

平成 29 年度第 1 回地殻活動研究委員会議事要旨

日 時：平成 29 年 9 月 12 日(火)～13 日(水)

場 所：瑞浪地科学研究館 1F セミナールーム

出席者：石井 紘、板場智史、笠原 稔、加納靖之、川崎一朗、木股文昭、國友孝洋、佐々木嘉三、佐野 修、鈴木貞臣、田阪茂樹、津村建四朗、西村卓也、平原和朗、古本宗充、三浦 哲、宮岡一樹、向井厚志、村上 亮、山川 稔、山中佳子、渡辺俊樹

オブザーバー：青木治三

事務局：浅井康広、関根正夫、田中俊行、宮島力雄、村上 理

議 事：9 月 12 日 (火) 13:30～17:10

・研究活動の紹介(1)

周期的外力による固着・すべり振動子の同期・非同期現象

平原和朗

同期は非線形科学における普遍的な概念であり、複数の振動子の相互作用による同期と振動子への周期的外力への同期といった 2 種類の同期現象がある。ここでは、速度状態依存摩擦則に従う摩擦力が働くブロックをバネないしは粘弾性素子でつなぎ一定速度で引っ張ると一定の繰り間隔で固着・すべりを繰り返すが、これに周期を変えて外力を加え、同期現象を調べた。外力の周期を T_e 、計算された繰り返し間隔を T_c とすると、 $T_e:T_c=m:n$ (m, n は互いに素な整数) となる $m:n$ 同期現象を示した。周期外力の大きさがサイクル中での応力変化の 0.1 および 0.01 の大きさを持つと同期現象見られ、応力変化の小さいゆっくり地震では固体・海洋潮汐への同期が期待され、実際低周波微動活動の潮汐への応答が報告されている。また非同期の周期では、繰り返し間隔が変動してカオスの振る舞いを示す。これらについても報告する。

南海トラフ巨大地震の東端の課題

青木治三

南海トラフ東側の巨大地震発生間隔は 205 年を基本とするが、駿河湾側からと熊野灘側からと交互に発震する特徴がある。前回、震源域が判れば次の予測が可能と報告しているが、東側から始まる巨大地震には震源域に伊豆半島が含まれている可能性が高い。これは定説に反するのであるが、若干の歴史資料の存在と、関東地域を含めたフィリピン海プレートの特質を地震の深さ分布から考察する。

地震活動予測図の試作

津村建四朗

2009 年の地殻活動研究会で「高い空間分解能をもつ地震活動のシミュレーション」というタ

イトルで、地震活動が定常的な活動と余震活動及び群発地震活動から構成されているものとし、その発生数の空間分布は過去の活動と相似であって、MはG-R則に従うものと仮定して、地震発生予測結果を震源ファイルの形で出力し、地震活動予測図を作成する方法を提言した。

今回報告するのは、その改良版であって、一元化震源の検知能力の地域的不均質性を考慮した処理を工夫して、一元化震源との比較を容易にした。また、余震活動や群発地震活動については、日別予測回数表に基づいて、任意の推移を想定した地震活動予測図を作れる機能を追加した。

この地震活動予測図では、大きい地震の発生を予知することは難しいが、小さい地震の地域別発生回数予測はかなりできる。また、この図は、大きい地震の発生確率予測図とみなすこともできる。

GNSS データから見出される日本列島のひずみ集中帯と活断層及び内陸地震

西村 卓也

2005年4月から2009年12月までのGNSSデータを用いて日本列島の変位速度とひずみ速度を概観し、ひずみ速度と活断層や地殻内で発生する内陸地震の分布の比較を行った。その結果、最大せん断ひずみ速度が大きい場所に、活断層が多く存在することを示した。さらに、西南日本においては、南海トラフ沿いの沈み込み帯におけるプレート間固着に伴う弾性変形を除去してひずみ速度と地殻内の微小地震、大地震の震央を比較し、ひずみ速度の大きな所で微小地震や大地震が多く発生する傾向を明らかにした。

超磁歪震源による高分解能地下モニタリング

國友孝洋

昨年8月の地殻活動研究委員会では、「シングルフォース型超磁歪震源の開発と地震波速度変化のモニタリング」と題して、小型の超磁歪震源を開発したことを報告した。また、100.5~200.5Hzの帯域信号の連続送信試験を行い、熊本地震よりTGR350(距離353m)およびTRIES(距離約700m)で、それぞれ25 μ sと60 μ sの走時遅延が観測されたこと、TRIESでは地震後の走時変化がSTG200Nの間隙水圧と相関していることを報告し、高時間分解能で走時変化のモニタリングが可能であることを示した。昨年8月10日からは、瑞浪観測壕内で上下動ジオフォン(固有周波数8Hz)を5.4m間隔で12点配置した小規模アレイによる観測を継続している。本報告では、103mの距離にある観測点の走時0.16s付近に波形が大きく変化するS波の後続波フェーズが発見されたことを報告する。変化の原因は不明であるが、隣の観測点ではあまり変化が見られないことやS波の波長が5~10mであることから、5m程度の空間分解能で地下変化の観測が行えているのではないかと考えられる。

