

情報科学を活用した地震調査研究プロジェクト
(STAR-E プロジェクト)

地震データの不完全性に対応した地震活動および
それに伴う揺れの準リアルタイム時空間予測に
関する研究開発

令和7年度
成果報告書

令和8年5月

文 部 科 学 省 研 究 開 発 局
国立研究開発法人 防災科学技術研究所

本報告書は、文部科学省の科学技術試験研究委託事業による委託業務として、国立研究開発法人防災科学技術研究所が実施した令和7年度科学技術試験研究委託事業「情報科学を活用した地震調査研究プロジェクト(STAR-E プロジェクト)」「地震データの不完全性に対応した地震活動およびそれに伴う揺れの準リアルタイム時空間予測に関する研究開発」成果を取りまとめたものです。

グラビア

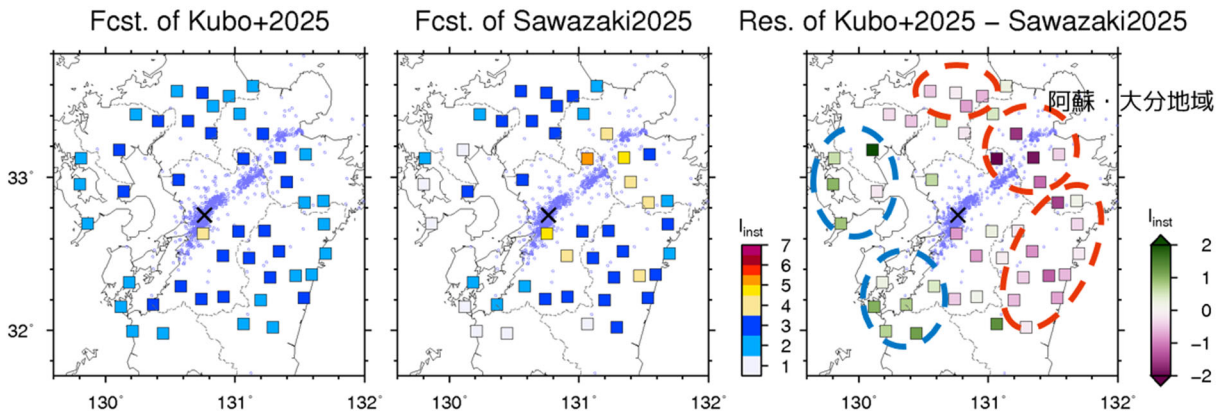
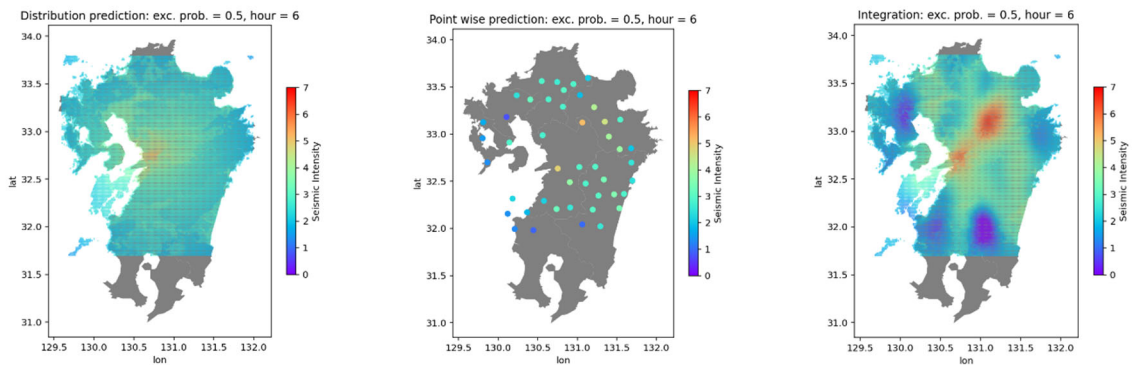


図1 2016年熊本地震本震 (M7.3) において、地震カタログ (左図) と地震動データ (中央図) に基づく予測アプローチによって推定された余震ハザードの結果。地震発生から6時間後までのデータに基づく、Hi-net 観測点における地表相当の余震ハザード (超過確率 0.5 に対応する計測震度) を示している。右図には両者の差を示す。



(a) $I^{dist}(x; h, p)$

(b) $I^{point}(x; h, p)$

(c) 提案手法

図2 2016年熊本地震本震 (M7.3) における余震ハザードの空間分布評価と地点毎の評価の統合試行の結果。(a)は地震カタログに基づく予測アプローチによる、超過確率 0.5 に対応する計測震度の空間分布。(b)は地震動データに基づく予測アプローチによる、各予測地点での超過確率 0.5 に対応する計測震度。それぞれ地震発生から6時間後までのデータを用いている。(c)はそれぞれの予測結果を、ガウス過程回帰を用いた地震動指標内挿手法で統合したもの。

はじめに

近年、IoT、ビッグデータ、AI といった情報科学分野の科学技術が著しく進展しており、国内外で地震分野への情報科学分野の技術の導入や連携が始まっている。また、令和元年5月に政府の地震調査研究推進本部で策定された、「地震調査研究の推進について―地震に関する観測、測量、調査及び研究の推進についての総合的かつ基本的な施策（第3期）―」においても、我が国の地震調査研究が今後、新たな科学技術も活用しながら、防災・減災の観点から社会に対する更なる貢献をしていくことへの期待が示された。このような背景を踏まえ、文部科学省では、情報科学の知見を採り入れた新たな地震調査研究を推進するため、令和3年度より、「情報科学を活用した地震調査研究プロジェクト（STAR-E プロジェクト※、以下「STAR-E プロジェクト」）」を開始した。STAR-E プロジェクトでは、複数の研究課題を進めることによって、革新的創造的な研究成果の創出を目指すのみならず、情報科学と地震学の両分野の研究者が参加する研究フォーラムの開催、情報交換プラットフォームの運営など、両分野の連携を促進する取組により、次世代を担う若手研究者の育成も含めた、「情報科学×地震学」分野全体の発展を目指す。

本研究課題「地震データの不完全性に対応した地震活動およびそれに伴う揺れの準リアルタイム時空間予測に関する研究開発」は、STAR-E プロジェクトが進める研究課題の一つである。これまでに膨大な地震データが観測・蓄積されてきたが、複雑な自然現象を限られた資源で観測している以上、地震データは本質的に不完全であり、それに基づく予測には限界が生じる。本研究課題では、地震データの不完全性を打破する形での大地震直後の地震活動およびそれに伴う揺れの準リアルタイム時空間予測の実現を目指し、情報科学の知見を地震観測データおよび地震学・地震工学のドメイン知と組み合わせ、各種要素技術の研究開発およびそれらをつなげた予測アプローチの確立を図る。

目次

1. 研究課題の概要	1
2. 研究成果の説明	3
(1) 業務の内容	3
(2) 令和7年度の成果	7
3. まとめ	31
4. 活動報告	33
5. むすび	35

1. 研究課題の概要

地震データの不完全性を打破する形での大地震直後の地震活動およびそれに伴う揺れの準リアルタイム時空間予測の実現を目指し、情報科学の知見を地震観測データおよび地震学・地震工学のドメイン知と組み合わせ、各種要素技術の研究開発およびそれらをつなげた予測アプローチの確立を図る。

このうち、大地震直後の地震カタログの不完全性に対応した地震活動の準リアルタイム予測に向け、サブテーマ 1-A では不完全性を予め考慮した上での地震カタログを用いた予測に関する研究開発を、サブテーマ 1-B では地震動データそのものを用いた将来に発生しうる揺れの強さの予測に関する研究開発を実施する。また観測データの機械学習に基づく新たな地震動予測アプローチの実現に向け、サブテーマ 2-A ではガウス過程回帰に基づくデータ同化による地震動の空間補間に関する研究開発を、サブテーマ 2-B では Site specific な地震動予測モデルによる地震動生成に関する研究開発を実施する。それぞれの詳細は以下の通り。

サブテーマ 1-A「不完全性を予め考慮した上での地震カタログを用いた予測に関する研究開発」

地震カタログの不完全性を考慮する予測手法 (e. g., Omi et al. 2013) について、ETAS や切断 G-R など、これまで十分に検証されていなかった地震活動モデルへの拡張可能性とその妥当性を検討するとともに、地震の空間分布情報を用いることで地震発生の時空間予測へ拡張するための手法を検討する。また従来法で考慮されていなかった 2 次余震の予測にも取り組む。さらに地震活動の予測をサブテーマ 2-A および 2-B に基づくアプローチや距離減衰式などを用いた地震動予測へとつなげることも行う。これらを過去に発生した余震活動を伴う地震活動データに適用し、性能を検証する。

サブテーマ 1-B「地震動データそのものを用いた将来に発生しうる揺れの強さの予測に関する研究開発」

連続地震動記録の区間最大値（一定時間区間ごとの最大振幅や最大計測震度などの地震動指標）に極値統計解析を施し、これらの指標の超過確率予測を行うとともに、閾値以上の揺れ（例えば有感地震相当）が生じる回数の時間予測を行う。また 2 次余震に伴う揺れも考慮した最大値予測、閾値超過数予測に関する研究を行う。大地震時のみならず、平穏時の連続地震動記録にも同様の解析を施し、閾値以上の揺れの確率や回数が「普段の何倍か」という情報を付加することを目指す。さらには観測地点での揺れの将来予測だけでなく、サブテーマ 2-A で取り組む地震動の空間補間技術も活用し、観測点の無い任意の地点（領域全体）での揺れの将来予測に拡張する技術を開発する。

サブテーマ 2-A「ガウス過程回帰に基づくデータ同化による地震動の空間補間に関する研究開発」

近傍観測点での観測データを空間補間することで波動場の再構築を行い、任意の対象地点における地震動指標の生成、および任意地点における時刻歴地震動波形そのものの

生成に挑戦する。距離減衰式などの物理モデルに基づく予測値を事前情報として、地震動指標値に関するガウス過程回帰モデルを構築し、地震時に得られた観測データに対するモデルフィッティングと内挿を行うことで、物理的手法と情報学的手法を統合した地震動指標のデータ同化手法を確立する。また、地震動の時刻歴波形生成においても、地震動波形記録のウェーブレット係数値に対して同様のアプローチによる空間内挿を行い、得られた時間周波数成分に対してウェーブレット逆変換を行うことによって、任意地点における地震動の時刻歴波形を得る手法を開発する。

