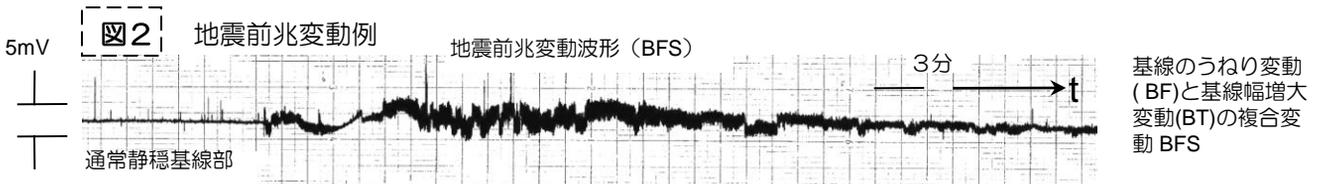
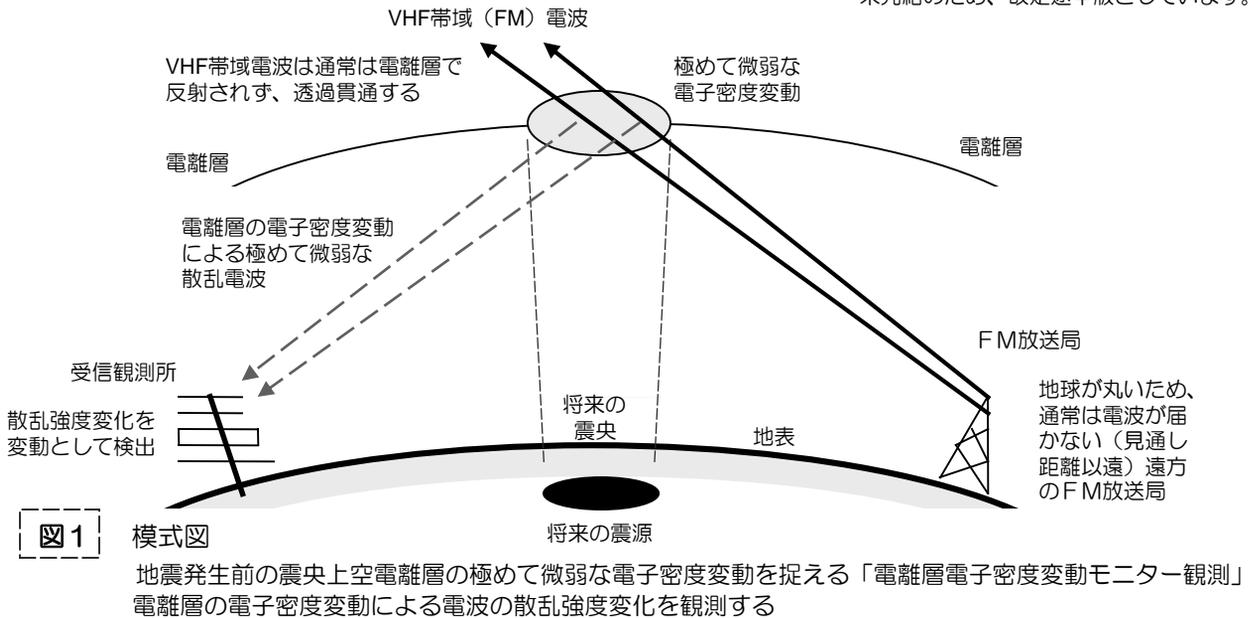


# FM(VHF帯域)電波 電離層モニター観測による 「地震・火山の予報」解説資料

2023-B 改定途中版

Yatsugatake South Base Observatory Ionosphere Monitoring Observatory  
八ヶ岳南麓天文台内 電離層モニター観測所 串田嘉男 Yoshio KUSHIDA  
〒409-1502 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

※ Chapter.13 長期継続前兆変動№1778のみ  
未完結のため、改定途中版としています。



## 要旨

当天文台は、1985年開設の光学望遠鏡を使った公開天文台です。新天体の搜索観測や精密位置観測も行ってきました。その中でFM電波を利用した流星の出現数観測も行いました。1993年、通常は直接届かない遠方のFM放送局電波の受信強度が、地震発生前に極めて微弱に変化する現象をFM電波流星観測中に発見しました。1995年の兵庫県南部地震（阪神淡路大震災）発生前にも顕著な前兆変動が観測され、これを機に観測研究を本格化し、28年の間、観測を続ける中で徐々に様々な発生地震の内容を地震発生前に推定できることが明らかとなって参りました。

本方法は、FM受信機のセンターチューニング回路（検波回路）を利用する方法です。この方法では、地震発生前に見通し距離（地球が丸いためFM電波は放送局アンテナが見える範囲までしか届きません）以遠のFM放送局電波が電離層で極めて微弱に散乱される現象を検出することができます（遠方のFM放送が聞こえる訳ではありません）。この現象の変動の様子を解析すると、地震前兆変動が弱まらないM5を明確に越える地震について、地震の3要素である「場所・規模・時期」を地震発生前に推定できる他、規模がある程度大きい地震の中には「発生時刻」の推定も可能な場合があることがわかって参りました。火山活動についても、火山近傍の震源が極めて浅い地震発生や火山噴火の場合には地震前兆とは全く異なる変動が観測されています。現在、様々な地震予測法が観測研究されていますが、本方法は、唯一日本で発見された方法であるとのことでした。

これらの現象の原因仮説のひとつとして、地震発生前、将来の震源で断層形成微小破壊が進んでいる可能性があり、微小破壊形成過程で、将来の震央地表面の電荷分布に変動が生じ、静電誘導で電離層の電子密度に変化を与えている可能性が非常に高いと思われます。今後の観測研究で天気予報と同様の地震予報の実現を目指し、いつ来るかわからないと言われている地震を事前に予報することで、地震発生前に対策準備ができ、安心して暮らせる社会を目指したいと考えます。

# 目次

	要旨	1
	目次、本資料作成にあたっての参考資料・図書、謝辞	2
	Chapter. 1 現象発見の経緯	3
	Chapter. 2 観測の方法と仕組み	4
地震	Chapter. 3 地震前兆変動の種類	8
	Chapter. 4 地殻活動以外の変動	11
	Chapter. 5 地震・領域の推定	12
	Chapter. 6 地震・規模の推定	14
	Chapter. 7 地震・時期の推定	16
	Chapter. 8 地震・発生時刻が推定できるB T-2変動	23
	Chapter. 9 火山噴火型前兆変動	24
火山	Chapter. 10 火山近傍地震前兆変動	26
	Chapter. 11 地震・火山の前兆変動についてのまとめ	28
	Chapter. 12 2011年3月11日 東北太平洋沖M9巨大地震	31
	Chapter. 13 長期継続前兆変動 №1778	32
	Chapter. 14 考察	36
	Chapter. 15 問題点と今後の展望	37
	Chapter. 16 徐々にわかってきた現象と経験則発見の年表	39
	地震前兆観測情報配信提供参加者募集・あとがき	40

## 本資料作成にあたっての参考資料・図書等

- ・「地震の事典」宇津徳治著 朝倉書店
- ・「流星とその観測」天体観測シリーズ(7) 恒星社厚生閣
- ・「流星 I」アストラルシリーズ2 恒星社厚生閣
- ・「パリティ 1995年10月号」 VHF 電波による地震予知 / 串田嘉男著 丸善
- ・「地震の科学」パリティブックス 電離層プラズマ密度変動で地震を予知する / 串田嘉男著 丸善
- ・「週刊朝日 連載記事 地震予報への道 / 串田嘉男著」2001年 朝日新聞社
- ・「日経サイエンス 2001年11月号」 地震予知は可能か / 串田嘉男著 日経サイエンス社
- ・理化学研究所論文集 On a possibility of Earthquake forecast by radio observation in the VHF band / Kushida 1998
- ・理化学研究所論文集「International Frontier Research Group on Earthquakes Final Report 2003年」  
On a possibility of Earthquake forecast by radio observation in the VHF band / Kushida
- ・大気電気学会「電磁気地震論文集 2002年 Vol.22」 on a Possibility of Earthquake forecast by radio observation in the VHF band / Kushida
- ・PHP新書「地震予報に挑む」串田嘉男著 2002年発行 PHP研究所 講談社出版文化賞受賞作
- ・PHP新書「地震予報」串田嘉男著 2012年発行 PHP研究所
- ・「周波数帳」ラジオリフ ミオブックス
- ・「理科年表」 国立天文台編 丸善
- ・国土地理院 三角点測量データ
- ・ウエザーニュース WN I 気象文化創造センター 気象文化大賞受賞報告書 八ヶ岳南麓天文台・串田嘉男作成
- ・地震前兆検知公開実験「地震前兆検知実験観測情報・地震前兆変動検知観測情報」 配信資料 №0 (1995年7月) ~ №3391 (2023年06月)
- ・地震震源情報：気象庁発表暫定値
- ・火山活動情報：気象庁発表資料
- ・地震メカニズム解：防災科学技術研究所

## 謝辞

本資料は1995年の観測研究本格化から現在に到るまで、本観測研究を支援して下さっている地震前兆検知公開実験の参加者の皆様のおかげでまとめられたものです。お一人お一人のお名前は記せませんが、公開実験参加の皆様のご支援・ご声援がなければ、様々な現象の発見や経験則の発見はありえません。公開実験参加の皆様にも、ここに謹んで深く感謝の意と御礼を申し上げます。ならびに遠隔観測所の土地をお貸し下さりご協力下さっております、秋田の福田様、高知の里見様、また初期に大変お世話になりました、当時の理化学研究所計算科学研究室の先生方、千葉大学工学部の先生方、特に本観測研究に対し厚い声援・ご指導を賜りました東海大学の故上田誠也先生に心より厚く感謝申し上げます。

また、PHP新書「地震予報」読者の皆様へ出版以降の№1778長期継続前兆の変化続報をホームページで公開し続けています。PHP新書のフォローページ作成の提案・手配をして下さりました茂木様、HP作成並びに続報更新アップロードをし続けて下さっています、並木様にも心より厚く感謝申し上げます。

本資料中に記載しました地震の震源情報・火山情報は全て気象庁発表地震暫定値・火山情報を使用させて戴きました。地震のメカニズム解は防災科学技術研究所発表資料を参考にさせて頂き戴きました。心より感謝申し上げます。 串田嘉男

# Chap.1 現象発見の経緯

図3 基線が太くなる変動例

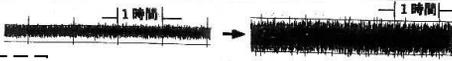


図4 基線のうねり変動例

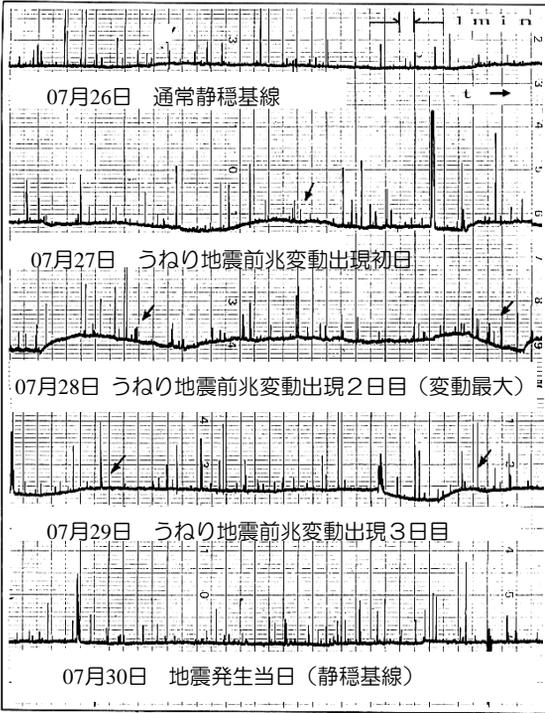
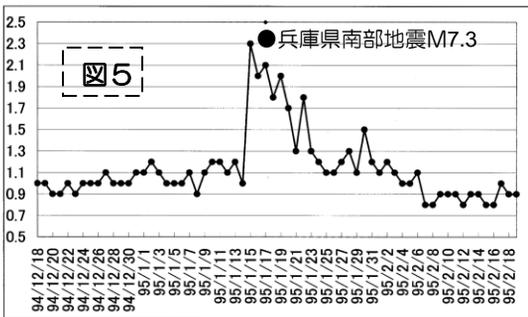


図4の解説 1995年07月の観測基線

最上段基線はほぼ真っ直ぐな基線ですが、2段目基線にはゆるやかな変動が現われています。3段目基線では基線のうねり変動が最大になり、4段目では変動は弱くなっています。5段目では変動は消え、正常静穏基線に戻っています。5段目の07月30日に茨城県南部M5.0が発生しました。図の基線のうねり変動部には小さい矢印を記してあります。



1995年兵庫県南部地震前の基線幅増大変化グラフ

1995年01月14日夜から基線が太くなりました。3日後の01月17日、兵庫県南部地震（阪神淡路大震災）が発生。当時は深夜0時～朝5時までFM電波流星観測を実施。図5の15日は14日夜を表しています。14日夜に最大値を観測。余震活動が収束する02月初旬迄基線幅増大は弱まりながらも出現し続けました。グラフが下がる途中に小さなピークが見えますが、ピークの2～3日後に大きな余震が発生しています。



サハリン地震前兆変動を観測した観測室と当時の筆者

## 1993年 観測開始直後 奥尻島地震発生 直感

1993年夏、スイフト・タトル彗星を母天体とするペルセウス座流星群が大出現する可能性があり、天候に左右されないFM電波を利用したFM電波流星観測を開始しました。テスト観測初日、基線が太くなる変動が観測されました。（図3は当時のものではありませんが、参考）その数日後に奥尻島で大きな地震（奥尻島地震本震後の大余震）が発生しました。地震発生前の前兆現象の可能性を直感しました。

## 2年間 地震との相関を確認

その後の観測で図4に示すような基線のうねり変動も、ある特定地域の地震発生前に観測されるという相関に気づきました。

## 1995年 兵庫県南部地震

1995年の兵庫県南部地震前にも基線幅増大（図5参照）が観測されました。大きな余震の2～3日前にも基線幅増大が観測され、地震活動との相関を確信し、記者会見で発表するも地震学者からは、その様な現象は考えられず、流星エコーを見間違えたのだろうと否定されました。その後、検証するため、FM電波流星観測用の観測装置を地震前兆変動検出用に1台から3台に増設し、観測を続けました。（図6、7参照）

## 1995年 サハリンM7.6地震

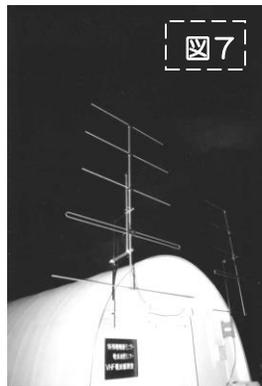
同年05月24日、3台に増設した観測装置に大きな地震前兆変動を捉え、3台の観測装置から北海道方向で05月27日頃にM7以上の地震発生の可能性を推定し、各報道機関に通報するも信じてもらえませんでした。しかし推定通り05月27日に北海道の更に北のサハリンでM7.6の大地震が発生しました。

## 観測の本格化

その後、観測装置をさらに増設（図8参照）し、観測を続ける他、車に観測装置を積んだ移動観測で遠隔観測の有効性も確認。秋田・高知に遠隔観測点を開設。長期に渡る観測研究を続けて参りました。

長年観測するにつれ、M5を大きく超える規模の陸域地震の前兆変動は良好に検知できるが、海域の地震は前兆変動が弱まること、高知観測点に北海道の地震の前兆変動が観測されることから、変動の原因領域の高さは地球の丸みを考慮して、電離層の高さでないと説明ができないことなどが判った他、地震の規模・領域・時期等、様々な内容を地震発生前に推定できる経験則や経験式が徐々に明らかになって参りました。

※地震前兆変動が出現している際に、同じ周波数帯をスペクトラムアナライザー（周波数分析器）を使用して観測しましたが、-80dBmより強い電波の変動は検出できず、地震前兆変動は極めて微弱なことが判り、驚異的な検出能力を示すセンターチューニング法による観測が極めて有効であることが確認できました。



観測装置を3台に増やした頃の手作りの観測室と観測用のFMアンテナ 1995年



ペンレコーダーが並び観測室 1996年

# Chap.2 観測の方法と仕組み

電離層は 高度 60km～ 90km D層  
 高度 90km～ 130km E層  
 高度 130km～ 210km F1層  
 高度 210km～1000km F2層  
 に別けられています。ISS（国際宇宙ステーション）の廻っている高さは約400km。

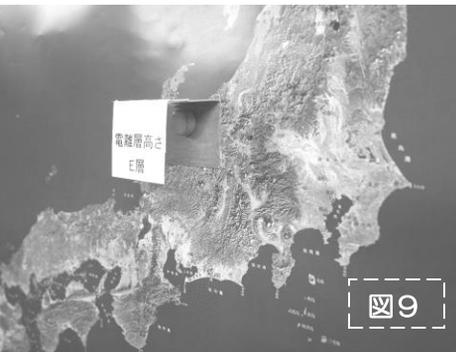


図9

地表から100km上空は電離層E層。大気は殆ど無く、宇宙空間の渚（NHK番組での表現）とも呼ばれています。電離層は宇宙空間で、非常に高いというイメージがありますが、上図の地図に対して白い紙の高さが電離層E層の高さです。東京都心から山梨県甲府市までの距離を上空に向ければ、そこは電離層（宇宙空間）です。意外と低いことがわかります。

図10の上図、FM放送で使われる超短波（VHF=Very High Frequency）電波は波長が短く電離層を突き抜けるためアンテナの見える範囲までしか届きません。

ところが、流星が電離圏に突入すると（数十～百数十kmの高さ）、流星突入経路上の酸素や窒素を電離させ、電波を反射させる状態（プラズマチューブの形成）になりますので、通常は届かない遠方のFM局電波が一瞬ですが受信できます。この現象を利用してFM電波で流星出現数を計測することができます。これがFM電波流星観測です。

図10の下図、VHFより周波数が低い（波長が長い）短波電波は電離層と地表で何度も跳ね返され、遠方まで届きます。

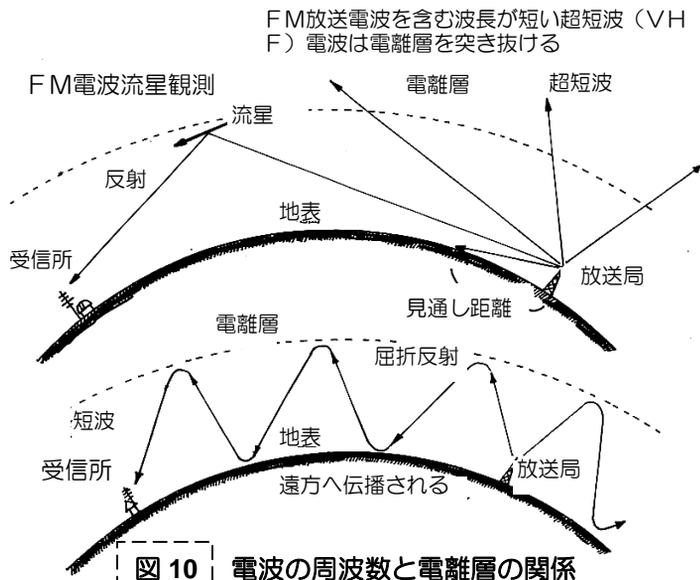


図10 電波の周波数と電離層の関係

## 地震発生前に電離層が微小に変化する現象を捉える

地表から100km前後より高いところは大気が殆ど無く、わずかにある大気を構成する酸素や窒素などの物質は太陽光線や宇宙線等によって電子が分離して自由に動ける状態になっています。これを電離した状態＝プラズマ状態といいます。ここが電離層です。

電波には様々な周波数がありますが、周波数が低い短波電波はこの電離層で跳ね返され、地表でも跳ね返されるために、電波は放送局から遠方まで届きます。しかし周波数の高いFM放送電波を含む超短波（VHF）や極超短波（UHF）電波は電離層では反射されず、そのまま突き抜けます。地球は丸いため超短波（VHF）より周波数の高い電波は概ね放送局アンテナが見える範囲までしか届きません。（図10参照）

天文の話になりますが、流星物質は彗星や小惑星から放出された数ミリ程度の星のかけらです。この流星物質が音速を超えるスピードで宇宙空間から地球に飛び込んでくると、真空の宇宙空間よりは、わずかに地球大気がある電離層で一瞬地球大気を強く電離させて光ります。このため超短波（VHF）帯域電波であるFM放送の電波は流星によって瞬間的に反射され、放送局アンテナが見えない遠方まで届きます。この現象を利用したのがFM電波流星観測です。

1993年にこのFM電波流星観測を開始したとき、地震発生前に流星による電波反射とは異なる変動が現われることを発見しました。これは電離層が微小に変化する現象と考えられます。地震発生前の電離層の変化は極めて微小で捉えることは困難ですが、ある特殊な方法で捉えられることがわかりました。

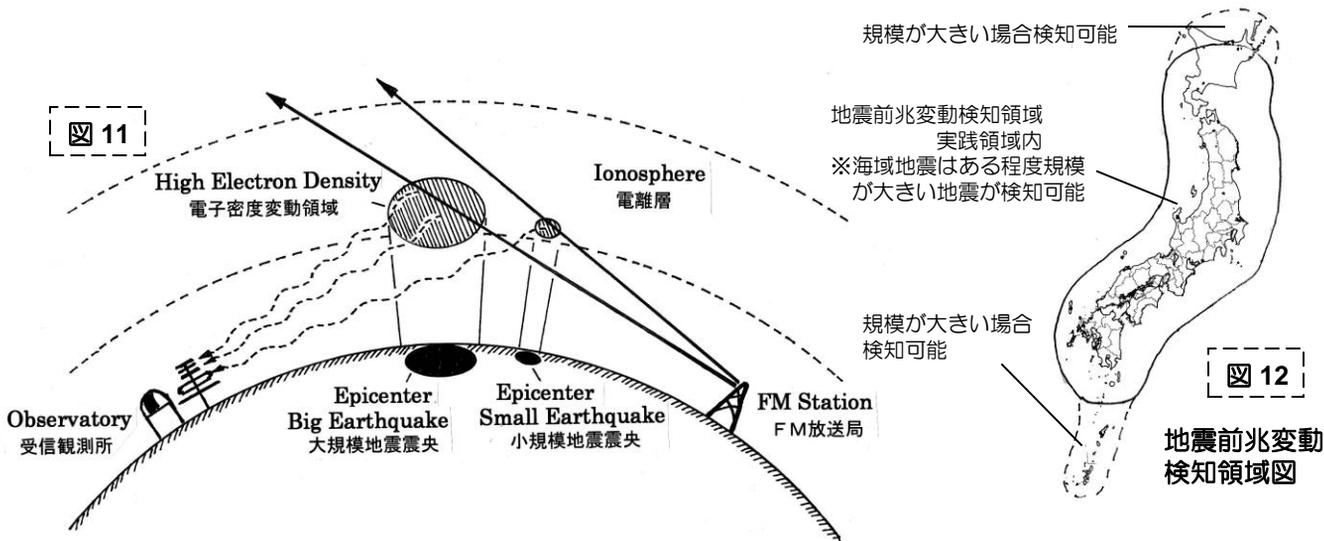


図11

図12

地震前兆変動観測は  
センターチューニング  
メーター 搭載のFM  
信機を使用

観測システムは図13  
のとおり。観測に使用で  
きる受信機はセンターチ  
ューニングメーターが付  
いたFM受信機です。

5素子のFMアンテナ  
を天頂方向に固定し、5  
CFVケーブルで受信機  
に接続します。受信機の  
センターチューニングメ  
ーターの出力を記録器に接  
続するという簡単なもの  
です。

図13の観測システムと  
目標局で、一基の観測装  
置となります。ハケ岳南  
麓天文台に16基の観測装  
置があり（16本のアンテ

この図のアンテナ感度  
面方位角 $\theta$ は放送局方  
位とアンテナ感度面中  
心方位との角度を表す

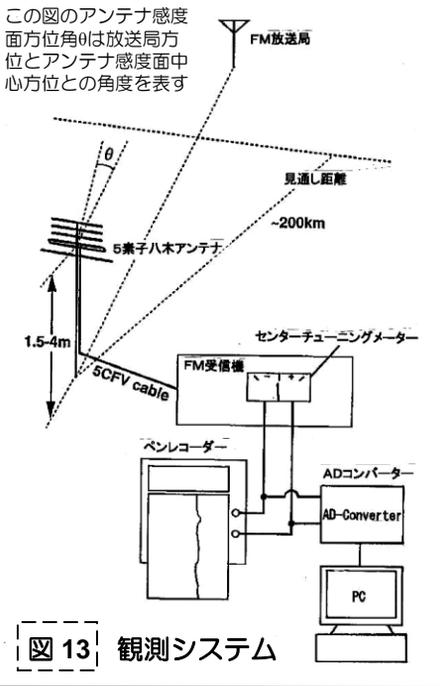
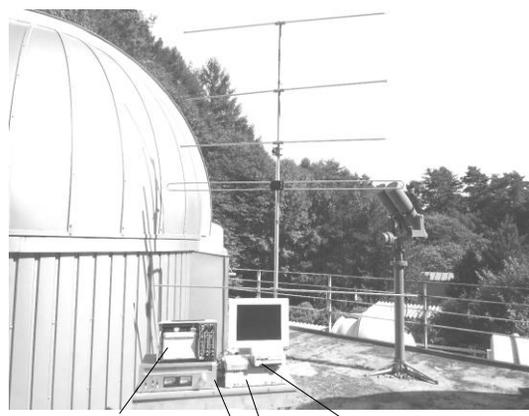


図13 観測システム



ペンレコーダー  
デジタル記録よりアナログ  
式ペンレコーダーの方が地  
震前兆変動は見やすい

PC アナログ→デジタル変換器  
サンプリング周期：500~200ms.

