

3. 3. 5. 3 高密度強震観測によるモデル化

3. 3. 5. 3. 1 研究課題全体の成果

(1) 業務の内容

(a) 業務題目：高密度強震観測によるモデル化

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名	メールアドレス
東京大学地震研究所	助教授	鷹野 澄	takano@eri.u-tokyo.ac.jp
東京大学地震研究所	教授	額 額 一起	koketsu@eri.u-tokyo.ac.jp
東京大学地震研究所	教授	菊池正幸	kikuchi@eri.u-tokyo.ac.jp
北海道大学大学院	助教授	笹谷 努	sasatani@ares.sci.hokudai.ac.jp
京都大学防災研究所	助教授	松波孝治	matunami@egmdpri01.dpri. kyoto-u.ac.jp
京都大学防災研究所	助手	大見士朗	ohmi@rcep.dpri.kyoto-u.ac.jp
九州大学大学院	助教授	竹中博士	takenaka@geo.kyushu-u.ac.jp
独立行政法人防災科学技術研究所	特別技術員	大井昌弘	ooi@bosai.go.jp

(c) 業務の目的

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 都県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。

(d) 5 ヶ年の年次実施計画

1) 平成 14 年度：

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 について、これまでの 5 都県市のみのデータではまだ不十分であることから、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し、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。京都大学防災研究所では、これまで近畿圏を対象として、大都市圏強震動総合観測ネットワークを整備して、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めた。

・強震観測データを用いた地下構造モデルの検証ならびに高精度化

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た。

東大地震研では、高密度強震波形データを用いて、地下構造モデルの高精度化のための手法の開発を行った。

・強震観測データを用いた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

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。

また東大地震研では、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。

2) 平成 15 年度：

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。

3) 平成 16～18 年度：

平成 16 年度以降も引き続き、大都市圏の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。

(2) 平成 15 年度の成果

(2-1) 首都圏強震動総合ネットワークのデータベースの充実

鷹野 澄（東京大学地震研究所）

(a) 業務の要約

首都圏強震動総合ネットワーク SK-net のデータベースを充実するために、首都圏周辺の群馬県、栃木県、茨城県、静岡県などの周辺各自治体のデータ収集に着手した。これらの各自治体は、独自には波形データを収集していないので、各自治体の保守業者等と相談し

て、既存の自治体システムに影響を与えない形で、観測点から波形データを収集するシステムの設計開発を行った。残念ながら各自治体のシステムは、地震計のメーカーが異なったり、センターシステムの開発業者が異なるなどから、個々の自治体ごとに個別に波形収集システムを設計し開発する必要がある。平成 15 年度は、大大特プロジェクトの経費支援を得て、群馬県の波形データの収集システムを開発した。本システムは、当初県庁に設置させて頂く予定であったが、群馬県の担当者と相談して当面は地震研究所に設置し、地震研から群馬県の観測点にダイアルアップしてデータ収集を行うことにした。また、群馬県以外にも、栃木県、茨城県、静岡県の周辺各自治体と、波形データ収集の実現に向けた協議を行った。

(b) 業務の成果

首都圏強震動総合ネットワーク SK-net としては、前年度追加した山梨県を含めて、これまで、6 都県市の 8 つの強震観測網から約 5 3 0 点の強震波形データを収集している。今年度は、群馬県の協力のもと、県の震度計 5 9 点の波形データの収集システム開発し、地震研究所からダイアルアップによる収集を開始した。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。

(c) 結論ならびに今後の課題

首都圏では、周辺自治体の協力を頂いて、データベースが充実しつつある。しかし、首都圏の広域地下構造モデルを構築するには、今回新たに追加した群馬県も含む 7 都県市のみのデータではまだ不十分で、その周辺の自治体の貴重なデータが必要となる。また、自治体によっては、観測点で保存できる波形データが少なく、新しい地震が観測されると波形データが上書きされて消失してしまうというものもある。大事なデータが消失しないうちに、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早急に波形データの収集を行うことが課題である。

(d) 引用文献

- 1) 鷹野，菊地，山中，瀬瀬，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 15 年 7 月,東京大学地震研究所,2003.
- 3) 瀬瀬一起：関東平野の地下構造調査とそのモデル化,同報告書,2003
- 4) 古村孝志：1 9 2 3 年関東地震の高周波強震動シミュレーション,同報告書,2003
- 5) 山下，菊地，山中：強震計記録を用いた Receiver Function による表層地盤特性の推定,同報告書,2003
- 6) 泉谷，金子：長野県の震度計設置店における相対的な揺れ易さ,同報告書,2003
- 7) 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.
- 8) 鷹野，山中，菊地，瀬瀬，古村，工藤，卜部，武尾：首都圏強震計ネットワークのシステム概要，同報告書,2002

