

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

棚田俊收*、伊東 博*、代田 寧*、板寺一洋*

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

by

Toshikazu TANADA*, Hiroshi ITO*, Yasushi DAITA* and Kazuhiro ITADERA*

Abstract

We have carried out continuous EDM observation in the Odawara and Hakone areas. 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 crustal deformation, we attempted to assess the changes of the baseline length, particularly the periodicity and noise-level based on the observation results of the EDM survey(1992-2001).

We found remarkable characteristics to be as follows:

- (1) In the Odawara EDM network, we analyzed 6 baseline length data from 1994 to March 2001. The baseline length of Shiroyama - Komekami and Shiroyama - Manazuru had a shrinkage tendency. A clear change was not observed in the direction of Shiroyama - Kuno, Ooi, Maekawa and Sakawa.
- (2) In the Hakone EDM network, we analyzed 6 baseline length data from 1992 to March 2001. Shrinkage tendency was recognized in Sengokuhara - Nagao Path, Sengokuhara - Oowakidani Ridgeline, and Sengokuhara - Tamago Chaya. On the other hand, dilation tendency was recognized in Sengokuhara - Hukara Sluice and Sengokuhara - Ubako. It was difficult to find change of baseline length in Sengokuhara - Otome Tunnel.
- (3) We recognized the periodical changes of about one year and 7.5 days in baseline length change. Although the annual year cycle is considered to be an effect of weather, no cause was found for the 7.5 days cycles.
- (4) Examining the amount of the noise level of observation, the basic judgment value of unusual change was accepted to be the average value \pm twice standard deviation(2).

These are estimated to be an effective means for making successful initial judgments for unusual changes of crustal deformation and volcanic activities.

1. はじめに

地殻の歪が蓄積されている場所の検出とその進行状態のモニタリングは、地震予知や火山噴火予知の有効な手段である。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おいて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位観測、地盤の伸び縮みを測る光波測量やGPS測量を実施している(温泉地学研究所、1999)。

詳細な地殻変動を把握するために、複数の観測項目を用い、観測配置を工夫し、きめ細かく連続的に観測する必要がある。また、観測機器の長所短所を考慮したうえで利用する必要もある。たとえば、GPS測量と光波測量は、同じ地盤の伸び縮みを測る方法である。しかし、GPS測量

は光波測量と比べ10km以上の基線長測定に対し精度が高く、観測点間の見通しがなくても測量できる。当所はこれらの利点を活かして、GPS観測点を地下水位観測井や傾斜計観測点、光波測量網を取り囲む様に配置し、観測地域全体の地盤の伸び縮みを測定している(棚田ほか、1995;温泉地学研究所、1999)。一方、光波測量はGPS測量と比べ10km以下の基線長測定に対し精度が高く、観測値がほぼリアルタイムで得られる。また、反射器設置点では電源や通信設備が不要であるので、野外観測には有利である。当所はこれらの利点を考慮して、活断層や噴気地域に目標を絞って光波測量網を配置している(伊東、1994;温泉地学研究所、1999)。

GPSと光波測量機器の併用は他機関においてもおこなわれており、東海地域では国土地理院のGPS観測と名

* 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, 25 - 30, 2002.

古屋大学(木股、山内、1998)や東京大学地震研究所(恒石、1996)による光波観測がそれぞれおこなわれている。また、富士山などの活火山でもGPSと光波を併用した観測網が構築され、山体の変動観測がおこなわれている(地質調査所、2001)。

本論では、光波測量について過去8年間のデータの特徴について報告する。連続的に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ており、その傾向や変化率を評価することは異常変化発生時における判断のための重要な資料となる。とくに、ノイズレベルを越える変化は歪の進行状況の急変を示唆する可能性もあり、見逃してはならない現象である。そこで、1992(平成4)年から開始した光波測量の観測結果をもとに基線長の変化特性や周期性、ノイズレベルとノイズレベルにもとづく異常変化発生時の判断値の設定について検討した。

2. 観測目的と観測方法

温泉地学研究所の観測目的は、神奈川県西部地震の予知研究と箱根火山活動のモニタリングである。そのため、1992(平成4)年から箱根地域で、1994(平成6)年から小田原地域で光波測量を開始した(図1)。

