

(1) 実施機関名：

(独) 防災科学技術研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

プレート境界すべり及び内陸地震活動評価に関する研究

(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

(2) 地震・火山噴火に至る準備過程

(2-1) 地震準備過程

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

(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

(1) 地震・火山現象のモニタリングシステムの高度化

ア. 日本列島域

イ. 地震発生・火山噴火の可能性の高い地域

ウ. 東海・東南海・南海地域

2. 地震・火山現象解明のための観測研究の推進

(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

ウ. ひずみ集中帯の成因と内陸地震発生の準備過程

(5) 本課題の5か年の到達目標：

プレート境界の巨大地震発生領域の周囲では、過渡的・準静的すべりを反映する現象が相次いで発見されている。西南日本のフィリピン海プレート沈み込み境界の固着域深部では、数ヶ月ごとに短期的スロースリップイベント、深部超低周波地震及び深部低周波微動が同期して発生し、活動期には移動現象を伴うほか、時には隣接するセグメントに連動することがある。南海トラフ近傍の付加体内及び襟裳海山付近のプレート境界では浅部超低周波地震が発生し、後者については2003年十勝沖地震による余効すべりとの関連が指摘されている。また、相似地震活動は発生域周辺のプレート間準静的すべりを反映するだけでなく、その周囲の比較的大きな地震の発生前後ですべり速度が変化するなどの地震発生準備過程を反映する場合もある。以上のように、これらの現象はプレート間の結合状態や摩擦特性の空間的違いを反映したプレート間すべりであり、これらの発生源とプレート境界の幾何学的形状との位置関係、地下不均質構造や流体等との関係を明らかにして、これらの現象の発生メカニズムや構成則を解明することを到達目標とする。また、内陸においては特定の震源断層に応力が集中する過程を明らかにするため、活断層の幾何形状を反映する震源分布等の高精度震源決定、及び断層周

辺の詳細な地震学的及び電磁気学的構造や応力分布を明らかにし、地殻変動観測とあわせて弾性変形と非弾性変形を分離するなど、応力蓄積の状況を把握することを目標とする。

(6) 本課題の5か年計画の概要：

(7-1) プレート境界深部すべり現象の解明

短期的スロースリップイベント、深部超低周波地震及び深部低周波微動の発生状況モニタリング結果に基づいて、断層モデルやメカニズム解、震源分布を明らかにするとともに、それらの解析手法の改良・開発に基づいて、より高精度の震源パラメータを得、外的擾乱によるトリガー作用などを考慮して、これらの現象の相互作用及び発生メカニズムを明らかにする。さらに自然地震解析や人工震源探査によって得られるプレート形状、境界面とその周辺の不均質地下構造、または電磁気学的調査等による流体分布等に基づき、空間的相互関係を明らかにする。

(7-2) 浅部超低周波地震の解明

浅部超低周波地震のモニタリング結果に基づいて震源分布及び発震機構解を明らかにし、プレート形状や周辺の地下不均質構造、および相似地震解析や地殻変動解析に基づくプレート間すべりモニタリング結果と合わせて、超低周波地震の発生モデルを構築する。

(7-3) 相似地震構成則の解明

日本列島全域における相似地震活動モニタリング結果に基づき、プレート間準静的すべりの分布を明らかにするとともに、プレート内で発生する相似地震活動状況を明らかにする。特に、太平洋プレート及びフィリピン海プレートの上面境界に発生する相似地震活動について着目し、プレート形状や進行方向などを考慮して、地域や深さごとに相似地震の構成則を構築する。

(7-4) 内陸地震活動の解明と活断層評価

内陸活断層周辺で発生する地震の高精度震源・発震機構決定、応力テンソルインバージョンなどに基づき、自然・人工地震探査や電磁気学的調査等による地下不均質構造に関する情報と合わせて、既知の活断層や伏在する活断層の深部構造などの幾何的特徴の抽出や断層内外の構造を明らかにするとともに、地殻変動観測とあわせて弾性変形と非弾性変形を分離するなど、応力蓄積の状況を把握する。

