

## 中部大学における地震前兆現象の観測

太田 健次\*, 畑 雅恭\*\*, 渡辺 伸夫\*

## Observation of the Precursors of Earthquakes at Chubu University

Kenji OHTA\*, Masayasu HATA\*\*, and Nobuo WATANABE\*

(Received August 31, 2006)

There are two kinds of methods to estimate precursory phenomena of earthquakes using electromagnetic wave. One is to measure direct wave from near the ground surface of the epicenter. ULF/ELF electromagnetic waves are used because propagation loss is very low for these waves. The other is to measure the change of the intensity or phase of electromagnetic wave from a transmitting station reflected at the ionosphere. These fluctuations are arrested as a change of ionosphere that is disturbed by the energy from the epicenter. VLF/VHF electromagnetic waves are used in order to observe electromagnetic wave from transmitting station. These two kinds of techniques are very different from each other in terms of observation place, observation system, and analysis methods. The subionospheric VLF signals (amplitude and phase) transmitted from NWC VLF transmitter ( $f=19.8$  kHz) in Australia have been monitored at Kasugai (Geographic lat.  $35^{\circ} 16' N$ , long.  $137^{\circ} 01' E$ , Geomagnetic lat.  $25^{\circ} 07' N$ , near Nagoya) in order to find out ionospheric disturbance associated with earthquakes. We have also carried out our observation of ULF/ELF electromagnetic waves below 50Hz at Nakatsugawa (Geographic lat.  $35^{\circ} 25' N$ , long.  $137^{\circ} 33' E$ , Geomagnetic lat.  $25^{\circ} 19' N$ ) in Gifu Prefecture. In addition, we will show the precursory phenomena at the specific frequency 223Hz on the Off-West of Fukuoka earthquakes. In this frequency band, we tried to observe the direct wave from the earth or reflected wave from the ionosphere. We will report the relationship between precursor of the earthquake and excitation of these waves.

**Keywords:** Precursors of earthquakes, subionospheric VLF propagation, ULF/ELF electromagnetic wave, terminator time method, Sumatra earthquake.

## 1. はじめに

電磁波を用いた地震前兆現象の観測には、①震央から発生する電磁界(直流電位, 電流の変化を含む)を直接測定する方式(以後直接観測法と呼ぶ)<sup>1)</sup>と、②特定送信局の電波を受信し、その伝搬特性(強度, 位相)の異常から地震を間接的に測定する方式(以後、間接観測法と呼ぶ)<sup>1)</sup>が研究されている。

直接観測法で検出される電磁波は震央近傍の地中で圧力変動によって岩石破壊から発生する電磁波の一部が観測されるもの、地表近傍の電荷物質が移動することによって地中電流が発生し、その結果として誘導電流が観測されるものなど各種のモデルが考えられている。

一方、間接観測方法では震央近傍で発生する極超低周波(ULF/ELF)の電磁波またはイオンなどが地表に放出され、

電離層が擾乱することにより、結果として電離層で反射する波に強度や位相の変化を与えるものと考えられている。いずれの方式であっても、本震の前後に変化が検出されることになるが特に本震の前に現れる電磁変動をここでは電磁波による地震前兆現象と呼ぶことにする。

中部大学においては、①の直接観測法を1998年より自然電磁環境の良好な、岐阜県の中部大学中津川VLF観測所(地理緯度  $35^{\circ} 25' N$ , 地理経度  $137^{\circ} 33' E$ )で行っている<sup>2)</sup>。

②の間接観測法では、1997年より春日井市の中部大学(同  $35^{\circ} 16' N$ ,  $137^{\circ} 01' E$ )にて観測を行い、伝搬経路上で発生する地震と観測点近傍で発生する地震との検出率について解析している<sup>3)</sup>。

本報においては、中部大学で観測された代表的なデータより間接観測法によるVLF局電波を用いた地震前兆現象、および直接観測法によるスマトラ沖地震、福岡西方沖地震の電磁前兆現象についてのみ報告を行う。なお、日時は特

\*電子情報工学科 (Department of Electronics and Information Engineering)

\*\*情報工学科 (Department of Computer Science)

別な場合を除いてすべて地方時(JST)で示す。

## 2. VLF 局電波の電離層・大地導波管伝搬モード観測について

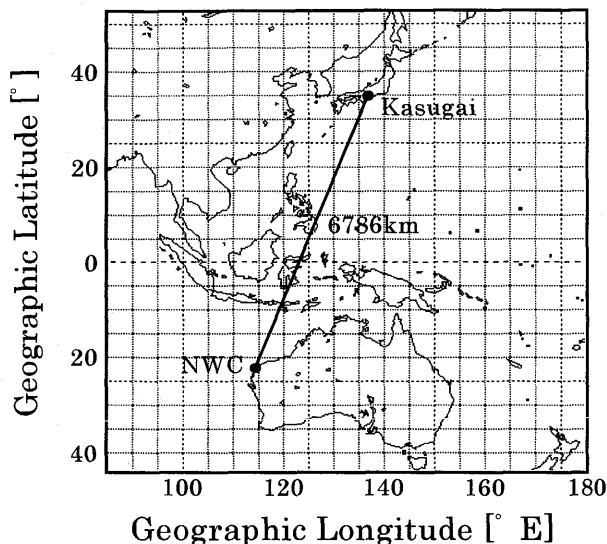


図1 NWC局と春日井の位置関係

我々は、1997年から中部大学においてVLF局送信電波を常時受信している。VLF電波を受信する前置増幅部の利得が局別でないため、オーストラリアNWC局（同114.2°E, 21.8°S; 19.8kHz）のデータについて最適な特性が得られるよう利得を設定している<sup>3)</sup>。図1にNWC局と春日井の位置関係を示す。

