

名古屋大学大学院環境学研究科附属地震火山研究センター

2012 年度 年次報告会要旨

GPS-TEC Back projection 法による津波伝搬の推定

○伊藤武男

地震によって発生した津波は大気を押し上げることにより音波が生じる。この音波が電離圏に達して電子密度の擾乱を引き起こすことで、電離圏総電子数(TEC)に変化を生じさせる。たとえば、Heki (2006)は 2004 年の浅間山噴火によって生じた TEC の変化から火山爆発のエネルギーを推定している。本報告では解析例として、GPS-TEC から Back projection(BP)法により 2011 年東北沖地震 (Mw9.0)で発生した津波の伝搬を面的に推定する手法を開発したので報告する。

GPS-TEC を用いた BP 法は音波速度を用いて波動を逆伝搬させ、音波の発生源をイメージングする。ここで、 $S(j,t)$ を音波の発生源とし、 j を発生源の場所、 t を発生時刻とする。観測された GPS-TEC の観測は $s(k,t)$ とし、 k を GPS-TEC の観測場所、 $ta(j,k)$ を音波の伝搬時間とすると BP 法により音波の発生源 $S(j,t)$ は $s(k,t-ta(j,k))$ の k についてのスタッキングすることで求めることができる。なお、地震波の解析と大きく異なるのは GPS 衛星が時間と共に移動するため、各時刻における GPS-TEC の観測場所も時々刻々と変化することであるが、本質的な違いはない。

GPS-TEC の変化量は GEONET の約 1200 点で観測された 1 秒サンプリングの RINEX データから抽出した。本研究では 2011 年 3 月 11 日 14:00 から 16:00(JST)の 2 時間分を解析した。まず、GPS-TEC の時系列データに 2 次の多項式近似を用いて見かけ上の TEC 変化を取り除いたあと、10s から 300s のバンドパスフィルターを適用させたのち上記の BP 法を適用した。本解析の結果、津波が断層破壊により生成される様子が観測データから明瞭に確認できる。よって、津波シミュレーションなどは面的な観測データを基に検証する事ができるようになるであろう。

台湾東海岸台東縦谷断層における水準測量から推察された 浅部での間欠的クリープイベント

○松多信尚・村瀬雅之（日大）・Cheng-Hong Lin（台湾中央研究院）・Wen-Shan Chen（台湾大）・小泉尚嗣（産総研）

我々は地質学的にフィリピン海プレートとユーラシアプレート側の変成帯の境界である、台湾台東縦谷断層で 2008 年 8 月より毎 8 月に稠密水準測量を実施している。台東縦谷断層の南部はクリープ運動をしていることが知られている一方で、中北部はマグニチュード 7 を超える巨大地震で歪み解放が行われている。地質図との比較からクリープ運動地域が利吉メランジェと呼ばれる、メランジェの分布と相関が良いことから原因がこの地質にあると考え、測線を利吉メランジェの分布北限付近の玉里に設定した。玉里では垂直成分で年約 30 mm/yr の動きを観測した。その後、徐々に測線を北から瑞穂、赤科山、東里(玉里の枝測線)、東竹、富里(富田)の測線で測量をしている。そのうち、赤科山では 2010-2011 の 1 年間と 2011-2012 の 1 年間の上下変位量が、それぞれ 8 mm/yr と 40 mm/yr とで大きく異なった。その北側の瑞穂測線では同期間の変位量がデータな

し、8 mm/yr であり、有意に赤科山より小さく、南側の玉里測線の同期間の変位量は 30 mm/yr、30 mm/yr で両期間での差がない。したがって、赤科山周辺でのみ 2011–2012 年の間に例年にない大きなすべりがあったことが示唆される。2012 年 6 月 14 日にマグニチュード 5.3 の地震が発生した。この地震による地表変位は報告されていない。しかし、この地震の余震は多数この地域で発生していることから、マグニチュード 5.3 の地震に伴って、ゆっくりとしたすべりがあった可能性があり、クリープ運動をしている区間の末端では、このような間欠的なクリープイベントがあることが示唆された。

携帯テレメータの準備と試験運用について

○堀川信一郎

携帯テレメータは契約手続きも比較的簡単で、かつ小規模な機材で短期間に立ち上げることができる。緊急時や臨時観測等においては非常に有効であるため、データ取得方法の選択肢の 1 つに入れておきたい手法であるが、これまで携帯テレメータの準備がほとんどなかった。昨年度末から本年度にかけて、これらの準備と運用試験を進めてきたので、ここで報告する。

携帯テレメータのために用意しなければならない機材には、マイクロサーバ(ルータ兼通信を担う)、データ通信端末と SIM カードがある。今回、マイクロサーバにアットマークテクノ社 Armadillo-420、携帯データ通信端末に日本通信 MF626 と NTT-Docomo L-05A、SIM には日本通信”b-mobile 3G・4G U300”を選定した。

