

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、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 ヶ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資料を収集した。また、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、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資料の収集を継続した。また、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すすめた。

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を統合し、三次元地下速度構造モデル高度化を継続する。サブテーマ 1、2 の研究によって得られた震源断層像に基づいた強震動評価を行う。

(2) 平成 29 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。平成 28 年度に報告したように、熊本平野およびその周辺地域においては、内閣府 SIP「レジリエントな防災・減災機能の強化」の課題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及びその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) 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。

2) 八代平野における微動アレイ観測：八代平野を網羅的にカバーする微動アレイ観測を多数実施し、堆積層内および基盤における S 波速度に関する基礎情報を得た。

3) 八代平野と熊本平野の接合部での単点微動観測：熊本平野と八代平野は宇土半島の根元付近でつながっているが、既往情報と本報 2) で行った観測でこの接続部分の情報が欠落していることから、この地域の地下構造モデル高度化のため、微動アレイ観測と単点微動観測を実施し、S 波速度構造及び堆積層厚に関する情報を得た。

4) 熊本県震度情報ネットワーク観測点等における微動アレイ観測：平成 28 年度に引き続き、熊本県震度情報ネットワークシステムの震度観測点や強震観測点周辺における地下構造情報を得るために、天草諸島、葦北地域及び人吉盆地地域の観測点周辺での微動アレイ観測を実施した。

5) 八代平野を中心とした余震、微動アレイ観測：八代平野の震動特性評価のため、八代平野を中心とした地域において臨時の強震連続観測を実施し、観測点サイトでの小半径微動アレイ観測を実施した。

6) 熊本県震度情報ネットワークシステム波形データを用いた観測点サイト特性評価：平成 28 年度に収集した熊本県震度情報ネットワークシステム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、地下構造モデルの検証を開始した。

7) 深井戸ボーリング情報の収集：平成 28 年度に引き続き、深井戸の地質柱状図の収集を行った。

8) 三次元地下速度構造モデル高度化：本報および昨年度の報告に基づき、対象地域の三次元地下速度構造モデルの高度化について整理した。

(b) 業務の成果

1) 八代平野における反射法地震探査

a) はじめに

2016 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いる。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予定である。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地盤構造モデル、深部、浅部地盤モデルの精度を高めることは強震動予測の高度化に不可欠である。熊本平野においては平成 28 年度に反射法地震探査を実施し、平野下の基盤までの堆積層内の構造を調査したが、本報では、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 4 km、八代測線約 7 km 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 1 km 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 1 に、概要を表 1 に示す。表 2 は今回の探査仕様を取りまとめている。表 3 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 1、2 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 1 調査測線の概略位置図 (図中の数字は 5 m 間隔を基本とする CMP 番号)

表1 調査測線の概要

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

表2 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	7,317m	予察調査の結果を踏まえ、 決定
	3,505m	6,635m	
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		
スイープ周波数	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 3 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1 現地観測風景（中型バイブレータ）



写真2 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2に示し、表4に処理に使った主なパラメータを記載した。

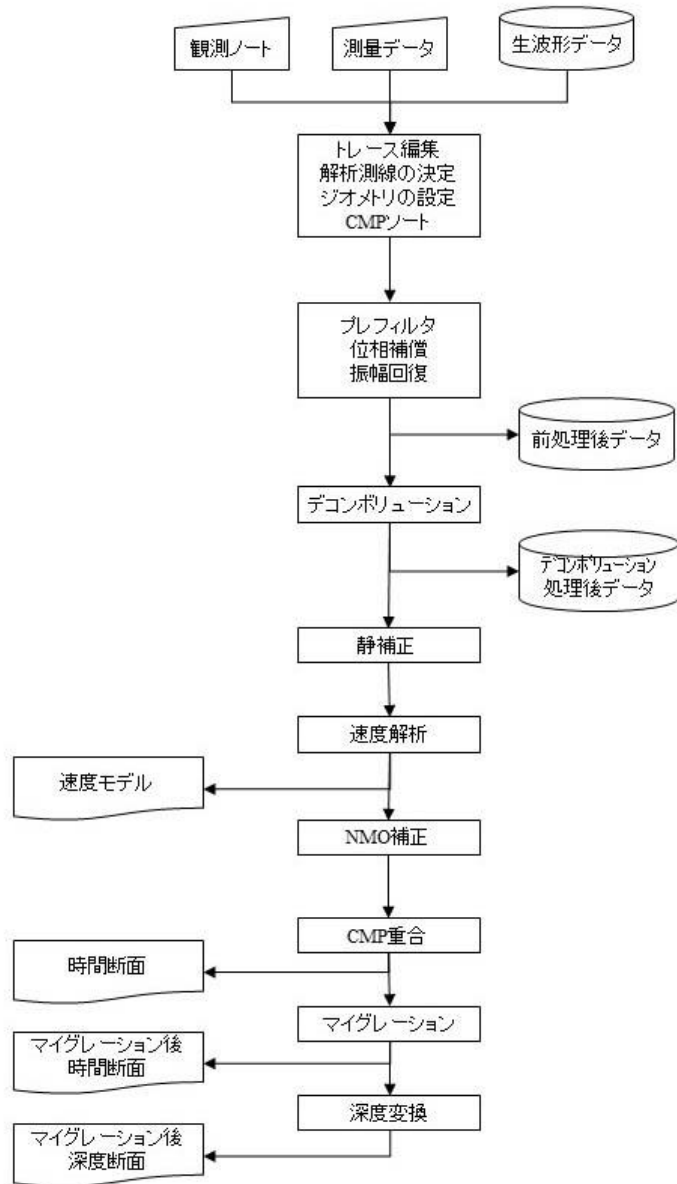


図2 反射法地震探査標準データ処理フロー

表4 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		タイムバリエーション スペクトルホワイトニング等
	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3、4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を行って、表層静補正とした。図5、6に宇城測線、八代測線の屈折波トモグラフィの結果を示す。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7、8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9、10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11は測線を熊本県地質図編纂委員会編著(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、変成岩類などよりなる。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11には、ブーゲー異常値(仮定密度: 2.67g/cm³)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 12、13 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 2km 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3 解析測線位置図：宇城測線。CMP番号を赤字で表す。

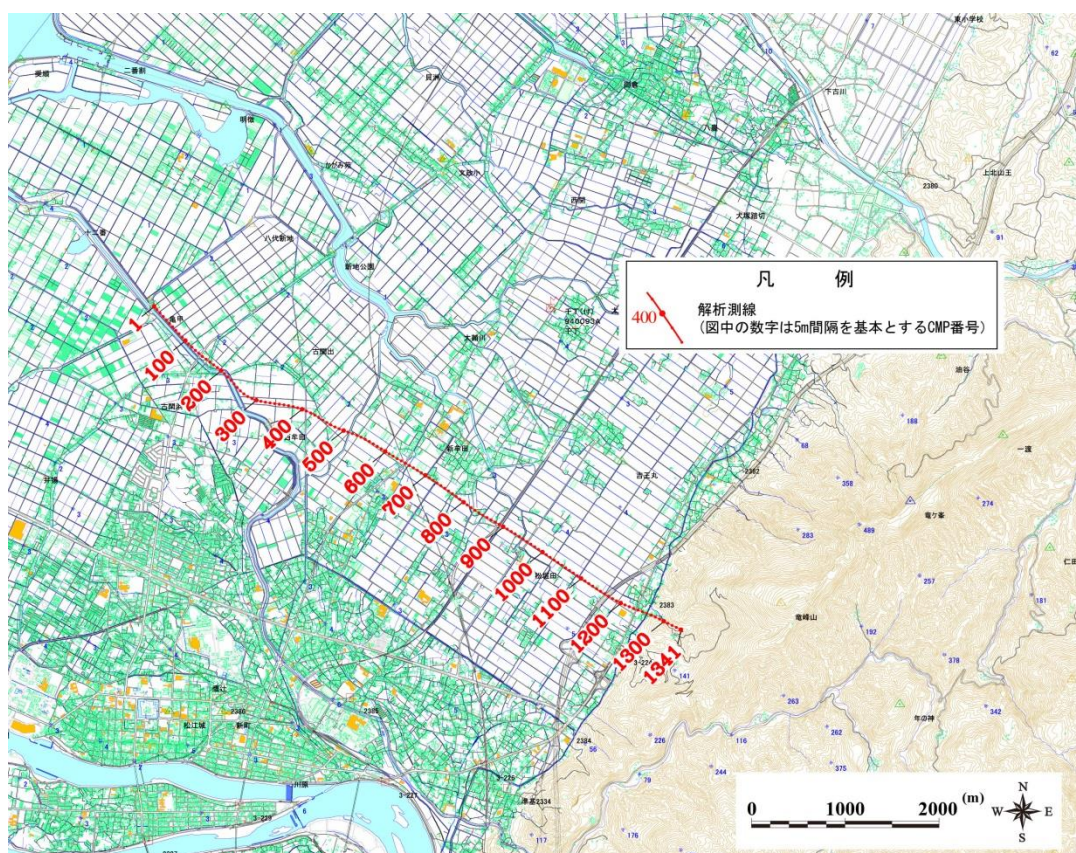


図4 解析測線位置図：八代測線。CMP番号を赤字で表す。

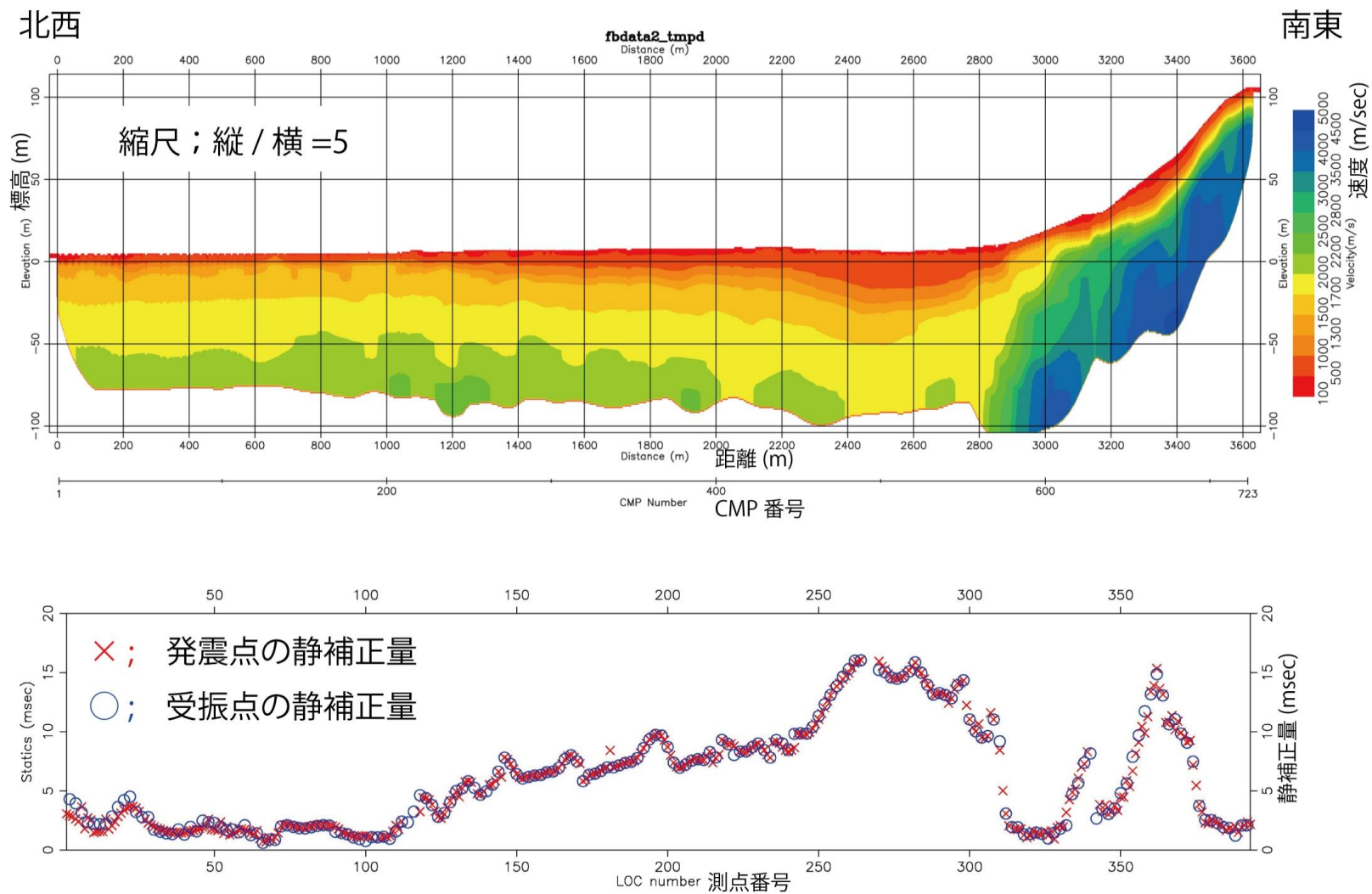


図5 表層 P 波速度分布・静補正量 (宇城測線)
 (上段：表層の速度分布、下段：表層静補正量。表層速度分布の縮尺；縦：横=5：1)

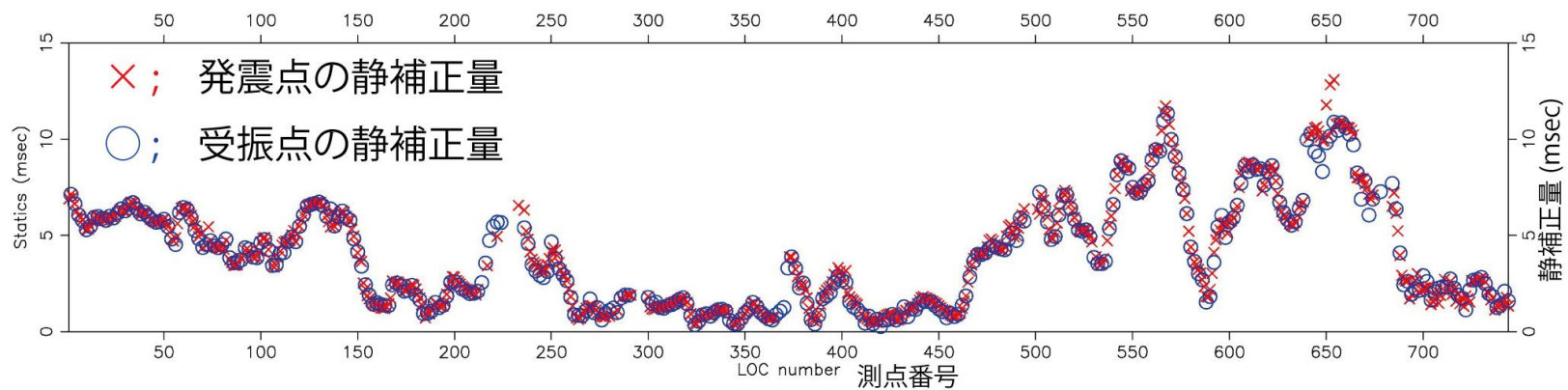
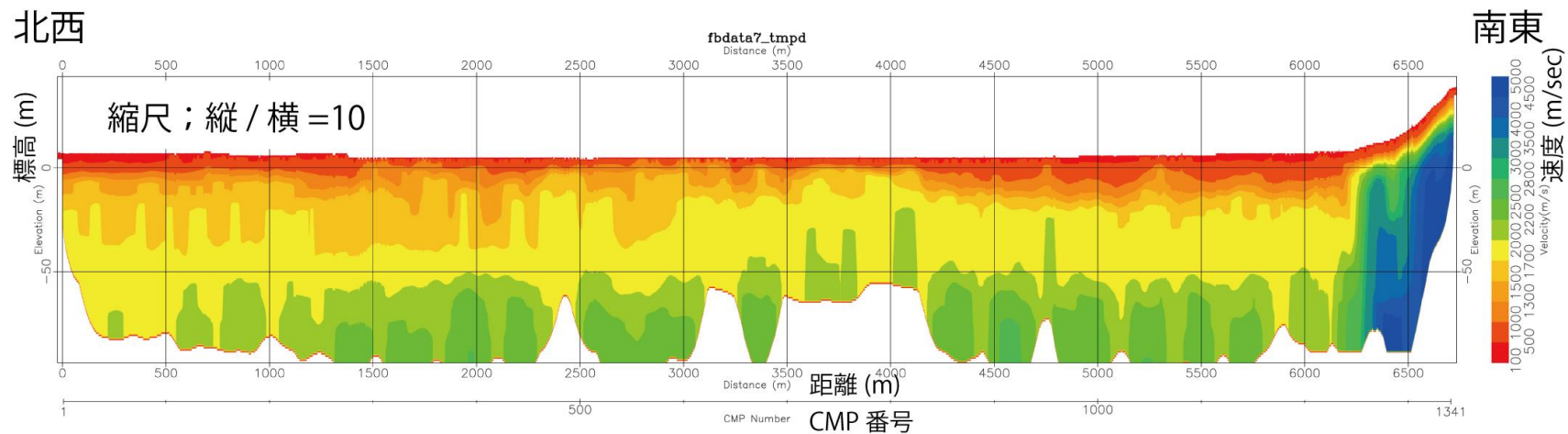


図6 表層 P 波速度分布・静補正量 (八代測線)
 (上段：表層の速度分布、下段：表層静補正量。表層速度分布の縮尺；縦：横=10：1)

