

# 岩手山周辺の全磁力変化から推定される山体内の熱移動

三品正明・佐藤峰司・植木貞人（東北大学大学院理学研究科）

浜口博之（東北大学名誉教授）

Thermal change in Mt. Iwate inferred from change in geomagnetic total intensity

Masaaki MISHINA, Minemori SATO, Sadato UEKI

(Graduate School of Science, Tohoku University)

and

Hiroyuki HAMAGUCHI

(Professor Emeritus, Tohoku University)

## 1. はじめに

1997年12月末からの地震活動の活発化とともに、1998年2月からは顕著な地殻変動が観測されるなど、活発な火山活動が記録された岩手山の山麓3箇所、同年4月から全磁力連続観測をしている。観測開始以降今日まで、顕著な全磁力変化は観測されていないが、2001年春以降には、地点差にして約1 nTの変化が記録された。佐藤(2001)は地殻変動連続観測データをもとに、地殻変動源として貫入ダイクと、球状圧力源があることを明らかにした。本研究ではこの地殻変動源を熱源とし、モデル化した熱消磁域の消長から計算された全磁力変化と、観測された全磁力差変化とを比較して、全磁力変化が山体内部の温度変化を反映しているものと考えられることを確かめた。

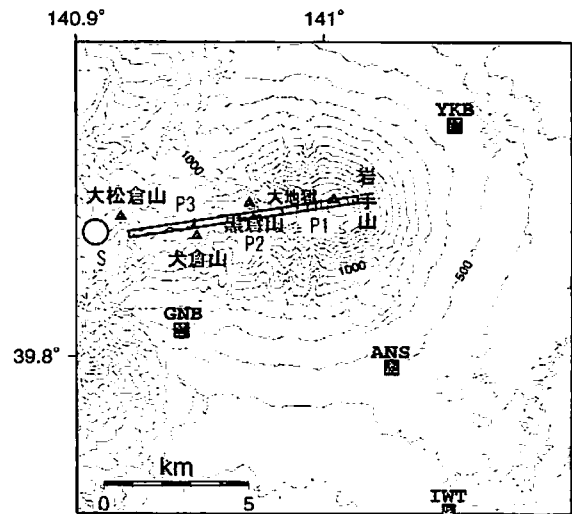
佐藤(2001)によれば、東岩手から西岩手にかけて貫入したダイクは、1998年2月から8月の間に5回にわたって貫入したとされている。貫入ダイクの東部は、深さ(海面下)約20kmから約1kmまで続く鉛直に長いもので、西部は深さ約3kmを中心とする幅約2.5kmの横長のものである。貫入に伴う開口量は高々50cm程度と見積もられている。また、球状圧力源の増圧は1998年2月に始まり、1999年6~7月に最大圧力に達した。圧力増にみあう体積増加は、最大時で約 $15 \times 10^6 \text{ m}^3$ と見積もられている。

Tanaka et al. (2002)によれば、1998年以降続いている地震活動は、ほとんどが山体内部の約4km以浅におきる造構造的な地震で、山体東部では深さ6kmまで広がるとともに、6~12kmでは低周波地震も活発である。このような震源分布は地殻変動源の分布とも調和的である。球状圧力源周辺にも地震活動の活発な地域が広がっている。

