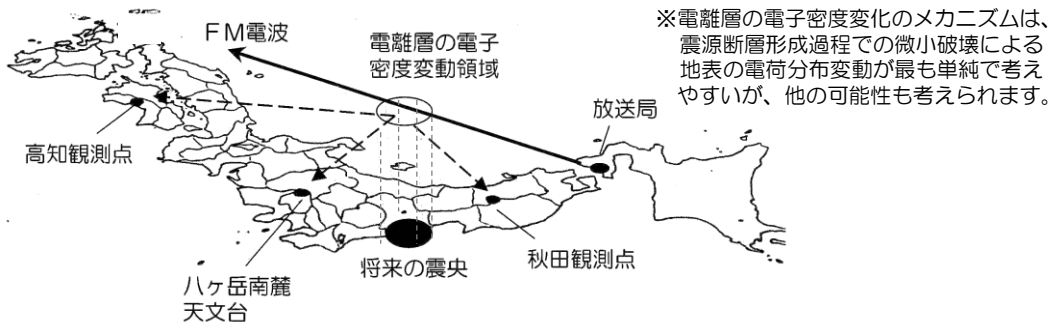


「地震と火山の予報に挑む」 解説資料・抜粋簡略版

本資料は、最近の大型地震や、火山活動等の観測例などを含めた60頁からなる「観測解説テキスト・改定第3版」から基本的な部分だけを抜粋した簡略版です

模式図と概要

- ①地震発生前、※断層形成にむけた地下での微小破壊により生じた電荷変動により「将来震央となる領域」の上空の電離層の電子密度が微少に変化する可能性。



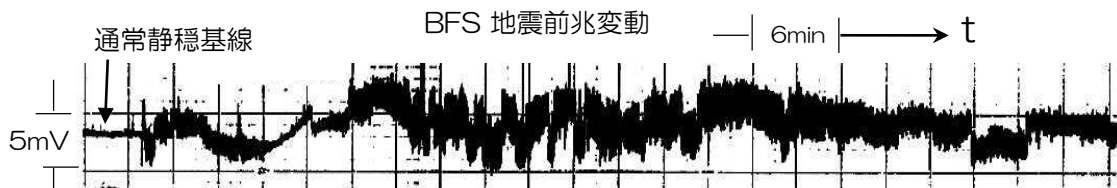
- ②電離層の微弱な電子密度変化により、見通し距離以遠のFM放送局電波が通常と比べて極めて微弱に散乱される。散乱電波のため各観測点で受信される。
- ③散乱された極めて微弱な電波（-80~-90dBm以下の電波）の受信強度変化は受信機のセンターチューニング回路で通常状態との差＝変動として検出される。
- ④検出された変動を解析し、形成された断層が最終結果としてズレ動く「地震」の内容を各種経験則をもとに地震発生前に推定する。

目次

目次

要旨	1
Chap. 1 地震前兆変動発見の経緯	2
Chap. 2 観測の方法と仕組み	5
Chap. 3 地震前兆変動の種類	8
Chap. 4 地震発生領域の推定	11
Chap. 5 地震発生規模の推定	13
Chap. 6 地震発生時期の推定	15
Chap. 7 地震発生時刻が推定できるAMA変動	18
Chap. 8 火山噴火型前兆変動	19
Chap. 9 火山近傍地震前兆変動	21
Chap.10 発生内容推定は 異なる変動要素を測る	23
Chap.11 考察	24
Chap.12 徐々にわかってきた現象と経験則の年表	26
参考資料・謝辞	27
著者略歴等	28

地震前兆変動波形例



基線のうねり変動に基線幅増大変動が加わった地震前兆変動

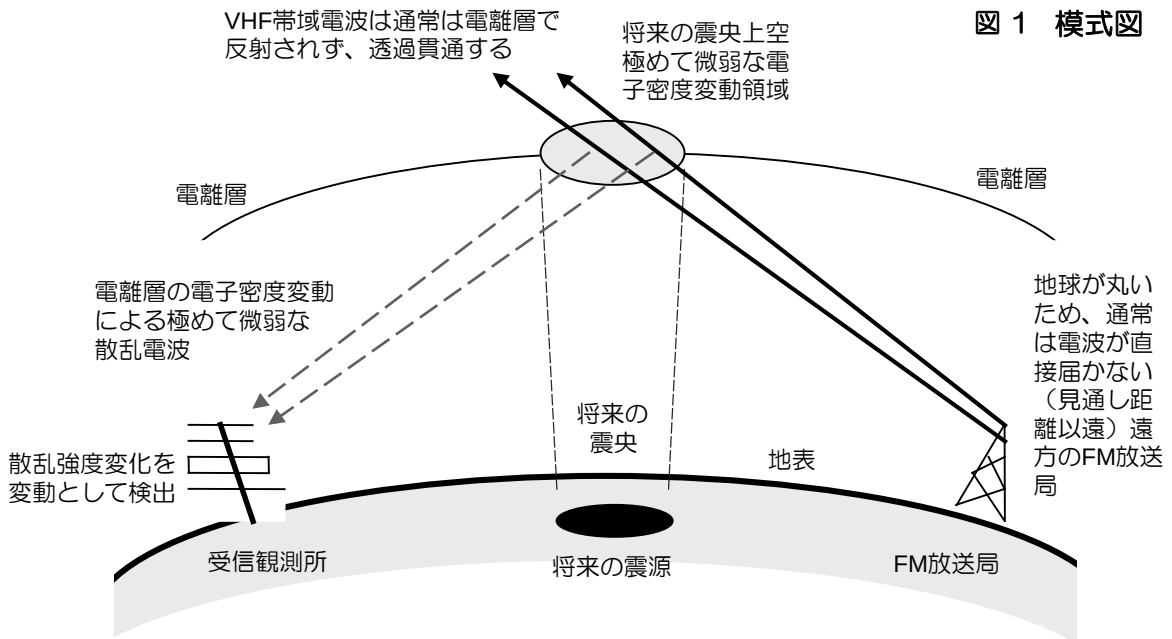
要旨

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、31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。本誌では、実際の観測例を交えて、簡単な解説を行いたいと考えます。

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、震源が極めて浅い火山近傍の地震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、理化学研究所地震国際フロンティア研究プログラムのリーダーであられた東海大学の地球物理学者、故上田誠也先生によりますと、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。

地震発生前、電離層の電子密度変動が生じている可能性が考えられます。この現象の原因仮説のひとつとして、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（※静電誘導は仮説のひとつで、他の可能性も有）で電離層の電子密度に変化を与えている可能性が示唆されます。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。



地震発生前、将来の震央上空電離層の極めて微弱な電子密度変動を捉える「電離層電子密度変動モニター観測」で、電離層の電子密度変動によるVHF帯域電波の散乱強度変化を観測する。

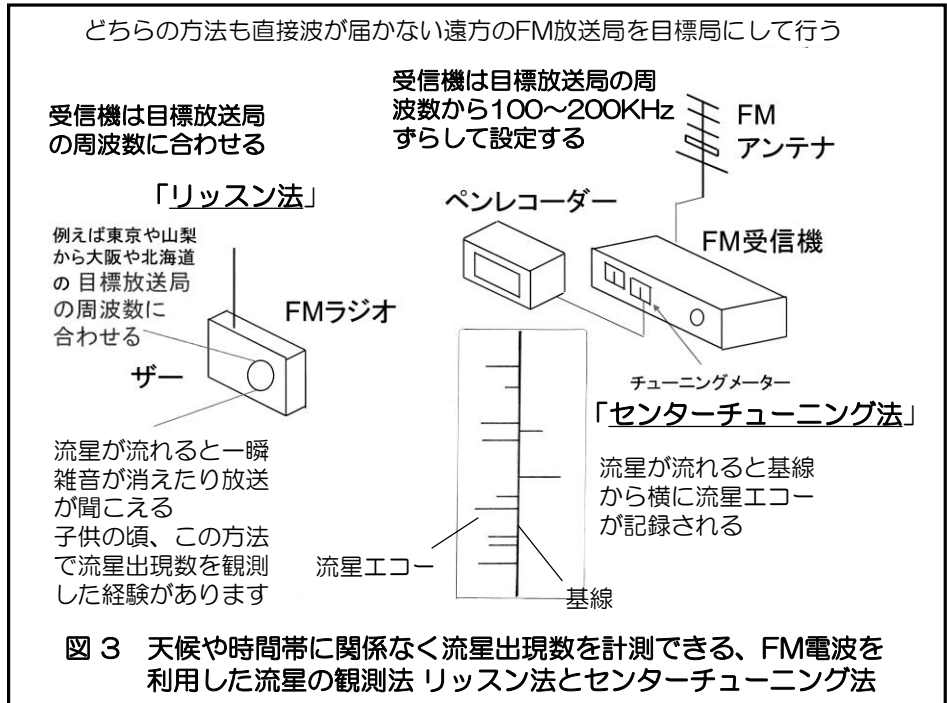
Chap.1 地震前兆変動発見の経緯

きっかけは 1993年に開始した FM 電波流星観測

流星が光る理由：彗星や小惑星から放出された数ミリ程度の流星物質が高速（音速の数十倍～百倍程度）で地球に飛び込んできたとき、地表から約70キロ～200キロ上空の稀薄に存在する地球大気（窒素や酸素）に衝突し、地球大気がエネルギーを受けて一瞬電離して、電子が自由に動けるプラズマ状態となり、流星突入経路がプラズマ発光して光ります。プラズマは電波を跳ね返すので、流星によって電離したプラズマチューブは、電離層を通常は貫通する FM（VHF帯）電波を反射します。この性質を利用して、流星出現数を計測するのが、FM電波流星観測です。

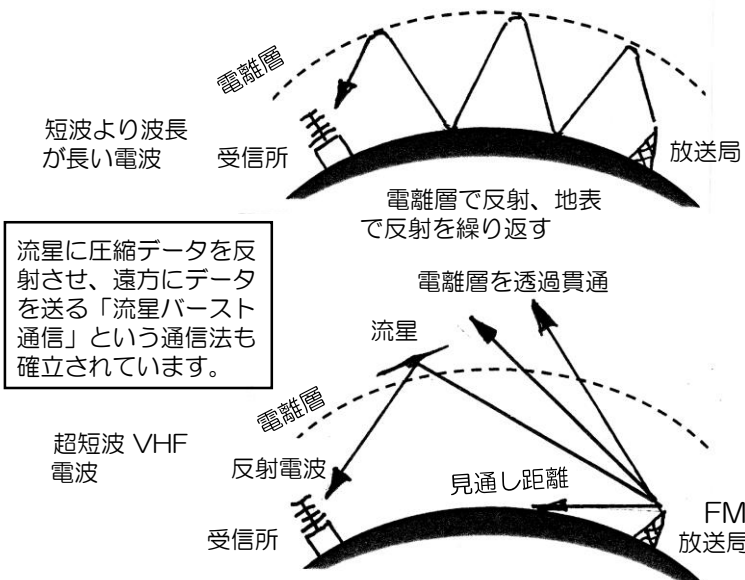
図 2

流星



地表から数十キロより上空には、太陽の紫外線によって地球大気が電離して、電子が自由に動ける状態の「電離層」があります。短波より周波数が低い（波長の長い）電波は電離層で反射し、地表で反射を繰り返す、放送局から遠方まで届きます。図 4 上図参照。

しかし、FM放送で使用する周波数が高い（波長の短い）VHF電波は通常は電離層を透過貫通します。このため、通常は地球が丸いために放送局アンテナが見える範囲までしか電波が届きません。電離層に流星が突入すると、FM電波は反射され、見通し距離を超えた放送局電波が一瞬受信できます。図 4 下図参照。



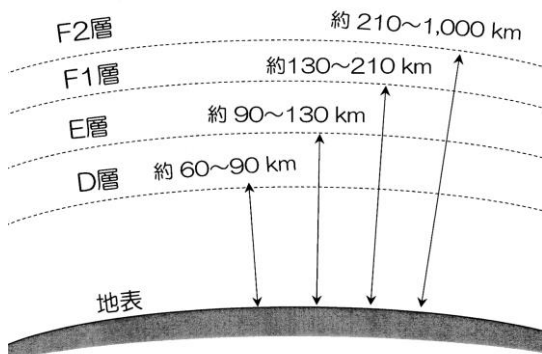


図5 電離層の高さと呼び名

高度 約 60km ~ 90km	D層
高度 約 90km ~ 130km	E層
高度 約 130km ~ 210km	F1層
高度 約 210km ~ 1000km	F2層

ISS (国際宇宙ステーション) の回っている高さは約400km。電離層の中です。



図6

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、図6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直線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。

1993年8月 ペルセウス座流星群の大出現予測が出たため天候に関係なく流星出現数計測ができるFM電波観測「センターチューニング法」を開始

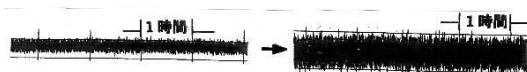


図7 基線が太くなる変動観測例

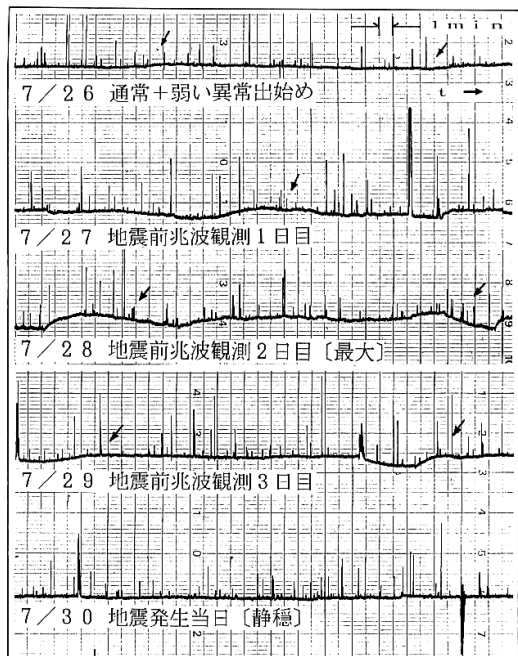


図8 基線のうねり変動の観測例 1995年

各基線の下に出ている突出変動は流星エコーと航空機エコーです。

奥尻島地震で地震の前兆変動の可能性に気付く

1993年、スィフト・ター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発表され、天候に左右されないFM電波観測「センターチューニング法」を同年7月末に開始しました。テスト観測初日、図7のような基線が太くなる現象が観測されました。色々調べましたが原因は不明でした。しかし、その数日後に奥尻島で大きな地震 (奥尻島地震の大余震) が発生しました。基線の変動は地震発生前の前兆現象である可能性を直感しました。

