

浅間火山 2005 年空中磁気異常の 1992 年データとの比較

中塚 正¹・宇津木 充²・大熊 茂雄¹・田中 良和²・
浅間山電磁気構造探査グループ (代表 橋本 武志³)
(¹産総研, ²京都大学, ³北海道大学)

Aeromagnetic anomalies of Asama Volcano in 2005 with referred to 1992 data

T. Nakatsuka¹, M. Utsugi², S. Okuma¹, Y. Tanaka², and Asama Volcano
EM Field Experiment Group (Representative: T. Hashimoto³)
(¹Geological Survey of Japan, AIST, ²Kyoto Univ., ³Hokkaido Univ.)

Abstract: An aeromagnetic survey over Asama volcano was conducted in October, 2005, by the Asama Volcano EM Field Experiment Group as a part of an investigation program of forecasting volcanic eruptions. Nakatsuka and Okuma [2006] developed a promising method of detecting magnetic anomaly change by using a technique of generalized mis-tie control. We tried to apply this method to the aeromagnetic survey data of Asama Volcano in 2005 with referred to 1992 data by the Geological Survey of Japan [Okuma *et al.*, 2005a]. The result showed a typical feature of demagnetization at shallow depth of Kama-yama, the area of eruption vent in 2004 activity, and an indication of growing normal magnetization at depths in the area of Yu-no-taira.

1. はじめに

火山の山体構造及び活動状況とその推移の把握のため、精密空中磁気探査の活用が期待される。火山体の磁性構造と火山活動に伴う熱消磁現象に対応した磁化の消失・獲得の状況を広域的かつ精密に把握することは、近年のヘリコプターを利用した精密空中探査の得意とするところと考えられる。2005年12月のCA研究会で、中塚・大熊は、過去の火山活動に伴う磁気異常変化を空中磁気探査から検出する試みの結果を振りかえるとともに、今日の探査の精度分解能とデータ処理・解析の技術を検討し、拡張交点コントロール手法の応用による磁気異常変化検出法を提案した [中塚・大熊, 2006; Nakatsuka and Okuma, 2006b]。

一方、浅間山電磁気構造探査グループは、火山噴火予知計画の火山体構造探査の一環として、2005年10月に空中磁気測量を実施した [橋本ほか, 2006]。飛行測線は、将来の時間変化検出を念頭に置いた山頂域の「低高度」稠密測定と、山体全域にわたる「高高度」測線からなり、高高度測線の飛行区域 [橋本ほか, 2005] は、1992年に地質調査所 (現 産総研) が高分解能空中磁気探査の実用化研究の一環として実施した探査 [大熊ほか, 2005a,b] の区域と大きく重なる。

ここでは、2005年探査の高高度測線データと1992年探査データに対して、拡張交点コントロール手法を用いた磁気異常変化抽出を試みる。なお、2007年3月のCA研究会の際には、測線の精密位置計測データとしてディファレンシャル処理が行えたGPS位置データのみ (Fig.1) を利用したため、結果的に実飛行測線のうちかなりの割合のデータが使用できず、不十分な解析結果しか得られなかったため、その後、リアルタイムGPSデータを用いて全測線データを復元し、これを用いて再解析を行った。ディファレンシャル処理を行わないGPS位置データを用いることは、位置精度の低下をもたらすことにつながり、結果に対する信頼度にも影響がある。しかし、今回の比較解析で比較対象とする1992年データがGPSがようやく実用化されたはじめた (ディファレンシャル処理が考慮に登る以前の) 時期のものであり、利用可能衛星数でも劣る状況であったことを考慮すると、バランスの取れた選択と考えられる。

2. 浅間 2005 年高高度データ

浅間山の噴火活動は沈静化したとは言え、山頂釜山火口は常に噴煙を上げており、ヘリコプターによる空中探査は、その噴煙を避けて飛行する形でのみ可能であった。高高度測線については、幸いにして、2005 年 10 月 12 日の 3 回の飛行と同 13 日の 2 回の飛行で予定の飛行を終えたが、GPS 測位データの状況は精密測位データ取得の観点では必ずしも十分でなく、ディファレンシャル処理による位置決定ができた測線は、Fig.1 のように肝腎の山頂部を中心に欠落する結果となった。

