

EPOS4 における地殻変動の異常監視処理の高度化

Improvement of the Detection Logic of the Crustal Movement Signal in the EPOS

木村一洋¹, 近澤心², 菅沼一成³, 草野利夫³

Kazuhiro KIMURA¹, Shin CHIKASAWA², Issei SUGANUMA³ and Toshio KUSANO³

(Received July 15, 2010; Accepted January 30, 2012)

1 はじめに

気象庁では、東海地震の直前予知などを目的としてひずみ観測装置（ひずみ計）の観測網を南関東及び東海地域に整備し、地震活動等総合監視システム（以降、EPOS という）により 24 時間リアルタイムの地殻変動の異常監視処理（以下、単に異常監視処理と記す）を行っている。異常監視処理のしくみについては石垣（1995）や小林・松森（1999）に基本的な部分について示されているものの、それ以降の技術的な改良点については文献などにとりまとめられていない。2009 年に整備・更新された第 4 世代目の EPOS4（以降、世代を明記する場合は EPOS1～EPOS4 と記す）においては、それまでの異常監視処理のしくみについて見直しを図り、様々な改良を行った。本稿では、2 章で観測点から EPOS へのひずみ計データの伝送の流れ、3 章で EPOS におけるデータ作成処理、4 章で従来の EPOS における異常監視処理のしくみを紹介する。また 5 章では EPOS4 における異常監視ロジックの改良点について、詳細に説明を行う。

また、東海地震予知の各種情報発表の基準となるひずみ計をはじめ、各種地殻変動データの閾値の基準であるノイズレベルについて、簡単に調査を行うためのツールを開発したので 6 章で紹介する。

2 ひずみ計データの伝送の流れ

気象庁で地震予知のためにデータを監視しているひずみ計には、体積ひずみ計（末廣，1979）と石井式の多成分ひずみ計（石井・他，1992）の 2 つの種

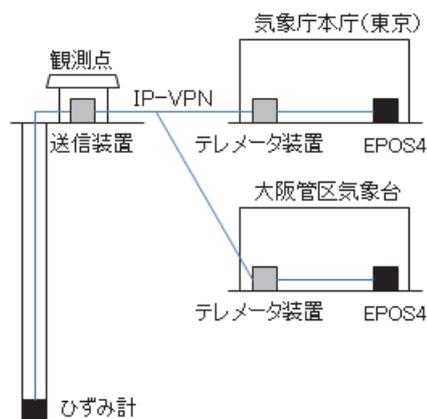


図 1 ひずみ計データの伝送の流れ

類がある。いずれも、ボアホールに埋設したひずみ計であり、ひずみ計の各観測要素を、気圧や降水量などといった環境要素、機器の動作状況や状態を把握するための監視情報などと一緒、現地の観測小屋に設置した送信装置においてデジタルデータに変換し、IP-VPN を使用して 1 秒サンプリングでパケットデータを送信している。なお、2010 年に新設した石井式の多成分ひずみ計はボアホールに埋設した機器の中でデジタルデータに変換するタイプのものである。

また、2009 年 3 月までは東京の気象庁本庁のみにひずみ計のデータを送信していたが、EPOS4 では BCP（事業継続計画）を考慮して大阪管区气象台においても異常監視処理を行うことができるバックアップのしくみが整備されたため、2009 年 4 月からは大阪にもひずみ計のデータを送信するようになった。

¹ 気象研究所地震火山研究部， Seismology and Volcanology Research Division, Meteorological Research Institute

² 地震火山部火山課， Volcanological Division, Seismological and Volcanological Department

³ 地震火山部地震予知情報課， Earthquake Prediction Information Division, Seismological and Volcanological Department

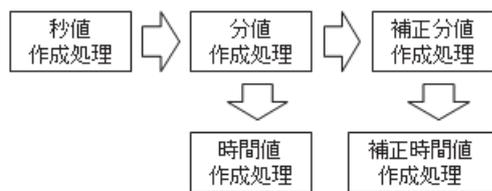


図 2 EPOS におけるデータ作成処理の流れ

これらのデータを、東京及び大阪に整備されているテレメータ装置において受信し、30 秒強程度の遅延を許容して EPOS 用に編集し直して送信している。ここで、ひずみ計の各観測要素や気圧や雨量などの環境要素 1 つ 1 つに対して 1 チャンネルを対応づけており、以降各要素をチャンネルとして定義する。ここまでの流れを図 1 に示す。なお、観測点の送信装置からテレメータ装置に送信するデータは主に 24 ビットの整数値であるが、テレメータ装置から EPOS4 に送信しているデータは、これまでの EPOS 演算処理を踏襲して 16 ビットの整数値のままとした。

3 EPOS におけるデータ作成処理

EPOS においては、各チャンネルのデータについて秒値、分値、補正分値、時間値、補正時間値を自動処理で作成している。EPOS におけるデータ作成処理の流れを図 2 に示す。各作成値は一旦メモリ上に書き込まれ、次に一定時間ごとにディスク上に書き込まれる。以降に各処理の詳細について示す。

3.1 秒値作成処理

EPOS で受信した 1 秒サンプリングのデータの値は、そのまま秒値として処理する。

観測装置からテレメータ装置に送信する過程でパケット抜けを起こしたデータは、テレメータ装置から EPOS にデータを送信する際に欠測扱いとならずに 0 の値となる。このため、気象庁のひずみ計においては、パケット抜けを起こした場合には確実にデータを欠測扱いにするよう、観測点の送信装置で作成する監視情報の定められた特定のビットが立っていないければ、その時刻の値をパケット抜けと判断して欠測扱いとしている。また、このような監視情報が存在しない他機関のデータなどでは、正常値の中にパケット抜けが頻繁に発生して 0 の値が混入すると、分値以降のデータが不適切な値になる。そのような場合に備えて、チャンネルごとの設定により 0 の

値を自動的に欠測扱いとすることも可能である。但しこの場合、パケット抜けでは無い 0 の正常値も欠測扱いとしてしまうため、注意が必要である。

また、ひずみ計には観測装置本体の限界を超えないよう、体積ひずみ計のバルブオープンや多成分ひずみ計のオートゼロシフトなどのしくみがある。これらの動作は観測装置側で自動的に調整するが、その際データにステップが生じることになる。そのため、バルブオープンやオートゼロシフトの発生時には監視情報の定められた特定のビットを立て、正常データから除外するとともに、ステップの前後で値が繋がるように自動的にシフト量を計算している。なお、シフト量はデータ作成処理そのものには反映せず、別ファイルに保存してデータを物理量に換算する際に反映している。

3.2 分値作成処理

秒値から分値を作成するには、それぞれのチャンネルの性質に合わせて複数の演算処理形態を用意している。ひずみ計などの地殻変動データは、該当する 1 分間 (0～59 秒) の秒値を全て平均して分値を算出する平均処理がほとんどである。それ以外に累積降水量など毎正分の秒値を分値とするリサンプリング処理、潮位差など 2 つの異なるチャンネルの分値の差を計算する差分処理、同じチャンネルの 1 分前と現在の分値との差を算出する単位時間降水量処理 (累積降水量から 1 分間あたりの降水量を算出) を用意している。

リサンプリング、差分、単位時間降水量処理の場合には、算出に必要な秒値ないし分値が欠測の場合にはそのまま欠測扱いとする。平均処理の場合には、平均値から大きく外れた値を平均処理に含めないようにするため、データの平均と標準偏差をもとに分散異常の判定を行う。欠測値と分散異常値の除去を行い、正常値が一定個数以上の場合に平均値を算出する。この個数の設定はチャンネルごとに設定できるのではなく、全てのチャンネルに対して共通である。

3.3 補正分値作成処理

補正分値は、分値に各種補正処理を施したデータで、EPOS においては潮汐補正、気圧補正、温度補正、磁気補正、降水補正 (磁気補正と降水補正は EPOS3 以降) の計 5 つの補正処理がある。潮汐補正、

気圧補正、温度補正、磁気補正の4つは順次補正処理を行い、1つの補正分値を算出する。降水補正のみは、先ほどの補正分値を元に別チャンネルとして処理している。

それぞれの補正処理について簡単に説明する。潮汐補正については、BAYTAP-G（石黒・他，1984；Tamura et al., 1991）によって、ある程度長期間のデータからあらかじめ潮汐応答係数を求めておく。その補正係数を用いて理論潮汐応答を計算し、それを差し引く補正を行っている。気圧補正（檜皮・他，1983）については、一次の気圧補正係数をあらかじめ求めておき、その補正係数と気圧データを用いて線形補正を行っている。温度補正（二瓶・佐藤，1988）についても、温度補正係数と地中温度データを用いて線形補正を行うしくみはあるが、地中温度の数分から数日の変化量は小さく、この周期帯のひずみ変化に影響を与える例が見られないため、2010年7月現在で、温度補正をリアルタイムで行っているチャンネルはない。磁気補正（宮岡，2011）については、磁気センサーを用いて観測している石井式の多成分ひずみ計は、地球の磁場の影響を受けるため必要になる。1999年以降に設置した多成分ひずみ計にはセンサー周囲に磁気シールドを施したが、完全には影響を除去できていない。そのため、茨城県石岡市にある地磁気観測所の地磁気データをEPOSに伝送して、EPOSにおいて東西・南北方向の成分に変換処理し、あらかじめ求めた磁気応答係数により線形補正を行っている。なお、2010年に新設する石井式の多成分ひずみ計のひずみ観測点でもボアホール内部でそれぞれ地磁気を観測することから、今後これらの地磁気データを磁気補正に用いることも計画している。降水補正（石垣，1995）については、松本・高橋（1993）の方法を用いて降水補正係数を求めた上で、降水量データから降水応答を計算し、それを差し引く補正を行っている。この他、伊良湖の揚水ポンプによる汲み上げ（松島・他，2008）についても降水補正のしくみを用いて補正処理を行っている。