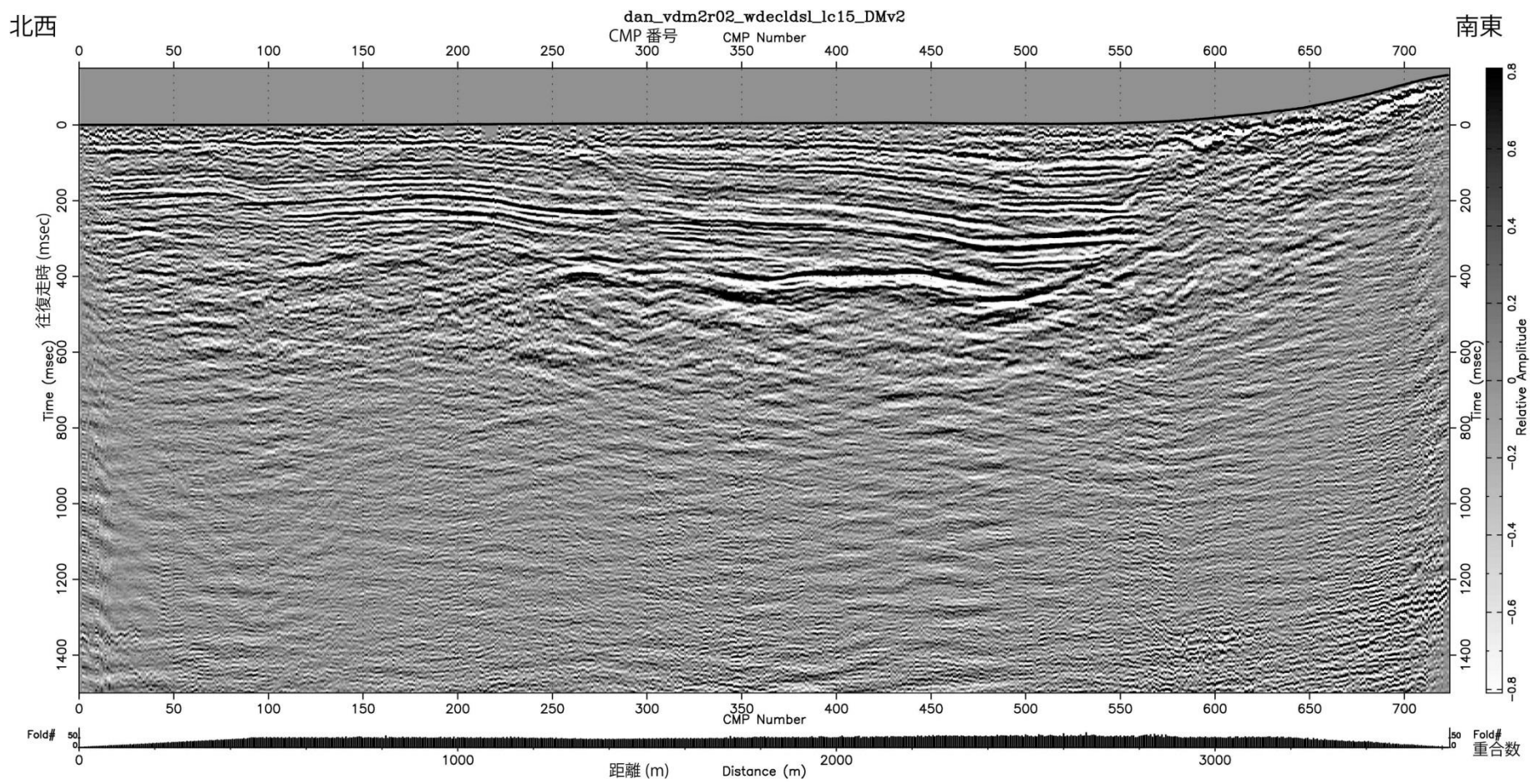


図7 重合後時間断面（グレースケール表示）： 宇城測線

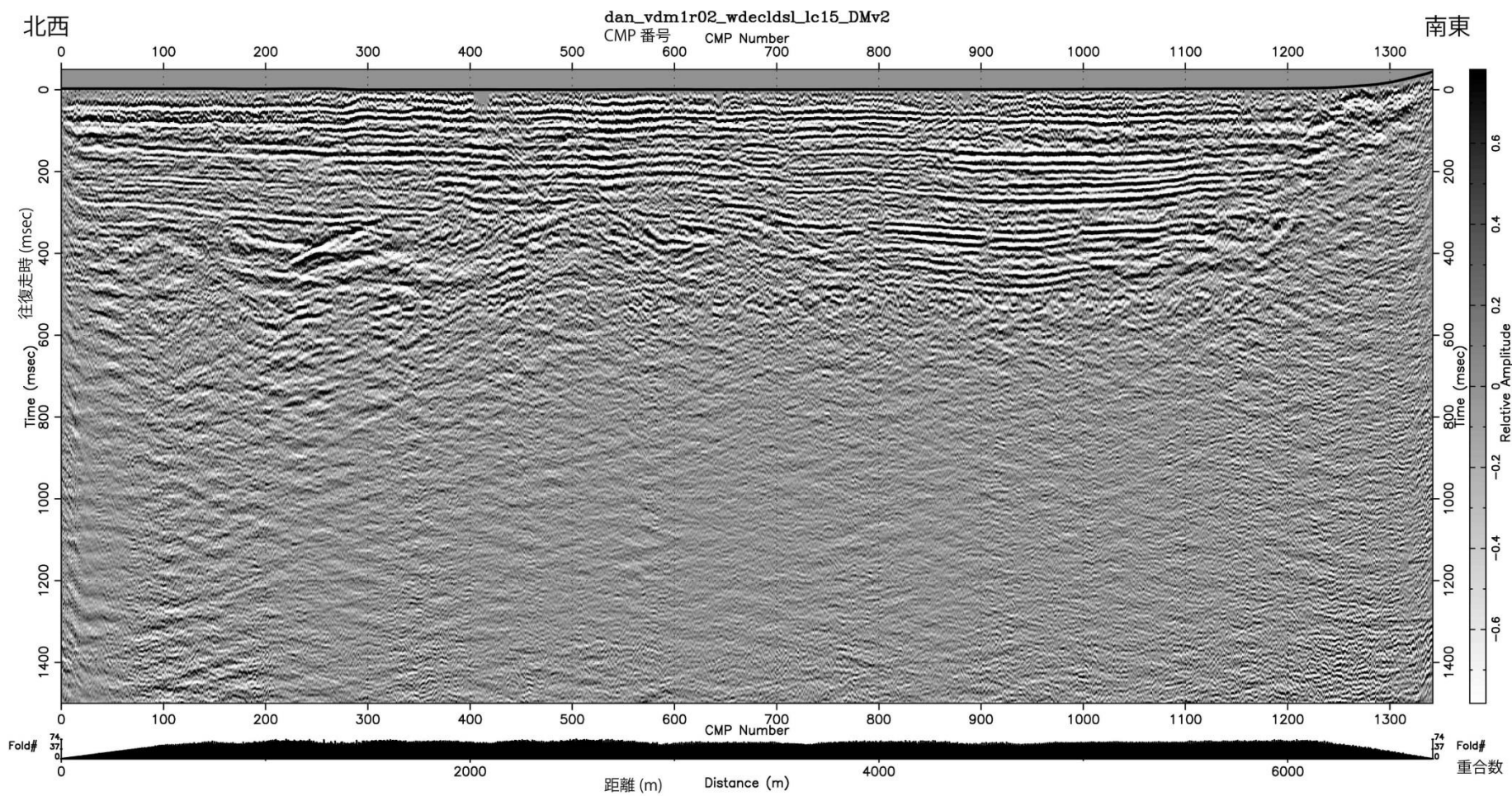


図8 重合後時間断面（グレースケール表示）： 八代測線

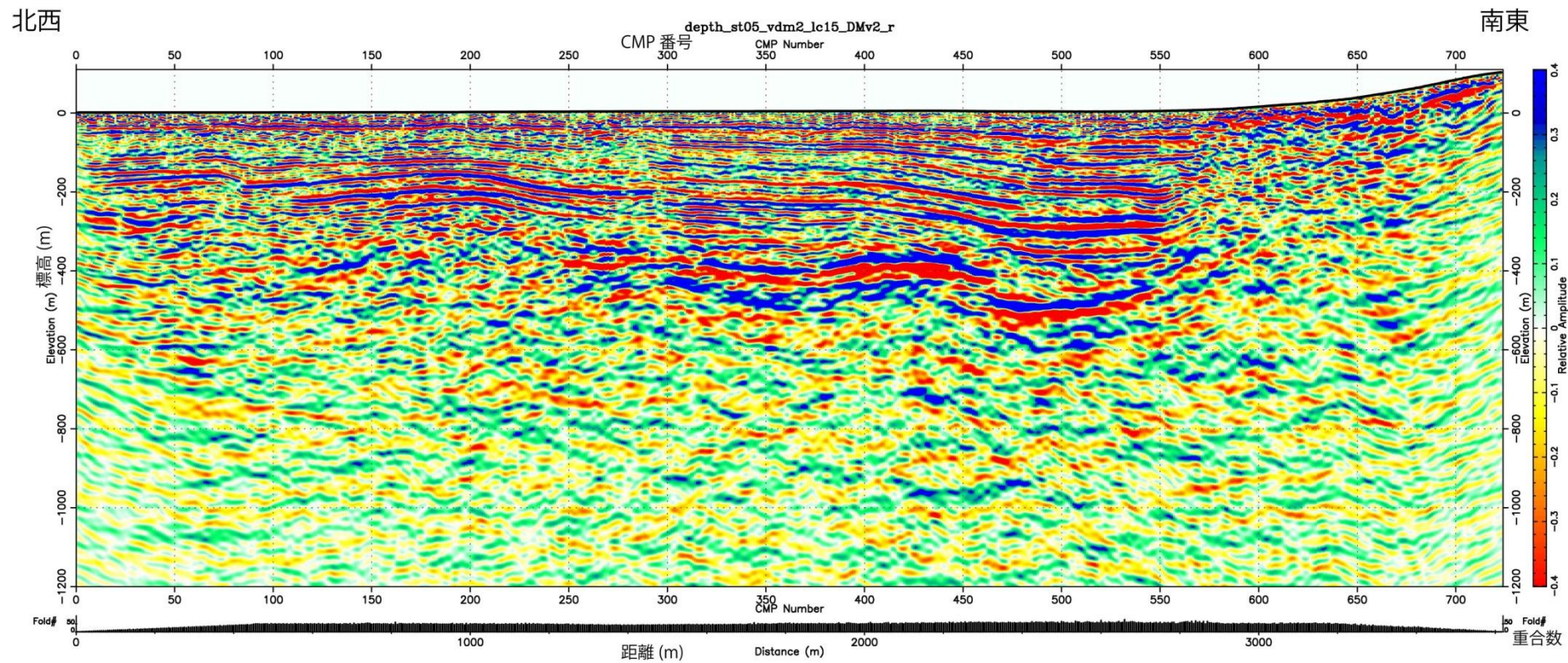


図9 深度断面（縦横比1：1、相対振幅カースケール表示）：宇城測線

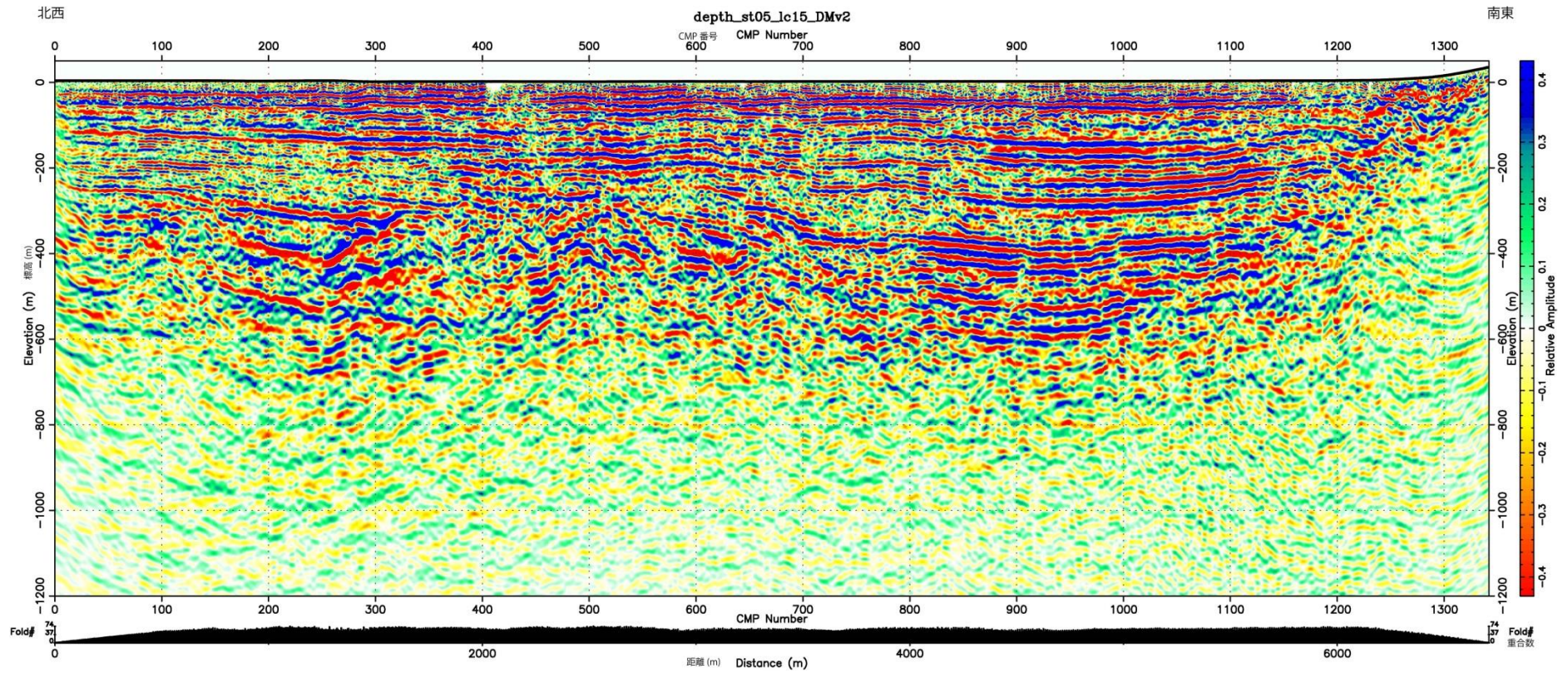


図 10 深度断面（縦横比 2 : 1、相対振幅カラスケール表示）： 八代測線

宇城測線

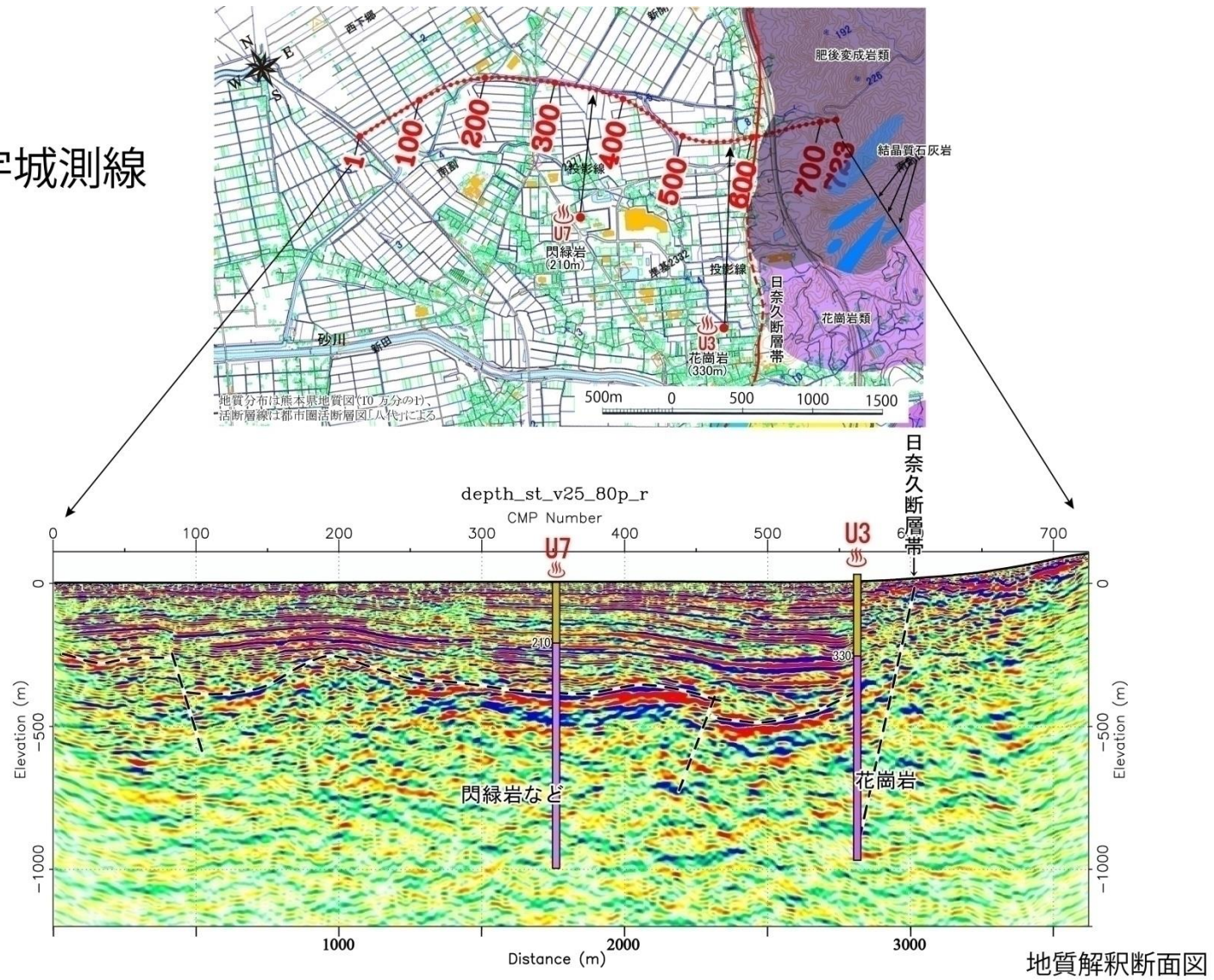


図 12 宇城測線深度断面図の解釈図。U3、U7 は深井戸ボーリングの地質柱状図。

八代測線

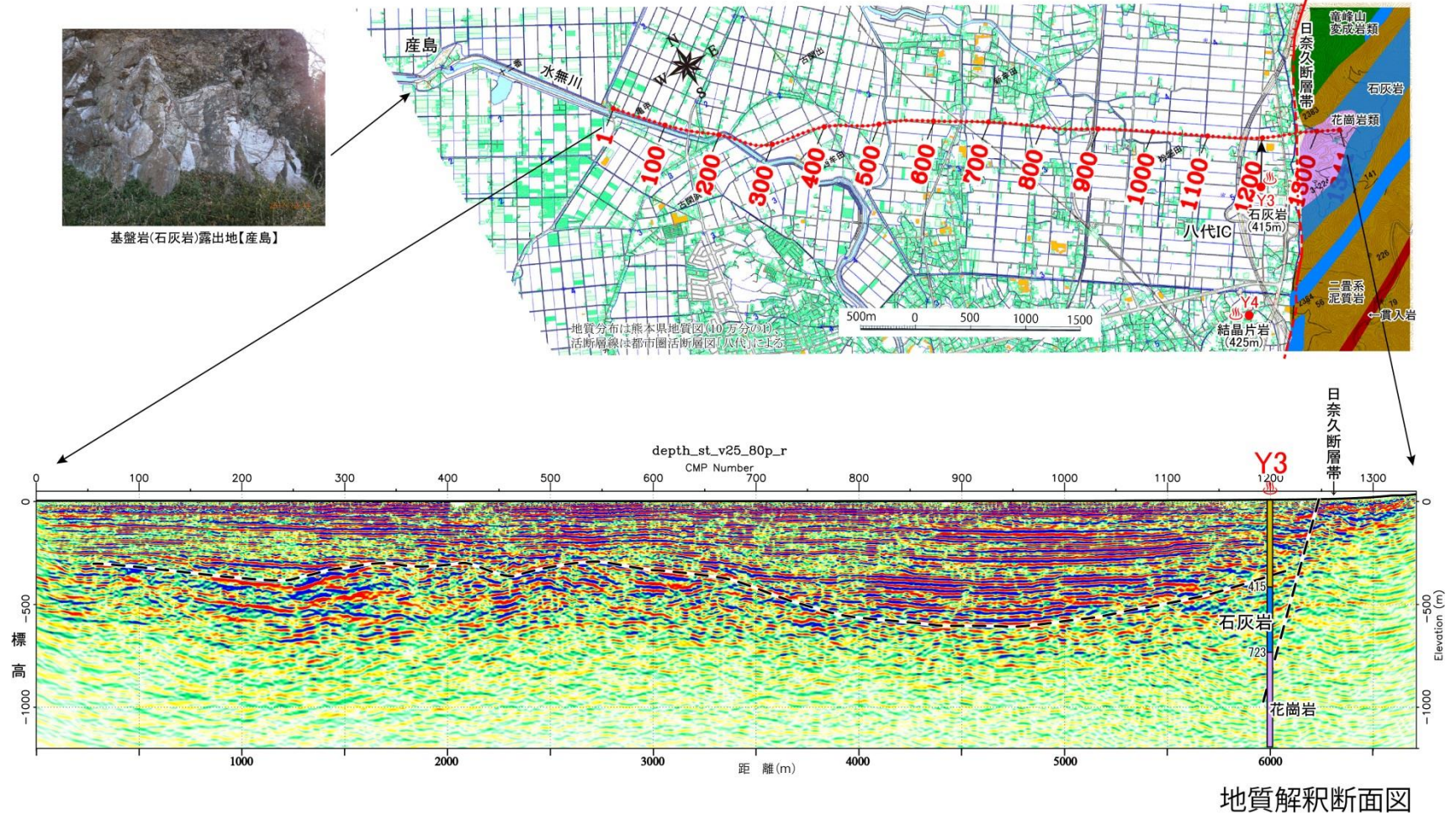


図 13 八代測線深度断面図の解釈図。Y3 は深井戸ボーリングの地質柱状図。

2) 八代平野における微動アレイ調査

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り、市街地の発達している八代平野において、表層から地震基盤までの構造を探查することを目的とした微動アレイ調査を実施した。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 2017 年 8 月 25~29 日の日中に実施し、2017 年 11 月 20~22 日及び 2018 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、2017 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 5 に観測地点毎のアレイ半径、観測日時、観測機材などの情報を整理した。図 14 の地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 5 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 5 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。

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 (平成 28 年度成果報告書掲載のもの) 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 15 に D2 地点における解析例を示す。

図 16 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連続余震観測を実施しており (本章 5) の K41 地点)、同小学校敷地内において小半径の微動アレイを実施し、位相速度を求めているので、高周波数側はその結果を参照することができる。

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、2017 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) も実施した。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 17 に観測点の地図、図 18 に全地点の位相速度を示した。

図 19~20 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 5 Hz 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 2~5 Hz 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も図 16 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おり、JIVSM を初期モデルとして速度構造モデル改良を進めるのがよいと考えられる。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。

表5 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5 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

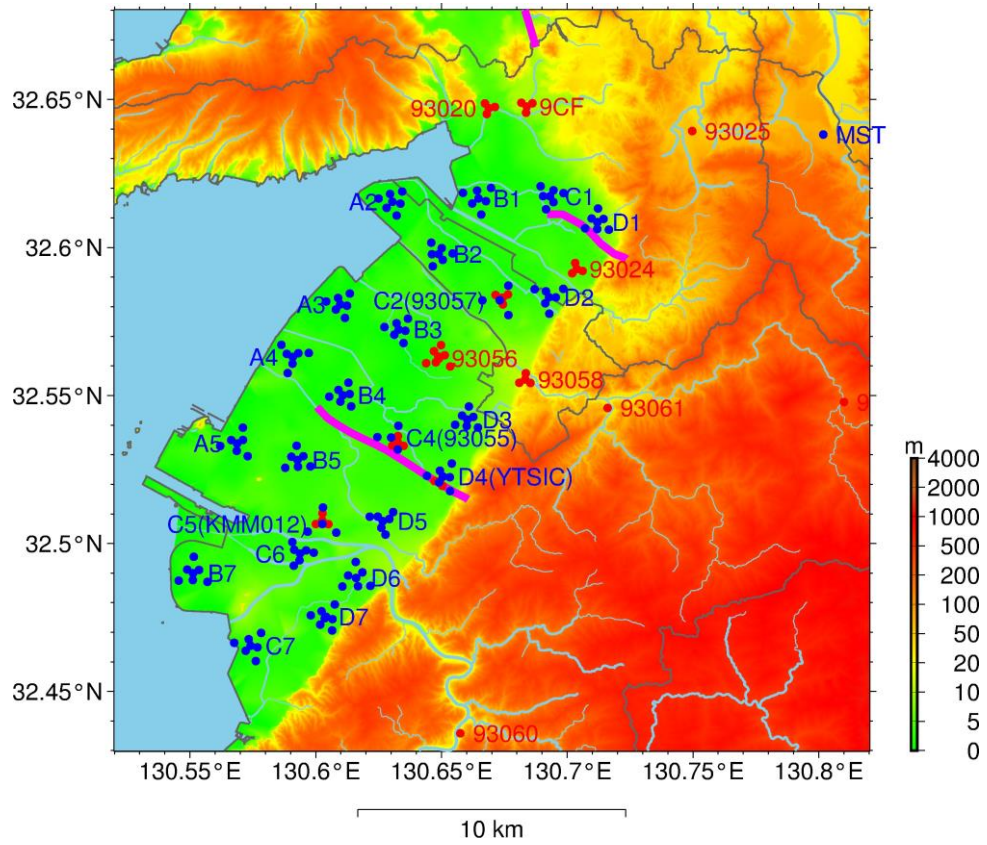


図 14 八代平野における微動アレイ調査地点
 (青：平成 29 年度実施分、赤：平成 28 年度実施分、紫：反射法地震探査測線)

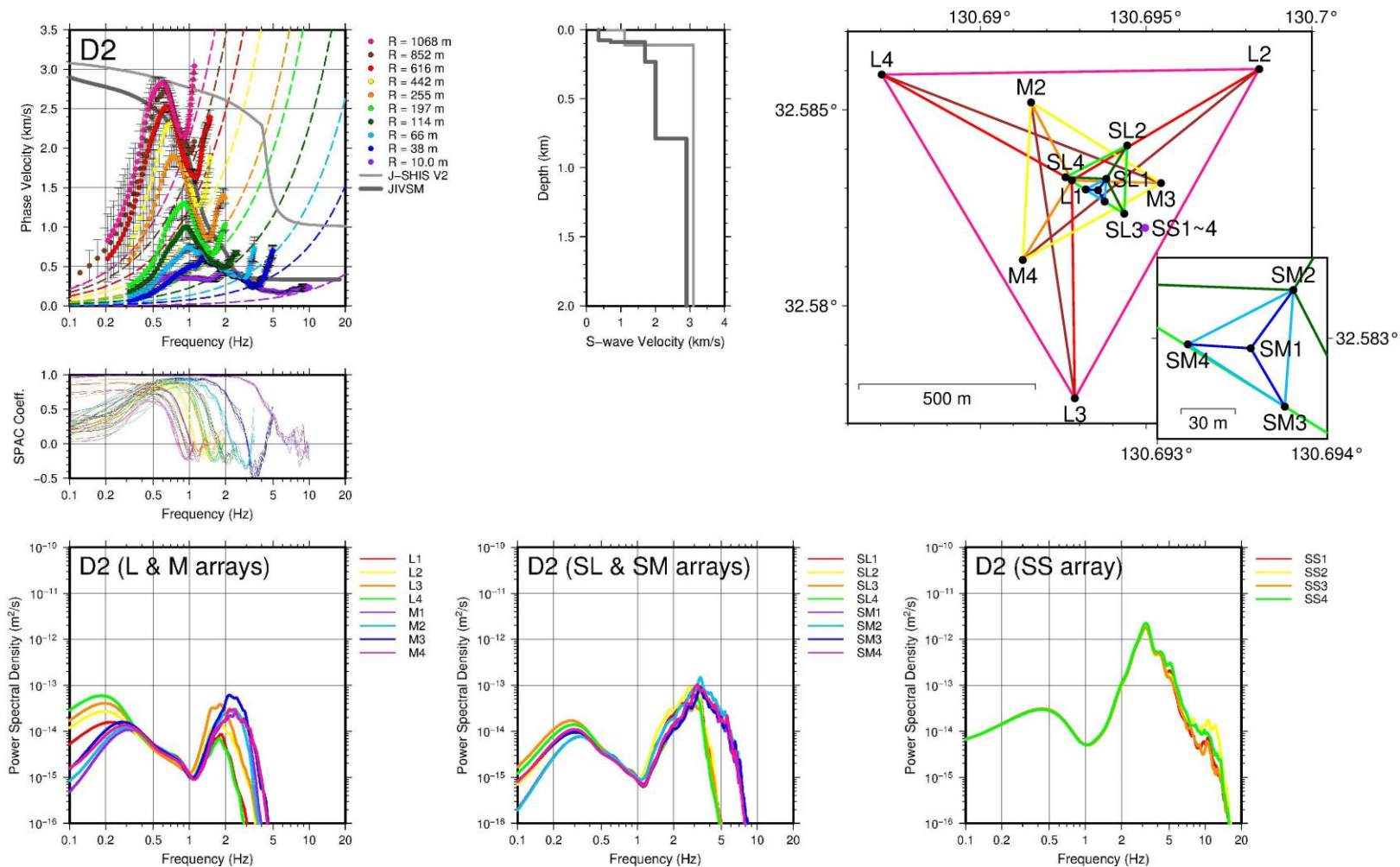


図 15 SPAC 法による微動アレイ解析の例 (D2 地点)。上段左：位相速度、中：既往モデルの S 波速度構造、右：アレイ配置図 (●が地震計の位置)。地震計間を結ぶ線の色は上段左図のアレイ半径に対応)。中段 SPAC 係数、下段：パワースペクトルの例 (左：大アレイ、中：中アレイ、右：小アレイ。L1、M1、SL1、SM1、SS1 等はそれぞれアレイを構成する地震計の番号 (地図参照))。