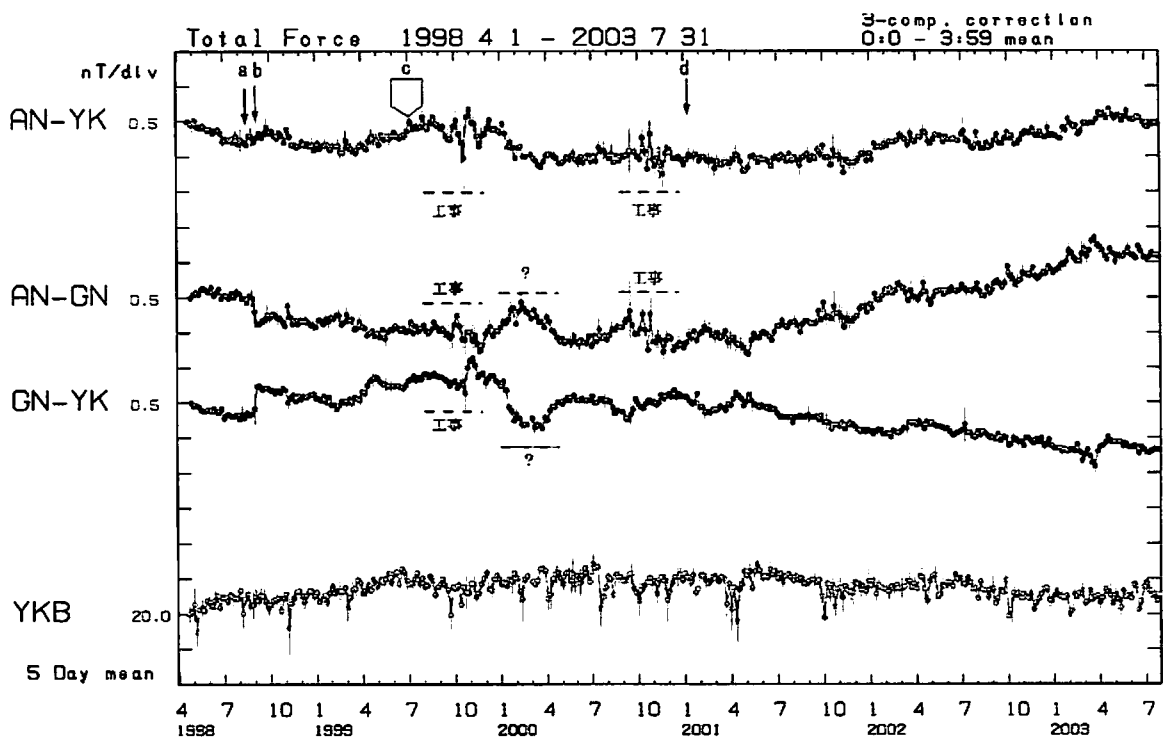
1998年から続いた地震活動も、2001年1月以降は活動度が低下した(東北大理学研究科, 2003)。同時期には地殻変動源のひとつの球状圧力源の減圧開始も指摘されている(佐藤・浜口, 2002)。一方、1999年3月以降顕著になった西岩手山の噴気現象は、2002年以降も活発な状態が続いている(土井・他, 2002)。このことは貫入したダイクや球状圧力源からの熱が、水あるいは水蒸気の形で熱源周辺あるいは地表へと運ばれていることを表している。

## 2. 全磁力観測と全磁力差

岩手山周辺の全磁力観測点は第1図に示されたように、山体北東山麓の焼走(YKB)、南山麓の相の沢(ANS)、南西山麓の玄武洞(GNB)および少し離れた岩手山(IWT)の4点である。この



第1図 岩手山周辺の全磁力観測点分布と熱消磁域の分布. 円(S)は球状圧力源, 矩形(P1~P3)は貫入ダイクの位置を表す.



第2図 江刺の3成分変化を使って外界磁場変化の影響を補正した全磁力差変化.

うち IWT は観測システムが他と違い、精度が劣ることと、山体からの距離が遠いこととで、ここで取り上げる全磁力変化は検出できないのでこの報告の解析には含めない。

3 観測点での観測は火山活動が活発化した後の、1998 年 4 月に開始された。各点で 1 分毎の連続観測が行われているが、ここでは夜間の JST0:00~3:59 の 240 分間の毎分値のみを使用した。外部磁場変

動の誘導成分の除去には、国土地理院水沢測地観測所江刺観測場での3成分毎時値を使用した。第2図には、3成分補正後の全磁力差変化と、地殻変動源の特徴的な時期を示した。“工事”と表示した時期には観測点付近での工事に伴う人工的な磁気擾乱があった。上部にa～dで示した時期は、地殻変動や地震活動などの特徴的な時期で、aは1998年8月で、この時期までにダイク貫入はほぼ終了した。bのステップ状変化は1998年9月3日岩手山の南西約15kmに発生したマグニチュード(M)6.2の地震に伴うピエゾ磁気変化である(三品・他, 1999)。cの1999年6, 7月には球状圧力源が最大圧力に達し、dの2001年1月には球状圧力源の減圧が始まり、地震活動も顕著に低下してきた。全磁力差は2001年春以降に系統的に変化する傾向が見られ、その変化はこれら3地点の地点差で、ANS-YKBで0.5nT増加、ANS-GNBで1nT増加、GNB-YKBは0.7nT減少である。

