

2.(2)「地殻活動モニタリングシステムの高度化」研究計画

日本列島全域の地殻活動モニタリングは、政府の地震調査研究推進本部が策定した基盤的調査観測としての地震及びGPS連続観測網により行われ、今日では、その観測データ及び解析結果は広く公開されている。モニタリングシステムによって得られるデータは、地殻活動予測シミュレーションモデルの構築やシミュレーション結果の検証において必須なものである。また、過去のデータとともに日本列島地殻活動情報データベースとして整備されることにより、大地震発生時の即時対応等にも活用できる。列島規模の広域のモニタリングシステムだけでなく、想定東海地震震源域や想定東南海・南海地震震源域等、大地震の発生が予想される特定の地域における地殻活動モニタリングの高度化も重要である。

本研究計画では、関連研究者の連携の下、モニタリングシステム高度化のために、新たなモニタリング手法の研究開発、既存のモニタリング手法の改善、既存の観測網やデータ流通網等の整備や改善、地殻活動モニタリングに有用なその他諸観測の整備等を実施している。また、特定地域においては更に高密度かつ多項目の観測を実施している。

ア. 日本列島域

(地殻変動データによる地殻活動モニタリングシステムの高度化)

基盤的調査観測として、GEONET等GPS観測網による日本列島の広域地殻活動モニタリングを実施しており、そのデータは広く公開されて多くの研究者に活用されているとともに、解析結果は、地震調査研究推進本部地震調査委員会や地震予知連絡会等の重要な検討資料となっている(国土地理院[課題番号:6004]、海上保安庁[課題番号:8005])。またGEONETデータによる地殻変動解析精度を向上させるため精密単独測位法による解析を行い、従来の方法に比べて計算機負荷を軽減できることが分かった(東京大学地震研究所[課題番号:1413])。これに加えて、VLBI測量、高精度三次元測量(水準測量)、高度地域基準点測量(GPS測量)等を実施しGEONETによる観測データを補足する詳細な地殻変動情報を提供している。例えば2007年新潟県中越沖地震においては高精度な上下変動測量結果を提供し、震源断層に関する重要な情報を提供した(国土地理院[課題番号:6001、6008、6009])。またGPSや光波測距を用いた変動地形調査を、それぞれ牡鹿、室戸地区、および川奈、池田、切山地区で実施した(国土地理院[課題番号:6017])。

リアルタイムで取得可能になったGEONETの1秒毎のデータを利用し、震源断層の即時解析手法の開発を進めた。60点の電子基準点の同時解析が可能となった(国土地理院[課題番号:6026])。

(地震観測データによる地殻活動モニタリングシステムの高度化)

Hi-net等から得られるデータを用いて、超低周波地震解析システムの開発を実施し、検出精度の向上がはかられた。相似地震の自動検出システムの改良が施され関東地方における相似地震はほぼリアルタイムで検出可能となった。(防災科学技術研究所[課題番号:3007])。

全国地震データ流通ネットワーク(JDXnet)によりリアルタイムで配信されている広帯域地震計データを用いた、地震の発生・位置・メカニズムの自動決定システムを開発して東日本太平洋岸地域のモニタリングを実施している。2007年新潟県中越沖地震の余震域にも適用し、余震の震源やメカニズム決定ができることを示した(東京大学地震研究所[課題番号:1413])。

地震活動度の変化を自動的に検出するため、統計的手法によるシステムを運用し、静穏化・活発化などに関するデータ蓄積を進めている。また検出結果を判定会等に報告している(気象庁[課題番号:7020])。

ケーブル式海底地震計の記録を用いた震源決定補正値算出法の再検討を行い、東海沖に設置した気象庁の海底地震計および伊東沖の東京大学地震研究所の海底地震計記録を用いて震源決定精度の改善の評価を行った。補正後の震源計算結果と気象庁一元化震源カタログとを比較した結果、全体として震源が浅くなるほか、震源分布が集中する傾向があることが分かった(気象庁[課題番号:7005])。三次元不均質構造による震源の再計算をおこない、関東地方下のプレート形状を推定した(気象庁[課題番号:7004])。定常的な一元化初動発震機構処理業務への自動処理の導入による決定能力の向上、F-netの波形データの導入によるCMT解の決定時間の短縮・精度向上を進めた(気象庁[課題番号:7006])。

