

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 5月17日現在

機関番号：13201

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2008～2011

課題番号：20310103

研究課題名（和文） アムールプレート日本縁辺の地震発生帯に関する構造地質学的研究

研究課題名（英文） Tectono-geological research on the seismogenic belt along the Japan margin of Amurian Plate

研究代表者

竹内 章（TAKEUCHI AKIRA）

富山大学・大学院理工学研究部（理学）・教授

研究者番号：20126494

研究成果の概要（和文）：

日本の地震地体構造は活断層区と対応し、本州弧の誕生期に形成された。地殻の歪場に変化があれば地体構造ごとに挙動が異なる。これを如実に示したのが2011年東北地方太平洋沖地震である。例えば、誘発地震はアムールプレート東縁に沿って発生し、顕著な余効変動の範囲も日本海沿岸の逆断層区に対応して東日本から北陸まで延伸している。興味深いことに、広域的に均一な東西圧縮応力場に主軸配置の反転は認められず、代わりに上部地殻における測地学的歪場と起震応力場の二重構造が見出された。

研究成果の概要（英文）：

The Present seismotectonic province corresponds with the active fault province, and was formed during the birth term of Honshu Arc. If the crustal strain field was changed, behaviors differ for every province. For a typical example, the 2011 off-Tohoku earthquake showed this vividly, since the induced earthquake occurred along the eastern margin of Amurian Plate. As a postseismic behavior of this mega-earthquake, extensional strain province due to eastward displacement were remarkably observed and is extending from the eastern margin of Japan Sea into the Hokuriku region, north-central Japan. However, no reversal change has been observed in principal-axis arrangement of regional tectonic stress field, and an interesting overlapping of the extensional strain field with the compression state of seismogenic stress field was noticed in the upper crust.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	5,400,000	1,620,000	7,020,000
2009年度	3,100,000	930,000	4,030,000
2010年度	4,000,000	1,200,000	5,200,000
2011年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2012年度	0	0	0
総計	14,400,000	4,320,000	18,720,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学・自然災害科学

キーワード：活断層、地震テクトニクス、歪集中帯

1. 研究開始当初の背景

内陸直下型地震と呼ばれる陸域の浅部で発生する地震は、ひずみ集中帯で多発し、震源域近傍で大きな被害を伴うことが特徴であるが、その発生メカニズムは十分理解されていない。



図1. ひずみ集中帯の例 (研究申請当時の図)

2005年度～2007年度に実施した科研費基盤研究(C)では、日本海東縁部からフォッサマグナにかけての地帯において顕著な交差構造に注目し、最近数十万年間

に形成された新期変形構造の存在を明らかにして、現在の活動性と地震発生ポテンシャルの評価を行なった。そのなかで、鮮新世の本邦に起きた構造転換は新生プレート境界の糸魚川一静岡構造線を境に東西で異なる様式が進行したこと、中部山岳の隆起に対して富山トラフは沈降傾向にあり深海海底谷が形成されたこと、日本海東縁ではおよそ30万年前から北東-南西走向の断層褶曲運動が活発化し短縮変動が加速していること、などを指摘した。

2000年頃から中部日本で地殻内地震が頻発し、東西日本を分画するフォッサマグナの基盤構造と新潟-神戸構造帯と呼ばれる下部地殻ひずみ集中帯との交差重複現象が現象論的に明らかになったこともあって、交差重複現象どうしの成因論的關係生の解明が次の課題として浮上した。とくに海底や地表の諸現象と地震発生層直下の下部地殻との関係性の解明が重要である。地球表層を詳しく扱う地形・地質学の手法だけでなく、地下深部を探查できる地球物理学・物質科学などを取り入れた総合的な研究方法が必要とされた。

2. 研究の目的

本研究では、サハリンから日本海東縁部、フォッサマグナを経て南海トラフにいたるアムールプレート東縁(日本縁辺)における変形集中帯(断層褶曲帯)を対象にして、現在進行中の地殻変動のメカニズムや駆動力を解明することを目的とした。

3. 研究の方法

(1)ネオテクトニクスの比較変動論：地質学的現在の地殻変動につながる時代範囲を対

象とし、変動地形、断層・褶曲など変形運動に関する地質構造を地域間で比較する方法である。研究対象地域は、アムールプレート日本縁辺変動帯(サハリンから日本海東縁部、フォッサマグナを経て南海トラフにいたる地震・変形集中帯、断層褶曲)の中央部とした。

