

1990年10月4日伊豆大島の火山噴火の
前兆現象と思われる地中電界変動

藤縄幸雄*・熊谷貞治**

防災科学技術研究所

高橋耕三***

通信総合研究所

**Anomalous underground electric field variations associated with
the October 4, 1990 Izu-Oshima volcanic eruption**

By

Yukio FUJINAWA, Teiji KUMAGAI

*National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention,
Tennodai 3-1, Tsukuba-shi, Ibaraki-ken, 305, Japan*

and

Kozo TAKAHASHI

*Communication Research Laboratory, Nukuikita 4-2-1,
Koganei-shi, Tokyo, 184, Japan*

Abstract

Continuous measurements of the vertical sub-surface geoelectric field in the frequency range D.C.~0.6 Hz (ULF) and 1~9kHz (VLF) are reported herein.

Use was made of an antenna composed of a steel pipe in a deep borehole. Anomalous signals of the ULF band were observed a few days prior to and several months after a minor volcanic eruption of Mt. Mihara, about 110km southwest of Tokyo, by an antenna system situated about 3km from the crater. Those signals were essentially distorted pulses which were found to rise sharply then decreased gradually with a duration ranging from about a second to several minutes, and then followed by a sudden falloff. The electric field change also seemed to extend to the VLF band. It is suggested that the anomalous electric field changes were caused by electrokinetic

*特別研究官 **地圏地球科学技術研究部火山噴火予知研究室 ***第2特別研究室

phenomena induced by changes of hydrothermal circulation around the crater.

Key words : Volcanic eruption prediction, precursory phenomena, electromagnetic changes, underground electric field, radio wave, precursory time.

キーワード : 火山噴火予知, 前兆現象, 電磁気現象, 地中電界, 長波領域, 前兆時間

1. はじめに

防災科学技術研究所では、郵政省通信総合研究所と共同で、地震や火山等の地殻破壊の前兆現象としての電磁放射についての研究を行っている。1989年3月以来筑波構内において、地中に埋設された鋼管深井戸のケーシングパイプをアンテナの一部として用いる観測方法によって、1989年伊東沖群発地震・噴火の直前〔Fujinawa and Takahashi (1990)〕やそれ以後の周辺約300 km内のM4.8以上の浅発地震の直前(数日～数時間前)に、高い確率で前兆と考えられる地中電界変動が観測されていた〔藤縄ほか(1990)〕。1990年3月よりは、第2の観測点を、伊豆大島の温水くみ揚げ用のパイプ(長さ約300 m)を利用して建設し、伊豆大島第2火山活動観測施設に検出器を置いて、観測を行っていた。それにより、1990年10月4日に伊豆大島で発生した微小噴火の前兆と思われる地中電界変動が観測されたので報告する。

2. 観 測

伊豆大島町泉津字木積場3号の大島温泉ホテル構内(標高492 m, 図1参照)の温水くみ揚げ用のパイプ(径約10 cm, スチール製)で、現在本来の目的には使用されていない長さ約300 mのものを、地中電界変動計測に使った。井戸の周囲には、図2に示すような配置で、地下10 cm～20 cmに裸銅線を敷設し、その銅線とパイプとの間の電位を、井戸から約500 m(直線距離約270 m)離れた防災科学技術研究所の伊豆大島第2火山活動観測施設(図1中のOOH)に、鋼管被覆した同軸ケーブルにて導き、検出器の入力とした。反射体としての裸銅線の接地抵抗を小さくする為に、長さ3 mのアース棒8本を図2のAの位置に埋設した。又、観測点OOHでは、傾斜観測用に約100 mのボアホールがある。そこで、300 m井と100 m井の間の電位差も記録した。前者は電界の鉛直成分、後者は水平成分を検出しているものと考えている。

計測の対象は、1～9 kHz帯(VLF)、DC～0.1 Hz、0.01～0.6 Hz(ULF)の3帯域であるが、VLF帯は、振幅を平滑化したものを記録している。300 m井とグランドとの電位差信号の内0.01～0.6 Hzの帯域は、筑波にテレメーターで送信されているが、他の成分は全て現地で記録している。今回は、これ等の資料を解析した結果について述べる。

