

STA/LTA 比を用いた傾斜観測データの異常判定に関する検討

原田昌武*、棚田俊收*、伊東 博*、代田 寧*

Experiment in discerning anomalous change on tiltmeter data employing STA/LTA ratio

by

Masatake HARADA *, Toshikazu TANADA *, Hiroshi ITO * and Yasushi DAITA *

1. はじめに

温泉地学研究所では、神奈川県西部の地震活動や箱根火山の活動をモニタリングするために、県西部地域に地震・地殻変動観測網を展開している(伊東ほか、1990; 八巻ほか、1990; 温泉地学研究所、1999)。地殻変動観測については傾斜観測・地下水水位観測・重力観測・光波測量・GPS 測量と多項目にわたり、連続した記録が得られている。一般的に地震や火山活動に関連した地殻変動は、特定の範囲内に短時間で明瞭な変化として観測されると考えられる。このような地震・火山活動に伴う通常とは異なる変動、すなわち、プレスリップのような地殻の異常な変動は防災という観点からも見逃してはならない現象である。

地震・火山活動のモニタリングと同時に地殻変動データに現れる異常な変動を検出するためには、データを評価する客観的な基準を設けることによって自動的に判定する方法が簡便である。棚田ほか(2002 a, 2002 b)は、当所の光波測量・GPS 測量データに対して次のような判定基準を設けた。まず、観測データの各基線長に対して短時間での平均値と標準偏差からノイズレベルを算出する。そして平均値±標準偏差(またはその2倍)を異常変化発生時に対応する閾値として設定した。このようにして設定された閾値を観測データに適用した結果、全データの1~3%程度が異常と判定されたことを報告している。当所ではこれまでこの方法を用い、異常変化と判定された場合には自動的にフラッグが出力されるようにシステム設計がなされている。フラッグが出力されると他の地殻変動観測データや地震活動に変化が無いかを検討し、最終的には地震や火山活動に伴う異常な変化であるかどうかを所員が判断することとなる。

これらの地殻変動データの異常変動自動検出処理を含む現行の観測データモニタリングシステムを平成15年度に更新するのに伴い、地殻変動データの異常判定方法を新たに見直すことにした。本報告では、一般に地震波の自動検出に用いられている STA/LTA の計算手法(たとえば、松村ほか、1988; 堀、松村、1988)を、地殻変動観測網

における傾斜観測データに適用し、地震・火山活動に関連した異常変動の検出の可能性について検討した結果を報告する。

2. 傾斜観測および解析データ

温泉地学研究所では、1989(平成元)年から箱根火山のモニタリングのために箱根カルデラ内の駒ヶ岳・湖尻・小塚山の3ヶ所において傾斜計による観測を開始した。その後、外輪山の外側にも4観測点を増設し、現在では7観測点での観測により箱根火山を中心とした神奈川県西部地域の広域地殻変動をモニタリングしている。傾斜計はそれぞれ深度約100mの観測井内に設置され、南北方向および東西方向の2成分観測を行っている(温泉地学研究所、1999)。傾斜観測網の観測点配置を図1に示す。これまでの観測結果では2001(平成13)年6月から発生した箱根群発地震活動に伴う傾斜変動を捉えており、特に群発地震活動に先立ち傾斜変化が始まっていることが報告されるなど(代田ほか、2002)、地殻内の状態を反映した変動が高精度で検出されており、異常変動の検出の可能性を調査するためには最適なデータである。