気圧補正については、補正に用いる気圧局のデータに欠測が生じた場合に、別の気圧局のデータを用いた補正に自動的に切り替えて気圧補正を継続するしくみがある。気圧局を切り替える際には、切り替え前後の気圧値のオフセットにより補正データに影響が出ないように調整している。一方、温度補正及

び磁気補正については、このような複数の予備局の切り替えを行うしくみは無い。

なお、補正分値では該当する分の前2分から後1分までの計4分間の平均値を取る処理も用意しており、分値で平均処理をしたチャンネルの多くが採用している。平均処理は、補正処理を行った後に行っている。

また、EPOSでは補正分値などの計算結果を16ビットの整数値でセットするが、補正量があまりに大きくなると、セット時にオーバーフローしてしまうため、パラメータ等の設定の際には補正量が大きくなるように注意が必要である。特に、降水補正については補正量が段々と大きくなっていくものもあるため、オーバーフローする前に、一旦補正量をクリアしなければならない。

3.4 時間値作成処理

分値から時間値を作成する際にも、秒値から分値を作成する際と同様、チャンネルの性質に合わせて幾つかの演算処理形態が存在する。平均処理は、該当する毎正時間の前後30分、計61個のデータを用いて平均処理を行うもので、他に分値同様リサンプリング処理（毎時0分の値）や差分処理があるほか、例えば単位時間降水量として処理した分値を毎時0分から60分間遡って積算し降水量の時間値を作成するような積算処理がある。時間値の平均処理についても分値同様に、欠測値と分散異常値の除去を行い、正常値が一定個数以上の場合に平均値を算出する。但し、この個数の設定もチャンネルごとに設定できるのではなく、全てのチャンネルに対して共通の設定である。

3.5 補正時間値作成処理

補正時間値は、図2に示しているように時間値から作成するわけではなく、補正分値から作成している。これについても、チャンネルの性質に合わせて幾つかの演算処理形態を用意している。平均については、時間値作成処理と同様に該当する毎正時間の前後30分、計61個の補正分値を用いて平均処理を行うもので、リサンプリングは毎正時の補正分値を補正時間値とする。なお、降水補正については、補正分値から作成せず、降水補正以外の4つの補正を行った補正時間値のデータについて補正し、別チャネ

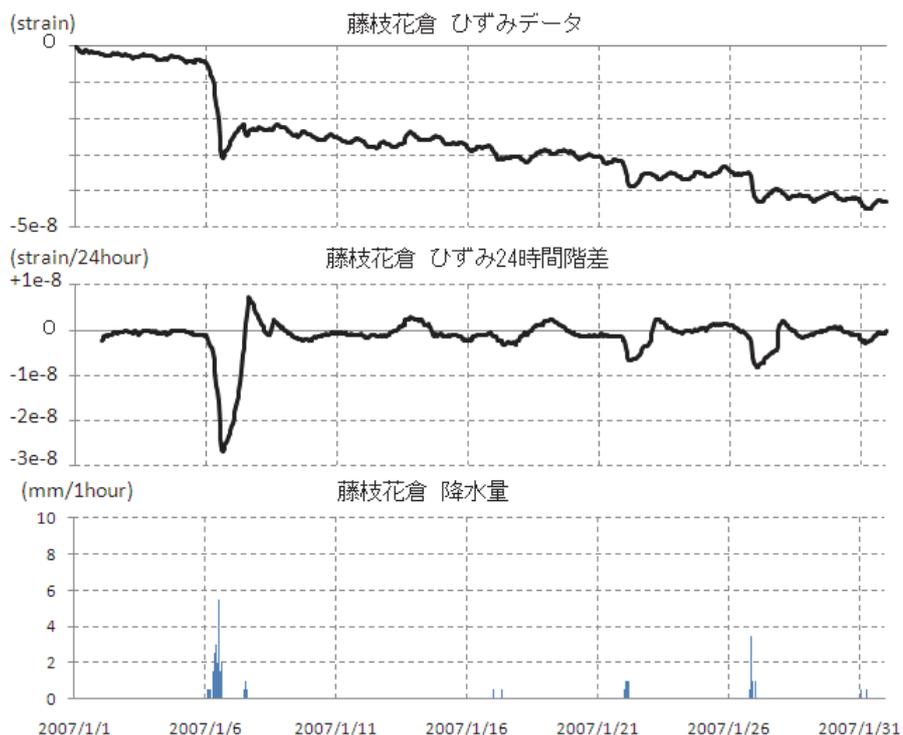


図 3 体積ひずみ計の降水に伴う時系列グラフの例
(2007 年 1 月における藤枝花倉観測点のひずみデータ)

ルとして作成している。

4 従来の地殻変動異常監視処理のしくみ

EPOS においては、東海地震の直前予測のため、異常監視処理を行っている。具体的には小林・松森 (1999) に示されているとおり、3 章で説明したデータのうち補正値及び補正時間値を用いて、監視対象のチャンネルの 60 分階差、180 分階差、24 時間階差の 3 つの階差変化量(時間内の変化量)について、一定の基準を満たした場合にアラーム(音声)報知を行っている。これは、東海地震の情報発表基準を満たすよりも早く地殻変動の異常を検出するためのもので、調査期間である 1 年半に 1 回程度の現象のみ検出するという定義の閾値(以降、ノイズレベルという)を元に、レベル 1(ノイズレベルと同値)、レベル 2(ノイズレベルの 1.2 倍～1.8 倍)、レベル 3(ノイズレベルの 2 倍)の 3 段階の閾値を定め、これらのうちレベル 2 以上をアラーム報知の基準としている。また、設定した観測点同士でそれぞれのレベル 1 の閾値を超えた場合にも、2 点同時異常としてアラーム報知している。気象庁では、このノイズ

レベルを元にした閾値による異常監視処理を EPOS2 以降 24 時間リアルタイムで行っている。この章では、従来の EPOS3 までの異常監視処理のしくみについて説明する。

4.1 ひずみ計の変化の概要

体積ひずみ計では体積ひずみ 1 成分、多成分ひずみ計では異なる方位の線ひずみ 4 成分の観測を行っている。ひずみ計のデータは一般的に、降水期間中は非降水期間中よりもノイズが大きくなり、変化が片側に大きく偏ることが多い。特に体積ひずみ計は設置深度が浅くその傾向が顕著である。図 3 に体積ひずみ計の降水に伴う変化の例として、2007 年 1 月における藤枝花倉観測点のひずみ計の潮汐・気圧補正データとその 24 時間階差、降水量の時系列グラフを示す。藤枝花倉観測点においては降水に伴いひずみ計のデータはまず大きく縮み(マイナス側)、その後伸び(プラス側)の方向に若干回復している。24 時間階差で見ると、降水に伴い縮みに大きく振れた後、伸びに反転し、そのまま緩やかに降水前の状態に収束している。このようなひずみ計のデータの変

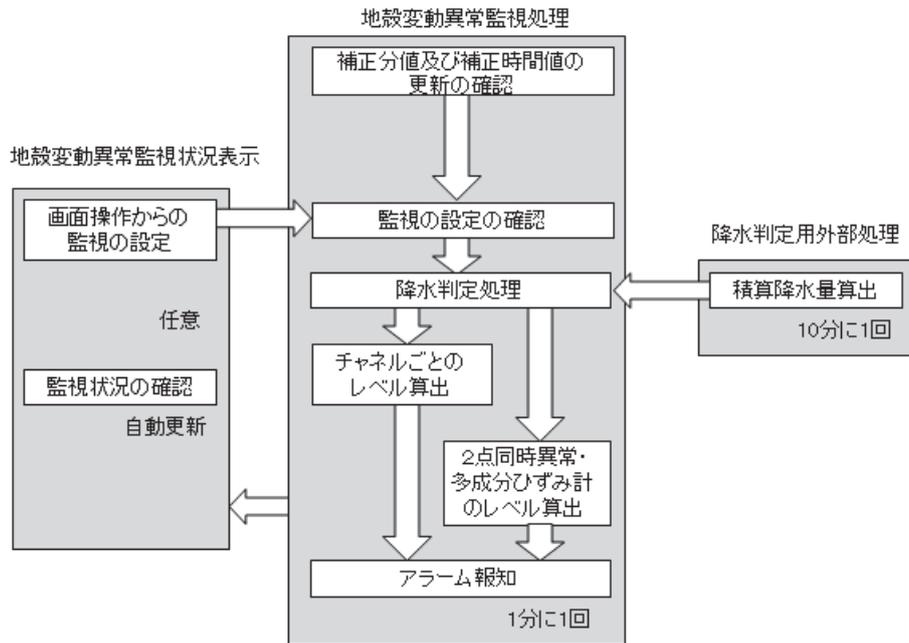


図 4 従来 (EPOS3) までの地殻変動異常監視処理の流れ

化の概要を踏まえ、各々のチャンネルのノイズレベルは、(1)非降水期間と、(2)降水期間を含む全期間のプラス側及び(3)降水期間を含む全期間のマイナス側の計3つについて調査し、閾値を設定している。また、体積ひずみ計については降水補正も行っているが、現在の手法による降水補正は万全ではなく、降水補正を行わないチャンネルよりもノイズが大きい期間もあるため、降水補正を行ったチャンネルと降水補正を行わないチャンネルを並行して異常監視を行っている。

多成分ひずみ計については、設置深度が 300m 以浅の体積ひずみ計より設置深度が 400~800m と深いこともあり、降水の影響は体積ひずみ計に比べてかなり小さい。

これらのひずみ計のデータの変化の概要を踏まえ、EPOS3 までは従来、図 4 のように異常監視処理を行ってきた。4.2 節以降では各処理についての詳細を示す。

4.2 積算降水量の算出と降水判定処理

先に説明したように、一般的にひずみ計のデータは降水の影響を受けやすいため、監視しているチャンネルのデータが降水期間か非降水期間かを判断する必要がある。n 時間前の単位時間降水量 R_n とその

