

福岡核問題研究会 7月例会

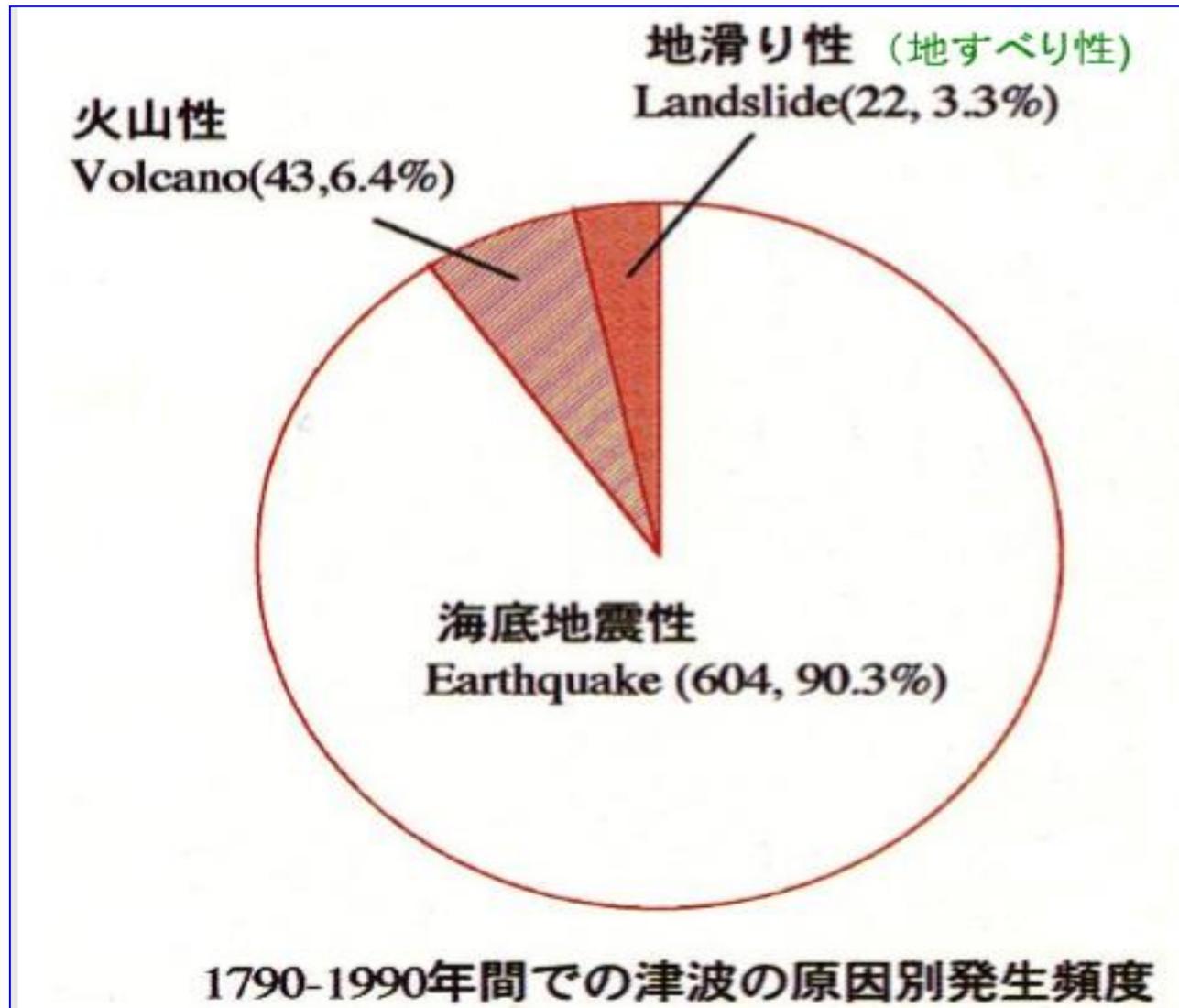
日時:2018年7月14日

会場:九州大学筑紫キャンパス

地震が起きなくとも 津波は発生する
— 海底地すべり津波について —

森永 徹

津波の原因別発生頻度 (1790-1990)



地震以外の原因による津波（先史～19世紀）

年代	発生場所	名称	原因	
6225–6170 BC	ノルウェー海	Storegga 滑落	海底地すべり	ノルウェー沖100kmで発生。
1600 BC	ギリシャ サントリニ島	ミノア火山噴火	火山噴火	クレタ島に被害。
79	イタリア ナポリ湾	ベスビオ火山噴火 79	火山噴火	ベスビオ山の噴火で小津波。
1741	北海道		火山噴火	北海道渡島半島西の大島の火山噴火による大規模地すべり津波。1,467人が死亡。
1792	九州	島原大変 肥後迷惑	火山噴火作用	津波死者5,000人を含む15,000人が死亡。津波の波高は100m。
1806	スイス ゴールダウ	ゴールダウ地すべり 1806	地すべり（地上）	1億2千万トンの岩石がラウエルツ湖に崩落。457人の死者。
1883	インドネシア	クラカトワ火山噴火 1883	火山噴火	爆発的噴火で地下のマグマ溜まりが空になり、上層の土地と海底が崩壊。崩壊により、40m以上の津波が発生した。

地震以外の原因による津波（20世紀前半）

年代	発生場所	名称	原因	
1905	ノルウェー	Loenvatnet	落石	Loenvatnet湖に87万トンの落石があり、40 m の津波が発生。
1908	イタリア	Messina地震 1908	地震による 海底地すべり	死者123,000人。
1918	プエルトリコ	サン・フェルミン 地震 1918	地震による 海底地すべり	プエルトリコ北西部に 被害。
1934	ノルウェー	Tafjord	岩盤すべり	200万立方mの岩石が約 700mの高さから落下。波高 は地滑りの近くで62mに達し、 フィヨルド沿岸の40人が死亡。
1936	ノルウェー	Loenvatnet	落石	山から約100万立方mが Loenvatnet湖に落石。70m 洪水波が発生し、74人が死 亡。

地震以外の原因による津波（20世紀後半）

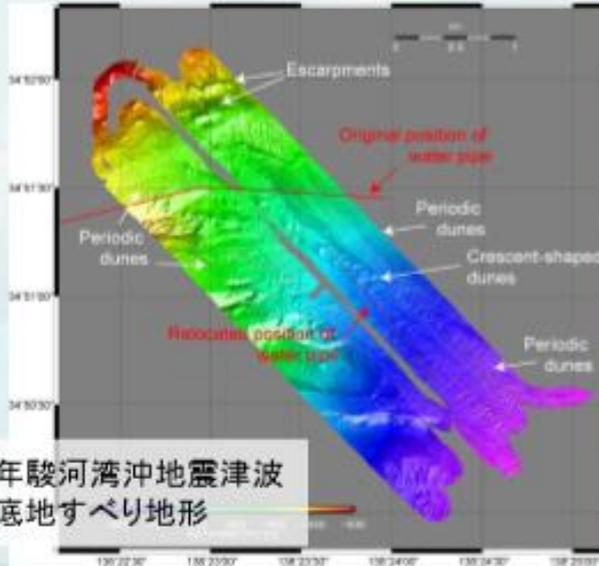
年代	発生場所	名称	原因	
1958	米国 アラスカ州	1958 リツヤ湾 巨大津波	地震による 地すべり (地上)	アラスカ、リツヤ湾北東海岸の岩石約3,060万立方mが地震で落下。津波は、海拔524mの高所から樹木などの植生をすべて消滅させた。これまでに記録された最高の波。
1963	イタリア	バイオントダム	地すべり (地上)	約2億6000万立方mの樹木、土壌、岩石の大規模な地滑りが時速110kmでダム湖に落下した。その結果、ダム湖の5千万立方mの水を溢れさせ、洪水により、2,000人が死亡。
1980	米国 ワシントン州	セントヘレンズ 火山・スピリット湖 1980	火山噴火	セント・ヘレンズ山の噴火で山の460m上部が大地滑りを起こし、スピリット湖に落下。260mの巨大津波が発生した。

地震以外の原因による津波（21世紀）

年代	発生場所	名称	原因	
2007	カナダ・ブリ ティッシュコロ ンビア州		地すべり (地上)	ブリティッシュ・コロンビア州のチャハリス湖に地すべりが落ち込み、湖岸の数m上にあるキャンプ場や植生を破壊した。
2011	ニュージー ランド	クライスト チャーチ 地震 2011	地震によ る氷河の 崩壊	ニュージーランド南島でマグニチュード6.3の大地震が発生し、震央から約200 km離れたタスマン氷河から約3,000万トンの氷がタスマン湖に落下、3.5mの津波が発生し、湖の観光船に衝突した。
2014	アイスランド	アスキャ 津波	地すべり	バルダルブンガ山の噴火に関連した地震の後、アスキャ火山の斜面を津波が襲った。地すべりには3億～5千万立方mが関与し、カルデラの水位は1～2m上昇。
2017	グリーン ランド		地すべり (地上)	300m×1,100mの地すべりが西グリーンランドのKarratフィヨルドに落下した。津波の結果、4人が死亡。当初、津波の高さは90mであった。

過去の海底地すべり津波

- ✓ 1741年渡島大島の津波※ (15m) 括弧内の数字は最大津波高さ
※は山体崩壊
- ✓ 1771年八重山津波 (85m)
- ✓ 1792年島原大変肥後迷惑※ (9m)
- ✓ 1946年アリューシャン地震 (35m, M8.1)
- ✓ 1998年パプアニューギニア地震 (15m, M7.1)
- ✓ 2009年駿河湾沖の地震 (0.7m, M6.5)



2009年駿河湾沖地震津波
の海底地すべり地形



**地震が起きなくとも
津波は発生する**

万寿津波

万寿津波の物的証拠 益田低地沖積層の火災構造

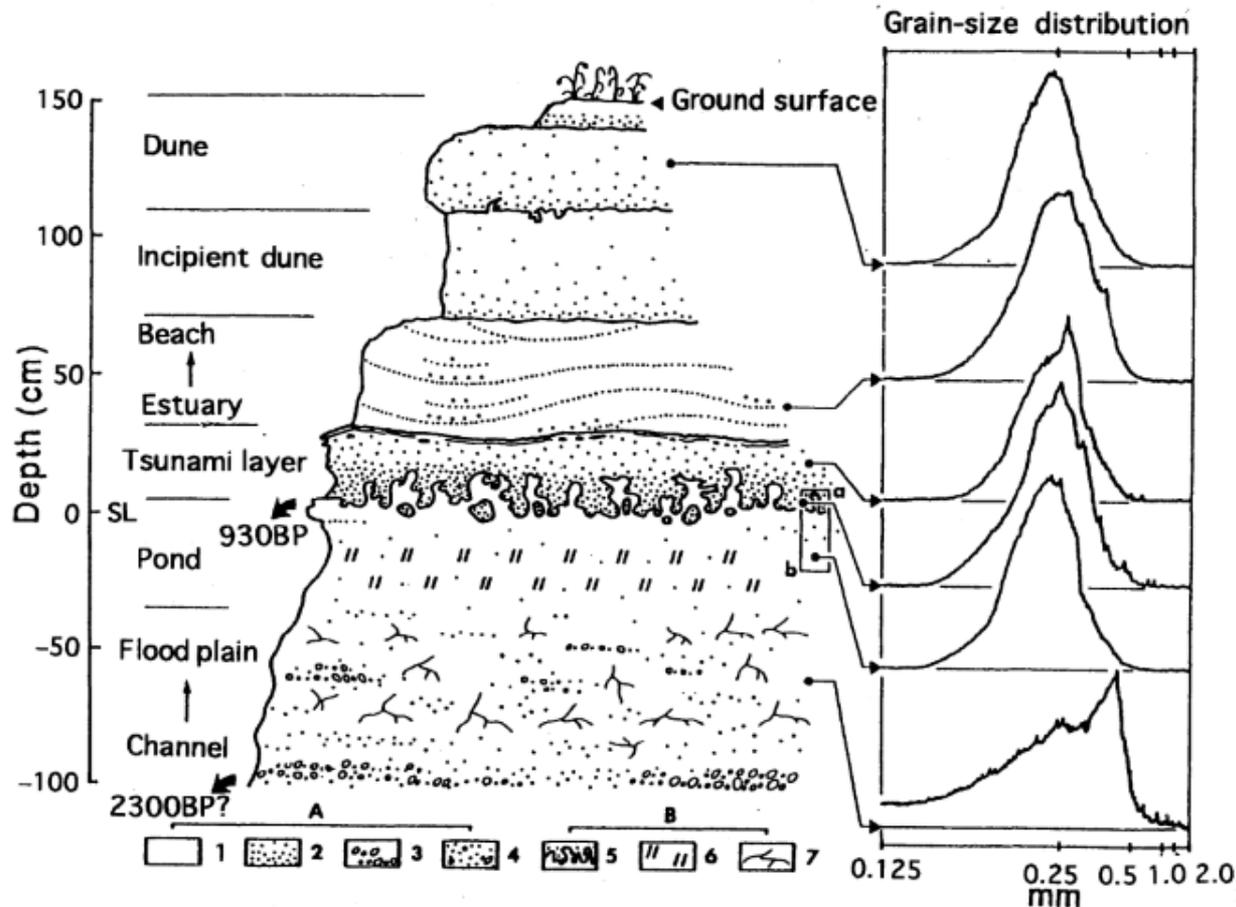
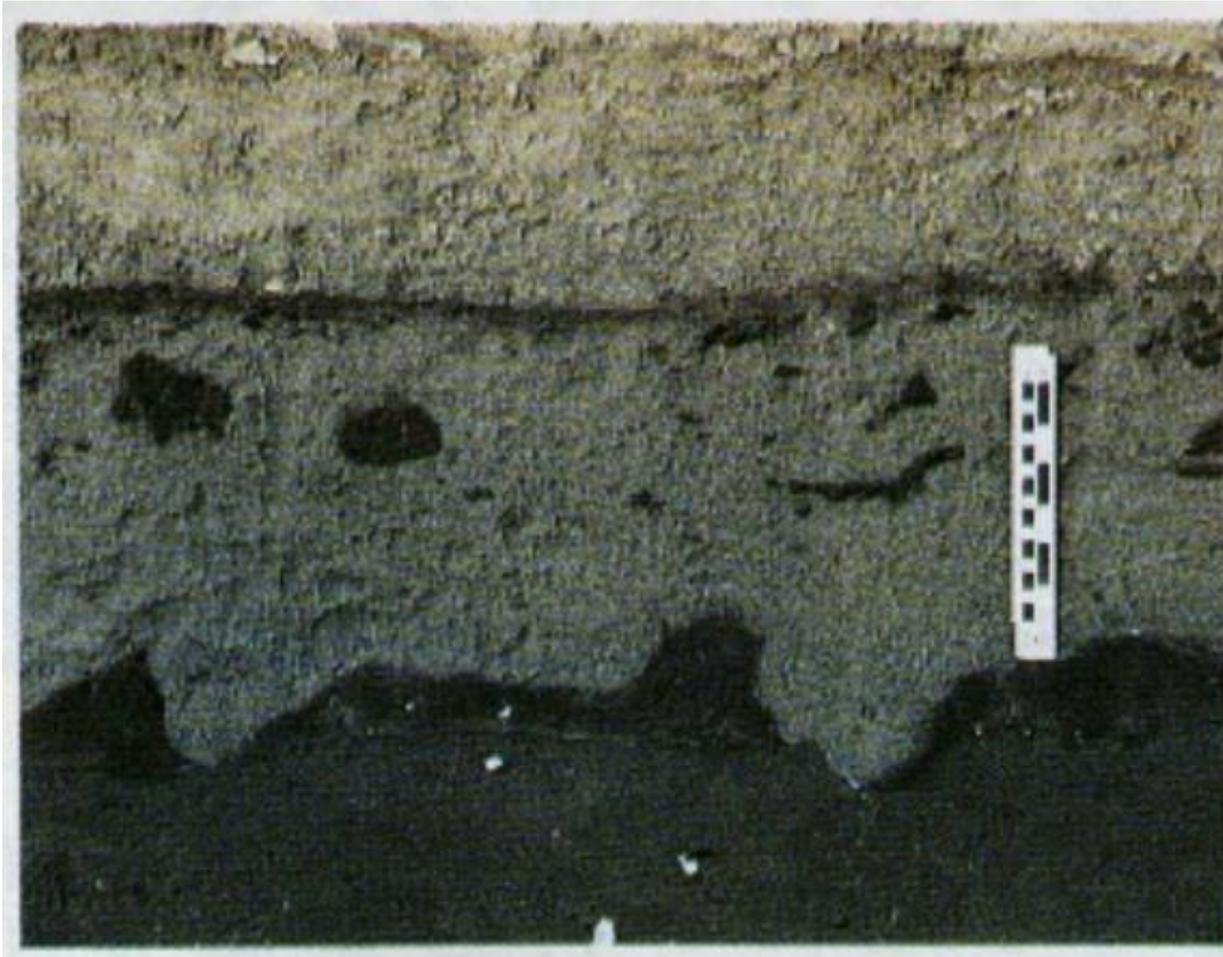


図 2 島根県益田低地の沖積層断面にみられる津浪堆積物と火災構造 (Minoura and Nakata, 1994)

1. 泥, 2. 砂, 3. 礫, 4. 砂礫, 5. 変形構造(火災構造), 6. 生痕, 7. 植物片(根)

出典: 海津正倫. 「沖積層中にみられる古地震イベント堆積物, とくに津波堆積物について」. 第四紀研究. 1999.

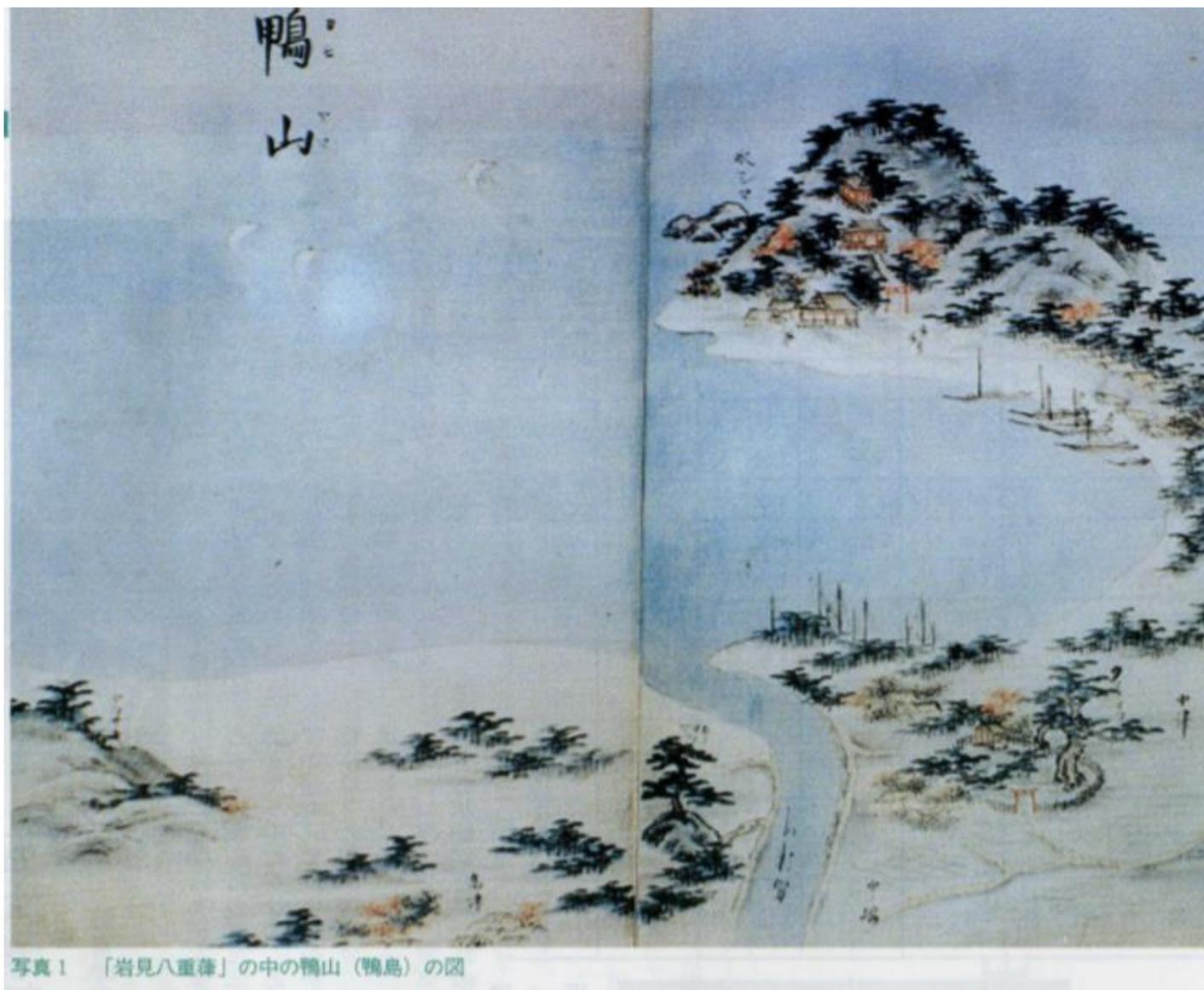
万寿津波の物的証拠



写真三 トレンチに現れた津波堆積物

下部の黒い層は湿地に溜まった泥層で上部は津波によって運ばれた砂層。両者の間は荷重構造（火炎状構造）を示す。砂層の中に泥層の破片が混じる。

万寿津波で海没したと伝わる鴨島の想像図



出典：中田高. 「『水底の歌』を掘る—万寿津波発掘調査裏話—」. 広大フォーラム. 1994

万寿津波は地震にともなうものという文献もあるが、その根拠は薄弱である

飯田汲事氏はその論文で、「筆者もこの地震、津波に興味をもち、資料を集めるとともに1976年6月現地島根県益田市を訪ね、高津付近を調査した」と述べ、「遠田の口碑には柏島が高津の鴨島とともに陥没した」とあることを地震の根拠としている。しかし、この口碑は津波による島の崩壊を否定するものではない。

一方で、「遠田湾では〈中略〉土砂の流入などで浅くなり、漁船の出入が困難になったと口碑に残されている」、「三隔町三保にもこの津波の口碑があり」と津波に関する口碑が複数あるとしている。

そして、根拠を示すことなく「死者は少なくとも1,000人以上の多数であろう」としている。

当時は、海底地すべり津波は地震学の専門家以外には余り知られていなかったのではないか？

文献検索エンジン“Google scholar”で、“tsunami landslide”をキーワードに検索すると、[Martin, Lawrence. “Alaskan earthquakes of 1899.” *Bulletin of the Geological Society of America*. 1910.](#) と100年以上前の論文がヒットする。

また、日本人研究者の論文を検索すると、[Kato, Takeo. “Preliminary notes on the Kwantō earthquake in Japan, september 1, 1923.” *The Journal of the Geological Society of Japan*. 1924.](#) と100年近く前の論文がヒットする。

しかし、邦文の文献を検索すると、もっとも古いものは、[大塚謙一. 「駿河湾石花海北堆西斜面の海底地すべり」. 静岡大学地球科学研究報告. 1982.](#) である。