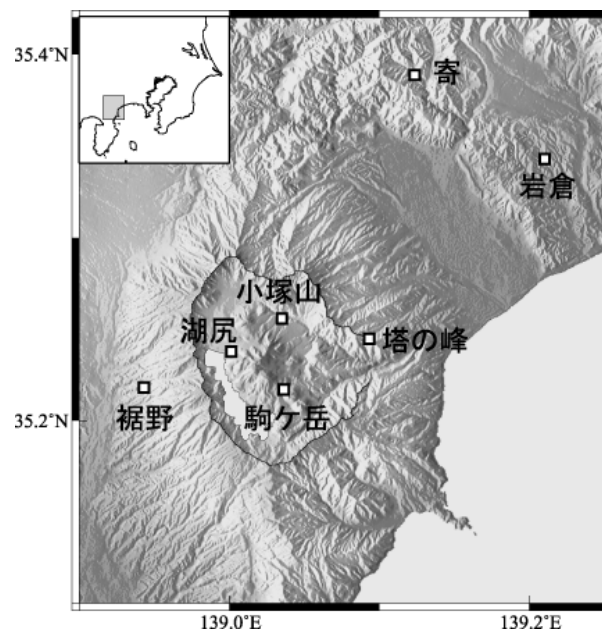


図1 傾斜観測点分布

* 神奈川県温泉地学研究所 〒250-0031 神奈川県小田原市入生田 586
報告, 神奈川県温泉地学研究所報告, 第35巻, 41 - 46, 2003.

現行の観測データ収録システムでは、毎分0秒のデータを1分値データとして収録・保存している。本解析ではこの1分値データから正時の値のみを抽出し、1時間間隔に再構築したデータを用いた。解析対象とした期間は1999年7月から2003年6月までの4年間のデータである。解析に使用したデータを図2に示す。観測データ中には地震等に起因するオフセットや一時的なとび値が存在する。一般的に精密なデータ解析を行う際には、前処理としてこれらの変動を除去しなければならない。しかし、本報告の目的は地殻変動データのリアルタイムモニタリングを継続しながら、なおかつリアルタイムに自動で異常変動の検出をすることである。そのため、実時間でのシステム運用において計算機に負担のかかるオフセット補正やとび値の除去などの前処理は行わないこととした。

3. 異常変動判定の考え方

観測データに現れる異常な変動を検出することは、地殻内部の非正常な状態変化を捉えることである。ここでは特に地震活動や火山活動などに関連した短時間の前駆的変動のみを捉えられることが異常変動の判定基準としては最適であると考えられる。しかし傾斜計データを用いて異常変動の判定を行う場合、判定基準の設計に際しデータの特性上、以下のことに注意しなければならない。

- ・ 機械的な要因によるオフセットや一時的なとび値
- ・ 降雨の影響による傾斜変動
- ・ 地球潮汐による傾斜変動

傾斜観測データ中に含まれるこれらの変動は、地震・火山活動などに関連した変動ではないにもかかわらず、異常変動と判定される可能性がある。つまり、可能な限りこれらの変動には反応しない異常変動の判定基準を設定しなければならない。ただし、降雨の影響による傾斜変動と、異常変動として検出したい地震・火山活動の前駆的変動の時定数がほとんど同じような値を持つ場合（数時間から数日程度の変動）は、両者の分離は困難である。

4. 解析方法

傾斜計の時系列データに対し、まず、階差の絶対値を計算する。そしてその値を元に、STA(短時間平均: Short Term Average)とLTA(長時間平均: Long Term Average)を算出する。ここで時系列データを

