

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 22 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26242033

研究課題名(和文)学際連携による三陸地方の古地震・古津波の実態解明

研究課題名(英文) Interdisciplinary research on historical earthquake and tsunami in Sanriku coast

研究代表者

今村 文彦 (Fumihiko, Imamura)

東北大学・災害科学国際研究所・教授

研究者番号：40213243

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 31,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、三陸地方沿岸部を対象として調査研究を実施した。その結果、対象地域での数千年スケールでの古津波履歴を明らかにするとともに、数千年～10万年スケールの長期的な地殻変動量を地形・地質学的研究により明らかにした。また、数値計算技術を活用して、津波堆積物の分布域は、津波波源位置や規模を制約するのに有効であることがわかった。異なる地形条件に対する堆積物形成パターンを検討することで、波源モデルに対してより詳しい制約を課すことができると考えられる。

研究成果の概要(英文)：This study performed geological and geomorphological field surveys and laboratory analyses at Sanriku coast of Japan. We revealed thousand-years-long paleotsunami histories at several places. Especially, we found possible evidence of AD869 Jogan tsunami event at central to northern Sanriku coast. This results should be important for estimating the source model since our results define northern extent of the sediments deposited by the Jogan tsunami. Geomorphological and geological research, studying the long term (103-105 year scale) crustal movement, further revealed that northern Sanriku area was slightly uplifted while the southern part was subsided. Numerical modeling for sediment transport is very useful to constrain tsunami source if distribution and thickness of tsunami deposits is used as modeling boundary condition. Sensitivity test of sediment deposition at different geomorphological settings will provide further constraints for tsunami source model.

研究分野：津波工学

キーワード：三陸地方 古地震・古津波 地殻変動 津波堆積物 土砂移動モデル

1. 研究開始当初の背景

2011年東北地方太平洋沖地震・津波以降、沿岸地域の地震・津波対策において、「最大クラスの地震と津波」を想定することが求められるようになり、数百年～千年程度の再来間隔で起きる低頻度巨大地震・津波の実態解明が急がれている。このような長期の再来間隔の地震・津波履歴を明らかにするには、より長い数千～数万年スケールの情報が必要である。しかし、学際的な研究は極めて限定的で、低頻度巨大地震・津波の実態解明に特化した研究事例と研究実施手順が確立していない。そのため、東北地方太平洋沖地震以降も飛躍的進展が認められず、結果として国や地方自治体における「最大クラスの地震と津波」の想定の大きな障害になっている。

防災上の重要性から、三陸地方周辺の古地震・古津波履歴の実態解明は集中して取り組むべき課題である。三陸地方では、1933年昭和三陸地震津波、1896年明治三陸地震津波など、東北地方太平洋岸の他地域よりも頻繁に地震・津波に襲われていたことが歴史記録により知られている。そのため、三陸地方では2011年地震・津波の発生を考慮しても、近未来の大津波再来の懸念を拭い去ることができない。しかし、江戸時代以前の歴史記録が乏しく、数百年スケールでの地震・津波履歴の実態解明が難しい。地質・地形学的情報を用いたアプローチが必要となる。

