

衛星通信を利用した口永良部島火山における地磁気全磁力連続観測

神田 径・田中良和*・宇津木 充*・井口正人・石原和弘

* 京都大学大学院理学研究科

要 旨

近年水蒸気爆発が繰り返されてきた口永良部島火山の山頂部において、2000年8月より地磁気全磁力観測を行っている。火山性地震の震源域で熱消磁が起こった場合を想定して観測点を選定し、データは、オーブコムという衛星通信を利用して研究室へ転送している。今のところ火山活動に起因すると考えられるような変動は捉えられていないが、通信に関しては100%成功しており、小型・軽量・省電力のオーブコム通信を火口近傍の観測に利用する目処がたった。

キーワード： 口永良部島, 火山観測, 地磁気全磁力, 衛星通信, 熱消磁

1. はじめに

口永良部島は、屋久島の西約15kmに位置する火山島である(Fig. 1)。東西2つの島が結合したひょうたん型をしており、それぞれ複数の成層火山から構成される(松本, 1934; 本間, 1934)。火山岩は中央北部山麓に一筋の玄武岩質溶岩流が見られる他は、輝石安山岩(SiO_2 54.31~60.68%; Matsumoto, 1960)が大半を占める。年代測定が行なわれていないため火山体の年代は不明である。しかしながら、島内に広く分布する鬼界テフラ(アカホヤ火山灰、幸屋火砕流堆積物)が、島の中央部に位置する新岳と古岳を覆っていないことから、これらの山体が6300年前より新しい時代に形成されたことは確かである(小林・鳴尾, 1998)。新岳山頂部には、中央部が約100m陥没した直径約500mの火口があり、その東側には1945年、1980年の噴火で形成された長さ800mほどの北北東-南南西方向の割れ目火口も見られる。現在は、新岳火口縁および古岳火口内に噴気活動が認められ、古岳火口内では硫黄も析出している。

記録に残っている1841年以降の噴火は全て新岳の活動であるが、古岳の火砕流堆積物中で採取された炭化木片の ^{14}C 年代測定によれば、数百年前頃ま

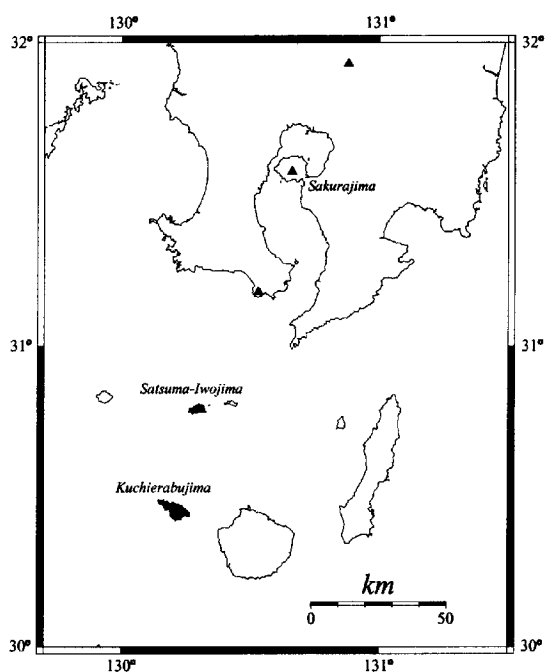


Fig. 1 Location map of Kuchierabujima.

