

SSS030-01

会場:105

時間:5月24日 08:30-08:45

GPS データによる東海地域の短期的スロースリップイベントのモニタリング Monitoring of Short-term Slow Slip Event by GPS data in Tokai Region

藤田 明男^{1*}, 里村 幹夫², 生田 領野², 島田 誠一³, 加藤 照之⁴, 原田 靖⁵

Akio Fujita^{1*}, Mikio Satomura², Ryoya Ikuta², Seiichi Shimada³, Teruyuki Kato⁴, Yasushi Harada⁵

¹ 静大・理・地球, ² 静岡大・理・地球科学, ³ 防災科研, ⁴ 東大地震研, ⁵ 東海大海洋学部

¹Geoscience, Shizuoka Univ., ²Fac. of Science, Shizuoka Univ., ³NIED, ⁴Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo, ⁵School. Marine Sci. and Tech., Tokai Univ.

西南日本の沈み込み帯では、浅部の固着域と深部の安定すべり域との間の遷移領域で、深部低周波微動に伴って、短期的スロースリップイベントが発生していることが確認されている。本研究はこれらの短期的スロースリップに類する地殻変動をGPS記録を用いてモニタリングする試みである。

東海地域の短期的スロースリップは、Hirose and Obara(2006)などにより、Hi-net傾斜計や歪み系などにより検出され、断層パラメータが推定されている。しかし傾斜計、歪み計の記録には局所的な地下水の動きに影響される数週間から数カ月の中長期の変動が含まれているため、Hirose and Obara(2006)などでは深部低周波微動発生時に合わせて近傍の観測点の時系列を切り出し、スロースリップに対応する変化を読みだしている。

他方でGPS解析による時系列でも、里村ほか(2008)などにより、スロースリップによると見られる変動が得られ、断層パラメータのモデル化がおこなわれている。

GPSの最大の利点は歪み計などに見られる中長期の変動成分が小さいことである。そのため微動を指標にせず、GPS記録のみによる短期スロースリップの検出が期待できる。本研究ではこの前段階として、2006年1月に発生した短期スロースリップについてGPSデータによるインバージョン解析を行い、短期スロースリップの断層パラメータが推定できることを確認した。

今回解析したのは、2005年12月1日から2006年12月31日までの、GEONET点の69点、大学連合の35点の計104点である。解析ソフトはGAMIT ver.10.35を使用した。解析したデータを里村ほか(2008年本大会)の手法で処理し、Yabuki and Matsuura, 1992による断層インバージョンによって、2006年1月の短期的スロースリップに伴うプレート境界の滑り量分布を推定することが出来た。最大すべり量1cm弱の領域が深部低周波微動の震源域とほぼ同じ場所に得られた。

これを受けて今後、断層インバージョンを行う領域を時空間的に広げ、短期スロースリップ領域の自動的な推定を試みる。データとしては国土地理院によるGEONETのF3解を用い、駿河湾から豊後水道までの南海トラフ沿いの短期的スロースリップの時空間分布の検出を行う。本発表ではこの結果についても紹介する予定である。

キーワード: 深部低周波微動, 短期スロースリップ, GPS, インバージョン

Keywords: deep low-frequency slight tremor, short-term slow slip, GPS, inversion

SSS030-02

会場:105

時間:5月24日 08:45-09:00

東海地域の面積歪変化と想定東海地震のアスぺリティ (続報)

Change in dilatation obtained by means of GPS and presumption of asperities for the Tokai Earthquake (2)

橋本 祐匡¹, 里村 幹夫^{1*}, 生田 領野¹, 島田 誠一², 松村 正三², 加藤 照之³, 原田 靖⁴, 鷺谷 威⁵

Yuuki Hashimoto¹, Mikio Satomura^{1*}, Ryoya Ikuta¹, Seichi Shimada², Shozo Matsumura², Teruyuki Kato³, Yasushi Harada⁴, Takeshi Sagiya⁵

