

電磁気観測から推定される三宅島火山 2000 年噴火活動

上嶋 誠¹⁾・笹井洋一¹⁾・歌田久司¹⁾・鍵山恒臣¹⁾・

三宅島火山総合観測班 (熱・電磁気グループ)

¹⁾ 東京大学地震研究所

要旨

三宅島においては、2000 年 6 月末に始まる噴火活動以前より、全磁力 (1995 年より)・長基線地電位差 (1998 年より) 長期モニタリングを継続してきた。ここでは、地磁気・地電位差観測データに現れた噴火活動およびその準備過程を直接反映していると思われる諸現象を概観し、そこから得られた三宅島火山 2000 年噴火活動のメカニズムに関する知見を述べる。

1 はじめに

玄武岩のように磁性鉱物を多く含む火山岩から構成される火山においては、マグマが固結しさらに冷却が進むと地下の磁性鉱物が地球主磁場方向に磁化を獲得するため、局所的な空間的磁気異常が観測される。全磁力で見ると、日本付近のように北半球中緯度においては、火山体の北側で負、南側で正と対になった磁気異常帯があらわれる。三宅島においてもそのような磁気異常が航空磁気測量によって検知され、その解析から三宅島の平均的な帯磁として 8.6 A/m という値が求められている (植田・他, 1983)。地磁気の変化はまず、温度上昇に伴う熱消磁や冷却による再帯磁など火山体の温度変化に伴って現れ (熱磁気効果)、その変化の空間パターンから消磁 (南減少 / 北増加) 帯磁 (南増加 / 北減少) の判定や、消帯磁域の場所と深さが推定できる。たとえば Tanaka (1993) は、全磁力連続観測から 1989-1990 年阿蘇火山噴火における熱過程の解明を図った。また、応力変化に伴って磁化が変化する現象 (ピエゾ磁気効果) が知られ、マグマ溜の増圧やダイク貫入現象なども地磁気の変化として捉えられ得る (Sasai, 1991a; b)。さらに、山体崩壊が起こることによっても地磁気は変化する。これは、帯磁岩体が移動することによって磁化領域分布が変化することや、崩壊によって磁化方向が一様からランダムに分布するようになり見かけ上の消磁が起こることによる。

火山では大規模な熱水対流系が発達している。通常、間隙流体の流れに沿って正の電荷が運ばれるため、それに伴った電磁場が形成される (界面動電現象、たとえば Ishido and Mizutani, 1981)。熱水が上昇して水蒸気になるとそこからは電荷を運べなくなるため、その熱水 - 水蒸気境界面に正の電流源が現れることになる。このため、噴火活動が見られる領域では遠方点に対して通常正の電位 (自然電位) 異常分布が認められる。三宅島においても自然電位繰り返し測定から、上記のメカニズムが 2000 年噴火前の数年にわたって安定して存在していたことが示され、山頂カルデラでは山腹の環状林道周辺に比べて 300-400mV のプラスの電位となっ

ていた (Sasai *et al.*, 1997)。自然電位は、まずこの熱水対流系の消長に伴って変化すると考えられ、雲仙岳火山噴火においては山頂への溶岩ドームの出現に伴い、山頂部がプラスに変化するセンスの顕著な自然電位の変化が観測された (Hashimoto and Tanaka, 1995)。

以上のように、地磁気や自然電位分布の時間変化を追うことによって、火山噴火活動のメカニズムを推定する上で力学的な観測のみからでは得られない情報を抽出することが可能である。そこで、三宅島においては、プロトン磁力計を用いた全磁力観測を 1995 年 10 月より開始し、1998 年 3 月からは電話回線を用いた面的な自然電位観測を開始した。図 1 に、2001 年 1 月までの観測点分布を示す。全磁力観測については当初現地で ROM を交換する形での観測 (毎分サンプリング) を継続してきたが、2000 年 7 月からは携帯電話 (毎分サンプリング) やアルゴス衛星 (毎 20 分サンプリング) を用いたテレメータを開始した。1LSB を 0.1nT に設定している。自然電位観測については島内 9 箇所に埋設された鉛 - 塩化鉛平衡電極を電話回線で結び、8 チャンネルで 10 秒毎に計測を行い、データは公衆回線を用いて 1 日 1 回地震研究所に転送される。1LSB は 0.02mV となっている。7 月 8 日におきた山頂部の陥没によって山頂カルデラ内に設置された観測機器は失われ、また、全島避難の後電力の供給が断たれ電話線が火山泥流によって島内各地で切断されたため、2000 年 9 月から 2001 年 3 月現在に至るまで自然電位の観測は中止している。

2 全磁力の前兆的变化

2000 年 6 月三宅島火山活動が始まる以前に、山頂部八丁平カルデラ南縁直下の温度が上昇し消磁が進行していたとすれば説明のつく全磁力の前兆的变化が記録されていた (Sasai *et al.*, 2000)。図 2 に三宅島の南北中心軸に沿った観測点における 1995 年 10 月から 2000 年 5 月までの期間の全磁力変化を示す。1996 年 7 月から 1998 年 6 月に至る約 2 年間に OYM (雄山) で 10nT 全磁力が増加しその南に位置する TRK (大路池北) では 5nT 減少している様子が見取れる。この対になったリニアな変動は (ここで示さなかった観測点を含めて) 島内の他の観測点では見られない。このことからこの変化のソースは山頂付近で OYM と TRK の中間に位置すると推定できる。ソースとして山頂部八丁平カルデラ南縁の直下 700m あたりを中心とする熱消磁域を考えれば、観測値を説明することができる。前述の三宅島の平均帯磁を考慮して、この領域が熱水によって 100 度程度温度上昇していたとすれば、直径 280m の球状領域が約 2 年間に消磁していたことになる。

3 7 月 8 日山頂陥没に伴う全磁力と自然電位の変化

三宅島火山の 2000 年活動は、6 月 28 日 18 時頃からの山頂直下の地震群発で始まった。震源域の移動と地殻変動の推移から、山頂へ上昇しかけたマグマが西方へ貫入しさらに神津島・新島付近の激しい地震活動を誘発したと推定されている。しかし、全磁力と長基線自然電位には TAR (大路池) の全磁力減少を除き、ほとんど異常らしき変化が現れなかった。特にマグマのダイク状貫入があったとされ、地表に認められた亀裂の連なりから 50 m 程度しか離れていない自然電位の電極点 YKH (夕景浜)、阿古地区のプロトン磁力計 ENK (榎沢)

にも異常変化は認められなかった。これは、自然電位についてはこの活動に伴って顕著な間隙水の移動が起こらなかったことを示唆し、全磁力についてはマグマ貫入に伴う応力変化が起きていたとしてもキュリー点より温度の高い深部にその応力源が位置していたことを示唆する。

7月8日 18h41m頃、雄山の山頂カルデラ内で水蒸気爆発がおこり、火山灰混じりの水蒸気が山頂から 800m の高さまで上がった。噴煙活動は日没で見えなくなるまで続いたが、翌朝になって山頂カルデラ内に直径 950m で深さ 100m 以上の陥没孔が形成されていた。図 3 に OYM (雄山)、KMU (神着上) における全磁力変化と BKJ (牧場)、KDY (角屋敷)、MIK (三池) の TAR (大路池) に対する自然電位差変化を示す。OYM で +430nT、KMU で -6nT の全磁力の変動が認められる。その変化は 18h45m には終了し、その後翌朝に山頂陥没が目視で確認されるまで顕著な全磁力変動は認められない。この全磁力変化の原因は、主として磁化した山頂部分が消失したことにあるので、最初の山頂陥没はわずか 4 分以内に完了したことになる。図 3 に示した縦線の時刻 (18h41m30s) に爆発が起こり、遠方でも地震波動が観測された。菊地・山中 (EIC 地震学ノート No82) の解析によれば、「一様膨張 + 上方への突き上げと下方への突き下し」という力の組み合わせが約 10 秒間継続し、水蒸気爆発に続いて殆ど自由落下のような崩落が起こったと推定された。全磁力変化の継続時間はそれより長くなっているが、北側の八丁平の草原が後からずり落ちた (らしい) 影響であろう。7月8日の陥没域を円柱で近似し、その領域が消磁したとして、地表で期待される全磁力変化を見積もった。ここで、円の半径を 438 m (中田, 地震研 HP) とし、高さを 93 m (最初の陥没孔体積 $5.6 \times 10^7 \text{m}^3$: 国土地理院より) とした。計算された全磁力変化分布は、通常の地下での消磁による分布とは異なり、陥没孔の南北で減少し、東西で増加するというパターンであった。これは、観測点より高い位置で磁化が失われた場合に現れる分布である。計算値は、観測値を OYM を除いては大体うまく説明する。OYM では大きく正の変化が記録されているが、計算では負の変化となる。これは、OYM が陥没孔縁から至近距離にあり、その観測値を説明するにはより詳細に陥没地形をモデル化する必要があるためと考えられる。一方、自然電位は BKJ では 40-50 秒の継続時間で約 9mV 減少し、KDY や MIK では同様の継続時間で約 1mV 上昇している。その後、BKJ や KDY では徐々に元のレベルに復帰しているが、MIK では約 1 分で元のレベルに復帰している。この変化を 1 つの電流源で説明することは困難であるが、最初の変化の振幅分布は極性も含めて後述する傾斜ステップに伴う自然電位変化 (図 6(a)) とほぼ同じであり、負の電流源が山頂カルデラ南西側の地下 (図 7) に現れたことを示唆する。これは、水蒸気爆発ないしは陥没に伴って間隙水が周囲に強制的に移動したと考えれば説明がつく。