では古岳もマグマ噴火を行っていたと考えられている(藤野・小林, 1993)。新岳は、1980年の割れ目噴火を最後に噴火活動を行っていないが、過去には

数年から数十年の間隔で水蒸気爆発を繰り返してきた。1996年3~6月および1999年8~9月には、山頂部で火山性地震が群発し、2ヶ月後の1999年11月には口永良部島東方海域においても群発地震が発生したことから、今後の火山活動の活発化も懸念されている。これまでの火山活動研究センターによる地震常時観測および1996年の臨時観測によって、火山性地震は、新岳火口直下の深さ500~600m付近で起こっていることが明らかになった(山本ら, 1997)が、なぜこのような場所で起こっているのかその原因はわかっていない。これまでの新岳の水蒸気爆発が、何の前触れもなく突然起ったことを考えると、地震観測だけでは活動の推移を予測することが困難であり、多項目の観測から総合的に水蒸気爆発発生場を把握する必要がある。以上のような背景で、2000年度、口永良部島火山の集中総合観測が企画され、地震・地殻変動・地質・火山ガス・熱・地球電磁気など多項目の観測が実施された。本稿は、集中観測に先行して開始した地磁気全磁力連続観測について報告する。

2. 地磁気全磁力観測の概要

地磁気観測は、山頂部の3点で2000年8月より行っている。火山を構成する岩石には、地下からの高温の熱の供給によって、過去に獲得した磁化を失う性質(熱消磁)がある。本研究の狙いは、水蒸気爆発発生場への、岩石の磁化が失われるような高温の熱の供給を、地表の磁場観測から捉えることにある。よく知られているように、熱消磁が発生すると、日本で観測する場合、地磁気は消磁領域の北側で増加、南側で減少する。本研究では、火山性地震の震源域に対応する、新岳火口直下深さ600mを中心とした半径100mの領域の磁化が失われた場合の磁場変化を想定し、新岳火口北側の1点および南側の2点に磁力計を設置した(Fig. 2)。2000年冬に行われた臨時観測により、これまでの震源域よりやや西側へ浅い震源分布が推定された(井口ら, 2001)が、大きな変化が期待できる場所に磁力計が設置されていることに変わりはない。

測定にはGEM systems社製のオーバーハウザー磁力計(GSM-19)を用いた。GSM-19は、オーバーハウザー効果を利用した高感度・低消費電力の磁力計で、0.01nTの分解能で0.2nTの測定精度を持つ。消費電流は、励磁時(約2秒間)が約105mAで、待機時は約32mAである。電力は、太陽電池(22W, 1.5A)で発電し、2個並列に繋いだDC12V(45Ah)

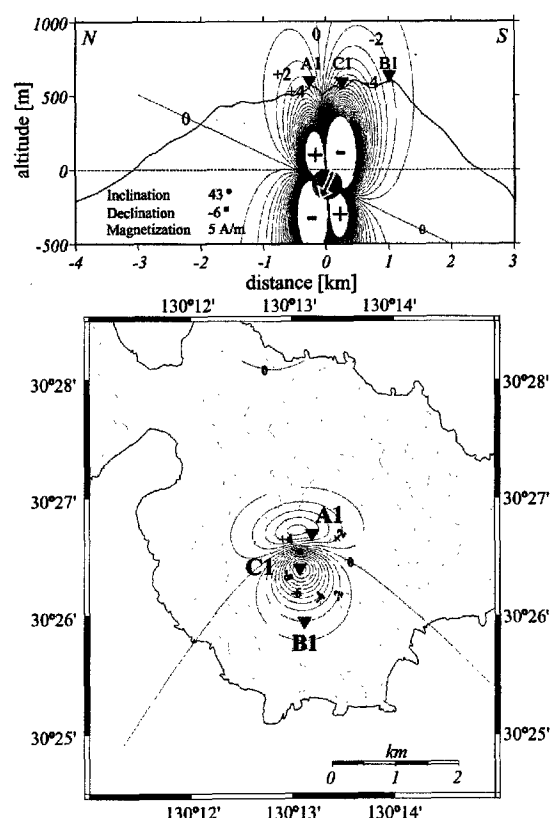


Fig. 2 The expected anomaly of the magnetic total intensity produced by a completely demagnetized spherical region of 100m radius located beneath the Shindake crater at a depth of 600m (unit: nT). Rock magnetization is assumed to be 5 A/m. Accuracy in measurement is below 1 nT.

