

(1) 実施機関名：

北海道大学

(2) 研究課題(または観測項目)名：

衝突帯における火山フロントでの地殻強度異常場のモデル化

(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

(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

(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

(1) 日本列島及び周辺域の長期・広域の地震・火山現象

エ．地震活動と火山活動の相互作用

(2) 地震・火山噴火に至る準備過程

(2-2) 火山噴火準備過程

ア．マグマ上昇・蓄積過程

(5) 本課題の 5 か年の到達目標：

北海道東部の活動的火山の間には、東北地方と違って脊梁山脈や火山をつなぐような活断層が存在せず、内陸地震はカルデラ内部にのみに集中して発生するという特徴がある。このような特徴を生み出すメカニズムを、弟子屈・屈斜路カルデラ地域をテストフィールドとして高密度・高精度な震源分布・地殻構造・地殻変動・重力構造・地質地形・熱構造データから明らかにする。内陸部のひずみ蓄積過程に大きな影響を及ぼすと考えられる海溝域でのプレート間カップリングの不均質性やセグメンテーションについても検討するほか、対象地域が活動的なカルデラであることからマグマ蓄積過程と内陸地震の発生環境についても視野に入れたモデル化を目指す。

(6) 本課題の 5 か年計画の概要：

平成 21 年においては、ひずみ蓄積マッピングを行うための GPS 観測を 6 点程度において開始する。また、既存地震観測点のうち 1 箇所を広帯域化するとともに、1938 年屈斜路地震断層を横切る測線で MT 探査を実施する。また、地震観測点の配置状況について検討し新たな観測点設置にむけた机上調査を実施する。

平成 22 年度においては、GPS 観測を継続するとともに、1938 年屈斜路地震断層の航空写真による変動地形調査および基本的な地表地質調査を実施する。新たな地震観測点設置に向けた現地調査を実施し、可能であれば設置作業を行う。

平成 23 年度においては、GPS 観測を継続するとともに、既存の重力・熱構造データに観測で得られたひずみ場や震源分布のデータを加味して地下構造の初期モデルを作成する。また、1938 年屈斜路地震の断層モデルの推定を行う。

平成 24 年度においては、GPS データの本解析を行うとともに、解析範囲を北海道東部の広域に拡大し、根室沖でのプレートカップリングを加味したひずみ蓄積モデルの構築を目指す。また、1938 年屈斜路地震地表面断層においてトレンチ調査を実施し、その断層パラメータについての情報を得る。

平成 25 年度においては、上記データを統合して、屈斜路地域に集中して地震が発生することを説明し得るモデルを作成する。

(7) 計画期間中 (平成 21 年度 ~ 25 年度) の成果の概要 :

北海道東部の火山フロントに位置する屈斜路カルデラは、1938 年以降に M6 クラスの地震が 4 回集中して発生している特異な地域である。地震が集中して発生した原因を検討するため、地球物理学的・地質学的・地球化学的調査と有限要素法を用いた地殻変動特性の検討を実施した。

カルデラ周辺の詳細な地下構造を明らかにするため高密度の MT 探査・重力探査を実施し上部地殻の三次元的比抵抗構造とブーグ異常を推定した。MT 構造探査では上部地殻の 3 次元的比抵抗構造が推定され、表層の火山噴出物に相当する高比抵抗層に続き第三紀層に相当する低比抵抗域、その下部に高比抵抗域を示す構造となっていることが明らかにされた。また、屈斜路カルデラ内に形成された後カルデラ火山であるアトサヌプリカルデラ直下の下部高比抵抗層の中に顕著な幅 10km 程度の低比抵抗を示す領域が推定された。この低比抵抗領域は、マグマなどの火山性流体の存在を示唆するものである。アトサヌプリカルデラでは、1994 年に顕著な群発地震が発生したが、国土地理院による衛星干渉 SAR の解析により同時期にマグマ溜りの膨張を示唆する膨張とそれに引き続く収縮を示す地殻変動が検出された。これらの結果は、アトサヌプリ火山下の上部地殻内にマグマ溜りの存在を強く示唆し、その内部圧力変化は周辺の応力場を変化させるため、地震発生誘因となる可能性がある。

