

新潟大学災害・復興科学研究所

共同研究報告書

(A4: 2~3枚程度)

佐渡島羽茂地区の古津波履歴と波源の解明

研究代表者氏名 菅原 大助¹⁾
研究分担者氏名 清水 康博²⁾
 卜部 厚志³⁾
 貞包 健良⁴⁾
 石澤 堯史¹⁾
 上谷 知久⁵⁾
 飯田 雅貴⁵⁾

- 1) 東北大学災害科学国際研究所, 2) 新潟大学教育学部, 3) 新潟大学災害・復興科学研究所,
4) 佐渡市教育委員会社会教育課ジオパーク推進室, 5) 東北大学理学部

研究要旨

日本海における古地震・古津波履歴の解明を目的として、佐渡島羽茂地区で採取した地層試料に含まれるイベント砂層の粒度分析、地球化学(XRF)分析、微化石(珪藻)分析を行い、砂層が海水氾濫によって堆積した可能性を示した。また、GPRを用いた古地形調査を行い、砂層の分布域が安定した湿原環境であることを示した。これらの結果および砂層の堆積年代を考慮すると、砂層は約4000年前の津波で形成されたものであると考えられる。この津波の波源を検討するため数値解析を行い、日本海における大規模地震に関する調査検討会のF41・F42断層およびN1断層(角田一弥彦断層)を候補として特定した。このうち、N1断層は既知の活動時期が羽茂地区の津波堆積物の年代と合致しない。F41・F42断層は仮定する規模(滑り量)によってどちらでも説明できる可能性がある。その判別のためには、他地域における同時代の津波堆積物の分布範囲を明らかにする必要がある。

A. 研究目的

日本海東縁部には多くの海底活断層が分布しているが、その活動はプレート境界型地震によるものと比べ低頻度と想定され、地震の再来間隔や規模など、災害リスク評価のための情報は十分に得られていない。そこで、日本海沿岸における古地震・古津波履歴を地層記録から明らかにすることを目的として、本研究を計画・実施した。

昨年度は、佐渡島羽茂地区(Fig. 1)の8地点で地層試料を採取し、陸成層中に挟在する津波イベント層候補の砂層1枚を検出した。砂層は海岸から約500m内陸まで追跡され、内陸方向に薄層化する傾向を示した。また、放射性炭素同位体年代測定の結果、この砂層は約4000年前に堆積したものであると推定された。さらに、予察的な津

波数値解析により、角田一弥彦断層の活動が羽茂地区に高い津波を及ぼすことを示した。なお、地層状況は、砂層の堆積前後で堆積環境が急変したことを示している。以上の結果から、イベント砂層の成因の特定(津波堆積物としての認定)と波源の推定が重要な課題であることが認識された。

本年度は、このイベント砂層を対象に、堆積学・地球化学・微古生物学の各手法で分析を行い、津波堆積物としての確度の高い認定を行った。また、津波堆積物の分布と堆積環境の関連を明らかにするため、地下レーダー(Ground Penetrating Radar; GPR)を用いた古地形調査を行った。さらに、砂層形成の原因となった津波の波源を明らかにするため、古地形を考慮した津波数値解析を実施した。

