

令和6年度気象研究所成果発表会

令和6年12/17(火) 13:40～14:10

令和6年能登半島地震による津波の 実態解明に向けて

気象研究所 地震津波研究部 第四研究室

南雅晃

謝辞：本研究で用いたライブカメラの映像について，雨晴海岸の映像は高岡ケーブルネットワークより提供いただき，岩瀬浜の映像についてはケーブルテレビ富山より提供いただいた，各位に感謝する．本研究では，文部科学省「日本海地震・津波調査プロジェクト」及び国土交通省「日本海における大規模地震に関する調査検討会」で整備された地形データ，気象庁地震火山部地震津波監視課が海図から作成した水深値を使用した．検潮データは国土交通省、気象庁、国土地理院のものを用いた．一部の地図は地理院地図を加工して利用している．一部の図の作成にGMT(Generic Mapping Tools, Wessel and Smith,1998)を用いた．本研究の一部はJSPS科研費JP23K17482の助成を受けたものです．

目次と概要

- はじめに

令和6年能登地震とそれによって引き起こされた津波の概要

- 現地調査による津波高さの測定

気象研究所などが行った今回の津波に関する現地調査の結果

(気象庁 2024, 令和6年度災害時自然現象報告書) (Yuhi+2024)

- ライブカメラ映像からの津波データ抽出

ライブカメラ映像で捕らえられた津波の挙動から津波時系列データへと変換する試み (南・他 2024, 土木学会論文集特集号海岸工学)

- 津波波源域の推定

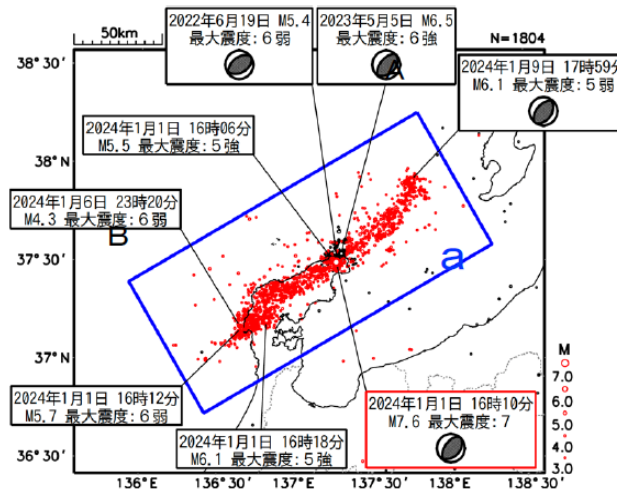
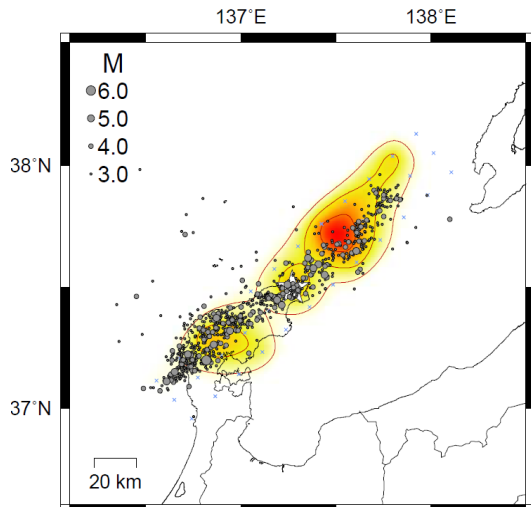
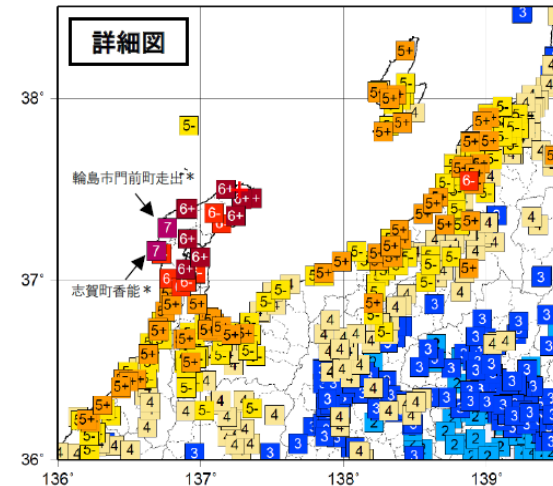
以上で得られた観測結果などから今回の津波波源を推定した結果

