

- (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關係の解明

- (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關係の解析から、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：

[平成 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及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ひず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）におけるひずみと地下水（水位，湧水量）の観測値を比較対照し，地殻ひずみ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。

[平成 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 か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）及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。

[平成 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。
- ・比抵抗の補充調査及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。

[平成 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。

[平成 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 24 年度成果の概要：

近畿地方中北部の北摂・丹波山地（大阪府北部～京都府中部）及びその東北方の琵琶湖西岸地域は、定常的に微小地震活動が活発である。地震活動は中期的には極めて定常的であるが、過去に活動度が大きく変化した例が知られており、応力場の変化に敏感に反応する側面もあると考えられている。近年においても、2003 年以降地震活動の低下が続いていると指摘されている。近畿地方には活火山が無く、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、地震活動の原因について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存在が示唆されている地下深部の流体が、丹波山地の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及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。

近年、基盤観測網の整備により、日本列島全域が平均約 20km 間隔の高感度地震観測網でカバーされている。しかしながら、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、更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「ひずみ集中帯の重点的調査観測・研究」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て地震観測を行っている、さらに、本研究により昨年度までに 37 点の臨時観測点を増設し観測を継続している。今年度は、さらに、高島市海津大崎に 1 点臨時観測点を追加設置し、琵琶湖西岸断層北部周辺での観測点配置を改善した（図

1) . 観測網中央部における観測点間隔は 5km 以下であり、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観測を行い、ほぼ半年毎に回収された地震波形連続データは既存のオンライン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。観測及びデータの蓄積は順調に進んでおり、現時点ではほぼ 4 年間にわたる膨大な連続データが取得されている。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、手動再観測作業を順次進めている。

北摂・丹波地域の微小地震では、初動の 9~12 秒後に顕著な S 波の後続波が観測されることが多く、それらは深さ約 20 km ~ 30 km の間に存在する北傾斜の反射面によってもたらされるものであることが知られている(片尾, 1994)。佐々木(2011)は本計画の稠密地震観測データを用いて上記の反射面の解析を試みたが、顕著な反射波を見出すことはできなかった。本年度は、佐々木(2011)の処理方法を変更し、Q 値を用いた振幅の補正を行なうことによって、顕著な反射波を検出することに成功した。同地域に東西と南北の測線をそれぞれ 11 ずつ設定して反射法解析を行い(図 2, 3), 反射面の 3 次元的なイメージングを行った。その結果深さが約 25 km ~ 30 km にほぼ水平に反射面が存在すること、またこの反射面の存在範囲は丹波地域の微小地震発生域とおおむね一致し、琵琶湖西岸地域までは及んでいないことが明らかとなった(図 4)。

また、稠密地震観測データに基づき、トモグラフィによる 3 次元速度構造解析を進めている。図 5 は、FMTOMO(Rawlinson et al., 2006)を用いた予察的なトモグラフィの結果である。琵琶湖西岸から京都盆地、大阪平野にかけては周囲に比べて低速度であることがわかる。この地域は沈み込んだフィリピン海プレートに沿った稍深発地震がほとんど起きていないため、地殻内の地震発生層よりも深い構造を求めることは困難である。今後、遠地地震を用いたトモグラフィを行うとともに、レーザー関数解析も併用して、下部地殻からモホ面、フィリピン海プレート上面に至る深部構造を推定する予定である。