微小地震の発生頻度は応力変化に依存するという考えに基づき、微小地震カタログデータから応力変化の状態の抽出を試みた。北海道周辺にこの手法を適応した結果、沈み込むプレート内の応力が2003年十勝沖地震の影響を受けて、2004年の釧路沖の地震(M7.1)を誘発した可能性が示された(図41)。また発震機構解の統計的解析により応力を推定した結果、2003年十勝沖地震前後の応力変化が明らかになった(北海道大学[課題番号:1009]、Ghimire et al., 2008)。

(地殻活動モニタリング高度化に資する諸観測の実施)

日本列島域における地磁気基準点(柿岡、女満別、鹿屋、父島)の観測を実施するとともに、女満別の処理システムの改良を行い、処理の効率化を図った(気象庁[課題番号:7003])。また、全国11点の地磁気連続観測、10点の地磁気連続観測点及び7点の一等磁気点で絶対観測等を実施した(国土地理院[課題番号:6003])。伊豆諸島(八丈島)における地磁気全磁力、地磁気三成分の連続観測を実施した(海上保安庁[課題番号:8006])。

地殻変動の監視のため、全国25験潮場で30秒間隔の潮位観測を実施するとともに、得られた30秒潮位、毎時潮位、日平均潮位、月平均潮位等のデータをホームページで公開している(国土地理院[課題番号:6007])。全国28カ所で潮位観測を継続して実施し、観測された潮汐から平均水面を求め、この変動から地殻変動をリアルタイムで集中監視している。(海上保安庁[課題番号:8004])。全国71ヶ所で潮位観測を継続し、ホームページで公開するとともに、各機関が所有する潮位データを一元化して共有するシステムを運用している(気象庁[課題番号:7017])。

地殻変動の監視のため、全国5カ所で絶対重力を測定した(国土地理[課題番号:6013])。

(観測データ流通ネットワークの高度化)

全国の大学等へのデータ配信機能は、すでに超高速・高機能研究開発テストベッドネットワーク(JGN2)などの地上高速広域ネットワークに移行されて、新しいJDXnetが構築されているが、新たに国立情報学研究所の次世代学術情報ネットワーク(SINET3)を利用したデータ流通ネットワークの運用を開始し、より確実なデータ流通網が確立した(図42)。また地震観測点のチャンネル情報の分散管理システム(CIMS)の運用を開始した。これはウェブによる画面上での入力を可能にするなど、各大学独自の観測を維持しつつ、効率的な情報共有化を可能にするものである(東京大学地震研究所[課題番号:1413])。

イ. 東海地域

大地震の発生が予測されている東海地域においては、列島規模のモニタリングに加えて、より高度化された地殻活動モニタリングのための研究開発が実施されている。

短期的ゆっくり滑りの早期発見及び把握のために、**気象庁以外のデータを用いた同時異常の監視を行うための検討を引き続き行った**(気象庁[課題番号:7007])。東海地震に到るまでのシミ

コメント [m1]: 1 0 .

削除: 可能にし、その有効性を確認した

レーション精度向上、海底地震観測の実施、精密制御震源(アクロス)によるモニタリング手法の開発、地殻の上下変動の潮位や GPS による精度向上、レーザー式変位計の技術開発などを実施した(気象庁[課題番号:7008])。また新たなケーブル式海底地震計システムのため、陸上器機の製作および陸上部ケーブルの敷設を行った(気象庁[課題番号:7019])。

コメント [m2]: 1 1 .

