地震直前先行現象としての 極低周波地中電界変動

防災科学技術研究所*

藤 縄 幸 雄

通信総合研究所**

高 橋 耕 三

防災科学技術研究所*

熊 谷 貞 治

ULF Underground Electric Field Variations as
the Imminent Precursor of an Earthquake

Yukio FUJINAWA

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

Kozo TAKAHASHI

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

Teiji KUMAGAI

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

(Received April 16, 1990;

Accepted June 27, 1990)

§ 1. はじめに

地震の数日から数時間前に震源域近傍で電磁波が放射される可能性のあることは、1960年代から注目され始め、1970年代には、ソ連で本格的な研究が始められた [例えば GOKHBERG *et al.* (1979)]. 電磁波の発生の原因としては、地震時のマクロな破壊に先立つミクロな破壊に伴って生ずるエキソ電子 (通常の仕事関数以下の励起エネルギーで発生する電子) 等によるものと考えられている [高橋・藤縄 (1990)] が、現在まだよくわかっていない。中国 [QIAN (1987)] やギリシャ [VAROTSOS and ALEXOPOULOS (1984)] では、数 10 点に及ぶかなり大がかりな連続観測が行われ、特にギリシャでは予知情報の公表さえ行われ論議を呼んでいる [木下・上田 (1986)].

一方、我が国では 1986 年 11 月の伊豆大島の噴火の約 1 日前に明瞭な電波放射を観測した例 [YOSHINO and TOMIZAWA (1989)] や、内陸又は浅海で発生する地震の前後に電磁波が計測された例 [OIKE and OGAWA (1986), YOSHINO *et al.* (1985)] が知られているが、我が国の場合は、人工雑音が強く、前兆電磁波の弁別・検出が一般に困難と思われる [TAKAHASHI and TAKAHASHI (1989), KINOSHITA *et al.* (1989)].

防災科学技術研究所 (防災科研) では、郵政省通信総合研究所と共同で、地震・火山噴火の直前前兆としての地殻活動に伴って発生する電磁波について、研究を行っており、その一環として、電界の地中観測を行うことを目的に、筑波の防災科研構内に受信設備を設置し、1989 年 3 月 23 日から観測を開始し、1989 年 7 月の伊東沖群発地震や海底火山噴火の数時間から 1 日前に顕著な電界変動が観測されている [藤縄・他 (1989)]. ここでは、1989 年 12 月から開始した 0.7 Hz 以下の帯域に現れた異常信号と顕著な地震との関係について述べる。

§ 2. 観測の方法

計測用電極は、深さ約 600 m の三成分歪観測井のケーシングパイプとその周囲に張りめぐらした延べ 140 m の導線である [詳しくは、TAKAHASHI and TAKAHASHI (1989) を参照のこと]。500 km 以上離れた所からの空電は、地表と電離層の間を導波管モードで伝搬することが知られており、この場合地中の電界は水平となる。このため、地中の電界の垂直成分を観測する本システムは遠距離の空電を遮断し、S/N の良い観測が期待される。観測帯域は、3 つあり、当初は、DC~12 Hz, 0.01~12 Hz, 1~9 kHz であったが、50 Hz 商用周波数成分の減衰を強化 (それぞれ 57 dB, 80 dB 以上, 80 dB 以上) するため 1989 年 12 月より DC~0.7 Hz, 0.01~0.1 Hz, 1~9 kHz と変更した。

§ 3. 観測結果

1989 年 11 月までは、極低周波数領域 (ULF) の DC~12 Hz, 0.01~12 Hz 帯の記録は、殆んど一定の振幅のイノズのみで、1~9 kHz 帯以外は有意な記録が得られなかった。しかし、前述のように、12 月に 50 Hz の商用電源からの寄与をより少なくするためカットオフ周波数を 0.1, 0.7 Hz にした所、それ以後、地震の前に非常に顕著で S/N 比が数 10 にも達し、一見して異常放射であることがわかる記録が得られるようになった。記録は紙送り速度 2 cm/時のペンレコーダーによっている。1~9 kHz 帯では、マグニチュードが 6 近くの地震の場合には、異常の判定はかなり容易であるが、5 クラス以下の

* 〒305 茨城県つくば市天王台 3-1

** 〒184 東京都小金井市貫井北町 4-2-1

Fig. 1. An example of possible precursors of an underground electric field before the 1990 west-Oshima earthquake of $M=6.6$ (20 February 1990, 15:53). Clear anomalous signals are seen about a day and about 1.5 hours prior to the earthquake.