センターチューニングメーター  
搭載のアナログ式FM受信機

図14 実際の観測装置例

ナ・16台の受信機）、無人遠隔観測所として、図17のとおり、秋田観測点に6基、高知観測点に8基の観測装置を設置し、図16に示した全国各地のFM放送局電波を目標局として（直接波が入らない状態）常時モニター観測しています。

アナログ記録とデジタル記録

受信機のセンターチューニングメーター出力電圧を記録する記録計は観測開始当初1993年から2018年迄アナログ式ペンレコーダーを主に使用していました。ペンレコーダーは応答速度に限界があり、細かい周期の変動には追いつけず（図15参照）、レコーダー自体が積分回路として働き、地震前兆変動が検出しやすい状態となっていたと考えられます。現在は全てデジタル記録ですが、デジタル記録計を使用する場合はペンレコーダーの状態に近い設定にする必要があります。受信機のセンターチューニングメーター出力には高周波成分が含まれているため、早いサンプリング周期に設定すると地震前兆変動が見えなくなります。



図15 ペンレコーダーの  
応答特性・実測値

図17 受信観測所

- 秋田観測点  
秋田県横手市山内  
(6基)
- ハケ岳南麓天文台  
山梨県北杜市大泉  
(16基)
- 高知観測点  
高知県須崎市浦之内  
(8基)

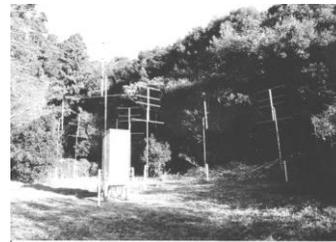


図18 高知観測点の  
アンテナサイト

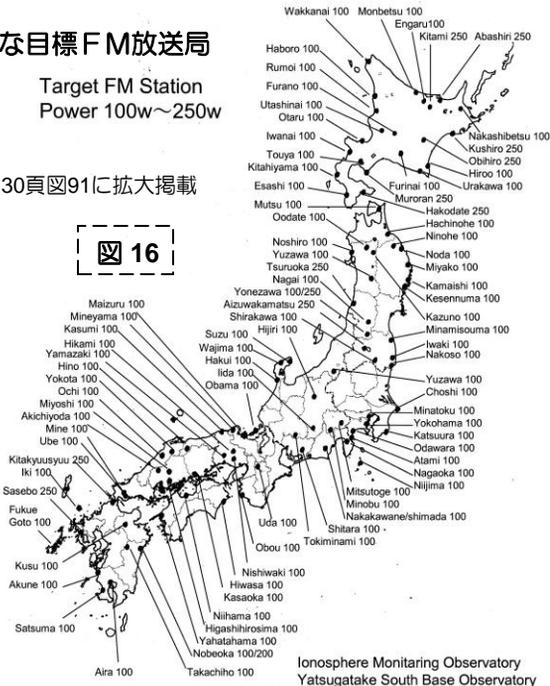
FM電波の波長が4m程であることを考慮し、観測用FMアンテナは干渉しないように各々5m以上離して設置。アンテナサイト左側に受信機が入っているボックスが見える。ここから約50m離れた所に観測記録通信用PCが設置してある。信号線は50m以上伸ばしても問題ない。

主な目標FM放送局

Target FM Station  
Power 100w~250w

30頁図91に拡大掲載

図16

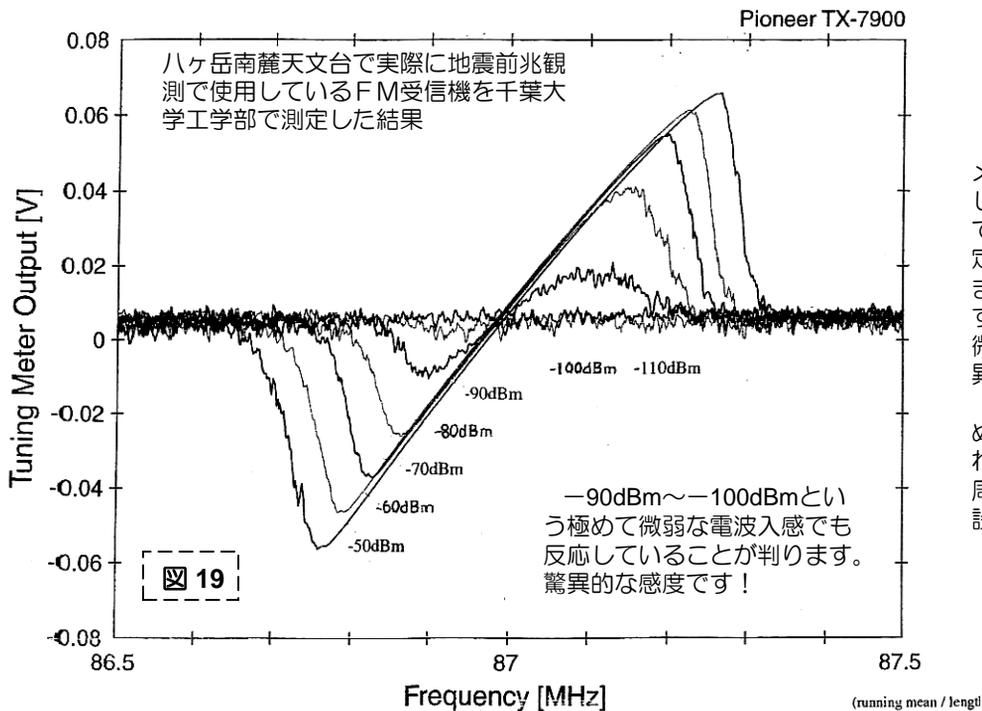


地震前兆変動を捉えるには出力100W~250WのFM放送局電波が最適。良好に検出できる地震前兆変動は前兆規模M5以上

地震前兆変動が明瞭に出現するのは、放送局の出力が100W~250WのFM放送電波であることが実際の観測から判りました。受信観測所に直接波が届かない遠方の100W~250WのFM放送局を目標局として24時間365日モニター観測を続け、地震前兆変動の検出を行っています。良好に検出できる地震前兆変動は前兆変動が減衰しない前兆規模でM5.1±0.1以上です。

垂直偏波と水平偏波

放送電波には地面に対し波が垂直な垂直偏波と、地面に対し波が並行な水平偏波がありますが、流星観測でも地震前兆変動観測でも、垂直偏波電波より水平偏波電波の方が良好な結果が得られています。



センターチューニングメーターは、受信機で設定した周波数の電波を受信しても無反応です。しかし設定した周波数から±300kHzまでのわずかでも周波数がずれた電波を受信した際は、微弱であっても反応し、驚異的な感度で検出できます。

微弱な電波を検出するためには、目標周波数から、わざと 100kHz~300kHz 周波数をずらして受信機を設定することが重要です。

### センターチューニングメーターのS字特性

#### どのようにして地震前兆としての微弱な電波が検出できるのか？

#### FM受信機のセンターチューニングメーター

FM受信機は、搬送波（各FM局の周波数）と呼ばれる中心周波数電波に音声や音楽の信号成分を周波数の変化（変調＝中心周波数からずれた周波数成分）として載せて送信しています。周波数を変調した放送なので、周波数変調＝Frequency Modulation 略してFMと呼ばれています。FM受信機は、この中心周波数からずれた周波数成分を検出して増幅します。このずれた周波数成分を増幅すると、元の音声や音楽となって聞こえる（復調といいます）という仕組みです。

アナログ式のFM受信機は受信された電波を一旦10.7MHzに変換し、受信機内部の局発回路で作った10.7MHzとリファレンスします。FM放送を復調（音声や音楽として出力）させるには、受信された電波の中で設定周波数からずれた周波数成分を増幅して音声や音楽に変換するという仕組みになっています。このずれた成分を設定周波数に対して±300kHzまでの受信電波の位相を検出し、周波数のずれ成分を検出します。

（注：もともとセンターチューニングメーターは、アナログ式受信機で放送局の電波の周波数に受信機の周波数を正しく合わせるための装置です）

図19は設定周波数からずれた周波数電波を検出するセンターチューニングメーターのS字特性です。設定周波数に対して僅かでもずれた電波成分は電圧変化として出力されています。センターチューニング回路は設定周波数からわずかでもずれた周波数電波の受信強度が変化した場合、出力電圧が大きく変化します。つまり、通常の状態より散乱強度が変化した場合、電圧変動として検出できます。

図19の横軸は周波数を示し、縦軸はセンターチューニングメーターの出力電圧を示します。この受信機の設定周波数は87.0MHzに設定しています。受信機の設定周波数に対し±300kHz内の電波が入ったときに出力電圧変化がS字型になっています。電波の強さによってS字が何本も記録されています。

電波の強さ（電波強度）の単位はdBm。数字が大きいくほど電波強度は弱くなります。通常FMラジオで放送が聞こえる電波強度は-50dBmくらいまでで、それよりも電波強度が弱い（マイナスの数字が大きくなる）と放送は聞こえなくなります（復調できない）。

しかし、センターチューニングメーターは-90dBmという全く放送は聞こえない（復調できない）極めて微弱な電波でも設定周波数から±300kHz内でずれていれば良く反応していることが、図19でわかります。つまり、センターチューニング回路は鋭敏で性能の良い検出器として働きます！

ちなみに地震前兆変動としての電圧変動は数mVです。図19の縦軸の電圧単位はひと目盛りが20mVですから、地震前兆変動は図19のS字の線1本～数本分程度の変動となります。これを検出します。また、地震前兆変動観測には、FM放送電波を利用していますが、重要なのは搬送波で、音声や音楽等の放送は必要ありません。

注) 本観測ではセンターチューニングメーターの出力電圧を記録した際、直線を記録しますが、これを基線と呼びます。

## 観測ではFM受信機のセンターチューニングメーターの出力電圧を計測します

図20は実際のセンターチューニングメーターの出力電圧をアナログ式のペンレコーダーで記録させた波形です。真っ直ぐな基線に幾つかの突出変動が見られます。但しこの基線には地震前兆変動は現われていません。

基線の下にセンターチューニングメーターのS字特性図を参考までに入れてみました。

図20の場合は八ヶ岳南麓天文台の受信機の設定周波数を77.2MHzに設定した基線です。ペンレコーダーに記録される基線は設定周波数を示します。わずかに基線が振動して、ある一定の太さの直線基線を描きますが、これは通常でも電離層で極々わずかに電波が散乱されているためと考えられます。

設定周波数の77.2MHzの電波が受信されても反応せず直線基線のままですが、低い側77.1MHz（FM仙台5kW）の電波が受信されると基線左側へ、高い側77.4MHz（飯田局100W等）の電波が受信されると基線右側に反応が出ます。

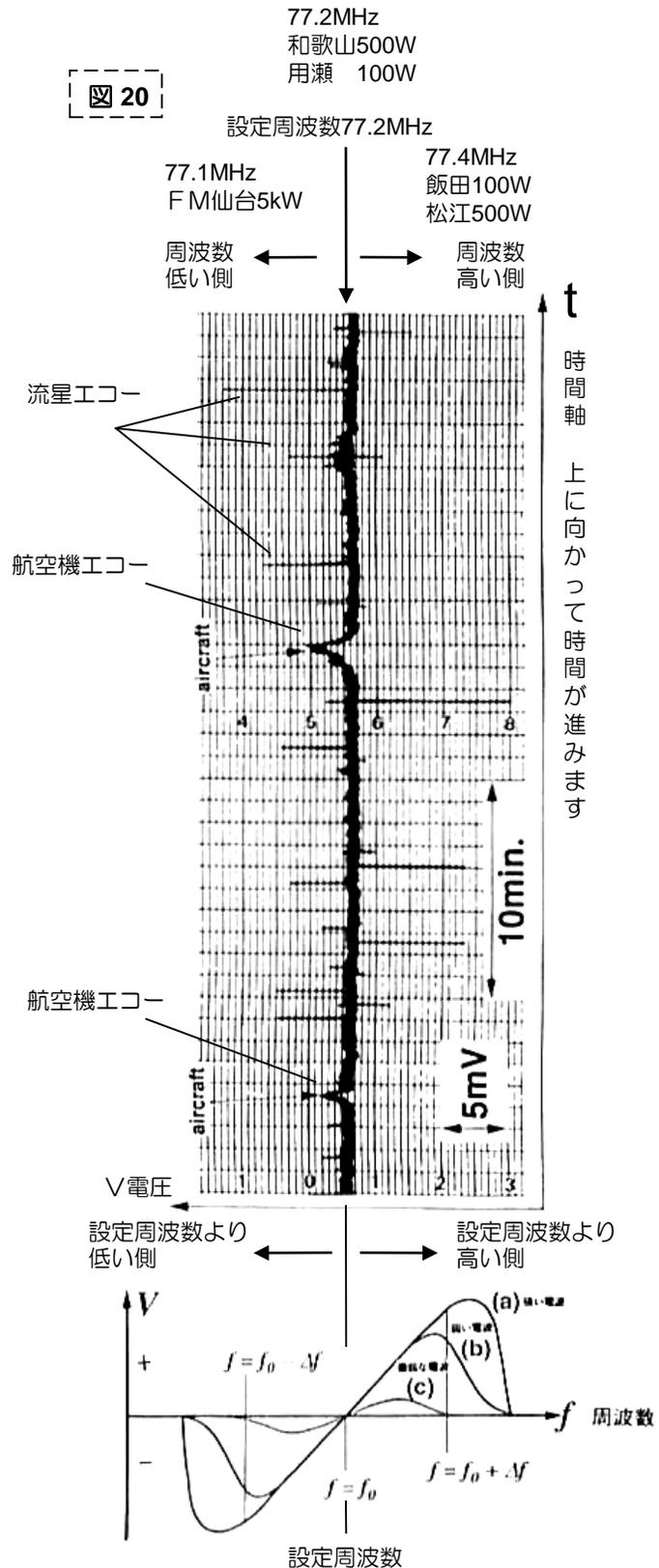
図20の基線から左右に飛び出した線は、普段は八ヶ岳では受信できない前述の遠方のFM放送局電波が流星によって一瞬反射され受信されたもので「流星エコー」と呼びます。基線左側の盛り上がるような山形の変動はFM仙台の電波が航空機の金属ボディによって反射されたもので、「航空機エコー」とよびます。繰り返しになりますが、図20の基線には地震前兆変動は現われておらず、極めて静穏な基線です。図20の基線記録は、FM仙台局を目標局として流星出現数を観測するために録ったものです。

流星観測ではセンターチューニングメーターを使用した観測法が一般的です。この場合、必ず受信機の設定周波数を目標放送局周波数から100kHz~300kHzずらして観測します。

※センターチューニングメーター出力電圧を電圧記録計（ペンレコーダー等）に接続する場合、接続の向きを必ずしも図20と同じようにする必要はありませんが、接続後はシンセサイザー（周波数設定電波発信器）を使用して、設定周波数に対して高い側、低い側の周波数電波が基線のどちら側に出るかを必ず確認します。

※FM電波流星観測にはセンターチューニング法の他に受信強度（シグナルメーター）を記録する方法もありますが、受信強度計の記録では、センターチューニング法より感度ははるかに劣るほか、様々な電磁波ノイズが入るため、推奨されていません。センターチューニング法は設定周波数に対し±300kHz内の電波が受信されない限り、ノイズが入らないため良好な観測が可能です。

## センターチューニングメーター出力電圧の実際の基線とS字特性を並べて表示



# Chap. 3 地震前兆変動の種類

本資料では、BF変動・PBF変動・BT変動等を単にBF・PBF・BT等と表すこともあります。

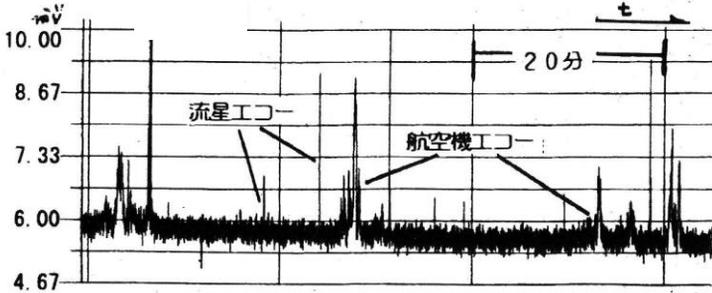


図 21 通常静穏基線 (Normal Baseline)

通常の基線は数Hzの振動で一定幅の直線を記録します。上向きに突出している変動は流星と航空機によって放送局電波が反射されたもので、各々流星エコー・航空機エコーと呼ばれます。

受信機は温度補償がないため、気温の変化で屋頂を中心に基線電圧値がゆったりとした日周変化をする場合もあります。

## BF 変動 (Baseline Fluctuation Anomaly)

基線のうねり変動。数十分～数時間の変動。地震規模とBF変動の変動面積に直線相関があるため、過去例との比較から規模推定が可能です。規模誤差は±M0.5。極大時に出現するBF変動の出現時刻は地震発生時刻と数時間以内で近似する場合があります。当初は電離層の電子の充放電変動の可能性（放電変動が良く現われている）を考えた。実際に充放電であるかは未確認。

## ステップ状 ボーダー-BF 変動

BF検知円限界（ボーダー）近くに震央がある地震の場合及び、BF変動が微弱化した場合には、BF変動の曲線部が伸びていき、ステップ状変動となる変化が認められます。

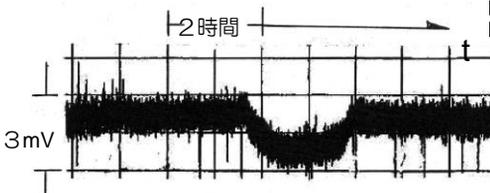


図 22

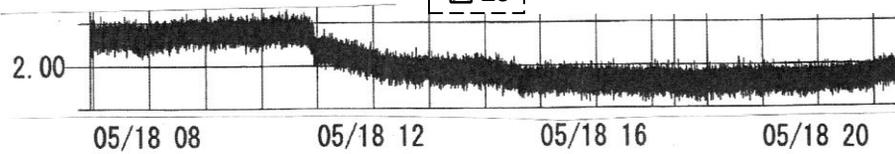


図 23



図 24 PBF 変動 (周期的連続BF)

(Periodic Baseline Fluctuation Anomaly)

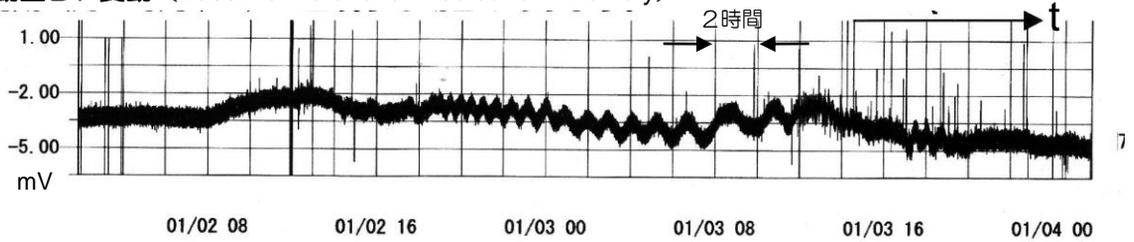
基線の周期的連続うねり変動。周期は数十秒から数時間。集中出現した場合には、出現継続時間計と地震規模に直線相関が認められます。出現継続時間計 =  $PBF(h)$  規模 =  $M$  としたとき、 $\text{Log } PBF(h) = 0.5M - 1.8$  (経験式) で発生地震の規模が推定可能な重要な地震前兆変動です。気象庁暫定値規模  $M_j$  に対する予報規模の誤差は、±M0.3と良好な相関です。

下図25は様々な周期のPBF変動波形観測例。PBFの周期は地震によって様々ですが、周期が数時間の観測例もあります。極大時に周期が伸びることもあります。

図 25 様々な周期のPBF変動波形観測例

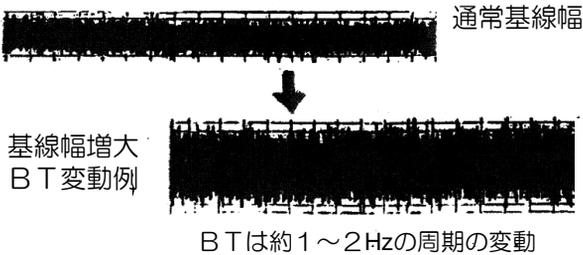


図 26 振動型BF変動 (Baseline Vibrational Fluctuation Anomaly)



時間経過と共に周期が伸びる(変動値はあまり変化しない)基線のうねり変動です。M7以上の大規模地震の前兆変動として出現する。東北太平洋沖地震の前兆変動として初めて観測されました。複数の観測装置に時刻が同期して出現(全く同じ波形とはなりません)する場合があります。前頁に記したPBF変動同様、出現継続時間計と規模との間に相関がある可能性が考えられます。まだ観測例が少ない。

図 27 BT変動 (基線幅増大変動) (Baseline Thickness Anomaly)



基線の幅が通常より増大する変動。M5以上規模の地震の場合に出現することが多い。BTはBF極大時期に出現する「BT-1」と、極大後に長期間出現する「BT-2」があります。BT-2は長期間出現した場合、24時間一定で現われるわけではありません。数日に渡って継続出現した場合に基線を並べますと、一日の中にもBTの出現・終息の変化が現われることがあります。この変化の時間帯は、一日の中に2回の一定の時間帯として見えてきます。このどちらかの変化時間帯が地震発生時刻と近似するため、地震発生時刻を推定できる場合があります。

特異変動 (Differential Anomaly)

特異変動は顕著な場合は基線の振動がなくなり糸状態となります(図28)。糸状基線にならないが、顕著な変動もあります(図29)。弱い特異変動は糸状態とならず、不規則不安定な変動となります。また、図31の様にBF変動に非常に似たBF特異変動もあります。BF変動とBF特異は変動の始まり部分で識別します。図30模式図のAとBの形が異なります。AはBF変動。BはBF特異変動です。識別が難しい場合もありますが、BF特異はBF変動より頻繁に出現します。さらに、図32の様なPBF特異変動もあります。曲線変動の連続ではないことで、PBF変動との識別を行います。PBF特異変動は、長期間長時間出現することがあり、PBF変動の様な規模との相関は認められません。これらいずれの特異変動はM6規模以上地震の前兆変動として出現することが多い。

図 28 糸状特異変動

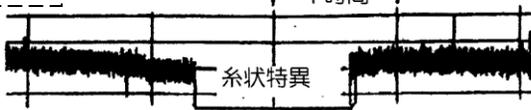
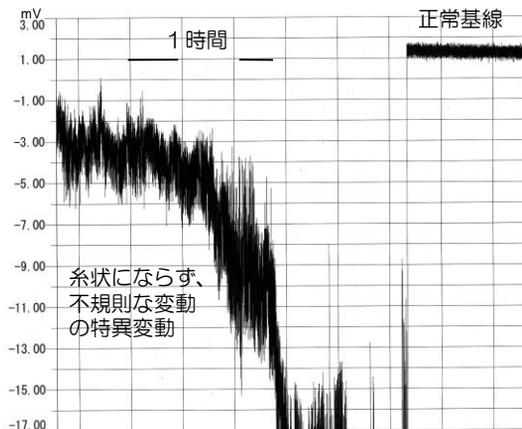


図 29 顕著な不規則特異変動



BF前兆変動

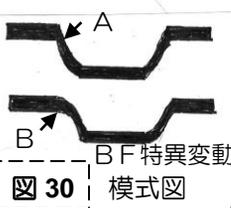


図 31 BF特異変動

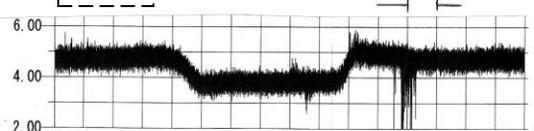


図 32 PBF特異変動

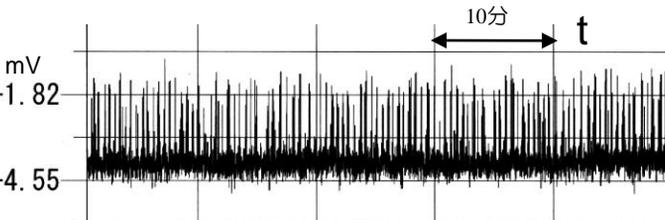
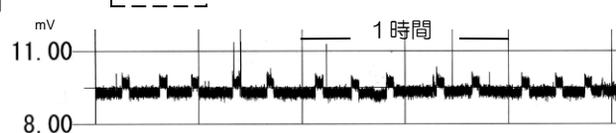


図 33 櫛歯変動 (Comb teeth Anomaly)

基線に櫛歯状の突出変動が連続する変動。群発地震や震源が特に浅い地殻地震の前兆変動として出現します。活動領域に近い観測点に強く出現する傾向が認められます。

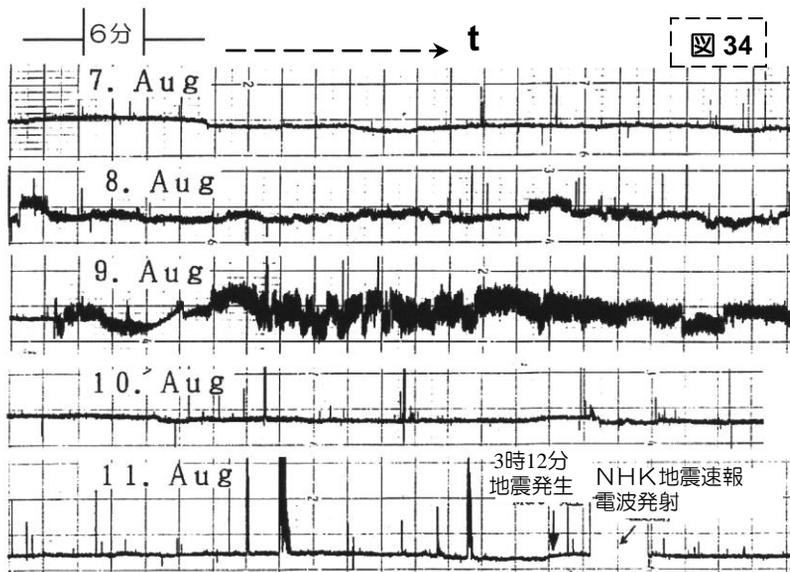


図 34

BF変動とBT変動のコンビネーション

BFにBT成分が加わった  
BFS変動波形観測例

主な地震前兆変動を示してきましたが、左波形のように基線のうねり変動BFに基線幅増大BTが混合して出現する場合があります。

図34は1996年08月11日に発生した秋田県内陸南部地震M5.9の前兆です。極大は08月09日。発生は11日です。この観測例では前兆変動極大～地震発生までの時間は2日です。

図34の例はBF変動を主にBT変動成分が加わったものです。  
逆にBT成分を主にBF成分が加わるものもあります。

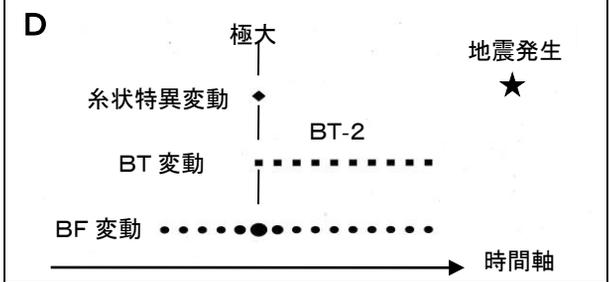
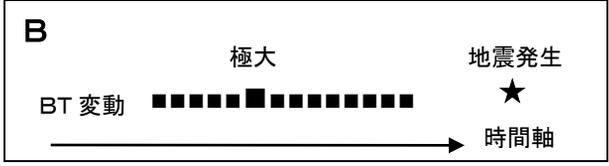
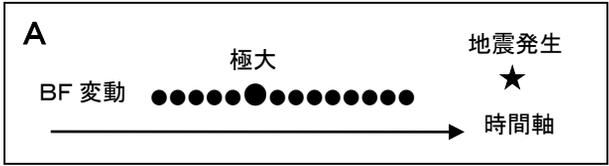
- BF変動にBT成分混合＝BFS変動  
(Baseline Fluctuation dominant superposed Anomaly)
- BT変動にBF成分混合＝BTS変動  
(Baseline Thickness dominant superposed Anomaly)

参考

ひとつのタイプの前兆変動出現の他 様々なタイプの地震前兆変動が複数出現するケースも多々ある

図 35 様々なタイプの地震前兆が複数出現する場合の例 模式図

地震前兆変動の出現形態については後述します



※前兆変動の時間的变化については後の章で解説

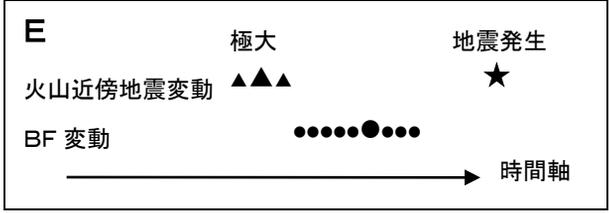
様々なタイプの地震前兆変動を紹介してきましたが、地震前兆変動は単にBF変動だけなど単独の変動だけで観測される場合も勿論ありますが、様々なタイプの前兆変動出現形態が観測されています。

- A：BF変動のみのケース（複数観測装置の場合も有）
- B：BT変動のみで観測されたケース（1995兵庫南部地震・1997鹿児島薩摩地震等）
- C：極大のみ糸状特異で観測されたケース（沖縄近海地震等）
- D：最初はBF変動のみが観測され、極大時に他の観測装置に糸状特異変動が出現。極大頃より他の観測装置にBT変動（BT-2）が継続出現する等のケース（規模の大きな地震等）

ひとつの観測装置に複数のタイプの変動が出現することは稀で、複数の観測装置（震源域が検知領域となる観測装置）に異なるタイプの変動が観測される場合が多い。

前述の様に変動が複合であったり、観測装置に異なるタイプの変動が出現するなど、地震によって前兆変動の出現形態は千差万別です。

E：2016 熊本県熊本地方M7.3等地震ではBF変動が観測されましたが、極大は他の観測装置に火山近傍地震前兆変動として観測された非常に稀なケースです。震源域が火山近傍であったことが原因と考えられます。



※火山近傍地震前兆変動については後の章で解説

# Chap.4 地殻活動以外の変動

Chap.3では様々なタイプの地震前兆変動を紹介しましたが、本観測では地震活動とは相関が認められない変動も観測されておりますので、以下に紹介します。

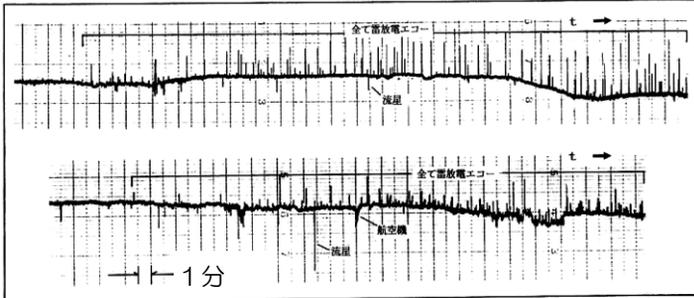


図 36 雷雲変動

受信観測所近傍（数十km以内）に雷雲が発生すると、基線電圧が変動し、雲間雷や対地雷（放電）のたびに基線から突出する細かい放電エコーが多数出現します。櫛歯変動は規則的に出現しますが、雷雲変動はランダムな出現で識別は容易です。実際の落雷の数十分～1時間前から観測されますので、雷雲変動によって、落雷の可能性を事前に察知することもできます。

