

令和 6 年 6 月 17 日現在

機関番号：82626

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20H01988

研究課題名（和文）東北日本における海溝型巨大地震の多様性の解明

研究課題名（英文）Reconstructing the diversity of great subduction zone earthquakes in northeastern Japan

研究代表者

澤井 祐紀（Sawai, Yuki）

国立研究開発法人産業技術総合研究所・地質調査総合センター・研究グループ長

研究者番号：20399504

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 8,700,000円

研究成果の概要（和文）：地質痕跡，歴史史料，数値計算により，千島海溝と日本海溝における巨大地震の履歴の復元を試みた。千島海溝沿いでは，北海道における堆積物の調査により19世紀の地震による津波，13～14世紀の超巨大地震による津波と考えられる痕跡（津波堆積物，侵食痕跡）を発見した。また，13～14世紀当時の海岸線を復元した。さらに，浸水計算により13～14世紀地震の波源の推定を行った。青森県八戸市等では歴史史料を調べ，1843年の地震津波の被害状況を明らかにした。日本海溝沿いでは，岩手県において堆積物の調査を行い，869年貞観地震，1500年前の津波と考えられる痕跡を見つけた。仙台平野では海岸線の移動過程を検討した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

千島海溝南部や日本海溝では，地質および歴史記録に基づき将来における地震・津波の発生確率が計算・公表されている。しかしながら，こうした推定は「ほぼ同じ間隔と規模をもって地震が繰り返す」という固有地震的な振る舞いを前提としており，個々の地震における破壊領域の違いは考慮されていない。本研究で得られた成果は，東北日本における超巨大地震の破壊領域の多様性を理解する資料となり，超巨大地震・津波の防災・減災に貢献するものである。

研究成果の概要（英文）：We studied the history of subduction zone earthquakes along the Kuril and Japan trenches based on geology, historical records, and numerical simulations. In eastern Hokkaido, facing the southern Kuril trench, we found geological records (tsunami deposits and scour ponds) of 19th-century and 13th-14th-century tsunamis, and reconstructed the contemporary shoreline in 13th-14th-century. Using the above geological records, numerical simulations estimated the tsunami source of the 13th-14th-century tsunami. We also studied historical documents to determine the damage associated with the 1843 earthquake and tsunami. In Iwate Prefecture, facing the northern Japan trench, we found tsunami deposits associated with the 869 Jogan and the 1500-year-old tsunamis. Beach-ridge progradation was also estimated in the Sendai Plain.

研究分野：第四紀古環境学

キーワード：海溝型巨大地震 津波 歴史史料 津波浸水シミュレーション 千島海溝 日本海溝

## 1. 研究開始当初の背景

2011年3月11日に宮城県沖を震源とする超巨大地震(Mw 9.0)が発生した。この地震については、その発生直後から「想定外」という言葉が使われ、全く予想できない地震であったという指摘があった。一方で、2011年より前から、産業技術総合研究所(産総研)や東北大学の研究グループによって、西暦869年に東北地方で発生した巨大地震(通称、貞観地震)と津波の地質学的な研究がなされており、地質学的な時間スケールで見れば巨大地震・津波の発生は必ずしも予想できないものではなかった事が注目された。

この一連の出来事により、我が国における巨大津波の長期予測は大きく変化した。中央防災会議の「東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会」は、想定すべき地震・津波について「これまでの考え方を改め、古文書等の分析、津波堆積物調査、海岸地形等の調査などの科学的知見に基づき想定地震・津波を設定させ、地震学、地質学、考古学、歴史学等の統合的研究を充実させて検討していくべきである」という趣旨を盛り込んだ提言を2011年9月に公表した。また、地震調査研究推進本部は、それまで資料が不十分という理由で考慮していなかった東北地方の津波について、産総研による津波堆積物調査の結果(Sawai et al., 2012 GRL)を全面的に取り入れて発生確率の再計算を行った(2011年11月に公表)。さらに、その後地震調査研究推進本部が発表した「千島海溝沿いの地震活動の長期評価(第三版)(2017年12月に公表)」においても、およそ10年前に出版された津波堆積物の堆積年代(Sawai et al., 2009 JGR)を再評価し、超巨大津波の発生確率を計算している。