- 9) 額額一起：地震の伝わり方を再現する，同報告書,2002
- 10) 古村孝志：強震動シミュレーションと波動場の可視化，同報告書,2002
- 11) 石原靖：首都圏強震動ネットワークのデータ利用の実際：南関東地方における屋や長周期表面波の伝搬過程，同報告書,2002
- 12) 笹谷，谷：札幌震度計ネットデータの解析,前年度報告書,2003.
- 13) 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
- 14) 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
- 15) 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
- 16) 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
- 17) Koketsu, K. and Kikuchi, M.: Propagation of seismic ground motion in the Kanto basin, Japan, Science, 288, No.19, 1237-1239, 2000.
- 18) 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
- 19) 古村，額額：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
- 20) 古村孝志，額額一起，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.
- 21) Afnimar, Joint inversion of refraction and gravity data for 3-D basin structures, PhD thesis, University of Tokyo. 2002

(e) 成果の論文発表・口頭発表等
なし

(f) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

自治体等データ収集システム(群馬県用)

3) 仕様・標準等の策定

なし

(2-2) 首都圏における地盤増幅特性の研究

瀬戸 一 起（東京大学地震研究所）

津田 健 一（カリフォルニア大学サンタバーバラ校）

Ralph Archuleta（カリフォルニア大学サンタバーバラ校）

(a) 業務の要約

首都圏に展開された高密度強震観測網（SK-net）の観測記録を活用して、当該地域の地盤増幅特性を面的な分布として把握することを目的としている。今年度は平成 14 年度に行った横浜市内のデータの解析をさらに発展させるとともに、首都圏全体のデータの解析を行ってより広域の地盤増幅特性の把握を進めた。

(b) 業務の成果

平成 14 年度には横浜市内で観測された 16 地震の波形データを用いて、線形逆問題のいわゆるスペクトルインバージョン法 1) を適用して、観測点 150 箇所（図 1）における地盤増幅率を得た。本年度は新たに開発された逐次解法 2)を用いて、各地震の地震モーメント・伝播経路の Q 値、各観測点の地盤増幅率を順次求め、そのプロセスを複数回繰り返すことで、得られる地盤増幅率スペクトルの精度を向上させた。17 地震の波形データに対するその結果を低周波数帯（0.5 - 1.0 Hz）と高周波数帯（1.0 - 3.0 Hz）に分け、それぞれの帯域での平均増幅率を計算して地図にプロットしたものが図 2 である。高周波数帯の増幅率分布は以前の結果から大きな変更はないが、低周波帯では高増幅率の領域が横浜港周辺の埋立地など一部の地域に集中することが新たにわかった。また、隣接する観測点間の増幅率スペクトルの相関を取ったところ、2 Hz までの低周波ではどの距離でも高い相関係数が得られた（図 3）。このことは、ある地域の低周波の増幅特性が隣接する地域の増幅特性から、かなりの確度で予測可能であることを示唆している。