瑞浪超深地層研究所における地震計鉛直アレイ観測

村上 理・國友孝洋・浅井康広・石井 紘

2016年より瑞浪超深地層研究所(MIU)における地震連続観測を再開した。MIUでは深さ100mごとに地震観測点を設置しており、これらが鉛直アレイとなっている。この鉛直アレイにおいて、観測再開後にMw6.9以上の9つの遠地地震が観測された。また、2017年6月25日には、長野県南部の地震(Mj5.6)が発生し、その本震および余震も観測された。これらのイベントについて、それぞれの深さで観測された地震波形のスペクトルの比をとることで、site effectの深さ依存性を調べることができる。その結果、特に深さ100mとそれ以外の深さによるスペクトル比は、3Hz付近にピークを持つことがわかった。深さ100mの観測点は、堆積層である瑞浪層群内にある一方で、その他の深さの観測点は基盤である土岐花崗岩内に設置されており、その構造境界が、このピークの要因であるものと考えられる。今月(2017年9月)、深度500mステージに新規地震観測点(一部調整中)を設置したので、それらについても紹介する。

地下水変化は地震史料にどのように記述されているか

加納靖之

歴史地震の研究に用いられてきた地震史料には地震にともなう地下水変化の記事も多数ふくまれている。どのように記録され、それぞれの現象が現在の知識からどのように説明できるのかを考察した

岐阜県神岡町における地下水観測

田阪茂樹

岐阜県飛騨市神岡町の2か所の地下水観測施設、「茂住鉱山」と「割石温泉」における地下水観測について報告する。両観測点は跡津川断層を挟んで約7キロメートル離れている。茂住鉱山内の地下水観測施設では、地下千メートルの鉱山内の水平孔から取水して、湧出量、水温、ラドン濃度を連続観測している。これらの両観測点の最近の観測結果について報告する。

STG200N 観測点で観測された水圧地震応答と応力地震動との関連性について

浅井康広・石井 紘・村上 理

瑞浪超深地層研究所立坑内STG200N観測点では、2016年4月1日三重県南東沖の地震(M6.5; 震源距離243km)、2016年4月16日2016年熊本地震(M7.3; 665km)、2016年10月21日鳥取県中部の地震(M6.6; 399km)、2017年5月10日岐阜県美濃東部の地震(M3.9; 54km)2017年6月25日長野県南部の地震(M5.6; 159km)の応力地震動が観測され、地震動の継続中に水圧地震応答が始まっていることが明らかとなっている(浅井・他, 2017, JpGU2017に観測事例を追加)。

STG200N に埋設・設置（2015年8月末）したボアホール応力計は HSR-1(N189°E)、HSR-2(N279°E)、HSR-3(N324°E)、HSR-4(N52°E)の水平応力計4成分と VSR（鉛直成分）から構成されている。観測された水圧地震応答と、同時に記録されている応力地震動の関連性を調査するために次の手順で解析を行った。①応力計記録から[平均応力]=[HSR-1]+[HSR-2]+[VSR]の時系列の地震動全振幅を求める。②次に地震動に伴う間隙水圧変化のピーク時変化量（水圧上昇量）を求める。③応力地震動の全振幅と間隙水圧地震応答のピーク時変化量との比較を行う。解析結果から、応力地震動の全振幅と間隙水圧地震応答のピーク時変化量には「正の相関」があることがわかった。一方、2016年4月14日熊本地震（M6.5；662 km）や4月25日愛知県東部の地震（M4.2；62 km）時にはそれぞれ全振幅 1.478kPa および 1.397kPa の応力地震動が記録されているが間隙水圧地震応答は生じていない。これまでの観測された最小間隙水圧地震応答は2017年5月10日岐阜県美濃東部の地震（M3.9；54km）によるもので応力地震動全振幅 1.480kPa で生じていることから、1.480kPa から 1.478kPa の間に間隙水圧地震応答を生じさせる応力地震動全振幅の閾値の存在が示唆される。この閾値については今後観測事例を増やし評価を行いたい。