サブテーマ 2-B「Site specific な地震動予測モデルによる地震動生成に関する研究開発」

個別地点における過去記録を機械学習した地震動予測モデルを用いて、その地点に特化した形でスペクトル情報および地震波形そのものを生成する Site specific な地震動生成技術の開発を行う。さらに近接する複数の観測点での情報を用いて、地震情報とサイト情報の両方をインプットとすることで、より汎用性の高いモデルを試作する。

2. 研究成果の説明

(1) 業務の内容

(a) 業務の目的

地震データの不完全性を打破する形での大地震直後の地震活動およびそれに伴う揺れの準リアルタイム時空間予測の実現を目指し、情報科学の知見を地震観測データおよび地震学・地震工学のドメイン知と組み合わせ、各種要素技術の研究開発およびそれらをつなげた予測アプローチの確立を図る。

このうち、大地震直後の地震カタログの不完全性に対応した地震活動の準リアルタイム予測に向け、サブテーマ 1-A では不完全性を予め考慮した上での地震カタログを用いた予測に関する研究開発を、サブテーマ 1-B では地震動データそのものを用いた将来に発生しうる揺れの強さの予測に関する研究開発を実施する。また観測データの機械学習に基づく新たな地震動予測アプローチの実現に向け、サブテーマ 2-A ではガウス過程回帰に基づくデータ同化による地震動の空間補間に関する研究開発を、サブテーマ 2-B では Site specific な地震動予測モデルによる地震動生成に関する研究開発を実施する。各サブテーマにおいては、大地震発生後の地震活動の時空間的な発生確率を準リアルタイムに予測するための枠組みの確立（サブテーマ 1-A）、任意地点での揺れの発生確率を大地震発生後に準リアルタイムで予測するための枠組みの確立（サブテーマ 1-B）、地震動指標や地震波形などの時系列データの空間補間を目的としたデータ同化手法の確立（サブテーマ 2-A）、スペクトル情報や地震波形などの時系列データの生成を目的とした Site specific な地震動予測技術の確立（サブテーマ 2-B）を目指す。

また研究課題全体としては、サブテーマ間で連携し、

- ・ 地震カタログに基づいた大地震発生後の地震活動およびその揺れに関する見通し情報の予測
- ・ 地震動そのものに基づいた任意地点での揺れの見通し情報の予測

という二つの予測スキームの確立を図り、実記録での検証を行う。

(b) 研究者の所属、氏名、研究実施期間、研究費等

所属機関・部局・職名	氏名	研究実施期間	配分を受けた研究費	間接経費
国立研究開発法人防災 科学技術研究所 地震津波複合災害研究 部門 主任研究員	久保 久彦	R7. 4. 1 ～ R8. 3. 31	13,700,601 円	4,110,180 円
国立研究開発法人防災 科学技術研究所 地震津波発生基礎研究 部門 部門長	汐見 勝彦	R7. 4. 1 ～ R8. 3. 31		
国立研究開発法人防災 科学技術研究所 地震津波複合災害研究 部門 主任専門研究員	澤崎 郁	R7. 4. 1 ～ R8. 3. 31		
国立研究開発法人防災 科学技術研究所 地震津波複合災害研究 部門 特別研究員	上田 拓	R7. 4. 1 ～ R8. 3. 31		
国立研究開発法人防災 科学技術研究所 地震津波複合災害研究 部門 特別研究員	上田 拓	R7. 4. 1 ～ R8. 3. 31		
国立大学法人東京科学 大学 環境・社会理工 学院准教授	宮本 崇	R7. 4. 1 ～ R8. 3. 31	3,779,390 円	11,133,817 円
国立大学法人東京大学 地震研究所 助教	山谷 里奈	R7. 4. 1 ～ R8. 3. 31	999,687 円	299,906 円

(c) 5か年の年次実施計画（過去年度は、実施業務の要約）

1) 令和3年度：

1-A においては、既存の地震活動予測システムの過去5年間の稼働状況を調査し、その予測結果の検証に着手した。1-B においては、既存の極値統計解析手法を過去データに適用し、その予測性能の検証に着手した。2-A においては、地震動指標の空間補間を目的とした、ガウス過程回帰に基づくデータ同化手法の開発に着手した。2-B においては、スペクトル情報に関する Site specific な地震動予測モデルの構築に着手した。

2) 令和4年度：

1-A においては、前年度に引き続き既存の地震活動予測システムの予測性能を検証するとともに、様々な地震活動モデルの適用とその適用の妥当性評価に着手した。1-

B においては、前年度に引き続き既存の極値統計解析手法の予測性能を検証するとともに、極値統計解析手法に通常時の地震活動の影響を反映させ、さらにパラメータの事前分布を組み込んだ定式化を行うことで、同手法の高度化を行った。2-A においては、前年度に引き続き地震動指標の空間補間手法の高度化を進めた。2-B においては、スペクトル情報に関する Site specific な地震動予測モデルの構築を進めるとともに、地震波形などの時系列データに関する Site specific な地震動予測モデルの開発に向けた基礎的検討を行った。

3) 令和 5 年度 :

1-A においては、前年度に引き続き様々な地震活動モデルの適用とその適用の妥当性評価を進めるとともに、地震活動予測を地震動予測と結びつけた予測アプローチに関して検討を行った。1-B においては、前年度に引き続き極値統計解析手法の高度化を図るとともに、2-A の地震動空間補間技術等を活用した任意地点での揺れ予測への拡張に着手した。2-A においては、地震波形などの時系列データの空間補間手法の開発を行うとともに、2-B と組み合わせた地震動予測アプローチの開発に着手した。2-B においては、前年度に引き続き地震波形などの時系列データに関する Site specific な地震動予測モデルの開発を進めるとともに、2-A と組み合わせた地震動予測アプローチの開発に着手した。

4) 令和 6 年度 :

1-A においては、前年度に引き続き高解像度な地震カタログ構築方法の検討および地震活動予測を地震動予測と結びつけた予測アプローチの開発を進めるとともに、地震活動の時空間的特徴を踏まえた予測手法の拡張に着手した。1-B においては、前年度に引き続き任意地点での揺れ予測への拡張を進めるとともに、2次余震に伴う揺れも考慮した予測手法の拡張に着手した。2-A においては、前年度に引き続き、地震波形などの時系列データの空間補間手法の高度化を進め、2-B と組み合わせた地震動予測アプローチの開発を進めた。2-B においては、前年度に引き続き、地震波形などの時系列データに関する Site specific な地震動予測モデルの高度化を行い、2-A と組み合わせた地震動予測アプローチの開発を進めるとともに、汎用的な地震動生成の技術開発に向けた基礎的検討を行った。

5) 令和 7 年度 :

1-A においては、前年度に引き続き、地震活動予測を地震動予測と結びつけた予測アプローチの予測性能の評価を行い、地震活動の時空間的特徴を踏まえた地震活動予測手法の拡張を進めた。1-B においては、前年度に引き続き、任意地点での揺れ予測への拡張を行い、2次余震に伴う揺れや最大振幅の飽和も考慮した予測手法の拡張を進めた。2-A においては、前年度に引き続き、地震波形などの時系列データの空間補間手法の高度化を行い、2-B と組み合わせた地震動予測アプローチの高度化を進めた。2-B においては、前年度に引き続き、地震波形などの時系列データに関する Site specific

な地震動予測モデルの高度化を行うとともに、2-A と組み合わせた地震動予測アプローチの高度化を行い、汎用的な地震動生成の技術開発を進めた。

(d) 令和7年度の業務の目的

サブテーマ 1-A「不完全性を予め考慮した上での地震カタログを用いた予測に関する研究開発」

前年度に引き続き、地震活動予測を地震動予測と結びつけた予測アプローチの予測性能の評価を行い、地震活動の時空間的特徴を踏まえた地震活動予測手法の拡張を進める。

サブテーマ 1-B「地震動データそのものを用いた将来に発生しうる揺れの強さの予測に関する研究開発」

前年度に引き続き、任意地点での揺れ予測への拡張を進めるとともに、2次余震に伴う揺れや最大振幅の飽和も考慮した予測手法の拡張を進める。

サブテーマ 2-A「ガウス過程回帰に基づくデータ同化による地震動の空間補間に関する研究開発」

前年度に引き続き、地震波形などの時系列データの空間補間手法の高度化を進め、2-B と組み合わせた地震動予測アプローチの高度化を進める。

サブテーマ 2-B「Site specific な地震動予測モデルによる地震動生成に関する研究開発」

前年度に引き続き、地震波形などの時系列データに関する Site specific な地震動予測モデルの高度化を行うとともに、2-A と組み合わせた地震動予測アプローチの高度化を行い、汎用的な地震動生成の技術開発を進める。

(2) 令和7年度の成果

(2-1) サブテーマ 1-A「不完全性を予め考慮した上での地震カタログを用いた予測に関する研究開発」

(a) 業務の要約

令和6年度までに研究開発を進めてきた地震カタログに基づく余震ハザード予測手法について、余震活動の空間的広がりを考慮する形へと拡張した。また、本研究課題で取り組んできた地震カタログおよび地震動データに基づく余震ハザード予測アプローチの統合に向けた基礎的検討として、両手法を同一の地震イベントに適用した結果を比較した。

現行の余震発生確率予測手法の特徴把握及び高度化に向けて、海域や海陸境界部で発生する地震のセントロイド・モーメントテンソル解（CMT 解）の高精度なカタログ整備を行うとともに、大地震発生後の短期的な自動震源カタログを用いたグーテンベルグーリヒター則（G-R 則）の b 値の様々な推定手法の再検討を実施した。