以上のように、海溝型地震の長期評価において津波堆積物調査が重要視されるようになるとともに、千島・日本海溝において発生した巨大地震は「ほぼ同じ間隔と規模をもって地震が繰り返す」という固有地震的な振る舞いではなく、地震ごとに多様な破壊パターンを持っていることも指摘されるようになった。例えば、千島海溝で17世紀と13~14世紀に発生した巨大津波では津波堆積物の分布様式が大きく異なることから、これら2つの地震では、破壊領域の広がりが大きく違っていたのではないかと考えられる。一方、日本海溝においても、2011年、1611年慶長、1454年享徳、869年貞観、の4つの海溝型巨大地震の歴史記録や津波堆積物の分布から、それぞれの破壊領域の広がりが大きく違った可能性がある。しかしながら、こうした海溝型地震の破壊領域のばらつきについては、十分な議論がされてこなかった。また、このような課題がある一方で、政府の長期評価は年代測定値だけを重視して計算や評価を行っており、それぞれの地震の破壊領域の多様性は全く考慮されていない。

以上の背景や問題点を踏まえ、破壊領域の評価が不十分であった歴史および先史時代の地震について、歴史学、地質学、地球物理学における最新の知見を用いて地震像の見直しを行う。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、千島・日本海溝で発生した歴史・先史時代の超巨大地震について、歴史学、地質学、地球物理学の最新の知見を取り入れたアプローチを行うことにより、従来よりも詳細に地震の実態を明らかにし、地震ごとの破壊領域の多様性を解明することである。

これまでの研究例では、ある特定の地震・津波に対して津波堆積物の分布を明らかにし、それを再現するような断層モデルを構築することを第一目的としてきた。さらに、その場所で見られる一連の津波堆積物を、固有地震的に繰り返し破壊した領域からもたらされたものと仮定し、地震の再来間隔を推定していた。例えば、日本海溝に面した東北地方では、宮城県および福島県において869年貞観地震による津波堆積物の分布を明らかにし、それを再現するような断層モデルを構築している(Sawai et al., 2012 GRL)。さらに同地域で見られた津波堆積物を同じような地震の繰り返しととらえ、“貞観タイプ”の地震が500年~800年間隔で再来すると推定している。同様に、千島海溝南部で発生した13~14世紀の巨大地震も17世紀に発生した「17世紀型超巨大地震」が過去にも固有地震的に繰り返しきたという仮定に基づいて波源が考えられている。また、歴史的に有名な西暦1611年慶長地震については、その波源について様々なモデルが提唱されている上、波源が千島海溝とする説もあり、議論に決着の目処が立たない状況である。以上のように、千島・日本海溝における巨大地震の発生履歴はある特定の地震の実態が明らかになっているのみで、個々の巨大地震についてはその全容が明らかにされていない。防災・減災のためには、個々の地震を再検討し、その多様性を理解した上で発生確率などを検討する必要があるため、本研究では幾つかの地震イベントに注目して東北日本における海溝型地震の多様性を明らかにすることを試みる。

本研究では、歴史的、地質学的、地球物理学のアプローチにおけるそれぞれの作業精度を上げ、対象となる地震について信頼性の高い断層モデルを提唱する。具体的な手順は次項に記すが、歴史史料の精査、津波堆積物の認定、津波襲来時の海岸線の位置などを見直すことによって、これまでとは違った地震像が見えてくる可能性が高い。

本研究では、19世紀に千島海溝で発生した2つの地震（西暦1894年、西暦1843年）と13～14世紀の地震を対象とする。また、日本海溝で発生した西暦1611年慶長地震、西暦1454年享徳地震、約1500年前の地震（貞観地震の一つ前の地震）についても考察する。

### 3. 研究の方法

個々の地震について地質記録が残されている地域を選定し、航空測量を利用した地形判読による浜堤の読み取り、掘削調査、OSLによる年代測定を組み合わせることによって、対象となる津波が襲来した当時の海岸線を復元する。浜堤は、過去の海岸砂丘が内陸に取り残された地形であるため、ある地点において当時の海岸線の位置を特定することができれば、地形対比によって平面的な海岸線の広がりを知ることができる。このケースについては、必要に応じて歴史記録（古地図、絵図、文字の記録）を参考にして海岸線の位置を決定する。