この状況では、解析には極めて不十分といわざるを得ないので、また、測位精度の劣る 1992 年データと対比する限りでは、ディファレンシャル処理は必須ではないので、リアルタイム GPS データによる全測線の位置データ復元を行い、Cs 磁力計データと合わせて、地上定点での磁力観測による日変化補正と IGRF 残差計算を行い、測線基本データを作成した。Fig.2 は、そのデータをもとに、等価ソース利用による高度リダクション処理 [Nakatsuka and Okuma, 2006a] により、実飛行高度を平滑化した滑らかな曲面（海拔高度で概ね 2100~3000m）上での磁気異常分布に引き直した結果（コンター間隔 20nT）である。測線は東西方向でその航跡が破線で示してある。

3. 浅間 1992 年データとの単純比較

一方、1992 年の調査では、対地高度 200m 程度で地形に沿った測定飛行を行っている。その詳細は、大熊ほか [2005a] を参照されたい。ここでは、そのデータを用いて実飛行高度を平滑化した滑らかな曲面（海拔高

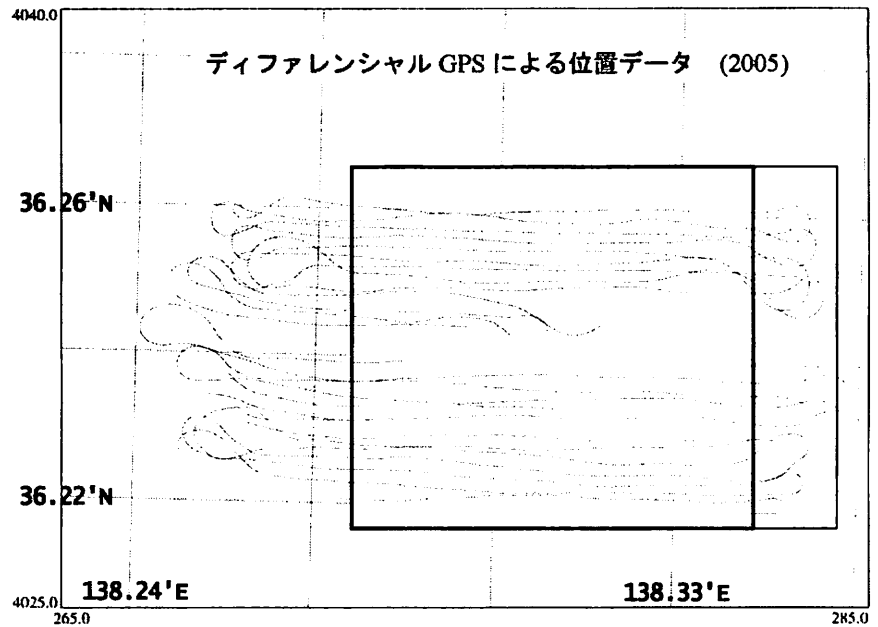


Fig. 1 All trackline paths recovered by the differential processing of GPS positioning data for the high-altitude lines of 2005 survey.

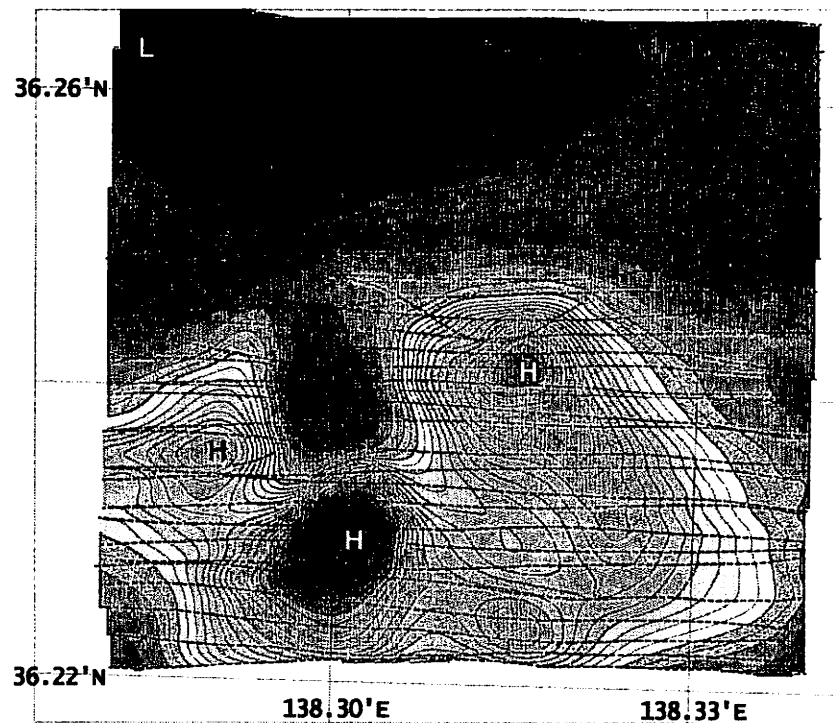


Fig. 2 Aeromagnetic anomalies derived from 2005 survey data on a smooth reduction surface (2100-3000m ASL). Contour interval is 20nT.