¹ 静岡大学理学部地球科学科, ² 防災科学技術研究所, ³ 東京大学地震研究所, ⁴ 東海大学海洋学部海洋資源学科, ⁵ 名古屋大学大学院環境学研究科

¹ Fac.Science, Shizuoka Univ, ² NIED, ³ ERI, Univ Tokyo, ⁴ Fac. Marine Sci., Tokai Univ., ⁵ Environmental Studies, Nagoya Univ

東海地域ではアムールプレートとその下に沈み込んでいるフィリピン海プレートの境界を震源とする東海地震が近い将来発生すると予測されている。そのため、この地域では地震前兆のシグナルを捉えるための非常に稠密な GPS 観測網が展開されている。

GPS による観測結果から、2000 年秋から 2005 年夏にかけて浜名湖周辺のプレート境界でスロースリップが発生していることが分かった。このスロースリップは、想定東海地震の震源域 (固着域) より深い部分で発生しており、アスぺリティ周辺の応力状態を変化させることが予想される。

前報 (請井ほか、2010) では GPS 観測データから地表における面積ひずみ速度を求め、固着域でも固着の弱いところは少しはスロースリップにより滑ると考えて、松村 (2007) のアスぺリティモデルからの推定値との比較を行った。その結果は、ひずみ速度のパターンと良い一致を示した。今回はより信頼性の高いひずみ分布を得るため、解析点数を増やして速度場と面積ひずみ速度を計算した。

今回解析行った観測点は、前報で使用した 66 点に国土地理院 13 点 (愛知県・長野県)、大学連合 16 点 (静岡県) を加えた計 95 点である。解析期間は 2004 年 1 月 1 日から 2006 年 12 月 31 日までの 3 年間で、スロースリップ発生中と終了後の期間を含んでいる。座標値解析には GAMIT10.35 を利用し、基準座標系は ITRF2005 を用いた。

その結果、面積ひずみ速度はスロースリップの発生期間と終了後の期間で明らかにパターンが変化しており、スロースリップ発生中のひずみ速度のパターンは、前報の結果よりも松村 (2007) のアスぺリティモデルとより良い一致を示した。これは固着域の中で複数のアスぺリティの存在を示唆している。

さらに、速度場の結果を用いて、Yabuki and Matsu'ura (1992) の方法でインバージョン計算を行った。この際、スロースリップ発生中 (スロースリップ + 定常変動) から終了後 (定常変動) を差し引いた速度データを用いた。また断層モデルとしては Ohta et al. (2004) を用いた。その結果のすべり分布は固着域内で一様に固着しているという結果を示し、ひずみ速度から求めた結果とは矛盾する結果となった。

これらの矛盾の原因については、GPS 解析結果やインバージョンの方法などを含め、更なる検討が必要である。

キーワード: 東海地方, GPS, 地殻変動, アスぺリティ, 東海地震, スロースリップ

Keywords: Tokai District, GPS, Crustal movements, Asperity, Tokai Earthquake, Slow slip

SSS030-03

会場:105

時間:5月24日 09:00-09:15

東海地方における 1996 年から 2010 年までプレート間固着の時間的推移 The whole picture of temporal development of the plate coupling in the Tokai region, 1996–2010

落唯史^{1*}, 加藤 照之¹

Tadafumi Ochi^{1*}, Teruyuki Kato¹

¹ 東京大学地震研究所

¹ ERI, the University of Tokyo

In the Tokai area, central Japan, the continuous crustal deformation due to the interaction between subducting Philippine Sea Plate and overlying continental plate have been observed by many methods such as GPS and leveling. We developed these data in order to know full picture of the plate coupling process macroscopically.

We developed the GPS data from 1996 to 2010 as following: we cut the time series of daily GPS coordinates into two-year-length time series and removed annual and semi-annual components to obtain mean annual velocity. Using this value, we estimated plate coupling on the plate interface using the geodetic inversion method. The results showed that the plate coupling had three phases: 1) strong slip deficit in the offshore region before 2000, 2) forward slip beneath the inland region in addition to the stronger slip deficit in the same region as 1 between 2000-2004, and 3) the same distribution as 2 but the smaller size than 2 since about 2006. Phase 2 might indicate the slow slip event.