基線のうねり変動と地震発生との相関を2年間確認

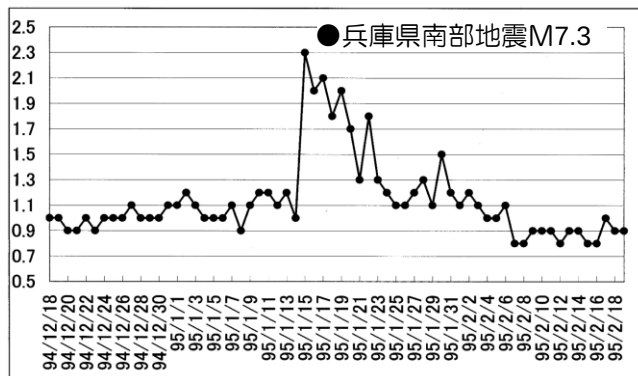
その後、365日欠測なく観測記録を続けたところ、図8の様に基線がうねる変動が観測され、その数日後に関東地方で地震が発生するという相関を2年間経験し続けました。

図8の解説 1995年7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、うねり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7月30日に茨城県南部M5.0が発生しました。図8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。

受信機は1993年にペルセウス座流星群観測のため設定した、設定周波数=77.2MHzで観測していました。

図 9 兵庫県南部地震と基線幅増大変動のグラフ



1995年1月14日夜から突然基線が太くなりました。3日後の1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9の15日は14日～15日にかけての夜を表しています。14日夜に最大値を観測。余震活動が収束する2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。この観測例では、主震発生直前に変動が消えず、地震活動が収束するまで継続した点が注目されます。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。

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9参照）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、山梨県庁での記者会見で発表しました。しかし、地震学者からは、その様な現象はあり得ず、流星エコーを見間違えたのだらうと否定されました。その後、検証のため、FM電波流星観測用の観測装置を地震前兆変動検出用として1台から3台に増設し、観測を続けました。（図10、11参照）

1995年 サハリン M 7.6 地震

同年5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、その3台から、北海道方向で5月27日頃にM7以上の地震発生の可能性を推定し、各報道機関に通知しましたが、信じてもらえませんでした。しかし推定通り5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。

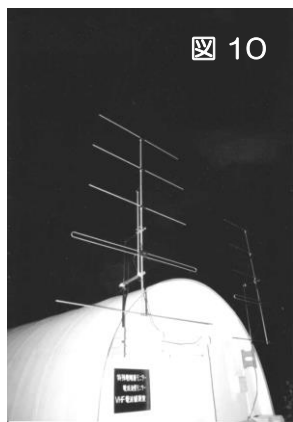


図 10



図 11

図10は、サハリン地震の前兆変動を捉えた時の手作りの観測室と天井に向け設置したFMアンテナ

図11は、観測室内部と当時の筆者
1995年



図 12

サハリン地震の前兆変動を捉えた後、観測装置を10台以上に増設した。写真はペンレコーダーが並び研究室

1996年

観測の本格化

その後、観測装置をさらに増設（図12参照）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。長年観測する中で、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（通常との差が現れる）による観測が極めて有効であることが確認できました。

Chap.2 観測の方法と仕組み

この図のアンテナ感度面方位角 θ 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。実際の観測では、強い関係性は認められませんでした。

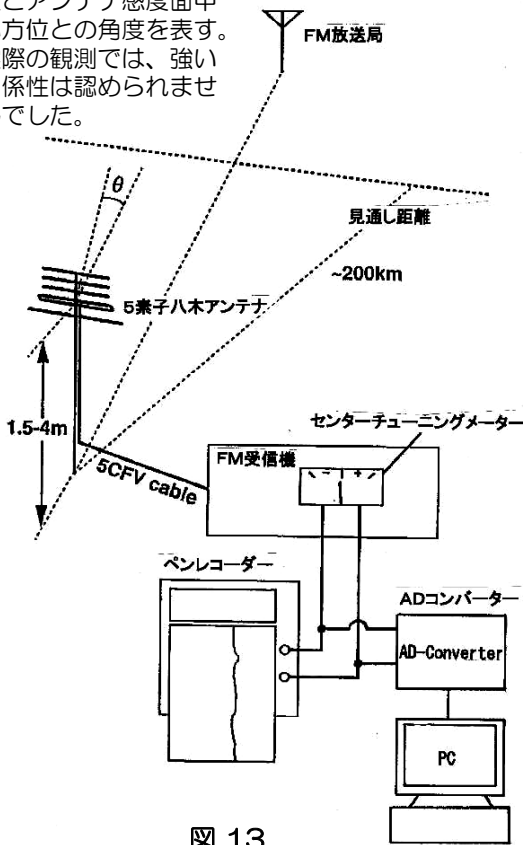


図 13

サンプリング周期：500～200msecが最適

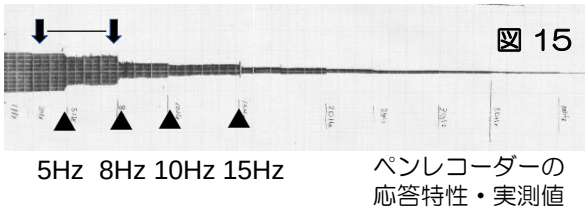


図 15

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。図 15 のとおり、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、レコーダー自身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。

天頂に向けたFM用5素子八木アンテナ

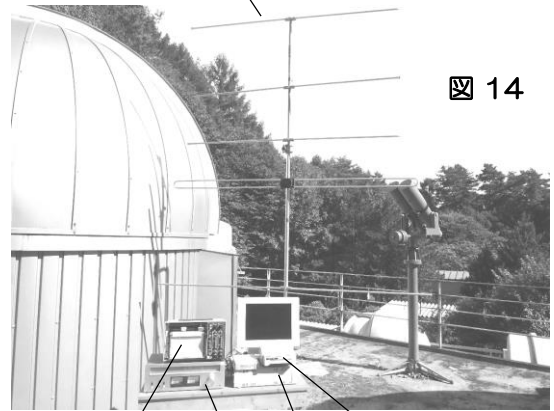


図 14

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圧倒的に見やすい。

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

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受信機を使用

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用ヤギ・ウダアンテナを天頂方向に固定し、5CFV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計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本のアンテナ・16台の受信機）、無人遠隔観測所として、図 16 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 20 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で）常時モニター観測しています。

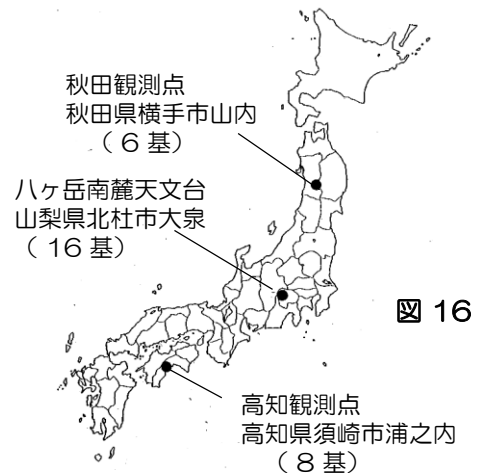


図 16



図 17 秋田観測点
アンテナサイトと受信機BOX

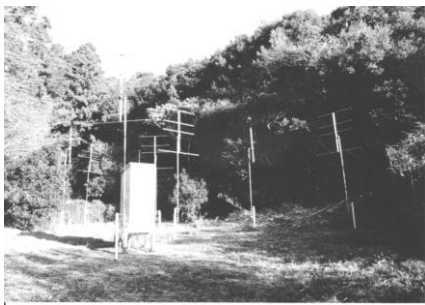


図 18 高知観測点
アンテナサイトと受信機BOX

図 17 は秋田観測点のアンテナサイト。アンテナと受信機室。受信機室は冬には完全に雪に埋もれます。

図 18 は高知観測点のアンテナサイト。アンテナと受信機ボックス。

どちらも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。PCのノイズが入らない様に、アンテナサイトから約50m離れた所に観測記録通信用PCが設置してあります。

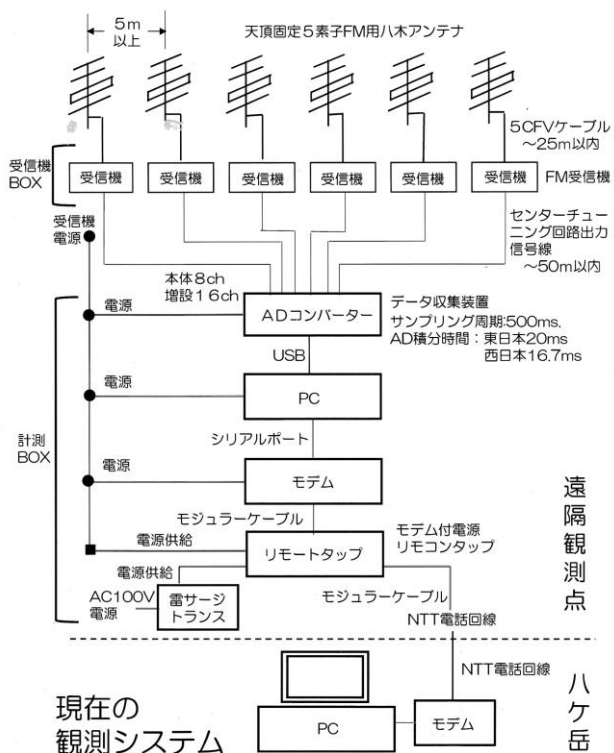
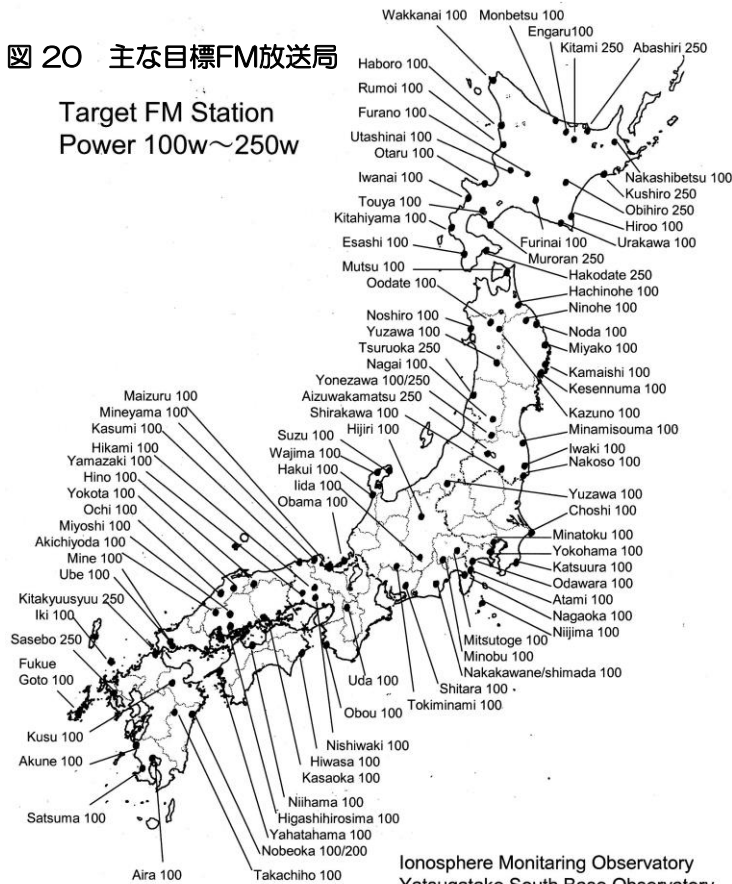


図 19 現在の遠隔観測点観測システム

図 20 主な目標FM放送局

Target FM Station
Power 100w~250w



Ionosphere Monitoring Observatory
Yatsugatake South Base Observatory

地震前兆変動(※)・火山前兆変動
を捉えるには出力100W~250W
(※後述する特異変動を除く)

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
 $M5.2 \pm 0.2$ 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(後述) 前兆規模で $M5.2 \pm 0.2$ 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。流星観測・流星反射パケット通信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。

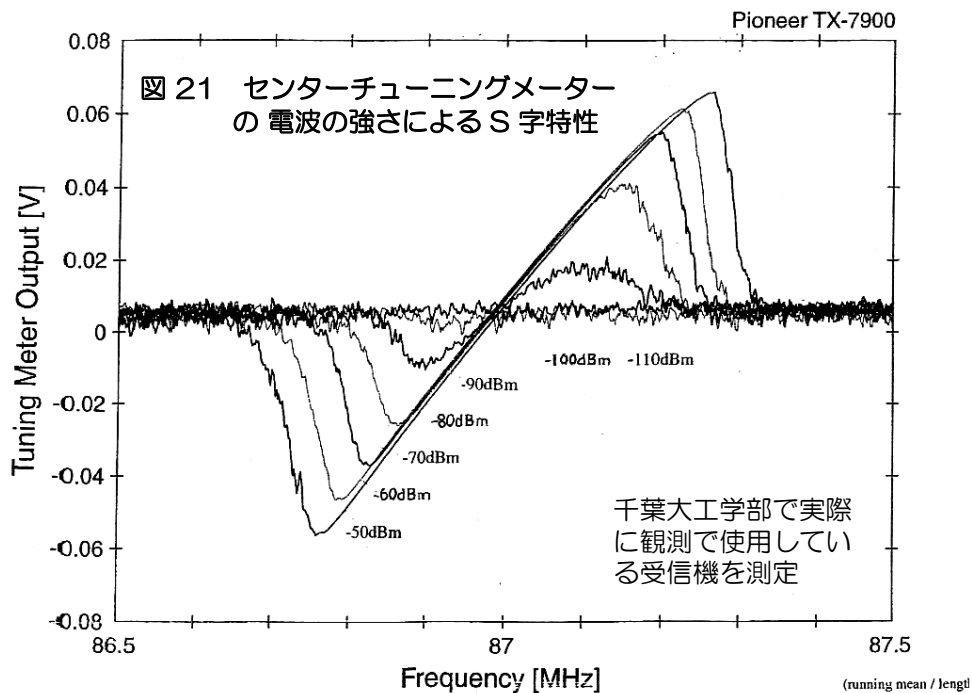


図 21 は設定周波数からずれた周波数電波を検出するセンターチューニングメーターの S 字特性です。横軸は周波数を示し、縦軸は出力電圧を示します。電波の強さによって S 字が何本も記録されています。この受信機の設定周波数は 87.0MHz です。設定周波数の 87.0MHz の電波が受信されても電圧変動はありませんが、設定周波数に対し $\pm 300\text{kHz}$ 内の設定周波数からわずかもずれた電波が入ったときや受信電波の強度が変化した場合、出力電圧が大きく変化します。