のカーバッテリーを充電しながら供給している。センサーは地表から約2mの高さに固定され、5分間隔で測定中である。データは、内部メモリへ保存されるが、5分サンプリングの場合、約600日間連続的に記録できる。

3. 衛星通信を利用したデータ伝送

離島火山の山頂部で観測を行っているため、何らかのトラブルが発生した場合、そのことに気付かずに長期間の欠測となる危険性が高い。そこで、オーブコム(orbcomm)という衛星通信サービスを利用して、データを桜島の火山活動研究センターへ転送し、データの取得状況が確認できるようなシステムを作成し運用している(Fig. 3)。

オーブコムは、825kmの低軌道を約100分で周回する35機からなる衛星網を使用して、全世界を対象に双方向データ通信および測位サービスを提供

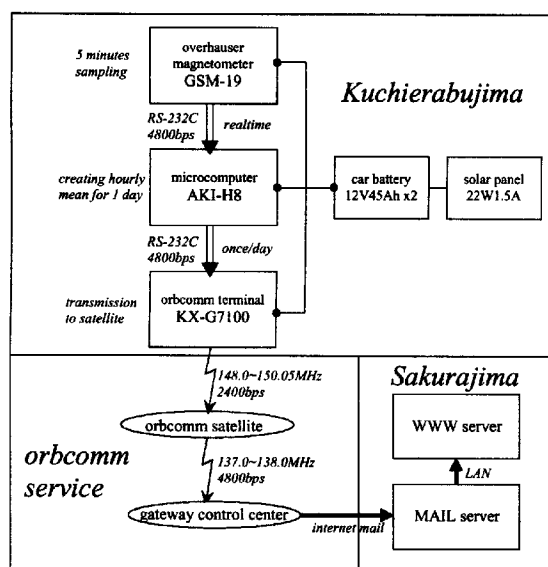


Fig. 3 A simplified diagram of the data acquisition-transfer system.

している通信媒体である。トラックや船舶など移動体の動態・運行管理、パイプラインの故障異常検知など、少量のデータを定期的に送信するような用途で主に利用されている。日本上空には常時1~2機の衛星が飛来するので、既存の通信媒体ではカバーできない山間部や海上でも通信が可能である。火山観測への適用では、岩手山の噴気温度データの転送に利用されている例がある (Nogami et al., 2000)。

オープンコム通信システムの特徴は、低軌道周回衛星を使用していることと、通信に用いる周波数が非常に低いことである (秋永, 1999)。低軌道の衛星は寿命が短いので、打ち上げコストが高むというデメリットはあるが、送信パワーが小さくて済むため、端末およびアンテナを小型・省電力に設計できるという利点がある。実際に使用している送信端末 (九州松下電器製 KX-G7100N) は、220×90×33mm の寸法で670g の重量しかなく、アンテナも1m のホイップアンテナで足りるので、山頂周辺へ設置する場合でも容易に運搬することができる。DC12V で動作させる場合の消費電流は、データ送信時には1.5A であるが、衛星からの電波受信時に55mA、待ち受け時に31mA、スリープ時には0.5mA しか消費しない (全てカタログ値)。また、低周波数帯の通信 (上り 148.0~150.05MHz; 下り 137.0~138.0MHz) であるため、天候によらずデータ通信が行えるという利点がある一方、回線は低速 (上り 2400bps; 下り 4800bps) で、大容量の通信には不向きである。