We also developed the leveling data from 1996 to 2008. We picked it up to make five-year-length time series and estimated mean annual velocity in the interval, because unlike the daily GPS coordinates, the leveling observations were taken place usually only once a year. Although the interval of the analysis was slightly different, the overall trend resembled the results using GPS data mentioned above. The estimated coupling distribution by GPS data could make the leveling data, and vice versa.

These results showed that GPS and leveling data were consistent each other and suggested that the result of geodetic inversion became more accurate if the geodetic inversion using both GPS and leveling data was made.

SSS030-04

会場:105

時間:5月24日 09:15-09:30

3次元GPS速度場から推定した南海トラフの定常的プレート間固着分布 Steady interplate coupling at the Nankai Trough

平田 諒次^{1*}, 田部井 隆雄²

Ryoji Hirata^{1*}, Takao Tabei²

¹ 高知大学大学院総合人間自然科学研究科, ² 高知大学理学部

¹Grad. School of Science, Kochi Univ., ²Faculty of Science, Kochi Univ.

フィリピン海プレートは南海トラフより西南日本の下に沈み込み、プレート境界で周期的に巨大地震を発生させるとともに、地震間には西南日本地殻を北西-南東方向に弾性圧縮変形させる。巨大地震サイクルの解明には地震間のプレート間固着状態の把握が必須であるが、プレート境界面は紀伊半島の下で屈曲し、四国以西で走向と傾斜角が急変するなど、従来の矩形断層の集合では断層面に重なりや隔たりが生じ曲面の形状を十分再現できない。本研究では三角形要素を用いてプレート境界面を表現し、3次元GPS変位速度データのインバージョン解析により、南海トラフにおける地震間の定常的なすべり欠損速度分布を推定する。

まず、国土地理院GEONETの西南日本における430点の日々の座標値F3解からREVEL (Sella et al., 2002) よりアムールプレート準拠とした水平速度と楕円体高を基準とした上下速度を算出した。座標時系列には豊後水道スロースリップと機材交換による影響が含まれるため、使用データ期間はこれらを含まない2004年1月~2009年12月とした。次に、震源分布と構造探査結果からYoshioka and Murakami (2007) が更新したプレート境界面(深さ4~60km)を533枚の三角形要素で表現した。インバージョン解析にはPoly3D (Maerten et al., 2005) を使用し、プレート境界縁辺部の固着率がゼロとなる境界条件と、すべり欠損速度が要素間で滑らかに変化する拘束条件を与えた。

インバージョンの結果、土佐湾沖と紀伊半島南方沖の共に深さ10km付近のプレート境界面に固着率が100%に達するすべり欠損速度の大きな領域が推定された。これは、1946年南海地震のアスペリティ領域と良く一致し、従来の多くの先行研究の結果とも整合する。豊後水道下では約70%の固着率が推定され、この領域にプレート収束速度70mm/yr、固着率70%で期間6年間に累積するすべり欠損量は、1回の長期スロースリップイベントによって解放されるすべり量(2003年の際には約30cm)に匹敵する。また、西南日本の地殻変動場には中央構造線(MTL)を境とする前弧ブロックの横ずれ運動も存在する。そこでTabei et al. (2007) を参考に、MTL浅部が固着したまま前弧ブロックが西南西方向へ一様に横ずれ運動(6.7mm/yr)していると仮定し、GPS観測値からMTLの影響を補正したうえで再解析を行った。その結果、土佐湾沖と紀伊半島沖に固着率が最大の領域が推定されたのは同じであるが、MTLを考慮していないインバージョン結果と比較して、とくに解析領域の西部において、すべり欠損速度が西向きに過大評価されていた傾向が改善された。

SSS030-05

会場:105

時間:5月24日 09:30-09:45

GEONETによる太平洋プレート上での断層すべりの検知能力 Detectability of interplate fault slip on the Pacific plate, based on GEONET

