

2009 度 地震火山・防災研究センター年次報告会要旨

実用的地震予測に関する国際会議の提言

○山岡耕春

イタリア政府の諮問によって地震予測に関する国際委員会(International Commission on Earthquake Forecasting for Civil Protection)が組織され、日本地震学会への委員派遣依頼を受け、参加してきました。この委員会は昨年発生した L'Aquila の地震 (Mw6.3) を受けて組織されたものです。この地震には、2009 年 1 月から小さな前震が観測され、有感地震も発生していました。そんなときに、L'Aquila 在住のある技術者が大気中のラドン濃度のデータをもとに「地震予知」を発表し、市民やマスコミを巻き込んで大きな騒動となりました。3 月 31 日にはマグニチュード 4.1、4 月 5 日にはマグニチュード 3.9 の地震が発生し、4 月 6 日の本震を迎えてしまいました。その地震予知は実際には失敗していたものの、実際に大きな地震が発生してしまったことから、国際委員会が組織され、現時点での実用的地震予測の現状をイタリア政府に報告することになりました。

委員会は南カリフォルニア大学の Tom Jordan を主査として組織され、アメリカのほか、イギリス、ドイツ、フランス、ギリシア、ロシア、中国、日本、それに地元イタリアの 9 カ国から 10 人の地震研究者が集まり議論を重ねました。会議はローマやラクイラで 3 回開催され、それぞれ 3-4 日にわたって行われ、10 月 2 日に地震予測の実用化に関する提言をイタリア政府に提出し、記者発表を行いました。委員会の提言は、イタリアの個別事情を反映したものとなっていますが、主要な地震国の地震調査研究の現状も取り込み、現時点の科学的現状をふまえた提言となっています。提言は (A) 確率的地震予測の必要性、(B) 地震のモニタリング、(C) 地震予測可能性の調査、(D) 長期予測モデルの開発、(E) 短期予測モデルの開発、(F) 地震予測方法の検証、(G) 地震予測の活用、(H) 一般市民への地震情報の伝達、(I) 実現に向けたロードマップ、という内容です。報告会では提言の内容について紹介したいと思います。

弾性波アクロスのこの 1 年の成果

○渡辺俊樹・山岡耕春・生田領野 (静岡大)

弾性波アクロス研究は、この 1 年、プレート間カップリングの時間変化の監視と深部低周波微動などの変動現象の理解を目的とした東海監視計画、断層近傍の長期モニタリング、火山活動監視その他を目的として知見を積み重ねてきた。

三河地殻変動観測所内の弾性波アクロス震源装置 (豊橋アクロス) は 1 年間を通じて順調に稼働実績を伸ばした。周辺の定常観測点で蓄積している連続観測記録の解析を開始した。また、

愛知県新城市鳳来および豊田市下山（気象研と共同）において地震計アレイ観測を実施した。これらの地震観測記録から、周波数帯域を重複させて同時に稼働している3ヶ所（土岐、森町、豊橋）のアクロス震源の信号を周波数領域で分離し、アレイ解析によって信号がそれぞれ震源の方向から到来していることを確認した。伝達関数の解釈には地殻構造情報が不可欠であり、掛川―瑞浪の臨時観測（東大震研ほかと共同）の記録の解析を進めている。

淡路アクロスでは2000年から断層近傍の長期状態モニタリングを断続的に行っており、走時、振幅、S波異方性の変動は断層近傍の回復過程と考えると整合性があるが、変動は非常に小さくなっている。

火山における能動的モニタリング手法を確立する基礎研究として、低周波数送信において有利と考えられる直線加振方式について加振装置を用いた実験を行った。一定周波数加振、任意波形加振を試み、操作性、消費電力、周波数制御性、発生力などについて検討した。

稠密 GPS 観測による断層帯周辺の詳細地殻変動

○鷲谷 威

内陸活断層で発生する大地震の応力蓄積過程についての理解はいまだ不十分であり、未解明の問題が多い。下部地殻の変形特性や地震の繰り返しサイクルの中での振る舞い、断層端の振る舞いなどがその代表例である。我々は、応力蓄積過程を反映する断層帯周辺の地殻変動の詳細分布の把握を通じてこうした問題の解明を目指し、跡津川断層帯や糸魚川―静岡構造線の周辺で観測を実施してきた。また、2008年度からは日本海東縁ひずみ集中帯、2009年度からは濃尾断層帯の周辺で新たに観測を開始している。これまでの観測から、断層の走向方向に変形様式が顕著に変化する例（糸魚川―静岡構造線）や断層端で特徴的な変形パターンが見られる例（跡津川断層帯）が見出され、下部地殻のレオロジーに関する考察からは、主要な断層の深部延長に変形集中帯が存在し、延性変形により応力を解消しているという考えが得られつつある。一方、ひずみ集中帯では定常時に顕著な短縮変形を生じながら大地震も発生しており、その変形過程の解明が今後の課題である。

大都市圏強震動総合観測ネットワーク：2009年度の観測状況と今後の展開

○飛田 潤

大都市圏強震動総合観測ネットワークは、東海地域の様々な機関による強震観測ネットワークをオンライン/オフラインで統合したスーパーネットワークであり、2000年以降の観測記録をデータベース化している。参加機関は自治体（計測震度ネットや防災用）、ライフライン機関、大学などであり、2010年2月現在で観測点は約600地点（オフライン観測点を含む）である。