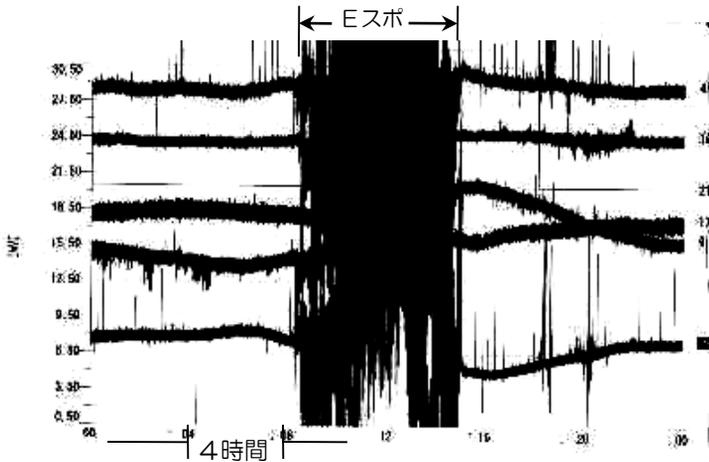


図 37 スポラディックE変動

我が国では春先から夏の終わり時期までの期間の日中時間帯に時折、電離層の電子密度が急激に上昇するスポラディックE（Eスポ・Es）が出現します。Eスポは数十分から数時間継続する場合があります。この間、目標局電波が直接反射され受信されるため、基線は放送内容で激しく変動します。図37の様にEスポが出現している間は、複数観測装置に激しい変動が現われるため、残念ながらEスポ出現中は地震・火山の前兆変動の検出は不可能となります。なお、Eスポ発生原因は、様々な仮説がありますが、明確にはまだ良くわかっていないようです。Eスポの高さは95km～130km。

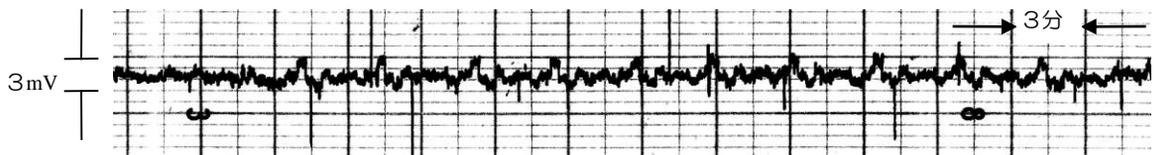
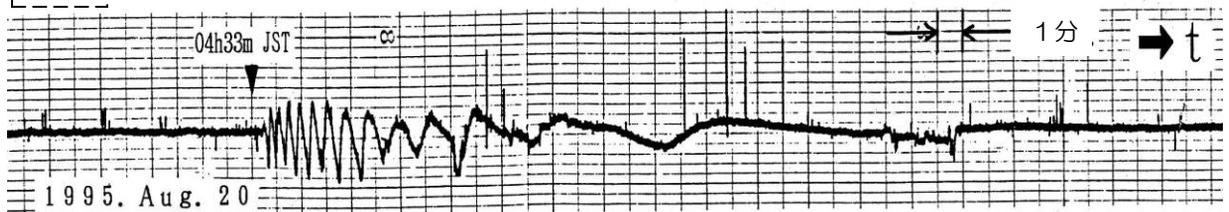


図 38 台風によるPBF変動

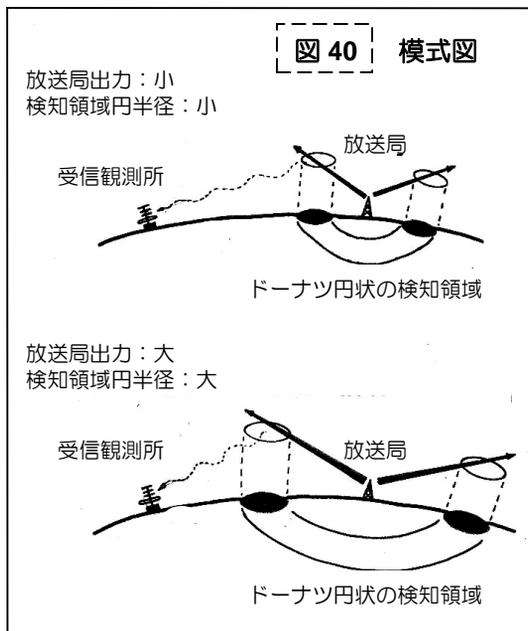
日本列島に大型の台風が接近した際にPBF近似変動が観測されました。地震前兆のPBF変動に酷似しています。但し地震前兆のPBFと比べますと、台風のPBFの方が変動値がやや小さく、地震前兆PBFの方が綺麗で明確です。台風の持つ巨大積乱雲の電荷が電離層に影響して出現している可能性も示唆されます。PBFが出現した際は、大型台風が接近していないか確認することが重要です。

図 39 ランダウ減衰波形変動



地震前兆の振動型BF変動に酷似した変動です。違いは変動継続時間で、地震前兆の振動型BF変動は数時間から数十時間の長い変動なのに対し、図39の変動波形は長くても1時間以内の現象です。プラズマ層に電氣的な衝撃が与えられた際に生じるプラズマの振動として、ランダウ博士が研究した「ランダウ減衰波形」に酷似しています。このため、ランダウ減衰波形変動と呼びます。時間変化と共に周期が伸びる変動で、振幅は大きく変化しません。当方で観測されたものは小天体が地球の電離圏を横切ったり、突入した際に出現している可能性があり、天文学会で発表しました。変動の似ているものは原因も似ている可能性が示唆されます。変動の原因はまだ正確には確定はできておりません。

# Chap.5 地震・領域の推定



実際の観測から地震前兆変動は出力100W~250WのFM放送局電波で良好に出現することが明らかとなりました。

図40のとおり、BF・PBF変動の場合は、放送局近傍の地震は検知できません。また遠方にも限界があり、放送局を中心としたドーナツ円内となります。その際、放送局の電波の強さ（出力）によって地震前兆変動が検知できる領域（広さ）に差異が認められました。

目標放送局の出力が小さいと検知円は小さく、出力が大きいと検知円は大きくなります。実際の観測データから、

放送局出力 =  $P$  kW  
 放送局位置からの検知領域円半径 =  $D$  km  $R$  = 係数  
 としたとき、

$$(D/R)^2 = \sqrt{P} \text{ の関係が認められます。}$$

従って、

$$D \text{ km} = P \text{ kW}^{0.25} \times R \text{ (経験式)}$$

上式で放送局からの検知円半径を求められます。R値は、

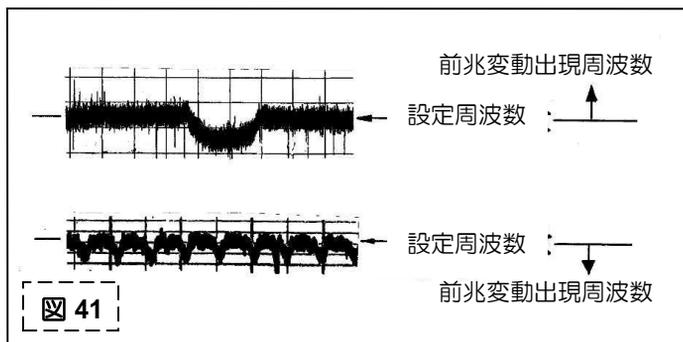
- BF・PBF変動の場合は  
近傍限界  $R = 230 \sim$  遠方限界  $R = 1,100$
- BT並びに特異変動の場合は  
近傍限界  $R = 0 \sim$  遠方限界  $R = 500$

※但しR値は経験近似値で、今後の観測で適時修正される可能性有。  
 ※火山噴火型前兆変動（後述）の場合は  $R = 0 \sim 1,100$

## BF・PBF変動は、受信機の設定周波数に対し、周波数の高い側局・低い側局のどちらで出現しているか識別が可能

BF・PBF前兆では図41のとおり、曲線変動の鎌の形で識別できます。基線中心電圧値に対し、曲線変動の内径側方向の周波数側に変動出現放送局があることとなります。

設定周波数に対し、高い側・低い側どちら側の局電波によって変動が出現しているのかを判定。300kHz内の100~250W放送局の中で、複数の変動から求めたドーナツ円領域に矛盾の無い局を選定します。



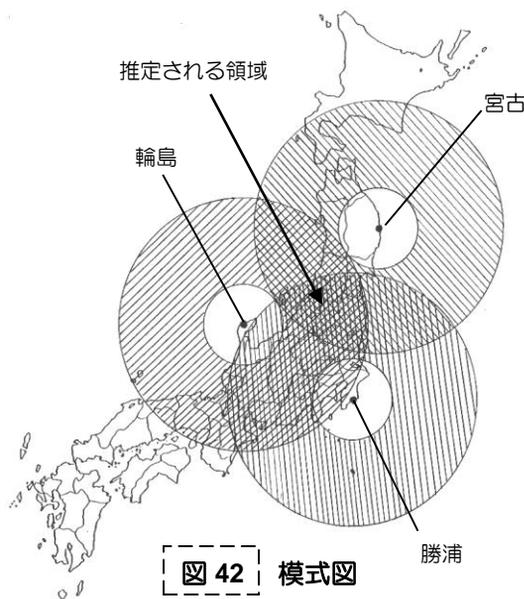
## 複数の局による前兆変動出現が観測された場合は各放送局から検知領域ドーナツ円を重ね、重複領域を求め推定領域とする

図42は、宮古100W・勝浦100W・輪島100Wの3局の放送局電波によるBF・PBF変動が観測された場合と仮定した場合の推定領域作図の模式図です。

各放送局位置から出力に応じたドーナツ円（検知領域）を描き、全ドーナツ円が重複した領域を求めます。この重複領域内に発生する地震の震央があることとなります。従って図42の場合は3つの斜線が重複した東北南部が推定領域となります。

但し、同じ周波数帯に、例えば函館250Wと新居浜100Wなど離れた地域の放送局がある場合があります。この場合、どちらの局で出現した変動かは、多数の前兆変動が観測されていれば、影響局推定を間違っていれば、辻褄が合わなくなるのでわかります。しかし前兆数が少ないときは困難です。

影響局を間違えると推定領域が大きくなり失敗となります。観測専用の放送局があれば、この問題は解決します。



## 実際の観測例（領域推定と実際の震央）

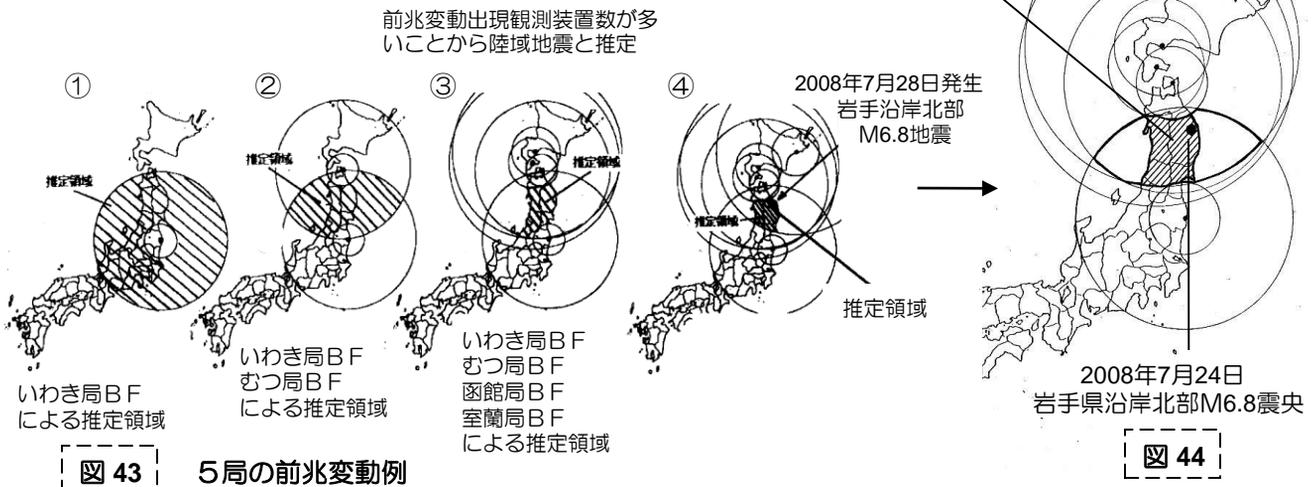


図43の岩手県沿岸北部地震は5局の放送局電波で変動が観測されました。影響局からドーナツ円を描いて推定領域を求めた実際の作業図です。図44のとおり、推定した領域内で地震発生となりました。この地震については、発生の1週間前に、「図44の斜線域内で2008年07月23日または24日にM6.5±0.5地震発生の可能性」があるとする情報（地震予報）を岩手県庁に報告致しました。実際の地震発生は予報の誤差内で予報は成功しました。

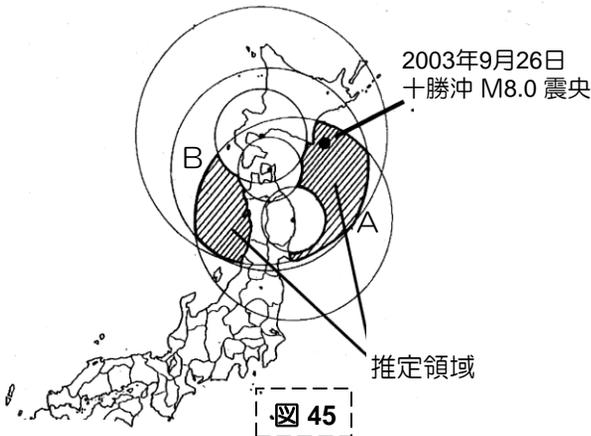
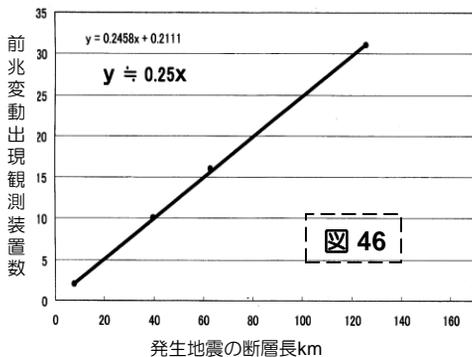


図45は十勝沖地震の前兆観測例です。この際は、室蘭局・宮古局・むつ局の3局の電波で変動出現が観測されました。上の岩手沿岸北部地震では5局の前兆変動でしたが、いわき局や釧路局の位置が他の3局から離れていたため推定領域を絞れましたが、図45の場合は近接する地域の局に変動が出現したため、ドーナツ円を描くと推定領域が2つ求められました。推定規模M7以上が推定されるPBF変動が観測されたのに、前兆変動出現観測装置数が少ないことから海域地震が推定されました。太平洋プレートのプレート境界型地震として図45の推定領域Aの方が考えやすかったですが、あくまでも推定段階（地震発生の可能性を公開実験観測情報で配信した段階）では断定することは困難で、A・B両方を推定される領域としました。

## 近接する3局の前兆変動のみだった場合の例



Log L=0.5M-1.8 (Utsu,地震学)で断層長kmと規模Mの関係を表した場合の「発生地震規模」と「前兆出現観測装置数」との関係グラフ  
例：M5=5km M6=16km M7=50km

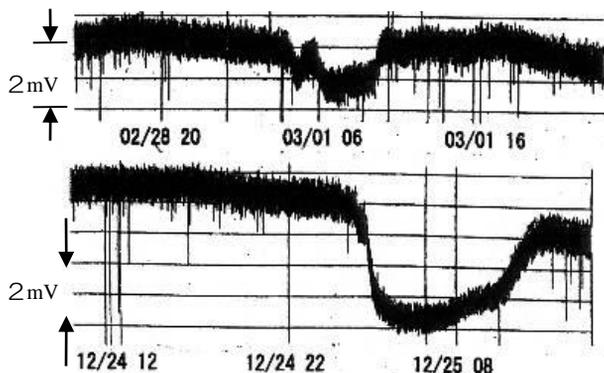
## 前兆変動数から陸域地震か海域地震かの判別が可能 また 観測には30基程度以上の観測装置が必要

今までの観測から規模の大きい地震では、海域地震に比べ陸域地震の方が多数の観測装置に前兆変動が出現してきました。おおまかな関係は図46のとおりです。図46の関係が絶対ではありませんが、例えばM7.0±0.5が推定される変動が観測された場合、10基ほどの観測装置に前兆変動が出現した場合は確実に陸域地震が推定され、前兆変動出現観測装置数が少ない場合は海域地震が推定されるなど、ある程度識別が可能です。これは海域地震では震央上に海水があるために前兆変動が弱まるのが原因と推測されます。

今までの観測で、実際の地震の震央を含む領域が求められる影響局を目標局とした複数の観測装置があっても、海域地震ではそのうちのひとつの観測装置にしか変動が出現しないなどの観測例が実際にあります。この原因はまだ不明です。観測装置が少ない場合には前兆変動が観測できない可能性も示唆され、これを考えても観測装置数は30基程度以上が必要と考えます。

# Chap.6 地震・規模の推定

図 47



**M6.1**  
2005年04月11日  
千葉 M6.1

**M7.2**  
2008年06月14日  
岩手内陸南部M7.2

## BF変動からの推定

BF変動は変動値と発生地震の規模との間に直線相関が認められます。  
図47の変動でもM6規模とM7規模のBF変動の変動面積が違うことがわかります。多くの観測過去例を記録し、新たにBF変動が出現した場合は、過去例と比較して規模が推定できます。但し、BF変動からの規模推定では、誤差が±M0.5生じます。BF変動の変動値は放送局出力に関係していません。

図 48

## PBF変動からの推定

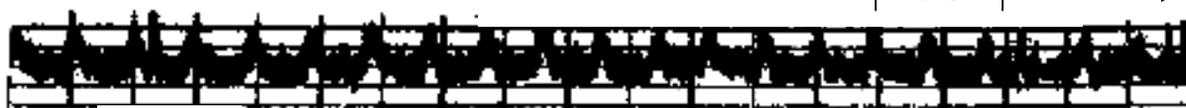


図48のような周期的連続BF変動=PBF変動は一日のみ出現する場合もありますが、規模の大きな地震の場合には数日に渡って集中的に継続出現する場合があります。集中出現した時期が極大となります。極大時期にはPBF変動の周期が伸びる場合もあります。この集中出現した極大時期のPBF変動の出現継続時間計を測定して規模を推定することができます。下式（PBF継続時間）は分ではなく時間を使用します。（ex. 90分ではなく1.5時間）

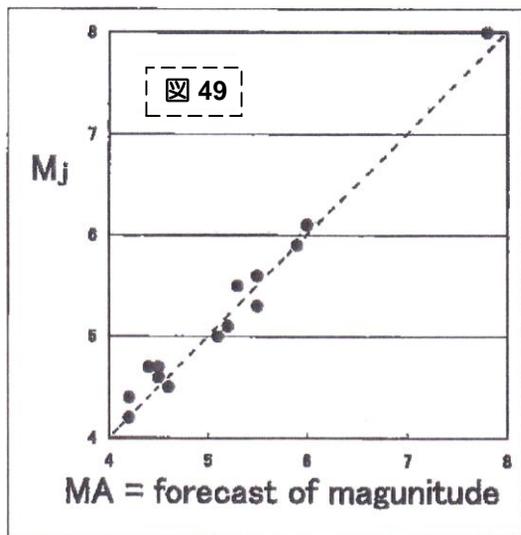
PBF変動出現継続時間計 (h) = PBF (h)  
地震規模 = M (マグニチュード) としたとき、

$$\text{Log PBF (h)} = 0.5 M - 1.8 \text{ (経験式)}$$

$\text{Log L} = 0.5 M - 1.8$  (Utsu, 地震学) 断層長と規模との関係式の断層長にPBF継続時間計を代入すると観測事実と調和しましたため、上式を使用。自然界で良く現われる自然対数の関係が見えます。

の関係が認められます。

図49は初期に作成した、過去の観測例からPBF変動の出現継続時間計を上式を使用して求めた予報規模（横軸）とその後発生した実際地震の規模（縦軸）との関係をグラフで表したものです。誤差は概ね±M0.3程度内におさまっています。PBF変動はBF変動よりも正確に発生地震の規模を推定することができます。



MA = 予報規模 Mj = 気象庁暫定値規模

## BT・特異変動からの推定

他に基線幅増大BT変動が観測された場合にはM5前後以上規模が推定され、糸状の特異変動が観測された場合にはM6以上規模が推定されるなどの経験則があり、これらの変動が観測された場合は規模推定の参考になります。

# 前兆変動が弱まる(減衰する)地震・補正が必要

## 1) 海域震央地震(海深減衰)

実際の観測から、震央が海域の場合は前兆変動が弱く観測されることが明らかです。海深による前兆変動の弱まり(減衰)度合いは、海深km=WDkm  
減衰値(補正值)= $\Delta M$ (補正マグニチュード)としたとき、

$$\Delta M (\pm M0.3) = WDkm + 0.4 \text{ (経験式) です。}$$

海域地震は規模がある程度大きくないと検知困難

上式を使用しますと、

- 大陸棚海深200mまでの沿岸海域では →  $-M0.5 \pm 0.3$
- 海深500m付近では →  $-M0.9 \pm 0.3$
- 海深1,000m付近では →  $-M1.4 \pm 0.3$

前兆変動が弱まる(減衰)ることが観測されています。

本観測法ではM5を超える規模の地震の前兆変動が明確に検知されますが、海域地震では海深によって前兆変動が減衰しますので、例えば海深1,000m付近に震央がある海域地震の場合では、M6.5以上規模の地震でない限り前兆変動が検知できない可能性があります。

### 海域地震が推定された場合の規模推定には補正が必要

例をあげますと、図51のように岩手三陸沖～宮城沖の海域(太線で囲まれた領域)での地震が推定された場合、前兆変動評価からM5.5 $\pm$ 0.5規模(前兆規模)の地震が推定されたらと仮定します。沿岸海域地震では、ある程度変動数が多く観測されますので沿岸海域地震であると識別できますが、変動出現観測装置数が少ない場合、前兆変動観測段階では、海深500m付近から2,000m付近の海域のどこで地震が発生するのか断定することは困難です。

この場合では、前兆変動評価規模=M5.5 $\pm$ 0.5に対し

海深 500m付近の場合=M0.9補正→推定規模M6.4 $\pm$ 0.5

海深1,000m付近の場合=M1.4補正→推定規模M6.9 $\pm$ 0.5

等と海深を考慮した海深ごとの何通りかの規模を推定する必要があります。

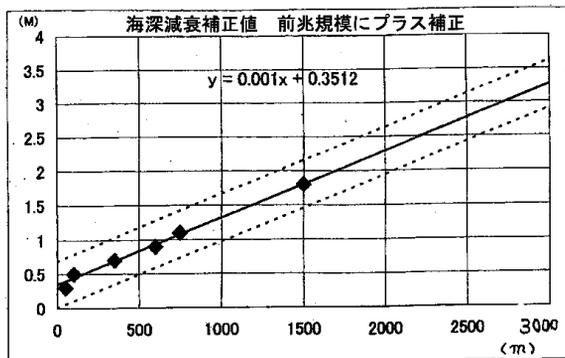


図 50

Water Depth Correction

注) 前兆変動観測段階で評価した推定規模値を前兆規模と著しています。

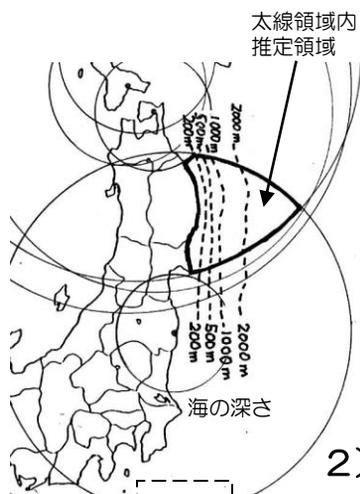


図 51

## 2) 正断層地震・プレート内地震・滑りやすくなって生じる地震等

圧縮の力で岩盤が破壊されて生じるプレート境界型「逆断層地震」や内陸の「垂直断層地震」は明確な前兆変動が観測されず。しかし、図52に示したように日本列島の下に潜り込んでいく海洋プレートの内部で発生するプレート内地震は、引っ張られて破壊が生じる「正断層地震」が多いです。内陸の浅い地震でも圧縮応力以外の地震は発生します。圧縮応力ではない、引っ張り応力や横すべり等で破壊が起こる地震では、前兆変動がM0.5~1.1(平均M0.8 $\pm$ 0.3)も弱まる(減衰)ることが観測されています。正断層メカニズムでなくとも、プレート内地震ではM0.8 $\pm$ 0.3前兆変動が弱まる(減衰)ことが観測されています。他にも正断層成分(横ずれ断層成分)があるメカニズムでは、前兆変動が減衰します。また、関東の太平洋プレートとフィリピン海プレートの境界地震も震源と日本列島地殻の間にフィリピン海プレートが挟まれているためか、前兆変動がM0.8 $\pm$ 0.3減衰する場合があります。(2023年05月の千葉東方沖M6.2は前兆変動出現)このようなタイプの地震も、海域震央地震同様、ある程度規模が大きくなると前兆検知は困難です。

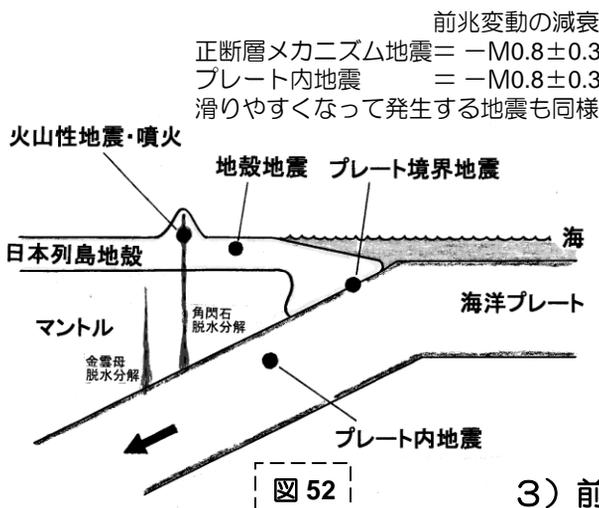
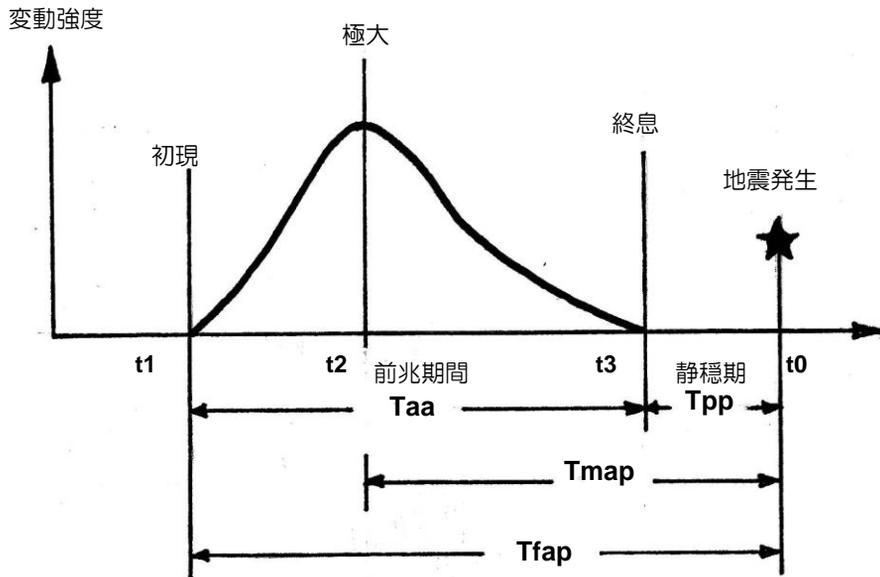


図 52

## 3) 前兆変動が観測されない地震(水が関係した地震)

2020年12月から石川県能登地方で群発地震活動が始まりました。群発地震活動は長期に渡り継続し、2023年5月にはM6.5地震も発生致しました。この群発地震の前兆変動は観測できませんでした。地震調査委員会の解説では日本列島下に潜り込んだ太平洋プレートから水分(流体)が能登地方付近に浮上し、日本列島の地殻の割れ目に水が入り込んで、滑りやすくなり、地震が発生している可能性としています。仮に水によって滑りやすくなり発生する地震であれば、圧縮応力で破壊される地震とは違い、電荷の発生も少なく、電離層の電子密度に与える影響も極めて少なく、前兆変動が観測されないことを支持します。同様の地震は1965年から長期に渡り続いた長野県の松代群発地震があります。このようなタイプの地震は前兆変動検知は残念ながら不可能な様です。