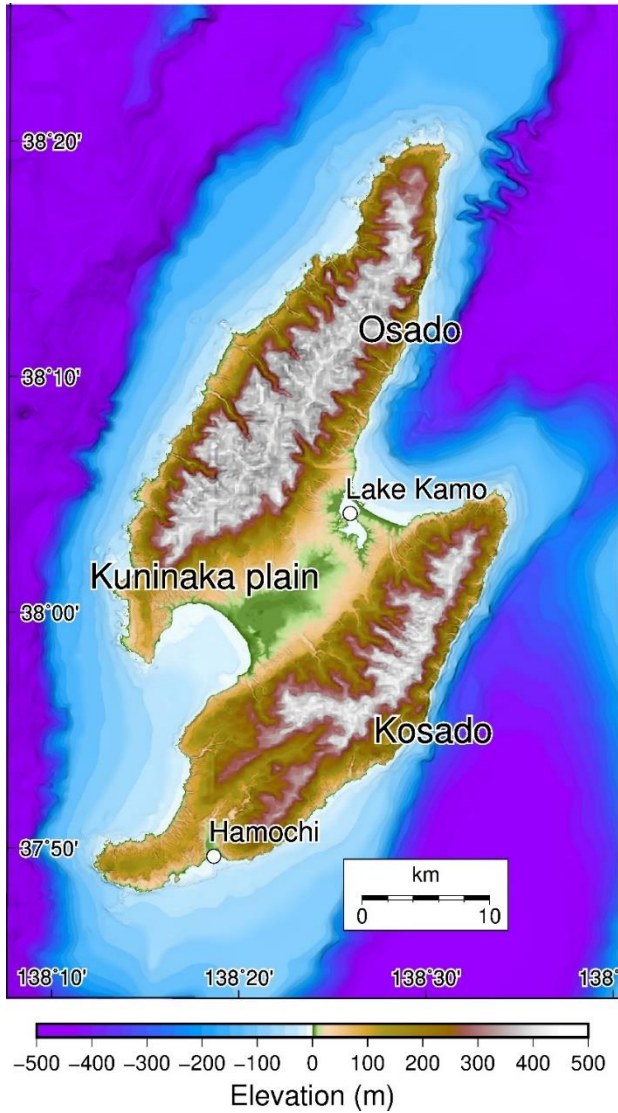


Fig. 1 佐渡島および羽茂地区の位置.

B. 研究方法

(堆積物試料分析)

SD1, SD2, SD3, SD4, SD6 の 5 地点 (Fig. 2) で昨年度採取した柱状試料のうち、イベント砂層を含む層準を主な対象として分析を行った。粒度分析は、東北大学災害科学国際研究所が保有するレーザー回折式粒度分析計 (島津製作所 SALD-2300) を用い、砂層を 1 cm 間隔で測定した。元素分析は、高知大学海洋コア総合研究センターが保有する蛍光 X 線分析装置 (ITRAX) を用いて実施した。微化石 (珪藻) 分析は、SD2 地点の砂層を対象に、株式会社パレオ・ラボに委託して実施した。これらの結果を総合し、既往研究で検討された津波指標に照らし合わせながら、津波イベントとしての認定を行った。

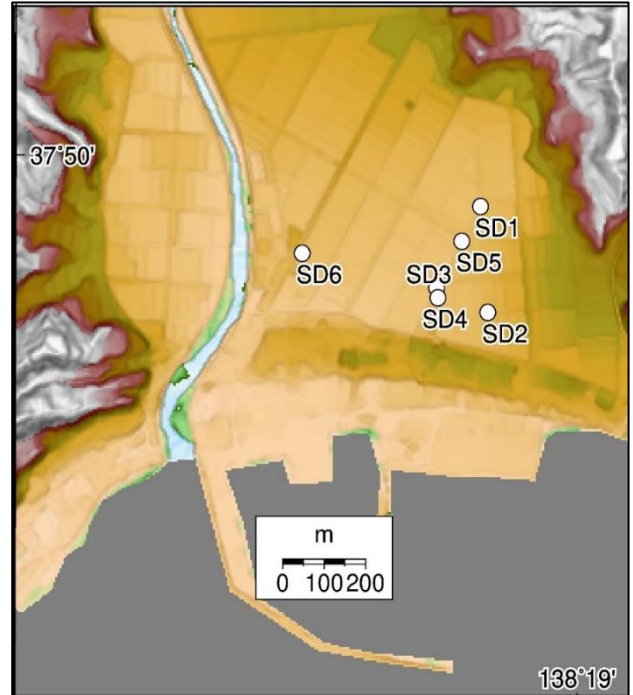


Fig. 2 羽茂地区の堆積物調査地点.