(対馬・他 2024, 日本地球惑星科学連合大会)

- まとめ

はじめに

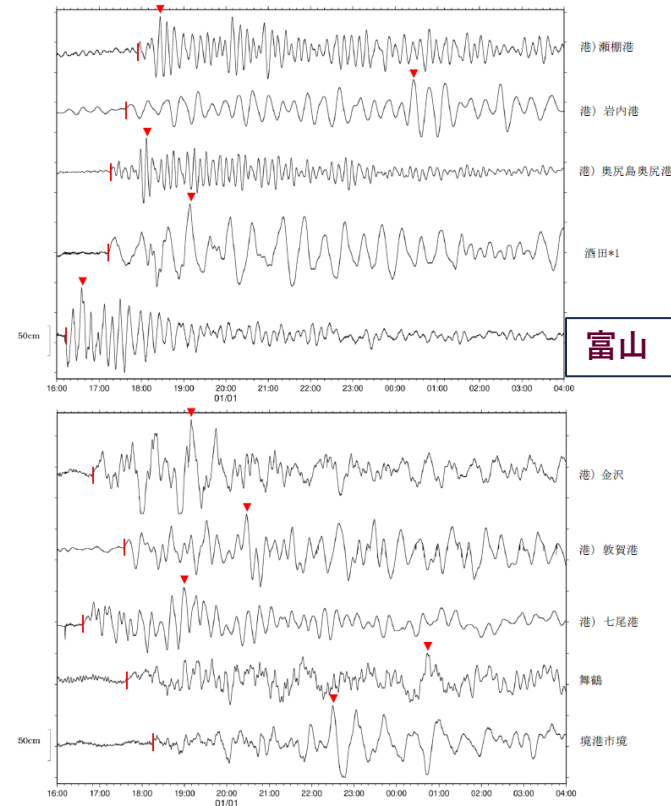
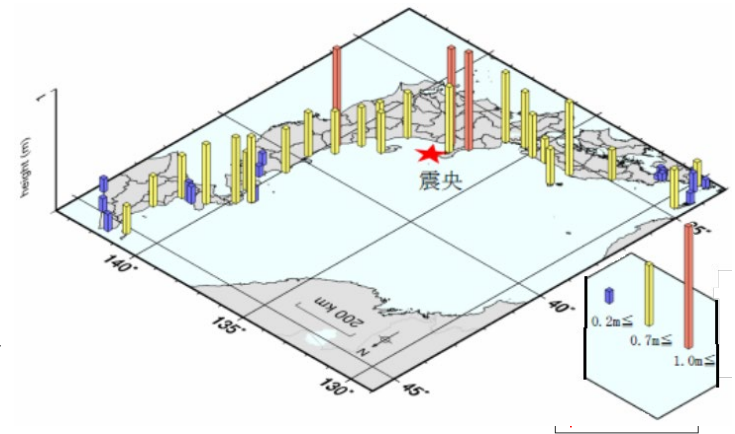
- 2024年1月1日に発生した能登半島地震（マグニチュード7.6）では、能登地方を中心に甚大な被害が発生した
- 能登半島北岸での大きな隆起や、特徴的な破壊過程など地震学的にも興味深い事象であった



気象庁災害時自然現象報告書
及び
気象庁ホームページより引用

はじめに

- 能登半島地震による津波は日本海沿岸各地で観測された（右図）
- しかしながら，震源近傍の輪島と珠洲市長橋の観測点では，観測所障害と地殻隆起により津波が観測できなかった
- 津波の状況をより詳しく把握するためには、さらなるデータが必要
- また，富山検潮所では地震に伴う地殻変動による津波よりも早くに第一波が到達しており富山湾に別の津波波源が存在した可能性