MT 構造探査の結果から、1938 年屈斜路地震の震源域が低比抵抗域と高比抵抗域の境界に位置していることが明らかになった。重力データ解析によるブーグ異常からは、カルデラの基盤構造を示す同心円状の顕著な低重力異常構造が詳細に明らかにされ、1938 年屈斜路地震の震源域では特に大きな重力勾配となっていて広域的な基盤構造の境界となっている可能性が示された。また、より浅部の地下構造をターゲットとした基盤地質構造の調査を実施し、深さ 1000m 程度までの新第三系の陥没構造や貫入岩体の分布などの幾何形状を詳細に明らかにした。1938 年屈斜路地震時に現れた地表面断層の地形地質学的調査と地下レーダー探査を実施したが、同一断層での繰り返しを示唆するようなデータは得られず、明瞭な断層を示すリニアメントや地下構造が抽出されなかったことからトレンチ調査は見送った。また、1959 年弟子屈地震の波形解析から震源メカニズム推定を実施し、これまで知られていた横ずれ型ではなく逆断層型であったことを明らかにした。この情報を参考に平成 25 年度に 1938 年屈斜路地震時に湖岸で観察された地殻変動を用いた断層モデルの検討を行ったが、単一断層モデルでは観測値を再現することが困難であった。地殻の弾性的性質に大きな影響を与える浅部熱構造の推定に関連する地下水流動系を明らかにするため、平成 25 年度に水素・酸素同位体比測定および地下水流動モデリングを実施した。その結果、カルデラ内を起源とする流動系とカルデラ外を起源とする系の 2 系統が存在することが明らかになった。

地震発生ポテンシャルの指標のひとつであるひずみ場を明らかにするために、屈斜路カルデラで GPS 機動観測を実施するとともに、国土地理院 GEONET データを含めた解析を実施して地殻変動場を求めた。また、広域的なひずみ場の特徴について検討するため、国土地理院 GEONET の F3 解を用いたひずみ場解析を実施した。半無限弾性体を仮定した太平洋プレート固着による広域的なひずみ場のモデル計算からは、北海道東部上盤側プレートでのひずみ速度が大きな領域は火山フロント付近にそって帯状に分布することが期待された。一方、観測データによるひずみ速度場からは、屈斜路カルデラ周辺に収縮ひずみが集中していることが明らかにされた。この傾向は特に面積ひずみで顕著であり、地下構造の不均質性がひずみ速度場の空間特性に影響を与えていることが示唆された。また、GPS 機動観測により求められた詳細な地殻変動場からは、カルデラ内部に伸長場と収縮場が混在していて複雑な変形様式を呈することが明らかになった。アトサヌプリ火山周辺の観測点では特に大きな収縮速度が得られており、地下構造探査の結果明らかにされたマグマ溜り等の火山性流体の活動に関連してい

る可能性がある。

平成 25 年度はこれまでに得られた地下構造データを用いて、カルデラ構造が応力場に与える影響を地殻変動のモデリングにより検討した。モデル計算には 2 次元の有限要素法を利用し、弾性体媒質を仮定してカルデラの陥没構造形状と弾性定数を変化させた場合の応力分布の空間特性について検討したほか、地下構造探査で見出されたマグマ溜りの影響についても検討を行った。カルデラの形状は比抵抗構造・ブーゲ異常・基盤地質モデルを参考に設定し、カルデラ内部には堆積層を仮定したうえ、カルデラ底面の深さを変化させて応力分布の空間変化を計算した。弾性定数は地震波速度構造をベースにして、カルデラ充填堆積物と基盤岩について試行錯誤的に組み合わせを変化させた。マグマ溜りは弾性定数を小さくすることで表現した。境界条件は、千島海溝での太平洋プレートの固着を想定した一定変位を解析領域右端のノードに与え、領域下端と左端境界の変位は固定し地表は自由表面とした。この条件による 2 次元断面での応力分布を観察したところ、応力分布の空間特性は陥没構造の幾何学的な形状に大きく依存すること、カルデラ縁辺部に応力の集中が見られること、弾性定数の変化は応力の空間分布に大きな影響を与えないものの相対的な値には変化が見られること、マグマ溜りを仮定した場合にも応力の空間分布には顕著な変化は見られないこと等が明らかにされた。これらの結果から、カルデラ生成による基盤岩の落ち込みで特徴づけられる幾何学的形状が応力集中の空間特性に大きな影響を与えている可能性が示された。また、応力集中が見られたカルデラ縁辺部はこの地域で発生した地震の震源域と一致することから、カルデラという特異な構造が応力集中の素因となっている可能性が示唆された。

(8) 平成 25 年度の成果に関連の深いもので、平成 25 年度に公表された主な成果物(論文・報告書等)：
Ohzono, M., H. Takahashi, Spatiotemporal strain distribution around Kussharo caldera, eastern Hokkaido, Japan, measured by GPS, IAVCEI, 1W_2F-P18, Kagohsima, Japan, July 21, 2013.

