1991年8月6日茨城県沖(銚子近く)に発生した地震(M5.9)の前兆と思われる地中電界変動

著者	藤縄 幸雄, 高橋 耕三
雑誌名	防災科学技術研究所　研究報告
巻	50
ページ	99-114
発行年	1992-12
URL	http://doi.org/10.24732/nied.00001029

550.343, 550.387

1991年8月6日茨城県沖(銚子近く)に発生した地震(M5.9)の前兆と思われる地中電界変動

藤縄幸雄*

高橋耕三**

Anomalous Underground Electric Field Variations Associated with the August 6, 1991 Earthquake (M=5.9) off Ibaraki

By

Yukio Fujinawa

National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention, Japan

and

Kozo Takahashi

Communications Research Laboratory, Japan

Abstract

From several days before a moderate-sized earthquake of the magnitude M=5.9, prominent anomalous subsurface vertical electric field changes were observed at Hasaki near Choshi, in central Japan. The hypocentral distance was less than 30 km and the focal depth was about 43 km. The anomalous changes were recorded in the VLF range of the vertical components, but none were found neither in the ULF, dc range nor any frequency band of the horizontal components. Moreover, the change was only observed at Hasaki, but not at three other three sites with hypocental distances of 110～210 km, suggesting that the change originated from the earthquake focal region.

Keywords : Earthquake prediction, Precursory phenomena, Electromagnetic changes, Radio wave

キーワード: 地震予知，前兆現象，電磁気現象，長波領域

*防災科学技術研究所　**郵政省通信総合研究所

1．はじめに

防災科学技術研究所と郵政省通信総合研究所は共同で，地震や火山噴火等の地殻における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月以来つくばの防災科学技術研究所構内において，地中に埋設した鋼管深井戸のケーシングパイプをアンテナの１部として用いる観測方法によって，1989年伊東沖群発地震・海底噴火の直前（Fujinawa and Takahashi, 1990）や1990年２月大島西方の地震（M6.6）の直前（数日～数時間前）に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を利用して建設し，1990年10月４日に伊豆大島火山で発生した微小噴火の前兆と思われる地中電界変動も観測されていた（Fujinawa *et al.*, 1991）．

1990年から行っている科学技術振興調整費による省際基礎研究「地殻破壊の前兆現象としての電磁放射の研究」の一環として，1991年３月からは，更に茨城県波崎町，栃木県粟野町において防災科学技術研究所の地殻活動観測施設用のそれぞれ805，803mの鋼管深井戸を用いた地中電界変動観測システムにより，dc，ULF帯（0.01～0.7Hz），VLF帯（１～９kHz）で観測を行っている．この２つの観測点では，水平２成分の地電位の計測も併せて行い，鋼管深井戸を用いたアンテナシステムによる地中電界の鉛直成分の計測との比較も目的とした．

定常観測は，バックグラウンドノイズの大きさを調べた後1991年４月19日より行っていたが，1991年８月６日23時49分に観測点の一つである波崎の極く近くの茨城県沖で，マグニチュードM＝5.9の中規模地震が，しかも浅部（深度43km）で発生した．その際にVLF帯の信号に，顕著な直前前兆信号が記録されたのでここに報告する．

2．観測の方法

ボアホールのケーシングパイプを用いた地中電界計測のための“ボアホールアンテナ”の概念図を図１に示す．アンテナは導電体媒質中に用いるモノポールアンテナの一種で，ケーシングパイグをモノポールとし，地表近くに埋設した導線を反射器としたものである（Takahashi and Takahashi, 1989）．例えば良導体である海水中での通信に用いられるアンテナの場合（Moore, 1976），船体を反射器とし，船尾より伸ばした先端部のみ海水と電気的に接触する被覆線がモノポールとなっている（図２a）．海中におけるアンテナとの類推が成り立つためには，ケーシングパイプは先端部を除きパイプの周囲の岩石と絶縁されていなければならない．いずれはこのような地中アンテナを用いることの出来る日が来るであろうが，現在は，このような被覆を施したケーシングパイプを利用できない．しかしながら，パイプ

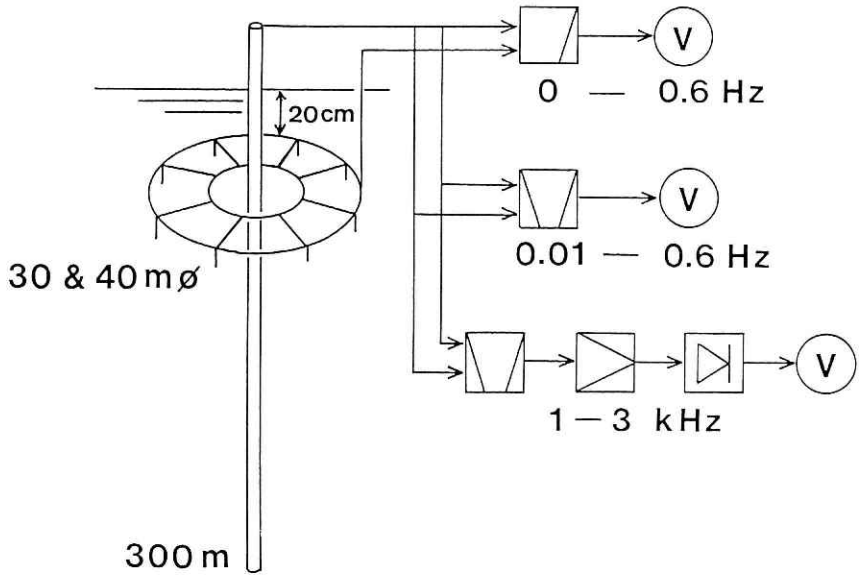


図1　鋼管深井戸を使った地中電界変動観測の概念図.

Fig.1　Schematic view of the underground electric field measurement set-up using a deep borehole. The antenna is a folded dipole microantenna (Takahashi and Takahashi, 1989) similar to the antenna used for undersea communication, sensing the vertical component of the subsurface electric field. The field change is recorded in three frequency bands. VLF, ULF and dc.