運用試験では、これらの機器とセンター間で VPN 接続(IPsec)を行い、通信端末による消費電力の違い、通信速度、WIN データの packets 落ちなどを調べた。また、稲武アレイ観測点を選定する際に実地での運用機会を得たので、その結果も発表する。

南海トラフ巨大地震の理解に向けた古文書調査

○山中佳子

巨大地震の発生メカニズムを考える上では過去の活動の情報は重要である。これまでも日本では精力的に地震に関する古文書の収集が行われ、これらを用いて震度分布や津波の高さなどの推定が行われてきている。しかしこれらの推定値は研究者によって大きく違うことも多く、推定値だけで過去の地震の評価を行うことは問題がある。また古文書の情報には震度や津波の高さ以外にも引き出せる情報があり、これらを現代の地震データと比較しつつ過去の巨大地震の検討を行うことが必要である。今後南海トラフで発生する地震や中部圏での被害地震を中心に、新収地震史料などのデータベース、神社明細帳や県史、市町村史など過去に収集された史料からの調査、検証を行うと共に新たな史料収集も手がける予定である。ここでは古文書にどのようなことが書かれているのかなどを紹介し、本年度史料修復した名大所蔵の高木家文書、過去の史料から自分なりにわかったこと、整理したことを報告する。

海中音速の時空間変動による海底局の位置決定精度 ～海底地殻変動観測における海底局位置推定の精度向上に向けて～

○永井 悟・田所敬一・渡部 豪

GPS/音響結合方式での海底地殻変動計測では、海底局及びベンチマークの位置決定における主要な誤差要因は海中音速構造の時空間変化である。現在、我々のグループでは、海底ベンチマークの位置決定精度を、観測環境に依らず、1cm 前後に抑えることを目標にしている。本研究では、海中音速の時空間変化を模した理論音波走時を疑似観測データとした数値実験により、海底局の位置推定における精度を評価した。理論音波走時の作成においては、海洋の鉛直構造に従う基準となる海中音速構造を作成し、可能な限り厳密な理論走時を求め、この走時を基本理論走時とした。この基本理論走時に、海中音速の変化に相当する誤差を加え、疑似観測走時をした。2点間の音波走時は、経路上の音速で決まるが、異なる音速でも同じ走時を与えるものが多く存在する。そこで、本研究では音波走時の揺らぎを異なる音速構造に対する理論走時で与えるのではなく、誤差として決められた値で与えた。疑似観測走時と様々な海中音速構造による理論走時との比較することにより、対応する構造は検討できる。よって、本研究における評価は、与えた誤差の大きさやばらつき及び空間分布に対して、海底局がどのように求まるかを指標として行った。なお、疑似観測走時を用いた海底局位置の推定には、グリッドサーチ法を用いた。誤差がランダムなとき、その最大値が0.1ミリ秒を超えない限り、仮定した海底局位置（真の位置）に対して、水平方向に約1cm以内で求まった。しかし、同程度でもその誤差が空間的な偏りを持つと、その誤差は数cmまたはそれ以上となる。この傾向は誤差の大きさが0.05ミリ秒でも見られ、0.02ミリ秒であれば位置差が1cm以内となる。本講演では、実際に考えられる海洋における状況と比較しながら、数値実験の結果についての報告をするとともに、今後の海底地殻変動観測データの解析方法・手順について議論する。

海底地殻変動観測データから推測される南海トラフのプレート間固着状態

○渡部 豪・田所敬一・生田領野（静大）・永井 悟・奥田 隆・安田健二・坂田 剛・久野正博（三重県水産研）

フィリピン海プレートは、4-6 cm/yrの速度で南海トラフより西南日本下に沈み込み、南海・東南海・東海地震のような海溝型巨大地震を約100-150年の周期で繰り返し発生させている。また、歴史地震の記録から、東海から南海にかけて連動型地震として発生したケースが複数回あることが明らかにされており、災害の拡大が懸念される。したがって、プレート境界面上の固着状態の時空間変化を把握することは非常に重要である。そのような背景のもと、名古屋大学では、駿河トラフ（駿河湾）・南海トラフ（熊野灘）において、GPS/音響結合方式による、海底地殻変動観測を2004年以降くり返し実施している。このほか、海上保安庁、東北大学が展開・維持を行っている海底地殻変動観測点を含めると、南海トラフには合計10カ所ほどの観測点が存在する。このうち、名古屋大学については、南海トラフの変形フロントから60-80 km離れた地点に3カ所の観測点を設置し、2005-2012年の観測から、アムールプレートに対して、N70° W方向に3-4 cm/yrの速度で変動している結果が得られている。本研究では、国土地理院のGPS連続観測網（GEONET）のGPS速度場と名古屋大学の観測お

