3.3.10 海溝型地震の強震動予測のための海域地下構造モデルの作成

## (1) 業務の内容

(a) 業務題目 海域地下構造のモデル化

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名	メールアドレス
独立行政法人海洋研究開	プログラ		
発機構 地球内部変動研	ムディレ	金田 義行	kaneday@jamstec.go.jp
究センター	クタ		
独立行政法人海洋研究開			
発機構 地球内部変動研	研究員	馬場 俊孝	babat@jamstec.go.jp
究センター			

(c) 業務の目的

断層運動によって励起された地震波は地下の境界面で反射,屈折,分散などを繰り返し ながら伝播する.そのため,弾性体中を伝播する地震波の計算手法は確立しているとはい え,現実的な3次元地殻構造モデルなくして現実的な波動伝播シミュレーションはありえ ない.M8クラスの被害を与える巨大地震の多くは海溝軸付近のプレート境界で発生し,そ の地震波は海底下を伝わって我々の住む地域へと進む.例えば,南海トラフで発生が懸念 されている東南海地震の地震波は,南海トラフと日本列島の間を通って,約1200万人が住 む東京に伝播する.この場合は伝播経路にあたる海域下の地殻構造が強震動予測において 重要なものとなる.

日本周辺海域では 1990 年代から海域または海陸統合で構造探査が行われ,地殻構造が 調査されている.人工震源を用いることによって発振源のパラメーターは既知となるので, 自然地震を用いる方法よりも高精度に地下構造を推定できる.自然地震を用いる方法では, 震源のパラメーターも速度構造と同時に求めなければならない.また当然,構造探査にお いては,地下構造を知るために理想的な観測点配置がデザインされる.そこで本プロジェ クトではこれらの構造探査結果をコンパイルすることによって,日本周辺海域の3次元地 震波速度構造モデルを構築する.また,Vs 値や密度値を決定するために,岩石実験や近年の屈 折・反射法探査の結果を統計処理し,Vp 値との対応を太平洋プレートとフィリピン海プレートに ついて調査する.

(d) 5ヵ年の年次実施計画(過去年度は,実施業務の要約)

- 1) 平成14年度:実施業務なし
- 2) 平成15年度:実施業務なし
- 3) 平成16年度:実施業務なし
- 4) 平成17年度:屈折法探査データを使用し海域地下構造モデルを作成した.
- 5) 平成18年度:マルチチャンネル反射法地震探査と重力異常データから地震動を増幅させる性質を持つ表層堆積物のモデル化を行う.この業務によって,構造モデル,強震動予

測の高精度化が期待される.

(e) 平成 17 年度業務目的

平成9年度~平成16年度までに実施された、日本周辺の海域人工地震探査と陸・海域 統合探査で調査された屈折・反射断面の速度構造モデルを収集する.この断面データにつ いて、重力異常データを参考にして空間補間することにより、海域全体の3次元地下構造 モデルを構築する.海洋性地殻やプレート内のVs値や密度値を決定するために、岩石実験 や近年の屈折・反射法探査の結果を統計処理し、Vp値との対応表を太平洋プレートとフィ リピン海プレートについて調査する.

## (2) 平成17年度の成果

(a) 海域地下構造モデルの作成-南海トラフ海域

南海トラフの地殻構造モデルの作成のために 33 本の構造探査結果(図 1; e.g. Kodaira et al., 2005, Takahashi et al., 2002, Nakanishi et al., 2002a)をコンパイルした. 例として図 2 に南海トラフで得られた屈折法探査結果を示す(Nikanishi et al., 2002a; 位置は図 1 参考).本海域ではフィリピン海プレートが西南日本の島弧地殻の下に沈み込み,半遠洋性堆積物が付加してできた付加体が島弧地殻とフィリピン海プレートの上に存在している.

