

箱根・小田原地域における光波測量と GPS の比較観測

原田昌武*・棚田俊收*・伊東 博*

Comparison between electro-optical distance measurement and GPS observation around Hakone and Odawara areas

by

Masatake HARADA*, Toshikazu TANADA* and Hiroshi ITO*

1. はじめに

神奈川県西部地域はフィリピン海プレート北端部周辺に位置している。同地域には国府津-松田断層や神縄断層などの活断層が存在し、また西相模湾断裂によるM7クラスの地震の切迫性が指摘されている(石橋, 1988a; 石橋, 1988b; 石橋, 1994; 石橋, 2003)。このような特異な地殻構造を持つ地域では地殻変動も複雑であり、空間分解能の高い観測網を展開する必要がある。

神奈川県温泉地学研究所では、1992年から箱根地域の火山活動をモニタリングするため、箱根カルデラ内において光波測量網を構築し観測を開始した。また、近い将来発生が懸念されている「神奈川県西部地震」のメカニズムを解明するために、小田原地域に光波測量網を構築し1994年から観測を開始した。両観測網ともに6基線を設置し、1時間ごとに全測線の基線長を計測している(図1)。一方、広域な地殻変動を把握するために、1991年から真鶴・箱根・山北・中井においてGPSによ

る観測を開始した(温泉地学研究所, 1999; 図1)。これら、空間的に密に配置された光波測量観測網と、3次元的な変動が得られるGPS観測のそれぞれのデータを有機的に結合できれば、空間分解能の高い地殻変動が観測できることになる。

この目的を達成するために、光波測量の各観測点近傍においてGPS臨時観測を実施した。本報告では、これらのGPS臨時観測データを用い、光波測量と同じ1時間間隔で座標値を推定し、両観測結果を比較することにより光波測量による1次元の基線長変化のみの地殻変動から、GPSによる(緯度・経度・高さの)3次元的な地殻変動に拡張することができるかどうかを検証する。もし光波測量によって得られる基線長変化をGPSによって3次元的な変動に拡張することができれば、今回のような臨時観測を繰り返すことにより空間分解能が高く、そして時間分解能の高い歪場の推定が効果的に行えることになるであろう。

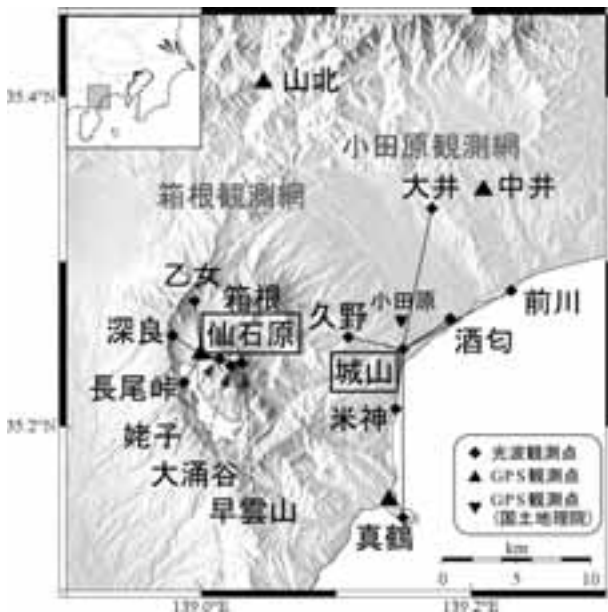


図1 光波・GPS測量の観測点分布

2. 観測概要

全ての光波測量観測点(基準局2点、反射点12点)の近傍にGPS臨時観測用の基準点(ベンチマーク)を設置し、それぞれの基準点において1~4日のGPS臨時観測を行った(写真1)。GPS受信機の台数による制限からすべての観測点を同時に観測することはできなかった。そのため、1台を光波測量観測網の基準局(仙石原、または城山)に設置したまま固定し、残りのGPS観測機器2~3台を用いて他の観測点を順次観測して回る方法でGPS臨時観測を行った。また、光波測量による経年変化がGPS臨時観測によって3次元的な地殻変動に拡張できるかどうかを検証するため、GPS臨時観測を2004年8月および12月の2回行った。

GPS臨時観測によって得られた観測データの解析は、

* 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38巻, 43-46, 2006.