小田原光波測量網は、神奈川県西部地震の想定震源域や国府津-松田断層の動きを捉えられる配置となっている。測量装置本体は小田原市城山の鉄筋コンクリート建物屋上に設置し大磯丘陵方向に3ヶ所(大井、前川、酒匂)、箱根外輪山方向に3ヶ所(久野、米神、真鶴)の計6ヶ所に設置した反射器までの距離を測定している。反射器のプリズム数は3から16個で、基線長は約3.7から11.4kmである(温泉地学研究所、1999)。

箱根光波測量網は、大涌谷の噴気地帯を中心とした箱根火山活動の動きを捉えられる配置となっている。測量装置本体は箱根町仙石原の鉄筋コンクリート建物7階テラスに設置し大涌谷方向に3ヶ所(姥子、玉子茶屋、大涌谷稜線)、箱根外輪山方向に3ヶ所(深良水門、長尾峠、乙女トンネル)の計6ヶ所に設置した反射器までの距離を測定している。反射器のプリズム数は1から3個で、基線長は約1.2から3.5kmである(温泉地学研究所、1999)。

光波測量機器は、恒石(1990)が開発した光波地殻変動観測システムを用いている。このシステムの特徴は、光波測量自動観測装置によって、複数の反射点までの距離を連続かつ自動で測量し、一般電話回線を通して、ほぼリアルタイムでその測量結果を無人で回収・解析できることである。このシステムの開発によって、24時間連続観測が可能となり、観測実績としては1989年の静岡県伊東市沖の海底噴火や東海地震に関連するだろう富士川断層の動きが捉えられている(恒石、1996)。

光波測量自動観測装置は、動力光波観測部と気象観測制御部にわかれている。動力光波観測部は光波測距儀と測

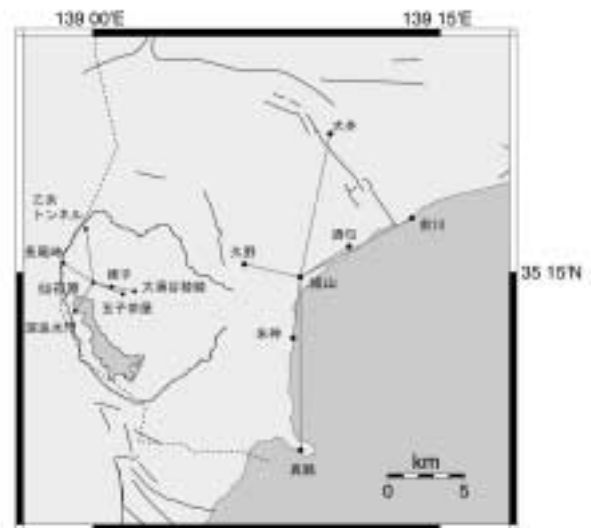


図1 光波測量観測網分布図

Fig.1 Observation map of EDM stations.

定架台で構成されている。光波測距儀はWILD社製のDI3000を使用している。測定架台は精密制御されたモータの動きで水平方向に ± 120 度、垂直方向に ± 15 度の範囲で回転でき、点在する反射点に対応できるようになっている。また、気象観測制御部は気象観測装置と観測・通信制御用パソコンと通信用モデムによって構成されている。気象観測装置では、測量の補正值として気圧や気温、湿度が計測されている。

光波測量と気象(気圧、湿度、温度)計測は1時間に1回おこなわれ、1日24回データを取得する。取得したデータは現地パソコンに蓄えられ、1日1回温泉地学研究所の観測センターから電話回線により回収される。詳細な機器精度や測量方式は、恒石(1990)や伊東(1994)、温泉地学研究所(1999)を参照していただきたい。

3. 観測状況

雨天や濃霧以外の測量欠測は、観測装置本体の故障と反射点の不具合などに起因していた。観測装置本体の故障は、箱根では火山ガス、小田原では塩害による稼働部や電気回路の腐食であった。さらに、2000年三宅島噴火にともなう火山ガスが神奈川県沿岸地域まで漂ってきたことも腐食を促進させたと考えられる。また、長期連続稼働によるモータや測定架台駆動部の摩耗も発生した。

箱根光波測量網の反射点の不具合としては、反射プリズムの防水処理が火山ガスで腐食され、湿気がプリズム内に入り込み、反射率を低下させることがあった。とくに、玉子茶屋のプリズムは2度交換している。乙女トンネル反射点では、設置してから10年近くなるため、樹木の成長にともない枝や葉が測定経路を遮断するために、測量が季節的に中断することもあった。小田原光波測量網では、酒匂と久野反射点を次の理由のため移動させた。酒匂反射点で