次に、対象の地震によって形成された津波堆積物を当時の海岸線から内陸側に向かって連続的に追うことにより、津波の浸水範囲を復元する。この津波は、その存在が知られているものの、詳細な浸水範囲は明らかにされていないため、各調査地域では浸水限界と考えられる場所で集中的に掘削調査を行う。その際、代表的な場所を掘削するだけでなく、平面的な群列ボーリングによって、浸水範囲の復元の精度を上げる。津波堆積物の堆積年代は、放射性炭素、セシウム、鉛などの濃度を用いて推定し、該当の津波堆積物かどうかを判断する。放射性炭素同位体年代測定の際には、測定物の選定が最も重要であるが、実体顕微鏡下で、信頼性の高い試料とされる維管束植物の果実などを拾い出す。

以上の作業のうち、このケースは、地質学的な手法で年代測定が困難になる可能性がある。そうした場合を考慮し、この地震については歴史記録を積極的に使用する。特に、このケースについては、震源に近い北海道東部において歴史資料が乏しい状況にあるが、北海道で起きた地震・津波は東北地方の沿岸等にも影響を与えることが知られているため、例えば、青森県の太平洋側の史料に記録されている可能性を考慮し、震源とされる場所の近くに残された史料だけでなく、遠隔地においても史料調査を行う。

上記のように得られた地質学的・歴史学的証拠を拘束条件とし、津波浸水シミュレーションによって条件を満たす破壊領域を推定する。浸水計算を行う際には、海溝軸に沿った断層の長さ、断層の幅（断層の深さ）、すべり量を変えた計算を行い、最も効率的に津波堆積物の分布を説明できるものを探す。

### 4. 研究成果

#### 【北海道東部（千島海溝南部）】

19世紀に千島海溝で発生したプレート間地震の地質学的証拠明らかにするため、十勝、釧路、浜中地域において深さ1m程度までの堆積物を採取した。採取した試料は研究室に持ち帰り、イベント堆積物を検出するため、医療用X線CTを用いて堆積構造の観察を行った。また、XRF分析を行い、イベント堆積物の識別精度を上げるよう試みた。

この結果、十勝地方の海岸湿地で採取した試料では、CT画像でやや高密度と認められる場所が3層あり、中央の高密度層付近においてカルシウム、臭素、ストロンチウムのピークが見られた。また、泥炭のごく表層付近にも硫黄、塩素、カリウム、カルシウム、臭素、ストロンチウムのピークが見られた。これらのイベントの堆積年代を推定するため、火山灰層の同定、Pb-210およびCs-137の濃度変化を計測したところ、前者のピークは千島海溝で1894年と1843年に発生した地震津波の可能性、また後者のピークは1960年チリ地震あるいは1952年十勝沖地震による津波を表している可能性があることがわかった（図1）。釧路地方の海岸湿地で採取した柱状試料では、肉眼およびCT画像で火山灰層と砂質泥炭と考えられる高密度層が確認され、砂質泥炭と考えられる層の上下においてカルシウム、臭素、ストロンチウムの増加が見られた。特に、砂質泥炭の上位は、下位よりもそれぞれの量が上昇しているように見えた。根室地域では、湖沼において柱状堆積物を採取したが、深さ1mまでの堆積物中には他地域で見られたような火山灰層が認められなかった。CT画像ではコアを通して明瞭な葉理が見られ、カルシウム、臭素、ストロンチウムが比較的高濃度で推移していた。

19世紀に千島海溝で発生したプレート間地震を歴史史料の観点から議論するため、比較的史料の多い八戸藩（青森県八戸市等）における1843年・1856年の地震被害の研究を行った。この際、文字史料だけではなく地震と同時期の絵図を使用し、また同時代の歴史史料で津波の到達点を確定する方法を明確にして史料の検討を行った。この結果、八戸藩における1843年・1856年の2つの地震による津波被害を明確にし、従来の研究の誤りを正した。分析の結果、1843年の地震津波については、白銀村が津波の被害をうけ浜の蔵や納屋が流されたこと、白銀村の住家は浜にはなく海成段丘上にあるので被害はなかったことを明らかにした。また、1856年の地震津波については、八戸藩浜通りの鮫・白銀・湊に津波がきて白銀・湊地域は被害を受けたこと、浜に住家のある塩越村も被害を受け白銀村のうち浜にあった人家も被害を受けたこと、湊地域の新丁の住家は床上浸水となったこと、津波は新井田川流域の塩入・岩淵あたりまで遡上したことを明らかにした。また、松前藩の公的な記録である『御用諸書物留』の内容を確認した。具体

