

三成分地磁気異常による青ヶ島火山体内部の磁化構造の研究

○松尾 淳 千葉大学大学院自然科学研究科地球生命圏科学専攻
伊勢崎修弘 千葉大学大学院理学研究科地球生命圏科学専攻
津久井雅志 千葉大学大学院理学研究科地球生命圏科学専攻
藤本 博巳 東北大学大学院理学研究科附属 地震・噴火予知研究センター

The study of magnetization distribution of Aogashima volcano, analyzed by three component-three dimensional geomagnetic field.

Jun Matsuo¹⁾, Nobuhiro Isezaki²⁾, Masashi Tsukui²⁾, Hiromi Fujimoto³⁾

1) Graduate School of Science and Technology, Chiba University

2) Graduate School of Science, Chiba University

3) Reseaech Center for Preduction of Earthquakes and Volcanic Eruptions
Graduate School of Science Tohoku University

Abstract

Aogashima Volcanic Island (AVI) is an active volcano at the southern edge of the Izu Islands Chain. It is located 360km south of Tokyo. AVI is in the shape of an ellipse with an area of 5.23 km², and the total length of the coastline is about 9 km. The most recent volcanic disaster occurred from 1780 to 1785 in the Edo period. It caused villagers to be evacuated from AVI to neighboring Hachijo Island for 50 years.

The fumarolic activity is still found although the remarkable volcanic activities are not observed from the eruption in Edo period volcanic. According to Nishi 1998, these fumarolic activities are expected to show the source which still exists under the ground.

In this study, vector magnetic field anomaly measurement was carried out to detect the low magnetization volume under the ground as the thermal source. As the result, a less than 1 A/m magnetization area was found at the southwest part of AVI at the depth of 1-2 km. Taking the location of fumarolic activities into consideration, the lower magnetization area was expected to be the source of the fumarolic activities of AVI.

(要旨)

青ヶ島は、東京の南 357.7 km、八丈島から 67.7 km の洋上に浮かぶ伊豆諸島最南端の火山島である。面積 5.23km²、周囲約 9km で、北北西－南南東にのびた長径約 3.5km、短径約 2.5km の楕円形の形をしている。青ヶ島では、1780 年～1785 年にかけて噴火活動があり、島民が八丈島に避難している。その後 200 年ほど目立った活動はないが、今も噴煙が確認できる活動的な山である。

この青ヶ島の熱異常については西他(1998)では、「青ヶ島山体内部から熱の供給がないと

現在の温度異常は、説明できない」とされており、地中に熱源の存在を推定している。

本研究は、低磁化を熱源とみなして、その位置を把握することを目的に、三成分地磁気異常測定を実施した。その結果、青ヶ島南西部（三宝港）の付近深部 1 km 以深に、磁化の大きさが 1A/m 以下の低磁化域が分布することが把握された。現在の噴気が確認される箇所と低磁化の位置から、低磁化領域は噴気の熱源であること推定した。

