

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 31 日現在

機関番号：11301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2014

課題番号：25870062

研究課題名(和文)津波堆積物を用いた日本海東縁の地震・津波と日本海溝沿い巨大地震との関係の解明

研究課題名(英文) Geological survey of past tsunamis in the eastern margin of the Japan Sea regarding subduction-zone earthquakes

研究代表者

菅原 大助 (Sugawara, Daisuke)

東北大学・災害科学国際研究所・助教

研究者番号：50436078

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：日本海東縁部の歴史津波について痕跡調査を行った結果、山形県沿岸部でイベント性砂層が確認された。堆積年代はそれぞれ11世紀、および8-9世紀よりも後であった。砂層には汽水性の珪藻が含まれ、氾濫原堆積物とは種構成が異なることから、河川を通じて汽水域からの土砂供給があったと考えられる。津波数値解析の結果、M7.7の地震による津波の高さは5m程度であり、調査地点で砂層を形成する可能性は小さい。海底斜面崩落による津波では、海岸での高さは20mに達し、調査地点に津波が到達する。今回の研究の結果、貞観地震から150-200年経過した時点で、斜面崩壊により大規模な津波が発生していた可能性があることが示された。

研究成果の概要(英文)：Tsunami traces in the eastern margin of the Japan Sea was investigated and sandy event layers were discovered from the coastal areas of Yamagata Prefecture. Depositional ages of each layer are 11th and 8-9th century, respectively. The sand layers contain brackish diatoms, implying sediment supply from tidal zones through the rivers. Results of numerical modeling of tsunami generation and propagation showed that earthquake tsunami in the offshore of Yamagata is at most 5 m and cannot explain the sandy event layers. A submarine slope failure, which was identified from bathymetry and bottom profiling data, generates a large-scale tsunami with the height of 20 m near the coastline. The tsunami reaches the survey sites and can explain the possible sandy tsunami deposits. In conclusion, this study demonstrated the possibility of occurrence of a large-scale tsunami during 150-200 years after the 869 Jogan earthquake.

研究分野：地球科学

キーワード：日本海東縁 地震 津波 堆積物

1 . 研究開始当初の背景

2011 年の東北地方太平洋沖地震(東北沖地震)とその後余震活動の観測から、岩手県～茨城県の沖合で多数の余震活動が生じているとともに、岩手・秋田両県の内陸部において地震活動の活発化が報告されている。このことより、東北沖地震により東北地方の内陸にかかる力が変化したこと、すなわち、これまで東西圧縮の応力場にあった東北地方が、東北沖地震を境に引張応力場に変化した可能性が指摘されている。2011 年と同様の震源域と規模を持っていた可能性のある歴史地震として、869 年の貞観地震と 1611 年の慶長三陸地震がある。津波堆積物の調査からは、歴史時代以前にも同様の規模の地震・津波が複数回発生していた可能性も指摘されている。いずれの地震も、東北地方太平洋沿岸における津波堆積物や史料などの痕跡調査から実態の解明が進められており、堆積物分布に基づく津波浸水域や史料に基づく痕跡高の検討から、2011 年の東北沖地震と同程度の規模であった可能性や、メカニズム面での類似性が指摘されている。

2011 年の東北沖地震による応力場の変化により、今後どのような地震・津波が日本海東縁部で生じる可能性があるかを明らかにすることは、今後の防災対策の面で喫緊の課題であると考えられるが、史料・津波堆積物ともこれまでは十分に検討されていない。869 年の貞観地震や 1611 年の慶長三陸地震の際に、今回と同様に圧縮応力場から引張応力場への変化が生じていたと仮定すると、両地震の以前に日本海側で津波を生じる大地震が多く、以降に少なくなる、というように、日本海溝沿いの巨大地震による応力場の変化が、日本海沿岸で生じた津波イベントの推移に反映されていると考えられる。