観測に使用している磁力計 GSM-19 には、デー

タを内部メモリに記録する一方、即座に RS232-C ポートへ出力する機能がある。しかしながら、時刻情報なども同時に出力されるので、1 サンプル当たり 20 バイトの通信量が発生する。これを全てオープンコムで送信すると高額の通信料がかかるため、磁力計とオープンコムとの間に日立製 H8 マイコン (AKI-H8) を挿入し、データを前処理してから桜島へ転送している。5 分サンプルのデータは一旦 H8 マイコンに入力され、毎時平均値を作り、毎朝一回前日分の毎時値データがオープンコムへ一括して出力される (Fig. 3)。前処理によって、データ量は一日当たり 150 バイト程度になるので通信費用も安価に抑えられる (月額 5,000 円; 2001 年 4 月現在)。オープンコム端末の方は、消費電力を抑えるため、毎朝 30 分間だけ起動させ、データの送信後再びスリープ状態に戻る。衛星に送られたデータは、日本では茨城県北浦にあるゲートウエー地球局で受信し、目黒のコントロールセンターでインターネットに接続した後、あらかじめ指定したアドレスへ電子メールで配信される。データを送信してからメールで送られてくるまでの時間は数分~10 分程度である。桜島では、送られてきたメールを自動で処理し、WEB 表示させて取得状況を確認している。

4. 全磁力変化

Fig. 4 は、オープンコム経由で送られてくる毎時値データをプロットしたものである。A1 は電源のトラブルにより何度か欠測している。また、B1 の欠測は磁力計の不調によるものであるが、オープンコムによるデータ通信に関しては、これまで一度の失敗もなく行われている。

火山地域で観測される全磁力データには、大別して、コアや磁化構造が起源の、ほぼスタティックと見なせる成分、電離層や太陽活動など地球外に起源を持つ成分、それに火山活動に起因する成分が含まれていると考えられる。地球外に起源を持つ成分には、外部磁場変動とその誘導成分が含まれるが、外部磁場変動は、近傍の 2 点ではほとんど差がないと見なすことができるので、両者の差を取ることでよりある程度取り除くことができる。Fig. 5 には、毎時データのうち太陽活動の影響を受けにくい夜間 (日本時間 0~5 時) のデータのみを用いて作った日平均値の地点差を示した。10~11 月にかけて地点差が 1nT ほど小さくなり、1~2 月には逆に 1nT ほど大きくなるという長期的な傾向が見られるが、原因は明らかでない。同じ期間の火山性地震の日別発生回