1. はじめに

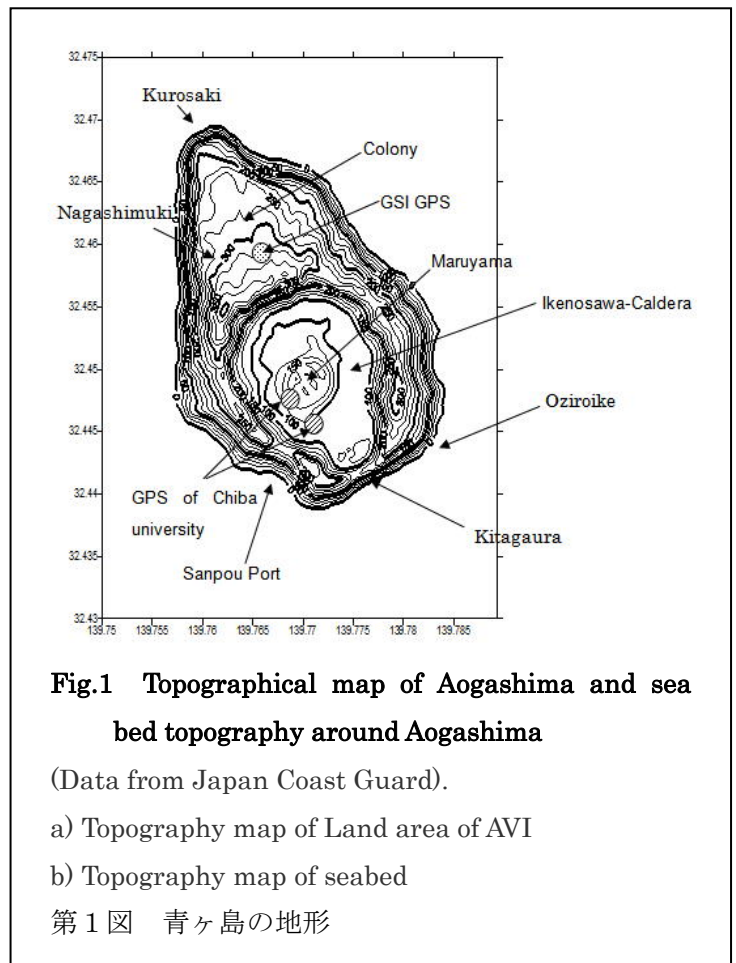
青ヶ島は、伊豆諸島南部の火山島で、東京から約 360km 南、八丈島からは約 70km 南にある。青ヶ島島史(1980)では、1952 年、1670 年、1780-1785 年に噴火の記述があり、とくに、1785 年の江戸天明期には、八丈島に全住民が避難し 50 年後にようやく青ヶ島に帰島するような火山災害があった。

その後約 200 年間、噴火の記録はない。しかしながら東京都防災会議(1990)によると、大島や三宅島のように噴火が周期的でないが、青ヶ島は、「古文書等に噴火の活動記録があり、将来噴火の可能性がある火山」と定義されており、青ヶ島の火山体の内部構造を研究することは火山噴火災害軽減の視点からも有意義であると考えられる。

青ヶ島の地質調査としては、Tsuya (1937)、Isshiki (1955)、東京都防災会議(1990)、Takada et al.(1992)によるものがあり、それらの調査は、浅い部分を対象として、青ヶ島の生成史と浅部の異常の把握を目的として実施されている。とくに、東京都防災会議(1990)では、青ヶ島は熱異常が顕著であることから将来の噴火の可能性を指摘している。

青ヶ島の熱異常は、西他(1998)では、「青ヶ島山体内部から熱の供給がないと現在の温度異常や自然電位異常が説明できない」とされており、地中に熱源の存在を推定しているが、この熱源位置は特定されていない。本研究では、深度 1-2km 程度の火山体の内部の磁化構造を把握することで、青ヶ島火山体内部に存在すると考えられる熱源の位置を推定し、青ヶ島地表に見られる異常の原因について検討することにした。

とくに、Takada et al.(1992)では、岩石学的な研究により、天明の噴火時にはマグマが一



度地殻に貯留され、そこから地表に溶岩が流れ出たことを考えていることから、青ヶ島の深度数 km には、そのような貯留層（マグマポケットと Takada et al.(1992)では、呼んでいる。）を確認できる可能性もあった。

手法としては、地磁気 3 次元 3 成分異常を測定し、観測磁場から青ヶ島火山体内部に分布する 3 次元 3 成分の磁化分布を逆解析することで、火山体内部にある熱源の把握を試みることにした。

磁化は、熱が上昇すると磁化が小さくなる。また、キュリーポイントを超えると磁化は 0 になる。この性質から、青ヶ島内部の低磁化領域を特定することで、火山体内部にある高温領域が推定できると考えた。

伊勢崎他 2008,Isezaki et al 2009 によると、地磁気異常から地中の磁化を解析する場合には、従来の手法である全磁力異常による解析では、測定値がラプラスの方程式を満たさないことに影響させたことにより生じる誤差の問題があることから、今回は磁場をベクトル量で測定した。