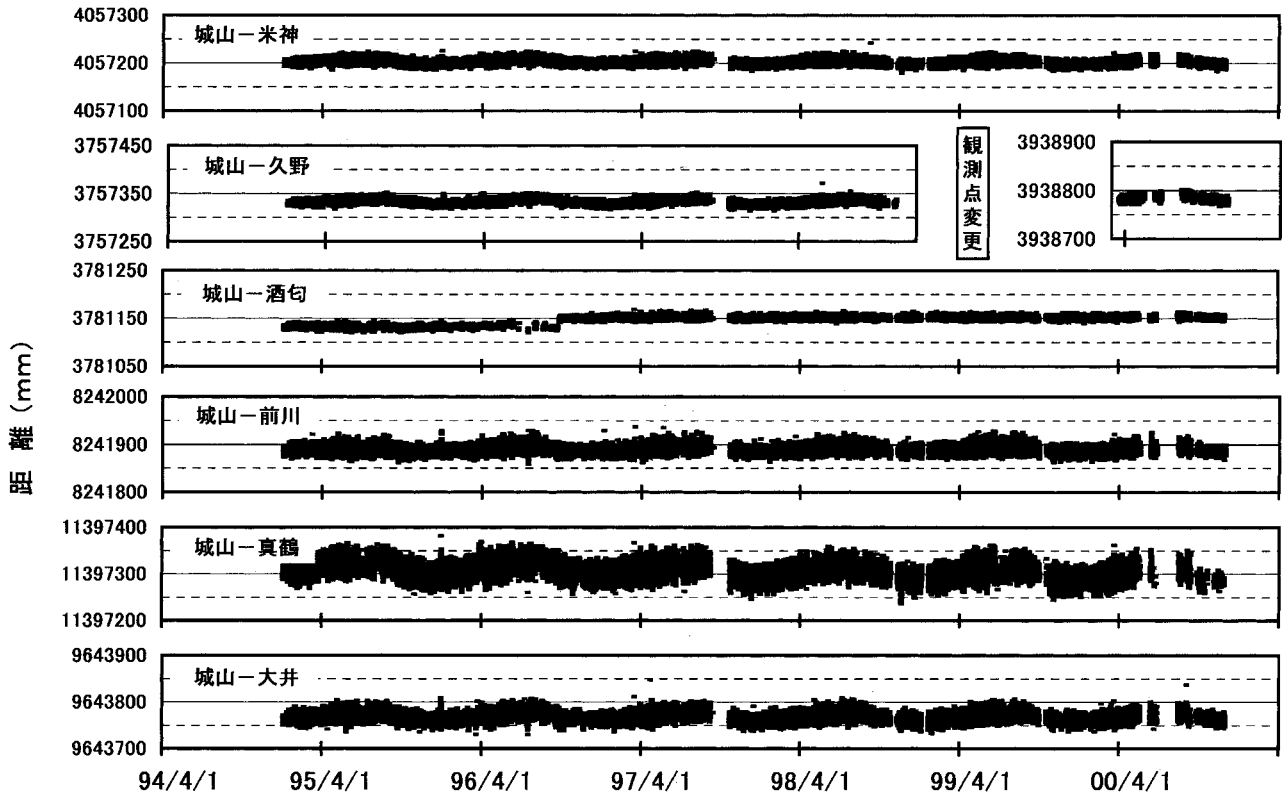


図2 小田原観測網の光波測量結果 (1994-2001/1)
 Fig.2 Observation results from 1994 to January, 2001 in Odawara EDM net.

