

なぜ M9 級カムチャツカ巨大地震は 73 年で繰り返し発生したのか

1952 年にマグニチュード (M) 9 級の超巨大地震が起きたカムチャツカ半島沖で今年 7 月、再び M9 級の地震が発生しました。地震学の常識を覆す発生間隔の短さの謎を解明するため、その破壊過程を精密に解析し、巨大地震が古典的な地震サイクルモデルでは説明が困難な挙動をしていることを示しました。

2025 年 7 月、ロシア・カムチャツカ半島沖でマグニチュード (M) 8.8~8.9 の超巨大地震が発生しました。この地震は、1952 年に起きた M9.0 級巨大地震とほぼ同じ場所を再び破壊したにもかかわらず、その発生間隔はわずか 73 年と異例の短さであり、地震学の常識を大きく揺るがすものでした。

本研究では、筑波大学が独自に開発した「Potency Density Tensor Inversion (PDTI)」という解析手法を用い、2025 年カムチャツカ地震の破壊過程を推定しました。

その結果、73 年間で蓄積されたすべり遅れ (約 6 m) を大きく超える 9~12 m の大すべりが広い範囲で発生していたこと、さらに大すべり域の内部で断層すべりが 2 度加速していたことが明らかになりました。この 2 度の加速が生じた領域では、地震後にプレート収束方向とは逆向きの低角正断層型の余震が、プレート境界付近に集中して発生していることもわかりました。これは、本震時にオーバーシュート (断層すべりの行き過ぎ) が発生し、断層をずらす力が反転する現象が発生したことを示唆します。これらから本研究チームは、1952 年の地震で解消されずに残った古いひずみに、1952 年以降のひずみが加わって蓄積され、それが 2025 年の地震でほぼ解放されたと結論づけました。

本研究は、破壊物理の違いなどにより、巨大地震後に残留するひずみの量には大きな違いが生じ、結果として巨大地震の周期が乱れ、再来間隔が規則的でなくなることを明らかにしました。現実の巨大地震は、古典的な地震サイクルモデルでは説明が難しい複雑な挙動を示すということであり、南海トラフを含む世界の沈み込み帯で実施されている長期地震予測モデルに重大な示唆を与えるものです。

研究代表者

筑波大学生命環境系

八木 勇治 教授

京都大学防災研究所

深畠 幸俊 教授

海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所 津波高潮研究グループ

高川 智博 グループ長

東北大学災害科学国際研究所

遠田 晋次 教授



研究の背景

日本列島周辺をはじめとするプレートの沈み込み帯では、沈み込む海洋プレートが上盤のプレートに部分的に固着することでひずみが蓄積し、巨大地震によってそれが解放されることを周期的に繰り返すと考えられてきました。この「地震サイクル」モデルは、南海トラフや北米大西洋岸のカスカディアなど、世界各地の沈み込み帯における長期地震予測の基盤となっています。しかし実際には、巨大地震の再来間隔には大きなばらつきがあり、同じ領域で短期間に再びマグニチュード (M) 9級の地震が起きる理由は十分に説明されていません。特にカムチャツカ半島沖では、1952年のM9級地震からわずか73年後の2025年7月にやはりM9級の巨大地震が発生し、従来のモデルでは理解できない「異常に短い再来」となりました。本研究では、この謎を解明するため、最新の地震波解析手法を用いて2025年カムチャツカ地震の破壊過程を詳細に調べました。

研究内容と成果

本研究では、2025年7月29日にロシア・カムチャツカ半島沖で発生したM8.8～8.9の巨大地震について、国際地震観測網のデータと筑波大学が開発した最新の地震波解析手法「ポテンシー密度テンソルインバージョン法^{注1)} (Potency Density Tensor Inversion、PDTI)」を用い、その破壊過程を詳細に解析しました。PDTIは、地震波形情報から、断層の形状やすべりの大きさ、時間発展を高精度で推定できる手法で、断層形状や地下構造の不確かさを考慮しながら破壊過程を安定して求められるのが特徴です。

解析の結果、2025年の地震は1952年のM9級地震とほぼ同じ約500kmの範囲を破壊していたことが明らかになりました。特に震源域南西側の広域で9～12mを超える大すべりが起きたと推定され、1952年以降のプレート収束量（約6m）を大きく上回っていたことがわかりました。

大すべり領域では、同じ場所で2度のすべり加速が起きる特異な現象が確認されました。さらに、大すべり域では、本震直後にプレート境界に沿って低角の正断層型余震が複数発生していることも確認されました。このような現象は、本震時に断層すべりが大きくなりすぎた（オーバーシュート^{注2)}）ことによって、断層をずらすように作用していた力の向きが反転したことを示唆します。周辺では、プレート境界に沿って水平方向のずれを示す余震も観測されました。これらの観測事実は、2025年の地震が、その領域に蓄積していたひずみをほぼ完全に解放したことを示します。

