

(1) 実施機関名：

名古屋大学

(2) 研究課題(または観測項目)名：

プレート境界地震のための地殻活動予測シミュレーション・データ同化システムの構築

(3) 最も関連の深い建議の項目：

1. 地震・火山現象予測のための観測研究の推進

(2) 地震・火山現象に関する予測システムの構築

(2-1) 地震発生予測システム

ア．地殻活動予測シミュレーションとデータ同化

(4) その他関連する建議の項目：

1. 地震・火山現象予測のための観測研究の推進

(2) 地震・火山現象に関する予測システムの構築

(2-1) 地震発生予測システム

イ．地殻活動予測シミュレーションの高度化

(5) 本課題の 5 か年の到達目標：

本課題では、第 2 次計画までに開発された地殻活動予測シミュレーションモデルを更に改良し発展させるとともに、地震活動、地殻変動等の観測データの情報をシミュレーションに取り入れるためのデータ同化システムのプロトタイプを開発し、プレート境界地震の発生履歴の再現やプレート境界の摩擦特性の推定等を行う。さらに、これらのシステム及びモニタリングシステムを構成要素とする地震発生予測システムの全体像を設計し、プロトタイプシステムを実際のデータに適用してプレート境界における滑りの時空間発展や地震発生を予測するデータ同化・予測実験を行う。こうした研究を通して本格的な地震発生予測システムの構築に向けて準備を整える。

(6) 本課題の 5 か年計画の概要：

(a) 地殻活動予測シミュレーションモデルの開発研究及び予測実験

日本列島全域を対象とした地震発生シミュレーションの為に数値計算コードの改良と最適化を行なう。また、プレート境界面の摩擦特性の推定に向けた地殻変動解析モデルの構築を進める。

また、沈み込むプレートの 3 次元形状を考慮し、規模依存の破壊エネルギー・摩擦特性分布を用いた、半無限均質弾性媒質中における南海トラフ及び千島海溝巨大地震発生サイクルシミュレーションを行い、歴史地震に見られる、大きな発生間隔・規模・東西セグメントの破壊時間差を再現するモデル作成を行うとともに、シミュレーションコードの高速化を進める。さらに、滑り応答関数計算を高度化するため、GeoFEM コードを改良して均質粘弾性媒質モデル作成の効率化を図る。

一方、これまでのシミュレーションであまり考慮されていなかった、応力や摩擦パラメータ等の短波長不均一が地震サイクルや予測に及ぼす影響をシミュレーションにより調べる。

さらに、プレート境界と内陸地震の相互作用の理解と活動度予測のための、計算効率の高い不連続体セルモデルシミュレーションモデル構築において、成層粘弾性媒質中での滑り応答関数を用いた粘弾性地震発生サイクルシミュレーションに取り掛かる。

平成 21 年度は、南海トラフ、日本海溝、千島海溝等のプレート境界を対象に、シミュレーションモデルを作成する。フォワード計算により、応力相互作用の評価を行う。

平成 22 年度は、不均質粘弾性構造、動的破壊過程、プレート境界地震と内陸地震の相互作用等を考慮して、モデルの高度化を進める。相互作用評価を継続する。

平成 23 年度は、モデル高度化を継続する。過去の大地震発生系列を再現するシミュレーションにより、摩擦特性等を推定する。近年の大地震の破壊過程、余効滑り過程のシミュレーションにより、摩擦特性等を推定する。

平成 24 年度は、シミュレーションによる摩擦特性等の推定の継続。プレート境界と内陸の相互作用のシミュレーション。摩擦パラメータ推定の不確定性が予測精度に及ぼす影響の評価を行う。

平成 25 年度は、これまでに推定された摩擦パラメータ等に基づき、予測シミュレーションを試行する。予測シミュレーションの誤差を評価する。シミュレーションに基づき、西南日本内陸の地震活動の変化について議論する。

(b) 地殻変動データを用いたデータ同化手法の開発と同化実験

プレート境界地震の余効滑りなどゆっくりとした断層運動を対象として、GPS データなど地殻変動データから、速度・状態依存摩擦構成則で用いられる摩擦パラメータや、滑り速度等の初期値を推定する手法を開発する。単純なバネ・ブロックモデルや複数のセルモデルを用いた研究を進めるとともに、2次元の連続体モデル（1次元断層）による解析手法について検討する。

平成 21 年度は、地殻活動予測システムの全体設計、パラメータ最適化手法、逐次データ同化手法の検討を行う。

平成 22 年度は、地殻活動予測システムの全体設計を完了し、パラメータ最適化手法、逐次データ同化手法の開発、試験を行う。

平成 23 年度は、データ同化の解析事例を増やし、手法の高度化を行う。

平成 24 年度は、予測シミュレーションと連携したデータ同化実験のためのシステム開発を行う。

平成 25 年度は、予測シミュレーションとデータ同化システムを連携させた予測システムのプロトタイプを稼働させる。

(c) 地震活動データの活用手法の開発

繰り返し地震をもれなく抽出し、滑り量分布の推定の精度を上げるため、幅広い規模の地震に適用できる新たな繰り返し地震抽出基準の策定を行う。具体的には、釜石沖等のすでに知られていて、現在の波形相似性の基準では抽出されない中規模繰り返し地震を用い、波形の相似性からこれらの繰り返し地震を同定できる基準を調べる（解析周波数帯、ウィンドウ等の工夫）。次に、この基準を用い、過去の波形記録を系統的に探索する。

関東地方及び東海・東南海地域の微小地震活動度の長期的変化を高信頼度で推定する。そのためには、時間的・空間的に均質な地震カタログを作成する必要がある。東京大学地震研究所の微小地震観測網で 1994 年から 2007 年までに観測された M3 以上の地震の震源と M の再決定を実施する。その際、使用する観測点は 1994 年当時の配置に固定し、新しい観測点を導入したことによる影響を除去する。（北大・地震研）

測地データに加えて小繰り返し地震のデータを用いて、余効滑りの時間発展を推定する手法を確立する。特に、異種データの重み付けや滑りの空間分布に対する penalty 項の与え方について種々検討を行い、最適なものを見いだす。