(2)手法としては、陸域の地形地質調査、調査船・潜水船・探査機による海域の地形・地質調査、地殻変動のGPS測地観測、反射法地震探査、地震・測地・物理探査データの解析などである。

(3)研究計画では、日本海東縁の想定地震域(地震空白域)、ならびに活断層の分布密度が低いとされる日本海南縁地域を研究対象として、①地質構造・地殻構造データの取得から②震源断層モデル(形状と挙動)の検討、③データ解析結果の可視化等へと、段階的に進めた。この過程で、地震発生層の地質構造と地震発生メカニズムを説明する作業仮説を立案し、アムールプレート日本縁辺変動帯で地殻内地震または地殻切断型地震が集中的に発生する理由の解明を試みることにした。

4. 研究成果

(1)日本列島の地体構造は本州弧の誕生期に形成されたとみられ、現在の地震区は活断層区と対応する。アムールプレート日本縁辺を地形・地質構造の類型ごとに、北部(北海道沖)、東部(奥羽沖)、中部(新潟-北陸沖)、西部(敦賀湾)、南部(山陰沖)に分けたことで、以下の仮説が検証できた。

①ひずみ集中帯の成因は東西日本で異なること。②下部地殻脆弱帯が地震発生層の変形運動を駆動する。③日本海沿岸の盆地・山地境界深部は震源断層となるが、応力場次第で振舞いが異なる。④仮説1～3はアムールプレート東進説により統一的に説明できるが、太平洋側のプレートからの押しを考えると単純なモデルでは説明できない。

(2)本研究最終年度に平成23年東北地方太平洋沖地震(以下、東北沖地震)により東日本大震災が発生し、研究航海の日程等、研究計画に多少とも変更を余儀なくされたが、臨機応変に取り組んだことにより所期の目的を達成することができた。そのなかで、地殻の歪場に変化があれば地体構造ごとに挙動が異なることを如実に示したのがこの巨大地震である。例えば、誘発地震はアムールプレート東縁に沿って発生し、顕著な余効変動の範囲も日本海沿岸の逆断層区に対応して東日本から北陸まで延伸している。

(3)興味深い地体構造の挙動

東北沖地震)では北海道から九州に至るまで広域的に地震活動が活発化している。この

状況に即して本研究では、海溝型地震の余効変動と活断層型地震との連関に注目して地体構造の挙動を検討した。

その結果、次の知見が得られた。

①東北沖地震前後の海底変動地形を判読・比較した結果、地形変化は海溝陸側斜面下部に集中することを見出し、三陸沖で日本海溝の海溝軸に生じた海底地震断層を同定した。

②東北沖地震の余効変動については、GPS測地データの解析から東北日本弧で顕著な東向きの移動と伸長が見られた。余効変動量はほぼ震源距離に応じた分布を示すが、日本海東縁から西日本側に延長する帯域（富山平野～加賀平野周辺）が認められる。

③東北沖地震による中規模誘発地震は、主要な地体構造境界であるアムールプレート東縁変動帯および男鹿―牡鹿構造線沿いで発生した。

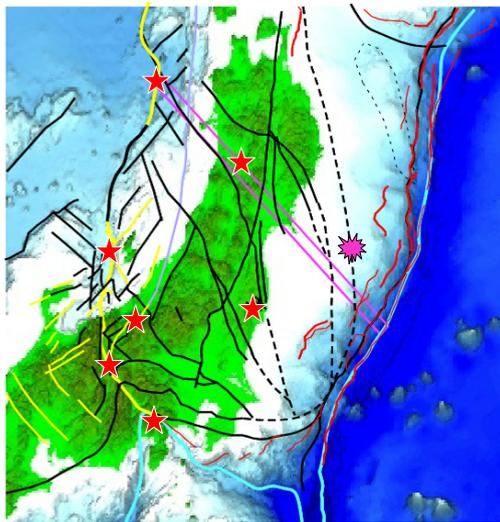


図4. 第四紀地体構造図の例。原因
主要構造線(黒)・活断層(赤・木)の分布図。
★は311海溝型地震の連動内陸地震。

④東北沖地震以降に発生した上盤側の地殻地震（微小～中規模地震）では、2011年4月11日福島県浜通り地震（M7.0）を含めて起震応力場の主軸配置に反転などの変化は認められず、テクトニック応力場が強固な持続性をもつことが示された。