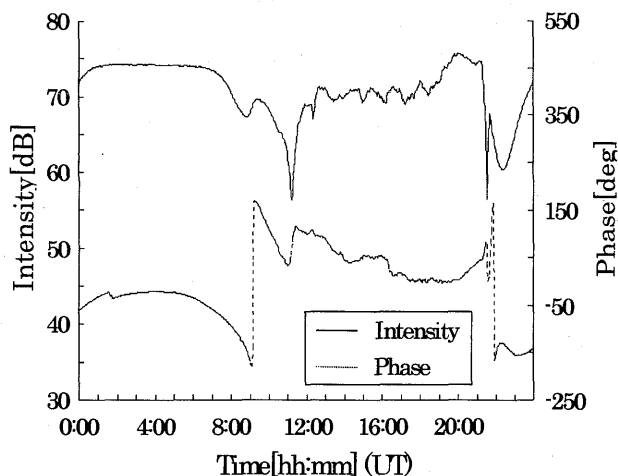


図2 NWC局の強度と位相の日変化

ここでは、観測装置の調整が終了した1998年からのデータについて興味ある解析結果についてのみ報告する。

1995年1月17日午前5時46分に発生した淡路島北部を震源とする兵庫県南部地震では、VLF局電波の日変化の特異点(日の出, 日の入り)が地震発生の数日前より大きく変動し、概ね1週間後に正常値に戻ることが報告されている<sup>4)</sup>。この手法はターミネータ・タイム(Terminator Time 以後TTと記す)法と呼ばれている。図2に示す導波管モード伝搬の日変化の特異点は日の出(Terminator Morning 以後TMと記す)と日の入り(Terminator Evening 以後TEと記す)である。これら特異点の変動は当然ながら、発生する地震の大きさ(Ms: Magnitudes), 深さ(D: Depth), 発生場所に大きく依存することはいふまでもない。

春日井で観測されたNWC局について、TM及びTEの変動を解析した。図3は1998年1月より7月までのTEの変動を示したものであり、その変動を表す分散の式は式(1)によって表される。

$$2\sigma = 2\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (1)$$

受信したデータより日変化のグラフを求めると、日の入り時刻において波形が落ち込む現象が発生する。その時刻を日の入り時刻として読み取り、前後7日間について平均値を求める。そして式(1)より分散 $2\sigma$ の値を求めて、当日の日の入り時刻から前後7日間の平均値の差をとったものと共にグラフにプロットする。

ここで $n=15$ (前後7日間)、 $x_i$ =当日の時刻、 $\bar{x}$ =前後7日間の平均値である。そして $\pm 2\sigma$ に近いものあるいは越えたものについて検討した。

## 3. 間接観測法による解析結果

1998年1月から7月までに東海地方で発生したMs3.5以上の地震は2月10日, 4月21,22,25日, 5月10,17,26日, 6月1,10,20,23,24日である。それぞれの発生日, マグニチュード(Ms), 震源, 位置, 深度を表1に示す。

図3はNWC局のデータを解析し、分散の値 $\pm 2\sigma$ に近いものあるいは越えたものと東海地方で発生した地震とを比較したものである。上下の破線が $\pm 2\sigma$ を示し、中央の実線が当日の日の入り時刻から前後7日間の平均値を差し引いたものであり、図中の空白のno dataは6月25日から7月6日まで、NWC局の停波によるものである。

この結果、2月10日の地震に対して2月7日, 4月21日から28日の地震に対しては4月18日, 5月10日の地震に対しては5月6日, 5月17日の地震に対しては5月15日が対応している。それぞれ地震発生から数日前において分散 $\pm 2\sigma$ を越える異常な値を示しており、中でも規模が大きかった2月10日, 4月22日の地震については、明確に異常な分散の値を示している。しかし、6月1,10日の地震では確認されなかった。これは他の地震の深度が

10km から 40km と比較的浅いのに対し、これらの深度は 60km から 400km と深いため、地中において減衰したと考えられる。また、6 月 20,23,24 日の地震では NWC 局が停波していたため、影響を確認することはできなかった。

表 1 東海地方で発生した Ms3.5 以上の地震

| 発生日  | Ms  | 震源       | 北緯, 東経     | 深度    |
|------|-----|----------|------------|-------|
| 2/10 | 4.3 | 岐阜県飛騨地方  | 35.7,137.1 | 10km  |
| 4/21 | 3.6 | 岐阜県美濃中西部 | 35.2,136.6 | 10km  |
| 4/22 | 5.2 | 岐阜県美濃中西部 | 35.2,136.6 | 10km  |
| 4/22 | 3.5 | 岐阜県美濃中西部 | 35.2,136.6 | 10km  |
| 4/25 | 3.9 | 愛知県東部    | 35.1,137.3 | 40km  |
| 4/28 | 3.7 | 愛知県西部    | 34.8,137.1 | 40km  |
| 5/10 | 3.6 | 三重県北部    | 35.2,136.5 | 10km  |
| 5/17 | 3.9 | 岐阜県美濃中西部 | 35.2,136.6 | 20km  |
| 6/1  | 5.9 | 三重県南部    | 34.0,136.1 | 400km |
| 6/10 | 4.3 | 和歌山県北部   | 33.9,135.4 | 60km  |
| 6/20 | 3.6 | 三重県中部    | 34.4,136.1 | 10km  |
| 6/23 | 4.4 | 三重県中部    | 34.6,136.1 | 40km  |
| 6/24 | 4.0 | 三重県中部    | 34.6,136.1 | 40km  |