平成 21 年度は、波形の相関、詳細な震源決定や、発生間隔等をもとに、小繰り返し地震を抽出する最適な手法の開発を開発する。また、地震活動から応力変化を推定する手法を開発する。

平成 22 年度は、小繰り返し地震と GPS データを用いてプレート間滑りの推定を行う手法を開発する。また、地震活動データから応力変化の推定を試み、その有効性を検証する。

平成 23 年度は、開発した手法を用いて、プレート境界の滑りの時空間発展を推定する。また、推定された応力変化がプレート境界の滑りによるものと仮定して、滑りの時空間発展について知見を得る。

平成 24 年度は、地震活動データから推定された滑り変化と数値シミュレーションを比較することにより、プレート境界の摩擦特性、応力について知見を得る。

平成 25 年度は、地震活動データを用いたデータ同化手法について検討する。

(7) 平成 24 年度成果の概要：

(a) 地殻活動予測シミュレーションモデルの開発研究及び予測実験

・ プレート境界地震の破壊開始点における破壊エネルギー推定（東大地震研）

地震の破壊開始点における破壊エネルギーは、地震発生や震源核の規模を支配する重要な物理パラメータである。沈み込み域の地震サイクルシミュレーションを行うことにより、プレート境界地震の破壊開始点の破壊エネルギーを推定した。プレート境界の固着域の下端では深部の非地震性滑りにより応力集中が生じている（図 1）。応力集中の大きさは非地震性滑り量に比例し、応力集中とともに増大するエネルギー解放率が固着域での破壊エネルギー G_c に等しくなったときに固着域が破壊される。プレート境界地震が周期的に発生するとき、非地震性滑り量はプレート相対運動速度 V_{pl} と地震の再来周期 T_r の積から得られるため、これらから破壊開始点の破壊エネルギーが推定できる。理論的には、 G_c は $V_{pl}^2 T_r^2$ に比例する。この理論の妥当性を、沈み込み域の 2 次元弾性体モデルと速度状態依存摩擦則を用いたシミュレーションで検証し、破壊エネルギーを推定するための関係式を導いた（図 2）。ただし、浅部地震発生域での非地震性滑りが顕著な場合には、この関係式は利用できない。この関係を使い、南海トラフの M8 級地震の破壊開始点と 2011 年東北地方太平洋沖地震の発生を支配していた高強度領域の破壊エネルギーを推定したところ、それぞれ、0.1-1MJ/m²、約 10MJ/m² の値を得た。

・ 準静的地震発生サイクルシミュレーションコードの省メモリ化・高速化（京大）

昨年度は、階層型行列（H-matrix）法による地震発生サイクルシミュレーションコードの省メモリ化・高速化（Ohtani et al., 2011）を行い、2011 年東北地方太平洋沖地震サイクルシミュレーションを実行した。今年度は、1986 年十勝地震震源域を含む北部領域まで震源域を広げ、3 次元形状を持つ沈み込む太平洋プレート境界（馬場・他, 2006）を、昨年度の $N=200,704$ から $N=237,204$ に拡張して三角セルに分割し、大規模シミュレーションを実行した。まず北部領域も単独でサイクル計算を行い、M7 クラスの地震を含む 1986 年十勝沖地震の再来間隔が百年となるように階層アスペリティモデル（Hori and Miyazaki, 2011）パラメータを決定した。次に、これまで行なってきた南部（2011 年東北地方太平洋沖地震震源域）+ 釜石沖 + 北部の地震サイクルシミュレーションを、釜石沖の摩擦特性を変えて実行し、南部と北部の連動・非連動破壊条件を考えた。この成果の詳細は、「2011 年東北地方太平洋沖地震前後のプレート境界及びその周辺域の挙動の解明」で報告されている。

また、これまで H-matrix を用いた地震サイクルシミュレーションで滑り応答関数の H-matrix 作成部分が並列化できていなかったため扱えるセル数に制限があったが、情報関係の研究者の協力を得て並列化を行い、この部分での制約がなくなった。地震サイクル計算の並列化性能を上げるという課題は残されているが、一応並列化させており、今後の大規模シミュレーションに向けて、列島規模の地震発生サイクルシミュレーションの検討を行った。やや大きなセルサイズ（ $\sim 1\text{km}$ ）で北海道・東北・関東に至る太平洋プレート境界を深さ 80km まで、また関東・中部・紀伊半島・四国・九州東部に至るフィリピン海プレート境界面を深さ 60km まで分割すると、106 のオーダーのセル数（ N ）になると見積もられた（図 3）。

さらに、これまで行なってきた東北日本や西南日本といった地域モデルでも、長期短期スローリップを含む巨大地震サイクルや GR 則に従う（例えば M5 以上の地震を含む）小さな地震から巨大地震まで含む地震サイクルシミュレーションを行うには、セルサイズを小さくする必要があり（ $\sim 100\text{m}$ ）セル数が増大する。こういった、マルチスケールシミュレーションの可能性も併せて検討した。

・ 粘弾性媒質中での地震発生サイクルシミュレーション（京大）

昨年度、粘弾性媒質中での応力計算には、メモリ変数を用いて、履歴積分を要しない新手法を開発

した(平原・他, 2011)。そこでは、弾性媒質と同様に粘弾性媒質でもメモリ変数を用いた滑り応答関数に H-matrices 法が適用でき実際の計算が可能になると報告したが、残念ながら、H-matrix 法は適用できず、セル数を N とすると、従来の方法による弾性計算とほぼ同じ $O(N \times N)$ の計算量が必要となることが分かった(平原・他, 2012)。

・ 南海トラフ巨大地震サイクル中における西南日本内陸地震活動(京大)

南海トラフ巨大地震の発生前 50 年から後 10 年に西南日本で内陸地震活動が増す(Utsu, 1974; Hori and Oike, 1996)と報告されている。これを受けて、東西圧縮、南海トラフでの固着と地震発生に伴う粘弾性応答によるクーロン破壊応力の時間変化(CFF)、及び変形源として内陸地震発生を加え、近畿地方周辺の多数の活断層上で CFF を計算した結果、南海トラフ巨大地震の発生前に逆断層型地震が多く起こり、発生後に横ずれ型地震が多くなることを予測する結果(図 2 右図)を得た(鹿倉・他, 2012)。実際、多くの逆断層タイプの地震は南海トラフ巨大地震前に発生していることを確認した。