水藤 尚^{1*}

Hisashi Suito^{1*}

¹ 国土交通省国土地理院

¹ GSI of Japan

国土地理院のGPS連続観測網(GEONET)が全国運用を開始してすでに10年以上が経過し、現在解析戦略第4版のルーチン解(F3解)が公開されている。このF3解では従来に比べてノイズが大幅に軽減され、水平成分ではmmオーダーの変動を捉える事が可能となってきている。実際にプレート境界で発生したM6後半クラスの海溝型地震で、数mm程度の変動の検出が報告されている。また余効すべりやスロースリップといった多種の時定数を持つプレート境界面上の非定常すべりの発生とその時空間変化の様子も数多く報告されてきている。しかしながら、GEONETによって、実際にどこでどの程度の大きさの断層すべりが発生した場合に検知可能であるのか?といった定量的な報告はされていない。本研究では、プレート境界面上での断層すべりが、どこでどの程度の大きさで発生した場合に、GEONETによって検知可能であるかの検討を行った。今回の発表では、太平洋プレート上での解析結果について報告する。

断層すべりの検知能力の検討に当たって、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)およびすべり量の9つである。断層の位置および断層の向きに関する6つのパラメータは、基本的にはCAMPモデル(Hashimoto et al., 2004)の太平洋プレートの形状モデルを使用し、深さ0~120km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)による太平洋プレートに対する北米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。断層の大きさおよびすべり量に関する3つのパラメータは、以下の方法で決定した。すべりの大きさをモーメントマグニチュード(以下、「Mw」という。)で想定し、地震のスケリング則に基づいて、Mw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、長さとの幅の比は2:1とした。

断層パラメータが得られれば、断層すべりによる地殻変動が計算できる。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(Mw)と場所を以下の2つで判断した。1) 閾値: 観測点でシグナルとみなす変動量の大きさ。2) 観測点数: シグナルとみなされる変動量が観測される観測点の数。閾値は、GEONET観測点での平均変動速度および年周・半年周成分の残差のrmsがおおよそ水平成分で1~2.5mm、上下成分で5~10mm程度であることから、3mm以上を基本とした。今回上下成分は考慮せず、水平成分のみに基づく結果である。次に観測点数は、1、2点であると観測点の異常等が考えられること、逆に多すぎると観測点密度に依存し過ぎてしまうことから、3点以上を基本とした。閾値と観測点数の両方の条件を満たす場合にその場所での断層すべりは検知できると判断した。

検知能力が高い場所は、プレート境界が浅い、観測点が十分にあるといった場所で、海に突き出た岬、半島島等である。例えば、襟裳岬、三陸沿岸、銚子付近では、検知できる断層すべりの大きさはおおよそMw6.0前後以上である(閾値3mm、観測点数3点の場合)。一方、検知能力が低い場所は、プレート境界が深い、観測点が少ない、観測点までの距離が遠いといった場所で、内陸直下や海溝軸付近等である。例えば、北海道東部根室半島、苫小牧沖、仙台湾等で、検知できる断層すべりの大きさはおおよそMw6.6前後以上である(閾値3mm、観測点数3点の場合)。観測点数を固定して、閾値を大きくすれば、検知できる断層すべりの大きさの下限は大きくなり、検知能力は低くなる。一方、閾値を固定して観測点数を多くしても(3~7点)検知できる断層すべりの大きさはそれほど大きくは変わらなかった。

今回閾値は全点一定の値を与えたが、観測点でのノイズレベルは観測点ごとに違うであろうし、想定する時間スケールによっても変わるであろうことから、観測点ごと、時間スケールごと、閾値を変えた検知能力の検証を行いたいと考えている。また今回、閾値と観測点数の違いに着目して検知能力を検討したが、検知できる断層すべりの大きさは、プレート形状モデルや断層パラメータ等にも依存するであろう。

キーワード: GPS, 断層すべり, 検知能力

Keywords: GPS, interplate fault slip, detectability

SSS030-06

会場:105

時間:5月24日 09:45-10:00

精密水準測量によって検出された台東縦谷断層（台湾）の非地震性クリープ Large aseismic creep detected by precise leveling survey at the central part of the Longitudinal valley fault, Taiwan