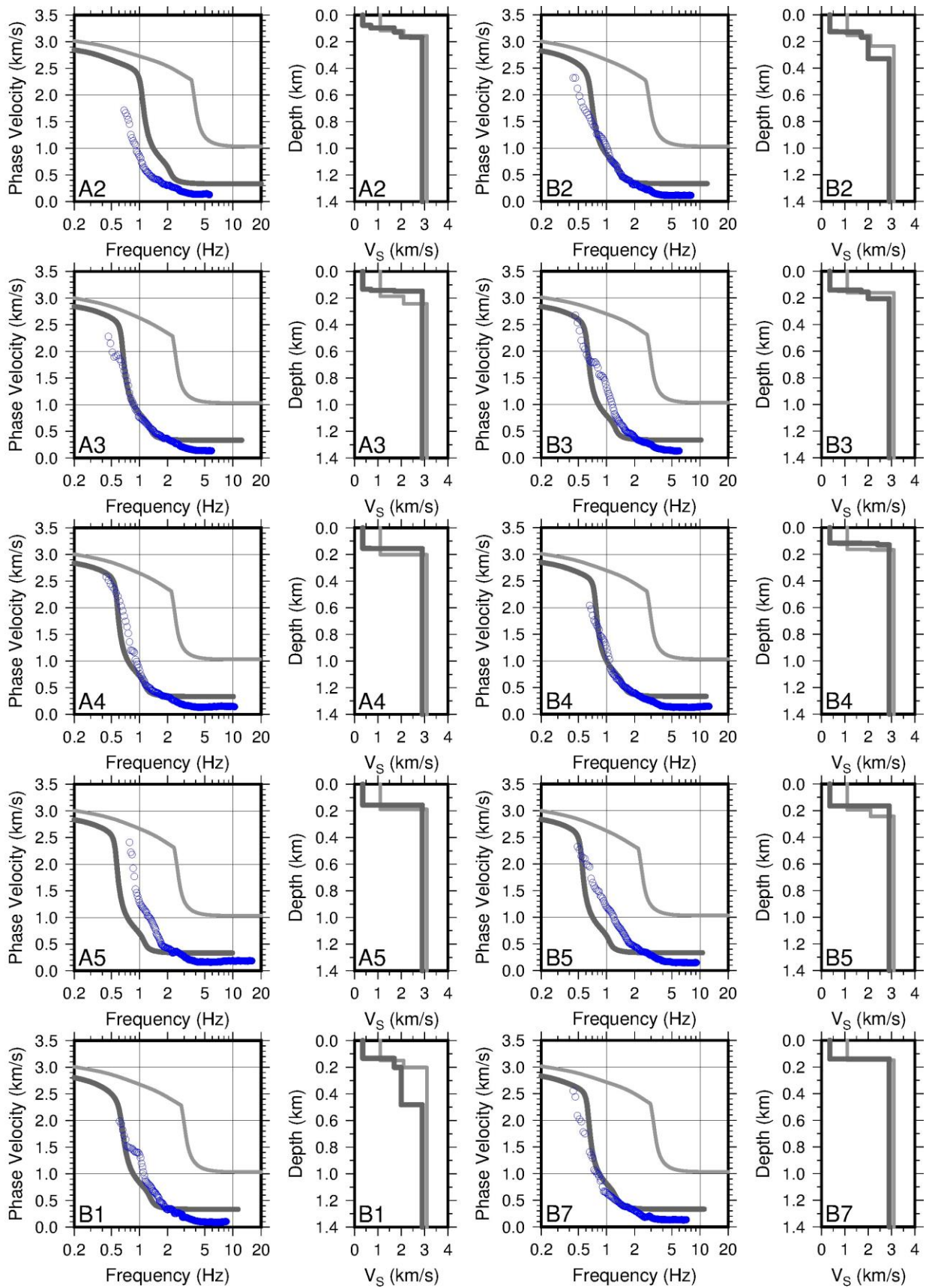


図 16 SPAC 法により推定した位相速度（青丸）、既存地下構造モデルによる理論分散曲線及び S 波速度構造（薄灰色細線：J-SHIS V2、濃灰色太線：JIVSM）。

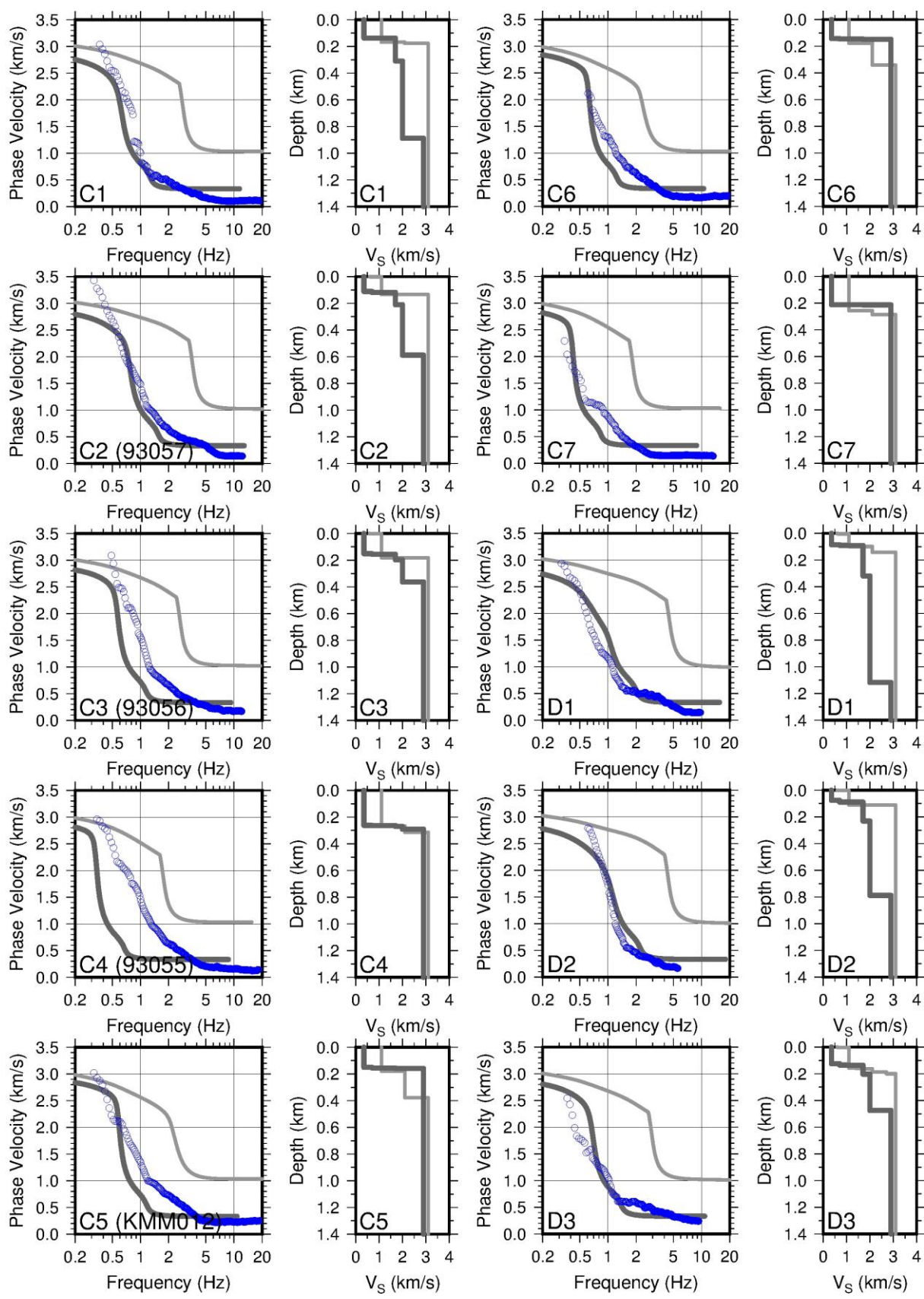


図 16 続き

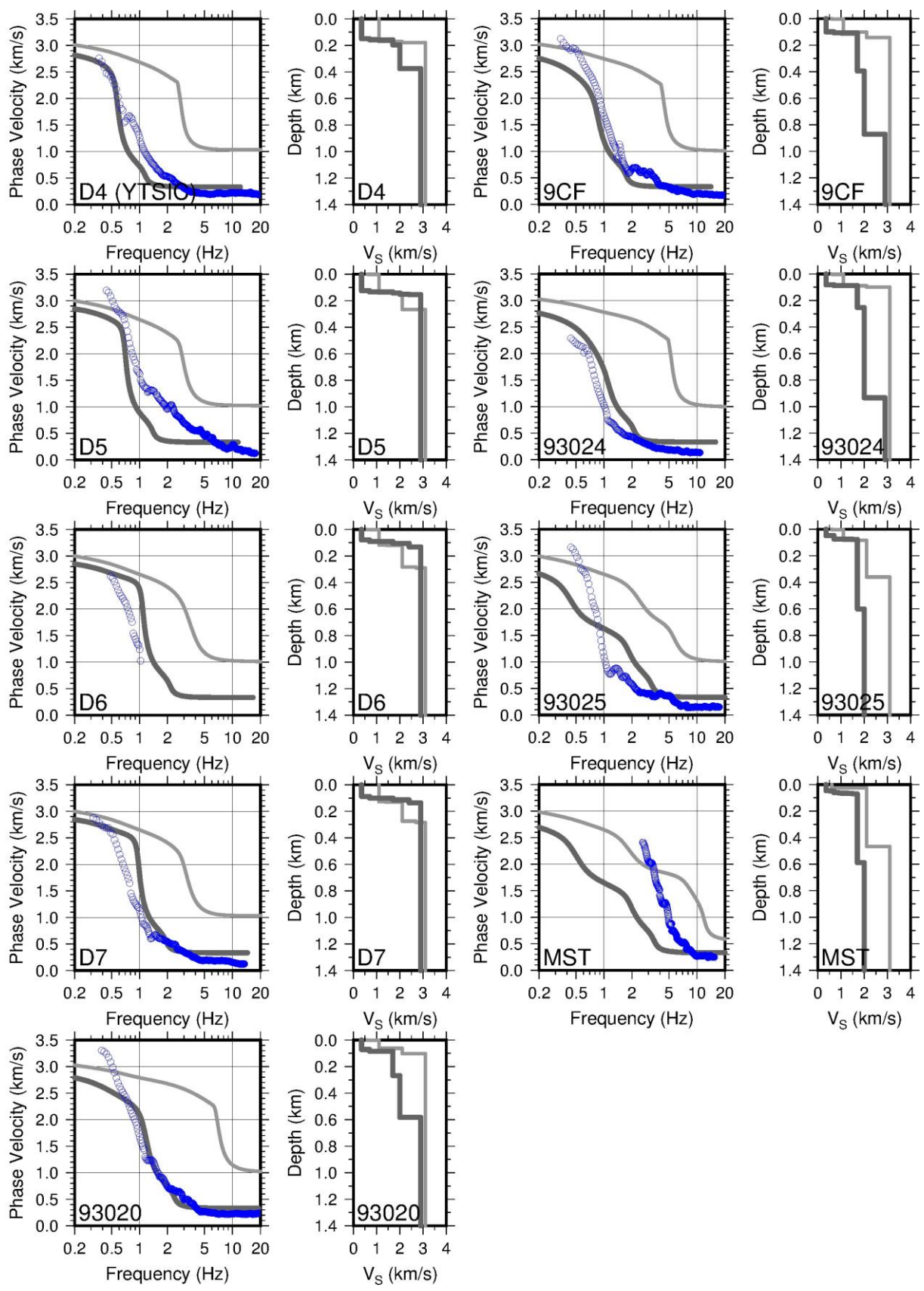


図 16 続き

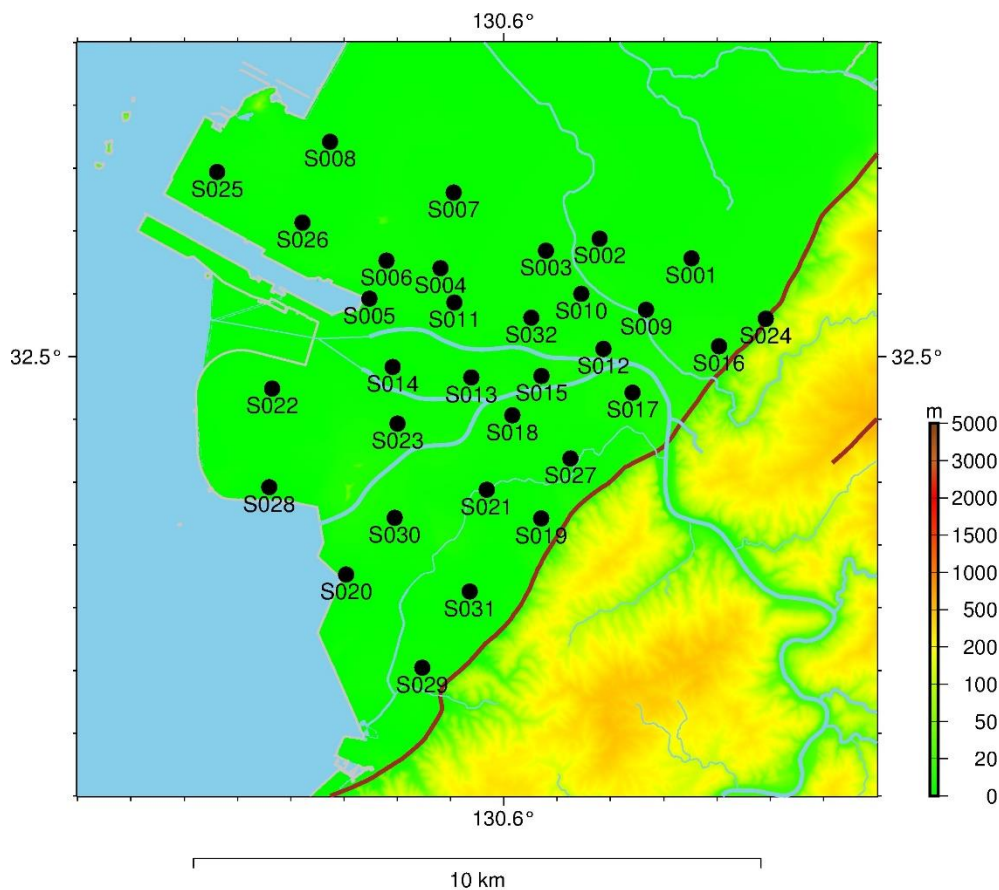


図 17 八代平野南部における極小・不規則アレイ調査地点

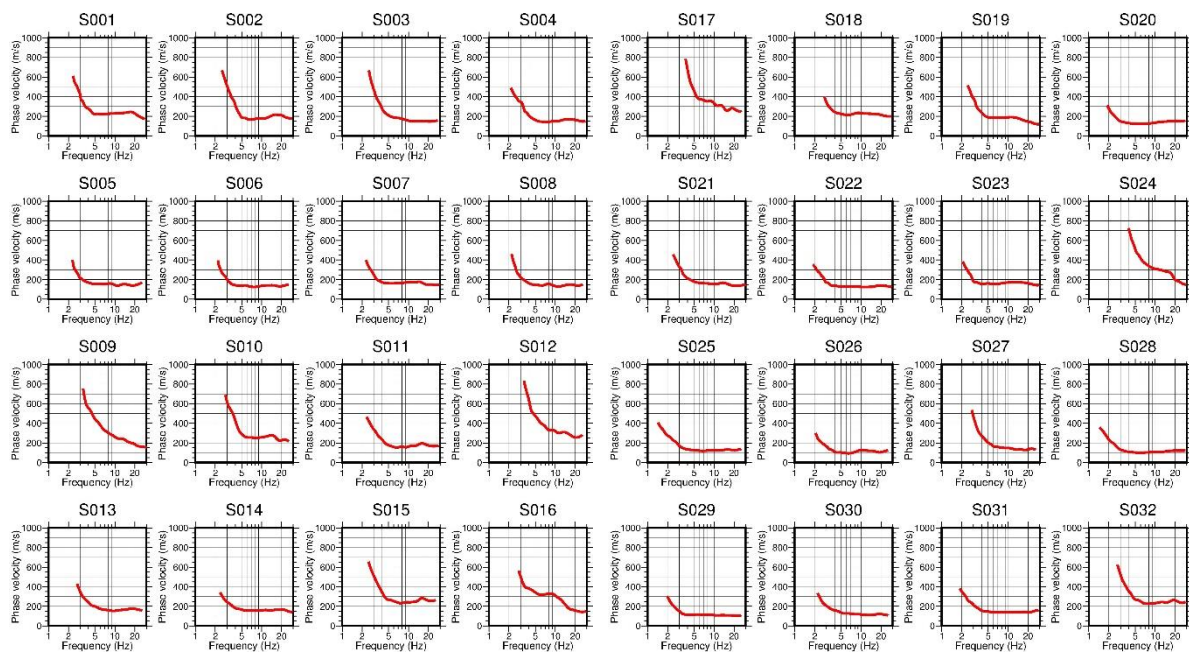


図 18 極小・不規則アレイによる位相速度分散曲線

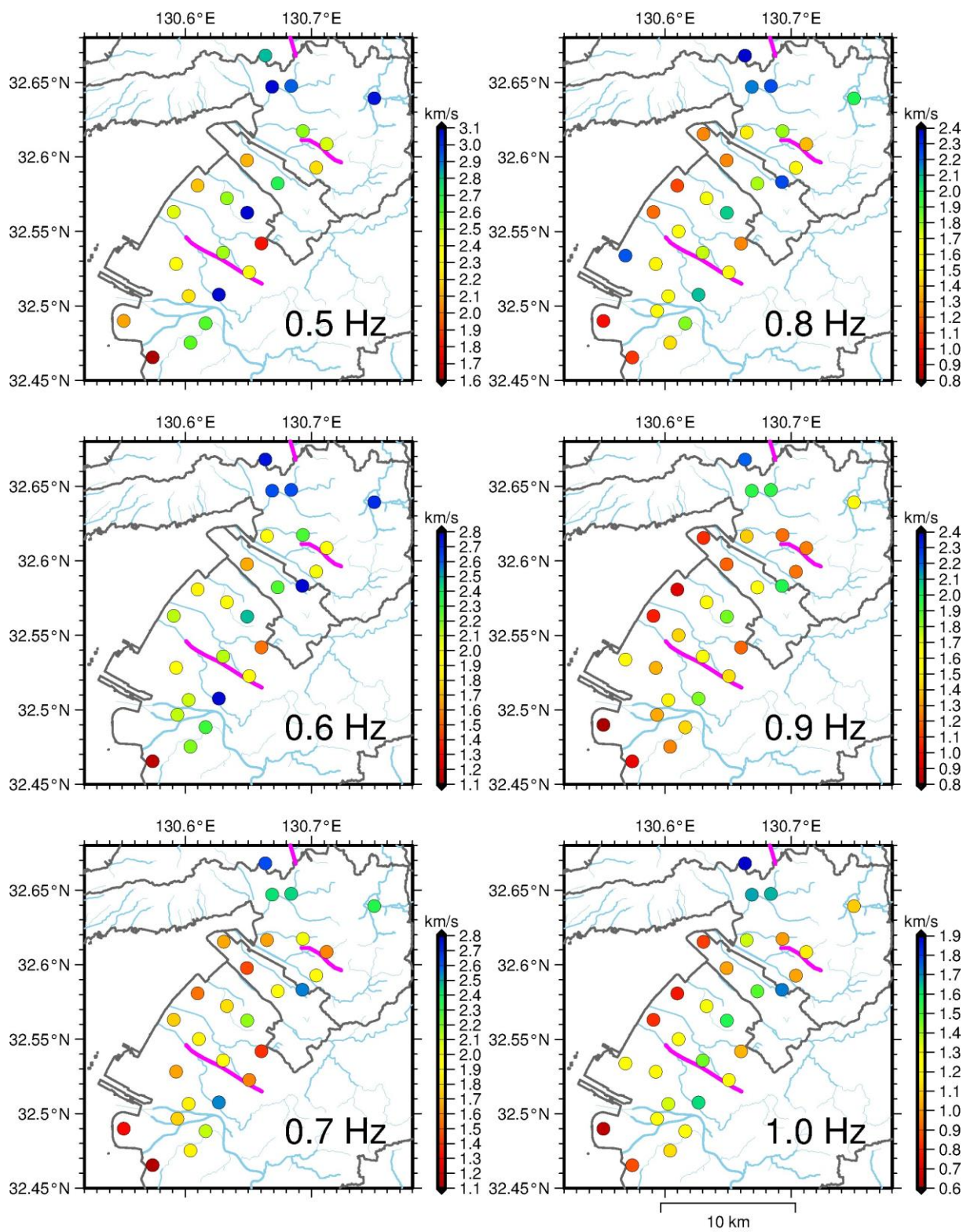


図 19 周波数別の位相速度空間分布 (0.5~1.0 Hz)

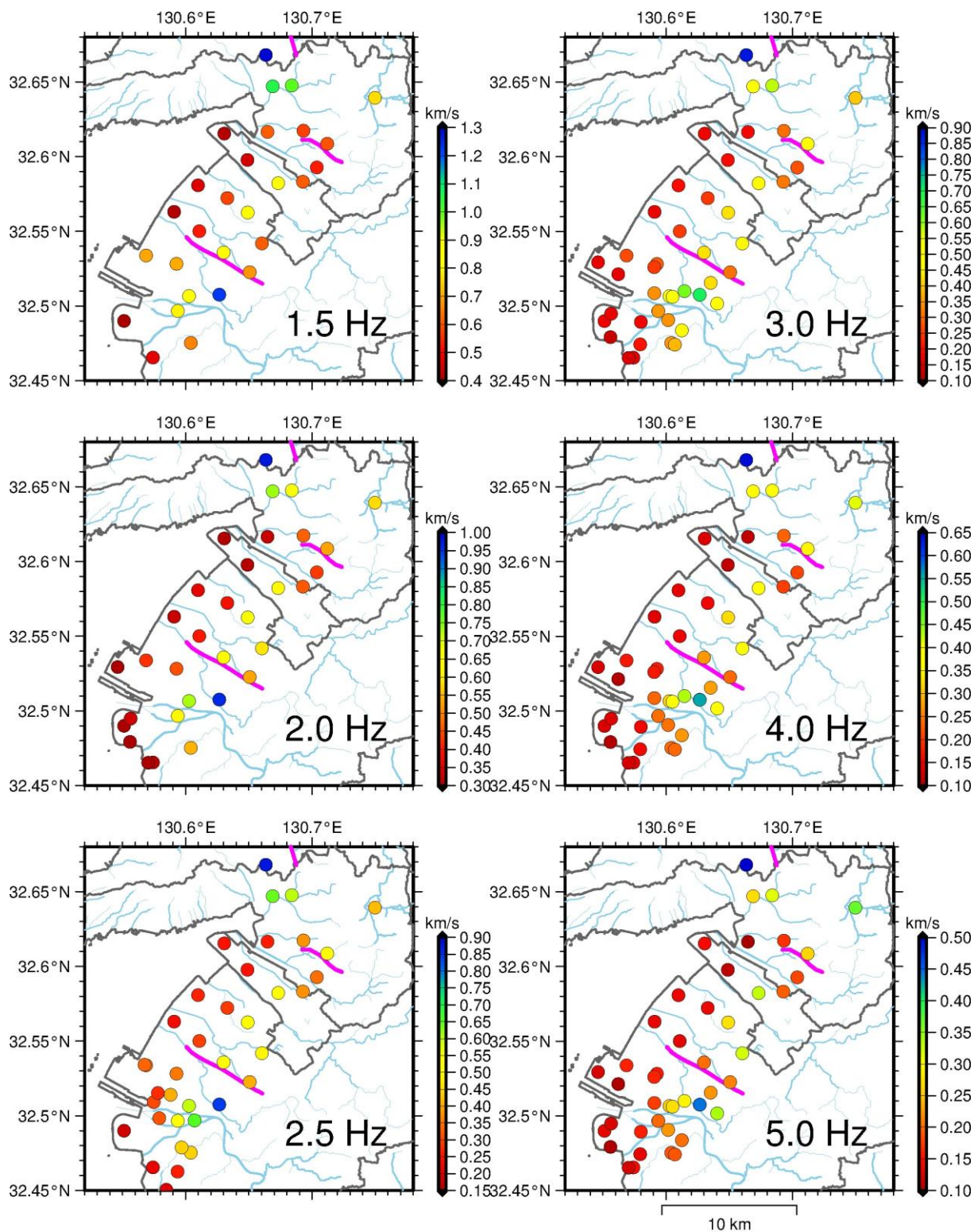


図 20 周波数別の位相速度空間分布 (1.5~5.0 Hz)

