

(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：

飛騨山脈における地殻流体の動きの解明

(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

(1) 日本列島及び周辺域の長期・広域の地震・火山現象

ウ．広域の地殻構造と地殻流体の分布

(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：

地殻における局所的な非弾性変形が、周辺に応力集中を発生させ、地震活動を引き起こすと考えられている。局所的な非弾性変形には地殻流体が関与している可能性が高いと推定される。本研究は、水やマグマなど地殻流体と地震活動の関係を明らかにすることを目指す。飛騨山脈では、立山と白山の間の跡津川断層、御嶽山麓の長野県西部地震など、火山と地震活動に密接な地理的關係があるように見え、火山活動に関連した地殻流体が地震活動を引き起こしている可能性がある。跡津川断層では、断層周辺の浅い地震活動と、地殻流体の動きを反映していると考えられる飛騨山脈深部の地震活動の関連を明らかにし、併せてマグマ供給系の解明もめざす。これにより、断層の両端部の非弾性変形と断層への応力集中過程の關係の理解が進むと期待される。長野県西部地域では、精細な地震波速度構造と地震活動との關係を明らかにし、地震波速度構造等の時間変化から地殻流体の動きの解明を目指す。さらに、地殻流体の流動形態に時間変化が生じれば、地表面における自然電位異常の変化が期待されることから、地表における地電位差連続観測網による流体流動のモニタリングを試みる。

(6) 本課題の 5 か年計画の概要：

[平成 21 年度]

・跡津川断層と飛騨山脈に位置する立山火山周辺においては、既往研究で行われた地震観測との継続性を保ちながら、通年の観測をめざす。同じく飛騨山脈の焼岳火山周辺においては山体近傍でのあらたな臨時地震観測点の選定を行う。跡津川断層西端の白山火山周辺での臨時地震観測の可能性の検討を行う。長野県西部地域では、高サンプリング高密度の稠密地震観測を継続するとともに、既存データの解析を進める。長年蓄積されているデータを同一のアルゴリズムで再処理・再読み取りして、均質なデータセットを作成する。これらのデータを用いて、低速度異常域を精細にマッピングするとともに、その周辺の応力場の不均質性を、応力インバージョンや波形解析から推定する。実施済みの電磁

気探査データ (広帯域 MT、AMT、ネットワーク MT など) の収集・コンパイルをし、比較的浅部 (5km 深程度まで) の 3 次元比抵抗イメージングを行う。

[22 年度]

・立山周辺での臨時地震観測の継続と、焼岳周辺での通年観測の開始。双方における短周期イベント、低周波イベントの詳細な震源分布や発震機構の解析。前年の検討結果に基づく白山周辺での地震観測。長野県西部地域では、高サンプリング高密度の稠密地震観測を継続するとともに、既存データの解析・処理を進める。低速度異常と周辺の応力場の空間的な不均質性を、より高分解能でマッピングするとともに、それらの時間変化の検出を試みる。浅部比抵抗構造・地震波速度構造を参照し、電位差モニタリングに最適な電位差観測点を選定・設置し、観測を開始する。

[23 年度]

・立山、焼岳、白山周辺での地震観測の継続と、詳細な震源分布や発震機構の推移の解析を行う。長野県西部地域では、地震波速度構造や応力場の時間変化の検出を行うとともに、電位差観測網データを長基線電場データとして利用し、深部 (10 数 km 深まで) の比抵抗イメージの高度化を行う。

[24 年度]

・立山、焼岳、白山周辺での地震観測の継続と、詳細な震源分布や発震機構の推移の解析を行う。長野県西部地域では、地震波速度構造や応力場の時間変化の検出を継続するとともに、電位差モニタリングを継続し、電位異常の有無を確認するとともに、ソースの推定・発生メカニズムについてのモデル化を行う。

[25 年度]

・立山、焼岳、白山周辺での地震観測の継続と、詳細な震源分布や発震機構の推移の解析、および、これらと、跡津川断層の地殻活動の関係の検討を行う。長野県西部地域では、地震波速度・比抵抗の統合モデリングにより、地殻流体の動きの解明を行う。

(7) 平成 22 年度成果の概要：

長野県西部地域においては、地殻の不均質構造と地震活動との関係を明らかにし、地震波速度構造等の時間変化から地殻流体の動きを解明することが目的である。今年度は、地震波トモグラフィーで捉えられた顕著な低速度異常域とその周辺において、応力場の空間的な不均質性を高分解能でマッピングして、低速度異常域で生起していることを推定した。

