

財団法人 WNI 気象文化創造センター

気象文化大賞

「地震予報とその公開に関する研究」

研究報告書

2014年8月

株式会社 ハケ岳アストロビレッジ

ハケ岳南麓天文台 代表 串田嘉男

— 目次 —

◆研究目標	1
◆研究結果	2
◆導入機材について	3
◆多チャンネル高速サンプリングデジタル電圧記録機の導入	4
◆スペクトラムアナライザーを導入した比較観測	5
◆スペクトラムアナライザーを導入した比較観測結果	6
◆センターチューニング法による地震前兆検知観測装置に出現している 地震前兆は、 -70dBm 以下の微弱電波受信の可能性	7
◆スポラディックEによる反射電波の観測	8
◆地震前兆としての散乱電波の可能性を観測	9
◆まとめと展望	11
◆謝辞	11

添付参考資料： VHF帯域(FM)電波モニター観測による 地震予報概要 2014A
八ヶ岳南麓天文台 串田嘉男

株式会社 八ヶ岳アストロビレッジ
八ヶ岳南麓天文台 代表 串田嘉男
山梨県北杜市大泉町谷戸8697-1
研究室電話 0551-38-3987
FAX 0551-38-4254

研究目標

八ヶ岳南麓天文台では、1995年から、FM電波モニター観測による地震前兆検知観測研究を実施している。今回の気象文化大賞助成金で、当該観測研究のより良いデータ記録と、現象解明のための研究を行い、より正確な地震予報公開につなげることができることを目指した。

この研究目標のために、以下の機材を購入導入した。機材と使用目的ならびに研究目標は以下のとおり。

① 多チャンネル高速サンプリングデジタルレコーダー「KEYENCE TR-W1000」

使用目的ならびに研究目標： 地震前兆データは、FM用アナログ受信機の検波回路直流電圧出力である。アナログ電圧記録機ペンレコーダーで記録する他、デジタル記録しているが、従来の記録では、多数のチャンネルを記録する場合、サンプリング周期を500msec.以下の遅い周期でしか記録できなかった。

そこで、TR-W1000を導入。このデジタルレコーダーは、入力ユニットを増設することで、八ヶ岳南麓天文台で観測している地震前兆観測装置の約9割のアナログデータをアナログ記録に近い形でデジタル記録できることを目標とした。アナログ記録に近いデジタルデータが記録できれば、地震前兆変動の同期比較、波形変動解析に役立つことが期待される他、貴重な観測データを紙媒体での記録ではなく(ペンレコーダーの記録紙記録)、デジタルデータとして、長期保存でき、今後の研究に大きく役立つことが期待される。

② スペクトラムアナライザー「RIGOL DSA815」

使用目的ならびに研究目標： 八ヶ岳南麓天文台での地震前兆検知観測は、FM受信機のセンターチューニング回路(検波回路)をモニター監視し、通常との差分変化を抽出する方法である。この変化は、通常良好に受信されない遠方のFM放送局電波が、地震発生前に震源地上空の電離層の電子密度が微少に変化することで、FM電波の散乱強度が変化している可能性が示唆される。

本来は、全観測装置に並列して同じ周波数帯をスペアナで監視することが望ましいが、高価な機材であるため、1台のみで、地震前兆が出現記録されている観測装置の周波数に合わせ、目標電波の受信強度ならびに、どの局電波であるかの識別ができる可能性を考え、比較観測を実施することを目指した。

研究結果

研究期間： 2013年～2014年期間中の1年間

研究実施場所： 山梨県北杜市大泉町 八ヶ岳南麓天文台

① 多チャンネル高速サンプリングデジタルレコーダー「KEYENCE TR-W1000」

当該デジタルレコーダーでの記録は頁4に示すとおり、アナログ記録に限りなく近い波形でデジタル記録ができることが明らかとなった。またサンプリング周期は200msec.で記録することがベストであることも明らかとなった。

導入以降、八ヶ岳南麓天文台の観測データのうち16チャンネルについては、日々アナログデータに近い波形がデジタル記録されている。

目標としたテーマは達成でき、現在も日々貴重なデータが記録され続けている。

② スペクトラムアナライザー「RIGOL DSA815」

当該スペクトラムアナライザーは、頁5に示すとおり観測システムで、既存のFM電波モニター、センターチューニング回路出力電圧記録観測と並行して比較観測を行った。

まず、地震前兆変動出現時の遠方FM放送局電波の受信強度測定については、頁7に示すとおり、当該スペクトラムアナライザー観測システムのノイズレベル以下であると認識され、少なくともマイナス70dBmよりも微弱な電波受信強度変化である結果が得られた。このことは、大変重要で、センターチューニング法による遠方のFM放送電波の散乱強度変化を検出する方法としては、センターチューニング法が最高感度の検出法であり、他の手法では、これだけ微弱な変化を検知検出することは困難であることを示す結果となった。

さらに研究期間中に電離層の電子密度が急激に上昇する現象＝スポラディックE層の出現も観測することができた。詳しくは頁8に示すとおり、通常は受信できない遠方のFM放送局電波が見事に受信された。スペクトラムアナライザーでは受信電波の周波数成分が観測できるが、スポラディックEによる受信電波は復調できる「反射電波」であることも確認できた。なお、日常的に出現する流星による反射電波エコーも多数観測され、この場合もスポラディックEと同様に綺麗な反射電波波形で、復調可能である。ただし、流星エコーは、出現継続時間が1秒未満(0.数秒)であるため、波形画面の記録は不可能であった。

また、観測期間中、予測されている地震の推定領域近傍と思われるFM放送局電波が散乱されたとと思われる電波受信がスペクトラムアナライザーで観測された。詳しくは頁9～10参照。この電波は、散発的に一瞬(1秒程度)出現した。波形をみる限り、反射電波ではなく、エコーとは呼べない。散乱波である。非常に興味深い。この現象の観測では、規模や発生時期を正確に求めることは困難であると認識された。