(b) 業務の成果

1) 余震活動の空間的広がりを考慮した余震ハザード予測手法への拡張

サブテーマ 1-A では、サブテーマ 2-B との連携のもと、大地震発生直後に多発する余震による地震動ハザードを地震カタログデータに基づいて評価する手法の開発を進めてきた。令和7年度は、令和6年度に開発したカーネル密度推定に基づく余震域推定手法を活用し、同手法で得られる余震活動の空間的広がりおよび空間的な発生頻度の違いに関する情報を取り込むことで、余震ハザード予測手法の改良を行った。図3に、2016年熊本地震本震（M7.3）に対し、従来手法（Kubo and Shiomi, 2025）と今回改良した手法を用いて本震発生6時間後から1日間の予測超過期待値の空間分布を評価した結果を示す。同地震では、震源断層が位置する熊本地域だけでなく、阿蘇・大分地域でも顕著な余震活動が生じていた。従来手法では、余震は初めの大地震と同じ震源位置で発生するという仮定によって、実際の余震活動の空間的広がりに対応できず、阿蘇・大分地域において過小評価となる傾向が見られていた（Kubo and Shiomi, 2025）。これに対し、改良手法では熊本地域から阿蘇・大分地域まで広がる余震域の情報を取り込むことで、従来手法と比較して阿蘇・大分地域の予測超過期待値が大きくなった一方、本震震源付近における予測超過期待値が小さくなった。観測との比較の結果、従来手法で見られた阿蘇・大分地域における過小評価が、改良手法では改善されたことが確認された。

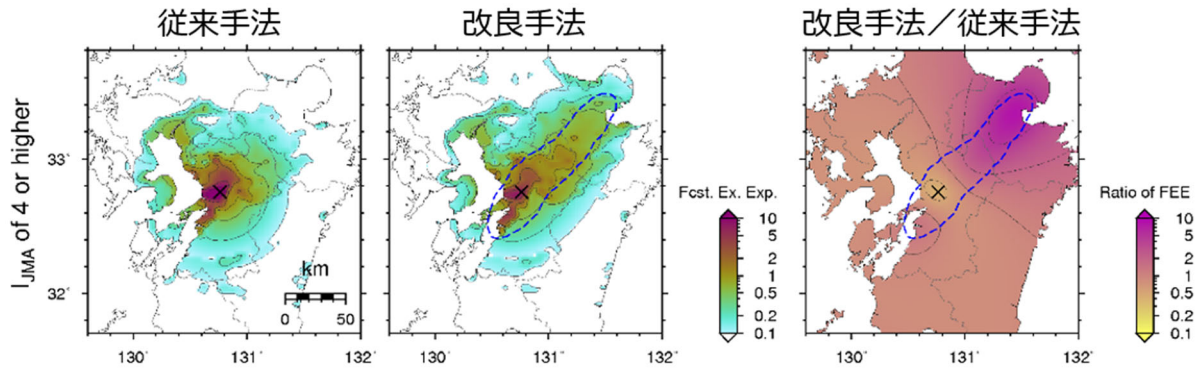


図3 2016年熊本地震本震（M7.3）への適用結果。左図および中央図に、従来手法および余震の空間的広がり考慮した改良手法による本震発生6時間後から1日間の予測超過期待値の空間分布を示す。また右図に両者の比を示す。中央図および右図の青破線は想定した余震域を示す。

2) 地震カタログおよび地震動データを用いた余震地震動ハザード予測手法の比較

本研究課題では、余震ハザード予測手法として、地震カタログに基づく予測アプローチ (Kubo and Shiomi, 2025) と地震動データに基づく予測アプローチ (Sawazaki, 2025) をそれぞれ開発してきた。これらの予測情報の統合に向けた基礎的検討として、各アプローチを同一イベントに適用し、その結果を比較した (図4)。2016年熊本地震本震 (M7.3) を対象とし、本震発生から6時間後までの観測データを用いて、Hi-netの各観測点における地表相当の余震ハザードを推定した。比較の結果、各アプローチで予測された余震ハザードには正の相関があることが確認された。予測値の差には地域依存性が見られており、そのうち阿蘇・大分地域においては地震カタログに基づくアプローチにおける余震発生位置固定の影響が強く現れていることがわかった。加えて、地震カタログに基づくアプローチにおいて低震度での過大評価が見られることや地震動データに基づくアプローチにおける地表相当値への変換に課題があることが明らかになった。

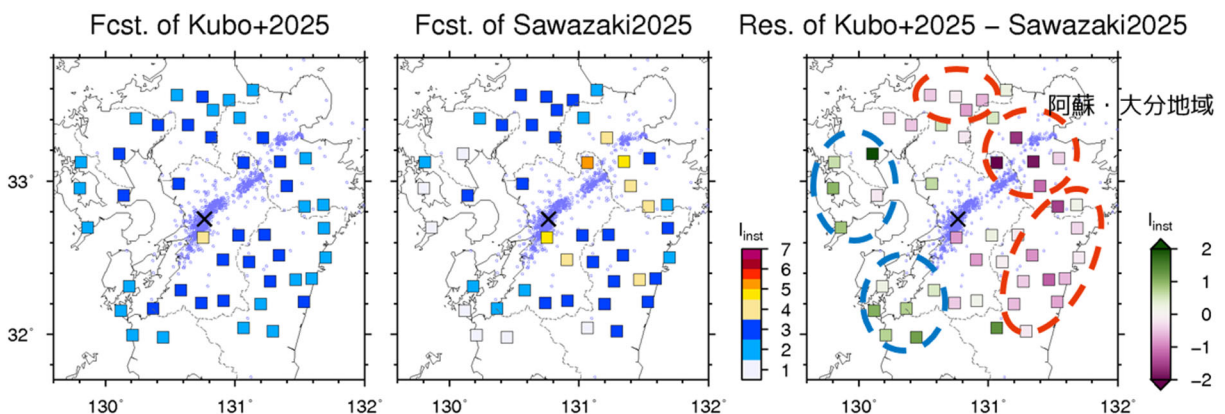


図4 2016年熊本地震本震（M7.3）発生から6時間後までのデータに基づくHi-net観測点の地表相当余震ハザード。地震カタログと地震動データに基づく予測アプローチによる超過確率0.5に対応する計測震度をそれぞれ左図と中央図に示す。右図には両者の差を示す。

3) 海域で発生する地震を対象とした CMT 解析の高度化

地震の発生位置や断層面・断層運動の方向などを示す CMT 解は、地震の発生機構の理解に広く使われている。地震の規模別発生頻度などの地震活動は地震の発震機構に依存するという報告がある (Schorlemmer et al., 2005)。一方、海域で発生する地震に対しては解の決定精度が不十分な場合がある。今年度は、東北地方太平洋沖地震の後に活動が活発化しているアウターライズ地震を対象とした解析を行った。グリーン関数の計算に三次元地下構造モデルを活用し、海域に対して高い感度を有するレイリー波に注目することで、アウターライズ地震のモーメントテンソルおよび震源深さの制約精度が向上することが明らかになった。本解析により、特に海底面から深さ 7~8 km 以浅の地震活動は低調であることを確認した (図 5)。さらに、2003 年以降に東北地方太平洋沖で発生した M3.2 以上の地震を対象に高精度な CMT 解を推定した。三次元地下構造モデルを用いてグリーン関数を計算し、陸域の広帯域観測網 F-net の波形データを解析することで、東北地方太平洋沖地震発生の前後を含む高精度な CMT 解カタログの構築を進めた。

さらに、陸海境界部で発生した 2024 年能登半島地震について、M3.2 以上の余震に関する三次元地下構造モデルを用いた CMT 解析を行い、地震活動の特徴の把握に取り組んだ。特に海域で発生した余震については、陸域観測網のみのデータを使用したにもかかわらず海底地震計の臨時観測データを用いた結果と整合的な震源深さ分布を得た。推定した CMT 解や圧縮軸の空間分布から、能登半島地震における複雑な余震分布を明らかにし、その成果を国際誌に発表した (Yamaya et al., 2025)。

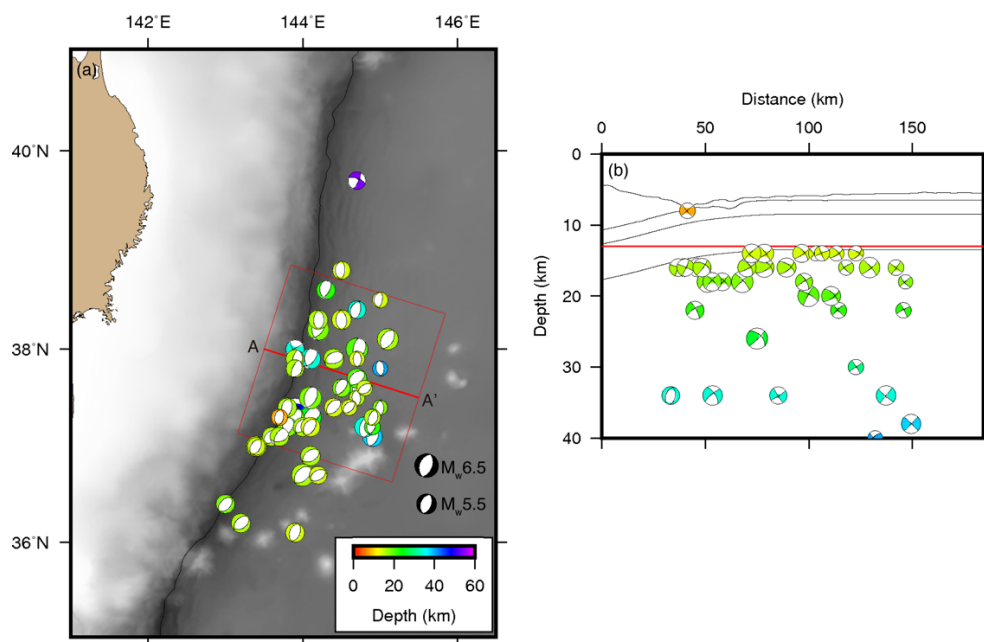


図 5 アウターライズ地震に関する CMT 解推定結果の (a) 水平分布と (b) 断面図。断面の位置及び投影範囲は(a)に赤線で示す。

4) G-R 則の b 値の推定手法の再検討

大地震後の、特に規模の大きな余震発生確率予測において、G-R 則の b 値を正確に推定することが重要である。令和 7 年度は、大地震後の地震カタログの不完全性を考慮した余

