

地殻変動観測原簿のしくみについて

The Structure of Crustal Movement Observation Records

木村一洋¹, 瀧山弘明², 藤松淳³, 菅沼一成⁴, 赤司貴則⁴

Kazuhiro KIMURA¹, Hiroaki KATAYAMA², Jun FUJIMATSU³, Issei SUGANUMA⁴
and Takanori AKASHI⁴

(Received January 24, 2012: Accepted December 7, 2012)

1 はじめに

気象庁では、1975 年度から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）を東海および南関東地域に順次整備し、地殻変動データの観測を継続してきた。現在は、静岡県、国土地理院、防災科学技術研究所、産業技術総合研究所といった他機関のひずみ計や傾斜計の地殻変動データも用いて、東海地域の地殻変動データを 24 時間体制でリアルタイムに監視し続けている（木村・他、2012）。

過去数十年にわたって気象庁で観測してきた地殻変動データは、歴代の担当の努力の元、日値及び時間値については観測開始から現在までルーチン的に品質管理を行ったデータが蓄積され続けている。ここで品質管理とは、地殻変動データの連続観測において機器の障害や保守などに伴って一時的に不正常的なデータが混入することは避けられないため、後のデータ解析や資料作成などに不都合を生じないように、その部分に手で欠測（修正）処理やフラグの付加などを行うことを指す。但し、日値や時間値だけでは、例えば地震に伴うステップのような数分程度で終わる現象を把握することが困難なため、2009 年に運用を開始した第 4 世代の地震活動等総合監視システム(EPOS)では分値についてもルーチン的に品質管理を行ったデータが蓄積されるようになった。EPOS においては、過去の地殻変動データの時系列グラフを閲覧する事が可能ではあったが、その時系列グラフに生じている現象が何によるものかを知る

ことができない。そして、これまで地殻変動データに生じた現象についての記録が、例えば二瓶・他(1987)や竹中・他(2001)などで散発的に取りまとめられてきたものの、これまでルーチン的には取りまとめられてこなかった。そのため、これまでの調査で得られた過去の知見が、現在の地殻変動データの監視に十分反映されておらず、現象の解釈を誤りかねない等の問題を抱えていた。

このような問題を解決するため、地殻変動データに何らかの現象が生じた場合に、その現象の概要を地殻変動観測原簿（以降、原簿）としてルーチン的に登録するとともに、その登録された原簿を各端末のブラウザ上で図 1 や図 2 に示す表示画面の例のように広く共有できるしくみを開発した。この原簿が充実すれば地殻変動監視において有益となるほか、観測点ごとによくある変化の原因究明に繋がる可能性もある。本稿では、この原簿のしくみについての紹介を行う。

2 地殻変動観測原簿の動作環境

地殻変動データの調査で得られた知見が広く共有できるよう、登録された原簿は多くの人が見覧可能であることが望ましい。そのため、web サーバを起動するマシンに PHP 及び JpGraph をインストールして原簿の開発を行った。web サーバ上で開発することにより、イントラネットを通じて現業室や地殻・ひずみ担当などの複数の端末のブラウザ上で同じ内

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

² 気象庁地震火山研究部管理課, Administration Division, Seismological and Volcanological Department

³ 気象庁三宅島火山防災連絡事務所, Miyake-Jima Resident Office for Volcanic Disaster Mitigation

⁴ 地震火山部地震予知情報課, Earthquake Prediction Information Division, Seismological and Volcanological Department

地殻変動観測原簿 蒲郡清田(がまごおりせいだ) - Windows Internet Explorer

http://www.genbo.chosa/db_stn.php?stn=M02

地殻変動観測原簿 蒲郡清田(がまごおりせいだ)

旧名蒲郡：比較的ノイズも小さい優良な観測点である。愛知県西部から中部の短期的スロースリップによって『伸びの変化』が現れることがあり、変化がかなり大きい時もある。
良くある変化
 良くある変化をパターン化してまとめています。該当する変化のリストを見る場合には、タイトルかグラフをクリックしてください。

1. 愛知県短期的SSE

愛知県で短期的スロースリップイベントが発生する際に、蒲郡で伸びの変化が現れることがある。

リスト数	最新の変化	変化パターン
12	2010/3/16	緩和的伸び

その他の変化

良くある変化以外の変化を表示します。

番号	観測成分	変化開始日	期間	変化パターン	最大変化量	レベル	原因	コメント	グラフ(※クリックすると、各観測原簿を表示します。)
1	LP	2012/4/11	30時間20分	その他	1.68e-8	2	地震	2012年4月11日17時39分、18時43分のスマトラの地震に□	
2	LP	2012/4/11	30時間20分	その他	1.68e-8	2	地震	2012年4月11日17時39分、18時43分のスマトラの地震に□	
3	LP	2011/9/4	3日	縮み+伸び	4.2e-8	1	降水	浜松宮口と同時異常	
4	LP	2011/7/21	45時間	緩和的伸び		3	降水	降水後の戻りによる変化。	
5	LP	2011/3/11	25時間	その他	9.5e-8	3	地震	平成23年東北地方太平洋沖地震(3月11日14時46分Mw=9.0)	
18	LP	2008/8/29	48時間	ノイズ大	4.3e-8	3	降水	雷の影響で一時的にデータが乱れた。この期間、多成分歪計で	
19	LP	2008/8/5	6分	縮み+伸び	1.6e-8	3	機器障害	直前に雷エコーなし。	
20	LP	2008/7/28	4分	ステップ伸び	2.8e-8	3	機器障害	雷はあったが、伸びの前にステップ状の縮みがあり、そ	
23	LP	2007/8/16	21時間	その他	9.9e-8	3	機器障害		

2007年以降 データベースの記載に無いレベル1(24時間階差)以上の事例一覧

番号	観測成分	変化開始日	期間	変化パターン	最大変化量	レベル	原因	コメント	グラフ
2	LP	2007/07/15頃?	48時間位?	不明	不明	1	不明	観測原簿の作成をこのイベントは待っています。	
9	LP	2010/11/01頃?	48時間位?	不明	不明	1	不明	観測原簿の作成をこのイベントは待っています。	
11	LP	2011/04/23頃?	48時間位?	不明	不明	1	不明	観測原簿の作成をこのイベントは待っています。	
14	LP	2011/09/22頃?	24時間位?	不明	不明	1	不明	観測原簿の作成をこのイベントは待っています。	

