

3.4 震源断層モデル等の構築

3.4.1 強震動予測手法と地下構造モデルに関する調査研究

(1) 業務の内容

(a) 業務の目的

自然地震や人工地震による地下構造調査、歴史地震の整理で得られたデータ等を総合して、プレート境界地震、スラブ内地震のそれぞれについて、地震発生場所の絞込み、地殻やプレートを含む地下構造モデルの構築、さらには震源断層モデルの構築等を行う。首都圏に脅威をもたらす地震の解析、地下構造モデルの構築なども行って、長周期地震動予測地図の作成や首都直下地震の強震動予測につなげる。また、地震の破壊成長とスケーリング、スラブ内地震による強震動予測、高速な地震動予測手法などの研究を行い、震源断層モデルや強震動予測の高精度化につなげる。

(b) 平成22年度業務目的

- 1) 首都圏に脅威をもたらした過去の地震の解析結果をもとに、首都直下で懸念される地震の震源位置を絞込み、震源断層モデルを構築する。
- 2) 相模トラフから南海トラフに至る領域で過去に発生し首都圏に脅威をもたらした地震について、解析から得られた結果をもとに、震源断層の位置するプレート形状モデル・地震波伝播経路にあたる地下構造モデル・震源断層モデルの構築を完成させ、長周期地震動予測地図を高度化する。

(c) 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	教授	纈纈一起	
東京大学大学院情報学環 / 地震研究所	教授	古村孝志	
東京大学地震研究所	助教	三宅弘恵	
東京大学地震研究所	特任研究員	増田徹	
鳥取大学大学院工学研究科	教授	香川敬生	

(2) 平成22年度の成果

(a) 業務の要約

- 1) 首都圏に脅威をもたらした過去の地震の解析結果をもとに、首都直下で懸念される地震の震源位置を絞込み、震源断層モデルを構築した。
- 2) 相模トラフから南海トラフに至る領域で過去に発生し首都圏に脅威をもたらした地震について、解析から得られた結果をもとに、震源断層の位置するプレート形状モデル・地震波伝播経路にあたる地下構造モデル・震源断層モデルの構築を完成させ、長周期地震動予測地図を高度化した。

(b) 業務の成果

1) 震源断層モデル構築と強震動の試算

平成 22 年 7 月 23 日 6 時 6 分に千葉県北東部でマグニチュード 5.0 の地震が発生し、MeSO-net の観測点、K-NET、KiK-net の観測点で波形記録が観測された。この地震の気象庁による震源位置は東経 140.486 度、北緯 35.879 度、深さ 35.0km、マグニチュードは 5.0 である。F-net による震源位置は東経 140.490 度、北緯 35.885 度、深さ 35.0km、発震機構解は走向 68 度、傾斜 62 度、すべり角 89 度、あるいは走向 249 度、傾斜 28 度、すべり角 91 度、モーメントマグニチュードは 5.0 である。図 1 に地震の震央位置と波形記録を観測した K-NET、KiK-net 観測点の位置（左図）及び MeSO-net 観測点のうち成田空港近傍の観測点（SRTM）、東京都庁近傍の観測点（NSJM）の位置（右図）を示す。図 2 (a) ~ (c) に、これらの観測点で記録された加速度波形を示す。

得られた加速度波形記録から S 波到達時刻を読み取り、S 波到達時刻から 20 秒間の波形からフーリエスペクトルを計算し、周波数毎にフーリエスペクトル振幅の距離減衰の様子を調べた。図 3 に 0.2Hz、1Hz、及び 10Hz におけるフーリエスペクトル振幅の距離減衰の様子を示す。横軸は距離(km)、縦軸は南北成分の変位スペクトル振幅(cm・s)である。スペクトル振幅の距離減衰の様子は東西成分でも同様であった。スペクトル振幅の距離減衰は、幾何減衰と非弾性減衰との積で近似される。観測フーリエスペクトルの距離減衰から、実体波の幾何減衰を仮定して、各周波数における震源項と非弾性減衰項を求めた。各周波数における非弾性減衰項から S 波に対する Q 値の周波数依存性が得られた。図 4 (a) に震源項スペクトル、図 4 (b) に S 波に対する Q 値の周波数依存性を示す。震源項スペクトルは低周波数帯域において一定であり、周波数 1~2Hz より高周波数帯域では周波数の増加とともに減衰し、10Hz 以上の帯域では減衰率は大きくなっている。ここで得られた震源項スペクトルは ω^{-2} モデル (Brune, 1970¹⁾) と調和的である。Q 値は周波数 1 Hz 付近でおよそ 100、周波数 10Hz でおよそ 500 である。