2 . 研究の目的

本研究の目的は、日本海東縁部における歴史・先史地震・津波を、東北地方太平洋沿岸で生じた既往の巨大地震との関連から検討することである。青森～山形の沿岸地域において、869 年貞観地震・1611 年慶長三陸地震など、東北地方太平洋沖の巨大地震の前後の年代に相当する津波痕跡を対象に調査を実施し、津波の規模と回数の推移を明らかにすることで、日本海東縁部の地震・津波と日本海溝での巨大地震の時間的関連を明らかにする。海溝型巨大地震の後に日本海東縁部における地震活動の静穏化が生じていたかどうか、あるいはそれとは逆に大規模な地震・津波が生じていたかどうかを明らかにすることは、今後の同地域における巨大地震・津波のリスク評価に資するものであり、防災計画上の意義は大きい。

3 . 研究の方法

青森～山形県沿岸地域において、歴史地震・津波に関する、古地形・古環境・史料・堆積物の調査とともに、津波氾濫・波源の数値解析を行う。古地形・古環境に関する情報を元に基礎資料を作成し、調査対象地域を選定し、調査データを集約する。津波数値解析に用いる水理条件を推定するため、土壌硬度計を用いた地盤特性の測定を行う。堆積物試料については年代測定と微化石分析を行い、イベントの発生時期と堆積物の供給源を推定する。津波数値解析により、津波の波源モデルの検討を行う。

4 . 研究成果

(1) はじめに

日本海沿岸部で発生した歴史地震としては、西暦 830 年(天長 7 年)の出羽地震から 1983 年の日本海中部地震までの 14 例あり、そのうち、江戸時代までに発生し、かつ津波発生が確認されているのは、850 年(嘉祥 3 年)、1793 年(寛政 4 年)、1084 年(文化 1 年)、1833 年(天保 4 年)の 4 例である。1833 年の津波では、現酒田市の湯の浜周辺で 5～6m、1804 年には象潟で 4-5m などの記述があり、地震性の津波によって沿岸部で被害が生じてきたことが知られている。

本研究では、秋田県・山形県沿岸部で予備的な掘削調査を実施し、堆積物調査に適した地域を検討した。なかでも庄内平野では、850 年の津波の際、国府(現酒田市の城輪柵跡)から 3km の地点まで津波が迫ったとの記述があり、平野の広範囲に浸水が及んだことが推定される。また、予備的な調査の結果、地層状況も他地点よりも好適であることが判明した。そこで、過去の津波の地質学的痕跡が残されている可能性が高い庄内平野を対象に、詳細な調査・検討を行った。



図版 1 : 本研究で詳細な調査・検討を行った地域(庄内平野)。

(2) 日向川河口付近における堆積物掘削調査結果

日向川河口周辺で 3 か所の地点を選定して堆積物の掘削を行った。調査地点の海岸線から

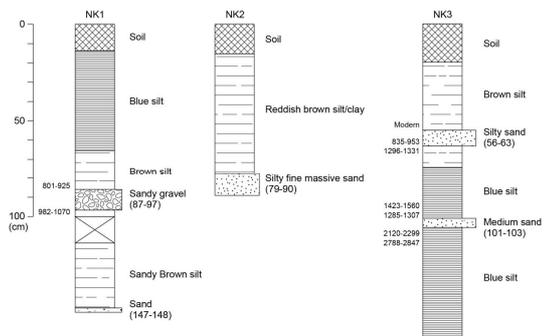
の距離は2.5~3.0km 標高は6.4~7.3mである。日向川の現在の河道は砂丘開鑿によって付け替えられたものであり、かつては現酒田北港方向に流れていた。調査地点は河道付け替え区間よりも上流側にある自然堤防周辺に位置しており、人為的改変の影響は小さいと考えられる。地点 NK1 では、1 枚のイベント性砂層が確認された。表層から 15cm までは耕作土、15 - 65cm は青灰色のシルト、65 - 87cm は褐色のシルト、87 - 97cm は礫混じりのイベント性砂層、97 - 100cm は褐色のシルトで、115cm よりも下ではやや砂質に変化していた。147 - 148cm にも砂層が見られたが、その基底部は確認できなかった。NK2 の堆積物は、表層から 15cm まで耕作土、79cm までが赤味がかった褐色シルト、79 - 90cm がシルト質で塊状の細粒砂であった。NK3 では 2 枚のイベント性砂層が確認された。表層から 20cm までが耕作土、20 - 76cm が褐色シルトで、56 - 63cm にシルト質のイベント性砂層が認められた。76 - 162cm は青灰色のシルトで、101 - 103cm にもイベント性の中粒砂層が確認された。



