

## 二周波法によるVHF帯地震電磁現象の観測

正員 吉田 彰頤\* 正員 西 正博\*  
正員 望月 慶輔\*

### Observations of Seismic Electromagnetic Phenomena in VHF Band by Dual Frequency Method

Teruaki Yoshida\*, Member, Masahiro Nishi\*, Member, Keisuke Mochizuki\*, Member

Seismic electromagnetic (EM) phenomena have been observed at many laboratories with specially designed systems. Recently we can utilize radio receivers, personal computers and communication systems with higher performances and reasonable cost. It is possible to observe seismic EM phenomena not only by specially designed systems but also by a simple observation system integrated by these devices and systems. So, we have realized an observation system for seismic EM phenomena with them in very high frequency (VHF) band, from 76MHz to 90MHz, assigned for FM broadcasting exclusive use in Japan. We are surrounded with many EM waves such as broadcasting, communication usage and manmade-noises. So, we have newly developed the dual frequency observation method. In this paper, we describe that the observation method can identify whether a received signal is a broadband EM wave or an artificial FM radio wave. Next, the observation results are shown as broadband EM waves of galactic noise and solar flare. Then, the observation results are shown as FM radio waves reflected from sporadic E layer and the Leonid meteors. Finally, the observation results of the detected broadband EM waves associated with the Geiyo earthquake are described.

**キーワード**：二周波法, VHF 帯, 銀河ノイズ, 太陽フレア, スポラディック E 層, しし座流星, 芸予地震

**Keywords** : dual frequency method, VHF band, galactic noise, solar flare, sporadic-E layer, Leonid meteor, Geiyo earthquake

### 1. まえがき

地震に関連した電磁現象の観測については、(1)地震に伴う電磁波を直接観測する方法、(2)通信や放送用の人工電波の電波伝搬を観測する間接的方法が行われている。

観測する周波数も直流から VHF 帯まで、幅広い周波数帯でおこなわれている。これまで各観測機関の継続的かつ地道な観測により、地震や火山活動と電磁波の関係が解明されつつある[例えば<sup>(1)-(3)</sup>]。

現代社会は、通信や放送などのように、ある目的を持った人工電波はもちろん、電気機械製品などから的人工ノイズ、さらに太陽フレアや銀河ノイズなどの宇宙起源の自然ノイズ、雷や雪雲などの大気気象起源の自然ノイズなど、多くの電磁波で溢れている。このような現代社会の電磁環境において、微弱な地震電磁現象を正確に検出するためには、人工ノイズの影響を受けにくい観測系を構築するとともに、観測対象である地震電磁現象と、それ以外の電磁現象を識別可能な観測方法の確立が不可欠である。

地震電磁現象の観測周波数帯の内、VHF 帯特に FM 放送帯 (76MHz~90MHz) における観測は、他の周波数帯と比較し人工ノイズの影響を受けにくくこと、FM 放送専用帯として電波監理されているため他目的からの電波干渉が少ないこと、市販品で観測系を構成できることなどから、近年地震電磁現象の観測が盛んに行われるようになってきた。しかし、FM 放送帯におけるこれまでの観測事例の多くは、その観測データの変化が、(A)広帯域な電磁波によるものか、それとも、(B)FM 放送波を受信したものか、その識別が必ずしも十分にはなされていない。

そこで筆者らは、地震電磁現象の観測には、観測系に記録された受信レベルの変動が、(A), (B)どちらの現象によるものか、識別可能な方法の確立が不可欠であると考え、二周波法<sup>(4)(5)</sup>を考案した。1997 年の観測開始以降、徐々に観測点を増やし、現在、全国 15 ヶ所で二周波法による観測を行っている。

本論文では、はじめに二周波法の観測原理および観測システムの構成法を述べる。次に二周波法の有効性を示すため、(A)広帯域な電磁波の観測事例として、銀河ノイズ、太陽フレアの観測結果を、(B)FM 放送波の観測事例として、スパラディック E 層、しし座流星エコーの観測結果をそれ

\* 広島市立大学 情報科学部  
〒731-3194 広島県広島市安佐南区大塚東 3-4-1  
Faculty of Information Sciences, Hiroshima City University,  
3-4-1 Ozuka-higashi, Asa-minami-ku, Hiroshima 731-3194

ぞれ示す。そして最後に地震電磁現象の観測事例として 2001 年芸予地震における観測結果を示す。

## 2. 観測方法

**(2・1) 二周波法** FM 放送帯は、国内において、76MHz から 90MHz の範囲において、原則として 100kHz 間隔で FM 放送用の送信周波数として割り当てられている。また、相互に電波干渉の起きない距離範囲において、複数の FM 放送局が同一周波数を用いて放送を行っている<sup>(6)</sup>。

この周波数帯における電波観測においては、雷、雪雲、銀河ノイズ、太陽フレアなどの広帯域な自然電磁波や、電気機械製品からの人工ノイズ、そしてスピラディック E 層、流星などにより反射・散乱された FM 放送波など、種々の要因により電磁波が検出される。このため、観測対象とする微弱な地震電磁現象を検出しようとする場合、観測対象とそれ以外の現象との識別が不可欠となる。そこで筆者らは、観測系に検出された変動が、(A)広帯域な電磁現象によるものか、それとも、(B)FM 放送波を受信したものかを識別するため、図 1 に示すような二周波法を考案し、観測を行うこととした。