### 3. 消磁域拡大モデル

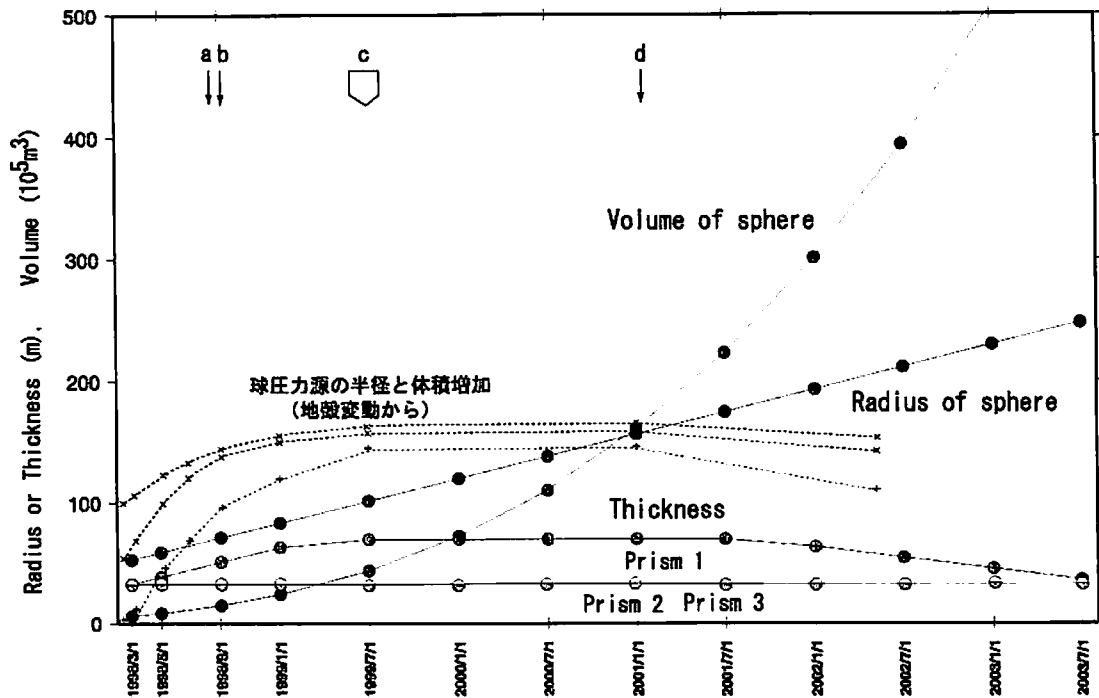
ここで地磁気変化の源と考える熱源のモデルを第1図に描き加えた。山体をほぼ東西に縦断するような矩形が貫入ダイクを、西方の円が球状圧力源をそれぞれモデル化したものである。これらの位置と大きさは、佐藤(2001)による地殻変動源をもとにした。貫入ダイクのモデルは、図のように、東からP1, P2およびP3の3つの部分に分かれている。P3は佐藤による地殻変動源としては検知されていないが、Nishimura et al. (2000)が長周期地震波の解析から存在を主張している流体チューブに相当する高温域と考えて、付け加えたものである。

ここでは、これらの地殻変動源となった球状のもの、板状のダイクとを熱源と考え、それによる熱消磁域の拡大あるいは縮小による地磁気変化を計算した。計算モデルとしては、貫入ダイクは角柱プリズムで近似し、球状圧力源は球で近似した。地殻変動から推定された貫入ダイクは簡略化し、深部から浅部まで続く長さ3km、幅3kmの鉛直ダイク(P1)と、上辺がそれと等しい深さをもち長さ3km、幅2.5kmの西に水平にのびるダイク(P2)を考えた。また長周期地震波の解析結果から存在を推定されている流体チューブとして、P2の延長上に長さ2km、幅1kmの横長のダイク(P3)を加えた。Okuma(1998)によれば、本研究でダイクを想定している地域の磁化強度は東部で1~2A/m、西部で-1~0.5A/mである。そこで、ダイクによる消磁域は1A/m、球熱源の消磁域は0.8A/mの磁化が消磁すると仮定して地磁気変化を計算した。ダイクでは熱拡散により時間とともに消磁域が厚くなるとし、初期の厚さと、厚さ変化率とを未知パラメータとした。球モデルでは、球の初期半径と半径の増加率を未知パラメータとした。逆問題として解くほどのデータ数はないので、計算は数通りの数値を使って残差が小さくなるパラメータを試行錯誤的に推定した。ここで、球半径増加率やダイクの厚さ変化率の時期による変化はないものと仮定している。