総評： 当初目標とした研究テーマに関しては、大変貴重なデータが録れ、満足のいく結果となり、目標は達成できた。

導入機材について

助成金で、スペクトラムアナライザー1台と、多チャンネル高速サンプリングデジタルレコーダーの一部を導入させて戴きました。下写真参照。

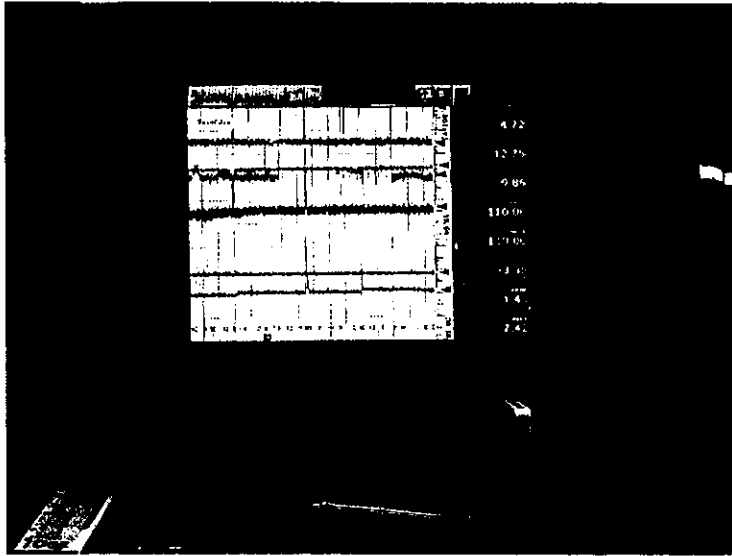


図-1 多チャンネル高速サンプリング
デジタルレコーダー
KEYENCE TR-W1000

TR-W1000は、モニター本体：TR-W1000モニター筐体に、TR-H08入力ユニットを取り付けることで、高速デジタルレコーダーとなる。

サンプリング周期を早くすると、入力ユニット1台で収集できるチャンネル数が減る。100msec~200msec.で収集する場合は、1ユニットでは4チャンネルしか録れない。八ヶ岳南麓天文台では18台以上の観測装置があるが、そのうち16チャンネルを記録できるように、入力ユニットを4台取り付けた。この仕様で、16chでサンプリング周期100~200msec.でアナログデータをデジタル記録することが可能となった。

TR-W1000はイーサネットで研究室のPCと接続可能で、データは別のHDに記録している。本体にUSBメモリーもつけられ、自動で一定時間毎にデータ保存される仕様。

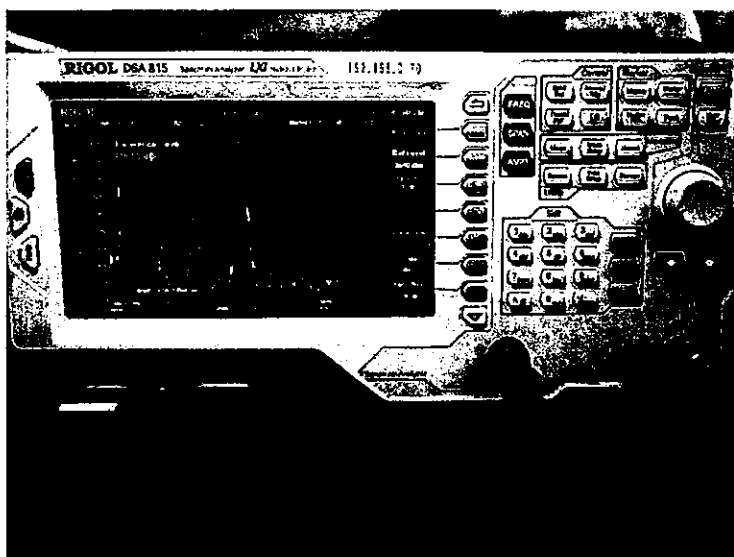


図-2 スペクトラムアナライザー
RIGOL DSA 815

DSA815は、9kHz~15GHzまでの周波数を解析できる小型のスペクトラムアナライザー。

八ヶ岳南麓天文台の観測装置18台以上に対し、各1台ずつ同じ周波数を監視解析するため、18台以上のスペクトラムアナライザーを導入する訳にはいかないため、1台のみで、一定期間ごとに地震前兆出現中の観測装置の周波数に合わせて監視解析した。自動記録はできないため、研究室デスク前に設置し、つねに監視できる状態にしたが、24時間見続けることは不可能であるため、見逃しも多々ある。波形画面記録は、左写真スペアナ本体の左端の画面プリントボタンを押した瞬間の波形画像がUSBメモリーに記録できる仕様。

多チャンネル高速サンプリングデジタル電圧記録機の導入

八ヶ岳南麓天文台では、FM電波モニター観測による地震前兆検知観測装置の記録をアナログ記録(ペンレコーダー)の他、デジタル記録しているが、使用しているADコンバーター:キーエンス社のGR3000では、多チャンネルの記録を録る場合はサンプリング周期は500msecとなってしまう。500msecでは、ペンレコーダーに記録される地震前兆波形が綺麗に記録できなかつた。このため、多チャンネルでも100msec, 200msec. と高速サンプリングでデジタル記録できる装置を導入した。

