

# 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

棚田俊收<sup>\*</sup>、伊東 博<sup>\*</sup>、代田 寧<sup>\*</sup>、板寺一洋<sup>\*</sup>

The GPS observation results and its features in the western area of Kanagawa prefecture  
by

Toshikazu TANADA<sup>\*</sup>, Hiroshi ITO<sup>\*</sup>, Yasushi DAITA<sup>\*</sup> and Kazuhiro ITADERA<sup>\*</sup>

## Abstract

We have carried out continuous GPS observation in the western area of Kanagawa prefecture. The purpose of these networks is to detect the pre-, co- and post-seismic deformations of the hypothetical M7 class earthquake designated as the "Western Kanagawa Prefecture Earthquake (WKE)", and to monitor Hakone volcano activity.

To better understand the crustal deformation, we attempted to assess the changes of baseline length, particularly their periodicity and noise-level based on the results of the GPS survey (1992-2001).

We found remarkable characteristics to be as follows:

- (1) Shrinkage of baseline length was about 0.5cm per year at Yamakita-Manazuru (1995-2001), 0.8-1.0 cm per year at Hakone-Manazuru (1995-2000) and about 0.5 cm per year at Yamakita-Nakai (1995-2001). The dilation of baseline length was about 0.4cm per year in Hakone-Yamakita (1996-2001). However, most significant of baseline length was not seen at Hakone-Nakai (1995-2000).
- (2) Change of shrinkage and dilation tendency in baseline length trend was observed at Hakone-Yamakita in 1995 and Nakai-Manazuru in 1997-1998. At Hakone-Manazuru, Hakone-Nakai, and Nakai-Manazuru, the tendency of baseline length change was reversed from dilation to shrinkage since March, 2000.
- (3) Examining the amount of the noise level of observation, the basic judgment value of unusual change was accepted to be the average value  $\pm$  standard deviation ( ). These estimates are considered to be an effective means for making successful initial judgments for unusual changes of crustal deformation and volcanic activities

## 1. はじめに

温泉地学研究所は、「神奈川県西部地震」の予知研究や箱根火山の活動モニタリングを推進するために、箱根火山を含む神奈川県西部地域に地震活動・地殻変動観測網を展開している(温泉地学研究所、1999)。一般的に、地震や火山活動にともなう地殻変動は、ある範囲内で、短期間で明瞭な変動を示すことが多い。このような地殻変動をもれなく捉えるためには、多種多様な手段を用いて、きめ細かく連続的に観測をする必要がある。そのため、温泉地学研究所は、地盤の傾斜を計る傾斜観測や地殻歪の状況を知る地下水水位観測、地面の伸び縮みを測る光波やGPS測量を実施している。

観測された地殻変動データは地殻の歪の進行状況を示し、その傾向や変化率を知ることが地震・噴火予知を成功

させるための有効な手段と考えられている。とくに、歪の進行状況が急変するような異常な変化を捉えるためには、ノイズレベルを越える変化を見逃してはならない。そこで、本論では(1)1992(平成4)年から開始したGPS測量の観測結果をもとに基線長の変化や周期性を評価し、(2)異常変化発生時における判断資料を作成するために基線ごとのノイズレベルやノイズレベルを越える異常値の設定について検討した。

## 2. 観測目的

当所は1993(平成5)年から1994(平成6)年の2年計画でGPS観測点を県西部地域に4点設置し、1994(平成6)年以降6本の基線長変化を連続的に観測している(図1)。この観測網は、神奈川県西部地震に関わる地殻変動を捉える

<sup>\*</sup> 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  
論文, 神奈川県温泉地学研究所報告, 第33巻, 31 - 42, 2002.

ために、その予想震源域を取り囲むように配置されている。また、箱根火山における地殻変動監視の観点から、4点のうち1点を箱根仙石原に設置した( 棚田ほか、1995 )。

また、GPS観測網内には、地下水位観測井や傾斜計観測点、光波測量網が配置されている。これは、GPS測量によって神奈川県西部地域全体を把握し、他の地殻変動観測項目の変化と比較できるように観測配置を工夫した結果である( 棚田ほか、1995 ; 温泉地学研究所、1999 )。

### 3. 観測方法および状況

測量システムは、「GPS連続自動観測システム」と呼ばれ、観測・通信・データ処理・データ表示の4システムから構成されている。このシステムによる観測方式は1994(平成6)年以来継続使用されている( 棚田ほか、1995 )。

観測機器は、1994(平成6)年以降、4観測点とも同一のGPSアンテナとトリプル社製SSE型受信機を使用している。通信は、一般電話回線を用いて観測スケジュールの設定やデータ収集をおこなっている。データ処理は、トリプル社「TRIMVEC-PLUS Ver.E」を用いて2周波二重差処理の解析をおこなっている。これらの処理は2台のパソコン(IBM5580 MS-DOS版)を用いている。

#### 3.1. 観測状況

観測時間は1回当たり6時間、観測回数は1日2回とした。追尾したGPS衛星は、できるだけ同一のものになるようにした。観測期間の大部分では、SA(selective availability: 選択利用性)が作動しており、GPS衛星の軌道情報の質やC/Aコード等のタイミングが劣化しており、解析精度が下がる可能性がある( 土屋、辻、1992 )。

真鶴観測点では真鶴町役場屋上にアンテナが固定されていたが、1997(平成9)年夏頃GPSアンテナ直上に防災無線アンテナが設置された。そのため、GPS電波が受信できなくなり、同年9月3日にGPSアンテナを移動させた。なお、1993(平成5)年当時、町役場の北側に山林があったが、数年後伐採されたことで展望は開け、電波受信範囲は広がった。

真鶴以外の3観測点では、観測状況に特別な変化はない。なお、落雷等のモデムや外電源部の故障、GPS受信機ソフトや通信ソフトのダウン等による欠測が生じることもあったが、短期間で復旧させた。

#### 3.2. GPS週番号ロールオーバー問題への対応

GPS衛星と受信機は、1980年1月6日から週を数えて、時間の経過を把握している。ゼロから始まった週番号を1023までカウントすると、1999年8月21日に再度ゼ

ロに設定され、GPS受信機が週番号を誤認する可能性が指摘された(GPS週番号ロールオーバー問題)。そのため、温泉地学研究所は1999(平成11)年8月、4台の受信機すべてのアップグレードをおこなった。