(古地形調査)

羽茂地区の過去の地形と堆積環境に関するデータを取得するため、東北大学が保有する GPR (GSSI SIR-4000) を用いて地層探査を行った (Fig. 3). 得られたデータを基に、地下に埋没した浜堤、後背湿地といった微地形の地層構造を明らかにし、地層試料のデータと照合して過去の堆積環境および砂層の堆積イベントの関係を検討した。



Fig. 3 GPR 調査測線 (白の実線).

(津波数値解析)

現在の高精度数値標高モデルを基に、イベント砂層堆積当時 (約 4000 年前) の古地形の復元データを作成した (Fig. 4). その上で、佐渡島に津波を及ぼす可能性がある既知の活断層のモデルを用い、津波伝播・氾濫の数値解析を行った。数値

シミュレーションと羽茂地区の津波堆積物の分布データを比較し、羽茂地区以外の日本海沿岸で知られている津波堆積物の情報を考慮しつつ、波源の位置と規模を推定した。

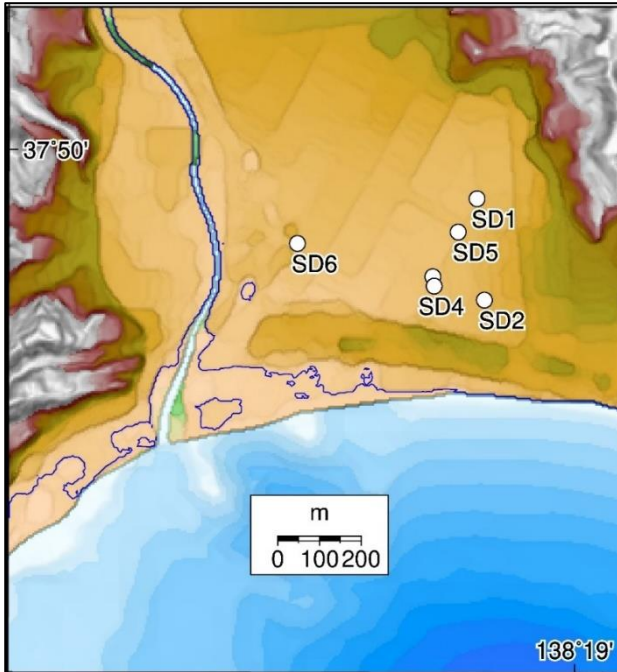


Fig. 4 津波数値解析に用いた復元地形. 青の実線は地殻変動と海水準変動を考慮した場合の4000年前の汀線.

C. 研究結果

(堆積物試料分析)

SD1 地点 (Fig. 5) : イベント砂層は厚さ 4 cm で

ある. 下位層準との境界は明瞭であり、砂層堆積時の底面の侵食を示す可能性がある. 粒度分析の結果では、中央粒径が約 1.6 ϕ から 1.9 ϕ へ正級化 (上方細粒化) を示し、これが2回繰り返している. XRF 分析の結果は、砂層部分で海水指標元素 (Ca, Sr) の顕著な増加を示した. 一方で、陸源 (河川) 指標とされる Ti の値も増加が見られた.

SD2 地点 : イベント砂層は厚さ 8 cm である. 下位層準との境界は明瞭であった. 粒度分析の結果は、イベント砂層において約 1.3 ϕ から 1.9 ϕ への上方細粒化、および 1.6 ϕ から 0.9 ϕ への逆級化を示した. コアの下部で確認された別の砂層についても分析を行ったところ、イベント砂層と同様の上方細粒化が確認された. 最下部を除き、Ca, Sr は砂層中で高い値を示した.

SD3 地点 : イベント砂層は厚さ 6 cm である. 下位層準との境界は明瞭であり、砂層堆積時の底面の侵食を示す可能性がある. 砂層の最下部で約 1.6 ϕ から 1.9 ϕ への上方細粒化が見られたが、その他の部分では明瞭な変化を示さなかった. また、Ca, Sr は砂層で高い値を示した.