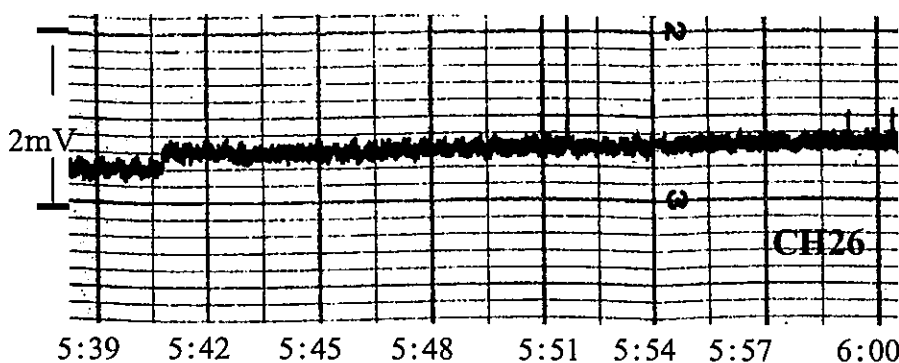


図-3 アナログペンレコーダーに記録されたCH26の連続した地震前兆変動(PBF)波形

左図-3は、アナログペンレコーダーの記録紙に記録された地震前兆波形PBFである。数十秒周期で曲線変動が連続する、周期の短い連続ウネリ変動(PBF)である。

図-4は、今までのGR3000によるデジタル記録で、数分単位での変動は綺麗に記録できるが、数十秒単位での変動はサンプリングが粗く識別できない。

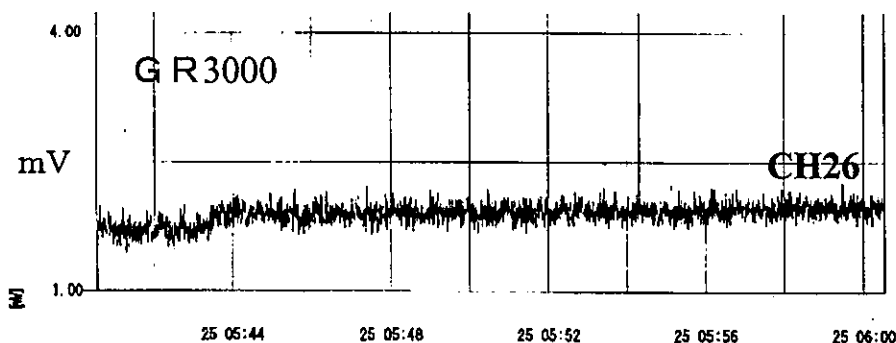


図-4 500msec. でのCH26の連続した地震前兆変動(PBF)デジタル記録波形

図-5は、今回導入した、キーエンス社製TR-W1000によるサンプリング周期200msec.によるデジタル記録。図-1に示したアナログ記録と同様、数十秒周期の変動(PBF)が識別認識できる。

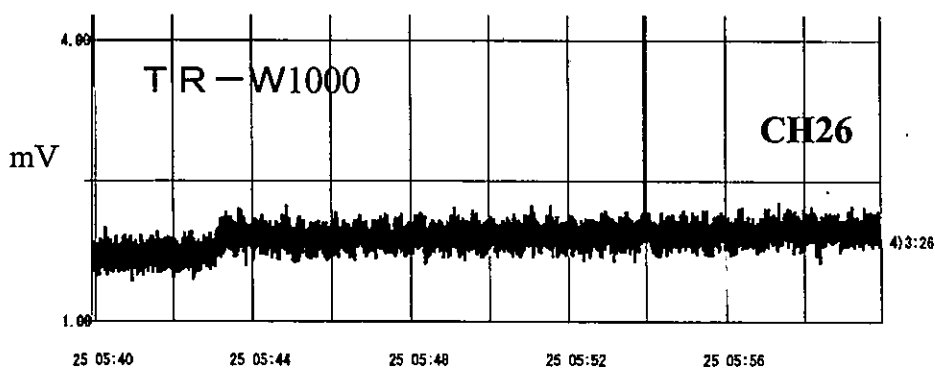


図-5 200msec. でのCH26の連続した地震前兆変動(PBF)デジタル記録波形

今回、TR-W1000を導入したことで、アナログペンレコーダーの記録に近いデジタル記録が可能となった。ちなみにサンプリング周期を100msec. で記録すると、記録している受信機のセンターチューニングメータの出力電圧に高周波成分が含まれているため、基線が太くなりすぎ、変化が見えなくなることも確認できた。従って、デジタル記録の場合は周期200msec. で録ることがベストであることも明らかとなった。