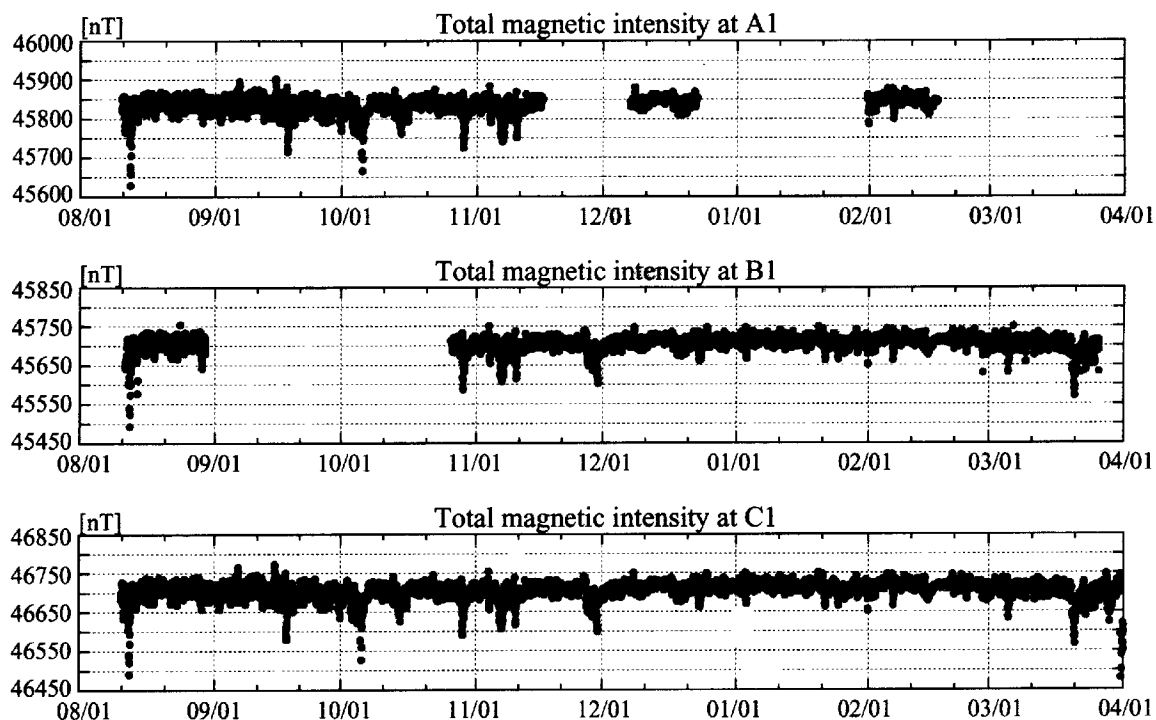


Fig. 4 Hourly variations of the geomagnetic total intensities transferred via satellite telecommunication (until March 31, 2001). A1, B1, and C1 are located at the north of Shindake crater, at the south of Furudake crater, and at the south of Shindake crater, respectively (see Fig. 2).

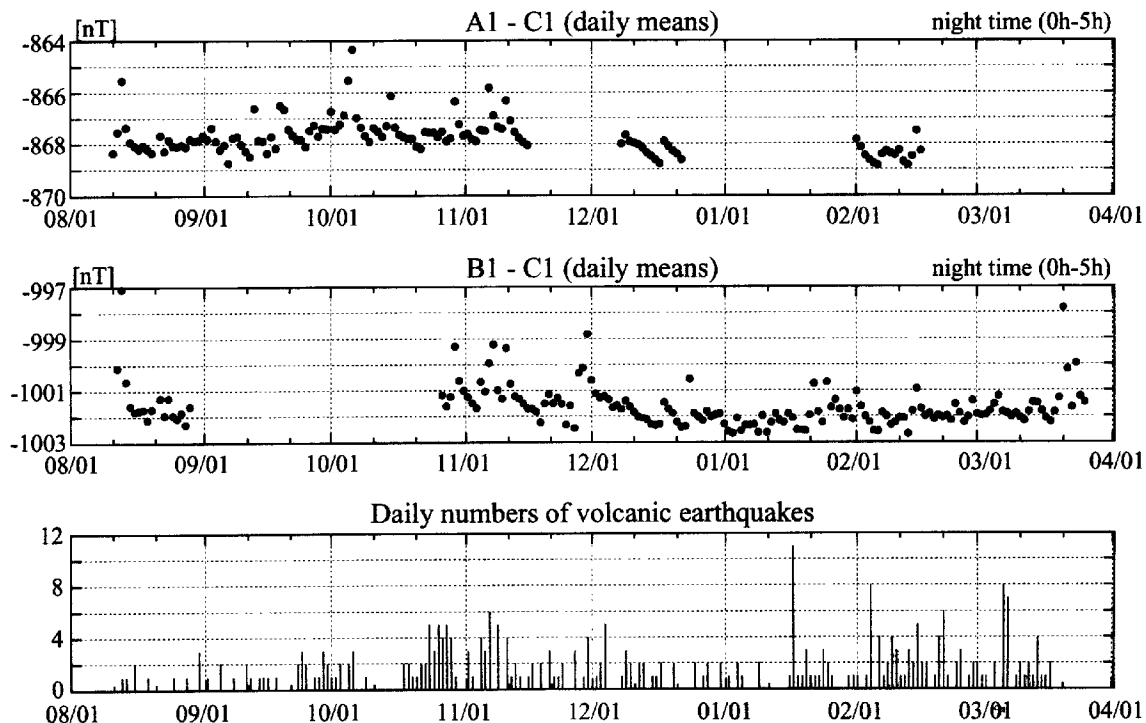


Fig. 5 Daily means of site differences A1 - C1 and B1 - C1 (until March 31, 2001). Average values from 00h00m to 04h55m (local time) are used. Daily numbers of volcanic earthquakes are also shown at the bottom.

