

インドネシアにおける地震火山の総合防災策にかかる地殻変動観測研究 (第3年次)

実施期間	平成21年度～平成23年度
地理地殻活動研究センター	今給黎 哲郎
地殻変動研究室	西村 卓也

1. はじめに

「インドネシアにおける地震火山の総合防災策」は、JICA（独立行政法人 国際協力機構）とJST（独立行政法人 科学技術振興機構）が連携して、環境・エネルギー、防災、感染症対策などの地球規模課題について、日本と開発途上国の大学・研究機関を支援して推進される国際共同研究の枠組みで実施されてきた事業である。日本・インドネシア双方から多数の機関が参加する中、国土地理院もサブプロジェクト1（グループ1）の「地震・津波発生機構の解明と予測」に加わり、インドネシア側機関とともにジャワ島、スマトラ島で地殻変動検出のためのGPS連続観測を行った。

2. 研究内容

上記JST/JICAプロジェクトの一環として、ジャワ島西部を東西に走るレンバン断層とそれに南東方向に連なるバリビス断層で、同断層帯の地震発生ポテンシャルを解明するためのGPS地殻変動観測を実施した。インドネシア側参加機関であるバンドン工科大学（Institute of Technology, Bandung: ITB）は、東京大学地震研究所との共同でGPSキャンペーン観測を年1回実施しているが、これと併せて国土地理院が設置したGPS連続観測点を運用することで、対象地域における観測体制を構築している。また、スマトラ島北部のスマトラ断層周辺では、インドネシア側機関としてシアクラ大学が名古屋大学などと共同してGPSキャンペーン観測を実施しているが、この地域においても国土地理院が設置したGPS連続観測点について、同大学の津波防災研究所が運用を行うことで、観測体制を構築している。連続観測とキャンペーン観測の結果をあわせることで、これらの断層帯周辺の地殻変動パターンを解明する。

3. 平成23年度実施内容

3.1 レンバン断層・バリビス断層

当該地域に設置した4つの観測点には、昨年度（2011年1月）にデータロガーと電源バックアップ用のバッテリーを追加し、連続観測の安定運用を図った。今年度は2011年10月に現地へ赴き、機器の調整およびデータの回収を行った。ITB担当者がそれ以前に点検とデータのダウンロードを行った際、データロガーの動作事態が必ずしも安定しないことが確認されており、今回もその対応が課題となっていた。4点のうち、タングバンブラフ火山観測所（Tangkuban Perahu Volcano Observatory）に設置したGPS観測点（点名：TNKP）については、1月以降ほとんど問題なく連続観測が行われており、その間のデータが回収できたが、インドネシア教育大学に設置したGPS観測点（点名：UPI1）、パパンダヤン火山観測所（点名：PPDY）、チェレメ火山観測所（POSC）については、データロガーのハンガアップなどがあり、断続的なデータしか得られなかった。これについてはデータロガーの電源をACからバッテリー

一につなぎ替えることで、停電からの復旧時における動作異常の回避を試み、引き続き同じ受信機とデータロガーの組み合わせで観測を行うこととした。

3. 2 スマトラ断層

バンダアチェのシアクラ大学津波防災研究所(Tsunami Disaster Mitigation Research Center: TDMRC)に設置した観測点については、TDMRCによって管理が行われ、得られた観測データはJST/JICAプロジェクトの中で行われているGPSキャンペーン観測とあわせて解析が行われている。

4. 主な成果

これまでに回収された観測データにより、ジャワ島の観測点について地殻変動の解析を行った。解析に当たっては、解析ソフトとしてGIPSY (Ver. 6.1) を用い、戦略としては精密単独測位法+バイアス整数化 (PPP+AR), 軌道情報等はJPL精密暦+時計情報を、対流圏補正については、GMFのMapping functionを指定した。解析時には本プロジェクト観測点(POSC, PPDY, UPI1, TNKP)に加えて、近傍のIGS観測点(BAKO, NTUS, XMIS, DARW, PIMO)も同時に用いた。変動を見るために参照点としてジャワ島内のIGS観測点であるBAKOを取った変動ベクトルを示す(図-1)。レンバン断層はUPI1 とTNKP

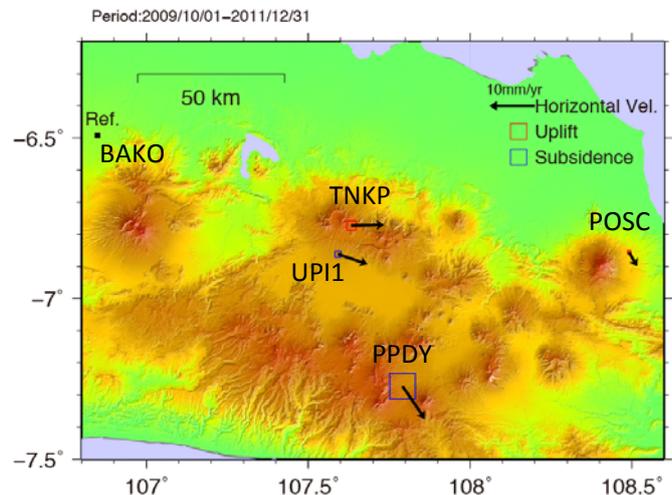


図-1 レンバン断層周辺のGPS観測点における変動速度(2009年10月～2011年12月のデータにより推定)

の間を通過しており、両観測点のベクトルのベクトル差から、右横ずれ成分を伴った正断層的な動きが確認できる。これはITBによる過去の観測と整合している (Abidin et al, 2009)。

バンダアチェでの観測については、インドネシア側の機関による解析結果で、スマトラ断層の固着状態についての推定結果について報告が行われている (Irwan et al, 2011)。

5. まとめ

JST/JICAの国際研究プロジェクトの枠組みで、ジャワ島西部・スマトラ島北部の活断層周辺の地殻変動を明らかにする連続観測点での観測を実施し、断層運動についての解明が行われた。設置した観測点については、今後も観測データを取得し続けることで、断層運動の監視について活用することが期待される。

参考文献

- Abidin, H. Z., H. Andreas, T. Kato, T. Ito, I. Meilano, F. Kimata, D. H. Natawidjaya and H. Harjono(2009) : Crustal deformation studies in Java (Indonesia) using GPS, *J. Earthq. Tsunami*, 3 (2), 77-88.
- Meilano Irwan, Zulfakriza, Masyhur Irsyam, Hasanuddin Z. Abidin, Dina Anggreni Sarsito, Fumiaki Kimata and Teruyuki Kato(2011) : Estimation of Slip-rate and Locking Depth of Active Fault Based on GPS Survey in Aceh Province, International Meeting of Japan Geoscience Union (JPGU) Abstract, HDS004-03.

フィリピン地震火山監視強化と防災情報の利活用推進にかかる 地殻変動観測研究（第2年次）

実施期間	平成22年度～平成26年度
地理地殻活動研究センター	今給黎 哲郎
地殻変動研究室	西村 卓也 水藤 尚

1. はじめに

「フィリピン地震火山監視強化と防災情報の利活用推進」は、JICA（独立行政法人 国際協力機構）とJST（独立行政法人 科学技術振興機構）が連携して、環境・エネルギー、防災、感染症対策などの地球規模課題について、日本と開発途上国の大学・研究機関を支援して推進される国際共同研究の枠組みで実施される事業である。当該プロジェクトは、独立行政法人 防災科学技術研究所の井上公国際地震観測室長を日本側代表者として、多数の大学・研究機関が参加しており、国土地理院は「地震発生ポテンシャル評価」（サブプロジェクトリーダー・名古屋大学・木股文昭教授）に加わった。本件調査研究は、プロジェクト内で国土地理院が実施するGPS連続観測点の設置と、連続観測による地殻変動の検出に関わる課題である。

2. 研究内容

ミンダナオ島東方沖にはフィリピン海プレートが東から沈み込むフィリピン海溝が南北に伸びており、日本列島と同様にプレート境界における大地震が発生する場にあると考えられている。しかしながら、最近150年以上の観測によっても、ミンダナオ島東方沖のフィリピン海溝沿いでは、M8クラスのプレート境界地震の発生は確認されていない。これは、プレートの固着が弱いために、この領域における地殻歪みの蓄積レートが小さいことを意味している可能性がある。ミンダナオ島にGPS連続観測点を設置し、海溝軸からの距離の異なる2点での地殻変動を追跡することで、この領域におけるプレート間カップリングの状況を推定することが本観測研究の主目的である。

3. 平成23年度実施内容

昨年度ミンダナオ島に設置を行った2点の連続観測点について、相手国カウンターパート機関 PHIVOLCS（フィリピン地震火山研究所）による点検およびデータのダウンロードと、日本から渡航しての共同での機器の点検整備およびデータ回収が行われた。また、回収された観測データについて試験的な解析を行った。

3.1 点検整備

ブツアン(Butuan)市（科学技術局ブツアン支所庁舎屋上）およびタンダグ(Tandag)市（南スリガオ州工科大学ゲストハウス屋上）に設置した連続観測点について、動作状況の点検とデータダウンロードを実施した。ブツアン(Butuan)観測点については、2011年9月にPHIVOLCS担当者がデータロガーの動作異常を確認し、同11月に予備機との交換を行った。2012年1月の渡航時にPHIVOLCS担当者と共に行った作業時には、その後の動作は正常であることを確認し、2011年11月以降のデータについて回収した。一方、2011年9月に取り外したデータロガーのユニットはコンパクトフラッシュカードに格

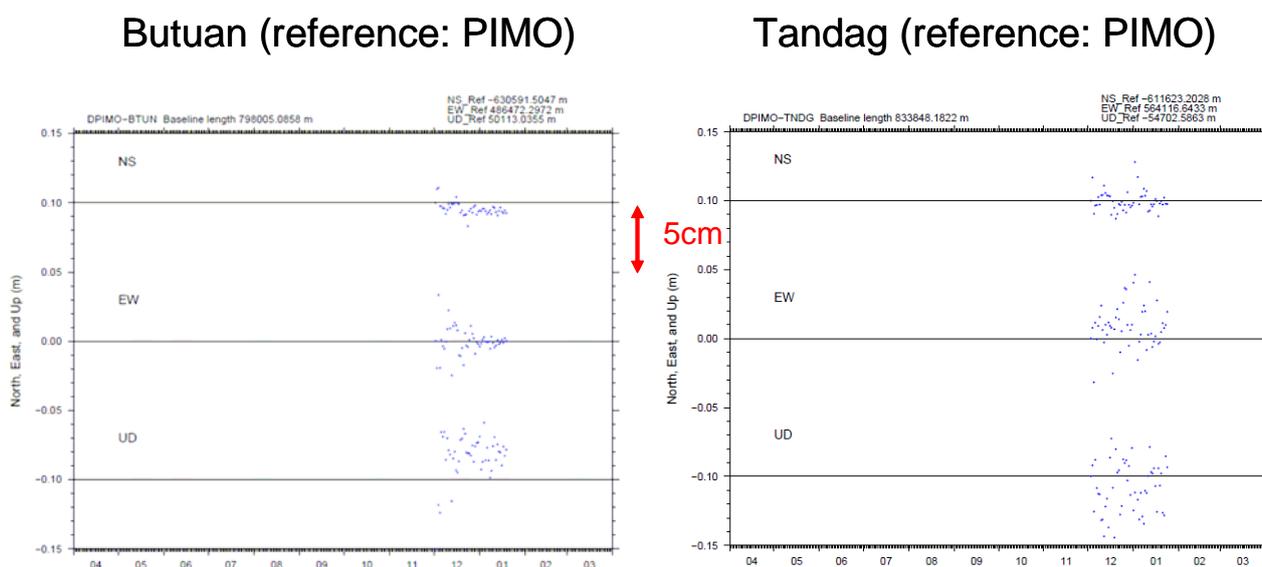
納したシステムファイルが破損していることが認められた。日本に持ち帰りデータファイルが再生できるか試みたが、フラッシュカードがアクセス不能の状態でも復旧ソフトでも内容が全く読み出せないことが判明した。フラッシュカードを新しいものと交換した上でシステムファイルとデータ記録プログラムをコピーしたデータロガーは正常に動作したため、故障についてはコンパクトフラッシュカードだけの問題と判断した。当該ユニットについては、新しいフラッシュカードを格納したものを予備機として、再度PHIVOLCSに返送した。タンダグ(Tandag)観測点については、2011年10月にPHIVOLCS担当者がデータ回収に訪れた際には昨年3月の点検整備以降正常に動作していたことが確認されていたが、2012年1月時点では受信機が停止していた。2011年10月中旬頃に台風のため設置建物が1週間ほど停電したため、バックアップ電源としていたバッテリーが放電したことが原因と考えられる。受信機を再起動して受信・データ記録を再開するとともに、データロガーに記録されていた2011年10月までのデータを回収した。

