

地震に伴う電磁放射の観測

尾池 和夫・小川 俊雄

OBSERVATIONS OF ELECTROMAGNETIC RADIATION RELATED WITH THE OCCURRENCE OF EARTHQUAKES

By *Kazuo OIKE* and *Toshio OGAWA*

Synopsis

Simple observation systems to record natural electromagnetic noises have been developed. AGC signals from the radio receiver are amplified and filtered by a low-pass circuit to record a long period variations of the noise level, and filtered with a high-pass circuit to count-up the number of impulsive noises.

The specific frequency of 9.5 kHz was used for the observation of VLF noises. For LF and HF continuous observations, 164 kHz and 20.007 MHz were used, respectively. These frequencies have been chosen based on the results of surveying the artificial signal distribution in the wide frequency range. The integrated signals of each frequency are recorded on the strip chart paper with a speed of 25 mm/h. The counted number of pulses are converted into the analogue voltage to be recorded on the same chart paper. VLF flash-type noises are clearly recorded by the latter method.

Some examples of VLF imminent precursors have been obtained by these systems. They show that the signal level increases gradually before the occurrence of earthquake, and neither co-seismic nor post-seismic signals are recorded.

ELF natural noises have been continuously recorded by the pen recorder with a speed of 4 mm/sec. The sensor of this system is a ball antenna installed on the roof of the institute. The continuous record have been obtained since the beginning of February, 1982. The Urakawa-oki earthquake of M7.3 occurred in Hokkaido on March 21, 1982. The focal depth of the earthquake was about 30 km and a part of after-shock region was located in the land part of the coastal region.

Anomalous ELF signals were clearly recorded before and after this main shock. The ELF signals appeared about one day before the main shock. The signal intensity increased gradually and then rapidly decreased until the occurrence of the first fore-shock. The similar ELF signals appeared again after the occurrence of the main shock, and the maximum after-shock occurred at the peak of this ELF radiation.

1. はじめに

地震に伴う電磁気現象のうち、電磁波の放射とその伝播については、まだほとんどよくわかっていない。この論文では、地震発生に伴って電磁放射が観測されるかどうかを確かめる目的で行っている連続観測の方式と、その方式による記録例について述べる。

地震発生の直前数日～1時間に、VLF帯の電波が観測された例は、Gokhbergらによって報告されている^{1,2)}。この現象は、数10KHzから数MHzの周波数帯の電磁波を受信し、連続記録を取って見出されたもので、地震発生直前に出現し、地震と同時に終るという顕著な特徴をもっている。イラン中央部の1978年9月16日のM7.4の地震の際、コーカサスの50mのかぶりのトンネル内で、30分前から27KHzおよび1.63MHzで異常現象が観測された(GOKHBERG et al., 1979)³⁾。

日本の地震では、1980年9月25日2時54分および2時59分の関東の上部マントルの地震に際して、1時間

半前から 81.0KHz の異常現象の観測例などが報告されている²⁾。

1976年7月の中国の唐山地震の直前、通信その他に電波障害が発生したという調査報告もある⁴⁾。

牧は京都でラジオ受信機の音声出力をペン書きレコーダーで連続記録し、津山付近の地震の時異常信号を記録した⁵⁾。これらの記録は、いずれも、観測期間中のある特定の地震にのみ対応する異常現象が観測されたのであって、地震活動と電磁放射との関係については、ほとんど詳しいことはわかっていないと言える。

地震発生に直接関係する電磁波現象が存在するかどうか、あるとすれば、どのような現象なのか、その発生のメカニズムは、など、多くのテーマについて研究を進めるためには、当面、さまざまな方法で観測を行い、現象を詳しく把握する努力をしなければならない。この目的で、いくつかの種類の観測を開始し、記録が得られたので、それらの方法と観測例を紹介する。

2. ラジオ受信機を応用した連続観測方法

市販のラジオを使用し、一定の周波数にそれをセットして、その周波数の電磁波の振幅を記録する。そのための準備として、各周波数で受信される電波の強さを、種々の時間帯で測定し、常に放送などの電波が入らない静かな周波数を見出す必要がある。