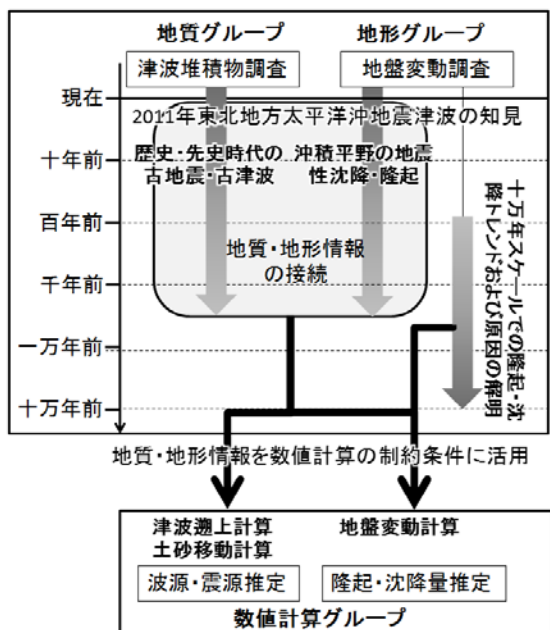


図1 本研究計画における各グループの研究内容とグループ間の連携。

2. 研究の目的

本研究では三陸地方沿岸部において、地質・地形学的な現地調査・分析により古地震・古津波の履歴と規模に関する情報を収集する。さらに、地震学や津波工学の数値計算技術と知見を活用することにより、同地域の

数千～数万年スケールでの古地震・古津波の実態(履歴と規模)を解明する。その過程で、学際的アプローチによる古地震・古津波研究の標準的実施手順の確立を目指す。

3. 研究の方法

本研究計画では、(1)津波堆積物調査に基づく過去約6千年間の古津波履歴と規模の地質学的推定、(2)海成段丘や沖積平野における地形分類の把握と過去の海面高度の推定に基づく、長期スケールでの地殻変動履歴の地形学的解明、(3)過去数千年間での津波堆積物の分布情報や地震性沈降の有無などの地質・地形学的制約条件を満たす地震断層モデルの数値的検討を実施する(図1)。そして、海成段丘の高度情報に基づく長期的な地殻変動の履歴と比較し、三陸地方の地殻変動トレンドの長期/短期的傾向の不一致の有無と地域性、その要因を検討する。

4. 研究成果

(1) 津波堆積物調査

岩手県陸前高田市: 田谷地区において津波堆積物の堆積年代を推定した。調査地点では津波堆積物中に多数の偽礫(図2)が確認でき、津波により地表面が侵食されていたことが示唆される。本研究では、津波堆積物の上下の泥炭層と偽礫中の泥炭試料について放射性炭素年代測定を行い、両者から得られた年代を比較した。放射性炭素年代測定は層序順に連続的に実施し、得られた年代測定結果をその層序関係から制約することで高精度での年代推定を行った。その結果、偽礫中を連続測定して推定した年代が津波堆積物直下から得られた年代よりも有意に若くなった。



図2 偽礫を多く含む津波堆積物。

偽礫から得られた年代を津波堆積物の堆積年代の下限とすることで、津波による底面侵食で失われた約100年分の年代を補うことができた。この結果から従来の年代推定法では津波による底面侵食の影響で、津波堆積物直下の年代を実際よりも100年以上古く見積もってしまう場合があることが示唆された。

また、田谷地区での結果も含めた岩手県の8地点で津波堆積物の堆積年代を高精度で推

定し、津波堆積物の広域年代対比を実施した。その結果を基に、過去に岩手県に襲来した津波の規模やその発生間隔の考察を行った。

岩手県野田村：最大4層の砂礫質堆積物を確認し、イベント堆積物として認定した。そして、掘削調査、岩相観察および放射性炭素年代測定の結果に基づき詳細な対比をおこない、各イベント層の連続的な分布を把握した。津波堆積物の認定に関して、内陸細粒化や内陸薄層化、上方細粒化等の堆積学的特徴は海側からの波浪による運搬を示唆するものである。また、高潮・高波を再現した数値計算を実施し、堆積物の分布範囲との比較から津波による運搬堆積の可能性が高いことを示した。高潮・高波堆積物との区別は津波堆積物認定における重要課題の一つであり、本手法は新たな津波堆積物の認定基準の一つになりうる。

放射性炭素年代測定およびテフラ分析の結果より約1100~2700年前の過去1600年間において4度の津波が同地域に押し寄せたことが示唆される。このうち最上層の推定年代から、869年貞観地震津波の痕跡の可能性が高い。これまで貞観津波堆積物が分布する北限は岩手県宮古市小谷島であったが、本研究は北部地域への貞観津波の影響を示唆するものであり、波源モデルの構築に関する重要な情報になり得る。

