

(1) 実施機関名：

東北大学

(2) 研究課題(または観測項目)名：

準静的滑りの時空間変化に基づく地震発生切迫度評価の研究

(3) 最も関連の深い建議の項目：

2. 地震・火山現象解明のための観測研究の推進

(3) 地震発生先行・破壊過程と火山噴火過程

(3-1) 地震発生先行過程

イ. 先行現象の発生機構の解明

(4) その他関連する建議の項目：

2. 地震・火山現象解明のための観測研究の推進

(1) 日本列島及び周辺域の長期・広域の地震・火山現象

ア. 列島及び周辺域のプレート運動, 広域応力場

(2) 地震・火山噴火に至る準備過程

(2-1) 地震準備過程

ア. アスペリティの実体

イ. 非地震性滑りの時空間変化とアスペリティの相互作用

(5) 本課題の 5 か年の到達目標：

プレート境界で発生するスローイベントや余効滑りが地震や低周波微動の発生を促していることが次第に明らかになっており、このことは、アスペリティモデルで定性的には説明できる。平成 21 年度からの 5 か年では、これを地震の切迫度評価に役立てるために、この影響を定量化することを目指す。地震同士、また、スロースリップイベント同士の相互作用についても、更に詳細に検討し、そのメカニズムの理解を深める。

(6) 本課題の 5 か年計画の概要：

平成 21 年度は、小繰り返し地震や GPS データによるプレート境界での滑りモニタリングの自動化や改良を行う。これらの推定結果の相互比較により、滑り量推定の高精度化を目指す。更に地震サイクルに伴う滑り欠損・前駆滑り・余効滑り過程の数値シミュレーションを行い、上で得られた滑り量推定結果との比較により、プレート間滑りによる局所的な応力の変化やプレート境界の有効法線応力の絶対値の推定を試みる。陸上及び海底地震観測網で精度よく求めた地震のメカニズム解を用いて、宮城沖の海溝陸側斜面下の陸側地殻内または沈み込むプレート内部の応力場を調べる。また、相互作用の検証のため、プレート境界での大小地震が入り混じった地震クラスターの抽出を行う。東北日本沈み込み体周辺域の GEONET と東北大学の GPS データを自動的に併合処理するシステム開発を開始する。

平成 22-25 年度は、抽出された地震クラスター内の小繰り返し地震の発生の時間間隔のゆらぎに注目し、周囲の地震や地震の規模等の影響を調べる。東北日本沈み込み帯における小繰り返し地震のモ

ニタリングも継続する。メカニズム解に基づき、地震性及び非地震性のプレート間滑りに対応した局所的な応力の変化を調べて、応力場の空間変化に基づく地震発生の切迫度評価の可能性を探る。また、GEONETと東北大学のGPSデータを自動的に併合処理するシステムによって数か月単位での滑り欠損分布を定量的に評価し、プレート間でのひずみ蓄積の時空間的な不均質について詳細に検討する。数値シミュレーションにより、GPSや小繰り返し地震で観測されている深部側での余効滑りに対して、間隙水圧の推定へのフィードバックを図る。最終的にこれらの観測事例とシミュレーションを組み合わせることで、切迫度に影響する様々な事象の効果を理解する。

(7) 計画期間中(平成21年度~25年度)の成果の概要:

H24年度までの成果

1. 小繰り返し地震によるプレート境界での滑りモニタリング

2011年東北地方太平洋沖地震前においては、福島県沖から宮城県沖の海溝に近い場所において2008年以降の滑り速度の増加が認められた。この増加は東北地方太平洋沖地震後、地震時大滑り域の周囲での固着のゆるみであると解釈された。

2011年東北地方太平洋沖地震の発生を受けて、1984年以降の中規模繰り返し地震について調べたところ、2011年東北地方太平洋沖地震後その大滑り域内で繰り返し地震の活動が著しく不活発で、その周りで活発であることが分かった。釜石沖繰り返し地震のアスペリティ内での地震サイクルにおける地震活動の時間変化(サイクルの前半が不活発)と大変よく似ている。これらの繰り返し地震から1993-2007の震源域のカップリング率を調べたところ、2011年の地震は、地震前に広域にカップリング率が大きかった場所で発生したことが分かった。地震後は、滑り域の周囲での余効滑りが観察された。