はじめに図 2 に太い黒線で示した境界面の 3 次元形状を作成した.可能な限り深い領 域までモデル化するため,海洋性地殻第 2 層の上面を震源分布を参考にしながら深部に 延長した(図 3a).さらに海溝と平行な方向にも震源分布を切り出し,それらの測線に沿 った海洋性地殻第 2 層の上面深度のデータを作成した.これらのデータを緯度・経度・ 深さに変換し(図 3b),曲率最小化アルゴリスム(Smith, 1990)をもちいて,海洋性地 殻第 2 層の上面の 3 次元形状を作成した.海洋性地殻第 3 層の上面,海洋性モホ面,島 弧地殻の上面も同様の手順で作成した.付加体についてはその分布がわかりやすいよう に層厚を図 4a に示し,海洋性地殻第 2 層,海洋性地殻第 3 層,海洋性モホ面については 海面からの深さで図 4b-d に示した.

解析領域内での2次元屈折法探査によって得られた付加体のP波速度に,優位な差異は 認められない.そこで付加体には同じP波速度(3.5km/s;表1)を与えた.沈み込むプ レートの一部である海洋性地殻第2層,第3層,マントルはその存在する深度が大きく変 化するので,これらの層には深さによってP波速度が増加するモデルを採用した.一般に, 深度が増すにつれて,P波速度も大きくなる傾向にある.各層のP波速度の勾配は岩石実 験の結果(Christensen, 1996)を参考にして決めた(表1).

日本周辺海域の2次元屈折法探査では、S波速度の推定までの詳細な解析はあまり行われないが、唯一、足摺沖屈折法探査では、PPS変換波を用いて付加体内のS波速度が特定された(Takahashi et al., 2002).そこで、付加体のS波速度についてはこの足摺沖屈折法探査によって推定された値をそのまま南海トラフ全体に適用した(表1).海洋性地殻 第2層、第3層、海洋性マントルのS波速度は、南海トラフの海域での屈折法探査によって 推定された例はない.それら各層については、岩石実験の結果(Christensen, 1996)を 参考,または標準的な値を与えるなどして,Vp/Vsを設定した(表1).

## (b) 海域地下構造モデルの作成-日本海溝海域

日本海溝モデルでコンパイルした測線の数は11本で南海トラフよりも少ない.図5に は日本海溝で実施された構造探査結果を示した(Miura et al., 2005;位置は図1参考). 太平洋プレートが東北日本下に沈み込んでいるのがわかる.南海トラフで沈み込んでい るフィリピン海プレートよりも年代が古いので,沈み込み角度はやや高角である.南海 トラフでは半遠洋性堆積物起源の付加体が大きな特徴であったが,日本海溝はテクトニ ックエロージョンの場であるので付加体は存在しない.その代わりに,第3紀以降と自 亜紀の堆積物が海底に厚く堆積している.

日本海溝モデルでは第3紀以降の堆積物,白亜紀堆積物,海洋性地殻第2層,海洋性 地殻第3層,海洋性マントルをモデル化した.モデル化の手順は南海トラフの手順とほ ぼ同じである.陸域下の海洋性地殻第2層の上面に関してはKatsumata et al. [2005] に基づいた.また,北海道襟裳岬付近の第3紀以降の堆積物はマルチチャンネル反射法 探査結果から推定した堆積層の厚さ(Itoh and Tsuru, 2005)の情報も取り込んだ.第3 紀以降の堆積物,白亜紀堆積物についてはその分布がわかりやすいように層の厚さを図 6a,bに示し,海洋性地殻第2層,海洋性地殻第3層,海洋性モホ面については海面から の深さで図 6c-eに示した.

それぞれの測線の P 波速度を調査し、南海トラフと同様に各層の平均的な P 波速度を 算出した.ここでも海洋性地殻第 2 層、第 3 層、マントルは深さに依存して地震波速度 が変化するように定義し、その勾配は南海トラフと同じものを用いた(表 2).日本海溝 海域での探査から S 波速度は見積もられていないので、海洋性地殻第 2 層、第 3 層、マ ントルの Vp/Vs 比については南海トラフと同様に岩石実験の結果(Christensen, 1996) を拠り所とした.白亜紀堆積物の Vp/Vs は南海トラフの付加体に設定したものと同じも のを用いた.第 3 紀以降の堆積物については Vp/Vs は南海トラフで求められた最も表層 の堆積物の値(Takahashi et al, 2002)を用いた(表 1).

