

吾妻山における地球電磁気観測

山崎 明・中島新三郎・田口陽介・海東恵美・芥川真由美・増子徳道・
清水淳平・大和田毅・山崎伸行・長町信吾（気象庁地磁気観測所）
大川隆志（精密地震観測室）
仙台管区気象台火山監視・情報センター

Electromagnetic Observations at the Azuma Volcano

Akira Yamazaki¹, Sinzaburo Nakajima¹, Yosuke Taguchi¹,
Megumi Kaito¹, Mayumi Akutagawa¹, Norimichi Mashiko¹, Jumpei Shimizu¹,
Takeshi Owada¹, Nobuyuki Yamazaki¹, Shingo Nagamachi¹,
Takashi Ookawa²,
Volcanological Center, Sendai District Meteorological Observatory

1. Kakioka Magnetic Observatory
2. Matsushiro Seismological Observatory

Abstract

In order to monitoring hydrothermal activity beneath the Azuma volcano, repeat measurements of the geomagnetic total force have been carried out near the Oana crater since 2003 by the volcanological center of Sendai district meteorological observatory. Continuous secular variations in the geomagnetic total force have been observed near the Oana crater, which is ascribed to thermal demagnetization at a depth of about 300 meters beneath the Oana crater. Further, we measured self-potential (SP) distribution in 2009 around the Oana crater to detect an electric field anomaly caused by hydrothermal system. We discuss a relation of geomagnetic variations and crustal deformations caused by hydrothermal system.

1. はじめに

吾妻火山は山形・福島県境に位置し多数の成層火山や単成火山から成る火山群である。有史後の噴火は東吾妻火山にある一切経山周辺で発生している（気象庁, 2005）。一切経山の南東斜面には大穴火口と呼ばれる直径約 200m の火口があり、火口内およびその周辺部に噴気・地熱地帯が広がっている。2008年11月にこの火口内で高さ300mの噴気を上げる新たな噴気孔（W-6噴気孔）が出現し、それ以降噴気活動が活発な状態が続いている。また2010年に入ると5年ぶりとなる微動も発生し、火山活動が徐々に活発化しつつあるように見える（仙台管区気象台, 2010）。

仙台管区気象台火山監視・情報センターでは吾妻山の監視のため、地震・地殻変動・地熱・全磁力などの観測を実施している。このうち地震観測からは大穴火口付近で発生する火山性地震は2~3年周期で活発化していることがわかった。またGPS観測の結果でも大穴火口周辺の地殻が2~3年周期で伸縮しており、火山性地震の活発期に伸び、静穏期に縮みの変化をしていることが明らかとな

った。この大穴火口周辺の地殻変動のソースは、茂木モデルによる解析から大穴火口の地下約 500m に膨張・収縮源が求められている(山崎・他, 2008, 仙台管区気象台, 2010)。

吾妻山での地球電磁気観測については 1979 年に大学などにより集中観測が行われ、浄土平周辺において地殻比抵抗および全磁力観測が実施されている(行武・他, 1981)。2003 年には地磁気観測所の協力の下、火山監視・情報センターにより大穴火口周辺に全磁力の繰り返し観測点が設置された。以降、年一回ないし二回の繰り返し観測が同センターにより実施されている。また、2009 年には地磁気観測所により大穴火口周辺での自然電位分布の調査が行われた。