青森県八戸市：同調査地域で最大11層の砂質堆積物を確認し、イベント堆積物と認定した。掘削試料中の上部には十和田a火山灰(AD915)が、基底部付近には十和田中堰火山灰(約6千年前)が堆積していた。各イベント層について岩相に基づき対比を行った結果、このうち4層のイベント層を広域かつ連続的に追跡できた。粒度分析の結果、いずれのイベント層も上方細粒化傾向が認められることから、これらは浮遊砂からの沈降により堆積したといえる。また、内陸薄層化・細粒化傾向が確認されることから、海側からの物質供給が推定される。また、最大規模の高波であっても本調査地に土砂を供給することは困難であると考えられることから、4つのイベント層を津波堆積物と認定した。確認された津波堆積物は、岩手県北部や下北半島などの周辺地域において確認されている津波堆積物と年代対比ができる可能性があり、波源については更なる検討が必要である。

地質調査グループでは、上記のような各地の分析に加え、既往研究で報告されている津波堆積物の層厚などの情報に基づく津波堆積物認定手法の高度化等や、津波侵食に伴う古津波履歴の消失等も検討を行った。

(2) 地形学的調査

海成段丘の発達する北部では、国土地理院発行の空中写真および5mメッシュの数値標高データを用いたアナグリフ画像(後藤, 2012)を用いて地形判読を行った。地形判読をもとに三陸海岸沿岸の現地調査を行い、段

丘面・段丘構成層・被覆層の確認・記載を行った。段丘の形成年代を推定するために火山灰を利用した。火山灰分析は主に被覆層を対象とし、肉眼で確認できる火山灰試料を分析に供した。火山灰分析は石村ほか(2014)に従い、粒子組成、重鉱物組成、火山ガラスの屈折率を明らかにし、既知の火山灰と対比を行い、段丘面の年代を推定した。地殻変動量は5mメッシュの数値標高データと段丘面を覆う被覆層の層厚を用いて、旧汀線高度を推定した。

一方、南部の沖積平野では、地形判読やボーリング柱状図の解析から沖積層が厚く分布する場所を選定し、ボーリングコアを掘削した。採取したコア堆積物に対し、岩相記載・粒度分析・珪藻分析・貝化石の同定を行った。また、堆積物中に含まれる木片や植物片に対しては、加速器質量分析法による放射性炭素年代測定を行った。これらの結果に基づいて堆積環境を推定し、地殻変動指標となる過去の海面高度を推定した。

地形判読と現地調査の結果、八戸~久慈には海成段丘と思われる平坦面が複数段分布する。しかし、久慈~宮古には高位の海成段丘と思われる平坦面のみが、宮古以南には断片的な平坦面が沿岸部に認められるのみで、確実度の高い最終間氷期海成段丘は認められない。宮古以南で現地調査を行ったが、平坦面の分布が悪く、露頭に乏しい。幾つかの地点で露頭を確認したが、その平坦面は礫層で構成され、また風化も進んでおり、本研究で対象とする最終間氷期海成段丘である根拠に乏しい。そこで、段丘面の形成年代と地殻変動量の高精度化を目的とし、地形学的に最終間氷期海成段丘に対比されている種市面(米倉, 1966)が分布する八戸~久慈を調査対象とした。被覆層の火山灰分析を実施した結果、最近10万年間の十和田火山起源の火山灰とともに11.2~11.5万年前に噴出した洞爺火山灰(町田・新井, 2003)を種市面段丘構成層直上に認定した。従来の研究と比べ、詳細な被覆層中の火山灰層序と火山灰の記載岩石学的特徴を明らかにしたため、より確度・精度の高い年代情報を得ることができた。地殻変動速度を求めたところ、八戸周辺に比べて小さな値(0.1~0.2 mm/yr)となり、南部へ向かって地殻変動の減少傾向が認められる。