(b) 地殻変動データを用いたデータ同化手法の開発と同化実験

・ 余効滑りに基づく摩擦パラメーターの推定(東大地震研)

摩擦法則を用いた地震サイクルのシミュレーションを行うためには、プレート境界面の摩擦特性についての知見が必要である。このような知見を得るために、2011 年東北沖地震の余効滑りの時空間変化を GPS 時系列データから時間依存インバージョン解析により推定した。これまで、余効滑りの時間変化は、速度・状態依存摩擦法則から導かれた速度強化の定常摩擦を用いてモデル化されてきた。このようなモデルでは、剪断応力の速度依存性を表すパラメーター(a-b) は時間的に一定であると仮定されてきたが、インバージョン解析から推定された東北沖地震の余効滑りの時間変化は、このような従来のモデルでは説明できないことが分かった。(a-b) が時間的に一定な速度強化の定常摩擦に従う場合、余効滑りによるプレート境界面上における剪断応力変化を滑り速度の対数 $\ln V$ で微分した結果は(a-b) を与える。従って、(a-b) が時間的に一定の場合、 $\frac{d\tau}{dV}$ と $\ln V$ は比例することになる。これまで、いくつかの地震の余効滑りに対して、 $\frac{d\tau}{dV}$ と $\ln V$ が線形の関係を示すことが確認されてきたが、東北沖地震の余効滑りでは、これらが非線形の関係を示した。この結果は、摩擦パラメーター a-b に滑り速度依存性があるか、有効法線応力 σ_n の時間変化があることを示す。 $\frac{d\tau}{dV}$ と $\ln V$ の関係から(a-b) を滑り速度の関数として求め、推定された(a-b) を用いて 1 自由度モデルを用いた余効滑りのシミュレーションを行ったところ、インバージョンで推定された余効滑りの時間変化が良く再現された。

・ 地表観測データによる余効滑り領域の摩擦パラメーターの推定実験(京大)

京都大学では、アジョイント法を用い、地殻変動データから断層面上の摩擦パラメーターを推定する手法を開発している。今年度は、地震発生域は従来と同じくセル断層で近似しているが、余効滑り領域を $10\text{km} \times 10\text{km}$ の小断層に分割し、余効滑りの伝播を表現できるようにした。ただし、余効滑り領域の摩擦パラメーターは空間的に一様とした。このモデルを用い、2003 年十勝沖地震から 2004 年釧路沖地震までの一連の過程を模した数値実験を行った。

(1) モデルとして、十勝沖地震と釧路沖地震の発生域を表すセルを 2 個配置し、それ以外の領域を余効滑り領域とした。「真の摩擦パラメーター」及び適当な初期値を用いてモデルのスピンアップを行ったのち、十勝沖地震の発生から余効滑りの発生と伝播、釧路沖地震の誘発を表す部分を切り出した。

(2) 断層面上で滑り速度が直接観測されるとし、平均 $0 \cdot$ 標準偏差 $1.0 \times 10^8 \text{ m/s}$ の正規誤差を加えたものを同化に用いるデータとした。データは 1 日ごとに得られるものとし、同化期間は余効滑りの発生している十勝沖地震後 20 日間とした。

(3) 「真の摩擦パラメーター」とは異なるパラメーター値(「第一推定値」)を与え、アジョイント法により、データに最も適合するパラメータ(「解析値」)を iterative に求めた。

(4) 「解析値」を用いて、同化期間より将来の滑り速度の時空間発展及び、それによる釧路沖地震のセルにおける地震発生時期の推定を行った。

摩擦パラメーターの、真の値、第一推定値、解析値及び、それぞれを用いて得られた釧路沖地震の発生時期(十勝沖地震からの経過時間、単位は年)を図 5 に示す。プレート境界面上における滑り速度を同化することで(A-B, A, L)=(10.0, 80.0, 80.0)であった第一推定値が(5.37, 40.5, 40.8)へと更新されて

いる。この解析値は真の値 (5.00, 40.0, 40.0) に近い値であり、釧路沖地震の発生時期の予測が改善されていることが分かる。

- ・ 測地データに基づくプレート境界面における真の固着域面積の推定 (名大)

測地データに基づく滑り欠損推定は、プレート境界の固着状態を推定する手段として有用であるが、固着域との対応関係は必ずしも明らかになっていない。固着域では滑り 0, 非固着域では応力 0 という単純な仮定の下、プレート境界面上に固着域の分布を仮定してプレート運動に伴う滑り欠損分布を理論的に計算することができ、それに伴う地表変位の模擬データから、プレート境界における地震モーメント蓄積速度を推定すると過大評価となることが分かる。この方法を日本海溝沿いと南海トラフ沿いの 2 地域について適用すると、東北地方の 2011 年以前のデータからは固着域の面積比がおよそ 30 ~ 60% と推定されるのに対し、南海トラフでは 60 ~ 100% と、固着の度合いがより高いと推定される (Hirai and Sagiya, 2013) (図 6)。

(c) 地震活動データの活用手法の開発

- ・ 地震活動変化に基づくスロースリップの検出 (北大)

地震活動の長期変化から広域応力場の時間変化を検出するために、1994 年 1 月 1 日から 2007 年 12 月 31 日までの間に関東地方及び東海・東南海地域で発生した $M_{jma}=3.3$ の地震の震源及び M を再決定した。その結果、2005 年 8 月から 2007 年 12 月にかけての約 2 年半、茨城県南部から東京湾にかけては顕著な地震活動の活発化、同時期において銚子沖では顕著な静穏化が観測された。これら活発化と静穏化の空間パターンは、銚子付近の太平洋プレート上面において長期的スロースリップイベント (SSE) が起きたと仮定し、クーロンの破壊応力を計算すると良く説明できる。さらに、GPS 観測網 (GEONET) のデータにも長期的 SSE の発生を支持する水平変動が見られた (図 7)。

- ・ 繰り返し地震による非地震性滑り分布の推定 (東北大)

