

3.5.3 高密度強震観測に基づくモデル化

3.5.3.1 研究課題全体の成果

菊地正幸（東大地震研）
鷹野 澄（東大地震研）
笹谷 努（北大理）
松波孝治（京大防災研）
竹中博士（九大理）

(1) 研究の背景と目的

高精度の強震動予測を行うためには、震源モデルの構築、広域地下構造モデルの構築、表層地下構造モデルの構築などの高精度化を進める必要がある。これを進めるにあたって必要不可欠なものが、大都市圏をカバーする広域かつ高密度の強震観測網の観測波形データである。広域かつ高密度の強震観測網から得られる観測データは、震源モデルと地下構造モデルから推定される強震動推定値と比較することによって、これらのモデルの検証や改善を可能にする。また、強震動シミュレーションから得られる理論波形データと観測波形データを比較することによって、シミュレーション手法の検証と改善を可能にする。

平成 11 年度の補正予算により、6 大都市圏の各拠点大学に、大都市圏強震動総合観測ネットワークが整備され、これまでほとんど収集がされていなかった自治体等の震度計の強震波形データの収集が、大都市の自治体等の協力のもとに開始された。首都圏においてもこれまで 5 都府市の震度計の波形データが東大地震研に収集され、首都圏強震動総合ネットワーク（SK-net）として整備されている。データが揃いはじめた平成 15 年度からは、地震研究所の共同利用を利用した共同研究体制もスタートしている。また、近畿圏においても京都大学防災研究所が中心となって、京阪神地域の大阪府、京都市、滋賀県の震度計の波形データが収集され整備されている。

今回の大大特プロジェクトにおいて、我々は、これまでの大都市圏強震動総合観測ネットワークを強化して高密度強震波形データベースを充実していく予定である。またそれにより、高密度強震観測データを用いた、地下構造モデルの検証、モデルの高精度化のための手法の開発、強震動の伝播特性の解明、強震動シミュレーションの検証、等の研究を推進していく予定である。

(2) 大都市圏強震動総合観測ネットワークのデータベースの充実

東大地震研では、首都圏強震動総合ネットワーク SK-net としてこれまで、図 1 に示すように、5 都府市の 7 つの強震観測網から約 4 7 0 点の強震波形データを収集している。これに防災科研の K-net/KiK-net の観測点（5 都府市でおよそ 1 0 0 点）を加えると、5 都府市で約 5 7 0 点の観測点があることになる。各観測網のデータは、各自治体等の観測システムの現状に応じて、オンラインやオフラインで数日から 1 年遅れで収集されて、共通のデータフォーマットに変換されて保存されている。このため全部のデータが集まり、利

用可能になるには、1年以上かかっている。図2には、これまでに集められたものの中から、SK-netとK-net、KiK-netをあわせて100点以上の波形データが収集できた地震の分布である。また図3は、400点以上の波形データが収集できた地震の加速度マップを示したものである。

このように首都圏では、利用可能なデータが集まってきてはいるが、首都圏の広域地下構造モデルを構築するには、これまでの5都府市のみのデータではまだ不十分で、その周辺の自治体のデータもしばしば必要となる。しかし残念ながら、各自治体は波形データを収集していないので、今回、大大特プロジェクト等の経費支援を得て、首都圏周辺の自治体の震度計の波形データの収集に着手することにした。今年度は、山梨県の協力のもと、県の震度計64点の波形データの収集システム(図4)を県庁に設置させて頂き、ダイヤルアップによる収集を開始した。今後、群馬県、栃木県、茨城県、静岡県などの周辺各自治体にも協力をお願いして波形データの収集と整備を進める予定である。

京都大学防災研究所では、これまで近畿圏を対象として、次のような装置から成る大都市圏強震動総合観測ネットワークを整備している。(1)強震動基準観測装置：良質の記録を観測可能な基準観測点から波形データを収集しデータベース化する。(2)強震動波形ネットワーク装置：自治体の計測震度情報ネットワーク及び強震動観測装置から波形データを収集し、共通フォーマットでデータベース化する。(1)については、既存の高感度微小地震観測点(3点)にKNET95仕様準拠の強震計が併設された。観測点は、阿武山、上賀茂、宇治田原である(図5)。(2)については、近畿、特に京阪神地域を対象としてこのプロジェクトを進めてきたが、これまでに、大阪府と滋賀県の計測震度情報ネットワークと京都市消防局ネットの波形データを収集・整備した。大阪府は計47点、滋賀県は計50点、京都市は計13点である(図8の観測点分布参照)。このプロジェクトへの自治体の対応は、それぞれ異なり、大阪府はオンライン自動転送(図6)、滋賀県はオフライン(MO渡し)(図7)、京都市はオンラインである。今後、京都府、兵庫県、奈良県等にも協力を呼びかけ、波形データの収集・整備を行う予定である。(1)、(2)のデータは、公開用データサーバに蓄積されつつある。(http://www.sms.rcep.dpri.kyoto-u.ac.jp)

上記ウェブ上で地震リスト、震央マップ、観測点リスト、観測波形、最大加速度分布を見ることができ(図9に最大加速度分布の例を示した)。また、波形データのダウンロードも可能である。しかし、波形データの公開については、自治体によりその対応は若干異なる。基本的には、波形データの使用については管理機関である京大防災研究所が判断して自治体に許可申請をすることになる。大阪府については、一般個人にはデータは提供できないが、「関西地震観測研究協議会」を通して提供を受けることが可能である。この件については、今後も各自治体と協議を続けて行く。

(3) 強震観測データを用いた地下構造モデルの検証

北海道大学では、今年度、札幌市が平成13年度に市内に展開した震度計ネットワークの観測データを解析して、札幌市地下構造モデルの検証を行っている。(笹谷、本報告書)。今後の高密度強震動観測データの充実により、それぞれの大都市圏において、同様な地下構造モデルの推定と検証が進展し、高精度化が進むものと期待される。

(4) 強震観測データを用いた地下構造モデルの高精度化のための手法の開発

東大地震研では、高密度強震波形データを用いて、観測点直下の表層地盤構造を推定する手法を開発している。山下・菊地は、観測波形データから、変換波のインパルス応答 (receiver function) を求めて表層地盤構造を推定する手法を提案している (山下修士論文)。また、津田・瀧瀬は、観測波形データから、震源や経路の影響を分離し、各観測点における地盤増幅特性を評価する手法を提案している (津田修士論文)。

(5) 強震観測データを用いた強震動の伝播特性の解明

東大地震研や横浜市大のグループでは、高密度強震波形データを用いて首都圏における表面波の伝播過程を解明し、伝播経路に起因する強震動の生成過程の解明を進めている (Koketsu and Kikuchi, 2000、石原・斉藤・菊地 2000 など)。

(6) 強震観測データを用いた強震動シミュレーションの検証

東大地震研では、震源モデルと地下構造モデルを仮定して強震動シミュレーションを行い、実際の観測波形データと比較検討し、強震動シミュレーションの検証を行った (古村 2002、Afnimar 博士論文 2002)

(7) 平成 15 年度の研究計画

大都市圏の広域高密度強震観測データは、地下構造モデルの検証と高精度化に必要な不可欠なものである。このため、平成 15 年度も引き続き、首都圏周辺の自治体等の強震波形データの収集を進めデータベースを充実する。また高密度強震観測データを用いた、地下構造モデルの検証、モデルの高精度化のための手法の開発、強震動の伝播特性の解明、強震動シミュレーションの検証、等の研究を推進していく。

引用文献

- 1) 鷹野, 菊地, 山中, 瀧瀬, 古村, 工藤, 卜部, 武尾: 首都圏強震動総合ネットワークと Seismic Kanto プロジェクト, 震災予防, No. 184, pp22-25, 2002.
- 2) 首都圏強震計ネットワーク報告書, 平成 14 年 2 月, 東京大学地震研究所, 2002.
- 3) 笹谷, 谷: 札幌震度計ネットデータの解析, 本報告書, 2003.
- 4) 松波, 大見: 近畿における大都市圏強震動波形ネットワーク, 日本自然災害学会、2002 年 9 月 宮崎大学
- 5) 松波, 大見: 近畿における大都市圏強震動波形ネットワークについて、地球惑星科学関連学会、2002 年 5 月 東京
- 6) 山下: 強震計記録を用いた Receiver Function による表層地盤特性の推定, 修士論文, 2002
- 7) 津田: 横浜市高密度強震計ネットワーク記録を用いた地盤増幅特性の評価、修士論文, 2002
- 8) Koketsu, K. and M. Kikuchi: Propagation of seismic ground motion in the Kanto basin, Japan, Science, 288, No.19, 1237-1239, 2000.