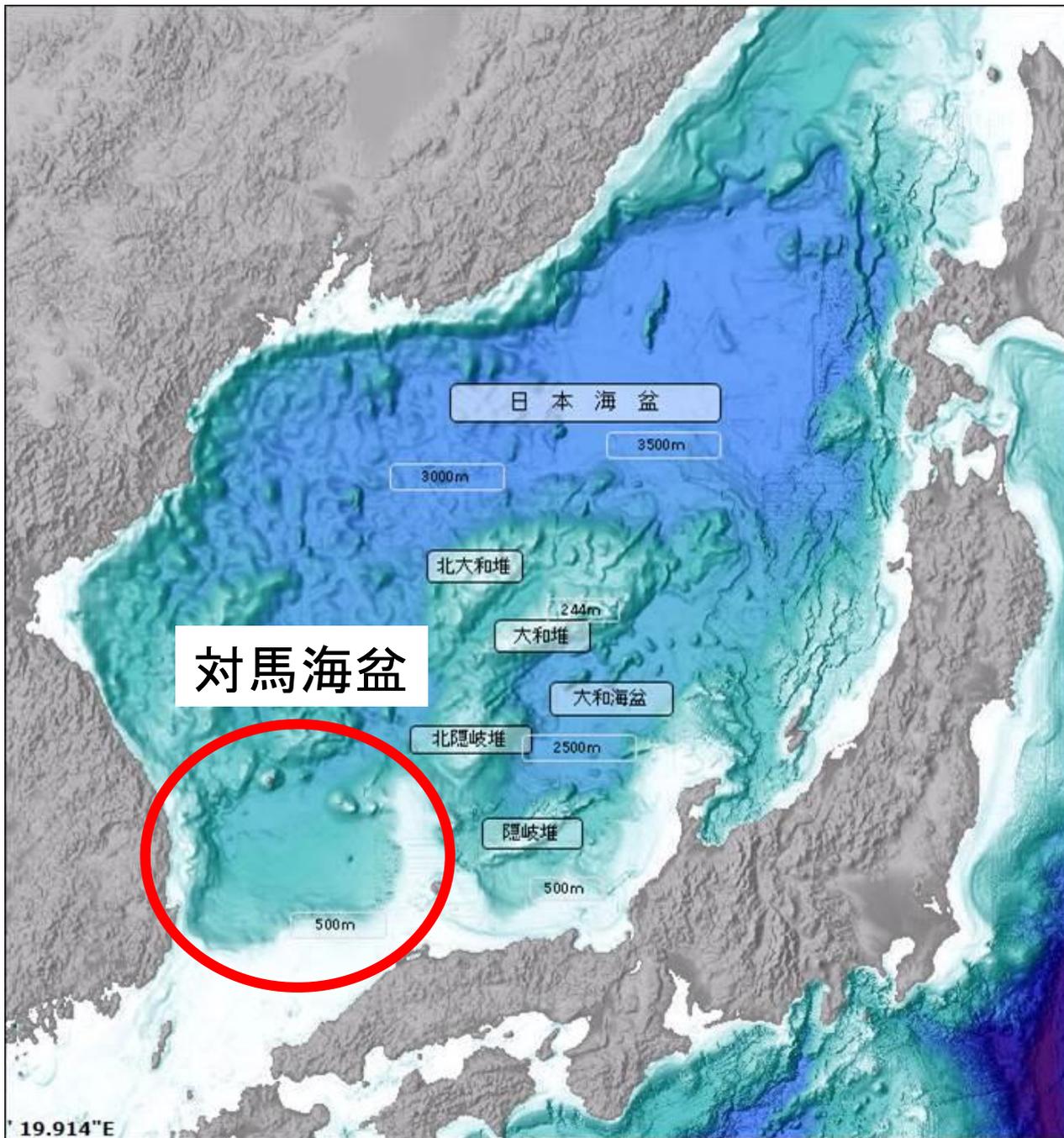
このことは、わが国では1980年ごろまでは、海底地すべり津波は地震学の専門家以外にはあまり知られていなかったことを示すのではないかと考えられる。

「万寿津波は海底地すべり津波である」

「1026年、島根県益田地方を襲った万寿津波でも大規模海底斜面崩壊を考えると説明可能である。この津波は 1) 地震被害の報告がない、2) 津波堆積物は海岸線から 2km 程度の範囲、しかし、3) 河口から 10km 程遡った標高 20m の地点まで津波高が到達した痕跡、が特徴である。島根県沖で斜面崩壊が発生している場所が指摘されており、この崩壊面が益田に向けて凹型の形状をしていることから、フォーカシング効果により益田地方に津波被害が集中したと解釈した。」

出典: 竹本修三氏(京都大学名誉教授). 「西日本の津波問題と共役断層について」. 日本科学者会議京都支部ニュース. No.408. 2018.2.14

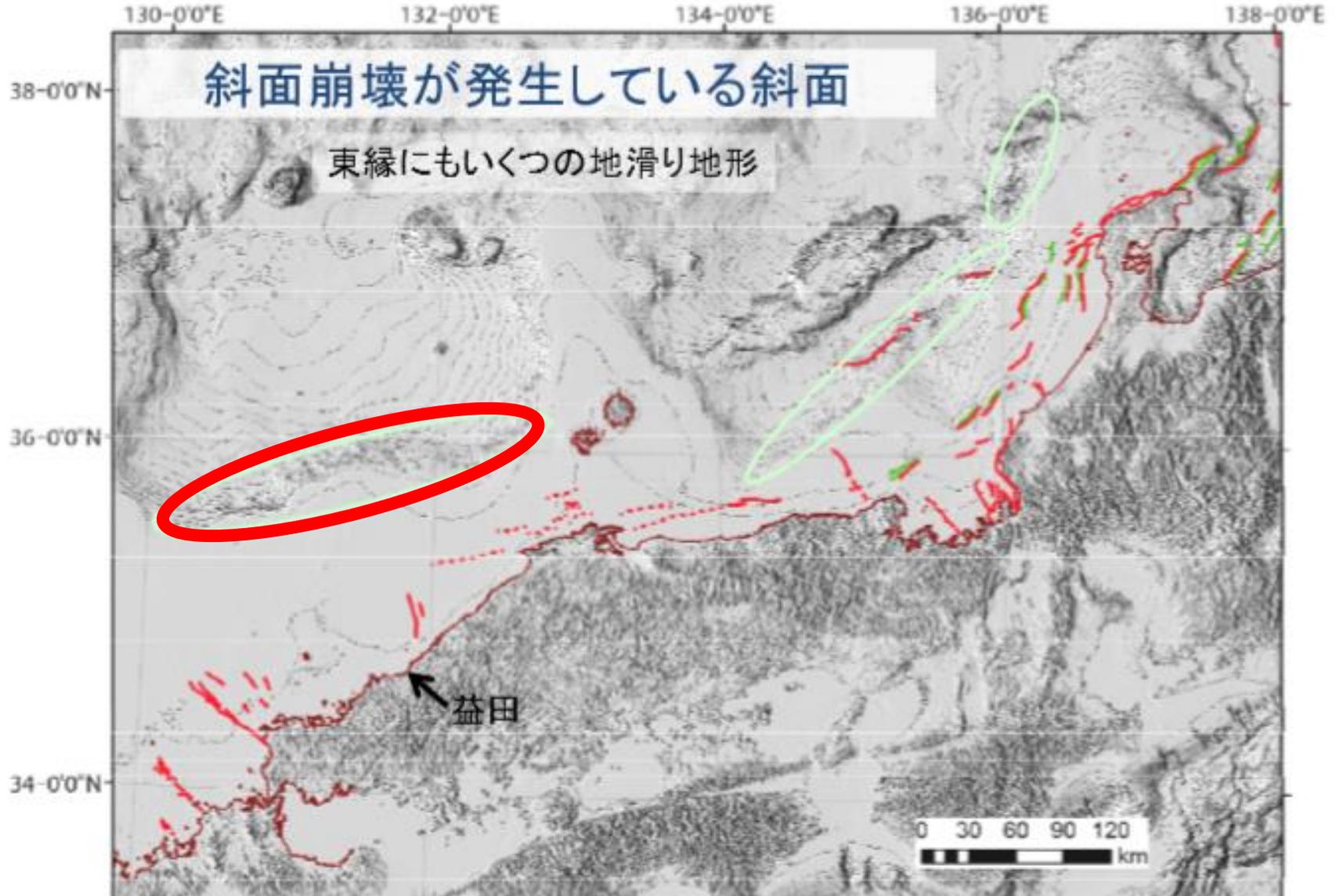
益田沖の 日本海には 対馬海盆がある



出典:山中健志郎(但馬水産技術センター).「センターからひとこと」.兵庫県立農林水産技術総合センター.

原図:海上保安庁.
(一部改変)

島根沖の日本海では海底斜面崩壊が発生している



出典:岡村行信(産業技術総合研究所)。「日本海の津波波源」. 第2回日本海における大規模地震に関する調査検討会報告. 2013(一部改変)

日本海の対馬海盆の凹部の焦点は益田となる

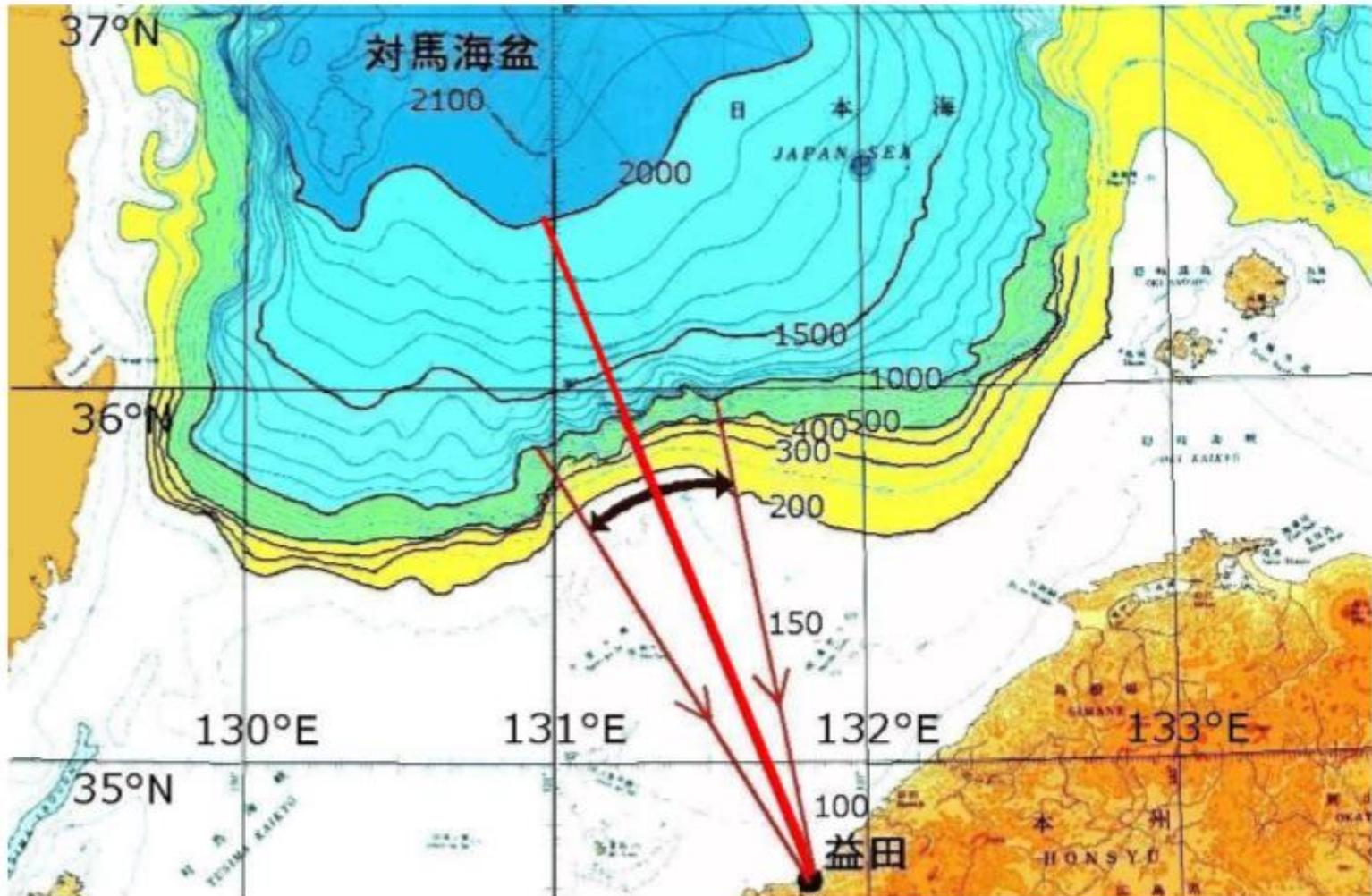


図9 島根沖の大規模斜面崩壊が発生している領域を中心とした海底地形。

出典:竹本修三、「1026年の万寿津波(Man-ju Tsunami in 1026)」。大飯原発差止訴訟
甲第429号証

海底地すべり

「海底地すべりとは、海底斜面に存在する未固結堆積物が、崩壊などによって引き起こす比較的急速な物質移動、すなわち堆積物のある程度の大きさの塊が重力の作用により斜面を滑り落ちる現象をいう。

海底地すべりを発生させる原因としては、1)地震、2)構造運動、3)暴風時の波浪、4)潮位運動、5)津波、6)海水準変動、7)堆積物の供給過大、8)ガスハイドレートの分解、9)火山活動、10)海底地盤内浸透流などが挙げられる。

海底地すべりの特徴は、その規模が陸上に比べ大きいことである。**陸上での地すべりでは、地すべり土塊の体積は大きいものでも数十 km³ 程度であるのに対して、海底地すべりでは数千～数万 km³ に及ぶものもある。**

また、海底地すべりの起こる斜面は必ずしも急斜面であるとは限らない。」

**小規模の地震でも
海底地すべいが起きれば、
局地的には大規模な
津波が発生する**

永正津波

謎の大津波、海底地滑り原因か 500年前、徳島で被害



「徳島県南部で多数の死者を出した1512年の『永正津波』は、海底の地滑りが原因で局地的に起きた可能性が高い—。徳島大などの研究グループが、そんな調査結果をまとめた。15日から茨城県つくば市で開かれる歴史地震研究会で発表する」

謎の大津波、海底地滑り原因か 500年前、徳島で被害

(出典:朝日新聞. 2017年9月13日)

「永正津波の死者は、一説には約3,700人とされる。ただ、南海トラフ沿いほかの地域では大津波の記録が見つかっていないことから、『謎の大津波』とされてきた。徳島大の馬場俊孝教授(地震学)らは、古文書『震潮記』の記述などから、海岸から約500mの家屋が流され、津波による浸水の深さは2m以上と推定した。

(海底地形図から)、徳島県南部の穴喰(しにくい)地区(同県海陽町)の24キロ沖に幅約6キロ、高さ約400mの崖があることに注目。昨年、海洋研究開発機構などと共同で、音波探査によって海底の地形を詳しく調べた。その結果、この巨大な崖は海底地滑りでできたとみられることが判明した。

一般に大きな津波は、強い揺れを伴う地震とセットで起こると考えられがちだ。しかし、海底地滑りは小さな地震がきっかけでも発生する可能性があるという。馬場さんは『揺れは小さくても大きな津波が来る可能性があり、今後も注意が必要だ』と話している。」

(編集委員・瀬川茂子)

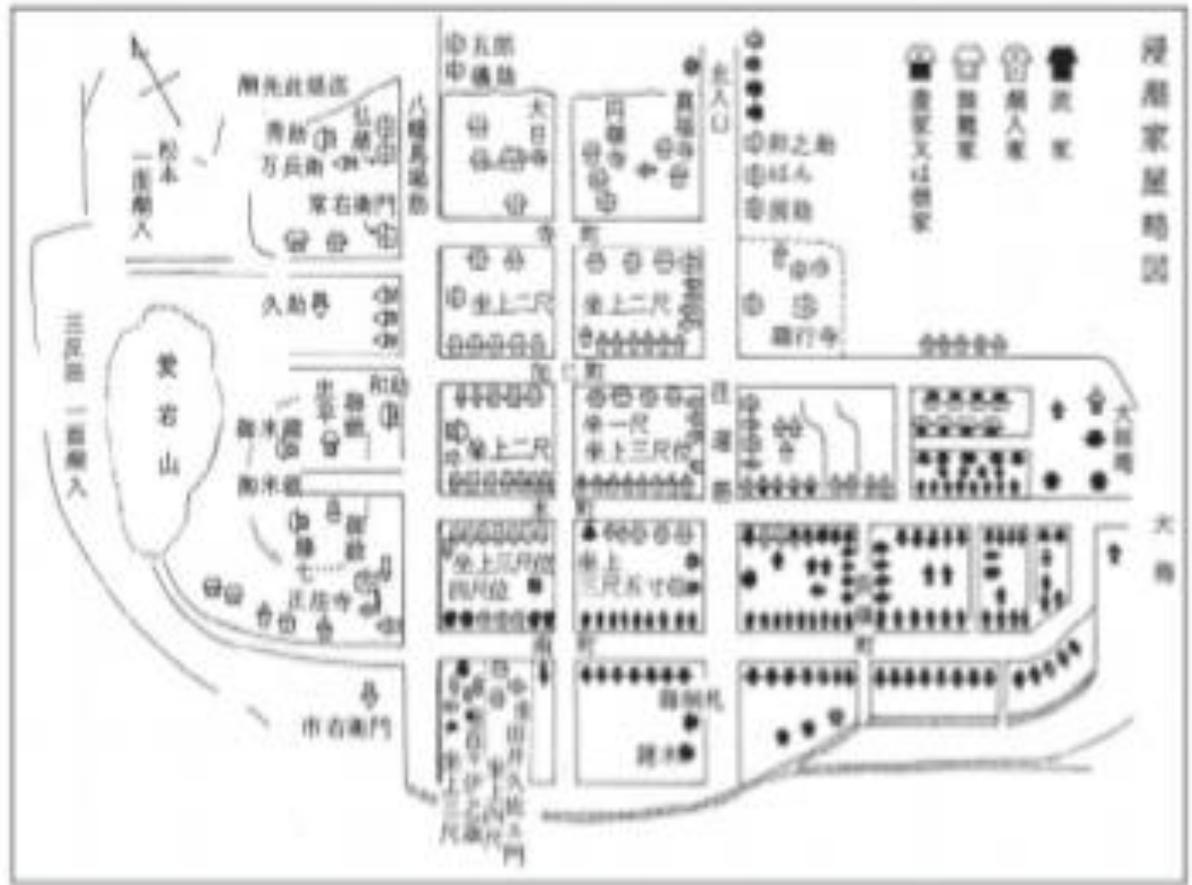
幻の1512年の永正津波

出典：馬場俊孝（徳島大学）「津波伝播ロードJAGURSによる遠地津波と海底地すべりによる津波の解析」国際津波防災学会津波シミュレーション分科会発表資料、2018



※高潮の可能性もあるが、1934年の室戸台風の時でさえ、高々3m、3700人も命を落とすとは考えにくい。

「震潮記」と永正津波の浸水深

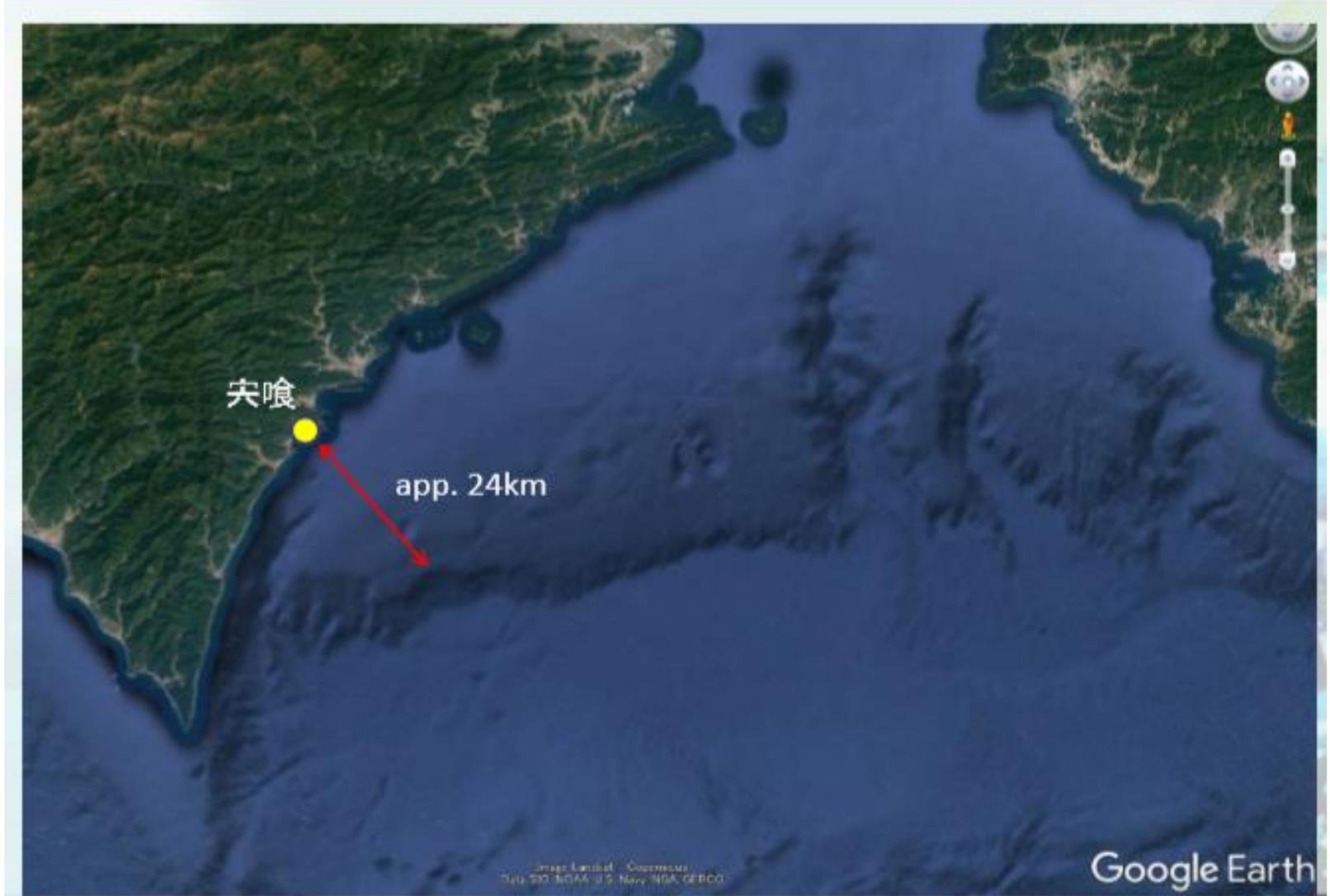


中央浦を襲った永正津波は
 北町は**浸水深2m未満**
 南町は**浸水深2m程度** と予想

安政南海の浸水家屋略図(震潮記より)

出典: 馬場俊孝(徳島大学)..「津波伝播コードJAGURSによる遠地津波と海底地すべりによる津波の解析」. 国際津波防災学会津波シミュレーション分科会発表資料. 2018

海底地すべりの痕跡？



出典：馬場俊孝(徳島大学)..「津波伝播コードJAGURSによる遠地津波と海底地すべりによる津波の解析」. 国際津波防災学会津波シミュレーション分科会発表資料. 2018

駿河湾に海底地すべりの痕跡

2010年 5月 25日

独立行政法人海洋研究開発機構

深海探査機による精密調査で平成21年8月の駿河湾での地震に伴って発生した海底地すべりの痕跡を発見

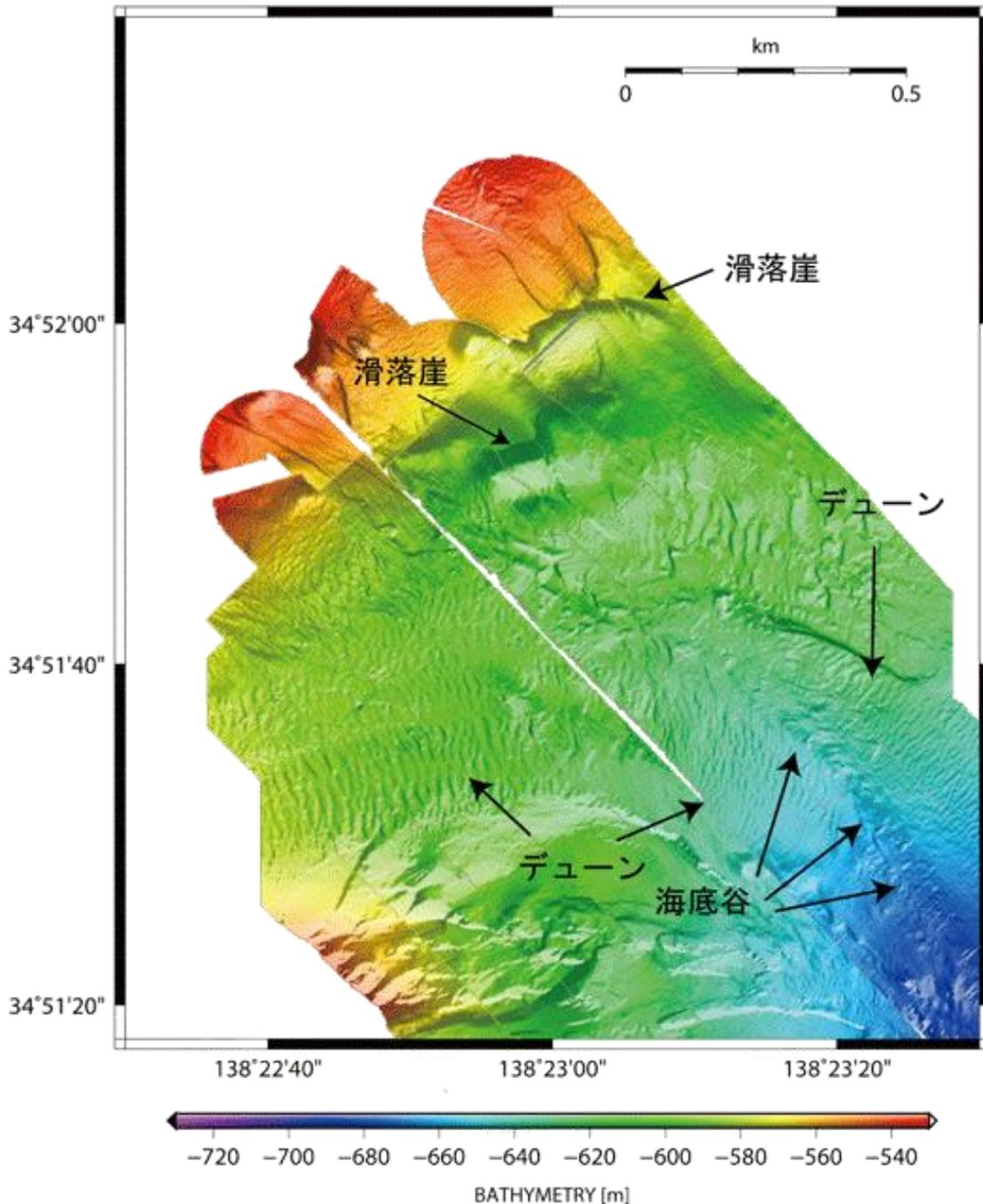
「昨年8月11日に発生した駿河湾での地震の震源域における海底地形を精密に調査した結果、地震に伴って発生した海底地すべりの痕跡を発見しました。静岡県焼津市の沖合約5kmの海底において、幅約450m、比高約10～15mの馬蹄形の滑落崖と、緩やかな海底谷に沿った泥流の跡を確認しました」

