# (2) 海洋研究開発機構

## 1. はじめに

海洋研究開発機構では、海溝型巨大地震の震源域で の詳細な構造調査に加えて、地震・津波監視システム (DONET)の技術開発、設置・構築を行うとともに、 長期孔内システムの開発・DONETへの接続によるリア ルタイム化、リアルタイム海域観測データを活用する即 時津波予測システムの開発・実装を行ってきた.さらに、 東北地方太平洋沖地震に対して、構造調査やシミュレー ションを活用した研究を進めるとともに、南海トラフ~ 琉球海溝、日本海東縁等を対象としたプロジェクト研究 を進めた.

# 2. 地震・津波観測監視システム (DONET)の構築・活用 2.1 DONET1・2の構築とモニタリング

DONET (Dense Oceanfloor Network System for Earthquakes and Tsunamis) は、南海トラフの巨大地 震の震源域のほとんどを占める、海域で発生する地 震・津波を常時観測監視するために、南海トラフ周辺 の深海底に設置された地震・津波観測監視システムで ある. 紀伊半島沖熊野灘の水深約 1,900~4,400m の海 底に設置された「DONET1」は、2011 年に本格運用を 開始.「DONET2」は、紀伊水道から四国沖の水深約 1,000~3,600m の海底に設置された. 各観測点には強震 計,広帯域地震計,水晶水圧計,微差圧計,ハイドロフォ ン,精密温度計が設置され、地殻変動のようなゆっくり した動きから大きな地震動まで、あらゆるタイプの海底 の動きを観測することができる(図 1).



図 1 DONET のシステム概要. 長期孔内を含む.

DONET1による地震観測データを加えることで,紀 伊半島沖での地震の検知能力が大きく向上し,震源位置 の決定精度(特に深さ)も向上した(図2)<sup>1)</sup>.



図2 DONET1 による震源決定能力向上<sup>1)</sup>

DONET は、海洋研究開発機構が文部科学省より、平 成 18 年度から受託研究「地震・津波観測監視システム 構築」および平成 22 年度から補助事業「地震・津波観 測監視システムの開発」として開発・整備を進めたもの である。平成 28 年 4 月に、紀伊水道から四国沖にかけ て展開する DONET2 が完成したことを受け、DONET1 と合せて、防災科学技術研究所に移管された。

## 2.2 南海トラフ長期孔内観測システム

より長周期の海底地殻変動等を観測するには,海底面 に広がる軟弱な堆積層や,海底に流れる底層流の影響を 避ける必要がある.海底下 500-1000 m の掘削孔内に観 測センサーを設置することでそれが実現できると考え, 地球深部探査船「ちきゅう」で掘削した孔内へ地震・地 殻変動等のセンサーを設置する「長期孔内観測システム」 の開発を行い,国際深海掘削計画(IODP)における南 海掘削計画の一環で,東南海地震震源域沖合の海域に 複数点を設置し,DONETに接続することで長期観測を 実現した.DONET1・2 ならびに長期孔内観測データを 用いたスロー地震の解析は,第2部3章 3.(5)を参照さ れたい.



図3 長期孔内観測システムダイアグラム

#### 2.3 即時津波予測システムと社会実装

沖合の津波発生による DONET の水圧計の変化を捉 え、それに対する沿岸での増幅率を事前に多数シミュ レーションで計算しておくことで、リアルタイムデータ に従って1秒毎に津波高・到達時刻・浸水マップを更新 していくシステムを開発し<sup>2)</sup>、和歌山県・中部電力・尾 鷲市等に実装した.和歌山県はこのシステムを用いて、 気象庁以外で初めて、市町村の防災担当に向けて、独自 の津波予報を知らせる仕組みとなっている.



図4 津波即時予測システム<sup>2)</sup>

### 3. 東北地方太平洋沖地震関連

#### 3.1 地震前後の海底地形・地下構造変化

2011 年東北地方太平洋沖地震の発生を受け,海洋研 究開発機構では,震源域の構造の把握,断層のイメージ ングを目的として,主に宮城沖を対象に地形・地下構造 調査を実施した.



図5 東北地方太平洋沖地震前後の海底地形比較<sup>3)</sup>

海洋研究開発機構は、以前から、東北沖でマルチナロー ビーム音響測深器による地形調査を実施してきた. 地震 発生後, 宮城沖の震央付近で過去に調査を実施した測 線と同一測線で得られた地形データと、過去に得られた データを比較したところ、特に海溝軸近傍で最大 50m にも及ぶ地形変化があったことが判明した(図 6)<sup>3</sup>.

