

## 別紙 4

報告番 ー	※ ー	第
----------	--------	---

## 主 論 文 の 要 旨

論文題目 Mechanical locking distributions on the plate interface estimated from seafloor and onshore geodetic observation data

(海底および陸上測地観測データから推定されるプレート境界面上の力学的固着分布)

氏 名 木村 洋

## 論 文 内 容 の 要 旨

海溝型地震は、プレート境界面上の力学的に固着した領域に蓄積した歪を解放する現象である。したがって、海溝型地震の発生ポテンシャルを正確に評価するためには、プレート境界面上の力学的固着分布の現状把握が不可欠である。力学的固着に伴う地震間の地殻の歪は、地殻変動に反映される。地殻変動観測データを用いたプレート境界面上の固着分布を逆推定する研究は数多く存在する。それらの研究では、プレート境界面の相対すべり速度がプレート収束速度よりも遅くなっている領域を固着領域とみなした運動学的な固着分布を推定している。しかし、力学的に固着していない（境界面上で剪断トラクションが働いていない）領域でも、プレート境界面の相対すべり速度がプレート収束速度よりも遅くなることもありうるため、運動学的な固着分布は必ずしも力学的な固着分布とは一致しない (Wang & Dixon, 2004)。力学的固着領域の空間分布を知ることは、プレート境界面の摩擦状態を知ることと同義であり、これは、地震時のすべり特性を知ることにつながるため、地震防災を考えるうえで非常に重要である。そこで本研究では、まず、力学的に固着している領域の空間分布を明らかにするため、プレート境界面上の力学的な固着と、地表における地殻変動との関係を物理モデルとして新たに構築した。次に、このモデルを千島-日本海溝および南海トラフ沿いの陸上・海底地殻変動観測データに適用することにより、力学的固着分布をそれぞれ推定した。

新しく構築したモデルでは、プレート境界面上の固着状態として、力学的固着（剪断歪が一定速度で蓄積）とクリープ（剪断歪が時間変化しない）の2種類のみを考

えた。また、これらの固着状態に応じて、プレート境界面上に以下の2種類のすべり欠損を考えた。1つ目は、力学的固着領域内のすべり欠損で、大きさはプレート収束速度に等しい。2つ目は、力学的固着に伴ってその周囲に生じるすべり欠損で、その速度はプレート収束速度より小さい。地殻変動は、これら両方のすべり欠損の弾性応答と、ブロックの剛体運動、そして、ブロック内部変形の和で表されるとした。このとき、力学的固着領域周辺での定常歪の条件が成立するように定式化した。本モデルでは、上端・下端深さによって規定される帯状の力学的固着領域を考える。モデルパラメータは、力学的固着領域上端・下端深さと、プレート収束速度を記述するオイラーベクトル、そして、ブロックの内部変形を記述する内部歪速度である。これらのパラメータは一意的に逆推定することができないので、ベイズ推定法的一种であるレプリカ交換モンテカルロ法 (Swendsen & Wang, 1986) を用いて、各モデルパラメータの確率密度関数を同時推定した。

このモデルを千島-日本海溝および南海トラフ沿いの海底・陸上地殻変動観測データにそれぞれ適用した。なお、媒質は半無限弾性体 (Meade, 2007) を用いた。日本海溝沿いでは、地震前の測地観測データによって、プレート間の運動学的なすべり欠損分布が求められている (例えば, Hashimoto et al., 2012)。また、2011年東北地方太平洋沖地震 ( $M_w 9.0$ ) の地震時すべり分布 (例えば, Yokota et al., 2011) や強震動生成域 (例えば, Kurahashi & Irikura, 2013) も、稠密な測地・地震観測データによって詳細に求められている。一方、南海トラフ沿いでは、地震間 (現在) の測地観測データから、プレート間の運動学的なすべり欠損分布が推定されている (例えば, Kimura et al., 2019) ほか、1944年東南海地震 ( $M 7.9$ ) および1946年南海地震 ( $M 8.0$ ) の地震時すべり分布 (例えば, Sagiya & Thatcher, 1999) や強震動生成域 (神田・ほか, 2004) も、測地・地震観測データから推定されている。さらに、スロー地震活動の詳細な分布についても近年明らかにされつつある (例えば, Obara, 2020)。本研究で構築したモデルを用いて推定される力学的固着分布を、運動学的なすべり欠損分布や、スロー地震分布、地震時すべり分布、強震動生成域と比較することにより、運動学的にすべり欠損の大きい場所のうち力学的に固着している領域はどの程度の大きさであるか、力学的固着域の摩擦状態はどうなっているのか、地震時すべりはどこまで広がり、どのようなすべり特性で説明されるのか、プレート境界面上のどこが強震動生成域になりやすいのかが明らかになる。