津軽石平野では、完新世の海水準変動に対応した浅海堆積物が認定された。そのうち、平野上流側で得られたコア試料では、上方粗粒化を示すデルタフロント堆積物の上位に上方細粒化を示す砂泥層が認められ、この砂泥層中には干潟砂泥底に生息する現地性の貝化石が産出した。これらのことから、デルタフロント堆積物の上位に見られる上方細粒化する砂泥層は潮間帯で堆積したと考えられ、その分布高度(現海面下約12m)は、堆積当時(約7500 cal BP)の海面高度を近似すると考えられる。当該地域における地殻変動

を含まない相対的海水準(約 7500 cal BP で現海面下 5 m よりも高い)を踏まえると、潮間帯堆積物は地殻変動を含まない相対的海水準よりも低い位置に分布し、数千年スケールでの沈降傾向が示唆される。津軽石平野以南の三陸海岸南部における既報の見解(丹羽ほか, 2014 など)も踏まえると、三陸海岸のうちリアス海岸となっている津軽石平野以南では数千~万年スケールで沈降していることが推定される。これらの結果は、津軽石平野以南の三陸海岸南部では明瞭な海成段丘が認められないことと調和的である。三陸海岸北部の更新世段丘から推定される隆起速度の南方への減少、および、南部の沖積層解析から推定される沈降傾向から、三陸海岸の地殻変動は南北方向に変化することが示唆される(図 3)。これらの見解は、従来の三陸海岸が一様に隆起しているという考え方(小池・町田, 2001)とは異なる。

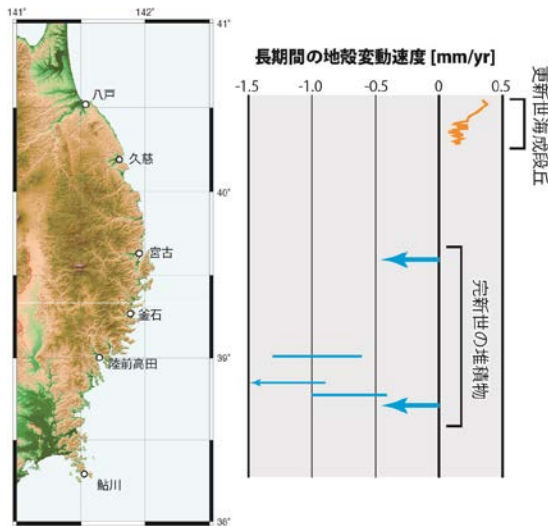


図 3 1 万~10 万年スケールの地殻変動速度の分布。

(3) 数値計算による検討

津波堆積物の分布・層厚情報から津波の波源パラメータ(断層モデル)を制約できるかどうかを検討することを目的に、津波堆積物調査が行われた陸前高田市田谷地区を対象に津波氾濫・土砂移動数値解析を実施した。

津波の伝播・氾濫計算は、非線形長波理論による支配方程式を差分法により解く TUNAMI-N2 (Goto et al., 1997) を用いた。土砂移動計算には、掃流砂と浮遊砂の交換を考慮した解析モデル(高橋ほか, 1999)を改良したコード(山下ほか, 2015)を用いた。解析対象の粒径は 0.25mm で、海底および海浜を土砂供給源として想定した。本研究では、Satake et al. (2013) を元に、2011 年東北沖地震、貞観型地震、明治三陸型地震、昭和三陸型地震の 4 つの津波波源モデルによる津田谷地区での津波高および地形変化量を解析した。

田谷地区の津波高は、波源モデルによる相違が大きい。貞観型地震で津波高は最も大き

くなり、遡上先端で 20m を超える。東北沖地震及び明治三陸型地震では約 15m、昭和三陸型地震では 10m であった。また、貞観型地震及び明治三陸型地震では、内陸側ほど津波高が大きくなる特徴が顕著である(図 5)。

田谷地区での地形変化の特徴として、陸上での土砂堆積の他、海岸付近の大規模な浸食が挙げられる(図 6)。浸食は引き波によるものであると考えられ、内陸側の津波高が大きい貞観型地震による浸食深さは 10m に達する。比較的小規模の昭和三陸型地震でも、浸食深さは約 5m である。