削除: 海底

GPS を用いた高密度地殻変動観測では、GEONET 観測網と相補的になるように設置された GPS 大学連合による観測点 60 点のうち 9 点のテレメータ化を進めるとともに、得られたデータを用いて歪解析を実施した。その結果、地震活動度に基づく固着域の推定結果と整合する面積歪分布が得られたほか、短期的ゆっくり滑りによる変動を見出すことができた(東京大学地震研究所[課題番号:1414])。駿河湾内で海底地殻変動観測および銭洲岩礁及における GPS 観測が実施され、周囲の GEONET と整合的な結果が得られている(図 43)(名古屋大学[課題番号:1705])。

観測強化地域の高精度三次元測量(水準測量)を森-掛川-浜岡-御前崎検潮所間の路線で計画通り 4 回実施したほか、東海・伊豆・首都圏域でのべ 1411km の水準測量を実施した。また、御前崎においては 800m 深井戸の歪計・傾斜計・長距離水管傾斜計等の連続観測の実施、切山観測点では長距離水管傾斜計、館山では水晶管伸縮計・水管傾斜計の連続観測を実施した。御前崎における絶対重力観測を 2 回実施した(国土地理院[課題番号:6011、6012、6013])。また東海地震震源域直上の豊橋、御前崎のほか静岡県菊川における繰り返し絶対重力測定を開始した(東京大学地震研究所[課題番号:1414])。

コメント [m3]: 1 2 .

削除: るとともに、2003 年新潟県中越地震や 2007 年新潟県中越沖地震などによる地下水への影響は、地殻変動や応力状態の変化ではなく地震動によりもたらされることを示した

地殻変動により地下水および地下の化学成分がどのように移動するかを解明するための研究が行われた。東海地域の地下水観測設備の高度化を進めた(産業技術総合研究所[課題番号:5009])。また化学成分検出のための検出装置の改良を進めた(東京大学[課題番号:1503])。

コメント [m4]: 1 3 .

削除: さらに地下水の間隙水圧および隣接する帯水層が地殻歪測定へどのように影響を及ぼすかについて、神岡および野島のポアホールを用いて推定した(京都大学防災研究所[課題番号:1810]、Kano et al., 2007)。

ウ. 東南海・南海地域

南海トラフ沿いの地震活動をより詳細に把握するために、東南海地震の震源域と南海地震の震源域の境界が位置する潮岬沖において、トラフ軸を越えた広範囲の長期地震観測を実施し、平成 15~18 年までのデータを用いた震源決定を行った。(東京大学地震研究所[課題番号:1415])。

東南海・南海地震域における地殻変動特性を研究するために 5 点の GPS 観測点を増設し、ゆっくり滑りのモニタリングを継続した。(国土地理院[課題番号:6025])。また、高精度三次元測量(水準測量)を大阪湾地区、東南海・南海地震を想定した室戸地方で実施した(国土地理院[課題番号:6014])。

東南海・南海地震の予測のため地下水等総合観測施設の新时期整備を進めた。また過去の南海地震時の松山道後温泉における温泉水位低下について検討した。同温泉は、強震動によって一般に水位上昇するが、南海地震の時は、地震時の大きな歪増加によって水位低下を起こすことが明らかになった(図 44)(産業技術総合研究所[課題番号:5009]、Itaba and Koizumi 2007)。

コメント [m5]: 1 4 .

削除: 牡鹿地区、

削除: 変動

削除: る

削除: のほか

削除: では

削除: 変化

エ. その他特定の地域

大地震の発生が予測されているその他の特定の地域においても、列島規模のモニタリングに加えて、より高度化された地殻活動モニタリングのための研究開発が実施された。

(宮城県沖)

近い将来の地震発生が懸念されている宮城県沖においては、プレート境界の固着および滑りのリアルタイムモニタリングに向けた研究が実施されている。プレート境界の固着に関しては、陸上の GEONET 観測点および沿岸域に増強した GPS 観測点のデータを用い、改良された時間依存逆

コメント [m6]: 1 5 .