宇治観測点での測定例を **Fig. 1** に示す。**Fig. 1** は、CRF-1 型受信機を用いて、内蔵の S メータにより入感電波の強さを 10K~250KHz について読み取った結果である。アンテナは内蔵ロッドアンテナを使用し、受信機は感度を最高になるようにセットした。

VLF 帯 (3K~30KHz) では、現在双曲線航行方式 (オメガ) の電波が対島から 10K~14KHz 帯で発射されている。LF 帯 (30K~300KHz) では、40KHz の対潜水艦通信および長波時報局が、また 70K~130KHz 帯でデッカ局が常時電波を発射している。150KHz 以上には放送波があり、主にソ連の長波放送が夜間に強く受信される。また、280KHz 以上には海上無線標識局がある。これらの周波数は、この研究の目的とする未知の電波の測定には使用できない。**Fig. 1** の結果から 9.5K, 54.0K, 164KHz および 181KHz について数日間それぞれ監視した結果、181KHz には放送が入り、54.0KHz には家庭用テレビの出すノイズが入りやすいことがわかった。

MF 帯 (300K~3MHz) には各種の放送やロラン局などの電波が出されている。HF 帯 (3M~30MHz) も広く使用されている。**Fig. 2** および **Fig. 3** に測定結果の一部を示す。19.990M~20.010MHz は標準周波数時報および宇宙研究に割当てられているが、現在13時~14時と17時頃にしか電波は発射されていないので、この周波数帯は静かである。

以上の結果から、9.5KHz, 164KHz および 20.007MHz の3周波数にラジオをそれぞれセットし、連続記録を取ることとした。また、都市の人工ノイズ源としての調査はまだ、あまり出来ていないが、最近の立野⁶⁾による測定結果を参考にして方式を開発した。

9.5KHz は CRF-1 型を、164KHz および 20.007MHz は、ICF-2001 型のラジオ受信機を用い、その

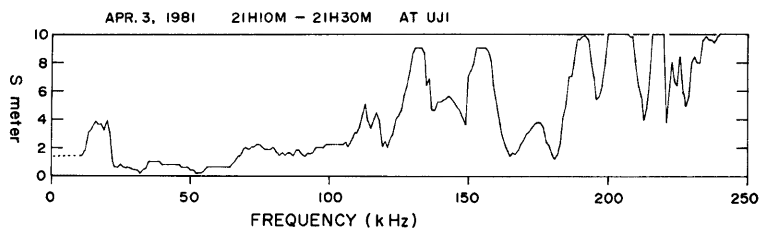


Fig. 1. The amplitude spectrum of artificial signals in VLF and LF ranges measured using the radio receiver with a rod antenna.

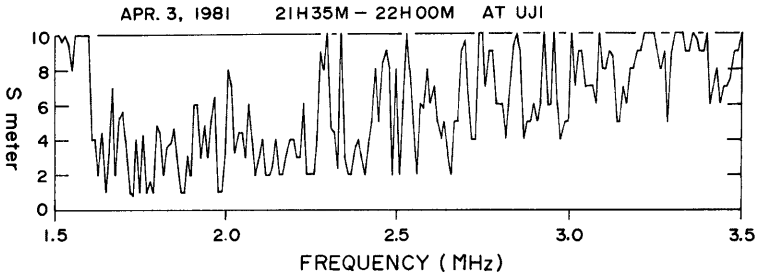


Fig. 2. The amplitude spectrum of artificial signals in a part of MF range.

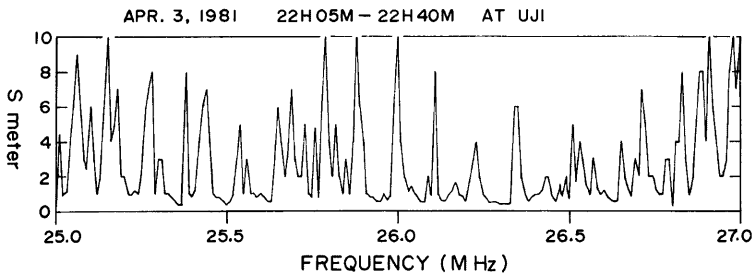


Fig. 3. The amplitude spectrum of artificial signals in a part of HF range.