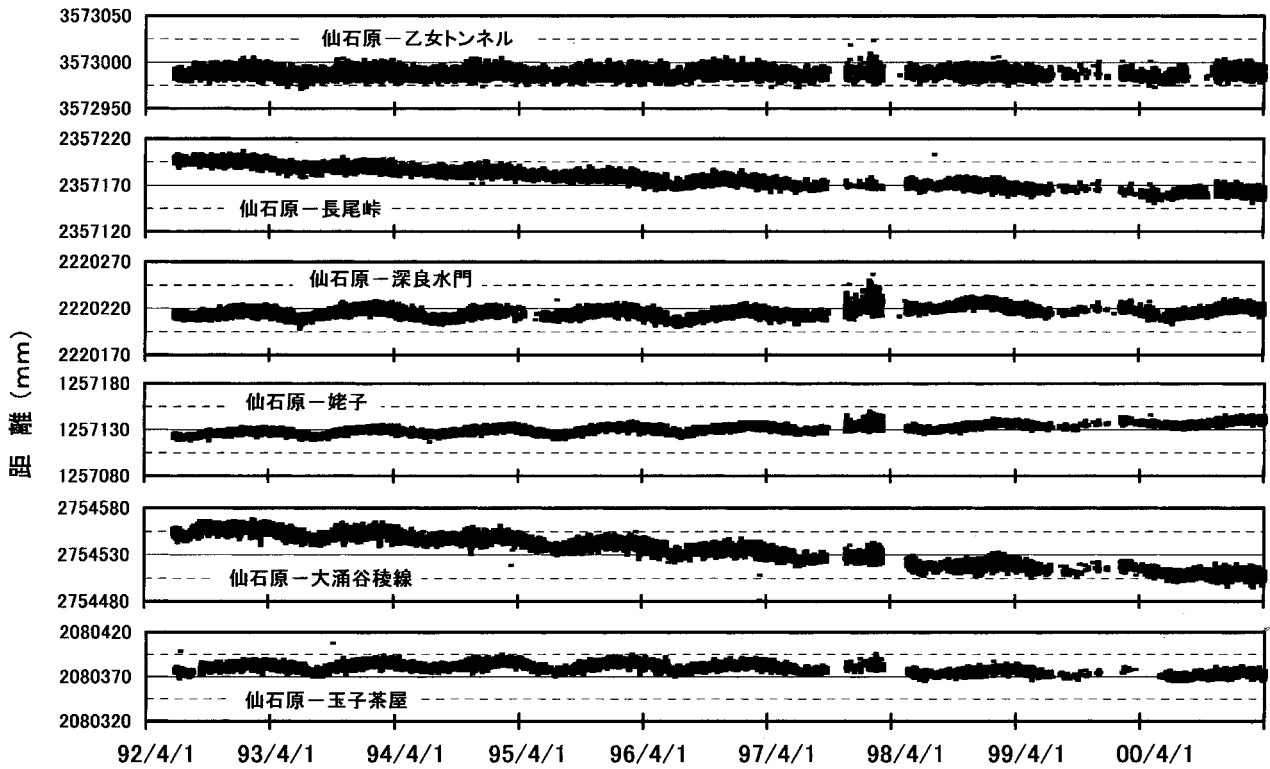


図3 箱根観測網の光波測量結果 (1992-2001/1)
 Fig.3 Observation results from 1992 to January, 2001 in Hakone EDM net.

は、反射プリズム設置場所である酒匂管理センター内から出る蒸気の影響で、観測回数が他の反射点より少なかった。そのため、1996(平成8)年9月末に反射点を同センター内の別の場所へ移動させた。また、久野反射点は久野霊園の建造物に固定していたが、1998(平成10)年末頃、この建造物が解体されてしまった。そのため、2000(平成12)年3月同霊園内の岩盤に反射点を移設した。両点以外の反射点では、観測状況に特別な変更はない。

4. 観測結果

図2は小田原測量網における1994(平成6)年～2001(平成13)年3月まで約6年間の基線長変化である。光波測距儀のDI3000に対する気温や気圧、湿度の気象補正は、すべての基線に対しおこなわれている。光波測量装置本体が設置されている城山に対し南側に位置する米神や真鶴の基線長は縮み傾向であった。とくに、城山 真鶴間では約5年間で2から3cm程度縮んでおり、その変化率は0.5cm/年程度であった。城山 米神間では約5年間で1cm程度縮んでおり、その変化率は0.2cm/年程度であった。大磯丘陵方向の3ヶ所(大井、前川、酒匂)や北側の久野方向では、明瞭な変化は認められなかった。また、年周期変化が各基線長に認められた。それらの変動幅は1から5cm程度で、6月頃の夏場に最も基線長が長く、12月頃の冬場に最も短くなっていた。

図3は箱根測量網における1994(平成4)年～2001(平成13)年3月までの基線長変化である。小田原観測網と同様に光波測距儀に対する気象補正は、すべての基線に対しおこなわれている。まず、縮み傾向が仙石原 長尾峠と仙石原 大涌谷稜線、仙石原 玉子茶屋で認められた。観測期間の約9年間で、仙石原 長尾峠間では6cm程度、仙石原 大涌谷稜線間では約10cm、仙石原 玉子茶屋では2から3cm程度縮んでいた。一方、伸び傾向は仙石原 深良水門や仙石原 姥子で認められた。両基線とも観測期間の約9年間で、2から3cm程度伸びていた。また、仙石原 乙女トンネルではほとんど変化は認められなかった。また、年周期変化が各基線長に認められた。それらの変動幅は1から5cm程度で、6月頃の夏場に最も基線長が短く、12月頃の冬場に最も長くなっていた。

