

機関番号：12501

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20500891

研究課題名（和文）日本海東縁ひずみ集中帯の大地震発生ポテンシャル予測に関する研究

研究課題名（英文）Comprehensive research on large earthquake occurrence potential in the concentrated deformation zone along the Japan Sea eastern margin

研究代表者

宮内 崇裕 (MIYAUCHI TAKAHIRO)

千葉大学・大学院理学研究科・教授

研究者番号：00212241

研究成果の概要（和文）：日本海東縁変動帯の沿岸において、海成段丘・離水海岸地形の高度分布から逆問題として震源断層の諸元を第一次近似的に解き、海域に分布する活断層の地震発生の可能性について検討した。その結果、旧汀線の高度分布は、その震源断層セグメントを沖合数 10km(海岸～大陸棚近傍)に想定し逆断層としてのすべりを与えることで復元された。想定される地震規模 Mw6.7-7.6、地震の発生間隔は数千年程度、現成波食棚の幅が広い海岸(奥尻島、松前半島、函館平野西岸、西津軽艦作半島、飛島)は次の大地震発生が近いことを暗示している。

研究成果の概要（英文）：The differential uplift showing tilting and warping of late Quaternary marine terraces along a 500 km long coast of this eastern margin of Japan Sea is understood due to offshore causative fault movements and related large earthquakes. Shallow submarine reverse fault segments close to the coastlines are undoubtedly responsible for coastal uplift and accumulative marine terrace tilting and warping. Calculating co-seismic displacement distribution to be best fit to paleoshoreline records indicates earthquake magnitude in the range of Mw 6.7-7.6 and recurrence time of several thousand years. This implies that this region has high probability of large magnitude earthquakes accompanied by coastal uplift, which will happen somewhere in near future. Particularly in the several areas, Okushiri Island, Matsumae Peninsula, western margin of Hakodate Plain, Henashi Peninsula and Tobishima Island, where present abrasion platforms widely develop, the next large earthquakes seem imminent.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2009 年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2010 年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：地理学・地理学

キーワード：地形

1. 研究開始当初の背景

日本海東縁変動帯では、20世紀後半以降マグニチュード7級の大地震が連続し、地震テクニクスの正しい理解が要請されていた。ここは従来地質学的には羽越褶曲帯と呼ばれた変形帯であるが、そのような短縮変形と大地震の発生の仕組みを説明するために、日本海東縁新生プレート境界説が生まれた(中村, 1983)。背弧の強短縮テクニクスによって生成した逆断層型活断層は、反射法地震探査によって震源断層としてのイメージがなされ、その造地形的成長過程が明らかにされてきた(例, 佐藤・平田, 1998)。トレンチ調査による地震地質学的理解は、個々の活断層の古地震履歴を解明し、1000年の精度ではおよそ地震の発生予測が可能になった(地震調査推進本部 HP, 2007)。

一方、前弧では大津波を伴う海溝型巨大地震の研究の進展に伴い、海岸部での隆起沈降をパラメータにした地震断層モデルが構築され、稀に起こる超巨大地震などのイメージも提示されるようになった(千島前弧での Nanayama, et al., 2003, 東北日本前弧での Miyauchi et al., 2007 など)。地質学的のみならず測地的にも、日本海東縁変動帯はひずみ集中帯として認知され(Sagiya et al., 2000), 第四紀学的視点において大地震発生ポテンシャルが高い地域であることは疑いない。古地震の履歴からみると本集中帯では大地震ギャップが存在している(大竹, 2002), とくにその地域における大地震の起こる場所と履歴を精度良く特定するという、変動地形学・地震地質学・地球物理学による統合的理解に基づく地震予測科学としての貢献がまさに期待されていた。

2. 研究の目的

日本海東縁地域のひずみ集中帯に存在する

大地震ギャップに着目し、過去の大地震を記録する地震性変動地形(海岸の隆起沈降に伴う種々の痕跡・証拠)の抽出が可能な島嶼を調査対象とする。これらのギャップは基本的には上部地殻から逆断層運動によって絞り出されたポップアップブロックであり(非対称であることもあるが)、震源断層セグメントの活動記録者である。対象となるのは、日本海の地塊上にある島々および日本海東縁の海岸地域である。これらの海岸線を対象として

(1)海岸線沿いおよび海成段丘に記録された地震性地殻変動の記録(地形・化石・地層)を検出・分析し、地震時の隆起量(単位変位量)と年代特定を行う。

(2)地震隆起量および海成段丘の高度分布を基に、海底の活断層地形を照合させながら震源断層セグメントを特定し、弾性断層モデルを計算によって求め、地震発生様式を特定する。