### 4. 観測結果

図2は自動処理による2周波二重差処理の結果をまとめた1992(平成4)年~2001(平成13)年1月6日までの基線長および各ベクトル成分の変化である。

まず、1992(平成4)年から1994(平成6)年中旬までのデータの乱れは、以下のことに起因している。1992(平成4)年に観測を開始した真鶴と箱根観測点はSST型GPS受信機を、山北と中井観測点は1993(平成5)年からSSE型を用いていた。SSE型の方がSST型より上位機種で、暗号化されたPコードの取り込み方法が異なる。そのため、異なる型の受信機データを組み合わせて基線解析をおこなうこととなり、解析結果が安定しなかったと考えられる。さらに、電波を受信する最低観測仰角を調節するなどの試行錯誤による解の乱れも含まれている。1995(平成7)年以降、GPS受信機が統一されたことにより、全基線長で安定した解が得られるようになった。

次に、真鶴観測点に関わる3基線(山北-真鶴、箱根-真鶴、中井-真鶴)において、1997(平成9)年前半からデータの乱れが多くなっている。これは、前章で述べたように、GPSアンテナ直上の障害物によりサイクルスリップ等

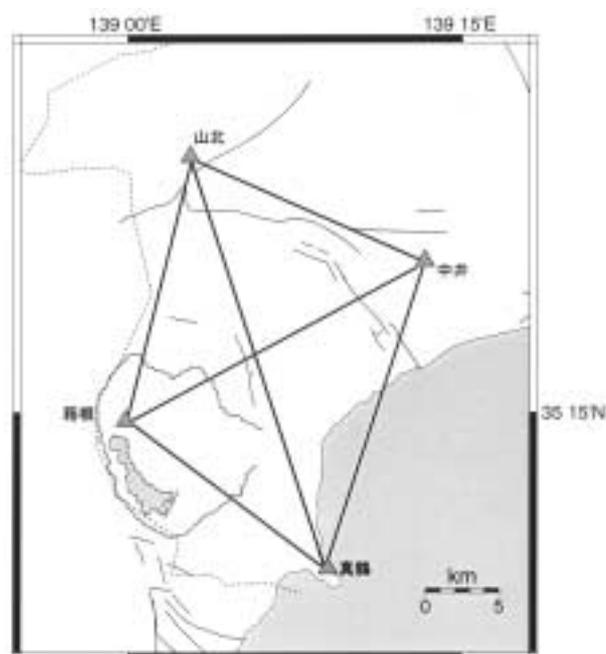


図1 GPS観測点分布  
Fig.1 Observation map of GPS stations.

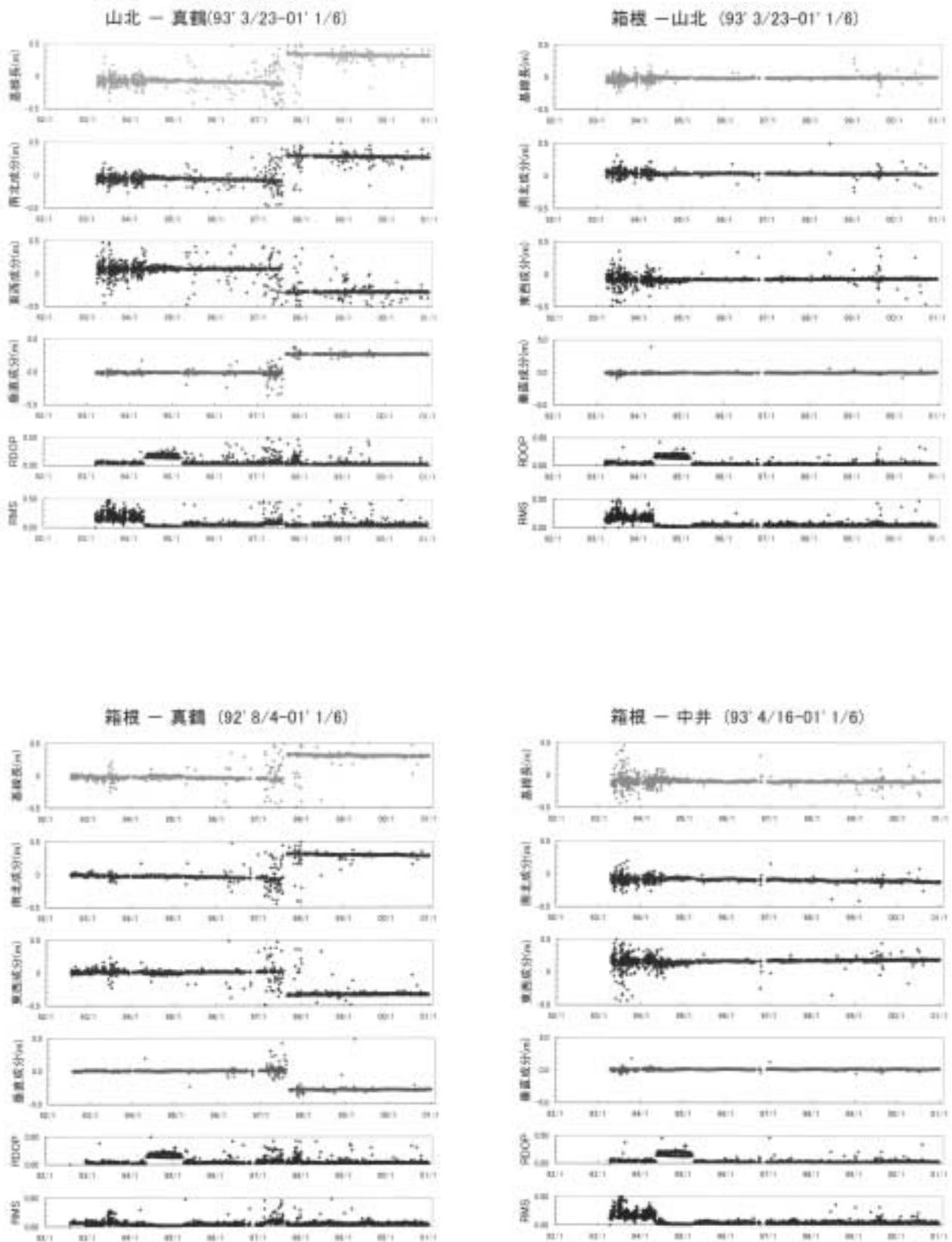


図2 1992-2001年1月までのGPS測量結果。上から基線長、南北、東西、垂直成分を示す。  
 Fig.2 Observation results from 1992 to January 2001. This figure shows baseline length, North-South(NS), East-West(EW) and Up-Down components in an order from the top.