度で概ね 1700~2350m) 上での磁気異常分布に引き直した結果 (同じくコンター間隔 20nT) を Fig.3 に示す. 測線は東西方向・約 150m 間隔で, 航跡を破線で示してある.

Fig.2 と Fig.3 では, 大局的な磁気異常分布に類似点はあるものの, 短波長成分や磁気異常振幅において大きく異なり, 1992 年調査の対地高度約 200m に対し, 両者の高度差が 250~1200m という対地高度の差の影響を如実に示している. そこで両データを同一基準で比較するために, 1992 年データに対して高度リダクション処理を施し, Fig.2 と同じ基準面でのデータに変換した. その結果が Fig.4 (コンター間隔 20nT) であり, Fig.2 の基本的なパターンがよく再現された.

ここで, Fig.2 の磁気異常分布から Fig.4 の分布を差し引いて見ると, Fig.5 (コンター間隔 5nT) の結果が得られる. この図には明らかに, 測線に沿った方向に延びる不正常的なパターンが幾筋も見られ, そのピーク位置が測線以外のところに多く認められるなど, 特異な結果を示している. これは, 以前から指摘しているように, 空中磁気探査の特性である空間分解能の異方性 (測線に沿う方向には分解能が非常に高いが, それに交差する方向には短波長成分の分解能が低く, 空間的なエアリングを起こしやすい) の問題が露頭したものと考えられる.

3. 拡張交点コントロール手法の適用

そこで, 先に提案した拡張交点コントロール手法 [中塚・大熊, 2006; Nakatsuka and Okuma, 2006b] を, このデータに適用することを考える. 拡張交点コントロールとは, 高度変化に富む空中磁気探査では, 航跡図上の交点といえども高度差のために空間位置が一致せず, 通常の交点数値補正が行えない問題への対処法を考えたものであり, 誤差要因に応じて, 互いに交差する測線群に対する補正量を各交点位置において求めるもの

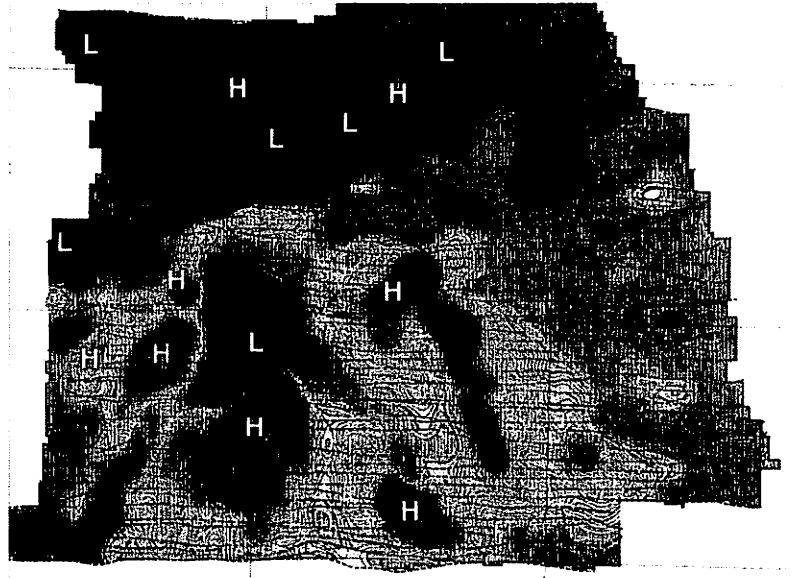


Fig. 3 Aeromagnetic anomalies derived from 1992 survey data on a smooth reduction surface (1700-2350m ASL). Contour interval is 20nT.