従って、通常は受信できない遠方の目標局となる放送局電波の周波数から $100\sim 200\text{kHz}$ ずらして受信機を設定しておけば、目標局の電波が極めて微弱に散乱され受信された場合や、受信電波の強さが微少に変化した場合には、センターチューニングメーターの電圧出力が変化することになります。

ちなみに地震前兆変動としての電圧変動は数 mV です。図 21 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 21 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内容は関係ありません。

解説

FM 放送は、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 受信機の検波回路は、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。センタチューニングメーターは、もともと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エアーバリコンを使って周波数を正しく合わせるために指標となるメーターです。

電波の強さ（電波強度）の単位は dBm。マイナスの数字が大きい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 $\pm 300\text{kHz}$ 内のずれた電波が受信されると良く反応します。つまり、センタチューニング回路は驚異的なほど、極めて鋭敏で性能の良い検出器として働きます。

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。

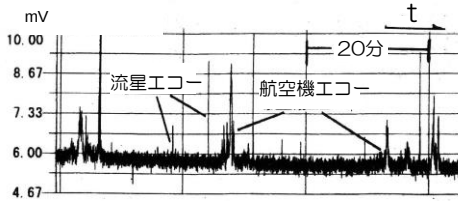


図 22 静穏通常基線

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・航空機エコーと呼びます。受信機は温度補償がないため、気温の変化で昼頃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。

※ R 値は11頁、4章で述べる変動検知円半径に関する経験値係数です。

BF 変動 Baseline Fluctuation Anomaly R=230~1100

図 23

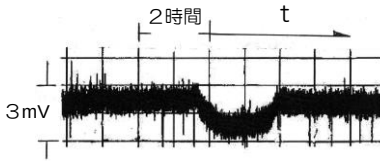


図 23 は、基線のうねり変動。数十分～数時間の変動。地震規模とBF変動の変動面積に直線相関があるため、過去例との比較から規模推定が可能です。規模誤差は±MO.5。極大時に出現するBF変動の出現時刻は地震発生時刻と数時間以内で近似する場合があります。当初は電離層の電子の充放電変動の可能性（放電変動が良く現われている）を考えた。実際に充放電であるかは未確認。

図 24

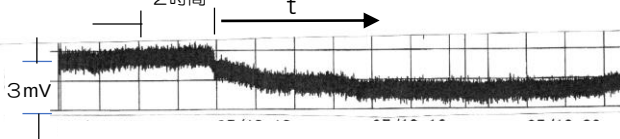


図 24 は、BF検知円限界（ボーダー）近くに震央がある地震の場合及び、BF変動が微弱化した場合に出現する変動で、BF変動の曲線部が伸びていき、ステップ状BF変動となる変動です。

SBF 変動 Synchronized Baseline Fluctuation Anomaly R=230~1100

図 25

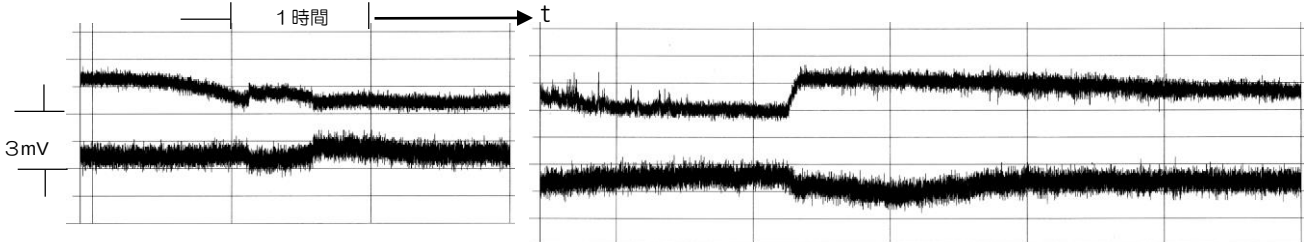


図 25 左は、同じ観測点内の複数観測装置に同期して出現したBF変動です。出現開始、終了の変動が完全に同期しています。右は 図 24 と同様にBF検知円限界（ボーダー）近くに震央がある地震の場合及び、BF変動が微弱化した場合に出現する変動で、複数観測装置に同期して出現した変動です。

図 26 SSBF 変動 Synchronized Spike type Baseline Fluctuation Anomaly R=230~1100

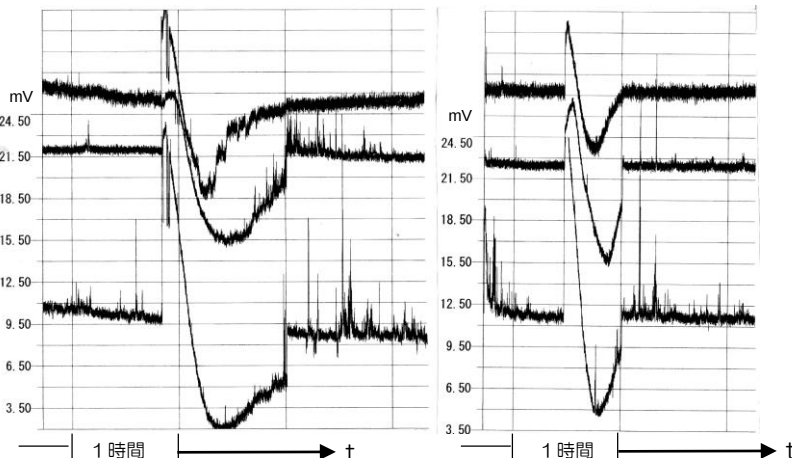


図 26 は、同じ観測点内の複数観測装置に同期して出現した変動です。最初の変動が急激でスパイク的な変動となっており、その後は基線に対し、逆側まで変化し、やや緩やかな変動で元の基線に戻る変動です。変動値は観測装置によって多少の差はありますが、変動自体は出現開始から終了、その間の変動の形も完全に同期しています。発生地震の規模がM7を超える場合に出現する様です。まだ観測例は少ない。図 27 では、左が極大時の変動。右は、その数日後に出現した変動です。



図 28 様々な周期のPBF変動

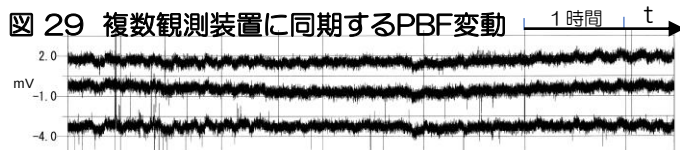
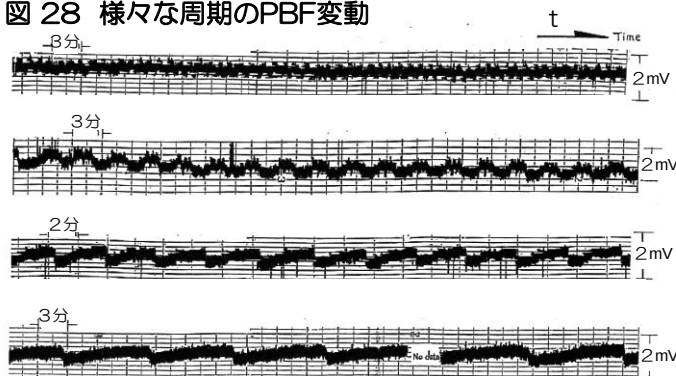


図 27 は、図 23 の基線のうねり変動「BF変動」が周期的に連続した変動です。周期は数十秒から数時間。集中出現した場合には、出現継続時間計と地震規模に直線相関が認められます。

出現継続時間計=PBF (h)

規模=M (マグニチュード) としたとき、

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

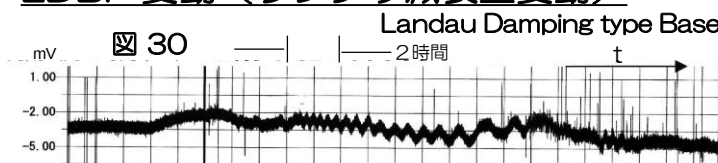
で発生地震の規模が推定可能な重要な地震前兆変動です。気象庁暫定値規模 M_j に対する予報規模の誤差は、 ± 0.3 と良好な相関が認められています。

図 28 は様々な周期のPBF変動波形観測例。PBF変動の周期は地震によって様々です。そのため、記録される基線を数分オーダーの拡大から、時間軸を圧縮して数時間オーダーで変動を検出する必要があります。

PBFは極大時に周期が伸びることがあります。

図 29 は同じ観測所の複数観測装置に同期して出現したPBF変動。M7を超える場合に出現。

LDBF 変動 (ランダウ減衰型変動)



Landau Damping type Baseline Fluctuation Anomaly R=230~1100

図 30 は、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以上または相当の大規模地震の前兆変動として出現します。

2011年発生の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。2024年発生の能登半島地震でも観測されました。複数の観測装置に時刻が同期して出現する場合もあります (全く同じ波形になるとは限らない)。PBF変動同様、出現継続時間計と規模との間に相関が認められます。当該変動は、観測装置の基線 (設定周波数) に対し、周波数が低い側または高い側の同じ側に、検知領域ドーナツ円が重なる領域に震央がある条件で2つの局が存在する場合のみに出現します。2つの局によるPBF変動が出現した際に干渉して出現している可能性が考えられます。ランダウ減衰型BFが出現した場合は、推定領域が絞れます。まだ観測例が少ない。変動形態はプラズマ層に衝撃を与えた際に観測されるプラズマ振動「ランダウ減衰波形」に酷似している (12頁の 図43 参照)。変動の時定数は数時間に及びのが特徴。

BT 変動 (基線幅増大変動)

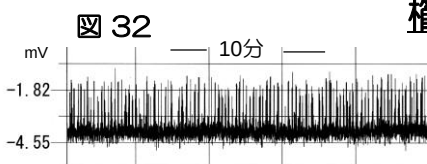
Baseline Thickness Anomaly R=0~500



図 31 の様に基線の幅が通常より一定幅で増大する変動。M5以上規模の地震の場合に出現することが多い。

BTは他の観測装置に出現したBF変動の極大時期に同時期に出現する「BT」と、極大後に長期間出現する「AMA」があります。AMAが長期間出現した場合、一日毎に基線を並べますと、BTが24時間一定で現われるわけではなく、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。※AMAは極大後変動。以前はBT-2と称したが必ずしもBTで出現する訳ではない。



櫛歯変動 Comb Teeth Anomaly R=0~1100

図 32 は基線に櫛歯状の突出変動が連続する櫛歯変動です。群発地震や震源が特に浅い地殻地震・火山近傍での地震活動で良く出現します。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。基本的に局と逆方向に出現しますが、局方向に出現する場合も有。(調査必要)

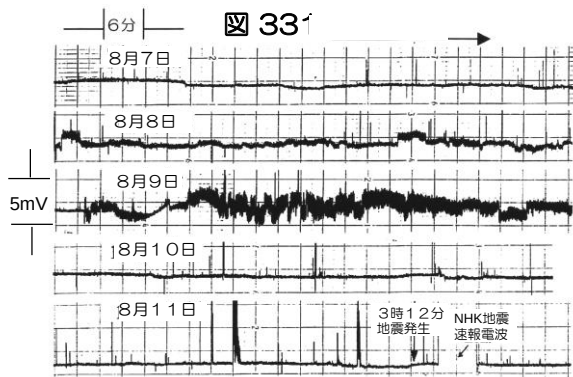


図 33 の基線はハケ岳南麓天文台の記録です。
8月11日の地震発生時刻直後に基線が途切れている

のは NHK-FMが地震速報のために休止していた電波を発射し、直接波が受信されたためです。当時NHK-FMは、深夜から朝まで電波を休止していたため、NHKの直接波の影響を受ける周波数帯でも、深夜のNHKの休止時間帯のみ観測を行うことができました。現在、NHKは24時間放送となってしまったため、図 33 と同じ周波数帯での観測は不可能となりました。

特異変動 Baseline Differential Anomaly

特異変動には以下に示すとおり様々な変動形態があり、地震前兆変動の中では極めて特殊な変動です。主にM6規模を超える地震の前兆変動として良く観測されます。

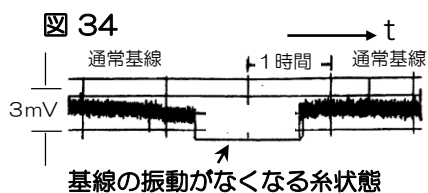


図 34 無振動基線・糸状特異変動 R=0~500

基線の振動がなくなる無振動基線で、基線が糸状態となります。受信機の設定周波数に対し、高い側、低い側、両側に検知領域が重複する局があり、顕著な特異変動出現の場合に出現します。特異変動の中では最も強くM6以上地震で出現します。

図 35・36 不規則特異変動

基線の振動がなくなる完全な糸状態ではなく、基線が大きく不規則に変動する特異変動もあります。変動値は大きい糸状特異と比較すると特異変動の強さは弱い。

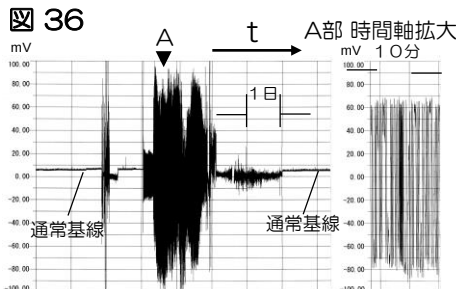
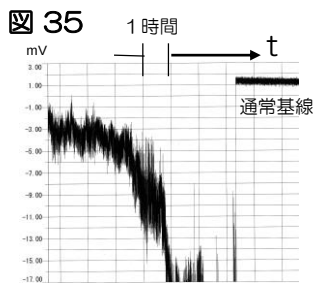


図 35 は基線電圧値が下がり、糸状特異になりかけた直後に通常基線に戻った観測例。

図 36 はA部の時間軸を拡大した右側の変動の様に無振動基線で変動値の大きな不規則変動。図 24 左側の様に時間軸を圧縮すると変動が詰まって見えます。変動値が大きいため、縦軸の電圧値を±100mVにして表示した波形。

