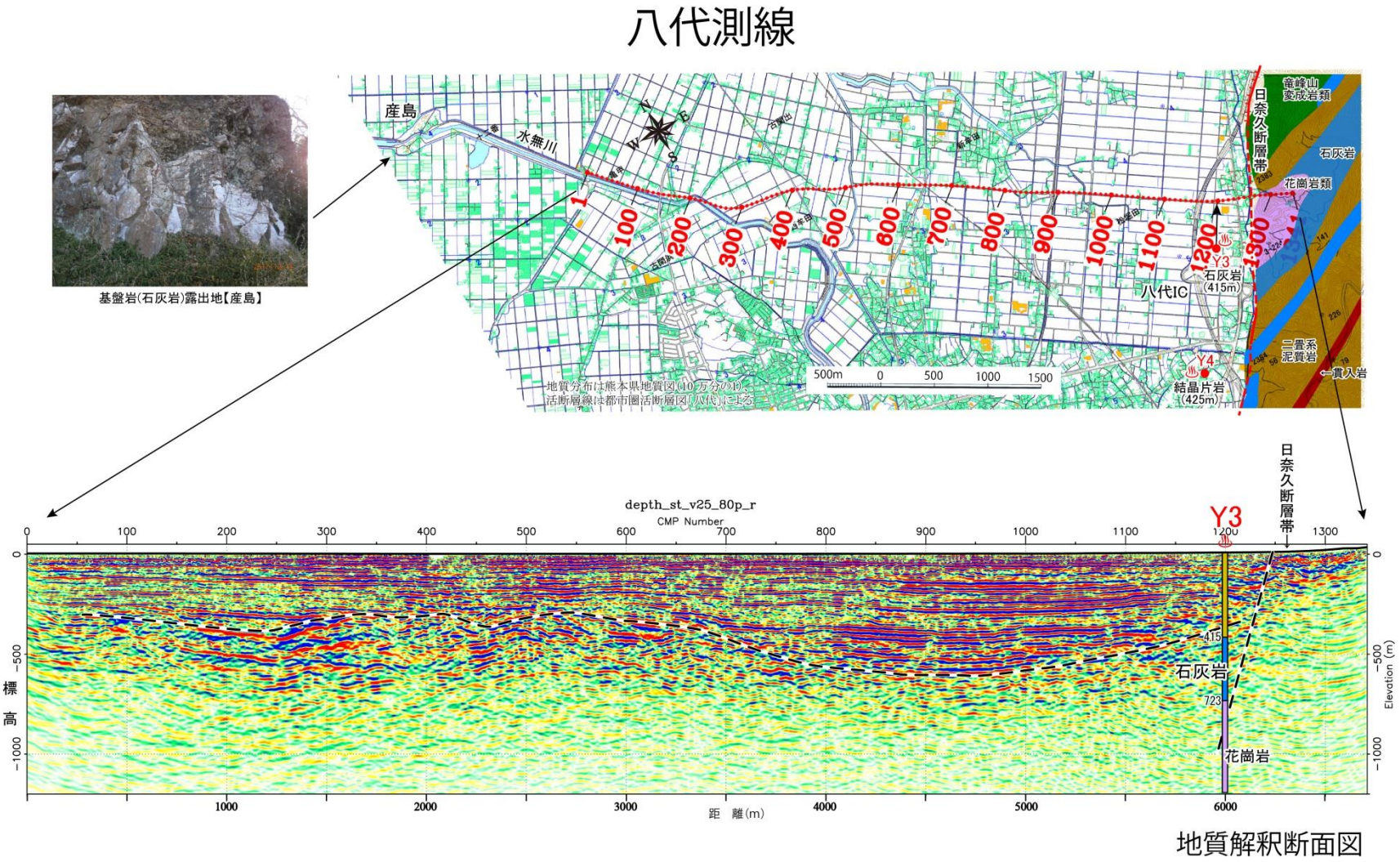


図 36　八代測線深度断面図の解釈図。Y3 は深井戸ボーリングの地質柱状図

5）強震観測点等の地震波増幅特性（サイト特性）の推定

a）はじめに

平成 29 年度に、熊本県知事公室危機管理防災課、熊本市政策局危機管理防災総室、気象庁熊本地方気象台のご協力により、震度情報ネットワークシステムの地震波形データの提供を受け、熊本県内を中心として、国立研究開発法人防災科学技術研究所の強震観測網（K-NET)、基盤強震観測網（KiK-net)、気象庁の計測震度計観測点の地震波形を用いて、いわゆるスペクトルインバージョン法（例えば、岩田・入倉(1986)）により、観測点サイト増幅特性の推定を行った。一方、平成 30 年度に実施した強震動予測においては、布田川断層帯、日奈久断層帯が活動した場合の予測を行うことから、熊本県下のみならず、長崎県島原半島東部および鹿児島県西部（出水平野周辺）で強い揺れに見舞われる可能性が高いことから、本稿において、長崎県危機管理課、鹿児島県危機管理局危機管理防災課のご協力により、各県の自治体震度計の地震波形データの提供を受け（項目 2)、これらの地点も含めたサイト増幅特性の評価と、項目 7)、8)でとりまとめられている浅部・深部地盤構造モデルに基づく理論増幅特性を比較することで、モデル妥当性を検討した。

b）解析方法とデータセット

スペクトルインバージョン法は観測（振幅）スペクトルが震源スペクトル、伝播経路による距離減衰および内部・散乱減衰の影響と観測点サイト増幅特性（以下サイト特性）を表すサイトスペクトルの合積で表されるという線形システムを仮定すると、対数をとることによってそれぞれの項の和で表現できる。これを利用して、多数の観測点での多数のイベント記録について連立一次方程式を構築してそれを解くことによって、各観測点のサイト特性を求める。

使用した観測点は、熊本県、鹿児島県、長崎県、佐賀県、福岡県、宮崎県内の防災科学技術研究所強震観測網 K-NET 観測点 42 地点、KiK-net 観測点 22 地点、広帯域地震観測網 F-net の観測点１地点、震度情報ネットワークの熊本県、鹿児島県、長崎県内の震度計観測点 101 地点、及び熊本県内の気象庁の震度計観測点 11 地点の合計で 177 地点である（表 17, 図 37)。なお、KiK-net 観測点は地表の強震記録を、F-net 観測点は広帯域強震計の強震記録をそれぞれ使用した。また、F-net 観測点の記録は、連続記録の中からＳ波が目視で読み取れるものを使用可能な記録として切り出してデータセットに含めた。上記 177 地点の中には、後述する地震が記録された期間において移設がなされた地点が２か所あったが、本報ではそれらは移設前後で別々の地点として取り扱った（上天草市姫戸町；KMMP33→KMMP93, 南阿蘇村河陽：KMMP54→KMMP94)。

対象とした地震は、2016 年４月 14 日 21 時 26 分から 2018 年８月 31 日 23 時 59 分までの期間に、熊本県内の布田川断層帯・日奈久断層帯周辺で発生した地震、すなわち平成 28 年熊本地震と一連の地震活動（平成 28 年熊本地震系列）を対象地震候補として、以下の条件で地震記録の選定を行った。それぞれの項目の括弧内は各条件の設定理由である。

① 震源深さ≦20 km（内陸地殻内地震を考慮するため）
② 3.0≦M_{JMA}≦5.5（下限：記録の S/N の考慮、上限：震源破壊過程の影響を避けるため）
③ 水平２成分の最大加速度≦200 cm/s^2（強震時の表層地盤の非線形効果を避けるため）

④ 観測点－震源間距離≦150 km（伝播経路特性を一定とすることから、地域性の影響を避けるため）

以上の条件で選定された地震は、合計で 182 地震（$3.0 \leqq M_{JMA} \leqq 5.5$）となった。選定された地震の一覧を表 18 に、地震の震源分布を図 38 にそれぞれ示す。

このようにして得られた 177 観測点 182 地震から構築したデータセットの地震－観測点ペアの総数は 9917 となった。この地震－観測点ペアの中では、1 地震あたりの最小観測点数は６、最大観測点数は 167、1 観測点あたりの最小地震数は３、最大地震数は 173 であった。地震－観測点ペアの震源距離の頻度分布を図 39 に示す。震源距離 100 km を超えるペアも一部存在するが、ほとんどのペアは震源距離 100 km 以内に分布し、５km 間隔の頻度分布で最も多いのは震源距離 15～20 km のペアであった。

次に解析方法（スペクトルインバージョン）について説明する。地震 i（$i = 1, 2, \ldots, M$）による観測点 j（$j = 1, 2, \ldots, N$）における観測記録の Fourier 振幅スペクトル $O_{ij}(f)$（以下，観測スペクトル）は、地震の震源特性 $S_i(f)$，震源から地震基盤までの伝播経路特性 $P_{ij}(f)$、観測点のサイト増幅特性 $G_j(f)$の積として、以下の式(1)で表現することができる。

$$O_{ij}(f) = S_i(f)P_{ij}(f)G_j(f) \tag{1}$$

ここで、伝播経路特性 $P_{ij}(f)$ は地震 i と観測点 j の震源距離 r_{ij} 、伝播経路の平均的なＳ波速度 V_s（本報では，3.4 km/s とした）と Q_s 値によって、

$$P_{ij}(f) = \frac{1}{r_{ij}} \exp\left(-\pi f r_{ij} / Q_S V_S\right) \tag{2}$$

と表すことができる。ここでは Q_s 値は伝播経路に依存しないという仮定をおいた。式(1)の両辺の常用対数をとり線形化すると、

$$\log O_{ij}(f) = \log S_i(f) + \log P_{ij}(f) + \log G_j(f) \tag{2-3}$$

となる。すなわち、M 個の地震に対する震源特性と N 個の観測点に対するサイト増幅特性、及び１個の Q_s 値は、地震－観測点ペア数の式(3)の連立方程式を解くことで評価することができる。ただし、この連立方程式を解く際は、震源特性 $S_i(f)$とサイト増幅特性 $G_j(f)$ は係数が同じのため、このままでは分離することができない。ここでは使用する観測点の中でも、比較的硬質な岩盤上に設置してあると考えられる F-net の TMC（砥用）観測点（図 37）を基準観測点と仮定して、この地点のサイト増幅特性を、地表面効果を含めて全周波数帯域で２として、連立方程式を解くこととした。なお、この観測点を基準観測点としてみなしてよいかについては、TMC の広帯域地震計の微動記録から計算した水平／上下スペクトル比（微動 H/V）の形状で判断した。ここで微動 H/V は、連続記録の中から微動と考

えられる 81.92 秒間を合計で 31 区間抽出し、各区間の水平動と上下動のスペクトル比のアンサンブル対数平均をとったものである。なお、水平動のスペクトル比は水平２成分の Fourier 振幅スペクトルの二乗和平方根とした。また、Fourier 振幅スペクトルを計算する際は、区間の開始、終了の各 0.5 秒間に余弦関数型のテーパ処理を適用し、周波数軸上で各周波数の±５%の移動平均によって平滑化処理を施した。得られた TMC の微動 H/V を図 40 に示す。微動 H/V は 0.1～10 Hz でほぼフラットであり、顕著なサイト増幅特性が無いと考えられ、基準観測点とした。

この結果、解くべき連立方程式の未知数は震源特性（M 個），サイト増幅特性（N-1 個），Q_s 値（1 個）の M+N-1+1 個となる（具体的には、182+177-1+1=359 個）。この 359 個の未知パラメタを $Q_s(f) \geqq 0$ の拘束条件を課した最小二乗法（Lawson and Hanson, 1974）によって周波数毎に求めた。対象とした周波数帯域は 0.2～10 Hz とし、後述する観測スペクトル $O_{ij}(f)$について S/N≧4 となる周波数のみを使用した。

観測スペクトル $O_{ij}(f)$ は、各地点の観測波形の水平動２成分の加速度 Fourier 振幅スペクトルの二乗和平方根とした。加速度 Fourier 振幅スペクトルは、観測波形の直達Ｓ波を含む 10.24 秒間を切り出し、区間の開始、終了の各 0.5 秒間に余弦関数型のテーパ処理を適用し、周波数軸上で各周波数の±5%の移動平均によって平滑化を行うことで求めた。観測加速度波形の例、観測スペクトルの例をそれぞれ図 41 に示す。図 41 には、観測スペクトル（黒色）とスペクトルインバージョンによって分離された震源、伝播経路、サイト特性から合成された振幅スペクトル（赤色）も示した。

c）解析結果

分離された震源、伝播経路（Q 値）およびサイト特性の中から、地下構造に関係するＱ値およびサイト特性について以下に結果を示す。図 42 に推定されたＱ値（1/Qs 値）を示す。図には比較のため、同地域で求められている既存研究の 1/Qs 値（佐藤，2016、仲野・境，2016、内山・山本，2016、鶴来・他，2017）を併せて示した。それぞれは同程度の値が得られていることがわかる。ここで推定した 1/ Qs 値を 0.5～10 Hz の範囲において $Q\mathrm{s}=Q^0 f^{\alpha}$ でモデル化すると、$Q\mathrm{s}=73.5\,f^{0.83}$ となった。

次にサイト特性の例として、八代平野内の２地点を示す（図 43)。CFFJ01（気象庁八代市泉町）は、0.2～２Hz の周波数帯域では約２倍の増幅でフラットな一方で、２Hz 以上の高周波数帯域で増幅が大きくなる傾向がある。KMMP62（氷川町島地）は１～３Hz 付近で 20 倍程度の増幅率はあるが３Hz 以上は 10 倍程度である。図 44 には今回利用した全地点のサイト増幅特性の特徴を俯瞰するため、各地点のサイト増幅特性について周波数帯域別（0.2～0.5 Hz、0.5～1.0 Hz、1.0～2.0 Hz、2.0～4.0 Hz、4.0～8.0 Hz）の増幅率の対数平均値を地図上にプロットした。例えば、0.5～1.0 Hz や 1.0～2.0 Hz の周波数帯域では、菊鹿盆地、熊本平野、八代平野、人吉盆地、阿蘇カルデラ、筑紫平野、佐賀平野内において、相対的に増幅率が大きい傾向がある。一方、2.0 Hz から 8.0 Hz の高周波数帯域のサイト増幅特性は、近い観測点同士でも特徴が異なり，局所的な地盤構造の影響を受けていると考えられる。

d）速度構造モデル妥当性検討

スペクトルインバージョンには直達Ｓ波部分の水平動成分の観測振幅スペクトルを用いているので、得られているサイト特性は、砥用観測点が地震基盤に匹敵すると仮定した場合に、地震基盤から地表までのＳ波の増幅特性を表していると考えられる。本稿 7)、8)を含め、既存の速度構造モデルに基づいて、各強震・震度観測点でのＳ波の理論増幅率を計算し、サイト特性と比較することで、速度構造モデルの妥当性の検討を行う。対象とした既存の速度構造モデルは、国立研究開発法人防災科学技術研究所地震ハザードステーション（J-SHIS）の全国深部地盤モデル V2（J-SHIS モデル：藤原・他，2012）と地震調査研究推進本部の全国１次地下構造モデル（JIVSM モデル：Koketsu et al., 2012）の２つの全国規模の三次元地下構造モデル、および、本調査で作成された浅部・深部地盤構造モデル（ここでは JUTEN モデルと称す）とした。理論Ｓ波増幅率は、それぞれの三次元地下構造モデルから、観測点直下の構造を１次元構造として取り出し、最下層から上昇波を鉛直入射させたときの地表でのＳ波の増幅率を重複反射理論（Haskell, 1953）に基づいて計算する。計算に使用する Q_s 値は，各モデルで物性値として与えられている場合はそれを用い、与えられていない場合は、Ｓ波速度（V_s、単位 m/s）から，$Q_s = V_s/15$ で与えた。モデルのＳ波速度分布は、J-SHIS モデルは 600～3400 m/s、JIVSM モデルは 350～3400 m/s、JUTEN モデルは 100～3100 m/s とそれぞれ異なっている。

図 45 にスペクトルインバージョン解析でサイト特性を抽出した各観測点での比較を示す。地盤構造の詳細な調査を実施した八代平野の各地点を含め、多くの地点で 0.5～10 Hz の周波数帯域で、J-SHIS モデルや JIVSM モデルよりも JUTEN モデルの方がサイト増幅特性と良い一致を示しており、広帯域にモデルの説明力が向上していることがわかる。一部の観測点で、0.2～0.5 Hz の周波数帯域での一致があまり良くない理由としては，2.4 で前述したように，分離した $1/Q_s$ 値の推定精度が影響している可能性がある．

表 17　スペクトルインバージョンに使用した観測点

観測点コー	緯度（N° WGS）	経度（E° WGS）	観測網	地点名
5E5J01	32.4751	130.6076	JMA	八代市平山新町
9CFJ01	32.6476	130.6842	JMA	宇城市松橋町
9D0J01	32.2988	130.4932	JMA	芦北町芦北
9D1J01	32.264	130.9358	JMA	多良木町多良木
9D2J01	32.5874	130.4304	JMA	上天草市大矢野町
CF7J01	32.968	130.5302	JMA	玉名市築地
CFFJ01	32.5487	130.8122	JMA	八代市泉町
D00J01	32.4683	130.1345	JMA	天草市本町
EEBJ01	32.814	130.707	JMA	熊本市京町
EEDJ01	32.8803	131.0736	JMA	南阿蘇村中松
EFEJ01	32.1975	130.0267	JMA	天草市牛深町
FKO014	33.1491	130.8182	K-NET	矢部
FKO015	33.1627	130.4052	K-NET	柳川
FKO016	33.0159	130.4471	K-NET	大牟田
KGS001	32.1947	130.1763	K-NET	東
KGS002	32.0909	130.3532	K-NET	出水
KGS003	32.0559	130.5874	K-NET	大口
KGS004	32.0145	130.1927	K-NET	阿久根
KGSH01	32.1554	130.1191	K-NET	長島
KGSP06	32.149358	130.262737	Shindo	出水市桂島
KGSP07	32.060742	130.26807	Shindo	出水市野田町
KGSP08	32.060863	130.304125	Shindo	出水市高尾野町
KGSP12	32.155178	130.118667	Shindo	長島町指江
KGSP13	32.276737	130.218542	Shindo	長島町獅子島
KGSP14	32.216878	130.206347	Shindo	長島町伊唐島
KGSP15	32.012683	130.643333	Shindo	伊佐市菱刈前目
KGSP25	32.014662	130.744917	Shindo	湧水町吉松
KMM001	33.1208	131.0687	K-NET	小国
KMM002	33.0185	130.6846	K-NET	山鹿
KMM003	32.9336	130.5477	K-NET	玉名
KMM004	32.932	131.1214	K-NET	一の宮
KMM005	32.8761	130.8774	K-NET	大津
KMM006	32.7875	130.7696	K-NET	熊本
KMM007	32.8267	131.1226	K-NET	高森
KMM008	32.6878	130.6582	K-NET	宇土
KMM009	32.6858	130.9856	K-NET	矢部
KMM010	32.6136	130.4874	K-NET	三角
KMM011	32.6167	130.8652	K-NET	砥用
KMM012	32.5078	130.6024	K-NET	八代
KMM013	32.365	130.5099	K-NET	田浦
KMM014	32.3961	130.8268	K-NET	五木

表 17　スペクトルインバージョンに使用した観測点（続き）

観測点コー	緯度（N° WGS）	経度（E° WGS）	観測網	地点名
KMM015	32.216100	130.404600	K-NET	水俣
KMM016	32.196600	130.775700	K-NET	人吉
KMM017	32.256100	130.925700	K-NET	多良木
KMM018	32.394200	130.388500	K-NET	龍ヶ岳
KMM019	32.458900	130.193800	K-NET	本渡
KMM020	32.363600	130.180700	K-NET	新和
KMM021	32.379300	129.999700	K-NET	天草
KMM022	32.194500	130.026500	K-NET	牛深
KMMH01	33.108900	130.694900	KiK-net	鹿北
KMMH02	33.122000	131.062900	KiK-net	小国
KMMH03	32.998400	130.830100	KiK-net	菊池
KMMH05	32.955300	131.220700	KiK-net	波野
KMMH06	32.811400	131.101000	KiK-net	白水
KMMH07	32.623400	130.558400	KiK-net	三角
KMMH08	32.650100	131.025100	KiK-net	矢部
KMMH09	32.490100	130.904600	KiK-net	泉
KMMH10	32.315100	130.181100	KiK-net	新和
KMMH11	32.291800	130.577700	KiK-net	芦北
KMMH12	32.205400	130.737100	KiK-net	人吉
KMMH13	32.220900	130.909600	KiK-net	上
KMMH14	32.634500	130.752100	KiK-net	豊野
KMMH15	32.170400	130.364700	KiK-net	水俣
KMMH16	32.796700	130.819900	KiK-net	益城
KMMH17	32.987300	130.560800	KiK-net	玉名
KMMP01	32.804167	130.721388	Shindo	熊本市中央区大江
KMMP02	32.715417	130.678528	Shindo	熊本市南区富合町
KMMP03	32.903778	130.694250	Shindo	熊本市北区植木町
KMMP04	32.709167	130.728528	Shindo	熊本市南区城南町
KMMP05	32.435667	130.657112	Shindo	八代市坂本町
KMMP06	32.534195	130.633333	Shindo	八代市千丁町
KMMP07	32.562750	130.649055	Shindo	八代市鏡町
KMMP08	32.545555	130.716667	Shindo	八代市東陽町
KMMP09	32.548028	130.808667	Shindo	八代市泉支所
KMMP10	32.986917	130.432805	Shindo	荒尾市宮内出目
KMMP11	32.212222	130.408778	Shindo	水俣市陣内
KMMP12	32.917055	130.520472	Shindo	玉名市岱明町
KMMP13	32.877083	130.555612	Shindo	玉名市横島町
KMMP14	32.864722	130.593028	Shindo	玉名市天水町
KMMP15	32.513112	130.314722	Shindo	天草市有明町
KMMP16	32.340138	130.339278	Shindo	天草市御所浦町
KMMP17	32.409445	130.340695	Shindo	天草市倉岳町

表 17　スペクトルインバージョンに使用した観測点（続き）

観測点コー	緯度（N° WGS）	経度（E° WGS）	観測網	地点名
KMMP18	32.422000	130.272888	Shindo	天草市栖本町
KMMP19	32.512222	130.187083	Shindo	天草市五和町
KMMP20	32.332750	130.079583	Shindo	天草市河浦町
KMMP21	33.017692	130.690698	Shindo	山鹿市山鹿
KMMP22	33.109278	130.694028	Shindo	山鹿市鹿北町
KMMP23	33.027945	130.768528	Shindo	山鹿市菊鹿町
KMMP24	33.001083	130.740000	Shindo	山鹿市鹿本町
KMMP25	32.974638	130.684055	Shindo	山鹿市鹿央町
KMMP26	32.979388	130.813638	Shindo	菊池市隈府
KMMP27	32.969555	130.764750	Shindo	菊池市七城町
KMMP28	32.946555	130.855412	Shindo	菊池市旭志
KMMP29	32.922445	130.775583	Shindo	菊池市泗水町
KMMP30	32.687305	130.658778	Shindo	宇土市浦田町
KMMP32	32.518167	130.432888	Shindo	上天草市松島町
KMMP33	32.440112	130.407888	Shindo	上天草市姫戸町
KMMP35	32.646722	130.668222	Shindo	宇城市不知火町
KMMP36	32.592778	130.703833	Shindo	宇城市小川町
KMMP37	32.639362	130.749500	Shindo	宇城市豊野町
KMMP38	32.971528	131.043528	Shindo	阿蘇市内牧
KMMP39	32.932362	131.229250	Shindo	阿蘇市波野
KMMP40	32.886138	130.789500	Shindo	合志市竹迫
KMMP41	32.889278	130.744612	Shindo	合志市御代志
KMMP42	32.639417	130.789112	Shindo	美里町馬場
KMMP43	32.919000	130.628555	Shindo	玉東町木葉
KMMP44	32.978195	130.606055	Shindo	和水町江田
KMMP45	33.065472	130.622555	Shindo	和水町板楠
KMMP46	33.061455	130.541310	Shindo	南関町関町
KMMP47	32.929862	130.452638	Shindo	長洲町長洲
KMMP48	32.879112	130.868417	Shindo	大津町大津
KMMP49	32.862667	130.828250	Shindo	菊陽町久保田
KMMP50	33.098195	131.070722	Shindo	南小国町赤馬場
KMMP51	32.995000	131.216667	Shindo	産山村山鹿
KMMP52	32.835167	130.903195	Shindo	西原村小森
KMMP53	32.822195	131.031417	Shindo	南阿蘇村河陰
KMMP54	32.859612	131.001055	Shindo	南阿蘇村河陽(旧)
KMMP55	32.825472	131.081612	Shindo	南阿蘇村吉田
KMMP56	32.714417	130.801638	Shindo	御船町御船
KMMP57	32.739583	130.756972	Shindo	嘉島町上島
KMMP58	32.791348	130.816667	Shindo	益城町宮園
KMMP59	32.651112	130.811612	Shindo	甲佐町豊内
KMMP60	32.691528	131.086555	Shindo	山都町大平

表 17　スペクトルインバージョンに使用した観測点（続き）

観測点コー	緯度（N° WGS）	経度（E° WGS）	観測網	地点名
KMMP61	32.724388	131.164888	Shindo	山都町今
KMMP62	32.582388	130.674055	Shindo	氷川町島地
KMMP63	32.555638	130.682667	Shindo	氷川町宮原
KMMP65	32.233945	130.439833	Shindo	津奈木町小津奈木
KMMP66	32.200972	130.840945	Shindo	錦町一武
KMMP68	32.275972	130.980945	Shindo	湯前町役場
KMMP69	32.314278	131.009083	Shindo	水上村岩野
KMMP70	32.235417	130.797555	Shindo	相良村深水
KMMP71	32.247000	130.766667	Shindo	山江村山田
KMMP72	32.252333	130.651417	Shindo	球磨村渡
KMMP73	32.240138	130.897805	Shindo	あさぎり町免田東
KMMP74	32.217305	130.900667	Shindo	あさぎり町上
KMMP75	32.240333	130.929528	Shindo	あさぎり町岡原
KMMP76	32.266472	130.900333	Shindo	あさぎり町須恵
KMMP77	32.243917	130.872888	Shindo	あさぎり町深田
KMMP78	32.513527	130.054362	Shindo	苓北町志岐
KMMP93	32.447107	130.416407	Shindo	上天草市姫戸町
KMMP94	32.845087	131.017320	Shindo	南阿蘇村河陽
MYZ007	32.235300	131.115800	K-NET	西米良
MYZ009	32.046100	130.811000	K-NET	えびの
MYZ020	32.455000	131.147000	K-NET	椎葉
MYZH01	32.653600	131.225700	KiK-net	五ヶ瀬
MYZH05	32.347000	131.266800	KiK-net	南郷
MYZH07	32.198700	131.194600	KiK-net	西米良
MYZH09	32.042100	131.061800	KiK-net	須木
MYZH10	32.021500	131.290000	KiK-net	国富
NGS005	33.037100	129.917100	K-NET	東彼杵
NGS008	32.923100	130.184300	K-NET	小長井
NGS009	32.845600	130.021800	K-NET	諫早
NGS011	32.783900	130.202400	K-NET	千々石
NGS012	32.788400	130.346300	K-NET	島原
NGS014	32.610600	130.184900	K-NET	口之津
NGS019	32.900200	129.958200	K-NET	大村
NGSP15	32.849500	130.335900	Shindo	南高来郡有明町
NGSP18	32.831700	129.983100	Shindo	諫早市多良見町
NGSP19	32.832600	130.128700	Shindo	諫早市森山町
NGSP20	32.781300	130.023600	Shindo	諫早市飯盛町
NGSP21	32.908500	130.141300	Shindo	諫早市高来町
NGSP52	32.867100	130.239600	Shindo	雲仙市瑞穂町
NGSP53	32.835200	130.187500	Shindo	雲仙市吾妻町
NGSP54	32.816800	130.155300	Shindo	雲仙市愛野町

表 17　スペクトルインバージョンに使用した観測点（続き）

観測点コー	緯度（N° WGS）	経度（E° WGS）	観測網	地点名
NGSP56	32.729700	130.206500	Shindo	南高来郡小浜町
NGSP59	32.631100	130.159200	Shindo	南島原市加津佐町
NGSP60	32.630500	130.246600	Shindo	南島原市南有馬町
NGSP61	32.655800	130.248000	Shindo	南高来郡北有馬町
NGSP62	32.659600	130.297900	Shindo	南島原市西有家町
NGSP63	32.665600	130.304800	Shindo	南島原市有家町
NGSP64	32.690300	130.355300	Shindo	南島原市布津町
NGSP65	32.718700	130.353700	Shindo	南島原市深江町
NGSP80	32.741300	130.258300	Shindo	雲仙市雲仙出張所
SAG006	33.191600	130.034000	K-NET	武雄
SAG008	33.103800	130.099600	K-NET	鹿島
SAGH05	33.180600	130.104600	KiK-net	白石
TMCF01	32.606300	130.915100	F-net	砥用

表 18　スペクトルインバージョンに使用した地震の諸元

No.	震源時刻※1 日本時間	震央緯度※1 （N°	震央経度※1 （E°	震源深さ※1 （km）	M_{JMA}※1	M_w※2	M_0※2 （Nm）
1	2016/04/14/21:43:10.86	32.7172	130.7482	12.24	4.1	-	-
2	2016/04/14/22:19:37.92	32.7725	130.8420	8.57	3.6	-	-
3	2016/04/14/22:22:18.89	32.6877	130.7403	12.12	4.6	-	-
4	2016/04/14/22:38:43.50	32.6768	130.7352	11.10	5.0	4.9	2.42E+16
5	2016/04/14/23:28:13.65	32.7892	130.8522	13.01	4.4	4.3	3.62E+15
6	2016/04/14/23:43:41.17	32.7670	130.8273	14.20	5.1	4.9	2.71E+16
7	2016/04/15/00:34:17.14	32.6925	130.7473	12.52	4.5	4.6	8.67E+15
8	2016/04/15/01:04:41.16	32.7688	130.8215	13.10	3.9	-	-
9	2016/04/15/13:50:00.52	32.7213	130.7648	11.93	4.0	3.9	8.49E+14
10	2016/04/15/20:15:13.50	32.6972	130.7417	12.47	3.8	3.7	4.25E+14
11	2016/04/16/08:08:50.62	32.8550	130.8515	11.11	3.9	4.1	1.68E+15
12	2016/04/16/16:54:58.77	32.6945	130.7012	10.59	3.6	-	-
13	2016/04/16/21:05:06.26	32.7517	130.7552	17.56	4.4	4.3	2.74E+15
14	2016/04/16/22:05:58.71	32.8703	130.8285	14.74	3.7	-	-
15	2016/04/17/04:46:49.09	32.6872	130.7762	10.32	4.5	4.4	4.52E+15
16	2016/04/17/08:58:42.20	32.8518	130.9140	10.28	3.6	3.6	3.30E+14
17	2016/04/17/10:59:14.60	32.5565	130.7057	8.25	4.1	-	-
18	2016/04/17/13:38:51.31	32.7060	130.7818	9.79	3.8	-	-
19	2016/04/17/19:23:41.22	32.6775	130.7207	10.58	4.4	4.4	4.88E+15
20	2016/04/17/22:56:34.72	32.6457	130.7183	7.36	3.8	3.8	5.94E+14
21	2016/04/18/04:44:27.45	32.6837	130.7065	10.61	3.7	4.0	1.17E+15
22	2016/04/18/07:53:35.12	32.6302	130.6805	8.16	3.8	3.7	4.35E+14
23	2016/04/18/18:53:35.90	32.6725	130.7077	15.97	3.8	-	-
24	2016/04/18/21:18:25.60	32.6812	130.7117	10.59	3.9	-	-
25	2016/04/19/01:53:39.57	32.7098	130.7043	14.85	3.8	3.6	3.34E+14
26	2016/04/19/17:52:13.69	32.5352	130.6353	9.96	5.5	5.3	1.01E+17
27	2016/04/19/18:09:42.62	32.5428	130.6515	7.80	4.0	-	-
28	2016/04/19/20:47:03.36	32.5718	130.6532	10.79	5.0	4.9	2.13E+16
29	2016/04/20/03:38:58.59	32.5647	130.6458	11.06	4.1	-	-
30	2016/04/21/21:52:03.39	32.7853	130.8318	10.98	4.0	3.9	7.14E+14
31	2016/04/24/18:50:15.97	32.6953	130.7185	11.48	3.6	-	-
32	2016/04/25/00:44:07.42	32.6588	130.6753	11.46	4.5	4.4	4.64E+15
33	2016/04/26/03:42:03.86	32.6903	130.7120	16.97	3.9	3.7	3.92E+14
34	2016/04/26/21:50:20.83	32.5873	130.6695	9.69	3.9	3.9	9.05E+14
35	2016/04/28/02:38:05.19	32.5877	130.6668	9.81	4.1	4.1	1.54E+15
36	2016/04/29/23:27:25.29	32.7750	130.7417	9.70	3.9	3.8	6.23E+14
37	2016/05/01/02:30:37.63	32.7865	130.6940	5.74	3.8	3.9	7.61E+14
38	2016/05/02/15:35:05.61	32.5637	130.6758	8.41	4.1	4.1	1.74E+15
39	2016/05/04/07:52:04.70	32.6120	130.7203	4.52	4.0	3.9	9.29E+14
40	2016/05/04/19:20:04.36	32.8143	130.8228	8.25	4.0	3.9	8.52E+14

※1：気象庁一元化震源カタログ，※2：F-net MT 解（値が無いものは，F-net の MT 解が公開されていない地震）

表 18　スペクトルインバージョンに使用した地震の諸元（続き）

No.	震源時刻※1 日本時間	震央緯度※1 （N°	震央経度※1 （E°	震源深さ※1 （km）	M_{JMA}※1	M_w※2	M_0※2 （Nm）
41	2016/05/04/22:24:17.18	32.6102	130.7198	5.15	3.5	3.8	6.19E+14
42	2016/05/05/10:31:30.47	33.0003	131.1342	11.16	4.6	4.6	8.44E+15
43	2016/05/09/14:36:37.82	32.6797	130.7083	10.68	3.4	-	-
44	2016/05/13/01:03:18.16	32.7062	130.6670	13.10	4.1	4.0	1.10E+15
45	2016/05/14/22:46:19.15	32.6843	130.7317	13.79	3.6	3.5	2.07E+14
46	2016/05/15/06:36:27.27	32.7657	130.7705	14.40	3.6	-	-
47	2016/05/15/18:09:15.69	32.6717	130.7213	14.33	3.9	3.8	5.26E+14
48	2016/05/21/03:56:04.64	32.6247	130.6675	11.53	3.9	-	-
49	2016/06/02/09:28:30.22	32.5818	130.6357	9.74	3.8	-	-
50	2016/06/02/16:44:33.26	32.9952	131.1927	7.31	3.6	-	-
51	2016/06/03/07:58:13.05	32.7543	130.7778	15.77	3.9	3.8	5.47E+14
52	2016/06/04/00:48:00.84	32.9398	130.8125	12.44	3.7	3.6	2.67E+14
53	2016/06/05/13:55:07.62	32.6185	130.6828	6.92	3.6	3.6	3.09E+14
54	2016/06/06/16:47:06.31	32.9820	131.1083	10.05	3.8	3.7	3.51E+14
55	2016/06/07/02:48:16.00	32.5278	130.5872	6.76	3.6	3.9	6.73E+14
56	2016/06/08/17:01:36.45	32.7780	130.7515	10.46	3.3	-	-
57	2016/06/11/11:59:33.33	32.6865	130.6978	11.85	3.1	-	-
58	2016/06/12/22:08:15.05	32.4493	130.6808	7.41	4.3	4.2	2.30E+15
59	2016/06/13/15:54:18.44	32.4437	130.6817	7.13	4.1	4.0	1.26E+15
60	2016/06/18/20:46:55.21	32.6908	130.7070	10.05	4.6	4.5	5.65E+15
61	2016/06/21/15:46:45.77	32.4695	130.6348	10.00	3.5	3.4	1.53E+14
62	2016/06/21/17:45:23.11	32.7005	130.6018	9.97	3.5	3.7	3.90E+14
63	2016/06/22/05:38:37.14	32.6933	130.7112	10.80	3.9	3.8	6.35E+14
64	2016/06/23/15:15:28.68	32.6748	130.6268	11.23	3.5	3.6	3.11E+14
65	2016/06/29/07:50:28.81	32.5855	130.6527	12.75	3.6	-	-
66	2016/06/29/23:14:27.65	32.8288	130.8940	8.09	3.9	3.9	8.57E+14
67	2016/07/02/03:18:15.62	32.6488	130.6288	11.18	3.5	3.6	3.03E+14
68	2016/07/03/16:51:34.76	32.8288	130.7913	14.56	3.8	3.8	5.26E+14
69	2016/07/07/20:18:31.63	33.0525	131.1107	11.04	3.8	3.7	4.27E+14
70	2016/07/09/17:52:09.62	32.3648	130.5533	5.18	3.9	3.8	6.62E+14
71	2016/07/09/18:05:18.81	32.7347	130.6028	12.03	4.5	4.4	4.58E+15
72	2016/07/11/19:23:18.11	32.5957	130.6708	11.19	3.6	3.5	2.10E+14
73	2016/07/17/11:55:28.20	32.5787	130.7177	7.43	3.6	3.7	3.45E+14
74	2016/07/23/14:33:36.38	32.4550	130.8047	11.83	3.5	3.3	8.77E+13
75	2016/08/06/01:57:10.35	32.3635	130.6028	5.90	3.5	3.5	2.24E+14
76	2016/08/06/09:21:34.13	32.3640	130.6005	6.09	3.5	3.5	1.78E+14
77	2016/08/09/22:48:59.37	32.7285	130.8043	5.12	3.8	-	-
78	2016/08/19/11:05:17.19	33.0170	131.0977	9.40	4.4	4.4	5.30E+15
79	2016/08/26/02:28:17.86	32.6522	130.6905	8.80	3.6	-	-
80	2016/08/30/04:44:36.59	32.4720	130.5450	8.24	3.5	3.5	1.87E+14

※1：気象庁一元化震源カタログ，※2：F-net MT 解（値が無いものは，F-net の MT 解が公開されていない地震）

表 18　スペクトルインバージョンに使用した地震の諸元（続き）

No.	震源時刻※1 日本時間	震央緯度※1 （N°	震央経度※1 （E°	震源深さ※1 （km）	M_{JMA}※1	M_w※2	M_0※2 （Nm）
81	2016/08/31/19:46:02.70	32.7217	130.6172	12.77	5.2	4.9	2.96E+16
82	2016/09/01/06:33:49.54	32.7267	130.6172	12.45	4.8	4.7	1.21E+16
83	2016/09/04/06:17:44.33	32.5112	130.5577	5.10	3.9	3.9	6.73E+14
84	2016/09/05/20:55:13.10	32.7398	130.7472	13.01	3.3	-	-
85	2016/09/07/01:56:01.14	32.7373	130.6307	13.27	3.9	3.8	4.85E+14
86	2016/09/08/15:15:44.73	32.7920	130.7495	7.31	3.5	3.6	3.09E+14
87	2016/09/13/17:29:14.58	33.0522	131.1168	11.51	3.9	4.0	1.09E+15
88	2016/09/13,23:20:34.55	32.7710	130.7397	9.96	3.4	-	-
89	2016/09/17,17:24:57.20	32.4733	130.5485	7.57	3.0	-	-
90	2016/09/21,20:02:46.57	32.9582	131.0758	9.40	3.6	3.7	3.63E+14
91	2016/10/10,03:54:28.57	32.5480	130.7388	8.62	3.8	3.7	4.35E+14
92	2016/10/11,06:45:10.46	32.6767	130.7448	12.17	3.8	3.7	3.76E+14
93	2016/10/12,15:56:11.39	32.7010	130.6478	11.35	3.6	3.8	5.19E+14
94	2016/10/15,09:38:04.13	32.8133	130.6830	4.57	3.3	-	-
95	2016/10/18,01:02:10.15	32.5775	130.6437	12.38	3.5	3.4	1.45E+14
96	2016/11/06,11:33:57.85	32.6525	130.6997	9.35	3.1	-	-
97	2016/11/07,01:54:20.29	32.6950	130.6923	11.46	3.0	-	-
98	2016/11/09,00:02:38.73	32.5242	130.6507	10.21	3.6	-	-
99	2016/11/11,10:12:49.29	32.7360	130.6660	11.83	4.2	4.2	2.19E+15
100	2016/11/12,02:55:19.28	32.6763	130.7422	11.52	3.2	-	-
101	2016/11/22,10:15:05.41	32.9993	131.0488	8.16	3.2	-	-
102	2016/11/23,20:10:15.08	32.7392	130.6807	12.54	3.6	3.6	2.91E+14
103	2016/11/25,10:11:38.25	32.9615	131.0743	9.97	3.1	-	-
104	2016/12/02,02:43:56.22	32.6920	130.7077	13.57	3.1	-	-
105	2016/12/02,06:19:52.43	32.8295	130.8143	7.92	3.6	-	-
106	2016/12/02,15:34:59.57	32.6827	130.7433	12.37	3.1	-	-
107	2016/12/05,11:52:04.61	32.5680	130.7233	8.70	3.7	-	-
108	2016/12/06,12:12:11.45	32.5350	130.6807	12.58	3.6	-	-
109	2016/12/10,00:58:28.23	32.5950	130.6598	12.59	3.0	-	-
110	2017/01/01,01:46:06.85	32.7350	130.3950	10.55	3.6	3.8	6.04E+14
111	2017/01/02,01:59:30.56	32.4948	130.6095	13.06	3.2	-	-
112	2017/01/05,17:16:35.06	32.5597	130.6477	8.20	3.3	-	-
113	2017/01/06,11:03:16.53	32.5810	130.7108	8.49	3.0	-	-
114	2017/01/06,11:12:21.98	32.5825	130.7103	8.42	3.3	-	-
115	2017/01/11,19:11:15.43	32.9028	130.8572	8.56	3.4	-	-
116	2017/01/21,17:39:35.38	33.0033	130.7612	10.20	3.0	-	-
117	2017/01/26,23:34:33.06	32.4852	130.6293	9.00	3.9	3.7	3.91E+14
118	2017/02/11,16:31:33.17	32.7543	130.8288	13.75	3.0	-	-
119	2017/02/22,18:12:52.54	32.7962	130.6732	9.97	3.4	-	-
120	2017/02/24,20:32:15.96	32.7460	130.6560	10.70	3.1	-	-

※1：気象庁一元化震源カタログ，※2：F-net MT 解（値が無いものは，F-net の MT 解が公開されていない地震）

表 18　スペクトルインバージョンに使用した地震の諸元（続き）

No.	震源時刻※1 日本時間	震央緯度※1 （N°	震央経度※1 （E°	震源深さ※1 （km）	M_{JMA}※1	M_w※2	M_0※2 （Nm）
121	2017/02/28,00:42:45.43	32.4972	130.5568	10.73	3.6	3.6	2.79E+14
122	2017/03/05,02:16:01.54	32.5892	130.7312	9.89	3.7	3.6	2.73E+14
123	2017/03/06,05:26:09.18	32.5658	130.7007	9.57	3.9	3.9	7.95E+14
124	2017/03/06,09:45:39.50	32.6967	130.7107	16.17	3.1	-	-
125	2017/03/17,12:20:19.02	32.9573	131.0810	9.60	3.4	-	-
126	2017/03/27,02:56:01.63	32.9490	131.0567	7.75	3.0	-	-
127	2017/03/29,00:30:51.41	32.4332	130.5928	9.66	3.0	-	-
128	2017/04/04,07:00:07.59	32.5530	130.7130	6.65	3.0	-	-
129	2017/04/09,21:39:48.87	32.7680	130.7688	7.66	3.6	3.6	2.98E+14
130	2017/04/11,06:31:22.89	32.7332	130.7595	11.44	3.4	-	-
131	2017/04/12,03:27:10.41	32.7683	130.8155	12.39	3.2	-	-
132	2017/05/04,14:22:25.35	32.6818	130.7560	10.71	4.1	3.9	9.19E+14
133	2017/05/10,10:17:44.59	32.6897	130.7090	17.05	3.3	-	-
134	2017/05/11,20:21:25.17	32.7345	130.6043	13.04	4.4	4.4	3.85E+15
135	2017/05/12,11:50:20.00	32.7668	130.7668	8.24	3.1	-	-
136	2017/05/14,22:00:57.33	32.5312	130.6958	3.80	3.1	-	-
137	2017/05/30,14:00:09.75	32.6870	130.7372	13.13	3.3	-	-
138	2017/06/04,23:28:32.71	32.5747	130.6675	10.86	3.5	3.5	2.09E+14
139	2017/06/07,03:03:10.19	32.5755	130.6660	10.57	3.1	-	-
140	2017/06/30,15:52:51.65	32.5337	130.6075	7.75	3.5	3.6	2.77E+14
141	2017/07/02,00:58:22.72	33.0040	131.2367	11.19	4.5	4.4	5.24E+15
142	2017/07/07,04:06:05.82	33.0465	131.0915	11.72	3.4	-	-
143	2017/07/15,00:36:55.67	32.6737	130.7060	15.61	3.0	-	-
144	2017/07/19,04:25:03.48	32.7732	130.6288	12.22	3.7	3.6	2.42E+14
145	2017/07/27,14:48:53.23	32.7755	130.7417	10.28	3.2	-	-
146	2017/08/08,21:27:56.26	32.7415	130.7462	9.88	3.9	-	-
147	2017/08/09,05:57:24.07	32.1697	130.4275	9.43	3.1	-	-
148	2017/08/14,08:11:14.86	32.7367	130.3975	11.11	3.4	3.6	2.92E+14
149	2017/09/08,14:20:10.98	32.7237	130.6737	13.74	4.1	-	-
150	2017/09/09,07:21:43.87	32.7240	130.6695	13.45	3.1	-	-
151	2017/09/22,07:45:40.04	32.9577	131.0682	9.04	3.5	3.5	2.07E+14
152	2017/09/22,10:33:45.67	32.6523	130.6735	10.64	3.1	-	-
153	2017/09/26,19:43:32.57	33.0113	131.1060	9.45	3.2	-	-
154	2017/10/08,12:05:35.54	32.5217	130.6552	9.81	3.8	3.7	3.75E+14
155	2017/10/18,00:21:47.62	32.7035	130.6538	12.87	3.0	-	-
156	2017/10/19,12:40:18.73	32.8202	130.6270	3.05	3.2	-	-
157	2017/10/24,00:17:10.73	32.4858	130.6268	9.61	3.7	3.4	1.64E+14
158	2017/10/25,02:27:06.95	32.4885	130.6293	9.83	3.5	-	-
159	2017/10/29,03:26:28.08	32.8207	130.6353	3.30	3.5	-	-
160	2017/11/10,07:16:23.34	32.6653	130.7108	13.56	3.3	-	-

※1：気象庁一元化震源カタログ，※2：F-net MT 解（値が無いものは，F-net の MT 解が公開されていない地震）

表 18　スペクトルインバージョンに使用した地震の諸元（続き）

No.	震源時刻※1 日本時間	震央緯度※1 （N°	震央経度※1 （E°	震源深さ※1 （km）	M_{JMA}※1	M_w※2	M_0※2 （Nm）
161	2017/11/18,03:56:04.02	32.8248	130.6107	4.14	3.3	-	-
162	2017/11/18,14:23:47.50	32.6637	130.7078	13.46	3.0	-	-
163	2017/11/19,11:30:22.88	32.6823	130.7398	12.29	3.0	-	-
164	2017/11/24,06:54:42.19	32.3413	130.5130	5.61	3.1	-	-
165	2017/12/06,10:47:38.68	32.7793	130.7495	10.17	3.2	-	-
166	2017/12/07,22:04:07.55	32.5912	130.7378	8.09	3.1	-	-
167	2018/01/01,07:05:49.82	32.9462	131.0522	7.29	3.0	-	-
168	2018/01/12,21:17:27.05	32.9505	131.0492	8.21	3.1	-	-
169	2018/02/08,17:21:55.85	32.6552	130.6602	10.65	3.0	-	-
170	2018/04/28,14:08:24.05	32.5687	130.6960	11.87	3.6	3.4	1.65E+14
171	2018/05/03,14:22:22.14	32.2228	130.7082	7.39	3.1	-	-
172	2018/05/06,21:13:19.01	32.6577	130.6683	11.15	3.9	3.9	7.19E+14
173	2018/05/16,14:43:33.75	32.7370	130.8075	12.76	3.4	-	-
174	2018/05/28,20:52:26.23	32.3393	130.4960	5.60	3.4	-	-
175	2018/06/03,10:13:21.93	32.5383	130.6882	12.17	3.6	-	-
176	2018/06/06,06:51:11.60	32.5415	130.6720	9.26	3.3	-	-
177	2018/06/17,09:31:12.09	32.6857	130.7117	11.92	3.0	-	-
178	2018/07/05,23:55:00.99	32.4565	130.5465	11.17	3.8	3.7	4.27E+14
179	2018/07/25,07:31:28.14	32.7223	130.7982	4.86	4.4	4.1	1.71E+15
180	2018/07/26,11:10:46.44	32.9408	131.0313	8.47	3.2	-	-
181	2018/08/22,18:23:38.37	32.7148	130.6625	11.64	4.1	4.2	1.99E+15
182	2018/08/29,09:46:44.79	32.6672	130.7132	11.52	3.2	-	-

※1：気象庁一元化震源カタログ，※2：F-net MT 解（値が無いものは，F-net の MT 解が公開されていない地震）

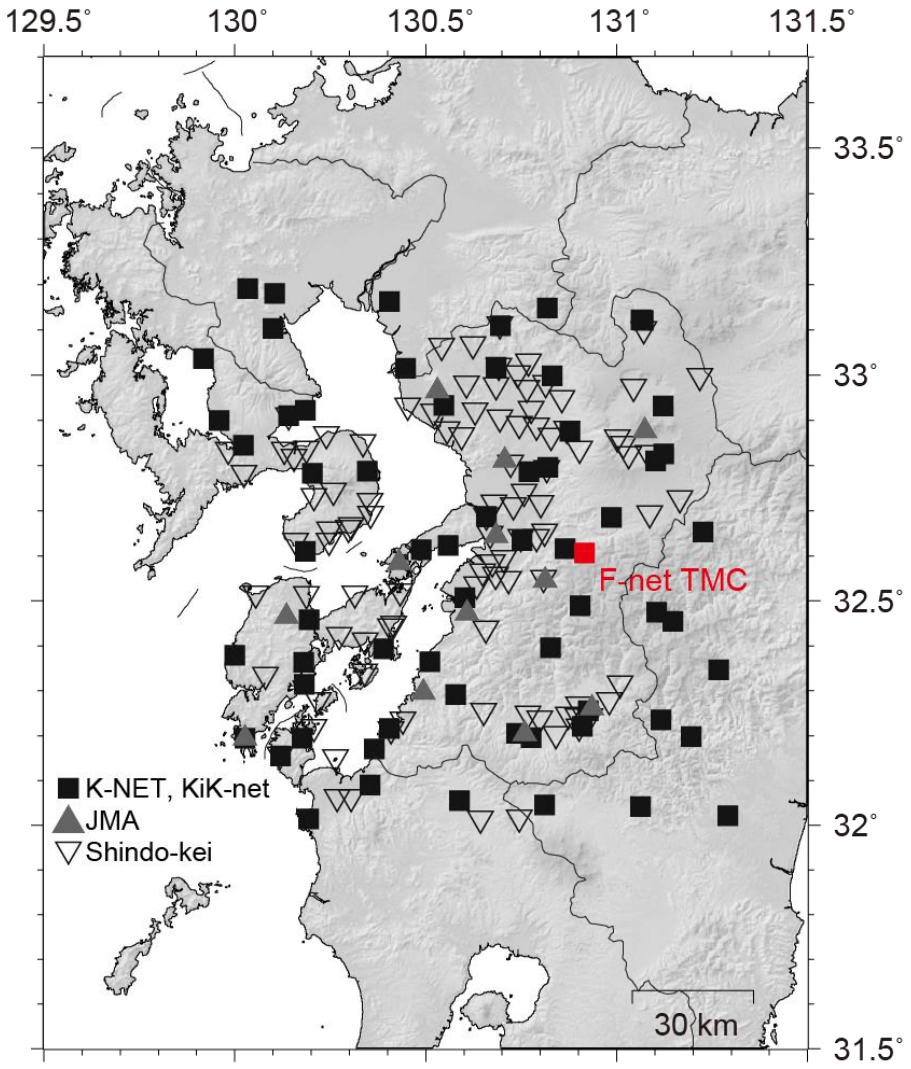


図 37　スペクトルインバージョンに使用した観測点の分布。赤色四角印は F-net（TMC：砥用），黒色四角印は K-NET、KiK-net、逆三角印は自治体の震度計、灰色三角印は気象庁の震度計をそれぞれ表す。

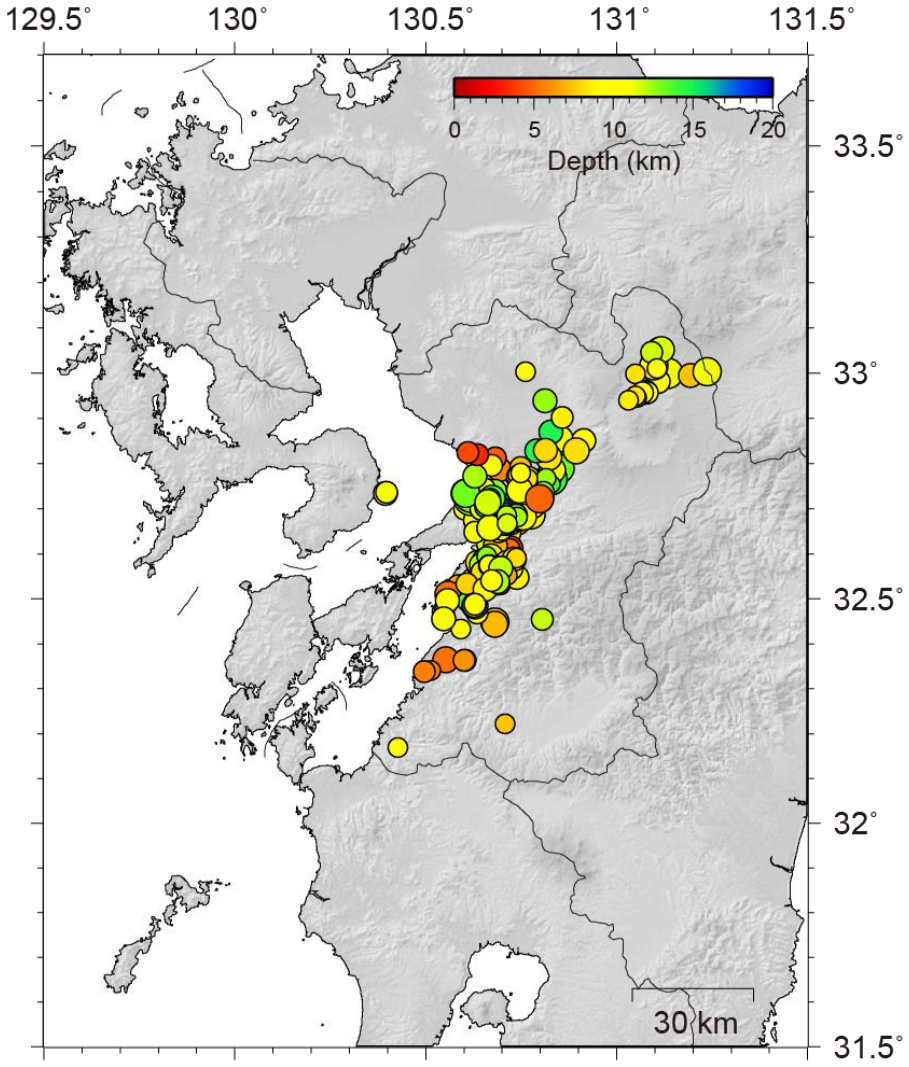


図 38　スペクトルインバージョンに使用した地震の震源分布

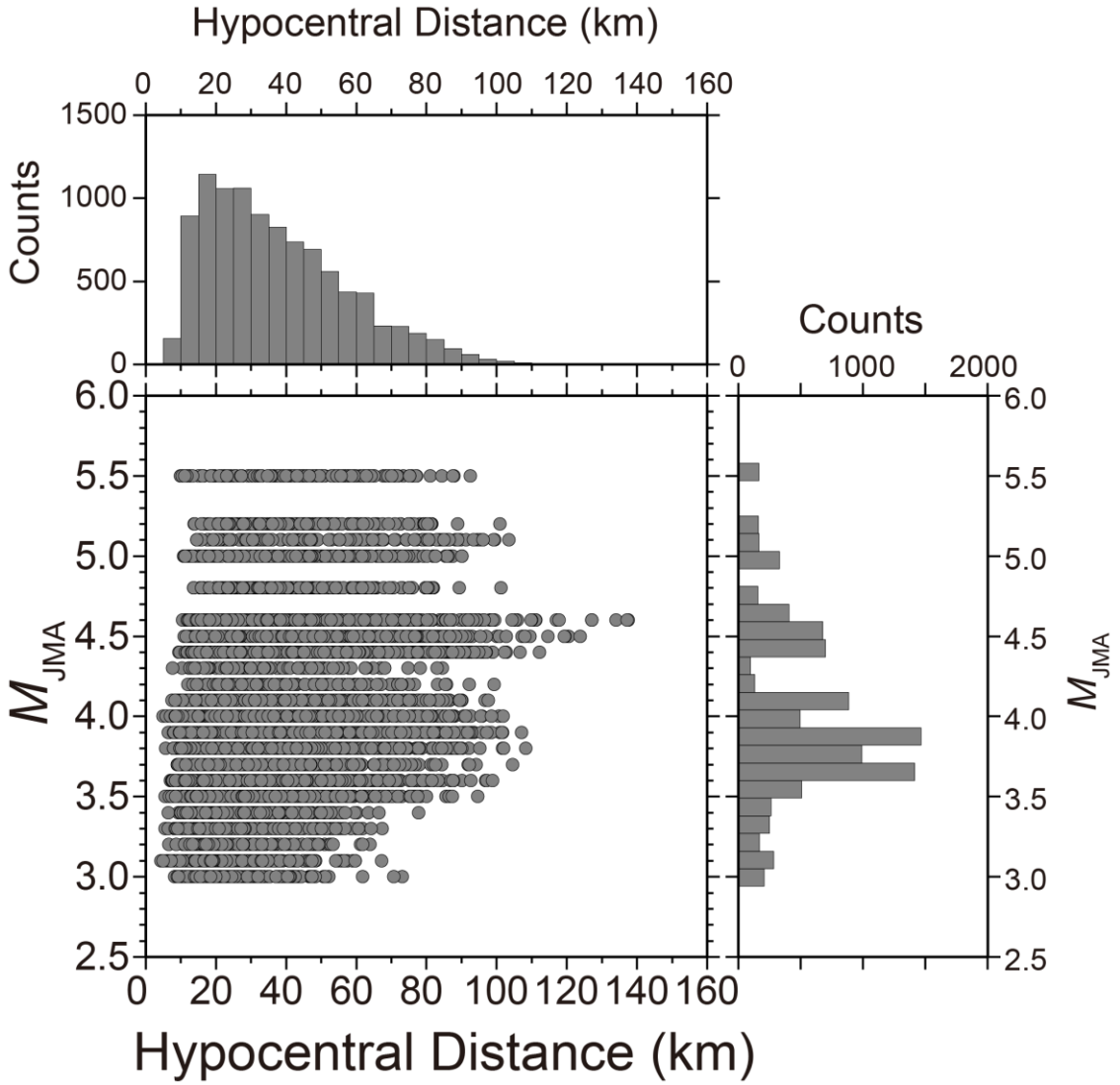


図 39　データセットの気象庁マグニチュード M_{JMA} と震源距離の分布

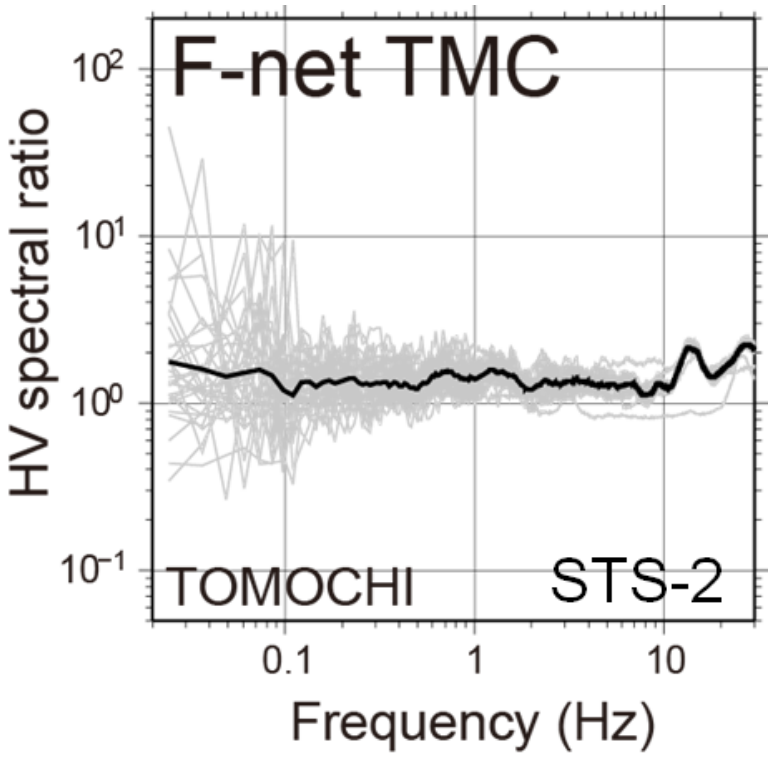


図 40　F-net　TMC の広帯域地震計の微動記録から計算した H/V。灰色線は微動の連続記録から抽出した各区間の H/V 比、黒色線はそれらのアンサンブル対数平均をそれぞれ表す。

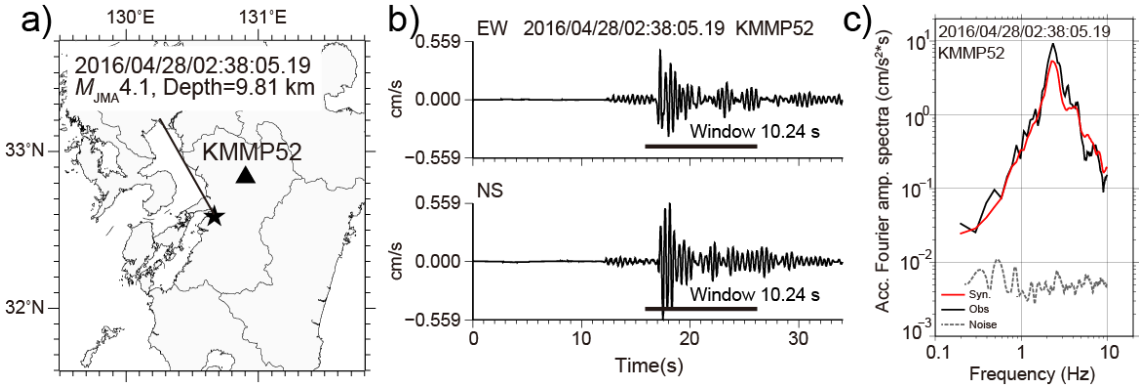


図 41　2016 年 4 月 28 日 02 時 38 分（M_{JMA}4.1）の地震、KMMP52 観測点の解析例。a）地震の震央位置（星印）と観測点の位置（三角印）。b）観測加速度波形の EW 成分と NS 成分。c）観測加速度 Fourier 振幅スペクトル（黒色）とスペクトルインバージョンによる合成スペクトル（赤色）。灰色破線はノイズのスペクトル。

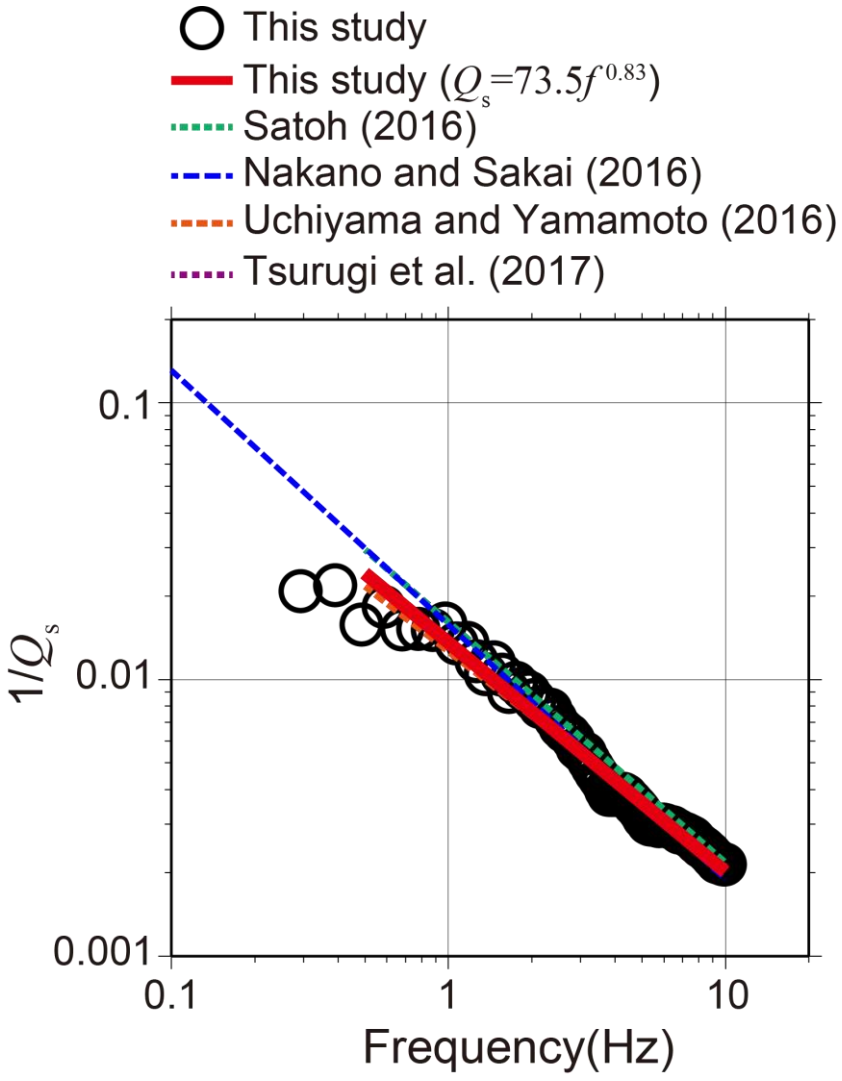


図 42　推定された $1/Q_s$ 値（黒色丸印）。赤色線は 0.5-10 Hz の値を対象としてモデル化した直線（Q_s=73.5$f^{0.83}$）。緑色，青色，橙色，茶色の各破線は佐藤（2016）、仲野・境（2016）、内山・山本（2016）、鶴来・他(2017)のモデルされた Q_s 値を表す。

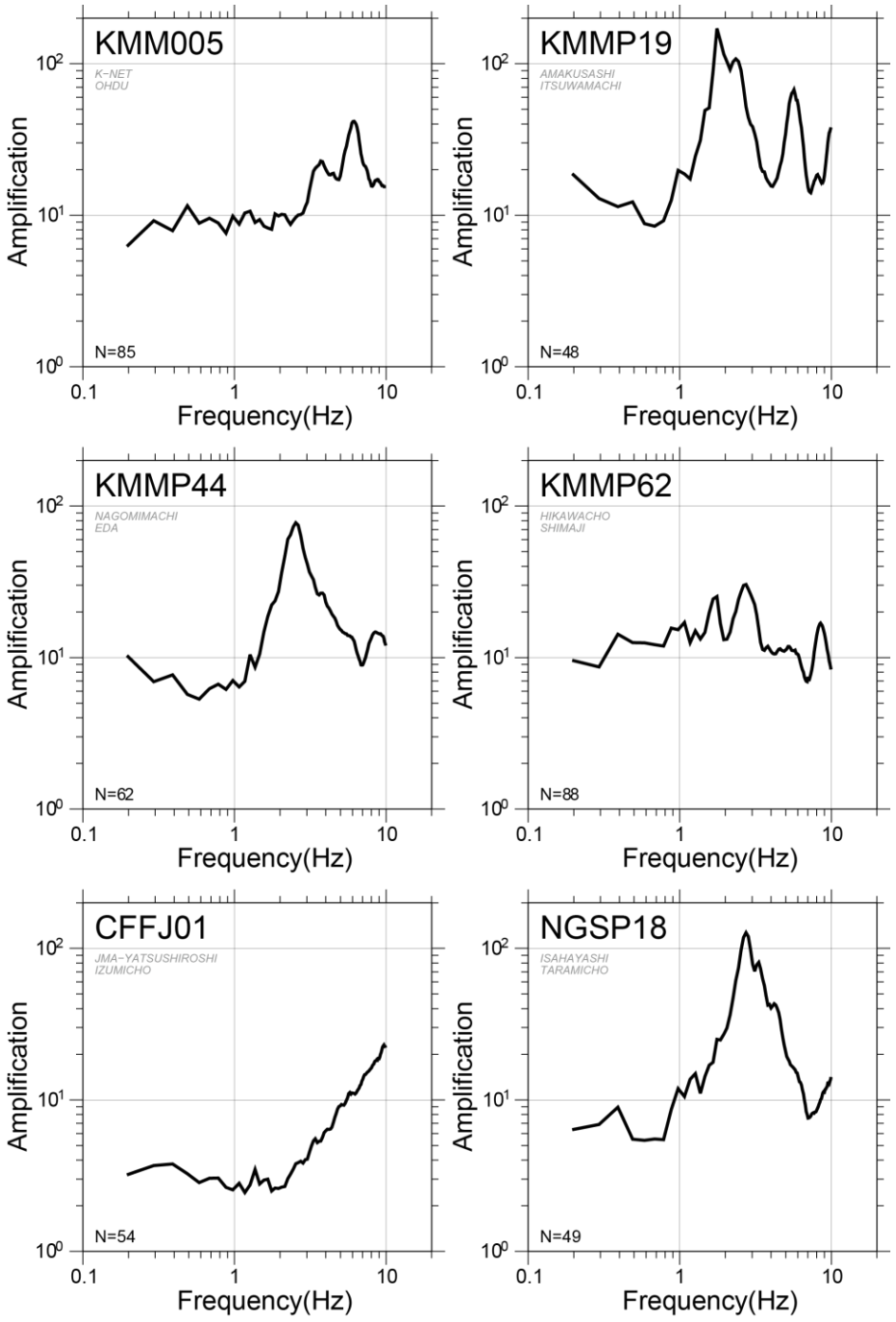


図 43　分離されたサイト増幅特性の例

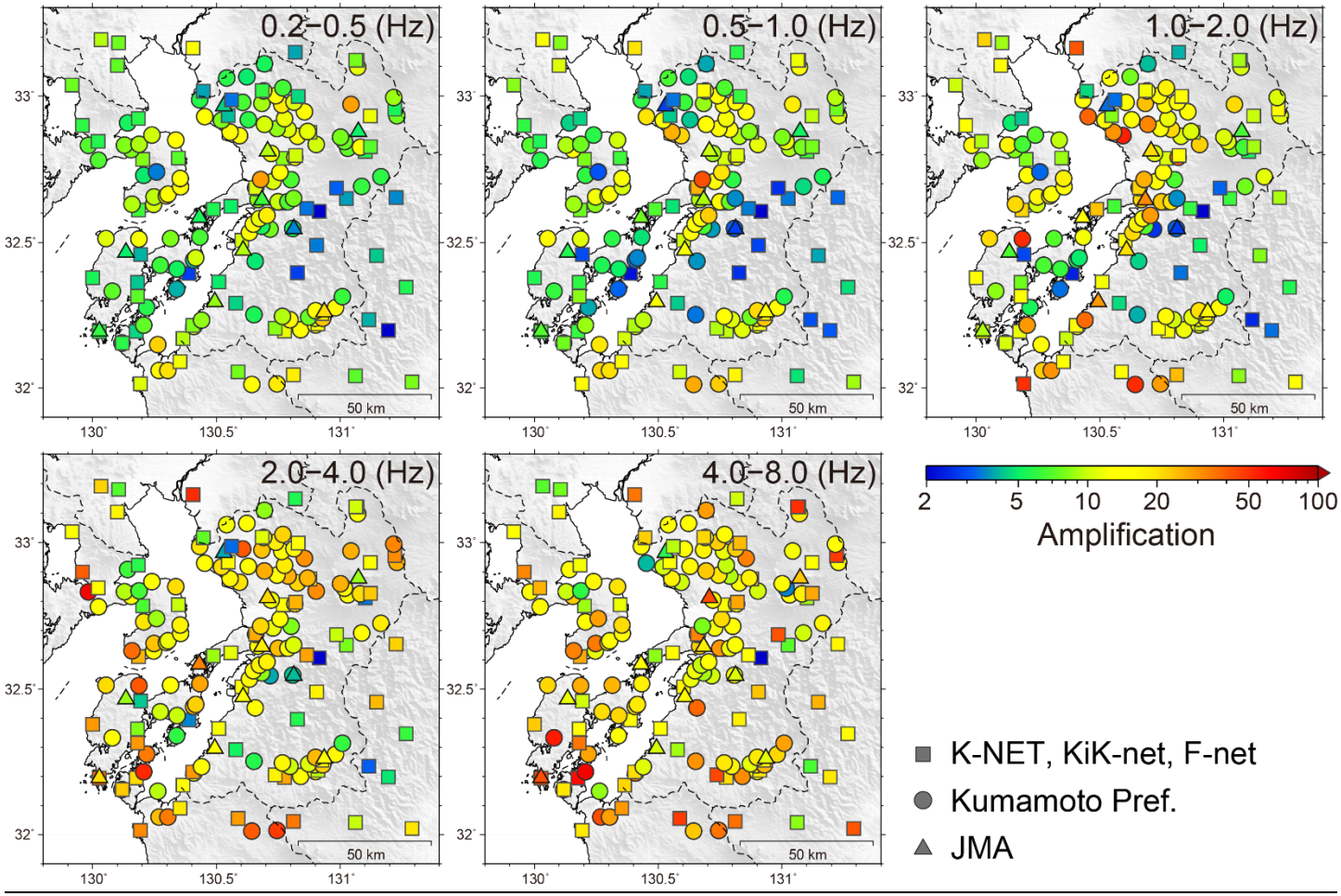


図 44　周波数帯域別（0.2-0.5 Hz，0.5-1.0 Hz，1.0-2.0 Hz，2.0-4.0 Hz，4.0-8.0 Hz）のサイト増幅特性の平均値（各周波数帯域内の増幅値の対数平均）の分布

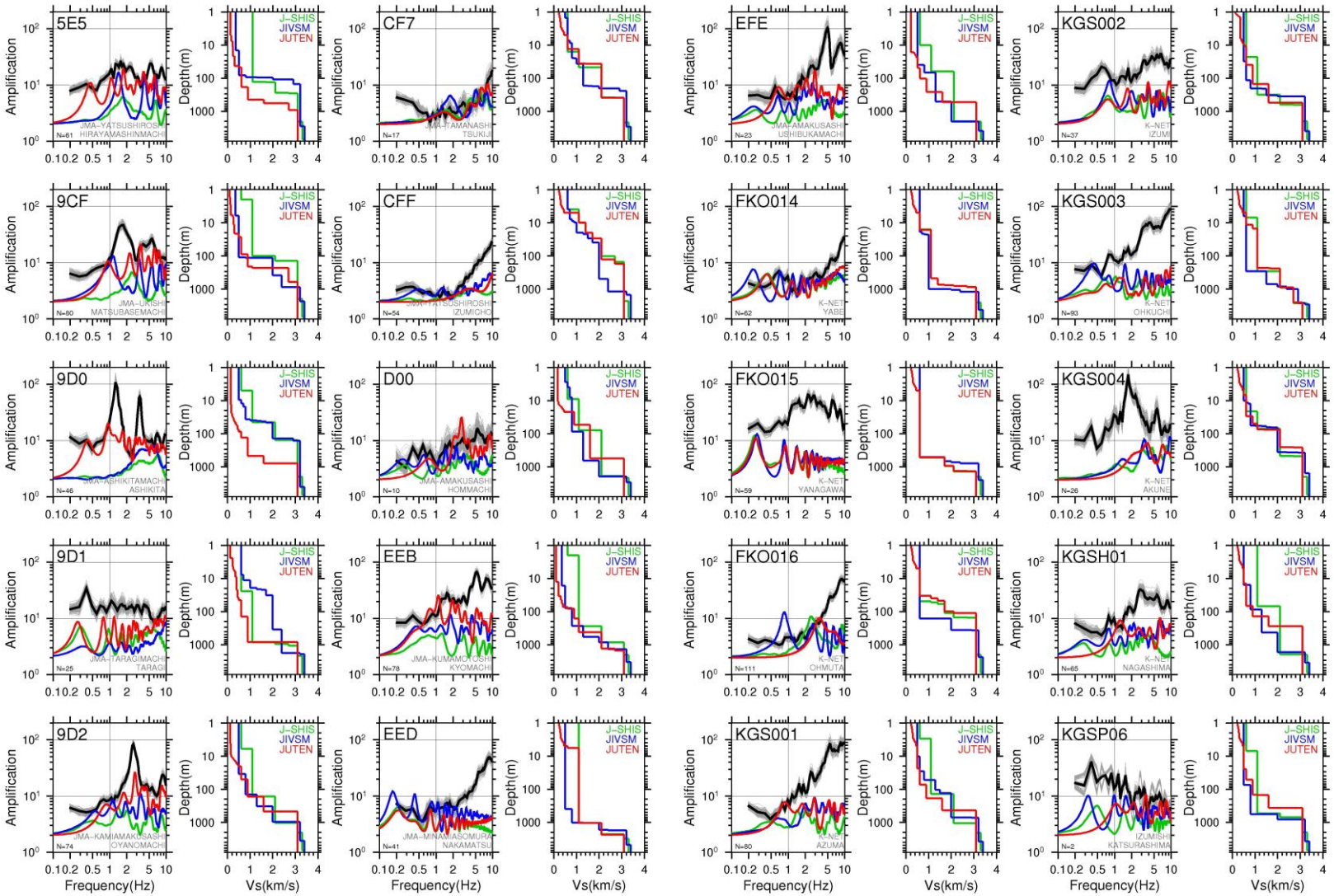


図 45　分離されたサイト増幅特性と理論増幅率の比較（黒：観測、赤：本研究、青：JIVSM、緑：J-SHIS V2）

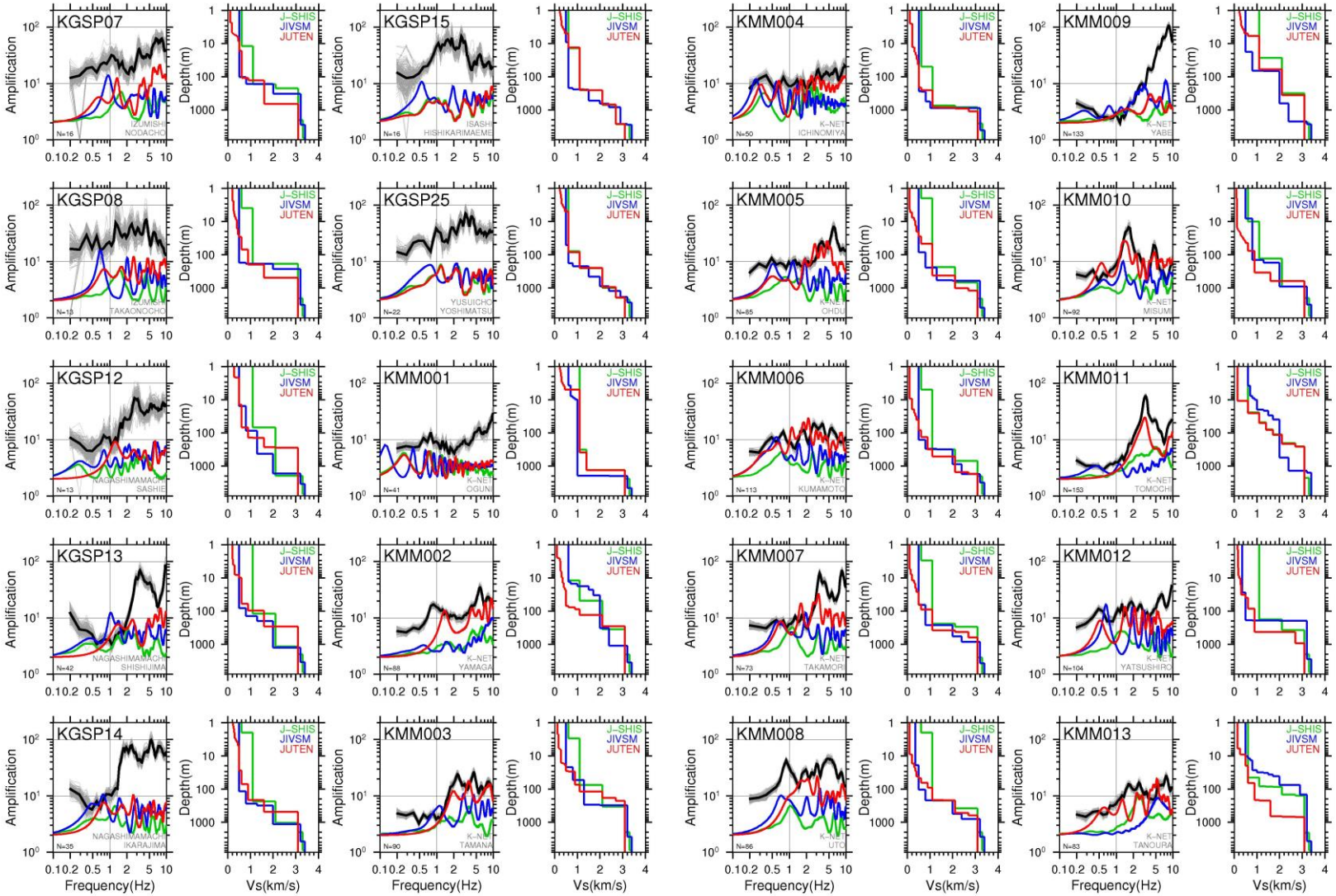

KGSP07
KGSP15
KMM004
KMM009
KGSP08
KGSP25
KMM005
KMM010
KGSP12
KMM001
KMM006
KMM011
KGSP13
KMM002
KMM007
KMM012
KGSP14
KMM003
KMM008
KMM013
J-SHIS
JIVSM
JUTEN
Amplification
Depth(m)
Frequency(Hz)
Vs(km/s)

図 45　続き

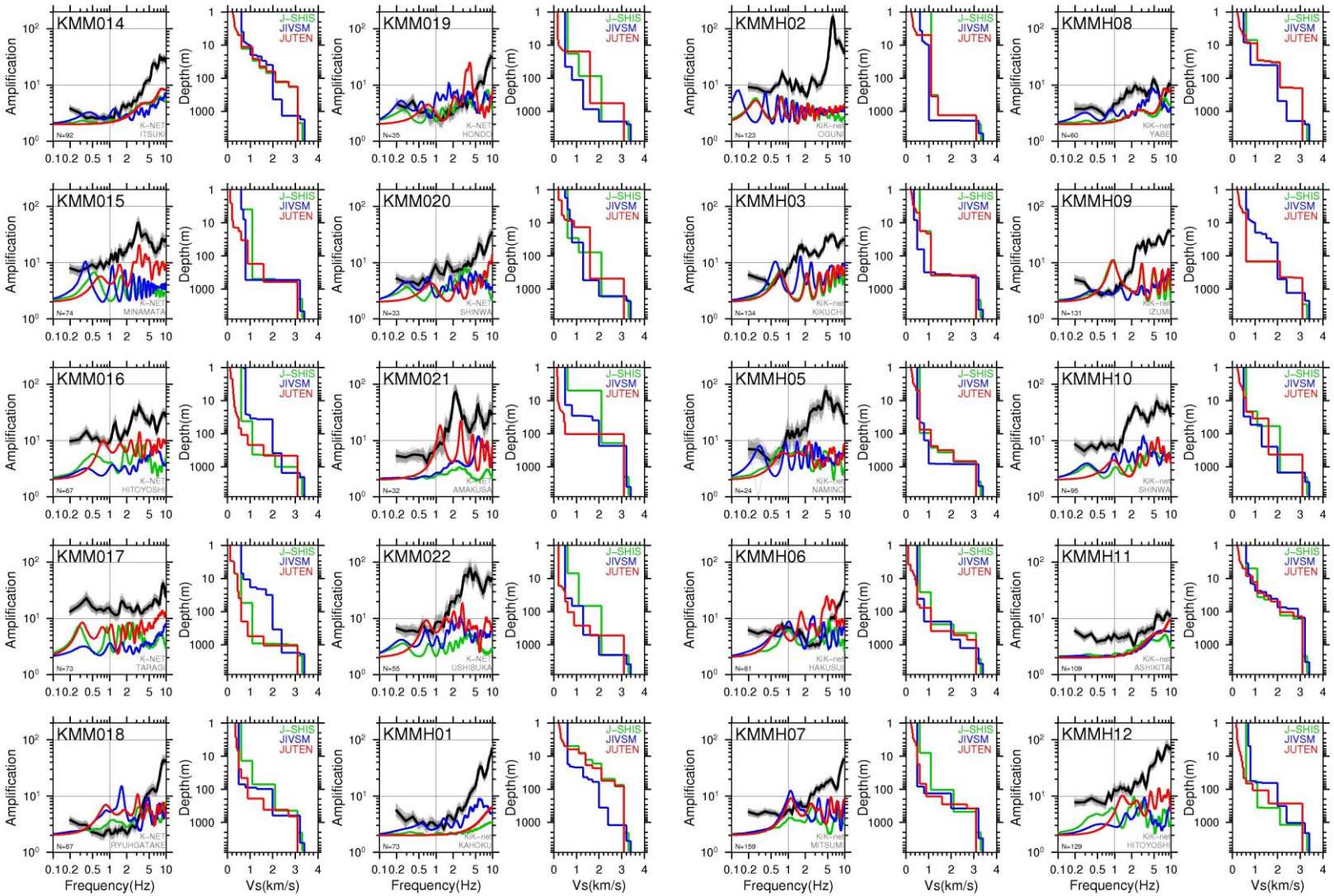

KMM014
KMM015
KMM016
KMM017
KMM018
KMM019
KMM020
KMM021
KMM022
KMMH01
KMMH02
KMMH03
KMMH05
KMMH06
KMMH07
KMMH08
KMMH09
KMMH10
KMMH11
KMMH12
J-SHIS
JIVSM
JUTEN
Amplification
Depth(m)
Frequency(Hz)
Vs(km/s)

図 45　続き

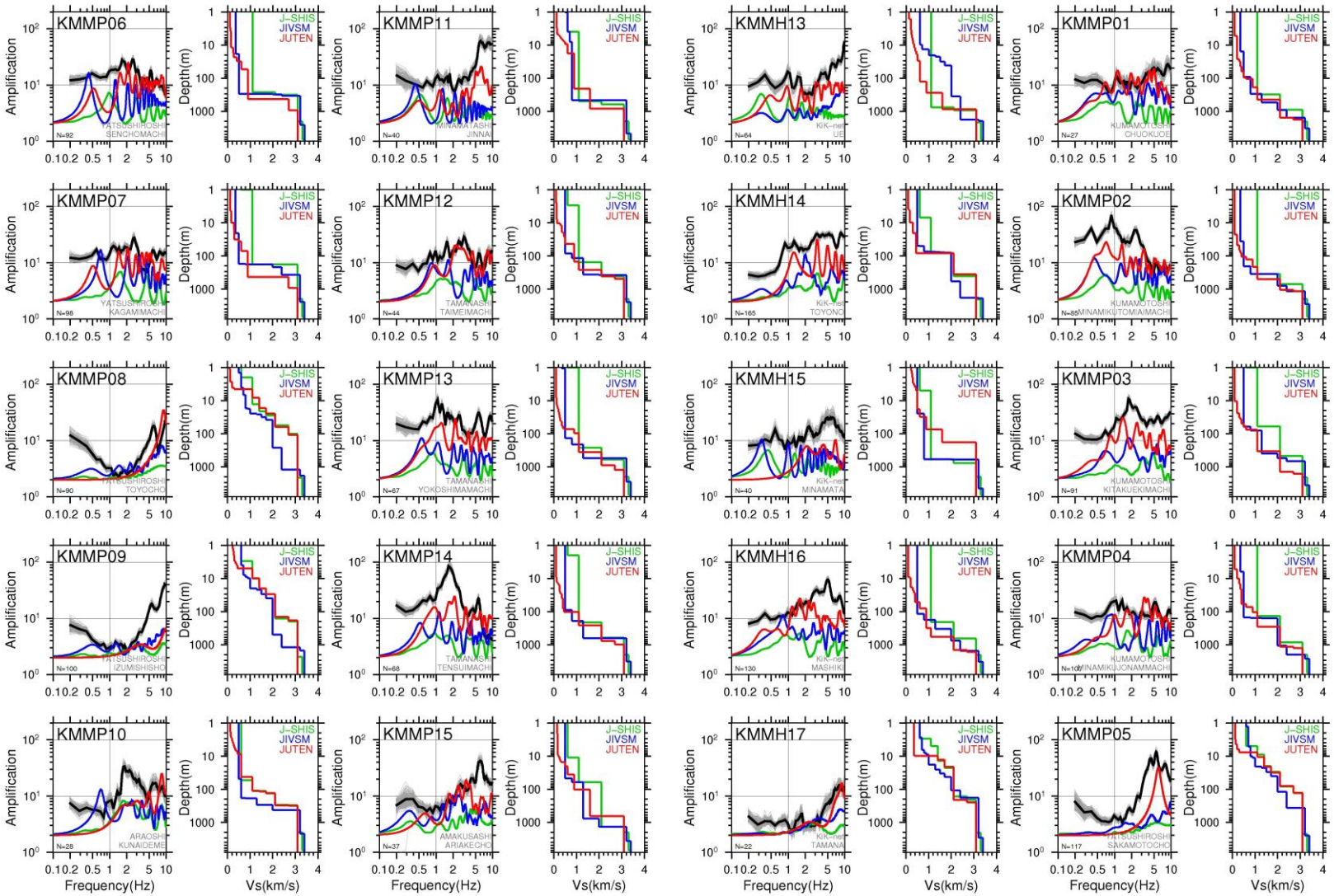

KMMP06
KMMP11
KMMH13
KMMP01
KMMP07
KMMP12
KMMH14
KMMP02
KMMP08
KMMP13
KMMH15
KMMP03
KMMP09
KMMP14
KMMH16
KMMP04
KMMP10
KMMP15
KMMH17
KMMP05
J-SHIS
JIVSM
JUTEN
Amplification
Depth(m)
Frequency(Hz)
Vs(km/s)

図 45　続き

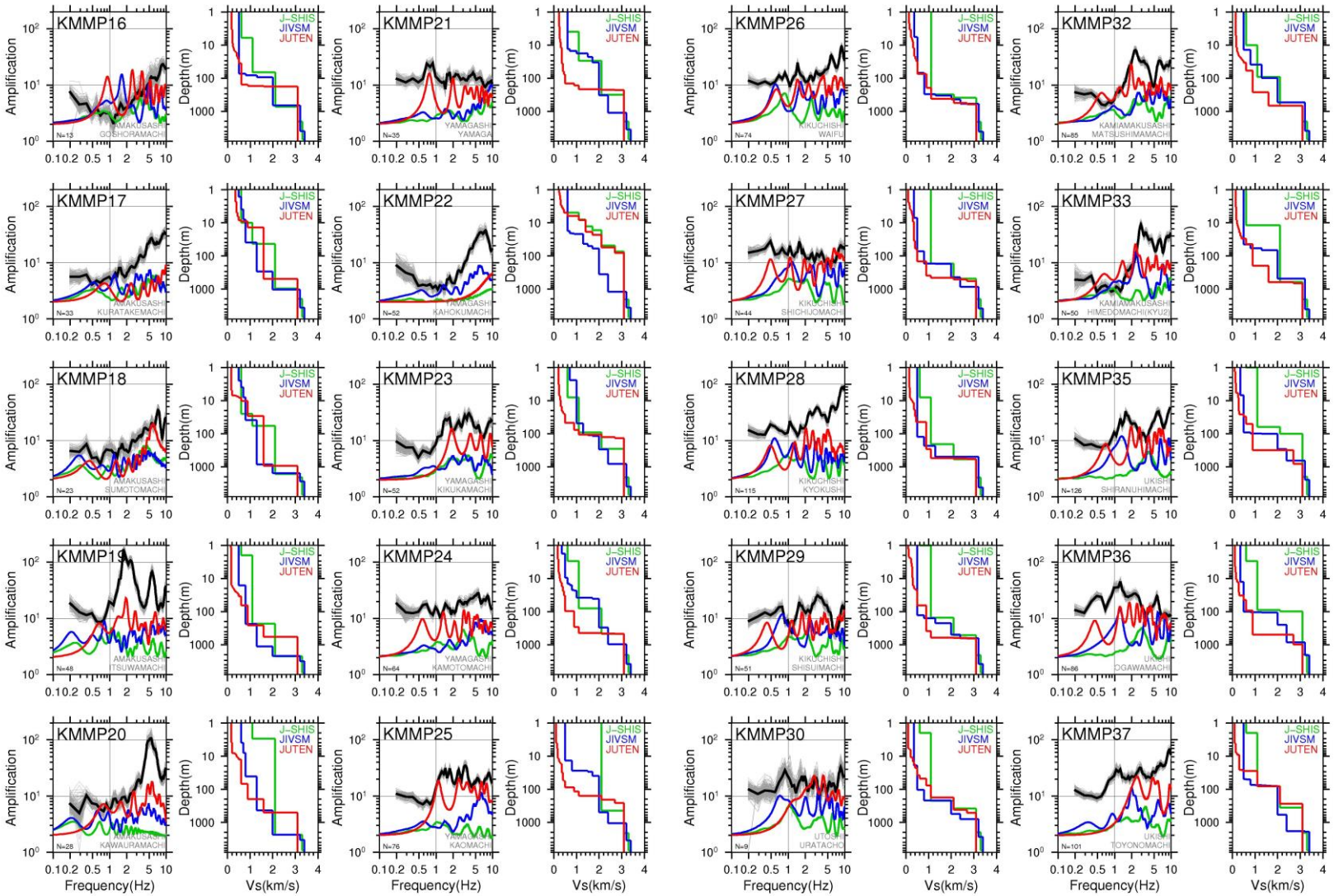

KMMP16
KMMP17
KMMP18
KMMP19
KMMP20
KMMP21
KMMP22
KMMP23
KMMP24
KMMP25
KMMP26
KMMP27
KMMP28
KMMP29
KMMP30
KMMP32
KMMP33
KMMP35
KMMP36
KMMP37
J-SHIS
JIVSM
JUTEN
Amplification
Depth(m)
Frequency(Hz)
Vs(km/s)

図 45　続き

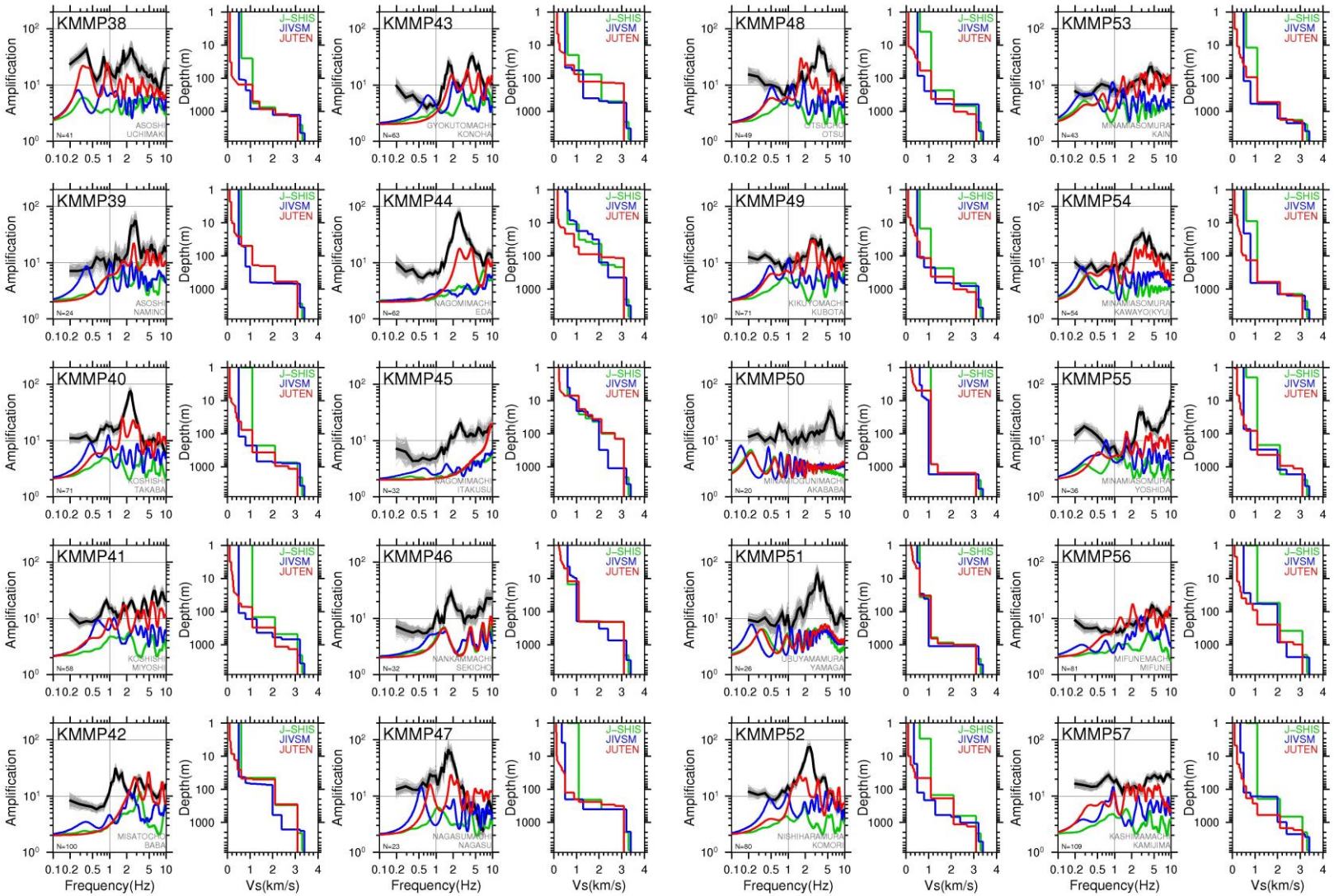

KMMP38
KMMP43
KMMP48
KMMP53
KMMP39
KMMP44
KMMP49
KMMP54
KMMP40
KMMP45
KMMP50
KMMP55
KMMP41
KMMP46
KMMP51
KMMP56
KMMP42
KMMP47
KMMP52
KMMP57
J-SHIS
JIVSM
JUTEN
Amplification
Depth(m)
Frequency(Hz)
Vs(km/s)

図 45　続き

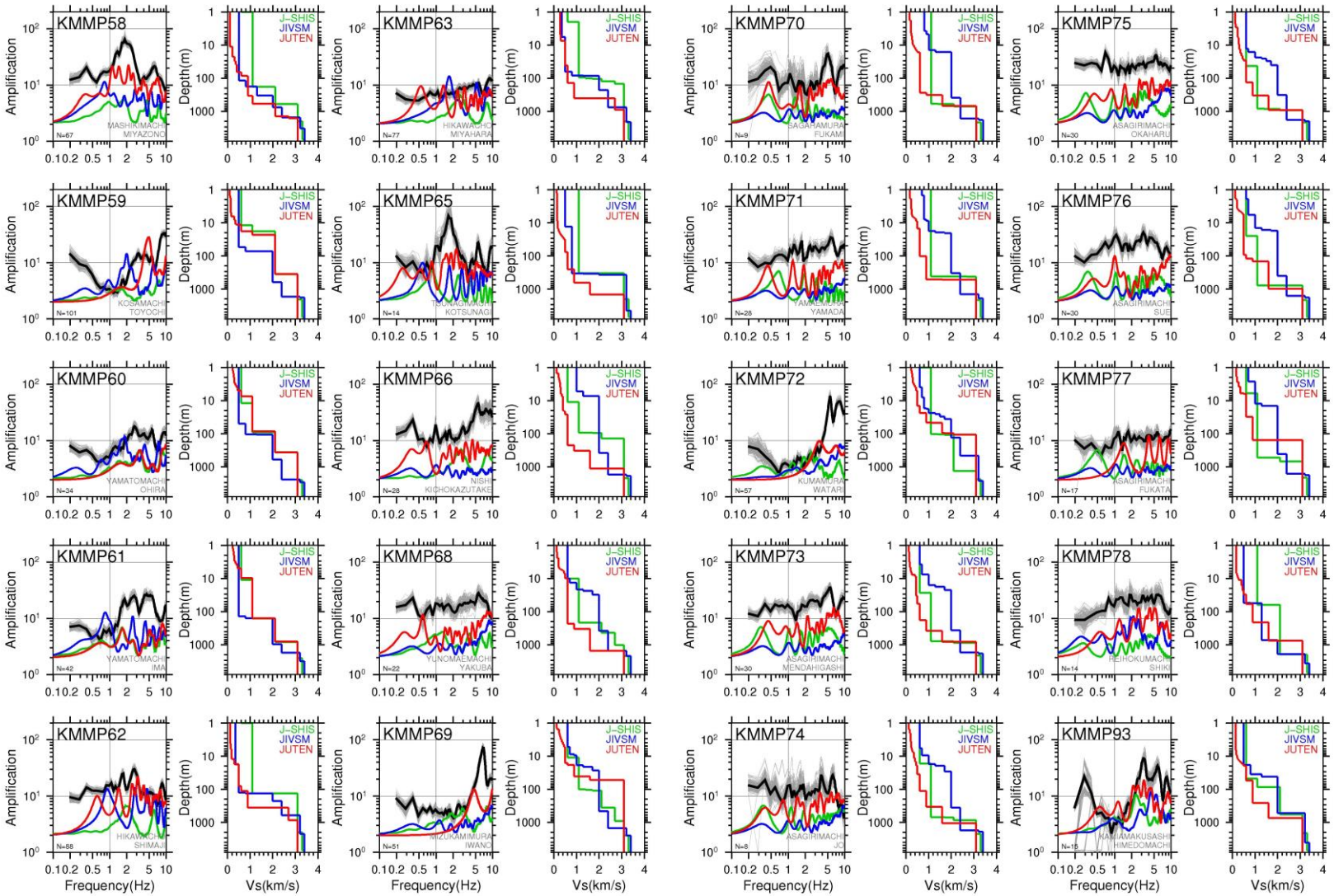

KMMP58
KMMP59
KMMP60
KMMP61
KMMP62
KMMP63
KMMP65
KMMP66
KMMP68
KMMP69
KMMP70
KMMP71
KMMP72
KMMP73
KMMP74
KMMP75
KMMP76
KMMP77
KMMP78
KMMP93
J-SHIS
JIVSM
JUTEN
Amplification
Depth(m)
Frequency(Hz)
Vs(km/s)

図 45　続き

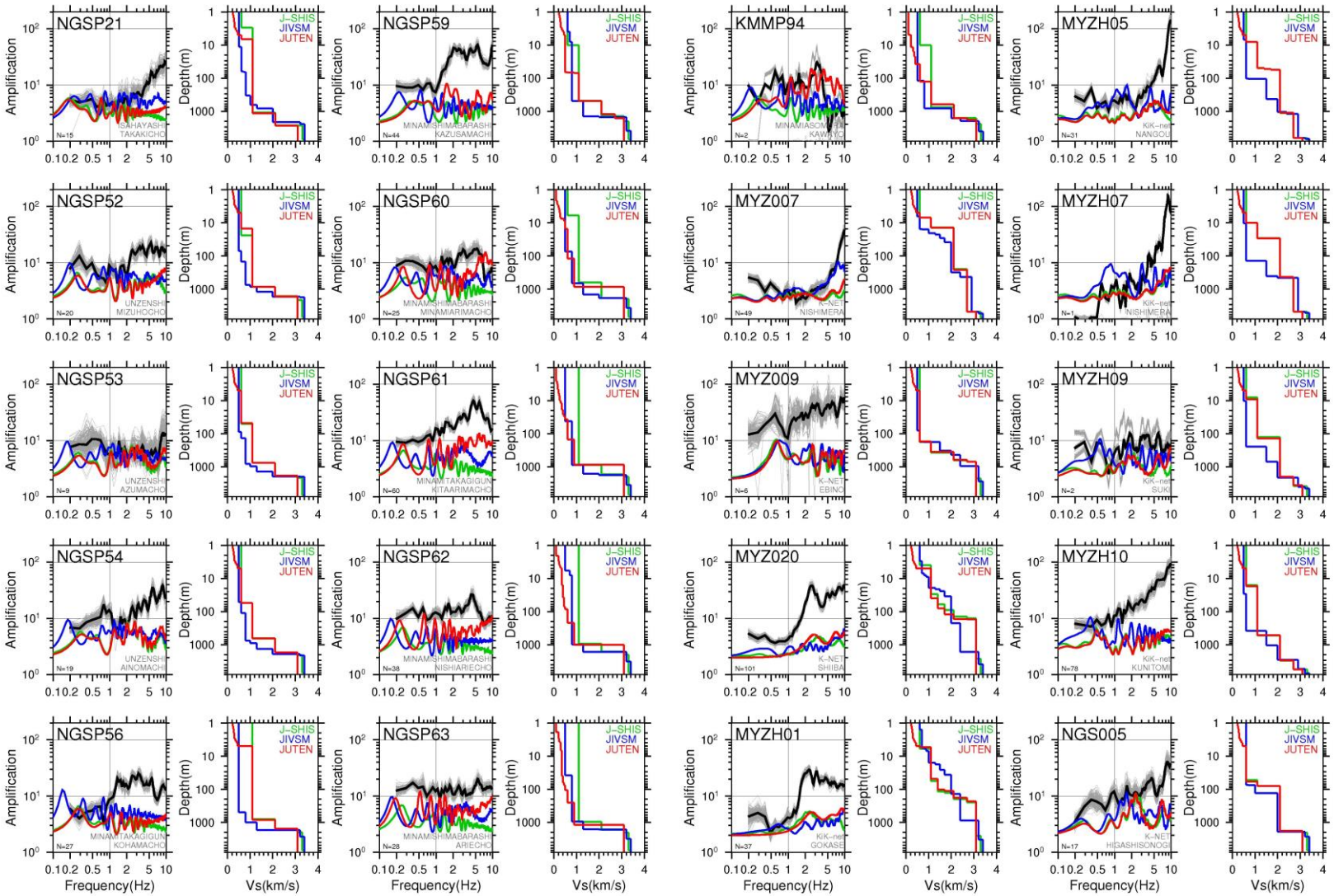

NGSP21
NGSP59
KMMP94
MYZH05
NGSP52
NGSP60
MYZ007
MYZH07
NGSP53
NGSP61
MYZ009
MYZH09
NGSP54
NGSP62
MYZ020
MYZH10
NGSP56
NGSP63
MYZH01
NGS005
J-SHIS
JIVSM
JUTEN
Amplification
Depth(m)
Frequency(Hz)
Vs(km/s)

図 45　続き

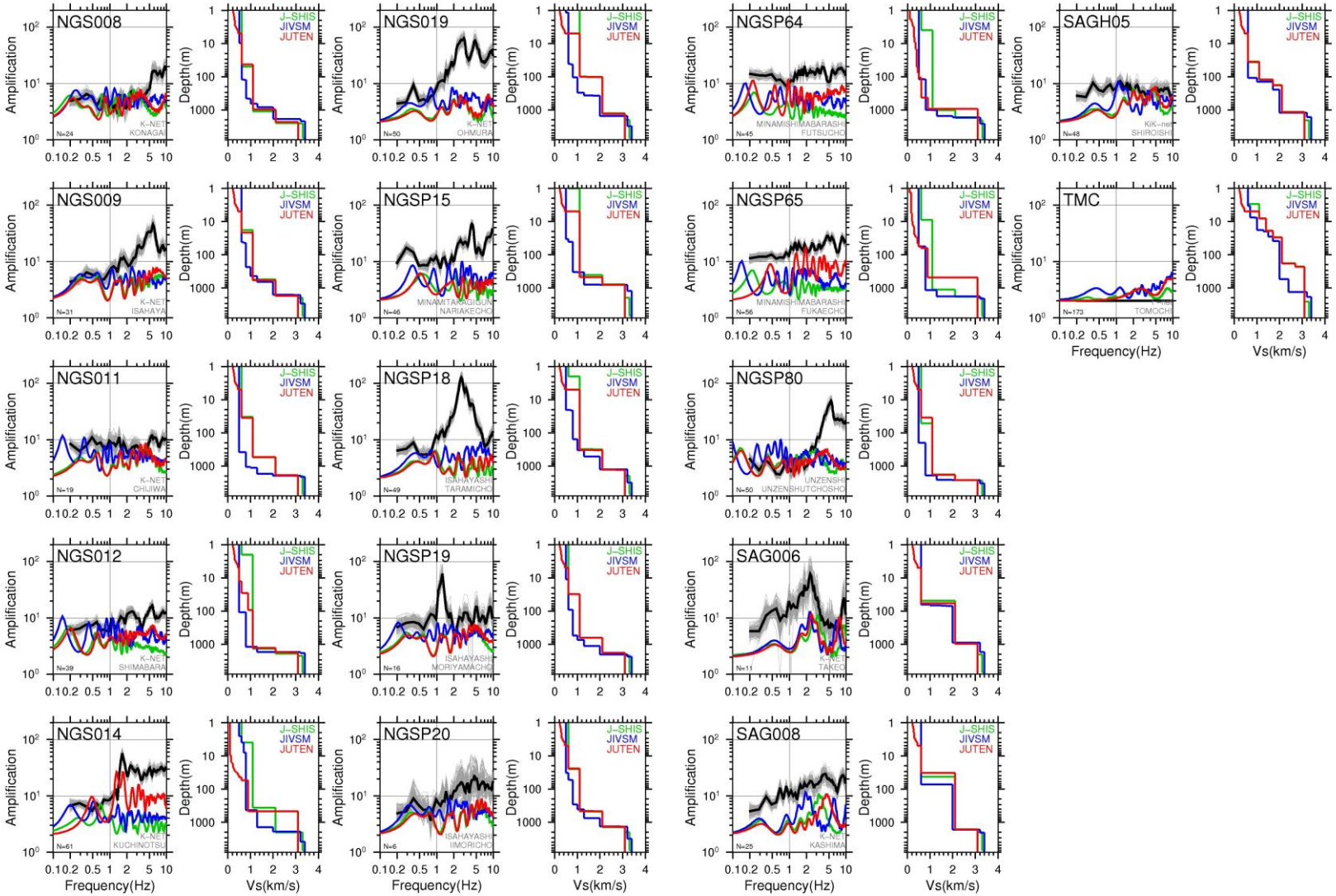

NGS008
NGS019
NGSP64
SAGH05
NGS009
NGSP15
NGSP65
TMC
NGS011
NGSP18
NGSP80
NGS012
NGSP19
SAG006
NGS014
NGSP20
SAG008
J-SHIS
JIVSM
JUTEN
Amplification
Depth(m)
Frequency(Hz)
Vs(km/s)