2009年1～12月に愛知・岐阜・三重・静岡のいずれかで震度を観測した148地震で約2800記録が得られた。特に2009年8月11日には駿河湾でM6.5の地震が発生し、最大震度6弱をはじめ観測範囲内で約400記録が得られ、その後の3日間の主要な余震でも計約500記録がある。ただし、ここ数年の自治体計測震度網のシステム・機器の順次更新や、本システムの接続機器の不具合などにより、現状では愛知県と三重県の計測震度網がほとんどオフラインでのみ接続されており、一部は上記の集計には含まれていない。

一方、全国の都道府県の計測震度網が来年度にかけて更新予定であり、本システムも今後数年をかけて接続の再構築を進めることになる。また、新しいアイデアによる強震観測体制の構築も試みている。発表では、これらの現状をまとめて紹介する。

熊野灘および駿河湾における海底地殻変動観測

○田所敬一・杉本慎吾・渡部 豪・奥田 隆・宮田皓司

我々のグループでは、船の位置をキネマティックGPS測位で決定し、観測船と海底局間の距離を超音波で測定して海底局位置を決定する海底地殻変動観測システムを開発している。2004年以降、熊野灘の2カ所(KMN、KMS観測点)と駿河湾の2カ所(SNW、SNE観測点)において長期くり返し観測を実施している。これに加えて、2008年6月23日には熊野灘に新規の観測点SNEを設置し、この観測点でも繰り返し観測を開始した。

これまでに、KMN観測点では16回、KMS観測点では19回、KME観測点では5回、SNW観測点では14回、そしてSNE観測点では13回の繰り返し観測を実施してきた。すでにKMN、KMS、SNW、SNEの4箇所では変位速度の検出が実現していたが、今年度は、これに加えてKME観測点でも変位速度の検出に成功した。検出された変位速度は、熊野灘での3箇所においては、いずれも西～西北西方向に4 cm/yr程度であり、駿河湾の2箇所では、ほぼ西方向に2～3 cm/yrである。

さらなる高度化に向けて船とブイを用いた海上局方式のシステム開発を行っているが、このシステムを用いた実験の結果、音響測距を行っている海域の範囲内では、観測期間を通じて系統的な音速勾配が観測され、海中音速構造の不均質性を考慮した解析アルゴリズムの検討に必要な基礎的データが得られた。

海中音速の時空間変化を同時推定する海底測位手法の開発

○杉本慎吾・田所敬一・奥田隆・渡部豪・宮田皓司(名古屋大学)・生田領野(静岡大学)・佐柳敬造・長尾年恭(東海大学)

海底での地殻変動観測は、プレート境界型巨大地震の発生機構、歪の蓄積過程などを解明する上で非常に重要である。我々は、海底での海底地殻変動を観測する装置・システムの開発を

行なっている。当観測システムは、観測船と海底に設置した音響トランスポンダ（海底局）の距離を超音波走時で測定する技術（音響測距）と、移動する観測船の位置を決めるキネマティック GPS 測位技術を組み合わせたものである。

現在の海底測位解析手法では、海中音速構造は水平成層であると仮定している。海底に設置した3台の海底局を交互に測距するときの波線上の音速、特に、空間変化が最も大きいと考えられる表層での音速は、水深とアレイ間隔を考慮すると、共通であるために、海中音速構造を水平成層と仮定してきた。また、1回の観測で1～3日間かけて海中音速の水平勾配の揺らぎの平均化を図ることで、現在までの測位精度（±5cm）が保たれてきた。しかし、海底観測点の周辺に流れ込む海流などによる長波長（観測時間、観測領域より長い）の海中音速の空間変化が存在した場合、海底測位にはバイアス誤差が生じてしまう。そこで、海中音速の時間変化と2次元の空間傾斜を同時推定する海底測位手法を開発した。この手法によって、観測の短時間化とバイアス誤差の軽減が期待できる。

開発した解析手法に対して、海底局数や海底局アレイサイズをパラメーターとした数値実験を行った。その結果、1500m程度の航跡の広がりに対して空間傾斜推定精度（RMS）は3～8cm/sで、測位精度（RMS）は3cm程度であった。また、実観測データでの解析結果についても報告する予定である。

地震観測に使用するバッテリー管理について

○堀川信一郎

地震観測において電源は不可欠なものとなっているが、へき地での観測はもちろん、臨時観測では機動性（速やかな設置と撤収）が求められることが多く、観測に必要な電源にはバッテリーを使用することになる。ソーラー発電を併用することもあるが、観測点の多くは山間部であり、十分な発電が行えないことがあるため、バッテリーへの電力依存度は高い。当センターにおいても、バッテリーを電源として使用している観測点は今年度、来年度予定ともに22点となっている。

比較的高い電圧と大きな容量を持つことから観測には鉛蓄電池が使われるが、今年度から密閉式バッテリーを大量に導入し使用するようになった。これまで多用してきたベント式（開放型）バッテリーに比べ、高価ではあるが自己放電が少なく保守がほとんど必要ない。

地震観測におけるバッテリーの使用環境は過酷で、屋外使用のため温度変化は激しく、充放電を繰り返すばかりか、保守が入るまで過放電状態で放置されること（深放電）もある。それだけに寿命（劣化）の判断のためには使用状況を把握しておく必要があるが、各バッテリーの購入時期や使用回数など判断材料となる記録は十分ではなかった。この状態では劣化の進んだバッテリーを観測に持ち込んでしまう可能性は否定できない。