2. GPSデータによるモニタリング

プレート境界での滑りモニタリングの自動化への入力データとして利用可能な、GPSによるリアルタイムに地殻変動を検出するためのシステム開発を行った。GEONETと東北大学のGPSデータを統合処理し、日々の座標値がルーチ的に算出可能なシステムを開発した。解析にGIPSY-OASIS II Ver. 6.0を用いたPPP(精密単独測位法)を採用した。4コアのCPU(Xeon 2.4GHz)を搭載したサーバマシン1台を用いて並列処理を行うことにより、東北大学とGEONETの観測点を合わせた1,324観測点分の日毎の座標値算出が2.5時間という極めて短い時間で解析が終了するシステムを構築し、本運用を開始した。また大学等が運用している臨時観測点に関してはWEBサーバ上で時系列データを画像ファイルとして確認できるシステムを構築した。GEONETを含めた全時系列データはWEB経由で取得が可能であり、プレート境界の自動モニタリングの入力データとしてそのまま使える環境を整備した。

3. 地震サイクルに伴う滑り欠損・前駆滑り・余効滑り過程の数値シミュレーション

巨大地震サイクルに伴って、その周辺でのプレート収束速度の揺らぎが小繰り返し地震に及ぼす影響を調べるために、数値シミュレーションに着手した。その結果、小繰り返し地震の発生間隔は、プレート収束速度が速いほど短くなることに加えて、Time-Predictable的な傾向がみられることが示された。

西南日本における深部ゆっくり地震の移動現象について、Matsuzawa et al. (2004)が余効滑り伝播過程で提唱した、小アスペリティの連鎖反応というモデルを適用したところ、定性的に説明することが出来た。この伝播現象は、巨大地震発生前になると、発生間隔が短く、伝播速度が速く、解放モーメント率が増加する傾向がみられた。さらに、浅部ゆっくり地震も共存させるモデルを構築し、深部との違いを比較した。その結果、浅部の方が深部よりも変化が大きいことを示した。

2011年東北地方太平洋沖地震の発生を受けて、数値シミュレーション結果をこの地震に適用し、予想される観測現象を調べた。その特徴として、東北地方太平洋沖地震の発生後には、固着の強い福島県沖付近で静穏化し、縁辺部の岩手沖や茨城沖などで活発化することを指摘した。また、小繰り返し地震の揺らぎの特徴を調べ、slowness-lawであれば、巨大地震の余効滑りによって、釜石沖地震のような固有地震が、一時的に数日程度の発生間隔で頻発する現象を説明することができた。

4. メカニズム解を用いた応力場の調査

陸上および海底地震観測網で精度よく求めた地震のメカニズム解を用いて、宮城沖の2003年M7.2の地震の余震データの解析を行った。特に、応力テンソルインバージョンにより、応力場の推定を行った。その結果、本震滑り域の東端附近に、広域応力場からのずれが大きく、本震の滑りによる応力変化の影響を受けているとみられる地震クラスターがあることが分かった。

さらに2011年東北地方太平洋沖地震の発生を受けて、この地震の震源近傍における震源分布を推定した。その結果、本震より海溝軸側において本震に向けたプレート境界型地震である前震活動の移動がみられた。また、本震の発生を境に震源深さ分布に大きな変化がみとれる。本震の地震時滑りが大きな領域においては、ほとんどプレート境界型地震は発生していない。一方、上盤・下盤側のプレート内において、本震発生前にはほとんどみられなかった地震活動が存在する。

5. プレート境界での大小地震が入り混じった地震クラスターによる相互作用の検証

大小地震が入り混じった地震クラスターの抽出のためには、中規模繰り返し地震の抽出が有効であると考えられる。そこで、岩手県釜石沖のM4.8の繰り返し地震を含む地震クラスターにおいて正確に推定したイベント間距離、断層サイズデータを用い、比較的大きな地震にも適用できる繰り返し地震抽出方法の検討を行った。その結果、2つの地震のうち小さい方の地震のコーナー周波数付近のコヒーレンスを用いると、地震の規模によらず繰り返し地震とそうでないものの区別が明瞭にできることが分かった。この手法を用い、中規模繰り返し地震の抽出に成功し、プレート境界での滑りモニタリングに用いることができるようになった。