最近1ヶ月のデータベースの記載に無いレベル1(60分階差)以上の事例一覧

番号	観測成分	変化開始日	期間	変化パターン	最大変化量	レベル	原因	コメント	グラフ

最近1ヶ月のデータベースの記載に無いレベル1(180分階差)以上の事例一覧

番号	観測成分	変化開始日	期間	変化パターン	最大変化量	レベル	原因	コメント	グラフ

[長期時系列\(観測開始から二週間前までのデータ・各年のデータ/24時間階差\)](#)
[中期時系列\(1年半前から二週間前までのデータ・各月のデータ/24時間階差\)](#)
[短期時系列\(1ヶ月前から前日までのデータ・各日のデータ\)](#)
[観測点近傍の地図\(1:25000\)](#)
[観測点周辺の地図\(1:400000\)](#)
[地殻変動観測原簿 新規登録](#)
[暫定・継続中の地殻変動観測原簿一覧](#)
[トップページ](#)

図 1 地殻変動観測原簿の表示画面の例 (蒲郡清田)

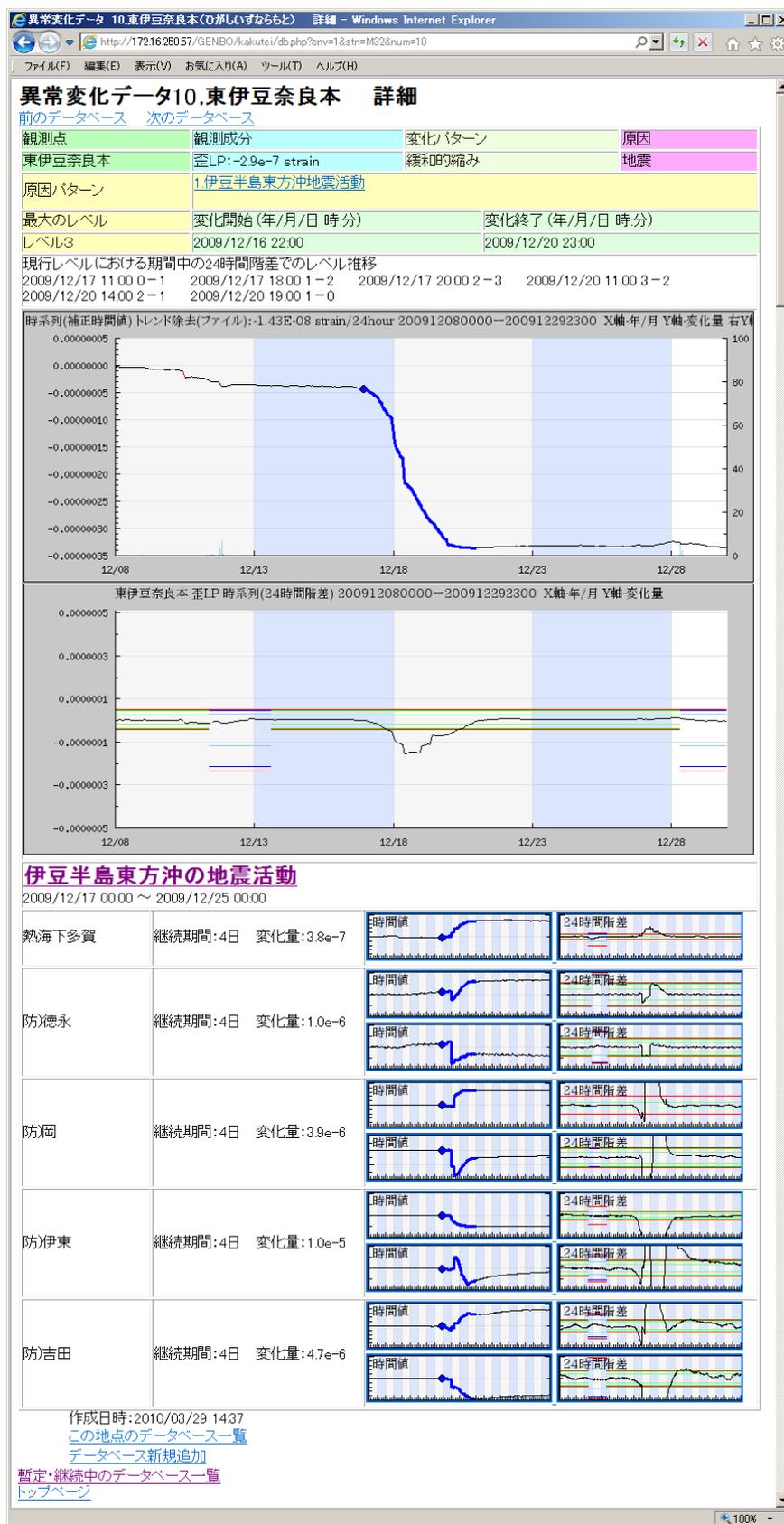


図2 地殻変動観測原簿の詳細の例

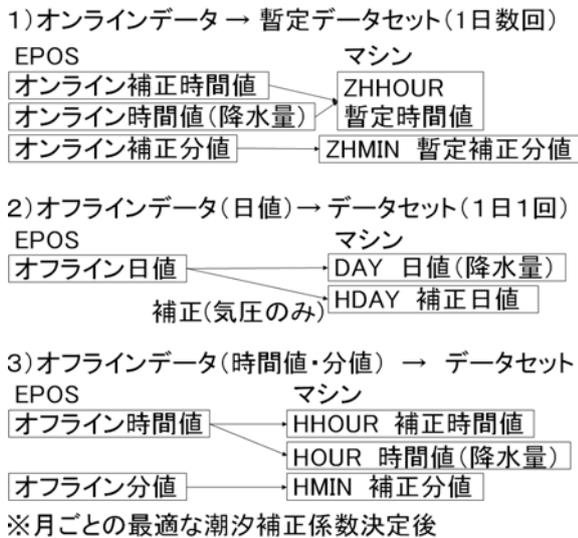


図 3 データセット作成の流れ

容の情報が閲覧可能となる。なお、JpGraph は PHP を用いてグラフ作成を行うライブラリである。

3 地殻変動データセット

原簿のマシンには、EPOS で処理された地殻変動データを元にして原簿と結合しやすい形式に変換した『地殻変動データセット』が自動ないし手動で転送される。このデータセットは、原簿に登録された現象の変化傾向や変化量を自動的に抽出して入力を補助したり、グラフ表示して発生した現象を把握しやすくしたりするために利用される。このデータセットは以下のような特徴を持つ。