村瀬 雅之^{1*}, 松多 信尚², 小澤 和浩², 陳 文山³, Lin Cheng-Horng⁴, 小泉 尚嗣⁵

Masayuki Murase^{1*}, Nobuhisa Matsuta², Kazuhiro Ozawa², Wen-shan Chen³, Cheng-Horng Lin⁴, Naoji Koizumi⁵

¹ 日本大学文理学部地球システム科学科, ² 名古屋大学環境学研究科, ³ 国立台湾大学地質系, ⁴ 台湾中央研究院地球科学研究所, ⁵ 産業技術総合研究所

¹Nihon University, Japan, ²Nagoya University, Japan, ³National Taiwan University, Taiwan, ⁴Academia Sinica, Taiwan, ⁵AIST, Japan

Longitudinal valley faults in eastern Taiwan are commonly considered collision boundary between the Eurasian plate and Philippine sea plate. Yuli fault, one of the active segments of the longitudinal valley faults, is reverse fault with east dip. We established about 30km leveling route from Yuli to Changbin to detect the vertical deformation in detail (Murase et al. 2009). The installation interval of benchmarks near the fault area is about 100 m. Others were installed every about 300m.

The precise leveling surveys were conducted in August 2008, August 2009 and August 2010. The overview of the deformation detected in the period from 2008 to 2010 is as follows. It was detected about 3.0 cm/year uplift, referred to the west end of our route, at about 2km region across the fault. Uplift was gradually-reduced with the distance from the fault, and was 1.5 cm/year at the east coast. In the observation period, there is no significant earthquake in Yuli fault. It suggests the detected deformation as a cause for the aseismic creep motion of the Yuli fault. The deformation detected in the period from 2009 to 2010 denotes the same tendency and rate of that from 2008 to 2009. It suggests that the creeping occur at the same location of the fault with constant rate. From these deformation, the preliminary creep distribution was estimated in the Yuli fault. We adopted a two-dimensional reverse fault model to estimate the creep distribution. The fault geometry was optimized using the genetic algorithm in order to conform to the leveling data. The goodness of the fit of the examined models is determined on the basis of Akaike's information criteria (AIC; Akaike,1973).

In August 2010, we installed more three routes in Yuli and conducted them. Since it was first time to conduct the leveling survey in these new routes, we will be able to detect deformations next year. In this meeting, we will present an overview and our purpose of our observation in the new routes.

キーワード: クリープ, 精密測量, 台湾

Keywords: creep, precise leveling survey, Taiwan

SSS030-07

会場:105

時間:5月24日 10:00-10:15

RTK-GPS データによる震源断層モデル即時決定の試み Preliminary results of rapid determination of coseismic fault model using RTK-GPS

小林 竜也^{1*}, 太田 雄策¹, 三浦 哲¹

Tatsuya Kobayashi^{1*}, Yusaku Ohta¹, Satoshi Miura¹

¹ 東北大・理・予知セ

¹ RCPEVE, Sci., Tohoku Univ.

[背景・目的]

近年、リアルタイムキネマティック GPS (RTK-GPS) を、地震時地殻変動の研究に利用する試みが行われている (例えば西村, 2009; Blewitt et al., 2009). 地震発生後迅速に震源断層モデルを推定することができれば、即時に地震の正確な規模を知ることが可能となり、例えば津波予測システムと組み合わせることで減災・防災につながる重要な情報となる。GPS データの利点は、短周期から DC 成分までの広い周期帯の変位を捉えられることであり、こうした特性は、通常の地震計では正確な規模推定が難しい津波地震などのゆっくりした破壊伝搬が生じた場合にも有用である。本研究では RTK-GPS 時系列からの永久変位の自動検知・検出手法の開発と、それらを用いた震源断層モデルの自動決定を試みたので報告する。

[変位の検知・抽出手法]