これまでに「ひずみ集中帯の重点的調査観測・研究」及び本研究で明らかになってきたことを整理すると以下ようになる。発震機構/応力場は、琵琶湖西岸地域は一貫して東西圧縮の逆断層的な応力場であるが、花折断層より西方の丹波地域では東西圧縮ながら σ_2 , σ_3 が区別しにくい応力場であることが示された(青木裕晃, 2012)。下部地殻に存在する S 波反射面は北摂・丹波地域では顕著であるが、琵琶湖西岸地域には分布していないことが分かった(青木将, 2013)。レーザーファンクション解析では、丹波地域と琵琶湖西岸ではモホ面の形状に違いがあり、その下のフィリピン海プレートが急激に西下がりに傾斜している様子が捉えられた(佐々木, 2011)。電気比抵抗観測によると、花折断層を境に西側の丹波山地では地殻浅部まで低比抵抗であるのに対し、琵琶湖側は比較的高比抵抗であることが示されている(吉村ほか, 2005)。微小地震活動は丹波側で定常的に活発であるのに対し、近江盆地ではほとんど微小地震は発生しない。地震発生層の深さは花折断層付近を境に東西で段差がある。

このように北摂・丹波地域と琵琶湖西岸両地域は多くの対照的な特徴を示すことが分かる。これらの特徴の中には、本研究に先行する研究でも個別に知られていたものがあるが、稠密地震観測に代表される本研究の高解像度の観測によって、その分布範囲や、両地域での特徴の差異が従来より格段に鮮明に認識できるようになったものである。これらの特徴の違いは地殻内の流体分布の違いによる可能性が高く、さらに地殻下のフィリピン海プレートの形状が地殻内流体の発生や地殻の力学的状態に大きな影響を与えていると考えられる(図 6)。

神岡鉱山での間隙水圧測定・流量モニターを継続した(図 7)。近畿地方での既存の間隙水圧・地下水位観測のデータを解析した。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し、特に遠方で発生した地震による観測点近傍の透水性変化について検討した。近畿地方の地殻変動連続観測のデータについて、1940 年代以降の上記録の読み取り可能性を検討した。

- (8) 平成 24 年度の成果に関連の深いもので、平成 24 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・三浦勉・中尾愛子・米田格・澤田麻沙代・中尾節郎(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, 日本地球惑星科学連合 2012 年大会,

SSS31-P3 .

青木裕晃・片尾浩・飯尾能久・三浦勉・中尾愛子・米田格・澤田麻沙代・中尾節郎(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, 京都大学防災研究所年報, 55, B, 121-140, 2012 .

青木将(2013): 近畿地方北部における地殻内S波反射構造の推定, 京都大学理学研究科修士論文.

飯尾能久(2012): 0.1万点(満点)計画~次世代型稠密地震観測~, 日本地震学会秋期大会, A31-05 .

片尾浩・三浦勉・飯尾能久(2012): 琵琶湖西岸/花折断層南端付近で見られる深部反射波, 日本地震学会秋期大会, P1-37 .

木下千裕・加納靖之(2012): 東北地方太平洋沖地震の前後で観測された間隙圧とその大気圧の時間変化, 日本地震学会2012年度秋季大会, P2-41 .

(9) 平成25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, メカニズム解及び応力逆解析等の解析を行う . トモグラフィにより上部地殻の精密な3次元速度構造を求め, 地震活動や地下流体分布との関係を把握する . 遠地地震を用いたトモグラフィを行い, レシーバ関数解析を併用して, 下部地殻からモホ面, フィリピン海プレート上面に至る深部構造を推定す .

・近畿地方北部, 特に琵琶湖西岸域を東西に横断する複数の測線において, 比抵抗構造探査を実施する . 各々の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 . 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

