

(1) 実施機関名：

京都大学防災研究所

(2) 研究課題（または観測項目）名：

近畿地方北部における地殻活動異常と地震先行現象の関係の解明

(3) 最も関連の深い建議の項目：

2. 地震・火山現象解明のための観測研究の推進

(3) 地震発生先行・破壊過程と火山噴火過程

(3-1) 地震発生先行過程

イ. 先行現象の発生機構の解明

(4) その他関連する建議の項目：

2. 地震・火山現象解明のための観測研究の推進

(2) 地震・火山噴火に至る準備過程

(2-1) 地震準備過程

ウ. ひずみ集中帯の成因と内陸地震発生の準備過程

(5) 本課題の5か年の到達目標：

既往の研究により、近畿地方北部の地殻活動には、地震発生帯周辺に存在する流体が大きく関与していると予想される。地震学的な3次元速度構造・反射・散乱解析等に加え、電磁気学的な比抵抗構造解析によって地下流体の分布とその挙動を明らかにする。また、微小地震の発震機構、GPS・SARの解析により詳細な応力場とその時間変化を把握する。それらの結果と実際に観測されている微小地震活動や地殻変動に見られる変化との相関関係の解析から、当該地域における地殻活動変化をもたらすメカニズムの解明をめざす。異常地殻活動のみならず、本研究により丹波山地における定常的な地震活動の原因、すなわち地震活動の地域性は何によるものかといった長年の疑問に対しても一定の答えが得られるものと期待される。同時に、間隙水圧測定等により地殻応力をモニターする方法の確立をめざす。本計画で得られる知見は、近畿地方内陸部の地殻活動の基本的な理解だけでなく、南海トラフ巨大地震の発生予測や関連する内陸地震活動の予測研究にも重要であると考えられる。

(6) 本課題の5か年計画の概要：

[21年度]

・近畿地方中北部において次世代型地震・火山観測システムを用いる10点程度の観測点を選定し、観測に着手する。これを定常観測網や別途実施されている臨時観測のデータと統合し解析する体制を構築する。

・これまで蓄積された地震データおよび稠密観測データを用いた反射波・散乱波解析により、近畿地方北部における地殻内の詳細な不均質構造の推定を行う。

・近畿地方北部山地において多点のMT観測を行う。

・地殻変動連続観測による歪み変化のモニターと、過去とくに兵庫県南部地震前後の地殻変動データの検討。

- ・地殻変動連続観測点（逢坂山、阿武山、屯鶴峯）における歪と地下水（水位、湧水量）の観測値を比較対照し、地殻歪の観測値への地下水変化の影響の大きさを見積る。
- ・神岡鉱山での間隙水圧測定を継続する。流量モニターのデータ取得を行う。

[22 年度]

- ・次世代型地震・火山観測システムによる臨時観測点を約 30 箇所追加設置し観測を継続する。発震機構、反射・散乱構造の解析を行う。
- ・比抵抗観測（広帯域 MT、長周期 MT）および比抵抗構造の推定を行う。
- ・1995 年兵庫県南部地震に至る地震・地殻変動データの収集を継続。データの再解析に着手する。
- ・神岡鉱山での間隙水圧測定・流量モニターを継続する。近畿の過去の地殻変動・地下水観測のデータ整理を行う。

[23 年度]

- ・次世代型地震・火山観測システムによる地震観測・解析を継続する。トモグラフィ解析に着手する。
- ・比抵抗の補充調査および比抵抗モデルの高度化。3 次元的比抵抗構造を把握する。
- ・1995 年兵庫県南部地震前後の地殻活動変化のモデリング。
- ・神岡鉱山での間隙水圧測定・流量モニターを継続する。神岡鉱山・近畿の地殻変動・地下水観測の間隙弾性論による先行現象抽出手法の開発を行う。

[24 年度]

- ・次世代型地震・火山観測システムによる地震観測・解析を継続する。レシーバ関数解析に着手する。地震関係解析結果をまとめる。
- ・地震・電磁気等多項目の観測結果の統合解析。
- ・神岡鉱山での間隙水圧測定・流量モニターを継続する。近畿地方で間隙水圧観測を開始する。神岡鉱山・近畿の地殻変動・地下水観測の間隙弾性論による先行現象抽出手法の開発を継続する。

