

潮汐変化と遠地地震を用いた温泉地学研究所 傾斜計センサー方位の検証

代田 寧*、棚田俊收*、原田昌武*、伊東 博*

Verification of the borehole-type tiltmeters sensor azimuth in HSRI using tide and teleseism
by

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

1. はじめに

温泉地学研究所では、図1に示す7地点にボアホール型の傾斜計を設置し、箱根火山における活動状況の把握や、神奈川県西部地震における予知研究の推進を目的として傾斜観測を実施している(温泉地学研究所、1999)。

箱根火山では、2001年6月中旬から中央火口丘の大涌谷付近を中心に地震が起こり始め、10月中旬までの約4ヶ月間にわたり活発な活動が続いた(棚田ほか、2002; 温泉地学研究所、2002)。この地震活動とほぼ同時期に、当所で観測している複数の傾斜計に山体の隆起・膨張を示す地殻変動が捉えられている(代田ほか、2002b)。各観測点が傾斜した方向や大きさなどを詳細に解析することは、この箱根火山で生じた地殻変動の要因解明にとって重要なことである。そのためには、当然のことながら傾斜計が正しい方位で設置されていることが前提となるが、これまで当所の傾斜計センサー方位について詳細な検討および報告がされていなかった。

そこで本報では、地殻変動源の詳細な解析に先だち、各観測点における設置方位を確認するため、平常時に観測される潮汐変化、および遠地地震による長周期の揺れを捉えたデータから検討した結果について報告する。

2. 観測装置の設置方法

当所で用いている傾斜計は力平衡型振子式(南北、東西の水平2成分)で、耐圧容器に収納されて深度約100mの観測井内に設置されている(八巻ほか、1990)。また、傾斜計の出力極性は、南北成分では地盤北下がり、東西成分では地盤東下がり、それぞれプラス出力としている。ここでは傾斜計の設置方法の概要について簡単に述べる。

まず、観測用井戸を約100m掘削したのち、孔底において観測装置を収容するための設置ケース(着底部ガイド)を固定する。設置ケースにはキー(出張り)が、観測装置(着底具)にはそれに対応するキー溝が設けられており、キーとキー溝を合わせることで観測装置を着底させる。ここで観測装置の着底に先だち、傾斜計が孔底において正しい方位を向くようにするため、固定した設置ケースのキー方位をジャイロ検層により測定する。測定結果からN方位のずれ角度を求め、観測装置(着底具)をずれ角度に合わせて固定することにより、傾斜計を正しい方位で設置することができる。なお、N方位は、天体観測によって各観測点ごとに決定している。

3. 設置方位に関するこれまでの経緯

駒ヶ岳観測点においては、設置当初から方位がずれている可能性があったため、おもり落下法により方位測定をおこなった経緯がある。この方法は、深さ100m程度の浅いボアホール型の地震計でよくおこなわれるもので、数十~数百kgのおもりをボアホール近くの地表で落と

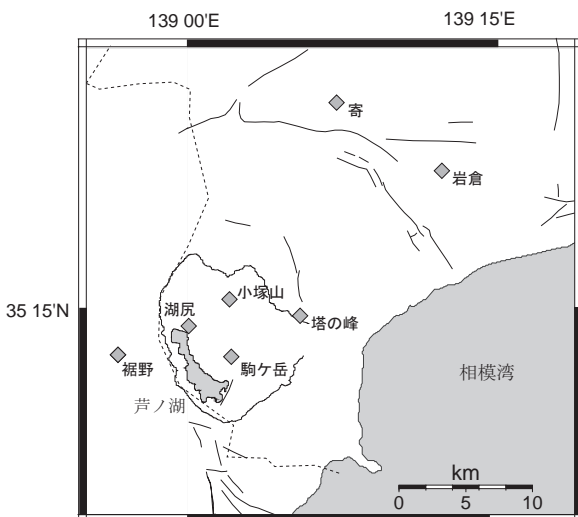


図1 傾斜観測点分布

* 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, 33 - 40, 2003.

し、水平2成分の初動の振幅比から設置方位を推定する方法である。その結果、検出器のNが真北より東回り約150度の方向に向いていると推定された。

また当所では、地震計(水平2成分、上下1成分)も傾斜計とともに耐圧容器に収納し、微小地震の観測を同時におこなっている。東京大学地震研究所が設置している関東甲信越の周辺観測点と当所の観測点について、遠地地震の観測データを用いて比較したところ、駒ヶ岳観測点と裾野観測点の極性が反転していた。

以上のことから、駒ヶ岳観測点と裾野観測点については、設置方位がずれているか、あるいは極性が反転している可能性が高い。当所では、ジャイロ検層によりキー方位を測定しているため、東西南北の方向がずれている可能性は低いと考えている。それよりも、配線ミスなどによりプラスマイナスの極性が逆になっている可能性が高く、観測データの出力を反転させて対応してきており、その旨東京大学地震研究所にも連絡している。