写真1 光波測量（米神反射点）と GPS 臨時観測。

光波測量観測網の基準局（仙石原、または城山）に設置した GPS 臨時観測点を固定点とし反射点の座標を計算した。なお、城山観測点は電源トラブルにより観測できなかったため、国土地理院による GPS 連続観測システム（GEONET）の電子基準点である小田原観測点（基準点コード；EL05239711101、城山観測点から北北西約2kmの場所にある）を代用した。また、2004年12月のGPS臨時観測時には、久野観測点はベンチマークが破損していたため、姥子観測点は観測条件が特に悪く解（座標値）が安定しなかったため、それぞれ欠測となり経年変化を推定することができなかった。

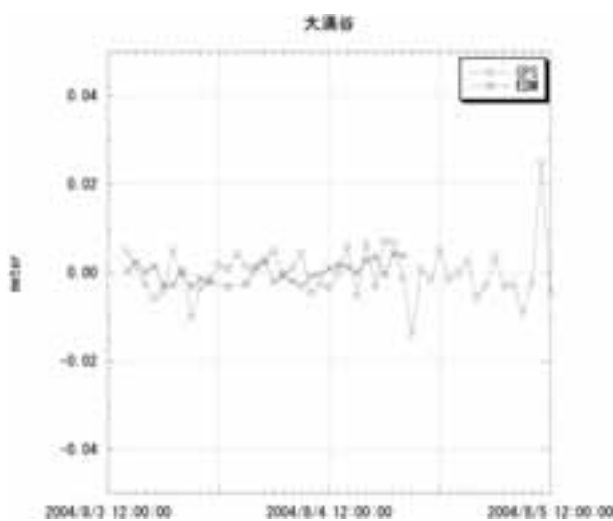


図2 GPS 観測（○）と光波測量（×）によって得られた1時間ごとの基線長変化。大涌谷観測点の例を示す。光波測量は8月4日21時から悪天候のため欠測になっているが、GPSにはその影響は見られず、観測は継続している。

3. 解析結果

3.1. 短時間での基線長変化の比較

GPS 臨時観測によって得られた1時間ごとの基線長変化と光波測量による1時間ごとの基線長変化を比較した結果の例を図2に示す。また、同時刻に観測されたGPS 臨時観測と光波測量による平均基線長からの差を図3に示す。もしGPS 臨時観測と光波測量による基線長変化が同じように変動していれば図3の結果は正の相関をもち、全てのプロットは対角線上にのるはずである。しかし、これらの結果からは両者に相関が見られなかった。つまり、短時間の基線長変化からは、光波測量による1次元の基線長変化をGPSによって3次元的地殻変動に拡張することができないと考えられる。

光波測量の観測点近傍では、樹木や山体による衛星の遮蔽がありGPS 観測にとって必ずしも観測条件が良い訳ではなく、それらがGPS 臨時観測の基線長変化に影響を及ぼしている可能性がある。また、光波測量は測距儀から反射点までレーザー光がほぼ地表付近を通るのに対し、GPSの搬送波は衛星から地上までの大気中を通過する。つまり、測量に使う波の波線がそれぞれ違った大気構造による影響を受けるため測量誤差が系統的ではない可能性もある。いずれにせよ同様のGPS 臨時観測を年に2～4回程度の頻度で繰り返し行い、長期的な地殻変動を光波測量とGPS 観測により捉えることによって、光波測量による基線長変化をGPS 臨時観測によって3次元的な変動に拡張することができるかもしれない。

3.2. 長期間での基線長変化の比較

2004年8月および12月に行ったGPS 臨時観測によって得られた4ヶ月間の基線長変化と、光波測量によって得られた同期間の基線長変化を図4に示す。この図から、真鶴・米神・前川・深良・乙女観測点は伸び縮みの方向はおおよそ調和的であると思われるが、変位量については全く異なっている。また、GPSの基線長変化の多くは1cmよりも小さく、GPSの測定限界を考慮すると有意な変動であるとは言い難い。GPS 観測・光波測量ともに大気の状態（特に気温・湿度）に起因する基線長の年周変化があるため、4ヶ月間の観測結果から両者が一致するかどうかは結論付けることはできない。