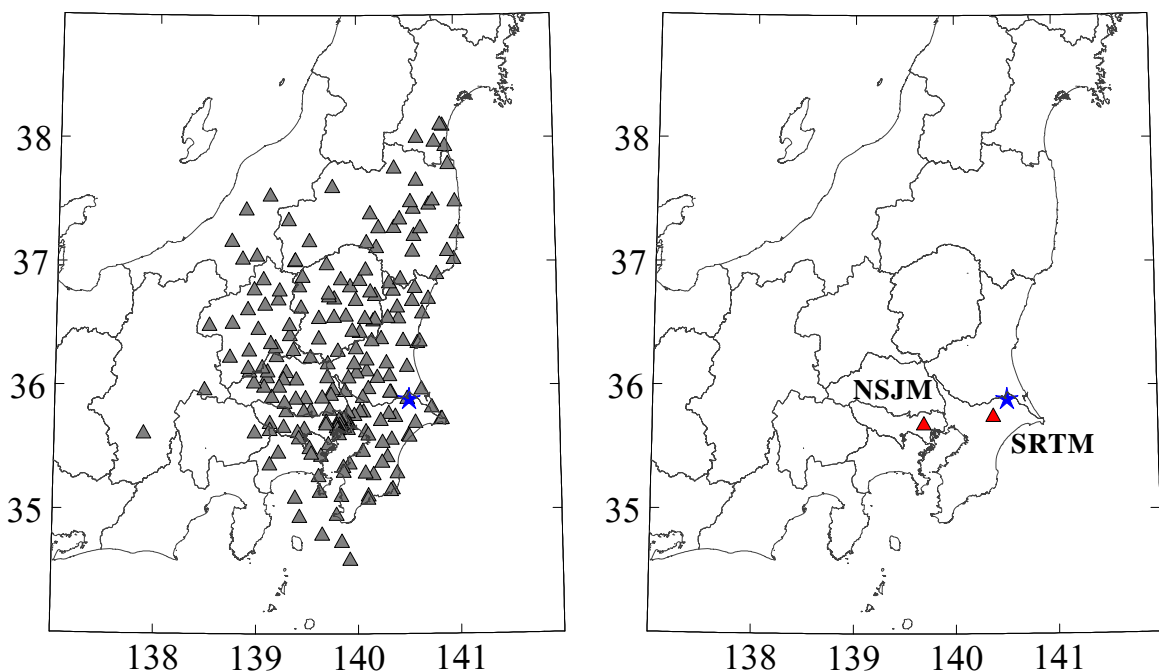


図 1 . 対象とした地震の震央位置（青星印）と観測点位置（三角印）。
左：用いた全ての観測点。右：強震動予測を行った観測点。

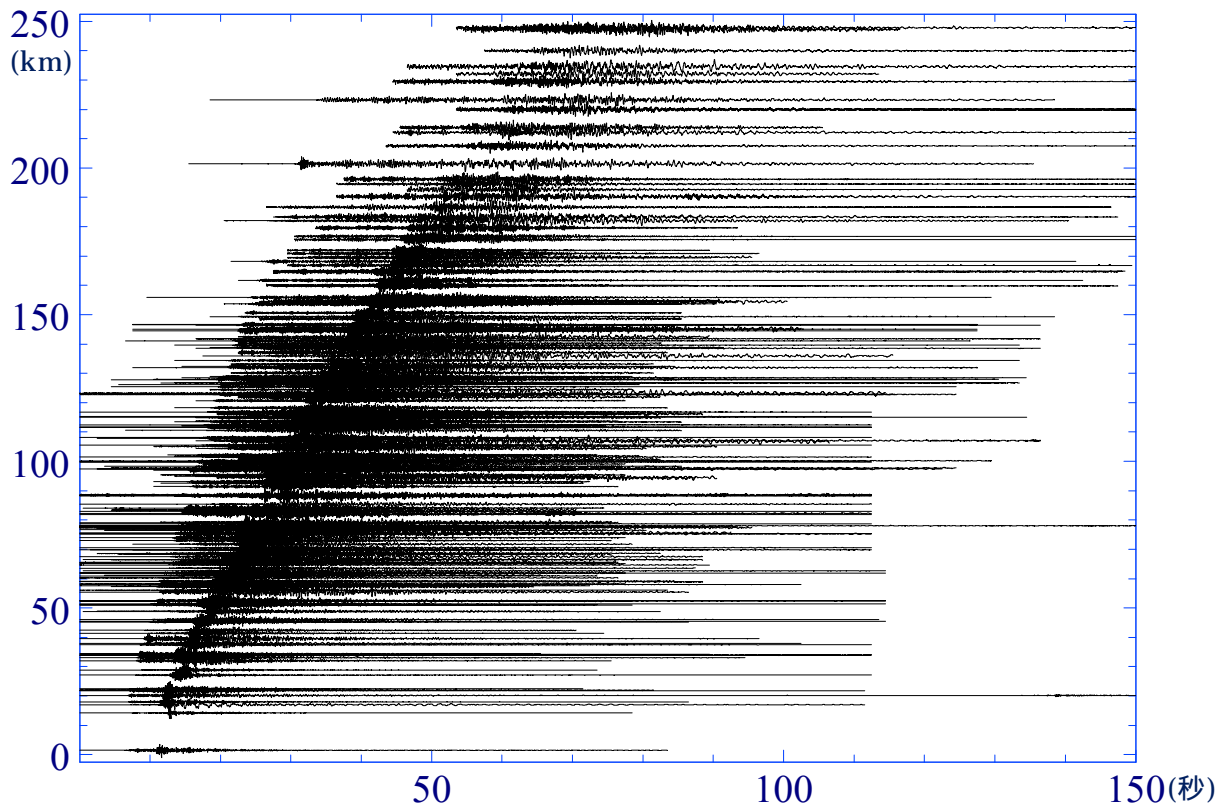


図 2 (a) . 2010 年 7 月 23 日 6 時 6 分に発生した M5.0 の地震の波形 (南北成分)。

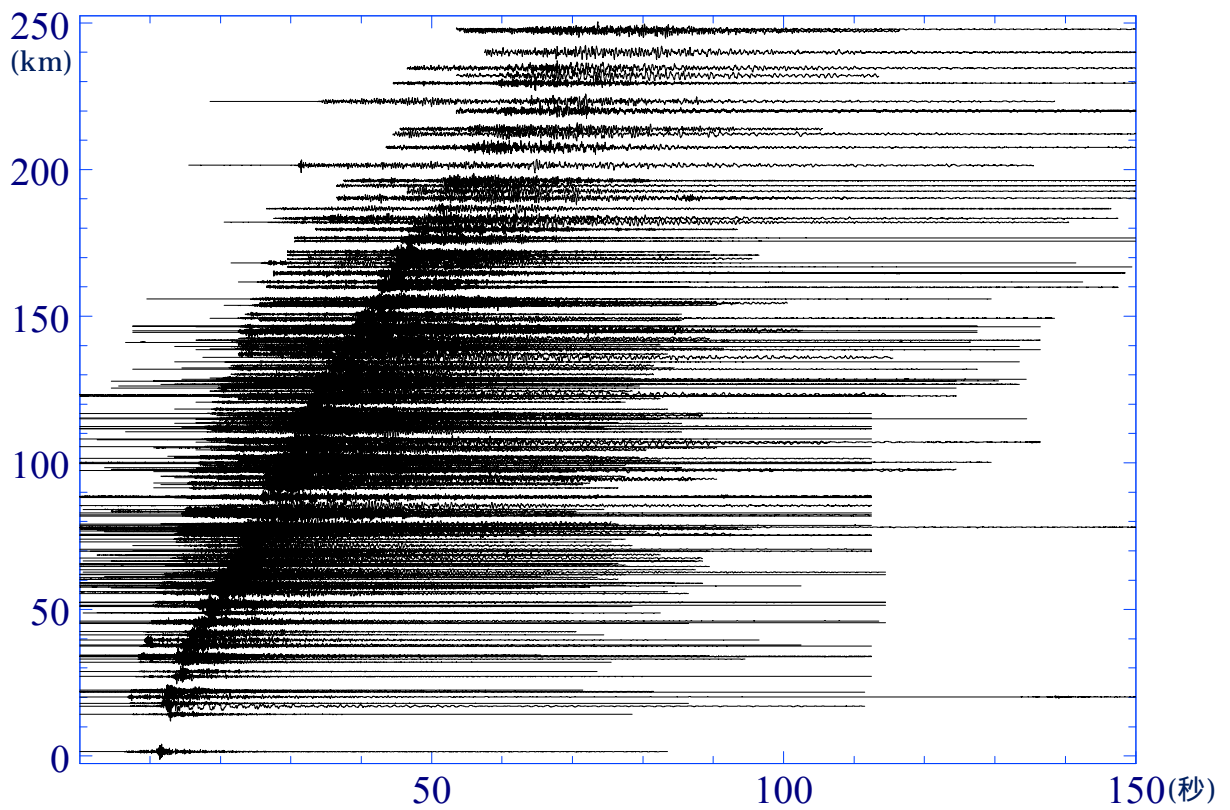


図 2 (b) . 2010 年 7 月 23 日 6 時 6 分に発生した M5.0 の地震の波形 (東西成分)。