そこで新人技術職員の手始めの業務として、これらのバッテリーの個別管理を行うようにし

た。またコストパフォーマンスがどの程度なのか気になるところでもある。現時点では使用回数の少ない新品が多く、使用環境や使用回数による違い、傾向など有益な情報を提供できる段階ではないかもしれないが、現在の管理状況と今後の方針について報告したい。

職場の環境安全管理と衛生管理業務について

○奥田 隆

2004年の法人化以降、大学も一般の企業同様、安全・衛生に関する規定は労働安全衛生法が、労働条件等は労働基準法が適用されることになった。これらに対応するため、名古屋大学では環境安全衛生推進本部の下に様々な組織が置かれている。全学技術センターでも環境安全技術系が放射線施設の管理、化学物質の管理、実験系廃棄物の処理、作業環境測定などの業務を行っている。地震火山・防災研究センターの技術職員は関連する組織に直接属してはいるが、安全管理やリスクアセスメントについての研修により必要な知識や災害予防に掛かる技術等を習得することが求められるようになった。また、衛生管理に関する国家資格も強く推奨され、今年度は第二種衛生管理者を取得した。

年次報告会では、通常の業務とは異なった上記のような内容を報告する。

大学の国際活動の一環としての JICA 研修

○木股文昭

地震・津波・噴火研修コースの4年間を振り返る

2006年から JICA 研修コース“地震津波火山観測システムの運用・管理”として、6カ国から6名の研修生を9ヶ月間招聘する。4年間でフィリピン(4名)、インドネシア・ミャンマー・パキスタン・ケニア(各3名)、ベトナム・エクアドル(各2名)、パプアニューギニア・マレーシア・コスタリカ・ベネズエ(各1名)の11カ国から参加している。このコースでは博士取得者も対象とし、参加24名中、10名が修士、2名が博士取得者である。研修では、講義やフィールドワークの他に、期間中数回にわたり、発表会を開き、講義の成果を確認する。

フィリピンでは2010年から開始する ODA 共同事業の観測を研修生が中心的な役割を果たすなど、国際共同研究を支える。ベトナムでは研修生が論博支援事業の研究生となり、ニューギニアでは研修生が同じ研究室の職員を留学生に推薦するなど、大学の国際活動を支える。また、学位を取得して母国に帰国した留学生を研修コースの講師として招聘し、彼らのフォローアップの役割を果たす。4年目から、同じ建物に配属されたことから、センターの研究者や学生との交流を深めたい。

コーダQの周波数依存性

○古本宗充

地殻内の不均質構造を調べるために、コーダ波特にコーダ波の減衰を表すパラメータであるコーダQ (Q_c) による解析を進めている。これまでに様々な研究者により得られた Q_c の地域分布は、他のデータから推定される地殻活動度と良い相関を示しており、コーダ波は地殻のダイナミクスを探る上で有益な情報であると考えられる。ところで様々な地域で求められた Q_c には一つの著しい特徴がある。それは周波数依存性である。周波数 f Hz における値を $Q_c(f)$ とすると、

$$Q_c(f) = f^n Q_c(1) \quad (1)$$

となる。特にほぼ $n=1$ である。しかしながらこの周波数依存性は弾性波の減衰としては奇妙に見える。それらは (i) 高周波ほど high-Q になるがこれは直感とは逆である、(ii) 高周波では Q_c は 1000 を越えるようになり高すぎるのではないか、(iii) $n=1$ は全ての周波数で振幅の減衰が時間軸でみて同程度に起きることを意味しているが、これは何か不自然である、等である。周波数依存性を額面通りに解釈する立場も含めて、減衰の性質の層構造や周波数毎で弾性波の型（表面波と実体波）が異なるなどの解釈も行われているが判然とはしていない。周波数依存性の本質に迫ることは、散乱波と不均質構造を結びつける鍵を与える可能性がある。そこで周波数依存性を全く新しい観点から検討することを試みてきた。ここでは依存性が非線形弾性散乱の影響を伴っている可能性について報告する。

平均変位速度分布に基づく糸魚川 - 静岡構造線断層帯の地震規模の推定

○杉戸信彦・鈴木康弘・松多信尚

活断層から発生する大地震の規模は、地下のすべり量分布や破壊領域の大きさといった点で、変動地形学的に推定される平均変位速度分布や地震時変位量分布と深く関わっていると考えられる。本発表では「糸魚川 - 静岡構造線断層帯における重点的な調査観測」（文科省委託、2005～2009年度）変動地形グループ（代表：鈴木康弘）の成果のうち、ネットスリップ速度分布に基づいて推定した地震規模とその意義、今後の課題を述べる。推定のベースとなる高精度高精度の変動地形データセット（活断層分布、変位量、地形面の分布と年代等）は、既存研究を参考としつつ実施された上記調査観測によって GIS ベースで整備されている（「活断層情報ステーション」、2008年8月北半部オンライン公開、2010年3月南半部公開予定）。

(1) 1回変位量の地点データから M_w を求める方法

区間内の1地点以上において精度のよい1回変位量データが得られれば、ネットスリップ速度分布を考慮して地震時ネットスリップ量分布を推定し、 $M_0 = \mu \cdot D \cdot L \cdot W$, $\text{Log } M_0 = 1.5 M_w + 9.1$ （単位等は省略）の関係式を用いて M_w を算出することができる。

