

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 18 日現在

機関番号：12501

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2014

課題番号：23300336

研究課題名(和文) 岩石海岸地形の総合カタログに基づく地震隆起・地震発生予測に関する研究

研究課題名(英文) Geomorphic and seismotectonic study on large earthquake occurrence potential based on rocky coast mapping and cataloging in Japan

研究代表者

宮内 崇裕 (MIYAUCHI, TAKAHIRO)

千葉大学・理学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：00212241

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 16,000,000円

研究成果の概要(和文)：大地震が多発する日本列島において、現成および離水した完新世潮間帯波食地形のマッピングを通じてカタログ作成を行い、それらから解読される古地震と沖合に想定される海域活断層を関連付け、沿岸域の地震発生危険度について変動地形学的・古地震学的検討を行った。その結果、北海道・東北・北陸の日本海側において、海岸隆起を伴う沖合の活断層型地震(M7級)が地質時間で見れば今後連鎖的に発生する可能性があることがわかった。また、太平洋岸では過去にどの地域でも大地震を経験してきたが、特に三陸海岸北部や房総半島南部においてはプレート境界型の巨大地震(M8～9級)が今後数百年の間に起こる可能性があることが確認された。

研究成果の概要(英文)：We mapped the present tidal-abrasion topography and Holocene emerged tidal-abrasion topography and prepared the coastal catalog along Japanese Islands where large earthquakes have frequently occurred. Relating paleoearthquakes deciphered in them to off-shore active faults, we seismotectonically re-examined the potentials of M7 class earthquakes which will occur below the shallow submarine bottom off the Japanese coasts. As a result, the possibility of succeeding large earthquakes is recognized in Hokkaido, Tohoku and Hokuriku district along the Sea of Japan in geological time scale. Each coastal area along the Pacific coasts of Japan has repeatedly experienced great earthquakes. Especially, the northern Sanriku coast and the southern coastal area of Boso peninsula will be struck by M8-9 class earthquakes in the next several hundred years.

研究分野：地形学

キーワード：潮間帯離水波食地形 海域活断層 地震性隆起 震源断層セグメント 地震発生ポテンシャル 完新世

様式 C - 19、F - 19、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

日本列島沿岸部では、古代にまで遡るとマグニチュード6級以上の大地震の震源域がおおよそ隙間のないように分布する(宇佐美, 2001)。海成段丘の分布からみると、最近の50万年間日本列島はほとんど隆起傾向にあり(小池・町田編, 2001)、その隆起のプロセスやタイミングを沿岸域で発生する地震のテクトニクスと関連させて正しく理解する必要がある。内陸部の隆起・変位プロセスは、大局的には強短縮テクトニクスに由来する陸域活断層の運動(地震性変動)に関連づけて理解された(活断層研究会, 1991; 池田ほか編, 2002)。しかし、歴史地震による隆起を経験した沿岸域(せいぜい数カ所)を除き、ほとんどの沿岸域は隆起・変位プロセスについて理解の空白域である。陸域と同様の視点から、日本海側東縁部の沿岸域は海域活断層に由来する地震性変動によって隆起してきたことが実証されつつある(宮内, 2009; Shishikura et al., 2009; 石川ほか, 2010など)。このような Off-fault (断層から離れた場所)での現成および離水海岸地形を指標にした変動地形解析は、過去の地震性変動(隆起範囲, 単位隆起量, 発生間隔)を解説し、次期地震の予測や震源断層のモデリングを行う上できわめて有効な手法である(McCalpin, 2009)。

沿岸は岩石海岸と砂浜海岸に大別され、潮間帯にはそれぞれに特徴的な微地形要素(単元)が波浪作用によって作られる(Bird, 2008)。日本列島の海岸線の約8割は岩石海岸である(砂村, 2001)という自然地理的特徴、離水後の地形や付着化石の保存と地震時隆起量の推定という観点から見ると、高潮位に対応した波食地形(波食棚, ノッチ)をもつ岩石海岸に利点がある。地震前の準備過程にある現成波食地形、地震隆起を経験した離水波食地形の高度・年代に関する岩石波食海岸の総合カタログを整備することによって、列島規模で海岸域の震源断層のセグメンテーション・モデリング・次期地震の予測に貢献することが期待されている。