中規模の繰り返し地震を含めた解析により、2011 年東北地方太平洋沖地震前後の非地震的滑りの推定を進めた。地震前の 3 年間 (図 8 b) は、それ以前の 12 年間に比べて 2011 年東北地方太平洋沖地震滑り域内やその近傍での滑りレートが大きかった。これは、2011 年東北地方太平洋沖地震前のプレート境界の固着の緩みを示している可能性がある。また、地震後は地震時滑り域の周辺で、余効滑りが起きていることが推定された。この結果は GPS データ等の測地データの解析とは独立で、海溝近傍まで空間分解能が高い推定として有用と考えられる。

- ・ 地震活動データに基づく地震時の大滑り域の推定 (東大地震研)

昨年度に引き続き、日本列島全域に展開されているテレメータ地震観測点で観測された地震波形記録の蓄積を行い、小繰り返し地震の抽出を行った。また、この抽出結果を用いて、プレート間滑りの時間・空間変化の推定を行った。更に本年度は、平成 23 年東北地方太平洋地震発生後に発生したプレート境界型地震活動の空間分布を活用し、東北地震発生時の大滑り域の広がりや推定した (図 9)。

近年、大地震後に発生する余震活動は、大滑り域を避け、その縁辺部に集中するという報告が多数なされている。東北沖地震発生時においても、プレート境界型の余震は、宮城県沖の本震の震央周辺から海溝軸にかけて発生頻度が極端に低い。そこで、この余震分布の特徴と大滑り域の相補関係を東北沖地震の余震活動に適用し、東北沖地震発生時の大滑り域の広がりや推定した。本解析によって定義された大滑り域は複雑な形状を示し、特に、南側では、福島県沖・茨城県沖まで伸びる細長い大滑り域の存在が明らかとなった。大滑り域の外側では、小繰り返し地震も多数分布している。大滑り域から解放された応力によって、大滑り域の外側で余効滑りが駆動されていることを示唆している。推定された滑り速度は時間経過とともに徐々に減少しているが、岩手県から福島県沖の大滑り域の周辺では、約 2 年経過した現在においても太平洋プレートのプレート収束速度よりも 2 倍以上速い状況が続いている。

- (8) 平成 24 年度の成果に関連の深いもので、平成 24 年度に公表された主な成果物 (論文・報告書等) :
Fukuda, J., Y. Aoki, T. Kato, and N. Kato (2012), Evolution of afterslip following the 2011 Tohoku-oki earthquake, 2012 AGU Fall Meeting, T13F-2695, San Francisco, USA.

- Hirahara, K., M. Ohtani, M. Hyodo, T.Hori and Y. Mitsui (2012) Earthquake cycle models for the 2011 Tohoku giant earthquake, 9th General Assembly of ASC, Ulaanbaatar, Mongolia.
- 平原和朗・大谷真紀子・鹿倉洋介・兵藤守・堀高峰・橋間昭徳 (2012) 漸化型メモリ変数法を用いた粘弾性媒質における地震発生サイクルシミュレーション, 日本地震学会 2012 年秋季大会, P2-68, 函館.
- Hirai, T., and T. Sagiya (2013) Biased geodetic inference on asperity distribution on a subducted plate interface: a quantitative study, Earth Planets Space, in press.
- 加納将行・宮崎真一・伊藤耕介・平原和朗 (2013) An adjoint data assimilation method for optimizing frictional parameters on the afterslip area, データ同化ワークショップ。
- Kato, N. (2012) Fracture energies at the rupture nucleation points of large interplate earthquakes, Earth Planet. Sci. Lett., 353-354, 190-197.
- Katsumata, K. (2013) Detection of a small slow slip event beneath the Kanto district, central Honshu, Japan by modeling a pair of seismic quiescence and activation anomalies and GPS data, Earth Planets and Space, submitted .
- 大谷真紀子・平原和朗・堀高峰・兵藤守 (2012) 2011 年東北地方太平洋沖地震より大きな地震は東北で発生するか, 日本地震学会 2012 年秋季大会, P1-66, 函館.
- Ohtani M., K. Hirahara, T. Hori and M. Hyodo (2012) Possible occurrence of a giant interplate earthquake in northeast Japan greater than the 2011 Tohoku earthquake, 2012, APEC Cooperation for Earthquake Simulation (ACES) 8th International Workshop, Maui, USA.
- 鹿倉洋介・深畑幸俊・平原和朗 (2012) プレート運動と地震発生に伴う西南日本内陸活断層の長期的な破壊関数の変化, 日本地球惑星科学連合 2012 年大会, SSS38-11, 千葉.
- Uchida, N., T. Matsuzawa (2013) Pre- and post-seismic slow slip surrounding the 2011 Tohoku-oki earthquake rupture, Earth Planet. Sci. Lett., under revision.

(9) 平成 25 年度実施計画の概要 :

(a) 地殻活動予測シミュレーションモデルの開発研究及び予測実験

H-matrix を用いた地震サイクルシミュレーションの更なる省メモリ化・高速化、並びに列島規模大規模シミュレーション、及び地域モデルにおけるマルチスケール地震サイクルシミュレーションの検討を行う。粘弾性媒質中での地震サイクルシミュレーションについては、滑り応答関数のメモリ関数近似の精度の再評価を行い、地震サイクルシミュレーションの精度検証を行う。また、摩擦の非線形性や複数アスペリティの相互作用による地震発生の不規則性を数値シミュレーションにより明らかにする。

(b) 地殻変動データを用いたデータ同化手法の開発と同化実験

東北沖地震の余効滑りに関する 24 年度の結果に基づき、速度・状態依存摩擦法則に基づく余効滑りの物理モデルを構築する。また、物理モデルに観測データを同化するための手法開発を行う。十勝沖地震のケースについて 24 年度行った数値実験で用いたデータはプレート境界面におけるデータであり直接観測することはできない。そこで、直接観測できる量である地表面での変位の人工的なデータを用いて同様の実験を行い、24 年度に行った実験との比較を通して地表データを同化することで摩擦パラメータの推定にどのような影響を与えるかを調べる。その後 2003 年十勝沖地震を実例に実データの同化を行う。さらに、東海地域において、東北地方太平洋沖地震の余効変動の影響と南海トラフのプレート間固着の影響の分離を試みる。