永久変位の自動検知アルゴリズムは、地震波の P, S 波の自動検出に用いられている STA (短時間平均)・LTA (長時間平均) による判定法 (例えば、松村・他, 1988) を参考にして開発を行った。具体的には、1Hz-GPS 時系列に対して判定式: $D = |LTA - STA| - SD(LTA)$ を 1 秒ごとに計算する。LTA, STA の時間窓はそれぞれ 600 秒間, 60 秒間とし、SD(LTA) は LTA の標準偏差である。閾値を $K = D' + 4s$ (D' は平常時の D の平均値, s はその標準偏差) で定義し、基線・成分毎に予め設定しておく。D が K を越えたときに永久変位が検知されたと判断する。

次に、 $D > K$ となる変位検知時刻 T_d から永久変位量の推定を開始する。ここで、永久変位量は地震後の座標値 (D が最大になった時刻から遡って 20 秒間の平均値) と、地震前の座標値 (T_d の 7 分前から 5 分前までの平均値) の差で定義する。変位の検知は水平 2 成分で行い、最初に検知された成分における D 値の時刻情報を全成分に共通の T_d とする。ここでは、100km 四方内、30 秒以内に 4 観測点以上で変位が検知された場合に地震が発生したと判断した。これは誤検知の影響を低減する目的と共に、地震発生と判断された後に閾値を $K = D' + 2s$ に引き下げることによって、観測される変位量が比較的小さい観測点においても変位の検知・抽出を可能にすることを考慮したためである。

[実際の地震への適用]

以上のアルゴリズムを、RTK と同等の条件で解析を行った 2008 年岩手・宮城内陸地震の際の 1Hz 時系列に適用した。その結果、使用した 27 観測点のうち 20 の観測点において永久変位量の推定に成功し、推定完了までの所要時間は約 80 秒であった。本手法による変位量推定結果は、後処理キネマティック解析による地殻変動場 (Ohta et al., 2008) と水平成分で 2cm 内の精度で一致しており、RTK でも地震時変動検出のための実用的な精度が得られていることが確認された。閾値が $D' + 4s$ の場合の変位検知限界は 5cm、 $D' + 2s$ の場合は RTK の精度に対応して約 3cm であった。さらに得られた永久変位量を用いて震源断層モデルの推定を行った。震源断層モデルは半無限均質媒質を仮定した 1 枚の矩形断層 (Okada, 1992) であり、Matsu'ura and Hasegawa (1987) による非線形インバージョン手法を用いた。現段階では、断層端の初期座標は最初に変位を検知した観測点座標を用いているものの、その他の断層長や幅などの諸パラメータの初期設定を自動化できていない。実運用上では、変位検知観測点の分布や変位量の大きさから定量的かつ自動的に断層の長さ・幅・走向を与える手法の実装が求められ、今後の検討が必要である。

[謝辞]

本研究では、国土地理院による GPS データを使用しました。また、原子力安全基盤機構が平成 20 年度に実施した内陸の活断層調査に基づく震源断層評価手法の検討事業により取得した GPS データを使用しました。基線解析には東京海洋大学の高須知二氏による「RTKLIB 2.3.0」を使用させて頂きました。ここに感謝致します。

[参考文献]

Blewitt et al., J. Geod, 83, 335-343, 2009

松村・他, 防災センター研究報告, 41, 44-64, 1988

Matsu 'ura and Hasegawa, *Phys. Earth Planet. Inter.*, 47, 179-187, 1987
西村・他, JPGU2009 年大会予稿集, S150-002
Okada, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 75, 1135-1154, 1992
Ohta et al., *EPS*, 60, 1197-1201, 2008;

SSS030-08

会場:105

時間:5月24日 10:15-10:30

余効変動から推定される粘性構造についての考察 Viscosity structure in the lithosphere inferred from observed post-seismic deformation