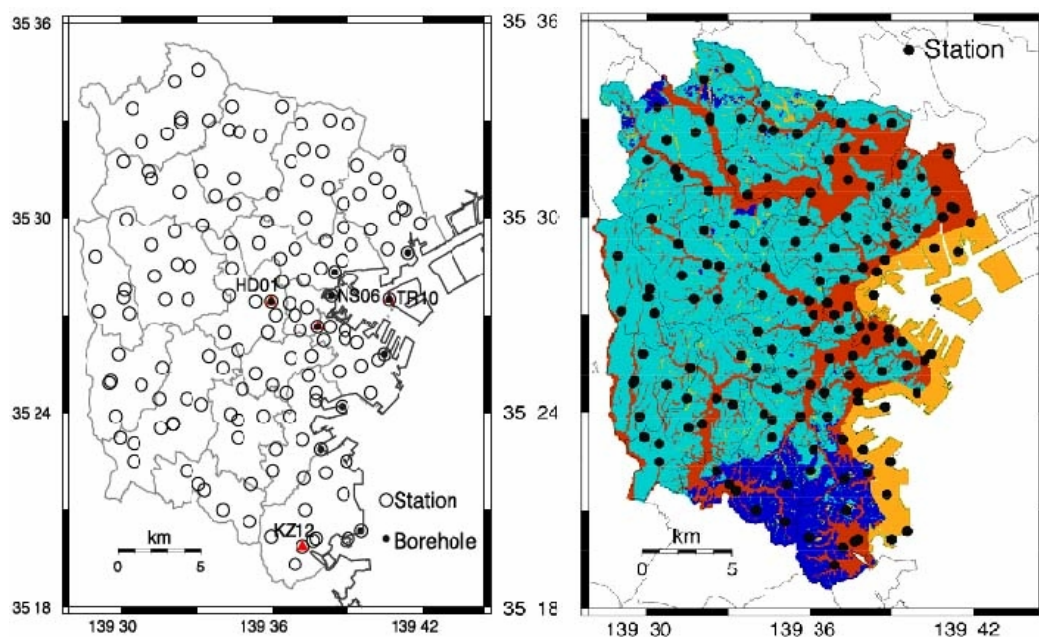


図 1 横浜市内の強震観測点（原データは横浜市高密度強震計ネットワークによる）。

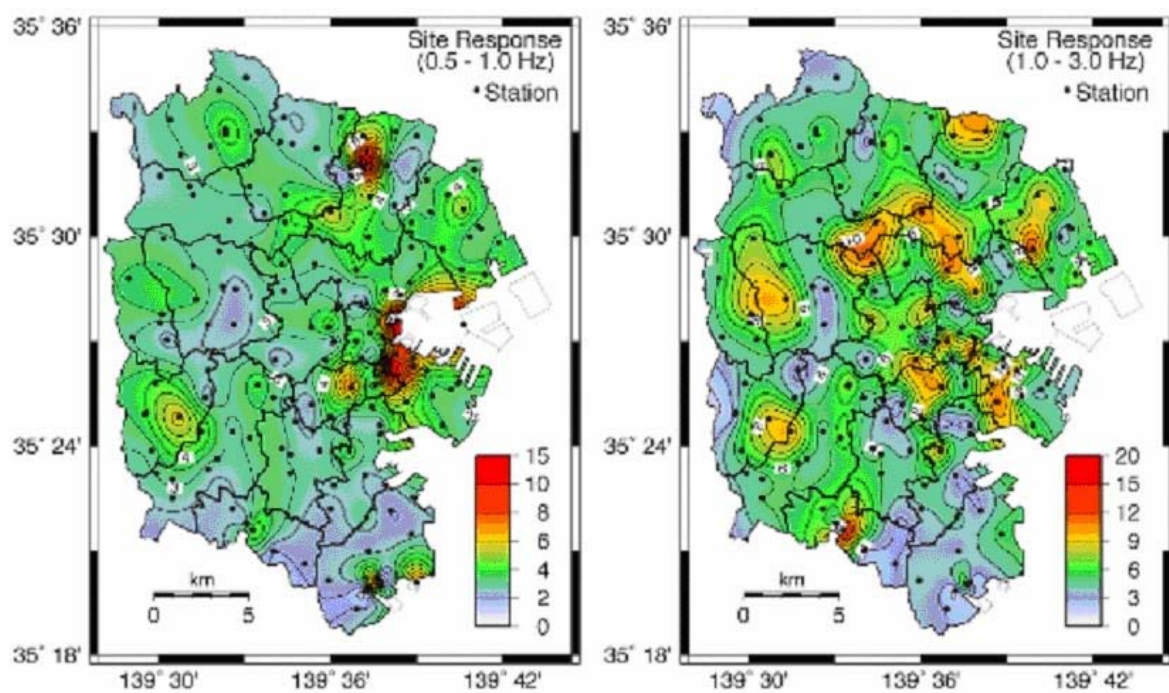


図 2 低周波数帯(0.5 - 1.0Hz)と高周波数帯(1.0 - 3.0Hz)の平均増幅率の分布。

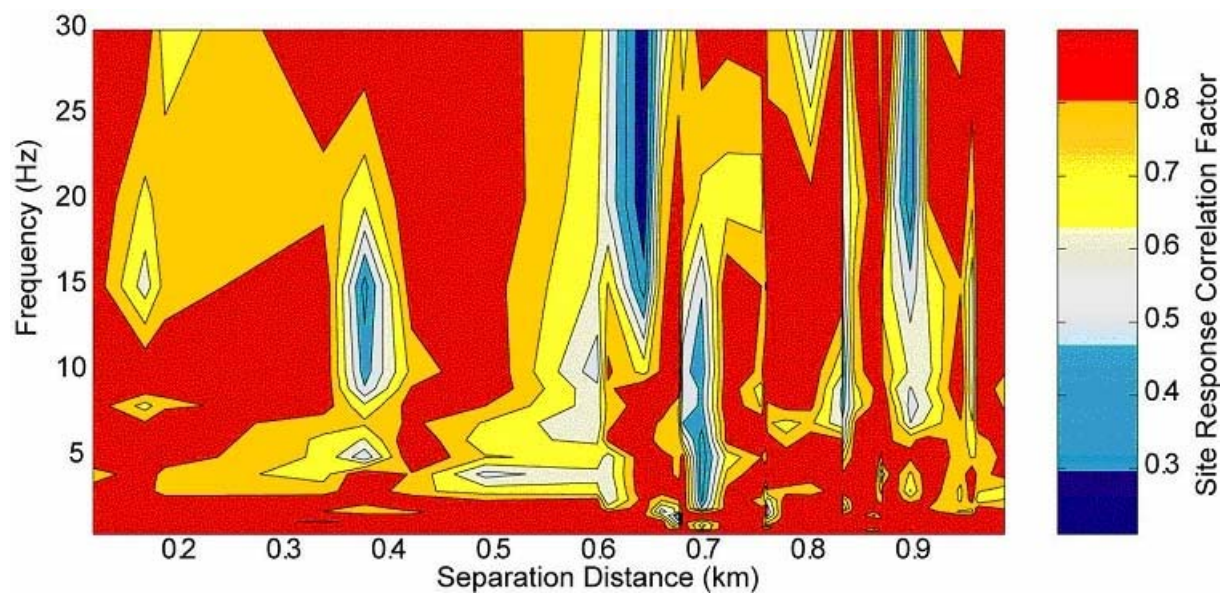


図 3 隣接観測点の距離と増幅率スペクトル相関係数の関係。

また、首都圏全体で観測された波形データに対して、Moya and Irikura のスペクトルインバージョン法 3) を適用する研究も行われた。今年度利用した波形データは図 4 に示した 24 地震のうち 4 地震の観測波形である。インバージョンにより得られた Q 値スペクトルを図 5 に示す。Kinoshita (1994) 4) の結果に比較的よく対応しており、図 6 に示した地盤増幅率の結果の信頼性を示唆している。図 6 左側は江戸川区瑞江の観測点に対して得られた増幅率スペクトルで (赤線)、江東区有明における工学的基盤深さの地震動に対する相対値になっている。青線は、この地点のボーリング情報から推定した層構造に対して計算された理論増幅率で、両者はほぼ対応していると見ることができる。また、図 6 右側は東京消防庁の荒川区内観測点に対する結果でこれもほぼ理論増幅率に対応すると見ることができるであろう。