3) 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 地点において単点微動観測を実施し、微動の水平動成分と上下動成分のスペクトル比（H/V スペクトル比）を解析した。表 6 に単点微動観測地点を一覧として整理した。現地での微動観測は 2018 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、増幅器及びアナログフィルター、GPS アンテナ、小型制御弁式鉛蓄電池から構成される。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（表 6 参照）。このうち 1 式を増幅器倍率 10000 倍、低域通過フィルタ 5 Hz（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。収録装置の形式分解能は 24bit であり、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。写真 4 に UT1728 における観測実施状況の例を示す。

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。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 21 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 5 Hz 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 22 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）、本年度に実施した八代平野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 2016 年 1 月に観測したデータを同様に解析した結果

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，2014）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、地表付近の堆積層が薄いことを示唆している。

表 6 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	宇城市不知火町小管部	小管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	築切集会所
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



写真4 宇城市松橋町における単点微動観測実施状況（UT1728 地点）

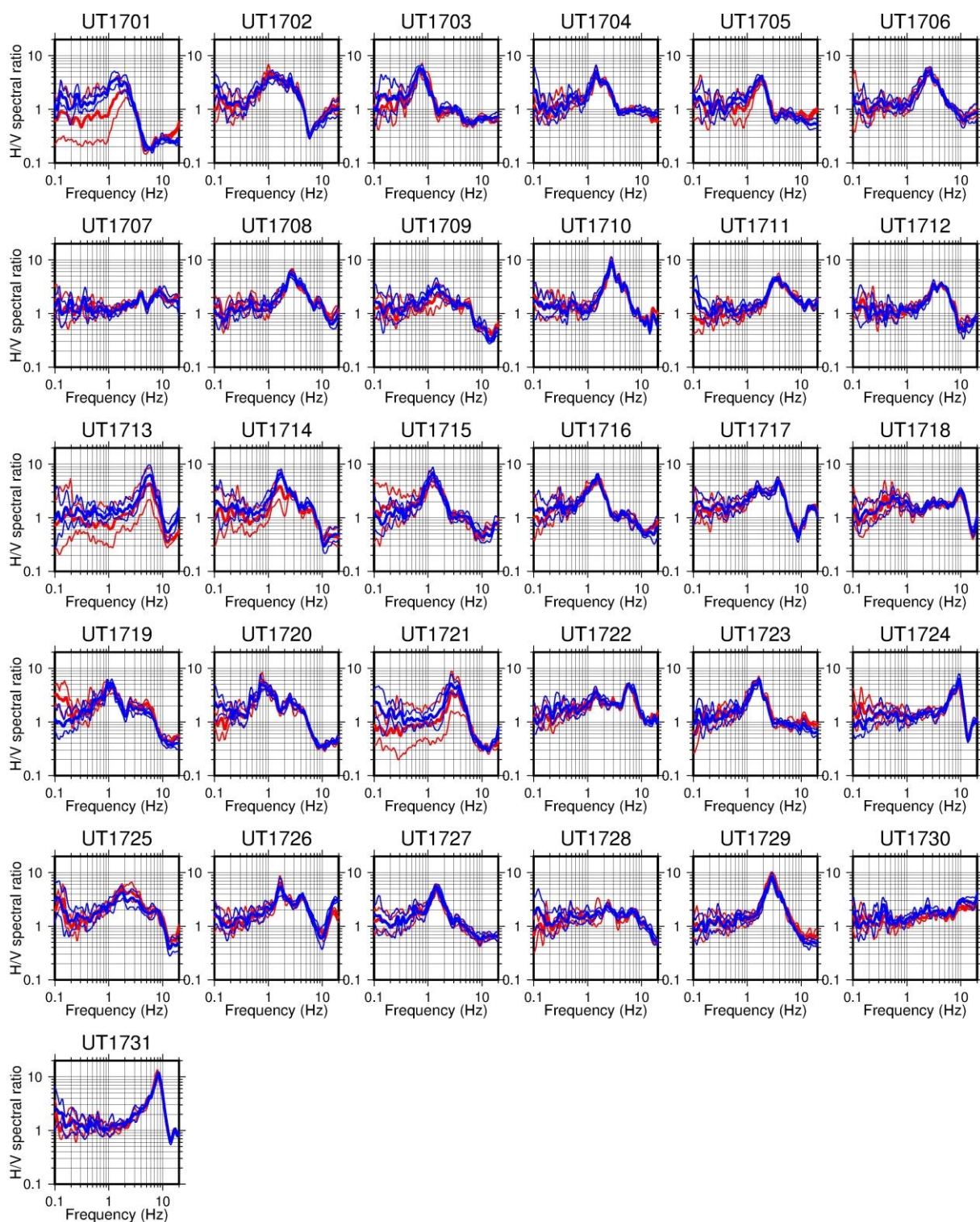


図 21 宇土市から宇城市にかけての単点微動観測による H/V スペクトル比。太線：平均値、細線：標準偏差、青：高感度観測（増幅器倍率 10000 倍、カットオフ周波数 5 Hz）、赤：低感度観測（増幅器倍率 5000 倍、カットオフ周波数 50 Hz）。

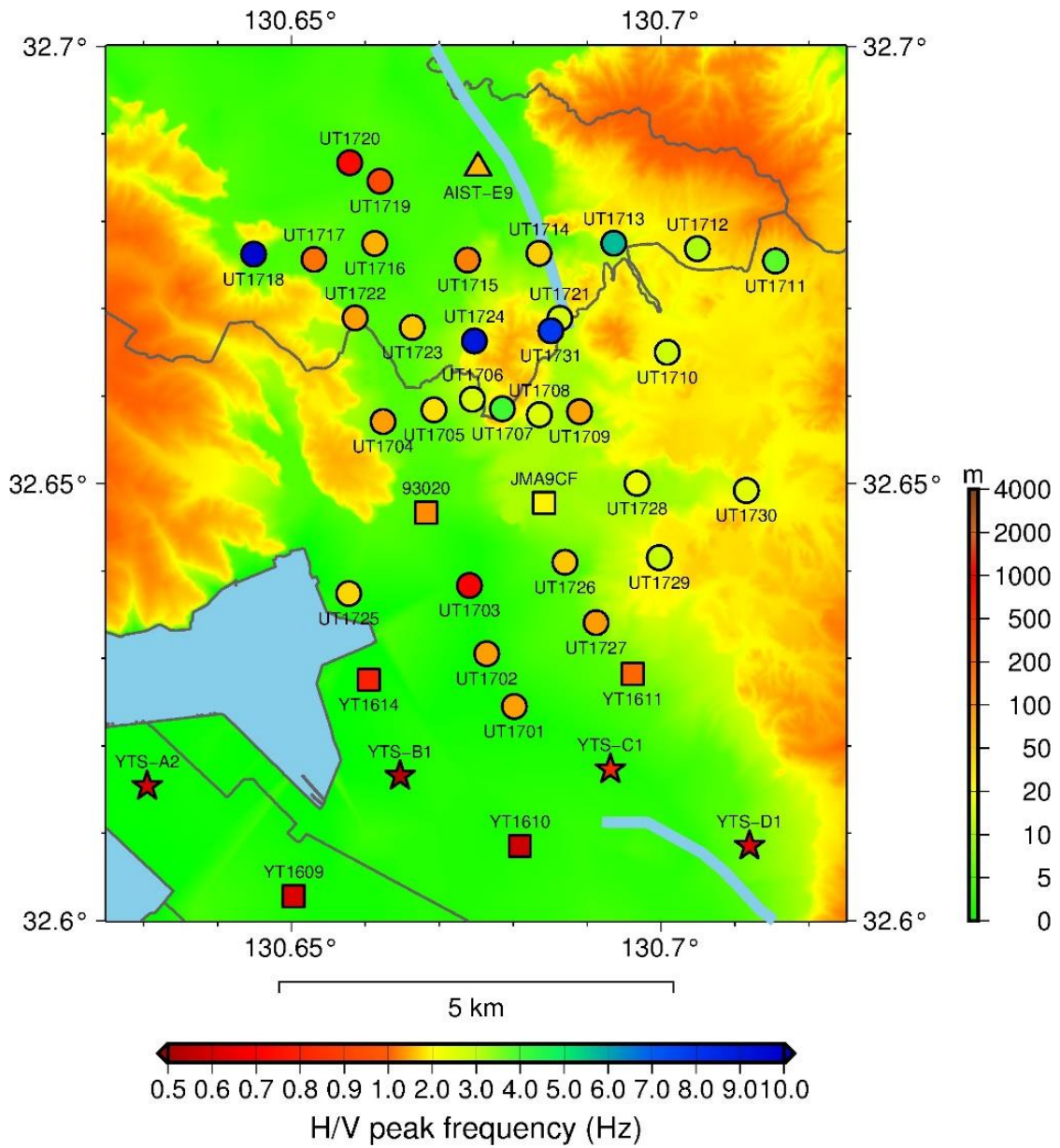


図 22 微動 H/V スペクトル比のピーク周波数の空間分布。○：平成 29 年度に実施した単点微動観測、☆：平成 29 年度実施の微動アレイ観測の中心点、□：平成 28 年度実施分、△：産総研実施分。水色の実線：平成 28 年度熊本測線及び平成 29 年度宇城測線。

4) 強震・震度観測点周辺における微動アレイ調査

平成 28 年度は八代平野周辺と阿蘇周辺の熊本県自治体震度計観測点周辺を対象に、微動アレイ調査を実施した。本年度は引き続き、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、天草諸島、宇土半島、葦北地方、球磨地方（人吉盆地）の既設強震計・震度計周辺の計 25 地点を調査した（図 23 及び表 7）。観測は 2018 年 2 月 6 日～24 日の日中または夜間に実施した。アレイ半径は 4 m、15 m、30 m 及び 60 m の 4 式を原則とし、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。このほかに、宇土市南部 1 地点、人吉盆地内 3 地点において、最大アレイ半径 500 m までの大アレイ観測を実施した。

微動アレイ観測は、正三角形の頂点と中心からなる 4 点アレイとした。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。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、宇城市、上天草市、天草市、天草郡苓北町、水俣市、葦北郡芦北町、葦北郡津奈木町、人吉市、球磨郡錦町、球磨郡あさぎり町、球磨郡湯前町、天草広域連合、天草市立天草中学校、水俣市立水俣第一小学校、天草市商工会にお世話になった。

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）法にて位相速度を解析した。解析手法の詳細は 2) 八代平野における微動アレイ調査と同じである。図 24 に推定された位相速度を示す。天草諸島では、狭隘な平野の端部に位置している観測点も多く、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。

水俣市（93098）では 5 Hz 付近まで位相速度が 1 km/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。津奈木町（93081）、芦北町（JMA9D0 及び KMM013）、宇城市三角（KMM010）、大矢野島の上天草市大矢野（JMA9D2）、天草上島の上天草市松島（93083）や姫戸（93085 及び 93085o）、天草下島の天草市天草（KMM021）や五和（93091）、御所浦島（93087）といった沿岸の平野部では 0.2 km/s 未満の低い位相速度が推定された。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 では全体的に速めの位相速度が得られている。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。人吉盆地では高周波数側の位相速度が約 0.4～0.5 km/s と比較的速いが、盆地東部のあさぎり町（HYBA03、93065）や湯前町（93068）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。

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も示している。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。宇土市南部の大アレイ UTM 及び御所浦島の 93087 は JIVSM と、水俣市の 93098 は J-SHIS V2 と観測値が近いように見えるが、その他の地点については特にどちらかのモデルがよい再現性を示すということはない。今回取得

した位相速度データや地震動記録の解析結果などを参照することにより、速度構造モデルの修正を行う必要がある。

また、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。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。3)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。現地での観測は2017年11月19日の日中に実施し、天候は晴れであった。図25に全地点でのH/Vスペクトル比及びピーク周波数の空間分布、表8に単点微動観測点を整理した。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。水俣平野の堆積層の広がりを含む地盤構造モデル構築には、今後、水俣平野中心部付近での微動アレイ調査等によるS波速度構造の把握が必要である。

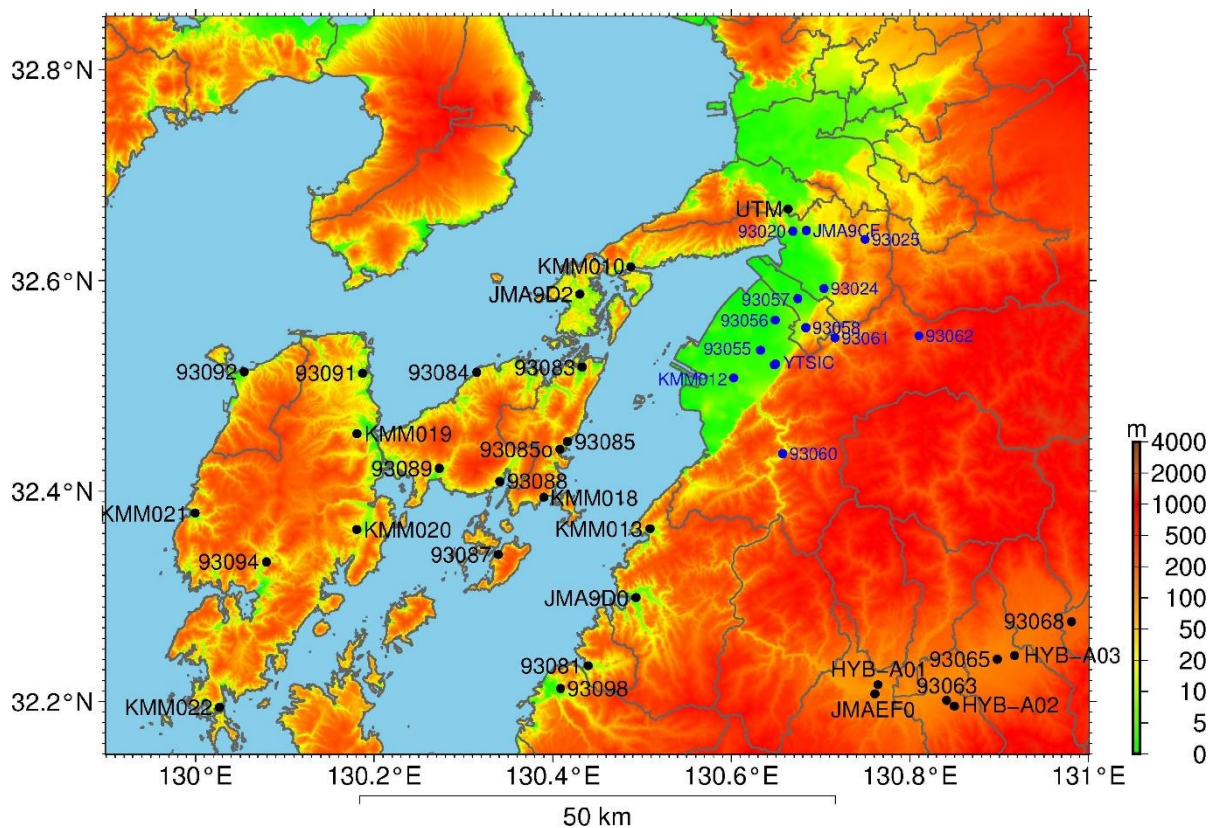


図 23 天草諸島、宇土半島、葦北地方及び人吉盆地における微動アレイ調査地点（黒：平成 29 年度実施分、青：平成 28 年度実施分）

表7 強震・震度観測点周辺における微動アレイ調査地点

観測点	名称	緯度*	経度*	アレイ半径 (m)
93063	球磨郡錦町役場	32.20091	130.84096	4, 15, 30, 60
93065	球磨郡あさぎり町役場	32.24013	130.89778	4, 15, 30, 60
93068	球磨郡湯前町役場	32.27604	130.98090	4, 15, 30, 60
93081	葦北郡津奈木町役場	32.23400	130.43971	4, 15, 30, 60
93083	上天草市松島庁舎	32.51804	130.43292	4, 15, 30, 60
93084	天草市有明支所	32.51321	130.31482	4, 15, 30, 60
93085	上天草市姫戸統括支所	32.44722	130.41650	4, 15, 30, 60
93085o	上天草市姫戸統括支所 (旧)	32.44012	130.40805	4, 15
93087	天草市御所浦支所	32.33980	130.33910	4, 15, 30, 60
93088	天草市倉岳支所	32.40942	130.34070	4, 15, 30, 60
93089	天草市栖本支所	32.42182	130.27284	4, 15, 30, 60
93091	天草市五和支所	32.51223	130.18709	4, 15, 30, 60
93092	天草郡苓北町役場	32.51357	130.05441	4, 15, 30, 60
93094	天草市河浦支所	32.33276	130.07961	4, 15, 30, 60
93098	水俣市役所	32.21226	130.40883	4, 15, 30, 60
JMA9D0	葦北郡芦北町役場	32.29891	130.49323	4, 15, 30, 60
JMA9D2	上天草市役所	32.57830	130.43036	4, 15, 30, 60
JMAEFO	球磨地域振興局(人吉市)	32.20719	130.76059	4, 15, 30, 60
KMM010	三角(宇城市)	32.61334	130.48734	4, 15, 30, 60
KMM013	田浦(葦北郡芦北町)	32.36444	130.50897	4, 15, 30, 60
KMM018	龍ヶ岳(上天草市)	32.39437	130.39011	4, 12, 30, 60
KMM019	本渡(天草市)	32.45477	130.18073	4, 15, 30, 60
KMM020	新和(天草市)	32.36372	130.18069	4, 15, 30, 60
KMM021	天草(天草市)	32.37926	129.99959	4, 15, 30, 60
KMM022	牛深(天草市)	32.19439	130.02690	4, 15, 30, 60
UTM	宇土市松山町大アレイ	32.66800	130.66345	4, 15, 30, 60, 120, 250, 500
HYB-A01	人吉盆地大アレイ1 (人吉市)	32.21604	130.76422	4, 15, 30, 60, 120, 250, 500
HYB-A02	人吉盆地大アレイ2 (球磨郡錦町)	32.19543	130.84975	4, 15, 30, 60, 120, 250, 500
HYB-A03	人吉盆地大アレイ3 (球磨郡あさぎり町)	32.24379	130.91718	4, 15, 30, 60, 120, 250, 500

※緯度及び経度は4mアレイ中心点の緯度及び経度

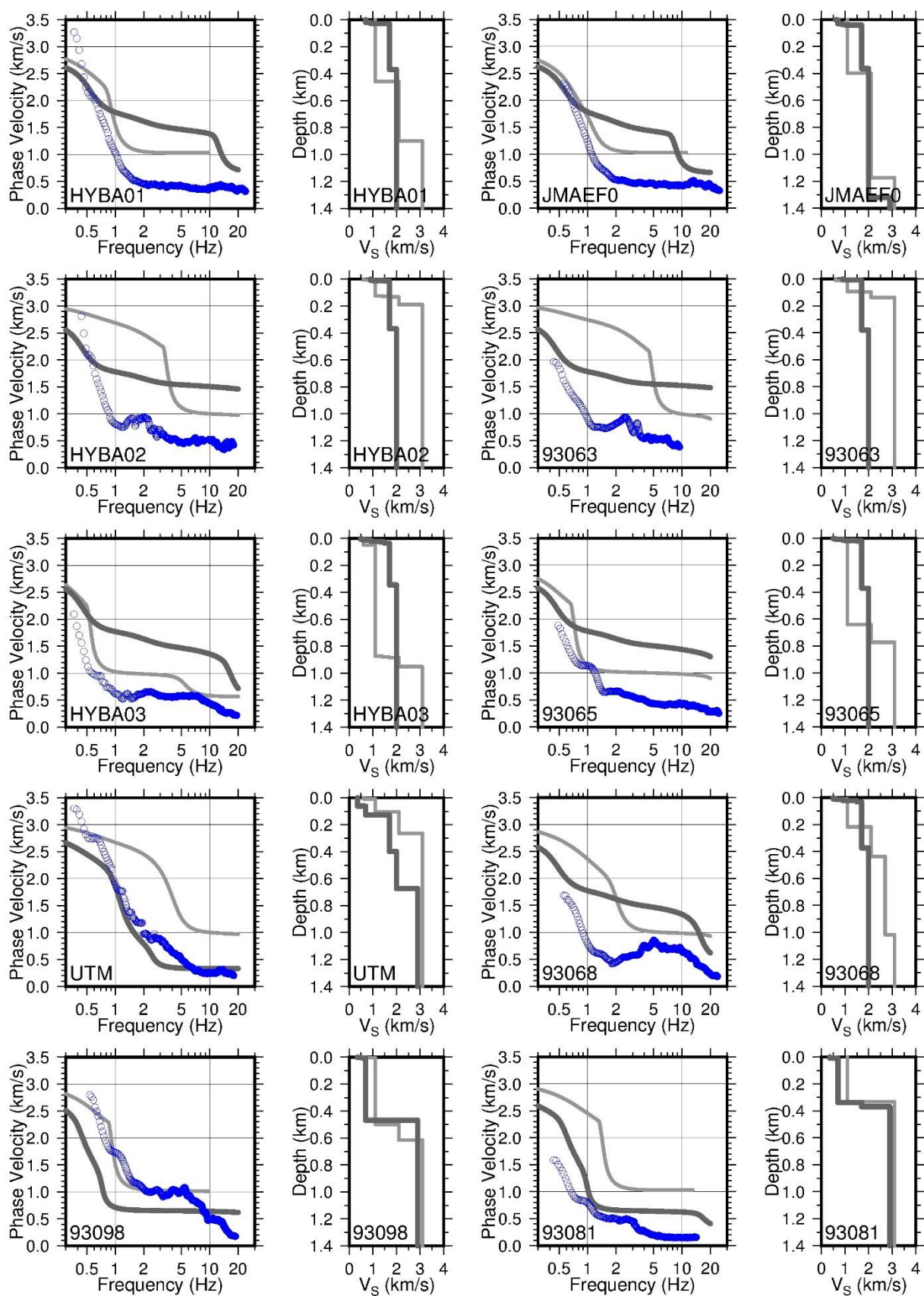


図 24 SPAC 法により推定した位相速度（青丸）、既存地下構造モデルによる理論分散曲線及び S 波速度構造（薄灰色細線：J-SHIS V2、濃灰色太線：JIVSM）。