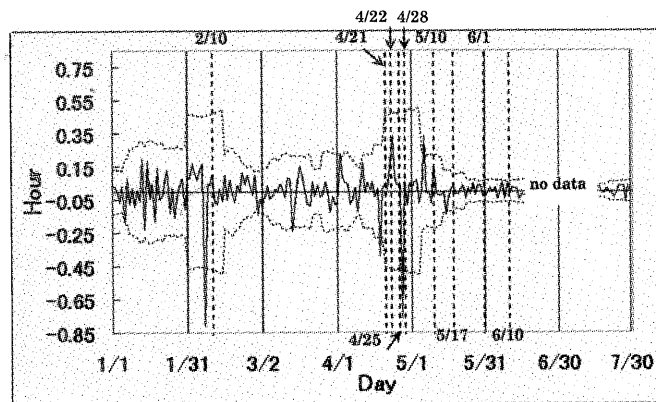


図 3. NWC 局の解析結果

図 4 は表 1 における地震の震源地を地図上に表したものである。●で示した部分が NWC 局において影響が確認されたもの、▲で示した部分は影響が確認されなかった、または確認がとれなかったものを表している。この結果より、今回の解析では観測地点より半径約 60km 以内の地震に対して影響を受けていることが確認された。

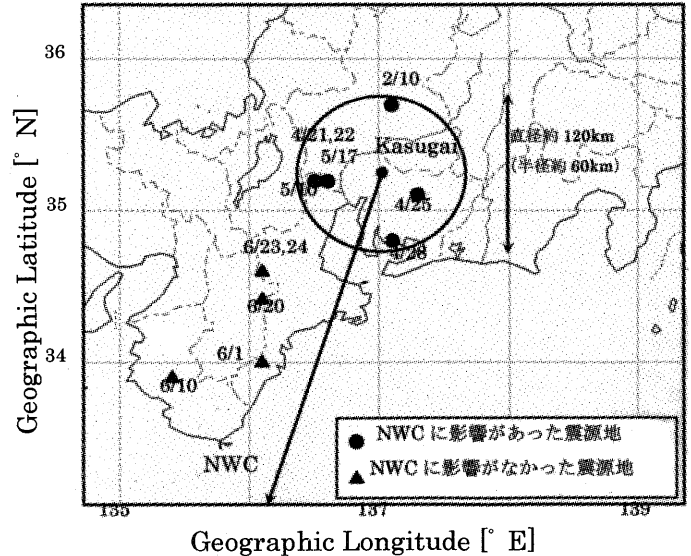


図 4 東海地方で発生した Ms 3.5 以上の地震の震源地

今回の解析では、観測地点近傍(半径約 60km 以内)で、Ms 3.5 以上、D 40km 以内の地震に対して影響がでていることが確認された。しかし、これらの解析例はまだ少なく、必ずしも地震による影響であるとは断定できないが、地震発生により VLF 局が影響を受けていることが確認された。特に観測地点の近傍の地震が予知可能であるという特徴は興味ある現象である<sup>5)</sup>。そこで、送信点と受信点までが地上である福島県 JG2AS 局(同 37° 13' N, 140° 31' E ; 40kHz)と春日井間において 1999 年 6 月から 2002 年 12 月までのデータで地震前兆現象についても解析を行った。その結果、前兆現象を捉えた割合は概ね受信点(春日井)側で 40%、送信側で 10%、その他の経路側で 50%であった。

#### 4. ULF 帯電磁波の観測

直接観測法では、インダクションコイルを用いた ELF 帯電磁波の観測を電磁環境の良好な中津川観測所で 1998 年より行っている<sup>3)</sup>。この期間各種の改良を加え現在に至っているが、基本的には図 5 に示すインダクションコイルで検出した ELF 帯の磁界 3 成分 ( $B_x$ ,  $B_y$ ,  $B_z$ ) を 100Hz のサンプリング周波数で A/D 変換した後、6 時間ごとにハードディスクに保存する。このファイルは 1 日で 4 ファイルとなり、ファイル名の先頭に観測日、末尾にファイル番号 0(00 時 00 分～05 時 55 分), 1(06:00～11:55), 2(12:00～05:55), 3(18:00～23:55) を自動的に付記し、日時を区別している。ハードディスクに保存する時間帯は観測が中断されるが、6 時間ごとに僅か 5 分であるため無視している。