H25年度の成果

H25年度は、2011年東北地方太平洋沖地震の余効滑りが、繰り返し地震の破壊過程に与えた結果を整理し、まとめた。2011年東北地方太平洋沖地震前後の繰り返し地震の規模について見ると、この地震の余効滑りが大きい領域で、繰り返し地震のマグニチュードが大きくなっている傾向が明らかになった(図1)。また、これらの規模が大きくなった繰り返し地震は、東北地方太平洋沖地震以降、多数発生しているものが多く、非地震性滑りの加速(余効滑り)が繰り返し地震の規模の増加に寄与していることが明らかになった。規模変化の詳細を調べるために、東北地方太平洋沖地震後、マグニチュードが最大1増加した、岩手県釜石沖の繰り返し地震について調べると、その滑り域が地震前に比べ広がっていることが分かった(図2)。この結果は、これまでの繰り返し地震の滑り域の周囲に条件付き安定滑り領域が存在していることを示唆している。このような、ローディングに依存する滑り特性の変化は、今後地震の時期だけでなく規模の予測にとって重要である。

GPSデータの解析については、H24年度に引き続き、プレート境界自動モニタリングに向けたシステム開発を継続した。具体的には最終精密暦だけではなく、速報暦、超速報暦を用いて直近1日前の日座標が得られるシステムを構築した。さらに国土地理院(30点)および東北大学(8点)による1HzリアルタイムGNSSデータストリーミングを用いて、1秒毎の座標値を随時得るシステムの構築を行った。さらにこのようにして得られたデータをもとにプレート境界での滑り分布を推定するシステムの開発を進めた。

また、東南海地震震源域の直上付近に設置された海底圧力計について、浅部ゆっくり地震の検知可能性を検討した。その結果、浅部ゆっくり地震に伴う地殻変動は、その近傍の限られた観測点のみに局所的なものとなり、同一ノード内であってもセンスの異なることが示された。このことは、ノード内でスタックしたデータからの差分が有効であり、実際のデータのノイズレベルと比較した結果、検出できる可能性があることを示した。さらに、海溝やプレートの形状によっても大きな影響を受けるため、定量的な検討をする際には、構造探査などから得られた詳細な解析結果を取り入れる必要がある。

- (8)平成25年度の成果に関連の深いもので、平成25年度に公表された主な成果物(論文・報告書等):
Ariyoshi, K., R. Nakata, T. Matsuzawa, R. Hino, T. Horii, A. Hasegawa, Y. Kaneda, The detectability of shallow slow earthquakes by the Dense Oceanfloor Network system for Earthquakes and Tsunamis (DONET) in Tonankai district, Japan, Mar. Geophys. Res., in press, doi:10.1007/s11001-013-9192-6.

有吉 慶介・中田 令子・堀 高峰・金田 義行・松澤 暢・日野 亮太・長谷川 昭, 浅部ゆっくり地震に伴う地殻変動の検出可能性, 日本地球惑星科学連合 2013 年大会 .

Ariyoshi, K., R. Nakata, T. Matsuzawa, R. Hino, T. Hori, A. Hasegawa, Y. Kaneda, The detectability of shallow slow earthquakes by the Dense Oceanfloor Network system for Earthquakes and Tsunamis (DONET) in Tonankai district, Japan, AGU 2013 Fall meeting, San Francisco, Moscone Center, December, 2013.

Uchida, N., Slow slip and repeating earthquakes in the northeastern Japan subduction zone , The summer school on Earthquake Science, Hakone, Laforet Gora, September, 2013.

Uchida, N., K. Shimamura, T. Matsuzawa, T. Okada, Postseismic response of repeating earthquakes around the 2011 Tohoku-oki earthquake: Moment increases due to the fast loading rate, J. Geophys. Res., under review.

山本淳平・長田幸仁・太田雄策・平原 聡・出町知嗣・中山貴史・立花憲司・佐藤俊也・木戸元之・藤本博己・日野亮太・三浦 哲・内田雅之, 衛星通信を活用したリアルタイム GPS 解析 - 地上通信障害時に地殻変動を実時間で把握するために - , 測地学会誌 , 印刷中 .