5. 観測値のノイズ

一般的に、光波測量の場合、基線長に含まれるノイズは、気圧や気温、湿度の気象の影響が大きい。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光波測量の重要な課題である。

図2と3では基線長の気象補正は、測量装置本体近辺だけの気象観測値を用いている。そのため、各基線の気象補正が完全に補正されてはいない。たとえば、図4は小田原

と箱根測量網における毎時間ごとの各基線相対変化量を示した。グラフ化した期間は1995年から1997年までの約2年間である。図から明らかなように、夜間には測量結果が安定しているのに対し、日の出から日没に当たる昼間時間帯で、測量結果が伸びに転じていることがわかる。この結果からは気温や湿度の変化に帰因する基線長変化が考えられるが、詳細な検討については改めて報告する。

次に、各基線の周期変化を検討するために、フーリエ変換による周波数解析をおこなった(図5)。解析期間は1995(平成7)年1月から約170日(4096時間)間である。この期間中の観測間隔は1日24回なので、フーリエ解析におけるナイキスト振動数は12時間となる。解析の結果を図5に示した。小田原および箱根両測量網で卓越していた周期は約7.5日であった。両測量網でほぼ同じ卓越周期が検出されたことから、この原因が広域的な気象要素なのか、観測方式によるものかは今後の検討課題である。また、箱根測量網の仙石原 - 大涌谷稜線基線では、約7.5日の整数倍で卓越周期があらわれた。大涌谷稜線反射点は、早雲山から北に延びる尾根の岩盤上に設置されており、このような卓越周期を発生させる人工的な要因は見あたらない。また、他の基線にはこの卓越周期は認められないので、測量方式が原因とは考えにくい。この卓越周期についても今後の検討課題とする。

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

地殻の歪が蓄積されている地域の検出とその進行状態のモニタリングは、地震予知や火山噴火予知の有効な手段である。とくに、地殻変動観測網のモニタリングにあたっては、それぞれの観測ノイズレベルや特性を知ることはいへん重要なことである。たとえば、気象庁は、体積歪計観測点ごとのノイズレベルを算出し、「東海地域の歪計観測点のうち、三カ所以上でそれぞれの検出可能レベルの変化(雨などの雑音による変化ではないと判断可能な程度の変化)が観測された場合」と「強化地域内の観測データに有意な異常を認めた場合」に判定会を招集すると定まっている(例えば、竹中ほか、1999)。

そこで、気象庁の方式にならって各基線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偏差から調べた。神奈川県西部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48時間(2日)、96時間(4日)、192時間(8日)、384時間(16日)と設定した。

各期間の標準偏差を表1にまとめた。4種類の時間窓ごとにおける平均値や標準偏差の差は、0.1ミリメートル程度と少なかった。そのため、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、小田原測量網データに適用させてみた。その結果、