推定された力学的固着領域は、千島-日本海溝沿いでは宮城沖、福島沖、北海道東方沖に、南海トラフ沿いでは日向灘、四国沖、紀伊半島沖、東海沖に、それぞれセグメント状に分布していた。力学的固着領域の面積は、従来のモデルで推定されてきた大きなすべり欠損速度をもつ領域の24% (日本海溝) ~46% (南海トラフ) 程度であった。この結果から、従来の手法で大きなすべり欠損速度が推定されていた領域のうち力学的に固着しているのは一部にすぎないこと、また運動学的にすべり

欠損が大きい領域は、力学的固着領域とその周囲に生じるすべり欠損領域を合わせたものであることが明らかになった。また、南海トラフ沿いの力学的固着分布は、スロー地震分布と明瞭な相補性があることが明らかになった。スロー地震は、条件付き安定すべりの摩擦状態を有する領域で発生することがわかっている (Obara, 2020)。よって、摩擦パラメータを含まない本研究のモデルから、不安定すべりの摩擦状態を反映した力学的固着分布が正しく推定されたと結論づけられる。地震時すべり分布との対応については、2011年東北地方太平洋沖地震、1944年東南海地震、1946年南海地震の地震時すべり域は、力学的固着領域の外側の運動学的にすべり欠損が大きい領域にまで広がっていることが明らかになった。力学的固着領域が不安定すべり摩擦の状態に対応することを考慮すると、地震時すべり特性は、力学的固着領域の脆性破壊と、その周囲のすべりによって説明されると考えられる。よって、本研究の結果をもとにすると、地震時すべり分布だけではなく、地震時のすべり特性も予測することができる。さらに、2011年東北地方太平洋沖地震および、1944年東南海海地震、1946年南海地震の強震動生成域が日本海溝および南海トラフ沿いに推定された力学的固着領域の縁に分布するという明瞭な関係があることが明らかになった。この分布傾向については、破壊伝播が力学的固着領域とクリープ領域の境界をまたぐときに、摩擦特性の変化にともなうすべり速度の急激な変化によって短周期の波が放射されるという物理メカニズムで解釈できる。また、南海トラフ沿いでは、日本海溝沿いよりも面積が有意に大きい力学的固着領域が推定されたことから、南海トラフ沿いでは日本海溝沿いよりも広い領域が強震動生成域になりうることを示唆される。本研究で構築したモデルを用いて力学的固着領域を推定することは、将来起こり得る海溝型地震の強震動生成域の候補点を予測することにもつながると期待される。

以上のように、本研究によって、プレート境界面の摩擦状態を反映した力学的固着分布を正しく推定できる物理モデルが構築された。また、力学的固着領域と地震時すべり特性、および強震動生成域との関係が明らかになり、地震防災に不可欠な情報が得られた。本研究ではプレート境界面での力学的固着に焦点を当てているため、分岐断層や内陸断層の力学的固着分布は推定していない。これらの断層における力学的固着分布の推定も、地震・津波ポテンシャルの評価には不可欠である。特に、南海トラフ沿いには付加体内部に多数の分岐断層が存在することが明らかになっており、また、昭和南海地震において分岐断層面のすべりによる津波の励起が示唆されている (Cummins et al., 2001)。本研究で構築したモデルを内陸断層あるいは分岐断層にも適用することで、陸海域を包括した、より正確な地震発生ポテンシャルの評価が可能になることが期待される。