解析法により、固着域分布とその変化を推定した。その結果、1994年三陸はるか沖地震の震源域における固着の回復、深部における弱い固着域の存在、およびその固着が2005年の宮城県沖地震により解消されたことが明らかになった(図45)。またプレート境界の滑りに関しては、相似地震(小繰り返し地震)を用いているが、平成19年度は関東地方にまでモニタリング領域を広げた(東北大学[課題番号:1206])。

宮城県沖では、平成14年度以来長期繰り返し海底地震観測が実施されている。この観測は長期観測型海底地震計を用いて、海底地震計の位置の空間配置を一定に保つことにより地震活動度の時間変化の把握を容易にすることである(東京大学地震研究所[課題番号:1416]、気象庁[課題番号:7010])。この記録を用いて2005年宮城県沖の地震の震源域付近の地震について、プレート境界に発生した地震の活動を調べた結果、アスペリティ近傍と余効滑りの大きな地域に発生し、余効滑りの大きな時期に発生していることが分かった(東北大学[課題番号:1206])。

(糸魚川 - 静岡構造線)

この地域では、平成17年度から5ヵ年計画で重点的調査観測プロジェクトが行われている。このデータを活用して、断層周辺の地震活動を調査した。北部フォッサマグナにおいて観測点間隔1・2kmの稠密自然地震観測点で記録された遠地震波形を処理する手法(自然地震波形干渉法)を適用し、擬似的な反射断面を作り、北部フォッサマグナの構造を明らかにした(東京大学地震研究所[課題番号:1416]、Abe et al., 2007)。

断層帯北・中部の30観測点において平成19年11月にGPS繰り返し観測を実施し、詳細な地殻変動分布を明らかにした(国土地理院[課題番号:6016])。

(南関東とその周辺域、伊豆半島東部)

南関東とその周辺域においては、気象庁一元化データを用いたトモグラフィ解析により関東地方の地殻・マントル構造を明らかにし、フィリピン海プレートが太平洋プレートとの衝突によりプレート内地震が発生していることを明らかにした(図46)(Wu et al. 2007)。このモデルにより南関東における地震活動のモニタリング精度を向上させることができるようになった(東京大学地震研究所[課題番号:1416])。

伊豆半島東部では、地電位差、比抵抗、全磁力連続観測が実施された。過去のデータにさかのぼった解析の結果平成16年4～5月に発生した群発地震にやや先行して比抵抗が減少したことが明らかになった(東京大学地震研究所[課題番号:1416])。

(日本海溝・千島海溝周辺)

平成19年度は、その前年に三陸沖北東部から十勝沖に設置した海底地震計42台を利用して、エアガン構造探査を行った。また平成19年10月には三陸沖に49台の海底地震計を設置し、観測を開始した(東京大学地震研究所[課題番号:1415])。

青森に1点、岩手に4点、福島に2点、茨城に1点、GPS連続観測点を設置した。また平成17年以降の東北から北海道太平洋側における余効滑りの時間的发展についてモデリングを行った。岩手沖でのプレート間の固着状態の時空間変化に関するモデル化を行った結果、平成15年頃から急激に変化した可能性があることが分かった(図47)(国土地理院[課題番号:6023])。

(その他)

地殻活動が活発な地域である、樽前山、有珠山、北海道駒ヶ岳、富士山、伊豆大島、三宅島等

で GPS 観測を実施した。伊豆大島では自動光波測距を実施した。また硫黄島には機動的 GPS 観測点を設置し観測を開始した。新潟県中越沖地震発生にともない緊急水準測量を実施した（国土地理院[課題番号：6018]）。

コメント [m7]: 1 6 .

削除: 測量

2004 年新潟県中越地震や 2007 年能登半島地震、2007 年新潟県中越沖地震などによる地下水への影響は、主に地震動によりもたらされることを示した（産業技術総合研究所[課題番号:5009]）。さらに地下水の間隙水圧および隣接する帯水層が地殻歪測定へどのように影響を及ぼすかについて、神岡および野島のポアホールを用いて推定した（京都大学防災研究所[課題番号：1810]、Kano et al., 2007）。

コメント [m8]: 1 2 .

コメント [m9]: 1 3 .