本観測法では、FM 放送波帯のうち、次の二つの異なる周波数 (fn 波, fr 波) を観測周波数として設定する。

fn 波 : 81MHz 帯 (80.8MHz から 81.2MHz まで) の内、観測点において、最も受信レベルが小さい周波数を選択する。81MHz 帯は、国内ではどこの放送局にも割り当てられていない周波数帯である。

fr 波 : 81MHz 帯を除く、76MHz から 90MHz までの周波数の内、観測点において、最も受信レベルが低い周波数を選択する。この周波数帯は、国内では、100kHz 毎に複数の FM 放送局の送信周波数として割り当てられている周波数帯である。

このように、本観測法では、fn 波、fr 波とともに、観測点において最も受信レベルが低くなる周波数を、観測用周波数として設定するため、観測点近傍の FM 放送波の影響を最小限にでき、より微弱な電磁現象まで観測が可能となる。

上記のように、fn 波、fr 波を設定し、観測を行うと、次

の 3 ケースの変動が検出される。

(ケース 1) fn 波の受信レベルのみ変動：この場合、fn 波の受信機の復調音からは、通話する音声を確認することができる。また、その変動継続時間は、通話時間に依存するが、通常は数分程度である。このことから、fn 波のみが変動する場合は、27MHz 帯のトランシーバの 3 次高調波ひずみ (81MHz 帯) による電波干渉と考えられる。

(ケース 2) fr 波の受信レベルのみ変動：この場合、fr 波の受信機の復調音から、FM 放送波であることを確認することができる。また、復調音から聞こえる天気予報、交通情報、電話番号、コマーシャルなどから、fr 波の送信局を特定できる。このことから、fr 波のみが変動する場合は、遠隔地の FM 放送波が、電離層、流星エコーなどによる反射・散乱、ダクト伝搬などにより受信されたものと考えられる。なお、その要因は受信レベル変動の特徴から、識別可能である<sup>(7)(8)</sup>。

(ケース 3) fn 波、fr 波の受信レベルがともに変動：この場合、異なる 2 つの周波数の受信レベル変動であることから、広帯域な電磁波を受信したものと考えられる。またこの場合、fn 波、fr 波とともに、その受信波の復調音は、広帯域電磁波特有のザーというノイズ音となる。

このように、二周波法は、観測データに現れたレベル変動が、(A)広帯域な電磁現象によるものか、それとも、(B)FM 放送波を受信したものか、容易に識別することができ、一波のみの観測に比べ、識別精度の高い観測が期待できる。

**(2・2) 観測システム** 二周波法による観測系の基本構成図を図 2 に示す。FM 放送帯における観測ではその受信機として、(1)センターチューニング法<sup>(9)</sup>が行われているアナログ FM チューナと、(2)現在市販の主流である PLL 型シンセサイズド・ディジタル FM チューナ（以下、ディジタル FM チューナ）の 2 種類の利用が考えられる。観測に先立ち、両者の受信性能を比較検討した結果、ディジタル FM チューナが、受信感度、周波数選択性、隣接チャネル干渉特性、混変調歪特性など、いずれの項目も優れた受信特性を示したことから、筆者らはディジタル FM チューナを用いて観測を行うこととした<sup>(4)(10)</sup>。受信アンテナには、VHF 帯 FM 放

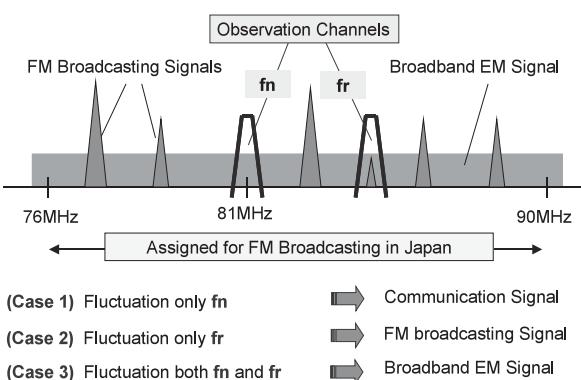


図 1 二周波法

Fig. 1. Dual frequency observation method.

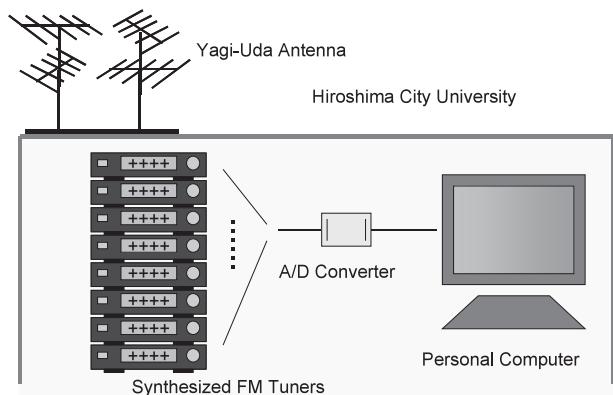


図 2 観測システム構成

Fig. 2. Observation system configuration.