(c) 地震活動データの活用手法の開発

これまでの研究で中規模の繰り返し地震を用いた非地震性滑りの推定に目途がついた。今後、東北地方太平洋沖地震の余効滑りの進展や、中規模繰り返し地震の特徴について研究を進める。また、これまでに得られた成果を論文として出版する。

(10) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

名古屋大学大学院環境学研究科 : 鷲谷威、橋本千尋、伊藤武男

他機関との共同研究の有無：有

東京大学地震研究所：加藤尚之、加藤照之、五十嵐俊博、福田淳一

京都大学大学院理学研究科：平原和朗、宮崎真一

京都大学防災研究所 橋本学

東北大学大学院理学研究科：内田直希、松澤暢

北海道大学大学院理学研究院：勝俣啓

海洋研究開発機構 堀高峰

(11) 公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：名古屋大学大学院環境学研究科

電話：052-789-3046

e-mail：web-master@seis.nagoya-u.ac.jp

URL：http://www.seis.nagoya-u.ac.jp/

(12) この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：鷺谷威

所属：名古屋大学大学院環境学研究科

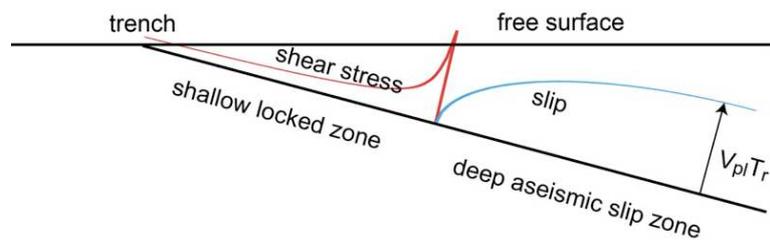


図1 沈み込み域のプレート境界深部の非地震性滑りと浅部のせん断応力分布の模式図
浅部の固着域下端に応力集中が生じる。

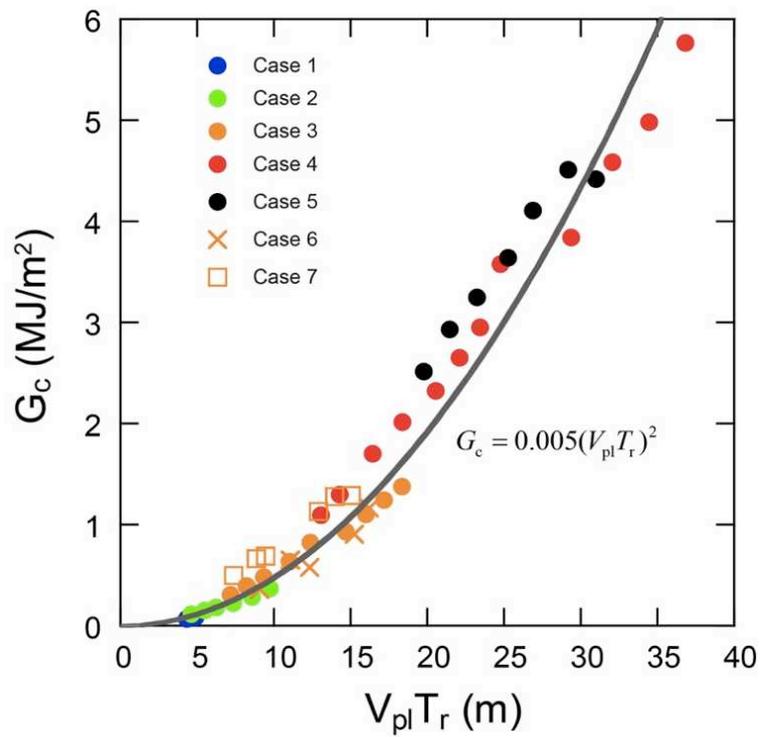


図2 破壊エネルギーとプレート相対運動速度と地震の再来周期の積の関係
 有効法線応力の深さ分布やプレート相対運動速度 V_{pl} が異なる7ケースについて調べたが、すべてについて1つの関係式で説明できる。ただし、係数は破壊開始点の深さやプレート境界面の伏角に依存する。

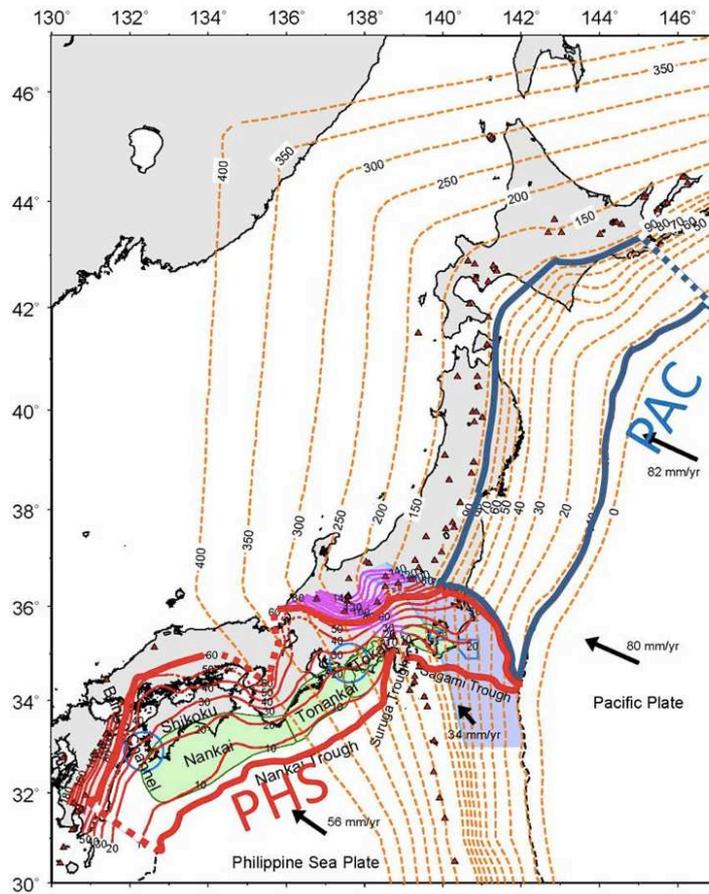


図3 日本列島規模地震サイクルシミュレーションにおけるセル数の検討
 図に示したプレート境界面を1km程度のセルに分割すると、106のオーダーのセル数を要する。図は弘瀬のHP
 (<http://www.mri-jma.go.jp/Dep/sv/2ken/fhirose/index.html>) より引用。