SD4 地点 : イベント砂層は厚さ 6 cm であるが、その上部にも層厚 8 cm の泥質砂層が続いている. 砂層と下位層準との境界は明瞭であった. 砂層の中央部から上部にかけては約 0.9 ϕ から 1.6 ϕ への上方細粒化を示した. また、Ca, Sr は砂層で比

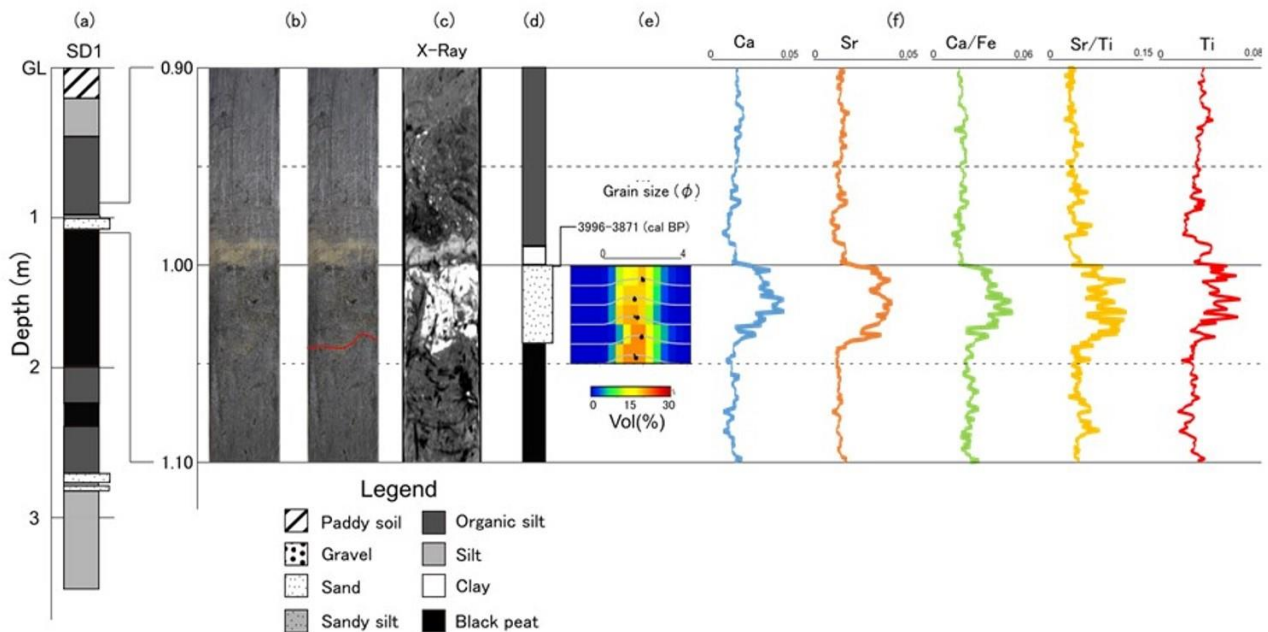


Fig. 5 SD1地点の(a, d)地質柱状図, (b)光学画像, (c)CT画像, (e)粒度分析結果, (f)XRF分析結果.

較的高い値を示す一方、泥質砂層では値が上方に向かって徐々に低下した。

SD6 地点：イベント砂層は厚さ 2 cm である。下位層準との境界は明瞭であった。中央粒径は 1.6φ で、粒度の鉛直変化は明瞭でなかった。また、砂層の Ca, Sr は高い値を示した。

(微化石分析)

砂層の上部で珪藻殻の保存が比較的良好であり、37~165 個体が検出された。砂層の下部から検出された珪藻殻は僅かであり、地層中で分解・消失した可能性がある。試料中に含まれていた珪藻殻のほとんどは淡水生の広布種・沼沢湿地付着生指標群などであったが、海水種をわずかに含む試料もあった (Fig. 6)。

(古地形調査)