スペクトラムアナライザーを導入した比較観測

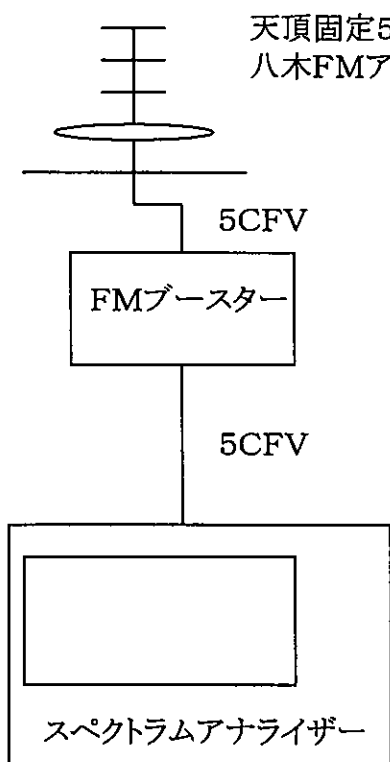


図-6 スペクトラムアナライザー観測システム

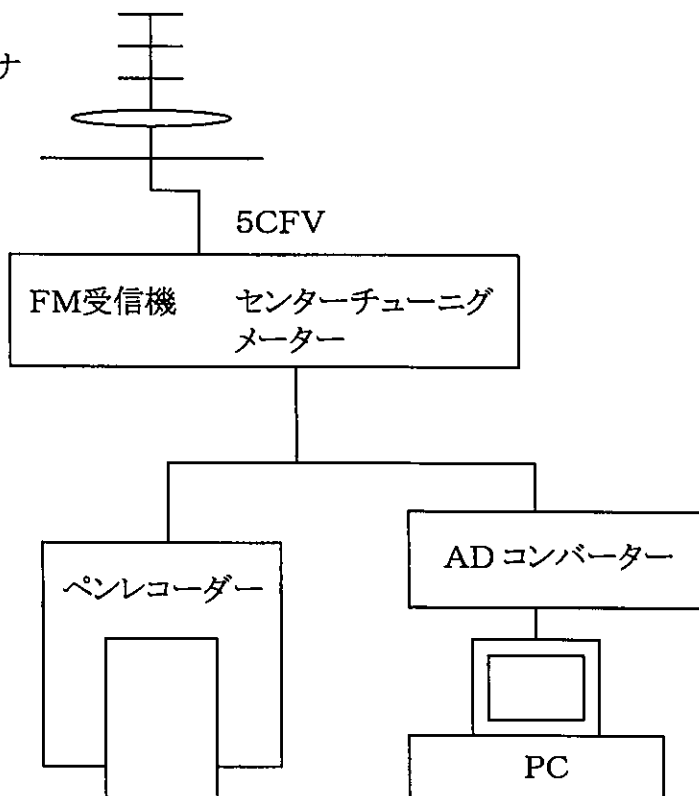


図-7 センターチューニング法地震前兆観測システム

目的: 上図-7(上図右側)は八ヶ岳南麓天文台で1995年から実施しているFM電波モニターによる地震前兆検知観測装置システムであるが、通常は受信されない遠方のFM放送局電波が地震発生前に極めて微弱に受信されていると認識される。この受信電波の強度がどの程度であるのかを、スペクトラムアナライザーでの直接観測を並行して行い、地震前兆変動の受信電波強度が測定できる可能性を考え比較観測を実施した。

観測システム: 上図-6(上図左側)のとおり、センターチューニング法観測装置と同じ5素子八木FMアンテナを天頂方向に固定し、5CFV同軸ケーブルを接続し、YAGI社製のFM用ブースター(増幅器)を介し、スペクトラムアナライザー(以下スペアナと略す)に入力するシステム。

ノイズレベルが約マイナス70dBm程度であるが、良好に受信復調できる近傍のFM放送電波がマイナス40dBmより強い電波強度で観測されることを確認し、八ヶ岳南麓天文台に設置し、継続観測している観測装置(FM受信機)の設定周波数前後の周波数帯で、電波受信が観測されるか、各観測装置の設定周波数ごとに数週間単位で比較観測を実施した。

スペクトラムアナライザーを導入した比較観測結果

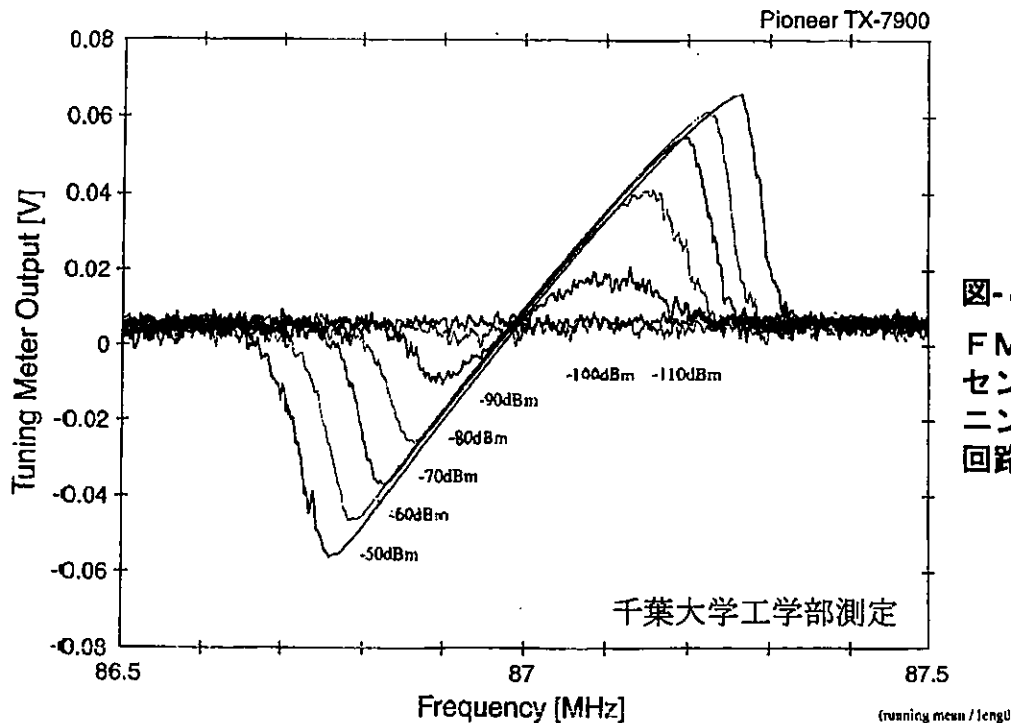


図-8
FM受信機の
センターチュー
ニングメーター
回路S字特性

一年に渡り、八ヶ岳南麓天文台のFM電波モニター(センターチューニング法)観測装置と並行して、スペアナによる比較同時観測を実施した。

結果は、地震前兆が出現している同時時間帯に、地震前兆出現観測装置と同じ周波数帯をスペアナで観測したが、いずれの場合も、ノイズレベルであるマイナス70dBmよりも強い強度の電波受信は一切観測されなかった。