3.2 問題点と今後の対策

データロガー故障の原因に関しては、観測機器を収納している金属製の格納容器内の温度上昇が原因の一つではないかと考えられる。容器は密封されているため受信機及びデータロガーの発熱により温度が上がり、データロガーは触ると熱さを感じる状態になっていた。容器内の温度上昇を抑えるために、換気扇(PCクーラー)の取り付けを予定している。停電がバッテリーのバックアップを超えて長期化する事態は想定していなかったため、タンダグ、ブトゥアンの両観測点についてバッテリーを増設する処置を取った。次年度作業時には停電復帰後に自動的に観測が再開される設定を可能な受信機として機種をTrimble4000SSIからTrimble5700に交換することを計画している。

3.3 試験的なデータ解析

回収されたデータについてGYPSY解析ソフトウェアの精密単独測位(PPP)による試験的な解析を実施した。データが十分に蓄積されていないためまだ地殻変動パターンを確認するには至っていない。



Solution by GIPSY, integer ambiguity fixed, reference site is PIMO

図-1 ブトゥアン, タンダグ観測点における精密単独測位結果(参照点・PIMO)

4. その他

今回の観測点展開の主目的は、GPS地殻変動観測から得られる歪速度に基づき、フィリピン海溝から沈み込むプレートの固着度を推定することである。一方、名古屋大学他がミンダナオ島区間におけるフィリピン断層における歪み分布を推定するために実施するGPSキャンペーン観測をプロジェクトの中で別途行っており、それらの解析時にも、連続観測点のデータが参照として活用される予定である。PHIVOLCSからはミンダナオ島東部にもう1点の連続観測点設置について提案があり、次年度に追加での設置を検討中である。

小笠原硫黄島の詳細な段丘編年と地殻変動観測による火山活動の解明 (第3年次)

実施期間 平成21年度～平成23年度
地理地殻活動研究センター 今給黎 哲郎
地理情報解析研究室 中埜 貴元 小荒井 衛
乙井 康成

1. はじめに

小笠原硫黄島（以下、「硫黄島」という。）は、隆起活動が非常に活発で、地熱地帯や熱水噴気、時折起こる水蒸気爆発などの火山活動が見られる火山島である。現在の活発な隆起活動が火山活動ステージのどの段階に対応し、将来の火山噴火にどのように結びつくかを解明することが、硫黄島における火山防災上、重要である。本研究では、硫黄島の火山活動と隆起活動を明らかにするとともに、現在の地殻変動を詳細に把握することで、過去からの活動史における現在の火山活動の状態を理解することを目的とした。本研究は科学研究費補助金（基盤研究(C)，研究課題番号：21510193）により実施した。

2. 研究内容

本研究では目的を達成するために、(1) 詳細な隆起活動史と火山編年、(2) 詳細な地殻変動観測、について研究を実施した。(1) については、現地調査（地形・地質調査）と各種分析（年代測定、主成分分析等）を併用して実施し、(2) については平成20年度まで一般研究として行われた「硫黄島の火山性地殻変動に関する研究」の結果と併せて、GPS観測により約10年間のデータを取得した。

3. 得られた成果

本年度は、平成23年12月に現地調査を実施し、地形学的調査、火山地質調査（露頭調査）、試料採取およびGPS地殻変動観測を実施した。また、昨年度採取した試料の各種分析（堆積物の化石含有調査、古地磁気測定）も実施した。

(1) 詳細な隆起活動史と火山編年に関する成果

昨年度採取した釜岩堆積物と摺鉢山山頂南西部の湖沼性堆積物について、どのような化石が含まれているか（年代測定が可能な化石が含まれているか、堆積環境が推定できるか）調査した。その結果、釜岩堆積物については有機質微化石としてイネ科の花粉が極わずかに確認されたが、石灰質・珪質微化石は全く認められず、年代測定が行えるような化石は得られなかった。摺鉢山山頂の湖沼性堆積物については、有機質微化石としてイネ科の花粉が比較的多く認められ、その他マツ属、スギ属、アカガシ亜属、カヤツリグサ科などの花粉も認められたが、石灰質・珪質微化石は全く認められなかった。

以上の結果から、釜岩堆積物については、年代及び堆積環境の推定は困難で、摺鉢山山頂の湖沼堆積物については、年代推定は困難なものの、貝形虫、有孔虫、放散虫、珪藻などが全く検出されない点から、通常の湖成・海成堆積物ではないと推定された。

堆積物の古地磁気測定（自然残留磁化）は、摺鉢山西岸ベースサージ（4試料）、海岸温泉及び平成観音付近の元山層（5試料）について実施した。測定結果は現時点では分析中であるが、摺鉢山西岸ベースサージは、偏角・伏角ともにばらつきが大きく、自然残留磁化での磁化方位推定は難しい。元

山層については、1 試料を除いて比較的磁化方位がまとまっており、地磁気永年変化曲線にプロットすることで、相対的な堆積年代が推定できる可能性がある。

以上の分析結果や今年度の現地調査結果も踏まえ、これまでの成果から推定される硫黄島の過去 3,000 年間の火山活動史は次のとおりである。

1) 約 2,700 年前に大規模な火山活動で大量の溶岩と火砕物（元山凝灰岩）が噴出し、それ以前から陸化していたと考えられる硫黄島を被覆。2) 約 1,600 年前に監獄岩周辺の海底で火山活動が生じ、ペペライト（サンゴや貝殻を巻き込んだ溶岩）を生成。3) 約 1,400 年前に摺鉢山周辺で沖縄まで軽石を漂着させるような大規模な噴火が発生。4) 約 500-600 年前に元山を急激に隆起させながら摺鉢山が噴火し、大量の軽石によって元山と接続し、現在の硫黄島の原型を形成。5) 約 400 年前に摺鉢山で小規模な噴火があり、現在摺鉢山火口南縁に見られるスコリア丘を形成。6) 戦後、元山南海岸沖の海底でマグマ噴出を伴う噴火が発生。

過去の硫黄島（元山）の隆起速度は一定ではなく間欠的で、約 500-600 年前の摺鉢山噴火時の隆起速度が最も大きい（約 50cm/yr）ことが段丘編年から明らかになった。

（2）詳細な地殻変動観測に関する成果

地殻変動観測については、GPS 観測（連続観測および繰り返し観測）による地殻変動の面的な把握を引き続き行った。なお、衛星 SAR による解析は、2011 年 4 月までで ALOS（だいち）の機能が停止したため実効的な結果は得られなかった。2010 年は硫黄島全体の隆起がやや停滞した時期であったが、2011 年初めからは島全体の隆起が加速したことを昨年度末時点で報告した。隆起傾向は 2012 年 3 月時点でも継続していることが GPS 連続観測で確認された。隆起の速度は 2012 年に入ってわずかに緩んだが、2011 年 1 年間の隆起量は「硫黄島 1」で約 1.8m、「M硫黄島」では 2m を超え、隆起量が相対的に小さい「硫黄島 2」でも 0.4m 近い隆起となっている。水平変動もこれと連動して変動量が大きくなっているが、キャンペーン観測の結果からは、硫黄ヶ丘を中心とする収縮変動と、阿蘇台断層を中心とする膨張傾向の変動といったパターンが同じままで、変動量が大きくなったという特徴が見られる。このことから、同じ変動源による変動が継続していると考えられる。

これらの観測結果や過去の基準点観測の結果から、過去 100 年間の平均隆起速度は約 15cm/yr（平岡ほか、2009）で、この間の最大隆起速度は、1950~1960 年代の約 56cm/yr（辻ほか、1969）、2006 年後半~2011 年の約 50cm/yr（国土地理院、2012）となっている。

4. 結論

これまでの成果により、硫黄島の隆起活動は等速隆起（貝塚ほか、1985）ではなく、断続的な隆起であると推定される。近年の顕著な隆起活動は、約 500-600 年前の摺鉢山噴火に伴う元山上位段丘の急激な隆起に匹敵するものであり、今後の火山活動との関連が示唆される。火山活動の前にはマグマの貫入によると思われる活発な隆起活動が発生する、という硫黄島の火山活動モデルが明らかになりつつある。

引用文献

平岡喜文、三森庸里江、瀬川秀樹、根本盛行、矢来博司、硫黄島測量班（2009）：基準点測量で捉えられた硫黄島の地殻変動、国土地理院時報、119、87-92。

貝塚爽平、加藤茂、長岡信治、宮内崇裕（1985）：硫黄島と周辺海底の地形、地学雑誌、94、pp. 424-436。

国土地理院（2012）：硫黄島の地殻変動、火山噴火予知連絡会会報、110、印刷中。

辻昭治郎、栗山稔、鶴見英策（1969）：小笠原諸島調査報告、国土地理院時報、37、1-18。

ひずみ集中帯の地殻変動特性に関する研究（第2年次）

実施期間 平成 22 年度～平成 26 年度
地理地殻活動研究センター
地殻変動研究室 西村 卓也 水藤 尚
小林 知勝 飛田 幹男

1. はじめに

国土地理院の GPS 連続観測網(GEONET)により、日本列島の地殻変動場が次第に明らかになってきており、日本列島の変形は一様ではなく、特に変形速度の大きい「ひずみ集中帯」とよばれる領域があることがわかってきた。特に新潟から神戸にかけて日本列島を横断する帯状の領域は、新潟-神戸ひずみ集中帯と呼ばれ、現在の変形速度が大きいことに加えて、2004 年新潟県中越地震、2007 年新潟県中越沖地震等の内陸地震の多発地域となっており、社会的注目度も高い。内陸地震の発生メカニズムを理解し、将来の発生予測につなげていくためには、まず、ひずみ集中帯において重点的な観測研究を行っていくことが必要である。本研究では、新潟-神戸ひずみ集中帯の中でも新潟市南部とその周辺を主な研究対象領域として、稠密地殻変動観測を行う。得られた地殻変動の詳細分布を付近の活断層、活褶曲との関係を考察し、数値シミュレーション等で観測された地殻変動の再現を行うことにより、地殻の不均質に起因する地殻変動の不均質や断層深部すべり、地殻の変形過程を解明し、内陸地震の発生メカニズムに関する知見を得ることを目標とする。

2. 研究内容

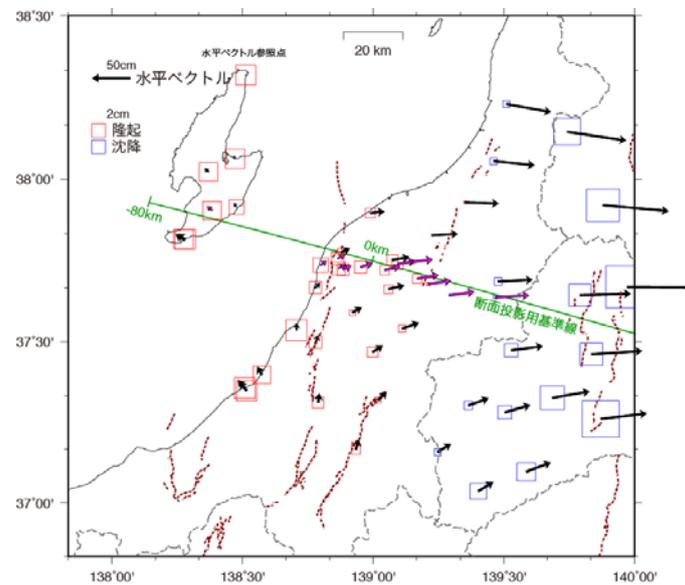
2011 年 3 月 11 日に M_w 9.0 という超巨大地震である東北地方太平洋沖地震が発生し、今後数年間以上にわたって余効変動が観測されることが想定されることから、本研究の実施期間内に観測される地殻変動が研究開始当初の想定とは異なることになると考えられる。平成 23 年度にはこの地震の本研究へ与える影響について考察を行った。その結果、研究開発の方法のモデリング部分を的確に追加修正することで、内陸地震発生メカニズムに関する知見を得るという当初の研究開発の目的・目標を達成できるとの結論に至り、継続して研究を行うこととなった。

