

(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歪蓄積モデルの構築を目指す。また、1938 年屈斜路地震地表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うるモデルを作成する。

(7) 平成 23 年度成果の概要：

○ 広域ひずみ場の調査

国土地理院 GEONET の F3 解を用いて、北海道東部地域のひずみの時空間変化について検討を行った。この地域の歪は、太平洋プレートと上盤側プレートのカップリングにより駆動されている。三角点のデータを用いた解析結果からは、太平洋プレートの沈み込みに伴う $4 \times 10^{-7}/\text{yr}$ 程度の北西 - 南東方向に主方向をもつ圧縮歪が卓越することが知られている（たとえば、石川・橋本，1999）。

解析を行った期間は、データが利用可能な 1996 年から 2011 年までである。今回の解析では、各観測点での座標値として日毎の F3 座標値から適宜 1 週間程度の期間での平均座標を算出し、その各期間における差分を入力データとして Shen et al. (1996) の手法を用いて距離減衰定数は 30km としてひずみ場を推定した。太平洋プレートは沈み込み角度をもった面においてカップリングしているため、広域的なひずみの分布は沈み込むプレートの幾何形状とカップリング率の空間変化の影響を受けていると考えられる。太平洋プレートは帯広付近よりも東側でほぼ一定の沈み込み角度をもつことが推定されていることから、対象地域である北海道東部ではひずみの空間パターンは基本的にトレンチ軸に平行となるはずである。図 1 には、この地域の単純化されたごく平均的なプレート沈み込み形状を用いた場合に地表面における面積ひずみと最大せん断ひずみのモデル計算結果を示す。面積ひずみで見ると、火山フロントにそった地域が負の目玉となり、最大せん断ひずみでも同様な地域が正の目玉となる。また、主歪においても同じ領域が北西 - 南東方向に主軸をもつ圧縮歪の最大値が期待される。

GPS のデータから推定された面積ひずみと最大せん断ひずみの分布図を図 2 に示す。面積ひずみの分布を見てみると、屈斜路カルデラから阿寒カルデラにかけての場所において特に大きな面積の縮小を示すひずみが観測されていることがわかる。一方、最大せん断ひずみは、面積ひずみほど集中しているようには見えない。この解析を行った期間には、ひずみ集中が見られた地域において M4.0 以上の地震は発生しておらず、地震活動によって歪場が乱された可能性は考えづらい。しかしながら、マグニチュードの小さな地震は特に雌阿寒岳の南方にある徹別岳付近を中心として火山フロントに沿って多数発生している。

これらの結果は、北海道東部において太平洋プレートの沈み込みにより形成される広域的なひずみ場の中で屈斜路カルデラから阿寒カルデラにかけての地域が、ひずみが特に集中しやすい「ひずみ集中域」となっていることを示唆する。この地域には第四紀火山が複数存在し地温勾配も高い（北海道立地下資源調査所，1995）。また、昨年度までに報告済みであるが、屈斜路カルデラの中心部にあるアトサヌプリ火山の直下にはメルトの可能性のある低抵抗を示す物質の存在が推定されている。地震活動では 1938 年以降に M6 クラスの浅発地震がこの場所に集中して 4 回発生している。

この場所で選択的にひずみ集中を起こす機構については、太平洋プレートのカップリングの空間的な不均質、あるいは、下部地殻および上部マントルでの強度異常がその候補としてあげられる（たとえば、Iio et al. 2004）。この地域で観測される高い温度勾配と活動的な火山群の存在は、弾性層の厚さがかなり薄い可能性を示唆しており、温度構造の検討は今後の大きな課題である。また、高密度な地震観測点データを用いて詳細な震源を決定し、特に深さ方向の下限についても検討を行う必要がある。面積ひずみに比べてせん断ひずみでほとんど集中が見られない観測結果は、この地域がせん断ひずみを貯められないような何らかのメカニズムが働いている可能性を示唆するが、過去の地震活動はそれに調和的でない。本研究で展開している GPS 観測点のデータを活用してより詳細な歪場を求めるとともに、過去の地震のメカニズム等を検討することが必要である。また、弾性層の厚さを含めた深さ方向の強度分布について温度や震源を始めとした地表面で得られるデータを基に検討を行うことも望ま