山頂陥没がごく短時間で形成され、それにともなって間隙水が移動していたらしいことが明らかとなった。この陥没量に見合った空間が山頂陥没に先行して地下に形成されていたことを推測させる証拠が、7月1日から7月8日に至る全磁力観測値の中にある。図 4 では、最初のマグマ貫入活動のおこった 6月26日から山頂陥没直後 7月10日までの三宅島南北中心線上の観測点での全磁力変化を示している。ステージ (a) (7月1日 - 7月7日) では、山頂から南斜面にかけての全観測点でゆっくりとした全磁力の減少が観測された。陥没の当日 (7月8日)、山頂での観測点 (OY2、OYM、OYS) ではその減少が加速しているが同様の加速は南斜面の観測点 (TRK、TAR) では認められない (ステージ (b))。そして、上述の陥没時の (継続時間 4 分程度の) データのとびが認められる (ステージ (c))。全磁力変化の空間的広がりから、そのソースが次第に浅いところへ移

動していることが推定できる。それぞれのステージに対応して、消磁を想定した地球磁場とは逆向きの等価双極子の深さ D と完全消磁域 (磁化 8.6 A/m 、球形を仮定) の体積 V を求めると、(a) では $D = 1.5 - 2.0 \text{ km}$ 、 $V = 3.3 - 5.8 \times 10^7 \text{ m}^3$ 、(b) では $D = 1.0 \text{ km}$ 、 $V = 3.4 \times 10^7 \text{ m}^3$ 、そして (c) では $D = 0.1 \text{ km}$ 、 $V = 3.7 \times 10^7 \text{ m}^3$ となる (上述の円板モデルのほうが島全体の観測値をより良く説明するが本質は変わらない)。すなわち、図 5 で示したように、7 月初め頃から山頂直下の $1.5 - 2.0 \text{ km}$ で生じた消磁域 (空洞?) が、その体積をほぼ変えずに上昇して山頂陥没に至ったことになる。

4 傾斜ステップに伴う自然電位と全磁力の変化

7 月 8 日の山頂陥没から 8 月 18 日の大規模噴火に至る期間、三宅島では 7 - 56 時間の間隔で、山頂方向が急激に隆起する現象が繰り返し防災科技研のボアホール傾斜計によってとらえられ、傾斜ステップと呼ばれた (Ukawa *et al.*, 2000)。そのステップは最大で 8 micro rad に達した。この傾斜ステップは、雄山西山腹 KAS (笠地藏) に設置された広帯域地震計速度波形では、図 6(a) の下二段のようにとらえられ、継続時間約 50 秒のゆっくりとした変動に高周波地震動が伴っている。図では鉛直成分を示していて、10 秒のローパスフィルターをかけた波形の最大振幅が 1.8 mm/s であることから、図で示した 7 月 14 日のイベントについては KAS で 50 秒間に約 4.5 cm 隆起したことになる。傾斜計では各イベントの間にゆっくりと山頂方向が沈降して元のレベルに復帰する鋸歯状の波形となっていたが、広帯域地震計の帯域では捉えられない。また、この長周期地震動は強震計や広帯域地震計ネットによって広く関東各地で捉えられ、その解析から、各傾斜ステップがモーメントとして 1 桁程度の違いが見られるにも関わらずすべての波形がほぼ相似で震源時間は規模によらずみな同じであることが明らかとなった (菊地・山中, EIC 地震学ノート No85)。

上記の菊地・山中によって解析された合計 39 例の傾斜ステップ時の長周期地震動のうち、相対的に振幅の大きい 32 例に対して自然電位変動が認知された。7 月 14 日のイベントに対する波形を図 6(a) に示す。特徴としては、地震波速度波形に非常に似ていること、BKJ (牧場) で -10 mV の負の変化に対して KDY (角屋敷)、MIK (三池) においては $+1.5 \text{ mV}$ と正の変化となっている事、自然電位波形が地震波速度波形のピークに対して約 10 秒遅れている事、自然電位変化が速度波形より長く尾を引くように見える事などがあげられ、これは (振幅の絶対値を除いては) イベントによらず共通して持っていた性質であった。各イベントによって速度波形鉛直成分の振幅は 4-5 倍程度の範囲で異なるが、自然電位変化の振幅も速度波形のそれに応じて変化し、KAS における鉛直速度変化 1 mm/s あたり BKJ-TAR の自然電位差変化が約 5 mV となるきれいな線形相関が認められた。さらに、同じ傾斜ステップに伴って全磁力も変化していたらしいことが明らかとなった。図 6(b) に、図 6(a) で示した 7 月 14 日深夜のイベントに対する全磁力変化を示す。ステップの発生時刻 (縦線で表示) を境として段差が見られ、北側山腹の KMU (神着上) では -1 nT 、南側山腹で TRK (大路池北) では小さいながら正、そして南側海岸近くの TAR (大路池) では $+1 \text{ nT}$ 程度の変化となっている。全磁力についてはモーメントの大きい 5 例について変化が確認された。この他、ステップの発生時刻に山頂で大規模な崩落が起こり、山頂付近の磁力計に大きな全磁力変化が記録されている例が 6 例あった。

上記の自然電位変化において、島中央部の BKJ の変動がマイナスになっていることから、地下に負のモノポール等価電流源を仮定しさらに一様半無限比抵抗媒体を仮定して、その電流源がどこに決まるかを検討した。その結果を図 7 に示す。MIK と KDY の電位変化がほぼ等しいことから、鉛直軸対称な場を考えるとソースは MIK と KDY を結ぶ垂直 2 等分線上の地下に求められる。その線上の各位置について、上記の振幅比を満たすようなソースの深さが求められる。こうして場所は特定できないが、図 7 に示したように山頂カルデラ南西部の地下約 1-4km の深さにソースが求められた。図 6 で示したイベントについて、仮にソースの深さが 2km と仮定すると (これは図 7 で 2km となっている地点の地下にソースが存在していたと仮定することに等しい)、電気伝導度を 0.1S/m として等価電流ソースの値は 38A となる。このイベントの等方成分モーメントは菊地・山中によると $3 \times 10^{17} \text{Nm}$ と決められていて、体積弾性率を $5 \times 10^{10} \text{N/m}^2$ とすると体積膨張は半径約 100m の球の体積分となる。オーダーの見積りのため、この電流が半径 100m の球の表面に分布しているとし、界面動電係数 (電流密度と圧力勾配間の比例係数) を $6 \times 10^{-9} \text{ A/[Pa m]}$ とおくと、間隙水流を駆動した圧力勾配は 50 kPa/m ということになる。仮定に仮定を重ねて得られた数値であるが、この程度の圧力勾配を受けて間隙水が圧力源から周囲の岩石へ放射状に移動したとすれば観測値の振幅を説明できることになる。現象論的にはこれで良いが、どのようにして間隙水に圧力勾配が加わったか、どうして自然電位と速度波形の間に 10 秒のずれが生じたかなど解くべき問題は多い。また、速度波形では確かにピークを持つが、傾斜ないしは変位で見た膨張、すなわち地下の圧力レベルの増加は、7-56 時間でゆっくりと元のレベルに復帰する現象であり、どうして自然電位 (あるいは間隙水流) が速度波形よりやや継続時間が長いくらいでもとのレベルに復帰してしまうかも解かれるべき問題である。全磁力変化については、図 6(b) で示した時間スケールでは、ステップ的変動をしているとみなしてよく、こちらは地下の圧力レベルの変化を見ているものと推定される。一様磁化した半無限弾性体の中に静水圧で膨張する球を考え (茂木モデル)、 piezo 磁気効果によって地表で観測されるべき全磁力異常変化を計算することが出来る (Sasai, 1991a)。その結果として、力源の真上は正領域ながらゼロに近く、北側で負、南側で正となるパターンが得られ、図 6(b) で示した変化の傾向と一致する。TRK において小さいながらも正の変化を示していたことから、力源の位置は陥没孔よりも南側にあると推定され、図 7 で示した自然電位変化を説明する等価負電流源の位置と矛盾はしない。

傾斜ステップの発生機構については、現在のところ、2 つの有力なモデルが提出されている。ひとつは間欠的ピストン降下・マグマ溜り膨張モデル (大湊, 2000) であり、もうひとつは水蒸気爆発モデル (菊地・山中, EIC 地震学ノート No84) である。大湊モデルは地下数 km あたりに直径 2km くらいのマグマ溜りを想定し、継続時間が規模によらずほぼ一定であることを説明できる。菊地・山中モデルは継続時間一定の問題が未解決であるが巨大なマグマ溜りを想定する必要が無く、ステップ間で変位が復帰することや、5 で述べる 8 月 18 日大規模噴火でシステムが壊れてしまったことも説明しやすい。現段階では、これらのモデルの優劣を議論する決定的な証拠に乏しく、上述した全磁力や自然電位変化の原因を探ることで傾斜ステップの物理メカニズムがより明確なものになると期待している。