とりわけ興味深いことに、2012年東北沖地震の発生によっても広域的に均一な東西圧縮応力場に主軸配置の反転は認められず、代わりに上部地殻における測地学的伸長歪場と広域的に均一な東西圧縮の起震応力場の共存（二重構造）が見出された。

(3) 本研究成果のインパクト

①東北日本弧―伊豆小笠原弧―西南日本弧の境界域である本州中部では、その東西で地形・地質の相違が明瞭に認められる一方で、それらの地体構造境界である富山トラフ・フォッサマグナをひずみ集中帯が貫通している状況がある。このことに注目して、本研

究では日本海形成期の古傷由来の下部地殻を含む基盤構造が現在のテクトニクスを制御しているとの作業仮説を提唱するに至った（竹内ほか、2010）。

2011年東北沖地震によって上盤プレート側の各地で活発化した地震活動は、この仮説の検証にとっては絶好の機会となった。

北部フォッサマグナ地域でもとくに大小の地体構造が複雑に影響しあっている長野県栄村付近は、2011年東北沖地震の発生によって地殻応力場の主応力軸配置が局所的に急転し、これを受けて、普通はあり得ない方向の活断層が活動してM6.7の連動地震が発生した事例に挙げることができる。信濃川地震帯の屈曲構造はこのようにして発達してきたものと推測される。

②2012年東北沖地震というプレート境界地震の発生に反応した日本海東縁変動帯の挙動は、少なくとも島弧―海溝系（すなわち、マイクロプレート）同士レベルの境界としての地塊運動挙動をしているという意味で同変動帯がプレート境界であることを示した。1983年に提唱された日本海東縁新生プレート境界説は同年に発生した日本海中部地震および1989年北海道南西沖地震により認知されたが、この東北沖巨大地震により改めてより確固に検証できたといえる。

③2012年東北沖地震は数百年～1000年に1度という近代科学が経験したことのない低頻度の事象であり、地殻変動に関する従前の観測データからは単純な将来予測ができない性質のものである。西日本における海溝型地震と内陸誘発地震の連動性は歴史地震の研究からすでに知られていたが、西日本よりも複雑な地体構造をもつ中部日本や東日本について、沈み込み带上盤プレート周縁（その隣接プレートとの境界にある歪集中帯）であることが示された。この研究成果は、海溝型巨大地震によって誘発される規模の大きい地殻地震について、少なくともその発生場所を特定できる可能性を示唆したという意義をもつ。

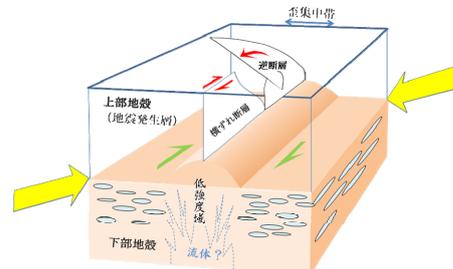


図3. トランスフォーム型歪集中帯での地震発生環境

③日本列島の活断層地震の発生メカニズムについては、今回の東北沖巨大地震の誘発地震を含めて従来から、太平洋側のプレートによる押しを考える単純なモデルで説明しよ

うとする傾向があった。確かに、今回のプレート境界の大地震発生により、それまでに維持されていた上盤プレートの歪速度場が解消された。地震後、測地観測で確認された歪速度場では顕著な東西伸長が本州全域を支配しているが、公表されている(独)防災科学技術研究所の震源メカニズム分布で起震応力場を見ると、本州日本海側に広がる均一な東西圧縮に主軸配置の反転やその他の転換は認められなかった。

このように上部地殻に蓄積されている広域で均一な東西圧縮のテクトニック応力場の持続性と東西伸長歪速度場の共存が見出されたことは、内陸地震の震源物理を考察するうえで大きなインパクトを与える。とくに、島弧の地震発生層の圧縮応力の起源を沈み込むプレートの押しに求める概念はすでに破綻しており、これに代わる新しいモデルが必要とされる。今後、下部地殻の流動変形や脆弱な低強度帯の挙動などを検討する目的で、下部地殻・上部マントルのトモグラフィ、数値モデル研究や物質科学研究などとの連携に発展させる方向が示された。