加えて本研究では、1952年と2025年の津波記録の比較解析も行いました。1952年のアナログ記録をデジタル化した津波波形と2025年の最新データを比較すると、発生後約1時間までの初期津波形が類似していることがわかりました。これは両地震の主要な津波生成域がほぼ同じであったことを意味します。また、2025年の地震で推定されたすべり分布を津波源としてシミュレーションを行ったところ、津波波形を再現することに成功しました。さらに、1952年地震のカムチャツカ半島周辺の浸水記録を説明する断層モデルの大すべり域は、2025年地震の大すべり域とほぼ一致していることがわかりました。

これらの結果を総合すると、2025年地震は1952年地震で解放しきれずに残っていた古いひずみと、その後73年間に新たに蓄積したひずみを、まとめて解放したと考えられます。本研究の結果は、巨大地震は毎回同じ量のひずみを解消するとは限らず、ひずみの残り方やオーバーシュートなどが、再来間隔を大きく変動させることを示しています。

今後の展開

本研究の成果は、地震学だけでなく巨大地震や津波の長期予測全体に大きな影響を与えるものです。今回の結果は、過去に起こった巨大地震のすべり履歴から将来の巨大地震の発生時期を予測する時間予測

モデルのような古典的な地震サイクルモデルが現実の巨大地震に必ずしも適合しないことを示しています。こうした不都合な事実を踏まえた上で、巨大地震の長期予測に取り組んでいく必要があります。