図 35・36 共に変動値は大きい、特異変動としては糸状特異より弱い

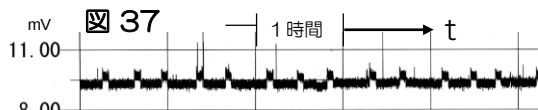


図 37 PBF特異変動 R=0~1100

の識別を行います。PBF特異変動は、長時間または長期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。PBF変動とPBF特異の最も明確な差異は、PBF変動の極大時期には周期が伸びますが、PBF特異変動では逆に周期が短くなります。また明確な極大時期も認められません。

図 38 BT特異変動 R=0~1100

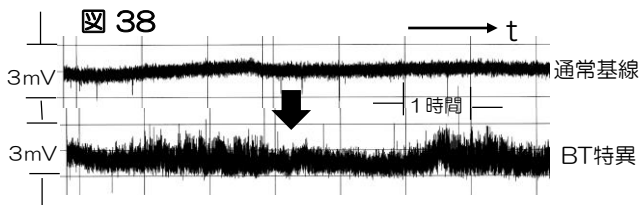
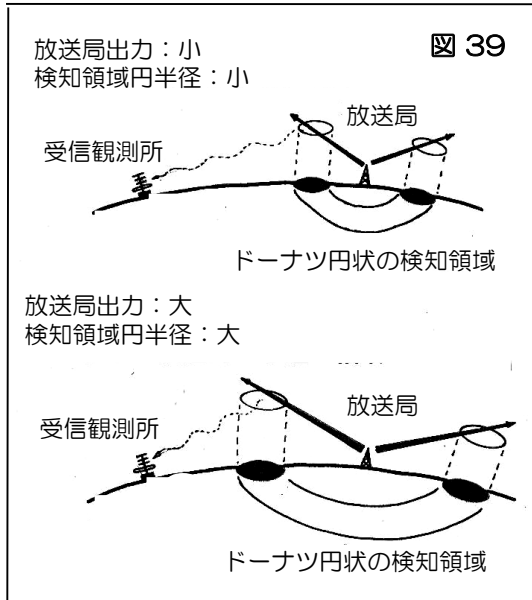


図 38 のとおり、BT変動に酷似したBT特異変動もあります。BT変動は一定の基線幅増大を示しますが、BT特異はやや不規則な基線幅増大変動です。また長期継続前兆の場合には長期間出現することも多く、24時間以上継続出現する場合も多い変動です。

Chap.4 地震発生領域の推定



実際の観測から基線のうねり変動等の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 39 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 係数＝R としたとき、
(D/R)²＝√P の関係が認められます。従って、

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

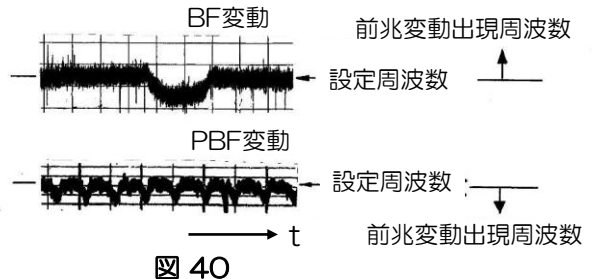
上式で放送局からの検知円半径を求められます。R値は、

- BF・PBF変動の場合は
近傍限界R＝ 230 ～ 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 ～ 遠方限界R＝ 500

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は可能

BF・PBF前兆では図 40 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（設定周波数）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になります。

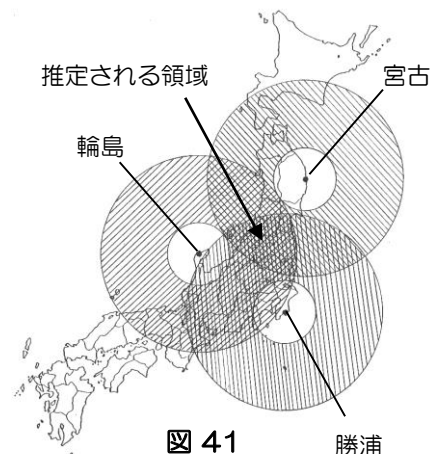
設定周波数に対し、高い側・低い側どちら側の局電波によって変動が出現しているのかを判定。300kHz内の100～250W放送局の中で、複数の変動から求めたドーナツ円領域に矛盾の無い局を選定します。



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 41 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になります。従って図 46 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、例えば影響局推定を間違っていれば、辻褄が合わなくなります。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変わり失敗となります。観測専用の放送局があれば、この問題は解決します。



※ランダウ減衰型BF変動や、無振動基線系状特異変動が観測された場合は、推定領域が絞れる可能性が高まり有効です。

実際の観測例（領域推定と実際の震央）

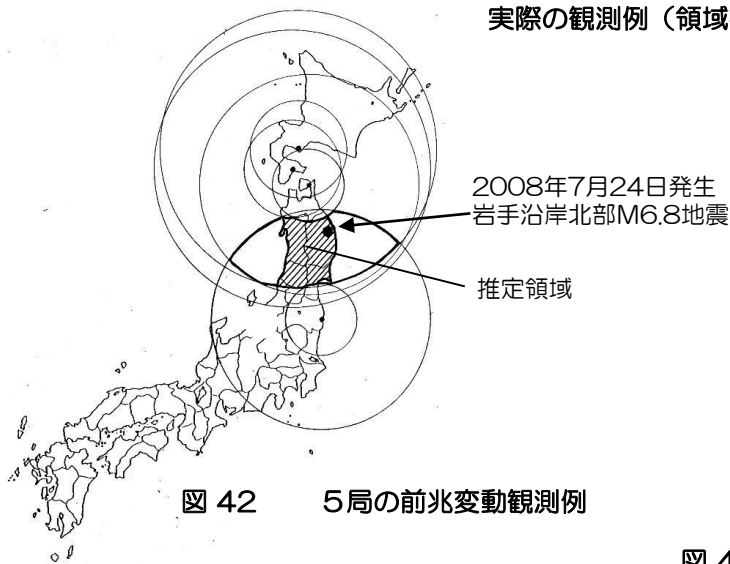


図 42 5局の前兆変動観測例

図 42 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 42 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 42の斜線域内で 2008年7月23日または24日にM6.5±0.5地震発生の可能性」があるとする地震予報情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成功しました。※但し、岩手県庁からは何の反応もありませんでした。

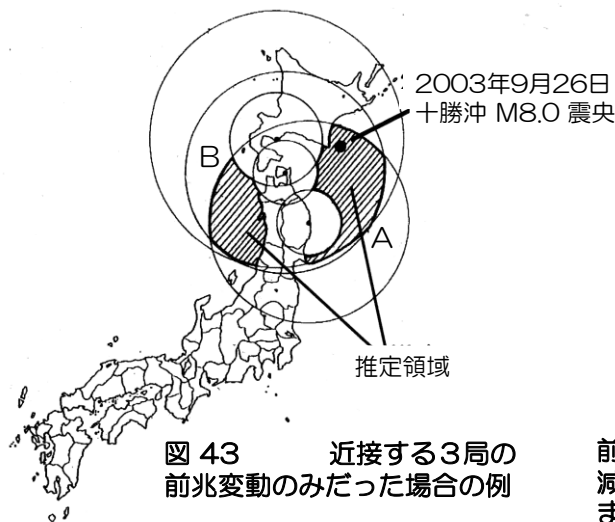
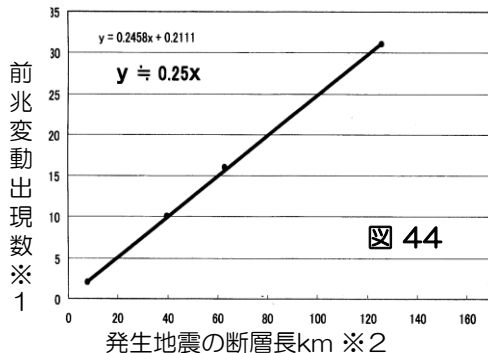


図 43 近接する3局の前兆変動のみだった場合の例

図 43 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局の放送局電波で変動が観測されました。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 43 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 43 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。

前兆変動数から陸域地震か海域地震かの判別が可能
減衰がない場合は前兆変動数から規模を推定可能
また 観測には30基程度以上の観測装置が必要



断層長Lkm=変動出現数÷0.25（経験式）

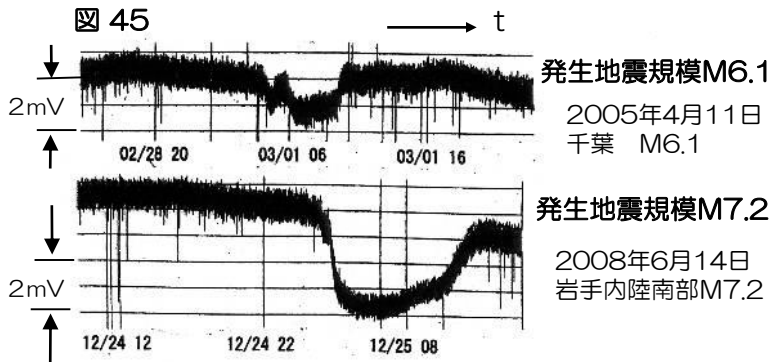
※1 前兆変動数とは同じ観測装置でも設定周波数に対し、両側局で変動が各々出現した場合は2とする

※2 $\log L = 0.5M - 1.8$ （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

現在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 44 のとおりです。図 44 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基前後の数が必要と考えます。また、陸域地震で減衰が少ない場合等では、変動出現数が判れば規模をある程度推定できる場合もあります。

Chap.5 地震発生規模の推定



B F 変動からの推定

B F 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 45 の変動でもM6規模とM7規模のB F 変動の変動面積が違うことが明確です。多くの観測過去例を記録し、新たにB F 変動が出現した場合は、過去例と比較して規模が推定可能です。但し、B F 変動からの規模推定では、誤差が±0.5生じます。B F 変動の変動値は放送局出力に関係していません。

P B F 変動・ランダウ減衰型B F 変動 の出現継続時間計からの推定

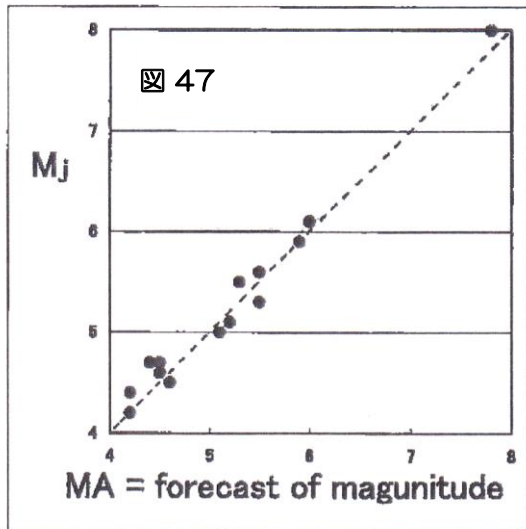


図 46 の様な周期的連続BF変動＝PBF変動は、一日のみ出現する場合もありますが、規模の大きな地震の場合には数日に渡って集中的に継続出現する場合があります。集中出現した時期が極大となります。極大時期にはPBF変動の周期が伸びる場合があります。この集中出現した極大時期のPBF変動の出現継続時間計を測定して規模を推定することができます。ランダウ減衰型BF変動出現の場合も出現継続時間計で同様適用。

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、

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

の関係が認められます。



MA=予報規模 Mj=気象庁暫定値規模

上式 (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)

断層長=L 規模マグニチュード=M としたとき表される $\text{Log L} = 0.5M - 1.8$ (Utsu, 地震学) 断層長と規模との関係式がありますが、この断層長に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。

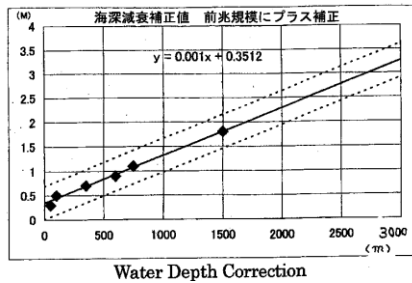
図 47 は初期に作成した、過去の観測例からPBF変動の出現継続時間計を上式を使用して求めた予報規模 (横軸) とその後発生した実際地震の規模 (縦軸) との関係を表したものです。誤差は概ね±0.3程度内におさまっています。PBF変動はBF変動よりも正確に発生地震の規模を推定することが可能です。

B T 変動 並びに 特異変動 からの推定

他に基線幅増大B T変動が観測された場合にはM5以上規模が推定され、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。

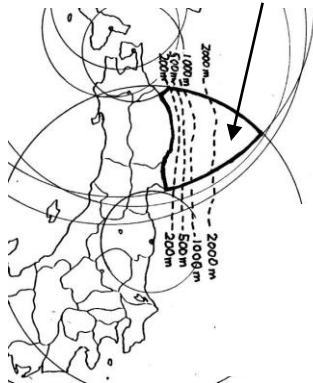
前兆変動が弱まる(減衰) ため 規模推定に補正が必要な場合

図 48



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 49 太線領域内推定領域



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、 $\Delta M (\pm M0.3) = WDkm + 0.4$ (経験式)の関係が認められます。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→ $-M1.4 \pm 0.3$

前兆変動が弱まることが観測されています。

本観測法ではM5を明らかに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と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49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、

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。

2) プレート内地震・正断層・横ズレ断層・関東の海洋プレート同士の境界地震の減衰

前兆変動の減衰

正断層・横ズレ地震 = $-M1.0 \pm 0.3$

プレート内等深地震 = $-M1.0 \pm 0.3$

海洋プレート同士境界 = $-M1.0 \pm 0.3$

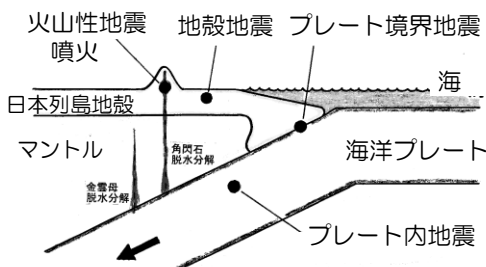


図 50

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ます。しかし、図50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「正断層地震や横ズレ断層地震」が多い。内陸の浅い横ズレ断層地震でも正断層メカニズムと同様に前兆変動がM1.0 $\pm$ 0.3も弱まる(減衰する)ことが観測されています。メカニズムに関係なく、プレート内地震では同様に前兆変動が弱まることが観測されています。また、関東の太平洋プレートとフィリピン海プレートの海洋プレートどうしの逆断層の境界地震も前兆変動がM1.0 $\pm$ 0.3減衰する場合が観測されています。逆断層メカニズムでも減衰することから、プレート内地震も海洋プレート同士のプレート境界地震も、地殻との間にわずかでもマントルがあるために変動が減衰する可能性も考えられます。M1.0以上減衰の可能性もある。変動検知の観測例が少なく、減衰値はおおまかな値で確度は低い。