上図は、八ヶ岳南麓天文台で観測に使用しているFM受信機のセンターチューニングメーターの実測値。千葉大学工学部の協力で測定。横軸は周波数で、中心周波数が受信機の設定周波数(図の場合は87.0MHz)。縦軸は直流電圧を示す。このグラフは、87.0MHz設定の受信機に様々な周波数の電波をマイナス50dBmという強い電波から、マイナス110dBmという極めて微弱な電波を入力したときのセンターチューニングメーターの電圧変化を示す。センターチューニングメーターは検波回路であるため、受信機で設定した周波数電波が受信されても電圧変動は無い。しかし、100kHz~300kHzまでの設定周波数に対し、ずれた電波が受信されると電圧変化が認められる。マイナス50dBmという強力な電波受信時は勿論であるが、全く復調(音声への変換)できないマイナス90dBm以下の極めて微弱な電波でも大きな変化が認められる。八ヶ岳南麓天文台での地震前兆観測では目標放送局周波数から100kHz~300kHzずらして観測用受信機の設定周波数を設定している。

地震前兆として観測される電圧変動は数mVであり、上図グラフの電圧変化S字曲線の線1~数本分程度である。スペアナでの同時観測でマイナス70dBmよりも強い電波受信が観測されなかったことから、本観測法で検知している地震前兆としての遠方のFM電波は、おそらくマイナス80~90dBm程度以下の極めて微弱な電波強度変化であることが示唆される。このような極めて微弱な電波の受信強度変化は、設定周波数をずらしたセンターチューニング法以外では検出することは困難と思われる。きわめて重要なデータが得られた。

なお、観測期間中に副産物的に観測された推定される地震発生領域近くのFM放送局電波の散乱受信の可能性のある変化については、興味深い。但し、この散乱電波はランダムで瞬間的現象であり、変化を見ても規模や時期を推定することは困難であると認識された。

センターチューニング法による地震前兆検知観測装置に出現している地震前兆は、 -70 dBm 以下の微弱電波受信の可能性

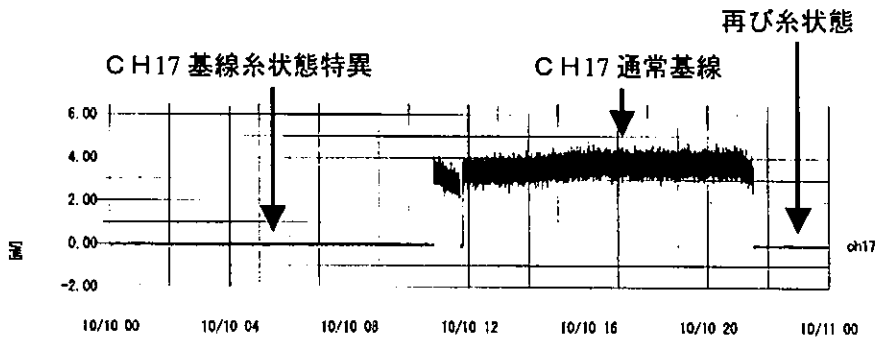


図-9 CH17の通常基線と、出現した基線糸状態の特異基線

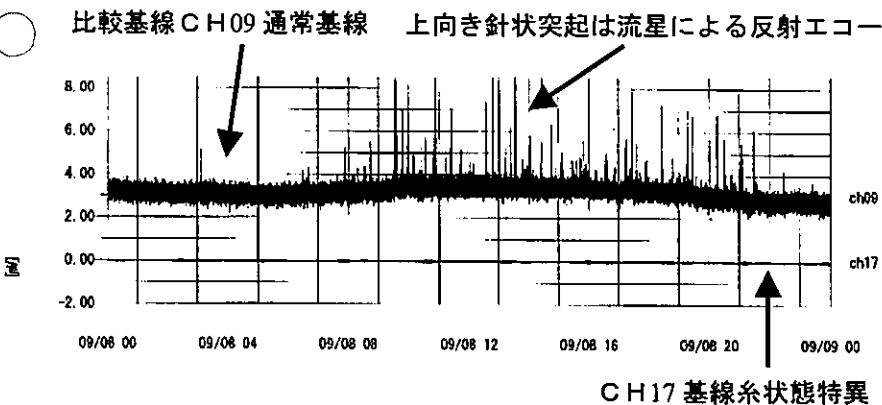


図-10 2013年9月8日のCH17 基線糸状態の特異基線

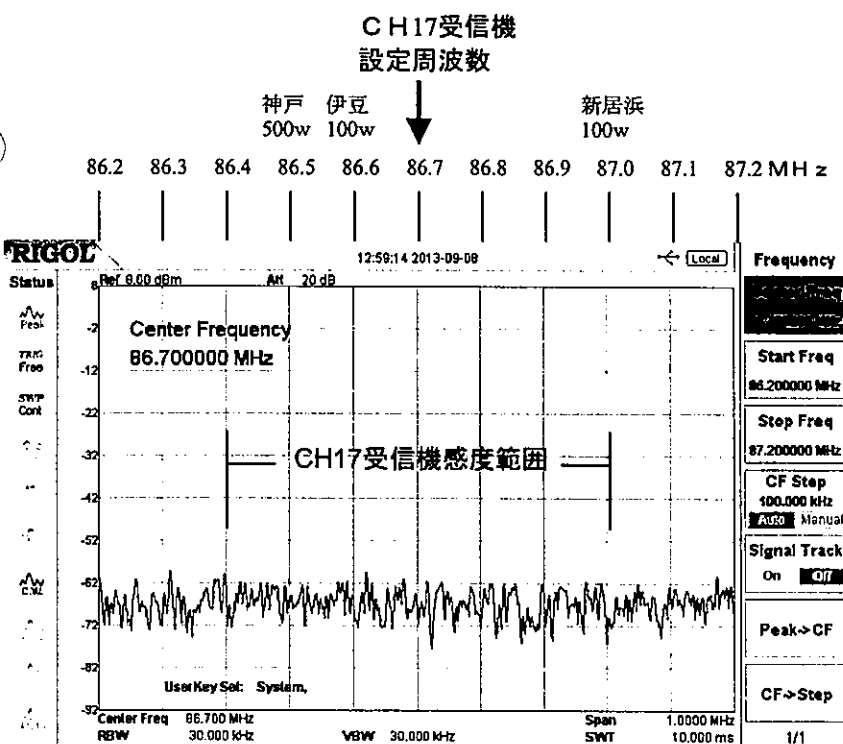


図-11 2013年9月8日のCH17 設定周波数前後のスペアナによる電波受信状況

センターチューニング法によるFM電波モニター観測による地震前兆観測では、通常は数Hzで振動して一定幅の直線基線(電圧記録)が記録される。左図-10の上側基線参照。