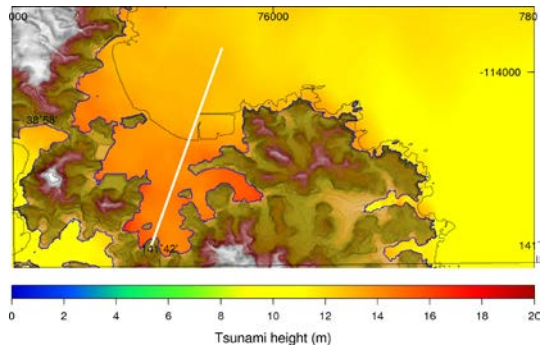


図 4 東北沖地震による津波高の計算結果。白線は図 5 の横断線を表す。

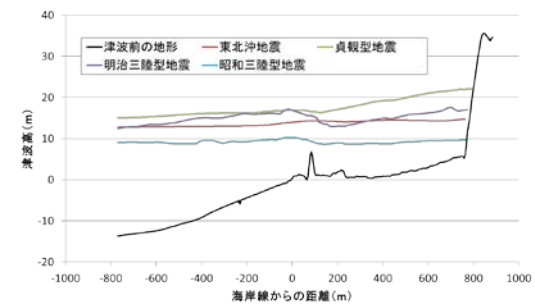


図 5 波源モデルによる横断線上の津波高の違い。

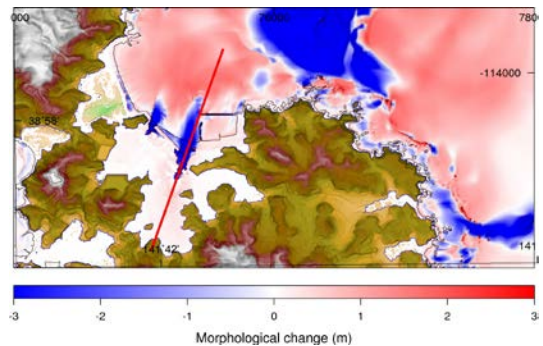


図 6 東北沖地震による地形変化量の計算結果。赤線は図 7 の横断線を表す。

陸上の堆積量は、いずれの波源モデルでも 0.1~0.5m 程度となった。地形の凹凸を埋めるように砂が堆積するため、地形変化(堆積量の分布)は、増減を繰り返しながら内陸方向に減少する特徴を示している。東北沖地震、貞観地震、昭和三陸型地震では、堆積量の分布傾向と量に大きな違いは認められない。明治三陸型地震では、内陸方向への堆積量の減少傾向が小さくなっている。また、海岸線近

くでの堆積量は他の3モデルよりも小さい。

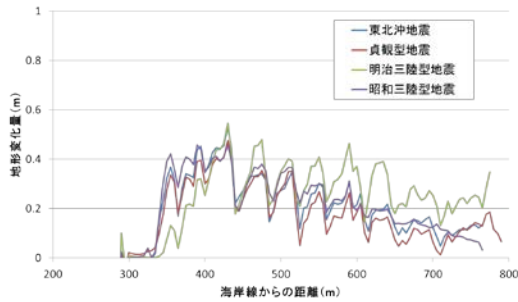


図7 波源モデルによる横断線上の地形変化(堆積量)の違い。

田谷地区は、地震の発生メカニズムや津波規模の大小にかかわらず津波堆積物が形成され易いものの、津波高に2倍以上の差があっても、津波堆積物の分布傾向と量に差が生じにくい地形的特性を持っていると考えられる。当地区の津波堆積物は、地震・津波の発生頻度の推定に有用であるものの、波源パラメータの制約には適していないと考えられる。波源モデルの推定では、他地域の津波堆積物と対比を行いながら、地震発生様式を検討する必要がある。