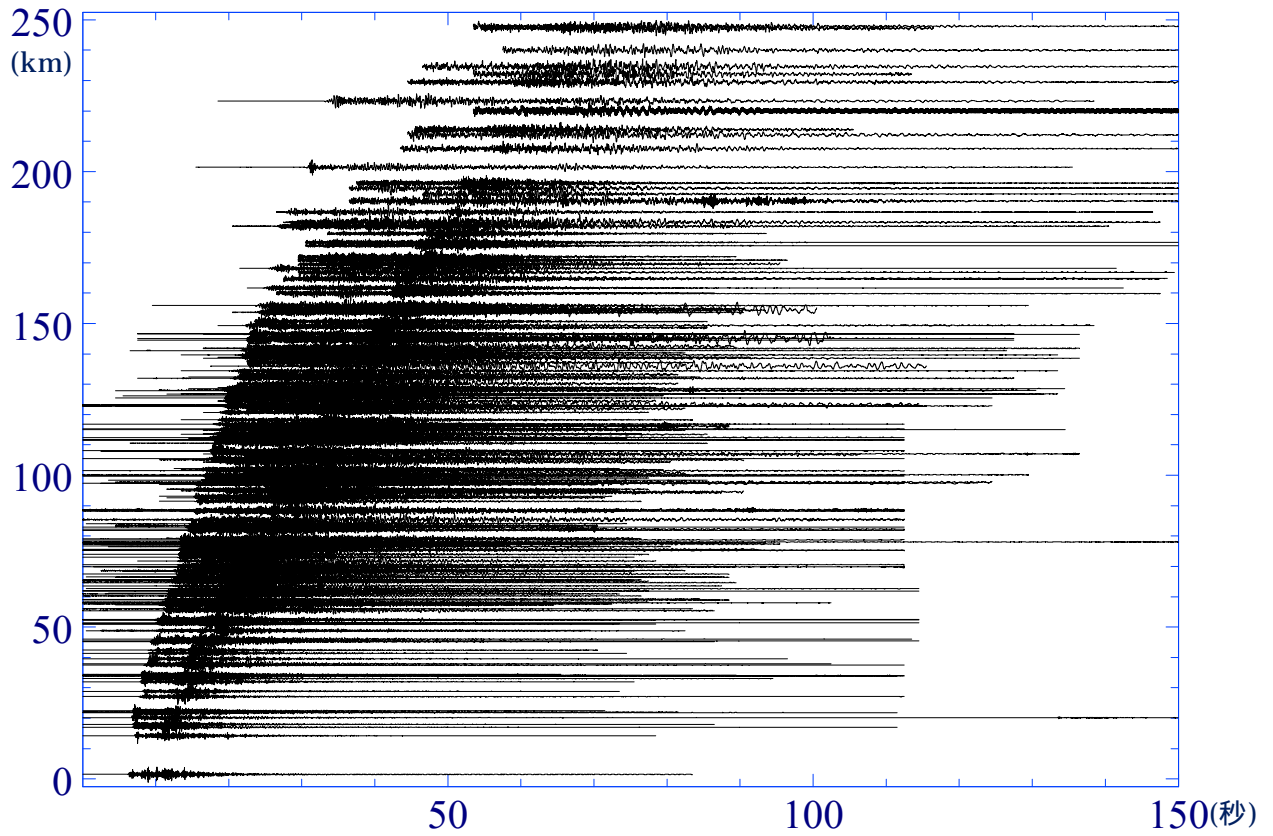


図 2 (c) . 2010 年 7 月 23 日 6 時 6 分に発生した M5.0 の地震の波形 (上下成分)。

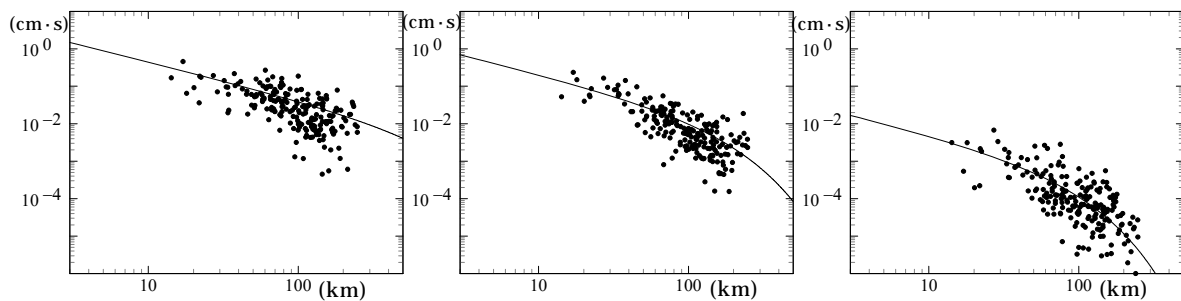


図 3 . フーリエスペクトル振幅の距離減衰。左 : 0.2Hz、中 : 1Hz、右 : 10Hz。

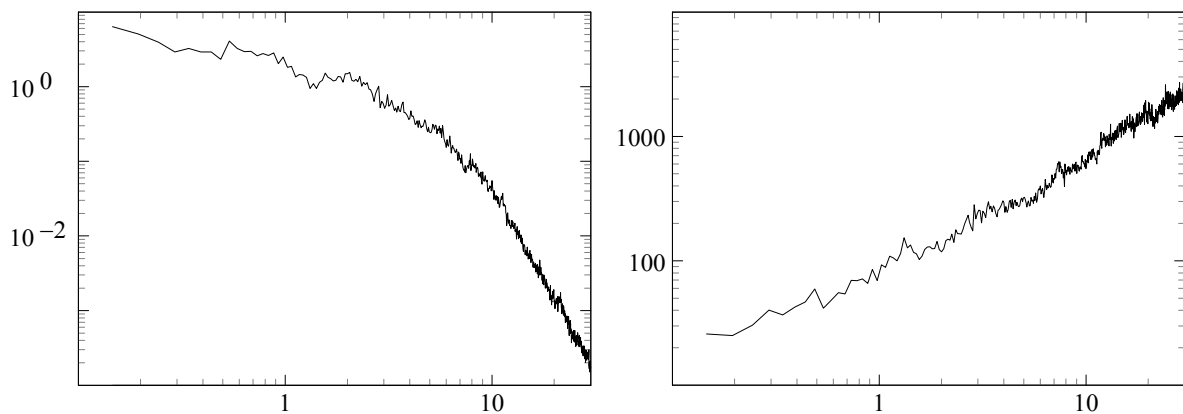


図 4 (a) . 震源スペクトル。横軸は周波数(Hz)。 図 4 (b) . Q 値。横軸は周波数(Hz)。

ここで得られた震源スペクトルの特徴から、この地震の震源パラメータは従来の相似則に従うと考えてよい。そこでこの地震の震源パラメータから、震源パラメータの相似則に基づいてマグニチュード7級の地震の震源パラメータを設定し、この地震の地震動を用いてマグニチュード7級の地震動を予測した。想定する地震のマグニチュードは7.2とした。この場合、マグニチュード5.0の地震と比べて、地震モーメントはおよそ2,000倍、コーナー周波数はおよそ0.08倍となる。簡単のためマグニチュード7.2の震源を点震源としたときの地震動を計算した。図5(a)~(c)にマグニチュード5.0の地震の観測加速度波形とマグニチュード7.2の予測加速度波形の比較を示す。上段は成田空港近傍のSRTM観測点、下段は東京都庁近傍のNSJM観測点の波形である。