現在の浜堤を横断する測線での GPR 断面には、地表面に対し海側に傾きながら重なる明瞭な反射面が確認された。この反射面の下は古い浜堤あるいは河口州であり、その上は盛り土や土壌などの人工地盤に相当すると解釈できる。SD2 地点付近の水田内に設定した海岸線と直交する方向の測線では、やや弱く不連続で地表面に対して平行な 3 つの反射面が重なる様子が確認された。調査地域の地質柱状図を踏まえ、地層の物性境界、特に含水率の差によって電波の反射が生じることを考慮すると、この 3 つの反射面は、(1) 水田土壌とその下のシルト・有機質シルト (後背湿地や

沼) の境界、(2) シルト・有機質シルトと泥炭 (湿原) の境界、(3) 泥炭と有機質砂質シルトあるいは中~極粗粒砂 (浜堤) の境界に相当すると考えられる。SD3 および SD4 地点付近の水田内に設定した測線では、同様にやや弱く不連続で地表面に対して平行な 3 つの反射面と、その下に起伏のある明瞭な反射面が確認された (Fig. 7)。地表と平行な反射面は SD2 付近の測線と同様の地層境界であり、その下の起伏のある反射面は埋没した浜堤や河口州であると考えられる。

(津波数値解析)

本研究では Fig. 8 に示した海底活断層を対象に津波伝播・氾濫の数値解析を行った。

F38 断層：津波高が大きくなるのは、佐渡島東海岸および両津湾、および新潟市周辺である。羽茂地区のある佐渡島南部に波が集中する傾向はみられない。羽茂地区の浸水深は、河口周辺で 3-5 m、内陸部では 1 m 以下である。津波堆積物調査地点のうち、SD1, SD2, SD5 には浸水が及ばない。

F39 断層：津波高が大きくなるのは佐渡島西海岸である。羽茂地区のある佐渡島南部に波が集中する傾向はみられない。羽茂地区の浸水深は、河口周辺で 2.5 m 程度、内陸部では 1 m 以下である。津波堆積物調査地点は全て浸水しない。