次に、津波数値計算における断層モデルの形状について検討を行った。断層すべり分布の非一様性を考慮するモデルとして、円錐型断層モデルが提案されている。このモデルでは、海溝との位置関係によって一部が欠けた円錐状のすべり分布を想定する。地表変位の計算には、点震源に対する解析解としてモーメントテンソルと親和性のある Yabuki and Matsu'ura (1992) の式表現を用いる。2011年東北地方太平洋沖地震による岩手、宮城および福島沖の津波波形を精度良く再現可能であり、強震動、遠地地震波および測地観測とも調和的であった。断層パラメータ数が少なく、かつ、広域の津波波形特性を同時に再現することが可能であるため、今後歴史津波の規模推定に活用されることが期待される。

<引用文献>

- ① Goto, C., Ogawa, Y., Shuto, N. and Imamura, F. (1997), IOC Manuals and Guides, UNESCO, Paris, 130 p.
- ② 後藤秀昭 (2012), 広島大学大学院文学研究科論集, 72, 1-69.
- ③ 石村大輔・山田圭太郎・宮内崇裕・早瀬亮介 (2014), 地学雑誌, 123, 671-697.
- ④ 米倉伸之 (1966), 地理学評論, 39, 311-323.
- ⑤ 町田 洋・新井房夫 (2003) 新編 火山灰アトラス-日本列島とその周辺. 東京大学出版会, 336p.
- ⑥ 小池一之・町田 洋編 (2001) 日本の海成段丘アトラス. 東京大学出版会, 122.
- ⑦ 丹羽雄一・遠田晋次・須貝俊彦・松島義章 (2014), 第四紀研究, 53, 311 - 312.
- ⑧ Satake, K., Y. Fujii, T. Harada, and Y.

Namegaya (2013), Bulletin of the Seismological Society of America, 103, 1473-1492.

- ⑨ 高橋智幸・首藤伸夫・今村文彦・浅井大輔 (1999), 海岸工学論文集, 46, 606-610.
- ⑩ Yabuki T. and Matsu'ura M., 1992, Geophysical Journal International, Vol. 109, pp. 363-375.
- ⑪ 山下 啓・菅原大助・高橋智幸・今村文彦・齋藤友一・今任嘉幸・甲斐 恭・上原 均・加藤季広・中田一人・坂 良太郎・西川朝雄, 2015, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), 71, I_499-I_504.

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10件)

- ① 石村大輔・宮内崇裕・早瀬亮介・小原圭一・山市 剛 (2016) 完新統コア中の有機質堆積物(バルク)試料と生物化石試料間に認められる放射性炭素年代値の系統的な差とその要因, 地学雑誌, 査読有, 125, 243-256.
- ② 丹羽雄一・須貝俊彦・松島義章 (2016) 三陸海岸南部の完新世沈降を支持する堆積環境: 津谷平野で得られたコア試料の堆積相と年代, 地学雑誌, 査読有, 125, 395 - 407.
- ③ 石村大輔・市原季彦・阪田知洋・大畑雅彦・高田裕哉 (2015) 高密度群列ハンディジオスライサー調査による津波堆積物の連続性と地層対比: 岩手県山田町小谷島を例として, 活断層研究, 査読有, 43, 53-60.
- ④ Ishimura, D., Miyachi, T. (2015) 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, 2:16, doi:10.1186/s40645-015-0047-4.
- ⑤ 丹羽雄一・須貝俊彦・松島義章・松崎浩之 (2015) 三陸海岸南部・気仙沼大川平野の地形発達過程, 地形, 査読有, 36, 253 - 270.
- ⑥ 丹羽雄一・須貝俊彦・松島義章 (2015) 三陸海岸南部・気仙沼大川平野の完新世における地殻変動, 地学雑誌, 査読有, 124, 546 - 560.
- ⑦ Shinozaki, T., Goto, K., Fujino, S., Sugawara, D., Chiba, T., 2015, Erosion of a paleo-tsunami record by the 2011 Tohoku-oki tsunami along the southern Sendai Plain. Marine Geology, 査読有, 369, 127-136.
- ⑧ 石村大輔・山田圭太郎・宮内崇裕・早瀬

亮介 (2014) 三陸海岸の完新統に挟在するテフラの特徴, 地学雑誌, 査読有, 123, 671-697.