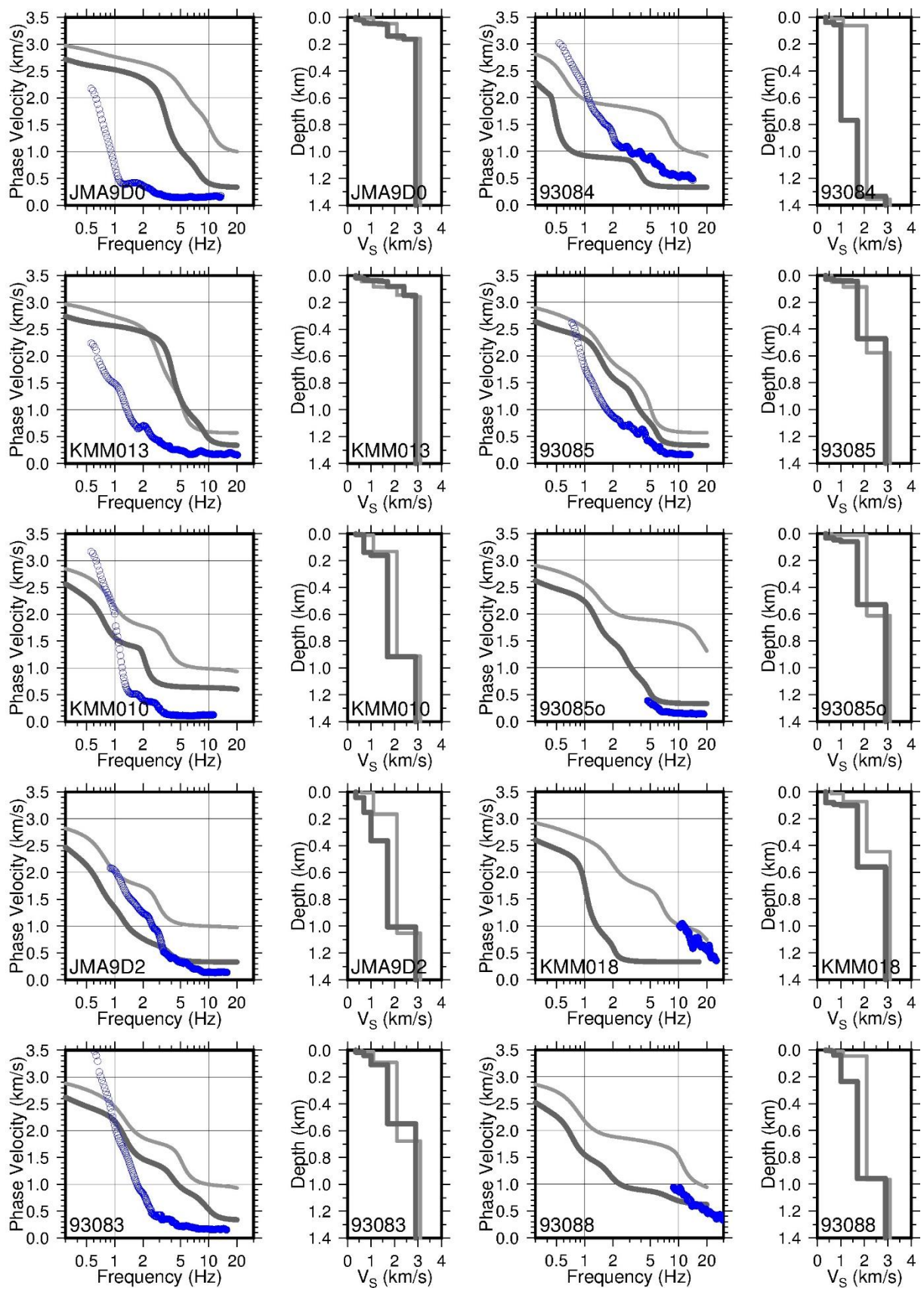


図 24 続き

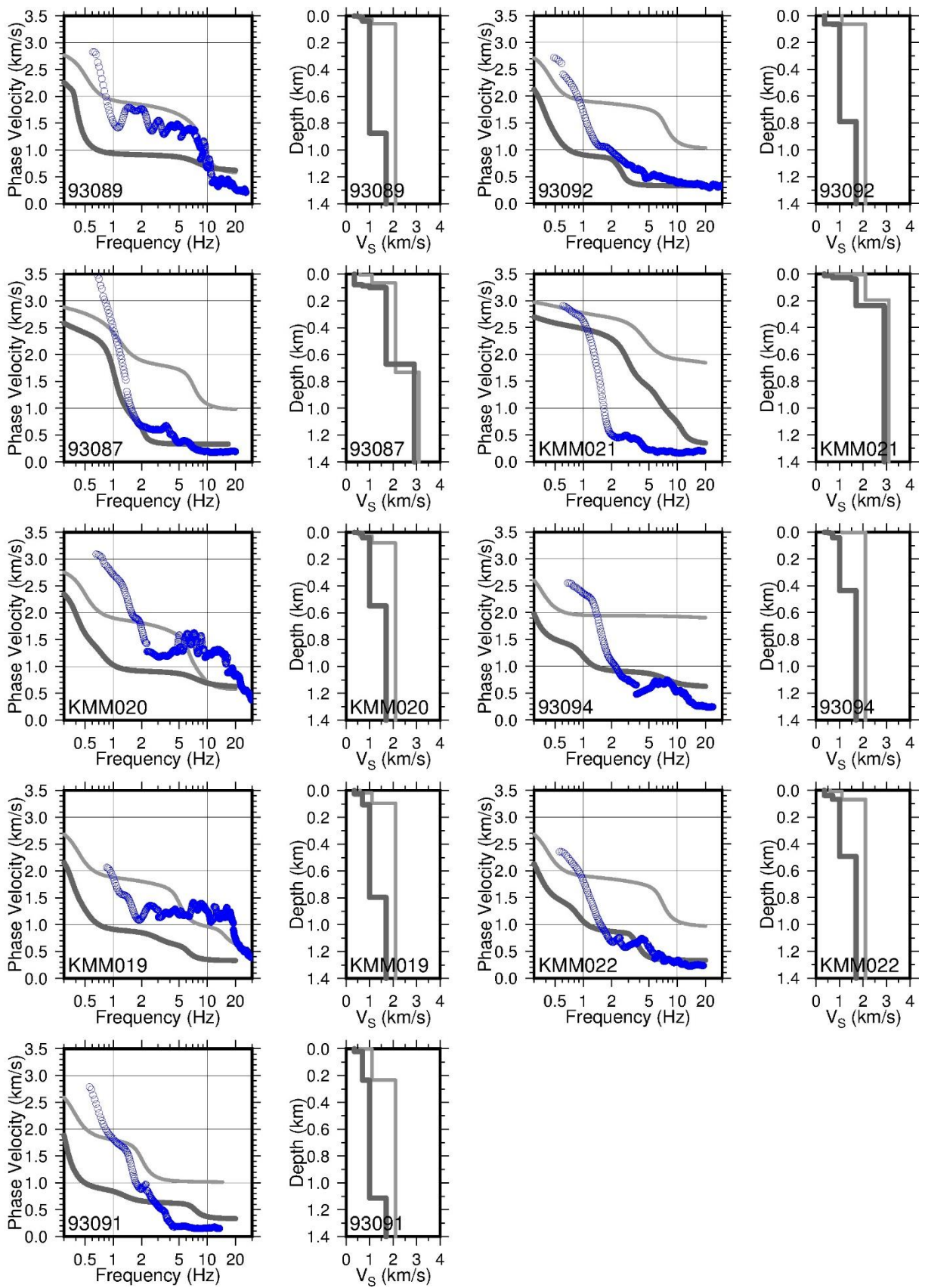


図 24 続き

表 8 水俣市周辺での単点微動観測地点

観測点	緯度	経度	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	肥薩おれんじ鉄道水俣駅
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

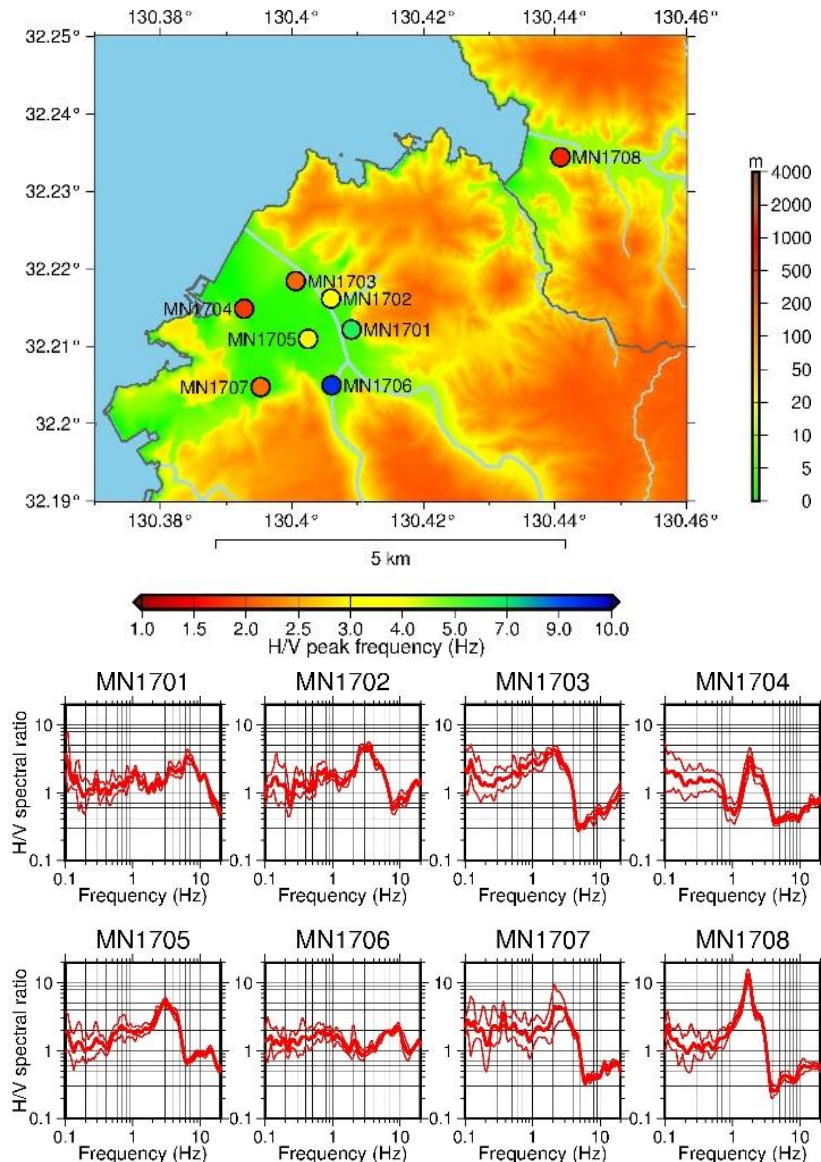


図 25 (上) 水俣市周辺における微動 H/V スペクトル比のピーク周波数の空間分布。(下) 単点微動観測による H/V スペクトル比 (太線：平均値、細線：標準偏差)。

5) 八代平野を中心とした余震、微動アレイ観測

八代平野の震動特性評価のため、八代平野を中心とした地域において臨時の余震（強震）連続観測を実施するとともに、観測点サイトの浅い地盤構造情報を得るため、小半径微動アレイ観測等を実施した。平成 29 年 5 月から平成 30 年 3 月にかけて、八代平野および周辺部において合計 37 地点の余震（強震）連続観測を開始した。観測点地図を図 26 に、観測諸元一覧を表 9 に示す。センサーとしては動コイル過減衰型 3 成分加速度計である JEP-6A3（ミットヨ製）を用い、レコーダ（(株) 白山工業社製 LS-8800（形式分解能 24bit））は GPS による時刻校正機能付きの連続記録計を用いた。地震計は戸外に設置をし、車載バッテリーもしくは太陽光電池パネルによる充電をして連続観測を行った。図 26 より、八代平野内では K-NET、KiK-net、気象庁、熊本県震度情報ネットワークシステムの観測点は平野の東側（正確には東南東側）に集中していて、網羅的にはカバーされていない。臨時観測点により、面的にこの領域をカバーし、地下構造モデル構築、検証により活用が期待される。

2016 年熊本地震は余震活動が活発であったが、徐々に活動は収まり、観測期間内に自然地震のイベント記録はそれほど多くは得られていない。図 27～30 にローカルな 2 イベントの記録を観測波形例として示す。両地震とも良好なイベント記録が得られている。また、堆積層観測点においては、直達 S 波到着の 2～3 秒後に振幅の大きい相が見られる観測点があり、これらの相は堆積層下の基盤面と地表の多重反射 S 波の可能性がある。S 波走時やこういった多重反射走時等の情報は深い地盤構造モデルの検証に利用できると考えている。

この余震（強震）観測点においては、浅い地盤構造に関する情報を得るために、アレイ微動観測（小スパンアレイ観測）を行い、Rayleigh 波の位相速度を推定している。図 31～32 に求められた各観測点の位相速度を示す。求めた周波数帯は 1～20Hz 程度であり、いわゆる工学的基盤より上の表層に関する S 波速度構造情報を得ている。全体を概観すると、ほとんどの観測点で、高周波数側の位相速度が 0.1～0.2km/s で、表層地盤の最上位ではこの程度の S 波速度の層があることがわかる。一方、K50 は観測された周波数帯では大きい位相速度値が得られており、10Hz 以上の周波数帯でも 0.3km/s くらいの位相速度を持っていて、表層が相対的に速い S 波速度を持っている可能性がある。また丘陵地上、もしくは丘陵地に近い UKOH、UKOG 観測点での位相速度は、同じ周波数で見た場合に、今回の観測値の全体の中で速い位相速度が得られていることがわかる。これらは、その地点の浅い地盤構造の影響を表している。今後、周波数 1 Hz 以上の高周波数帯域の観測震動特性とこういった浅部 S 波構造情報との対比を検討し、浅部地盤構造モデルの構築に役立てる。

本調査観測に関しては、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。

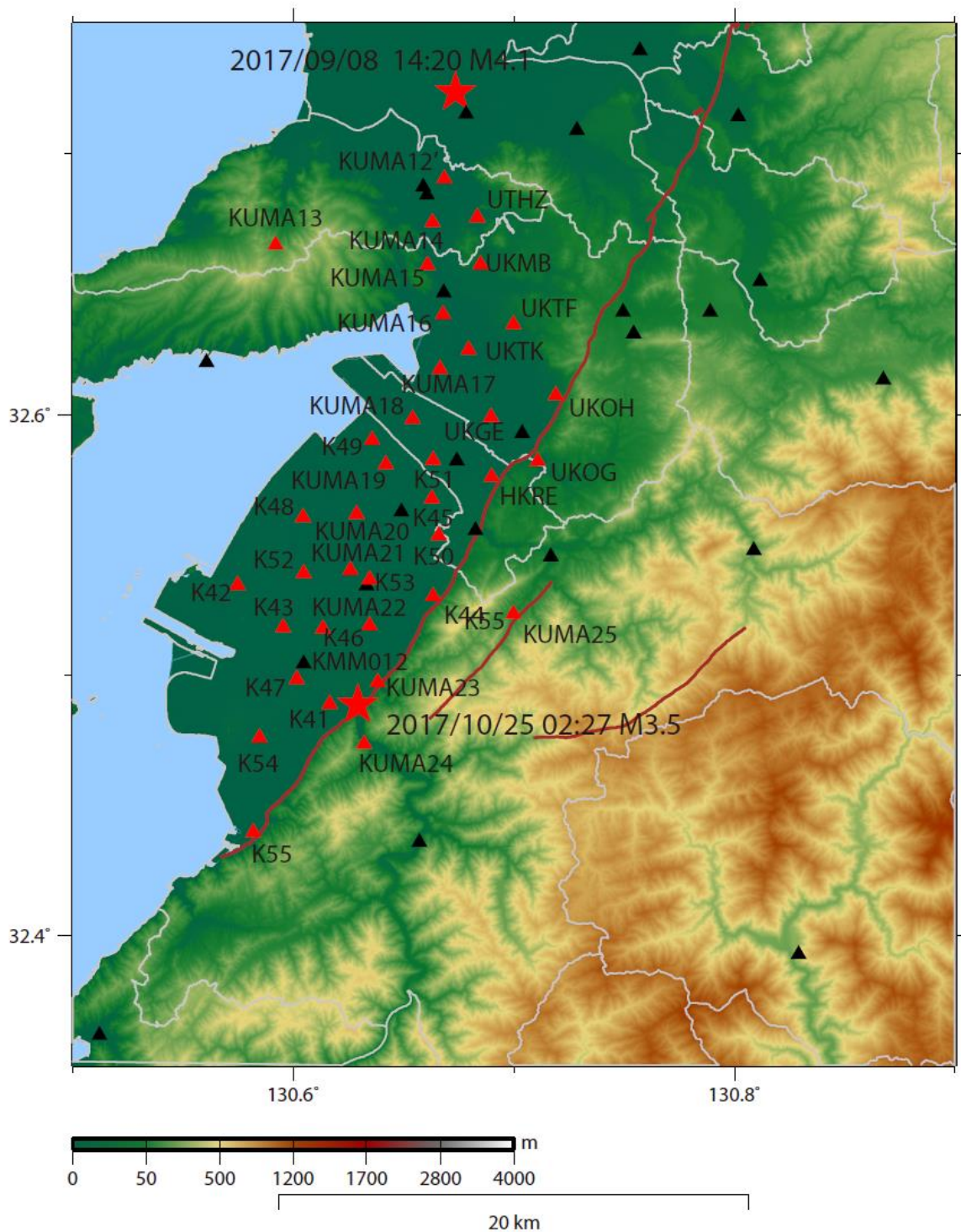


図 26 八代平野における余震(強震)連続観測点。赤三角が本調査観測で設置した観測点。黒三角はこの地域の K-NET、KiK-net および熊本県震度情報ネットワークシステムの観測点。赤星は、図 27~30 で示している観測波形例の震央位置を表す。

表9 八代平野における余震（強震）連続観測点の諸元

観測点番号	設置場所		観測期間		観測諸元			設置機関	微動観測
	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)		
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	○
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	2016/07/05/12:26	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	○
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	○

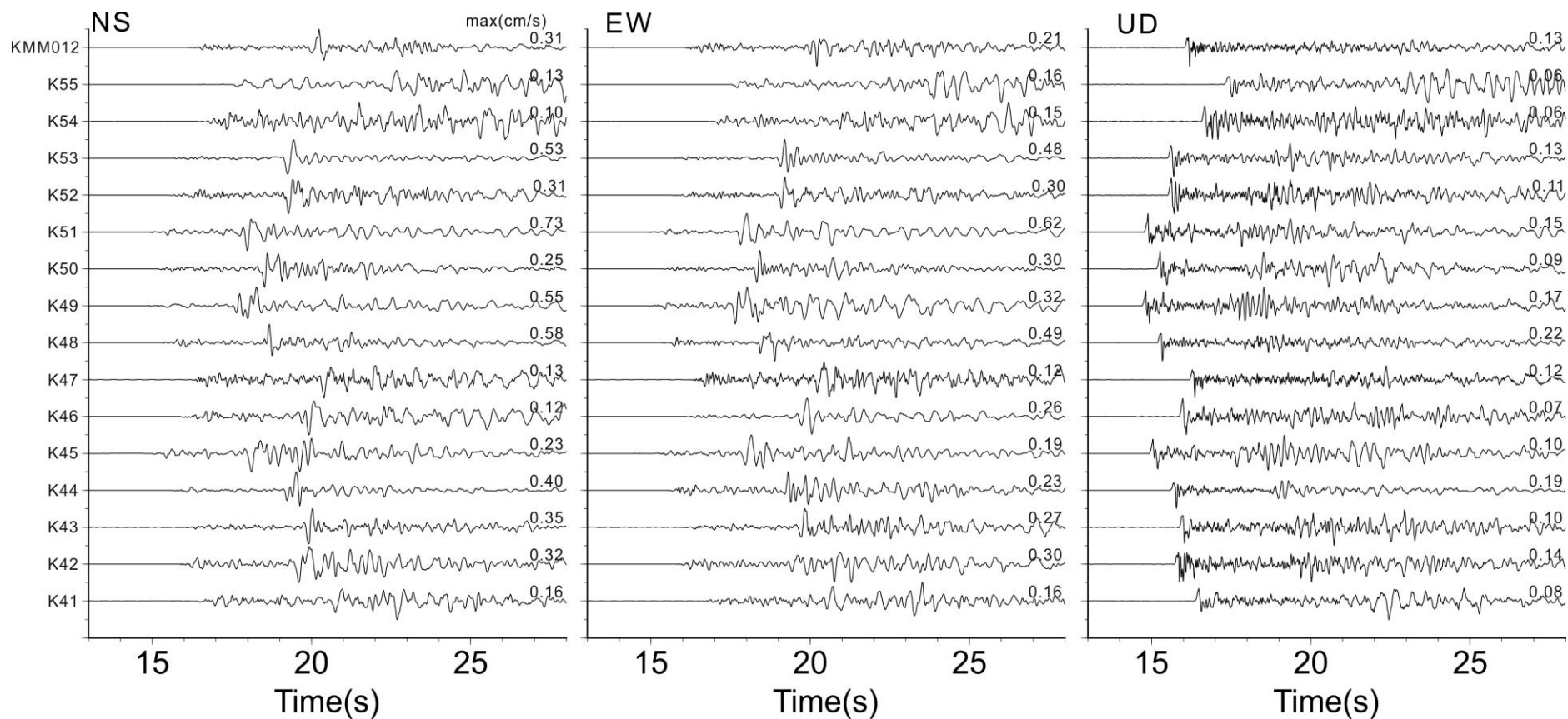


図 27 八代平野の臨時観測点で得られた強震記録の波形例。イベントは 2017 年 9 月 8 日 14 時 20 分 (M4.1) 震源深さ 13.7km の地震 (熊本平野下)。波形は 0.2Hz のローカットフィルターして積分した速度波形である。一番上は、K-NET 八代 (KMM012) の記録。各トレースはそれぞれの最大値で正規化されていて、その数値がトレースの右上に示されている (単位 cm/s)。