と周囲の岩石との接触面は一般に有限の接触抵抗を有するであろう（図2b参照）．長さℓのモノポールの軸方向の電場の強さをEとすると，完全に被覆されている場合には，アンテナの給電電圧Vは，

$$V = E\ell \tag{1}$$

となる．電界強度Eが軸方向に変化する場合には，

$$V = \int E \mathrm{d}z \tag{2}$$

となる．これに反して接触抵抗Rが有限の場合には，

$$V = \int h(z)E(z)\mathrm{d}z \tag{3}$$

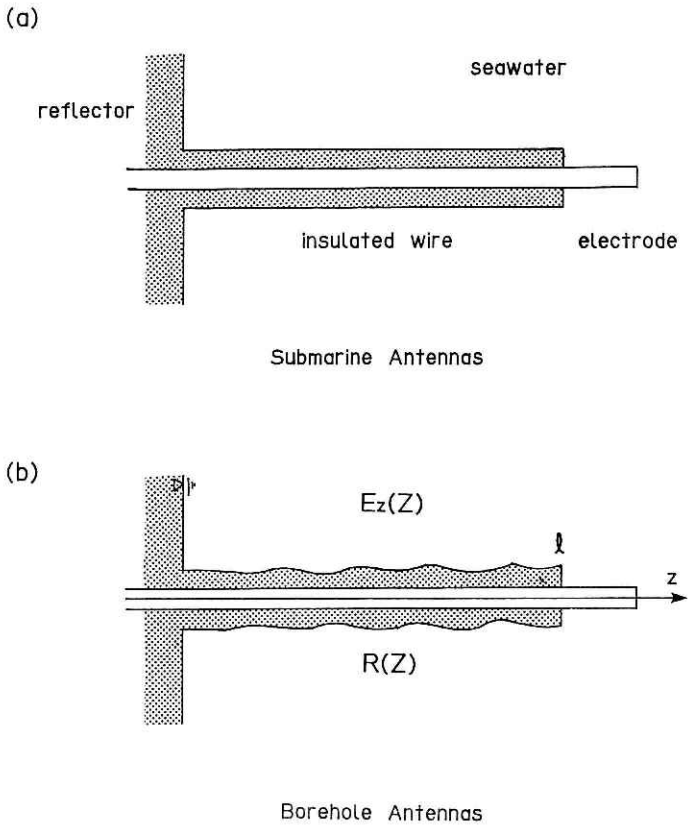


図2　海水中における通信に使用されるアンテナ(a)．ケーシングパイプを用いるアンテナでは絶縁されていないが，非一様な接触抵抗がパイプと周辺地層との間に存在し，軸方向の電界の強さのある種の平均化されたものが計測量となっている(b)．長さ数100mのケーシングパイプをモノポールとし，地表下数10cmに反射器としての導線を布設し，アンテナを構成する．

Fig.2　(a) Schematic view of the antenna for undersea communication (Moore, 1976). (b) For the antenna using the casing pipe of a deep borehole, contact resistivity between the pipe and the surrounding cementing materials is finite and varies along the pipe so that the antenna senses a weighted average of the electric field strength along the pipe.

となるであろう．ここに重み関数 $h(z)$ は点 z におけるパイプの周辺岩石との接触抵抗の逆数に比例する．この抵抗を計測することが出来ないので，アンテナの給電電圧が電場 $E(z)$ のいかなる平滑化となっているか不明である．しかしここではボアホールアンテナが電場の鉛直成分を計測しているとして満足しておこう．

長さ数100mの既存のケーシングパイプ（図1参照）を使い，計測の対象周波帯としては，dc帯（dc～0.7Hz：ULF'），ULF帯（0.01～0.7Hz），VLF帯（1～9 kHz）を，ペンレコー

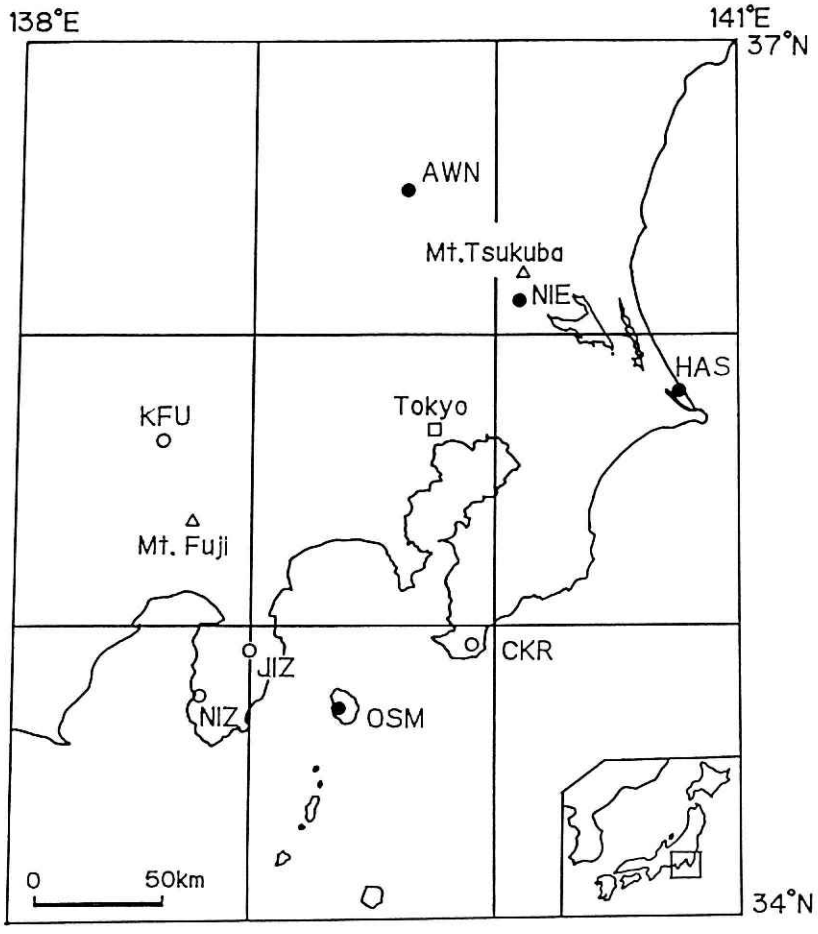


図3　1991年3月現在の鋼管深井戸を用いた地中電界変動の観測点の位置図（●印）．つくば（NIE）の深井戸の深度は603m，大島（OSM）では約300m，波崎（HAS）では805m，菜野（AWN）では806mである．○印は今後の建設予定点を示す．

Fig.3　Deep borehole geoelectric field observation sites in central Japan (●) as of October, 1991. Borehole depths (m) : Tsukuba (NIE), 603; Oshima (OSM), about 300; Hasaki (HAS), 805; Awano (AWN), 803. Future observation sites are shown by the symbol (○). All sites measure the vertical geoelectric field, whereas, Oshima measures one horizontal component, Hasaki and Awano measure two horizontal components.