(7) 平成22年度成果の概要：

プレート境界深部すべり現象の解明

・2003年と2010年に豊後水道で発生した長期的スロースリップイベント(SSE)の期間に、SSE領域と重なる場所での微動と、それらから100km以上南に離れた足摺岬沖で発生する浅部超低周波地震とが、同時に活動していることが明らかになった。これらのスロー地震は1946年南海地震の震源域の西隣に位置し、海溝型巨大地震の破壊過程の評価や準備過程を監視する上で非常に有用であると考えられる。

・防災科研Hi-netに併設されている高感度加速度計(傾斜計)データを用いて、短期的SSEを自動検出する手法を新たに開発した。この手法を2007年から2008年までの四国周辺の傾斜データに適用した結果、検出された短期的SSEとそれに伴って発生する深部低周波微動活動の発生過程について、以下のことが明らかになった。(1)各エピソードで微動活動の開始は短期的SSEの発生に1-4日先行する;(2)先行する微動活動は短期的SSEのすべり域周辺で発生する;(3)微動活動の発生域は時間とともに移動して短期的SSE発生域に達すると活発化する。またこの時に短期的SSEが検出される;この様な短期的SSE・微動の発生過程の変化は、プレート境界におけるすべり特性の不均質性を反映している可能性がある。

・Hi-net連続波形記録の精査により、遠地大地震から近地微小地震まで様々な規模の地震によって誘発された微動活動を抽出し、その特徴を調査した。誘発された微動活動の位置は帯状の微動発生域に一様に分布するのではなく局在化しており、そのほとんどが1時間以内に終息する。また、誘発要因となる地震のマグニチュードには震央距離に応じて下限が存在し、その値は通常地震の誘発現象で報告されているものより1から3程度小さい。このことから微動発生域が微小な応力変化に対して非

常に敏感に反応することが示唆される。

・四国西部で実施した広帯域 MT 法探査により存在が明らかとなった低比抵抗層について、定量的な解析をおこなったところ、CO₂ を多量に含む流体が存在している可能性が示唆された。また、フォワードモデリングを実施し、深部低周波微動の発生領域に大規模な低比抵抗層が存在しないことを確認した。

浅部超低周波地震の解明

十勝沖における超低周波地震を波形相関解析によって効率良く検出し、それらのセントロイド・モーメントテンソル (CMT) 解を推定した。推定された超低周波地震の発震機構解は低角逆断層型のものが多く、セントロイドの深さも周囲で発生する通常のプレート境界型地震と矛盾しない。この結果から、十勝沖の超低周波地震はプレート境界型であることが明らかとなった。

相似地震構成則の解明

・海洋プレートは陸の下に潜り込むときにその最上部がはがれ、上盤側プレートの底に付加されることが知られており、この現象は『底付け作用』と呼ばれる。深さ 10km を越える深部での底付けは間接的に示されてきたのみで、詳細な振る舞いは明らかでなかった。房総半島沖の深部反射法構造探査の結果と相似地震を、相対比較を積み重ね詳細に比較したところ、相似地震がフィリピン海プレート最上部に分布する火山性砕屑物・火山岩層 (VCR 層) の下面に沿って分布することが明らかとなった。これは、現在活動的なプレート境界が VCR 層の下面に位置することを示しており、深部底付け作用に相当する。相似地震発生域の浅い側は房総スロースリップイベント発生域に対応する。房総スロースリップイベントは平均 6 年間隔で繰り返すことから、底付け作用の進行が間欠的であることが示唆される。また、これは巨大地震発生域の深部延長に相当する。

・新たに開発した、防災科研の震源カタログのすべてのイベントとの処理を行う相似地震モニタリングシステムにて、山梨県東部・神奈川県西部の地震密集域にて解析を行った。その結果、新たに 67 グループ、167 個の相似地震が見出された。この領域の相似地震はバースト型で非スラスト型の発震機構解をもつものが多かったが、新たに平均繰り返し間隔 1 年以上の定常型で、かつスラスト型の発震機構解を持つものが見出された。詳細震源分布を決定したところ、この領域の相似地震は深さ方向に約 10km の幅をもつことが明らかとなった。関東地方東部ではフィリピン海プレートが沈みこみ、相似地震はプレートの境界に沿って分布し、ほぼすべて定常的に繰り返し発生するのに対し、関東地方西部では伊豆・小笠原島弧が衝突し、相似地震は伊豆・小笠原島弧より剥離し衝突付加する上部地殻と中・下部地殻の間で発生する。このような発生場の違いが岩石組成、物理的状態の違いを伴い、相似地震活動の違いを引き起こしている可能性がある。