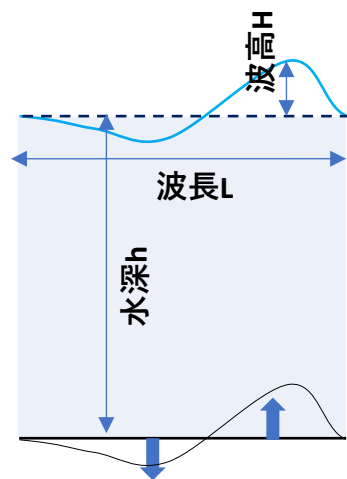
気象庁災害時自然現象報告書より引用

はじめに 津波とは

津波とは

地震等*¹に伴って生じる急激な海面等の変形が、
周辺に伝播*²し、また陸上を遡上する現象のこと

*¹ 急激な変形の原因は、地震による海底面の変動が最も多いが、*²復元力は重力
他にも地すべり、火山噴火による諸現象、隕石衝突などがある



地震直後の海面の変形（津波の波源）の断面図

凡例

横軸:水平方向

—— 海底面

—— 水面

—— 元の水面

典型的なサイズ（プレート境界の
マグニチュード8程度の地震の場合）

波長L：数十～数百km

波高H：数m以下

水深h：数百～数千m

↑の図を正しい縮尺で描くと...

はじめに 津波の諸性質

波速 (津波の形が伝わる位相速度のこと)

$$c \cong \sqrt{gh}$$

c は位相速度

g は重力加速度 h は水深

→水深が深いほど早く伝わり、
浅いと遅くなる

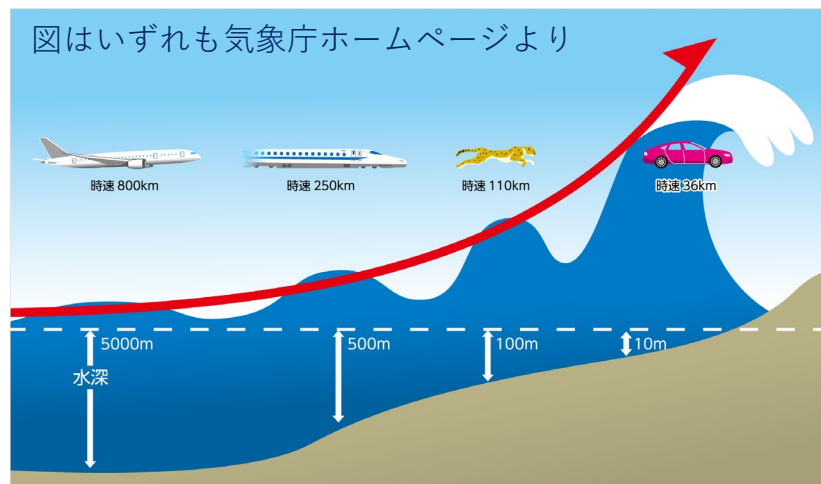
グリーンの法則

$H \cdot h^{1/4}$ は一定

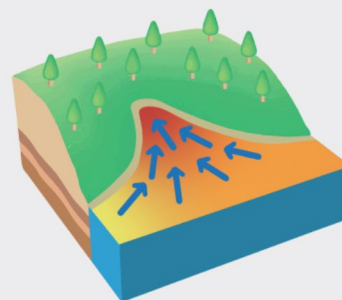
H は波高、 h は水深

→水深が浅いほど波高が高くなる

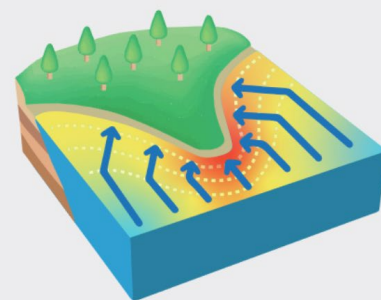
注：上記が厳密に成り立つのは、非線形項を無視、
岸での反射の効果は無視し、かつ水路幅が一定の時