- 9) 石原, 斉藤, 菊地: 高密度強震計ネットワークを活用した平野部地下構造解析、地震学会秋季大会、A74、2000
- 10) 古村, 纈纈: 2000年鳥取県西部地震の強震動と数値シミュレーション、地震研究所広報, 2002
- 11) 古村孝志, 纈纈一起, 竹中博士: 大規模3次元地震波動場(音響場)モデリングのためのPSM/FDMハイブリッド型並列計算法, 物理探査, 53, 294--308, 2000.
- 12) Afnimar: Joint inversion of refraction and gravity data for 3-D basin structures, PhD thesis, University of Tokyo. 2002

成果の論文発表・口頭発表等

1) 論文発表

著者	題名	発表先	発表年月日
なし			

2) 口頭発表、その他

発表者	題名	発表先、主催、発表場所	発表年月日
松波・大見	近畿における大都市圏強震動波形ネットワーク	日本自然災害学会、宮崎大学	2002年9月

首都圏強震計ネットワーク観測点分布

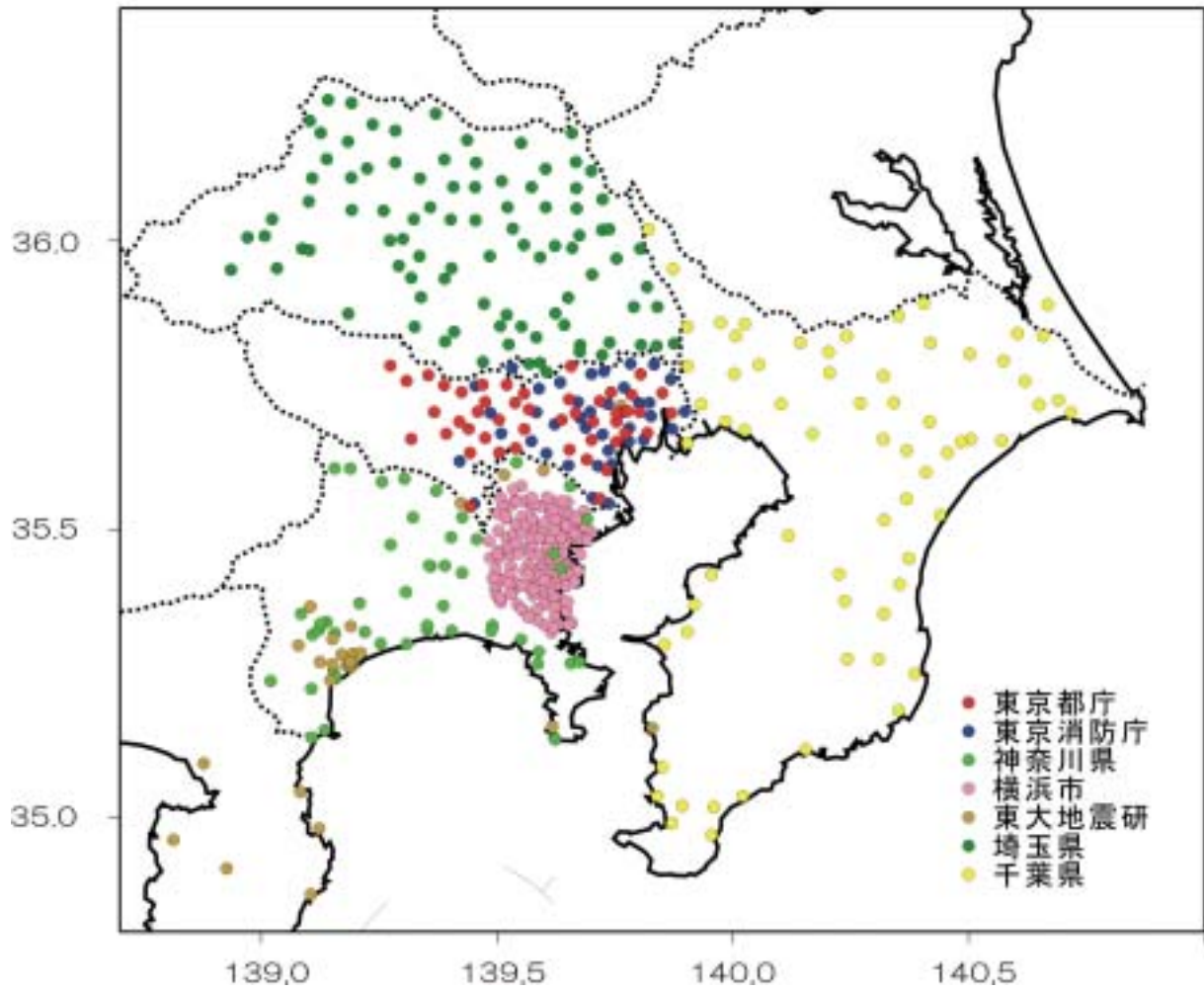


図1 SK-net 観測点の分布

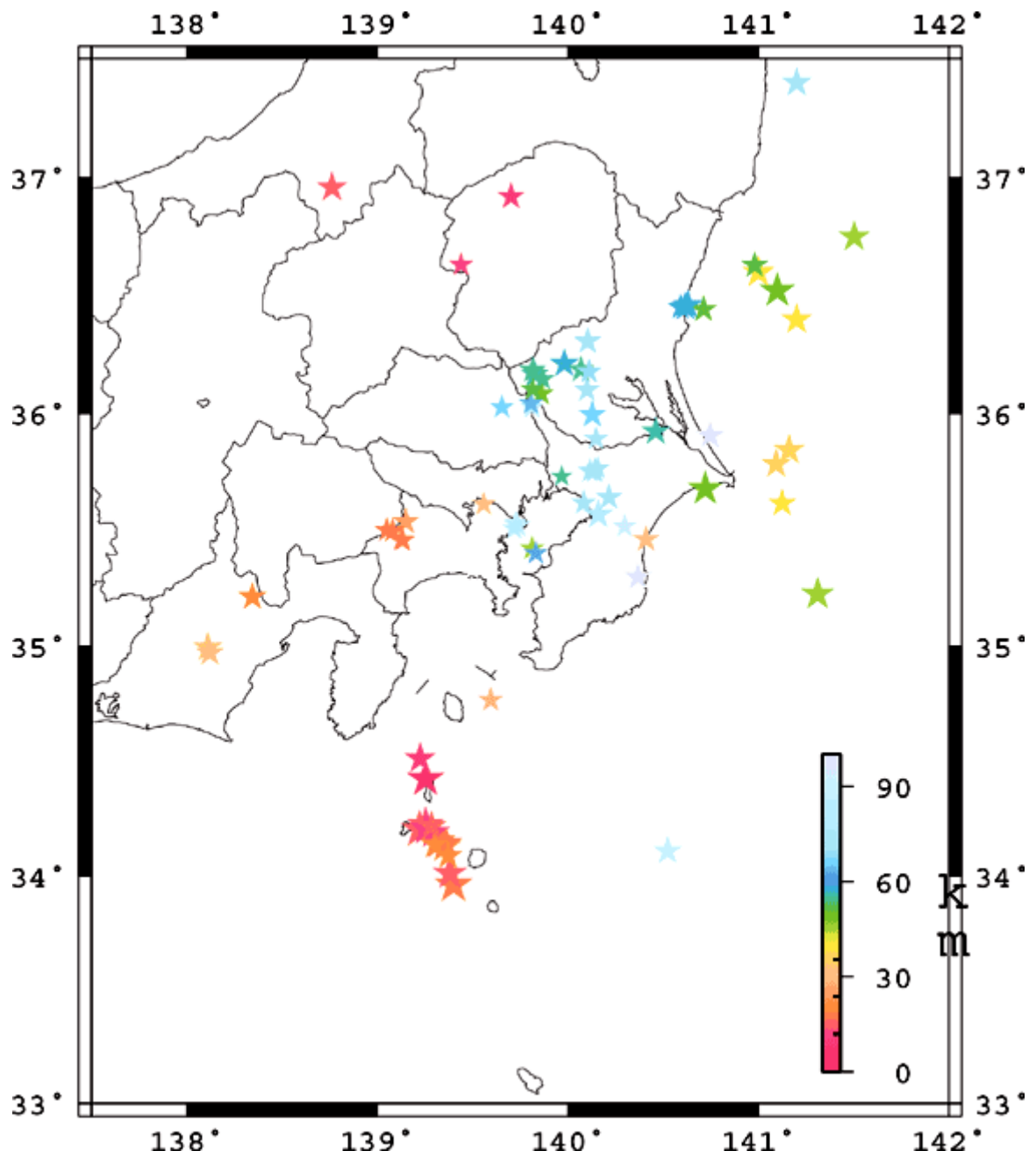


図2 SK-net と K-net、KiK-net で 100 点以上の波形データが収集された地震

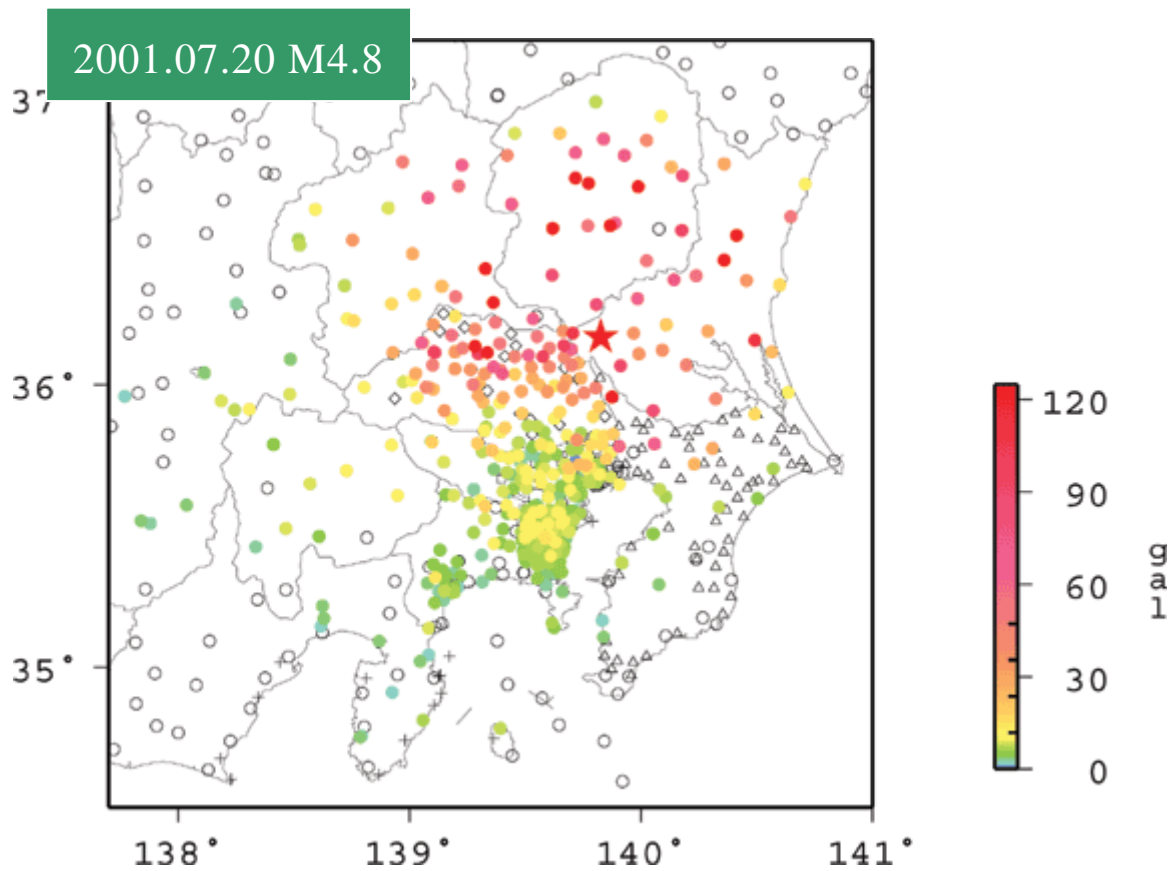
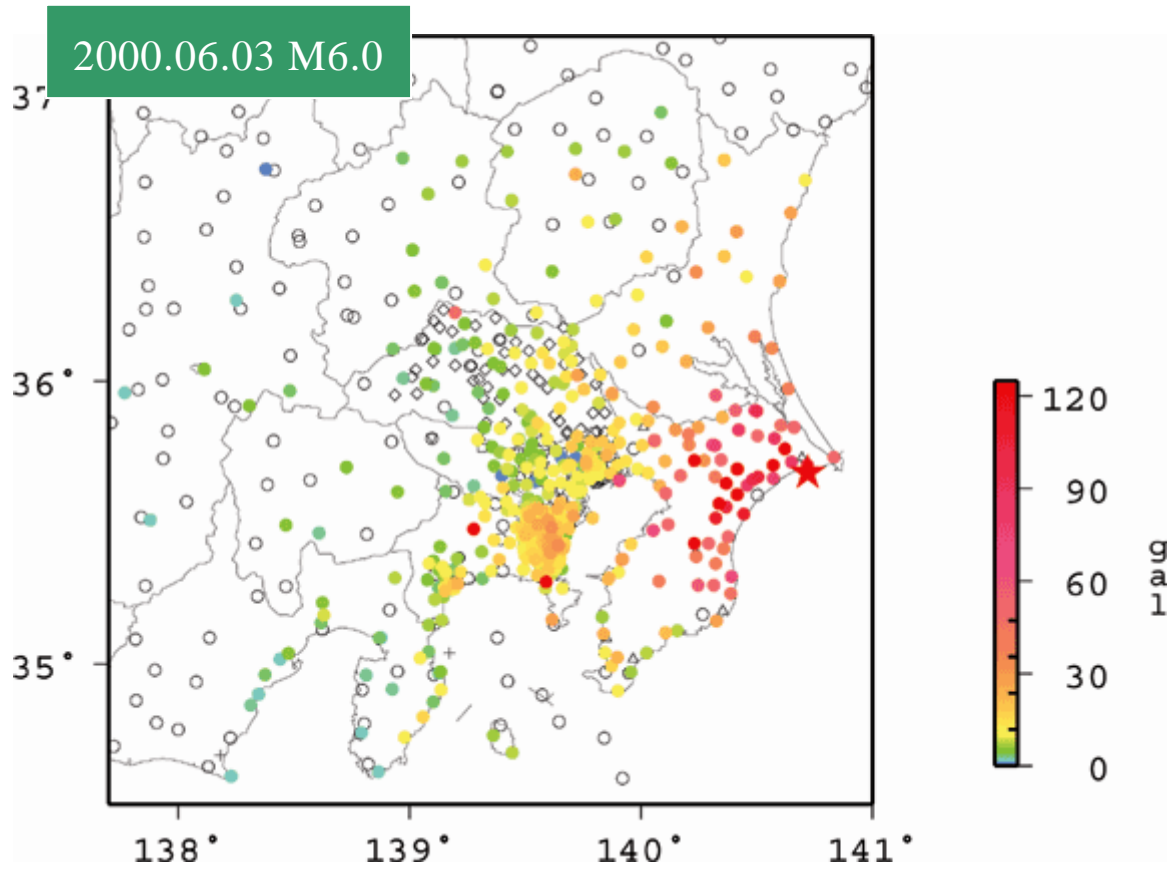