STG200 でとらえられた東北地方太平洋沖地震

佐野 修

ステージ 200 には応力計と水圧計が設置されているが(STG200)、2011年2月にはSH1の記録に潮汐がほとんど見えない状態となっていた。そのため、STG200N が設置された経緯がある。2011年3月11日の時点で応力計と水圧計が同時に設置されていた唯一の観測点である STG の記録が使えないのは極めて残念である。これまで応力計の解析は設計図にもとづいて計算された感度係数を用いてきたが、感度が変わったと想定される場合、設計時の感度係数は使用できない。そこで理論潮汐(GOTIC 2)との比較から感度係数を決めることを試みた。理論潮汐との比較により再評価した感度係数を観測方程式に代入し、遠方応力場(有効応力)を求め、その結果から αP を引いて全応力を求めた結果、および陶史の森(TOS)でえられた同様の結果を、川崎による理論地震波形とともに図示すると以下のとおりである。感度が大幅に低下した STG の SH1 の記録は観測方程式のなかで約 20 倍拡大されているため誤差が大きいと思われるが、いずれも良い一致が認められる。なお、 α は Biot-Willis 係数、 P は水圧である。

気圧変動および潮汐に伴う水の質量移動について

古本宗充・田中俊行

気圧変動や潮汐に伴って井戸の水位変化が起きることが知られているが、これらは主に間隙水圧の変動を反映したものであり、水の上下方向の流動量そのものではない。一方瑞浪超深地層研究所の施設を利用した垂直側線での二点同時重力観測では、わずかではあるが、こうした上下方向の水の質量の移動をとらえていると考えられる。ところで、従来井

戸水位や間隙水圧の観測が主であるため、気圧等と水位や間隙水圧との関係は求められているが、水の質量移動量との関係は調べられていないようである。そこで、気圧変動や潮汐とそれに伴う水の移動質量との関係を調べた。得られた応答の特徴は、気圧の低下および潮汐による面積歪み負（収縮）時に水は上方へ流動、振幅比は周波数の平方根に反比例（ $\sim \omega^{-1/2}$ ）、位相は $\pi/4$ の遅れとなることがわかった。

議 事（続き）9月13日（水）9:30～12:10

・研究活動の紹介(2)

サブミリ測地解析による火山活動モニタリング

三浦 哲

宮城・山形県境に位置する蔵王山では、2012年頃から深部低周波地震の発生頻度が増大するとともに、2013年以降は火山性地震・微動が観測されている（気象庁，2017）。2015年4月には多数の火山性地震が継続的に発生するようになったため、気象庁が同月13日に火口周辺警報（火口周辺危険）を発表するに至ったが、地震回数は徐々に減り始めたため、同年6月16日に警報は解除された。同時期には蔵王山周辺のGNSS連続観測網によって僅かな山体膨張も観測されている。小規模な火山性地震は現在も発生しており、その中には静的な傾斜変化を伴うような長周期地震（LPE）も発生している。本研究では、広帯域地震計（BBS）で観測されたLPE波形からmm以下の変位や傾斜変化を抽出し、測地インバージョンによって変動源を明らかにすることによって、火山活動のモニタリングに役立てられないか検討する。

最近の地殻変動が示唆する雌阿寒岳・雄阿寒岳のマグマシステム

村上 亮

1997年以来のGEONET観測開始以来、雌阿寒岳東麓では、微弱ではあるが、膨張性変動繰り返し発生している。昨年8月の本委員会では、それらは、雌阿寒岳東方下に存在するマグマシステムの活動を示唆していることを紹介した。その後、昨年秋頃から本年春にかけて、新たに同様の変動が発生した。今回のイベントの空間パターンは、従来とほぼ同様であるが、観測された上下変動および水平変動の最大値は、それぞれ約11cm、約3.5cmであり、少なくとも従来の2倍程度であった、また、これまでは確認されたことのない雄阿寒岳付近にも明瞭な膨張性のシグナルが発生した。今回の変動に対しては、国土地理院GEONET、北大のGPS点、ALOS2による東西からの複数の干渉ペアデータがそれぞれ、独立にシグナルを捉えている。これらを統合した解析を実施した結果、暫定的ではあるが、雌阿寒岳東麓地下約7kmの球状膨張源、雌阿寒岳東麓から北西方向に伸び阿寒湖付近で終端する細長い短冊のシル状の膨張源（幅約2km、長さ約6km、深さ約2.5km）、および雄阿寒岳直下約2.5kmの球状圧力源の組み合わせると、観測される地殻変動がほとんど説明可能であることが解った。また、阿寒湖畔GEONETの960513の約20年分の時系列は、繰り返されてきた変動