震発生確率予測の現行手法 (Omi et al., 2019) と、同じく不完全性への適応が期待される b-positive 法 (van der Elst, 2021) で各余震系列の b 値を推定し、比較した (図 6)。2つの手法での結果は概ね整合的であるものの、2016 年熊本地震本震の余震系列等において大きな違いが見られた。また、合成データを用いた検証によって、b-positive 法は b 値を過小評価する傾向があり、安定的な推定には十分な地震数が必要であることを確認した。現行手法は、比較的少ない地震数で安定的に推定できるものの、b 値が 1 より大きい合成データにおいて、過小評価する傾向があることが明らかになった。

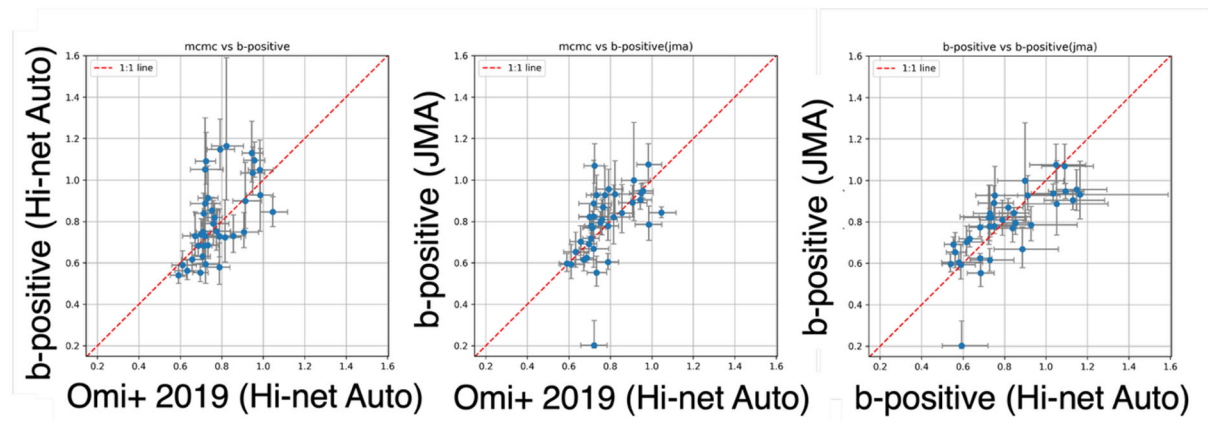


図 6 各余震系列に対して、現行手法 (Omi et al., 2019) と b-positive 法で推定した b 値の比較図。

(c) 結論ならびに今後の課題

地震カタログに基づく余震地震動ハザード予測手法に、余震活動の空間的広がりを考慮する改良を行った。また、本研究課題で研究開発を進めている二つの余震ハザード予測アプローチに関して実地震を対象とした予測結果の比較を行った。以上により、今年度の目標は達成された。

東北地方太平洋沖で発生した地震に対し、三次元地下構造モデルを用いることで高精度な CMT 解カタログを構築した。能登半島地震の余震については、同モデルを用いて海陸統合的な解析を実施し、複雑な余震分布を明らかにした。今後、本カタログを活用することで地震活動に対する発震機構の依存性解明を目指す。さらに、余震発生確率予測における G-R 則の b 値の推定に対し、従来法と b-positive 法との比較、検討を行った。

今後は、引き続き現行手法の特徴の把握および課題の抽出を行い、地震活動モデルの高度化を進めるとともに、震源域および余震域の準リアルタイム推定技術のさらなる研究開発、2次余震や異なる地震発生域をまたいで余震が発生する状況、海溝型巨大地震への対応など、予測スキーム自体の高度化に取り組んでいく必要がある。

(d) 成果の論文発表・口頭発表等

1) 学会等における口頭・ポスター発表 : 計 13 件、うち海外計 3 件

発表した成果（発表題目、口頭・ポスター発表の別）	発表者氏名	発表した場所（学会等名）	発表した時期	国内・外の別	主たる成果
Strain rate field estimation in Southeastern Europe for evaluation of relationship with seismicity (ポスター発表)	Taku Ueda, Anne Socquet, Marianne Métois, Tomohisa Okazaki, Takuya Nishimura	日本地球惑星科学連合2025年大会(主催:日本地球惑星科学連合)	2025年5月28日	国内	○
震源及び構造パラメータが海洋性レイリー波に与える影響の評価 (口頭発表)	山谷 里奈	日本地球惑星科学連合2025年大会(主催:日本地球惑星科学連合)	2025年5月30日	国内	○
Improvement of Centroid Moment Tensor Inversion for outer-rise earthquakes in the Japan Trench based on 3-D seismic velocity structure model (口頭発表)	Lina Yamaya	Catalyst: Seeding workshop to advance collaborative research on the structure, seismicity and hazard of subduction zones in Japan and New Zealand	2025年7月16日	国外	○
Comparison of b-value estimation methods for real-time aftershock forecasting (ポスター発表)	Taku Ueda, Hisahiko Kubo, Katsuhiko Shiomi	International Joint Workshop on Slow-to-Fast Earthquakes 2025 (主催:「Slow-to-Fast地震学」)	2025年9月25日	国内	○
地震カタログおよび地震動データを用いた余震地震動ハザー	久保 久彦, 澤崎 郁, 宮本 崇,	日本地震学会2025年度秋季大会 (主催:日本地震学会)	2025年10月20日	国内	○

ド予測手法の比較（口頭発表）	汐見 勝彦, 上田 拓, 山谷 里奈				
日本でのリアルタイム余震予測におけるGR則のb値の推定手法の比較（ポスター発表）	上田 拓, 久保 久彦, 汐見 勝彦	日本地震学会2025年度秋季大会（主催：日本地震学会）	2025年10月20日	国内	○
山口県北部の群発地震に伴う傾斜変動による変動源推定（ポスター発表）	上田 拓, 木村 武志, 及川 元己	日本測地学会第144回講演会（主催：日本測地学会）	2025年10月30日	国内	○
Toward Short-Term Assessment of Aftershock Ground-Motion Hazards in Japan: Developing Approaches in the STAR-E Project（口頭発表）	Hisahiko Kubo	International Workshop on Interdisciplinary Research of Information Science and Seismology	2025年11月25日	国内	○
地震カタログに基づく余震地震動ハザードの早期評価方法の開発とその改良（口頭発表）	久保 久彦, 汐見 勝彦	日本地震工学会・大会－2025（主催：日本地震工学会）	2025年12月10日	国内	○
Forecasting Aftershock Ground-Motion Hazards based on Short-term Earthquake Occurrence Probability Information after a Large Earthquake（ポスター発表）	Hisahiko Kubo, Katsuhiko Shiomi	AGU25（主催：American Geophysical Union）	2025年12月15日	国外	○
Comparison of b-value estimation methods for real-time aftershock	Taku Ueda, Hisahiko Kubo, Katsuhiko	AGU25（主催：American Geophysical Union）	2025年12月15日	国外	○

forecasting in Japan (ポスター発表)	Shiomi				
日本でのリアルタイム余震予測におけるGR則のb値の推定手法の比較 (口頭発表)	上田 拓, 久保 久彦, 汐見 勝彦	東京大学地震研究所共同利用研究集会2025「地震のリアルタイムモニタリングと即時予測情報の活用」(主催:東京大学地震研究所)	2026年1月9日	国内	○
地震カタログに基づく余震地震動ハザード評価における余震空間分布の考慮 (口頭発表)	久保 久彦, 汐見 勝彦	東京大学地震研究所共同利用研究集会2025「地震のリアルタイムモニタリングと即時予測情報の活用」(主催:東京大学地震研究所)	2026年1月9日	国内	○

2) 学会誌・雑誌等における論文掲載 : 計2件、うち国外計2件

掲載した論文（発表題目）	発表者氏名	発表した場所（学会誌・雑誌等名）	発表した時期	国内・外の別	主たる成果
Aftershock characteristics of the 2024 Noto Peninsula earthquake (Mw7.5) through centroid moment tensor analysis using a 3-D seismic velocity structure model	Lina Yamaya, Hisahiko Kubo, Katsuhiko Shiomi, Takeshi Kimura	Earth, Planets, and Space	2025年5月16日	国外	○
Short-Term Forecasting of Aftershock Ground-Motion Hazards Within a Few Hours After a Large Earthquake in Japan	Hisahiko Kubo, Katsuhiko Shiomi	Seismological Research Letters	2025年8月13日	国外	○

(e) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定
なし

(2-2)サブテーマ 1-B「地震動データそのものを用いた将来に発生しうる揺れの強さの予測に関する研究開発」

(a) 業務の要約

これまでは、余震による揺れの予測手法を、連続観測記録である Hi-net に適用してきた。しかし、Hi-net は地中での観測記録であるため、地表における震度へ換算する必要がある。R7 年度は、Hi-net に併設された KiK-net で観測された最大加速度 (PGA) の地表/地中比 (オフセット値) と、PGA と震度の変換式を用いて、地中における PGA の超過確率を地表における震度の超過確率へと変換した。その結果、観測点ごとのオフセット値を反映した地表震度の予測が可能となった。一方で、観測点によってはオフセット値がマグニチュードや震央距離に強く依存するなど、単一の定数として扱うことが適切でない場合があることも明らかとなった。さらに、大地震直後の余震に伴う高周波エネルギーの輻射量について過去統計を分析した結果、本震に対する余震の積算エネルギー輻射量の比が大きい場合には、本震と同程度以上の規模の地震が発生しやすい傾向があることが示された。