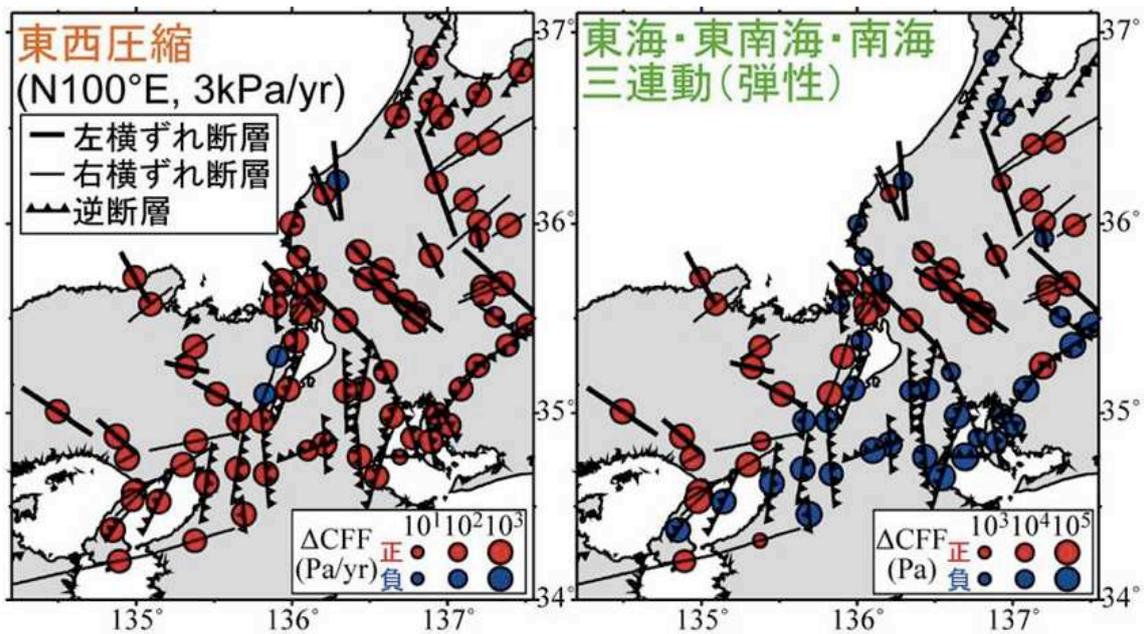


図4 西南日本内陸活断層における応力変化
 左): 0.3×10^{-7} /年の東西圧縮による各断層におけるクーロン応力変化 ($\mu' = 0.3$ を仮定) (右): 100年間の固着を仮定した時の南海トラフ巨大地震時における各活断層のクーロン応力変化。(赤: 正、青: 負) (鹿倉・他, 2012)

	A-B (kPa)	A (kPa)	L (mm)	評価関数の 値	釧路沖地震の発生時期 (十勝沖地震からの経過 時間, 年)
真の値	5.00	40.0	40.0	3000	3.83
第一推定値	10.0	80.0	80.0	12500	10.9
解析値	5.37	40.5	40.8	3010	3.92