「この地震によって静岡県の駿河湾深層水施設の海中部の一部(687m深層水取水管)が被害を受けましたが、その原因はこの海底地すべりにあったと考えられます」

「この地震に伴って津波も発生し、焼津で最大62cm、御前崎では最大36cmの津波を観測しました」

「今回の津波の原因として海底地すべりが寄与している可能性があることがわかりました」

深海巡航探査機 つらしまによる 海底地形調査結果



出典: 海洋研究開発機構.
「深海探査機による精密調査
で平成21年8月の駿河湾で
の地震に伴って発生した海底
地すべりの痕跡を発見」.
2010年 5月 25日

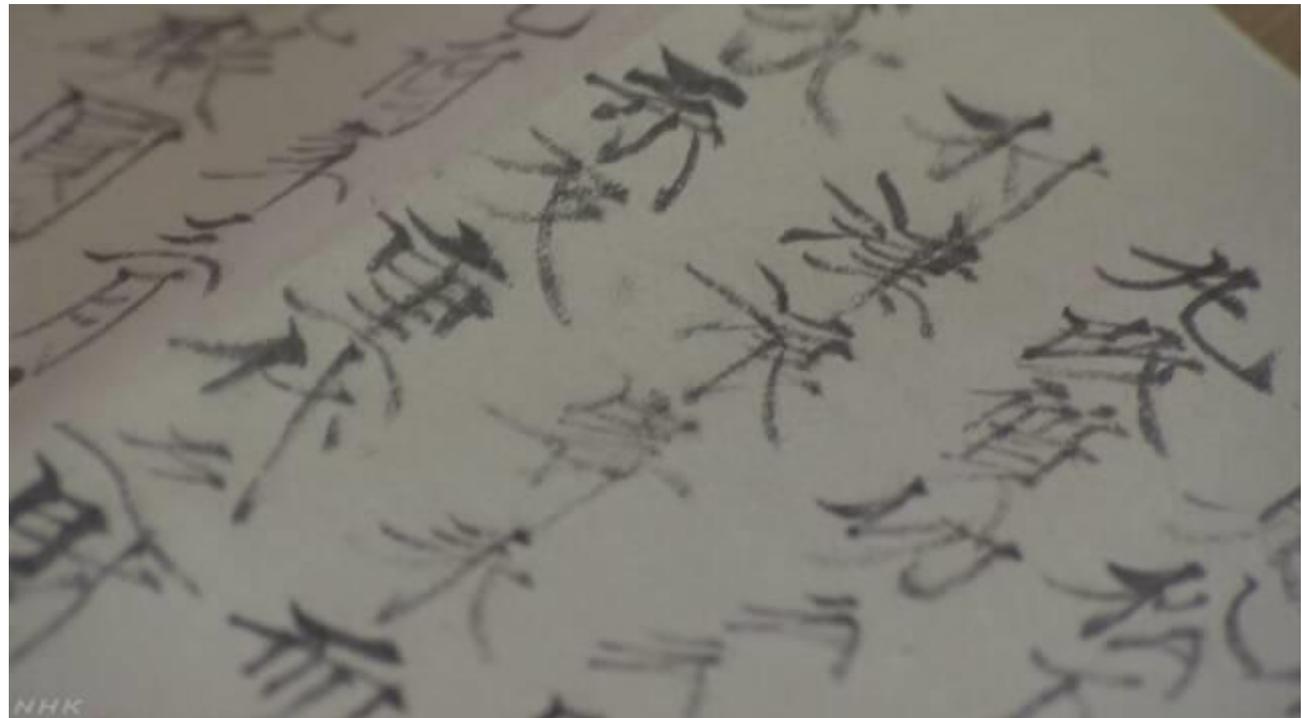
駿河湾では過去にも海底地すべりが起きた

常葉大学の阿部郁男教授、津波防災の専門家。従来の想定では説明できない現象があると考えられるようになった。静岡県の沼津市にある「航浦院」という寺。ここに15世紀の豪族、鈴木氏についての古文書がある。これに「明応7年8月25日に津波が打ち寄せ人々は数知れず海底に没し、鈴木家の家系図や家宝がすべて失われた」とある。鈴木家の屋敷は、「航浦院」の近くで、津波は標高11mまで押し寄せたと見られる。この津波は、15世紀末の「明応東海地震」という南海トラフの巨大地震によるとされる。しかし、阿部さんが南海トラフ巨大地震の津波をシミュレーションしてもこの古文書通りに津波は到達しない。ほかにも駿河湾の周囲の3か所に高い津波を観測したという記録が残されていた。

阿部教授は駿河湾内の4か所で「海底地すべり」が起きた想定でシミュレーションした結果、沼津市や焼津市などに10mを超える津波が押し寄せることがわかった。



明応7年の津波 について書かれ た「航浦院」の 古文書

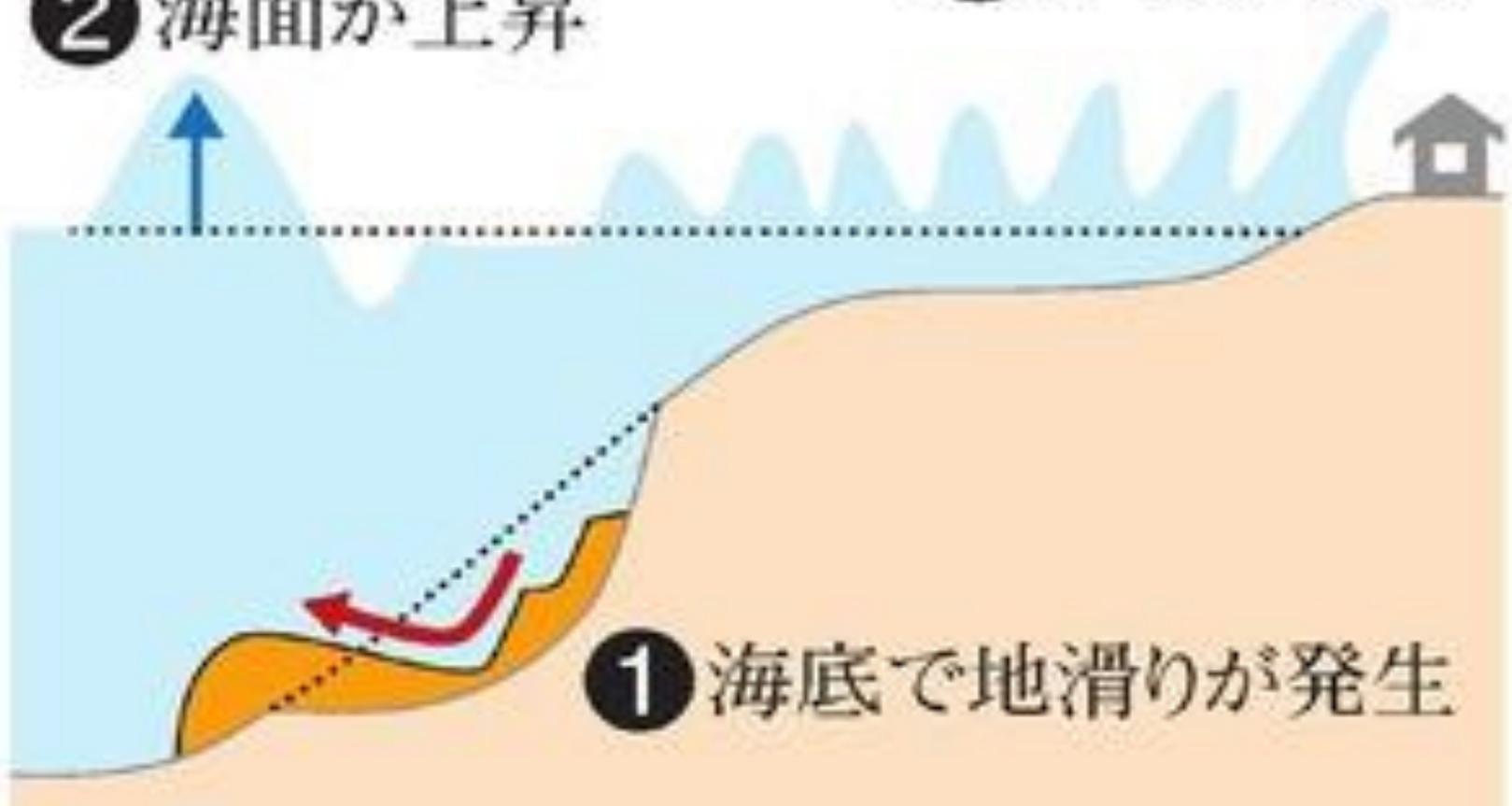


出典：NHK NEWS WEB 特集. 「謎の大津波？海底地すべりに迫る」. 2018年3月13日

海底地滑りによって 津波が起こる仕組み

② 海面が上昇

③ 津波が発生

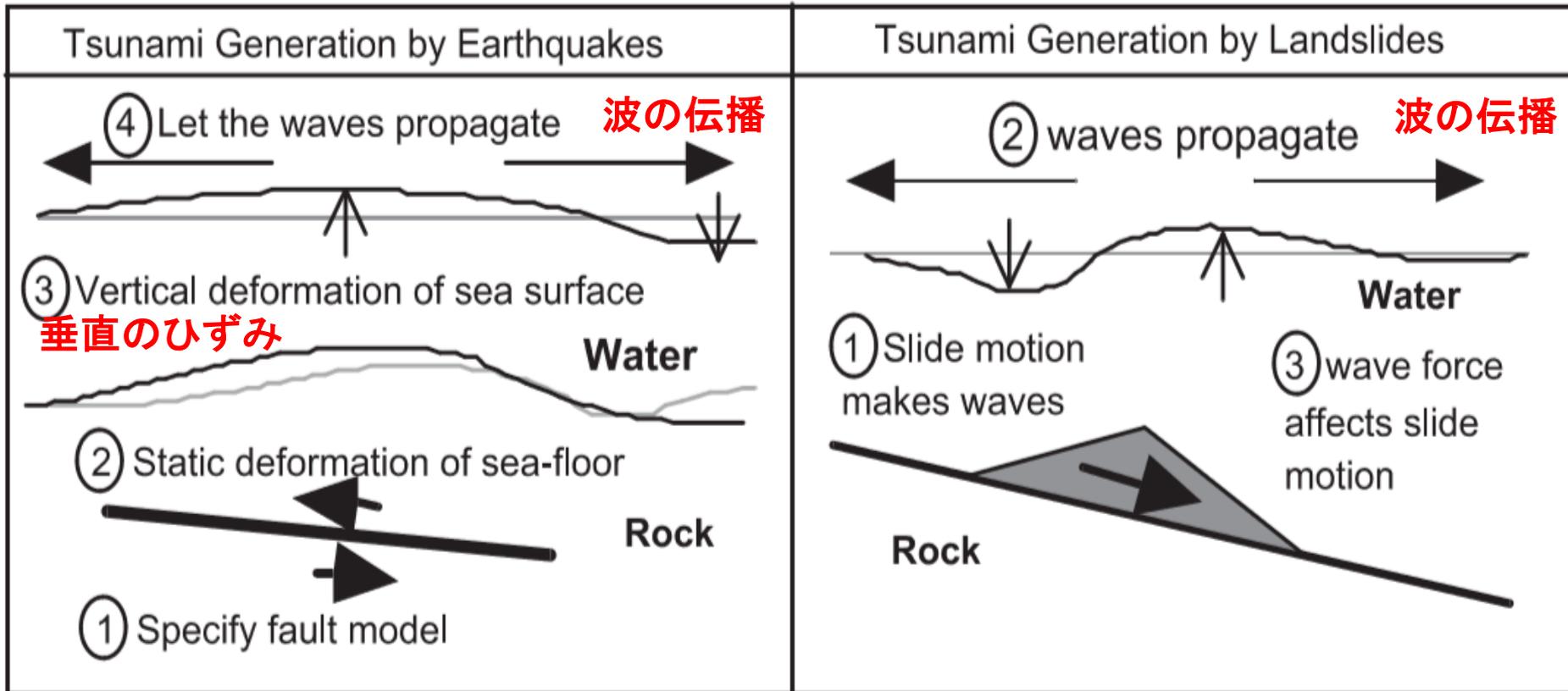


出典:朝日新聞.「謎の大津波、海底地滑り原因か 500年前、徳島で被害」.
2017年9月13日

地震による津波と海底地滑りによる津波

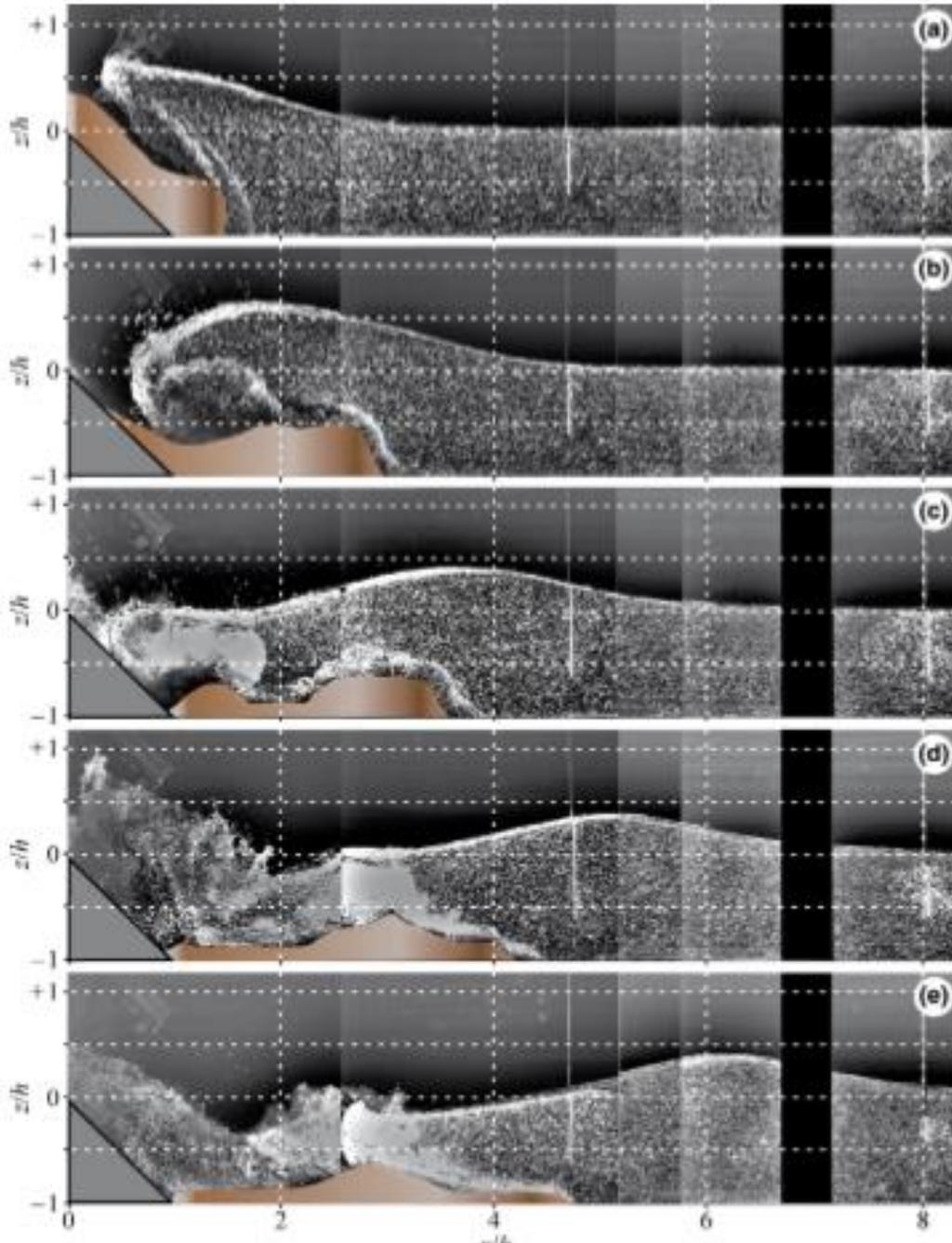
地震による津波

海底地滑りによる津波



出典: Ruff, L. J. "Some aspects of energy balance and tsunami generation by earthquakes and landslides.". *Pure and Applied Geophysics*. 2003.

海底地滑りによる津波発生 のモデル



出典: Ma, Gangfeng, *et al.* “A two-layer granular landslide model for tsunami wave generation: theory and computation”. *Ocean Modelling*. 2015

原典: Heller, V. “Landslide generated waves – prediction of near field characteristics.”. ETH Zurich Phd dissertation.

小さな地震にも注意！地滑りが引き起こす大津波

島村英紀(元・北海道大学地震火山研究観測センター長 元・北大教授)

「小さな地震でも大きな津波を引き起こす可能性が指摘されはじめた。先週、グリーンランド中部の西海岸にある寒村ヌーガーツィアク村がいきなり津波に襲われて4人の村人が津波にさらわれて行方不明になった。

＜中略＞この近辺はめったに地震が起きない。いままで起きた地震もマグニチュード(M)4クラスのごく小さい地震だった。

＜中略＞近年、ニュージーランドで、小さな地震が地滑りの引き金を引いて津波を起こす可能性が指摘されるようになった。

＜中略＞地滑りには、陸上から地滑りが海に流れ込むことでもあるいは海底で地滑りが起きることもある。どちらも津波を起こす。グリーンランドの津波は、『小さな地震が起こした大きな津波』だった可能性が強い。世界のほかのところでも起きるかもしれない。」

(夕刊フジ. 2017年6月30日)

**八重山地震津波の原因としても
海底地すべい説がある**

八重山地震津波

八重山地震津波の原因

「地震は石垣島～南東沖で発生したと考えられている。しかし、マグニチュード7.4の地震で起こる津波の遡上高は普通10m以下なので、この地震で発生した津波は明らかに異常である。この地域では地震の規模が小さくても大津波が発生するのか、それとも断層運動以外の要因によって大津波が発生したのかを明らかにすることは、八重山諸島の津波防災を考える上で重要である。

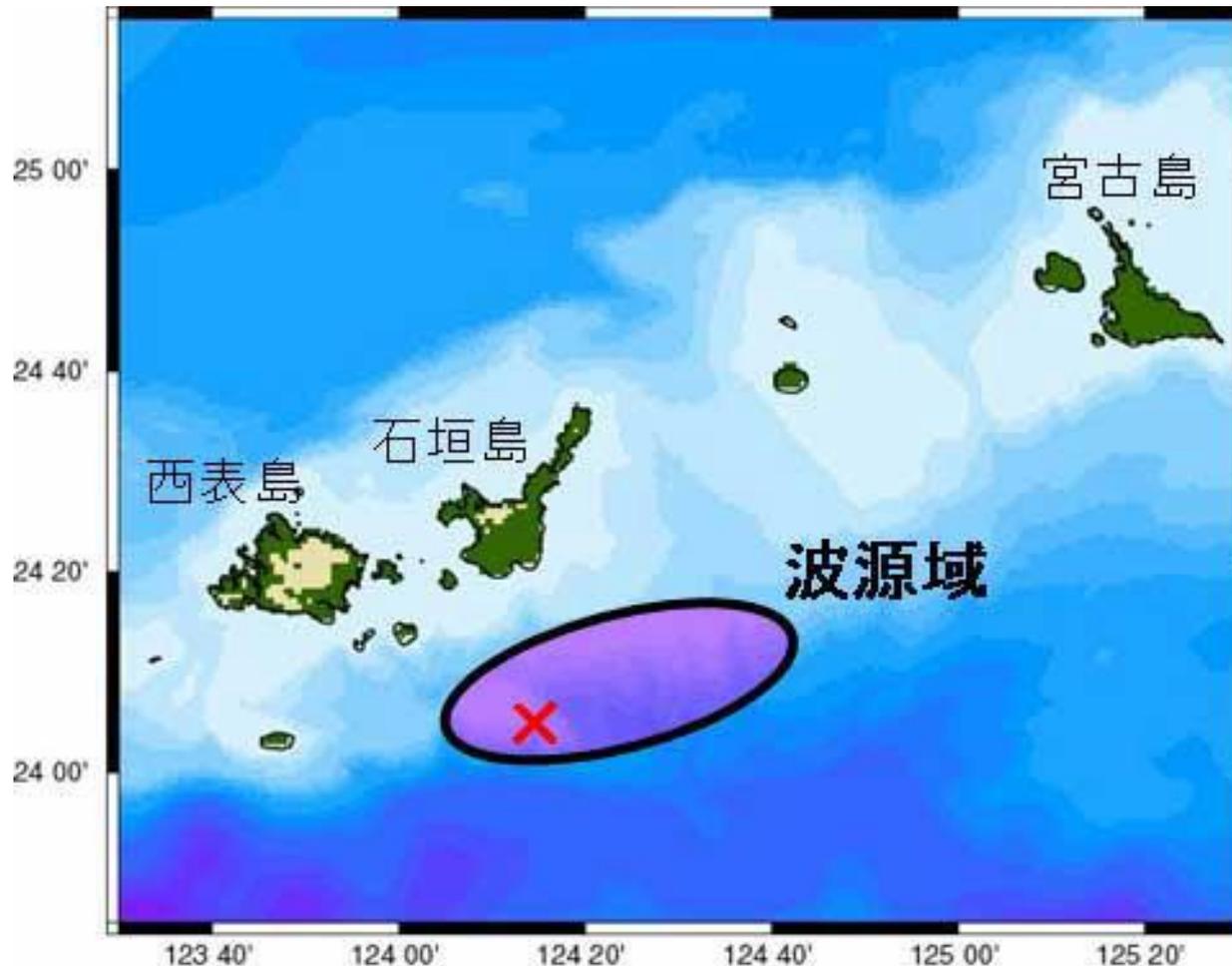
これまで津波の原因として下記の3モデルが提案されてきた。

- ①巨大地震説・・・マグニチュードが8に近い巨大地震であった(中田・河名、1986)。
- ②海底地すべり説・・・断層運動ではなく、海底で地すべりが起こった(日吉・他、1986)。
- ③複合原因説・・・巨大地震と海底地すべりが同時に起こった(今村・他、2001)」