参考図

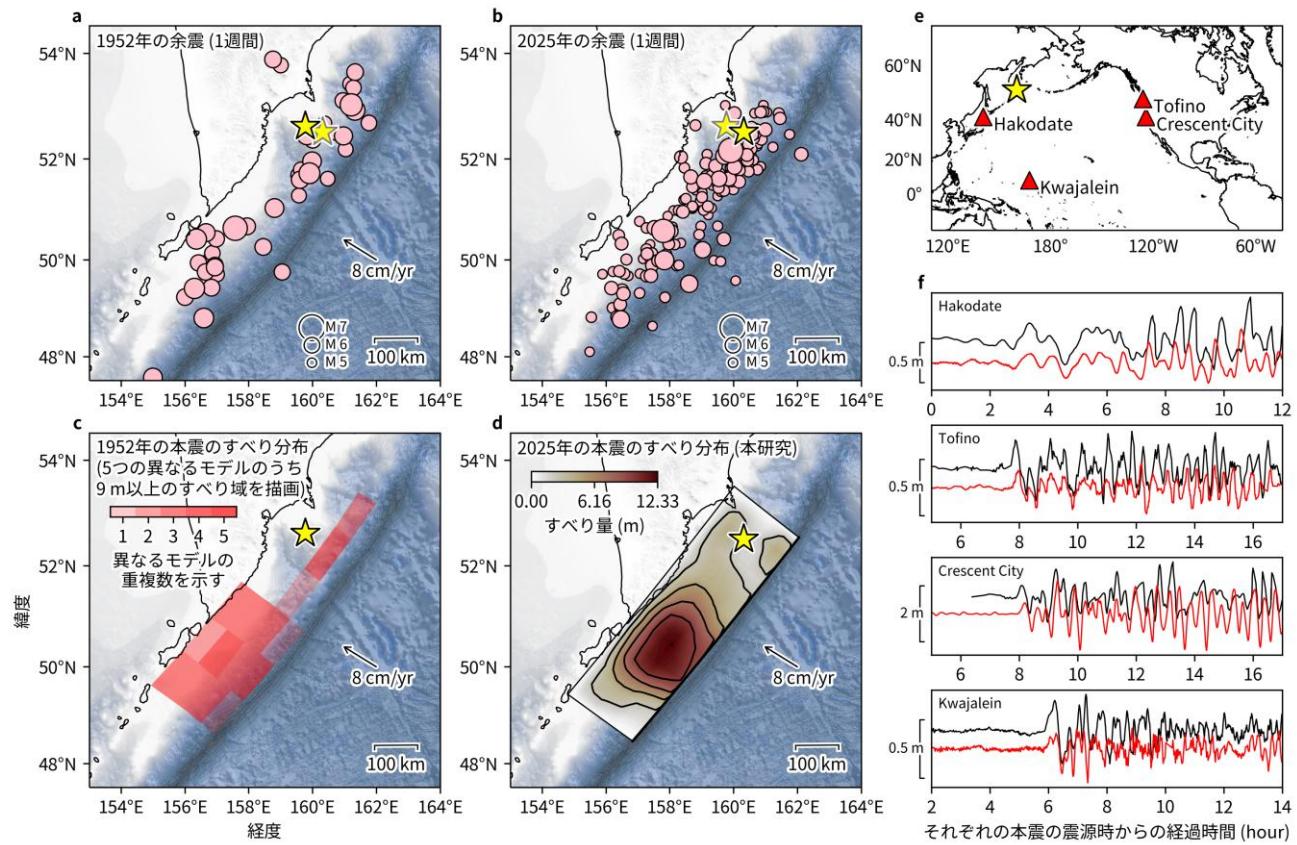


図 1 1952 年と 2025 年にカムチャツカ沖で起きた二つの M9 級巨大地震が、どれほど似た場所で起きたのかを示した。

余震の分布 (a) (b) : ピンクの丸はそれぞれの地震の後に起きた余震の震央とその規模を表す。黒枠の星は本震の震央、灰色枠の星はもう一方の地震の震央。1952 年と 2025 年の地震はほぼ同じ長さ約 500km の領域を破壊していたことがわかる。

断層すべり分布 (c) (d) : どこがどれだけ大きくずれ動いたのか (すべり量) を示した図。1952 年のすべり分布は、津波の浸水記録を解析した研究から推定されたもの (MacInnes et al. 2010, BSSA)。赤い部分は 9m 以上の大きなすべりがあった場所。2025 年のモデルは本研究による結果で、こちらでも南西側の広い範囲で 9m 以上の大すべりが発生していたことが示されている。

沿岸の潮位計の場所と津波記録 (e) (f) : 津波を記録した沿岸の観測点 (潮位計) の位置を示した図と、1952 年と 2025 年の津波記録の比較。黒線が 1952 年、赤線が 2025 年の津波の波形である。潮汐の影響を取り除いて比較すると、二つの地震は初期の津波波形が非常によく似ていることがわかる。

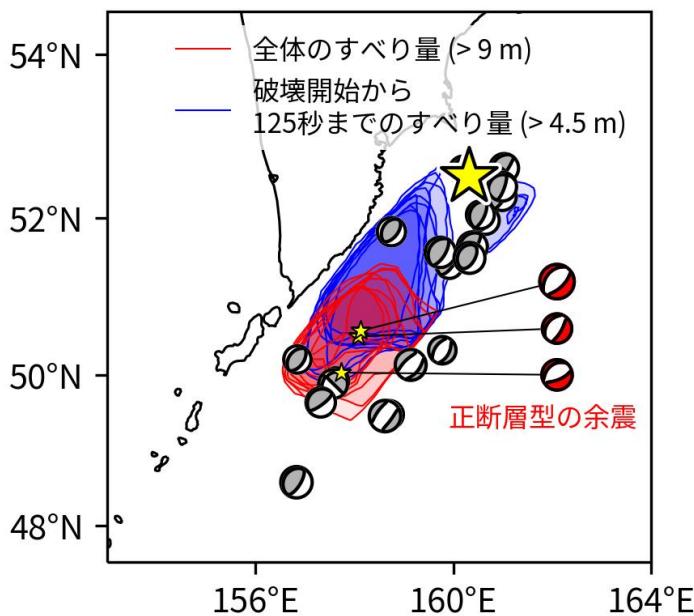


図 2 正断層型の余震と大すべり領域 小さな星印は、プレート境界付近で発生し、節面の傾斜がプレート境界面とほぼ一致している正断層型の地震（低角正断層地震）の震央を示す。大きな星印は、本震の震央を示している。透明の青領域は破壊開始から 2 度目のすべり速度加速イベントが発生するまでのすべり量が 4.5m 以上の領域、透明の赤領域は最終的なすべり量が 9m 以上の領域を示している。濃くなるほど、確らしい領域となる。灰色と赤色のビーチボールは、地震発生から 1 週間の震源メカニズム解 (gCMT, 2025)。低角正断層地震は、断層すべりが 2 度にわたって加速した大すべり域に集中して発生していることがわかる。

用語解説

注 1) ポテンシー密度テンソルインバージョン法

理論モデルに含まれる誤差の取り扱いを改善することで、断層形状と断層すべりの方向を予め仮定せず、同時推定することを可能にした新たな震源過程解析手法。

注 2) オーバーシュート

地震で断層がずれるとき、勢いが強すぎて本来止まる位置を通り過ぎてしまう現象。その結果、断層をずらす力の向きが逆転し、本震直後に本震とは逆向きに断層がずれる特殊な余震が観測されることがある。2011 年東北地方太平洋沖地震でも同様の現象が確認されている。

研究資金

本研究は、科研費による研究プロジェクト (25K01075) の一環として実施されました。

掲載論文

【題名】 Breaking the Cycle: Short Recurrence and Overshoot of an M9-class Kamchatka Earthquake

(巨大地震サイクルの破れ：カムチャツカ M9 級地震の短い再来間隔とオーバーシュート)

【著者名】 Y. Yagi, Y. Fukahata, R. Okuwaki, T. Takagawa and S. Toda

【掲載誌】 *Seismica*

【掲載日】 2025 年 11 月 30 日

【DOI】 10.26443/seismica.v4i2.2012