

(1) 実施機関名：

気象庁

(2) 研究課題（または観測項目）名：

（和文）地震動・津波即時予測の高度化に関する研究

（英文）Research on advancement of early warnings of ground motion and tsunami

(3) 関連の深い建議の項目：

3 地震・火山噴火の災害誘因予測のための研究

(2) 地震の災害誘因の即時予測手法の高度化（重点研究）

ア. 地震動の即時予測手法

イ. 津波の即時予測手法

(4) その他関連する建議の項目：

(5) 本課題の5か年の到達目標：

地震動即時予測について、震源位置やマグニチュードによらずに行う震度予測手法の改善を進め、精度向上、迅速性・堅牢性を向上させる。そのため、新たな観測データを含めた揺れの分布（波動場）のリアルタイムモニタリング手法の検討を進め、さらに、震度だけでなく、より長周期の揺れを含めた広帯域の揺れの予測に対応する。

地震発生に伴う津波波源からの距離に応じて、波源近傍、波源からやや離れた地域、波源から遠い地域のそれぞれの予測対象について、津波即時予測の手法を効果的に改良する。

(6) 本課題の5か年計画の概要：

地震動(1) 揺れの分布（波動場）の予測手法の高度化

地震のリアルタイムの揺れの分布（波動場）を初期値とした波動伝播計算と地盤増幅特性の補正によって、震度のみならず広帯域の地震動の分布を正確かつ即時的に予測する手法を開発する。より猶予時間が長く、精度の高い地震動即時予測が可能となるよう、不均質な地震波減衰特性を波動伝播計算に取り込む技術開発を行う。

地震動(2) 揺れの分布（波動場）のリアルタイムモニタリング手法の高度化

地震動(1)を達成するため、周波数依存性を持つ地盤増幅特性の推定とそのリアルタイム補正、観測点での地震波形の時系列の特徴に基づいた地震波伝播の推定等により、幅広い帯域における地震動の分布とその伝播の様子を即時的に把握する技術開発を行う。

津波(1) 波源近傍の津波予測

地震発生に伴う津波発生場の性質の把握を通じて事前津波予測データベースの改善点を見出し、発生直後で津波の観測値がほとんど得られない段階で予測する必要がある波源近傍の即時予測手法を改良する。

津波(2) 波源からやや離れた地域の津波予測

地震発生から津波到達までの間に沖合で観測されるデータの活用技術を高め、津波波源からやや離れていて発生から到達までの時間がやや長い地域での津波の即時予測手法を改良する。

津波(3) 波源から遠い地域の津波予測

津波伝播計算において、非線形性を表現する計算手法の改良を進めるとともに、計算結果の品質を診断する手法の開発を行い、地震発生に伴う津波波源から遠い地域の津波の予測手法を改良する。

また、津波伝播計算手法の改良成果によって、津波予測データベース及び沖合で観測されるデータを活用した即時予測手法における波源近傍等の簡便な沿岸波高の予測手法と、津波の時間的推移の予測手法の改良も図る。

(7) 令和6年度の成果の概要：

・今年度の成果の概要

令和6年度について計画通り実施した。

S波より早く到達するP波を利用する仕組みをPLUM法に組み込んでPLUM法の迅速性を向上させる研究について、従来はP波検知をした後でP波相当の上下動リアルタイム震度からS波相当の震度の予測を行っていたが、P波検出処理を経ずにS波相当の震度を常時予測する手法を開発した。P波検出処理のスキップは実用化を図るうえで有利であり、手法の精緻化や予測精度の検証を進めた。

緊急地震速報に用いられているリアルタイム震度は、加速度型地震計の波形をフィルタ処理してから得るところ、速度型地震計による波形からリアルタイム震度が得られるフィルタを開発した。

観測点の品質管理の自動化を目的として、事前にデータベースを用意しなくとも地震や特徴的ノイズなどを自動で分類・抽出する教師なし機械学習の手法開発を進めた。それを応用することで、複数観測点の結果を組合わせて連続波形からテクトニック微動等を自動的に識別する試みにつながった。

地震動エネルギー分布の伝播シミュレーションに基づいた地震動即時予測の応用として、観測値から算出した地震動エンベロープを同化しつつ時間を逆転させた伝播を行うことにより、平成28年熊本地震を例に、震央周辺の面的な地震動分布を一定程度再現できることを論文に著した。

2016年の福島県沖の地震は、津波データベースが想定とは断層タイプ・走向等が異なり、感度調査からこのうち走向の違いが宮城県での津波の高さを過小評価した主な原因だと判定できる。このため、想定地震断層を追加して津波伝播計算し、その結果を津波データベースに追加収録を行ったが、その技術的背景を整理した。