5 8月18日大規模噴火とその後

山頂陥没以来4の傾斜ステップが繰り返して起こっていた期間中、7月14-15日(噴煙高度1500m)、8月10日(噴煙高度>3000m)などに 10^5 - 10^6 m³程度の降灰を伴う噴火が、山頂陥没孔の南側の火口から起こった。その後、8月18日に 5×10^6 m³の噴出物を出した最大規模の噴火(噴煙高度>8000m)、8月29日に低温火砕流を伴ったとされる噴火が発生する(噴煙高度8000m)と共にSO₂を主とする火山ガスが大量に放出されるようになり、9月始めには三宅島全島民が島外に避難せざるを得ない事態となった。8月18日の噴火を境に傾斜ステップは発生しなくなった。傾斜ステップを起こしていたシステムが、この噴火によって壊されたものと思われる。ちなみに、8月18日以前でも、上述の山頂噴火に伴っては傾斜ステップが発生していない。同時に、それに伴う自然電位変化も検知されていない。傾斜ステップを引き起こしたメカニズムとは独立に、山頂噴火が引き起こされていたらしい。

ここで、6月以来の全磁力変化を概観する。図8(a)、(b)で2000年6月から12月までの全磁力変化を示す。(a)では南北中心軸に沿った観測点、(b)では主にその東西に位置する観測点の変化を示している。最も顕著な変化として、傾斜ステップが繰り返していた7月8日から8月18日の間に島の中軸で減少、その東西で増加する全磁力変化が目立つ。特に雄山南山腹のOYS(雄山南)では、実に100nT以上の減少が観測されている。3で述べたように、この変化パターンは山頂部の消磁によって説明し得る。実際、この期間中、山頂陥没孔は次第に拡大、深下を続けたことが目視や国土地理院による航空測量によって知られている。そこで、8月30日の陥没孔の輪郭(中田・他、地震研HP)から求めた半径(750m)と、国土地理院の測量結果から求めた470mの高さをもった円柱で消磁領域を近似し、それによる全磁力変化を見積もった。その結果、東西観測点については最大数nTの違いで観測値をかなり良く説明したが、南北中心軸については最大50nTの違いが生じた。特に、TRKでは計算値が-3nTとほとんど山頂陥没の影響が認められないのに対して、実際は約20nT減少している。これは、この期間中、山頂陥没の進行とは別にやや深部で熱消磁が進行していたことを示唆し、現在より精密な検討を進めているところである。8月18日以降は全磁力の変化も横ばいとなり、8月18日の噴火が全磁力変化の転換点であったことを示す。

8月18日の噴火に伴っては、BKJの自然電位にも顕著な変化が現れた。図9にそのデータを示す。上図では8月18日一日間のプロットを示している。噴火に伴って約130mVの電位の上昇が見られ、その後そのレベルは9月に観測が中止されるまで維持された。変化前の-370mVという負の電位は地形効果の現れであり、これも間隙水が斜面を流れ下るのに伴う界面動電現象で説明可能である。この負電位レベルは、1998年3月の観測開始以来ずっと維持されてきたものであり、さらに北大の西田を中心とした1991、1995、1996年の3度にわたる自然電位マッピングでもその負電位の存在が確認されていた(Sasai *et al.*, 1997)。1で述べたように、このマッピングでは、同時にBKJあたりから山頂カルデラにかけて約400mVに及ぶ正電位異常がこの期間中に安定して存在していたことが確認され、大規模な熱水対流系の存在が示唆されていた。8月18日の噴火に伴った電位の上昇は、この熱水循環系に大きな変化が起きたことを示す。また、この噴火に伴う変化をもう少し詳しく見ると(下図)、電位変化は、最初-20mV程度の負の変化で始まっていることが読み取れる。これ

は、陥没孔形成時の変化 (図 3) や、4 で述べた傾斜ステップ時の変化 (図 6(a)) と極性は一致する。噴火の初期段階においては、一旦地下のソースから放射状に間隙水が移動したのではなかろうか。ただし、この噴火に伴う電位変化において前のそれとは異なる性質として、最初の負の変化にしる後の大きな正の変化にしる、それに見合う変化が島内の他の点、例えば MIK や KDY では検知されないことがあげられる。これは、この変化のソースがかなり浅いところに位置していたことを示唆する。

6 おわりに

2000 年三宅島火山活動は、6 月 26 日のマグマ貫入事件に始まり、7 月 8 日の山頂陥没、8 月 18 日の大規模噴火がその噴火活動の各ステージを区切る重要なイベントであったと認知されている。6 月 26 日のマグマ貫入事件を除き、それぞれのステージにおいて顕著な全磁力、自然電位変化が観測され、火山活動のメカニズムを考える上で貴重な情報が抽出された。ここでは、その概略の説明と一次的な解釈の紹介を行ったが、今後さらにその物理的解釈を精密化していきたい。本論は、笹井・他 (2001) を土台にして書かれた。特に全磁力変化については笹井・他 (2001) により詳細な記述がある。あわせて参照されたい。

謝辞

大湊隆雄博士 (東大地震研) には図 6(a) の広帯域地震計記録を提供して頂いた上、貴重なコメントを頂いた。1983 年噴火以来、三宅島の多くの方々と三宅島村役場および東京都三宅支庁には、観測のために様々な便宜を図って頂いている。心から謝意を表します。

参考文献

- Hashimoto, T. and Tanaka, Y., A large self-potential anomaly on Unzen volcano, Shimabara Peninsula, Kyushu Island, Japan, *Geophys. Res. Lett.*, **22**, 191–194, 1995.
- Ishido, T. and Mizutani, H., Experimental and theoretical basis of electrokinetic phenomena in rock-water systems and its applications to geophysics, *J. Geophys. Res.*, **86**, 1763–1775, 1981.
- Sasai, Y., Piezomagnetic field associated with the Mogi model revisited: Analytic solution for finite spherical source, *J. Gemag. Geoelectr.*, **43**, 21–64, 1991a.
- Sasai, Y., Tectonomagnetic modeling on the basis of the linear piezomagnetic effect, *Bull. Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo*, **66**, 585–722, 1991b.
- Sasai, Y., Zlotnicki, J., Nishida, Y., Yvetot, P., Morat, P., Murakami, H., Tanaka, Y., Ishikawa, Y., Koyama, S., and Sekiguchi, W., Electromagnetic monitoring of Miyake-jima volcano, Izu-Bonin Arc, Japan: A preliminary report, *J. Gemag. Geoelectr.*, **49**, 1293–1316, 1997.
- Sasai, Y., Zlotnicki, J., Nishida, Y., Uyeshima, M., Yvetot, P., Tanaka, Y., Watanabe, H., and Takahashi, Y., Evaluation of electric and magnetic field monitoring of Miyake-jima volcano (Central Japan): 1995–1999, *Annali di Geofisica*, **43**, 2000 (in press).
- 笹井洋一・上嶋誠・歌田久司・鍵山恒臣・Zlotnicki, J., 地磁気・地電位観測から推定される三宅島火山の 2000 年活動, 地学雑誌, 2001 (投稿中).

Tanaka, Y., Eruption mechanism as inferred from geomagnetic changes with special attention to the 1989-1990 activity of Aso volcano, *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, **56**, 319-338, 1993.

植田義夫・登崎隆志・小野寺健英・兼子俊朗・大島章一, 航空磁気測量結果から求めた本邦第四紀火山の地磁気異常と磁気構造, 水路部研究報告, 18, 37-64, 1983.

Ukawa, M., Fujita, E., Yamamoto, E., Okada, Y., and Kikuchi, M., The 2000 Miyakejima eruption: Crustal deformation and earthquakes observed by the NIED Miyakejima observation network, *Earth Planets Space*, **52**, 19-26, 2000.

