

過去の北海道南西沖津波:1741年の津波と13世紀頃の津波(解説)

1. はじめに

日本海に面する北海道南西部檜山地域の沿岸は、1993年北海道南西沖地震による津波で大きな被害を受けました。またこの地域では、1741年(寛保元年)の渡島大島噴火・山体崩壊に伴う津波でも大きな被害を受けたことが歴史記録に残っています。さらに当所が実施した津波堆積物調査により、13世紀頃にも1993年の津波を上回るような大きな津波が発生していたことが明らかとなっています(北海道立総合研究機構, 2015;加瀬ほか, 2016;Kawakami et al. 2017;川上ほか, 2017)。そこで、1741年の津波と13世紀頃の津波がどの程度の範囲に浸水したかを復元し、誰もが参照できるようにWEB-GISで公開することとしました。この研究成果が地域の津波防災計画立案や、災害教育に役立つことを願っています。

2. WEB-GISで表示される情報

2-1. 情報の種類

次の3種類の情報を提供します。個々の詳細は後述します。

- ①津波の浸水計算結果(浸水深データ):コンピュータで再現計算した1741年および13世紀の津波それぞれの遡上範囲と浸水の深さを示しました。
- ②津波堆積物の調査結果:1741年および13世紀の津波それぞれについて、それらの津波を成因とする堆積物が残されているかどうか調査を行った地点と、その調査結果を示しました。
- ③歴史記録:1741年の津波では、歴史記録の精査に基づき被災地における津波の高さ(標高値)が推定されています。おもに都司ほか(2002;2017)および東北大学災害科学国際研究所の津波痕跡データベースにもとづいて、津波高のデータを示しました。

2-2. 津波の浸水計算結果(①)

浸水計算の結果は、緯度および経度(世界測地系10進度)・計算に用いた地盤標高(m)・浸水深(m)からなるデータセットです。どのような計算を行ったかについては、3. 津波の浸水計算(研究者向け)を参照ください。

2-3. 津波堆積物の調査結果(②)

津波堆積物の調査結果は、緯度および経度(世界測地系10進度)・地盤標高(m)・地盤標高の取得元・調査者・調査年・津波堆積物の存否の判断結果・堆積物の基底の標高(m)・文献からなるデータセットです。

地盤標高の取得元、調査者、津波堆積物の存否は、それぞれ次表の区分からなります。

地盤標高の取得元

GPS	Leica製GPS受信機によるスタティック測量
HandyLaser	ニコン製簡易レーザー測距計による簡易測量
Leveling	基準点からの簡易光波水準測量(基準点の標高はLeica製GPS受信機による)
Map	国土地理院発行の1/2.5万地形図の読み取りおよび50mDEM
Map5	基盤地図情報(5mメッシュDEM(航空レーザー測量))
SRTM	SRTM1 DEM(Becker et al. 2009)

これらは概ね、GPS→Leveling→HandyLaser/Map5→SRTM1→Mapの順に精度が低くなります。

調査者

GSH	北海道立総合研究機構 地質研究所
HU	北海道大学
AIST	産業技術総合研究所

津波堆積物の存否

A	津波起源の可能性が高い堆積物あり(根拠あり)
B	津波起源の可能性がある堆積物あり(根拠不十分)
C	津波堆積物なし(無いことが確実)
D	不明(調査不適地)

根拠とは、津波を成因とする可能性が高いと判断し得るデータのことを指します。具体的には碎屑物(砂・礫)の特徴、堆積物の分布状態、海洋生物遺骸の含有などから総合的に判断しています。

調査不適地とは、人工改変地、イベント堆積物の抽出が難しい地層(例 全体が礫層や砂層など、粗い地層からなる場所)、年代の特定が難しい地層、堆積物が残りにくい場所(岩盤を覆う薄い堆積物からなる場所)などを指します。

2-4. 歴史記録(③)

歴史記録として示したのは 1741 年の津波の津波高(標高値)です。13 世紀の津波に関する歴史記録は見つかっていません。緯度および経度(世界測地系 10 進度)・津波高(浸水高と遡上高は区別せず)・文献・記録の信頼度からなるデータセットから構成されます。記録の信頼度は東北大学災害科学研究所の津波痕跡データベースによるもので、A~D および X、Z が区別されていますが(下表)、このうち D、X、Z とされたものを除く A~C 判定のデータを登録しました。