所属: 京都大学防災研究所

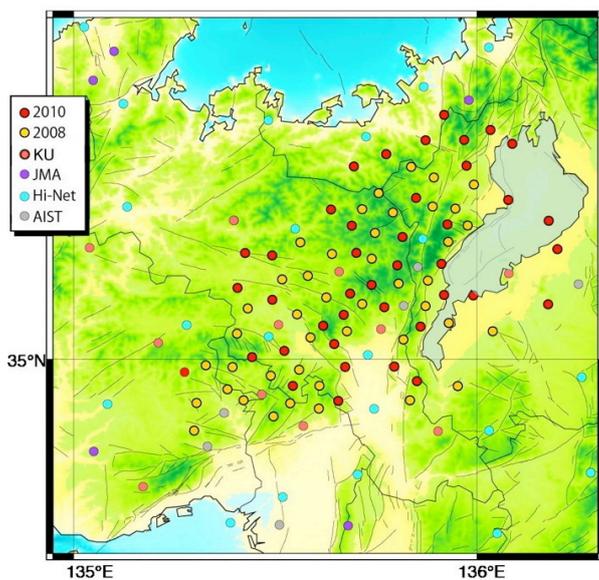


図1．稠密地震観測の観測点分布．

本研究における稠密地震観測網の観測点分布．臨時オフライン点 83 か所（赤及び黄色）と定常観測点（赤黄以外）33 か所．

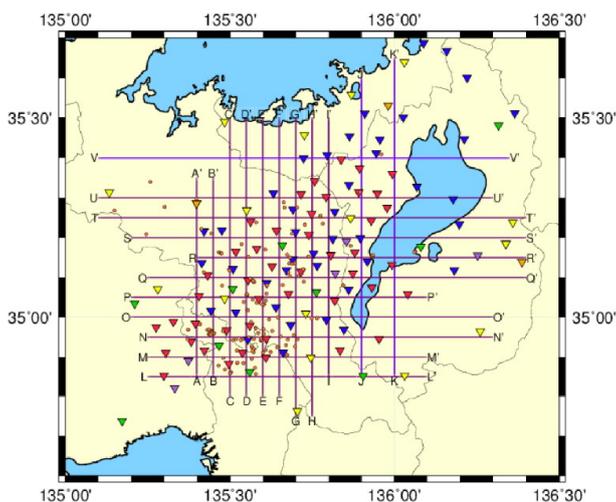


図2．S波の反射面解析を行った測線

琵琶湖西岸活断層集中域におけるS波の反射面解析を行った測線と用いた観測点及び用いた地震(赤丸)．赤：稠密地震観測点，他の：定常観測点(防災科学研究所のHi-net，気象庁，産業技術総合研究所，京都大学防災研究所)及び京都大学防災研究所による臨時観測点．

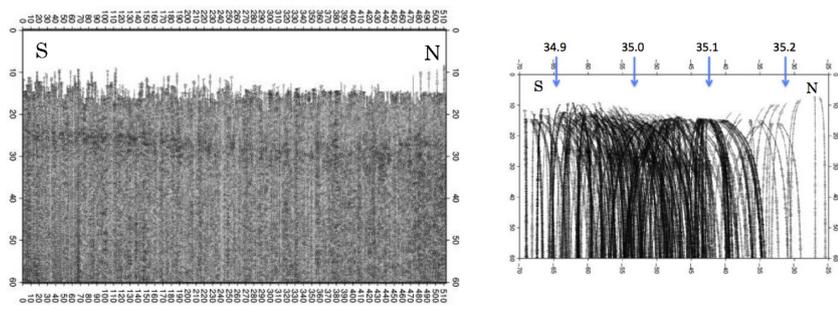


図 3 . 反射断面

図 2 の南北 D-D' 測線における等間隔でトレースを並べたもの (左) と現実の位置にマッピングした反射断面 (右) .

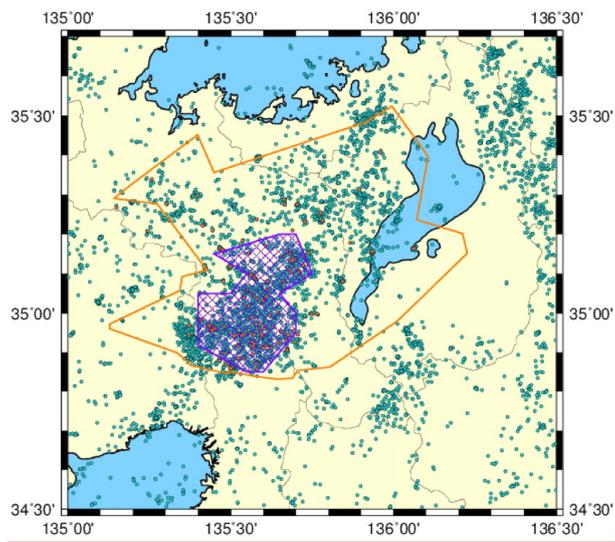


図 4 . 推定された S 波反射面の広がり .