1995-2007 年に発生した地震約 3 万個の中から、P 波の極性が 15 点以上読み取られており、メカニズム解の節面の方位の誤差が 10 度以内である 1497 個のデータを用いた。0.5km おきのグリッド点を中心とした一辺 1km の立方体のメッシュ内の応力場を一樣と仮定して、グリッドサーチにより応力場を推定した。メッシュ内に 11 個以上のデータのある点について、平面図を図 1 に、長野県西部地震の断層に直交する断面図を図 2 に示す。応力比 $R = (\sigma_1 - \sigma_2) / (\sigma_1 - \sigma_3)$ を○の大きさおよび色で図示しているが、大局的な傾向としては、R は北部で小さく南部で大きい。また、Yukutake et al.(2010) によって指摘されているように、北部を中心に逆断層型の応力場が卓越するが、震源断層沿いにおいては横ずれ型の応力場が見られる。そして、横ずれ型の応力場において応力比が大きくなっている。

より詳しく見ると、ところどころに応力比の小さな異常点があることが分かる。さらに、その点においては、最大圧縮応力軸が水平から外れたり、その方位が周囲と大きく異なっていたりする傾向がある。日本の内陸では、最大圧縮応力は水平面内にあるものが多いが、長野県西部地域では震源が非常に浅いため、基本的にはその傾向はより顕著である。実際に、最大圧縮応力軸の方位および傾斜、中間主応力軸の傾斜との応力比の頻度分布を図 3 に示したが、最大圧縮応力軸の傾斜はゼロ周辺に集中している。しかしながら、20~30 度に小さなピークが存在する。また、R についても、多くのデータは 0.5 付近に集中しているが、0.4 より小さいところに小さなピークが存在する。これらの小さなピークが、図 1 と 2 で見られた、応力比が小さく最大圧縮応力軸が水平から外れているデータに対応している。

R<0.4 でかつ最大圧縮応力軸の傾斜が 20 度より大きいものを図 1，2 において、R1~R5 でマークし、

これらの周囲の地震波速度構造(昨年度報告書参照)との関係を調べてみた。昨年度の研究により、大規模な低速度域においては地震活動が低く、非弾性的な変形が起こっていると推定されるのに対して、地震は高速度域内の局所的な低速度域の近傍で発生する傾向にある。図4に典型的な例として、R3を通り断層に直交する断面での応力場とP波速度偏差を示す。応力場の異常点は、低速度異常域の端付近で地震活動が少し存在するところに対応している。このことは他の点でも系統的に見られている。このことから、低速度異常域付近の応力場の異常については、図5に模式的に示すような可能性が考えられる。低速度異常域の中央部では水が豊富に存在し、水の効果により、色々な向きを持った多数の小さな断層面で非地震性すべりが起こり、領域全体として非弾性変形が進行する。大局的な応力場は逆断層型であるので、これは水平方向には短縮し上下方向に伸びる変形であり、そのため、水平に隣接する領域では水平面内応力が緩和、鉛直に隣接する領域では水平面内応力が増加すると考えられる。一方、低速度異常域の端付近では、異常域の中央部に比べて水の量が少ないので、非地震性すべりは限られたところでしか発生しない。断層の一部で発生した非地震性すべりはその延長にある固着した部分に応力集中を起こし、そこで小さな地震が発生する。これらの地震を発生する応力場は、異常域中央部の応力緩和により、応力比の小さなものとなっていると考えられる。

地震の震源分布には、マイグレーションなど時間変化が見られるため、応力場についても時間変化している可能性が考えられるが、まだその変化の検出には至っていない。長野県西部地震の震源断層北東端付近において、電位差の長基線モニタリングを継続している。3次元比抵抗モデルと自然電位マッピングならびに長基線電位差測定、それぞれについて対応関係の検討を開始した。

飛騨山脈地域については、立山周辺での臨時地震観測を継続するとともに、焼岳周辺での通年観測を6カ所で開催した。焼岳での観測は、現地観測方式なので、最初のデータ回収は2011年初夏の予定である。既存観測点のデータを使用して、短周期イベント、低周波イベント等の震源分布等の解析を継続したほか、焼岳周辺の連続記録データを使用した地下構造の時間変化検出の解析を開始した。

(8) 平成22年度の成果に関連の深いもので、平成22年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：

Yukutake, Y., Y. Iio, and S. Horiuchi (2010), Detailed spatial changes in the stress field of the 1984 western Nagano earthquake region, *J. Geophys. Res.*, 115, B06305, doi:10.1029/2008JB006111.

飯尾能久, 内陸地震の発生過程の解明, *自然災害科学*, 28-4, 284-298, 2010.