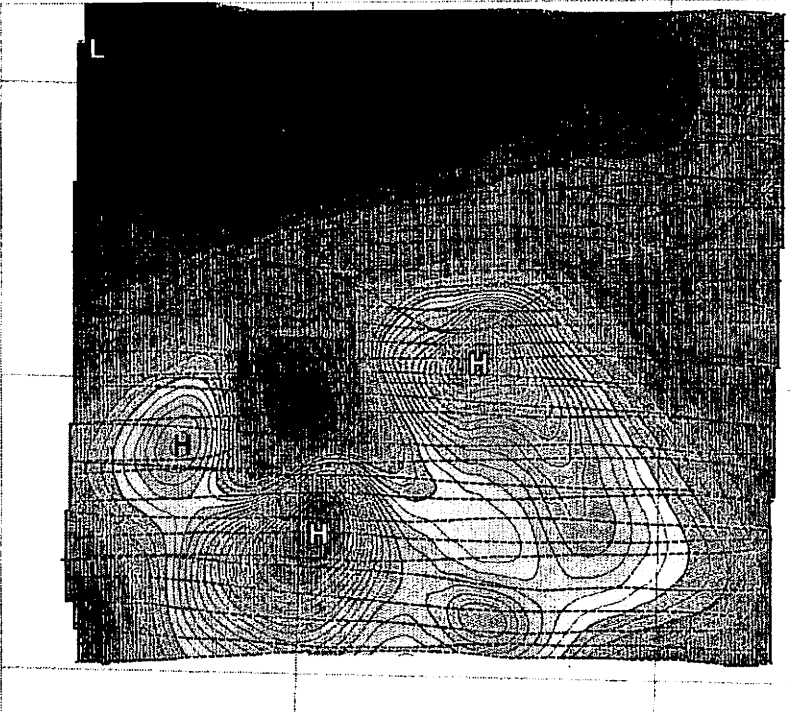


Fig. 4 Aeromagnetic anomalies derived from 1992 survey data after reducing to the surface of 2005 survey altitude (same as in Fig.2). Contour interval is 20nT.

である。従って、今回のデータのように両探査がともに東西測線の状況では、上記そのままの手法では適用が困難である。

しかし、拡張交点コントロール手法の本質は、実測線の位置の上に測線間隔に見合った間隔でコントロール点を設けて、そこでの補正量パラメータを測線データからノルム最小化条件で求めることにある。従って、“交点”が適切に分布しない場合には、交点の代わりに適切に選んだコントロール点を用いて同様の処理を行えば、妥当な結果が期待できる。

そこで今回は、2005年探査の全測線（この解析では1992年探査と重複する区域のみ）について、測線に沿って500m間隔の点を機械的に選び、それらをコントロール点とした。その解析結果は、Fig.6（コンター間隔5nT）に示すとおりとなった。コントロール点の位置は、図中の丸印で示してある。また、図中で青い太線の五角形は、上方接続操作に相当する高度リダクション処理の際に想定されるエッジ効果を考慮したときの信頼性の目安を示したものである。従って、ここではその外側については議論しない。ここで示した磁気異常変化のコンターは、600余の各コントロール点での値を単純に補間したものであり、滑らかな面上での分布になっていないので、このコントロール点での値について等価ソースを用いた高度リダクション処理を施したものをFig.7（コンター間隔5nT）に示す。