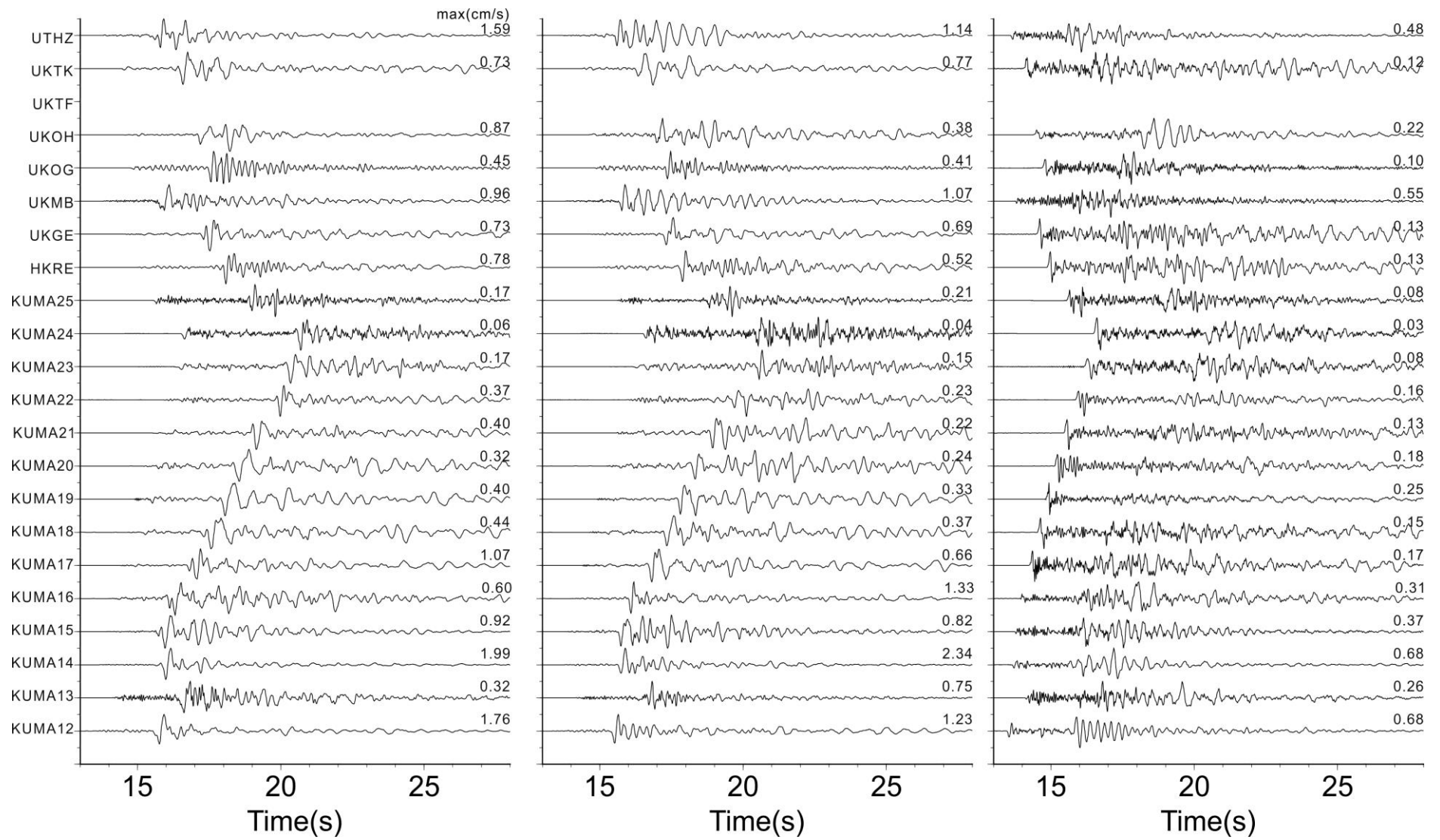


図 28 図 27 の続き。UKTF 観測点は欠測

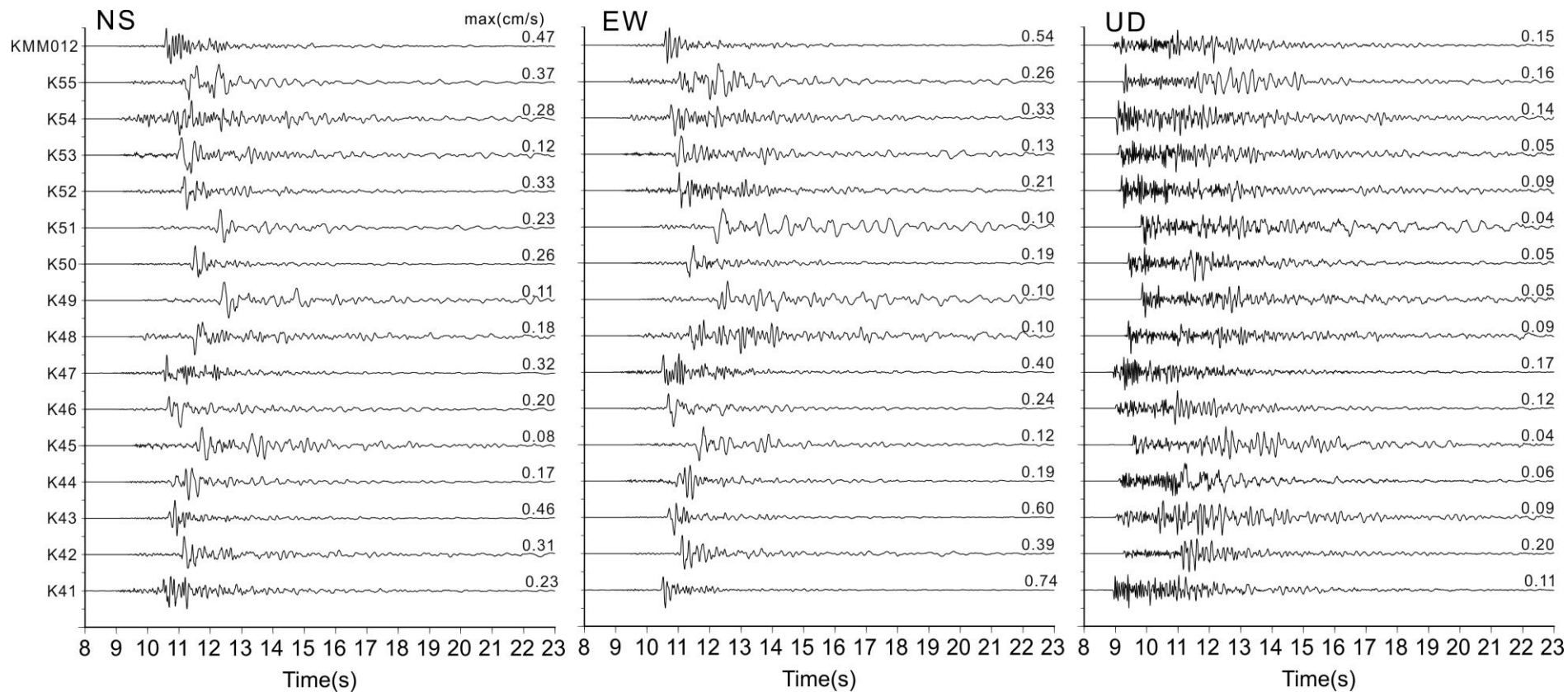


図 29 八代平野の臨時観測点で得られた強震記録の波形例。イベントは 2017 年 10 月 25 日 2 時 27 分 (M3.5) 震源深さ 9.8km の地震 (八代平野南部を震源とする地震)。波形は 0.2Hz のローカットフィルターして積分した速度波形である。一番上は、K-NET 八代 (KMM012) の記録。各トレースはそれぞれの最大値で正規化されていて、その数値がトレースの右上に示されている (単位 cm/s)。

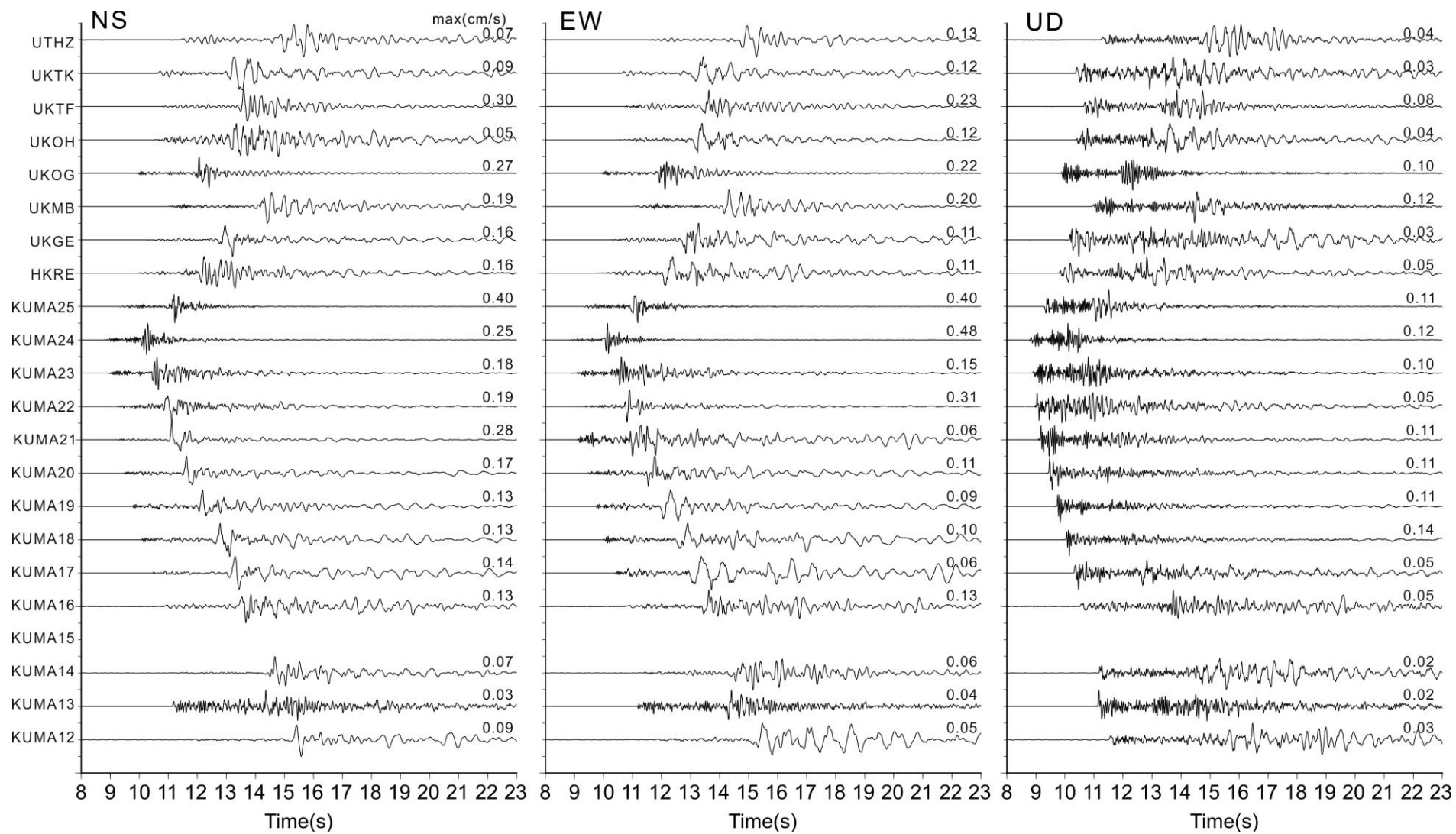


図 30 図 29 の続き。KUMA15 観測点は欠測。

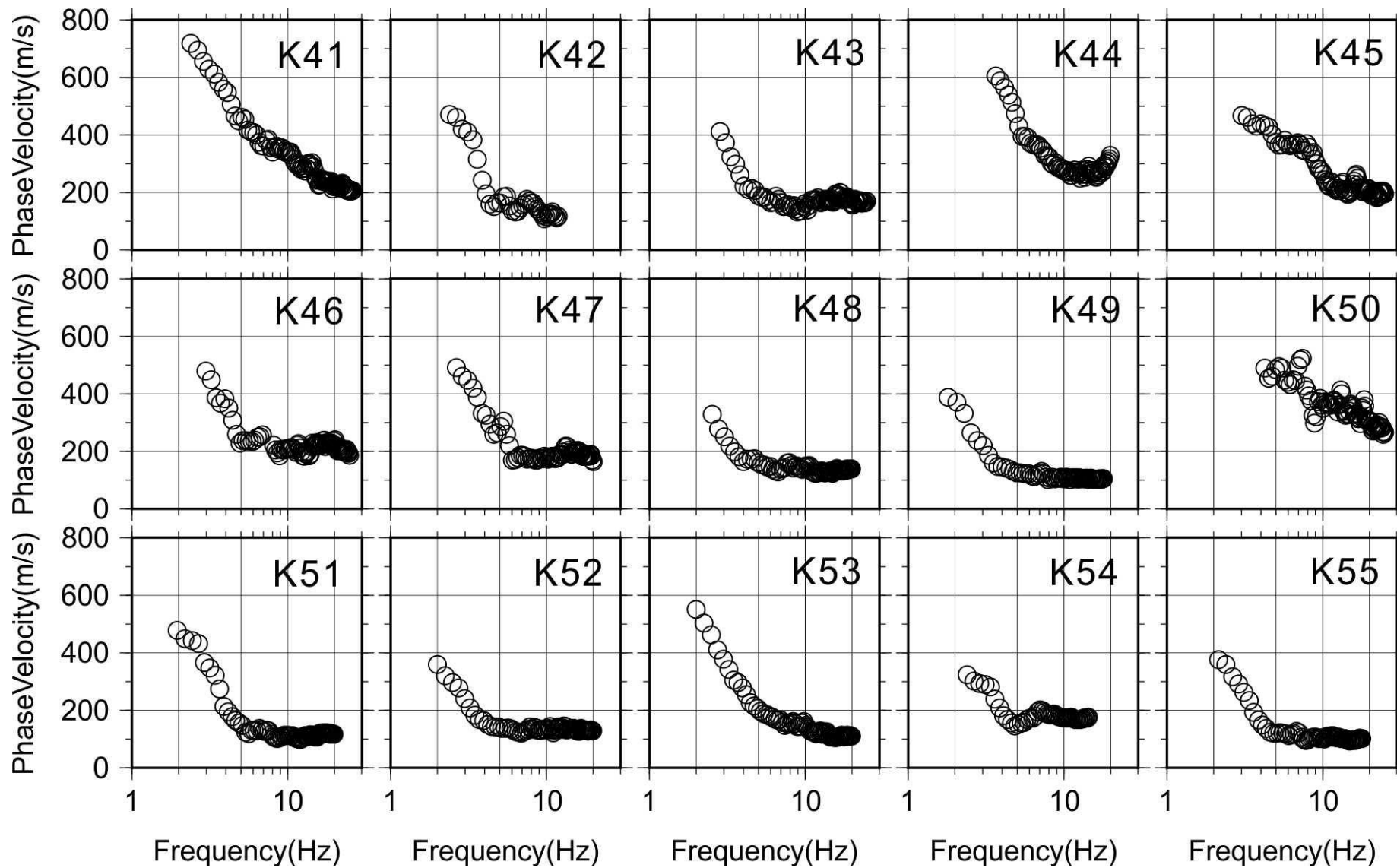


図 31 各観測点で実施された微動アレイ観測（小アレイサイズ）で得られた位相速度

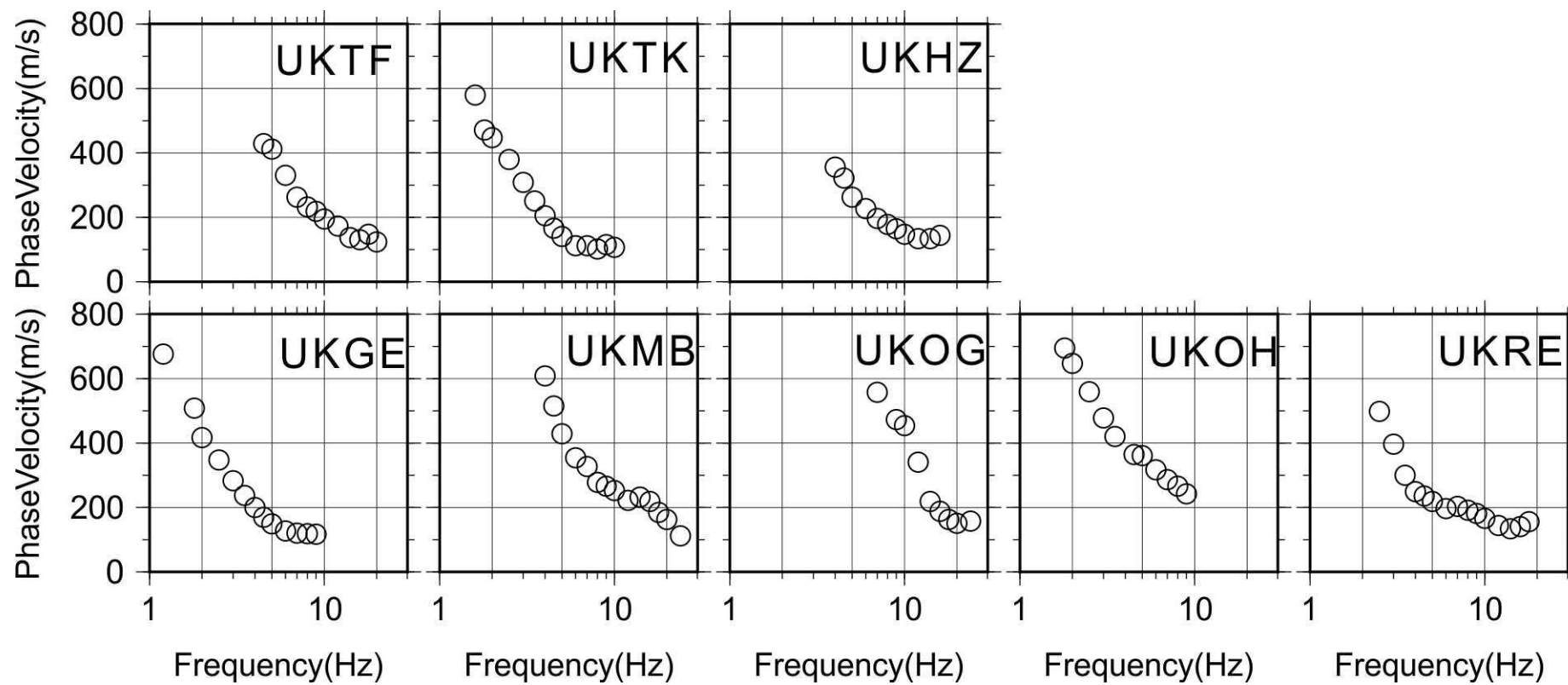


図 32 図 31 に同じ

6) 熊本県震度情報ネットワークシステム波形データを用いた観測点サイト特性評価
a) はじめに

熊本県内には、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展開されている。平成 28 年度、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、気象庁熊本地方气象台のご協力を得て、平成 28 年度に実施した震度情報ネットワークシステムの現地メンテナンスで回収した強震波形データ及び観測点設置情報等の関連資料の収集を行った。今年度、この波形データから各観測点のサイト特性を求め、各地点の揺れやすさを評価するとともに、当該地点での微動アレイ調査結果 (項目 5) 参照) によって得られる地下構造情報や、地盤の地震波速度構造モデルの検証に用いる資料とすることを目的としている。

b) 解析方法とデータセット

サイト増幅特性の推定には、スペクトルインバージョン法 (例えば、岩田・入倉(1986)) を用いた。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影響の和で表現できる。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。

この連立方程式には 1 つ条件が必要で、ここでは、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) 観測点のサイト増幅特性を全周波数で 2 (地表面効果) と仮定する。サイト増幅特性を評価した観測点は、熊本県内の防災科学技術研究所強震観測網 (Aoi et al., 2011) K-NET 観測点 22 地点、KiK-net 観測点 13 地点、広帯域地震観測網 (福山・他, 1998) F-net 観測点 1 地点、震度情報ネットワーク (Nishimae, 2004) の熊本県の震度計観測点 72 地点及び気象庁の震度計観測点 14 地点に、空間的カバレッジを考慮して、大分県、福岡県の KiK-net 観測点 2 地点を加えた合計で 124 地点である (表 10, 図 33)。ここで、KiK-net 観測点は地表記録を、F-net 観測点では広帯域強震計の強震記録を使用した。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。

昨年度熊本県から提供いただいた震度計記録は 2011 年 1 月から 2017 年 2 月までの期間のものであったことから、ここでは 2016 年 4 月 14 日 21 時 26 分から 2016 年 9 月 30 日 23 時 59 分までの期間に、熊本県内で発生した地震のうち、以下の条件で地震記録の選定を行った。なおこの観測期間中に上記の 124 観測地点で移設などがなされた地点は無かった。

内陸地殻内地震に対するサイト増幅特性を評価するため、イベントの震源深さは 20 km より浅いものとした。次に、イベント規模は $3.0 \leq M_{JMA} \leq 5.5$ とした。下限は記録の S/N 比を考慮したもので、上限は震源断層の有限性の影響を避けるために大地震は除いた。震央距離は 150 km 以内のものとし、また強震時の地盤の非線形応答となっている可能性を避けるため、最大加速度 (PGA) $\leq 200 \text{ cm/s}^2$ 以下のイベント記録とした。以上のような条件

を課して選定された地震は 87 地震 ($3.1 \leq M_{JMA} \leq 5.2$) であった。選定された地震の一覧を表 11 に、地震の震源分布を図 34 にそれぞれ示す。

このようにして得られた 124 観測点 87 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 5540 である。この地震-観測点ペアでは、1 地震あたりの最低観測点数は 18、最高観測点数は 121、1 観測点あたりの地震数は最低 7 イベント、最高 83 イベントであった。地震-観測点ペアの震源距離の頻度分布を図 35 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、5 km 間隔の頻度分布で最も多いのは震源距離 25-30 km のペアであった。

ここで推定する未知パラメータは、震源特性 (87)、サイト増幅特性 (121) (TMC のサイト増幅特性は 2 のため)、 Q_s 値 (1) の 209 個となる。209 個の未知パラメータを $Q_s(f) \geq 0$ 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る。対象とした周波数帯域は 0.2-10 Hz である。

観測 (振幅) スペクトルは、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 S 波を含む 10.24 秒間を切り出して、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 $\pm 5\%$ の移動平均によって平滑化を行うことで求めた。

ここでは分離された各特性のばらつき誤差の評価に、Jack-Knife 法 (例えば、信岡・他, 2013) による標本再抽出を実施した。具体的には、上述したデータセット内の地震 87 イベント (基本ケース) から、ランダムに 50 個の地震を選択したデータセット (ランダムケース) を 500 ケース再構築し、それぞれについて基本ケースと同様にスペクトルインバージョンを行って各特性を推定した。ランダムケースの結果は、各特性の図面上で灰色線として表すこととする。

c) 解析結果

分離された各特性のうち、ここでは伝播経路特性 ($1/Q_s$ 値) とサイト増幅特性についてまとめる。得られた $1/Q_s$ 値を図 36 に示している。比較のため、同地域で求められている先行研究の $1/Q_s$ 値 (佐藤, 2016, 仲野・境, 2016) を同じく図 36 に示した。ここで推定した $1/Q_s$ 値は、先行研究のそれらと 0.5-10 Hz の周波数帯域で良い一致を示している。佐藤 (2016) は震源距離 60 km 以内、仲野・境 (2016) は同じく 100 km 以内の地殻内地震を用いた結果であり、ここでのデータセットも類似した震源距離のものを用いていることから、同様の結果が得られていると考えられる。一方、ここでの 0.5 Hz 以下の低周波数帯域では、先行研究の仲野・境 (2016) とは乖離がみられ、特に 0.3 Hz 以下ではランダムケースによる $1/Q_s$ 値のばらつきも非常に大きく、良く求まっていないといえる。低周波数側まで $1/Q_s$ 値を求めている仲野・境 (2016) では 81.92 秒の解析データ長を用いているが、ここでの狙いは、観測点サイト増幅特性として、S 波の主要動の増幅特性を見ることを考えており、そのため、観測振幅スペクトルを解析区間 10.24 秒で行っていることに違いがある。

図 37 は、観測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ものである。例えば、0.5-1.0 Hz や 1.0-2.0 Hz の周波数帯域では、菊池平野、熊本平野、八代平野、

人吉盆地、及び阿蘇カルデラといった、堆積層があると考えられる地域で大きい増幅率を持っていることがわかる。より高周波数側の 2.0 Hz から 8.0 Hz のサイト増幅特性は、低周波数側にみられた地域的な特徴は見られず、観測点毎に特徴があり、近距離にある観測点間でも異なっていることから、局所的な地盤構造の影響があると考えられる。