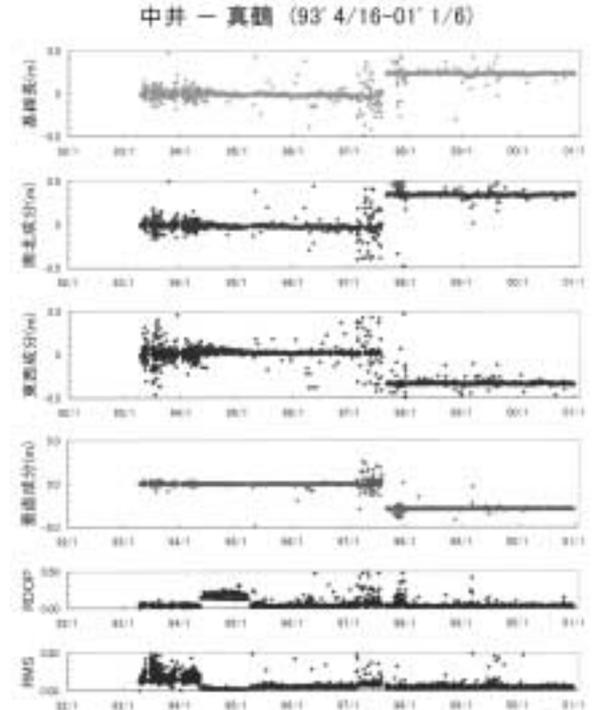
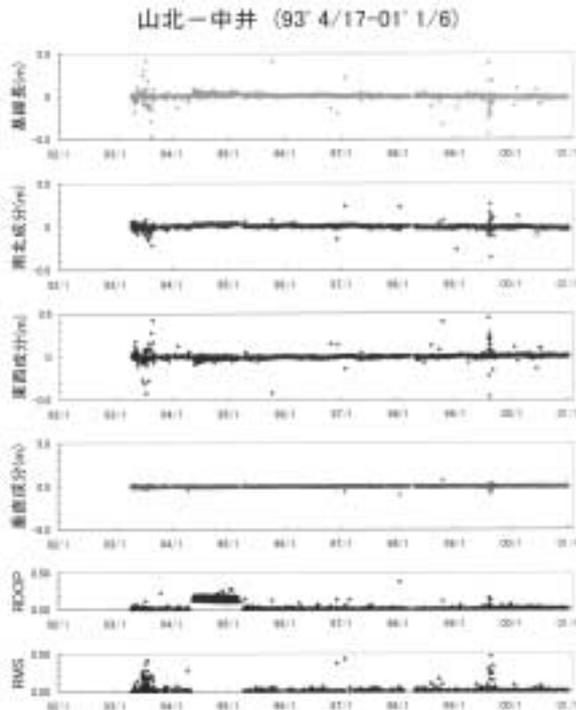


図2 ( 続き )  
Fig.2 ( Continued)

の電波障害が発生したためである。同年9月3日にGPSアンテナを移動させた結果、基線長や各成分変化において40cm前後のオフセットが生じた。なお、表示用コンピュータで1997年9月前後の変化図等を表示する際、このオフセットのために数cm程度の変化が隠されてしまい、中長期的変化の判別に支障が生じた。

#### 4.1. 基線長およびベクトル成分変化

観測結果の分析は、受信機の統一や観測環境の改善によって解析結果が安定し始めた1995(平成7)年以降からおこなうこととした。また、真鶴GPSアンテナ移動にともなう影響を取り除くために、1997(平成9)年から1998(平成10)年までのデータを手作業で平滑に接続した。図3は真鶴GPSアンテナの影響を取り除いた基線長および各ベクトル成分の変化である。なお、基線長等の変化は、観測開始年月をゼロとして相対的に表示した。

(1)山北 - 真鶴基線では、基線長が1995(平成7)年から1997(平成9)年までの約2年間で2cm程度(1cm/年)、1998(平成10)年から2001(平成13)年までの3年間に約3cm(1cm/年)縮んでいた。ベクトル成分ごとにみると、南北成分が年間1cm程度縮んでいるが、東西成分においては5年間で2cm前後(0.4cm/年)の伸びであった。垂直成分においては、ほとんど変化は認められなかった。

(2)箱根 - 山北基線では、基線長が1994(平成6)年から1995(平成7)年までの約2年間で2cm程度(1cm/年)の縮みが観測された。しかし、1996(平成8)年から2001(平成13)年までの5年間に約2cm(0.4cm/年)の伸びを示した。南北成分では、1994(平成6)年から1995(平成7)年までの約2年間で2cm程度(1cm/年)の伸びを、1996(平成8)年から2001(平成13)年までの5年間に約2cm(0.4cm/年)の縮みを示した。東西成分では、ほとんど変化は認められなかった。一方、垂直成分においては、1995(平成7)年から2001(平成13)年までの6年間に1cm程度(0.2cm/年)、箱根観測点が山北観測点に対し高くなっていることがわかった。

(3)箱根 - 真鶴基線では、基線長が1995(平成7)年から1997(平成9)年までの約2年間で1.5cm程度(0.8cm/年)、1998(平成10)年から2000(平成12)年までの2年間に約2cm(1cm/年)縮んだ。2000(平成12)年3月から6月までに基線長は2cm縮み、その後、伸びに反転した。成分ごとにみると、1995(平成7)年から1997(平成9)年までの約2年間は、南北成分は3cm程度(1.5cm/年)の縮みを、東西成分は1cm程度(0.5cm/年)の伸びを示した。垂直成分は箱根観測点が真鶴観測点に対し1cm程度(0.5cm/年)高くなっていた。1998(平成10)年から2000(平成12)年までの2年間には、南北成分は2cm程度(1cm/年)の縮みを、