(3)復元された地殻隆起速度や地震パラメータをタイムスペースダイアグラムとして解析し、古地震の発生間隔を求め、次期大地震の発生危険度を評価する

上記をもとに海嶺・堆地形(断層地塊)のトップとして海面上に露出する島嶼の情報から、大地震の予測に挑み、その精度を高めること最終的な目的とした。

3. 研究の方法

日本海東縁ひずみ集中帯のなかでも、もともと海嶺地形単元の大きな佐渡海嶺を代表する佐渡島において、大縮尺空中写真の判読によって第四紀海成段丘・完新世離水地形・現成波食棚のマッピングを行う。現地踏査において、離水イベントを記録する地形・化石・地層の高度測定・年代試料採取・表層地質のコアリングを実施する。あわせて、既存の地下構造探査資料を収

集する。これらのデータを総合解析して海岸線の地震隆起様式を検討するとともに、地震時のパラメータを用いた断層モデルを構築する。さらに、古地震の履歴復元から次期大地震の発生予測を行う。

(1) 離水海岸地形および海成段丘のマッピングと高度測定

1/10000 カラー空中写真を基本とした地形判読に基づき、最新離水イベントを示唆する海岸地形から更新世海成段丘までを抽出し、大縮尺地図に記載するとともに、現地において簡易レーザー測量等により旧汀線高度情報を取得する。

(2) 震源断層セグメントの特定と断層モデリング
断層上盤側にある旧汀線の高度分布を説明できるような海域の活構造を、海底地形・海域地質図・海底物理探査の記録と照合させながら、震源断層となりうる構造とその位置を特定する。それらの断層に沿って発生する弾性的な上部地殻の食い違いを計算によって求め、離水海岸地形の高度分布パターンを合理的に復元できる断層モデルを構築する。計算には、Mansinha and Smylie(1971) , MICAP-G (Ver2.1, Okada,1992; 内藤・吉川, 1999), Coulomb3.1 (Toda et al., 2005; Lin et al.,2004)のプログラム用いて断層パラメータを試行錯誤的に定める。

(3) 次期地震発生の予測

完新世離水海岸地形の高度・数・年代を基に古地震の発生間隔を求める。年代値が希薄なケースでも複数のレベルに離水海岸が認められる場合には、完新世海進ピークの7000年前と8世紀(歴史上記録され得る上限年代)の間に複数イベントが発生したと仮定して、最大と最小の平均的間隔を求める。現成の波食海岸地形の発達程度を参照にしながら、次期大地震発生地域を予測す

る。

4. 研究成果

(1) 完新世離水海岸地形および更新世 MIS5e 海成段丘の分布と特徴)

日本海東縁沿岸地域の海岸では、概して更新世海成段丘および完新世離水海岸地形の発達と分化良く、次のような特徴が認められる。MIS5e(12万年前の浅海底)段丘は、ほとんどの海岸に出現し、波状変位・傾動隆起を示しており、急汀線高度の最大値は140m(西津軽海岸岩館)である。MIS5e 段丘が100mを超える地域では、完新世最高位旧汀線も相対的に高く7mを超え、完新世離水海岸地形のレベル数も3つ以上になることが多いが場所により異なる。これらはユースタテックな海面変化によらない、繰り返された地震性隆起を示している。

(2) 最新隆起イベントと地震時単位隆起量)

海岸侵食も著しい地域なので、必ずしも離水地形がすべて保存されているとは考えられないので、離水地形のレベル数や最低位旧汀線が古地震の数と単位隆起量を示しているかどうかは不明である。歴史地震による海岸の隆起量記録からみると、同じM7前後の地震でも最大隆起量は0.5m(1939年男鹿地震)から2m前後(1802年佐渡小木地震, 1704年岩館地震, 1793年鯨ヶ沢地震)まで大きな差異がある。それらは震源断層と海岸の距離, 断層破壊域, すべり量などがそれぞれ異なるためと考えられる。

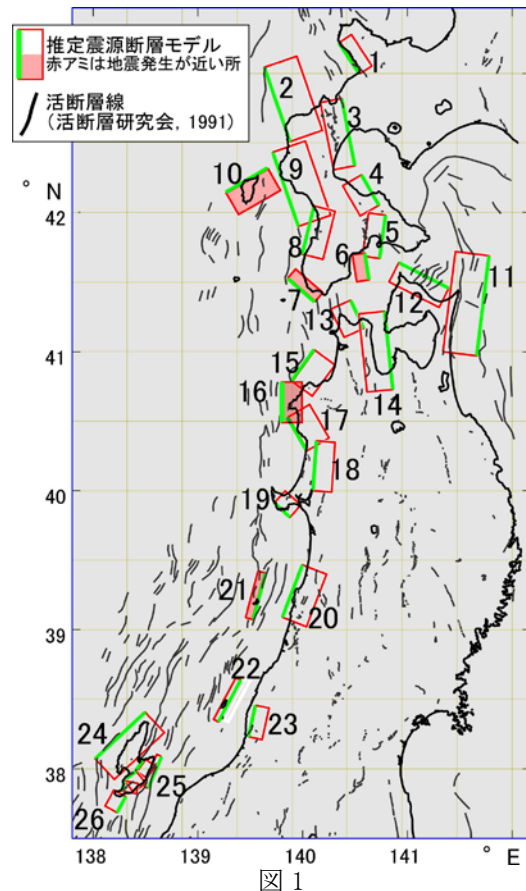
(3) 海岸隆起をもたらす震源断層セグメントの特定と断層モデリング(図1)