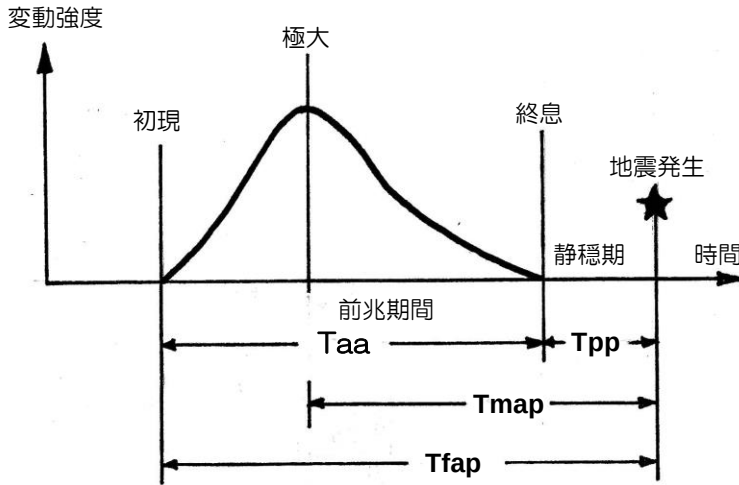
3) 水が関係した地震

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、2024年1月にはM7.6地震が発生致しました。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。仮に水の圧力で発生する地震であれば、断層直下に大量の水がある可能性があります。震央上に海水がある海域地震同様に微小破壊で生じる電荷が水によって拡散され(後述:考察参照)、電離層の電子密度に与える影響も極めて少なく、前兆変動が大きく減衰する可能性が考えられます。能登半島地震では2007年3月発生のM6.9と、2024年1月のM7.6地震は前兆変動が観測されましたが、2023年5月の海域M6.5地震では前兆変動が観測されませんでした。このことから、少なくともM1.0 $\pm$ 0.3以上は前兆変動が減衰している可能性が示唆されます。

Chap.6 地震発生時期の推定

※ Tmap 日数を単に Tmap と記す場合があります

図 51 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 51 のとおりです。

各期間の呼び名

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変動出現期間。

Tpp (ティーピーピー)

前兆変動終息～地震発生までの静穏期

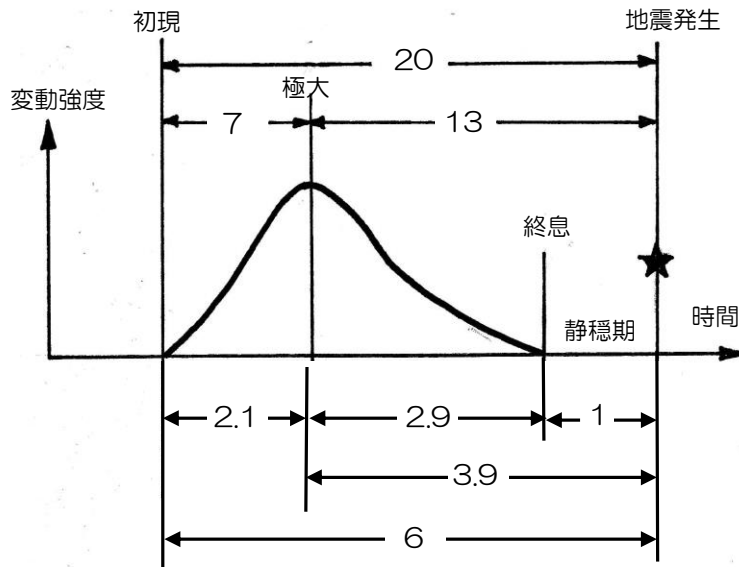
Tmap (ティーマップ)

前兆変動極大～地震発生までの期間。

Tfap (ティーフアップ)

前兆変動初現～地震発生までの期間。

図 52 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。

$Tfap : Tmap = 20 : 13$

$Tfap : Tpp = 6 : 1$

これらから、図 52 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 51、52 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など、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)を参考にして発生時期を推定する必要があります。

図 51 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 53 ツインピークス極大（双極大）型

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。

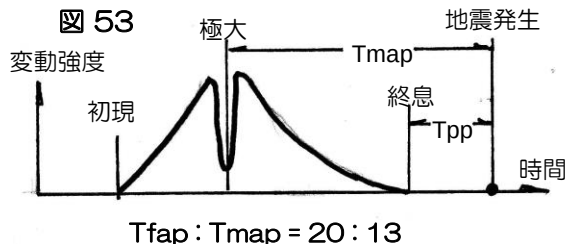


図 54 静穏期変動（直前変動）型

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。

$T_{map} : T_{pa} = \text{平均 } 6 : 1$

（誤差 $T_{map} : T_{pa} = 5.7 : 1 \sim 6.3 : 1$ ）

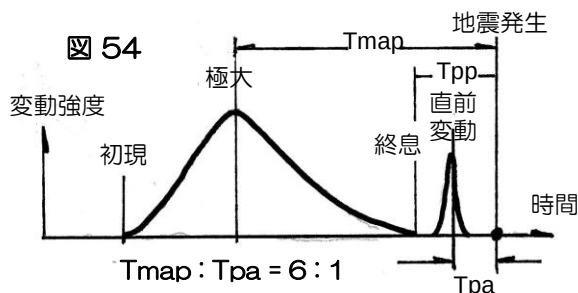
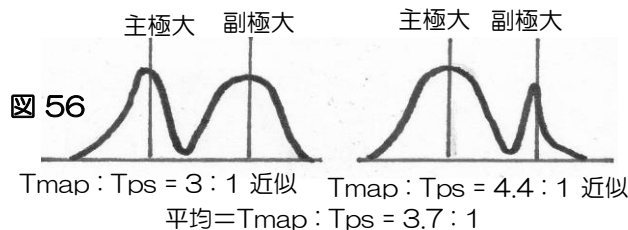
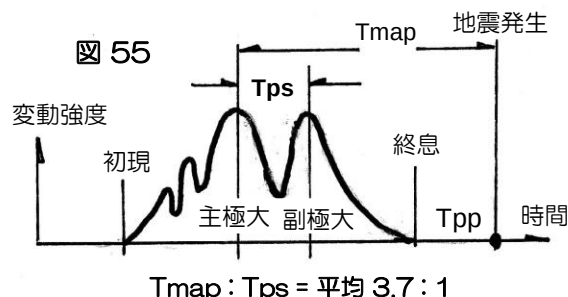


図 55 主極大・副極大型

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出現します。副極大は主極大とは異なる変動で出現する場合もある。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＝ T_{ps} としたとき、

$T_{map} : T_{ps} = \text{平均 } 3.7 : 1$

図 56 参照。主極大が鋭く副極大が緩やかな形では $T_{map} : T_{ps} = 3 : 1$ 近似。副極大が鋭く主極大が緩やかな形では $T_{map} : T_{ps} = 4.4 : 1$ 近似の比率となります。主・副極大が同等形では $T_{map} : T_{ps} = 3.7 : 1$

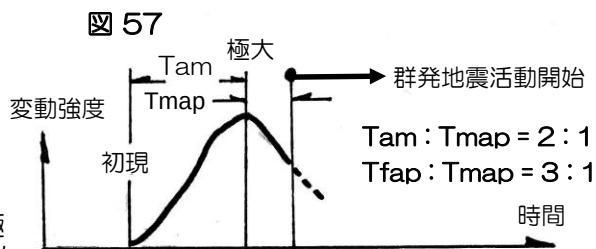


$T_{map} : T_{ps}$ 比については、主極大の変動期間と副極大の変動期間の比から、おおまかですが次の関係が求められます。 $x = \text{主極大期間} \div \text{副極大期間}$ としたとき、 $T_{map} : T_{ps} = y : 1$ $y = 0.72x + 3$ （経験式）
算出された y は小数点以下2桁目を四捨五入

図 57 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＝ T_{am} 前兆変動極大～群発地震活動開始の期間＝ T_{map} としたとき、 $T_{am} : T_{map} = 2 : 1$

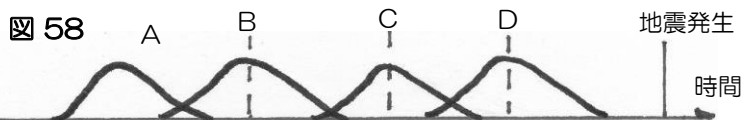
（ $T_{fap} : T_{map} = 3 : 1$ ）の関係が認められます。つまり、前兆変動初現～極大に至るまでの半分の日数を前兆変動極大日に加算した時期から群発地震活動が始まります。



※初現～極大に至る日数の1/2日数が極大から経過した時期は、図 55 の副極大が出現する平均時期とほぼ一致します。この関係が何を表しているのかは、現在は不明。

図 58 複数ステージ型

図 58 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（次の初現の場合もある）、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があります。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。 T_{map} が極めて長い地殻地震の特殊形態。



前兆変動期間の長さは、歪み（ひずみ）速度に依存している可能性がある

※規模の小さい地震では図 58 の区分けと Tmap 日数が合わない場合もあります。

■ = 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データをもとに圧縮歪み速度 (20×10^{-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 59



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 59 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。

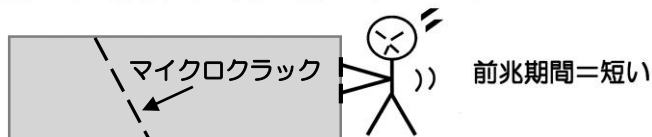
海洋プレート境界型地震の前兆期間が一定という観測事実は、海洋プレートの潜り込み速度が一定であることと調和します。震源が浅い日本列島の地殻地震の Tmap 日数の長さの違いが、前述のとおり、地殻の歪み速度とある程度調和していることは、地震前兆変動期間の長さは、震源となる岩盤に加わっている力の強さ＝「歪み速度」に依存している可能性が強く示唆されます。

つまり、図 60 の模式図の様に、歪み速度が大きい＝強い力がかかっている領域では、前兆変動期間が短く、最終破壊である地震発生に至る時間も短い。逆に歪み速度が小さい＝弱い力がかかっている領域では、前兆変動期間は長くなり、最終破壊である地震発生までの期間も長くなることが考えられます。従って、当該観測における地震前兆変動期間の長さは歪み速度に依存している可能性が極めて高いと言えます。

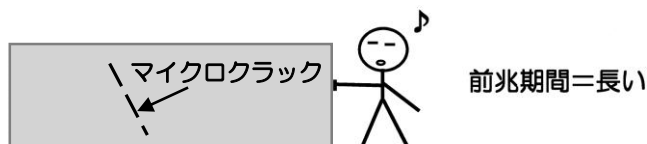
図 60

仮説 模式図

強い力で押されると微小破壊が早く進行する 歪み速度：大



弱い力で押されると微小破壊は遅く進行する 歪み速度：小



微小破壊（マイクロクラック）→ 将来の震源断層に発展する

Chap.7 地震発生時刻が推定できるAMA変動

AMA（極大後変動）として現れた基線幅増大BT変動の日々変化時刻と地震発生時刻との相関

AMA変動が数日以上継続出現する場合は、一日の中にAMAの出現・終息の変化が見られる日が多くあります。

図 61 は、2008年6月14日に発生した岩手県内陸南部地震M7.2の発生前に観測された、2007年11月末～2008年1月半ばまでのBTとして現れたAMA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 61 スケッチを見ますと、8時30分頃と、15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の変化が現れるときがあります。このどちらかの時間帯と実際に地震の発生時刻に近似が認められます。（読み取り誤差は±30分程度）

当時は図 61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8時30分±1時間と観測情報で公表しました。実際の岩手県内陸南部地震の発生時刻は午前8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AMAとしてBT変動が出現して発生した地震の日々のBT変化時間帯と実際の発生時刻との相関表を、図 62 に示します。AMA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AMAが観測されるわけではありませんが、AMA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。

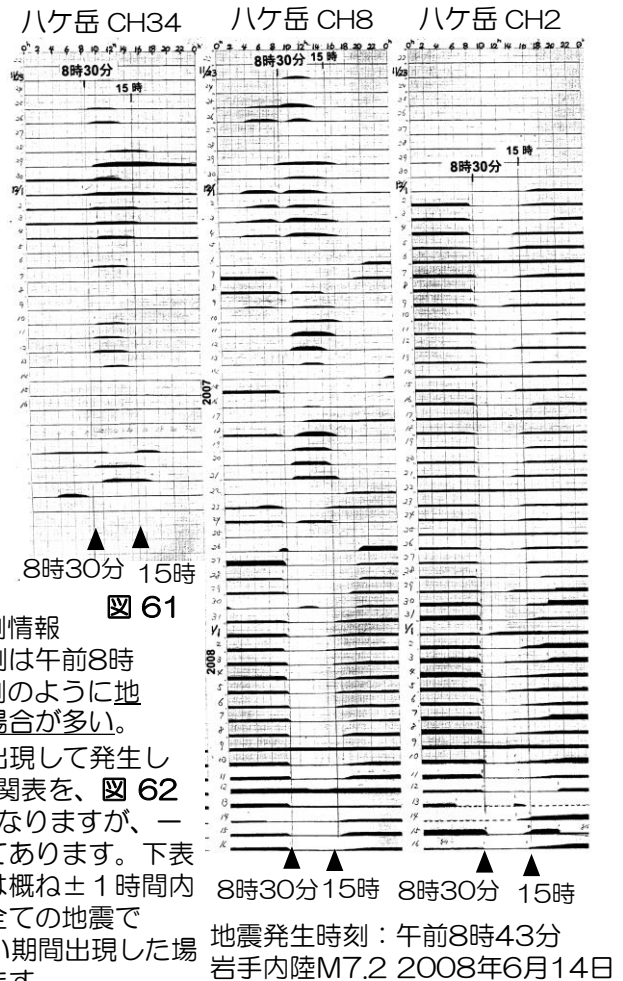


図 62

表の Mj = 気象庁発表暫定値規模
※陸域地震で規模の大きな場合は誤差が小さいが、海域地震や規模がM6を下回る場合には誤差が多きい様に見えます。
（ ）で括ったものは誤差大。
BT変化時刻は読み取り誤差があるため、各時刻に傾を付けてあります。