[25 年度]

- ・次世代型地震・火山観測システムによる地震観測・解析を継続する。
- ・現在進行中並びに 1995 年兵庫県南部地震前後の地殻活動変化の統一的なモデル化
- ・近畿地方神岡鉱山での間隙水圧測定・流量モニターを継続する。先行現象抽出手法のリアルタイム化を進める。

（7）平成 23 年度成果の概要：

大阪府北部から京都府中部にかけての丹波山地、さらに琵琶湖西岸に至る地域は定常的に微小地震活動が活発である。地震発生レートは中期的には極めて安定しているが、過去に活動度が大きく変化した例が知られており、応力場に敏感に反応する側面もあると考えられている。また近年においても、2003 年以降地震活動の低下が指摘されている。特定の活断層に沿わず面的広がりを持つ定常的な地震活動は日本列島においてもあまり類例のない特異なものと考えられるが、地震活動の原因は自体はほとんど分かっていない。これまでの多くの研究により示唆されている丹波山地下の地下流体の存在が、定常活動の成因とその活動変化に大きく影響しているものと考えられるが、その解明のためには詳細な地下構造に関する情報が必要である。本研究では、従来の観測密度をはるかに凌駕する多項目の観測を実施することにより、高解像度で地下構造の把握し、この地域の地震活動の原因およびその時間変化の要因をさぐることを目的としている。本研究は、当初の計画概要にほぼ準拠した形で進行している。

基盤観測網の整備により、平均約 20km 間隔で地震観測点が全国をカバーするようになったが、内陸地震の原因究明のため十分な解像度を得るためには、さらに稠密な臨時地震観測を行う必要がある。2008 年末より文科省のひずみ集中帯重点観測の一環として、琵琶湖西岸から丹波山地にかけて 45 点の臨時観測点を設け、さらに昨年度本研究により 37 点の臨時観測点を増設し観測を継続している（図 1）。観測網中央部における観測点間隔は 5km 以下となっている。観測機材としては「次世代型の地震・火山観測システム」（通称満点システム）を用いてオフラインで行っており、回収された地震波形

連続データは既存の定常観測点データと統合してデータベース化されている。観測およびデータの蓄積は順調に進んでおり、現時点でほぼ3年間にわたる膨大な連続データを取得している。気象庁一元化震源リストに従ってイベント波形データを切り出し、手動再検測も順次進めている。

昨年度までの地震データに基づき解析を進めている。地震の発震機構は、地殻応力を知るための貴重な情報であるが、定常観測網だけでは、 $M_{JMA}2.0$ 程度より小さいものでは発震機構の推定は困難であった。本研究の稠密観測網を用いると、丹波山地において $M_{JMA}0.5$ クラスの地震でも P 波初動極性による発震機構推定が可能である。 $M_{JMA}0.5$ はこの地域での気象庁一元化震源カタログにおける検知能力の下限に一致し、それより大きな地震については、ほぼもれなく精度のよい発震機構を求めることができることがわかった。これにより短期間でも大量のメカニズムデータを得ることができるようになり、解析の空間・時間分解能が大幅に向上した。(図2)

近畿地方北部に 5km 間隔のグリッドを設け各格子点を中心とした 10km 四方の小領域において応力テンソルインバージョンを行い、近畿地方北部の応力場の時空間変化を調べた。一見すると時期により推定された応力場に変化がみられる領域があるが、これは地震のクラスターを含むことでバイアスがかかった結果であり、デクラスター操作を行うことで「見かけの時間変化」は消えてしまうことがわかった。これは、小さな地震までデータとして利用可能になったため、これまでの同種の解析では意識することの無かった地震活動の偏りに注意が必要であることを示すものである。

逆に除去される側のクラスターの内部を詳しく解析することもできる。図3は $M_{JMA}3.7$ の本震に続く余震群の発震機構を示したものである。差し渡し 1 km 程度の余震域内でも、卓越する発震機構が場所によって変化するなど、大地震の余震活動と同様の内部の不均質を示す複雑な発震機構分布を呈すものがあることがわかった。