稠密地殻変動観測は、GPS 繰り返し観測、SAR 干渉解析、精密水準測量の 3 つの観測手法を組み合わせで行うこととしているが、平成 23 年度は GPS 繰り返し観測と永続散乱体干渉法(PS-InSAR 法)を用いた SAR 干渉解析の予備解析を実施した。また、精密水準測量は測地部で実施しているが、観測された変動についての考察を行った。2011 年 10～11 月には、第 2 回目の GPS 繰り返し観測と GPS 連続観測点の保守を行い、前年に取得したデータとの比較を行って 1 年分の地殻変動分布を得た。

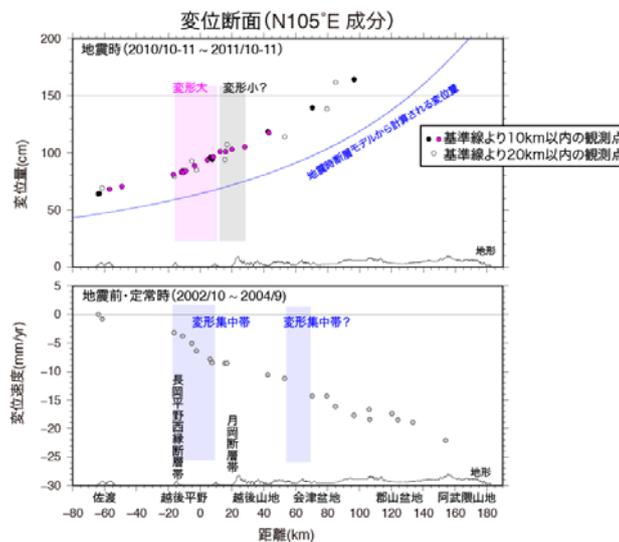
3. 得られた成果

図-1 に平成 22 年度と平成 23 年度の GPS 繰り返し観測から得られた地殻変動分布を示す。東北地方太平洋沖地震の地震時と地震後の地殻変動のため、この領域では最大約 1 m に達する東向き水平変動が見られ、上下変動についても西側では隆起、東側での沈降が観測されている。このような地殻変動の観測結果は、概ね東北地方太平洋沖における断層運動（地震時及び地震後の滑り）で説明できるが、ひずみ集中帯を横切る断面に変動ベクトルを投影して詳細分布（図-2）を見ると、半無限均質弾性体を仮定した震

源断層モデルでは再現できない局所的に変形が大きな領域と小さな領域が確認できる。このような変形の不均一は地下の弾性定数が不均質であることによって生じている可能性があり、今後モデル化によって弾性定数の分布を推定できる可能性がある。



図－1 GEONET 観測点（黒矢印）と本研究で設置した GPS 観測点（紫矢印）での 1 年間の変動



図－2 ひずみ集中帯を横切る断面（図－1 中の緑線）上に投影した地殻変動分布

4. 結論

東北地方太平洋沖地震の発生に伴って、ひずみ集中帯においても観測される地殻変動が当初の想定とは異なることとなった。しかし、本研究で設置した GPS 観測点によりひずみ集中帯における地震に伴う地殻変動の詳細分布が得られ、地震前に短縮変形が集中していた領域で、地震に伴う伸張歪みについても大きいという結果が得られた。このような観測結果は、ひずみ集中帯の変形機構に関する新知見をもたらす可能性があり、引き続き研究を実施してひずみ集中のメカニズムの解明を目指す。平成 24 年度は、地殻変動観測を引き続き実施するとともに、有限要素法などを用いた数値シミュレーションによるモデリングにより、地震時地殻変動の再現を行う予定である。

プレート境界の固着状態及びその変化の推定に関する研究（第1年次）

実施期間 平成23年度～平成25年度
地理地殻活動研究センター
地殻変動研究室 小沢 慎三郎

1. はじめに

GPS 観測網の整備により、日本列島の地殻変動が毎日観測されている。地表面の変動を詳細に測ることによって、プレート境界面でのプレート同士の固着状態を推定することができる。地域によっては、固着域で蓄えられてきたエネルギーがゆっくりとしたプレート間の滑りで解放される例があり、ゆっくり滑りと呼ばれている。本研究では GPS 観測結果に基づき四国・九州地域の 2005 年から 2011 年までのプレート境界の固着状態の変化を推定した。

2. 研究内容

四国西部（小林 2011）、豊後水道（e.g. Ozawa et al., 2001）、日向灘（矢来・小沢, 2010）地域では GPS 観測網により、それぞれゆっくり滑りが検出されてきた。本研究では、GPS データから時間発展のインバージョン手法を用いて、四国・九州地域のプレート間滑りの時空間変化を推定した。解析に用いたデータの期間は 2005-2011 年である。インバージョンで使用するプレート境界面を広くとって、地域毎に検出されたゆっくり滑りが捉えられるかどうかのチェックも兼ねて行われた。

3. 得られた成果

図-1 に GPS データからインバージョンで推定したゆっくり滑りの分布を示す。2005 年には四国西部でゆっくり滑りが見られ先行研究の結果と調和的である。また日向灘沖合の滑りはこの地域のゆっくり滑りを示している。日向灘のゆっくり滑りは、2 年程の間隔で日向灘の沖合で発生してきた。2006 年には豊後水道で小さなゆっくり滑りが発生している。2007 年には、日向灘のゆっくり滑りが発生している。2008 年には豊後水道でゆっくり滑りが発生している。2009 年には、四国南西部、豊後水道で小さなゆっくり滑りが発生し、2010 年の規模の大きい、長期的なゆっくり滑りに繋がっている。この解析結果から、GPS 観測で捉えられた遷移的な変動が 4 mm 程度あれば、比較的小さな S S E も、本研究の解析手法で検出できることがわかってきた。

4. 結論

GPS 観測で捉えられた四国・九州地方の地殻変動データを使用して、インバージョンを行い、プレート境界の固着状態の変化を推定した。その結果、各種のゆっくり滑りを検出することができた。

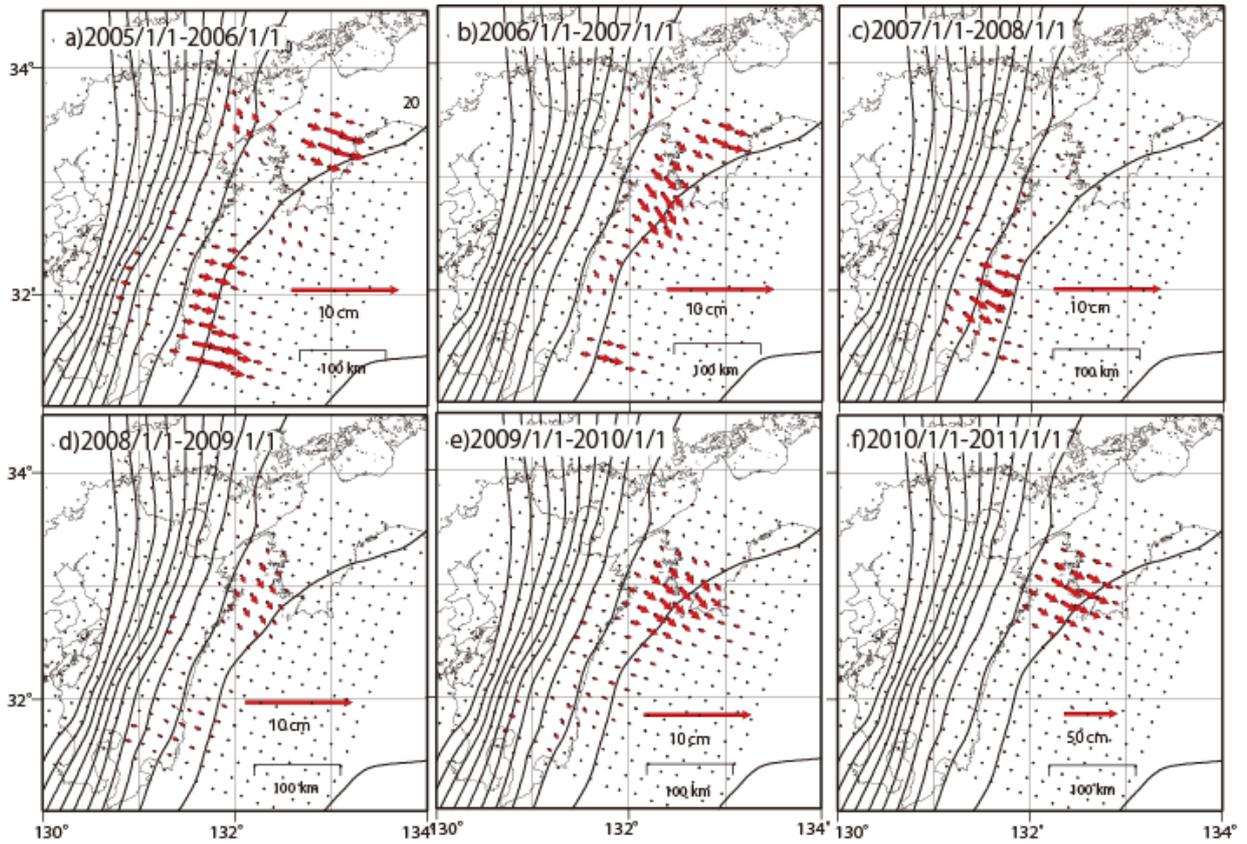


図-1 推定滑り分布. (a) 2005年1月-2006年1月. (b) 2006年1月-2007年1月. (c) 2007年1月-2008年1月. (d) 2008年1月-2009年1月. (e) 2009年1月-2010年1月. (f) 2010年1月-2011年1月.

参考文献

- 小林昭夫(2010): 四国西部において2005年に発生した小規模な長期的スロースリップ, 地震2, 63, 97-100.
- S. Ozawa et al. (2001): Time-dependent inversion study of the slow thrust event in the Nankai trough subduction zone, southwestern Japan, J. Geophys. Res., 106, NO. B1, 787-802.
- 矢来博, 小沢慎三郎 (2010): 日向灘のスロースリップ, 地震学会秋季大会要旨.

測地観測に基づく地殻活動イベントの検知能力に関する研究（第1年次）

実施期間 平成23年度～平成25年度
地理地殻活動研究センター
地殻変動研究室 水藤 尚

1. はじめに

本研究では、地震、火山噴火やその先行現象等（前兆すべり、スロースリップ、力源の膨張・収縮・移動等）によって引き起こされる地殻変動をモデル計算により定量的に明らかにし、これらのモデル計算から得られる地殻変動量を基に先行現象を含む地殻活動イベントを検知する能力の検証を行い、測地観測で検知可能なイベントの場所と大きさを定量的に明らかにする。

2. 研究内容

本年度は、プレート境界面上の断層すべり及び活断層帯周辺での断層すべりによる地殻変動のモデル計算を行った。そして、モデル計算の結果に基づいてプレート境界面上及び活断層帯周辺での断層すべりの検知能力の検討を行った。断層すべりは矩形断層を仮定した。この場合、地殻変動の計算に必要な静的断層パラメータは、断層の位置（緯度、経度、深さ）、断層の向き（走向、傾斜、すべり角）、断層の大きさ（長さ、幅）及びすべり量の9つである。断層の位置及び断層の向きに関する6つのパラメータに関しては、設定条件がプレート境界面上及び活断層帯周辺で異なるため後述する。断層の大きさ及びすべり量に関する3つのパラメータは、以下の方法で算出した。すべりの大きさをモーメントマグニチュード（以下、「 M_w 」という。）で想定し、地震のスケーリング則に基づいて、 M_w から断層の長さ、幅、すべり量を算出した。この時、断層は長方形を仮定し、長さとの比は2:1とした。作成したすべてのグリッド（すべりの候補点）での断層すべりによる地表での地殻変動を計算し、計算された各 GEONET 観測点での地殻変動量を基に、検知できる断層すべりの大きさ（ M_w ）と場所を以下の2つで判断した。1）閾値：観測点でのシグナルとみなす変動量の大きさ、2）観測点数：シグナルとみなす変動量（閾値）が観測される観測点の数。

2. 1 プレート境界面上の断層すべりに関して

断層の位置及び断層の向きに関する6つのパラメータは、プレート形状モデル（気象研究所弘瀬氏がコンパイルしたモデル）を基に、太平洋プレートは深さ0～150 km、フィリピン海プレートは深さ0～60 kmをカバーする0.1×0.1度間隔のグリッドを作成し、走向は傾斜方向に直交する方向、すべり角は Sella et al. (2002)による各プレートの相対運動の回転極から求めた速度ベクトルの向きとした。