2. 空中地磁気異常の測定と解析

空中磁気探査は、2007 年 12 月 5 日から 12 月 6 日にかけて実施した。測定は、3 成分磁力計をヘリコプターに吊り下げ、磁力計の位置がおよその高度で、100m、300m、600m となるような高度をたもって、南北方向への測線でヘリコプターを飛行させた。実際の飛行高度と測線の位置は、GPS で測定を行った。

測線は、磁化体から距離の異なった条件での磁場のデータが測定できるように、第 2 図に示す平面配置の測線を、高度を変えて配置した。同図に示す原点座標は 139.74E、32.39N とした。また、第 1 表に測線緒言をまとめた。

測定システムは、磁化のないフレームに 3 成分磁力計(KEI-9320S,Bartington Instruments Ltd) に、姿勢を測定するリングレーザージャイロ(JIMS-200R-C1, 日本航空電子株式会社) とグローバルポジショニングシステム (GPS) を取り付けて、測定システムを構築した。

Table 1 Measurement condition

第 1 表 測線緒言

測線名	東西方向測線数	東西方向の測線間隔 (m)	南北方向	飛行高度
Line1	15 本	300m	約 10km	100m
Line2	13 本	300m	約 10km	300m
Line3	13 本	300m	約 10km	600m

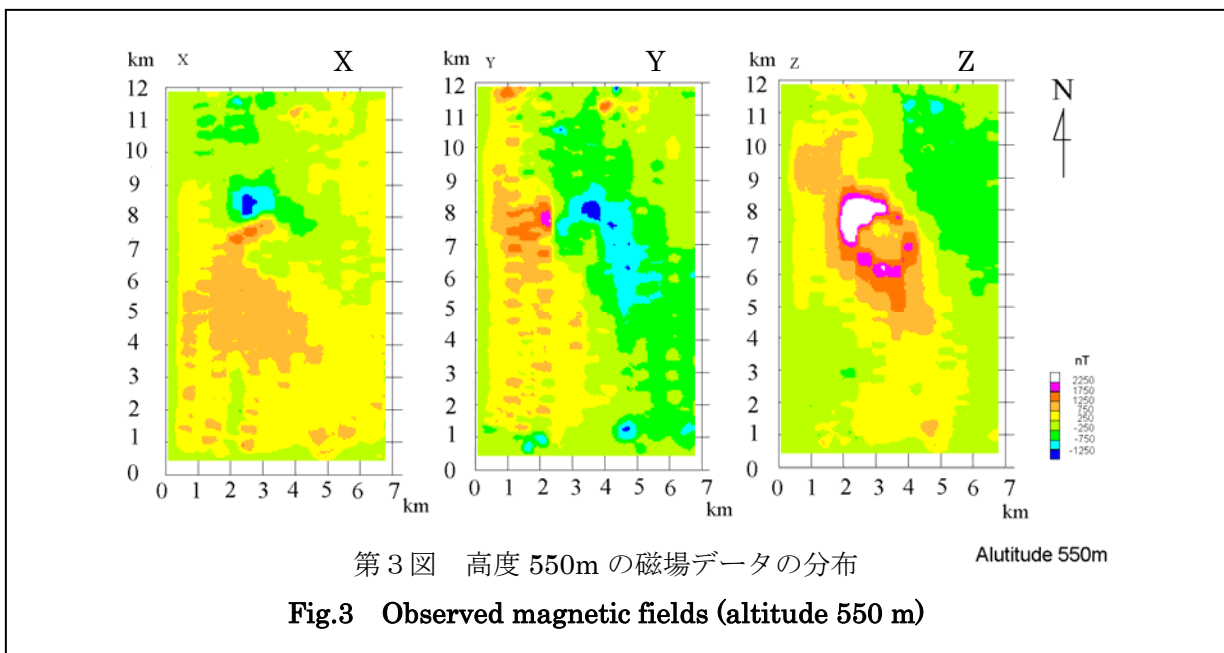
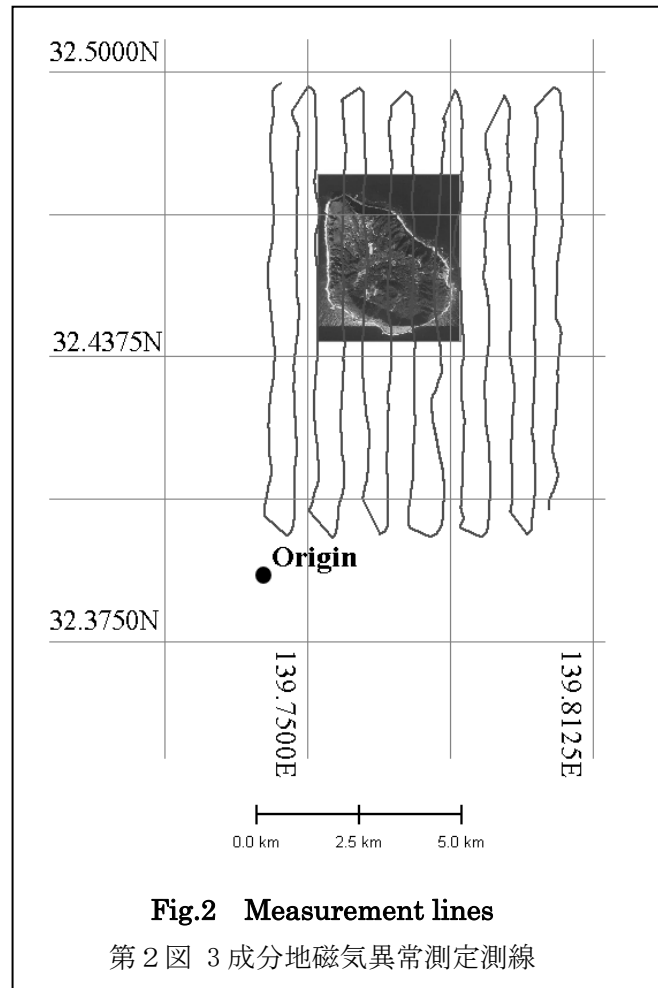
2.1 測定結果