(9) 実施機関の参加者氏名または部署等名：

北海道大学大学院理学研究院附属地震火山研究観測センター 高橋浩晃，茂木透，谷岡勇市郎，勝俣啓，橋本武志，青山裕，村上亮
他機関との共同研究の有無：有
北海道立地質研究所 田近淳ほか 7 名

(10) 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：北海道大学大学院理学研究院附属地震火山研究観測センター
電話：011-706-3212
e-mail：isv-web@mail.sci.hokudai.ac.jp
URL：http://www.sci.hokudai.ac.jp/grp/isv/isv-web/

(11) この研究課題(または観測項目)の連絡担当者

氏名：高橋浩晃
所属：北海道大学大学院理学研究院

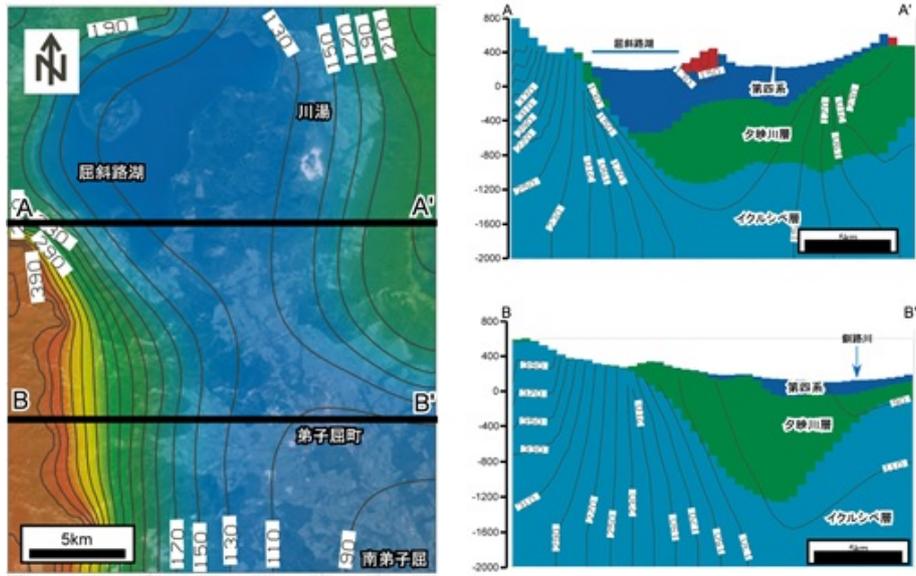


図 1
地下水流動モデリングおよび水素酸素同位体比から推定された屈斜路カルデラの地下水流動系。

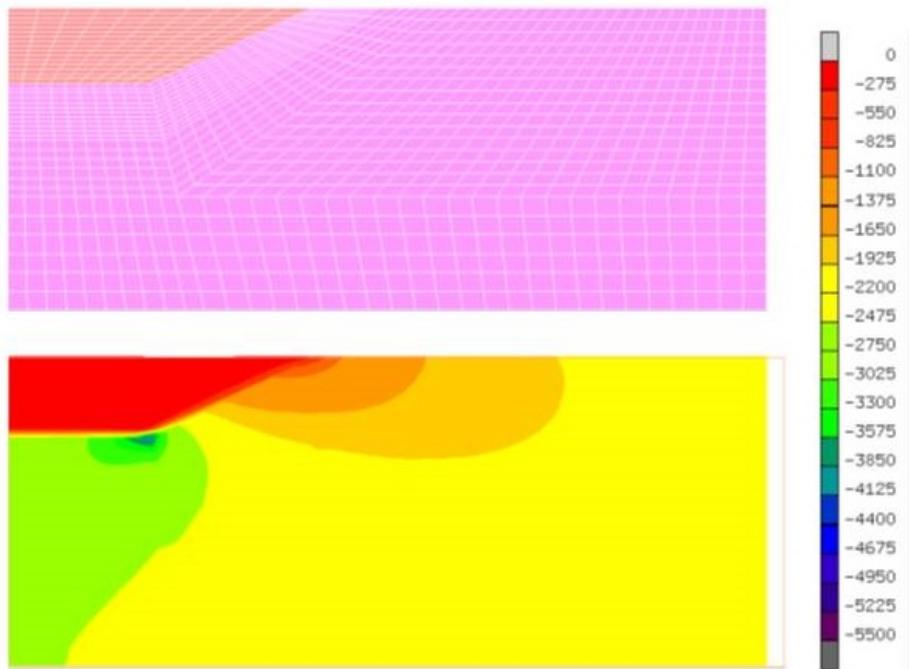


図 2
2次元有限要素法によるカルデラの陥没構造による水平方向応力の空間分布．カルデラ縁部に応力の集中が見られる．