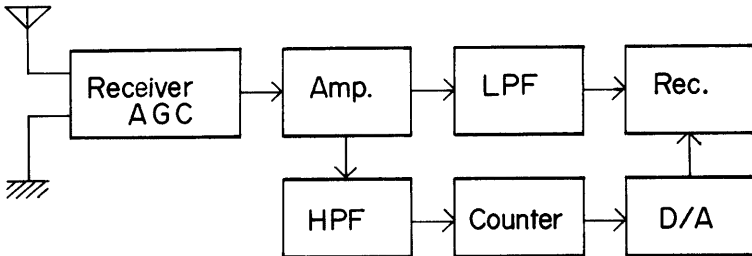


Fig. 4. The block-diagram of a simple system of the continuous observation for VLF to HF natural noises. The low-pass filter (LPF) is used to record a long period variation of signals and the high-pass filter (HPF) and the counter are used to record the number of impulse-type noises.

AGC 信号を取り出し、フィルターの回路へ入力する。**Fig. 4** にシステムの構成を示す。この回路の一部により AGC 信号のローパス・フィルター出力を打点式記録所に入力する。また、一部分によって比較的急激に立上るスパイク状のノイズを取り出し、それをパルス出力として、その数を積算して記録する。この積算器は 200 個のパルスで打点式記録のフルスケールとなるようにセットした。

ラジオの音声出力には、低周波増幅段でラインノイズが多く混入し、特に電気製品の使用によるノイズが影響しやすい。従って音声出力を連続記録に用いるのは不適当であるが、このシステムでは、必要に応じて

音声出力をも録音できるようにテープレコーダに接続してある。

この方式による記録には、前線の通過などの時、雷放電によるノイズが VLF, LF 帯で現れ、特に夜間の電波伝播が良いことなどの特徴が明瞭に見られる。欠点としては、半導体に対する温度変化の影響によるドリフトが比較的大きいために、AGC 信号出力に日変化が出ること、及び、AGC 信号の出力は、入力信号に比例していないことなどである。我々の目的である電磁放射の現象の存在を確認するためには、方法の簡便さの方が、これらの欠点に比べて大きな利点となる。

打点式記録計は 0~10mV フルスケールのものを使用し、9.5KHz については S メータの端子から AGC 信号を取出して10倍に増幅して記録している。164KHz および 20.007MHz については、IC2 より増幅された AGC 信号を取出して記録する。アンテナは、9.5KHz については 5m のロングワイヤを用いており、それほど感度は高くない。これはループアンテナに変更する予定もある。164KHz および 20.007MHz については、内蔵のバーアンテナによるが、ラジオそのものを屋上の木製の箱に下れて、出力信号をケーブルで送っているために高い感度を持っている。いずれについても、感度を正確に定義して測定することは困難である。

3. ELF 帯における連続観測方法

特に低い周波数帯での連続観測を行うため、防災研究所屋上に高さ 5m のグラスファイバーポールを立て、その先にポールアンテナを設置して、空中電気を測定することとした。このアンテナは大気電場を研究するために開発されたもので、数 Hz 以上の垂直電界成分を測定し、ELF~VLF 帯の自然電磁ノイズを高感度で測定するのに適している^{7,8)}。

出力信号をツイーン・T ネットワークに通して 60Hz のハムを完全に除去したのち、さらに 30Hz の 5 次のバターワース・ローパス・フィルターを 2 段通して、ペン書きレコーダに接続している。低周波側は約 1Hz の時定数の CR フィルターを通しておとしてある。記録計には、微小地震連続観測用の長時間レコーダを用い、4mm/秒の送り速度で連続記録し、フィルタ回路を含めてアンテナ出力信号に対する感度は 100 mV/cm 程度である。Fig. 5 にアンテナを除く回路および記録計の総合特性を示す。電界強度を求めるた

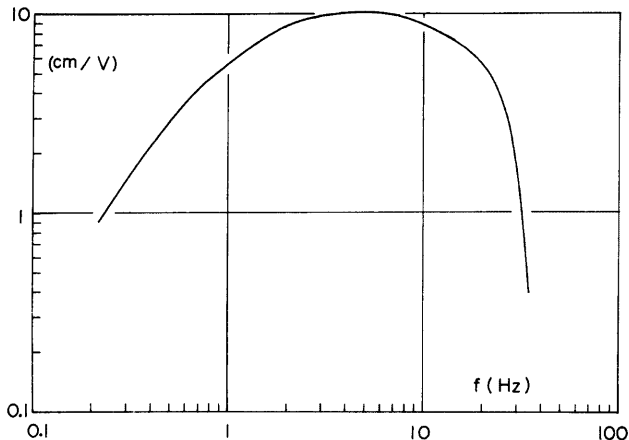


Fig. 5. Overall frequency characteristics of the recording system of ELF natural noises. The ball antenna is used for the pick-up sensor which has a flat sensitivity in the frequency range higher than about 3 Hz.