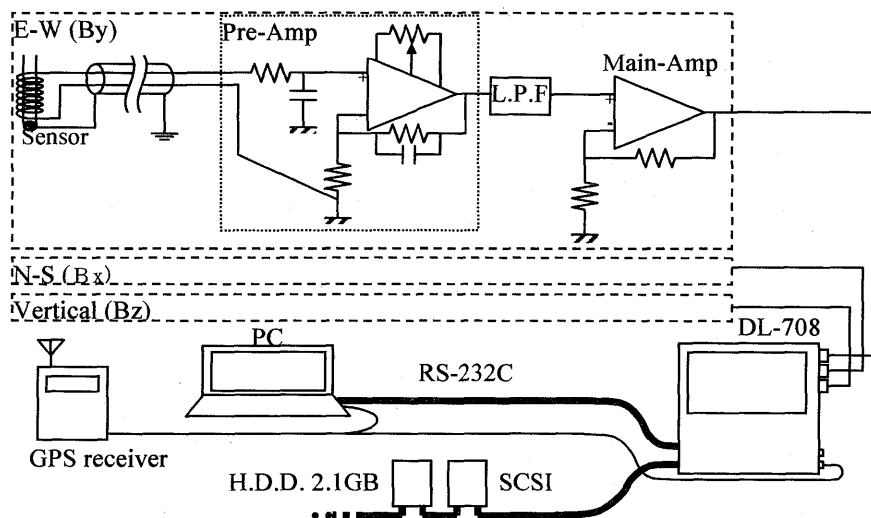


図5 中津川観測所における ULF/ELF 帯電磁波の観測システム

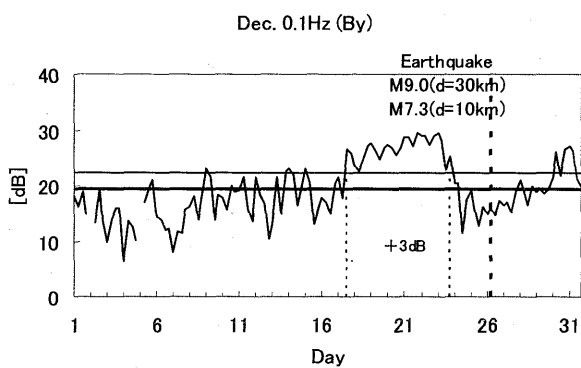


図6 0.1HzにおけるBy成分の強度変化

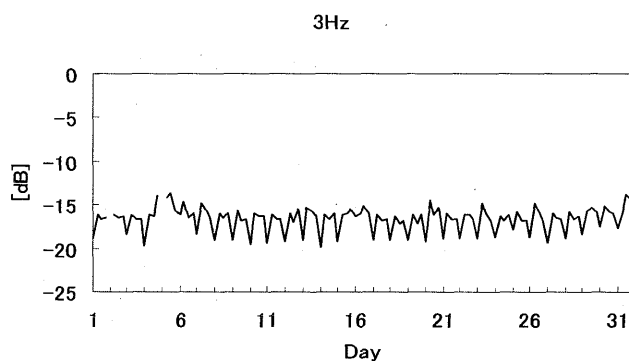


図8 3HzにおけるBy成分の強度変化

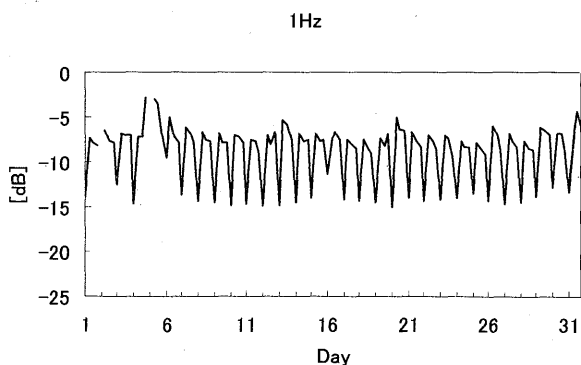


図7 1HzにおけるBy成分の強度変化

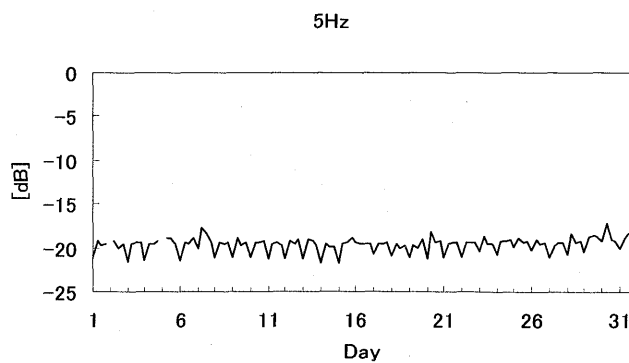


図9 5HzにおけるBy成分の強度変化

このデータは定期的(概ね 1ヶ月 1回)に回収され、ハードディスクを交換し、観測を続行している。信号解析はデータ長を1024にしたFFT解析を用い、サンプリング周波数が

100Hzであるため、時間分解能10.24s, 周波数分解能0.0965 Hzで0Hzから 50Hzまでの周波数解析が可能で、磁界3成分の振幅と位相差が得られる。以上の操作により、各周波数

における強度より磁界3成分のソナグラムが得られ、また、水平磁界2成分 $B_x$ ,  $B_y$ の強度比よりゴニオメータ法による到来方位角が求められる。

ここでは、2004年12月26日10時07分に発生したスマトラ沖地震についてのみ報告する。

震央近傍でULF/ELF帯電磁波の発生があれば電磁波の地中伝搬が存在し、超低周波における低伝搬損失が予想される。図6は2004年12月における水平磁界強度( $B_y$ )のレベル変動をファイルごとに平均して示したもので、図6は0.1 Hz (0.09765625Hz)、図7は1Hz (0.9765625Hz)、図8は3Hz (3.0273438Hz)、図9は5Hz (4.9804688Hz)の変動を示している。各図において、日付はファイル0の直下に示す。1例として、図7の1Hzで説明しよう。各日のファイル0(00時00分～05時55分)では生活・産業雑音が極めて少なく低いレベル(概ね-15dB)を示す。その後ファイル1(06:00～11:55)では産業活動の高まりと共に電磁雑音も上昇し、最も高いレベル(概ね-5dB)を示す。ファイル2(12:00～17:55)で一時的に減少するのは昼休みによる産業活動の一時的な停止があるため、他の観測所でも同様の傾向が見られる。ファイル3(18:00～23:55)では夜間電力の使用で再び増加し、ファイル1と比較すると産業活動の少ない夜間を含むため、やや小さい値を示す場合もあるがほぼ同程度のレベルとなる。一般に、このような日変化を繰り返し、10dB程度のレベル変動が観測される。