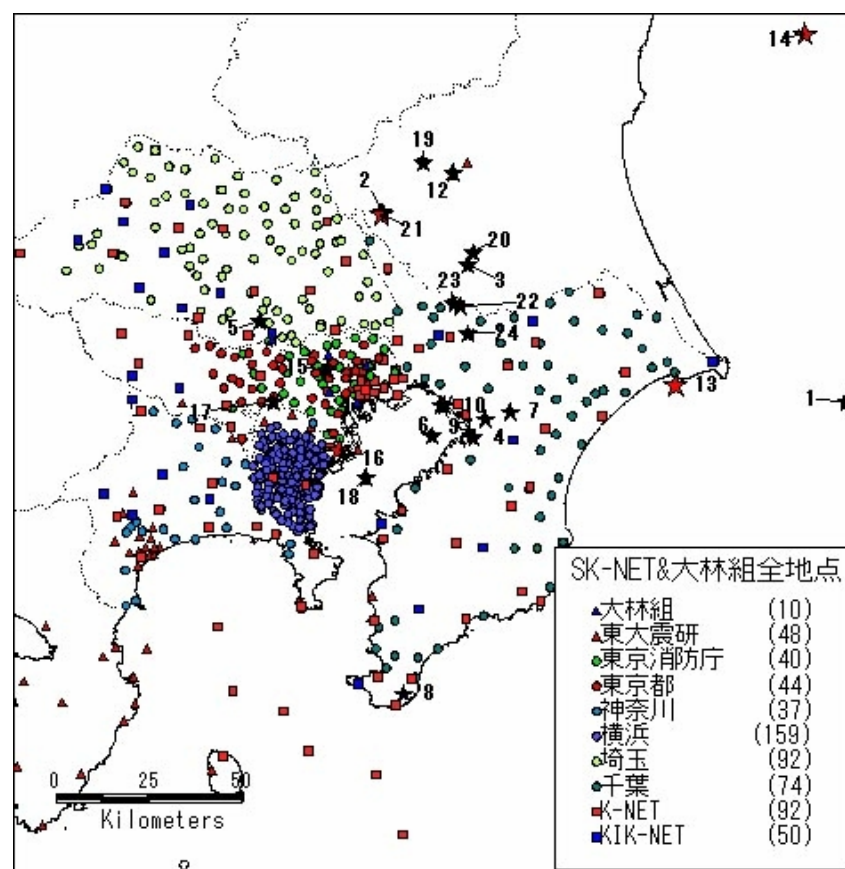


図 4 首都圏全体の強震観測点 (大林組による公開データを含む)。

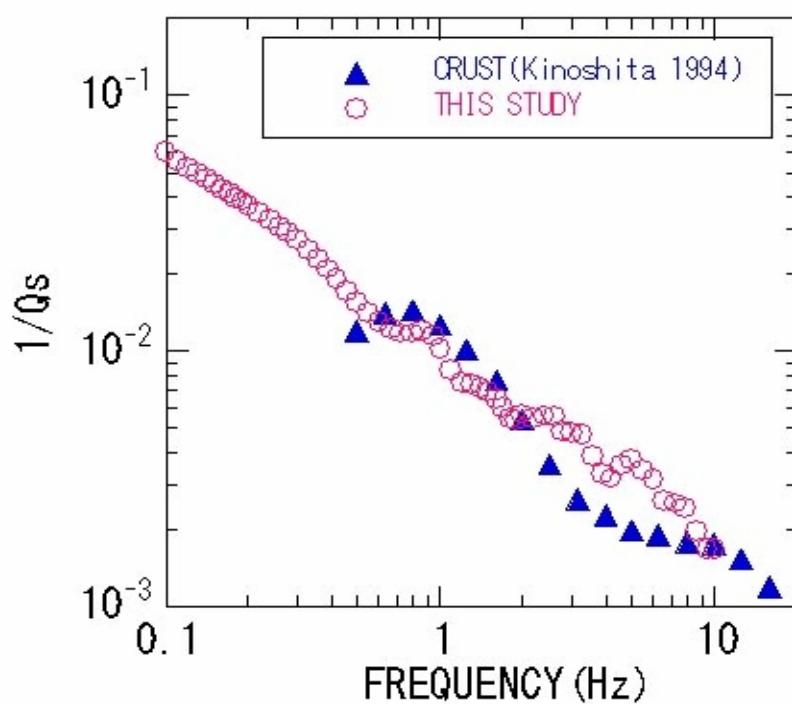


図 5 得られた伝播経路の Q 値。

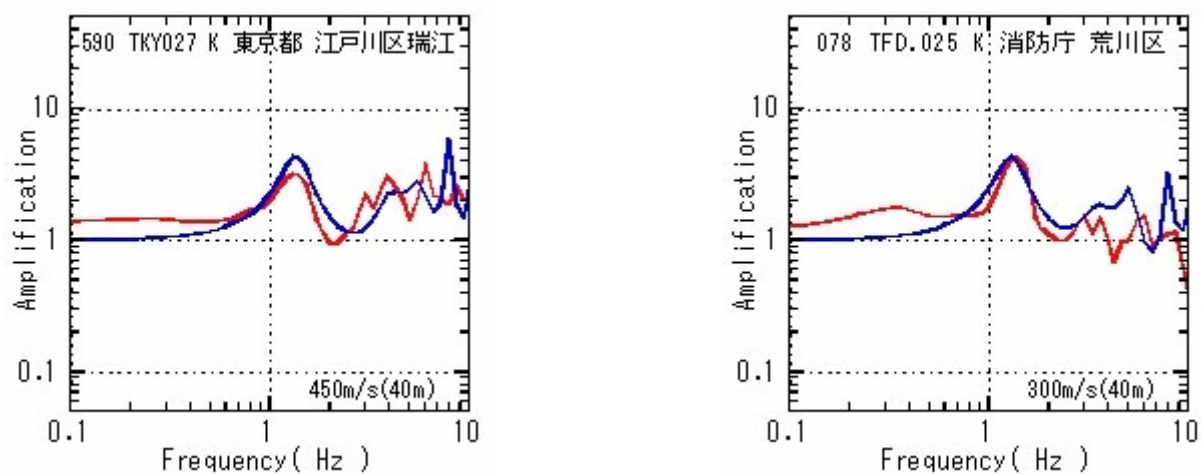


図 6 得られた増幅率スペクトルとボーリング情報に基づく理論増幅率の比較。

(c) 結論ならびに今後の課題

横浜市内の観測点の地盤増幅特性を逐次解法によって精度よく求めることができた。今後は首都圏全体にもこの方法を適用する。

(d) 引用文献

- 1) Iwata, T., and Irikura, K. : Source parameters of the 1983 Japan Sea earthquake sequence, J. Phys. Earth, Vol.36, pp.155-184, 1988.
- 2) Archuleta, R. and Tsuda, K. : Spatial variation of ground motion recorded on the Yokohama City array, Proc. 13th World Conf. Earthq. Eng., 印刷中, 2004.
- 3) Moya, A. and Irikura, K. : Inversion of source parameters and site effects from strong ground motion records using genetic algorithms, Bull. Seismol. Soc. Am., 90, 977-992, 2000.
- 4) Kinoshita, S. : frequency-dependent attenuation of sear-waves in the crust of the southern kanto area, Japan, Bull. Seismol. Soc. Am., 84, 1387-1396, 1994.