Fig. 6. Examples of usual ELF flashes recorded in a very fine day, and an example of ELF signal clearly showing a dispersion, which appear in the upper right of the record.

めには建物の影響を評価する必要があるが、まだ実施していない。

この方式によれば、晴天の時、数分に1回程度の頻度で空中放電のインパルス型の電界の変動を記録し、前線が近づくと記録紙を塗りつぶすほどの信号が記録される。雪や雨による影響もあるが、定量的にはこれから調べる必要があり、波形から判別できないこともある。したがって晴天の時でなければ孤立した小さな信号を見出すことはむづかしい。その点については将来何らかの改良をする必要があるが、当面この方式によっても、ある程度連続した信号が入力されれば、天候のあい間をぬって地震に伴う現象を、もしあれば見出すことが可能である。

Fig. 6 に晴天の時の記録例を示す。近い空電の信号はインパルス型であり、この例によりフィルターのインパルス・レスポンスを知ることができる。**Fig. 6** 中の右上部にある振動的な波形は、まれに記録されるものであるが、発生源が不明である。この孤立信号の波形には明らかに分散特性が認められる。

この周波数帯の電磁波は、地下構造の探査などに利用されている。例えば、最近活断層帯の地下構造を調べるため約 8Hz の波を用いて調査が行われ、10km程度の深さまで到達するこの周波数帯の電磁波に着目して良好な結果を得ている⁹⁾。浅い地震の震源が 5~15km の深さに発生することから、この周波数帯の連続記録は地震との関係を見出すためには不可欠であると思われる。

4. 地震発生時の記録例 (ラジオによるもの)

上述の方法による連続観測は1981年4月より VLF 以上について、又は1982年2月より ELF 帯を含めて行われている。ただし、1981年12月までは、周波数、感度、方式について時々大巾な変更を行った。ここでは、特に地震発生時に同期して異常変化の現れた例のいくつかの型を紹介する。

Fig. 7 は色々の周波数帯に異常現象が記録された例である。20.005MHz のみはラジオの音声出力の振

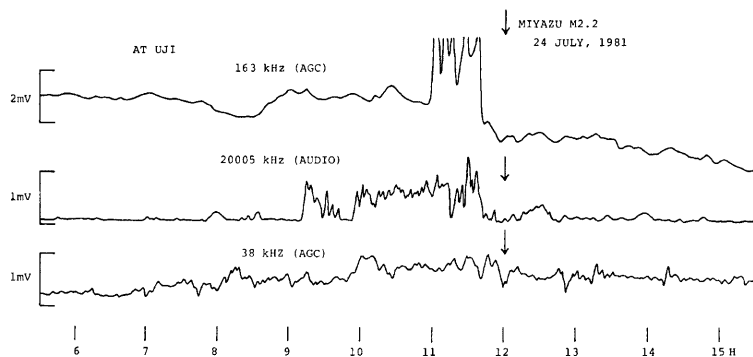


Fig. 7. An example of precursors recorded in a wide frequency range from VLF to HF.

幅を記録したものである。地震は M2.2 で微小地震である。この程度の規模と距離の地震は比較的良好に起るけれども、同じような信号は他の日には見られない。

Fig. 8 は、HF 帯にのみ異常変化が現れた例を示す。10月24日から31日までの毎日の午前中の記録がトレースしてある。記録上に見られる長周期変動は、気温の変化がラジオの半導体に及んで出るドリフトであり、10月29日は雨天で、このドリフトは見られない。30日の9時32分の地震は中部・近畿境界の深さ40km