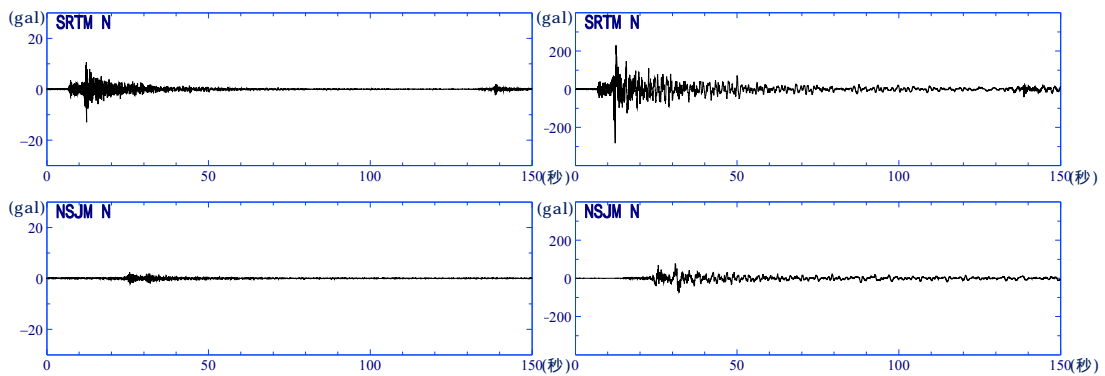


図5(a)．観測加速度波形と予測加速度波形(南北成分)。左：観測波形、右：予測波形。

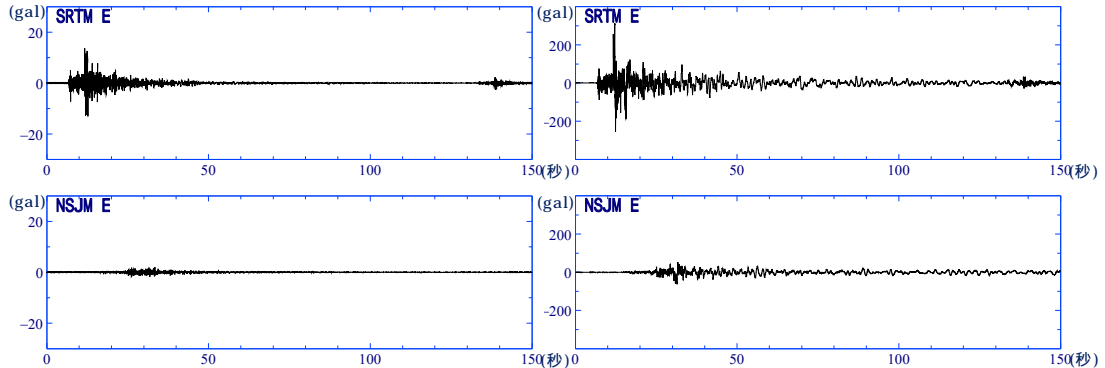


図5(b)．観測加速度波形と予測加速度波形(東西成分)。左：観測波形、右：予測波形。

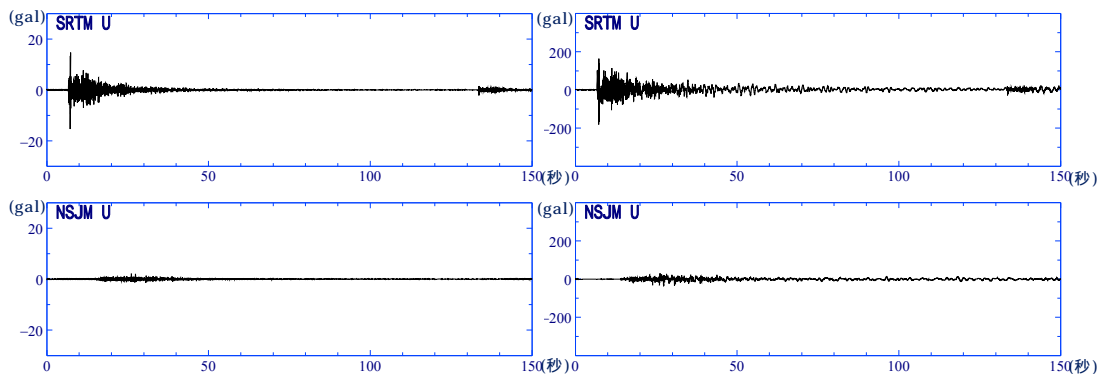


図5(c)．観測加速度波形と予測加速度波形(上下成分)。左：観測波形、右：予測波形。

また、図 6 (a) ~ (c) にマグニチュード 5.0 の地震の観測変位スペクトルとマグニチュード 7.2 の予測変位スペクトルの比較を示す。左図、右図ともに左欄は成田空港近傍の SRTM 観測点、右欄は東京都庁近傍の NSJM 観測点のスペクトルである。