ダで記録している．但しVLF帯は振幅の包絡線を記録している．1部の信号は，パソコン通信によりオンラインで，つくば市内の防災科学技術研究所へ送信している．

図3に，1991年3月末の時点で迄の地中電界変動の観測点の位置（●印，伊豆大島：OSM，波崎：HAS，防災科研構内：NIE，菜野：AWN）を示す．この外今後の計画点も示した（○印）．その内千倉（CKR），甲府（KUF）は1991年度中に建設する予定である．図4には波崎観測点（HAS）における反射体としての導線の埋設状況を示す(一点鎖線)．地下水

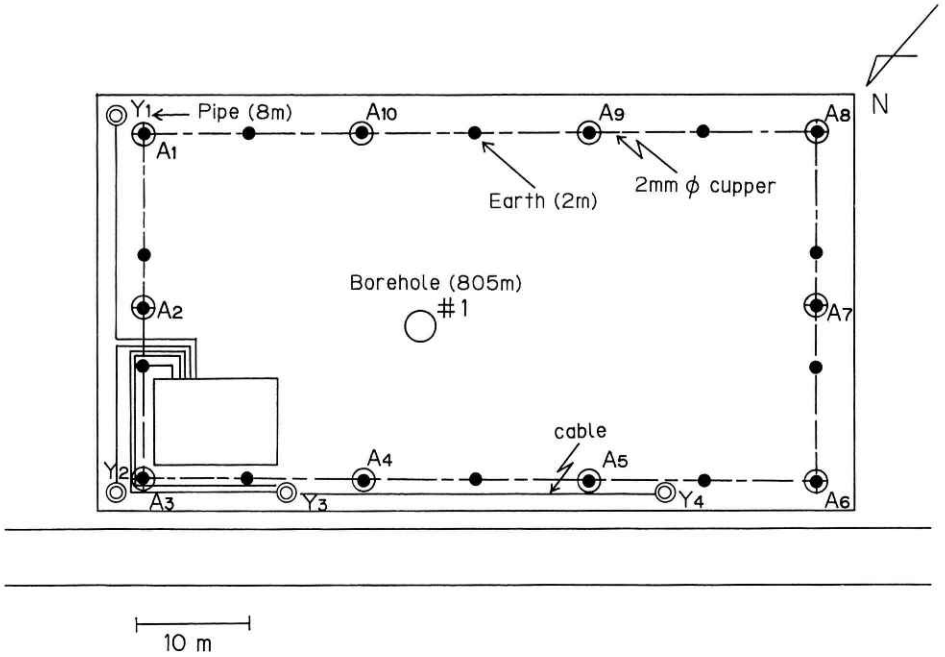


図4　波崎（HAS）における計測アンテナ及び電極の配置図．805mのボアホールケーシングパイプの周りに導線を敷設（一点鎖線）し，地中電界の鉛直成分の計測を行い，深さ8mの2対のパイプ（Y1，Y2），（Y3，Y4）を用いて，水平2成分の地電位の計測を行う．

Fig.4　Horizontal view of Hasaki's antenna system and electrodes for measuring geoelectric field variations. The vertical component of the underground electric field is measured using the borehole casing pipe antenna 805m deep surrounded by a grounded cable reflector about 200m long. The cable is buried in a ditch about 50cm wide and about 50cm deep with coke paved on the bottom. Carbon earthing rods, reaching 2m deep, are attached at eight points on the grounded cable. Two pairs of gas pipes, (Y1,Y2) and (Y3,Y4) 8m long, are used as electrodes to measure horizontal components of geoelectric field variations.

位観測用の805mの鋼管深井戸の周りにだいたい30m×60mの長方形状に，深さ約50cm，幅約50cmに掘った溝に，約10cm厚さに細かいコークスを敷き，2mm ϕ の裸導線をその中心近くに設置した．接地条件を更に良くする為に，導線の10ヶ所に長さ2mのアース棒（図中A1～A10）を接続し，地中に埋設した．又，水平地電位の計測のために直交する2方向に，間隔約30mに2対の簡易電極（長さ8m，ガス管40A）を埋めた（Y1，Y2；Y3，Y4）．但し水平成分については，現在のところVLF帯は記録していない．粟野の場合には，ほぼ東西・南北の2方向に約50mの間隔で2対の電極が埋められた．

3．観測結果

アンテナシステムを布設した後，1ヵ月の試験観測によってバックグラウンドノイズを測

定し，定常観測の為の増幅度を決定した．1991年４月中旬よりほぼ定常観測に入った．それ以後記録を収集し各種のノイズの識別を行った．新設点の波崎（HAS）及び粟野（AWN）は，いずれも直流電車軌道から最短距離がそれぞれ約３km，約７kmと近く，つくば（NIE）のように交流電車軌道からさえ約９km（直流電車軌道の支線から約12km，本線から約25km），あるいは，伊豆大島のように全く鉄道がないのに比べると，格段に状況は好ましくなく，早朝より深夜までの運転時間中は，水平成分に大きなノイズが現れる（後出の図12参照）．鉛直成分にも現れ，特にULF帯では設定したゲインでも現れる．しかしVLF帯では，電車によるノイズは断続的に現れるものの，識別は容易である．電離層の活動の日周変化のために，VLF帯では夜間においてノイズレベルが大きくなるが，その時間的変化の特徴がはっきりしており，識別は難しくない．

今一つ代表的なノイズ源は，雷による放電である．図５は粟野において近地雷があった時の鉛直成分の記録の例である．図に見るように，３つの帯域とも６月21日16時頃から20時頃まで顕著に大きな信号となっている．通常VLF帯は，夜間において電離層の日周変化により赤道付近の遠地雷に伴う変動が到達しやすくなり，レベルの増大が目立つ程度である．しか