積算時間 K (時間)、降水判定閾値 C (mm) を用いて、降水期間及び非降水期間を以下のように定義する。

降水期間

$$\sum_{n=0}^{K-1} R_n \geq C \quad \dots (1)$$

非降水期間

$$\sum_{n=0}^{K-1} R_n < C \quad \dots (2)$$

降水判定の概念図を図 5 に示す。積算時間を延ばすと、同じ降水判定閾値であっても降水期間と判定される期間が延びる。降水判定閾値は、少量の雨であれば降水の影響を無視して良い観測点では大きな値の設定とし、少量の雨でも大きなひずみ変化が生じる場合には小さな値の設定とする。また、積算時間は降水の影響が短時間で解消されるのであれば短い時間の設定とし、降水の影響が長い時間まで残るのであれば長い時間の設定とする。この降水判定の 2 つの閾値は、ノイズレベル調査の際のものと共通にする必要がある、ノイズレベルとともに重要なパラメータの 1 つである。

積算降水量の算出は、異常監視処理とは別の外部

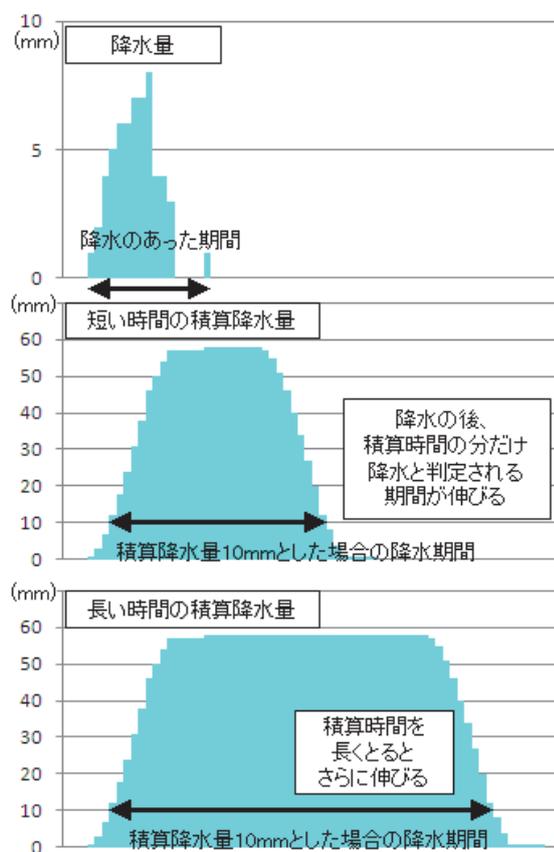


図 5 降水判定の概念図

処理として 10 分に 1 回起動している。かつてはひずみ計の観測点に付設している雨量計はほとんど無かったため、近傍のアメダス観測点の降水データを用いて降水判定処理を行っていたが、ひずみ計のデータは特に観測点近傍の降水に大きく影響を受けることから現在では全ての観測点に雨量計を付設している。現在はひずみ計の観測点に付設している雨量計の障害などを考慮して、この雨量計と近傍のアメダス観測点の両方の降水データを用いて、同じ降水積算時間と降水判定閾値によって積算降水量を算出し、降水判定処理を行っている。なお、降水判定処理そのものについては、後述する異常監視処理のプログラムの中で行っている。降水の影響の無い期間は非降水期間のレベル閾値による監視を行うが、ひずみ計付設の雨量計かアメダスの積算降水量のいずれかが降水判定閾値を超えて降水期間と判定されれば、降水期間を含む全期間のレベル閾値による監視に切り替わる。逆に降水から時間が経って、積算降水量が降水判定閾値以下になり非降水期間と判定されれば、再び非降水期間のレベル閾値による監視に戻る。

4.3 地殻変動異常監視処理の起動タイミング

EPOS で受信しているデータは、テレメータ装置で常に 30 秒強程度の遅延を許容して送信しているため、実時刻に比べて常に 30 秒強遅れている。EPOS における秒値作成処理は、テレメータ装置からのデータ受信後直ちに行われている。分値作成処理は必要な全ての秒値が揃った後、1 分に 1 回、毎正分に行っている。そのため、実時刻に比べて 2 分の遅れを生じて処理していることになる。補正分値作成処理で平均処理を行うチャンネルの場合には、補正した分値を前 2 分から後 1 分の 4 分間平均処理するため、実時刻に比べて 3 分の遅れを生じて処理していることになる。補正時間値作成処理で平均処理を行うチャンネルの場合には、補正分値を該当する時刻の前後 30 分平均処理するため、実時刻に比べて 33 分の遅れを生じて処理していることになる。例えば、EPOS で 8 時 0 分の補正分値を作成するのは 8 時 3 分であり、8 時の補正時間値を作成するのは 8 時 33 分である。

異常監視処理は常時起動しており、補正分値及び補正時間値の作成を毎分確認して処理を行っている。なお、保守作業や障害等でシステムをしばらく停止していた場合は、基本的にシステム停止前に監視済みの時刻後から再度計算し直すようにしている。しかしシステムを長い期間停止していた場合には、この再計算の処理が重くなるため、補正分値については 3 時間以上、補正時間値については 12 時間以上前のデータの計算をし直さないようにしている。

4.4 従来の地殻変動異常監視状況表示からの操作

地殻変動異常監視状況表示（以下、単に異常状況表示と記す）は、EPOS の表示端末で異常監視の状況を表示し、監視停止などの操作を行うプログラムで、EPOS の複数の表示端末で複数の表示処理を同時に起動することが可能である。

従来（EPOS3）の異常状況表示の表示例を図 6 に示す。あるチャンネルがレベル 1 以上に達した場合、地図上にそのチャンネルを有する観測点の位置を表示するほか、地図の下にそのチャンネルの状況をテキストで表示している。図 6 の例では、田原福江観測点（旧伊良湖観測点）の降水補正を行ったチャンネルが 2006 年 1 月 8 日 16 時よりレベル 3 になっていることを示している。また、異常監視の処理進行状況が



図 6 従来 (EPOS3) の地殻変動異常監視状況表示の例

確認できるよう、補正時間値と補正分値の処理時刻を地図の左下に示している。これらの表示は、自動更新している。また、表示画面上部のメニューから各チャンネルにおけるレベル変化の履歴や、検定作業や保守作業に伴う各チャンネルの監視停止・再開の設定などを行うことができる。

この異常状況表示からの画面操作によって設定する監視停止や再開の情報をサーバのメモリ上の定まった位置に書き込み、それを異常監視処理や同じサーバで起動している他の異常状況表示で読み込み、設定内容を各プログラムで共有している。但し、サーバが異なると物理的に同じメモリを使用していないことから、運転系及び待機系のそれぞれについて監視停止や再開の設定が必要になる。

4.5 従来の各チャンネルの監視処理

異常監視処理については EPOS4 で大きく変更したが、変更点については後述し、ここでは図 4 に示している従来 (EPOS3) の各チャンネルの監視処理について詳細に説明する。

ひずみ計の各チャンネルでは、60 分階差、180 分階差、24 時間階差での監視を行っていた。体積ひずみ

計については、4.1 節で説明したとおり、降水補正のあり／なし両方のチャンネルの監視を並行して行っていた。また多成分ひずみ計については、磁気補正を行ったチャンネルだけで監視すると地磁気観測所の地磁気データに人為的ノイズが生じた場合に全ての多成分ひずみ計のチャンネルに影響があることから、磁気補正のあり／なし両方のチャンネルで監視を行っていた。このうち、体積ひずみ計についてはこの各チャンネルの監視処理の中でアラーム報知を行っていたが、多成分ひずみ計についてはこの処理による結果は単に異常状況表示での表示に反映するだけで、4.6 節で説明するグループの監視処理の中でアラーム報知を行っていた。

各チャンネルの各階差の監視処理について、以下に示す。補正分値にせよ、補正時間値にせよ、処理のロジックは変わらない。また、EPOS4 においてもこの各階差の監視処理の基本的なロジックについては変更していない。

ある時刻 t における値を $X(t)$ とすると、時刻 T だけ前の値との階差変化量 $Y(t)$ は、以下のようにならわすことができる。

$$Y(t) = X(t) - X(t-T) - Trn * (t-T) \quad \dots(3)$$

ここで Trn は一次トレンド係数である。ひずみ計のデータは一般に長期的には伸びか縮みの方向に変化し続けていることが多いため、トレンド、言いかえると傾きを差し引いて監視している。このトレンドが無視できないほど大きい場合にトレンドを全く考慮しないで監視しようとする、階差変化量は 0 では無くトレンドによるオフセット値を中心にして変化するため、絶対値として与えた閾値を超えやすくなる。このように、階差変化量で監視する上でトレンドは非常に重要な要素である。なお、補正分値や補正時間値は計算結果を 16 ビットの整数値でセットするが、異常監視処理においては、感度やシフト量を考慮してデータを全て実際の物理量に換算した上で行っている。

次に 4.2 節で得た積算降水量を元に、各々のチャンネルが降水期間か非降水期間か降水判定 (EPOS2 以降) し、さらに計算した階差変化量と各閾値を元にレベルの算出を行う。非降水期間においては、この階差変化量の絶対値が各々のレベルの閾値 ($Ln1 \sim$