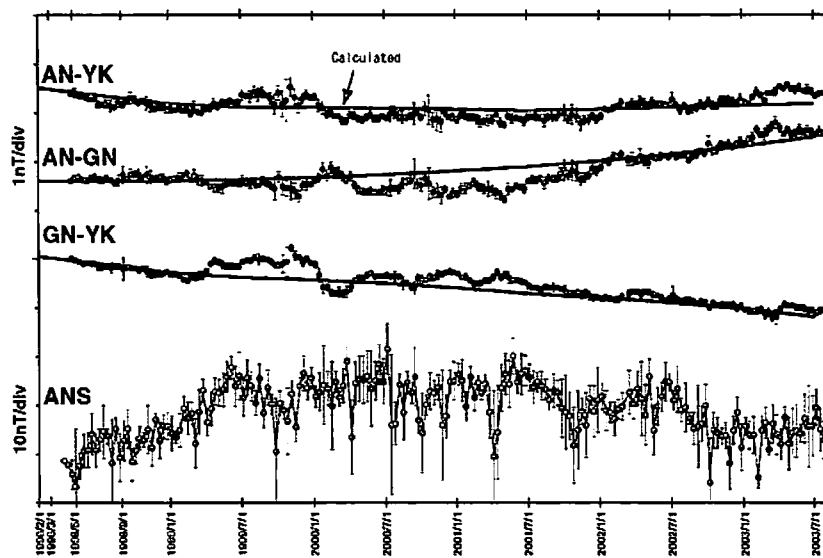
岩手山の山体内部は相当に高温であるとする推定もある(土井, 1999)が、球圧力源、開口割れ目とともに熱消磁域にあるとすると、観測された全磁力変化が説明できない。そこで、ここではモデルの存在域は帯磁しているものと考えて計算した。

### 4. 結果と考察

得られた結果を第3, 4図に示す。第3図は球の半径および体積の変化の様子と、ダイクの厚さ変化を表している。球熱源は、初期半径50m、半径増加率10cm/日、ダイクP1の初期厚さは30m、1999



第3図 観測値を説明する熱源サイズの変化と圧力増加にみあう球半径の変化。



第4図 全磁力差変化観測値に重ねて示された計算値（実線）の変化。

年春までは10cm/日で厚さが増え、2001年1月以降は5cm/日で厚さが減少すると、観測された全磁力差変化に最も近い変化が再現される。ダイクP2およびP3はともに厚さ変化を必要としない。このモデルから計算された全磁力差の変化は第4図実線のようになる。なお、この図では観測値を旬ごとの平均値で示した。第3図には地殻変動から推定された球圧力源の体積増加分とそれにあう球の半径をあわせてプロットした。球の初期半径が変わると、体積増にあう半径も変わるが、図に示され

たように初期半径が50mと100mとで、推定半径に大きな差はない。地殻変動から推定される球圧力源の半径変化を消磁域の半径と考えると、観測された全磁力差変化と調和しないことは図から明らかである。土井(1999)の図に見られるように、球圧力源の付近は今回の活動以前からかなり高温であると推定されていた。球圧力源の増圧開始時にその体積増を反映するような全磁力変化が観測されなかったのは、この範囲が高温のためにすでに消磁していて、拡大する熱源球が帯磁域を消磁し始める大きさに達した2001年以降になって、全磁力変化が観測されたものと見ることができる。観測された全磁力差変化を説明するためには、貫入ダイクによる熱消磁域の変化も球圧力源から拡散する熱水による消磁域の拡大と同様重要である。特に、全磁力差AN-YKの2001年以降の変化は、球熱源の半径変化では説明できない。第3図に示されるように、P1の厚さが減少する過程と考えると好都合である。Okuma(1998)はP2およびP3の2つのダイクの領域は磁化が非常に弱いことを指摘している。そのこととP2、P3の拡大速度0cm/日と、拡大が全磁力変化に反映されなかったこととは調和的である。このことからNishimura et al.(2000)が指摘する流体チューブの存在が否定されるものでもない。