的には、北海道白糠町については「渚より凡三拾間余り番屋迄」(海岸からおおよそ 55 m 程度、番屋まで (浸水)) という記録があり、都司ほか (2013, 津波工学研究報告) による推定津波高さを基に、実際に現地を訪問して浸水状況を確認することができた。このほか、北海道厚岸町の国泰寺が長年記録した『日鑑記』の津波記事等を基に、国泰寺前や史料に記述された「厚岸向岸」での津波の状況を整理することができた。1843 年地震の他にも、1810 年代後半において厚岸での有感記録が集中していることがわかり、道東において地震活動が活発になった時期を確認することができた。

上記のような歴史史料を踏まえ、1843 年の波源を数値計算によって検討した。仮定した断層は、1843 年の津波と似ているとされる 1952 年十勝沖地震の津波波源 (Hirata et al., 2003 JGR) を参考にし、1952 年モデルの西側に小断層 K を設置した波源である。この際、小断層 K のすべり量は 2m とした。この結果、八戸沿岸では、小断層 K を設置することにより津波の高さが増加し、小断層 K を設置しない場合に比べ 1.3-1.9 倍程度高い津波の高さが計算された。これらは 1843 年津波の実際の高さに近くなる結果であった。

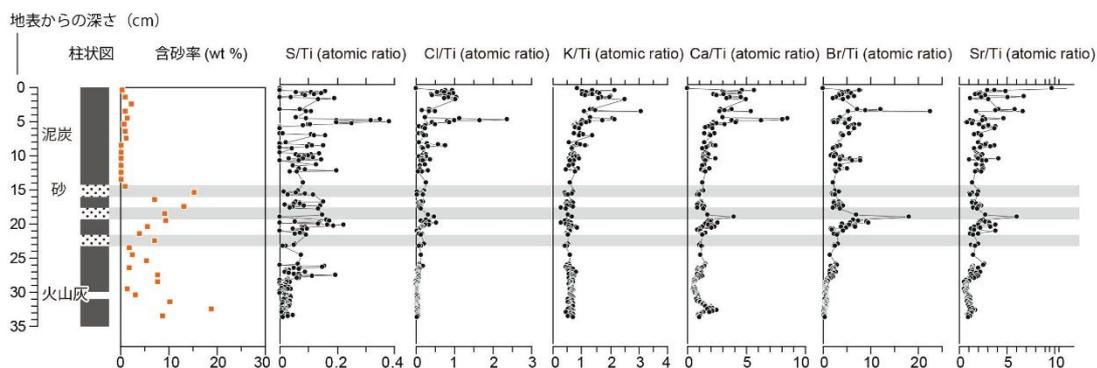


図 1：十勝地域で採取された試料の柱状図，含砂率，XRF 分析の結果

千島海溝で発生した 13~14 世紀の地震の地質学的証拠明らかにするためには、先行研究よりも詳しく当時の地形を復元し、さらに拘束条件となる津波堆積物の分布を詳細に明らかにする必要がある。こうした背景から、浜中町においてより詳細な地形・地質調査を行うこととした。まず、地形の特徴を詳細に把握するため、無人航空機 (マルチコプター) を使用した写真測量を行った。その結果、現在の海岸線から約 300m 内陸に位置する浜堤において、長軸が海岸線と直行する池沼・湿地が点在することが明らかになった。この池沼湿地の地下の堆積構造を推定するために、池沼を横断・縦断する方向で地中レーダー探査を行った。この結果、浜堤の砂層を示す GPR 反射面が池沼の地下において切断されていることがわかった。さらに、GPR 反射面が示す堆積物を確認するため、柱状堆積物試料を採取した。試料を肉眼と医療用 CT で観察したところ、浜堤の砂層が侵食され、その上に砂層と泥炭層が堆積していることが確認できた。侵食痕の上で認められた砂層は、中礫~大礫サイズの泥炭の塊を含むイベント層と考えられた。この作業で確認された池沼は、その地形的特徴、GPR 反射面が示す堆積構造、地下で見られた堆積物から総合的に判断し、津波や暴浪によって形成された scour pond と推定された。Scour pond の形成年代は、堆積物中の放射性炭素年代によって推定し、scour pond は 13-14 世紀頃に形成されたものだと考えられた。Scour pond は当時の海岸線の近くに形成されることから、13~14 世紀当時の海岸線は scour pond 周辺に存在したと考えられた。