なお、1992年と2005年のデータはそれぞれ独自の基準点をもとに日変化補正が行われており、十分

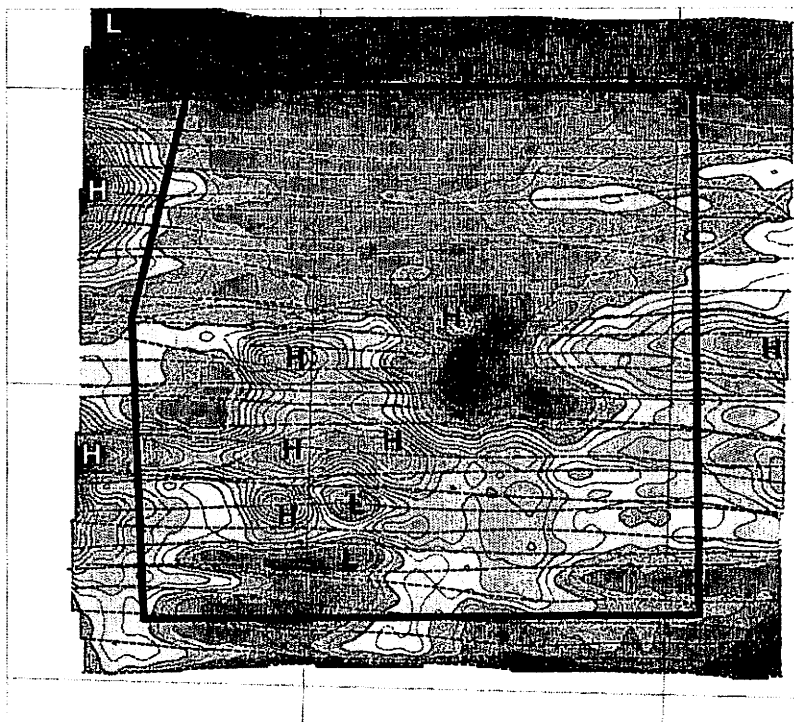


Fig. 5 Simple difference between aeromagnetic anomalies of Fig.2 and Fig.4, which is an imprudent estimation of magnetic anomaly change between 1992 and 2005. Contour interval is 5nT. Thick blue pentagon indicates a guide to the confident range, because the process of altitude reduction similar to the upward continuation inevitably includes edge effect contamination.

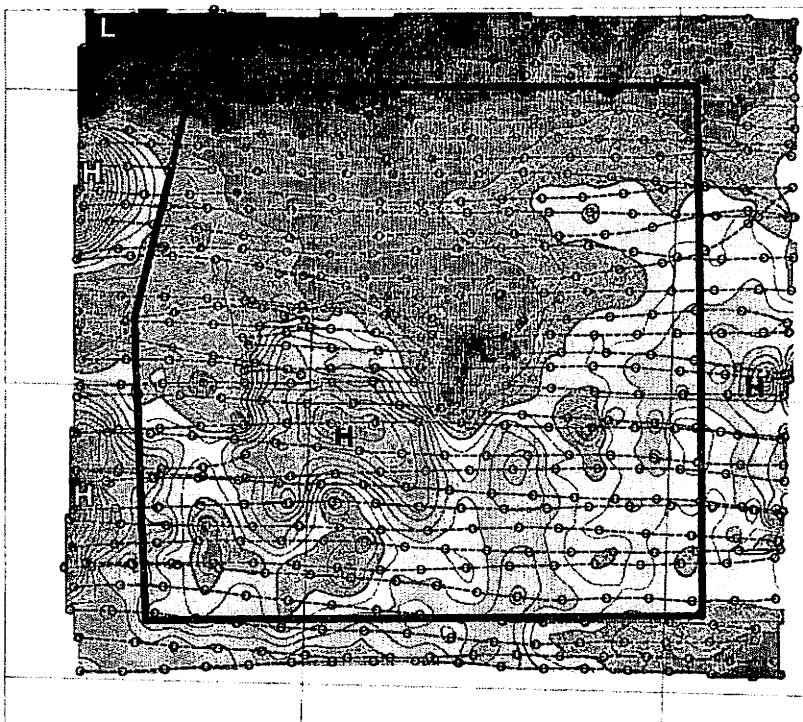


Fig. 6 Estimation of aeromagnetic anomaly change between 1992 and 2005, by the method of generalized mis-tie control [Nakatsuka and Okuma, 2006b]. Contour interval is 5nT. Values are attributed to the altitude of actual 2005 survey line.

な epoch reduction 処理は行われていないので、ここでは空間的な相対値についてのみ考察する。

4. 1992 年に相対的な 2005 年の磁気異常変化

Fig.7 のパターンは、山頂火口釜山のすぐ南に位置する磁気異常低下域と湯の平から剣ヶ峰両翼にかけての磁気異常増加域とで特徴づけられる。仏岩南西側や小浅間山西方にも磁気異常がやや増加したように見える部分があるが、Fig.6の上では明瞭とはいえず、600余という限られた数のデータに対して高度リダクション処理を強行した影響がありそうである。