ここで得られた消磁域の拡大速度は、5~10cm/日の速さである。熱伝導のみを考えるならば速すぎるが、熱水などの流体の拡散が熱を運び、それによる消磁域の拡大と考えれば、十分ありうる速度である。西岩手山の1998年2月からのダイク貫入域付近では、1999年3~4月に噴気などを伴った地表面現象が現れて、現在も活発な表面現象が続いている。ダイクが貫入した深さは地表下約3kmであるから、蒸気あるいは熱水が約10m/日の速さで上昇したものと考えられる。開口割れ目の生成に伴う割れ目群は熱を上方に運び易い方向に発達するが、そのような環境下では水平方向にも熱の輸送が活発になる可能性があるため、ここで得られた拡大速度が異常に大きいものとは言えない。地殻変動から推定された開口量は50cm程度(佐藤,2001)である。ダイクに伴う消磁域は貫入後ゆっくり厚さを増すが、2001年以降は前述のように厚さを減じるような変化、すなわちダイクの温度低下により消磁域が次第に狭まっているものと考えられる。この時期には、球状圧力源の減圧も指摘されていることから、下部からの熱あるいは流体の供給が終了したものと考えられる。

## 5. おわりに

仮定した磁化強度分布の妥当性など、検討すべき課題が多いが、ここで考えたモデルが正しければ、2001年以降続いている全磁力差変化は次第に小さくなり、やがて変化がほとんど停止した状態になるであろう。現在の少ない観測点からのデータでは、これ以上の詳細な議論は難しい。

謝辞 全磁力差変化の補正のため、国土地理院地磁気測量ホームページから水沢測地観測所江刺観測場の毎時値を使用しました。記して感謝いたします。プロトン磁力計センサー設置については、滝沢村、西根町、盛岡森林管理署および雫石町西山牧野組合の、それぞれ担当の方々のご協力に感謝いたします。

## 参考文献

- 土井宣夫、岩手山の縄文時代以降の噴火史、月刊地球、21、257-263、1999。  
土井宣夫・斎藤徳美・土井小枝子・野田 賢・越谷 信・沼宮内 忠・小原千里、岩手火山の1999年からの噴気活動と東西性開口き裂群、月刊地球、号外39、38-44、2002。

- 三品正明・植木貞人・浜口博之, 1998年9月3日雫石の地震(M6.1)に伴う地磁気変化, 第106回地球電磁気・地球惑星圏学会講演会, B21-03, 1999.
- Nishimura, T., H. Nakamichi, S. Tanaka, M. Sato, T. Kobayashi, S. Ueki, H. Hamaguchi, M. Ohtake, H. Sato, and E. Fujita. Source process of very long-period seismic events associated with the 1998 activity of Iwate Volcano, northeastern Japan, *J. Geophys. Res.*, 105, 19135-19147, 2000.
- Okuma, Shigeo. Magnetic constraints on the subsurface structure of Akita-Yakeyama volcano, northeastern Japan, *Earth Planets Space*, 50, 153-163, 1998.
- 佐藤峰司, 地殻変動連続観測による岩手山の火山活動に関する研究, 東北大学博士論文, pp157, 2001.
- 佐藤峰司・浜口博之, 岩手山西方の膨張・収縮する球状圧力源の実体に関する一考察, 火山学会講演会 2002年秋季大会, B48, 2002.
- Tanaka, S., H. Hamaguchi, S. Ueki, M. Sato, and H. Nakamichi. Migration of seismic activity during the 1998 volcanic unrest at Iwate volcano, northeastern Japan, with reference to P and S wave velocity anomaly and crustal deformation, *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 113, 399-414, 2002.
- 東北大学理学研究科, 第96回火山噴火予知連絡会資料, 2003.