4. 設置方位の確認方法

4.1. 潮汐変化による検討

傾斜計は非常に感度が高く、明瞭な潮汐変化が観測される。この変化は、地球潮汐現象に海洋潮汐の影響が加わったものであり、理論的にそれらの潮汐変化量を計算

で求めることができる。傾斜計の設置方位が正しければ、地形効果等の影響により多少の違いは生じるが、観測される潮汐変化と計算で求めた潮汐変化とはほぼ一致する。

そこで、観測データと計算で求めた値を比較することにより、観測点ごとに設置方位(極性)のチェックをおこなった。実際には、位相のずれ、振幅の大きさ、傾動の時系列変化(傾動ベクトル)について比較検討した。

通常観測データには、潮汐による影響のほか、降雨や気圧等の気象条件、地形、地質など、さまざまな要因による変動が含まれており、観測データから潮汐による変化だけを抽出するのは難しいため、降雨等による変動が比較的少ない時期を選んで検討した。なお、潮汐による影響量の計算には、GOTIC 2 (Matsumoto *et al.*, 2001)を使用した。GOTIC 2はGOTIC (Sato and Hanada, 1984)の改良版であり、陸上の点について固体地球潮汐および海洋潮汐の影響量を計算するプログラムである。以後、このプログラムで計算された値を「予測値」と呼ぶ。

4.2. 遠地地震の観測データによる検証

傾斜計は、遠地地震に対して長周期の地震計として振る舞う。また、当所のような狭い範囲の観測網では、遠地地震の入射角や地震波線はほぼ同一とみなすことができると仮定すると、全ての観測点で振動方向の揃った同

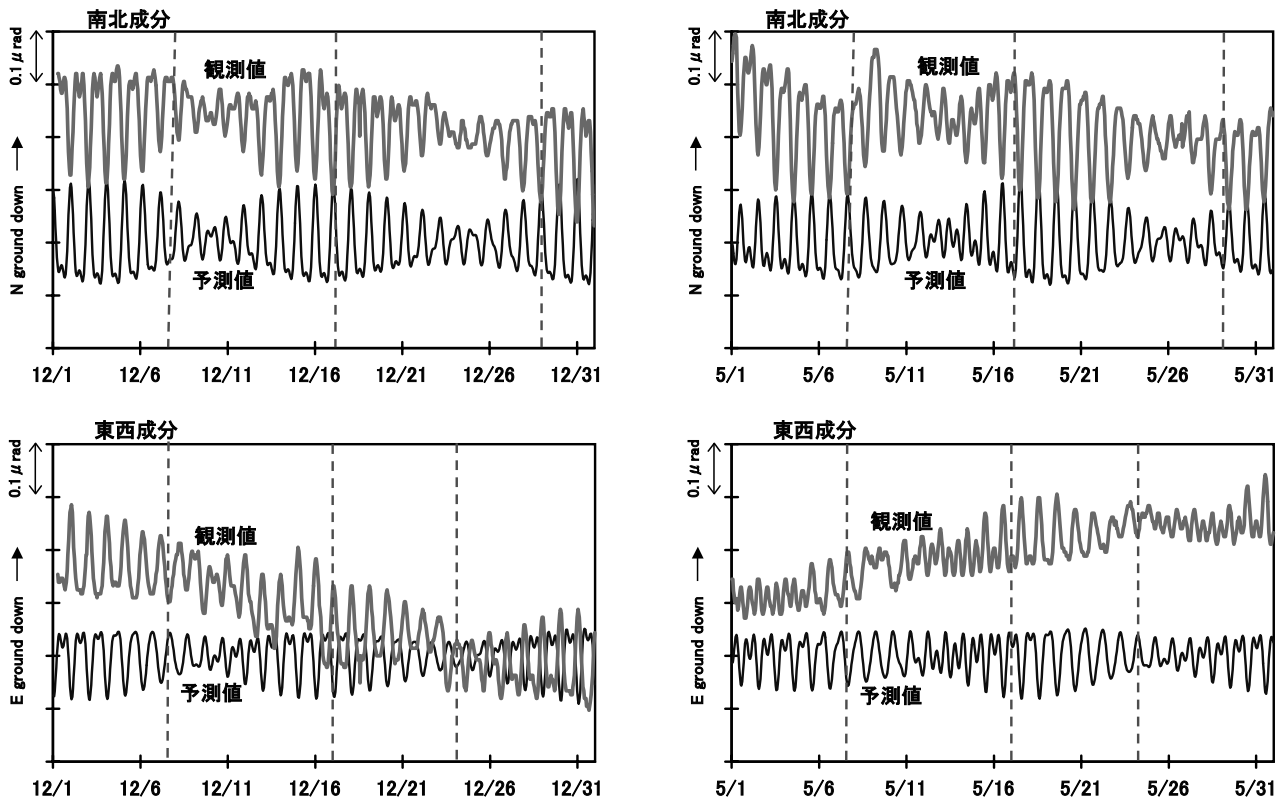


図2 駒ヶ岳観測点における観測値と予測値
左：2001年12月 右：2003年5月 上：南北成分 下：東西成分

じようなデータ波形が得られるはずである。

そこで、遠地地震による長周期の揺れを観測したデータを用いて、各観測点のデータ波形を比較し、設置方位の検証をおこなった。検証に利用した地震は、2003年5月21日19時44分(日本時間22日03時44分)にアルジェリア北部で発生したM6.8の地震である。