周波数が1Hzから3Hz, 5Hzに上昇するに従い、このレベル変動は次第に縮小するが日変化による変動を読み取ることができる。図7で示す5日の日変化のように1日または2日程度の単位で日変化のレベルが高まる場合があるが、ほとんどの場合観測点近傍における空電活動によるものである。しかしながら、直流に最も近い図6の0.1Hzでは1日単位で変動する日変化は存在するが、明らかに他の周波数の日変化とは異なる。例えば17日, 18日, 19日, 20日, 21日, 22日, 23日の長時間にわたる連続した雑音レベル上昇は他の周波数では全く見られない。そして、日変化はこのような連続した雑音レベルの上に小さく重畳した形で存在する。

このような連続した背景雑音の上昇を識別するため図6の横太線で示す月平均の雑音レベルを求め、その平均レベルより+3dBだけ上昇した雑音レベルを横細線設定し、日変化を考慮し、連続して48時間以上上昇した場合を異常現象の発生と識別した。よって、以後は地震の前兆的現象として低損失伝搬が期待される<sup>6)</sup>、この直流に最も近い0.1Hzでの雑音レベルを背景雑音と呼び、解析することにする。

12月の平均雑音レベルは19.4dBで、平均を+3dB超えた時間帯は12月17日ファイル2より23日ファイル3までである。この期間における日、ファイル番号、 $B_y$ の強度、ゴニオメータ法で求めた到来方位角を表2に示す。

到来方位測定にはゴニオメータ法を用いた。角度は中津川観測所における地理座標で、第1象限において東より北方向に測定した角度  $\tan^{-1}(B_y/B_x)$  より求めたものである。ゴニオメータの測定精度はアンテナの設置精度、お

よび測定する信号対雑音比(S/N)に大きく依存するが<sup>7)</sup>、インダクションコイルの長さは僅か1.2mであり、 $\pm 10^\circ$ 程度の測定誤差を含む。

表2 2004年12月における連続して+3dBを超えた日、ファイル番号、 $B_y$ 成分の強度と到来方位角

| Day | File No. | $B_y$ [dB] | Azimuth [ $^\circ$ ] |
|-----|----------|------------|----------------------|
| 17  | 2        | 26.6       | 37                   |
| 17  | 3        | 25.8       | 41                   |
| 18  | 0        | 23.6       | 29                   |
| 18  | 1        | 22.7       | 28                   |
| 18  | 2        | 24.8       | 41                   |
| 18  | 3        | 27.2       | 40                   |
| 19  | 0        | 27.8       | 41                   |
| 19  | 1        | 26.4       | 40                   |
| 19  | 2        | 24.7       | 42                   |
| 19  | 3        | 27.1       | 39                   |
| 20  | 0        | 27.4       | 39                   |
| 20  | 1        | 27.0       | 39                   |
| 20  | 2        | 25.5       | 33                   |
| 20  | 3        | 26.9       | 31                   |
| 21  | 0        | 28.8       | 39                   |
| 21  | 1        | 28.9       | 39                   |
| 21  | 2        | 27.2       | 43                   |
| 21  | 3        | 29.6       | 39                   |
| 22  | 0        | 29.1       | 45                   |
| 22  | 1        | 29.1       | 45                   |
| 22  | 2        | 27.4       | 30                   |
| 22  | 3        | 29.0       | 34                   |
| 23  | 0        | 29.7       | 44                   |
| 23  | 1        | 28.2       | 39                   |
| 23  | 2        | 22.9       | 27                   |
| 23  | 3        | 25.3       | 28                   |

このような低い周波数での到来方位角の測定法は確立されていないが、我々は1999年9月における台湾地震の解析でゴニオメータ法を用い成果を得ているので<sup>8)</sup>、ここでも使用することにする。表2で示す連続した背景雑音の上昇は2004年に発生した紀伊半島沖地震、新潟県中越地震と比較して最も長い時間帯であり<sup>9)</sup>、紀伊半島沖地震、新潟県中越地震と比べても強大な電磁波が放出されたものと容易に推定できる。スマトラ沖の震央は中津川観測所より概ね5.6Mmの遠方にあるが、観測された表2における背景雑音の平均強度は26.9dBであった。この期間にお

けるゴニオメータ法で求めた到来方位角の平均値は  $37^\circ$  である。

スマトラ沖地震の震央を図 10 に示す。中津川観測所より、スマトラ沖の震源地は第 3 象限で西より南へ  $30^\circ$  を示している。この角度は、第 1 象限で考えれば東より北方向へ  $30^\circ$  であり、表 2 の平均到来方位角  $37^\circ$  に近い値となっている。