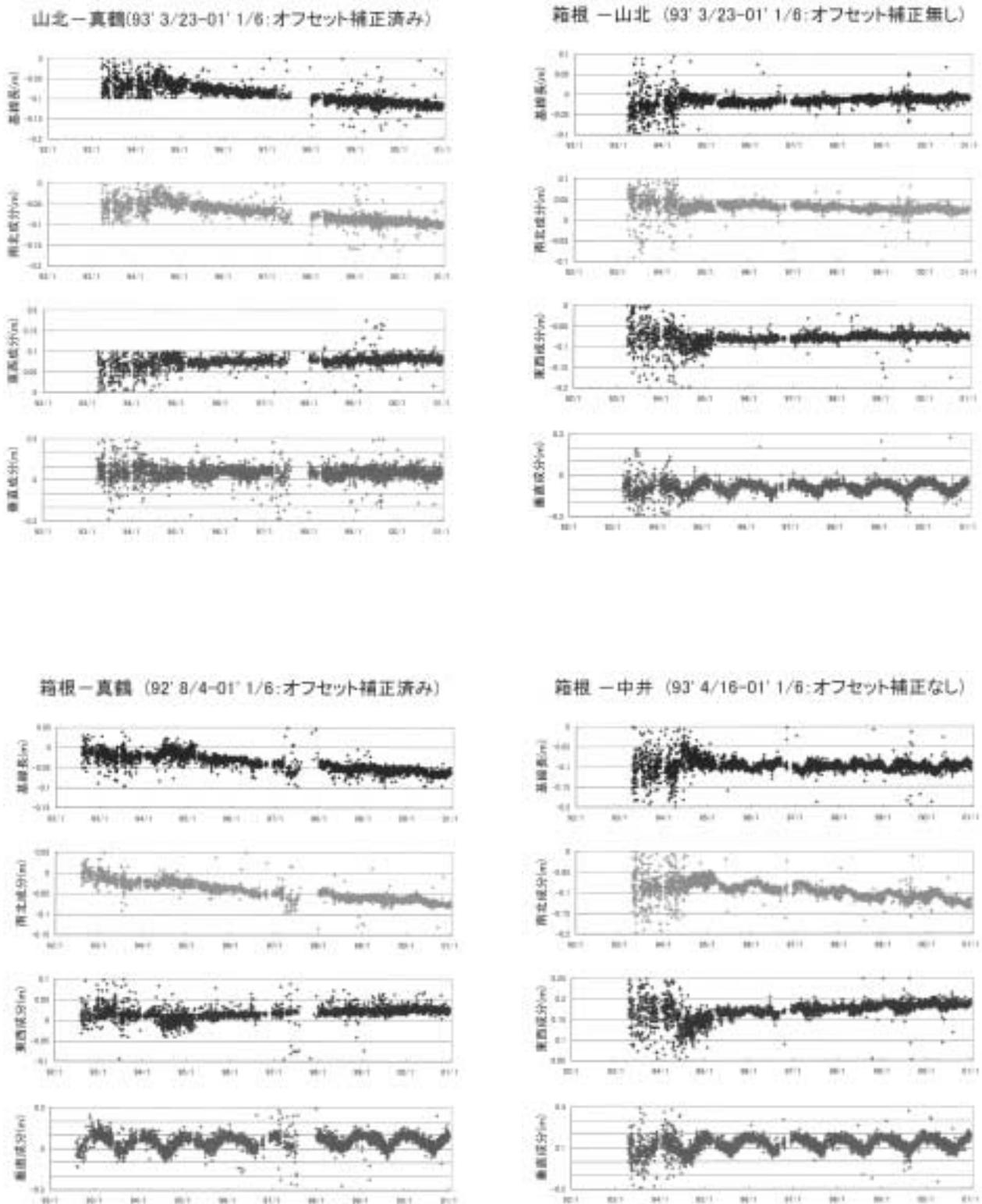


図3 真鶴観測点のアンテナ移動の除去したGPS測量結果。基線長などの変化は、観測開始年をゼロとして、相対変化量で示した。  
 Fig.3 Change of the baseline length and each component, which removed the influence of the Manazuru GPS antenna offset. Change of baseline length and each component displayed observation start years relatively as zero.

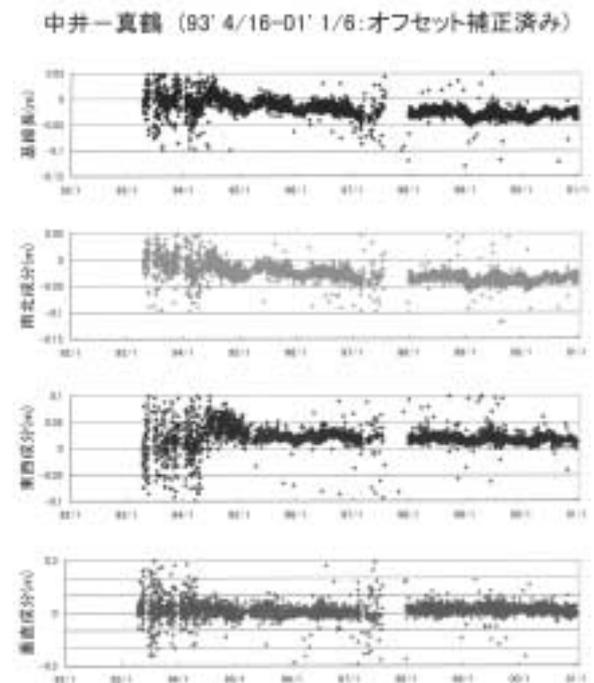
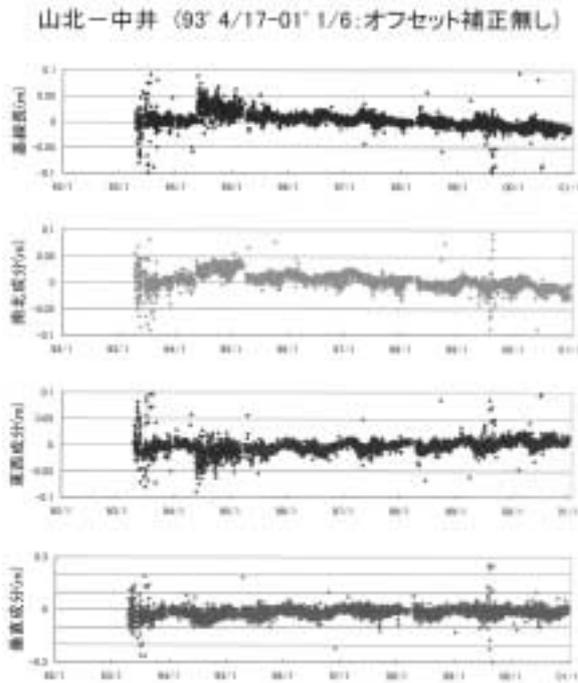


図3 ( 続き )  
Fig.3 ( Continued)

東西成分は1cm程度(0.5cm/年)の伸びを示した。垂直成分はほとんど変化が認められなかった。2000(平成12)年3月以降、南北成分は3cm程度、東西成分は1cm程度の縮みを記録した。

(4) 箱根 - 中井基線では、1995(平成7)年から2000(平成12)年までの5年間で基線長はほとんど変化していなかった。しかし、この期間中に南北成分は6cm程度(1cm/年)の縮みを、東西成分は3cm程度(0.5cm/年)の伸びを示した。垂直成分は箱根観測点の中井観測点に対し2cm程度(0.3cm/年)高くなっていった。しかし、2000(平成12)年3月以降、基線長は伸びに転じ、南北成分は縮み傾向であることがわかった。東西と垂直成分には顕著な変化はない。