5. 検討結果

5.1. 潮汐変化による検討

(1) 駒ヶ岳観測点

降雨等による影響があまり認められない、2001(平成13)年12月と2003(平成15)年5月の観測データを用いて検討した。各期間における観測値と予測値の比較を図2に示す。全てのグラフは、それぞれ毎正時のデータを使用して作図している。左図が2001(平成13)年12月、右図が2003(平成15)年5月の結果である。また、それぞれ上図が南北成分、下図が東西成分を示している。な

お、図中の破線は、位相のずれを認識しやすいように引いたものである。いずれの期間とも、また南北、東西両成分とも位相がずれており、ほぼ反転していることがわかる。振幅については、それほど大きな差は認められない。

図3には、観測値と予測値のずれがよくわかるようにベクトル傾動図を示した。左上の図は2001(平成13)年12月4日24時間の傾動を示しており、それぞれ00時を原点にして1時間ごとにマークを付してある。予測値は、南東下りの傾動を示した後、北西下りに変わる長円を描いているが、観測値はそれとはほぼ180度反転した傾動を示していることがわかる。また、左下の2001(平成13)年12月2日~4日までの3日間、右上の2003(平成15)年5月17日の24時間、右下の2003(平成15)年5月17日~19日までの3日間の傾動においても同様である。

駒ヶ岳観測点は、先に述べたように、検出器のNが真北より東回りに約150度ずれているか、あるいは出力極

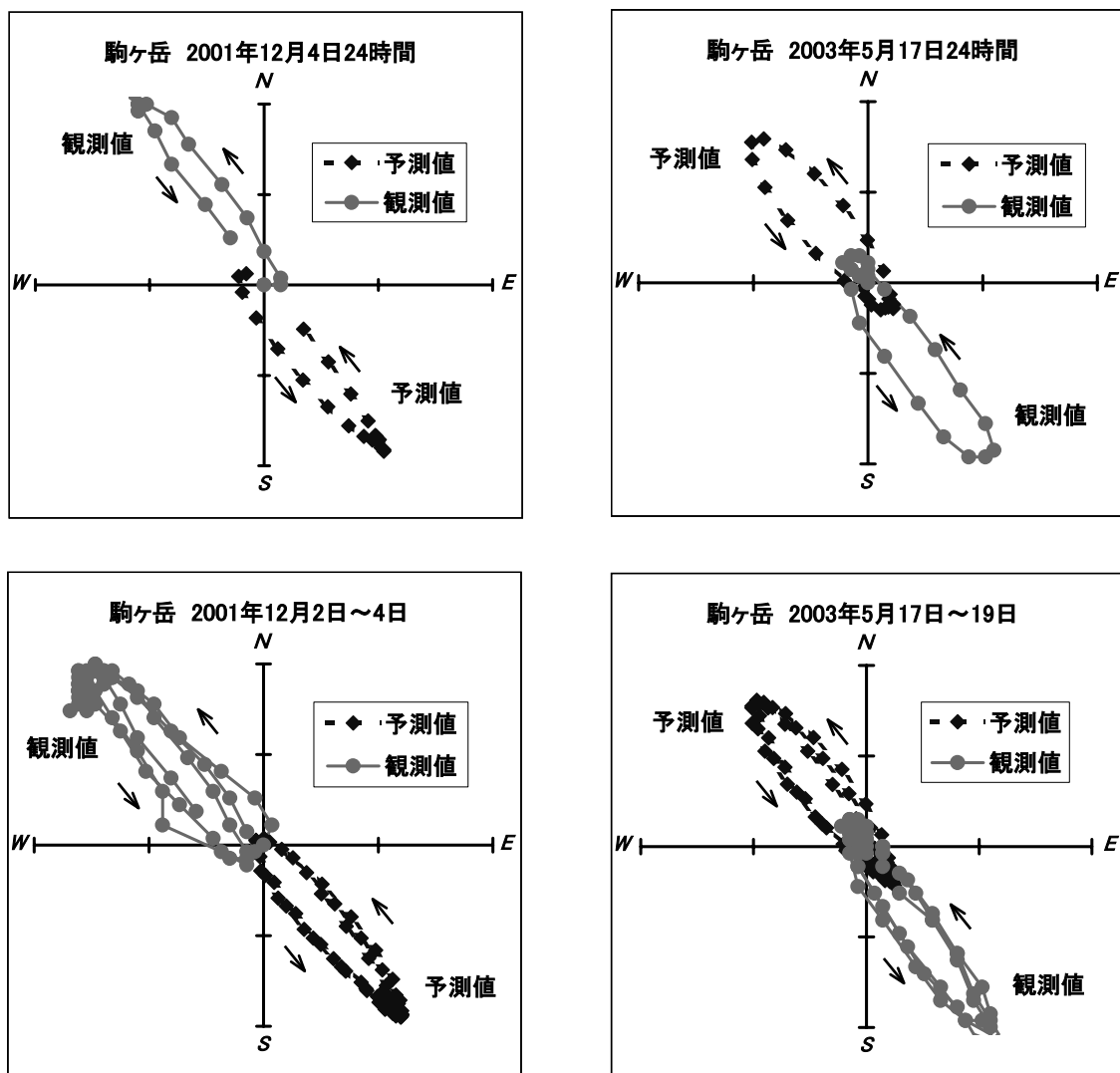


図3 駒ヶ岳観測点における観測値と予測値のベクトル傾動図

性が反転している(180度ずれている)可能性がある。そこで、観測データを東回り150度、および180度回転させた値に変換して、予測値と比較する。南北成分の観測値を y 、東西成分の観測値を x とすると、東回りに回転した時の南北成分 y' 、東西成分 x' との関係は以下のようになる。