2. 研究の目的

大地震が多発する日本列島において、現成およ

び離水した過去の潮間帯波食地形のマッピングを通じて岩石海岸地形のカタログ作成を行い、それに基づき沖合に想定される海域活断層に関連付けながら沿岸域の地震発生危険度について変動地形学的・古地震学的評価を大局的に行おうとするものである。日本列島の海岸線を対象として

- (1) 現成および離水潮間帯波食地形の抽出・マッピングを行う。この作業工程において、統一した諸元(波食棚の幅, 基盤岩の時代・岩相岩質・走向傾斜, ノッチ, 付着化石と年代, 歴史地震の有無, 高度, 潮位, 完新世更新世段丘高度等)についての岩石海岸地形カタログを完成させる
- (2) カタログを用いて、歴史地震の有無, 離水時期, 隆起の範囲, 高度などを基に、想定震源域(震源断層セグメント)に対応した海岸区分を行い、各セグメント内で発生間隔を推定する。
- (3) 上記の結果を総合解析し、地震長期評価に資するための次期地震発生予測地図を作成し、基礎資料を提示する。

上記をもとに今後数百年における日本列島海岸部の大地震の発生予測に挑み、その精度を高めること最終的な目的とする。

3. 研究の方法

調査範囲が列島規模の広範囲に及ぶため、テクトニックな背景を考慮しながら研究地域を日本海側北部(北海道~新潟), 日本海側南部(富山~九州), 太平洋岸北部(北海道~関東), 太平洋岸南部(東海~九州)の4つに分けて実施した。年次ごとに地域を設定し、1970年代国土地理院撮影の縮尺1/10,000カラー空中写真および高精度DEM(5mメッシュ, 一部2mメッシュ)を用いたアナグリフ地形判読によって、現成・離水潮間帯波食地形の抽出・マッピングを行う。これらに基づき震源断層セグメントを想定した隆起海岸セグメント区分を行うとともに、各セグメントでの諸元計測・年代試料採取を現地調査によって実施し、得た情報を岩石海岸カタログ(平面図と表データ)として完成させる。カタログの総合解析を、第四

紀後期段丘高度，地震活動や地下構造探査と比較検討しながら，各セグメント単位で今後数百年間の地震発生の可能性を評価し，日本列島海岸部における地震発生予測地図を作成し，海岸部・沿岸域で起こる具体的地震像を示す。

(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 カラー空中写真および DEM を活用したアナグリフ地形判読に基づき，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

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。

(3) 岩石海岸カタログ諸元に基づく完新世における海岸隆起型地震の履歴と将来予測

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，過去 7000 年間に少なくともそのレベル数のイベントが発生したと仮定して，平均的な地震発生間隔を求める。最後の地震発生からの時間経過率と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) 完新世離水波食海岸地形の発達（分布・レベル数・旧汀線高度）に関する特徴

背弧域でとくに離水地形の段化と保存が良いのは日本海東縁沿岸地域（噴火湾沿岸を含む北海道～東北～北陸）である。その海岸部では離水波食海岸と判断されるレベルは 2～4 であった。地域によって各レベルは高度変化するが，2 つしか認められない地域では高位 L1 の旧汀線高度は 7～4m，低位 L2 のそ

れは標高 4～1m にあることが多い。一方，山陰～九州（東シナ海側，有明海）～瀬戸内では，確実に完新世離水海岸地形と認定されるものはなかった。太平洋岸においては，離水海岸地形の発達に関して地域差が顕著であるが，広範囲にわたり離水レベルが特定された。その中でもとくに発達が良い地域は，根室半島，北部三陸海岸，房総・三浦半島沿岸（とくに南房総には 10 以上のレベルがあり，最高位旧汀線高度は 30m 超），富士川河口右岸，紀伊半島，四国南岸，宮崎平野，種子島，南西諸島（とくに喜界島には 4 レベルあり，最高位離水地形の旧汀線高度は 10m，種子島，小宝島，沖縄島，宮古島，石垣島，波照間島）である。