(9) 実施機関の参加者氏名または部署等名 :

内田直希・伊藤喜宏・松澤 暢・太田雄策 (東北大学理学研究科) ほか 5 名程度 (大学院生含)
他機関との共同研究の有無 : 有
海洋研究開発機構 有吉慶介

(10) 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 : 東北大学大学院理学研究科 地震・噴火予知研究観測センター
電話 : 022-225-1950
e-mail : zisin-yoti@aob.gp.tohoku.ac.jp
URL : <http://www.aob.gp.tohoku.ac.jp/>

(11) この研究課題 (または観測項目) の連絡担当者

氏名 : 内田直希
所属 : 東北大学大学院理学研究科

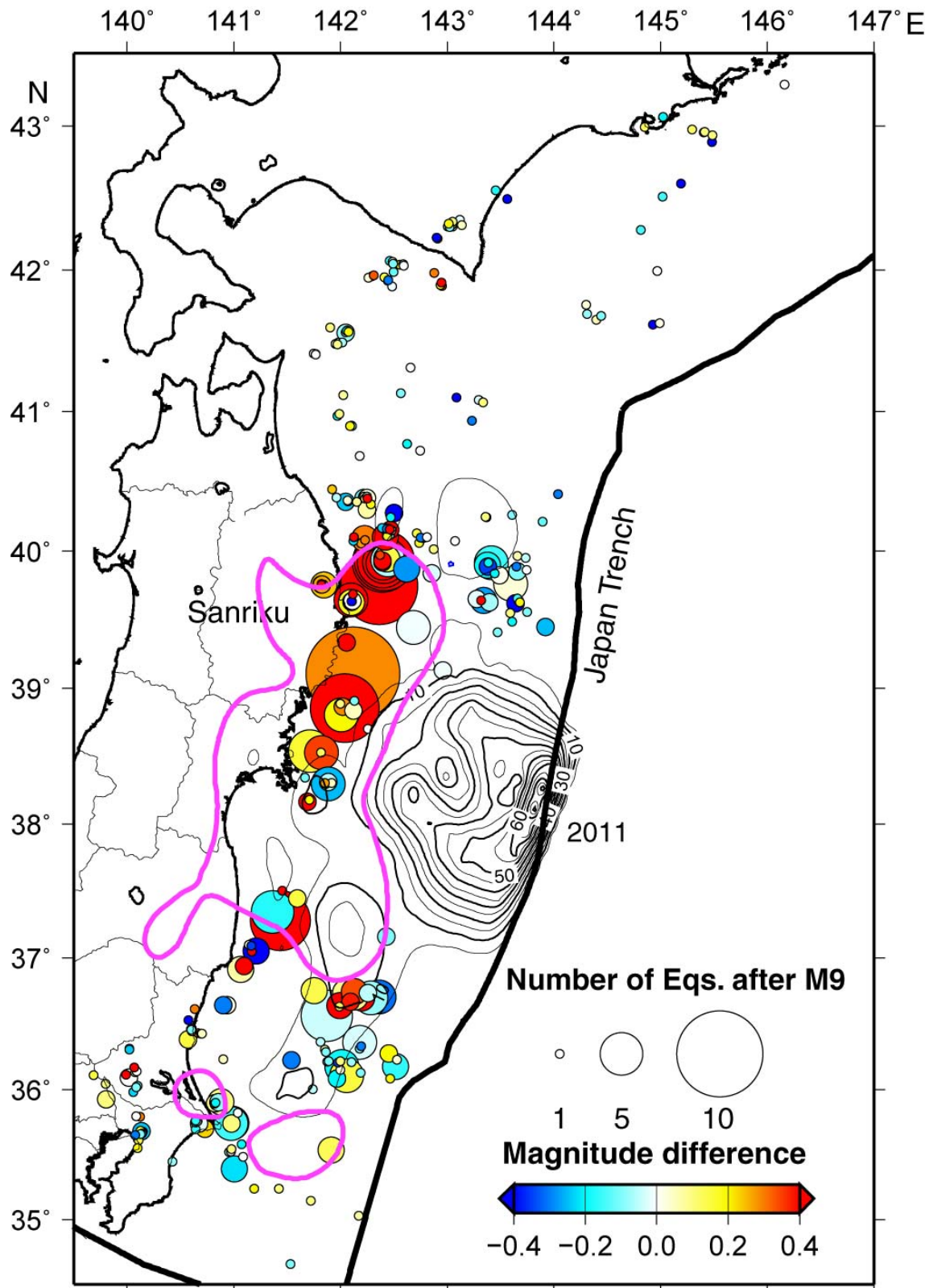


図 1

各繰り返し地震グループにおける，東北地方太平洋沖地震前後の平均マグニチュードの差（後-前）．丸のサイズは各グループの東北地方太平洋沖地震後の地震数．1984年から2011年12月31日までのデータを用いた．黒コンターは，Iinuma et al., 2012による2011年東北地方太平洋沖地震の地震時滑り，ピンクコンターはOzawa et al., 2012による地震後7ヶ月での1mの余効滑りを示す．