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos & \sin \\ -\sin & \cos \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}$$

したがって、 $x' = x \cos \theta + y \sin \theta$ 、 $y' = -x \sin \theta + y \cos \theta$ の変換式が得られる。が150度の場合、 $x' = -0.866x + 0.5y$ 、 $y' = -0.5x - 0.866y$ 、が180度の場合には、 $x' = -x$ 、 $y' = -y$ となる。

図4に、上式により計算した150度変換値と180度変換値を予測値とともに示す。予測値と比較して、位相は150度変換値および180度変換値ともほぼ同じである。振幅については、180度変換値の方が予測値に近いようである。図5にはベクトル傾動図を示した。180度変換値はほぼ予測値と同様の傾動を示していることがわかる。2003(平成15)年5月17日~19日については、予測値と比較して180度変換値の方が若干大きな長円を描いているが、基本的に方位は合っていると考えられる。

したがって、駒ヶ岳観測点については、南北、東西両成分とも180度方位がずれていると結論できる。計器の設置ミスなのか、それとも配線ミスなのかは明確にはわからないが、出力極性を反転させることによって、ほぼ正確な観測データが得られると考えられる。

(2) 裾野観測点

裾野観測点においても、駒ヶ岳観測点と同様に検討した。裾野観測点は、降雨の影響はそれほど顕著ではないが、約 $0.8 \mu\text{rad}/\text{月}$ の北下がり、および約 $0.17 \mu\text{rad}/\text{月}$ の東下がりのドリフト的な変化と、原因不明な短周期の変化が定常的に認められる(代田ほか、2002b)。予測値、観測値、極性を反転させた180度変換値のベクトル傾動図を図6に示す。できるだけ潮汐以外の変動が少ない日を選んだが、とくに2001(平成13)年12月2日については予測値との差が大きい。しかしながら、明らかに変換値の方が予測値に近い傾動を示し、ほぼ180度変換値で方位は合っているものと考えられる。