図 45　続き

6）深井戸ボーリング情報の収集

対象地域の深部および浅部の地盤構造モデルを構築するため、反射法地震探査、微動アレイ調査等を実施している。一方、特に地震動評価を進めるために重要な熊本平野、八代平野等では、深い研究ボーリングは存在せず、直接的な地質情報が得られないことがわかった。対象地域では多くの温泉が存在することから、これに着目して、深い温泉ボーリング掘削時の地質柱状図の存在が確認できる可能性のあるものを、熊本県健康福祉部に依頼し、情報開示をしていただいた。具体的には熊本市、宇土市、宇城市、八代市、嘉島町、益城町、水俣市と人吉・球磨地域において掘削深度 500 m 以上の温泉ボーリング調査で、温泉掘削工事終了報告書に地質柱状図等の記載があるものについての検索と提供をお願いした。図 46～47 に、本調査で収集されたボーリング資料が存在する地点と、そのボーリングの掘削深度を示した。なお、（旧）住所の記載等から地理院地図等を利用して位置を確認できたものを記載している。「温泉」や「病院」等の施設が現在はなくなっている場合もあった。表 19 は八代平野で収集した資料から読み取った地質情報の例である。収集された地質柱状図は、平成 28 年度の熊本平野での反射法探査、平成 29 年度の八代平野での反射法探査の反射断面図の解釈として用いられるとともに、人吉盆地においては、堆積層の基盤面深度の設定に使用された。コア取得を目的とするボーリング掘削ではないため、スライムの観察から作成された地質柱状図であることに留意する必要があるが、近傍で複数の地質柱状図でみられる類似点に着目することで、地下の地質分布を大まかに把握するのには使用できると考えられる。

表 19　八代平野における温泉ボーリングの例

No.	所在地	深度	地質
1	八代市 32.4262°N 130.5629°E	～ 5 m 5 m～ 840 m 840 m～	砂礫 砂岩 頁岩
2	八代市 32.5070°N 130.6039°E	～ 396 m 396 m～ 550 m 550 m～ 787 m 787 m～1201 m	砂質泥岩と砂岩の互層 マサ～亀裂・変質が著しい強風化花崗岩 亀裂・変質が著しい揉まれた花崗岩 亀裂が発達した硬質花崗岩
3	八代市 32.5144°N 130.6516°E	～ 415 m 415 m～ 723 m 723 m～1200 m	礫及び砂質土 石灰岩 花崗岩
4	八代市 32.5060°N 130.6444°E	～ 425 m 425 m～	礫、砂、粘土、泥岩など 結晶片岩
5	宇城市 32.5885°N 130.7093°E	～ 330 m 330 m～ 735 m 735 m～	シルト、砂礫、粘土など 花崗岩 アプライト
6	宇城市 32.6400°N 130.7040°E	～ 91 m 91 m～ 176 m 176 m～ 420 m 420 m～1000 m	砂礫 風化変成岩 変成岩 花崗岩
7	宇城市 32.5994°N 130.7029°E	～ 210 m 210 m～ 250 m 250 m～ 640 m	砂礫 閃緑岩 花崗閃緑岩

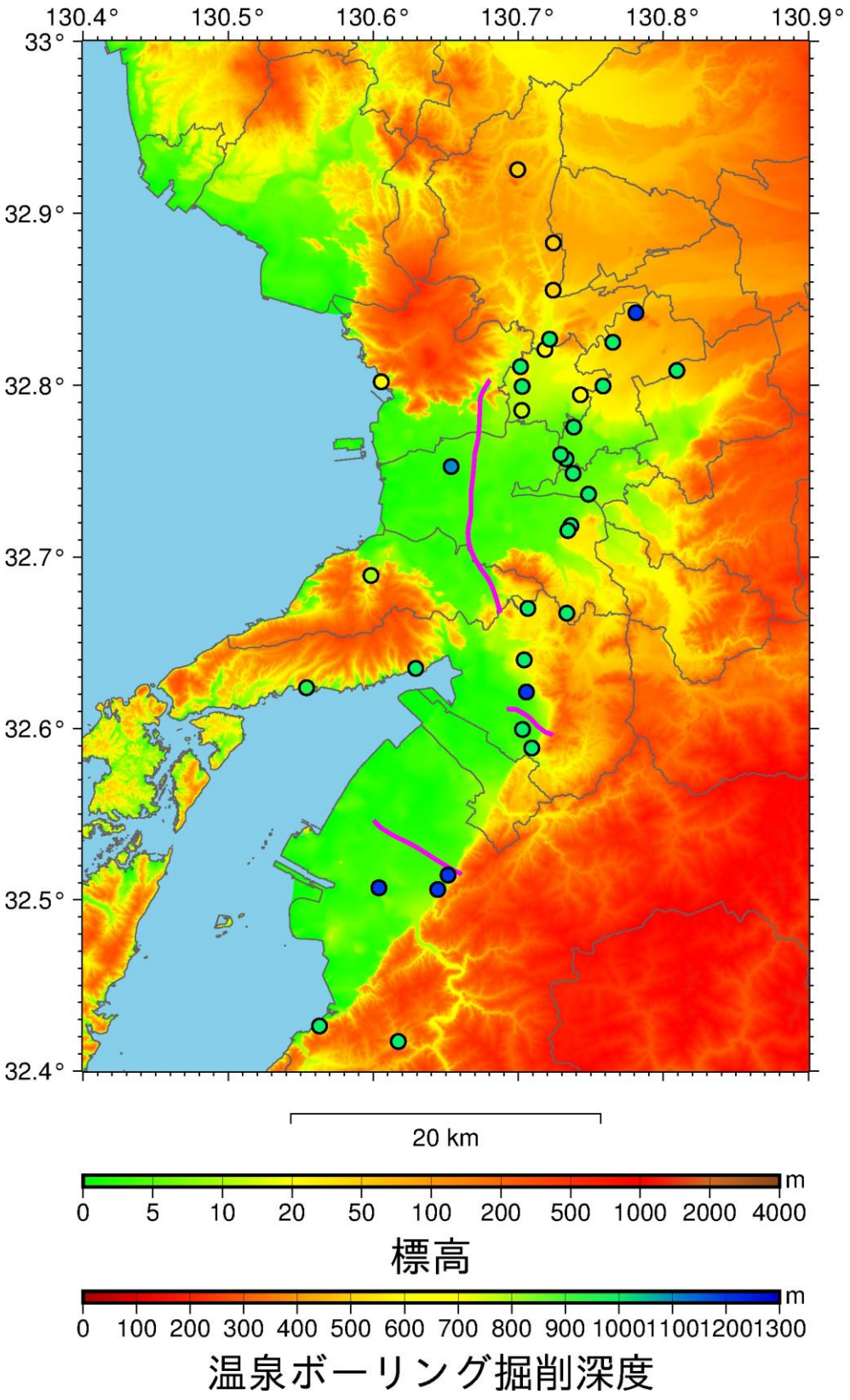


図 46　温泉ボーリング地点。熊本市、宇土市、宇城市、八代市、嘉島町および益城町。

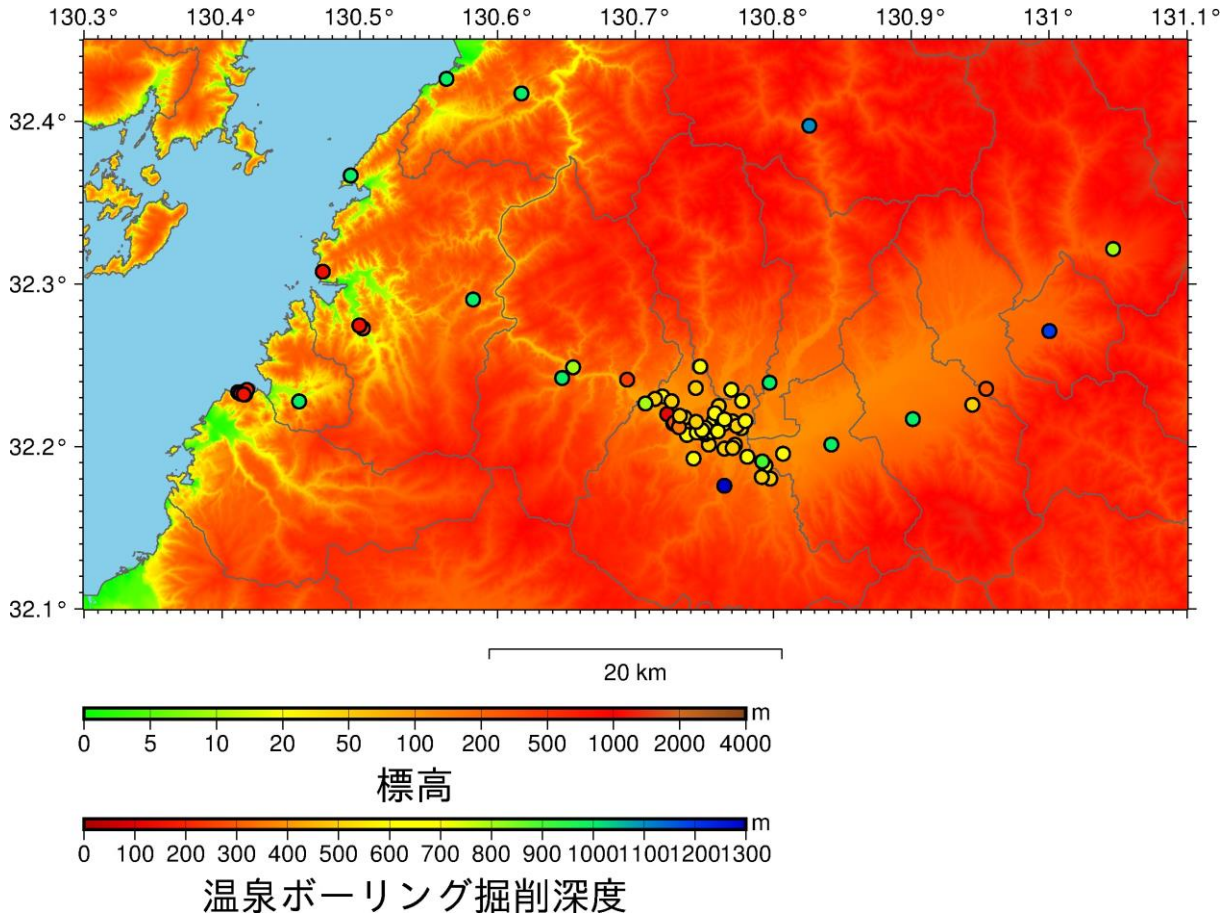


図 47　温泉ボーリング地点。水俣および人吉・球磨地域。

7）深部地盤構造モデルの構築

布田川断層帯及び日奈久断層帯の強震動予測高度化に資するため、周辺地域の深部地盤構造モデルを構築した。平成 28 年熊本地震の被災地域を含む熊本平野においては、内閣府戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）「レジリエントな防災・減災機能の強化」の研究開発課題⑤「リアルタイム被害推定・災害情報収集・分析・利活用システム開発」において、国立研究開発法人防災科学技術研究所によって、浅部・深部統合地盤モデルが構築されている（Senna et al., 2018）。このため、本業務では、両断層帯周辺の堆積平野・盆地である八代平野、人吉盆地、水俣平野、出水平野、天草諸島、玉名平野、菊鹿盆地の深部地盤構造を主に検討した。深部地盤モデル作成には、既往の速度構造モデル、地形・地質情報、物理探査（重力異常データも含む）、地震動観測データ等に加え、サブテーマ２と３で実施・取得した反射法地震探査（平成 28 年度熊本測線、平成 29 年度宇城測線、平成 29 年度八代測線）、微動探査（微動アレイによる位相速度分散曲線、単点微動 H/V スペクトル比）、温泉ボーリングによる深井戸地質柱状図などの情報を用いた。また、中規模地震の地震動シミュレーションを実施し、モデルの妥当性を確認した。図 48 に地盤構造モデル作成のフローを示す。このうち、本項では深部地盤構造モデル（S 波速度 500 m/s 以上）について説明する。対象地域によって、利用可能な情報の種類や多寡が異なっているため、地域毎に適切な方法でモデル化を行った。

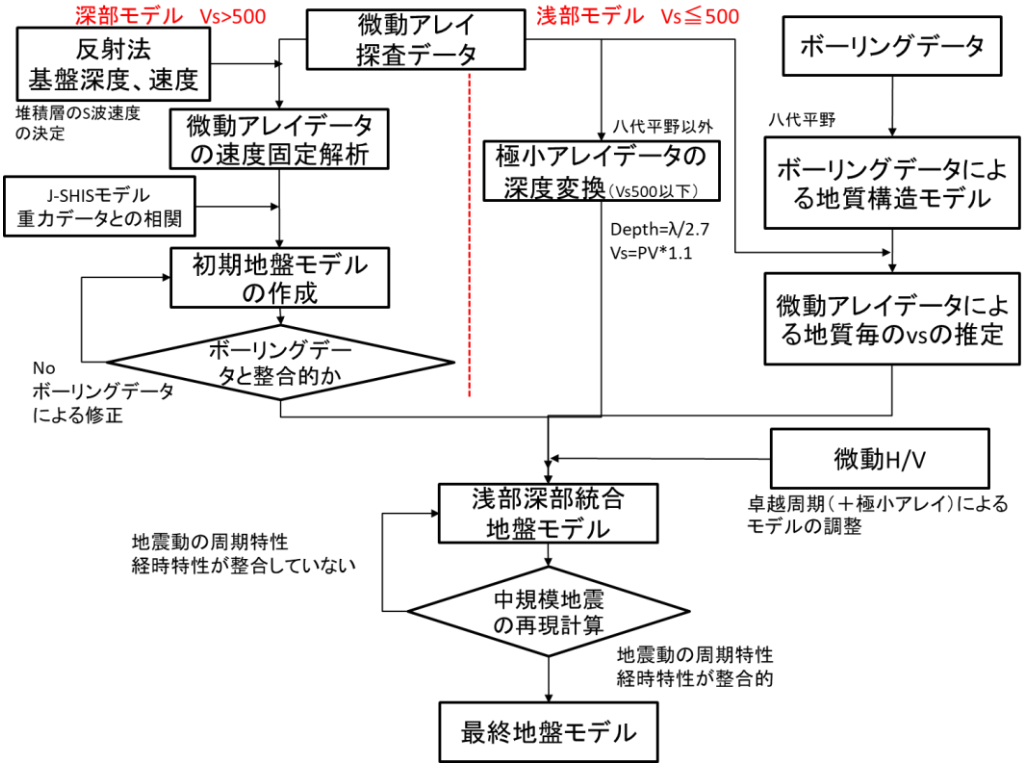


図 48　地盤構造モデル作成のフロー

a）八代平野

図 49 に八代平野周辺における反射法地震探査測線及び微動調査地点を示す。まず、八代平野の堆積層部分のＳ波速度（V_S）を与えるため、八代平野で実施された反射法地震探査測線（宇城測線、八代測線）近傍の微動アレイ探査データ（Ｃ１、Ｄ１、Ｃ４、Ｄ４地点）について反射法地震探査による地質境界面を固定し、位相速度と H/V スペクトル比の同時逆解析を行った。ここでは、反射法地震探査により推定された基盤深度を基準にして、±15%以内の変化を許す条件下で探索を行った。地震基盤のＳ波速度は、藤原・他（2004)を参考に、3100 m/s と仮定した。図 50 に基盤深度を固定した同時逆解析結果を示す。堆積層のＳ波速度の平均値は概ね 600 m/s と 900m/s となった。基盤上部に V_S 2700m/s の層を考慮したが、逆解析結果では、層厚がほぼ０ｍとなった。

一方、屈折法地震探査の結果では、音響基盤のＰ波速度（V_P）は 4700 m/s であった（図 51 上図)。J-SHIS によるモデルでは、Ｐ波速度 4700 m/s は、Ｓ波速度が 2700 m/s あるいは 2900 m/s に対応する。熊本平野の深部地盤モデル（Senna et al., 2018）では基盤のＳ波速度が 2700 m/s と設定されているため、本検討でも音響基盤のＳ波速度を 2700 m/s と仮定した。図 51 下図に音響基盤の下部に V_P 5500 m/s 層を仮定した場合のレイトレーシング結果を示す。V_P 5500 m/s 層については、屈折波初動トモグラフィ結果を参考に測線の東部で上面深度をやや深く設定した。V_P 4700 m/s 層の西端、東端については、反射法地震探査の結果を参考に上面深度をやや浅く設定した。図 52 に初動フォワードモデリングの結果を示す。距離程 1500～5500 m においては、V_P 4700 m/s 層を伝わる波が初動となった。このため、V_P 4700m/s 層（V_S2700 m/s 層）の平均的な厚さを 500 m とした。

深部地盤を構成する堆積層のＳ波速度を 600 m/s、900 m/s、基盤のＳ波速度を 2700 m/s、3100 m/s と固定し、各層の層厚を探索した。ただし、V_S 2700 m/s 層の層厚は 500 m で固定した。図 53 にＳ波速度を固定した逆解析の結果を示す。図 54 及び図 55 に宇城測線及び八代測線における反射法地震探査と微動アレイ探査結果の比較を示す。反射法の区間速度は孤崎・他(1990)によるＰ波速度とＳ波速度の関係に関する経験式を用いてＳ波速度に変換した。八代測線では堆積層内の区間速度が大きく、微動アレイ探査による V_S 900 m/s 層上面も浅く推定されている。

八代平野全体の微動アレイデータについて、同様にＳ波速度を固定し、同時逆解析を実施した（図 56)。また、八代平野南部で実施した極小＋不規則微動アレイの調査地点においては微動の H/V スペクトル比を、宇土市から宇城市にかけての八代平野と熊本平野の接合部周辺地域においては微動の H/V スペクトルを用いて深部地盤モデルを推定した(図 57)。図 58 にこれらの解析で推定した各速度層の上面深度を示す。V_S 2700 m/s 層上面は海岸沿い付近でやや浅い傾向が見られた。また、八代平野南部では 500 m を超え、最も南に位置しているＣ７地点では 701 m と推定された。八代測線近傍に位置している温泉ボーリングデータでは、深さ 415 m で石灰岩が確認されており、微動アレイ探査や反射法地震探査の結果とも矛盾しない。ところが、宇城測線近傍に位置している温泉ボーリングデータでは、深度 210 m において閃緑岩が確認されているが、反射法地震探査や微動アレイ探査の結果で推定された基盤深度は約 400 m であり、両データの整合が悪い結果となった。ここでは、強震動予測のための地盤モデル作成が目的であるため、反射法地震探査結果や微動アレイ探査結果を採用することとした。

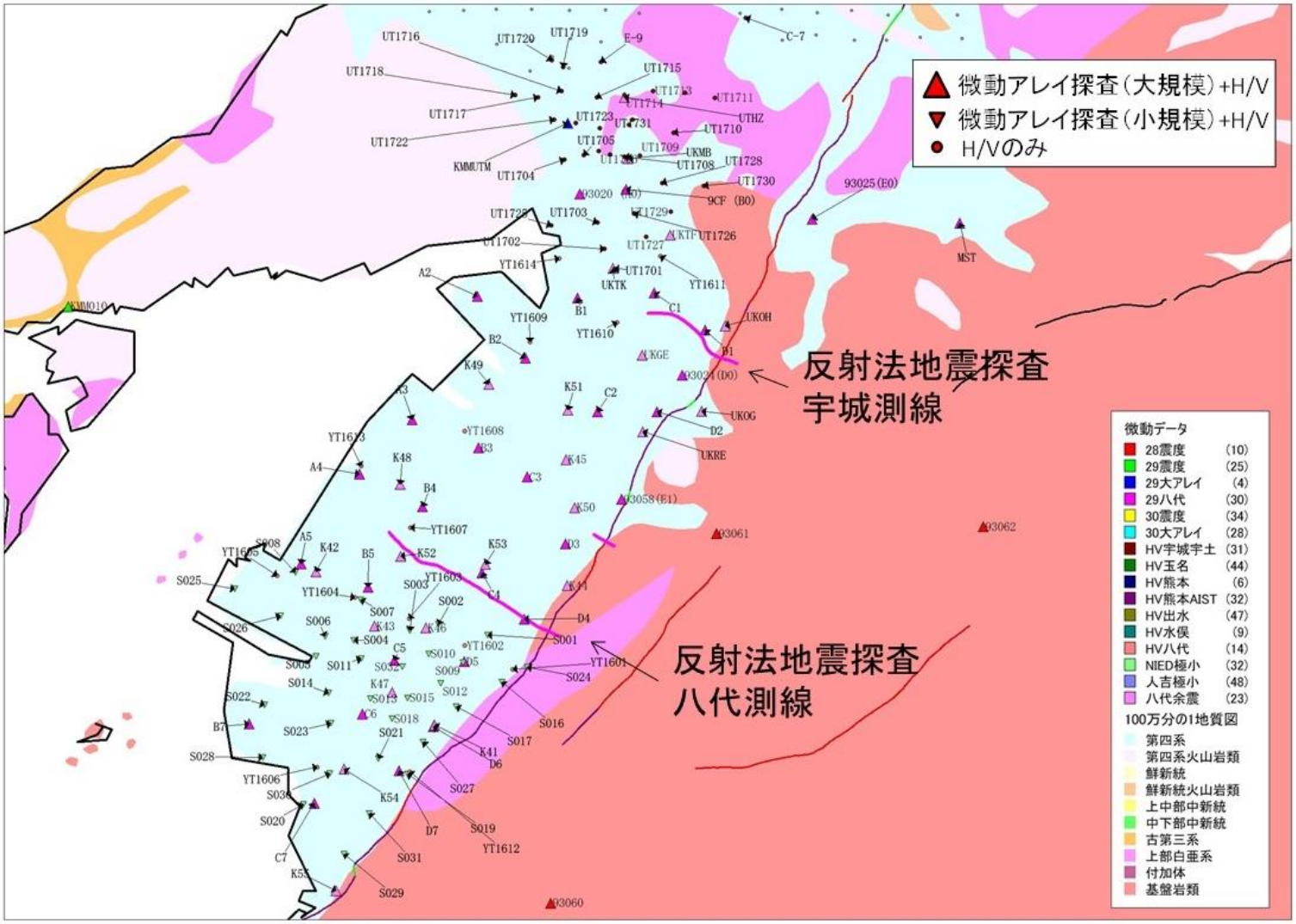
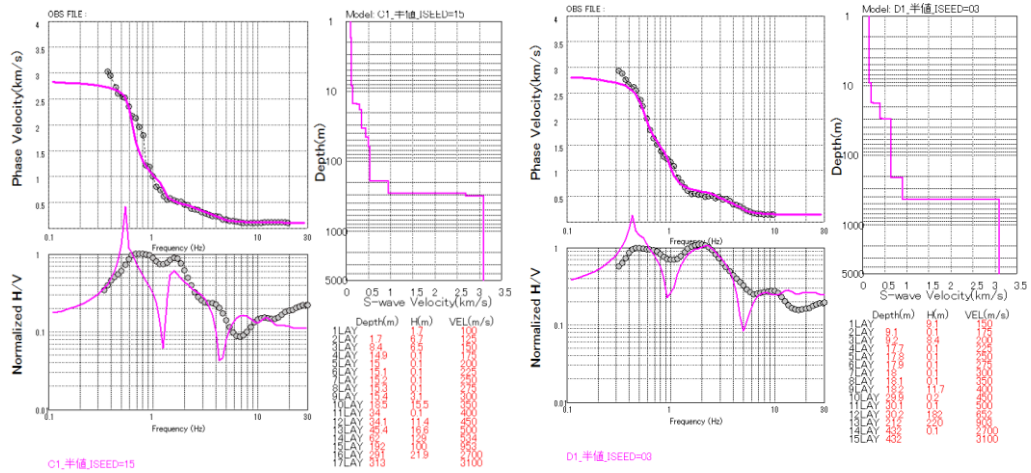
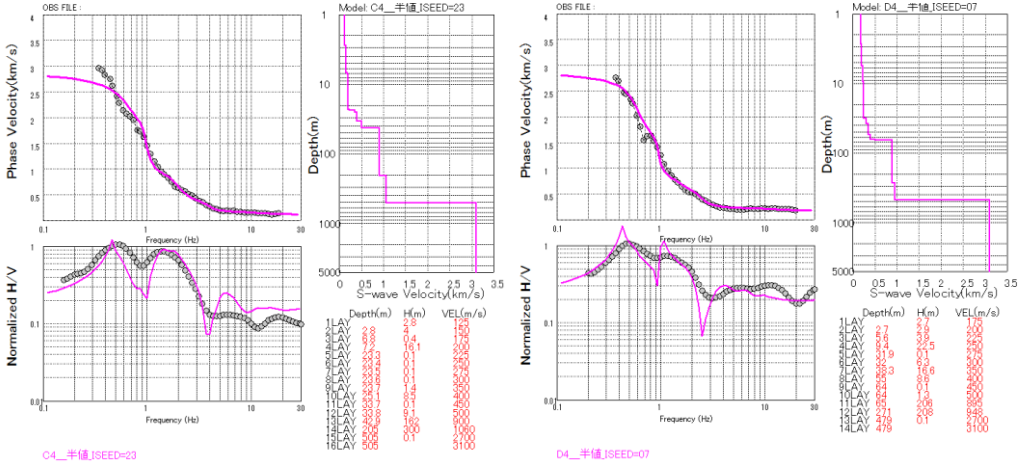


図 49　八代平野における微動探査データ（▲：微動アレイ＋H/V スペクトル比、●：H/V スペクトル比のみ）及び反射法地震探査（桃色実線）の位置図。基図は 100 万分の 1 日本地質図第 3 版 CD-ROM 第 2 版（産業技術総合研究所地質調査総合センター，2003）による。



Ｃ１地点　　Ｄ１地点



Ｃ４地点　　Ｄ４地点

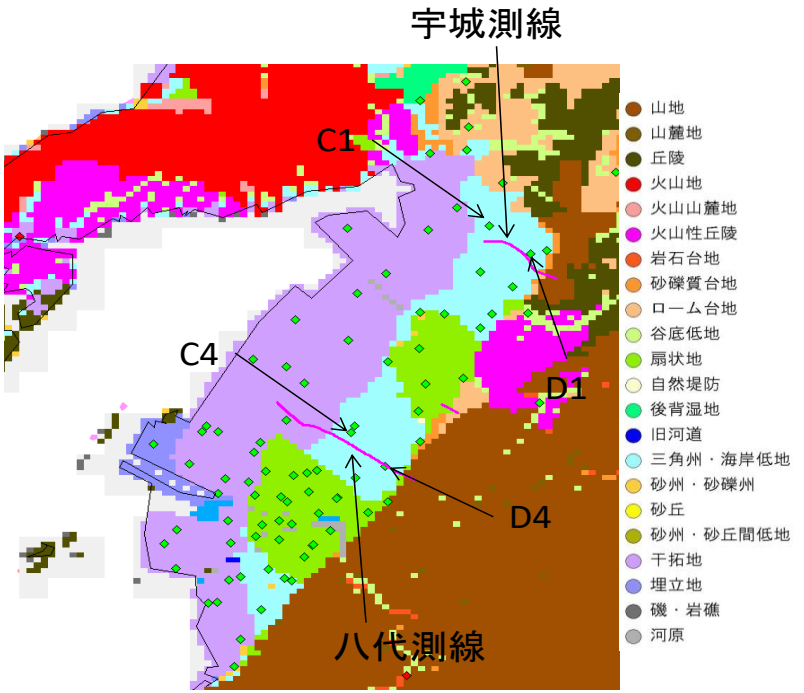


図 50　反射法地震探査測線近傍の微動アレイ調査地点（右図）にて、基盤深度を固定した場合の位相速度＋H/V スペクトル比同時逆解析の結果（左図）。右図中の微地形分布データは若松・松岡(2013)より引用した。

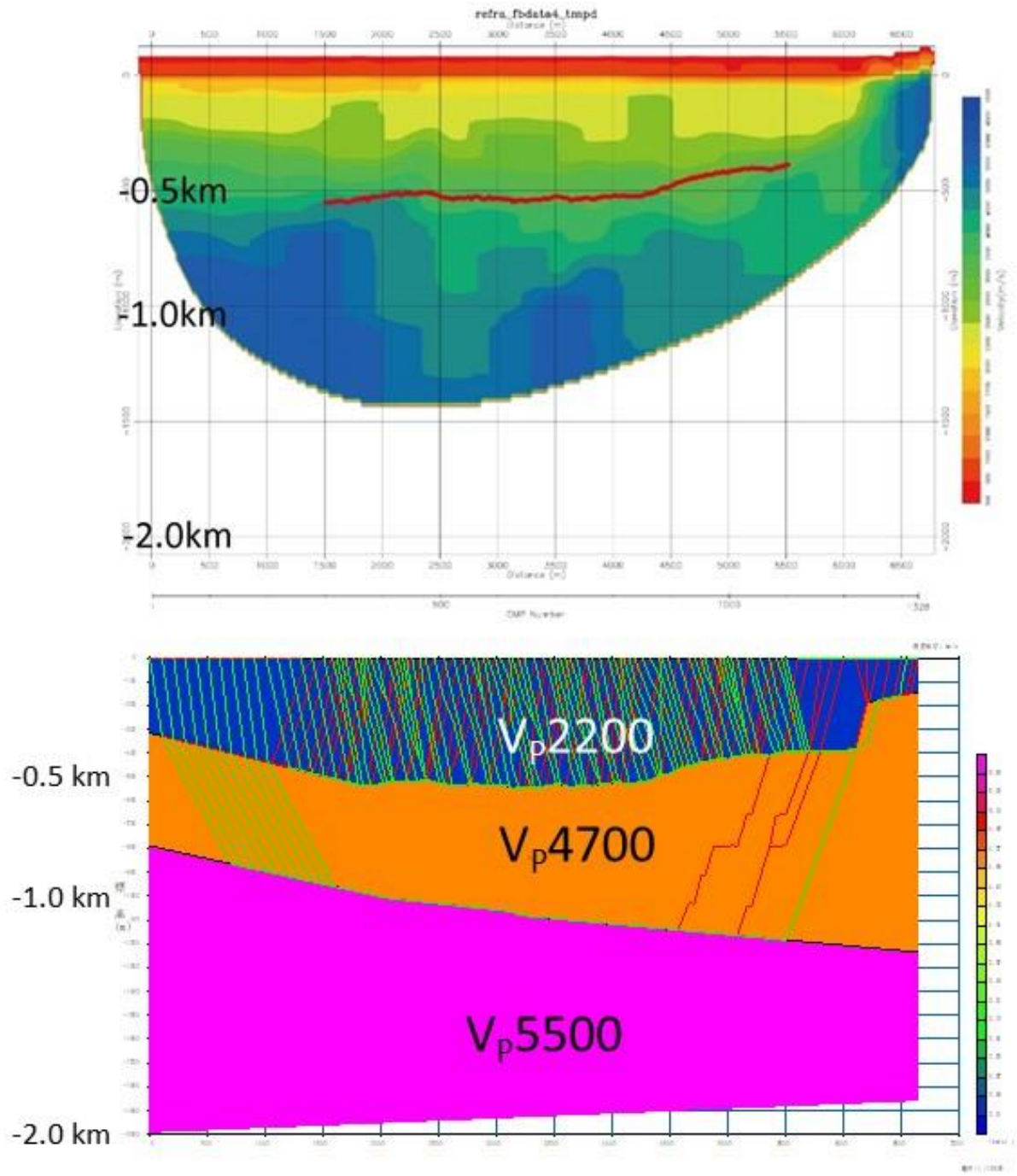


図 51　（上）屈折波初動トモグラフィによるＰ波速度分布（カラースケール）に、萩原の方法で得られた音響基盤（Ｐ波速度 4464 m/s）の上面深度（赤線）を重ねたもの。（下）音響基盤の下部にＰ波速度 5500 m/s 層を仮定した場合のレイトレーシング結果。

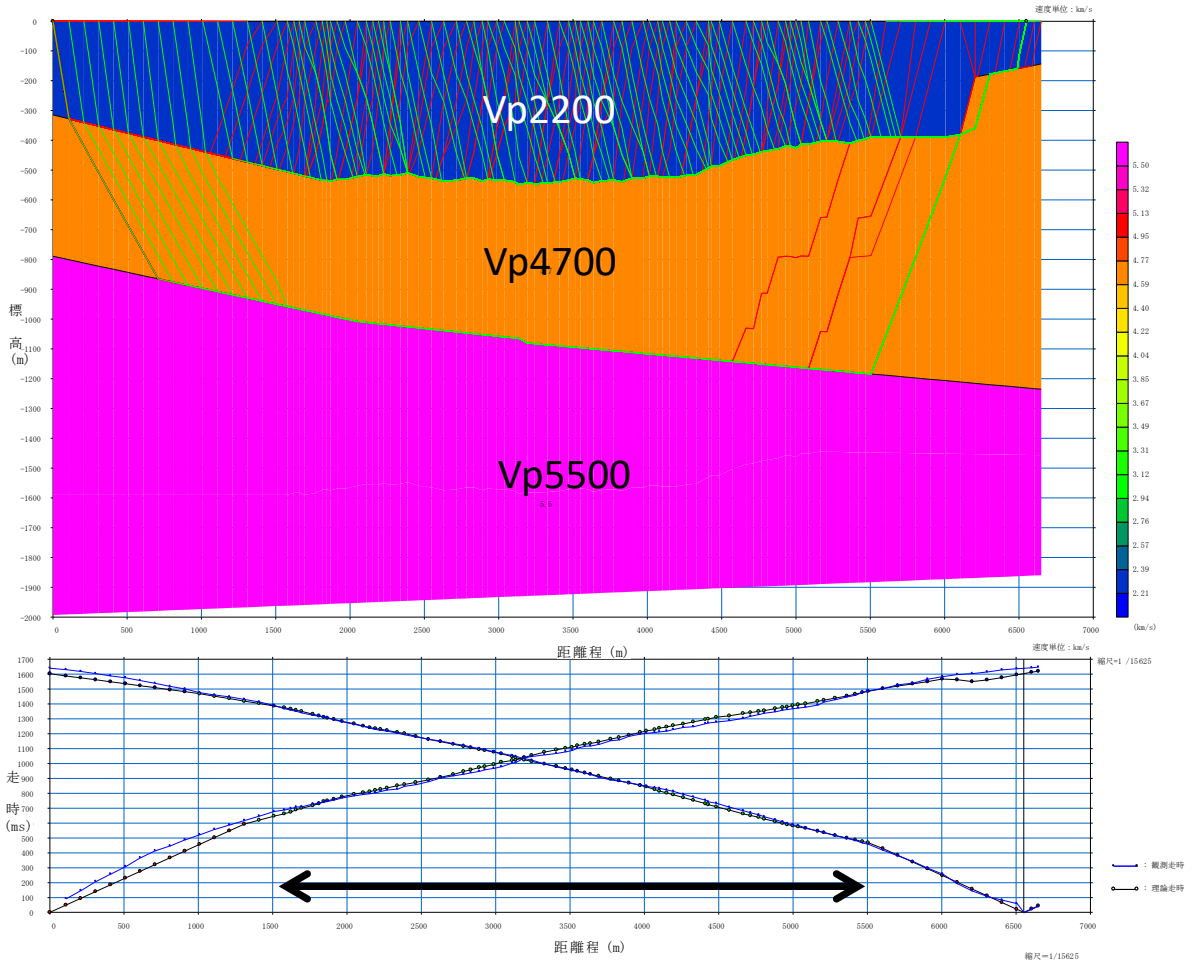
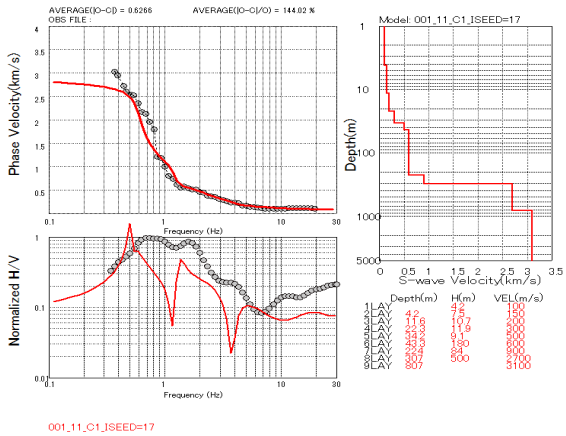
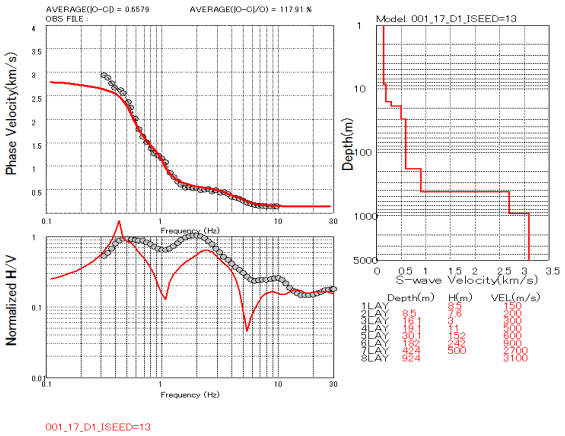


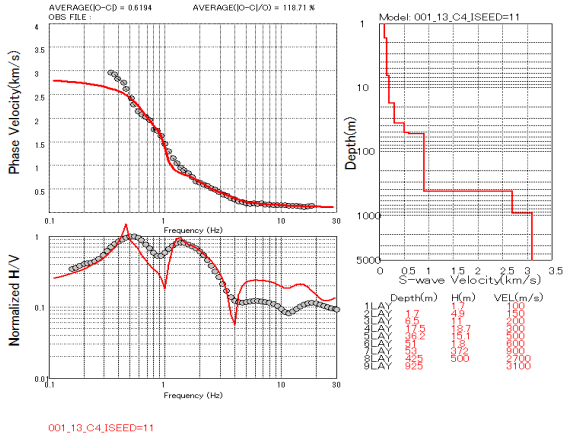
図 52　初動フォワードモデリングの結果（青線：観測走時、黒線：理論走時）



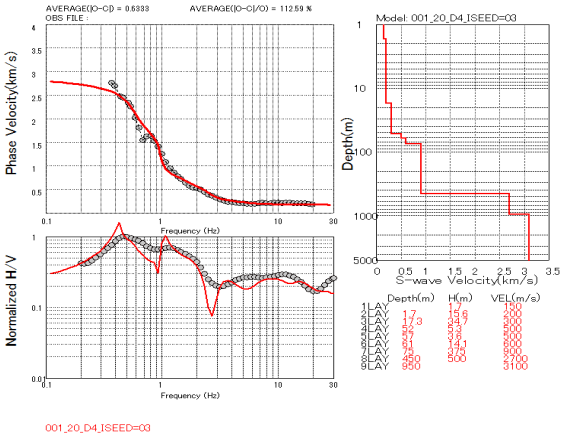
C １地点



D １地点



C ４地点



D ４地点

図 53　反射法地震探査測線近傍の微動アレイ調査地点にて、S 波速度を固定した場合の位相速度＋H/V スペクトル比同時逆解析の結果

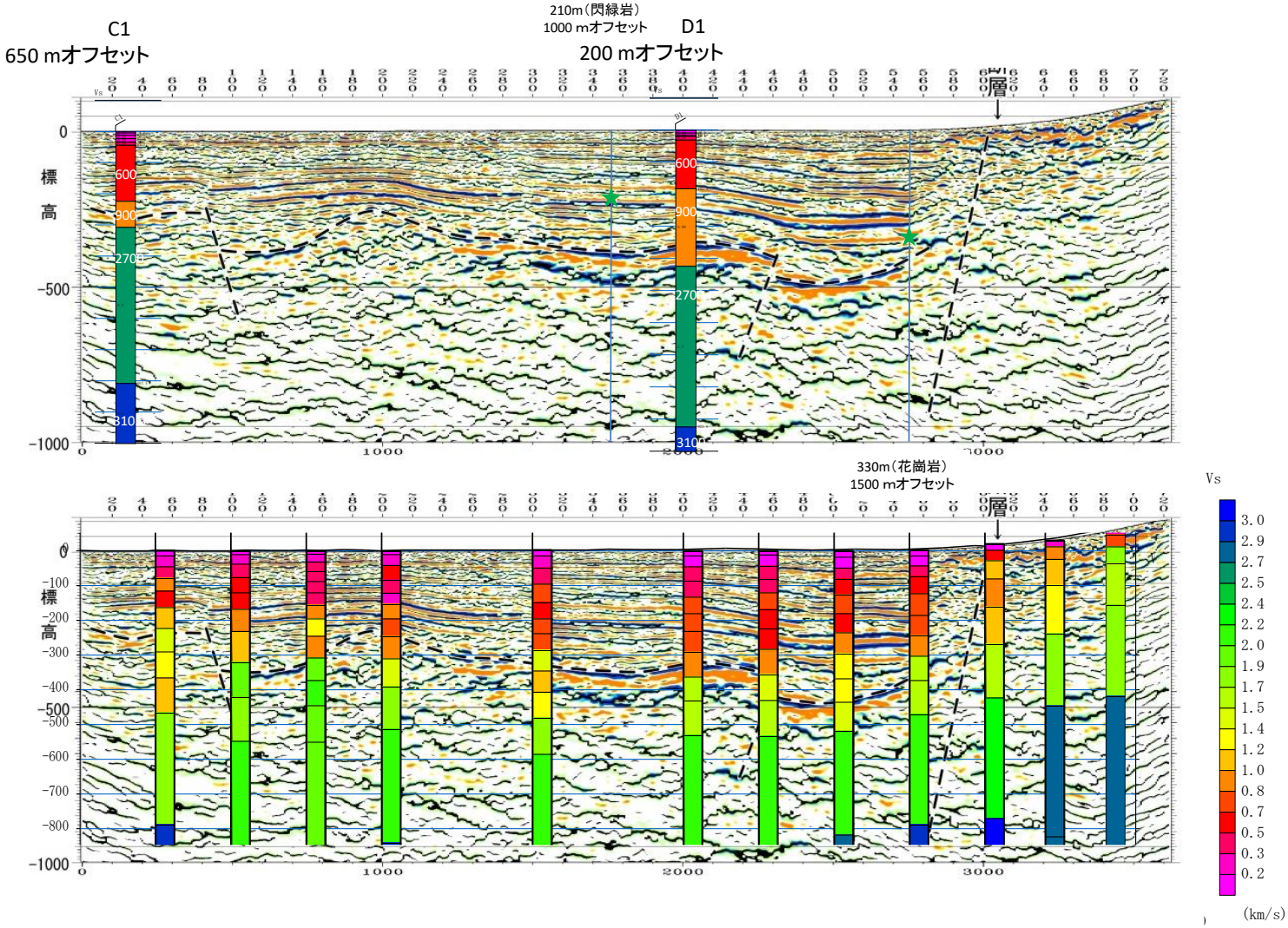


図 54　宇城測線における反射法地震探査と微動アレイ探査結果の比較

（上：微動解析結果、下：反射法区間速度を狐崎・他(1990)の変換式を用いてＳ波速度に変換）

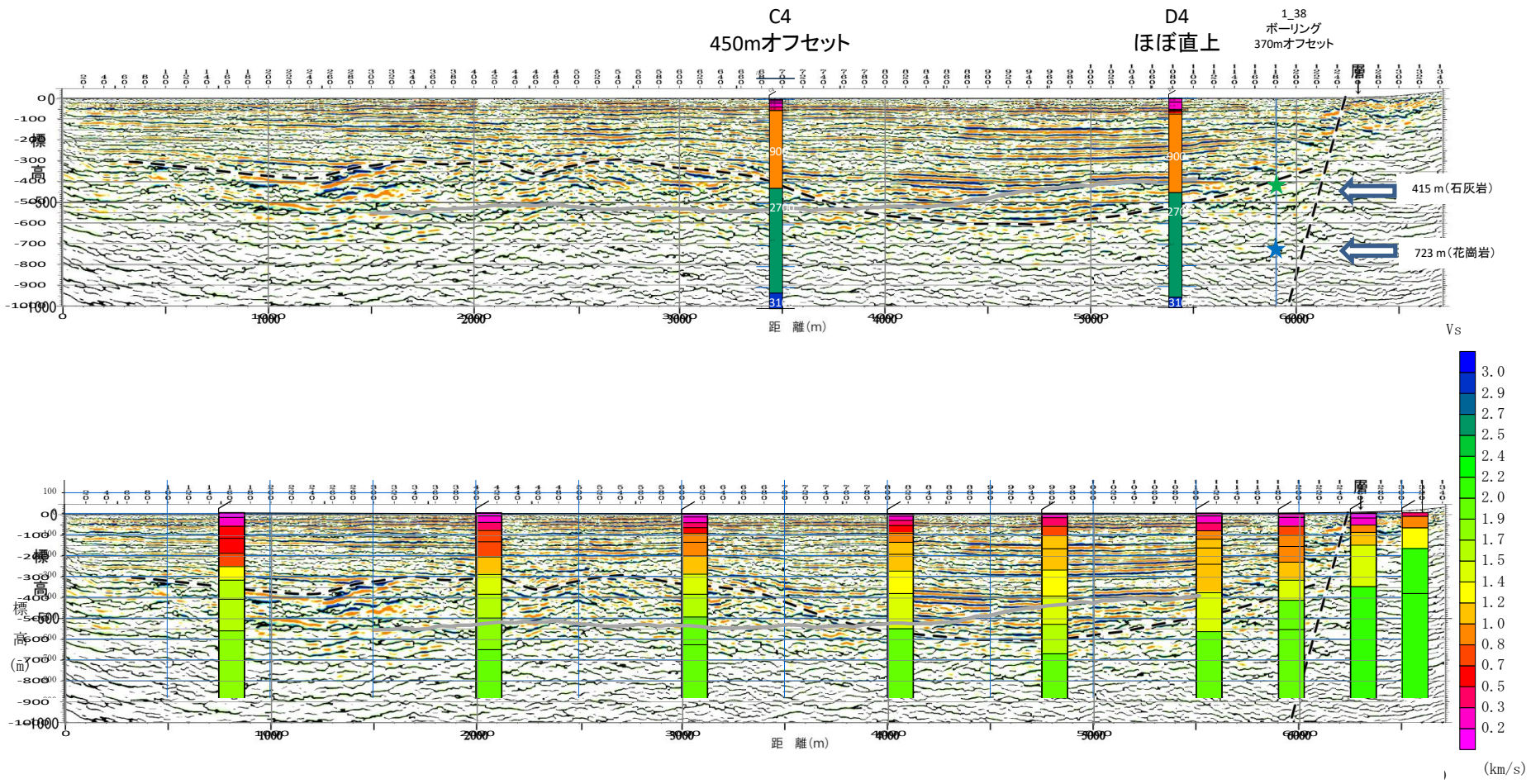


図 55　八代測線における反射法地震探査と微動アレイ探査結果の比較
（上：微動解析結果、下：反射法を狐崎・他(1990)の変換式を用いてＳ波速度に変換）

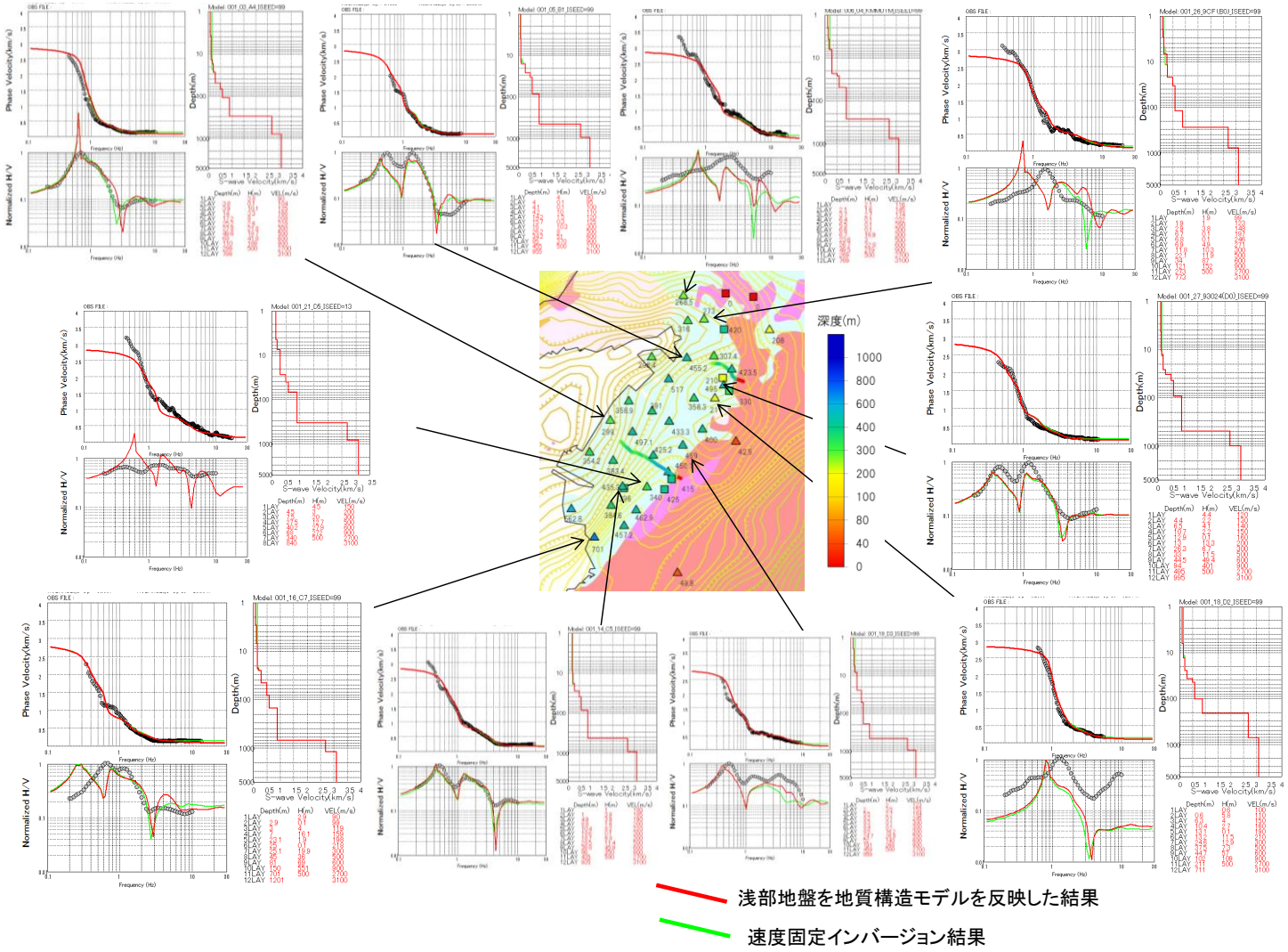


図 56　八代平野周辺における微動アレイによる位相速度と H/V スペクトル比の同時逆解析の例。記号の色は V_S 2700 m/s 層の上面深度を表す。地図の基図は 100 万分の 1 日本地質図第 3 版 CD-ROM 第 2 版（産業技術総合研究所地質調査総合センター， 2003）による。地質凡例は図 49 に同じ。コンターは産業技術総合研究所地質調査総合センター(2013)によるブーゲー異常(コンター間隔 1 mgal、仮定密度 2.67g/cm^3)。

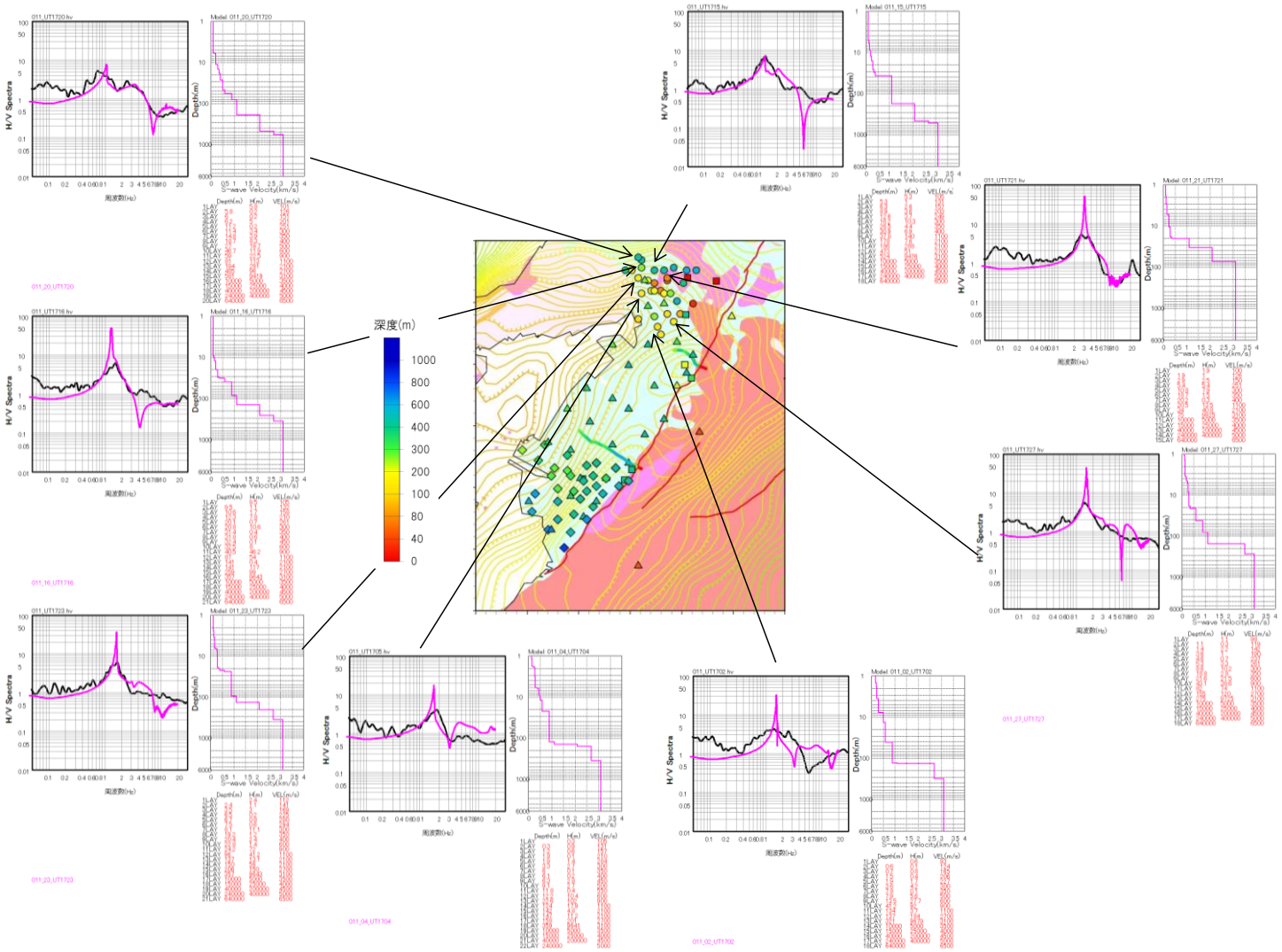
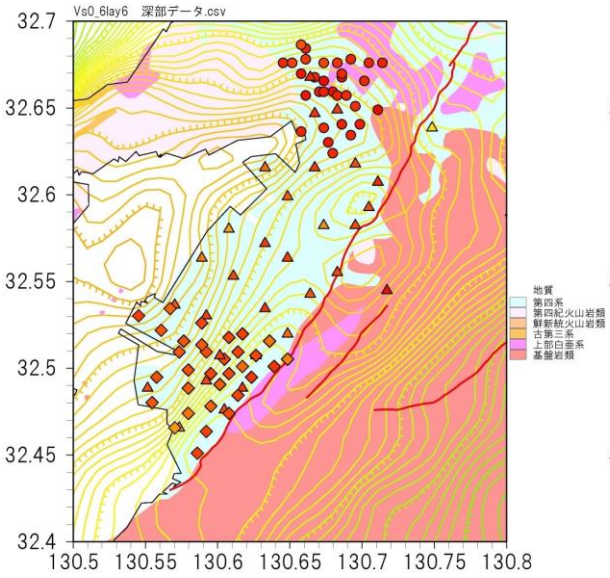
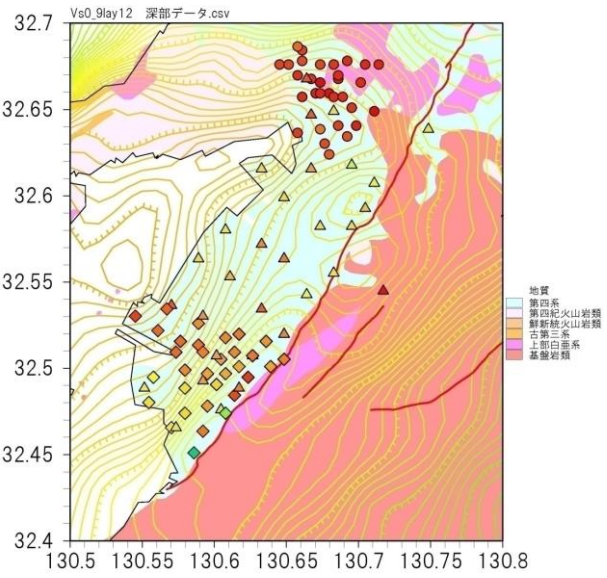


図 57　宇土市から宇城市周辺での H/V スペクトル比を用いた地盤モデル修正の例。記号の色は V_S 2700 m/s 層の上面深度を表す。地図の基図は 100 万分の 1 日本地質図第 3 版 CD-ROM 第 2 版（産業技術総合研究所地質調査総合センター，2003）による。地質凡例は図 49 に同じ。コンターは産業技術総合研究所地質調査総合センター（2013）によるブーゲー異常（コンター間隔 1 mgal、仮定密度 2.67g/cm^3）。

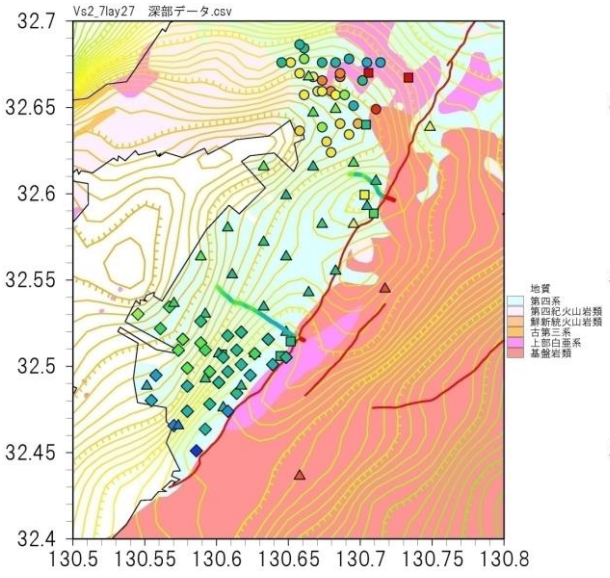
(a) V_S 600 m/s 上面



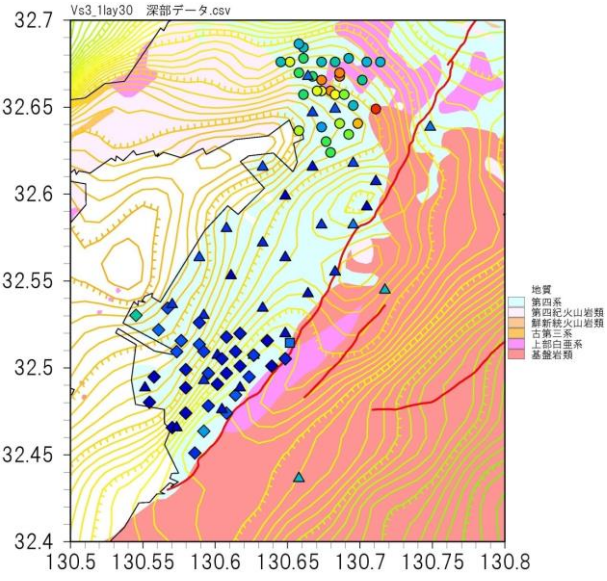
(b) V_S 900 m/s 上面



(c) V_S 2700 m/s 上面



(d) V_S 3100 m/s 上面



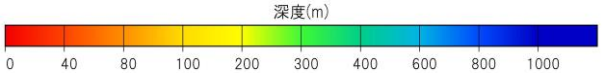


図 58　八代平野における S 波速度 600 m/s、900 m/s、2700 m/s、3100 m/s 層上面深度。コンターは日本重力データベース DVD 版(産業技術総合研究所地質調査総合センター,2013)によるブーゲー異常（コンター間隔 1mgal，仮定密度 2.67 g/cm^3)。△：大半径の微動アレイ探査での位相速度と H/V スペクトル比の同時逆解析により推定した深度、◇：八代平野南部の極小微動アレイ探査地点での H/V スペクトル比により推定した深度、○：宇土市～宇城市での微動 H/V スペクトル比により推定した深度、□：温泉ボーリングによる深度。基図は 100 万分の 1 日本地質図第 3 版 CD-ROM 第 2 版（産業技術総合研究所地質調査総合センター，2003）による。

b）人吉盆地

人吉盆地では、深部地盤を構成する堆積層のＳ波速度を 600 m/s、900 m/s、1600 m/s、基盤のＳ波速度を 3100 m/s と固定し、微動アレイによる位相速度と H/V スペクトル比の同時逆解析により、各地点の深部地盤構造モデルを推定した。図 59 に人吉盆地における微動アレイ調査地点を示す。図 60 に同時逆解析による地盤構造モデル推定の例を示す。

同時逆解析により推定した各層の上面深度分布を図 61 に示す。この図では、温泉ボーリングによる基盤深度やブーゲー異常（仮定密度 2.67 g/cm^3）とも比較した。V_S 600 m/s 層の上面深度は概ね 40 m 以浅であるが、人吉盆地西部では 100 m を超える地点もある。V_S 900 m/s 層上面深度は 100～200 m 程度で、盆地内の一部に約 300 m に達する地点がある。V_S 1600 m/s 層上面深度は、600 m を超える地点がみられ、V_S 3100 m/s 層上面（基盤）深度は、人吉盆地東部が西部に比べて深くなっている。推定された基盤深度は、ブーゲー異常分布と同様の傾向をもっている。人吉盆地の地質的な基盤は四万十帯であるが、温泉ボーリングによる基盤深度は、微動アレイ探査から推定した基盤深度にほぼ対応して、概ねブーゲー異常分布に従った空間分布となっている。

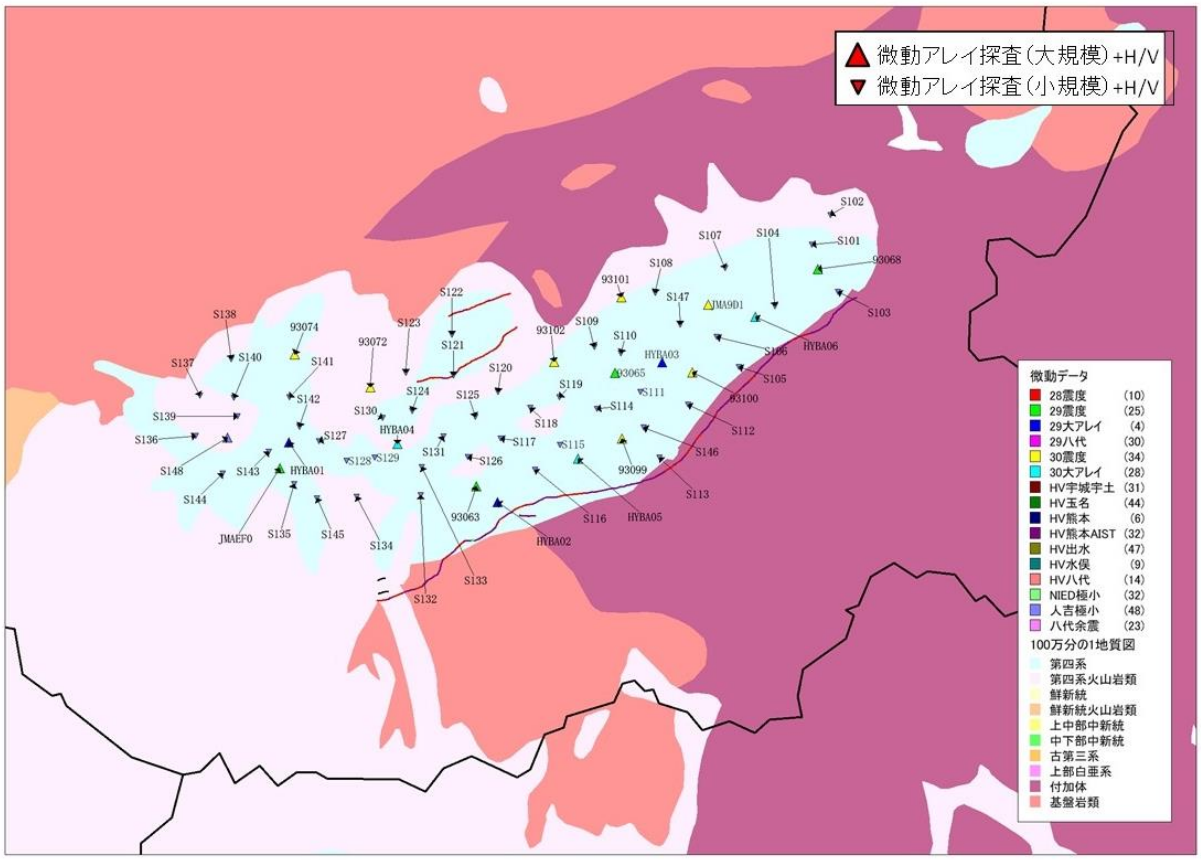


図 59　人吉盆地における微動探査データ（▲：微動アレイ＋H/V スペクトル比）の位置図。基図は 100 万分の１日本地質図第３版 CD-ROM 第２版（産業技術総合研究所地質調査総合センター，2003）による。

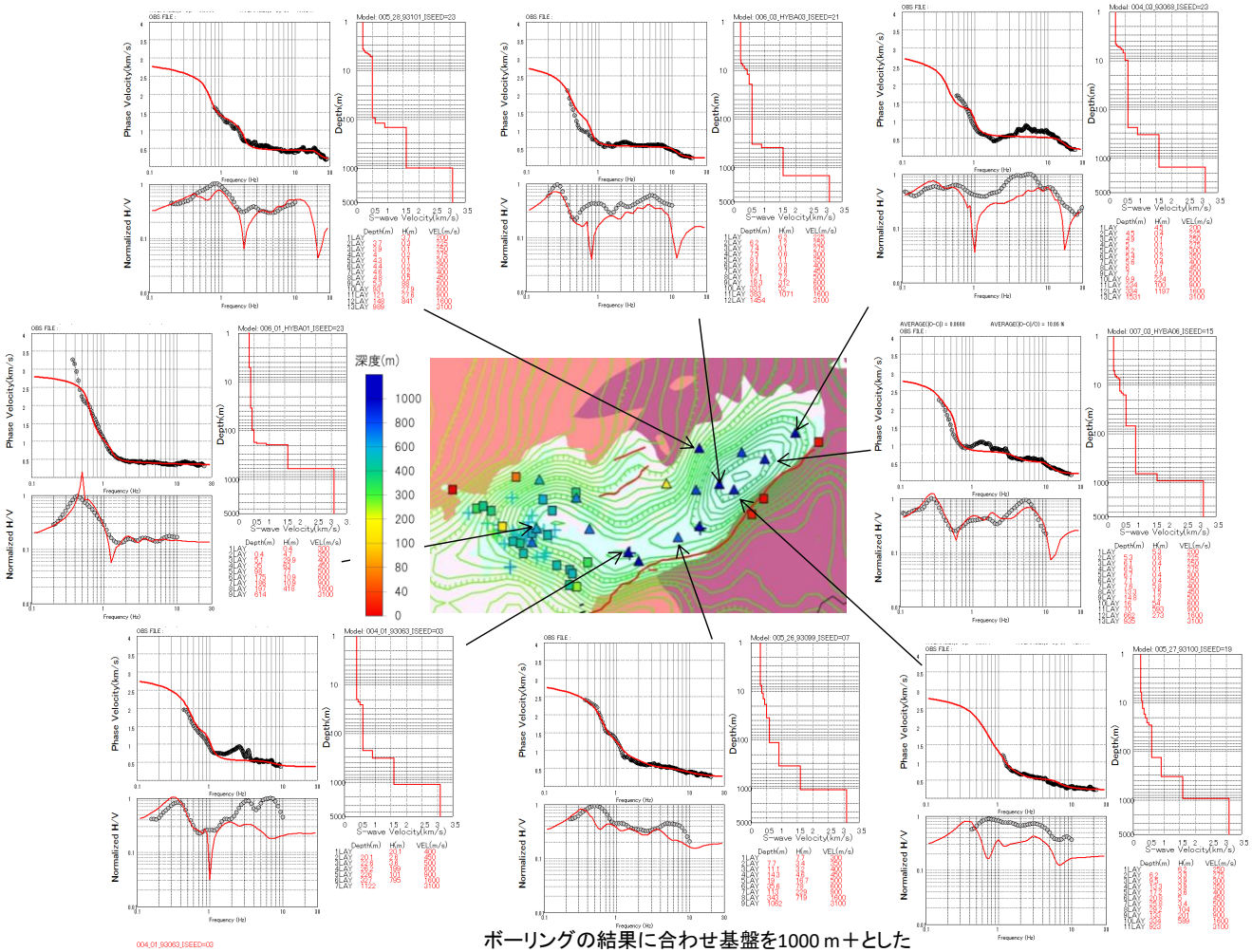


図 60　人吉盆地における微動アレイによる位相速度と H/V スペクトル比の同時逆解析の例。記号の色は V_S 3100 m/s 層の上面深度を表す。地図の基図は 100 万分の 1 日本地質図第 3 版 CD-ROM 第 2 版（産業技術総合研究所地質調査総合センター，2003）による。地質凡例は図 59 に同じ。コンターは産業技術総合研究所地質調査総合センター（2013）によるブーゲー異常（コンター間隔 1 mgal、仮定密度 2.67g/cm^3）。△：微動アレイ探査での位相速度と H/V スペクトル比の同時逆解析により推定した深度、□：温泉ボーリングによる基盤深度、十：基盤未到達の温泉ボーリングの掘進深度。

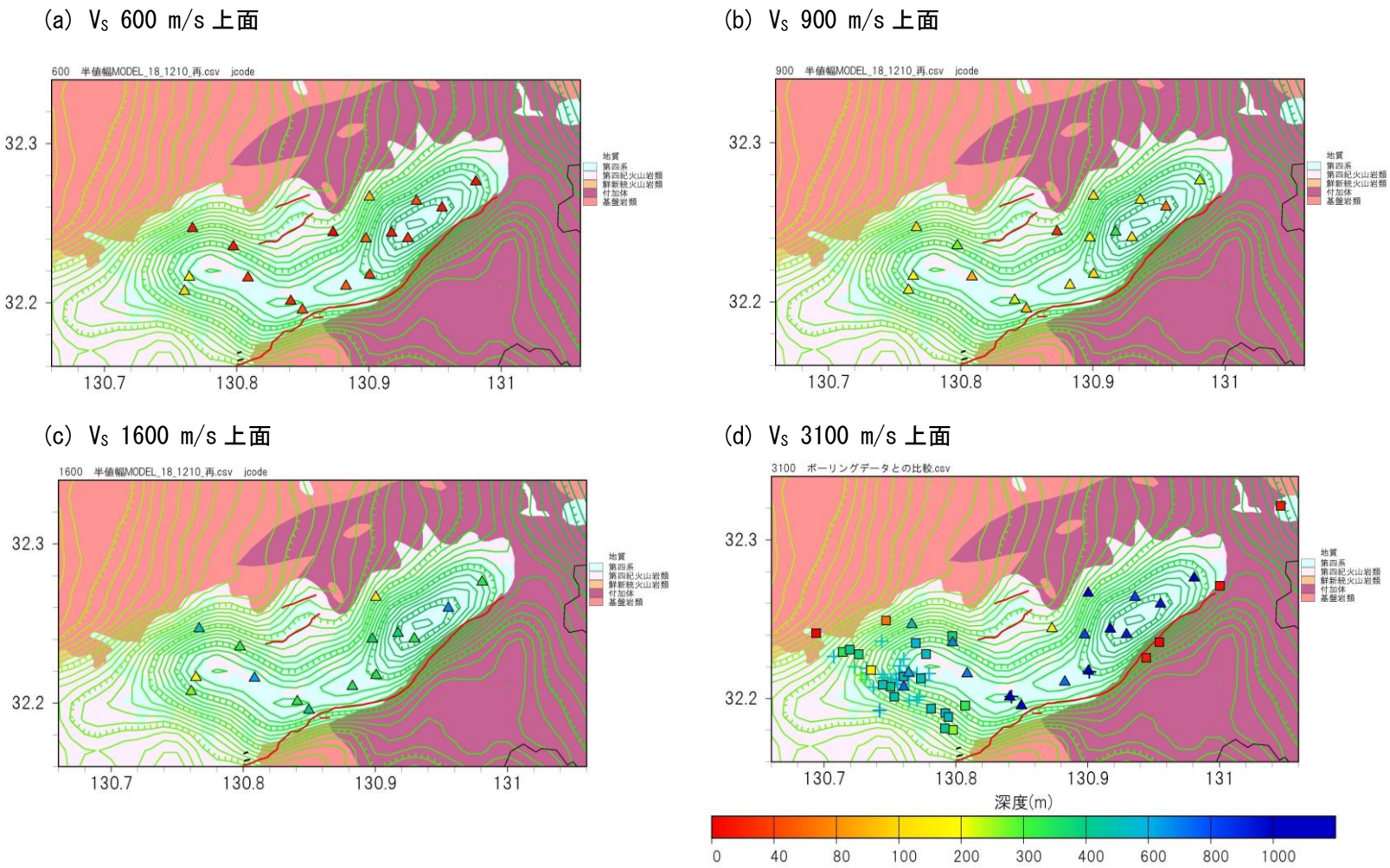


図 61　人吉盆地におけるＳ波速度 600 m/s、900 m/s、1600 m/s、3100 m/s 層上面深度。基図は 100 万分の１日本地質図第３版 CD-ROM 第２版（産業技術総合研究所地質調査総合センター，2003）による。コンターは日本重力データベース DVD 版（産業技術総合研究所，2013）によるブーゲー異常（コンター間隔 1mgal，仮定密度 2.67 g/cm^3）。△：微動アレイ探査での位相速度と H/V スペクトル比の同時逆解析により推定した深度、□：温泉ボーリングによる基盤深度、十：基盤未到達の温泉ボーリングの掘進深度。

c）水俣平野～出水平野周辺

水俣平野～出水平野周辺では、ボーリング情報に乏しいため、浅部及び深部地盤ともに微動調査データを用いてモデル化した。深部地盤構造モデルを構成する堆積層のＳ波速度を 600 m/s、900 m/s、1600 m/s、基盤のＳ波速度を 3100 m/s とした。浅部地盤構造モデルとしては人吉盆地と同様に 100 m/s から 300 m/s までを 25 m/s 間隔、350 m/s から 500 m/s までを 50 m/s 間隔の速度層を設定した。位相速度と H/V スペクトル比の同時逆解析により各層の層厚を推定した。なお、震度観測点における小半径の微動アレイデータについては、低周波数側の位相速度情報がないため、トライアルアンドエラーによりモデル修正を行った。また、水俣平野及び出水平野全体の地盤構造モデルを規定するため、微動 H/V スペクトル比のピーク周期を説明できるように地盤構造モデルを修正した。図 62 に水俣平野～出水平野周辺における微動調査地点、図 63 に同時逆解析の例を示す。

微動データの解析により推定した各層の上面深度分布を図 64～65 に示す。V_S 200 m/s 層上面深度は約４m、V_S 300 m/s 層上面深度は出水平野北東部で 20 m 程度、平野中央部で 10 m 程度である。V_S 400 m/s 層上面深度は出水平野中央部で 15 m 程度、V_S 500 m/s 層上面深度は出水平野中央南部で 30 m 程度である。V_S 600 m/s 層上面深度は概ね 80 m 未満である。V_S 900 m/s 層上面深度は出水平野中央部で 100 m を超えている。V_S 1600 m/s 層上面も出水平野中央部で深く、約 300 m 程度である。V_S 3100 m/s 層上面（基盤）は、出水平野の海岸付近で最も深く、900 m 以上である。推定された基盤深度は、ブーゲー異常分布（仮定密度 2.67 g/cm^3）と同様の傾向をもっている。

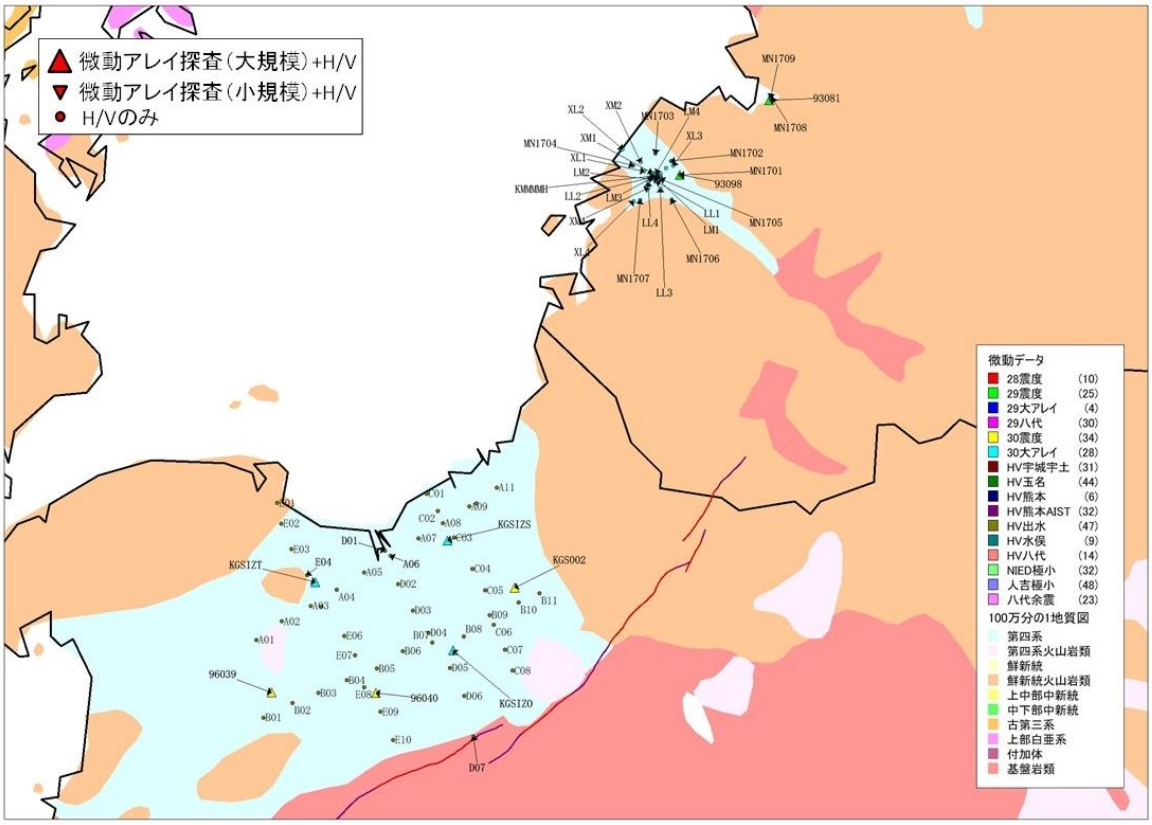


図 62　水俣平野から出水平野にかけての地域における微動探査データ（▲：微動アレイ＋H/V スペクトル比、●：H/V スペクトル比のみ）の位置図。基図は 100 万分の１日本地質図第３版 CD-ROM 第２版（産業技術総合研究所地質調査総合センター，2003）による。

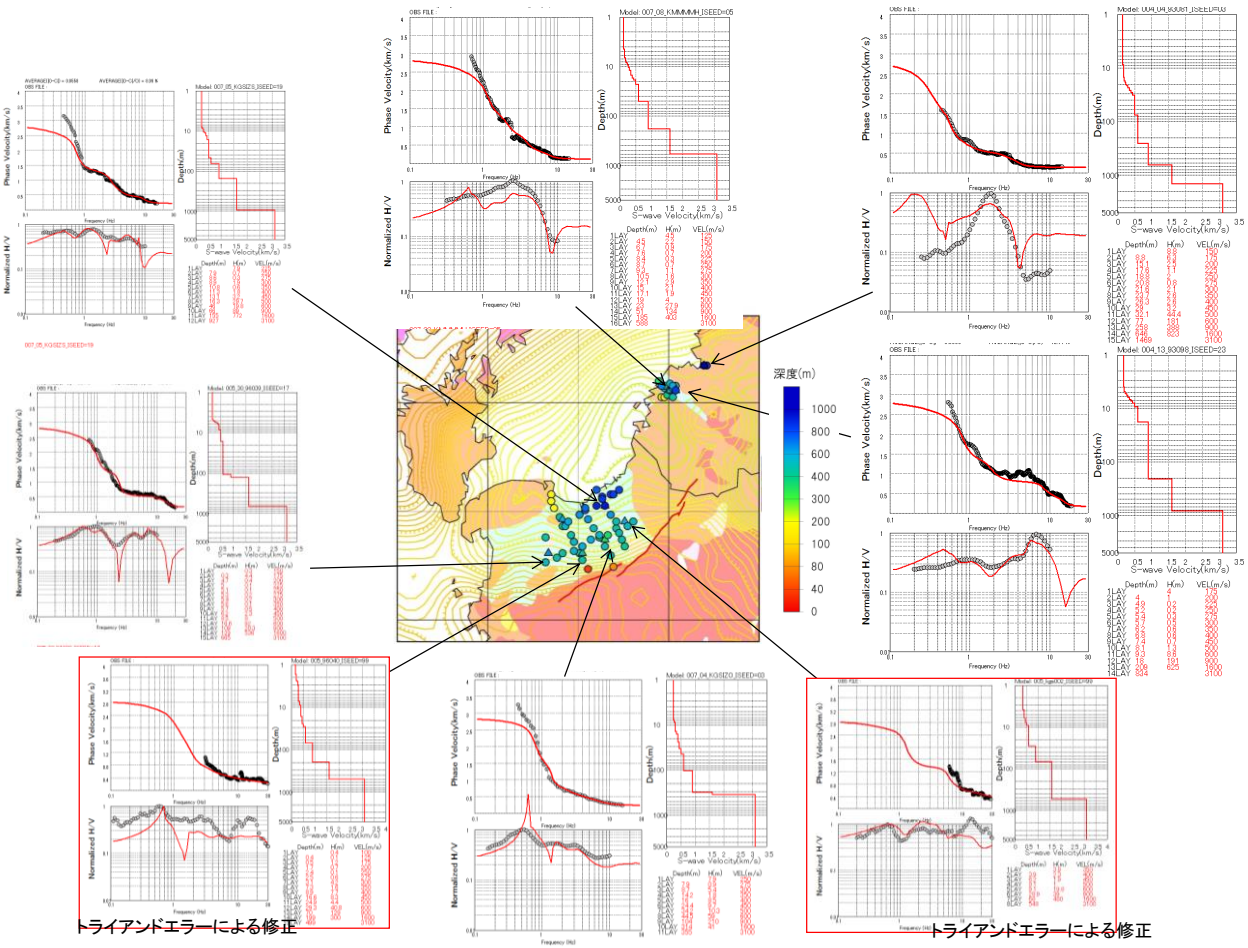


図 63　水俣平野から出水平野にかけての地域における微動アレイによる位相速度と H/V スペクトル比の同時逆解析の例。記号の色は V_S 3100 m/s 層の上面深度を表す。地図の基図は 100 万分の 1 日本地質図第 3 版 CD-ROM 第 2 版（産業技術総合研究所地質調査総合センター，2003）による。地質凡例は図 62 に同じ。コンターは産業技術総合研究所地質調査総合センター（2013）によるブーゲー異常（コンター間隔 1 mgal、仮定密度 2.67g/cm^3）。△：微動アレイ探査での位相速度と H/V スペクトル比の同時逆解析により推定した深度、○：微動 H/V スペクトル比により推定した深度。

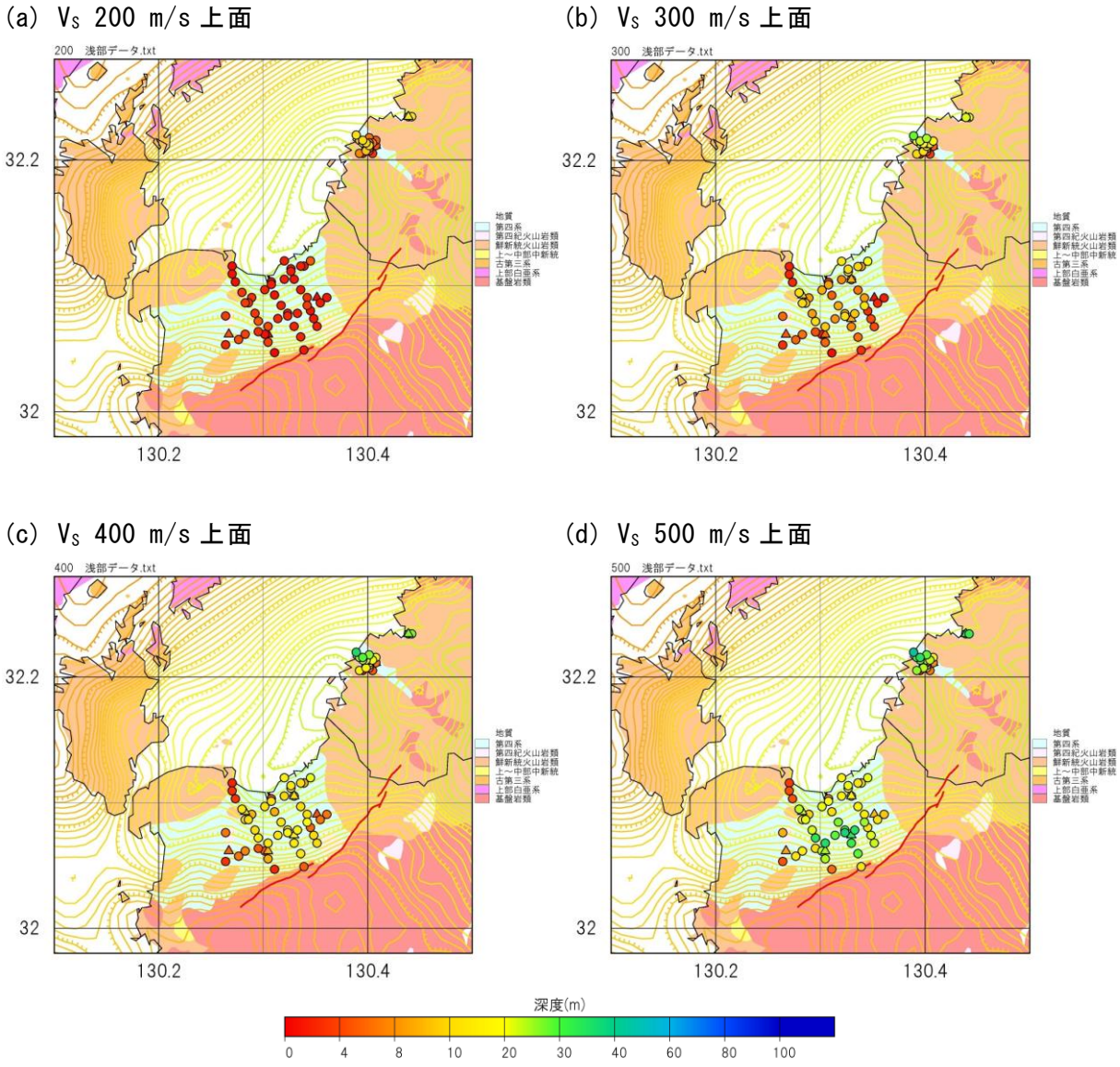


図 64　水俣平野から出水平野周辺での S 波速度 200 m/s、300 m/s、400 m/s、500 m/s 層上面深度。基図は 100 万分の 1 日本地質図第 3 版 CD-ROM 第 2 版（産業技術総合研究所地質調査総合センター，2003）による。コンターは日本重力データベース DVD 版（産業技術総合研究所地質調査総合センター，2013）によるブーゲー異常（コンター間隔 1mgal，仮定密度 2.67 g/cm^3）。△：微動アレイ探査での位相速度と H/V スペクトル比の同時逆解析により推定した深度、○：微動 H/V スペクトル比により推定した深度。

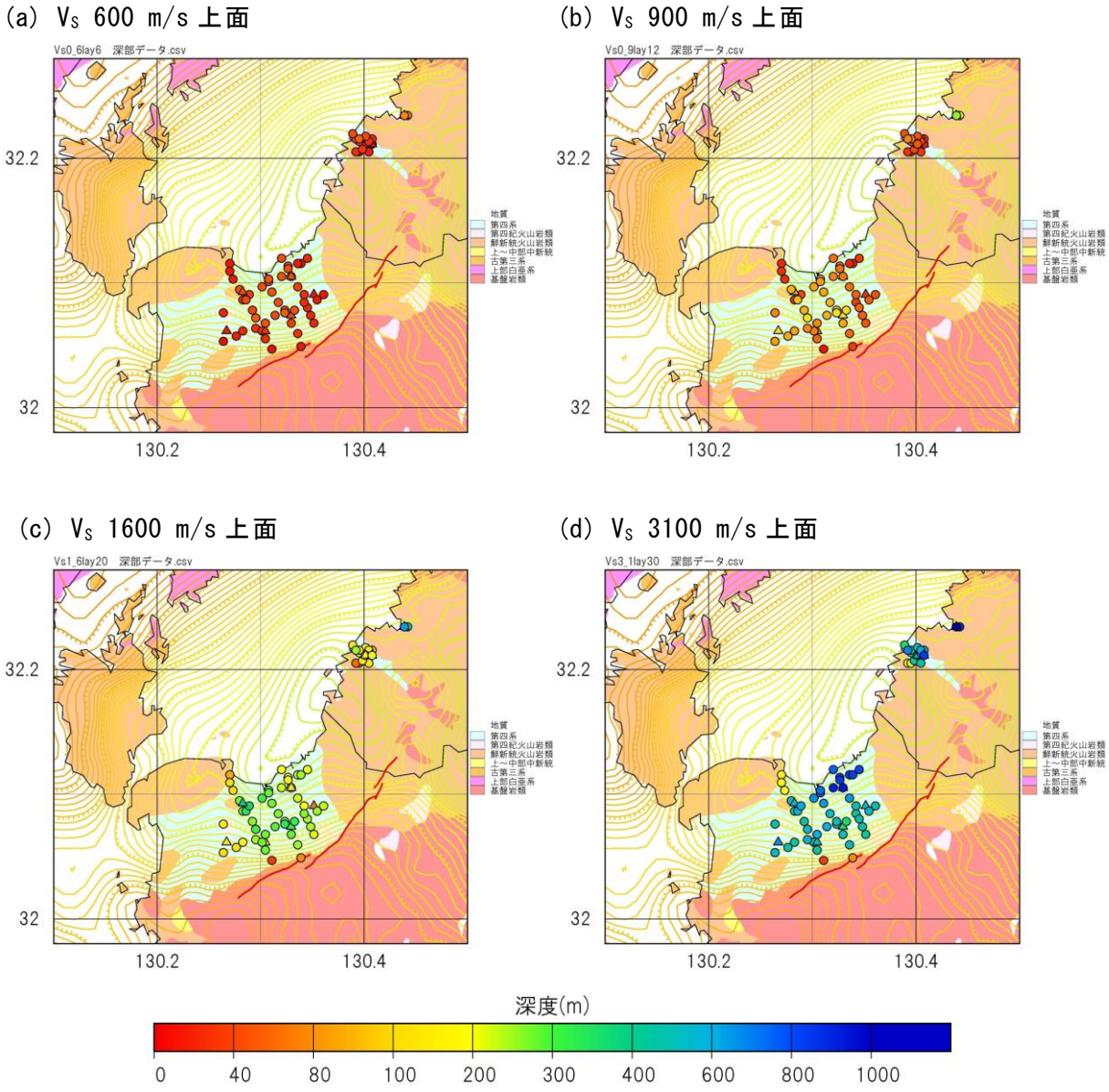


図 65　水俣平野から出水平野周辺での S 波速度 600 m/s、900 m/s、1600 m/s、3100 m/s 層上面深度。基図は 100 万分の 1 日本地質図第 3 版 CD-ROM 第 2 版（産業技術総合研究所地質調査総合センター，2003）による。コンターは日本重力データベース DVD 版（産業技術総合研究所地質調査総合センター，2013）によるブーゲー異常（コンター間隔 1mgal，仮定密度 2.67 g/cm^3）。△：微動アレイ探査での位相速度と H/V スペクトル比の同時逆解析により推定した深度、○：微動 H/V スペクトル比により推定した深度。

d）天草諸島周辺

天草諸島周辺においても、ボーリング情報が乏しいため、浅部及び深部地盤ともに微動調査データを用いてモデル化した。深部地盤を構成する堆積層のＳ波速度を 600 m/s、900 m/s、1600 m/s、基盤のＳ波速度を 3100 m/s と固定し、浅部地盤のモデル化は出水平野等と同様に行った。微動アレイによる位相速度と H/V スペクトル比の同時逆解析により、各層の層厚を推定した。図 66 に天草諸島周辺における微動調査地点、図 67 に同時逆解析の例を示す。同時逆解析により推定した各層の上面深度分布を図 68～69 に示す。

V_S 200 m/s 層、300 m/s 層上面深度は約 20 m 以下、400 m/s 層、500 m/s 層上面深度は約 30 m 以下である。V_S 600 m/s 層上面深度は概ね 30 m 以浅であり、V_S 900 m/s 層の最深部は約 60 m である。V_S 1600 m/s 層上面は島の周縁部で相対的に深く（260 m 程度）、天草諸島中央部で浅い。V_S 3100 m/s 層上面（基盤）深度は 1000 m 以下であり、天草諸島中央部で最も深くなっている。ブーゲー異常が高重力異常となっている中央部では、この地域に広く分布する古第三系に対応すると推測される V_S 1600 m/s 層の厚さが相対的に厚い。

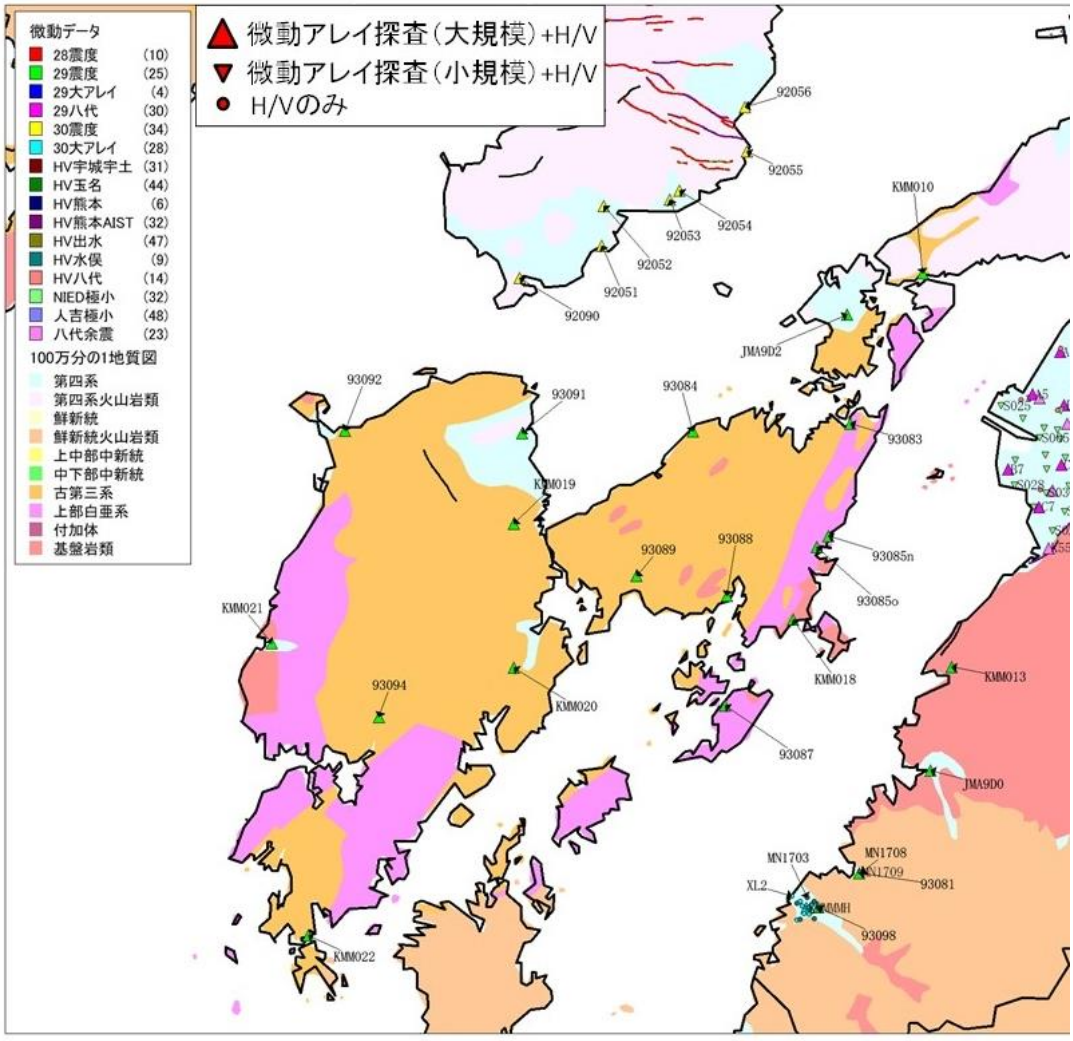


図 66　天草諸島周辺における微動探査データ（▲：微動アレイ＋H/V スペクトル比、●：H/V スペクトル比のみ）の位置図。基図は 100 万分の１日本地質図第３版 CD-ROM 第２版（産業技術総合研究所地質調査総合センター，2003）による。

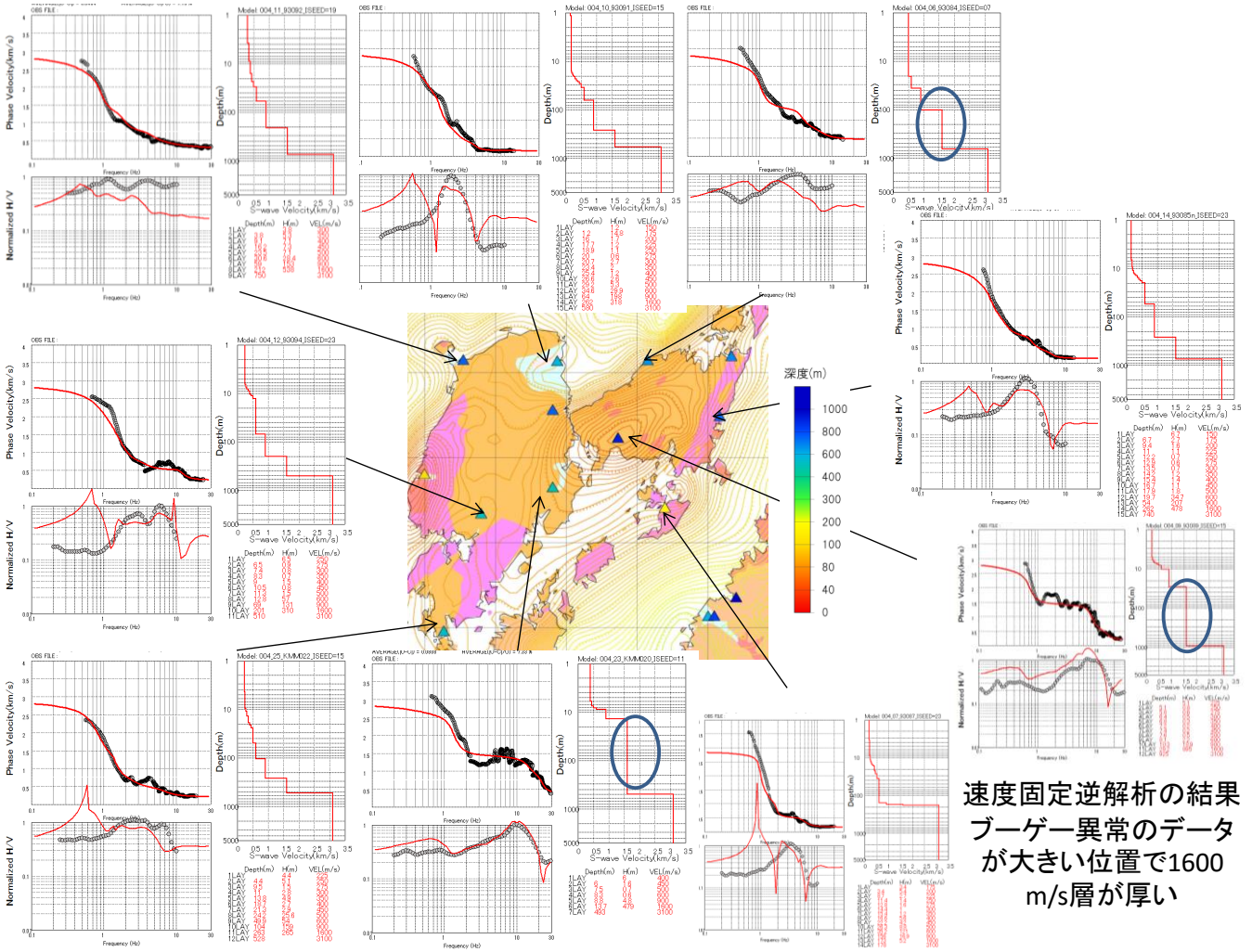
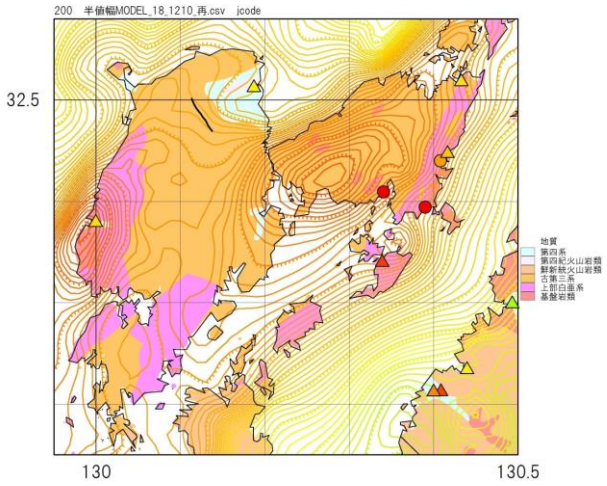
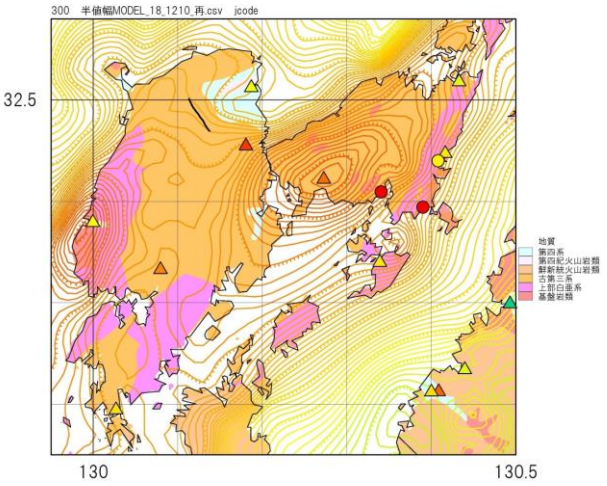


図 67　天草諸島周辺における微動アレイによる位相速度と H/V スペクトル比の同時逆解析の例。△印の色は微動アレイ探査での位相速度と H/V スペクトル比の同時逆解析により推定した V_S 3100 m/s 層の上面深度を表す。地図の基図は 100 万分の 1 日本地質図第 3 版 CD-ROM 第 2 版（産業技術総合研究所地質調査総合センター, 2003）による。地質凡例は図 66 に同じ。コンターは産業技術総合研究所地質調査総合センター（2013）によるブーゲー異常（コンター間隔 1 mgal、仮定密度 2.67g/cm^3）。

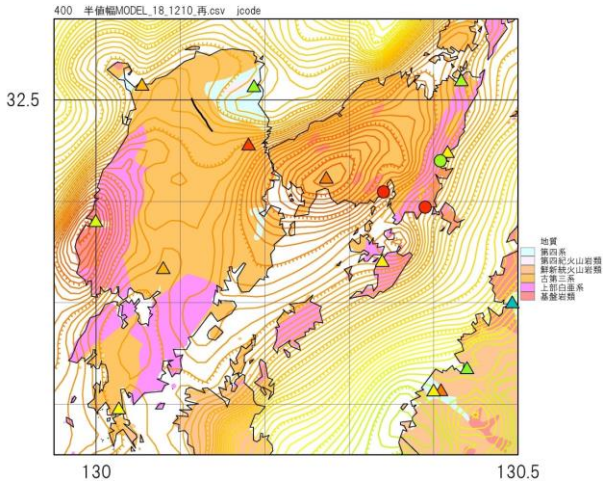
(a) V_S 200 m/s 上面



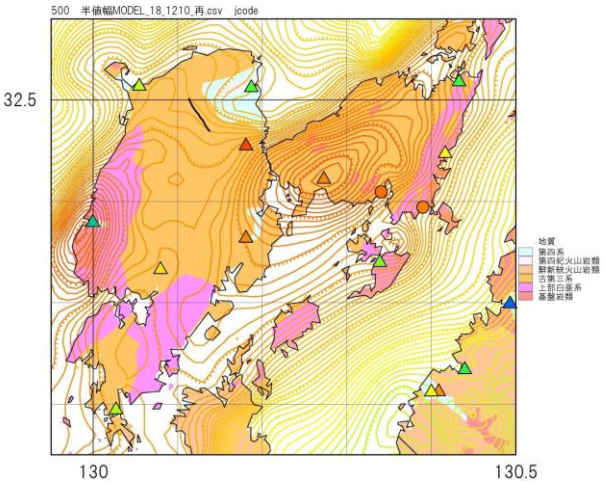
(b) V_S 300 m/s 上面



(a) V_S 400 m/s 上面



(b) V_S 500 m/s 上面



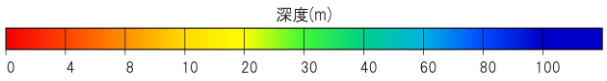
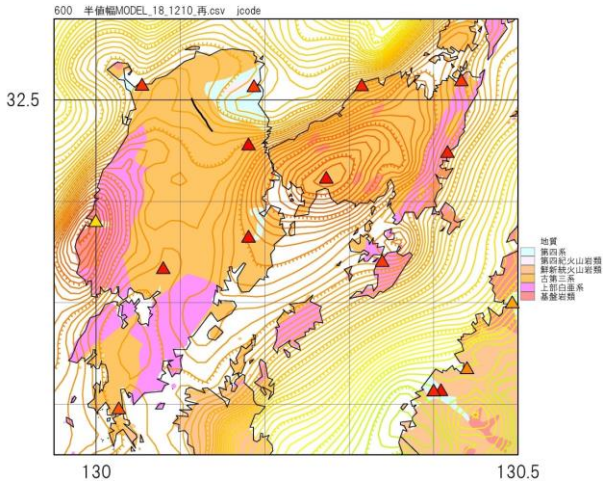
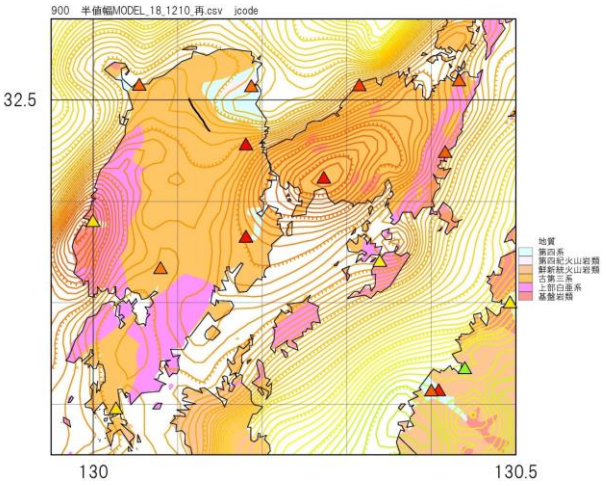


図 68　天草諸島周辺における S 波速度 200 m/s、300 m/s、400 m/s、500 m/s 層上面深度。基図は 100 万分の 1 日本地質図第 3 版 CD-ROM 第 2 版（産業技術総合研究所地質調査総合センター，2003）による。コンターは日本重力データベース DVD 版（産業技術総合研究所地質調査総合センター，2013）によるブーゲー異常（コンター間隔 1mgal，仮定密度 2.67 g/cm^3）。△：微動アレイ探査での位相速度と H/V スペクトル比の同時逆解析により推定した深度、○： H/V スペクトル比の解析により推定した深度。

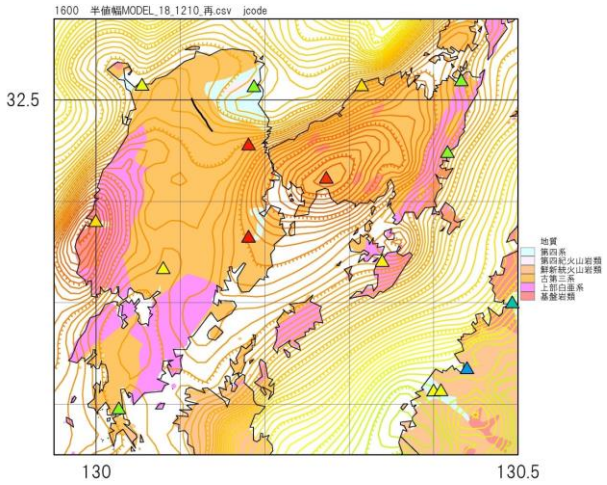
(a) V_S 600 m/s 上面



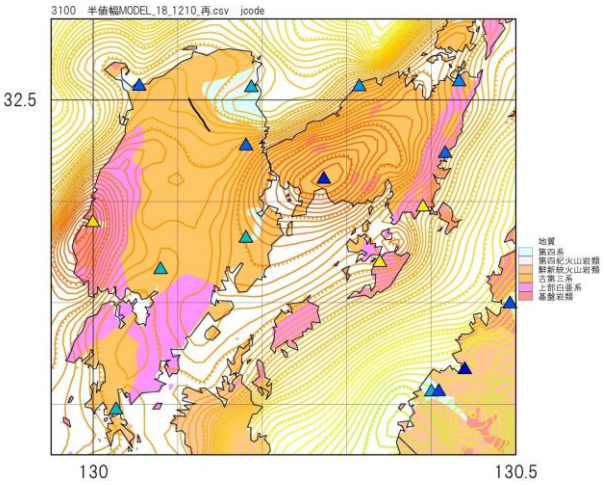
(b) V_S 900 m/s 上面



(c) V_S 1600 m/s 上面



(d) V_S 3100 m/s 上面



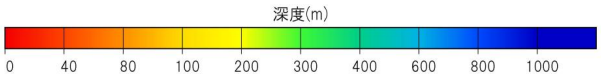


図 69　天草諸島周辺におけるＳ波速度 600 m/s、900 m/s、1600 m/s、3100 m/s 層上面深度。基図は 100 万分の 1 日本地質図第 3 版 CD-ROM 第 2 版（産業技術総合研究所地質調査総合センター，2003）による。コンターは日本重力データベース DVD 版（産業技術総合研究所地質調査総合センター，2013）によるブーゲー異常（コンター間隔 1mgal，仮定密度 2.67 g/cm^3）。△：微動アレイ探査での位相速度と H/V スペクトル比の同時逆解析により推定した深度。

e）玉名平野～菊鹿盆地周辺

玉名平野から菊鹿盆地周辺地域においても、ボーリング情報が乏しいため、浅部及び深部地盤ともに微動探査データを用いてモデル化した。熊本平野の構造モデルを参考に、深部地盤を構成する堆積層のＳ波速度を 900 m/s、1100 m/s、2100 m/s 基盤のＳ波速度を 2700 m/s、3100 m/s と固定した。浅部地盤モデルは、100 m/s から 300 m/s までを 25 m/s 間隔、350 m/s から 500 m/s までを 50 m/s 間隔の速度層を設定した。微動アレイによる位相速度と H/V スペクトル比の同時逆解析により、各層の層厚を推定した。玉名平野については単点微動観測による H/V スペクトル比も用いた。図 70 に玉名平野～菊鹿盆地周辺における微動調査地点を示し、図 71 に同時逆解析による地盤構造モデル推定の例を示す。