発生日月日	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頃・16:30頃	17:31	1時間1分
1998.04/22	三重県北部	M5.5	08km	09:00頃・17:00頃	20:32	(3時間32分)
2000.06/07	石川県西方沖	M6.2	21km	06:00頃・18:00頃	06:16	16分
2001.12/09	奄美大島近海	M6.0	36km	06:00頃・15:00頃	05:29	31分
2003.01/19	三重県南東沖	M5.8	70km	07:00頃・17:00頃	04:50	(2時間10分)
2003.09/21	千葉県南部	M5.8	70km	11:00頃・16:00頃	12:54	(1時間54分)
2004.10/23	新潟中越地方	M6.8	13km	07:00頃・18:00頃	17:56	4分
2005.06/20	新潟中越地方	M5.0	15km	10:00頃・14:00頃	13:03	57分
2005.08/16	宮城県沖	M7.2	42km	11:30頃・19:00頃	11:46	16分
2005.08/21	新潟中越地方	M5.0	17km	11:00頃・19:00頃	11:29	29分
2007.03/25	能登半島沖	M6.9	11km	09:00頃・17:00頃	09:42	42分
2007.07/16	新潟中越地方	M6.8	17km	10:00頃・18:00頃	10:13	13分
2008.06/14	岩手内陸南部	M7.2	08km	08:30頃・15:00頃	08:43	13分
2008.07/24	岩手沿岸北部	M6.8	108km	01:00頃・08:00頃	00:26	34分
2026.10/	未発生					

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、AMA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。AMA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のかもしれませんが。

Chap.8 火山噴火前兆変動

前章までに紹介した地震の前兆変動とは全く異なる基線の変動が観測されています。これは火山噴火と極めて強い相関が認められますため「火山噴火型前兆変動」と称します。火山噴火型前兆変動は夜間に出現した例はなく、午前7時頃～午後7時頃の日中の時間帯に出現します。実際の変動波形と火山噴火例を数例示します。噴火型R値=0~1100

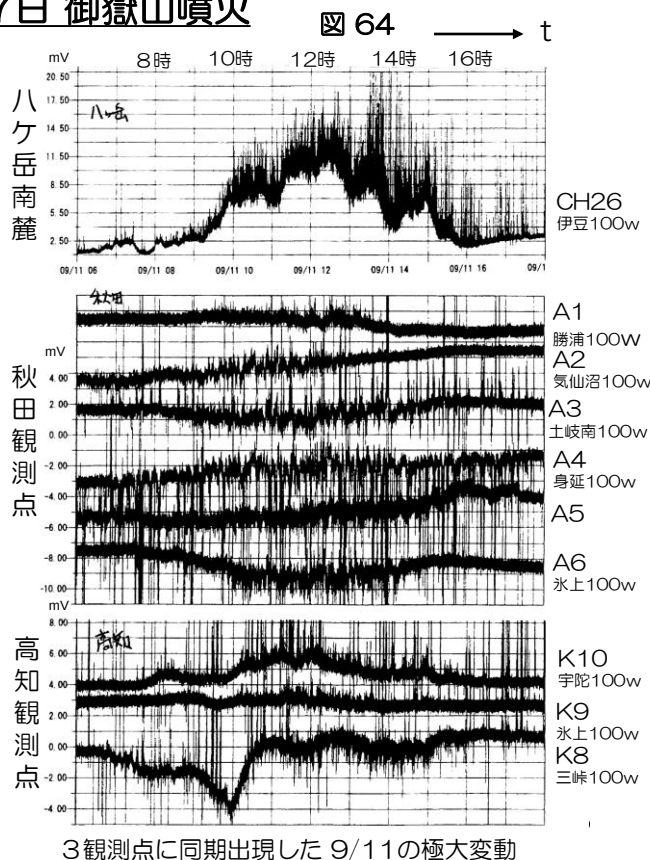
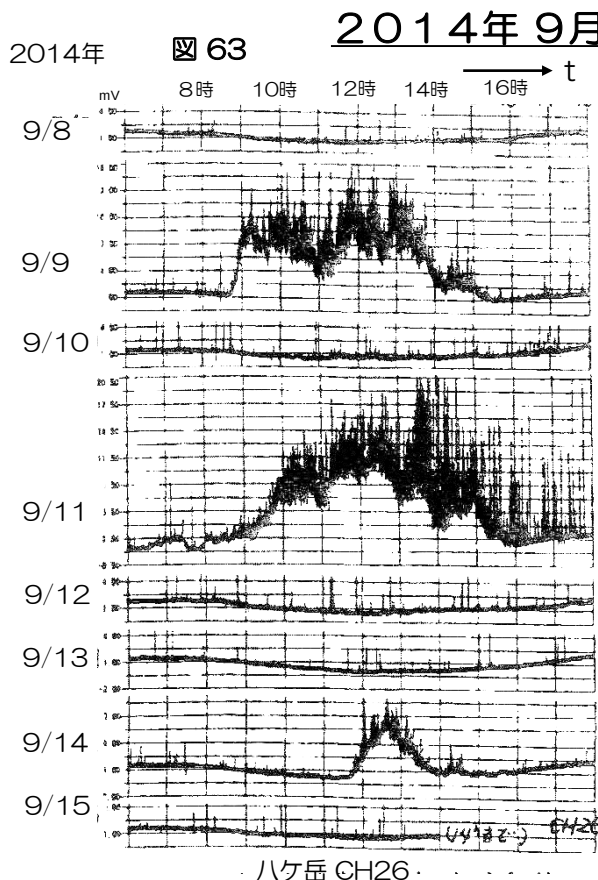
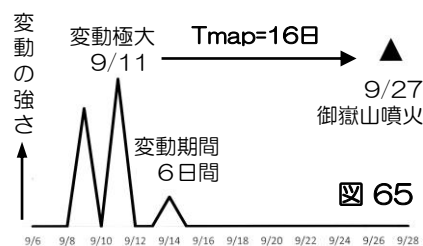


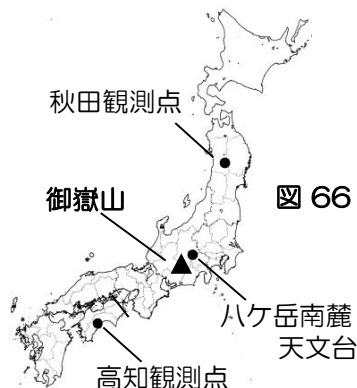
図 63 は2014年9月8日～15日までの期間中にハケ岳の観測装置CH26に観測された火山噴火型前兆変動です。9月9日と11日が顕著で、極大は9月11日認識。

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。64 は、極大認識の9月11日のハケ岳南麓・秋田観測点・高知観測点の3観測点に観測された変動です。全て完全に同じ変動ではありませんが、概ね同じ時間帯に変動が見えます。



変動出現観測装置数よりも、基線からの変動値の大きさが変動の強さ評価基準になります。ハケ岳が最も大きく、次いで高知観測点が大きく見えます。図 66 のとおり、御嶽山はハケ岳南麓に近く、ハケ岳から南西方向に位置し、秋田観測点よりも高知観測点に近い位置です。今までの観測で、火山噴火型（後述する火山近傍地震型も）は、活動領域に近い観測点に特に強く変動が観測されます。噴火等の活動規模が小さい場合には、一番近い観測点のみにしか変動が観測されない場合もあります。火山噴火型前兆変動は地震前兆変動の様な時間変化経験則はまだ認められません。

極大認識の9月11日から16日後の9月27日、御嶽山で水蒸気噴火が発生しました。マグマ噴火ではない水蒸気噴火でも前兆変動が観測されたことになります



2000年 3月31日 有珠山噴火

図 67

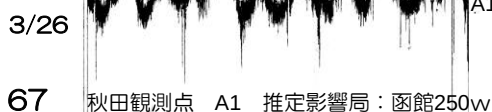


図 68

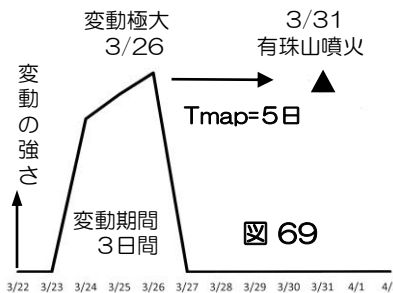
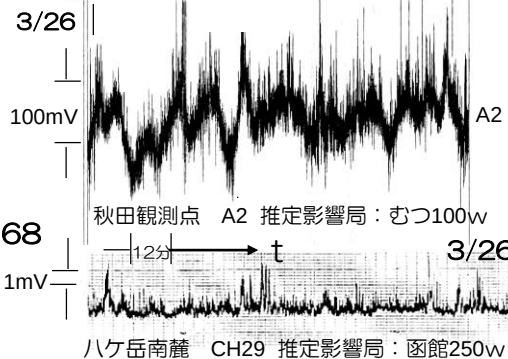


図 67 及び 68 は、2000年3月26日極大認識の火山噴火前兆変動です。図 66 は秋田観測点で、図 68 はハケ岳南麓天文台で観測された変動です。高知観測点は、まだ出ていませんでしたのでデータはありません。秋田観測点の2観測装置の変動は全く同じ変動ではありません。図 67 の秋田観測点の変動と、図 68 のハケ岳の変動を比較しますと、比較にならないほど、秋田観測点に強く変動が観測されています。対応活動は極大から5日後の北海道有珠山噴火の認識です。

図 70 のとおり、秋田観測点の方がハケ岳南麓より遥かに有珠山に近いので、秋田観測点に大きく変動が観測されたと考えます。

前頁の御嶽山噴火では変動は図 63 のとおり、6日間に渡って断続的に変動が観測され、極大から16日後に噴火活動が発生しました。有珠山の場合は、図 69 のとおり3日間で、極大から噴火までは5日でした。変動出現期間の長さや噴火までの日数にある程度の相関が認められます。

2015年 6月29日 箱根山噴火

2015年 図 71 ハケ岳 CH26

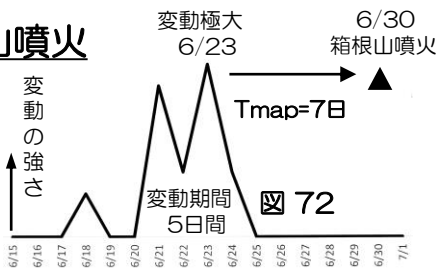
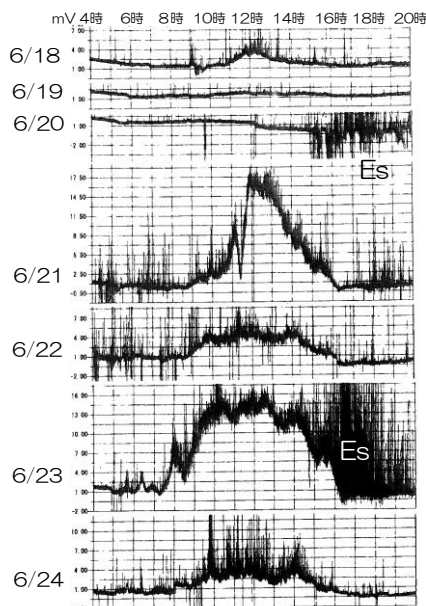


図 74

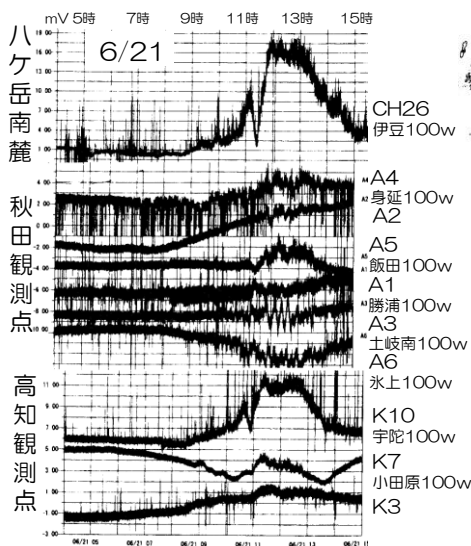


図 73

6/21 3観測点の同期変動

図 71 のとおり、2015年6月18日から火山噴火型前兆変動が出現。6月21日と23日が大きく出現。極大は23日認識。図 73 のとおり、3観測点に同期出現し、ハケ岳南麓が最も強く、次いで高知観測点が強く出現しました。6月29日から箱根山で火山性地震が急増し始め、変動極大から7日後の6月30日に箱根山で噴火が発生しました。

図 73 のとおり、箱根山はハケ岳南麓より南側に位置します。ハケ岳より南側、西側の火山活動では、全て秋田観測点より高知観測点に強く変動が出現しています。6/23のEs部はスパラディックE。

Chap.9 火山近傍地震前兆変動

R=0~1100

※35頁・36頁の各波形は全て同スケールで、比較しやすい様にしてあります。

① 火山近傍地震型前兆変動

前章で紹介した火山噴火型前兆変動は変動部が詰まっていますが、火山近傍地震型は、変動部が包括線の様に中抜け状態となる特徴的な変動です。変動時間は10分程度と短い。対応活動は火山近傍での震源が極めて浅い(10 km程度以下)での地震活動として相関が認められます。