測定結果を第 3 図に示した。同図では、測定値を北方向、東方向、鉛直下向き方向になるように回転したあと、IGRF 補正、Isezaki (1986) に準拠して機体磁気補正を実施した。

また、補正後の磁場データは、規則的には並んでいないので、Pelto et al. 1986 に従い、距離の係数を重み係数にして 50m の間隔で、測定データをグリッド化した。また、グリッド化したデータのなかで距離の係数を重み係数で補間できなかったデータについては、をラプラスの方程式を用いて、境界条件を解く方法により、補間をおこなった。

これらの作業により、高度 50m から高度 650m 間のデータを 50m 間隔の地球磁気異常データ (X,Y,Z) のデータを計算した。

第 3 図には、高度 550m の磁場データを示した。



2.2 解析

地中の磁化モデルは、角柱モデルの集合体として計算した。各角柱は、4層モデル。層厚は上位より、300m、700m、1,000m、1000mとした。角柱の長さとは幅は200m×200mである。原点座標は、北緯32.39°N、東経139.74°Eである。4層プリズムの総数は、1,426個(43(北方向)×31(東方向)、各プリズムは4層で、各層にmx,my,mzの磁化を置いたので、計17,112(46×31×4層×3方向)個の磁化を計算した。測定値は、20,766個のデータを用いた。

磁場と磁化には、以下のような関係がある。

$$X = \sum_i (A_i \cdot mx_i + B_i \cdot my_i + C_i \cdot mz_i) \quad (1)$$

ここでXは観測磁場(たとえば北向き成分磁場)、iはモデル角柱の番号、 A_i, B_i, C_i は、shape factors (Bhattacharyya, 1964)、mx,my,mzは、それぞれ、北方向、東方向、鉛直下向きの磁化の大きさである。