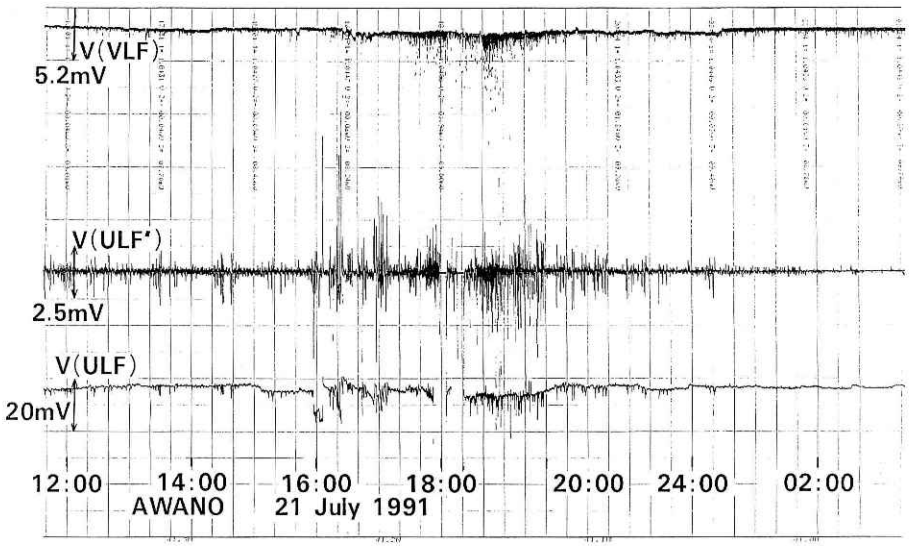


図５　粟野における近地雷放電のあった時の記録の例．６月21日16時頃から４時間位の間の変動は落雷によるものである．３つの帯域とも落雷による大きな信号が現れている．18時頃から１時間位の間は信号が大きく，オーバースケールしている．

Fig.5　An example of vertical electric field variations at Awano caused by a nearby lightning strike. The variations were noted in all three bands below 9kHz. Signals were large for about an hour after 18:00 when overscalings occurred.

し，18時10分から18時40分にかけては，増幅器が飽和する位に信号が大きい．飽和の開始はdc帯が最も早く，ついでULF，VLF帯の順となっている．又我が国での前線の速さがほぼ一定のためか，通常大きな信号が続くのは数時間であり，信号は徐々に大きくなり，ピークに達し次いで小さくなる．ノイズの大きさの変化，継続時間，特にULF帯における激しい変動などから，近地雷に伴うノイズは容易に区別が出来る．図６は同じ粟野の同時刻における水平成分のdc帯（ULF'）のX，Y，及びULF帯のX'，Y'の記録である．水平成分の場合も，振幅変化の経過は，鉛直成分の場合とほぼ同じであり，記録システムがオーバースケールする時間帯もほぼ同じである．

図７は，地震の３日前の波崎におけるボアホールアンテナを用いた鉛直成分の記録である．VLF帯に８月３日午前８時頃から１時間強にわたり明瞭な異常信号（AFC）が見える．0.15mV程度のバックグラウンドノイズに重じょうされ，振幅がかなり似ているパルス状の変動が見られ，平均的な振幅は，1.3mVである．個々のパルスの継続時間は，記録速度が十分速くないため推測となるが，0.2～0.5秒程度と思われる．しかし，ULF帯及びdc帯には見えない．図に示したＮ１，Ｎ２は地震と関係しない時にも散見される人工ノイズと思われるが，原因が不明である．

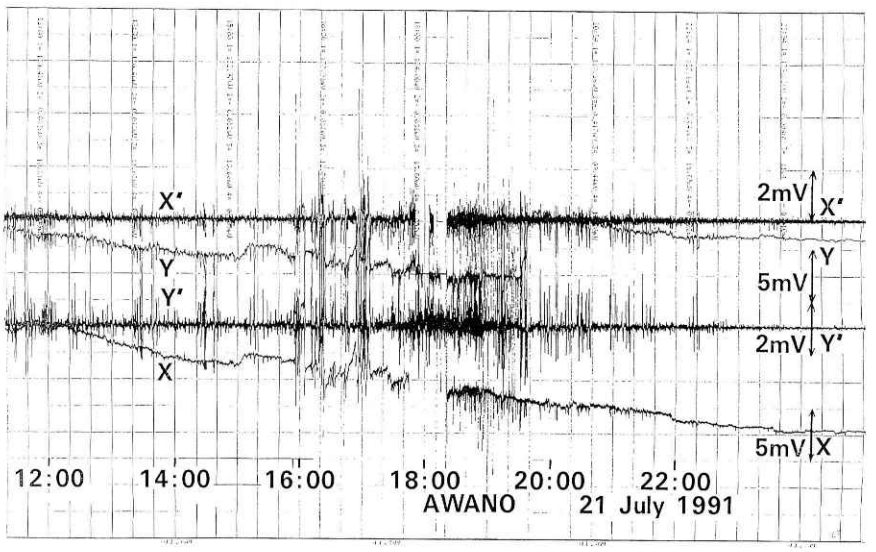


図６　粟野における図５と同じ時刻の水平成分の記録．水平成分にも落雷に起因する大きな変動が現れる．オーバースケールしている時間帯は鉛直成分の場合と同じである．

Fig.6　Horizontal component records at Awano during the same time period as in Fig. 5. The lightning strike effect is apparent also in the horizontal components. Overscaling also occurred for the two horizontal components during nearly the same time period as for the vertical component.

図８には，地震２日前の８月４日の８:00頃から21:00頃までの記録を示す．同じく異常信号が，13:40頃より16:20分頃にかけて，断続的に４回観測されている．パルスの大きさは1.5mV程度で前日より大きいことが注目される．ULF帯，dc帯には全く異常な信号は見えないのは前日と同様である．

図９は地震発生の１日前の記録であるが，異常信号が午前６時20分から８時20分頃にかけて記録されている．信号の大きさは更に大きく，1.54mV程度である．dc帯，ULF帯に異常が見えないのは，２日前，３日前と同じである．図10に８月５日16時頃より６日の午前４時頃迄の記録を示す．異常な信号は見えず，VLF帯において方形状の人工ノイズと思われる信