微動調査データの解析により推定した各層の上面深度分布を図 72 に示す。V_S 200m/s、300m/s 層上面深度は玉名平野南部で深く、300m/s 層上面深度は 40m を超えている。V_S 400m/s、500m/s 層の上面深度も同様の傾向である。V_S 500m/s の最深部は玉名平野南部で 100m を超えており、菊池川より東側で相対的に深い。菊鹿盆地の最深部では 60m 程度である。V_S 900 m/s 層上面は最深で約 200 m であり、玉名平野では菊池川の東西で明瞭な違いが見られる。V_S 1100 m/s 層上面深度は玉名平野の横島干拓地や菊鹿盆地で約 400 m に達する。玉名平野の大部分では 200 m 前後と推定された。V_S 2700 m/s 層上面深度は、玉名平野に比べて菊鹿盆地でやや深い傾向にあり、最深部では 500 m を超える。

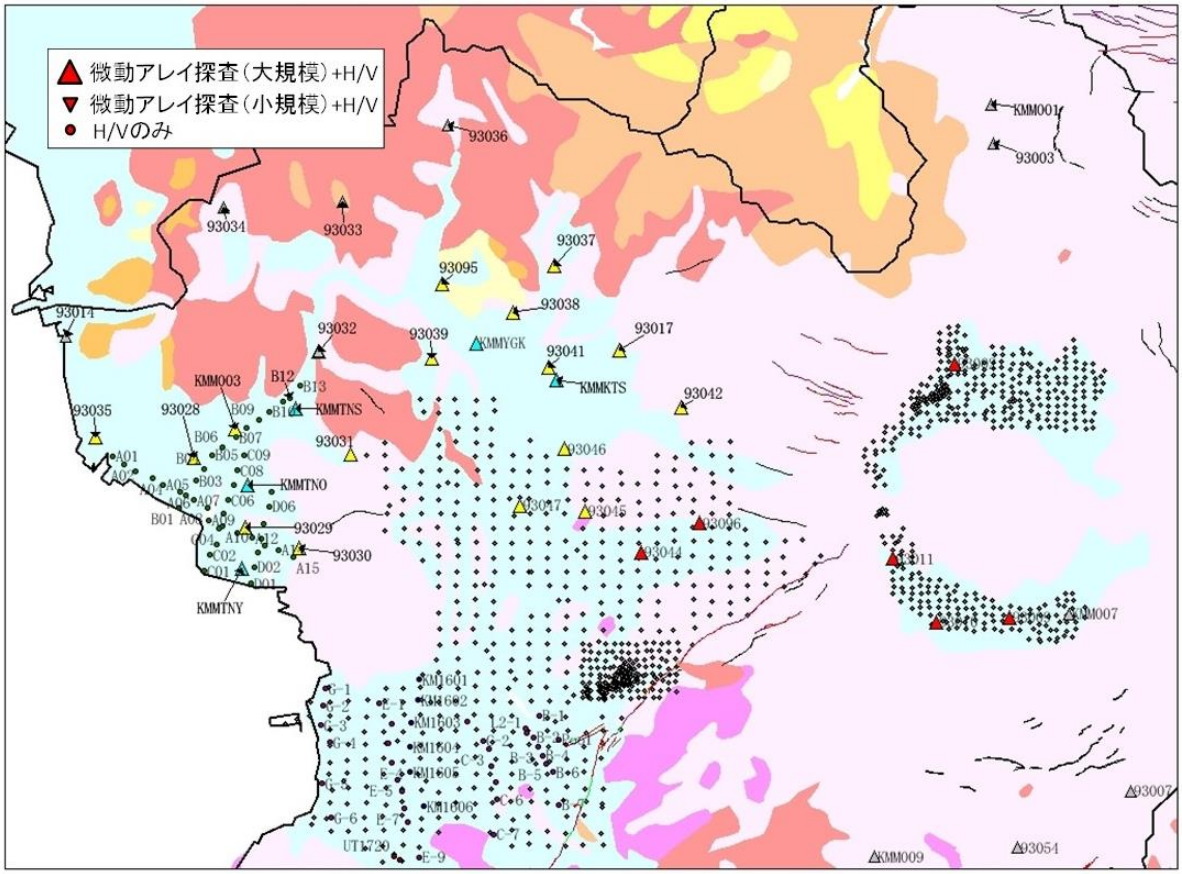


図 70　玉名平野から菊鹿盆地にかけての地域における微動探査データ（▲：微動アレイ＋H/V スペクトル比、●：H/V スペクトル比のみ）の位置図。基図は 100 万分の 1 日本地質図第 3 版 CD-ROM 第 2 版（産業技術総合研究所地質調査総合センター，2003）による。

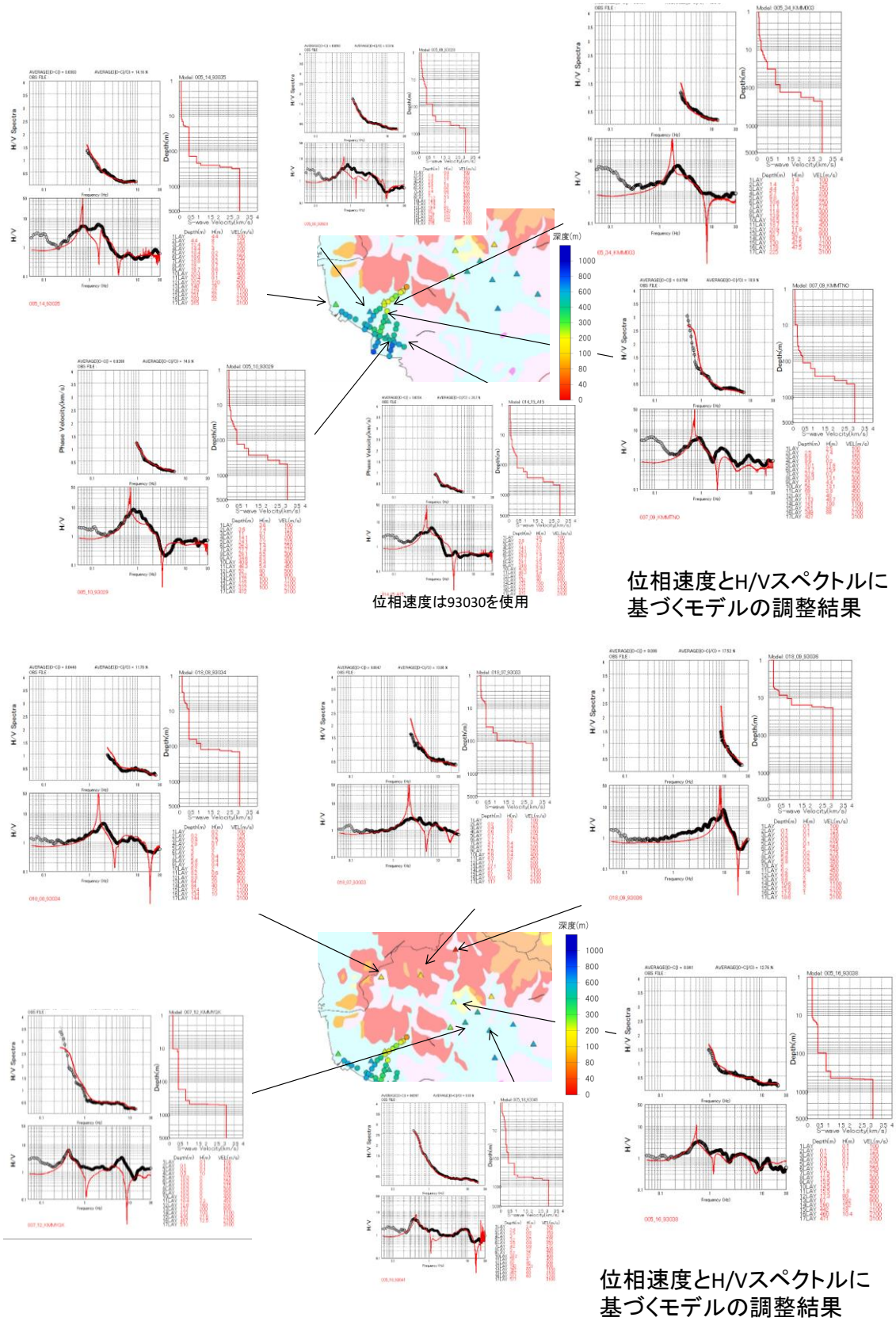


図 71　微動の位相速度と H/V スペクトル比によるＳ波速度構造モデル調整の例（上：玉名平野周辺、下：菊鹿盆地周辺）。基図は 100 万分の１日本地質図第３版 CD-ROM 第２版（産業技術総合研究所地質調査総合センター，2003）による。凡例は図 72 に同じ。

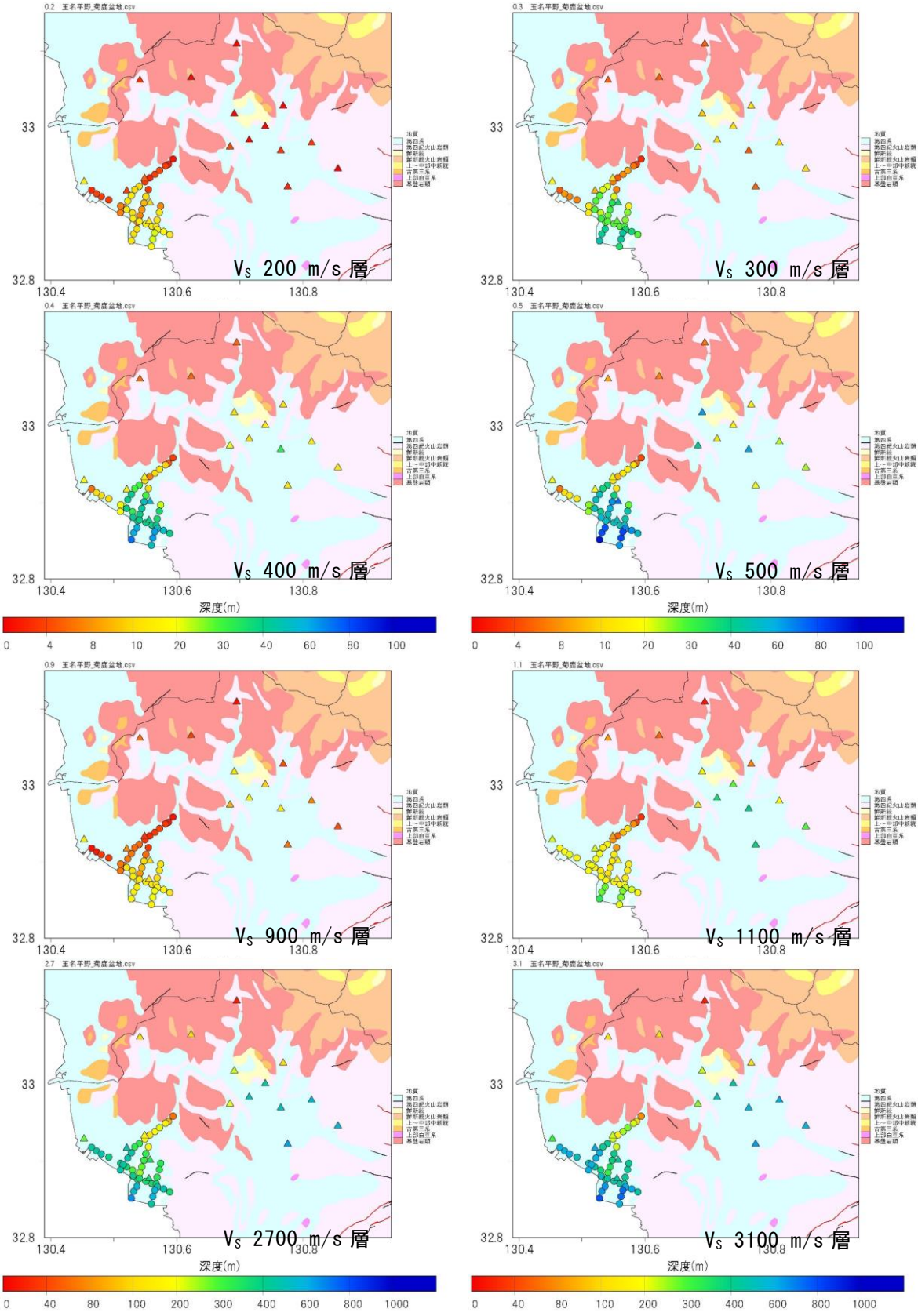


図 72　玉名平野から菊鹿盆地にかけての地域での各速度層の上面深度。△：微動アレイ探査での位相速度と H/V スペクトル比の同時逆解析により推定した深度、○： H/V スペクトル比の解析により推定した深度。基図は 100 万分の 1 日本地質図第 3 版 CD-ROM 第 2 版（産業技術総合研究所地質調査総合センター，2003）による。

f）深部地盤構造モデルの接続及び全体モデル作成

各地域の調査地点で推定した深部地盤構造モデルを接続し、強震動予測計算の対象地域全体の深部地盤構造モデルを作成した。熊本平野の深部地盤構造モデルについては、Senna et al.(2018)を用い、本業務のモデルに組み込んだ。Senna et al.(2018)の深部地盤構造モデルの速度層は 600 m/s、900 m/s、1100 m/s、2100 m/s、2700 m/s である。3100 m/s 層については、J-SHIS モデルの 2700 m/s 層と Senna et al.(2018)の 2700 m/s 層上面深度の差を、J-SHIS モデルの 3100 m/s 層上面深度に与えることにより調整した。また、対象地域に海域を含むため、海域の構造についても陸域から適切に接続する必要がある。

島原湾については、産業技術総合研究所・他(2010)による反射法地震探査データを用いた。図 73 に島原湾における反射法地震探査結果の例を示す。熊本平野地域の微動アレイ探査結果との比較を行い、B反射面を V_S 900 m/s 層上面、A反射面を V_S 1100 m/s 層上面、基盤反射面を V_S 2100 m/s 層上面と仮定し、地盤構造モデルを接続した。

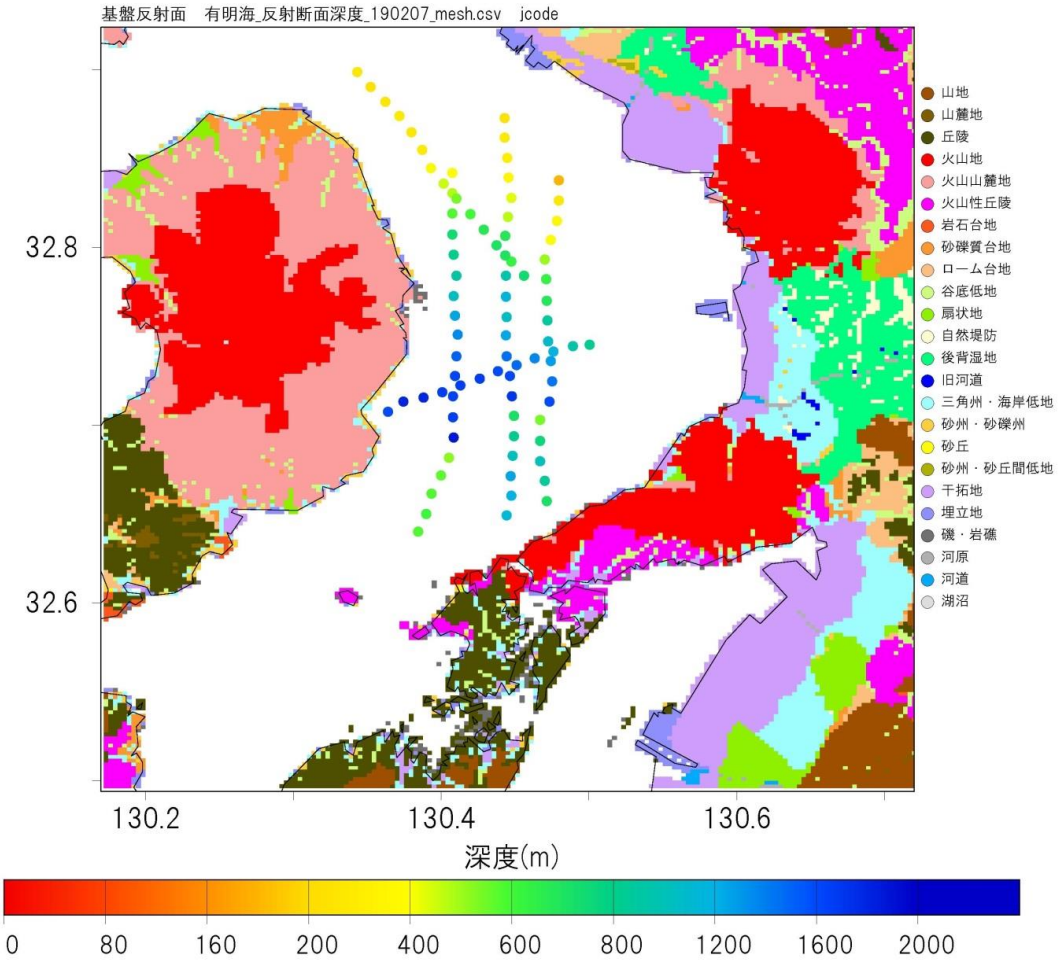


図 73　島原湾における反射法探査結果にもとづく基盤反射面深度（V_S 2100 m/s層上面に相当すると仮定)。背景地図は若松・松岡(2013)の微地形区分を表す。

次に、強震動予測計算の対象領域全体の深部地盤構造モデルを作成するため、産業技術総合研究所地質調査総合センター（2013）による仮定密度 2.3g/cm3 のブーゲー異常データを用い、重力基盤解析を行った。図 74 に熊本県周辺のブーゲー異常分布を示す。100 m 上方接続データから２km 上方接続データを引いた残差重力分布を図 75 に示す。密度差 0.4 g /cm^3 を仮定した２層構造モデルによる重力基盤深度を図 76 に示す。八代平野北部では概ね 500～700 m 程度であり、八代平野南部では 1000 m を超えている。これらは、これまでに述べた微動探査に基づく速度構造モデルの基盤深度とよく整合している。人吉盆地の重力基盤は最深部でも 1000 m 以浅である。微動探査の解析結果では盆地東部で 1000 m を超えており、やや重力基盤が浅い傾向がある。出水平野の海岸付近では重力基盤深度は 1000～1250 m であり、微動探査による解析結果と整合する。天草地域では、天草地域中央部で基盤深度が 250 m 以下と非常に浅いが、微動の解析結果では基盤深度は 1000 m を超えている。Ｓ波速度 1600 m/s 層の深度は 100 m 以下と浅く、この地域の重力基盤はＳ波速度 1600 m/s 層に対応しているのではないかと考えられる。

微動探査データの解析により得られた各速度層上面深度と残差重力値の関係を調査したところ、重力データとＳ波速度上面深度が概ね一次関数で近似できることが確認された。残差重力（単位：mgal）を変数 x とおくと、八代平野については、

V_S 600 m/s 上面深度（m）= -2.4187 x + 42.656

V_S 900 m/s 上面深度（m）= -7.7625 x + 87.215

V_S 2700 m/s 上面深度（m）= -25.552 x + 388.76

出水平野については、

V_S 600 m/s 上面深度（m）= -1.3258 x + 27.721

V_S 2700 m/s 上面深度（m）= -29.546 x + 471.46

ただし、出水平野の V_S 900 m/s 層、1600 m/s 層については、残差重力値にかかわらず深度がほぼ一定であったので、ここでは、それぞれ、70 m、225 m と設定した。これらの経験式を八代海の海域に適用して、深部地盤モデルを構築した（図 75 の点線で囲まれている領域付近）。

J-SHIS モデルのＳ波速度 600 m/s 層から 3100 m/s 層までを今回作成した深部地盤構造モデルと接合し、対象地域全体の深部地盤構造モデルを作成した。表 20 に本検討で作成した地盤構造モデルの物性値一覧を示す。図 77 に深部地盤構造モデルの代表的な速度層の上面深度を示す。これまでの解析結果を反映し、従来の J-SHIS モデルに比べ、八代平野や人吉盆地、出水平野などの堆積平野・盆地域の形状がより明瞭なモデルとなった。八代平野では平野南部において基盤が深く、人吉盆地では、盆地中央部・東部で基盤が深い。天草諸島では、中央部で基盤が深い（この地域では V_S 1600 層の層厚が厚い）ことが特徴的である。

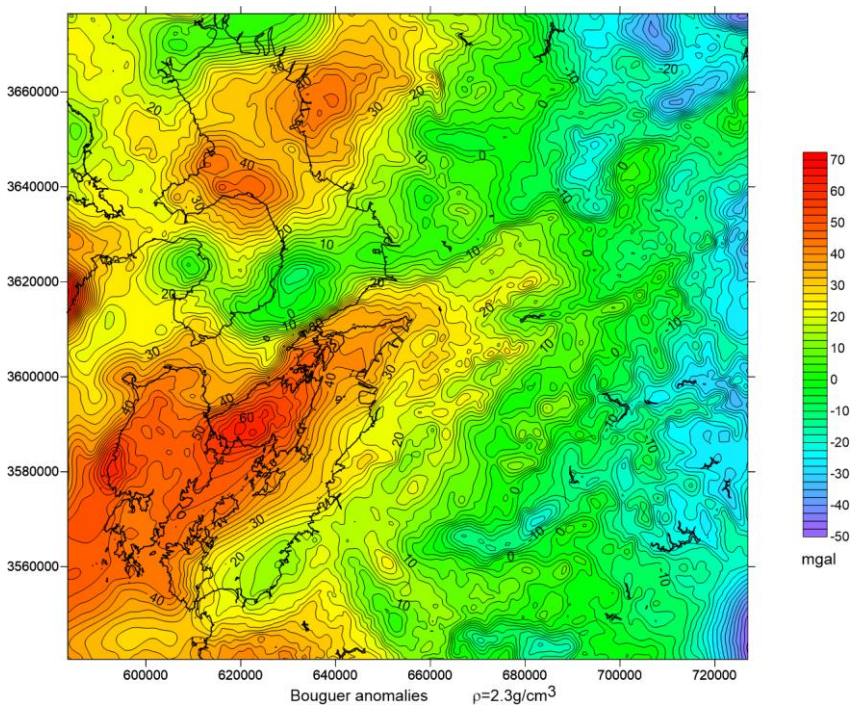


図 74　産業技術総合研究所地質調査総合センター(2013)による熊本県周辺でのブーゲー異常（仮定密度 2.3 g/cm^3）

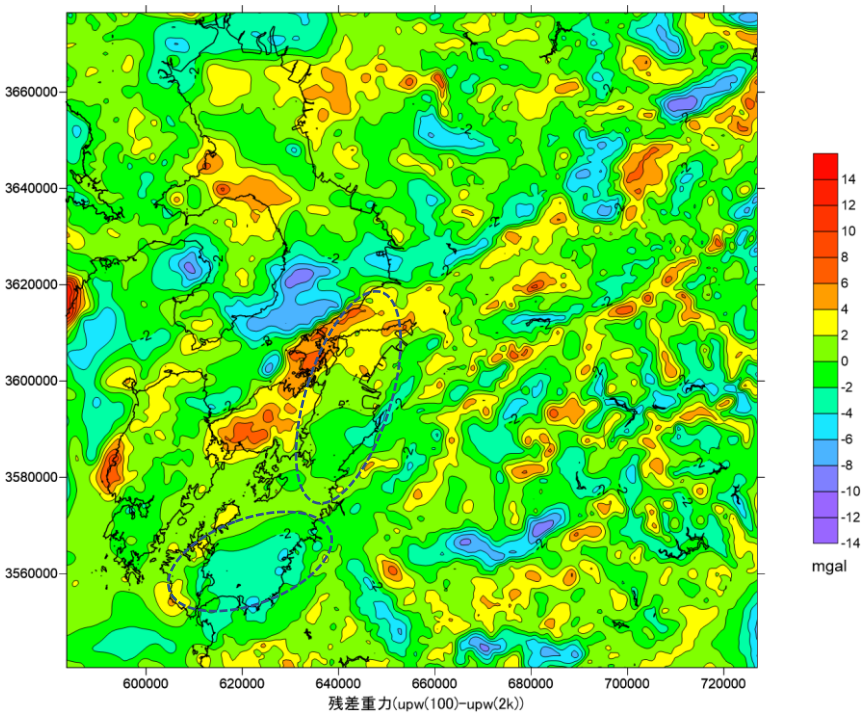


図 75　熊本県周辺での残差重力

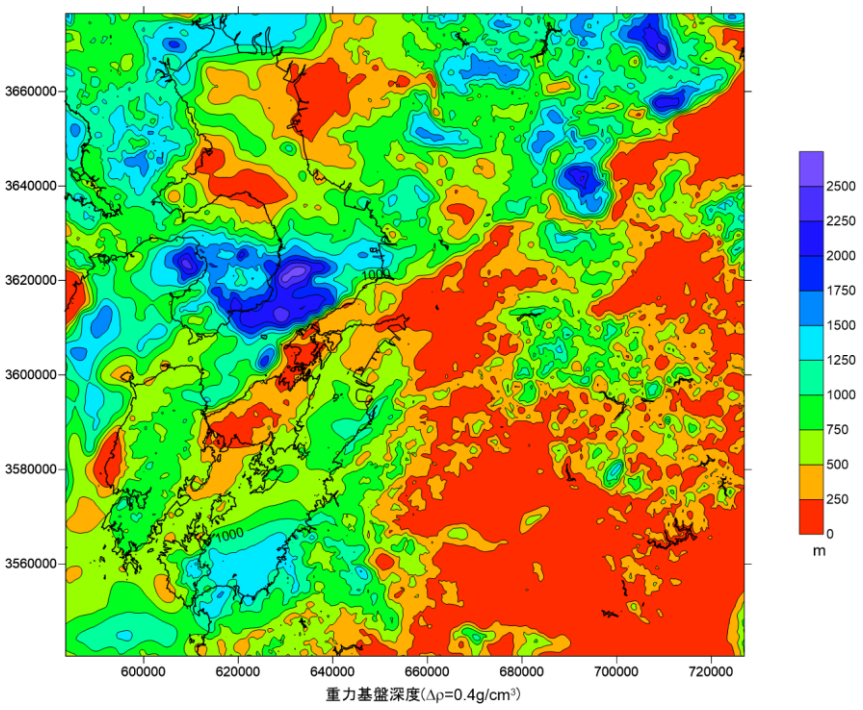


図 76　熊本県周辺での重力基盤深度

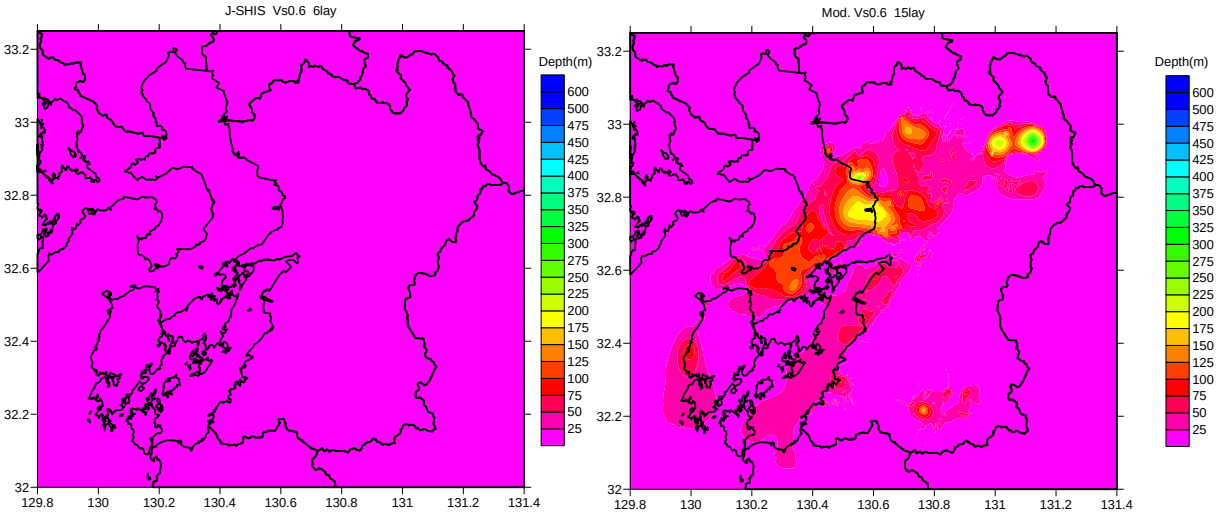
表 20　地盤モデルの物性値一覧

	八代平野				
	Vs(km/s)	Vp(km/s)	ρ(g/cm³)	Qs	Qp
浅部モデル	0.100	1.40	1.75	60	60
	0.125	1.43	1.76	60	60
	0.150	1.46	1.77	60	60
	0.175	1.48	1.78	60	60
	0.200	1.51	1.80	60	60
	0.225	1.54	1.81	60	60
	0.250	1.57	1.82	60	60
	0.275	1.60	1.83	60	60
	0.300	1.60	1.84	60	60
	0.350	1.60	1.85	60	60
	0.400	1.60	1.85	60	60
	0.450	1.70	1.90	60	60
	0.500	1.80	1.90	60	60
深部モデル	0.600	2.000	1.900	100	100
	0.900	2.400	2.050	100	100
	2.700	5.000	2.500	200	200
	3.100	5.500	2.600	300	300

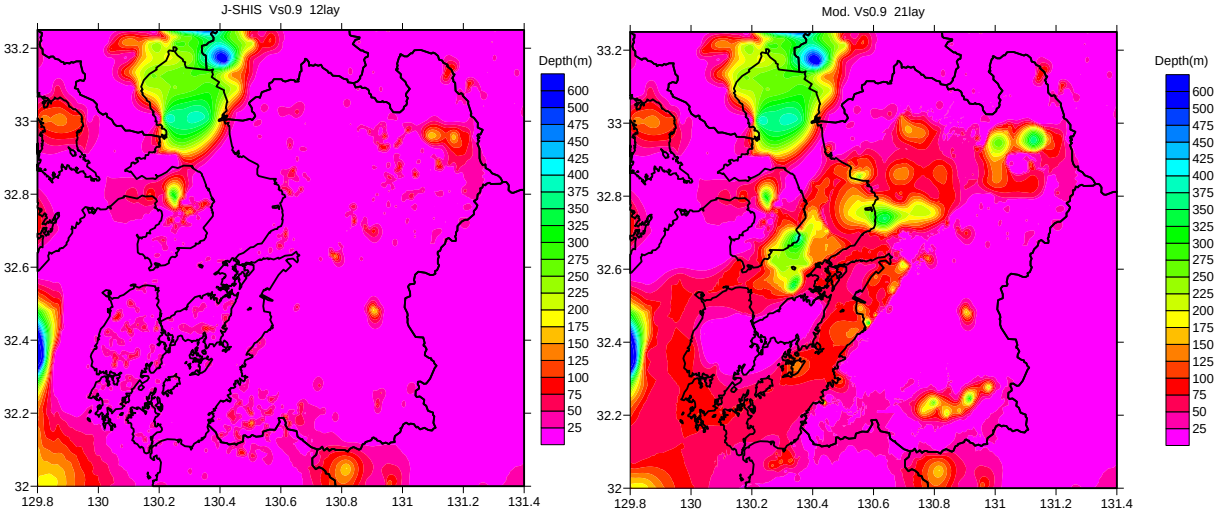
八代平野以外				
Vs	Vp	ρ(g/cm³)	Qs	Qp
0.100	1.40	1.75	60	60
0.125	1.43	1.76	60	60
0.150	1.46	1.77	60	60
0.175	1.48	1.78	60	60
0.200	1.51	1.80	60	60
0.225	1.54	1.81	60	60
0.250	1.57	1.82	60	60
0.275	1.60	1.83	60	60
0.300	1.60	1.84	60	60
0.350	1.60	1.85	60	60
0.400	1.60	1.85	60	60
0.450	1.70	1.90	60	60
0.500	1.80	1.90	60	60
0.600	2.000	1.900	100	100
0.900	2.400	2.050	100	100
1.600	3.400	2.300	150	150
3.100	5.500	2.600	300	300

孤崎ほか(1990)より　Vp1.6を超えないように設定
Ludwig et al.(1973) より

(a) V_S 600m/s 層上面



(b) V_S 900m/s 層上面



(c) V_S 1600m/s 層上面

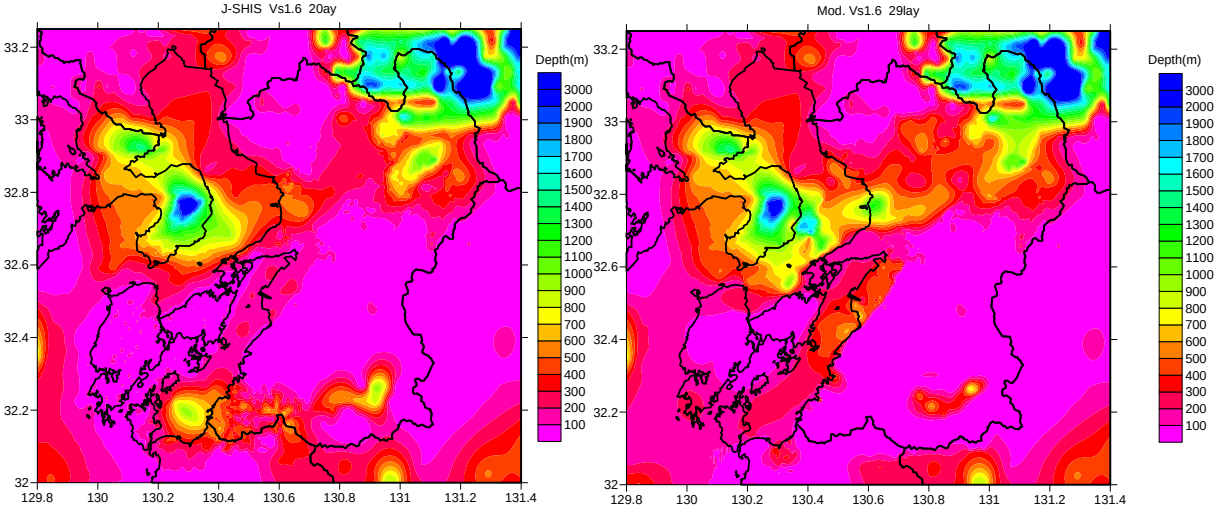
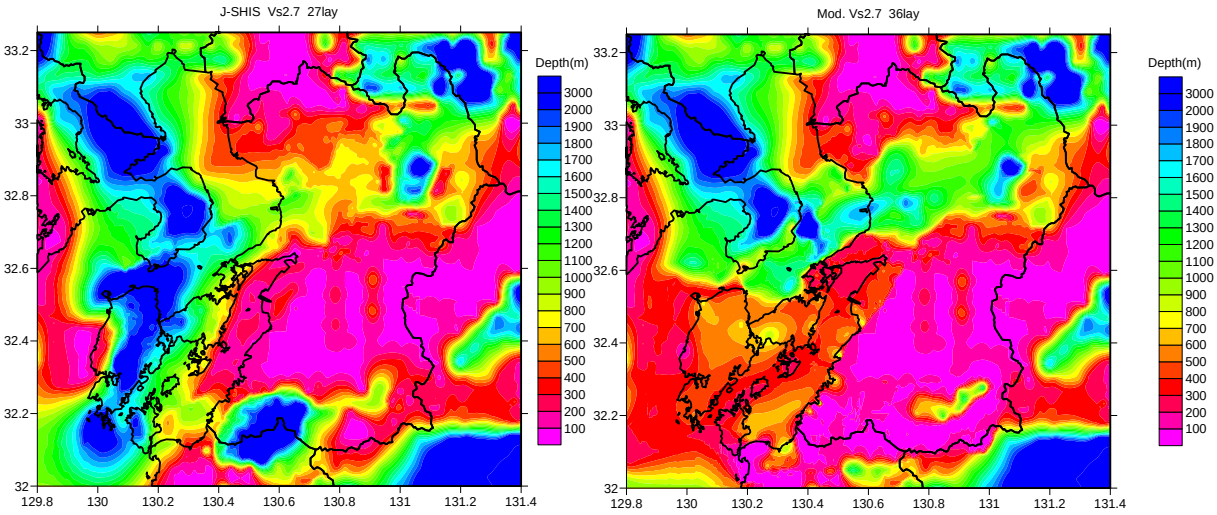


図 77　深部地盤構造モデルを構成する各速度層の上面深度（左：J-SHISV2、右：サブテーマ 3 で新たに作成したモデル）

(d) V_S 2700m/s 層上面



(e) V_S 3100m/s 層上面

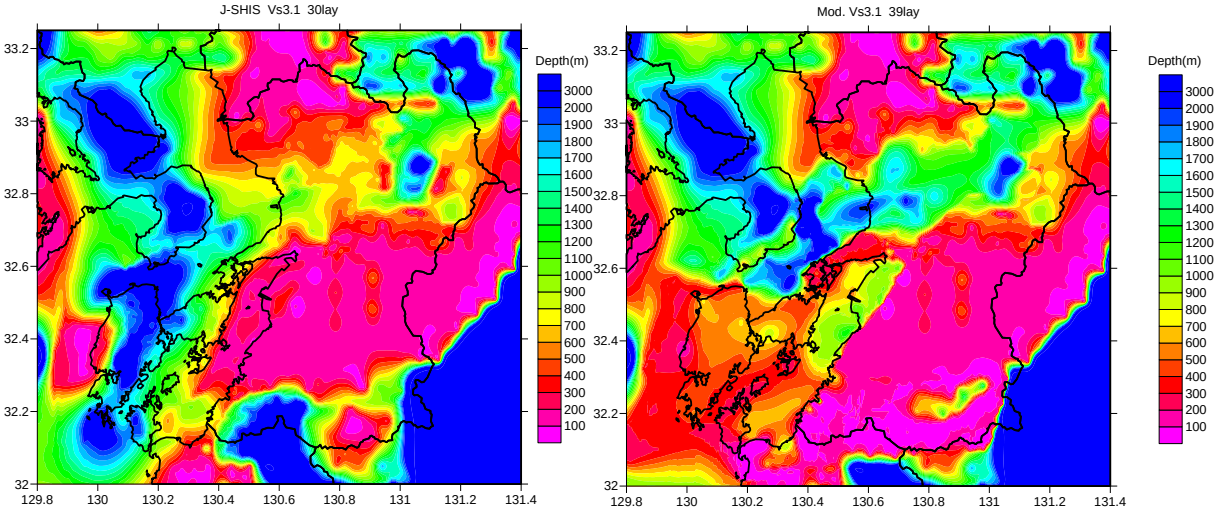


図 77　続き

g）小地震の地震動シミュレーションによる検証

小地震の地震動シミュレーションを行い、新たに作成した深部地盤構造モデルの妥当性を検証した。対象とする小地震の選択にあたっては、八代平野周辺での臨時余震観測の観測期間を考慮した。ここでは、表 21 に示す２つの小地震を対象とした。震源位置については、気象庁と文部科学省が協力して処理した結果（いわゆる気象庁一元化震源）を用い、震源メカニズムや地震モーメントは国立研究開発法人防災科学技術研究所の F-net モーメントテンソル解を参照した。

表 21　地震動シミュレーションによる検証の対象とした小地震のパラメータ

	地震１	地震２
発震日時	2017/5/11 20:21:25.17	2017/6/9 23:36:23.74
緯度	32.73450° N	32.71700° N
経度	130.60433° E	130.02817° E
深さ	13.04 km	16.05 km
気象庁マグニチュード	4.3	4.3
走向 / 傾斜 / すべり角	115° / 42° / -46° 242° / 61° / -122°	230° / 53° / -145° 117° / 63° / -43°
地震モーメント	3.85×10^{15} Nm (Mw 4.4)	3.08×10^{15} Nm (Mw 4.3)

地震動シミュレーションの手法は差分法を用いた。差分法の計算の基本となる差分スキームは、速度―応力型の食い違い格子（staggered grid）(Virieux, 1986) であり、時間方向に２次，空間方向に４次の精度（Levander, 1988）で計算を行った。水平方向の格子間隔は 45 m、深さ方向の格子間隔は 45～270 m で深さに応じて変化する格子を設定した。発震時から 100 秒間の波形を計算した。最小の計算有効周期は 0.75 秒である。図 78 に震源位置及び計算対象領域（地図中の赤枠で囲まれた領域）を示す。差分法の計算領域は、地震１については、東西 80 km、南北 55 km、深さ方向 24.21 km、地震２については、東西 90 km、南北 55 km、深さ方向 29.61 km の範囲である。モーメントテンソル震源の導入には、モーメントテンソルを等価な体積力として表現する方法（Graves, 1996）を用いた。吸収境界条件は、Cerjan（1985） による方法を用い、厚さ 20 格子分を吸収境界とした。粘弾性条件は、メモリ変数による方法（Robertsson et al., 1994） を用い、基準周期は４秒とした。

図 79 に地震１、図 80 に地震２に対する差分法による地震動シミュレーション結果を示す。観測及び計算速度波形には、周期２～10 秒のバンドパスフィルターを適用している。最大速度や波形の継続時間、速度フーリエスペクトルの特徴は観測データを概ね説明できている。より短周期域まで適用可能かどうか、広域での地震動説明能力など、今後とも、今回提案する地盤構造モデルの検証を継続していく必要がある。

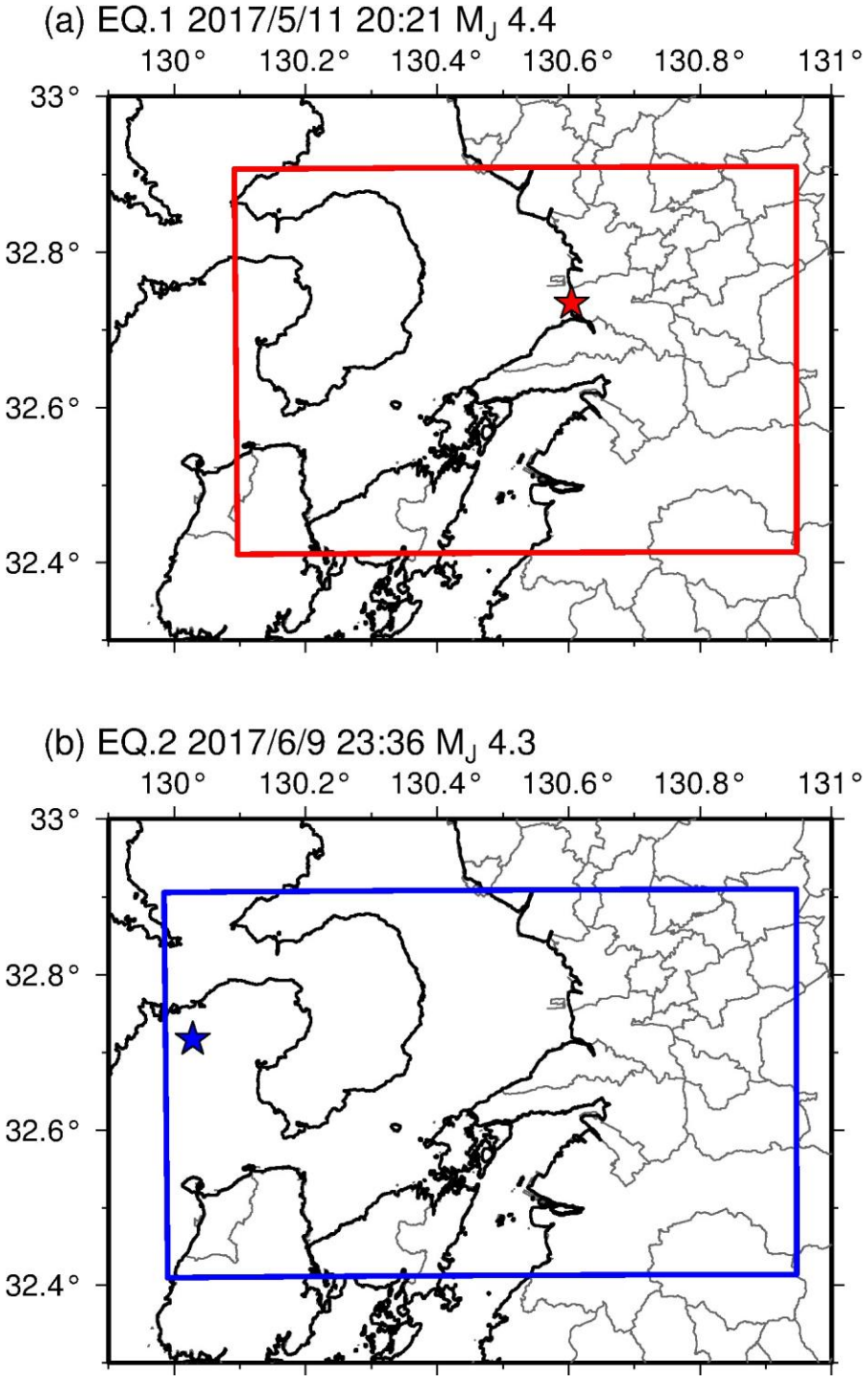


図 78　小地震の震央位置（★）及び差分法計算領域（矩形領域）

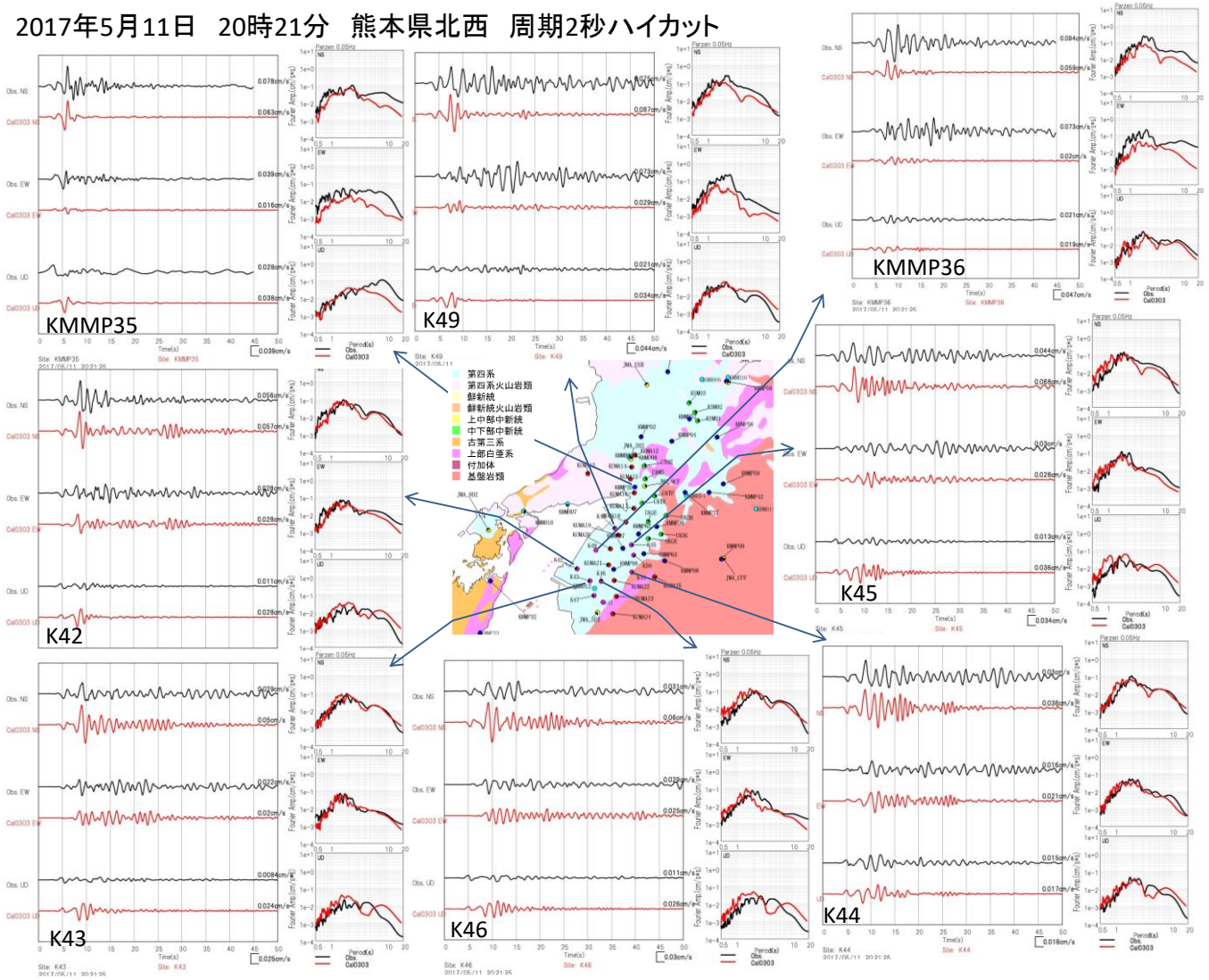


図 79　地震 1 の地震動シミュレーション結果（黒：観測波形、赤：計算波形）。中央の地図の基図は 100 万分の 1 日本地質図第 3 版 CD-ROM 第 2 版（産業技術総合研究所地質調査総合センター，2003）による。

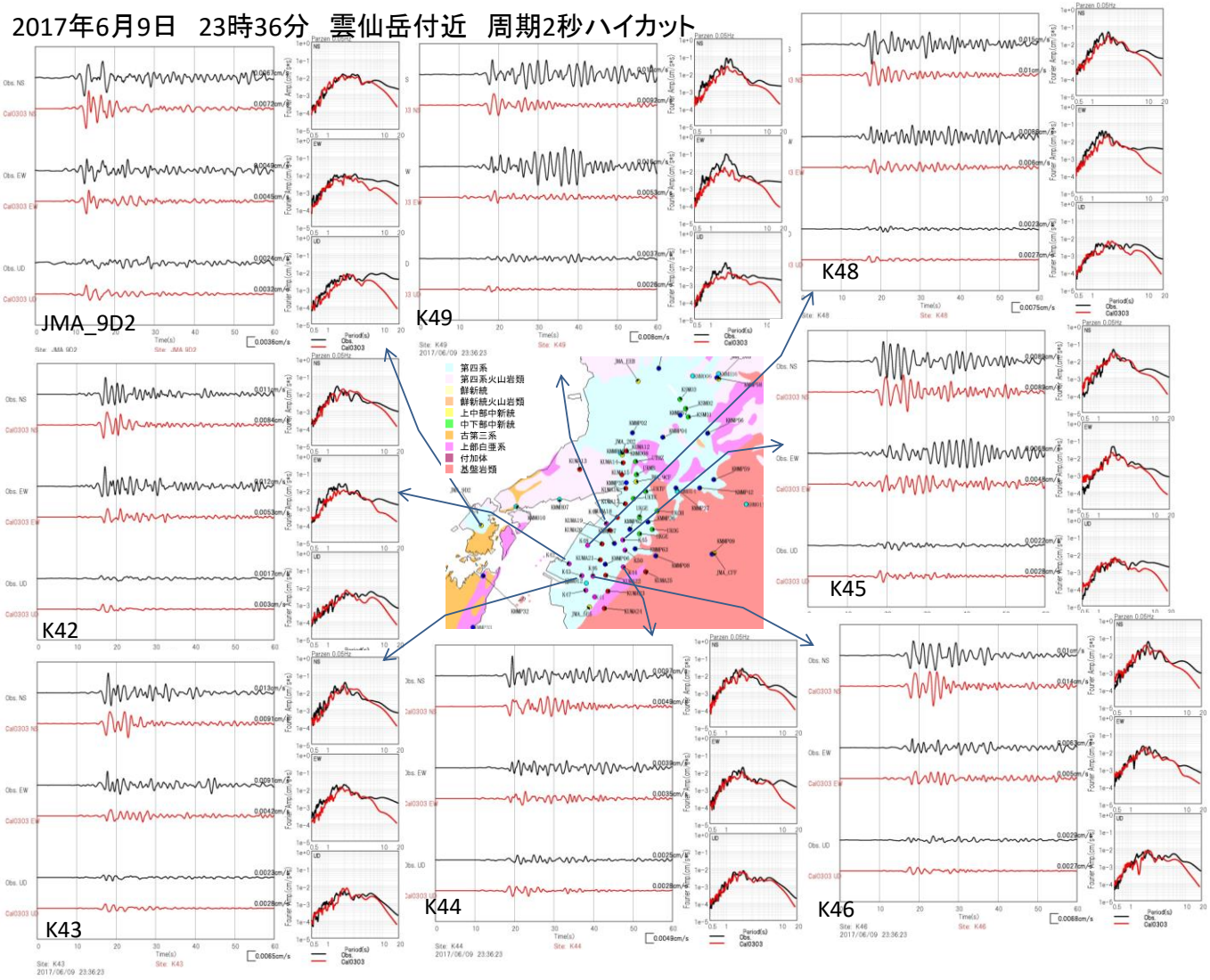


図 80　地震２の地震動シミュレーション結果（黒：観測波形、赤：計算波形）。中央の地図の基図は 100 万分の１日本地質図第３版 CD-ROM 第２版（産業技術総合研究所地質調査総合センター，2003）による。

8）浅部地盤構造モデル

a)はじめに

八代平野周辺における浅部地盤モデル（Vs300 ～500m/s より小さい速度層モデル）を作成した。浅部地盤モデルを作成する主な平野盆地は、八代平野、人吉盆地、水俣平野、出水平野、天草地域、熊本平野、玉名平野、菊鹿盆地である。八代平野では、浅部地盤モデル作成のためのボーリングデータを収集した。本地域では微動アレイ探査（項目 3)）が実施されているので、八代平野はその地質モデルに微動アレイデータを適用して、速度構造のモデル化を行った。人吉盆地は、主として極小＋不規則アレイによる位相速度データを深度変換することにより、浅部地盤構造モデルを作成した。水俣平野、出水平野、天草地域、玉名平野、菊鹿盆地では、微動アレイ調査データのみを用いているため、微動アレイ調査による位相速度と H/V スペクトル比の同時逆解析により、浅部地盤構造モデルと深部地盤構造モデルを同時に推定しているため、7)深部地盤構造モデルの項で説明した。熊本平野は SIP による浅部地下構造モデル（Senna et al., 2018）を引用した。深部地盤モデルも含めた地盤モデル作成のフローを図 81 に再掲する。以下、八代平野及び人吉盆地での浅部地盤構造モデル作成について詳述する。

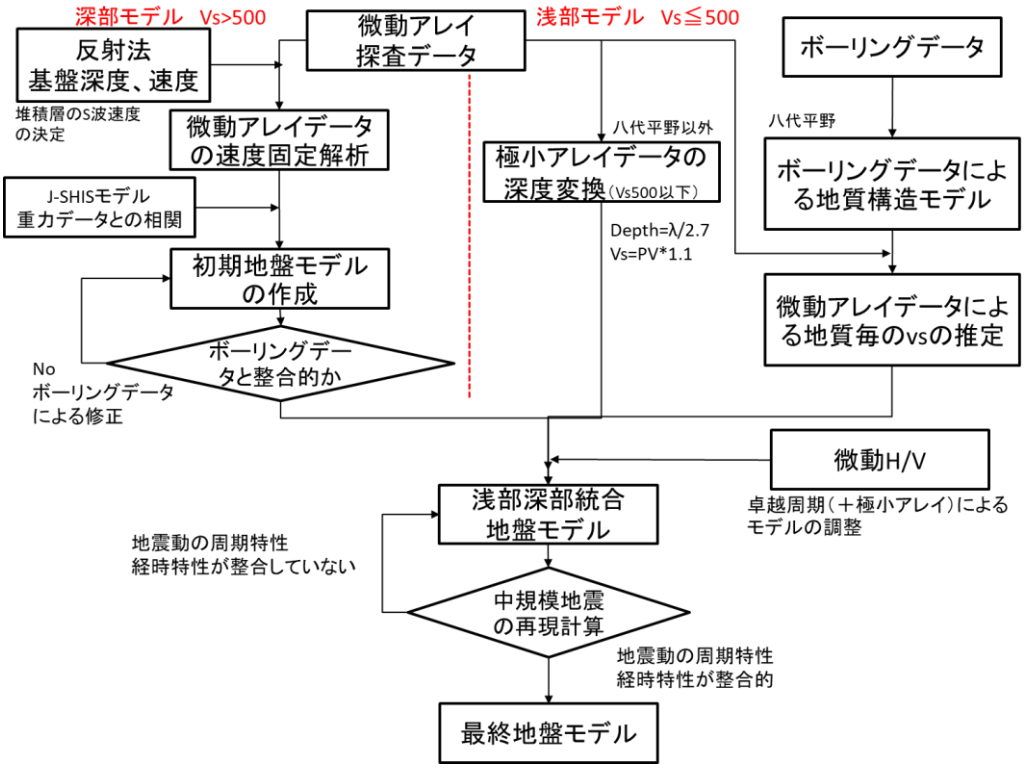


図 81　地盤構造モデル作成のフロー

b）八代平野周辺の浅部地盤モデル作成

八代平野においては、浅いボーリングに記載がある地質情報をもとに地盤モデルを作成した。ボーリングデータは、九州地盤共有データベース（Ver.1 及び Ver.2）に地質記載があるものを利用した。図 82 にボーリング位置図を示す。表 21 には八代平野で想定される

地質構成を示す。以下、各地質層の上面深度を各ボーリング位置に示す。図 83 に扇状地礫層および谷埋め礫層上面深度を示した。なお基図は、この地域の微地形区分図である。これらの層は八代平野南部地域に多く分布しており、深度は概ね５ｍ以下である。図 84 に上部砂質土層上面深度を示す。平野南西部に多く分布していることがわかる。海岸部より干拓地と扇状地の境界付近のほうが深い傾向を示しており、この上面深度が 20 m を超えるボーリングデータも見られた。図 85 に粘性土層上面深度を示す。平野南部では深度 20 m 程度のデータが多い。平野南部の扇状地には深度 30 m 程度のやや深い深度を示すボーリングが分布している。図 86 には下部砂質土層上面深度を示す。平野南部では海岸部で約 30 m、扇状地部では 10 m 程度と、海岸部で深い傾向を示している。図 87 に基底礫層上面深度を示す。平野南部では概ね深度 30 m 以上の深度を示す。図 88 に岩盤風化部上面深度を示す。この地層が存在するボーリングデータは寡少である。同図右には、微動アレイデータの分散曲線から変換式によるＳ波速度 300 m/s 層上面深度を示している。海岸付近のボーリング地点および微動アレイデータによる両深度は概ね一致していることから、岩盤風化部上面深度については、微動アレイデータによるＳ波速度 300 m/s 層上面深度と対応させることとした。

上記の地質構造情報に基づいて、これを八代平野全体に内外挿して各層の層厚を与えたのちに、各地点で得られた微動アレイデータの位相速度に整合するよう、各層のＳ波速度を調整した。図 89 から図 91 に、各微動アレイ地点で各地質層に与えられたＳ波速度分布を示す。図 92 に、八代平野の浅部地盤構造モデルの例として、断面図を示す。各層は単一の速度ではなく、空間的に変化している様子がわかる。

表22　八代平野で想定される浅部地盤の地層構成

表層礫層	Vs100m/s相当
扇状地礫層 **谷埋め礫層**	Vs125m/s相当
上部砂質土層 2500	Vs150m/s相当
粘性土層 3000	Vs200m/s相当
下部砂質土層 5000	Vs250m/s相当
基底砂礫層 8000	Vs275m/s相当
岩盤風化部	Vs300 m/s

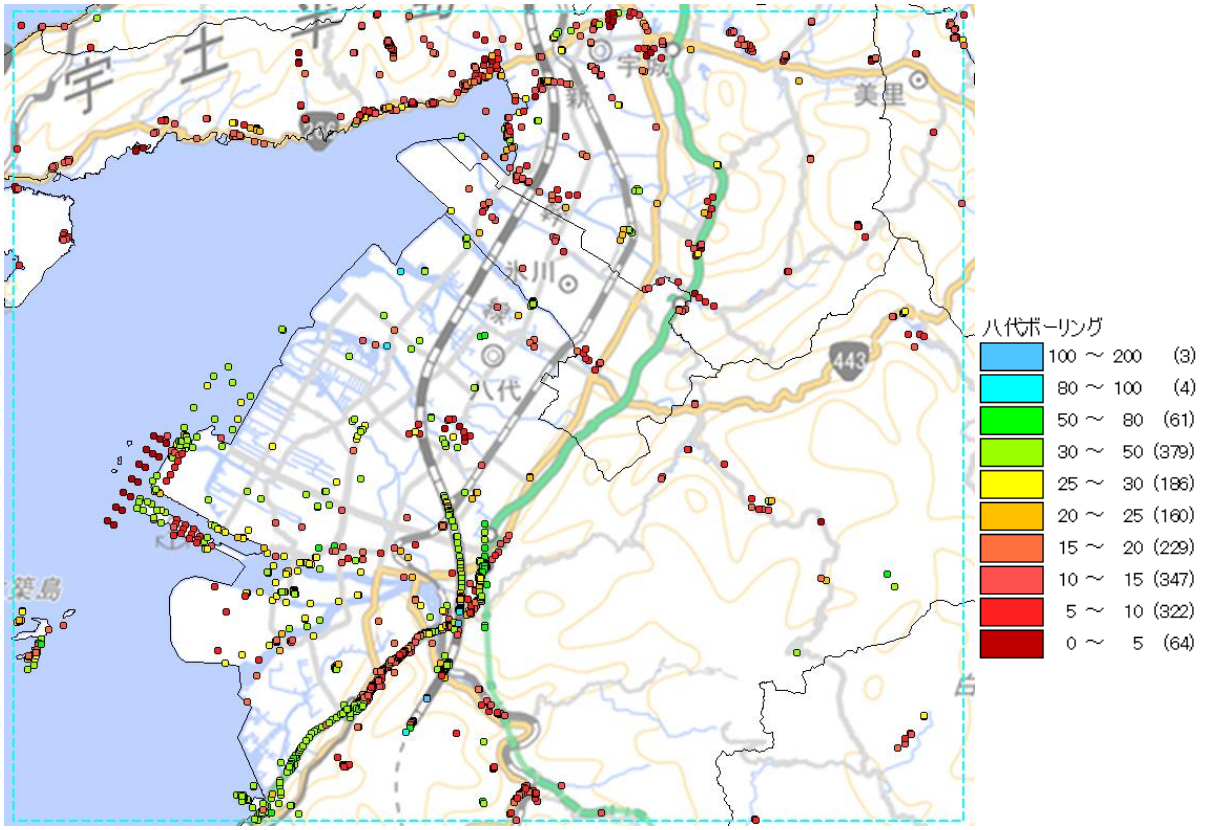


図82　収集したボーリングデータ。国土地理院の電子地形図（タイル）にボーリングデータの位置（丸印）を追記して掲載した。ボーリングデータの位置の色分けは掘削深度による。

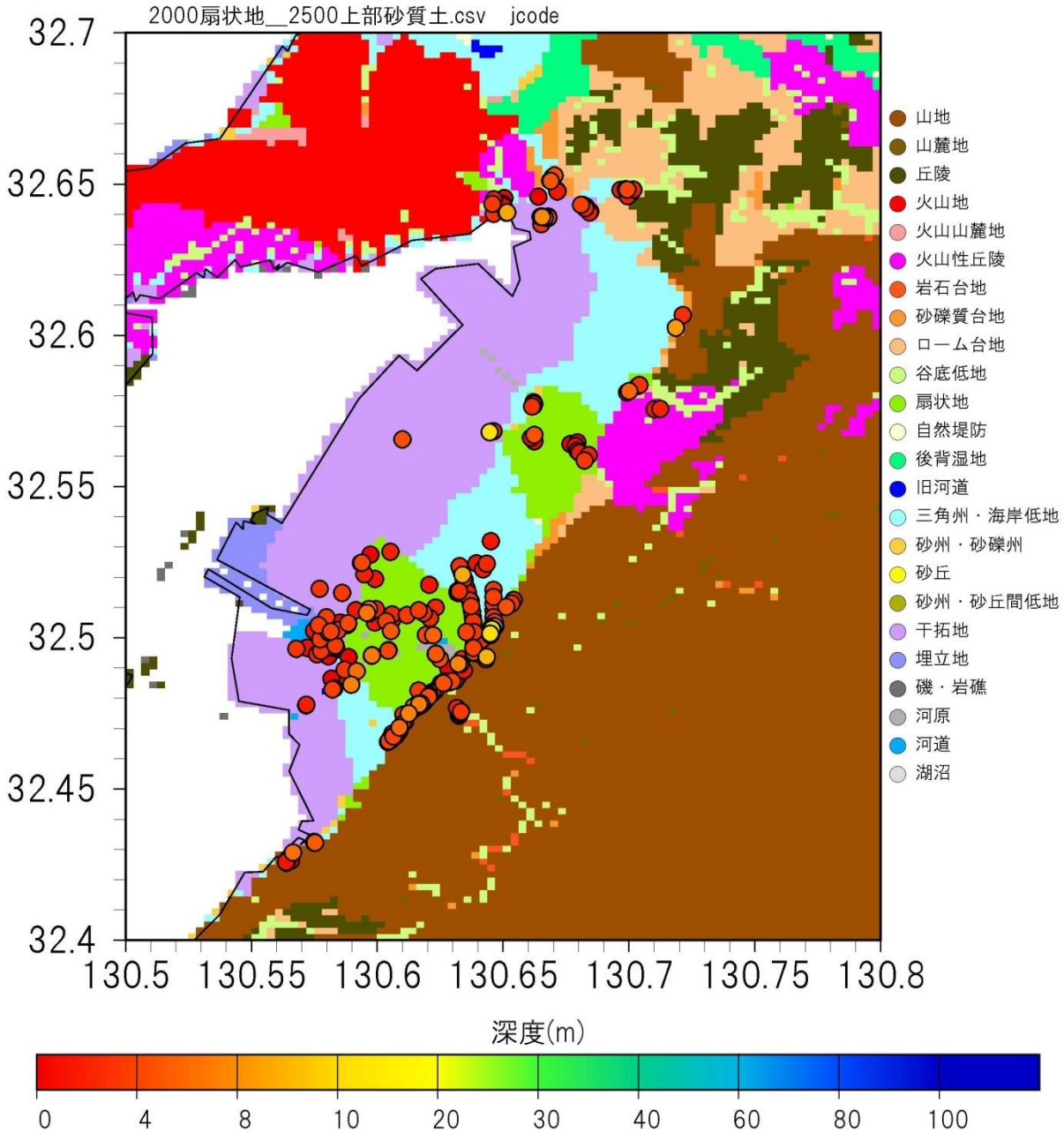


図83　収集したボーリングデータ位置(丸印)での扇状地礫層および谷埋め礫層上面深度。地図の背景は微地形区分（若松・松岡，2013）による。

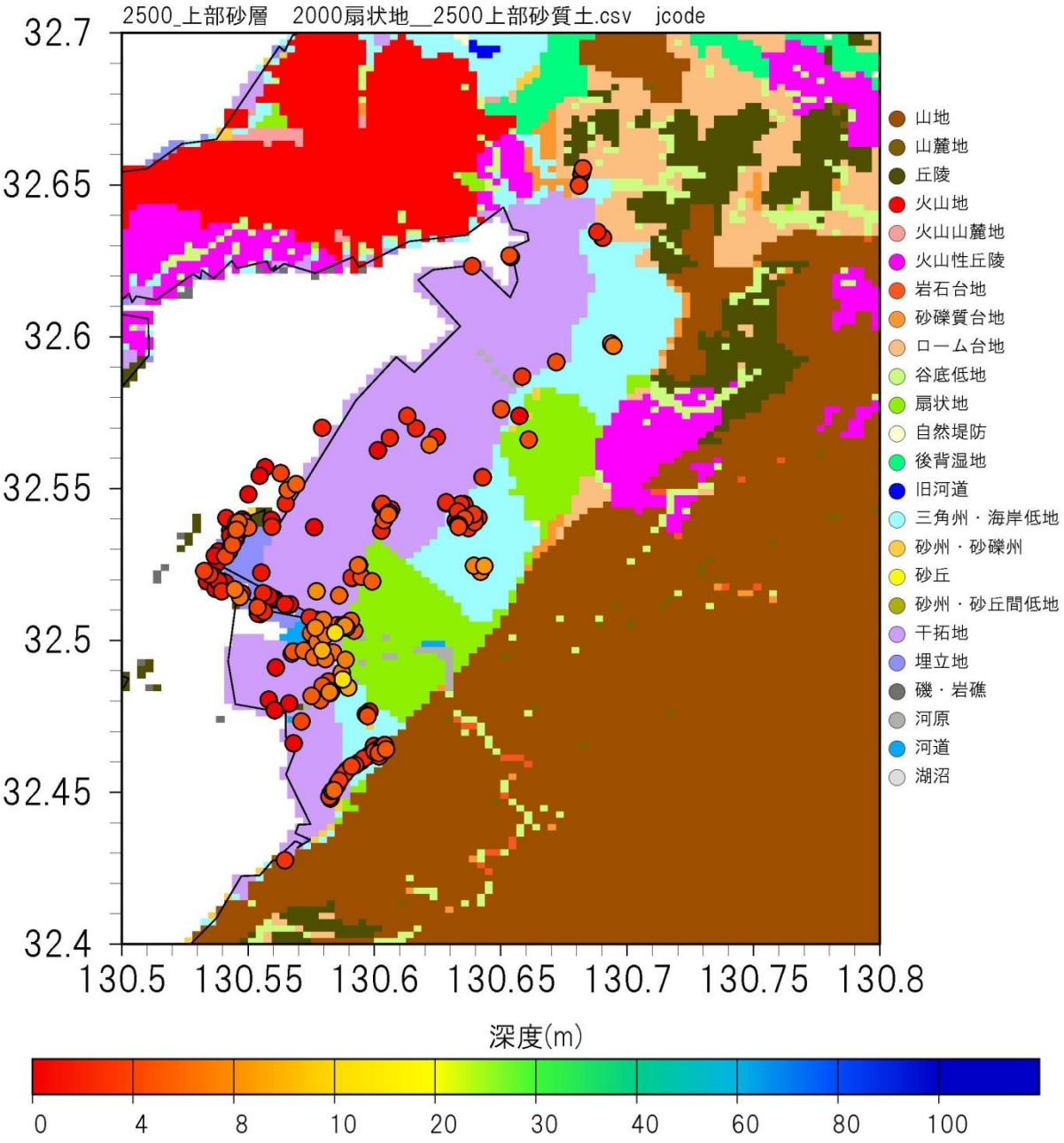


図 84　収集したボーリングデータ位置（丸印）での上部砂質土層上面深度。地図の背景は微地形区分（若松・松岡，2013）による。

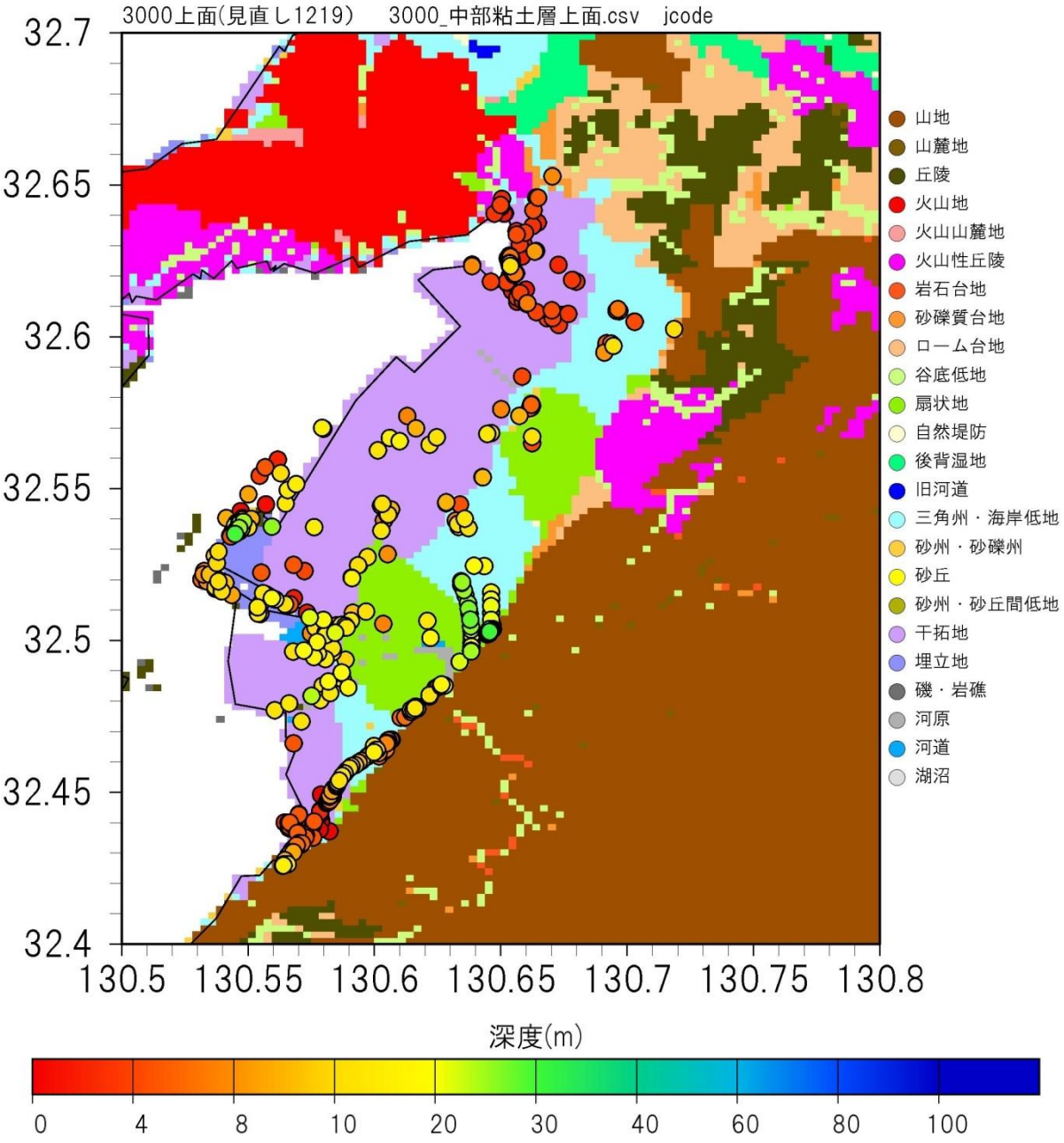


図85　収集したボーリングデータ位置（丸印）での粘性土層上面深度。地図の背景は微地形区分（若松・松岡，2013）による。

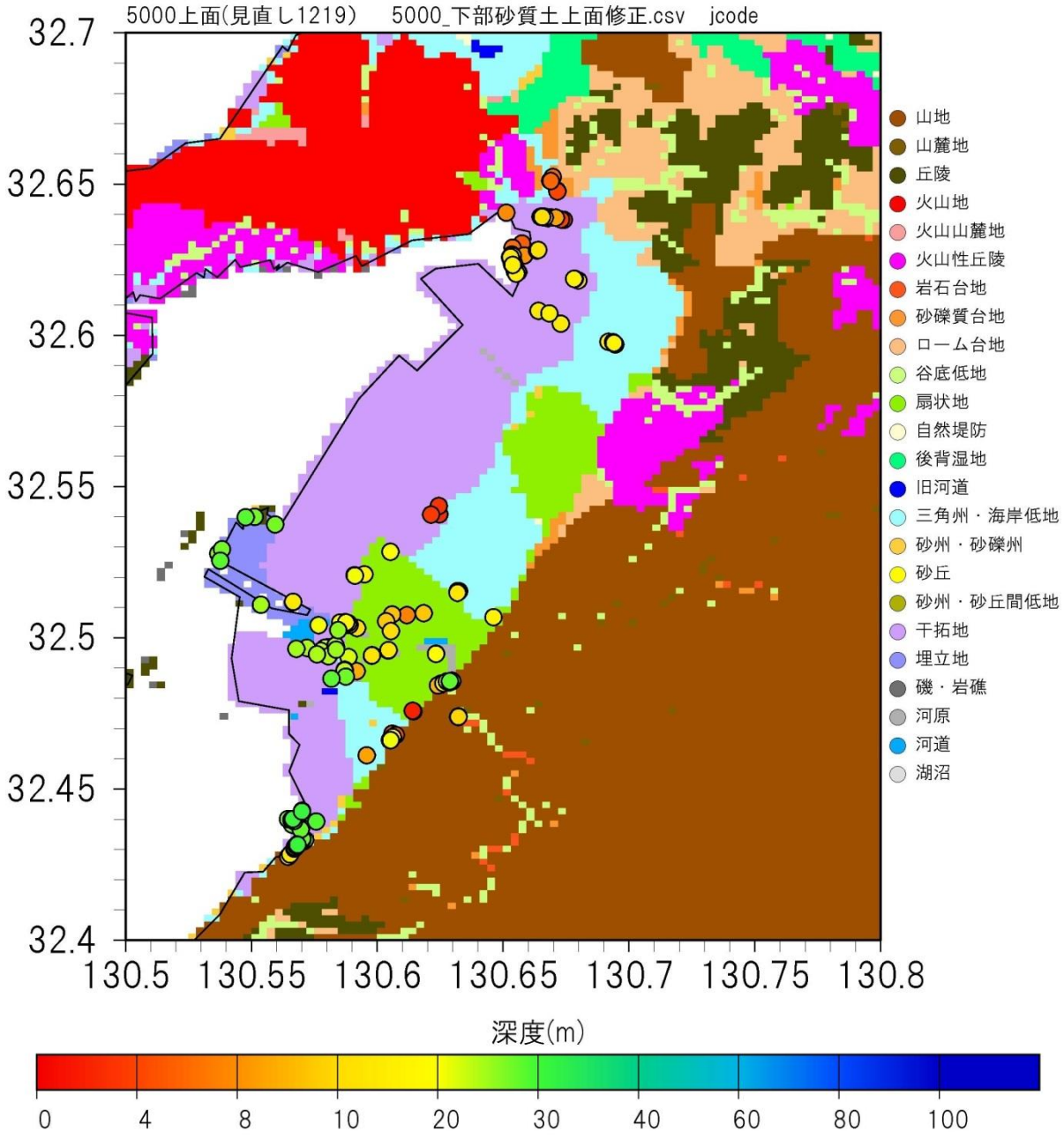


図86　収集したボーリングデータ位置（丸印）での下部砂質土層上面深度。地図の背景は微地形区分（若松・松岡，2013）による。

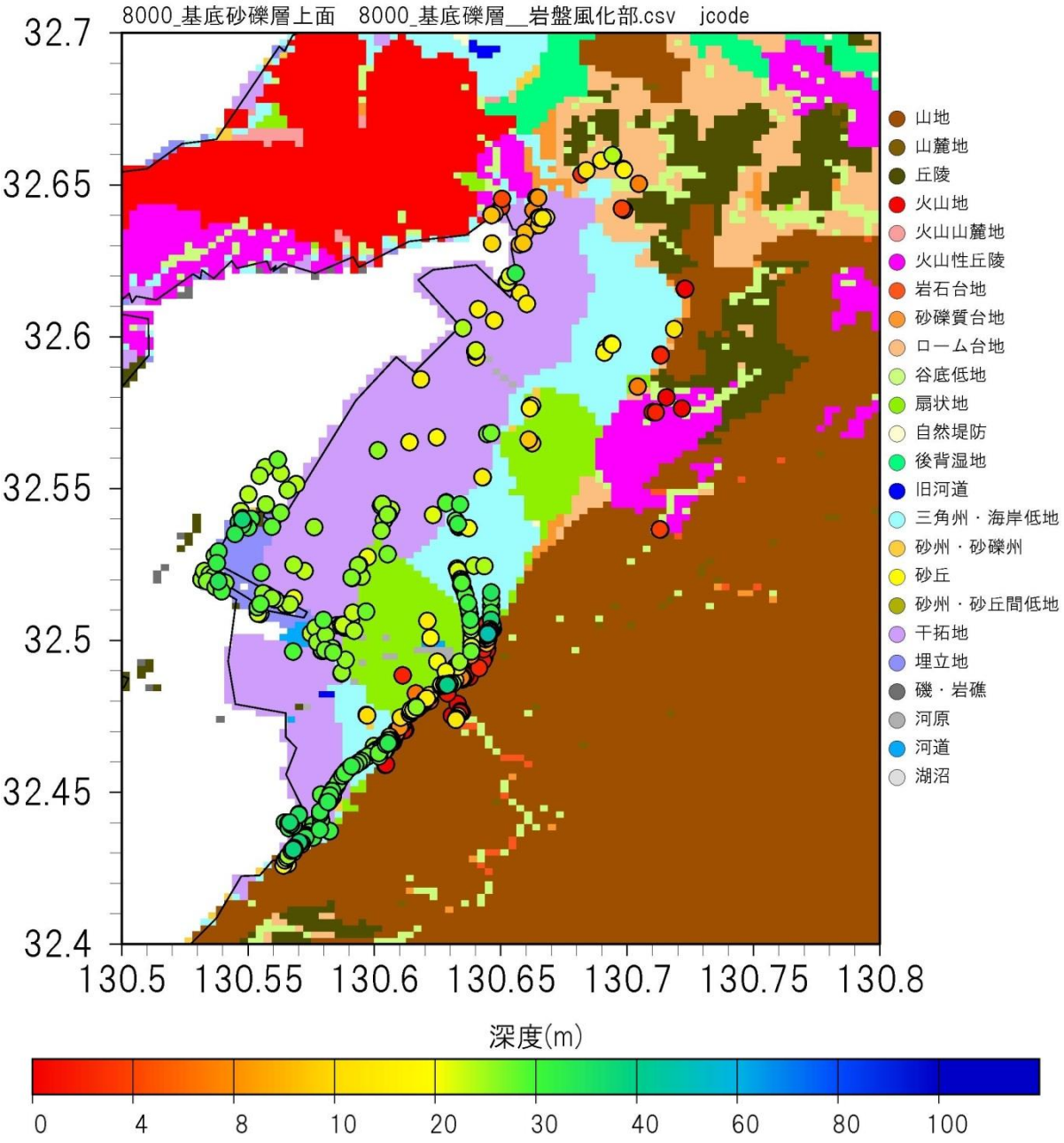


図87　収集したボーリングデータ位置（丸印）での基底礫層上面深度。地図の背景は微地形区分（若松・松岡，2013）による。

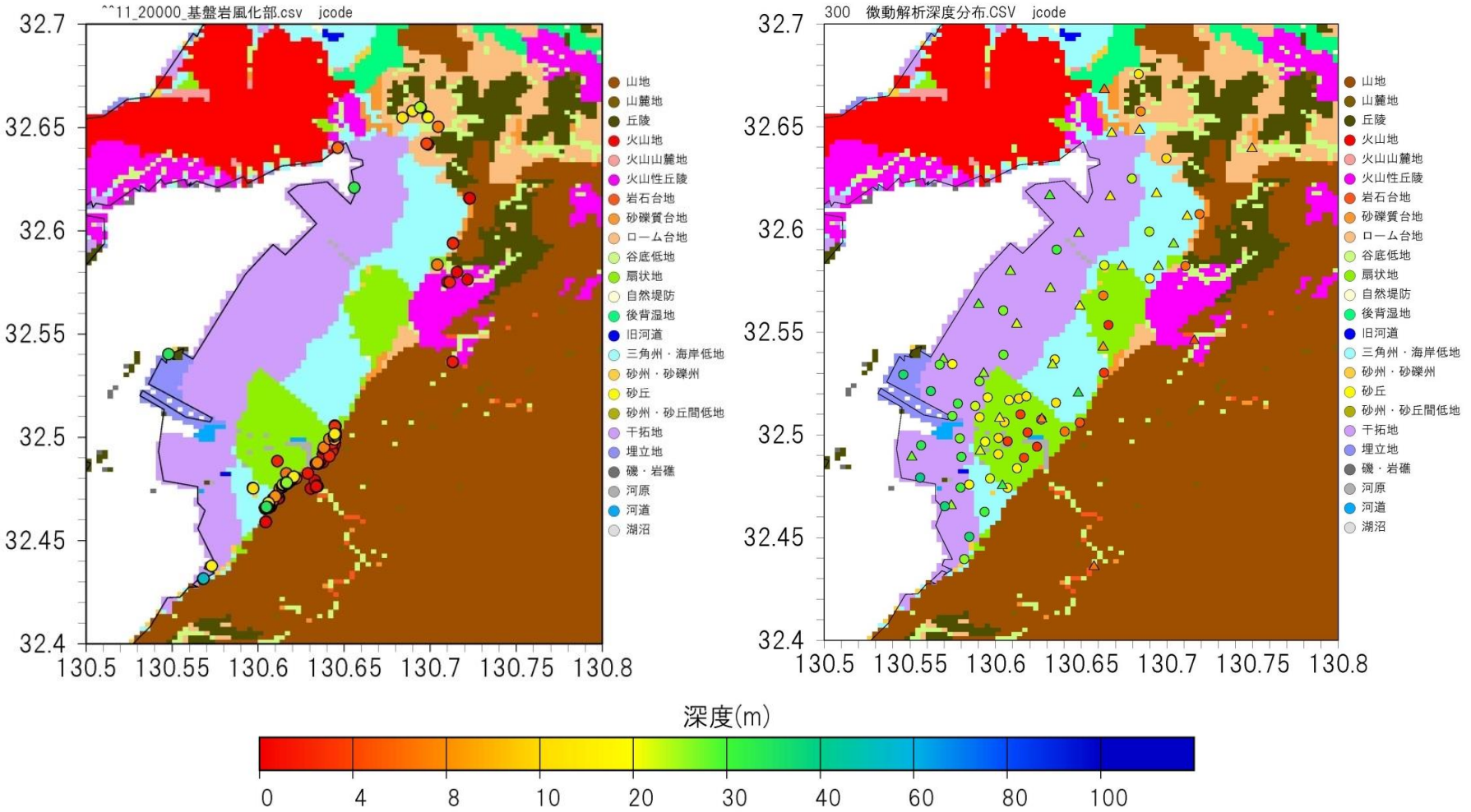


図 88　収集したボーリングデータ位置（丸印）での岩盤風化部上面深度（左図）および微動アレイ（丸印）による Vs300 m/s 層上面深度（右図）。○：小規模アレイ　△：大規模アレイ。地図の背景は微地形区分（若松・松岡, 2013）による。

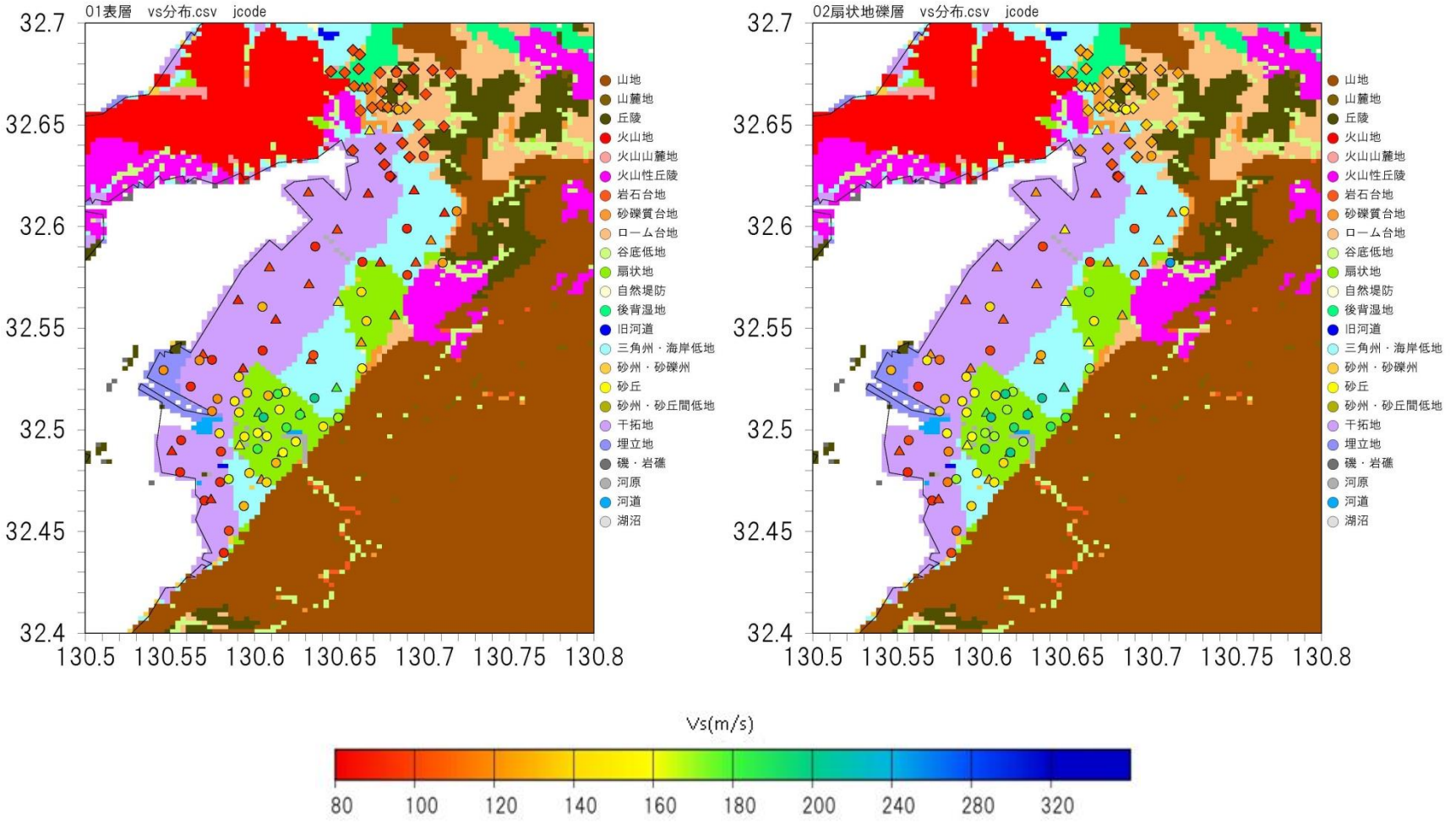


図 89　表層のＳ波速度（左図）および扇状地礫層および谷埋め礫層のＳ波速度（右図）。○：小規模アレイ　△：大規模アレイ。地図の背景は微地形区分（若松・松岡，2013）による。

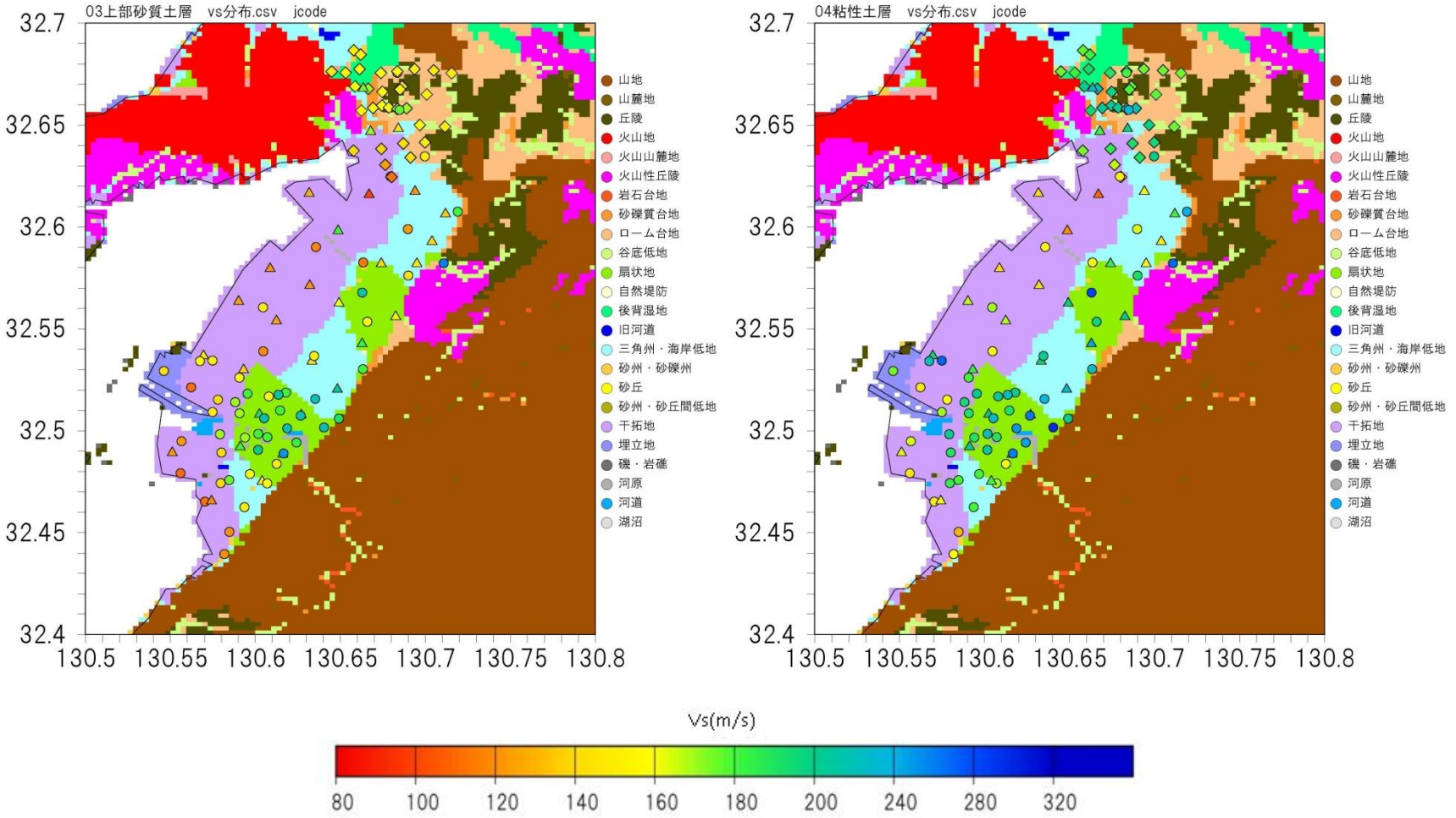


図 90　上部砂質土層のＳ波速度（左図）および粘性土層のＳ波速度（右図）。○：小規模アレイ　△：大規模アレイ。地図の背景は微地形区分（若松・松岡，2013）による。

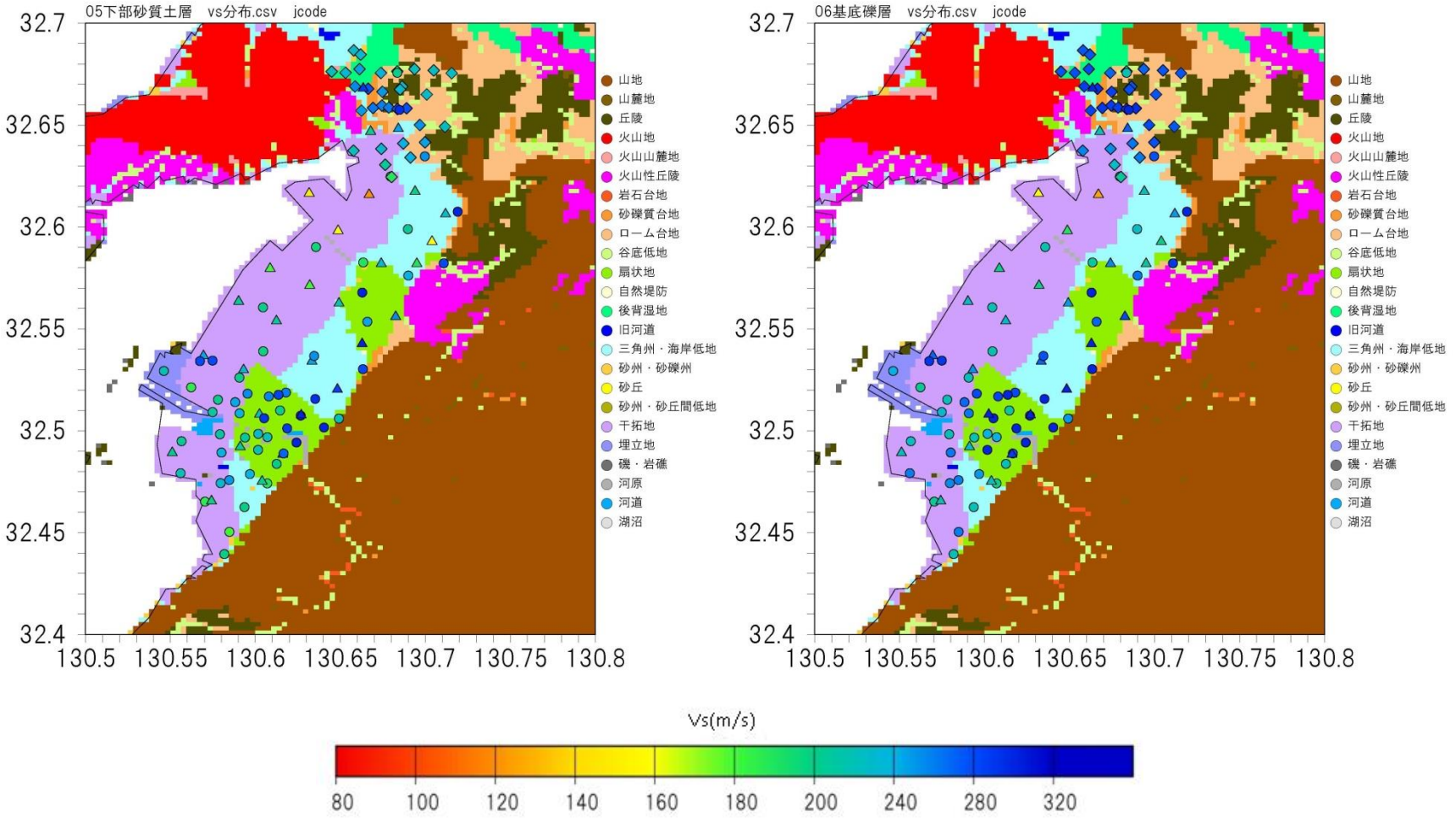


図 91　下部砂質土層のＳ波速度（左図）および基底礫層のＳ波速度（右図）。○：小規模アレイ　△：大規模アレイ。地図の背景は微地形区分（若松・松岡，2013）による。

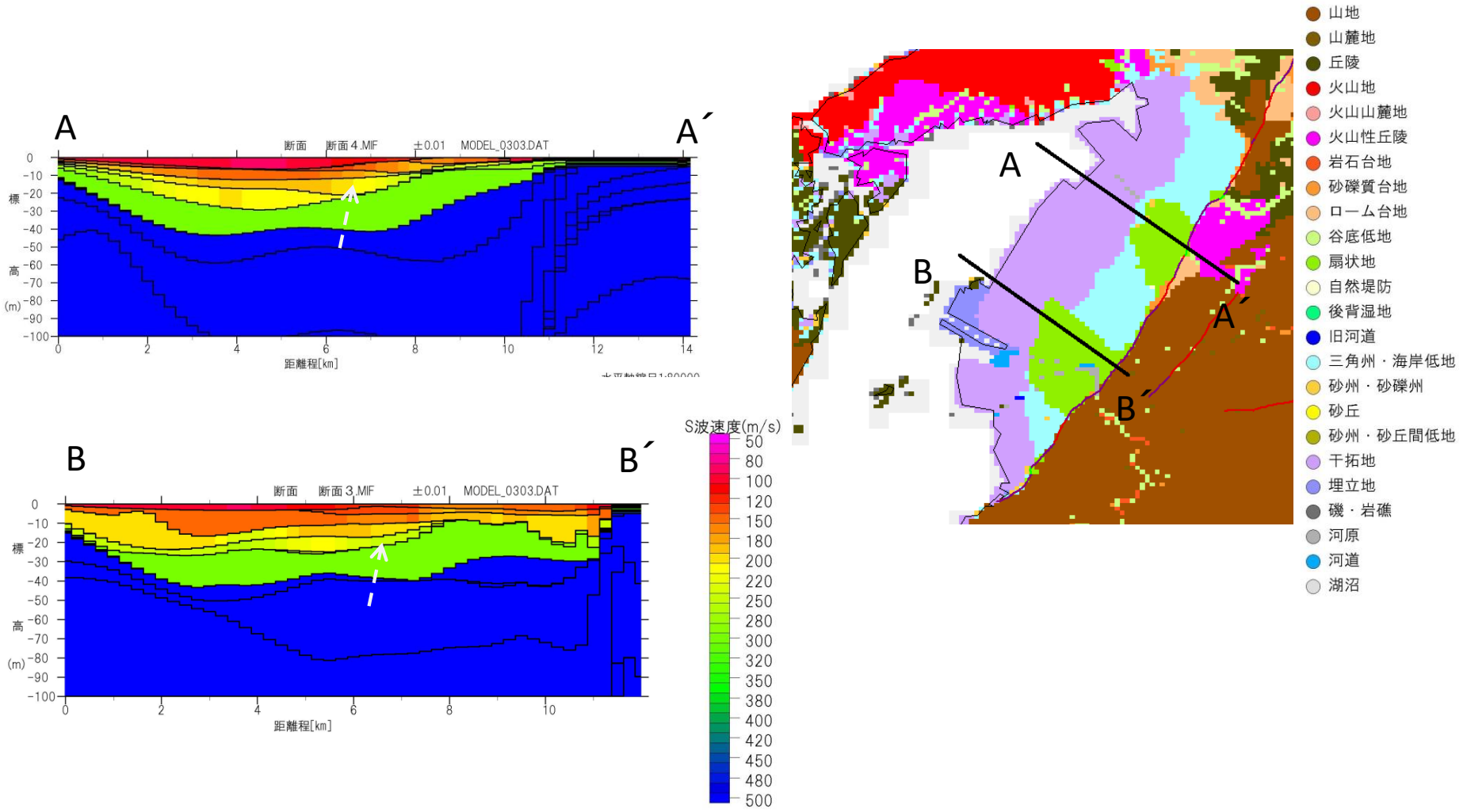


図 92　浅部地盤構造モデルの断面図。地図の背景は微地形区分（若松・松岡，2013）による。

c) 人吉盆地

人吉盆地は微地形区分図によれば、山地および火山地に周辺を囲まれている閉じた盆地形状をしている。項目3)に記載されているように、盆地内でアレイサイズの異なる微動アレイが多数実施されている。この観測された微動アレイデータで得られた位相速度から、深度変換を行うことにより浅部地盤モデルを作成した。浅部地盤モデルとしては100 m/sから300 m/sまでを25 m/s間隔、350 m/sから500 m/sまでを50 m/s間隔の速度層を仮定し、逆転層がない仮定のもとで各層の層厚についてのモデル化を行った。図93～96にV_S 200 m/s～500 m/sの上面深度を示す。S波速度200 m/s層上面深度は概ね４m以下である。V_S 300 m/s層上面深度はローム台地で８m程度であるのに対し、盆地中央部の谷底平野において４m程度とローム台地の深度が深い傾向がみられる。V_S 400 m/s層、500 m/s層上面深度でも同様の傾向が見られた。

d)まとめ

八代平野、人吉盆地、水俣平野、出水平野、天草地域、熊本平野、玉名平野、菊鹿盆地の浅部地盤モデル作成を行った。浅部地盤モデルのP波速度は孤崎・他（1990）による関係式により作成した。ただし、J-SHISモデルとの整合性を考慮しP波速度1600 m/sを超えないようにした。密度については、Ludwig et al.(1973) によるS波速度と密度の関係を用いた。P波速度、密度との対応は、7)の表20に記載している。図97～100に浅部地盤モデルの代表的な速度層の上面深度を示す。浅部地盤モデルは、熊本平野が最も深い。S波速度300 m/s層上面深度は80 mを超えている。八代平野では最深部で60 m程度である。

当該地域はボーリングによる地質地盤情報も寡少であることから、八代平野は、ボーリングデータに基づいた地質地盤モデルを設定して、微動アレイから得られる位相速度情報や単点微動によるH/Vスペクトル比情報を利用して浅部地盤モデルを構築した。作成された地盤構造モデルは、地震動シミュレーションやスペクトルインバージョンによって得られている観測点サイト増幅特性で妥当性を確認している。微動アレイ観測が地盤構造モデル構築には強力な方法であることが再確認されたが、ここでとりあげた項目順に、微動観測地点数や地点密度が少なくなっていることから、地盤構造モデルの高度化にはボーリング資料の収集、微動観測の実施、といったことが継続されることが望まれる。

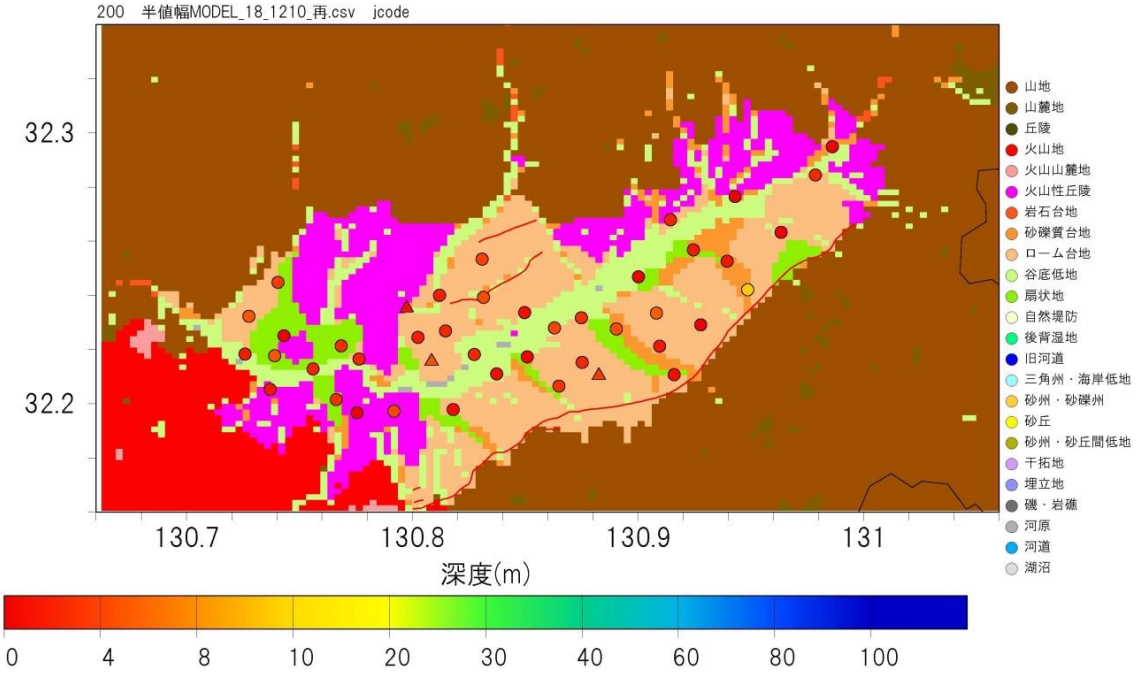


図 93　S 波速度 200 m/s 層上面深度。活断層トレース（赤線）は、中田・今泉（2002）による「活断層」及び「推定活断層」を示している。地図の背景は微地形区分（若松・松岡, 2013）による。

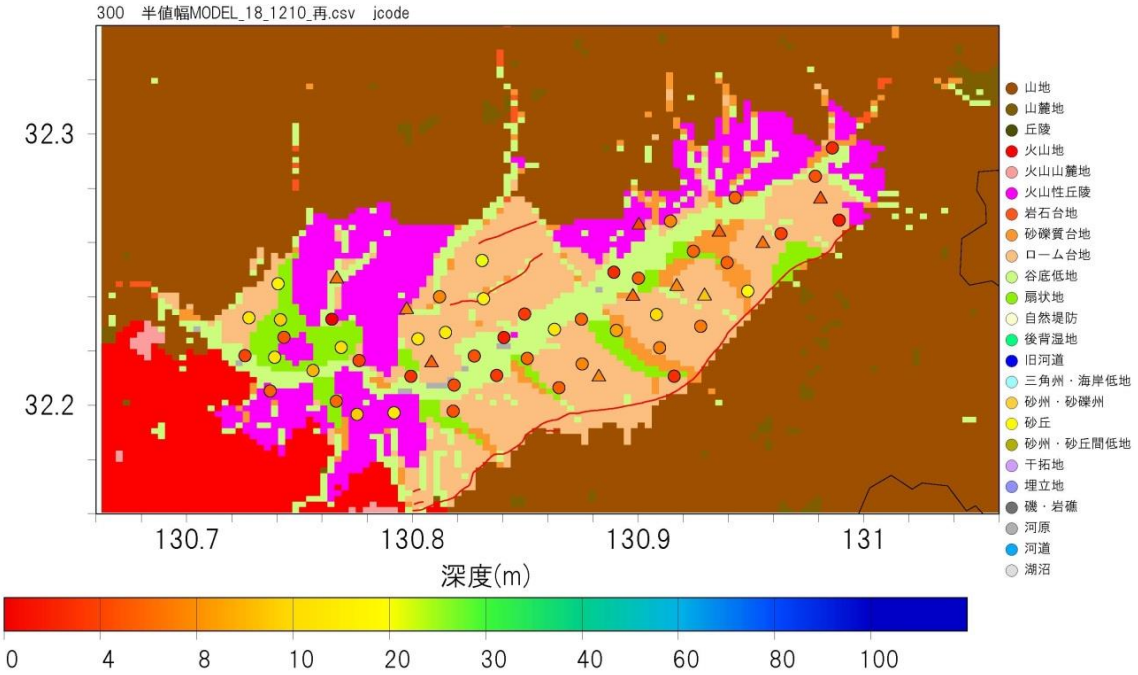


図 94　S 波速度 300 m/s 層上面深度。活断層トレース（赤線）は、中田・今泉（2002）による「活断層」及び「推定活断層」を示している。地図の背景は微地形区分（若松・松岡, 2013）による。

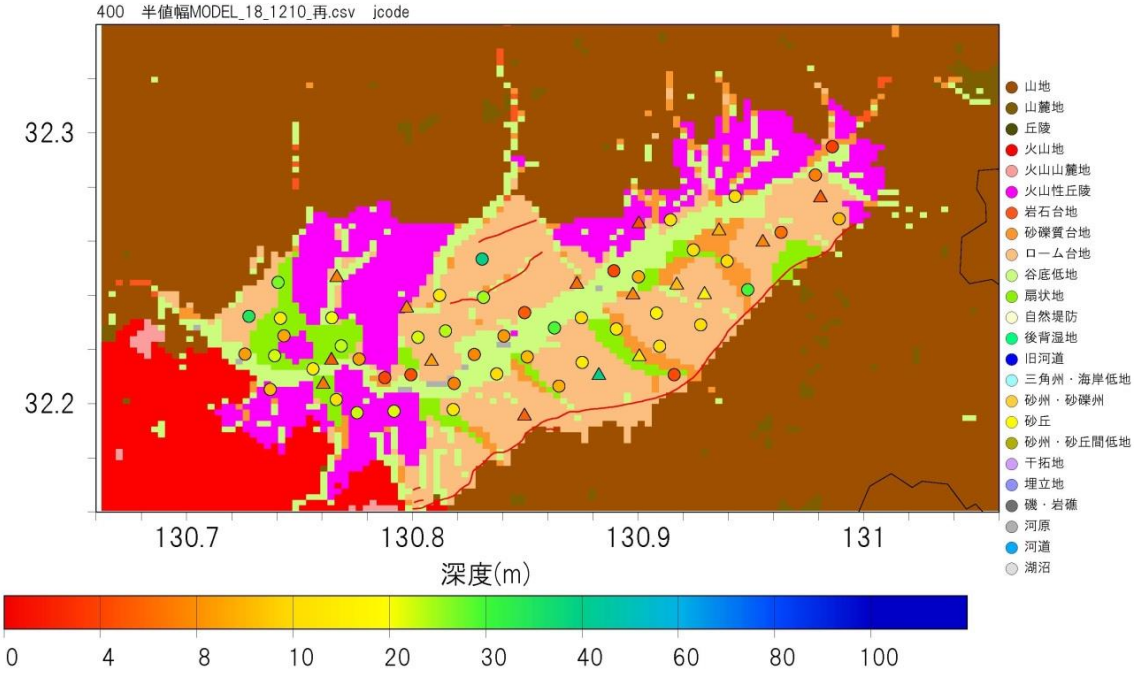


図 95　S 波速度 400 m/s 層上面深度。活断層トレース（赤線）は、中田・今泉（2002）による「活断層」及び「推定活断層」を示している。地図の背景は微地形区分（若松・松岡, 2013）による。