送受信用の八木宇田アンテナ（3素子又は5素子）を用い、各エレメントを大地に対し水平とし、東西南北4方向に設置した。観測機器類は屋内に設置し、アンテナと受信機は75Ω同軸ケーブルにより接続した。受信機は4方向にそれぞれfn波、fr波に対応し2台づつ合計8台接続し、二周波法の構成とした。また受信レベルの値は、データ処理を容易に行えるよう、ADコンバータを介し、デジタル値としてパソコンのハードディスクに記録した。

デジタルFMチューナーは、水晶振動子により周波数の安定化を図り、かつフロントエンドに低雑音指数のGaAs-FETを用いており、各種市販品が容易に入手できる。筆者らの観測に用いたデジタルFMチューナーもその内の1機種であり、その電気特性をまとめると次のようになる。

(1) 3dB受信帯域幅=100kHz, 30dB受信帯域幅=300kHz, 70dB受信帯域幅=400kHzと、優れた周波数選択性を有しており、隣接チャネル干渉を受けにくい。

(2) 受信レベル(dBm)に対応した検出電圧(mV)は図3に示すように1対1に求めることができる。観測時にはこの入出力特性をもとに、受信機の検出電圧(mV)から受信レベル(dBm)に変換し、定量観測できるようにした。

(3) 受信レベルの測定限界は、図3に示すように、約-120dBmであった。観測に用いたデジタルFMチューナーは、雑音指数=2dB、受信帯域幅(3dB)=100kHzであり、計算により求められる受信機の熱雑音（本観測系の測定限界値に相当）は-121.8dBmとなり、図3の実測結果と、よく一致した。

なお、市販されている複数のデジタルFMチューナーにつ

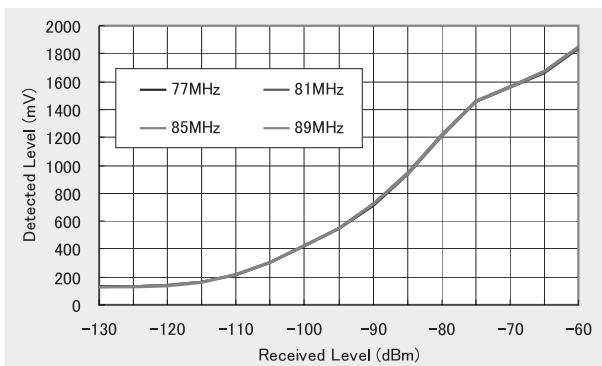


図3 デジタルFMチューナーの入出力特性

Fig. 3. Input-output performance of digital FM tuner.

表1 観測系の主要諸元  
Table 1. Observation system specifications.

Receiver	Synthesized FM tuner
Receiving antenna	Yagi-Uda antenna
Receiving bandwidth of 3dB	100 kHz
Limitation of received level	-120 dBm (0.001pw)
Observation frequency	76MHz ~ 90 MHz
Sampling rate	2 sec. (or 10 sec.)

いて、その電気特性を比較したが、どの機種も性能的に大差なく、上記とほぼ同様の性能を有していた。

観測系の主要諸元を表1にまとめて示す。

現在、筆者らは上記観測系を全国15ヶ所に構築し、2秒（又は10秒）周期でサンプリングし、24時間連続観測を行っている。データ収集する広島市立大学と、それぞれの観測点は、インターネットおよび通信回線を用いて接続しており、各観測点の受信レベルの状態をリアルタイムにモニターすることが可能である。各観測点における時刻情報は、ネットワークタイムサーバやGPSからの時刻情報を基に作成した。なお、本論文で示す観測結果の時刻は、以下すべて日本標準時（JST）で表示する。

### 3. 広帯域電磁波の観測結果

二周波法による(A)広帯域な電磁波の観測事例として、以下に銀河ノイズ、および、太陽フレアの観測結果を示す。

〈3・1〉 銀河ノイズの観測結果 銀河ノイズは、太陽系が属する天の川銀河の中心付近から放射されている電磁波であり、ジャンスキーによって発見された<sup>(11)</sup>。地上からの銀河ノイズの観測は、10MHz以上の周波数帯で、かつ人工ノイズの少ない地域でのみ観測可能となることが知られている<sup>(12)(13)</sup>。

図4に、2001年9月7日、広島市立大学で観測した受信波形を示す。図には南方向の80.9MHz(fn波)と85.6MHz(fr波)の受信レベル変動を示した。この図から、両方の観測周波数の受信レベルとも、19時頃にピーク値(-114dBm)となっていることがわかる。この日の銀河南中時刻は19時30分であった。またfn波、fr波の受信レベルがともに、同様の変動をしていることから、観測した電磁波は広帯域であると考えられる。

2002年の1年間の南方向80.9MHz(fn波)の受信レベル変動を、図5に示す。横軸に24時間の日変化を示し、縦軸に1月1日から12月31日までの年変化を示す。受信レベルは-105dBm以上を白色とし、レベルが低くなるに従い段階的に濃く示し、最小値-120dBmを黒色で表した。図中に

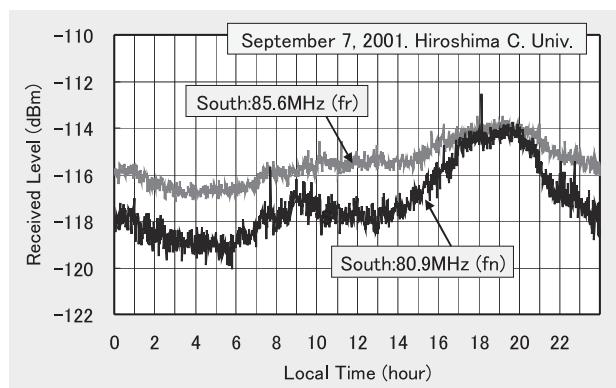


図4 銀河ノイズの受信レベル変動

Fig. 4. Time variation of EM waves associated with galactic noise.