図3 SK-net、K-net、KiK-netで400点以上のデータが収集された地震の加速度マップ

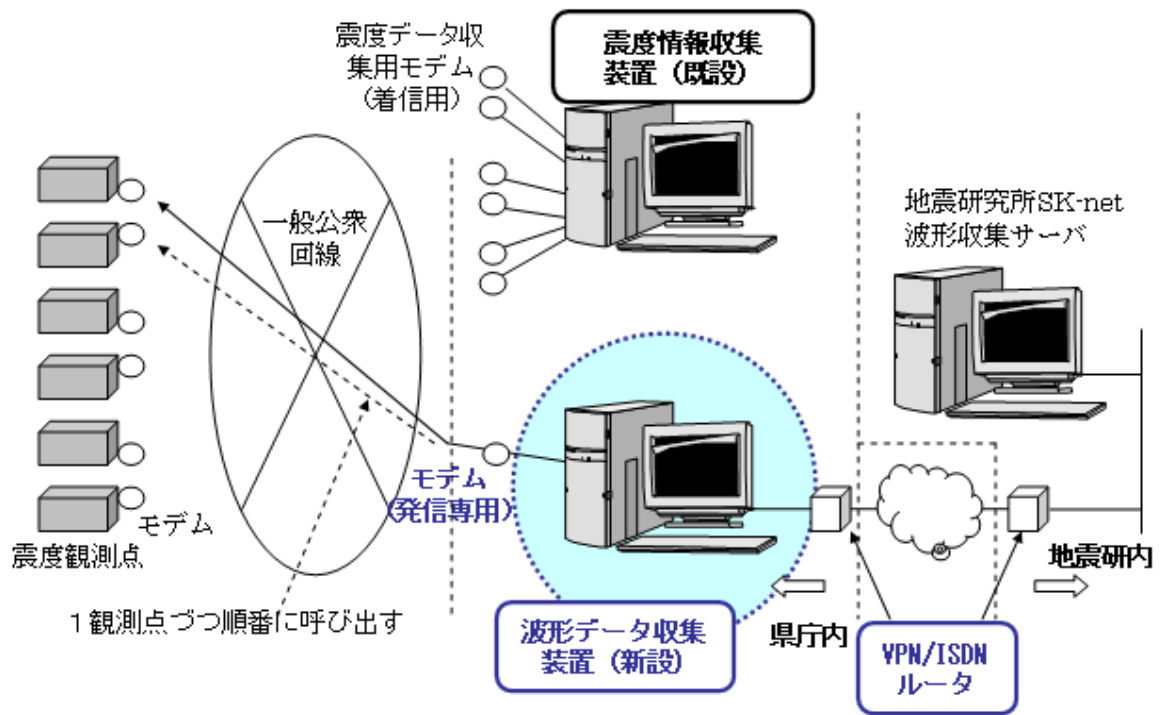


図4 山梨県の波形データ収集システム（平成15年4月～）

強震基準観測点のデータ処理ブロック図

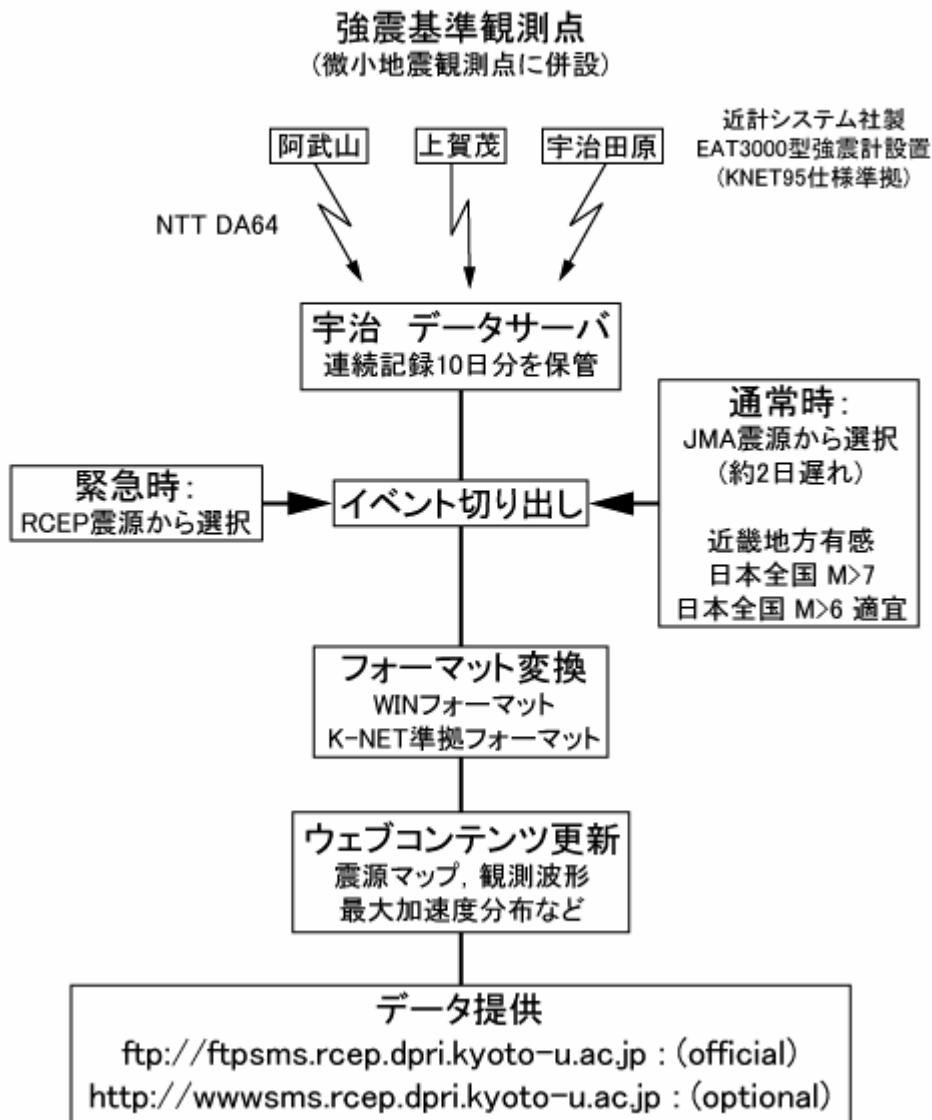


図5 基準観測点データ処理ブロック図

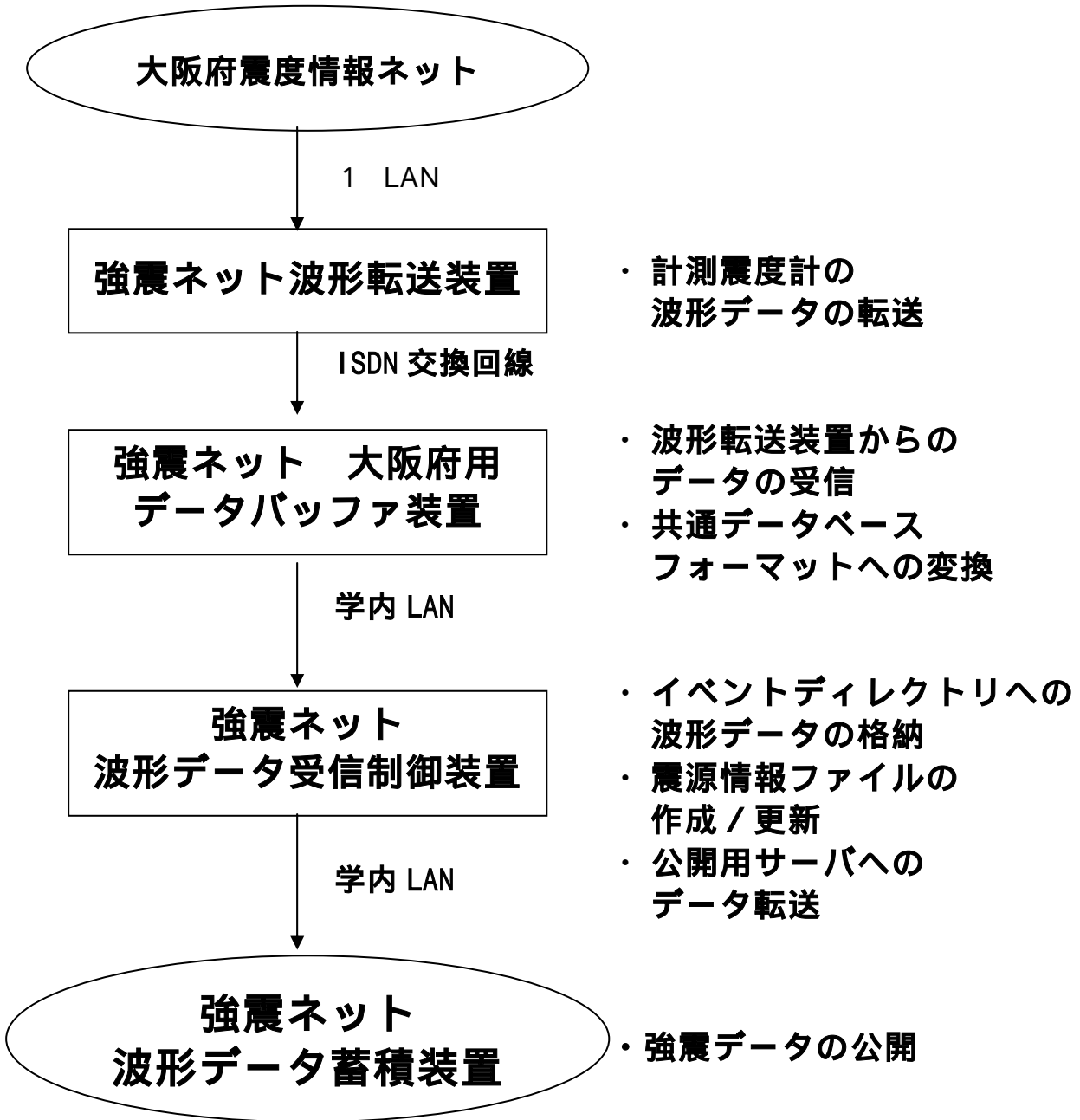


図 6 強震動波形ネットワーク大阪府データの流れ

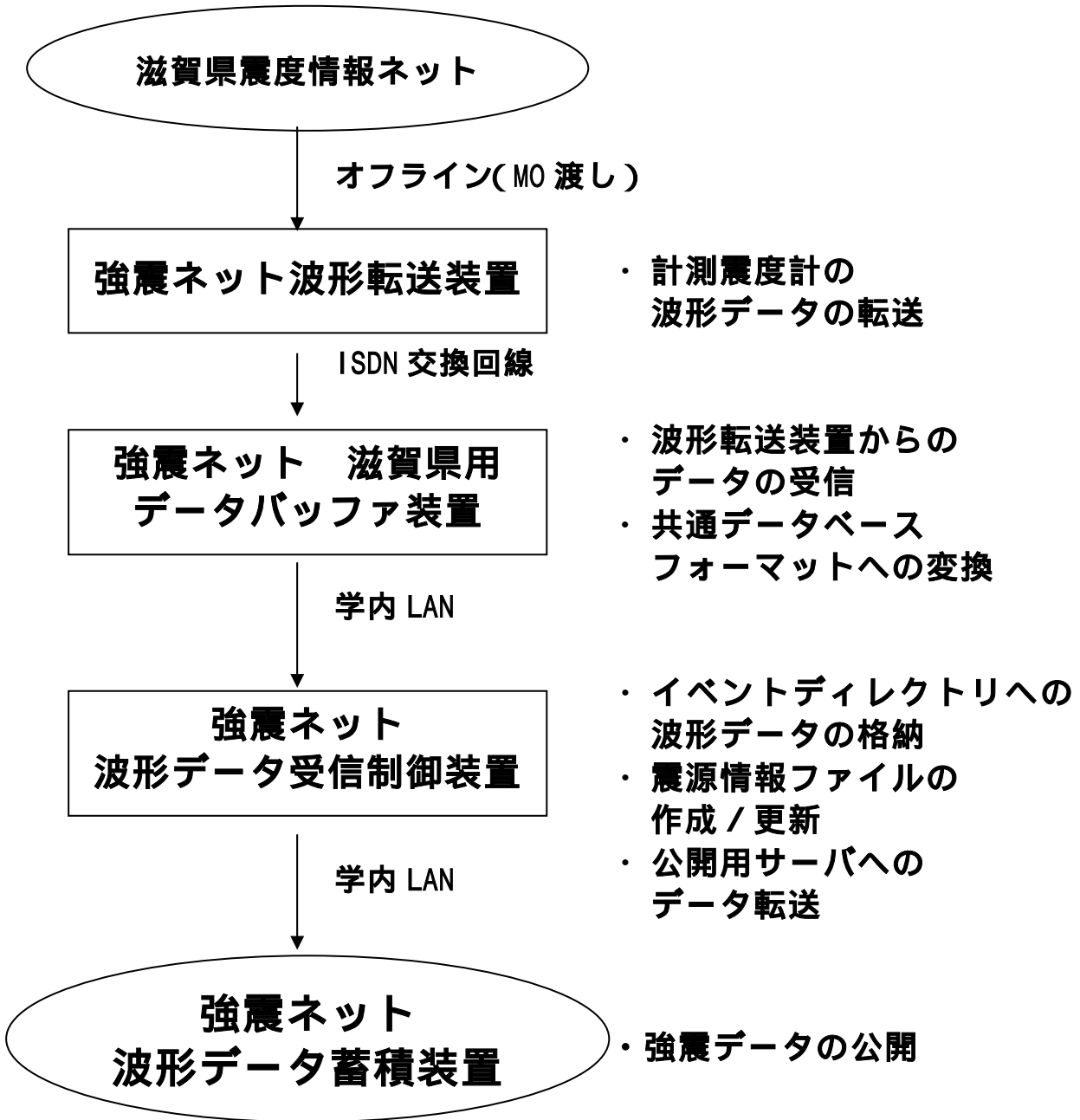


図7 強震動波形ネットワーク滋賀県データの流れ

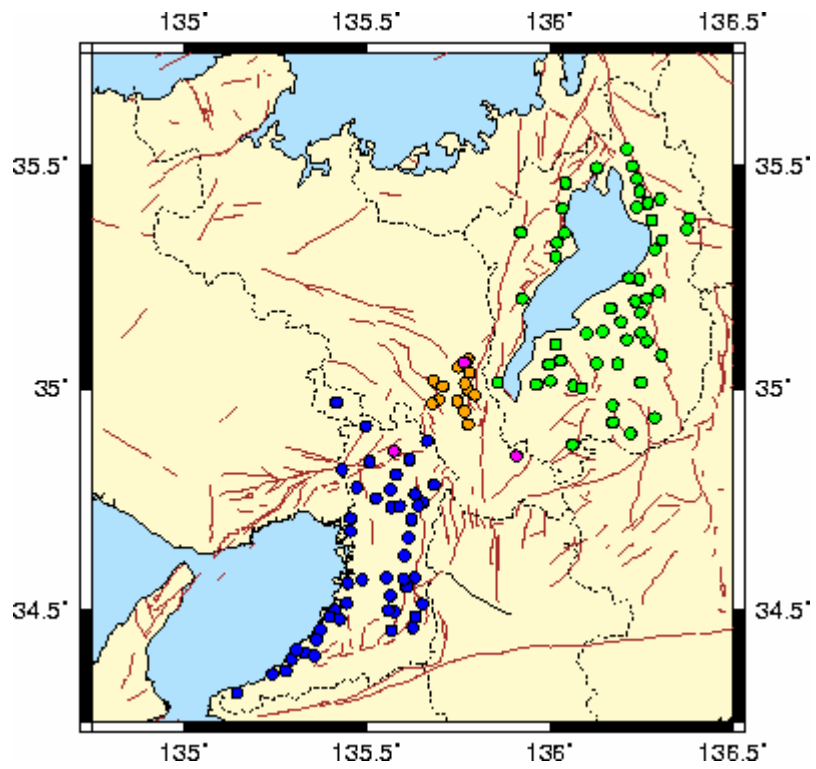


図8 観測点分布

青：大阪府、緑：滋賀県、茶：京都市、赤：基準

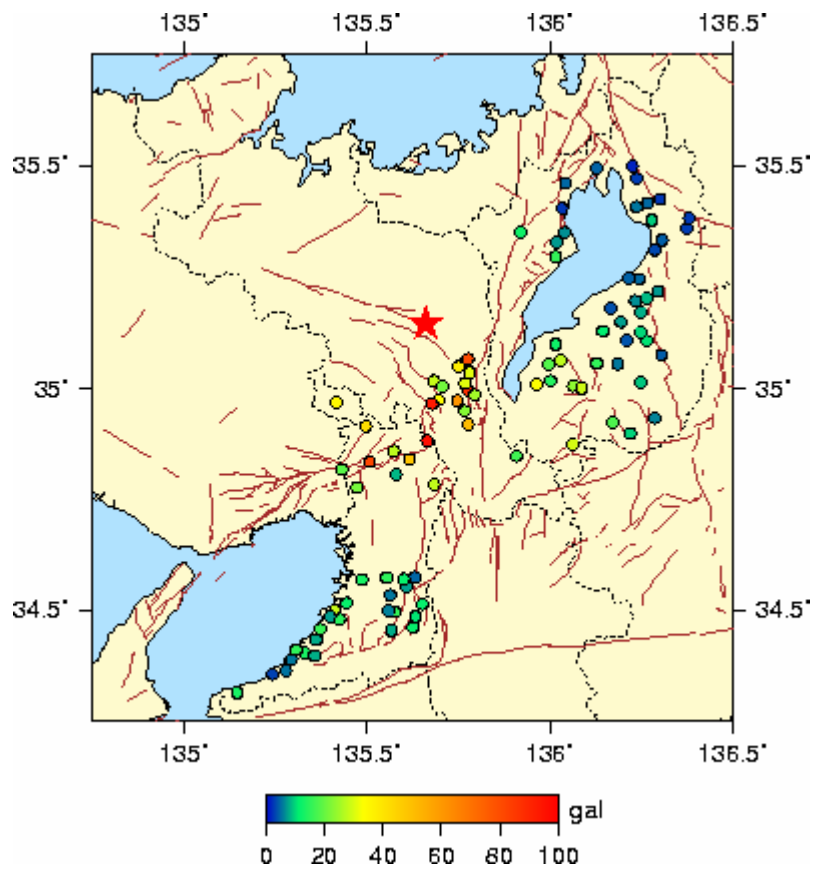


図9 最大加速度分布 (2001/08/25 22:21 $M_j=5.1$ 、京都府中部の例)
 : 震央、 : 観測点

3.5.3.2 地下構造モデル化の研究 / 高密度強震観測に基づくモデル化 札幌震度計ネットデータの解析

笹谷 努 (北大理)
谷 和幸 (ダイヤコンサルタント)

(1) 研究の背景と目的

堆積盆地の地下構造を推定することは、地震動の増幅特性の把握、及び将来の地震に対する強震動の予測において重要である。そして、推定された地下構造は、観測された地震動に基づいて検証されねばならない。ここでは、札幌市が平成 13 年 (2001 年) に市内の 12 点に展開した震度計ネットによる観測データの解析から、同市内で推定されている地下構造についての検証を試みる。

(2) 札幌市における地下構造の推定及び強震観測

札幌市は、地震関係基礎調査交付金によって平成 13 年から 3 ケ年計画で、石狩平野北部地下構造調査を実施している (札幌市, 2002)。平成 13 年度においては、既往の地質文献の調査・整理、市内 21 点における微動アレー探査を、平成 14 年度においては、市内を流れる豊平川に沿った反射法・屈折法地震探査及び市内 9 点での微動アレー探査を実施した。そして、これらの結果を基にして、厚い堆積層 (厚さ 2000 ~ 4000m) を有する札幌市の 3 次元基盤構造の推定を試みている。