走査型震源決定法（Source-Scanning Algorithm）の改良を実施するとともに、飛騨山脈脊梁部および跡津川断層周辺における低周波地震の調査を行った。（京都大学防災研究所[課題番号：1809]）。

課題と展望

モニタリングデータは、地殻活動予測シミュレーションモデルの構築やシミュレーション結果の検証に利用されることを通じて、予測シミュレーションの精度向上に寄与する。プレート境界に関しては、千島海溝・日本海溝沿いについては GPS および相似地震を用いた固着・滑りのモニタリング法に進展が見られている。またフィリピン海プレート沿いについては、GPS や歪・傾斜計および低周波地震・微動による固着・滑りのモニタリングが進んでいる。またあたらなケーブル式海底観測器機や海底地殻変動の観測など新しい観測に向けた準備もなされている。今後は、プレート境界で非定常的に発生している非定常的ゆっくり滑りや余効変動などの非地震性の滑りを説明する地殻活動予測シミュレーションモデルの構築を行い、モニタリングによって得られたデータを再現すること、並びにそのモデルの検証・改善にモニタリングデータを活用することが必要であろう。地殻活動モニタリングシステムの高度化、地殻活動予測シミュレーションモデルの構築、地殻活動情報総合データベースの開発の三つの課題の合同研究会を今後も開催し、研究者間の情報交換を進め、モニタリングとシミュレーションのより密接な関係を築いていくことが重要である。

参考文献

- Abe, S., E. Kurashimo, H. Sato, N. Hirata, T. Iwasaki, and T. Kawanaka, Interferometric seismic imaging of crustal structure using scattered teleseismic waves, *Geophys. Res. Lett.*, 34, L19305, doi:10.1029/2007GL030633., 2007.
- Ghimire, S., K. Katsumata, M. Kasahara, Spatio-temporal evolution of Coulomb stress in the Pacific slab inverted from the seismicity rate change and its tectonic interpretation in Hokkaido, Northern Japan, *TECTONOPHYSICS*, 455, 25-42, 2008.
- Itaba, S and N. Koizumi, Earthquake-related Changes in Groundwater levels at the Dogo Hot Spring, Japan, *Pure Appl. Geophys.*, 164, 2397-2410, 2007.
- 石川公美子・田部井隆雄, 伊豆半島とその周辺の地殻歪分布と変動境界の推定, 日本地震学会秋季大会, 2007.
- Kano, Y. T. Yanagidani, Y. Kitagawa and F. Yamashita, Monitoring of pore pressure changes using closed borehole wells: Interpretations based on poroelasticity, *Geodynamics of the Atotsugawa Fault System*, Edited by M. Ando, Terrapub, 2007
- Wu, F., D. Okaya, H. Sato, and N. Hirata, Interaction between two subducting plates under