山崎 雅^{1*}, Houseman, Gregory A¹

Tadashi Yamasaki^{1*}, Gregory A. Houseman¹

¹ リーズ大学

¹University of Leeds

GPS や InSAR などによる衛星測地学的観測は、余効変動メカニズムを検証する精密な制約条件を与えてくれる [例えば, Hager et al., *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, 19, 351, 1991; Massonnet & Feigl, *Rev. Geophys.*, 36, 441, 1998]。余効変動メカニズムのなかでも、粘性緩和の効果が、幅広い時空間スケールにおいて最も顕著な特徴を示すだろう。しかし、その効果の評価は、用いる粘弾性モデルの選択に大きく依存しているのが実情で、変動の進行とともにより高い粘性率が求められるという余効変動の一般的な特徴を説明するために、遷移モデルやべき乗則モデルなどのいくつかの候補モデルが提案されている [例えば, Freed and Burgmann, *Nature*, 30, 548, 2004; Ryder et al., *GJI*, 169, 1009, 2007; Hearn et al., *JGR*, 114, B08405, 2009]。また一方で、深さとともに変化する粘性構造が余効変動を理解するうえで大切だろうとする研究もある [例えば, Hetland & Hager, *GJI*, 166, 277, 2006; Riva and Govers, *GJI*, 174, 614, 2009]。実際、粘性率が深さとともに変化するだろうことは、室内実験からも明らかにされていることである。したがって、その効果について詳しく調べることが、用いるべきレオロジーモデルの決着をつける前に、先ず行われなければならない作業である。

本研究では、粘性率の深さ依存性の効果を詳しく調べ、余効変動の測地観測に含まれているはずの粘性緩和の特徴をどう捉えるべきかを考察する。3次元の有限要素コード (oregano_ve) を用いて、線形 Maxwell 粘弾性体モデルが横ずれ断層の動きに対してどう応答するのかを検証するが、モデルにおいては、弾性層下の粘性率は深さとともに指数関数的に減少していくとし、横ずれ断層上のすべりは, Melosh & Raefsky [BSSA, 71, 1391, 1981] による Split node 法を用いて導入した。一様な粘性率 (UNV) モデルと深さ依存を持つ粘性率 (DDV) モデルとの比較検討により、粘性率の深さ依存性の効果を明らかにしていく方法をとるが、本研究においては、DDV モデルの振る舞いを最も良く説明できる UNV モデルを観測地点ごとに見つけることにし、そのように各地点で最小化された2つのモデルの振る舞いの差異をもとに、粘性率の深さ依存性の兆候を捉えることを試みる。

我々の数値実験は、各地点で DDV モデルとの差異を最小にする UNV モデルの粘性率が、遠地場でより低くなることを明らかにした。各地点で最小化された2つのモデルの振る舞いの差異が、時間とともにどう変化するのかも断層からの距離に依存する。再分配される弾性応力が大きい近地場では、DDV モデルの振る舞いは UNV モデルで近似的に再現できる。しかし、弾性応力の再分配が小さい遠地場では、2つのモデルの差異を最小化しているにも関わらず、有意な逸脱が残り、DDV モデルの振る舞いは、変動の進行とともにより高い粘性率で規定されていくという緩和過程で特徴づけられる。これら数値モデルにもとづく記述は、遠地場で顕著にあらわれうる粘性率の深さ依存性の兆候を明らかにし、粘性緩和以外の余効変動メカニズムについては、近地場における単一粘性挙動からの逸脱にその兆候が捉えられうることも明らかにした。

本研究では、InSAR で捉えられた 1997 年マンニィ (チベット) 地震の余効変動 [Ryder et al., *GJI*, 169, 1009, 2007] へのモデルの適用も試みた。推定された同地域下の地殻内粘性構造は、有効弾性厚が有意にすべる断層の深さよりも厚いことを明らかにし、さらには、観測された変位の時空間パターンを説明するには、粘性率の深さ依存性以外の効果、つまり粘性率の水平方向変化 (近地場でより低い粘性率、遠地場でより高い粘性率)、あるいは、近地場での粘性緩和以外の余効変動メカニズムなども考慮する必要があることも明らかになった。このように、衛星観測で捉えられる地表面変動を粘性率の深さ依存性のみで説明することは困難ではあるが、それ以外の効果の必要性を系統的に説明し、さらには、地震サイクルにおける応力蓄積過程を理解する上で大切となる、有効弾性厚とすべり分布とを関係付けて議論する機会を、DDV モデルは与えてくれる。