(e) 成果の論文発表・口頭発表等

著者	題名	発表先	発表年月日
瀬戸 一 起	強震動シミュレーションと地下構造調査	活断層調査成果および堆積平野地下構造調査成果報告会	2003 年 11 月 6 日

(f) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

(2-3) 近江盆地のサイト増幅特性—予察的解析—

松波孝治（京都大学防災研究所）

matunami@egmdpri01.dpri.kyoto-u.ac.jp

大見士朗（京都大学防災研究所）

ohmi@rcep.dpri.kyoto-u.ac.jp

(a) 業務の要約

滋賀県震度計観測網を使って予察的に増幅度分布を調べた。琵琶湖東岸沿いに増幅度の大きい地域が見られる。これは湖岸の軟弱堆積地盤構造を反映しているものと考えられる。一方、湖岸沿いでも局所的に増幅度の小さい地域が点在する。これらの地域は花崗岩あるいは閃緑岩からなる孤立丘跡であった可能性がある。また、南東の丘陵地には増幅度の大きな地域があるが、この真偽については今後更に地震・地盤データを収集し検討する必要がある。

(b) 業務の成果

平成 11 年度の補正予算によって 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、自治体等が設置している計測震度計の強震波形データの収集が、各自治体等の協力のもとに開始された。近畿圏においてもこれまでに、大阪府、滋賀県、及び京都市消防局の震度計・強震計の波形データが京大防災研究所に収集され、近畿圏強震動総合ネットワークとして整備されている¹⁾。ここでは、比較的波形データが良好に観測されている滋賀県観測網を使って予察的に増幅度分布を求め、得られた結果に若干の考察を加えた。