(b) 業務の成果

1) 地表/地中オフセット値を用いた地表換算震度の予測

九州地域の Hi-net に併設された KiK-net 観測点を対象に、地表/地中の PGA 比 (オフセット値) を算出し、その値を Hi-net の記録に適用することで、熊本地震の余震による地表震度の予測を行った。オフセット値の算出には、2000 年から 2023 年までに発生した震源距離 100 km 以内の地震を用いた。ただし、対象イベント数が数十に満たない場合には、必要数が得られるまで震源距離 100-200 km、200-500 km、500 km 以上の地震も含めた。得られたオフセット値について対数平均を算出し、これを平均オフセット値として、各観測点における地中 PGA から地表 PGA への変換係数として用いた。さらに、大井他 (2002) の式を修正した次式

$$I_{conv} = 2.3 \log_{10} PGA - 0.44 \quad (1)$$

を用いて換算震度 I_{conv} を計算した。なお、(1) 式は、大井他 (2002) では水平動 2 成分合成 PGA を用いているのに対し、本研究では 3 成分合成値を使用していることを考慮し、補正を行ったものである。

図 7 に、2016 年熊本地震後の N. TYNH 観測点における地表換算加速度の 1 分間区間最大振幅を示す。Hi-net は速度記録であるため、機器特性の補正後に微分することで加速度に変換した。また、本震時の大振幅により機械的な飽和が生じた区間については、KiK-net の加速度記録で補完した。N. TYNH 観測点での平均オフセット値は 5.2 倍であった。そのため、地中における本震時の PGA が約 200cm/s^2 であるのに対し、地表換算では約 1000cm/s^2 となり、震度 6 強に相当する値が得られた。

本震発生から 1 時間後までに得られたデータを用いて推定した 1 日後までの地表換算最大震度の予測中央値と、実際に 1 日以内に観測された地表換算最大震度との比較を図 8 に示す。本震の震央近傍および大分地方の観測点では、発生後 1 日以内の最大震度の予測値を概ね 5 程度と推定しており、実際に予測に近い換算震度が記録されている。他の観測点においても予測精度は概ね良好である。ただし、換算震度は Hi-net 記録か

ら推定した地表震度であり、実際に地表で観測された震度とは必ずしも一致しない点に留意する必要がある。

本研究では平均オフセット値を用いて換算震度を算出したが、実際にはオフセット値は地震ごとにばらつく。特に、マグニチュードが大きく、震央距離が長い地震ほどオフセット値が小さくなる傾向が見られる（図9）。これは、地震波形が低周波成分に富む場合、地盤浅部における増幅効果が小さくなるためと考えられる。さらに、大振幅時に非線形応答が生じる場合にも、減衰の影響により増幅効果が低下すると考えられる。今後、オフセット値を地震波形の卓越周波数および振幅の関数としてモデル化することで、より高精度な地表換算震度の推定が可能になると期待される。

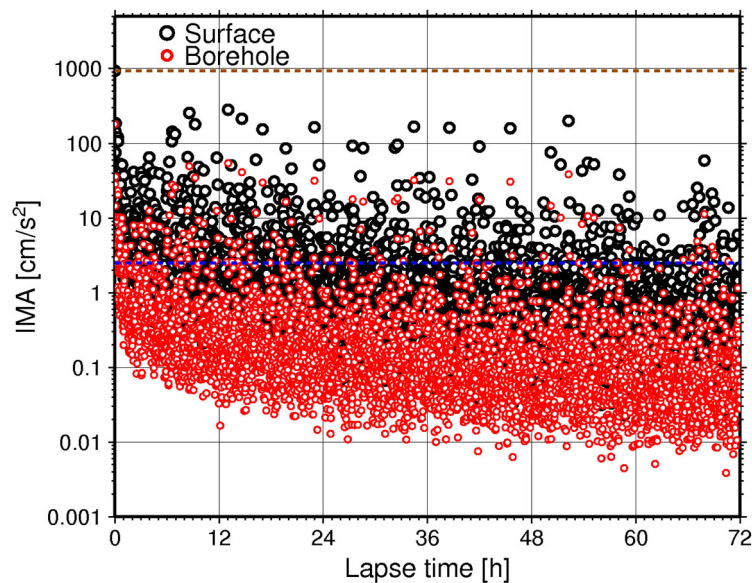


図7 Hi-net N.TYNH (KiK-net KMMH14) 観測点における、2016年熊本地震後の地中加速度値の区間最大振幅（赤丸）と、オフセット値により地表加速度へ換算した区間最大振幅（黒丸）。

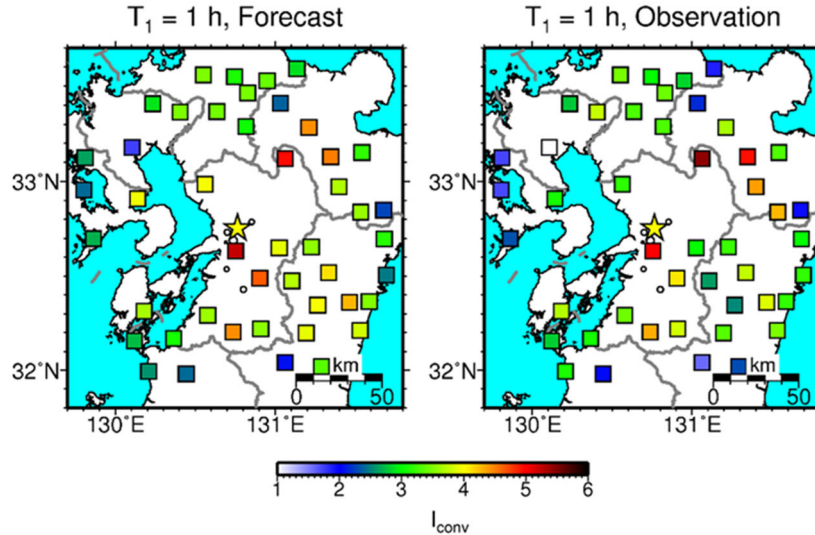


図8 熊本地震発生後1時間のデータを用いて推定した、1日以内の地表換算最大震度の予測中央値(左)と、実際の地表換算最大震度(右)。星印は熊本地震の震央を、黒丸は気象庁一元化震源による地震発生後1時間以内の震央分布を示す。

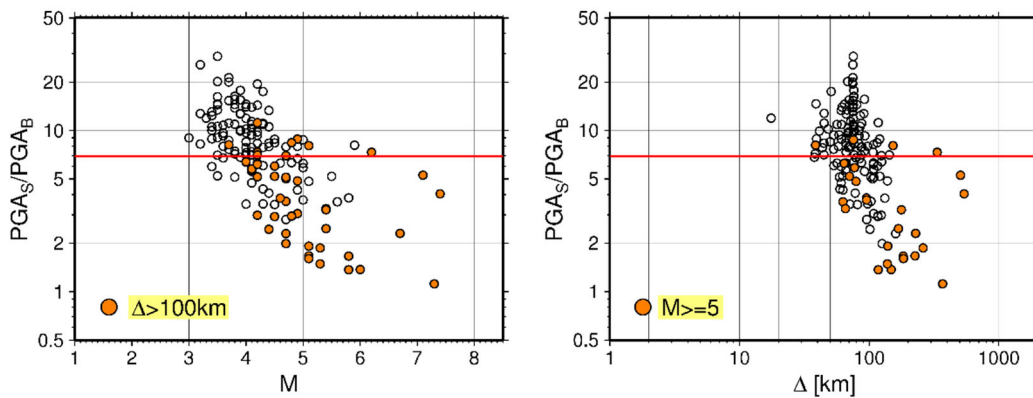


図9 KiK-net MYZH06 観測点における、地表/地中PGA比のマグニチュード依存性(左)および震央距離依存性(右)。赤線は平均オフセット値を表す。

2) 本震と余震の高周波エネルギー放射量比の過去統計

余震による積算エネルギーと本震のエネルギーとの比は、余震活動の相対的な活発さを示す指標とされている(宇津, 2001)。本研究では、Sawazaki et al. (2016) によるエンベロープインバージョン法を用いて、29の本震-余震系列を対象に、4-20 Hz帯域における余震/本震のエネルギー放射量比(以下、エネルギー比)を算出し、その特徴を調査した。

解析の結果、エネルギー比の上位4例は以下のとおりとなった:

1. 2004年新潟県中越地震(M6.8、エネルギー比1.46。3年後に新潟県中越沖地震が発生)
2. 2016年熊本地震の最大前震(M6.5、エネルギー比0.60。約1.2日後に本震が発生)

3. 2023 年奥能登地震 (M6.5、エネルギー比 0.42。約 8 か月後に能登半島地震が発生)
4. 2011 年東北地方太平洋沖地震の最大前震 (M7.3、エネルギー比 0.13。約 2.1 日後に本震が発生)

なお、熊本地震および東北地方太平洋沖地震の最大前震については本震発生直前まで、それ以外の系列については本震後 10 日間の積算エネルギー輻射量を用いている。これら 4 例ではエネルギー比が 0.1 を超えており、いずれも本震と同程度以上の規模の地震が 3 年以内に発生している。

一方、残りの 25 例のうち地殻内地震 12 例については、本震近傍で 3 年以内に発生した最大地震のマグニチュードは、本震よりも 0.8 以上小さかった。以上の結果から、特に地殻内地震において、本震の規模に対して余震活動が相対的に活発な場合には、本震と同程度以上の地震が数年以内に発生する可能性が高いことが示唆される。

(c) 結論ならびに今後の課題

今年度は、地中に設置されている Hi-net の記録に対し、併設された KiK-net 記録の地表／地中 PGA オフセット値を適用することで、地表換算震度を予測する手法を開発した。予測された地表震度は、Hi-net 記録から換算した震度に概ね一致した。しかし、観測点によっては特に低周波数帯においてオフセット値が小さく、定数として与えることには限界があることも明らかとなった。今後は、オフセット値を周波数および振幅の関数として与えることで、この問題を改善することが期待される。また、本震に対する余震の積算エネルギー輻射量比が約 0.1 を超える場合、特に地殻内地震においては、本震と同程度以上の地震が数年以内に発生した事例が多いことも確認された。