したがって、裾野観測点についても、南北、東西両成分とも180度方位がずれており、出力極性を反転させることによって、ほぼ正確な観測データが得られると考えられる。

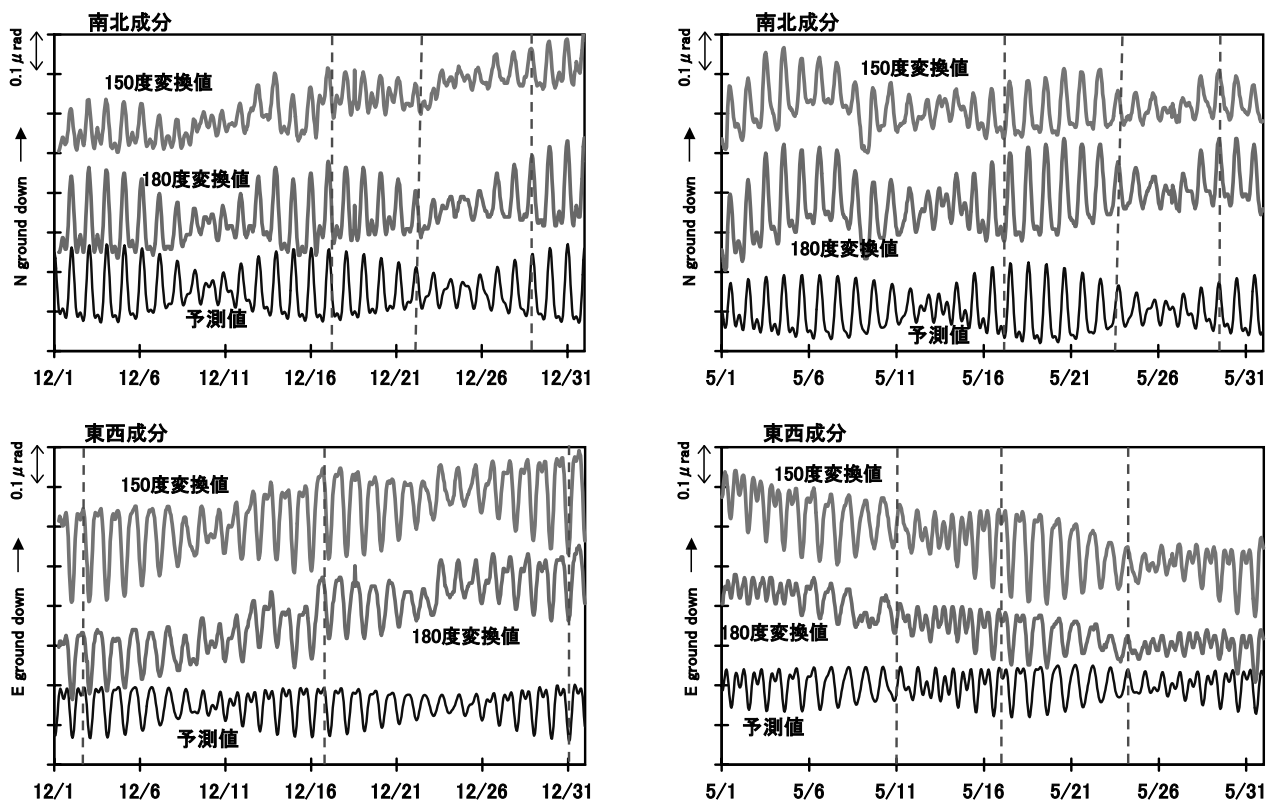


図4 駒ヶ岳観測点における150度変換値、180度変換値と予測値
左：2001年12月 右：2003年5月 上：南北成分 下：東西成分

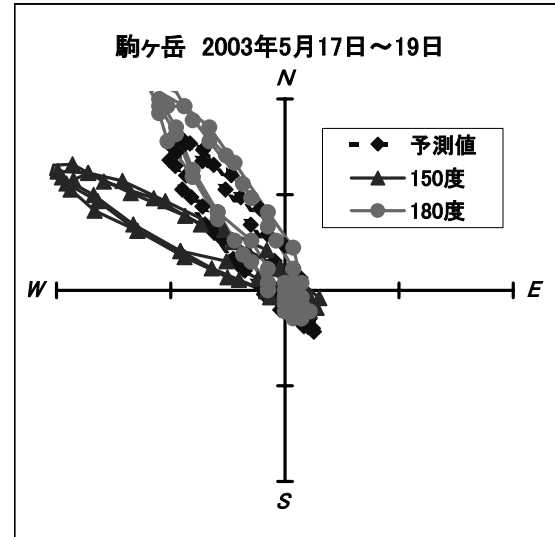
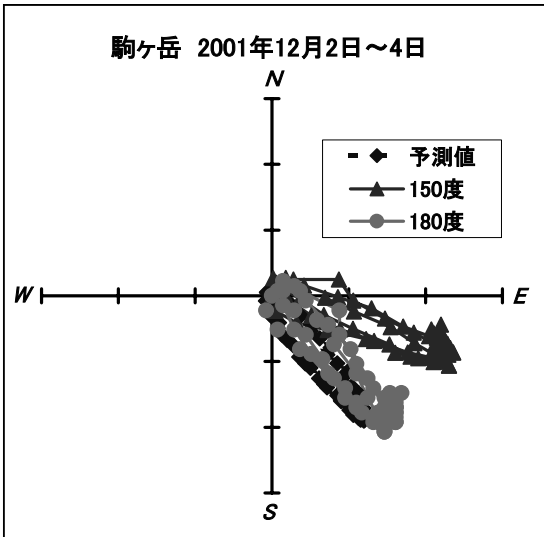
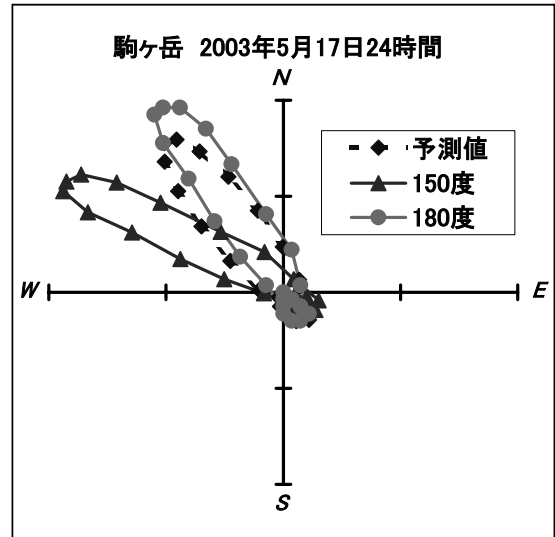
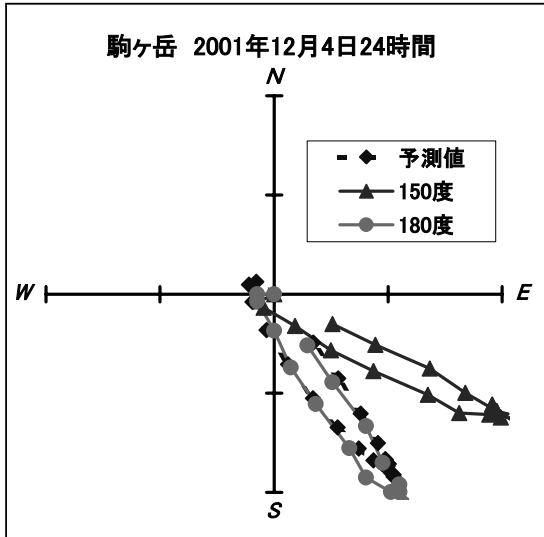