- ・可能な処理を全て済ませた物理量となっている。感度や補正係数などの情報を一切必要とせず利用できる。
- ・EPOS のオンラインデータとオフラインデータから、それぞれの長所を活かして使い分けのため、独立に作成される。
- ・現象の多様な時間スケールに対応するため、日値・時間値・分値で構成される。
- ・原簿以外の目的での利用も考慮し、登録された原簿に必要な期間のみの散発的なデータではなく、連続データで構成される。
- ・データの種別、期間でディレクトリが階層化され、期間ごと成分ごとに独立なファイルで構成される。
- ・利用のしやすさと汎用性を考慮し、テキストファイルとなっている。

データセット作成の流れを図 3 に示す。まず、EPOS で処理されているオンラインデータとオフラインデータについて説明する。EPOS のオンラインデータとはリアルタイムの地殻変動監視用のデータであり、必要な全ての補正処理とファイル書き込みがリアルタイム的にオンライン処理で行われているが、そのオンラインデータに対して手動での修正書き込みは困難なため品質管理を行うことはできない。そのためオンライン処理と切り離れた別ファイルにデータが蓄積され、1日1回程度のオフライン処理で品質管理が行われている。これをオフラインデータと呼ぶ。なお、このオフラインデータについては、現在のところ補正処理を行ったデータは作成されていない。このようにリアルタイム性と品質管理において2種類のデータそれぞれに一長一短があるため、オンラインデータを用いた暫定データセットとオフラインデータを用いたデータセットが独立に作成される。

リアルタイム的な用途の暫定データセットの作成は、EPOS のマシン負荷と現業で監視する職員の登録作業のタイミングを考慮して、現在1日4回行われている。

なお、オフラインデータに補正処理を行ってデータを利用する方法としては、①あらかじめ必要な全ての補正処理を行ったデータセットを作成しておく、②未補正のデータセットを作成しておき、あらかじめ別に補正係数のファイルを用意し、利用時に補正する、③未補正のデータセットを作成しておき、利用の都度に最適な補正係数を求めて補正する、の3通りが考えられる。この原簿のしくみでは、原簿マシンの負荷と利用のしやすさを考慮して①の方法が採用されている。ここで地殻変動データに行われている必要な全ての補正処理とは、具体的に言うと BAYTAP-G (石黒・他, 1984 ; Tamura et al., 1991) を用いた潮汐補正や気圧補正(檜皮・他, 1983)、多成分ひずみ計の磁気補正(宮岡, 2011)の3つである。日値程度であれば地球潮汐や磁気等の影響は平均化され無視できるので、補正日値については気圧補正のみが行われる。気圧補正については経年的に変化しなければ1つの係数を使い続けることができるため、補正日値のデータセットはオフラインデータの作成直後に作成される。時間値や分値については、気圧補正だけでなく潮汐補正や磁気補正も必要

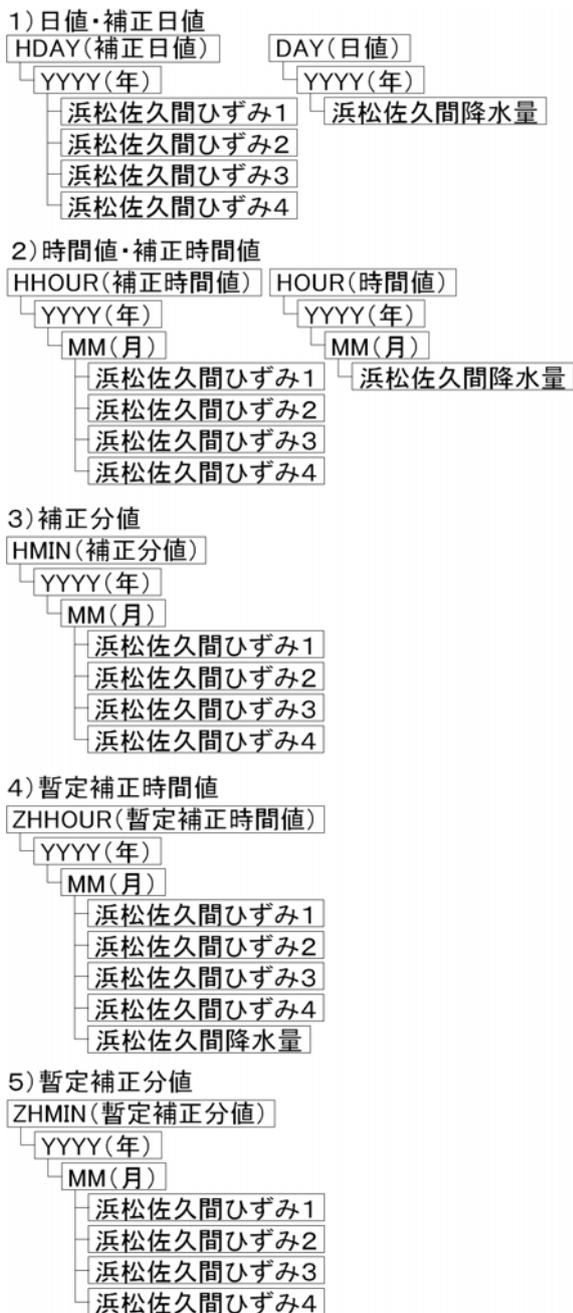


図4 浜松佐久間に関するデータセットの構造

になり、体積ひずみ計については気圧補正と潮汐補正、磁気センサーを用いている多成分ひずみ計についてはそれらに加えて磁気補正が行われている。それらの補正のうち、特に潮汐補正については1つの係数を使い続けるよりもその期間に最適な係数を決めて補正した方がより適切に影響を除去できるため、補正時間値・補正分値のデータセットは、月ごとに最適な潮汐補正係数を決めた後に手動で作成される。

これらの3つの補正処理以外にも地殻変動データは降水の影響も受け、特に体積ひずみ計では影響が顕著であるが、現在の降水補正処理は完全ではないため、降水補正を行ったデータセットは作成されていない。なお、日値や時間値には雨量のデータセットも作成されており、原簿のグラフ表示の際には降水による影響が分かるように雨量も棒グラフで表示される。なお、雨量のデータセットについてはひずみ観測点で観測された雨量データだけではなく、EPOSで処理されたアメダスの雨量データについても作成されている。

これらのデータセットを用いて原簿のグラフ表示等を行う場合、ファイルアクセスが迅速となるよう、1回あたりに読み込むファイル数やファイル容量は適度である必要がある。そのため、日値・補正日値については年ごと、時間値・補正時間値と補正分値については月ごとにディレクトリが階層化され、期間ごとと成分ごとに独立なファイルで構成される。例えば、多成分ひずみ計の佐久間観測点の地殻変動データセットであれば、図4のような構成である。