(d) 成果の論文発表・口頭発表等

1) 学会等における口頭・ポスター発表 : 計 5 件、うち海外計 0 件

発表した成果 (発表題目、口頭・ポスター発表の別)	発表者氏名	発表した場所 (学会等名)	発表した時期	国内・外の別	主たる成果
Hi-net 最大速度と KiK-net 最大速度の比較 (口頭発表)	久保 久彦, 澤崎 郁, 汐見 勝彦	日本地球惑星科学連合2025年大会(主催:日本地球惑星科学連合)	2025年5月30日	国内	○
Hi-net 連続地震動記録から推定した余震による地表最大震度の予測 (口頭発表)	澤崎 郁, 久保 久彦	日本地震学会2025年度秋季大会 (主催:日本地震学会)	2025年10月20日	国内	○
地震カタログおよび地震動データを用いた余震地震動ハザー	久保 久彦, 澤崎 郁, 宮本 崇,	日本地震学会2025年度秋季大会 (主催:日本地震学会)	2025年10月20日	国内	

ド予測手法の比較（口頭発表）	汐見 勝彦, 上田 拓, 山谷 里奈				
Forecasting Aftershock-Induced Ground Shaking Using Continuous Seismograms and Extreme Value Analysis（ポスター発表）	Kaoru Sawazaki	International Workshop on Interdisciplinary Research of Information Science and Seismology (IWIRISS 2025)	2025年11月25日	国内	○
大地震直後からの余震による高周波エネルギー輻射量推移の過去統計（口頭発表）	澤崎 郁	ISM STAR-E2025年度研究集会	2026年3月16日	国内	○

2) 学会誌・雑誌等における論文掲載

なし

(e) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

なし

(2-3)サブテーマ 2-A「ガウス過程回帰に基づくデータ同化による地震動の空間補間に関する研究開発」

(a) 業務の要約

地震動の時刻歴波形を空間的に内挿補間する統計的手法の検討において、前年度に続き震源ごく近傍などの外挿範囲での推定精度の向上に取り組んだ。地震動波形のウェーブレット係数を距離減衰式とガウス過程回帰モデルで内挿するという枠組みの中に、震源距離に基づいて各地点間のS波到達時刻を揃える手法を導入し、ウェーブレット係数の補間における到達時刻の遅れの影響を除することに成功した。また、本業務で開発した内挿技術をサブテーマ 1-A および 2-B の成果として創出される余震ハザード評価結果に適用し、空間解像度と精度の両者に優れた統合的な余震ハザード評価の可能性を示した。

(b) 業務の成果

一般に、地震動波形のような振動データは位相成分に由来してデータ間の加算処理による統計処理が難しいことから、時刻歴データの内挿問題を、本業務では地震動波形のウェーブレット変換を通じてウェーブレット係数の内挿問題、すなわちスカラー値の内挿問題に置き換えた手法を提案している。令和7年度は、令和6年度までに開発した枠組みの中に、震源距離の違いに由来するS波到達時刻の差異を補正する手法の定式化を行った。

ある地震動波形 $f(t)$ を、次式から算出されるウェーブレット係数 $c_{a,b}$ へと変換する。

$$c_{a,b} = \int |a|^{-\frac{1}{2}} f(t) \Psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt$$

ここで、 a, b はそれぞれスケール、シフトと呼ばれるパラメータであり、 $\Psi(t)$ はマザーウェーブレットである。 $c_{a,b}$ は、時間周波数領域において a に応じた周波数帯、 b に応じた時刻帯での $f(t)$ の強度を示したスカラー値と解釈できる。そこで、今 N 地点の観測地震動波形が得られている場合に、対応する N 個のウェーブレット係数 $\mathbf{C}_{a,b} = \{c_{a,b}^1, \dots, c_{a,b}^N\}$ と各観測地点の位置座標 $\mathbf{X} = \{\mathbf{x}^1, \dots, \mathbf{x}^N\}$ から、 $c_{a,b}$ に関する距離減衰式 $\mu(d(\mathbf{x}))$ とガウス過程回帰モデル $R_{a,b}(\mathbf{x})$ を構築する。

$$R_{a,b}(\mathbf{x}) = GP(\mu(d(\mathbf{x})), k(\mathbf{x}, \mathbf{x}'); \mathbf{C}_{a,b}, \mathbf{X})$$

ここで、 $d(\mathbf{x})$ は位置座標 \mathbf{x} の震源距離である。上式は、ある時間周波数領域における地震動波形の強度をまず距離減衰式によって平均的に評価した後、近傍の観測点データを用いて実測値とこの平均的な評価値との差分を補正する処理を意味している。このように決定された各 a, b に対するガウス過程回帰モデル $R_{a,b}(\mathbf{x})$ を用いて得られる、任意の座標におけるウェーブレット係数を逆変換することによってその座標地点における地震動を求める。

上記の手法においては、各地震動波形の開始時刻が揃っていなければウェーブレット係数（すなわち時間周波数特性）の精確な空間分布特性を評価することが難しかった。そこで、特に工学上重要なS波の開始時刻を揃えてその時間周波数特性の空間分布特性を評価することを目的として、波形全体の累積パワーが一定の割合を超過した時刻をS波の開始時刻として波形の時刻を補正する手法を導入し、その効果を検証した。

令和5年5月11日に発生した千葉県南部の地震記録を用いて、上記の処理が提案手法

による波形再現の精度に与える影響を比較した結果を表 1 に示す。比較は、同地震による千葉県内の KiK-net 観測点 8 地点中のある 1 地点の地中波形を他の観測波形から再現する試行によって行った。波形の再現精度は工学利用の観点から応答スペクトルの SMAPE 誤差で評価しており、補正無・補正有は S 波開始時刻の補正の有無を表している。表においては、8 地点中 5 地点では波形の再現精度が向上したものの、残る 3 地点では同程度、もしくは明確に再現精度が低下する結果となった。これは図 10 に示すように、波形の累積パワーによる波形の開始位置の補正が、狙いとしていた S 波速度の開始時刻を揃えることに必ずしも成功していないことに起因しており、より高度な S 波ピック手法などへと変更する余地が課題として残された。

表 1 波形開始位置の補正が波形の再現精度に与える影響、令和 5 年 5 月 11 日千葉県南部の地震による KiK-net 8 観測点における検証を行い、補正によって誤差が低減したものを赤字で強調している。

観測点	応答スペクトル SMAPE (%)	
	補正無	補正有
CHBH06	18.28	17.7
CHBH10	10.40	6.9
CHBH11	4.25	9.7
CHBH13	29.3	29.5
CHBH16	11.7	10.5
CHBH17	7.6	8.1
CHBH19	14.9	11.0
CHBH20	27.4	26.0

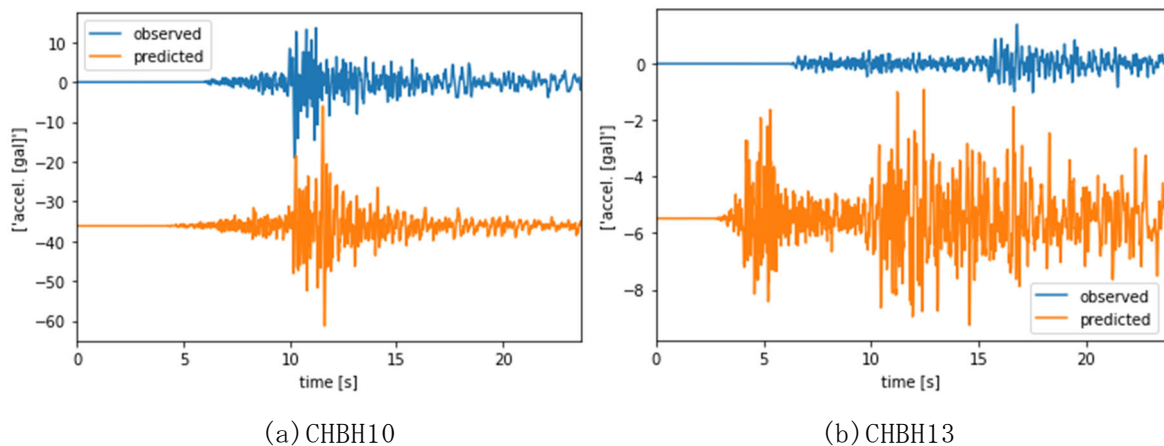


図 10 波形の累積パワーによる時刻歴補正の結果。(a)においては S 波開始時刻を揃えることに成功している一方で、(b)では失敗している。

また、本業務を通して得られた知見であるガウス過程回帰によるデータの内挿手法を用いて、サブテーマ 1-A から得られる観測地点毎の余震ハザード評価の評価結果 $I^{point}(x; h, p)$ 、

およびサブテーマ 2-B から得られる余震ハザードの空間分布評価結果 $I^{dist}(x; h, p)$ の統合を行った。ここで、 $I(x; h, p)$ は地点 x において本震から h 時間後の超過確率 p 相当の震度を表している。統合は、 $I^{point}(x; h, p)$ を評価している地点における $I^{point}(x; h, p)$ と $I^{dist}(x; h, p)$ との差分を学習したガウス過程回帰モデルによって、 $I^{dist}(x; h, p)$ を補正することによって行った。

図 11 に、2016 年 4 月 16 日の熊本地震本震から 6 時間後の超過確率 0.5 に対応する震度分布を評価した結果を示す。提案手法による評価結果である (c) では、広範囲の余震ハザードを高密度に評価した (a) の結果をベースに、(b) に示されるように観測点の詳細な情報を反映した余震ハザード結果が得られている地点の付近ではその評価値に整合するように補正されており、提案手法による空間解像度と精度の両者に優れた統合的な余震ハザード評価の可能性が示唆される結果を得た。