(2) 一定期間の M_0 蓄積量を求める方法

1 回変位量データが得られない場合でも、一定期間（例えば 1000 年間）の M_0 蓄積量を、ネットスリップ速度分布と上記関係式によって推定することができる。活動間隔を仮定すれば次の大地震の M_w を、最新活動時期を仮定すれば現在までの M_0 蓄積量をそれぞれ算出することができる。

既存研究によると、最近の大地震に伴う地表変位量分布から上記関係式によって求めた M_0 は、近代観測による M_0 とよく一致するらしい。今後、平均変位速度分布と地震時変位量分布、地表変位量と地下のすべり量の相関の程度を解明し、地下のすべり量分布や破壊領域の予測精度をさらに向上させることが望まれる。

台湾東海岸の津波堆積物

○松多信尚

台湾の歴史資料には津波と思われる記録が 3 回存在する。しかし、太平洋に面し津波の襲来が予想される東海岸の記録は含まれていない。これは東海岸には日本統治以前の史料がほとんどないことによる。しかし、原住民の間には津波と思われるいくつかの伝承がある。

このような背景から台湾東海岸における津波襲来を確認するために、具体的な津波伝承が残る成功鎮で津波堆積物調査を試みた。成功市街地付近には完新世段丘が大きく 3 段確認でき、高位面は堆積段丘で河成段丘に連続する。中位面は高位面を削剥する海成面で現在の市街地はこの段丘上に発達する。低位面は海岸沿いに分布する狭い面である。これらの汀線高度はそれぞれ約 40m、約 15m、5m である。当時阿美族の集落は高位段丘上にあったことから、伝承にある人的被害の無い津波は中位段丘を襲ったと推定できる。

聞き込み調査の結果、中位面はもともと湿地であり、日本統治時代に排水溝が掘られて利用可能な土地になったことが分かった。現地調査で高位面の段丘堆積物が薄く不整合面から湧水が確認され、この湧水が中位面を湿地化させ中位段丘形成以降の連続的な泥炭堆積が予想された。ハンドオーガー掘削の結果、深度 2.4m までは細粒な堆積物で、上部と下部は泥炭質砂層、その間に厚さ 1 m 程度の貝化石を含む砂層を確認した。この砂層下の泥炭層下部と上部の C14 暦年 補正年代値は下部が 3070–2860 Cal yBP、上部が 1810–1570 Cal yBP であった。

以上の知見から、中位面の離水年代がおよそ 3000 年前で、完全に離水していた段丘が約 1500 年前以降に少なくとも一度海水に覆われたことがわかった。この貝化石を含む砂層は津波イベント層の可能性が高い。発表では、3 月中旬のジオスライサーを使った調査結果をふまえて議論をする。

遠州灘・熊野灘～四国沖の大陸棚外縁撓曲の再発見とその意義

○鈴木康弘・中田 高（広島工業大学）

大陸棚外縁斜面の形成過程は場所により異なるが、西南日本の太平洋岸沖合い約 20～30km に位置する大陸棚外縁の形成には第四紀後期の撓曲運動が大きく作用している。すなわち、遠州灘・熊野灘から四国沖に至る大陸棚外縁は大規模な撓曲崖である。紀伊水道や熊野灘において、茂木(1977)や中村(1985)は、大陸棚斜面の構成層には南方への累積的傾動があること、その地層中には第四紀の海面低下期に形成された複数の傾斜不整合面があり、下位の不整合面ほど南方へ大きく傾動していることなどを根拠に活構造であるとしている。海岸に近いこともあり、近年の大規模な地下構造探査の調査対象には入っていないが、海底のテクトニクスを考える上でもこの大規模な活撓曲と、その形成に関わった深部の断層について今後検討することが重要である。

今回、南海トラフ周辺の海底地形について、海上保安庁が 1986 年以降に取得したマルチビームソナーによって得られた測深データから 3 秒メッシュ（約 90m）DEM を作成し、詳細な海底地形図を作成した。この海底地形図から立体視画像を作成し、陸上活断層判読と同じ方法で海底活断層の判読を行ったところ、遠州灘・熊野灘から四国沖の大陸棚外縁撓曲が明らかになった。新知見は以下のとおり。①遠州灘～熊野灘においては、従来研究で確認されていた海底活断層の連続性が明確になった。②従来研究では注目度の低かった大陸棚外縁の活撓曲は、御前崎～四国沖まで連続し、大規模な地すべり地形も伴っている。③志摩海脚を切る複数列の活断層が見出され、一部では明瞭な右横ずれ変位が確認される。④大陸棚外縁の撓曲は大局的には紀伊半島および室戸岬南部にぶつかる。紀伊半島南端では半島を取り巻くように比較的幅の狭い撓曲に移化し、室戸岬の南島海岸に沿っては断層が発達する。こうした構造が東南海・南海地震時の半島の局地的隆起をもたらした可能性が高い。