丹波山地から琵琶湖西岸にかけてのやや広域の応力場の空間変化を求めた。先行研究とは異なり1年程度の短い期間でも十分な地震数があるため長期の時間変化の可能性を排除でき、かつデクラスター操作により地震活動の偏りによるバイアスを排除したデータを用いた。近畿地方北部全域で σ_1 は東西方向であり、琵琶湖西岸地域は一貫して逆断層タイプの応力場だったのに対し、丹波山地では、多くの小領域で σ_2 、 σ_3 が分離できない推定結果となった。(図4) その境界は、先行研究では花折断層との関連が示唆されていたが、本研究では必ずしも直線的でない複雑な形状の境界となることがわかった。丹波山地では σ_2 、 σ_3 がほぼ同じ応力場であり、逆断層、横ずれ断層、その中間タイプ地震がほぼまんべんなく起きていることが分かった。これらは完全にランダムに分布するのではなく、局所的なクラックの特定方向への配向があり、それが 1km 程度のスケールで変化している状態にあることが考えられる。

また、稠密地震観測データに基づき、精密震源決定ならびに予察的なトモグラフィによる3次元速度構造解析が行われた。図5は、連携震源決定法(JHD)の結果である。この地域を代表する1次元速度構造と、3次元不均質に起因する各観測点における走時補正值が示されている。走時補正值は各観測点直下の地殻構造を反映しているものと考えられ、琵琶湖西岸から京都盆地、大阪平野にかけて帯状に低速度であることが示唆される。図6は予察的なトモグラフィの結果である。やはり琵琶湖西岸から京都盆地、大阪平野にかけて帯状に低速度であること、その低速度帯は深いほど西方に位置することなどが見て取れる。

丹波山地における定常的な微小地震活動の成因に構造視点から迫るために、地震波速度構造などの他の物理量と比較することを目指して、本計画では比抵抗構造の3次元マッピングを課題として挙げている。京都府北部・滋賀西部(琵琶湖西岸域)・福井南部の40km四方の領域において、面的な広帯域 MT 観測を計画している。今年度は引き続き MT 観測の信号源となる太陽活動度が低かったため、次年度に備えた観測候補地の選定と観測機器の整備を行った。また、これまでに取得した北部域の電磁場データの時系列を精査した。

神岡鉱山でのボアホール歪計と間隙水圧観測を継続している。東北地方太平洋沖地震では、これまでの大地震と同じように間隙水圧による地震記録が収録されたほか、地震によるコサイスマックな歪変化(観測点周辺では程度)による周辺の間隙水圧変化もみられた(図7)。ボアホール歪計では、コ

サイスミックな歪変化，歪地震動（図8），余効変動が明瞭に記録された．コサイスミックな歪量・方向は，例えば国土地理院の断層モデルを仮定して岡田の式によって計算した値と一致する．また，余効変動の変動源の移動をとらえた．さらに理論ひずみ地震動波形を計算し，間隙水圧およびボアホール歪記録がどの程度説明できるかの検討をおこなった．

（8）平成23年度の成果に関連の深いもので、平成23年度に公表された主な成果物（論文・報告書等）：

青木裕晃・片尾浩・飯尾能久ほか（2011）：稠密地震観測による近畿地方北部におけるメカニズム解と応力場、日本地震学会秋季大会、D11-04.

青木裕晃（2012）：稠密地震観測による近畿地方北部におけるメカニズム解と応力場、京都大学理学研究科修士論文.

飯尾能久（2011）：次世代型地震観測システムの開発と運用－満点(万点)を目指して－、京都大学防災研究所年報, 54, A, 17-24.

片尾浩（2011）：四半世紀にわたる近畿地方北部の応力空間分布とその時間変化、京都大学防災研究所年報, 54, B, 165-170.

片尾浩ほか（2011）：稠密地震観測による近畿地方北部の地殻構造、日本地震学会秋季大会、P1-36.

加納靖之・伊藤久男（2011）：間隙水圧と歪の並行観測による断層帯周辺の透水構造推定、日本地球惑星科学連合2011年大会, SSS035-22.

加納靖之・柳谷俊・川崎一朗・石井紘・浅井康広・伊藤久男（2011）：神岡ボアホールひずみ計で観測された東北地方太平洋沖地震のひずみ地震動とその理論ひずみ記象との比較（序報），日本地震学会2011年度秋季大会，P2706

京都大学防災研究所地震予知研究センター（2011）：近畿北部の地震活動～丹波山地における最近の微小地震活動の静穏化と東北地方太平洋沖地震～，地震予知連絡会会報, 86, 505-508.