れる．

○ G P S 観測の継続

これまでに引き続き屈斜路カルデラ内部の詳細なひずみ時間変化を追跡するため G P S 観測を 5 箇所で継続した．このうち 2 点においては機器の老朽化のため故障が発生しデータに欠測が生じたが交換により観測を再開した．これらのデータは来年度から開始する屈斜路カルデラ周辺の詳細なひずみ分布解析に向けて利用される予定である．

○ 1938 年屈斜路地震断層の地形地質調査と断層モデルの検討

対象地域で 1938 年に発生した屈斜路地震 (1938, M6.0) 地表断層に焦点をあて地形地質に関する検討を (地独) 北海道総合研究機構地質研究所と共同で実施した．今年度は，1938 年に出現した地震断層のうち，和琴半島付近の状況について調査を実施した．位置特定のため既存資料収集・地表踏査・地下レーダー探査を実施し，地震時に地変が現れた場所の浅部地下構造に関するデータを収集した．当時の写真などを参考にして候補地を選定し，地下レーダーを用いて複数の測線において探査を実施したが，断層構造を示すような明瞭なコントラストは認められなかった．また，1938 年地震時に現れた地変の情報をもとに断層モデルの検討を試みた．屈斜路湖が天然のレベルとなって，湖岸の明瞭な沈降や隆起が観察されているが，それを十分に説明できるような断層モデルの推定には至らなかった．観察された地変が断層運動そのものではなく，特に側方流動に伴う地すべり性のものであった可能性もあり，来年度以降はそのような可能性も含めて再度検討を行う予定である．

○ 熱構造推定のための温度検層データ収集と予察的検討

当該地域はカルデラに位置しており，熱的異常が地震発生および前述したひずみ集中機構に影響を与えていることも考えられる．当該地域には主に地熱開発や温泉利用を目的とした井戸が多数存在していることから，それらの掘削時に得られた温度検層に関するデータの収集を実施した．これまで地質研究所がデータベース化している 60 か所に加え，今回現地調査で 10 か所のデータを収集した．屈斜路カルデラは東西径約 26km，南北径約 20km の馬蹄形を示しており，カルデラ壁の南壁側の境界は明瞭ではない．カルデラ内の中央部にはアトサヌプリ火山を中心とした溶岩円頂丘群が存在する．カルデラ内にはアトサヌプリ，湯沼，ポンポン山，和琴地獄等の噴気を伴う地熱兆候地や和琴，コタン，池の湯，砂湯，仁伏，川湯等の多くの自然湧出の温泉が分布している．本地域の放熱量の大部分は噴気活動などの現在も続く屈斜路カルデラ内の火山活動によってもたらされているものと推定される．

図 3 には温度プロファイルを示した．温度プロファイルの形態は大まかには 3 つのタイプに分類できる．第 1 は地下浅部の温度勾配が極めて大きく，深部で勾配が小さくなるタイプ，第 2 は地下浅部での地温勾配が小さく深部で大きくなるタイプ，第 3 は温度勾配がほぼ一定で直線的に温度上昇するタイプである．これらの 3 つのタイプはそれぞれ熱水対流系における上昇流型温度分布，下降流型温度分布，伝導型温度分布と呼ばれている．そのほか，アトサヌプリ周辺のコタン，池の湯，砂湯，仁伏，川湯等では浅部の狭い区間で高温泉が流動する側方流動型温度分布を示す．

カルデラ内では，アトサヌプリ等の高温の噴気を伴う地熱兆候地の近傍で上昇流型温度分布を示している．カルデラ壁近傍やカルデラ内の一部の坑井では，伝導型温度分布を示すが，カルデラ内の広い範囲では地表水あるいは天水の下降によって冷却された下降流型温度分布を示している．これらの坑井では，低温部から温度上昇への変換点が，高透水性の地層と低透水性の地層の境界部となっており，この付近で下部からの熱供給量が，上部層の冷却の効果を上回っているものと推定される．

カルデラ内では火山性流体や熱水・地下水の循環流動によって熱の移動が行われていることが明瞭である．冷却系である浅部の高透水層の厚く発達した地域でも地表に噴気孔や高温泉が存在するのは，地下深部からの上昇通路が溶岩円頂丘の火道や断裂系中のセルフシーリングされた部分にあたり，周辺からの冷却から保護されているためと考えられる．