本報告では主に 2003 年以降行われている全磁力観測および 2009 年の自然電位観測について述べる。

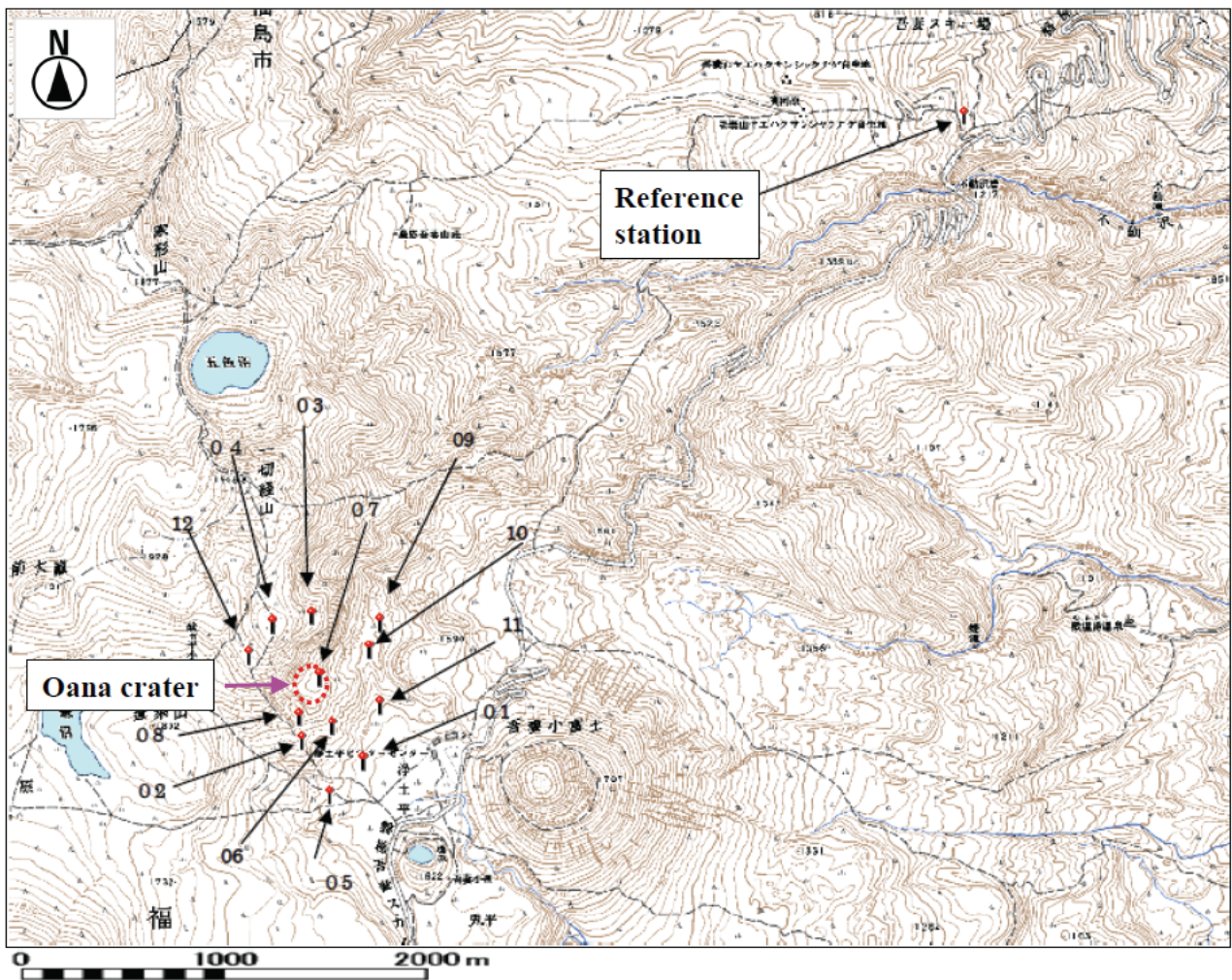


Fig. 1 Distribution of repeat observation points (Nos. 1-12). The reference station is located about 4km northeast from the Oana crater.

2. 全磁力繰り返し観測

全磁力繰り返し観測点は大穴火口を取り囲むように 12 点設けてある (Fig. 1)。観測点は 2003 年に 7 点設置し、翌年に 5 点を追加した。繰り返し観測点のプロトンセンサーの高さは 2.0m にしているが、測点近傍の原因による異常磁場変化を検出する目的で、高さ 1.5m での観測も並行して実施している。大穴火口の北東約 4km にある不動沢橋の北側の尾根には全磁力観測の参照点を設けてあ

る。この参照点は吾妻山での全磁力繰り返し観測の基準点としており、繰り返し観測の観測期間中に連続測定のプロトン磁力計を設置し全磁力の毎分測定を行っている。

Fig. 2に2003年から2009年までの全磁力繰り返し観測結果を示す。図から、全磁力は大穴火口を中心とする半径500mほどの領域で変化していることがわかる。全磁力変化は大穴火口の北側では全磁力の増加、南側では減少する分布を示しており、これは典型的な消磁の変化パターンと一致する。観測開始年(2003年)からの全磁力変化は大穴火口南側の変化の大きい測点で-20nTに達している。噴気活動が盛んな大穴火口の地下で発生していることを考慮すると、この消磁は地下の熱水活動などに伴う熱消磁と解釈するのが妥当であると考えられる。加えて、この熱消磁は観測を開始した2003年以前から始まっており、現在までほぼ一定の速度で熱消磁が進行していたと推定される。