しかし、地震前兆形態のひとつに基線の振動が無くなり、基線が糸状態となる特異状態が観測されている。

左図-9は、八ヶ岳南麓天文台のCH17観測装置に観測された基線糸状態の特異状態出現の様子。糸状態特異が通常静穏基線に復帰し、再び糸状特異が出現している様子がわかる。

左図-10は、2013年9月8日の八ヶ岳南麓天文台のCH17観測装置の基線(下基線=糸状態)と、比較参考にCH9の通常基線(上基線)を示した。この日は24時間、CH17は基線が糸状態の特異状態が継続出現していた。

CH17観測装置の設定は、
設定周波数=86.7MHz
受信可能範囲=±300kHz

このCH17の基線が糸状態となっている理由は、受信可能周波数範囲にある、神戸500w、伊豆100w、新居浜100wのいずれかのFM放送局電波が通常より強く受信されている可能性が示唆される。この日の86.7MHz前後の周波数帯電波をスペアナで観測した結果が左図-11である。

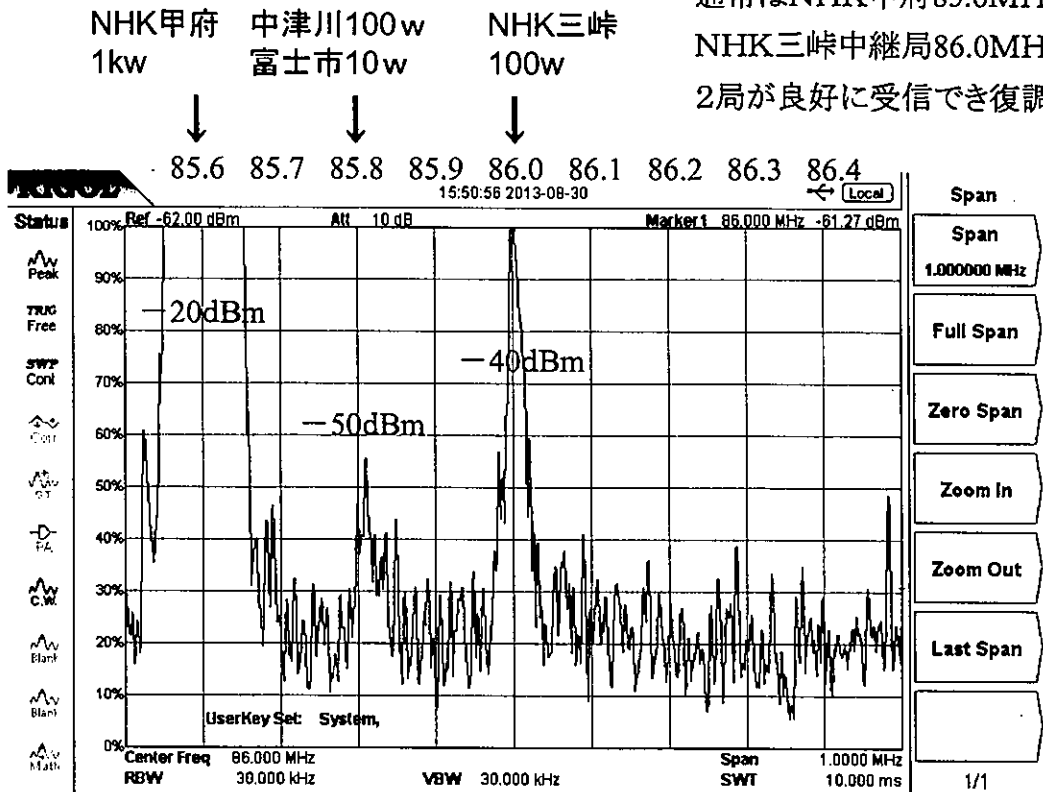
中心周波数=86.7MHz
SPAN=1MHz
リファレンス=8dBm

左図-11を見ると、ノイズレベルが、凡そ -62 dBm ~ -72 dBm であるが、86.7MHz前後の±300kHz以内の周波数帯に受信電波を示すピークは認められない。このことから糸状特異形態の地震前兆は -70 dBm 以下の極めて微弱電波で出現している可能性が示唆される。