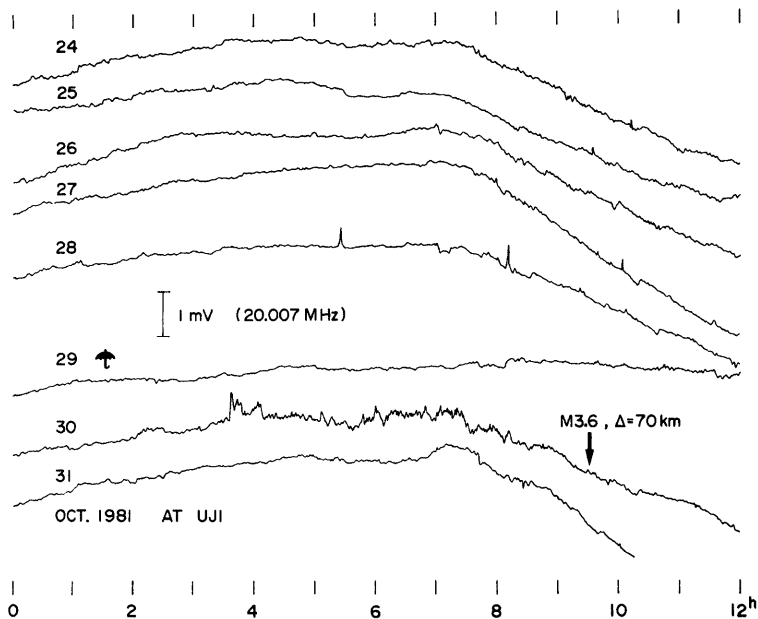


Fig. 8. An example of unusual HF noises just before a small earthquake. Long period variation is a drift in the circuit due to the daily variation of the air temperature.

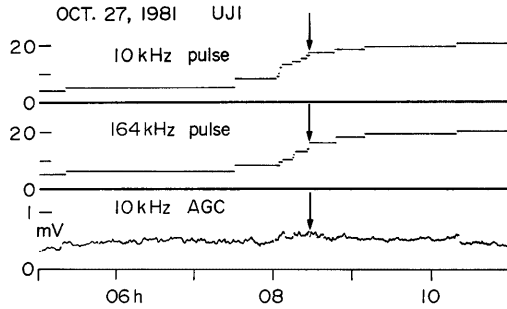


Fig. 9. An example of impulse-type noises observed before the earthquake.

のものであり、M3.7である。この図に示された範囲では、27日6時33分に中国北方西部で M4.3、27日8時28分と同じ地方で M4.0、29日の6時58分に中部地方で M4.2などの地震が起こっているが、それらに対応する顕著な異常は記録されていない。したがって、30日の異常変動は地震とは無関係に出たものかもしれない。あるいは、この結果が、地震に伴う電磁放射は地下構造に強く依存するものであることを示唆しているとも考えられる。

VLF 帯のパルスカウンタ記録にのみ異常が見られた例を **Fig. 9** に示す。この地震は中国地方西部の浅発地震で6時28分、M4.0である。この時 AGC 出力の長周期成分記録には、多少みだれが見られる程度である。27日6時33分にはほぼ同じ所で M4.3 が起こっており、これが本震だと思われるがその時には記録上何

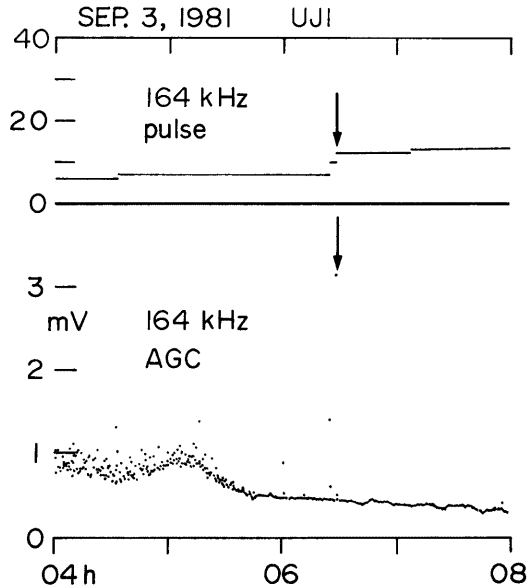


Fig. 10. An example of precursors recorded only in a few minutes just before the shock.