④東北日本弧の地震テクトニクスを考えるうえで、男鹿一牡鹿構造線の存在意義が再確認された。同構造線はプレート境界ではないが、太平洋プレートならびにアムールプレートによる両側の沈み込み運動を受ける東北日本弧に斜交して日本海東縁部から東北日本弧前弧域を経て日本海溝の海溝軸の走向転換部に至る、大規模な構造帯と見られる。同構造線の北側と南側では、GPS 測地データによる歪速度場や地震波応答でも 2004 年頃から差違がみられることから、下部地殻を含む地体構造の挙動が異なると考えられる。1983 年の日本海中部地震と今回の東北沖地震の震源は同構造線とプレート境界の交点に位置している。

⑤地震地体構造を見直す必要がある。

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 13 件)

- ① 竹内 章・平松良浩・ト部厚志, 北陸の地体構造と地震・地震災害 —これからの地震防災に向けて—。地盤工学会誌, 査読有, **59**, 8-11, 2011.
- ② Ohozono, M., T. Sagiya, K. Hirahara, M. Hashimoto, A. Takeuchi, Y. Hosoi, Y. Wada, K. Onoue, F. Ohya, and R. Doke, Strain accumulation process around the Atotsugawa fault system in the Niigata-Kobe Tectonic Zone, central Japan. *Geophysical Journal Inter-*

national, 査読有, **183**, 2011, 977-990.

- ③ 竹内 章, 北陸および信越地域における後期新生代の地質構造発達史。地質学雑誌, 査読有, **116**, 2010, 624-635.
- ④ 竹内 章, 道家涼介, ハスバートル. 跡津川断層系の変動地形と断層露頭。地質学雑誌, 査読有, **116** 補遺, 2010, 21-36.
- ⑤ 道家涼介・竹内 章, 岐阜県飛騨市神岡町佐古における断層露頭と跡津川断層東部の最新活動。第四紀研究, 査読有, **48**, 2009, 11-17.
- ⑥ Yamada, R., H. Ongirad, T. Matsuda, K. Omura, A. Takeuchi, and H. Iwano. Fission-track analysis of the Atotsugawa Fault (Hida Metamorphic Belt, central Japan): fault-related thermal anomaly and activation history. *The Geological Society, London, Special Publications*, 査読有, **324**, 2009, 1-7.
- ⑦ No, T., N. Takahashi, S. Kodaira, K. Obana, Y. Kaneda, Characteristics of deformation structure around the 2007 Niigata-ken Chuetsu-oki Earthquake, *Earth, Planets and Space*, 査読有, **61**, 2009, 1111-1115.
- ⑧ Takeuchi, A., Duplex Stress Regime in the North Fossa Magna, Central Japan. *Bull. Earthq. Res. Inst.*, 査読有, **83**, 2008, 1-8.
- ⑨ 道家涼介・竹内 章・安江健一・畠本和也・松浦友紀, GPS観測データからみた北アルプス立山における最近の地殻変動, 地震研彙報 2, 査読有, **83**, 2008, 193-201.
- ⑩ Ohta, Y., S. Miura, T. Iinuma, K. Tachibana, T. Matsushima, H. Takahashi, T. Sagiya, T. Ito, S. Miyazaki, R. Doke, A. Takeuchi, K. Miyao, A. Hirao, T. Maeda, T. Yamaguchi, M. Takada, M. Iwakuni, T. Ochi, I. Meilano and A. Hasegawa, A Dense GPS network for postseismic deformation after the Niigataken Chuetsu-Oki Earthquake. *Earth Planets Space*, 査読有, **60**, 2008, 1081-1086.
- ⑪ Iinuma, T., Y. Ohta, S. Miura, K. Tachibana, T. Matsushima, H. Takahashi, T. Sagiya, T. Ito, S. Miyazaki, R. Doke, A. Takeuchi, K. Miyao, A. Hirao, T. Maeda, T. Yamaguchi, M. Takada, M. Iwakuni, T. Ochi, I. Meilano, and A. Hasegawa, Postseismic Slip Associated with the Niigataken Chuetsu-Oki Earthquake in 2007 (M6.8 on 16 July 2007) as inferred from GPS Data. *Earth Planets Space*, 査読有, **60**, 2008, 1087-1091.

- ⑫ Hashimoto, M., H. Takahashi, R. Doke, M. Kasahara, A. Takeuchi, K. Onoue, Y. Hosono, Y. Fukushima, K. Nakamura, F. Ohya, R. Honda, M. Ichiyangi, T. Yamaguchi, T. Maeda, and Y. Hiramatsu, Postseismic displacements following the 2007 Noto Peninsula earthquake detected by dense GPS observation. *Earth Planets Space*, 査読有, **60**, 139-144, 2008.
- ⑬ 岡本國徳・竹内 章・石川有三・本間直樹・百合本 岳, 「平成 19 年 (2007 年) 能登半島地震」の現地調査. 気象庁精密地震観測室技術報告, 査読無, **25**, 2008, 101-120.