海底地形・地質構造などの資料と照合しながら震源断層の位置を特定した。断層面の形状は単純な矩形(地震発生層内に立ち上がるシングルランプ型)を基本とした。ディスロケーションは、上部地殻(地震発生層)を半無限弾性体と仮定し、

Mansinha and Smylie(1971)のプログラム, MICAP-G (Ver2.1, Okada, 1992; 内藤・吉川, 1999), Coulomb3.1 (Toda et al., 2005; Lin et al., 2004) を用いて計算した。得られた理論的地殻変動と最新離水海岸の旧汀線高度(不明な場合にはMIS5eから試算された隆起速度を代用)を比較しながら変動パターンをよく再現できる断層モデルを試行錯誤的に定めた。その結果, 旧汀線の高度分布に極大域を持つ地域のほとんどの傾動・波状隆起は, その震源断層セグメントを沖合数10km(海岸～大陸棚近傍)に想定し逆断層としてのすべりを与えることで復元された。海岸の単位隆起量は不明なところでは, 隆起速度に応じて設定し, 0.5m/kaより小さい場合には1m, 大きい場合には2mと仮定した。えら得た断層の諸元は, 長さ12-81km, 傾斜角20-70°(西傾斜, 東傾斜両方あり), すべり量2-7m, 断層先端深度0-1kmとなる。地震規模はMw6.7-7.6, 地震発生間隔は数千年程度と推定される。

- (4) 次期地震発生ポテンシャルの危険度評価
 歴史地震時に海岸が隆起した地域以外において最後の地震隆起を特定する高精度の年代情報は得られなかったが, 現成波食棚の発達に地域差が認められる。これらが最後の地震隆起イベントからの時間経過を示すとすれば, 現成波食棚の幅が広い海岸では次の大地震発生が近づいていることを暗示していると考えられる。隆起速度が大きく, 最高位完新世離水海岸地形の高度も相対的に大きな活動性の高い場所で, かつ現成波食棚が幅20mを超えるような地域に着目すると, 函館湾西岸, 松前半島, 奥尻島, 西津軽釧作半島, 飛島を中心とする地域が次期地震の発生

が近いと予測される(図1の番号6, 7, 10, 16, 21)。



5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計7件)

- ① Berryman, K., Ota, Y., Miyauchi, T.(3), et al., Holocene paleoseismic history of upper plate faults in the southern Hikurangi subduction margin, New Zealand, deduced from marine terrace records, Bull. Seism. Soc. America, 査読有, accepted, 2011.
- ② A. Kato, T. Iidaka, R. Ikuta, Y. Yoshida, K. Katsumata, T. Iwasaki, S. Sakai, C. Thurber, N. Tsumura(9), K. Yamaguchi, T. Watanabe, T. Kunitomo, F. Yamazaki, M. Okubo, S. Suzuki, N.