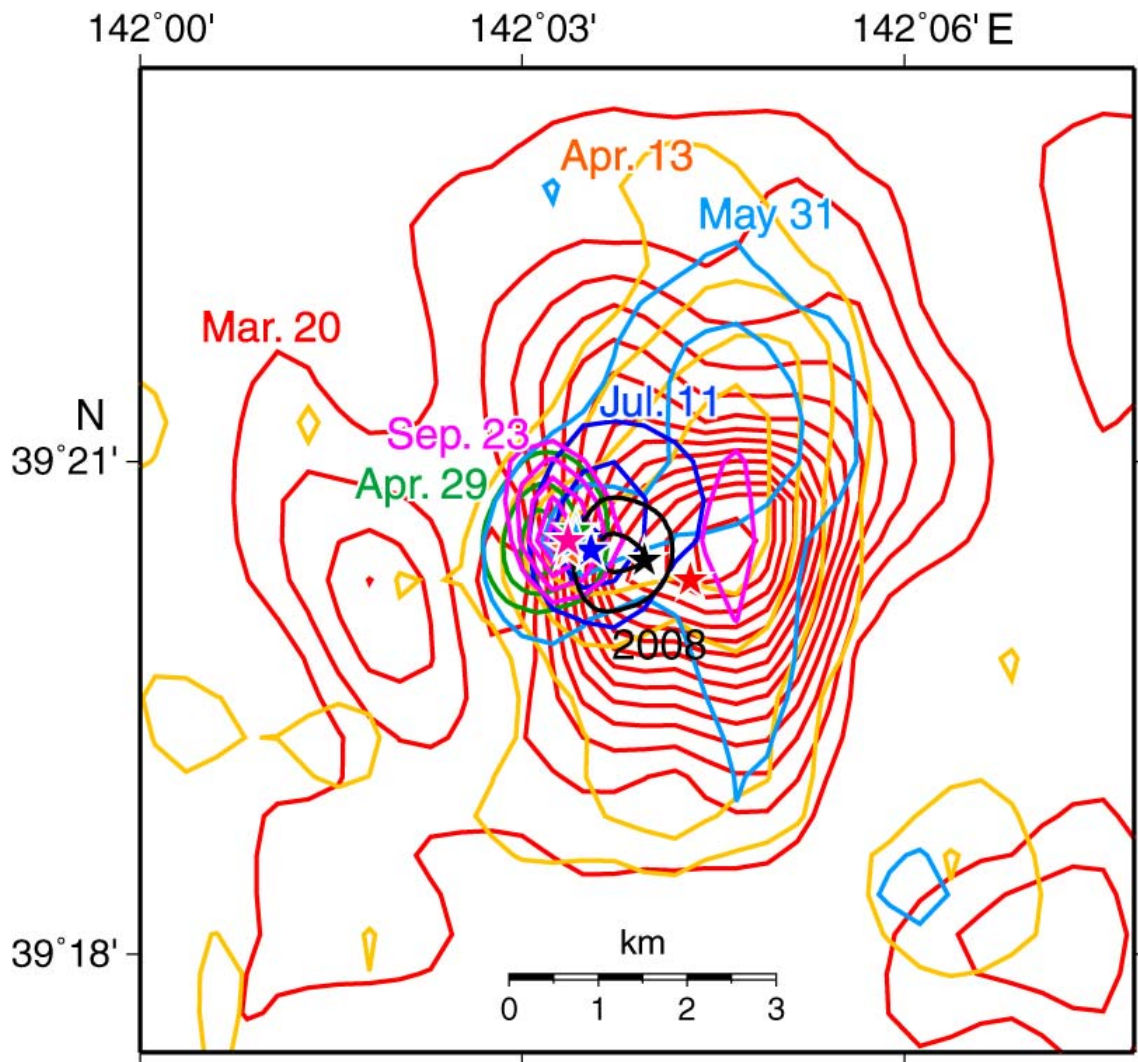


図 2

釜石沖繰り返し地震の滑り量分布 (2008年1月11日, 赤: 2011年3月20日, 橙色: 2011年4月13日, 緑: 2011年4月29日, 水色: 2011年5月31日, 青: 2011年7月11日, ピンク: 2011年9月23日). コンター間隔は5cm. 星はそれぞれの地震の震央. 剛性率 50GPa を滑り量の計算の際用いた.