地形による津波の増幅の例



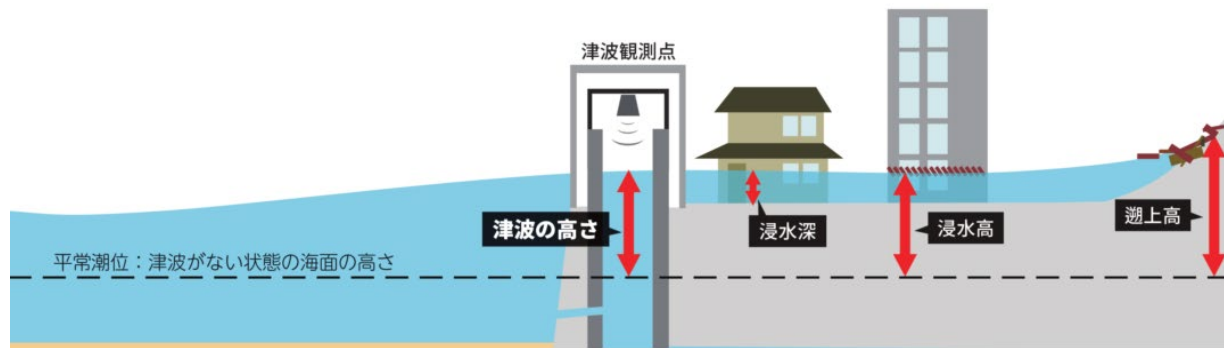
V字型の湾では湾の奥にエネルギーが集中し、波高が高くなります。



岬の先端では、津波が海岸線に対して平行になろうとしてエネルギーが集中し、波高が高くなります。

現地調査による津波高さの測定

- 津波の現地調査からは、**遡上高**、**浸水高**などデータが得られるため、その実態解明のために、大規模な津波の発生後には各機関（気象庁・大学・産総研等）で調査が行われている
- 津波の現地調査は、①各地の津波痕の調査→高さの測量 ②各地の住民への聞き込み調査→津波が来ていた場合測量 等の方法で行う
- 調査地点は他機関とも調整し各機関が選定



気象庁HPより、浸水高、遡上高の違いについて

気象研が行った現地調査



- 気象研究所では、2024年1月16日～18日と、2024年3月13日～15日の2回で津波の現地調査を行った
- ライブカメラ映像を入手できた、雨晴海岸と岩瀬浜でも現地調査を行っている。

現地調査による津波高さの測定

雨晴海岸（富山県高岡市）



輪島港（石川県輪島市）



岩瀬浜（富山県富山市）



現地調査 測定結果

- 気象庁・気象研究所の調査結果は右図の通り
- また、気象庁・気象研究所も、土木学会海岸工学委員会が組織した「R6年能登半島地震津波調査グループ」にも参画し、その結果がYuhi+2024でまとめられている



図8-7 津波による痕跡調査を行った主な地点

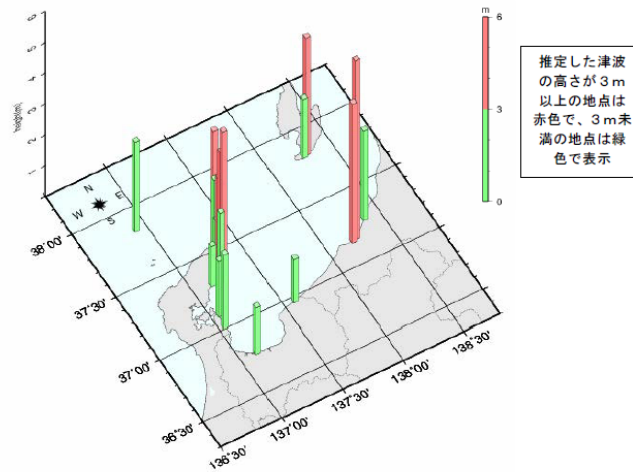


図8-8 主な調査地点における津波の痕跡から推定した津波の高さ

Yuhi, M. et al. (2024). Post-event survey of the 2024 Noto Peninsula earthquake tsunami in Japan. *Coastal Engineering Journal*, 66(3), 405-418.