図版 2：日向川河口地点付近の状況。



図版 3：NK3 における堆積物の状況（上：深度 50 - 70cm，下：深度 110 - 130cm）。



図版 4：日向川河口地点における堆積物柱状図。

（3） 月光川河口付近における堆積物掘削調査結果

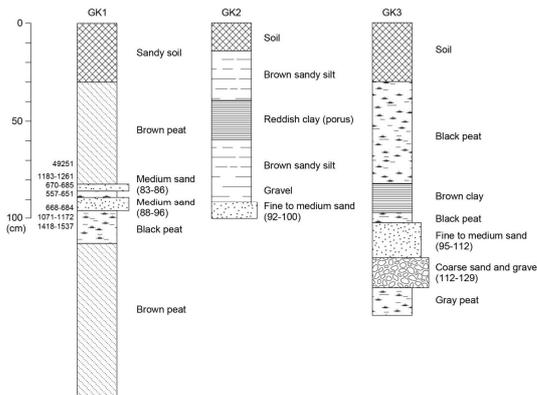
月光川河口付近で3か所の調査地点を選定して堆積物の掘削を行った。海岸線からの距離は1.5~1.8km、標高は1.7 - 2.3mである。これよりも海側に近い調査地点は河道に近い砂丘背後の低地は河口位置の変化や人為的改変の影響を受けていたため、河道から離れた低地を選定して掘削を行った。地点 GK1 では2枚または1枚のイベント性砂層が確認された。表層から30cmが砂質の耕作土、30 - 83cmが褐色を呈する泥炭となっていた。83 - 96cmは、間に薄い黒色泥炭層を挟む中粒砂層である。砂層中には、黒色泥炭が偽礫として取り込まれている様子が確認された。96 - 112cmは黒色泥炭層、112 - 191cmは褐色の泥炭層であった。GK2の表層から15cmは耕作土、15 - 40cmは褐色の砂質シルト、40 - 60cmは赤味がかった空隙の多い粘土、60 - 92cmは褐色の砂質シルトであった。92 - 100cmは上方に細粒化する中~細粒砂層であった。砂層の基底部は確認できなかった。GK3では1枚のイベント性砂層が確認された。表層から30cmは砂質の耕作土、30 - 95cmは黒色泥炭層で、80 - 90cmに褐色粘土をはさむ。95 - 112cmは上方に細粒化する中~細粒砂層、112 - 129cmは礫混じりの粗粒砂層であった。この中~細粒砂層と粗粒砂層は一連のイベント性砂層である。129 - 140cmはやや灰色を呈する泥炭層であった。



図版 5：月光川河口地点付近の状況。



図版 6：上：GK1 における深度 80 - 100cm の堆積物の状況。下：GK2 における深度 80 - 100cm の堆積物の状況。



図版 7：月光川河口地点における堆積物柱状図。

(4) 放射性炭素同位体年代測定結果

掘削によって確認されたイベント性砂層の堆積年代を推定するため、放射性炭素同位体年代値の測定を行った。日向川河口地点については、NK1 の礫混じりの砂層を挟む 2 試料、NK3 の 2 枚の砂層を挟む 7 試料を測定した。月光川河口地点については、GK1 で確認された 2 枚の砂層を挟む 6 試料について測定を行った。測定対象は 2cm 角のブロック状に採取した堆積物のバルク試料である。GK1 では、深度 77cm に検出された種も測定した。図版 3、図版 6 の柱状図の左側に、測定値を校正して得られた 1 暦年代範囲を示した。