内陸地震活動の解明と活断層評価

平成 21 年度に濃尾断層帯で実施した構造探査の記録を MDRS (Multi-dip Reflection Surfaces) 法および Fresnel-volume マイグレーションによって再解析した。この再解析の結果、根尾谷断層を横断する北側線では、既存解析による結果に比べて深さ 3 km 以浅に分布する急傾斜の反射面がより明瞭となり、地表地質に見られる背斜構造及び向斜構造との対応がより鮮明になった。深さ 8 - 11 km の 2 枚の反射面についても断層の南西部と北東部で明瞭になり、根尾谷断層の直下でそれらが不連続となっているようにも見える。濃尾地震の震源域南部に位置する南側線においても、反射面のイメージが向上し、自然地震の震源分布や発震機構解が示唆する西傾斜・東落ちの逆断層に対応する反射面が深さ約 10 km 程度まで追跡可能となった。このように、内陸地震の震源断層が既存の構造境界としてイメージされることが明らかとなった。

一方、ひずみ集中帯に位置する新潟県およびその周辺域に展開したオフライン地震観測点 300 点のデータによるトモグラフィ解析においては、これまでの研究では得られなかった細かいスケールの地殻構造を広域にわたって捉えることに成功した。2004 年新潟県中越地震と 2007 年新潟県中越沖地震の 2 地震の震源域間には厚い堆積層からなる低速度体が存在し、その中心部にはひとときわ基盤構造が低下している領域 (Deep Central Trough, DCT) があることが既往研究によって指摘されている。本研究によって、この DCT が北東方向および南西方向に広く分布すること、その幅には地域性があることがわかった。この地域では、日本海拡大期のリフト構造の発達に伴って形成された古い断層の再活動に

よって地震が発生していると考えられており、リフト構造と密接な関係がある DCT の詳細な形状は、ひずみ集中帯における断層セグメントを考える上で重要な手がかりとなりうる。

(8) 平成 22 年度の成果に関連の深いもので、平成 22 年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

Kimura, H., T. Takeda, K. Obara, and K. Kasahara, 2010, Seismic Evidence for Active Underplating Below the Megathrust Earthquake Zone in Japan, *Science*, 329, 210-212.

Kimura, T., K. Obara, H. Kimura, and H. Hirose, 2011, Automated detection of slow slip events within the Nankai subduction zone, *Geophys. Res. Lett.*, 38, L01311, doi:10.1029/2010GL045899.

Hirose, H., and K. Obara, 2010, Recurrence behavior of short-term slow slip and correlated non-volcanic tremor episodes in western Shikoku, southwest Japan, *J. Geophys. Res.*, 115, B00A21, doi: 10.1029/2008JB006050.

Hirose, H., Y. Asano, K. Obara, T. Kimura, T. Matsuzawa, S. Tanaka, and T. Maeda, 2010, Slow Earthquakes Linked Along Dip in the Nankai Subduction Zone, *Science*, 330, 1502.

Sekine, S., H. Hirose, and K. Obara, 2010, Short-term slow slip events correlated with non-volcanic tremor episodes in southwest Japan, *J. Geophys. Res.*, 115, B00A27, doi:10.1029/2008JB006059.

防災科学技術研究所, 2010, 日本周辺の超低周波地震活動 (2009 年 11 月~2010 年 4 月), 地震予知連絡会会報, 84, 6-7.

防災科学技術研究所, 2010, 西南日本における短期的スロースリップイベント (2009 年 12 月~2010 年 4 月), 地震予知連絡会会報, 84, 374-378.

防災科学技術研究所, 2010, 西南日本における深部低周波微動活動 (2009 年 11 月~2010 年 4 月), 地震予知連絡会会報, 84, 379-383.

防災科学技術研究所, 2010, 豊後水道長期的スロースリップイベントに伴う傾斜変動, 地震予知連絡会会報, 84, 398-401.