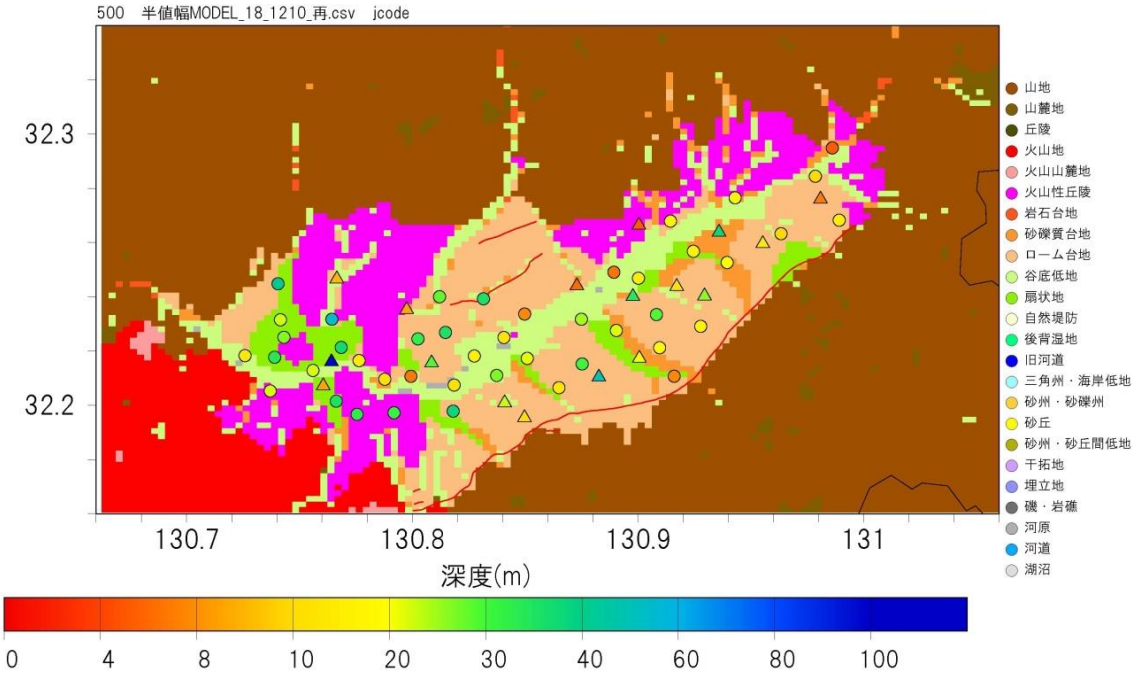


図 96　S 波速度 500 m/s 層上面深度。活断層トレース（赤線）は、中田・今泉（2002）による「活断層」及び「推定活断層」を示している。地図の背景は微地形区分（若松・松岡, 2013）による。

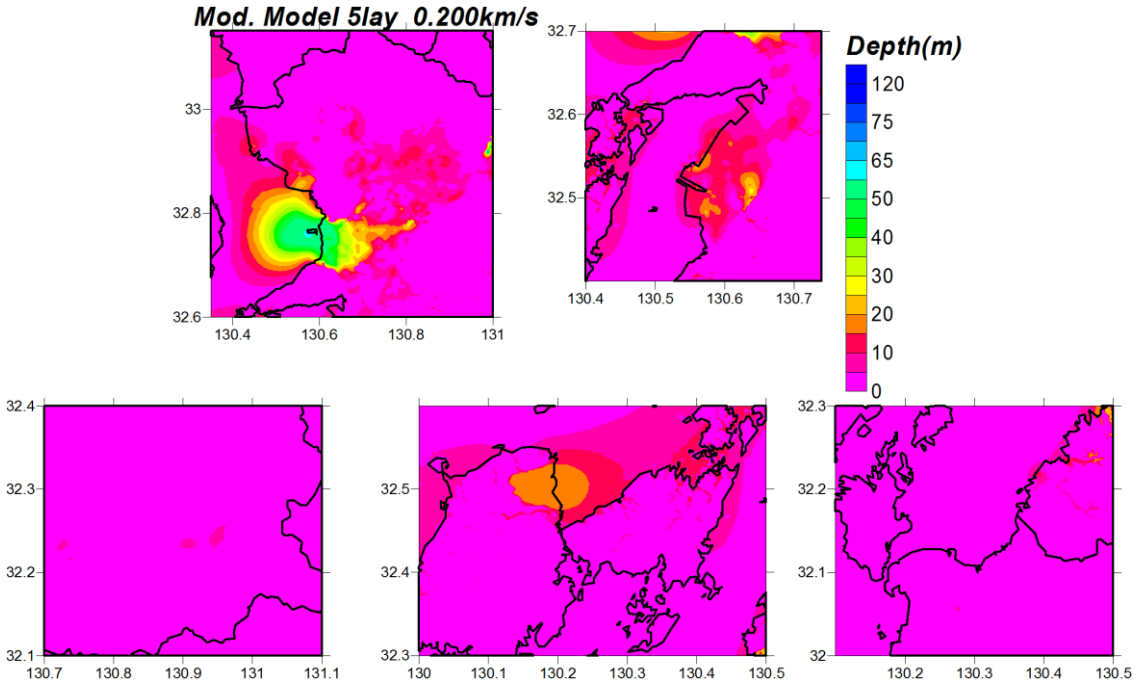


図97　S 波速度200 m/s層上面深度。（左上：熊本平野、右上：八代平野、左下：人吉盆地、左中：天草諸島周辺、右上：水俣平野～出水平野周辺）

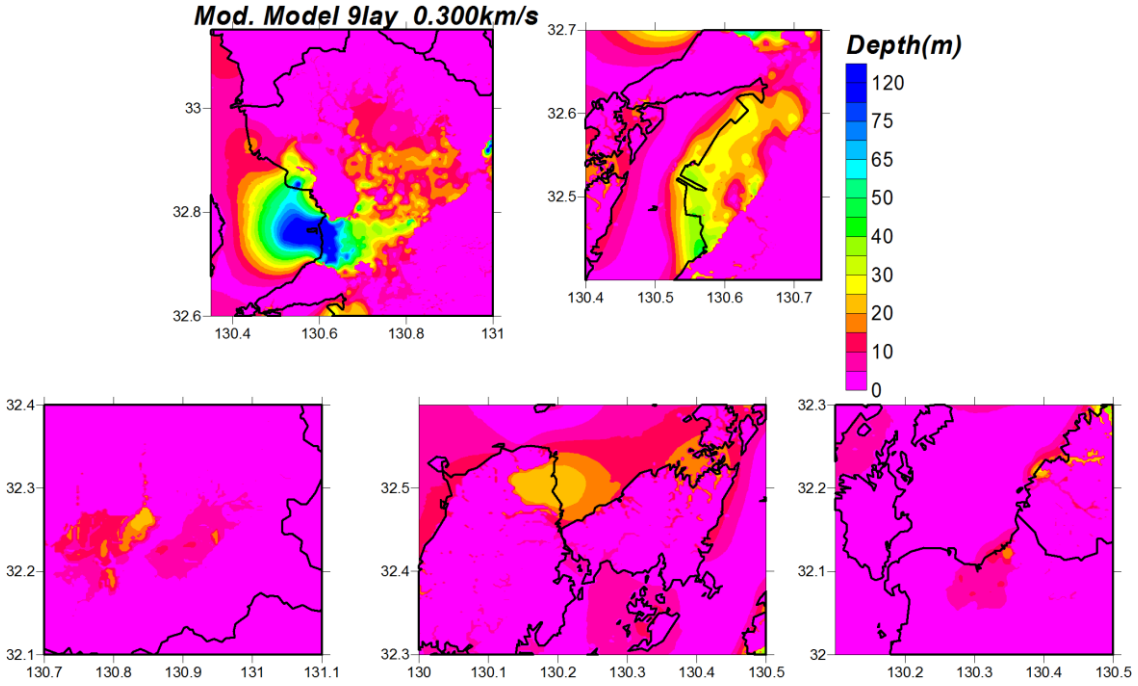


図98　S 波速度300 m/s層上面深度

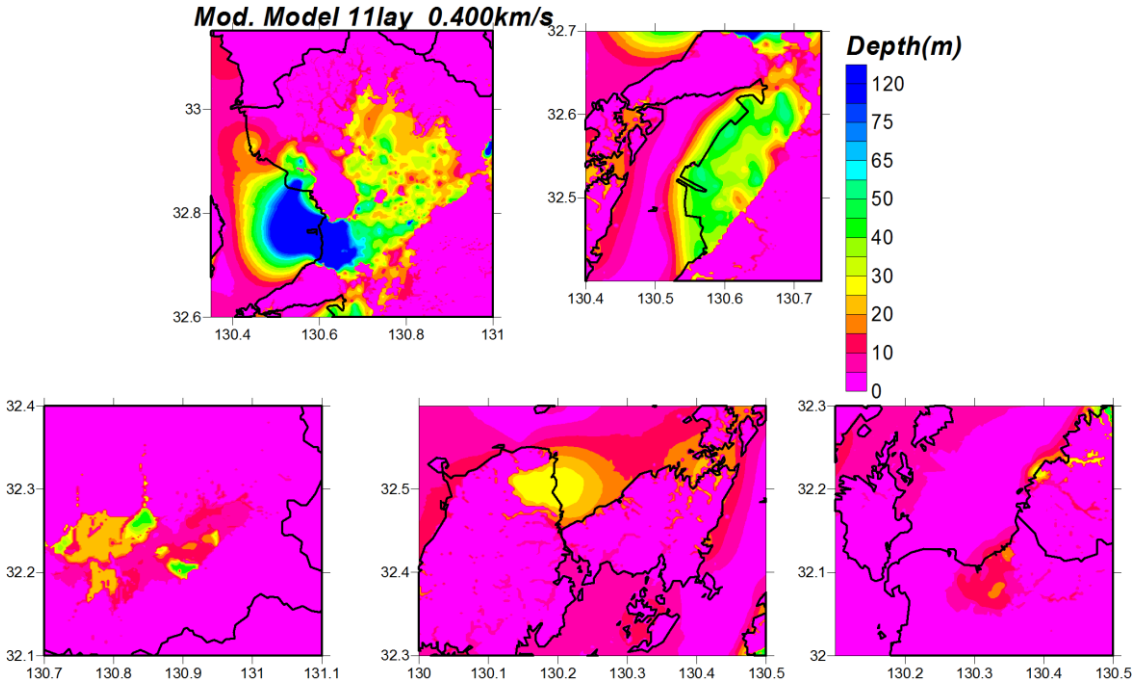


図99　S 波速度400 m/s層上面深度

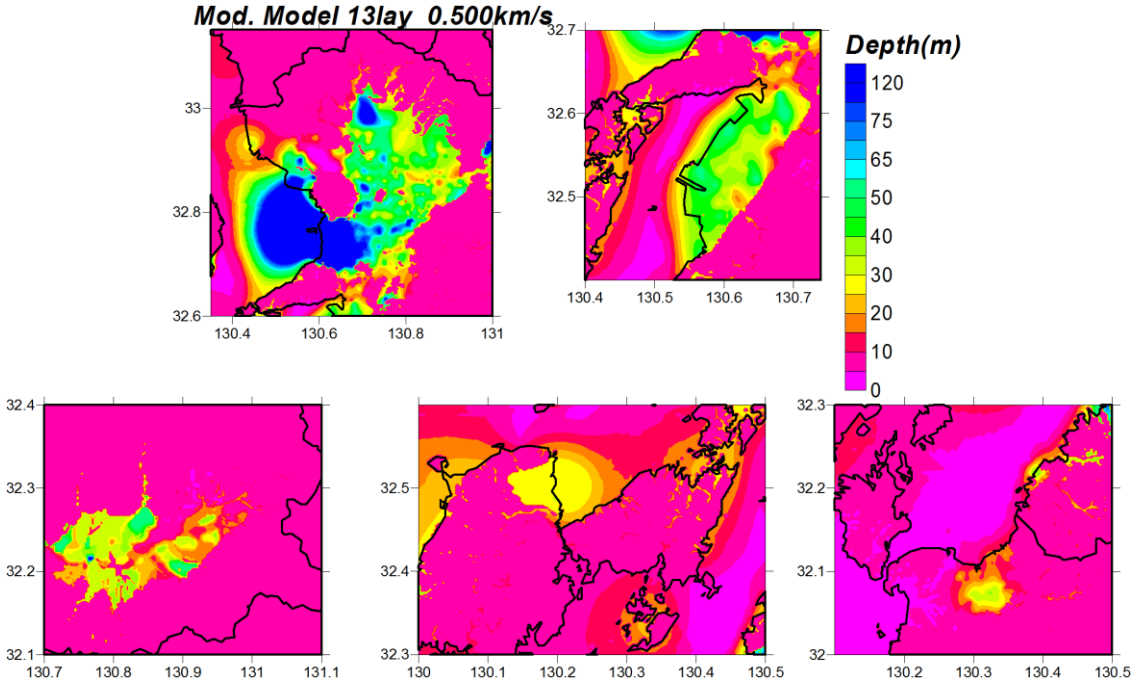


図100　S 波速度500 m/s層上面深度

9）震源断層モデルと強震動予測

a）震源断層モデル設定

2016 年熊本地震では布田川断層帯布田川区間が活動したとされ、日奈久断層帯高野－白旗区間の一部に地表地震断層が観察されている。布田川断層帯では、宇土区間と宇土半島北岸区間が連動するシナリオを設定した。この際、宇土区間については、本調査観測で行われた反射法地震探査（文部科学省研究開発局・九州大学，2017）および宇土区間の反射法地震探査（国立研究開発法人産業技術総合研究所，2016)を参考に、地震本部での評価位置に対して約１km 北側に移動させて設定した。

日奈久断層帯に対しては、高野－白旗区間の一部に地表地震断層が生じたが、高野－白旗区間、日奈久区間北部、日奈久区間南部、八代海区間北部、八代海区間南部の５区間をモデル化し、全体が活動するシナリオを設定した。なお、この中で、日奈久区間南部に対しては、この地域の熊本地震後の地震活動の特徴から、西傾斜（傾斜角 50 度）の震源断層面と、ほぼ鉛直（傾斜角 90 度）の断面の２つのモデル設定をした。これらを以下(1)～(2)に再掲する。

(1) 布田川断層帯:宇土区間及び宇土半島北岸区域。傾斜角は2016年熊本地震を踏まえ、北傾斜65度。

(2) 日奈久断層帯：高野 - 白旗区間から八代海区間まで。傾斜角は、高野－白旗区間は西傾斜62度、日奈久区間北部は西傾斜60度、八代海区間北部南部は東傾斜70度、日奈久区間南部が西傾斜50度の震源断層モデル。以降、日奈久断層帯（１）とする。

(3) 日奈久断層帯：高野 - 白旗区間から八代海区間まで。ただし、日奈久区間南部が傾斜角90度とし、他は(2)と同じ傾斜角の震源断層モデル。以降、日奈久断層帯（２）とする。

これらの震源断層の位置を図 101 に示す。震源断層は地震発生層情報から、深さ３km から 18km に設定した。アスペリティ位置は各区間の震源断層の中央を基本とした。すべり角は、サブテーマ２で実施された微小地震のメカニズム解析から得られた応力軸の方向に対して、設定した震源断層面に対してもっともすべりやすい角度をすべり角として設定することとし、各区間の震源断層での平均値と標準偏差を使い、空間的にゆらぎのあるすべり角を与えることとした。地震シナリオとして、破壊開始点は、破壊伝播の差が強く出ると考えられる、震源断層モデルの両端のアスペリティから破壊を開始する場合の２ケースを設定し、３震源断層モデル×２破壊開始点=６つの地震シナリオ計算を実施した。

布田川断層帯はレシピ（地震調査研究推進本部地震調査委員会，2017）の長期評価された地表の活断層長さ等から地震規模を設定し震源断層モデルを設定する場合の方法により、想定震源断層パラメータを設定した。一方、日奈久断層帯（１）（２）はレシピの過去の地震記録や調査結果などの諸知見を吟味・判断して震源断層モデルを設定する場合の方法により、想定震源断層パラメータを設定した。以下、布田川断層帯の震源断層パラメータ一覧（表 23)、震源断層モデル（図 102)、日奈久断層帯（１）の震源断層パラメータ一覧（表 24)、震源断層モデル（図 103)、日奈久断層帯（２）の震源断層パラメータ一覧（表 25)、震源断層モデル（図 104）を示す。

破壊開始点はレシピに従い以下のように設定した。布田川断層帯西破壊：破壊開始点を宇土半島北岸区間のアスペリティ中央下端に設定。布田川断層帯東破壊：宇土区間のアスペリティ中央下端に設定。日奈久断層帯（１）および（２）北破壊：高野白旗区間のアス

ペリティ下端南側に設定。日奈久断層帯（１）および南破壊：八代海区間南部のアスペリティ下端南側に設定。

破壊様式は以下のように設定した。破壊伝播速度はV_r = 0.72、V_S= 2.45 km/s とし、各区間内の破壊は同心円状に伝播すると仮定した。各区間の破壊開始深さは各区間アスペリティ下端深さに対応し、(震源断層全体の）破壊開始点に最も近い位置から破壊するものとする。各区間の破壊の連続性については、連続している（と見なすことのできる）区間に対しては破壊がそのまま伝播すると仮定し、区間の破壊開始点から次の区間側の横端部まで破壊が到達したとき、次の区間の破壊が始まる。この、連続と見なす区間は、日奈久断層帯の高野―白旗区間と日奈久区間北部、日奈久区間北部と日奈久区間南部（傾斜角50度の場合)、および八代海区間北部と八代海区間南部とした。連続していない区間は、一番近い区間の破壊が進んだ地点から射出されたS波が、次の区間の破壊開始（予定）点まで到達したときに破壊が開始するものとした。

また、ライズタイムはレシピに従いt_r = 0.5*W/V_rで設定した。ここで、Wは断層幅(km)、V_rは破壊伝播速度(km/s)とする。図105(a)～(f)に、各計算ケースの破壊様式の概要を示す。各区間の震源断層の計算に用いる要素断層（後述する統計的グリーン関数法の要素断層サイズは２km×２kmサイズ）に与えたすべり方向を、図106(a)～(h)に示した。各要素断層に記載されている赤線方向が平均値で、実際に与えたすべり方向は矢印方向となる。

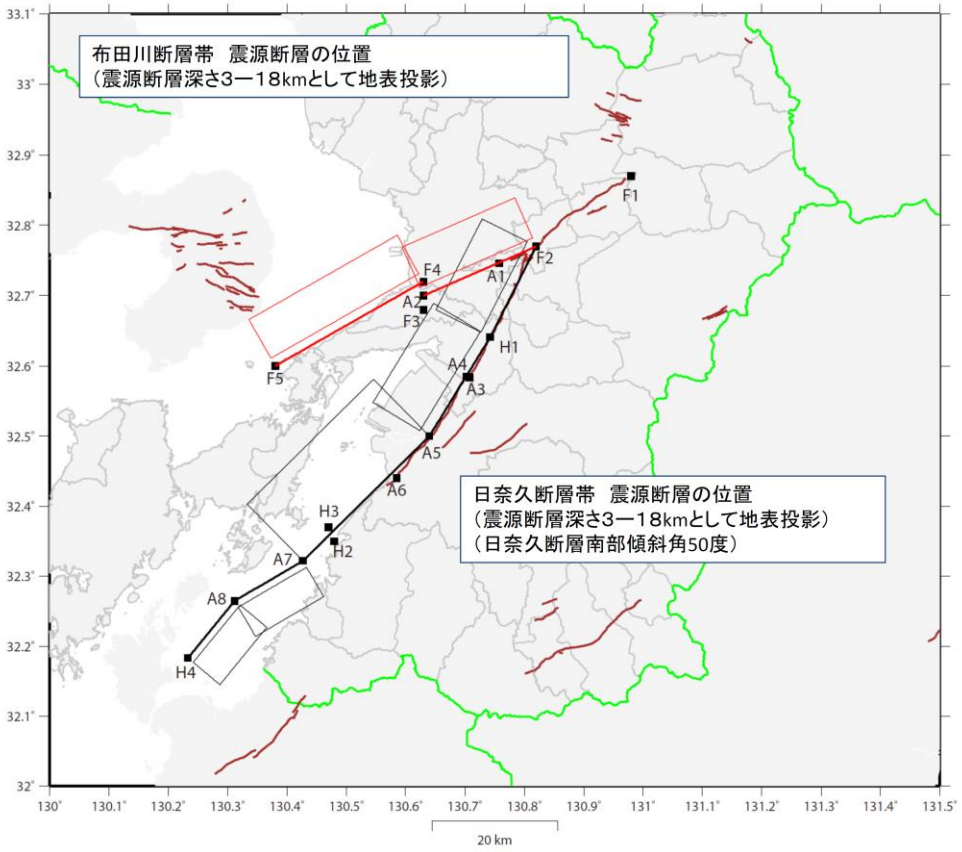


図 101　震源断層モデルの位置図（黒色矩形：日奈久断層帯、赤色矩形：布田川断層帯）細線が震源断層の地表投影、太線は単純化した活断層トレース(３．１(d)図 210 より)。

表 23　布田川断層帯の想定震源断層パラメータ

巨視的震源パラメータ		設定方法	設定値	
			宇土区間	宇土半島北岸区間
長さ L		宇土区間 19.4 km、宇土半島北岸区間 27.0 km	46.4 km	
マグニチュード M		$M = (\log L + 2.9) / 0.6$	7.6	
走向 θ			246.5°	240.5°
傾斜角 δ			65°	65°
すべり角 λ/標準偏差			-128°/21°	-128°/13°
断層モデル上端深さ			3 km	3 km
断層モデル長さ L_{model}			20 km	28 km
断層モデル幅 W_{model}			18 km	18 km
断層モデル面積 S_{model}		$S_{model} = L_{model} \times W_{model}$	360 km^2	504 km^2
			864 km^2	
地震モーメント M_0		$\log M_0 = 1.17 \cdot M + 10.72$	4.22E+19 Nm	
モーメントマグニチュード M_w		$M_w = (\log M_0 - 9.1) / 1.5$	7.0	
S波速度 β		地殻内の平均値	3.4 km	
密度 ρ		地殻内の平均値	2.70E+03 kg/m^3	
剛性率 μ		地殻内の平均値	3.12E+10 N/m^2	
静的応力降下量 $\Delta\sigma$		$\Delta\sigma = 7/16 \cdot (M_0 / R^3), R = (S_{model} / \pi)^{1/2}$	4.0 MPa	
平均すべり量 D_{model}		$D_{model} = M_0 / (\mu \cdot S_{model})$	1.6 m	
短周期レベル A		$A = 2.46 \cdot 10^{17} \times M_0^{1/3}$	1.84E+19 Nm/s^2	
微視的震源パラメータ				
全アスペリティ面積 S_a		$S_a = \pi r^2, r = (7\pi/4) \cdot \{M_0 / (A \cdot R)\}^{1/3}$	241.0 km^2	
全アスペリティ実効応力 σ_a		$\sigma_a = (S_{model} / S_a) \cdot \Delta\sigma$	14.3 MPa	
単位区間ごとの微視的パラメータ				
単位区間地震モーメント $M_{0\,seg}$		単位区間面積の1.5乗に比例して配分	1.59E+19 Nm	2.63E+19 Nm
単位区間平均すべり量 D_{seg}		$D_{seg} = M_{0\,seg} / (\mu \cdot S_{seg})$	1.4 m	1.7 m
全アスペリティ	面積 $S_{a\,seg}$	単位区間面積に比例して配分	100.4 km^2	140.6 km^2
	平均すべり量 $D_{a\,seg}$	$D_{a\,seg} = \gamma_D \cdot D_{seg}, \gamma_D = 2.0$	2.8 m	3.3 m
	実効応力 $\sigma_{a\,seg}$	$\sigma_{a\,seg} = \sigma_{a\,seg}$	14.3 MPa	14.3 MPa
	地震モーメント $M_{0a\,seg}$	$M_{0a\,seg} = \mu \cdot D_{a\,seg} \cdot S_{a\,seg}$	8.90E+18 Nm	1.47E+19 Nm
背景領域	面積 S_b	$S_b = S_{model} - S_a$	259.6 km^2	363.4 km^2
	平均すべり量 D_b	$D_b = M_{0b} / (\mu \cdot S_b)$	0.9 m	1.0 m
	実効応力 σ_b	$\sigma_b = (D_b / W_b) / (D_a / W_a) \cdot \sigma_a$	2.4 MPa	2.4 MPa
	地震モーメント M_b	$M_{0b} = M_{0\,seg} - M_{0a\,seg}$	7.00E+18 Nm	1.16E+19 Nm

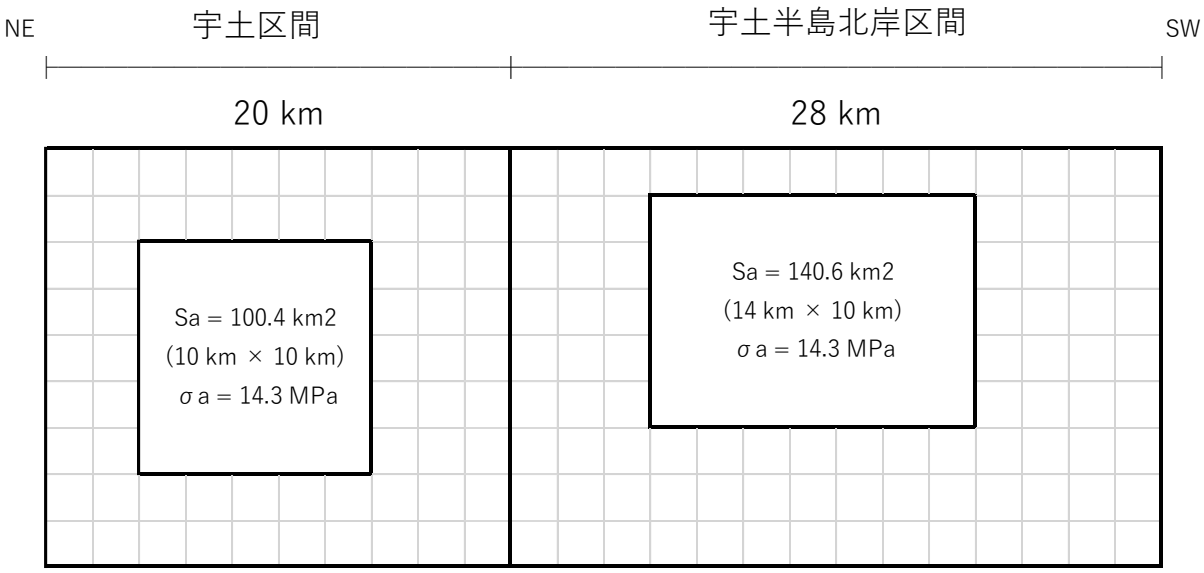


図 102　布田川断層帯の震源断層モデルとアスペリティ配置

表 24　日奈久断層帯（１）の想定震源断層パラメータ

巨視的震源パラメータ		設定方法	設定値				
			高野白旗区間	日奈久区間北部	日奈久区間南部	八代海区間北部	八代海区間南部
			16.1 km	18.4 km	28.2 km	12.5 km	11.8 km
長さ L			87 km				
マグニチュード M		M = (log L +2.9) / 0.6	8.1				
走向 θ			206.9°	211.7°	225.5°	59.7°	39.3°
傾斜角 δ			62°	60°	50°	70°	70°
すべり角 λ/標準偏差			175°/27°	-171°/20°	-146°/30°	-90°/25°	-90°/25°
断層モデル上端深さ			3 km	3 km	3 km	3 km	3 km
断層モデル長さ L_{model}			16 km	18 km	28 km	12 km	12 km
断層幅 W			17.0 km	17.3 km	19.6 km	16.0 km	16.0 km
断層モデル幅 W_{model}			18 km	18 km	20 km	16 km	16 km
断層モデル面積 S_{model}		$S_{model} = L_{model} \times W_{model}$	288 km^2	324 km^2	560 km^2	192 km^2	192 km^2
			1556.0 km^2				
地震モーメント M_0		$M_0 = (S/4.24\times10^{11})^2\times10^{-7}$ (入倉・三宅(2001))	1.35E+20 Nm				
モーメントマグニチュード M_w		M_w = (log M_0 - 9.1) / 1.5	7.4				
S波速度 β		地殻内の平均値	3.4 km				
密度 ρ		地殻内の平均値	2.70E+03 kg/m^3				
剛性率 μ		地殻内の平均値	3.12E+10 N/m^2				
静的応力降下量 $\Delta\sigma$		Fujii and Matsu'ura(2000)	3.1 MPa				
平均すべり量 D_{model}		$D_{model} = M_0 / (\mu \cdot S_{model})$	2.8 m				
短周期レベル A		$A = 2.46 \cdot 10^{17} \times M_0^{1/3}$	2.72E+19 Nm/s^2				
微視的震源パラメータ							
全アスペリティ面積 S_a		22 % (Somerville et al., 1999)	342.3 km^2				
全アスペリティ実効応力 σ_a		$\sigma_a = (S_{model} / S_a) \cdot \Delta\sigma$	14.1 MPa				
単位区間ごとの微視的パラメータ							
単位区間地震モーメント $M_{0\,seg}$		単位区間面積の1.5乗に比例して配分	2.25E+19 Nm	2.68E+19 Nm	6.09E+19 Nm	1.22E+19 Nm	1.22E+19 Nm
単位区間平均すべり量 D_{seg}		$D_{seg} = M_{0\,seg} / (\mu \cdot S_{seg})$	2.5 m	2.7 m	3.5 m	2.0 m	2.0 m
全アスペリティ	面積 $S_{a\,seg}$	22 % (Somerville et al., 1999)	63.4 km^2	71.3 km^2	123.2 km^2	42.2 km^2	42.2 km^2
	平均すべり量 $D_{a\,seg}$	$D_{a\,seg} = \gamma_D \cdot D_{seg}$, γ_D=2.0	5.0 m	5.3 m	7.0 m	4.1 m	4.1 m
	実効応力 $\sigma_{a\,seg}$	$\sigma_{a\,seg} = \sigma_{a\,seg}$	14.1 MPa	14.1 MPa	14.1 MPa	14.1 MPa	14.1 MPa
	地震モーメント $M_{0a\,seg}$	$M_{0a\,seg} = \mu \cdot D_{a\,seg} \cdot S_{a\,seg}$	9.90E+18 Nm	1.18E+19 Nm	2.68E+19 Nm	5.40E+18 Nm	5.40E+18 Nm
背景領域	面積 S_b	$S_b = S_{model} - S_a$	224.6 km^2	252.7 km^2	436.8 km^2	149.8 km^2	149.8 km^2
	平均すべり量 D_b	$D_b = M_{0b} / (\mu \cdot S_b)$	1.8 m	1.9 m	2.5 m	1.5 m	1.5 m
	実効応力 σ_b	$\sigma_b = (D_b / W_b) / (D_a / W_a) \cdot \sigma_a$	2.2 MPa	2.2 MPa	2.0 MPa	2.5 MPa	2.5 MPa
	地震モーメント M_b	$M_{0b} = M_{0\,seg} - M_{0a\,seg}$	1.26E+19 Nm	1.50E+19 Nm	3.41E+19 Nm	6.80E+18 Nm	6.80E+18 Nm

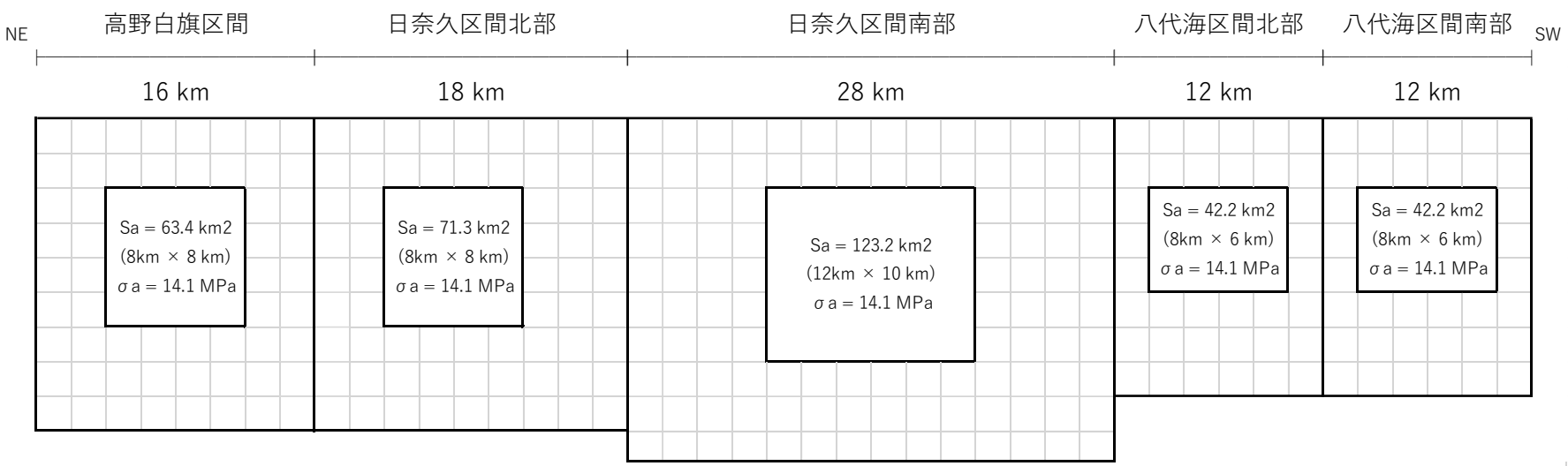


図 103　日奈久断層帯（１）の震源断層モデルとアスペリティ配置

表 25　日奈久断層帯（２）の想定震源断層パラメータ

巨視的震源パラメータ		設定方法	設定値				
			高野白旗区間	日奈久区間北部	日奈久区間南部	八代海区間北部	八代海区間南部
			16.1 km	18.4 km	28.2 km	12.5 km	11.8 km
長さ L			87 km				
マグニチュード M		M = (log L +2.9) / 0.6	8.1				
走向 θ			206.9°	211.7°	225.5°	59.7°	39.3°
傾斜角 δ			62°	60°	90°	70°	70°
すべり角 λ/標準偏差			175°/27°	-171°/20°	180°/17°	-90°/25°	-90°/25°
断層モデル上端深さ			3 km	3 km	3 km	3 km	3 km
断層モデル長さ L_{model}			16 km	18 km	28 km	12 km	12 km
断層幅 W			17.0 km	17.3 km	15.0 km	16.0 km	16.0 km
断層モデル幅 W_{model}			18 km	18 km	16 km	16 km	16 km
断層モデル面積 S_{model}		$S_{model} = L_{model} \times W_{model}$	288 km^2	324 km^2	448 km^2	192 km^2	192 km^2
			1444.0 km^2				
地震モーメント M_0		$M_0 = (S/4.24\times10^{11})^2\times10^{-7}$ (入倉・三宅(2001))	1.16E+20 Nm				
モーメントマグニチュード M_w		M_w = (log M_0 - 9.1) / 1.5	7.3				
S波速度 β		地殻内の平均値	3.4 km				
密度 ρ		地殻内の平均値	2.70E+03 kg/m^3				
剛性率 μ		地殻内の平均値	3.12E+10 N/m^2				
静的応力降下量 $\Delta\sigma$		Fujii and Matsu'ura(2000)	3.1 MPa				
平均すべり量 D_{model}		$D_{model} = M_0 / (\mu \cdot S_{model})$	2.6 m				
短周期レベル A		$A = 2.46 \cdot 10^{17} \times M_0^{1/3}$	2.58E+19 Nm/s^2				
微視的震源パラメータ							
全アスペリティ面積 S_a		22 % (Somerville et al., 1999)	317.7 km^2				
全アスペリティ実効応力 σ_a		$\sigma_a = (S_{model} / S_a) \cdot \Delta\sigma$	14.1 MPa				
単位区間ごとの微視的パラメータ							
単位区間地震モーメント $M_{0\,seg}$		単位区間面積の1.5乗に比例して配分	2.22E+19 Nm	2.65E+19 Nm	4.31E+19 Nm	1.21E+19 Nm	1.21E+19 Nm
単位区間平均すべり量 D_{seg}		$D_{seg} = M_{0\,seg} / (\mu \cdot S_{seg})$	2.5 m	2.6 m	3.1 m	2.0 m	2.0 m
全アスペリティ	面積 $S_{a\,seg}$	22 % (Somerville et al., 1999)	63.4 km^2	71.3 km^2	98.6 km^2	42.2 km^2	42.2 km^2
	平均すべり量 $D_{a\,seg}$	$D_{a\,seg} = \gamma_D \cdot D_{seg}$, γ_D=2.0	4.9 m	5.2 m	6.2 m	4.0 m	4.0 m
	実効応力 $\sigma_{a\,seg}$	$\sigma_{a\,seg} = \sigma_{a\,seg}$	14.1 MPa	14.1 MPa	14.1 MPa	14.1 MPa	14.1 MPa
	地震モーメント $M_{0a\,seg}$	$M_{0a\,seg} = \mu \cdot D_{a\,seg} \cdot S_{a\,seg}$	9.80E+18 Nm	1.17E+19 Nm	1.90E+19 Nm	5.30E+18 Nm	5.30E+18 Nm
背景領域	面積 S_b	$S_b = S_{model} - S_a$	224.6 km^2	252.7 km^2	349.4 km^2	149.8 km^2	149.8 km^2
	平均すべり量 D_b	$D_b = M_{0b} / (\mu \cdot S_b)$	1.8 m	1.9 m	2.2 m	1.5 m	1.5 m
	実効応力 σ_b	$\sigma_b = (D_b / W_b) / (D_a / W_a) \cdot \sigma_a$	2.2 MPa	2.2 MPa	2.5 MPa	2.5 MPa	2.5 MPa
	地震モーメント M_b	$M_{0b} = M_{0\,seg} - M_{0a\,seg}$	1.24E+19 Nm	1.48E+19 Nm	2.41E+19 Nm	6.80E+18 Nm	6.80E+18 Nm

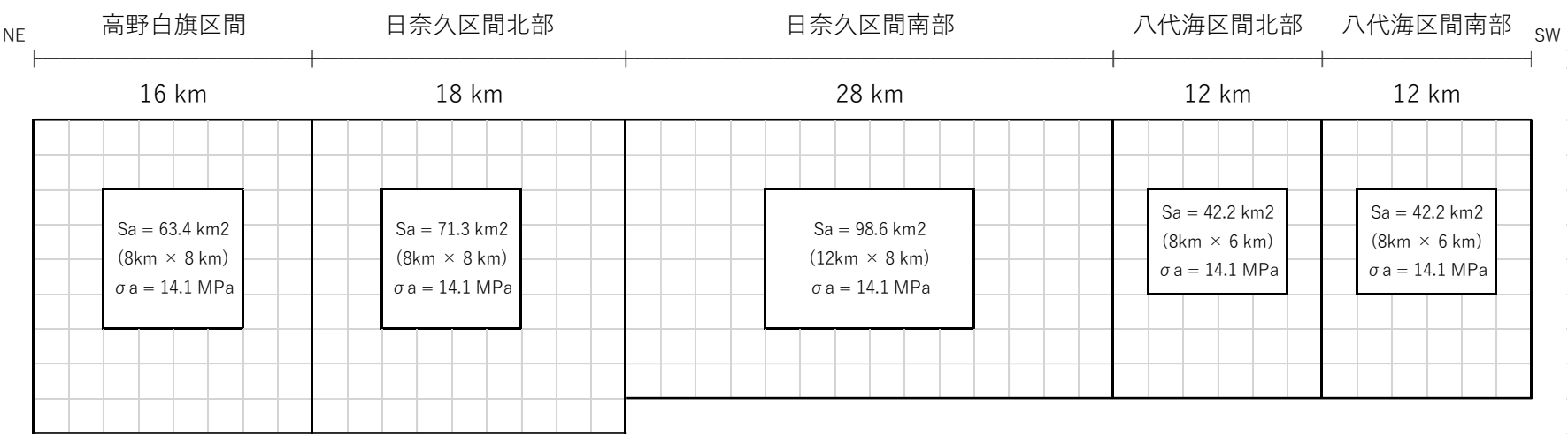


図 104　日奈久断層帯（２）の震源断層モデルとアスペリティ配置

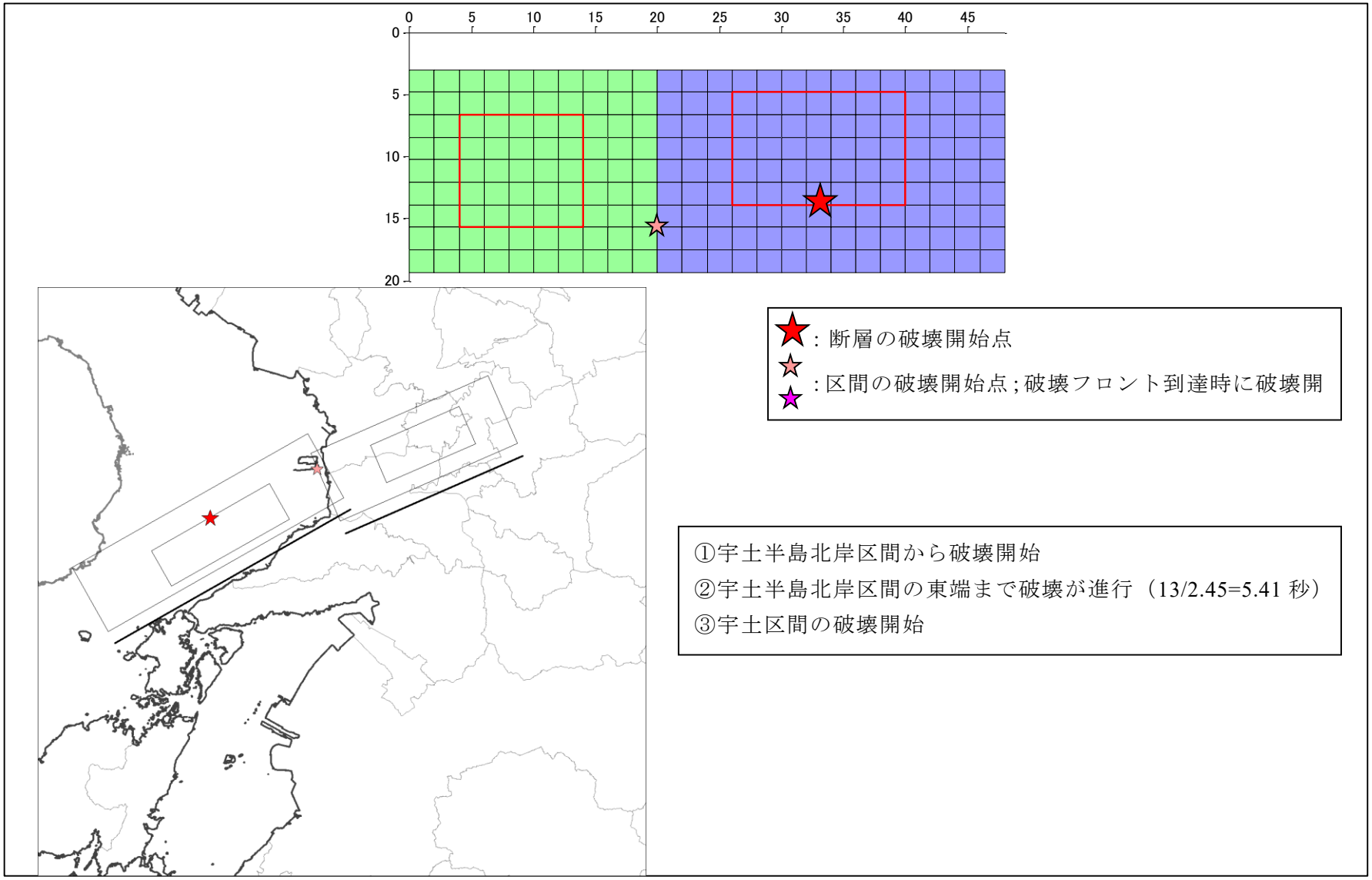


図 105(a)　布田川断層帯西破壊の破壊様式

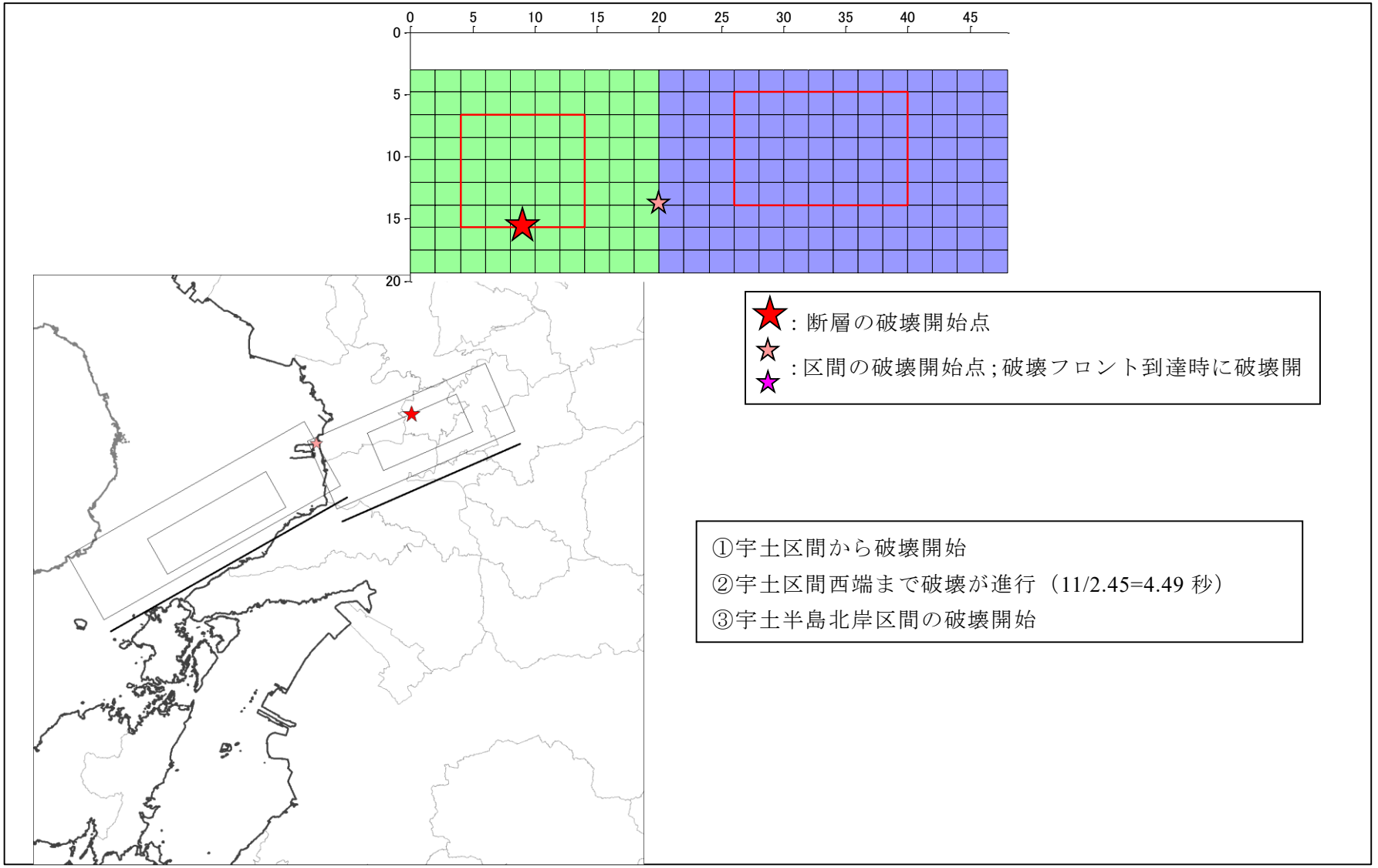


図 105(b)　布田川断層帯東破壊の破壊様式

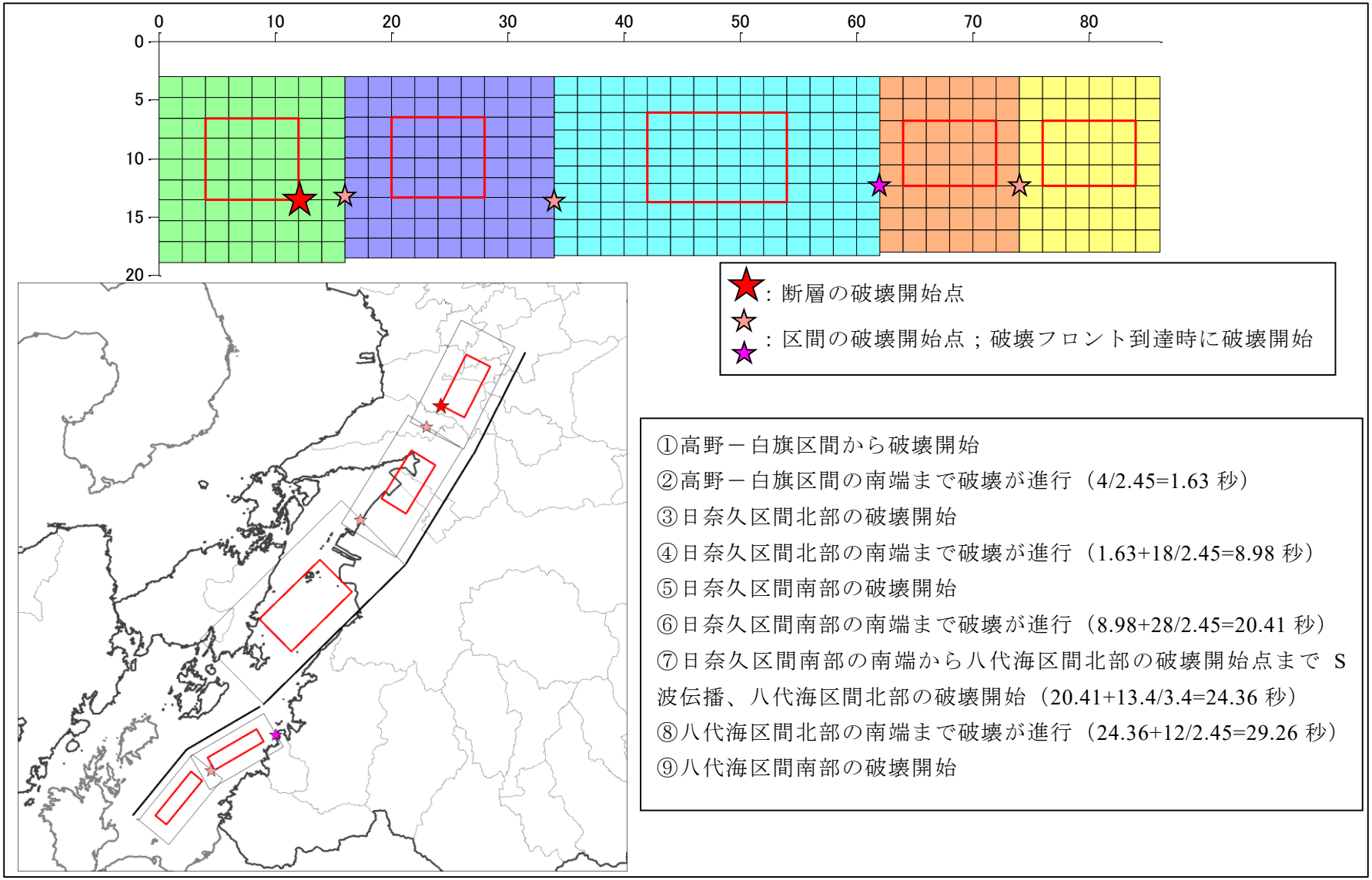


図 105(c)　日奈久断層帯（１）北破壊の破壊様式

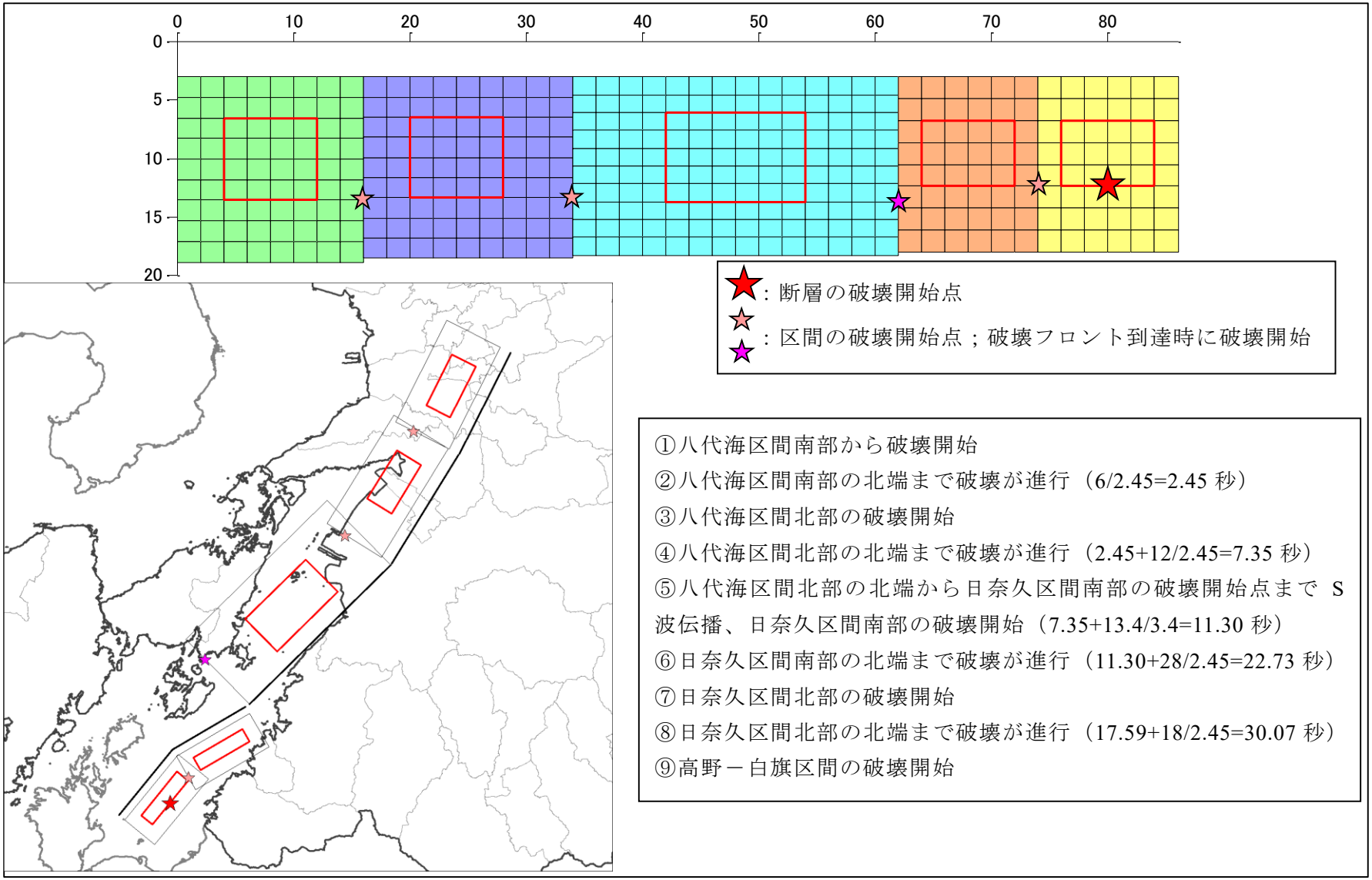


図 105(d)　日奈久断層帯（１）南破壊の破壊様式

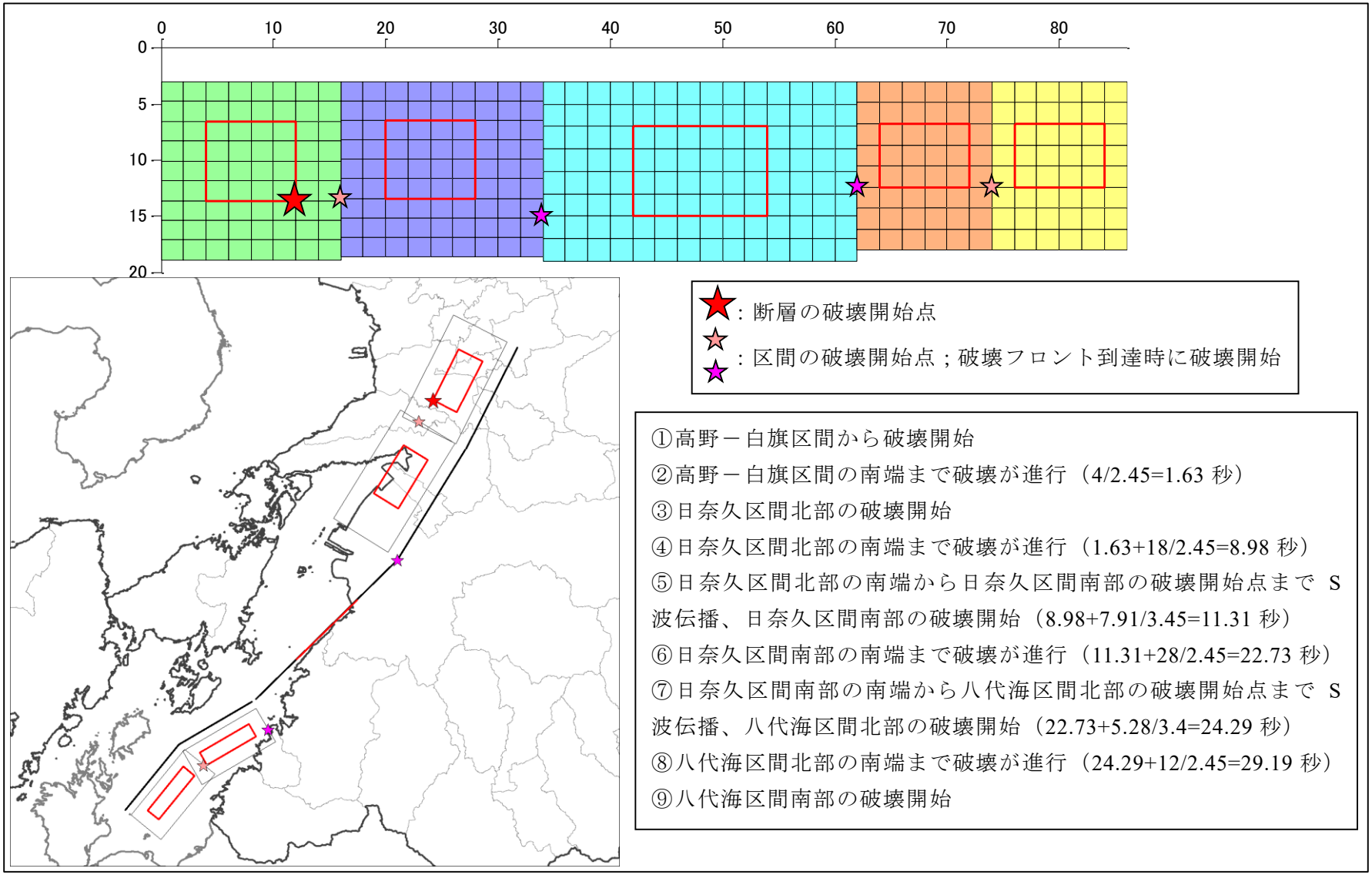


図 105(e)　日奈久断層帯（２）北破壊の破壊様式

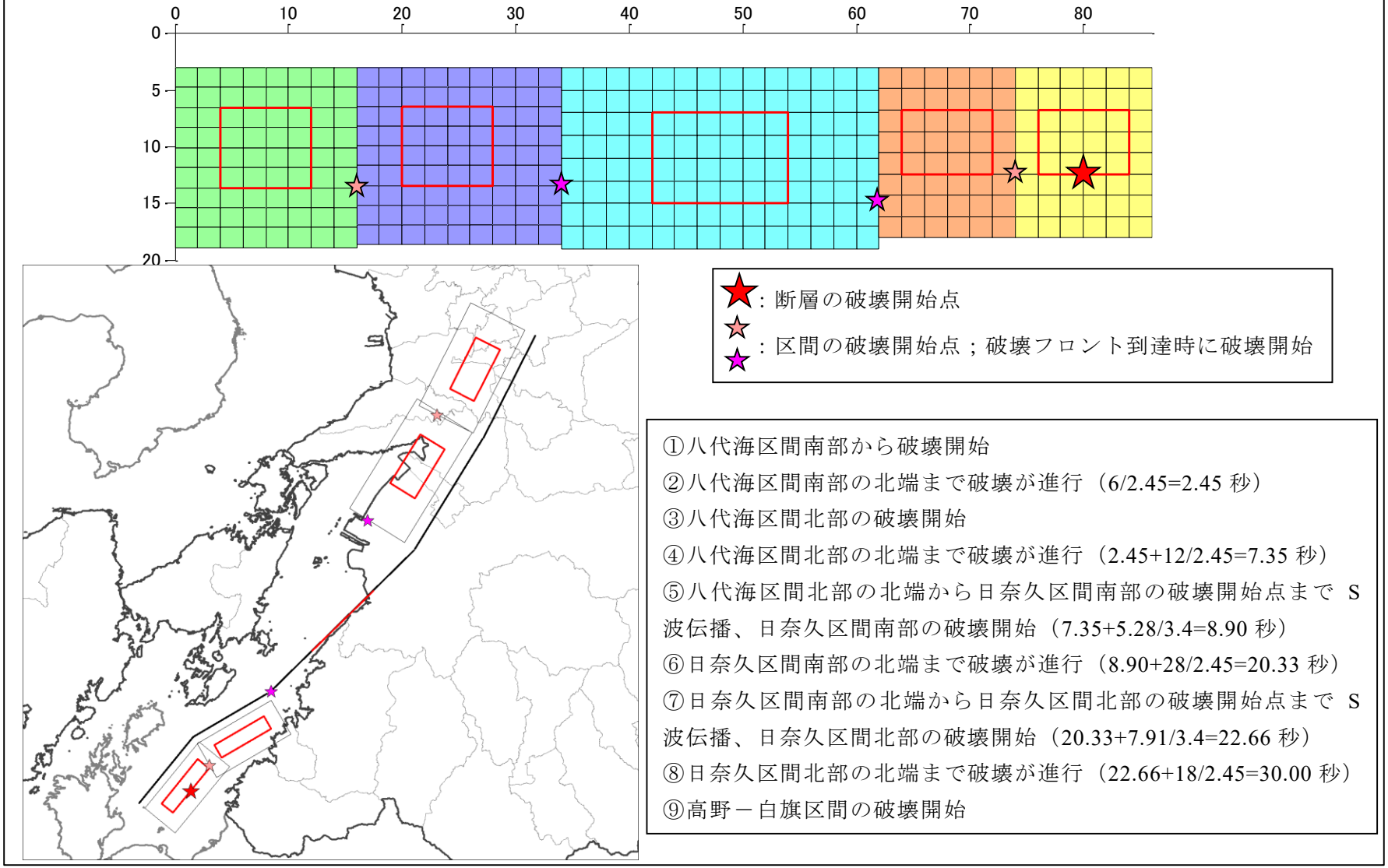


図 105(f)　日奈久断層帯（２）南破壊の破壊様式

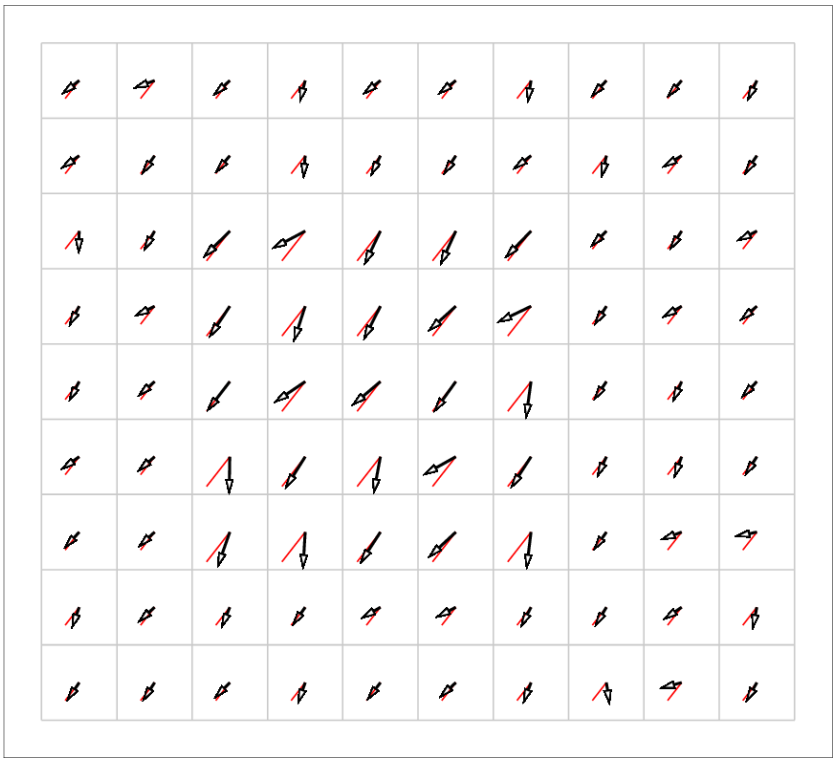


図 106(a)　布田川断層帯宇土区間震源断層のすべり角（平均-128 度　標準偏差 21 度)。赤線は３．２(2)b)9) 布田川・日奈久断層帯における震源断層モデルの推定、によって推定された各断層面での最適なすべり方向を示し、矢印が地震動計算に用いる震源断層モデルのすべり方向を表す。

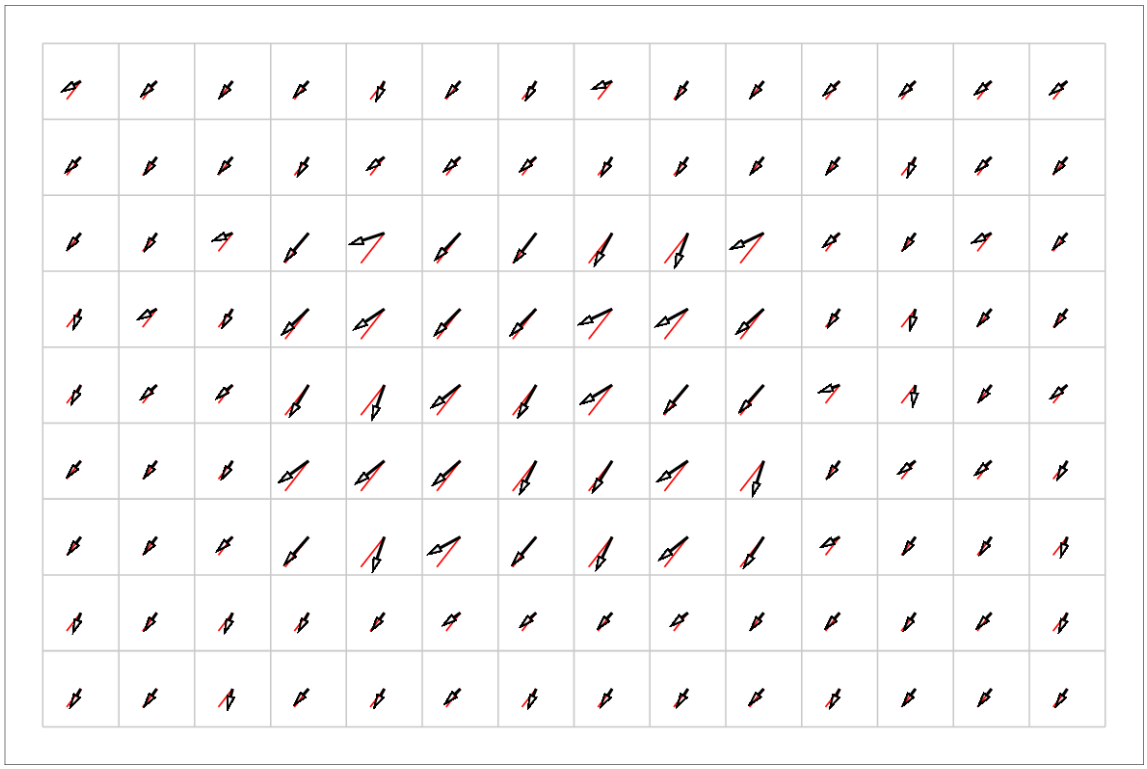


図 106(b)　布田川断層帯宇土半島北岸区間震源断層のすべり角（平均-128 度　標準偏差 13 度)。赤線、黒矢印は図 106(a)説明に準じる。

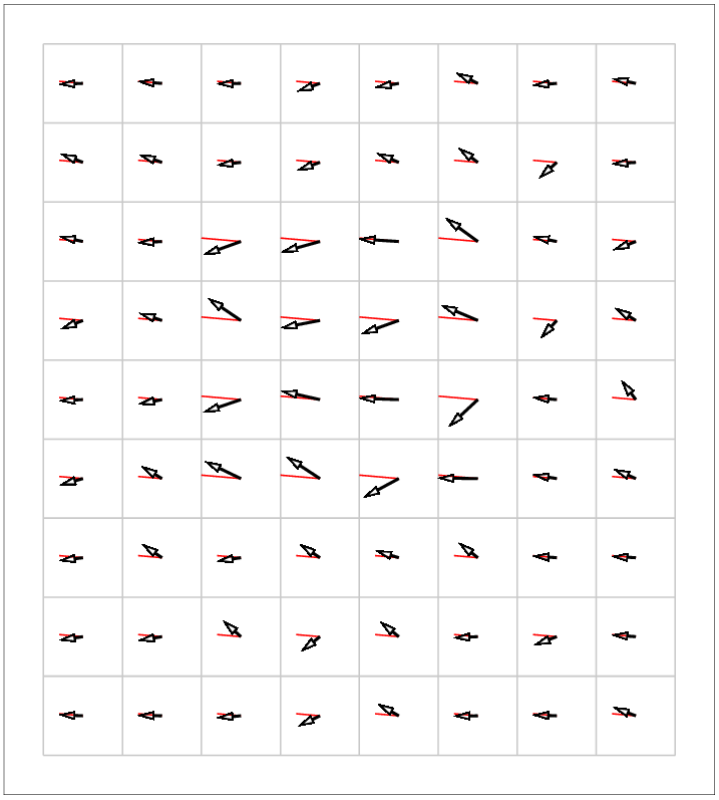


図 106(c)　日奈久断層帯高野－白旗区間震源断層のすべり角（平均 175 度　標準偏差 27 度）。赤線、黒矢印は図 106(a)説明に準じる。

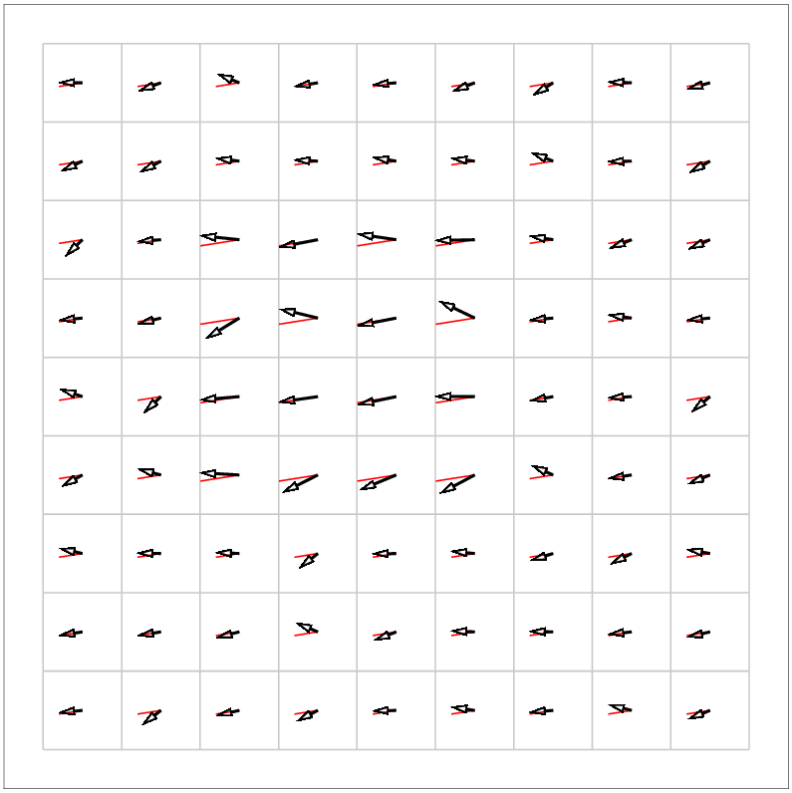


図 106(d)　日奈久断層日奈久区間北部震源断層のすべり角（平均-171 度　標準偏差 20 度）。赤線、黒矢印は図 106(a)説明に準じる。

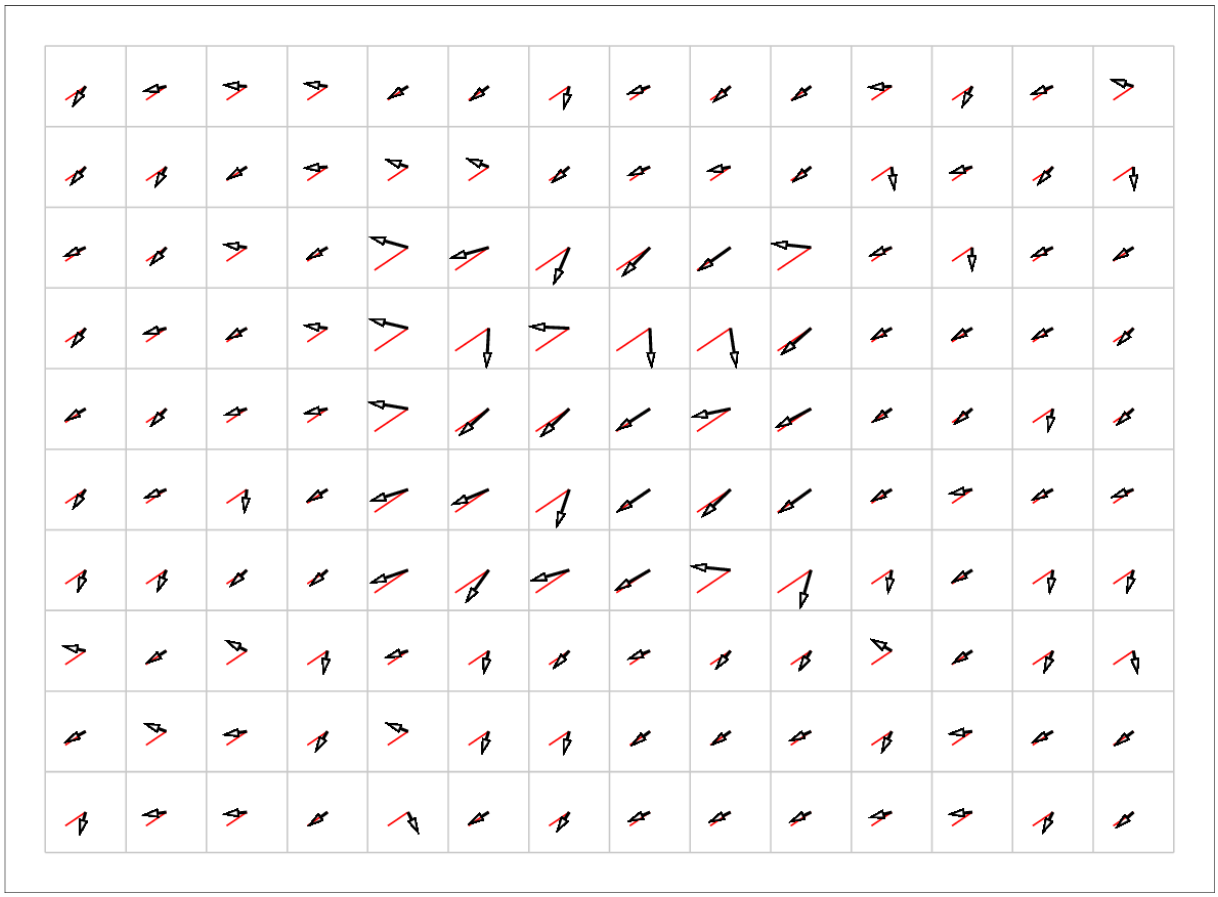


図 106(e)　日奈久断層日奈久区間南部（傾斜 50 度の場合）の震源断層のすべり角（平均-146 度　標準偏差 30 度)。赤線、黒矢印は図 106(a)説明に準じる。

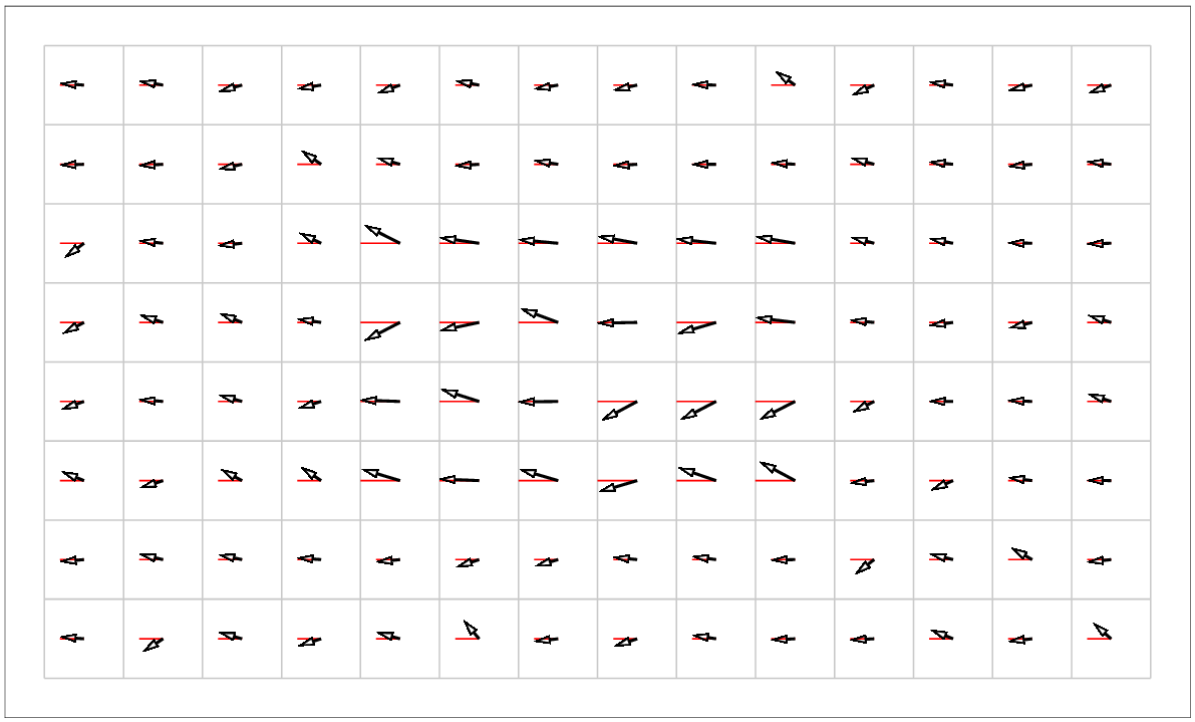


図 106(f)　日奈久断層日奈久区間南部（傾斜 90 度の場合）の震源断層のすべり角（平均 180 度　標準偏差 17 度)。赤線、黒矢印は図 106(a)説明に準じる。

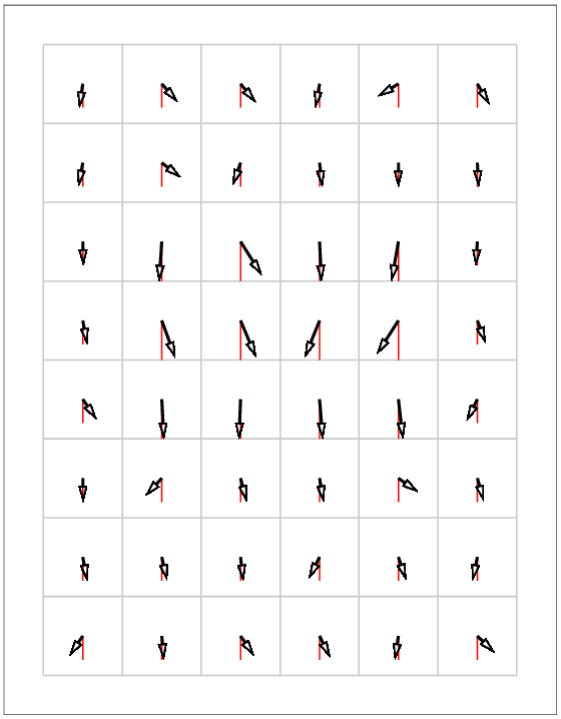


図 106(g)　日奈久断層八代海区間北部震源断層のすべり角(平均-90 度　標準偏差 25 度)。赤線、黒矢印は図 106(a)説明に準じる。

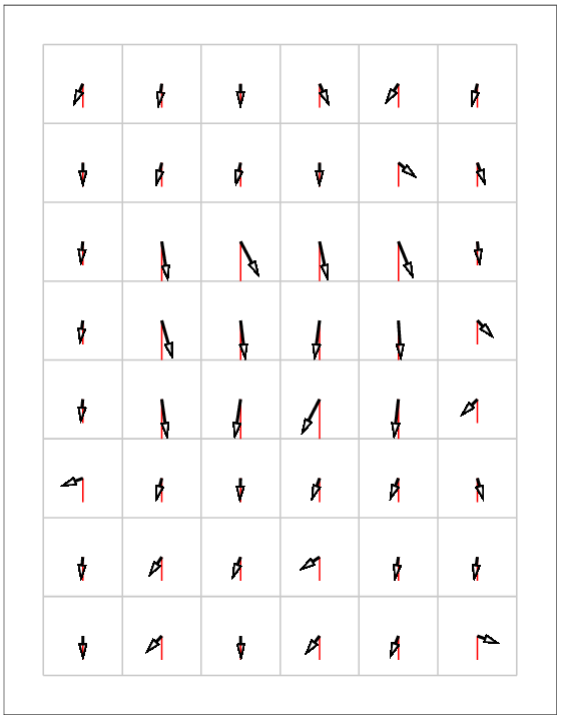


図 106(h)　日奈久断層八代海区間南部震源断層のすべり角（平均-90 度　標準偏差 25 度)。赤線、黒矢印は図 106(a)説明に準じる。

b）計算領域および統計的グリーン関数による地震動計算

地震動計算の領域について説明する。震源断層の近傍にあたる強い揺れに見舞われる地域、熊本平野や八代平野を中心とした地域を「詳細地域」とよび、熊本県全域及び鹿児島県出水周辺、長崎県雲仙周辺を含む地域を「広域」と呼んで、モデルおよび震動強さに関係し、強震動予測に用いる方法を変えて計算することとした。「詳細地域」と「広域」の領域の凡その領域の微地形区分を図 107 に示す。

両地域とも、高周波数側は統計的グリーン関数法、低周波数側は差分法を用いるが、開放基盤面の取り扱いや浅部地盤応答の取り扱いを変えている。表 26 にこれらの違いをまとめた。ここでは、高周波数側の計算に用いる統計的グリーン関数について説明し、「詳細地域」、「広域」それぞれの工学的基盤面での速度分布を得るところまでを示す。

表層地盤モデルを設定した「詳細地域」については、Vs300 m/s を工学的基盤とし、250 m メッシュ単位で計算を行った。また、「広域」については、Vs600 m/s を工学的基盤とし、1 km メッシュ単位で計算を行った。

統計的グリーン関数は、Boore(1983)の加速度振幅スペクトルおよび佐藤・他 (1994)の包絡関数を用い、地震基盤における要素波を SV 波、SH 波それぞれについて求め、入倉・他(1997)による方法で波形合成を行った。ここで、地震基盤から工学的基盤までの地盤増幅は、各地点の 1 次元地盤構造モデルに SV 波、SH 波斜め入射を行って工学的基盤面上での震動を求め、座標回転により NS 成分、EW 成分、UD 成分の 3 成分の波形を求めた。なお、理論ラディエーション係数を算出するための射出角および非弾性減衰を算出するための走時については、球殻モデルによる計算値を用いた。以下に要素波の作成方法、波形合成の計算方法等について示す。

地震基盤における要素波の周波数 f [Hz]に関する加速度振幅スペクトル $A(f)$ を設定する。

$$A(f)=\frac{R_{\theta\phi}(f)}{4\pi\rho\beta^3}\cdot\frac{M_0\cdot(2\pi f)^2}{1+\left(\frac{f}{f_c}\right)^2}\cdot\frac{1}{[1+(f/f_{\max})^{2s}]^{\frac{1}{2}}}\cdot\frac{\exp(-\pi f t_t/Q)}{R}\cdot\sqrt{\frac{\rho\beta}{\rho_b\beta_b}}$$

ここで、 $R_{\theta\phi}$ はラディエーション係数、 $\rho[\mathrm{kg/m^3}]$ および β は震源における密度およびS波速度を表す。 $M_0[\mathrm{N\cdot m}]$ は地震モーメント、 $f_c[\mathrm{Hz}]$ はコーナー周波数であり、$f_{\max}[\mathrm{Hz}]$ はハイカットフィルターの遮断周波数を表し、係数 s はフィルターの次数を表す。 Q は伝播経路のおける減衰定数、 $t_t[\mathrm{s}]$ および $R[\mathrm{km}]$ はそれぞれ、震源からサイト直下の地震基盤までの走時および距離を表す。また、ρ_b,β_b はそれぞれ、地震基盤における密度およびＳ波速度である。ここでは染井・他(2018)を参考に伝播経路 $Q=62.5f^{0.83}$ とした。高周波遮断周波数 $f_{\max}$ は６Hzに設定し、次数 s は２を用いた。また、コーナー周波数 f_c は Brune(1970)に基づき、次式で算出した。

$$f_c=4.9\times10^6\beta(\Delta\sigma/M_0)^{1/3}$$

$A(f)$で与えられる振幅スペクトル特性に一様乱数で位相を与え、佐藤・他(1994)による包

絡関数を考慮し、地震基盤における要素波を作成した。

次に、ラディエーション係数 $R_{\theta\phi}(f)$ について、低周波数では理論放射係数$R_{\theta\phi 0}$ 、高周波数では平均化された放射係数 $R_{\theta\phi m}$ となるように、次式の香川(2004)による方法を用いた。

$$R_{\theta\phi} = \frac{(\log(f_2) - \log(f))R_{\theta\phi 0} + (\log(f) - \log(f_1))R_{\theta\phi m}}{\log(f_2) - \log(f_1)}$$

ここでは $f_1 = 0.25\text{Hz}, f_2 = 2\text{Hz}$ とし、高周波数での平均化された $R_{\theta\phi m}$ は大西・堀家(2004)により算出した。震源からサイト直下の地震基盤までの走時 t_t および射出角については、笠原(1985)を参考にした球殻モデルにより算出される値を用いた。球殻モデルのＳ波構造は、モホ面深さ M を32[km]、地表からの深さを H [km]として以下のように設定した。

$$\text{Vs} = 3.1 \times \left(\frac{R_0 - H}{R_0}\right)^{-60} \qquad H < M$$

$$\text{Vs} = 4.475 \times \left(\frac{R_0 - H}{R_0 - M}\right)^{-3} \qquad H \geq M$$

ここで、球殻モデルの半径 R_0 は6371[km]とした。

以上を基に、香川(2004)を参考に、積分による変位波形がベル型となるという条件を満たす波形を地震基盤における要素波として採用した。

工学的基盤面での波形合成では、前述のようにSV波、SH波それぞれに、サイト直下の地盤構造を用いた斜め入射による地盤増幅を考慮し、RadialおよびTransverse成分からNSおよびEW成分への座標回転を考慮した後、入倉・他(1997)による補正関数を用い波形合成を行った。

$$U(f) = \sum_{m}^{N_L}\sum_{n}^{N_W} e^{-i2\pi f t_{mn}} \left\{1 + \frac{1}{n'(1-e^{-1})} \sum_{k=1}^{(N_D-1)n'} e^{-\frac{k-1}{(N_D-1)n'}} e^{-i2\pi f \frac{(k-1)\tau}{(N_D-1)n'}}\right\} u_{mn}(f)$$

ここで、 $U(f)$ は波形合成後のサイトの加速度フーリエスペクトルであり、 $u_{mn}(f)$ は要素断層によるサイトの加速度フーリエスペクトルである。 t_{mn} は破壊開始時刻からサイトに到達するまでの時間であり、球殻モデルによる走時と破壊開始点から要素断層までの破壊伝播時間の和で表される。N_L, N_W, N_D はそれぞれ長さ方向、幅方向、すべり方向の分割数であり、 τ[s] はライズタイム、 n' は重ね合わせによる人工的な周期特性を有効周波数より高い周波数側に移動させる再分割数である。

統計的グリーン関数法の計算結果として、工学的基盤の震度および最大速度（水平２成分合成）を示す。「詳細地域」の各想定地震の計算結果を図108(a)～(f)に示す。布田川断層帯西破壊の計算結果（図108(a)）は、熊本平野、宇土半島北岸を中心に震度６強以上の領域が広がる。最大速度は宇土半島で150 cm/s 弱がとなる。布田川断層帯東破壊の計算結果（図108(b)）は、布田川断層帯西破壊よりやや小さく、熊本平野から宇土半島北東まで震度６強以上の領域が広がり、最大速度は宇土区間アスペリティ周辺で120 cm/s 程度である。日奈

久断層帯（１）北破壊の計算結果（図108(c)）は、熊本平野、八代平野で震度６強以上の領域が広がる。特に、日奈久区間北部のアスペリティ周辺で震度７の地点が多く見られる。最大速度は破壊の進行方向にあたる、高野－白旗区間のアスペリティ北東、日奈久区間北部のアスペリティ南東で大きく、最大で150 cm/s 強程度となる。日奈久断層帯（１）南破壊の震度分布（図108(d)）は、概ね日奈久断層帯（１）北破壊と同程度である。最大速度は、熊本平野に比べ八代平野が比較的小さい結果である。熊本平野で最大150 cm/s 程度がとなる。日奈久断層帯（２）北破壊の計算結果（図108(e)）は、日奈久断層帯（１）北破壊とほぼ同等である。日奈久断層帯（２）南破壊の震度分布（図108(f)）は、日奈久断層帯（１）南破壊とほぼ同等である。最大速度については、日奈久区間南部の違いにより、日奈久断層（２）南破壊の方が八代平野で大きい。

次に「広域」の計算結果を図109(a)～(f)に示す。布田川断層帯西破壊の計算結果（図109(a)）は、宇土半島北岸および熊本平野で震度６弱～６強の領域が広がる。最大速度は100 cm/s 程度である。布田川断層帯東破壊の計算結果（図109(b)）は、断層周辺では布田川断層西破壊に比べやや小さく、最大速度は100 cm/s 弱である。日奈久断層帯（１）北破壊の計算結果（図109(c)）は、熊本平野北東、八代平野周辺で震度６強以上の領域が広がり、最大速度は120 cm/s 程度である。日奈久断層帯（１）南破壊の震度分布（図109(d)）の傾向は、日奈久断層帯（１）北破壊と同様である。最大速度分布はやや異なり、熊本平野の西部まで大きい領域が広がる。日奈久断層帯（２）北破壊の計算結果（図109(e)）は、断層形状やメカニズムの異なる日奈久断層区間南部周辺以外は日奈久断層帯（１）北破壊の計算結果と同等である。日奈久断層帯（２）南破壊（図109(f)）も同様に、日奈久断層区間南部周辺以外は日奈久断層帯（２）北破壊の計算結果と同等である。

一般に「詳細地域」の最大速度値が「広域」より大きいのは、工学的基盤面の速度の設定が異なるためで、「詳細地域」のそれはVs300m/sに対して、「広域」はVs600m/sであることによる。同じ震源断層モデルで、破壊開始点が違うにも拘わらず、最大速度分布が似通っているのは、短周期側の評価には破壊伝播様式の違いが出にくいことと関係している可能性がある。

表 26　「詳細領域」と「広域」における工学的基盤速度情報と浅部モデルによる増幅評価の一覧

領域／計算方法	ハイブリッド工学的基盤速度	浅部構造の増幅評価と震度値
詳細領域	Vs300m/s	工学的基盤面波形を浅部地盤モデルに入力して等価線形法で地表波形を計算し、波形より計測震度を計算。
広域	Vs600m/s	工学的基盤面最大速度(PGV)から震度値に変換(藤本・翠川, 2005)。深さ 30ｍまでの平均Ｓ波速度値(AVS30)と震度増分の関係式（藤本・翠川,2005）を用いて地表震度を計算。