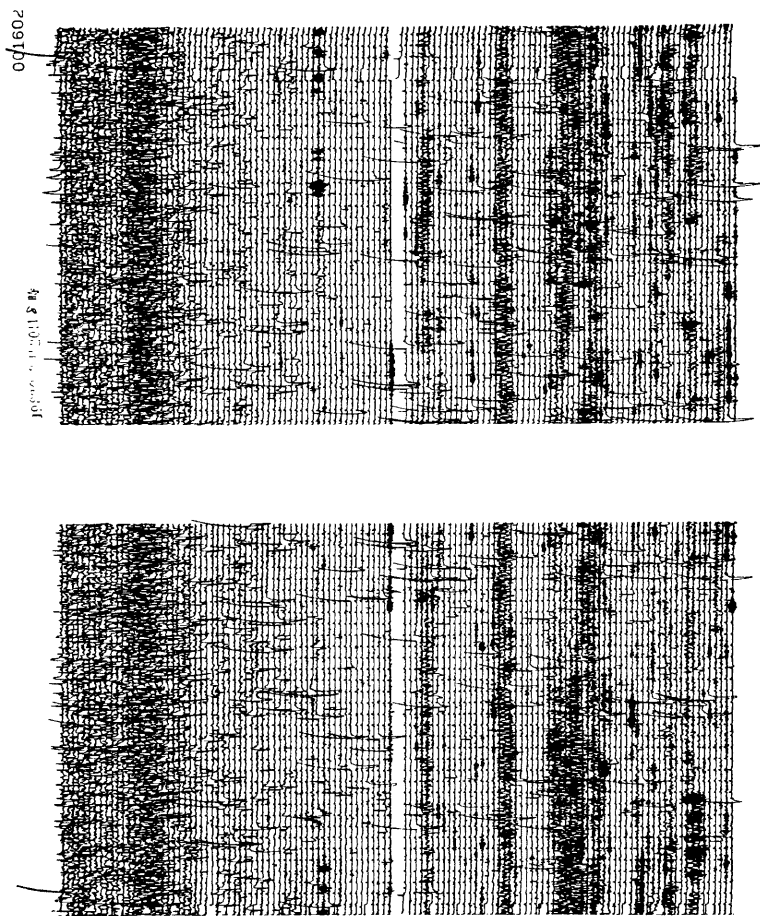


Fig. 11. The pattern of ELF signals continuously recorded during the period from 08^h to 10^h on March 20, 1982, showing the beginning part of precursory noises of the Urakawa-oki earthquake.