八重山地震津波の原因



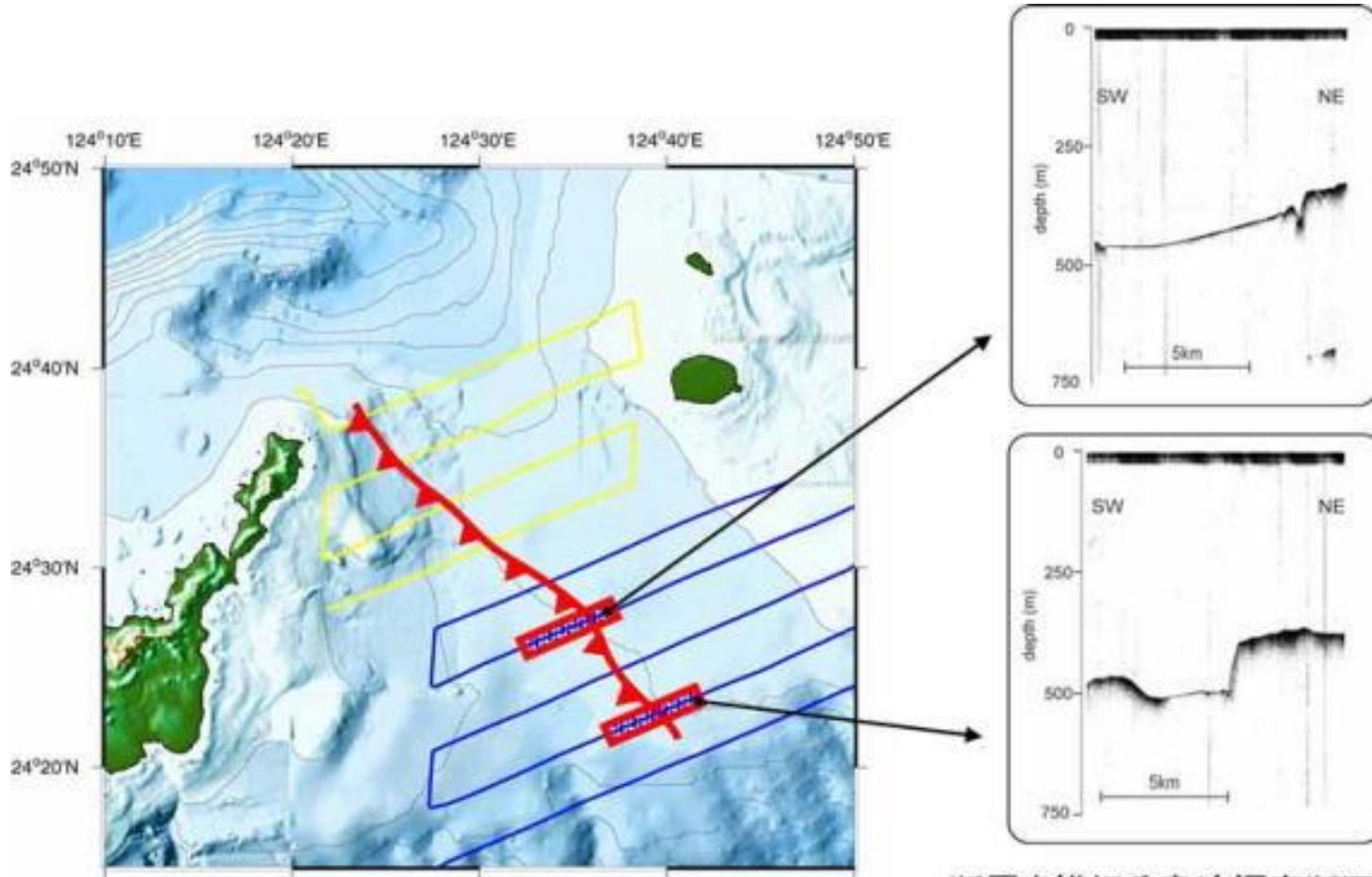
過去の研究で推定された津波の波源域(津波の発生域)



×は気象庁による
震央を示す

石垣島と多良間島の間での断層の位置と音波探査記録

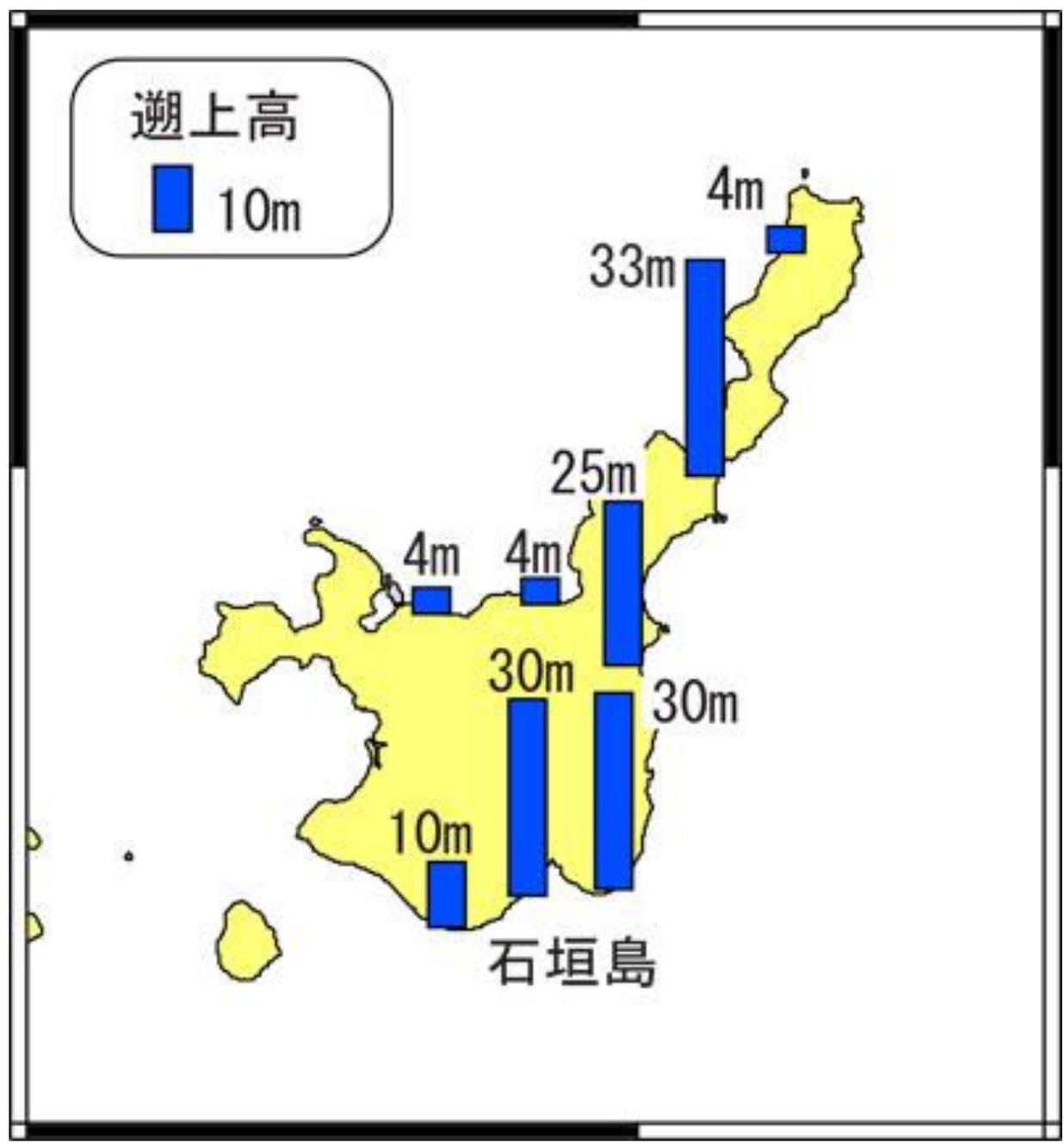
長崎大学水産学部の練習船「長崎丸」による音波探査結果。断層の全長は約50km。断層の南西側が50～100m低い。



断層を横切る音波探査断面図。

八重山地震津波の 石垣島での遡上高

出典：琉球大学地震学
研究室。「八重山地震
津波の遡上高・被害」



八重山地震津波の津波石の分布と水位

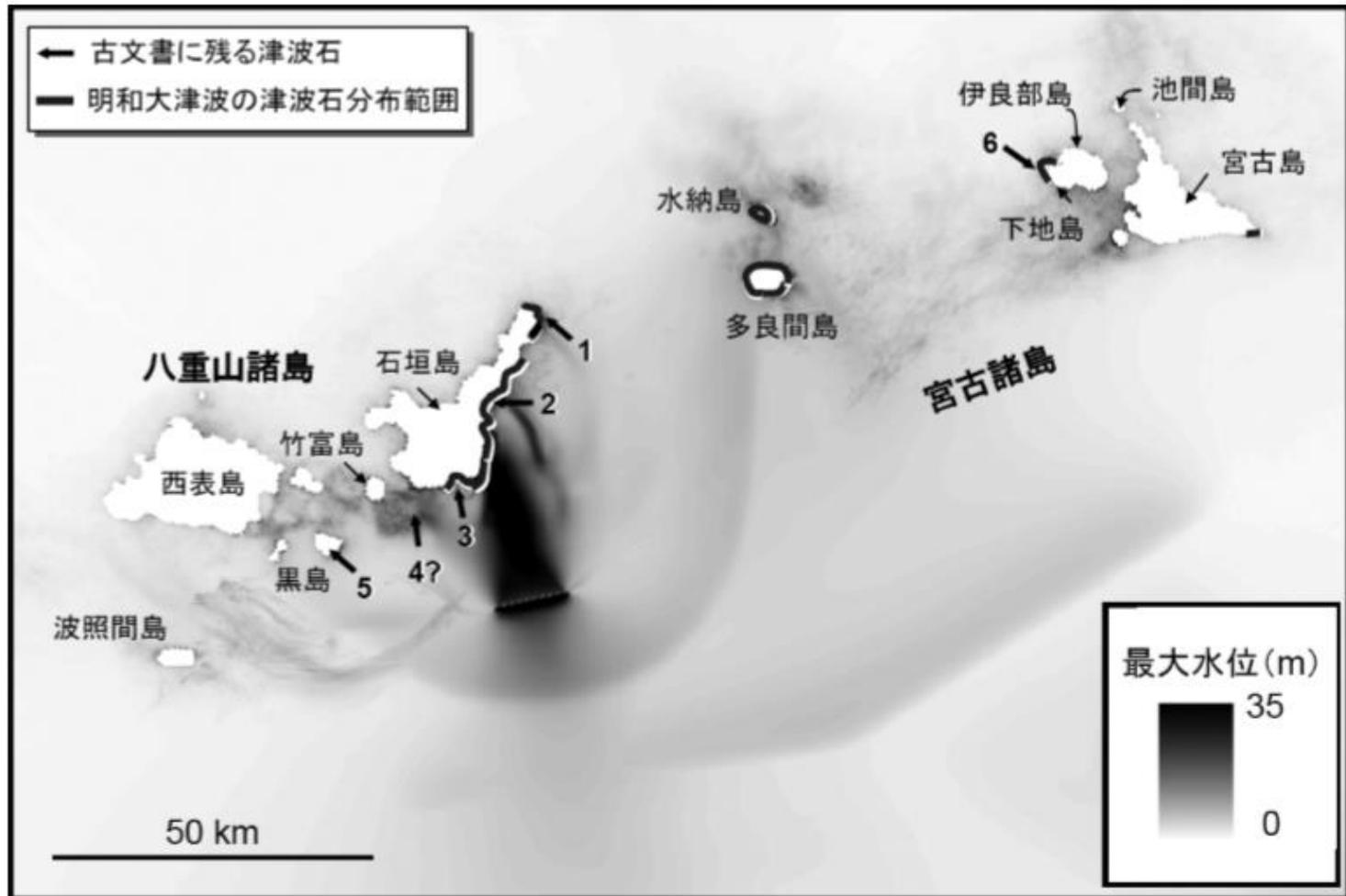


図1—先島諸島における津波石分布域⁸と最大水位分布図¹⁷

明和大津波の津波石の分布範囲は、河名・中田(1994)²⁵、Suzuki et al.(2008)¹⁰、Goto et al.(2010)⁸、荒岡・他(2011)²⁴の年代測定結果にもとづく。

沖縄の津波石



石垣市大浜の津波石



下地島西部にある津波石

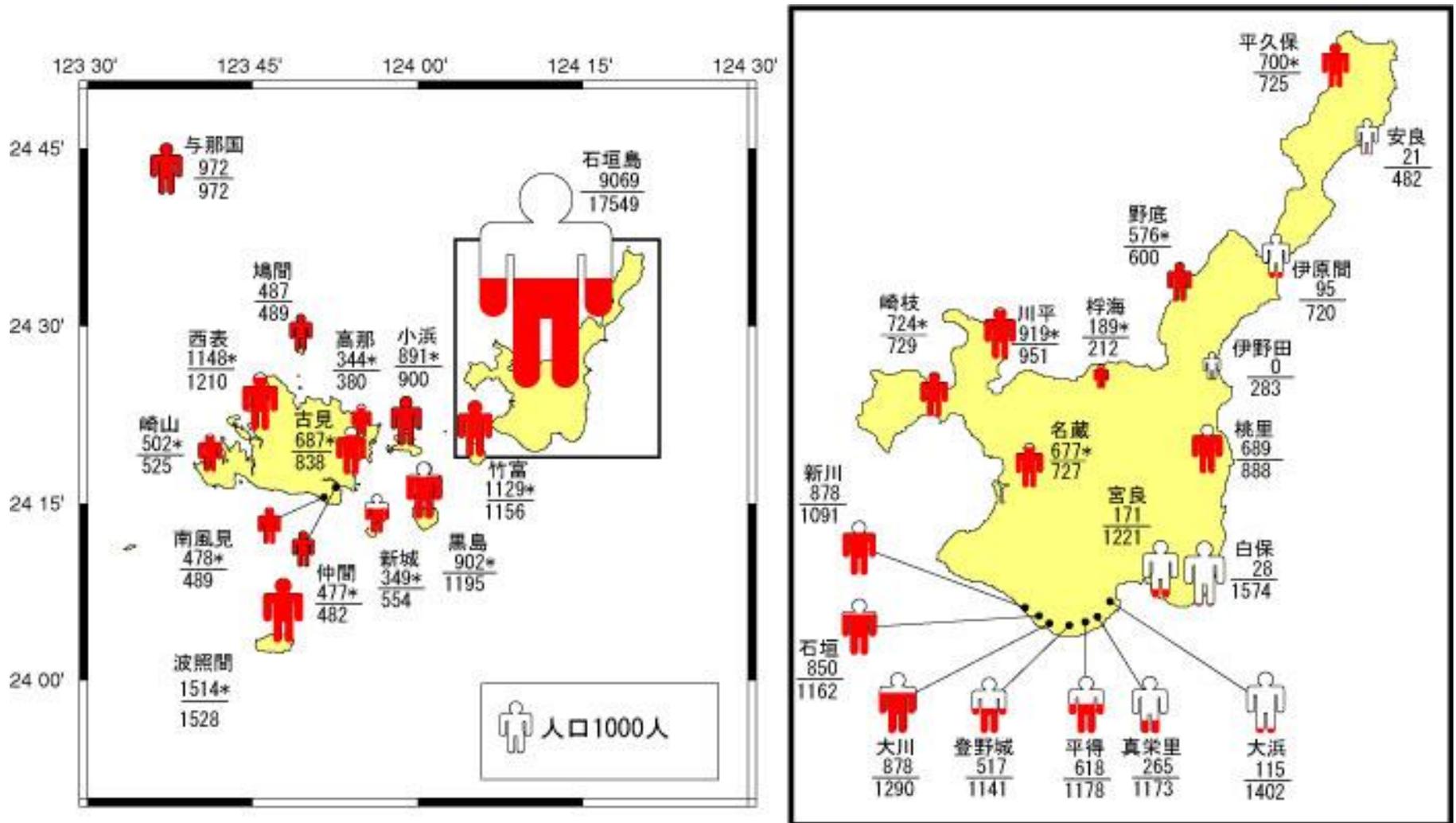


宮古島東辺名岬の津波石



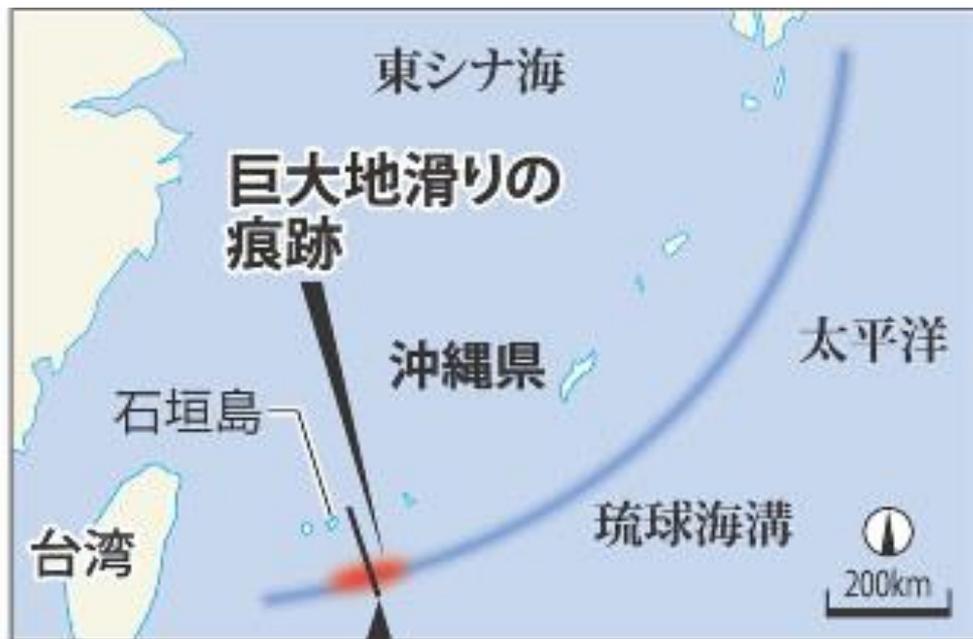
波照間島の津波石

八重山地震津波の死者

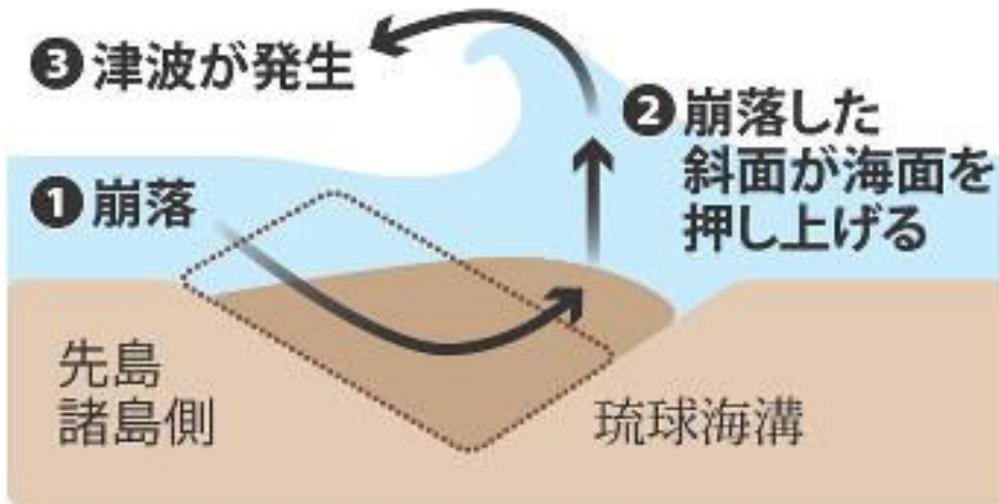


人形の白い部分が津波による死者。

出典:琉球大学地震学研究室。「八重山地震津波の遡上高・被害」



「明和の大津波」を起こした地滑りのイメージ



八重山地震津波は、海底の巨大地滑りが原因だった可能性が高い

沖縄県の石垣島など先島諸島で約12000人が死亡した1771年八重山地震津波は、海底の巨大地滑りが原因だった可能性が高いことが、産業技術総合研究所の岡村行信・首席研究員らの分析で分かった。

毎日新聞 2018年5月20日

**内陸直下型地震でも
海底地すべいが起きれば
津波は発生する**

天正大地震津波

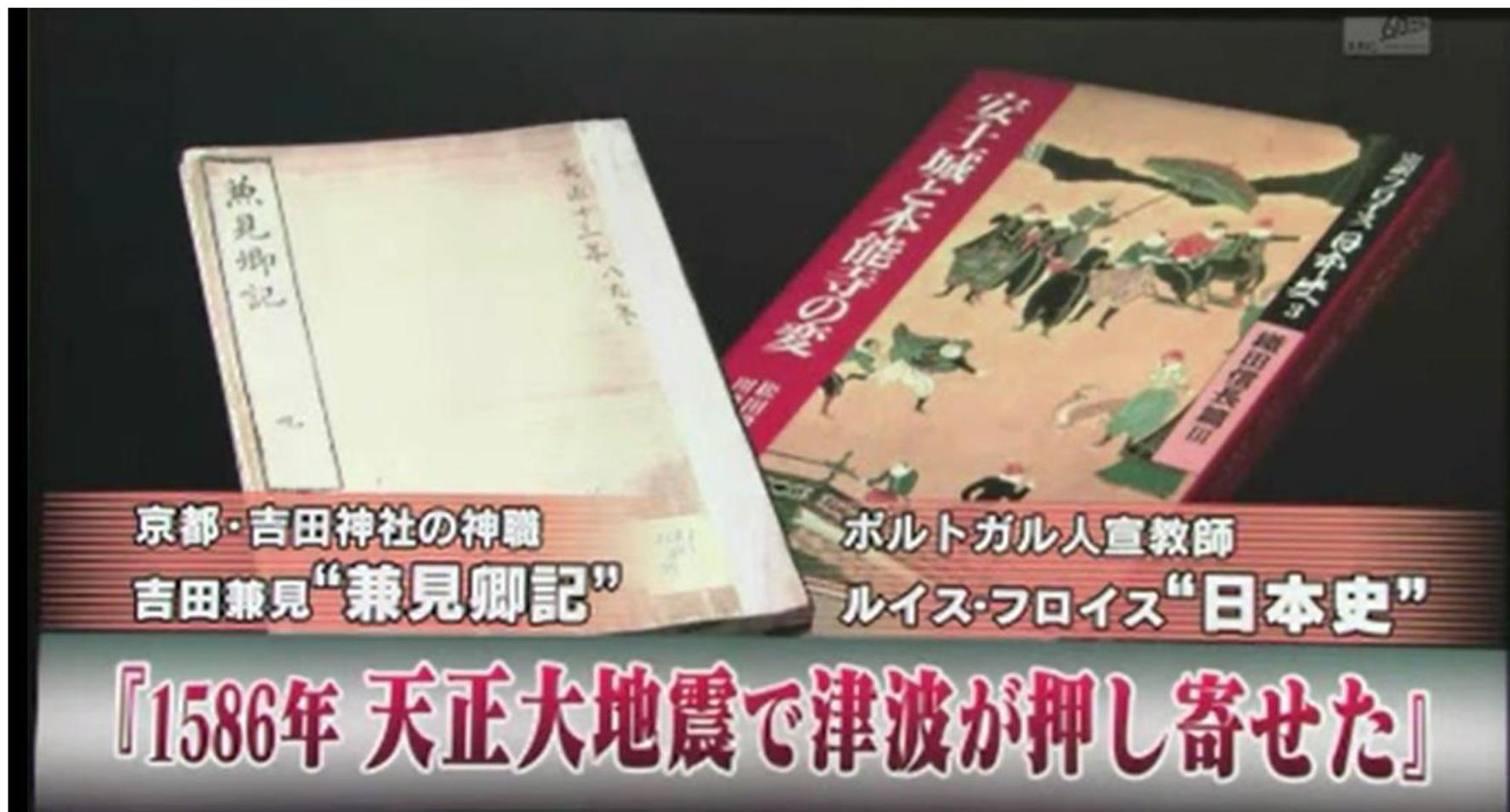
原発集中の若狭湾、400年前に津波被害 文献に記録

14基の原子力発電所が集まる福井県の若狭湾で、400年以上前に地震による津波とみられる大波で、多数の被害が出たとの記録が複数の文献に残されていることが分かった。

敦賀短期大学の外岡慎一郎教授(日本中世史)が4月上旬、敦賀市の依頼を受けて調べたところ、京都の神社の神主が戦国～江戸時代につづった日記「兼見卿記」で、1586年に「丹後、若狭、越前の海岸沿いで、家々が波に押し流されて人が死亡した」といった内容の記述があった。前日に「夜に地震があった」と記されていることから、地震による津波を記録したものと推定できるという。外岡教授によると、同文献は中世史の研究者には知られた一級の史料。

また当時来日していたポルトガル人宣教師ルイス・フロイスが記した「日本史」にも「山のような波が押し寄せて家や人が流された」といった記述が見つかった。 (日本経済新聞 2011/5/27)