地震前兆としての散乱電波の可能性を観測

図-15 通常の状態

通常はNHK甲府85.6MHzとNHK三崎中継局86.0MHzの2局が良好に受信でき復調できる。



85.8MHzの局電波は-50dBmと極めて微弱な電波であるため復調はできない

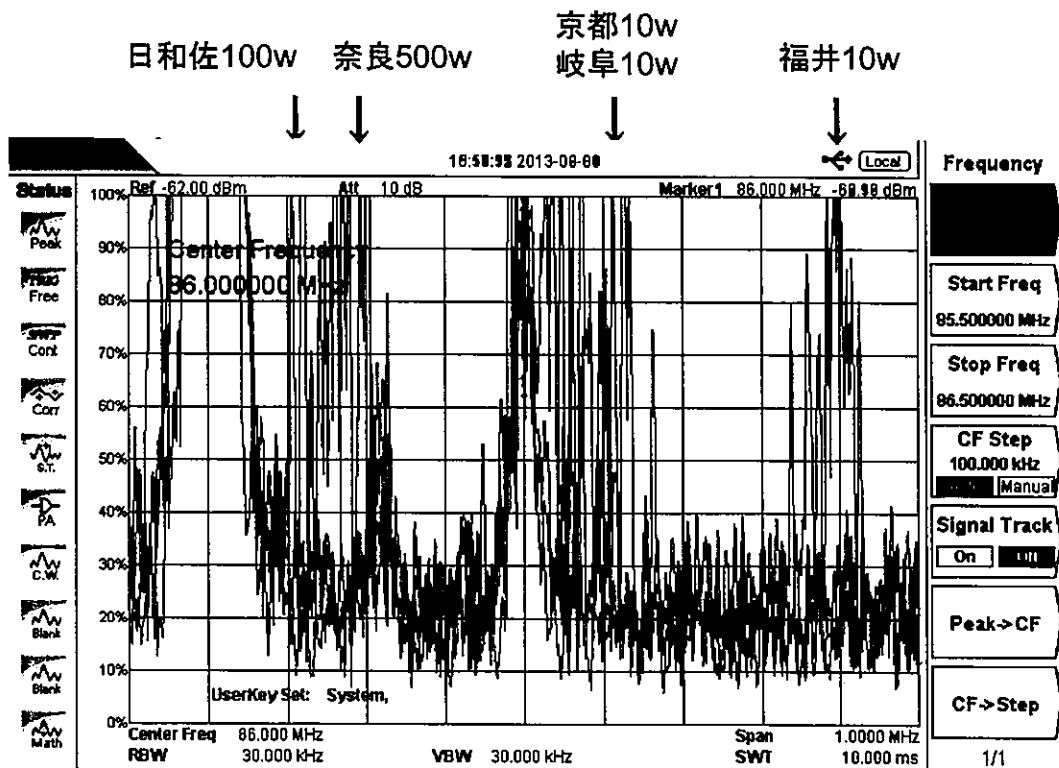


図-16 2013年8月30日と9月1日の4枚のスペアナ画像の合成画像

画像上部に記載した放送局電波が散乱され受信されている可能性(瞬間的散乱)

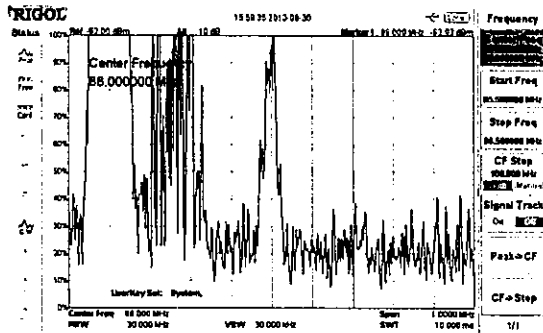


図-17 2013年8月30日15時59分

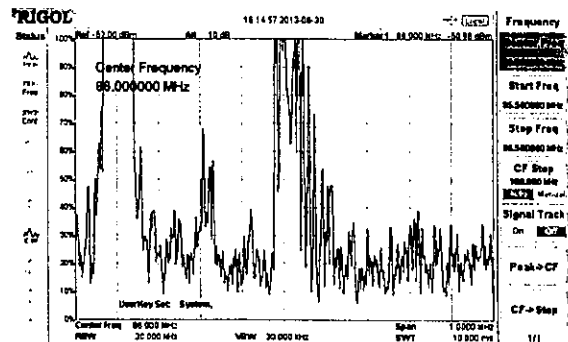


図-18 2013年8月30日16時14分

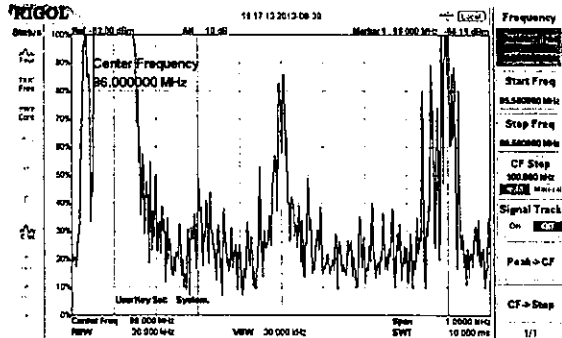


図-19 2013年8月30日16時17分

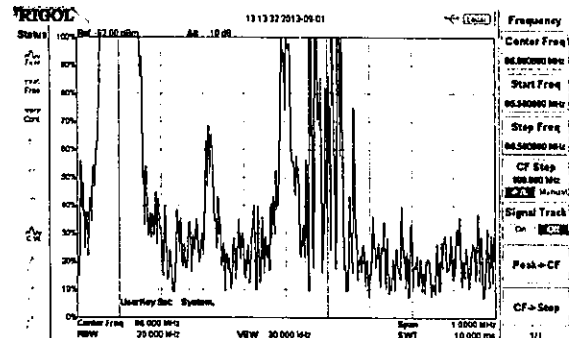


図-20 2013年9月01日13時13分

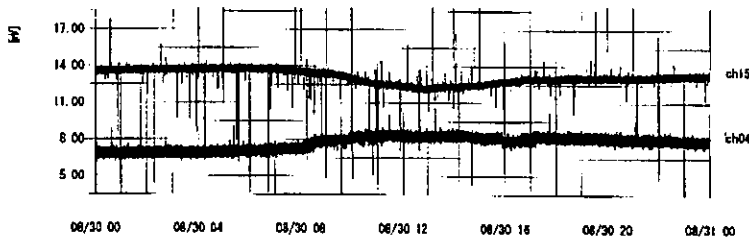


図-21 2013年8月30日 一日中スポラディックE発生は認められない センターチューニング 法記録波形

上図4枚の波形は、2013年8月30日夕刻と9月1日午後観測された散乱電波のスペアナ画像。前頁の下図-16は上の4枚の画像の合成画像
 中心周波数:86.0MHz
 SPAN:1MHz (1目盛=100kHz)
 リファレンス:-62dBm リニア表示