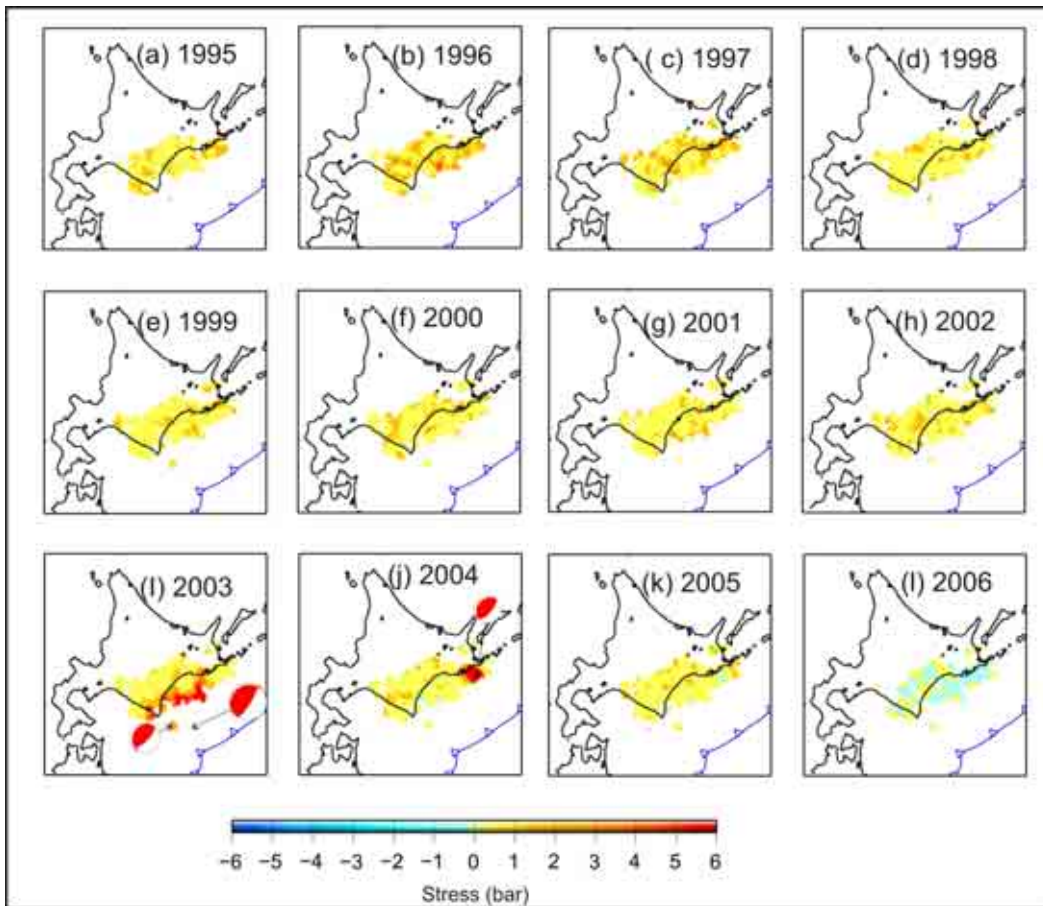


図 41：微小地震カタログから求めた太平洋プレート内の応力変化。2003 年十勝沖地震、その最大余震、2004 年釧路沖地震のメカニズムも示す（北海道大学[課題番号：1009]）。

SINET3広域L2網による
次世代全国地震データ流通基盤システムの構築



図 42 : SINET3 の広域 L2 網による全国地震データ流通基盤システムの構築(東京大学地震研究所 [課題番号 : 1413])。

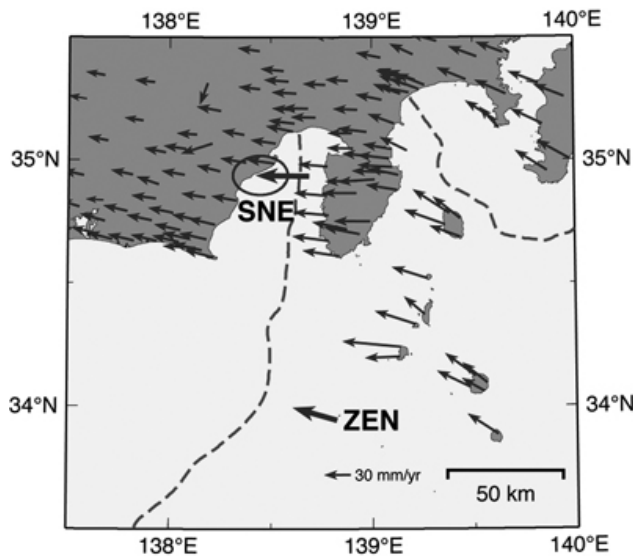


図 43 : 駿河湾、銭洲岩礁周辺における変位速度ベクトル。アムールプレートに対する変動を示す。SNE は名古屋大学・東海大学の海底地殻変動観測による結果。ZEN は石川・田部井 [2007] による銭洲岩礁での GPS 観測結果。陸上の矢印は、国土地理院 GEONET による観測結果(名古屋大学[課題番号 : 1705])。