カルデラ外の温度プロファイルは，弟子屈温泉の中心部の坑井で上昇流型や一部で側方流動型温度分布を示すが，それ以外では伝導型の温度分布となっている．

○ 弟子屈地域の 3 次元比抵抗構造

今年度は，同地域において比抵抗構造モデルの 3 次元化を試みた．得られた 2 次元構造を基に 3 次

元構造を構築し、3次元フォワードモデリングを行った。3次元構造モデルは地下25層からなる。解析範囲の中心には深さ約5kmを過ぎたあたりから抵抗値の低い領域が現れ、それは次第に広がって行く。その比抵抗値と温度圧力条件から、アトサヌプリ火山の直下にメルトあるいはその周辺に広がる熱水循環域を含む領域の存在が推定される。観測されている地震の絶対数が少ないながらも、図4に示したように幾つかの深さの水平断面図から、特に低周波地震が液体の存在する領域の外延部で地震が発生している様子がわかる。

地殻変動のモデル計算にはMICAP-G(内藤・吉川, 1999)を用いた。また、図の作成にSEIS-PC(中村・石川, 2005)、国土地理院GEONET F3解および気象庁一元化震源を用いた。

参考文献

Iio, Y., T. Sagiya, and Y. Kobayashi, Origin of the concentrated deformation zone in the Japanese Islands and stress accumulation process of intraplate earthquakes, Earth Planets Space, 56, 831-842, 2004.

北海道立地下資源調所, 北海道地温勾配図, 1995。

内藤宏人・吉川澄夫, 地殻変動解析支援プログラムMICAP-Gの開発, 地震, 52, 101-103, 1999。

中村浩二・石川有三, 2005, 卓上の地震活動解析 SEIS-PC for Windows のこの8年, 日本地震学会 2005年秋季大会講演予稿集 P153, 2005。

Shen, Z. K., D. Jackson, and B. Ge, Crustal deformation across and beyond the Los Angeles basin from geodetic measurements, J. Geophys. Res., 101, B12, doi:10.1029/96JB02544, 1996.

- (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)：
大園真子・高橋浩晃, GEONETデータを用いた北海道におけるひずみの時空間分布, 日本測地学会講演予稿集, P-13, 2011。

- (9) 平成24年度実施計画の概要：

- 屈斜路カルデラ内に設置されたGPS観測点のデータを用いてカルデラ周辺の詳細なひずみの分布を推定する。
- 温度検層データをもとに温度構造モデルの予察的構築を試みる。
- この地域に最適な地震波速度構造を検討し、それを用いて震源再決定作業を行って震源の下限分布の空間的特性についてデータを得る。
- 以上を総合し、この地域にひずみが集中する機構解明のためのモデル化を行うための予察的検討を始める。

- (10) 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

- (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：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/

- (12) 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

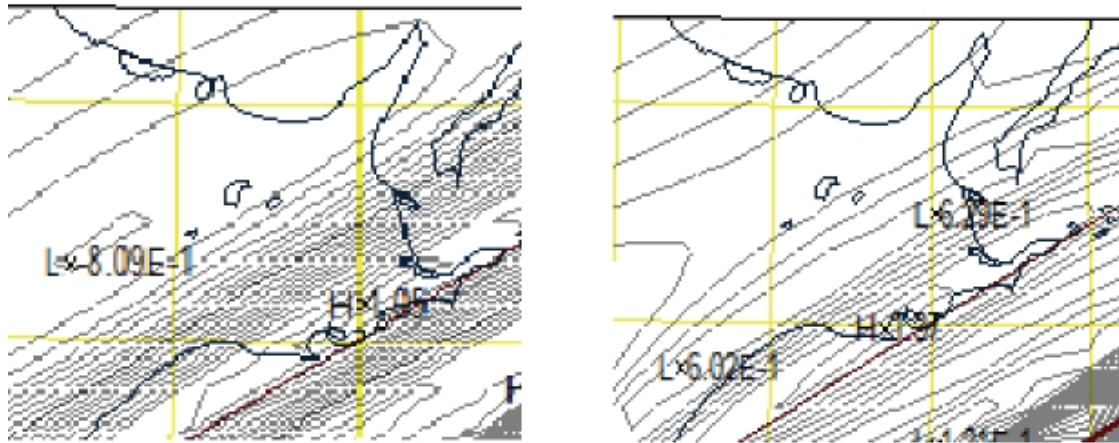


図 1

単純化された太平洋プレートの沈み込みモデルより推定された面積ひずみ（左）最大せん断ひずみ（右）の分布．
深さ 60km まで完全固着として推定した．数値は規格化されているため意味はない．