2013年8月下旬～9月初旬期間、中心周波数86.0MHzでスペアナでモニター観測した。通常は前頁の上図-15のとおり、NHK甲府局と中継局のみ良好に受信されるが、8月30日と9月1日に、ランダムに極めて短い時間(1秒程度)、通常は受信できないFM放送局電波が受信された。

スペアナの受信電波の波形は8頁のスポラディックEによる反射電波波形と比較すると、放送局中心周波数で中抜けになっておらず、極めてザビザビとした受信電波で、明らかに反射電波(エコー)ではなく、散乱された電波であると認識される。上図の散乱電波が観測された日には、上図-21のとおり、一日中スポラディックEの出現は認められない。図-21のCH4=89.6MHz、CH15=89.2MHz設定の観測装置だが、スペアナ記録の86.0MHz周波数帯も含め、全ての周波数帯で、上図の日にはEスポは出現していない。図-21は8頁のEスポ波形と同じCH波形を表示した)

受信された電波の周波数にある放送局は複数存在するが、各受信電波が地域的に辻褄が合うのは前頁の下図(スペアナ合成画像)の上部に記した、「奈良、京都、岐阜、福井」等の近畿圏の放送局電波である可能性が高い。この領域は、2008年7月からセンターチューニング法による地震前兆検知観測で、大型地震が今後発生する可能性が示唆される地震前兆が観測されている領域であるため、この推定される地震の前兆として瞬間的な散乱現象が観測された可能性が示唆される。但し、当該散乱電波はランダムな瞬間的出現であり、規模や時期を推定できるデータとは認識されなかった。また観測された放送局電波が影響するセンターチューニング法観測装置には既に地震前兆が出現中であり、上図の瞬間的な散乱電波は観測されていない。

まとめと展望

VHF帯域(FM)電波モニターセンターチューニング法による地震前兆検知観測は、FM受信機の検波回路である、センターチューニングメーターの電圧出力を記録し、通常静穏状態と比較して、地震前兆である異常を抽出する作業である。記録は主にアナログ式の電圧記録計ペンレコーダー(チャートレコーダー)を使用しているが、10年ほど前からデジタル記録も並行して行っている。しかし、センターチューニング回路は検波回路であるため、高周波成分が含まれているため、デジタル記録の場合は、あまり早いサンプリングを行うとペンレコーダーで目視できる変動が埋没してしまい、識別できない。また、逆に遅いサンプリング周期では、短い時間数の変動を識別することができなくなる。ペンレコーダーは応答速度がある程度遅いため、ある意味積分回路として働いている。従って、本観測法での地震前兆変動の記録には、数十秒の変動から数時間の変動まで識別できるアナログ式のペンレコーダーが最適である。このペンレコーダーの記録に近い波形でデジタル記録できれば、今後の研究資料として大変有意義なこととなる。今回の研究助成金で導入した、多チャンネル高速サンプリングデジタルレコーダーは、アナログ記録に近い形で記録することができ、今後の研究に大きく貢献すると思われる。

先にも述べたとおり、本観測ではFM受信機のセンターチューニング回路の出力電圧を記録して変動を検出している。通常は良好に受信できない遠方のFM放送局電波を目標局にして、目標局の周波数から100~300kHz離調させた受信機を用いる。わずかな周波数のずれがある場合、極めて微小であっても目標局電波が散乱されたり、反射された場合は、検知できる。他の方法ではなかなかこの変化を検出することができないが、実際、どの程度の電波強度で受信されているのか、測定できれば電離層の電子密度変化量を推定計算することも可能と考えた。そこで、ブースターを介して感度を上げたスペクトラムアナライザーの比較観測に大きな期待を持って実施した。しかし、センターチューニング法で地震前兆変動が出現している時間帯に地震前兆検知観測装置と同じ周波数帯を観測し続けたが、受信電波は一切識別検出できなかった。多数のチャンスを1年間、さまざまな周波数で比較観測したが、結果は、どの場合もスペクトラムアナライザー観測システムのノイズレベルであるマイナス70dBmよりも強い電波は検出できなかった。センターチューニング法では、通常の方法では全く検出することができないほど微弱なマイナス90dBm~マイナス100dBm程度の微弱電波でも大きな変動として十分検出できることから、今回の比較観測で得られた観測結果からも、本センターチューニング法での地震前兆検出は、他の手法では検出できない最高レベルの感度のある検知システムであることが確かであることが証明された。また、この結果から、センターチューニング法による空間的な積分観測でしか検出できないほど、電離層の電子密度変化は極めて微量(地震の規模によって変わるが)であることが判った。

今回のデジタルレコーダーとスペクトラムアナライザーの導入及び観測によって、地震前兆データの公開にもより正確なデータを示せ、多くの方が納得できる形がとりやすくなった。今後は、より多くの現象の観測解析を長期に渡り実施し、現象の物理的解明とともに、一日も早く天気予報と同様な地震予報の実現に向け、努力していきたいと考える。

謝辞

今回、財団法人WNI気象文化創造センター様の気象文化大賞を受賞させて戴きましたことに、心より厚く御礼申し上げます。また研究助成金により、デジタルレコーダーとスペクトラムアナライザーを導入して、観測研究を実施することができ、大変貴重な観測データが得られた他、有意義な結果が得られ、本観測研究に大きな前進がみられたことに、本当に厚く御礼を申し上げます。誠にありがとうございました。