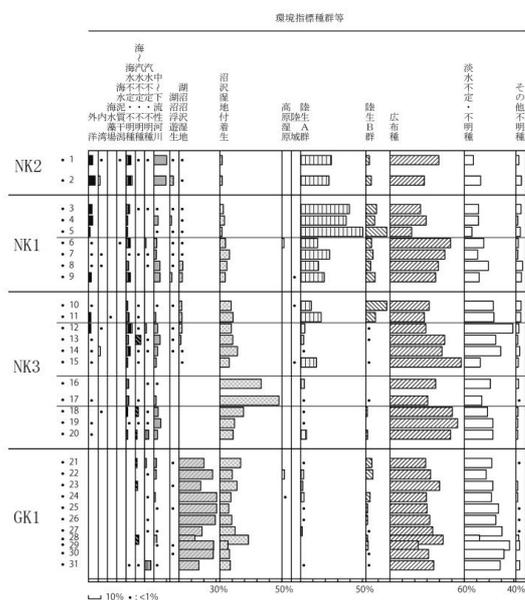
日光川河口地点では、NK1 の深度 87 - 97cm にある礫混じりの砂層の上位は 801 - 925calBP、直下は 982 - 1070calBP であった。NK3 の深度 56 - 63cm にあるシルト質砂層は上位が Modern、砂層に含まれる泥が 835-953calBP、直下が 1296 - 1331calBP であった。深度 101 - 103cm の中粒砂層は、上位が 1423 - 1560calBP および 1285 - 1307calBP、直下が 2120 - 2299calBP、2788 - 2847calBP であった。従って、NK1 の砂質礫層と NK3 のシルト質砂層は対比可能であると考えられ、堆積年代は 11 世紀初頭から中頃と推定される。NK3 の中粒砂層の上下では年代値の飛びが認められ、砂層形成直前に表層堆積物の顕著な浸食が起こった可能性がある。この場合、砂層直下の年代値は本来よりも古くなると考えられる。砂層上位から得られた年代値から推定すると、砂層の堆積が起こったのは 4 世紀後半であると考えられる。

月光川河口地点では、GK1 の深度 83 - 86cm に確認された砂層上位の褐色泥炭の年代は 1183 - 1261calBP であった。砂層中の泥偽礫は 670 - 685calBP、砂層直下の泥炭は 557 - 651calBP であった。深度 88 - 96cm の砂層中の泥偽礫は 668 - 684calBP、直下の黒色泥炭は 1071 - 1172calBP および 1418 - 1537calBP であった。GK1 においては、砂層とその上位から得られた年代値は逆転しており、何らかの要因によって擾乱を受けていると考えられる。一方、黒色泥炭については年代値の逆転は見られない。砂層直下の年代が 1071 - 1172calBP であり、砂層よりも上位の堆積物が 651calBP よりも前の様々な年代を示すことから、砂層は 8 - 9 世紀よりも後に堆積し、14 世紀頃に擾乱を受けたと推定される。深度 77cm から検出された種は非常に古く、遠隔地から流水等によって運搬され、現位置に再堆積したものであると考えられる。

(5) 微化石(珪藻)分析結果

日向川河口地点および月光川河口地点で確認されたイベント性砂層の起源について検討するため、NK1~3 および GK1 から採取した試料の珪藻分析を実施した。現地の地形的特性を考慮すると、たとえ大規模な津波遡上時であっても、海水が砂丘を乗り越え外洋からの堆積物が現地に直接搬入されることは考えにくく、汽水域から河川を遡上して氾濫が生じる過程を経ることが想定される。はじめに、日向川河口地点の NK2 から採取した氾濫原堆積物と考えられる粘土層試料を用いて、現地周辺の珪藻群集について基本的な検討を行った。構成種の多くは、陸生および淡水種であるが、中～下流性河川種、および外洋を含む海水種が認められる。また、汽水種はほぼ認められなかった。調査地域付近の日向川および最上川上流域には更新世の海成または非海成堆積岩類が露出しており、氾濫原堆積物に含まれる海水種は堆積岩由来の再