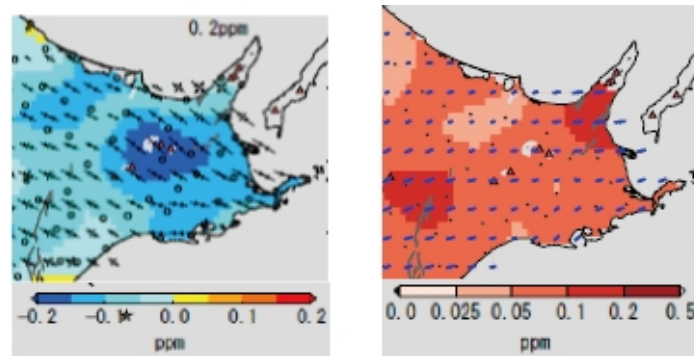


図 2

国土地理院 F3 解と Shen et al., (1996) の手法を用いて推定された面積ひずみ（左）最大せん断ひずみ（右）速度の
分布．

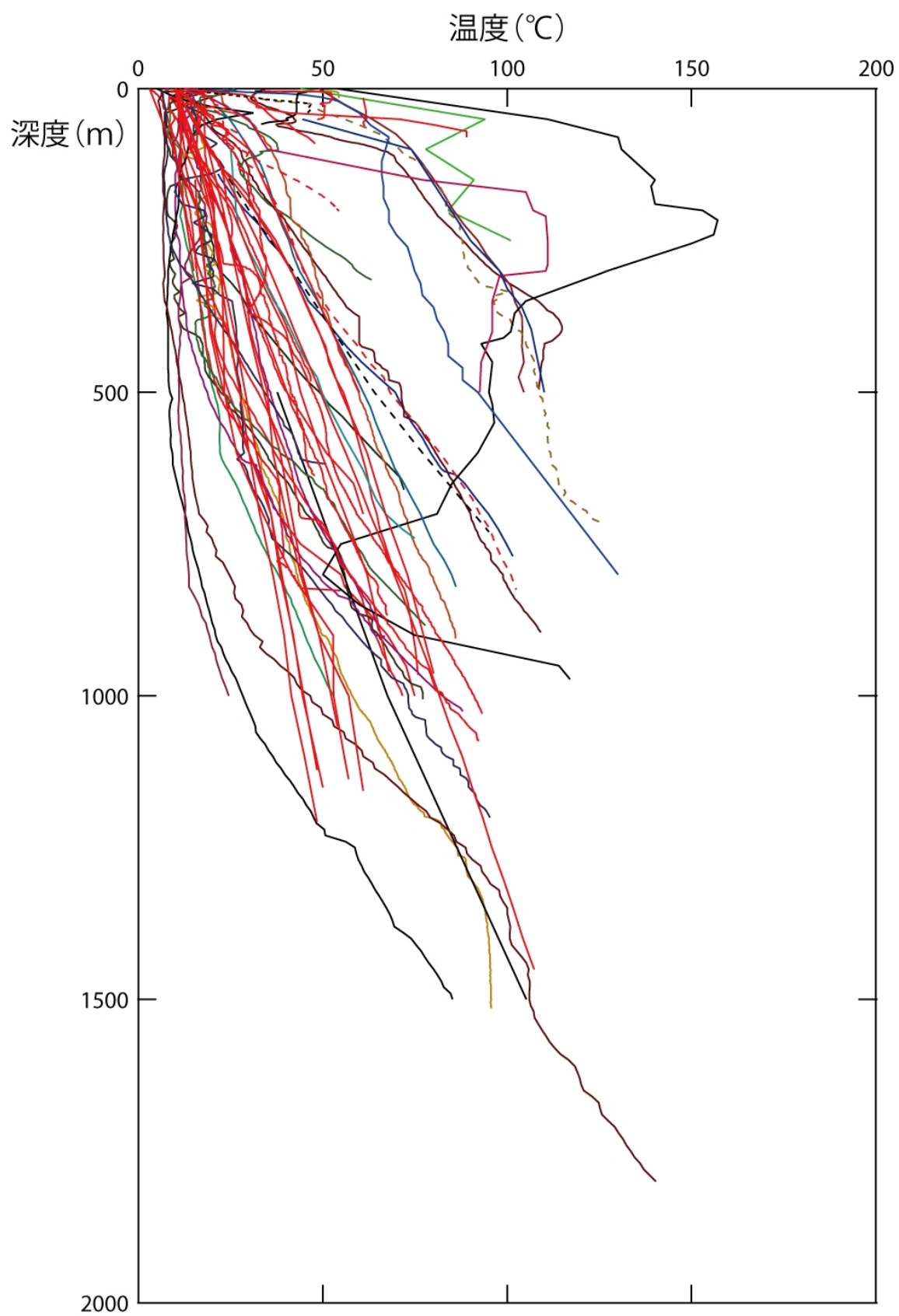


図 3
屈斜路カルデラ周辺の温度検層データに基づく温度プロファイル .