一方、札幌市は、同市直下の微小地震活動をモニターする目的で、市内 3 ケ所においてボアホール式地殻活動観測を平成 8 年 (1996 年) から運用しており、さらに、地震時の揺れの強さ分布を把握する目的で、12 点からなる震度計ネットの運用を平成 13 年 (2001 年) から行っている (図 1)。これらのデータは、北海道大学大学院理学研究科附属の地震火山研究観測センターに転送されている。札幌市においては、この他に、K-net (2 点)、F-net (1 点) による観測も行われている。

(3) 1 次元応答解析による地下構造の検証

2001 年 8 月 14 日に発生した青森県東方沖地震 ($M_j=6.2$; $H=50\text{km}$; 図 1 参) による地震動は、札幌市内の多くの観測点で記録された。図 2 に観測された波形 (Transverse 成分; 速度波形) の例を示す。その記録は、札幌市の南から北にかけて並べてある。場所によって地震動の特性が異なることがわかる。S 波部分の短周期成分の大きさは、地域性を示している。また、北に行くほど後続波の励起が強くなっている。

この記録に対して、微動探査法による S 波速度構造に基づく 1 次元応答解析を行なった。各観測点の近傍で得られている S 波速度構造 (図 3) をそこでの構造と仮定し、また、堆積層の基盤への入射波としては、岩盤観測点 (図 1 の HSS) での記録をそれと仮定した。この解析は、直達 S 波は少なくとも 1 次元応答で表されるという考えに基づいている (笹谷・他, 2001)。微動探査法は、深度約 3000m までの S 波速度構造を推定することを主目的としており、今回の探査では、表層の微細な構造は推定されていない。そこで、解析は、

1Hz でハイカットした記録に対して行った。観測波形と合成波形の比較が図 4 に示されている。両者は、直達 S 波部分に関しては良い一致を示している。これから、微動探査法で推定された S 波速度構造が第 1 近似として妥当であることがわかった。

(4) 平成 15 年度の研究計画

図 2 に示されているように、平野部での記録は、S 波よりも後続波の方が大きな振幅を有しており、その継続時間もかなり長い。平成 15 年度の計画としては、この後続波の性質について検討する。

引用文献

- 1) 札幌市：平成 13 年度石狩平野北部地下構造調査業務 成果報告書，pp.202.，2002.
- 2) 笹谷努，吉田邦一，岡田広，中野修，小林稔明，Suqun Ling：札幌都市域における深部地下構造調査と強震動観測，自然災害科学 J. JSNDS，20-3，325-342，2001.