A	信頼度大なるもの	古文書・郷土史等に記載され、痕跡の場所を現在でも確認でき、しかも近年になって測量されて高さの確定されたもの。
B	信頼度中なるもの	古文書・郷土史等に記載され、痕跡の場所を現在でも確認できるが、近年の再測量がなされていないもの。
C	信頼度小なるもの	古文書等に記載、あるいは言い伝えられてはいるが、字名、集落名などにとどまり、到達地点を確かめることのできないもの。
D	参考値にとどまるもの	古文書等の関連現象・被害の記録から推測されたもの
X	全く信頼できないもの	<ul style="list-style-type: none"> ・明らかに引用の間違い、記載間違いであるもの ・利用すべきでないもの、除外すべきもの ・歴史津波の場合で、古文書資料の精査により文献信頼度を×と判定したもの
Z	カタログ作成の元になった原文献に戻って判定すべきもの	<ul style="list-style-type: none"> ・カタログ類と分類された場合 ・その地区(かなり広い範囲)の値を総括した値と思われるもの
	重複	・痕跡データベースに登録された別の文献からの孫引き(同じ地点の値が重複)
	浸水計算の確認に利用できる定性的な情報	・高さに関する記述ではないため、痕跡信頼度(A, B, C, D 及び X)を評価しようがないが、遡上位置、範囲に関する記述など、浸水計算結果(浸水の有無)の確認に利用できる定性的な情報

3. 津波の浸水計算(研究者向け)

3-1 1741年の津波

1741年の津波は、渡島大島の噴火活動に伴う山体崩壊を起源とすると考えられています(Satake, 2007)。計算には、柳澤ほか(2014)の地すべり・津波統合シミュレーションモデル(2層流モデル)を改良して用い、山体崩壊そのものを再現するとともに、再現された山体崩壊によって津波を生じさせて浸水域を求めました(Ioki et al. 2019b)。

A. 計算の前提条件

崩壊前の山体の復元:Satake and Kato (2001)の1秒グリッドデータを用いて、崩壊による侵食域から堆積域にかけての南北36地形縦断面を作成し、崩壊前の地形を推定しました。

崩壊域の設定:復元した崩壊前の地形と現在の地形との差分がマイナスとなる領域を崩壊域としました。

海底地形:Satake and Kato (2001)およびM7000(日本水路協会)を用い、1秒グリッドの地形を生成して使用しました。

陸上地形:数値地図50mメッシュ(標高)(国土地理院)を基本とし、低地域の一部ではSRTM1(USGS, Becker et al. 2009)を用いました。近年の構造物により地形が変更されている箇所(港湾や道路盛土など)では、明治・大正期の旧版地形図を用いて変更前の地形に修正しました。また浸水計算結果を検証する観点から、詳細な津波堆積物調査を実施した一部地域では1741年の津波堆積物の基底を津波発生当時の地表面とみなし、その標高を地盤標高として用いました。

B. 発生・伝播の計算モデル

1741年の津波再現には、柳澤ほか(2014)の地すべり・津波統合シミュレーションモデル(2層流モデル)を改良したモデルを用いました。浅水理論に基づく2層流モデルを解くことにより、土塊の移動や津波の陸上への遡上を計算しています。設定した各パラメータは以下の通りです。