図5 余効滑りデータによる摩擦パラメータの推定結果

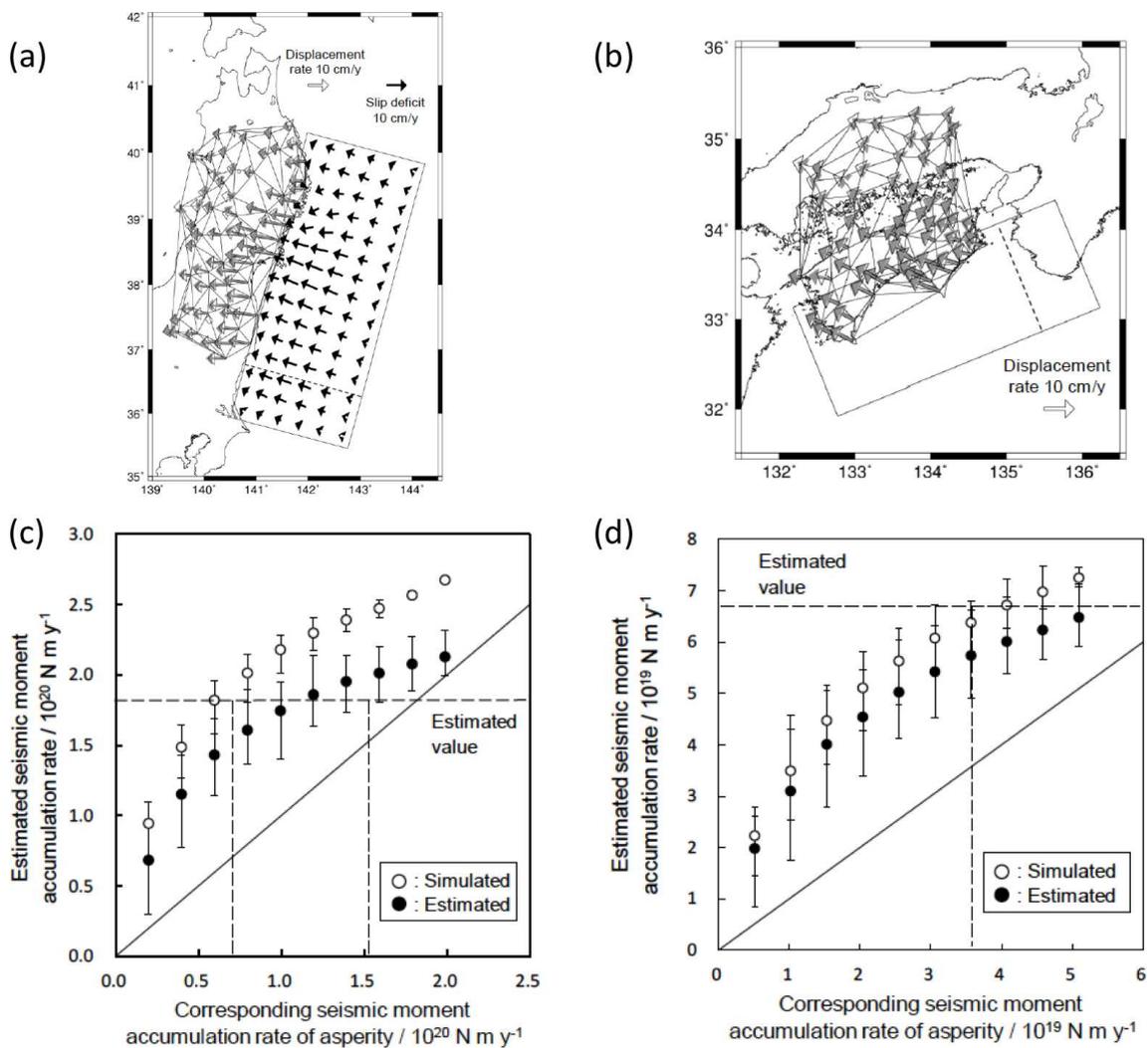


図6 地震モーメント蓄積速度と測地データに基づく推定値の関係

(a) 東北地方の GPS 変位速度データとインバージョン解析による計算値の比較。(b) 南海トラフ西部付近の GPS 変位速度データとインバージョン解析による計算値の比較。(c) 東北沖のプレート境界について、仮定したアスペリティにおける地震モーメント蓄積速度と模擬測地データから推定された地震モーメント蓄積速度の比較(黒丸)。白丸は計算上得られる滑り欠損分布に基づく地震モーメント蓄積速度。実際のデータに基づく推定値を水平の破線で、それに基づく真の地震モーメント蓄積速度の範囲を縦の破線で示す。(d) 南海トラフについての解析結果。

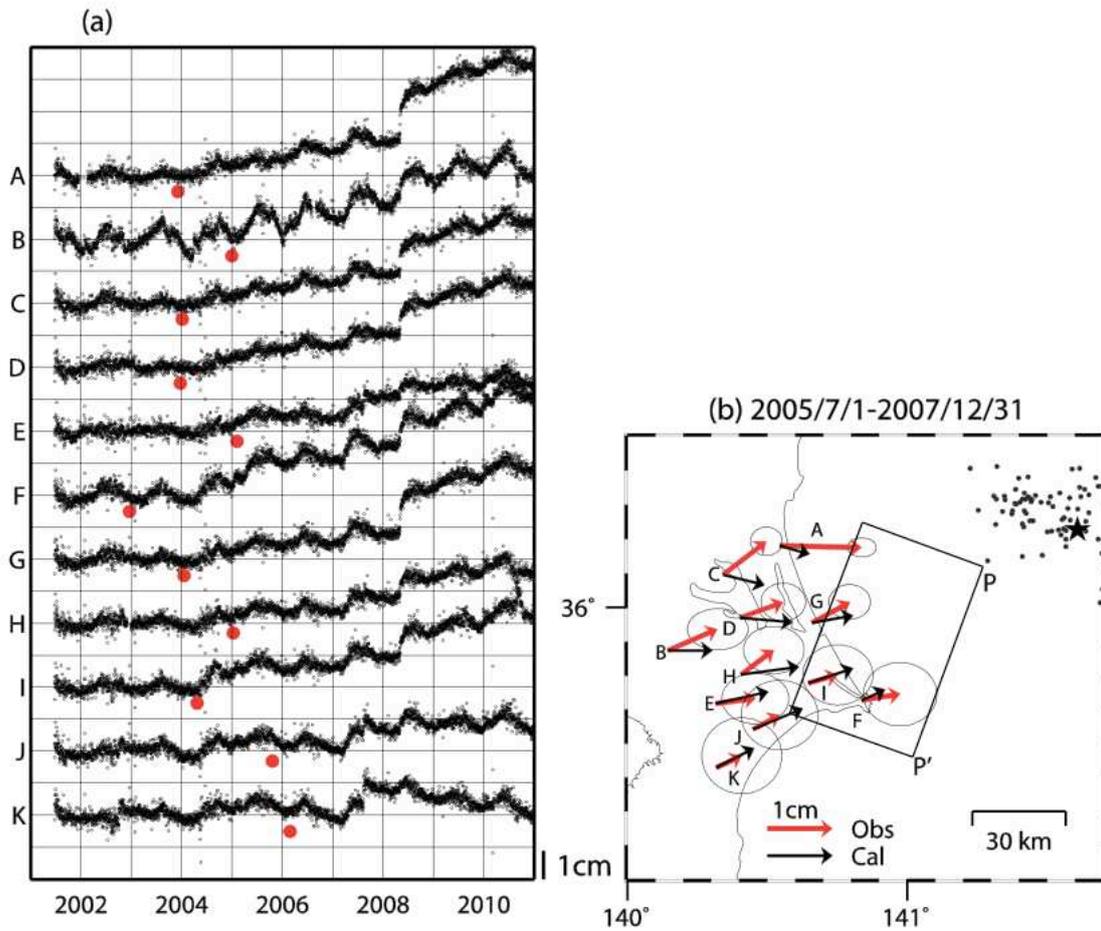


図7 地震活動変化に基づくスロースリップの検出

(a)GPSの東西成分。2001年6月から2003年6月までの変化を直線で近似し、その近似直線からのずれを表示した。赤点は近似直線からのずれの開始時、2008年5月付近の飛びは茨城県沖の地震(M7.0)によるものである。(b)長期的スロースリップイベントの断層モデル。四角形が西方に傾き下がる太平洋プレート上面に仮定した断層面を表し、P-P'が深さ30kmである。赤矢印が観測値、黒矢印が計算値である。