古文書には1586年の天正大地震で若狭湾に津波が押し寄せたとある



出典:朝日放送ニュース「キャスト」. 2012. (YouTubeより引用) 47

天正大地震は内陸直下型地震であり、津波を否定する意見もある



原発銀座・若狭湾
過去に津波はあったのか？

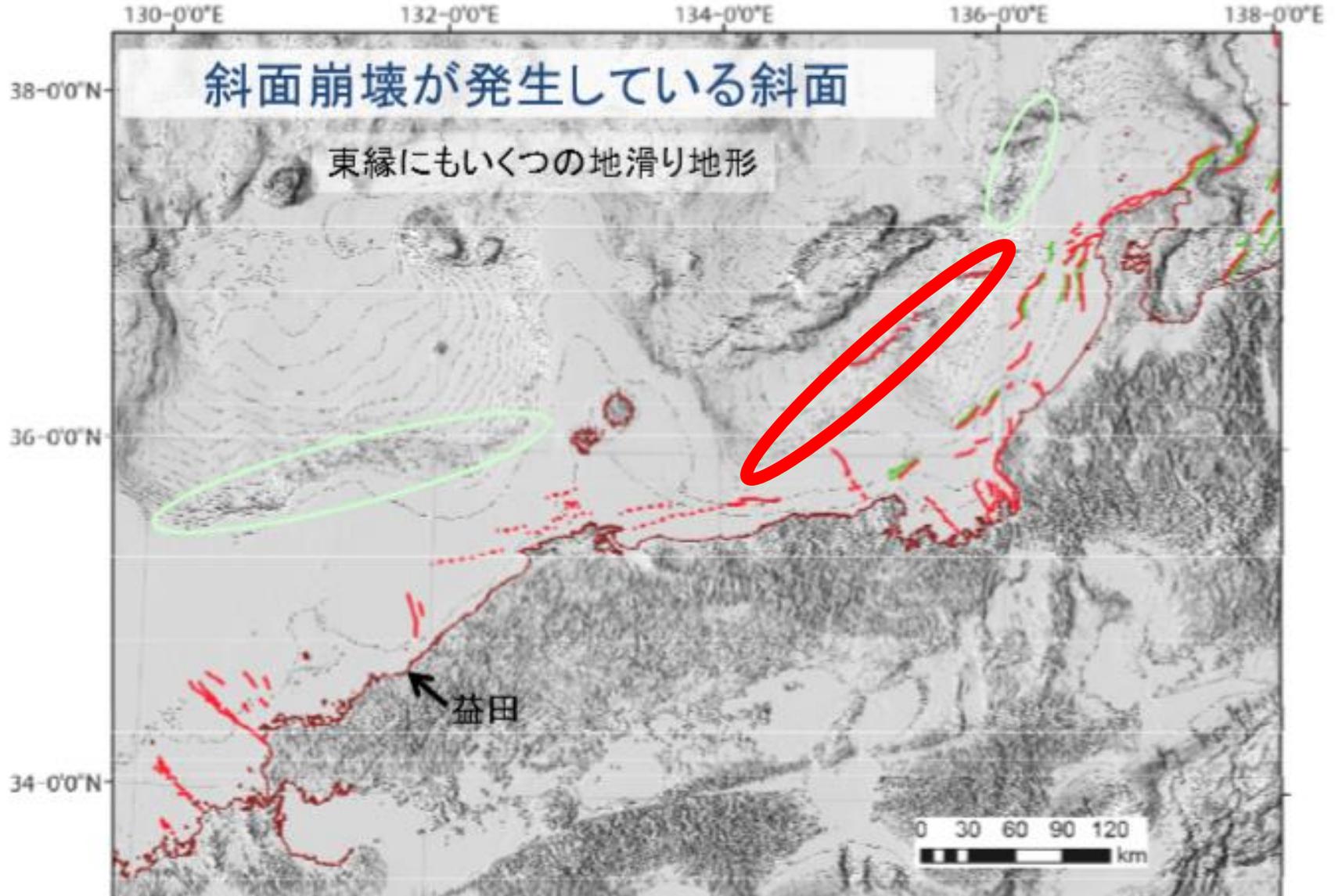
CAST

岡田篤正
名誉教授

京都大学理学部

ただし内陸直下型の地震としては
最大級のものであったことはまちがいない

若狭湾沖の日本海では海底斜面崩壊が発生している



出典:岡村行信.「日本海の津波波源」. 第2回日本海における大規模地震に関する調査検討会報告. 2013 (一部改変)

「若狭湾沿岸における津波堆積物の調査結果について」

2012年12月18日

関西電力株式会社、日本原子力発電株式会社、
日本原子力研究開発機構

＜前略＞保安院は＜中略＞「これまで得られている文献調査や水月湖等での調査等の結果を踏まえると、古文書に記載されているような天正地震による大規模な津波を示唆するものは無いと考えられるが、天正年間も含めてデータを拡充するために、津波堆積物について、さらなる追加調査を行う」との見解を示しました。

これを受け、3社は、平成24年2月から久々子湖東方陸域や猪ヶ池において津波堆積物の追加調査を実施し、天正地震による津波に関して、古文書に記載されているような大規模な津波を示唆する痕跡はないとの評価結果を同年6月21日に保安院に報告しました。

本日、平成23年10月から実施していた津波堆積物調査における完新世（約1万年前以降）に関する評価結果について、原子力規制委員会に報告しました。

調査の結果、各発電所の安全性に影響を与えるような津波の痕跡は、認められませんでした。＜後略＞

三方五湖



出典: YAHOO! JAPAN 地図

大津波を否定する研究もある

齋藤めぐみ, 他. 「水月湖ボーリングコアを用いた天正地震(AD 1586)前後の湖底堆積物の分析」. 地学雑誌. 2013

「水月湖を津波の検出計として見た場合、湖の北側および西側は標高100～400 mほどの山に囲まれているが、北東側は平野および隣接する湖を介して海に通じており、＜中略＞海岸から水月湖縁までの道のりは4.8 kmである」「想定される津波の経路上の最高地点は気山地域であり、その現在の標高は10 mを超える」

「(当時の)標高は10 m～10 数mであったと推測される」

「(水月湖でのボーリング調査による堆積物の分析から)若狭湾沿岸に被害を与えたとされる1586年天正津波は、仮にその発生自体は史実であったとしても、水月湖の沿岸に被害を与える規模のものではなかった可能性が高い」

「1586年に小規模な津波が発生した可能性まで排除するものではない」

想定される津波の経路の最高地点
気山の当時の標高は10〜十数m



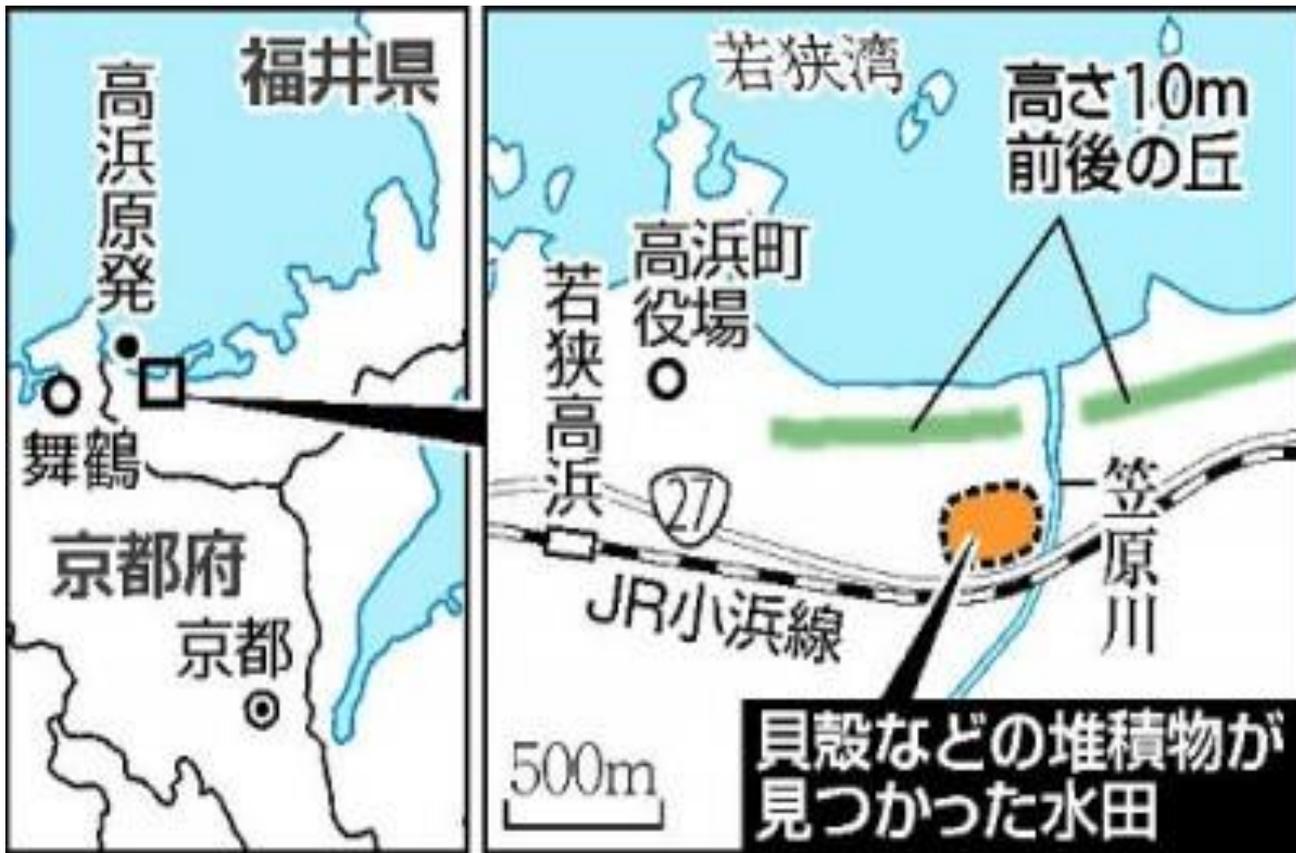
結局、斎藤論文は10〜十数mの
津波は来なかったといっているに
過ぎない

若狭湾岸に津波跡・・・1586年天正地震で発生か

福井県高浜町の若狭湾沿いの地層から、14～16世紀頃の津波の痕跡とみられる堆積物を、福井大の山本博文教授(地質学)らが見つけた。若狭湾沿岸は1586年の天正地震で津波に襲われたと伝える古文書の記録があり、その発生を裏付ける地質上の証拠となる可能性がある。5月24日に千葉市で開かれる日本地球惑星科学連合大会で発表する。

津波の痕跡らしい堆積物が見つかったのは高浜町菌部地区。海岸から約500メートル内陸で、かつて湿地帯だった水田から、14～16世紀頃の地層(深さ約1メートル)中に、海岸の砂とみられる丸い粒子や貝殻、ウニのトゲなどを含む層が確認された。(読売新聞. 2015年5月19日)¹⁶

津波の痕跡と みられる堆積物が 見つかった水田



発見場所の水田の近くには笠原川が流れており、山本教授は「笠原川をさかのぼった津波が、海の砂や貝殻を内陸まで運んだのではないかと推測している。

天正地震は、若狭湾や伊勢湾などで津波が起きたとする文献が複数、残されているが、地質のデータは確認されていなかった。

(読売新聞. 2015年5月19日)

若狭湾周辺の津波堆積物調査

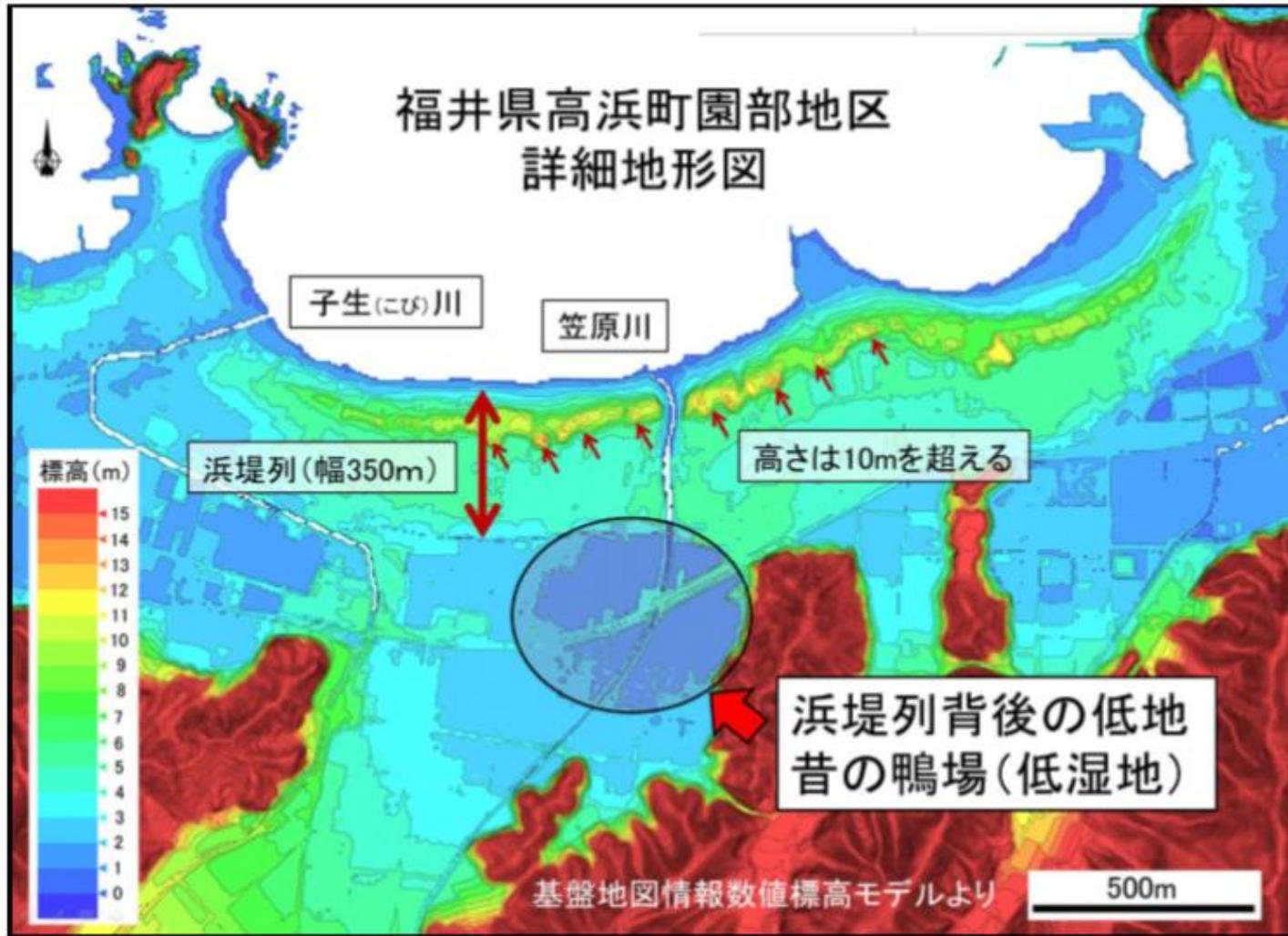


図1. 園部地区の詳細地形図.

「津波堆積物から見た若狭湾を襲った14～16世紀頃の大津波について」山本博文, 他. 歴史地震. 第31号. 2017

「<前略>日本海側、特に能登半島以西の日本海南西部は津波の発生頻度が低く、規模も小さい。しかしルイス・フロイスの『日本史』や『兼見卿記』には、1586年に若狭湾周辺に大津波が襲来したと思われる記述が残されており、津波シミュレーションでも大津波襲来の可能性が示されている。

そこで実際に若狭湾周辺に大津波が襲来したことがあるのかどうかを明らかにするために、津波堆積物調査を実施した。<中略>5地点のサンプルからは解け残った生物遺骸(二枚貝、有孔虫殻、ウニの棘等)が見いだされ、イベント砂層が海側から供給されたことは間違いないと言える。

<中略>イベント砂層は海岸線から550m以上内陸部まで到達している<後略>」

若狭湾周辺の津波堆積物調査では海産の貝類、ウニのトゲや有孔虫殻も出土した



図 5.含まれていた生物遺骸. 左上：貝殻, 左下：ウニのトゲ, 中下, 右上, 右下：有孔虫殻

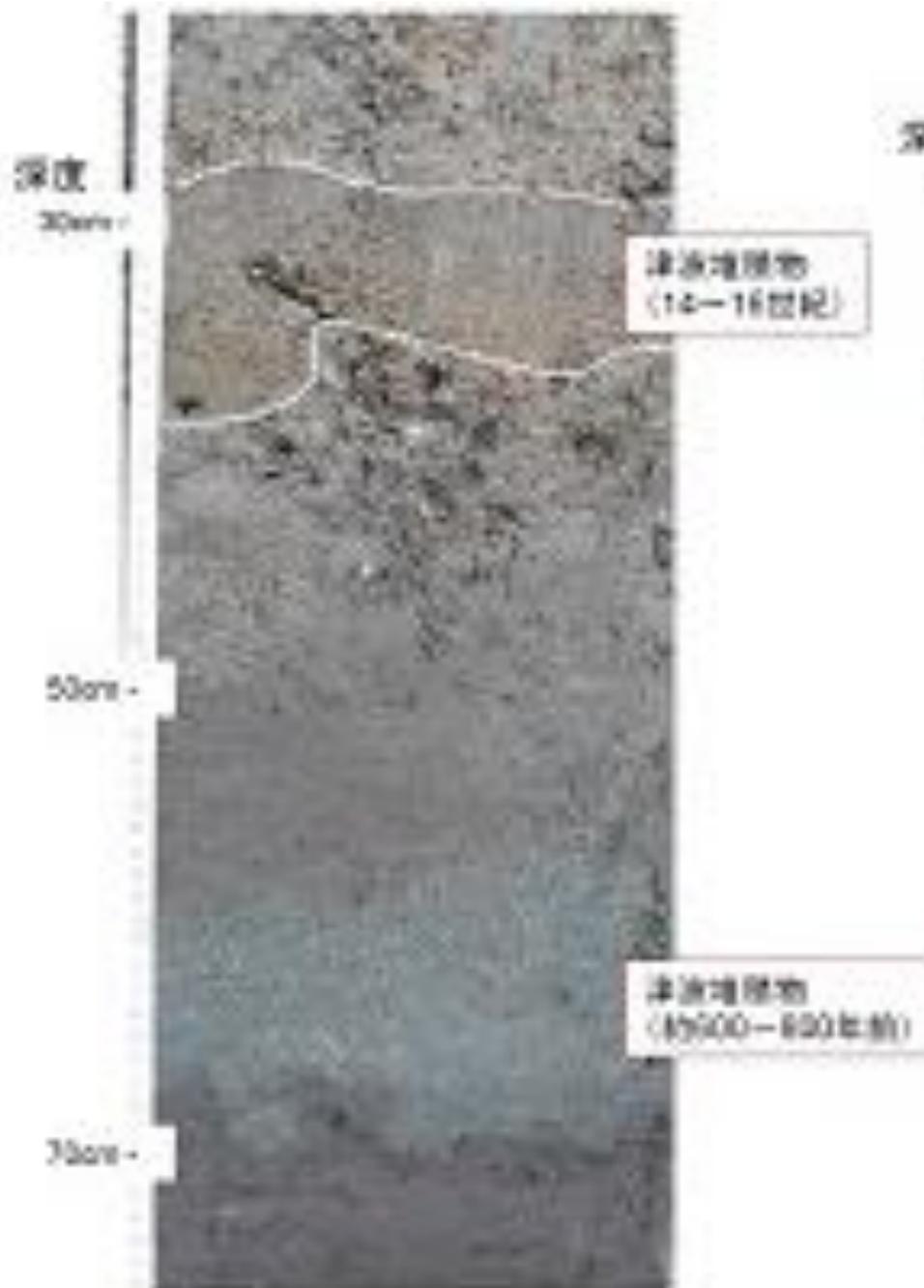
若狭湾沿岸で過去5,000年に3回の津波

日本海側での津波堆積物調査

— 福井県若狭湾沿岸での津波堆積物の発見 —

若狭湾沿岸の高浜町の海岸から約500m内陸の低地において、14～16世紀と推定できる津波堆積物を発見しました。若狭湾沿岸では、歴史史料から1586年の天正地震による津波によって被害が発生したとされていますが、これまでの調査では津波堆積物は発見されていませんでした。今回の調査では、年代値の誤差から1586年とは特定できていませんが、14～16世紀の間に津波が発生し、内陸の低地に堆積物がもたらされたことが明らかになりました。この津波堆積物の他に、約600～800年前、約5,200年前の年代を示す津波堆積物も発見しました。

1586年の天正地震による津波の有無が注目されていますが、歴史史料に記載されたような津波はなかったとしても、約5,000年間に3回の津波が発生し、堆積物として記録されていることが重要であり今後の津波防災に関する基礎資料となるものと考えています。



高浜町園部での掘削調査
粘土質な潟～湿地の地層中に
厚さ10cm程度の砂層がみられます。

出典:新潟大学トピックス.
「日本海側での津波堆積物
調査」. 2015年7月3日

関西電力による大飯発電所の津波評価

【パラメータスタディ結果※】

断層名	断層長さ (km)	走向 【傾斜方向】 (°)	モーメント マグニチュード (Mw)	すべり量 (m)	傾斜角 (°)	広域 応力場 (°)	取水路(奥)	3,4号炉海水ポンプ室前面		放水口 最大水位 上昇量 (m)
							最大水位 上昇量 (m)	最大水位 上昇量 (m)	最大水位 下降量 (m)	
E1南①	131	13	7.85	9.44	60	-	1.17	0.92	-1.11	1.31
	131	3	7.85	9.44	60	-	1.21	1.19	-1.63	1.54
E3B北①	131	30	7.85	9.44	60	-	1.27	1.43	-1.23	1.17
	131	10	7.85	9.44	60	-	1.40	0.95	-1.30	1.23
E3中央①	131	30	7.85	9.44	60	-	1.06	0.91	-1.15	1.34

日本海東縁部

「高浜原発、津波想定見直しで浸水の恐れ 再稼働困難に」

「関西電力は14日、高浜原発（福井県）で想定される最大級の津波の高さを見直した結果、敷地に一部達するおそれがあると明らかにした。原発の新規制基準では重要施設の浸水を認めていない。関電は防潮設備を追加する考えを示したが、再稼働は当面難しい状況となった。

規制基準への適合を確認する原子力規制委員会の審査会合で報告した。審査を申請済みの全国6原発で、想定する津波の高さが敷地を上回るのは初めて。

高浜原発の敷地の高さは標高3.5メートル。この日関電が示した試算によると、想定される最大級の津波は敷地の高さを最大で約50センチ上回り、3、4号機建屋付近にあるポンプ室など、一部施設が浸水する可能性がある。」

（朝日新聞. 2013年8月14日）

「高浜原発は津波で浸水も 福井県が予測見直し」

福井県は3日、日本海側で発生した大地震による津波の高さの予測結果を公表した。原子力発電所の立地場所については、関西電力高浜原発（高浜町）で最大3.74メートル、日本原子力発電敦賀原発（敦賀市）で同3.48メートルとなり、それぞれの敷地の高さ3.5メートルと3メートルを超えた。敷地の一部が浸水する恐れがあるが、各事業者は原子炉建屋など主要施設への影響はないとしている。〈中略〉

これまでの同県の津波予測はマグニチュード(M)7.7の日本海中部地震(1983年)を基に県内一律で高さ2.5メートルとしていたが、若狭湾沖などでM7.28～7.99の地震が起きたと想定して計算し直した。

(出典：日本経済新聞. 2012/9/3)

「高浜・敦賀原発、敷地に浸水の恐れ 福井県が津波想定」

■福井県が想定した原発での津波高

	敷地の高さ	炉心が耐えられる津波の高さ(ストレステスト)	福井県想定 の津波の高さ(取水口付近)
敦賀(1号機)	3m	—(未提出)	3.48m
もんじゅ	21m	21m	2.8 m
美浜	3.5m	11.1m	1.84m
大飯	9.3m	11.4m	2.52m
高浜	3.5m	10.8m	3.74m

福井県は3日、県沿岸で最大8.7mとなる津波予測の見直し結果を公表した。従来は沿岸全域で2.5mだったが、最大で3.5倍になった。関西電力高浜原発(高浜町)と日本原子力発電の敦賀原発1号機(敦賀市)では、津波の高さが敷地を上回り、浸水する恐れが出てきた。だが県は、県内に14基ある原発の原子炉には「影響ない」としている。

(朝日新聞. 2012年9月4日)