成果の論文発表・口頭発表等

1) 論文発表

著者	題名	発表先	発表年月日
なし			

2) 口頭発表、その他

発表者	題名	発表先、主催、発表場所	発表年月日
なし			

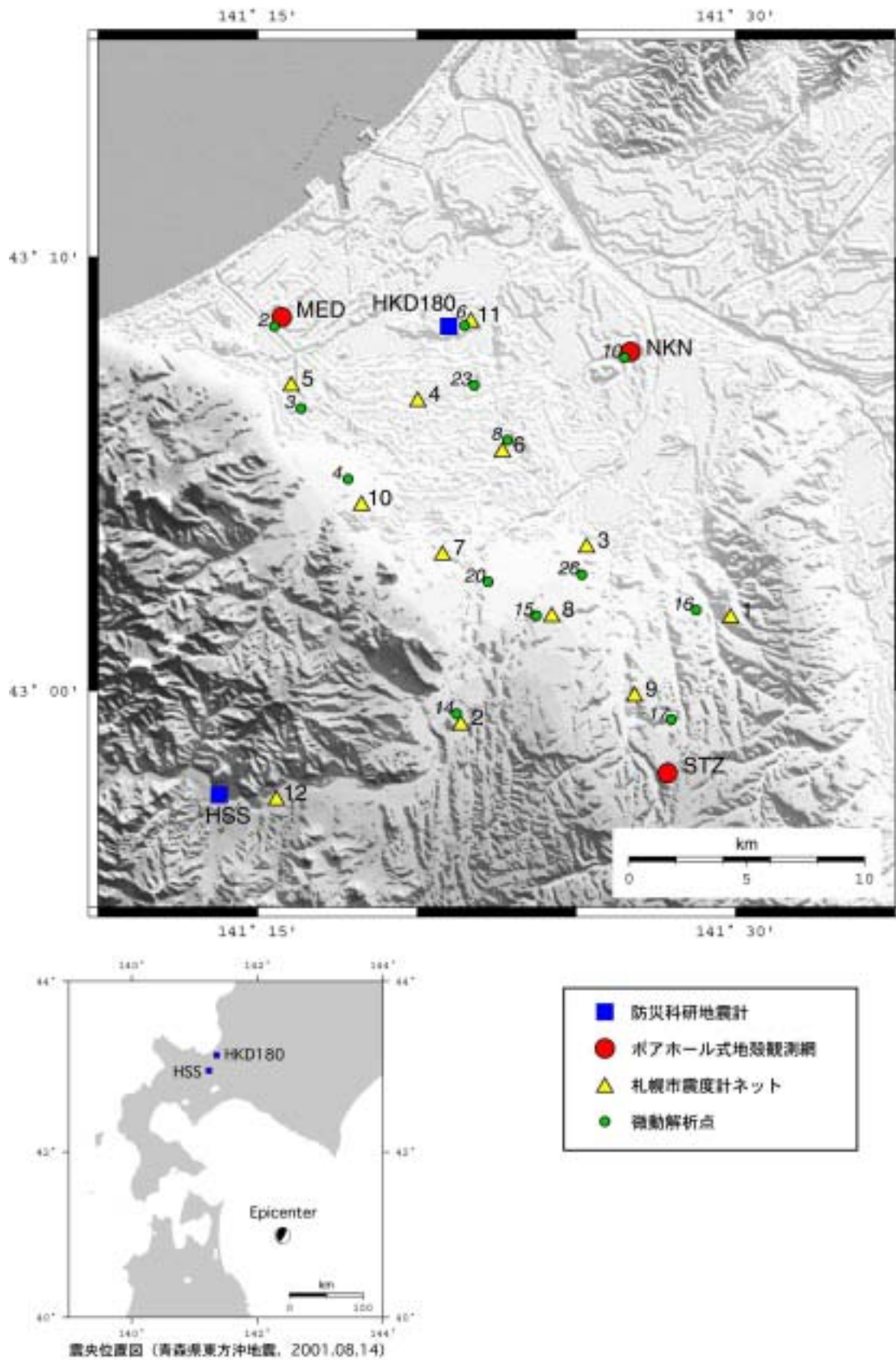


図1 札幌市地震観測点と微動解析点の位置図。解析に用いた地震の震央も下図に示されている。

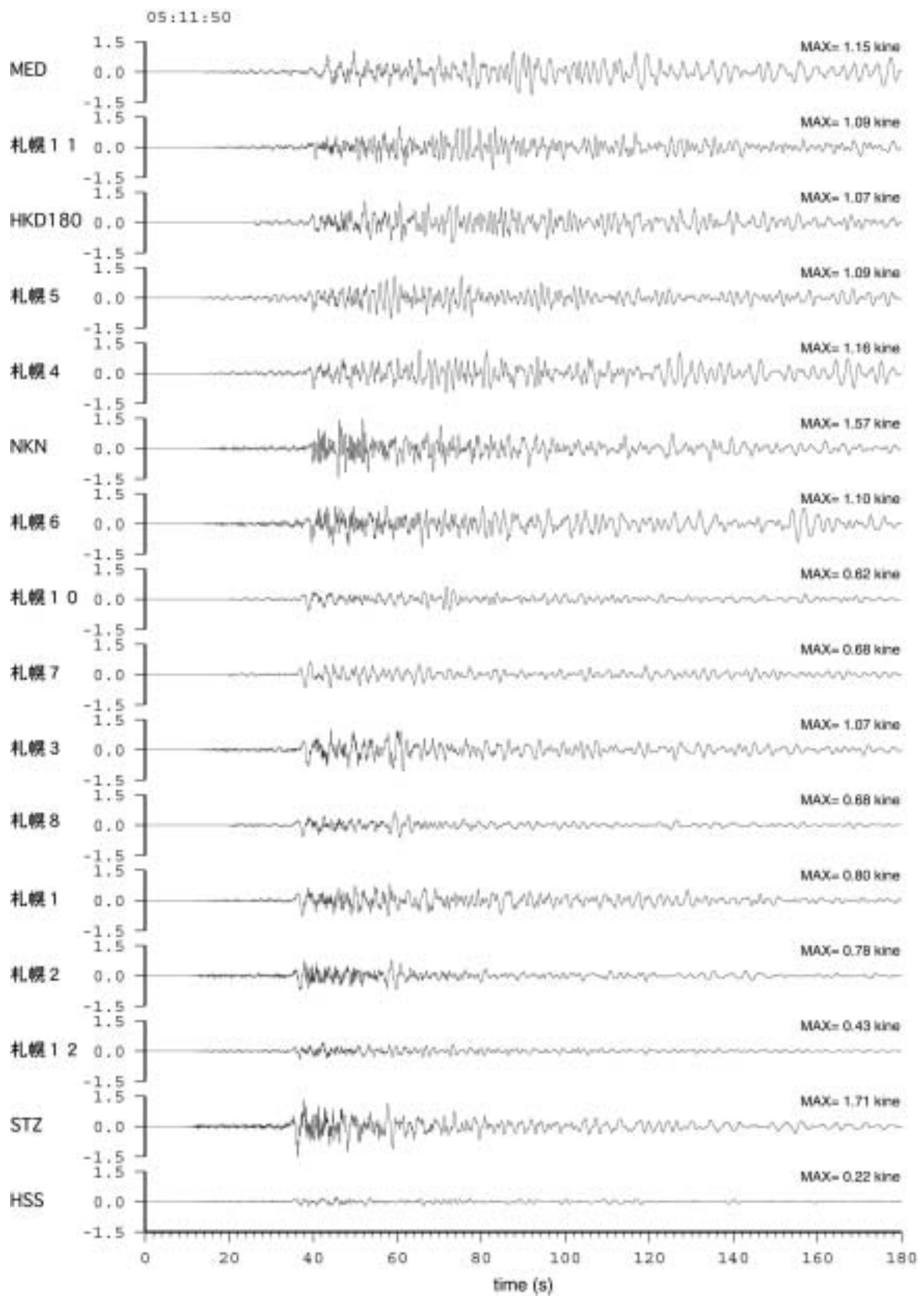


図2 観測された波形の例 (Transverse 成分 ; 速度波形)