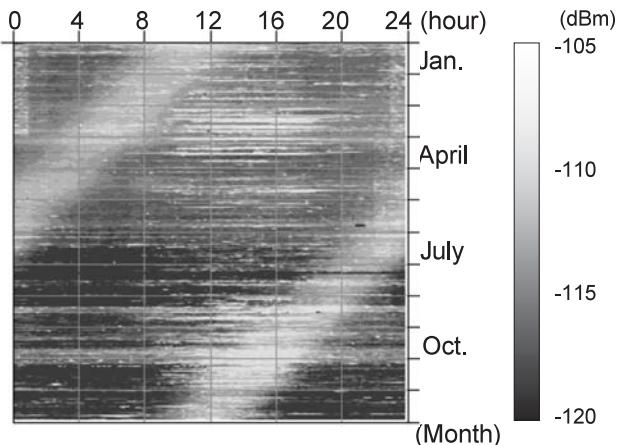


図5 銀河ノイズの年間変動

Fig. 5. Annual variation of EM waves associated with galactic noise.

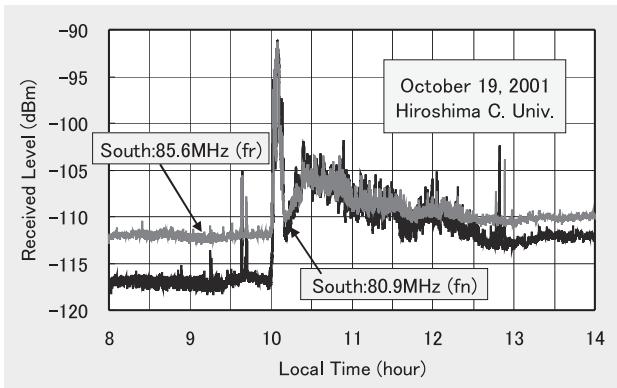


図6 太陽フレアの受信レベル変動

Fig. 6. Time variation of EM waves associated with solar flare.

レベルの高い帯状の線が認められる。この受信レベルは年周変動し、そのピーク時刻は、天の川銀河中心の南中時刻と一致し、2時間/月づつ早まるところから、本観測系で受信した電磁波は、銀河ノイズであることがわかる。

また、図5の結果から、広島市立大学の観測系は、銀河ノイズを観測することができる程に人工ノイズの少ない系であることがわかる。地震電磁現象観測の最大の障害は、観測点周辺の人工ノイズや観測機器自身のノイズである。これらの人工ノイズを丁寧に除いていくと、最後には除ききれない銀河ノイズが検出できるようになる。

**〈3・2〉 太陽フレアの観測結果** 太陽フレアは、太陽の彩層の一部分が、数分のうちに輝きを増す爆発現象で、数時間で消滅する現象であり、電波からX線までの広帯域な周波数成分を有することが知られている<sup>(14)(15)</sup>。

2001年10月19日に広島市立大学で観測した南方向の80.9MHz (fn波)と85.6MHz (fr波)の受信レベル変動を、図6に示す。それぞれの受信レベルは、10時ごろから約20dB上昇し、十数分後に一旦下がり、その後徐々に上昇し10時

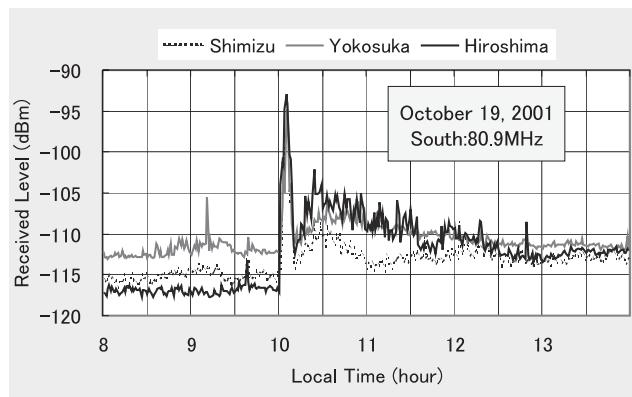


図7 複数の観測点における太陽フレア受信レベル変動

Fig. 7. Time variation of EM waves associated with solar flare at three different observatories.

半ごろから約3時間かけて定常状態に戻った。太陽の活動を観測している機関からも、この日時に太陽フレアが発生したことが報告され<sup>(16)</sup>、この受信レベルの変動が太陽フレアに起因した電磁波であることが確認できた。また、fn波、fr波、両方の観測周波数の受信レベルが同様に変化していることから、広帯域な周波数成分を有することがわかる。

図7に同時刻に異なる3ヶ所で観測した受信レベル変動を示す。図には、2001年10月19日の、広島、清水、横須賀の各観測所における、南方向80.9MHzの受信結果を示した。図7より、清水、横須賀観測所においても、広島で受信した電磁波と同様な受信レベル変動を観測できたことがわかる。このように、複数の異なる場所で観測を行うことにより、観測データの変化が、観測点固有のローカルな現象か、それとも太陽フレアのように、全国共通のグローバルな現象か、識別することができる。

#### 4. FM放送波の観測結果

二周波法による(B)FM放送波の観測事例として、以下にスポラディックE層、および、しし座流星群による反射現象の観測結果を示す。

##### 〈4・1〉 スポラディックE層による反射波の観測結果

スポラディックE層は、電離層の内、高度約100kmのE層に突発的に生じる現象であり、その電子密度は通常のE層の電子密度より高い値を示す。世界的に発生するが、日本を含む中緯度地帯では比較的発生頻度が高く、一般に夜間より日中に多く、また冬より夏に多く発生するといった特徴を有することが知られている<sup>(13)(14)</sup>。