崩壊土量:2.2km³

水塊の底面摩擦項(マンニングの粗度係数) = 0.025

移動土塊の底面摩擦項(マンニングの粗度係数) = 0.15

移動土塊の内部摩擦角(クーロンの内部摩擦角) = 2.5°

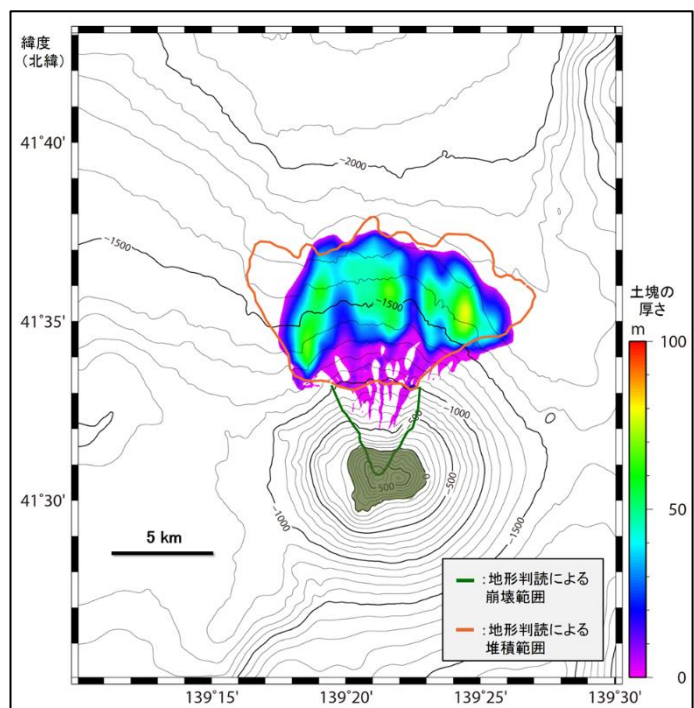
移動土塊と水塊との界面抵抗係数 = 0.05

C. 計算結果の検証

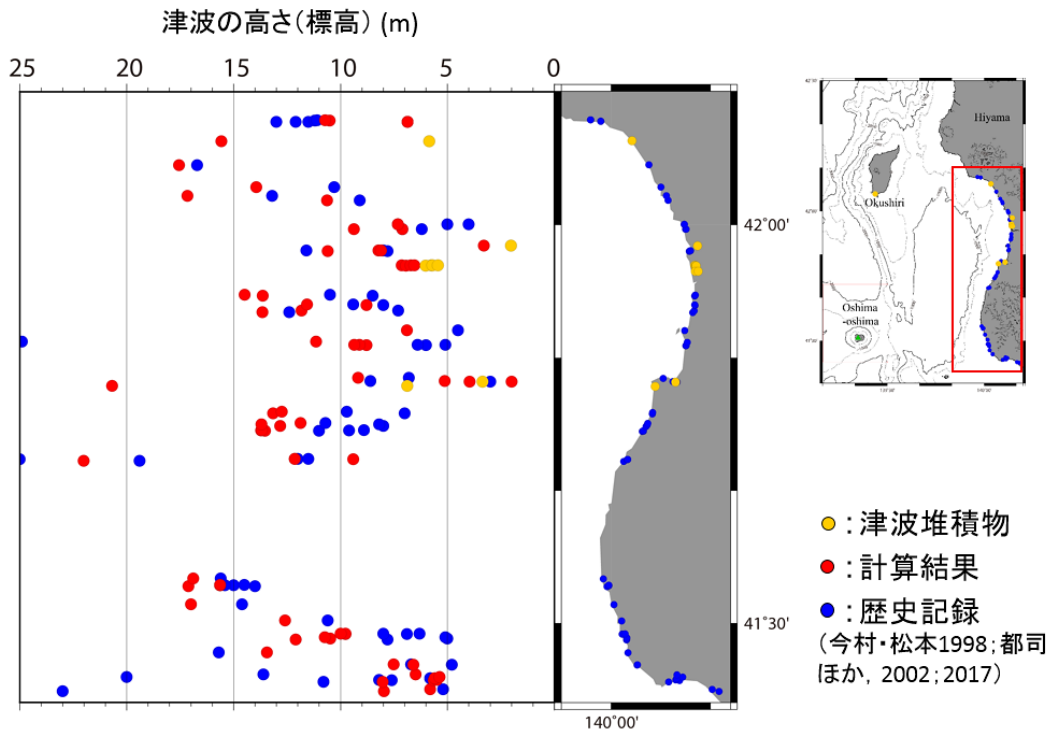
1741年の津波再現計算では、山体崩壊と津波双方を再現できているか検証しました。

山体崩壊:Satake and Kato (2001)の海底地形データを用い、崩壊堆積物の形状(堆積範囲および厚さ分布)を推定し、計算で生じた崩壊堆積物がうまくその範囲に堆積・停止するよう、土塊の内部摩擦角の値を1.5~3°まで0.5°刻みで変え、 $\phi=2.5^\circ$ の時にもっとも堆積状況をよく再現できることを確認しました(右図)。