図5 駒ヶ岳観測点における150度変換値、180度変換値と予測値のベクトル傾動図

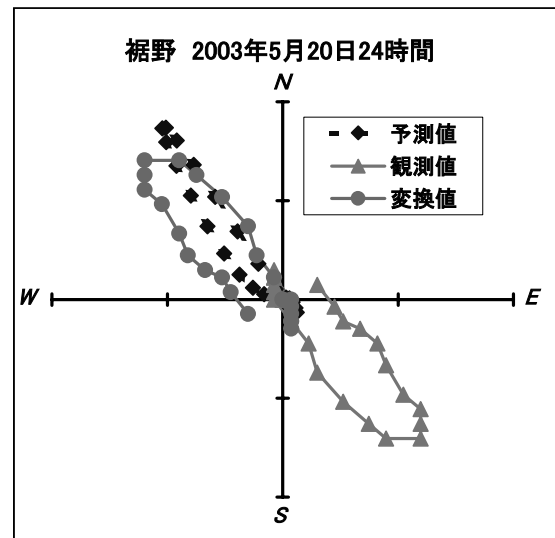
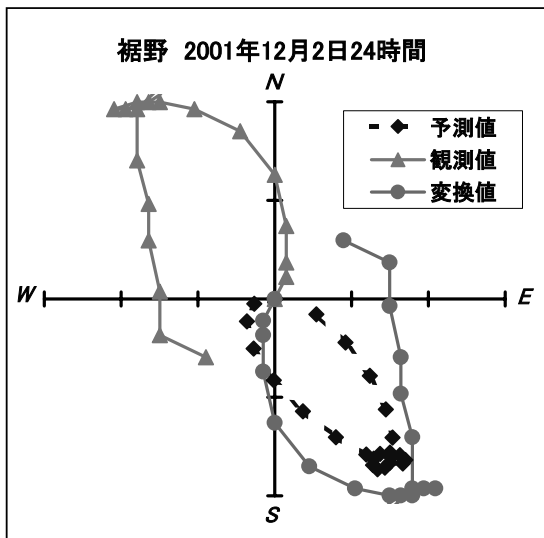


図6 裾野観測点における観測値、180度変換値と予測値のベクトル傾動図

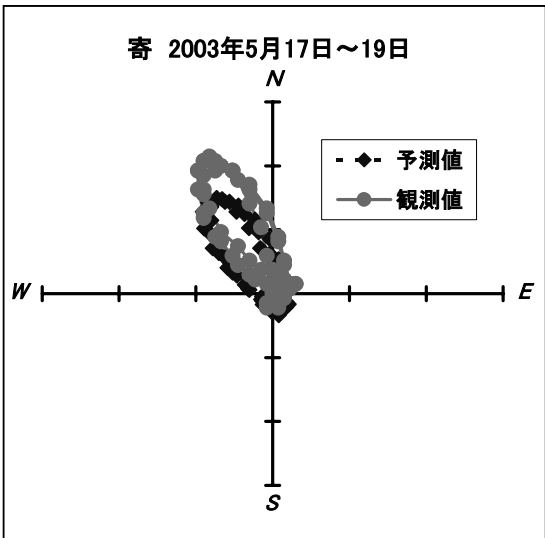
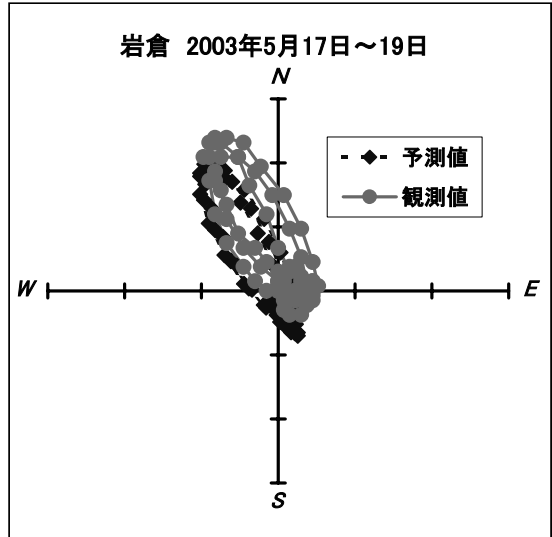
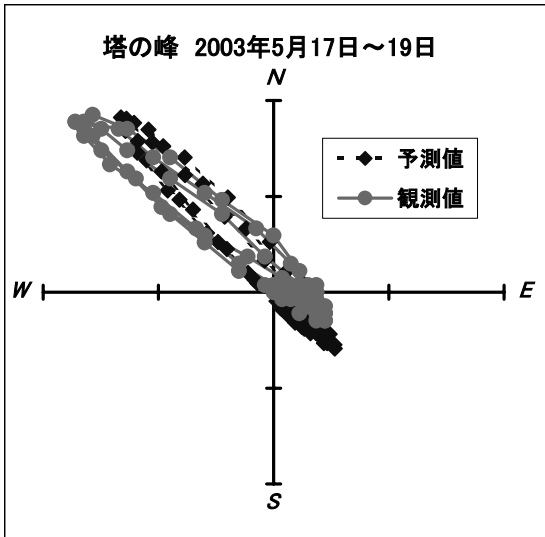
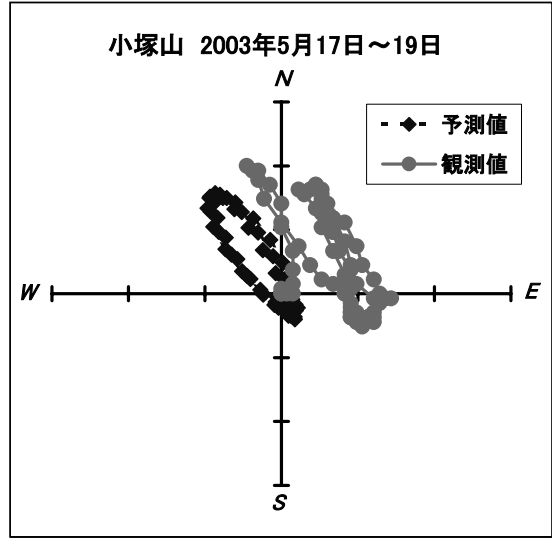
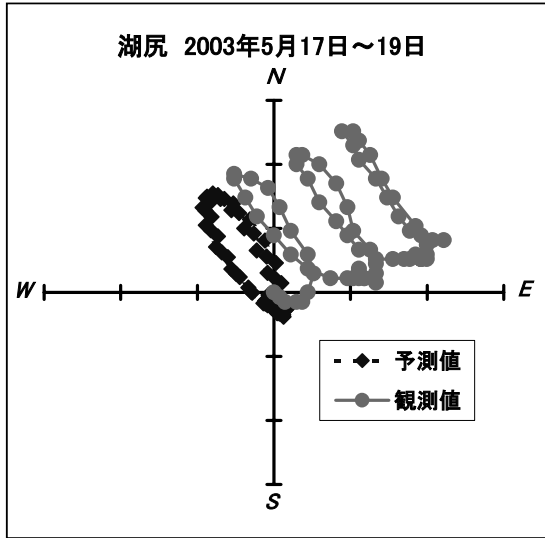