の時間推移を示している。これらのデータから想定される雌阿寒岳。雄阿寒岳地下のマグマシステムについての暫定的モデルを紹介する。

南アルプス南端部地域における自然地震を用いた構造イメージング

渡辺俊樹、長谷川大真、川崎悠介、加藤愛太郎、伊藤谷生、狩野謙一、阿部進、藤原明

南アルプス南端部地域はフィリピン海プレート沈み込みに伴う伊豆弧の衝突域と沈み込み域の遷移域にあたる。同地域ではこれまで構造調査が行われておらず、2013年に34観測点の稠密地震計アレイによる4ヶ月間の自然地震観測を行った。その地震波形記録を用いて、これまでに、遠地地震を用いたレシーバ関数解析と近地地震を用いたトモグラフィ解析（川崎ほか、2014地震学会）、近地深発地震を用いた地震波干渉法解析による構造イメージング（長谷川ほか2017JpGU）を行い、フィリピン海プレートの上面と海洋モホ、地殻内構造などについて検討を進めている。

累積地殻変動のモデル計算と地形学的知見との比較

川崎一郎

富山平野の活断層と石川県の邑知瀧断層帯に付いて、次の①と②を比較検討する試みを行った。

①「日本の海成段丘アトラス」（小池・町田、2001）や都市圏活断層図「高岡」（後藤・他、2015）に記載されている海岸段丘などの地形学的地質学的データ。

②地震調査委員会の「主要活断層帯の長期評価」の断層パラメータを使い、平均的なずれの速度を100万年の時間スケールまで外挿した累積断層ずれに対してモデル計算した累積地殻変動上下成分。

その結果、とりあえずは2つの例では、①と②が意外と調和的であることがわかった。

東濃地震科学研究所の歪計応力計十字アレイで観測される地震動記録

笠原 稔、石井 紘、浅井康広

2003年以降の東濃地震科学研究所6観測点の地震動記録データベース化のための収録状況は、前回の研究会で報告した。今回は、2016年末までの各観測点の観測最大振幅と震源距離とM（マグニチュード）の関係を調べてみた。最大振幅が実体波であれば距離の3乗に反比例した関係が明瞭である。表面波が最大になる震源距離の場合でも、ある減衰条件の元で振幅とMの関係は明瞭である。検知限界はノイズレベルによるが、新しい観測点ほど改良が顕著で歪換算で、 $1-2 \times 10^{-9}$ から、 5×10^{-10} までに、変化している、震源距離 ~ 50 km程度では、 $M \sim 2.5$ の地震動が検知できている。最大の地震に関しては、どの観測点でも、 10^{-4} まで対応できており、近地の $M \sim 9$ でも可能だといえる。

紀伊半島沖における浅部 SSE

板場智史

2016年4月1日、紀伊半島沖のプレート境界において Mj6.5 の地震（以下、本震）が発生した。本震直後から、産総研の陸上観測点3カ所で歪変化が観測され、1週間程度続いた。また、本震の約2日後からは、浅部（海溝軸付近～8km程度）で活発な微動活動が観測された。観測された歪変化および海底下の間隙水圧変化から、浅部（8～10km）において SSE が発生した事が分かった。この断層面は、本震と浅部微動発生領域のギャップ領域にあたる。本震によって浅部 SSE が誘発され、SSE のすべりによってより浅部側の微動が誘発されたと考えられる。

東海地方の深部低周波地震(LFE)の震源分布とトモグラフィー

鈴木貞臣

前回の平成28年度第2回地殻活動研究委員会で報告したように、東海地方に設置した600m深のボアホール型地震観測点を持つ3DアレーとHi-net観測点の波形データを使って、LFEの比較的精度の良い震源が15個得られた。これらLFEと、さらに19個の海洋プレート内地震(Intraslab earthquakes)の震源分布とS波地震トモグラフィー(Nakajima & Hasegawa, 2016)とを比較し、次のような特徴を得た。(1)LFEsの震源の深さは、平均29.4kmで、標準偏差2.5kmであり、ほぼプレート境界付近に分布していて、S波速度の比較的小さい領域で発生している。(2)そのS波速度の比較的小さい領域はmantle wedgeにまで広がっているが、それを比較的早いS波速度を持つ陸側モホ面層(地殻最下部層)が覆っている。(1)と(2)の分布より、LFEsが発生している領域では次のような状態になっていることが推定される。つまり、LFEsが発生するためには間隙水圧が高くなる必要があり、そこでは低速度領域となるが、そのためには、高速度な速度を持つ非排水性の構造(ここでは陸側モホ面)が条件であるNakajima & Hasegawa (2016)のモデルと調和している。

福山市北部の砂留における常時微動測定

向井 厚志

福山市北部には江戸時代に築城された数多くの土木遺構「砂留」(砂防堰堤)が存在し、市民団体を中心として保護活動が続けられている。今年、砂留のひとつに土砂流出によるものと考えられる部分的な崩落が発生した。そこで、今後、同様な崩落が発生しうるのか調べるために、常時微動測定に基づく砂留の地盤調査を開始した。本発表では、堂々川六番砂留で実施した測定結果について報告する。測定エリアは約100m四方の狭い領域ではあったが、地下構造を反映していると考えられる卓越周期分布が得られた。