数を同時に示したが、地震活動に対応する様な変化ではなく、恐らく何らかの季節変化だと思われる。

Del Negro and Ferrucci (2000) は、外部磁場による誘導成分が外部磁場の大きさに比例するという仮定の下、火山活動に起因する成分が存在しない状況では、地点差の変動がそれぞれの観測点の磁場変動と線形関係で表せることを示した。口永良部島での3点の磁場データについて、夜間日平均値を用いた地点差をC1の変動に対してプロットしたものがFig. 6である。A1-C1およびB1-C1ともに線形関係がほぼ成り立っている。何日か、これらの線形関係から有意に外れる日がある(8/13, 10/06, 11/07, 11/08, 03/21)が、いずれも大きな磁気嵐の発生日に対応しており、線形性を導く際に仮定した構造や

磁場の一様性が成り立っていないためと考えられる。熱消磁に起因するような変動が存在すれば、日を追う毎に系統的に直線関係からずれてくるはずで、このことから今のところ火山活動に起因するような変動は捉えられていないと言うことができる。

5. おわりに

口永良部島は、ここ数年で火山活動の活発化が懸念されており、水蒸気爆発発生場を明らかにするための実験観測には適したフィールドである。これまでの約8ヶ月間の全磁力観測のデータには、火山活動に起因するような磁場変動は捉えられていない。2000年度の集中総合観測では、比抵抗構造や磁化構造の調査が実施された。これら結果を加味し、熱水系の発達状況を把握するための自然電位調査なども行った上で、全磁力データの定量的な解釈を行うことが今後の課題となる。

オープンコムによる全磁力データの転送はほぼ実用段階にある。衛星携帯電話などで行われている既存の転送システムに比べて小型・軽量・省電力・安価で、火山観測には非常に魅力的である。しかしながら、オープンコムに限らず衛星通信事業の経営は安定しておらず、サービス自体の消滅という危険性も孕んでいる。実際、米国オープンコム社は2000年9月15日に会社更生法の適用を受け、事実上の倒産状態であった。2001年3月に行われた競売で新たな経営資本に変わり、当面の危機は脱したが、サービスが永久に提供され続ける保証がないことを念頭に置いて機器開発を行っていかねばならない。

謝 辞

本研究を行うにあたって、鹿児島県消防防災課、上屋久町総務課・口永良部島出張所の関係各所には、土地使用などに関して便宜をはかっていただきました。ここに記して感謝申し上げます。本研究の経費の一部は、文部科学省科学研究費(奨励研究(A): 12740261)、および東京大学地震研究所共同研究プログラム(2000-G-10)の援助を受けました。

参考文献

秋永和計(1999): 低高度軌道衛星通信システムについて, HTML 文書¹.