図 53 前兆変動時間変化基本形



地震前兆変動は時間経過と共に変動強度や前兆変動出現数が徐々に増大し、極大を迎え、次第に減少傾向となり、その後、終息します。前兆変動の終息後静穏期間を経て、実際の地震発生に至ります。基本的な前兆変動時間変化は図53のとおりです。

時間 各期間の呼び名

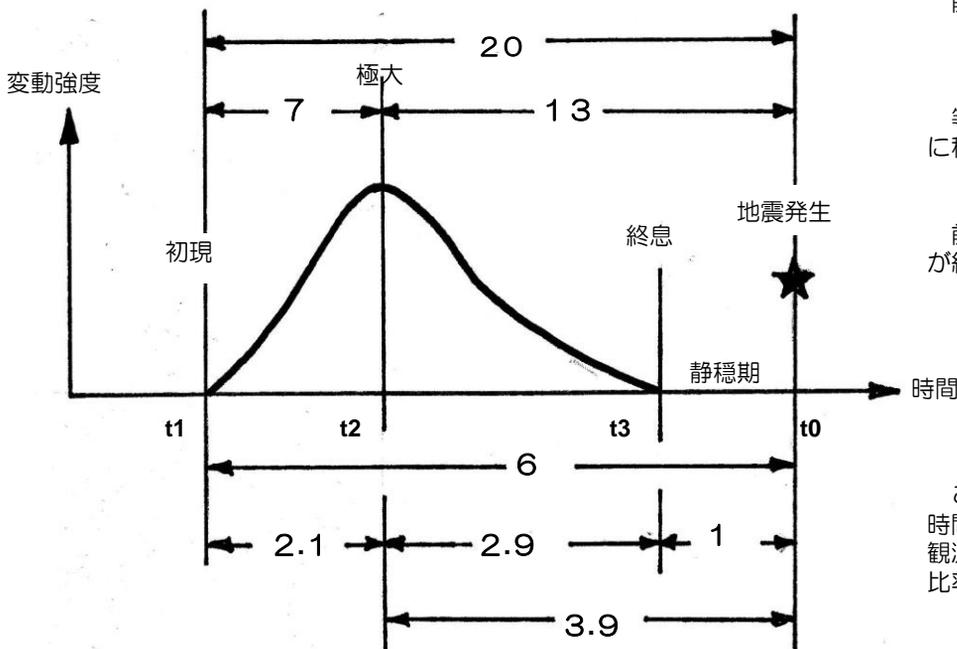
**Tfap (ティーファップ)**  
前兆変動初現～地震発生までの期間。

**Taa (ティーエーエー)**  
前兆変動の初現～前兆変動終息までの前兆期間。

**Tmap (ティーマップ)**  
前兆変動極大～地震発生までの期間。

**Tpp (ティーピーピー)**  
前兆終息～地震発生までの静穏期

図 54 前兆変動時間変化経験的比率



前兆変動の極大は、  
 1) B F 変動の最大値出現  
 2) P B F 変動の集中出現  
 3) 前兆変動出現観測装置数が最多等の評価を基に前兆変動が減衰傾向に移行した時点で極大が認識されます。

前兆変動の時間変化には以下の比率が経験的に求められています。

$$\begin{aligned} \text{Tfap} : \text{Tmap} &= 20 : 13 \\ \text{Tfap} : \text{Tpp} &= 6 : 1 \end{aligned}$$

これらから、図54に示したような各時間変化比率が求められます。実際の観測からの予報ではTmap:Tpp=3.9:1比率を良く使用します。

前兆変動の時間変化には図53に示したような形が基本形として観測されます。但し、地震によっては極大は明確ですが、初現・終息が明確に観測されない場合や、初現・極大・終息の全てが明確に観測されない場合もあります。その場合でも、いずれか2つの変化時期が観測できれば地震発生時期を推定することができます。海域の中規模地震では極大しか観測されない場合がありますが、その場合はプレート境界地震のTmap日数(後述)を参考にする必要があります。

図53に示した地震前兆変動時間変化形態は基本形であり、次に示すような様々なバリエーションも観測されています。様々なバリエーションはTmap日数の長い地殻地震に多く認められます。

図 55 ツインピークス型極大

同レベルの極大が短期間に2度出現する前兆変動形態です。2つのピークの中心を極大とします。極大の求め方が異なるだけで各時間変化比率は基本形と同じです。

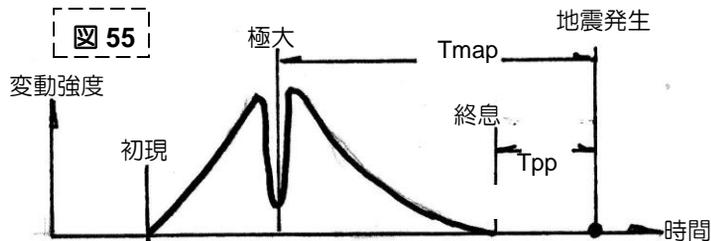


図 56 直前特異型

前兆変動終息後の静穏期に、短時間の前兆変動の再出現がある形態です。M6以上規模の地震で出現する場合があります。再出現する前兆変動の種類は特異変動が主ですが、BF・PBF変動が出現する場合があります。

$Tmap : Tpa = \text{平均 } 6 : 1$   
(誤差  $Tmap : Tpa = 5.7 : 1 \sim 6.3 : 1$ )

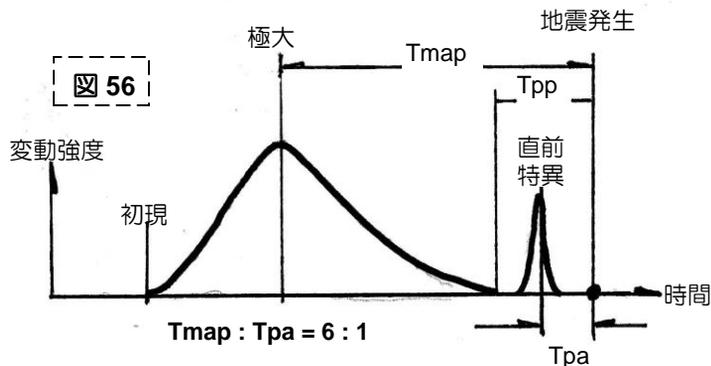


図 57・58 主極大・副極大型

極大が出現したあと、数日～1週間程経過後に再び極大に近い値の前兆変動ピークが出現する形態です。震源が浅い地殻地震の場合によく出現します。このタイプでは小さな変動の山が多数出現する場合があります。

最初の大きな極大=主極大 次の極大=副極大 とし、主・副極大間=Tps としたとき、

$Tmap : Tps = \text{平均 } 3.7 : 1$

図58の様に前兆変動出現形態が主極大が鋭く副極大が緩やかな形では  $Tmap : Tps = 3 : 1$  近似。副極大が鋭く主極大が緩やかな形では  $Tmap : Tps = 4.4 : 1$  近似の比率となります。

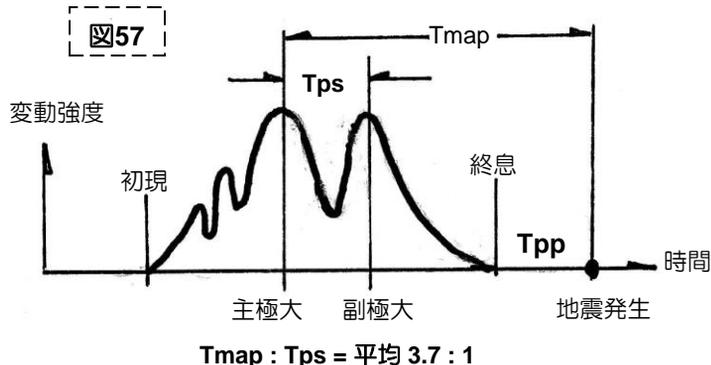
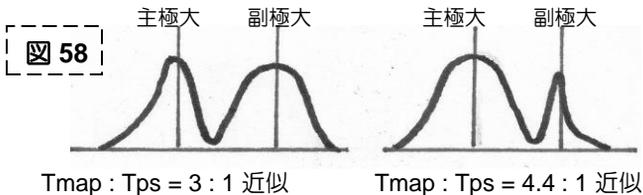


図 59 群発地震型

群発地震及び一部の火山直下又は火山近傍の群発地震では、前兆変動初現～前兆変動極大に至る期間=Tam

前兆変動極大～群発地震活動開始の期間=Tmap としたとき、

$Tam : Tmap = 2 : 1$

の関係が認められます。つまり、前兆変動初現～極大に至るまでの半分の日数を前兆変動極大日に加算した時期から群発地震活動が始まります。

※2016年04月14日から熊本県熊本地方(火山近傍)でM6.5・M6.4・M7.3等の中～大規模地震が群発的に発生しました。

熊本地震の前兆変動は突然大きな火山近傍地震前兆変動が出現し、その後、BF変動が現われ、火山近傍地震前兆変動を極大とし、BF変動終息を終息としますと、 $Tmap : Tpp = 3.9 : 1$  となっていますが、火山近傍地震前兆変動を初現、BF変動の最大値を極大としますと、群発地震型で発生しています。熊本地震は群発に近い地震活動でもありました。極めて特殊な変動出現例です。

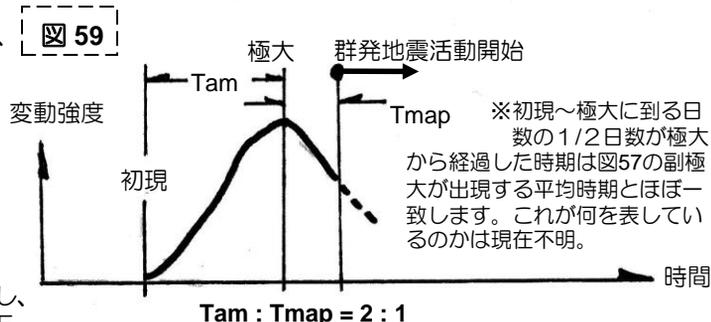


図 60 複数ステージ型

図60ではA前兆変動が出現し、推定された地震発生時期に次のB変動の極大が観測され、B変動から推定された発生時期に次のC変動の極大が観測されるなど、変動ステージが何度も繰り返される特殊な形態です。前の変動から推定された発生時期から次の変動ステージが始まる場合もあります。但しこの形態では地震発生直前まで前兆変動が消えることはありません。Tmapが極めて長い地殻地震の特殊形態。



# 前兆期間の長い地殻地震の前兆変動出現形態は非常に複雑

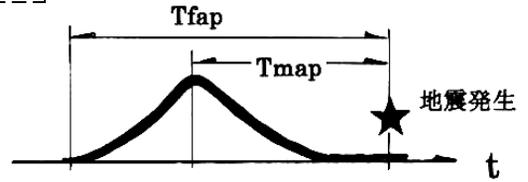
図 61

Tmap日数が数ヶ月以上となる前兆期間が長い地殻地震では、通常の前兆出現形態の前に特異変動を主とした「先行特異」が出現するケースが認められます。その先行特異の出現形態も幾つかの異なる比率で出現します。前兆期間の長い地震の場合は非常に複雑です。

実際観測例：  
2007年03月25日発生 能登半島M6.9 Tmap = 62日

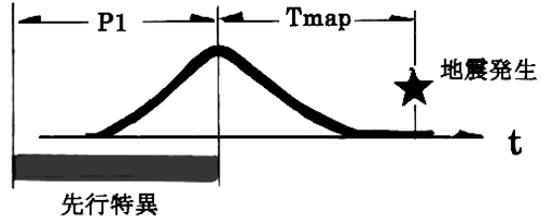
## 前兆変動出現形態基本形

$$T_{fap} : T_{map} = 20 : 13$$



## 先行特異型 Type 1

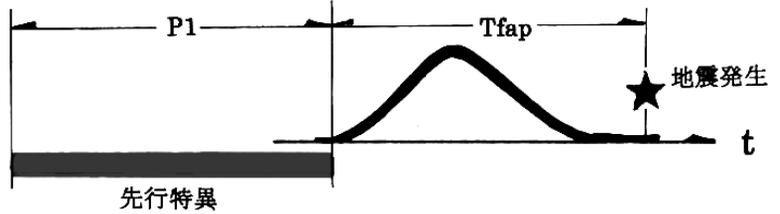
$$P1 : T_{map} = 1 : 1$$



## 先行特異型 Type 2

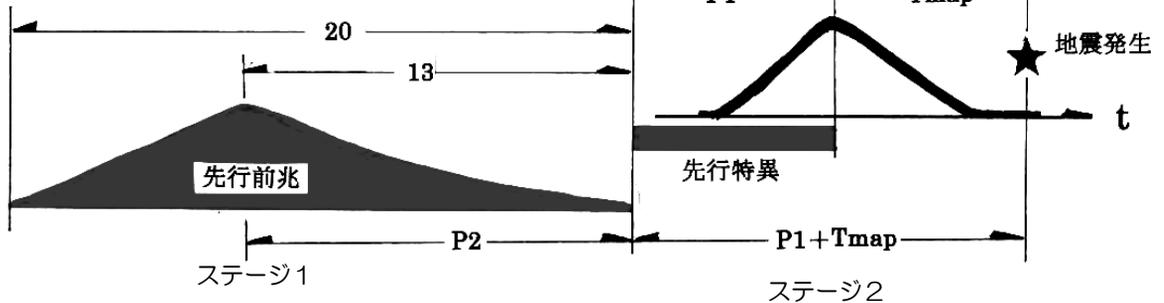
$$P1 : T_{fap} = 1 : 1$$

実際観測例：  
2004年10月23日発生 新潟県中越地震M6.8  
Tmap = 8.3ヶ月



## 先行特異型 Type 3

$$P2 : (P1 + T_{map}) = 1 : 1$$



実際観測例：2008年06月14日発生 岩手県内陸南部M7.2 前兆期間=3年3ヶ月

図61の前兆変動出現形態基本形の下に先行特異型として示した3例は、基本形の前に特異変動を主とした前兆変動群が現われるなどした観測例です。

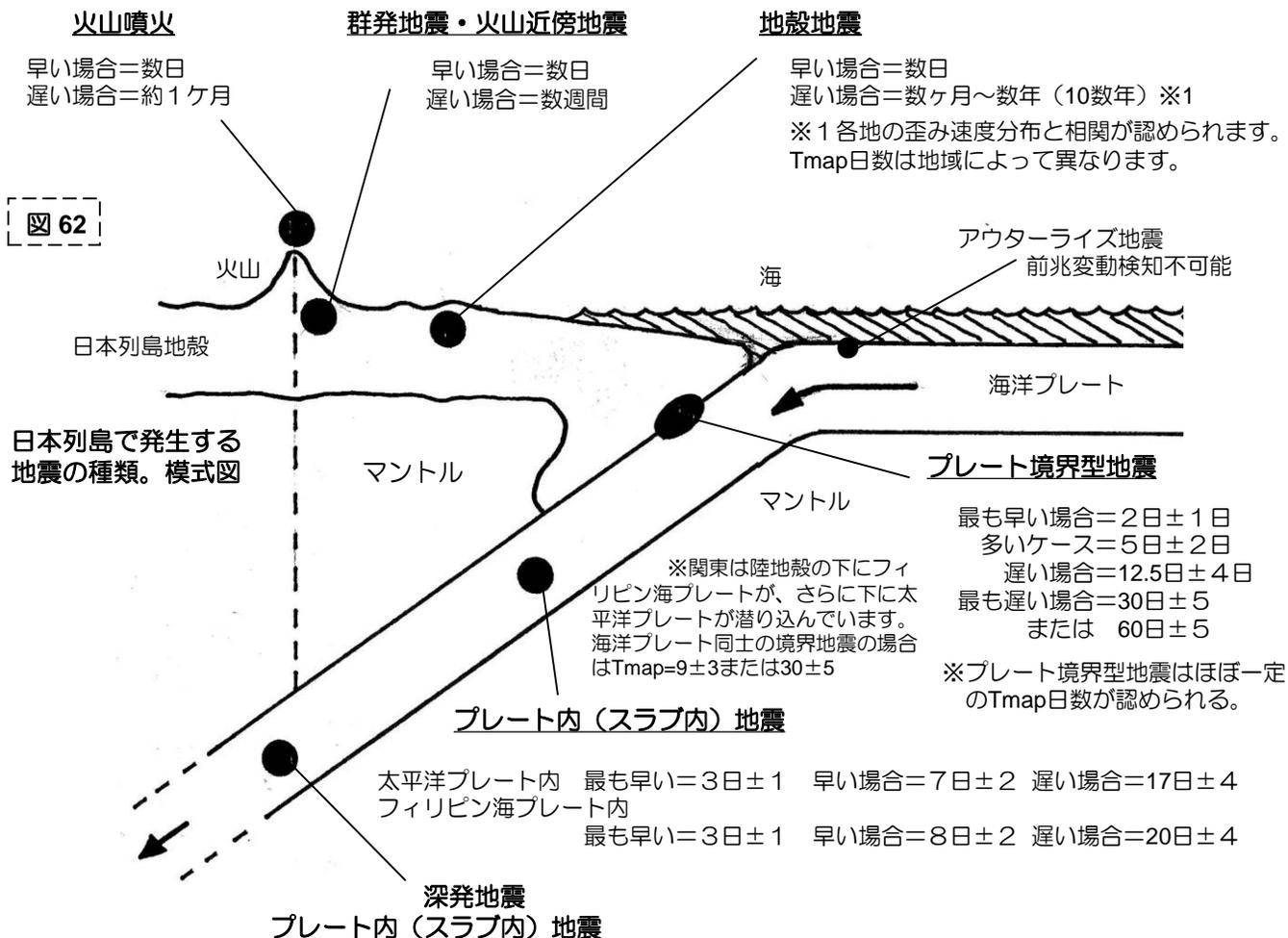
前兆期間が長ければ長いほど、前兆変動の出現形態が複雑化する傾向が認められます。前兆期間が3年以上となる地震ではType 3に現れたようなステージが多数出現する場合や、前頁図60の様な幾つものステージが繰り返される場合、また図61のType 3と図60の複合型など、より複雑な形態となる可能性があります。

多数の観測装置に特異変動が出現した場合は、前兆変動期間の長い地殻地震の可能性が高いことを考える必要があります。特異前兆変動出現開始当初は、どの程度前兆変動期間が長くなるのかは不明です。複数の観測装置に特異変動が出現した場合は、前兆期間変動間が長い地震である可能性を考え、複雑な変動形態がどの様に変化し、どの様な形態を示すか解析していく必要があります。

# 様々な地震種（火山含む）のTmap日数

(Tmap日数 = 前兆変動極大～地震発生までの日数)

※1 地殻地震で長い場合は単純にTmapが表せないため、前兆期間を示す。



深発地震は引っ張り応力破壊地震のため、前兆変動が大きく減衰し、さらに震源が極めて深い地震のため前兆変動が検知されることは殆どありません。

※参考：深発地震はマンツルが地震動を伝えず、潜り込んでいる海洋プレートと日本列島地殻が接している部分に地震動が伝わるため、例えば震源が紀伊半島下の深さ500kmの太平洋プレート内地震が発生した場合、マンツルは揺れを伝えないため震央の紀伊半島では揺れず、太平洋プレートにそって揺れが伝わり、太平洋プレートが接している東北沿岸等で揺れが観測される「異常震域」と呼ばれる離れた地点が揺れます。

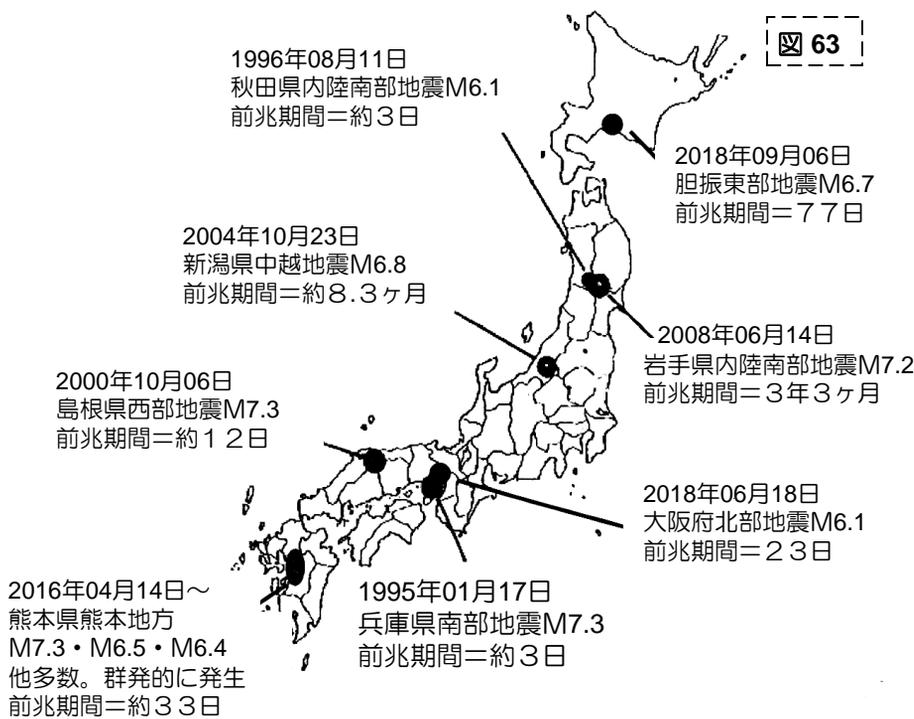
## 海洋プレート関連地震のTmap日数はほぼ一定

プレート境界型地震は規模に関係なく、Tmap日数 = 5日前後で発生する地震が最も多く観測されています。早い場合は2日±1日、遅い場合は12.5日±4日も観測されています。

プレート境界型地震のTmap日数が一定となっている理由は、海洋プレートが日本列島地殻の下に潜り込んでいく速度がほぼ一定であるためである可能性が考えられます。プレート内地震でも太平洋プレートよりフィリピン海プレート内地震の方がTmap日数が長いのは、太平洋プレートより、フィリピン海プレートの方が潜り込み速度が遅いことが関係している可能性が考えられます。現在までプレート境界型地震のTmap日数の最長は60日±5日で、それ以上長いTmap日数は観測されておりません。

海域のプレート境界型地震が推定された場合は、前兆変動が海水で弱まるため、大規模地震で無い限りは前兆変動は極大前後にしか観測されない場合もあります。従って、実際の観測で極大前後しか前兆変動が観測されない場合は海域のプレート境界型地震の可能性が高いと判断されます。このような場合は Tmap日数 = 2日±1日または5日±2日を中心に推定します。数日に渡って前兆変動が観測されると、Tmap日数が12.5日±4日以上と、Tmap日数が長いことが推定されます。

# 日本列島の地殻地震（震源が浅い直下型）は地域によって 前兆期間が異なる



私たちが暮らす日本列島自体の地殻で発生する地震の Tmap日数は、発生する地域によって異なることが実際の観測から明らかとなりました。

図63は震源が浅い各地殻地震の震央位置と観測された前兆期間の長さを示した図です。

前兆期間の最も短い地震は、兵庫県南部地震M7.3や秋田県内陸南部地震M6.1が各3日です。前兆期間の長い地震では、新潟県中越地震M6.8の8.3ヶ月や岩手県内陸南部地震M7.2の3年3ヶ月などがあります。

前兆期間の長さは規模に関係無く、数日から数年と、発生する地域によって異なることがわかります。図63の秋田県内陸南部地震（前兆期間=3日）の震央と岩手県内陸南部地震（前兆期間3年3ヶ月）の震央との距離は近いですが、前兆期間は全く異なりました。

注) プレート境界型地震のTmap日数が一定なのに対し、地殻地震は地域によって異なります。しかし、地殻地震では前兆出現形態が複雑なため、単順にTmapと表せない地震が多いため、前兆変動初現～地震発生までの期間を前兆期間として表しました。

※規模の小さい地震では図63の区分とTmap日数が合わない場合もあります。

## 前兆変動の期間の長さは、歪み（ひずみ）速度に依存している可能性がある

図63では、地殻地震の前兆期間が地域によって大きく異なる観測例を示しました。地震の前兆期間は、震源となる岩盤の破壊領域に加わっている力の強さ=歪み（ひずみ）速度に依存している可能性が示唆されます。

図64は、国土地理院の三角点測量データをもとに、歪み速度を大別し、歪み速度が速い（大きい）地域を黒く、遅い（小さい）地域を白く表した図です。

図63に示した秋田県内陸南部地震（前兆期間が短い）は黒い領域で発生。近接する岩手県内陸南部地震（前兆期間が長い）は白い領域で発生しており、おおまかに作成した図64でも歪み速度と前兆期間の長さにある程度の調和が認められます。（最近のGPSデータとは観測期間の違いからか調和しませんでした）

プレート境界型地震の前兆期間が一定という観測事実とあわせ、地震前兆変動期間の長さは、震源となる岩盤に加わっている力の強さ=「歪み速度」に依存している可能性が強く示唆さ

■ = 前兆期間 7日以下領域 歪み速度大領域  
□ = 前兆期間 10日以上領域 歪み速度小領域

1985年～1995年 国土地理院三角点観測をもとに圧縮歪み速度（ $20 \times 10^{-6}$ ）付近で大別した図 トレース by Y.Kushida

2011年03月11日の東北太平洋沖M9巨大地震発生後は当該マップとは各地の歪み速度が若干変わった可能性もあります。

図 64

岩盤に加わる力が弱い領域では岩盤のひび割れ（微小破壊）の入り方も遅く、更なる力で最終破壊の地震発生となるのにも時間を要する。しかし力が大きく加わっている領域では微小破壊も早く進行し、最終破壊の地震発生までの時間も短いという考え方ができるのではないのでしょうか？

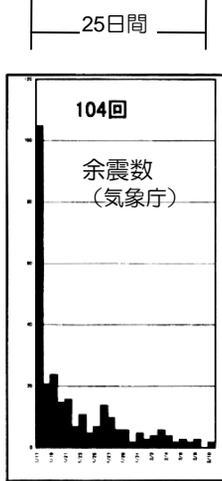
# 余震が多い大型地殻地震では「静穏期」が観測されないケースもあるので注意が必要

1995年01月17日兵庫県南部地震M7.3発生当時は1台の観測装置での単なるFM電波流星観測でしたので、一概に現在の観測データと比較できませんが、地震発生3日前から基線幅増大BTが観測されました。地震発生後もBTが継続し、静穏期も認められません。

余震数減少に数日先行してBTも減少しています。

右の棒グラフと下の折れ線グラフは日を合わせてあります。

図 65



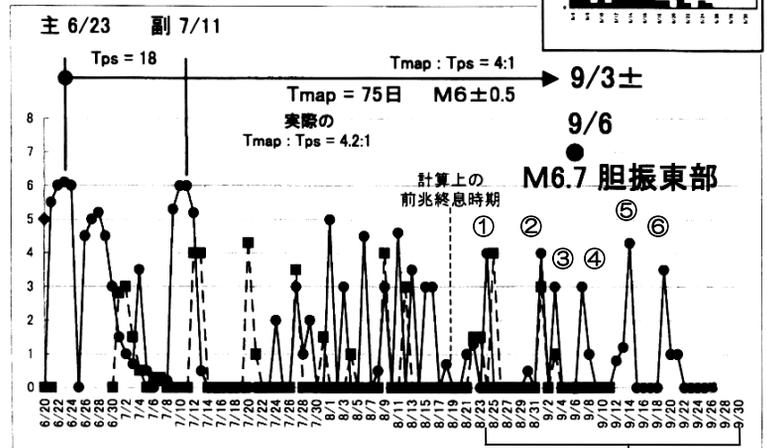
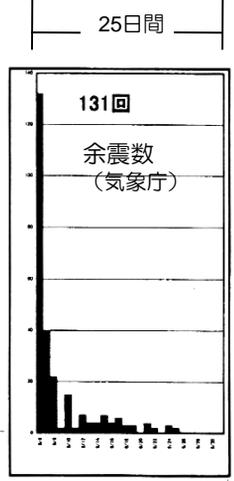
兵庫県南部地震の本震+余震の地震発生数(上グラフ)と前兆変動(下グラフ)

2018年09月06日発生 of 北海道胆振東部地震は、図66の折れ線グラフで示したようなBF変動が観測されました。主極大=6/23・副極大=7/11となる「主・副極大型」前兆変動形態でした(17頁図57)。この関係から発生日は09月03日±3日と計算しました。しかし計算上の前兆変動終息日08月18日以降も前兆変動が断続的に継続出現しました。この地震も静穏期が認められません。