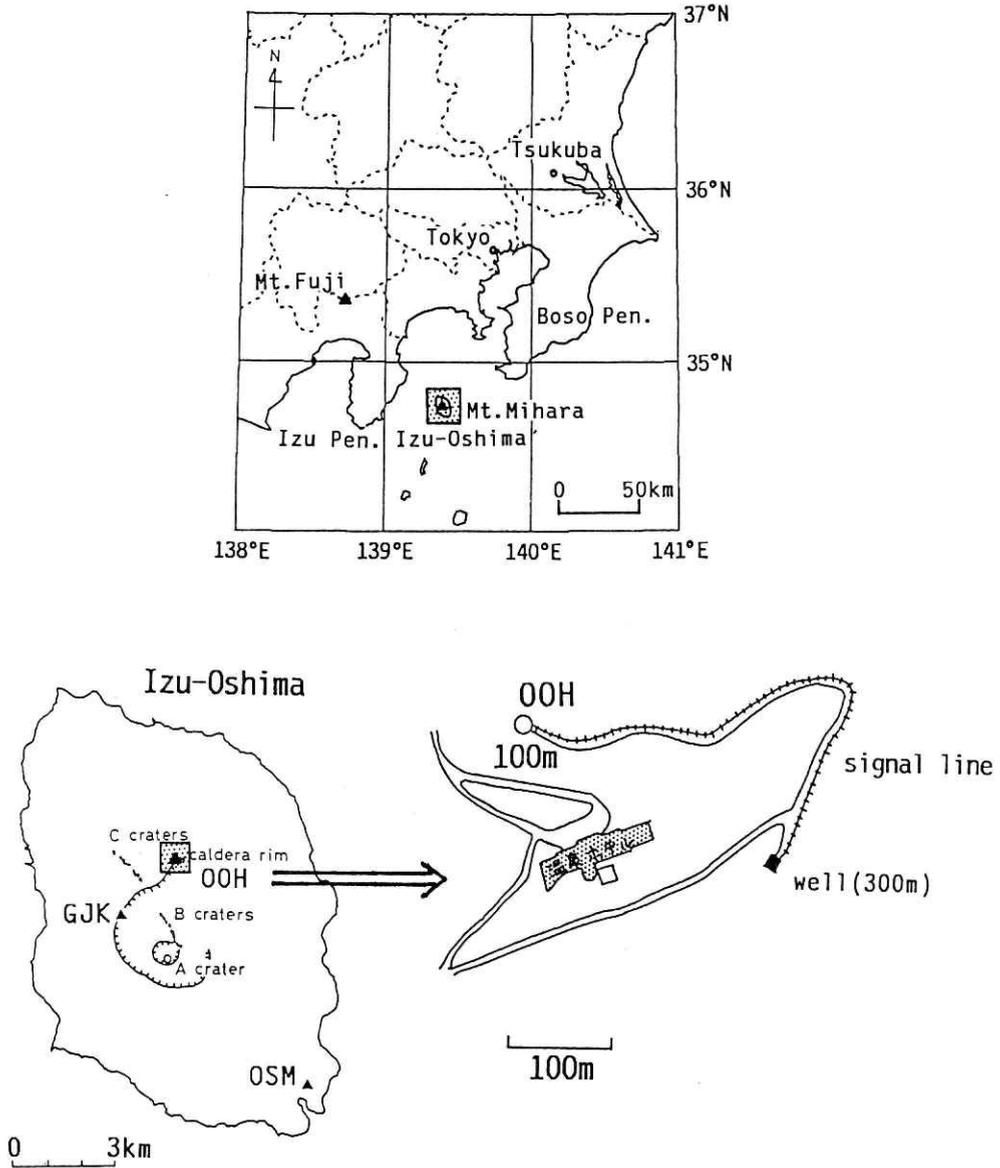


図1 伊豆大島における地中電界変動観測用井戸の位置. 深さ約300mの温水汲み上げ用のパイプと伊豆大島第2火山活動観測施設(OOH)にある深さ100mの傾斜観測用のケーシングパイプを主として用いた.

Fig.1 Map of the Izu-Oshima island region showing the station for underground electric field observation. A steel pipe of the depth of 300m is mainly used, and that of 100m is used only supplementally in this study.

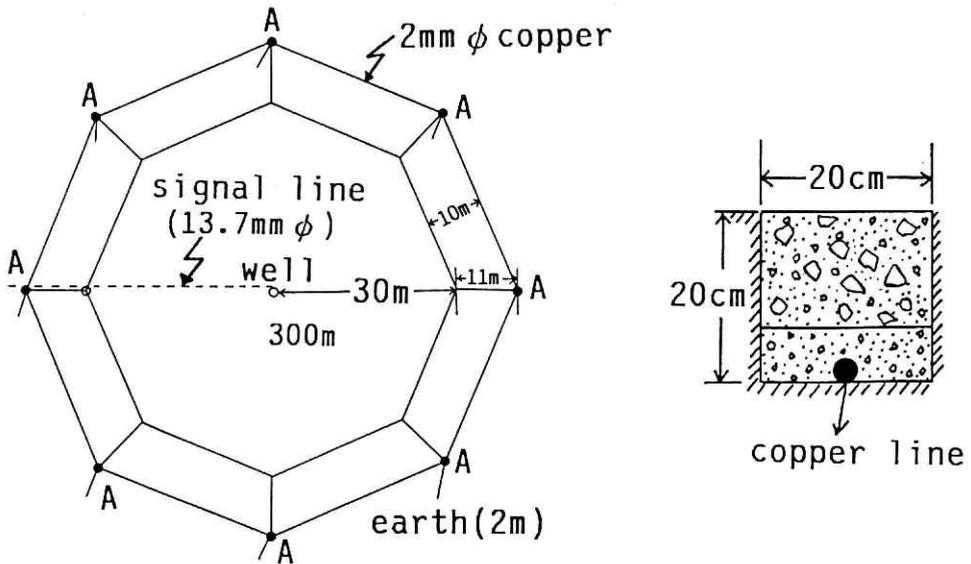


図2 温水くみ揚げ用の300mの井戸及びそのまわりに敷設した裸銅線によりアンテナを構成した。導線としての裸銅線の8カ所(図中A)には長さ2mのアースを接続した。導線は、地表下約20cmの所に埋設した。