西南日本域のプレート間固着-すべり分布の推定とそれを用いた地震破壊伝播シミュレーション

○橋本千尋

『シミュレーションとモニタリングを統合した地殻活動予測システム』の構築とそれに基づく予測研究を進めてゆく為には、シミュレーション・システムの高度化と共に、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になる。この事を踏まえて、2009 年度には、バイズモデルに基づく直接的及び間接的先験情報の統合逆化公式を用いたインバージョン解析法を、1996-2000 年の GPS 変位速度ベクトルデータに適用して、西南日本域のフィリピン海—ユーラシアプレート境界面の固着-すべり状態を推定し、南海・東南海・東海地震の震源域のすべり遅れレートの詳細な分布を明らか

にした（橋本・鷺谷・松浦，2009，日本地震学会秋季大会）。解析結果から、プレート境界面のすべり遅れが、海溝に沿って深さ 5~30 km の範囲に帯状に分布することが明らかになった。推定されたすべり遅れ分布は、足摺・室戸の両岬付近に二つの顕著なピークを持つ南海・東南海域に及ぶ大きなすべり遅れ域と、御前崎周辺に顕著なピークを持つ東海域の比較的小さなすべり遅れ域に分かれる。また、推定したプレート境界面のすべり遅れ分布と深部低周波微動の震源分布との比較から、微動の震源分布が、海溝に沿って帯状に分布するすべり遅れ域の下限にほぼ完全に一致することをことが明らかになった。更に、これらの結果を取り込んだ地震発生シミュレーションの準備的な研究として、GPS データから推定したプレート境界面のすべり遅れレートに基づき、南海地震の震源域の応力分布を計算し、動的破壊伝播の予測シミュレーションを行った（Hok・福山・橋本，2009，日本地震学会秋季大会）。動的破壊伝播シミュレーションの結果から、プレート境界面の摩擦特性の違いによって、多様な地震すべりが実現することが明らかになった。

限られた期間のデータを用いたプレート境界面の摩擦パラメータ範囲の拘束：地震発生サイクルモデルのデータ同化手法開発に向けて

○光井能麻・堀高峰（JAMSTEC）・宮崎真一（京都大学）・中村和幸（明治大学）

将来プレート境界で発生する巨大地震を予測し被害を軽減するため、地殻変動等の観測データを用いた定量的な地震発生予測モデルの構築が望まれている。予測を行うためには、少なくとも現在得られている観測データを再現できるモデルを構築しなければならない。そのため、観測された時系列データから自動的に適切なモデルパラメータや初期値の分布を推定する、データ同化手法の開発が重要となる。しかし、地震に関する観測データは、対象とする地震発生サイクルの繰り返し間隔（数十年~数百年）に対して限られている。例えば、観測データとして最も有用と思われる国土地理院の GEONET の観測期間は十数年である。このような場合にどれ程モデルパラメータの取りうる範囲を拘束できるのかを明らかにする必要がある。そのため、光井・他（2009，地震）は極力単純な二自由度の断層モデルを用いて、地震サイクルに対するデータ期間の長さの違いやすべりの特徴の違いによってモデルパラメータの拘束状況がどのように変わるか調べた。その結果、データ期間が地震サイクルに対して短期間でも、すべりの特徴にパラメータを特定できる情報が含まれている場合には、パラメータが推定できることを示した。特に、余効すべりの発生域におけるモデルパラメータの推定には、余効すべりの発生直後のデータが重要であることを示した。さらに Mitsui et al. (in press, Theoretical and Applied Mechanics Japan) は、データの誤差がパラメータの推定範囲に与える影響を検証すると同時に、解析手法の改善によって現在の GPS データ解析手法よりもノイズが小さく、短い時間間隔のデータが得られるようになると、余効すべりの発生直後のデータを使えるようになるためパラメータの推定範囲を拘束できることを示した。今後は、すべりの時空間的な広がり方を予測でき

るようにするため、二次元または三次元空間中に存在する多自由度の予測モデルのデータ同化手法を開発する必要がある。

ぬるぬる地震（津波地震を含む）の正体

○山中佳子

津波地震は Kanamori(1972)によって名付けられた特殊な地震である。体を感じる揺れの程度とは不相応に大きな津波を伴うもので、長周期成分のエネルギーが明らかに大きい地震である。これまでこれら津波地震の解析から、1. 破壊伝播速度が遅い、2. 破壊継続時間が長い、3. 津波の波源域は海溝よりの浅い所、という特徴が指摘されてきた。このような地震が起きる原因は海溝付近にたまった堆積物や Accretionary prism、海山などが影響していると考えられている。しかしこれらの地震の破壊域は普通の地震より大きく、破壊伝播速度が遅いところで破壊がストップすることなくより遠くまで伝播することが本当に可能であろうか？そこで、これまでに津波地震と言われてきた地震の震源過程解析を行った。その結果、すべり量は小さいが断層面積が大きく総モーメント解放量が大きくなっていること、破壊伝播速度は普通の地震と相違ないことなどの共通する特徴が見えてきた。また震源の深さが深いために津波を起こしていないが、津波地震と同じようなすべり様式をする地震があることを見つけた。三陸沖のホルストグラーベン構造が沈み込んでいる付近や、茨城沖で沈み込んだ海山付近で起きた地震などがこれにあたる。津波を伴わない地震もあることからこれらの地震と津波地震を含めてここでは「ぬるぬる地震」と呼ぶことにする。ぬるぬる地震の発生域では、沈み込む海山やホルストグラーベン構造など海底の不均質が存在する。これらが水を含んだ堆積物をプレート境界面に運び込み、部分的にプレート境界の法線応力を弱めていることが考えられる。プレート境界法線応力が下がればプレート境界は滑りやすい状態になり、そのため破壊域が大きくなる可能性がある。またストレスドロップが小さいため、短周期成分が少なく、揺れを感じないという現象になると考えられる。