(5) 山北 - 中井基線では、1995(平成7)年から2001(平成12)年までの6年間で基線長は約3cm(0.5cm/年)縮んでいた。南北成分は約4cm(0.7cm/年)縮み、東西成分は約2cm(0.3cm/年)伸びを観測した。

(6) 中井 - 真鶴基線では、1995(平成7)年から1997(平成9)年までの約2年間で1.5cm程度(0.8cm/年)縮んだ。しかし1998(平成10)年から2000(平成12)年までの2年間ではその傾向は鈍化し、2001(平成12)年以降反転した。南北成分でも同様の傾向が認められ、1995(平成7)年からの約2年間で約2cm(1cm/年)程度の縮みを観測したが、1998(平成10)年からの2年間ではその傾向は鈍化し、2001(平成12)年以降反転した。東西や垂直成分においては、1995

(平成7)年から2001(平成13)年までの間、ほとんど変化が認められなかった。

#### 4.2. 基線長変化の周期性

時間領域と周波数領域の両面から、周期性について検討してみた。時間領域の検討は図3からおこなった。周波数領域の検討は、フーリエ変換による周波数解析をおこなった(図4)。解析期間は1995(平成7)年から1997(平成9)年までの約2年間である。この期間中の観測間隔は1日2回なので、フーリエ解析におけるナイキスト振動数は1日となる。なお、図4には卓越周波数を強調するために、補助線を加えた。

(1) 山北 - 真鶴基線では、フーリエ解析からは、卓越周期が90 ~ 100日と160 ~ 170日付近に存在した。

(2) 箱根 - 山北基線では、フーリエ解析によると卓越周期は50や100、150、210日付近に認められた。また、図3の垂直成分に年周期変化が認められた。変動幅は10から15cm程度で、垂直成分値は2月頃の冬場に最も高く、8月頃の夏場に最も低くなっている。

(3) 箱根 - 真鶴基線では、卓越周期が50や80、130日付近に認められた。また、図3の垂直成分に変動幅20cm程度も年周期変化が認められた。垂直成分値は2月頃の冬場が最も高く、8月頃の夏場に最も低くなっている。

(4) 箱根 - 中井基線では、明瞭な卓越周期は認められな

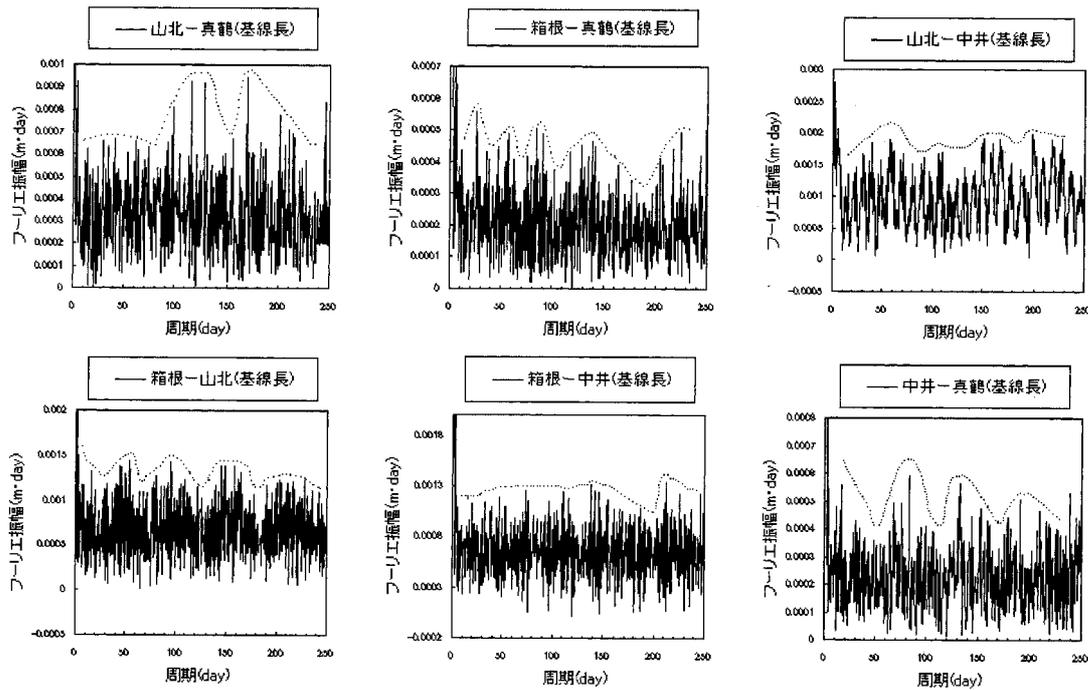


図4 基線長のフーリエ解析の結果

Fig.4 FFT results of baseline length. Analysis period is for about two years from 1995 to 1997.

かった。しかし、図3の基線長や南北・東西・垂直成分に、年周期変化が確認できた。基線長は2月頃に縮む傾向が見られた。垂直成分の値は2月頃の冬場に最も高く、8月頃の夏場に最も低くなり、その変動幅は15cm程度であった。(5)山北 - 中井基線では、3月ごろにピークを持つようなノコギリ歯状の年周期変化が基線長や各成分に認められた(図3)。フーリエ解析からは明瞭な卓越周期は認められなかった。

(6)中井 - 真鶴基線では、卓越周期は70や130日付近に認められた。また、図3からは8月ごろにピークを持つような年周期変化が基線長や各成分に認められた。

中井観測点に関わる3基線(山北 - 中井、箱根 - 中井、中井 - 真鶴)において、ほぼ振幅数cm程度の年周期変化が認められる。中井観測点は大磯丘陵中央部(標高73m)に位置する地震・傾斜観測施設内に設置されているため、十分な展望を得られなかった。そのために、10m程度のコンクリートポールを建て、GPSアンテナをポール先端に固定した。これによって展望は改善されたが、さらに観測環境改善のために、最低観測仰角を30度とした(他の観測点は15度)。年周期の原因を特定することは難しいが、アンテナ設置状況特有の影響があらわれているのかもしれない。

さらに、電離層や大気的气象条件などによって、年周期が発生すると考えられるが、詳細な検討については次回におこなうこととする。

#### 4.3. RDOP や位相の RMS と基線長との関係

解析結果の誤差を示すRDOP(relative dilution of precision)や位相のRMS(root mean square)と基線長との関係を検討してみた。基本的にはRDOPやRMSは値が大きくなるほど解析精度が悪いと考えられている(土屋、辻、1992)。