Fig.2 Configuration of the leading cables buried about 20cm underground surrounding the 300m well as a reflector of the antenna. At eight points of the cable are attached carbon rod of length 2m for ground earthing (A in the figure).

3. 解析

図3に、筑波にテレメーターにより伝送されている信号(ULF帯)の1990年9月27日から10月9日までの記録を示す。今回の噴火の前兆と思われる異常な信号が、9月30日15時頃から出始め(No.5)、10月3日18時~22時頃が最も顕著で(No.8)、地震・降灰を伴った第1回目の噴火(3時46分)の2時間半位前から、殆んどなくなった(No.9)。5時頃から再び出始め、14時の第2回目の噴火を迎え(No.9)、10月5日5時頃殆んど平常時と同じ状態(例えば、No.1~4)に戻った。10月5日13時頃から再び顕著な信号が出始め(No.11)、10月6日16時頃より又ほぼ平常の状態に戻った(No.12)。噴火のあと10月10日~17日(±30mV)、10月21日(-30mV、約11時間)、10月25日(±30mV、約15時間)、10月28日(+20mV、約8時間)、10月29日~30日(30mV)にも、顕著な信号が引き続き観測されたが、それ以後11月24日現在までほぼ1カ月間にわたり平常の状態に戻っている。

噴火活動の数日前に異常電界変動があり、噴火活動後の直後には一旦殆んどなくなり、以後数週間にわたり再び強い放射があるという一連の経過は、1989年の伊東沖群発地震の場合と同じである。