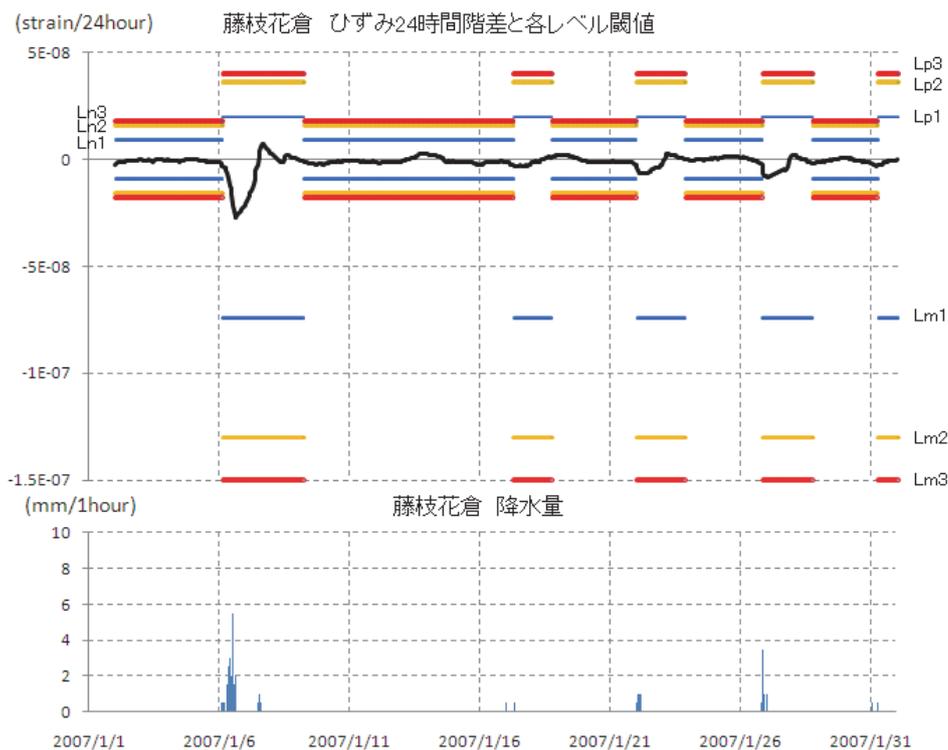


図 7 階差変化量とレベル閾値の関係の例 (2007 年 1 月における藤枝花倉観測点の 24 時間階差)

上図の黒線は 24 時間階差変化量, 赤線はレベル 3 (Lp3, Ln3, Lm3)

橙線はレベル 2 (Lp2, Ln2, Lm2), 青線はレベル 1 (Lp1, Ln1, Lm1)

Ln3)以上に達した場合にレベル 1～3 になったとする。

$$\begin{aligned}
 \text{レベル 1} \quad & Ln1 \leq |Y(t)| \\
 \text{レベル 2} \quad & Ln2 \leq |Y(t)| \quad \dots(4) \\
 \text{レベル 3} \quad & Ln3 \leq |Y(t)|
 \end{aligned}$$

降水期間においては、プラスとマイナスで閾値を変え、プラスの閾値(Lp1～Lp3)及びマイナスの閾値(Lm1～Lm3)に対して、いずれかになった場合にレベル 1～3 になったとする。

$$\begin{aligned}
 \text{レベル 1} \quad & Lm1 \geq Y(t) \text{ or } Lp1 \leq Y(t) \\
 \text{レベル 2} \quad & Lm2 \geq Y(t) \text{ or } Lp2 \leq Y(t) \quad \dots(5) \\
 \text{レベル 3} \quad & Lm3 \geq Y(t) \text{ or } Lp3 \leq Y(t)
 \end{aligned}$$

アラーム報知対象のいずれかのチャンネルがレベル 2 以上になった場合、地震現業室においてアラーム

報知し、職員がデータの状況を確認する。このアラーム報知は地震予知情報課長が定める課長連絡基準と一致させており、レベル変化の内容、異常と判定されたデータの詳細や考えられる原因について職員から地震予知情報課長へ連絡するようにしている。

図 7 に、階差変化量、レベル閾値と、降水量の関係の例として、2007 年 1 月における藤枝花倉観測点のひずみ計データの 24 時間階差を示す。なお、この期間はレベル 1 以上となった変化は無かったが、例えば 1 月 6 日頃の降水では、24 時間階差が非降水期間におけるレベル 3 の閾値を超えている。このように降水期間中と非降水期間でレベル閾値を変える必要がある。

なお、階差変化量がレベル閾値付近を前後した場合、アラーム報知が頻繁に行われることが考えられる。そのような状況を抑止するために、一旦各レベルの閾値を超えた場合には、一定の値まで下がらないとそのレベルを維持するしくみを取り入れている。レベル 1 は閾値の 0.9 倍、レベル 2 及び 3 はそれぞれ

れ 0.8 倍に下がるまで各々のレベルを維持するようにしている。

また、 $X(t)$ 及び $X(t-T)$ のいずれかが無効データや欠測、バルブオープン中などである場合にはそのチャンネルの自動監視は停止する。このような自動監視停止の直後に初めて各レベル閾値に達した場合には、そのチャンネルはそのレベルになったとするものの、機器調整など何らかの人為的原因で変化したとして「不安定」の取り扱いになり、アラーム報知対象とはしない。なお、「不安定」扱いとなったチャンネルはレベル 1~3 が続く限り「不安定」扱いのまま継続する。また降水期間から非降水期間に切り替わるタイミングでレベル 1 になった場合には、降水による影響の可能性が極めて高いので、レベル 1 とするものの「降水後」扱いとし、後述する 2 点同時異常の対象には含めないようにしている。なお、降水期間から非降水期間に切り替わるタイミングでレベル 2 やレベル 3 となる場合もあるが、従来 (EPOS3) はこれらをデータの確認が必要な変化として「降水後」扱いとはしていなかった。この「降水後」の扱いについては、5 章で説明するとおり EPOS4 では変更している。

なお、これらのレベル変化の情報はログファイルにも出力しており、異常状況表示で履歴を確認することができる。

4.6 従来のグループ監視処理

ここで説明する内容も 4.5 節と同様に EPOS4 で大きく変更したが、変更点については後述し、ここではまず従来 (EPOS3) のグループ監視処理について詳細に説明する。

従来のグループ監視処理には、2 つの種類があった。図 4 に示すとおり、1 つは 2 点同時異常監視のため、もう 1 つは多成分ひずみ計の各成分の監視をまとめて 1 観測点として扱うためである。2 点同時異常監視処理が始まったのは EPOS2 からであり、その頃のひずみ計観測網には体積ひずみ計しか無かったが、後に多成分ひずみ計を設置し監視対象に加えたため、元々 2 点同時異常しか無かったグループ監視処理の中に多成分ひずみ計の扱いを加えたロジックとなっている。

まずは 2 点同時異常のグループ監視処理について説明する。小林・松森 (1999) では、2 点同時異常

のノイズレベル調査を行っている。これは 2 点同時異常調査結果を元に、両観測点の発生割合が同程度でかつ発生回数が調査期間中に 1 回以下であるレベルを読み取ったもので、一般に個々の観測点のノイズレベルより小さな値になっている。石垣 (1995) 及び小林・松森 (1999) は、複数観測点同時の異常監視を行うことは前兆現象の早期検知に有効であることを指摘している。実際に 2005 年 7 月に東海地域で発生した短期的スロースリップイベントにおいては、この同時異常によってひずみ変化を検知しており、その有効性が実証されている (木村・他, 2008)。小林・松森 (1999) の方法による 2 点同時異常のノイズレベル調査は、隣接する体積ひずみ観測点の組み合わせ 23 組について行われた。しかし、多成分ひずみ計のように観測要素が多い場合には、2 点同時異常で調査するチャンネル組み合わせがかなり増えてしまう。例えば 4 成分の多成分ひずみ計観測点 2 点の組み合わせでは、これだけで 16 のチャンネルの組み合わせについて調査する必要がある。調査にかなりの時間を要する。そのため、多成分ひずみ計を監視に導入した際などに設定した 2 点同時異常監視処理の閾値には、慣例的にそれぞれの単独チャンネルのノイズレベルの 0.8 倍を設定してきた。そして、組み合わせた 2 つのチャンネルがともにそれぞれの閾値を超えると、同時異常としてアラーム報知していた。但し、「降水後」扱いとしたチャンネルについては、降水の影響は広範囲に及ぶことから 2 点同時異常の対象にはしていなかった。

次に多成分ひずみ計のグループ監視処理について説明する。多成分ひずみ計には 1 つの観測点に複数のチャンネルが含まれ、個々のチャンネルについて体積ひずみと同様に 4.5 節の各チャンネルの監視処理でレベル算出を行う。ただし個々のチャンネルの監視処理ではアラーム報知を行わず、各チャンネルの最大値を観測点のレベルとし、観測点単位でアラーム報知を行うため、このグループ監視処理の中に多成分ひずみ計の扱いを加えることとしていた。また、1 つの観測点でも磁気補正のあり／なしのグループについて、それぞれ独立して監視するよう設定していた。