（9）平成24年度実施計画の概要：

・既設の稠密地震観測網のオフライン観測を維持継続し、地震波形データを蓄積し、データベースを整備する。地震データの解析を進め、精密震源決定、トモグラフィやレシーバ関数解析による地殻構造、メカニズム解および応力逆解析等の解析を行う。

・近畿地方北部において、比抵抗構造探査を実施する。複数の測線において2次元解析を行うことにより、3次元解析の前段として、研究対象領域の構造の特徴を把握する。。

・神岡鉱山での間隙水圧測定・流量モニターを継続する。近畿地方で間隙水圧観測を開始する。神岡鉱山・近畿の地殻変動・地下水観測の間隙弾性論による先行現象抽出手法の開発を継続する。

（10）実施機関の参加者氏名または部署等名：

担当者：片尾浩

参加者：飯尾能久、澁谷拓郎、西上欽也、大志万直人、吉村令慧、大谷文夫、森井互、加納靖之、福島洋、柳谷俊ほか（京都大学防災研究所）約12名

他機関との共同研究の有無：無

（11）公開時にホームページに掲載する問い合わせ先

部署等名：京都大学 防災研究所 地震予知研究センター

電話：0774-38-4194

e-mail：

URL：<http://www.rcep.dpri.kyoto-u.ac.jp/>

（12）この研究課題（または観測項目）の連絡担当者

氏名：片尾浩



本研究における稠密地

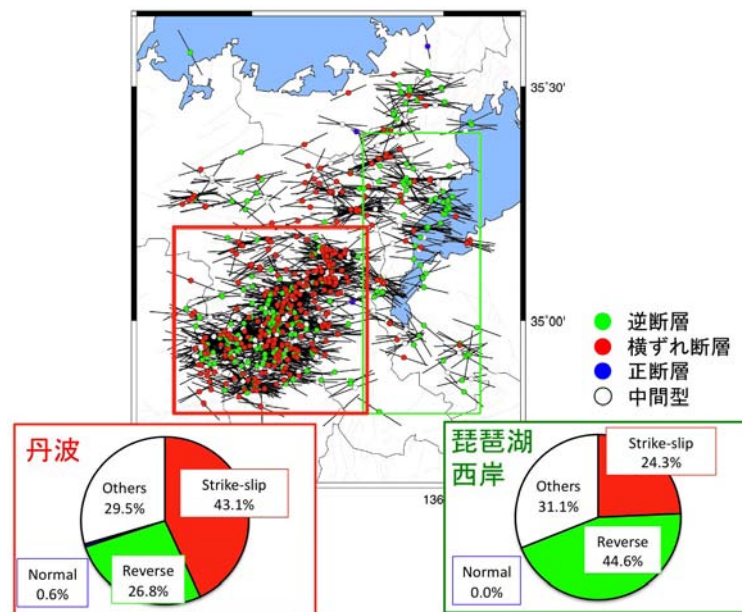


図2. 近畿地方北部における発震機構の分布

震央の円は断層型によって色を塗ってある。震央を貫く「棒」はP軸の方位を表す。総計 1700 以上の精度のよい発震機構解が得られている。

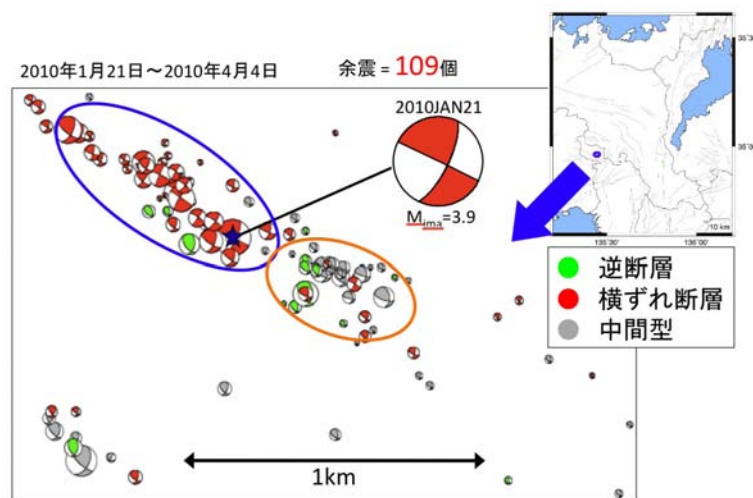


図3. 2010年1月21日大阪府北部 M3.7 の地震とそれに続く余震の発震機構

赤は横ずれ断層型、緑は逆断層型、灰色は中間型。

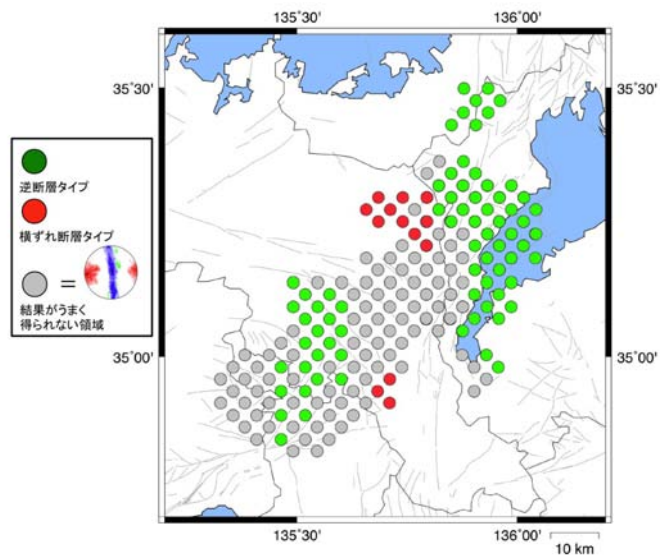


図4．近畿地方北部における応力場の空間変化

全領域で σ_1 は概ね東西方向。赤丸は横ずれ断層的な応力場，緑は逆断層，灰色は σ_2 ， σ_3 が分離できない推定結果となる領域を示す。

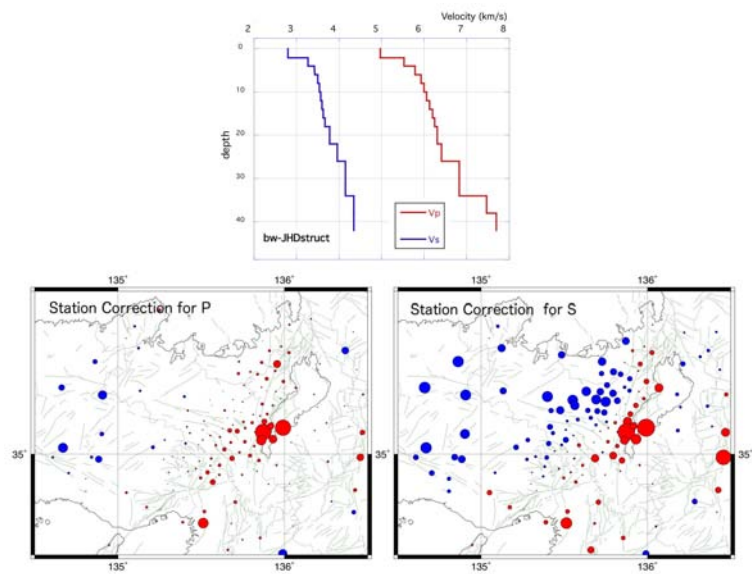