よび海上保安庁の観測により得られた海底地殻変動速度を用いて、逆解析手法により南海トラフのプレート間固着状態の推定を行う。

地震記録を用いた構造イメージング

○渡辺俊樹

人工震源を用いた地震波探査においては均質な大量のデータ取得が可能であり、構造イメージングに特化した先進的な解析技術が開発されてきた。一方で、地下深部へのアクセスには人工震源では限界があり（アクロスを別にすれば）自然地震波のエネルギーを利用することが有効であろう。

そこで、主として波動の散乱・反射現象を利用した地下構造のイメージング手法について、地震波干渉法を用いた以下の研究を実施している。

(1) プレート境界等深部を対象とした遠地・深発地震記録の解析

(2) 地殻内構造を対象とした近地地震記録の解析

(3) 地盤構造を対象とした強震動記録の解析

(3)に関し、濃尾平野の地震観測点で取得された強震動記録の SH 波に自己相関解析を適用し、基盤構造を求めた(Watanabe et al., 2011)。

さらに、記録の空間密度を向上させるために、同じ記録に相互相関解析を適用した。粗な観測点分布において、必ずしも多くない地震記録から反射波を抽出するための重合方法の検討、観測点特性の影響の検討などを経て、相互相関解析により基盤からの反射波と解釈可能な波群を得ることができた。

塩野原基線の再測量：明治三角測量のスケール誤差の地震発生ポテンシャル評価への影響

○鷲谷 威

明治時代以降約 100 年間の地殻水平歪み分布では、東北地方に南北伸張の歪みが卓越し、プレートの沈み込みによる東西短縮歪みの蓄積が見られていなかった。このことは、2011 年東北地方太平洋沖地震の発生を事前に予見できなかった原因の一つとされている。明治時代の測量記録を調べたところ、山形県の塩野原基線が、1894 年庄内地震 (M7.0) の影響で伸び、東北地方の三角測量網のスケールが過小評価されていた可能性が明らかとなった。そこで、2012 年 8 月に塩野原基線の再測量を実施した。GPS とトータルステーションを用いた測量により、現在の基線長は(球面距離)は 5,129.6767m であった。器械の設置誤差も含め、本観測による基線長の測定誤差は 10mm 程度と考えられる。同一の楕円体上に投影した明治時代の測定値は 5,129.6096m であり、118 年間で 0.0671m (13.1ppm) 伸びていたことが明らかとなった。東北地方太平洋沖地震時に 16ppm の伸びがあったと考えられることから、地震発生直前の値は明治時代の値と近いと予想される。周辺地域では地震間に最大 0.1ppm/年程度の東西短縮があったと考えれば、庄内地震時に 10ppm 程度の東西伸張が生じたことと整合する。このように、三角測量のデータは、特にスケール誤差に敏感であり、長期間の歪み速度の議論に適していない。古い時代のデータは大変貴重であるが、その使用にあたっては十分注意する必要がある。

東西圧縮とプレート境界地震による西南日本内陸活断層上の長期的なCFF変化

○鹿倉洋介・深畑幸俊（京大）・平原和朗（京大）

近畿地方周辺の内陸地震発生は、北米・ユーラシア両プレートの相対運動による東西圧縮が起こすとされているが、歴史記録によると南海トラフ地震発生の前50年から後20年の期間に西南日本で内陸地震が増えるため、南海トラフ地震も内陸地震発生に影響すると考えられている。そこで、東西圧縮、プレート境界での固着と地震発生、内陸地震発生を変形源として、近畿地方周辺の73活断層上で ΔCFF を計算し、南海トラフ地震発生サイクル中のどの期間にどの内陸活断層が活動しやすいか見積もり、歴史記録による地震発生時間分布と比較した。

計算では、粘弾性水平成層構造を仮定し、南海トラフ地震発生は歴史記録に基づいた。東西圧縮は活断層分布からN100°E方向 $0.3 \times 10^{-7}(\text{yr}^{-1})$ とした。断層の位置・形状は地震調査研究推進本部の値を用いた。

結果、東西圧縮で活断層の応力蓄積が説明された。これは東西圧縮に対応しN-S走向の逆断層、NE-SW走向の右横ずれ断層、NW-SE走向の左横ずれ断層が形成されているためである。南海トラフ地震による弾力的な ΔCFF は、逆断層では低下し、震源域の北方にある右横ずれ断層や左横ずれ断層では上昇した。これは、断層からみて直近の南海トラフ地震震源域がSSE方向に位置するため、南海トラフ地震によりSSE方向に引かれ、N-S走向の逆断層で滑りと逆方向、NE-SW走向の右横ずれ断層やNW-SE走向の左横ずれ断層では滑りと順方向の応力がかかるためである。全変形源を考慮して ΔCFF 長期変化を計算すると、最近500年間の9つの内陸地震の起震断層では基本的に ΔCFF が活断層上で過去最大値となる時に地震が発生していた。近畿地方周辺の73断層の ΔCFF 時間変化をまとめると、歴史記録と調和的になった。本研究の結果は、逆断層型地震が南海トラフ地震発生前に起きやすく、横ずれ型地震が発生後に起きやすいことを示唆する。