防災科学技術研究所, 2010, 短期的スローイベントと微動の準リアルタイムでの検知能力, 地震予知連絡会会報, 84, 577-590.

防災科学技術研究所, 2011, 日本周辺における浅部超低周波地震活動 (2010 年 5 月~2010 年 10 月), 地震予知連絡会会報, 85, in press.

防災科学技術研究所, 2011, 防災科研におけるモニタリング手法高度化への取り組み, 地震予知連絡会会報, 85, in press.

防災科学技術研究所, 2011, 豊後水道長期的スロースリップイベント (2009 年~2010 年), 地震予知連絡会会報, 85, in press.

防災科学技術研究所, 2011, 西南日本における短期的スロースリップイベント (2010 年 5 月~2010 年 10 月), 地震予知連絡会会報, 85, in press.

防災科学技術研究所, 2011, 西南日本における深部低周波微動活動 (2010 年 5 月~2010 年 10 月), 地震予知連絡会会報, 85, in press.

(9) 平成 23 年度実施計画の概要：

平成 22 年度に引き続き、スロースリップイベント、深部超低周波地震、深部低周波微動、浅部超低周波地震の発生状況モニタリング結果に基づき、断層モデルやメカニズム解、震源分布を明らかにするとともに、それぞれの時空間的な関連について調べる。これらの現象と地下不均質構造との関係についても解析を進める。特に浅部超低周波地震については、F-net 等のデータを利用して、より以前の活動状況についても調査をすすめる。また、相似地震活動モニタリング結果に基づき、プレート間準静的すべりの分布を明らかにするとともに、プレート内で発生する相似地震活動状況を明らかにし、地域や深さごとに相似地震構成則の構築を進める。さらに、「ひずみ集中帯の重点的調査観測・研究」や「神縄・国府津松田断層帯における重点的な調査観測」等による観測点密度が高い領域について、地震波速度構造の高解像度イメージングを行うとともに、その結果から断層セグメントなどを規定しうる微細構造の検出を試みる。