なお、補正時間値・補正分値のデータセットは、現在月ごとに最適な潮汐補正係数を決めた上で作成されるため、月跨ぎに補正係数の違いに伴うギャップが生じる。そのため、補正時間値や補正分値のデータセットは、月初めから月末までの1ヶ月ちょうどの期間ではなく、前月の15日から翌月の15日までの期間で2ヶ月の幅を持たせてファイルが作成されている。月跨ぎのグラフ表示の際には、どちらか一方の月のファイルを用いることによってギャップは生じない。また、グラフの表示期間が十分長い場合には潮汐補正を行っていない補正日値のデータセットが用いられるため、このような月跨ぎのギャップは生じない。なお、補正日値や暫定補正時間値、暫定補正分値については、潮汐補正係数の違いによる月跨ぎのギャップは生じないため、年初めから年末ないし月初めから月末までの期間でファイルが作成される。

また、他機関の地殻変動データは品質管理が行われておらず、オフラインデータが作成されない。そのため、暫定補正時間値のデータセットのみが作成される。

これらのデータセットは、原簿での利用が主目的ではあるが、地殻変動データの感度や補正処理等に

関する特殊な知識を有さずとも、誰でもデータ解析

表 1 地殻変動観測原簿の各項目

番号	内容
1	フラグ
2	番号
3	観測点コード
4	イベントコード
5	変化開始
6	変化終了
7	変化パターン
8	レベル判定
9	成分 1 変化量
10	成分 2 変化量
11	成分 3 変化量
12	成分 4 変化量
13	成分 5 変化量
14	成分 6 変化量
15	成分 7 変化量
16	成分 8 変化量
17	よくある変化
18	原因
19	コメント
20	観測原簿作成日時
21	最終更新日時
22	作成班
23	フラグ

が出来るような環境構築も同時に担っている。地震予知情報課におけるさらなる地殻変動解析技術の向上を期待したい。

4 地殻変動観測原簿ファイル

原簿ファイルは 1 つの観測点の 1 つの原簿が 1 行の中に収められ、それぞれの原簿は表 1 (平成 23 年 12 月現在) の各項目で構成される構造のテキストファイルである。原簿ファイルには 4.11 節のコメントのようにテキストによる可変長かつ空白スペースも入り得る項目があるため、固定長ファイルではなくカンマで区切られた CSV ファイルとなっている。原簿の各項目の説明についてこの章で詳細に紹介する。原簿ファイルには暫定・継続中ファイルと確定ファ

イルという 2 つの種類があるが、構成する各項目の内容は共通である。

4.1 フラグ

C: 現在もその現象が継続中であることを示す。

4.5 節の変化終了を入力していない場合は、登録の際に自動的に継続中扱いとなる。

Z: その現象の変化が終了し、原簿が暫定で登録済みであることを示す。4.5 節の変化開始と変化終了の両方を入力すれば、登録の際にこのフラグが自動的に C から Z へ切り替わる。

K: 原簿が確定で登録済みであることを示す。

なお、暫定か継続中の原簿は全ての観測点のものが 1 つの暫定・継続ファイル (zantei.csv) の中に収められており、C と Z のフラグの複数観測点の原簿が混在している。いる。また、確定の原簿はそれぞれの観測点ごとの確定ファイル (kakutei_XXX.csv: XXX は 4.3 節で示す観測点コード) の中に収められており、K のフラグの 1 つの観測点の原簿しか存在しない。暫定で登録された原簿を確定する作業は、ブラウザ上で行うことができる。

4.2 番号

暫定・継続ファイル、確定ファイル、それぞれの原簿ファイルに対して時刻順に番号が付けられている。なお、ある原簿を削除すると一時的にファイルからその行だけが無くなるが、原簿を新たに追加する際に時刻順にソートされ、ファイル内の全ての原簿の番号が付け替えられる。

4.3 観測点コード

観測点ごとに定められた固有のコードを示す。この観測点コードがどの観測点を示すかについては、5.1 節で説明する観測点ファイルの内容に基づく。

4.4 イベントコード

地震によるステップや短期的スロースリップ等、地下深部の真の地殻変動現象に伴って複数の観測点で同時に変化があるような特定の現象であることを示す。この項目が空白の場合は、イベントとして登録されていないことを示す。なお、降水によっても複数の観測点で同時に変化があるものの、地下深部の真の地殻変動現象ではないためイベントとして登

録する対象とはしない。イベントコードは、YYYYMMDDXX（年4桁，月2桁，日2桁，その日におけるイベント番号2桁）のように記述され，その現象の概要については5.2節で説明するイベントファイルの内容に基づく。

4.5 変化開始，変化終了

地殻変動データに生じた現象の変化の始まりと終わりの時刻を示す。いずれも年4桁，月2桁，日2桁，時間2桁，分2桁の計12桁で記述される。これら2つの項目の情報を元に，変化が終了したか継続中かを登録時に判断して4.1節のフラグが決められたり，原簿のグラフ表示に際して表示期間や使用するデータセット（日値，時間値，分値）の種類が決められたり，あるいは4.6節の変化パターンや4.8節の変化量についても入力補助が行われたりするので，重要な入力項目である。

なお，特に現業で監視する職員は東海地震予知のためのレベル判定(小林・松森,1999)に対する意識が強いため，レベル判定に達した時刻を変化開始，レベル判定が解除された時刻を変化終了としてこれらの項目を入力してしまう可能性もあるが，そうではなく実際の現象そのものの変化開始と変化終了の時刻を入力する必要がある。レベル判定の開始と終了は，実際の現象そのものの変化開始と変化終了とは異なるのが常である。仮に誤ってレベル判定の開始と終了の時刻をこれらの項目を入力してしまうと，現象の全体像がグラフ表示されなくなるほか，4.8節の変化量なども誤った値が登録されるので注意が必要である。

また，例えば降水の影響により縮みの変化の後に急反転して伸びになる場合など，縮みと伸びのそれぞれで別々にレベル判定に達する現象もあるが，同一の原因の現象であれば別々に原簿を登録するのではなく，一連のまとまった現象として原簿を登録した方が4.9節のよくある変化を抽出しやすくなるだろう。また同様の現象が数回程度連続して発生している場合は，原則として分離して登録すべきだが，あまりに頻発すると個別に認識する意味は薄れ作業負担が増大するため，まとめて登録する方が合理的という考え方もあり得る。運用しながら事例ごとに判断していくことになるだろう。