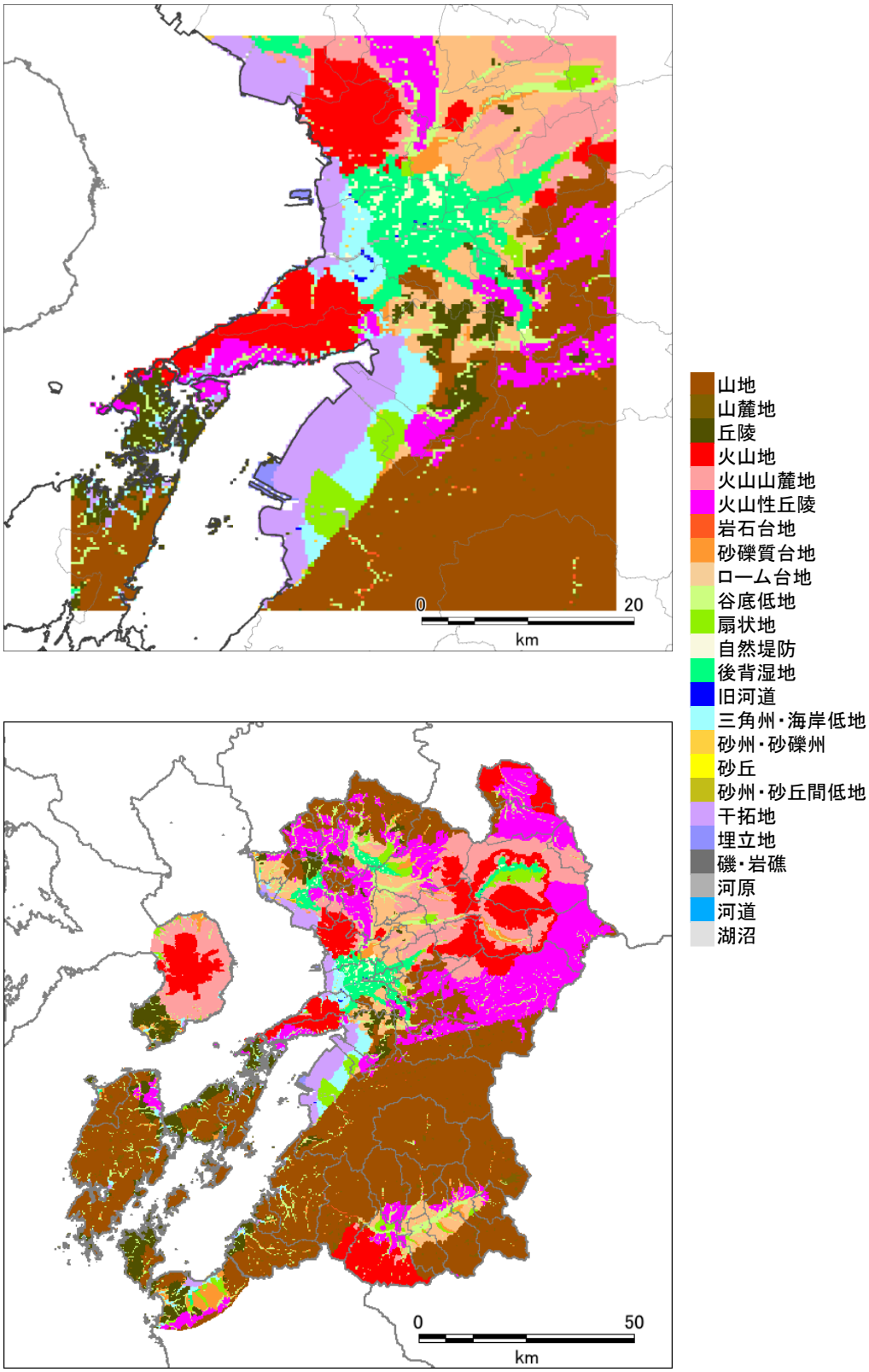


図 107　設定した計算範囲の微地形区分（若松・松岡，2013）。上図：「詳細地域」、下図：「広域」

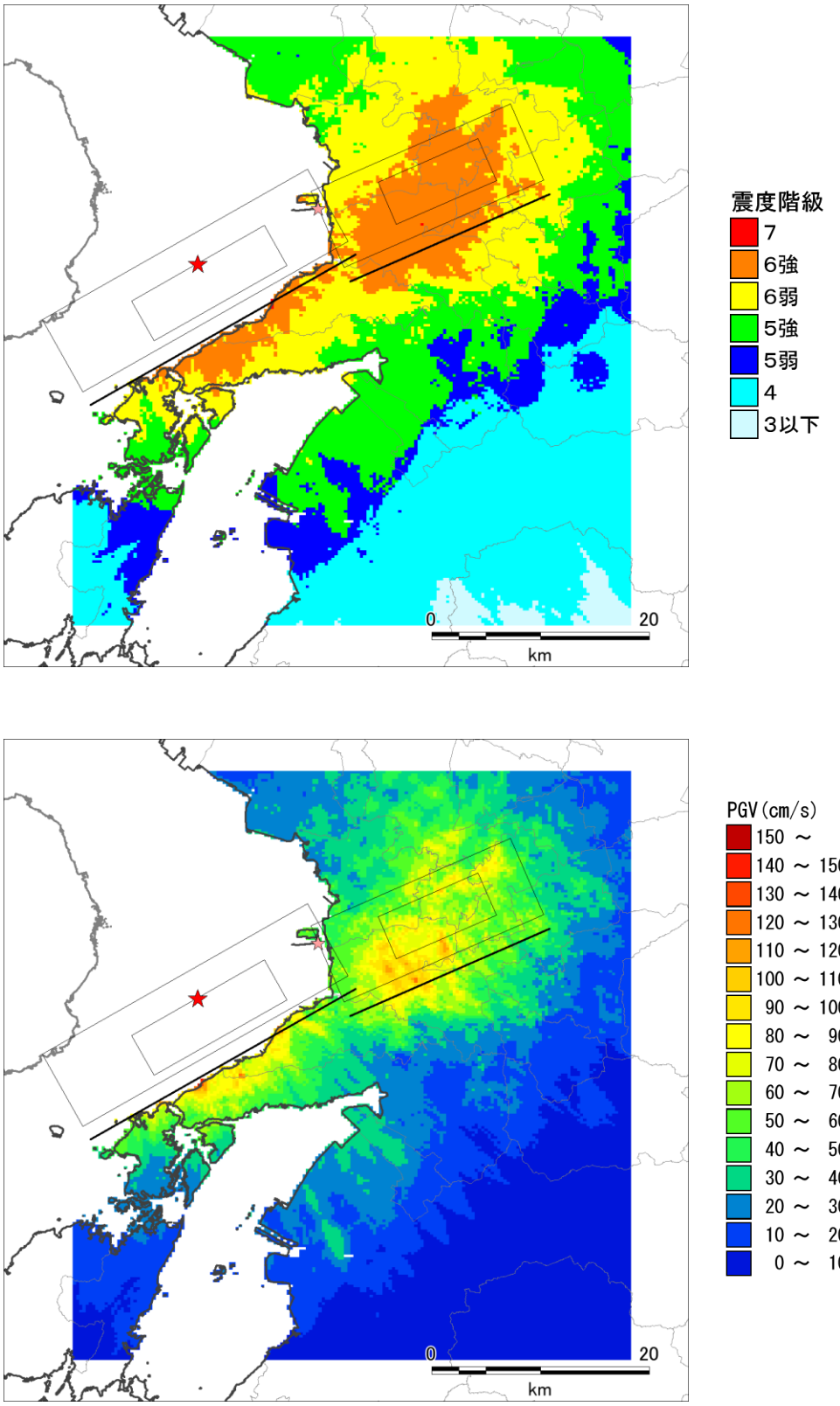


図 108(a)　布田川断層帯西破壊の（上）工学的基盤面震度分布、および（下）工学的基盤面最大速度分布

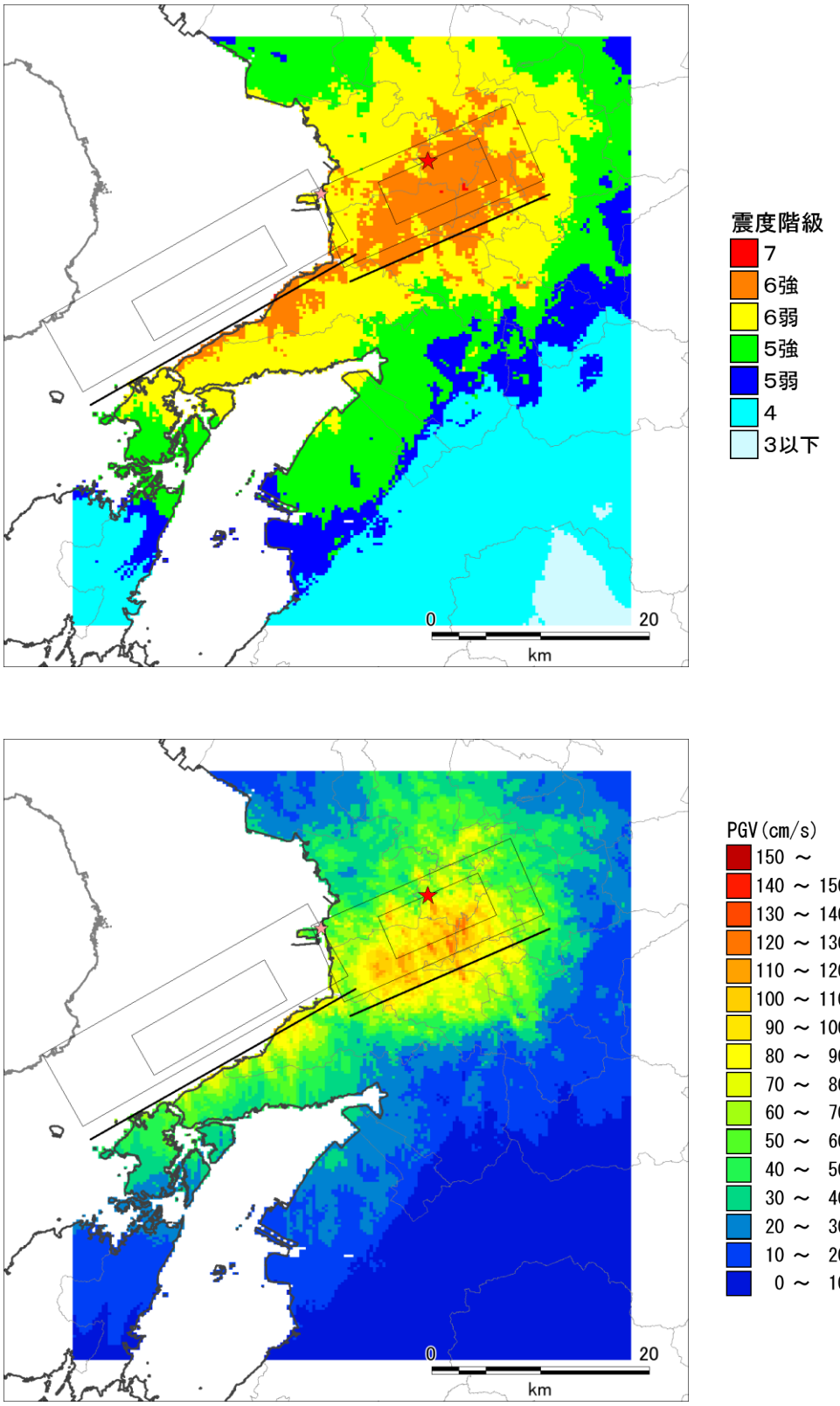


図 108(b)　布田川断層帯東破壊の（上）工学的基盤面震度分布、および（下）工学的基盤面最大速度分布

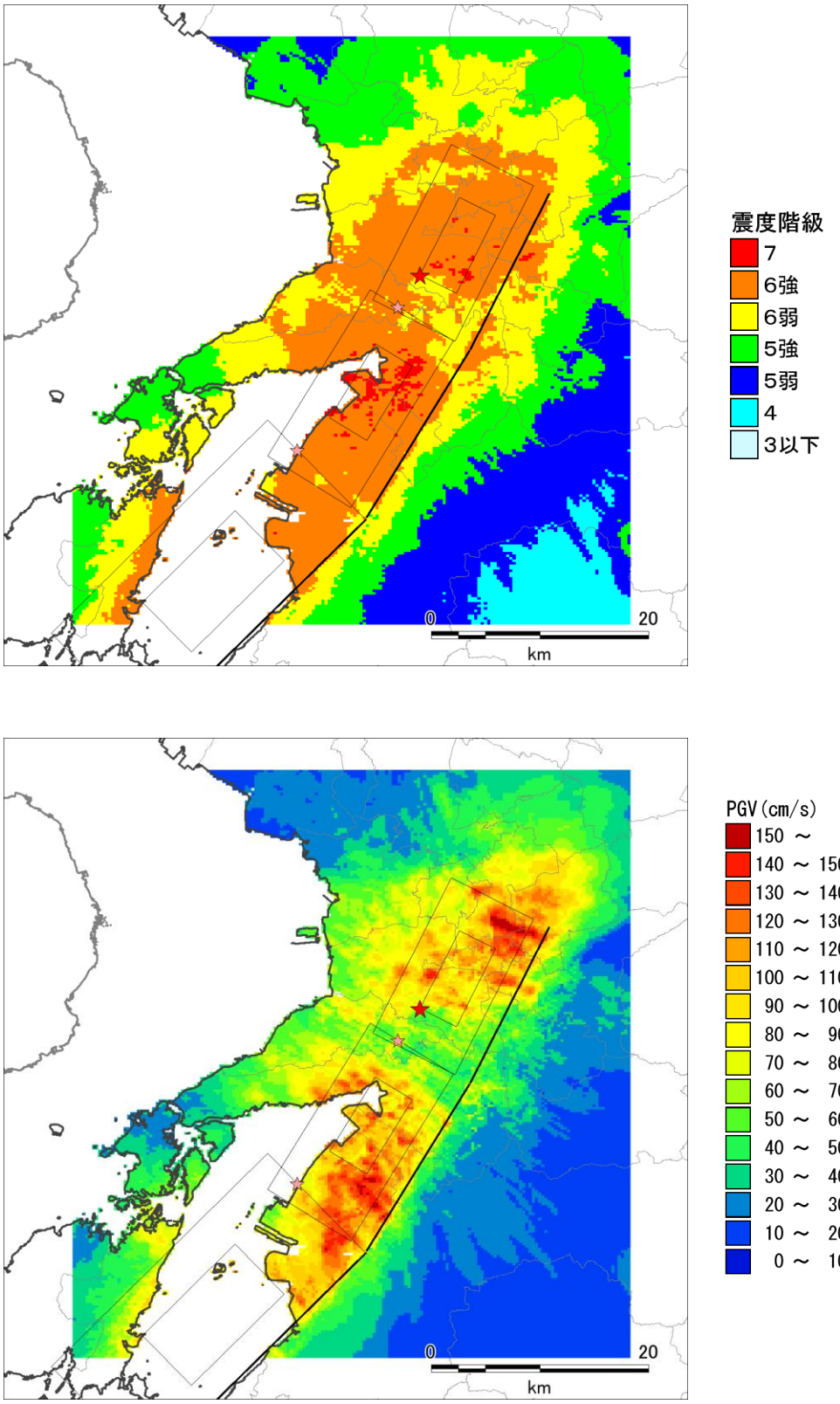


図 108(c)　日奈久断層帯（１）北破壊の（上）工学的基盤面震度分布、および（下）工学的基盤面最大速度分布

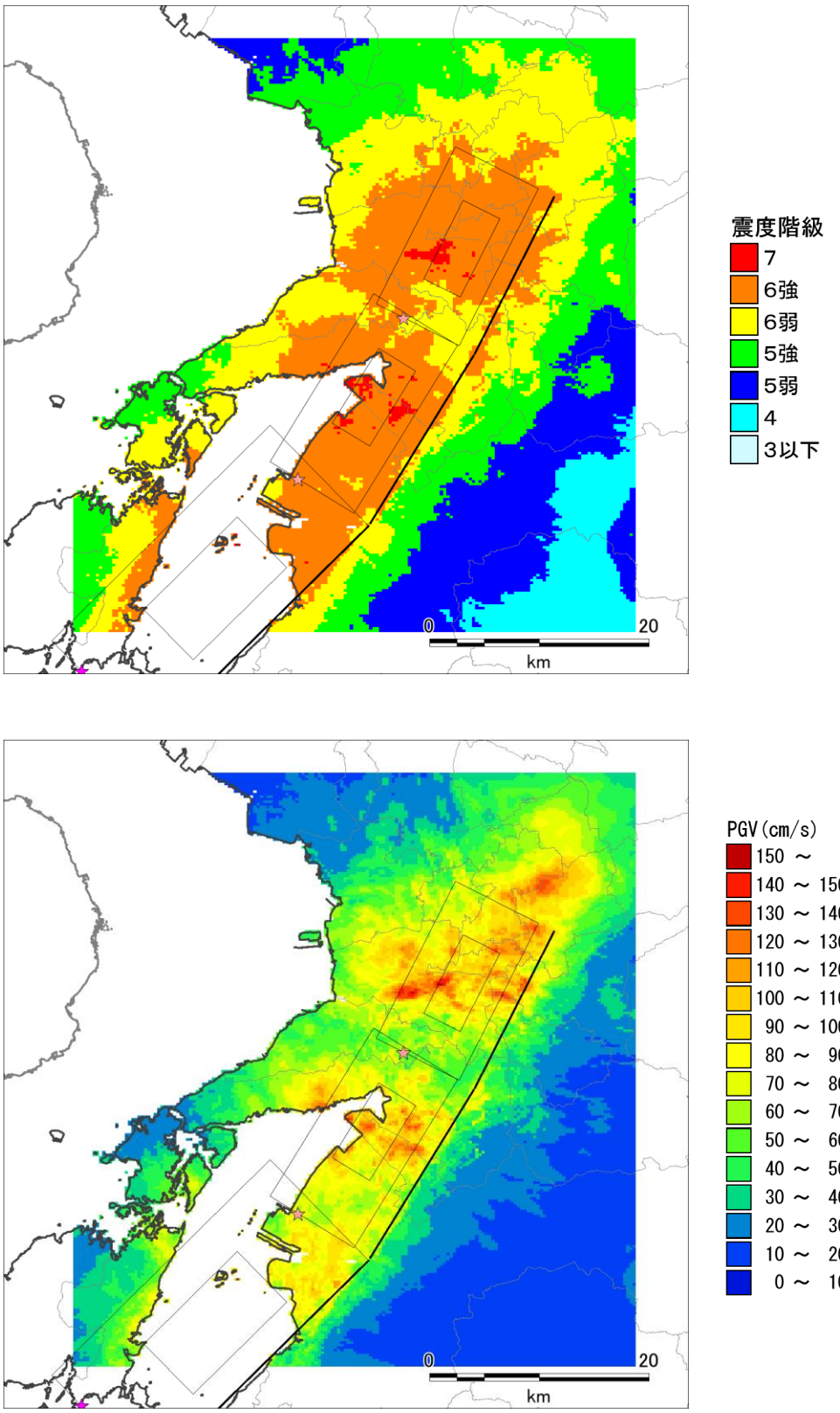


図 108(c)　日奈久断層帯（１）南破壊の（上）工学的基盤面震度分布、および（下）工学的基盤面最大速度分布

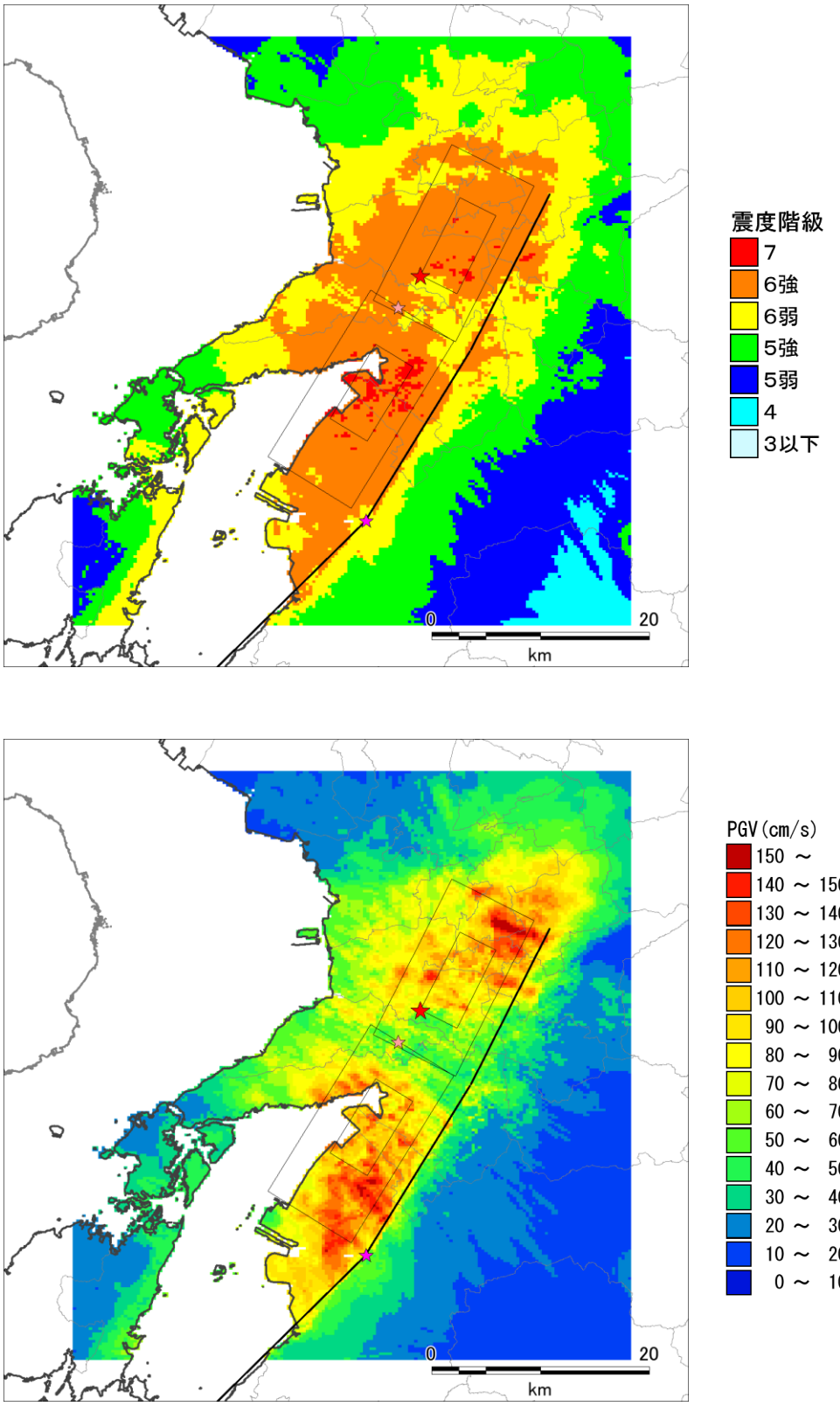


図 108(e)　日奈久断層帯（２）北破壊の（上）工学的基盤面震度分布、および（下）工学的基盤面最大速度分布

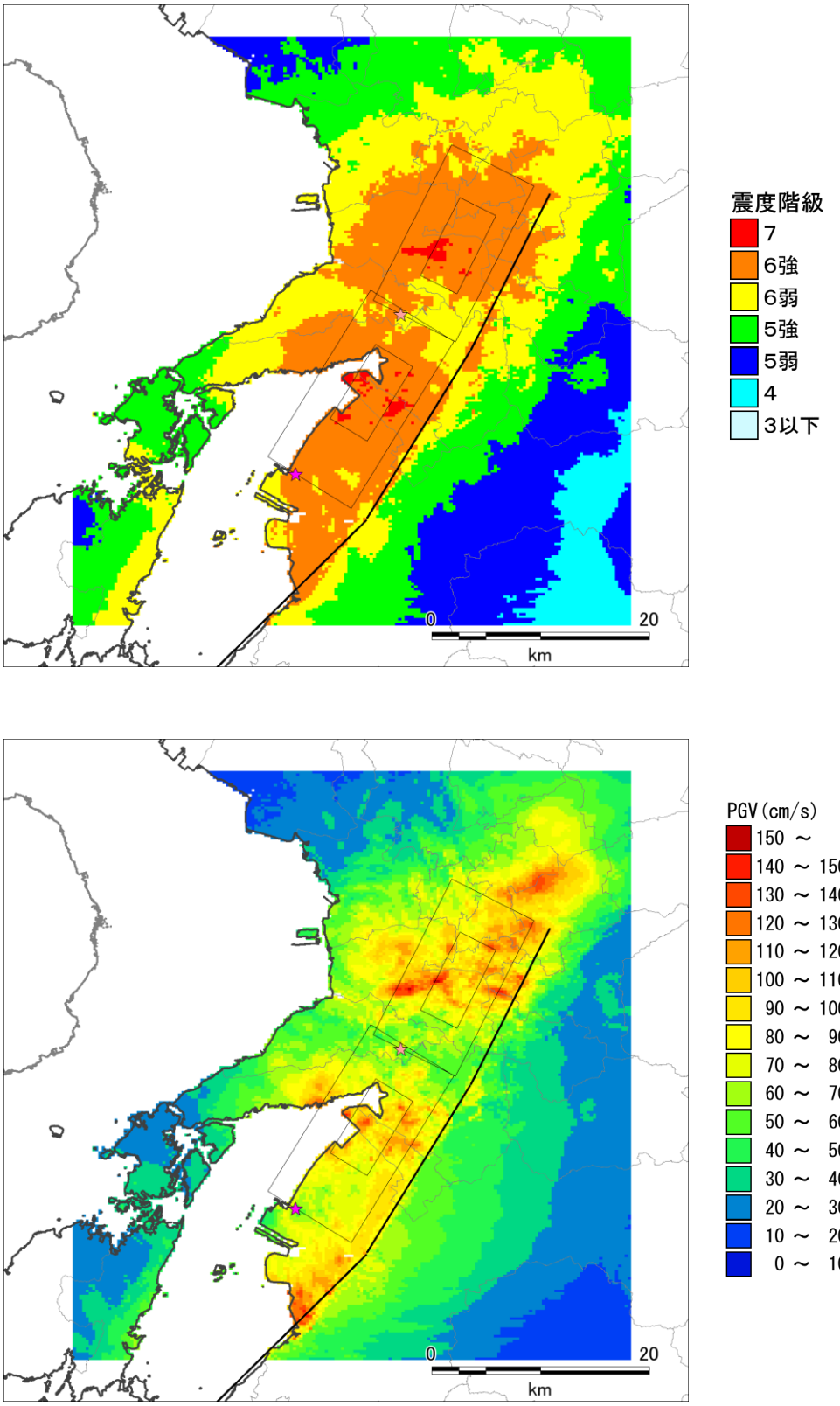


図 108(f)　日奈久断層帯（２）南破壊の（上）工学的基盤面震度分布、および（下）工学的基盤面最大速度分布

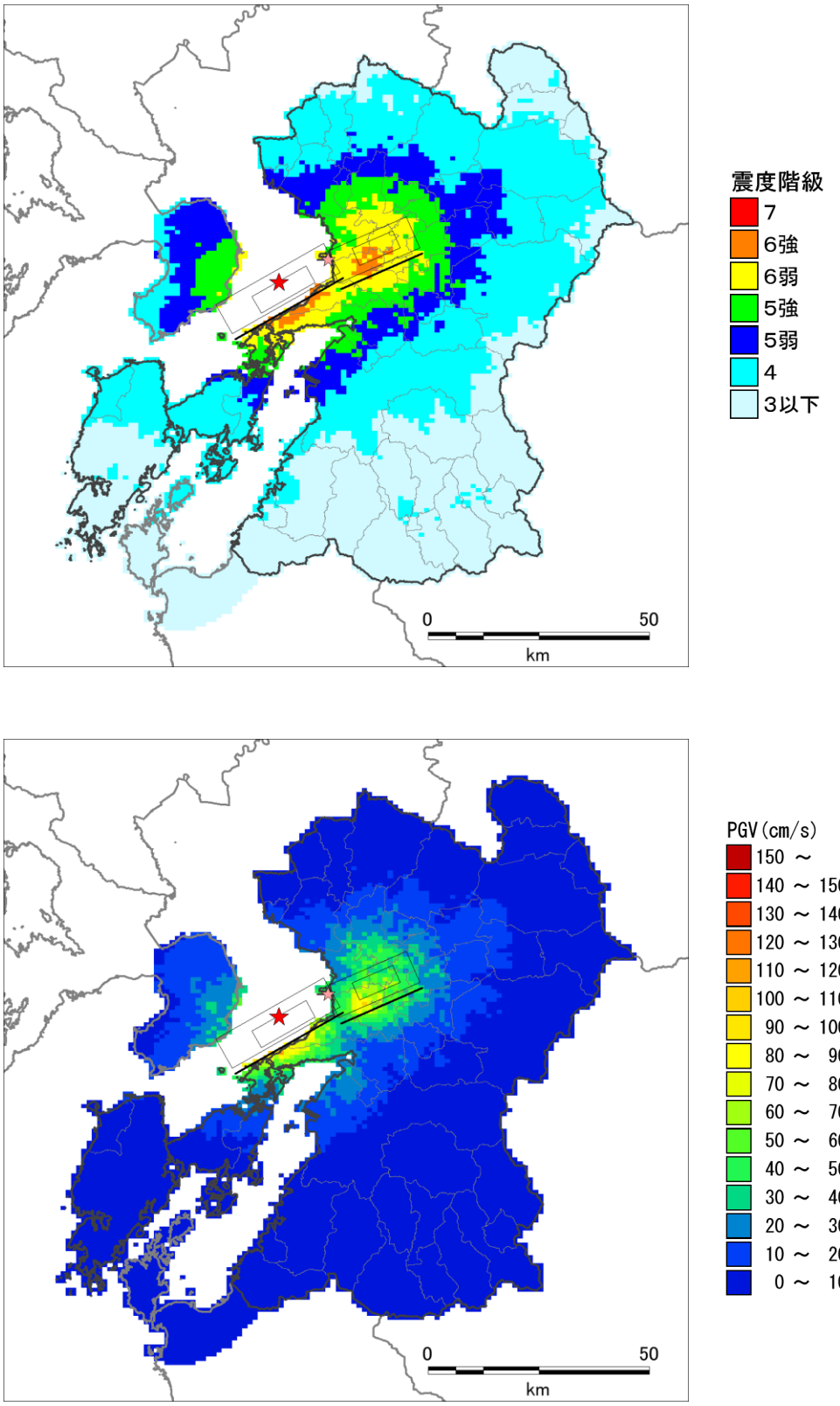


図 109(a)　布田川断層帯西破壊の（上）工学的基盤面震度分布、および（下）工学的基盤面最大速度分布

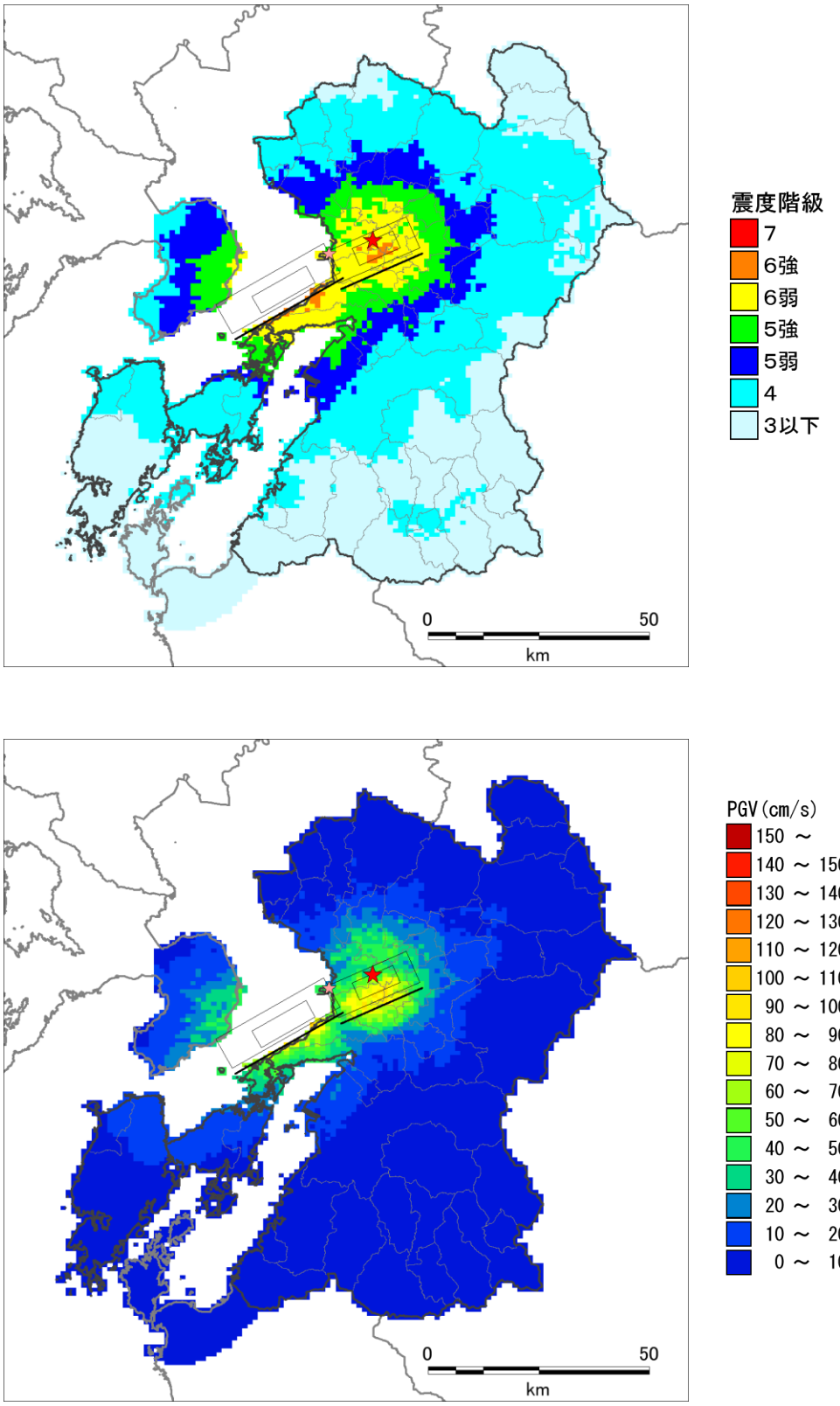


図 109(b)　布田川断層帯東破壊の（上）工学的基盤面震度分布、および（下）工学的基盤面最大速度分布

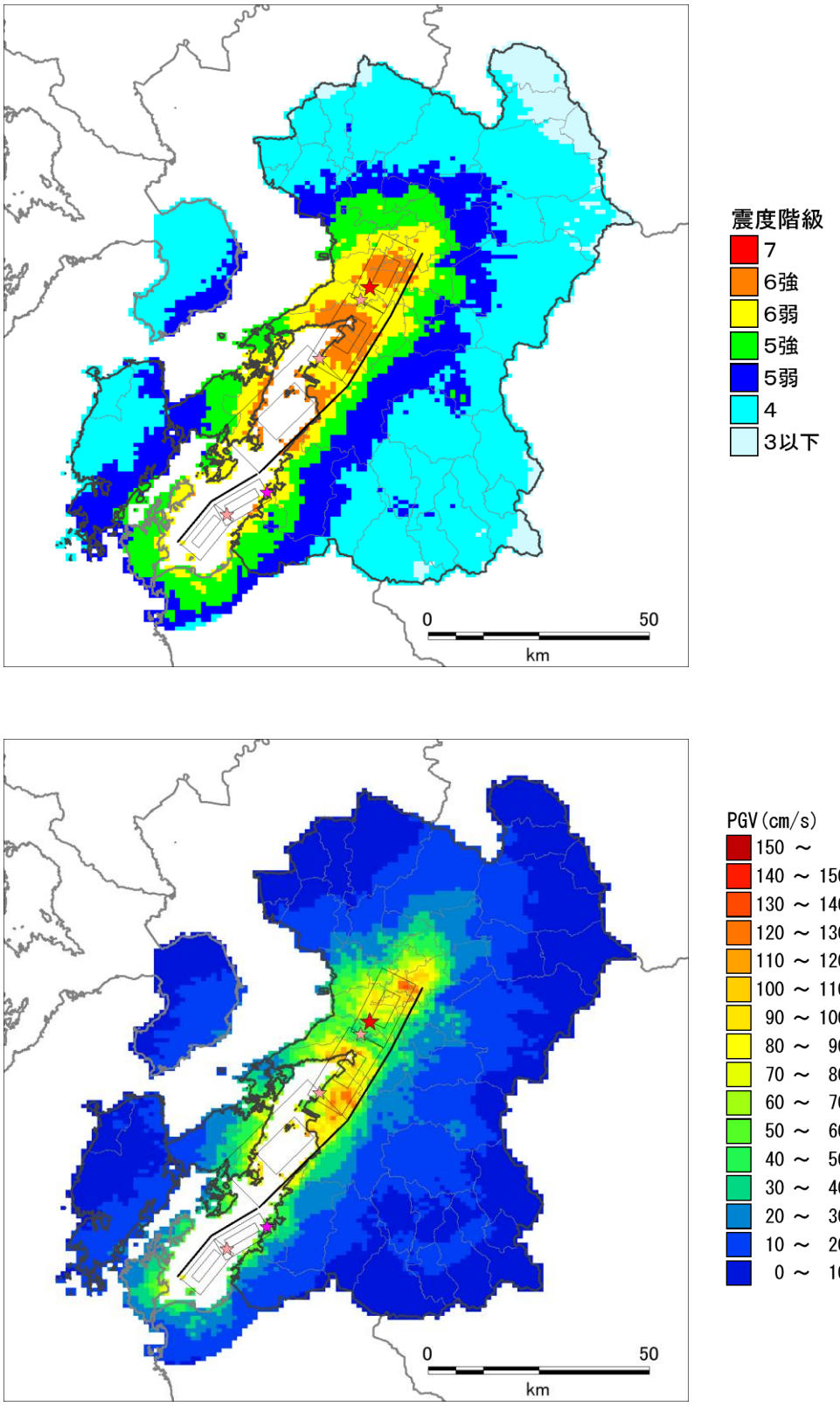


図 109(c)　日奈久断層帯（１）北破壊の（上）工学的基盤面震度分布、および（下）工学的基盤面最大速度分布

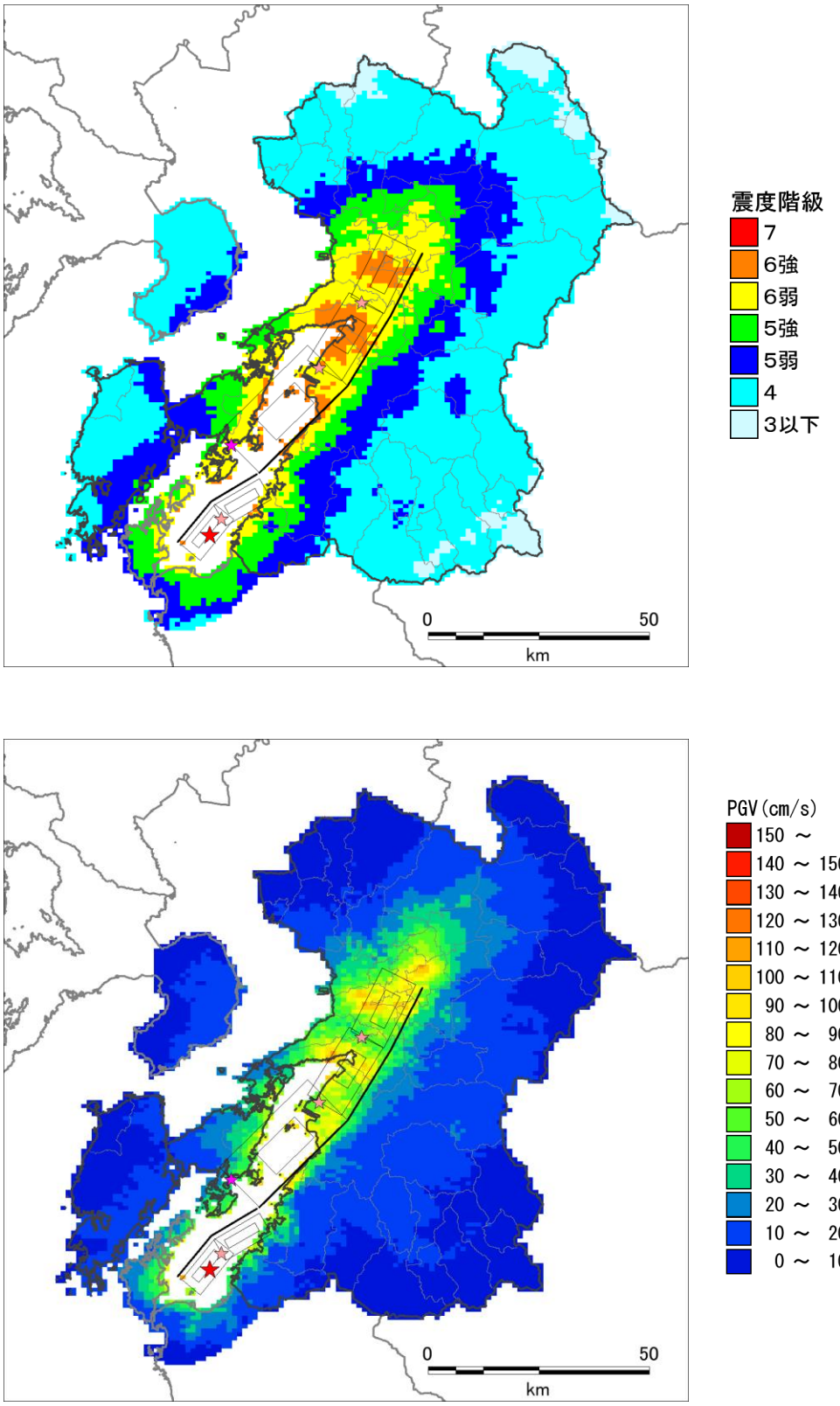


図 109(d)　日奈久断層帯（１）南破壊の（上）工学的基盤面震度分布、および（下）工学的基盤面最大速度分布

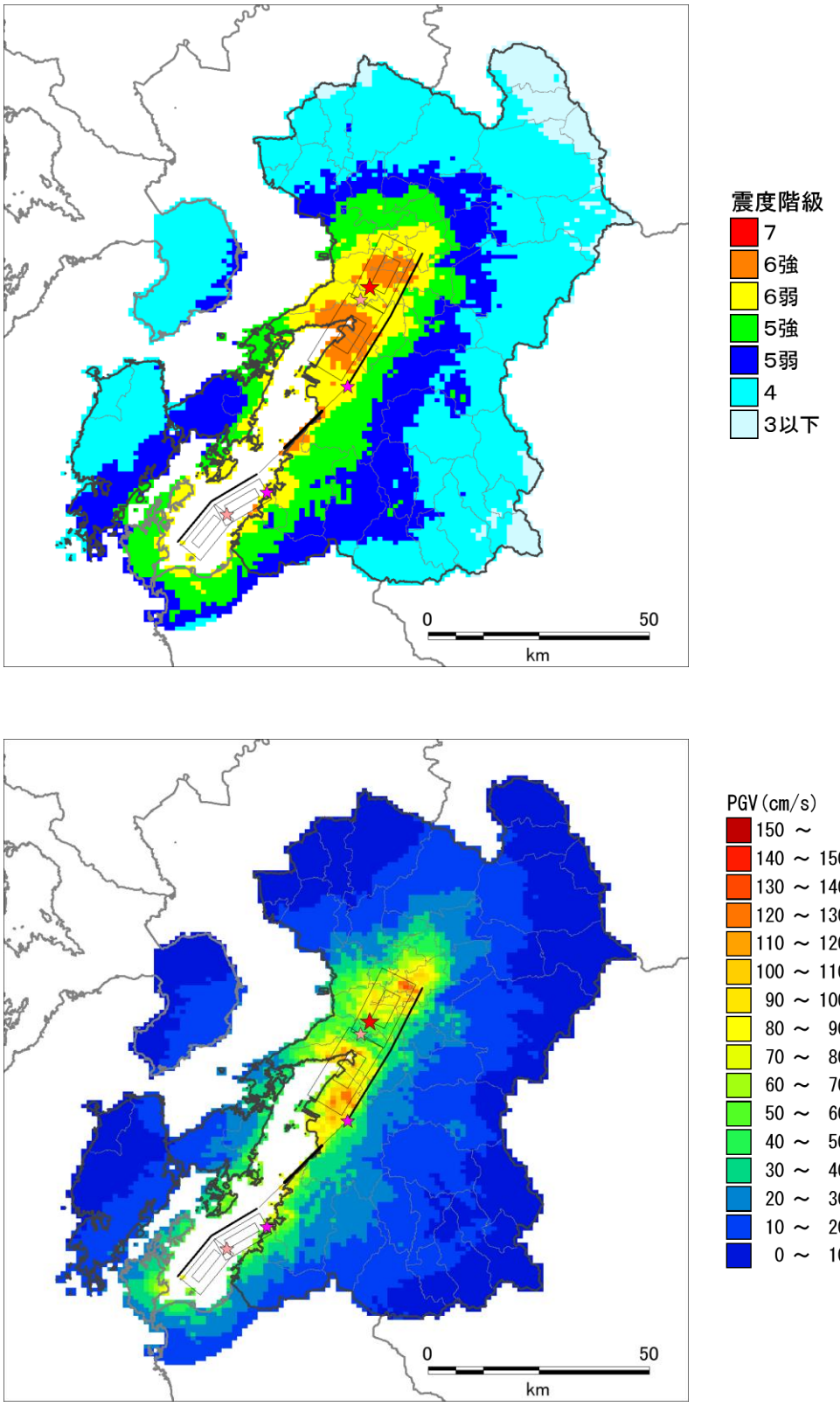


図 109(e)　日奈久断層帯（２）北破壊の（上）工学的基盤面震度分布、および（下）工学的基盤面最大速度分布

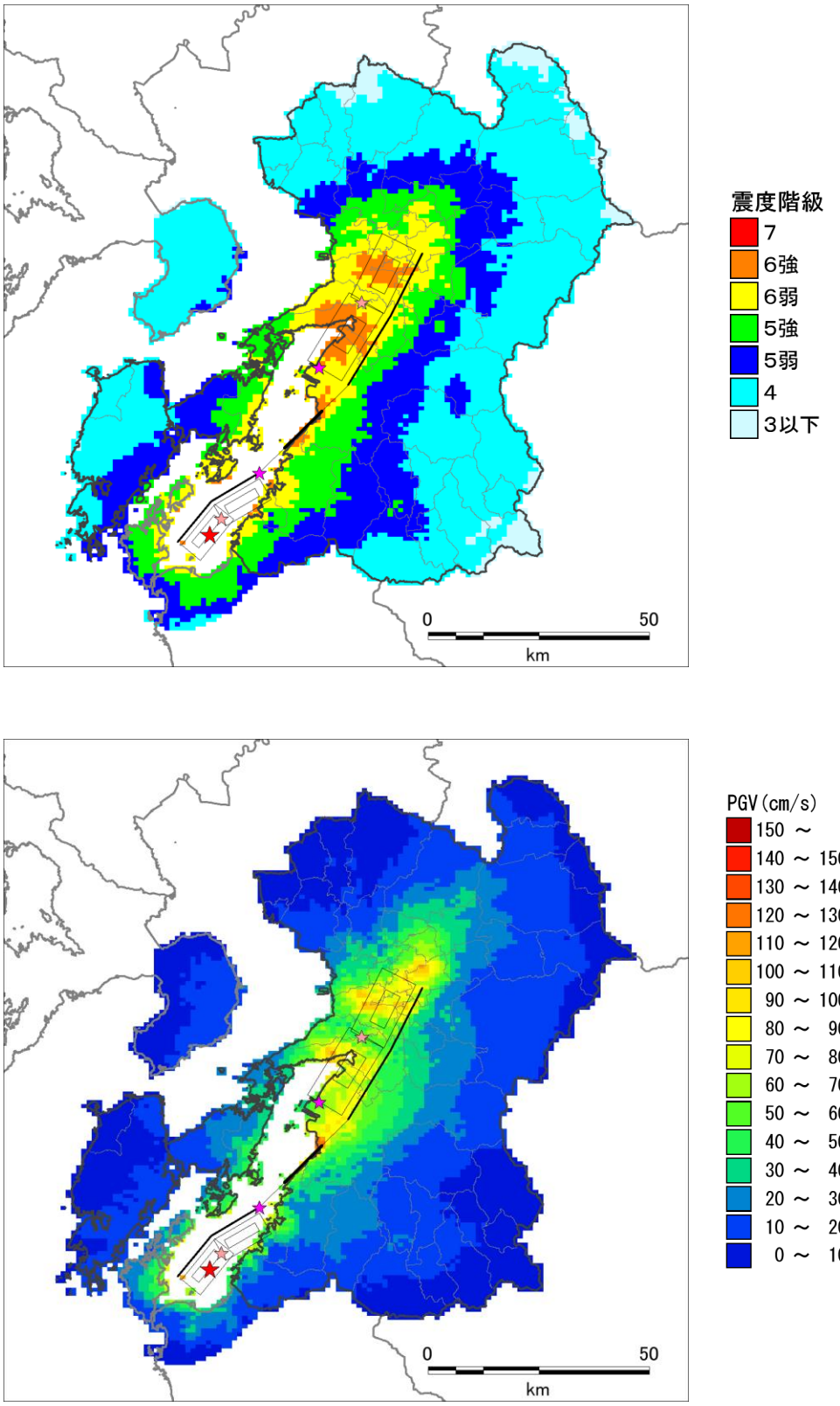


図 109(f)　日奈久断層帯（２）南破壊の（上）工学的基盤面震度分布、および（下）工学的基盤面最大速度分布

c）差分法による低周波数帯域の地震動計算

低周波数帯域の地震動は、３次元有限差分法により計算を行った。「詳細地域」と「広域」では、統計的グリーン関数の評価と一致するように、それぞれ、Ｓ波速度 300m/s 層およびＳ波速度 600m/s を解放基盤面とする計算を行った。差分法の計算の基本となる差分スキームは、速度―応力スタッガードグリッド（Virieux, 1986)であり、時間方向に２次，空間方向に４次の精度（Levander, 1988)で計算を行っている。速度―応力スタガード･グリッドに対する震源の導入には、モーメントテンソルを等価体積力として表現する方法（Graves, 1996)を用いた。構造モデルの非弾性減衰の取り扱いは Robertsson et al.(1994）による方法を基準周波数 0.25Hz で使っている。表 27～28 には差分法の計算諸元を示した。図 110 には「詳細地域」と「広域」の実際の計算範囲を地図に示した。図 111 にはＱ値の周波数依存曲線を示す。表 29 に浅部および深部地盤モデルに使われている層構造の物性値の一覧を示す。差分計算に関係する層構造物性値（Ｓ波速度、Ｐ波速度、密度、Qp、Qs 値）は、J-SHIS の地盤モデルのそれを使用している。なお、浅い地盤のＳ波構造は、項目 7)などで実際に求めているが、Ｐ波速度、密度についての情報がないため、狐崎・他(1990)と Ludwig et al.(1973)の経験式をもとに設定した。

３次元有限差分法の計算は、「詳細地域」では解放基盤面を Vs300m/s 層とし、「広域」では解放基盤面を Vs600 m/s 層としている。最小グリッドサイズは、それぞれ 45 m、90 m とし、計算周波数帯は両ケースともに 1.33Hz(周期 0.75 秒)までとなる。計算の際には、解放基盤面を Vs300m/s 層とした場合には、モデルに存在する Vs300 m/s 層以浅の速度層を取り除き、取り除いた分は構造全体をもちあげたモデルで計算を行った。解放基盤面が Vs600m/s の「広域」の計算の場合も同様にモデルの Vs600m/s より小さいＳ波速度層は取り除き、持ち上げたモデルとしている。地震基盤以深の構造は、全国一次地下構造モデル（暫定版）(地震調査研究推進本部地震調査委員会，2012; Koketsu et al., 2012)の 15 層以下の構造を接続し、物性値についても全国一次地下構造モデル（暫定版）の値を用いた（表 30)。図 112(a)～(c)に震源断層モデルと震源領域付近の地盤・地殻構造モデルの関係を示す断面図を表した。地図に示される赤線が地盤・地殻構造モデル断面図の位置である。図中の深緑の領域がＳ波速度 3.4 km/s、密度 2.7g/cm^{3}にあたり（剛性率 3.12E+10N/m^2)、アスペリティの大部分はこの速度層内に位置していることがわかる。

以下、「詳細地域」および「広域」の計算結果、それぞれの設定した工学的基盤面上での最大速度分布（１Hz までのハイカットフィルターを通して、水平２成分の時刻歴波形のベクトル合成最大値）を示す。

「詳細地域」の最大水平速度分布を図 113(a)～(c)に示す。周波数１Hz のハイカットフィルターを施し、水平２成分時刻歴ベクトル合成の最大値を最大水平速度として示している。図 113(a)に布田川断層帯の結果を示している。布田川断層帯西破壊では、宇土半島北岸区域の西側において最大値が 100cm/s を超えている領域がみられる。一方、布田川断層帯東破壊では、宇土区間および宇土半島北岸区域において 100cm/s を超えている領域がみられる。図 113(b)には日奈久断層帯（１）による最大速度分布を示す。北破壊の最大速度分布では、高野－白旗区間の北東部、日奈久区間北部の南東部、日奈久区間南部のアスペリティ直上付近で最大速度が大きい。南破壊では、高野－白旗区間の北東部、日奈久区間北部の南東部、八代海区間南部の北西部で最大速度が大きい。図 113(c)には日奈久断層帯（２）による最大速

度分布を示す。日奈久断層帯（１）と違う震源断層モデルをおいている、日奈久区間南部周辺において日奈久断層帯（１）の最大速度分布と異なっているが、日奈久区間南部の多くが海域下のため、陸域の地震動分布は類似している。また、この日奈久区間南部周辺以外ではほぼ同様の最大速度分布を示している。

図 114 に市町村役場位置を示す。これらのうち、黄色の星印の地点について、それぞれのシナリオで計算された合計６ケースの計算速度波形と振幅スペクトルの比較を行った。図115(a)～(i)に計算速度波形の比較を示す。波形には周波数１Hz のハイカットフィルターを施している。八代市役所では日奈久断層帯（１）（２）の北破壊ケースの特に東西成分で大きな振幅を示している。氷川町役場では日奈久断層帯（１）（２）の最大速度はほぼ同じ大きさを示している。

上天草市役所では短周期の波群の成分はあまり大きくない。宇城市役所でも同様であり、日奈久断層帯（１）（２）の南破壊ケースの振幅がやや大きい。美里町役場、甲佐町役場では堆積層の厚さが薄く増幅が小さく、震源起源の長周期の波群のみが卓越している。宇土市役所では日奈久断層帯（１）（２）の南破壊ケースで大きな振幅を示している。熊本市南区役所では破壊伝播効果により、布田川断層帯東破壊ケースで最も大きな最大速度を示しているが、日奈久断層帯南破壊（１）（２）でも、破壊伝播の向かってくる方向になるため、大きな最大速度を示している。御船町役場は日奈久断層帯北破壊（１）（２）ではインパルス的な速度波形であるが、南破壊ケースでは継続時間がやや長い波形となっている。北破壊の場合は近傍の断層からの影響が強い一方、南破壊では破壊が近づく方向になることから、震動継続時間が長くなるのであろう。嘉島町役場でも同様であるが、サイトが高野－白旗区間のアスペリティの直上に位置しているため、150cm/sを超えるような最大速度となっている。熊本市西区役所では布田川断層帯西破壊、熊本市中央区役所では日奈久断層帯（２）南破壊ケースで最も大きな最大速度を示している。熊本市東区役所では日奈久断層帯（１）（２）北破壊ケースでインパルス的な波形が計算され、日奈久断層帯（１）（２）南破壊ケースでは継続時間が長い波形が計算された。益城町役場・菊陽町役場・大津町役場・合志市役所でも同様である。

「広域」の最大水平速度分布を図116(a)～(c)に示す。「詳細地域」と同じく、周波数１Hz のハイカットフィルターを施し、水平２成分時刻歴ベクトル合成の最大値を最大水平速度として示している。解放基盤面をVs300m/s層とした「詳細地域」と比べると、速度分布の最大値はやや小さくなっているが、分布の特徴は似ている。図117(a)～(B)には図114に示した市町村役場位置での速度波形を各震源断層モデルで比較している。最小Ｓ波速度がVs600m/sでのモデル計算であることから、速度分布図（図116）からもわかるように、震源近傍でかつ熊本平野や八代平野といった堆積層構造が発達している場所で地震動が大きくなっているが、波形にもそういう傾向がみられていて、熊本市の各区役所や八代平野内の観測点で揺れが大きく、震動継続時間も長い結果が得られている。また、南島原市では、布田川断層帯東破壊モデルで大きな揺れになっており、破壊様式によっては、強い揺れに見舞われる可能性を示している。

表 27　「詳細地域」Vs300 m/s 層を解放基盤としたケースの計算緒元

グリッドサイズ(m)	45	
経度方向距離(km)	76	グリッド数1688
緯度方向距離(km)	88	グリッド数1944
深度方向 グリッドサイズ(m)	45	深さ0 km～0.9 km
	90	深さ0.9km～4.05 km
	180	深さ4.05km～8.01 km
	270	深さ8.01km～35.01 km
		吸収境界を除いた深度29.61km
計算間隔(秒)	0.0025	
ステップ数	64,000	計算時間 160 (s)
左下隅の座標	EW:-75000m NS:-96000m	
右上隅の座標	EW:1000m NS:-8500m	
計算最小周期(秒)	0.750	

表 28　「広域」Vs600 m/s 層を解放基盤としたケースの計算緒元

グリッドサイズ(m)	90	
経度方向距離(km)	145	グリッド数1611
緯度方向距離(km)	145	グリッド数1611
深度方向 グリッドサイズ(m)	90	深さ0 km～0.9 km
	180	深さ0.9km～4.14 km
	360	深さ4.14km～8.1 km
	540	深さ8.1km～37.8 km
		吸収境界を除いた深度27km
計算間隔(秒)	0.0058	
ステップ数	27,586	計算時間 160 (s)
左下隅の座標	EW:-105000m NS:-115000m	
右上隅の座標	EW:40000m NS:30000m	
計算最小周期(秒)	0.750	

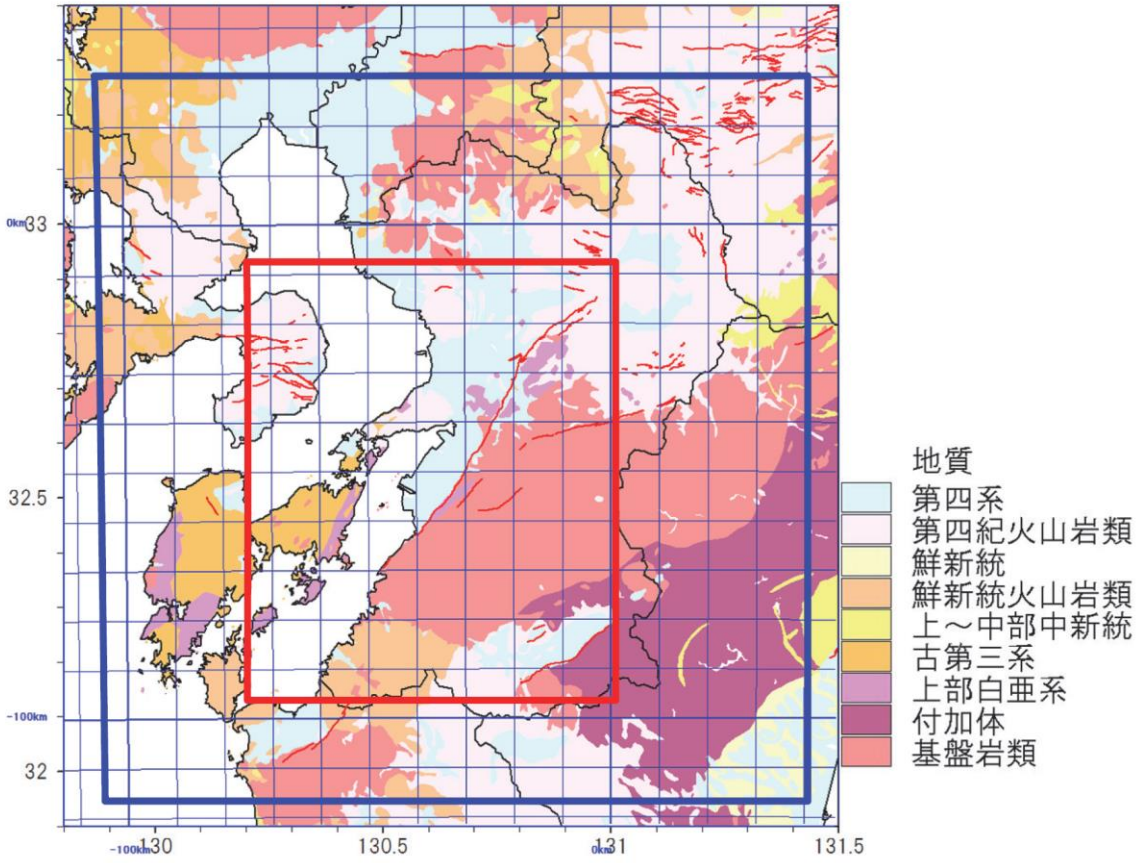


図 110　計算範囲。「詳細地域」は赤枠、「広域」は青枠を計算対象領域とした。背景の地質図は産業技術総合研究所地質調査総合センター（2003）、活断層トレース（赤線）は、中田・今泉（2002）を用いた。青線の格子および青数字は、平面直角座標系第Ⅱ系の座標を示す。

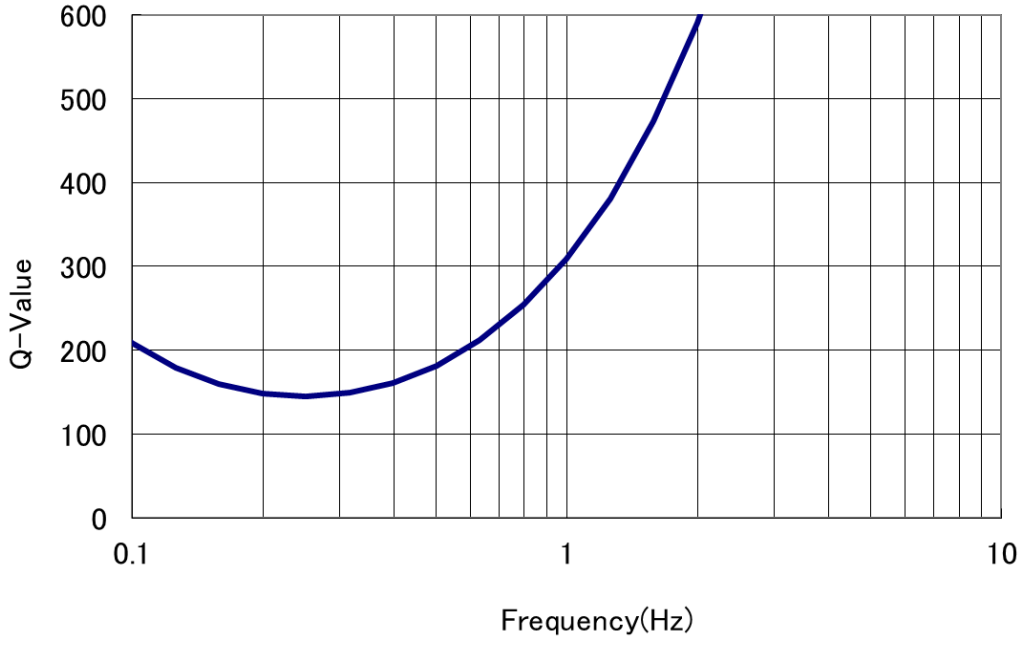


図111　差分で用いたQ値の周波数依存曲線。基準周波数を0.25Hzとして、Q=150とした場合。

表 29　各層で用いた物性値一覧

	Vs(km/s)	Vp(km/s)	ρ(g/cm^3)	Qs	Qp	
浅部モデル	0.100	1.40	1.75	60	60	
	0.125	1.43	1.76	60	60	
	0.150	1.46	1.77	60	60	
	0.175	1.48	1.78	60	60	
	0.200	1.51	1.80	60	60	
	0.225	1.54	1.81	60	60	
	0.250	1.57	1.82	60	60	
	0.275	1.60	1.83	60	60	
	0.300	1.60	1.84	60	60	
	0.350	1.60	1.85	60	60	J-SHIS による物性値
	0.400	1.60	1.85	60	60	
	0.450	1.70	1.90	60	60	
	0.500	1.80	1.90	60	60	
深部モデル	0.600	2.00	1.90	100	100	
	0.650	2.00	1.95	100	100	
	0.700	2.10	2.00	100	100	
	0.750	2.10	2.00	100	100	
	0.800	2.20	2.00	100	100	
	0.850	2.30	2.05	100	100	
	0.900	2.40	2.05	100	100	
	0.950	2.40	2.10	100	100	
	1.000	2.50	2.10	150	150	
	1.100	2.50	2.15	150	150	
	1.200	2.60	2.15	150	150	
	1.300	2.70	2.20	150	150	
	1.400	3.00	2.25	150	150	
	1.500	3.20	2.25	150	150	
	1.600	3.40	2.30	150	150	
	1.700	3.50	2.30	150	150	
	1.800	3.60	2.35	150	150	
	1.900	3.70	2.35	150	150	
	2.000	3.80	2.40	200	200	
	2.100	4.00	2.40	200	200	
	2.100	4.00	2.40	200	200	
	2.700	5.00	2.50	200	200	
	2.900	4.60	2.55	200	200	
	2.700	5.00	2.50	200	200	
	3.100	5.50	2.60	300	300	
	3.200	5.50	2.65	300	300	

狐崎ほか(1990)より Vp1.6km/s を超えないように設定

Ludwig et al.(1973)より

表 30　全国一次地下構造モデル（暫定版）（地震調査研究推進本部地震調査委員会，2012；Koketsu et al.，2012）　による物性値一覧

Layer	Vp(km/s)	Vs(km/s)	ρ (g/cm^3)	Qp	Qs	
1	1.7	0.35	1.80	119	70	
2	1.8	0.5	1.95	170	100	
3	2.0	0.6	2.00	204	120	
4	2.1	0.7	2.05	238	140	
5	2.2	0.8	2.07	272	160	
6	2.3	0.9	2.10	306	180	
7	2.4	1.0	2.15	340	200	付加体を含む
8	2.7	1.3	2.20	442	260	
9	3.0	1.5	2.25	510	300	
10	3.2	1.7	2.30	578	340	
11	3.5	2.0	2.35	680	400	
12	4.2	2.4	2.45	680	400	
13	5.0	2.9	2.60	680	400	地震基盤（近畿圏）
14	5.5	3.2	2.65	680	400	地震基盤（上部地殻第1層）
15	5.8	3.4	2.70	680	400	上部地殻第2層
16	6.4	3.8	2.80	680	400	下部地殻
17	7.5	4.5	3.20	850	500	マントル
18	5.0	2.9	2.40	340	200	海洋性地殻第2層（フィリピン海プレート）
19	6.8	4.0	2.90	510	300	海洋性地殻第3層（フィリピン海プレート）
20	8.0	4.7	3.20	850	500	海洋性マントル（フィリピン海プレート）
21	5.4	2.8	2.60	340	200	海洋性地殻第2層（太平洋プレート）
22	6.5	3.5	2.80	510	300	海洋性地殻第3層（太平洋プレート）
23	8.1	4.6	3.40	850	500	海洋性マントル（太平洋プレート）

地震本部などによる地下構造モデル
Ludwig et al. (1970)
長周期地震動予測地図2009年試作版（宮城県沖地震）
Yamada and Iwata (2005)
H17年度大大特広域モデル（田中・他, 2006）
Qs=1000*Vs/5　Qp=1.7*Qs　Qsが400を超える場合は400とする
(Kawabe and Kamae, 2008 を参考)

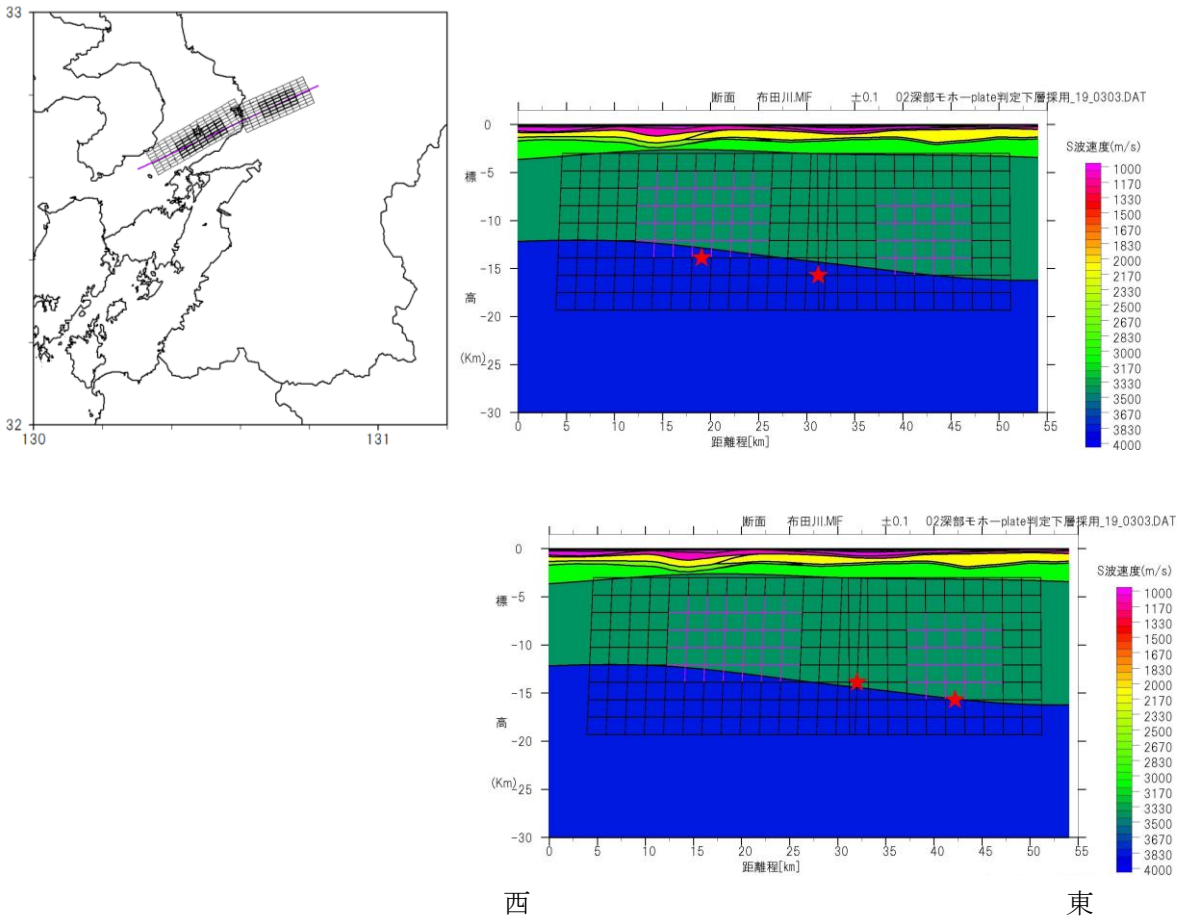


図 112(a)　布田川断層帯震源断層と地盤・地殻構造モデルの断面図。左：震源断層モデルと地盤・地殻構造モデルの断面図の位置（赤線）を示す。右上：布田川断層帯西破壊震源断層モデル。右下：布田川断層帯東破壊震源断層モデル。黒い格子が震源断層モデルの位置。★：各区間の破壊開始点位置。□はアスペリティ位置。

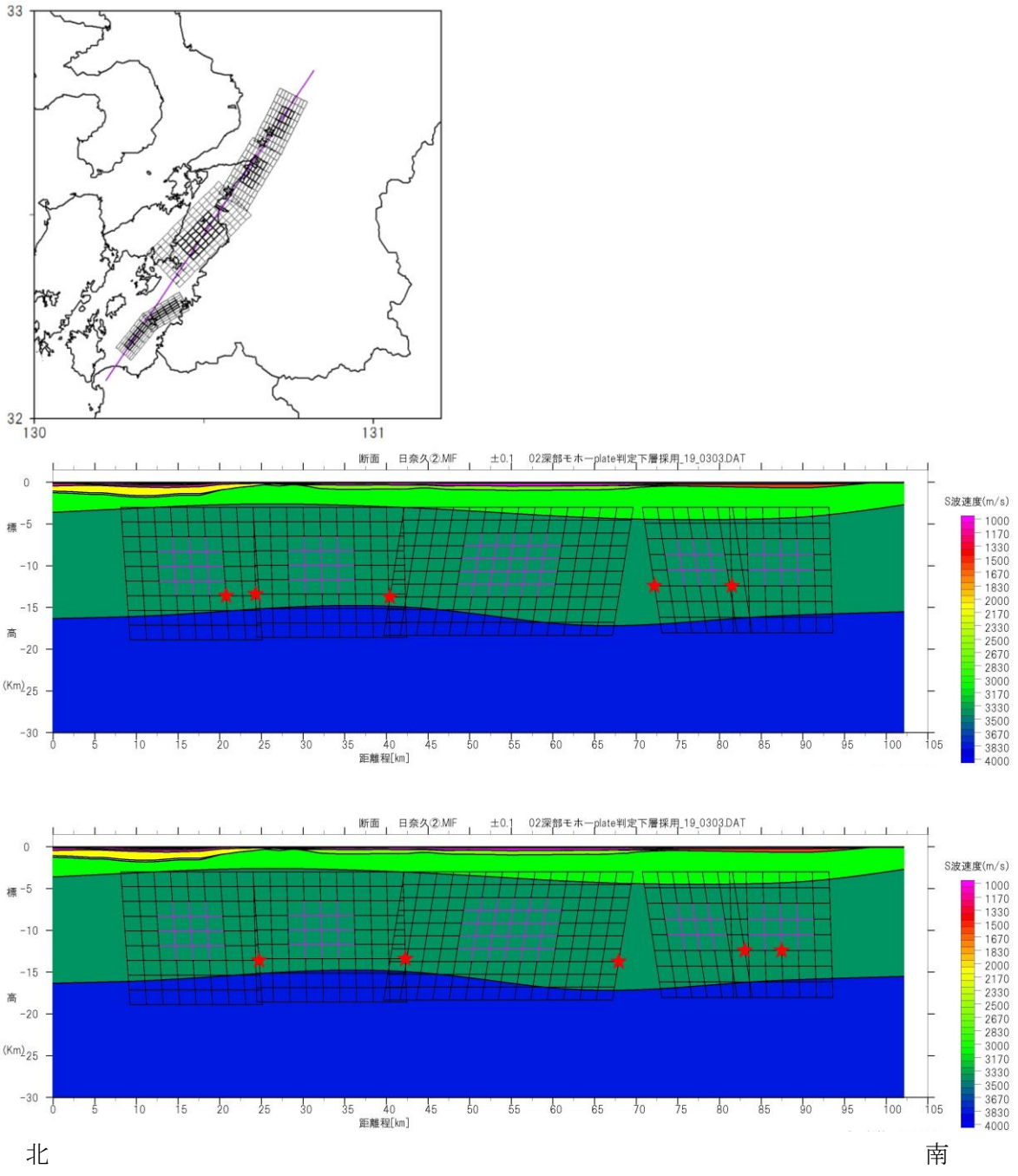


図 112(b)　日奈久断層帯（１）震源断層と地盤・地殻構造モデルの断面図。上：震源断層モデルと地盤・地殻構造モデルの断面図の位置（赤線）を示す。中：日奈久断層帯北破壊震源断層モデル　下：日奈久断層帯南破壊震源断層モデル。黒い格子が震源断層モデルの位置。★：各区間の破壊開始点位置。□はアスペリティ位置。

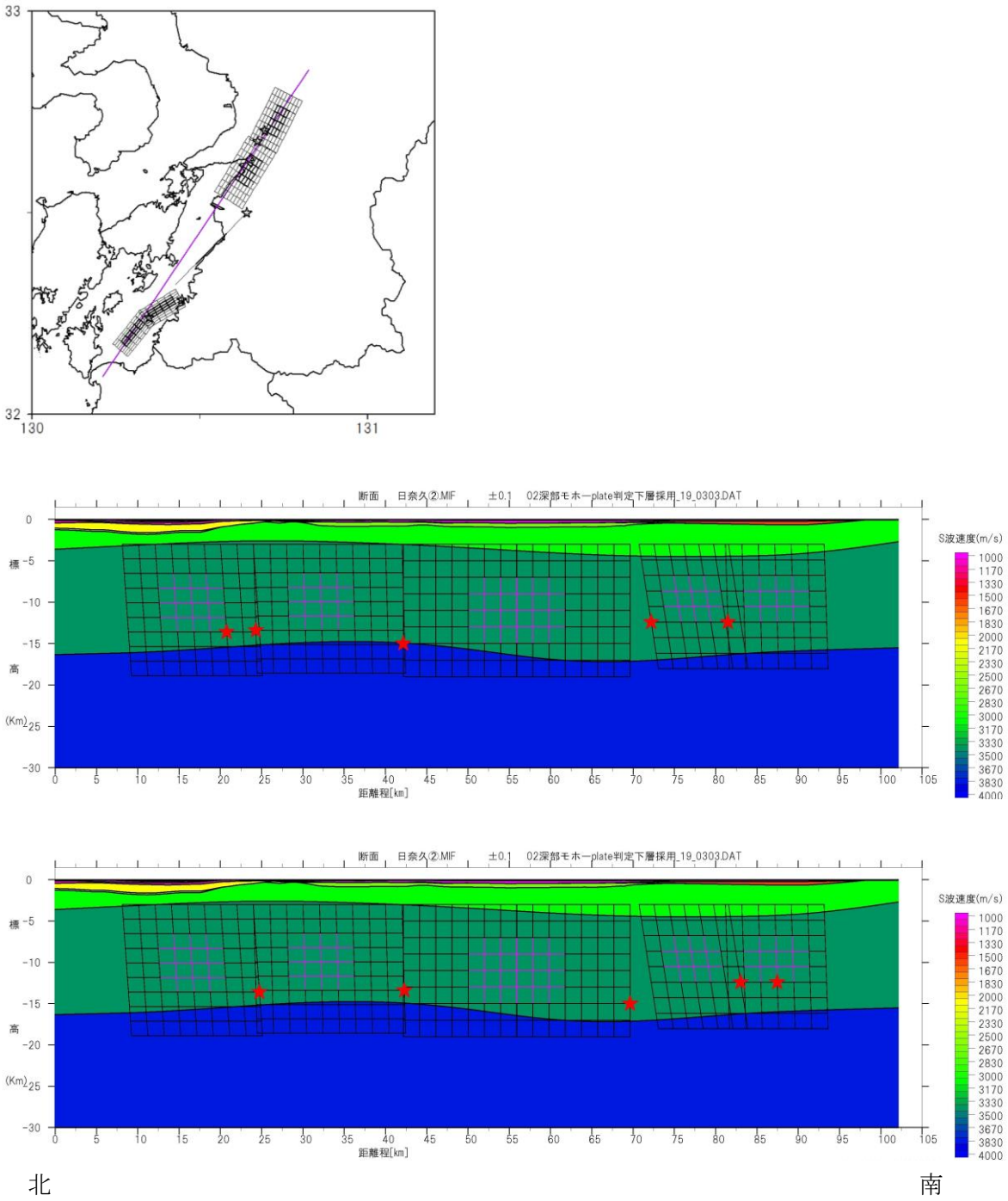


図 112(c)　日奈久断層帯（２）震源断層と地盤・地殻構造モデルの断面図。上：震源断層モデルと地盤・地殻構造モデルの断面図の位置（赤線）を示す。中：日奈久断層帯北破壊震源断層モデル　下：日奈久断層帯南破壊震源断層モデル。黒い格子が震源断層モデルの位置。★：各区間の破壊開始点位置。□はアスペリティ位置。

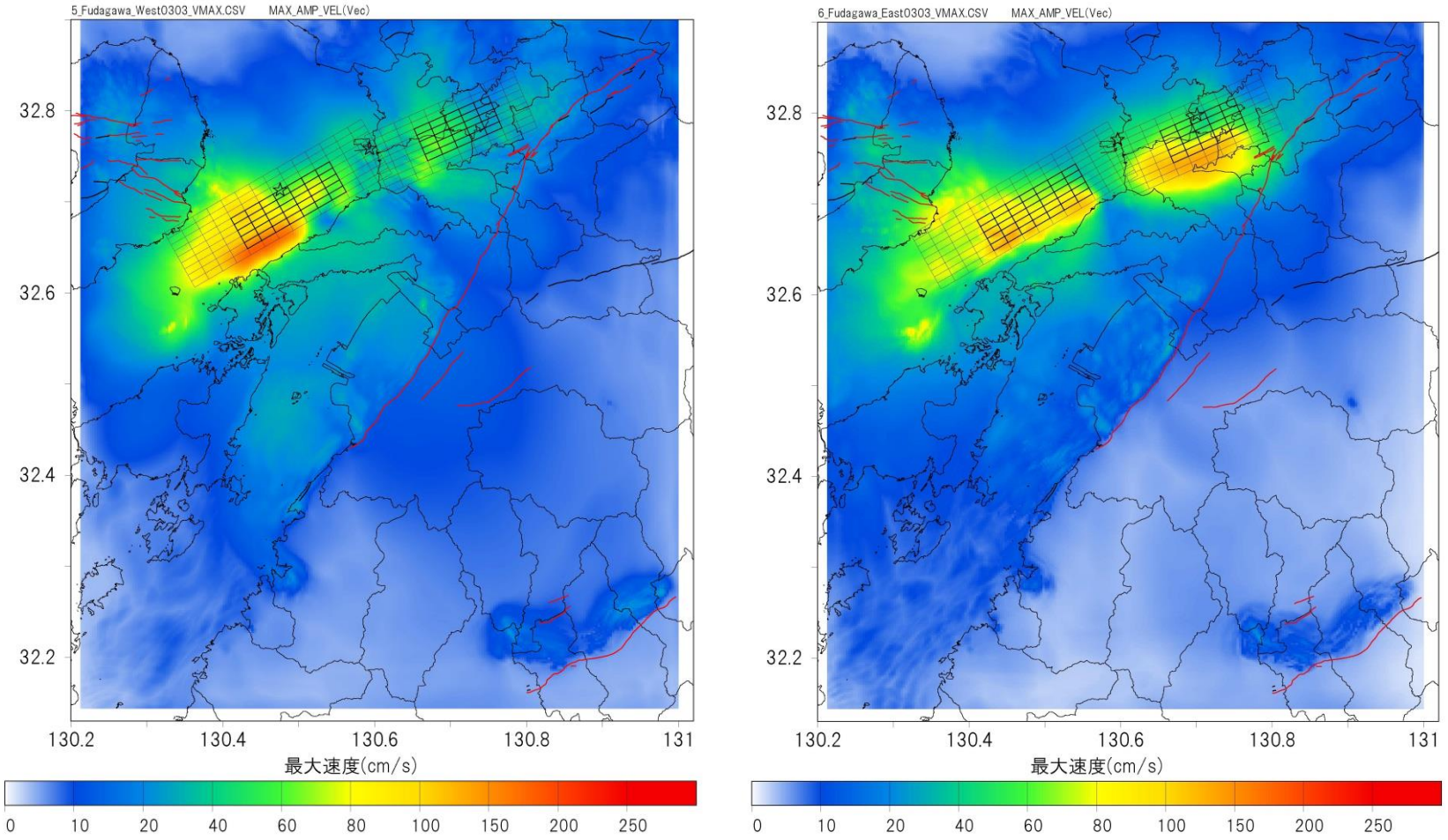


図 113(a) 最大水平速度分布。（左）布田川断層帯西破壊モデル、（右）布田川断層帯東破壊モデル。解放基盤面を Vs300m/s 層とした「詳細地域」の結果。格子と星は震源断層モデルのサブ断層と破壊開始点を表す。太い格子部分は強震動生成域。赤線は、中田・今泉（2002）による「活断層」及び「推定活断層」を示す。

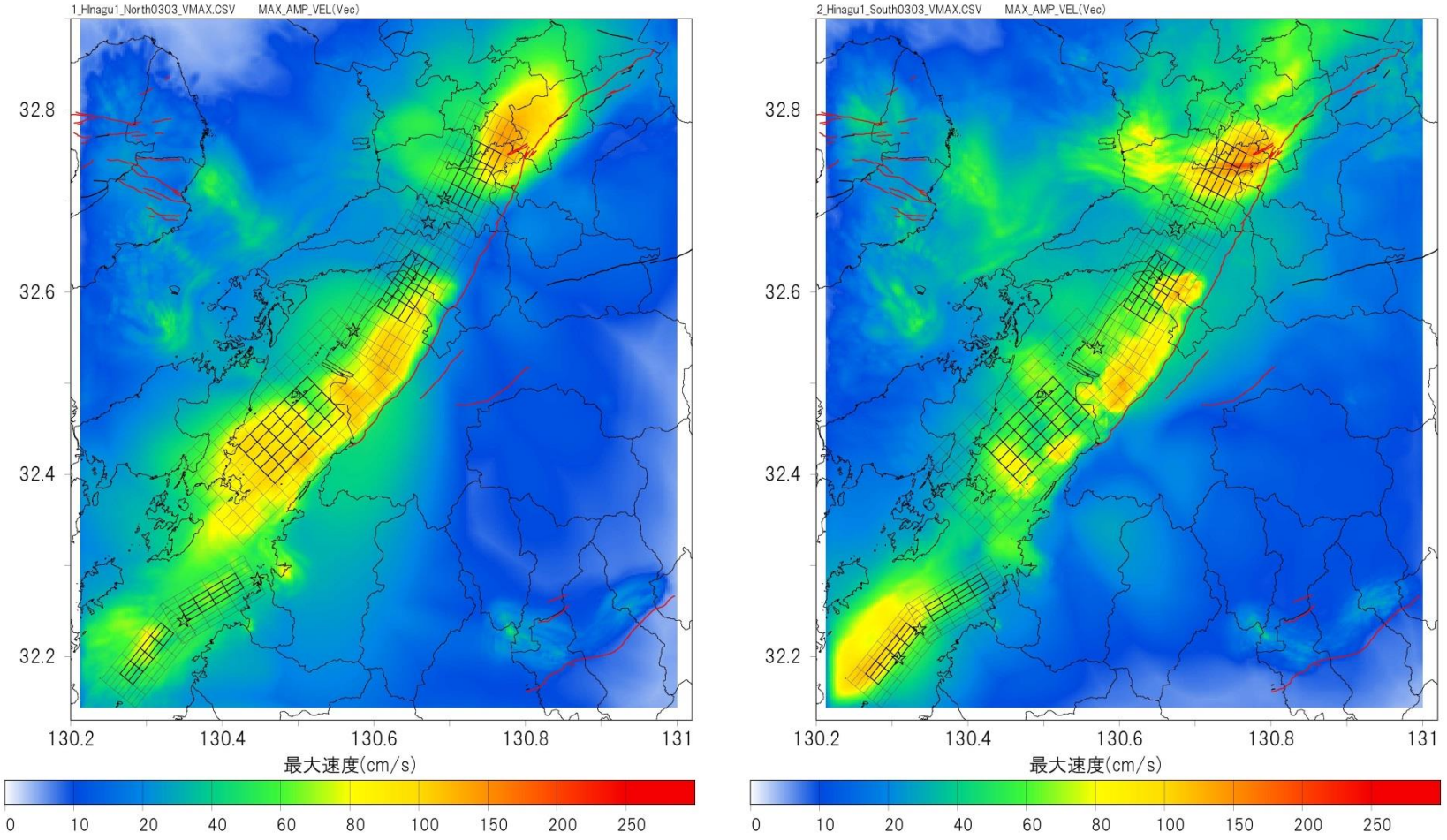


図 113(b) 最大水平速度分布。(左) 日奈久断層帯（１）北破壊モデル、(右) 日奈久断層帯（１）南破壊モデル。解放基盤面を Vs300m/s 層とした「詳細地域」の結果。格子と星は震源断層モデルのサブ断層と破壊開始点を表す。太い格子部分は強震動生成域。赤線は、中田・今泉（2002）による「活断層」及び「推定活断層」を示す。

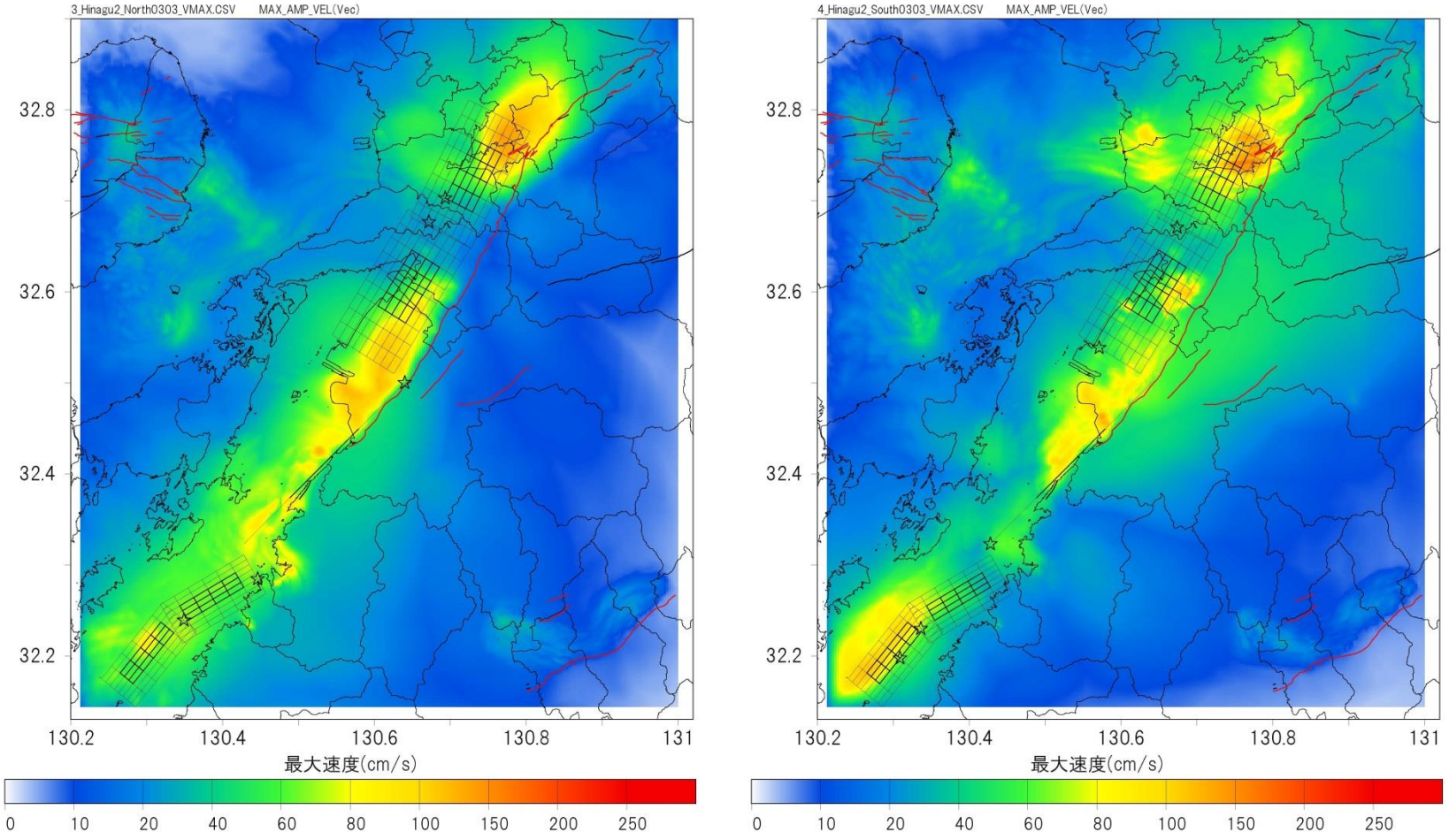


図 113(b) 最大水平速度分布。(左) 日奈久断層帯（２）北破壊モデル、(右) 日奈久断層帯（２）南破壊モデル。解放基盤面を Vs300m/s 層とした「詳細地域」の結果。格子と星は震源断層モデルのサブ断層と破壊開始点を表す。太い格子部分は強震動生成域。赤線は、中田・今泉（2002）による「活断層」及び「推定活断層」を示す。

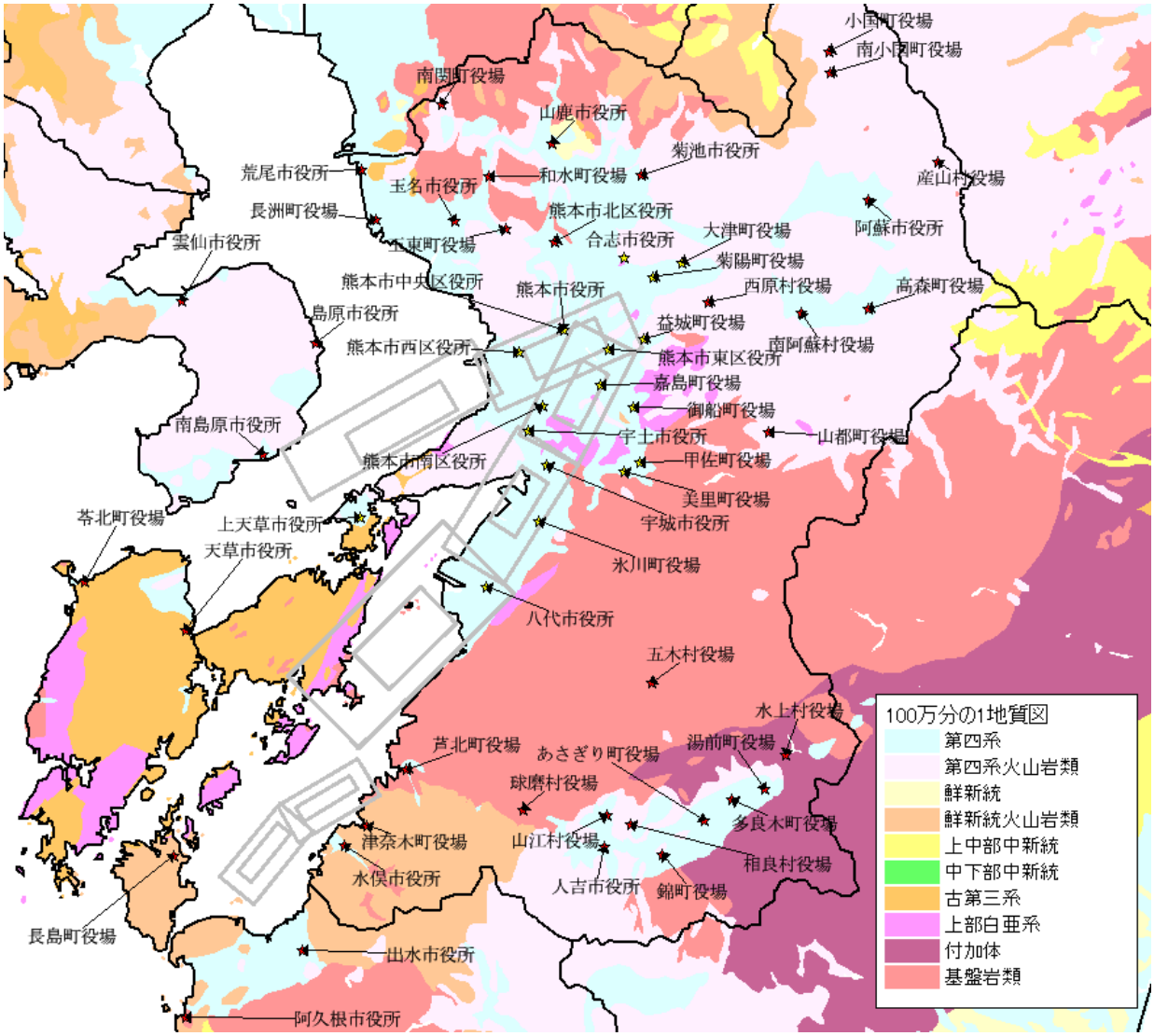


図 114　市町村役場位置（星印）。黄星印は「詳細地域」として図 115 に波形を比較する地点。矩形および矩形内の矩形は、各セグメントに対する震源断層モデルおよび各震源断層モデルの強震動生成域の地表投影を表す。背景の地質図は、産業技術総合研究所地質調査総合センター（2003）による。

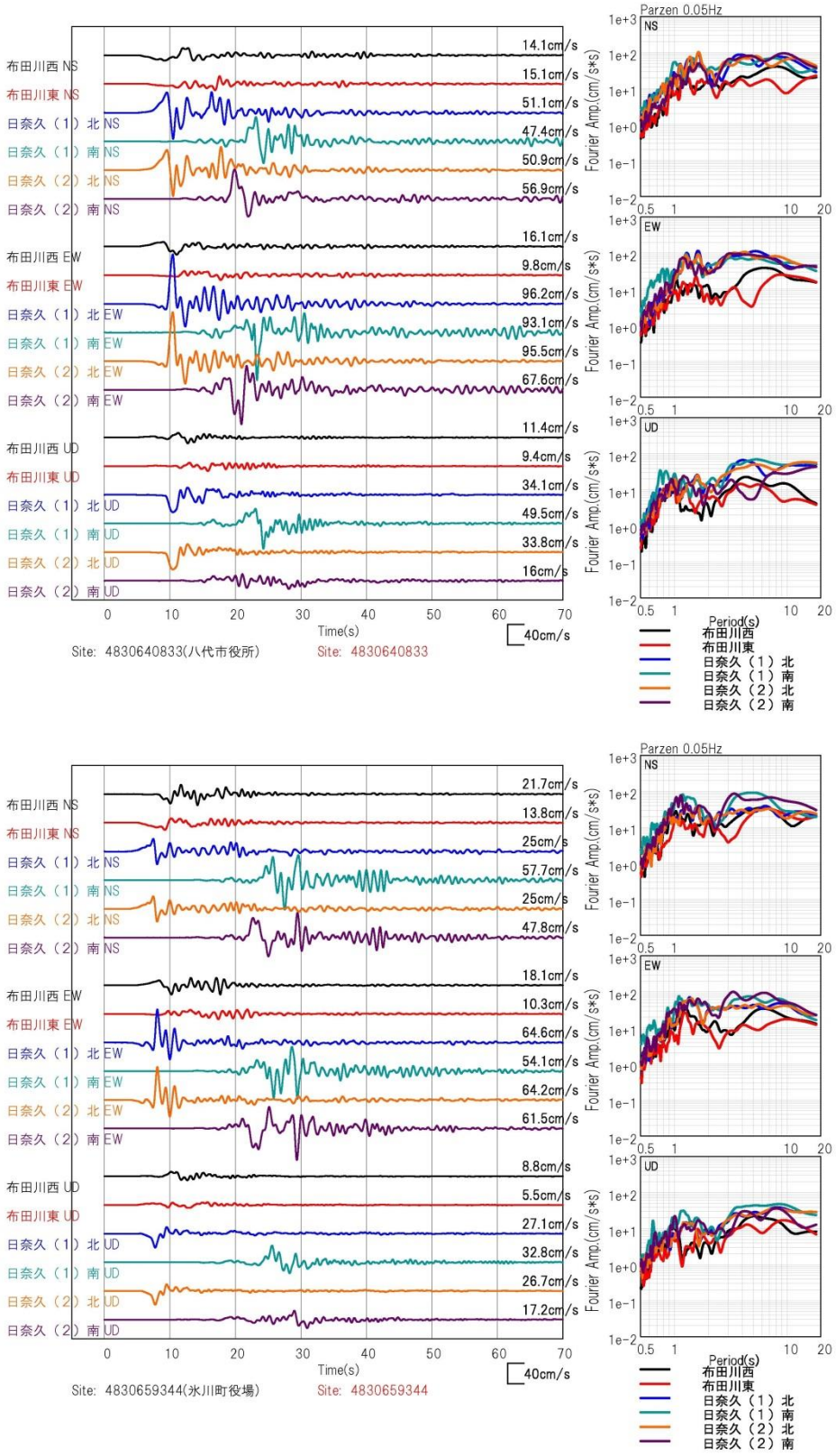
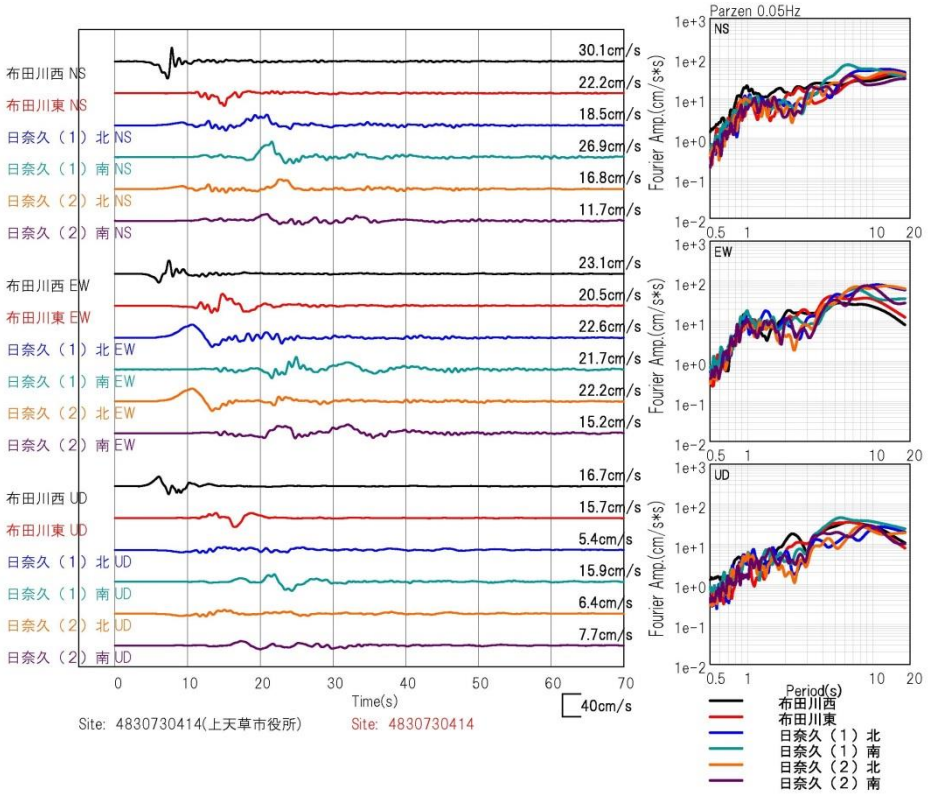


図 115(a)　「詳細地域」計算で求められた速度波形および速度フーリエ振幅スペクトルの各震源断層モデルに対する比較。 黒:布田川断層帯西破壊　赤:布田川断層帯東破壊　青:日奈久断層帯（１）北破壊、　緑：日奈久断層帯（１）南破壊、橙：日奈久断層帯（２）北破壊、紫：日奈久断層帯（２）南破壊の場合。（上）八代市役所、（下）氷川町役場。



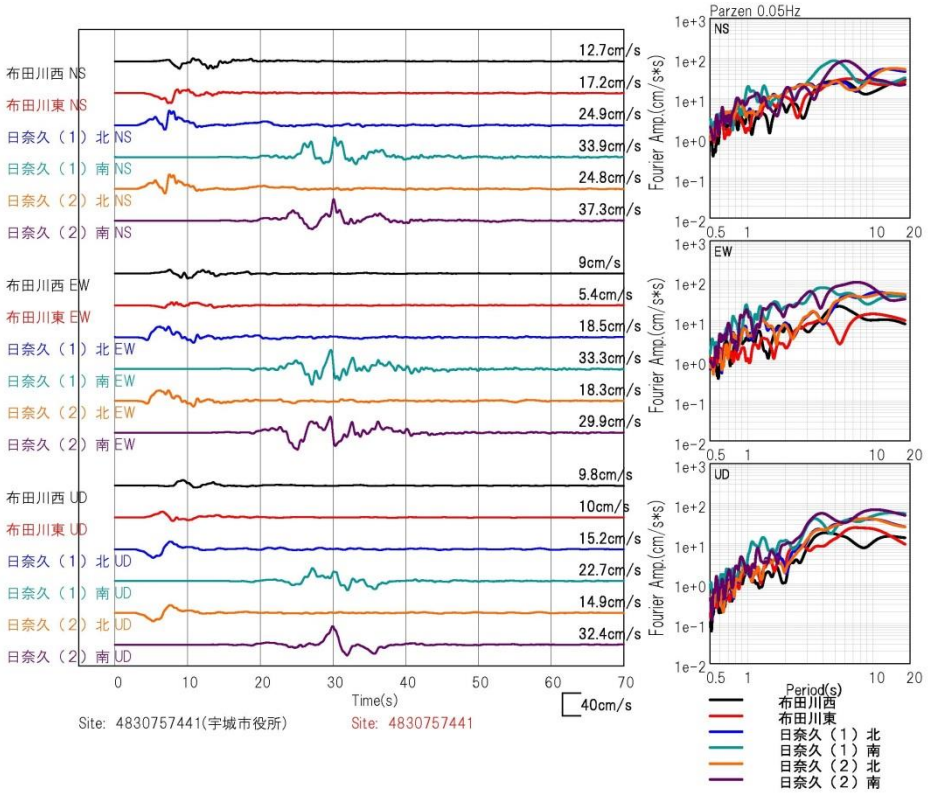
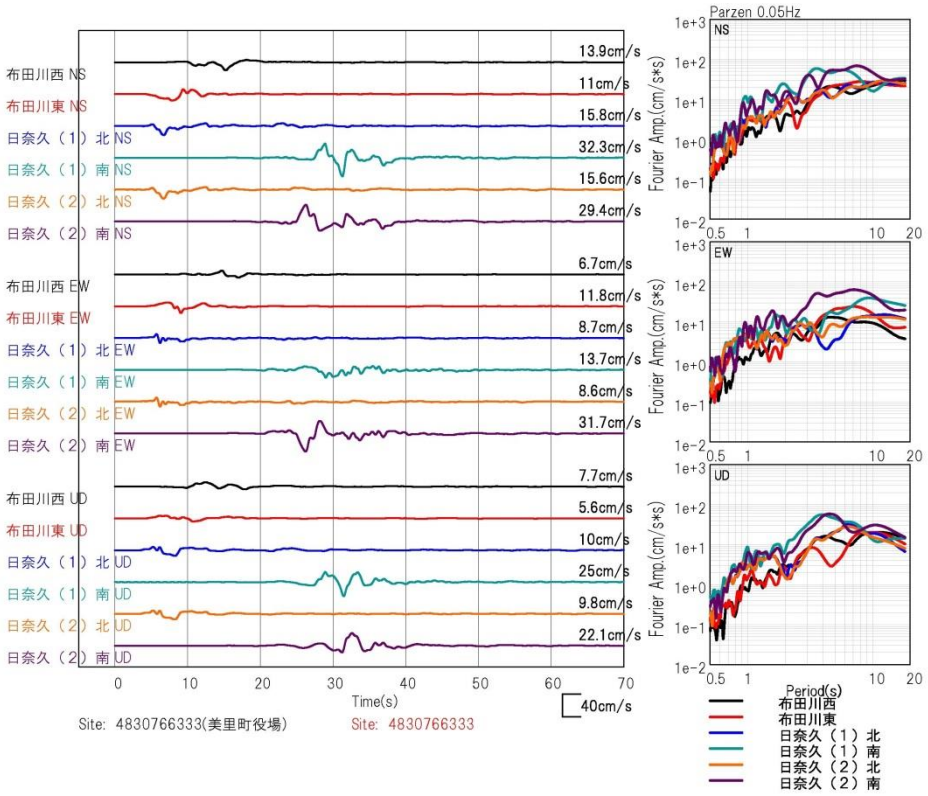


図 115(b)　凡例は(a)と同じ。(上)上天草市役所、(下) 宇城市役所



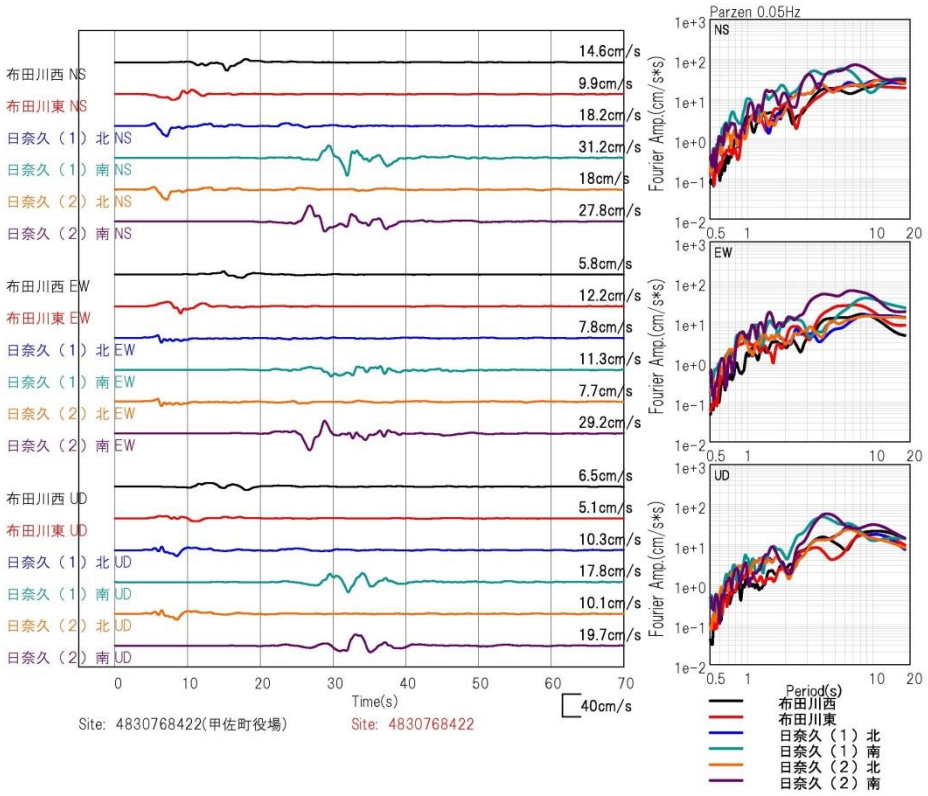


図 115(c)　凡例は(a)と同じ。(上)美里町役場、(下) 甲佐町役場。

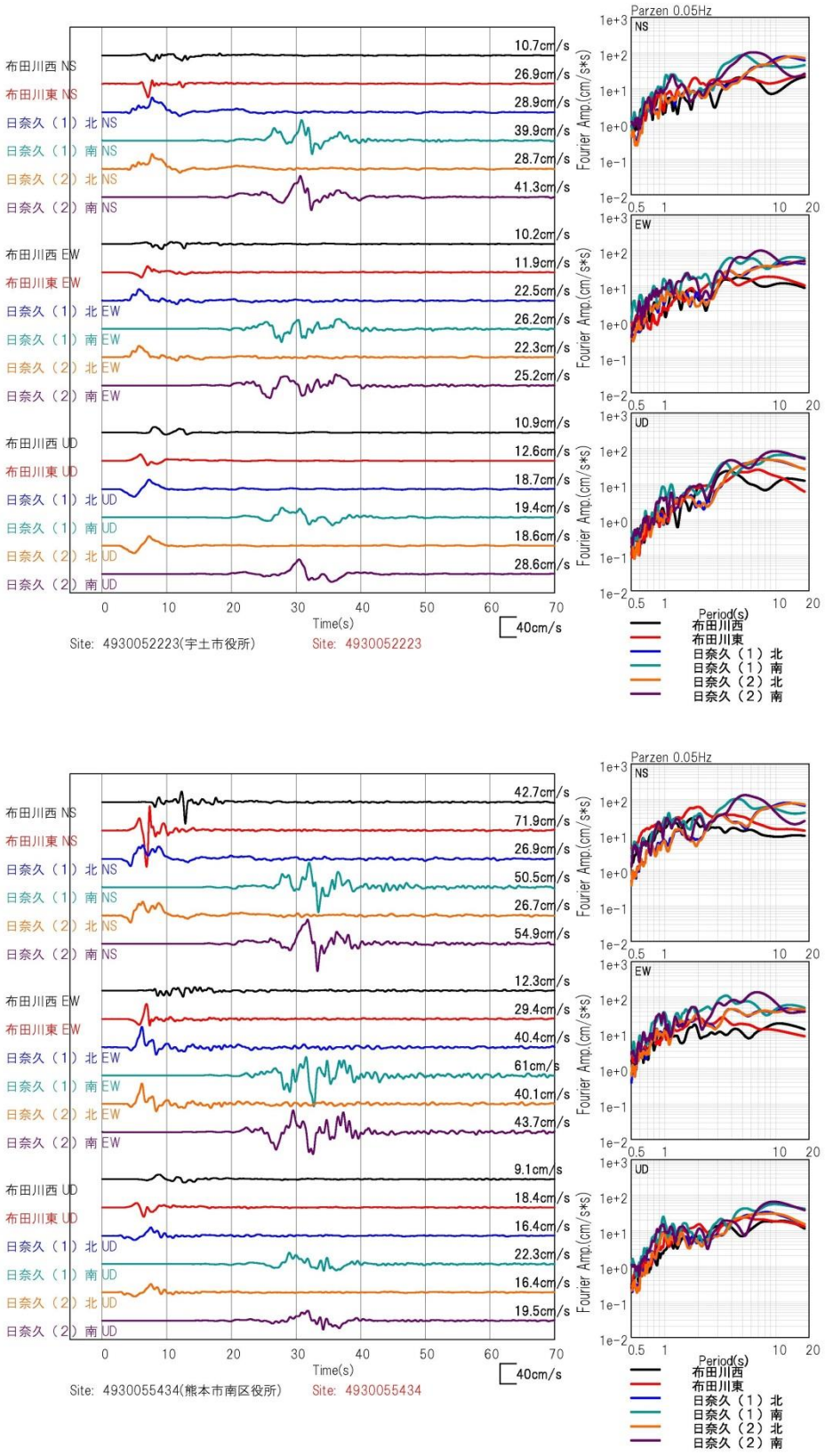


図 115(d)　凡例は(a)と同じ。(上)宇土市役所、(下) 熊本市南区役所。

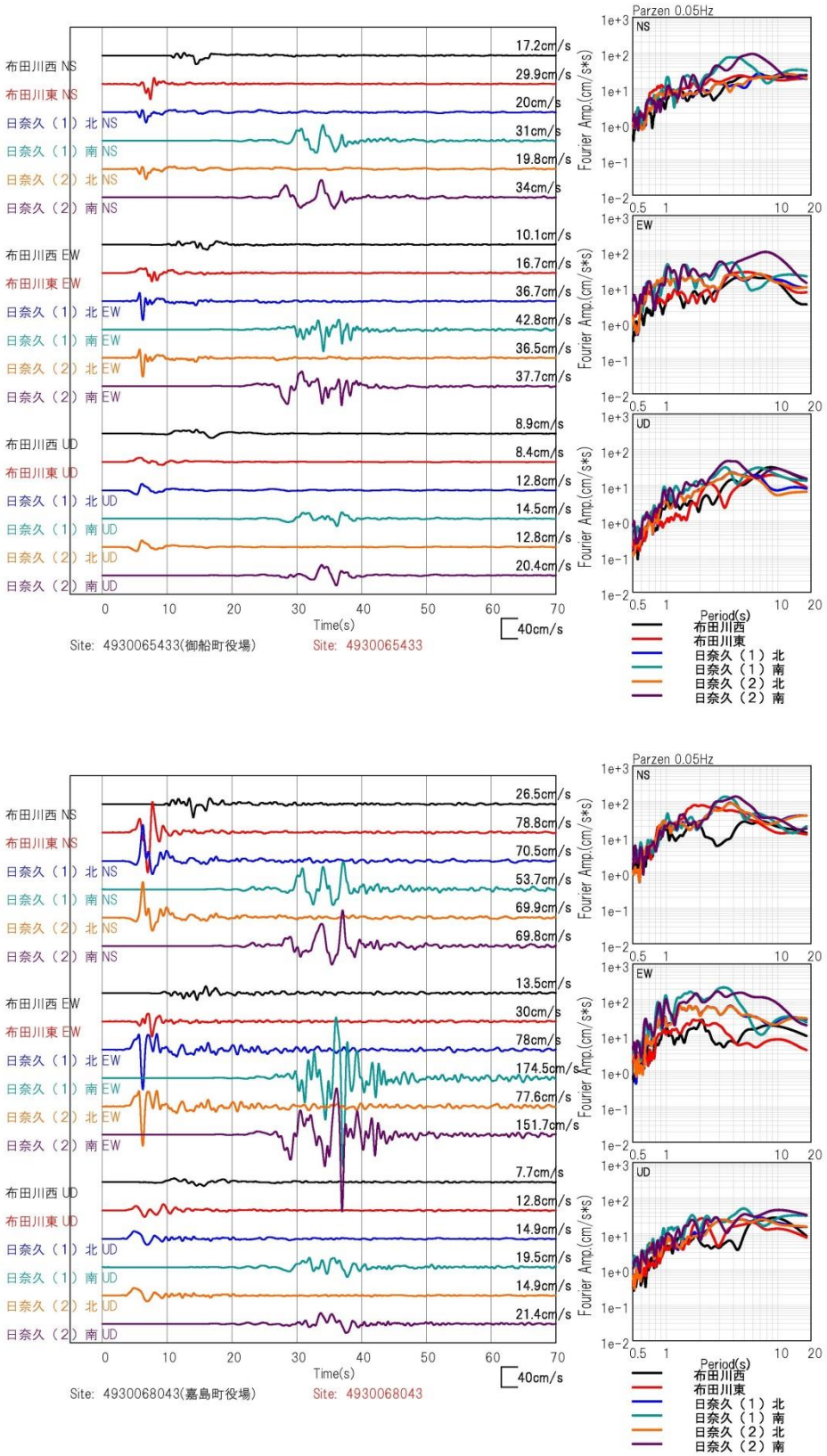


図 115(e)　凡例は(a)と同じ。（上）御船町役場、（下）嘉島町役場。

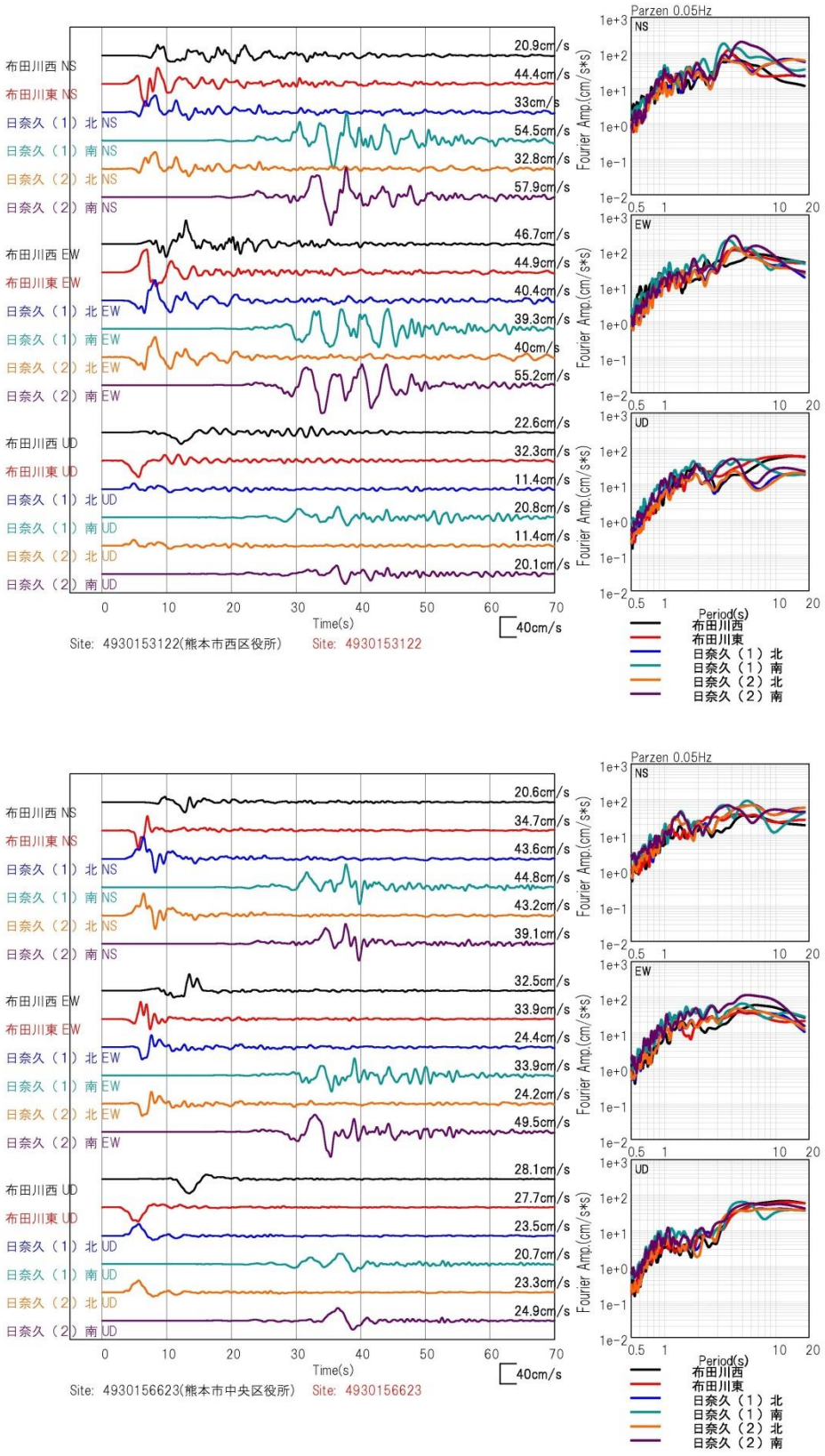


図 115(f)　凡例は(a)と同じ。(上)熊本市西区役所、(下）熊本市中央区役所。

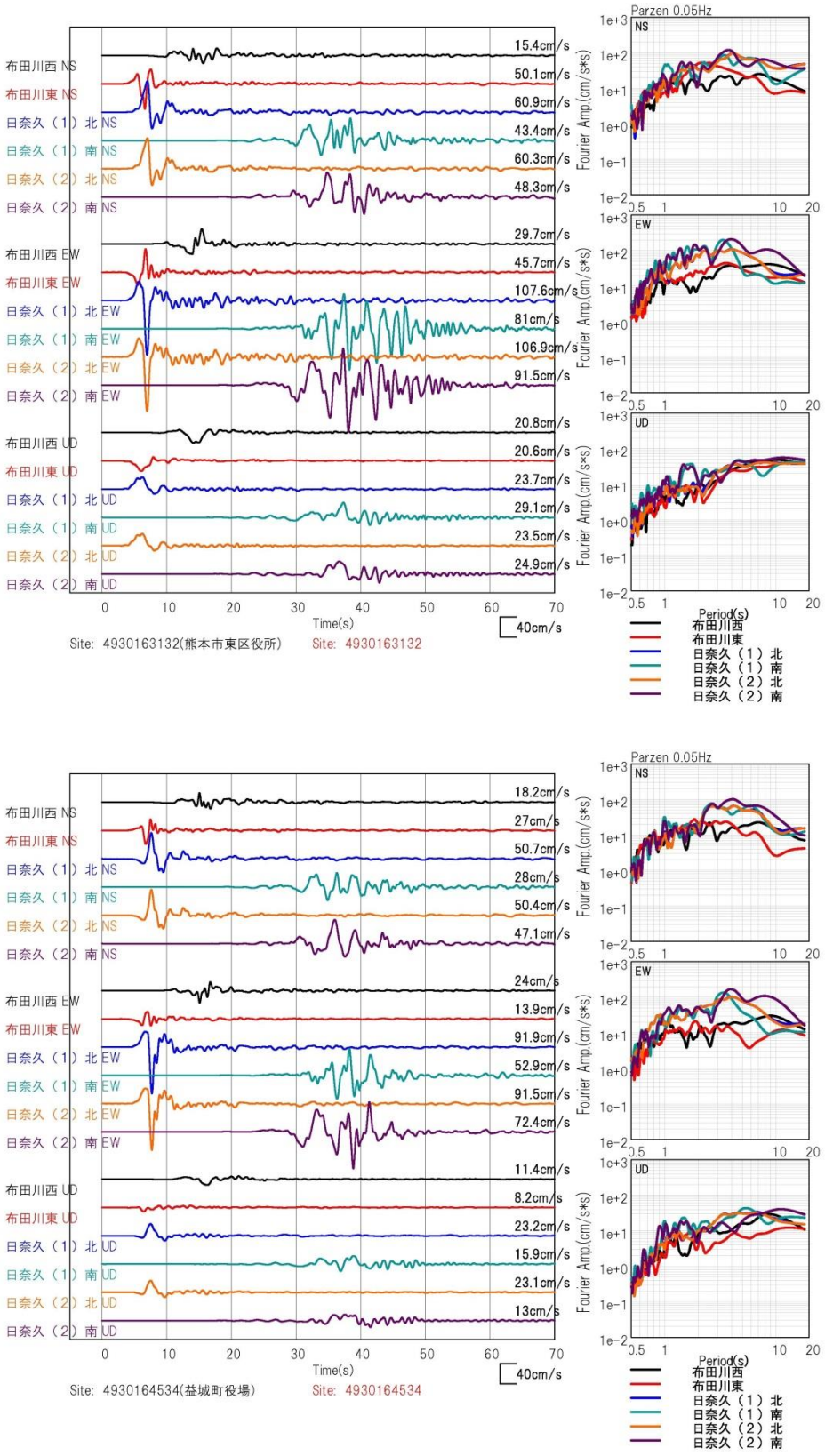


図 115(g)　凡例は(a)と同じ。(上)熊本市東区役所、(下) 益城町役場。

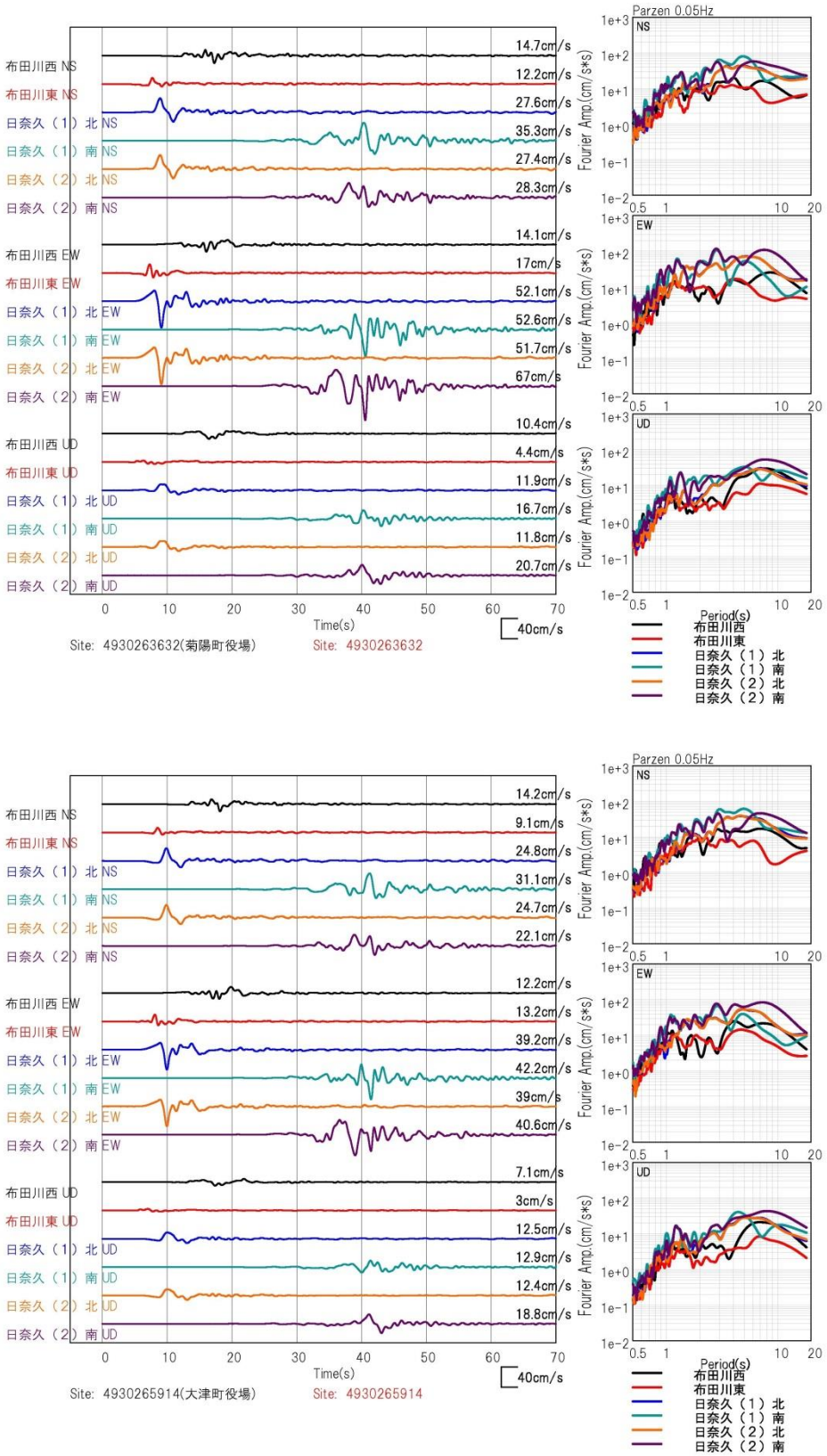


図 115(h)　凡例は(a)と同じ。(上)菊陽町役場、(下) 大津町役場。

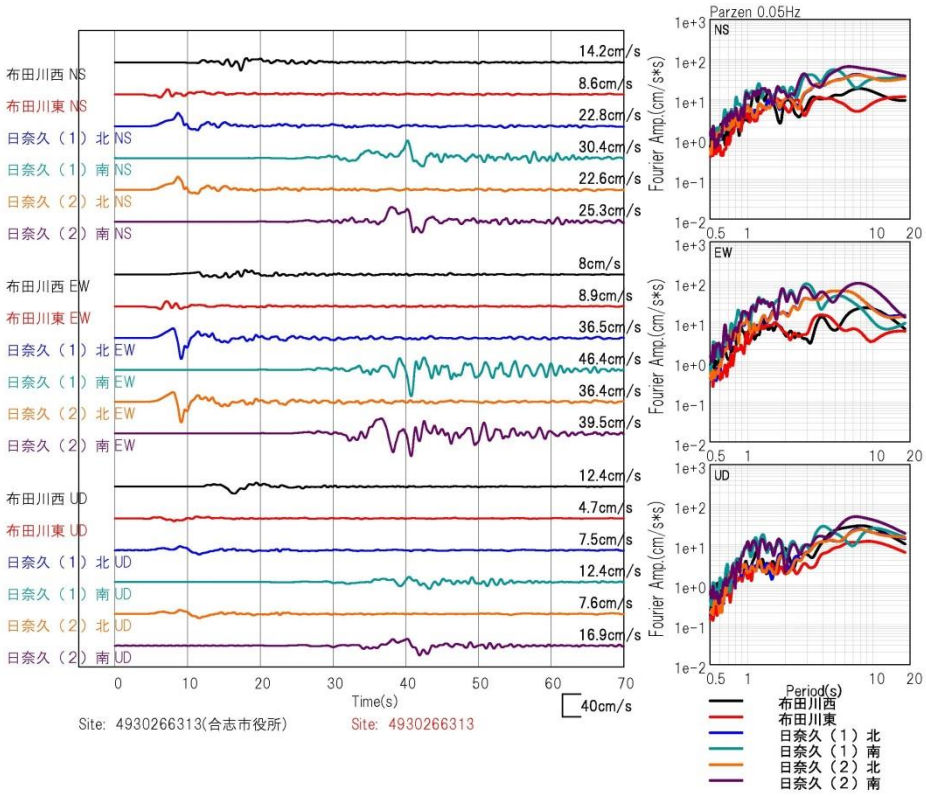


図 115(i)　凡例は(a)と同じ。合志市役所。

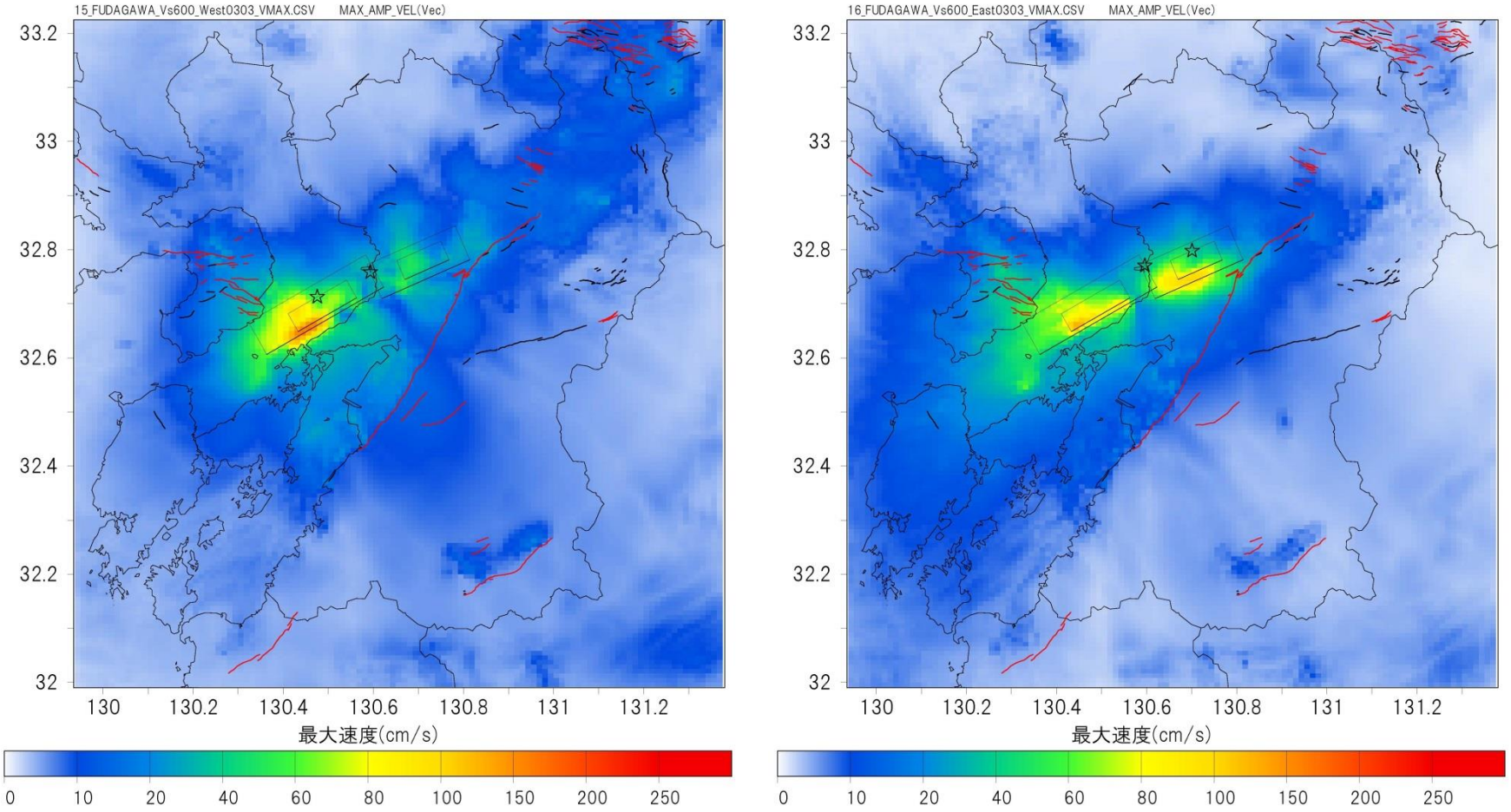


図 116(a)　「広域」領域の差分法によって得られた最大速度分布。(左) 布田川断層帯震源断層西破壊、(右) 布田川断層帯震源断層東破壊。格子と星は震源断層モデルと破壊開始点を表す。１辺太線となっているのが、矩形断層の浅い辺を表す。格子内の格子は強震動生成域。赤線は、中田・今泉（2002）による「活断層」及び「推定活断層」を示す。