左の兵庫県南部地震も当該胆振東部地震も主震から約1ヶ月で余震はほぼ静穏化しましたが、その40~50%の余震は主震当日に発生しています。

右の棒グラフと下の折れ線グラフは日を合わせてあります

図 66



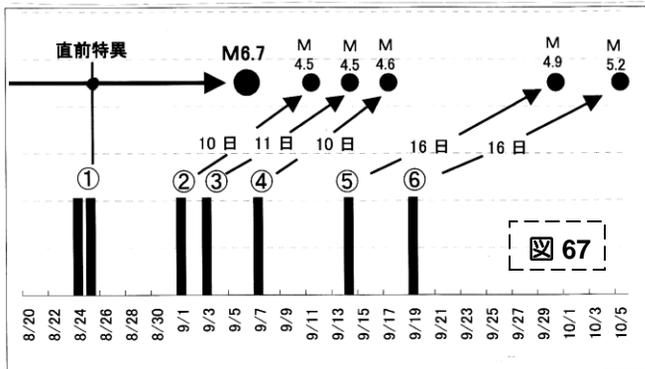
北海道胆振東部地震の本震+余震の地震発生数(上グラフ)と前兆変動(下グラフ)

## 2018年 胆振東部地震の前兆変動終息後の前兆変動小ピークと余震の関係

- ① 8/25 ピーク=直前特異
- ② 9/01 ピーク=10日後 9/11 M4.5
- ③ 9/03 ピーク=11日後 9/13 M4.5
- ④ 9/07 ピーク=10日後 9/17 M4.6
- ⑤ 9/14 ピーク=16日後 9/30 M4.9
- ⑥ 9/19 ピーク=16日後 10/5 M5.2

図66に示した胆振東部地震の前兆変動出現変化は計算上の前兆変動終息時期以降も前兆変動が出現し、静穏期がわかりませんでした。しかし計算上の前兆変動終息時期以降の前兆変動小ピークを詳しく見ますと、08月25日のピークは直前特異で調和し、その後のピークは10日~16日でM4.5以上の規模のやや大きな余震に対応しているように見えます(図67)。このような場合は静穏期が認識できなくても、「主・副極大型前兆形態」(17頁図57参照)での解析を重視する必要があります。主・副極大型でない場合は初現・極大の関係を重視します。

余震が顕著な場合は前兆変動静穏期が無い場合があります



本震はTmap日数=75日で発生。余震は10~16日で発生。図67の前兆変動ピーク番号は図66の前兆変動ピーク番号及び右記番号に対応。多くの地震で、主震のTmap日数に比べて余震のTmap日数は短い例が多い。

## BT-2 変動の周期的変化から発生時期を求める

BT-2が数週間出現する場合には、長時間のBT出現を小ピークとします。日々のBT出現に周期的な小ピーク変化が認められる場合があります。この場合、周期性のある小ピークと、その周期性に合わない小ピークが現われる場合があります。この様なBT出現の場合には、周期性に合わない小ピーク日に周期的BT出現間隔の平均周期の6倍値、または9倍値を加算すると、対応地震発生日(±3日)を示す経験則が認められます。全ての地震の前兆変動にBT-2が出現するわけではありませんし、BT-2が出現した場合でも短期間の場合には周期的変化は認められませんが、数週間のBT-2出現では、発生時期を推定する根拠変動のひとつとして参考となります。図68・図69はどちらも一日を横軸1本とし、基線幅増大BT部を太く表してあるスケッチです。 ※実際の波形を並べるよりもスケッチの方がわかりやすい。

**BT-2の周期性ないピーク日 + 平均周期ピーク間隔日数 × 6 or 9 = 発生日 ± 3日**

図68は、2003年6月下旬から8月初旬時期にハケ岳のCH09に観測されたBT-2です。小ピークが少々判りづらい。

図69は、2002年7月末から10月末にハケ岳のCH09とCH14に観測されたBT-2です。各々同時期に出現したBT-2ですが、周期間隔は異なります。8/23と9/14ピークは両方に共通するピークです。CH14では9/14は周期性に合わないため、この9/14を周期性ないピークとして計算した結果、良好でした。特殊な例です。

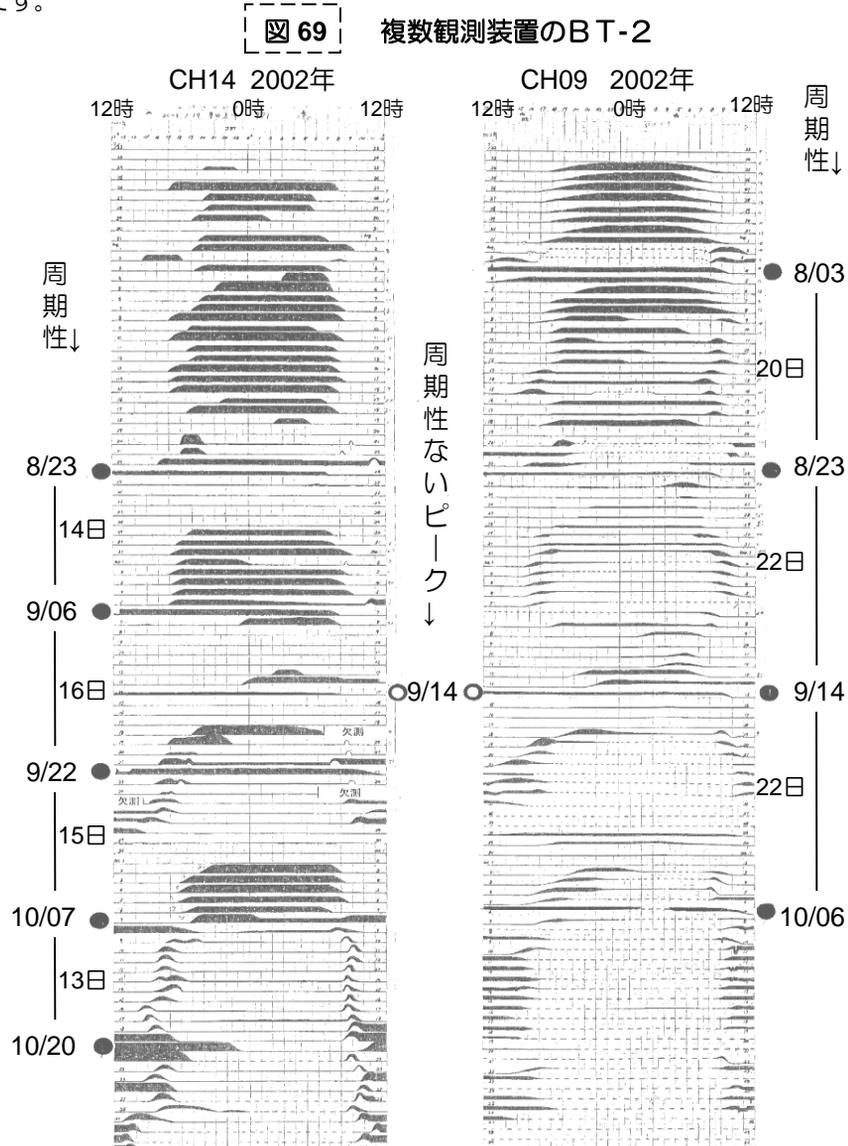
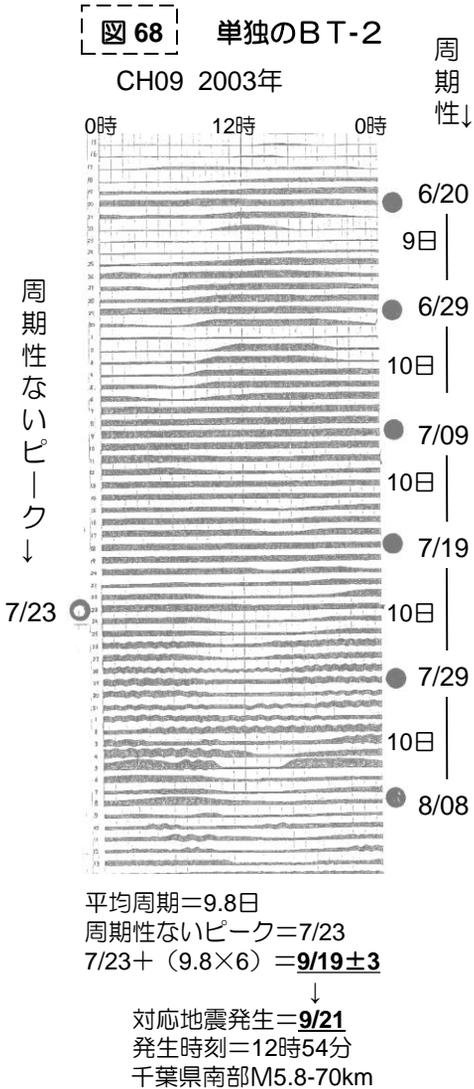


図68・69の例では規模がM6未満であることや海域下震央であることもあってか、日々のBT変化時刻と実際の地震発生時刻との誤差は大きく、良い相関ではありません。但し、±3日の誤差内には入っています。

対応地震発生日=2003年 1/19 地震発生時刻=4時50分  
三重県南東沖M5.6-45km (1時間後にM4.5-40kmも発生)

# Chap.8 地震・発生時刻が推定できる BT-2 変動

## 基線幅増大BT変動「BT-2」の 日々変化時刻と地震発生時刻との相関

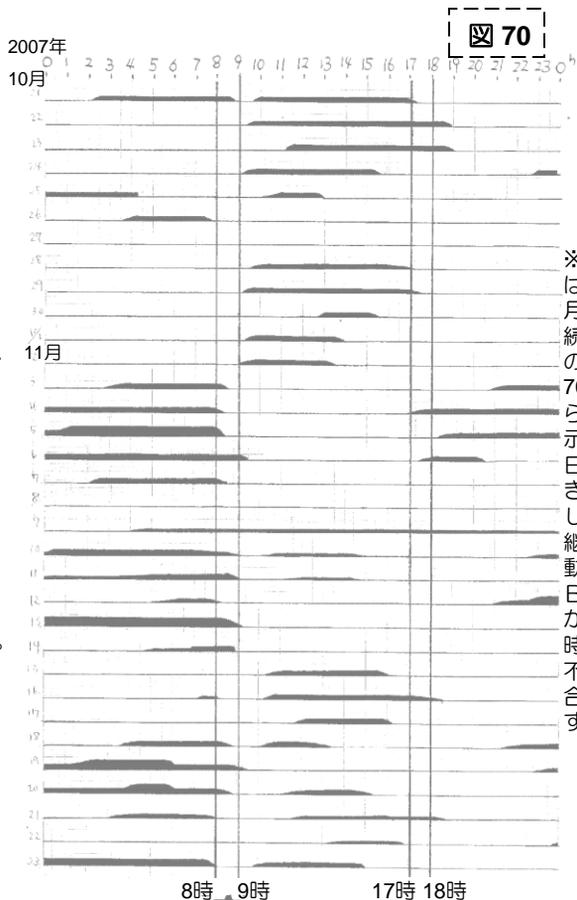
地震前兆変動の種類の中に基線幅が増大するBT変動があります(9頁参照)。BTには極大時に出現する「BT-1」と極大後に継続出現する「BT-2」があります。BT-2変動が数日以上継続出現する場合は、一日の中にBTの出現・終息の変化が見られる日が多くあります。

図70は、2008年06月14日に発生した岩手県内陸南部地震M7.2の発生前(2007年)に観測されたBT変動の日々出現の様子をスケッチした図です。横線一本が一日を表し、両端が0時、中央が昼12時を表します。横線が太く黒く表されている部分がBT(基線幅増大状態)を示します。

図70スケッチを見ますと、午前8時~9時頃と、午後5時~6時頃(縦に線を入れた時間帯)にBTの出現開始や、終息の変化が揃っているのが認識できます。多くのBT-2には一日に2回、BTの変化が現われるときがあります。このどちらかの時間帯と実際地震の発生時刻に近似が認められます。(読み取り誤差は±1時間程度)

当時は図70の他に複数のBT変動継続出現が観測されました。これらのBT変動から、2007年段階での対応地震の推定発生時刻は午前08時30分±1時間と観測情報で公開しました。実際の岩手県内陸南部地震の発生時刻は午前08時43分で、誤差は13分で見事に近似しています。この例のように地震発生日が推定される前に先に発生時刻が推定できる場合が多い。

現在までに観測された明確なBT-2が出現して発生した地震の日々のBT-2変化時間帯と実際の発生時刻との相関表を、図71に示します。BT-2の日々変化時間帯は地震によって異なりますが、一日に2回現われますので、各々2つの変化時刻を示してあります。下表で( )の付いた地震は誤差大です。M6以上地震では概ね±1時間内の誤差で発生時刻と近似していることがわかります。全ての地震でBTが観測されるわけではありませんが、BTが長い期間出現した場合には発生時刻が推定できる場合があることがわかります。



※この地震は3年3ヶ月と長期継続前兆変動のため、図70のBTからは前頁に示した発生日推定はできません。長期継続前兆変動の場合はBT周期性からの発生時期推定は不可能な場合があります。

地震発生時刻：午前8時43分 岩手内陸M7.2 6/14

震源域に力が加わりだす時刻または力が加わらなくなる時刻に対応して、BT-2が出現している可能性が示唆されます。そのどちらかの時間帯に最終破壊「地震発生」が生じる可能性が考えられます。BT-2の変化が、24時間周期であることは大変興味深い。潮汐と関係がある可能性も考える必要があるかもしれません。

図71

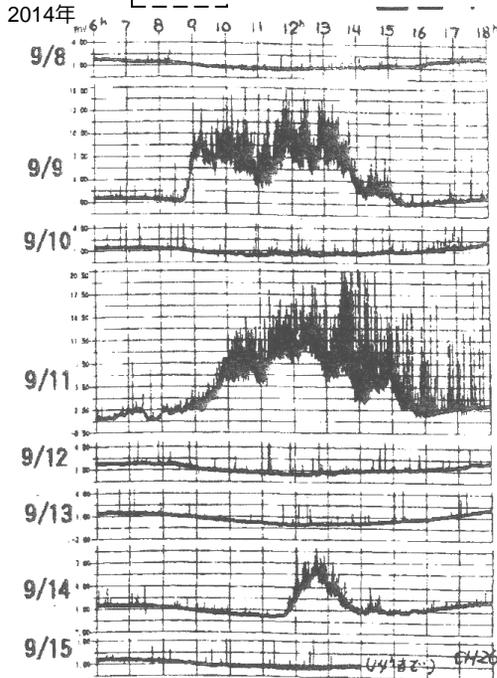
表のMj = 気象庁発表暫定値規模。

発生年月日	震央名	規模Mj	深さ	BT日々変化時刻	発生時刻	誤差
1997.03/26	鹿児島薩摩地方	M6.6	12km	04:00±・16:30±	17:31	1時間1分
1998.04/22	三重県北部	M5.5	08km	09:00±・17:00±	20:32	(3時間32分)
2000.06/07	石川県西方沖	M6.2	21km	06:00±・18:00±	06:16	16分
2001.12/09	奄美大島近海	M6.0	36km	06:00±・15:00±	05:29	31分
2003.01/19	三重県南東沖	M5.8	70km	07:00±・17:00±	04:50	(2時間10分)
2003.09/21	千葉県南部	M5.8	70km	11:00±・16:00±	12:54	(1時間54分)
2004.10/23	新潟中越地方	M6.8	13km	07:00±・18:00±	17:56	4分
2005.06/20	新潟中越地方	M5.0	15km	10:00±・14:00±	13:03	57分
2005.08/16	宮城県沖	M7.2	42km	11:30±・19:00±	11:46	16分
2005.08/21	新潟中越地方	M5.0	17km	11:00±・19:00±	11:29	29分
2007.03/25	能登半島沖	M6.9	11km	09:00±・17:00±	09:42	42分
2007.07/16	新潟中越地方	M6.8	17km	10:00±・18:00±	10:13	13分
2008.06/14	岩手内陸南部	M7.2	08km	08:30±・15:00±	08:43	13分
2008.07/24	岩手沿岸北部	M6.8	108km	01:00±・08:00±	00:26	34分

※陸地地震で規模の大きな場合は誤差が小さいが、海域や規模がM6を下回る場合には誤差が大きい様に見えます。( )で括ったものは誤差大。

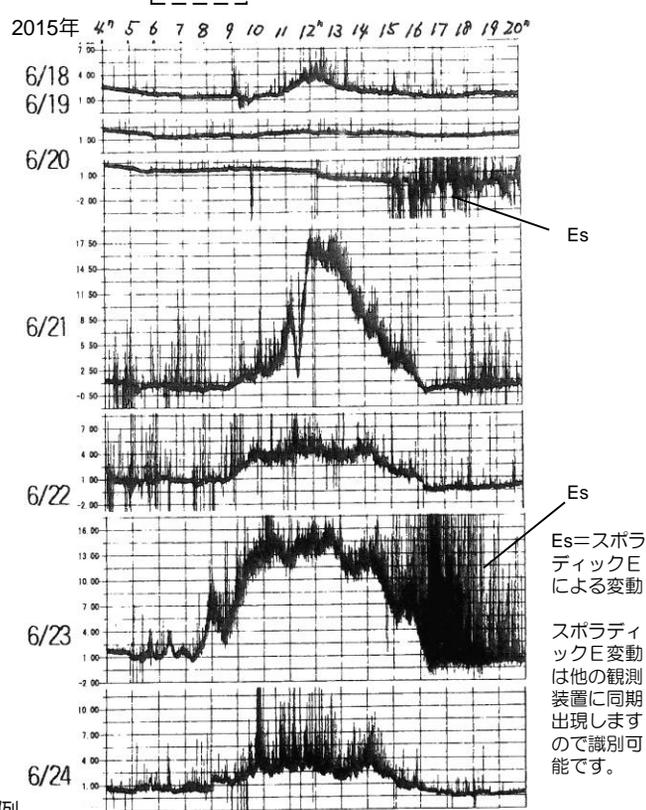
※BT変動の変化時間帯の読み取りには誤差があるため、30分単位で変化時刻を示してあります。図71ではBT変動の変化時刻2つのうち下線をつけた方の時刻が実際発生時刻と近似しています。BT変動が出現する地震の条件・理由等は、現段階ではまだ不明です。解明できるよう今後も多くの観測データを集める必要があります。

図 72



2014年09月27日発生 御嶽山噴火の前兆変動

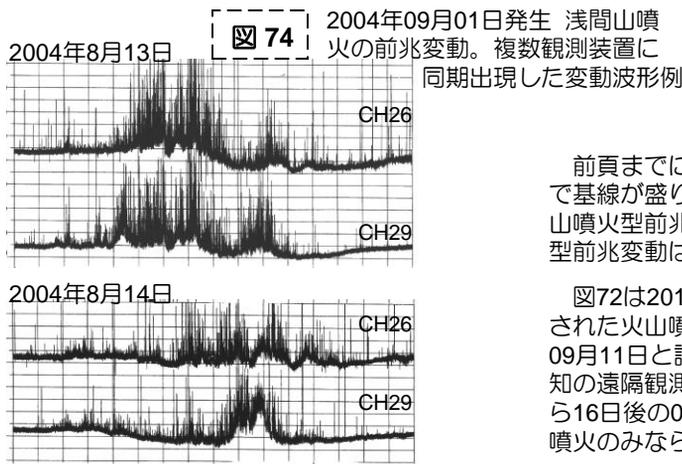
図 73



2015年06月29日発生 箱根噴火の前兆変動

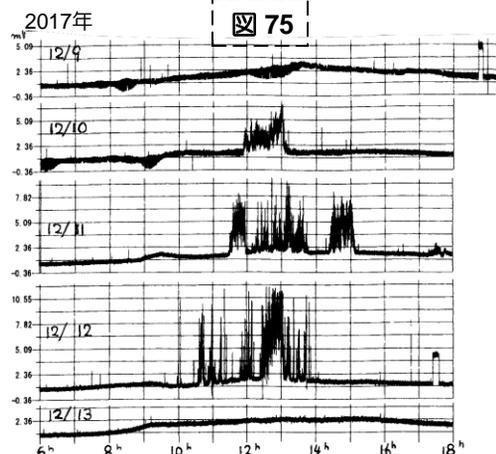
Es=スボラティックEによる変動  
スボラティックE変動は他の観測装置に同期出現しますので識別可能です。

図 74



2004年09月01日発生 浅間山噴火の前兆変動。複数観測装置に同期出現した変動波形例

図 75



2018年01月23日発生 草津白根山噴火の前兆変動  
ハケ岳南麓天文台のみで観測

前頁までに示した地震前兆変動とは異なる、細かな変動成分を含んで基線が盛り上がるような変動が、火山噴火の前に観測されます。火山噴火型前兆変動は数時間継続出現し、複数日出現します。火山噴火型前兆変動は午前8時頃～夕刻18時の日中の時間帯に出現します。

図72は2014年09月08日～15日までハケ岳の観測装置CH26に観測された火山噴火型前兆変動です。09月09日と11日が顕著で、極大は09月11日と認識。この期間、同じ日の同じ時刻に同期して秋田・高知の遠隔観測点にも変動が観測されました。極大認識の09月11日から16日後の09月27日、御嶽山で水蒸気噴火が発生しました。マグマ噴火のみならず水蒸気噴火でも前兆変動は観測されたこととなります。

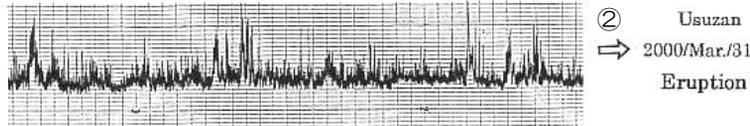
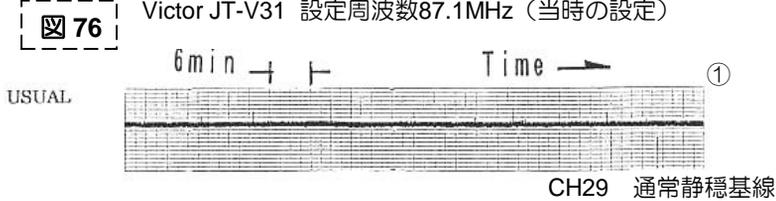
図73は2015年の箱根噴火の前兆変動で変動値は顕著です。

図74は2004年の浅間山噴火の前兆変動で、異なる観測装置の同期出現波形例です。

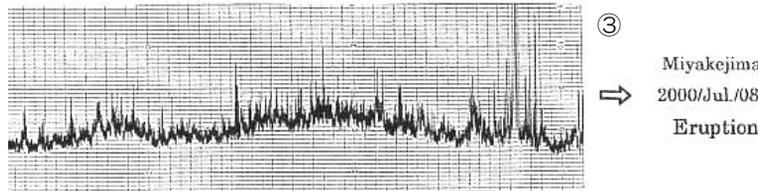
図72～74に示した火山噴火型前兆変動は5～6時間継続する変動ですが、図75の変動継続時間は3～4時間と短時間で、しかも遠隔観測点には出現が無く、ハケ岳南麓天文台のみで観測されました。対応活動は草津白根山の鏡池付近での噴火活動でした。2019年08月の浅間山小規模噴火の際もハケ岳南麓天文台のみに微弱な火山噴火型前兆変動が観測されました。小規模な噴火の場合には主に活動火山に近い観測点に前兆変動が観測される場合があります。大規模噴火でも活動火山に近い観測点に大きく変動が出現し、また細かな変動が多く現われます。火山噴火型前兆変動は間が空いても複数日出現した場合には噴火活動が生じています。

※火山噴火型前兆変動等火山関連活動前兆は活動領域に近い観測点で強く観測されます

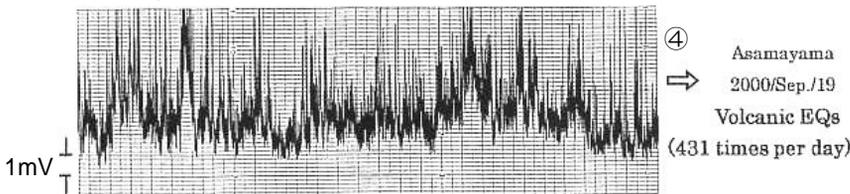
CH29 に観測された火山噴火型前兆変動（時間軸拡大表示）  
Victor JT-V31 設定周波数87.1MHz（当時の設定）



CH29 2000年03月26日 極大波形 → 2000年03月31日  
Tmap=5日 有珠山噴火



CH29 2000年07月01日 極大波形 → 2000年07月08日  
Tmap=7日 三宅島噴火



CH29 2000年09月16日 極大波形 → 2000年09月19日  
Tmap=3日 浅間山噴火

図76の②～④波形は、全て八ヶ岳南麓天文台のCH29の火山噴火型前兆変動です。

図72～75に示した火山噴火型前兆変動は変動全体を見るために時間軸を圧縮して全体を12時間・16時間として表示してありますが、図76は全体で1時間20分程度の表示とし、拡大したため細かな変動の様子がわかります。

下は火山噴火型前兆変動が複数日観測された主な活動です。他にも多々ありますが省略。Tmap日数としてあるのは火山噴火型前兆変動極大日から噴火までの日数を地震同様に表したものです。

発生年月日	活動火山	Tmap日数
1999年12月10日	桜島顕著噴火	03日
2000年03月31日	有珠山噴火	05日
2000年07月08日	三宅島噴火	07日 ※1
2000年09月19日	浅間山噴火	03日
2000年09月04日	北海道駒ヶ岳噴火	05日
2000年09月28日	北海道駒ヶ岳噴火	05日
2004年09月01日	浅間山噴火	19日
2014年09月27日	御嶽山噴火	16日
2015年06月29日	箱根山噴火	06日
2016年05月初旬	新潟焼山噴火	20日
2017年08月10日	焼岳 空振+噴気	30日 ※2
2018年01月23日	草津白根山噴火	34日
2019年08月07日	浅間山噴火	05日
2019年08月25日	浅間山噴火	06日

※1 火山性地殻地震前兆変動としては4ヶ月前に極大。噴火型前兆変動からは7日で噴火。

※2 2017年の長野・岐阜県境の焼岳は空振を伴う地震6回と噴気発生という活動で、唯一確実な噴火ではありませんでした。

現在までの観測で、定常的に火山活動が生じている火山では、明確な火山噴火型前兆変動は観測されないことが判りました。マグマの熱が地表近くまで常に上昇していることが前兆変動が現れないことに関係している可能性も考えられます。定常的に活動している桜島の活動も前兆変動は観測されてきませんでした。1999年12月10日の噴火は火柱が上空1000mまで吹き上がる非常に顕著な噴火活動であったためか、噴火3日前の12月07日を極大に火山噴火型前兆変動が観測されました。

火山噴火型前兆変動は、噴火活動が大きい場合は全観測点に同期出現することが多く、また活動火山に近い観測点に細かい変動がより顕著に現れます。小規模な噴火でも図74の浅間山噴火と図75の草津白根山噴火の変動のように、両火山に近い八ヶ岳南麓天文台に細かな変動が非常に多く観測されました。前頁にも記しましたが、小規模な噴火の場合には活動火山に近い観測点のみに変動が観測されますが、2018年の草津白根山や2019年の浅間山の火山噴火型前兆変動も八ヶ岳南麓天文台のみに観測されました。

火山噴火型前兆変動からの領域推定は地震前兆変動と同程度の広さで推定できますが、我が国では火山帯に非常に多くの火山が隣接して存在するため、噴火する火山を特定することはできません。但し、火山噴火型前兆変動が観測された時期に気象庁で火山性微動や火山性地震活動が観測されれば、活動火山を特定することが可能です。

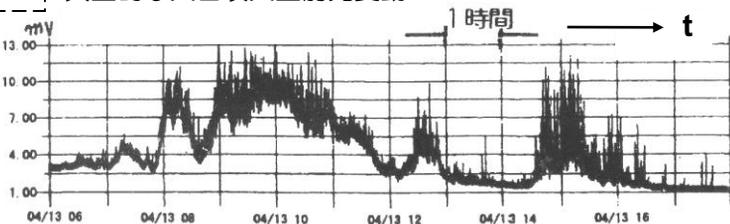
火山噴火型前兆変動が3日程度の出現では数日～1週間程度内に噴火が発生していますが、断続的にでも5日以上に渡って出現する場合には2週間以上経って噴火しています。火山噴火型前兆変動や次に述べる火山近傍地震前兆変動は地震前兆変動のように様々な推定ができるほどまだ詳しく判っておりません。今後の観測研究が必要です。