津波の想定高さ

④ 県内原発の津波想定の高さ

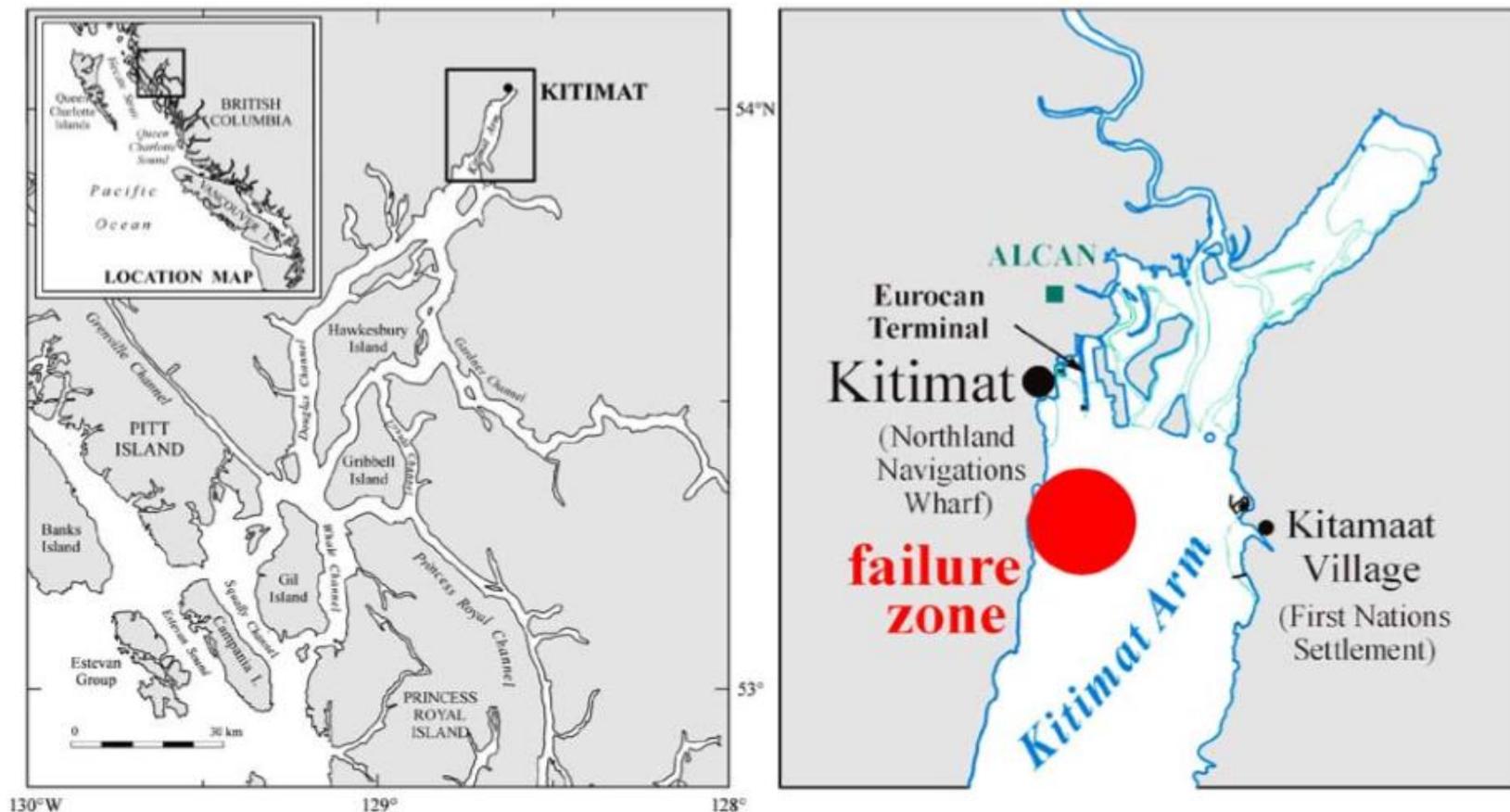
原発名	原子炉建屋の敷地の高さ	耐震安全再審査による津波の想定高さ	国の指示で上乗せさせられた津波の想定高さ
敦賀1号機	3.0m	2.8m	11.6m
敦賀2号機	7.0m	2.8m	11.6m
美浜原発	3.5m	1.9m	11.1m
高浜原発	3.5m	2.3m	10.8m
大飯原発	9.3m	2.9m	11.4m
もんじゅ	21.0m	5.2m	14.7m

※表①②③④ 福井新聞社提供

出典：自治研ふくい53号。「福井の原発の課題」. 2013

過去の津波の解析

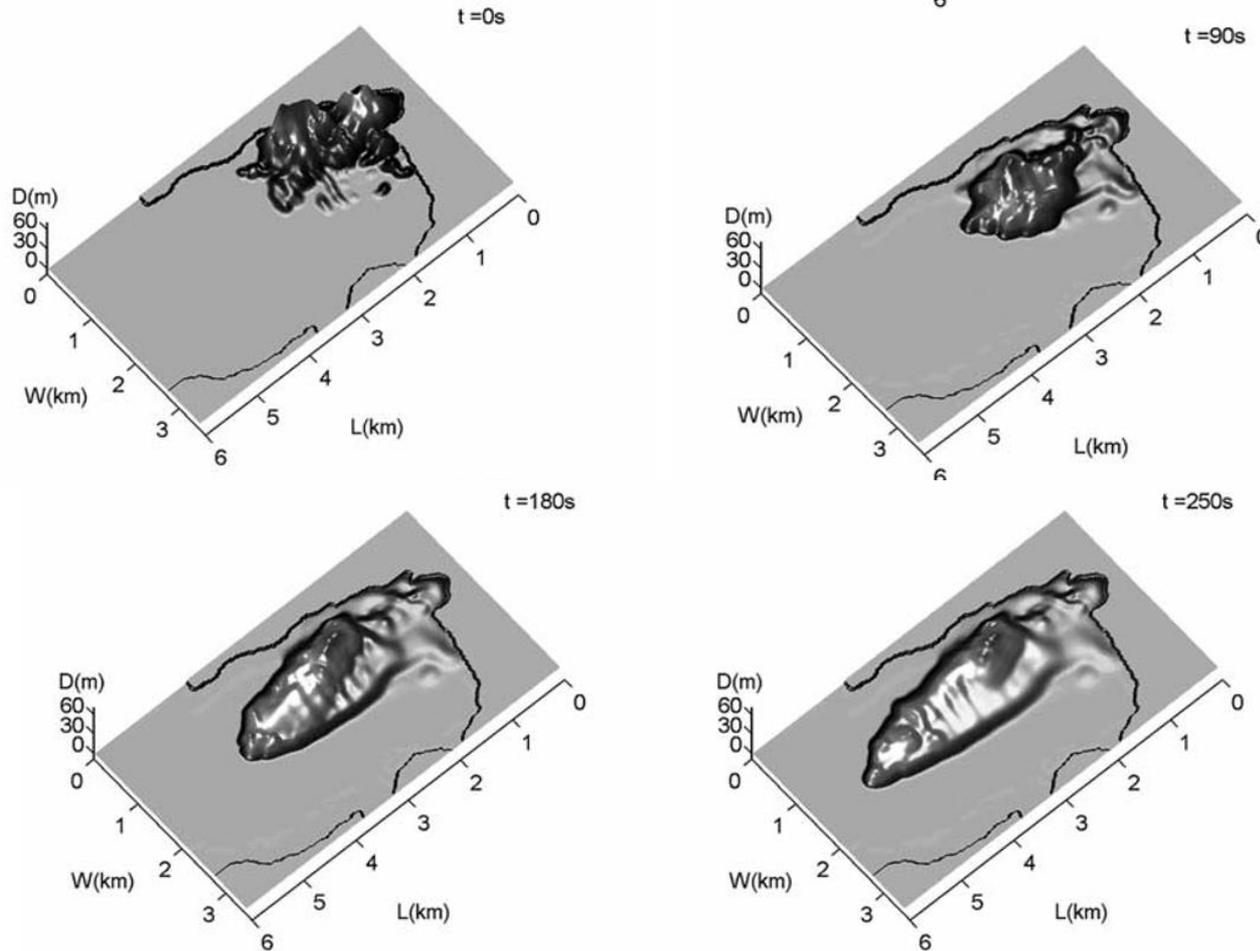
カナダ・ブリティッシュコロンビア州のキティマト入江で、1975年4月27日、水中地すべりが起こった



出典: A. Skvortsov¹ & B. Bornhold. “Numerical simulation of the landslide-generated tsunami in Kitimat Arm, British Columbia, Canada, 27 April 1975” *Journal of Geophysical Research*. 2013

キティマト入江の水中地すべりのシミュレーション

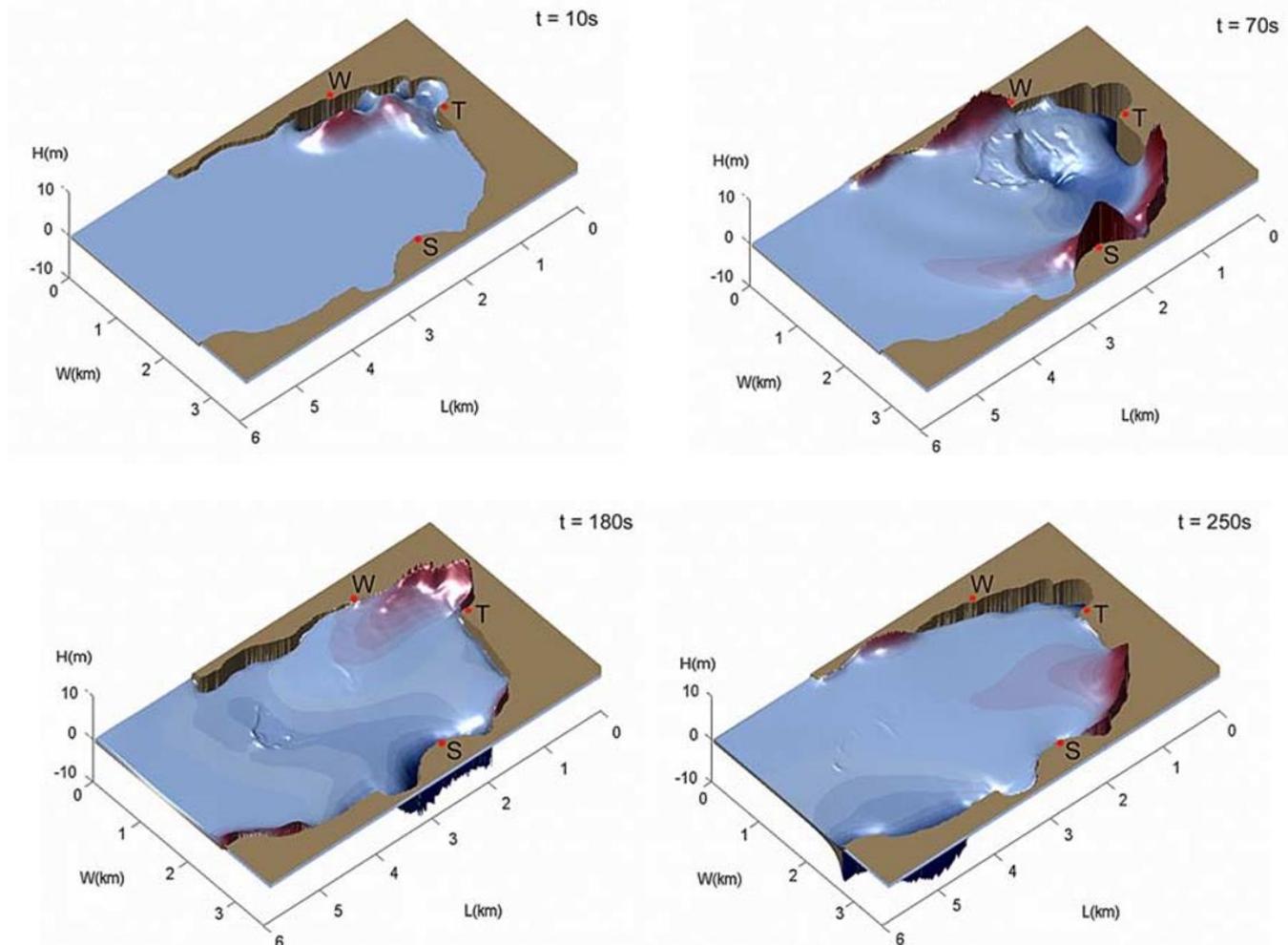
水中地すべりは285秒後には、水深250m、4.5 km の距離まで達した。



出典: A. Skvortsov¹ & B. Bornhold. “Numerical simulation of the landslide-generated tsunami in Kitimat Arm, British Columbia, Canada, 27 April 1975” *Journal of Geophysical Research*. 2013 ⁷⁰

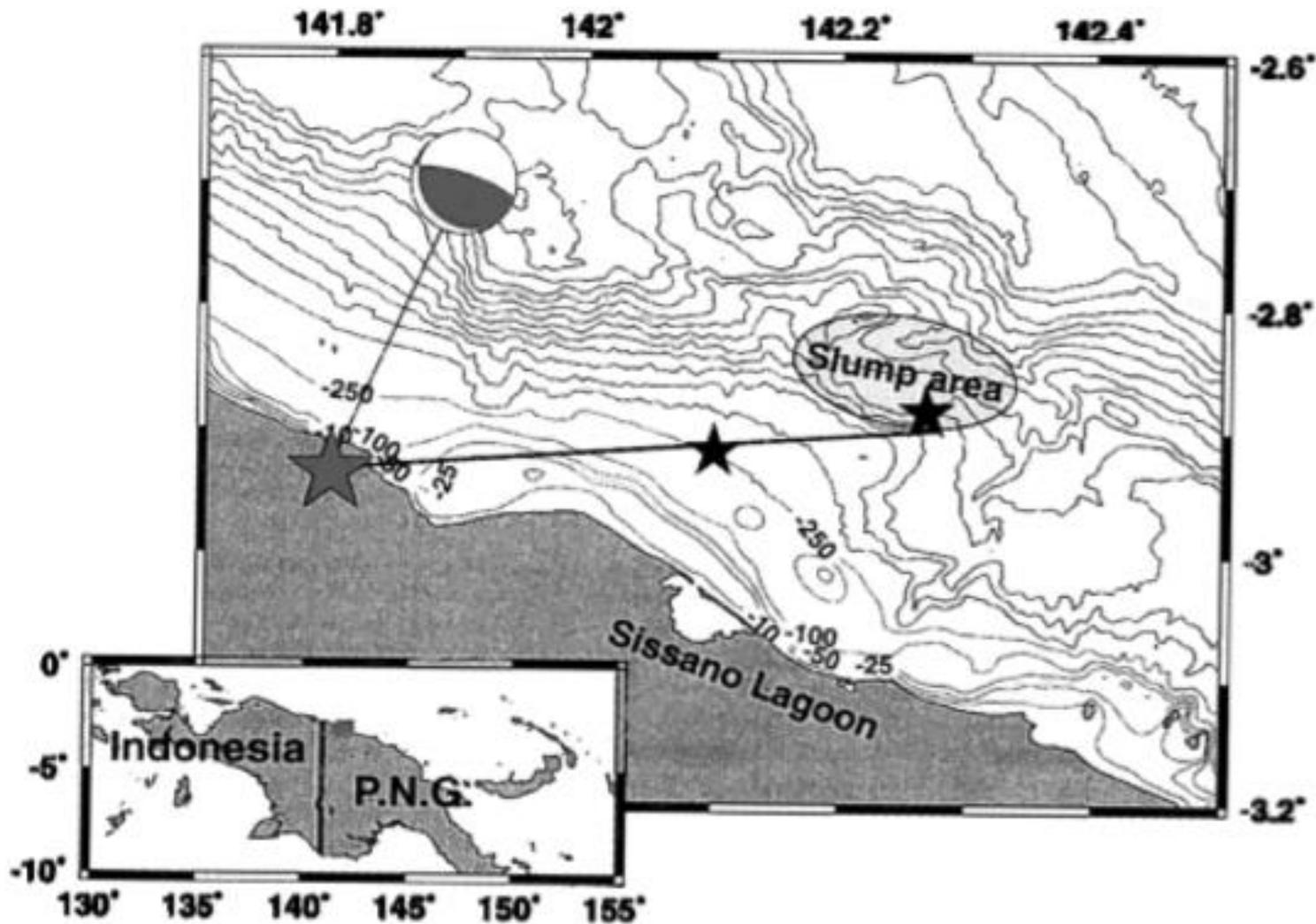
キティマト入江の津波のシミュレーション

津波は72秒後には、東岸の村にまで達した。



出典: A. Skvortsov¹ & B. Bornhold. “Numerical simulation of the landslide-generated tsunami in Kitimat Arm, British Columbia, Canada, 27 April 1975” *Journal of Geophysical Research*. 2013 ⁷¹

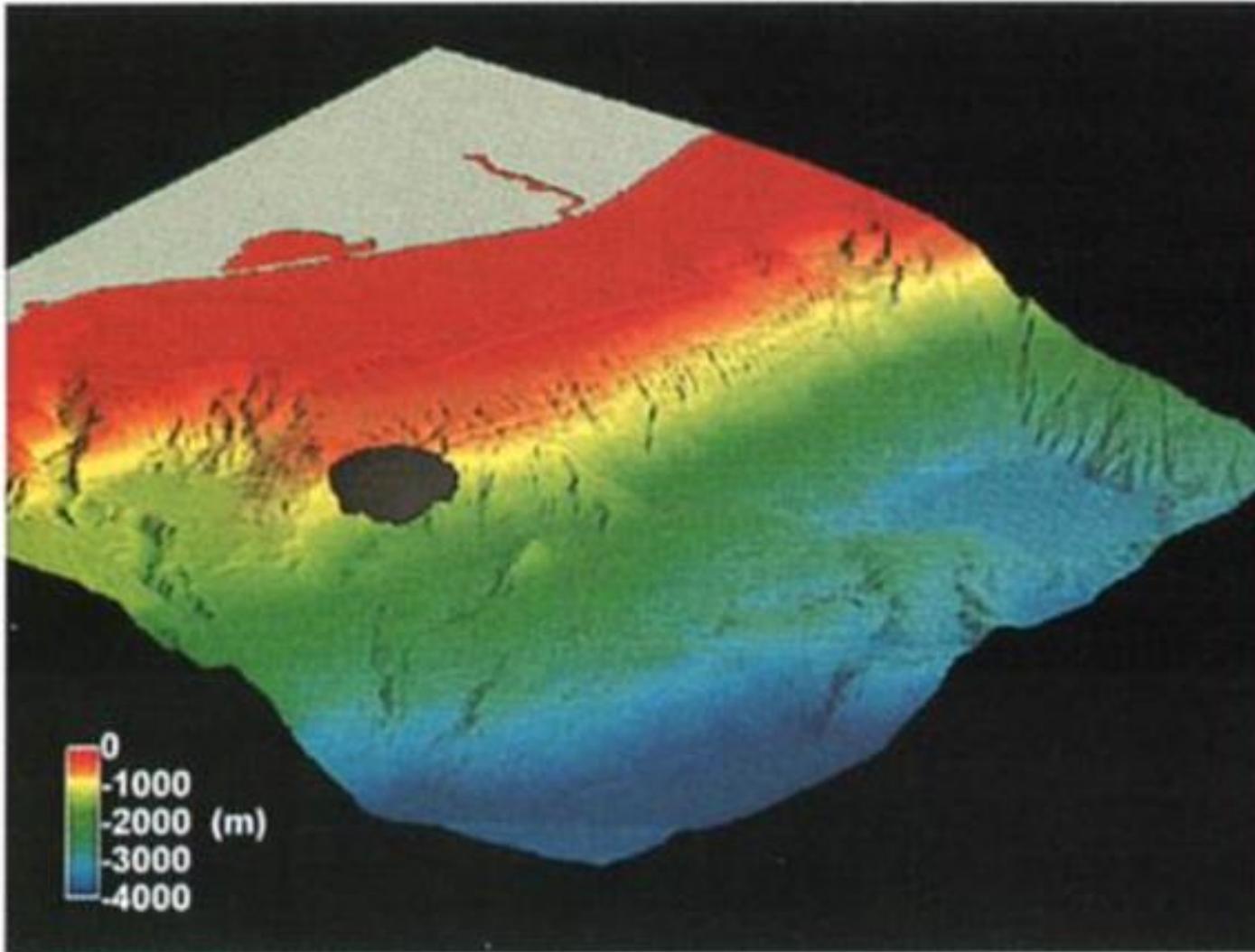
1998年7月17日のパプアニューギニアの津波



比較的小さな地震の後、15mの津波が発生し、3つの村を襲い、2200人以上が死亡。

出典：Heinrich, Philippe, *et al.* “Near - field modeling of the July 17, 1998 tsunami in Papua New Guinea.” *Geophysical Research Letters*. 2000.

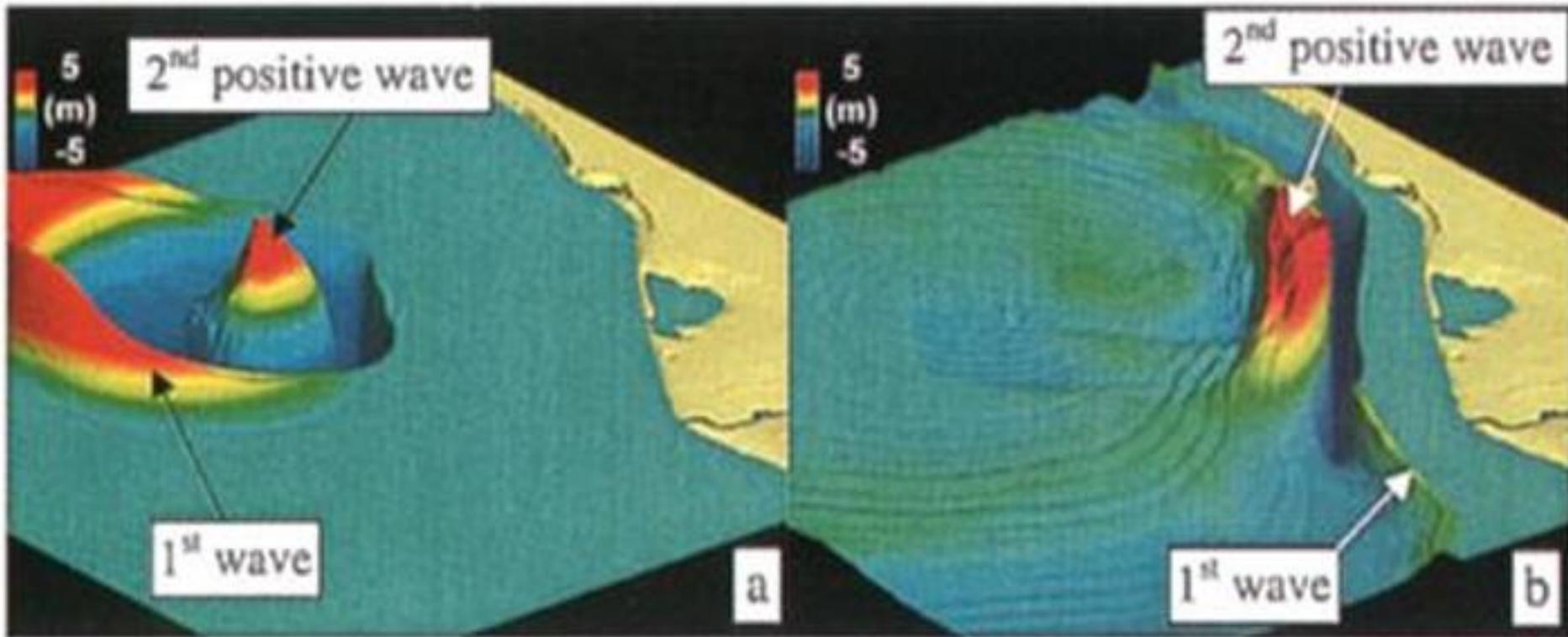
1998年のパプアニューギニア津波の海底地すべり



地すべりは、約5×3kmの面積で、最大厚さは450m。水深が550～1500m。

出典：Heinrich, Philippe, et al. "Near - field modeling of the July 17, 1998 tsunami in Papua New Guinea." *Geophysical Research Letters*. 2000.

1998年のパプアニューギニア津波の 第1波と第2波、第2波が陸地を襲った



出典：Heinrich, Philippe, *et al.* “Near - field modeling of the July 17, 1998 tsunami in Papua New Guinea.” *Geophysical Research Letters*. 2000.

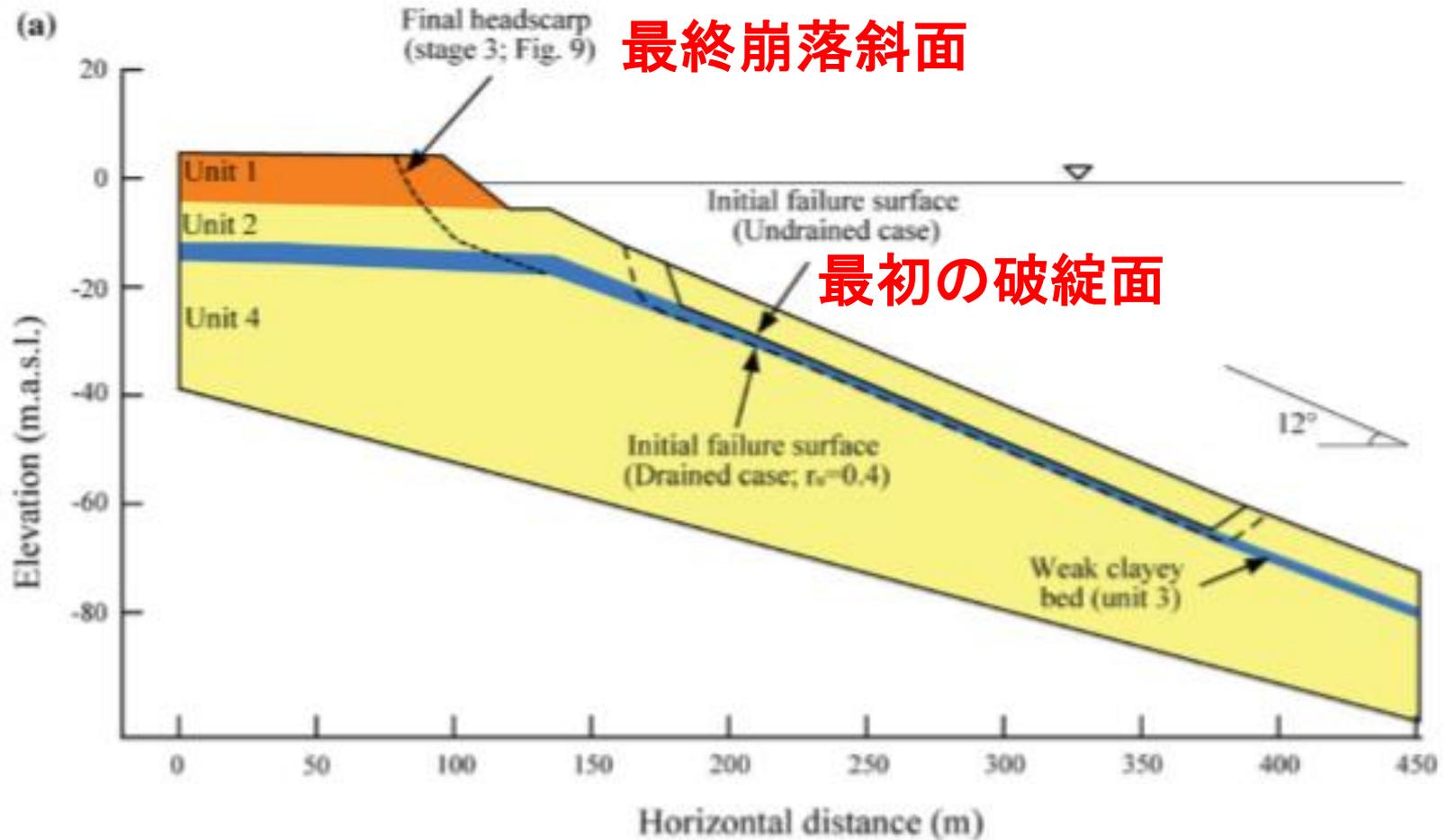
ノルウェー、トロンハイムでの1888年の地すべりとそれにともなう津波による被害



Fig. 3 Scene at Brattøra, Trondheim, following the 1888 landslide and tsunami. (Photo: Courtesy of Hifling Rasmussen)

出典：L'Heureux, J-S., *et al.* "The 1888 shoreline landslide and tsunami in Trondheimsfjorden, central Norway." *Marine Geophysical Research*. 2011.