RDOPやRMSと基線長の相対変化との関係を図5に示した。全体的としては、両パラメータが0.1以下と小さくても、基線長の相対変化が0.1m以上大きくなるのがわかった。そのため、RDOPやRMSの解析精度を評価し、基線長からノイズとして除去する方法は難しいと判断した。

#### 5. 基線長変化の考察

「4.1. 基線長およびベクトル成分変化」で述べた各基線長変化を、その傾向ごとに分類すると以下のようになり、その原因について考察した。

(1)基線長の縮みは、山北 - 真鶴間で年間1cm程度(1995 ~ 2001年)、箱根 - 真鶴間で年間0.8から1cm程度(1995 ~ 2000年)、山北 - 中井間で年間0.5cm程度(1995 ~ 2001年)であった。このような縮み方向はフィリピン海プレートによる圧縮場の形成に関与していると考えられる。相模湾トラフ北部でのプレート相対運動速度は2.7cm/年(Seno *et al.*, 1993)であるが、今回得られた基線長の縮み率は相対運動速度の半分以下であった。これは国土地理院のGPS観測から得られた伊豆半島北西部や付け根部分において歪みが小さいことと一致しており、伊豆半島と本州

との衝突に伴う地殻の内部変形が滞っている状態を示していると考えられる(多田、鷲谷、2001)。

(2) 基線長の伸びは、箱根 - 山北間で年間 0.4cm 程度(1996 ~ 2001 年)であった。国土地理院の G P S 観測によると、フィリピン海プレートはユーラシアプレートに対して、北西方向に進んでいるが、伊豆半島では西ないし西北西方向に運動していることがわかっている(鷲谷、1998)。Sagiya (1999)は、伊豆半島がその付け根を支点として、時計回りの回転運動をしながら駿河湾へと沈み込んでいると考えた。今回得られた箱根 - 山北間の伸びは、回転運動の影響を受けた箱根 G P S 観測点と影響を受けない山北 G P S 観測点の相対的運動方向の違いによって生じたと思われる。

(3) 箱根 - 中井間(1995 ~ 2000 年)では、基線長の変化はほとんど見られなかった。両 G P S 観測点は地質学的には明らかに異なる構造に位置するが、両点はテクトニックな応力場でほぼ同じ方向の速さで運動していると思われる。

(4) 基線長の伸縮傾向の反転が、次の基線で観測された。箱根 - 山北間では 1995(平成 7 年)を境として、基線長が縮みから伸びに変化していた。また、中井 - 真鶴間では 1997(平成 9 年)から 1998(平成 10 年)を境として基線長の縮み傾向が停止した。箱根 - 真鶴や箱根 - 中井、中井 - 真鶴間の基線長は 2000(平成 12 年)3 月ごろを境として縮みから伸びに反転した。

同様な傾向が、小田原に設置された体積歪計にもあらわれている。Yoshikawa *et al.* (2001)によると、体積歪計の記録は長期的なトレンド変化は 1990 ~ 1996 年、1996 ~ 1998 年、1999 年以降の 3 期間に分類できた。彼らは、この分類結果を湯河原の体積歪計記録と比較し、これらの変化はテクトニックな応力を反映した結果であると述べている。

当所の G P S 測量や体積歪計の観測結果に対応するような地震活動としては、次のものが挙げられる。1997(平成 9 年)頃から神奈川県西部地域の地震活動が低下している(例えば、棚田ほか、2001)。1994(平成 6 年)箱根外輪山南縁で M 4.8 の地震が発生した(伊東ほか、1995)。丹沢山地では、1996(平成 8 年)に M 4.0 ~ 5.8 の地震が 3 個、2000(平成 12 年)には M 4 クラスの地震が 5 個発生した(棚田ほか、2001)。2000 年三宅島の地震・火山活動の影響を受けて、箱根火山における地震活動が 2000 年以降増加した(棚田ほか、2001; 棚田、2001)。これらの地震活動は G P S 基線長変化が反転する時期もしくは反転後に発生しており、このような相関は今後とも注目すべきである。

## 6. 観測ノイズレベルにもとづく異常変化発生時の判断値

一般的に、基線長に含まれるノイズは、衛星の軌道や電波の伝搬、電離層、多重伝搬、大気などの影響がある(日本測地協会、1989)。また、アンテナを設置している建物自身の伸び縮みや観測点間の標高差による影響も考えられる。このような複数の要素が関連して発生するノイズを可能な限り除去し、地殻変動だけを検出することは G P S 観測の重要な課題である。

たとえば、国土地理院は衛星の軌道を別のデータを用い、G P S 解析の精度を高めている。また、アンテナは高さ 5m のステンレス製のタワー最上部に設置され、タワー自身が温度変化等の影響をできるだけ受けないように配慮されている(飯村ほか、1995)。

温泉地学研究所では、他の地殻変動観測項目(光波測量や傾斜観測、地下水位観測)と比較できるように G P S 観測点を同じ施設内もしくは近傍に配置する必要性があったことや国土地理院のタワー規格が整備される前に観測を開始したこともあって、アンテナは建物の屋上などに設置した。そのため、基線長変化には建物自身の伸び縮みの影響が含まれている可能性がある。また、当所ではリアルタイムの処理を最優先させていることもあり、国土地理院の衛星軌道情報をリアルタイムで取得する解析環境にはないので、衛星軌道の影響を最小限にすることは難しい。

そこで、今回は気象などの影響を除去しないで、各基線とそのベクトル成分におけるノイズレベルを検討した。ノイズレベルは、任意の時間窓における観測値の平均と標準

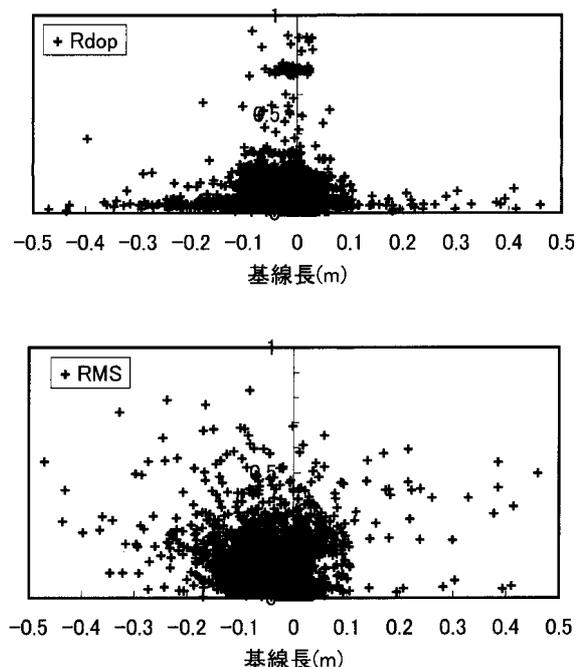


図5 RDOP や RMS と基線長変化の関係

Fig.5 The relation between RDOP, RMS, and the relative change of baseline length.