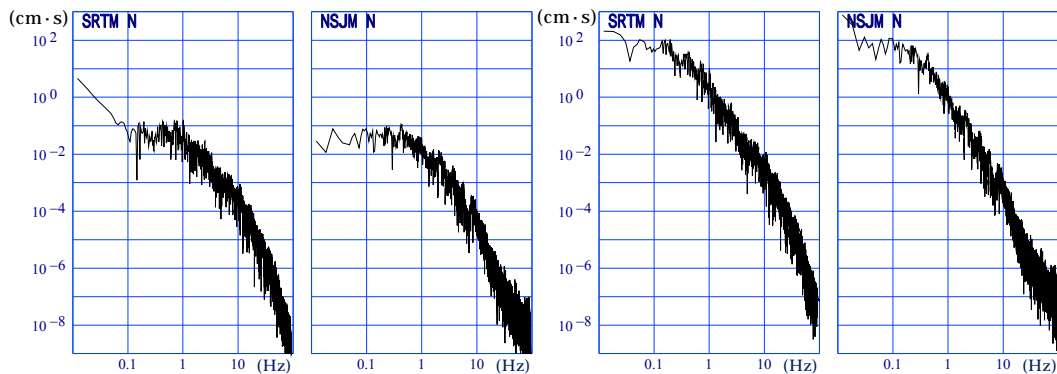


図 6 (a) . 観測変位スペクトルと予測変位スペクトル(南北成分)。
左：観測フーリエスペクトル、右：予測フーリエスペクトル。

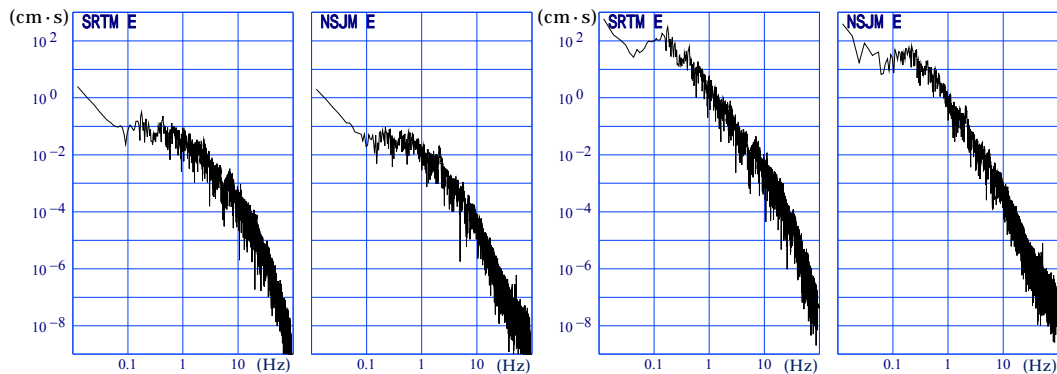


図 6 (b) . 観測変位スペクトルと予測変位スペクトル(東西成分)。
左：観測フーリエスペクトル、右：予測フーリエスペクトル。

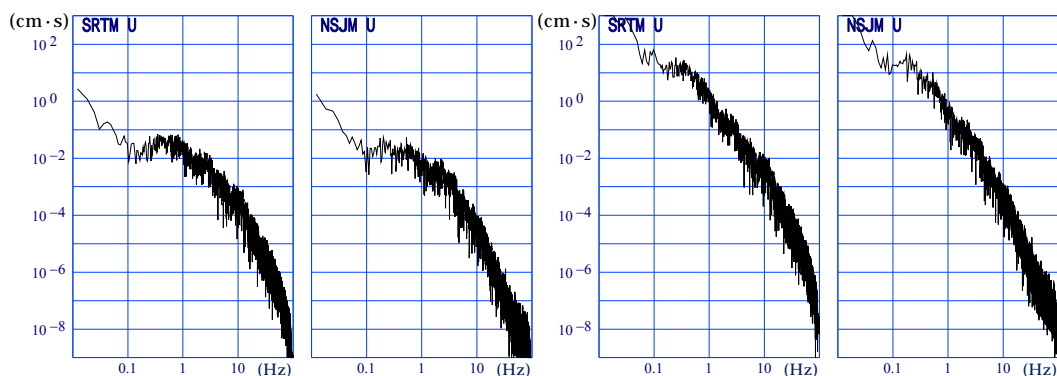


図 6 (c) . 観測変位スペクトルと予測変位スペクトル(上下成分)。
左：観測フーリエスペクトル、右：予測フーリエスペクトル。

2) 長周期地震動予測地図の高度化

昨年度に引き続き南海地域を対象として、長周期地震動予測地図作成のための地下構造モデルの改良を行った。地下構造モデルは堆積層、地震基盤、地殻構造、付加体やプレー

トを含む海域構造から成り立っている。本研究における地下構造モデルの各層の物性値を表 1 に示す（地震調査研究推進本部地震調査委員会，2009²⁾）。

表 1 . 地下構造モデル各層の物性値。Q 値は S 波に対する値。
（地震調査研究推進本部地震調査委員会，2009²⁾ より）。

層番号	P 波速度 V_p (km/s)	S 波速度 V_s (km/s)	密度 (g/cm^3)	Q 値	備考
1	1.7	0.35	1.80	70	
2	1.8	0.50	1.95	100	
3	2.0	0.60	2.00	120	
4	2.1	0.70	2.05	140	
5	2.2	0.80	2.07	160	
6	2.3	0.90	2.10	180	
7	2.4	1.00	2.15	200	
8	2.7	1.30	2.20	260	
9	3.0	1.50	2.25	300	
10	3.2	1.70	2.30	340	
11	3.5	2.00	2.35	400	
12	4.2	2.40	2.45	400	
13	5.0	2.90	2.60	400	地震基盤（近畿圏）
14	5.5	3.20	2.65	400	地震基
15	6.0	3.53	2.70	400	上部地殻
16	6.7	3.94	2.80	400	下部地殻
17	7.8	4.60	3.20	500	マントル
18	5.0	2.90	2.40	200	海洋性地殻第 2 層
19	6.8	4.00	2.90	300	海洋性地殻第 3 層
20	8.0	4.70	3.20	500	海洋性マントル