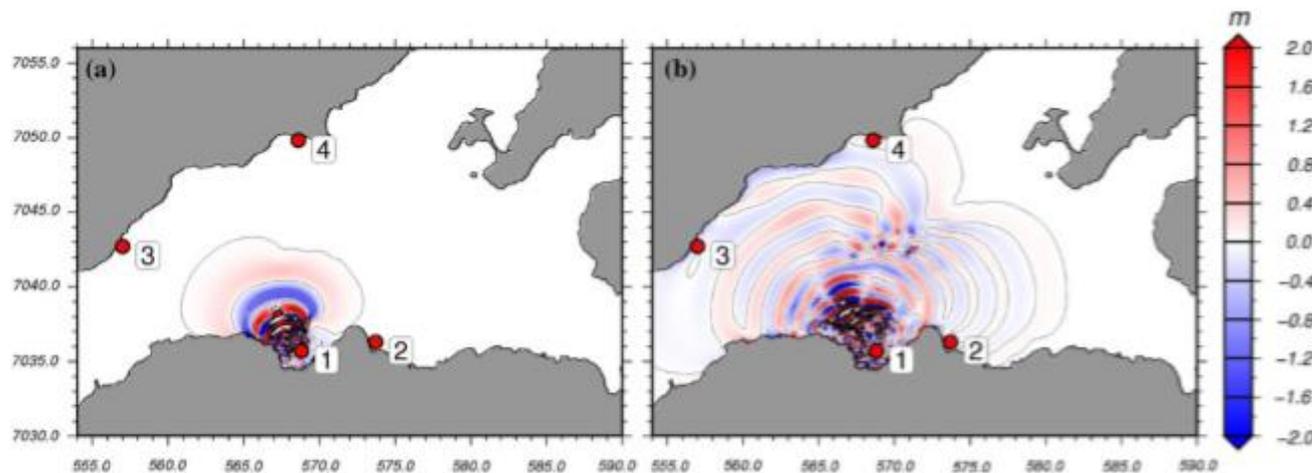
トロンハイムの地すべりと津波による被害は、 海底地すべりが発端だった



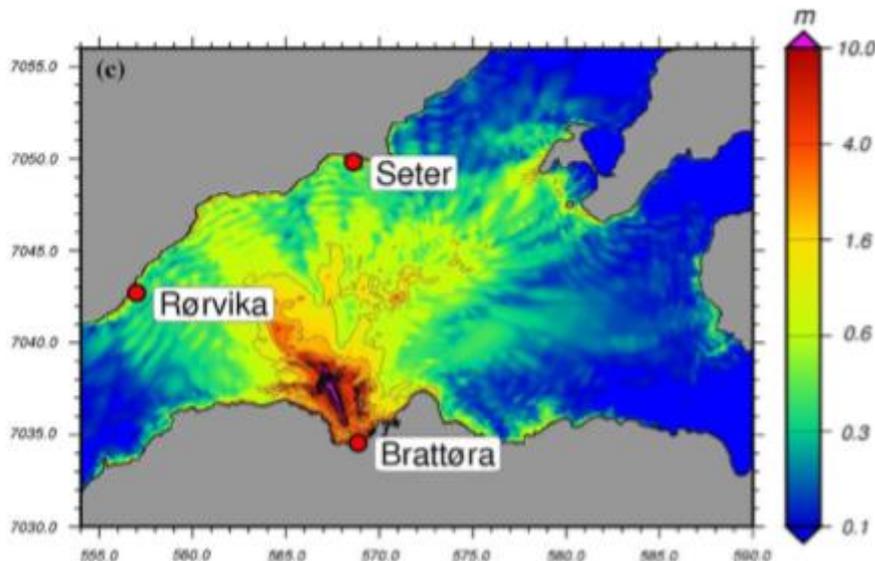
出典：L'Heureux, J-S., *et al.* "The 1888 shoreline landslide and tsunami in Trondheimsfjorden, central Norway." *Marine Geophysical Research*. 2011.

トロンハイムの津波発生後の時間と波高

2分後



5分後

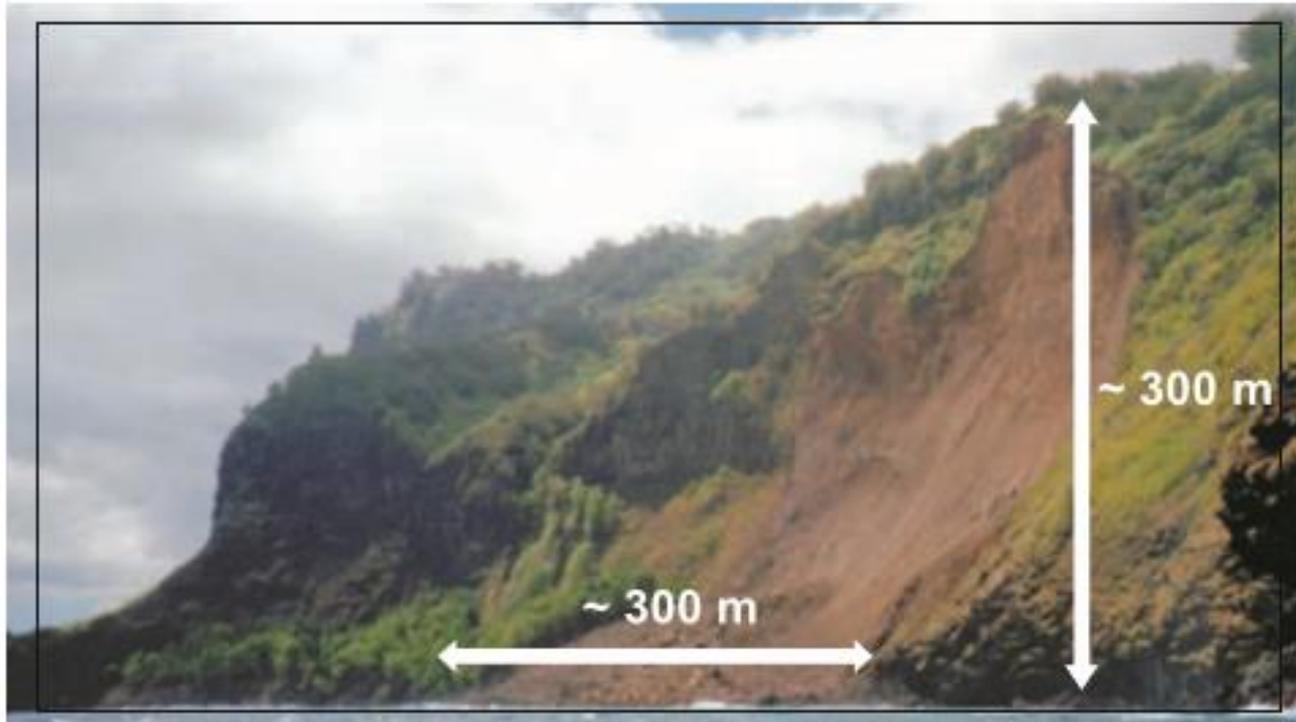


津波波高の
最大値

出典：L'Heureux, J-S., *et al.* "The 1888 shoreline landslide and tsunami in Trondheimsfjorden, central Norway." *Marine Geophysical Research*. 2011.

**陸上の地すべいでも
津波は発生する**

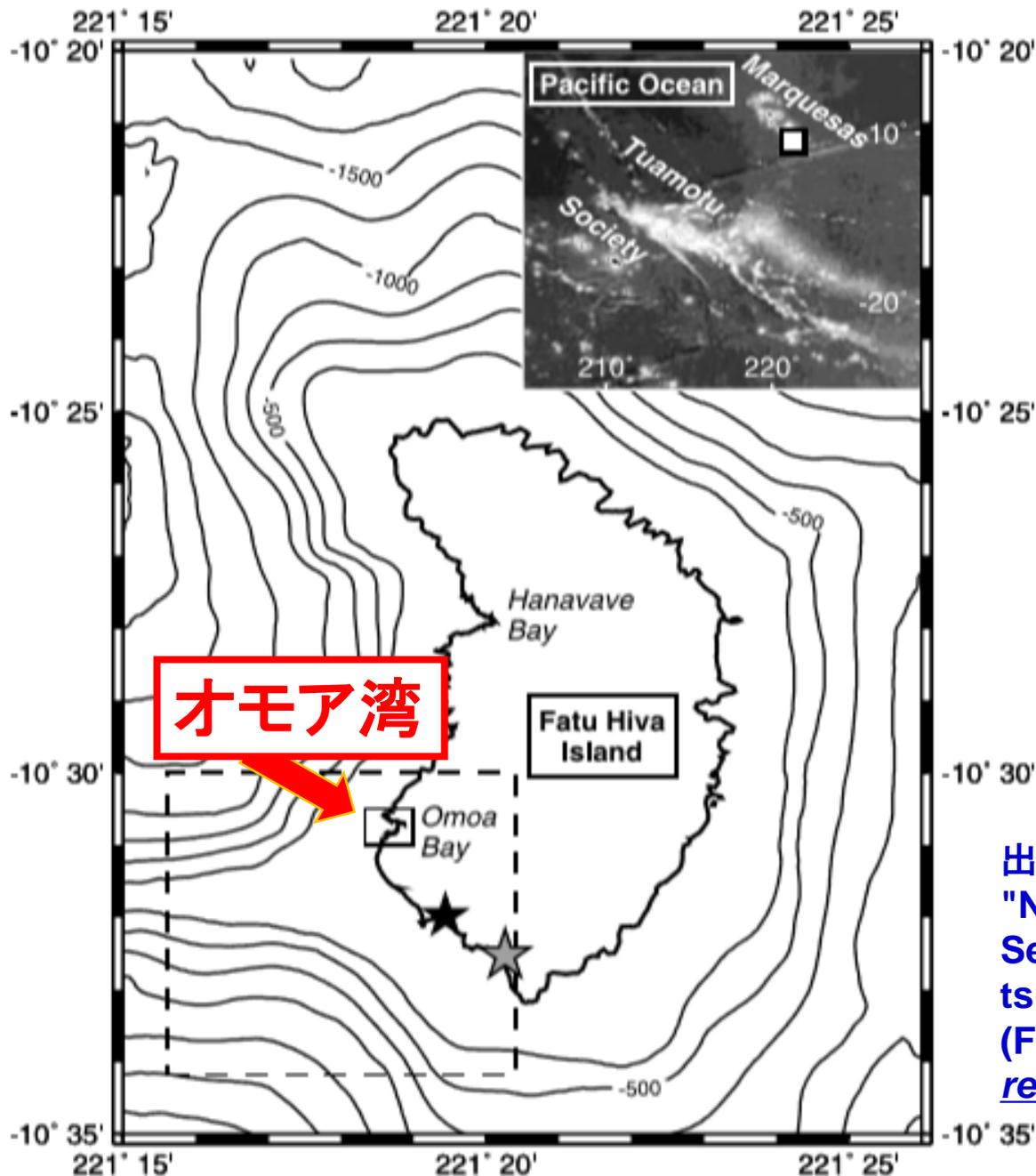
1999年9月13日のフランス領ポリネシア、 ファトゥヒバ島での崖崩れによる津波



ファトゥヒバ島オモア湾に2~5 mの津波が到達した。いくつかの建物が破壊されたが、人命の損害はなかった。

崖は300×300m、厚さは少なくとも20mが崩落した。

Figure 2. Photograph taken by the post-event survey team on Oct. 5, 1999, at the location indicated by the black star on Figure 1. The surface area involved in the cliff failure can be estimated as $300 \times 300 \text{ m}^2$.

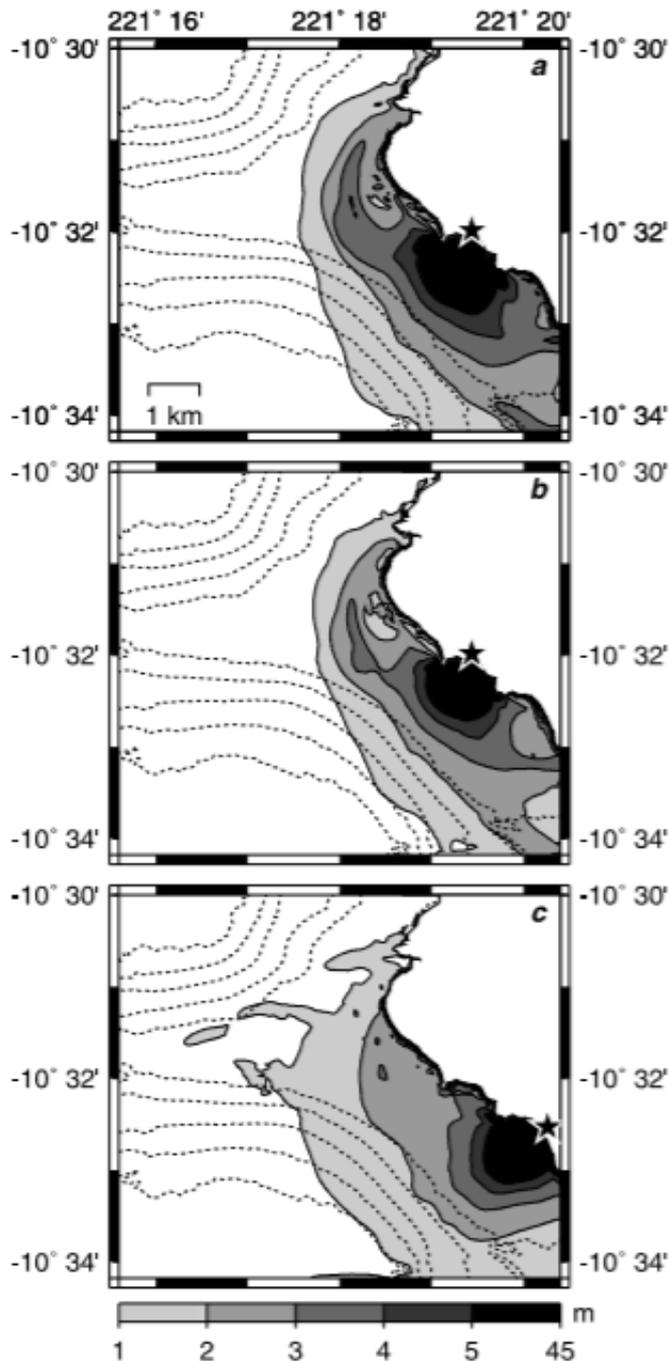


崖崩れによる津波
が発生した
フランス領ポリネシ
ア、ファトゥヒバ島

★が実際のがけ
崩れの位置。
津波は北のオモア
湾を襲った。

出典: Hébert, Hélène, et al.
"Numerical modeling of the
September 13, 1999 landslide and
tsunami on Fatu Hiva Island
(French Polynesia)." *Geophysical
research letters*. 2002.

ファトウヒバ島での 崖崩れによる津波 のシミュレーション



★が崖崩れの位置。

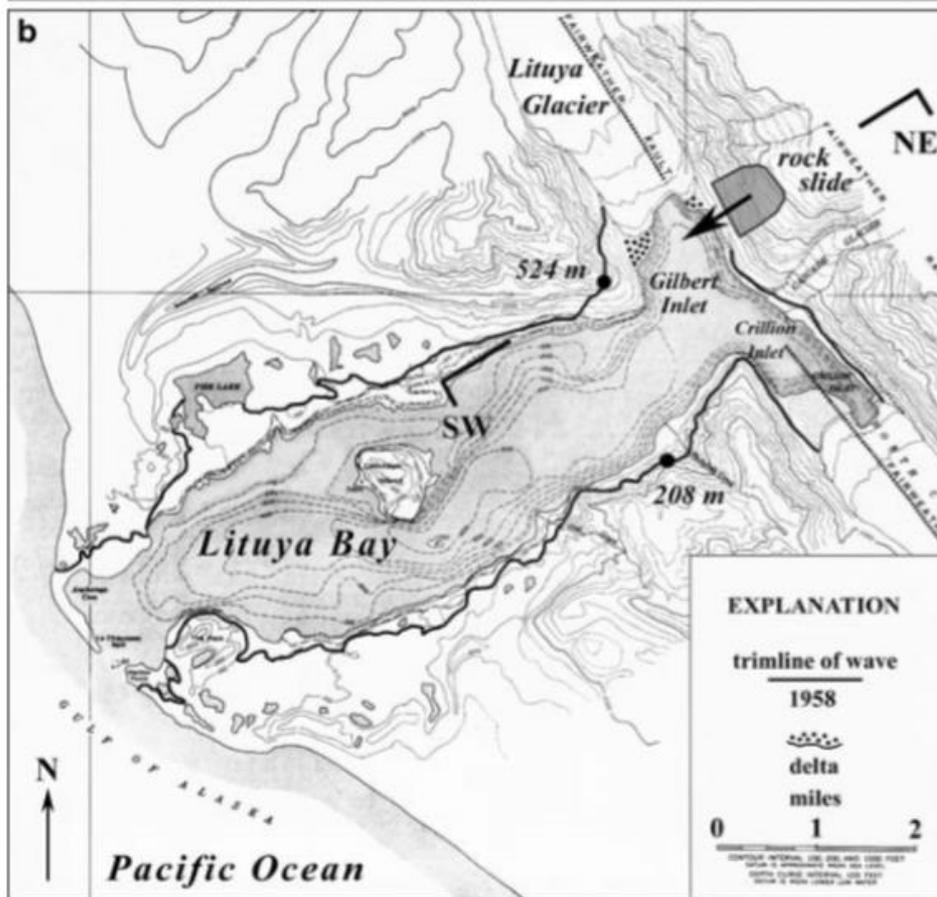
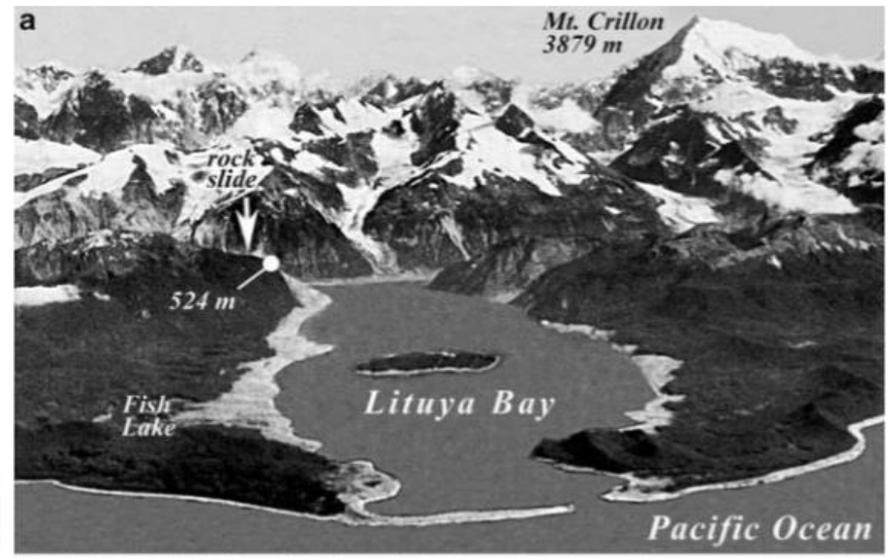
a: 崩落量を 0.0024km^3 と想定。

b: 崩落量を 0.0012km^3 と想定。

c: 崩落量を 0.0024km^3 と想定し
崩落場所を移動。

出典: Hébert, Hélène, et al. "Numerical modeling of the September 13, 1999 landslide and tsunami on Fatu Hiva Island (French Polynesia)." *Geophysical research letters*. 2002.