表1 各時間窓に対する基線長などの平均値

Table 1 Average value of the baseline length and each component for every time window.

時間窓 (日)	箱根一真鶴(基線長) 平均	箱根一真鶴(南北) 平均	箱根一真鶴(東西) 平均	箱根一真鶴(垂直) 平均
2	-0.056	-0.064	0.024	0.059
4	-0.056	-0.064	0.024	0.059
8	-0.056	-0.064	0.024	0.059
16	-0.056	-0.064	0.024	0.059
32	-0.056	-0.064	0.024	0.058
64	-0.056	-0.064	0.024	0.057

時間窓 (日)	箱根一中井(基線長) 平均	箱根一中井(南北) 平均	箱根一中井(東西) 平均	箱根一中井(垂直) 平均
2	-0.099	-0.111	0.183	0.134
4	-0.099	-0.111	0.183	0.134
8	-0.099	-0.111	0.183	0.134
16	-0.099	-0.111	0.183	0.133
32	-0.099	-0.111	0.183	0.133
64	-0.099	-0.111	0.183	0.132

時間窓 (日)	箱根一山北(基線長) 平均	箱根一山北(南北) 平均	箱根一山北(東西) 平均	箱根一山北(垂直) 平均
2	-0.011	0.027	-0.075	-0.083
4	-0.011	0.027	-0.075	-0.083
8	-0.011	0.027	-0.074	-0.083
16	-0.011	0.027	-0.074	-0.084
32	-0.011	0.027	-0.074	-0.084
64	-0.011	0.027	-0.074	-0.085

時間窓 (日)	山北一真鶴(基線長) 平均	山北一真鶴(南北) 平均	山北一真鶴(東西) 平均	山北一真鶴(垂直) 平均
2	-0.109	-0.090	0.079	0.049
4	-0.109	-0.090	0.079	0.050
8	-0.109	-0.090	0.079	0.050
16	-0.109	-0.090	0.079	0.050
32	-0.109	-0.090	0.079	0.049
64	-0.109	-0.090	0.079	0.049

時間窓 (日)	中井一真鶴(基線長) 平均	中井一真鶴(南北) 平均	中井一真鶴(東西) 平均	中井一真鶴(垂直) 平均
2	-0.029	-0.036	0.017	0.017
4	-0.029	-0.036	0.017	0.017
8	-0.029	-0.036	0.017	0.017
16	-0.029	-0.036	0.017	0.017
32	-0.029	-0.036	0.017	0.017
64	-0.029	-0.036	0.017	0.017

時間窓 (日)	山北一中井(基線長) 平均	山北一中井(南北) 平均	山北一中井(東西) 平均	山北一中井(垂直) 平均
2	-0.007	-0.004	0.005	-0.012
4	-0.007	-0.004	0.005	-0.012
8	-0.007	-0.004	0.005	-0.012
16	-0.007	-0.004	0.005	-0.012
32	-0.007	-0.004	0.005	-0.012
64	-0.007	-0.004	0.005	-0.012

表2 各時間窓に対する基線長などの標準偏差

Table 2 Standard deviation value of the baseline length and each component for every time window.

時間窓 (日)	箱根一真鶴(基線長) 標準偏差(m)	箱根一真鶴(南北) 標準偏差(m)	箱根一真鶴(東西) 標準偏差(m)	箱根一真鶴(垂直) 標準偏差(m)
2	0.003	0.003	0.004	0.019
4	0.003	0.003	0.004	0.019
8	0.002	0.003	0.003	0.017
16	0.002	0.003	0.003	0.016
32	0.002	0.002	0.002	0.013
64	0.002	0.002	0.002	0.011

時間窓 (日)	箱根一中井(基線長) 標準偏差(m)	箱根一中井(南北) 標準偏差(m)	箱根一中井(東西) 標準偏差(m)	箱根一中井(垂直) 標準偏差(m)
2	0.016	0.010	0.017	0.021
4	0.017	0.011	0.018	0.021
8	0.017	0.011	0.018	0.020
16	0.016	0.010	0.017	0.019
32	0.015	0.009	0.016	0.016
64	0.013	0.008	0.013	0.013

時間窓 (日)	箱根一山北(基線長) 標準偏差(m)	箱根一山北(南北) 標準偏差(m)	箱根一山北(東西) 標準偏差(m)	箱根一山北(垂直) 標準偏差(m)
2	0.015	0.014	0.023	0.027
4	0.016	0.015	0.024	0.028
8	0.016	0.014	0.024	0.027
16	0.015	0.014	0.023	0.026
32	0.015	0.013	0.022	0.023
64	0.013	0.011	0.019	0.018

時間窓 (日)	山北一真鶴(基線長) 標準偏差(m)	山北一真鶴(南北) 標準偏差(m)	山北一真鶴(東西) 標準偏差(m)	山北一真鶴(垂直) 標準偏差(m)
2	0.006	0.007	0.006	0.025
4	0.006	0.007	0.006	0.024
8	0.006	0.007	0.006	0.022
16	0.005	0.006	0.005	0.021
32	0.004	0.005	0.004	0.019
64	0.004	0.004	0.004	0.018

時間窓 (日)	中井一真鶴(基線長) 標準偏差(m)	中井一真鶴(南北) 標準偏差(m)	中井一真鶴(東西) 標準偏差(m)	中井一真鶴(垂直) 標準偏差(m)
2	0.005	0.005	0.006	0.013
4	0.004	0.004	0.006	0.012
8	0.004	0.004	0.005	0.012
16	0.004	0.004	0.004	0.010
32	0.003	0.003	0.004	0.009
64	0.002	0.003	0.003	0.008

時間窓 (日)	山北一中井(基線長) 標準偏差(m)	山北一中井(南北) 標準偏差(m)	山北一中井(東西) 標準偏差(m)	山北一中井(垂直) 標準偏差(m)
2	0.020	0.013	0.021	0.033
4	0.021	0.013	0.023	0.034
8	0.021	0.014	0.023	0.033
16	0.019	0.013	0.021	0.027
32	0.018	0.013	0.021	0.027
64	0.018	0.012	0.020	0.025