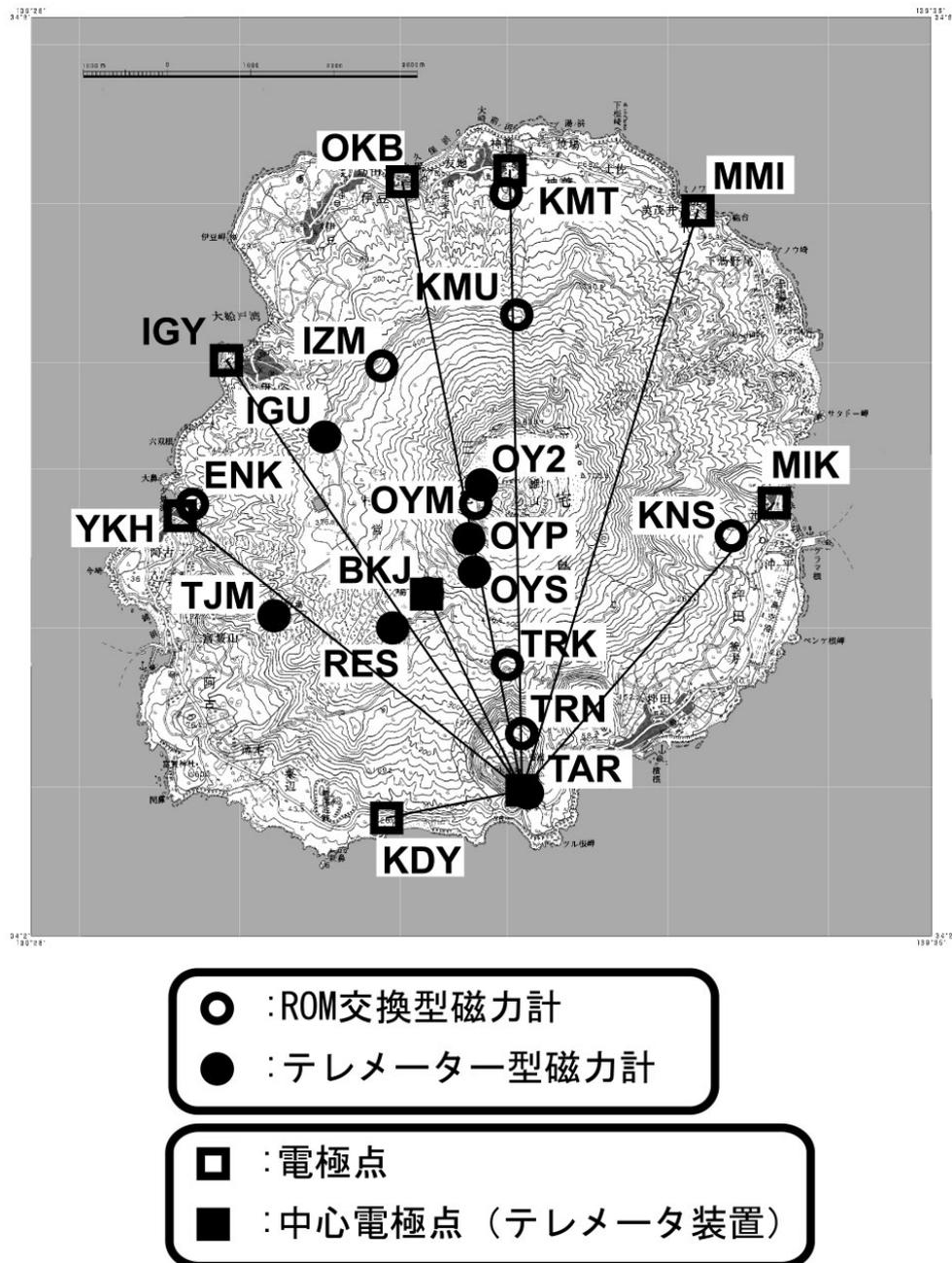


図 1: 三宅島における全磁力、長基線自然電位観測点分布。2001 年 1 月までに連続観測を行った観測点を示す。2001 年 1 月現在、山頂部のプロトン観測 (OY2、OYM、OYP、OYS)、自然電位観測は、山頂陥没や噴火、電話回線の切断等の事情により中止している。

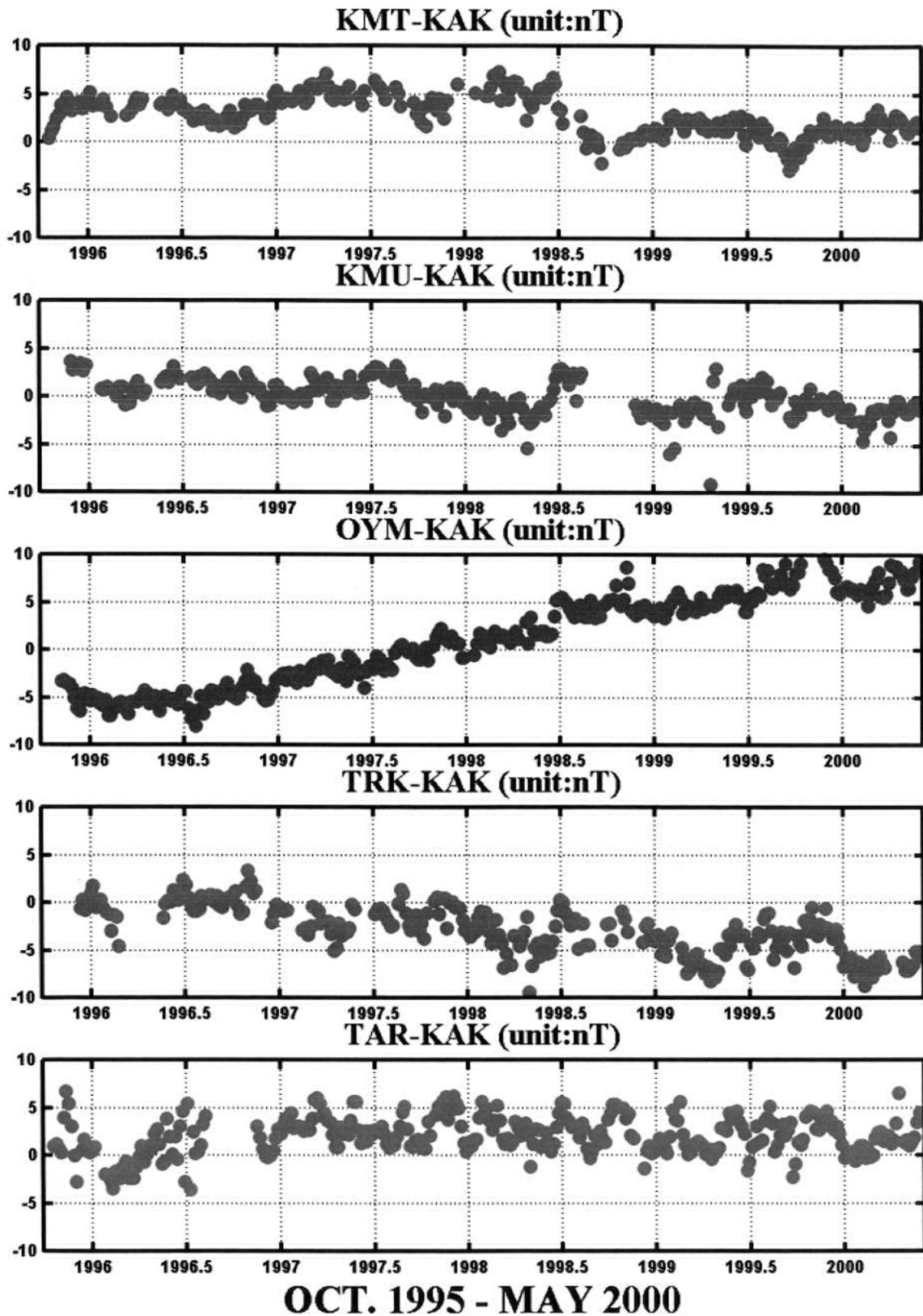


図 2: 2000 年三宅島噴火以前 (1995 年 10 月 ~ 2000 年 5 月) の全磁力変化。三宅島の南北中心線上の測点のデータを上から下に北から南に並べている。KAK (気象庁柿岡地磁気観測所) を基準とした全磁力単純差の 5 日平均。