$x_n = \{x_1, x_2, \dots, x_N\}$ とすると、実際には以下のような式を用いることとなる。

$$STA(k) = \frac{1}{\alpha} \sum_{i=k-\alpha}^k |x_i - x_{i-1}|$$

$$LTA(k) = \frac{1}{\beta} \sum_{i=k-\beta}^k |x_i - x_{i-1}|$$

ここで、 α および β は Time Window () であり、ある時点 k におけるそれぞれの平均値を計算している。次に、その比 (STA/LTA) を計算する。地殻内の状態に変化がないか、または変化が一定である定常状態であれば、STA/LTA 比は1になるはずである。しかし、地震・火山活動などに関連した非正常な傾斜変動が観測された場合、LTA はその変化に追従できずにほとんど一定の値をとるのに対し、STA はその変動の影響を受け急激に変化する。その結果、STA/LTA 比の値も上昇する。この比に対して適切な閾値を設け、その値を超えた場合を異常変動の検出と判定する。ただし、異常変動を検出した後も LTA の計算を継続すると LTA の値も徐々に上昇し、STA/LTA 比は1に漸減してしまう。そのため異常変動が長時間に及ぶ際には閾値を下回ってしまう。この影響を避けるため、異常変動が検出された時点で LTA の計算を中断し一定値に固定することとした。また、正確な計算を行うために、STA、LTA ともに設定した Time Window の1割以上のデータが欠測の場合は計算を行わないことにした。さらに、前章で述べたとおり傾斜データには機械的な要因によるオフセットや一時的なとびが存在するため、それらの影響をなくするために階差がある一定の値を超えた場合には計算に含めないようにした。実際には、1時間での変動が地球潮汐による傾斜変動 10^{-8} オーダー)よりも十分に大きい $10^{-2} \mu \text{ rad}$ を超えた時には計算から除外した。

5. 結果

STA/LTA 比を用いた異常変動の検出では、STA と LTA の Time Window () と閾値の設定が重要となる。LTA の Time Window は短期間であると STA と同じような値になることとなり、STA/LTA 比の変化が検出できなくなる。逆に、LTA の Time Window が長期間であると平均化されすぎ、微小な STA の変化にも STA/LTA 比は敏感に反応してしまうこととなる。そこで、適度な Time Window として LTA に対しては10日を、また、STA に対しては6時間を設定した。これに対して STA と LTA の Time Window の違いによる STA/LTA 比の変化を調べるために、異なる Time Window を用いた例を図3に示す。両者の Time Window を上記で設定した値以上に近づけると (STA = 24時間、LTA = 5日)、STA/LTA 比はほぼ1の値で一定になってしまい変化を検出できなくなることが