4.6 変化パターン

地殻変動データに生じた現象の変化のパターンを番号で示す。各々の番号が示す変化パターンの内容は，ひずみ計，傾斜計等の観測測器ごとに変わっている。

体積ひずみ計は以下のとおり。

- 1：緩和的伸び
- 2：緩和的縮み
- 3：ステップ伸び
- 4：ステップ縮み
- 5：伸び+縮み
- 6：縮み+伸び
- 7：ノイズ大
- 8：その他

多成分ひずみ計は以下のとおり。

- 1：緩和的伸び
- 2：緩和的縮み
- 3：ステップ伸び
- 4：ステップ縮み
- 5：伸び+縮み
- 6：縮み+伸び
- 7：ノイズ大
- 8：緩和的变化（複数成分）
- 9：ステップ変化（複数成分）
- 10：その他

傾斜計は以下のとおり

- 1：北下がり
- 2：北東下がり
- 3：東下がり
- 4：南東下がり
- 5：南下がり
- 6：南西下がり
- 7：西下がり
- 8：北西下がり
- 9：ステップ
- 10：その他

その他の観測測器については以下のとおり。

- 1：緩和的变化
- 2：ステップ変化
- 3：ノイズ大
- 4：その他

ここで，ノイズ大とはデータが安定せずにふらつ

くような場合を示す。多成分ひずみについては、面積ひずみや主ひずみなどによる監視が行われるようになる場合にはこの項目もそのように変える必要がある。また、傾斜計については、地震等のステップ以外に傾く方向が細分化されているが、これは 4.9 節のよくある変化を抽出しやすくするためである。なお、原簿を登録する際には、4.5 節の変化開始と変化終了の情報を元にデータセットから変化傾向をチェックするため、誤った項目を登録できない。例えば、縮みの変化が生じているにも関わらず、緩和の伸び等の誤った項目を選択しようとしても登録することはできない。

4.7 レベル判定

地殻変動監視におけるレベル判定の最大値(1~3)を示す。地殻変動データに生じる現象の原因は、地下深部の真の地殻変動現象の場合も少なからずあるが、潮汐補正係数や監視トレンドの値、あるいは設定しているレベル判定の各閾値が最適ではないことなどによって生じる場合も非常に多い。これらを最適化することによってレベル判定に達しなくなることもある。現象に対して一意に決まる絶対的な値ではないため、レベル判定の時刻等の推移などを詳細に記録しておく必要はないと考えられる。そのため、現在気象庁で監視している 60 分階差、180 分階差、24 時間階差において、レベル判定の推移を詳細に原簿へ入力するのではなく、レベル判定の最大値のみを入力する。なお、監視トレンドの値やレベル判定の各閾値（降水判定積算時間及び積算雨量の閾値を含む）の情報があれば、データセットを用いてレベル判定の推移を再現可能である。図 9 のように、原簿を詳細に表示する際には現在の監視設定におけるレベル判定の推移も表示される。

4.8 成分 1~8 変化量

地殻変動データに生じた現象の各成分の変化量を示す。最大 8 成分を有する多成分ひずみ計に合わせて 8 つの項目がある。1 成分しかない体積ひずみ計の場合には単純に成分 1 の項目のみを用いる。複数の成分がある多成分ひずみ計などにおいて該当する成分の項目に変化量の記載がない場合、その成分には明瞭な変化が無いことを示している。なお、4.6 節の変化パターンに応じて期間内のデータの最大値

と最小値の差を取るか変化開始と変化終了のデータの変化量の差を取るかが選択され、4.5 節の変化開始と変化終了の情報を元にデータセットから自動的に変化量が計算されるため、各成分の変化の有無をチェックする必要はあるが変化量の値を手入力する必要はない。なお、変化量の算出に際しては、監視トレンドの値がかなり重要である。監視トレンドの値については暫定的には EPOS で実際に監視に使用している値をそのまま用いるが、原簿を確定する段階においては月ごとに最適なトレンドの値を決めてから確定作業を行う。

4.9 よくある変化

その観測点によくある変化であることを番号で示す。ここで言うよくある変化とは、原因が解明できているかどうかに関係なく、その観測点において同一の変化パターンとなる現象が繰り返し発生しているような一連の変化のことを指す。例えば、田原福江観測点(松島・他, 2008)や浜松三ヶ日観測点(小林・他, 2010)等でのポンプによる揚水に伴うひずみ変化や、蒲郡清田観測点や浜松佐久間観測点などでの短期的スロースリップイベント(木村・他, 2008)、浜松三ヶ日や牧ノ原坂部などで突然現れるステップなどが該当する。同一の変化パターンとなる現象がこれまでに全く発生していなければ、この項目は空白である。各々の番号は、5.1 節の観測点ファイルの内容に基づいており、よくある変化として登録できるようにするには観測点ファイルによくある変化を追加定義する必要がある。

4.10 原因

地殻変動データに生じた現象の原因を番号で示す。各々の番号が示す原因の内容は以下のとおり。

- 1: プレスリップ
- 2: 地震
- 3: スロースリップ(短期・長期)
- 4: 降水
- 5: 季節変化
- 6: 揚水等
- 7: 補正残差
- 8: 機器障害
- 9: 機器障害後の不安定
- 10: 設置開始直後の不安定

11：その他

99：原因不明

4.11 コメント

原簿の既定の入力項目以外で、別途テキストとして入力した内容を示す。例えば、地震によるステップ状の変化であれば、いつどこでどの程度の規模の地震が発生かを記したり、短期的スロースリップであれば愛知県か長野県南部か三重県のいずれで低周波地震がいつからいつまで何個発生したことを記したり、障害の原因が雷災によるものであったことなどを記したりすることなど、必要な情報が原簿に入力されていると後から原簿を見返してみた時に有益な情報となる。

4.12 観測原簿作成日時、最終更新日時、作成班

観測原簿作成日時は、原簿を最初に作成した日時。最終更新日時は、原簿作成後に更新した最終日時。作成班は、原簿を作成した現業班を示す。これら3つの項目は、あくまでも参考情報である。

4.13 行の末尾のフラグ

内容としては4.1節のフラグと同一だが、手動での原簿ファイルの修正等によってCSVファイルの項目ずれが起きないように、行の末尾にフラグの項目が付されている。

5 その他のファイル

4章で説明した原簿ファイル以外で、原簿に必要なデータファイルは以下の2つである。いずれのファイルも原簿ファイルと同様に可変長かつ空白スペースも入り得る項目があるため、1行あたり1観測点ないし1イベントを示すCSVファイルである。