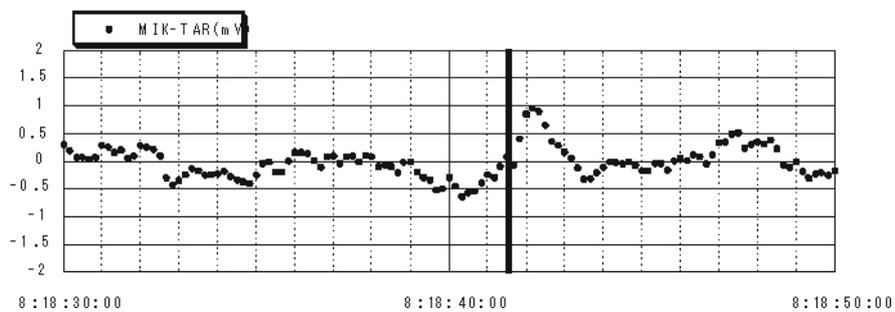
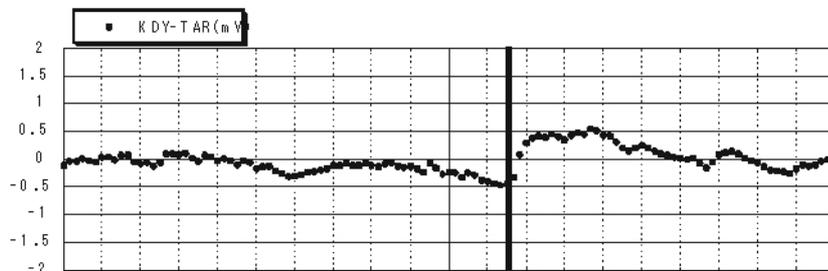
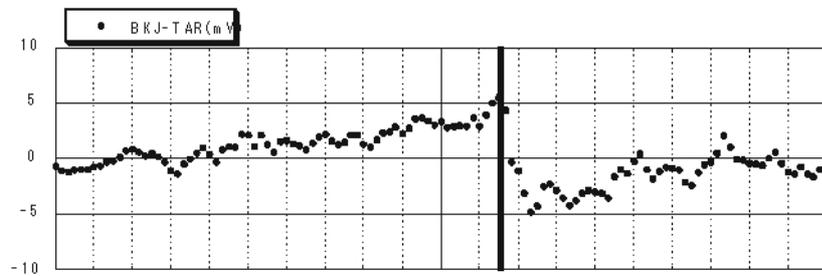
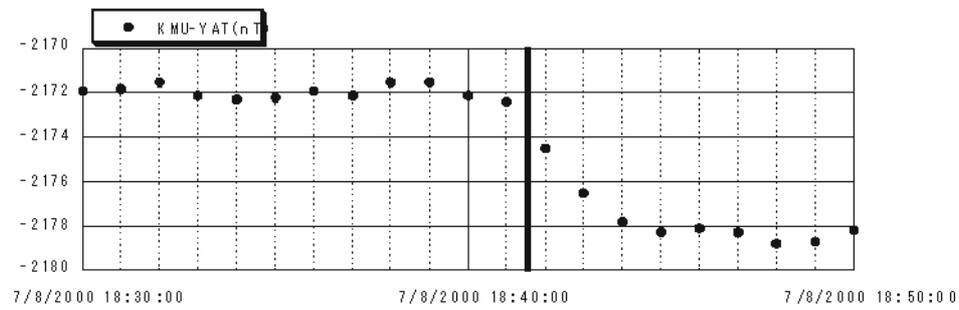
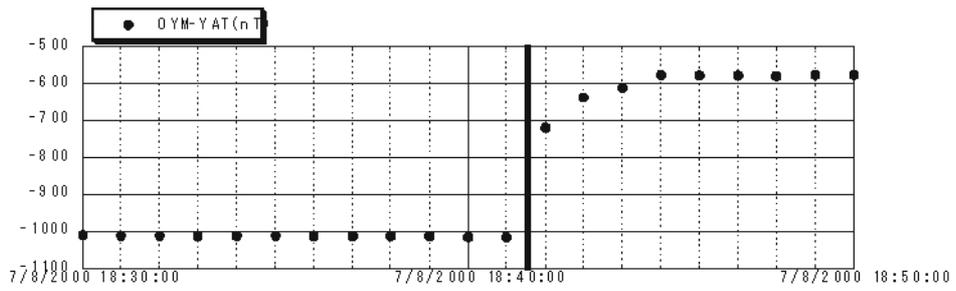


図 3: 7月8日山頂陥没 (開始時刻 18h41m30s を太線で表示) 前後 (18h30m-18h50m) の全磁力 (OYM (雄山)、KMU (神着上)) 及び自然電位変化 (BKJ (牧場)、KDY (角屋敷)、MIK (三池))。全磁力は、YAT (東大地震研八ヶ岳地球電磁気観測所) との単純差毎分値。自然電位は、TAR (大路池) に対して示してあり、地磁気誘導成分を除去した毎 10 秒値。

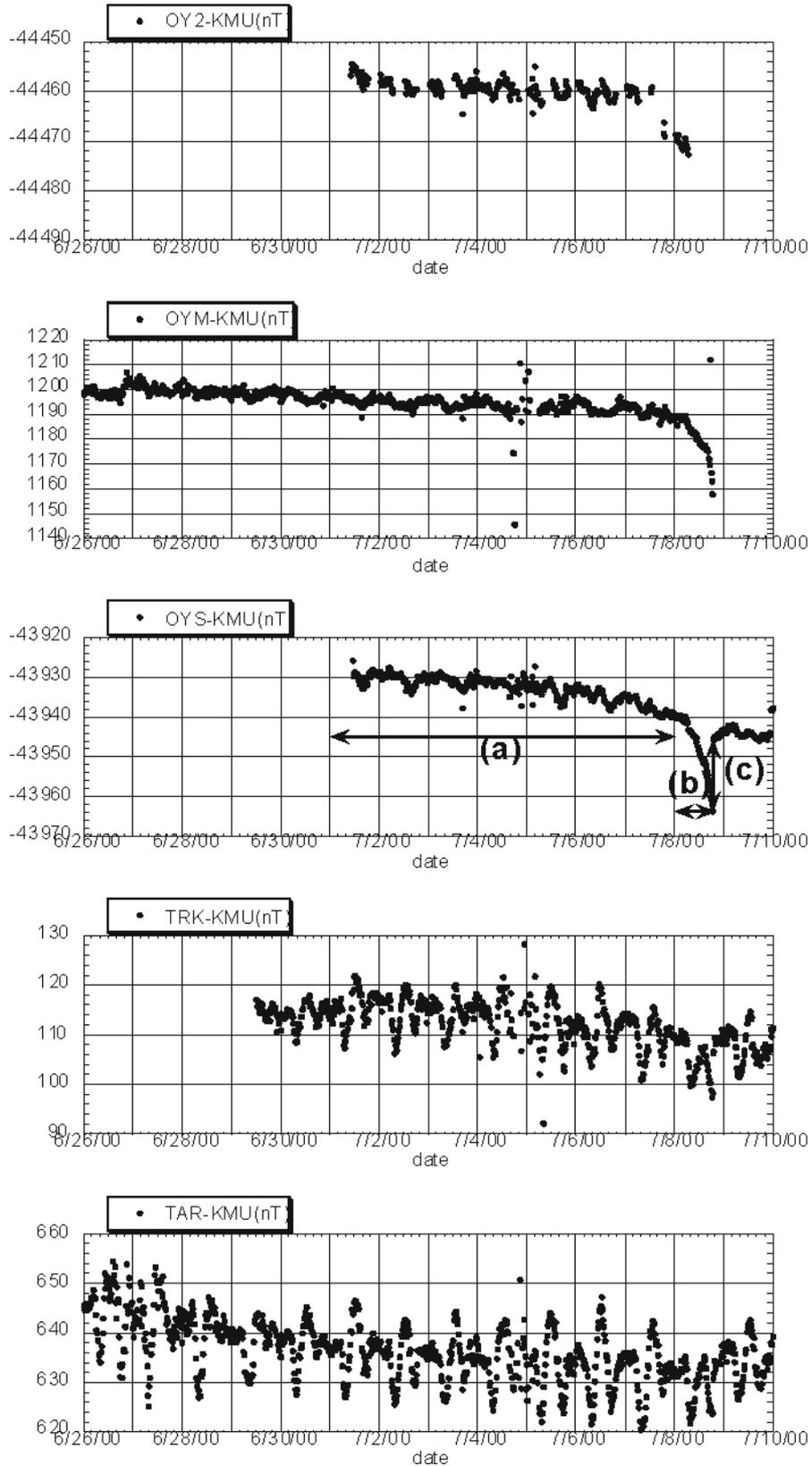


図 4: 三宅島の南北中心線上の観測点における 7 月 8 日山頂陥没に先行する全磁力変化。全磁力は、神着上 (KMU) との単純差毎 20 分値。山頂陥没の前 1 週間の緩やかな変化 (a)、当日の急激な変化 (b)、陥没形成時の変化 (c) (図 3 参照) の 3 つのステージが認められる。