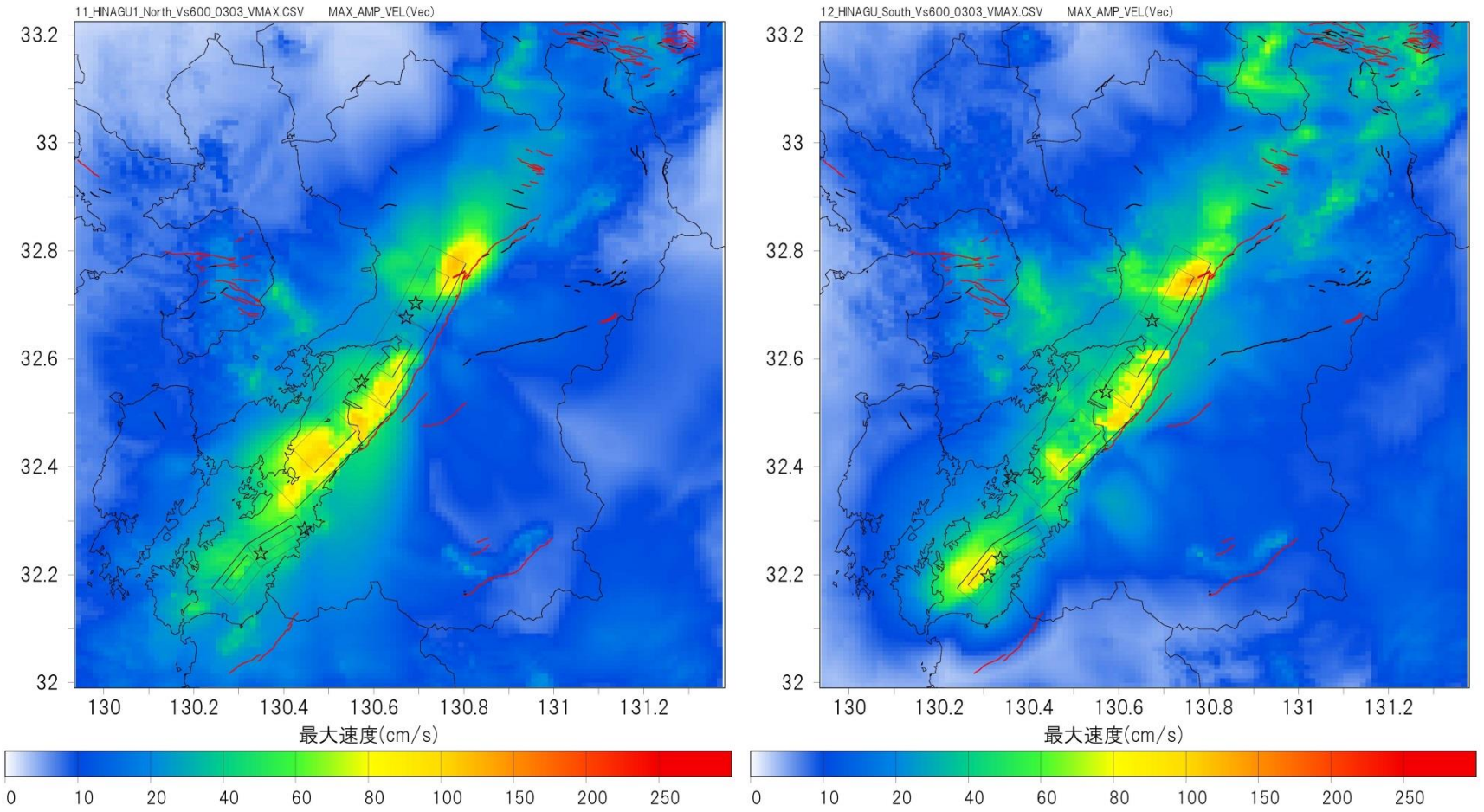


図 116(b)　「広域」領域の差分法によって得られた最大速度分布。(左) 日奈久断層帯（１）震源断層北破壊、(右) 日奈久断層帯（１）震源断層南破壊。格子と星は震源断層モデルと破壊開始点を表す。１辺太線となっているのが、矩形断層の浅い辺を表す。格子内の格子は強震動生成域。赤線は、中田・今泉（2002）による「活断層」及び「推定活断層」を示す。

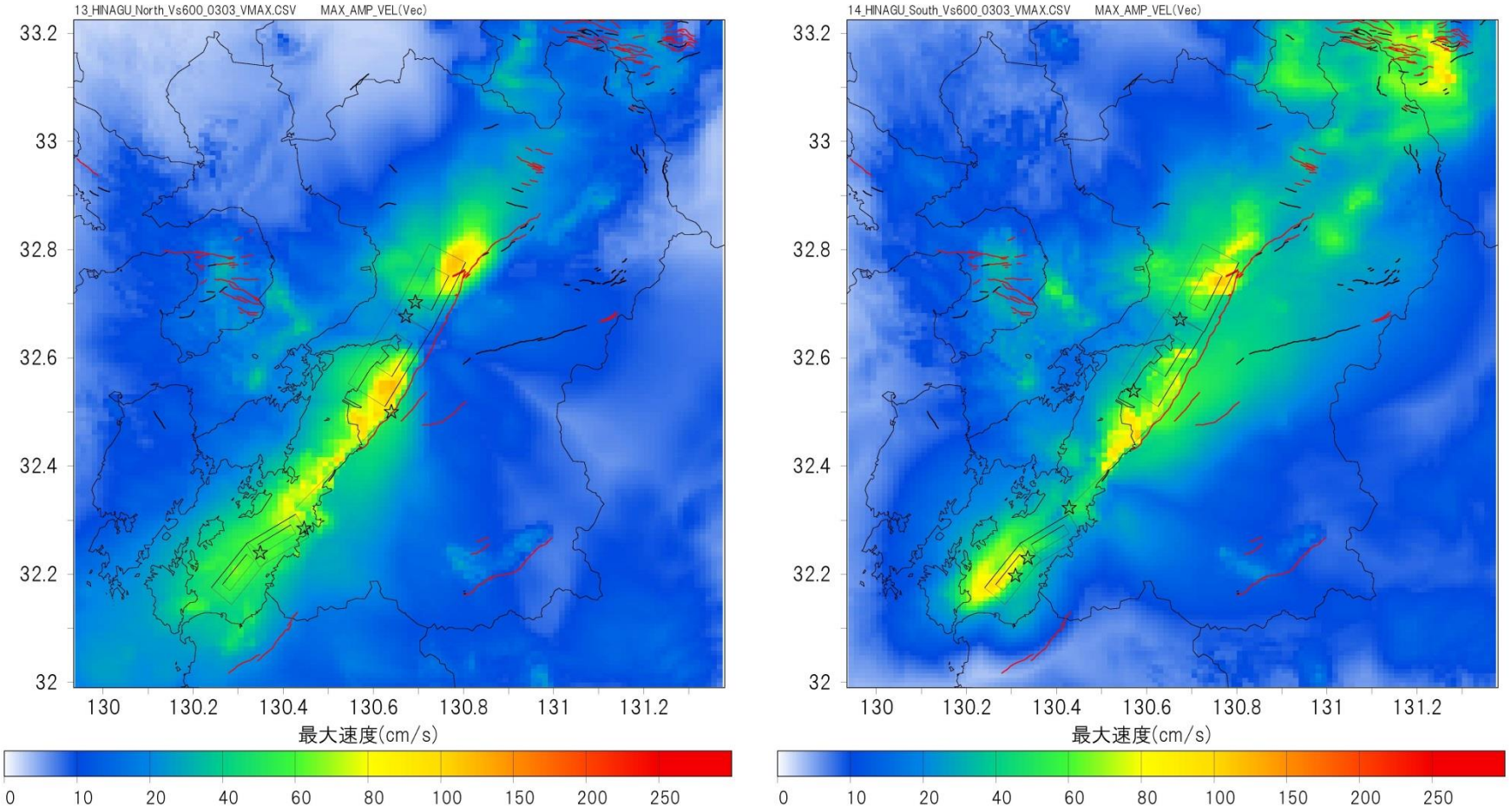


図 116(b)　「広域」領域の差分法によって得られた最大速度分布。（左）日奈久断層帯（２）震源断層北破壊、（右）日奈久断層帯（２）震源断層南破壊。格子と星は震源断層モデルと破壊開始点を表す。１辺太線となっているのが、矩形断層の浅い辺を表す。格子内の格子は強震動生成域。赤線は、中田・今泉（2002）による「活断層」及び「推定活断層」を示す。

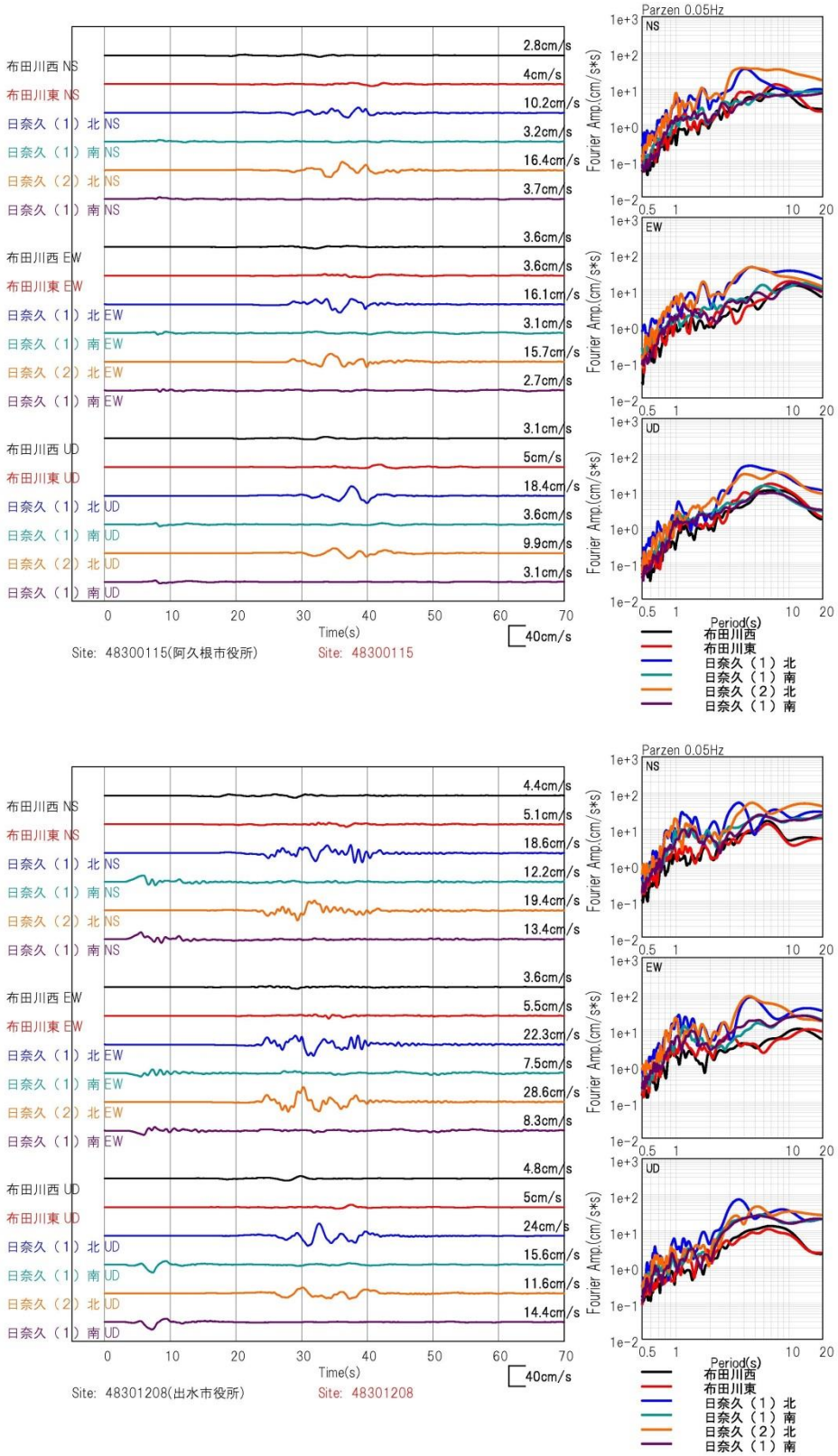


図 117(a) 「広域」計算による速度波形および速度フーリエ振幅スペクトルの震源断層モデルによる比較。黒：布田川断層帯西破壊　赤：布田川断層帯東破壊　青：日奈久断層帯（1）北破壊、緑：日奈久断層帯（1）南破壊、橙：日奈久断層帯（2）北破壊、紫：日奈久断層帯（2）南破壊。（上）阿久根市役所、（下）出水市役所。

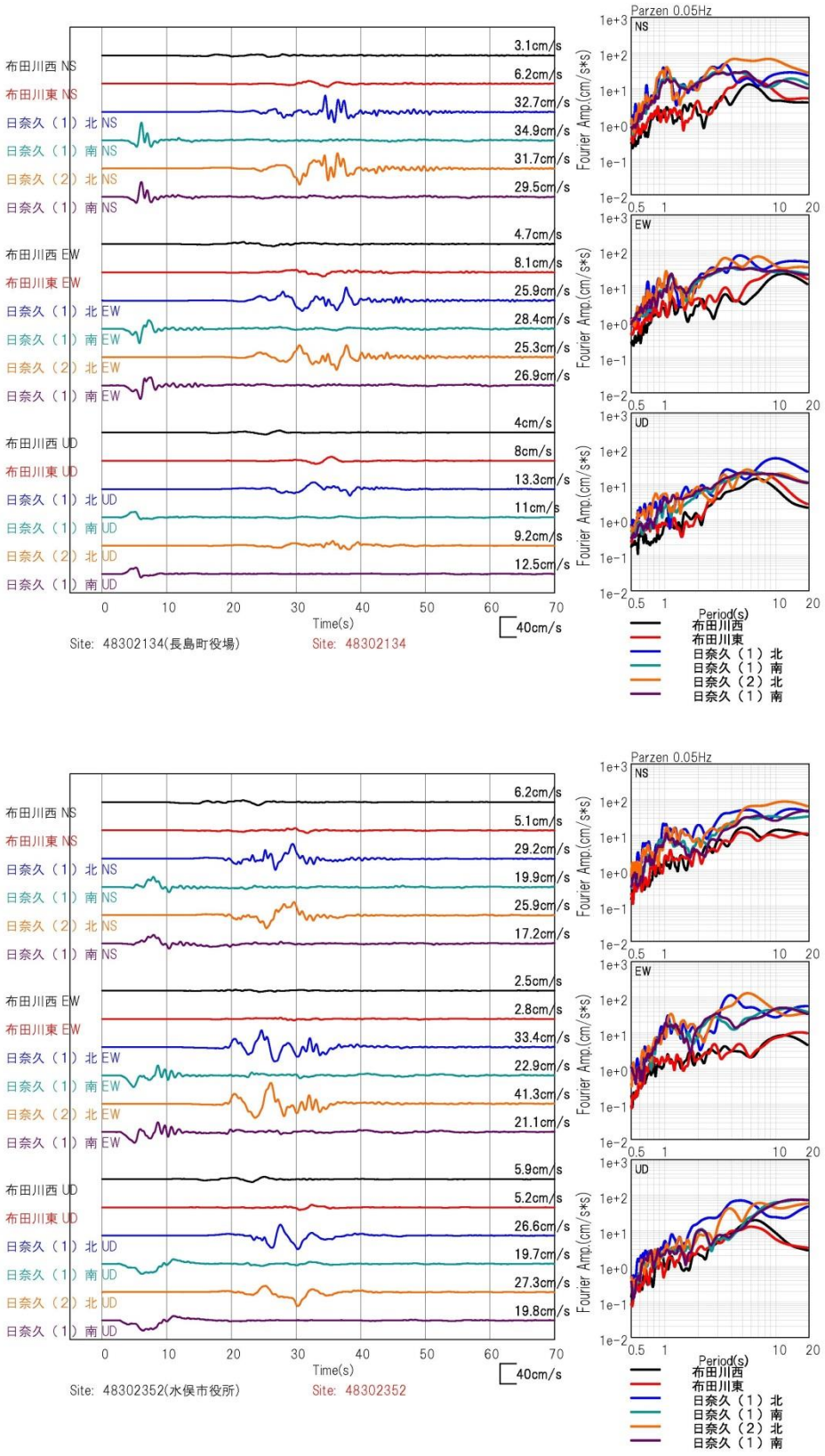


図 117(b) 凡例は(a)と同じ。（上）長嶋町役場、（下）水俣市役所。

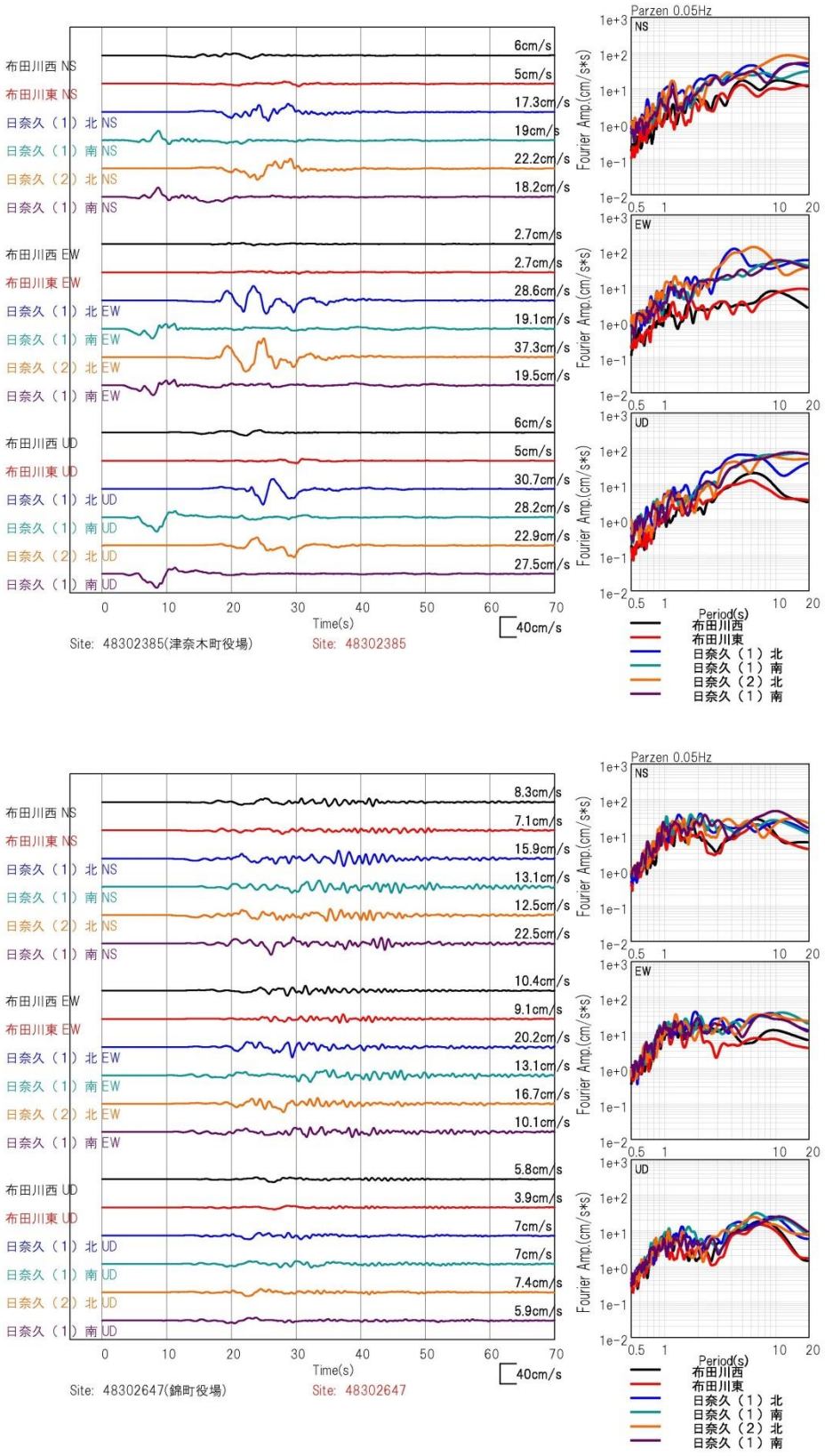


図 117(c) 凡例は(a)と同じ。（上）津奈木町役場、（下）錦町役場。

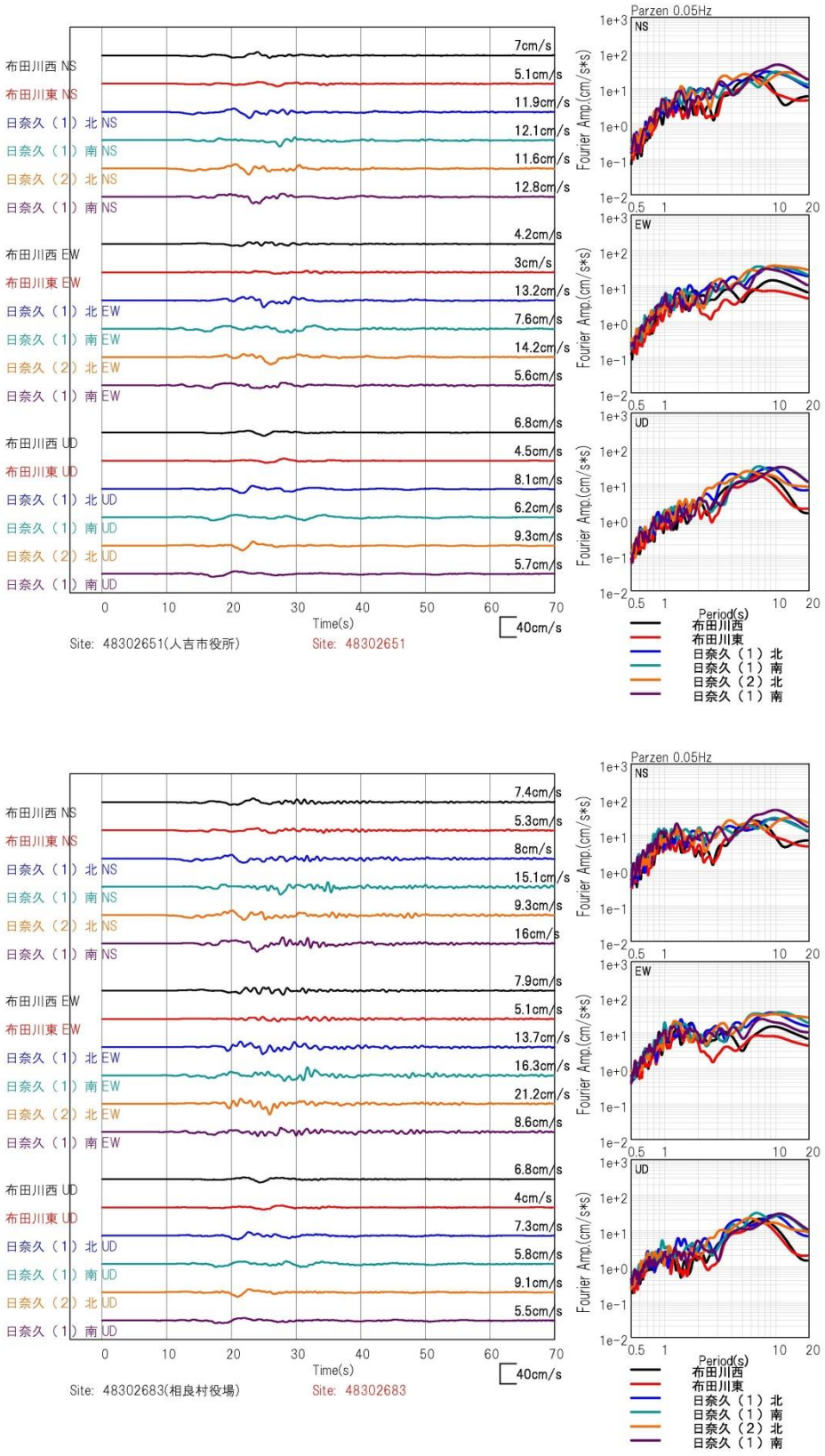


図 117(d) 凡例は(a)と同じ。（上）人吉市役所、（下）相良町役場。

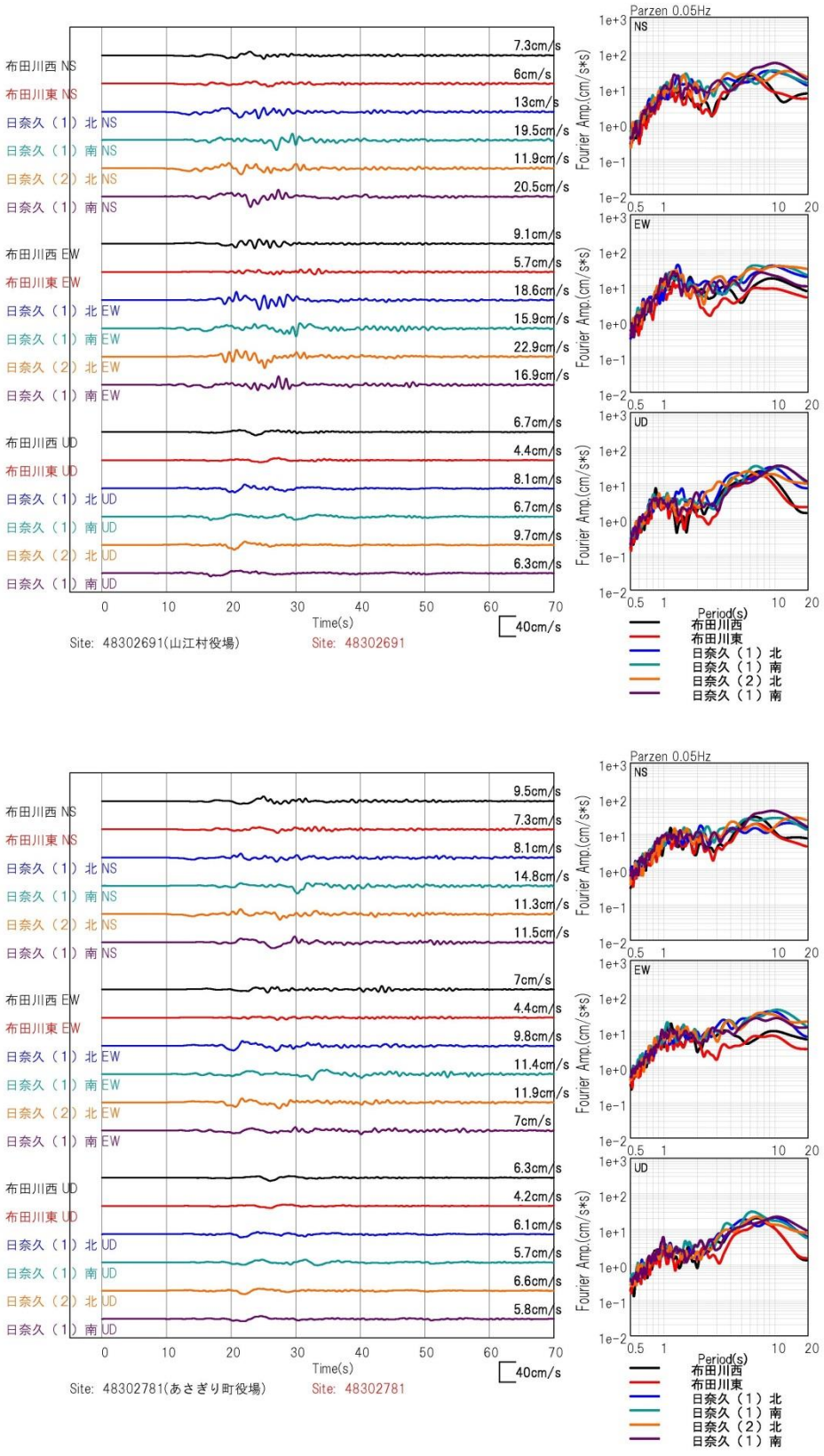


図 117(e) 凡例は(a)と同じ。（上）山江村役場、（下）あさぎり町役場。

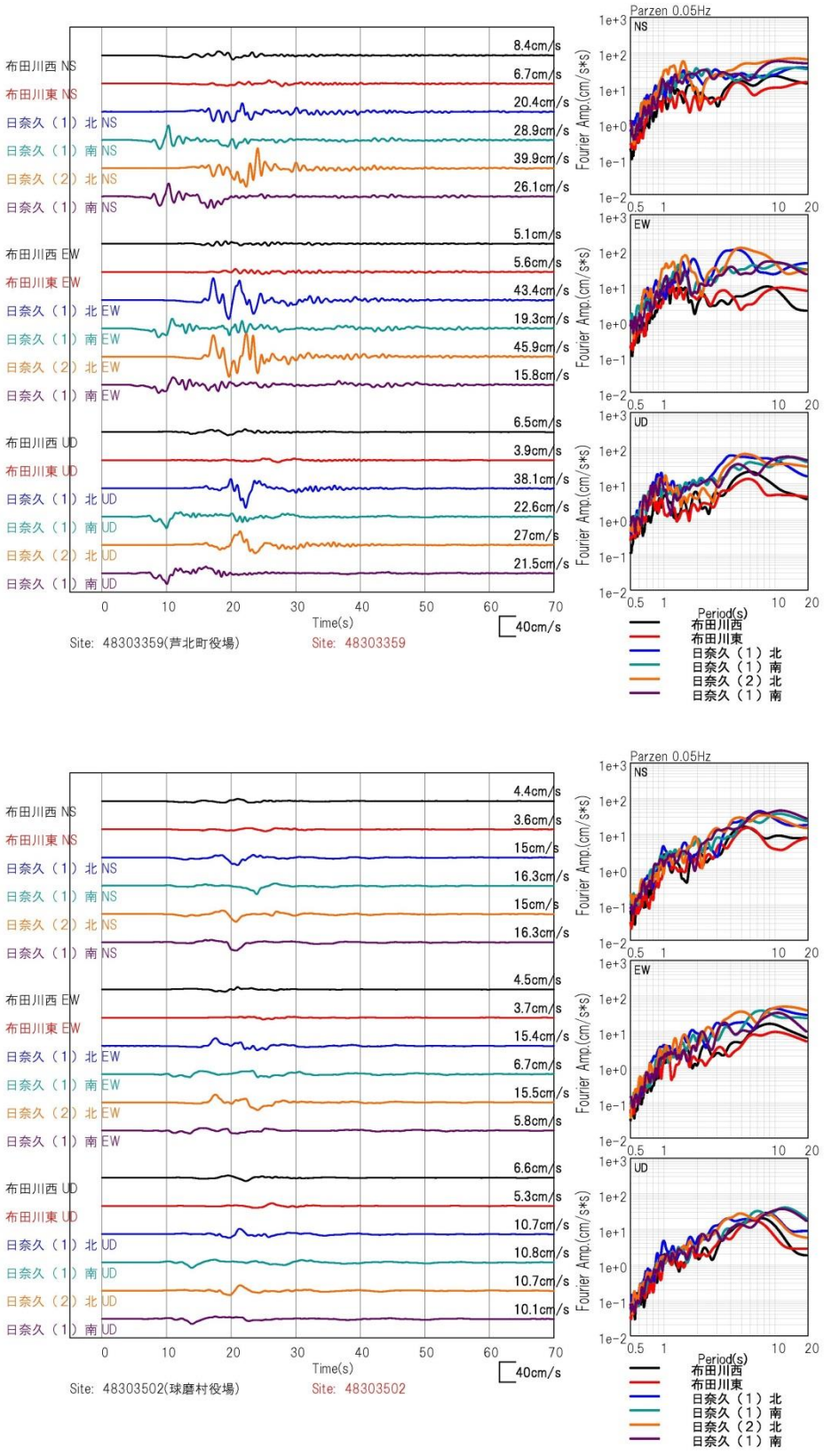


図 117(f) 凡例は(a)と同じ。（上）芦北町役場、（下）球磨町役場。

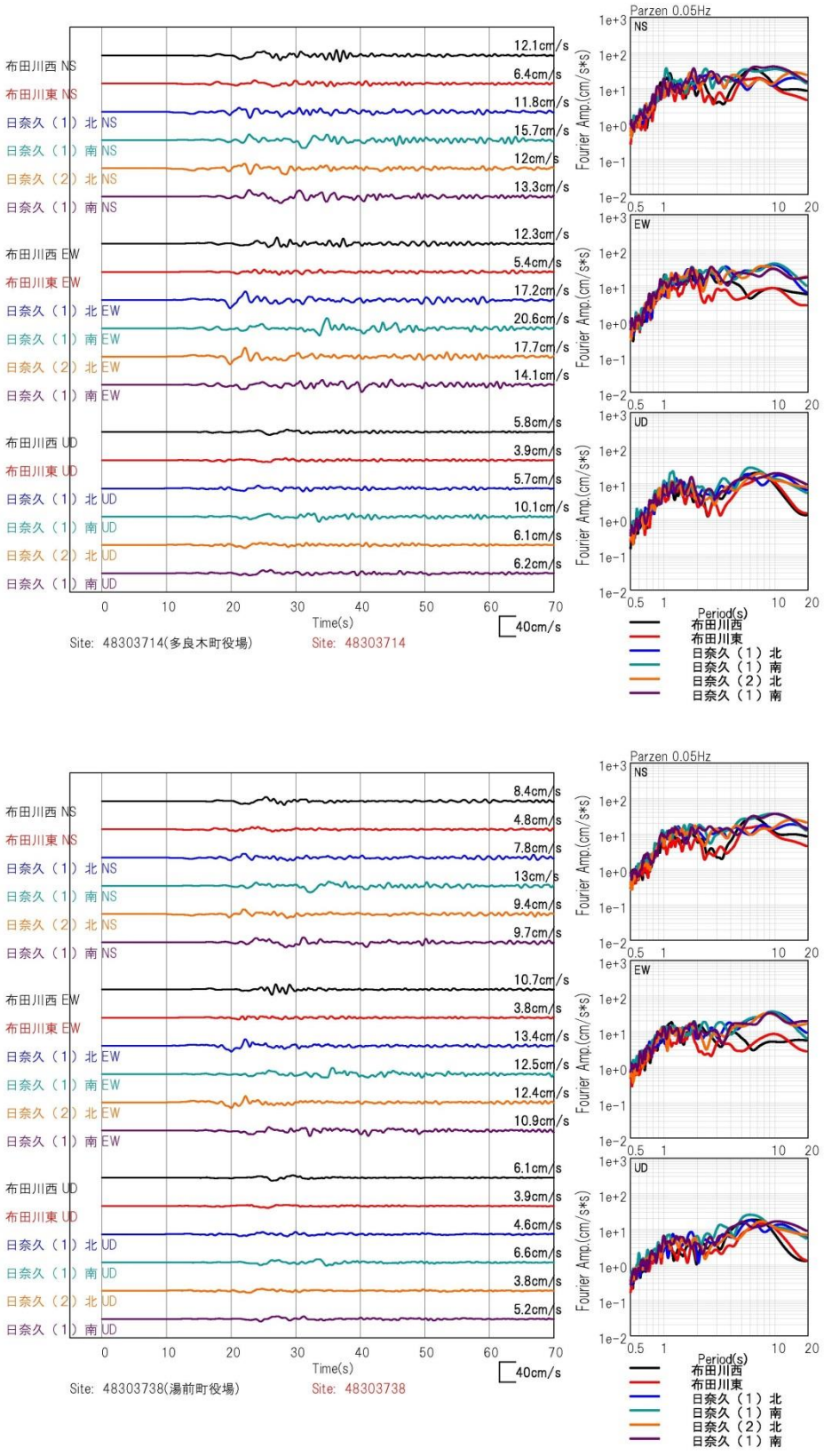


図 117(g) 凡例は(a)と同じ。（上）多良木町役場、（下）湯前町役場。

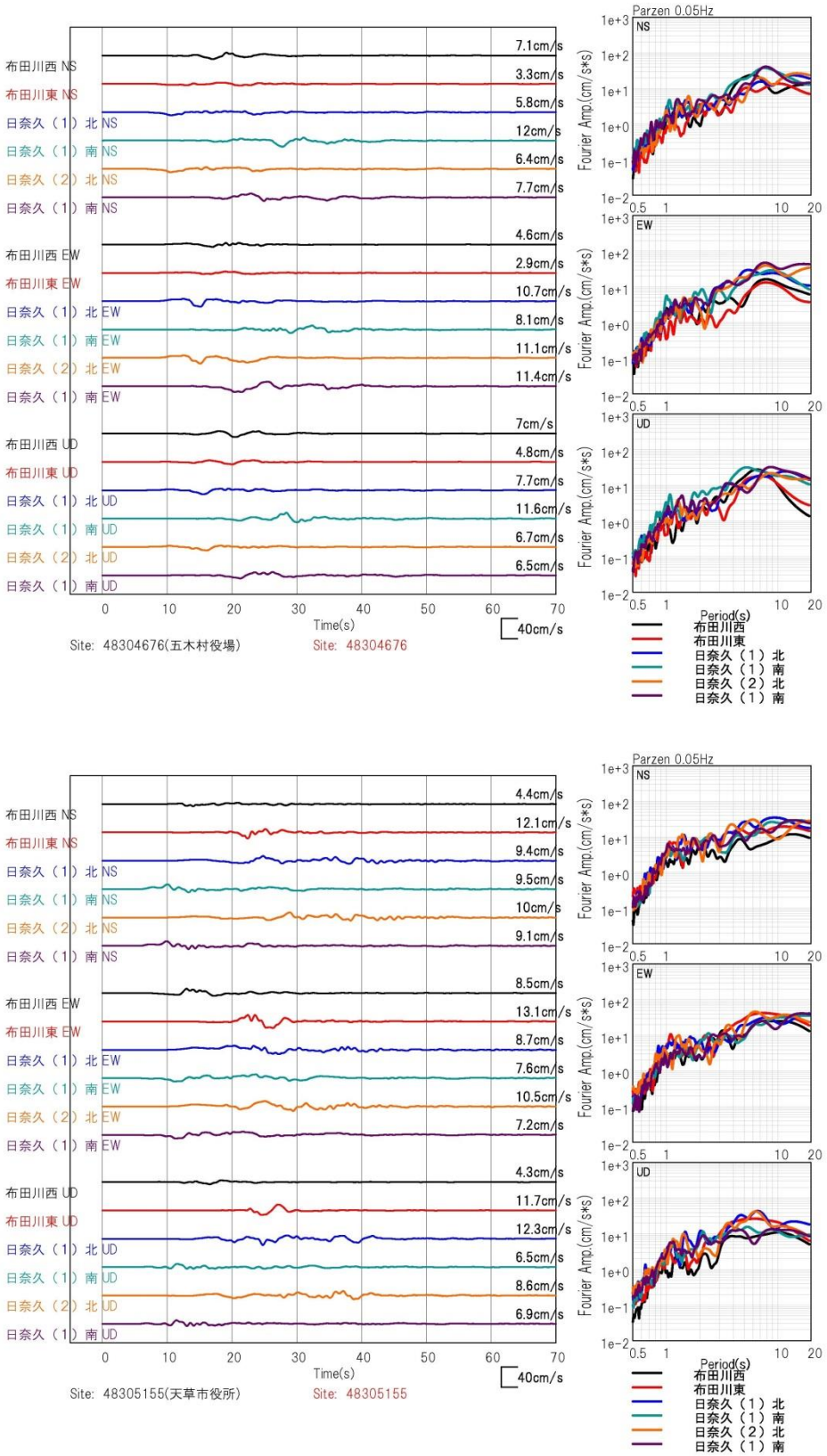


図 117(h) 凡例は(a)と同じ。（上）五木町役場、（下）天草市役所。

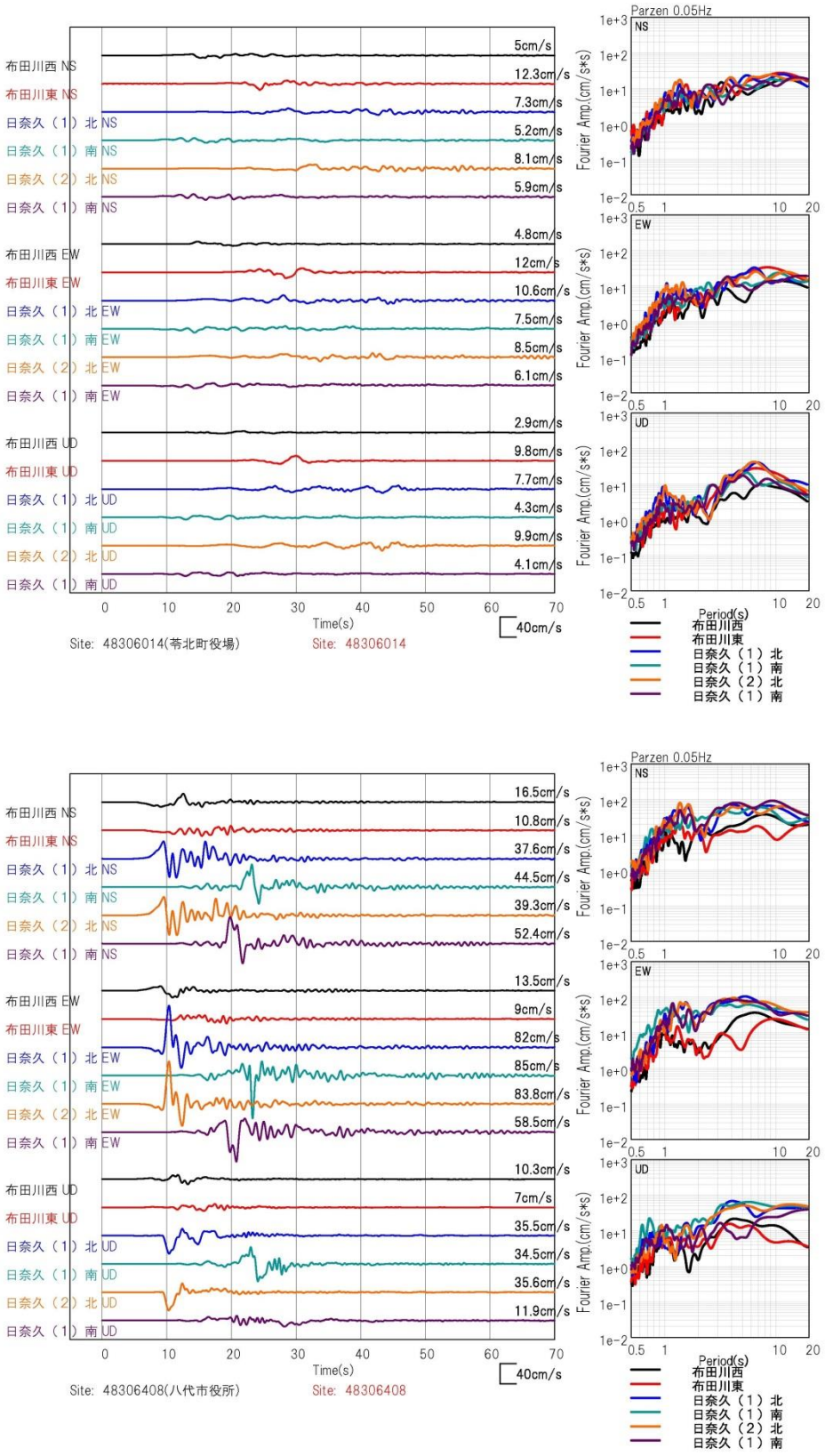
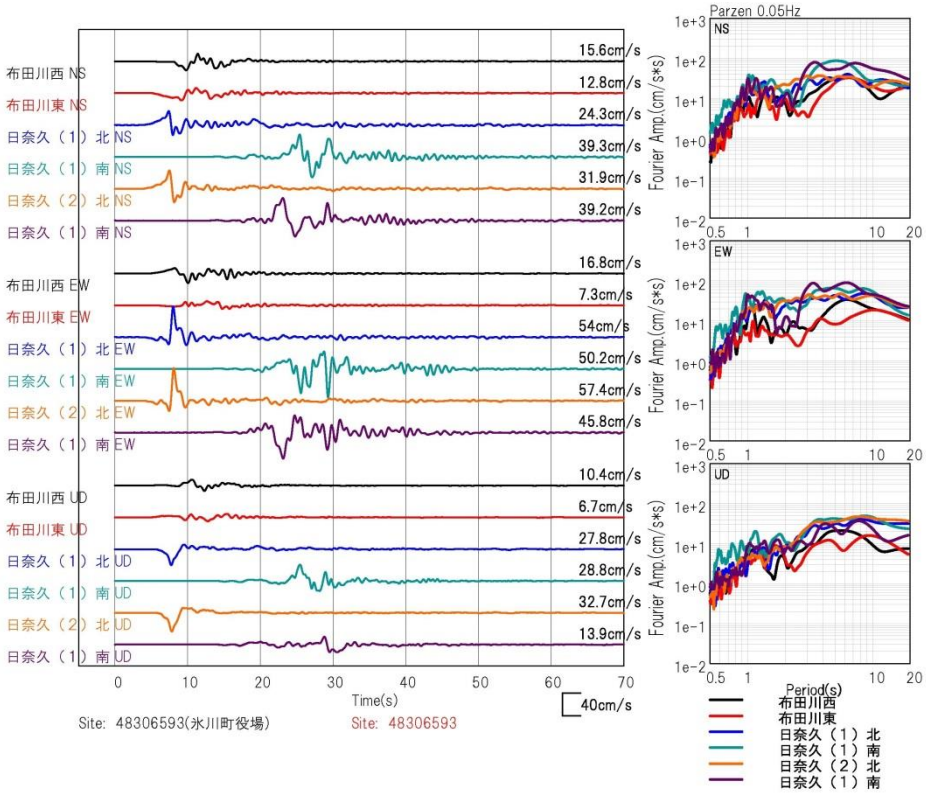


図 117(i) 凡例は(a)と同じ。（上）苓北町役場、（下）八代市役所。



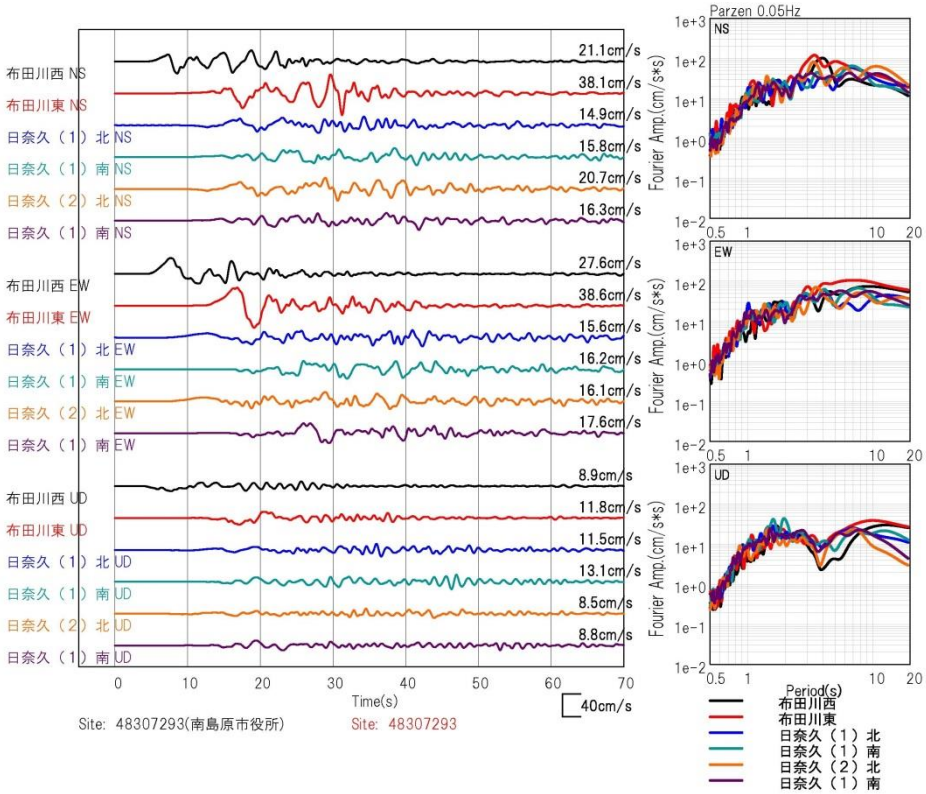


図 117(j) 凡例は(a)と同じ。（上）氷川町役場、（下）南島原市。

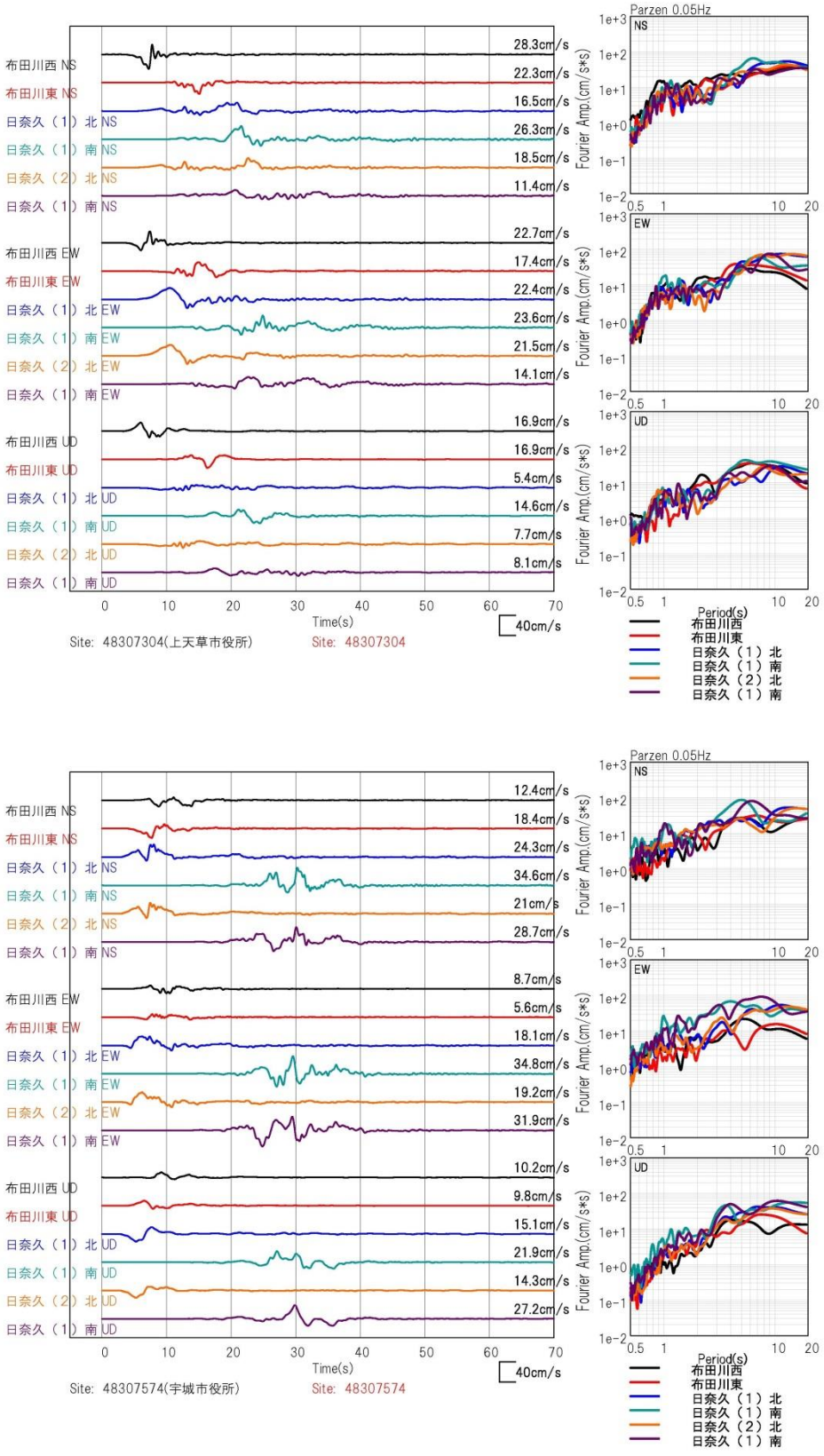


図 117(k) 凡例は(a)と同じ。（上）上天草市役所、（下）宇城市役所。

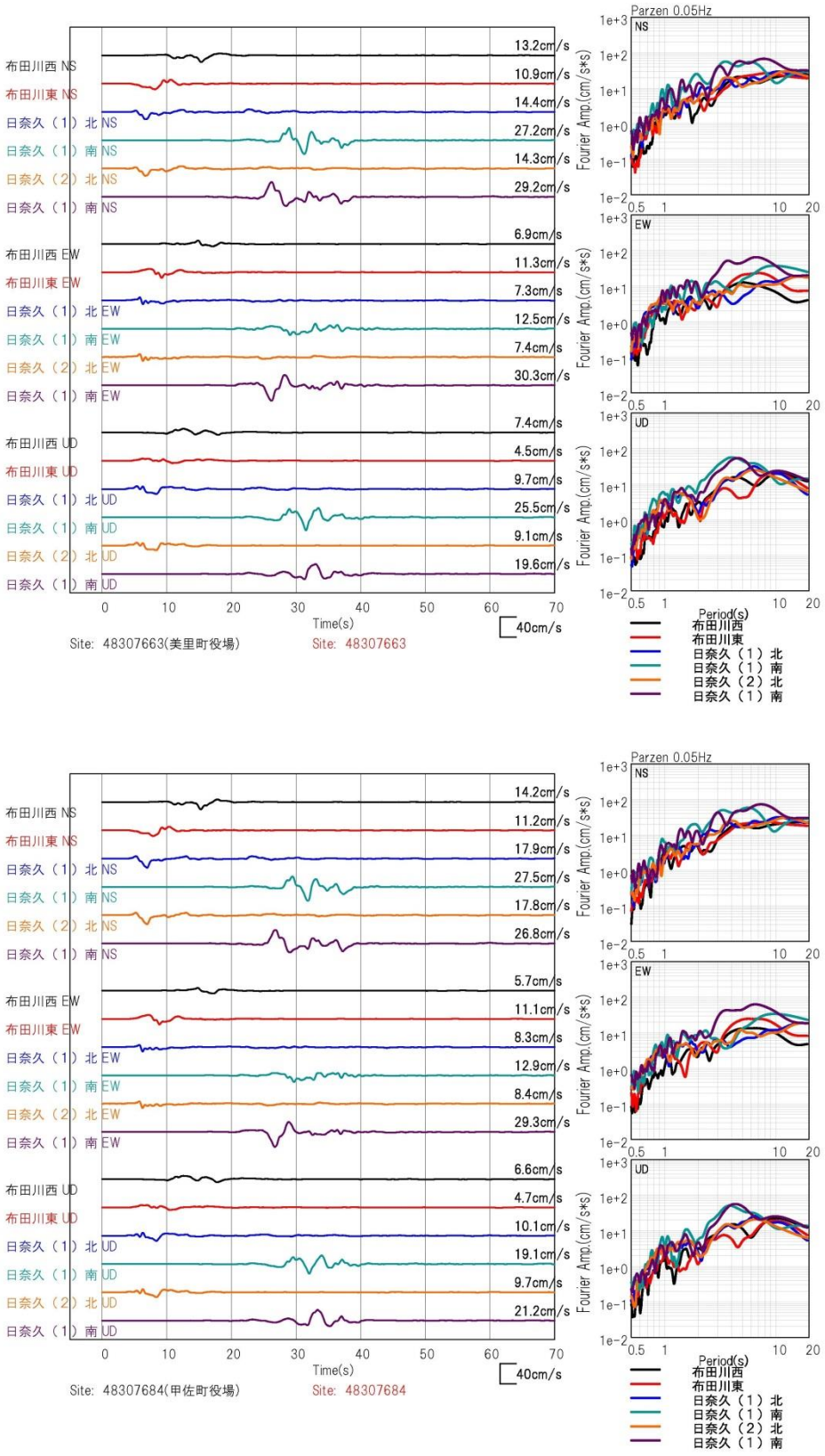
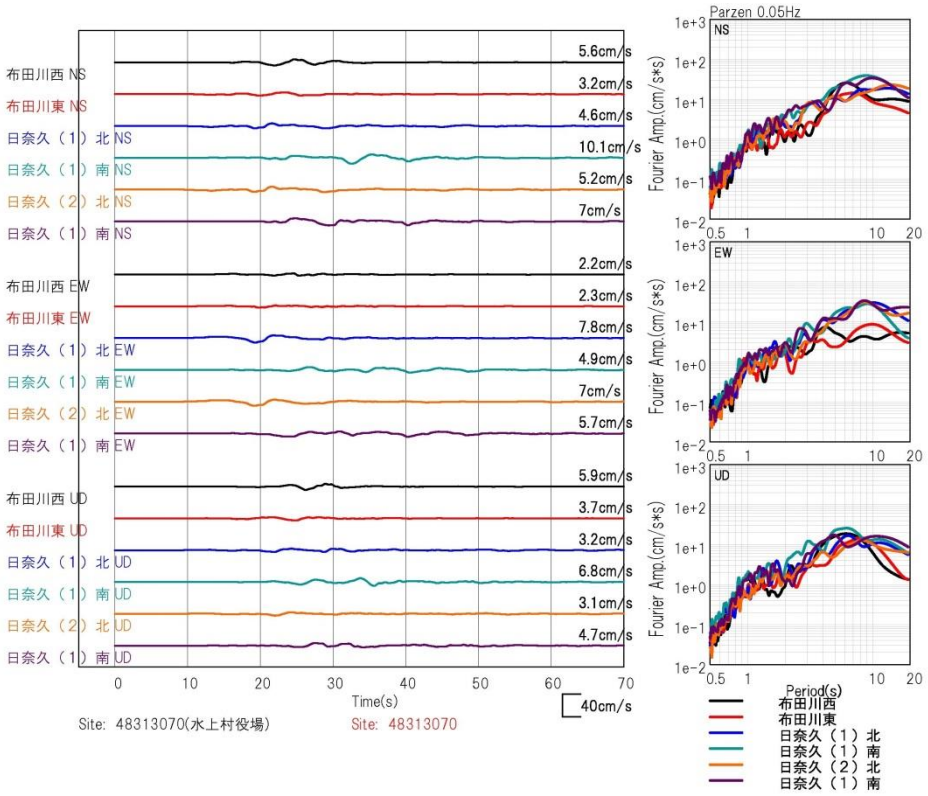


図 117(1) 凡例は(a)と同じ。（上）美里町役場、（下）甲佐町役場。



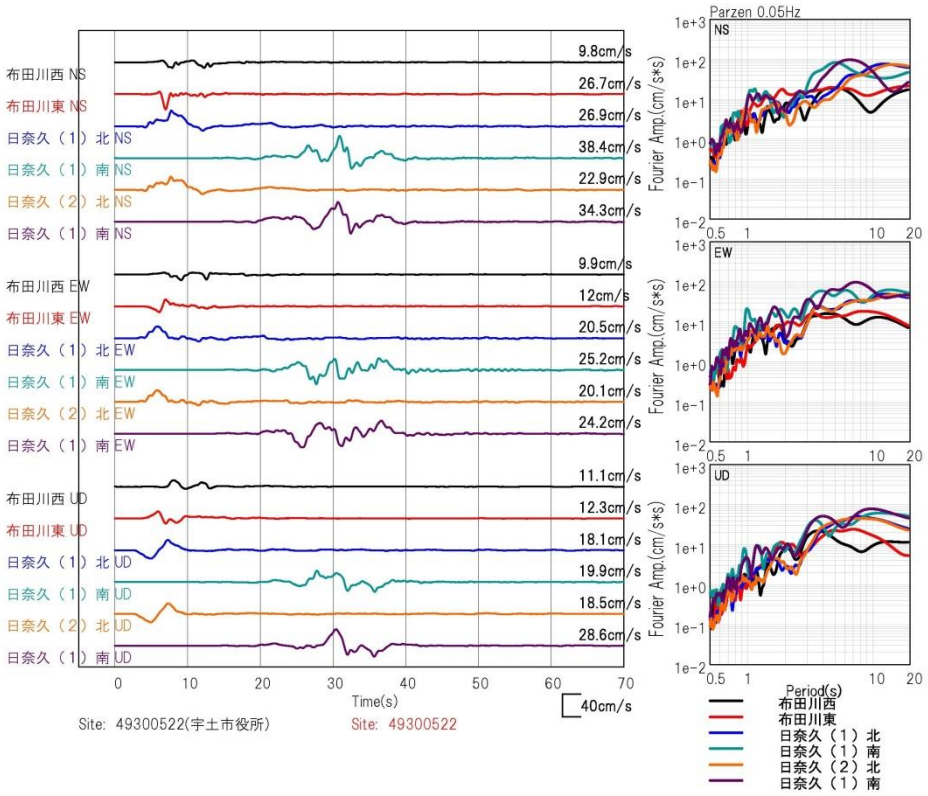


図 117(m) 凡例は(a)と同じ。（上）水上村役場、（下）宇土市役所。

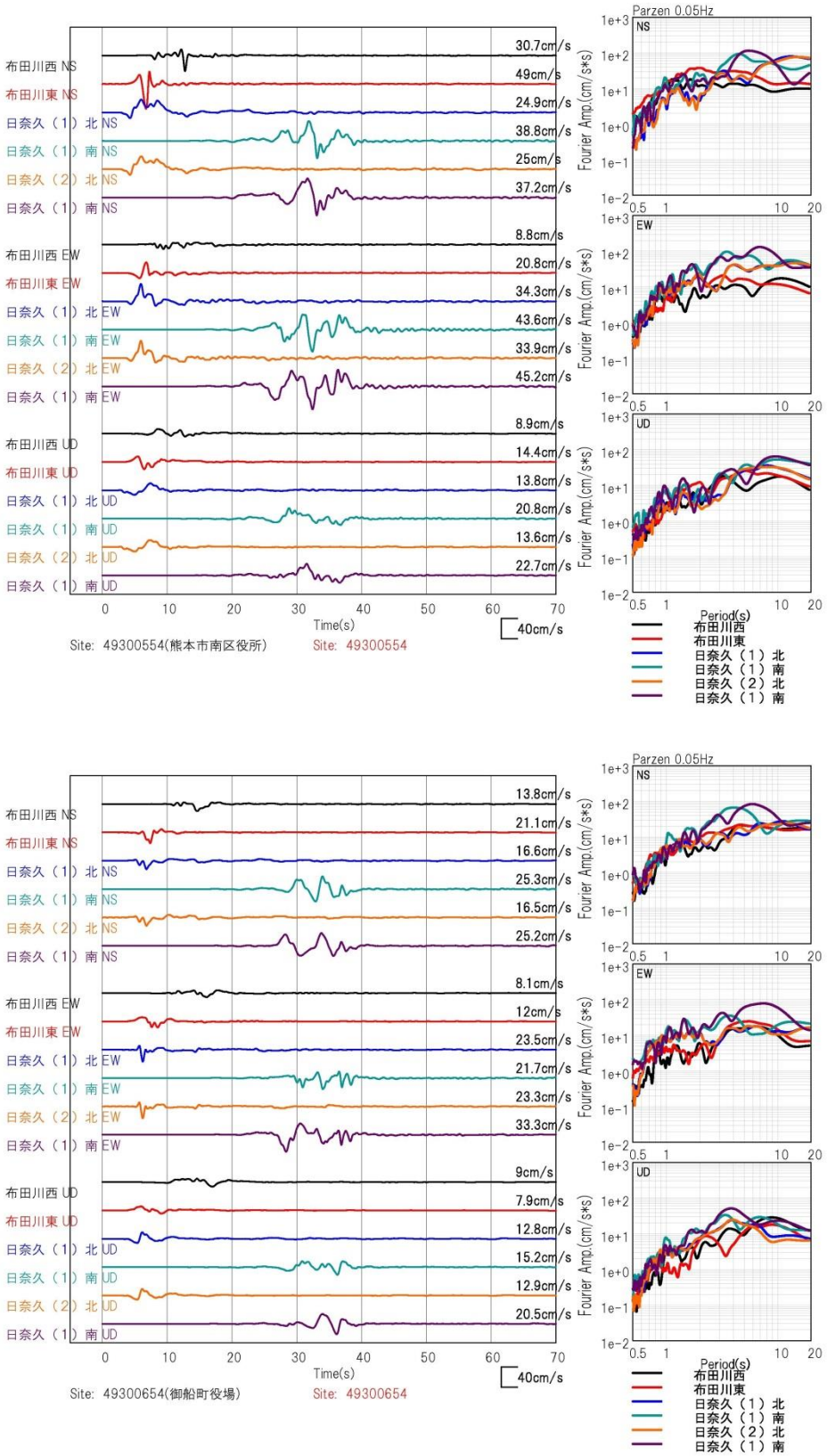


図 117(n) 凡例は(a)と同じ。（上）熊本市南区役所、（下）御船町役場。

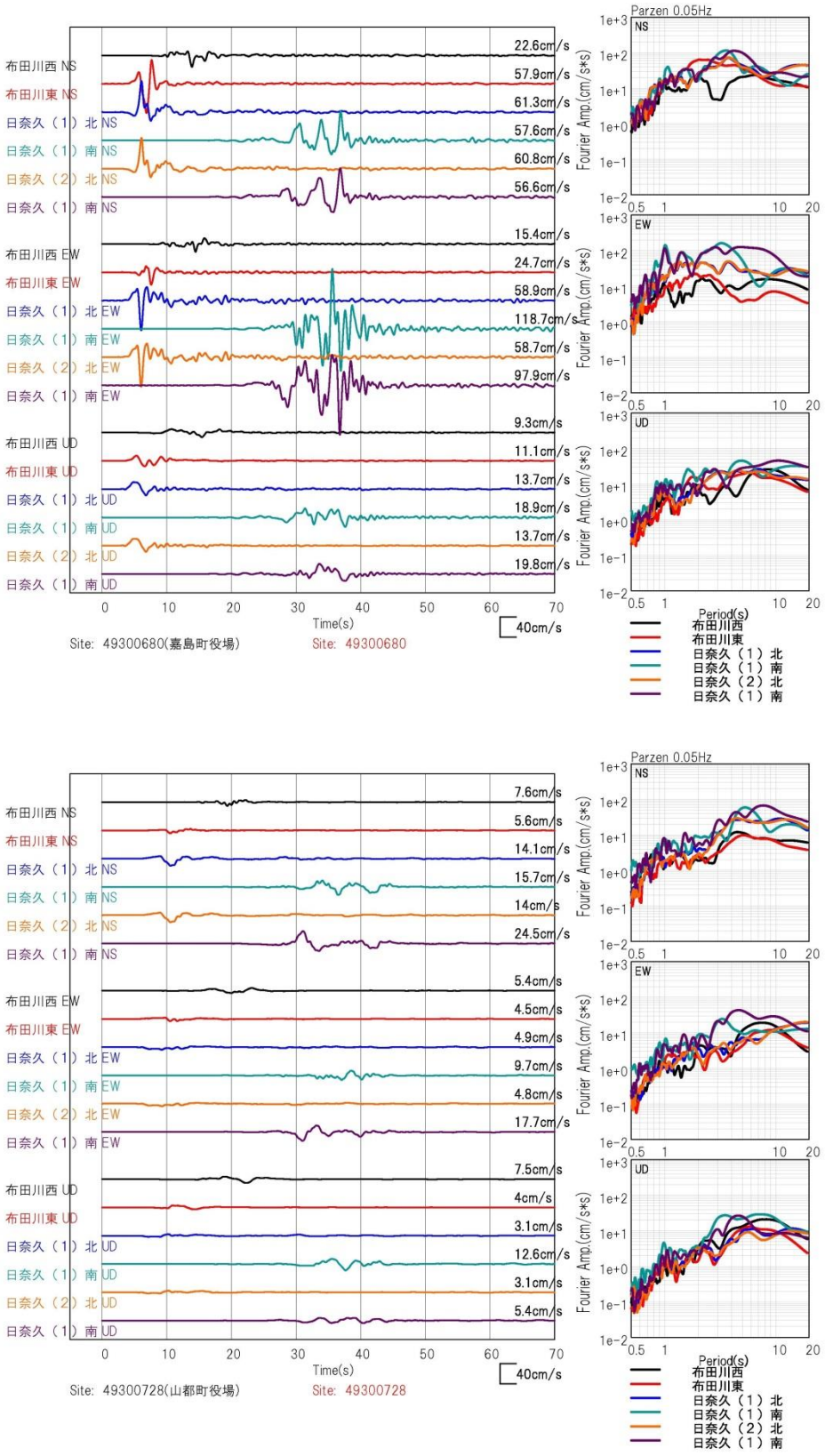


図 117(o) 凡例は(a)と同じ。（上）嘉島町役場、（下）山都町役場。

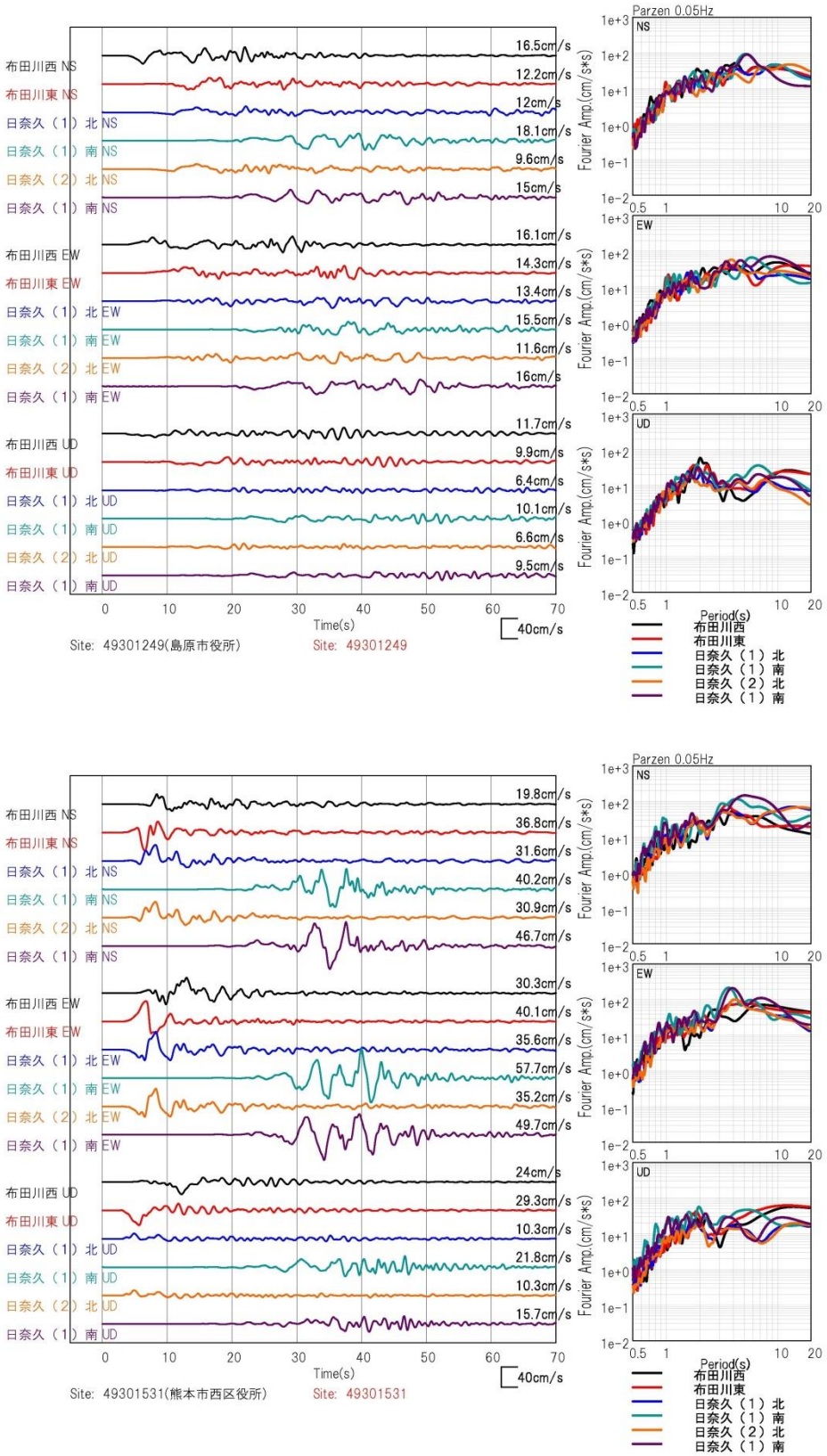


図 117(p) 凡例は(a)と同じ。（上）島原市役所、（下）熊本西区役所。

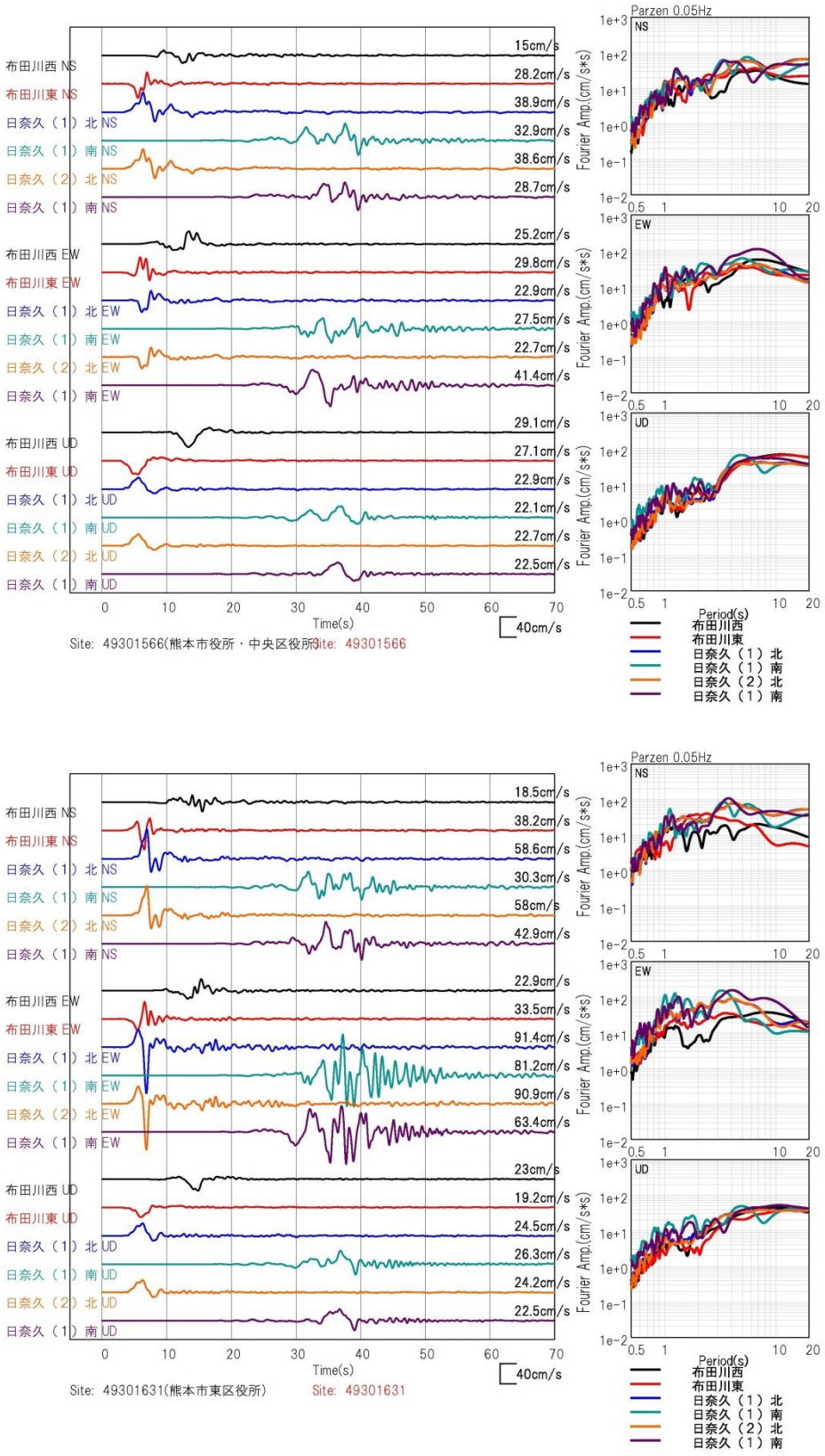


図 117(q) 凡例は(a)と同じ。(上) 熊本市役所・熊本市中央区役所、(下) 熊本市東区役所。

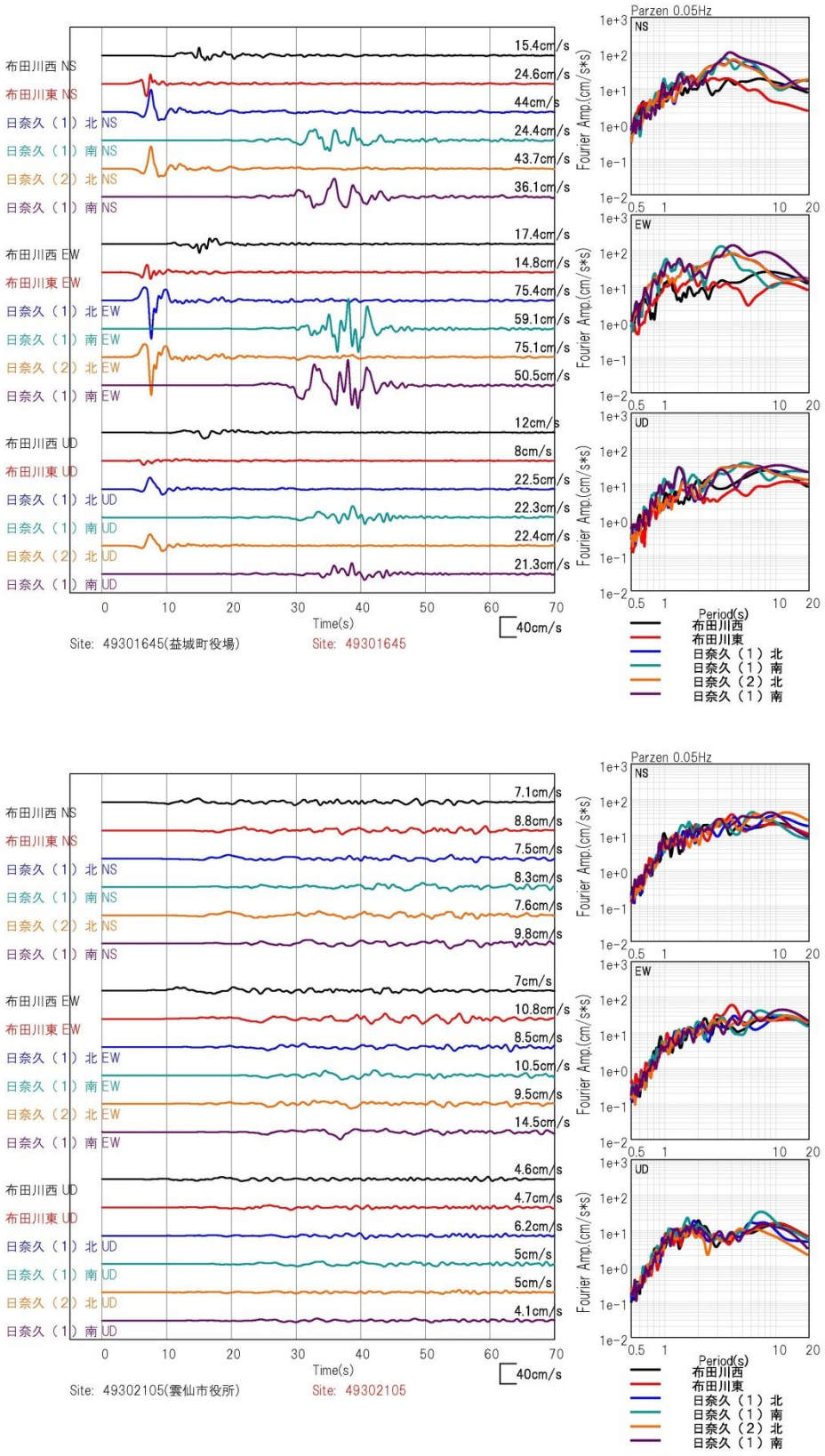


図 117(r) 凡例は(a)と同じ。（上）益城町役場、（下）雲仙市役所。

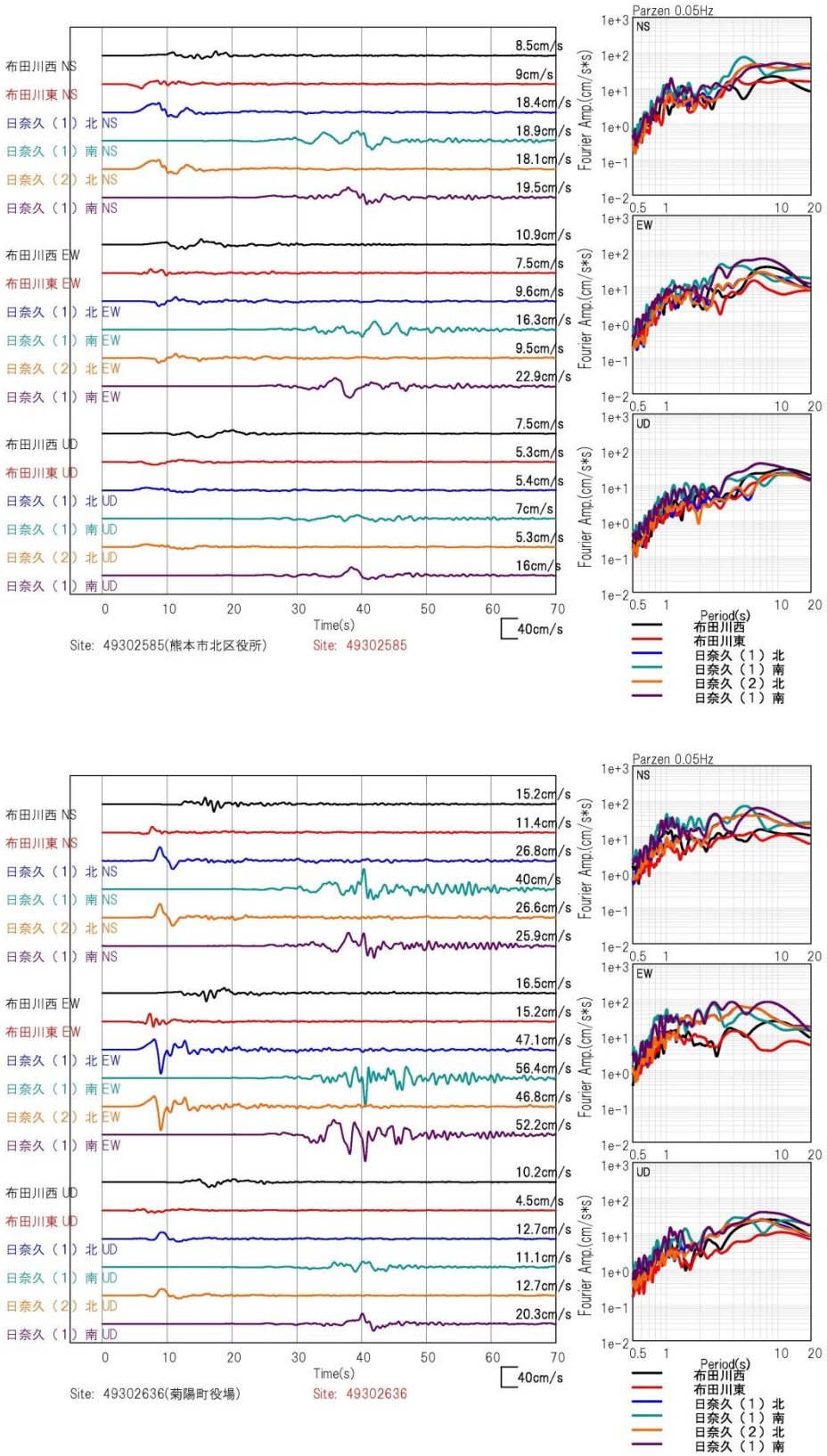


図 117(s) 凡例は(a)と同じ。（上）熊本市北区役所、（下）菊陽町役場。

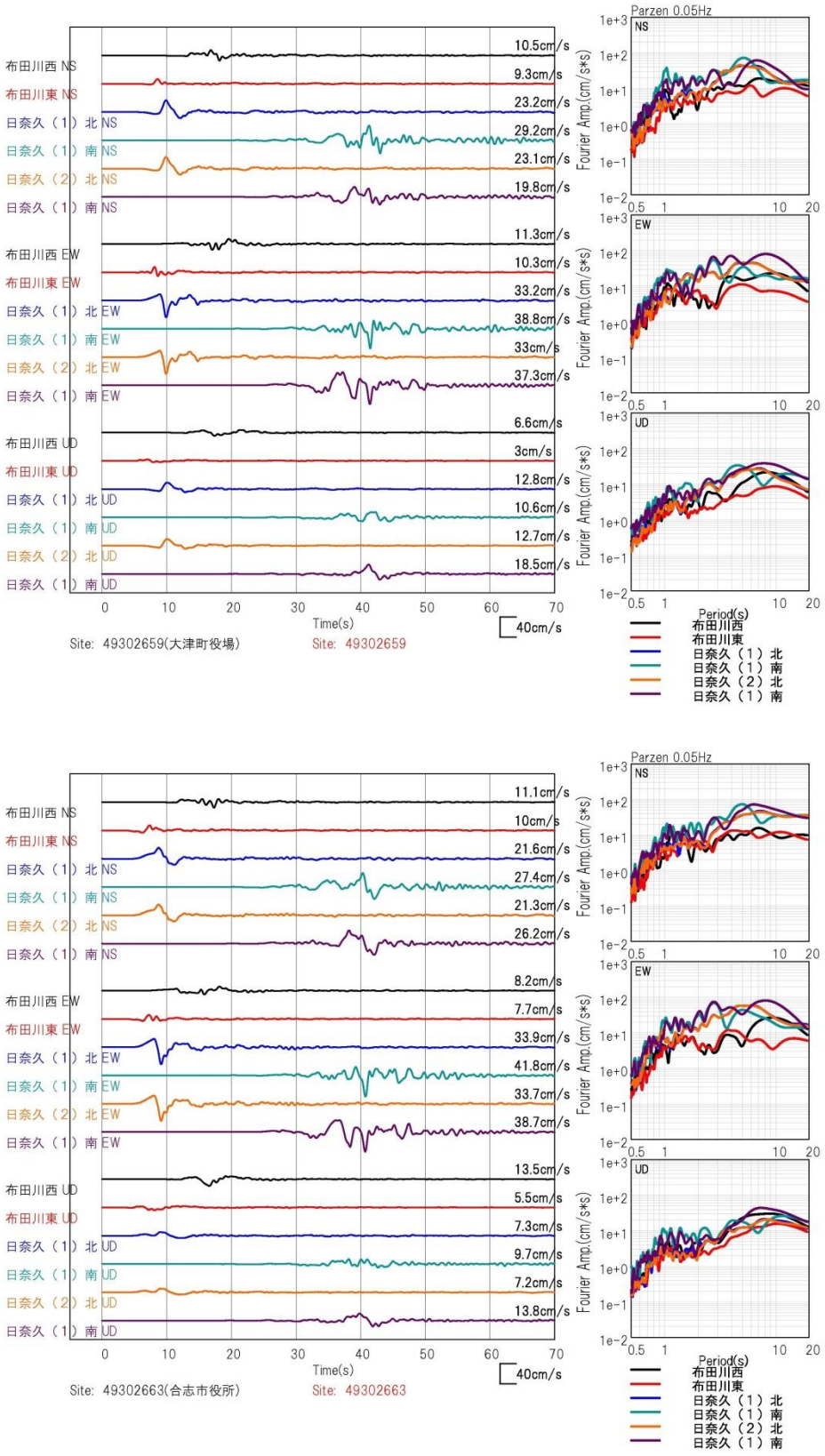


図 117(t) 凡例は(a)と同じ。（上）大津町役場、（下）合志市役所。

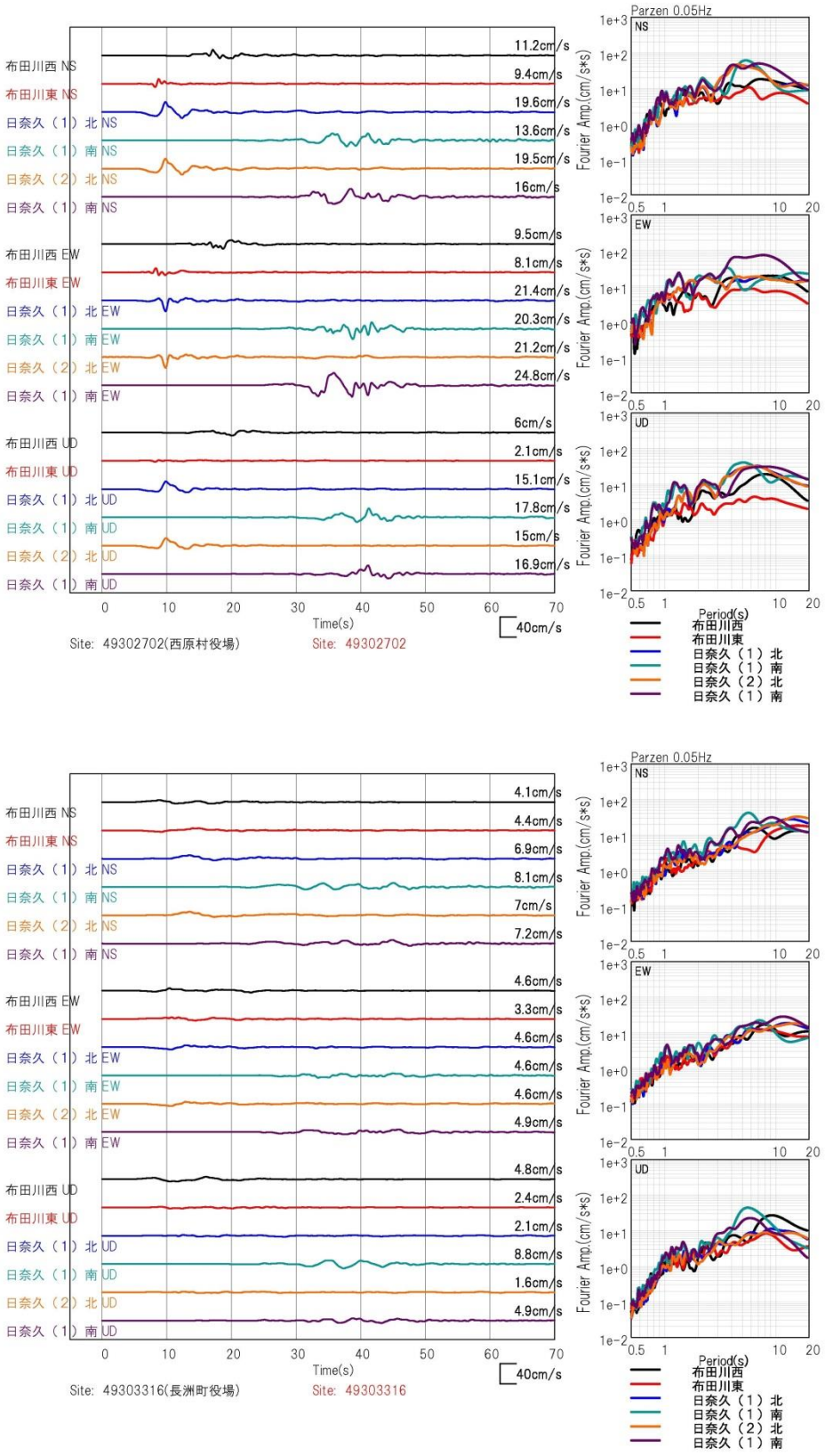


図 117(u) 凡例は(a)と同じ。（上）西原村役場、（下）長洲町役場。

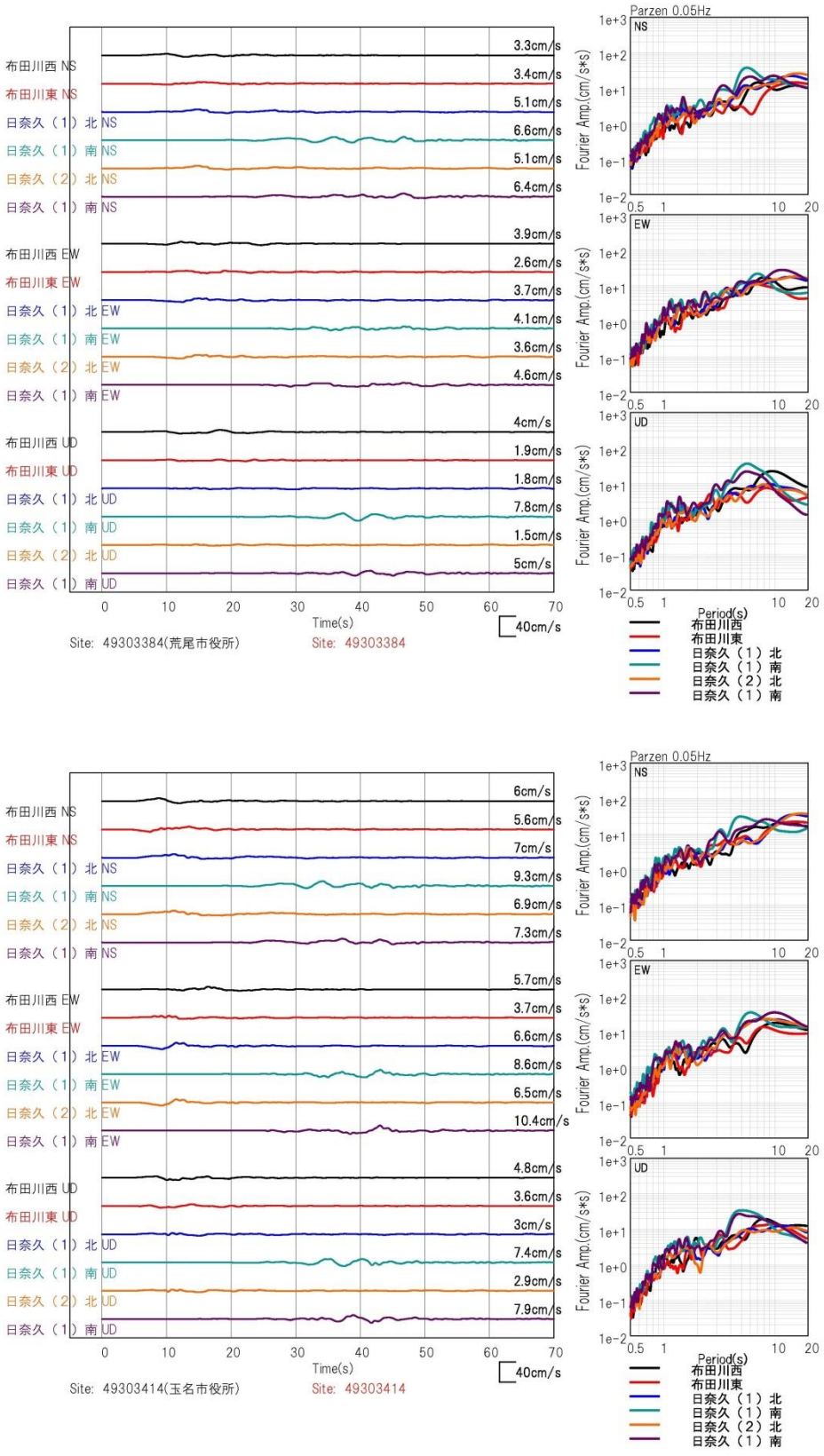


図 117(v) 凡例は(a)と同じ。（上）荒尾市役所、（下）玉名市役所。

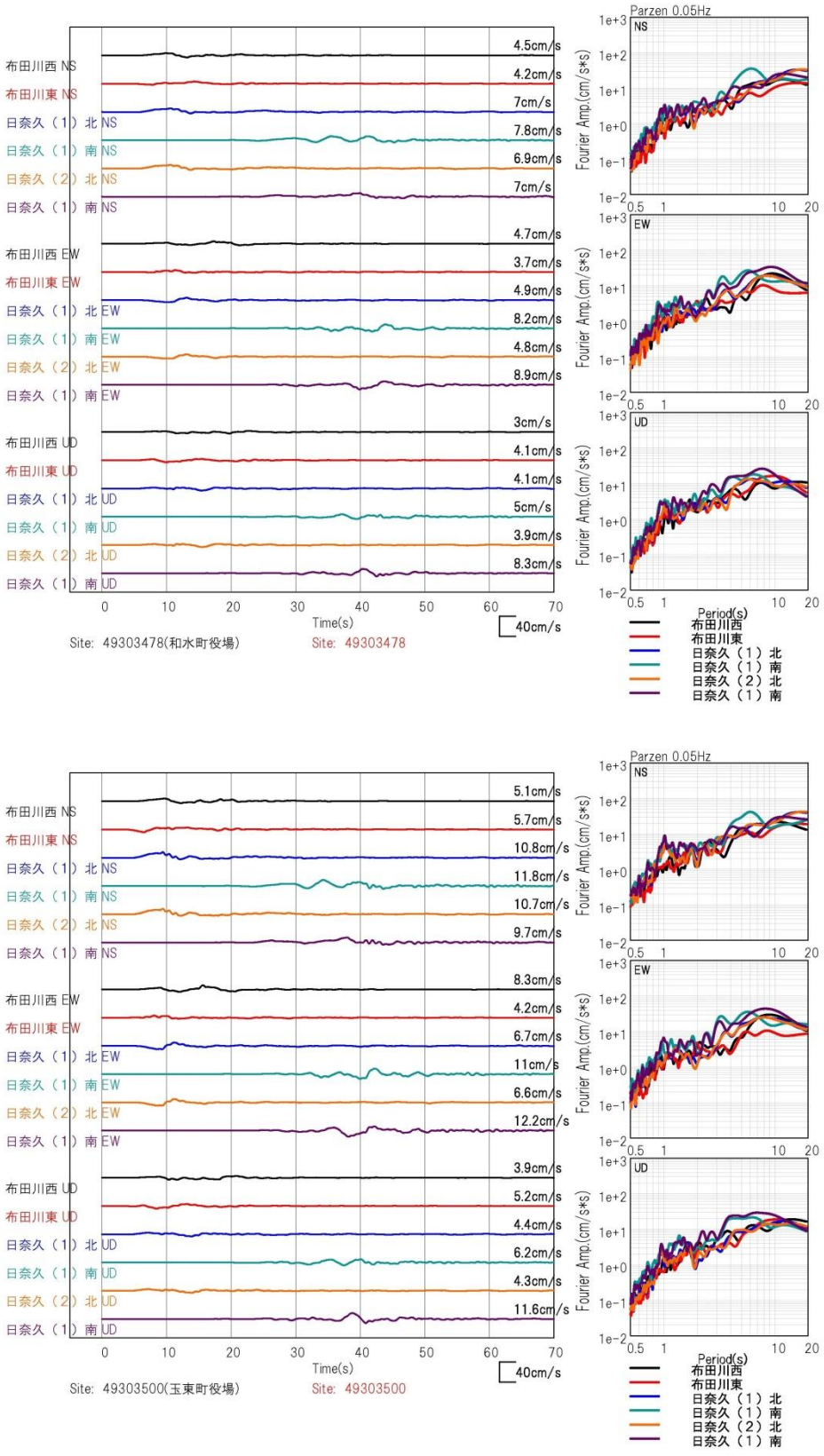


図 117(w) 凡例は(a)と同じ。（上）和水町役場、（下）玉東町役場。

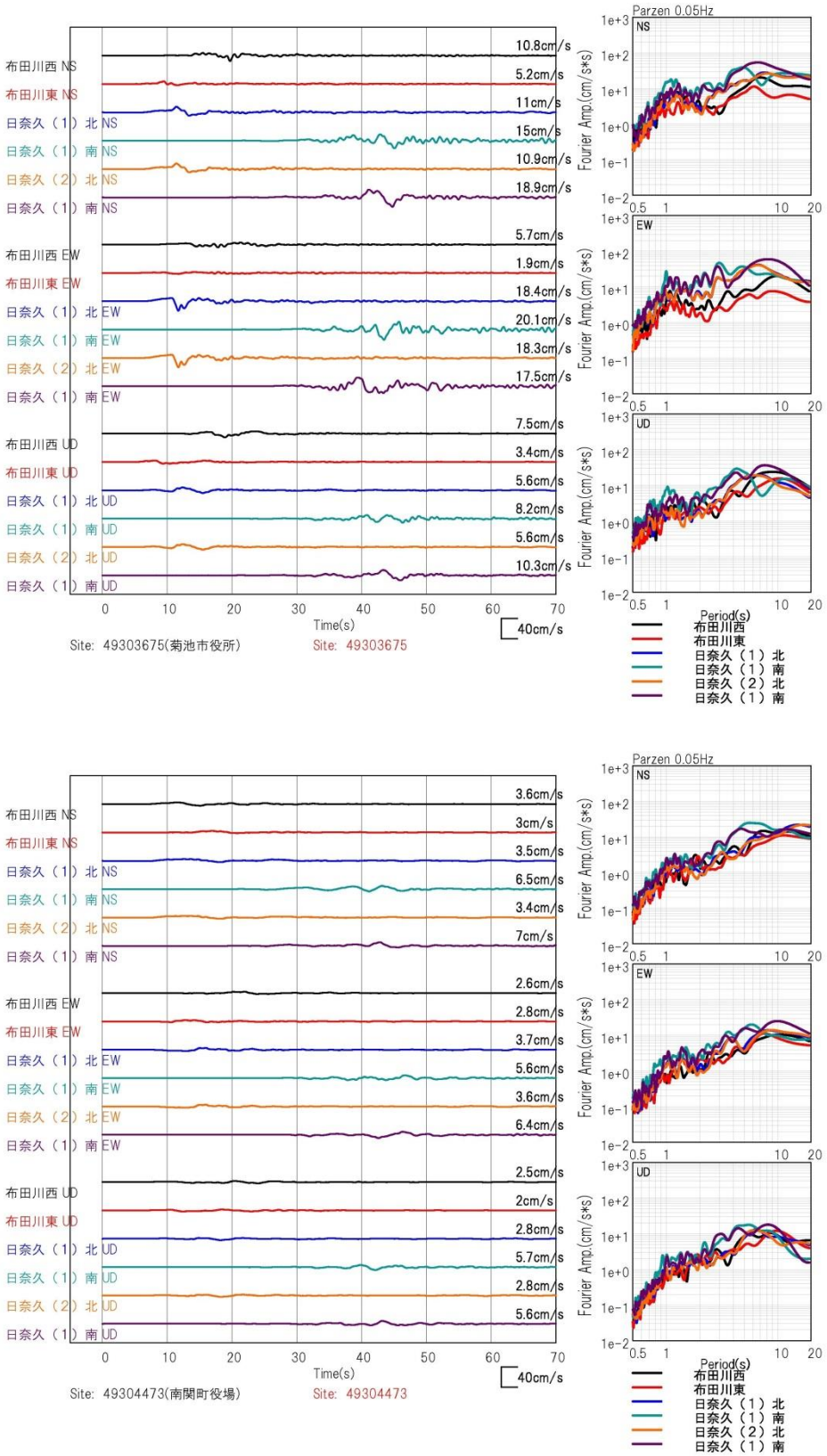


図 117(x) 凡例は(a)と同じ。（上）菊池市役所、（下）南関町役場。

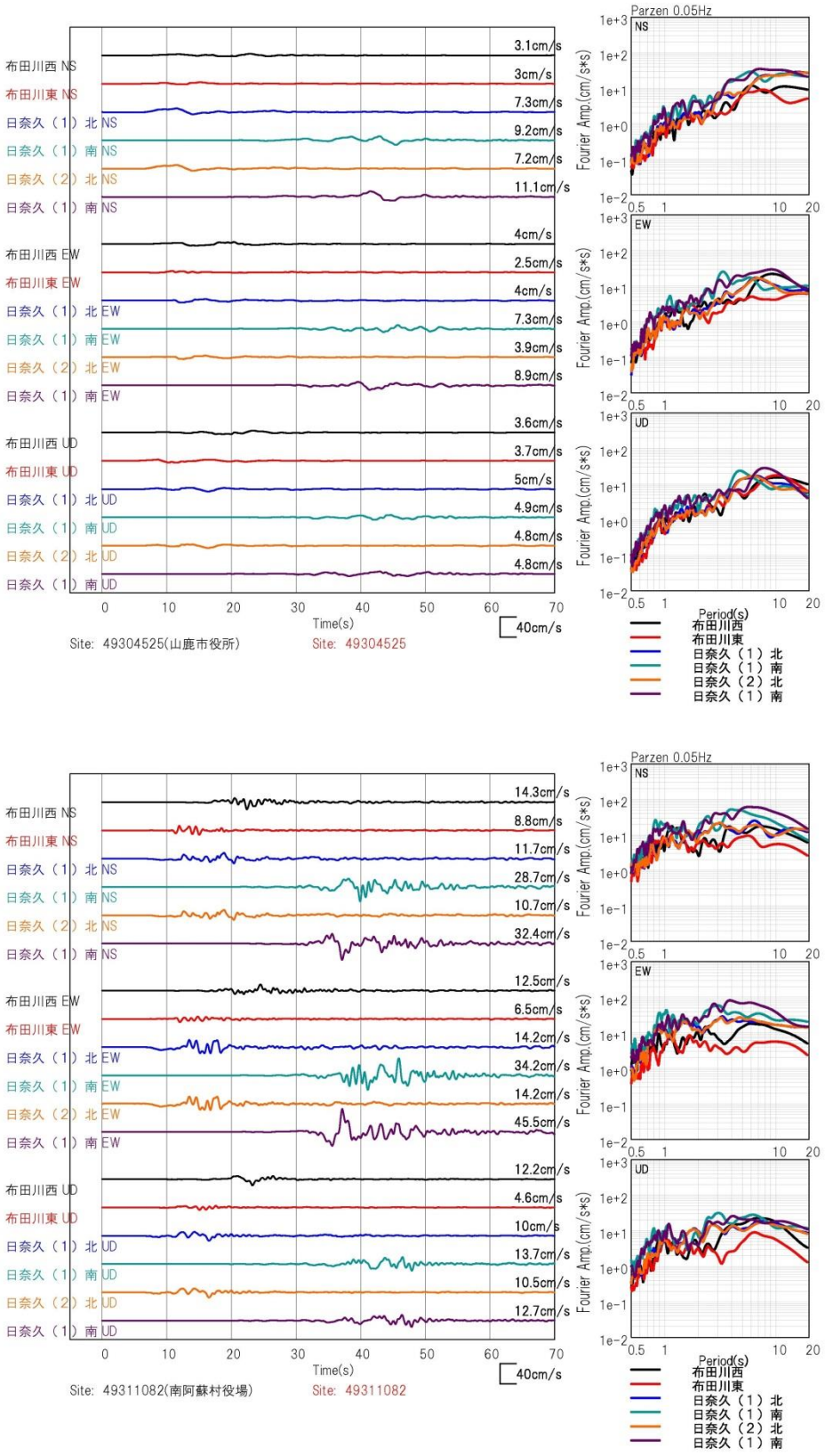


図 117(y) 凡例は(a)と同じ。（上）山鹿市役所、（下）南阿蘇村役場。

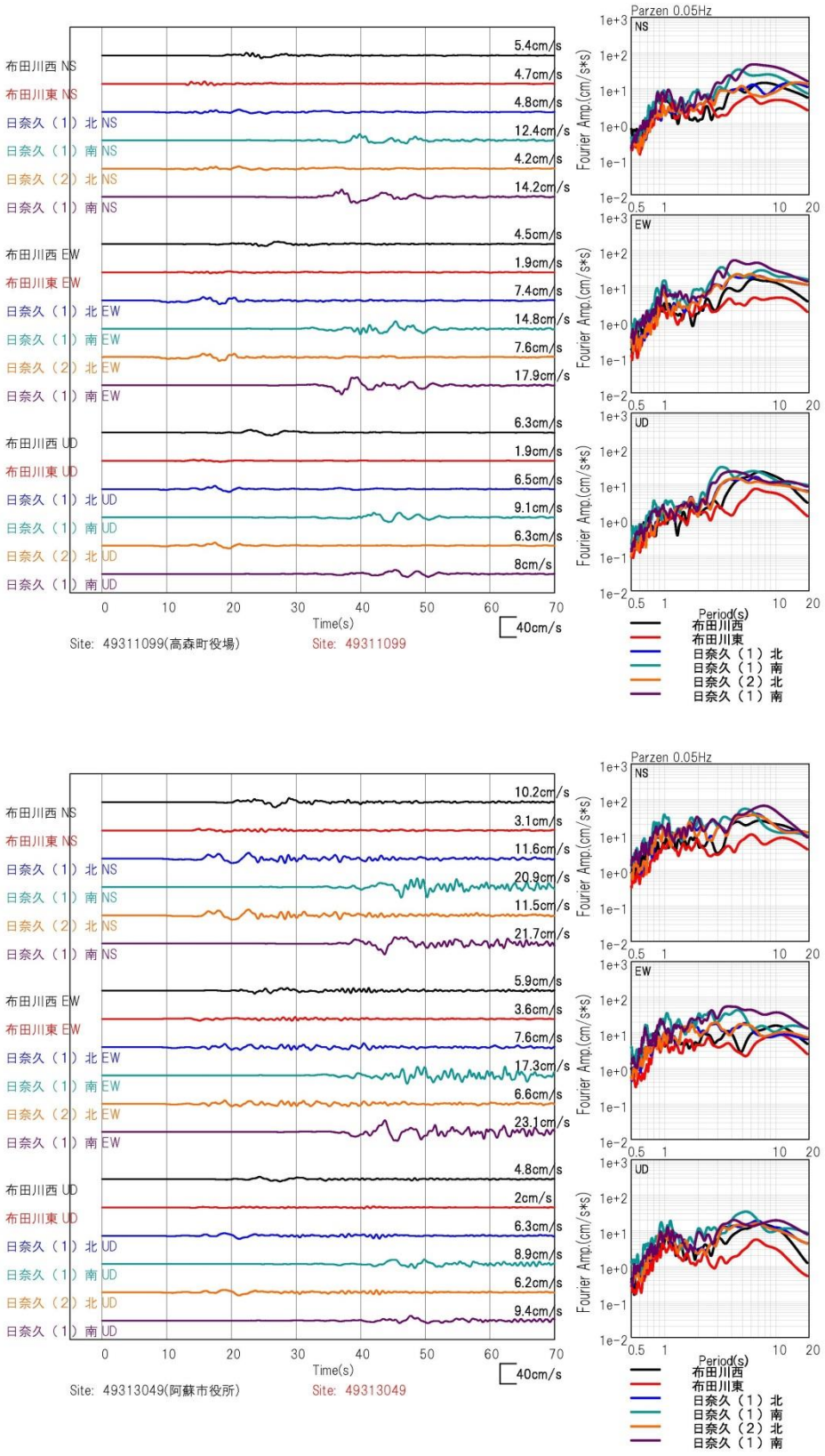


図 117(z) 凡例は(a)と同じ。（上）高森町役場、（下）阿蘇市役所。

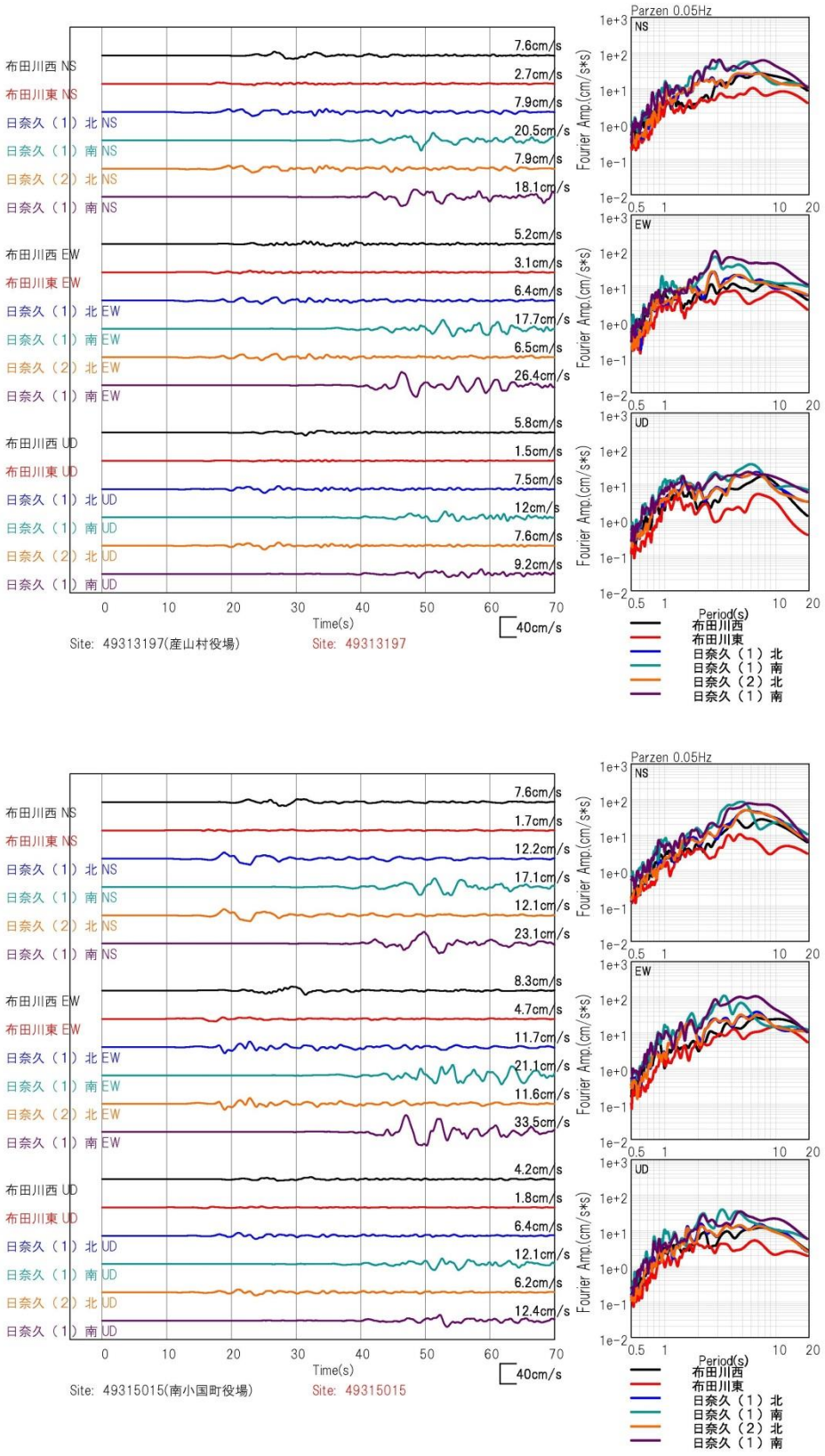


図 117(A) 凡例は(a)と同じ。（上）産山村役場、（下）南小国町役場。

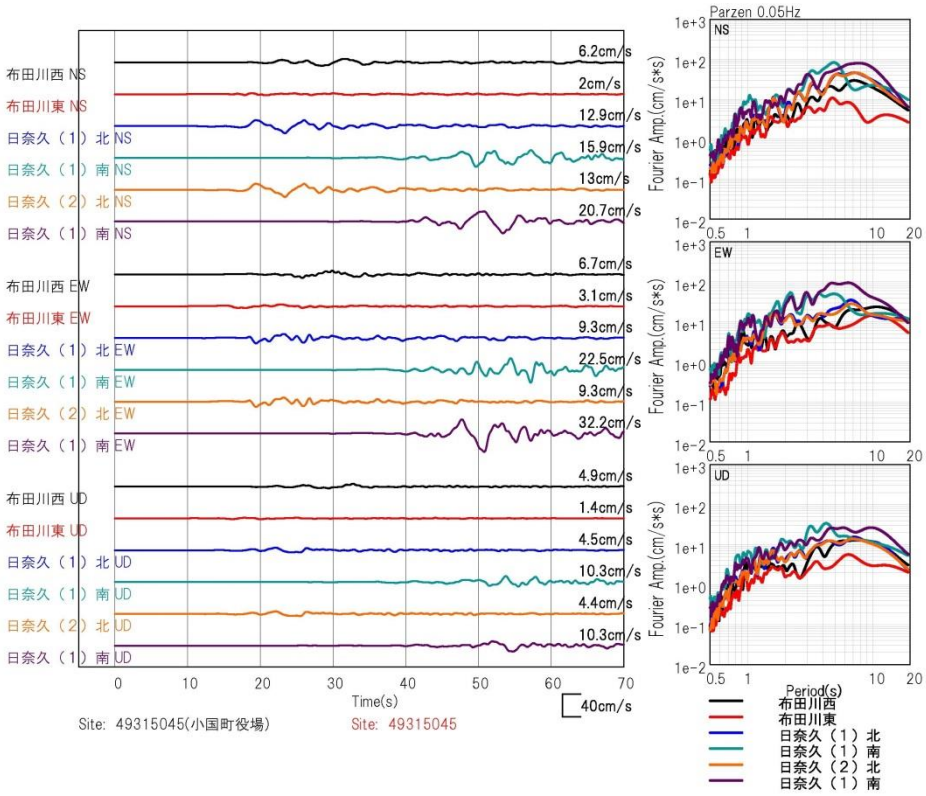


図 117(B) 凡例は(a)と同じ。小国町役場。

e)ハイブリッド法による工学的基盤地震動の計算

工学的基盤における広帯域地震動は、差分法（３次元有限差分法、FD3D）と統計的グリーン関数法のハイブリッド法により計算した。図 118 に計算手順を示す。統計的グリーン関数法と差分法では、完全に同じ速度構造モデルを使っているわけではないため、Ｓ波走時に若干の差が生じている。両者の走時差を考慮して統計的グリーン関数法（加速度波形がもともと計算されている）の波形の時刻をシフトすることを行っている。一方、差分法計算結果は速度波形なので、これを微分して加速度波形にして、ハイカットフィルター、さらには 100 Hz にリサンプリングを行う。両波形を時間領域で足し合わせることにより、広帯域の計算波形を計算する。統計的グリーン関数法における初動走時の計算は c)で記載した。差分法による計算波形に対して初動走時を読みとることは、信頼できる周波数帯域が低周波数帯域に限られていることや震源時間関数の形状に起因して困難であるため、差分法に使用した地盤・地殻モデルを縦横深さ方向に１km のグリッド速度構造モデルに変換し、そのモデルに対して三次元レイトレーシングを実施して得られる走時を差分法の初動走時とした。これらの走時補正施して、マッチングフィルター（図 119）によるフィルターを通したのちに、統計的グリーン関数法と差分法の波形の足し合わせを行った。以下、「詳細地域」と「広域」の工学的基盤面でのハイブリッド波形から計算される最大速度分布や最大加速度分布、計測震度分布、地震動予測式との比較を行う。