5 EPOS4における異常監視ロジックの改良

EPOS3 から EPOS4 に異常監視に関するプログラムを移植する際に、これまで抱えていた処理上の問

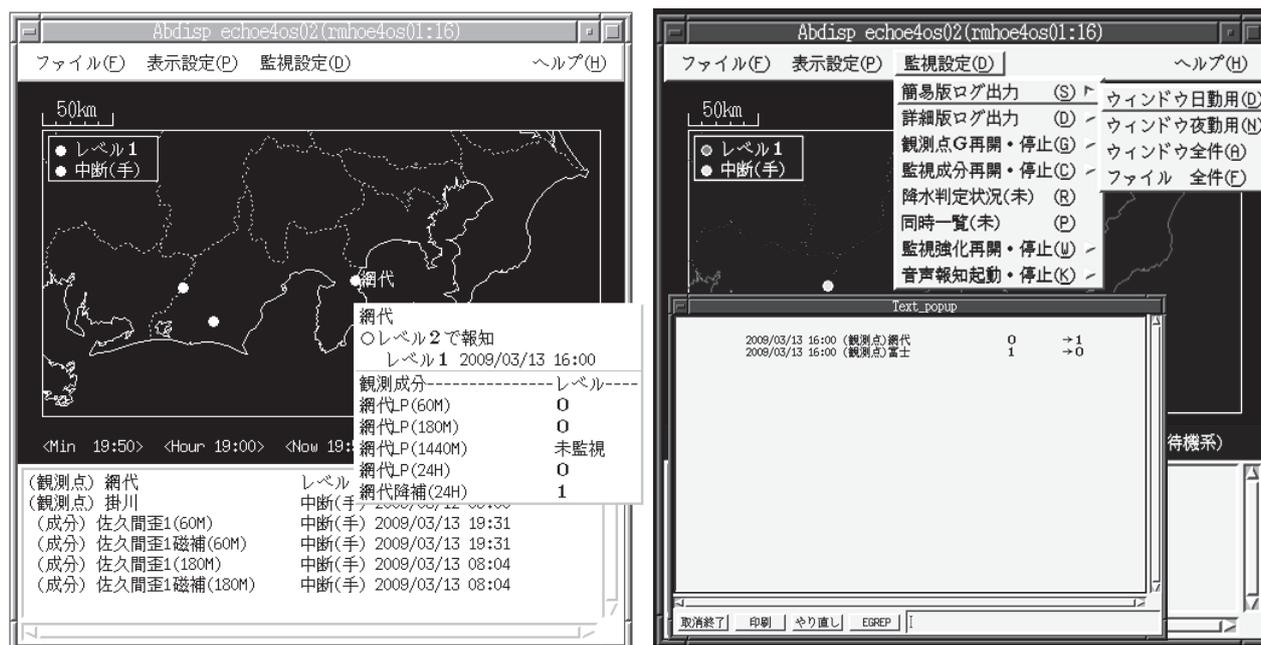


図 8 EPOS4 における地殻変動異常監視状況表示の例

題点を改善すべく、監視ロジックを大幅に変更した。詳細については以下に示す。

5.1 アラーム報知の常時報知，常時停止の付加

従来の EPOS3 では、気象庁本庁においてのみ東海地震予知のための異常監視処理を行っていたが、EPOS4 では大阪管区気象台においても異常監視処理ができる環境が整った。大阪管区気象台はあくまでも気象庁本庁のバックアップで、通常時は業務を行わない位置づけのため、仮に地殻変動データに異常が検出されたとしてもアラーム報知を行わない。しかし、気象庁本庁において何らかの理由で異常監視処理を行うことが出来なくなった場合には、直ちにバックアップシステムとして起動し、地殻変動データに異常が検出された場合にアラーム報知を行い、東海地震予知のための監視を継続する。異常監視処理は、東京と大阪ともに津波監視を行う処理と同じシステムを共用している。東京の気象庁本庁においては 2 台のシステムに異常監視処理を導入しており、運転系となったシステムでアラーム報知を行い、待機系となったシステムではアラーム報知をしないようにしている。津波監視を行う処理は大阪においても 2 台のシステムを導入しているが、異常監視処理は大阪では 1 台のシステムのみしか導入していないので、そのシステムが必ず運転系であるとは限ら

ない。そのため、大阪で異常監視処理を導入しているシステムが運転系であろうが待機系であろうが常時アラーム報知を行う必要がある。それらのことから、アラーム報知の常時報知及び常時停止を異常状況表示からの操作でできるようにした。

5.2 監視強化の導入と地殻変動異常監視状況表示の機能追加

地殻変動データの監視を強化して検知力を高めたい場合には、監視基準の閾値を下げれば良い。ここで最も簡単な監視強化の方法は、通常レベル 2 でのアラーム報知を、一時的にレベル 1 でのアラーム報知に下げることである。EPOS3 においては、レベル 1 でアラーム報知を行う場合、パラメータファイルの該当チャンネルのレベル 2 の閾値をレベル 1 の閾値に手作業で書き換えなければならなかったため、誰もが簡単に設定作業を出来る状況ではなかった。そのため、緊急的に監視強化を行うことができなかった。EPOS4 では、異常状況表示での画面操作によってレベル 1 でアラーム報知を行うことができるしくみを導入し、緊急時に必要に応じて容易に監視強化ができるようにした。

このほか、異常状況表示には、5.1 節で説明したアラーム報知の常時報知及び常時停止を行う機能、現在の各パラメータ設定値や各階差の計算結果、降

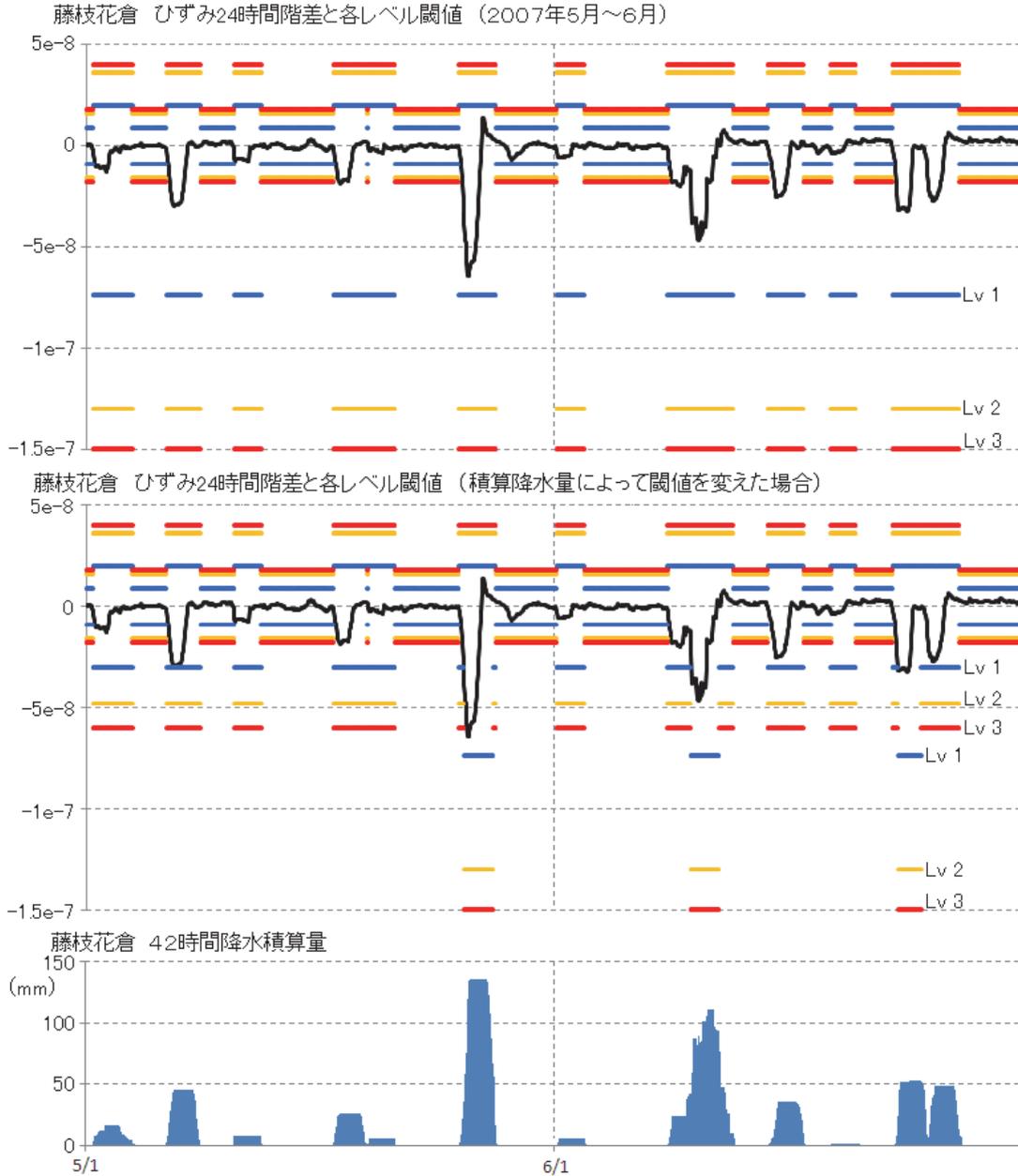


図9 降水判定の閾値の段階分け機能の導入の例

水判定結果の状況などを表示する機能を追加した。図8にEPOS4における異常状況表示の例を示す。

5.3 降水判定の閾値の段階分け機能の導入

ひずみ計は、一般的に降水が大量であるほどデータに与える影響も大きいですが、2010年7月現在、1mm程度の降水も500mmの降水も、降水期間であると判定されれば同じ一律の基準で監視を行っている。調査期間に1回程度の現象のみ検出するという定義で閾値を決めているノイズレベルのうち降水期間を

含む全期間のものは、調査期間に降った降水量に依存することになる。調査期間内に大量の降水があった場合には、比較的大きな変化量が降水期間のノイズレベルとなっている。このため、実際の監視で明らかに少量の降水の場合にも過剰に降水の影響を考慮して閾値を上げていることになり、無駄に検知力を低くしている。EPOS4では、このような問題を改善するために、降水判定の閾値の段階分け機能を導入した。

図9の上段が2010年7月現在の設定における藤枝

花倉観測点の各レベル閾値と 2007 年 5 月から 6 月にかけての 2 ヶ月における 24 時間階差, 下段が雨量計の 42 時間積算量を示す。これを見ると, 降水期間のうち少量の降水の場合には, 明らかに降水の影響を過剰に考慮していることが分かる。中段に, 降水判定を 42 時間の積算雨量 50mm で区切ってレベル閾値を変えた場合の例を示す。42 時間の積算雨量が 50mm を超える降水イベントはそうは多くなく, ほとんどが 50mm 未満の降水イベントである。降水判定の閾値の段階分けを導入することによって, 降水の影響を過剰に考慮している期間が大幅に短縮して検知力が高くなっていることは明らかである。この降水判定の閾値の段階分けを導入することによって, トータルの監視能力の向上が期待できる。但し, 監視に用いる閾値を決めるためには, 数年単位にわたってのノイズレベル調査が必要となり, この機能を用いた設定はまだ行われていない。また, 本質的には万全な降水補正を行うことによって, 降水期間も非降水期間と同等な検知力で監視を継続できるようにすることが最も望ましい。