活火山における能動モニタリング —桜島に設置したアクロス—

○山岡耕春

精密に制御されて常時安定な信号を発生し続ける震源装置である ACROSS を、開発後はじめて活火山に設置した。桜島は日本では最も活動的な火山に属し、頻繁な爆発的噴火に加えて大正や昭和の噴火のように溶岩を流出する噴火も経験している。このような活発な火山はその活動に伴い、火山の地下を通過する地震波速度が大きく変動することが期待できる。また、桜島は県庁所在地である鹿児島からフェリーボートで15分の距離にあり装置の維持管理の観点からも ACROSS の活火山への最初の適用値として理想的なフィールドである。しかし、桜島火山においても、名古屋から遠隔地であることに起因する維持管理の問題、相対的に電源が不安定であること、火山灰の影響など未知の要素が多い。さらに、火山体という不均質性の強い場におけるモニタリングの有用性についても未知である。われわれは2012年3月に震源を桜島火口の北西3.6kmの場所に設置し、同年6月12日から連続運転を開始した。現在は5-15Hzの周波数帯域での運転を続けており、現時点での装置に関する大きなトラブルは無い。また、信号も火山の反対側の観測点においても明瞭に捉えられている。講演では、アクロスの設置と観測と現時点での結果について報告をしたい。

原発安全設計における活断層の問題

○鈴木康弘

東日本大震災における福島第一原発事故は、低頻度災害に対する原発設計思想の脆弱性を露呈したと捉える必要があり、単に津波対策が不十分だったとして矮小化すべきではない。活断層を地震動予測の材料としては用いるものの、基本的にそのような稀な地震活動は起こり得ないことを前提に、緊張感のない扱いをしてきた。このことも福島事故の原因と根は同じである。最近問題になっている敷地内活断層問題は、活断層を、地震動を起こす主断層のみに限定して解釈するなどして、比較的小規模なものは無視してきた結果である。断層のずれが小さければ安全を確認できるとする研究もあるが、ずれ量予測は困難であり、また断層直近の強震動予測も限界を超える。これまでこうした理学的見地からの限界の提示が行われなかった。また、敷地内活断層については地滑りや膨潤説など、別解釈を与えることで否定され続けてきた。従来は、条件の悪い場所においても技術力を駆使して原発を造ることを良しとしてきたが、これからはどうするか？ 活断層は工学的に判断すべきと言う声も聞かれる。理学の役割は如何にあるべきかについて再考が求められていると思われる。

東海地域における重力加速度変動観測

○古本宗充

断層運動に伴う地表の変位および岩石の密度変化により重力加速度変化が起きる。さらに水などの弾性変形以外の物質移動が起きれば、同じく重力加速度が変化することが期待される。これらの変動は極微小であり検出するのが難しいが、もし検出できれば地下での状態の変化を知る上で貴重なデータとなりうる。名古屋大学は1980年代前半に御前崎周辺において、精密重力加速度観測の測線を設置し、繰り返し測定を行った。観測期間中にいくつかの観測点で測定精度を越えたと考えられる変動データを得たが、その原因については不明なままに終わった。機器の内部構造から来る系統的な測定誤差などの可能性も高いと推定された。しかし2001年頃に発生した東海スロースリップなどの経験を経てみると、原因はスロースリップだった可能性もある。こうした観点から、次のスロースリップイベントや南海トラフでの巨大地震を主なターゲットとして、再度同様の測定を行うことの意味は高いと考えられる。また最初の測定から既に30年が経過しており、もし $1\mu\text{gal}$ /年オーダーの経年変動が有るとすれば、測定精度を超えた変動をしている可能性もある。

上町断層帯の最新活動と大阪、河内平野の水没

○杉戸信彦

大阪城付近から南方へと帯状にのびる上町台地は、東側隆起の逆断層である上町断層帯の活動によって成立した構造的な高まりである。台地の周囲には低平な沖積面がひろがる。そのなかで大阪城の北方、天満～長柄付近、さらに新淀川を北へ渡った崇禅寺付近から神崎川付近にかけての沖積面上には比高1～2mの微高地が南北帯状に発達している。この微高地は従来「長柄砂州」と呼ばれ、砂州もしくは浜堤として理解されてきた。しかし最近の変動地形学的・古地震学的調査により、この微高地の少なくとも北半部は砂州や浜堤ではなく、元来は淀川三角州として縄文海進期より後に形成され