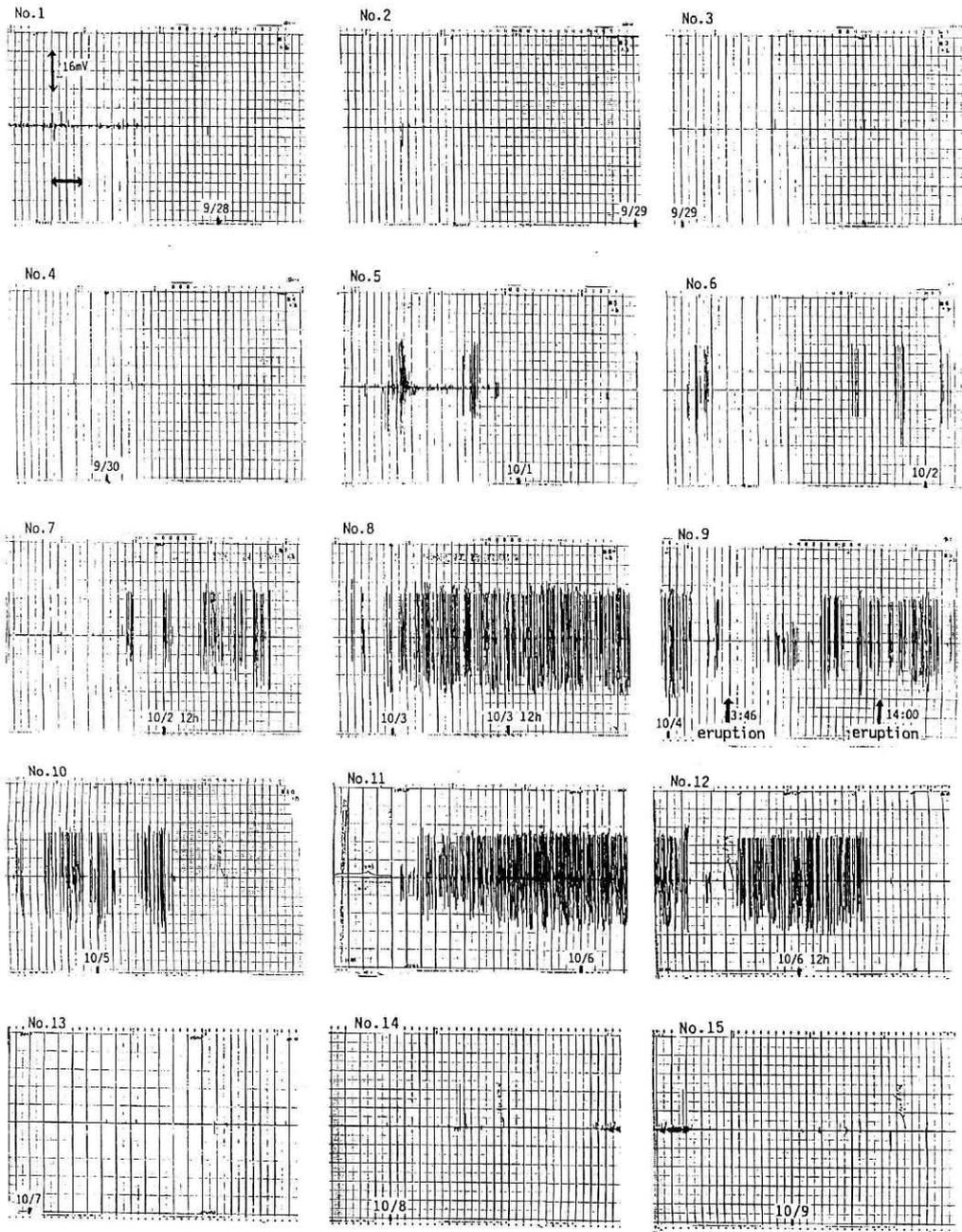


図3 1990年10月4日の伊豆大島における小噴火前後の地中電界変動記録。噴火の5日前の9月29日夜から異常と思われる信号が出はじめた。

Fig.3 Electric field changes of the ULF band (0.01~0.1Hz), from September 28 to October 9, 1990, observed by the antenna system using the 300m well. A clear anomalous change can be seen prior to the volcanic eruption which occurred on October 4, 1990 at Mt. Mihara in the Izu-Oshima island.

これ等の特異な信号の形を見る為に、信号の発生している1990年10月11日に記録速度を60倍にして見た。その結果を図4に示すが、これより異常な信号はパルス状変動の集まりであり、パルスの幅が1秒(例えば図中のBの信号)から数10秒(例えば同図中のAの信号)であって、時間当たり10~100個程度であることが判明した。立上り時間は殆んど0.1秒より短く非常にシャープで、立下りはやや暖やかで、一般に途中なだらかな高原部を有し最後にシャープに立ち下がる。信号の大きさは、噴火前後の10月2日~6日にかけてが最も大きく35mV以上で、図5の10月2日の14時以降に見るようにパルスの符号は殆んどが正であるが、同図の13時以前がそうであるように時に負の場合もあった。なお同時期における筑波構内での観測記録には、特に目立った信号は見当たらない。

又VLF帯の信号は、平常時とレベルが違わず目立つ差がなかったが、ULF帯の異常が観測された時に、ノイズに重じようとされているような形跡があり、電界変動のスペクトルがこの帯域まで延びていたことが推測された。

伊豆大島における観測は、1990年3月より5月下旬までバックグラウンドノイズ等の試験

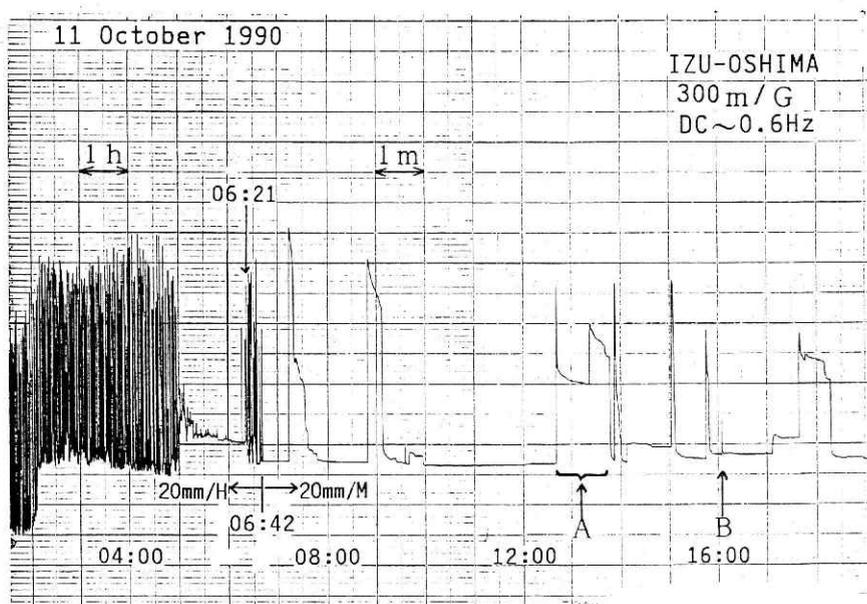


図4 300 m 井とそのまわりの導線との間の電位差(DC~0.6 Hz 帯)の信号。信号波形を見る為に、10月11日6時21分から早送り記録にした。信号は大きさが数10 mV のパルス状で、その幅は数10秒(例えば図中A)から1秒程度(図中B)である。

Fig.4 Chart speed was changed 60 times from 6:42, October 11, 1990 to see the waveforms of the abnormal signals of underground electric field between the ground surface and the steel pipe at a depth of 300m in the band (DC~0.6Hz). The waveform is similar to that of the pulse of the amplitude of about several tens mV, and width ranges from about second (e.g., signal B) to a minute (e.g., signal A).