堆積したものであると解釈される。NK1 および NK3 のイベント性砂層にも、同様に外洋を含む海水種が認められるが、これも氾濫原堆積物と同様に海成堆積岩に由来するものであると考えられる。砂層中からは中～下流性河川種と共に汽水性種の珪藻が検出され、河川を通じて汽水域からの堆積物の供給があったことが推定される。月光川河口地点の GK1 からは、外洋を含む海水種は検出されなかった。この理由としては、調査地点付近の丘陵は火山岩からなり堆積岩の露出が無いことが考えられる。砂層中からは NK1 および NK3 と同様に中～下流性河川種と共に汽水性種が検出され、やはり、河川を通じて汽水域からの堆積物の供給があったことが推定される。



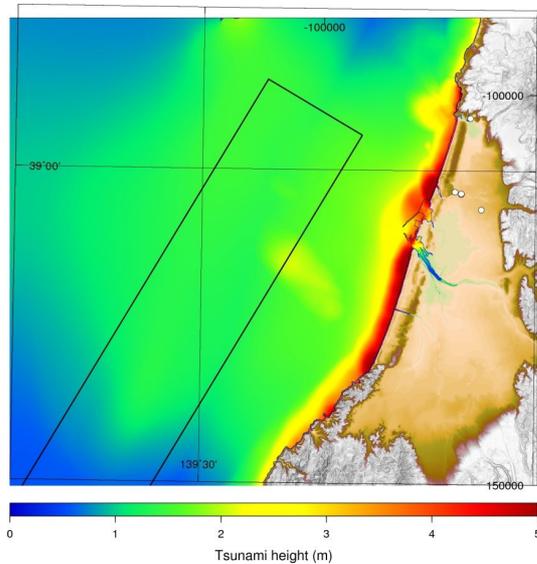
図版 8：珪藻分析結果。

(6) 津波数値解析の検討結果

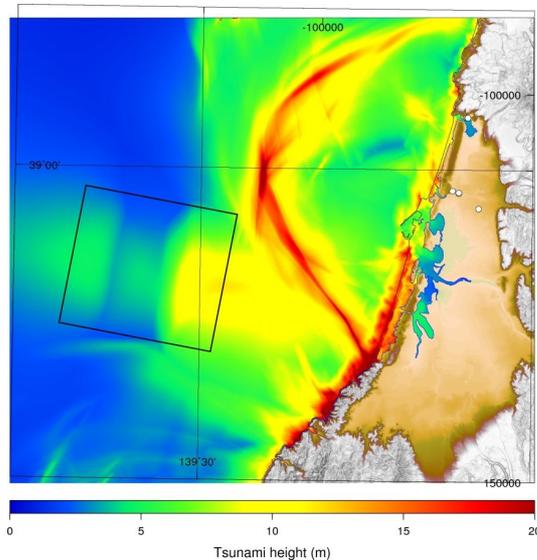
堆積物試料の年代測定の結果、日向川河口地点 NK1 および NK3 の砂層は 11 世紀初頭から中頃、月光川河口地点 GK1 の砂層は 8-9 世紀よりも後に堆積したと推定された。また、珪藻分析により、日向川・月光川地点で確認されたイベント性堆積物は、河川を通じて汽水域から供給されたことが示唆された。津波の河川遡上と氾濫が最も有力な原因と考えられる。そこで、堆積物調査地点に到達する津波の発生状況について、数値解析を用いて検討を行った。計算に用いる地形データは、日本水路協会の海底地形デジタルデータ (7000 シリーズ) および国土地理院 50m メッシュ (標高) を基に作成した。地形データは現況であり、酒田港周辺の人工地形が含まれる。計算手法は、非線形長波方程式をスタガード格子で差分化し、リーブフロッグ法によって解く TUNAMI-N2 を用いた。空間格子間隔は 45m、時間格子間隔は 0.2 秒とし、津波発