た低平な沖積面が、上町台地と同様、上町断層帯による隆起運動を受けて成立した構造的な高まりであること、また上町断層帯の最新活動時期は 2420 ± 40 yBP 以降であることがわかってきた。

最新活動時期は以下のように、弥生時代中期末頃に絞り込まれる可能性がある。(1) 既存研究によると、河内湖沿岸においては弥生時代中期末頃、遺跡地がいつせいに水没したらしい。(2) 同じく、大坂城下町跡ではやはり弥生時代中期末頃、上町断層帯（堺筋付近）のすぐ東側（隆起側）において沿岸州が離水したらしい。(3) これらの水没・離水を海水準変動によって統一的に説明することは難しく、上町断層帯の最新活動に伴って上町台地北方の沖積面上に出現した高まり（現在みられる南北帯状、比高 1~2 m の微高地）によって河内湖の排水口が遮断され、湖水位が急激に上昇するとともに、大坂城下町跡付近においては上町断層帯東側の土地が隆起して沿岸州が離水した、と考えると容易に説明される。

仮に上町断層帯が今後活動し、沖積面上の微高地（現在の標高は低いところで約 1~2 m）が標高約 3 m にまで成長して淀川がせき止められたとすると、河内平野の中心部 100 km² 以上（居住人口 100 万人以上）が水面下に没することになる。

地殻活動予測シミュレーションの基本的な考え方と今後の方向性

○橋本千尋

地殻活動予測を実現する為には、物理モデルに基づくシミュレーション・システムの構築と共に、多様な観測・データ解析を通じた地殻活動モニタリングによる情報をシミュレーションに取り込むことが重要である。2012 年度地震火山研究センター成果報告会では、これまで進めてきた研究に基づき、地殻活動予測シミュレーションの基本的な考え方と今後の方向性について論じる。

物理モデルに基づく地震発生予測シミュレーションの基本的な考え方は、地震発生の根本原因であるプレート相対運動による応力の蓄積から地震破壊に到る全過程を統合的に再現しながら、現在の応力状態を推定し、その後の地震破壊伝播、地震波放射、津波伝播、更に地震の揺れや津波による都市災害までの過程を定量的に評価するものである。

プレート境界面に於けるすべり運動のモードは、摩擦特性（断層構成関係；強度構造）によって規定されている。従って、数値シミュレーションによって、過去のすべり履歴を再現し、時間ステップを進めることで未来の変動を予測する為には、数値シミュレーションやデータ解析から得られる情報を統合してプレート境界面の摩擦特性を特定する必要がある。

地震メカニズムトモグラフィー法による御嶽山周辺域の 3-D 間隙流体圧分布

○寺川寿子・中道治久・山中佳子・渡辺俊樹・奥田 隆・堀川信一郎・山崎文人

御嶽火山周辺域は、内陸大地震・火山噴火・微小群発地震活動という多様な地殻活動が観測される地域である。これらの一連の地殻活動には、地殻内流体が重要な役割を果たしていると考えられているが、実際の物理過程は明らかになっていない。名古屋大学では、これらの多様な地殻活動を理解するために、御嶽山周辺域に定常および臨時の稠密地震観測網（2004, 2009-2011 年）を展開し、現在では毎月約 400 個の地震の詳細震源と 80 個の地震のメカニズム解が得られる状況が整っている。

本研究では、これらの観測データを地震メカニズムトモグラフィー法 (Terakawa et al., 2010, 2012) に適用し、御嶽山周辺域の3次元間隙流体圧分布(深さ 0-15km)を誤差と共に推定し、間隙流体と地震活動の関係を調べた。この結果、御嶽山東麓の群発地震活動域の深さ 5-10 kmのところに、静水圧を大きく上回る高圧間隙流体圧域があることがわかった。間隙流体圧分布と震源分布を比較したところ、地震活動は間隙流体圧分布の勾配が大きいところに集中する傾向があり、比較的規模の大きな地震 ($M > 3$) は間隙流体圧の低いところで発生する傾向がある。また、長野県西部地震の震源断層面上の間隙流体圧を調べたところ、本震で大きく滑った領域ではほぼ静水圧状態であるが、大きなすべり域の直下に高圧間隙流体圧域があることがわかった。これらの結果をクーロンの破壊規準を基に分析すると、摩擦強度の低い高圧間隙流体圧域の変形が周辺域の摩擦強度の高い領域に応力蓄積を引き起こし、これが規模のより大きな地震の発生に向けての準備過程になっているようである。今後、間隙流体圧と地震活動の時間発展を詳細に調べることにより、流体の挙動と内陸地震の発生との関係を解明することを目指している。