3.3. GPS 臨時観測による県西部地域の変位場・歪場

GPS 臨時観測によって得られた4ヶ月間の変位ベクトルのうち水平成分を図5に示す。得られたベクトルは、上述のように測定限界を考慮すると有意な変位ベクトル

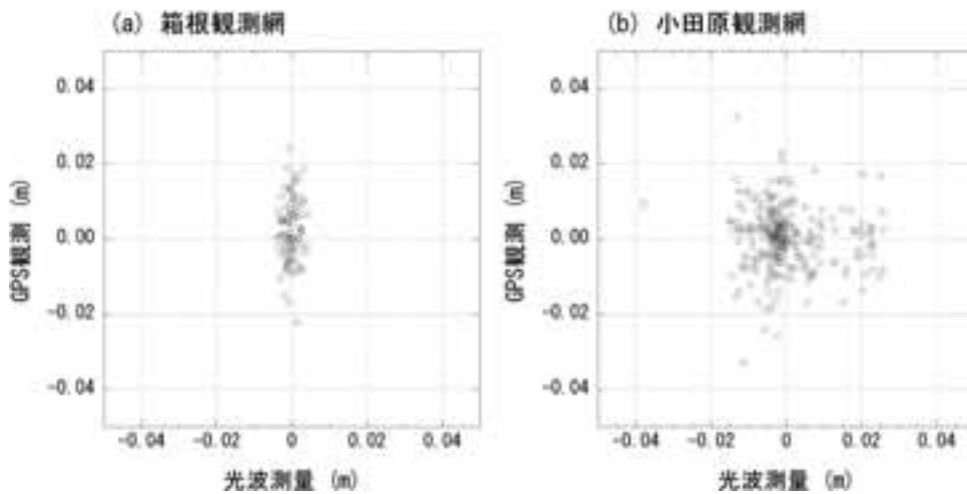


図3 同時刻に観測された光波測量による平均基線長からのズレ（横軸）とGPS観測による平均基線長からのズレ（縦軸）。単位はmeter。(a)箱根観測網の結果、(b)小田原観測網の結果。GPS観測と光波測量の間には相関が見られない。

とは言い難いが、以下のような特徴が見られる。

- ・箱根観測網の西側にある外輪山沿いの3基準点は西方への変位が卓越する。
- ・箱根観測網の東側にある大涌谷付近の2基準点は南南西への変位が卓越する。
- ・小田原観測網では全体的に北向きの変位があり、なおかつ、西側の基準点は西向きへ、東向きの基準点は東向きへと連続的に変化している。相模湾を中心とした時計回りの回転運動のようにも見える。

また、得られた変位ベクトルの水平成分から、地殻内

歪の推定を行った結果を図6に示す。箱根観測網では変位ベクトルが大きいため歪も大きく推定されているが、東西方向に伸び、南北方向に縮む傾向が見える。一方、小田原観測網の南側では北北西-南南東方向に縮み、東北東-西南西方向に伸びる傾向が見える。これは従来の測地測量(三辺測量・三角測量)による観測結果(国土地理院, <http://cais.gsi.go.jp/HIZUMI/hizumi.html>)と調和的である(図7)。さらに、本研究によるGPS臨時観測結果は、従来の測地測量よりも高空間分解能で歪を推定できることが明らかとなった。