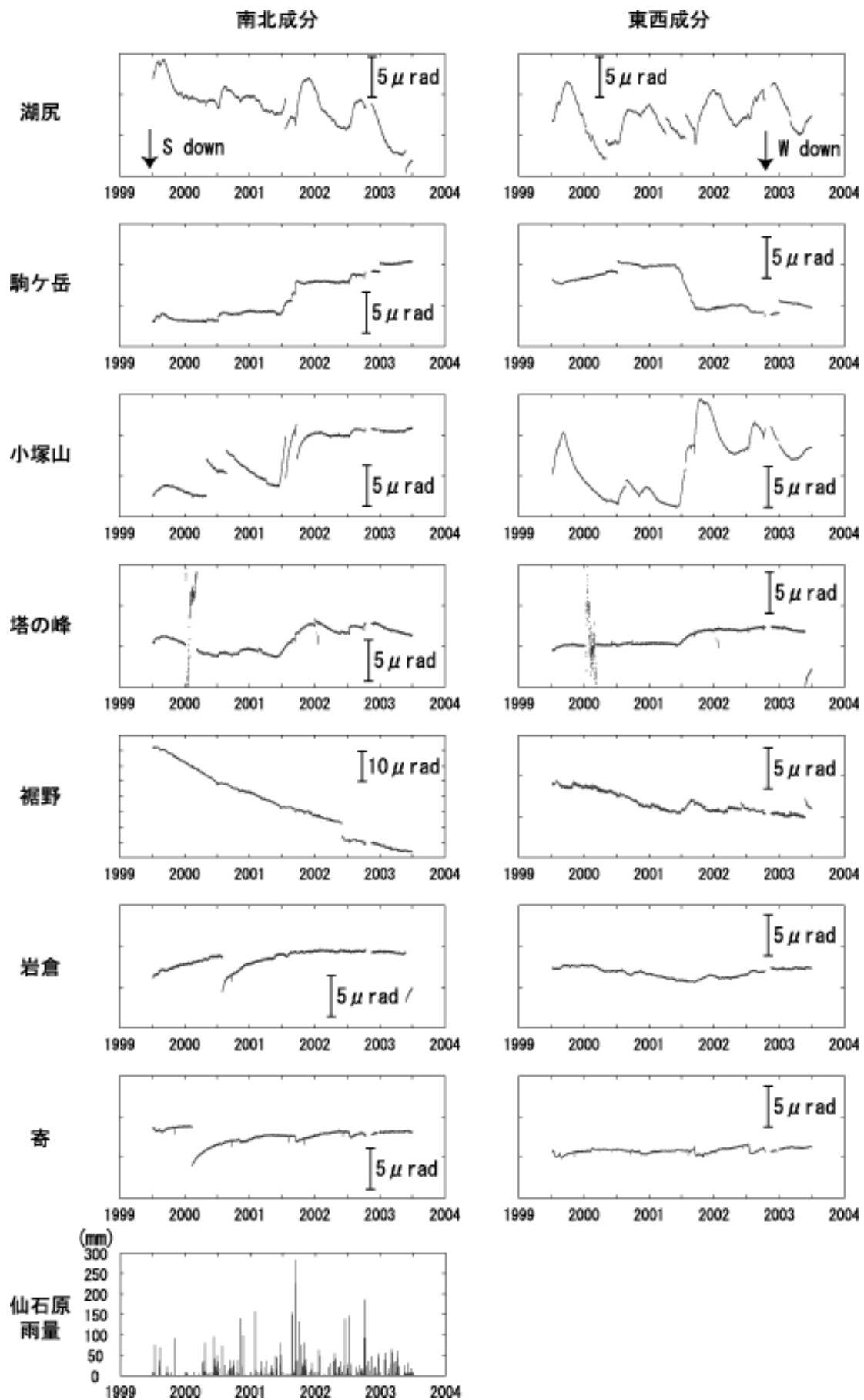


図2 傾斜観測結果(生データ)。システムや地震に起因するオフセットや一時的なとびは補正していない。

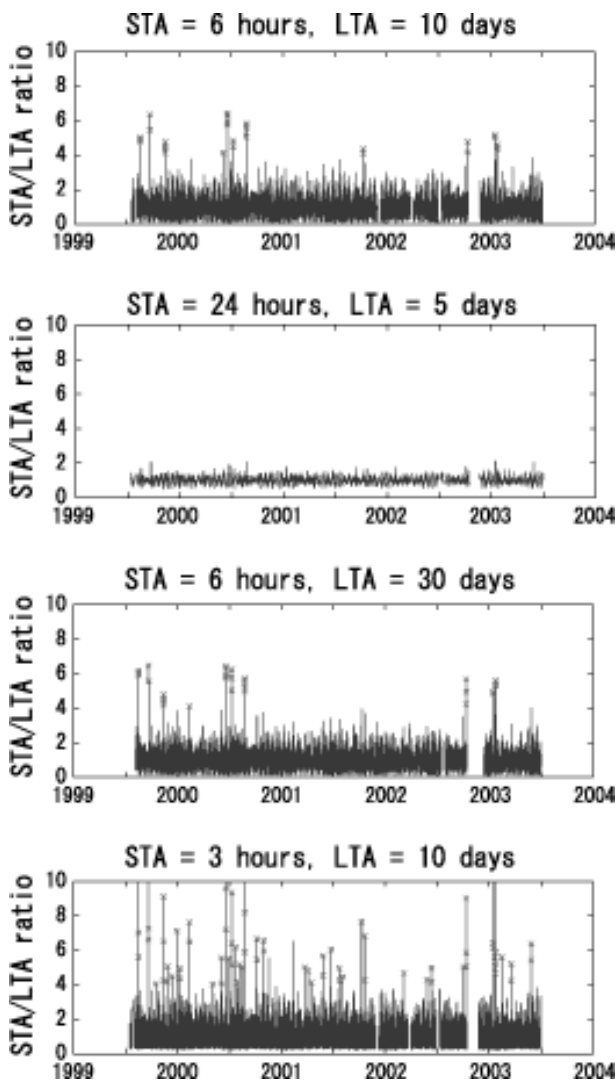


図3 湖尻観測点における南北成分の傾斜計に対しSTAとLTAのTime Window()を変化させた時のSTA/LTAの変化。閾値を4とし、2時間以上連続して異常変動と判定された時点を×印で示す。