5.4 1440 分階差の監視の準備

異常監視において, 24 時間階差は潮汐などの大きな振動の周期に近いために潮汐補正残差の影響が打ち消され(石垣, 1995), 長い階差時間のわりに比較的ノイズが小さく安定している。気象庁のひずみ計については, 24 時間階差以外に 60 分階差と 180 分階差で監視を行っている。60 分階差や 180 分階差のレベル閾値は 24 時間階差のレベル閾値よりも小さいため, かなり急激な現象であれば 60 分階差や 180 分階差の監視で異常を検出できるが, 緩やかな現象であれば長い階差時間のわりに比較的ノイズが小さい 24 時間階差の方が有効である。しかし, 24 時間階差は補正時間値を元に監視処理を行っているため, 1 時間に 1 回しか監視していない。より早く現象を検知するために 1 分に 1 回監視するためには, 補正分値を元にした 1440 分階差で監視処理を行えば良い。但し, 補正時間値に比べて補正分値の方がより短周期のノイズを含むため, 24 時間階差と同じレベル閾値を用いて 1440 分階差での監視処理を行うと, より頻繁にレベル閾値の基準に達してしまう恐れもある。

従来の EPOS3 では 1440 分階差で監視するための

パラメータファイルを作成するプログラムを用意していたが, 誰もが簡単に設定作業を出来る状況ではなく, 緊急的に 1440 分階差での監視を行う措置を取ることができなかった。EPOS4 では, 異常状況表示での画面操作によって, 1440 分階差での監視を行うことができるしくみを導入し, 緊急時に必要に応じて 1 分ごとに 24 時間階差に相当する監視を行うことができるようにした。

5.5 月毎に各レベルの閾値などを変える機能

観測点によっては, 夏と冬でデータのノイズの状況にかなりの差がある場合や, 特定の時期だけは全く監視するに値しない程データが乱れる場合, 夏と冬で異なる降水補正係数を用いて監視した方が良い場合など, 観測点固有の季節的な癖があるところもある。EPOS3 ではこのような影響を考慮するには, そのような特徴が分かっても変更するたびにパラメータファイルを修正する必要があったため, 実際には監視に反映していなかった。EPOS4 においては, そのような季節的な癖が明らかになった場合にその調査結果を監視に反映できるよう, 月毎に各レベルの閾値などを自動的に変更できるしくみを用意した。これも降水判定の閾値の段階分け機能と同様に, ノイズの多い期間に合わせて過剰に大きな閾値を設定するのではなく, ノイズの少ない期間ではできるだけ小さな閾値を設定することによって, トータルの監視能力の向上が期待できる。また, 降水補正係数の異なる複数のチャンネルを用意しておき, 月毎にどの降水補正チャンネルで監視するかを設定することによって, 季節ごとに降水補正係数を切り替える監視を行うことなども可能である。

なお, 異常監視処理は毎月頭にパラメータファイルを自動的に再読み込みする設定となっており, 調査に基づいた月ごとの値をパラメータファイルに反映しておけば, 特別な操作は必要としない。但し, このような季節的な癖の調査には, これも数年単位にわたってのノイズレベル調査が必要となり, この機能を用いた設定はまだ行われていない。

5.6 「降水後」扱いの変更

異常監視処理において, 降水期間から非降水期間と判定されたタイミングで各レベルになった場合は, その判定が降水後の緩和的な変化による影響の可能

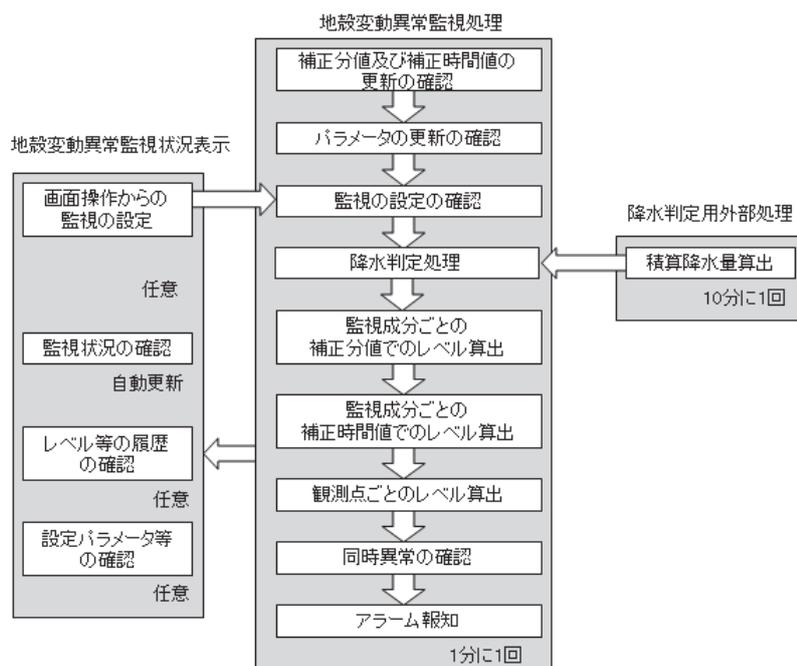


図 10 EPOS4 における地殻変動異常監視処理の流れ

性が高いので、「降水後」扱いとしている。本来、降水判定の積算時間を適切に設定していれば、このような「降水後」扱いの頻度は多くないはずだが、大量の降水によって影響が長引く場合や、各種閾値とデータの加減によって、降水期間から非降水期間と判定されたタイミングで閾値を超えることもある。降水の影響は広範囲に及ぶため、この「降水後」扱いの観測点は複数に及ぶことが十分考えられる。しかし、異常監視の同時異常が重要度を増して行く中で、降水後であっても異常な変化を含む可能性は否定できない。

EPOS3 では、降水後にレベル 1 になった場合のみ「降水後」扱いにして、2 点同時異常の対象から外す措置をしていたが、EPOS4 では「降水後」扱いでも同時異常の対象とすることにした。これによりロジック的には「降水後」の意味はなくなったため、降水期間から非降水期間になったタイミングでレベル 2 やレベル 3 になる場合にも「降水後」とした。すなわち、「降水後」は各レベルには達しているが降水による変化の可能性が高い参考情報となった。

5.7 異常監視処理ロジックの変更

EPOS3 において、異常監視処理の各チャンネルの監視処理のパラメータファイルには、1 つのチャンネル

に対して複数の階差の閾値テーブルを持っていた。また、グループの監視処理のパラメータファイルにも、グループに含まれるそれぞれのチャンネルに対して複数の階差のテーブルを持っていた。つまり、あるチャンネルのレベル閾値を修正する場合、チャンネル監視処理のパラメータファイルの該当するチャンネルだけではなく、グループ監視処理のパラメータファイルの多成分ひずみ計のグループや 2 点同時異常に登録している組み合わせの数だけ、レベル閾値の設定を変更する必要があった。例えば多成分ひずみ計の浜松佐久間観測点の 4 成分のレベル閾値を全て変更する場合、チャンネル監視処理のパラメータファイルに登録している磁気補正あり／なしの計 8 つのチャンネルだけでなく、グループ監視処理のパラメータファイルに登録している約 70 のチャンネルについてそれぞれ手作業で修正する必要があった。多成分ひずみ計の観測点が増加していく上に、同時異常が今後ますます重要度を増して行く中で、これ以上の同時異常のパラメータ設定が業務的に困難を極めることが十分に予想された。その他にも、EPOS2 から EPOS3 にかけて歴代の地震予知情報課の地殻担当がたくさん機能改修を行ってきたものの、管理しにくいパラメータファイルや複雑な処理ロジックとなっていたり、様々なひずみ計データに関する解析

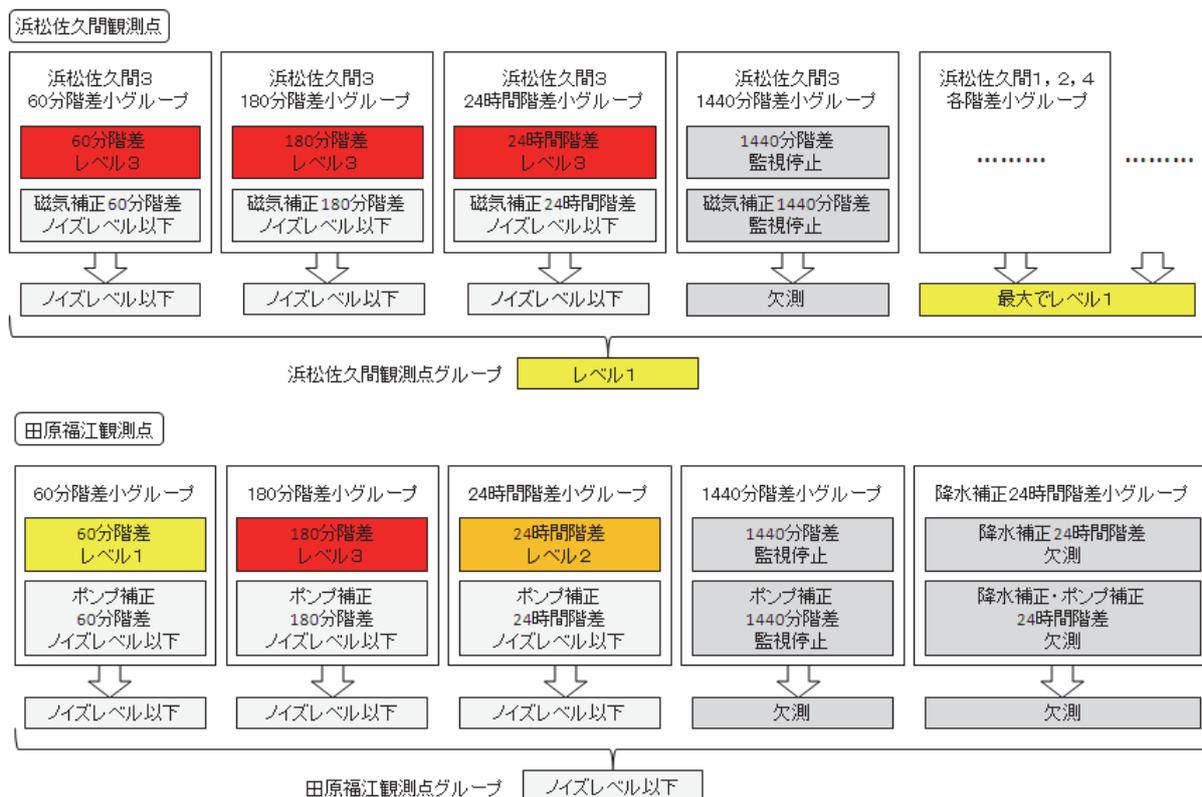


図 11 観測点毎ごとのレベル判定

調査結果を監視に十分生かしきれていなかったりすることなどが業務上の問題となっていた。

そのため、EPOS4 では業務量軽減と処理の高度化のために管理しやすいパラメータと理解しやすい処理を目指し、EPOS3 での 2 段階の並列型の処理から、3 段階に直列型の処理にロジックを整理した。流れを図 10 に示す。EPOS4 における異常監視の高度化の中でも、この部分の改修が最も業務に与えるインパクトが大きいと考えている。以下に各処理について示す。