Table 1、Fig. 3に全磁力繰り返し観測の結果から最小自乗法で求めた熱消磁のダイポールモデルを示した。2004年~2009年までの全磁力変化から計算した熱消磁球の位置は大穴火口直下の地下300m(海拔1400m)に求まった。また、年毎の全磁力変化から計算した熱消磁球(磁化強度を1A/mと仮定)も示したが、各モデルとも位置は大穴火口の近辺で深さは300m~400mに求められた。これら年毎に求めた各熱消磁モデルの時間的な動きについては、位置の決定精度などを考慮すると必ずしも有意とは言えず、むしろほぼ同じ場所で熱消磁が進行しているものと推察される。

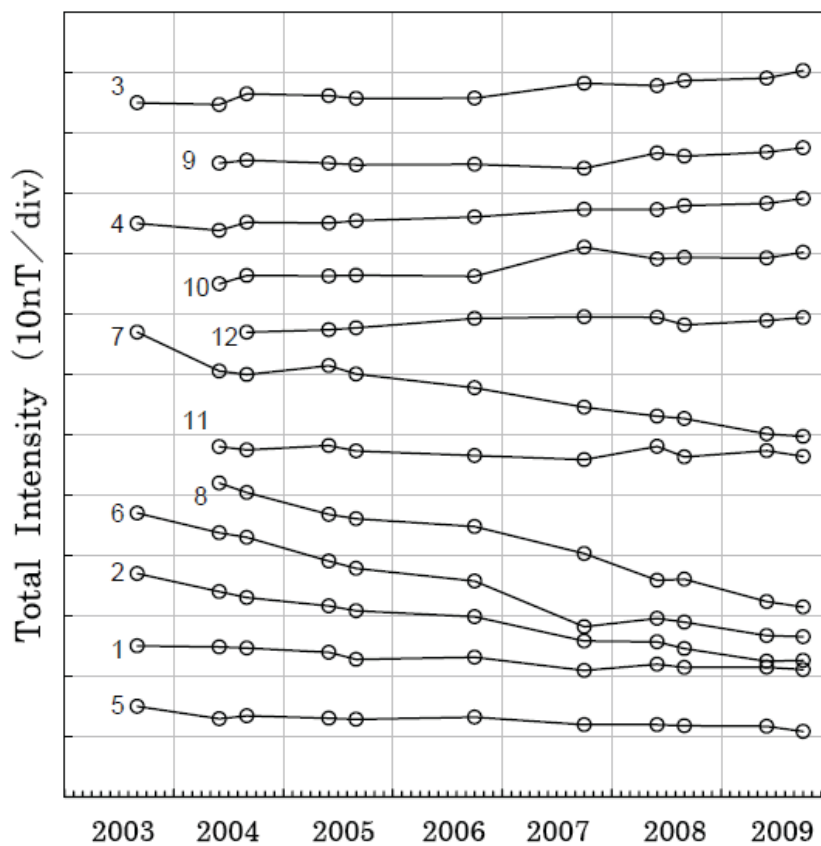


Fig. 2 Variations of the geomagnetic total force relative to that at reference station.

Table 1 Obtained demagnetization dipole models from geomagnetic changes in each year and five years (2004 to 2009). The radius means that of the equivalent demagnetized sphere (1A/m). The locations of dipoles are showed in Fig. 3.

Mark	Period	altitude	radius
1	2004-2005	1380m	60m
2	2005-2006	1300m	60m
3	2006-2007	1360m	80m
4	2007-2008	1400m	80m
5	2008-2009	1420m	60m
A	2004-2009	1400m	100m