2. 2 活断層帯周辺での断層すべりに関して

想定した内陸活断層帯は、地震調査推進本部が長期評価を公表している110の断層帯とした。断層の位置及び向きに関する6つのパラメータは、長期評価に記載されている値を参考に決定した。このうち断層の位置に関しては、公表されている断層面をさらに2 km 間隔のグリッドに分割し、それぞれのグリッド上での断層すべりの検知能力を検討した。

3. 得られた成果

プレート境界面上での検知能力は、場所によって Mw5.5~7.0 と大きく異なり、最も頻度が高いのは Mw6.8~7.0 である (図-1)。検知能力が高い場所は、プレート境界が深さ 30km 前後の海岸線に沿った場所である。一方、検知能力が低い場所は、海溝軸付近や内陸直下のプレート境界が 100km 以上の深い場所である。活断層帯周辺での検知能力は、場所によって Mw5.5~7.0 と大きく異なり、最も頻度が高いのは Mw6.2~6.3 である (図-2)。検知能力が高い場所は、各活断層帯の断層面上の浅い場所にあり、断層面上の深い場所では検知能力が低い。

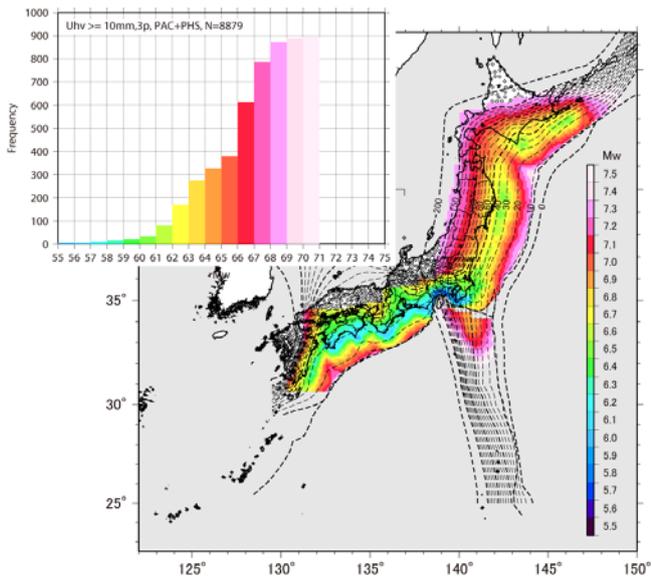


図-1 プレート境界面上の断層すべりの検知能力 (閾値 10mm 以上, 観測点 3 点以上). 挿入図はプレート境界面上で検知される断層すべりの大きさ (Mw) の下限値の頻度分布。

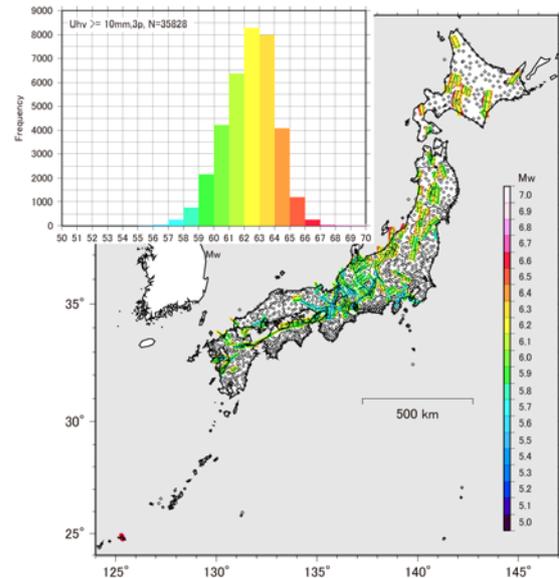


図-2 活断層帯周辺での断層すべりの検知能力 (閾値 10mm 以上, 観測点 3 点以上). 挿入図は各活断層帯の断層面上で検知される断層すべりの大きさ (Mw) の下限値の頻度分布。

4. 今後

来年度は、火山体周辺において力源の膨張・収縮や開口等による地殻変動のモデル計算を行い、火山体周辺での力源の検知能力の検討を行う。また、プレート境界面上の断層すべりにおいてはプレート形状モデルや断層の大きさ (縦横比) の依存性、活断層帯周辺での断層すべりにおいては検知能力の深さ依存性や様々な断層の大きさ (縦横比) の検討を行う。また、地殻活動イベントの時間スケールや現状の GEONET の解析解 (Q3 解, R3 解, F3 解) に応じた閾値の検討を行う。

参考文献

気象研究所弘瀬氏のウェブページ, <http://www.mri-jma.go.jp/Dep/sv/2ken/fhirose/index.html>
 Sella, G. F., T. H. Dixon, and A. Mao (2002): Revel: A model for recent plate velocities from space geodesy, *J. Geophys. Res.*, 107, B4, 2081, 10.1029/2000JB000033.

地殻変動計測のためのSAR画像分析の高度化に関する研究（第5年次）

実施期間 平成19年度～平成25年度
地理地殻活動研究センター
地殻変動研究室 飛田 幹男

1. はじめに

SAR干渉解析(InSAR)のアルゴリズムは、SARセンサーの諸元、及び地殻・地盤変動現象(地震、火山活動、地盤沈下)の特性に適合することが必要であり、解析者独自のソフトウェア開発が有効である。国土地理院がNASAのジェット推進研究所(JPL)と共同で初期開発を行ったソフトウェア“GSISAR”は、当初JERS-1衛星のSAR干渉解析を対象にし、その諸元に適合した改善を加え、平成7年兵庫県南部地震(1995年)、サハリン北部地震(1995年)、鹿児島県北西部の地震(1997年)、岩手山の地震(1998年)に伴う地殻変動等を画像として捉えて、多くの実績をあげた。その後、ALOS PALSARセンサーへの適合化の取り組みを開始し、GSISARの実行形式プログラムを核とし日本語GUIによる制御を取り入れた“新GSISAR”(初版)を、2004年、測地部宇宙測地課が実現した。GSISAR及び新GSISARは密接な整合・連携が図られつつ逐次改良が加えられている。2006年から2011年にはALOSによるLバンドSAR観測により、平成19年能登半島地震、平成19年中越沖地震、スマトラ南部沖の地震(2007年)、平成20年岩手・宮城内陸地震、中国・四川省の地震(2008年)等の際に地殻変動分布図を公表、これらを基に作成した震源断層モデルを通して、地震像の解明や地すべりの研究などに貢献した。

2. 研究内容

本研究では、LバンドSARセンサー諸元、及び地殻変動計測に適合した解析ソフトウェアの開発・改良を行うとともに、SAR画像分析手法の高度化を行う。特に、平成23年5月12日ALOSが運用終了した後は、平成25年に打上げが予定されているALOS-2の仕様を調査・考慮しつつ、地殻変動計測のためのSAR画像データ解析技術を高度化する研究開発を実施する。開発した成果は、測地部の高精度地盤変動測量事業で利用している干渉解析ソフトウェアへ逐次反映させる。

なお、本研究は、特別研究「正確・迅速な地盤変動把握のための合成開口レーダー干渉画像の高度利用に関する研究」(平成20～22年度)等と連携することでSAR分析や干渉画像利用の高度化を推進してきた。

3. 得られた成果

3. 1 ALOS-2の左ルック観測への解析プログラムの適合化

SAR画像は、地表で反射したマイクロ波が衛星に到達した順に画素を並べるので、真下にマイクロ波を照射すると左右区別がつかないため、例えばALOSでは右側だけに照射していた。これを右ルックという。ALOS-2では災害発生時に早期に撮像できるよう衛星を回転させることで左ルック観測も可能な仕様となっている。

GSISARには約100のプログラムが含まれるが、基本的に右ルックに対応するように設計されている。そこで、GSISARを左ルックに適合させる必要がある。ただし、多くのプログラムはルック方向に依存しないため、まずは全プログラムを調査し、ルック方向依存の可能性があるプログラムを抽出した。その結果、“CalcVela.c”や“geocodbl.c”等18のプログラムが抽出された。それらの内、“CalcVela.c”については、左ルックの対地速度とドップラー周波数の計算式を追加した。“SimDem.c”については2次方程式の解として2つの地上ターゲット位置T1, T2が得られた時にどちらを選ぶか判定する部分等の改造を行った。これらを含め合計5つのプログラムの詳

細調査と開発を行い、詳細調査・開発の記録文書を作成した。左ルックの実データは存在しないので、残念ながら、プログラムをテストすることも、ここにテスト結果を示すこともできない。

3. 2 電離圏遅延の影響

ALOS-2は、地方時の12時（昼、正午）に南行（Descending, 降交）観測、24時（真夜中）に北行（Ascending, 昇交）観測を行う。観測計画を検討する材料とするため、「SAR干渉画像は、昼(12:00)と夜(24:00)ではどちらが電離圏擾乱の影響を受けやすいか？」について調査を行った。

主な電離圏擾乱現象は、Solar Flare Effect, Storm Enhanced Density, プラズマバブル, 赤道異常, 正相・負相電離圏嵐, 大規模伝搬性電離圏擾乱, 中規模伝搬性電離圏擾乱 (MSTID) の7つである。これらの空間スケールはSAR画像のサイズより大きいものが多いが、プラズマバブルと中規模伝搬性電離圏擾乱の空間スケールは時に100km以下となり、SAR干渉画像中のノイズとなり得ることがわかった。プラズマバブルは、磁気赤道・低磁気緯度域で日没後～夜間に発生する現象で、一方MSTIDは、主に中・低緯度域で夏と冬の夜間に頻発することがわかった。図-1は、2000年1年間の北緯37°:東経140°における背景のTECに対する変動成分の大きさの時間・季節変化であり、地方時の12:00と24:00を比較すると24:00に電離圏擾乱が起こりやすいことがわかる。

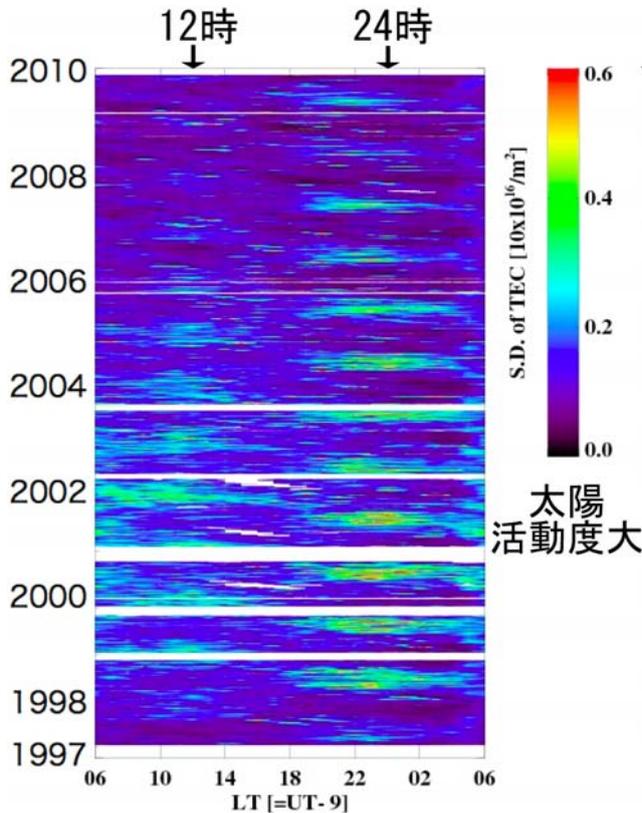


図-1 GEONETによるGPS観測から求めた1997～2009年の中規模伝搬性電離圏擾乱 (MSTID) の出現頻度分布 (京都大学 齊藤昭則氏作成の図に加筆)。12時 (正午) と24時ではMSTIDの影響は後者の方が一般に (冬期を除いて) 大きい。ただし、冬期には昼のMSTIDの活動度も活発である。

4. 今後の課題

来年度は、テストデータを作成し、プログラムの検証を行うとともに、残りのプログラムの開発、及び事業者との連携により新GSISARへの組み込みが必要である。また、電離圏擾乱については、ALOS-2の観測計画に的確に反映するとともに、実データでの電離圏擾乱の影響の確認及び低減の検討が必要と考えられる。