図7 湖尻、小塚山、塔の峰、岩倉、寄観測点における観測値と予測値のベクトル傾動図

(3) その他の観測点

湖尻、小塚山、塔の峰、岩倉、寄観測点におけるベクトル傾動図を予測値とともに図7に示す。期間は、2003(平成15)年5月17日~19日の3日間である。塔の峰、岩倉、寄の各観測点は、観測値と予測値がほぼ同様の傾動を示しており、ほとんど方位のずれはないものと考えられる。

湖尻観測点および小塚山観測点は、潮汐による長円を描きながら、それぞれ北東下がりおよび東下がりの変動が生じている。湖尻観測点および小塚山観測点は、降雨

によりそれぞれ北東下がりおよび東下がりの変動を生じることがわかっており(代田ほか、2002a) 潮汐による変動と降雨による変動が合わさったものと解釈できる。これら2つの観測点は降雨による影響が非常に大きく、1年を通じて全く影響のない期間はほとんど見られない。したがって、降雨による影響が少ない時期であっても、この程度の変動は生じてしまう。図7から、それぞれ1日ごとの潮汐変化を示す長円の方向は予測値とほぼ一致しており、これらの観測点においても、ほとんど方位のずれはないものと考えられる。

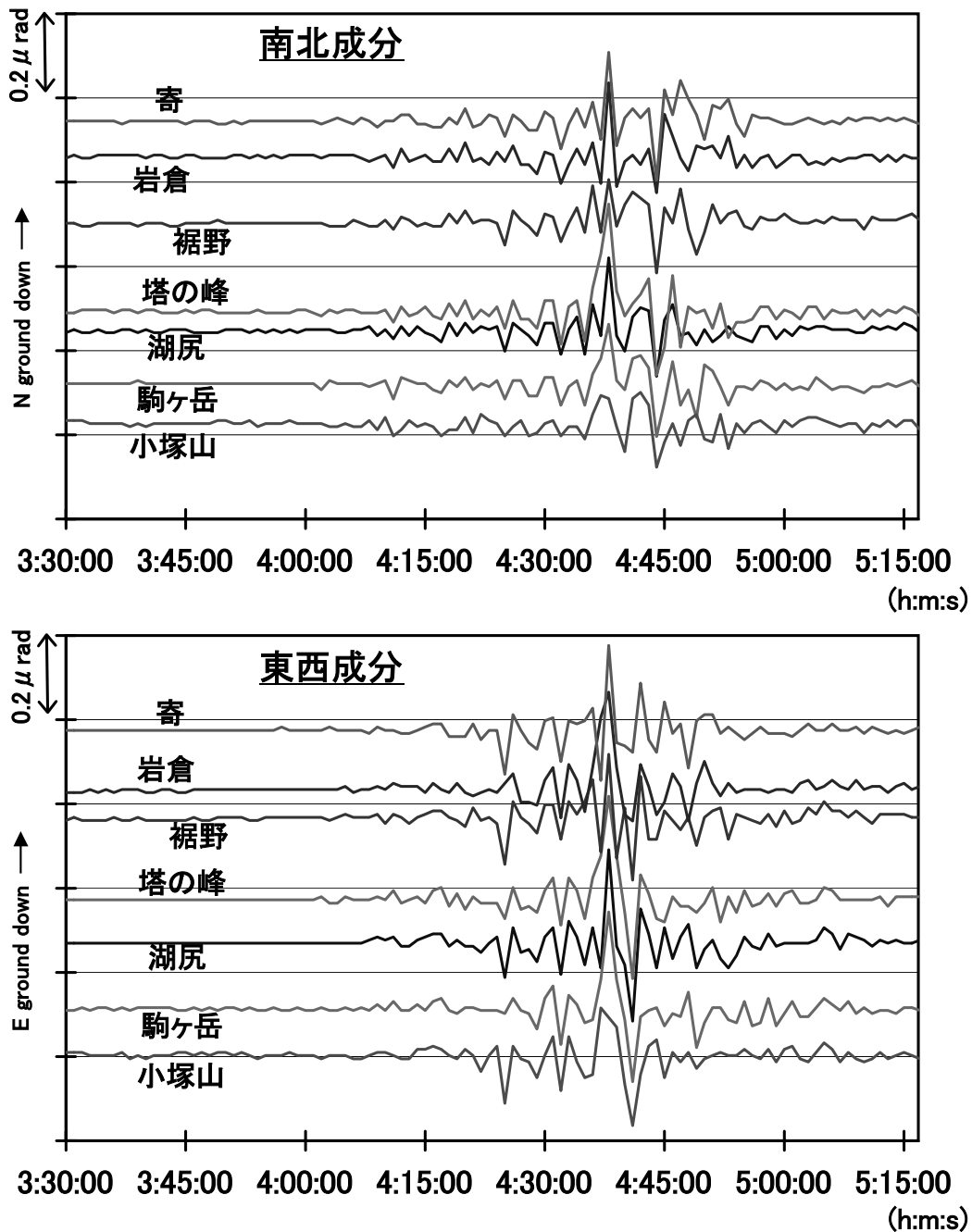


図8 遠地地震を捉えた傾斜データ
駒ヶ岳と裾野の傾斜データは180度変換値を用いている。

5.2. 遠地地震の観測データによる検証

潮汐変化による検討では、駒ヶ岳観測点と裾野観測点の出力極性が反転している結果となった。ここでは、遠地地震による長周期の揺れを観測したデータを用いて検証をおこなった。

各観測点において、2003年5月21日19時44分(日本時間22日03時44分)にアルジェリア北部で発生したアルジェリア ブーメルデス地震(M6.8)の地震波を捉えた傾斜データ(1分値データ)を図8に示す。なお、駒ヶ岳観測点と裾野観測点のデータは、出力極性を反転してある。各観測点とも、地震発生後15分程度経過した04時頃から変化が現れ、04時40分頃に最も大きなピークがある。同じ地震波を捉えたといっても、観測点における地形等の影響により、必ずしも完全に一致するわけではないが、全ての観測点がほぼ同様の波形を示していることがわかる。したがって、遠地地震による観測データからも、潮汐変化による検討結果と同様に、駒ヶ岳観測点と裾野観測点の出力極性が反転している(180度ずれている)ことが示された。

6. おわりに