本観測法により、スポラディックE層によるFM放送波の反射と考えられる事例が観測できたので、以下にその事例を示す。2001年6月15日の広島市立大学における南方向の80.9MHz (fn波)、89.1MHz (fr波)の両観測周波数の受信レベル変動を図8に示す。図8に示す観測結果では、fn波(80.9MHz)の受信電力は-115dBmから-120dBmの範囲で大きな変動は無いが、fr波(89.1MHz)は、10時から20時までの間に、約30dBのレベル上昇が認められ、最大の受信

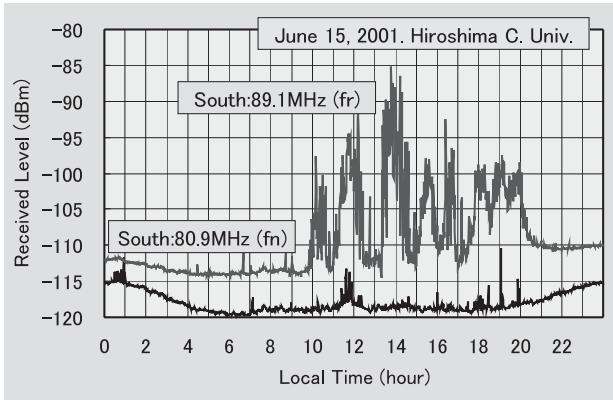


図 8 スポラディック E 層による FM 放送波反射

Fig. 8. Time variation of EM waves associated with FM waves reflected from sporadic-E layer.

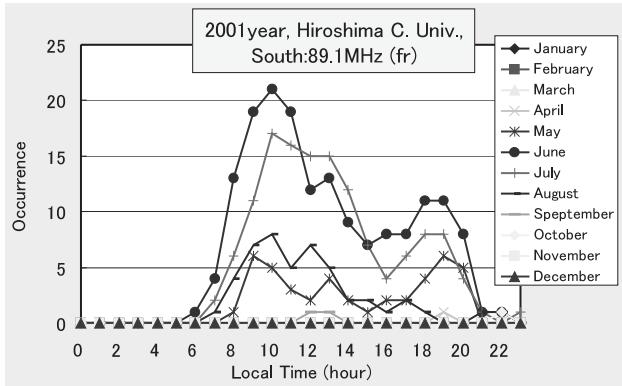


図 9 スポラディック E 層発生回数の時間変動

Fig. 9. Diurnal variation of sporadic-E layer occurrence.

レベルは-85dBm を記録した。この受信レベル上昇は fr 波のみの変動であるため、2 章のケース 2 に相当し、観測データの変化は、遠隔の FM 放送波によるものであると考えられる。また、受信機の復調音を確認したところ、この FM 放送波は沖縄の放送局から届いたことを確認した。

次に、89.1MHz の受信波形の内、2001 年 1 月～12 月において、レベル上昇が定常状態より 10dB 以上、かつ 10 分間以上継続した受信波形を調べ、1 時間毎に受信レベル上昇の回数をカウントし、時間毎、月毎に整理した。1 時間毎のレベル上昇回数を図 9 に、月毎のレベル上昇回数を図 10 にそれぞれ示す。図 9 より、レベル上昇回数は、10 時前後と 19 時前後の時間帯に多いことがわかる。また、図 10 から、レベル上昇が発生する頻度は 5 月から 8 月に集中することが認められた。これらのレベル上昇回数の特徴は、スパラディック E 層発生の時期・時間帯の特徴とよく一致していることから、fr 波 (89.1MHz) のレベル変動は、89.1MHz の FM 放送波がスパラディック E 層に反射し、観測点である広島市立大学において受信されたものと考えられる。

**〈4-2〉 しし座流星群による反射波の観測結果** 流星は地球に突入してくる際、高度約 100km において、大気と

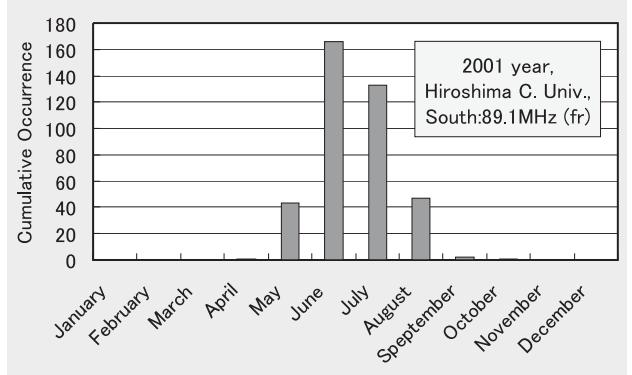


図 10 スパラディック E 層発生回数の季節変動

Fig. 10. Seasonal variation of sporadic-E layer occurrence.