Y、Zも同じ計算式で表現される。mx、my、mzを、反復法で解析した。

解析は、3次元モデルで解析した。初期モデルは伊豆大島の結果、牧野他(1988)および大熊他(1989)を参考にした。これらの研究結果から、表層付近は14A/mで平均的な値が7A/mと推定し、表3.4のような初期モデルを作成した。

Table 2 Initial model of magnetization intensities

第2表 初期モデル

	層厚(m)	mx	my	mz
第1層	300m	10.0	-0.5	10.0
第2層	700m	4.0	-0.5	10.0
第3層	1000m	3.0	-0.5	3.0
第4層	1000m	3.0	-0.5	3.0

70回収斂計算を行った結果、最終結果の相関係数は、X,0.938、Y,0.941、Z,0.963となった。

第4図に、解析結果の2つの断面をしめした。原点から2.2kmと3.4kmから西の南北断面である。2.2kmは青ヶ島の西側、3.4kmは青ヶ島の中央部にあたる。他の代表断面を巻末資料に示す。第4図の3つのグラフは上段から、X、Y、Zを示す。図中黒色グラフは観測データ、モデルから導かれる値は赤である。

黒色グラフおよび赤色グラフとも、同じ地点(同じ座標)上に高度の違うデータがあり、それらの値は測定標高により異なる。これらの測定標高の違いによる値の変化にも、解析モデルは対応する必要がある、そのままプロットした。