(10) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

防災科学技術研究所地震研究部

他機関との共同研究の有無：有

東京大学地震研究所

(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：防災科学技術研究所企画部広報普及課

電話：029-851-1611

e-mail：toiawase@bosai.go.jp

URL：http://www.bosai.go.jp/index.html

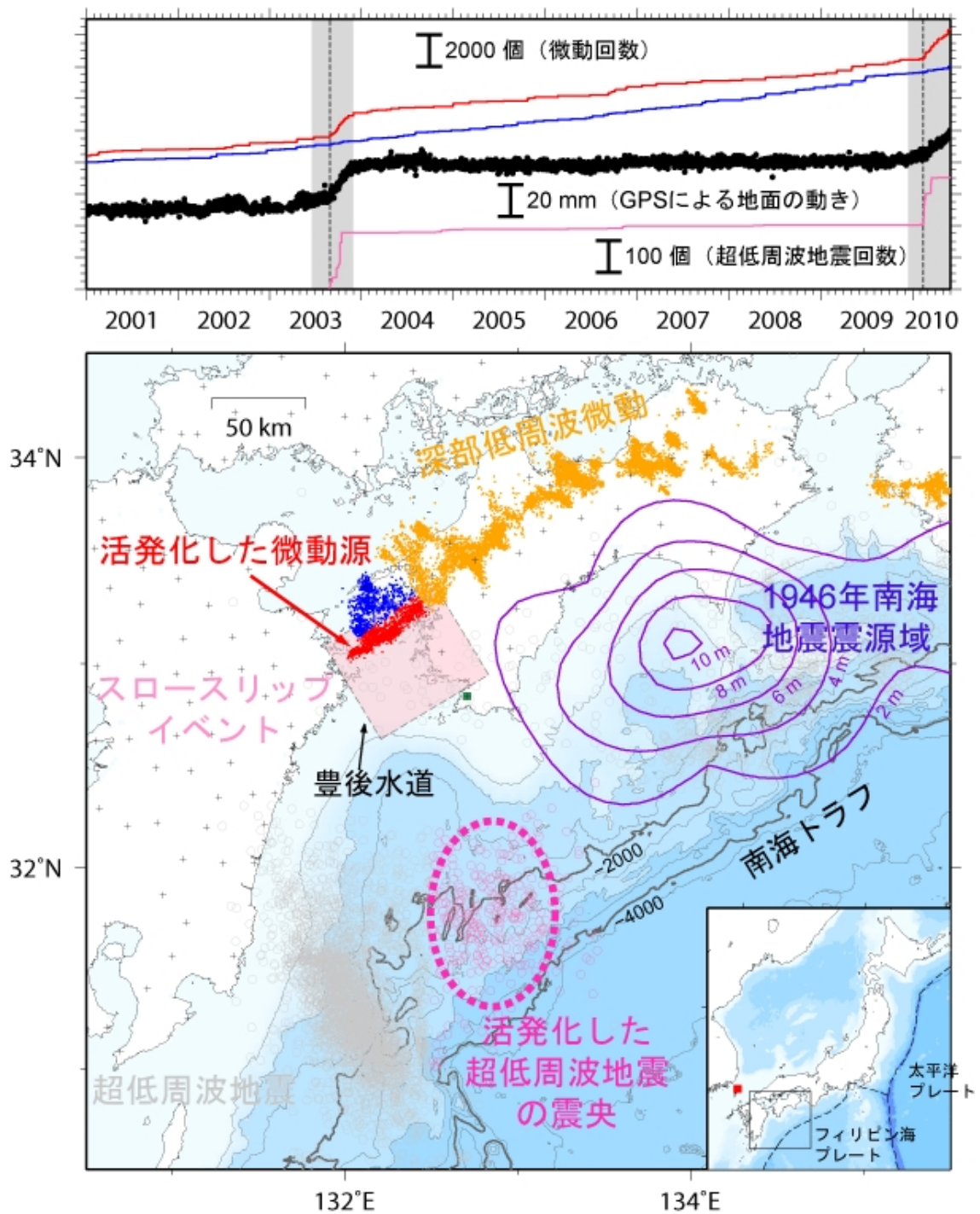


図1 (上) : 2001年から2010年はじめまでのスロー地震の活動の推移。(下) : 南海地震とスロー地震群の位置図。
 (上) 黒の点は GEONET 大月観測点 (位置は下図に表示) の位置の東方向への動き、赤と青の線は、それぞれ下図の赤と青の点で示した位置の深部低周波微動の積算発生回数、ピンクの線は下図のピンク色の円で示した場所の浅部超低周波地震の積算発生回数。灰色の影をつけた期間が、長期的スロースリップイベントの期間を示す。(下) 南海地震とスロー地震群の位置図。紫のコンターは、1946年南海地震の食い違い量分布。深部低周波微動の震央を橙・赤・青点で示す。豊後水道付近の微動 (赤および青点) の活動度を上図に示した。ピンク色の四角の領域は豊後水道スロースリップイベントのすべり領域。浅部超低周波地震の発生領域を灰色およびピンク色の円で示す。そのうちピンク色の円で示した領域の活動度を上図に示した。