分離されたサイト増幅特性と既存の速度構造モデルに基づく理論増幅率との比較を行った。この地域の既存の地下速度構造モデルとしては、全国規模の 3 次元地下構造モデルである防災科学技術研究所地震ハザードステーション (J-SHIS) 全国深部地盤モデル V2 (藤原・他, 2012)、JIVSM モデル (全国一次地下構造モデル: Koketsu et al., 2012)、K-NET, KiK-net の PS 検層モデルがあり、熊本平野等においては浅部・深部統合地盤モデル (SIP モデル: 先名・他, 2017a, 2017b) がある。J-SHIS モデルと JIVSM モデルは深部地盤構造モデルで、最表層は工学的基盤相当に当たる速度構造までなので、ここでは、K-NET 熊本 (KMM006) を対象として、PS 検層モデルを J-SHIS モデル, JIVSM モデルの上層に結合したモデル (接ぎ木モデル) も作成し、理論増幅率を求めた。理論増幅率は、各地点での 1 次元速度構造モデルを基に、最下層に単位振幅の上昇波を鉛直入射させたときの地表での振幅として (Haskell, 1953) 求めた。なお、計算に使用する Q_s 値は、各モデルで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、各層の S 波速度 (V_s) から、 $Q_s = V_s/15$ で仮定した。

図 38 に KMM006 のサイト増幅特性と各モデルの S 波速度プロファイルおよびモデルに基づく理論増幅特性を示した。上段は、増幅率としては SIP モデル (浅部・深部統合モデル) および J-SHIS、JIVSM のオリジナルモデルとの比較、下段は J-SHIS と JIVSM モデルの浅い部分に PS-log モデルをつないだものとの比較をしている。微動アレイ探査等を丹念に行って作成された SIP モデルの増幅率は、観測サイト増幅特性を比較的よく再現していることがわかる。一方、JIVSM オリジナルモデルは、低周波数側は観測サイト増幅特性を類似しているが高周波数側ではモデルの増幅率は過小となっていて、J-SHIS オリジナルモデルでは、全体に過小である。一方 PS-log モデルをつないだものでは、どちらも周波数 2 ~ 4 Hz 付近の増幅特性の再現性はよくなっていることがわかる。

ここで示したように、周波数 1Hz くらいを境に、それより低周波数側は深い地盤構造モデルが主として影響し、それより高周波数側は浅い地盤構造モデルの影響も大きくなる。強震観測点位置での比較しかできないものの、このような自然地震記録の解析によって得られたサイト増幅特性とモデルによる理論増幅特性を比較することによって、地下速度構造モデルの検証に利用することができる。

表 10 スペクトルインバージョンに使用した観測点

観測点コード	緯度 (N° WGS)	経度 (E° WGS)	観測網	地点名
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	32.9320	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	32.3650	130.5099	K-NET	田浦
KMM014	32.3961	130.8268	K-NET	五木
KMM015	32.2161	130.4046	K-NET	水俣
KMM016	32.1966	130.7757	K-NET	人吉
KMM017	32.2561	130.9257	K-NET	多良木
KMM018	32.3942	130.3885	K-NET	龍ヶ岳
KMM019	32.4589	130.1938	K-NET	本渡
KMM020	32.3636	130.1807	K-NET	新和
KMM021	32.3793	129.9997	K-NET	天草
KMM022	32.1945	130.0265	K-NET	牛深
KMMH01	33.1089	130.6949	KiK-net	鹿北
KMMH02	33.1220	131.0629	KiK-net	小国
KMMH03	32.9984	130.8301	KiK-net	菊池
KMMH06	32.8114	131.1010	KiK-net	白水
KMMH07	32.6234	130.5584	KiK-net	三角
KMMH09	32.4901	130.9046	KiK-net	泉
KMMH10	32.3151	130.1811	KiK-net	新和
KMMH11	32.2918	130.5777	KiK-net	芦北
KMMH12	32.2054	130.7371	KiK-net	人吉
KMMH13	32.2209	130.9096	KiK-net	上
KMMH14	32.6345	130.7521	KiK-net	豊野
KMMH15	32.1704	130.3647	KiK-net	水俣
KMMH16	32.7967	130.8199	KiK-net	益城
FKOH10	33.2891	130.8170	KiK-net	浮羽
OITH11	33.2844	131.2118	KiK-net	九重
TMC	32.6063	130.9151	F-net	砥用
KMMP02	32.7154	130.6785	自治体	熊本市南区富合町
KMMP03	32.9038	130.6943	自治体	熊本市北区植木町
KMMP04	32.7092	130.7285	自治体	熊本市南城区南町

表 10 スペクトルインバージョンに使用した観測点（続き）

観測点コード	緯度 (N° WGS)	経度 (E° WGS)	観測網	地点名
KMMP05	32.4357	130.6571	自治体	八代市坂本町
KMMP06	32.5342	130.6333	自治体	八代市千丁町
KMMP07	32.5628	130.6491	自治体	八代市鏡町
KMMP08	32.5456	130.7167	自治体	八代市東陽町
KMMP09	32.5480	130.8087	自治体	八代市泉支所
KMMP10	32.9869	130.4328	自治体	荒尾市宮内出目
KMMP11	32.2122	130.4088	自治体	水俣市陣内
KMMP12	32.9171	130.5205	自治体	玉名市岱明町
KMMP13	32.8771	130.5556	自治体	玉名市横島町
KMMP14	32.8647	130.5930	自治体	玉名市天水町
KMMP15	32.5131	130.3147	自治体	天草市有明町
KMMP16	32.3401	130.3393	自治体	天草市御所浦町
KMMP17	32.4094	130.3407	自治体	天草市倉岳町
KMMP18	32.4220	130.2729	自治体	天草市栖本町
KMMP19	32.5122	130.1871	自治体	天草市五和町
KMMP20	32.3328	130.0796	自治体	天草市河浦町
KMMP21	33.0177	130.6907	自治体	山鹿市山鹿
KMMP22	33.1093	130.6940	自治体	山鹿市鹿北町
KMMP23	33.0279	130.7685	自治体	山鹿市菊鹿町
KMMP24	33.0011	130.7400	自治体	山鹿市鹿本町
KMMP25	32.9746	130.6841	自治体	山鹿市鹿央町
KMMP26	32.9794	130.8136	自治体	菊池市隈府
KMMP27	32.9696	130.7648	自治体	菊池市七城町
KMMP28	32.9466	130.8554	自治体	菊池市旭志
KMMP29	32.9224	130.7756	自治体	菊池市泗水町
KMMP30	32.6873	130.6588	自治体	宇土市浦田町
KMMP33	32.4401	130.4079	自治体	上天草市姫戸町
KMMP35	32.6467	130.6682	自治体	宇城市不知火町
KMMP36	32.5928	130.7038	自治体	宇城市小川町
KMMP37	32.6394	130.7495	自治体	宇城市豊野町
KMMP38	32.9715	131.0435	自治体	阿蘇市内牧
KMMP39	32.9324	131.2293	自治体	阿蘇市波野
KMMP40	32.8861	130.7895	自治体	合志市竹迫
KMMP41	32.8893	130.7446	自治体	合志市御代志
KMMP42	32.6394	130.7891	自治体	美里町馬場
KMMP43	32.9190	130.6286	自治体	玉東町木葉
KMMP44	32.9782	130.6061	自治体	和水町江田
KMMP45	33.0655	130.6226	自治体	和水町板楠
KMMP46	33.0615	130.5413	自治体	南関町関町
KMMP47	32.9299	130.4526	自治体	長洲町長洲
KMMP48	32.8791	130.8684	自治体	大津町大津

表 10 スペクトルインバージョンに使用した観測点（続き）

観測点コード	緯度 (N° WGS)	経度 (E° WGS)	観測網	地点名
KMMP49	32.8627	130.8283	自治体	菊陽町久保田
KMMP50	33.0982	131.0707	自治体	南小国町赤馬場
KMMP51	32.9950	131.2167	自治体	産山村山鹿
KMMP52	32.8352	130.9032	自治体	西原村小森
KMMP53	32.8222	131.0314	自治体	南阿蘇村河陰
KMMP54	32.8596	131.0011	自治体	南阿蘇村河陽
KMMP55	32.8255	131.0816	自治体	南阿蘇村吉田
KMMP56	32.7144	130.8016	自治体	御船町御船
KMMP57	32.7396	130.7570	自治体	嘉島町上島
KMMP58	32.7913	130.8167	自治体	益城町宮園
KMMP59	32.6511	130.8116	自治体	甲佐町豊内
KMMP60	32.6915	131.0866	自治体	山都町大平
KMMP61	32.7244	131.1649	自治体	山都町今
KMMP62	32.5824	130.6741	自治体	氷川町島地
KMMP63	32.5556	130.6827	自治体	氷川町宮原
KMMP65	32.2339	130.4398	自治体	津奈木町小津奈木
KMMP66	32.2010	130.8409	自治体	錦町一武
KMMP68	32.2760	130.9809	自治体	湯前町役場
KMMP69	32.3143	131.0091	自治体	水上村岩野
KMMP70	32.2354	130.7976	自治体	相良村深水
KMMP71	32.2470	130.7667	自治体	山江村山田
KMMP72	32.2523	130.6514	自治体	球磨村渡
KMMP73	32.2401	130.8978	自治体	あさぎり町免田東
KMMP74	32.2173	130.9007	自治体	あさぎり町上
KMMP75	32.2403	130.9295	自治体	あさぎり町岡原
KMMP76	32.2665	130.9003	自治体	あさぎり町須恵
KMMP77	32.2439	130.8729	自治体	あさぎり町深田
KMMP78	32.5135	130.0544	自治体	苓北町志岐
202	32.6848	130.6621	気象庁	宇土市新小路町
203	32.7894	130.8200	気象庁	益城町木山
5E5	32.4751	130.6076	気象庁	八代市平山新町
9CF	32.6476	130.6842	気象庁	宇城市松橋町
9D0	32.2990	130.4931	気象庁	芦北町芦北
9D1	32.2640	130.9358	気象庁	多良木町多良木
9D2	32.5874	130.4304	気象庁	上天草町大矢野町
CF7	32.9680	130.5302	気象庁	玉名市築地
CFE	32.5491	130.8127	気象庁	八代市泉町
D00	32.4683	130.1345	気象庁	天草市本町
EEB	32.7866	130.6876	気象庁	熊本市西区春日
EED	32.8803	131.0736	気象庁	南阿蘇村中松
EF0	32.2075	130.7606	気象庁	人吉市西間下町
EFE	32.1975	130.0267	気象庁	天草市牛深町

表 11 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 11 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 11 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

※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）

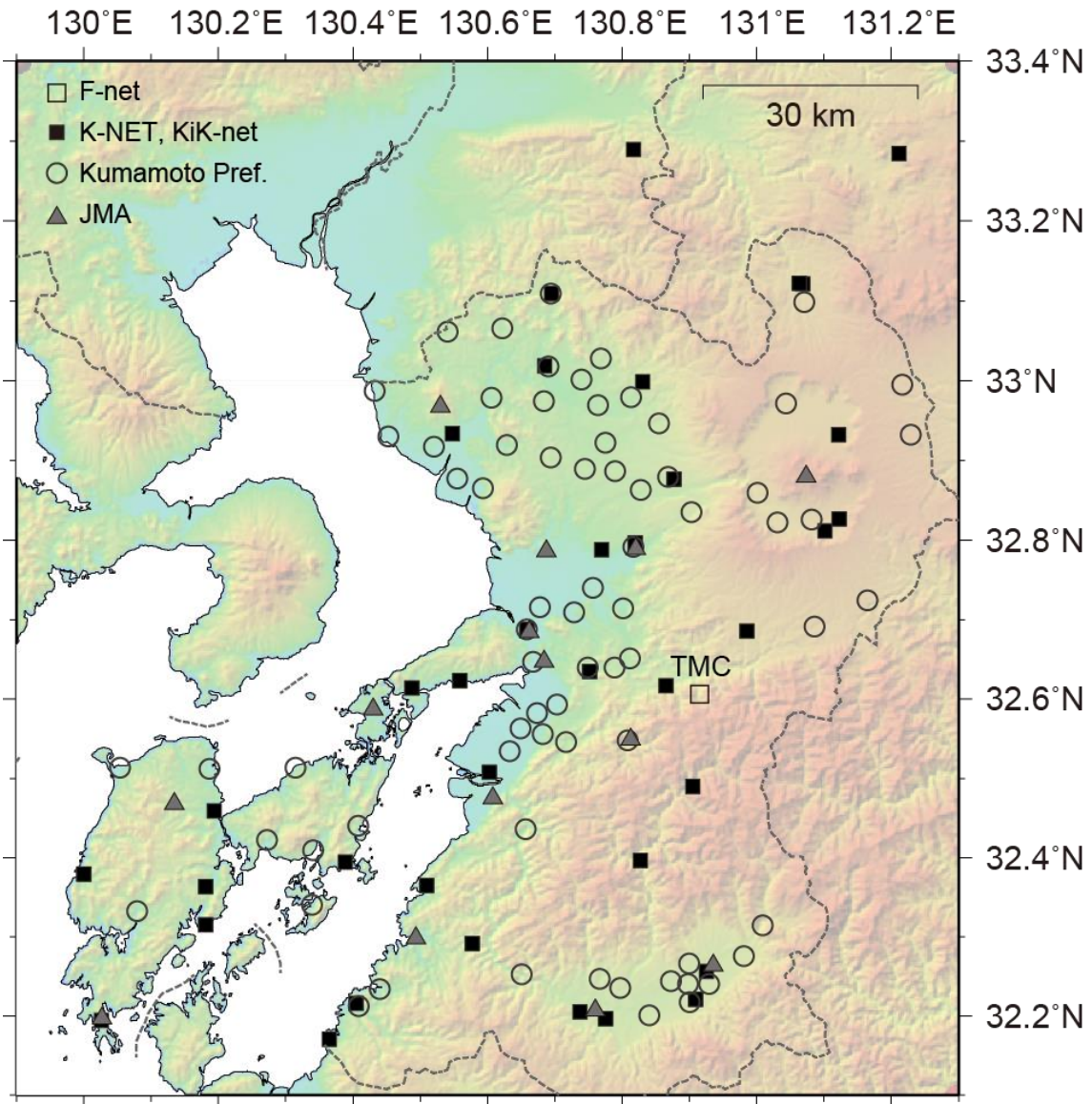


図 33 スペクトルインバージョンに使用した観測点の分布。白色四角印は F-net (TMC : 砥用)、黒色四角印は K-NET、KiK-net、丸印は熊本県の震度計、三角印は気象庁の震度計をそれぞれ表す。

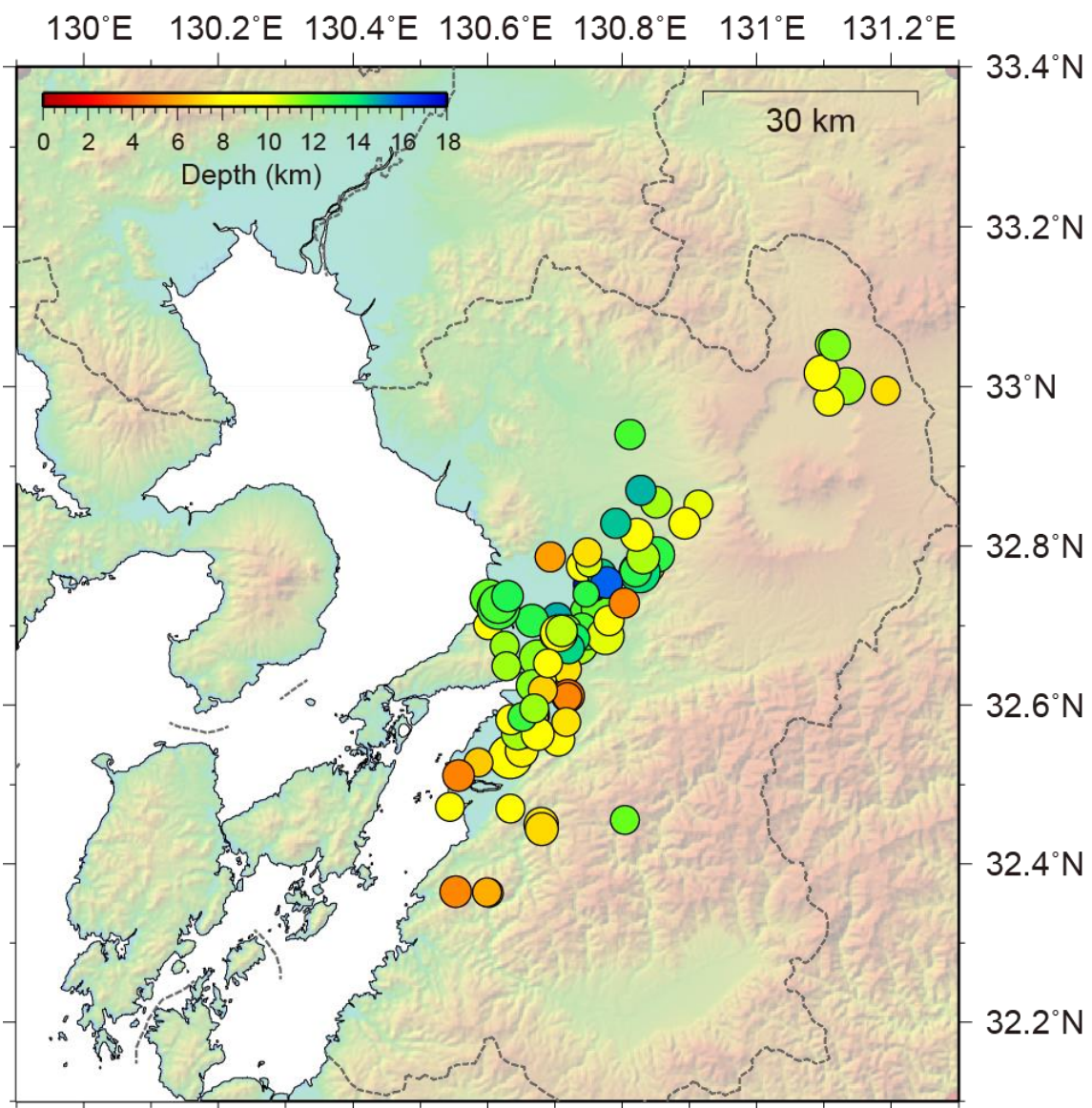


図 34 スペクトルインバージョンに使用した地震の震源分布

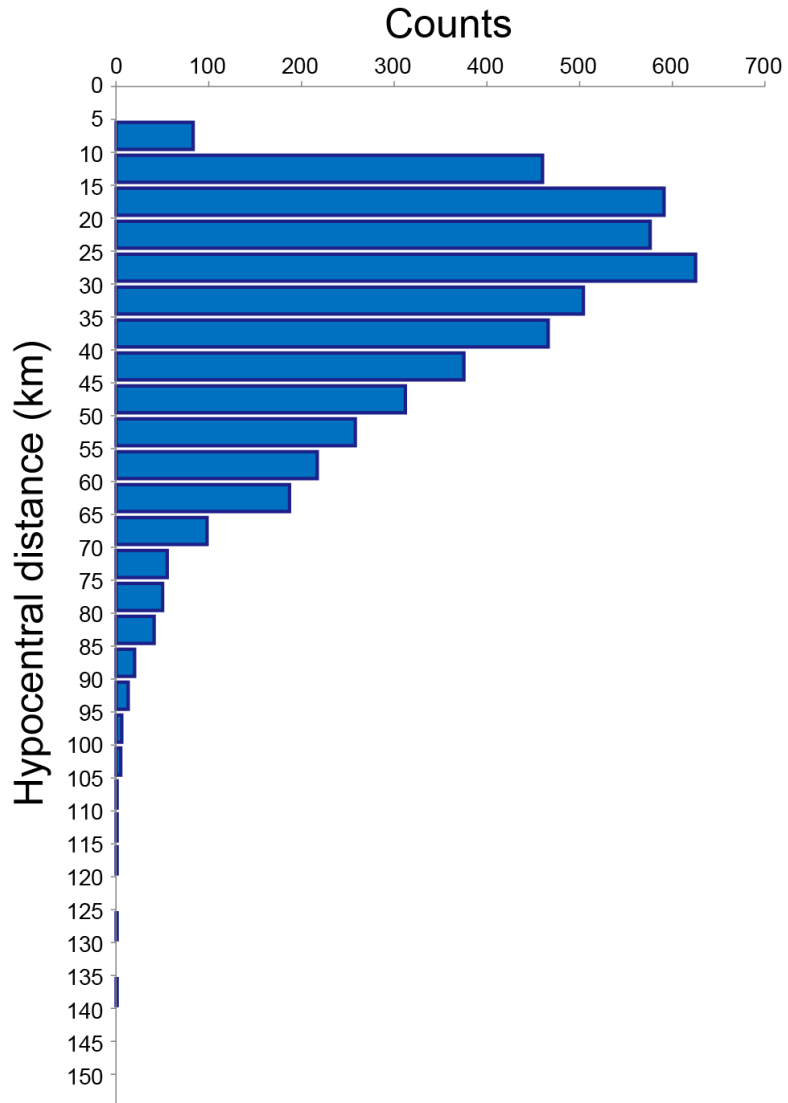


図 35 スペクトルインバージョンに使用した地震-観測点ペアの震源距離の頻度分布

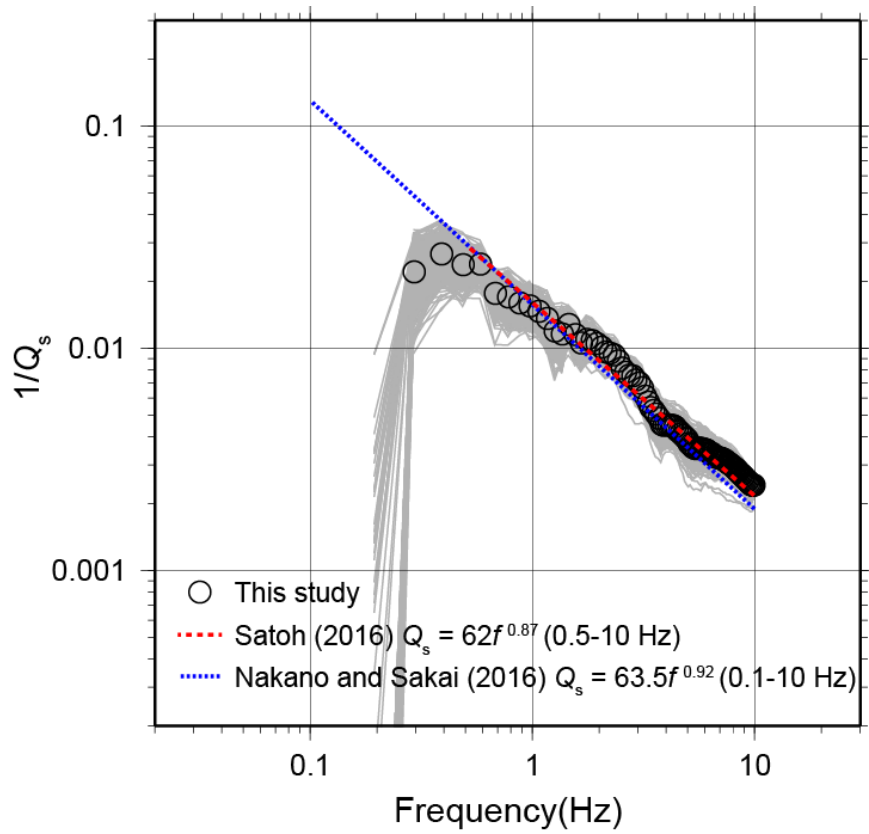


図 36 推定された $1/Q_s$ 値（黒色丸印）。赤色線と青色線はそれぞれ佐藤(2016)と仲野・境(2016)による $1/Q_s$ 値。灰色線はランダムケースの結果。