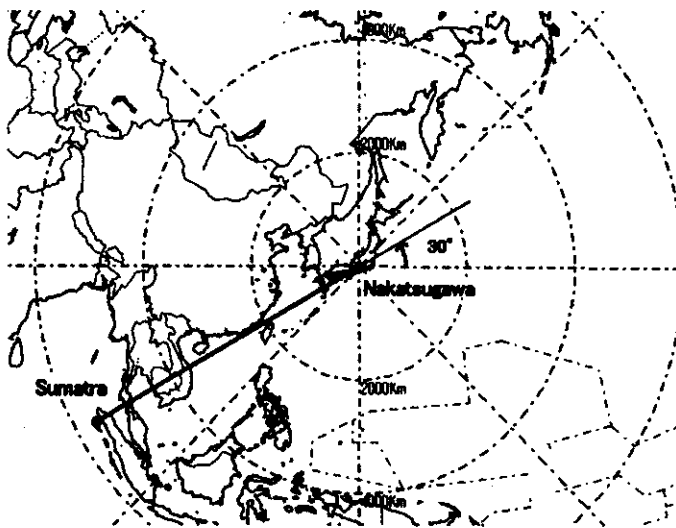


図 10 スマトラ沖地震の震央と中津川の位置

ゴニオメータ法による到来方位の測定では方位のみが求まり、方向を 1 観測点で求められない。このため、多点観測が不可欠である。ここでは、第 1 象限に ULF/ELF 帯電磁波の励起が想定される現象が発生していないため、波源を第 3 象限と推定している。また、ゴニオメータ法による測定誤差で最も大きな要素はアンテナ設置の精度にある。図 5 で示す水平磁界 2 成分  $B_x$ ,  $B_y$  を検出するインダクションコイルは 1.2m であり、測定誤差は  $\pm 10^\circ$  以内である。表 2 での平均到来方位  $37^\circ$  は概ね中津川観測所より震央の方位角  $30^\circ$  と一致している。紀伊半島沖地震では震央の方位  $75^\circ$  に対して平均測定方位は  $71^\circ$ 、新潟県中越地震では震央の方位  $60^\circ$  に対して平均測定方位は  $55^\circ$  であった<sup>9)</sup>。何れの場合も測定誤差は  $\pm 10^\circ$  以内である。

以上の結果を考慮すれば表 2 の期間に中津川観測所で検出された ULF 帯電磁波はスマトラ沖の震央より到来したものと考えられる。スマトラ沖の震央は中津川観測所より概ね 5.6Mm の遠方にあるが、観測された背景雑音の平均強度は 26.9dB であった。

これら背景雑音の上昇は地震の前兆的現象だけでなく他の要因も考える必要がある。他の要因としては、雷放電活動<sup>10)</sup>と地磁気擾乱<sup>11)</sup>が考えられる。我々が既に行った VLF 局を用いた電離層の擾乱観測(TT 法)による地震の

前兆的現象の観測<sup>5)</sup>や ELF 帯電磁波を用いた地震の前兆的現象の観測<sup>8)</sup>では雷放電活動や地磁気擾乱との強い相関は観測されなかった。しかし、連続した背景雑音の上昇による地震の前兆的現象の観測では新たに評価する必要がある。

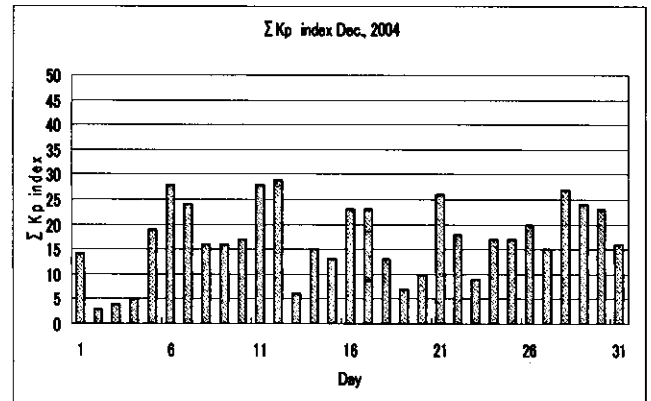


図 11 2004年12月における  $\Sigma Kp$  の日変化

図 11 は 2004 年 12 月における  $\Sigma Kp$  の日変化を示す。12 月の地磁気活動は穏やかであり、 $\Sigma Kp$  が 30 を超えることはなかった。表 2 で示す 12 月 17 日から 23 日の背景雑音が増加した期間でも地磁気擾乱は全く観測されておらず、この期間における背景雑音の上昇は地磁気活動に全く関係がないと考えてよい。また、紀伊半島沖地震、新潟県中越地震においても地磁気擾乱との関係は認められなかった<sup>9)</sup>。

ここで行った極めて低い周波数での地震の前兆的現象の解析が概ね成功していると思われるが、これらの地震発生が地表面に極めて近い巨大な地震であることに起因していると考えられる。しかしながら多くの問題点も含んでいる。我々はこれらの巨大な地震の発生を最初の地震 1 つで代表させているが実際には引き続き多くの地震が発生している。この解析手法では磁界のレベル変動をファイルごとに平均して示したもので、6 時間ごとに 1 ポイントであり、1 日で僅か 4 ポイントである。それゆえ、本震後に引き続いて発生する余震での変動を捕捉することは全く不可能である。我々は本震、余震の全体で前兆的現象を発生させているものと考えている。また、我々の行っている前兆的観測ではほぼ同じ場所で発生する地震では最初の地震ほど明確に前兆的現象は観測されない場合が多い。今回の紀伊半島沖地震、新潟県中越地震、スマトラ沖地震においても、その後大きな地震が引き続き発生しているが、これらの地震では明確な前兆的現象を解析することはできなかった。この結果は電磁波による地震前兆的現象発生メカニズムのモデル作成で考慮する必要がある。また、遠方で発生する地震を電磁波を用いて予知する技術的限界を示している可能性もある。

我々は、地震発生の直前、直後に背景雑音の短期間にお

ける上昇も報告しているが<sup>8)</sup>、ここで示した手法では長時間にわたる連続した背景雑音の上昇に着目しているため短期の変動解析はこの手法では見出せない。そして、0.1Hzにおける背景雑音では地磁気擾乱の影響は観測されていないことを確認しているが、今後周波数帯域を更に低く設定した場合には地磁気擾乱の影響を考慮する必要があるものと考えられる<sup>11)</sup>。