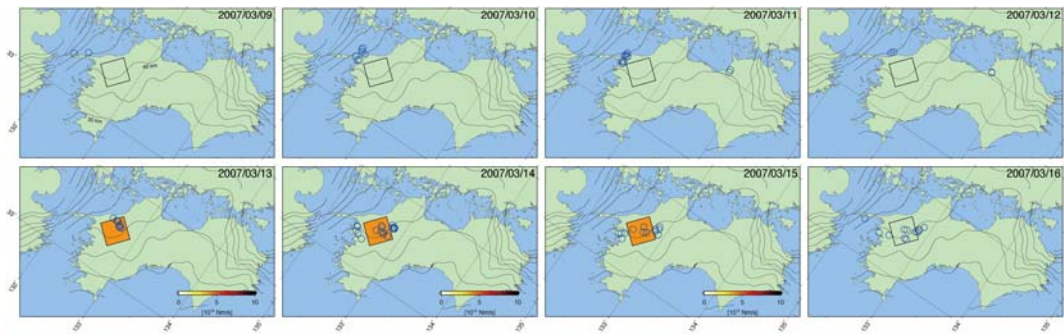


図2: 短期的スロースリップイベントの自動検出例。

2007年3月のイベント時の1日毎の結果。色のついた四角が検出されたSSE断層の位置で、色はモーメント解放レートを示す。青丸は深部低周波微動の震央。

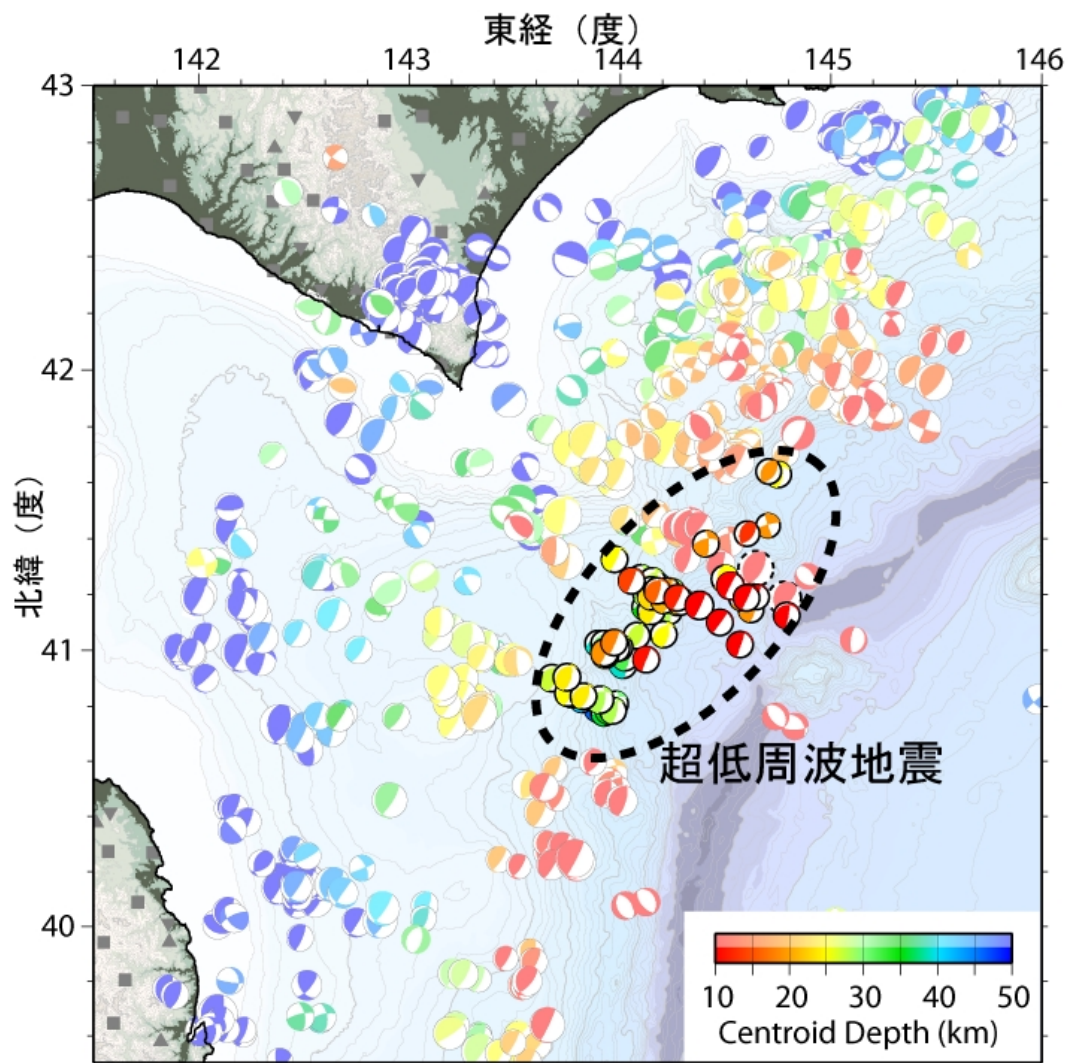


図3: 推定された発震機構解の分布。

超低周波地震および通常の地震について、CMT解析によって推定された発震機構解（最適なダブルカップル解）をセントロイド位置に示す。カラースケールはセントロイド深さを表し、超低周波地震は濃い色で通常の地震は淡い色でそれぞれ示す。