2016年の福島県沖の地震津波について、沖合水圧計観測網の観測データを用いて、津波波源の推定をし、それを用いた沿岸の観測点における津波と比較した。その結果、「津波伝播過程における非線形効果は、沿岸津波波形の第一波部分では無視できる」という従来の仮定が大きく破綻する場合があることを明らかにした

2024年1月1日の能登半島地震について、日本海沿岸で観測された津波の到達時刻から逆算した津波波源域の推定結果から、能登半島を含む波源域は長さ約100 kmにわたって能登半島の東北東方向の沖合まで及ぶこと、富山検潮所の早い津波到達時刻を説明するためには富山湾内にも波源が存在した可能性を考える必要があることがわかった。

2024年1月1日の能登半島地震について、富山湾沿岸に注目して実施した津波現地調査結果の概要を整理した。気象庁機動調査班が実施した現地調査成果と同じ方法で整理し、結果をあわせて公表した。

2024年1月1日の能登半島地震について、富山湾沿岸にある放送局所有のライブカメラの映像を解析し、検潮所以外の海岸での水位時系列データの抽出に成功した。ライブカメラがリアルタイム津波観測のための機器として活用できうることを示した。

・「関連の深い建議の項目」の目的達成への貢献の状況と、「災害の軽減に貢献する」という目標に対する当該研究成果の位置づけと今後の展望

2024年1月1日の能登半島地震に関する研究成果について、令和6年1月～2月の地震調査研究推進本部地震調査委員会における能登半島地震の評価に活用された他、富山県高岡市伏木沖にも津波波源がある可能性を指摘したことについては、それを踏まえ海上保安庁による海底地形調査が実施され伏木沖の海底で海底谷の斜面崩壊が確認された。

今期は、観測データの新たな利用の仕方や不確実性をもたらし得る要因を示す等に貢献する成果を得た。気象庁の緊急地震速報や津波警報等の情報の予測精度や迅速性の向上に資する成果に進展があり、これら情報の高度化を通じて災害の軽減に貢献していく。

(8) 令和6年度の成果に関連の深いもので、令和6年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

・論文・報告書等

青木元・南雅晃・対馬弘晃・中田健嗣・桑山辰夫・山田安之・笹部忠司・大嶋健嗣, 2024, カメラ映像を用いた令和6年能登半島地震の輪島港における津波波形の推定, 地震 2, 77, 23-29, doi: 10.4294/zisin.2024-3, 査読有

Hayashi, Y., M. Kiyomoto, G. Tange, K. Noguchi, S. Harada and Y. Nishimae, 2024, Modification of the Precomputed Tsunami Database for Real-time Tsunami Forecasting by JMA: Response to the 2016 off Fukushima Earthquake by the Unexpected Mechanism, Journal of JSCE, 12(2), 24-17054, doi: 10.2208/journalofjsce.24-17054, 査読有

南雅晃・対馬弘晃・林豊, 2024, ライブカメラ映像から抽出した2024年能登半島地震の津波時系列データ, 土木学会論文集B2 (海岸工学), 80, 17, doi: 10.2208/jscej.24-17075, 査読有

小木曾仁, 2024, 地震動エネルギーの逆伝播を用いた面的震度分布の事後推定, 日本地震工学会論文集, 24, 108-118, doi: 10.5610/jaee.24.5_108, 査読有

・学会・シンポジウム等での発表

馬場俊孝・佐竹健治・P. Cummins・S. Allgeyer・齊藤竜彦・対馬弘晃・今井健太郎・山下啓・近貞直孝・南雅晃・水谷歩・加藤季広, 2024, 高性能・多機能津波計算コードJAGURSの開発, 日本地震学会2024年度秋季大会, S20-09

林豊・南雅晃・対馬弘晃・中田健嗣, 2024, 富山湾沿岸で測定した2024年能登半島地震による津波, 日本地球惑星科学連合2024年大会, U15-P74

Hayashi, Y., M. Kiyomoto, G. Tange, K. Noguchi, S. Harada and Y. Nishimae, 2024, Modification of the Precomputed Tsunami Database for JMA's Real-time Tsunami Forecast in Response to the 2016 off Fukushima Earthquake, 14th United States-Japan Natural Resources (UJNR) Panel for Earthquake Research, O-25

Hayashi, Y., M. Kiyomoto, G. Tange, K. Noguchi, S. Harada and Y. Nishimae, 2024, Modification of the pre-computed tsunami database for real-time tsunami forecasting by the JMA: Response to the 2016 off-Fukushima earthquake by the unexpected mechanism, 第71回海岸工学講演会, 54

干場充之, 2024, 速度計波形から震度をリアルタイム演算するフィルターの設計について, 日本地震学会2024年度秋季大会, S15P-17

干場充之, 2025, 速度計波形から計測震度をリアルタイム演算するフィルタの設計について, 次世代のリアルタイム監視予測システムの探求: 固体地球科学における即時解析・即時予測・情報利活用, 15