一方、同図に示した断面は、左が南、右が北を示す。上段が m_x 、中段 m_y 、下段が m_z の断面である。

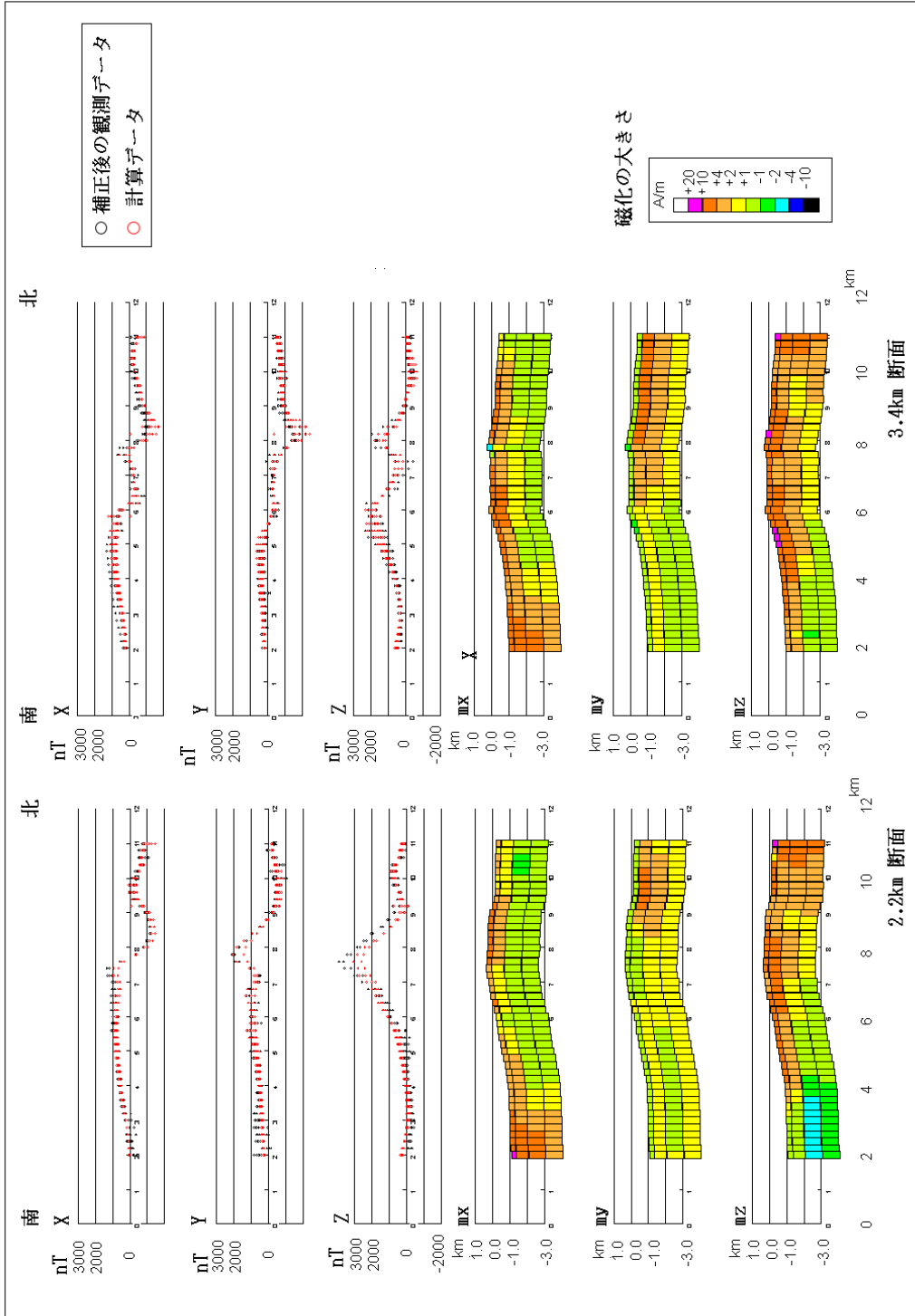


Fig.4 Sample of section views of 3D analysis

Top 2 sets of 3 profiles: black; observed magnetic anomalies(X,Y,Z), Red; Calculated anomalies(X,Y,Z)

Bottom 2 sets of 3 sections: Mx, The northward of magnetization; My, The eastward of magnetization;

Mz, The downward magnetizations.

5. 深部の高温地域の解釈

第5図に、各方向の磁化の2乗和をルートした、磁化の大きさの中で、1A/m以下の分布する箇所を3次的に表現したものを示した。

同図より、低磁化域は青ヶ島の南西部、三宝港の南部の深度1km~2km以下に存在する。西他(1998)によると、青ヶ島の熱異常は青ヶ島山体内部から熱の供給がないと現在の温度異常や自然電位異常が説明できないとされていること、磁化は温度が高くなると小さくなる性質から考察すると、今回特定された低磁化領域では、温度が高いことが想定される。

一方、地表浅部の探査、噴気、温度、自然電位の調査結果から池の沢カルデラ北西部には、地下からの火山性の熱水やガスの上昇が想定される結果となったので、低磁化帯の位置に熱源があり、そこから熱水もしくは火山ガスが上昇し、池の沢カルデラ北西部から噴出していると解釈した。