駿河—南海トラフにおける海底地殻変動モニタリング

○田所敬一・渡部 豪・永井 悟・安田健二・坂田 剛・藤井越百・奥田 隆・鈴木あゆ美・江藤周平

名古屋大学では、主として熊野灘の3ヵ所と駿河湾の2ヵ所で海底地殻変動観測を実施している。これと並行して、高度化のための技術開発も行っている。本講演では、平成24年度に実施した以下の事柄について報告する：

- ・熊野灘3ヵ所におけるモニタリングの実施(うち1ヵ所は今年度から開始)
- ・熊野灘沖の南海トラフ軸付近への海底局の設置(東北大学と共同)
- ・駿河湾の2ヵ所における海底局の入れ替え作業および観測(旧海底局のバッテリー切れによる)
- ・東北地方太平洋沖地震の震源域周辺への20点の新規観測点設置と観測
- ・琉球海溝におけるモニタリングの継続(琉球大学と共同)
- ・複数の海上局と水温計を用いた海中音速構造の時空間変化の推定
- ・複数海底局の同時測距システムの開発(効率的観測のため)

このうち、熊野灘では3ヵ所において、Tadokoro *et al.* [2012] で用いたデータに今年度取得したデータを加えて、さらに、東北地方太平洋沖地震による地殻変動を取り除き、およそ $N75^{\circ}E$ 方向に年間約 40mm の変位速度ベクトルを得ている。南海トラフでは、トラフ軸付近へのさらなる観測網の展開を計画している。

昨年来、トルコのマルマラ海(1999年コジャエリ地震の震源域の西側で、地震空白域になっている)、インドネシアの Mentawai Patch (海溝型地震の空白域) やスダダ海峡(ジャカルタの近くであり、大地震の発生が懸念されている) といった、海外での海底地殻変動観測の可能性についても現地と検討を行っており、このことについても報告する。

■転出者講演

地震計アレイを用いた 2011 年霧島新燃岳噴火活動における微弱な火山性微動の検出と震源推定

○中道治久・山中佳子・寺川寿子・堀川信一郎・奥田 隆・山崎文人

霧島新燃岳は 2011 年 1 月 26 日に発生した準プリニー式噴火が発生した。我々は、噴火 5 日後までに新燃岳から東 5 km（宮崎県小林市夷守台）に地震計アレイを設置した。なお、アレイ観測点は 2012 年 12 月 14 日に撤収した。準プリニー式噴火の後、爆発的噴火が 2 月中旬にかけて発生し、2011 年の 9 月まで散発的に噴火があった。本講演では 2011 年 2 月から 9 月の噴火活動期間におけるマグマ供給過程を明らかにするために連続地震波形データのアレイ解析を行った結果を報告する。この連続アレイ解析によって、噴火活動期間において噴火の前後に微弱な火山性微動が発生していることが分かった。この火山性微動の振幅は 100–200 nm/s と微弱であるが、数日間振動が継続する。微弱な火山性微動は 2 月上旬、2 月下旬から 3 月上旬、6 月下旬、8 月下旬から 9 月上旬に発生していた。これらの期間はちょうど噴火期間に対応する。微弱な火山性微動の震源を推定するために、爆発地震と火山性微動のアレイ解析結果を比較した。爆発地震の波の到来方向は新燃岳火口を向いており、スローネスは P 波と S 波がそれぞれ 0.3 s/km, 0.4 s/km である。一方、微弱な火山性微動の波の到来方向は新燃岳よりも北方で、スローネスは 0.2–0.8 s/km であり、微動の波には P 波と S 波と表面波がミックスされていると推察される。爆発地震と火山性微動のスローネスと到来方向から確率密度関数を計算して震源位置の推定を行った。爆発地震の震源は火口直下の海拔上 0.5 km から海拔下 1 km に推定された。一方、火山性微動は新燃岳の北に 1 km の海拔上 1 km から海拔下 1 km に推定された。この震源領域は新燃岳北西にあるマグマ溜まりと新燃岳の間にあり、熱水系があると推定されている領域に近い。よって、震源と発生パターンから、火山性微動はマグマ溜まりから新燃岳にマグマが供給される時に放出される熱が熱水系に供給される際に発生していると推察される。

■定年退職記念講演

地震予知観測地域センターから地震火山研究センターへ

○奥田 隆

現在、環境学付属地震火山研究センターは研究・教育の両面で大きな存在となっているが、発足当時は助手（現在の助教）1・技官 1、わずか 2 名の犬山、高山、豊橋にあった地震、地殻変動観測所と並立する組織だった。1975 年 10 月センター設立時に技官として採用されてから 2013 年の今日まで様々な仕事をさせてもらった。はじめのうちは地殻変動分野の観測施設の建設、坑道に設置する観測機器の開発・製作や定常観測などを担当していた。88 年頃、日本の大学に米国製の測地用 GPS 受信機 3 機種が導入され、本当に役に立つのか半信半疑ながら、それらを使いこなし他大学との合