※定常的に活動している火山では殆ど火山噴火型前兆変動は出現しません。

※噴火活動する火山を特定することは前兆変動観測だけではできません（火山が多数あるため）  
気象庁の火山監視データと併せることで、噴火する火山を特定できる可能性があります。

# Chap.10 火山近傍地震前兆変動

図77 典型的な火山噴火型前兆変動

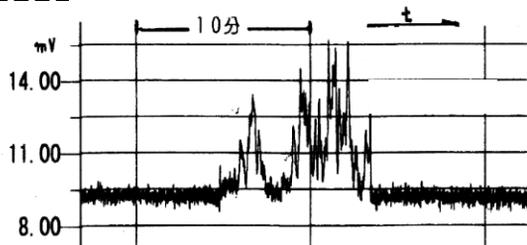


変動継続時間：数時間

噴火の場合は1～2日間があいても顕著な変動が複数日に出現する

図77は典型的な火山噴火型前兆変動です。火山噴火型前兆変動の継続時間は数時間です。

図78 典型的な火山近傍地震前兆変動



変動継続時間：20分程度内

火山噴火型変動と異なり、細かな変動が少なく、変動部分は元の基線位置から離れて、変動部の中が抜ける様な変動が特徴。

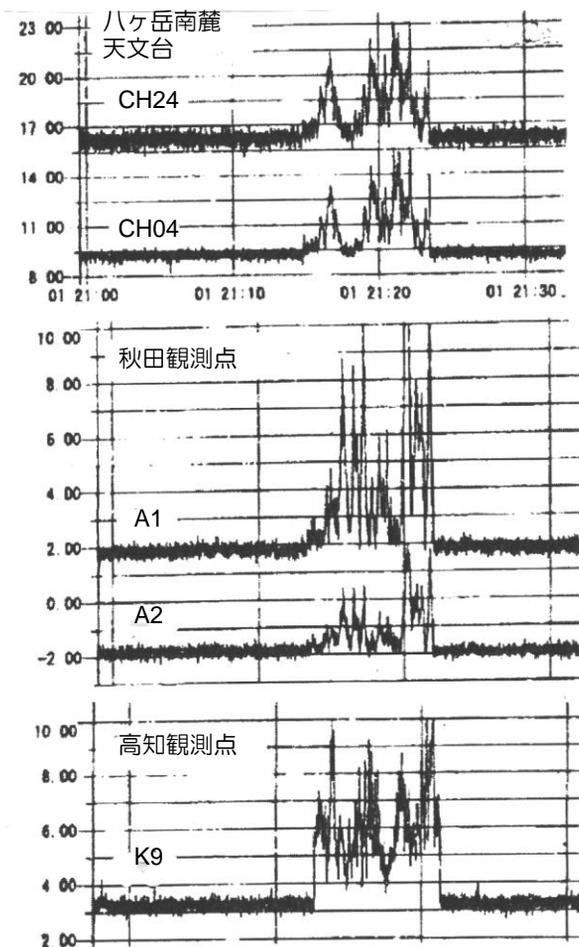
これに対し、図78に示すような継続時間が20分以下の短時間の変動が火山近傍での地震活動の前兆変動です。

火山噴火型前兆変動のような細かい変動はありません。

火山から約30km内の火山近傍領域での震源が極めて浅い（震源深さ10km程度より浅い）地震の前兆変動として観測されています。

変動面積と発生地震の規模との間に直線相関が認められるため、過去例との比較で規模を推定することができます。但し、誤差は大きい。

図79 3観測点に同期して出現した火山近傍地震前兆変動



対応地震は単発のM5以上地震以外に顕著な群発地震となる場合もあります。活動がある程度大きい場合は、ハケ岳・秋田・高知の全観測点に時刻が同期して出現することも多い変動です。

各観測点のいずれかだけに出現した場合には、出現観測点に近い領域の火山近傍の可能性がありますが。これは火山噴火型前兆変動と同じです。

図79は2014年09月01日に全観測点に同期出現した火山近傍地震前兆変動の様子です。（ハケ岳南麓天文台の波形は図78と同じ）。2日後の09月03日、栃木県北部（日光白根山近傍）でM5.1・震源の深さ7km（気象庁暫定値）の地殻地震が発生しました。全観測点に同日・同時刻に同期して変動が出現していますが、各観測点の変動波形は全く同じではありません。

火山近傍地震前兆変動も火山噴火型前兆変動同様、火山の特定はできません。

下は火山近傍地震前兆変動が観測された主な火山近傍（火山直下も含む）での地震活動と、前兆変動出現日から活動発生日までのTmap日数。

発生年月日	発生地	活動内容	Tmap日数
2014年01月24日	草津白根山	火山性地震多発	10日
2014年05月03日	岐阜飛騨（焼岳近傍）	群発地震	15日
2014年07月08日	胆振東部（樽前山近傍）	M5.6	02日
2014年09月03日	栃木北部（日光白根山近傍）	M5.1	02日
2014年11月22日	長野北部（白馬飯綱黒姫）	M6.7	15日
2014年12月16日	白山直下	群発地震133回	13日
2015年01月24日	草津白根山	火山性地震多発	10日
2015年02月23日	草津白根山火口湯釜	火山性地震多発	12日
2015年06月03日	北海道阿寒湖	火山性地震多発	12日
2016年04月14日	熊本～大分	M7.3、M6.5含む群発	22日※1
2019年04月09日	島根西部（三瓶山近傍）	M6.1	22日
2023年05月22日	新島神津島近海	M5.3含む群発地震	23日※2

※ 各観測点の波形は時刻を揃えてあります

※1 次頁冒頭参照

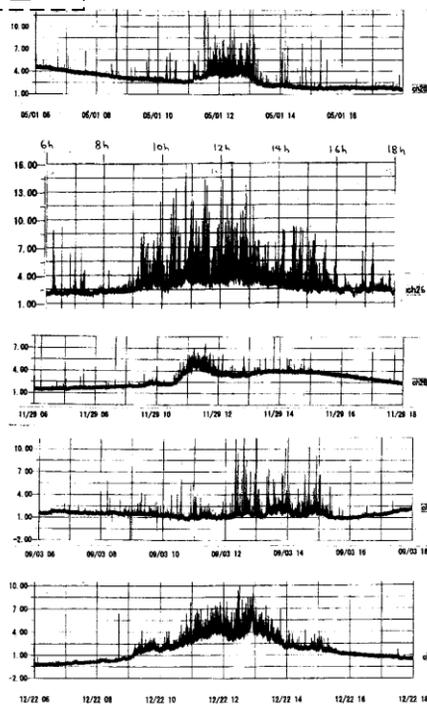
※2 次頁図81参照

## ※1 2016年 熊本地震

2016年04月14日から熊本県熊本地方から大分県中部でM6.4 M6.5 M7.3などの大型地震を含めM5.3以上だけでも15回以上の地震が群発的に発生しました。熊本地震の前兆変動は同年03月06日から約1ヶ月の間、火山近傍地震前兆変動や、楯歯変動の他、B F変動も出現するなど非常に複雑な前兆変動形態が観測されました。火山近傍での群発的な大型地震であったためと考えられます。過去観測例の中では火山近傍地震前兆変動とB F変動等が複合的に出現した極めて特殊な例です。

## 火山噴火型前兆変動であっても一日のみの出現では噴火せず火山性地震や群発地震として発生

図 80



変動出現＝2014年05月01日 Tmap=2日  
CH26.A2.A6.K8.K9.K10 観測装置同期出現  
→岐阜飛騨(焼岳直下) 群発地震  
2014年05月03日＝33回 05月04日＝4回  
05月05日＝2回

変動出現＝2014年07月10日 Tmap=14日  
CH26.A5.A6.K1.K3.K8.K9.K10 観測装置同期  
→伊豆大島近海 群発地震  
2014年07月24日＝4回 07月28日＝8回  
07月29日＝5回

変動出現＝2014年09月03日 Tmap=13日  
CH26.A5.A6.K1.K3.K8.K9.K10 観測装置同期  
→福島会津(ひうちヶ岳) 小規模複合地震  
2014年09月16日＝3回 09月17日＝1回

変動出現＝2014年11月29日 Tmap=17日  
CH26.A3.A6.K7.K3.K8.K10 観測装置同期  
→福島会津磐梯吾妻 小規模複合地震  
2014年12月16日＝3回 12月17日＝1回  
12月18日＝1回

変動出現＝2014年12月22日 Tmap=23日  
CH26.A1.2.3.5.6.K1.6.7.8.10 観測装置同期  
→福島吾妻山火口直下 無感火山性地震  
2015年01月14日＝無感地震191回

図80は八ヶ岳南麓天文台のCH26に一日だけ出現した火山噴火型前兆変動です。火山噴火型前兆変動が数日継続出現した場合は噴火活動が生じていますが、一日のみ出現した場合には、図80に示すとおり火山性地震や群発地震が発生しています。

火山近傍地震前兆変動同様、全観測点の複数観測装置に同期出現する場合があります。図80には同期出現した観測装置名を列記。(A=秋田・K=高知)

火山近傍地震前兆変動では火山近傍での中規模地震も発生していますが、一日のみの火山噴火型前兆変動に対しては、火山性地震や複数の小規模地震、群発地震などが対応活動で、中規模地震は発生していません。(但し図81はM5.3が発生しており例外)

図 81

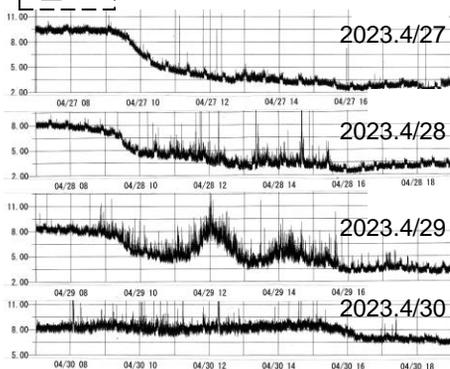


図81は2023年04月に八ヶ岳南麓天文台のCH26に観測された変動です。全て日々07時～19時までの12時間分の基線です。

4/28には弱い火山噴火型前兆変動が出現しています。4/29は明確顕著に火山噴火型前兆変動が出現しています。この4/29のみ、同期した弱い変動が、秋田観測点のA4と高知観測点のK10に出現しました。4/30には極めて微弱に変動が見えます。火山噴火型前兆変動が1日のみ出現の場合は、噴火活動ではなく、上に示した様な小規模複合地震や群発地震活動となっています。図81は複数日噴火型前兆変動が出現している様に見えますが、24頁に示した様な顕著な変動が複数日出現している訳ではありません。噴火型前兆変動が複数日出現の場合でも図81の様に顕著な日は1日のみで、他は微弱な場合は、対応地震は群発地震活動でした。5/22から新潟神津島近海でM5.3を含む顕著な群発地震活動が発生しました。

**火山近傍地震前兆変動は火山噴火型前兆変動同様活動領域に近い観測点に強く出現**

## 補足:楯歯変動が主に出現して発生した火山性地震・群発地震

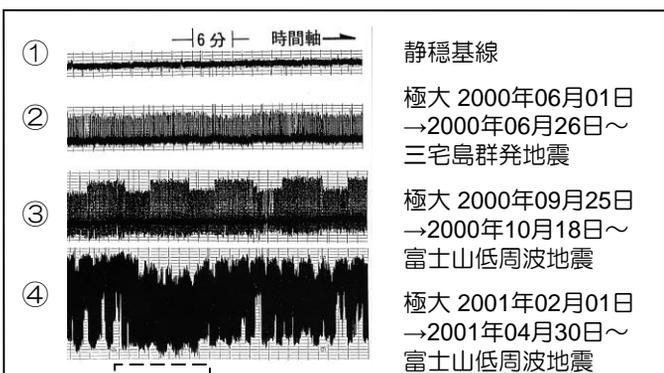


図 82 (全て八ヶ岳南麓天文台 CH12)

静穏基線

② 極大 2000年06月01日  
→2000年06月26日～  
三宅島群発地震

③ 極大 2000年09月25日  
→2000年10月18日～  
富士山低周波地震

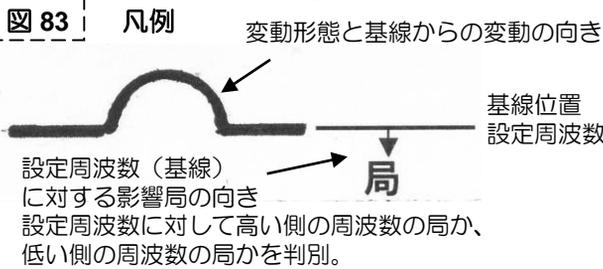
④ 極大 2001年02月01日  
→2001年04月30日～  
富士山低周波地震

火山近傍での群発地震は、火山近傍地震前兆変動や、一日だけ出現の火山噴火型前兆変動で発生していますが、図82は楯歯変動が観測された火山性地震の観測例です。

図82の①は静穏基線。②は典型的な楯歯変動で三宅島での群発地震。③は楯歯変動の変動値に周期的な段差変動が見られます。対応活動は富士山での低周波地震。④はさらに楯歯変動が顕著化し、密になっています。これも富士山での低周波地震が対応活動。2001年の箱根での群発地震でも④に近い変動が観測されました。火山直下又は火山近傍での火山性地震の前兆変動は様々な変動として観測されるので難しい。

なお、図82の活動は全て群発地震型経験則(17頁の図59参照)で発生しました。

# Chap.11 地震・火山の前兆変動のまとめ



前兆変動の基線に対する向きと変動出現影響局の基線に対する向き、並びに変動の良好出現局出力・検知領域（震央推定域）算出のための変数R値をまとめました。基線位置（基線の通常電圧値）は設定周波数。影響局の設定周波数に対する向きについては7頁並びに12頁の図41を参照。

検知領域算出経験式  
 $D = \text{局からの距離}$   $P = \text{局出力}$   
 $D_{km} = P \cdot k \cdot W^{0.25} \times R$  (経験式)

良好出現影響局出力

前兆変動種	変動形態と基線に対する局の向き	局出力 W	R値	備考
BF変動	<b>図 84</b> BF	100~250	230~1100	BFは変動面積で規模推定
PBF変動	<b>図 85</b> PBF	100~250	230~1100	PBFは継続時間計で規模推定
振動型BF変動	振動型BF変動の局の向き判定は極めて難しい。時間軸を圧縮して判定する			
ステップ型BF変動	<b>図 86</b> ステップBF	100~250	230~1100	検知領域ボーダー域付近に震源がある場合又は前兆レベルが下がった場合に出現
櫛歯変動	<b>図 87</b>	100~250	230~1100	震源が浅い地殻地震並びに群発地震特有の前兆変動
基線幅増大 BT変動	<b>図 88</b>	100~500 (1kw)	0~500	M5以上規模地震の場合出現・極大時のBT1と極大からのBT2がある
BT特異変動	<b>図 89</b> BT特異	100~250	230~1100	M6以上規模地震の場合出現
BF特異変動	<b>図 90</b> BF特異	100~250	230~1100	BT特異は長期継続前兆の途中で出現 周期性はない
PBF特異変動	<b>図 91</b> PBF特異	100~250	230~1100	BF特異・PBF特異はBF・PBF変動より頻繁に出現。
糸状特異変動 (不規則変動)	<b>図 92</b> 糸状特異	100~250以上	0~500	糸状特異より弱い場合は不規則変動
火山噴火型変動	<b>図 93</b> 噴火型	100~250	0~1100	火山噴火型変動は顕著に複数日出現の場合は噴火。1日のみの場合は近傍地震
火山近傍地震型変動	<b>図 94</b> 火山近傍地震型	100~250	0~1100	火山近傍地震前兆変動は変動値から規模推定可能

- ※1 PBFの場合は連続したうねり変動となるため、時間軸を圧縮して基線に対する曲線変動の向きを判定する必要がある。
- ※2 ステップBFは数時間~数十時間に及ぶ場合があるため、元の基線位置を確認することが重要。
- ※3 長期間継続する糸状特異変動は基線に対し糸状特異変動と逆向き局の場合が多いが、局側の場合もあり、基線位置のまま糸状となる場合や、特異変動が弱い場合の不規則変動等、特異変動の場合は影響局を推定することは難しい。

上表の各変動に対する局出力・R値の値は2023年6月段階までの観測経験から求めたもので、今後の観測で修正される場合もあります。

# 地震発生内容を推定するために、前兆変動の何を測るのか

## ① 領域の推定

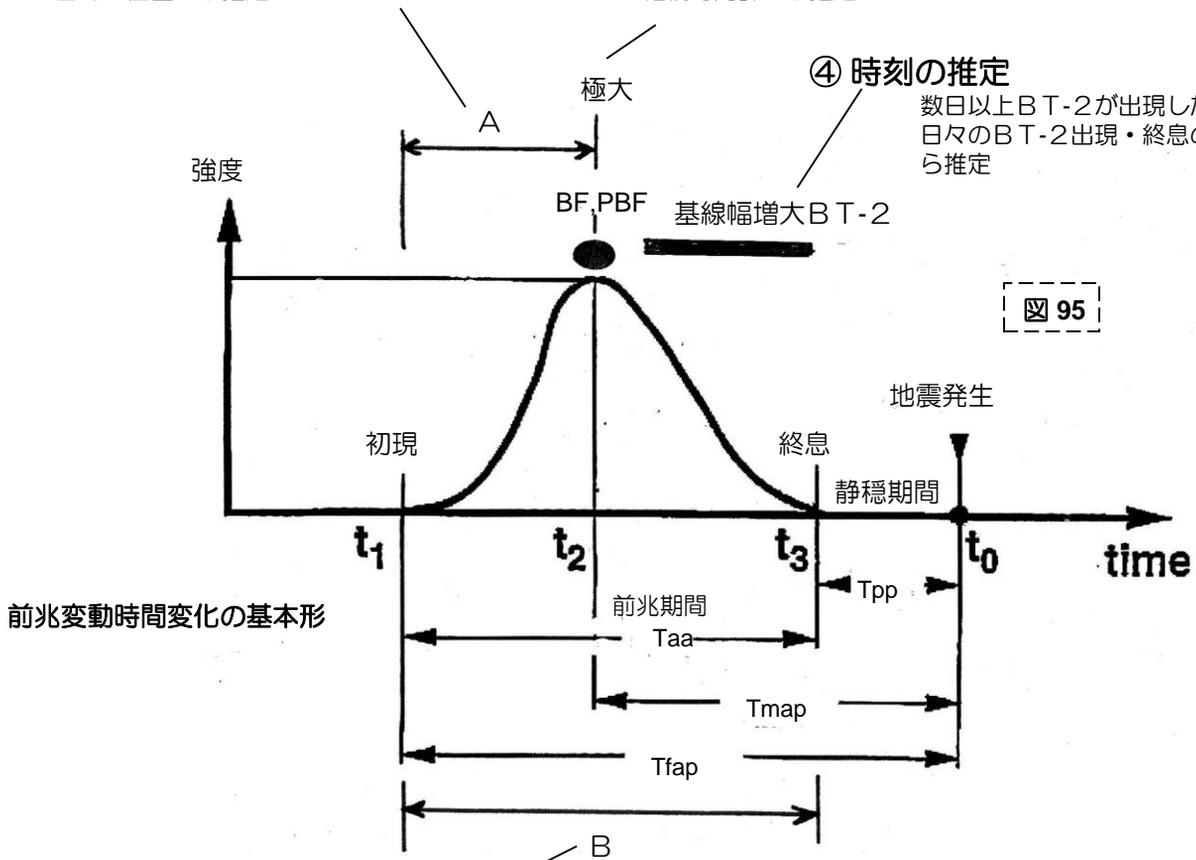
A期間中の前兆変動出現放送局の出力と位置から推定

## ② 規模の推定

極大時のBF変動の変動値またはPBF変動の出現継続時間計から推定

## ④ 時刻の推定

数日以上BT-2が出現した場合、日々のBT-2出現・終息の時刻から推定



前兆変動時間変化の基本形

## ③ 時期の推定

B期間中の前兆変動の時間変化比率から推定

## 地震発生時期を求めるための変動の時間変化比率経験則

$$\begin{aligned} T_{fap} : T_{map} &= 20 : 13 \\ T_{fap} : T_{pp} &= 6 : 1 \\ T_{map} : T_{pp} &= 3.9 : 1 \\ t_1 \sim t_2 : T_{map} &= 7 : 13 \\ t_1 \sim t_2 : t_2 \sim t_3 &= 2.1 : 2.9 \end{aligned}$$

※ここに示したのはあくまでも基本形。主・副極大型や、静穏期間中に直前特異が出現する場合があります。またさらに前兆変動が減衰する場合には前兆変動全体が観測できない場合があります。

## 地震の発生内容は徐々に推定される

- 1) 前兆変動初現～極大時期＝「領域推定」が可能
- ↓
- 2) 前兆変動極大時＝「規模推定」が可能
- ↓
- 3) 前兆変動初現～終息までの期間＝「時期推定」が可能

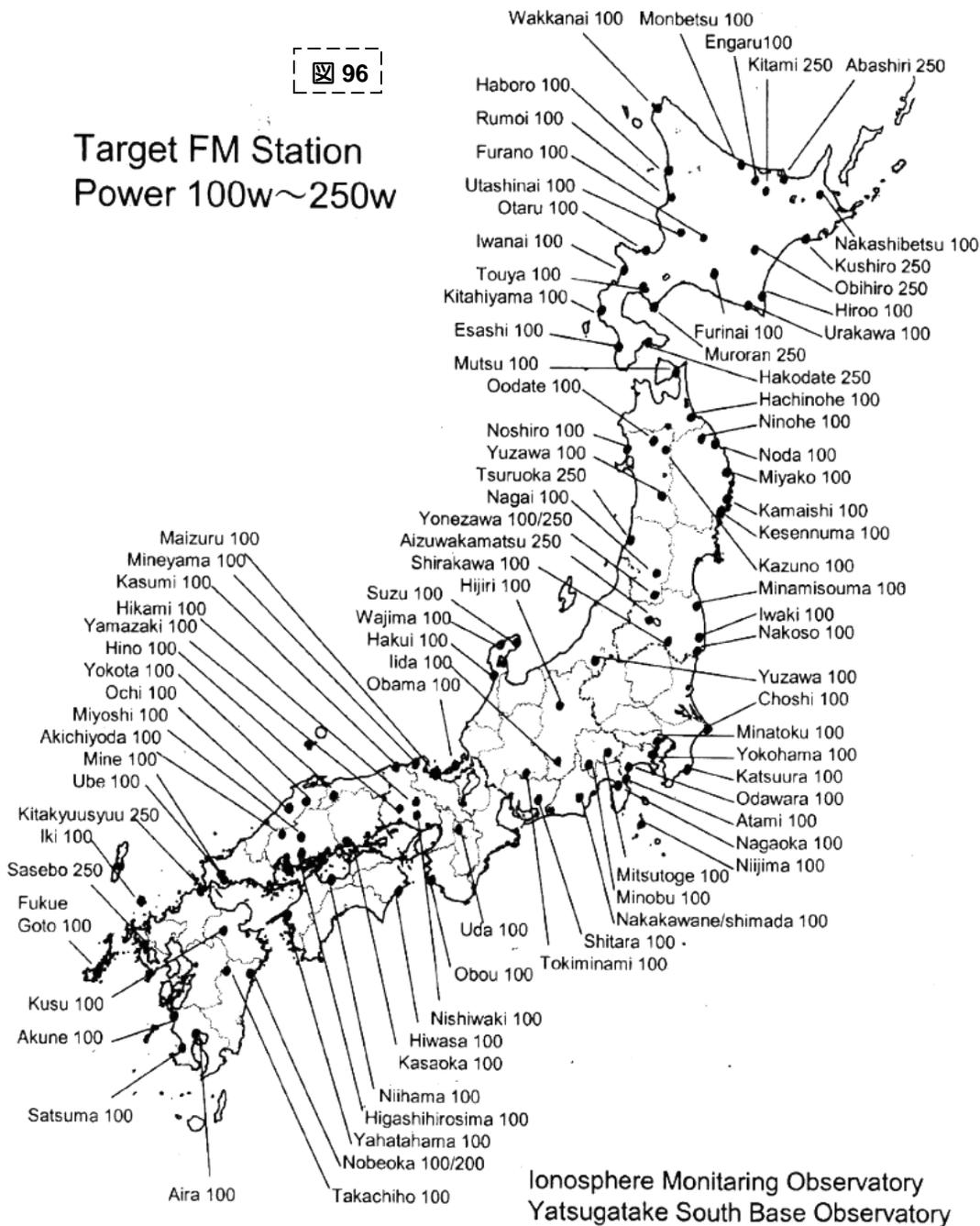
以上が「地震推定の3要素」 さらに

- 4) 極大時以降基線幅増大BT-2変動が出現した場合は＝「発生時刻の推定」が可能
- 5) 極大時の規模評価と前兆変動出現観測装置数から＝「陸域地震か海域地震かの判別」が可能
- 6) 前兆期間の長さとして5)の判定を加味し＝「地震種(プレート境界地震・地殻地震)」の推定が可能な場合がある

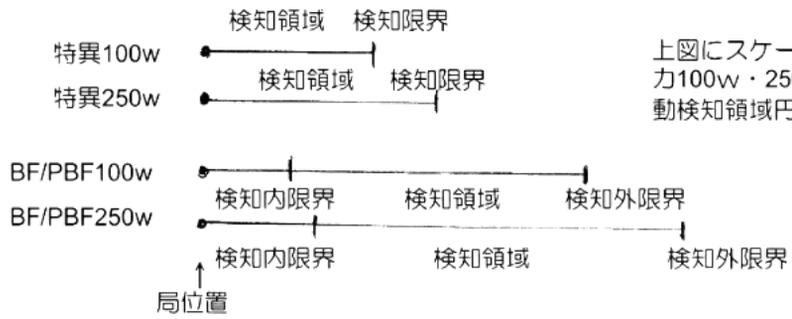
## 発生する地震の活動内容を推定するためには、前兆変動の異なる要素を測る

図 96

Target FM Station  
Power 100w~250w



Ionosphere Monitoring Observatory  
Yatsugatake South Base Observatory

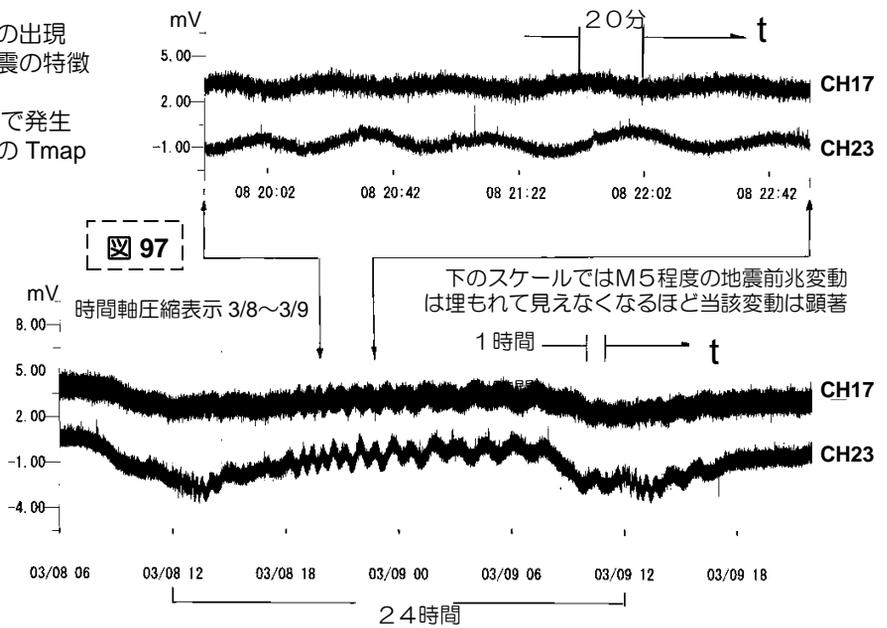


上図にスケールを合わせた、局出力100w・250wによる地震前兆変動検知領域円(ドーナツ円)半径

# Chap.12 2011年3月11日 東北太平洋沖M9巨大地震

過去最大の変動値の振動型B F変動  
 顕著前兆であるのに2観測装置のみの出現  
 → 遠か沖海域大型地震の特徴  
 前兆極大=03月09日未明  
 地震発生=03月11日 極大から2日で発生  
 → プレート境界型地震のTmap

2011年03月08日の昼前から図97のとおり、八ヶ岳南麓天文台の観測装置CH17とCH23に、非常にゆったりとした振動型B F変動が出現しました。通常表示(図97の上波形)では良くわかりませんが、図97の下波形のとおり、時間軸を圧縮しますと、振動型B Fであることがわかります。変動値は過去最大です。非常に顕著な前兆変動でありながら、CH17とCH23の2つの観測装置にしか前兆変動が出現していないことから、遠か沖海域(目標放送局から岩手沖~宮城沖)での大型地震の可能性が示唆されました。