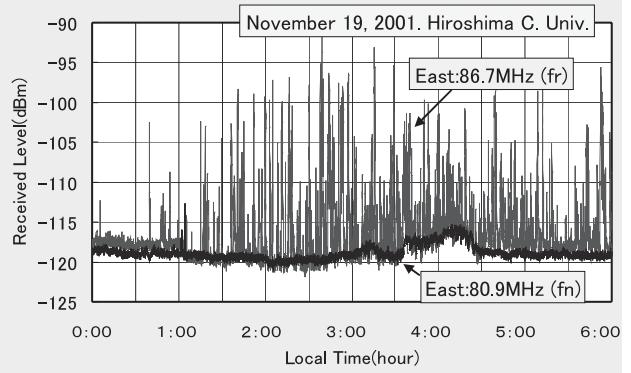


図 11 しし座流星群による FM 放送波反射

Fig. 11. Time variation of EM waves associated with FM waves reflected from meteors in the Leonid 2001.

の摩擦により、プラズマ状の電離柱を形成する<sup>(17)</sup>。このとき、遠隔地の FM 放送波が電離柱に反射し、通常の地表波伝搬では届かない場所においても、その反射波（流星エコー）を受信することができる。この原理を応用した流星観測が FRO (FM Radio Observation) であり、これまでアナログ FM チューナによるセンターチューニング法が広く用いられ、多くの観測事例が報告されている<sup>(18)</sup>。その後、FM 放送の 24 時間放送化や FM 放送局の増加に伴い、センターチューニング法による FRO は、隣接チャネル干渉の影響を受けやすいうことから、定量観測が困難となり徐々に減少し、今日では MU レーダ<sup>(19)</sup>や HRO (Ham Radio Observation)<sup>(18)</sup>による観測が広く行われるようになってきた。

本節では、近年の FM 放送環境においても、デジタル FM チューナを用いた二周波法により、定量的な FRO が可能であることを、2001 年しし座流星群の観測事例をもとに示す。

2001 年 11 月 19 日の 0 時から 6 時までのしし座流星群が発生した際に、広島市立大学で観測した受信波形を、図 11 に示す。図には、東方向の 80.9MHz (fn 波) と 86.7MHz (fr 波) の受信レベル変動を示した。図 11 に示したように、fn 波の受信電力は-115dBm から-120dBm の範囲内の変動であるが、fr 波には、約 20dB から 30dB のインパルス的レベル

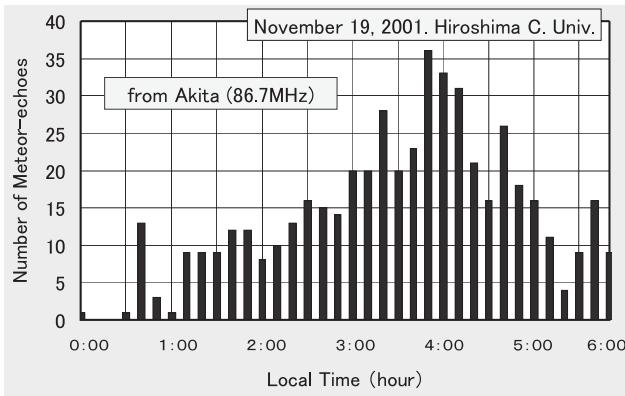


図 12 しし座流星エコーの受信回数

Fig. 12. Number of Leonid meteor echoes in 2001.

上昇が多数観測された。インパルス的レベル上昇に呼応して、受信機の復調音から、秋田のFM放送波がクリアに聞こえたことから、このレベル変動は、流星により形成された電離柱に、FM放送波が反射したものと考えられる。

次に東方向 86.7MHz (fr 波) の受信波形について、流星エコーによる受信レベルの上昇が、定常状態より 5dB 以上上昇するインパルス的な変動に着目し、10 分毎にその受信レベル上昇回数をカウントした。図 12 にその集計結果を示す。図 12 より、流星エコー数は 4 時ごろにピークをむかえていることがわかる。この時刻は、しし座流星群のピーク発生時刻とよく一致した<sup>(20)-(22)</sup>。

## 5. 芸予地震における観測結果

筆者らの観測対象である地震電磁現象については、これまで、2000 年鳥取県西部地震<sup>(23)</sup>（観測点：広島市立大学）、2001 年芸予地震<sup>(23)</sup>（広島市立大学、野呂山）、2002 年茨城県沖地震<sup>(24)</sup>（日立）、2005 年新潟県中越地震<sup>(25)</sup>（米沢）において、地震に呼応した電磁波を検出した。本章ではその一例として広島市立大学観測系において検出した、芸予地震（2001 年 3 月 24 日 15 時 27 分 54 秒 (JST), M=6.4, 震源の深さ 51km）における観測結果を示す。なお、広島市立大学の観測室において、地震発生時刻の前後 4 時間にわたり、ビデオカメラによる観測室内の録画と、デジタル FM チューナの fr 波の復調音を録音することができ、地震発生のその瞬間を、VTR に記録することができた。

広島市立大学観測系の東西南北 4 方向において検出した、fn 波、fr 波の変動を図 13 に示す。4 方向の内、最大の受信レベルは -98dBm であり、西方向で観測された。地震発生直後から受信レベルはピークレベルに達し、約 3 時間後に通常レベルに戻った。また fn 波、fr 波ともに変動したことから、観測した電磁波は広域電磁波であると考えられる。さらに録音した fr 波の復調音を再生したところ、FM 放送音ではなく広域電磁波特有のザーという FM ノイズ音を確認した。