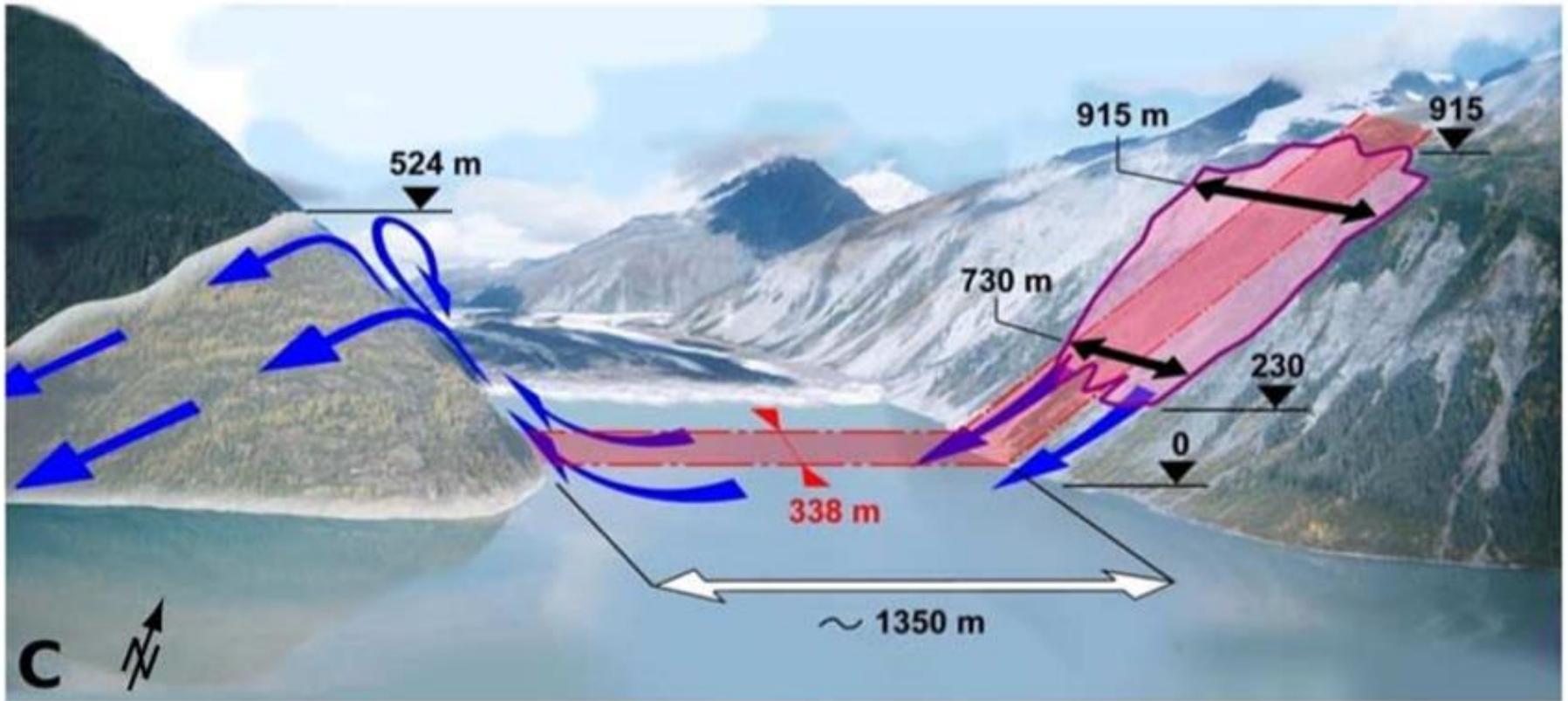
地震にともなう 地すべりによる 巨大津波の発生



1958年7月10日、M8.3の地震によりアラスカ南海岸にあるリツヤ湾奥で地すべりが起こり、波高524mの巨大な津波を発生させた。

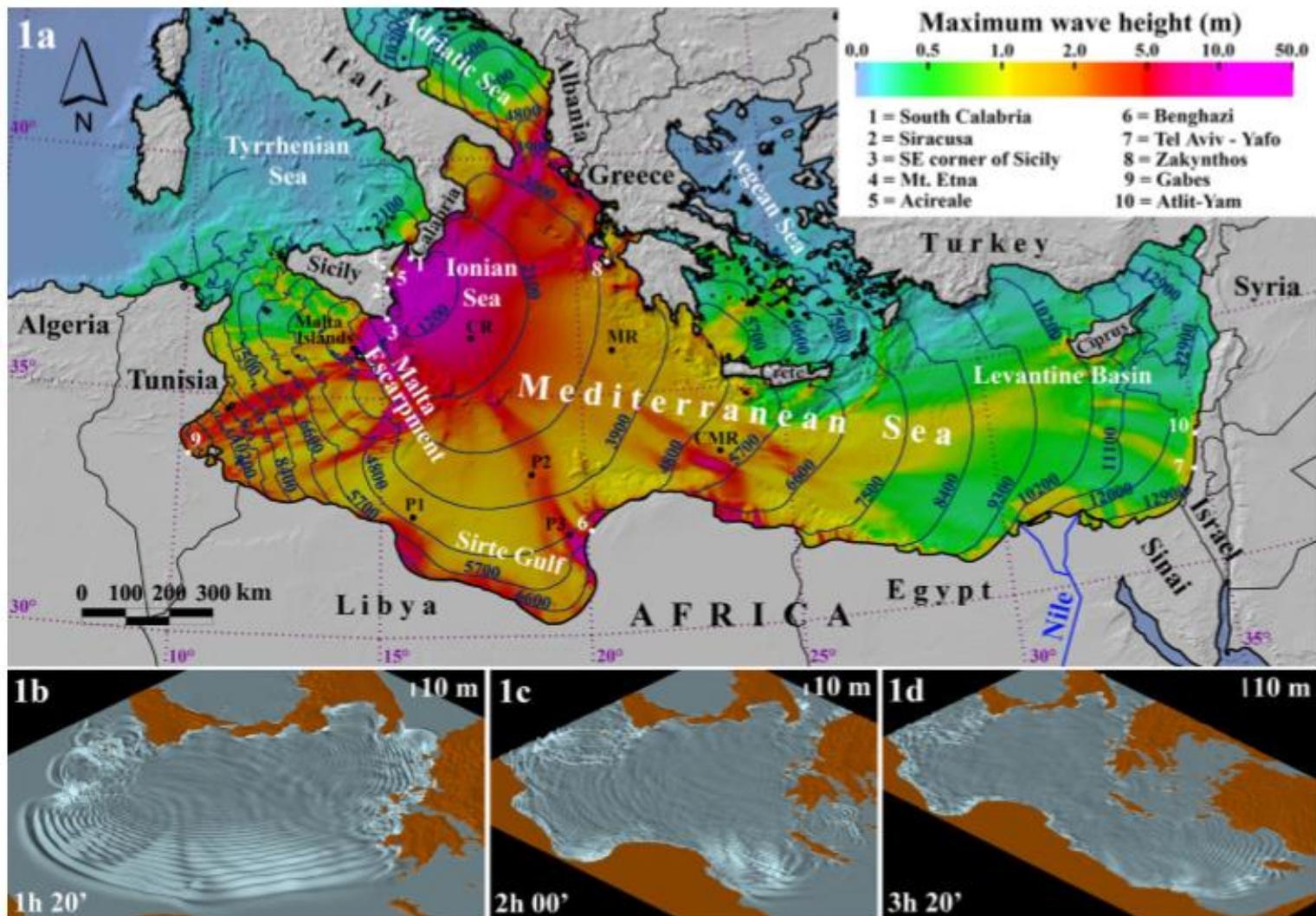
出典:Fritz, Hermann M., et al."Lituya Bay landslide impact generated mega-tsunami 50 th Anniversary."
Pure and Applied Geophysics, 2009

Lituya湾津波は524mの山を越えた



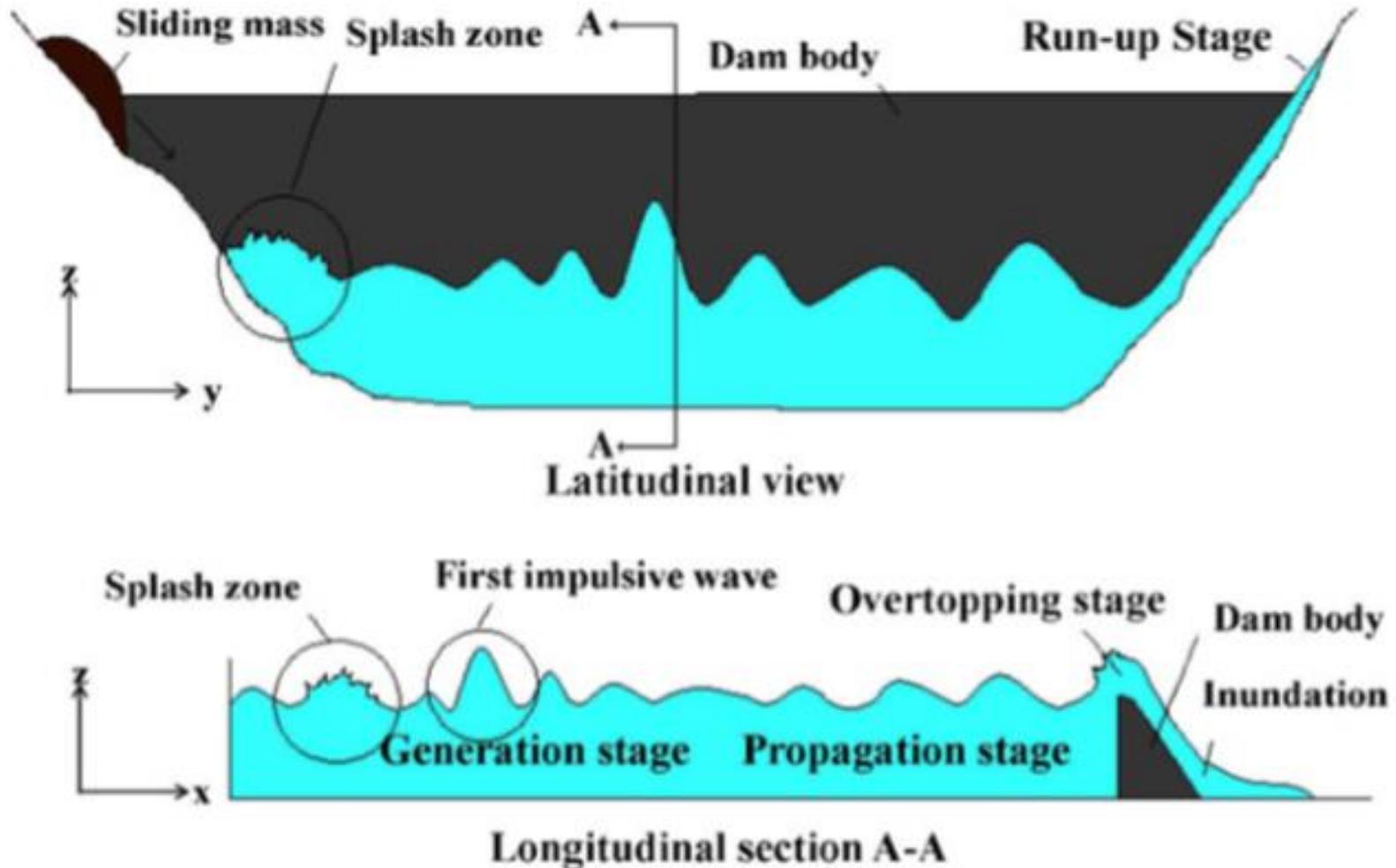
出典: Weiss, Robert. *et al.* "Hybrid modeling of the mega - tsunami runup in Lituya Bay after half a century." *Geophysical Research Letters*. 2009.

完新世初期(約1万年前)のシチリア島エトナ山の 山体崩壊による地中海の津波



出典: Pareschi, M T, et al.. "Lost tsunami." *Geophysical Research Letters*. 2006.

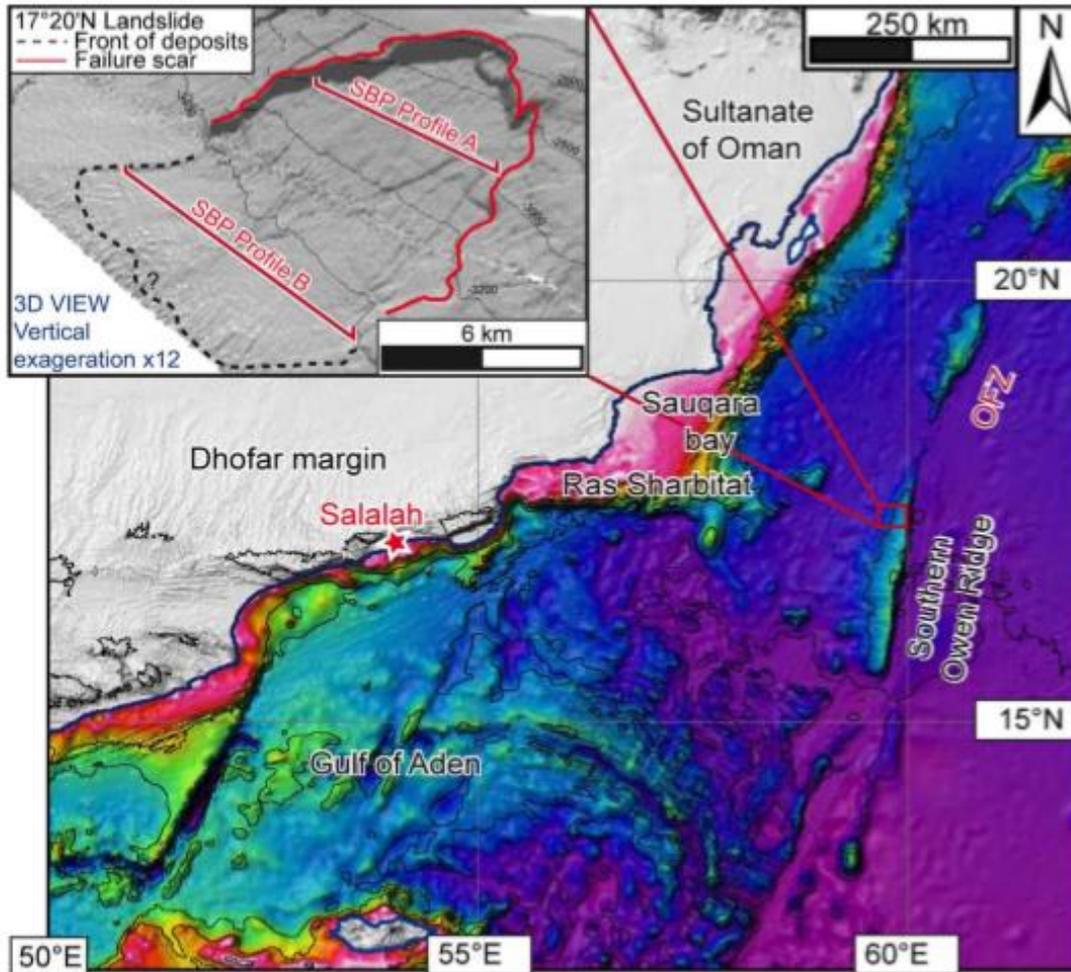
ダム湖への地すべりによる津波の発生



Ataie-Ashtiani, B & Yavari-Ramshe, S. "Numerical simulation of wave generated by landslide incidents in dam reservoirs." *Landslides* . 2011

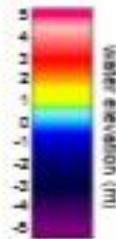
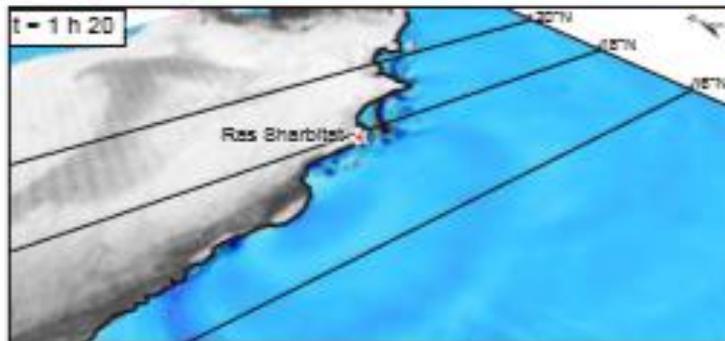
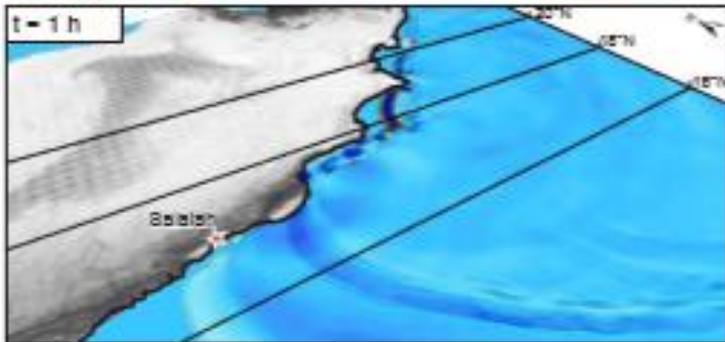
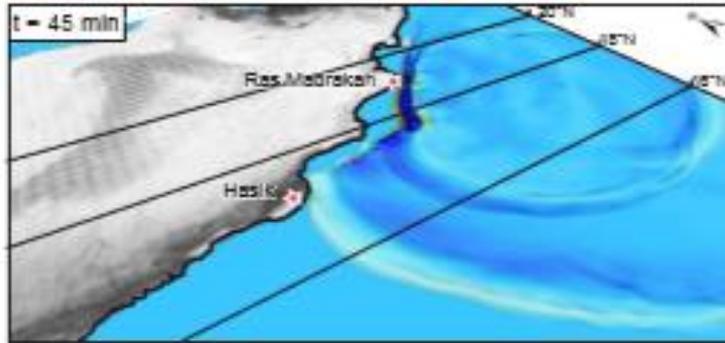
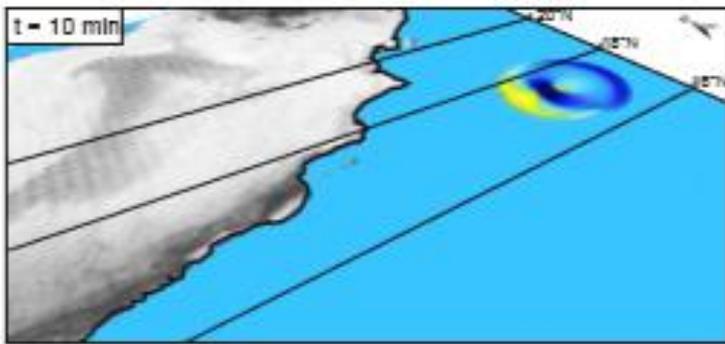
**過去の海底地すべいを
発見し、将来のリスクを
警告する**

アラビア半島のオマーン沖でも海底地すべり跡が確認されている



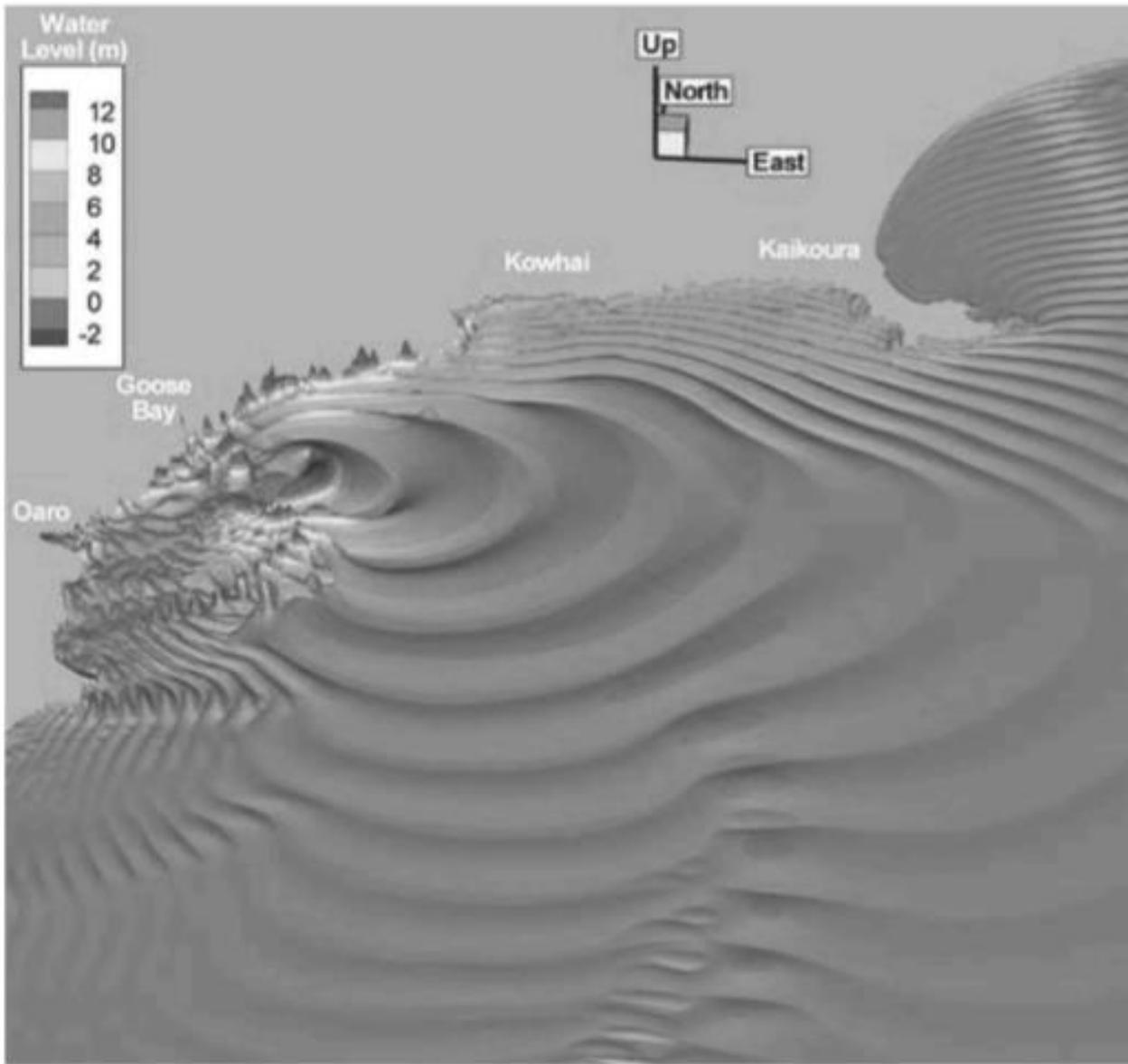
「オマーン沖の大規模な海底地すべりの発見は、オマーン海岸の津波ハザードの原因となる可能性があることを示す」

海底地すべり発生後の津波の波高と動き



津波の発生と伝播の数値シミュレーションによると、サララ市(人口190,000人)は地すべりの1時間後に2.5m高の津波の影響を受け、サウキラ湾では、80分を超えてより高い波高値(4m)に達する。

出典: M. Rodriguez, *et al.* "Owen Ridge deep-water submarine landslides: implications for tsunami hazard along the Oman coast". *Nat. Hazards Earth Syst. Sci*, 2013



ニュージーランド南島の北東
海岸、カイコウラ峡谷に
海底地すべりの危険性
海底地すべりが起きた場合の津波の想定

Fig. 3 Time sequence of water surface elevations at 30-s intervals.

Walters, Roy, *et al.* "Locally generated tsunami along the Kaikoura coastal margin: Part 2. Submarine landslides." *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*. 2006.

海底地すべり津波のリスク評価のため必要なデータ

日本での適用の可能性

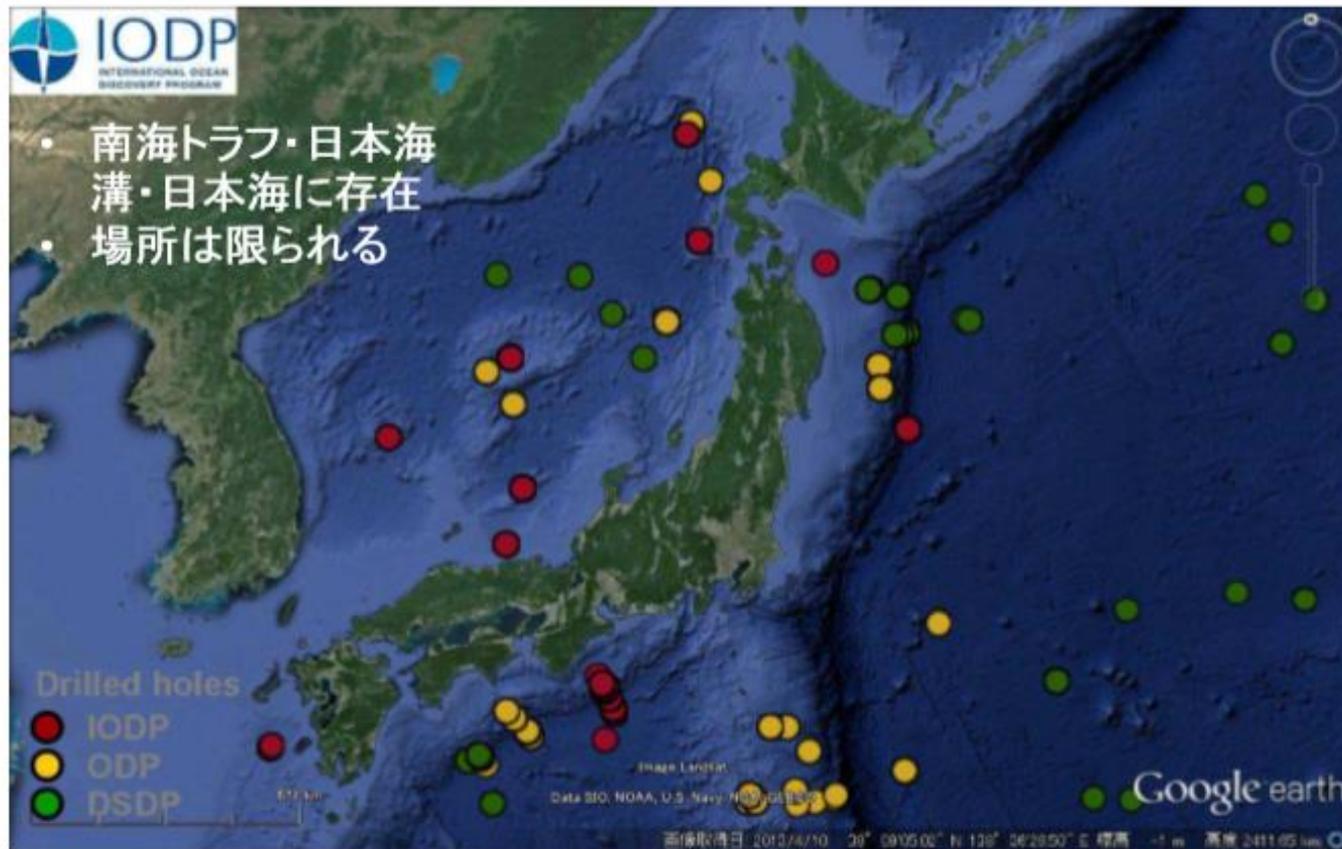
必要なデータ

1. 海底地形
2. 過去の海底地すべりに関する文献: 地形条件(確率分布)を決める ← 情報が必要
3. 土質パラメータ ← 多分野の試掘データを探すか自分で掘る
4. 海底の地震ハザードカーブ ← 民間に委託するか国が作ってくれるのを待つ
5. 数値モデルの開発: 可能なら海底地すべりは3D, 伝播・遡上は2D

出典: 嶋原良典(防衛大学校). 「海底地すべりによる津波に関する確率論的評価手法」. 土木学会講演会「津波研究に関連する最新の話(その1)」講演資料. 2015

海底地すべり津波のリスク評価のための 日本周辺のボーリングデータは少ない

日本での適用の可能性：日本周辺のボーリングデータ



出典：嶋原良典（防衛大学校）。「海底地すべりによる津波に関する確率論的評価手法」.
土木学会講演会「津波研究に関連する最新的话题(その1)」講演資料. 2015

終わりに

津波＝地震という発想だけではなく、海底地すべり津波にも着目することが必要である。

また、若狭湾沿岸の原発の津波想定は見直すべきである。