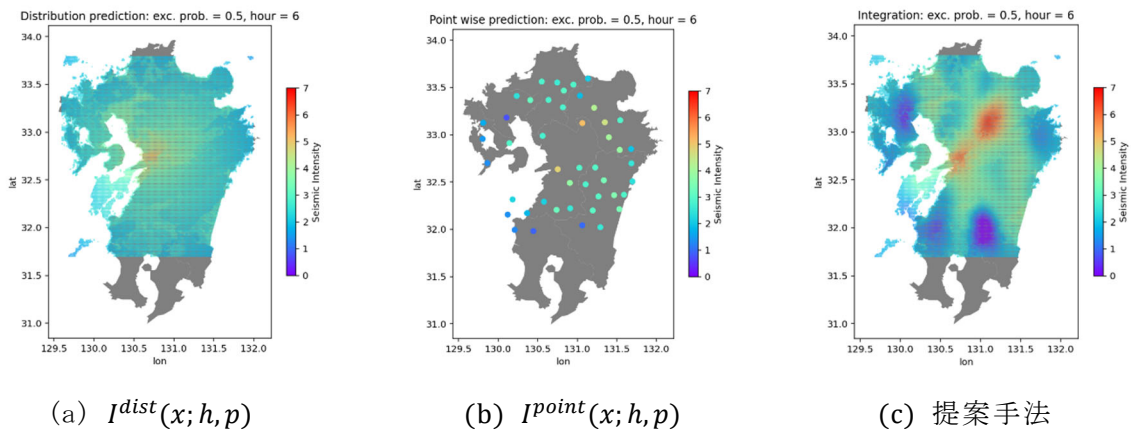


図 11 余震ハザードの空間分布評価と地点毎の評価の統合

(c) 結論ならびに今後の課題

ウェーブレット係数の距離減衰式とガウス過程回帰による地震動波形の内挿推定手法に対し、波形の開始時刻を補正する手法の導入を行った。S 波開始時刻を揃える意図の操作を行ったもののその精度には課題が残り、AI を用いたより高度な S 波ピック手法などの活用による解決が見込まれる。また、サブテーマ 1-A および 2-B と連携し、観測地点毎の余震ハザード評価結果と空間分布の評価結果を統合する試行を行い、空間解像度と精度の両者に優れた統合的な余震ハザード評価の可能性が示唆される結果を得ることができた。

(d) 成果の論文発表・口頭発表等

1) 学会等における口頭・ポスター発表 : 計3件、うち海外計1件

発表した成果（発表 題目、口頭・ポスター 発表の別）	発表者氏名	発表した場所 （学会等名）	発表した 時期	国内・ 外の別	主たる 成果
地震研究における大規模言語モデル活用の挑戦（口頭発表）	久保 久彦, Wu Stephen, 加納 将行, 加藤 慎也, 小穴 温子, 岡崎 智久, 岡田 望海, 亀 伸樹, 小寺 祐貴, 佐藤 大祐, 椎名 高裕, 下條 賢梧, 溜淵 功史, 直井 誠, 西山 竜一, 平原 和朗, 宮本 崇, 山田 真澄	日本地球惑星科学 連合2025年大会 （主催：日本地球 惑星科学連合）	2025年5 月26日	国内	
地震研究における大規模言語モデルハッカソン（口頭発表）	久保 久彦, Wu Stephen, 加納 将行, 加藤 慎也, 小穴 温子, 岡崎 智久, 岡田 望海, 亀 伸樹, 小寺 祐貴, 佐藤 大祐, 椎名 高裕, 下條 賢梧, 溜淵 功史, 直井 誠, 西山 竜一, 平原 和朗,	2025年度人工知能 学会全国大会（第 39回）（主催：人工 知能学会）	2025年5 月28日	国内	

	宮本 崇, 山田 真澄				
Reconstruction of Seismic Wave Fields by Combining Physically-Based and Data-Driven Regression of Time-Frequency Characteristics (ポスター発表)	Takashi Miyamoto, Hisahiko Kubo	AGU25 (主催: American Geophysical Union)	2025年12月15日	国外	○

2) 学会誌・雑誌等における論文掲載 : 計1件、うち海外計0件

掲載した論文(発表題目)	発表者氏名	発表した場所(学会誌・雑誌等名)	発表した時期	国内・外の別	主たる成果
地震研究における大規模言語モデルハッカソン, 2025年度人工知能学会全国大会	久保 久彦, Wu Stephen, 加納 将行, 加藤 慎也, 小穴 温子, 岡崎 智久, 岡田 望海, 亀 伸樹, 小寺 祐貴, 佐藤 大祐, 椎名 高裕, 下條 賢梧, 溜渕 功史, 直井 誠, 西山 竜一, 平原 和朗, 宮本 崇, 山田 真澄	人工知能学会全国大会論文集	2025年7月1日	国内	

(e) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定
なし

(2-4)サブテーマ 2-B 「Site specific な地震動予測モデルによる地震動生成に関する研究開発」

(a) 業務の要約

地震波形に関する Site specific な地震動予測手法の研究開発を行い、単点観測点のデータのみを学習したモデル・一定地域内のデータを学習したモデル・日本全国のデータを学習したモデルを構築し、それらによる地震動生成に関して評価を実施した。また、サブテーマ 2-A との連携のもと、Site specific 地震動予測による観測点ごとの予測情報をガウス過程回帰によって空間補間する手法を開発した。さらに、マルチモーダル大規模言語モデルを用いた地震被害写真に基づく震度推定について、その可能性を検証した。

(b) 業務の成果

1) 地震波形に関する Site specific な地震動予測手法の開発

サブテーマ 2-B では、単独観測点の地震動記録に機械学習を適用し、その地点での予測に特化した Site specific な地震動予測モデルの作成を試みている。令和 7 年度は地震波形に対する Site specific な地震動予測に関する研究開発を行った。

ここでは、地震波形の生成モデルの一つである Florez et al. (2022) による Conditional Wasserstein Generative Adversarial Network モデルを用いた。元モデルは、マグニチュード・震源距離・表層 30m 平均 S 波速度 (V_{s30}) を条件ラベルとして地震波形を生成している。今回は、複数観測点における地震動記録を学習しつつ、個別の観測点に特化した予測を実現するため、マグニチュード・震源距離・観測点コードを条件ラベルとした。観測点コードは One-hot ベクトルを用いてモデルに組み込んだ。学習データとしては、2021 年までに K-NET 観測点における地震動記録 (P 波理論走時から 50 秒間の三成分加速度波形) を用いた。モデル構築にあたっては、以下のように学習データが異なる三つのモデルを作成した: K-NET つくばの記録 (2,021 イベント) のみを学習したモデル (モデル①)、茨城県内の K-NET 観測点 (計 19 観測点) の記録 (38,723 イベント) を学習したモデル (モデル②)、全 K-NET 観測点 (計 1038 観測点) の記録 (217,994 イベント) を学習したモデル (モデル③)。構築した各モデルの地震動生成について、2022 年以降に発生した 10 イベントにおける K-NET つくばの観測記録を用いて評価した。

評価の結果、三成分合成最大加速度および計測震度の RMSE は、いずれもモデル②が最も小さい結果となった。モデル①では、生成される加速度波形の振幅が類似した値となる傾向が見られた。本来は地震規模や震源距離に応じて振幅は大きく変わるが、学習データ数の少なさにより、モデル①は振幅と条件ラベルの関係を十分に学習することができなかったと考えられる。モデル③では一部のイベントにおいて振幅が過小評価となる傾向が見られた。これに対して、モデル②では顕著な偏りは認められなかった。また、いずれのモデルにおいては生成された地震波形には P 波および S 波に対応する波群が再現されており、その到達時刻差は震源距離に対応することを確認した。他方で、波形の形状はイベントやモデルで異なっており、波形のみからモデルの優劣を一概に評価することはできなかった。

2) Site specific 地震動予測とガウス過程回帰による空間補間の統合手法の開発

サブテーマ 2-B の Site specific な地震動予測とサブテーマ 2-A の地震動空間補間を組み合わせた地震動予測アプローチの開発を行った。具体的には、まず対象とする観測点の地震動記録のみを学習した Site specific 地震動予測モデルを観測点ごとに用意した。そして、Site specific 地震動予測モデルによる地点ごとの予測値と、経験式である地震動予測式による面的な予測値に対して、サブテーマ 2-A で開発してきたガウス過程回帰による空間補間を適用した。同手法を熊本県内の K-NET・KiK-net 観測点による実観測データに適用したところ、各地点での Site specific モデルによる予測情報に整合した面的予測分布を取得することができた。

3) マルチモーダル大規模言語モデルを用いた地震被害写真に基づく震度推定の試み

大災害が発生した際には、発災直後から SNS 等を通じて現地の被害状況を示す写真や動画が大量に発信される。マルチモーダル大規模言語モデルを用いて、これらの地震被害写真から震度階級を推定することについて検証を行った。その結果、写真 1 枚の場合、マルチモーダル大規模言語モデルは概ね被害状況を正しく認識し、それに基づく推定も妥当なものであった。推定された震度階級はその約半数が観測値の±1 階級以内に収まった一方で、1 枚の写真がとらえることができる被害が全体の一部に限られるなどの要因により、全体として推定される震度階級が過小評価となる傾向も見られた。また近傍地点で撮影された複数枚の写真を用いることで、過小評価が改善されたケースを確認できたものの、震度 7 の判定には課題が残る結果となった。

(c) 結論ならびに今後の課題

地震波形に関する Site specific な地震動予測手法の研究開発を行ったところ、単点観測点のデータのみでの学習ではデータ数が不十分であること、また日本全国のデータを用いるよりも一定地域内のデータを用いた方が当該地域内の観測点においてより高精度な予測が可能であることが示された。また、Site specific 地震動予測とガウス過程回帰による空間補間の統合手法を開発し、各地点での予測情報を保持しつつ、それに整合的な面的予測分布を取得することができることを示した。さらに、マルチモーダル大規模言語モデルを用いた地震被害写真に基づく震度推定について検証を行い、複数枚の写真を用いることで推定精度が向上する一方で、震度 7 の判定には課題が残ることが示された。