なお、fn 波、fr 波とともに変動する現象は、上記 4 地震、

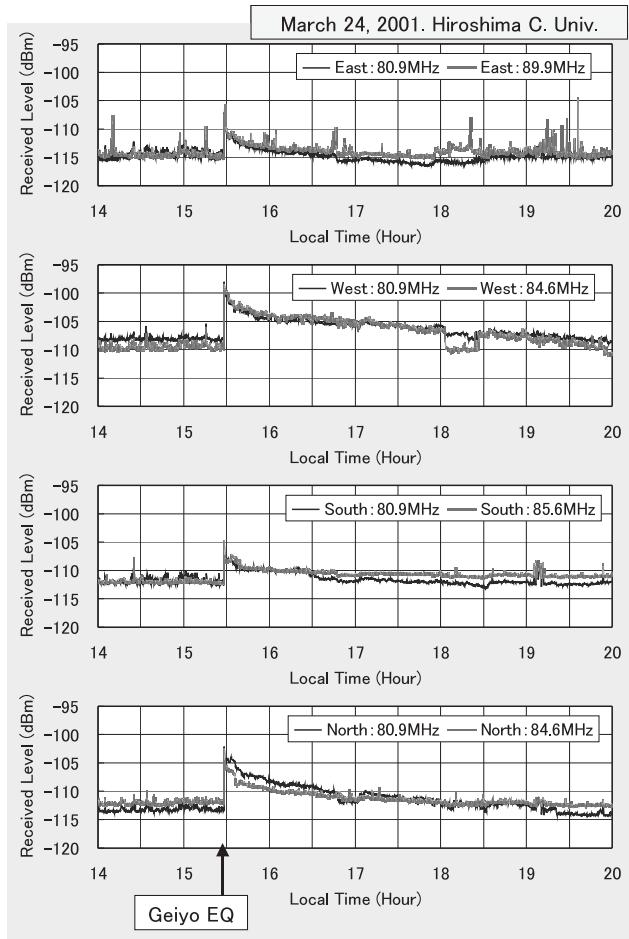


図 13 2001 年芸予地震に呼応した電磁波

Fig. 13. Time variation of EM waves associated with Geijo EQ in 2001.

5 観測点において同様に検出された。しかし地震に関連したと思われるような fr 波のみの変動 (FM 放送波の受信) は筆者らの観測系にはこれまで一例も検出されていない。

## 6. まとめ

FM 放送帯において地震電磁現象の観測が盛んに行われるようになってきた。しかし、これまでの観測事例の多くは、その観測データの変化が、(A) 広域電磁波によるものか、それとも、(B) FM 放送波を受信したものか、その識別が必ずしも十分にはなされてこなかつた。

本稿では (A), (B) どちらの現象によるものか識別可能な方法として二周波法を提案した。そして (A) の観測事例として、銀河ノイズ、太陽フレア、(B) の観測事例として、スカラディック E 層、しし座流星群による反射特性を示した。これらの観測結果から、二周波法は、受信した電磁波が広域電磁波か、FM 放送波の反射波かを識別する方法として有効であることを示した。

そして最後に、二周波法による地震電磁現象の観測事例として広島市立大学観測系において検出した、2001 年芸予地震における VHF 帯電磁波の観測結果を報告した。二つの

異なる周波数がともに変動していたことから、検出した電磁波は広帯域な電磁波である可能性を示した。

これからも二周波法による観測を継続し、地震電磁現象とそれ以外の現象を識別しながら観測事例を蓄積する予定である。

本論文で示した観測データは、横須賀、清水、広島市立大学に設置した観測系によるものである。観測にご協力いただいた方々に感謝致します。本研究の一部は科学研究費補助金基盤研究(C)(1)(14550367)により行われたことを記し、ここに感謝の意を表します。

(平成 16 年 4 月 13 日受付、平成 17 年 2 月 21 日再受付)