浜堤 (13~14 世紀の海岸線) と直交方向 (現海岸から内陸方向) に側線を設定し、地中レーダー探査を行うとともに合計 10 地点においてハンディジオスライサーによる掘削を行なった。得られた試料に対して、長石 IRSL および post-IR IRSL による砂層の年代測定、放射性炭素による泥炭層の年代測定、泥炭に挟まる火山灰層の対比を行なった。この結果から推定される海岸線の移動は、scour pond の形成時期と矛盾がなかった。

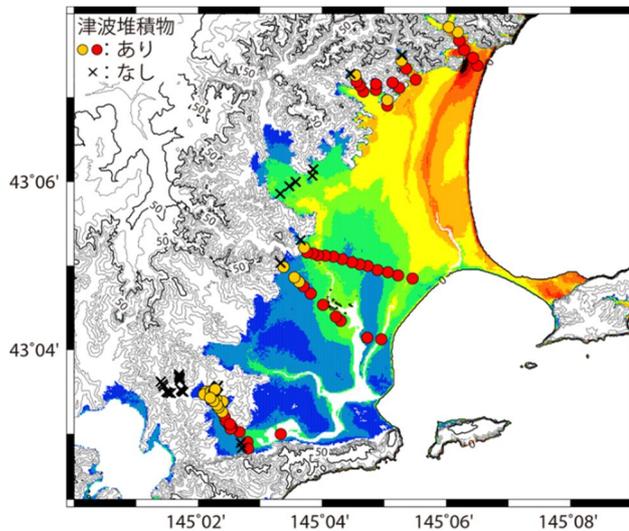


図 2：浜中町霧多布湿原における 13～14 世紀津波の浸水シミュレーションの結果（伊尾木ほか 2022，地震学会発表より抜粋）. 17 世紀の津波堆積物より 13～14 世紀の津波堆積物のほうが内陸まで分布している．津波堆積物の分布は，主に Nanayama et al. (2003 Nature)，中村ほか（2019 第四紀研究）を参照した．

以上のような地形・地質調査を基に 13～14 世紀当時の海岸線の位置を推定し，それを踏まえて津波浸水シミュレーションを行った．断層モデルは十勝沖セグメントで長さ 100km，幅 100km，根室沖セグメントで長さ 200km，幅 100km を仮定した．シミュレーションの結果，断層モデルのすべり量が，十勝沖セグメントで 5m，根室沖セグメントで 13m の場合，霧多布湿原とフレシマ湿原で確認されている 13～14 世紀頃の津波堆積物の分布を説明できることがわかった（図 2）．この結果は，これまでに報告されている 17 世紀の巨大地震のモデルと比較すると，17 世紀の場合は十勝沖セグメントが，13～14 世紀の地震の場合は根室沖セグメントがより大きくすべったことを示している．

#### 【日本海溝】

日本海溝において発生したプレート間地震の実態を明らかにするため，岩手県野田村において掘削調査を行った．合計 8 地点においてハンディジオスライサーによる掘削を行った．得られた試料の肉眼観察，はぎ取り試料の作成，医療用 CT による観察を行った結果，泥炭層の中に火山灰層，細礫～大礫からなる礫層，細礫混じりの砂層が挟在していることが明らかになった．ここで見られた火山灰層は，西暦 915 年に降下した十和田 a (To-a) 火山灰と考えられることから，To-a 火山灰の下位に見られる砂層は，869 年貞観地震による津波堆積物と推定された．また，さらに下位にも津波堆積物と考えられるイベント層が見られ，先行研究（高田ほか 2016 活断層・古地震）との対比から，このイベント層は 1500 年前の巨大津波に対応する可能性がある．To-a 火山灰の上位には礫層が見られたが，本研究の調査ではこの礫層が 1454 年享徳地震による津波堆積物か，1611 年慶長地震によるものかを断定することはできなかった．