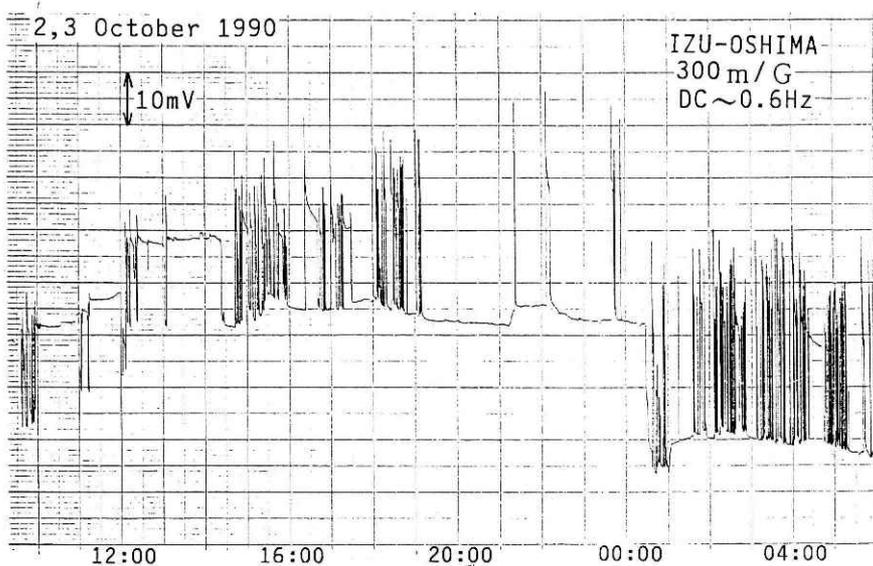


図5 異常信号パルスは殆んどが正の符号のものである（この図で10月2日14時以降がその例）が、時には負のものもある（10月2日13時以前がその例）。

Fig.5 Signs of the pulse is almost all positive as exemplified by signals from 14:00, October 2, 1990, but sometimes they are negative, as are those before 13:00, October 2.

観測の後、ほぼ平常観測に入っていた。5月24日より噴火前の9月27日までの記録では、バックグラウンドノイズが通常 ± 1 mV以下であるのに対して、 ± 20 mV程度の振幅のパルス状の信号が、時間当たり約10個以上で約2時間以上継続する“異常”のあった期間は、7月16日～17日(40 mV, 継続時間9時間), 7月19日～20日(-15 mV, 3時間), 7月31日(20 mV, 4時間), の例がある外は、今回のみである。又振幅がこの数分の1の約5 mVの大きさでパルス状の連続的な信号(図6にその例を示す)は、7月15～19日, 8月9日～12日, 8月22日, 9月12日～13日, 9月15日, 9月19日～20日, 9月26日～27日に起きている。

この外の顕著な信号としては、大きさ30 mV程度の日周状変化(例えば図7の7～13時頃がピークの変動), 大きさが10～20 mV程度の周期約1時間の変動(図7の17～18時の部分でAで示す), 雷に伴う信号(図8に例示するように通常1時間程度にわたり不揃いのパルス状信号が発生する)が見られた。平常はこのように周期が数時間程度のゆっくりした変動であり, そのため0.01～0.6 Hz帯の記録は通常殆んど直線状になる。これ等の変動の起源については現在のところ不明であるが, 7月から次第に活発化し今回の噴火に到った伊豆大島の地震活動(気象庁火山室の資料による)と関係しているかも知れない。

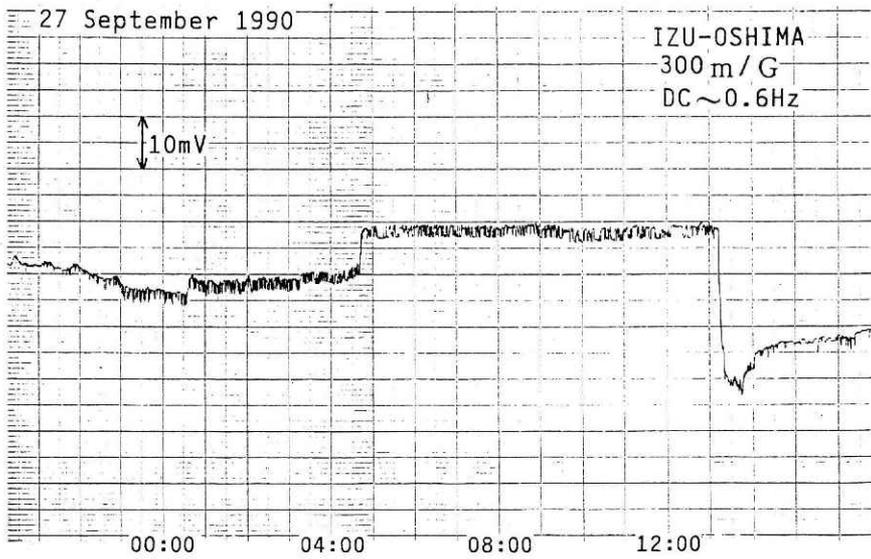


図6 振幅が小さい(5 mV 以下)が10 数時間にわたり連続して観測されたパルス状の異常な電界変動の例。振幅30 mV 程度の日周変動に重畳されている。

Fig.6 An example of minor anomalous pulse-like signals continuing for several hours with an amplitude of less than 5mV. The signals are superimposed on a daily variation of about 30mV.