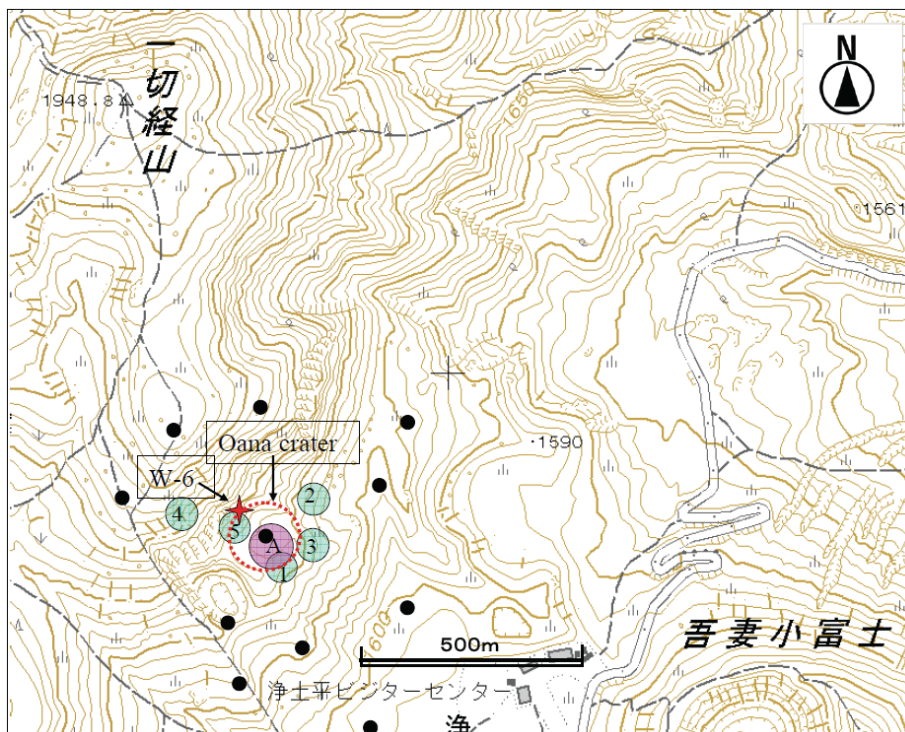


Fig. 3 Locations of the demagnetization models listed in Table 1. The black circles denote the repeat observation points. The dotted red circle denotes the Oana crater. The red star denotes the W-6 fumarole.

3. 自然電位観測

大穴火口の地下で発生している熱消磁には熱水活動の関与が考えられ、自然電位の分布から熱水対流の存在を把握することを目的として大穴火口周辺部において自然電位の測定を行った。測定は2009年の6月に予備的な調査として浄土平から大穴火口の間で実施し、2009年10月には浄土平から大穴火口を経て一切経山の山頂部近くまで範囲を広げ測定した (Fig. 4)。自然電位の測定は銅・硫酸銅電極を用い、概ね50m間隔で測定した。電位の測定には長さ500mの電線を用い、500mのスペン内では片方の電極を固定する方式 (通称：全電位法) で測定した。また、電位は浄土平の自然

電位測定の起点を基準点とした。

Fig. 4に示したように、浄土平から一切経山にかけての自然電位分布は平坦で、調査範囲内で概ね±50mV 以内の振幅であった。一切経山に近づくとやや電位が低くなる傾向が認められるものの、全体的には自然電位と標高の相関は不明瞭である。大穴火口に近づいても特に電位が高くなることもなく、熱水対流の存在を示唆するような自然電位の分布は得られなかった。

行武・他 (1981) は浄土平周辺部においてシュランベルジャー法などによる地殻比抵抗調査を行ったが、浄土平周辺の比抵抗は地表より2~3m以深では10Ω・m以下と極端に低比抵抗であると報告している。今回得られた平坦な自然電位の分布は、調査地域が極端な低比抵抗帯であるため、仮に地下に熱水対流が存在したとしても電位差があまり生じないことによると推察する。