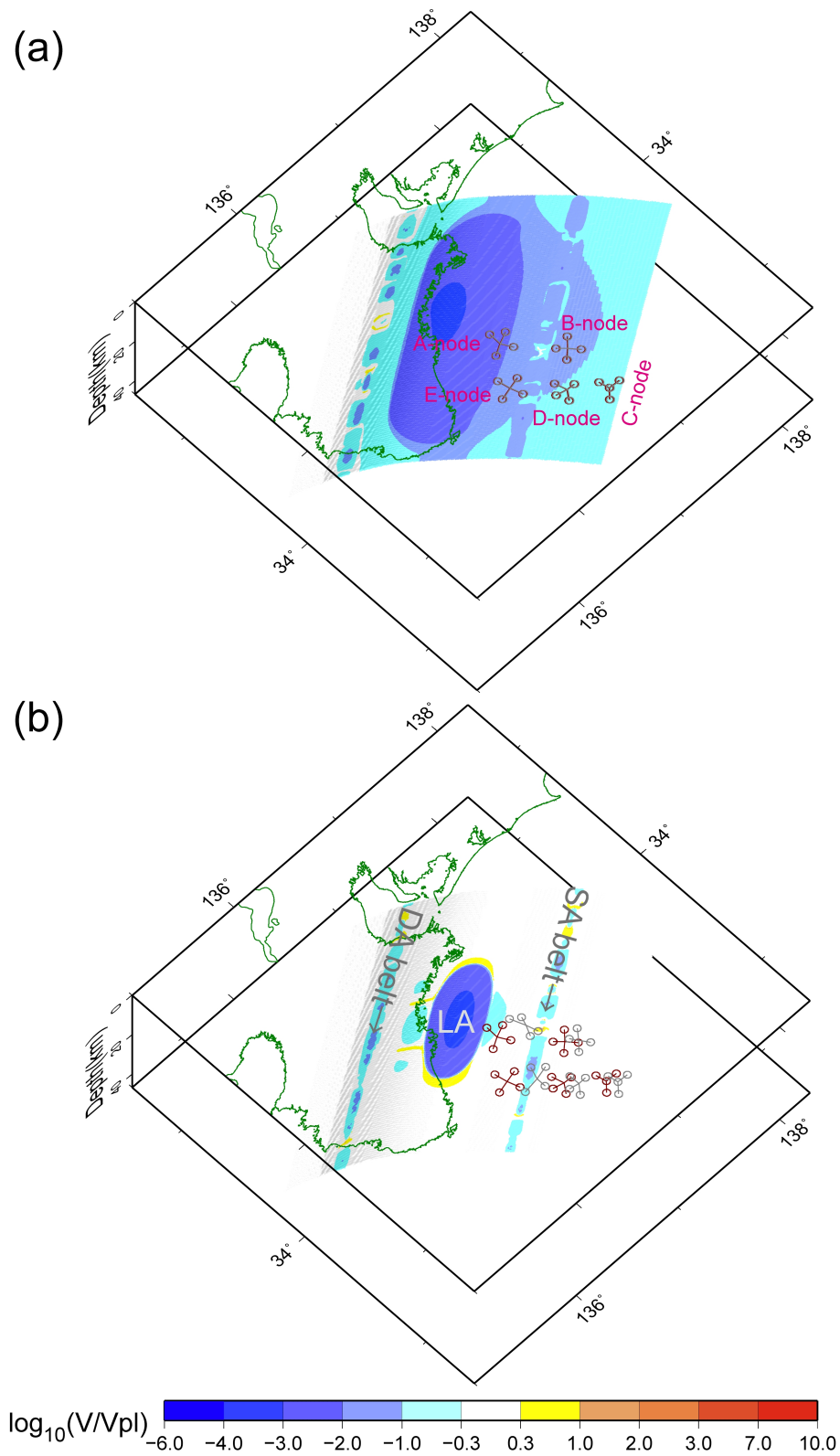


図 3

1944年の東南海地震を想定した場合の (a) 固着期間 (20 年後), (b) 直前期間 (10 年前) におけるプレート境界面上の滑り速度分布および海底観測網. 水平変動は 2.5 年間のもので 25,000 倍に拡大している.