ここでは、主に S 波速度 2,000m/s 及び 2,400m/s の地殻最上部層の厚さの改良を行った。西南日本においては基盤岩が露頭した領域が広く分布している。これらの領域においては S 波速度が 2,900m/s の層が地表に露頭するとしてモデル化されていた。三次元地震動シミュレーションによる波形と観測波形とを比較すると、そのようなモデルではシミュレーション波形のほうが観測波形より振幅が小さく S 波を含む波群の走時が早い結果となった。このことは、基盤岩が露頭している領域において、S 波速度が基盤層より低い層が地表を覆っていることを示している。このことから、シミュレーション波の振幅と走時が観測波のものと一致するように、S 波速度 2,000m/s 及び 2,400m/s の地殻最上部層の厚さインバージョンにより求めた。用いた地震を表 2 に示す。シミュレーションは差分法により実施した（Pitarka, 1999³⁾）。シミュレーション波との比較には K-NET 及び KiK-net の観測波形を用いた。地下構造モデル改良の対象領域を図 7 に示す。図中、地下構造モデル化の対象領域を赤破線で示す。また、K-NET 観測点の位置を赤三角印、KiK-net 観測点の位置を青丸で示す。

図 8 に地下構造モデルの改良の様子を示す。カラーコンターは地震基盤の深さを示す。

図中の観測点位置にある四角印はシミュレーション波と観測波の最大速度振幅の比を示す。桃色はシミュレーション波の振幅のほうが小さく、水色はシミュレーション波のほうが大きいことを表す。

表 2 . 地下構造モデルの改良に用いた地震。

地震	Mj
1997年山口県北部地震	6.3
1999年和歌山県中部の地震	5.4
2000年鳥取県西部地震	7.3
2001年兵庫県北部の地震	5.6
2001年日向灘の地震	5.8
2007年愛媛県北東部の地震	5.3