5.1 観測点ファイル (station.csv)

各観測点の情報が記述されているファイルである。観測機器 (V: 体積ひずみ計, S: 多成分ひずみ計, T: 傾斜計, F: その他)、観測点コード、観測点名、観測点名 (英語)、観測点の特徴 (テキスト)、定義済みのよくある変化の個数、よくある変化の名称 (最大5つまで)、よくある変化の内容 (テキスト) の項目で構成される。原簿ファイルの4.3節の観測点コードの内容は、このファイルに基づく。原簿ファイ

ルの4.9節のよくある変化の番号が示す内容も、このファイルに基づく。このファイルに記載される観測点の特徴やよくある変化の定義が充実すればするほど、原簿がますます有益になるだろう。

5.2 イベントファイル (event.csv)

イベントとして登録された現象の概要が記述されているファイルである。イベントコード(4.4節)、変化開始、変化終了(4.5節)、変化の原因(4.10節)、コメント(4.11節)、登録した観測点コード (最大100観測点まで) の項目で構成される。原簿ファイルの4.4節のイベントコードの概要はこのファイルの内容に基づき、変化のあった他の観測点と対応付けることができる。

6 地殻変動観測原簿の新規作成

原簿新規作成画面から、ブラウザ上で観測点等を選択しながら新しい原簿を作成することができる。ブラウザ上での原簿の新規作成については、PHPやJpGraphによるグラフ表示を使用するだけでなく、javascriptも使用して登録作業負荷の軽減を図っている。途中、入力した項目内容がデータセットから計算された値と整合しない場合には、その旨が表示され登録することができない。最終的には入力必須項目の登録漏れなどを確認した上で、問題なければ原簿新規作成チェック画面において『登録』ボタンを押せば、新しい原簿が作成される。

なお、ルーチン的に新しく原簿を作成する場合には、新規作成対象を把握する必要がある。そのため、地殻変動監視処理 (木村 他, 2012) の監視ログから原簿の新規作成対象になった現象を抽出して表示し、新規作成しやすくするしくみが構築された。具体的には、ブラウザ上に過去2週間以内の原簿作成対象リストが表示され、その中から作成したい現象をクリックすると原簿を比較的簡単に作成できる。原簿の作成が終わると、原簿作成対象リストにおいて『作成済』や『継続中』の表示に切り替わり、原簿を二重に登録することが防止される。なお、従来は上述の方法で1つ1つ原簿の登録作業を進めざるを得ないが、地震によるステップや短期的スロースリップ等、地下深部の真の地殻変動現象に伴って複数の観測点で同時に変化がある場合には、『イベント新規登録』することによってそれらの複数観測点の原簿を

一括して新規作成できる。これは、5.2 節のイベントファイルに新たに追加登録すると同時に、その現象によって変化のあった複数の観測点の原簿について、変化開始や変化終了、原因などの共通項目を同じ内容で一括して登録できるため、作業負荷が軽減される。なお、登録されたイベントファイルを修正しても、該当する各観測点の原簿は一括して修正されない。各観測点の原簿については個別に修正しない必要がある。

ここで紹介した以外にも、過去に地殻変動データに生じた現象について、現在の監視基準において原簿の登録対象となるものについてもリスト表示され、その中から作成したい現象をクリックすると原簿を比較的簡単に作成できる。このように複数の方法で原簿の新規作成登録は簡単に行うことができる。

ルーチ的に原簿を作成する対象は、現在は地殻変動監視においてレベル 2 以上と判定された現象であるが、小林、松森 (1999) の定義ではノイズレベル (=レベル 1) は本来 1 年半に 1 回現れる程度の現象であり、レベル 2 以上と判定される頻度はそう多くはないはずである。登録された原簿の頻度が適切では無い観測点については、ノイズレベルの見直しが必要であろう。但し、小林、松森 (1999) の定義では、低頻度の変化量の大きい現象についてはよくある変化としてノイズレベル調査の対象から外れていることも念頭に置く必要がある。

7 地殻変動観測原簿の閲覧

登録された原簿は、その目的に応じて幾つかの方法で閲覧することが可能である。

7.1 過去事例の検索

ある観測点の地殻変動データに何らかの現象が生じて、その現象と類似した過去事例の有無を検索するケースである。過去に発生した類似の現象がよくある変化として観測点ファイルに定義され、過去全ての類似の現象が原簿として登録されていれば、今回と類似の現象が、いつ、どの程度の間隔で、どの程度の大きさのものが発生していたのかを過去に遡って知ることができる。今回発生した現象の変化の立ち上がりだけで類似しているかどうかの判断をするのは困難かも知れないが、今後の推移や原因等を知る手掛かりとなり得るだろう。仮にそのような類

似の現象がこれまでに発生していなかったとしても、今回原簿として登録しておけば、次に類似の現象が生じた場合に役立つ。原簿が充実して類似の現象が繰り返し発生していることが明らかになれば、よくある変化として定義登録できる。このように原簿の登録を積み重ね、観測点ファイルに記載する内容が充実することによって、各担当や各世代で知見を共有することが可能となるだろう。

図 1 には、原簿の表示画面の例として、蒲郡清田観測点における原簿一覧が示されている。ここでは、よくある変化とその他の変化が示されており、よくある変化については図 1 上部のように最新の事例の時系列グラフや過去何回起きていたかの簡単な概要が表示され、その他の変化についてはよくある変化以外で登録された原簿一覧が小さな時系列グラフとともに表示されている。よくある変化のタイトルをクリックすると、そのよくある変化として登録された原簿一覧が表示される。図 5 に東伊豆奈良本観測点における伊豆半島東方沖の地震活動に伴う原簿一覧の例を示す。よくある変化として登録された原簿一覧が小さな時系列グラフとともに表示されている他、変化量の推移、月毎、曜日毎、時間毎の統計値のグラフも表示される。例えば、この変化量の推移の図からは、伊豆半島東方沖の地震活動に伴う東伊豆奈良本のひずみ変化は、近年のものは 1990 年代に比べて小さいといった特徴が抽出できる。他の統計値は自然現象であることもあり、統計的な偏りは見られない。図 6 には、人工的な原因によるよくある変化の例として田原福江観測点におけるポンプによる揚水に伴うひずみ変化の統計値グラフを示す。この現象は、9 月に突出して多いことや午前中に変化が開始することが多いなどの特徴が抽出できる。この田原福江観測点におけるポンプによる揚水に伴う現象は既に原因究明されているが、現在原因不明となっているよくある変化について原簿の登録が積み重なり統計的な情報を得ることができれば、現象の原因究明に繋がる可能性もある。