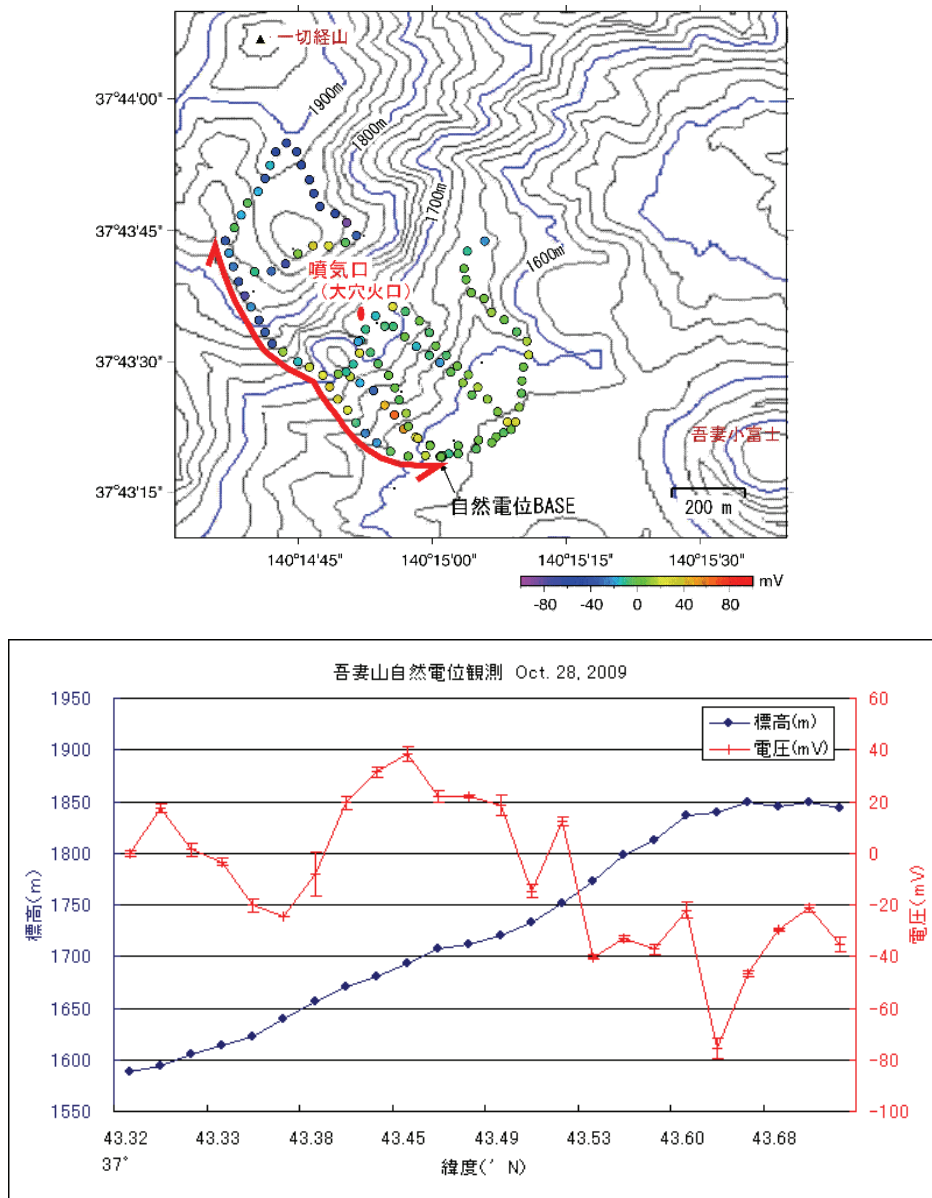


Fig. 4 Upper: Distribution of the measured SP. Lower: Red line denotes the SP profile along the thick red line showed in the upper figure. Blue line denotes the altitude of the SP measurement points.

4. 考察

先に述べたように吾妻山の大穴火口周辺では 2~3 年周期で伸びと縮みの地殻変動が観測されており、大穴火口の地下約 500m に膨張・収縮源が求まっている (山崎・他, 2008)。一方、全磁力繰り返し観測の結果からは大穴火口の地下約 300m で熱消磁が発生していることがわかった。なお、大穴火口の地下には膨張・収縮源が存在することから、茂木モデルに伴うピエゾ磁気効果 (Sasai, 1991) による磁場変化も多少含まれているものと思われる。しかしながら全磁力変化には地殻変動でみられる 2~3 年の周期性は認められず、ほぼ一定の速度で経年的に全磁力が変化していることから、ピエゾ磁気効果の寄与は小さくやはり熱消磁が支配的であろうと考えられる。

地殻変動のソースと熱消磁のソース位置は若干の違いがあるものの概ね一致していると言える。地殻変動と地震活動には 2~3 年の周期があるが、熱消磁には周期性がなくほぼ一定の速度で進行しており、大穴火口地下では準定常的に蓄熱していく機構が形成されているものと考えられる。

大穴火口で発生している噴気活動・地殻変動・全磁力変化を総合的に考察するに、大穴火口の地下 300~500m に熱水溜りが形成されているものと想定される。吾妻山と同様に地下の比較的浅部において全磁力変化に地殻変動を伴った変化が観測されたケースとして、安達太良山 (山本・他, 2008)、十勝岳 (橋本・他, 2010) での観測などがある。それらの変化はいずれも熱水溜りの挙動で説明されており、吾妻山の場合でも同じように解釈できるものと思われる。