謝辞

(独)情報通信研究機構の津川卓也氏、京都大学の齊藤昭則氏、東北大学の三澤浩昭氏、坂野井健氏、小野高幸氏には、電離圏擾乱に関して貴重な情報やアドバイスをいただきました。ここに記して感謝いたします。

過去の測地測量データの再解析に基づく地殻活動履歴の推定（第3年次）

実施期間 平成 21 年度～平成 23 年度
地理地殻活動研究センター
地殻変動研究室 水藤 尚

1. はじめに

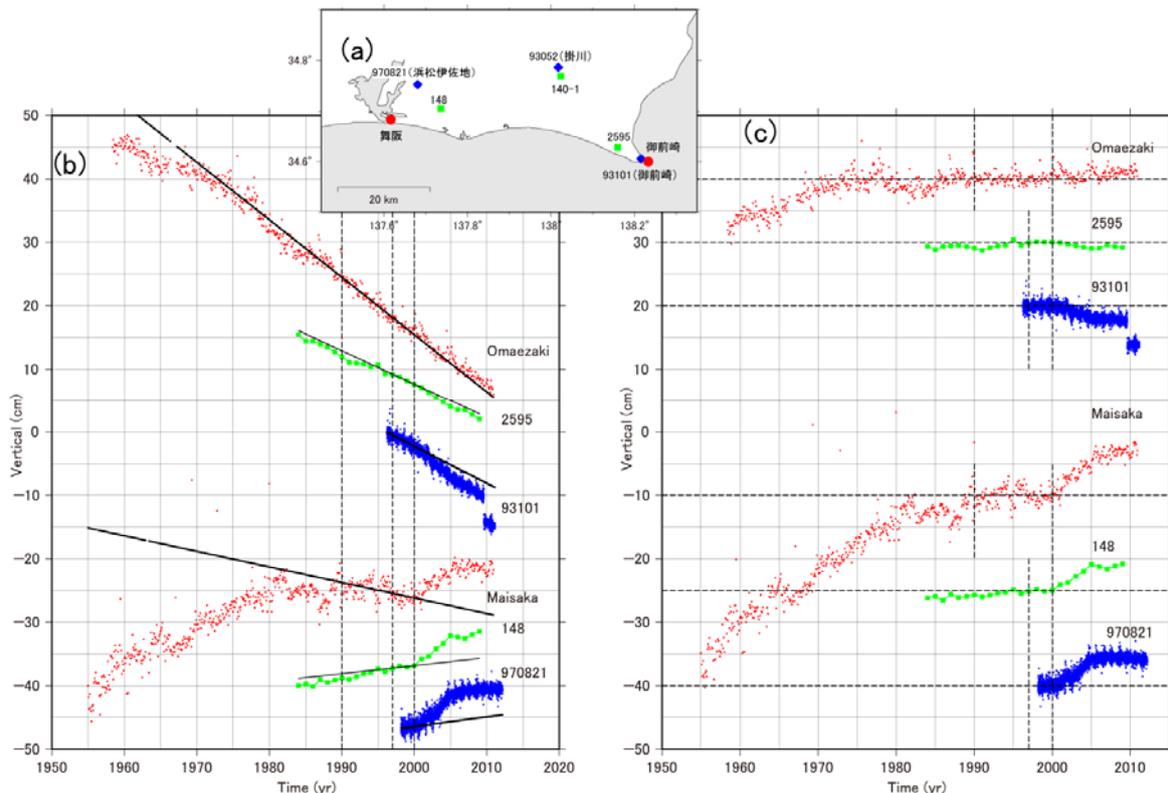
これまでも多くの研究者によって、測地測量データを使用し過去に発生した大地震の地震時のすべりの推定が実施されてきた。測地測量による地殻変動データは、過去のプレート境界面上のすべりを推定することができる唯一のデータである。本研究では、過去の測地測量データを再解析し、余効すべりやスロースリップ等のゆっくりとしたすべりに伴う地殻変動の検出を試みる。特に駿河トラフ、南海トラフ沿いに着目し、東海地方、紀伊半島、四国地方、豊後水道周辺での地殻活動履歴を明らかにし、過去の大地震の余効変動のメカニズムおよびスロースリップの発生の可能性を検討する。

2. 研究内容

本年度は、東海地方における潮位記録、水準測量、GPS 連続観測の3種類の測地測量データから、御前崎周辺及び浜名湖東岸での上下変動を比較した。用いたデータは、駿潮場における潮位記録（御前崎駿潮場、舞阪駿潮場）、水準測量による上下変動データ（水準点 140-1 に対する水準点 2595 及び 148）、GPS 連続観測による上下変動データ（電子基準点「掛川」に対する電子基準点「御前崎」及び「浜松伊佐地」）（図-1 (a), (b)）。駿潮場における潮位記録に関しては 1990 年～2000 年までの 10 年間のデータから、水準測量及び GPS 連続観測データに関しては 1997 年～2000 年までの 3 年間のデータから平均変動速度を算出し、それぞれ元の時系列データから取り除いたものを非定常上下変動とした（図-1 (c)）。

3. 得られた成果

GEONET が整備されてから東海地方では、2000 年～2005 年に浜名湖直下を中心とするスロースリップが発生し、その上下変動の空間分布は詳細に報告されている（水藤・小沢, 2009）。このスロースリップによる御前崎周辺及び浜名湖東岸での非定常上下変動の特徴は、御前崎で沈降、浜名湖東岸で隆起である（いずれも掛川周辺に対する変動）。2000 年～2005 年の期間に水準測量による非定常上下変動には、浜名湖東岸（水準点 148）における顕著な隆起と御前崎周辺（2595）における若干の沈降が見える。潮位記録では、舞阪における隆起は顕著であるが、御前崎における沈降はほとんど見えない。スロースリップにより掛川周辺では隆起が観測されており（水藤・小沢, 2009）、図-1 に示した GPS 連続観測及び水準測量による上下変動は掛川に対する相対変動を見ているため、御前崎の沈降は見かけ上のものである。GPS 連続観測に見られるスロースリップによる上下変動の特徴は水準測量及び潮位記録の両者にも見られる。昨年度は、潮位記録による上下変動時系列からスロースリップによるものと考えられる上下変動の変化を、1960 年代後半、1970 年中盤頃、1980 年代前半と後半に指摘した（水藤, 2011）。水準測量データのある 1980 年代以降で見ると、1980 年代後半から 1990 年代前半にかけて、浜名湖東岸（水準点 148）で若干の隆起傾向が見られ、潮位記録による上下変動とも整合的であり、この期間にもスロースリップが発生していた可能性は高い。



図一 1 (a) GPS 連続観測点 (青菱形), 水準点 (緑四角), 験潮場 (赤丸) の位置図. (b)加藤・津村 (1979) の方法による潮位記録から推定した上下変動 (赤), 水準測量による水準点 140-1 に対する上下変動 (緑), GPS 連続観測による電子基準点「掛川」に対する上下変動 (青). 黒線は, 平均変動速度. (c) (b) の上下変動から平均変動速度を取り除いた上下変動時系列.

4. まとめ

GPS 連続観測から得られた東海地方のスロースリップ (2000 年～2005 年) による上下変動の特徴が, 水準測量及び潮位記録による上下変動にも見られることを確認した. 水準測量に関しては過去 30 年, 潮位記録に関しては過去約 60 年の記録にスロースリップによる上下変動の特徴が見られるかを検討し, 1980 年代後半から 1990 年代前半には, 水準測量, 潮位記録の両者に浜名湖周辺での隆起の傾向が見られ, この期間にスロースリップが発生した可能性は高い. また, 潮位記録からは 1960 年代後半, 1970 年代中盤にスロースリップの発生を示唆する上下変動が見られることが分かった.

参考文献

- 加藤照之, 津村健四郎 (1979): 潮位記録から推定される日本の垂直地殻変動 (1951～1978), 地震研究所彙報, 54, 559-628.
- 水藤尚, 小沢慎三郎 (2009): 東海地方の非定常地殻変動—東海スロースリップと 2004 年紀伊半島南東沖の地震の余効変動, 地震 2, 61, 113-135.
- 水藤尚 (2011): 過去の測地測量データの再解析に基づく地殻活動履歴の推定 (第 2 年次), 平成 22 年度調査研究年報.

地殻変動データに基づく力源モデルによる火山活動の監視手法の開発に関する研究(第2年次)

実施期間 平成 22 年度～平成 24 年度
地理地殻活動研究センター
地殻変動研究室 小沢 慎三郎

1. はじめに

国土地理院, 気象庁, 防災科学技術研究所の GPS 観測網のデータを統合的に処理することによって, 火山地域の地殻変動が日々捉えられている. 国土地理院の観測網は火山深部の活動を捉えるのに適しており, 気象庁と防災科学技術研究所の GPS 観測網は比較的浅い地域の活動の検出に適している. このため, 上記の統合解析によって, 火山地域の深部から浅部にかけての活動の時間変化を捉えられる可能性がある. 即ち統合解析によって検出された地表面の変動から, 逆解析によって地下の火山性流体の状態が時間的にどう発展していくのかを推定することができる. 地理地殻活動研究センターでは, 地殻変動データから力源モデルの作成を行い, 特定の火山の地下のマグマ溜まりの状態の監視を行っている.

2. 研究内容

火山性の地殻変動は主にマグマ溜まりの膨張・収縮, マグマの貫入などによって引き起こされることが多い. マグマの貫入は, ダイク, シルモデルによって説明され, マグマ溜まりの膨張・収縮は茂木モデルによって説明されることが多い. 地殻変動のデータは日ごとにあるため, 原理的には火山地域の地下の状態を毎日推定することができる. しかしながら従来のモデリングでは時間的にどう進展していくかに関しては, あまり精度がよくなかった. これに対して, スタンフォード大学で開発された時間発展インバージョンを使用することにより, 時間を含めたモデリングができるようになってきている. 本研究では茂木モデルを使用した時間発展インバージョンを伊豆諸島の大島地区, 桜島, 霧島山にあてはめて解析した.

3. 得られた成果

ここでは, 霧島山のマグマ溜まりの膨張・収縮の例を示す. 図-1 は霧島山周辺の GPS 観測点の位置を示す. 図-1 の赤丸は, 圧力源(茂木モデル)の位置を示している. 深さは 7.6 km にとっている. 使用した時系列データは, 年周変化を取り除いている. この時系列データを使用して地下の圧力源の体積の時間変化を示したのが図-2 になる. この図から, 地下ではマグマ溜まりの体積膨張が 2011 年 1 月 26 日の新燃岳の噴火の前まで起きており, 噴火時に急激に体積減少が起き, その後また体積が膨張していること, そして 2011 年末頃から, 体積膨張が止まっていることがわかる. これが次の噴火への前兆的なシグナルを示しているのかどうか, 今後とも慎重に監視していく必要がある.

4. 結論

霧島山の地下のマグマ溜まりの時間的な変化が 2009 年から 2012 年初めまで推定され, 噴火前の膨張, 噴火後の膨張がほぼ同じ速度で進んでいること, 及び 2011 年の末頃から膨張が停滞していることがわかった.

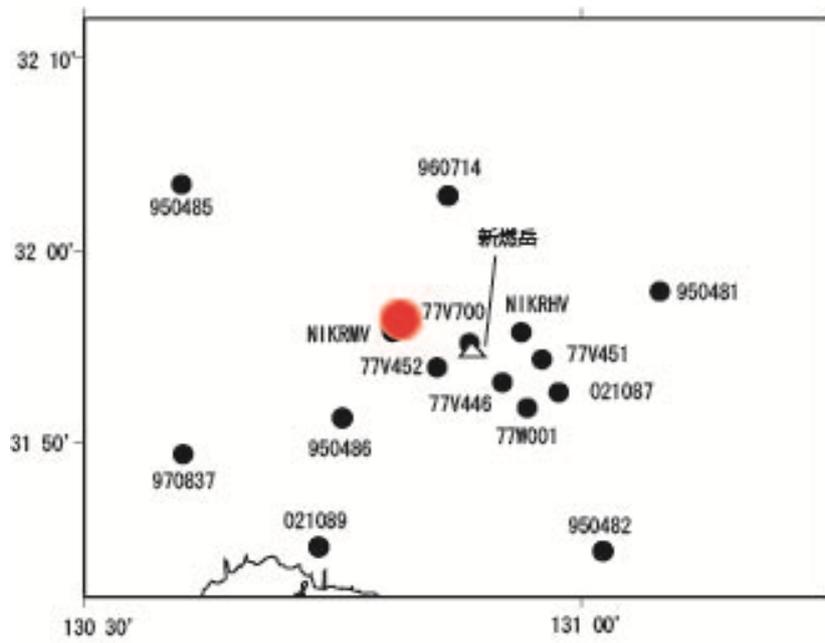


図-1 霧島山周辺の GPS 観測点の位置. 赤丸は圧力源の位置.