(2) 海岸隆起をもたらす震源断層セグメントの特定

完新世離水波食海岸地形の存在する地域において，それらのレベル数・旧汀線高度，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。内陸の海岸部では，沖合の大陸棚外縁までの範囲に活構造（断層崖・撓曲崖の変位地形や第四紀後期の地層の累積変形）を見出し，それらを震源断層セグメントとすることで運動時の海岸隆起が逆断層上盤地塊として上昇する構図を説明することができた。

(3) 完新世における海岸隆起型地震の履歴・諸元

海岸侵食による消失も考慮しながら，個々の震源断層セグメントの活動履歴について検討した。歴史地震を経験した事例は 7 件あり，M7 前後の規模で，各地震時海岸隆起量は 2 m を超えないことがわかった。12 万年前の旧汀線高度（M I S 5e-h）から計算される隆起速度（V）と歴史地震時海岸隆起量（E h）の経験式から，歴史地震のない海岸では M I S 5e-h の大きさから次期地震時の海岸隆起量が推定できることを示した。すなわち， $V < 0.5\text{m/年}$ なら E h は 1m 程度， $0.5 < V < 1.5\text{m/年}$ なら E h は 2m 前後である。太平洋岸で

は、とくに三陸海岸北部においてプレート運動に伴う歪みの蓄積・解放過程による地殻変動(地震時・地震後・地震間のさまざまな垂直変動)を記録した海岸の垂直変動史が詳細に解明され、M9級の地震イベントが完新世に3回(1000年前、3300年前、4800年前)に発生した可能性を指摘した。そのイベント時の海岸隆起量は6m程度と推定された。

(4) 次期地震発生ポテンシャル評価

歴史地震記録のない海岸は少なくとも過去1200年間には地震隆起を経験していないので、北海道から東北北部、佐渡・能登にかけての日本海側の広い範囲で、今後数百年の間にM7級の海岸隆起を伴う沖合の直下型地震が地質時間でみれば連鎖的に起こる可能性が高い。また、三陸海岸北部では、2011年東北地方太平洋沖地震時には顕著な変動がなかったことを考慮すると、最後のイベントから1000年経過し地殻歪みが蓄積していると判断されるので、今後数百年の間に海岸隆起を最終的伴うプレート間巨大地震が起こる可能性が高い。房総では大正関東地震・元禄関東地震とは異なるタイプの相模トラフ地震が見出された。そのような震源の多様性は次期相模トラフ地震の発生時期推定に不確定要素を与えたが、今後数百年間の発生ポテンシャルは変わらない。

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12件)

Daisuke Ishimura and Takahiro Miyauchi, Historical and paleo-tsunami deposits during the last 4000 years and their correlations with historical tsunami events in Koyadori on the Sanriku Coast, northeastern Japan, Progress in Earth and Planetary Science, 査読有, accepted [記載確定], 2015.

石村大輔・宮内崇裕・早瀬亮介・小原圭・山市剛, 完新統の有機質堆積物の放射性炭素年代値に関する比較・検討～岩手県久慈市と

山田町での掘削コア試料を例として～, 地学雑誌, 有, 37, 印刷中, 2015

越後智雄, 宍倉正展, 宮内崇裕, 奥尻島における1993年北海道南西沖地震(M7.8)以降20年間の地殻上下変動, 無, 地震予知連絡学会報, 93, 397-400, 2015.

Tsutsumi, H., Perez, J. S., Marjes, J. U., Papiona, K. L., and Ramos, N. T., Coseismic displacement and recurrence interval of the 1973 Ragay Gulf earthquake, southern Luzon, Philippines, Journal of Disaster Research, 有, 10, 83-90, 2015.

石村大輔・山田圭太郎・宮内崇裕・早瀬亮介, 三陸海岸の完新統に挟在するテフラの特徴, 地学雑誌, 有, 123, 671-697, doi:10.5026/jgeography.123.671, 2014.

楢原京子・黒澤英樹・小坂英輝・三輪敦志・今泉俊文, 黒松内低地帯断層帯・熱郭原野の断層露頭, 活断層研究, 有, 38, 17-28, 2013.

Toda, S. and Tsutsumi, H., Simultaneous reactivation of two, subparallel, inland normal faults during the Mw 6.6 11 April 2011 Iwaki earthquake triggered by the Mw 9.0 Tohoku-oki, Japan, Bulletin of the Seismological Society of America, 有, 103, 1584-1602, 2013.