図5．連携震源決定法（JHD）の結果

1次元速度構造（上），P波の観測点補正值（左下），S波の観測点補正值（左下）。赤は正の補正值，青は負の補正值，○の大きさは絶対値を表す。

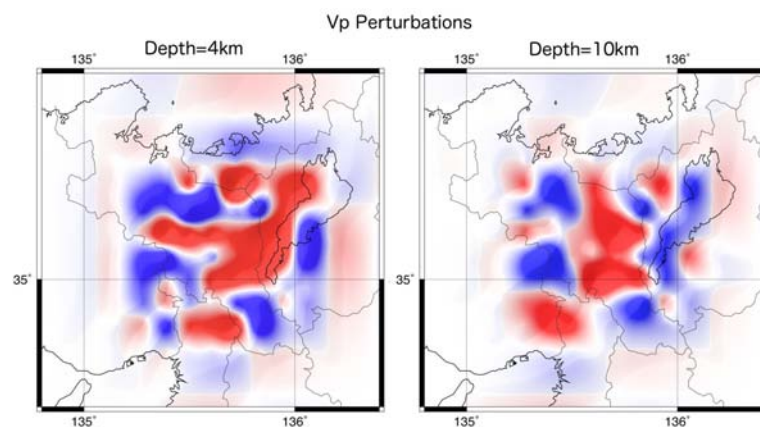


図6. 予察的なトモグラフィの結果

深さ 4 km (左) および 10km (右) における P 波速度の偏差をとり、青は相対的に高速度であること、赤は低速度であることを示している。

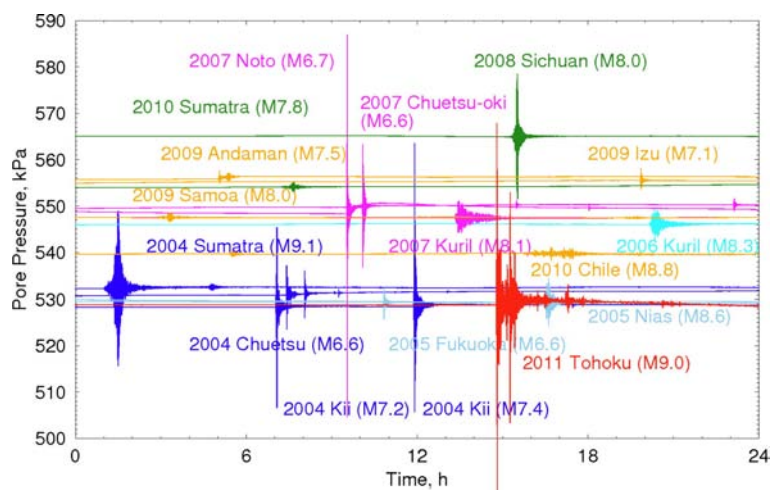


図7. 間隙水圧による地震記録

神岡鉱山で観測された間隙水圧による地震記録。赤が東北地方太平洋沖地震。

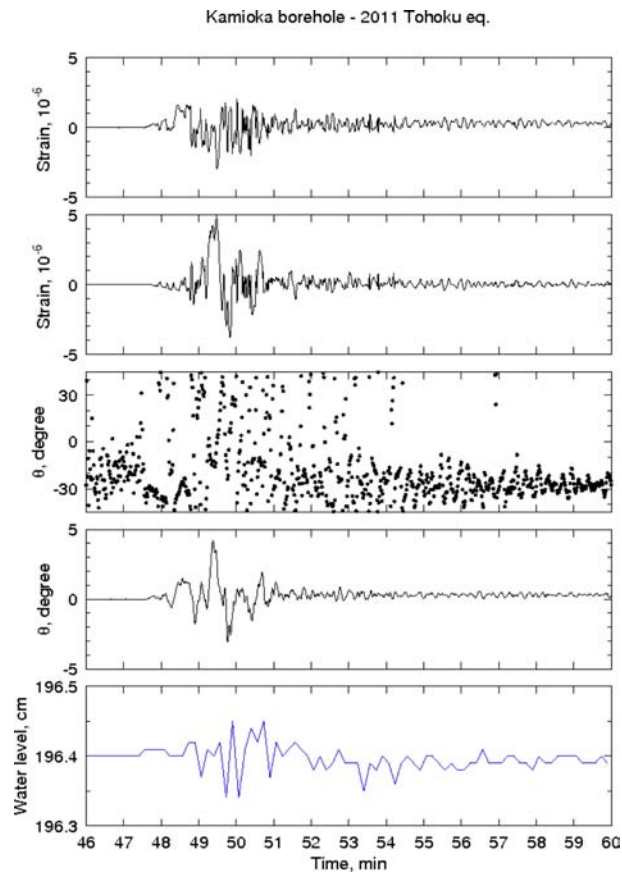


図8．東北地方太平洋沖地震の際のボアホールひずみ計記録

上から，最大水平主歪，最小水平主歪，主歪方向，垂直歪，近傍の井戸の水位．主歪は水平3成分の記録から求めた．水位については，図7のような地震記録はかかず，被圧していない帯水層の圧力を測定していることに注意。