生から 3 時間の伝播・氾濫を計算した。本研究では 2 つの波源モデルについて検討を行った。初めに、内閣府「日本海における大規模地震に関する調査検討会」による想定断層 F34 を用いて計算を行った。この波源モデルは長さ 52km および 72km の 2 枚の断層からなり、それぞれ幅 19km、滑り量 5.45m の断層運動が想定され、モーメントマグニチュードは 7.7 となっている。酒田沖には北側の長さ 72km の断層が位置している。このモデルでは酒田市から遊佐町の沿岸部に 5m 以上の津波が到達する。現最上川河口周辺および酒田北港周辺で陸上への若干の浸水が見られるが、砂丘背後の庄内平野への海水の浸入は生じず、イベント性砂層が確認された日向川河口地点および月光川河口地点周辺へ津波が到達することはない。

調査地点への津波の浸入と砂の堆積を説明するためには、想定地震とは別の原因が必要であると考えられる。海底地形データを分析した結果、酒田沖に大規模な斜面崩落跡とみられる地形的特徴が認められた。産業総合技術研究所による海底の音波探査画像にも、海底地滑りを示す可能性のある地層構造が確認できる。そこで、大規模な海底斜面崩落による津波発生を正断層モデルによって近似し、調査地点周辺への津波到達状況を検討した。海底地形データに確認できる地形的特徴および音波探査データを参考に、崩落範囲 (崩落源から末端まで距離) を幅 20km、長さ 18km、崩落体積を 8.5 km³ に設定した。計算による津波の高さは酒田市沿岸部で 15-20m、遊佐町沿岸部で 10m 以上となる結果が得られた。この場合には、調査地点のうち月光川河口地点に津波が直接到達する。酒田北港の現況地形の影響もあり、日向川河口地点への津波の直接の到達は生じないが、酒田北港の日向川旧河口から内陸側へ大規模な浸水が生じる。本検討では現況地形を用いているので、旧河道に沿った津波遡上は再現されていないが、旧河口からの津波浸入・河川遡上により、調査地点付近まで海水が遡上する可能性が明らかになった。



図版 9：想定断層 F34 による津波数値解析結果。黒の実線で想定断層 F34 の外形を示した。



図版 10：酒田沖の海底斜面崩落による津波数値解析結果。黒の実線で崩落範囲を示した。

(7) まとめ

山形県沿岸部で津波堆積物調査を行った結果、日向川河口地点および月光川河口地点で複数のイベント性砂層が確認された。年代測定の結果、日向川河口地点 NK1 および NK3 の砂層の堆積は 11 世紀初頭から中頃で、9 世紀中盤（869 年）の貞観地震よりも 150 - 200 年ほど後のイベントとみられる。しかし、外套の年代（11 世紀）には酒田周辺に顕著な津波をもたらした地震は知られていない。月光川河口地点 GK1 の砂層は 8 - 9 世紀よりも後に堆積したと推定された。850 年の嘉祥地震津波あるいは 11 世紀のイベントに対比できると考えられる。NK3 については、4 世紀頃のイベント性砂層も確認されている。また、珪

藻分析により、日向川・月光川地点で確認されたイベント性堆積物は、河川を通じて汽水域から供給されたことが示唆された。数値解析の結果、両地点における津波堆積物は、地震性の津波よりも、海底斜面崩落を原因とする大規模な津波によって説明される可能性が高い事が判明した。海溝型巨大地震の前後で特に津波発生が頻繁であった証拠はないものの、地震以外の原因で大規模な津波が発生していた可能性があることが示された。今後の日本海側の津波想定に際して、津波発生源の候補の一様式として考慮されることが望まれる。

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 1 件)

菅原大助，津波堆積物と津波の規模について，地学雑誌，査読有り，123 号，2014，797-812。

〔学会発表〕(計 2 件)

今井 健太郎・都司 嘉宣・菅原大助、1833 年天保出羽沖地震津波の波源再評価、2014 年日本地震学会秋季大会、2014 年 11 月 25 日、朱鷺メッセ新潟コンベンションセンター（新潟市）

箕浦幸治・菅原大助・山野井徹・山田 努、海溝型地震の予後：津波痕跡による変動の評価、2014 年日本地質学会、2014 年 9 月 15 日、鹿児島大学郡元キャンパス（鹿児島市）

6. 研究組織

(1) 研究代表者

菅原 大助 (SUAGWARA, Daisuke)

東北大学・災害科学国際研究所・助教

研究者番号：50436078