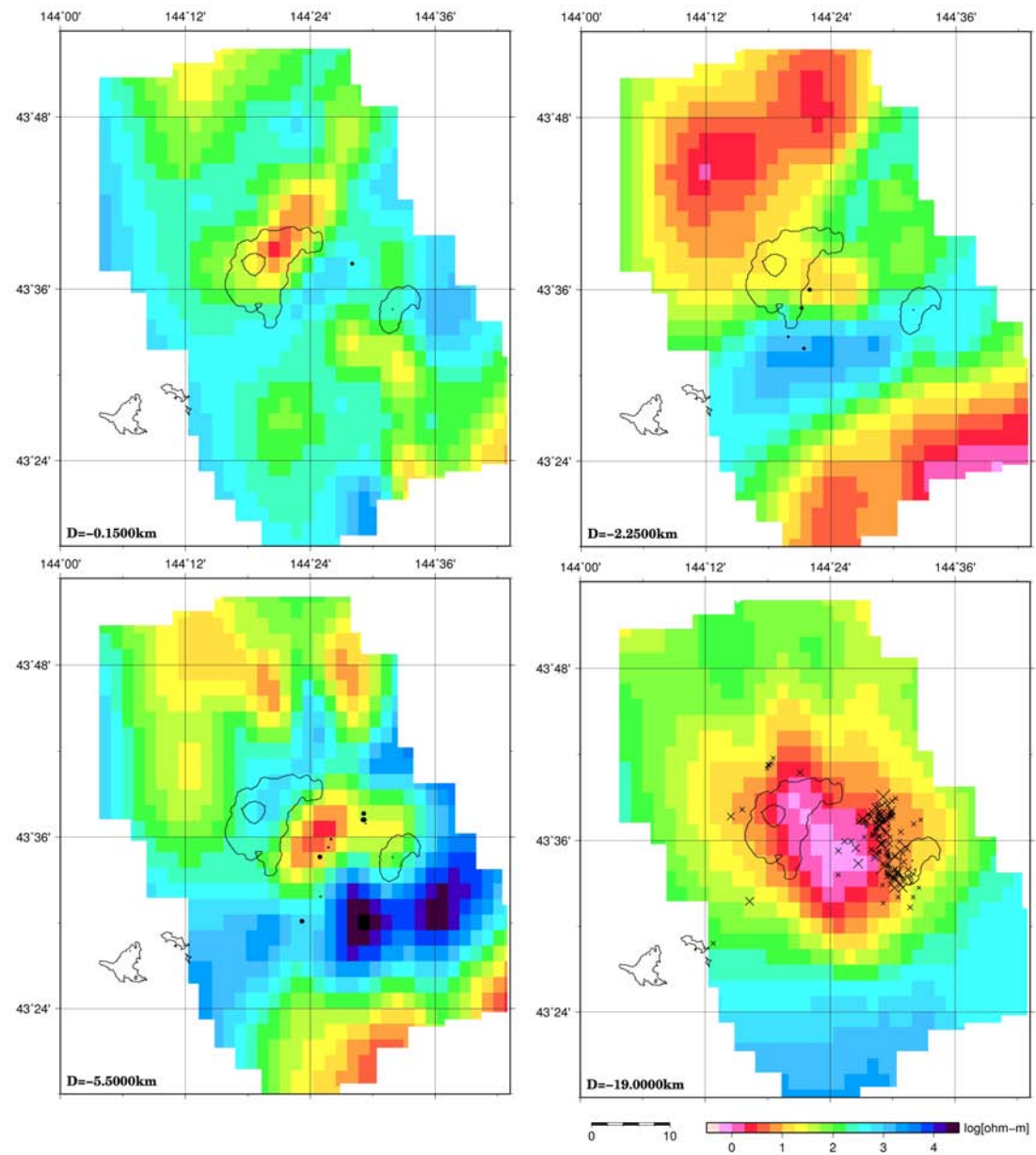


図 4
屈斜路カルデラ地域の三次元比抵抗構造 .