また、原簿一覧の中から詳細を閲覧したい原簿をクリックすると、図 2 のように原簿の詳細が表示される。原簿に入力された内容だけでなく、レベル判定の推移、時系列グラフ、24 時間階差グラフなども表示されるほか、イベントとして登録されている場合には変化のあった他の観測点一覧も表示される。

地殻変動観測原簿のしくみについて

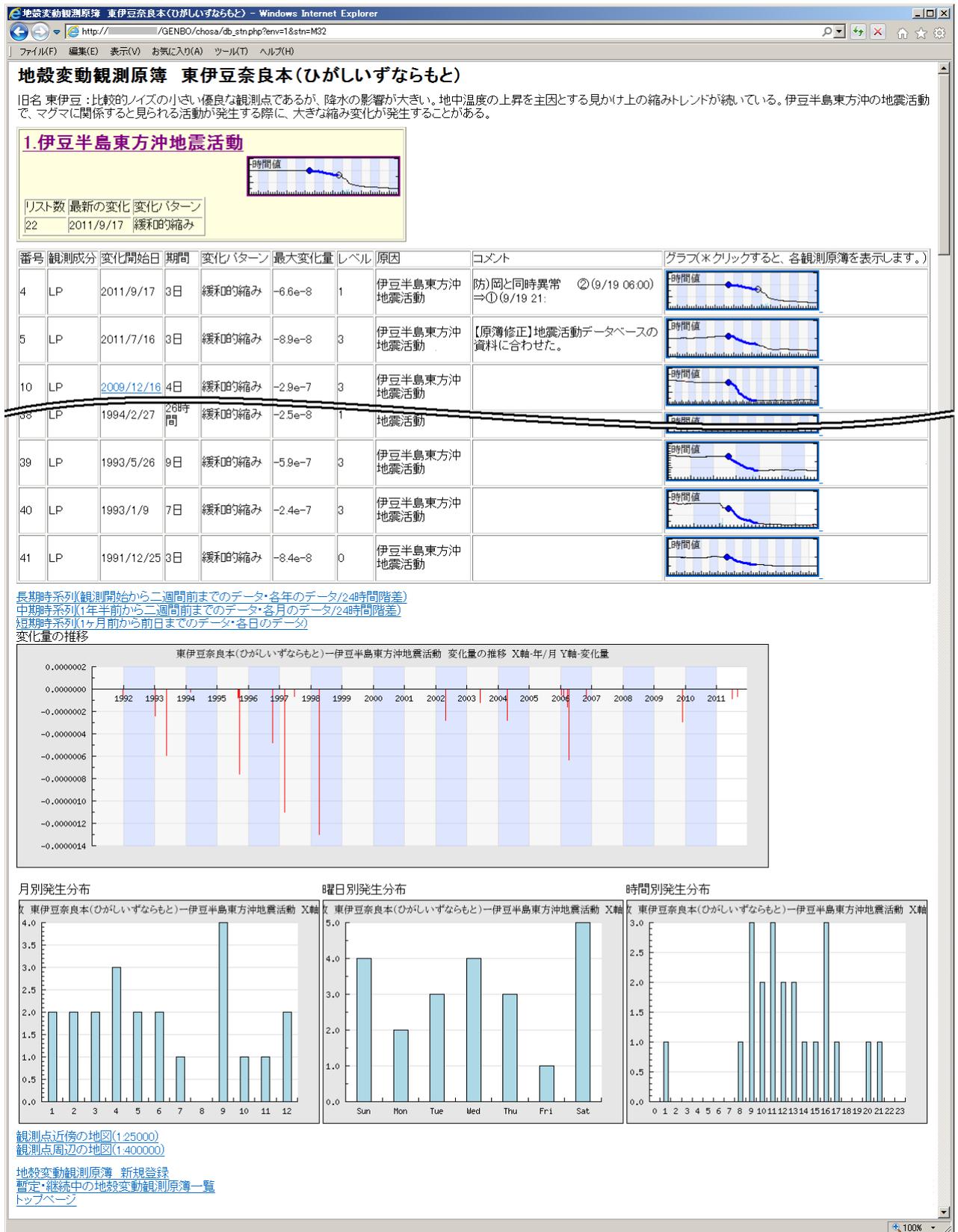


図5 よくある変化の地殻変動観測原簿一覧の例
(東伊豆奈良本:伊豆半島東方沖の地震活動)

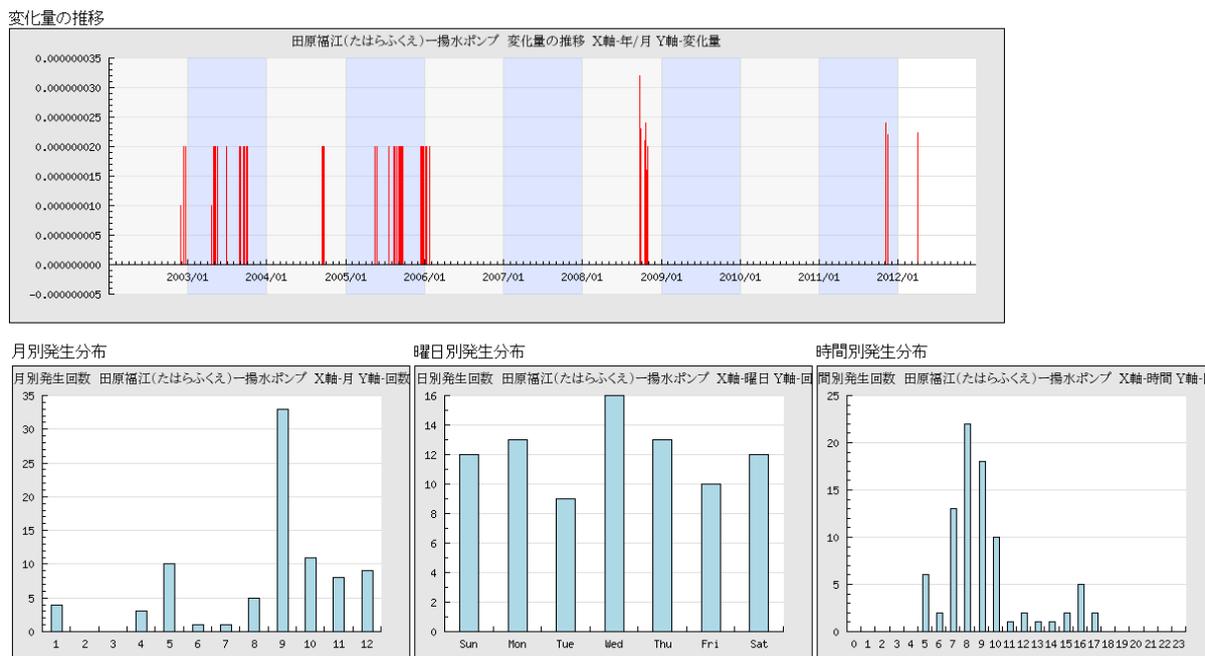


図 6 人工的な原因によるよくある変化の統計グラフの例 (田原福江：ポンプによる揚水)