温泉地学研究所で実施している傾斜観測点の設置方位について、平常時に観測される潮汐変化、および遠地地震による長周期の揺れを捉えたデータから検証した結果、駒ヶ岳観測点と裾野観測点の出力極性が反転していることがわかった。この原因については明確ではないが、計器の設置ミスや配線ミスなどが考えられる。

駒ヶ岳観測点においては、これまでも出力極性が反転している可能性が高いと考え、観測データの出力を反転させて対応してきた。箱根火山において大きな傾斜変動が生じた2001年の活動に関する報告(代田ほか、2002b)のなかでおこなった解析についても、駒ヶ岳観測点、裾

野観測点とも極性を反転させたデータを用いている。今回はこの報告と前後したが、詳細な解析に先だち傾斜計センサー方位の検証をおこなった。今後は特に記さない限り、駒ヶ岳観測点と裾野観測点の傾斜データは、極性を反転させて使用する。

参考文献

- 代田寧、伊東博、棚田俊收、八巻和幸 (2002a) 神奈川県西部地域における最近2年間の傾斜観測結果, 温地研報告, 33, 43-48.
- 代田寧、棚田俊收、伊東博 (2002b) 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.
- Matsumoto, K., Sato, T., Takanezawa, T. and Ooe, M. (2001) GOTIC2: A program for computation of oceanic tidal loading effect., J. Geod. Soc., Japan, 47, 243-248.
- 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.
- 温泉地学研究所 (2002) 2001年箱根火山の群発地震活動について, 火山噴火予知連絡会会報, 80, 45-48.
- Sato, T. and Hanada, H. (1984) A program for the computation of oceanic tidal loading effects 'GOTIC', Publ. Int. Lat. Obs. Mizusawa 18, 29-47.
- 棚田俊收、代田寧、伊東博、袴田和夫 (2002) 2001(平成13)年箱根火山の群発地震活動について, 温地研報告, 52, 1-4.
- 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(3), 87-102.