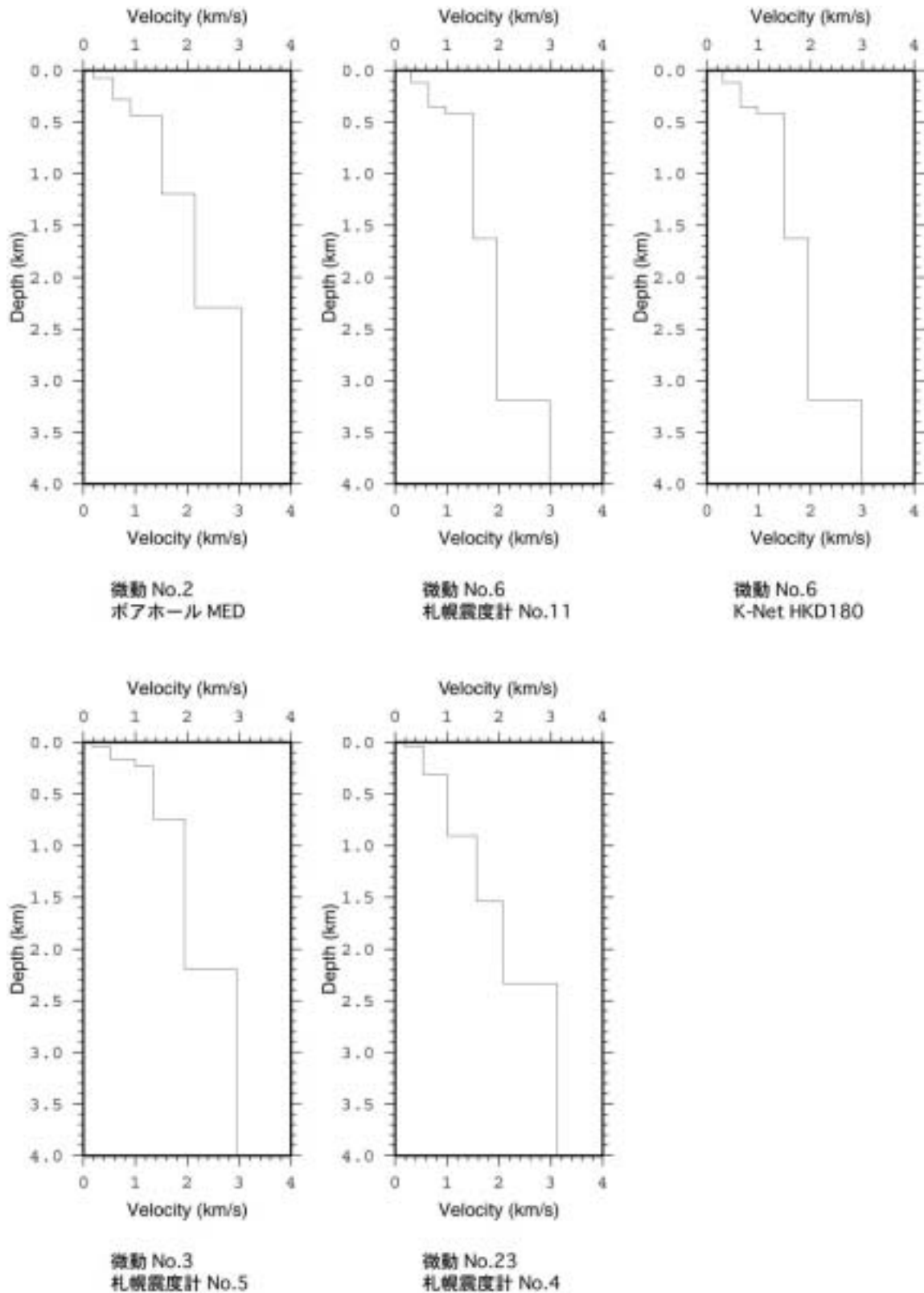


図3 1次元応答解析に用いたS波速度構造(微動探査法による)その1。

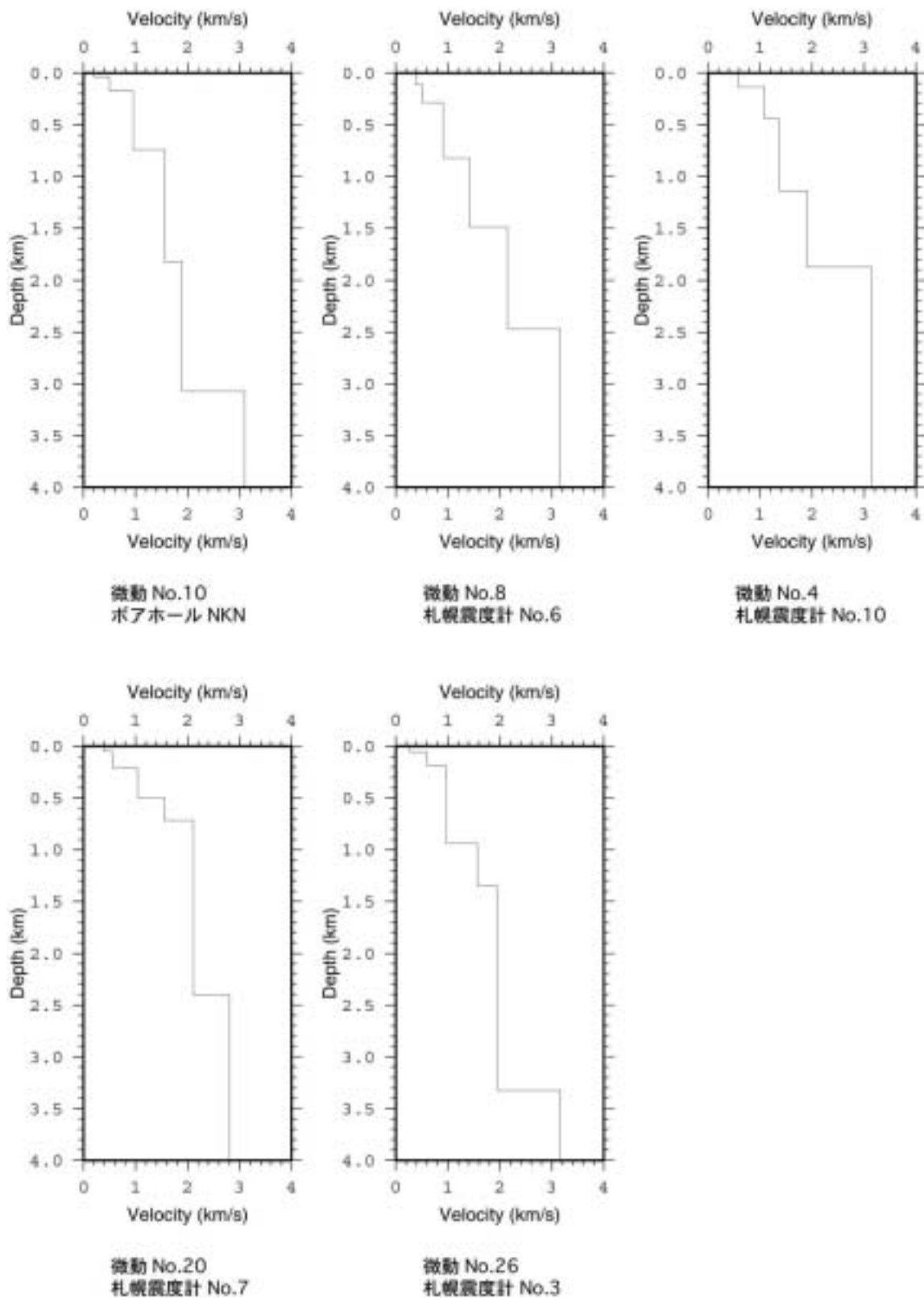


図3 1次元応答解析に用いたS波速度構造(微動探査法による)その2。

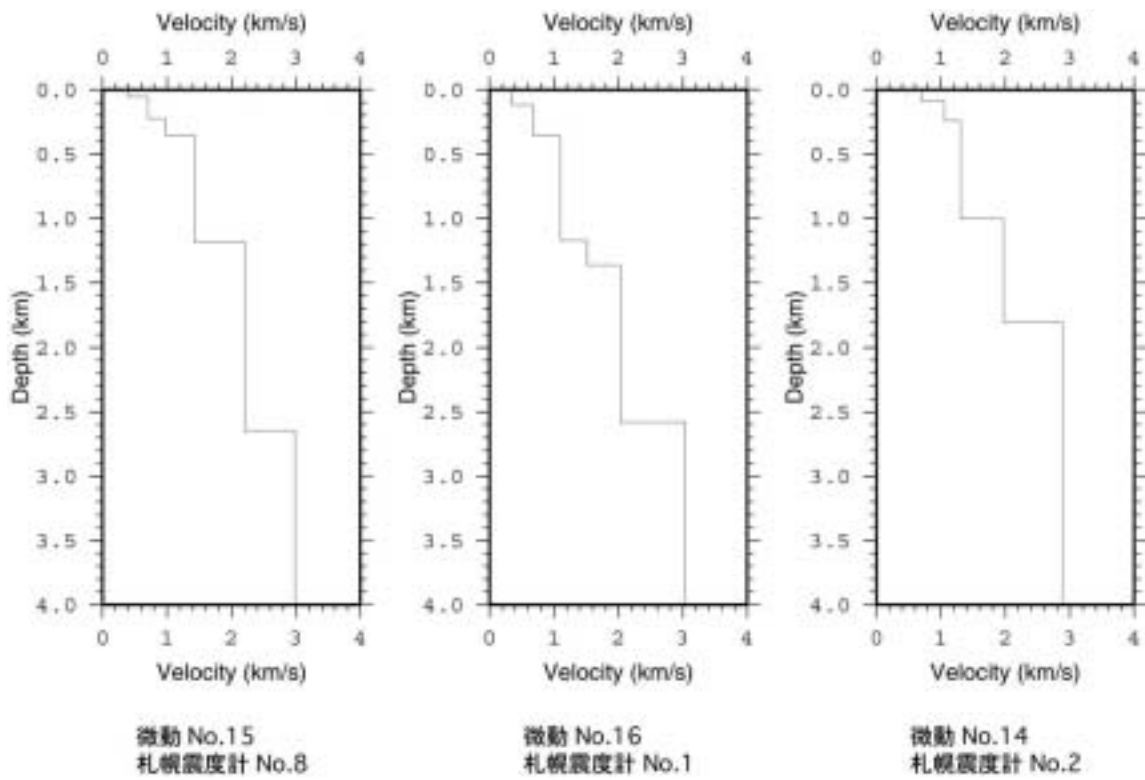


図3 1次元応答解析に用いたS波速度構造(微動探査法による)その3。