## 5. ELF 帯特定周波数における電磁波の観測

あらかじめ背景雑音の少ない特定周波数を設定し、その雑音レベル変動より地震前兆現象を観測する手法を確立している。この手法の特徴は、観測周波数を特定周波数に特化しているため、観測レベルを高度に高めることができる。現在は223Hzの水平磁界2成分と垂直磁界1成分で行い、研究成果をあげている<sup>12)</sup>。この特定周波数は観測波長が長いため、大地と電離層間を伝搬する近接雷雑音の大部分は急速に減衰し、特に大きい場合を除き無視できる。また、水平磁界は離れた震央から放射される信号を検出するのに対し、垂直磁界は大地を通過する際に大地の電磁波吸収特性のため、数10km圏内の活動を主に感知し、それ以上離れた活動には感知しないため、活動域の識別に有効な情報となる<sup>13)</sup>。

現在、中部大学の観測点は、御前崎、春日井、篠島、紀伊長島、大井川、千葉鴨川、茨城石岡、千葉富浦、埼玉秩父、愛知稲沢、の10箇所あり、ネットワークで結び磁界3成分の変動をデータ収集している。以下に一例として2005年3月20日に発生した福岡県西方沖地震についてのみ紹介する。福岡県西方沖地震について、主震・余震の発生と電磁波放射との対応関係を検討しよう。図12に示す震源の深さは9kmで観測点は震央より120km南の長崎県橋本の千々石町である。

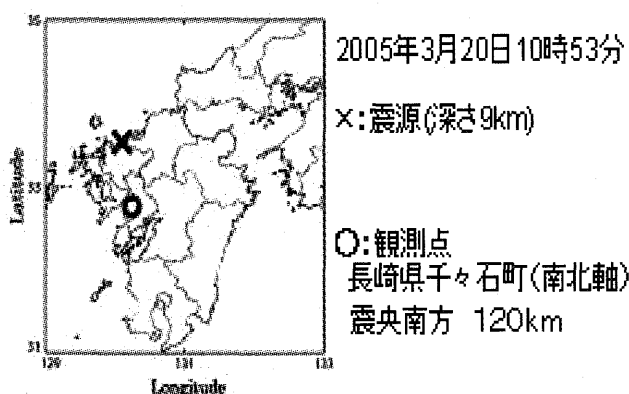
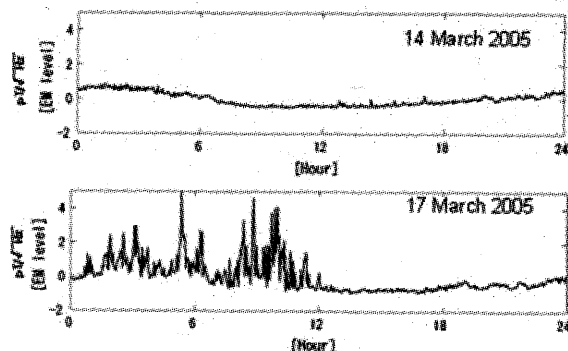


図12 福岡県西方沖地震M7.0の震源と観測点

その観測データは、図13に示すように地震の1週間前の平常な3月14日の24時間の電磁波レベルは、太陽が

昇ると下がり、日没後には上がる太陽照射による日変化を示している。しかし、地震発生3日前の3月17日の午前中約12時間は非常に大きな乱れが観測された。雷放射であれば影響範囲が限られ、かつ移動するため、1時間弱の期間だけ連続して観測される。また、磁気嵐の場合には地球規模によるもので広範囲に観測される。

観測点 長崎県千々石町 223Hz 南北磁界データ



(上) 平常時の電離層高度変化による背景雑音(熱帯雷)

(下) 福岡西方沖地震M7.0の3日～3.5日前の異常な放射

図13 223Hzの磁界観測レベル変動例

(上) 図 平常レベル

(下) 図 地震3日前の異常レベルの例

しかし、この例では他の観測地点では全く観測されず九州のみで強く検知されているため、局地的な前兆電磁波であることが予想される。

地震前兆現象の改善にはより長期間のデータを処理し、含まれる各種雑音を自動的に除去し、異常信号のみを抽出する必要がある。その方法としてここでは線形予測法(LPC法)を用いた例を示す<sup>14)</sup>。電磁波放射が通常の日と異常な日を自動的にコンピュータで処理識別する方法である。コンピュータに平常な日の電磁波の状態を覚えさせ、平常でない電磁波が出た場合は、線形予測分析の誤差が増加するので、異常と判断させるものである。

図14の上段には地震前後60日間の観測データを、その下段には対応する線形予測誤差解析結果を示す。主震の3日前に大きな予測誤差が出ており、異常な電磁波放射が出現したことを示している。また、マグニチュード5を超える5つの余震のいずれの前にも1日以内に電波異常が起きていることが容易に判定できる。余震については、電磁波異常発生直後に発生している。線形予測信号処理により平常時と違う信号だけを自動的に検出可能であることを示している。