場合には、放射パターンの相違による異常の判定には、相当の熟練を要した。換言すれば、主観的な要素が入る余地が多かった。一方、ULF帯の信号の場合には、その必要は全くない位に明瞭である。Fig. 1 に例として、1990年2月20日15時53分大島西方沖に発生した M 6.6の地震の直前約1時間半前と約23時間前に発生した異常電界変動を示す。S/Nで数10倍に達する顕著な変動が見られ、地震の10分後には平常の2 mV程度のバックグラウンドノイズレベルに戻っている。異常信号の波形は1~2分間隔のパルス状である。又今一つの特徴は普段は全くといってよい程、一見してバックグラウンドノイズレベルのみであり、電界変動の異常の判定が容易なことである。

このようなULF帯のバースト状の顕著な異常信号の発生時刻と、関東・東海地方における顕著な地震の時刻との対応を調べて見た。対象とする地震カタログが一樣であるように、まず防災科研が地震予知連絡会に定期的に報告している「関東・東海地域における最近の地震活動」の中で特記しているマグニチュードが3クラス以上の顕著な地震を全て対象とする外、気象庁が「東海・南関東地域の週間地震活動概況」として報告している地震を対象とした。元来異常の判定の基準は、統計的解析によって決めるものであるが[FUJINAWA (1990)]。異常電界変動と地震との対応が良いようにする為には、対象とする地震を浅い地震(深度60 km以下)でマグニチュード $M \geq 4.8$ とすればよいことが得られた。Fig. 2 は1989年12月1日から1990年2月28日までの3ヶ月間の $M \geq 4.8$ (深度60 km以浅)の地震と前述した異常電界変動との対比をとってみたものである。地震につい

Fig. 2. Anomalous electric field signals and earthquakes of magnitude $M \geq 4.8$ and depth less than 60 km in central Japan during 1 December 1989~28 February 1990.

ては、マグニチュード、発生場所、筑波からの震央距離が示されている。又、異常な電界変動は全て記してある。ここで異常とは、DC~0.7 Hz帯の振幅5 mV以上のパルス状の変動が30分以内に2つ以上ある場合と、暫定的に定義している。

この図に見るように地震7個の内5個は地震の発生前3日以内に前兆現象を伴っており、前兆のなかったものは2個、前兆があって地震のなかったものは1個のみであった。しかも、その1個は1990年1月3日17時53分鉾子沖で起きた $M=4.0$ の地震の前兆であった可

能性が高い。

観測点からの距離は、殆どが 300 km 以内であり、例外は 1990 年 1 月 12 日の滋賀県南部の地震で、これのみが、防災科研の顕著な地震のリストになかった(震央が報告の対象地域外であったため)結果となっている。

ここに示した地震との良い対比は、ギリシャの VAN 法によるもの [VAROTSOS and ALEXOPOULOS (1984)] に匹敵するものであり、又期せずして彼等もマグニチュードの下限を 4.8 としている。又特記すべきは、1990 年 2 月 20 日の大島西方沖の地震の場合には、センターの地震観測網の現在の検知能力では、一つの前震も観測されず [海底地震計が設置してあれば検出されたのではなかろうか, UKAWA *et al.* (1989)], 傾斜計や歪計などにも前兆の変動は観測されていなかった。

これ等の異常電界変動は、全て 3 つの帯域に共通して表われ、0.01~0.1 Hz が最もはっきりしており、S/N が 50 以上であるが、1~9 kHz 帯では、平常時と比べ波形の違いはあるものの、振幅は正常の場合と比べて 2~3 倍程度と極端には大きくなく、弁別はそれ程容易ではなかった。

§ 4. おわりに

データの量が少なく未だ断定できないが、我々の採用している計測方法によって、M5 クラス以上の陸又は海で起きる浅い地震や火山噴火の直前の前兆現象としての電界変動が観測できる可能性が高いと言えよう。しかも、ULF 帯はギリシャ [VAROTSOS and ALEXOPOULOS (1984)], 中国 [QIAN (1987)], 米国 [FRASER-SMITH *et al.* (1989)] でも顕著な記録が得られている。今後、数点の同様な観測点による比較観測によって、電界変動が真に地殻内破壊の前駆現象であるのかを確かめる計画である。