明らかとなった。また、LTAのTime Windowのみを長くした場合には解析結果はほとんど変わらない。一方、STAのみを短くすると、地球潮汐の影響による傾斜変動がSTA/LTA比に大きく現れることによりS/Nが悪くなり、さらに降雨の影響などに敏感に反応して異常変動と判定されることが多くなる。

上記のようにTime Windowを設定し、傾斜観測データに適用した結果を図4に示す。ここではSTA/LTA比による異常判定基準(閾値)を経験的に4と設定し、2時間以上連続して異常変動と判定された時点を×印で示す。全7観測点・14成分のいずれか1成分でも2時間以上連続して異常変動と判定されたのは、解析期間中(4年間)の1.6%(通算545時間)であった。傾斜観測データ中のオフセットや一時的なとびの影響を少なくするために、1時間での傾斜変動が $0.2 \mu\text{rad}$ を超えた場合には計算に含

めないようにしているため、これらの機械的な要因による影響はほとんど見られない。しかし、 $0.2 \mu\text{rad}$ 未滿の傾斜変動時には異常変動と判定されている。

次に、2観測点以上で同時に異常変動が検出された場合を表1に示す。本解析の結果では、異常変動と判定されたのは37回(通算390時間、解析期間中の1.1%に相当)であった。これらの判定の中には偶発的に発生したとびによるものや、降雨や台風などによる短時間の急激な傾斜変動に起因するものもある。さらに、いくつかの判定の前後には地震が発生している場合もある。しかし、それらは全てマグニチュード4.4以下の地震であり、また、傾斜観測網の外側であるため地震活動に関連した傾斜データの異常変動として判定されたと結論付けることはできない。

2001(平成13)年6月から10月にかけて5回ほど複数の観測点で同時に異常変動と判定されている。これは2001(平成13)年6月に始まった箱根群発地震活動に関連した傾斜変動(代田ほか、2002)を反映したのものであると考えられる。この群発地震に限らず、箱根火山近傍で発生した群発地震は複数の観測点において時間を前後して異常変動と判定される場合があることが確認された。

6. まとめ

地震・火山活動に伴う異常な変動を検出するために、STA/LTAの計算手法を傾斜観測データに適用した。その結果、STA、LTAのTime WindowやSTA/LTA比の閾値を適切に設定することによって観測点近傍における群発地震活動はある程度検出できることが確認された。しかし、傾斜観測網の付近でマグニチュード6を超えるような地震の例がなく、大地震に関連したプレスリップに対してこの計算手法が有効であるかどうかは分からない。

STA/LTAの計算は一般に、地震波データ収録のためのトリガーとして利用されている。地震波のように観測データが急激に変化する場合には有効な手法である。しかし、地震・火山活動の前駆的変動が数日間以上に及ぶようなゆっくりとした変化として地殻変動に現れた場合、つまり長周期トレンドの変化として異常な傾斜変動が観測された場合には、STA/LTAによって異常変動を判定することは困難であると考えられる。このような異常変動の検出を精度よく、また、客観的に行うためには、観測データにカルマンフィルターなどの時系列データを予測できるフィルターを利用し、実際の観測データがその予測値の90%信頼区間を越えるような変動を観測した際に異常変動と判定するような方法が有効であろう。