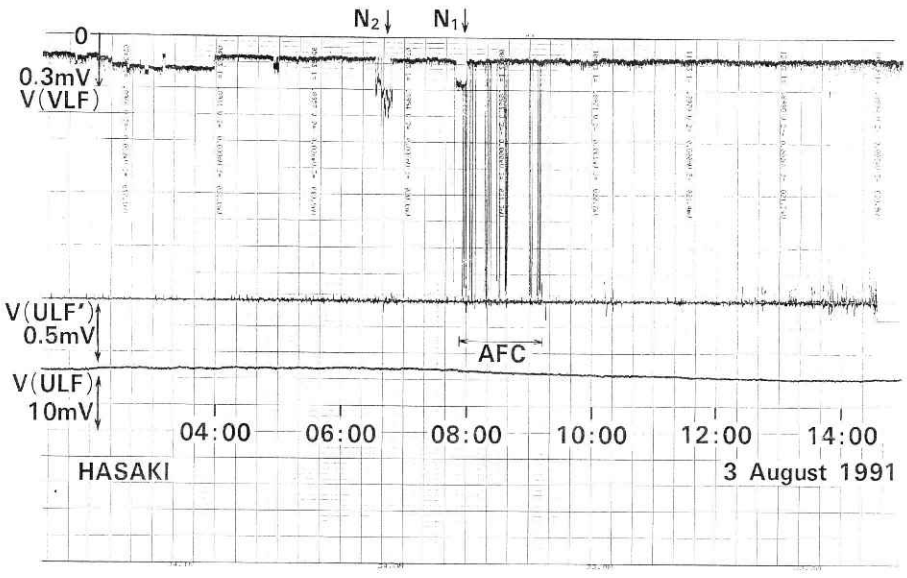


図７　波崎における鉛直成分の1991年８月３日のほぼ半日の記録．VLF帯に８時頃から９時頃まで異常な変動（ACF）が見える．N１，N２は人工ノイズのせいと思われる．ULF帯以下の周波数帯には変動は見られない．

Fig.7　Strip chart records of the vertical components at Hasaki on 3 August 1991, for three frequency bands (ULF': 0.01-0.7Hz; ULF: dc-0.7Hz; VLF: 1-9kHz). Note the VLF band amplitude envelope and the ULF and ULF' wave-forms. Apparently abnormal field variations took place from about 8:30 to 10:00. Duration of the radiation corresponding to the individual pulse seems to be 0.2-0.5sec. These radiation pulses are superimposed on the relatively consistent background noise of about 0.1mV. During the anomalous radiation in the VLF band, there are no discernible anomalous phenomena in the frequency bands below 0.7Hz (ULF, ULF'). Nearly continuous 'radiation' of constant level in the VLF band preceding the earthquake by about 10min (N1) and by 1 hour and 20min (N2) are assumed to be manmade noise. This is because the same type of radiation has been observed at other times, irrespective of earthquakes.

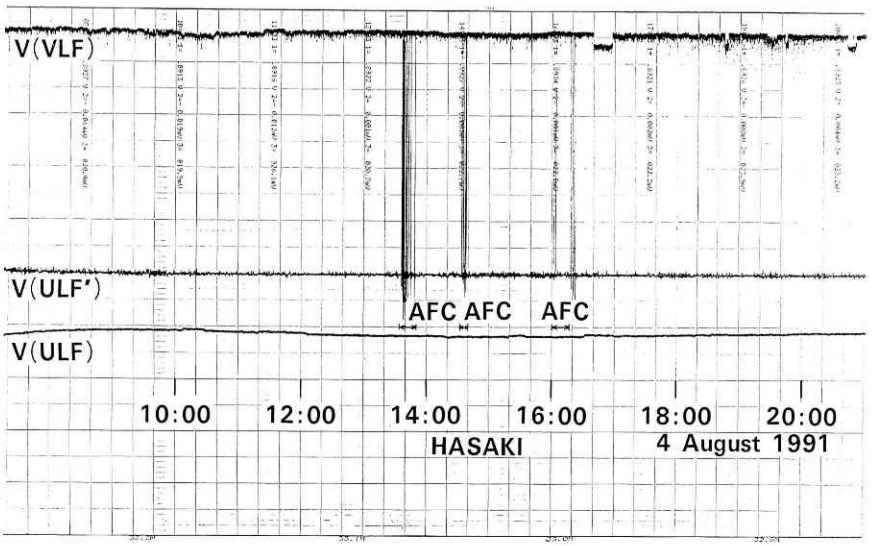


図8　8月4日の13：40分頃から16：20分頃にかけて，8月3日と同じようなVLF帯における異常な変動（AFC）が，4回にわたり間欠的に見られる．大きさは約1.5mVで前日よりやや大きくなっている．ULF帯には，検出できる異常は見られない．

Fig.8　Four anomalous pulse-like variations of amplitude in the VLF band were observed at Hasaki intermittently from 13:40 to 16:20, Aug.4. Average amplitude is 1.5mV, slightly larger than those for the previous day, as shown in Fig.4. There are no discernible abnormal variations in the frequency bands below 0.7Hz (ULF and ULF').

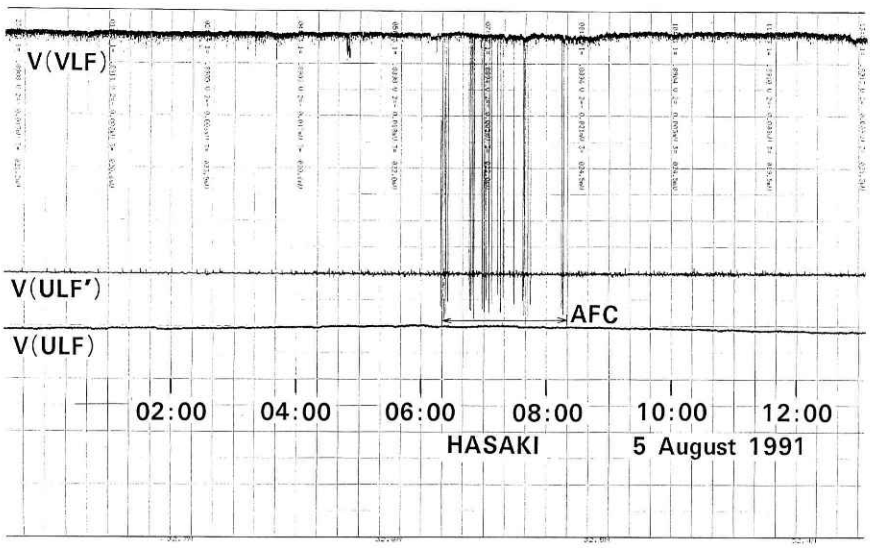


図9　地震の前日の8月5日のほぼ午前中一杯の鉛直成分の記録．午前6時20分から8時20分頃にかけて断続的に異常なパルス状の変動（AFC）が見られる．振幅は3日間で最大で，1.6mVとなった．

Fig.9　Strip chart records of the vertical component at Hasaki on August 5, one day before the earthquake of magnitude 5.9. The anomalous pulse-like variations occurred intermittently from about 6:20 to 8:20 in the VLF band. Amplitudes of pulses are on the average 1.6mV, as determined from a three-day maximum.