地震学的研究からみた 2007 年御嶽山小噴火

○中道治久・橋田悠・Daniel Minifie (英国ブリストル大学)

2007 年の小噴火に関連した地震学的な研究成果をまとめて報告する。2007 年の小噴火に至るまでの山頂直下の地震活動を調べた。震源再決定を行ったところ、山頂直下地震は深さ 0.5-2.0 km で発生していたことが分かった。メカニズム解からは、北東-南西方向に圧縮軸を持つ逆断層が卓越している。この方向は御嶽山周辺の広域応力場の圧縮軸方向である東南東-西北西からずれている。2007 年の山頂直下の地震の極性は、山頂に近い観測点においてはすべて押しであったことから、非ダブルカップル成分が有意である可能性がある。

名古屋大学の広帯域地震計と Hi-net 傾斜計を用いて、御嶽山にて発生した超長周期地震を解析した。その結果、超長周期地震の震源は山頂直下の海拔上 600m に決まり、そのメカニズムは傾斜した開口クラックであった。そして、マグマ貫入により地下水が急激に熱せられたことによって、超長周期地震が発生したと考察した。

2007 年 3 月の小噴火前後の S 波偏向異方性の時空間変化に着目した。速く伝搬する S 波の振動方向 (S1) の頻度分布においては、西南西-東北東方向が卓越している。この方向は広域応力場の圧縮軸の方向である東南東-西北西から若干時計回りにズレている。噴火前後での異方性の変化は見られなかった。しかし、この解析で使ったデータは 2007 年の 1 年間と短いため、より長期間のデータからさらなる検証を進めていく必要がある。

これまで得られた結果から御嶽山小噴火に至る過程を考察する。2007 年 1 月頃に御嶽山直下にマグマ貫入があり、深さ 4 km 位まで上昇し、山頂直下の地震が発生した。ただし、正断層や横ずれ断層の地震を引き起こしたり、異方性を変化させたりするほどの応力場変化をマグマ貫入は与えなかったと考えられる。マグマ上昇は 2 月には終わったと考えられる。御嶽山山頂直下にある熱水系に熱もしくは火山性流体を供給しそのために、超長周期地震や低周波地震が発生した。そして 3 月下旬に水蒸気爆発に至った。

御嶽山における地震火山活動

○山崎文人

はじめに

1976 年の春に御嶽山南麓に始まった群発地震活動は、その後の 1979 年 10 月の噴火、1984 年 9 月の長野県西部地震 (M6.8) をはじめとした一連の地殻活動を経て 34 年後の今日なお衰えることなく継続し、その活動域は御嶽山山頂を取り巻くように東から北の領域にまで拡大している。これら一連の活動の消長は御嶽山下のマントル最上部を供給源とする流体の上昇によってもたらされているであろうと推測されているが、その全体像ならびに諸活動の相互連関は必ずしも解明されているわけではない。言い換えれば、社会的関心事である「御嶽山の本格的な噴火はあるのか」、「長野県西部地震と同様な大地震は再来するか」という 2 つの問いに対しての答えはまだ見出し得ていないということでもある。

今回は、最近認められた御嶽山とその周辺域における地震活動の変化について報告するとともに、この 34 年間の一連の地震・火山活動とその消長ならびにそれらの活動の特徴について概観してみたい。

群発地震域東縁端での地震活動の活発化

2009 年 10 月 6 日に群発地震域東縁端において地震活動が顕著に活発化し、その後東縁端に沿って活動域を南南東に広げ、活動はほぼ 1 ヶ月継続した。この間、西側の群発地震活動域

での地震活動は低下した。その後も今日まで群発地震域の東側での活動が目立ち、NW-S E ないしNNW-SSE方向に分布する活動も認められる。この群発地震域東縁端に沿った今回の地震活動は何らかの構造境界の存在を示唆しているが、長野県西部地震が構造境界に沿って発生したことを考えると、今回の活動についても構造境界の評価が重要と思われる。

モホ面付近でのバースト的地震活動

2010年2月3~4日、御嶽山南東麓を中心に、深さ20~40kmの深さでバースト的な地震活動が発生した。これと同様な活動は2002年8月にも発生している。2002年の活動ではその後、マントル内の低周波地震の活動度が高まり、御嶽山地下深部での地殻活動度の活発化が示唆されたが、今回のモホ面付近のバースト的な地震活動が同様な地下深部での地殻活動活発化の始まりとなるのか、また、それと火山活動、地殻浅部での地震活動との関連がどうなるか注視したい。

これらの最近の活動は、2007年から5ヵ年計画でスタートした集中観測で展開した5点の臨時観測点の分布域直下で発生しており、御嶽山周辺に従来から展開されている観測点とあわせ、検知力、精度ともに良質のデータとして観測されている。今回の地震活動については、約450個の震源が求まったが、JMA一元化処理では33個の検知数であった。また、決定された震源の深さには約2kmの系統的なずれが存在している。

ポスター発表要旨

GPS を用いた地下構造推定の試み

○伊藤武男・Mark Simons (Caltech)