同観測を行ったり、また名古屋大単独で中部地域から伊豆諸島、さらには沖縄まで観測に出かけていった。89年には火山部門も設立され、噴火予知計画に基づく全国の火山を対象とした火山体構造探査にも第一回の霧島山から携わってきた。99年には京大から移動された安藤先生と田所さんらによって、海底地殻変動観測という全く新しい分野も開始された。このプロジェクトが名大で始められた初期から参加し、今日まで様々な成果を上げている。

このように常に最先端の仕事に携わることが出来たことを、教員の皆さんや技術職員、他のスタッフの方々に感謝しながら、まとめを最後の年次報告と致します。

ポスター発表要旨

段丘の形成プロセスの例として、空中写真測量を用いた台湾集集地震で隆起した大安溪河床の経年変化

○松多信尚・石黒聡士（環境研）・早川裕弐（東大）・陳文山（台湾大）

地殻変動の長期の変位量にはしばしば段丘が用いられる。しかし、海水準変動や気候変動に伴って河床の平衡縦断形が変化に反応し、段丘が形成されたのかは不明な点も多い。1999年9月21に発生した台湾集集地震によって、東側隆起の逆断層である車籠埔断層が出現した。その断層を横切る大安溪の河床はポップアップ状に隆起し、河床高度が平衡縦断形より有意に高くなった。その後、その区間の河床がどのように変化したかをモニタすることは、平衡状態の変化による段丘の形成プロセス解明に寄与すると考えられる。

このポップアップ地域の隆起量は東側隆起の西側断層で3~5m、西側隆起の東側断層で6mとされる。現在、大安溪の河床はこの隆起した量を上回る20~25mの下刻がみられる。我々は地震後の河床の経年変化を空中写真で判読し、空中写真測量を用いて縦断形および横断形を測量した。その結果、①大安溪は地震前に網状河川であった。②地震後東側断層によって断層東側に塞き止め池が出現し、西側の断層部分には滝が出現する。③隆起部分は人為的に礫が取り除かれ人工的な流路が作られ、西側の断層崖部の滝は周囲の礫や人為的作用で埋められる。④せき止め池によって上流からくる礫は池部で堆積し、礫は隆起部分まで到達しない。隆起部分にあった礫は流され新第三系の基盤が露出し、川幅は広がる。⑤せき止め池は埋積され、上流部の硬質な礫が隆起部分を通過しはじめ露出している基盤が西側の滝付近から急速に削りこまれる。⑥下刻は上流部、および下流に急速に伝播し、河道が固定される。⑦河床を礫が覆うことで下刻から側刻に移行する。このように、隆起部分の下刻は隆起直後から進んだわけではなく、条件が揃った5年後頃から急速に進んだこと、今回は条件が揃い複数回分の隆起分を下刻したことが分かった。

伊勢平野南部の五十鈴川の河道変化から考察する 伊勢湾における大津波

○松多信尚・杉戸信彦・奥野真行（三重県）

2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震は、プレート境界で発生する地震のサイクルについて、今までの単純な理解では不十分であることを示した。近い将来発生すると考えられている東海・

東南海・南海地震の想定も再検討する必要がある。一概に東南海地震といっても過去の記録を見るかぎり、揺れの被害だけではなく津波の特徴も大きく異なる。例えば伊勢湾の四日市と志摩半島の鳥羽を比較した場合、安政地震では鳥羽の津波波高が四日市に対して 2.5–5 倍なのに対し、明応地震では 1.5–2.7 倍となる。

このような違いは津波の波源が同じでないことを示しており、詳細な津波高分布から波源域を分離することができる可能性を示している。しかし、これらの値は歴史記録に基づいており、直接的な津波遡上の証拠は乏しい。我々は五十鈴川の河道変遷に着目し、伊勢湾南部で津波遡上の証拠を見つけ、伊勢神宮などに残る津波の影響を記した資料から津波の全容を明らかにするため、地形・地質学的調査および文献史的調査を実施した。その結果、この地域の地形発達は縄文海進時には海が深く入り込み多島海が生じていたが、隆起面積の大きい宮川の沖積平野の発達が五十鈴川より早く進み、島は平野の中に取り残されるようになっていく。一方、五十鈴川流域は埋積が遅れ、入り江が残り、現在の汐合川周辺は埋められ、一部宮川の水が流れ込んだこともあった。その後、さらに埋積が進み、三津や二見浦といった浜堤の上に集落が形成され、五十鈴川は大きな入り江として三津から江にかけて比較的川幅の広い川であった。鹿海周辺は氾濫源としてしばしば洪水にあったと思われる。その後、大津波が押し寄せ、その引き波で汐合川が開いた。その結果、三津から江にかけての五十鈴川下流の水位は低下し、宿島、鷺島などが離水した。また、鹿海地区も離水し、湿地になったと考えられた。