(c) 引用文献

1) Christenson, N.I., Poisson's ratio and crustal seismology, J. Geophys. Res., 101, 3139-3156, 1996.

 市川 岳,海底地震計を使った日向灘周辺の地殻構造研究,北海道大学修士論文, 1997.

Ito, A., G. Fujie, T. Tsuru, S. Kodaira, A. Nakanishi, and Y. Kaneda, Fault plane geometry in the source region of the 1994 Sanriku-oki earthquake, Earth Planet. Sci. Lett., 223, 163-175, 2004.

3) Itou, Y. and T. Tsuru, Evolution history of the Hidaka-oki (offshore Hidaka) basin in the southern central Hokkaido, as revealed by seismic interpretation, and related tectonic events in an adjacent collision zone, Phys. Earth Planet. Inter., 153, 220-226, 2005. 4) Iwasaki, T., H. Shiobara, A. Nishizawa, T. Kanazawa, K. Suyehiro, N. Hirata, T. Urabe, and H. Shimamura, A detailed subduction structure in the Kuril trench deduced from ocean bottom seismographic refraction studies, Tectonophysics, 165, 315-336, 1989.

5) Iwasaki, T., T. Yoshii, T. Moriya, A. Kobayashi, M. Nishiwaki, T. Tsutsui, T. Iidaka, A. Ikami, and T. Masuda, Precise P and S wave velocity structures in the Kitakami massif, Northern Honshu, Japan, from a seismic refraction experiment, J. Geophys. Res., 99, 22187-22204, 1994.

6) Iwasaki, T., W. Kato, T. Moriya, A. Hasemi, N. Umino, T. Okada, K. Miyashita, T. Mizogami, T. Takeda, S. Sekine, T. Matushima, K. Tashiro, and H. Miyamachi, Extensional structure in northern Honshu Arc as inferred from seismic refraction/wide-angle reflection profiling, Geophys. Res. Lett., 28, 2329-2332, 2001.

7) Katsumata, K., N. Wada, and M. Kasahara, Newly imaged shape of the deep seismic zone within the subducting Pacific plate beneath the Hokkaido corner, Japan-Kurile arc-arc junction, J. Geophys. Res., 108, doi:10.1029/2002JB002175, 2003.

8) Kodaira, S., E. Kurashimo, J.-O. Park, N. Takahashi, A. Nakanishi, S. Miura, T. Iwasaki, N. Hirata, K. Ito and Y. Kaneda, Structural factors controlling the rupture process of a megathrust earthquake at the Nankai trough seimogenic zone, Geophys. J. Int., 149, 815-835, 2002

9) Kodaira, S., N. Takahashi, J.-O. Park, K. Mochizuki, M. Shinohara and S. Kimura, Western Nankai Trough seismogenic zone: Results from a wide-angle ocean bottom seismic survey, J. Geophys. Res., 105, 5887-5905, 2000.

10) Kodaira, S., T. Iidaka, A. Nakanishi, J.-O. Park, T. Iwasaki, and Y. Kaneda, Onshore-offshore seismic transect from the eastern Nankai Trough to central Japan crossing a zone of the Tokai slow slip event, Earth Planets Space, 57, 943-959, 2005.
11) Miura, S. N. Takahashi, A. Nakanishi, T. Tsuru, S. Kodaira, and Y. Kaneda, Structual characteristics off Miyagi forearc region, the Japan Trench seismic zone, deduced from a wide-angle reflection and refraction study, Tectonophysiscs, 407, 165-188, 2005.

12) Miura, S. S. Kodaira, A. Nakanishi, T. Tsuru, N. Takahashi, N. Hirata, and Y. Kaneda, Structual characteristics controlling the seismicity of southern Japan Trench fore-arc region, revealed by ocean bottom seismographic data, Tectonophysiscs, 363, 79-102, 2003.