地すべり・津波統合シミュレーションによる山体崩壊の再現計算結果



津波:再現した山体崩壊により発生させた津波の遡上計算を行い、津波堆積物の分布を説明できるように移動土塊の底面摩擦項を 0~0.3 まで変化させ、粗度係数 0.15 のときに最もよく説明できることを確認しました。このようにして求めたパラメータを用いて計算した津波について、歴史記録が残る地点で津波の高さを比較しました。相田(1977)の方法で一致の度合いを見ると、信頼度 A~C とされる 67 地点の記録を用いた場合 $K=0.93$ 、 $\kappa=1.53$ となり、計算が歴史記録をやや上回り、若干ばらついているという結果となりました。そこで信頼度の高い A・B の 20 地点の記録のみを用いて K 、 κ を求めると、それぞれ 1.04、1.39 となり土木学会の基準を満たしました。記録が江戸時代のものであることやその他の不確定要素を考えると、1741 年の津波は十分によく再現されていると判断されます。



浸水計算結果(津波の高さ)と歴史記録、および津波堆積物の分布標高との比較

3-2 13 世紀頃の津波

13 世紀頃の津波は奥尻島の南側の海域で地震が起こり(すなわち断層が活動し)、発生した津波と推定されます(Kawakami et al. 2017)。想定される断層は日本海における大規模地震に関する調査検討会(2014)(日本海調査検討会)に示された F17 断層の可能性が高いと判断し、これをベースとしました。しかし日本海調査検討会(2014)の断層モデルそのままでは津波堆積物の分布をうまく説明できないことから、断層長やすべり量などを改変しました(Ioki et al., 2019a を参照)。

A. 計算の前提条件

以下の海底地形・陸上地形を用いて、広域では 3 秒グリッド、浸水計算域では 23 m (約 1 秒)グリッドの地形を作成して使用しました。

海底地形:1741 年の津波のケースと同じデータを用いました。

陸上地形:1741 年の津波のケースと同様に、数値地図 50m メッシュ(標高)(国土地理院)を基本とし、低地域の一部では SRTM1(USGS, Becker et al. 2009)を用いました。また計算結果を検証する観点から、詳細な津波堆積物調査を実施した一部地域では、13 世紀頃の津波堆積物の基底の標高を参照し、津波発生時の地盤標高を推定して用いました。

断層モデル:F17 断層モデルを元に、浸水計算の結果が津波堆積物の分布地点を過不足なくカバーするよう断層長およびすべり量を変えて調整しました。最終的に、以下の断層モデルを用いて計算を行いました。

小断層	経度 (°)	緯度 (°)	長さ (km)	幅 (km)	走行 (°)	傾斜 (°)	すべり角 (°)	深さ (km)	すべり量 (m)
1	139.519810	41.499800	50.000	21.546	350	45	96	2.765	18.00
2	139.405810	41.020100	53.890	21.546	10	45	106	2.765	4.57
3	139.423650	41.017710	53.890	10.773	10	45	106	4.289	7.43

B. 発生・伝播の計算モデル

始めにモデル断層による地殻変動を計算し(Okada, 1965)、この海底地殻変動量が海面上昇量と等しいと仮定して津波を発生させました。津波の伝播は非線形長波近似式を解き、津波の陸上への遡上まで計算しています。津波の発生において、断層破壊におけるライズタイムは考慮していません。また計算範囲においては、地震時の地殻変動量を考慮しています。

C. 計算結果の検証

13 世紀頃の津波は歴史記録がないため、津波堆積物のみで検証を行いました。根拠が十分な津波堆積物を用いて、浸水計算の結果がそれらの分布地点を過不足なくカバーするよう断層パラメータを調整しました。

4. 情報を参照する際の留意点

津波の浸水計算は既述の条件やモデルで実施し、結果は津波堆積物および歴史記録により検証していますが、その参照にあたっては次にあげるような事項についての注意が必要です。

浸水計算結果、津波堆積物調査結果を参照する上での留意点

①陸上の地形モデルに関わる問題	浸水計算では、主に現在の地形から生成された地形・標高モデルを用いており、津波発生時の地形や標高とは大きく異なっている可能性があります。また檜山地域では航空レーザー測量データが整備されておらず、標高の精度があまり良くありません。
②潮位・平均海面の問題	津波浸水計算に際し潮位は考慮せず、また平均海面は東京湾平均海面(T.P.)を用いています。なお、日本海では潮汐による潮差は数 10 cm 以下です。
③浸水計算結果と津波堆積物調査結果との不一致	
③-1 計算では浸水域なのに津波堆積物が無い(判定 C)ケース	実際には浸水しなかったか、もしくは浸水したものの津波堆積物が残されなかった場合の二通りが考えられますが、それらを区別することはできません。
③-2 浸水域ではないのに津波堆積物(判定 A)があるケース	モデルの再現性が不十分である可能性が高いのですが、モデルのどこに原因があるのかを特定することは困難です。
③-3 浸水域ではないのに津波堆積物(判定 B)があるケース	モデルの再現性が不十分であるか、もしくは津波堆積物の認定に問題がある可能性があります。原因を特定することは困難です。