## 文 献

- (1) M. Hayakawa and Y. Fujinawa (eds): "Electromagnetic Phenomena Related to Earthquake Prediction", Terra Science Publishing Company, Tokyo (1994)
- (2) T. Rikitake: "Forecast of Earthquakes", Nihon-senmon-tosh Publishing Company, Tokyo (2001) (in Japanese)  
力武常次: 地震予知一発展と展望一, 日本専門図書出版, 東京 (2001)
- (3) T. Nagao: "New Reviews for Forecast of Earthquakes", Kinmirai Publishing Company, Nagoya (2001) (in Japanese)  
長尾年恭: 地震予知研究の新展開, 近未来社, 名古屋 (2001)
- (4) T. Yoshida and M. Nishi: "The Observation of Broadband Co-seismic Electromagnetic Waves in VHF Band", Proc. of IEEE APS Symp., pp.184-187, Boston, USA (2001-7)
- (5) T. Yoshida and M. Nishi: "Dual Frequency Observation Method Using the Synthesized FM Tuner", A-P2001-8, pp.51-56 (2001-4) (in Japanese)  
吉田彰顕・西正博: 「デジタル FM チューナによる二周波観測法」, 信学技報, AP2001-8, pp.51-56 (2001-4)
- (6) "List of TV, FM and radio stations", NHK Integrated Technology, Tokyo (2002) (in Japanese)  
「全国テレビジョン・FM・ラジオ放送局一覧」, NHK アイティック, 東京 (2002)
- (7) T. Yoshida, M. Nishi, K. Yabu, K. Mochizuki, and A. Sato: "Dual Frequency Observation Method with Synthesized VHF- Receivers to Observe Natural Electro-magnetic Phenomena", Proc. of APMC-2002, pp.1138-1141, Kyoto, Japan (2002-11)
- (8) M. Nishi, K. Mochizuki, and T. Yoshida: "Observations of Natural Electromagnetic Phenomena in VHF Band", The papers of Technical Meeting on Electromagnetic Compatibility, IEE Japan, EMC-03-11, pp.59-64 (2003-1) (in Japanese)  
西正博・望月慶輔・吉田彰顕: 「VHF 帯自然現象電磁波の観測」, 電気学会電磁環境研資, EMC-03-11, pp.59-64 (2003-1)
- (9) Y. Kushida and R. Kushida: "On a Possibility of Earthquake Forecast by Radio Observation in VHF Band", Riken Rev., Vol.19, pp.1-13 (1998)
- (10) T. Yoshida: Patent No., 2956685 (1999)
- (11) K.G. Jansky: "Electrical disturbances apparently of extraterrestrial origin", Proc. of IRE, Vol.21, pp.1387-1398 (1933)
- (12) ITU-R, Recommendations Radio Wave propagation, Vol. P Series – Part 1, pp.372-376 (1998)
- (13) Y. Hosoya: "Radio Propagation Handbook", Realize Publishing, Tokyo (1999) (in Japanese)  
細矢良雄監修: 電波伝搬ハンドブック, リアライズ社 (1999)
- (14) K. Davies: "Ionospheric Radio", Peter Peregrinus Ltd., London (1990)
- (15) V. V. Zheleznyakov: "Radio Emission of The Sun and Planets", Pergamon Press Ltd., London (1970)
- (16) <http://hirweb.crl.go.jp/index-j.html> (in Japanese)  
情報通信研究機構 (NICT) 太陽地球環境情報サービス
- (17) D. W. R. McKinley: "Meteor Science and Engineering", McGraw-Hill Book Co., New York (1961)
- (18) T. Nakamura et al.: "Meteor Radio Observation Guidebook", RMG (2001)

(in Japanese)

- 中村卓司: 「流星電波観測ガイドブック」, RMG 編集委員会(2001)
- (19) T. Nakamura, T. Tsuda, K. Kita, T. Uehara, S. Kato, and S. Fukao: "Meteor Wind Observations with the MU Radar", Radio Sci., No.26, pp.857-869 (1991)
- (20) R. H. McNaught and D. J. Asher: "Leonid dust trails and meteor storms", WGN27, pp.85-102 (1999)
- (21) <http://www.imo.net>  
International Meteor Organization (IMO) 国際流星機構
- (22) <http://www.nms.gr.jp> (in Japanese)  
日本流星研究会
- (23) T. Yoshida and M. Nishi: "Observation of Co-seismic Electromagnetic Phenomena in VHF Associated with the Tottori-ken Seibu Earthquake in 2000 and the Geijo Earthquake in 2001", Jishin, Vol.55, No.2, pp.107-118 (2002)  
吉田彰顕・西正博: 「2000 年鳥取県西部地震および 2001 年芸予地震に関連した VHF 帯電磁現象の観測」, 地震, 55, 2, pp.107-118 (2002)
- (24) T. Yoshida, M. Nishi, K. Yabu, K. Mochizuki, K. Kagoshima, and S. Obote: "Observation of Co-seismic Electromagnetic Phenomena in VHF", The papers of Technical Meeting on Electromagnetic Compatibility, IEE Japan, EMC-03-10, pp.53-58 (2003-1) (in Japanese)  
吉田彰顕・西正博・望月慶輔・鹿子鳴憲一・尾保手茂樹: 「地震とともに生じた VHF 帯電磁現象の観測」, 電気学会電磁環境研資, EMC-03-10, pp.53-58 (2003-1)
- (25) T. Yoshida and M. Nishi: "Observations of Seismic Electromagnetic Phenomena in VHF Band by Dual Frequency Method", The papers of Technical Meeting on Electromagnetic Compatibility, IEE Japan, EMC-05-5, pp.21-26 (2005-1) (in Japanese)  
吉田彰顕・西正博: 「二周波法による VHF 帯地震電磁現象の観測」, 電気学会電磁環境研資, EMC-05-5, pp.21-26 (2005-1)

吉田 彰顕



(正員) 1973 年大阪大学基礎工学部電気工学科卒業。1975 年同大学大学院基礎工学研究科修士課程修了。同年日本電信電話公社 (現 NTT) 横須賀電気通信研究所入所。VHF 帯からミリ波帯まで、デジタル無線通信システムの研究開発に従事。1997 年超高速ネットワークコンピュータ技術研究所所長。1999 年広島市立大学情報科学部教授。電波科学、電波伝搬、通信放送協調型情報ネットワークの研究に従事。工学博士。電子情報通信学会、情報処理学会、日本地震学会、地球惑星圏学会、大気電気学会会員。IEEE シニア会員。

西 正 博



(正員) 1995 年大阪大学工学部通信工学科卒業。1997 年同大学院工学研究科博士前期課程修了。1999 年同大学院工学研究科博士後期課程修了。現在、広島市立大学情報科学部助手。電波科学、電波伝搬、通信放送協調型情報ネットワークの研究に従事。工学博士。電子情報通信学会、情報処理学会、日本地震学会、映像情報メディア学会、IEEE 各会員。

望 月 慶 輔



(正員) 2002 年広島市立大学情報科学部情報メディア工学科卒業。2004 年同大学院情報科学研究科博士前期課程修了。現在、広島市立三和中学校教員。VHF 帯における電波科学、電波伝搬の研究に従事。