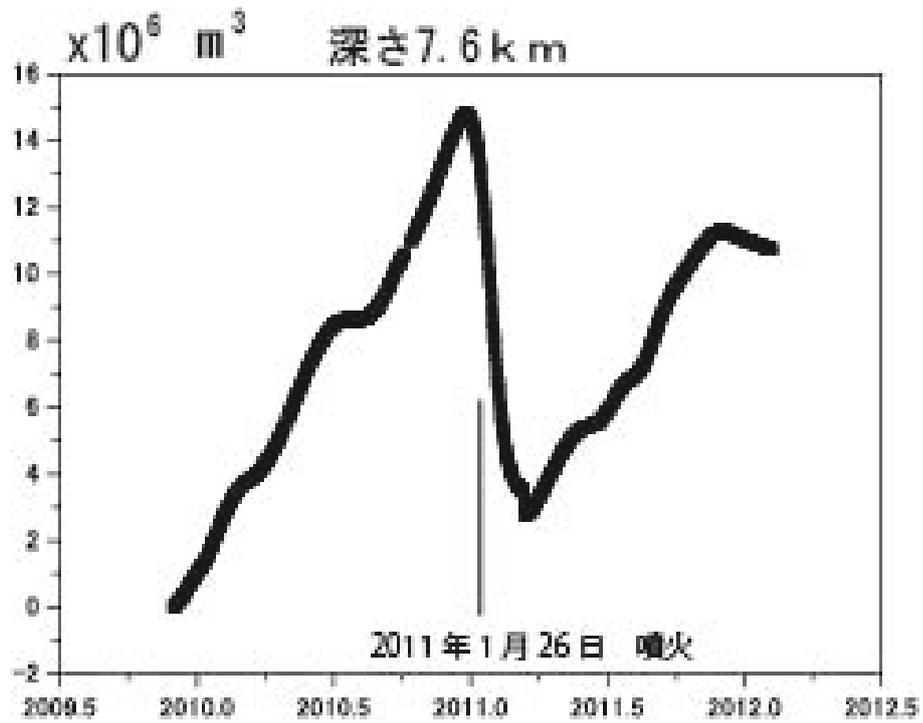


図-2 推定された圧力源の体積変化.

測地データに基づく余効すべりと地震活動に関する研究（第2年次）

実施期間 平成 22 年度～平成 24 年度
地理地殻活動研究センター
地殻変動研究室 小沢 慎三郎

1. はじめに

海溝型の地震の場合、地震後に顕著な余効変動が発生する事例が多い。このような余効変動を起こす機構としては、地震後のプレート境界上での余効滑りが挙げられる。2011年3月11日に $M_w9.0$ の東北地方太平洋沖地震が発生した。この地震の後に大きな余効変動が GPS 観測網によって観測されている。 $M_w9.0$ の巨大な地震が日本のような稠密な観測網があるところで発生した事例はこれが初めてであり、地震後の余効滑りがどのような場所、期間、大きさで起きるのかその詳細な様子が推定できる可能性がある。

2. 研究内容

$M_w9.0$ の東北地方太平洋沖地震が太平洋プレートとオホーツクプレートの境界上で発生した（図-1）。この地震の後に大きな余効変動が GPS 観測網によってとらえられている。本研究では、この地震の余効変動を元に地震後のプレート境界面上での滑り分布を調べた。

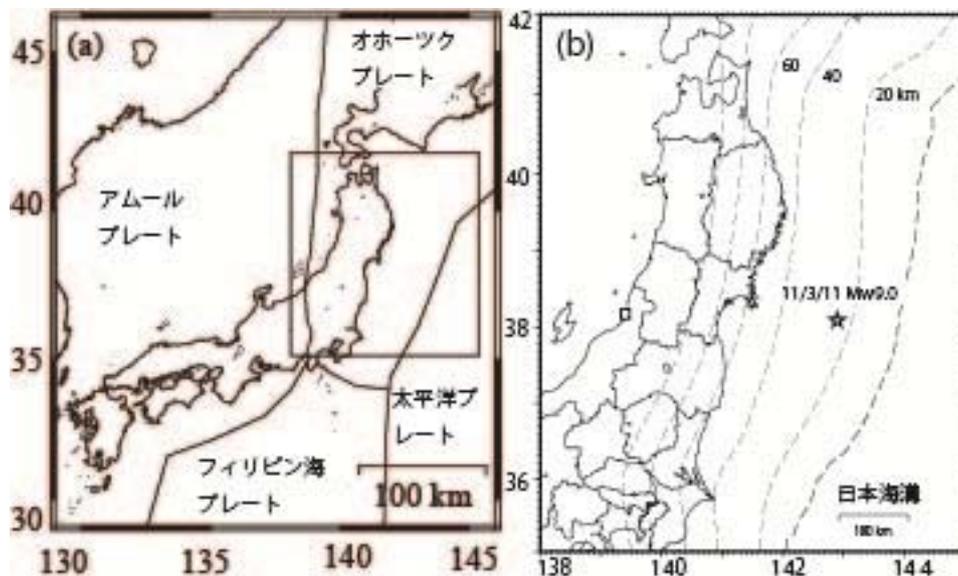


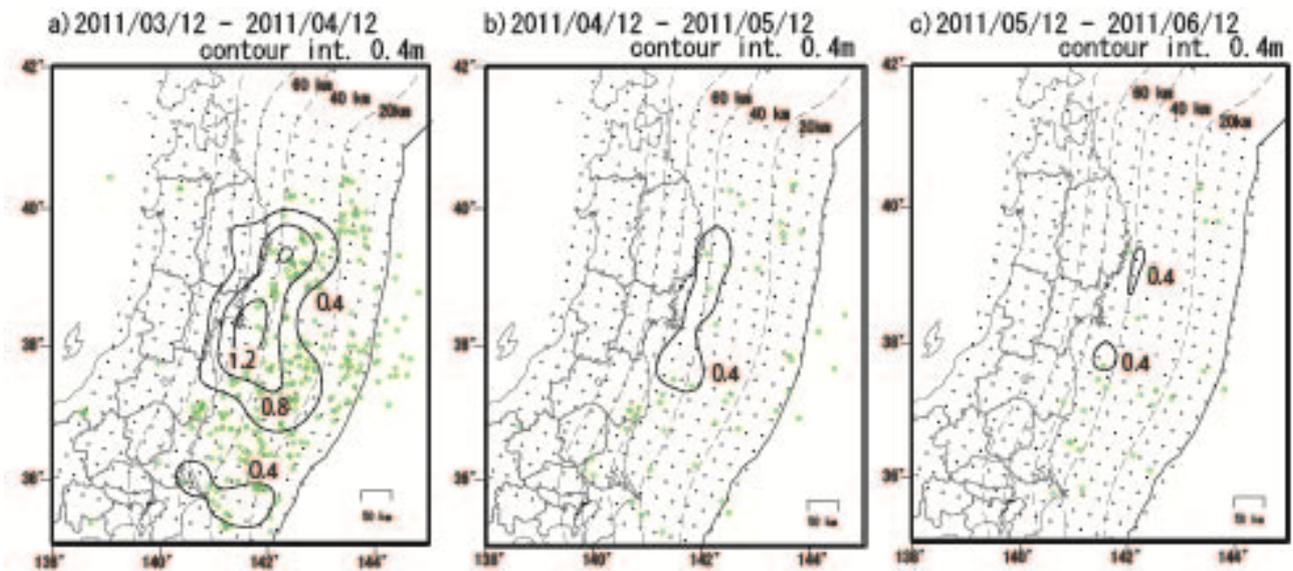
図-1 東北地方のテクトニクス図

3. 得られた成果

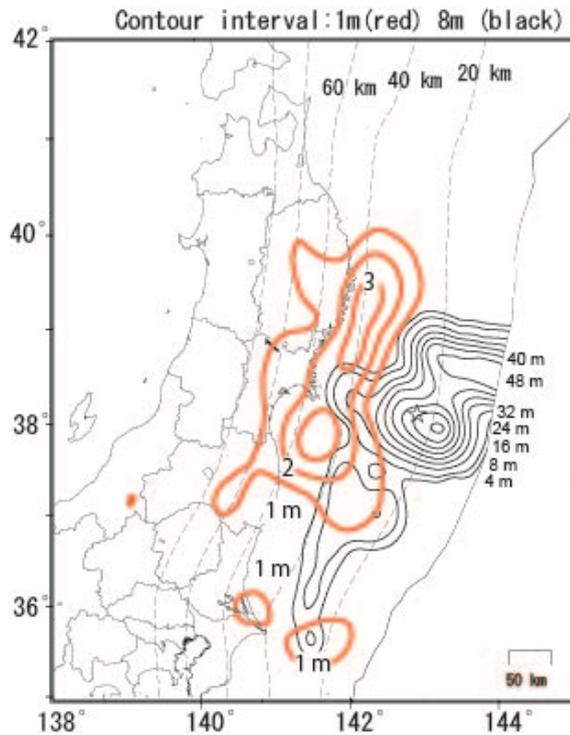
図-2に示されるように、地震発生後すぐにプレート境界で余効滑りが継続して起き、時間と共に減衰している様子が推定された。余効滑りの場所は、地震時の大きな滑り領域を避けているように見える（図-3）。

4. 結論

GPS 観測で捉えられた 2011 年の東北地方太平洋沖地震の余効変動データを使用して、インバージョンを行い、地震後の滑り分布を推定した。その結果、地震後のプレート間滑りは立ち上がり時期がなく、地震後すぐに発生し、その滑り領域は、本震時の滑り領域と相補的のように見える。



図－2 東北地方太平洋沖地震後の余効滑り分布の時間変化．等値線間隔は 0.4m．緑の丸は地震後の余震分布を示す．



図－3 東北地方太平洋沖地震の滑り分布（黒）と 2011 年 3 月 12 日～10 月 12 日までの余効滑り分布（赤）．余効滑りは地震時の滑りの大きい場所を避けているように見える．

SARデータによる地殻変動解析および地殻変動データに基づく 力学的モデリングに関する研究（第2年次）

実施期間 平成22年度～平成26年度
地理地殻活動研究センター
地殻変動研究室 小林 知勝

1. はじめに

地殻変動研究室では、測量により得られた地殻変動を分析し、地震や火山活動のしくみを解き明かすための研究を行っている。SAR干渉（InSAR）解析は、地上に観測点を設置することなく広域の地表変位をcmレベルの精度で計測できることから、地殻変動観測にとって有力な手段の1つである。本研究では、地震などの発生メカニズムの解明を目指して、SARデータ解析を通じた変動源の定量的モデリングおよび地殻変動観測・解析技術の高度化に関する研究を遂行する。

2. 研究内容

InSAR解析により、国内外で発生した大規模な地震・火山活動に伴う地殻変動の空間分布を広域かつ詳細に抽出する。変動源の定量的なモデリングを行い、推定されたモデルおよび地震学/火山学的考察の下に発生メカニズムの解明を目指す。また、SARデータに適合したモデリング手法の開発・改良を行う。さらに、東海・東南海・南海地震発生域などを対象にした、地震間の歪蓄積過程に伴う経年的な地殻変動の検出の試みも行う。平成23年度は、東北地方太平洋沖地震後に発生した福島県浜通りの地震（ $M_j7.0$ ：2011年4月11日）などの内陸地震に関してSAR干渉解析を行い、得られた地殻変動データをもとに震源断層モデルを構築した。また、数値気象モデルを用いた大気遅延誤差低減処理を、霧島山（新燃岳）火山活動のSAR干渉解析に適用し、その有効性を示した。さらに、SARデータ解析に特化した、Simulated Annealing法による力源モデル推定プログラムを新たに開発した（断層滑り、球状圧力源、板状圧力源のモデルに対応）。