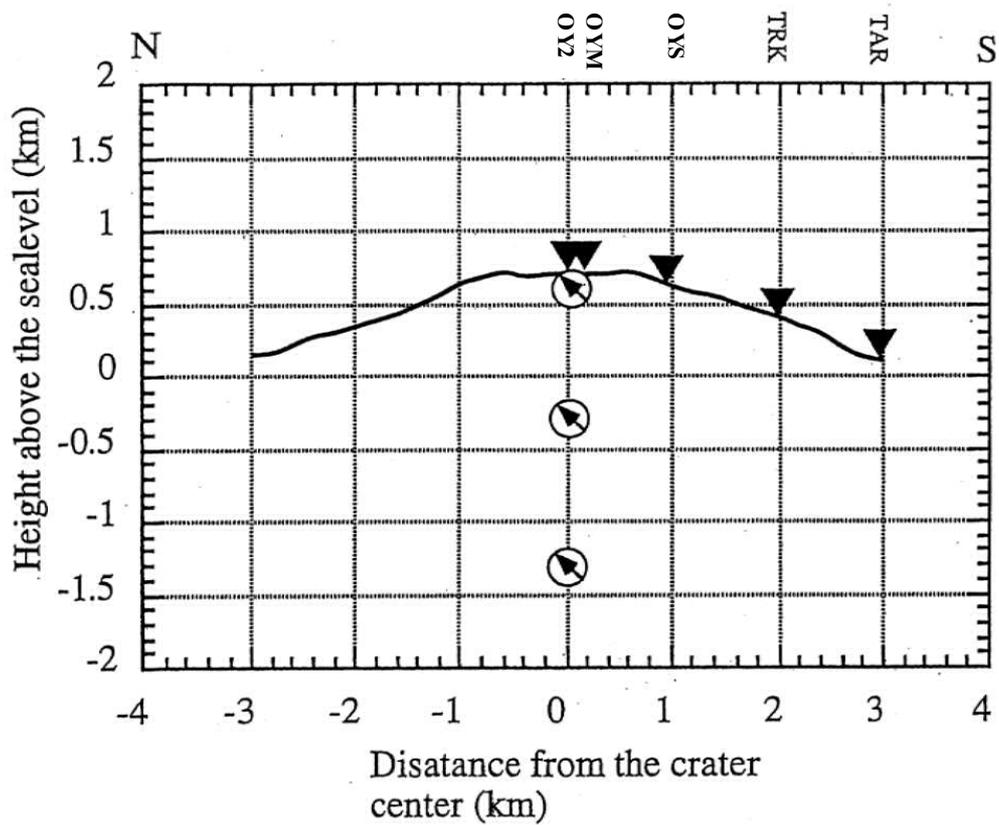


図 5: 山頂陥没の前 1 週間の緩やかな全磁力変化 (図 4(a))、当日の急激な変化 (図 4(b))、陥没形成時の変化 (図 3、図 4(c)) を説明する等価な消磁双極子の位置。下から順に、ステージ (a)、(b)、(c) に対応する等価双極子の位置を表している。海面下約 1.5km くらいから、消磁源は徐々に浅くなった。

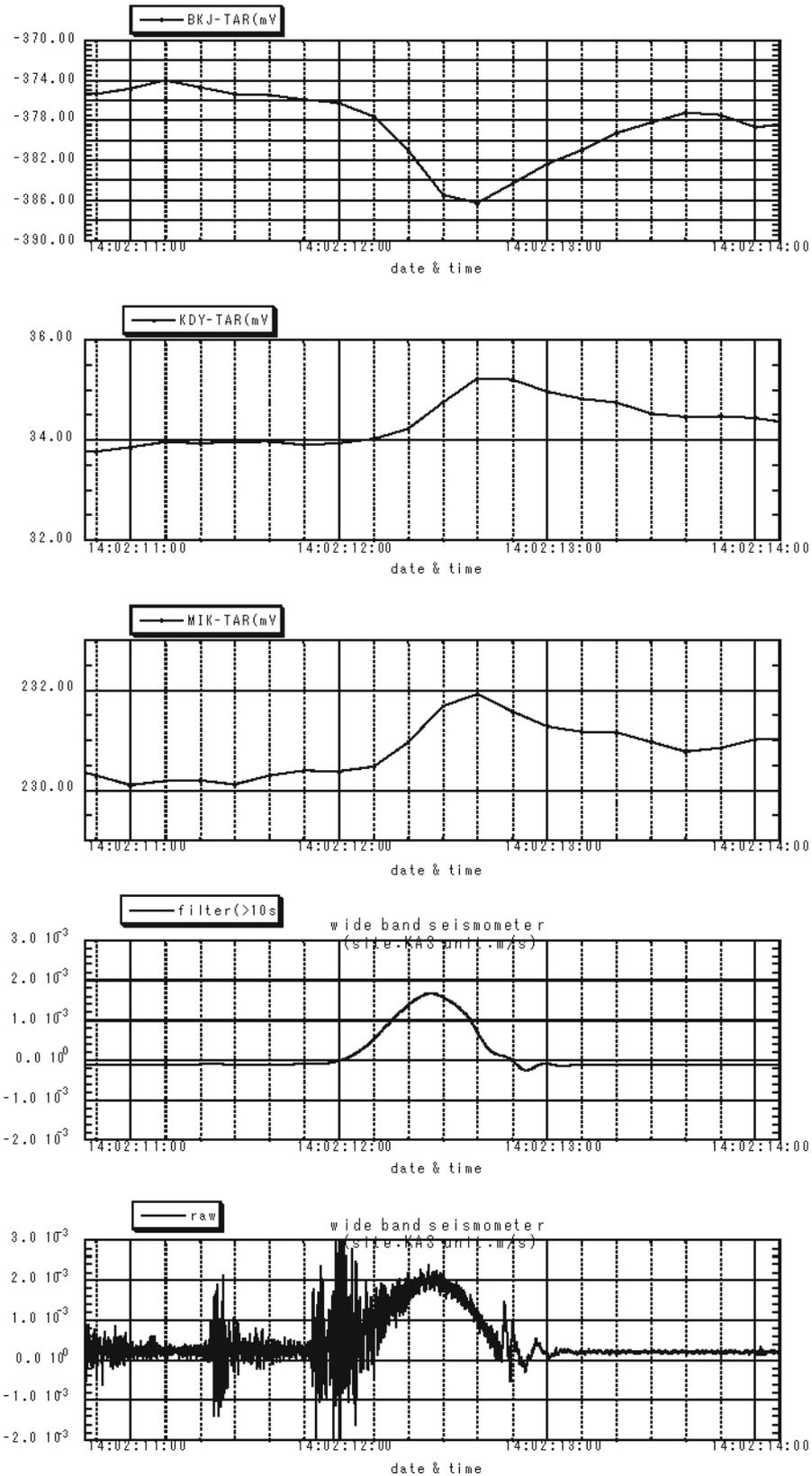


図 6 (a): 傾斜ステップに伴う自然電位変化 (BKJ (牧場)、KDY (角屋敷)、MIK (三池)) と KAS (笠地蔵) に設置された広帯域地震計の速度波形 (10s のローパスフィルターをかけたものと生の波形、大湊隆雄 (東大地震研) による)。7 月 14 日 02h12m 頃のイベント。自然電位は、TAR (大路池) に対して示された毎 10 秒値。地震波形は 20Hz サンプリング。