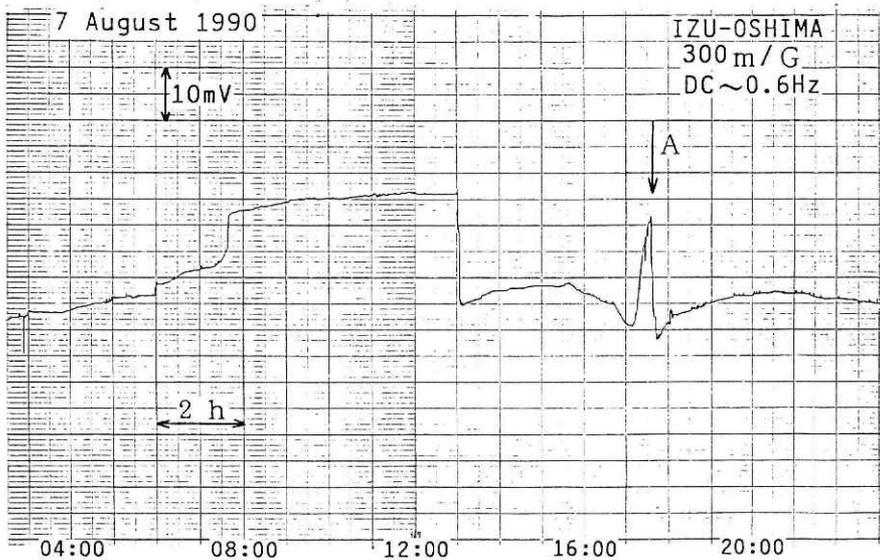


図7 顕著な信号の例。振幅が30 mV 程度の日周変動は、正午近くにピークを持つ。図中A に示すような幅1 時間位で大きさが10~20 mV の異常信号も時々見られる。

Fig.7 Two examples of an anomalous signal in the ULF band (DC~0.6Hz). One is nearly a daily variation with an amplitude of about 30mV, attaining the peak value at about noon. Another is a sharp mountain-like change (A in the figure), continuing about an hour with an amplitude of 10~20mV.

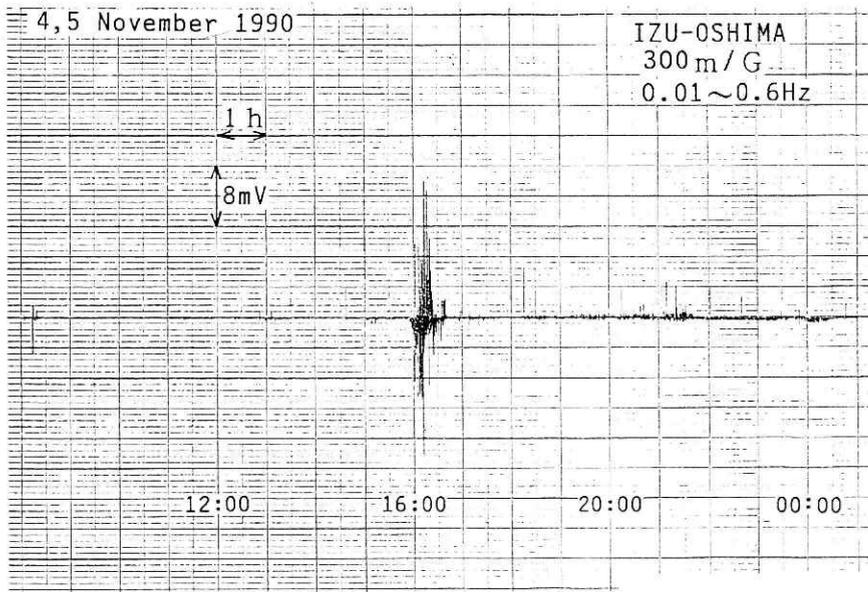


図8 落雷時の信号の例 (0.01~0.6 Hz). 数 10 mV 程度のパルス状の変動が 1 時間程度続くのが特徴である.

Fig.8 Underground electric field change associated with very near atmospherics. Amplitude is about several tens mV and the duration is for about an hour.