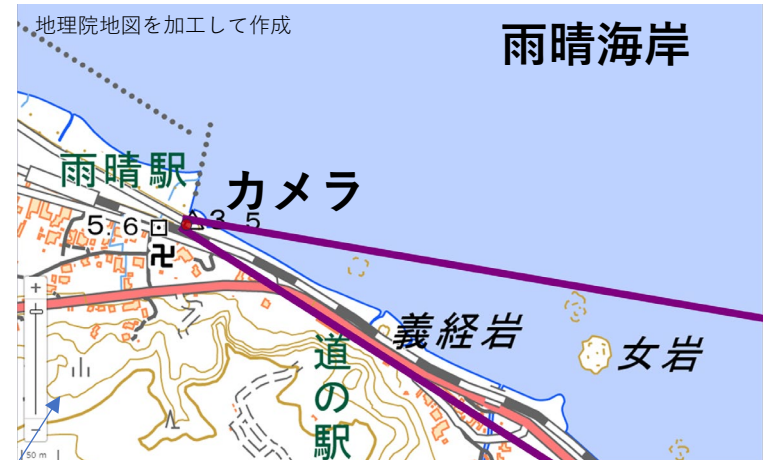
ライブカメラ映像からの津波データ抽出

- 津波の襲来に伴う水位変化の時系列（津波時系列）データは、津波の特徴を解明するうえで重要
- 津波時系列データで、津波の第一波の水位が上下どちらに変化したかがわかれば、津波波源で海面の隆起・沈降どちらが起きたかを推測でき、その周期がわかれば波源域のおおよその広がりも推測できる
- 今回、複数の地点で津波の様子がライブカメラに捉えられており、これらの映像から津波時系列データが得られれば、津波の実態解明に近づけるものと期待できる

ライブカメラ映像からの津波データ抽出

- 今回利用したデータは、富山県高岡市雨晴海岸にある高岡ケーブルネットワーク所有のライブカメラ映像と、富山市岩瀬浜にあるケーブルテレビ富山のライブカメラ映像を両社の協力により入手
- 設置場所と画角については右図のとおり
- 輪島港については、[青木・他 2024, 地震 第2輯]にて、津波波形の解析を行っている