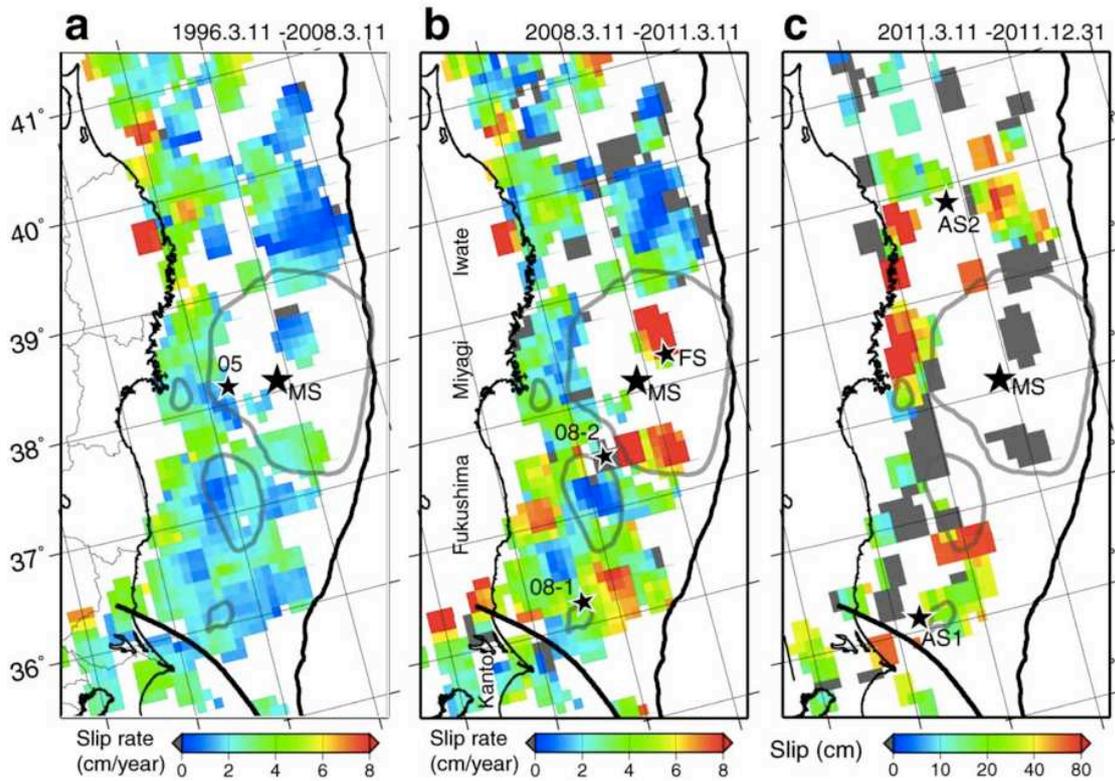


図8 繰り返し地震による非地震性滑り分布の推定

(a)1996年3月11日-2008年3月11日、(b)2008年3月11日-2011年3月11日、(c)2011年3月11日-2011年12月31日。0.3°×0.3°のグリッドごとに図a、bでは滑り速度、図cでは滑り量を表示している。白はグリッド内に3個以上の繰り返し地震がない場所、灰色は滑り量が0を表す。灰色のコンターはIinuma et al. (2012)による10mの地震時滑りコンター、黒太線はフィリピン海プレートの北東限(Uchida et al, 2009)。星はM7クラス以上の地震の震央。

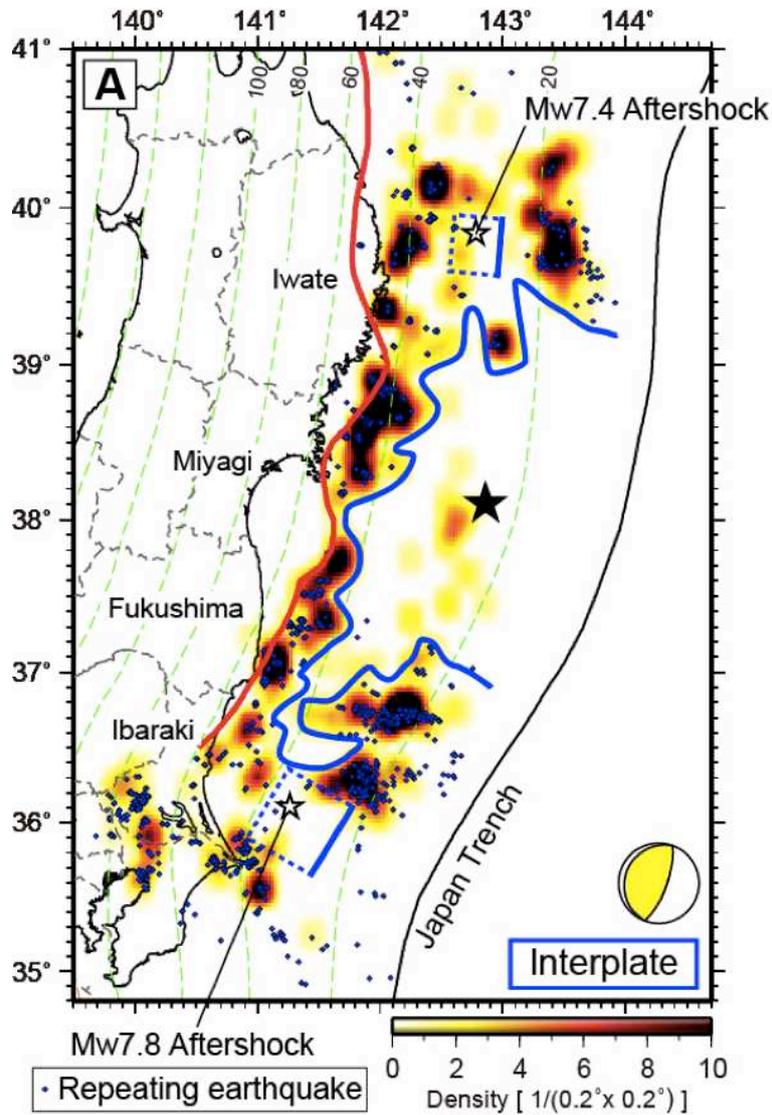


図9 プレート境界型地震の活動度及び小繰り返し地震活動から推定された大滑り域
 青色の実線で囲まれた領域が推定された大滑り域。小繰り返し地震を青色のひし形で、プレート境界型地震の発生密度をカラースケールで示す。プレート境界型地震の西縁の位置を赤色の実線で、太平洋プレート上面の深さを緑色の破線で表している。