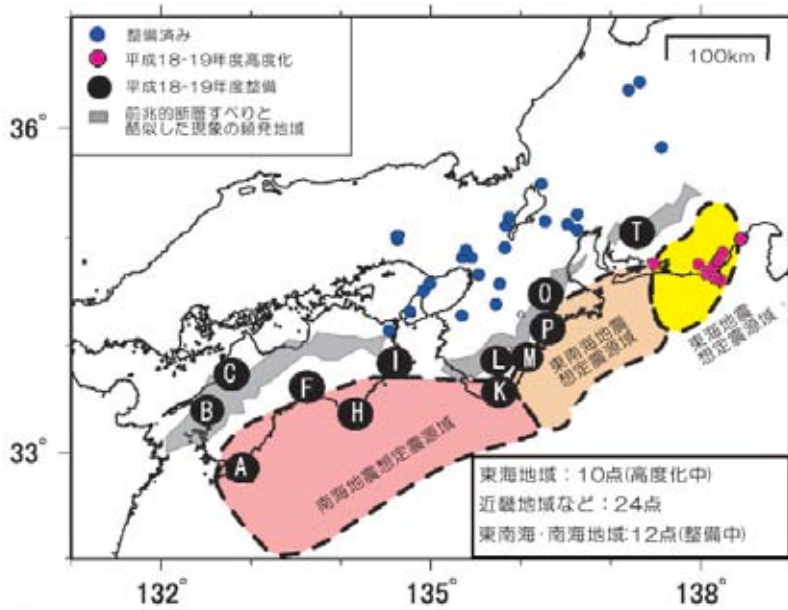


図 44：東海～四国地域に展開した産総研の地下水等総合観測網（伊豆と関東の観測点を省いている）。A～Tが東南海・南海地震予測のために新規に整備している観測点。

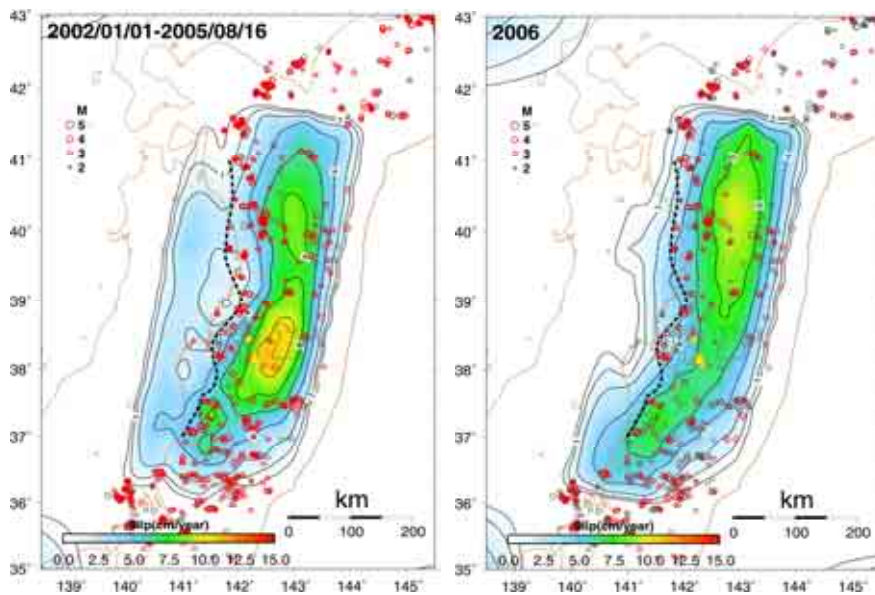


図 45：GPS データから推定された（左）2002 年から 2005 年宮城県沖地震までの（右）2006 年 1 年間の滑り遅れ分布。当該期間に活動のあった小繰り返し地震を赤、そうでないものを灰色で示した。黒破線は Igarashi et al. (2001) による低角逆断層型地震が存在する領域の西縁を示す。2005 年 8 月 16 日の宮城県沖地震の震央を大きな星印で、その最大余震（同 12 月 2 日、M6.6）とそれに続いた余震（同 12 月 16 日、M6.1）の震央を小さな星印で示す（東北大学 [課題番号：1206]）。