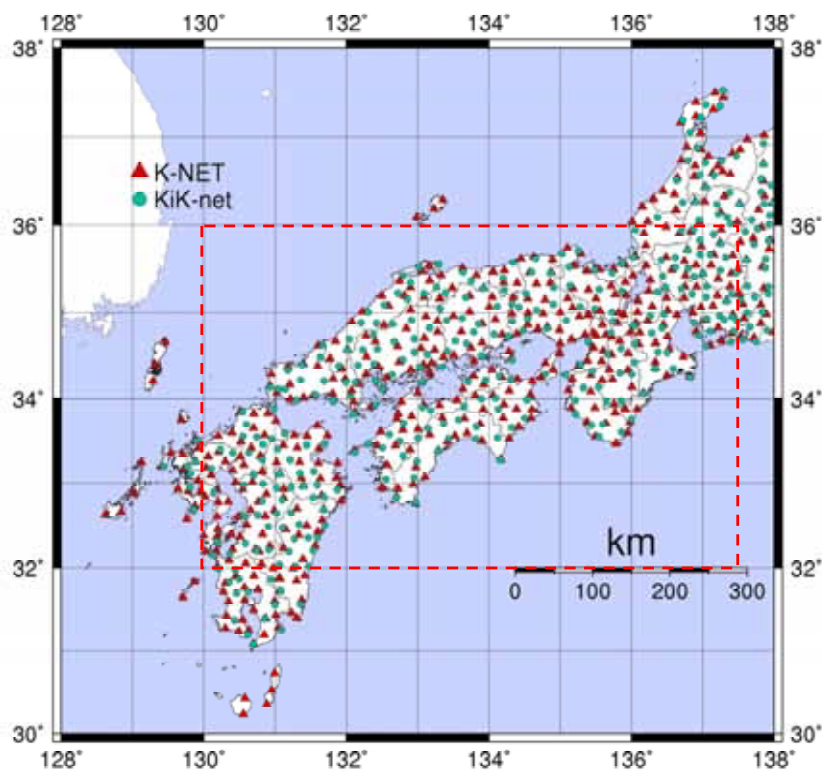


図 7 . 地下構造モデル化の領域と用いた観測点位置。

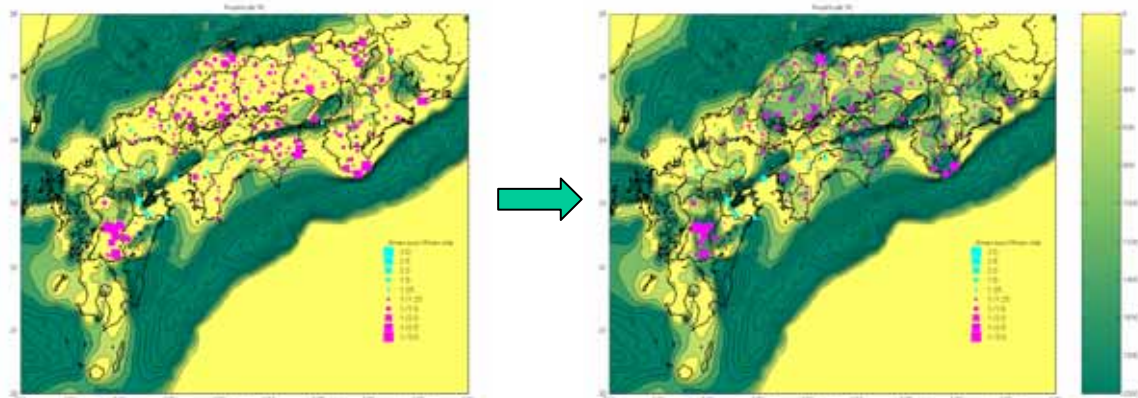


図 8 . イタレーションによる地下構造モデルの精緻化。

(c) 結論ならびに今後の課題

1) 震源断層モデル構築と強震動予測

平成 22 年 7 月 23 日 6 時 6 分に千葉県北東部で発生したマグニチュード 5.0 の地震について、観測記録の解析から震源スペクトルと非弾性減衰スペクトルを求めた。震源スペクトルは ω^{-2} モデルと調和的であった。非弾性減衰スペクトルから換算される Q 値は 1 Hz においておよそ 100 で、周波数の 0.7 乗程度で増加する。この地震を用いて、首都圏に脅威となる地震の一つとして、千葉県北東部を震源とするマグニチュード 7.2 の地震に対して、成田空港近傍の SRTM 観測点と新宿都庁近傍の NSJM 観測点を対象として、点震源を仮定して地震動予測を行った。

地震の規模が大きくなると震源断層の拡がりが大きくなり、また、震源断層には周辺よりすべり変位やすべり速度の大きなアスペリティが存在することが知られている。ここでは点震源を仮定したが、断層の拡がりとアスペリティの効果を取り入れるためには有限な広がりを持つ震源断層を用いた予測が必要である。既往の速度構造モデルとここで求められた周波数に依存する Q 値を参照して、有限な震源断層を用いた予測を行う必要がある。

2) 長周期地震動予測地図の高度化

昨年度に引き続き南海地域を対象として、長周期地震動予測地図作成のための地下構造モデルの改良を行った。西日本においては基盤岩が露頭した領域が広く分布しており、地表に S 波速度 2,900m/s の層が現れるようにモデル化されている。三次元地震動シミュレーションによる波形と観測波形との走時と振幅の比較により、地表部に追加すべき S 波速度 2,000m/s の層と 2,400m/s の地殻最上部層の厚さを調整し、地下構造モデルを精緻化した。この改良によりシミュレーション波の走時と振幅が観測波とよく一致するように地下構造モデルが改善された。

(d) 引用文献

- 1) Brune, J.N., Tectonic stress and the spectra of seismic shear waves from earthquakes, J. Geophys. Res., 75, 4997-5009, 1970.
- 2) 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 2009 年試作版, 2009.
- 3) Pitarka, A., 3D elastic Finite-Difference modeling of seismic motion using staggered grids with nonuniform spacing, Bull. Seismol. Soc. Am., 89, 54-68, 1999.

(e) 学会等発表実績

学会等における口頭・ポスター発表

発表成果（発表題目、口頭・ポスター発表の別）	発表者氏名	発表場所 （学会等名）	発表時期	国内・外の別
地震波干渉法による長周期地震動シミュレーション ポスター発表	三宅弘恵, Beroza, G.C., Denolle, M.	日本地球惑星科学 連合2010年大会予 稿集, SSS024-P09	2010年05月	国内

統計的グリーン関数の 適正化 口頭発表	増田徹	日本地球惑星科学 連合2010年大会予 稿集，SSS016		国内
An improvement of Stochastic Green's function ポスター発表	Masuda, T.	2010 Western Pacific Geophysical Meeting	2010年6月	国外(台 湾台北 市)
統計的グリーン関数法 による破壊伝播効果の 予測 口頭発表	増田徹	日本地震学会2010 年秋季大会予稿集	2010年10月	国内

(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23年度業務計画案

- 1) 地震動予測計算のために、2)の作業で用いる地下構造モデルのデータを整理する。
- 2) 構築された震源断層モデル及び地下構造モデルに基づき、首都直下地震による強震動予測を広帯域で行い、予測波形や応答スペクトル分布等として整理する。これらは、各分野の有識者により構成される研究成果の利用促進に関する作業部会での審議・検討のための資料とする。
- 3) 2)の予測結果をハザード地図や入力地震動波形の形で整理する。これらは、サブプロジェクト間の有機的連携のために、サブプロジェクト 及び へ提供する情報とする。
- 4) 震源断層のモデル、強震動予測の高度化に資するため、地震時の破壊成長過程のモデル化、プレート境界型地震とスラブ内地震の震源モデルの特性の比較、非一様破壊伝播過程の解析などを行う。
- 5) 海外で開催される会議や学会に出席して最新の研究成果を発表し、各国から参加する研究者との議論を通じて、本プロジェクトの目標達成に有益な情報を収集するため、米国地震学会（4月、米国）、米国地球物理学連合秋季大会（12月、米国）などに出席する。