偏差から調べた。地震発生の数日から10日ぐらい前の変化を検出することを目的として地殻変動のモニタリングをおこなっているため、時間窓は2日、4日、8日、16日、32日と設定した。また、参考のため64日の時間窓の場合も計算した。なお、前章で述べたように観測値の周期が50日から1年程度であることから、これらの時間窓では周期的な変化の影響は少ないと思われる。

平均値は表1に、その標準偏差は表2にまとめた。時間窓の設定に伴う平均値や標準偏差の影響は少なく、各々0.1ミリメートル、1ミリメートル程度であった。これらの結果をもとに、時間窓2日の標準偏差を超える値(平均値±標準偏差)を異常変化発生時の判断値として、箱根-真鶴基線長データに適用させてみた。その結果、全データの約20%が異常と判定された。そのうち、2観測連続して異常と判断した事例は異常データの1%程度であった。次に、異常変化発生時の判断値を平均値±標準偏差の2倍(2)とすると、異常と判断されたのは全データの1%未満であった。また、2観測連続の異常判定は無かった。なお、異常と判定された原因は、解析結果の単発的なオフセットであった。

異常変化発生時の判断値として、標準偏差か標準偏差の2倍(2)のどちらを採用するかは、それぞれ長所短所があり一概に決定することは難しい。しかし、2観測連続して異常と判断することが僅少なことや早期判断の必要性を考慮すると、異常変化発生時の判断は、平均値±標準偏差( )が妥当と考えた。各基線とそのベクトル成分の標準偏差( )を表3にまとめた。

## 7. まとめ

1992(平成4)年から開始したGPS測定の観測結果をもとにして、基線長およびそのベクトル成分の変化や周期性について評価した。さらに、基線ごとのノイズレベルやノイズレベルを越える異常値の設定について検討をおこなった。

- (1) 基線長の縮みは、山北-真鶴間で年間1cm程度(1995~2001年)、箱根-真鶴間で年間0.8から1cm程度(1995~2000年)、山北-中井間で年間0.5cm程度(1995~2001年)であった。一方、基線長の伸びは、箱根-山北間で年間0.4cm程度(1996~2001年)であった。しかし、箱根-中井間(1995~2000年)では、基線長の変化はほとんど見られなかった。これらの伸縮は、フィリピン海プレート運動にともなう伊豆半島と本州との衝突に起因していると思われる。
- (2) 基線長の伸縮傾向の変化が、次の基線で観測された。箱根-山北間では1995(平成7)年を境として、基線長が縮みから伸びに変化していた。中井-真鶴間では1997(平成9)年から1998(平成10)年を境として基線長の縮み傾向が停止した。また、箱根-真鶴や箱根-中井、中井-真鶴間の基線長は2000(平成12)年3月ごろを境として縮みから伸びに反転した。このような変化が発生した時期や前後に、特徴的な地震活動や体積歪計の変化がおこっていた。
- (3) 観測のノイズレベルを検討した結果、異常変化発生時に対応する判断値を表3のように決定した。

表3 異常変化発生時に対応する判断値

Table 3 The judgment value at the time generation of unusual change.

箱根-真鶴(基線長)	箱根-真鶴(南北)	箱根-真鶴(東西)	箱根-真鶴(垂直)
±0.003	±0.003	±0.004	±0.019
箱根-中井(基線長)	箱根-中井(南北)	箱根-中井(東西)	箱根-中井(垂直)
±0.016	±0.010	±0.017	±0.021
箱根-山北(基線長)	箱根-山北(南北)	箱根-山北(東西)	箱根-山北(垂直)
±0.015	±0.014	±0.023	±0.027
山北-真鶴(基線長)	山北-真鶴(南北)	山北-真鶴(東西)	山北-真鶴(垂直)
±0.006	±0.007	±0.006	±0.025
中井-真鶴(基線長)	中井-真鶴(南北)	中井-真鶴(東西)	中井-真鶴(垂直)
±0.005	±0.005	±0.006	±0.013
山北-中井(基線長)	山北-中井(南北)	山北-中井(東西)	山北-中井(垂直)
±0.020	±0.013	±0.021	±0.033

## 謝 辞

G P S 測量を継続するにあたって、企業庁管理局三保管理事務所管理課、真鶴町庶務課、中井町庶務課、箱根パレスホテルの方々には多大なるご協力をいただいた。ここに感謝いたします。

## 参考文献

飯村友三郎、小林勝弘、森下一 (1995) 全国 GPS 連続観測システムの運用, 国土地理院時報, 82, 1-5.

伊東 博、棚田俊收、八巻和幸、大山正雄 (1995) 1994 年 10 月 25 日箱根外輪山に発生した M4.8 の地震について, 温地研報告, 26, 33-38.

日本測量協会 (1989) 新訂版 G P S, 日本測量協会, 1-272 .

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, 3-41.

鷺谷 威 (1998) G P S 連続データから推定されるフィリピン海プレート北端部におけるプレート間相互作用とテクトニクス, 東京大学地震研究所彙報, 73, 275-290 .

Sagiya,T. (1999) Interplate coupling in the Tokai district, Central Japan, deduced from continuous GPS data, Geophys.Res.Lett., 26( 15 ), 2315-2318.

Seno,T., Stein,S. and Gripp,A.E. (1993) A model for the motion of the Philippine Sea plate consistent with NUVEL-1 and geological data, J.Geophys.Res., 89, 17941-17948.

棚田俊收、伊東 博、八巻和幸、小鷹滋郎、平野富雄 (1995) 神奈川県温泉地学研究所の G P S 連続自動観測システム, 温地研報告 26, 37-48.

棚田俊收 (2001) 2000(平成12)年三宅島近海の地震活動, 温地研観測だより 51, 7-10 .

棚田俊收、伊東 博、八巻和幸、小田義也、大山正雄 (2001) 神奈川県西部地域における2000(平成12)年1月～12月の地震活動, 温地研観測だより 51, 15-24 .

多田 堯、鷺谷 威 (2001) 伊豆半島とその周辺地域のテクトニクス, 2001年度日本地震学会講演予稿集, P111.

土屋 淳、辻 宏道 (1992) やさしい G P S 測量, 日本測量協会, 1-367 .

Yoshikawa,S., Yamamoto,T., Kamigaichi,O. and Naito,H. (2001) Strain measurement by double coaxial borehole strainmeters at Odawara, Japan, J.Geod.Soc.Japan, 47( 1 ), 128-133.