観測点にほぼ垂直に入射し、震源及び地殻内伝播経路の影響が観測点間でほぼ同じと考えられるようなやや深い地震（1998 年 8 月 22 日 M4.9、深さ約 60km、和歌山県中部）の記録を使用し、S 波スペクトル比法により解析した。図 1 に震央と観測点分布を示す。スペクトル解析区間は東西及び南北成分の S 波立ち上がりから 10 秒間であり、両端は 5% のハニング型のテーパを適用し、バンド幅 0.5Hz のハニング窓を使って平滑化を行った。ここでは、東西及び南北記録のスペクトル成分をベクトルの的に合成したものの水平成分として解析した。基準観測点には滋賀県強震観測網²⁾の露岩上観測点であるアシビ谷観測点（ABD）の記録を使用した。図 2 に、ABD を基準とする各観測点の増幅度（1～3 Hz 間の平均値）を示す。この図から次のことが言える。琵琶湖東岸沿いに増幅度の大きい（10 倍以上）地域が見られるが、局所的に増幅度の小さい（2～5 倍）地域も見られる。この増幅度の大きい地域は明らかに湖岸の軟弱堆積地盤構造を反映しているものと考えられる。一方、余谷等³⁾によれば、局所的に増幅度の小さい地域が局所的に存在することの解釈としては次の事が考えられる。琵琶湖東岸には、彦根山（彦根城がある）、荒神山、三上山等の花崗岩あるいは閃緑岩からなる島状山地（孤立丘）が多く点在する。これらは竹生島のような湖中の島が三角州の発達に伴って徐々に陸繋化され、さらには平野中に取り込まれたものと考えられている。孤立丘は彦根山のように現在地表に現れているものもあれば人工的改変により地表では確認出来ないものも存在する。図 3 は、彦根市域における明治 26 年当時と現在の孤立丘分布を示している。図中、円で囲んだ地域を比較すると、明治 26 年当時には

明らかに孤立丘であったところが現在では平地になっており孤立丘の面影を留めていない。更に、人工的改変によるものの他、堆積等によって埋没しているものもあることが十分考えられる。余谷等³⁾は、彦根市域およそ 50 地点で微動の H/V スペクトル比を測定した。それによれば、荒神山や彦根山など孤立丘がある地点では、卓越周波数が高い。また、過去には孤立丘があったが現在ではなくなってしまっている地点でも、その周囲に比べて卓越周波数が高い。湖岸沿いでも集落が形成されている地域では卓越周波数が高く、当時の人は経験的に地盤の良し悪しをわかっていたのかもしれない。この様に、局所的に増幅度の小さい地域は孤立丘跡であったと考えると説明ができる。一方、昔は内湖や沼であったが、現在では干拓されて田畑や住宅になっている所も多い。図 4 に、明治 26 年当時の彦根城付近の地図と平成 11 年現在の地図を示す。明治 26 年の地図では、彦根城から北側には松原内湖が存在していたことが確認できるが、1943 年に干拓され、現在では田畑、住宅、学校等に変わっている。更に、古地図を現在のものと比較すると、彦根市内では昔水路が発達していたことがわかる。市内のあちこちで水路が見られるが現在では埋め立てられてしまっていてわからない。このような干拓地や埋立地は地盤条件が悪いと考えられる。サイト特性の評価の際には、古地図等から以前の地盤環境を知っておくことは大いに参考になると思われる。

更に、図 2 の増幅度分布では、滋賀県南東部（水口、信楽）で増幅度が大きく（10 倍以上）になっている。この地域は丘陵地であり予想外の結果である。更に地震・地盤データを収集し検討する必要がある。