宮内崇裕, 海岸部を襲う直下型地震: 懸念される海底活断層と地震性地殻変動, 科学, 無, 52, 651-661, 2012.

Tsutsumi, H., Sato, K., and Yamaji, A., Stability of the regional stress field in central Japan during the late Quaternary inferred from the stress inversion of the active fault data, Geophysical Research Letters, 有, 39, 1-6. 10.1029/2012GL054094, 2012

Maemoku, H., Shitaoka, Y., Nagatomo, T. and Yagi, H., Geomorphological Constraints on the Ghaggar River Regime During the M

ature Harappan Period , Geophysical Monograph Series , 有 , 198 , 97-108, 2012.

Ramos, N.T., Tsutsumi, H., Perez, J. S., and Bermas, P. P. Jr., Uplifted marine terraces in Davao Oriental Province, Mindanao Island, Philippines and their implications for large prehistoric offshore earthquakes along the Philippine trench, Journal of Asian Earth Sciences, 有 , 45 , 114-125 , 2011

Berryman, K., Ota, Y., Miyauchi, T., 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, 有 , 101, 2064-2087 2011.

[学会発表](計 19 件)

菊池諒一・宮内崇裕, 北部三陸海岸の完新世垂直変動史 - 巨大地震サイクルに関連して -, 日本地球惑星科学連合 2015 年大会, 2015 年 5 月 27 日, 千葉市 .

野田朱美・宮内崇裕・佐藤利典・松浦充宏 3, 定常的な陸の隆起と海水準変動を考慮した房総半島完新世海成段丘の発達過程シミュレーション, 日本地球惑星科学連合 2015 年大会, 2015 年 5 月 27 日, 千葉市

Ishimura, D. and Miyauchi, T., Paleo-tsunami deposits since about 4 ka and their continuities in Koyadori on the Sanriku Coast, northeast Japan, based on trench excavation and drilling surveys , 北淡国際活断層シンポジウム 2015 , 2015 年 1 月 15 日, 淡路市 .

Ishimura, D. and Miyauchi, T. , Historical and paleo-tsunami deposits since ca. 6 ka in Koyadori and Onuma on the Sanriku Coast, northeast Japan , AGU Fall Meeting 2014 , 2014 年 12 月 17 日 , サンフランシスコ(USA) .

石村大輔・宮内崇裕, 岩手県山田町小谷島に分布する古津波堆積物と歴史津波との対比 , 日本第四紀学会 , 2014 年 8 月 30 日 , 柏市 .

Echigo, T., Shishikura, M., Miyauchi, T., Kobayashi, T., Ito, T., Soeda, Y., et al. , Postseismic Vertical Crustal Movement During 20 Years After the 1993 Hokkaido Nansei-Oki Earthquake (M7.8) in the Okushiri Island , AOGS 2014 , 2014 年 8 月 1 日, 札幌市 .

越後智雄・宍倉正展・宮内崇裕ほか 6 名 , 奥尻島における 1993 年北海道南西沖地震以降 20 年間の地殻上下変動 , 日本活断層学会 2013 年秋季学術大会 , 2013 年 11 月 30 日 , つくば市 .

宮内崇裕 , 旧汀線情報による海底震源断層モデリング - 日本海東縁ひずみ集中帯の地震ポテンシャル評価に向けて -, 日本活断層学会 2013 年秋季学術大会 , 2013 年 11 月 30 日 , つくば市 .

金田平太郎・片岡奈央子・河村 集・石村大輔・宮内崇裕 , 房総半島南端部における後期更新世以降の隆起速度 , 日本地球惑星科学連合 2013 年大会 , 2013 年 5 月 22 日 , 千葉市 .

小林大育・宮内崇裕 , 房総半島内房海岸の完新世地震性地殻変動 - 北武断層の活動に関連して , 日本地球惑星科学連合 2013 年大会 , 2013 年 5 月 22 日 , 千葉市

石村大輔・宮内崇裕 , 地形・地質学的情報に基づく三陸沿岸部の第四紀後期における地殻変動の再検討 , 日本地球惑星科学連合 2013 年大会 , 2013 年 5 月 22 日 , 千葉市 .