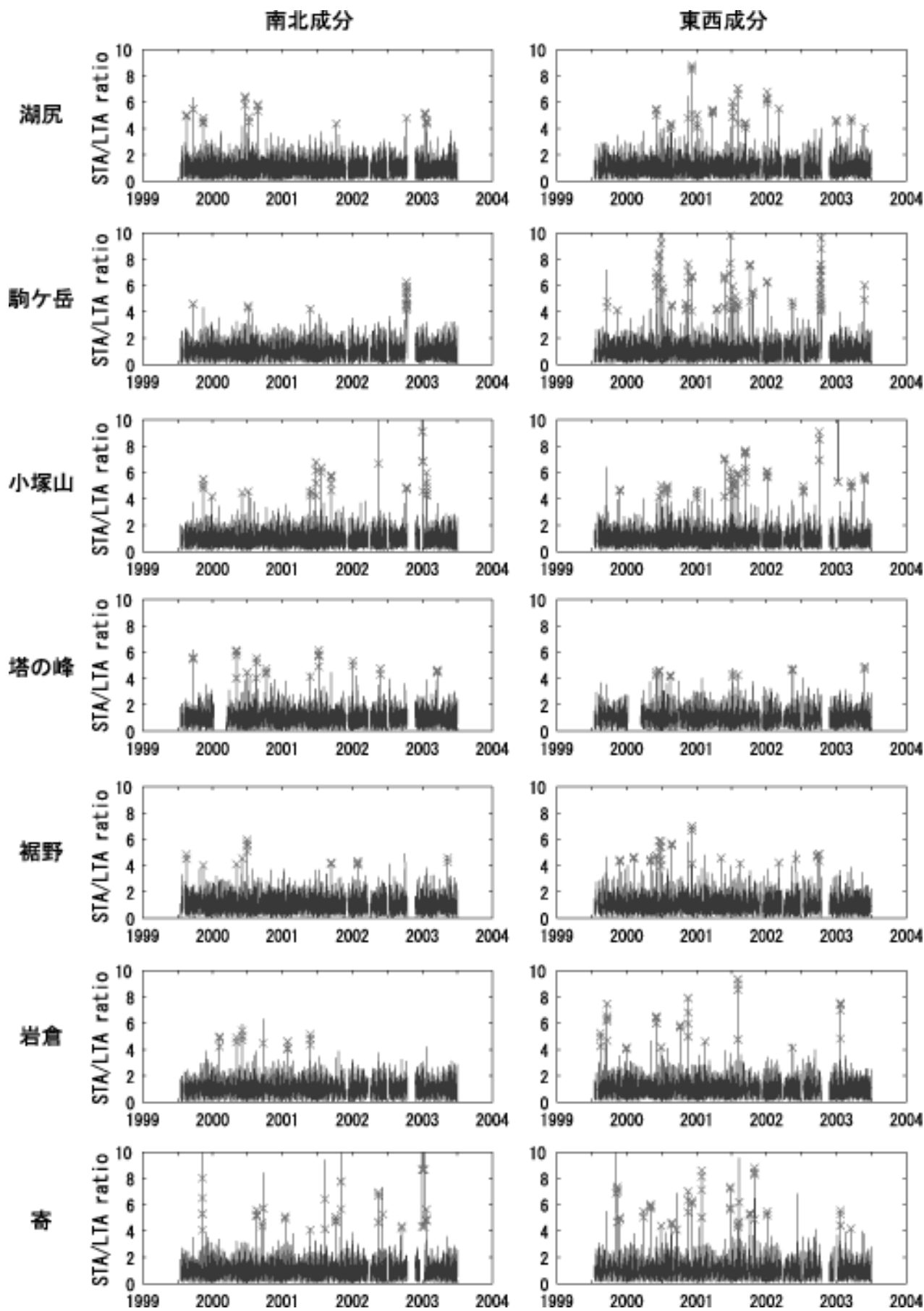


図4 各観測成分での STA/LTA の変化。STA、LTA の Time Window はそれぞれ 6 時間、10 日である。また、STA/LTA 比に対して閾値を 4 とし、2 時間以上連続して異常変動と判定された時点を × 印で示す。