③-4 浸水域ではなく津波堆積物がない(判定 C)もしくは不明(判定 D)のケース	計算上浸水域とならず、また津波堆積物がない、もしくは不明であるとしても、 <u>実際には浸水した可能性が全くないわけではありません</u> 。特に計算上の浸水域に隣接する場所で、堆積物調査により有用なデータが得られていない(判定 D)地点の場合、そのような可能性を十分考慮する必要があります。
④計算された津波高と津波堆積物の基底標高の不一致	津波堆積物の基底面が示す標高は、本来、津波高(地盤標高+浸水深)よりも低い標高となります。

文 献

- 相田 勇(1977) 三陸沖の古い津波のシミュレーション. 地震研究所彙報, 52 巻, 71-101 頁.
- 北海道立総合研究機構(2015) 北海道の日本海・オホーツク海沿岸における津波履歴. 北海道地質研究所調査研究報告第 42 号, 218 頁.
- Ioki, K., Tanioka, Y., Kawakami, G., Kase, Y., Nishina, K., Hirose, W., Hayashi, K. and Takahashi, R. (2019a) Fault model of the 12th century southwestern Hokkaido earthquake estimated from tsunami deposit distributions. *Earth, Planets and Space*, doi: 10.1186/s4.
- Ioki, K., Tanioka, Y., Yanagisawa, H., and Kawakami, G. (2019b) Numerical simulation of the landslide and tsunami due to the 1741 Oshima-Oshima eruption in Hokkaido, Japan. *Journal of Geophysical Research (Solid Earth)*, doi: 10.1029/20.
- 加瀬善洋・仁科健二・川上源太郎ほか(2016) 北海道南西部奥尻島で発見された津波堆積物. 地質学雑誌, 122 巻, 587-602 頁.
- 川上源太郎・加瀬善洋・ト部厚志ほか(2017) 日本海東縁の津波とイベント堆積物. 地質学雑誌, 第123巻, 857-877 頁.
- Kawakami, G., Nishina, K., Kase, Y. et al. (2017) Stratigraphic records of tsunamis along the Japan Sea, southwest Hokkaido, northern Japan. *Island Arc*, vol. 26.
- 七山 太・重野聖之・古川竜太・石井正之(2017) 堆積学的解析に基づく 1741 年渡島大島噴火津波の遡上過程の復元. 月刊地球/号外, no. 68, 61-72 頁.
- 西村裕一・鈴木正章・宮地直道ほか(2000) 北海道渡島半島, 熊石町鮎川海岸で発見した歴史津波堆積物. 月刊地球/号外, no. 28, 147-153 頁.
- 日本海における大規模地震に関する調査検討会(2014) 日本海における大規模地震に関する調査検討会最終報告書. 43 頁.
- Satake K. (2007) Volcanic origin of the 1741 Oshima-Oshima tsunami in the Japan Sea. *Earth, Planets and Space*, vol. 59, p. 381-390.
- Satake K. and Kato Y. (2001) The 1741 Oshima-Oshima Eruption: Extent and volume of submarine debris avalanche. *Geophysical Research Letters* vol. 28, p. 427-30.
- 都司嘉宣・畔柳陽介・成田裕也・木南孝博ほか(2017) 寛保元年(1741)渡島大島の噴火に伴う津波の北海道江差, 松前地方の海岸での浸水標高. 津波工学研究報告, 33 巻, 149-207 頁.
- 柳澤英明・青木 歩・佐々恭二・井上公夫(2014) 地滑り・津波統合モデルによる寛政 4 年(1792)有明海津波の再現シミュレーション. 土木学会論文集 B2(海岸工学), 70 巻, I_151-I_155 頁.

内容に関する問い合わせ

北海道立総合研究機構 地質研究所 川上源太郎

kawakami-gentaro@hro.or.jp

011-747-2420(地質研究所 代表)