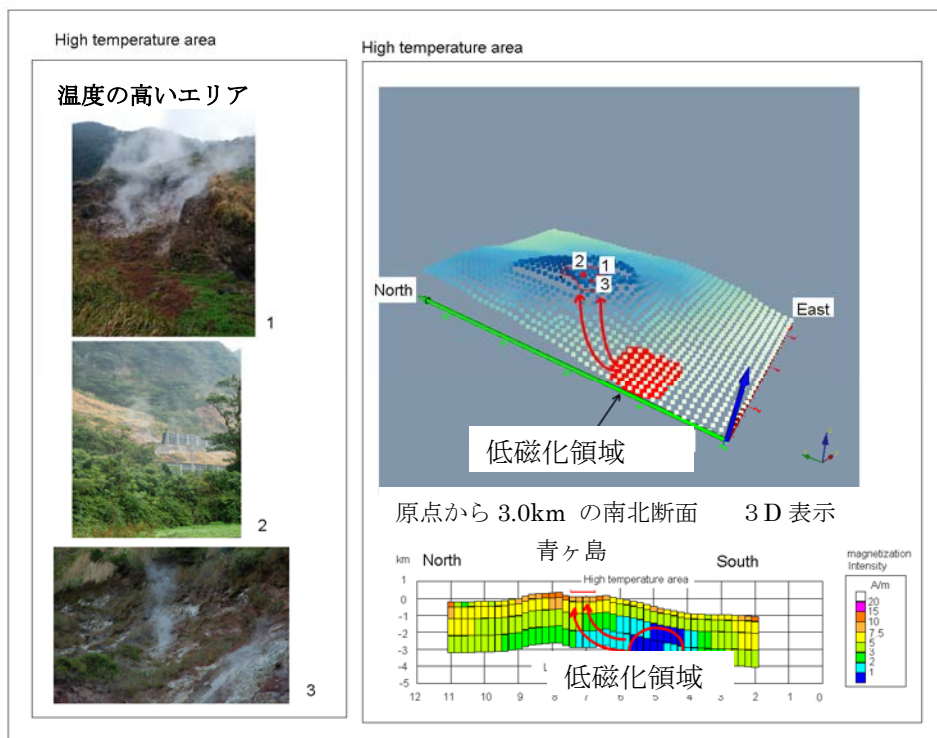


Fig 5. Interpretation of the results

第5図 地表部の活動的な個所と低磁化領域の位置

6. おわりに

本研究は、伊勢崎他 2008、Isezaki et al 2009 により、すでに示されたように従来の手法である全磁力が物理量でなく、本来使用すべき値、地磁気異常を主磁場に投影したベクト

ルとの誤差により生じる問題点をなくすように、3成分(ベクトル)地球磁気異常を測定し解析したものである。この結果、低磁力異常個所を特定できたことにより、青ヶ島の火山構造に必要な現在の高温域を特定したものである。

この結果は、3成分地磁気異常を測定し解析した成果と考える。今後もこの手法を他の火山に適用し、測定手法のノウハウの蓄積と、実用化に向けて解析手法の適用性について研究していきたい。

<引用文献>

- Bhattacharyya B.K.: 1964, Magnetic anomalies due to prism-shaped bodies with arbitrary polarization, *Geophysics*, 29, 517-531.
- Isezaki N.: 1986, A new shipboard three component magnetometer: *Geophysics*, 51, 1992-1998.
- 伊勢崎修弘 松尾淳: 2008, 地磁気全磁力(異常)の物理的解析の限界, *地球電磁気・地球惑星圏学会, 第124回総会・講演プログラム*, A004-04
- Isezaki N. Matsuo J.: The error of projected total intensity anomalies and importance of the three component anomalies, *Heisei 20 Conductivity Anomaly Grupe, (SGEPSS)* ,
- Isshiki N.:1955, Ao-ga-shima volcano, *Jpn.J.Geol.Geogr.*, 26, 209-218.
- 牧野雅彦 中塚正 大熊茂雄 金子力: 1988, 伊豆大島火山の空中磁気異常, *火山*, 2, 伊豆大島噴火特集号, 217-223.
- 西祐司 石戸経士 松島喜雄: 1998, 自然電位データに基づいた青ヶ島火山の地熱系シミュレーション, *日本地熱学会*, 20-2, 139-153.
- 大熊茂雄 牧野雅彦 中塚正: 1989, 擬重力および極磁力を用いた磁気異常の2層モデルインバージョン -伊豆大島空中磁気異常データを例として-, *物理探査*, 42-2, 82-96.
- Pelto C.R., Elkin T. A., Boyd, H. A.:1986, Automatic contouring of irregularly spaced data, *Geophysics*, 424-430.
- Takada, A., Oshima, O., Aramaki S., Ono K., Yoshida T., Kajima K.: 1992, Geology of Aogashima Volcano, Izu Islands, *Jpn.J.Geol.Geogr.*, 233-250.
- 東京都防災会議: 1990, 伊豆諸島における火山噴火の特質等に関する調査・研究報告書, 25-74.