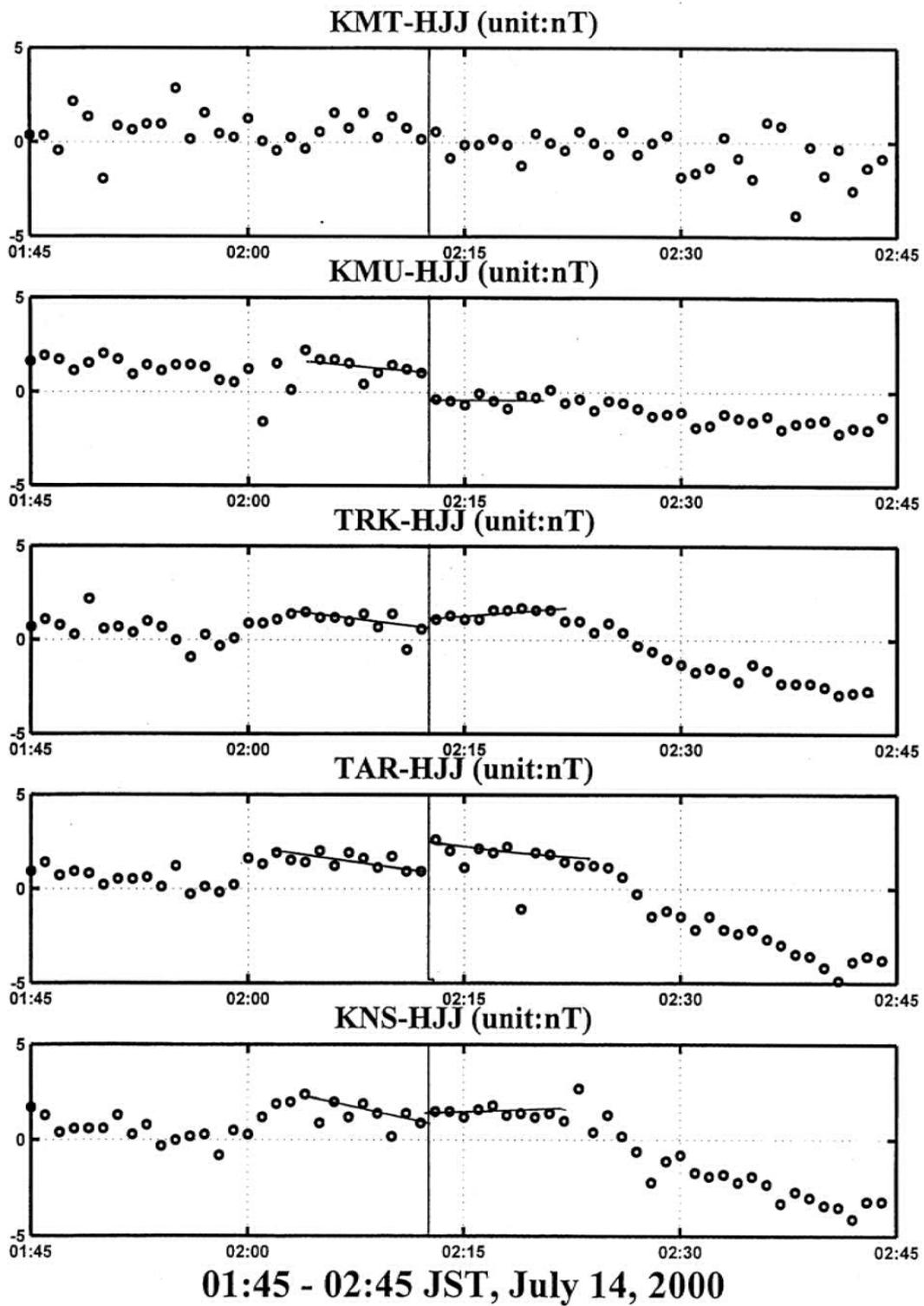
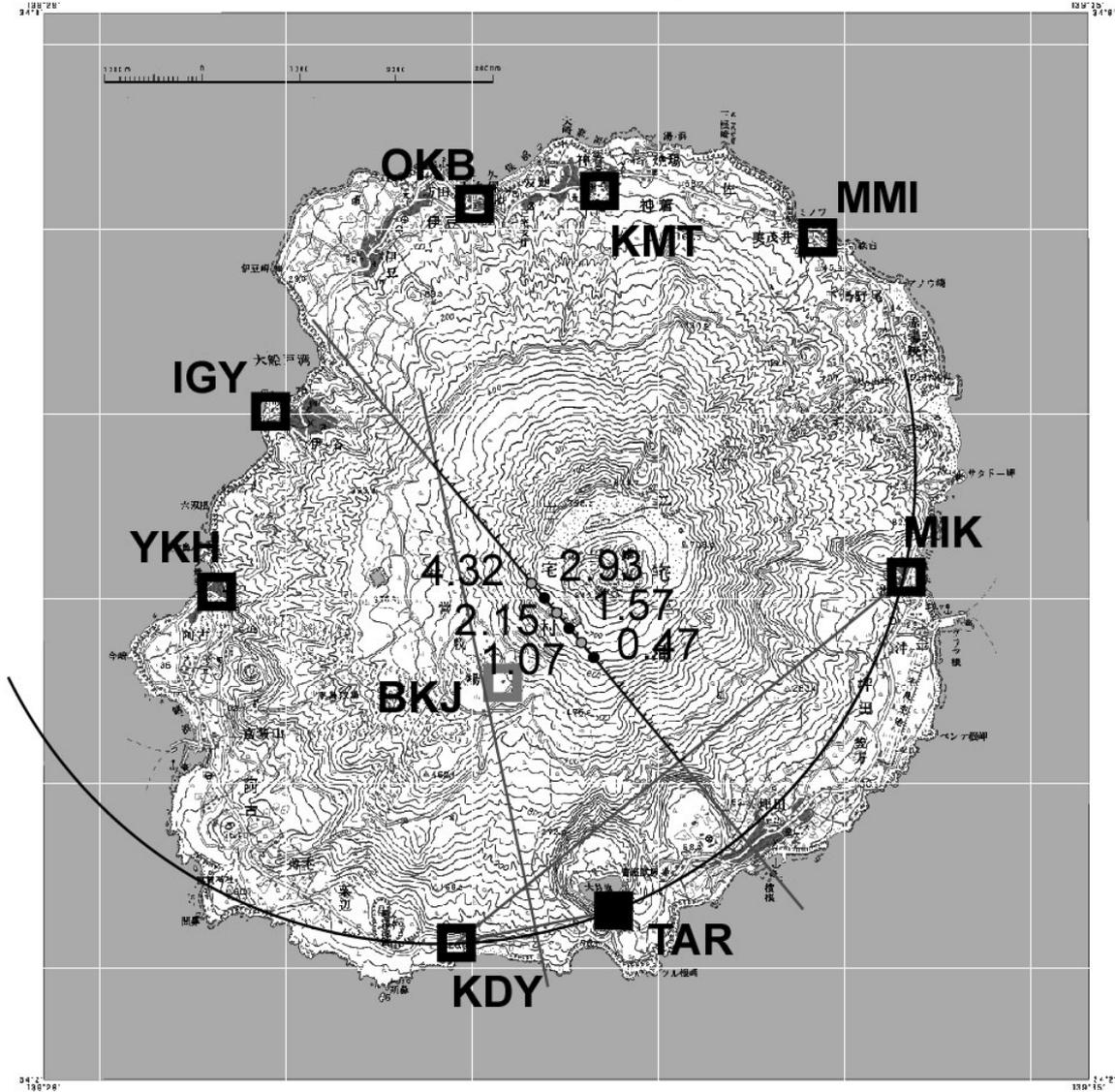


図 6 (b): 図 6(a) と同じ傾斜ステップに伴う全磁力変化 (KMT (神着)、KMU (神着上)、TRK (大路池北)、TAR (大路池)、KNS (金曽))。HJJ (海上保安庁八丈水路観測所) に対する単純差毎分値を示す。

モノポールソースの深さ

三宅島



□ : 電極点

■ : 中心電極点 (テレメータ装置)

図 7: 傾斜ステップの圧力源から間隙水が周囲に強制注入されることで、圧力源のまわりに負電荷が現れると仮定して求めた圧力源の深さ。図中の数値は、深さ (km) を示し、右上側、左下側の数字列はそれぞれ、黒丸、薄墨丸の位置の直下にソースがあると仮定したときの深さを示している。

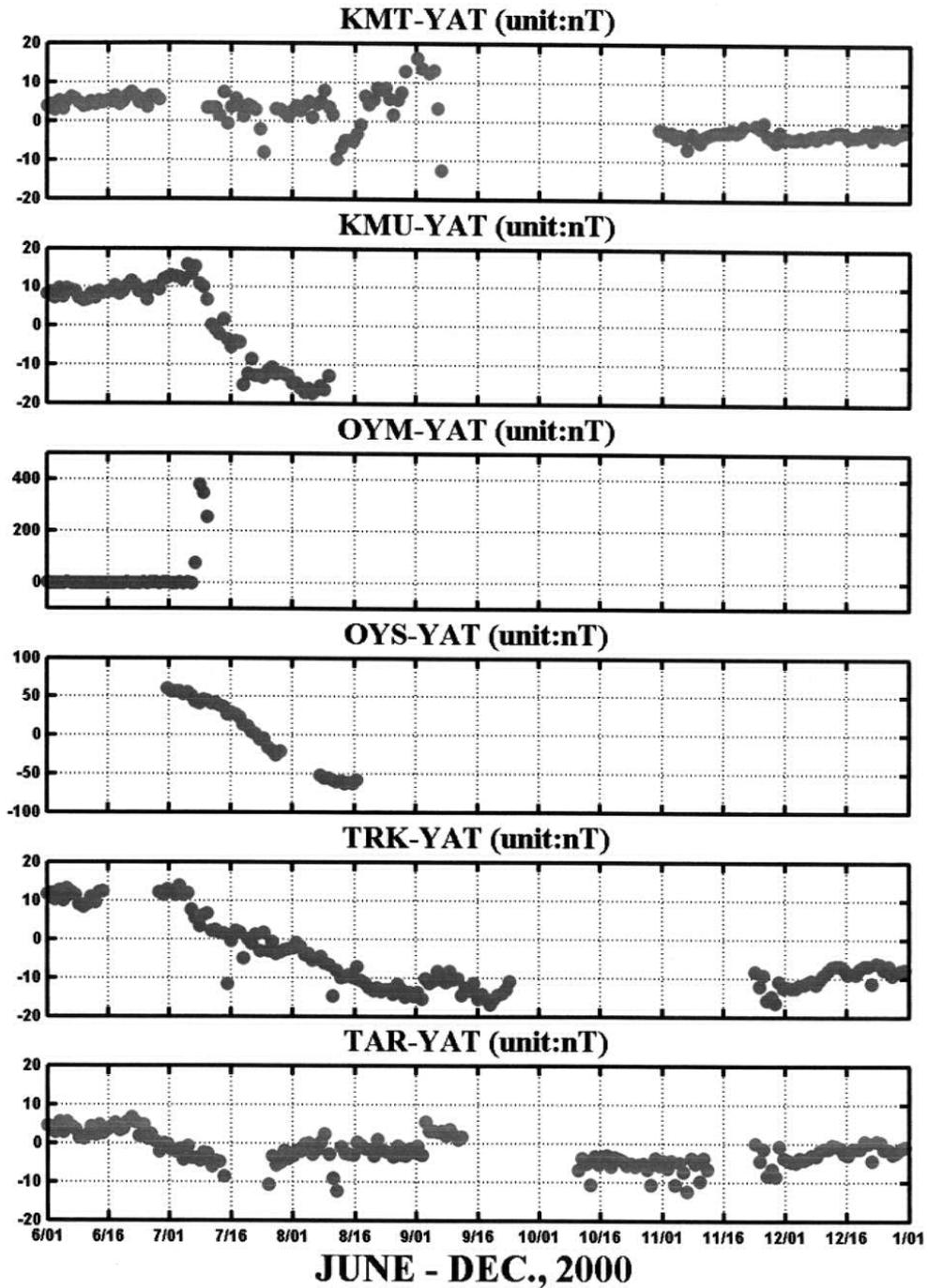


図 8 (a): 三宅島の南北中心線上の観測点における全磁力変化。YAT (東大地震研八ヶ岳地球電磁気観測所) を基準とした単純差日平均。2000 年 6 月 - 12 月。