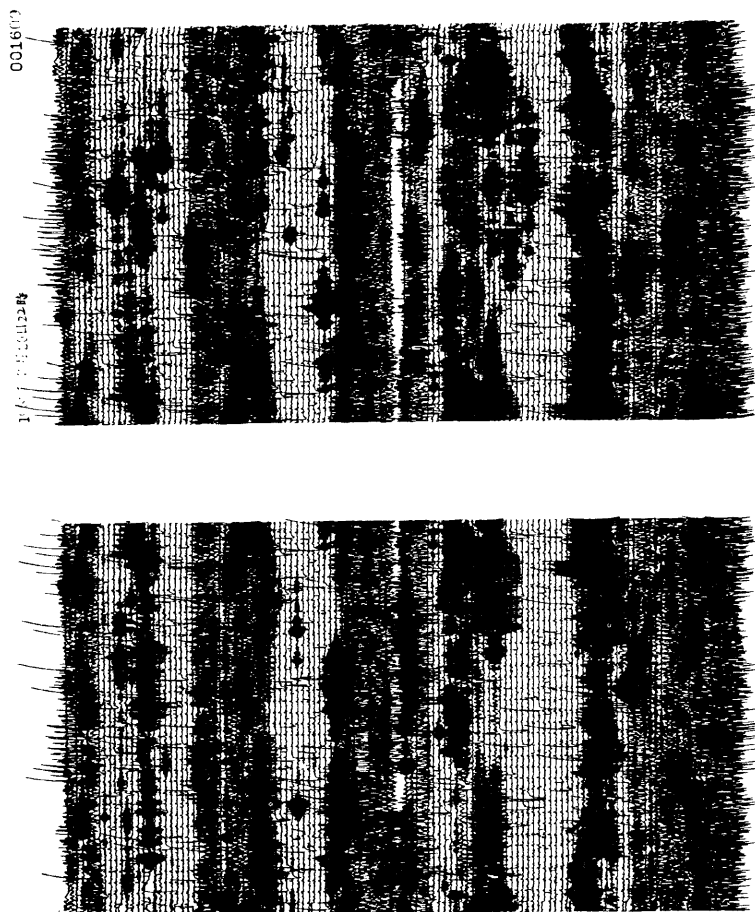


Fig. 12. The pattern of strong ELF precursors recorded during the period from 22^h on March 20 to 00^h on March 21, 1982, for the same earthquake as Fig. 11.

ら異常は認められない。その他7時24分に M2.4, 8時31分に M2.8が起こっている。スパイク状の信号のみを記録していることは、観測点付近の電気製品の起動など人工的な発生源も考えられる。

Fig. 10 は、地震（6時28分、中部地方の浅発地震、M4.5）の直前数分間に異常が記録された例である。AGC 振幅、カウンタ記録両方に見られる。下部の AGC 記録の前半には夜間に特有の短周期変動が現れており、この日だけのものではない。この地震のあと6時43分に M3.7の地震がほぼ同じ所で発生している。

VLf~HF 帯の電波を連続観測し始めて、特に近くでは目立った地震活動はなかった。したがって、ここでは記録上の異常と地震発生が時間的に対応した時のいろいろなパターンを例として示した。未知の現象を調べるための準備としての観測であり、当分、このような事例の収集を行うと同時に、離れた場所でも同じ方式による観測を実施して、現象の現れ方を調べる必要がある。

5. ELF 帯の記録例

この観測を始めたのは1982年2月である。数 Hz~20Hz の垂直電界成分の連続記録を取った経験はきわめて乏しく、どのような信号が記録されるかという知識も少ない。空電に関しては、多点観測による波形について報告されており⁷⁾、この周波数帯の信号を利用して、活断層の地下の電気伝導度分布などを調べる方法が最近よく活用されるようになってきている⁹⁾。

3月21日午前11時32分に北海道浦河沖に M7.3の地震が発生した。この地震は、我々が電磁放射の観測を開始して以来唯一最大規模のものである。VLf~HF 帯の記録には、一見したところこの地震に関連して特に目立った異常現象は記録されていない。

ELF 帯の記録には、この地震の前後一日の間に、きわめて目立つ異常信号が記録された。この時の記録のパターンを例として **Fig. 11** に示す。これは20日08時~10時の2時間分の記録であり、8時47分から1~数秒間継続する振動的な波形が出はめている。**Fig. 12** は20日22時~21日0時の記録で、このような信号の出現頻度が増えるとともに、継続時間が長くなり振幅も非常に大きくなっている。地震発生との関係調べるため、記録紙上に現れた毎時パターンから、このような信号の頻度と振幅の大きさによって、A、B、CおよびDにランクづけして、その時間変化を示したものが **Fig. 13** である。ランクAは最も強く信号が現れた状態を示し、以下B、C、Dの順に弱くなる。最大の前震発生前約一日間異常な波形が記録され、本震直後再び出現して、最大全震発生後しだいに弱くなり本震後約一日で終わった。

同じ方法による ELF 帯連続観測が1977年7月~10月に京都で小川により実施されており、この記録を合わせると延べ半年間のものとなるが、その間 M7クラスの大地震は他にはなく、また **Fig. 12** に示したような波形が大きな振幅で記録されたのは初めてである。記録上数 mm の振幅で数時間記録されたことは時々あり、それらが、M4 程度の内陸部の浅い地震に時間的によく対応している場合が、いくつか見出されており、さらに詳しく調べる必要がある。

この周波数帯の信号は、伝播に伴う減衰が小さく、数 10~100km はなれた複数カ所でも多点観測を行うこ

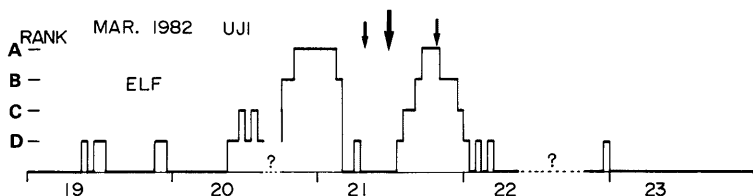


Fig. 13. The time variation of ELF precursory noises shown by ranks in its activity. The heavy arrow shows the main shock of M7.3 and the other two arrows show the first fore-shock and the largest after-shock, respectively.