[学会発表] (計 22 件)

- ① 竹内 章・野徹 雄・楠本成寿・渡辺 了, 吳羽山断層帯海域部の音波探査と陸域との接続関係. 日本地質学会第 118 年学術大会, 2011 年 9 月 10 日, 茨城大学
- ② 竹内 章・蒲生俊敬, 富山トラフの地殻変動場とメタンハイドレートの起源 (序). 日本地球惑星科学連合 2011 年大会, 2011 年 5 月 27 日, 幕張メッセ国際会議場
- ③ 鷺谷 威, 竹内 章ほか 21 名, GPS 稠密観測による日本海東縁ひずみ集中帯の地殻変動 (2). 日本地球惑星科学連合 2011 年大会, 2011 年 5 月 27 日, 幕張メッセ国際会議場
- ④ 竹内 章・野 徹雄・楠本成寿・渡辺 了, 吳羽山断層帯海域部における音波探査. 日本地球惑星科学連合 2011 年大会, 2011 年 5 月 24 日, 幕張メッセ国際会議場
- ⑤ 楠本成寿・竹内 章, フーリエ級数により表現される過剰圧分布に起因するラコリスの形状を与える解析解. 日本地球惑星科学連合 2011 年大会, 2011 年 5 月 22 日, 幕張メッセ国際会議場
- ⑥ 竹内 章, 北信越地質構造発達史, 日本地質学会, 2010 年 9 月 20 日 (月・祝), 富山大学共通教育棟
- ⑦ 竹内 章, 新潟 - 神戸歪集中帯のネオテクトニクス, 日本地質学会, 2010 年 9 月 19 日 (日), 富山大学共通教育棟
- ⑧ 鷺谷 威・大園真子・平原和朗・橋本 学・竹内 章・道家 涼介, 稠密 GPS 観測から見る跡津川断層帯の応力蓄積過程. 日本地球惑星科学連合 2010 年大会, 2010 年 5 月 27 日, 幕張メッセ国際会議場
- ⑨ 鷺谷 威・伊藤武男・高橋浩晃・三浦 哲・太田雄策・加藤照之・竹内 章, 日本海東縁ひずみ集中帯における GPS 稠密観測 (序報). 日本地球惑星科学連合 2010 年大会, 2010 年 5 月 27 日, 幕張メッセ国際会議場
- ⑩ 小川拓哉・竹内 章・駒田希充, 富山県, 吳羽山断層の逆断層運動は加速したか. 日本地球惑星科学連合 2010 年大会, 2010 年 5 月 25 日, 幕張メッセ国際会議場
- ⑪ Fantong, E., A. Takeuchi, and R. Doke, ESR dating of Calcareous fault gouge of the Ushikubi fault, central Japan. 日本地球惑星科学連合 2010 年大会, 2010 年 5 月 25 日, 幕張メッセ国際会議場
- ⑫ 松本恭平・張 勁・竹内 章・稲村 修, 炭素・窒素安定同位体比から見る富山湾深層海流と物質循環の関係. 日本地球惑星科学連合 2010 年大会, 2010 年 5 月 23 日, 幕張メッセ国際会議場
- ⑬ Sagiya, T. ほか 11 名, Interseismic deformation pattern tells the extent of a fault rupture: Lessons from dense GPS observation around the Atotsugawa Fault, central Japan. アメリカ地球物理学連合, 2009 年 12 月 16 日, サンフランシスコ・モスコンセンター
- ⑭ 鷺谷 威ほか 11 名, 跡津川断層帯周辺の詳細地殻変動分布, 日本地震学会, 2009 年 10 月 21 日, 京都大学吉田キャンパス
- ⑮ 道家涼介・竹内 章・関 牧仁, 跡津川断層系の古地震学 - 特に単位変位量と完新世の活動性について -. 日本地球惑星科学連合 2009 年大会, 2009 年 5 月 20 日, 幕張メッセ国際会議場
- ⑯ 竹内 章ほか 3 名, 北海道南西沖地震震源域における海底地盤変状の経年変化. 日本地球惑星科学連合 2009 年大会, 2009 年 5 月 17 日, 幕張メッセ国際会議場
- ⑰ 鷺谷 威ほか 11 名, 活断層周辺の地殻変動から見る内陸地震の応力蓄積過程と諸問題. 日本地球惑星科学連合 2009 年大会, 2009 年 5 月 17 日, 幕張メッセ国際会議場
- ⑱ Fantong, E., A. Takeuchi, R. Doke, Characterizing ESR signal in calcareous gouge along an active fault: Case study of Ushikubi Fault in Central Japan. 日本地球惑星科学連合 2009 年大会 2009 年 5 月 16 日, 幕張メッセ国際会議場
- ⑲ 竹内 章ほか 7 名, 北海道南西沖地震震源域における海底地盤変状の経年変化. ブルーアース 2009, 2009 年 3 月 14 日, 立教大学
- ⑳ 竹内 章ほか 7 名, 1993 年北海道南西沖地震の震源域における海底地盤変状の経年変化. 地質学会第 115 年会 (秋田), 2008 年 9 月 21 日, 秋田大学手形キャンパス
- ㉑ 鷺谷 威ほか 9 名, GPS 観測から見た活断層の応力蓄積過程. 日本地球惑星科学連合 2008 年大会, 2008 年 5 月 29 日, 幕張メッセ国際会議場