カメラ位置と推定画角

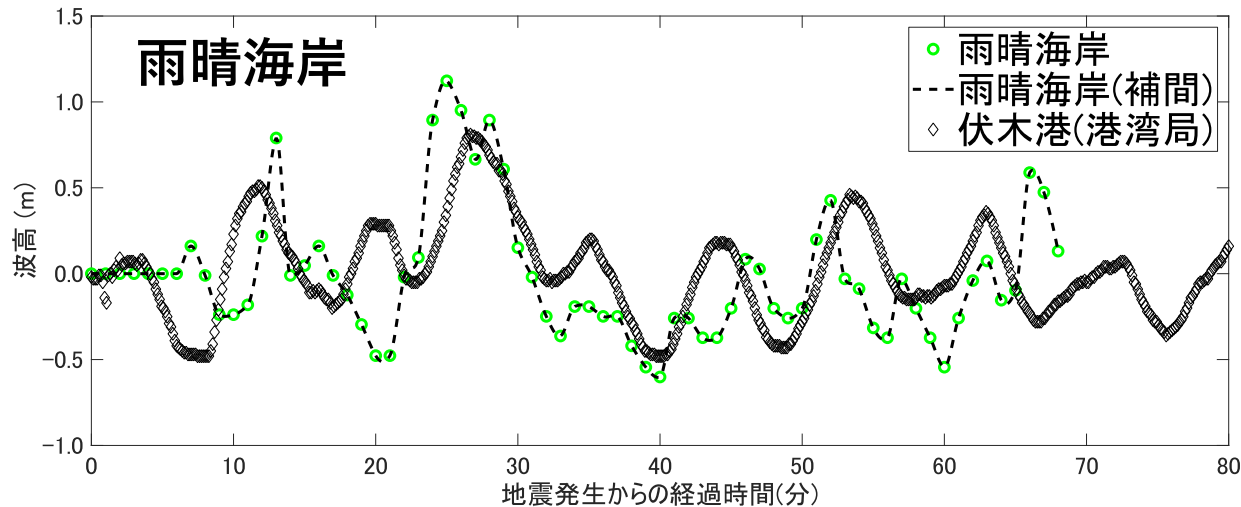


データの抽出手法

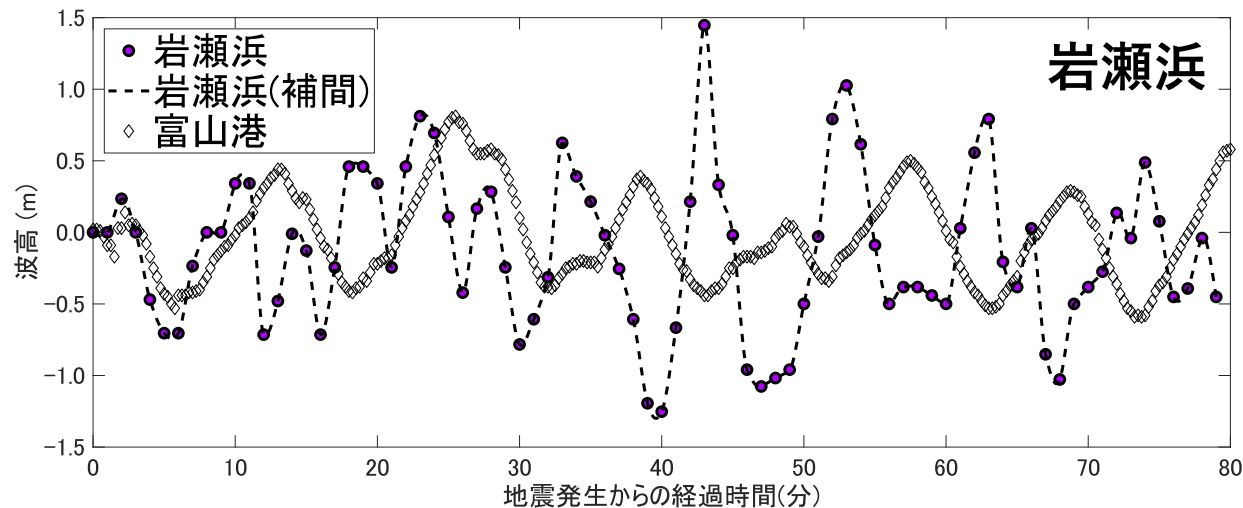
- 映像の中にターゲットを設定し、そのターゲットの高さを現地ににて測量
- 画像内のターゲットの画素数を読み取り、上記の調査結果からターゲットの1画素あたりの高さを求める
- 津波発生前の水面の画素の数字を0として、それから何画素上下したかを各時間で人の目で読み取り
- 波浪の影響が大きく、その影響を除去するため、波浪による高さの影響の少ない画像を選び解析