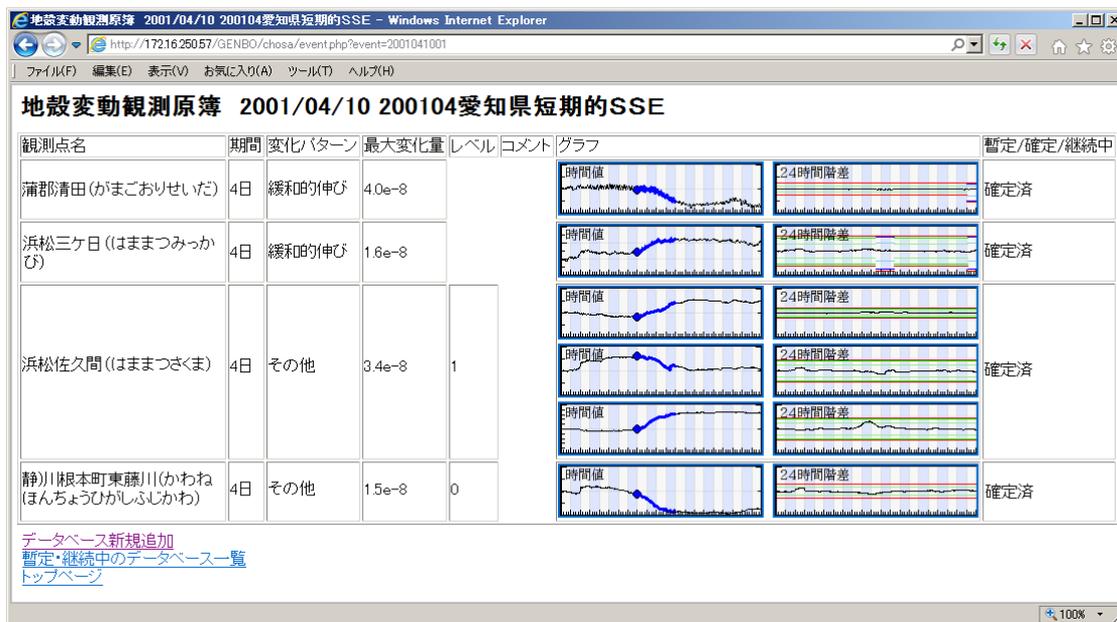


図 7 イベントの原簿一覧表示の例 (2011 年 4 月の愛知県短期的スロースリップ)

7.2 過去の地殻変動データの時系列グラフの閲覧

地殻変動監視を行っている EPOS の端末では、過去の地殻変動データの時系列グラフは閲覧できるが、その時系列グラフに生じた現象が何によるものかを知ることができていなかった。3 章で説明した地殻変動データセットは、原簿のグラフ表示などに利用

するだけでなく、過去の地殻変動データの時系列グラフを表示するとともに、登録された原簿一覧を表示することによって時系列グラフに生じた現象を知ることができ、EPOS における欠点がカバーされている。

7.3 イベントの閲覧

イベントとして登録された現象は、変化があったとして登録された全ての観測点の原簿一覧を表示できる。図7に2001年4月に愛知県で発生した短期的スロースリップの原簿一覧の例を示す。確定した原簿については、最適な潮汐補正係数を用いたデータセットを利用して、月ごとに最適なトレンドの値を用いて変化量が求められている。ここで表示された変化量は、精査された読み取り値として断層パラメータ推定やすべり量推定などの地殻変動解析に利用できる。

8 まとめ

地殻変動データに現れた現象を、地殻変動観測原簿として登録・表示するしくみの紹介を行った。

地殻変動観測原簿の前身である『地殻変動異常変化データベース』は2008年4月に運用が開始され、開始当初はまだしくみも未完全であり登録作業もボランティアベースであったが、機能のバージョンアップを重ねて2009年10月より『地殻変動観測原簿』として業務化された。現在では、現業で地殻変動データの監視を行う職員が原簿の登録作業を行い、地殻・ひずみ担当が登録された原簿をチェックの上、確定作業を行っている。

地殻変動観測原簿が充実し、過去に発生した地殻変動データに現れた現象の知見が十分に共有されることによって、地震予知情報課における地殻変動監視の検知力や地殻変動解析技術が向上することを期待したい。

謝辞ほか

図に使用している Internet Explorer は、米国 Microsoft Corporation の米国及びその他の国における登録商標または商標です。

PHP, JpGraph の技術習得については、筆者の海洋気象情報室在籍中に檜垣将和氏(現 気象庁予報部数値予報課)にお世話になりました。過去の地殻変動データの蓄積や品質管理については、歴代の地殻・ひずみ担当の努力によるものです。地殻変動観測原簿の運用や改善については、現業や地殻・ひずみ担当の方々の努力によるものです。小久保一哉氏には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きました。また、2009年10

月に気象研究所に異動になった後も、引き続き3ヶ月間、地殻変動観測原簿の開発・調整のための気象庁本庁での作業を許可していただいた吉川澄夫氏(現 気象庁地磁気観測所長)や横田崇氏(現 気象庁気象研究所地震火山研究部長)など多くの方に感謝申し上げます。

文献

- 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・近澤心・菅沼一成・草野利夫 (2012): EPOS4 における地殻変動の異常監視処理の高度化, 験震時報, **76**, 45-62.
- 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.
- 小林昭夫・山本剛靖・近澤心・木村一洋・吉田明夫 (2010): 三ヶ日観測点で夏季に見られる特徴的な堆積歪・水位変化の原因特定とモデル化, 験震時報, **73**, 159-163.
- 竹中潤・宮越憲明・吉田明夫 (2001): 東海地域の体積歪計で観測された異常変化の特徴, 験震時報, **64**, 1-22.
- 二瓶信一・上垣内修・佐藤馨 (1987): 埋込式体積歪計による観測(1) 1976~1986年の観測経過, 験震時報, **50**, 65-88.
- 桧皮久義・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.
- 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 and 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)