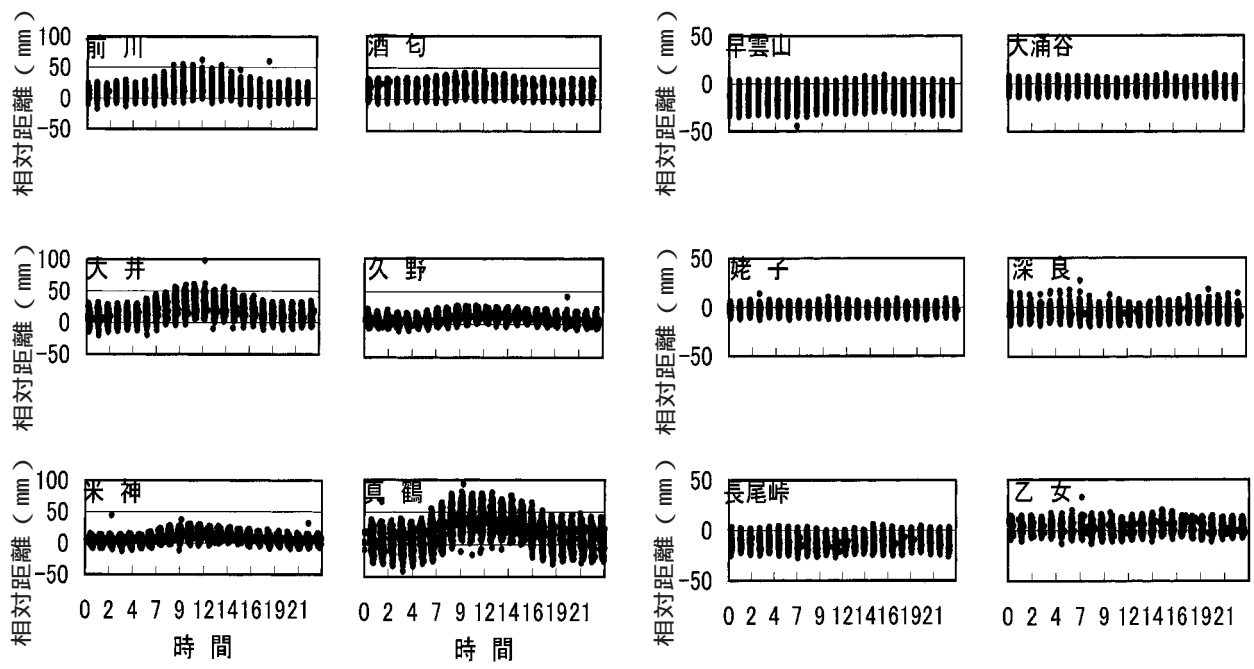


図4 各基線における毎時変化
 Fig.4 Each baseline relative change for every time per day

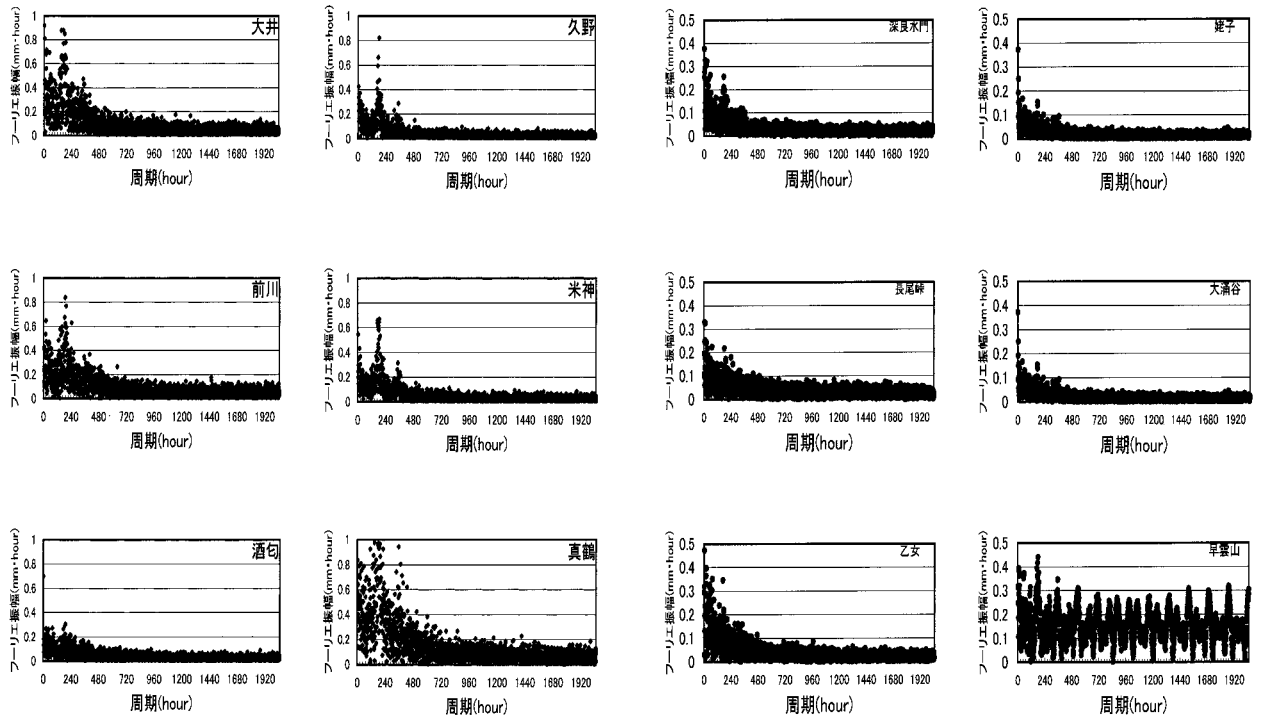


図5 基線長のフーリエ解析結果 (1995-1997)
 Fig.5 FFT results of baseline length. An analysis period is for about two years, from 1995 to 1997.