この地震では地震に伴う変形が海溝軸近傍まで及ん だことが地形調査から明らかになったが,実際の断層は どのように位置し、どのように断層が海底へ達している かを知るには地下構造調査が必要である.地震後の複数 回にわたって反射法地震探査を実施し、地震発生前後で の地下構造の変化の抽出を試みた.その結果、海底地形 変化が見られた測線と同一の測線において、地震前後で 海溝軸近傍に地下構造変化が見られた.高分解能反射 法探査の結果明瞭になった海溝軸近傍の堆積層の変形 様式をあわせて考えると、地下構造の変化は、この地震 によるプレート境界断層に沿った破壊が海溝軸ごく近傍 まで 伝播し、海溝底下の堆積層を変形させながら海底 へ突き抜けたことによるものであると説明できた.



図6 a) 2011年の地震直後に取得された反射断面. 縦横比は 1:1(他は 2:1).b) 1999年に取得された反射断面の拡大図.c)a)の拡大図.d)高分解能反射断面をもとに解釈を加えたもの<sup>4)</sup>.

## 3.2 東北地方太平洋沖地震とその前後の活動のモでル

2011 年東北地方太平洋沖地震は、それまで高々 M 7 クラスの地震が繰り返していた領域を含めて、M9 クラ スの地震として発生した.このような、規模の大きく異 なる地震が同一の領域で発生することを再現する階層ア スペリティモでルを提案した<sup>5)</sup>.



図7 断層面のせん断応力(上)とすべり速度(下)のスナップ ショット.右上は地震時すべり分布の例<sup>5)</sup>.

#### 3.3 宮城県沖地震の再来間隔変化の可能性

前述のような階層アスペリティモでルにもとづく, 2011 年東北地方太平洋沖地震と,その前後の大地震(M 7前後)を対象とした日本海溝域における地震発生サイ クルの数値シミュレーションを多数行い,東北沖地震前 後の観測をある程度再現する121のシナリオを見出し た.それらのシナリオにもとづくと,M9クラスの地震 が発生してから,次のM7クラスの宮城県沖地震が発生 するまでの時間間隔は,M9クラスの地震発生前の宮城 県沖地震の平均再来間隔の半分より短くなる場合が多い ことを指摘した<sup>6</sup>.



図8 121 のシナリオにもとづいた,次の宮城県沖地震の 発生時期<sup>6)</sup>.

# 4. 南海トラフ~琉球海溝を対象とした調査研究

# 4.1 琉球海溝南部における沈み込み帯の構造

文部科学省による委託業務「南海トラフ広域地震防災 研究プロジェクト」の一環として,琉球海溝南部におい て屈折法探査・反射法探査および海底地震計を用いた地 震観測を実施し,それらのデータを解析した.その結果, プレート境界近傍で低周波地震が発生していること,ま たプレート境界の浅部から深部に高圧な流体が存在し, 低周波地震の発生に強く寄与している可能性が高いこと を明らかにした.さらに,同地域でプレート境界断層と 分岐断層から成る楔形の構造が存在するとともに,これ が津波データから推定される1771年八重山地震の巨大 津波発生源とよく一致することを明らかにした(図9)<sup>70</sup>.



図 9 琉球海溝南部の構造<sup>7)</sup>. a,b) 反射法探査イメージ.
c) 屈折法探査イメージ.

#### 4.2 南海トラフ巨大地震のシナリオや推移予測

文部科学省による委託業務「南海トラフ広域地震防災 研究プロジェクト | の一環として、南海トラフ巨大地震の シナリオの検討や推移予測手法の開発を行った. 例えば, 南海トラフにも階層アスペリティモでルを適用すること で, 宝永をはじめとして, 津波石等の地質学的証拠から, より規模が大きかったと考えられる地震が数百年に一度 発生することが説明できること<sup>8)</sup>、宝永津波での瀬戸内海 での被害と整合するには、深部低周波微動の発生する地 震発生帯深部まで地震時にすべる必要があること<sup>9)</sup>, 1968 年日向灘地震の震源域での地震によって南海地震が誘発 され、東海地震に先行するシナリオがあり得えること<sup>10)</sup> 等を示した、また、多数のシナリオを準備しておき、地殻 変動データとの整合性を調べることで、逐次データ同化 を行う手法を開発し、東南海(東海)地震後から南海地 震までの推移予測の数値実験を行った<sup>11)</sup>. さらに, 1944 年東南海地震の余震以来,数十年ぶりのプレート境界で 発生した M6 クラス地震である 2016 年 4 月 1 日三重県南 東沖地震とその後の余効すべりについて、南海トラフ巨 大地震との関係を含めた統合的理解を進めた<sup>12)</sup>.