(9) 平成23年度実施計画の概要：

・立山、焼岳、白山周辺での地震観測の継続と、詳細な震源分布や発震機構の推移の解析を行う。長野県西部地域では、地震波速度構造や応力場の時間変化の検出を行うとともに、電位差観測網データを長基線電場データとして利用し、深部(10数km深まで)の比抵抗イメージの高度化を行う。

(10) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

飯尾能久, 大見士朗, 吉村令慧, 大志万直人, 西上欽也(京都大学防災研究所)

他機関との共同研究の有無：有

笠谷貴史(JAMSTEC), 久保篤規(高知大学), 松本 聡(九州大学), 桑原保人(産総研), 堀 貞喜
関口渉次(防災科研)

(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

電話：0774-38-3348

e-mail：

URL：

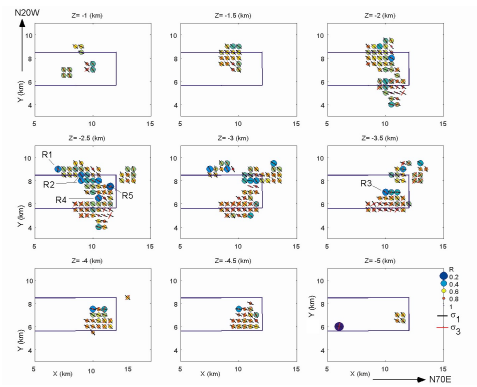


図1 応力逆解析により推定された長野県西部地域の応力場 (平面図)

実線は Yoshida & Koketsu(1990) による推定断層面 を水平面に投影したもの (実際の断層面は約 1km 南と推定される)．断層は北落ちで東部のみ表示．黒太線と赤実線はそれぞれ最大圧縮応力と最小圧縮応力の方向を示す．R(応力比) を○の大きさと色で示す．R1～R5 は応力場が異常な領域．

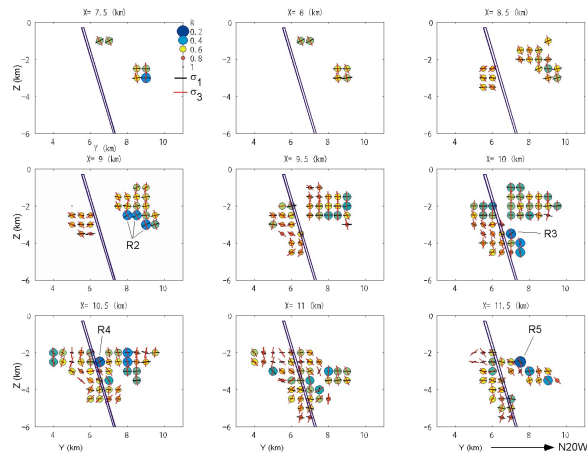


図2 応力逆解析により推定された長野県西部地域の応力場 (断層に直交する断面図)

シンボルは図1 と同じ．

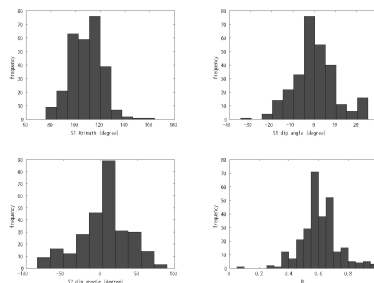


図3 最大圧縮応力軸の方位および傾斜，中間主応力軸の傾斜との応力比の頻度分布

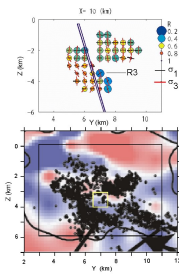


図4 応力場とP波速度偏差

R3を通る断層に直交する断面．P波速度偏差は Doi et al.(2009) による．

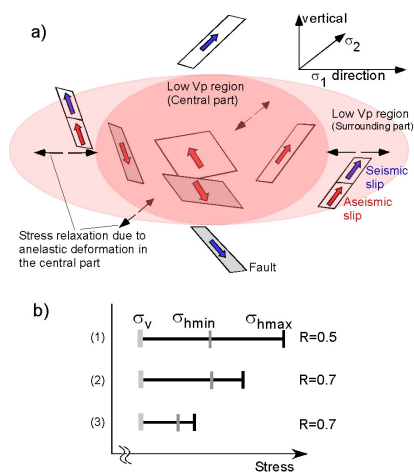


図5 a) 低速度異常域とその周辺で生起している現象の模式図．ピンク色が低速度異常域．四角は小さな地震の断層面，赤矢印は非地震性すべり，青矢印は地震すべり，ペアになった矢印は低速度異常域における非弾性変形による応力緩和．b) 推定される応力状態．(1) 通常の領域．(2) (3) 低速度異常域の端付近．