Fig. 5 に吾妻山の大穴火口の地下で発生している火山現象のイメージを示す。大穴火口の地下 300~500m には熱水溜りが存在し、地下深部からの熱水の供給量と大穴火口からの放出量のバランスによって膨張したり収縮したりしていると想像される。熱水の供給が増える時火山性地震活動は活発化し、減るときには静穏化しているが、これは熱水の供給ルートに沿う岩盤の亀裂内の水圧上昇が地震を誘発させているものと解釈できる。一方、全磁力変化は熱水溜りの周囲の熱消磁で発生しているが、熱水溜りの圧力の増減にあまり左右されず、ほぼ定速度で進行しており蓄熱が進んでいる状況が窺える。

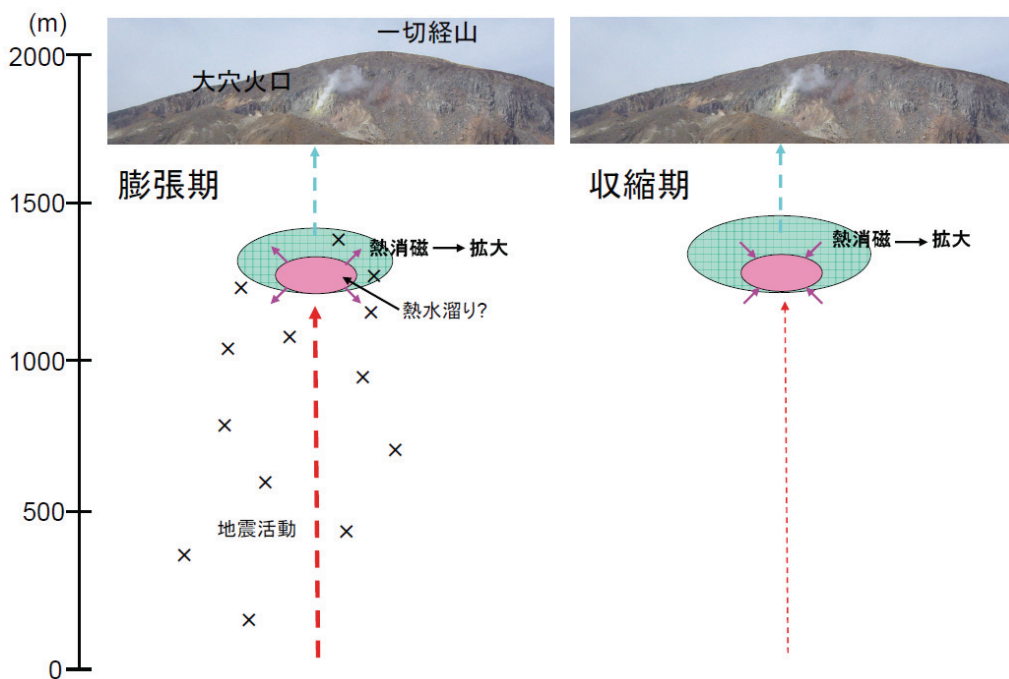


Fig. 5 Schematic of hydrothermal effects for the inflation period (left figure) and the deflation period (right figure).

参考文献

- 橋本武志・西村三治・有田真・山本輝明・小木曾仁・重野伸昭・岡崎紀俊・茂木透, 十勝岳の全磁力変化と蓄熱過程(2008-2009年), 北海道大学地球物理学研研究報告, 73, 269-280, 2010.
- 気象庁, 日本活火山総覧(第3版), 204-210, 2005.
- Sasai, Y., Piezomagnetic field associated with the Mogi model revisited: Analytic solution for finite spherical source, J. Geomag. Geoelectr., 43, 21-64, 1991.
- 仙台管区气象台, 吾妻山の噴気活動とその他の火山活動, 火山噴火予知連絡会会報, 102, 24-31, 2010.
- 山本哲也・高木朗充・福井敬一・大和田毅, 安達太良山の火山活動の総合的観測と推定される熱水活動, 気象研究所研究報告, 59, 39-64, 2008.
- 山崎伸行・近江克也・高木朗充, 吾妻山の地震活動に伴う地殻変動, 日本火山学会 2008 年度秋季大会講演予稿集, B25, 2008.
- 行武毅・吉野登志男・歌田久司・河村まこと・大地光・水野喜昭・小池捷春・小菅正裕, 吾妻山浄土平周辺の電気抵抗ならびに地磁気測定, 吾妻火山集中総合観測報告, 69-86, 1981.