しかし、当時別の長期に渡る大型地震前兆が多数の観測装置に出現中であり(後述、№1778前兆)、これに関連する変動の可能性も考え、海域巨大地震とする報告が遅れました。

海域での巨大地震発生の可能性を伝える観測情報を作成途中、プレート境界型地震の最も早いTmap日数である極大から2日となる03月11日、巨大地震は発生しました。

図98の表は、東北太平洋沖地震発生後の前兆変動が検知可能なM6以上の関連余震と、地震前兆検知観測情報で推定内容を配信した実際の予報との対応表「予報結果」です。

最初の静岡東部地震(富士山南麓)の前兆変動は、東北太平洋沖地震が発生する前の03月11日午前中に観測されたものです。B F変動の他、火山近傍地震前兆変動も観測され、伊豆を含む東海東部~南関東を推定して情報配信。この地震が東北太平洋沖地震関連である場合は、東北太平洋沖地震の本震発生前に前兆変動が出現したことになります。最終破壊である地震発生の前の前兆変動終息段階が、すでに関連地震の発生に影響を与えている可能性が示唆され、大変興味深い事例です。

図98の大型関連余震の予報結果は、前兆変動評価にミスがあり規模推定誤差が大きいものがある他、複数の近接する地震が識別できなかったものもありますが、概ね良好な結果でした。

前兆変動極大	領域	規模	時期	備考
3/11	推定: 伊豆含む南関東 実際: 静岡東部富士山	M6.0±0.5 M6.4	3/16±2 3/15	火山近傍
3/12	推定: なし 実際: 福島沖 長野北部	M6.8 M6.7	M6.2	本震と発生時期が近接で識別困難
3/15-16	推定: 茨城~福島沖 実際: 茨城北部 福島沖 福島浜通り	M7.6±0.5 M6.1 M6.7 M6.0	3/19 or 22± 3/19 3/22 3/23	近い領域での複合地震の為領域識別困難
3/25	推定: 宮城沖~岩手沖 実際: 宮城沖	M7.5±0.5 M6.5	3/27±2 3/28	PBF出現継続時間計の計測を失敗
3/21	推定: 宮城沖~岩手沖 実際: 宮城沖	M7.0±0.5 M7.2	4/06±2 4/07	PBF長期出現からTmap長いと判断
4/05	推定: 福島沿岸~沖 実際: 福島浜通り	M7.0±0.5 M7.0	4/11±2 4/11	
4/09	推定: 南関東(沖含む) 実際: 茨城南	M6.0±0.5 M5.9	4/14±2 4/16	
4/16	推定: 千葉沖~茨城沖 実際: 千葉東方沖	M5.9±0.5 M6.0	4/21±2 4/21	
4/26	推定: 福島沖 実際: 福島沖	M5.8±0.5 M5.7	4/28±2 4/28	

図98 2011年東北太平洋沖地震発生後の地震の予報結果

2011年03月15日~04月30日期間のM6以上地震を推定した全予報内容と、前兆変動検知可能なM6以上の実際発生地震との対応表「予報結果」です。M9本震発生直後の03月12日福島県沖M6.8・6.2、長野県北部M6.7、03月13日茨城県沖M6.6等は前兆変動の識別は困難でした。明確な前兆変動が観測されなかった長野県北部地震M6.7は、当地が停電で観測不能期間もありましたが、圧縮応力地震ではない可能性も示唆されます。

# Chap.13 長期継続前兆変動 №1778

本観測では公開実験として、地震前兆変動が観測されると観測情報を配信しています。その中で観測された地震前兆変動にナンバーを冠して報告すると共に整理しています。ナンバーは、地震前兆変動の初現報告の観測情報、または、まとめを報告した観測情報のナンバーと同じ数字を使用しています。当該長期継続前兆は№1778前兆としています。

№1778前兆は2008年7月初旬から出現し、初現時期から多数の観測装置に特異変動が観測されました。最大30の観測装置に前兆変動が出現し、初現・極大の出現時期から経験則に則って求められた発生推定時期が次の変動群ステージの初現となったり、極大となるなどして前兆が常に継続出現しながら現在までに26もの前兆変動群ステージが現われています。

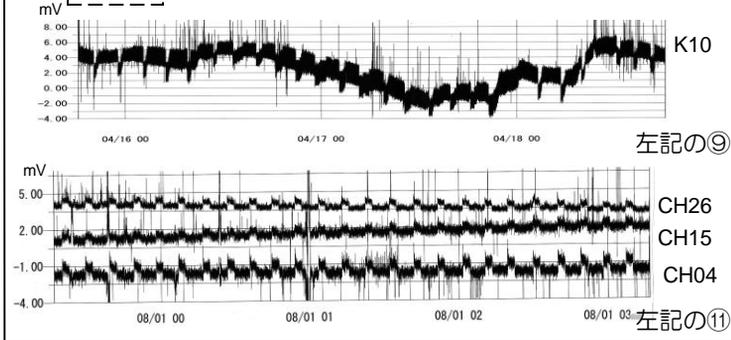
## 明確なPBF変動出現継続時間計 (振動型BF変動含む)と 推定規模

出現年月日(出現観測装置) 出現継続時間 推定規模

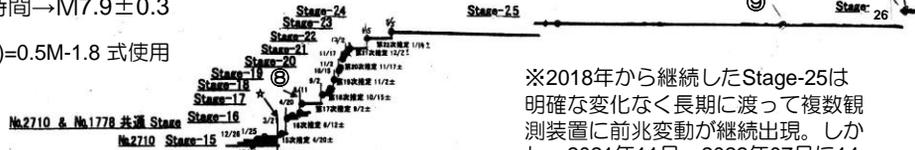
- ① 2011年09月04日(CH20) 約100時間→M7.6±0.3
- ② 2012年06月27日(CH23・16) 約120時間→M7.8±0.3
- ③ 2013年01月14日(CH09) 約140時間→M7.9±0.3
- ④ 2013年11月11日(CH15) 約120時間→M7.8±0.3
- ⑤ 2015年12月21日(CH08振動型) 約108時間→M7.6±0.3
- ⑥ 2016年01月13日(CH32振動型) 約114時間→M7.7±0.3
- ⑦ 2016年02月07日(CH08振動型) 約111時間→M7.7±0.3
- ⑧ 2016年06月15日(CH26) 約 92時間→M7.5±0.3
- ⑨ 2021年04月17日(K10) 約169時間→M8.0±0.3
- ⑩ 2022年07月23日(CH26,15等) 約156時間→M8.0±0.3
- ⑪ 2022年08月01日(CH26,15等) 約149時間→M7.9±0.3

↑ 図中の番号に対応 ※推定規模は Log PBF(h)=0.5M-1.8 式使用

図 99 2021年～2022年に出現したPBF変動波形例

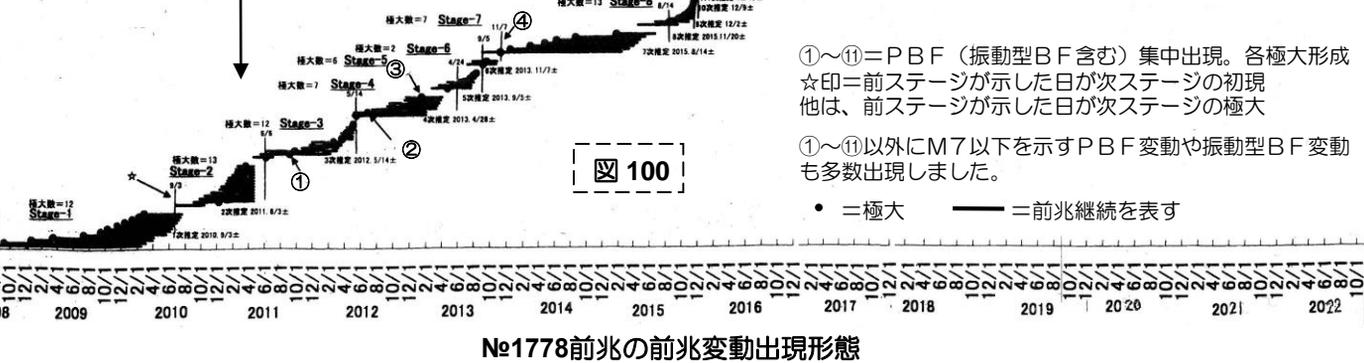


PBF変動は出現時期各々で周期も異なる。左記⑩⑪は複数観測装置に変動周期が同期するPBFが出現した。



※2018年から継続したStage-25は明確な変化なく長期に渡って複数観測装置に前兆変動が継続出現。しかし、2021年11月～2022年07月に14項目の前兆変動変化が揃ってStage-26の極大2022年07月28日(ツインピークス型極大)を示しました。

2011年03月11日、東北太平洋沖M9.0巨大地震が発生しましたが、№1778前兆変動には変化無し。東北太平洋沖地震の前兆変動は別に観測されています。31頁参照。



①～⑪=PBF(振動型BF含む)集中出現。各極大形成  
☆印=前ステージが示した日が次ステージの初現  
他は、前ステージが示した日が次ステージの極大

①～⑪以外にM7以下を示すPBF変動や振動型BF変動も多数出現しました。

● = 極大      — = 前兆継続を表す

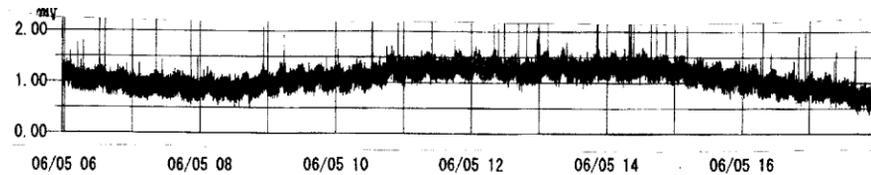
## 1995年の観測開始以降、始めて観測した15年を超える最長継続前兆変動

図100は2008年7月初旬～2022年8月迄の約14年3ヶ月続いた段階での№1778前兆の前兆変動出現形態を示した図です。26もの前兆変動群ステージを現しながら長期に渡り前兆変動が継続しています。1995年から開始した地震前兆変動検出観測の中では、2008年に発生した岩手県内陸南部地震M7.2の前兆期間が3年3ヶ月と最長でしたが、当該№1778前兆は15年を超える前兆変動継続で驚くべき長期出現です。初期は領域推定を東北領域または近畿領域と考えましたが、領域推定経験式のR値の修正で本州中部の可能性を経て、本州中部～北関東の範囲が推定領域となりました。前兆変動の長期出現と多数観測装置に前兆変動が観測されたことから、次の内容が示唆されます。

- ① 海洋プレート境界型地震の過去例をはるかに超える前兆変動の長期継続出現 → 地殻地震を示す
- ② 過去最多の、最大30の観測装置に前兆変動が観測された → 陸地地震を示す

PBF変動

2016年06月05日出現 CH26のPBF変動



振動型B F変動

2013年04月11日～14日出現 CH04・CH07の振動型B F変動

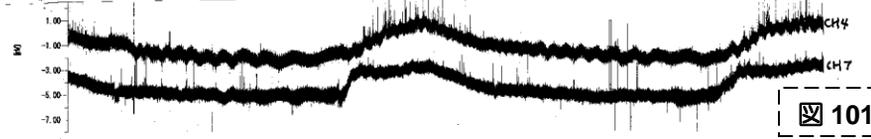


図101下波形のような振動型B F変動も№1778前兆の中に複数観測装置に複数回観測されました。集中出現したものを図100中に記しました。PBFと同様に出現継続時間計からの推定規模を計算しますと、 $M7.7 \pm 0.5$ となりPBF変動と似た値となりました。

№1778前兆には複数観測装置に複数回、継続時間計が100時間以下のPBF変動も観測されました。長時間集中出現してピークを作ったPBF変動の出現時期・出現継続時間計並びに経験式から計算された規模は、図100中に記しました。

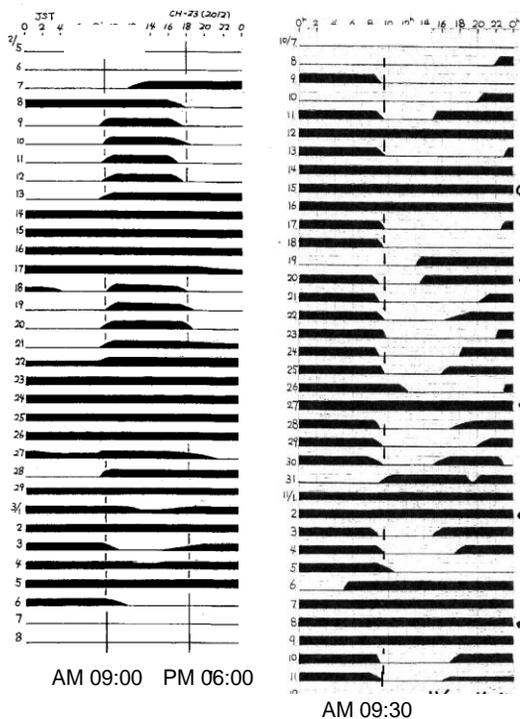
複数のPBFが観測された場合の過去例では、実際発生地震規模との誤差が少ないのは最大値として観測された値でした。今回の№1778前兆では8回もの規模推定根拠変動が観測された中で $M7.8 \sim M8.0$ が多いですが、最大値は $M8.0$ であるため、推定規模は $M8.0 \pm 0.3$ としました。

推定規模： $M8.0 \pm 0.3$

図 102

BT変動

2012年02月～03月 CH23BT 2018年10月～11月 CH34BT



№1778前兆には複数観測装置に複数回BT変動も観測されました。全て一週間以上に渡って出現しました。図102はその中の2例を示しました。横線1本を一日として毎日のBT変化をスケッチしたものを並べますと、24時間中に2回のBT出現・終息変化時間帯が見えます。図102左の2012年のCH23には、午前09時と午後06時に縦線を入れてあります。図102の右の2018年のCH34には午前09時30分に縦線を入れてあります。縦線を入れた時間帯はBTの変化が揃って見える時間帯です。複数のBTスケッチを同様に見ますと、中には基線幅増大が数日変わらず継続し、変化時間帯の認識ができないBTもありましたが、多くのBTでは、午前09時～09時30分の時間帯と、午後04時～06時の時間帯の2つの変化時間帯が認識できました。従って、推定発生時刻は以下としました。

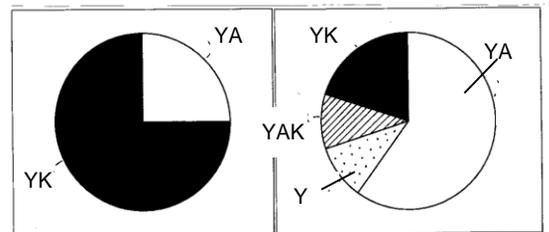
発生推定時刻：午前9時±2時間  
または 午後6時±3時間

櫛歯変動

№1778前兆には図103に示すような櫛歯変動が多数の観測装置に何度も出現しました。櫛歯変動は震源が極めて浅い地震を示す前兆変動です。その中で、ハケ岳南麓天文台と遠隔観測点に時刻が同期して出現した櫛歯変動もありました。

図104は2016年発生の中地地震と、№1778前兆変動に各々3観測点に観測された同期櫛歯変動の比較です。熊本地震ではハケ岳南麓と高知観測点の同期出現変動が75%を占めます。

図 104

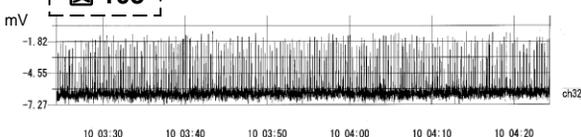


2016年04月14日発生熊本地震 2016年05月出現の1778前兆認識  
前兆として観測された櫛歯変動 観測された櫛歯変動の観測点ごとの同期出現割合

凡例

- Y=ハケ岳南麓天文台のみ出現
- YA=ハケ岳南麓天文台・秋田観測点 同期出現
- YK=ハケ岳南麓天文台・高知観測点 同期出現
- YAK=ハケ岳南麓天文台・秋田観測点・高知観測点 同期出現

図 103



対する№1778前兆変動ではハケ岳南麓と秋田観測点の同期出現が多く、次にハケ岳南麓のみと、全観測点同期出現が多く観測されました。櫛歯地殻地震前兆変動や火山関連前兆変動は活動領域に近い観測点の方が大きく出現します。従って、№1778前兆の対応地震は、ハケ岳南麓の近傍であり、ハケ岳よりやや北寄り領域の可能性が示唆されます。

# №1778 前兆群で出現した「火山近傍地震の可能性」を示す前兆変動例

2016年05月24日

八ヶ岳南麓天文台

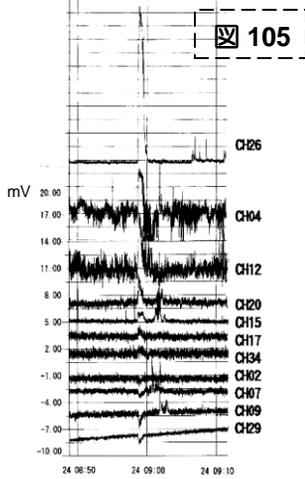
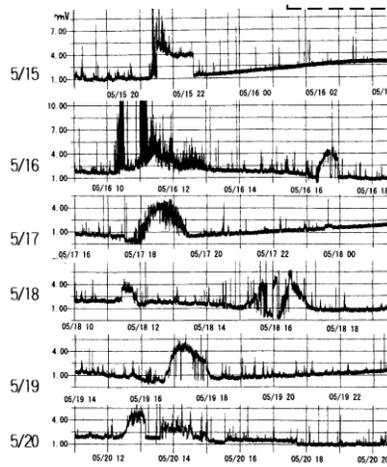


図 105

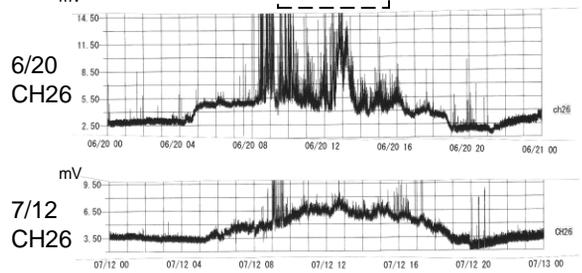
2019年05月

図 106



2022年

図 107

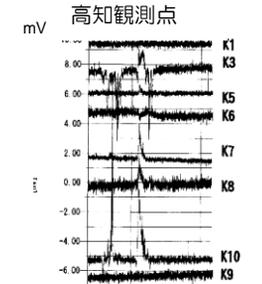
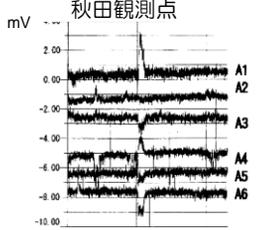


№1778前兆では期間全体を通して火山近傍地震前兆変動が非常に多数観測されています。

図105は2016年05月24日に全観測点に時刻同期で出現した火山近傍地震前兆変動例です。

図106は2019年05月に八ヶ岳南麓天文台のみに観測された変動で、変動継続時間は1～3時間です。火山噴火型前兆変動の継続時間は数時間。火山近傍地震前兆変動の継続時間は20分程度内です。変動継続時間からは火山噴火型前兆変動に近いですが、変動の形状は火山近傍地震前兆変動に近似しています。すなわち、火山近傍地震前兆変動と火山噴火型前兆変動の中間的な変動と言えます。№1778前兆では、この様な変動が八ヶ岳南麓のみに多数観測されました。

図107は2022年06月20日と07月12日の両日を中心に各数日間、八ヶ岳のCH26に観測された変動です。変動形態は火山噴火型近似。変動継続時間は12時間以上と長く、複数日の出現で、火山噴火型前兆変動の条件を満たしています。但し、24頁に示した火山噴火型前兆変動の様な変動部に細かな変動が明確に認められず、さらに過去例では変動から噴火迄の最長は34日で、2ヶ月以上の過去例はなく、過去例と合いません。従って図106の変動は火山近傍での大型地震を示す変動と認識。これらからも№1778長期継続前兆変動の対応地震は推定領域内でも八ヶ岳に近く北側の火山近傍領域を含んでいる可能性が極めて濃厚と推定。



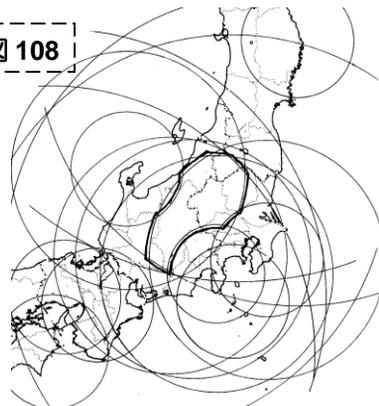
特異変動

- BF・PBF変動
- CH02=伊豆100w
  - CH04=輪島100w
  - CH07=西脇100w
  - 宮古100w
  - CH08=伊豆100w
  - CH09=輪島100w
  - CH16=新島100w
  - CH20=日和佐100w
  - CH23=伊豆100w
  - CH26=函館250w
  - K5 =宇陀100w
  - K10 =函館250w

- CH17=伊豆100w
- CH20=飯田100w
- CH21=飯田100w
- CH34=勝浦100w
- CH29=勝浦100w
- K1 =静岡1kw
- K3 =伊豆100w
- K10 =静岡1kw
- A4 =身延100w

※特異変動は1kwでも出現

図 108



## 領域の推定

№1778前兆は最大30の観測装置に前兆変動が観測されました。図108左に記した観測された前兆変動出現放送局から経験則に則って検知領域ドーナツ円を作図しますと、図108の太線領域内が推定領域となります。

図109は火山近傍領域の可能性が高いことから、八ヶ岳に近い主な火山と、推定領域を重ねた図です。図109左に記した2022年07月から観測されたPBF変動及び特異変動の検知領域を図108に加えますと、図109の点線領域のとおり、図108より狭められました。

- PBF
- CH26=横浜100w
  - CH12=新島100w
  - 米沢100w
  - CH15=宮古100w
  - CH17=横浜100w
  - CH07=宮古100w
  - CH04=室蘭250w
  - CH14=舞鶴100w
  - CH34=横浜100w
  - CH20=日和佐100w
- 特異
- CH17=伊豆100w
  - CH21=新島100w

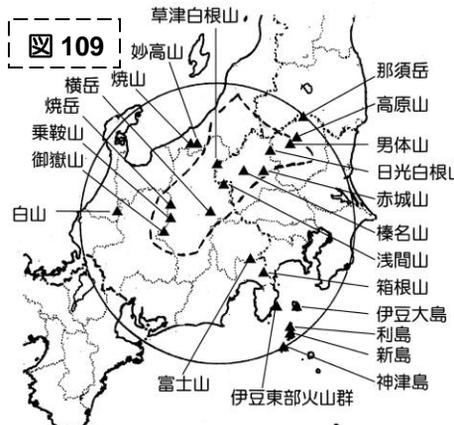


図 110

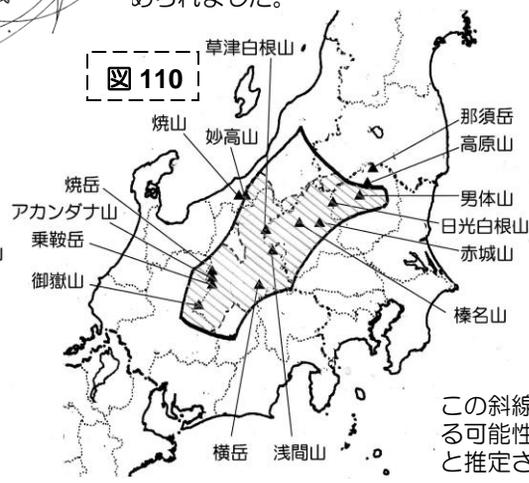


図110は№1778前兆変動から推定される推定領域と領域内にある主な火山から約30kmの近傍領域を斜線で示した図です。1778前兆変動推定震源域が、この斜線域を含んでいる可能性が極めて高いと推定されました。

# 推定内容の推移

№1778前兆の初現観測当時は前兆変動出現影響局から東北領域が考えやすかったのですが、その後影響局が増え、近畿圏の可能性も出てきました。しかし、BF・PBFの検知領域算定経験式のR値の修正から、それまで近畿・東北の可能性が考えられた重複領域が北関東～長野（新潟の一部含む）付近が考え易いこととなり、全ての変動の影響局から推定される領域として長野領域中心領域の可能性が極めて高くなりました。2018年以降は本紙34頁の図108の推定領域となり、現在は図110が推定領域です。なお、規模推定値はその時点で観測されたPBF前兆変動の継続時間の測定から修正しました。

※当該長期継続前兆変動は2012年発行のPHP新書「地震予報」の中に、その時点までの内容を詳しく書きました。そのため、読者の方へのフォローとして、PHP新書発行後の№1778前兆変動について、ホームページ [jishin-yohou.com](http://jishin-yohou.com) で順次観測状況と、その時点での推定内容を公開し続けています。

	観測根拠変動・経験則修正等	推定領域	推定規模
2008年07月	前兆変動初現（複数観測装置特異）	東北圏	M6.8±0.5
2009年	複数BT変動観測	//	M7.3±0.5
2010年		//	M7.5±0.5
2011年09月	PBF100時間観測	//	M7.6±0.5
2012年06月	PBF120時間観測 複数BT観測	近畿圏or(東北圏)	M7.8±0.5
2013年01月	PBF140時間観測（M7.9±相当）	//	//
2017年	BF・PBFのR値修正	長野～岐阜等	//
2018年	BF・PBFのR値修正	長野～群馬等	//
2021年04月	PBF169時間観測	//	M8.0±0.3
11月		//	//
2022年02月	BTからの推定発生時刻若干修整	//	//
2022年09月	BTからの推定発生時刻若干修整	//	//

## 発生時期の推定

15年継続した№1778前兆変動の中で、14もの変動関係からひとつの極大が示されたのは初めてでした。

2023.06/20までの前兆出現状況図

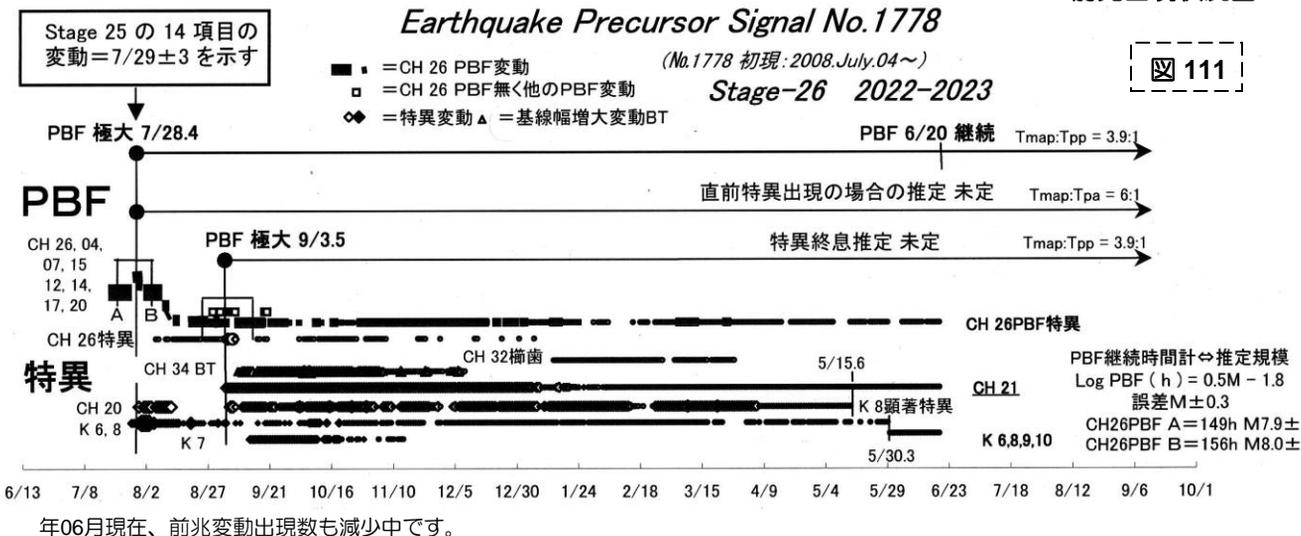
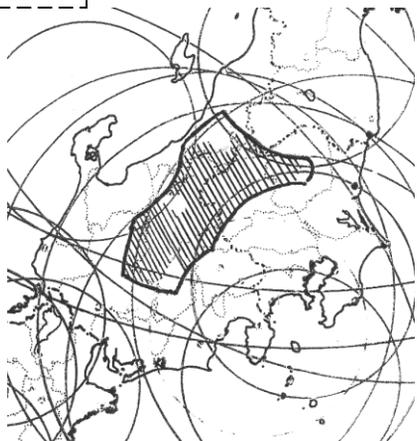