とにより、その性質を調べることが可能である。また、人工的に ELF 帯、特に数 Hz~20Hz のノイズを発生することは少ないので、観測場所の選定も比較的容易である。これと併用してループアンテナを用いて信号の伝達方向を求められる可能性もある。これらの利点を考えれば、地震直前のこのような電磁放射の研究は、地震予知のために非常に重要である。

6. ま と め

地震発生に伴う電磁放射の現象を調べるため、いろいろの周波数帯で連続観測を行った。その方法は、できるだけ安価に、しかも容易に観測が行えることを目的として開始した。当面、地震に伴う現象の存在を確かめることが必要と考えたからである。

短期間のデータからの結論ではあるが、特に低い VLF 又は ELF 帯での観測が重要であり、しかも同じ方式による多点観測が必要であることがわかった。地震発生に対応して異常現象が記録された例もいくつか収集できた。特に顕著なことは、これらの異常現象が地震発生前に現れ一日~数分の短時間に見られるということである。

今後、波形を記録しながら連続観測を続けること、および発生のメカニズムを考えることにも重点を置いて、研究を継続していかなければならない。

この観測と研究に際し、関西地震電波研究会と呼ばれているグループでの議論が特に有効であった。そのメンバーのうち小沢泉夫博士・岸本兆方博士・住友則彦博士に貴重なご意見を賜った。この観測を始めた直接のきっかけは、モスクワ科学アカデミー地球物理研究所の Dr. GOKHBERG および Dr. MORGOUNOV の示唆によって行われた牧久真子さんの卒業研究の結果から与えられたものであり、観測方式を仕上げる過程では、京都市周辺の人工雑音分布に関する立野一哉君の卒業研究を大いに参考にさせていただいた。観測器械の製作および設置には松尾成光技官の努力に負うところが多く、また尾池格君の助力を得た。これらの皆様に深く感謝いたします。

この研究を進めるため、昭和56年度文部省科学研究費補助金自然災害特別研究(1)56020011 (代表者芳野赴夫氏)の一部を使わせていただいた。

参 考 文 献

- 1) Gokhberg, M. B., I. L. Gufeld and I. P. Dobrovolsky: Electromagnetic Precursors During Earthquakes Preparation Process, Schmidt Institute of Physics of the Earth, Institute of Seismology of Academy of Sciences of Uzbekistan, Preprints No. 7, 1980, pp. 1-12.
- 2) Gokhberg, M. B., V. A. Morgounov, B. Gruzinskaya, T. Yoshino and I. Tomozawa: The Experimental Results of Appearance of Electromagnetic Emissions Related with the Earthquake at Sugadaira Observatory in Japan, Jour. Geophys. Res., 1982, in press.
- 3) Gokhberg, M. B., V. A. Morgounov and E. L. Arnov: On High-Frequency Electromagnetic Radiation during Seismic Activity, Doklady, Academy of Science USSR, 248, No. 5, 1979, p. 1077.
- 4) 唐山地震工作队：唐山地震短臨前兆資料, 1976, p. 69.
- 5) 牧久真子：地震に伴う電波放射, 京都大学理学部課題研究報告, 1981.
- 6) 立野一哉：京都市周辺の電磁環境, 京都大学理学部課題研究報告, 1982.
- 7) Ogawa, T., Y. Tanaka, T. Miura and M. Yasuhara: Observations of Natural ELF and VLF Electromagnetic Noises by Using Ball Antennas, Jour. Geomag. Geoelect., Vol. 18, No. 4, 1966, pp. 443-454.
- 8) Ogawa, T.: Analyses of Measurement Techniques of Electric Fields and Currents in the Atmosphere,

Contr. Geophys. Inst., Kyoto Univ., No. 13, 1973, pp. 111-137.

- 9) 半田駿・住友則彦：ELF 帯自然雑音を用いた活断層周辺での MT 探査—山崎断層一，九十九地学，第14号，1979, pp. 21-31.