F41 断層：津波高が大きくなるのは、糸魚川市周辺と能登半島東海岸である。羽茂地区のある佐渡島南部に波が集中する傾向はみられないものの、

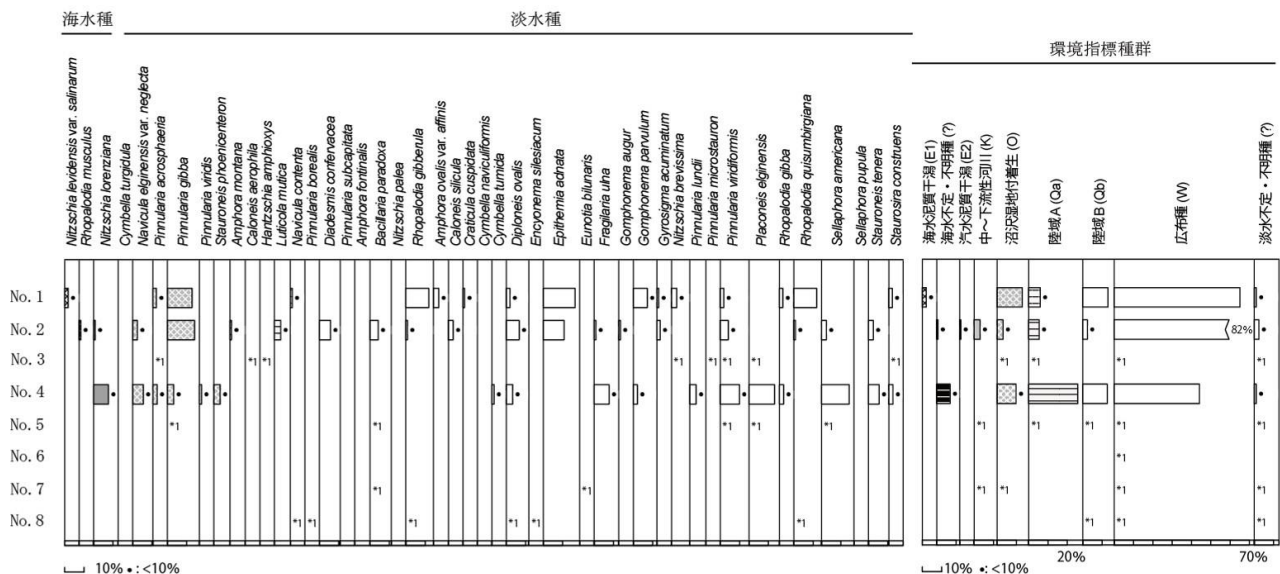


Fig. 6 SD2地点の珪藻分析結果。No.2. ~No.7が砂層試料, No. 1は砂層上位, No. 2は砂層下位の層準から採取。

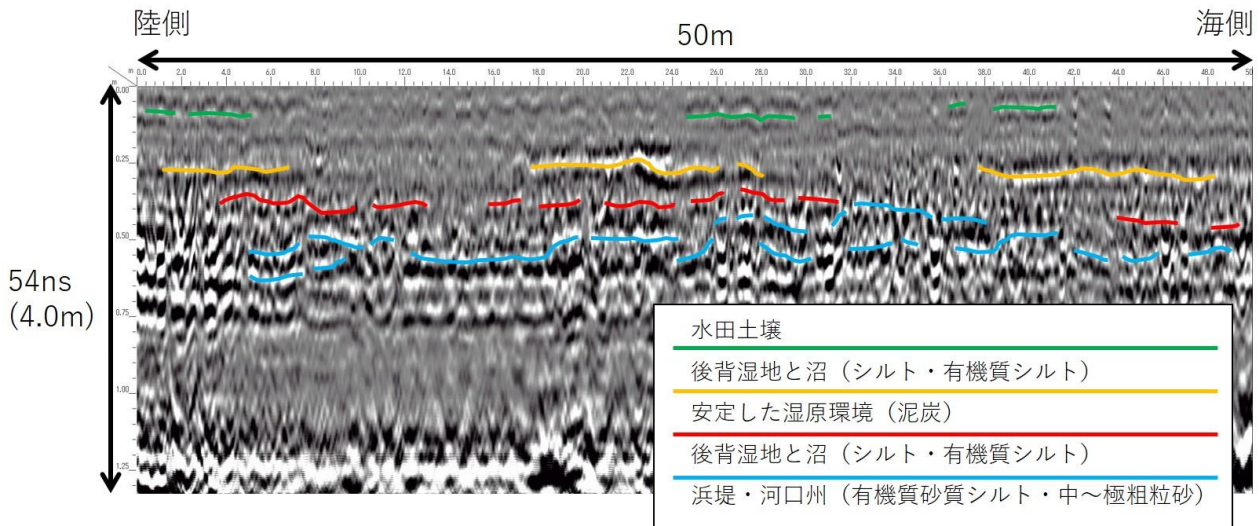


Fig. 7 SD3およびSD4地点付近のGPRデータおよび解釈.

浸水深は F38, F39 よりも大きい。津波は浜堤を部分的に越流しており、河口周辺で浸水深 3-5 m, 内陸部の川沿いでは 2.5 m である。津波堆積物調査地点の全てに浸水が及び、SD3, SD4 では浸水深が 2 m 弱となっている。

F42 断層 (Fig. 9) : 津波高が大きくなるのは、佐渡島南部と糸魚川市東方である。羽茂地区のある佐渡島南部向かって津波が屈折・集中する。津波は浜堤を全面的に越流しており、河口周辺で浸水深 5 m 以上、内陸部の川沿いでも 2-4 m となっている。津波堆積物調査地点の全てに浸水が及び、浸水深は概ね 2 m である。