2014年 9月3日 日光白根山近傍

栃木県北部 M 5.1-7km地震

2015年 6月4日 雄阿寒岳近傍

阿寒湖 M 5.0-0km 地震 他
小規模群発地震

2015年 1月24日

草津白根山 40回
無感火山性群発地震

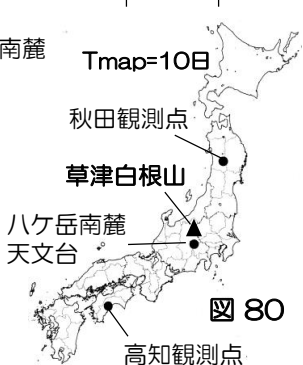
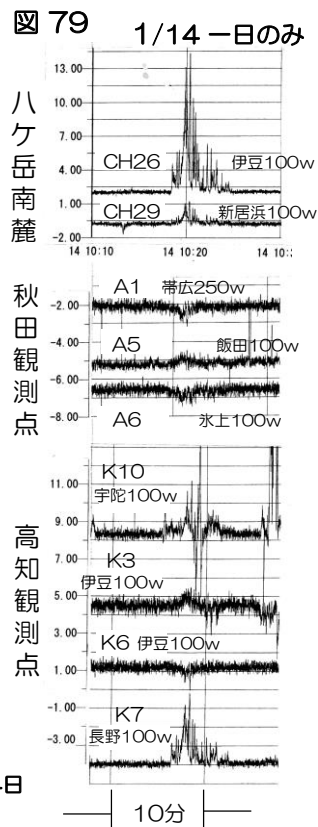
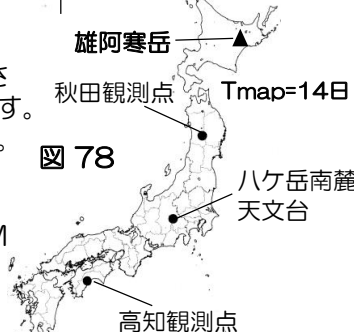
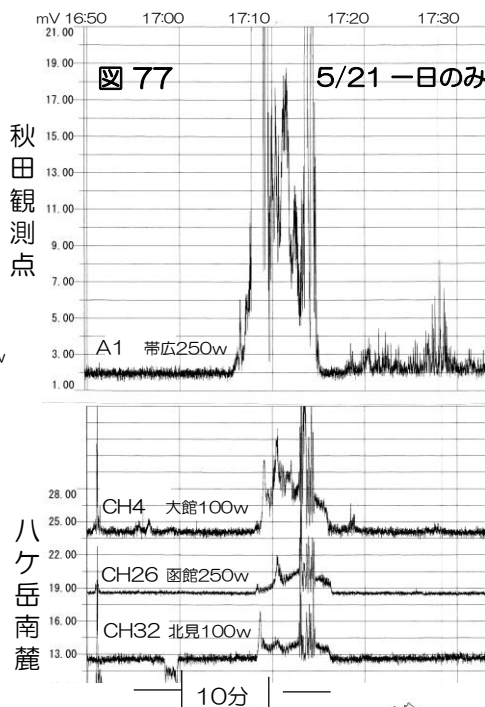
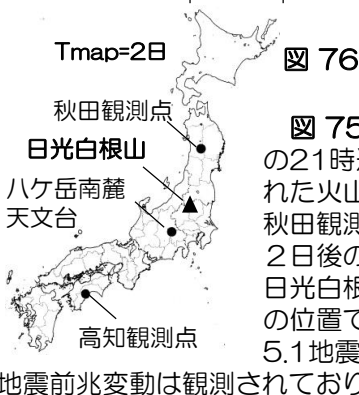
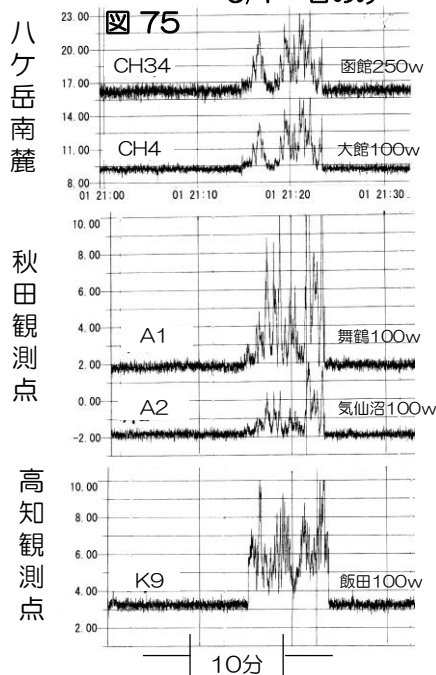


図 75 は、2014年9月1日の21時過ぎに3観測点に観測された火山近傍地震型前兆変動です。秋田観測点の変動が一番大きい。2日後の9月3日、栃木県北部、日光白根山から北東へ約19kmの位置で、震源が浅い7kmのM 5.1地震が発生。通常のBF等の地震前兆変動は観測されておりません。

図 77 は、2015年5月21日の17時過ぎにハケ岳と秋田観測点のみに観測された火山近傍地震型前兆変動です。秋田観測点の変動値は極めて大きい。13日後の6月3日夜から雄阿寒岳から約10kmの阿寒湖付近で地震活動が始まり、翌6月4日にはM5.0-深さ0kmの地震が発生。6月4日だけで6回の有感地震。6月7日までに12回の有感地震が発生しました。

図 79 は、2015年1月14日の10時過ぎに3観測点に観測された変動値の弱い火山近傍地震型前兆変動です。変動値はハケ岳南麓天文台が大きい。10日後の1月24日に40回の無感火山性地震が発生しました。図 75 や 図 77 と比較して、変動値が小さいことから、規模の大きな有感地震としては発生しなかったことが考えられます。なお、2015年1月には7日に火山近傍地震前兆変動が観測され、7日後の1月14日に日光吾妻山火口直下で193回の火山性地震が発生しています。

2014年 11月22日 飯縄山・黒姫山近傍 長野県北部 M 6.7-5km地震

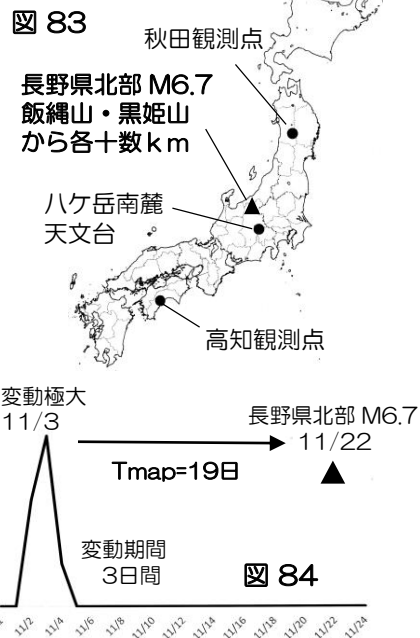
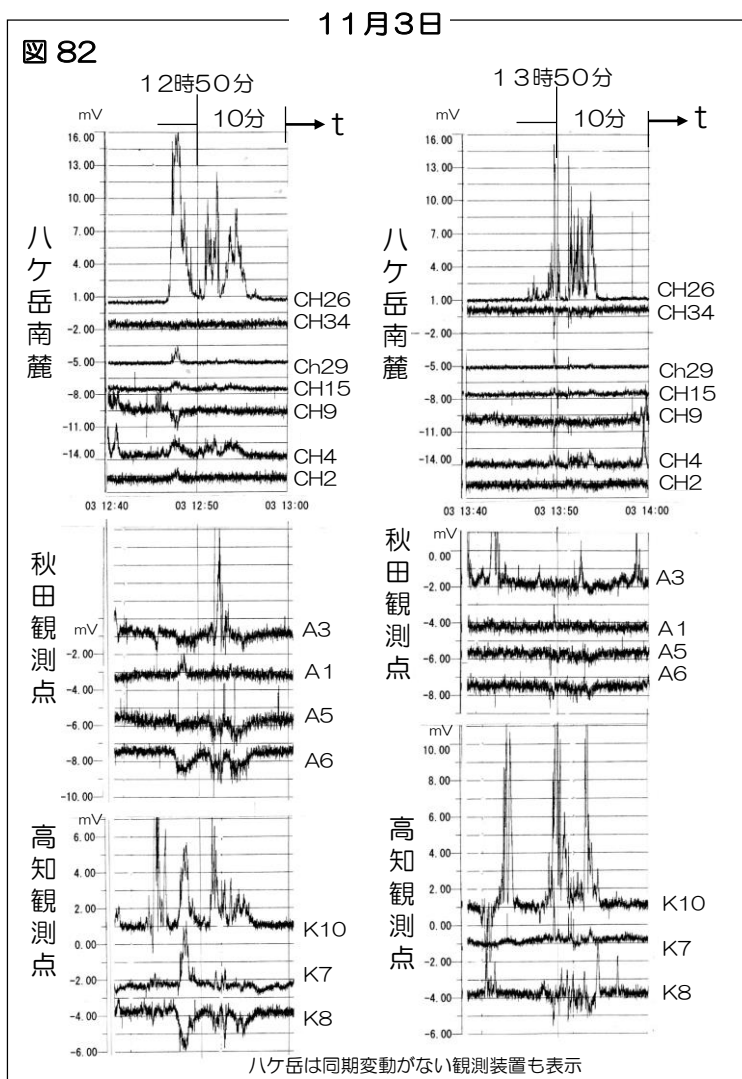
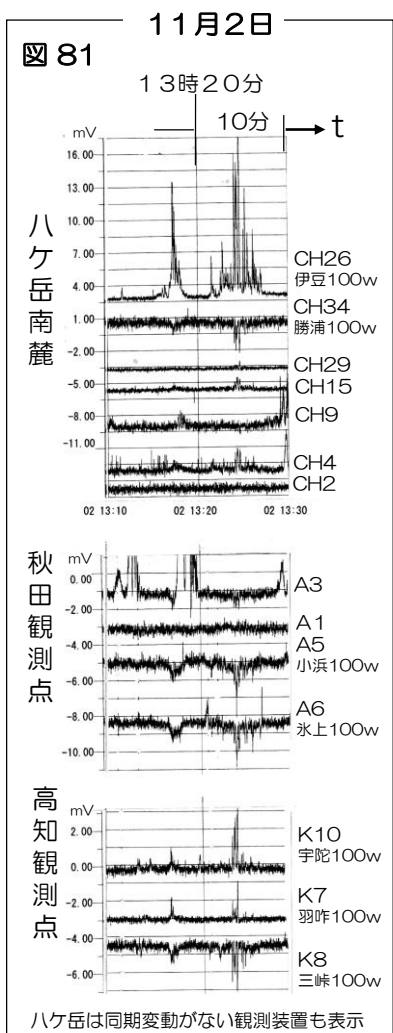


図 81 は、2014年11月2日に3観測点に出現した火山近傍地震型前兆変動です。図 82 のとおり、翌11月3日には2回も観測されました。変動値はハケ岳南麓が最大です。

前頁の3例は、いずれも一日のみの出現でしたが、当該変動は11月4日の微弱変動も含めると、3日間に渡って出現が観測されました。

変動極大11月3日から19日後の11月22日、飯縄山火山、黒姫山火山から、約十数 km の長野県北部でM6.7-5kmの地震が発生（最大震度6弱）しました。11月18日からM2.2～2.8規模の前震が発生。11月22日の本震以降は余震も多数発生しました。震源の深さはいずれも0km～5kmで、極めて浅い地震です。メカニズム解は逆断層（防災科学研究所）。

※火山近傍地震型前兆変動は、1日のみ出現の場合はM5クラスの地震活動や、火山性群発地震が発生していますが、複数日出現の場合はM6以上規模の地震が発生するという観測事実例です。また火山近傍地震型変動は、噴火型前兆変動とは異なり、日中に限らず夜間にも出現していることがわかります。

Chap.10 発生内容推定は異なる変動要素を測る

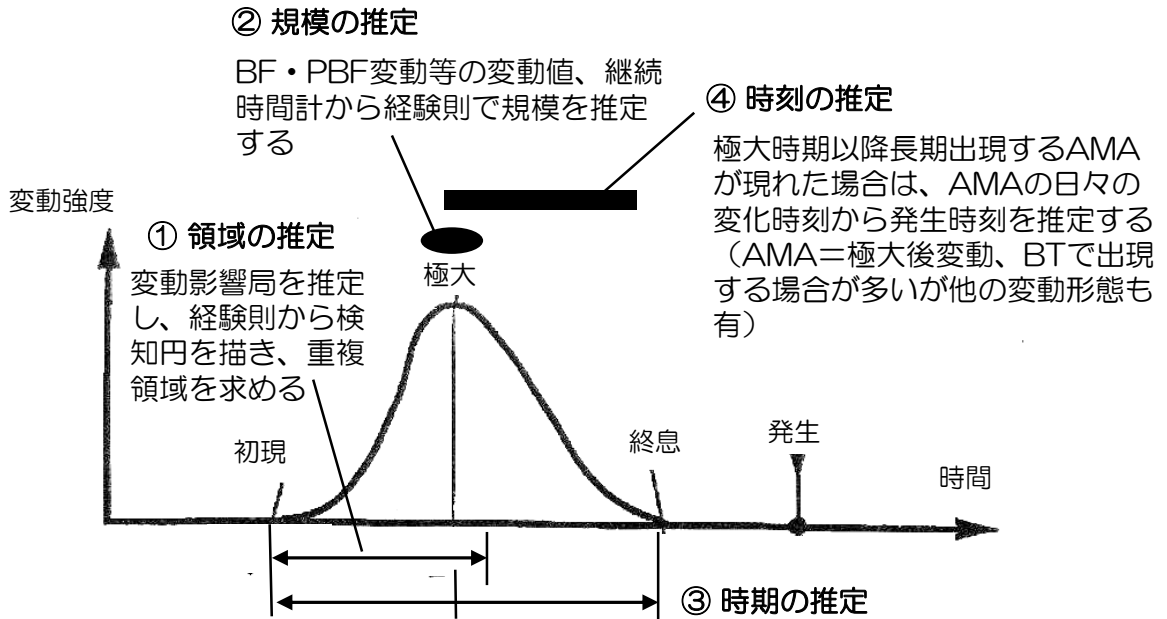


図 85 変動減衰の無い 基本的な変動形態 変動の初現・極大・終息変化のうち、2つの変化時期がわかれば、経験則から発生時期を推定する

発生内容の推定は、測る項目が異なり、徐々に推定される

図 85 は、地震の場合の、変動の減衰が無い基本的な前兆変動の時間的強度変化を示した模式図です。前兆変動が出現しだし、極大を形成するまでの期間中に、出現した変動の影響局を推定し、経験則による局からの検知円を描き、重複領域を求め、領域を推定します。次に極大時期の変動値、変動面積、出現継続時間計等から経験則を使用して規模を推定します。変動終息までの期間にAMAが現れた場合は、発生時刻が推定できる活動もあります。変動の初現、極大、終息の時間変化のうち、2点が決定できれば、経験則を使用して発生時期を求めます。

このように、変動の観測から、変動の異なる項目を測り、発生内容を推定します。全ての発生内容は一時にわかるものではなく、時間経過と共に徐々に明らかとなっていきます。

さらに

変動から推定される規模に対し、過去経験則から変動出現観測装置数が少ない場合や、極大時期のみにしか変動が出現しない場合は、何らかの原因で変動が減衰している可能性が高く、海域下震源の可能性等が推定されます。また変動期間が数ヶ月と長い場合は、プレート境界型地震ではない、地殻地震の可能性が推定されます。噴火型変動が観測された場合も、変動出現が複数日に渡るか否かで、噴火活動に至るのか、火山近傍地震活動となるのかが推定できます。