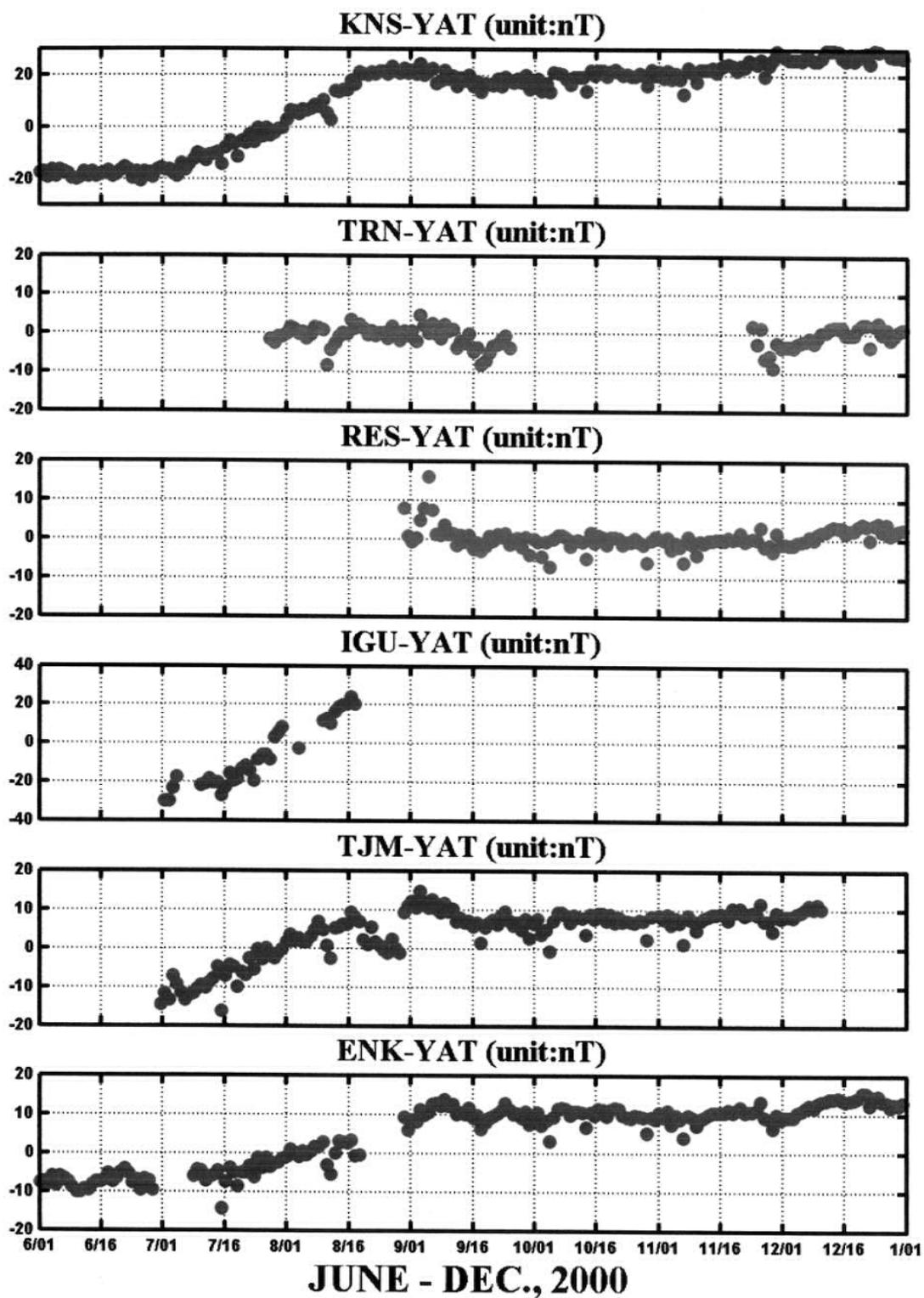


図 8 (b): 三宅島の主として東西両側の観測点における全磁力変化。YAT (東大地震研八ヶ岳地球電磁気観測所) を基準とした単純差日平均。2000 年 6 月 - 12 月。

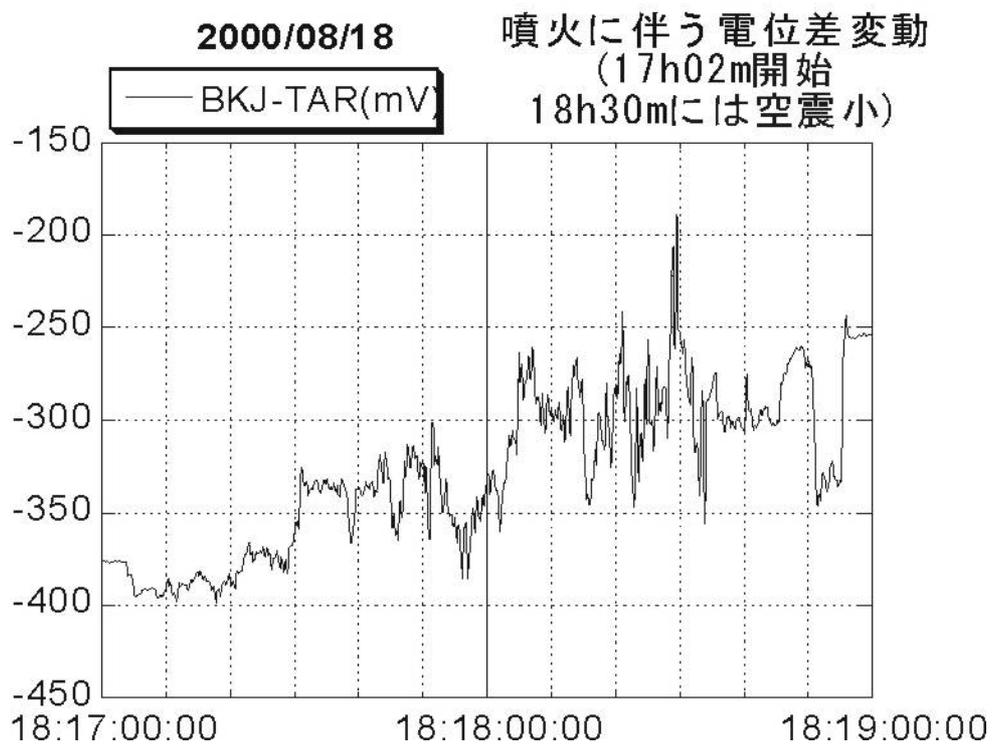
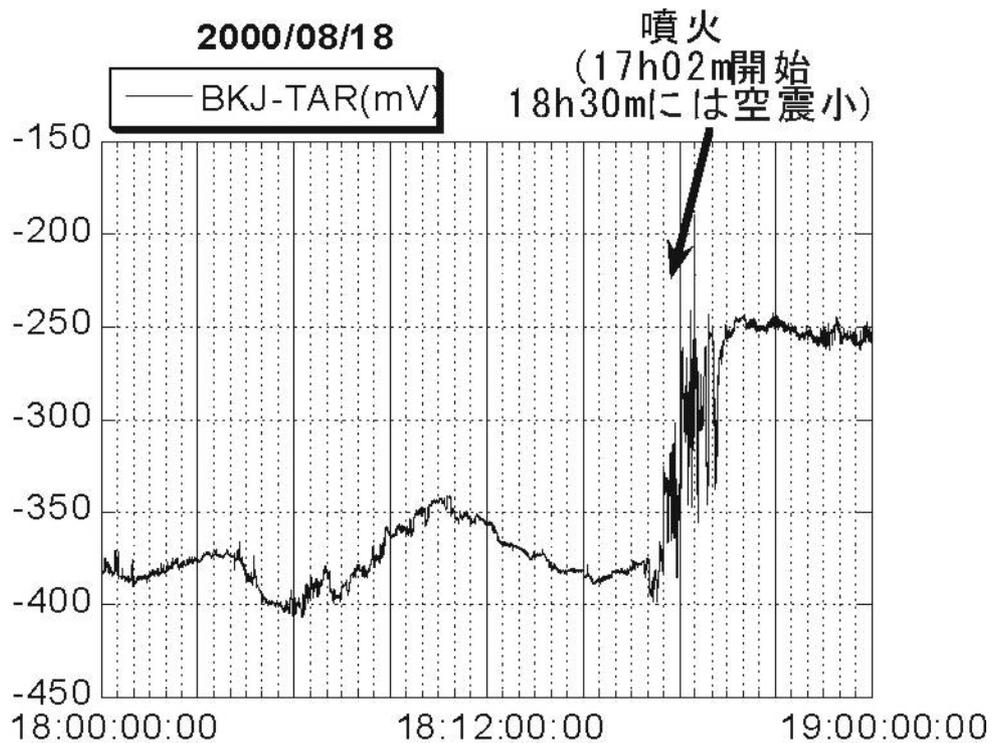


図 9: 8月18日の大規模噴火に伴う BKJ (牧場) 観測点の自然電位変化。TAR (大路池) を基準とした毎 10 秒値を示している。