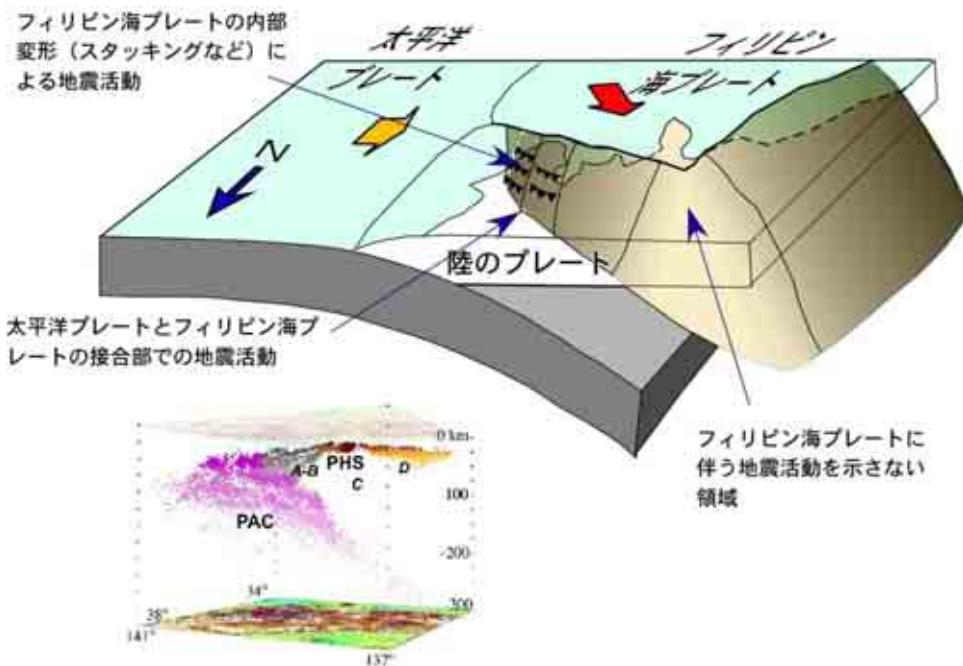


図 46：南関東におけるフィリピン海プレート（PHS）の内部変形モデル（東京大学地震研究所 [課題番号：1416]）。

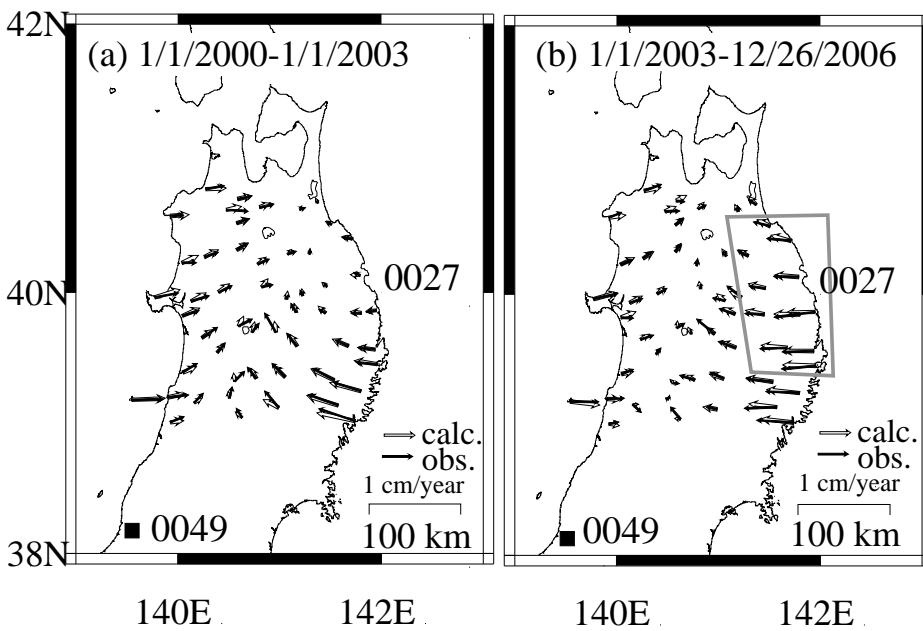


図 47：0049 点に対する水平地殻変動。(a) 2001-2003 年間 (b) 2003-2005 年間。岩手付近での西方への変動が 2003 年以降大きくなっているのが見られる(国土地理院 課題番号:6023)。