今回の噴火前後 (1990年9月27日~10月30日) の地中電界変動は、継続時間でも、パルスの振幅でも、又パルスの1時間当たりの数でも、定常観測開始以来、最も顕著な信号である。又 OOH で連続観測している地磁気 (3成分) の記録 (毎分値) の9月28日~10月3日のデータ (図9) に見るように、ここに問題としている地中電界変動と、地球外部起源の磁気嵐、湾型変化等の地磁気変化との顕著な関連は見当たらない。又女満別、鹿屋における地磁気観測によると、上述の電界変動の発生した時期に対応する地磁気脈動 (Pc, Pi) は見当たらず (小嶋美都子, 私信), 今回の電界変動が火山活動と強い関係のあることが示唆される。

今回の噴火現象は、その主たる原因が火口内 (図1上段右の“A crater”) の崩落とも言われており、異常電界変動の発生機構がマグマの後退に伴う微小クラックの生成と関係していると思われる。

4. 議 論

今回の“異常信号”の特徴、又ポアホールを用いた計測の特性を知る上で、300 m 井とそのグランドとの電位差信号 (V) と、300 m 井と 100 m 井の電位差信号 (DC~0.6 Hz 帯を H, 0.01~0.6 Hz 帯を H' とする) の比較が意味があると思われる。図10には、1990年10月19

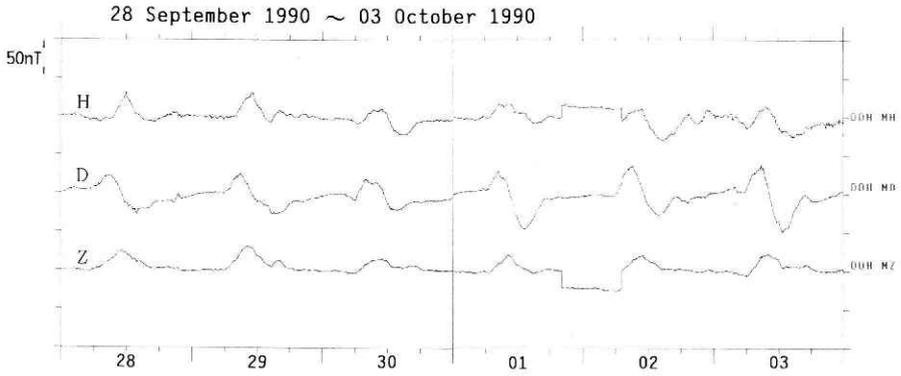


図9 地中電界変動が異常を示した時期の伊豆大島(OOH)における地磁気3成分観測の例(1990年9月28日~10月3日).問題としている地中電界変動と地球外部起源の地磁気変化との関連が見られない.

Fig.9 Three component geomagnetic variations during the period of an anomalous underground electric field change. There is no apparent relation between the anomalous change and the geomagnetic variation originating in the outer earth.

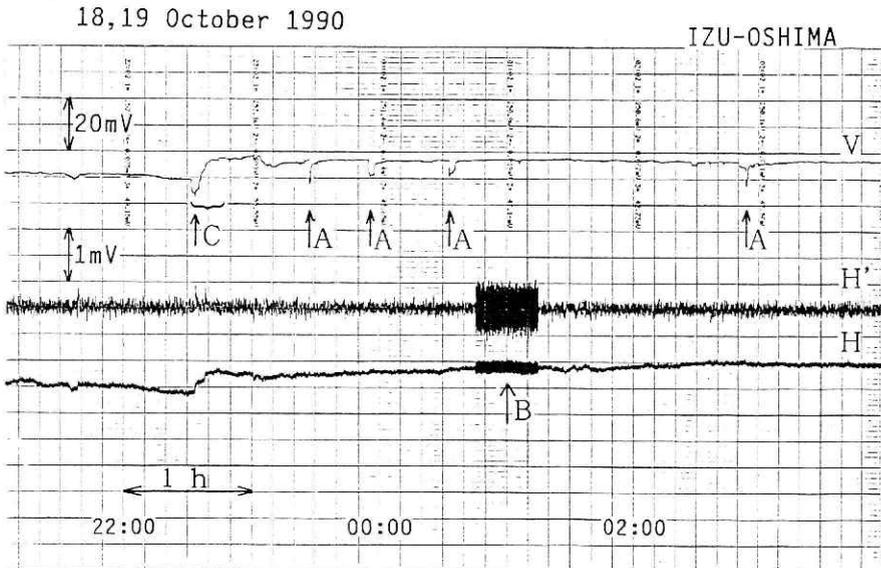


図10 地中電界変動の鉛直成分(V)と水平成分(H, H')との比較. V, Hの帯域はDC~0.6 Hz, H'は0.01~0.6 Hzである. H'がHの微分波形になっている. 現象Aは鉛直成分に見られ, Bは水平成分にのみ, 又Cは両方に見られるというように, 現象により卓越成分を有している.

Fig.10 Comparison between the vertical components (V) and horizontal components (H, H') of underground electric field changes. Signals V, H are for the frequency range of DC~0.6Hz, and H' for 0.01~0.6Hz, respectively. The signal H' represent a differential form of H. The phenomena A is suggested to be almost vertical, B almost horizontal and C that of multi-components.