本研究では、GPS 観測データを用いて、地下構造物質の物性値を推定するトモグラフィー手法を紹介する。解析手法のエッセンスは、海洋潮汐荷重を力源とした変位が地下を伝搬して海洋潮汐応答として GPS によって観測される事を利用する。この観測された海洋潮汐応答から変位の伝搬経路である地下の構造を逆解析することで地下構造の推定をおこなう。本発表では 2008 年にアメリカ西海岸の 702 点で観測された GPS 観測データから、海洋潮汐応答を推定し、7 潮汐成分に及ぶ、13,932 の振幅データを用いて地下構造を推定した。解析の結果、80km 以深の低速度層などの主な地震学的な特徴が GPS から検出できた。また、地震学的な観測からでは推定が難しい密度構造なども推定可能であることから、地球ダイナミクス的な観点からも非常に重要であると考えられる。今回は 1 次元構造を推定したが、3 次元構造への拡張も可能である。

GEONET で見た中部日本地殻変動と南海トラフにおけるプレート間固着の時空間変化

○小澤和浩

中部日本は複数プレートの収束領域に位置し、複雑な地殻変動が観測される地域である。この地域の地殻変動の主な要因として、南海トラフから沈み込むフィリピン海プレート上面でのプレート間相互作用の影響と、内陸部の東北日本と西南日本の衝突による東西短縮変形が挙げられる。

本研究では、McCaffrey (2002)によるブロック断層モデルを用い、プレート間相互作用と内陸変形の影響を同時に推定し、中部日本地殻変動の運動学的モデル化を行った。解析には、国土地理院による GEONET 日座標解 (F3 解) の時系列データから最小二乗法により推定した、各観測点の変位速度を観測データとして使用した。使用したデータは 1996.4.1-2000.3.31, 2001.1.1-2004.8.31, 2006.1.1-2008.12.31 の 3 期間で、それぞれの期間に対してモデル化を行った。これら異なる期間の解析結果を比較することで、地殻変動、プレート間固着分布の時空間変化についても議論を行った。

本研究結果から、中部日本内陸の変形様式が明らかとなり、アムールプレートに対する東海地域の西北西向きの動き (~20mm/yr)、紀伊半島領域の前弧スリバとしての西南西向きの運動 (~18mm/yr) が明らかになった。プレート沈み込み帯でのプレート間固着分布は深さ 10~20km でほぼ完全に固着している結果が得られ、また、その固着の下限が東海地域下では 15~20km、

紀伊半島下では 20~30km と推定された。

本研究領域では、2000 年後半から静岡県浜名湖北部下でスロースリップ (SSE) [Ozawa et al., 2002] が発生した。この領域のプレート間固着率の 時間変化に注目すると、SSE 発生期間中には顕著な負の値が推定され、またその発生期間の前後の期間を比較すると明瞭な変化が見られた。この結果は、SSE が終息したとされる 2006 年以降でも、2000 年以前のプレート固着領域面積まで回復していない、もしくは固着の強度が以前の状態に戻っていない可能性を示唆する。

GPS による三次元地球潮汐応答の日本列島における空間分布

○山本淳平・鷺谷威・伊藤武男

地球潮汐(固体地球潮汐および海洋潮汐荷重)の測定方法として、キネマティック精密単独測位法(KPPP-GPS)による解析が試みられている。本発表では、日本列島のGEONET 観測点における地球潮汐応答の空間分布について報告する。GPS 解析ソフトウェアはGpsTools ver.0.6.4(高須・笠井, 2009)を使用し、GEONET観測点1228 点における地球潮汐応答を含む時系列データを算出した。この地球潮汐応答が理論的な潮汐応答とどの程度一致しているのか調べるために、gotic2(Matsumoto, 2001)による予測値を基準として比較を行った。潮汐応答の構成要素は周期によってS/N 比が大きく異なるため、S/N 比の最も高いM2 分潮(12 時間 25 分周期)について、振幅と位相を最小二乗フィッティングにより求めて空間分布を調べた。理論的なM2 分潮の振幅の比と位相の差をそれぞれ振幅比、位相差(単位はdegree で、進みを正とする)と定義する。振幅比は、南北、東西、上下成分において平均値がそれぞれ1.0486, 1.0176, 0.9979、分散はそれぞれ0.31543, 1.1270, 0.0033であった。位相差は、南北、東西、上下成分の平均値がそれぞれ-0.8823, -1.0920, -0.0088、分散はそれぞれ4.3710, 1.8332, 0.1787 であった。また、緯度、経度方向の分布を見ると、振幅比の南北、東西成分は南西から北東に進むにつれて値が低下する傾向が見られた。位相差には系統的な分布は見られなかったが、特定の地域において負の位相差が集中するパターンが確認できた。上下成分は、振幅比、位相差共に緯度、経度方向のばらつきが小さかった。

地震間地殻変動から推定されるプレート境界面の状態：アスペリティ分布とモーメント蓄積速度

○平井敬・鷺谷威

プレート沈み込み帯の同一領域で繰り返し発生する海溝型地震について、その挙動を説明するものとしてアスペリティモデルが提唱されている。アスペリティの分布を推定する方法のひとつに、地震間に観測された地殻変動データからプレート境界面の滑り欠損分布を推定する方