5.7.1 監視成分ごとのレベル算出

従来の EPOS3 で行っていた各チャンネルの階差処理では、1 つのチャンネルについて複数の階差による監視を行い、チャンネルごとにレベルを算出していた。EPOS4 では、パラメータ管理のしやすさと処理結果を分かりやすくするために、各チャンネルの各階差を最小単位としてパラメータを設定し、レベルを算出するロジックに切り替えた。この監視の最小単位である各チャンネルの各階差を監視成分として定義する。なお、レベル算出の方法は 4.5 節で示している方法

と全く変わらない。但し、従来の EPOS3 で行っていた各チャンネルの監視処理では、そのチャンネルの判定結果を元にアラーム報知するしくみにしていたが、この監視成分ごとのレベル算出処理では、これだけでアラーム報知を行うことはしない。これは後述する観測点ごとのレベル算出でアラーム報知の抑止機能を導入するためには、この処理の結果だけでアラーム報知を行うのは不都合なためである。

5.7.2 観測点ごとのレベル算出

従来の EPOS3 で行っていた異常監視処理では、体積ひずみ計はチャンネルの監視処理、多成分ひずみ計ではグループの監視処理で観測点としてのレベルを算出しており、全く異なる処理であった。体積ひずみ計については降水補正のあり／なしのチャンネルを並行して監視していたが、降水補正ありのチャンネルは 2 点同時異常の組み合わせの対象にはしていなかった。多成分ひずみ計については、各チャンネルの監視処理でもグループ監視でも同じ閾値で監視をしていたが、それぞれのパラメータで同じ閾値の設定をする必要があった。また、監視するチャンネルの組み

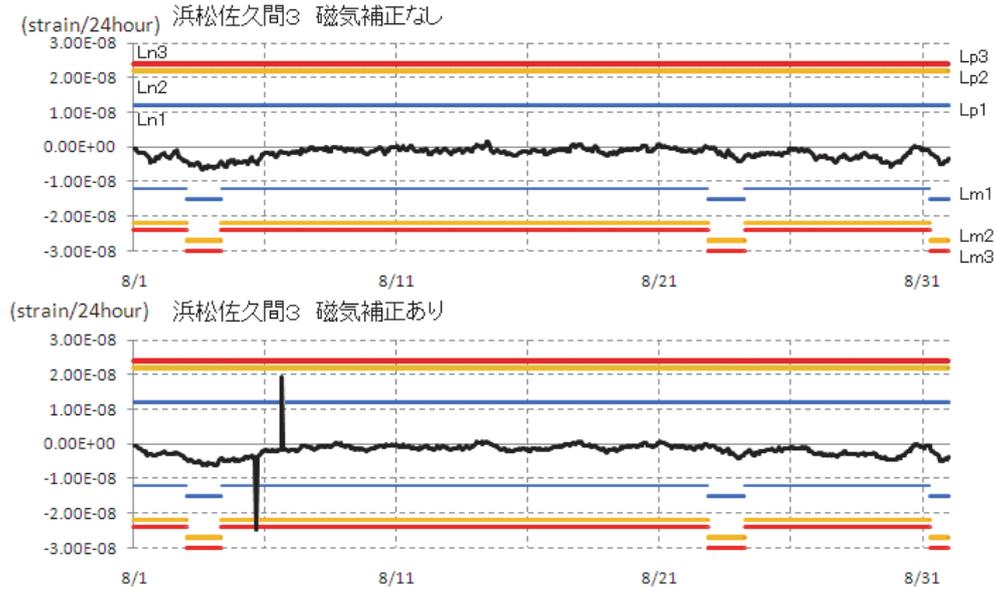


図 12 小グループ導入が有効な例 (2007 年 8 月 浜松佐久間 3 24 時間階差グラフ)

合わせによってアラーム報知を抑止する機能などは無かった。

EPOS4 で行うようにした観測点ごとのレベル算出は、体積ひずみ計と多成分ひずみ計ともに監視成分ごとのレベル算出結果のみを用いることとした。そのパラメータファイルには、その観測点に含まれる監視成分の番号の設定程度しか行わない。これは処理を単純化するためと、パラメータファイルの管理を容易にするためである。さらに、その観測点毎のレベルの算出に際しては、監視するチャンネルの組み合わせでアラーム報知を抑止できるよう、パラメータファイルの構造を元に条件分岐させるしくみ(図 11)を導入している。2010 年 7 月現在、1 つの観測点につき最大 16 の小グループを持ち、小グループには最大 4 つの監視成分が登録できる構造になっている。これは、2010 年に整備した石井式の多成分ひずみ計には 4 つの異なる方位の観測装置が 2 セットあること、磁気補正と非磁気補正で監視する必要があること、またひずみ計については 60 分階差、180 分階差と 24 時間階差で監視を行い 1440 分階差も普段は監視していないながら監視できる用意をしておき、計 4 つの階差で監視することを考慮した。

この小グループの中には、本来同じデータであるが補正処理等の異なる監視成分などを設定する。これらの監視成分の有効な監視結果のうち最低のレベルを小グループのレベルとし、アラーム報知の抑止

機能を導入している。この抑止機能が有効な例を図 11 に 2 つ示す。

一つ目の例は図 11 の上段に示した浜松佐久間観測点の多成分ひずみ計である。4.5 節で示しているとおり、磁気補正のあり/なし両方のチャンネルの監視を行っている。図 12 に 2007 年 8 月における浜松佐久間観測点のひずみ計の第 3 成分の例を示す。磁気補正なしのデータは細かいノイズが多く、磁気補正ありのデータは細かいノイズが軽減されていることがわかる。但し、8 月 5 日に磁気補正ありでは地磁気データに異常値が混入したためにレベル 3 に達しているが、磁気補正なしでは何の異常もなく真の地殻変動ではないことは明らかである。EPOS3 では磁気補正あり/なしのチャンネル両方を並列的に監視していたため、この 8 月 5 日の磁気補正ありの変化によってアラーム報知していたが、磁気補正あり/なしの監視成分両方の監視結果の最低のレベルを小グループのレベルとすると、EPOS4 の監視ロジックでは 8 月 5 日のケースではアラーム報知を行わない。

二つ目は図 11 の下段に田原福江観測点の例を示している。田原福江観測点では、近傍の揚水ポンプによる地下水の汲み上げにより、レベル 3 に達する大きな変化が現れるようになり監視の支障となっていた。原因の特定ができたため、所有者の協力を得た上でポンプの動作状況を確認する装置を揚水ポンプに設置し、そのシグナルを元に降水補正のしくみ

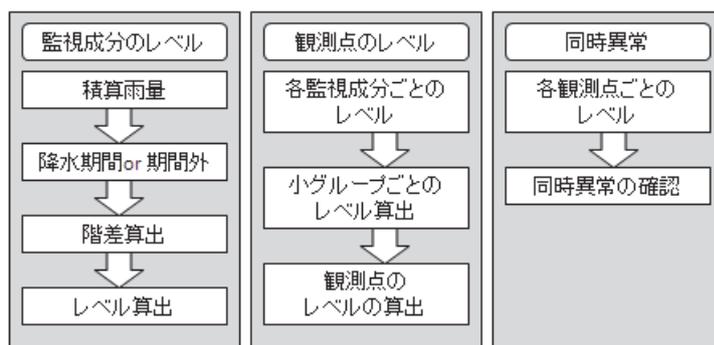


図 13 レベルの算出と、同時異常のしくみ

を用いた補正処理を行っている（松島・他，2008）。このポンプ補正を行っていない監視成分でレベル 3 に達しても、ポンプ補正を行った監視成分でレベル 1 に満たなければ、浜松佐久間の例と同様に不要なアラーム報知を減らすことができる。また、真の地殻変動による変化であれば、ポンプ補正あり／なしのいずれにも変化が現れることが期待できる。このように小グループの導入によって、本来不要なアラーム報知を軽減することが可能となった。

全ての小グループのレベルを算出した後に、複数の小グループの中で最も大きなレベルを、観測点のレベルとしている。全ての小グループが欠測扱いとなっている場合には、その観測点も欠測として扱う。また、同じレベルの値であっても状態の重要性を考えて、「通常」、「降水中」、「降水後」の順に優先している。また、従来の EPOS3 までと同様に、自動監視停止直後に各レベル閾値に達した場合には「不安定」の取り扱いとしているが、これについては欠測とほぼ同一の取り扱いとし、観測点のレベル算出には一切反映していない。

なお、これらの観測点のレベルを求めるためのパラメータファイルには、その観測点でどのレベルになった場合にアラーム報知をするか、あるいは表示だけでアラーム報知はしないという設定を行う項目などもある。この機能は、従来の EPOS3 を踏襲している。