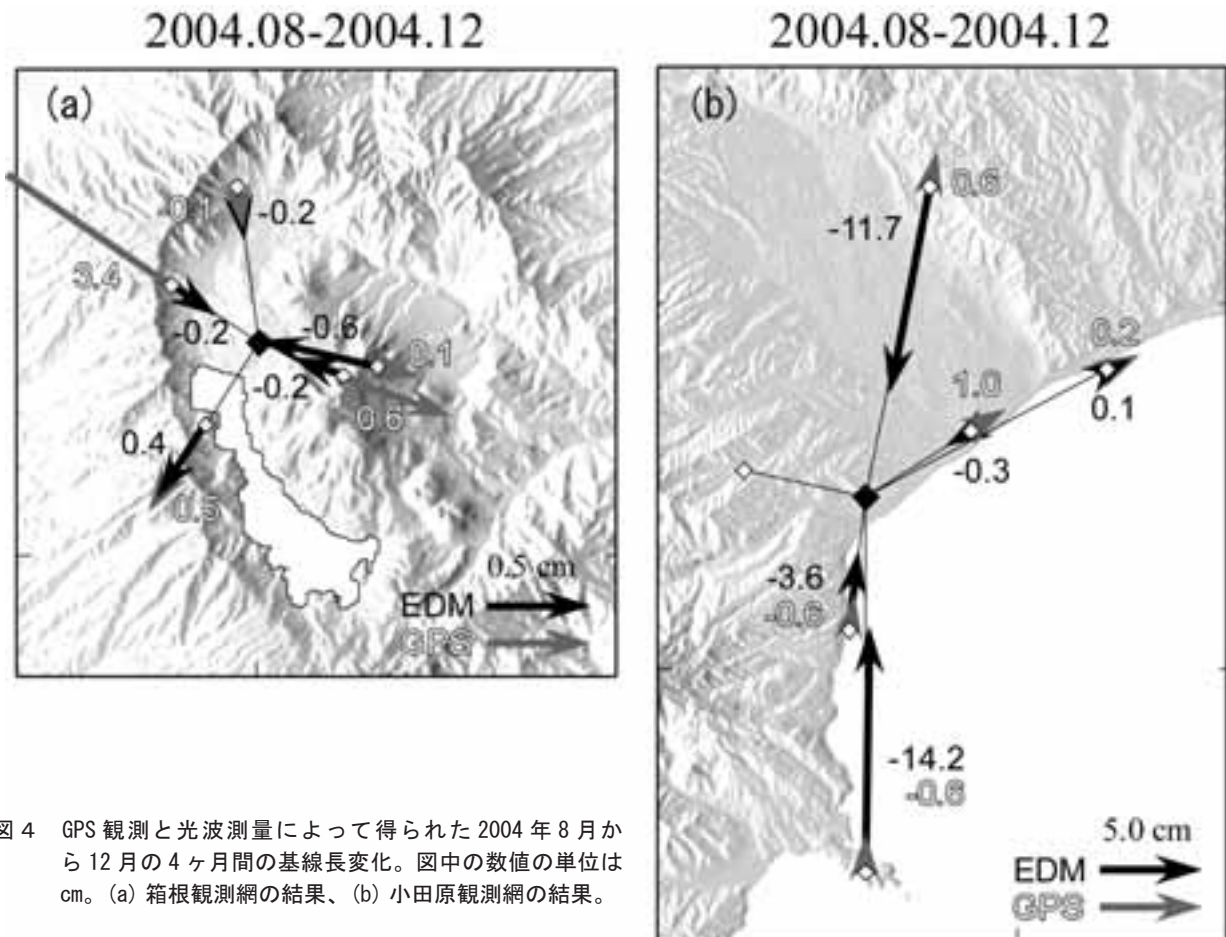


図4 GPS観測と光波測量によって得られた2004年8月から12月の4ヶ月間の基線長変化。図中の数値の単位はcm。(a)箱根観測網の結果、(b)小田原観測網の結果。