- ⑨ 丹羽雄一・遠田晋次・須貝俊彦・松島義章 (2014) 陸前高田平野完新統の堆積相・堆積速度, および推定される地殻変動傾向. 第四紀研究, 査読有, 53, 311 - 312.
- ⑩ 菅原大助 (2014) 津波堆積物と津波の規模について. 地学雑誌, 査読有, 123, 797-812.

[学会発表] (計 3 1 件)

- ① Niwa, Y., Toda, S., Sugai, T. Continuous coastal subsidence during the Holocene along a source region of the 2011 great Tohoku-oki, Japan, earthquake revealed from new paleo-geodetic data, 2015 AGU Fall Meeting, 2015 年 12 月 16 日, サンフランシスコ(米国).
- ② Ishimura D., Miyauchi, T. Paleo-tsunami deposits and their recurrences since ca. 4 ka in Koyadori on the Sanriku Coast, northeast Japan, based on trench excavation survey, XIX INQUA Congress 2015, 2015 年 7 月 31 日, 名古屋国際会議場(愛知県).
- ③ Niwa, Y., Sugai, T., Matsushima, Y. Predominance of subsidence during the Holocene in the Kesenuma O-kawa Plain in the southern Sanriku coast, northeast Japan, consistent with a century-long subsidence estimated from sediment core analysis and radiocarbon dating, XIX INQUA Congress 2015, 2015 年 7 月 31 日, 名古屋国際会議場(愛知県).
- ④ Ishimura D., 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, Hokudan 2015 International Symposium on Active Faulting, 2015 年 1 月 13~15 日, 淡路夢舞台国際会議場(兵庫県).
- ⑤ Niwa, Y., Toda, S., Sugai, T. Holocene subsidence in the south part of the Sanriku coast, northeast Japan, consistent with vertical displacement at 2011 Tohoku-oki earthquake inferred from sedimentary sequence: An example from the Rikuzen-takata plain, Hokudan 2015 International Symposium on Active Faulting, 2015 年 1 月 13~15 日, 淡路夢舞台国際会議場(兵庫県).
- ⑥ Ishimura D., Miyauchi, T. Paleo-tsunami deposits since ca. 5 ka in Koyadori and Onuma on the Sanriku

Coast, northeast Japan, 2014 AGU Fall Meeting, 2014 年 12 月 16 日, サンフランシスコ(米国).

- ⑦ Niwa, Y., Toda, S., Sugai, T. Continuous Holocene submergence of southern Sanriku coast consistent with the coseismic subsidence of the 2011 Tohoku-oki Japan earthquake revealed from new paleo-geodetic data, 2014 AGU Fall Meeting, 2014 年 12 月 18 日, サンフランシスコ(米国).

(その他, 国内での学会発表 2 4 件 (ページ数制限のため掲載せず))

6. 研究組織

(1) 研究代表者

今村 文彦 (IMAMURA, Fumihiko)
東北大学・災害科学国際研究所・教授
研究者番号: 40213243

(2) 研究分担者

遠田 晋次 (TODA, Shinji)
東北大学・災害科学国際研究所・教授
研究者番号: 80313047

後藤 和久 (GOTO, Kazuhisa)

東北大学・災害科学国際研究所・准教授
研究者番号: 10376543

(3) 連携研究者

(4) 研究協力者

菅原 大助 (SUGAWARA, Daisuke)
ふじのくに地球環境史ミュージアム・学芸課・准教授
研究者番号: 50436078

石村 大輔 (ISHIMURA, Daisuke)

首都大学東京・都市環境科学研究科・助教
研究者番号: 00736225

丹羽 雄一 (NIWA, Yuichi)

東北大学・災害科学国際研究所・助教
研究者番号: 20705371