釜山南の低下域はその北側に弱い増加域を伴っており、ノーマルな磁化の消磁で非常によく説明できる。一方、湯の平から剣ヶ峰にかけての磁気異常増加域を説明するモデルとしては、その分布域の広がりに見合った広い範囲に新たな磁化を獲得した層が広がっていると考えるを得ない。その状況を Fig.8 に単純モデル化した。釜山の白丸が、点ダイポールで代表される球状の消磁域で、標高 2,250m (火口縁からの深度で 250m 程度) に、元の磁化が 5A/m なら半径 150m (2A/m なら半径 200m) の球体の磁化が失われた状況に対応する。湯の平の矩形は、標高 1,900m (地表下 200m 程度) 付近に薄い板状のソースが新たに磁化を獲得したモデルであり、獲得磁化が 5A/m で厚さ 50m に相当する。

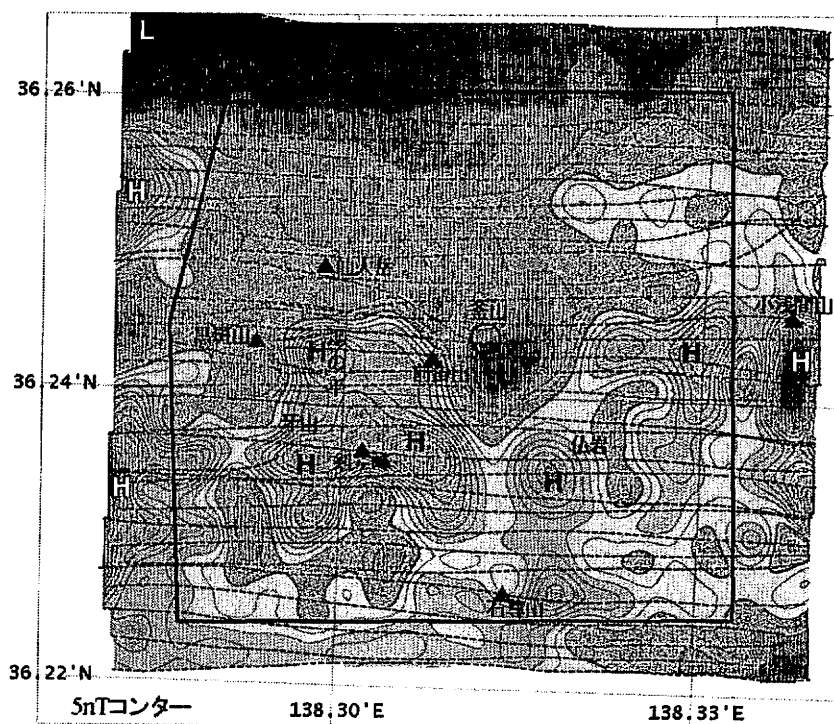


Fig. 7 Aeromagnetic anomaly change on the reduction surface sama as in Fig.2, estimated by the method of generalized mis-tie control and the altitude reduction. Contour interval is 5nT.

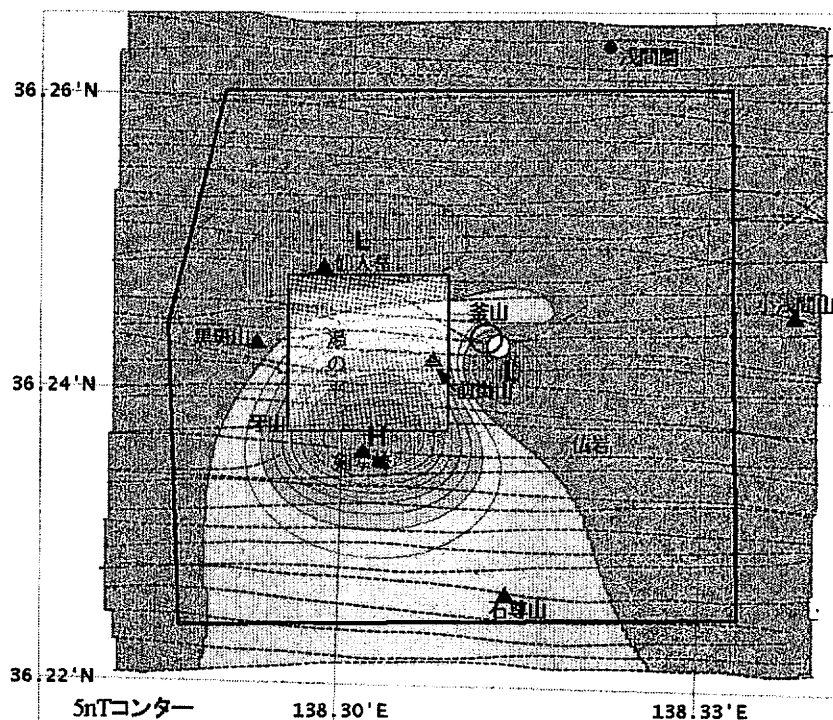


Fig. 8 Possible model accounting for the aeromagnetic anomaly change. A spherical demagnetization (equivalent to a point dipole source) at a shallow depth of summit crater Kama-yama and growing normal magnetization at depths in a wide area of Yu-no-taira were suggested.