法がある。しかしこの方法には、観測点が陸上に限定されるため空間分解能が低い、また、推定された滑り欠損分布はアスペリティ分布をある程度反映してはいるものの、両者の間の対応関係が必ずしも明瞭ではないといった問題がある。

本研究では、プレート運動に伴う地震間地殻変動のシミュレーションと、測地データ逆解析の手法を組み合わせることにより、プレート境界面上のアスペリティ分布と地震間地殻変動から推定される滑り欠損分布との対応関係を定量的に検証することを目的とした。

解析の結果、地殻変動から推定された滑り欠損を積分して得られる推定地震モーメントは本来のアスペリティ分布から得られる地震モーメントの数倍の大きさになることと、滑り欠損分布の重心は多くの場合アスペリティ分布の重心とは一致しないことが分かった。前者は将来の地震の規模、後者は地震による強震動の予測に狂いを生ずる原因となる。こうした推定の誤りが起こる原因は、地殻変動から推定される滑り欠損はプレート運動に関する運動学的な情報であり、その分布が力学的な固着状況を必ずしも示していないことにある。

DSM を用いた巨大地震の震源過程解析手法の開発

○吉本昌弘・山中佳子・竹内希（東大地震研）

従来の遠地実体波解析による震源過程解析手法（Kikuchi and Kanamori, 1991）は波線理論に基づいており、2004年スマトラ沖地震のような超巨大地震に適用するには以下に挙げる問題点が存在する。①PP波などの後続波を含めたグリーン関数の計算ができない。②W-PHASEと呼ばれる超長周期の波が計算できない。③断層長に比べ観測点までの距離が十分遠いという遠方近似が成り立たない。そこで全地球モデルでの波動場を正確に計算する Direct Solution Method(Kawai *et al*, 2006)を用いた新しい震源過程解析手法を開発した。これまで DSM は長周期成分を使った研究にしか利用されてこなかったため、破壊継続時間の影響が少なく点震源で説明がつくような小地震（2007年4月13日にメキシコで発生した Mw6.0(GCMT)の地震）で観測波形と計算したグリーン関数の短周期成分での波形比較を行った。その結果 DSM では周期 1 Hz 程度まで正確に計算できていることが確認できた。そこで DSM で計算したグリーン関数を用いて Kikuchi *et al.*(2003)の波形インバージョン法で解析を行う新しい震源過程解析手法を開発した。この新しい手法は従来の手法で強みがあった直達 P 波と震源近傍の反射フェイズに関して同等の精度を保ちながら後続波である PP 波も正しく計算できていることがわかった。

開発した新しい手法を破壊継続時間が 80 秒になる 2007年4月1日にソロモン諸島で発生した Mw8.1(GCMT)の地震に適用した。その結果2つのアスペリティが存在すること、2つのアスペリティの間には沈み込んでいる Sinbo ridge があり、それを越えて破壊が伝播したことがわかった。また新しい手法では観測された PP 波についてよく説明でき、この地震よりもっと震源時間が長い 2004年スマトラ沖地震、2006年ジャワ地震などに適用し、巨大地震

の詳細な震源過程を明らかにしていきたい。

すべり依存の断層構成則を用いた二次元剪断破壊のシミュレーション：スロースリップイベントの研究

○野村有紀・橋本千尋

近年、測地学的、また地震学的観測データの解析に基づき、プレート境界面で発生する、通常より遅いすべり速度をもつスロー地震の詳細が明らかにされつつある。このことはプレート境界面における、応力解放のためのすべり運動の様式の多様性を示している。断層すべりの様式は、その場所の摩擦特性により規定されている。従って、すべり運動の様式の多様性の摩擦特性依存性を知ることは、プレート境界におけるテクトニック応力の蓄積・解放過程を理解するために重要である。

本研究では、二次元面外剪断の平衡方程式、すべり依存の断層構成関係、モデル領域の外側における駆動力としての定常すべりから構成される単純な剪断破壊のシミュレーションモデルを構築した。このシミュレーションシステムにおいて、強度アスペリティでのすべり運動の様式は、一つの無次元パラメーター $\mu d_c / \tau_p L$ により支配される。ここで、 μ, d_c, τ_p, L はそれぞれ剛性率、すべり弱化的臨界変位量、ピーク強度、強度アスペリティのサイズを示す特徴的長さを表す。数値シミュレーションを通して、以下のような結果を得た。強度アスペリティにおいてすべり遅れによる応力の蓄積が進行する一方で、その周辺領域で安定な断層すべりが進行する。システムが臨界状態に達すると、強度アスペリティに蓄積された応力は、不安定／安定すべりにより解放される。無次元パラメーターの値が小さい場合には、蓄積された応力は不安定すべりにより解放される。一方、無次元パラメーターの値が非常に大きい場合には、蓄積された応力は安定すべりにより解放される。無次元パラメーターの値が適度に大きい場合にのみ、安定的であるがすべり速度に明瞭なピークをもつ、スロースリップイベントが発生する。 μ, τ_p, L の値を仮定した場合には、この結果は、すべり運動の様式の臨界変位量 d_c 依存性を表す。このことは、スロースリップイベントが臨界変位量の遷移領域、例えば、 d_c が有意な温度依存性をもつ、脆性—延性遷移領域に対応する深さ、で必ず起こることを意味する。同様に、すべり運動の様式の安定—不安定遷移は、ピーク強度の減少によるものとも考えることもできる。