更に、VAROTSOS and ALEXOPOULOS (1984) らが行っているように、地震予知の他の 2 つの要素である大きさ・場所の推定をも行うことが出来るかを検討する予定である。その為には、発生のメカニズム [ENOMOTO and HASHIMOTO (1989), 高橋・藤縄 (1990)], 伝播経路等を明らかにして、最適な計測方法を定め、多くのケースにより適中率・予知率 [UTSU (1983)] を定量化することが必要である。個々の要素の確率が向上すれば、総合確率は飛躍的に向上する [例えば UTSU (1983), AKI (1981)]。十分な数のデータがあれば、これ等の確率は求められるが、その際残る問題は、ただ地震・前兆現象に対する確率モデルの設定のみ [FUJINAWA (1990)] となる。又地震予知・火山噴火予知が一種類の前兆現象によって達成できるのではなく、多項目の前兆を捕らえてこそより高い信頼度が得られる。更に長期・中期・短期予知の段階

もそれぞれが重要であり [力武 (1977)], 各段階の精度の向上を目指す努力が今後とも必要であることは言うまでもない。本報告では、地中の電界変動の観測が地震の直前予知に、有効であることを期待させるものであることを示した。

文 献

- AKI, K., 1981, A probabilistic synthesis of precursory phenomena. In "Earthquake Prediction: An International Review," Maurice Ewing Ser. 4, 566-574.
- ENOMOTO, Y. and H. HASHIMOTO, 1989, Fracture emission during indentation fracture of brittle solids, J. Materials Sci. Letters, 8, 1107-1109.
- FRASER-SMITH, A. C., A. BERNARDI, P. R. MCGILL, M. E. LADD, R. A. HELLIWELL and O. G. VILLARD, 1990, ULF, ELF, and VLF electromagnetic field observations close to the epicenter of the M_s 7.1 Loma Prieta Earthquake: possible ULF precursors, Abstract, American Geophys. Union Meeting, 1989.
- 藤縄幸雄・高橋耕三・熊谷貞治, 1989, 1989 年 7 月伊豆半島東方沖の海底噴火に伴う電磁波の放射, 火山, 第 2 集, 34, 309.
- FUJINAWA, Y., 1990, A method of estimation of earthquake occurrence probability using first and multiple order Markov chain models, accepted in Natural Hazards.
- GOKHBERG, M. B., V. A. MORGOUNOV and E. L. ARONOV, 1979, On high-frequency electromagnetic emission during seismic activity. Dokl. Akad. Nauk USSR, 248, 1077.
- 木下正高・上田誠也, 1986, 再びギリシャの地震予知について, 科学, 56, 770-775.
- KINOSHITA, M., M. UYESHIMA and S. UYEDA, 1989, Earthquake prediction research by means of telluric potential monitoring. Progress Report No. 1: Installation of monitoring network, Bull. Earthq. Res. Inst., 64, 255-311.
- OIKE, K. and T. OGAWA, 1986, Electromagnetic radiation from shallow earthquakes observed in the LF range, J. Geomag. Geoelectr., 38, 1031-1040.
- QIAN, S., 1987, General description of precursory electromagnetic disturbances before large earthquakes of China, The Second International Conference on Earthquake Precursor, p. 16, Beijing, China.
- 力武常次, 1977, 地震予知論入門, 共立出版, 212 pp.
- 高橋耕三・藤縄幸雄, 1990, 地震・噴火前兆の電界観測システムと電界発生モデル, 地球惑星科学関連学会 1990 年合同大会, B32-11.
- TAKAHASHI, H. and K. TAKAHASHI., 1989, A tomography of seismo-radio wave source regions for predicting imminent earthquakes, Phys. Earth and Planet. Interiors., 57, 40-44.
- UKAWA, M., T. EGUCHI and Y. FUJINAWA, 1989, Seis-

- micity survey with pop-up-type OBS array in the western part of Sagami Bay, *J. Phys. Earth*, **37**, 31-54.
- Ursu, T., 1983, Probabilities associated with earthquake prediction and their relationships, *Earthq. Predict. Res.*, **2**, 105-114.
- VAROTSOS, P. and K. ALEXOPOULOS, 1984, Physical properties of the variations of the electric field of the earth preceding earthquakes, *Tectonophysics*, **110**, 73-125.
- YOSHINO, T., I. TOMIZAWA and T. SHIBATA, 1985, The possibility of using a direction finding technique to locate earthquake epicenters from electromagnetic precursor radiation, *Annales Geophys.*, **3**, 727-730.
- YOSHINO, T. and I. TOMIZAWA, 1989, Observation of low-frequency electromagnetic emissions as precursors to the volcanic eruption at Mt. Miharaha during November, 1986, *Phys. Earth and Planet. Interiors*, **57**, 32-39.