13) Mochizuki, K., G. Fujie, T. Sato, J. Kasahara, R. Hino, M. Shinohara and K. Suehiro, Heterogeneous crustal structure across a seismic block boundary along the Nankai Trough, Geophys. Res. Lett., 25, 2301-2304, 1998

14) Nakanishi, A., H. Shiobara, R. Hino, S. Kodaira, T. Kanazawa and H. Shimamura, Detailed subduction structure across the eastern Nankai Trough obtained from ocean bottom seismographic profiles, J. Geophys. Res., 103, 27151-27168, 1998 15) Nakanishi, A., N. Takahashi, J.-O. Park, S. Miura, S. Kodaira, Y. Kaneda, N. Hirata, T. Iwasaki and M. Nakamura, Crustal structure ascross the coseismic rupture zone of the 1944 Tonankai earthquake, the central Nankai Trough seismogenic zone, J. Geophys. Res. 107, doi:10.1029/2001JB000424, 2002a.

16) Nakanishi, A., H. Shiobara, R. Hino, K. Mochizuki, T. Sato, J. Kasahara, N. Takahashi, K. Suehiro, H. Tokuyama, J. Segawa, M. Shinohara and H. Shimamura, Deep crustal structure of the eastern Nankai Trough and Zenisu Ridge by dense airgun-OBS seismic profiling, Mar. Geol., 187, 47-62, 2002b.

17) Nakanishi, A., A. J. Smith, S. Miura, T. Tsuru, S. Kodaira, K. Obana, N. Takahashi, P. R. Cummins, and Y. Kaneda, Structural factors controlling the cosesimic rupture zone of the 1973 Nemuro-Oki earthquake, the southern Kuril Trench seismogenic zone, J. Geophys. Res., 109, doi:10.1029/2003JB002574, 2004.

18) 西坂弘正,紀伊半島沖南海トラフにおけるフィリピン海プレートの沈み込み域,修士 論文,千葉大学,1997

19) Sato, H., N. Hirata, K. Koketsu, D. Okaya, S. Abe, R. Kobayashi, M. Matsubara, T. Iwasaki, T. Ito, T. Ikawa, T. Kawanaka, K. Kasahara, S. Harder, Earthquake source fault beneath Tokyo, Science, 462-462, 2005.

20) Sato, T., K. Mochizuki, J. Kasahara, G. Fujie, H. Nishisaka and S. Koresawa, Depth variation of the crustal structure of the subducting plate along the Nankai Trough, off Kii Channel, Japan, Geophys. Res. Lett., 25, 4011-4014, 1998

21) Smith, W. H. F, and P. Wessel, Gridding with continuous curvature splines in tension, Geophysics, 55, 293-305, 1990.

22) Takahashi, N., S. Kodaira, A. Nakanishi, J.-O. Park, S. Miura, T. Tsuru, Y. Kaneda, K. Suehiro and H. Kinoshita, Seismic structure of western end of the Nankai trough seismogenic zone, J. Geophys. Res., 107, doi:10.1029/2000JB000121, 2002.

23) Takahashi, N., S. Kodaira, J.-O. Park, and J. Diebold, Heterogeneous structure of western Nankai seismigenic zone deduced by multichannel reflection data and wide-angle seismic data, Tectonophysics, 167-190, 2003.

24) Takahashi, N., S. Kodaira, T. Tsuru, J-O. Park, Y. Kaneda, K. Suyehiro, H. Kinoshita, S. Abe, M. Nishino, and R. Hino, Seismic structure and seismogenesis off Sanriku region, northeastern Japan, Geophys. J. Int., 159, 129-145, 2004.

25) 武田哲也,新しい散乱重合法に基づく深部地殻構造マッピングー高角反射法データ への適用-,博士論文,東京大学,2001.