図 112



推定領域

推定時期 [jishin-yohou.com](http://jishin-yohou.com) 参照  
 対応地震：未発生のため記入不可  
 発生後記載予定

項目	推定
領域	図107太線領域内
規模	M8.0±0.3
時期	HP <a href="http://jishin-yohou.com">jishin-yohou.com</a> 参照
発生時刻	AM 9:00±2 or PM 6:00±3
地震種	震源浅い地殻地震

図113

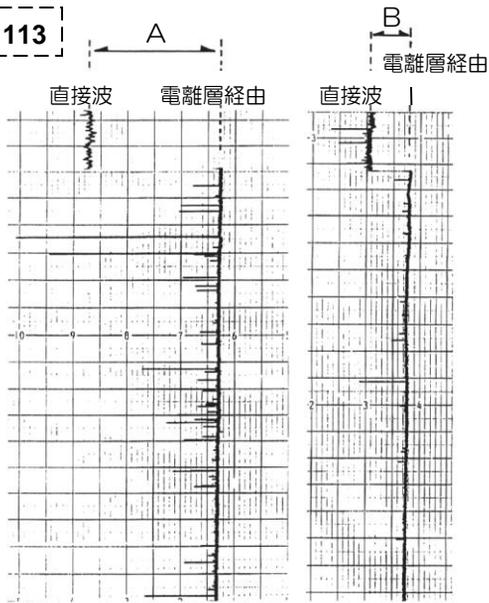


図114

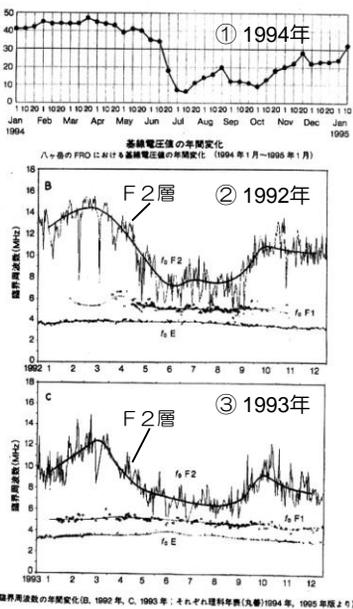


図113は1994年の観測記録2種です。設定周波数は77.2MHzです。当時は77.1MHzで放送大学（東京）の放送が直接波として受信されました。深夜から明け方まで放送大学電波が停波しましたので、深夜の時間帯に流星観測を行っていました。

図113を見ますと、放送大学直接波受信部分と放送大学電波停波後の基線の電圧値に差が認められました。図113のAとBの差は季節によって変化していました。この差分の年間変化をグラフで表したものが、図114の①1994年のグラフです。その下の②1992年と③1993年のグラフは東京国分寺の郵政省通信総合研究所で測っていた電離層の臨界周波数の年変化です（理科年表より転載）。臨界周波数年変化の中でも電離層F2層の変化と、図114の①グラフは似ています。このことから本観測で得られている基線は少なくとも電離層F2層の影響があることがわかります。

## 将来の震央の上空電離層の電子密度変動によるFM電波の散乱 散乱強度変化

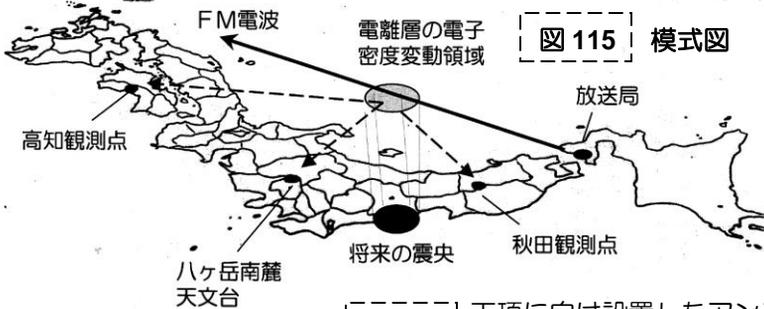


図115 模式図

## 電離層での通常の電波の散乱 強度が地震発生前に変化する

放送局位置と震央・観測点の距離を考えると、原因領域は電離層の高さでないと説明できませんので、現象の原因領域は電離層。電離層には希薄ですが、プラスの電荷を持つイオンとマイナスの電荷を持つ電子が、ばらばらな状態で存在しています。FM放送電波を含むVHF帯域電波は、電離層の電子の密度変化で散乱されやすい周波数です。

図115は北海道の放送局電波で東北南部の地震前兆変動を、秋田・ハケ岳・高知の3観測点で捉えた例の模式図です。震央上空の電離層での電波が「反射」ではなく、「散乱」されるため、離れた3観測点で変動を検出されると理解できます。

電離層の電子密度変動が極めて微弱であっても、本観測では震源域上空電離層の広い範囲（厚みも含め）を積分視しているため、検知できている可能性が高いと考えられます。



図116 天頂に向け設置したアンテナ

観測初期は、放送局方向に水平からの角度を傾ける等様々な方法も試みたが明確な変化は認められなかった。現在は全て天頂方向に固定設置。但し、感度面（素子の並び方向に対し直角方向）は一応検知したい地域の方位に向けている。しかし、素子の方向と前兆変動検知実績を鑑みると、あまり関係がない。また5素子ではなく2素子のアンテナでも変動検知は可能なので、アンテナの利得はあまり関係がないように見える。

「地震発生前に電離層の電子密度が微妙に変化することで、電離層での通常のFM電波の散乱強度が地震発生前に変化する」のを本観測では捉えていると考えられます。観測される地震発生前の、この現象は電磁波が放射されるなどの動的な現象ではなく、「静的な状態の変化」であると考えられます。

下に気になる点、現在まだ説明ができていない項目を列挙

- ①なぜ地震によって前兆変動形態に違いがあるのか？
- ②BF・PBF・BT・特異などの前兆変動形態の違いは電離層での変動が現われているのか？ または受信機内部での現象が現われているのか？
- ③BF変動と出現継続時間が規模を示すPBFの違いの原因は？
- ④同じ地震の前兆が周波数や受信機の違いによって変動出現形態が変わるのはなぜか？
- ⑤火山噴火型前兆変動・火山近傍地震前兆変動・歯槽変動は3観測点に時刻同期で出現するが、地震前兆変動であるBF・PBF・BT等の変動が3観測点で時刻が同期して出現したことはないのはなぜか？
- ⑥電離層の電子密度変動領域の実際の高さ（E層・F層等）や、規模による電子密度の変化量など定量的なことがわかっていない。但し、火山噴火型前兆変動は日中の時間帯のみ出現することから電離層F1層が原因等、電離層の変動域の高さのヒントになる。

### 反射と散乱の違い

晴れた日中に、鏡を地面に置いた場合、ある位置から見ると太陽が眩しく映ります。これは反射です。次に鏡の代わりに白い紙を地面に置きますと、特定の位置でなくても、どこから見ても紙が白く明るく見えます。これが散乱です。本観測で地震前兆変動や火山前兆変動として観測される目標放送局電波の変動は、秋田観測点やハケ岳南麓、高知観測点でも観測されます。これは地震前兆変動として観測されている目標局電波の変動が電離層で反射されたものではなく、散乱されているものであると理解されます。

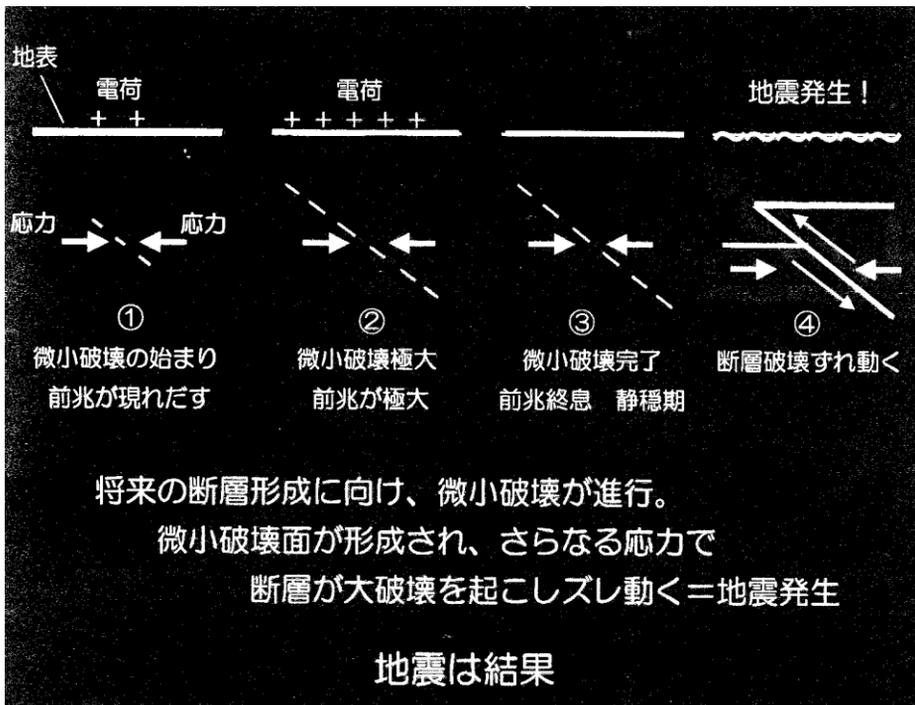


図 117 仮説模式図

図117のとおり、微小破壊が継続している期間は、電離層での電子密度変動が続き、遠方局電波の散乱現象が続き、変動が観測されます。微小破壊が完了すれば電荷変動も終息し、前兆変動は観測されなくなる。「静穏期」を迎えます。その後、さらなる応力で微小破壊領域が大破壊を起こし、断層を生じてすれ動く、いわゆる「地震発生」となるという考え方です。

地震は最終結果であり、地殻の深いところで、断層が形成されていく過程を電離層を鏡のように使い、電気的な現象として観測できている可能性が高いと思われます。基線幅増大のB T変動の変化時刻が地震発生時刻と近似するという観測事実を見ても、地下での変動がほぼリアルタイムで電離層に現われている可能性が高く、このタイムラグの少ない即応反応は化学的な現象よりは電気的（静電気）な現象である可能性が考えやすいと思われます。

私たちの暮らす日本では、日本列島の地殻の下に海洋プレートが潜り込んでいるため、日本列島の地殻には絶えず力が加わっています。このため、プレートの境界面や内陸の地殻で多くの地震が発生しています。

地震とは「断層を生じて岩盤が大破壊を起こしてすれ動き、地面が揺れる現象」と言われています。本観測からは地震発生前に震央上空電離層で微小な電子密度変動が生じている可能性が考えられます。地震発生前の震央上空電離層の電子密度を微小にでも変化させる要因で最も簡単で考えやすいのは、震央地表の電荷分布に変化が生じ、静電誘導現象で電離層の電子密度が対応変化している可能性です。

地表の電荷（静電気）に変化が生じるには様々な原因が考えられますが、最も考えやすいのは破壊現象です。実際の観測でも、圧縮応力で破壊が生じる逆断層メカニズムの地震では前兆変動が良く観測できます。しかし、引っ張り応力で破壊が生じる正断層メカニズムの地震では、前兆変動が減衰しています。引っ張り破壊よりも圧縮破壊の方が生じる電荷の量が多いことを、物理実験で確かめた先生から伺ったことがあります。

先にも記しましたが、地面が揺れる地震自体は断層を生じて岩盤がすれ動く現象ですが、断層の大破壊が生じる以前、将来の断層となる岩盤領域で応力変動（力が加わる）によって微小破壊（マイクロクラック）が生じている可能性が示唆されます。震源が深くても、この微小破壊によって生じた電荷（静電気）は地表面に現われますので、これによって電離層の電子密度が変化している可能性が示唆されます。地表と電離層を両極板とするコンデンサーです。勿論、変動原因を説明する仮説は他にもあると思われますので、静電誘導仮説には固執しません。但し、電離層の電子密度を微小にでも変化させる原因としては、地表表面の電荷分布の変化が一番シンプルであると考えます。

本観測法では、地震発生に先行して、前兆変動が観測されることは確かです。

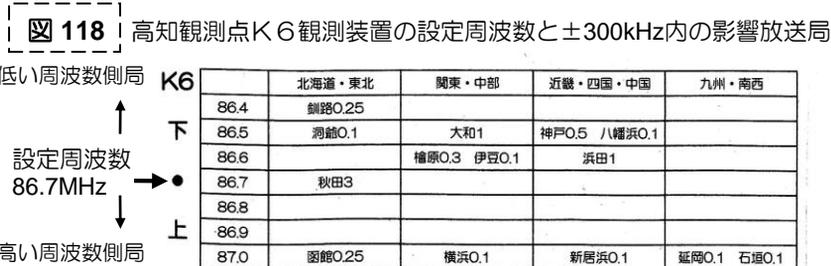
- 1) 「BF・PBF波形の形→影響局→領域推定」
- 2) 「強度・継続時間→規模推定」
- 3) 「全体の時間変化の形→時期推定」

など地震の各要素によって、観測データの見える部分・測る部分が異なり、徐々に発生地震の内容（3要素他）が推定されます。発生時期よりも先に発生時刻が推定できる場合も多々あります。また、前兆変動数が少ないと領域の推定が非常に難しい場合もあります。しかし今まで述べてきたように「地震は予測できます」。天気予報は天気予知とは言いません。同様に本観測での地震の推定も予知ではなく「地震予報」と呼びたいと思います。

前頁下段の①～⑥の各項目についても、多くの、また様々な種類の地震前兆変動を観測し、その中で順次説明できるようになる可能性もあります。本観測法は決して全ての地震や火山の活動を事前に予測できるものではありませんが、少なくとも大きな被害を生じる活動については、事前に予測できると考えます。ここまですべて参りました内容は、観測事実と実際の活動との相関関係です。理論については今後の観測研究や、他分野の先生方のご協力を賜れば、万人が納得できる説明ができると確信しております。ただ、現状でも防災として「地震予報」として利活用できると考えます。

# Chap.15 問題点と今後の展望

図118は高知観測点の観測装置K6の設定周波数と、受信される影響局を示したものです。例えばBF変動が観測され、BF変動の波形の形から、設定周波数に対し低い側の周波数電波で前兆が出現していることが判別できたとしても、低い側の周波数には、伊豆長岡100W・北海道洞爺100W・釧路250Wなどと離れた地域の異なる放送局があり、どの放送局で出現した前兆であるのか識別はできません。



前兆変動が多数観測されれば、放送局から描く検知ドーナツ円が重ならなくなる局が出てきますので、どの局で前兆変動が出現したのか推定できますが、前兆変動数が少ない場合には、影響局を決められず、領域推定が難航します。影響局決定を誤ると、実際とは全く異なる領域が推定されてしまうことになります。これを解決し、領域推定の確度・精度を上げるには、影響局がひとつだけ受信できる状態（同じ周波数帯に遠方局がない状態の放送局）の観測専用局が3局でもあれば、推定領域のドーナツ円がひとつ決定できますので、既存のFM放送局電波を使用した現在の観測システムのデータと併せ、領域を間違いなく正確に推定することが可能となります。さらに、願わくば太平洋上や日本海上に観測専用FM放送局が設置できれば、推定領域がより絞り込めます。実際には海洋電波発信機の製作設置・メンテナンスには、それだけで莫大な費用が必要なようですので、電源が確保できる離島に観測専用FM電波送信所が設置使用できれば、現在よりも領域推定作業の確度・精度が向上します。

## 領域推定の精度を上げるには 目標局となる観測専用のFM放送局（出力100w）設置が有効

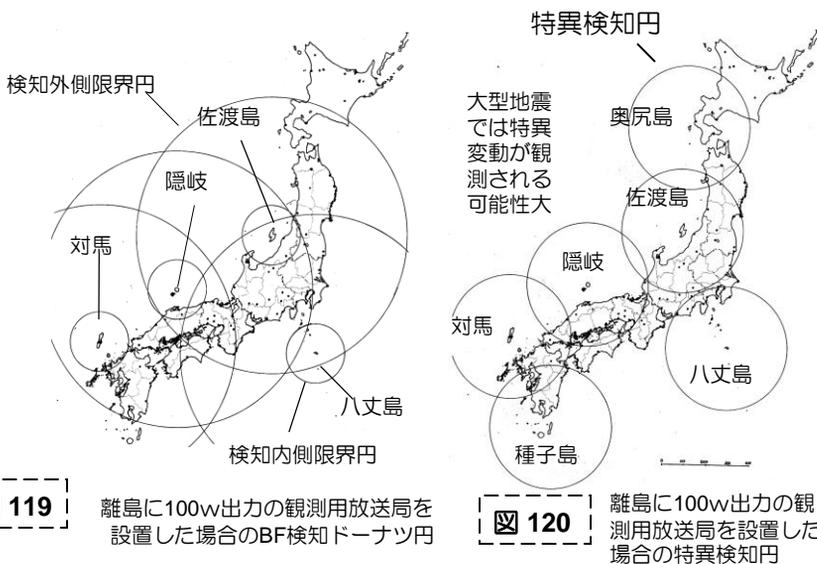


図119は、佐渡島・八丈島・隠岐・対馬に100Wの放送局を設置した場合のBF・PBF変動の検知ドーナツ円を描いた図です。図120は特異変動の領域円です。特異変動はBF・PBF変動の検知領域円より小さいため、例えば八丈島局からは、八丈島を含んで南関東～伊豆・東海南部領域が検知領域となりますので、懸念されている首都圏直下巨大地震や東海地震などの前兆変動が明瞭に捉えられ、現在よりも正確な領域推定も可能となります。観測専用FM放送局出力は100Wが最適です。

### 観測点増設も有効

火山性活動（火山噴火・火山近傍地震）前兆変動は活動領域近傍の観測点に大きく出現する機会が多いので、現在の八ヶ岳南麓・秋田観測点・高知観測点の他に、北海道や九州に受信観測点を設置することもあると考えられます。現在の既存のFM局と併せ、離島局が観測で利用できれば、明確に領域推定精度が上がる可能性があります。

### 観測解析員増強の必要性

大きな地震前兆出現中は別の地震前兆を識別検出することは難しい。観測解析員が複数いれば検出することが容易となる他、本解説では地震前兆変動の基本形を示しましたが、実際の前兆変動は非常に複雑なため、その検出や変動形態認識には熟練を要するため、本観測をマスターする若手の観測解析員の養成も必要です。

### 観測専用受信機の開発・メカニズムの解明の必要性及び地震学火山学との協働体制

現在は1980年代まで生産されていたアナログ式のセンターチューニングメーターを搭載したFM受信機を観測に使用していますが、アナログ式のセンターチューニング回路（検波回路）を熟知し、製作できる技術者はすでに高齢となっています。貴重な技術が失われる前に前兆がより明確に検出できる観測専用の受信機が製作できれば、現在の受信機と並行観測して確認できます。また、定性的なだけでなく、多くの研究者によって定量的に事実を説明できるようになることは、万人が納得できますし、科学として非常に重要なことと思います。また火山噴火が推定された場合、火山活動が活発化している気象庁等のデータがあれば、活動火山を特定できますし、地震活動でも微小地震活発化データなどがあれば領域推定に役立てられます。

## 地震予報が可能である事実を周知普及とさせる必要性と予報による地震防災対策の実施・法的整備の必要性

現在は地震予知は「地震学では不可能」という発表を元に他の方法も含め全て地震予知は不可能という常識が広まっています。事前に地震が予報できれば防災対策も変わります。また、たとえ首都圏直下巨大地震や東海南海トラフ巨大地震等の前兆を観測した場合でも、現状では社会混乱を招くため、地震前兆検知観測情報を配信提供している公開実験参加者の方々以外には、広く一般公表はできません。社会混乱を招かずに大型地震の発生予報を一般公開するためには、本方法について広く知って頂く必要もありますし、地震予報が可能な場合の法的整備も必要になります。皆様方のご教示、ご支援、ご協力が是非とも必要です！

### 地震予報の精度向上と地震予報情報を一般に広く提供するためのステップ

現状は、観測解析員が決定的に足りません。また、首都圏及び東海・南海等のトラフでの巨大地震が推定されても、地震前兆検知観測情報（公開実験）で一部の方のみにしか公開できません。本来地震予報情報はエリート情報ではなく天気予報同様万人が活用できる情報であるべきと考えますが、現状は困難。登録された方々への観測情報配信のみとなっています。

- Step-1** 現在の観測解析体制の整備増強を現在の観測システムの運用を止めずに行う。
  - ・資料観測データの整理・教科書の作成。
  - ・人材育成（人件費の捻出のため現在の公開実験参加者を増やす）。
  - ・受信観測点の増設。
- Step-2** 広く国民全員へ観測法や観測される現象の周知を行う。
  - ・地震予報情報の公開の発信方法等の検討。
  - ・地震予報情報に関連する法的整備。
- Step-3** 観測専用の受信機の開発・製作。
  - ・現在の観測所（ハケ岳南麓天文台）に併設して同等の観測所を設置する。観測専用受信機が有効であるか、前兆変動の検知状況を比較し、本観測へ順次運用移行。
- Step-4** 離島へ100w出力の観測専用電波発信局を設置する。
  - ・推定領域識別のため、本土に同じ周波数帯に1局しかない観測専用100w局を新たに開設する。

※既に28年、殆ど無休で観測解析を続けてきました。今後もできる限り観測解析を続けたいと考えます、皆様のご協力があれば、上記のステップを進んで行きたいと考えます。各ステップは順番通りではなく、並行して進めることも重要。まずは一人でも多くの方の公開実験（観測情報配信）へのご参加を切に望みます。



図 121 FM電波モニター観測研究室

この研究室で、ハケ岳南麓天文台のみならず、秋田・高知の遠隔観測点データを日々観測解析し、地震前兆変動の検出と、地震発生予測作業・観測情報作成配信作業を行っている。



図 122 観測データ資料室その1

1995年からのペンレコーダーの観測記録紙の一部。この4倍以上の記録紙が別室に保管されている。2018年以降は資金不足のため、デジタル記録データのみに変更。

## Chap.16 徐々にわかってきた現象と経験則発見の年表

- 1993年・FM電波流星観測中に地震前兆変動を発見
- 1995年・兵庫県南部地震発生を機に地震前兆観測本格化
  - ・移動観測で遠隔地データとの比較が有効であることを確認
- 1997年・地殻地震には前兆期間の長いものがあることを経験
- 1998年・前兆変動の時間経過に伴う強度変化経験則の発見
  - ・群発地震型経験則の発見
- 1999年・秋田観測点開設 遠隔観測点始動
  - ・前兆変動は余震を含めない主震規模のみ表すことを確認
  - ・PBF変動継続時間と規模との相関を発見し経験式作成
  - ・火山噴火型前兆変動の発見
- 2000年・高知観測点開設
- 2002年・BT変動周期性からの発生時期推定の経験則を発見
  - ・BT変動の日々変化時間帯と地震発生時刻との近似を発見
  - ・領域推定経験式と係数の修正
- 2003年・PBF変動の極大継続時間測定方法の修正
- 2008年・前兆変動出現影響局が100W~250Wが最適であることを確認
  - ・前兆期間が3年以上の地殻地震で特殊な前兆形態を経験
- 2011年・300kHz離調影響局でも前兆変動の向きは同一なことを確認
  - ・東北太平洋沖地震で振動型BF変動出現を観測
- 2014年・火山近傍地震前兆変動の発見、変動値と規模との相関発見
- 2016年・火山性前兆変動がBF変動の中で極大を形成するケースを観測（熊本地震）
- 2018年・領域推定経験式の係数R値の修正
  - ・火山近傍地震前兆変動の領域推定経験式の係数R値の決定
- 2019年・領域推定経験式の係数R値の修正
- 2022年・PBFツインピークス極大時、2極大共に継続時間は規模を示す
- 2023年・BF特異の他にPBF特異があることを観測
  - ・BF特異、PBF特異のR値はBF変動と同じR値で調和を確認
  - ・火山噴火型前兆変動複数日出現が噴火ではなく地震前兆変動の極大を示す場合があることが確認された（№1778）

## 地震前兆観測情報配信提供「地震前兆検知公開実験」参加者募集

本観測研究には公的な支援はありません。観測研究を維持するための資金は、公開実験という形での多くの皆様方からの公開実験参加支援費が全てです。参加を戴いた皆様には、E-mail または F A X で、日々の地震前兆観測情報を配信公開提供させて頂いております（E-mail の場合は TIFF-File）。

前兆変動検知可能な地震発生が推定されない場合は1週間に最低1枚（A4サイズ）、平均しますと観測情報は3～4日に1枚の配信です。地震前兆変動出現状況・地震発生の可能性の有無や、実際発生地震の報告、前兆との関係・予報結果などを記してあり、検知可能な地震発生がしばらく無いなどの安心情報にもなっています。

地震には様々なタイプがあります。今までとは違う経験則となる地震も起こりえます。現段階での不明点もあります。そういった意味でも本観測はまだ発展途上段階であり、長期に渡って観測研究を続けていく必要があります。その間にも被害地震が発生する可能性もあります。

首都圏直下の巨大地震が発生する確率は今後30年以内に70%とも言われている他、東海～南海トラフでの巨大地震発生も懸念されています。これらの巨大地震は勿論、富士山の噴火も事前に前兆変動を捉え、予報情報として配信できると考えます。

地震予報は一部の人たちだけの情報となってはなりません。現状では地震前兆検知観測情報で地震発生に備えることもできると考えます。本観測研究を長く継続させるために、是非とも、ひとりでも多くの方のご参加ご支援を賜ればと願ってやみません。

※地震前兆変動検知観測情報の配信希望の方は地震前兆検知公開実験参加申込み書でお申込み下さい。規約・申込み書はE-mailまたはF A X・郵送でお送りさせて頂きます。HPからダウンロード頂いても構いません。

URL [www.jishin-yohou.com](http://www.jishin-yohou.com)

不明点・申込み用紙ご希望の方はお気軽にご連絡下さい。



### 日々配信している観測情報

1995年07月から配信している「地震前兆変動観測情報」

観測された地震前兆変動や、火山関連前兆変動を実際の波形を掲載して報告し、過去例・経験則等を使用した活動予測を専門的なことをご存じない皆様でも読める様に、できる限りわかりやすく報告。M5以上・最大震度3以上の発生地震と前兆変動との相関も報告しています。現在はF A XまたはE-mailで配信しています。20代から80代の方まで、また法人でご参加の方等、多くの皆様に参加されています。1995年からご参加頂いている方もおいでです。参加頂いている皆様のおかげで、本観測研究が持続できています。心より厚く感謝申し上げます。

図123の上左は2000年03月21日配信の観測情報ですが、三宅島噴火（6/26）の約3ヶ月前から、推定活動領域が伊豆諸島である可能性を報告しています。上中央は2001年の芸予地震・上右は2004年の新潟中越地震の各予測と実際発生の報告。下は2023年04月の新島神津島近海群発地震の推定と実際活動の観測情報です。現在までに3400枚ほどの観測情報を配信しています。予測に失敗する場合がありますが、その場合は原因を調査し、皆様に報告しています。

### あとがき

本資料は現象発見から30年、観測本格化から28年の間に観測された内容を、年々内容を更新して改訂してきたものです。観測の概要と基本的な内容をできるだけ簡単にまとめました。本資料中に記しました経験則・経験値は、今後の観測で修正される可能性もありますこと、ご了承下さい。

私（串田）は電子工学・地球物理・地震学等の専門家ではありません。本観測法の変動内容以外の部分につきましては、誤った記述がある可能性も否認しません。その場合は、各専門家の方のご指摘・ご教示を賜りましたら幸いに存じます。

ひとりでも多くの方に本観測に興味を持って戴け、ご協力を賜れば幸いに存じます。本観測は地震や火山の予報について決して万能ではありません。しかし、ある程度の防災予報として、少しでも皆様の生活に役立つものであると考えます。可能な限り観測研究を続け、天気予報と同様な「地震予報」として普及することができればと願ってやみません。

※本資料は№1778長期継続前兆変動の対応地震が未発生で、№1778の部分のみ未完結のため改定途中版としています。

2023年11月

F M (V H F 帯域) 電波 電離層モニター観測による「地震・火山の予報」解説資料 2023-B 改定途中版  
八ヶ岳南麓天文台 電離層モニター観測所 串田嘉男

C) Copyright 2023 YSBO 無断転載・経験則・経験値等、無断使用を禁じます