「詳細地域」の計算結果を図 120(a)～(f)に示す。図面には、ハイブリッド法による工学的基盤面(V_S 300 m/s)での計測震度、最大速度、最大加速度の分布を示している。比較のために、統計的グリーン関数のみによる計測震度図も示している。

布田川断層帯西破壊ケース（図 120(a)）では熊本市中央区、南区を中心として震度６強のエリアが広がっている。また、宇土半島北岸区域に隣接する宇土市や宇城市などでも震度６強の地点がみられる。最大速度・加速度も概ね同様の分布傾向を示しており、熊本市南区などで 100 cm/s を超えている。80 cm/s を超える地点はあまり多くない。図 120(b)には布田川断層帯東破壊ケースの結果を示す。布田川断層帯西破壊ケースに比べて震度６強のエリアはやや小さい。熊本市中央区、南区、東区などで震度６強の地点がみられる。宇土市や宇城市などでも震度６強の地点がみられる。最大速度は、宇土区間の上端の直上に 80 cm/s を超える地点が広がっている。最大加速度は宇土区間のアスペリティのほぼ直上で大きな値を示している。図 120(c)に日奈久断層帯（１）北破壊ケースを示す。宇城市、氷川町、八代市などで震度７のエリアがみられる。熊本市南区、御船町などでも震度７の地点がみられる。最大速度は八代市や熊本市東区、益城町など破壊進行方向で大きな値を示す。80 cm/s を超える地域は、熊本平野西部、八代平野のほぼ全域に広がっている。最大加速度はアスペリティの近傍で大きな値の傾向を示す。図 120(d)に日奈久断層帯（１）南破壊ケースの結果を示す。宇城市、氷川町、八代市などで震度７の地点がみられる。熊本市南区、御船町などでも震度７の地点がみられる。最大速度は嘉島町を中心に大きな値を示している。宇城市南部や八代平野の南部でも大きな値を示している。80 cm/s を超える地域は、熊本平野西部、八代平野のほぼ全域に広がっているが、八代平野においては日奈久断層帯（１）北破壊ケースに比べやや狭い領域である。最大加速度はアスペリティの近傍で大きな値の傾向を示している。図 120(e)に日奈久断層帯（２）北破壊ケースの結果を示す。宇城市、氷川町、八代市などで震度７のエリアがみられる。日奈久断層帯（１）

北破壊ケースと比較すると八代平野南部でやや震度が小さい傾向を示している。最大速度、最大加速度は日奈久断層帯（１）北破壊ケースの分布と非常に類似している。80 cm/s を超える地域は、熊本平野西部、八代平野のほぼ全域に広がっている。図 120(f)に日奈久断層帯（２）南破壊ケースの結果を示す。日奈久断層帯（１）南破壊ケースと比較すると八代平野南部でやや震度が小さい傾向を示している。最大速度は八代平野南部で大きな値を示している。最大速度、最大加速度は八代市役所周辺で奈久断層帯（１）南破壊ケースと比較してやや小さい傾向がみられる。

図 121(a)～(f)には、地震動予測式（司・翠川，1999）との比較を行った。図 121(a)は布田川断層帯西破壊ケースである。最大加速度は工学的基盤 V_S 300 m/s の式によく対応しているが、最大速度については地震動予測式の平均よりやや小さい傾向がある。図 121(b)は、布田川断層帯東破壊ケースのである。布田川断層帯西破壊ケースと同様に最大加速度は工学的基盤 V_S 300 m/s の式によく対応しているが、最大速度については地震動予測式の平均よりやや小さい傾向がある。図 121(c)は、日奈久断層帯（１）北破壊ケースである。布田川断層帯と同様に最大加速度は工学的基盤 Vs300m/s の式によく対応しているが、最大速度については地震動予測式の平均よりやや小さい傾向がある。図 121(d)に日奈久断層帯（１）南破壊ケースを示す。断層最短距離 10～15 km 付近で最大速度が大きくなる地点がある。破壊が伝播する方向の地点であると考えられる。図 121(e)は、日奈久断層帯（２）北破壊ケースを示す。日奈久断層帯（１）北破壊ケースと同様の傾向を示している。図 121(f)は、日奈久断層帯（２）南破壊ケースを示す。日奈久断層帯（１）南破壊ケースと同様に断層最短距離 10～15 km 付近で最大速度が大きくなる地点がみられる。

「広域」の計算結果を、「詳細地域」と同様、計測震度、最大速度、最大加速度分布で示し、比較する。これらは図 122(a)～(f)に示している。図 122(a) に布田川断層帯西破壊ケースを示す。熊本平野中央部や宇土半島北岸で震度６強のエリアが広がっている。最大速度は一部で 80 cm/s を超えている。図 122(b)に布田川断層帯東破壊ケースを示す。布田川断層帯西破壊ケースに比べ震度６強のエリアが小さい。ただし、最大速度は宇土区間の上端付近で 80 cm/s を超える地域が広がっており、布田川断層帯西破壊ケースに比べてやや広域に広がっている。図 122(c)に日奈久断層帯（１）北破壊ケースを示す。熊本平野中央部、宇土半島南岸、八代平野北部、八代平野南部で震度６強のエリアが広がっている。最大速度は、高野－白旗区間の北東部、八代平野南部等破壊が伝播する方向で最大速度が大きくなっている。図 122(d)に日奈久断層帯（１）南破壊ケースを示す。震度６強のエリアの広がりは日奈久断層帯（１）北破壊ケースとほぼ同じであるが、震度５弱のエリアが熊本県北東部に伸びている。最大速度の分布も同様である。図 122(e)に日奈久断層帯（２）北破壊ケースを示す。熊本平野中央部、宇土半島南岸、八代平野北部で震度６強のエリアが広がっている。八代平野南部においては日奈久断層帯（１）北破壊ケースに比べやや震度は小さい。最大速度は、日奈久断層帯（１）北破壊ケースと同様に、高野白幡区間の北東部、八代平野南部等破壊が伝播する方向で最大速度が大きくなっている。ただし、天草上島での最大速度は日奈久断層帯（１）北破壊ケースに比べやや小さくなっている。図 122(f)に日奈久断層帯（２）南破壊ケースの結果を示す。熊本平野中央部、宇土半島南岸、八代平野北部、八代平野南部で震度６強のエリアが広がっている。高野―白旗区間の北東部、八代平野南部で最大速度が大きい。

図 123(a)～(f)には、地震動予測式（司・翠川，1999）との比較を行った。図 123(a)が布田川断層帯西破壊ケースである。断層最短距離 10 km 程度までは地震動予測式によく対応している。特に最大加速度の震源距離 20 km 以上において地震動予測式に比べてやや過小になっている。図 123(b)に布田川断層帯東破壊ケースを示す。布田川断層帯西破壊ケースと同様に、断層最短距離 10 km 程度までは地震動予測式によく対応している。図 123(c)に日奈久断層帯（１）北破壊ケースを示す。断層最短距離 10 km 程度までは地震動予測式によく対応している。最大加速度の震源距離 20 km 以上において地震動予測式に比べてやや過小となっている。図 123(d)に日奈久断層帯（１）南破壊ケースを示す。断層最短距離 10 km 程度までは地震動予測式によく対応している。図 123(e)に日奈久断層帯（２）北破壊ケースを示す。断層最短距離 10 km 程度までは地震動予測式によく対応している。図 123(f)に日奈久断層帯（２）南破壊ケースを示す。断層最短距離 10 km 程度までは地震動予測式によく対応している。断層最短距離 40～50 km において地震動予測式に比べ過大評価の地点がみられるが、この領域は熊本県・大分県境付近や阿蘇山の北部地域である。

地震動予測式との比較においては、震源距離 20 kmを超えているところで、予測式より小さい地震動分布となっている。日奈久断層帯の東南側に広がる丘陵地、山地は地表面が硬質地盤やさらに固い岩盤に近い地域で、モデルにもそれが反映されており、V_S 600 m/s より大きい速度の地盤が地表にあることから、AVS600 m/s の地震動予測式より下回る予測になっている可能性はある。

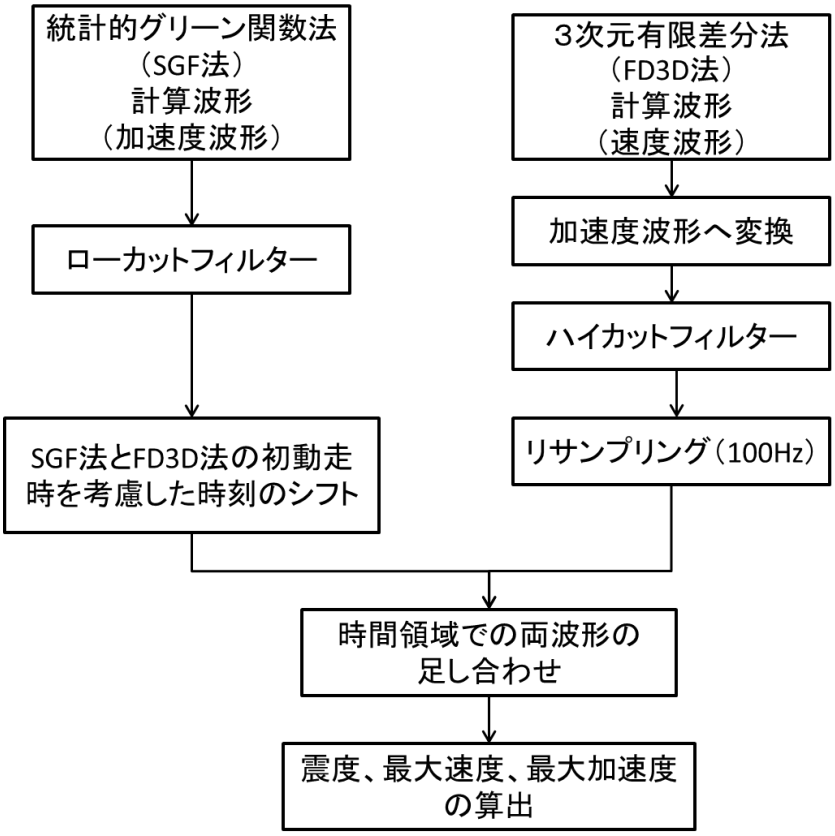


図 118　ハイブリッド法による工学的基盤面波形の作成方法

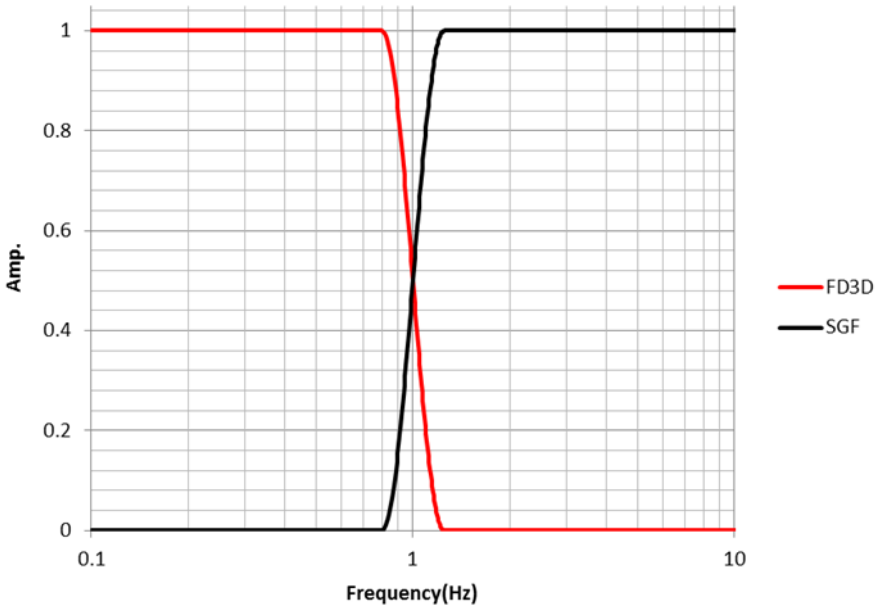


図 119　本研究で用いたマッチングフィルター。黒線は SGF 法のローカットフィルター、赤線は FD3D 法（差分法）のハイカットフィルターを示す。

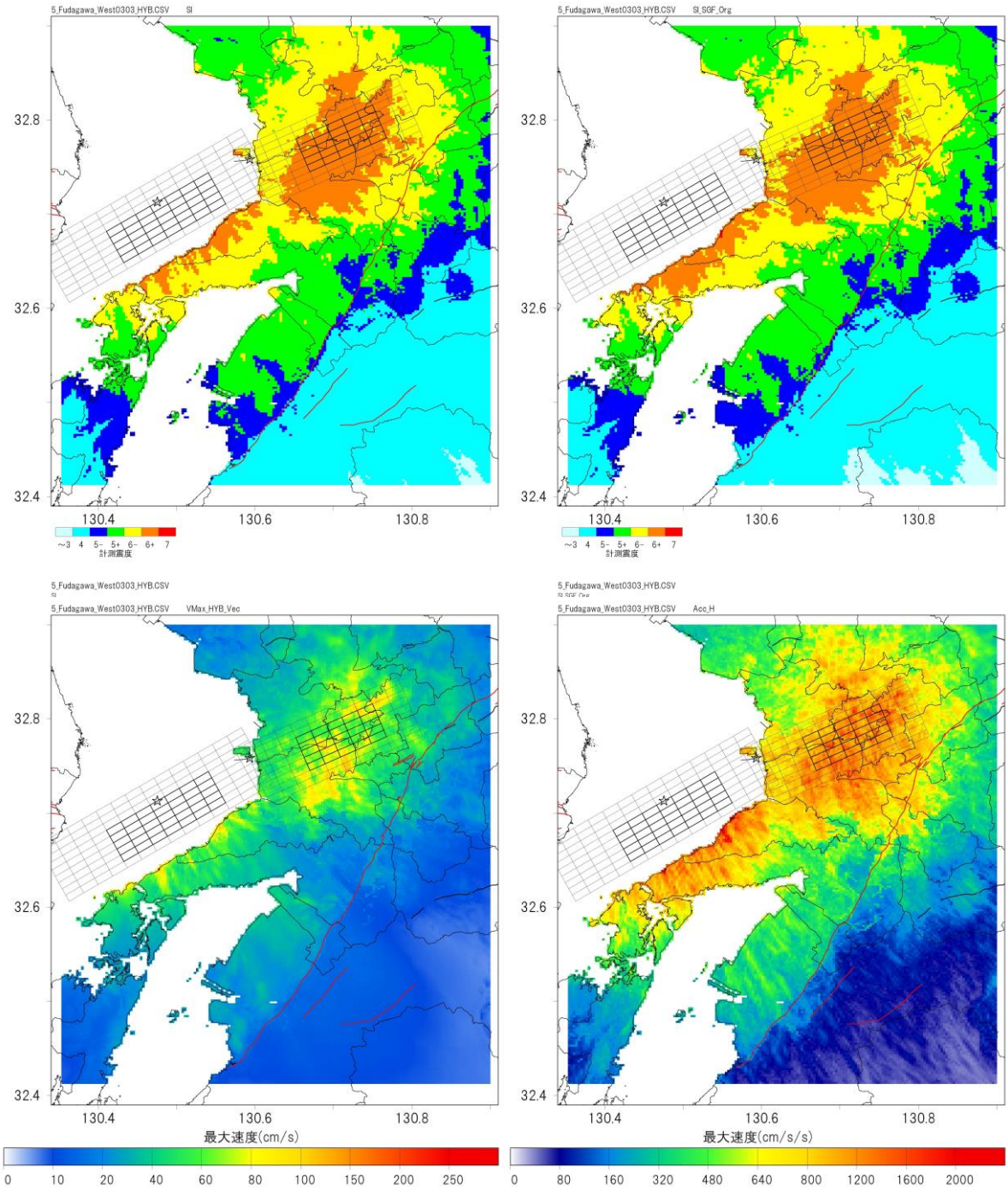


図 120(a)「詳細地域」布田川断層帯西破壊ケースの（左上）ハイブリッド法による工学的基盤震度、（右上）統計的グリーン関数法工学的基盤震度、（左下）ハイブリッド法最大速度（水平２成分時刻歴ベクトル合成)、（右下）ハイブリッド法最大加速度（水平動の最大値）

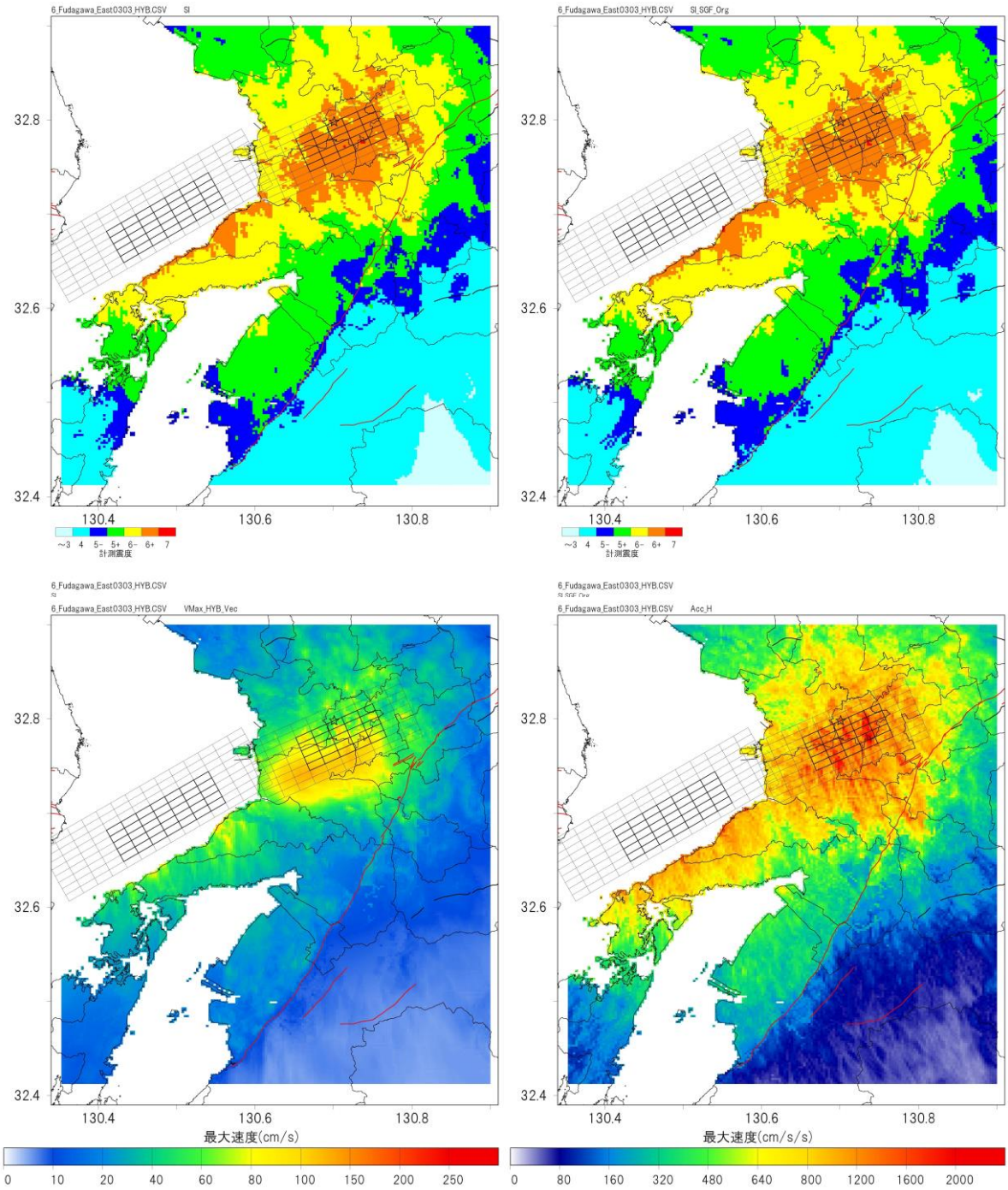


図 120(b)「詳細地域」布田川断層帯東破壊ケースの（左上）ハイブリッド法による工学的基盤震度、（右上）統計的グリーン関数法工学的基盤震度、（左下）ハイブリッド法最大速度（水平２成分時刻歴ベクトル合成)、（右下）ハイブリッド法最大加速度（水平動の最大値）

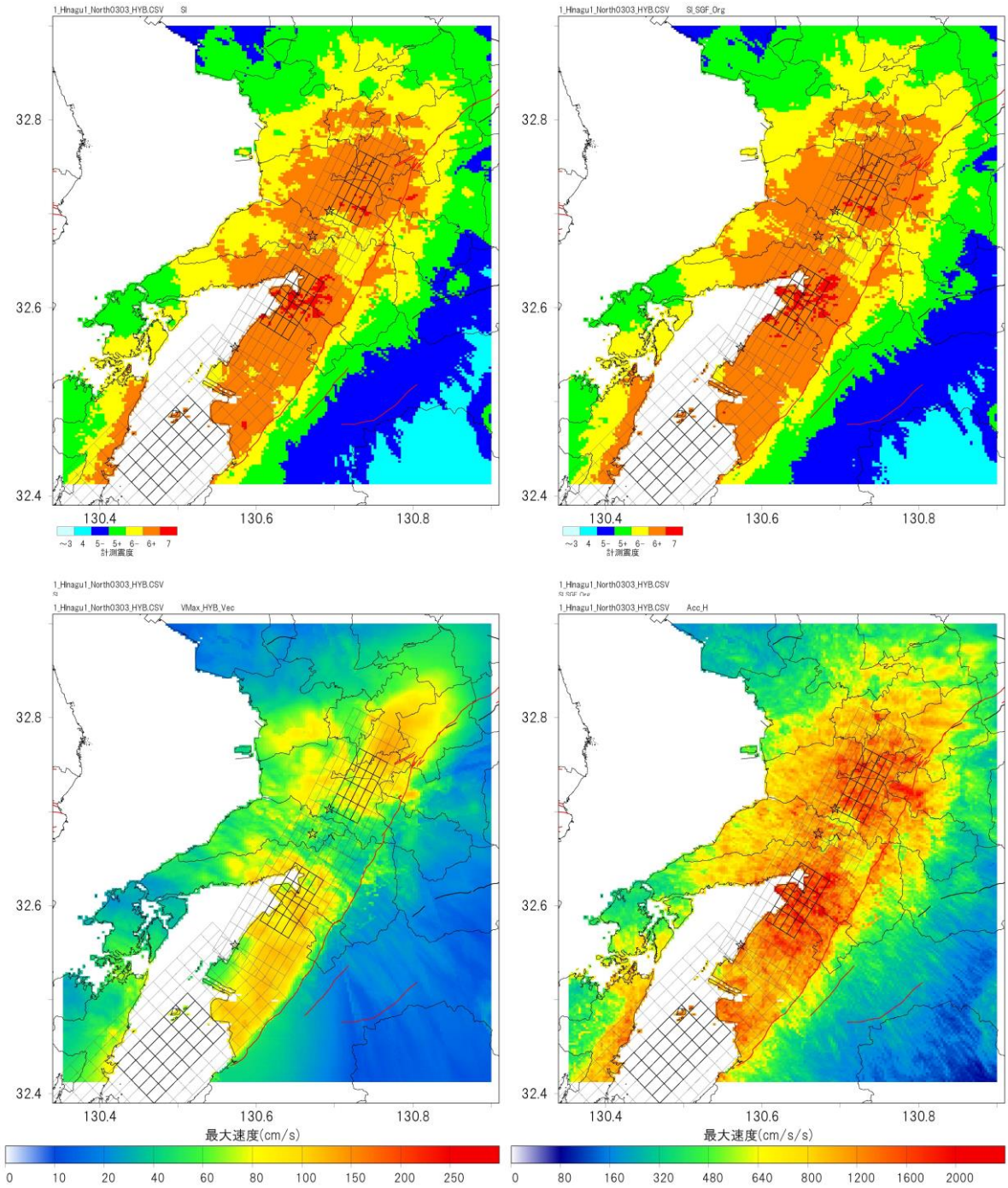


図 120(c)「詳細地域」日奈久断層帯（１）北破壊ケースの（左上）ハイブリッド法による工学的基盤震度、（右上）統計的グリーン関数法工学的基盤震度、（左下）ハイブリッド法最大速度（水平２成分時刻歴ベクトル合成)、（右下）ハイブリッド法最大加速度（水平動の最大値）

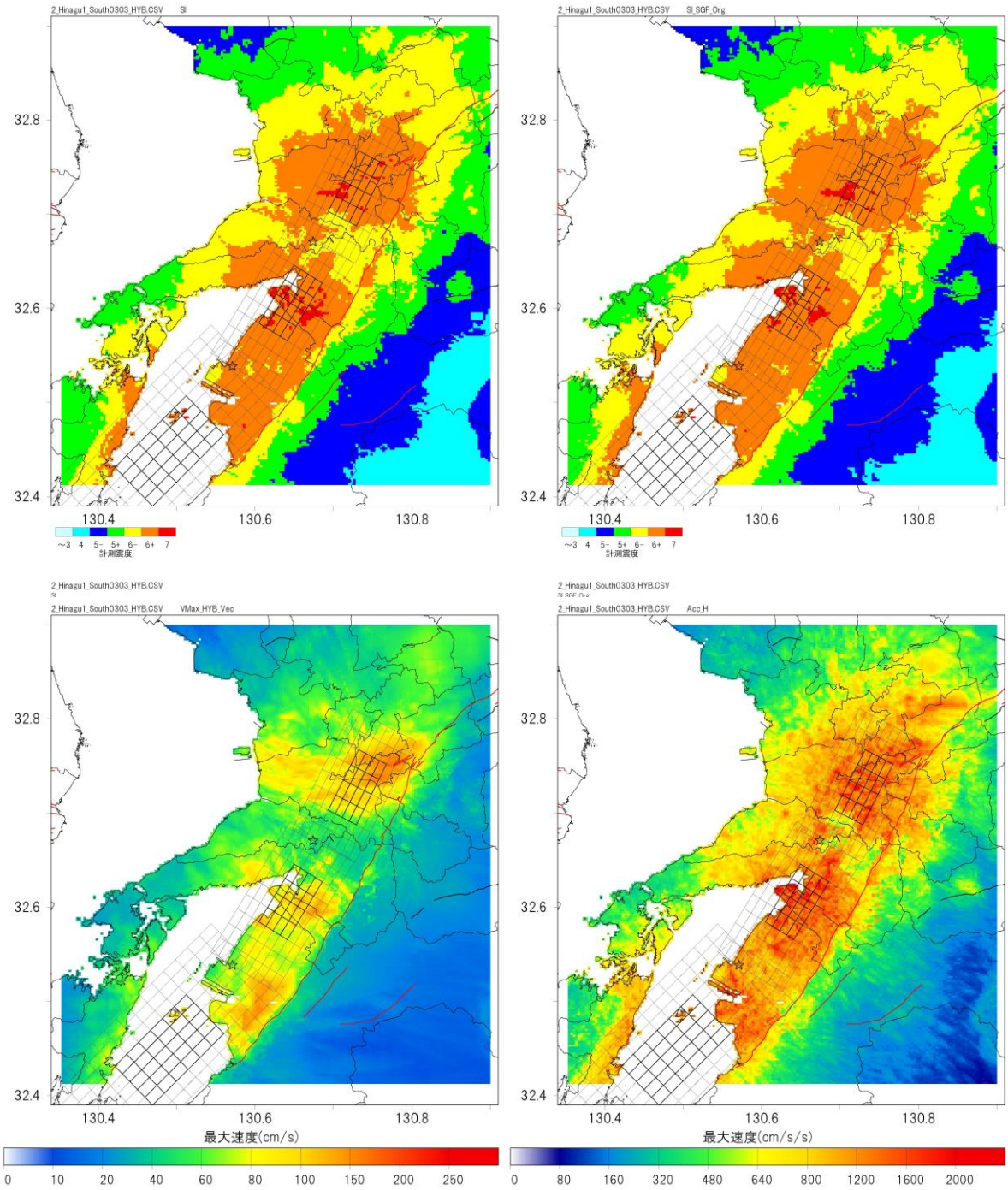


図 120(d)「詳細地域」日奈久断層帯（１）南破壊ケースの（左上）ハイブリッド法による工学的基盤震度、（右上）統計的グリーン関数法工学的基盤震度、（左下）ハイブリッド法最大速度（水平２成分時刻歴ベクトル合成)、（右下）ハイブリッド法最大加速度（水平動の最大値）

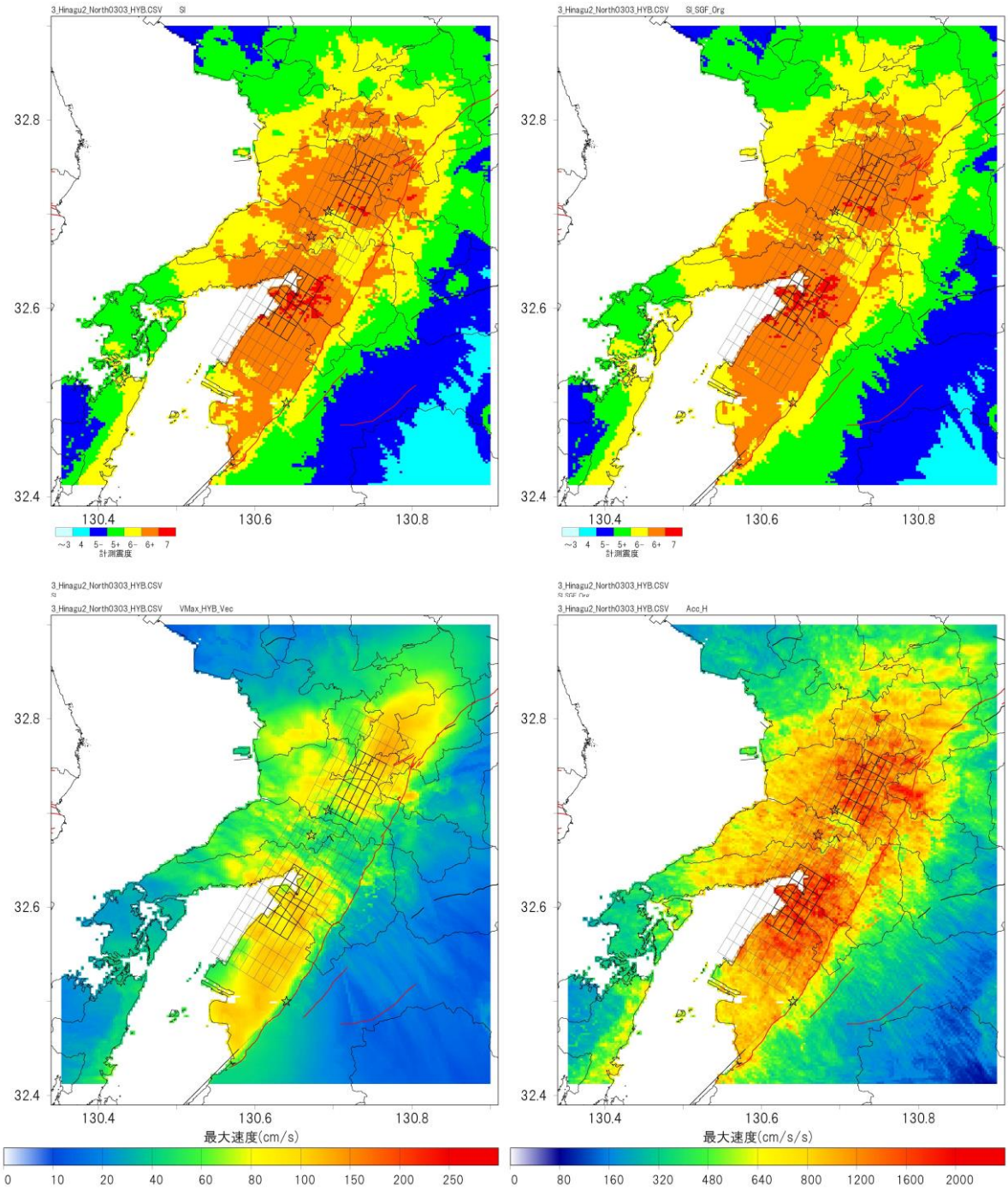


図 120(e)「詳細地域」日奈久断層帯（２）北破壊ケースの（左上）ハイブリッド法による工学的基盤震度、（右上）統計的グリーン関数法工学的基盤震度、（左下）ハイブリッド法最大速度（水平２成分時刻歴ベクトル合成)、（右下）ハイブリッド法最大加速度（水平動の最大値）

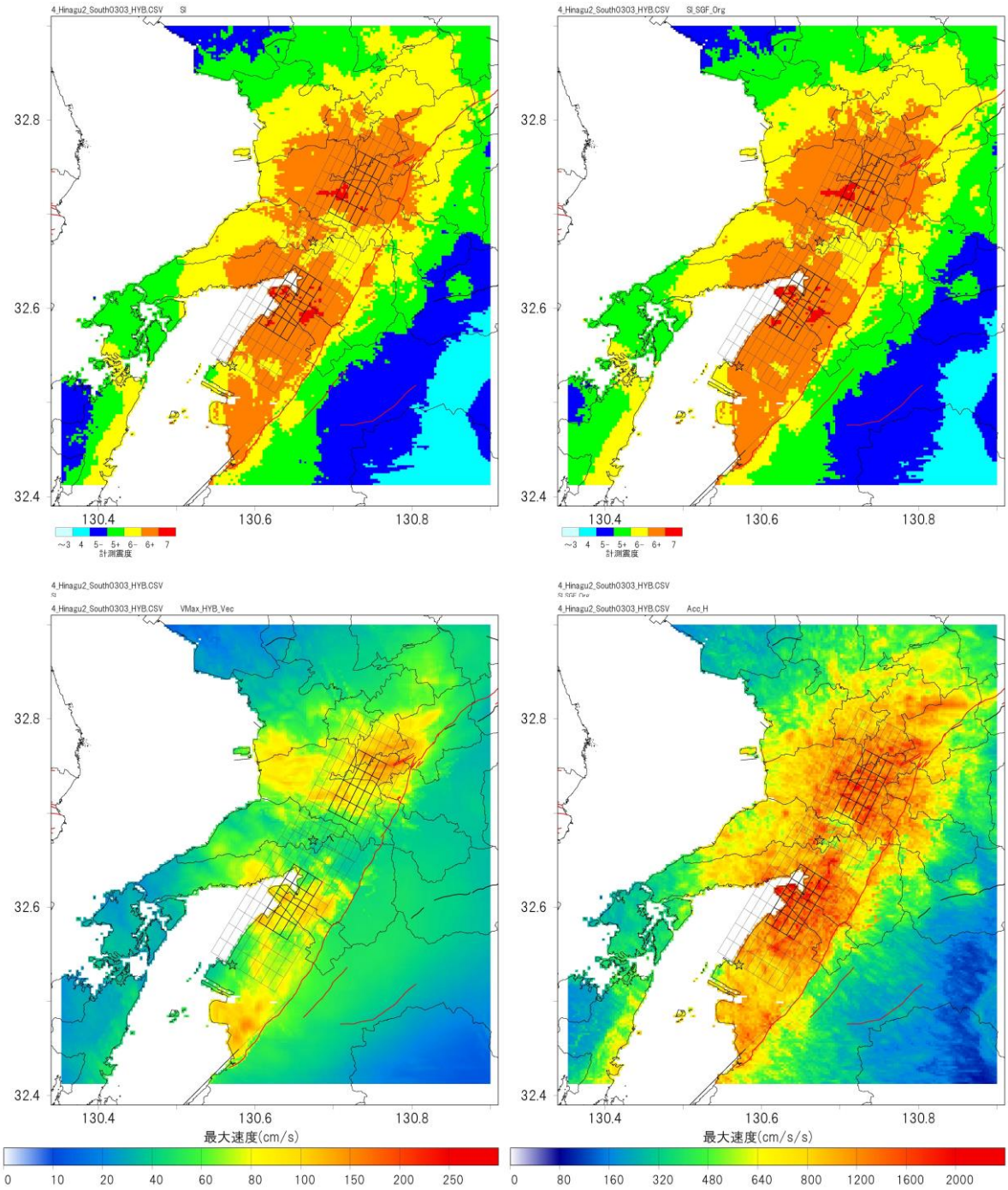


図 120(f)「詳細地域」日奈久断層帯（２）北破壊ケースの（左上）ハイブリッド法による工学的基盤震度、（右上）統計的グリーン関数法工学的基盤震度、（左下）ハイブリッド法最大速度（水平２成分時刻歴ベクトル合成)、（右下）ハイブリッド法最大加速度（水平動の最大値）

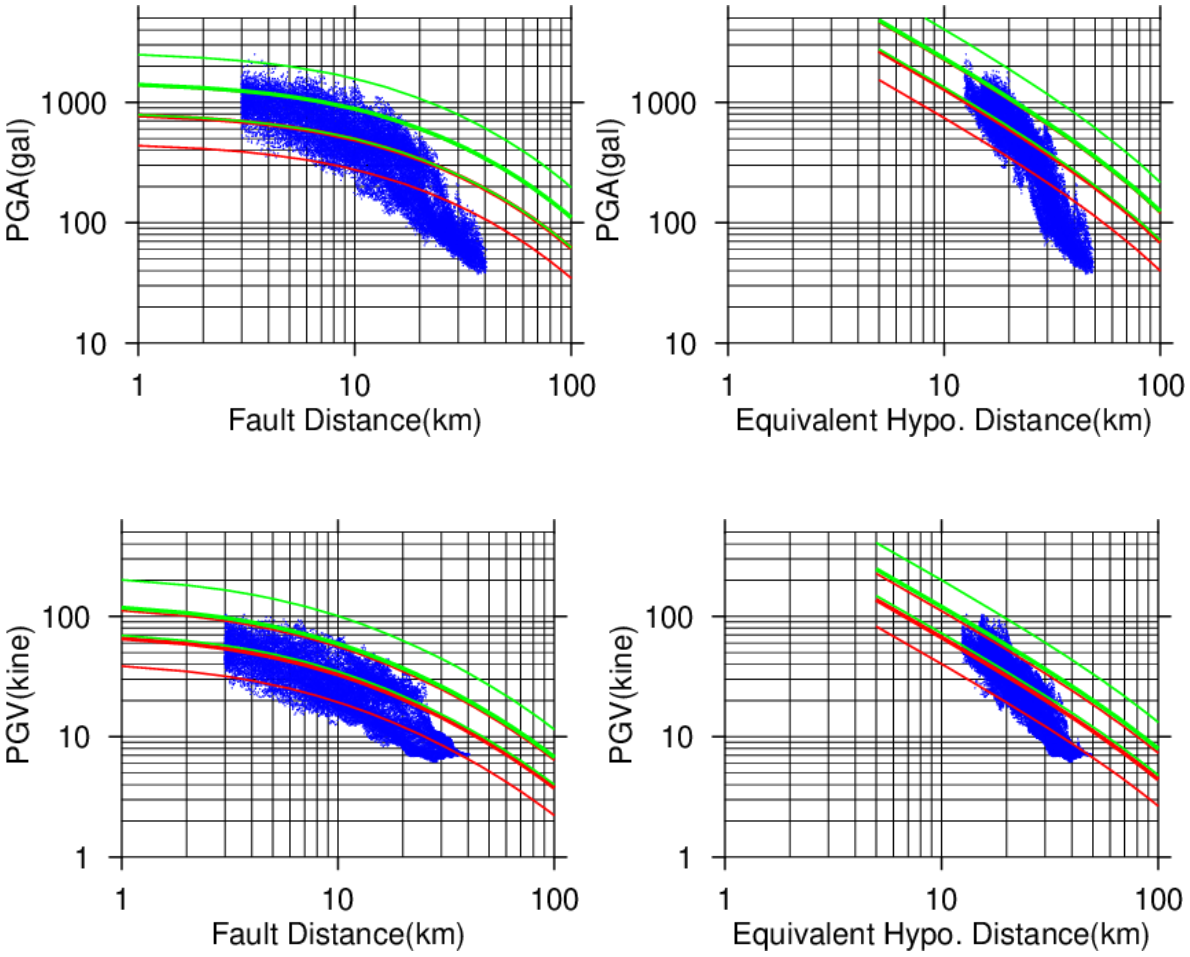


図 121(a)　地震動予測式（司・翠川, 1999)との比較。布田川断層帯西破壊ケース

（左上）最大加速度（断層最短距離)、(右上）最大加速度（等価震源距離)、(左下）最大速度(断層最短距離)、(右下)最大速度(等価震源距離)。赤線、緑線はそれぞれ AVS30(深さ 30m までの S 波速度 Vs の平均値)が Vs600m/s、Vs300m/s の式の平均および±標準偏差の関係式を示す。

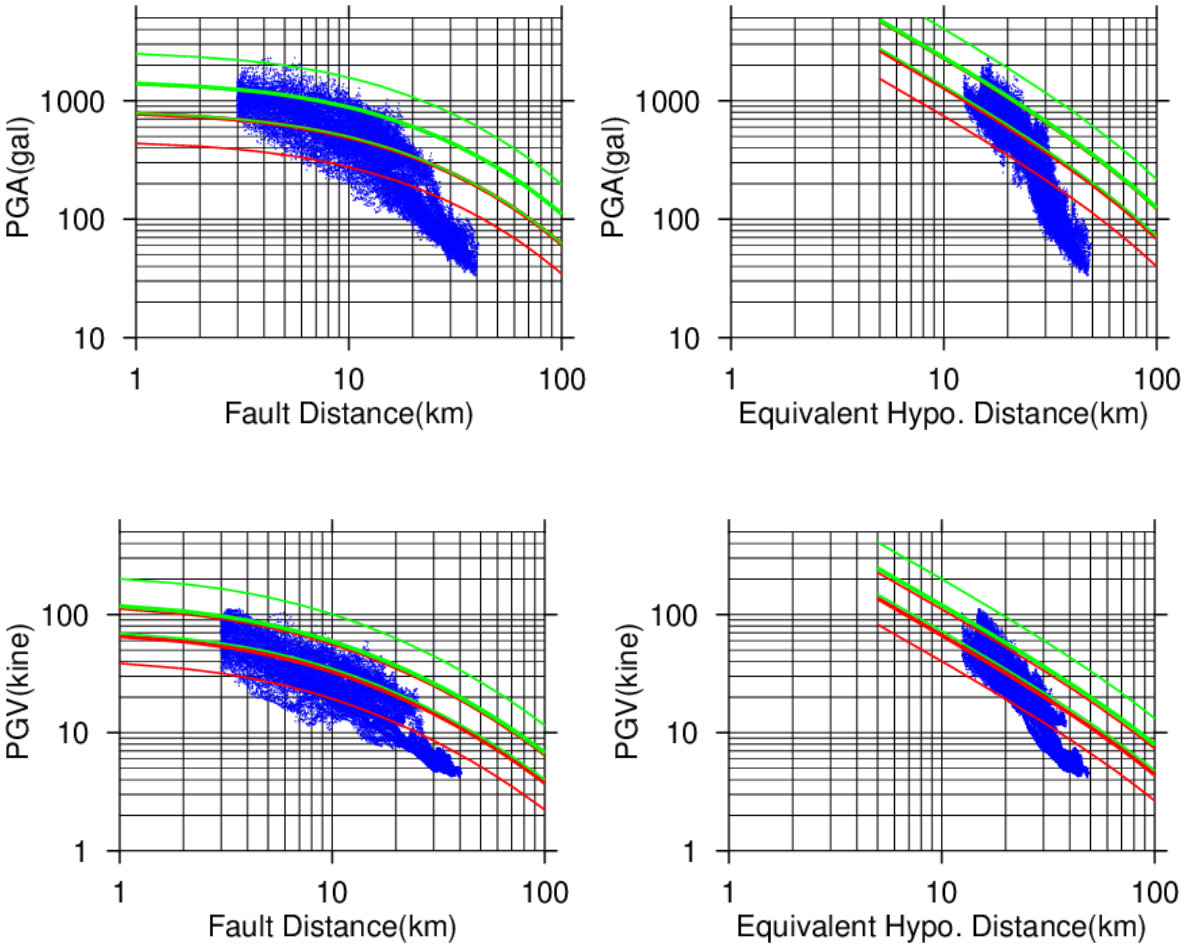


図 121(b)　地震動予測式（司・翠川, 1999)との比較。布田川断層帯東破壊ケース

（左上）最大加速度（断層最短距離)、(右上）最大加速度（等価震源距離)、(左下）最大速度（断層最短距離)、(右下）最大速度（等価震源距離)。赤線、緑線はそれぞれ AVS30 が Vs600m/s、Vs300m/s の式の平均および±標準偏差の関係式を示す。

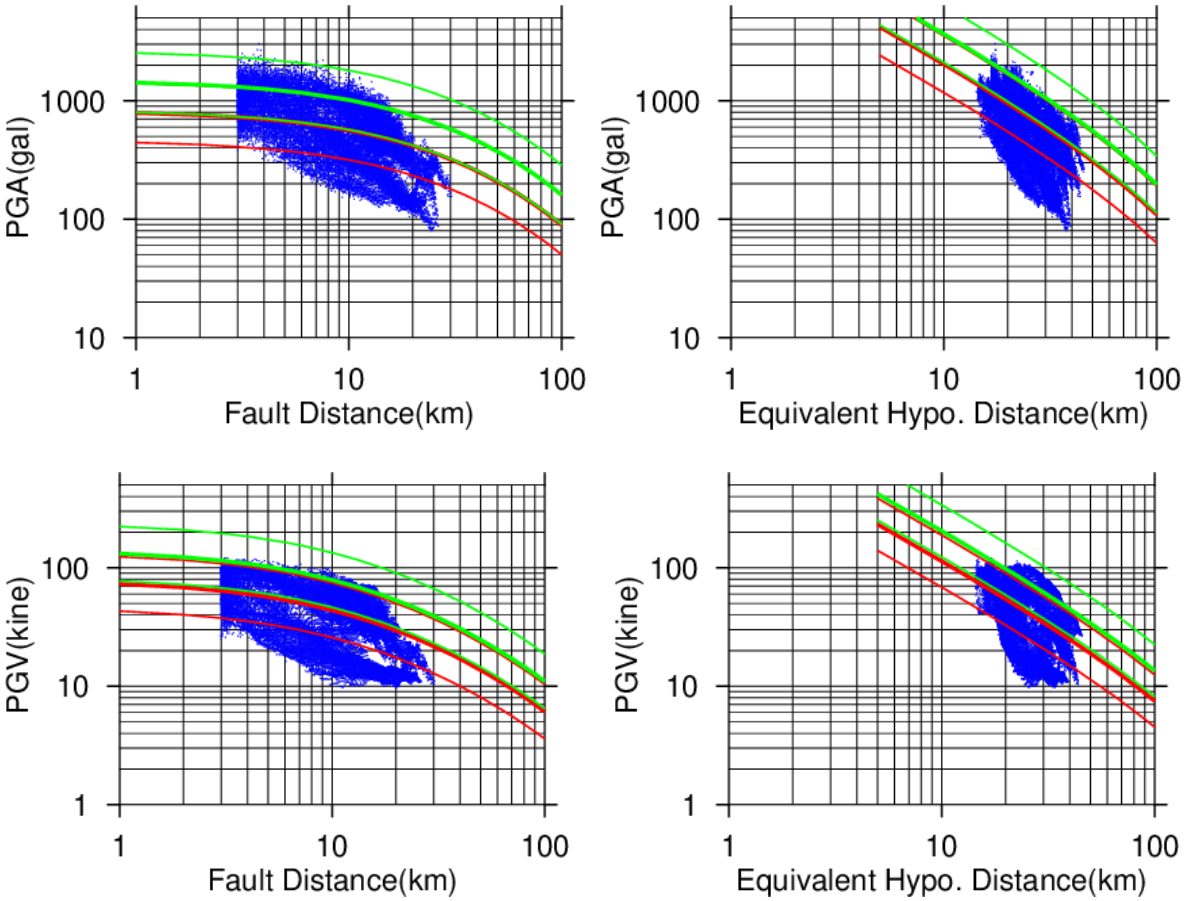


図 121(c)　地震動予測式（司・翠川，1999)との比較。日奈久断層帯（１）北破壊ケース（左上）最大加速度（断層最短距離)、(右上）最大加速度（等価震源距離)、(左下）最大速度（断層最短距離)、(右下）最大速度（等価震源距離)。赤線、緑線はそれぞれ AVS30 が Vs600m/s、Vs300m/s の式の平均および±標準偏差の関係式を示す。

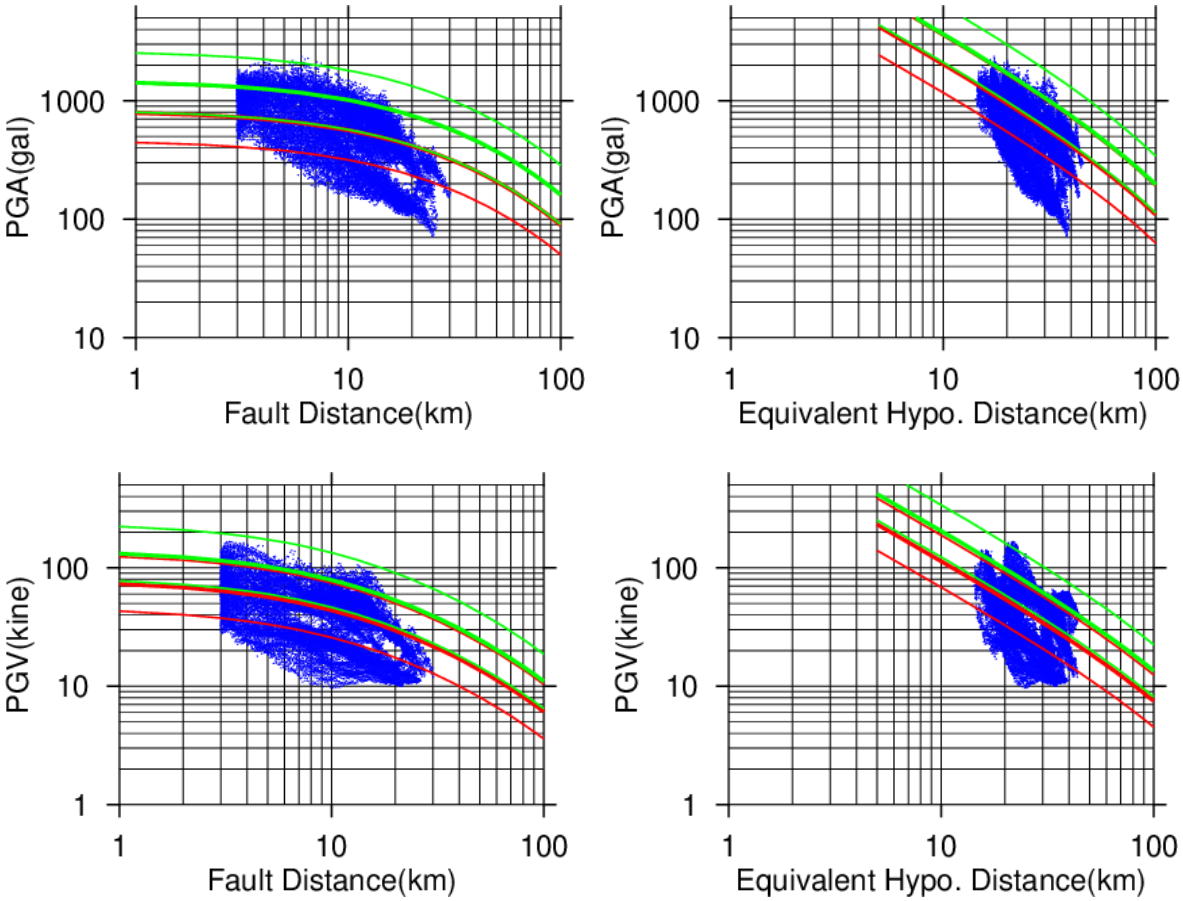


図 121(d)　地震動予測式（司・翠川，1999)との比較。日奈久断層帯（１）南破壊ケース
（左上）最大加速度（断層最短距離)、(右上）最大加速度（等価震源距離)、(左下）最大速度（断層最短距離)、(右下）最大速度（等価震源距離)。赤線、緑線はそれぞれ AVS30 が Vs600m/s、Vs300m/s の式の平均および±標準偏差の関係式を示す。

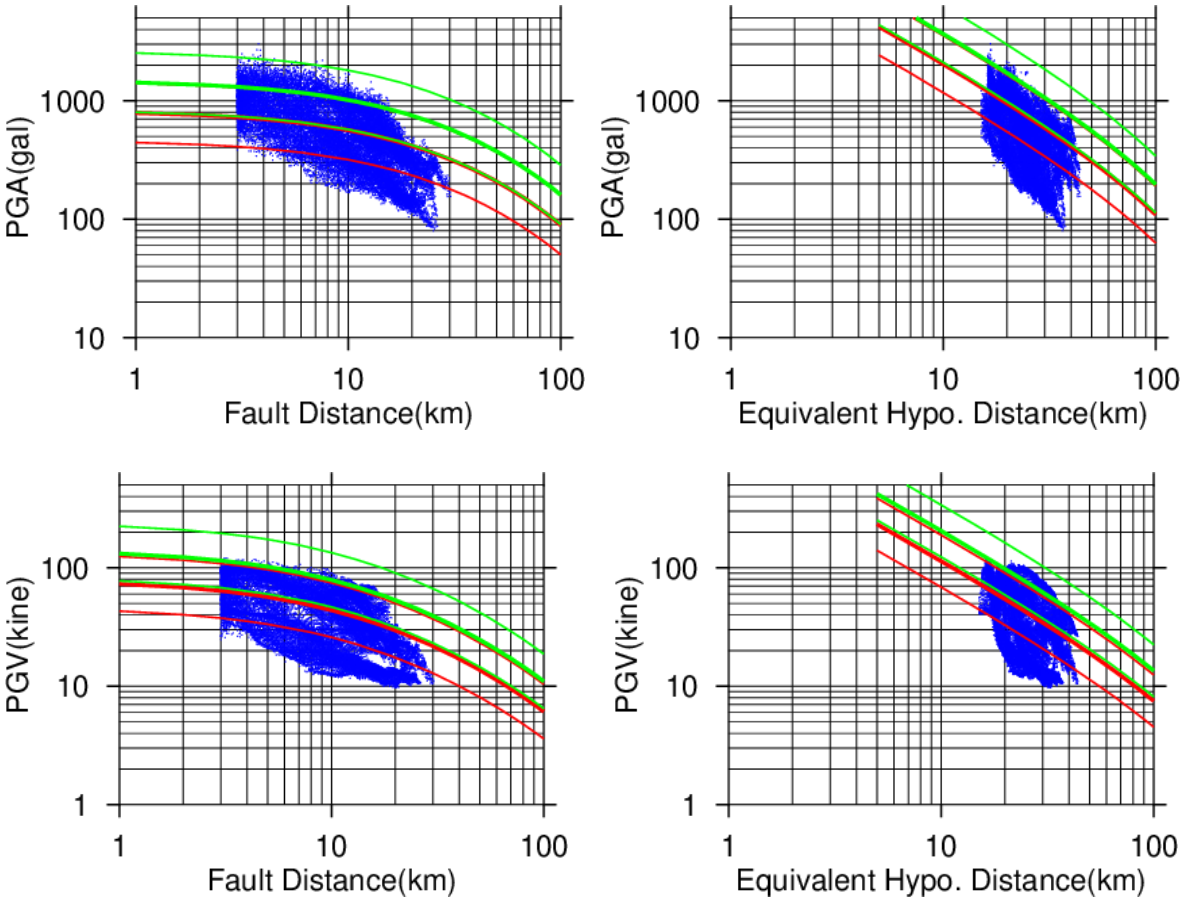


図 121(e)　地震動予測式（司・翠川，1999)との比較。日奈久断層帯（２）北破壊ケース（左上）最大加速度（断層最短距離)、(右上）最大加速度（等価震源距離)、(左下）最大速度（断層最短距離)、(右下）最大速度（等価震源距離)。赤線、緑線はそれぞれ AVS30 が Vs600m/s、Vs300m/s の式の平均および±標準偏差の関係式を示す。

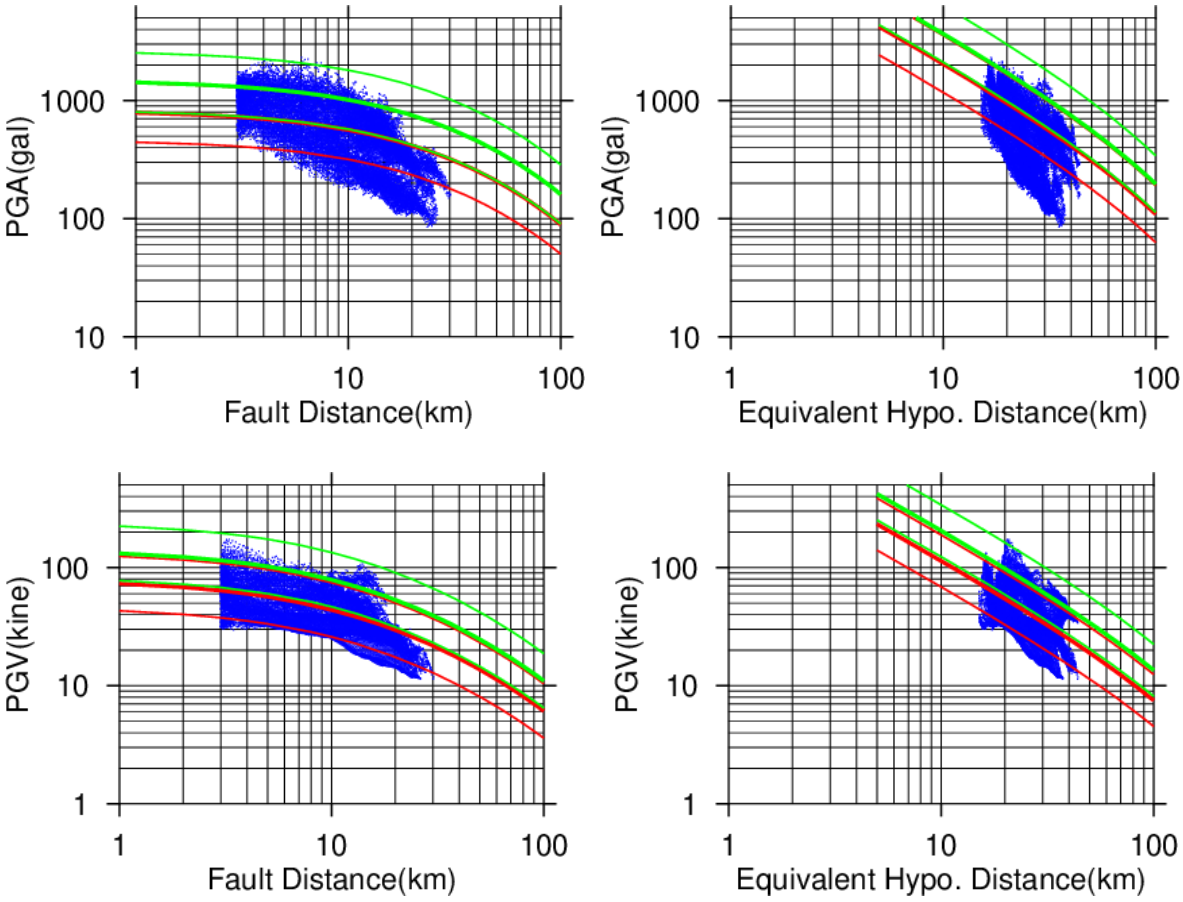


図 121(f)　地震動予測式（司・翠川, 1999)との比較。日奈久断層帯（２）南破壊ケース（左上）最大加速度（断層最短距離)、(右上）最大加速度（等価震源距離)、(左下）最大速度（断層最短距離)、(右下）最大速度（等価震源距離)。赤線、緑線はそれぞれ AVS30 が Vs600m/s、Vs300m/s の式の平均および±標準偏差の関係式を示す。

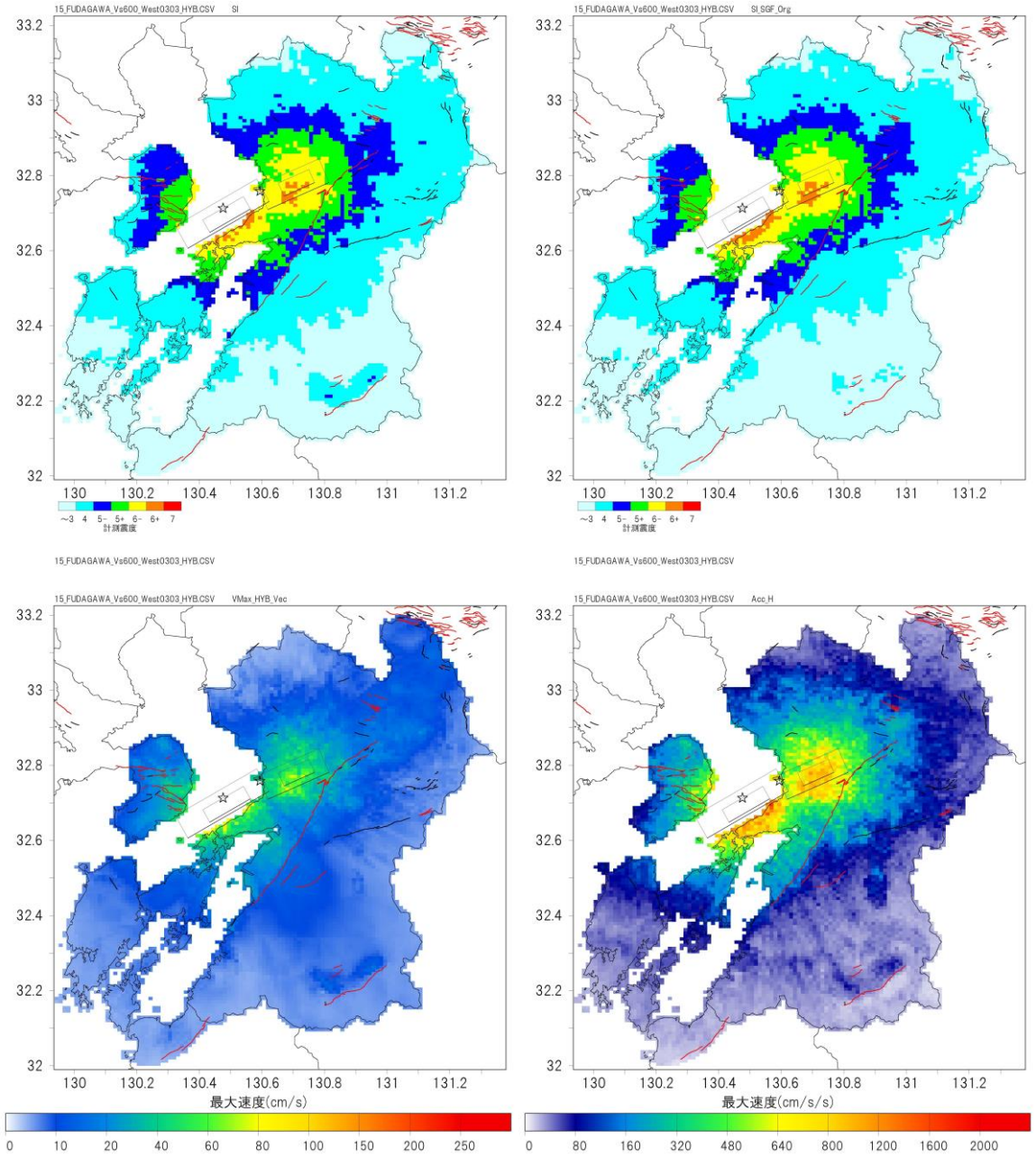


図 122(a)「広域」布田川断層帯西破壊ケースの、(左上) ハイブリッド法による工学的基盤震度、(右上) 統計的グリーン関数法工学的基盤震度、(左下) ハイブリッド法最大速度(水平２成分時刻歴ベクトル合成)、(右下) ハイブリッド法最大加速度(水平動の最大値)

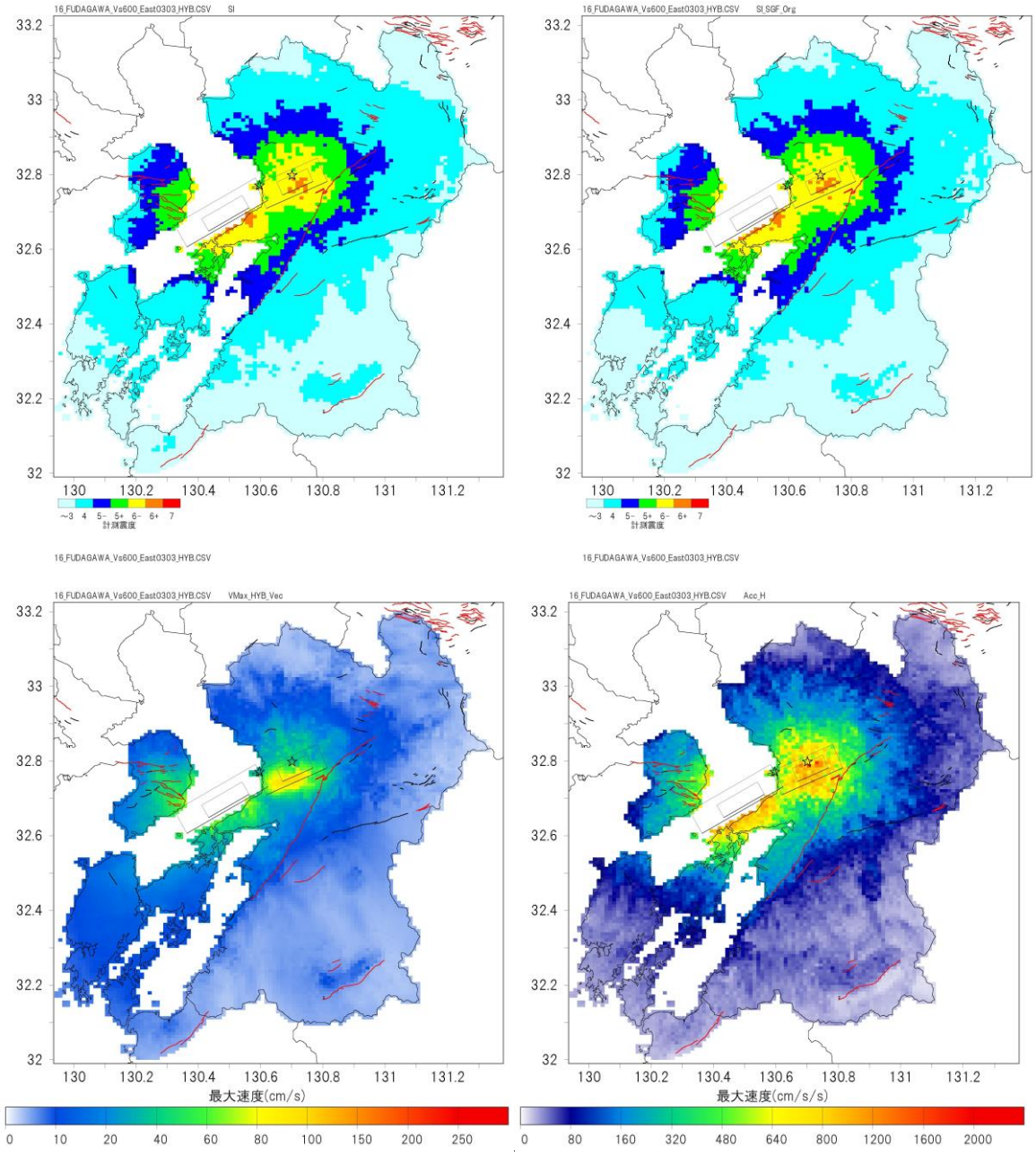


図 122(b)「広域」布田川断層帯東破壊ケースの、(左上) ハイブリッド法による工学的基盤震度、(右上) 統計的グリーン関数法工学的基盤震度、(左下) ハイブリッド法最大速度(水平２成分時刻歴ベクトル合成)、(右下) ハイブリッド法最大加速度(水平動の最大値)

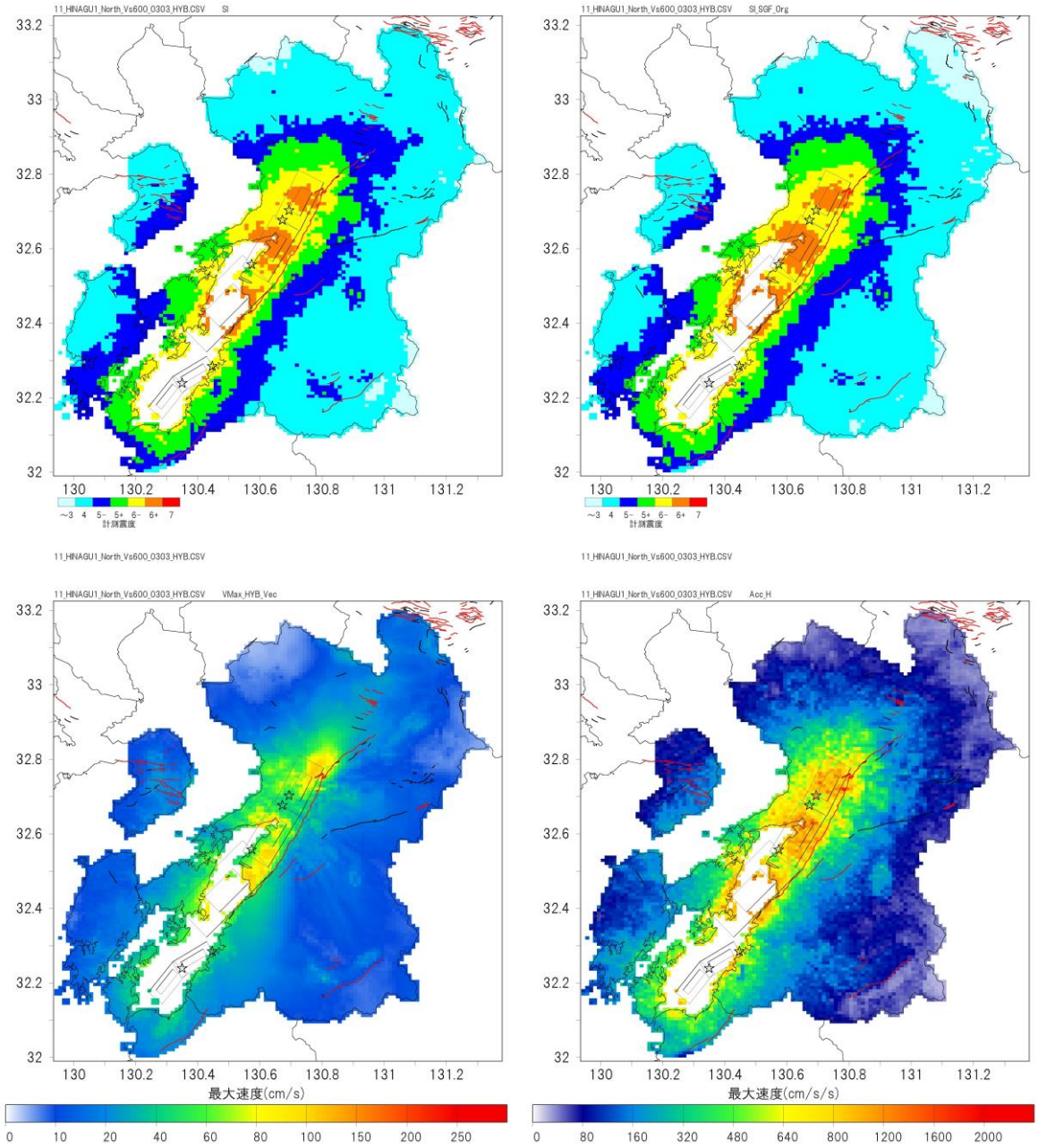


図 122(c)「広域」日奈久断層帯（１）北破壊ケースの、(左上）ハイブリッド法による工学的基盤震度、(右上）統計的グリーン関数法工学的基盤震度、(左下）ハイブリッド法最大速度（水平２成分時刻歴ベクトル合成)、(右下）ハイブリッド法最大加速度（水平動の最大値）

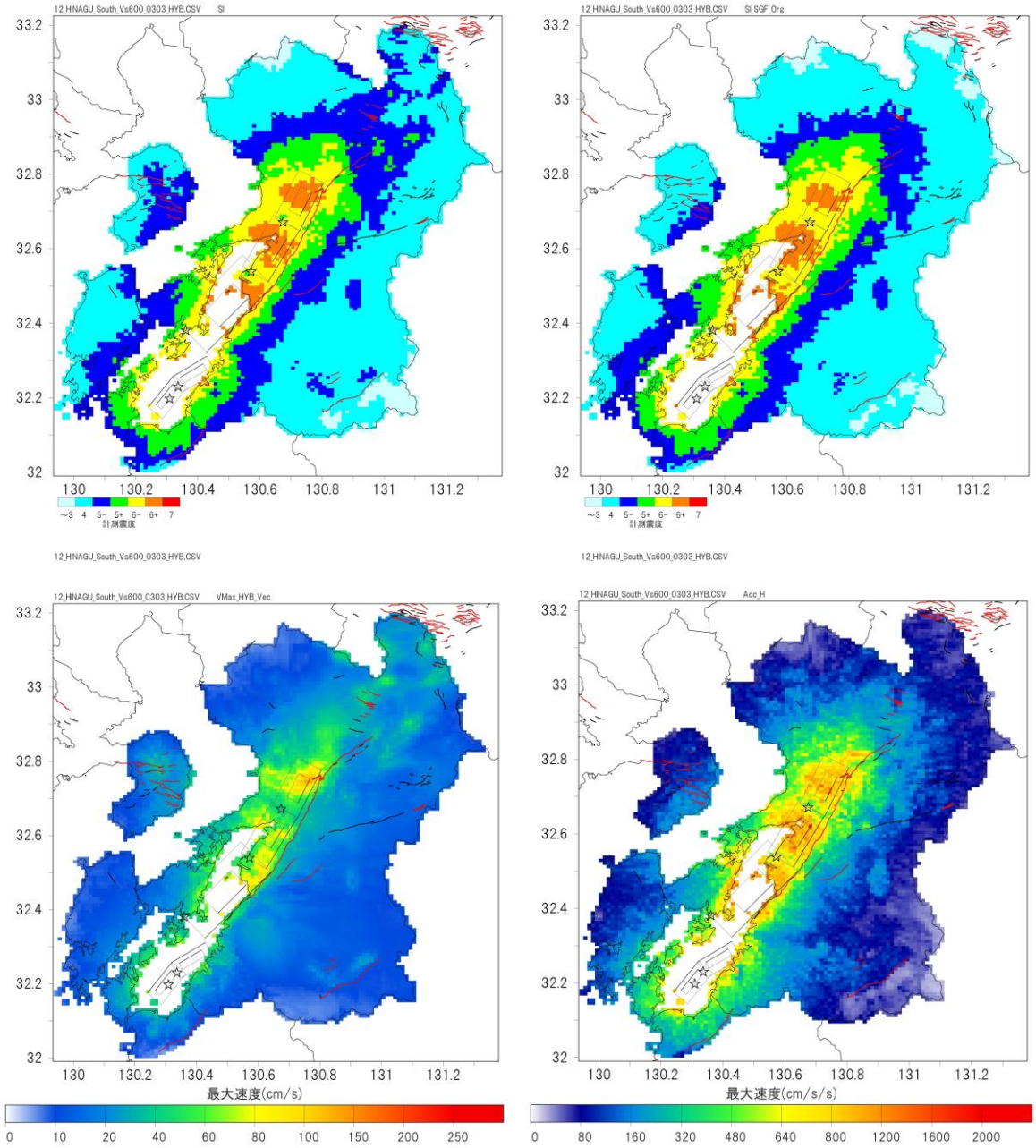


図 122(d)「広域」日奈久断層帯（１）南破壊ケースの、(左上）ハイブリッド法による工学的基盤震度、(右上）統計的グリーン関数法工学的基盤震度、(左下）ハイブリッド法最大速度（水平２成分時刻歴ベクトル合成)、(右下）ハイブリッド法最大加速度（水平動の最大値）

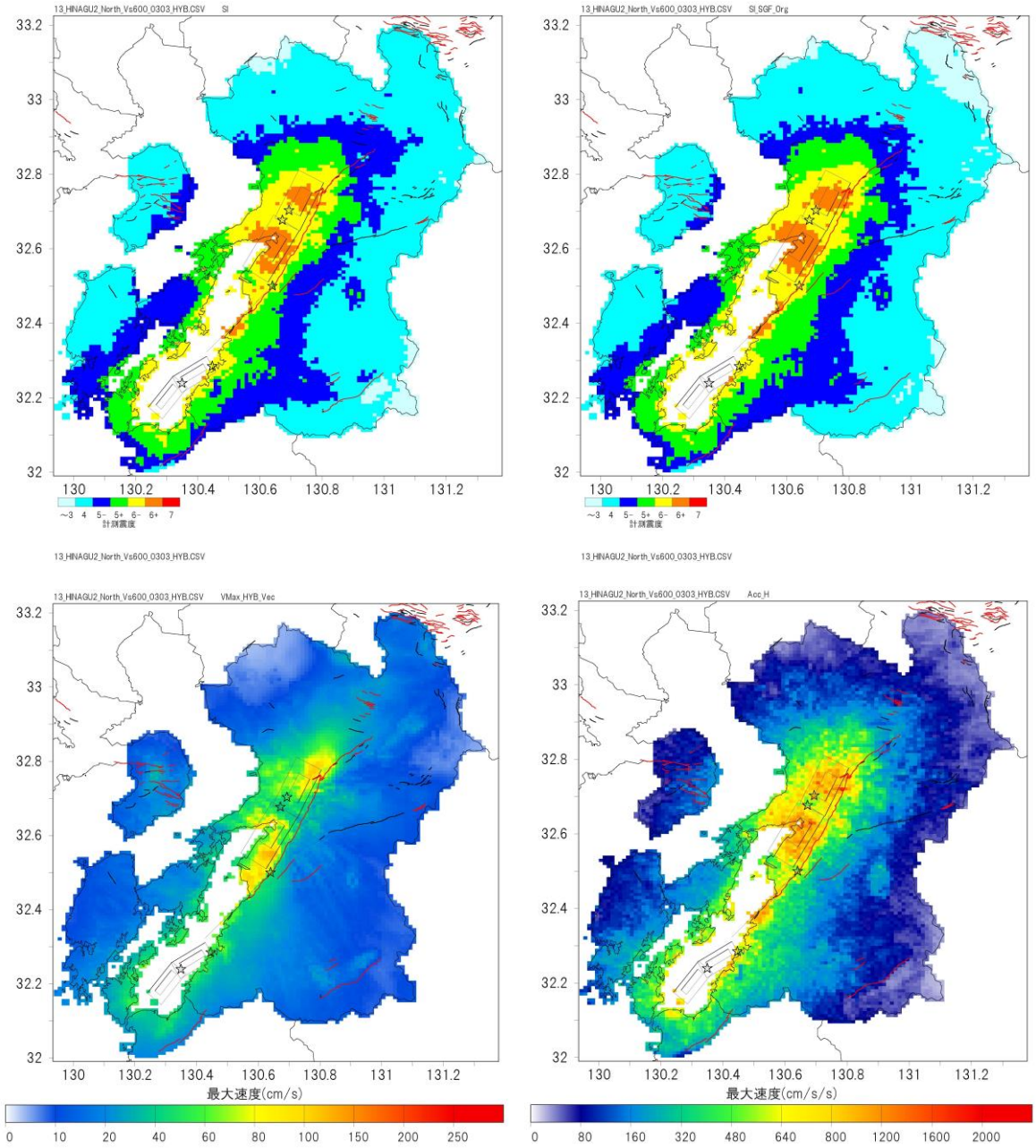


図 122(e)「広域」日奈久断層帯（２）北破壊ケースの、(左上）ハイブリッド法による工学的基盤震度、(右上）統計的グリーン関数法工学的基盤震度、(左下）ハイブリッド法最大速度（水平２成分時刻歴ベクトル合成)、(右下）ハイブリッド法最大加速度（水平動の最大値）

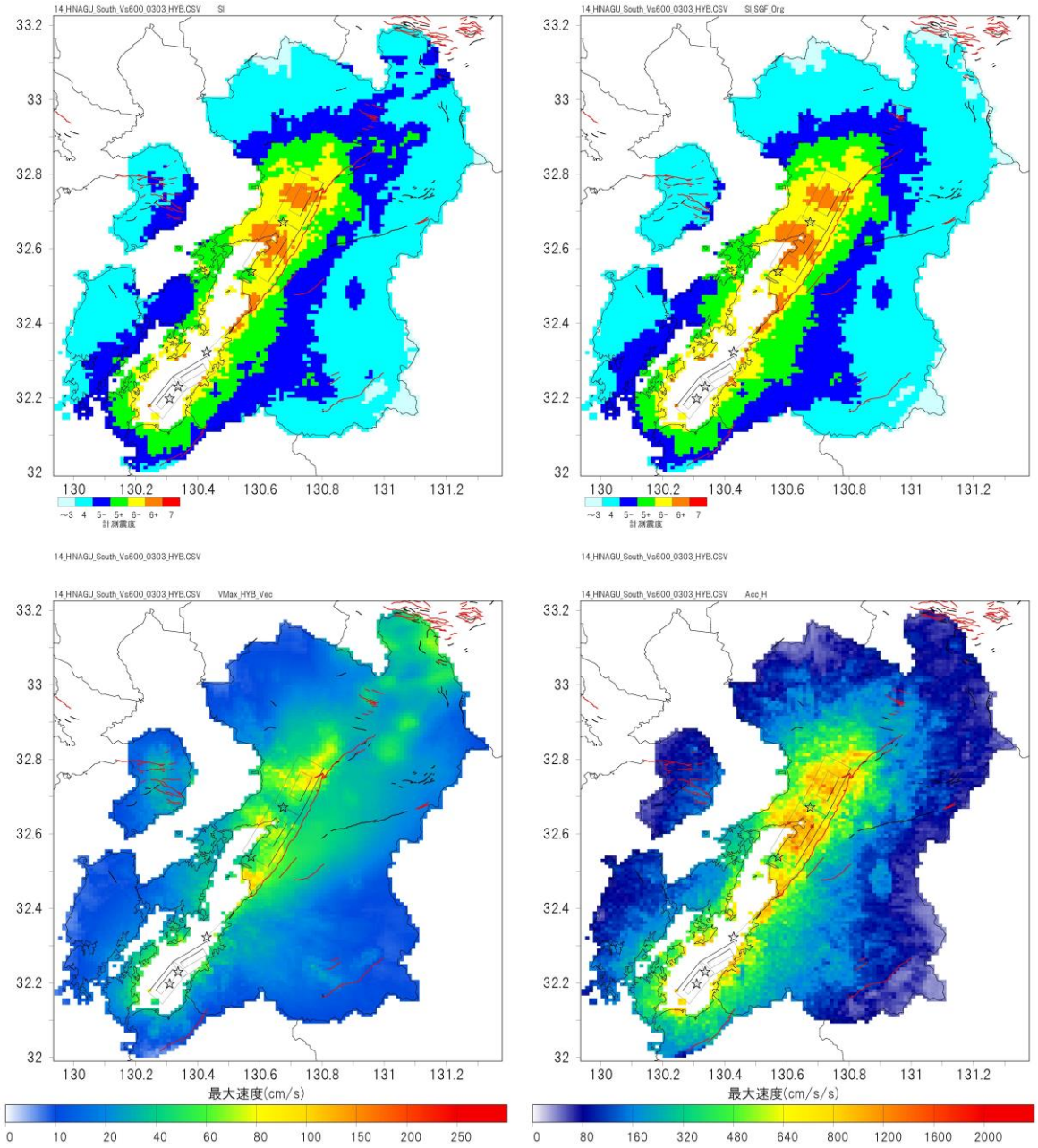


図 122(f)「広域」日奈久断層帯（２）南破壊ケースの、(左上）ハイブリッド法による工学的基盤震度、(右上）統計的グリーン関数法工学的基盤震度、(左下）ハイブリッド法最大速度（水平２成分時刻歴ベクトル合成)、(右下）ハイブリッド法最大加速度（水平動の最大値）

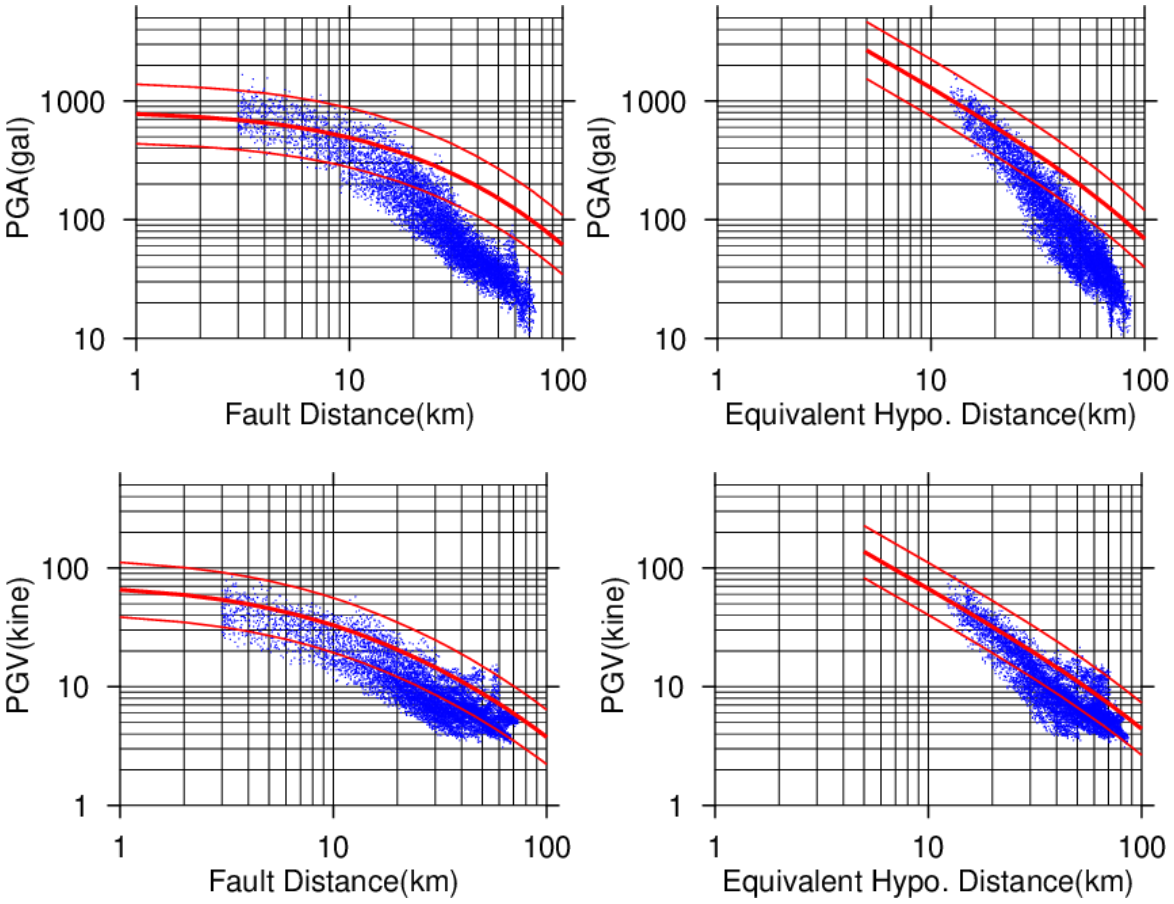


図 123(a)　地震動予測式（司・翠川，1999)との比較。布田川断層帯西破壊ケース
（左上）最大加速度（断層最短距離)、(右上）最大加速度（等価震源距離)、(左下）最大速度（断層最短距離)、(右下）最大速度（等価震源距離)。赤線は AVS30 が Vs600m/s の式の平均および±標準偏差の関係式を示す。

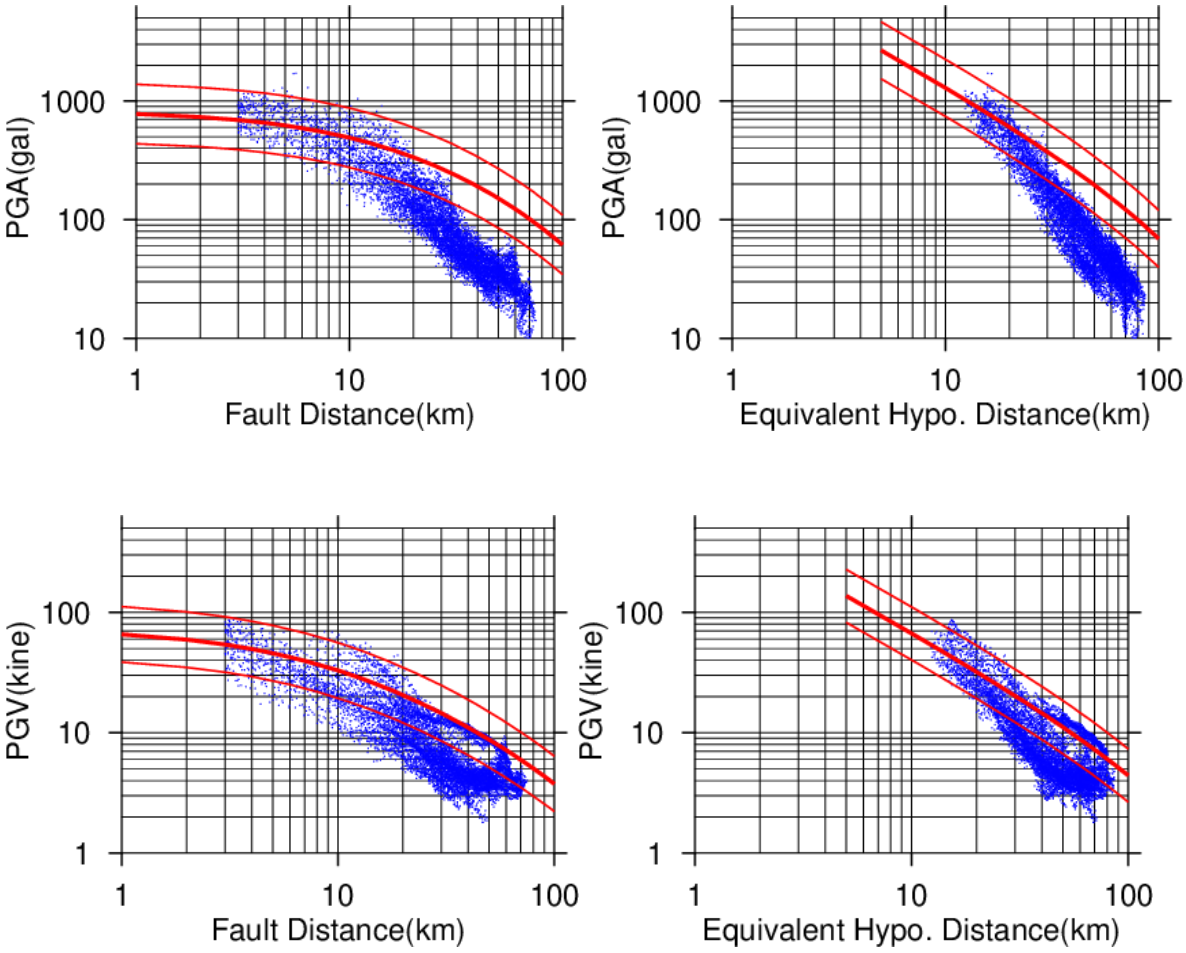


図 123(b)　地震動予測式（司・翠川，1999)との比較。布田川断層帯東破壊ケース

（左上）最大加速度（断層最短距離)、(右上）最大加速度（等価震源距離)、(左下）最大速度（断層最短距離)、(右下）最大速度（等価震源距離)。赤線は AVS30 が Vs600m/s の式の平均および±標準偏差の関係式を示す。

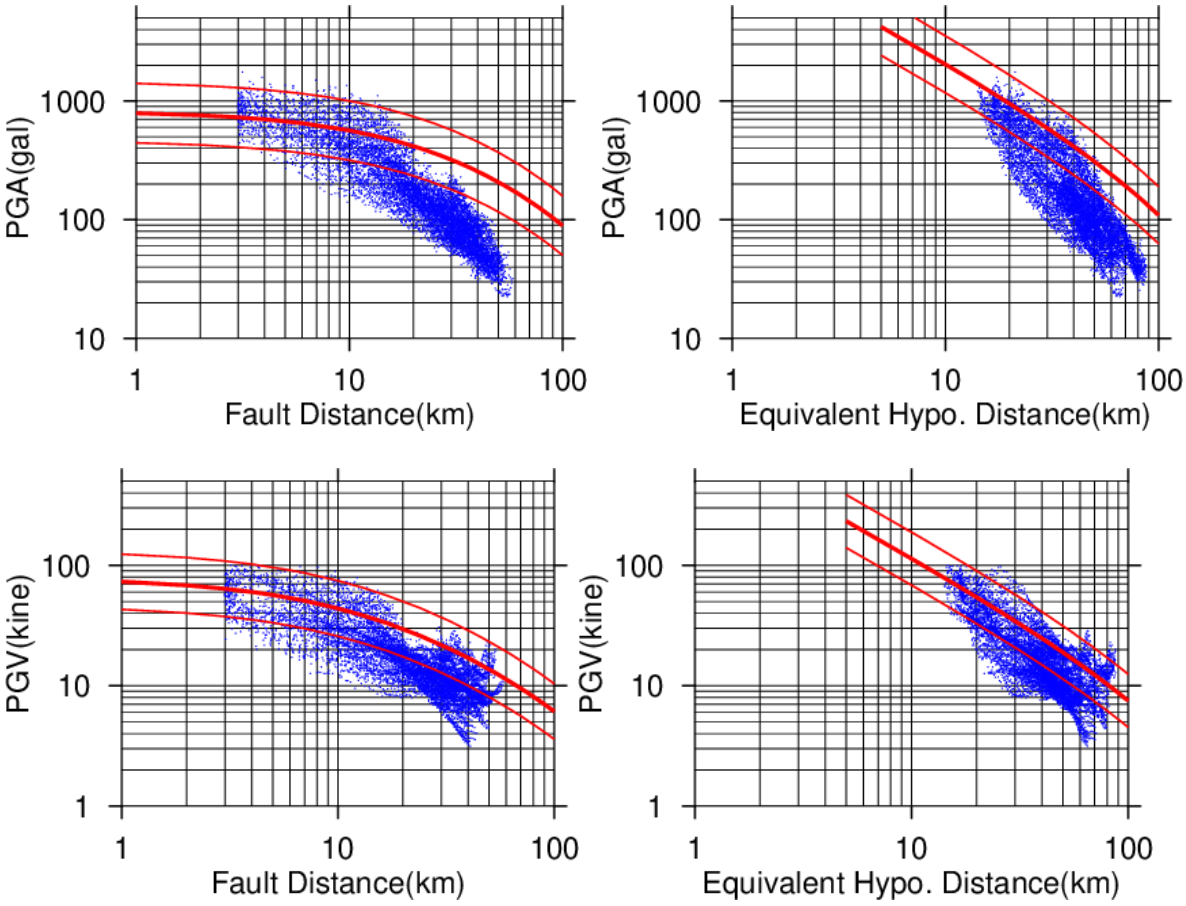


図 123(c)　地震動予測式（司・翠川，1999)との比較。日奈久断層帯（１）北破壊ケース（左上）最大加速度（断層最短距離)、(右上）最大加速度（等価震源距離)、(左下）最大速度（断層最短距離)、(右下）最大速度（等価震源距離)。赤線は AVS30 が Vs600m/s の式の平均および±標準偏差の関係式を示す。

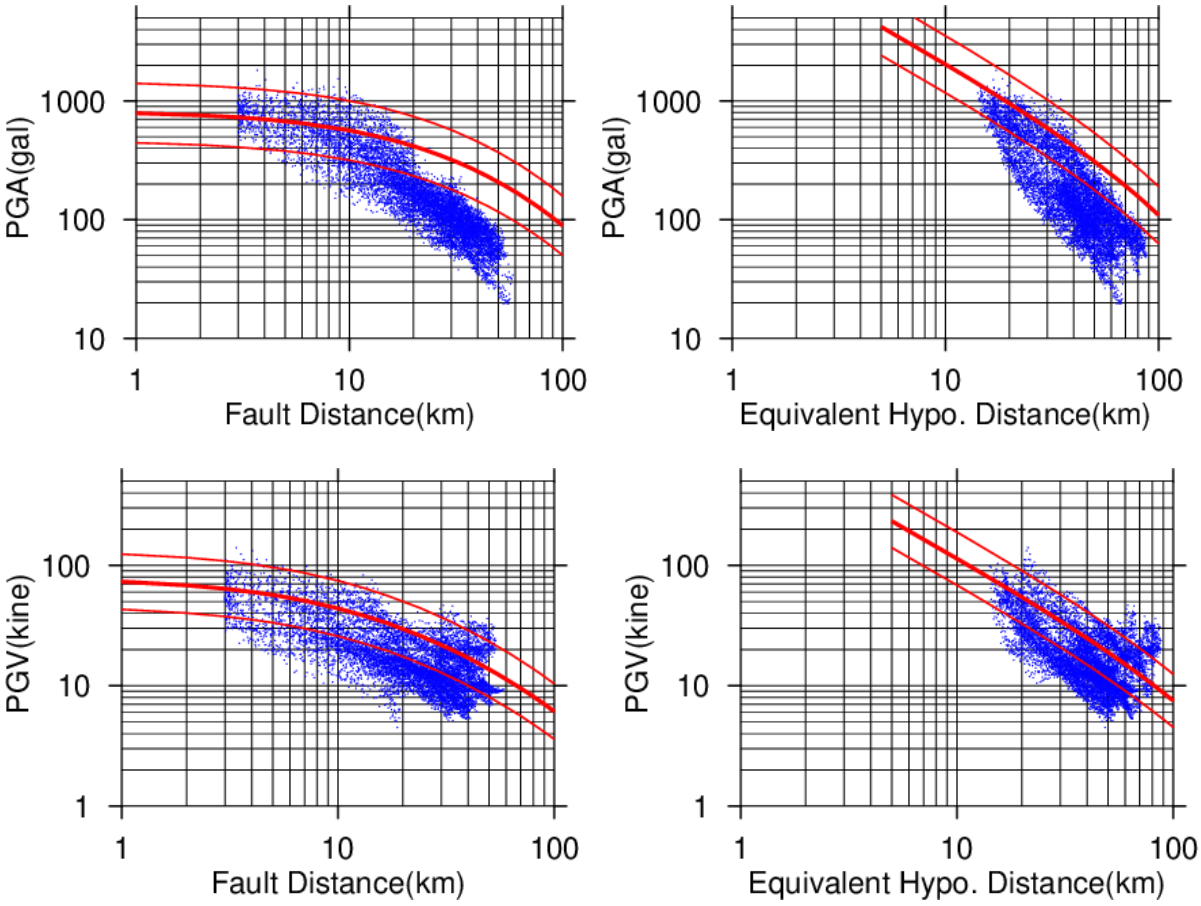


図 123(d)　地震動予測式（司・翠川，1999)との比較。日奈久断層帯（１）南破壊ケース（左上）最大加速度（断層最短距離)、(右上）最大加速度（等価震源距離)、(左下）最大速度（断層最短距離)、(右下）最大速度（等価震源距離)。赤線は AVS30 が Vs600m/s の式の平均および±標準偏差の関係式を示す。