三陸海岸の海岸地形による津波高の地震別の特徴とそれから推定される海底地震断層

○松多信尚・杉戸信彦・鈴木康弘・千田良道

東北地方太平洋沖地震による津波は北海道から千葉までの沿岸に大きな被害を及ぼした。平成津波の津波高を明治三陸津波（以後、明治津波）と比較すると、岩手県では大きな差がないが宮城県以南では今回の津波高が明治津波を大きく上回っており、津波を引き起こした海底地震断層が岩手県沖から茨城県沖にまで達したことが、津波の観測データからも示唆されている。これらのデータを海岸地形に着目することで、津波を引き起こした海底地震断層の性質について言及する。

まず、海岸地形を外洋に面する地域（甲類）と大きな湾に位置する地域（乙類）で分け、それぞれ、V 字湾、U 字湾、凹凸の少ない海岸に分類し、津波高を比較した。その結果、全体では平成津波の方が明治津波より大きい傾向にある。甲類では北部で明治三陸津波の津波高が平成三陸津波の津波高の 2 倍強に達するほか、陸前高田の根岬、集でも 2 倍以上に達する。そのほかの釜石～気仙沼間でも 0.5–1.5 倍程度でやや明治三陸津波の方が大きい傾向がある。その一方で乙類は平成三陸津波の津波高が明治三陸津波のそれを大きく上回っており、釜石～気仙沼間で最大 4 倍程度に達し、明治三陸津波の津波高が小さくなる気仙沼以南では 10 倍を超える津波が来襲したことになる。また、釜石以北では甲類が乙類より津波高が高くなるが、以南ではその差がないことが分かった。

津波の波長が長い場合、湾の奥にまで津波が侵入し湾内の津波高が高くなるのに対し、波長が短い場合は大湾の中では津波高が極めて低いことが津波シミュレーションによる計算で明らかである。従って、明治の津波に対して今回の津波が長波長の成分が卓越していたこと、短波長のパルス状の津波は北部では顕著であったが釜石以南では顕著でないことが分かった。

御嶽山周辺の群発地震域における V_p/V_s の推定

○大藪竜童・山中佳子・中道治久

御嶽山は 1979 年に有史初の噴火を起こした活火山である。御嶽山周辺では 1976 年から御嶽山の南東山麓で群発地震活動が観測されて以来、現在に至るまで 30 年以上の期間にわたって活発な群発地震活動が継続している。また、群発地震活動中の 1984 年には M6.8 の長野県西部地震が発生している。

群発地震の発生には流体が関与していると考えられており、御嶽山周辺の群発地震域では深部からの流体の供給が電磁気探査や、湧水中の Li や Sr 同位体の分析から示唆されている。本研究では御嶽山周辺の群発地震発生における流体の存在を明らかにするために、流体の存在に比較的敏感な指標である地震波速度比 V_p/V_s を群発地震震源域について推定した。

本研究では Lin and Shearer (2007)の方法を用いて群発地震震源域内の V_p/V_s を直接推定した。地震波速度が一定と仮定した微小領域中の V_p/V_s は、微小領域中の近接する 1 組の地震ペアに共通する観測点での P 波、S 波の走時差 dT_p , dT_s を用いて $V_p/V_s = dT_s/dT_p$ と表せる。複数の観測点、地震ペアから得られる (dT_p, dT_s) のプロット群を直線近似し、その直線の傾きが微小領域の V_p/V_s であると推定できる。解析データとして気象庁一元化震源カタログにある 1997 年から 2011 年の地震検測値を使用し、微小領域は $0.01^\circ \times 0.01^\circ \times$ 深さ 1.5 km と設定して群発地震震源域全体について解析を行った。

解析の結果、御嶽山の南東側で地震活動が活発な深さ 4–7 km では $V_p/V_s = 1.6–1.9$ の値が得られ、地震数が多い微小領域では $V_p/V_s = 1.8$ 前後の値が推定された。地震活動が御嶽山の北東側で活発な深さ 7–10 km では全体的に深さ 4–7 km の領域よりも高 V_p/V_s が推定され、 $V_p/V_s = 2.0$ に達するような微小領域もみられた。全体的に深さが増加するにつれて V_p/V_s も増加する傾向にあった。また、 V_p/V_s 直接推定に用いたものと同じデータで Double-Difference トモグラフィー解析したところ、群発地震震源域付近で高 V_p/V_s が推定され V_p/V_s 直接推定の結果と概ね似た傾向が得られた。