また、現在ではウェーブレット解析を用いた新しい解析方法にも着手している。223Hzでの地震前兆現象の解析は帯域幅を狭めることによりS/Nを最大限高めることに

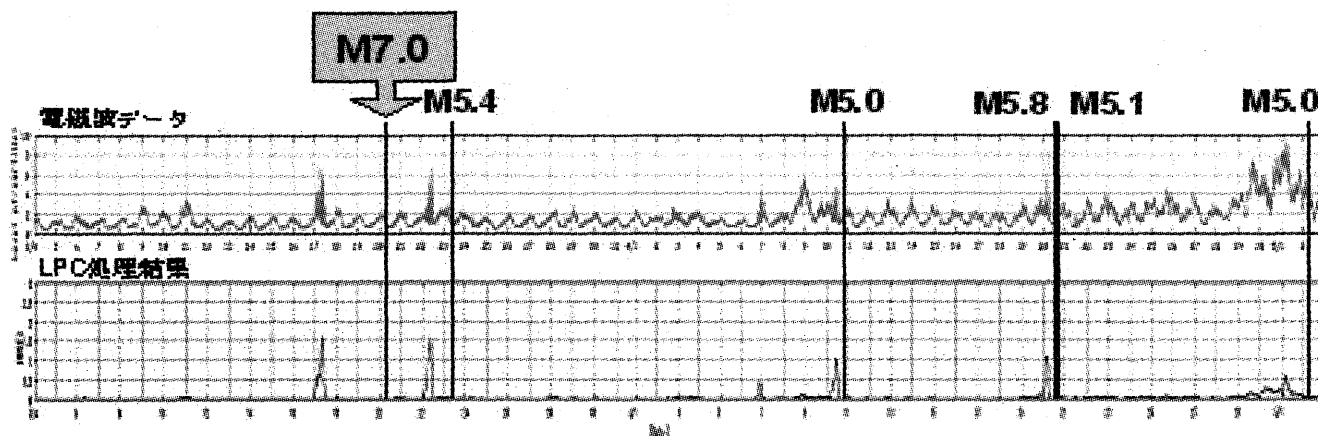


図 14 線形予測法 (LPC 法) による検出の改善

より比較的周囲の電磁環境に影響されず検出効果を高めることができ、少ないデータ量で予測可能であることに最大の利点がある。このため、テレメータによる観測データの遠隔電送が容易で、ULF 帯電磁波の観測と組み合わせ有効なモニタとしても活用できる。

地震の前兆的現象の観測は単に物理的、工学的な興味だけでなく、生命・財産を守る社会的な要望に合致するもので我々は今後とも各種の解析手法を研究したいと考えている。

#### 謝 辞

中部大学における地震の前兆的現象の観測は中部大学平成 16 年度学長裁量経費、平成 17 年度、平成 18 年度特別研究費、および文部科学省学術フロンティア推進事業（平成 18 年～22 年度）の助成によるもので、関係各位に深く感謝致します。また、中津川を中心とした雷放電活動の資料は中部電力株式会社の提供によるものであり、かつまた、稲沢市における ELF 電磁波の観測はアイコクアルファ(株)の御支援により設置されたことを記し、ここに深謝申し上げる。

#### 参 考 文 献

- 1) M. Hayakawa, Electromagnetic phenomena associated with earthquakes: Review, Trans. IEE of Japan, 121-A, 10, pp. 893-898, 2001.
- 2) K. Ohta, K. Umeda, N. Watanabe, M. Hayakawa, ULF/ELF emissions observed in Japan, possibly associated with the Chi-Chi earthquake in Taiwan, Natural Hazards and Earth System Sciences, 1, pp. 37-42, 2001.
- 3) K. Ohta, K. Makita, M. Hayakawa, On the association of anomalies subionospheric VLF propagations possibly related to earthquakes, J. Atmos. Electr., 20, 2, pp. 85-90, 2000.
- 4) O. A. Molchanov, M. Hayakawa, Subionospheric VLF signal perturbations possibly related to earthquakes, J. G. R., 103, A8, 17489-17504, 1998.
- 5) 太田健次, 原 俊介, 早川正士, TT 法による地震前兆現象の検出改善, J. Atmos. Electr., 12, 1, 31-38, 2004.
- 6) O. A. Molchanov, A. Kulchisky, M. Hayakawa, Inductive seismo-electromagnetic effect in relation to seismogenic ULF emission, Natural Hazards and Earth System Sciences, 1, pp. 61-67, 2001.
- 7) 岡田敏美, 森山伸一, 岩井 章, ホイスラの 2 周波数方位測定装置とその観測結果, 電子通信学会論文誌, pp. 993-1000, J61-B, 12, 1978.
- 8) 太田健次, 渡辺伸夫, 早川正士, ELF 帯電磁波を用いた地震前兆現象の観測, J. Atmos. Electr., 25, 1, pp. 11-18, 2005.
- 9) 紀伊半島沖地震, 新潟県中越地震, スマトラ沖地震の前兆的現象の観測, J. Atmos. Electr., 26, 1, pp. 11-24, 2006.
- 10) 酒井英男, 上坂麻子, 黒澤尚美, 高橋貞夫, 三宅幸博, 地震活動の前後に見られた電界変動と落雷現象, J. Atmos. Electr., 17, 2, pp. 103-111, 1997.
- 11) K. Gotoh, Y. Akinaga, M. Hayakawa, K. Hattori, Principal component analysis of ULF geomagnetic data for Izu islands earthquakes in July 2000, J. Atmos. Electr., 22, 1, pp. 1-12, 2002.
- 12) Masayasu Hata, Takashi Fujii, Ichi Takumi and

Hiroshi Yasukawa : EM Precursor of Large-scale Earthquakes in Japan, AOGS 2005, SE05/3P-02-03.

- 13) Motoaki Mouri, Arao Funase, Andrzej Cichocki, Ichi Takumi, Hiroshi Yasukawa, Masayasu Hata, "Global noise elimination from ELF band electromagnetic signals by independent component

analysis", Lecture Notes in Computer Science (Proc. of 6<sup>th</sup> International conference on independent component analysis and blind source separation), Vol. 3889, pp. 384-391, 2006

- 14) 内匠逸、藤井隆司、畑雅恭、安川博 : ELF 帯電磁気観測における雑音除去と異常検出手法について、電気学会電磁環境研究会資料、pp. 13-18, 2005.