結果 解析した時系列データ



雨晴海岸のデータは
16:10から17:17まで解析
出来た。比較のために
その周辺にある伏木港
検潮所のデータも重ね
てプロットしている

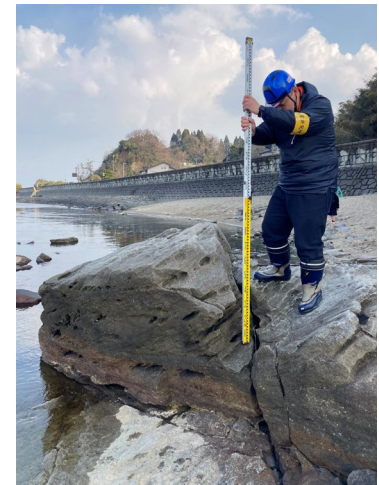


岩瀬浜のデータは
16:10から17:29まで解析
出来た。比較のために
その周辺にある富山検
潮所のデータも重ね
てプロットしている

解析結果の考察

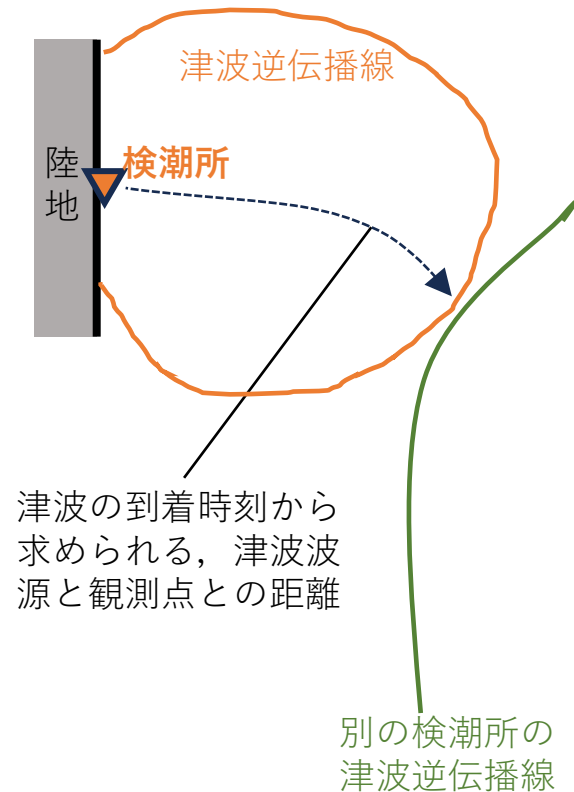
—精度・観測手法・解析手法

- 本研究での高さの分解能は約6cm 気象庁が津波観測に使用している潮位計の高さ解像度は1cm, 巨大津波計（水圧計）の解像度は0.1m
- 人間が津波の波面を読み取る作業は、現在広く研究されている深層学習による画像認識などで自動化できる可能性がある。
- Shirai+2024, Tajima+2024, Yamanaka+2024でも本研究と同様のことを別のカメラ映像を用いて行っており、概ね同様の結果を得ている。なお、手法に関しては画像の濃淡の変わり目を数値的に処理する方法で決めているものが多い。
- 今回の時系列データから求められる浸水高は、公表済みの現地調査の調査結果にも含まれている（ライブカメラ映像を証言の代替とする方法）