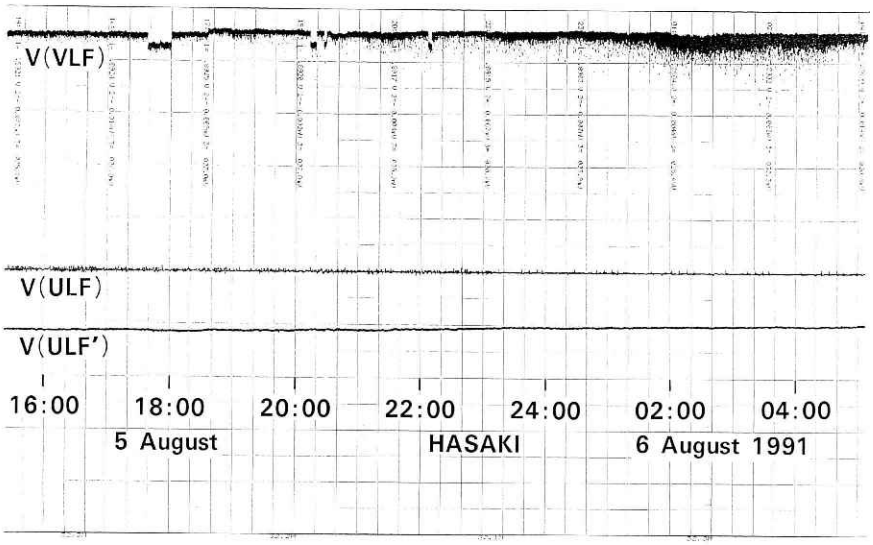


図10　8月5日16:00頃から8月6日5:00頃までの鉛直成分の記録．VLF帯においては，先に述べた方形波状の連続的な変化（図7のN1，N2），及び夜間には密集状のパルスがバックグランドのノイズに重じょうされている．しかし，異常な変動は見られない．夜間におけるこのような日周変化は通常見られるものであるが，大きさは日によって変化する．この現象は電離層の状態の日周変化に起因する．

Fig.10　Records of the vertical components in the three frequency bands from 14h of August 5 to 5h August 6, 1991. Only background noises and atmospherics in distant regions were recorded. Remote atmospherics usually intensify at night due to diurnal ionospheric changes.

号，及び夜半から早朝にかけての電離層の日周変化に伴う遠地雷の信号によるレベルの増加が，見られるのみである．

図11に示す8月6日23時49分の地震の際には，今度はULF帯に，地震と同時に明瞭な信号が記録された．記録速度が遅いために，地震波の到達時間に一致するのか，あるいは地震の発震時に一致するのかは不明である．注意深く見れば，dc帯にも同時刻に対応する変動が存在するのがわかる．VLF帯には，異常信号はあったかも知れないがノイズ(N)にかくれて見えない．図12は波崎における地震の発生時間帯を含む水平2成分の記録である．鉛直成分に比べノイズが大きいのは，この時間帯では電車などの人工ノイズが大きいためである．地震の発生時に，水平成分に異常信号が見える．成分による時間のずれは多ペン記録計のペンギャップのせいであり，それを補正すると地震時の異常信号は，全て同一時刻に発生している．

図13には，波崎において最も大きな異常信号が観測された8月5日の時間帯での，栗野における鉛直成分の3つの帯域の記録を示す．栗野においても近くに直流電車が運転されるの

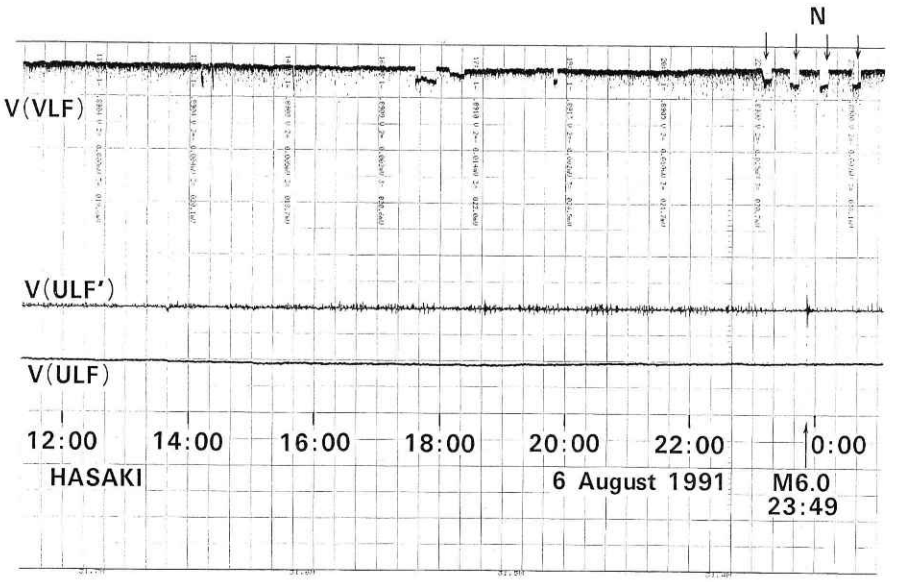


図11　M－5.9の地震が８月６日23時49分に銚子付近（深度43km）に発生した．その時にULF帯に明瞭な異常な変動が見える．しかし地震の発生と同時なのか，地震波の到達と同時なのかは記録速度が遅く判断できない．

Fig.11　An earthquake of magnitude 5.9 occurred at 23:49, August 6, 1991 near the Hasaki site at a depth of 43km. Coseismic vertical electric field variations were observed in the ULF' band. However, it can not be determined whether the start time of the variations was the arrival time of the seismic wave or the seismic origin time, due to the slow chart speed. There were no discernible signals in the VLF band at the time of the earthquake. Regular periodic amplitude variations (N) are assumed to be due to man-made noise.