図 10 M8 後の固着のはがれによる M6 発生, 余効すべりが 浅部でのみ発生するパターンの再現<sup>12)</sup>.

#### 5. まとめに

海洋研究開発機構では、今後も海溝型巨大地震震源 域での調査観測研究、リアルタイム海底地震・地殻変 動・津波ネットワークシステムの開発や掘削技術の活 用、データ解析・シミュレーション技術の活用を通して、 沈み込み帯の理解を深め、現状把握と推移予測を進め ていく.

#### 参考文献

- Nakano, M., T. Nakamura, S. Kamiya, M. Ohori, and Y. Kaneda, 2013. Intensive seismic activity around the Nankai trough revealed by DONET ocean-floor seismic observations, *Earth Planets Space*, 65, 5-15.
- Takahashi, N., K. Imai, M. Ishibashi, K. Sueki, R. Obayashi, T. Tanabe, F. Tamazawa, T. Baba, and Y. Kaneda, 2017. "Real-Time Tsunami Prediction System Using DONET," *J. Disaster Res.*, 12(4), 766-774.
- Fujiwara, T., S. Kodaira, T. No, Y. Kaiho, N. Takahashi, and Y. Kaneda, 2011. The 2011 Tohoku-Oki earthquake: Displacement reaching the trench axis, *Science*, 334, 1240.
- 4) Kodaira, S., T. No, Y. Nakamura, T. Fujiwara, Y. Kaiho, S. Miura, ... A. Taira, 2012. Coseismic fault rupture at the trench axis during the 2011 Tohoku-oki earthquake. *Nature Geoscience*, 5(9), 646–650. https://doi.org/10.1038/NGEO1547.
- Hori, T., and S. Miyazaki, 2011. A possible mechanism of M 9 earthquake generation cycles in the area of repeating M 7 ~ 8 earthquakes surrounded by aseismic sliding. *Earth Planets Space*.

63, 773-777.

- Nakata, R., T. Hori, M. Hyodo, and K. Ariyoshi, 2016. Possible scenarios for occurrence of M ~ 7 interplate earthquakes prior to and following the 2011 Tohoku-Oki earthquake based on numerical simulation. *Sci. Rep.* 6, 25704; doi: 10.1038/srep25704.
- 7) Arai, R., T. Takahashi, S. Kodaira, Y. Kaiho, A. Nakanishi, G. Fujie, Y. Nakamura, Y. Yamamoto, Y. Ishihara, S. Miura, and Y. Kanedam 2016. Structure of the tsunamigenic plate boundary and low-frequency earthquakes in the southern Ryukyu Trench. *Nat. Commun.* 7:12255 doi: 10.1038/ncomms12255.
- Hyodo, M., and T. Hori, 2013. Re-examination of possible great interplate earthquake scenarios in the Nankai Trough, southwest Japan, based on recent findings and numerical simulations, *Tectonophysics*, http://dx.doi.org/10.1016/j.tecto. 2013.02.038.
- 9) Hyodo, M., T. Hori, K. Ando, and T. Baba, 2014. The possibility of deeper or shallower extent of the source area of Nankai Trough earthquakes based on the 1707 Hoei tsunami heights along the Pacific and Seto Inland Sea coasts, southwest Japan, *Earth, Planets and Space*, 66:123.
- 10) Hyodo, M., T. Hori, and Y. Kaneda, 2016. A possible scenario for earlier occurrence of the next Nankai earthquake due to triggering by an earthquake at Hyuga-nada, off southwest Japan, *Earth, Planets and Space*, 68:6 DOI 10.1186/s40623-016-0384-6.
- Hori, T., M. Hyodo, S. Miyazaki, and Y. Kaneda, 2014, Numerical forecasting of the time interval between successive M8 earthquakes along the Nankai Trough, southwest Japan, using ocean bottom cable network data, *Mar. Geophys.* Res., DOI 10.1007/ s11001-014-9226-8.
- 12) Nakano, M., M. Hyodo, A. Nakanishi, M. Yamashita, T. Hori, S. Kamiya, K. Suzuki, T. Tonegawa, S. Kodaira, N. Takahashi, and Y. Kaneda, 2018. The 2016 Mw 5.9 earthquake off the southeastern coast of Mie Prefecture as an indicator of preparatory processes of the next Nankai Trough megathrust earthquake, *Progress in Earth and Planetary Science*, 5:30 https://doi.org/10.1186/s40645-018-0188-3.