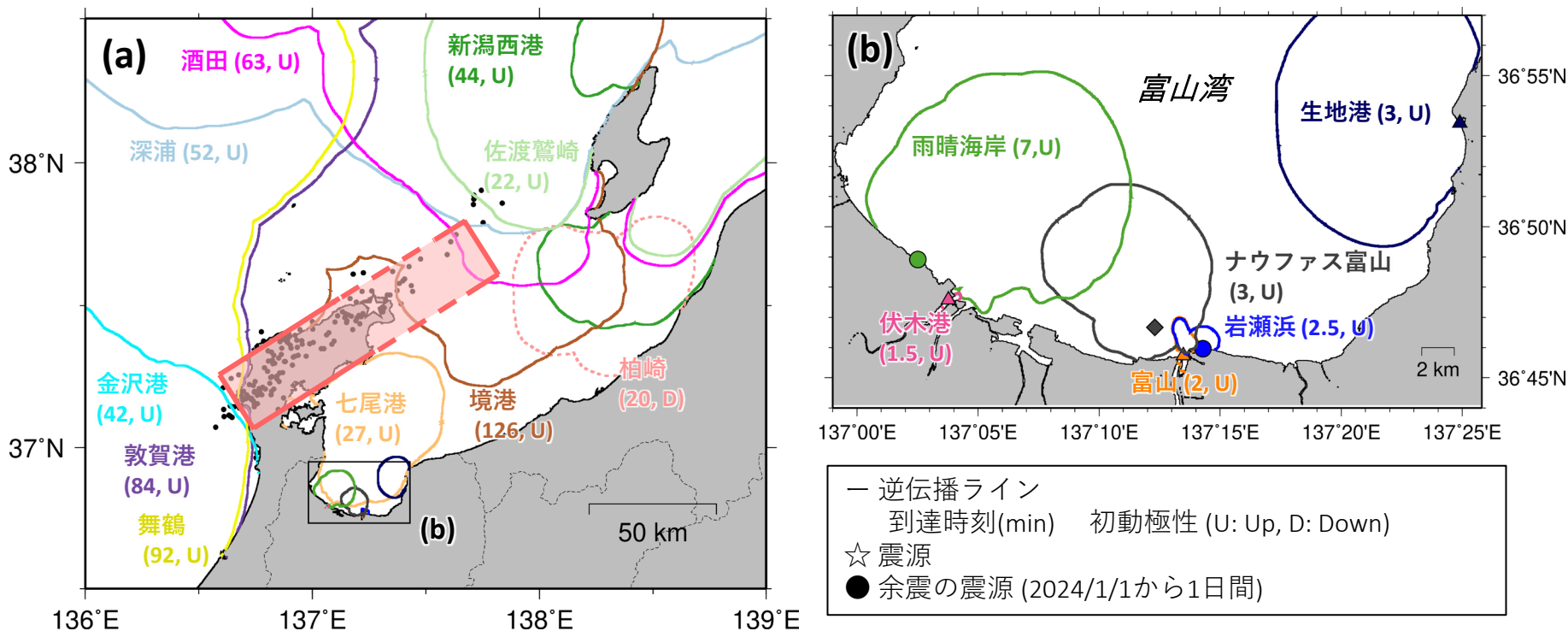


津波波源域の推定

- 気象研究所では、検潮所で観測された津波の到着時刻と、前節で行ったライブカメラ映像から抽出した津波時系列データの到着時刻から逆算して、津波の波源域の広がりを見積もることができる
- 津波が地震と同時に発生したと仮定すると、津波の伝わる速さは水深のみに依存する(線形長波理論)ため、その速度と津波の到達時刻から、検潮所からどのくらい離れた場所に津波波源があるかを見積もることができる
- また津波の発生時刻を未知とした場合でも、2つの観測点ペアの津波観測時間の時間差から、どの場所に津波波源があるかを見積もることができる(等時間差法)



津波逆伝播解析 結果



- 震源域の長さは約100kmで、能登半島沖の東北東に広がっていた
- 富山湾に別の津波波源が存在する可能性

まとめ

- 気象研究所では、令和6年能登半島地震に伴う津波の実態解明を目指して、津波現地調査、ライブカメラ映像からの津波時系列データの抽出、津波波源域の推定に取り組んだ
- 現地調査では各機関とも協力し多数の地点の現地調査結果が得られた。ライブカメラ映像からも精度の良い津波時系列データが抽出できた。これらの結果を用いた津波逆伝播解析で能登半島沖の波源を求め、等時間差法では富山湾の波源位置を明らかにした
- ライブカメラ映像を活用したデータは、これまでより空間密度が高くかつ時間変化が分かるデータであり、津波研究を進めるうえで重要な技術である
- 気象研究所で求めたこれら津波波源は海上保安庁の海底地すべり痕調査でも役立てられた
- 気象研究所では、令和6年能登半島地震の実態解明に向けた研究を継続するとともに、将来起こる地震・津波の被害軽減に向けて、引き続き研究を進めていく