5. 議 論

モデル化された構造のうち釜山のものは妥当性が高い。2004年からの活動によってマグマの上昇・下降や噴火活動によって、磁化をもっていた岩体が熱消磁され、もしくは一旦吹き飛ばされてランダムな方位に再配置される形でバルクな残留磁化を失ったことが考えられる。一方、湯の平側の新たな磁化の獲得に対しては、それを示唆する火山活動の関する情報はないが、1992年以降に続いた活動静穏期の間には熱残留磁化の新たな獲得が徐々に進行した可能性はあるであろう。

今回の磁気異常データ比較では、元データの制約から位置精度が十分高いとは言えないので、さらにその点の吟味が必要と思われるが、これまでにデータをハンドリングしてきた感触からは、釜山での低下と湯の平での増加の傾向は概ね変更がなさそうである。しかし、今後より精密な議論のためにはディファレンシャルGPSのデータが必須となる。

長期間にわたる磁気異常（全磁力）変化を議論するにあたっては、山体構造の変化がなくとも主磁場の方向変化によって見かけ上の全磁力異常変化が生じることに注意する必要がある。この地域での主磁場方向をIGRFで見積ると、1992年から2005年の間に伏角で+0.35度、偏角で-0.14度の変化が認められ、柿岡（地磁気観測所）の実測でも同程度であるので、それをもとに観測された磁気異常がノーマルな残留磁化に起因するとして、主磁場の方向変化の影響を見積ると、2005年測線高度で最大約3nT（ソースがすべて誘導磁化によると考えると最大約6nT）となる。従って、今回の議論には影響を与えるレベルでないが、より微妙な時間変化を議論する際には、その効果も十分検討する必要がある。

文 献

- 橋本武志・茂木透・鈴木敦生・山谷祐介・三品正明・中塚正・小山悦郎・小山崇夫・相澤広記・平林順一・松尾元広・野上健治・小川康雄・氏原直人・鍵山恒臣・神田 径・大久保綾子・田中良和・宇都智史・宇津木充 [2006] 平成17年度浅間山電磁気構造探査の概要. *ConductivityAnomaly 研究会2006年論文集*, 79-80.
- 橋本武志・鈴木敦生・茂木透・山谷祐介・三品正明・中塚正・小山崇夫・小山悦郎・小川康雄・相澤広記・氏原直人・松尾元広・平林順一・野上健治・田中良和・鍵山恒臣・宇津木充・神田 径・宇都智史・大久保綾子 [2007] 平成17年度浅間山電磁気構造探査序報. *地震研究所第833回談話会*, (http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/KOHO/NEWSLETTER/200512/danwa200511_hashimoto.html).
- 中塚正・大熊茂雄 [2006] 空中磁気データの交点コントロール手法の拡張を応用した磁気異常変化抽出法の検討. *ConductivityAnomaly 研究会2006年論文集*, 8-14.
- Nakatsuka, T., and S. Okuma [2006a] Reduction of geomagnetic anomaly observations from helicopter surveys at varying elevations. *Explor. Geophys.*, vol.37/*Butsuri-Tansa (Geophys. Explor.)*, vol.59/*Mulli-Tansa (Geophys. Explor.)*, vol.9, 121-128.
- Nakatsuka, T., and S. Okuma [2006b] Crossover analysis for the aeromagnetic survey at varying elevations, and its application to extracting temporal magnetic anomaly change. *Butsuri-Tansa (Geophys. Explor.)*, vol.59, 449-458.
- 大熊茂雄・牧野雅彦・中塚正 [2005a] 浅間火山地域高分解能空中磁気異常図 (1:25,000). *空中磁気図*, no.43, 産総研地質調査総合センター.
- 大熊茂雄・牧野雅彦・中塚正 [2005b] 高分解能空中磁気異常図から見た浅間火山の磁氣的構造. *物理探査学会第113回学術講演会講演論文集*, 409-412.