Kodera, Y., 2024, A machine learning-based classification for tectonic tremors, International Joint Workshop on Slow-to-Fast Earthquakes 2024, P148

小寺祐貴, 2024, 地震動伝播に基づく実践的な地震動即時手法の開発とその実装, 日本地震学会2024年度秋季大会, S20-07

小寺祐貴, 2024, 上下動リアルタイム震度の常時モニタリング: 波動伝播に基づく地震動即時予測の迅速化に向けて, 日本地震学会2024年度秋季大会, S15P-13

小寺祐貴, 2024, P波検出処理をせずにP波を地震動即時予測に活用する: P波PLUM法の検討, 日本地球惑星科学連合2024年大会, SCG53-P02

小寺祐貴, 2025, よりロバストなP波PLUM法の検討: 上下動リアルタイム震度の常時モニタリング, 次世代のリアルタイム監視予測システムの探求: 固体地球科学における即時解析・即時予測・情報利活用, 18

Kodera, Y., 2024, P-wave-based earthquake early warning without P-wave detection: Investigation of a P-wave-based PLUM algorithm, 14th United States-Japan Natural Resources

南雅晃・青木元・対馬弘晃・林豊・中田健嗣・桑山辰夫・山田安之・笹部忠司・大嶋健嗣, 2024, ライブカメラ映像から抽出した2024年能登半島地震の津波時系列データ ~輪島港と富山湾沿岸, 日本地震学会2024年度秋季大会, S22P-18

南雅晃・林豊・対馬弘晃, 2024, ライブカメラ映像から抽出した2024年能登半島地震の高岡市雨晴海岸における津波時系列データ, 日本地球惑星科学連合2024年大会, HDS11-11

南雅晃・対馬弘晃・林豊, 2024, ライブカメラ映像から抽出した2024年能登半島地震の津波時系列データ, 第71回海岸工学講演会, 75

小木曾仁・対馬弘晃, 2024, Feasibility study of wave gradiometry for real-time monitoring of tsunamis, 日本地球惑星科学連合2024年大会, SCG53-P06

対馬弘晃・林豊・山本剛靖, 2024, 沖合津波波形で拘束した津波波源を用いた沿岸津波波形逆解析の評価, 日本地震学会2024年度秋季大会, S17P-09

対馬弘晃・久保田達矢・齊藤竜彦, 2025, 海底水圧波形の逆解析に基づく津波即時予測手法の改良, 次世代のリアルタイム監視予測システムの探求: 固体地球科学における即時解析・即時予測・情報利活用, 19

対馬弘晃・久保田達矢・齊藤竜彦, 2024, 震源域の海底水圧記録の津波・海底永久変位・長周期地震波を活用したリアルタイム津波波源推定, 日本地震学会2024年度秋季大会, S17-12

対馬弘晃・久保田達矢・齊藤竜彦, 2024, 震源域の海底水圧記録の津波・海底永久変位・長周期地震波を活用したリアルタイム津波波源推定手法の開発, 第14回巨大津波災害に関する合同研究集会, 1

対馬弘晃・久保田達矢・齊藤竜彦, 2024, 震源域の海底水圧記録の津波・海底永久変位・長周期地震波を活用したリアルタイム津波波源推定手法の構築, 大気・海洋・固体地球の波形解剖学: 新たな海陸高密度観測に基づく高分解能イメージングと震源過程解析, S24-04

対馬弘晃・南雅晃・林豊, 2024, 沿岸津波観測記録から推定した2024年1月1日の能登半島の地震における津波の波源域, 日本地球惑星科学連合2024年大会, HDS11-12

(9) 令和6年度に実施した調査・観測や開発したソフトウェア等のメタ情報:

(10) 令和7年度実施計画の概要:

即時予測のための機械学習やアレイ解析手法の適用による揺れの特徴をとらえたりリアルタイムモニタリング手法、不均質な地下構造の推定とそれらの即時予測への反映方法、合わせてそれらが広帯域な揺れに適用可能かの調査等を通じてPLUM法的な長周期地震動予測の実現可能性、について引き続き検討を進める。

発生状況について得られる情報がごく限られる発生直後で段階において、津波波源分布の推定の不確定性が沿岸での津波の予測に及ぼす影響について検討する。

沖合の観測データを逐次的に活用して津波波源分布や波動場を推定する手法の課題について検討する。

津波数値計算における非線形性の表現を向上させるための計算手法の課題を、日本海で発生する津波を重点的に検討する。

(11) 実施機関の参加者氏名または部署等名:

気象研究所地震津波研究部

他機関との共同研究の有無: 無

(12) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署名等: 気象研究所企画室

電話：

e-mail：ngmn11ts@mri-jma.go.jp

URL：https://www.mri-jma.go.jp/

(13) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：西宮隆仁

所属：気象研究所地震津波研究部