日の2種類のイベントのある記録を示す。H'はHのバンドパス信号であるためその微分波形となっている。Bで示した約10分間続く両振幅で1mV程度の信号は、毎日必ず0時から1時にかけて入る人工ノイズであるが、これは水平成分にしか見られずVには見られない(少なくとも0.5mVより小さい)。これに対してパルス状の信号AはVにのみ表れ、H、H'には見られず、一方信号Cは、両方に見られるというように、鉛直成分の卓越する信号、水平成分が卓越する信号、鉛直・水平両成分がほぼ同じ大きさの信号、の存在が推測される。

今回の異常信号のあった10月12日の記録の1部を図11に示す。午前1時前後の人工ノイズがH成分に顕著に見える。異常信号の方はH成分にも見られるが、振幅はVの $\frac{1}{30}$ に対して1mVと、 $\frac{1}{30}$ となっている。すなわち鉛直成分の卓越した信号であったことがわかる。もし今回のように噴火や地震等に伴う地中・電界変動が鉛直成分の卓越したものであるとしたら、水平地電位法測定に比べて、ポアホール方式がS/Nの良い計測手法となるであろう。又何故に鉛直成分が大きくなるかであるが、電気伝導度の非一様な場における電磁場の緩和現象として考えると、電気伝導度の低い所に一方的に電流が流れる(一種の表皮効果)為に、その非一様な部分を電極がはさんでいれば、大きな電位変動として測定されるのであろう。非一様の度合は、一般に鉛直方向が水平方向より大きいであろうから、ポアホール等を用いた測定が有効なのではないであろうか。Varotsos and Alexopoulos (1984)は地電位

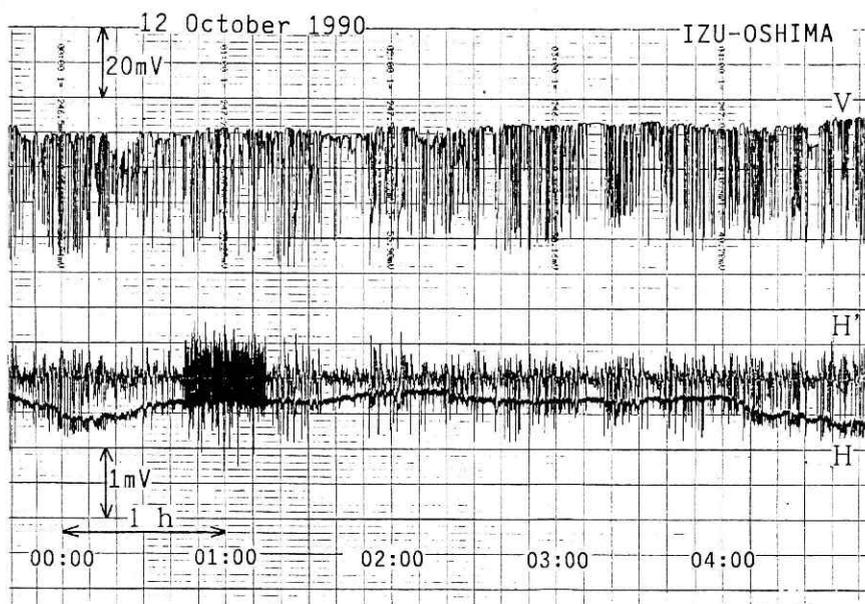


図11 火山噴火の前兆と思われる今回の異常電界変動は、鉛直成分(V)が30mV、で水平成分が0.3mVで鉛直成分卓越型であることがわかる。

Fig.11 Anomalous precursory underground electric field changes have a horizontal magnitude of about 0.3mV and a vertical magnitude of about 30mV.

測定のため電極の設置に数多くの試行を経ているが、それは電気伝導度のより大きい非一様部分の探査を行っていることになるのかも知れない。

謝 辞

温泉井戸使用に当たり便宜を計って下さった大島温泉ホテル海老名季正氏、アンテナ線埋設に当たり多大なる御尽力を下さった高松善郎氏をはじめとする日鐵溶接㈱の方々、原稿を読み懇切なコメントを下さった小川信行耐震工学研究室長に深く感謝申し上げます。又、データの整理、原稿作成にご協力下さった栗原玉枝さんに感謝致します。

参 考 文 献

- 1) Fujinawa, Y. and K. Takahashi, Emission of electromagnetic radiation preceding the Ito seismic swarm of 1989, *Nature*, **347**, 376-378, 1990.
- 2) 藤縄幸雄, 高橋耕三, 熊谷貞治, 地震直前先行現象としての極低周波地中電界変動, 地震, 第2輯, 第43巻, 287-290, 1990.
- 3) Varotsos, P. and K. Alexopoulos, Physical properties of the variations of the electric field of the earth preceding earthquakes. *Tectonophysics*, **110**, 73-125, 1984.

(1991年7月31日 原稿受理)