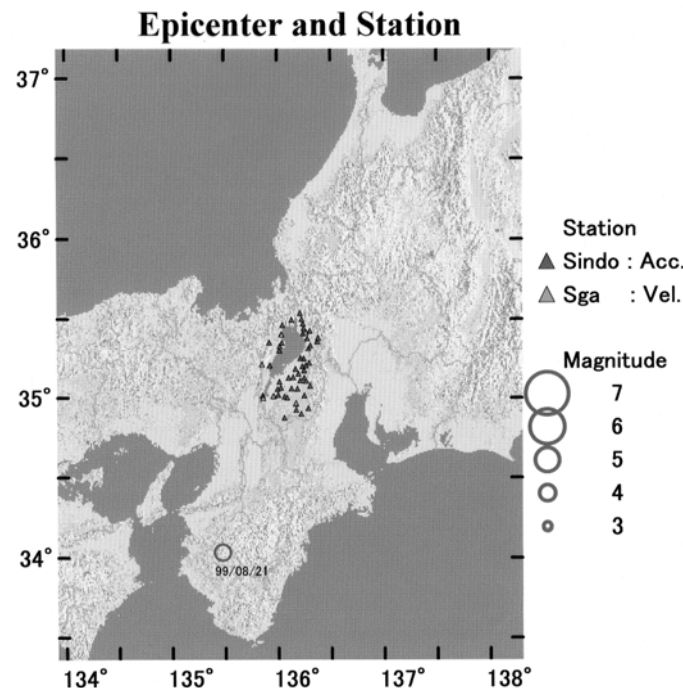


図 1 増幅度解析に用いられた地震

(1998 年 8 月 22 日 M4.9、深さ約 60km、和歌山県中部) の震央と滋賀観測点分布

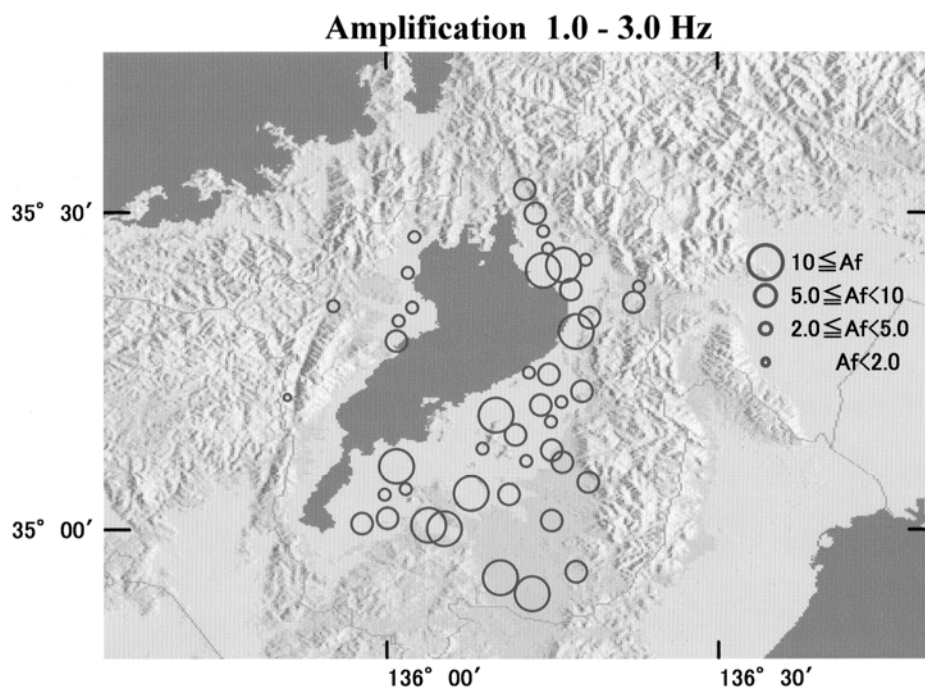


図 2 露岩観測点 ABD を基準とする各観測点の相対増幅度（1 ～ 3 Hz 間の平均値）

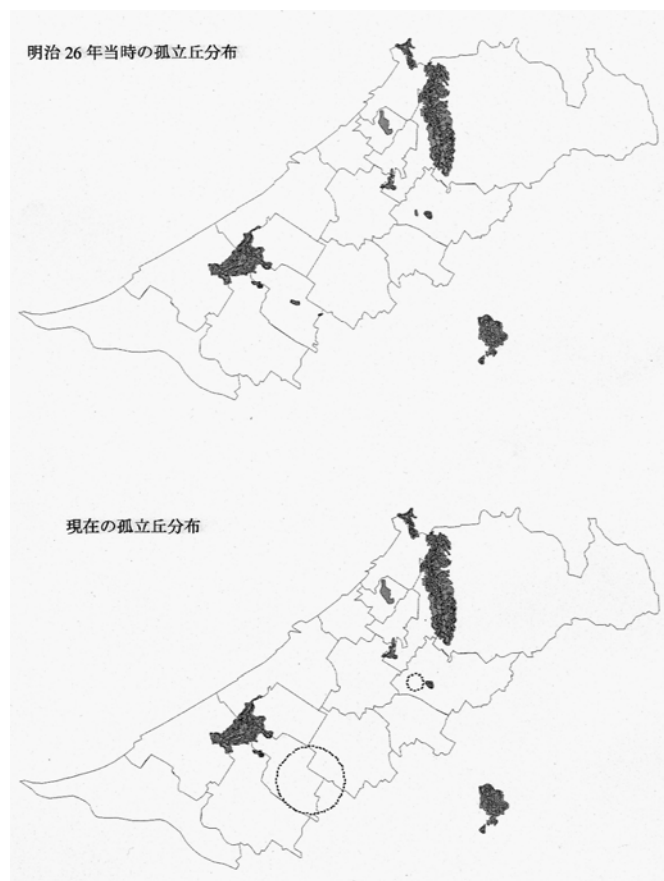


図 3 彦根市域における明治 26 年当時と現在の孤立丘分布の比較

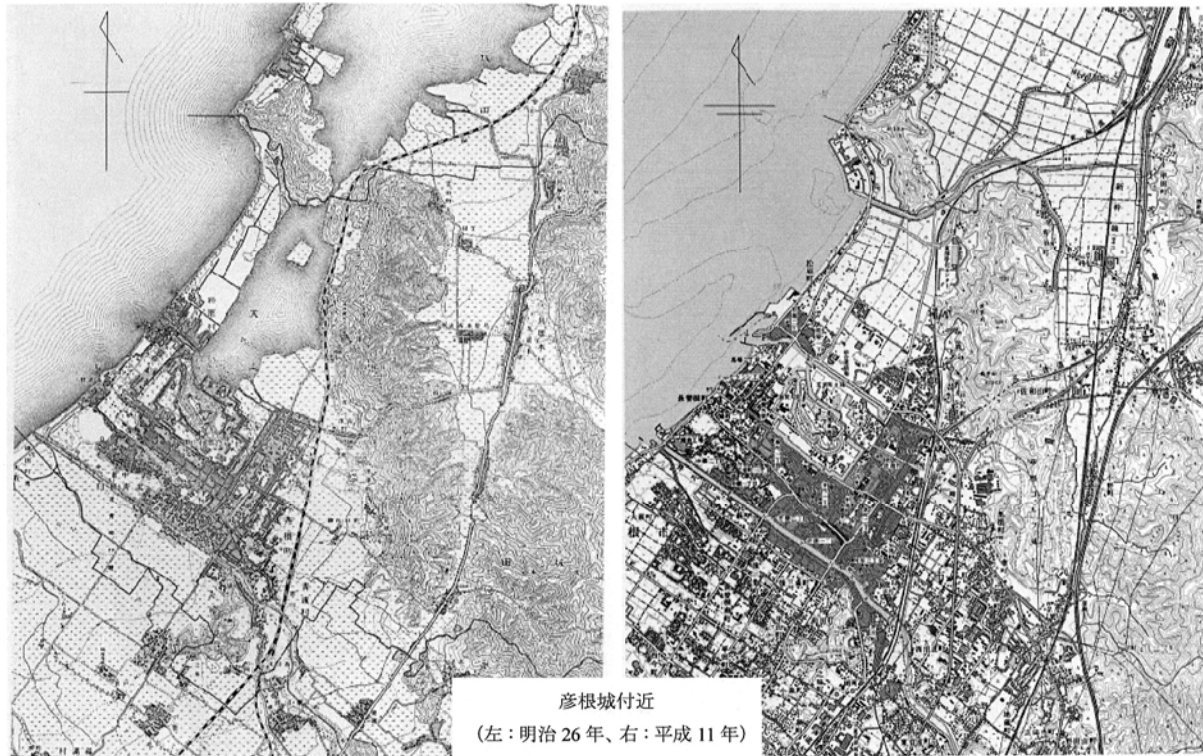


図 4 彦根城付近（左：明治 26 年、右：平成 11 年）

(c) 結論ならびに今後の課題

近畿圏強震動総合ネットワーク滋賀県観測網を使って予察的に増幅度分布を調べた。琵琶湖東岸沿いに増幅度の大きい地域が見られる。これは湖岸の軟弱堆積地盤構造を反映しているものと考えられる。一方、湖岸沿いでも局所的に増幅度の小さい地域が点在する。これらの地域は花崗岩あるいは閃緑岩からなる孤立丘跡であった可能性がある。また、南東の丘陵地には増幅度の大きな地域があるが、今後更に地震・地盤データを収集し検討する必要がある。今後は、滋賀県湖東地域、特に、彦根市域を試験地域として選定し、面的な地盤構造の精微化と地震波増幅特性の評価を、地震記録、地盤資料、微動測定結果等を併用して実施する。

(d) 引用文献

- 1) 松波孝治, 大見士朗：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, 2002 年地球惑星科学合同学会, pp. 51-52, 2002.
- 2) 松波孝治, 八里哲也：琵琶湖周辺地域における強震動観測, 京都大学防災研究所年報, 第 38 号 B-1, pp. 1-12, 1995.
- 3) 余谷和則, 松波孝治, 藤原悌三：滋賀県湖東地域の地震防災計画(その 2 彦根市域の地盤振動特性), 第 22 回日本自然災害学会学術講演会予稿集, pp. 61-62, 2003.

(e) 成果の論文発表・口頭発表等

著者	題名	発表先	発表年月日
松波孝治，大見士朗	近畿圏強震動データ統合化システムの構築に向けて（１）	京大防災研究所・平成 15 年度研究発表講演会	平成 16 年 2 月 19 日

(f) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

(3) 平成 16 年度業務計画案

1) 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

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不可欠なものである。このため、平成 16 年度も引き続き、大都市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。

東大地震研では、栃木県、茨城県、静岡県など首都圏周辺の自治体等の協力を得て、まだ収録されていない強震波形データについての収集方法を検討し、可能なところから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、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。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。

これら既存の自治体等の観測点の波形収集に加えて、より高密度のネットワークを最近の IT 技術を利用して展開することを目的とした次世代強震観測システムの研究開発を開始する。

2) 強震観測データを用いたモデル化研究の推進

東大地震研では、首都圏強震動総合ネットワーク SK-net を利用した全国共同研究を推進している。取り組んでいる研究課題は、高密度強震観測データを用いた地下構造モデルの検証、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、強震観測データを用いた強震動の伝播特性の解明、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などである。また、その他の大都市圏においても、同様なモデル化研究が進められており、高精度化が進むものと期待される。

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する。多くの高密度観測データを利用することで、強震動シミュレーションと、地下構造モデルの検証と改良が進むものと期待される。また、シミュレーション結果と実際のデータとの比較から、地表面における強震動波形データのサイト増幅特性の問題についても研究の進展が期待される。