3. 得られた成果

3. 1 福島県浜通りの地震（ $M_j7.0$ ）

InSAR解析により、2011年4月11日に発生した福島県浜通りの地震（ $M_j7.0$ ）に伴う地殻変動を観測した。地殻変動が集中する領域は、いわき市の西約20kmに位置し、最大約2.2mの衛星-地表間の距離伸長が観測された（図-1）。SAR干渉画像には、数条の明瞭な変位不連続が認められ、その主なものは塩ノ平断層、湯ノ岳断層、井戸沢断層沿いに現れている。これらの変位不連続は、現地調査で発見された地表地震断層の位置と調和的である。滑り分布モデルを推定したところ、3つの断層ともほぼ純粋な正断層滑りが推定され、傾斜角 $50\sim 60^\circ$ の西傾斜が最適解として求まった（図-2）。

3. 2 霧島山（新燃岳）火山活動「数値気象モデルを用いた大気遅延誤差低減処理の有効性の検証」

InSAR解析により、霧島山（新燃岳）火山活動に伴う地殻変動を観測した（図-3）。噴火前のSARデータを用いた干渉解析からは、膨張性の地殻変動が新燃岳の西北西の領域で観測された。北行軌道のデータを用いた干渉画像によると、変位の中心は韓国岳の西約5kmにあり、2010年2月17日と同年11月20日のペアでは最大約4cmの衛星-地表間の距離変化があった。さらに噴火前と噴火後に撮像されたSARデータのペアによる干渉解析からは、膨張性の地殻変動とほぼ同じ領域で、収縮性の地殻変動が観測された。観測された膨張性及び収縮性

殻変動の力源を求めるため、Simulated Annealing法を適用した圧力源モデル計算を行ったところ、膨張源、収縮源はともに新燃岳の西北西約5kmの位置に求まり、深さはそれぞれ6.8km、6.1kmと推定された(図-4)。数値気象モデルを用いた大気遅延誤差低減処理の有効性を検証したところ、低減処理を行ったデータのほうが大気起因のノイズを低減し、モデル計算にも有意な影響を与えることを示した(図-4、図-5)。

3. 3 震源断層・圧力源モデリングのための解析プログラムの開発・改良

Simulated Annealing法を用いた力源モデル計算のためのプログラムを開発した。プログラムは、断層滑り(矩形断層面上の一様滑り)、球状圧力源、板状圧力源を仮定した力源モデルに対応している。加えて、推定された各パラメータのばらつき(誤差)をブートストラップ法にて計算するプログラムも開発した。

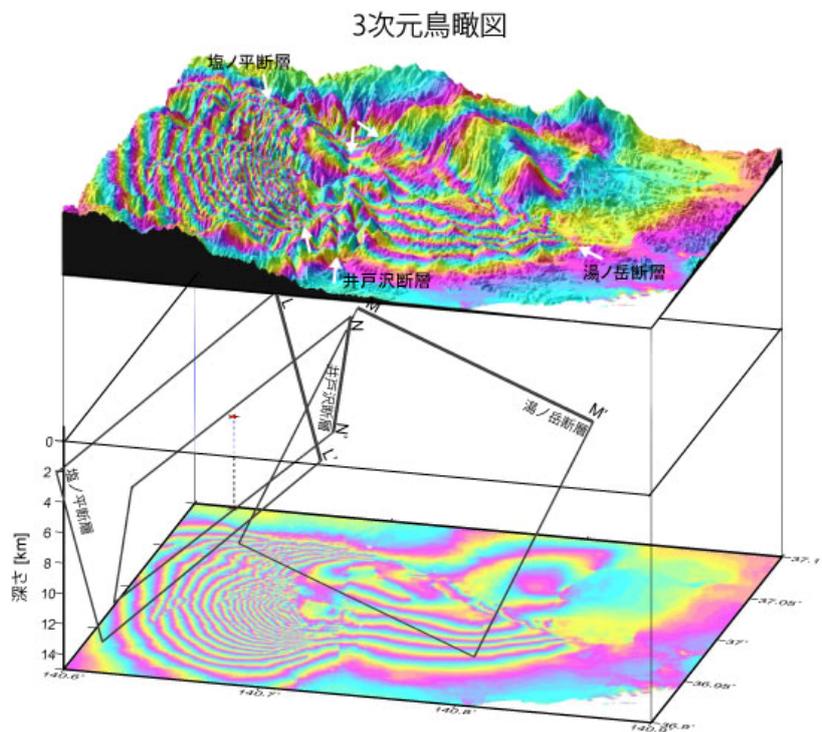


図-1 福島県浜通りの地震(M_j7.0)に伴う地殻変動を示す干渉画像。

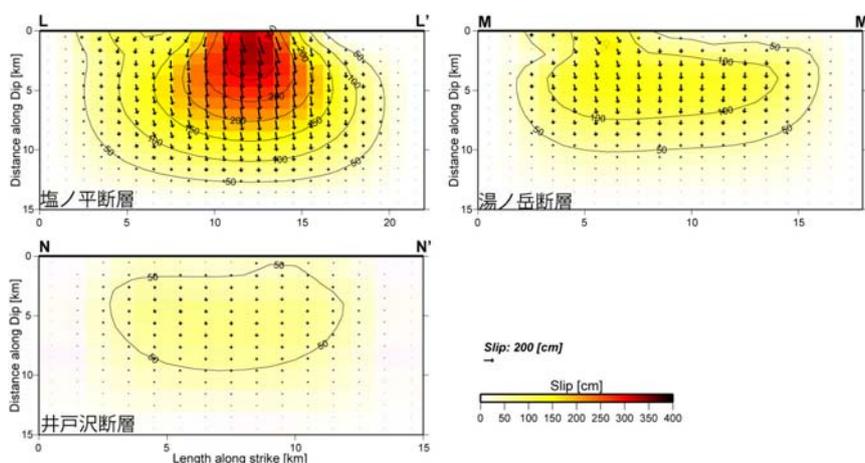


図-2 地殻変動(図-1)から推定された断層面上のすべり分布。

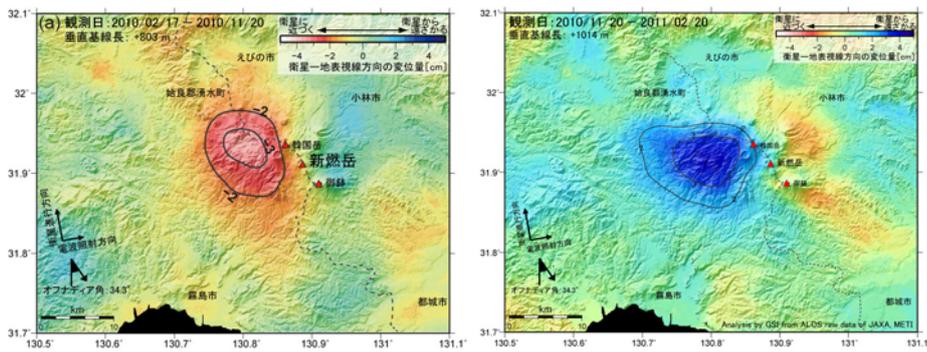


図-3 霧島山（新燃岳）火山活動に伴う地殻変動を示すSAR干渉画像。数値気象モデルを用いた大気遅延誤差低減処理を適用している。

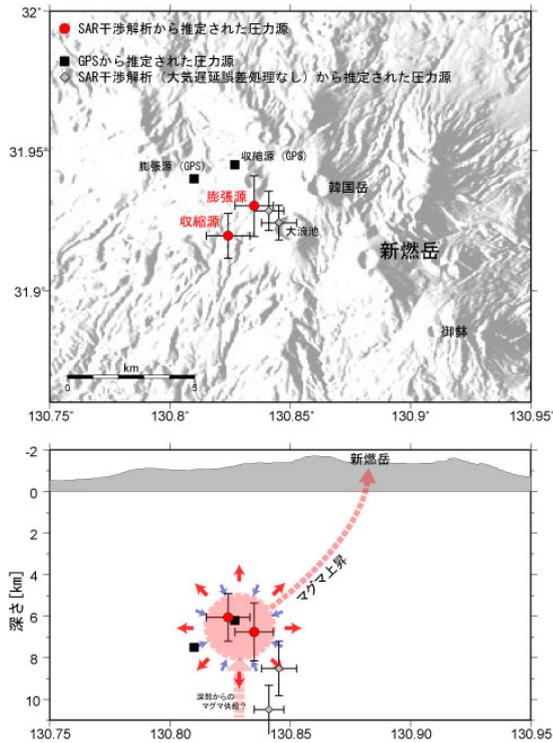


図-4 推定された圧力源モデルの位置。

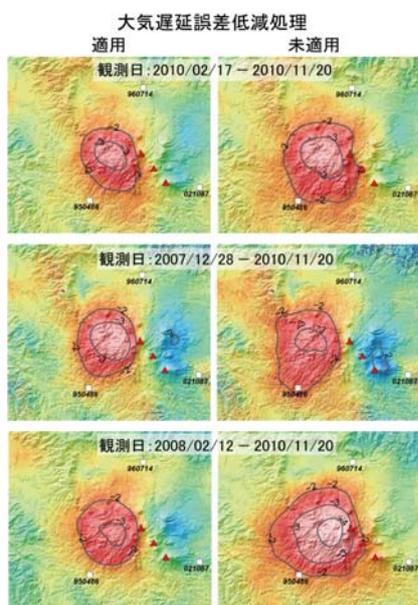


図-5 数値気象モデルを用いた大気遅延誤差低減処理の効果。

4. 今後の予定

平成24年度は、PS-InSAR法により、地震間の歪蓄積過程に伴う地殻変動等の抽出を試みる（特別研究「ひずみ集中帯の地殻変動特性に関する研究」と一部連携）。加えて、SARデータ解析やモデリング等のための解析プログラムの新規開発・改造作業も引き続き行う。

地震波形データを利用した火山性地殻変動の検出と力源モデル推定に関する研究 (第1年次)

実施期間 平成23年度～平成25年度
地理地殻活動研究センター
地殻変動研究室 小林知勝

1. はじめに

地殻変動研究室では、測量により得られた地殻変動を分析し、地震や火山活動のしくみを解き明かすための研究を行っている。GPSやSARデータを用いた地殻変動解析は、地下の断層やマグマの位置・挙動を定量的に評価する有効なアプローチである。しかしながら、数秒～数十秒の短い時間スケールをもった変動やmmレベル以下の微小な地表変位には、GPSやSARでの観測は有効ではない場合がある。本研究では、周期数秒から百秒前後までの地震動を観測可能な広帯域地震計を用いることによって、GPSやSARでは検出困難な地殻変動を抽出し、その力源モデルの推定を試みる研究を行う。

2. 研究内容

広帯域地震計で記録された波形データから地殻変動性のシグナルを抽出し、その力源をモデル化することを試みる。本研究では、広帯域地震計が複数設置され、噴火に伴う種々の記録がとれた2000年三宅島火山活動を主な研究フィールドとする。東京大学地震研究所および防災科学技術研究所と連携して研究を進め、両機関から地震波形データの提供を受ける。平成23年度は、2000年三宅島火山活動に伴って記録された広帯域地震計の波形データを精査し、膨張性地殻変動を抽出した。さらに膨張性地殻変動の解析を行い、その発生位置や発生メカニズムを推定した。

3. 得られた成果

三宅島島内に設置された7点の広帯域地震計記録から、2000年三宅島火山活動におけるカルデラ形成直前の数日間に、約20秒の時間幅を持ったパルス状の特異な地震が発生しているのを検出した(以下、「超長周期地震」という)。超長周期地震は7月4日頃から地震記録上で明瞭に認識できるようになり、山頂陥没開始の1～2日前からその発生頻度が急増する。パルス状の波形(速度波形記録)を積分することにより得られた変位波形は全成分ともステップ状の変化をし、上下動成分は全観測点とも共通に押しの極性を示す(図-1)。振幅はイベントごとに異なるものの、変動の継続時間はほとんど変わらず約20秒である。その波動軌跡は全観測点で直線状もしくは楕円形状となり、その長軸の延長線は山頂の南約1kmの深さ数kmの領域で交わっている(図-2)。初動は波動軌跡の指す領域を中心に放射状に広がる向きにあり、有意な体積膨張を伴って励起されたことが強く示唆される。超長周期地震の発生場所とそのメカニズムを調べるために、波形インバージョン法を適用した解析を行った。メカニズムは体積変化が卓越することが予想されることから、モーメントテンソル6成分のみを仮定して計算した。インバージョン解析の結果、最適解は山頂から南1kmの海面下3.5kmの深さに求まった(図-2)。推定されたモーメントテンソル解は約20秒かけて変化するステップ状の震源時間関数を示し、対角成分が卓越する。対角成分は3成分とも正の極性となり有意な膨張変化を示す。

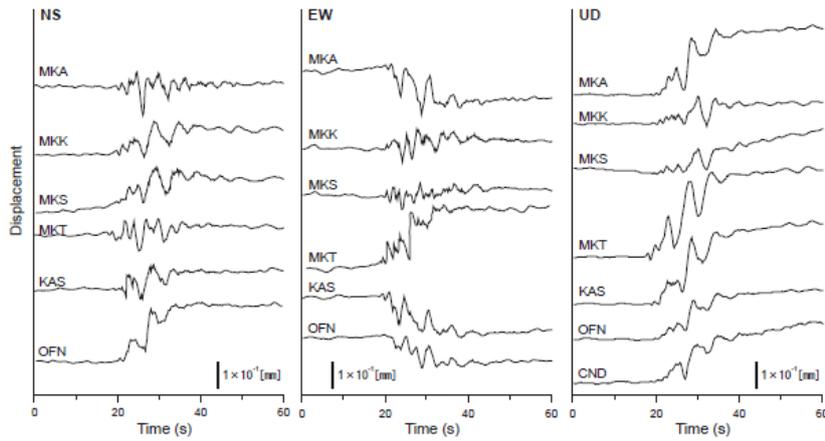


図-1 広帯域地震計に記録された超長周期地震動. 速度波形を積分して変位波形に変換.