¹http://ssro.ee.uec.ac.jp/lab_tomi/denjiha/h11report/akinaga.html

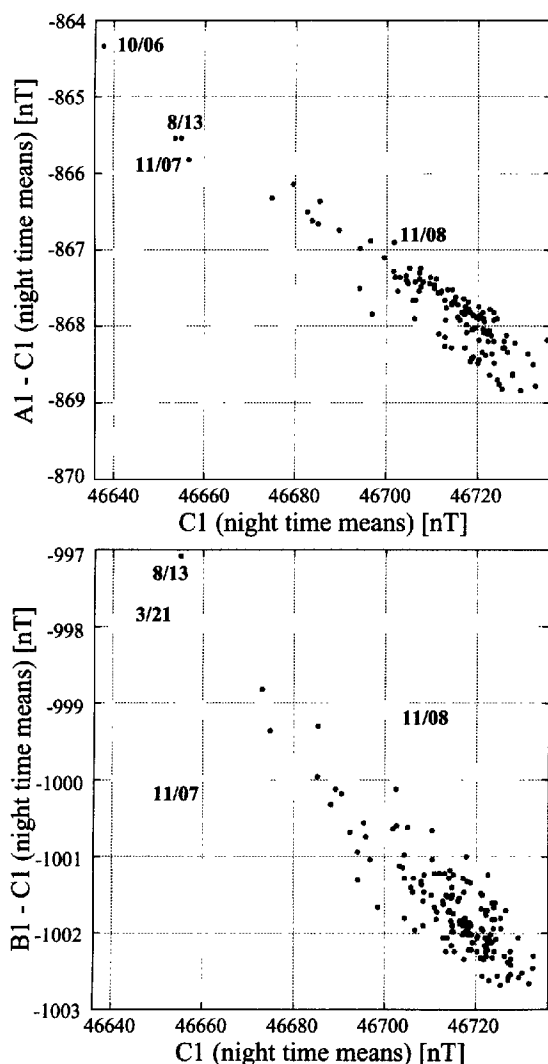


Fig. 6 Night time daily means of site differences A1 - C1 (top) and B1 - C1 (bottom) against that of C1.

- 井口正人・山本圭吾・高山鐵朗・前川徳光・西村太志・橋野弘憲・八木原 寛・平野舟一郎 (2001) : 口永良部島火山における火山性地震活動－2000 年集中総合観測－, 京都大学防災研究所年報, Vol. 44 B-1 (印刷中).
- 小林哲夫・鳴尾英仁 (1998) : 口永良部島の地形・地質, 熊毛の自然 (鹿児島県自然調査事業報告書, 5), 鹿児島県立博物館, pp.96-103.
- 藤野直樹・小林哲夫 (1993) : 口永良部島火山の地質と最近の噴火活動, 地球惑星科学関連学会 1993 年合同大会予稿集, p.321.
- 本間不二男 (1934) : 口永良部島の火山地質と火山活動, 火山第 1 集, 第 2 巻, pp.20-39.
- 松本唯一 (1934) : 口永良部島の地質に就いて, 火山第 1 集, 第 2 巻, pp.1-19.
- 山本圭吾・井口正人・高山鐵朗・石原和弘 (1997) : 1996 年口永良部島火山の地震活動の活発化について, 京都大学防災研究所年報, Vol. 40 B-1, pp.39-47.
- Del Negro, C. and Ferrucci, F. (2000) : Volcanomagnetic effects at Vulcano island (Aeolian archipelago, Italy), *Geophys. J. Int.*, Vol.140, pp.83-94.
- Matsumoto, H. (1960) : The chemical characteristics of the lavas from Ryukyu volcanic zone, Kyusyu, Japan, *Kumamoto J. Sci., Ser. B. Sec. I, Geology*, Vol.4, pp.13-29.
- Nogami, K., Hirabayashi, J., Ohba T. and Doi N. (2000) : Geochemical monitoring of volcanic activity at Iwate volcano, Japan, in *Abstract and Addresses of IAVCEI General Assembly 2000*, p.194.

Monitoring geomagnetic total intensity using satellite telecommunication at Kuchierabujima volcano

Wataru KANDA, Yoshikazu TANAKA*, Mitsuru UTUGI*, Masato IGUCHI,
and Kazuhiro ISHIHARA

* Graduate School of Science, Kyoto University

Synopsis

Variations of geomagnetic total intensities have been measured since August 2000 around the summit crater of Kuchierabujima volcano where phreatic eruptions were repeatedly occurred. The measurement sites were determined so as to detect the change in total intensity due to thermal demagnetization at hypocentral zone of volcanic earthquakes. The observed data are transferred to the office at Sakurajima through satellite telecommunication service called orbcomm. No volcanomagnetic effect has been observed by now. Data transfer via the orbcomm service has been perfectly working, which suggests that this concise system with a small lightweight body and low power consumption could be utilized for observations close to the active crater.

Keywords: Kuchierabujima, observation in volcano, geomagnetic total intensity, satellite telecommunication, thermal demagnetization