N1 断層 : 津波高が大きくなるのは、佐渡島南部と新潟市周辺である。羽茂地区のある佐渡島南部で波が局所的に増幅している。津波は浜堤を部分的に越流しており、河口周辺で浸水深 3-5 m, 内陸部の川沿いでは 2.5 m 程度である。津波堆積物調査地点の全てに約 1.5m の浸水が及んでいる。

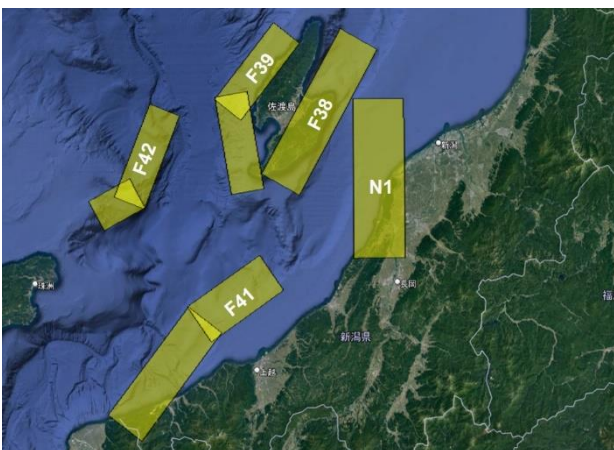


Fig. 8 津波数値解析で用いた波源断層.

D. 考察

イベント砂層は部分的な正級化（上方細粒化）や逆級化を示すとともに、Ca, Sr といった海水起源元素の濃集を示している。このことは、砂層が海水の流れによって運ばれてきた可能性を示すものであると考えられる。正級化や逆級化は、砂粒子運搬形態（浮遊・掃流）に関連する構造と考えられており、現世の津波堆積物で頻繁に報告されている。一方、河川起源と解釈される Ti も砂層中で高い値を示していることから、砂層堆積時に起こった海水の流れによって、海域と陸域の両方の堆積物が混合していることが考えられる。あるいは、堆積物供給源において Ti に富む物質が存在していた可能性もある。砂層中、特に下部における珪藻殻の保存は良好でなく、分析結果の解釈は難しい面があるが、淡水種とともにわずかながら海水種が検出されたことは、Ti の値と同じく海水の流れによって海・陸両方の物質が混合され運ばれてきたことを示すと考えられる。年代測定の結果は、砂層の堆積は過去約 6000 年間に 1 回だけ起こった低頻度のイベントであることを示しており、高波・高潮のような比較的高頻度のイベントとは異なることを示唆している。GPR による古地形調査の結果は、津波堆積物の分布域が面的な広がりのある湿原環境であることを示しており、砂層が河道や浜堤といった埋没した旧地形に関連するものである可能性は否定される。以上のことから、砂層は約 4000 年前頃の津波によって形成された堆積物であると考えられる。