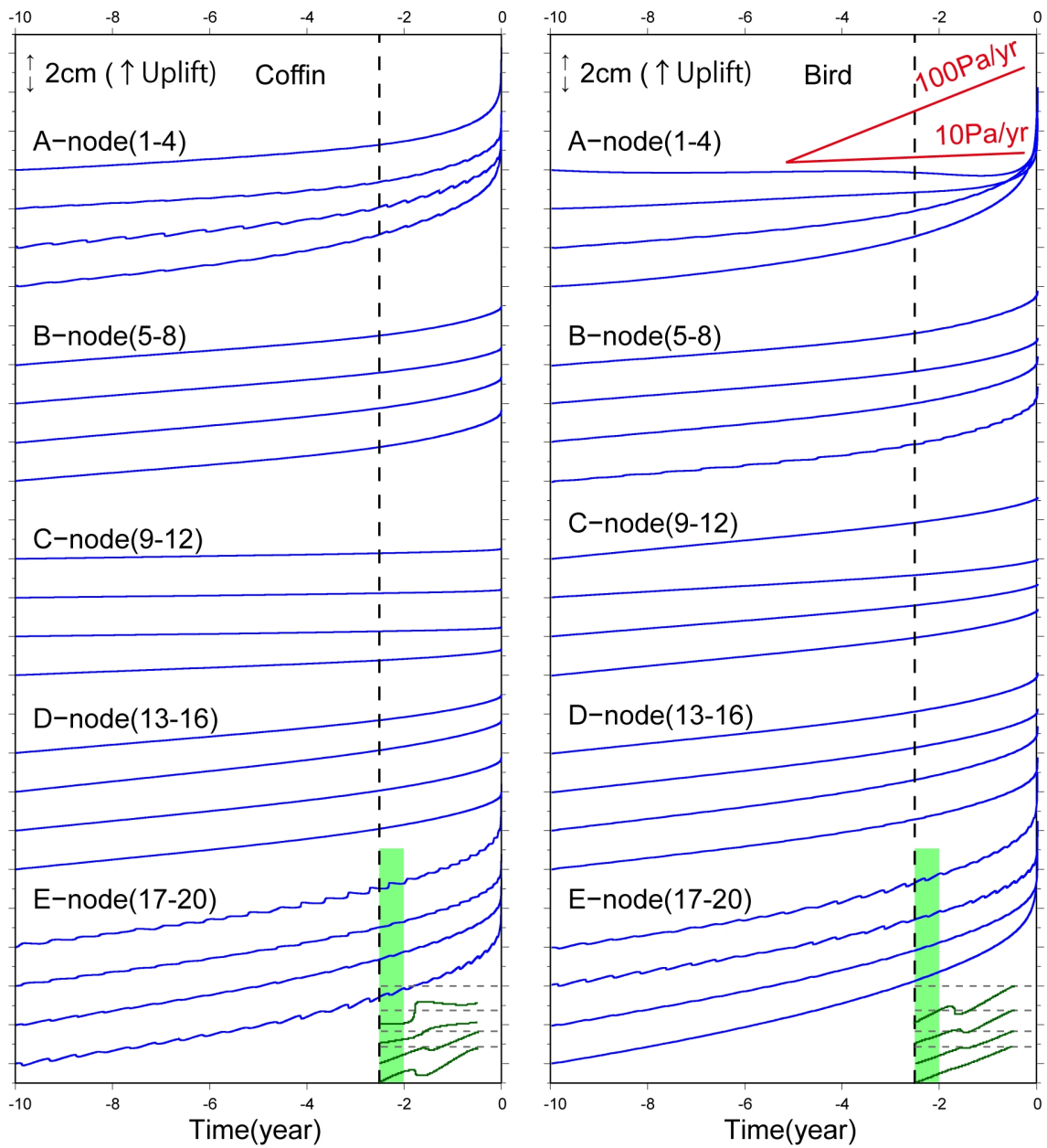


図 4

図 3 の数値モデルおよび Bird, Coffin らが推定した海溝の位置から予想される，A-E ノードにおける海底上下変動．時刻基準は想定東南海地震の発生時とする．