(d) 成果の論文発表・口頭発表等

1) 学会等における口頭・ポスター発表 : 計 11 件、うち海外計 1 件

発表した成果（発表 題目、口頭・ポスタ ー発表の別）	発表者氏名	発表した場所 （学会等名）	発表した 時期	国内・ 外の別	主 たる 成 果
地震研究における大規模言語モデル活用の挑戦（口頭発表）	久保 久彦, Wu Stephen, 加納 将行, 加藤 慎也, 小穴 温子, 岡崎 智久, 岡田 望海, 亀 伸樹, 小寺 祐貴, 佐藤 大祐, 椎名 高裕, 下條 賢梧, 溜瀧 功史, 直井 誠, 西山 竜一, 平原 和朗, 宮本 崇, 山田 真澄	日本地球惑星科学 連合2025年大会(主 催:日本地球惑星科 学連合)	2025年5 月26日	国内	○
グラフベース非線形次元圧縮を用いたリアルタイム震度時系列の予測の試み（口頭発表）	久保 久彦, 宮本 崇	日本地球惑星科学 連合2025年大会(主 催:日本地球惑星科 学連合)	2025年5 月29日	国内	○
Hi-net最大速度とKiK-net最大速度の比較（口頭発表）	久保 久彦, 澤崎 郁, 汐見 勝彦	日本地球惑星科学 連合2025年大会(主 催:日本地球惑星科 学連合)	2025年5 月30日	国内	
地震研究における大規模言語モデルハッカソン（口頭発表）	久保 久彦, Wu Stephen, 加納 将行, 加藤 慎也, 小穴 温子, 岡崎 智久, 岡田 望海,	2025年度人工知能 学会全国大会(第39 回)（主催:人工知 能学会)	2025年5 月28日	国内	○

	亀 伸樹, 小寺 祐貴, 佐藤 大祐, 椎名 高裕, 下條 賢梧, 溜瀧 功史, 直井 誠, 西山 竜一, 平原 和朗, 宮本 崇, 山田 真澄				
Hi-net連続地震動記録から推定した余震による地表最大震度の予測（口頭発表）	澤崎 郁, 久保 久彦	日本地震学会2025年度秋季大会（主催：日本地震学会）	2025年10月20日	国内	
地震カタログおよび地震動データを用いた余震地震動ハザード予測手法の比較（口頭発表）	久保 久彦, 澤崎 郁, 宮本 崇, 汐見 勝彦, 上田 拓, 山谷 里奈	日本地震学会2025年度秋季大会（主催：日本地震学会）	2025年10月20日	国内	
マルチモーダル大規模言語モデルを用いた被害写真に基づく震度推定の試み（ポスター発表）	久保 久彦	日本地震学会2025年度秋季大会（主催：日本地震学会）	2025年10月21日	国内	○
Toward Short-Term Assessment of Aftershock Ground-Motion Hazards in Japan: Developing Approaches in the STAR-E Project（口頭発表）	Hisahiko Kubo	International Workshop on Interdisciplinary Research of Information Science and Seismology	2025年11月25日	国内	
地震カタログに基づく余震地震動ハザードの早期評価方法の開発とその改良（口	久保 久彦, 汐見 勝彦	日本地震工学会・大会－2025（主催：日本地震工学会）	2025年12月10日	国内	

頭発表)					
Forecasting Aftershock Ground- Motion Hazards based on Short- term Earthquake Occurrence Probability Information after a Large Earthquake (ポスター発表)	Hisahiko Kubo, Katsuhiko Shiomi	AGU25 (主催: American Geophysical Union)	2025年12 月15日	国外	
地震カタログに基づ く余震地震動ハザ ード評価における余震 空間分布の考慮(口 頭発表)	久保 久彦, 汐見 勝彦	東京大学地震研究 所共同利用研究集 会2025「地震のリア ルタイムモニタリ ングと即時予測情 報の活用」(主催: 東京大学地震研究 所)	2026年1 月9日	国内	○

2) 学会誌・雑誌等における論文掲載 : 計3件、うち海外計1件

掲載した論文(発表 題目)	発表者氏名	発表した場所 (学会誌・雑誌等 名)	発表した 時期	国内・ 外の別	主たる 成果
地震研究における大 規模言語モデルハッ カソン, 2025年度 人工知能学会全国大 会	久保 久彦, Wu Stephen, 加納 将行, 加藤 慎也, 小穴 温子, 岡崎 智久, 岡田 望海, 亀 伸樹, 小寺 祐貴, 佐藤 大祐, 椎名 高裕, 下條 賢梧, 溜淵 功史, 直井 誠, 西山 竜一,	人工知能学会全国 大会論文集	2025年7 月1日	国内	○

	平原 和朗, 宮本 崇, 山田 真澄				
Short-Term Forecasting of Aftershock Ground- Motion Hazards Within a Few Hours After a Large Earthquake in Japan	Hisahiko Kubo, Katsuhiko Shiomi	Seismological Research Letters	2025年8 月13日	国外	
令和6年能登半島地 震による長周期地震 動の特徴	久保 久彦, 山谷 里奈	日本地震工学会論 文集	2025年11 月28日	国内	○

(e) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定
なし

3. まとめ

令和7年度は研究計画に沿った研究開発を着実に進め、地震カタログに基づく余震地震動ハザード評価手法の高度化、極値統計解析を用いた地震計記録に基づく最大振幅予測法の高度化、地震動時刻歴波形の空間補間アルゴリズムの高度化、地震波形に関する Site specific な地震動予測手法の開発、地震カタログおよび地震動データに基づく余震ハザード予測アプローチの同一イベントにおける比較および統合の試み等を行った。以下に各サブテーマの成果の概要を示す。

サブテーマ 1-A「不完全性を予め考慮した上での地震カタログを用いた予測に関する研究開発」

これまでに研究開発を進めてきた地震カタログに基づく余震ハザード予測手法について、余震活動の空間的広がりやを考慮する形へと拡張した。また、サブテーマ 1-A で取り組んできた地震カタログに基づく余震ハザード予測アプローチと、サブテーマ 1-B で取り組んできた地震動データに基づく余震ハザード予測アプローチの統合に向けた基礎的検討として、両手法を同一の地震イベントに適用した結果を比較した。さらに、海域や海陸境界部で発生する地震のセントロイド・モーメントテンソル解の高精度なカタログ整備を行うとともに、大地震発生後の短期的な自動震源カタログを用いたグーテンベルグーリヒター則の b 値の様々な推定手法の再検討を実施した。

サブテーマ 1-B「地震動データそのものを用いた将来に発生しうる揺れの強さの予測に関する研究開発」

地表／地中 PGA オフセット値を用いた地表換算震度の予測手法を開発した上で、その妥当性を実記録で検証し、オフセット値を単一の定数として扱うことの限界と改善方法を検討した。さらに、大地震直後の余震に伴う高周波エネルギーの輻射量について過去統計を分析した。

サブテーマ 2-A「ガウス過程回帰に基づくデータ同化による地震動の空間補間に関する研究開発」

地震動時刻歴波形の空間的な内挿補間に関して、地震動波形のウェーブレット係数を距離減衰式とガウス過程回帰モデルで内挿するという枠組みの中に、震源距離に基づいて各地点間の S 波到達時刻を揃える手法を導入し、ウェーブレット係数の補間における到達時刻の遅れの影響を除することに成功した。また、サブテーマ 2-A で開発した内挿技術をサブテーマ 1-A および 2-B の成果として創出される余震ハザード評価結果に適用し、空間解像度と精度の両者に優れた統合的な余震ハザード評価の可能性を示した。

サブテーマ 2-B「Site specific な地震動予測モデルによる地震動生成に関する研究開発」

地震波形に関する Site specific な地震動予測手法の研究開発を行い、単点観測点のデータのみを学習したモデル・一定地域のデータを学習したモデル・日本全国のデータを学習したモデルを構築し、それらによる地震動生成に関して評価を実施した。また、

サブテーマ 2-A との連携のもと、Site specific 地震動予測による観測点ごとの予測情報をガウス過程回帰によって空間補間する手法を開発した。さらに、マルチモーダル大規模言語モデルを用いた地震被害写真に基づく震度推定について、その可能性を検証した。

以上のように、令和 7 年度は、本研究課題の研究目標である大地震直後の地震活動およびそれに伴う揺れの準リアルタイム時空間予測に必要な各種要素技術の研究開発をサブテーマ毎およびサブテーマ連携の上で進め、それぞれで十分な研究成果を得ることができたと考える。

4. 活動報告

(1) 研究課題内ミーティング

(a) 令和7年度第1回ミーティング

日時：令和7年6月17日 11:00—12:00

会議形式：オンライン

議事：

- ・情報共有
- ・各サブテーマの進捗報告

(b) 令和6年度第2回ミーティング

日時：令和8年3月31日 15:00—16:00

会議形式：オンライン

議事：

- ・情報共有
- ・今後に関して

(2) 研究課題内拡大ミーティング

(a) 令和6年度第1回拡大ミーティング

日時：令和8年3月30日 13:00—14:30

会議形式：オンライン

議事：

- ・研究成果説明および質疑応答

(b) 令和6年度第2回拡大ミーティング

日時：令和8年3月31日 11:00—12:15

会議形式：オンライン

議事：

- ・研究成果説明および質疑応答

(2) STAR-E プロジェクト全体

(a) 地震・測地データ活用アイデアコンテスト2025

最終審査会日時：令和6年8月23日 13:00—18:00

最終審査会会議形式：ハイブリッド（対面・オンライン）

(b) 研究成果報告会

日時：令和7年11月18日 13:00—18:00

会議形式：ハイブリッド（対面・オンライン）

(c) 研究フォーラム

日時：令和8年3月3日 15:00—18:35

会議形式：オンライン

5. むすび

令和3年度から5年計画で開始された情報科学を活用した地震調査研究プロジェクト（STAR-E プロジェクト）の研究課題「地震データの不完全性に対応した地震活動およびそれに伴う揺れの準リアルタイム時空間予測に関する研究開発」では、大地震直後の余震地震動ハザード情報作成に向けて、地震カタログに基づくアプローチと地震動データに基づくアプローチの両面で研究開発を進めた。各アプローチについて、ハザード評価スキームの確立および実記録を用いた有効性の確認を達成した。また、両アプローチの統合に向けた基礎的な検討を行い、試験的に情報統合を実施した。これらにより「短期的余震ハザード予測」の研究分野を大きく進展させることができた。さらに、沖合地震の高精度 CMT 解カタログの作成、ベイズ推定の導入・揺れの飽和の補正などの極値統計解析手法の高度化、ガウス過程回帰を用いた地震動指標・地震動波形の空間補間手法の開発、およびハイブリッドアプローチに基づく Site specific な地震動予測モデルの開発などの研究成果を挙げた。今後は各手法のさらなる高度化を図るとともに、海溝型巨大地震への展開・研究成果の社会実装への取り組みを進めていく所存である。