本観測では、変動が出現していなければ、大型地震や、火山噴火の可能性を否定することが可能です。これは大変重要な事柄と考えます。

難しい点

「能登半島地震」「熊本地震」「No.1778長期前兆」等は、わかりやすいTmap日数の短い通常地震活動とは異なる、初めて体験する特殊な活動です。このような特殊な活動は、上の様な発生内容推定が非常に困難です。それでも過去観測例や、経験則を駆使して、変動観測期間中に対応活動内容推定の努力を続けます。それでも初めて体験する変動の場合は、発生までの間に正確な活動内容の推定が困難な場合があります。現在まで31年以上観測を続けて参りましたが、今後も長い期間、観測を続け、多くの観測データを蓄積し、知見を貯めることが非常に重要です。

Chap.1 1 考察

図 86 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 86 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。

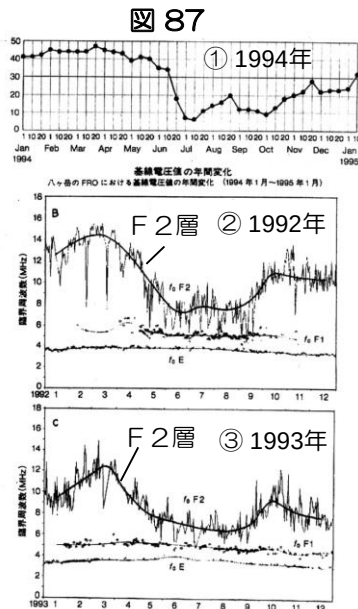
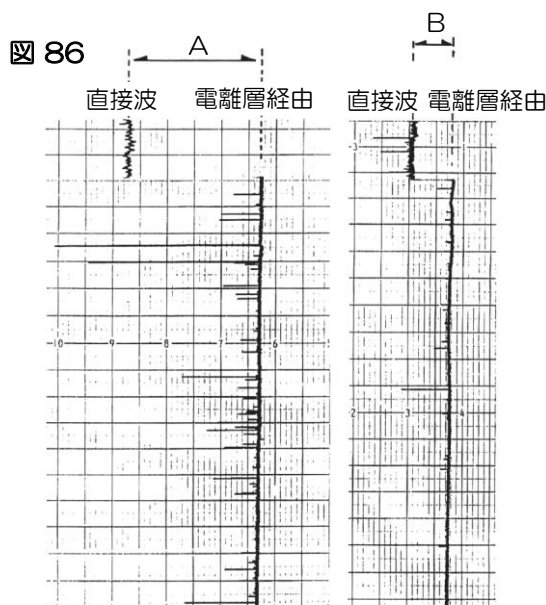


図 86 のAとBの差は季節によって変化していました。

この差の年間変化をグラフで表したものが、図 87 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）。

臨界周波数の中でも電離層F2層の変化と、図 87 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

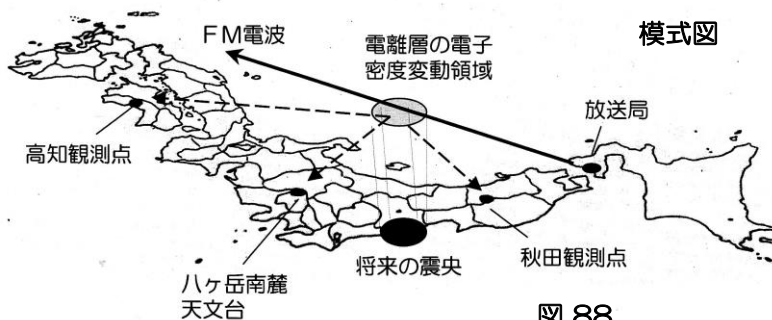


図 88

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ますと、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しかありえません。

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 88 は北海道の放送局電波で東南北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。

「地震発生前に電離層の電子密度が微少に変動することで、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。

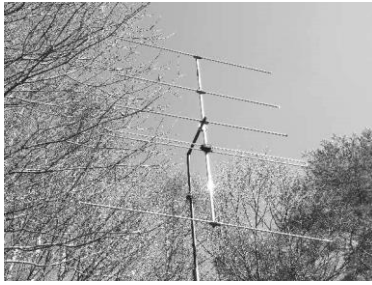


図 89

図 89 は観測用に天頂に向け設置したFM用5素子八木アンテナです。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ましたが明確な変化は認められませんでした。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ます。しかし、感度面の方向と前兆変動検知実績を鑑みると、良好な関係が認められません。また極端な話し、受信エレメントだけでも問題なく、指向性を高めるための前方エレメントや反射エレメントも必要ない様です。アンテナの利得もあまり関係がないように見えます。感度面の関係性の無さも、目標局電波の反射ではなく散乱現象によるためと考えられます。

反射と散乱の違い（参考）

晴れた日中に、鏡を地面に置いた場合、ある位置から見ます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。反射は入射角と射出角が同じですが、散乱は無関係となります。

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、秋田観測点やハヶ岳南麓、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。

地震活動・火山活動は結果

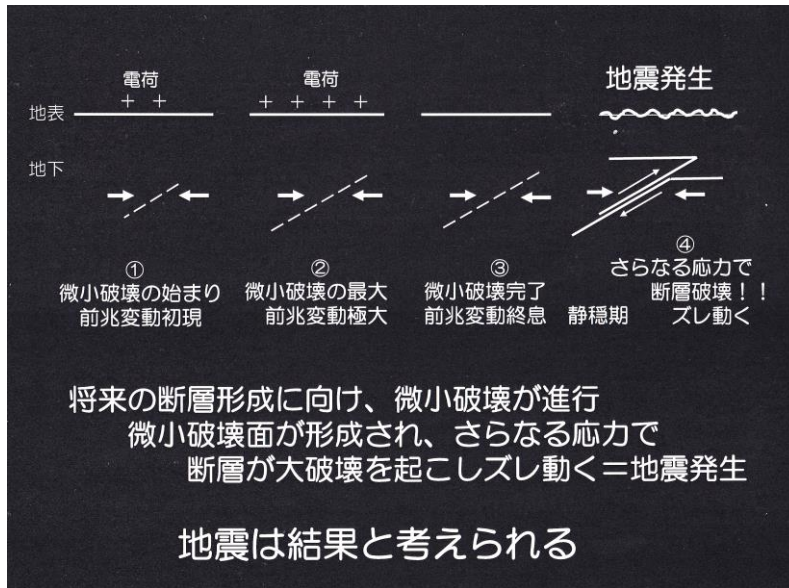


図 90 仮説模式図

地震学では「地震は、突然に発生する自然現象であり、発生する地震の規模はM4で終わるのか、M7の大地震となるかは、発生してみないと判らない。神のみぞ知る」などと言われています。

しかし、本観測を続ける中では、地震や火山の活動前に、活動内容が推定できる変動が観測されています。

図 90 は、仮設模式図です。地震発生前に震源領域で、将来の断層を形成する微小破壊（マイクロクラック）が生じている可能性が考えられます。

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、変動が観測され続けます。

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、断層を生じてずれ動く、いわゆる「地震発生」となるといいう可能性です。つまり、地震活動や火山活動は結果であって、その前があるということが言えます。

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、電氣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BT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反応は化学的な現象よりは電氣的（静電気）な現象である可能性が考えやすいと思われます。

Chap.20

徐々にわかってきた現象と経験則発見の年表



図 91

2023年まで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た研究室。



図 92

完全デジタル化前の観測研究室壁面に並んだペンレコーダー



図 93

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ます。



図 94

FAXとE-mailで日々配信している観測情報。

- 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ランダウ減衰型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・熊本地震で地震前兆変動と火山近傍地震前兆のコンビネーションを初めて観測体験
- 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の2極大は各々の継続時間は規模を示す
- 2023年・BF特異の他にPBF特異・BT特異があることを確認
- 2024年・長期継続前兆変動で噴火型変動が極大として出現した場合は、複数日出現する場合もある（噴火に至る訳ではない）
- 2025年・ランダウ減衰型BF変動は受信機の設定周波数同じ側に2つの局が検知円が重複する領域に震央がある条件で、2つの局で各々PBF変動が出現した場合に変動が干渉して出現する可能性が高い
- 2026年・無振動基線系状特異は設定周波数の両側に検知円が重複する2つの局があり、2つの局で顕著な特異変動が出現した場合に出現する
- 2026年・観測歴上最長の17年以上継続する地震前兆変動を観測体験
- 2026年・同期するBF変動を特異変動としていたが、通常BF変動に区分する
- 2026年・極大時から出現する変動をBT-2としていたが、AMAと改名
- 2026年・同期BF・PBFはM7以上規模で出現することを確認

地震前兆変動 観測情報の配信（公開実験）の実施

本観測研究には、公的支援はありません。そこで、観測された変動と解析結果である地殻活動予報をFAX並びにE-mailで配信する代わりに観測研究費の支援協力を募る形（公開実験）で、1995年以来、現在まで多くの皆様方のご支援によって観測研究を継続して参りました。

観測情報には、変動が観測されていない場合は、大型地震・火山噴火等の発生は推定できないことを記し、安心して生活できることを報告しています。変動が観測された場合は、実際の波形と共に、可能性が考えられる活動の解析推定内容を報告しています。なるべくわかりやすい内容

で記す様に心がけています。配信は最低でも週一度、変動が観測されている場合は毎日の様に配信公開しています。推定内容が実際の活動と異なる場合には、失敗の原因を調査し、皆様に報告しています。

前述してきましたとおり、地殻活動の前兆変動は非常に難しいケースも多々あり、初めて体験する変動では、正確な推定を行うことが困難な場合もあります。そのためにもできるだけ長期に渡る観測研究が必要です。皆様方のご協力が是非とも必要です。お一人でも多くの皆様に「観測情報配信・公開実験」にご参加賜れます様、心から切にお願い申し上げます。

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」 ラジオライフ 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 WNⅠ 気象文化創造センター 気象文化大賞受賞報告書 ハヶ岳南麓天文台・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 No.0（1995年7月）～No.3700（2026年9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 Hi-net
- ・<http://jishin-yohou.com>

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、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頂いております、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」読者の皆様に出版以降のNo.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きました。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毎回行って下さいました、並木様にも心より厚く感謝申し上げます。

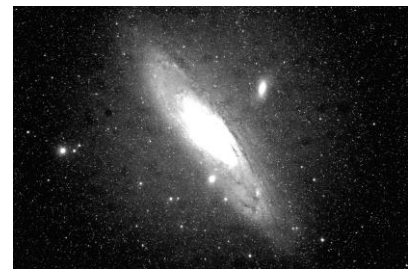
本資料中に記載しました地震の震源情報・火山情報は全て気象庁発表地震暫定値・火山情報を使用させて頂きました。地震のメカニズム解は防災科学技術研究所発表資料を参考にさせて頂きました。心より感謝申し上げます。



著者略歴等

串田嘉男 Yoshio KUSHIDA

山梨県北杜市高根町在住
ハケ岳南麓天文台 代表
電離層モニター観測所
代表観測研究員



M31 アンドロメダ銀河

略歴

- 1957年 東京都八王子市生まれ 三鷹光器で大型望遠鏡精密光学機器製作を経て、東急ハンズ渋谷店開店スタッフとして理化学機器・光学機器売り場を開設し、担当。公開天文台開設のため退職。
- 1980年 公開天文台開設のため株式会社ハケ岳アストロピレッジ設立 代表取締役役に就任
- 1983年 財団法人科学教育研究会評議員に就任。天文普及教育活動に従事。1985年退職。
- 1984年 現在の山梨県北杜市に移住
- 1985年 公開天文台と観測所村を併せた「ハケ岳南麓天文台・星の村」を開設。
- 1985年～1995年 年間数千人の方へ宇宙を紹介。
- 1993年 FM電波流星観測中に地震前兆変動発見。
- 1995年 兵庫県南部地震発生を機に地殻活動推定のためのFM電波による電離層観測研究を本格化。
- 1995年～2000年 理化学研究所「地震国際フロンティア研究プログラム」に非常勤研究員として参加。
- 1995年～FM電波による電離層モニター観測による地震前兆変動検知公開実験「観測情報配信」を開催。精力的に観測研究を実施、現在に至る。



新天体の発見実績

- 1988～1994年 村松修氏と共同で新小惑星50星以上を発見。
小惑星「Yamanashi・Hachioji・Ingalls・Neverland」等命名
- 1994年 村松修氏と共同で新周期彗星「串田・村松彗星」発見
- 1995年 単独で新周期彗星「串田彗星」発見。

★周期彗星の複数発見は我が国初で唯一

左写真：144p Periodic Comet KUSHIDA 周期彗星 串田彗星



ばら星雲 30cm F3

受賞歴

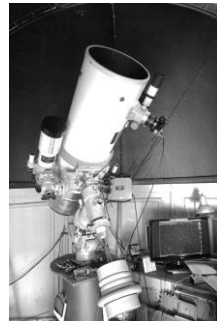
- 1990年 新小惑星 Oizumi 発見命名により当時の大泉村（現在の北杜市大泉町）より「善行賞」受賞
- 1995年 2星の新彗星発見により日本天文学会より2つの「新天体発見賞」を受賞
- 1999年 地震前兆変動発見により「東久邇宮記念賞」受賞
- 2001年 PHP新書「地震予報に挑む」で「講談社 出版文化賞・科学出版賞」を受賞
- 2013年 一般財団法人WNI気象文化創造センターより地震前兆観測研究に対し「気象文化大賞」受賞



口径40cmF5ニュートン
反射望遠鏡



口径40cmF10
シュミットカセグレン



口径30cm F3・F4
ニュートン反射望遠

単行本 著書等

「見つけたぞ！ボクらの星」ポプラ社
「地震の科学」共著 丸善
「地震予報に挑む」PHP新書
「地震予報」PHP新書

記事執筆

- バリティ1995年「VHF電波による地震予知」
- 日経サイエンス2001年「地震予知は可能か」
- 月刊天文1991年 観測者ガイド小惑星頁連載記事
- 週刊朝日2001年「地震予報への道」連載記事

学術論文

- 1998 理化学研究所 RIKEN Review
- 2002 大気電気学会「電磁気地震論文集」
- 2003 理化学研究所 RIKEN IFREQ

学会発表

- 1995 日本天文学会
- 1996 日本天文学会
- 1997 地球惑星合同学会
- 1998 日本学術振興会 茅コンファレンス
- 2003 IUGG 国際測地学・地球物理連合学会



ハケ岳南麓天文台公開天文台部
右奥に白いドームの載った研究棟が見える



東側観測テラスと天体ドーム群
観測テラス下は工作室

（どちらの写真も南側から北向きで撮影）