著者	題名	発表先	発表年月日
馬場俊孝・伊	制御地震探査結果から構築	日本地球惑星科学連合	平成 18 年 5
藤亜紀・金田	した日本周辺海域下の3次	2006 年大会	月(予定)
義行・早川俊	元地震波速度構造モデル		
彦·古村孝志			

(d) 成果の論文発表・口頭発表等

- (e)特許出願,ソフトウエア開発,仕様・標準等の策定
  - 1) 特許出願
    - なし
  - 2) ソフトウエア開発
    - なし
  - 3) 仕様・標準等の策定
  - なし

表1:南海トラフモデルで定義したP波速度とVp/Vs

	· · · · · · ·		
	Vp (km/s)	Vp/Vs	
付加体	3.5	2.20	
海洋性地殼第2層	5.4+0.0055 x	1.94	
	Z		
海洋性地殼弟3層	6.5+0.0055 x	1.87	
	Z		
海洋性マントル	8.1+0.0053 x	1.76	
	Z		

z: 海水面からの深さ(km)

表2:日本海溝モデルで定義したP波速度とVp/Vs

	Vp (km/s)	Vp/Vs
第3紀の堆積物	2.3	2.83
白亜紀の堆積物	4.5	2.20
海洋性地殼第2層	5.5+0.0055 x	1.94
	Z	
海洋性地殼弟3層	6.7+0.0055 x	1.87
	Z	
海洋性マントル	7.8+0.0053 x	1.76
	Z	

z: 海水面からの深さ(km)



図 1 モデル構築に使用した構造探査結果: (a) 南海トラフ海域, (b) 日本海溝海域. 参 考文献は以下のとおり: Nakanishi et al. (2004), Iwasaki et al. (1989), Takahashi et al. (2004), Ito et al. (2004), Iwasaki et al. (1994), Iwasaki et al. (2001), Miura et al. (2005), Miura et al. (2003), Katsumata et al. (2003), 市川 (1997), Takahashi et al. (2002), Takahashi et al. (2003), Kodaira et al. (2002), 西沢 (1997), Mochizuki et al. (1998), Sato et al. (1998), Nakanishi et al. (2002a), 武田 (2001), Nakanishi et al. (2002b), Kodaira et al. (2005), Sato et al. (2005)



図2 南海トラフで実施された屈折法探査の結果:測線位置は図1参照のこと



図3 (a) 海洋性地殻第2層の上面深度と微小地震分布,(b) 測線上にデータ化した深度.



図4 南海トラフ3次元地殻構造モデル:(a)付加体の厚さ,(b)海洋性地殻第2層の上 面深度,(c)海洋性地殻第3層の上面深度,(d)海洋性モホ面の深度



図5日本海溝で実施された屈折法探査の結果:測線位置は図1参照のこと



図6日本海溝3次元地殻構造モデル:(a)第3紀以降の堆積物の厚さ,(b)白亜紀の堆積 物の厚さ,(c)海洋性地殻第2層の上面深度,(d)海洋性地殻第3層の上面深度,(e)海 洋性モホ面の深度

## (3) 平成 18 年度業務計画案

H18 年度は、マルチチャンネル反射法地震探査と重力異常データから地震動を増幅させる性質を持つ表層堆積物のモデル化を行う。この業務によって、構造モデル、しいては強 震動予測の高精度化が期待される。

過去に海洋研究開発機構などで実施された数多くのシングルまたはマルチチャンネル反 射法断面から表層堆積物の基盤面を特定し、断面間で滑らかにつながるように補間するこ とによって、表層堆積物と基盤との境界面をモデル化する。この作業を日本周辺海域全体 にわたって行い、昨年度作成した大規模モデルに統合する。

構造探査が実施されていない海域では、海洋研究開発機構の船舶で取得した船上重力異

常値データを用いて逆解析を行い基盤面の形状を推定する。特に、東南海地震、南海地震 の東京圏への伝播経路上にある相模湾の堆積物構造に重点をおく。

人工地震探査で求められていないS波速度(Vs)のモデルを作成するために、最近のVp,Vs 同時探査から求められたVp/Vs値、または岩石実験の回帰式を用いて表層堆積物のS波速 度構造を推定する。重力インバージョンに必要な密度値は、Vp値との対応を調査した ODPsite808のコアデータから推定する。