② 道家涼介・竹内 章, 岐阜県飛騨市神岡町佐古における断層露頭と跡津川断層東部の最新活動. 日本地球惑星科学連合 2008 年大会, 2008 年 5 月 27 日, 幕張メッセ国際会議場

〔その他〕

アウトリーチ

- ①竹内 章, 理科教育における地震-飛越地震百五十年、「過去と将来の富山大震災」. 富山教育, 査読無, 第 893 号, 2008, 43-61.
- ②竹内 章, 富山市で起きる地震・津波災害とその対策について. 社交, 217 号, 2012, 2-4.

講演等 (最終年度の 27 回における代表例)

- ①平成 23 年 6 月 4 日(土) 富山国際大学緊急特別講座『3・11 以後の日本を問う』シンポジウム, 竹内章, 「日本の地震・津波対策を問う…富山県は大丈夫か」
- ②平成 23 年 8 月 6 日(土) 富山県教育女性連盟富山地区研修会, 竹内章, 「東日本大震災に学ぶ—富山の活断層—」
- ③平成 23 年 8 月 10 日(水)長野県高等学校地理教育研究会 研修, 竹内章, 「地殻変動とプレートテクトニクス」
- ④平成 23 年 9 月 14 日(水) エルピーガス富山中央会 研修会, 竹内章, 「日本列島および富山県における地殻変動の実情」
- ④平成 23 年 10 月 6 日(木) 斜面防災対策技術協会 フォーラム, 竹内章, 「東日本大震災から学ぶ」
- ⑤平成 23 年 10 月 13 日(木) 富山市防災講演会, 竹内章, 「富山市で起きる地震・津波災害とその対策について」
- ⑥平成 23 年 11 月 4 日(金) 富山県エルピーガス協会 講演会, 竹内章, 「富山県の活断層と富山湾の埋蔵ガス」
- ⑦平成 24 年 2 月 28 日(火) 伏木富山港工事安全連絡会議 安全講習会, 「富山に大地震は来るか/富山湾に大津波は起きるか」

ホームページ等

野 徹雄, 平成 21 年度 日本海東縁ひずみ集中帯における地震探査調査研究.

http://www.jamstec.go.jp/jamstec-j/IFREE_center/data/cruise_data/KR09-09.html

6. 研究組織

(1) 研究代表者

竹内 章 (TAKEUCHI AKIRA)
富山大学・大学院理工学研究部・教授
研究者番号: 20126494

(2) 研究分担者

該当なし

(3) 連携研究者

鷺谷 威 (SAGIYA TAKESHI)
名古屋大学大学院・環境学研究科・教授
研究者番号: 50362299

楠本成寿 (KUSUMOTO SHIGEGAZU)
富山大学・大学院理工学研究部・准教授
研究者番号: 50338761

渡辺 了 (WATANABE TOHRU)
富山大学・大学院理工学研究部・准教授
研究者番号: 30262497

野 徹雄 (NO TETSUO)
独立行政法人海洋研究開発機構・地球内部ダイナミクス領域リソスフェア構造解析研究チーム (横浜研究所)・技術研究副主任
http://www.jamstec.go.jp/ifree/j/members/info/3-1-016_no.htm