参考文献

代田 寧、棚田俊收、伊東 博（2002）2001(平成13)年箱根群発地震活動に関連した地殻傾斜変動，温地研報告，34，35-44．

堀 貞喜、松村正三（1988）地震前兆解析システムにおける自動震源決定，国立防災科学技術センター研究報告，41，89-100．

伊東 博、小鷹滋郎、棚田俊收、荻野喜作、長瀬和雄、横山尚秀、平野富雄、大木靖衛（1990）温泉地学研究所の地震・地下水観測システムについて，温地研報告，21，71-86．

松村正三、岡田義光、堀 貞喜（1988）地震前兆解析システムにおける地震データ(高速採取データ)の処理，国立防災科学技術センター研究報告，41，44-64．

温泉地学研究所（1999）温泉地学研究所における「神奈川県西部地震」の取り組み，温地研報告，29，3-40．

棚田俊收、伊東 博、代田 寧、板寺一洋（2002a）神奈川県西部地域における光波測量結果とその特徴について，温地研報告，33，25-30．

棚田俊收、伊東 博、代田 寧、板寺一洋（2002b）神奈川県西部地域におけるGPS観測結果とその特徴について，温地研報告，33，31-42．

八巻和幸、小鷹滋郎、伊東 博、棚田俊收、大木靖衛（1990）箱根火山・傾斜変化解析システム，温地研報告，21，87-102．

表1 複数の観測点で異常変動と判定された事例

日時(継続時間)	岩倉		駒ヶ岳		湖尻		小塚山		裾野		塔の峰		寄		観測点数
	南北成分	東西成分	南北成分	東西成分	南北成分	東西成分	南北成分	東西成分	南北成分	東西成分	南北成分	東西成分	南北成分	東西成分	
1999/08/17 11h (4h)		○			○				○						3
1999/09/21 09h (3h)			○	○	○						○				3
1999/11/13 04h (4h)				△	○		○		△				○		4
1999/11/27 00h (4h)							○	○		○				○	3
1999/12/30 01h (3h)		○					○			○					2
2000/02/06 23h (3h)	○									○					2
2000/05/04 15h (4h)	△								△	○				○	4
2000/06/03 18h (5h)	△	△		○		△	△	△	△	△		△			6
2000/06/19 01h (5h)				○	△			△	△	△		△			5
2000/06/29 12h (6h)		△		○				△	△	△		△		△	6
2000/07/04 19h (2h)			○				○								2
2000/07/09 05h (3h)				○	○										2
2000/08/16 03h (3h)						○						○			2
2000/08/18 12h (4h)						△					○		○		3
2000/08/24 01h (4h)				○	○					○				○	4
2000/10/06 15h (4h)		○									○				2
2000/11/16 16h (5h)		○		△										○	3
2000/12/07 04h (5h)				○		○				○				△	4
2001/01/01 18h (4h)						○		○							2
2001/01/26 14h (4h)	○													○	2
2001/05/25 11h (5h)	△		△	○			△	○			△		△		5
2001/06/24 07h (7h)				○			△	△					△		3
2001/07/07 21h (4h)					○			○			○	△			3
2001/08/03 10h (5h)		○		△		○		△			△		△		6
2001/09/11 11h (3h)						○	○		○						2
2001/10/05 03h (4h)				○									○	○	2
2002/01/03 03h (5h)				△		○		○			△			△	5
2002/03/06 09h (3h)						○				○					2
2002/05/15 14h (5h)		△		△			○				△		○		5
2002/10/01 22h (3h)							○	○		○					2
2002/10/10 22h (3h)				○	○		○	○							3
2002/12/29 17h (280h)						△		△	○				○	△	3
2003/01/20 19h (5h)		○					○	○					△	○	3
2003/01/22 13h (4h)					○			○							2
2003/03/18 03h (4h)						○					○				3
2003/05/26 20h (2h)				○			○								2
2003/05/27 06h (4h)				○				○				○			3

○:継続期間中全てが異常と判断されたもの
 △:継続期間中の一部が異常と判定されたもの