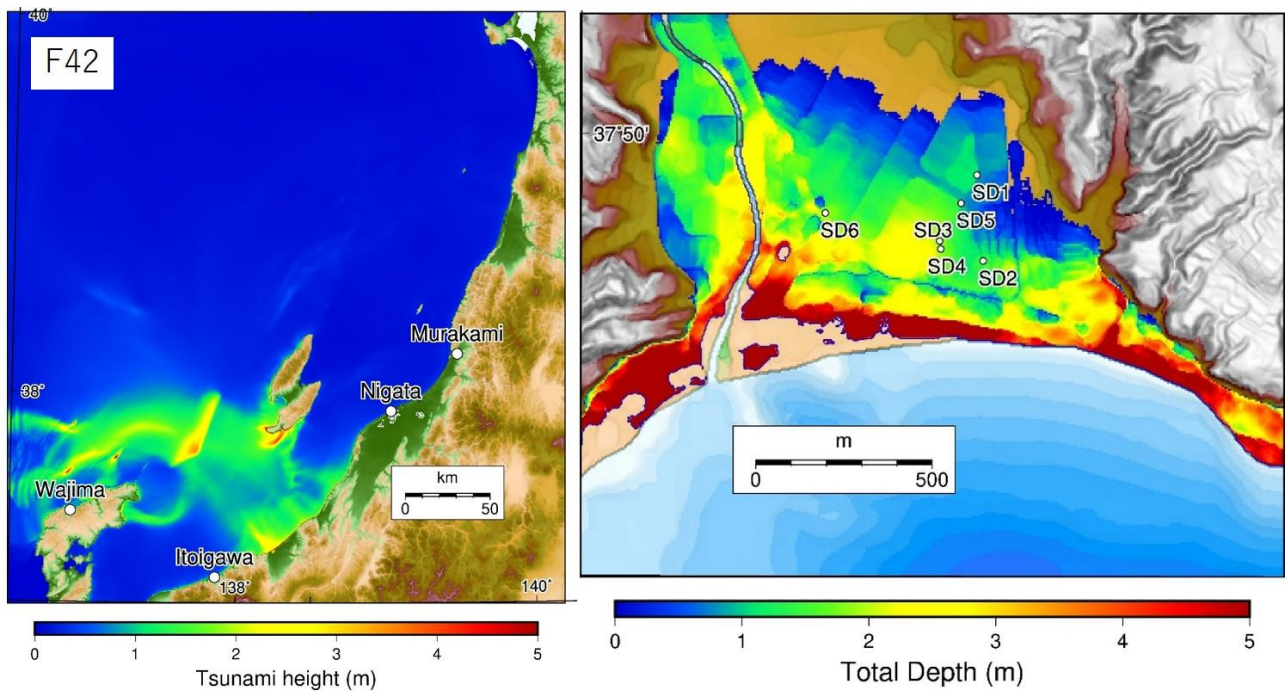


Fig. 9 F42断層による津波伝播・氾濫解析結果.

津波伝播・氾濫の数値解析の結果によれば、羽茂地区の津波堆積物の分布はF42断層の活動によって最も良く説明される (Fig. 9). また、佐渡島南部での津波集中・増幅パターンを考慮すると、F41断層とN1断層のいずれかの活動も、津波堆積物を説明できる可能性がある。F41断層とF42断層は海底地形や音波探査によって認定された活断層であり、実際の活動時期は不明である。一方、N1断層については2.0~0.6 kaおよび6.3~4.8kaに活動したことを示すデータが得られている (大上ほか, 2018) が、これらの年代は羽茂地区の津波堆積物の年代値 (約 4000 年前) とは一致しない。なお、佐渡島の加茂湖では同時代のイベント堆積物が知られている (Urabe, 2017) が、F42断層の活動による津波は加茂湖に大きな影響を与えないため、羽茂地区の津波と同一のイベントとして認めることは難しいと考えられる。

E. 結論

佐渡島羽茂地区で採取した堆積物に含まれるイベント砂層について、粒度分析、地球化学 (XRF) 分析、微化石 (珪藻) 分析を行い、砂層が海水氾濫イベントによるものであることを示した。また、古地形調査により、イベント堆積物の分布域が安定した湿原環境であることが判明した。これらの結果および昨年度に実施したイベント砂層の堆

積年代を考慮すると、この砂層は約 4000 年前の津波によって形成されたものであると考えられる。津波数値解析の結果、羽茂地区の津波堆積物を説明できる波源の候補として、F41, F42 および N1 断層が特定された。このうち、N1 断層は既知の活動時期が羽茂地区の津波堆積物の年代と合致しないため、可能性は小さいと思われる。F41 と F42 は想定する規模 (滑り量) によってどちらでも説明できる可能性がある。その判別のためには、同時代の津波堆積物の分布範囲を明らかにする必要がある。

F. 研究発表

1. 論文発表 (掲載誌名・巻号・頁・発行年を記入し、掲載論文あるいはPDFファイルを別紙で1部提出) (該当無し)

2. 学会発表 (学会名・発表年月・開催地なども記入) (該当無し)

G. 知的財産権の出願・登録状況 (予定を含む) (該当無し)