- Hirata Variations of fluid pressure within the subducting oceanic crust and slow earthquakes, *Geophys. Res. Lett.*, 査読有, 37, L14310, doi:10.1029/2010GL043723, 2010.
- ③ Kyoko Kagohara, Tatsuya Ishiyama, Toshifumi Imaizumi, Takahiro Miyauchi(4), Hiroshi Sato, Nobuhisa Matsuta, Atsushi Miwa, Takeshi Ikawa, Subsurface geometry and structural evolution of the eastern margin fault zone of the Yokote basin based on seismic reflection data, northeast Japan. *Tectonophysics*, 査読有, 470, 319-328, 2009.
- ④ N. Tsumura, N. Komada, J. Sano, S. Kikuchi, S. Yamamoto, T. Ito(6), T. Sato, T. Miyauchi(7), T. Kawamura, M. Shishikura, S. Abe, H. Sato, T. Kawana, S. Suda, M. Higashinaka, T. Ikawa A bump on the upper surface of the Philippine Sea plate beneath the Boso Peninsula, Japan inferred from seismic reflection surveys: A possible asperity of the 1703 Genroku earthquake, *Tectonophysics*, 査読有 doi:10.1016/j.tecto.2008.05.009, 2009.
- ⑤ T. Ito, Y. Kojima, S. Kodaira, H. Sato, Y. Kaneda, T. Iwasaki, E. Kurashimo, N. Tsumura(8), A. Fujiwara, T. Miyauchi(10), N. Hirata, S. Harder, K. Miller, A. Murata, S. Yamakita, M. Onishi, S. Abe, T. Sato and T. Ikawa, Crustal structure of southwest Japan, revealed by the integrated seismic experiment Southwest Japan 2002, *Tectonophysics*, 査読有, doi:10.1016/j.tecto.2008.05.013, 2009.
- ⑥ Ikeda, Y., T. Iwasaki, K. Kano, T. Ito(4), H. Sato(他5名), Active nappe with a high slip rate: Seismic and gravity profiling across the southern part of the Itoigawa-Shizuoka Tectonic Line, central Japan, *Tectonophysics*, 査読有, 472, 72-85, 2009.
- ⑦ 古屋 裕, 伊藤谷生(2), 佐藤比呂志, 津村紀子(6)(他5名), 反射法地震探査による房総半島南西部内房沿岸の浅部地下構造, *地震研究所彙報*, 査読有, 84, 41-56, 2009.
- [学会発表] (計 9 件)
- ① 宮内崇裕, 旧汀線情報を用いた海域震源断層モデリングー日本海東縁変動帯の地震発生ポテンシャル評価にけてー, 2011 年地球惑星科学連合大会, SSS032-P05, 2011 年, 千葉市.
- ② Takahiro MIYAUCHI, Hideaki MAEMOKU, Hiromi MATSUOKA, Toshiki OSADA, Jeewan.S. Kharakwal, Late Holocene geomorphic coastal changes affecting the mutation of bay-facing Harappan sites of the Indus civilization, Gujarat, India, AGU Chapman Conference, Santa Fe, USA, 2011.
- ③ 小形祐美・宮内崇裕・金田平太郎, 日本海東縁、飛島の海成段丘の変位をもたらす地震性地殻変動, 2010 年地球惑星科学連合大会, SSS017-P06, 2010 年, 千葉市.
- ④ 遠藤香織・宮内崇裕・金田平太郎, 1804 年象潟地震の震源断層ー離水海岸地形からの再検討ー, 2010 年地球惑星科学連合大会, SSS017-P07, 2010 年, 千葉市.
- ⑤ 石川達郎・宮内崇裕・金田平太郎, 佐渡海嶺, 小佐度丘陵・佐渡小木半島の地震性隆起プロセスー海成段丘と断層モデルによる解析からー, 2010 年地球惑星科学連合大会, SSS017-P08, 2010 年, 千葉市.
- ⑥ Akinori Hashima, Toshinori Sato, Tanio Ito, Takahiro Miyauchi, Hiroshi Furuya, Noriko

Tsumura, Koji Kameo, Shuji Yamamoto, 3-D simulation of temporal change in tectonic deformation pattern and evolution of the plate boundary around the Kanto Region of Japan due to the collision of the Izu-Bonin Arc. 2010 AGU Fall Meeting, San Francisco, USA.

⑦ 津村 紀子, 吉住 武倫, 小林 里紗, 能登 半島地震震源域の3次元地震波減衰構造 2007年能登半島地震合同余震観測グループ, 日本地球惑星科学連合大会, SS021-P01, 2010.

⑧ Shuji Yoshida, Ryodo Hemmi, Yoshinori Nemoto, Centimeter-High Antidunes within Pyroclastic Deposits: Are They Products of Surge or Density Current? American Geophysical Union (AGU) Fall Meeting Oral Presentation. 2010.

⑨ 宮内崇裕, 変動帯に発達する海成段丘の波状変位が示す地殻変動は地震性?, 2009年地球惑星科学連合大会, 2009年, 千葉市.

[図書] (計3件)

① 宮内崇裕編, 千葉日報社, 房総の地学散歩-海から山へ-(第二巻). 2009, 89P.

② Yoshida, S., Getting Started # 11 - Sequence Stratigraphy. American Association of Petroleum Geologists (AAPG). CD-ROM (264 pages), ISBN-10:1588612856, ISBN-13:*978-1588612854.2008.

③ 宮内崇裕編, 千葉日報社, 房総の地学散歩-海から山へ-(第一巻). 2009, 83P.

ホームページ等

<http://www-es.s.chiba-u.ac.jp/~tmiyauch/index.htm>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

宮内 崇裕 (MIYAUCHI TAKHIRO)

千葉大学・大学院理学研究科・教授
研究者番号：00212241

(2) 研究分担者
()

研究者番号：

(3) 連携研究者

伊藤 谷生 (ITO TANIO)

千葉大学・大学院理学研究科・教授
研究者番号：50111448

津村 紀子 (TSUMURA NORIKO)

千葉大学・大学院理学研究科・助教
研究者番号：00272302

吉田 修二 (YOSHIDA SHUJI)

千葉大学・大学院理学研究科・准教授
研究者番号：50400809