で朝４時頃からノイズレベルがULF帯以下の周波数において上昇する．しかし図に見るようにVLF帯のレベルは運転開始に伴って目立った増加をすることはなく，バックグランドレベルの変動は他の原因が主であることが示唆される．いずれにしろ，波崎と同じような前兆的異常信号は粟野では記録されていない．又それは，他の２地点，伊豆大島，つくばにおいても同様である．

図14は，今度は同じ波崎における水平成分の，８月５日に鉛直成分のVLF帯に異常信号が記録された時間帯の記録である．水平成分に対しては，VLF帯の記録がとれていない．図から見るようにdc～ULF帯には，対応するような変動は観測されていない．

図15は，伊豆大島における地磁気水平成分の記録(毎分値)の，８月４日９時（JST）から８月５日９時までの部分である．この時間帯は波崎においてVLF帯に顕著な異常が観測された時刻を含んでいる．この図からわかるように，観測された地中電界変動異常と，地球外部起源の磁気嵐，湾型変化等の地磁気変化との明瞭な関連は見当たらない．

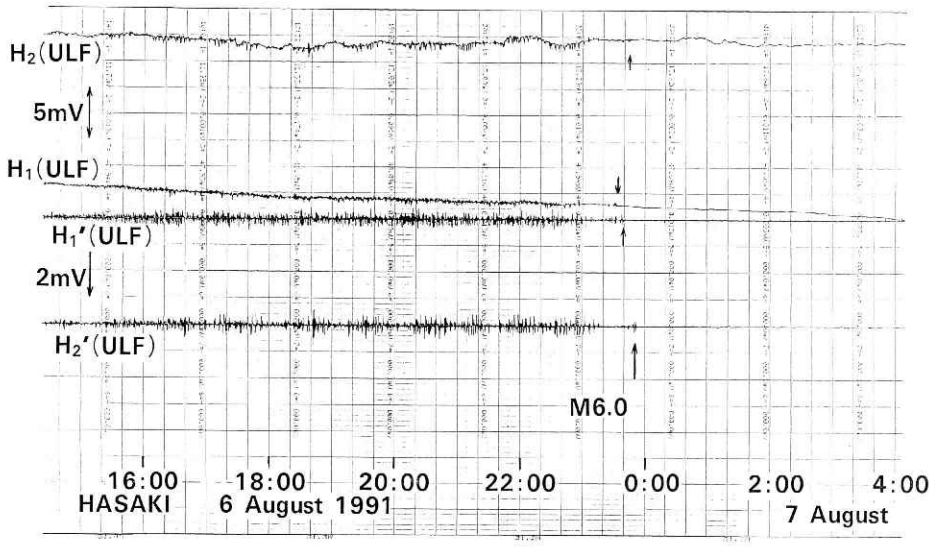


図12　波崎におけるM＝5.9の地震の発生した時刻をはさむ約半日間の水平地電位記録．帯域は0.7Hz以下（0.01～0.7Hz：ULF; dc～0.7Hz：ULF）である．地震の発生の際に異常な信号が見える．見掛け上の時刻のずれは，ペンレコーダーのギャップのためである．

Fig.12　Strip chart records of two perpendicular horizontal components H1, H2 of the electric field for the time period including the time of the earthquake. Each component is shown in the two bands below 0.7Hz, i. e., 0.01-0.7Hz (ULF); H1, H2, and dc-0.7Hz (ULF): H1', H2'. Though there are large noise disturbaues before the earthquake, electric field variation of intensity 17 μ V/m～35 μ V/m, in both components is assumed to be due to coseismic changes. The pen gap of the strip chart recorder caused apparent differences in the starting times of the coseismic variations in H1, H1', H2, H2'. From Fig.8, it is known that the coseismic electric fields have vertical and horizontal components in the frequency bands below 0.7Hz.

4．議　　論

地震前及び地震時の異常電界変動は震源域の近くの波崎においてのみ観測され，栗野，つくば，伊豆大島では観測されなかった．このことは，今回の電界変動が局地的なもので，伝播製のものならば地中を伝播してきたものと考えられる．1989年の伊東沖群発地震（Fujinawa *et al.*, 1990），1990年２月大島西方の地震（藤縄ほか，1991）の場合のように，100km以上離れたつくばで観測されたのとは大きな違いがある．Varotos and Alexopoulos（1984）の言う観測点の選択性（Selectivity）によるものか，あるいは現象が波動性を持つ場合とそうでない場合があるのかは，現在のところ不明である．若し選択性が非常に強いならば，異常電界変動を遠く離れた多点で同時に観測し，発生源同定のためのトモグラフィを作成することは困難となろう．むしろ近接する多点観測データを使わなくてはならなくなるが，その際にはより高精度な時刻計測が必要となる．

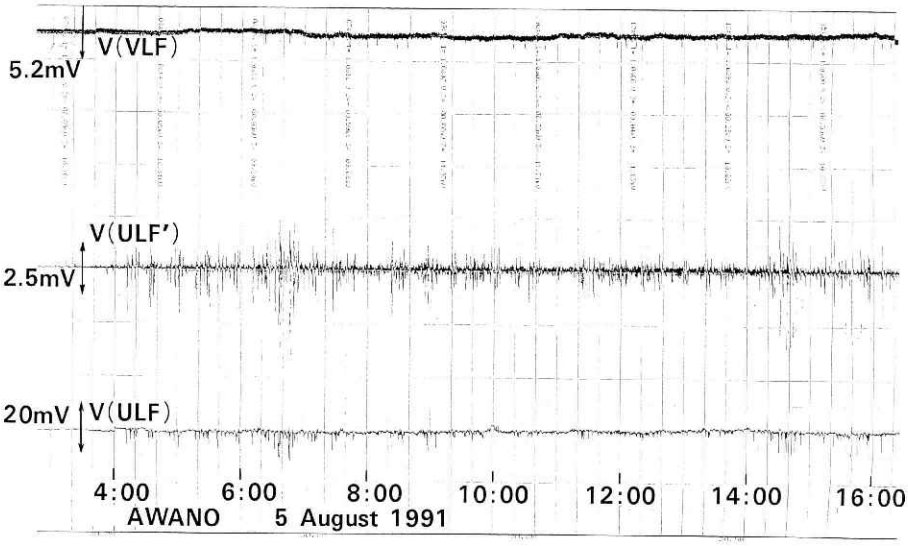


図13　粟野における８月５日午前の鉛直成分の記録．帯域は波崎におけるものと同じ．波崎においてＶＬＦ帯に記録されたような異常な変動は見えない．この外つくば，大島においても同様に異常信号はなかった．このことは，波崎における異常変動が局地的なものであり，かつ空中からのものではなく，地中を伝播して来たものであることを示唆する．

Fig.13　Chart records of vertical components of geoelectric field variations at Awano in the frequency bands of VLF (1-9kHz) and of less than 0.7Hz (0.01-0.7Hz : ULF'; dc-0.7Hz : ULF) on the morning of August 5, 1991. There are no apparent anomalous variations as observed at Hasaki. The situation is the same at Tsukuba and Oshima. This signal detection pattern indicates that the anomalous phenomena are local ones and originated underground rather than in the air.