5.7.3 同時異常

従来の EPOS3 まで行っていた異常監視処理では、小林・松森（1999）の方法による 2 点同時異常のノイズレベル調査を元にした処理ロジックでプログラムを構築してきた。5.7 節の冒頭で述べたように、2

点同時異常グループに所属するチャンネルのレベル閾値を設定していたが、この方法でのパラメータ管理や処理ロジックは、業務上大きな負担を必要としていた。

このため EPOS4 では処理ロジックを単純化し、管理しやすいパラメータファイルに切り替えた。具体的には、2 点同時異常のパラメータには、監視に用いる観測点の番号の設定しか行わない。設定している観測点同士のレベルがそれぞれレベル 1 以上になった場合、同時異常として扱い、アラーム報知するような単純なしくみとした。これによって、例えば浜松佐久間観測点のノイズレベルを修正する必要がある場合、EPOS3 では相当多数の設定を変更する必要があるが、EPOS4 では監視成分のパラメータのみを修正し、観測点及び同時異常のパラメータについては一切の修正がなくなった。また、同時異常を設定するパラメータの中には、アラーム報知をする／しないの設定を行う項目がある。この機能は、従来の EPOS3 を踏襲している。このように従来の EPOS3 までの異常監視処理の基本的な部分は残しながら、EPOS4 では体積ひずみ計と多成分ひずみ計を同等に処理するロジックに変更した。

なお、これら監視成分、観測点、同時異常の変化の情報はログファイルにも出力しており、異常状況表示で履歴を確認することができる。このうち、観測点と同時異常については簡易版のログで、これらに追加して監視成分については詳細版のログで表示している。この各監視成分のレベル算出から同時異常までの流れを図 13 に示す。

6 可視化によるノイズレベル調査ツールの開発

異常監視処理のための閾値としては、以下のよう

ノイズレベルチェック

現行レベル strain/24hour			現行 降水判定閾値									
非降水期間	全期間(+)	全期間(-)	積算時間	積算降水量								
2.50E-08	3.00E-08	-5.00E-08	45 hour	1 mm								
新設定レベル strain/24hour			新設定 降水判定閾値									
非降水期間	全期間(+)	全期間(-)	積算時間	積算降水量								
2E-08	2E-08	-5E-08	28 hour	15 mm								
新設定レベルにおける2008年12月以降の設定レベル以上の回数												
	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
2008年	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
2009年	0	1	2	0	2	0	0	0	1	0	0	0
2010年	0	0	2	0	0	0	-	-	-	-	-	-

※ 設定値を変えて、をクリックして下さい。

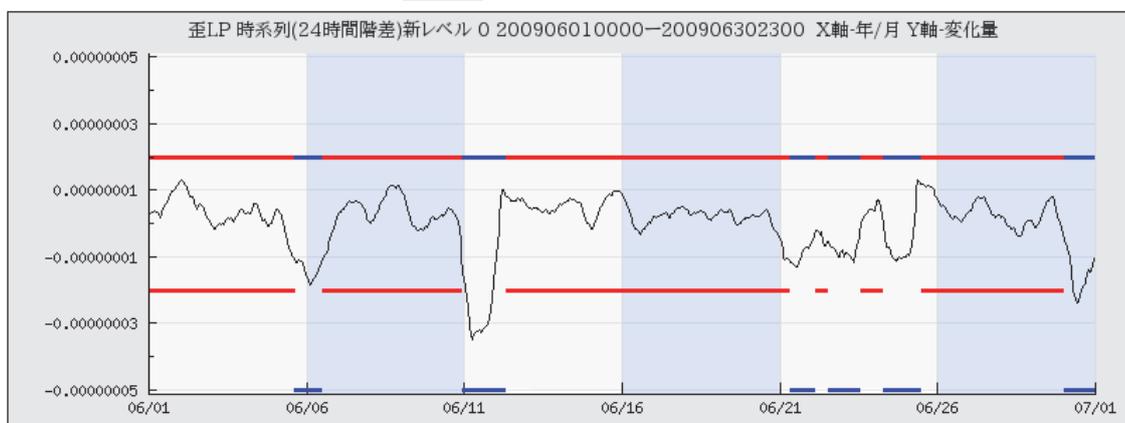


図 14 新しいノイズレベル調査ツール

なパラメータがある。

- ・ 降水判定閾値 … C
- ・ 降水判定積算時間 … K
- ・ ノイズレベル (全期間 = 降水期間 + 非降水期間)
 - プラス … Lp1
 - マイナス … Lm1
- ・ ノイズレベル (非降水期間) … Ln1
- ・ トレンド Trn

ノイズレベルはレベル 1 に該当し、レベル 2 及びレベル 3 の閾値は現在の所ノイズレベルの 1.2~1.8 倍及び 2 倍と定義されていて、ノイズレベルが決まれば自動的に決まるため、考慮しなければならないのは上記の 6 つのパラメータである。

従来のノイズレベル調査ツールは、テキストベースで頻度分布や最大の階差の出力を行い、それを元にデータの時系列グラフなどを確認して 1 つ 1 つ原因を調査して行く手法を取っており、1 チャネルの調査に数日程度の時間を要していた。そのため、あ

る観測点でノイズが大きくなりアラーム報知が増えてきたとしても、レベルを適切に変更するのではなく、当面の間監視停止にするなどの対応を取らざるを得ない状況となっていた。

その状況を改善するため、新しいノイズレベル調査ツールの開発を web ベースで行った。なお前提として、保守等による異常値はあらかじめ除去しておくとともに、各月ごとに最適なトレンドと潮汐補正係数を決定して極力ノイズを減らした補正值を作成しておく必要がある。気象庁で監視している地殻変動データの基準値であるノイズレベルは、階差変化量を元にしており、まずはその階差変化量のグラフを表示する。その階差変化量のグラフの中では、ノイズレベルは水平な線としてあらわすことができる。図 14 では、赤の水平線が非降水期間のノイズレベルを示し、青の水平線が全期間 (降水期間 + 非降水期間) のノイズレベルを示している。調査ツールでは、ノイズレベルや降水量の閾値を設定する

とグラフ描画して基準を超えた回数が表示される。試行錯誤にはなるがグラフを描画しながら最終的には最適な閾値を決定することができる。小林・松森 (1999) で設定した体積ひずみ計のノイズレベル調査では降水判定閾値についても十分に検討されているが、その後に設定された多成分ひずみ計の降水判定閾値については一律で 24 時間の積算雨量が 10mm としており、降水判定閾値を十分に検討しているとは言い難い。ノイズレベル調査には、ノイズと見なす対象でない保守作業や機器の障害、地震による影響などをあらかじめ把握しておくことが前提ではあるが、このツールを用いることによって 1 成分あたりのノイズレベル調査に費やす時間を数時間程度とすることが可能であり、業務の軽減と監視水準の向上が図れる。

なお、保守作業や機器の障害、地震による影響などの把握の方法については、現在執筆中の『地殻変動観測原簿について』という験震時報への報告の中で詳しく述べていく予定である。

7 まとめ

EPOS における異常監視処理のしくみの説明と、EPOS4 における改良点、可視化によるノイズレベル調査ツールの紹介を行った。

東海地震の地殻変動異常監視をリアルタイムで行う現業者の参考材料や、今後のさらなる地殻変動異常監視処理の高度化を行なうための基礎材料となることを期待したい。

謝辞

小林昭夫氏と竹中潤氏には EPOS2 や EPOS3 で担当として経験されてきた地殻変動異常監視処理を踏まえた丁寧な査読をしていただき、本報の改善にあたり多数の適切な助言をいただいた。地殻変動異常監視処理の高度化に対しては地震予知情報課の歴代地殻・ひずみ担当からも多数の助言をいただいた。ここに感謝の意を表する。

文献

石井紘・松本滋夫・平田安廣・山内常生・高橋辰利・鈴木喜吉・渡辺茂・若杉忠雄・加藤照之・中尾茂 (1992): 新しい小型多成分ボアホール歪計の開発と観測, 地球惑星科学関連学会 1992 年合同大会予稿集, C22-03.

石垣祐三 (1995): 埋込式体積歪データの精密補正及び異常識別について, 験震時報, **59**, 7-29.

石黒真木男, 佐藤忠弘, 田村良明, 大江昌嗣 (1984): 地球潮汐データ解析プログラム BAYTAP-G の紹介, 統計数理研究所彙報, **32**, 71-85.

木村一洋, 竹中潤, 甲斐玲子 (2008): 2005 年 7 月に東海地域で観測された短期的スロースリップに伴う歪変化とその監視, 験震時報, **71**, 35-41.

小林昭夫, 松森敏幸 (1999): 埋込式体積歪計のノイズレベル調査及び異常監視処理, 験震時報, **62**, 17-41.

末廣重二 (観測部地震課) (1979): 地殻変動連続観測と埋込式歪計 (I), 測候時報, **46**, 9-25.

二瓶信一, 佐藤馨 (1988): 埋込式体積歪計による観測 (2) - 歪観測における地下水調査 -, 験震時報, **51**, 93-106.

松皮久義, 佐藤馨, 二瓶信一, 福留篤男, 竹内新, 古屋逸夫 (1983): 埋込式体積歪計の気圧補正, 験震時報, **47**, 91-111.

松島功, 田口陽介, 木村一洋 (2008): 伊良湖歪計における地下水汲み上げによる歪変化の補正装置の概要, 験震時報, **71**, 137-141.

松本則夫, 高橋誠 (1993): 地震に伴う地下水位変化検出のための時系列解析, 地震 **2**, **45**, 407-415.

宮岡一樹 (2011): 多成分歪計の地磁気補正, 験震時報, **74**, 29-34.

Tamura, Y., T. Sato, M. Ooe, M. Ishiguro (1991): A procedure for tidal analysis with a Bayesian information criterion, *Geophys. J. Int.*, **104**, 507-516.

(編集担当 大竹和生)