紫色で囲まれた領域が S 波反射面が検知された範囲 , 橙色で囲まれた領域は本解析で反射点が存在し得る範囲 . 赤丸は , 解析に使用した地震の震央 , 水色は期間内に発生した地震の震央を表す .

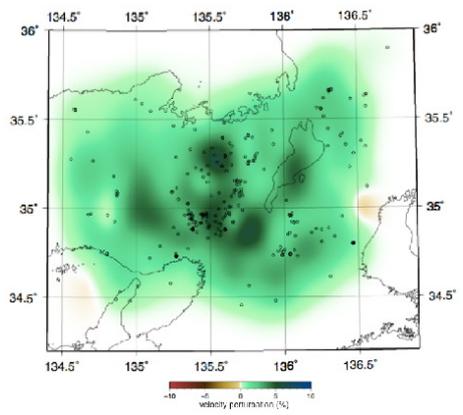


図 5 . 予察的なトモグラフィの結果 .

深さ 6km における P は速度の偏差 .

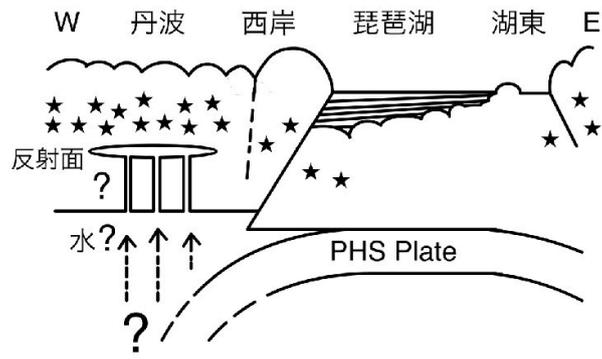


図6．丹波山地から近江盆地に至る東西断面の構造模式図

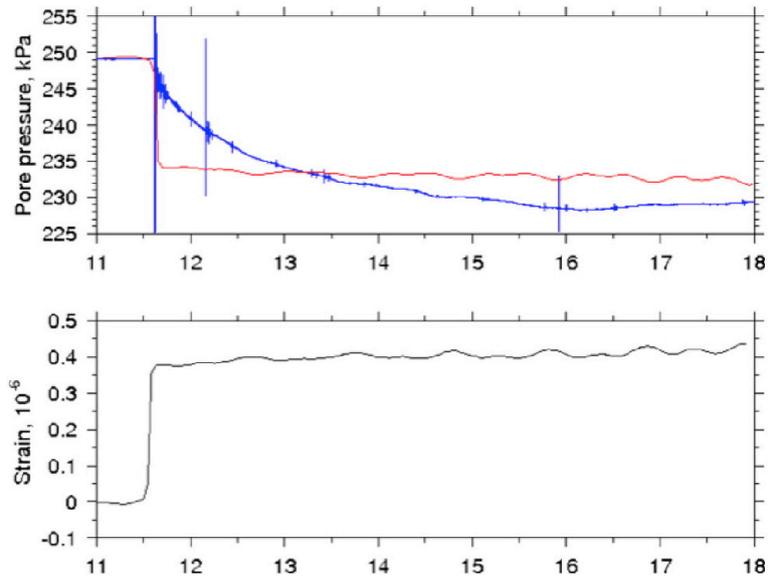


図7．2011年東北地方太平洋沖地震に伴う神岡での(上)間隙水圧変化と(下)ひずみ変化．
ひずみは水平3成分のひずみ変化から面上の面ひずみ変化を計算したもの．上の図の赤線は、非排水条件での間隙弾性的応答のみを仮定して、面ひずみ変化から期待される間隙水圧変化．