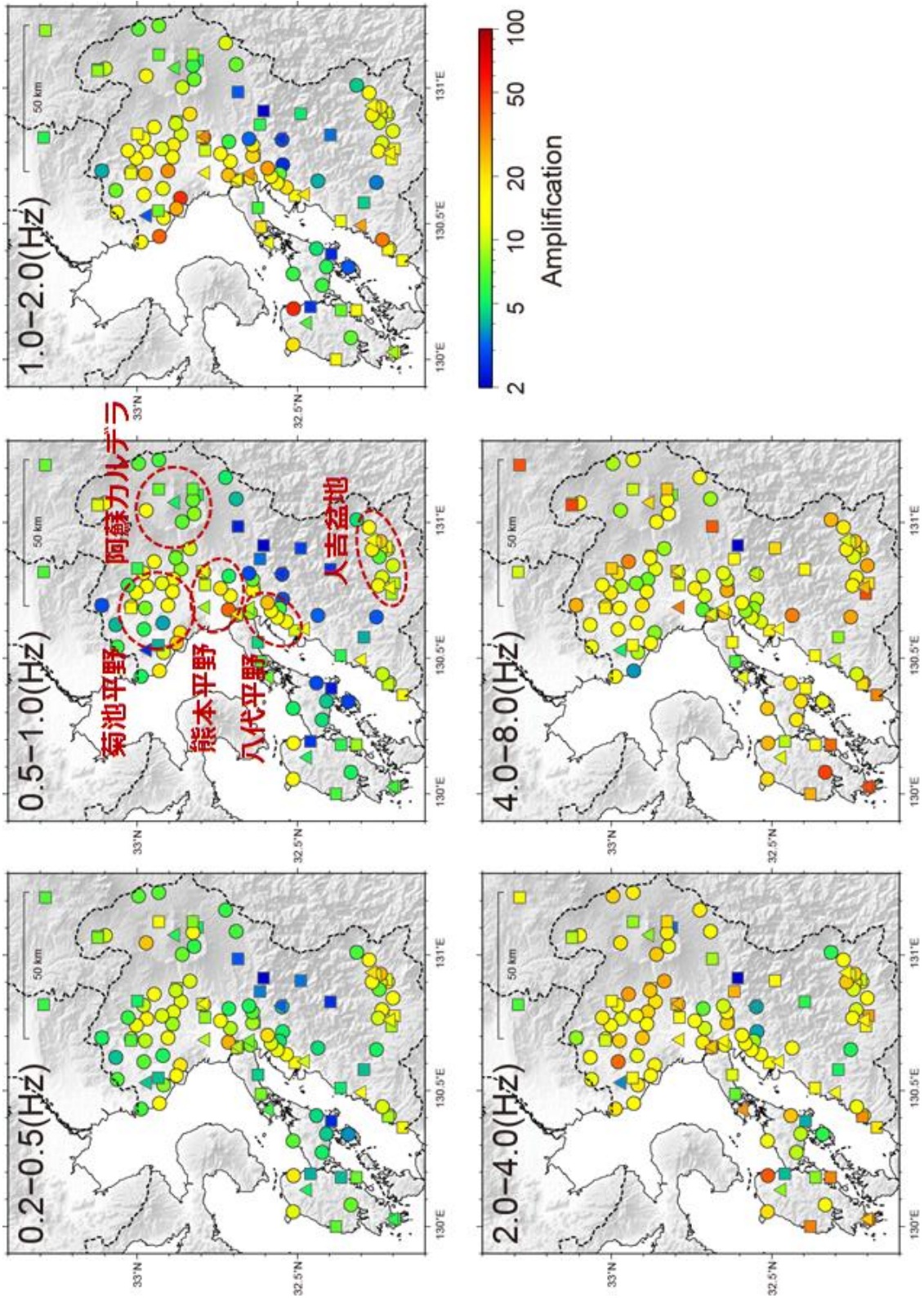


図 37 各観測点の周波数帯別サイト増幅特性

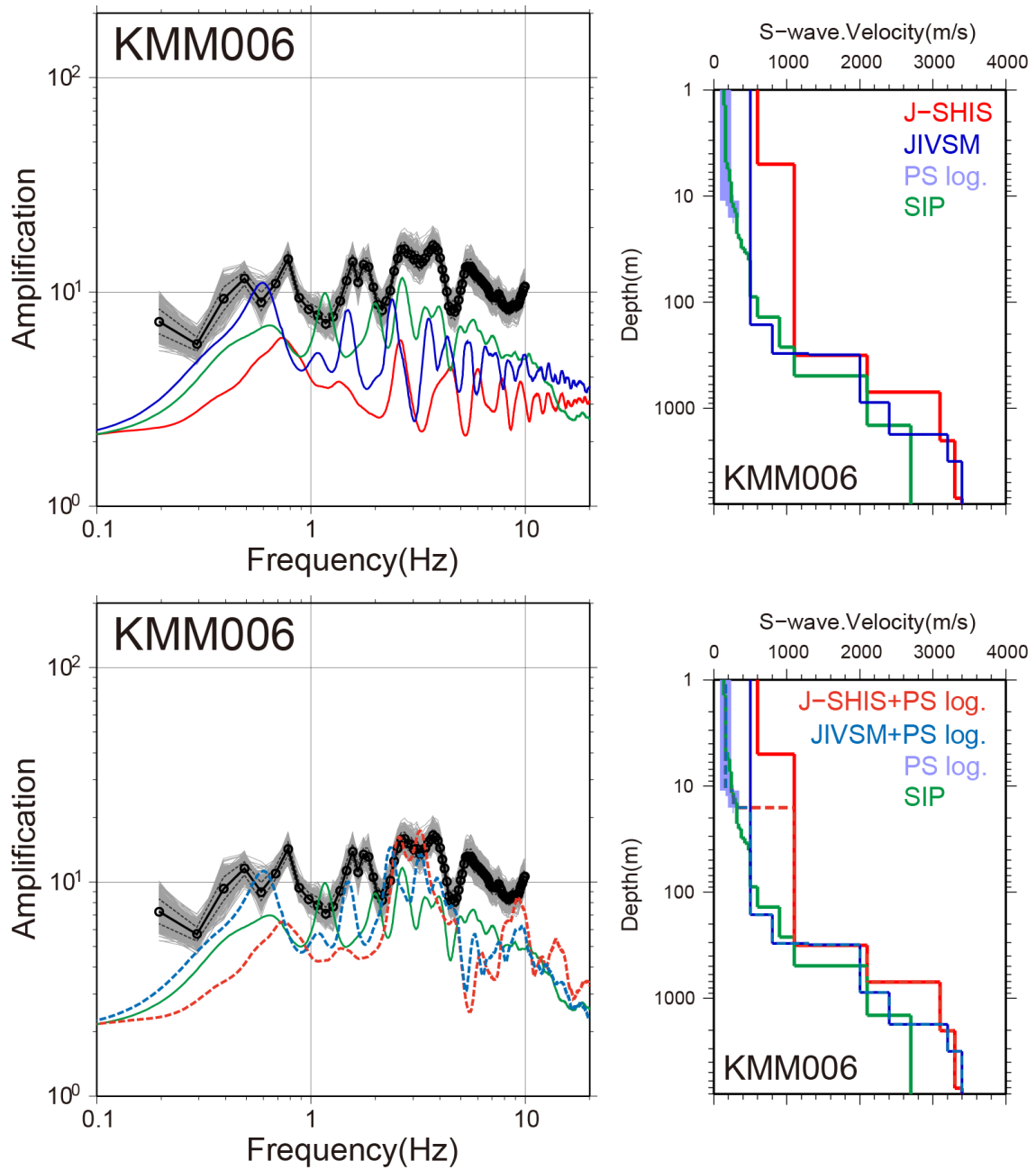


図 38 左) 観測サイト増幅特性 (黒抜き丸と黒線) と理論増幅率 (赤、青、緑の実線と破線) との比較。右) S 波速度構造モデルプロファイル。色の違いはそれぞれのモデルを表していて、左図の理論増幅率曲線と対応している。

7) 深井戸ボーリング情報の収集

これまでの調査から、熊本平野、八代平野といった地域において、堆積層を貫通して基盤面まで達するような学術ボーリングは存在しないことがわかった。そこで、その代替として、熊本市、宇土市、宇城市、八代市、嘉島町、益城町において掘削深度 500m 以上の温泉ボーリング調査で、報告書にボーリング地質柱状図等の記載があるものについての検索と情報開示を熊本県健康福祉部に行った。その結果は、平成 28 年度の熊本平野で実施された反射法地震探査の深度断面図の地質解釈を行うことに用いられ、また、本報告 1) の八代平野での反射法地震探査による深度断面図の解釈にも活用された。

今年度は、水俣市と人吉・球磨地域のボーリングについて情報開示をお願いした。水俣市においては、適切な温泉ボーリングが平野地域になく、堆積層厚情報につながる情報を得ることができなかった。人吉盆地については、堆積層厚情報に関する柱状地質図情報が得られている。例を表 12 に示す。既往の地下構造モデルに本報告で収集している S 波速度構造情報、さらにはこれらの深いボーリング情報を活用し、深い地盤構造モデルを検討する。

表 12 人吉盆地の地質柱状図の例（ボーリング長 600m、人吉市九日町）

深度 (m)	地質
0～2.5	表土
2.5～8	砂礫
8～556	泥岩・シルト岩・凝灰岩の互層（人吉層下部）
556～600	砂岩（四万十層）

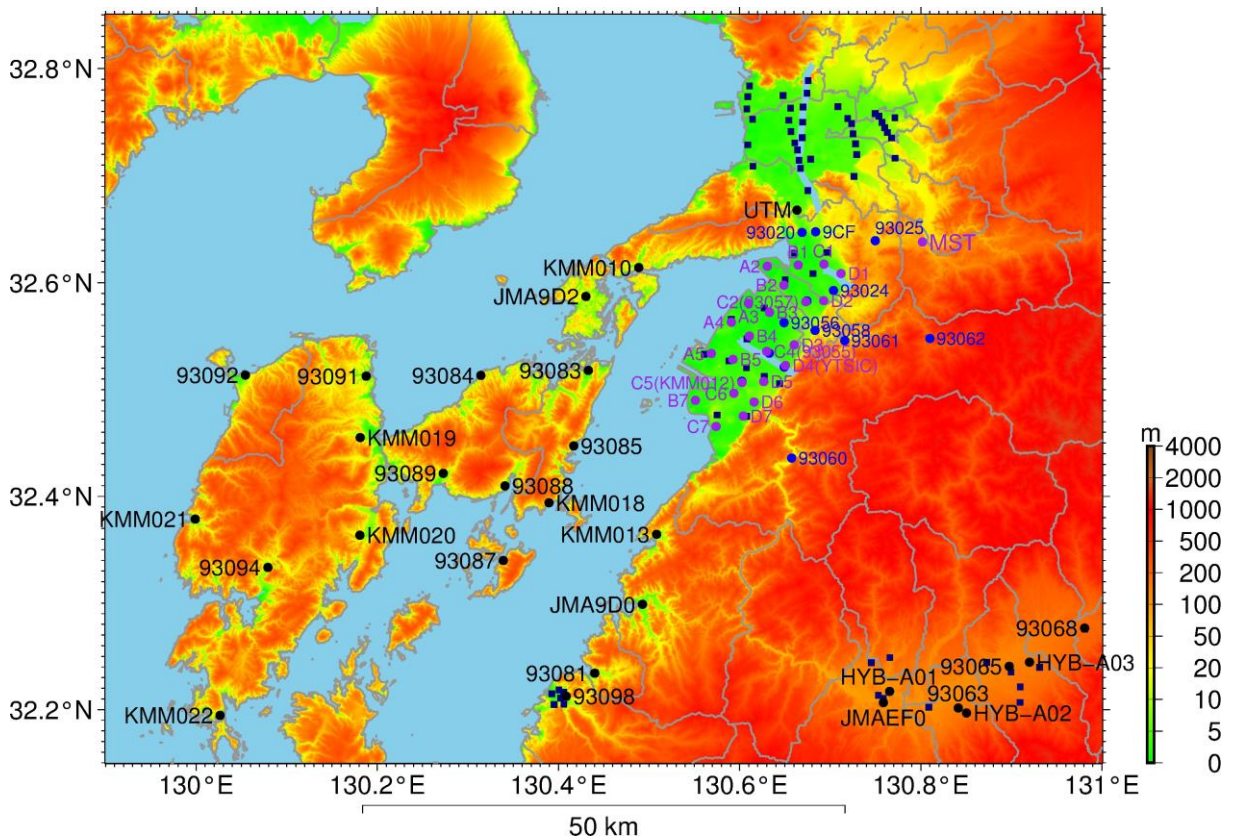
8) 三次元地下速度構造モデル高度化

これまで本報で報告、また平成 28 年度報告で示したように、多数の自然地震観測点、および微動アレイ探査、単点微動調査によって深部地盤および浅部地盤の S 波速度等を得てきた。これらの情報を踏まえ、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に関して、強い揺れに見舞われる可能性の高い地域の予測強震動の精度・信頼度向上を目指し、三次元地下速度構造モデルを高度化していく。図 39 は、強震観測データが公開・収集されている観測点、本調査観測で行った自然地震観測点、および微動観測点を集約し、地形図上に記載したものである。地図からわかるように、八代平野においては、特に多数の観測を行った。その結果は本報項目 3) ～ 5) に示されている。

八代平野に関しては、今年度実施した反射法地震探査により基盤面深度情報（堆積層厚情報）を得るとともに、微動アレイ観測と単点微動観測により S 波速度構造及び堆積層厚に関する情報を得ている。項目 2)、4)、6) の解析結果として、深い地盤構造モデルとしては既往の JIVSM モデルが観測結果との整合性が高いことがわかっている。このことから JIVSM モデルを出発点として、本調査観測で得られた各種地盤情報をモデルに反映させ、

モデルの高度化を進める。一方、天草の強震観測点周辺や人吉盆地において実施された微動アレイ観測結果は、そのサイトでの地下構造モデル構築に用いて、その地点のサイト増幅特性評価を行う。得られた地下構造モデルの妥当性を、自然地震観測記録などを用いて検証し、サブテーマ1、2と共同して作成する震源断層モデルに基づいてシナリオ地震による強震動予測を実施する。

なお、八代平野の基盤構造について得られている情報から考えられる構造を記す。図40は、表層地質図に、八代平野等で収集された深いボーリングサイトと項目1)で報告した八代平野の反射法探査測線を記載している。ボーリングサイトには、地質柱状図で堆積層下の基盤面に対応すると考えられる層の地質と出現深度(単位はm)を表示した。八代平野の東隣の丘陵・山地部は白亜系や変成岩、花崗岩などの基盤岩類で構成されている一方、地点は少ないもののボーリング地質柱状図に現れている基盤岩類も同様の岩相があることから、八代平野下も日奈久断層帯を挟む丘陵山地側に現れている基盤岩類と同様な岩相で構成されていると予想できる。基盤岩を構成する岩相により、地震波速度は異なると考えられるが、それらを区別するだけの地下の地震波速度情報が十分にはないことから、深部地盤構造モデルの高度化には既往モデルの状況等を考慮してモデル化を進める必要があると考える。



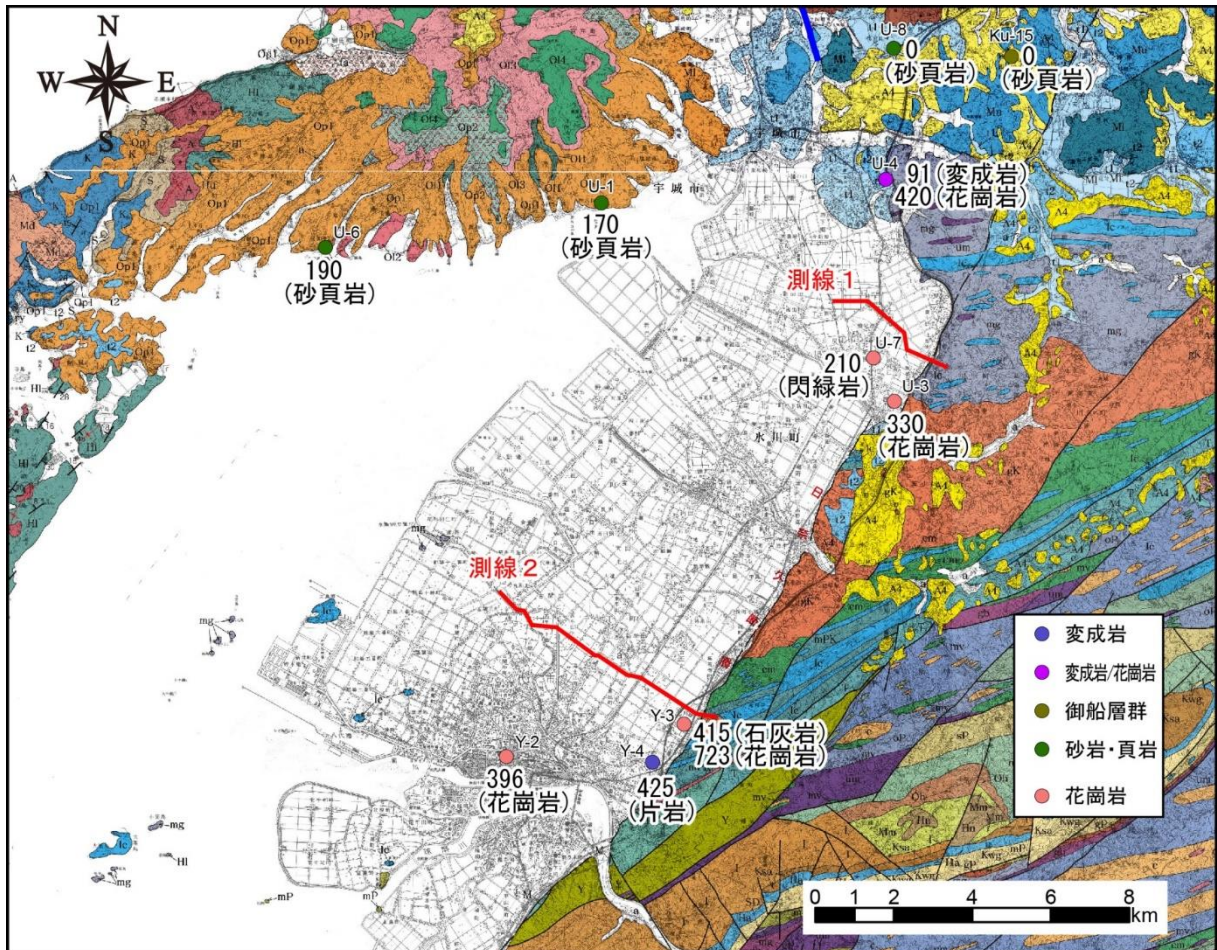


図 40 八代平野および周辺部の地質図と深いボーリング地点およびそれら地質柱状図から得られた、基盤岩類と考えられる岩相名とその出現深度（単位m）。項目 1）の宇城測線（測線 1）と八代測線（測線 2）も記載した。

(c) 結論ならびに今後の課題

本報においては、平成 30 年度に実施する予定の布田川・日奈久断層帯を震源断層とする強震動予測に向けて、強い揺れに見舞われる想定となる可能性の高い地域の地盤速度構造モデルの高度化を目指した調査観測をすすめた。1) 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 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くことがわかつ

た。2) 八代平野における微動アレイ観測：八代平野を網羅的にカバーする微動アレイ観測を多数実施し、堆積層内および基盤における S 波速度に関する基礎情報を得た。得られた観測分散曲線と既往の速度構造モデルより得られる理論分散曲線を比較すると、多くの地点で JIVSM の速度構造モデルによる分散曲線との対応がよいことがわかった。3) 八代平野と熊本平野の接合部での微動観測：対象地域での微動アレイ観測と単点微動観測を実施し、S 波速度構造及び堆積層厚に関する情報を得た。微動の H/V スペクトル比のピーク周波数の空間分布を用いて、この地域のモデル接続に活かすことができると考えられる。4) 熊本県震度情報ネットワーク観測点等における微動アレイ観測：天草諸島、葦北地域及び人吉盆地地域の当該観測点周辺での微動アレイ観測を実施した。浅い地盤の S 波速度構造に関する情報を得ることができ、項目 6) の観測点サイト特性との比較を今後行う。5) 八代平野を中心とした余震，微動アレイ観測：八代平野の震動特性評価のため、八代平野を中心とした地域において臨時の強震連続観測を実施し、観測点サイトでの小半径微動アレイ観測を実施した。余震活動が低下していく中で、共通のイベント記録を得ることができ、今後の地下構造モデルの検証に活用することができる。6) 熊本県震度情報ネットワークシステム波形データを用いた観測点サイト特性評価：平成 28 年度に収集した熊本県震度情報ネットワークシステム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、地下構造モデルの検証を開始した。熊本平野、八代平野などいわゆる厚い堆積層が広がる地域では、周波数 1 Hz 以下での地震動増幅が見られた。7) 深井戸ボーリング情報の収集：平成 28 年度に引き続き、深井戸の地質柱状図の収集を行った。今回収集した人吉盆地の深井戸地質柱状図を、項目 4) で行われている微動アレイ観測で得られた分散曲線情報に加えて地下構造モデル構築時に活用していく。8) 三次元地下速度構造モデル高度化：本報および昨年度の報告に基づき、対象地域の三次元地下速度構造モデルの高度化の方針についてまとめた。

平成 28 年度及び今年度の各種調査によって対象地域の地盤構造モデルに関する情報を得ることができた。これらのデータを活用し、既存の地盤構造モデルの高度化を進める。深い地盤構造モデルとしては既往の JIVSM モデルが観測結果との整合性が高いことがわかった。平成 30 年度は、JIVSM モデルを出発点として、本調査観測で得られた各種地盤情報をモデルに反映させて、モデルの高度化を進める計画である。得られた地下構造モデルの妥当性を検証し、サブテーマ 1、2 と共同して作成する震源断層モデルに基づいてシナリオ地震による強震動予測を実施する。

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气象台、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たことができました。記して感謝いたします。

(d) 引用文献

Aoi, S., T. Kunugi, H. Nakamura, and H. Fujiwara, Deployment of new strong motion seismographs of K-NET and KiK-net, in Earthquake Data in Engineering Seismo

- logy, 167-186, eds Akkar, S., Gülkan, P. & van Eck, T., Springer, 2011.
- 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.
- 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.
- 福山英一・石田瑞穂・D. S. Dreger・川井啓廉, オンライン広帯域地震データを用いた完全自動メカニズム決定, 地震2, 51, 149-156, 1998.
- 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, 2014.
- 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.
- Koketsu, K., H. Miyake, and H. Suzuki, Japan Integrated Velocity Structure Model Version 1, Proc. 15th World Conf. Earthq. Eng., 2012.
- Konno, K. and T. Ohmachi, Ground-Motion Characteristics Estimated from Spectral Ratio between Horizontal and Vertical Components of Microtremor, Bull. Seismol. Soc. Am., 88, 228-241, 1998.
- 熊本県地質図編纂委員会, 熊本県地質図 (10 万分の 1) および同解説書, 117pp., 2008.
- Lawson, C. L., and Hanson R. J., Solving least squares problems, Prentice-Hall, New Jersey, 340 pp, 1974.
- 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.
- Nishimae, Y., Observation of seismic intensity and strong ground motion by Japan Meteorological Agency and local governments in Japan, J. Jpn. Assoc. Earthq. Eng., 4(3), 75-78, 2004.
- 信岡尚道・鍋谷泰之・住岡直樹・北野利一, 極値統計法に基づく極低頻度までを対象とした津波リスクマップの基礎的研究, 土木学会論文集B2, 69-2, 1351-1355, 2013.
- 斎藤 真・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, 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, 数値地質図 P-2 「日本重力データベース DV

D 版」, 2013.

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.