表1 各時間窓における基線長変化の標準偏差

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

小田原光波測量網 標準偏差 (mm)

	48時間窓	96時間窓	192時間窓	384時間窓
城山-大井	8.8	9.0	9.2	9.4
城山-前川	7.4	7.6	7.8	7.9
城山-酒匂	3.4	3.5	3.7	3.8
城山-久野	4.4	4.6	4.6	4.8
城山-米神	5.2	5.4	5.5	5.6
城山-真鶴	15.4	15.8	16.0	16.2

箱根光波測量網 標準偏差 (mm)

	48時間窓	96時間窓	192時間窓	384時間窓
仙石原-深良水門	2.8	3.0	3.0	3.2
仙石原-長尾峠	3.1	3.2	3.3	3.4
仙石原-乙女トンネル	4.0	4.3	4.5	4.5
仙石原-姥子	1.8	1.9	2.1	2.1
仙石原-玉子茶屋	2.3	2.5	2.6	2.7
仙石原-大涌谷稜線	4.2	4.6	5.2	5.9

全データの43～48%が異常と判定された。次に、異常変化発生時の判断値を平均値±標準偏差の2倍(2σ)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、箱根測量網データでは、平均値±標準偏差の場合、全データの12～44%が異常と判定された。平均値±標準偏差の2倍(2σ)とすると、異常と判断されたのは全データの1～3%であった。

異常変化発生時の判断値として、標準偏差σか標準偏差の2倍(2σ)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、早期判断の必要性を考慮したとしても、今まで異常と判断された変化は無かったことから、異常変化発生時の判断が平均値±標準偏差(σ)では誤審が多すぎるように思われる。そこで、光波測量の場合、異常変化発生時の判断は、平均値±標準偏差の2倍(2σ)が妥当と考えられる。

7. まとめ

1992(平成4)年から開始した光波測量の観測結果をもとにして、基線長の変化や周期性、ノイズレベルの算定と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) 小田原測量網では、1994(平成6)年～2001(平成13)年3月まで約6年間の基線長データが得られた。城山と米神や真鶴の基線長は縮み傾向であった。大磯丘陵方向の3ヶ所(大井、前川、酒匂)や北側の久野方向では、明瞭な変化は認められなかった。
- (2) 箱根測量網では1992(平成4)年～2001(平成13)年3月まで約9年間の基線長データが得られた。縮み傾向が仙石原-長尾峠と仙石原-大涌谷稜線、仙石原-玉子茶屋で認められた。一方、伸び傾向は仙石原-深良水門や仙石原-姥子で認められた。仙石原-乙女トンネルではほとんど変化は認められなかった。

- (3) 基線長には、1年程度と約7.5日の周期変化が含まれていた。年周期は気象に関係あると思われるが、約7.5日周期の原因は特定できなかった。
- (4) 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平均値±標準偏差の2倍(2σ)とした。

謝辞

光波測量を継続するにあたって、箱根パレスホテルおよびアジアセンターの方々をはじめとして多くの方々にご協力をいただいた。ここに感謝いたします。

参考文献

地質調査所 (2001) 富士山の山体変動観測網,火山噴火予知連絡会会報, 76, 64-65 .

伊東 博 (1994) 強化された神奈川県西部地域の地震観測施設, 温地研報告, 25, 1-8 .

木股文昭、山内常生 (1998) 光波測距による東海地域における辺長変化(1978-1997年), 地震, 51(2), 229-232 .

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.

竹中 潤、宮越憲明、吉田明夫 (1999) 東海地震体積歪観測点のノイズレベルを越える異常変化 地球惑星科学関連学会合同大会予稿集(CD-ROM), Dd-010 .

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GPS連続自動観測システム, 温地研報告, 26, 37-48.

恒石幸正 (1990) 1989年7月の伊東沖群発地震と海底噴火に対する自動光波観測, 地学雑誌, 99(2), 31-43 .

恒石幸正 (1996) 東海地震を起こす富士川断層, 月刊地球号外, 14, 97-104 .