堤 浩之・福島 洋・Jeffrey S. Perez・James J. Lienkaemper , 現地調査と合成開口レーダ干渉法によって明らかとなったレイテ島のフィリピン断層のクリープ変位 , 日本地球惑星科学連合 2013 年大会 , 2013 年 5 月 22 日 , 千葉市 .

Ishimura, D., Miyauchi, T., and Kaneda, H. , Inter-plate and intraplate seismotectonic complex deduced from long-term and short-term records of vertical movements of the Sanriku coast on the Northeast Japan

forearc, 2012 AGU FALL MEETING, 2012
年 12 月 6 日, サンフランシスコ (USA) .
穴倉正展・越後智雄・行谷佑一, 能登半島北
部沿岸における完新世海岸段丘の分布からみ
た沿岸活断層の活動性 (予察), 日本活断層
学会 2012 年秋季学術大会, 2012 年 11 月 17
日, 京都市 .

遠藤香織・宮内崇裕, 新しい相模トラフ沿い
の海溝型地震像—完新世離水海岸地形の高度
と離水年代の新知見から, 日本地球惑星科学
連合 2012 年大会, 2012 年 5 月 22 日, 千葉市 .
小形祐美・宮内崇裕, 白神山地西縁, 西津軽
海岸の波状隆起をもたらす震源断層の推定,
日本地球惑星科学連合 2012 年大会, 2012 年 5
月 22 日, 千葉市 .

Shishikura, M., Maemoku, H. et al., History of
Multi-segment-earthquake Along the Nankai
Trough, Deduced from Tsunami Boulders
and Emerged Sessile Assemblage in the
Southern Part of Kii Peninsula, West-central
Japan, Asian Oceania Geosciences Society
8th annual meeting, 2011 年 8 月 17 日, 台北
(中華民国) .

Miyauchi, T. Offshore fault modeling using
late Quaternary marine terrace records in the
crustal shortening zone of Northeast Japan
back-arc, 第 18 回 INQUA(国際第四紀学会),
2011 年 7 月 29 日, ベルン (スイス) .

宮内崇裕, 旧汀線情報を用いた海域震源断層
モデリング - 日本海東縁変動帯の地震発生ポ
テンシャル評価に於て -, 2011 年地球惑星科
学連合大会, SSS032-P05, 2011 年 5 月 27
日, 千葉市 .

[図書] (計 2 件)

宮内崇裕・奥野淳一, 第 3 章 海岸線環境の
変化と湾岸都市の盛衰 (長田俊樹編「南ア
ジア基層社会」), 京都大学出版会, 2013, 6
7-99 . 総頁数 454 .

宮内崇裕, 図説日本の海岸「西津軽海岸 - 地
震による隆起と地すべりによる解体の現場」,
朝倉書店, 2013, 8-9. 総頁数 152 .

[産業財産権]

出願状況 (計 0 件)

名称 :
発明者 :
権利者 :
種類 :
番号 :
出願年月日 :
国内外の別 :

取得状況 (計 0 件)

名称 :
発明者 :
権利者 :
種類 :
番号 :
出願年月日 :
取得年月日 :
国内外の別 :

[その他]

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

前空 英明 (MAEMOKU HIDEAKI)

法政大学・文学部・教授

研究者番号 : 5022287

穴倉 正展 (SHISHIKURA MASANOBU)

産業技術総合研究所・主任研究員

研究者番号 : 00357188

堤 浩之 (TSUTSUMI HIROYUKI)

京都大学・大学院理学研究科・准教授

研究者番号 : 60284428

金田 平太郎 (KNANEDA HEITARO)

千葉大学・大学院理学研究科・教授

研究者番号 : 30415658

今泉 俊文 (IMAZUMI TOSHIFUMI)

東北大学・大学院理学研究科・教授

研究者番号 : 50117694

越後 智雄 (ECHIGO TOMOO)

(財) 地域地盤調査研究所・主任研究員

研究者番号 : 60450904

楮原 京子 (KAGOHARA KYOKO)

山口大学・教育学部・講師

研究者番号 : 10510232

石村 大輔 (ISHIMURA DAISUKE)

東北大学・災害科学国際研究所

研究者番号 : 00736225