5．結　論

観測期間が未だ十分と言えないが，今回の事例から次の諸点が示唆される．

1) 鋼管深井戸を用いる地中電界変動の鉛直成分測定は，地震（浅発，Ｍ６クラス以上）の前兆現象の一つを見出す期待が強い．周波数帯は，ULF帯又はVLF帯が有望である．

2) VAN法（Varotsos and Alexopoulos, 1984）等の地電位の水平成分測定は，我が国のように人工ノイズの大きい所では困難を伴うのではないであろうか．

3) 多点での測定により発生源の同定を行うこと，室内実験により電磁界変動の発生メカニズムの研究を進めるなどが，この方面の研究の今後の課題である．

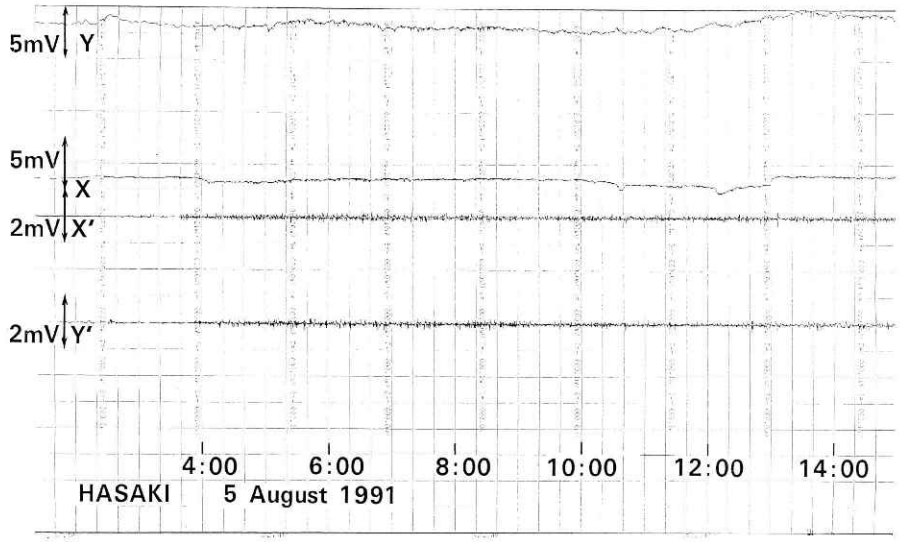


図14　地震の前日の８月５日午前の波崎における水平成分の記録．図９に見られたVLF帯の異常信号があった時間帯には鉛直成分の異常に対応するような異常信号は見当たらない．あったとしてもノイズレベル以下であったろう．

Fig.14　Records of the two perpendicular horizontal components of the geoelectric field at Hasaki in the frequency bands below 0.7Hz on the morning of August 5,1991. There are no anomalous phenomena corresponding to those for the vertical components in the VLF band.

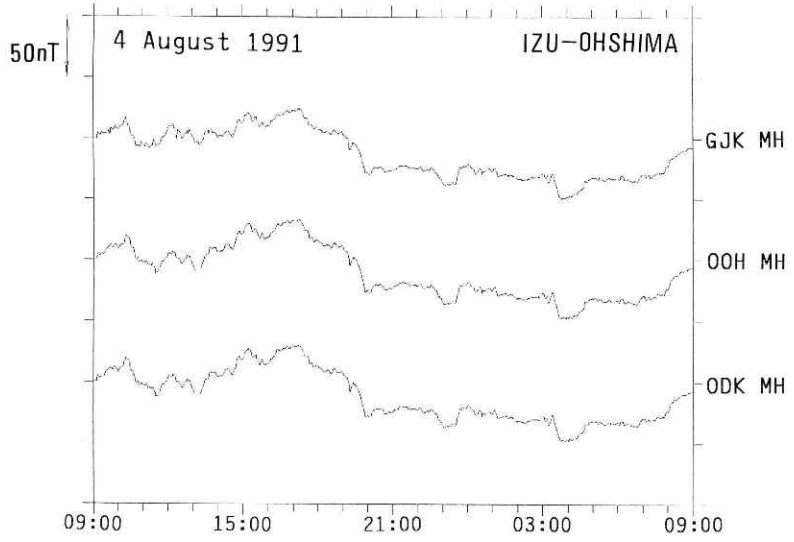


図15　伊豆大島の３観測所（御神火茶屋：GJK，大島温泉ホテル：OOH，大島動物公園：ODK）における８月４日９時（JST）から１日間の地磁気水平成分の記録（毎分値）．特に顕著な磁気嵐は見られない．

Fig.15　Horizontal component geomagnetic variations observed at three stations (Gojinka-choya : GJK; Ohshima-Onsen-Hotel : OOH; Ohshima-Dohbutsu-Kohen : ODK) in Izu-Oshima Island on August 5, 1991 during the period of anomalous underground electric field change detected at Hasaki. There is no apparent relation between the anomalous change and the geomagnetic variation.

謝　辞

本研究の遂行につき御指導をいただいた高橋博元所長，萩原幸男前所長，観測の実施に当たり，御配慮いただいた池田隆司博士，原稿を読んで有益な指摘をされた東京大学地震研究所上嶋誠博士に深く感謝致します．アンテナシステムの構築に当たり御協力いただいた日鐵溶接工業株式会社高松善郎氏に，データの処理，資料作製の面で尽力下さった西野玉江，木村裕子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）Fujinawa, Y., K. Takahashi, T. Kumagai, A study of anomalous underground electric field variations associated with a volcanic eruption, *Geophys. Res. Letter*, 19, 9-12 1992.

4）Moore, R. K., Radio communication in the sea, *IEEE Spectrum*, 42-51, November, 1967.

5）Takahashi, H. and Takahashi, K. , Tomography of seismoradio wave source regions for predicting imminent earthquakes. *Phys. Earth Planet. Interiors*, 57, 40-44, 1989.

6）Varotsos, P. and K. Alexopoulos, Physical properties of the variations of the electric field of the earth preceding earthquakes. *Tectonophysics*, 110, 73-125, 1984.

（1992年３月16日　原稿受理）