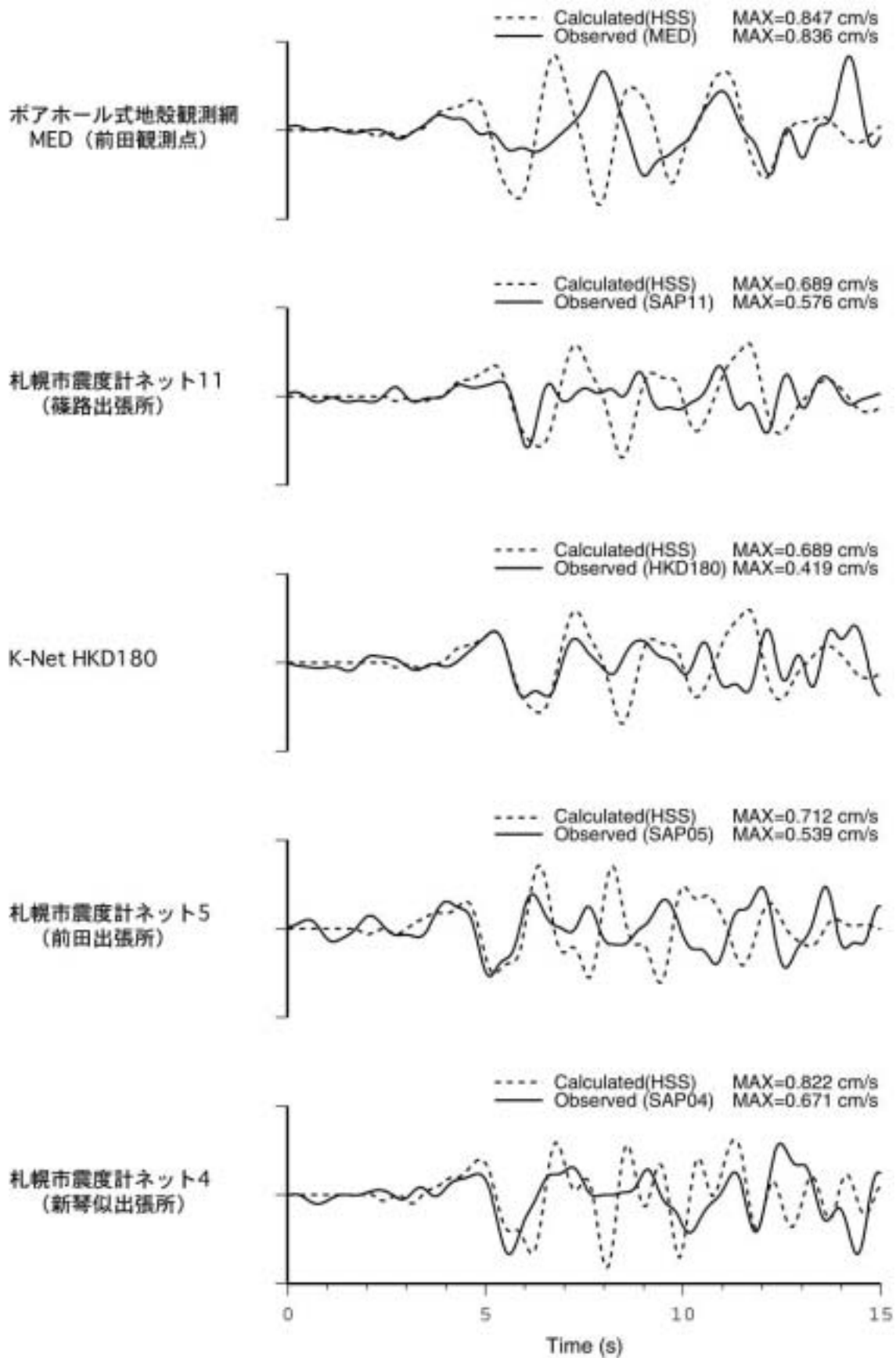


図4 観測波形（実線）と合成波形（波線）の比較、その1。

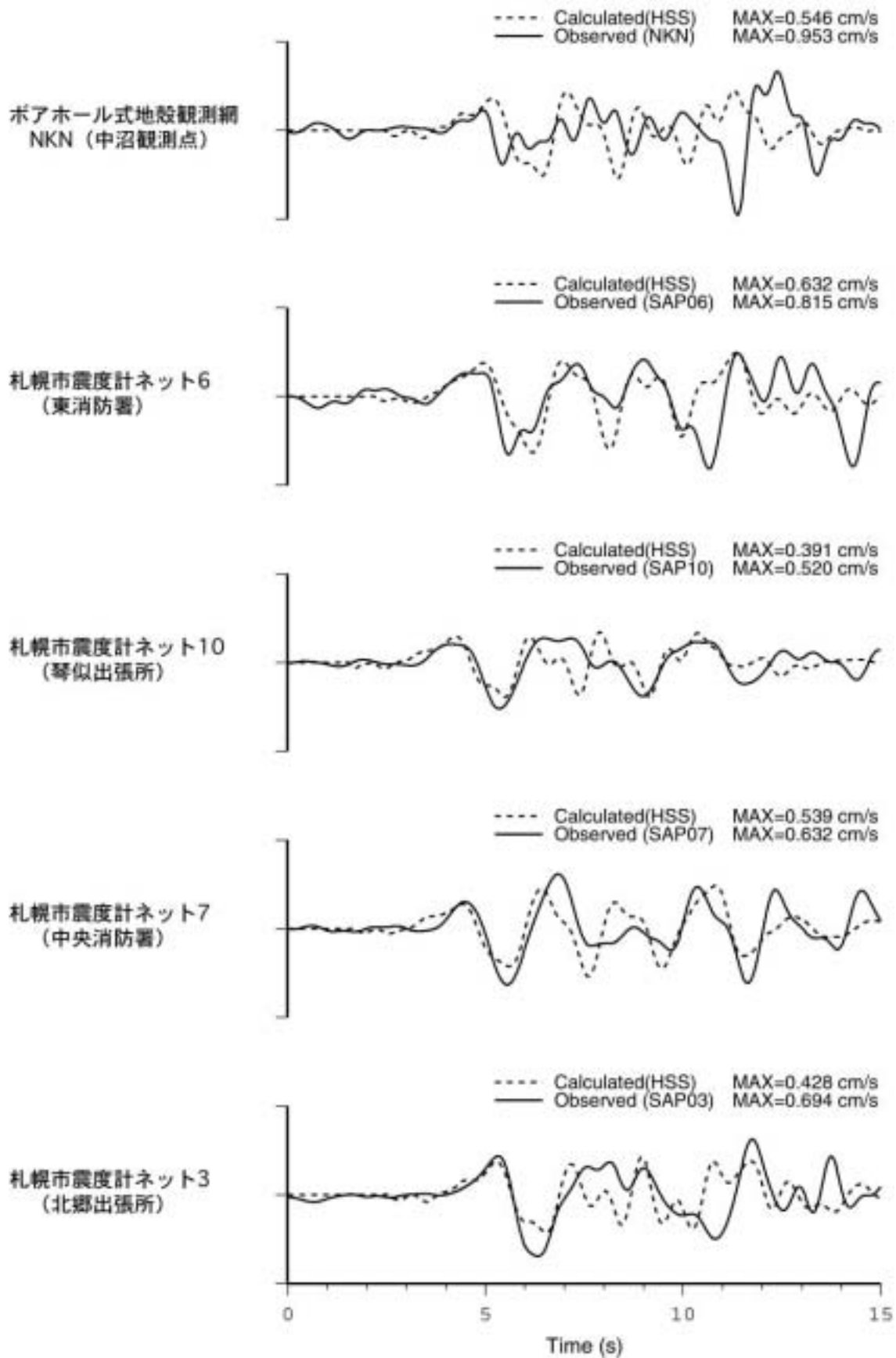


図4 観測波形（実線）と合成波形（波線）の比較、その2。

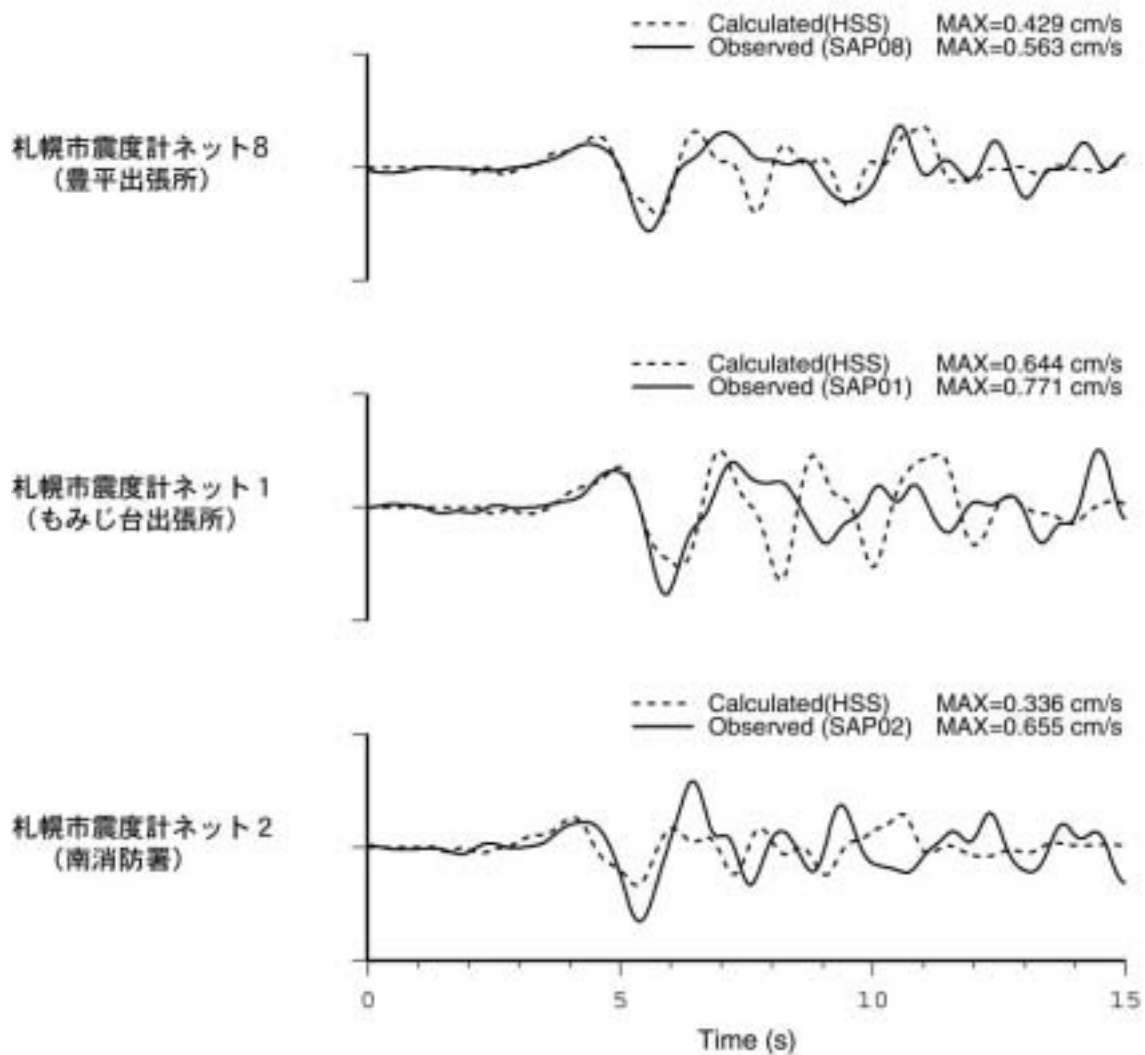


図4 観測波形（実線）と合成波形（波線）の比較、その3。