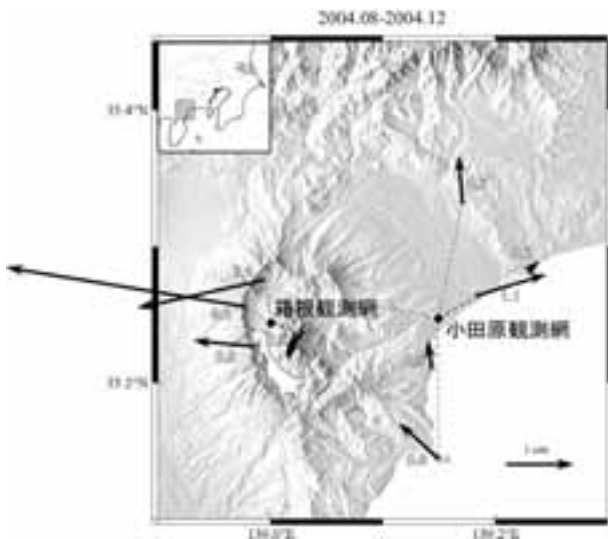


図5 GPS 臨時観測によって得られた4ヶ月間の変位ベクトル（水平成分）。図中の数値の単位は cm。

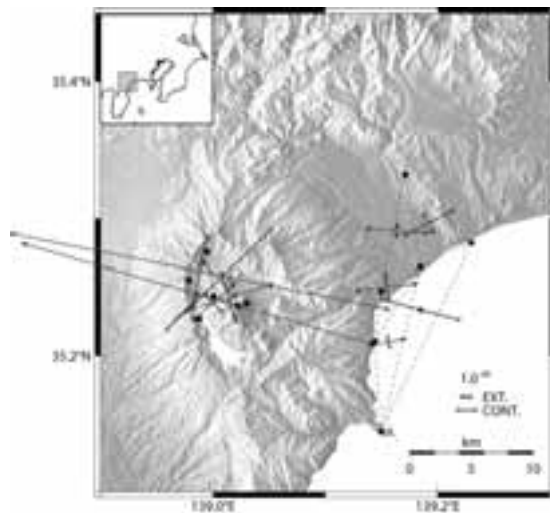


図6 地殻内歪の推定結果。

4. まとめ

温泉地学研究所で行っている光波測量の観測点近傍において GPS 臨時観測を行い、両者の観測結果を比較することによって、光波測量の観測結果を1次元の距離変化のみから（緯度・経度・高さの）3次元的な地殻変動に拡張できるかどうかを検証した。その結果、1時間ごとの基線長変化には相関が見られず、短時間の基線長変化からは光波測量による1次元の基線長変化をGPSによって3次元的な地殻変動に拡張することができないと考えられる。一方、4ヶ月間の平均的な基線長変化を比較した場合には、両者の変位量は異なるものの、おおよその傾向は一致することが分かった。また、GPS 臨時観測から得られた県西部地域における4ヶ月間の地殻変動は、従来の測地測量による観測結果と調和的で、なおかつ高空間分解能で歪が推定できることが分かった。

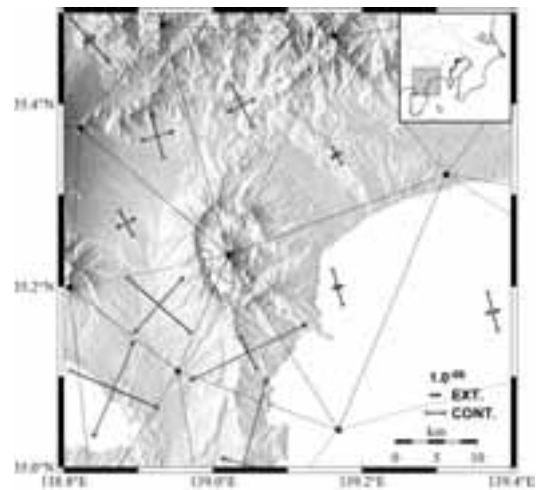


図7 従来の測地測量（三辺測量・三角測量）によって求められた地殻歪（国土地理院，<http://cais.gsi.go.jp/HIZUMI/hizumi.html> からデータを取得し作図）。1985年と1994年の2回の測地測量から推定された地殻歪。

本研究でGPS 臨時観測用の基準点を設置したことにより、GPS 臨時観測を繰り返し行うことが可能となった。今後も継続して臨時観測を行い、データを蓄積することによって、長期間データでの光波測量の3次元変動への拡張の可能性を検証するとともに、県西部地域の歪の蓄積過程を明らかにしていきたい。

謝辞

国土地理院のGPS 連続観測システム(GEONET)による観測結果を使用しました。また、本研究は神奈川県重点基礎研究推進事業(平成16年度)として実施しました。ここに記して感謝します。

参考文献

- 石橋克彦（1988a）“神奈川県西部地震”と地震予知Ⅰ，科学，58，537-547.
- 石橋克彦（1988b）“神奈川県西部地震”と地震予知Ⅱ，科学，58，771-780.
- 石橋克彦（1994）大地動乱の時代，岩波書店，234pp.
- 石橋克彦（2003）小田原地震は起こるのか？，地震ジャーナル，(36)，8-13.
- 国土地理院，<http://cais.gsi.go.jp/HIZUMI/hizumi.html>.
- 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.