野田村における地質調査に加え，仙台平野においても海岸線の移動に関する検討を行った．これまでに出版された資料（Sawai et al., 2012 GRL，松本 2011 東北学など）の整理，空中写真の判読，年代測定値の整理により，およそ 1500 年前に巨大津波が発生した当時の海岸線の位置を推定した．

日本海溝で発生したプレート間地震を歴史史料の観点から検討するため，宮城県・福島県沿岸地域の古地図研究を行った．明治 12 年（1879）刊行の「磐城岩代両国全図」についてはすでに注目されていたものの，その地図に描かれる特定の地域の研究はなされてこなかった．地震の被害を受ける宮城県・福島県沿岸地域も従来は明治 41 年（1908）測図の大日本帝国陸地測量部の 5 万分の 1 地形図等を地形研究の基礎にしていたが，それより以前の明治 12 年の「磐城岩代両国全図」は地震被害地域研究のための重要な地図であることを，本研究により明確にすることができた．

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 矢田俊文	4. 巻 14
2. 論文標題 明治初期における相馬付近・仙台平野南部の潟湖	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 災害・復興と資料	6. 最初と最後の頁 115-123
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 矢田俊文	4. 巻 16
2. 論文標題 八戸藩における1843年・1856年の地震による津波被害	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 災害・復興と資料	6. 最初と最後の頁 68-75
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Sawai Yuki, Tamura Toru, Shimada Yumi, Tanigawa Koichiro	4. 巻 13
2. 論文標題 Scour ponds from unusually large tsunamis on a beach-ridge plain in eastern Hokkaido, Japan	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 3064
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-023-30061-9	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 澤井祐紀・田村 亨・嶋田侑眞・谷川 晃一朗
2. 発表標題 北海道東部の浜堤列平野で発見された巨大津波による侵食痕跡
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2023年大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 澤井祐紀・田村 亨・嶋田侑眞・谷川 晃一朗
2. 発表標題 北海道東部の浜堤列平野で発見された17世紀の巨大津波による侵食痕跡
3. 学会等名 日本地震学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 伊尾木圭衣・澤井祐紀・行谷佑一
2. 発表標題 17世紀および13世紀頃に千島海溝南部で発生した超巨大地震による波源の違い
3. 学会等名 日本地震学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 行谷 佑一
2. 発表標題 天保十四年四月二十五日（1843年3月26日）に北海道太平洋沿岸を襲った津波の西側波源にかんする予察的検討
3. 学会等名 日本地震学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 根来湧輝・田村 亨・澤井祐紀・谷川晃一朗・嶋田 侑眞・岡田 里奈
2. 発表標題 北海道霧多布湿原における地震性地殻変動に関連した浜堤の堆積構造と年代
3. 学会等名 日本第四紀学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 根来湧輝・田村 亨・澤井祐紀・谷川晃一朗・嶋田 侑眞・岡田 里奈
2. 発表標題 北海道霧多布湿原における，地震性地殻変動に関連した浜堤堆積物のIRSL年代と形成過程
3. 学会等名 ESR応用計測・ルミネッセンス年代測定・フィッシュントラック合同研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 根来湧輝・田村 亨・澤井祐紀・谷川晃一朗・嶋田侑眞・ 岡田里奈
2. 発表標題 北海道霧多布湿原の地殻変動に関連した浜堤の堆積構造
3. 学会等名 日本堆積学会2021年オンライン大会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	田村 亨 (Tamura Toru)  (10392630)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・地質調査総合センター・上級主任研究員  (82626)	
研究分担者	矢田 俊文 (Yata Toshifumi)  (40200521)	新潟大学・人文社会科学系・フェロー  (13101)	
研究分担者	伊尾木 圭衣 (Ioki Kei)  (70784130)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・地質調査総合センター・主任研究員  (82626)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	行谷 佑一  (Namegaya Yuichi)  (90466235)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・地質調査総合センター・主任研究員    (82626)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関