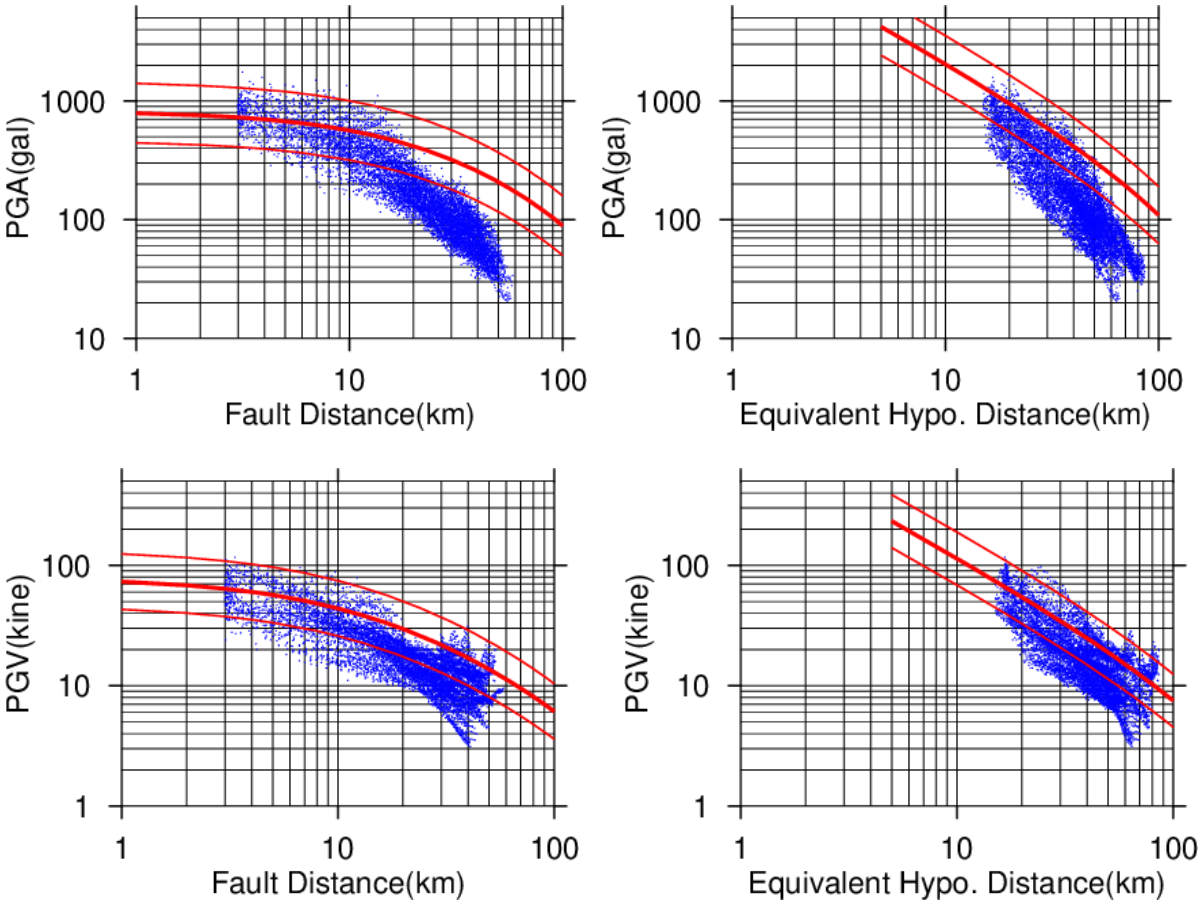


図 123(e)　地震動予測式（司・翠川，1999)との比較。日奈久断層帯（２）北破壊ケース（左上）最大加速度（断層最短距離)、(右上）最大加速度（等価震源距離)、(左下）最大速度（断層最短距離)、(右下）最大速度（等価震源距離)。赤線は AVS30 が Vs600m/s の式の平均および±標準偏差の関係式を示す。

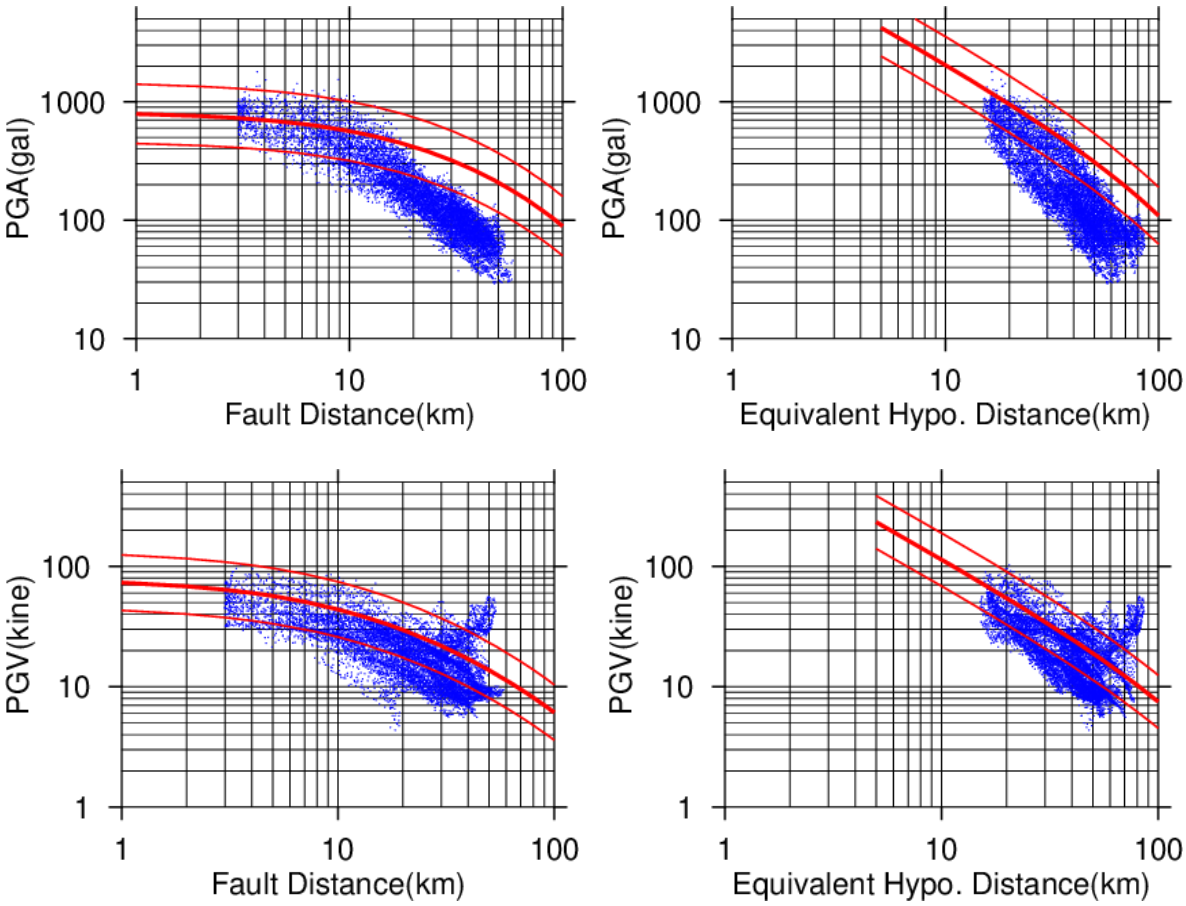


図 123(f)　地震動予測式（司・翠川，1999)との比較。日奈久断層帯（２）南破壊ケース（左上）最大加速度（断層最短距離)、(右上）最大加速度（等価震源距離)、(左下）最大速度（断層最短距離)、(右下）最大速度（等価震源距離)。赤線は AVS30 が Vs600m/s の式の平均および±標準偏差の関係式を示す。

f) 地表面地震動の計算

e)で得られた工学的基盤面上での地震動を用いて地表面地震動の計算を行った。地表面地震動の計算は、「詳細地域」については工学的基盤面から浅い部分の地盤構造モデルを用いて等価線形解析により地表面波形を計算し、計測震度、最大速度等を求めた。また、「広域」については、Vs600m/s 相当以浅に関して、レシピ（地震調査研究推進本部地震調査委員会, 2017）による震度増分の評価式に基づいて地表面震度を求めた。

等価線形解析の計算手法概要を示す。等価線形解析の主な条件は SHAKE (Schnabel et al., 1972) に準じた。SHAKE では、有効ひずみ γ_{eff} を次式で定義し、γ_{eff} に対応する剛性率 G および減衰定数 h を用いた一次元重複反射理論による周波数領域の応答解析を行う。これを反復計算し、設定した収束条件を満足した場合、反復計算が終了となる。

$$\gamma_{eff} = \alpha\gamma_{max}$$

ここで、α は補正係数であり、γ_{max} は最大ひずみである。ここでは、補正係数 α には標準的に用いられる 0.65 を採用した。また、収束条件についても標準的に用いられる「すべての層において G および h の前回計算との誤差が５%以内」とした。主な計算手法の設定内容を表 31 に示す。

等価線形解析に用いる動的変形特性曲線は、熊本平野、益城周辺の台地部、八代平野、山地・丘陵の区域を図 124 のように定め、それぞれの区域で速度層に対する土質の当てはめを行い、各土質について、国土交通省都市局市街地整備課（以下、都市局）、中央防災会議、土木研究所、佐賀県の試験結果、実験式等を適用した。熊本平野については、有明粘土層、砂質土層を設定した。有明粘土層に対しては、佐賀県および都市局の試験結果を平均し、動的変形特性曲線を作成した。砂質土層については、中央防災会議の砂質土を適用した。益城周辺の台地部については、粘性土層、砂質土層を設定し、都市局のそれぞれに対応する土質の試験結果を平均し、動的変形特性曲線を作成した。山地・丘陵については、工学的基盤以浅の風化部は砂質土を想定し、中央防災会議の砂質土を適用した。八代平野については、表層礫層、扇状地礫層・谷埋め礫層、上部砂質土層、粘性土層、下部砂質土層、基底砂礫層を設定し、粘性土層に対しては土研式の沖積粘性土の動的変形特性曲線を、それ以外に対しては土研式の沖積砂質土の動的変形特性曲線を適用した。図 125 に各区域の土質設定内容を示す。図 126(a)～(c)には、図 125 で示している、適用した動的変形特性曲線を示す。

八代平野に適用する土研式は有効上載圧を考慮した動的変形特性曲線であるため、地下水位が必要となる。そのため、九州地盤情報共有データベースと Kunijiban 収録のボーリングデータの地下水位情報から八代平野の計算対象メッシュの地下水位データを作成した。作成した地下水位分布を図 127 に示す。

「詳細地域」の各想定地震の等価線形解析結果として、地表面震度分布、地表面最大速度分布（水平２成分合成)、最大ひずみ分布を図 128～図 133 に示す。それぞれ(a) 地表面震度分布、(b)地表面最大速度分布、(c)最大ひずみ分布を表している。図 128 の布田川断層帯西破壊では、宇土半島北岸および熊本平野および周辺の台地部に震度６強～７の領域が広がる。最大速度は台地部で大きく、150 cm/s 強となる。ひずみは熊本平野、周辺の台地部、八代平

野北東側で１％ を超える。図 129 の布田川断層帯東破壊は、震度分布の傾向は布田川断層西破壊と同様である。最大速度分布は特徴が異なり、宇土区間の破壊進行方向で大きく、ひずみも２%を超える領域が広がる。図 130 に示す日奈久断層帯（１）では、震度７の領域が破壊開始点を設定した高野－白旗区間付近で広がっている。最大速度は八代平野で 150 cm/s 程度、熊本平野東部で 200 cm/s を超える結果となった。ただし、八代平野、熊本平野の多くの領域で最大ひずみが１ % を超えている。図 131 に示す日奈久断層帯（１）南破壊では、震度分布の傾向は日奈久断層帯（１）北破壊と同様である。最大速度分布では熊本平野の東部だけでなく西部まで 100 cm/s 以上の領域が広がる。最大ひずみも熊本平野東部から西部まで大きい。図 132 に示す日奈久断層帯（２）北破壊は、断層近傍では日奈久断層帯（１）北破壊とほぼ同等の結果である。図 133 の日奈久断層帯（２）南破壊は、断層付近の震度分布の傾向は日奈久断層帯（１）南破壊と概ね同様である。最大速度は、ひずみ分布は若干異なる領域もあるが、傾向は概ね同様である。

「詳細地域」の工学的基盤面以浅の浅い地盤構造モデルに対しては等価線形法を用いて地震動増幅を評価し、震源断層付近での強い揺れに加えて、地盤の悪い（地震波速度の遅い）表層の場合、八代平野や熊本平野の湾岸部といったところでは、工学的基盤面の震度よりも地震動が低減するといった可能性が示された。一方、工学的基盤面震度でも震度６強以上の地震動が計算されるところでは、ひずみが１%を超えていて、一般に考えられている等価線形法の適用範囲外になっている可能性があり、注意が必要である。このようなＳ波速度が小さい地盤の強震時の挙動に関しては、地盤特性をより詳細に知る必要があるが、今回動的変形特性曲線は一部近傍の試験結果を利用するといったことをしたが、十分な試料があるとは考えられないので、より高度な評価方法を用いることとそのための信頼できる原位置のパラメータの取得が重要であると考えられる。

「広域」の地表面地震動はレシピに準じて、藤本・翠川（2006）による最大速度の増幅率および藤本・翠川（2005）による最大速度と計測震度の関係式を用いて地表面震度を算出した。以下に、地表震度の算出方法を示す。まず、工学的基盤に対する地表の震度増分ΔIを工学的基盤最大速度（水平２成分のうち最大）PGV_b[cm/s]と最大速度増幅率ampから算出する。ここで、最大速度増幅率ampは地表 30m 平均Ｓ波速度$AVS30$と基準地盤（工学的基盤）の 30m 平均Ｓ波速度$AVS30_{ref}$より求められる。なお、$AVS30$は J-SHIS の表層地盤モデルのデータを用い、$AVS30_{ref}$は深部地盤モデルから評価した。ただし、$AVS30_{ref}$が 1500 m/s を超える場合には 1500 m/s とした。最後に、震度増分ΔIを工学的基盤震度I_bに加え、地表震度Iを算出する。

$$\Delta I = 2.603 \cdot \log(amp) - 0.213 \cdot \{\log(amp)\}^2 - 0.426 \cdot \log(PGV_b) \cdot \log(amp)$$
$$\log(amp) = -0.852 \cdot \log\left(AVS30/AVS30_{ref}\right)$$
$$I = I_b + \Delta I$$

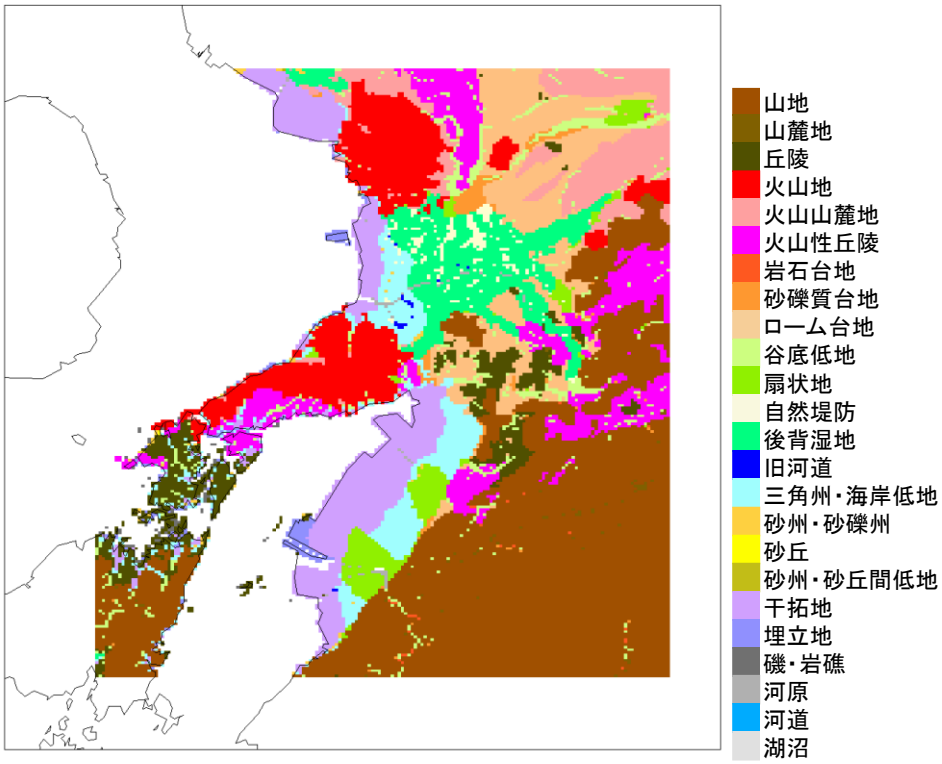
使用した$AVS30$および$AVS30_{ref}$分布を図 134 に示す。

「広域」の各想定地震に対する地表震度分布を図 135(a)～(f)に示す。図 135(a)の布田川断層帯西破壊では、熊本平野で震度６強～７の高震度が広がり、宇土半島においても震度６

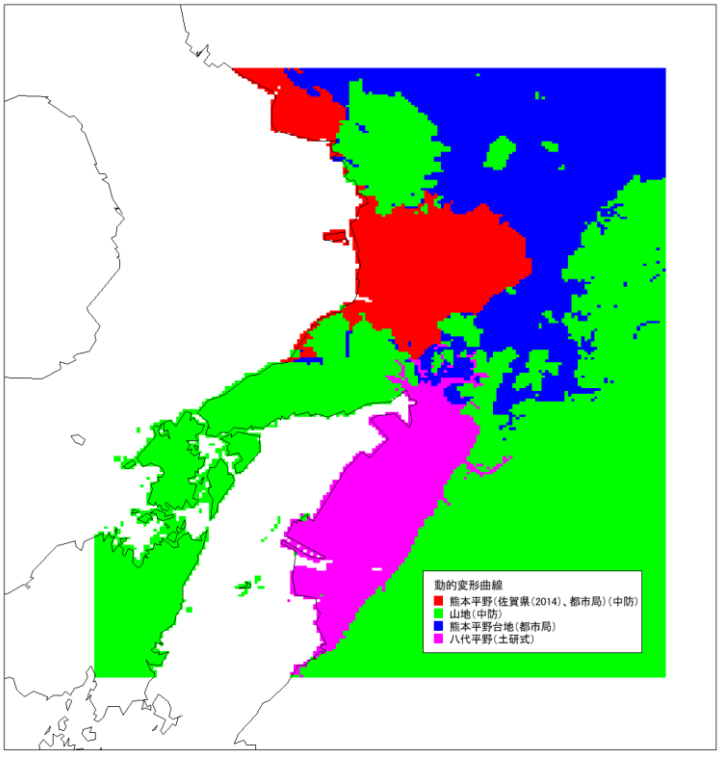
強以上が広がる。八代平野では震度６弱程度である。図 135(b)の布田川断層帯東破壊は、断層付近では布田川断層帯西破壊と同等であり、断層西側では布田川断層帯東破壊の方が大きく、断層北東側では布田川断層西破壊の方が大きい。破壊伝播の効果がみられる。図 135(c)の日奈久断層帯（１）北破壊は、八代平野、熊本平野で震度６強～７の高震度が広がり、水俣、天草上島、出水においても一部で震度７となる。図 135(d)の日奈久断層帯（１）南破壊は、断層近傍では日奈久断層帯（１）北破壊と同様の結果である。熊本県北東部や雲仙は南破壊の方がやや大きく、天草下島や阿久根などでは北破壊の方がやや大きい。図 135(e)の日奈久断層帯（２）北破壊は、日奈久断層帯（１）北破壊と同様の結果であるが、日奈久区間南部付近では、この区間の断層形状・メカニズムの違いによって震度分布が異なる傾向がある。断層に対して南東側では日奈久断層帯（２）北破壊の方が大きく、北西側では日奈久断層帯（１）北破壊の方が大きい。図 135(f)の日奈久断層帯（２）南破壊では、同様に、日奈久断層帯（１）南破壊と似ているが、断層に対して南東側では日奈久断層帯（２）北破壊の方が大きく、北西側では日奈久断層帯（１）北破壊の方が大きい傾向が見られる。

表 31　等価線形解析の設定内容

使用プログラム	DYNEQ（吉田，2008）
解析手法	SHAKE に準じる
複素剛性の計算手法	$G^*=G(1-2h^2+2ih\sqrt{(1-h^2)})$
イタレーション終了の誤差判定値	5%
有効ひずみの設定	$\gamma_{eff}=\alpha\gamma_{max}$（$\alpha=0.65$）
動的変形特性曲線の与え方	G/G_0～γ、h～γを表形式で与える
動的変形特性曲線	・佐賀県（2014） ・国土交通省都市局市街地整備課（2017） ・中央防災会議（2003） ・建設省土木研究所（1982）
ひずみが動的変形特性曲線の範囲外に達した時の補間方法	最大ひずみと同じ
散乱減衰	考慮しない
入力地震波	解放基盤波（2E）として入力



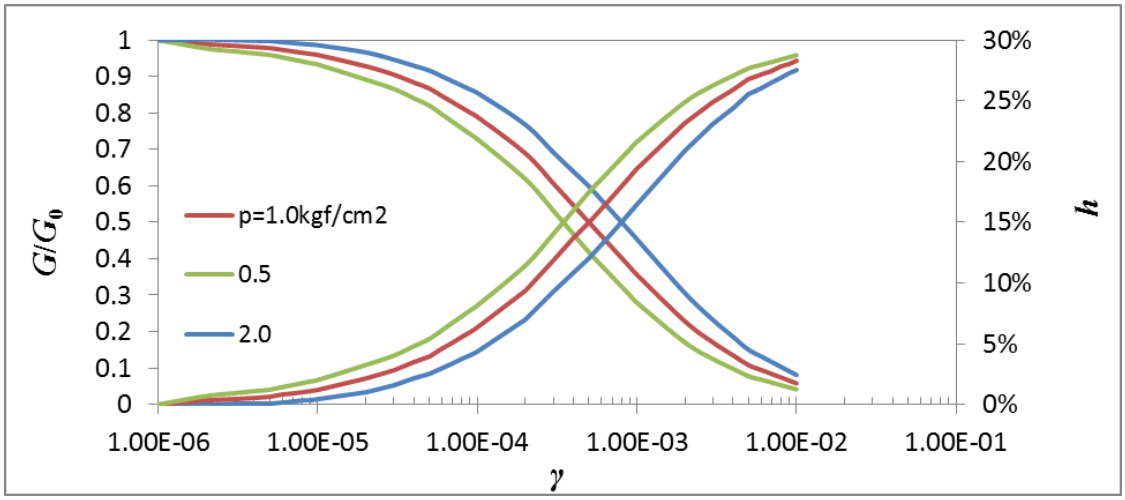
(a) 微地形区分



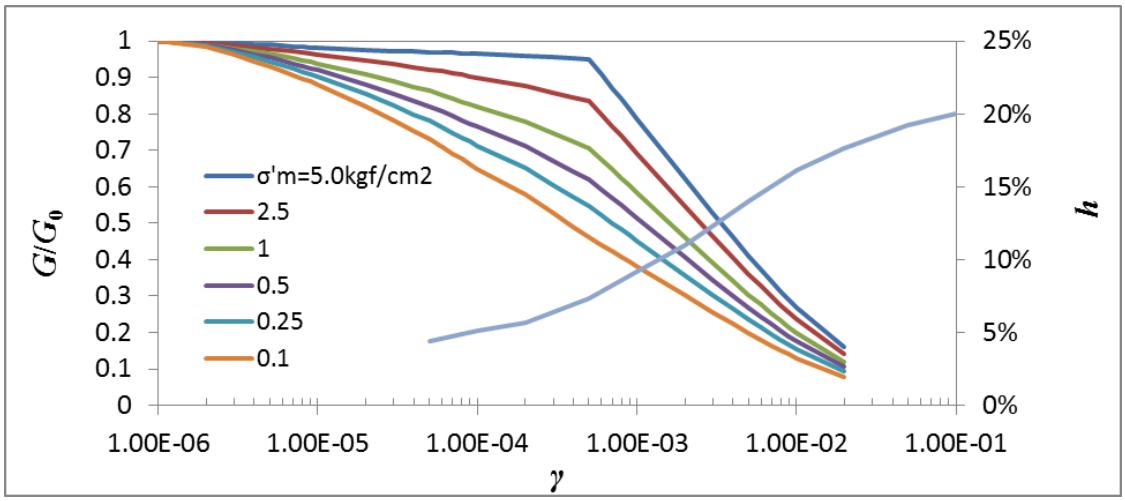
(b) 土質設定の区域分け

図 124　「詳細区域」における(a)微地形区分（若松・松岡, 2013 による）とそれに基づく(b)土質設定の区域分け

図 125　各区域の土質区分けと各層で参照する関係式

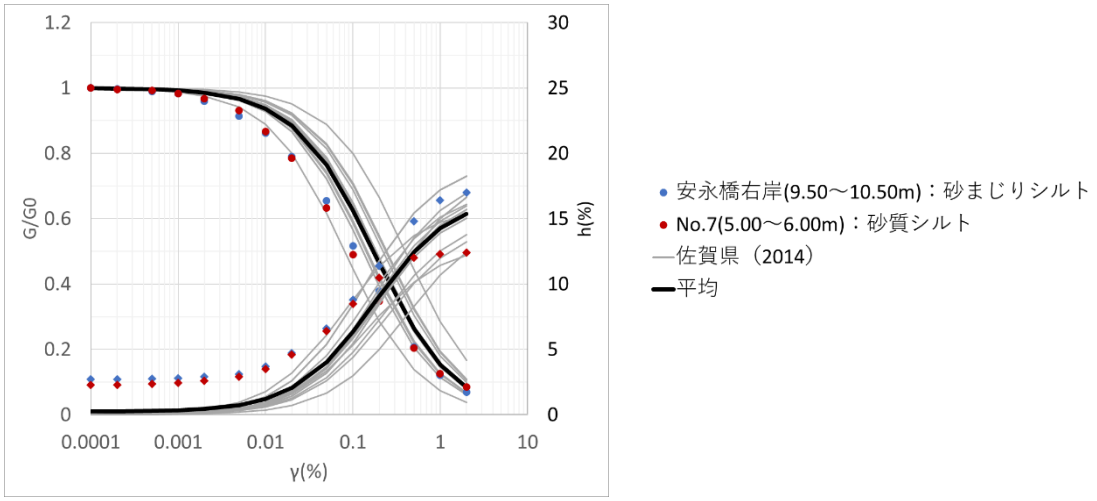


①八代平野・砂質土（土研式　沖積砂質土）

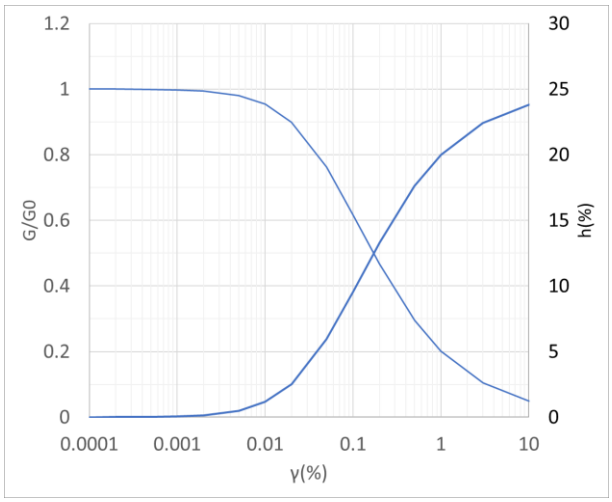


②八代平野・粘性土（土研式　沖積粘性土）

図 126(a) 動的変形特性曲線。土研式　沖積砂質土、沖積粘性土。右下がりの曲線に対しては、横軸γはせん断ひずみ、縦軸は剛性率比(G/Go)で、せん断ひずみ 10^{-6} 時の基準剛性率 Go に対する剛性率の変化を示す。各曲線は有効拘束圧による違いを示している。右上がりの曲線に対しては、縦軸は減衰率 h のせん断ひずみに対する変化を示す。

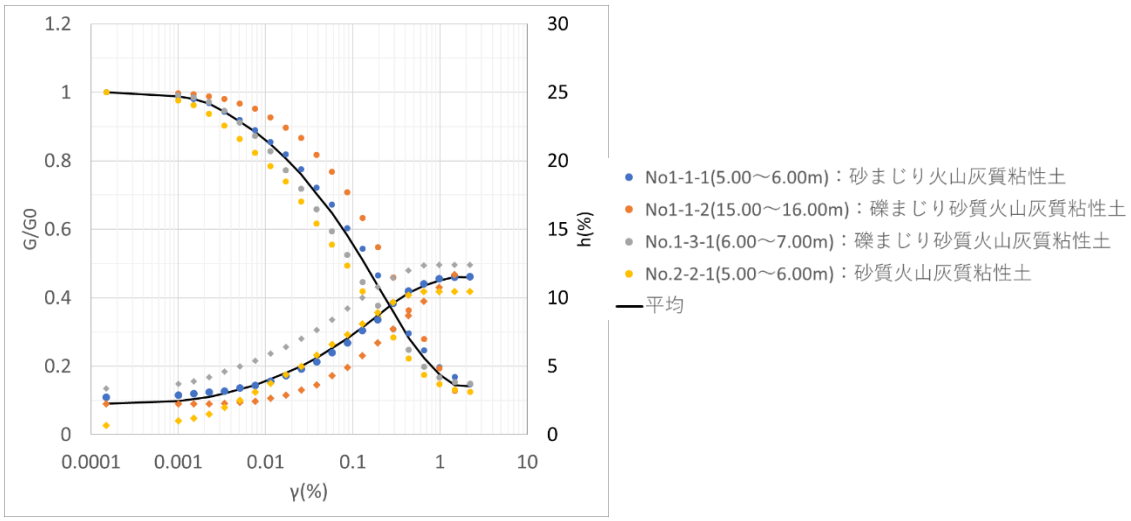


③熊本平野・砂質土層（佐賀県、都市局から作成）

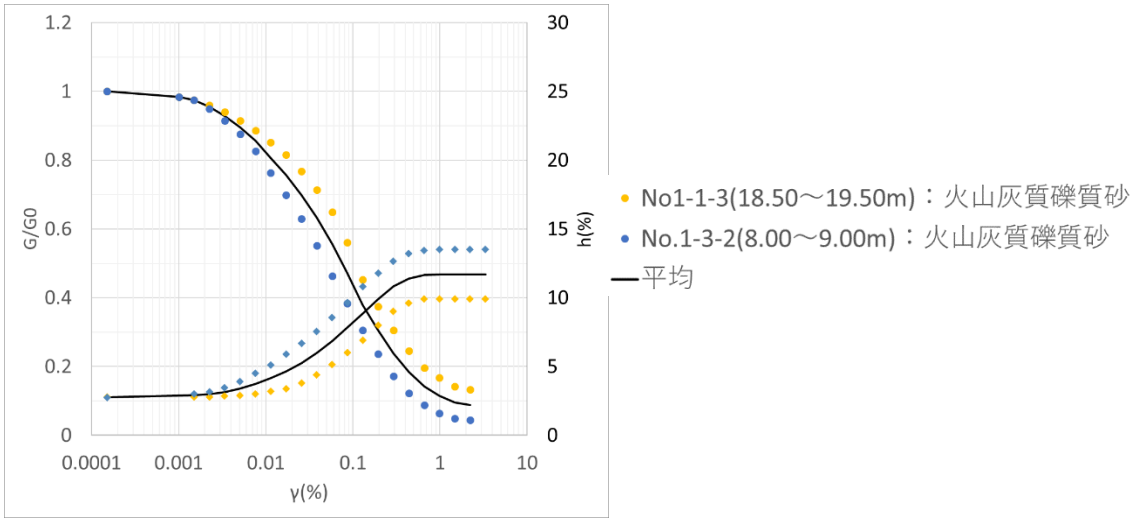


④熊本平野・有明粘土層（中央防災会議　砂質土）

図 126(b) 動的変形特性曲線。佐賀県、都市局。および中央防災会議砂質土。右下がりの曲線に対しては、横軸γはせん断ひずみ、縦軸は剛性率比(G/Go)で、せん断ひずみ 10^{-6} 時の基準剛性率 Go に対する剛性率の変化を示す。③では、原位置試験結果を点でプロットし、佐賀県のデータと比較した。右上がりの曲線に対しては、縦軸は減衰率 h のせん断ひずみに対する変化を示す。



⑤益城周辺の台地部・粘性土層（都市局から作成）



⑥益城周辺の台地部・砂質土層（都市局から作成）

図 126(c) 動的変形特性曲線。都市局より作成。右下がりの曲線に対しては、横軸γはせん断ひずみ、縦軸は剛性率比(G/Go)で、せん断ひずみ 10^{-6} 時の基準剛性率 Go に対する剛性率の変化を示す。原位置試験結果を点でプロットし、既往のデータと比較している。右上がりの曲線に対しては、縦軸は減衰率 h のせん断ひずみに対する変化を示す。

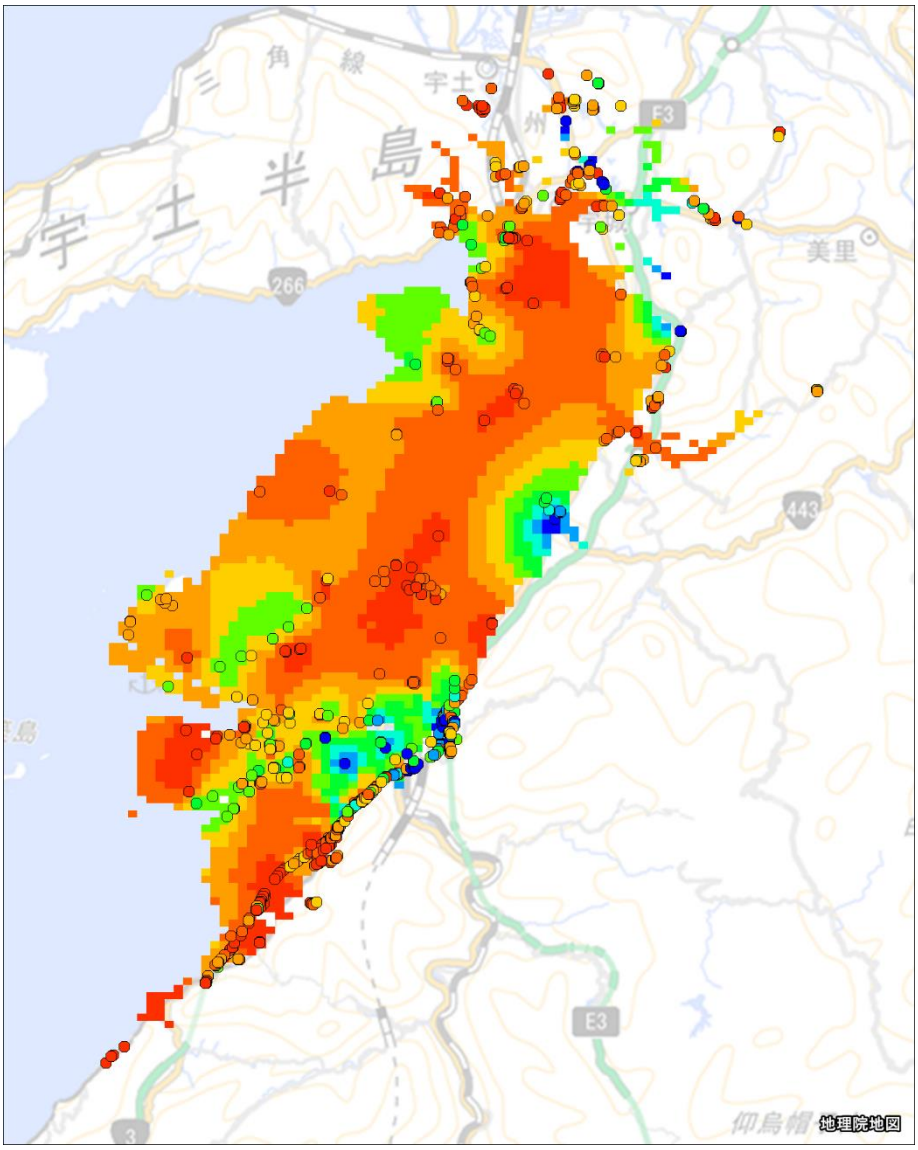


図 127　八代平野の地下水位の設定。〇印がボーリング地点で、地下水位を色で示している。それらのデータから、八代平野全域の地下水位を内外挿したものを、各メッシュのカラーで示している。地理院地図に加筆。

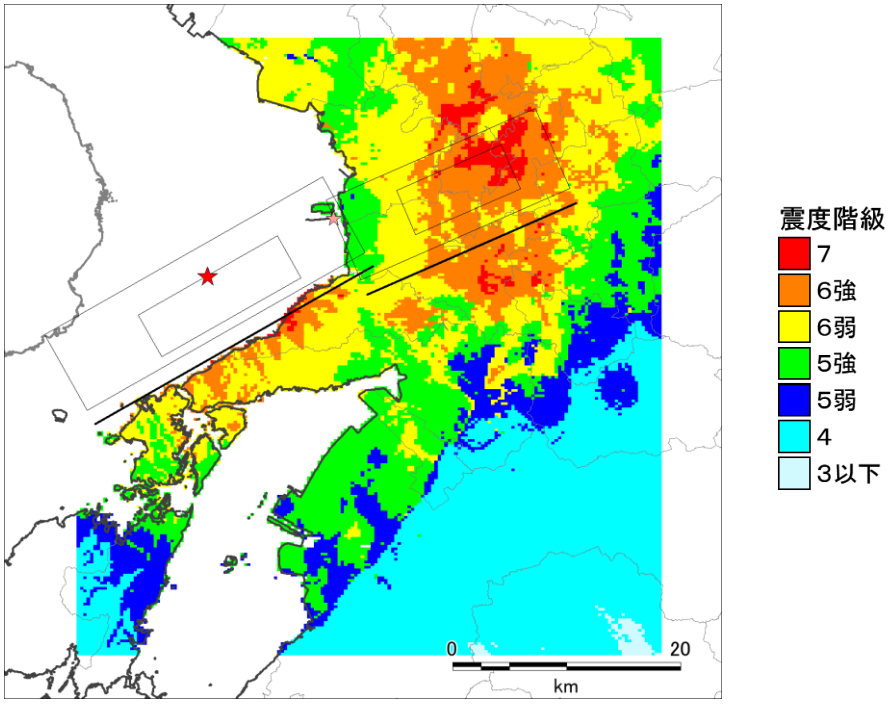


図 128(a) 布田川断層帯西破壊の地表面震度分布。矩形および矩形内の矩形は、設定した震源断層モデルと強震動生成域の地表投影。星印が設定した破壊開始点を表している。太線は震源断層モデルの延長と地表の交線を示す。

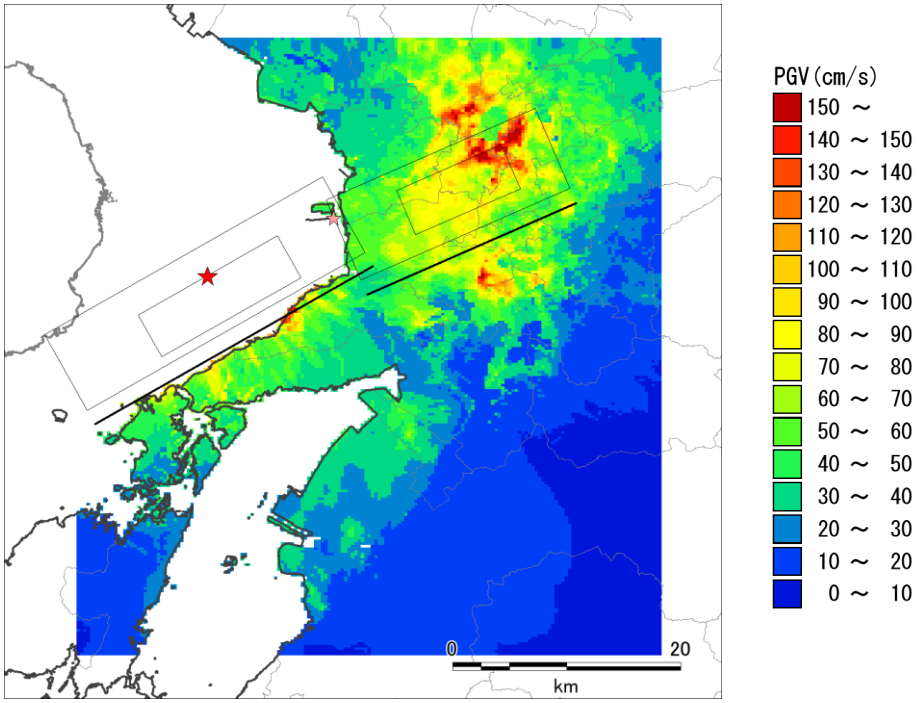


図 128(b) 布田川断層帯西破壊の地表面最大速度分布

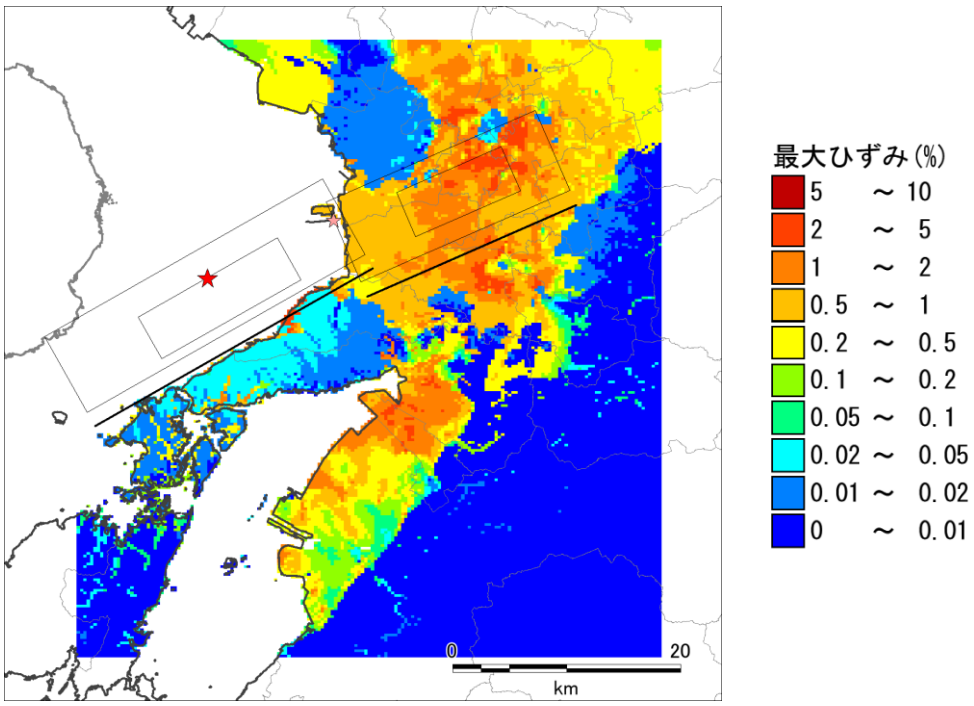


図 128(c) 布田川断層帯西破壊の最大ひずみ分布

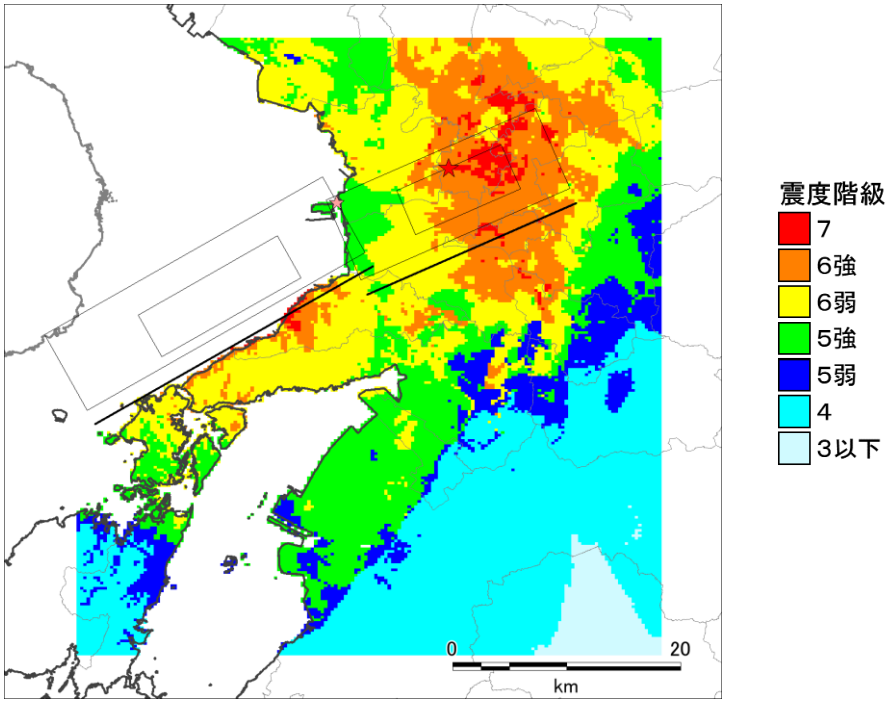


図 129(a) 布田川断層帯東破壊の地表面震度分布。矩形および矩形内の矩形は、設定した震源断層モデルと強震動生成域の地表投影。星印が設定した破壊開始点を表している。太線は震源断層モデルの延長と地表の交線を示す。

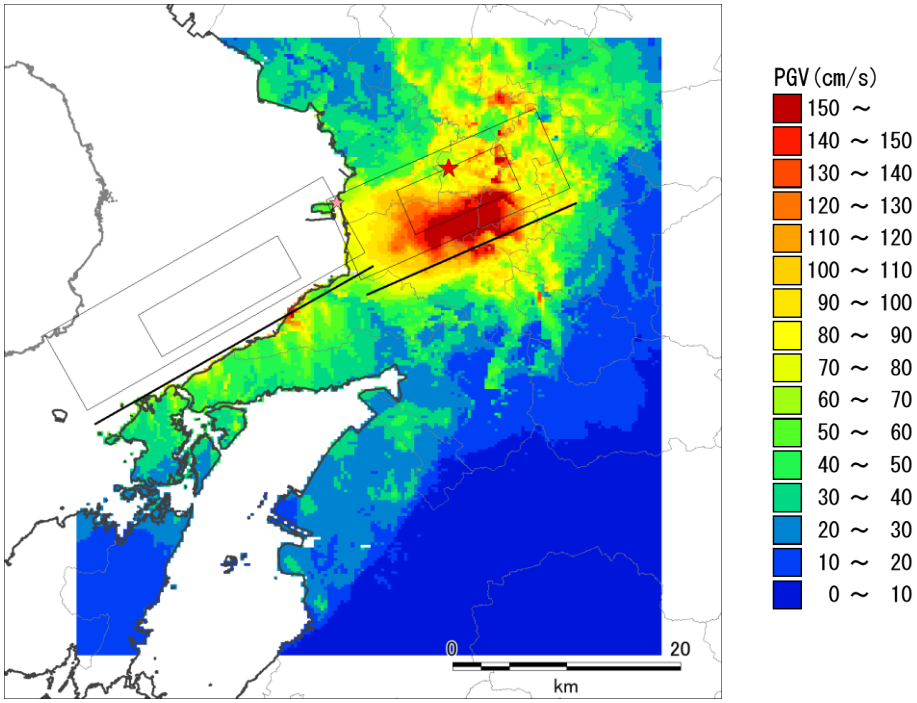


図 129(b) 布田川断層帯東破壊の地表面最大速度分布

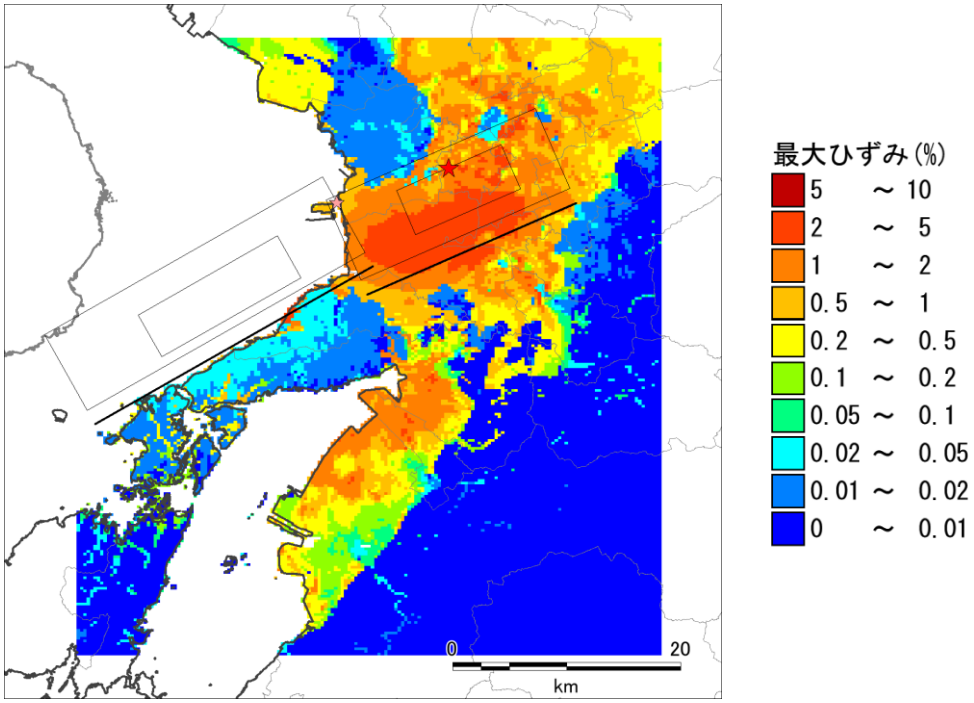


図 129(c) 布田川断層帯東破壊の最大ひずみ分布

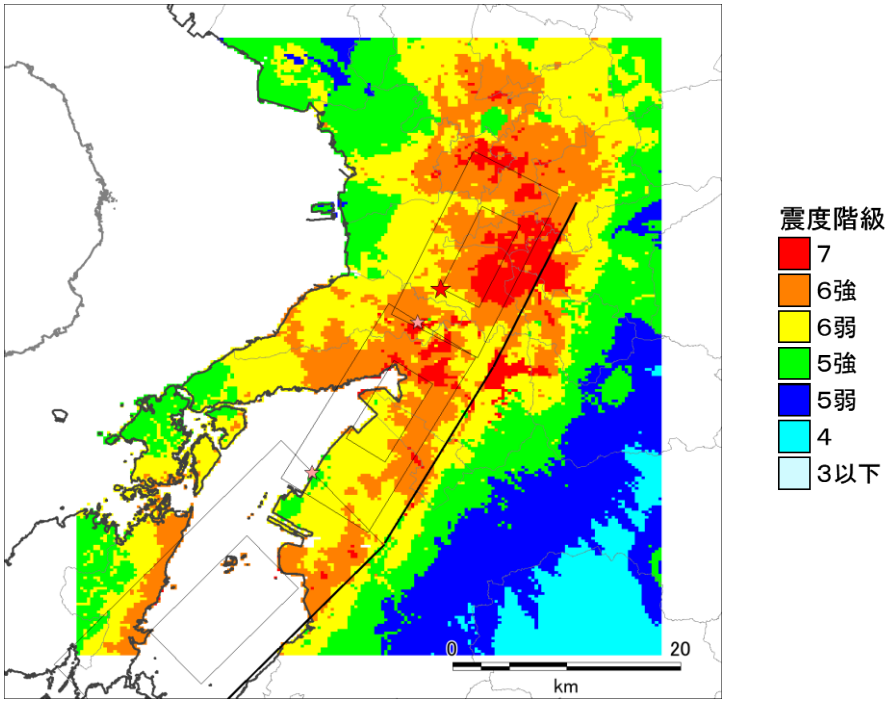


図 130(a) 日奈久断層帯（１）北破壊の地表面震度分布。矩形および矩形内の矩形は、設定した震源断層モデルと強震動生成域の地表投影。星印が設定した破壊開始点を表している。太線は震源断層モデルの延長と地表の交線を示す。

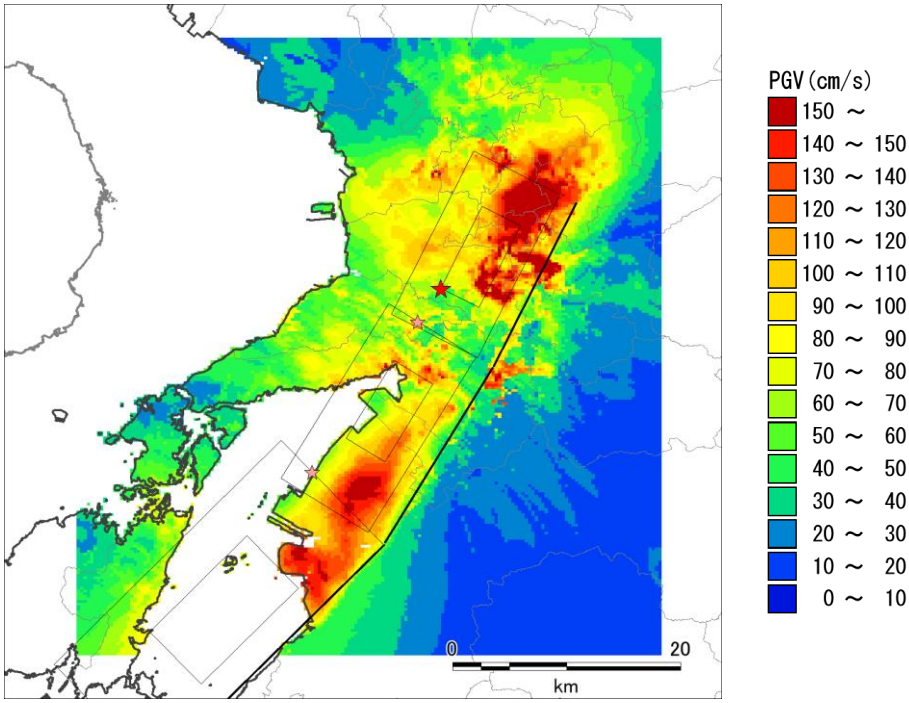


図 130(b) 日奈久断層帯（１）北破壊の地表面最大速度分布

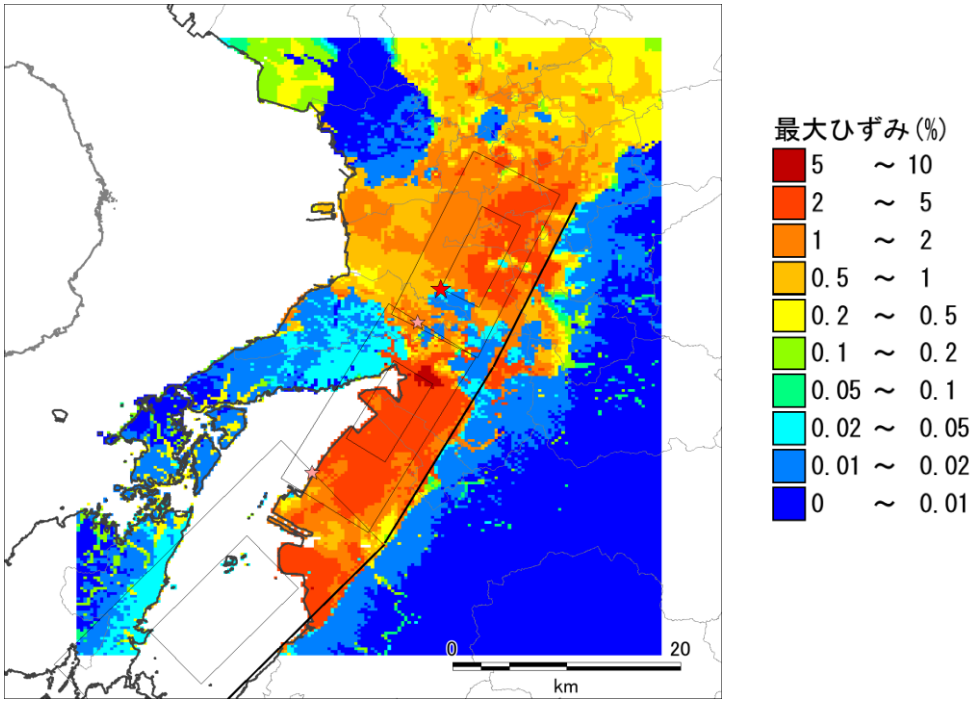


図 130(c) 日奈久断層帯（１）北破壊の最大ひずみ分布

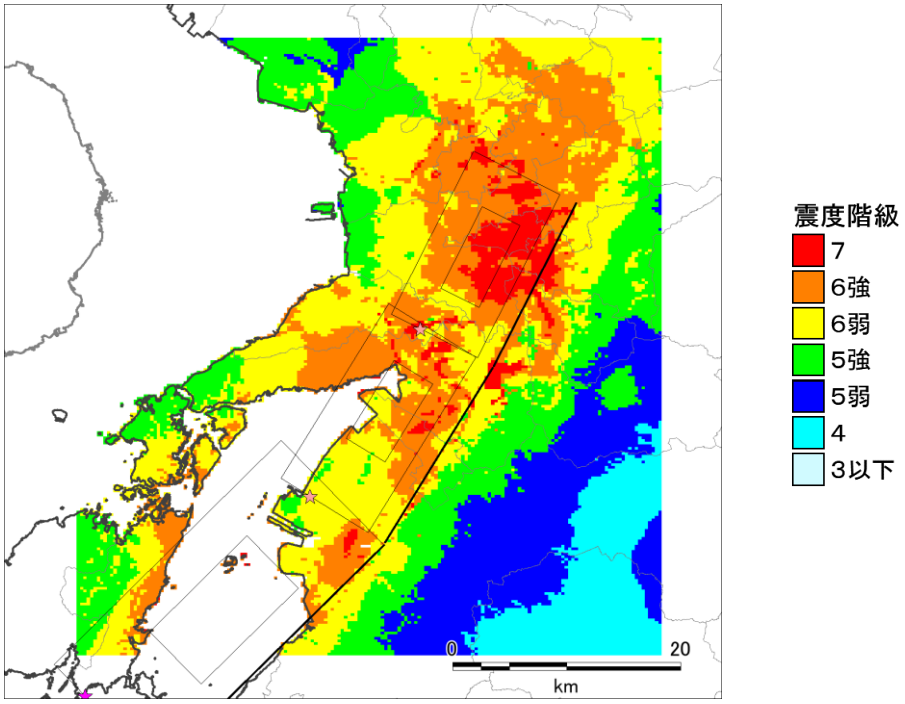


図 131(a) 日奈久断層帯（１）南破壊の地表面震度分布。矩形および矩形内の矩形は、設定した震源断層モデルと強震動生成域の地表投影。星印が設定した破壊開始点を表している。太線は震源断層モデルの延長と地表の交線を示す。

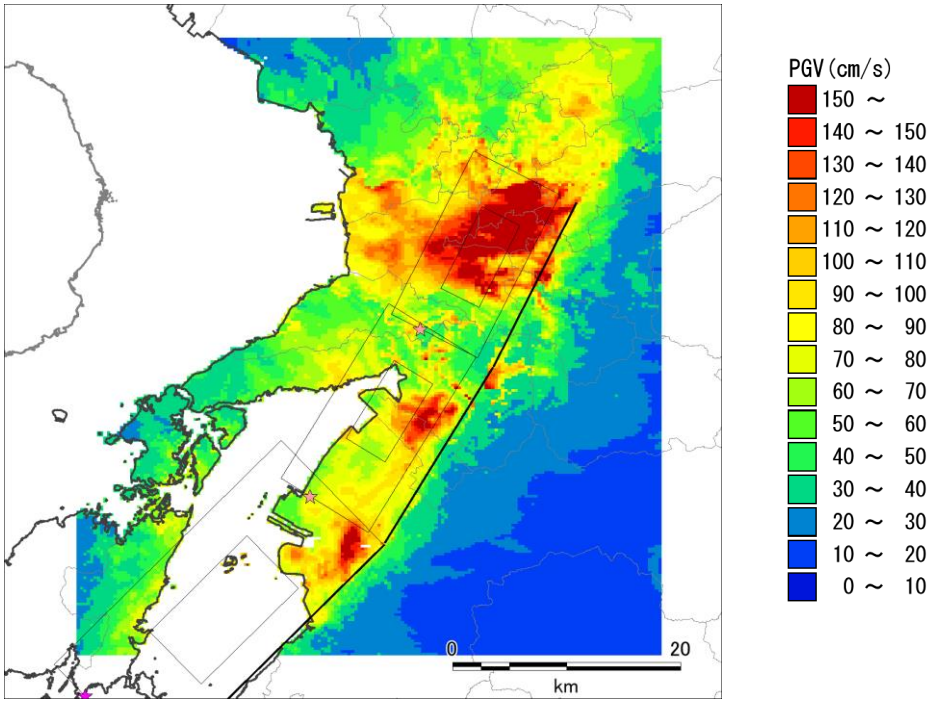


図 131(b) 日奈久断層帯（１）南破壊の地表面最大速度分布

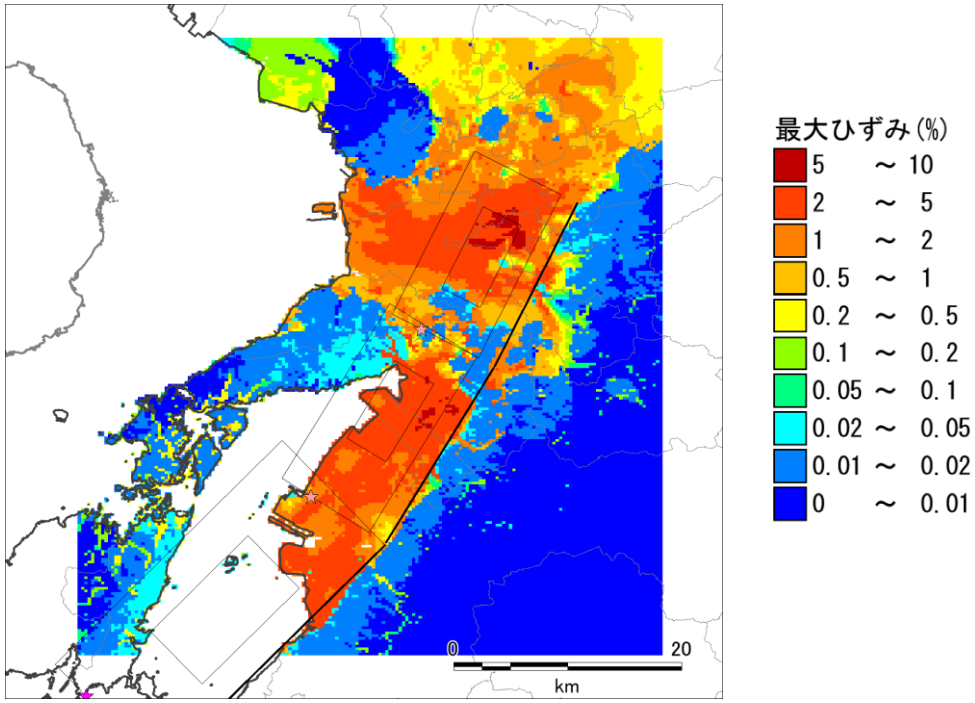


図 131(c) 日奈久断層帯（１）南破壊の最大ひずみ分布

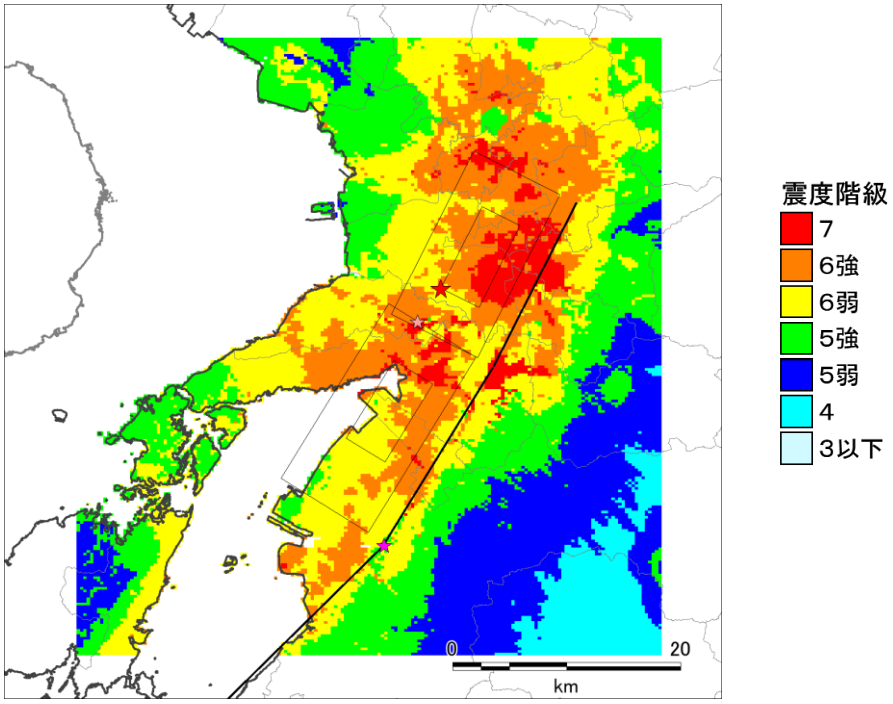


図 132(a) 日奈久断層帯（２）北破壊の地表面震度分布。矩形および矩形内の矩形は、設定した震源断層モデルと強震動生成域の地表投影。星印が設定した破壊開始点を表している。太線は震源断層モデルの延長と地表の交線を示す。

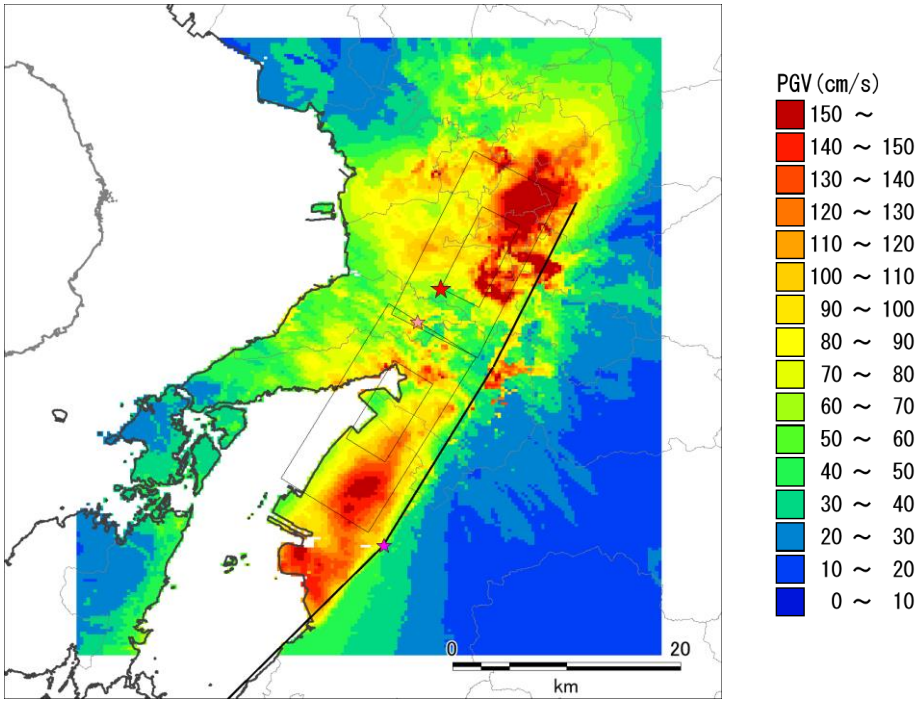


図 132(b) 日奈久断層帯（２）北破壊の地表面最大速度分布

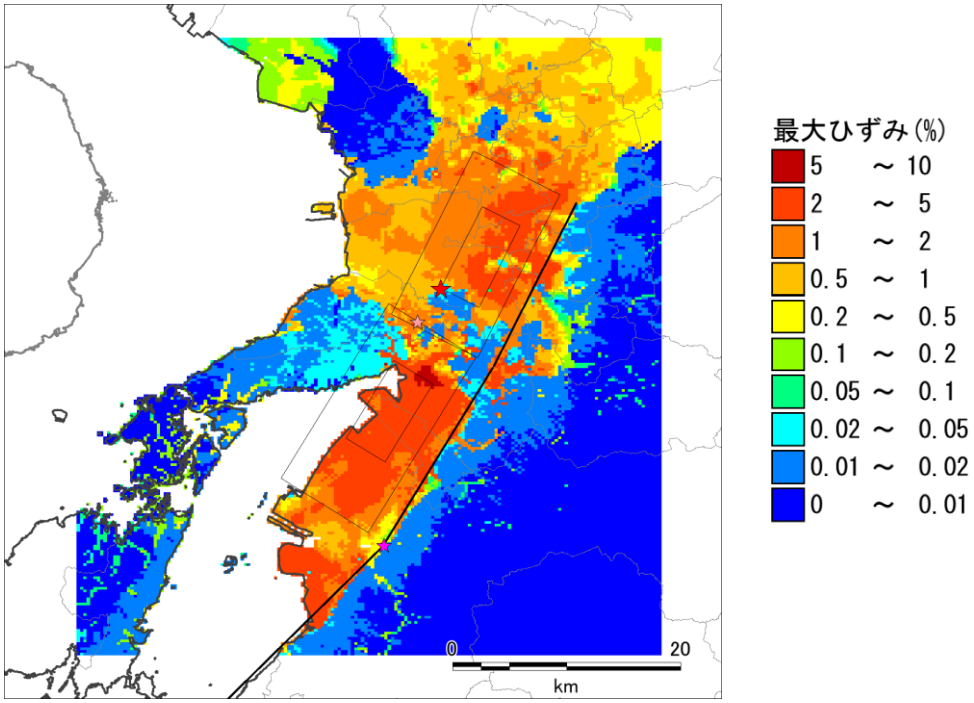


図 132(c) 日奈久断層帯（２）北破壊の最大ひずみ分布

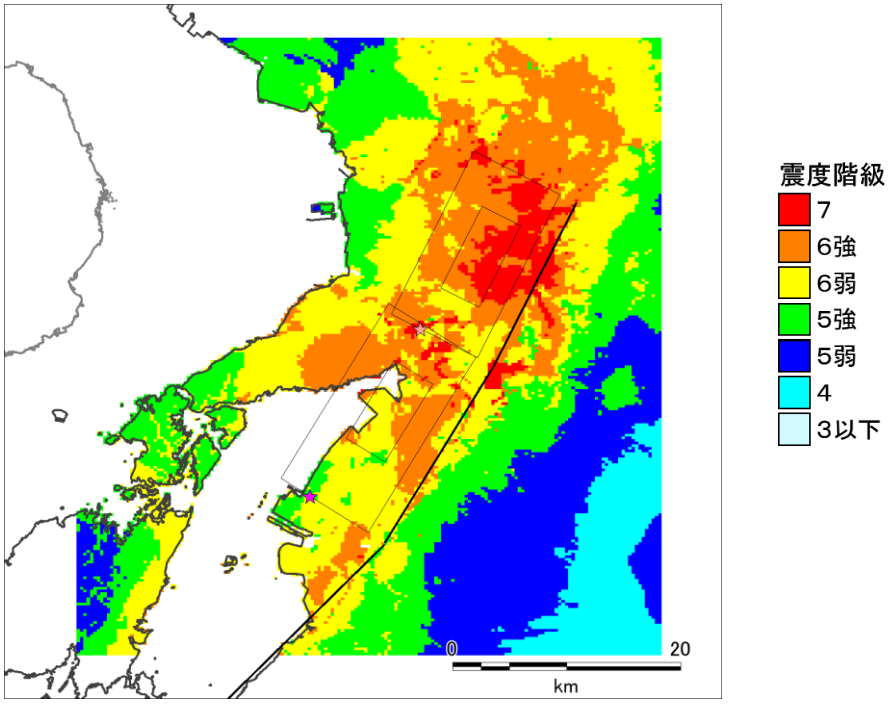


図 133(a) 日奈久断層帯（２）南破壊の地表面震度分布。矩形および矩形内の矩形は、設定した震源断層モデルと強震動生成域の地表投影。星印が設定した破壊開始点を表している。太線は震源断層モデルの延長と地表の交線を示す。

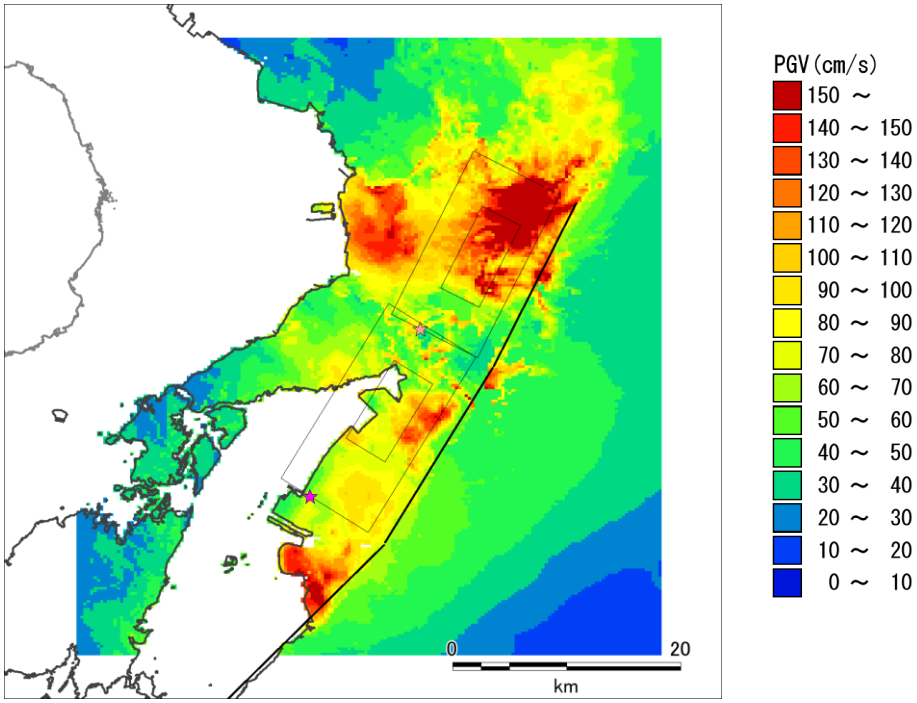


図 133(b) 日奈久断層帯（２）南破壊の地表面最大速度分布

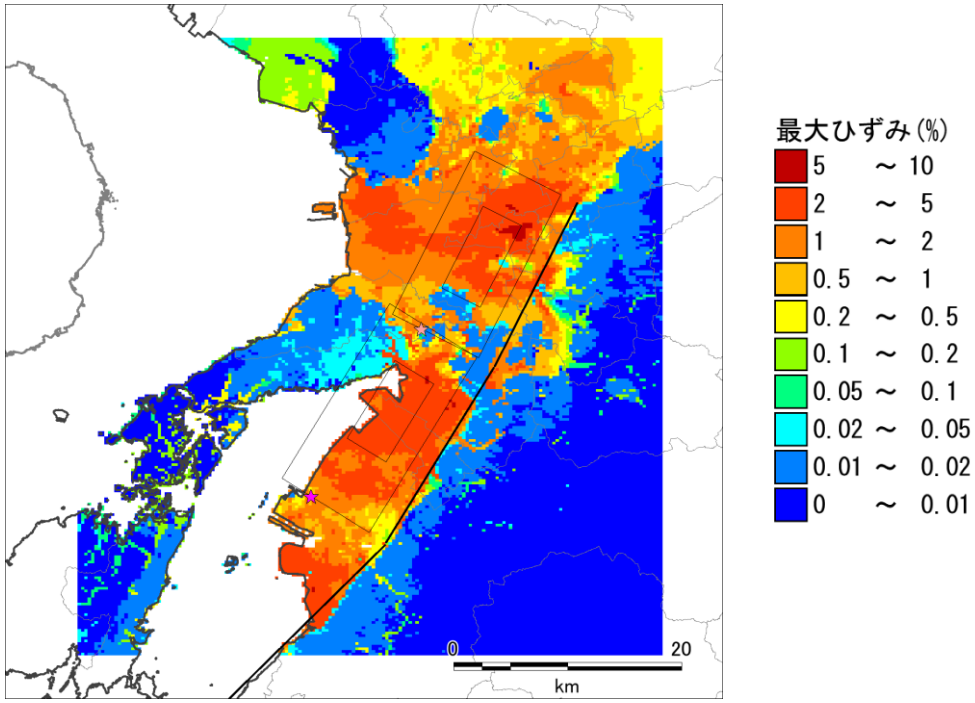


図 133(c) 日奈久断層帯（２）南破壊の最大ひずみ分布

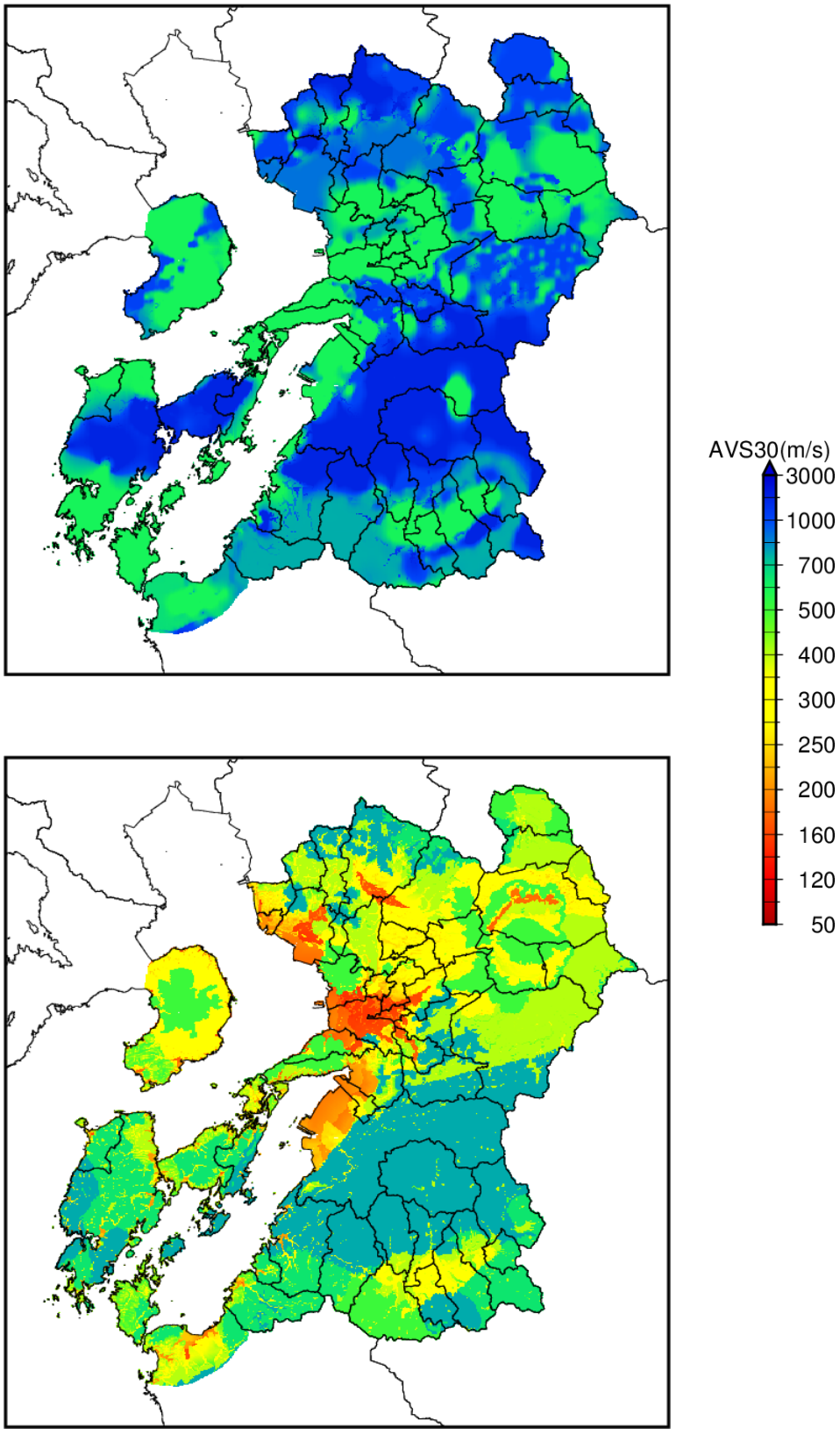


図 134　最大速度増幅率に用いた AVS30 の分布
（上）$AVS30_{ref}$　、（下）$AVS30$

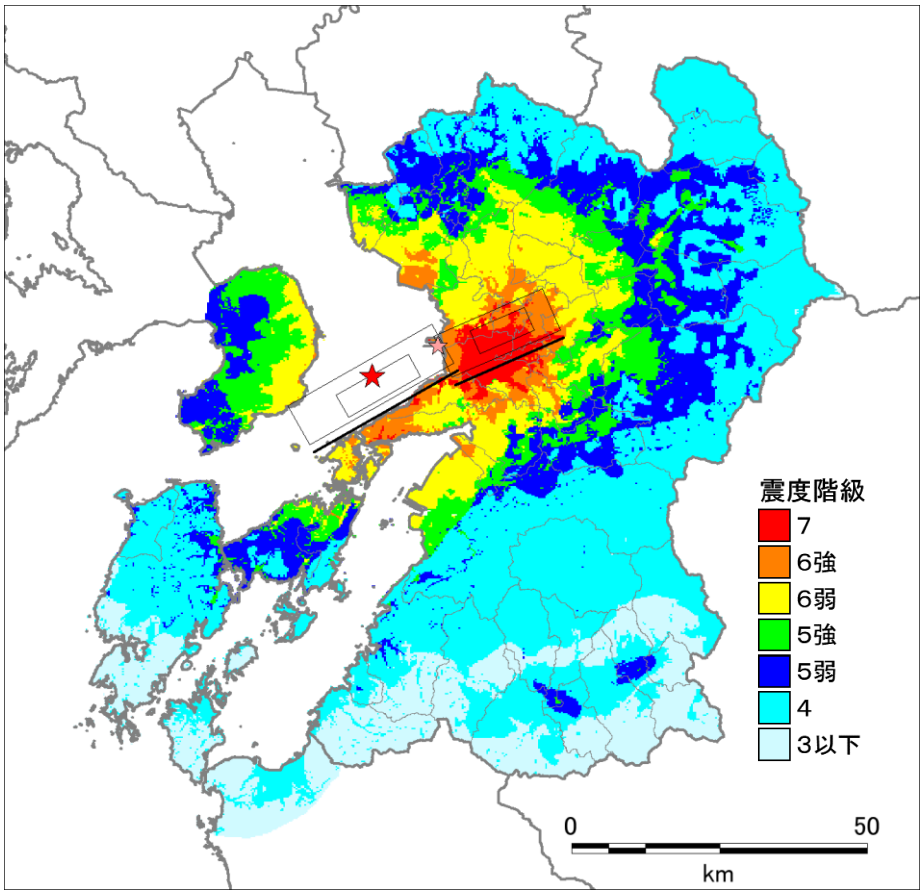


図 135(a) 「広域」布田川断層帯西破壊の地表面震度分布。矩形および矩形内の矩形は、設定した震源断層モデルと強震動生成域の地表投影。星印が設定した破壊開始点を表している。太線は震源断層モデルの延長と地表の交線を示す。

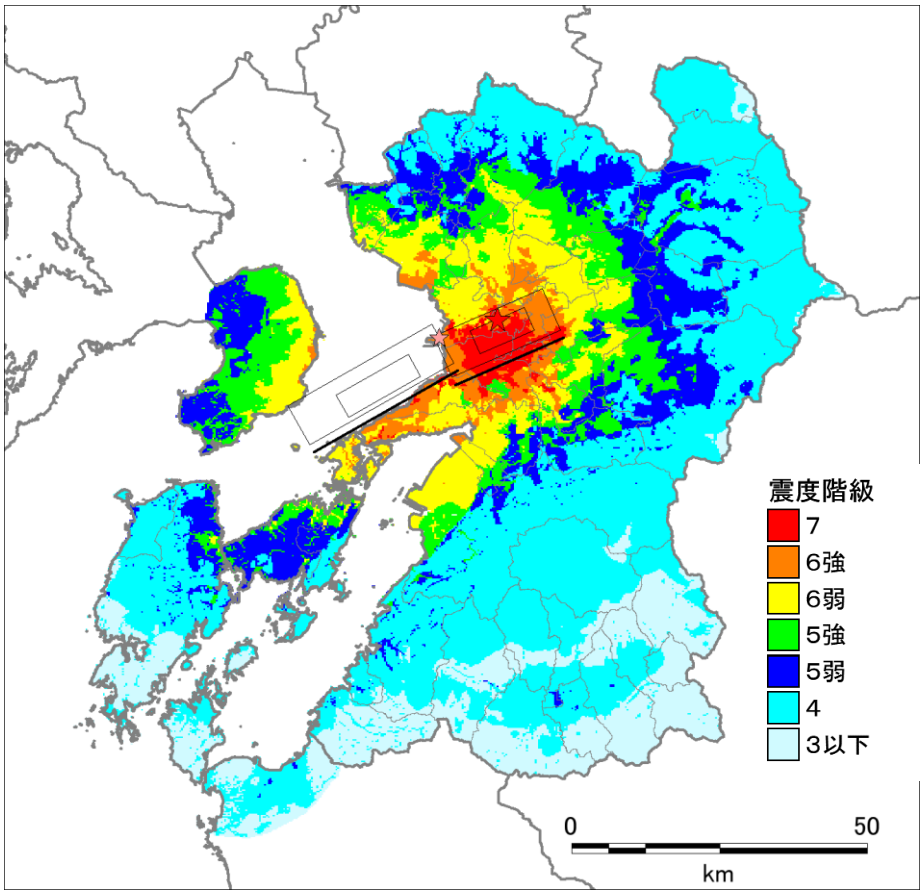


図 135(b) 「広域」布田川断層帯東破壊の地表面震度分布。矩形および矩形内の矩形は、設定した震源断層モデルと強震動生成域の地表投影。星印が設定した破壊開始点を表している。太線は震源断層モデルの延長と地表の交線を示す。

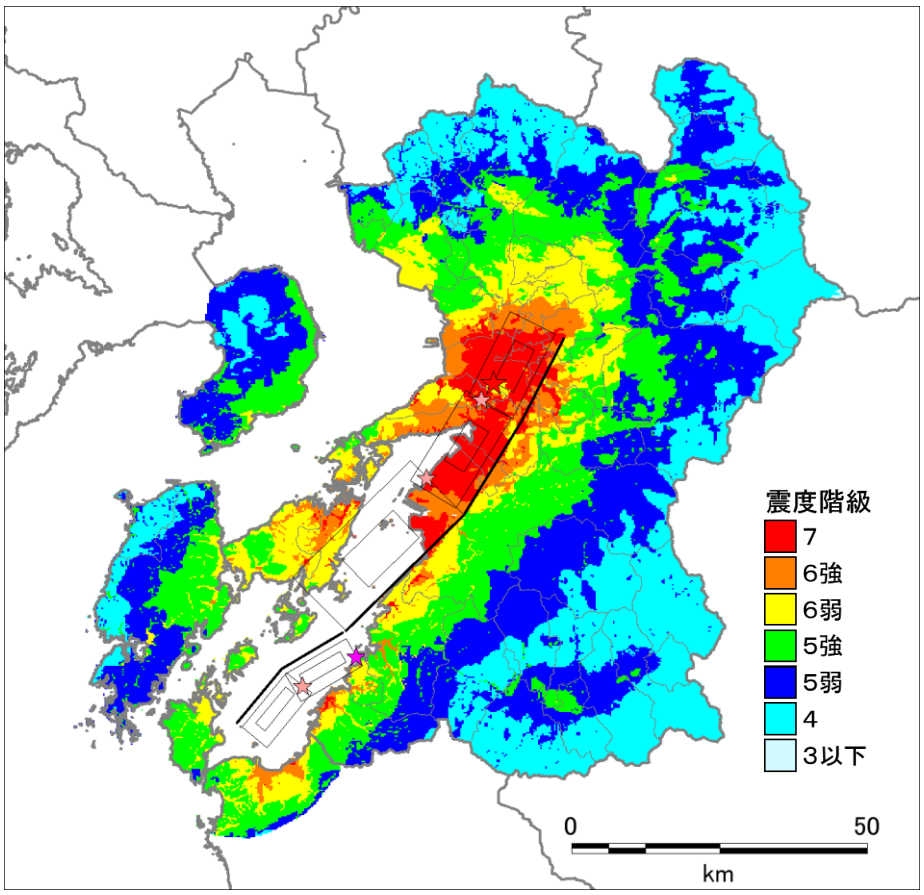


図 135(c) 「広域」日奈久断層帯（１）北破壊の地表面震度分布。矩形および矩形内の矩形は、設定した震源断層モデルと強震動生成域の地表投影。星印が設定した破壊開始点を表している。太線は震源断層モデルの延長と地表の交線を示す。

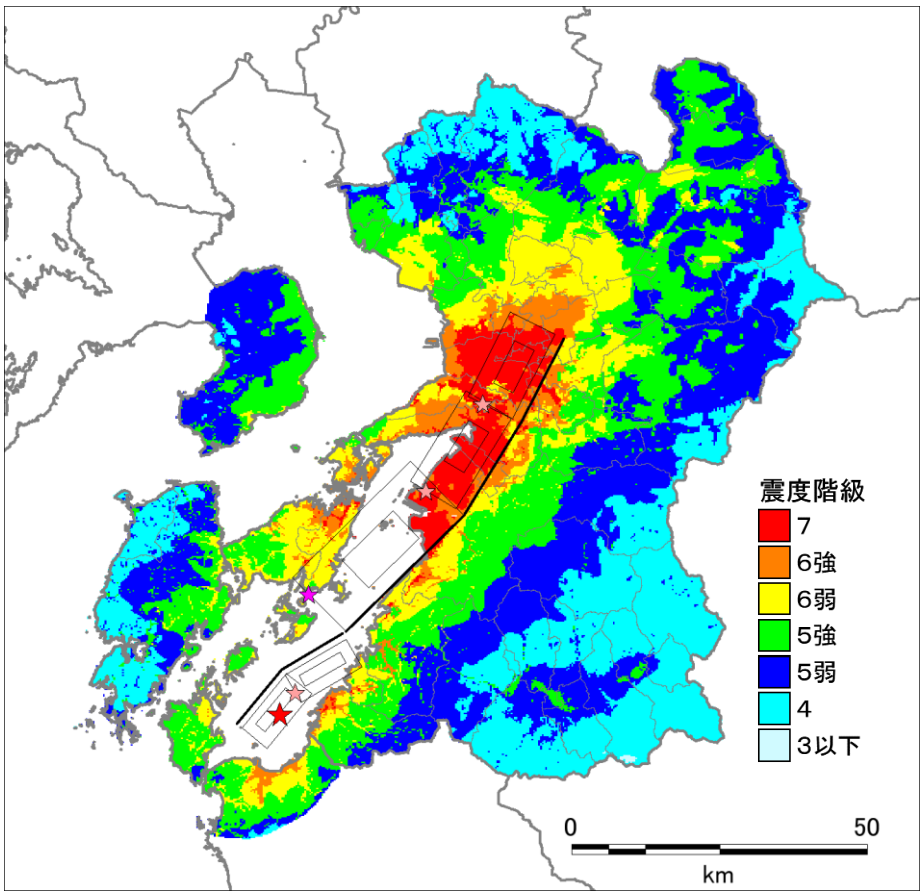


図 135(d) 「広域」日奈久断層帯（１）南破壊の地表面震度分布。矩形および矩形内の矩形は、設定した震源断層モデルと強震動生成域の地表投影。星印が設定した破壊開始点を表している。太線は震源断層モデルの延長と地表の交線を示す。

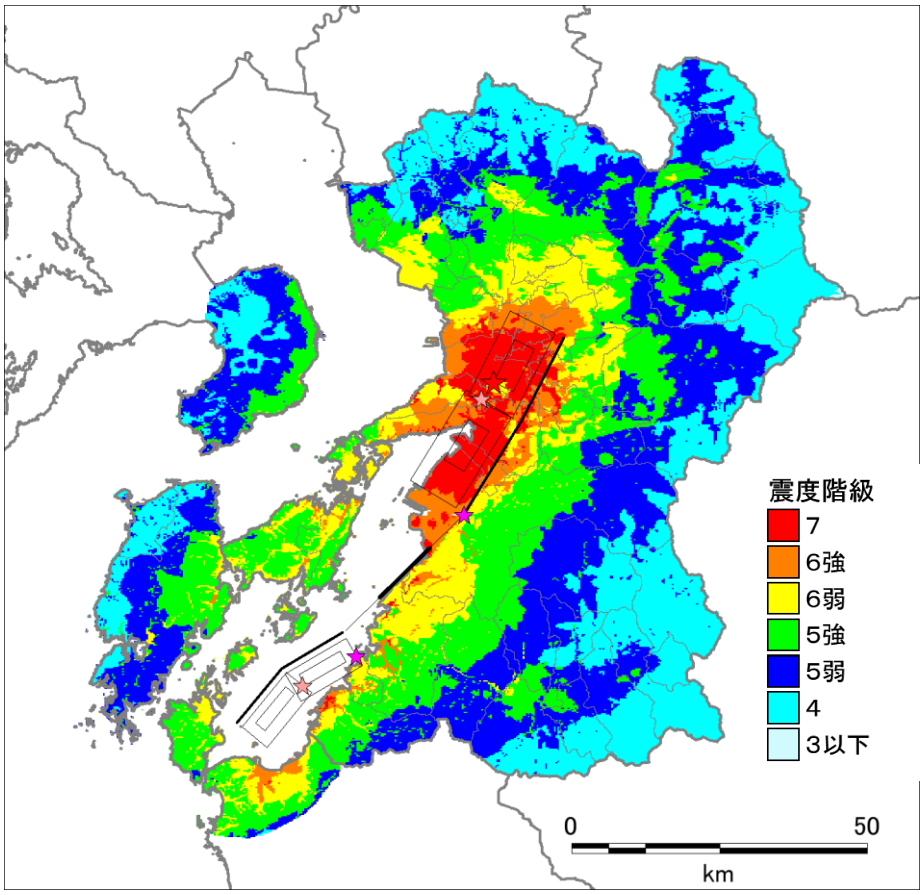


図 135(e) 「広域」日奈久断層帯（２）北破壊の地表面震度分布。矩形および矩形内の矩形は、設定した震源断層モデルと強震動生成域の地表投影。星印が設定した破壊開始点を表している。太線は震源断層モデルの延長と地表の交線を示す。

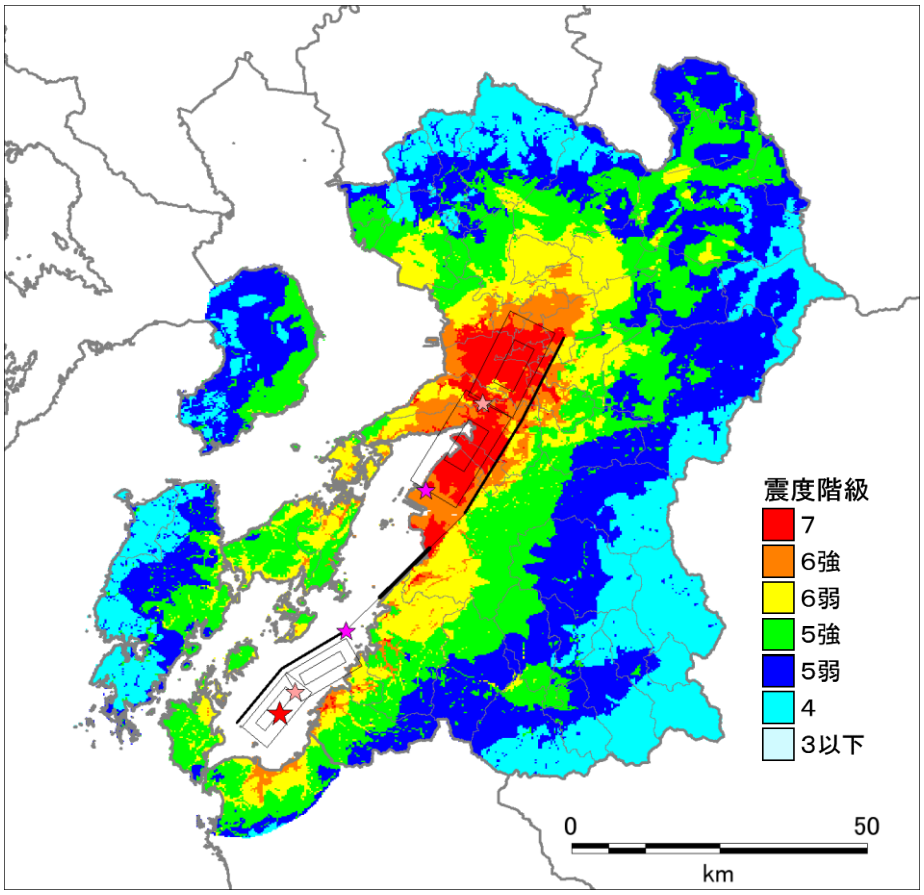


図 135(d) 「広域」日奈久断層帯（２）南破壊の地表面震度分布。矩形および矩形内の矩形は、設定した震源断層モデルと強震動生成域の地表投影。星印が設定した破壊開始点を表している。太線は震源断層モデルの延長と地表の交線を示す。

（c）結論ならびに今後の課題

本報においては、布田川・日奈久断層帯を震源断層とする地震が発生した場合に強い揺れに見舞われる想定となる地域を中心として、熊本県域および周辺部の深部および浅部地盤構造モデルの構築と、各断層帯の震源断層モデルと地盤構造モデルを用いた強震動予測を実施した。

１）熊本平野、八代平野等の臨時余震観測：当該地域で実施された臨時強震観測を一覧にした。一部のデータは地下構造モデル検証のための地震動シミュレーション（項目７））に利用した。２）自治体震度計波形データの収集と整理：熊本県および長崎県と鹿児島県の震度情報ネットワークシステムの波形データを収集した。これらの波形データは、観測点サイトの震動特性の把握、地盤構造モデル検証のための地震動シミュレーションに利用した。３）微動アレイ観測及び単点微動観測：想定震源断層に対する強震動予測を実施する際に強い揺れに見舞われる地域である八代平野を中心として、熊本県のほぼ全域、長崎県島原半島及び鹿児島県出水平野において微動アレイ観測と単点微動観測を実施した。得られた表面波分散曲線やH/Vスペクトル比は、深部および浅部地下構造モデル構築（項目７）および８））に利用した。４）八代平野における反射法地震探査：八代平野を東西に横断する宇城市内および八代市内での２測線の反射法地震探査を実施し、堆積層基盤面までの反射地震断面による構造情報を得た。測線断面では日奈久断層帯を東端とし、堆積層厚は約0.5kmであり、西方に向けて緩やかに層厚は薄くなっていっていることがわかった。測線周辺で得られた微動アレイ観測結果の構造解釈にこの堆積層断面情報等を利用して、深い構造モデル構築に利用した（項目７））。５）強震観測点等の地震波増幅特性（サイト特性）の推定：上述の項目３）等の強震観測点での波形データを用いて、観測点のサイト特性評価を実施した。観測サイト増幅特性と、項目７）および８）で構築された地盤構造モデルの理論的増幅特性と比較し、モデルが既往のモデルより観測特性を説明していることを確認した。６）深井戸ボーリング情報の収集：平野・盆地等の基盤面深度情報の参考とするため、八代平野、人吉盆地等の深井戸地質柱状図を収集し、項目７）に活用した。７）深部地盤構造モデルの構築：収集された微動アレイ観測結果、単点微動観測結果、八代平野での反射法地震探査､深井戸地質柱状図､既往の地球物理学的調査結果を総合して、当該地域の深部地盤構造モデルを構築した。また、中規模地震の地震動シミュレーションを実施し、モデルの妥当性を確認した。８）浅部地盤構造モデルの構築：小スパンの微動アレイ調査結果とボーリング情報をもとに、当該地域の工学的基盤面相当以浅の浅部地盤構造モデルを構築した。9）震源断層モデルと強震動予測:既往情報およびサブテーマ１、２の研究等によって得られた布田川断層帯宇土区間、宇土半島北岸区間、および日奈久断層帯に対する震源断層モデルを構築し、項目７）および８）に基づいた深部・浅部地盤構造モデルを含む地下構造モデルに基づき、強震動予測レシピによる強震動予測を行った。

震源断層モデルとしては、日奈久断層帯の日奈久区間に対して、鉛直断層面を想定した場合と、傾斜角50度で八代平野の下に震源断層が存在するケースを想定した。強震動予測は、熊本県全域を含む広域計算では、ハイブリッド法により工学的基盤相当までの地震動計算を行い、表層地盤増幅は微地形区分による震度増分を実施する方法（現在、地震本部で実施されている方法）と、震源断層近傍域の高震度に見舞われる領域の計算（震源近傍

域計算）においては、工学的基盤面相当までのハイブリッド法による地震動計算を行い、浅部地盤モデルに等価線形法によって地表地震動を求め、計測震度を求めた。想定した震源断層面に近く、堆積層構造の地域は震度６弱以上の揺れに見舞われる想定となっている。なお、震源近傍域計算においては、想定される地震動での歪みレベルがやや大きいことで、地表の地震動レベルが計算結果としては小さくなり、例えば熊本平野や八代平野の湾岸では震度値が広域計算に比して小さくなっているのは、等価線形法の適用外と考えられることに留意する必要がある。地盤の非線形性をよりよくモデル化する計算法を用いることが必要であると同時に、それに利用する浅い地盤の動的特性情報が十分でないことから、予測の高度化には対象地域での地盤試料と動的特性資料が必要とされる。今回構築された深部と浅部の地盤構造モデルは、今回取り上げた震源断層モデルのみならず、さまざまな想定地震の地震動予測等に用いることが期待される。

本報における反射法探査、強震観測や微動調査、自治体震度計の波形データ収集、深いボーリング情報収集については、熊本県及び熊本地方気象台、鹿児島県、長崎県、八代市、宇城市をはじめとする関係自治体、現地の方々のご理解とご協力があって行うことができた。記して感謝の意を表する。

(d) 引用文献

Aki, K., Space and time spectra of stationary stochastic waves, with special reference to microtremors, Bull. Earthq. Res. Inst., 35, 415-457, 1957.

Boore, D.M., Stochastic simulation of high-frequency ground motions based on seismological models of the radiated spectra, Bulletin of Seismological Society of America, 73, 1865-1894, 1983.

Brune, J.N., Tectonic stress and the spectra of seismic shear waves from earthquakes, J.Geophys. Res., 75, 4997-5009, 1970

Cerjan, C., D. Kosllof, R. Kosllof, and M. Reshef, A nonreflecting boundary condition for discrete acoustic and elastic wave equation, Geophysics, 50, 705-708, 1985.

千田　昇, 1:25,000都市圏活断層図人吉盆地南縁断層とその周辺「人吉盆地」解説書, 国土地理院技術資料D1-No.740, 19p., 2015.

千田　昇・中田　高, 1:25,000都市圏活断層図出水断層帯とその周辺「出水」解説書, 国土地理院技術資料D1-No.606, 22p., 2012.

長　郁夫・先名重樹, 極小微動アレイによる浅部構造探査システム―大量データの蓄積と利活用に向けて―, シンセオロジー, 9, 87-96, 2016.

中央防災会議, 地盤構造に関する資料, 東南海、南海地震等に関する専門調査会（第16回）, 2003.

Eshelby, J., The determination of the elastic field of an ellipsoidal inclusion, and related problems, Proc. R. Soc. London, Ser. A, 241, 376-396, 1957.

藤本一雄・翠川三郎, 近年の強震記録に基づく地震動強さ指標による計測震度推定法, 地域安全学会論文集, 7, 241-246, 2005.

藤本一雄・翠川三郎，近接観測点ペアの強震記録に基づく地盤増幅度と地盤の平均 S 波速度の関係，日本地震工学会論文集，6(1)，11-22，2006.
藤原広行・河合伸一・青井　真・功刀　卓・石井　透・早川　譲・森川信之・本多　亮・小林京子・大井昌弘・先名重樹・八十島裕・奥村直子，布田川・日奈久断層帯の地震を想定した地震動予測地図作成手法の検討，189p.，2004.
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，2012，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.379，349pp.，2012.
Graves, R.W., Simulating Seismic Wave Propagation in 3D Elastic Media Using Staggered-Grid Finite Differences, Bull. Seism. Soc. Am., 86, 1091-1106, 1996.
Haskell, N. A., The dispersion of surface waves on multilayered media, Bull. Seism. Soc. Am., 43, 17-34, 1953.
星住英夫・尾崎正紀・宮崎一博・松浦浩久・利光誠一・宇都浩三・内海　茂・駒澤正夫・広島俊夫・須藤定久，20 万分の 1 地質図幅「熊本」，独立行政法人産業技術総合研究所地質調査総合センター，2004.
入倉孝次郎・香川敬生・関口春子，経験的グリーン関数法を用いた強震動予測方法の改良，地震学会講演予稿集，1997 年度秋季大会，B25，1997.
岩田知孝・入倉孝次郎，観測された地震波から震源特性、伝播経路特性及び観測点近傍の地盤特性を分離する試み，地震2，39，579-593，1986.
地盤工学会九州支部，九州地盤情報共有データベース（第2版），2012.
地震調査研究推進本部地震調査委員会，布田川・日奈久断層帯の地震を想定した強震動評価，https://www.jishin.go.jp/main/kyoshindo/pdf/20030731futagawa.pdf，2003.
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.
地震調査研究推進本部地震調査委員会，全国地震動予測地図2014年版，https://www.jishin.go.jp/evaluation/seismic_hazard_map/shm_report/shm_report_2014/，2014.
地震調査研究推進本部 地震調査委員会，震源断層を特定した地震の強震動予測手法（「レシピ」），https://www.jishin.go.jp/main/chousa/17_yosokuchizu/recipe.pdf，2017.
香川敬生，ハイブリッド合成法に用いる統計的グリーン関数法の長周期帯域への拡張，日本地震工学会論文集，4(2)，21-32，2004.
笠原敬司，プレートが三重会合する関東・東海地方の地殻活動様式，国立防災科学技術センター研究報告，35，33-137，1985.
川瀬　博・増田有周，八代市およびその周辺地域の日奈久断層系による地震被害想定，日本建築学会構造系論文集，69(581)，39-46，2004.
建設省土木研究所，地盤地震時応答特性の数値解析法－SHAKE：DESRA－，土研資料第1778

号，1982.
建設省土木研究所 ，国土地盤情報検索サイト”KuniJiban”，
http://www.kunijiban.pwri.go.jp/jp/.（2019年２月１日参照）
狐崎長琅・後藤典俊・小林芳正・井川　猛・堀家正則・斉藤徳美・黒田　徹・山根一修・奥住宏一，地震動予測のための深層地盤P・S波速度の推定，自然災害科学，9(3)，1-17，1990.
Koketsu, K., H. Miyake, and H. Suzuki, Japan Integrated Velocity Structure Model Version 1, Proc. 15th World Conf. Earthq. Eng., 2012.
国土交通省都市局市街地整備課，熊本地震からの益城町の市街地復興に向けた安全対策のあり方等に関する最終報告について，
http://www.mlit.go.jp/report/press/toshi08_hh_000034.html，2017.
Konno, K. and T. Ohmachi, Ground-Motion Characteristics Estimated from Spectral Ratio between Horizontal and Vertical Components of Microtremor, Bull. Seismol. Soc. Am., 88, 228-241, 1998.
久保田智，八代平野における常時微動の特性，八代高専紀要，23，47-51，2001.
熊本県，平成 24 年度第２回熊本県地域防災計画検討委員会，
http://cyber.pref.kumamoto.jp/bousai/Content/asp/topics/topics_detail.asp?PageID=6&PageType=past&id=974，2013.
熊本県地質図編纂委員会，電子版 熊本県地質図（10 万分の１）CD 版，2008.
Lawson, C. L., and Hanson R. J., Solving least squares problems, Prentice-Hall, New Jersey, 340 pp, 1974.
Levander, A. R., Fourth-order finite-difference P-SV seismograms, Geophysics, 53, 1425-1436, 1998.
Ludwig, W. J., Murauchi S., Den N., Buhl P., Hotta H., Ewing M., Asanuma M., Yoshii T., and Sakajiri N., Structure of East China Sea-West Philippine Sea Margin off Southern Kyushu, Japan, J. Geophys. Res., 78, 2526-2536, 1973.
仲野健一・境　茂樹，九州地方南部におけるQsの地域性に関する考察，日本建築学会2016年度大会学術講演梗概集，21582，2016.
中田　高・今泉俊文（編），活断層詳細デジタルマップ，東京大学出版会，2002.
大西良広，堀家正則，震源近傍での地震動予測のための拡張統計的グリーン関数法とそのハイブリッド法への適用に関するコメント，日本建築学会構造系論文集，586，37-44，2004.
Robertsson, J.O.A., J.O. Blanch, and W.W. Symes, Viscoelastic finite-difference modeling, Geophysics, 59, 1444-1456, 1994.
佐賀県，佐賀県地震被害等予測調査業務 報告書概要版(平成 25 年度)，佐賀県統括本部消防防災課・応用地質株式会社，4-18，2014.
斎藤　眞・宝田晋治・利光誠一・水野清秀・宮崎一博・星住英夫・濱崎聡志・阪口圭一・大野哲二・村田泰章，20 万分の１地質図幅「八代及び野母崎の一部」，独立行政法人産業技術総合研究所地質調査総合センター，2010.

佐藤智美・川瀬　博・佐藤俊明，ボアホール観測記録を用いた表層地盤同定手法による工学的基盤波の推定及びその統計的経時特性，日本建築学会構造系論文集，461，19-28，1994.
佐藤智美，スペクトルインバージョンに基づく熊本地震と前震・余震等の震源・伝播・サイト特性，日本地球惑星科学連合2016年大会，MIS34-P71，2016.
産業技術総合研究所地質調査総合センター，100万分の１日本地質図第３版CD-ROM第２版，2003.
産業技術総合研究所，地域評価のための活断層調査（九州地区）平成27年度成果報告書，3.布田川断層帯／宇土区間，https://www.jishin.go.jp/main/chousakenkyuu/chiiki_chousa/h27_udo.pdf，2016.
産業技術総合研究所地質調査総合センター，数値地質図 P-2「日本重力データベース DVD 版」，2013.
産業技術総合研究所・千葉大学理学部・東海大学海洋学部・地域地盤環境研究所，沿岸海域における活断層調査雲仙断層群北部（海域）及び雲仙断層群南東部（海域）成果報告書，2010.
Schnabel, P.B., J. Lysmer, and H.B. Seed, SHAKE：A computer program for earthquake response analysis of horizontally layered sites, Report No.EERC72-12, University of California, Berkley, 1972.
Senna, S., A. Wakai, H. Suzuki, A. Yatagai, H. Matsuyama, and H. Fujiwara, Modeling of the Subsurface Structure from the Seismic Bedrock to the Ground Surface for a Broadband Strong Motion Evaluation in Kumamoto Plain, J. Disas. Res., 13, 917-927, 2018.
先名重樹・神　薫・若井　淳・東　宏樹・内藤昌平・森川信之・前田宜浩・岩城麻子・山田隆二・河合伸一・松山尚典・藤原広行，2016年熊本地震の断層周辺における浅部・深部統合地盤モデルの構築，JpGU-AGU Joint Meeting 2017，HCG37-16，2017.
先名重樹・神　薫・若井　淳・藤原広行，熊本平野における広帯域強震動評価のための浅部・深部統合地盤モデルの構築，日本地震学会2017年秋季大会講演予稿集，S15-P09，2017.
司　宏俊・翠川三郎，断層タイプ及び地盤条件を考慮した最大加速度・最大速度の距離減衰式，日本建築学会構造系論文集，64(523)，63-70，1999.
染井一寛・浅野公之・岩田知孝・宮腰　研・吉田邦一・吉見雅行，2016 年熊本地震系列の強震記録から分離した震源・伝播経路・サイト増幅特性，第15回日本地震工学シンポジウム論文集，1814-1823，2018.
鶴来雅人・田中礼司・香川敬生・入倉孝次郎，強震動予測のための広域社団フィルターに関する研究（その３）－国内で発生した地殻内地震の観測記録に基づく検討－，日本地震工学会論文集，17(5)，109-132，2017.
内山泰生・山本　優，スペクトルインバージョン解析に基づく2016年熊本地震の震源・伝播経路特性の評価，日本地震工学会論文集，16(10)，146-150，2016.
Virieux, J., P-SV wave propagation in heterogeneous media: Velocity-stress finite-

difference method, Geophysics, 51, 889-901, 1986.
吉田　望, DYNEQ A computer program for DYNamic response analysis of level ground by EQuivalent linear method, https://www.kiso.co.jp/yoshida/, 2008.
若松加寿江・松岡昌志, 全国統一基準による地形・地盤分類250mメッシュマップの構築とその利用, 日本地震工学会誌, 18, 35-38, 2013.