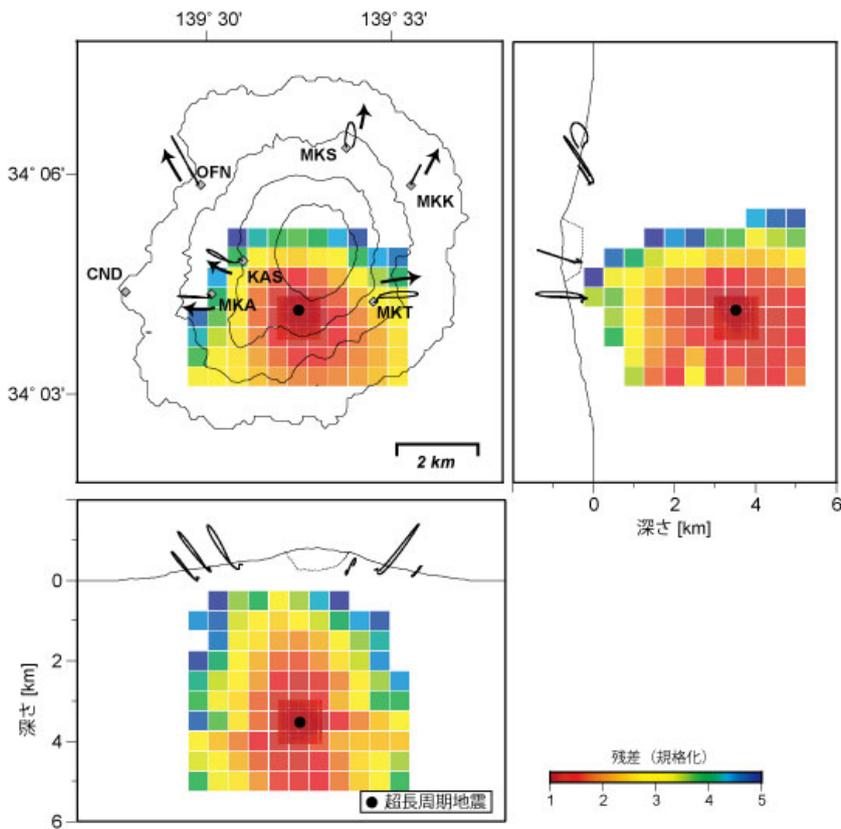


図-2 超長周期地震動の波動軌跡(実線)と波形インバージョン法により推定された震源位置(●印).

4. 今後の予定

平成24年度は、膨張源の力学的特徴などについての解析をさらに進め、推定された力源モデルの高度化を行う。

プレート間カップリングの推定システムの高度化に関する研究（第1年次）

実施期間 平成23年度～平成24年度
地理地殻活動研究センター
地殻変動研究室 水藤 尚

1. はじめに

平成22年度に終了した特別研究「日本列島の地殻活動メカニズム解明の高度化に関する研究」で開発したプレート間カップリングの推定システムは、プレート間の固着状態のみを推定していた。本研究ではこのシステムに、剛体運動成分の推定機能を追加し、日本列島の地殻変動を引き起こす主要因として、プレート間固着と剛体運動成分の両者を考慮したモニタリングができるようにシステムの改良を行う。

2. 研究内容

平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震（以下、「東北沖地震」という。）が発生し、その影響は日本列島全域に渡り、余効変動も広範囲かつ長期間に渡っているため、本年度は東北沖地震発生後の地殻変動のモニタリングが可能となるようにシステムの改良を行った。これまでのシステムでは、1～3年間の地殻変動時系列から定常成分及び年周・半年周成分を推定し、定常的に最新の地殻変動速度を算出していた。短期間（数ヶ月～半年程度）の地殻変動時系列ではS/N比が悪いため、ここでは定常的に1ヶ月、3ヶ月ごとの地殻変動量を算出できるようにシステムを改良した。

3. 得られた成果

東北沖地震発生直後は1ヶ月ごとの地殻変動でモニタリングを行っていたが、データの蓄積にあわせて、3ヶ月ごとの地殻変動のモニタリングへ移行した。東海地方の地殻変動のモニタリングの固定局は白鳥観測点を用いてきたが（図-1）、図-2に示す三隅固定での地殻変動を見ると、東北沖地震の余効変動の影響は白鳥観測点にまで及んでいることが分かる。従って、図-1において東海地方の北東側では東方向、南西側では西方向の変動は、固定局である白鳥観測点が余効変動で東方向に変動していることによる見かけ上の変動である。最新の3ヶ月の地殻変動（図-1（4）及び図-2（4））は、同時期の1年前の地殻変動（図-1（44）及び図-2（44））の状態に近づいてきているが、岐阜県中部から長野県中部には東向きから北東向きの変動が若干見られており（図-2（4））、東北沖地震の余効変動は若干残っていると考えられる。

本研究で得られた1ヶ月、3ヶ月ごとの地殻変動のモニタリング結果は、地震防災対策強化地域判定会や地震調査委員会等の政府の地震防災に関する各種会議に国土地理院資料として毎回提出され、地殻活動の監視業務に活用されている。

4. 今後

来年度は、東北沖地震発生後の地殻変動からプレート間の固着状態の推定を行う。また、剛体運動成分の推定機能を追加し、過去のデータを用いてプレート間固着の推定と剛体運動成分の推定を同時に行い、特に九州南部から琉球弧にかけてのプレート間固着の推定を行う予定である。

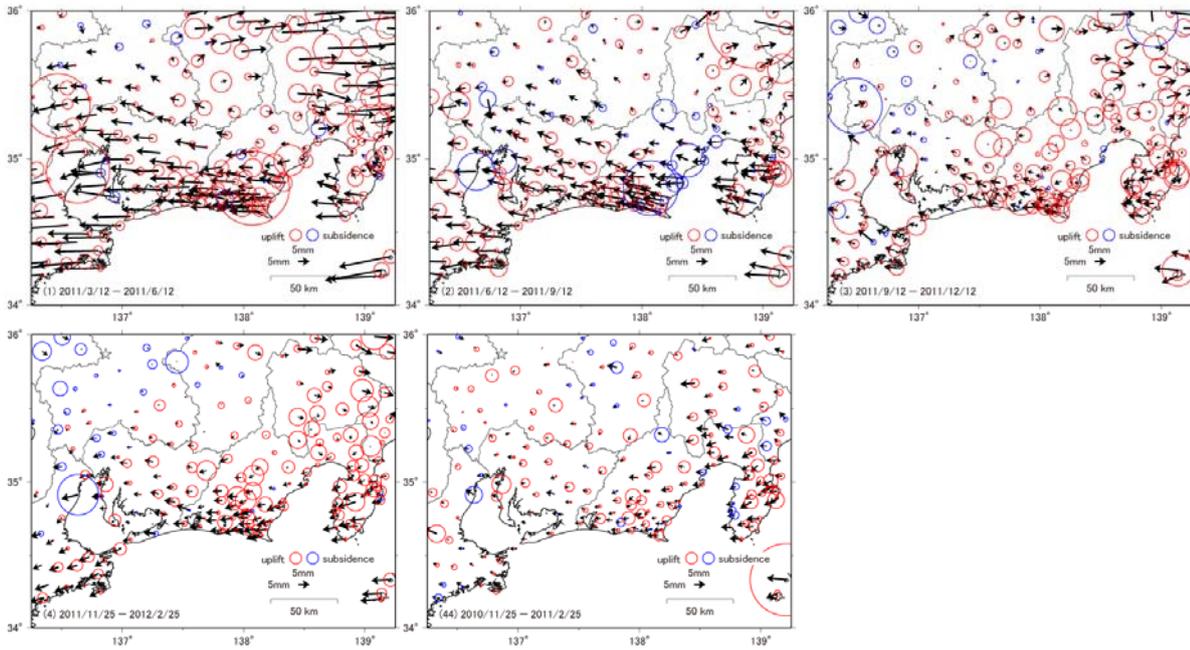


図-1 東北沖地震発生後3ヶ月ごとの東海地方の地殻変動（白鳥固定）. (44)は、(4)と同時期の1年前の変動量. 矢印は水平変動，赤丸及び青丸はそれぞれ隆起，沈降の大きさ.

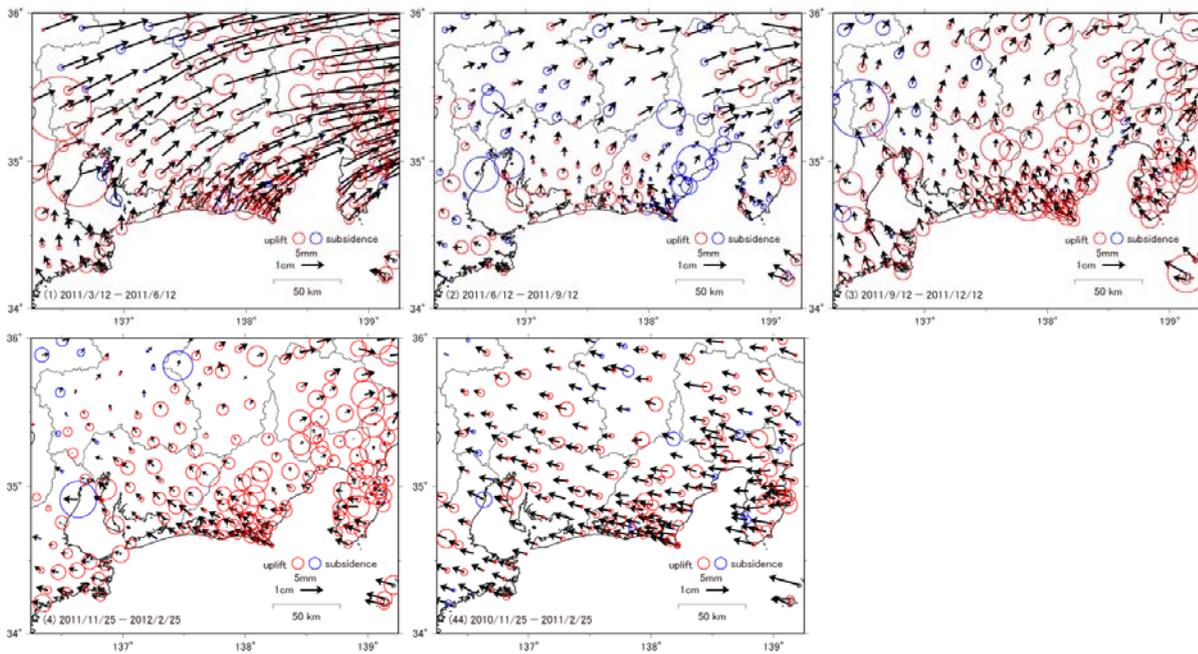


図-2 東北沖地震発生後3ヶ月ごとの東海地方の地殻変動（三隅固定）. (44)は、(4)と同時期の1年前の変動量. 矢印は水平変動，赤丸及び青丸はそれぞれ隆起，沈降の大きさ.