

地上ターゲット測距による レンジバイアスおよび観測局原点位置の変動監視

時空計測研究室 雨谷 純、大坪俊通

1. はじめに

KSP・SLRは高精度な地殻変動の監視を目的としているため、レーザ測距の値にオフセット的な誤差を与えるレンジバイアス、および観測局原点位置の変動を監視することが重要である。一方SLRは、VLBIと異なり、宇宙を対象とした観測とまったく同等の方法で地上に対する観測が行えるため、宇宙を媒介とした観測局どうしの座標結合と同時に、観測局と地上のローカルな座標系の結合も行うことが出来る。そのため、KSP・SLRでは、従来行われていない新たな試みとして、複数の地上ターゲットに対するレーザ測距による、レンジバイアスと観測局原点位置の常時監視を計画している。

現在、各地上ターゲットの位置が地上測量により決定され、いくつかの地上ターゲットに対して試験的にレーザ測距を行っている。発表では、地上ターゲットレーザ測距によるローカル座標系との結合の具体的方法、および試験観測の結果を報告する。

2. レンジバイアスと観測局原点位置の変動監視

SLRでは、観測局原点位置と衛星の重心の間をレーザ光が往復する時間（測距値、レンジ）を計測する。その際、観測される測距値には、種々のランダム誤差やオフセットが加わる⁽¹⁾。今回、取り上げるのは、レンジバイアスと呼ばれるオフセットで、観測局原点位置から観測装置（レーザ送信系、受信系）側の部分をパルス（光および電気）が通過するのに要する時間（局内遅延）の真値からのずれを指し、本来0であるべき量である。この値は解析時に同時に推定することも可能であるが、十分に0に近づいている場合は推定する必要が無く、解析結果の誤差、特に局位置鉛直成分の誤差を低減できる。

局内遅延は、観測局原点位置からの距離が正確に測量されている1つの地上ターゲットに対してレーザ測距を行うことにより、決定することができる。しかし、この方法では地上ターゲットへの測距値が変化した場合、それがシステムに起因するものか、観測局原点位



図1 長柱

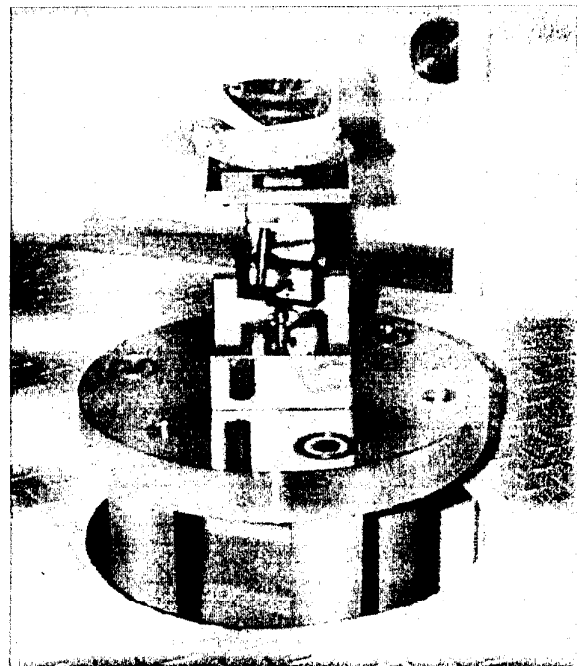


図2 水準基準点

置と地上ターゲットの間の相対位置が変化したのか知ることができない。

KSPのシステムでは、局内遅延の測定のため、観測局原点位置に達した波面がちょうど折り返すように置かれたコーナキューブリフレクタを設置し、直接局内遅延を測定する方法⁽²⁾を採用している。これにより、局内遅延を直接測定することが可能になる。また、これとは別に、観測局原点位置をレーザ測距により直接測定する方法も同時に採用した。これは、十分な精度で測量されている複数の地上ターゲットに対しレーザ測距を行い、観測局原点位置の座標3成分および局内遅延を推定するもので、SLR局として世界初の試みである。以下、この方法に関し、具体的に述べる。

3. 地上ターゲット

地上ターゲットは、観測塔周囲のインバール製の塔の上に設置されたコーナキューブ（長柱）と、望遠鏡下に設置されたコーナキューブ（水準基準点）で、長柱は各局に3カ所、水準基準点は各局2カ所ずつ設置されている⁽³⁾。図1、2に長柱および水準基準点の外観を示す。

図3に、長柱および水準基準点に対する測距方法の概念を示す。長柱、水準基準点いずれの場合も、望遠鏡をコーナキューブ方向に直接指向させることはできない。長柱の場合2次鏡が妨げとなるため、望遠鏡指向角を若干オフセットさせる必要がある。水準基準点は望遠鏡の仰角指向角の限界が -20 度であるため、鏡筒上に取り付けられたミラーまたはプリズムにより光軸を曲げる必要がある。従って、レーザ測距のレーザ光は図中のP点を経由して地上ターゲットT点の間を往復させなくてはならない。

望遠鏡をコーナキューブ方向に直接指向させることができるような理想的条件下での、局内遅延および観測局原点位置の推定方法に関しては、既然大坪他、1996⁽⁴⁾に述べられている。実際には、上に述べたように、P点が介在する形での測距になるので、観測方程式を、

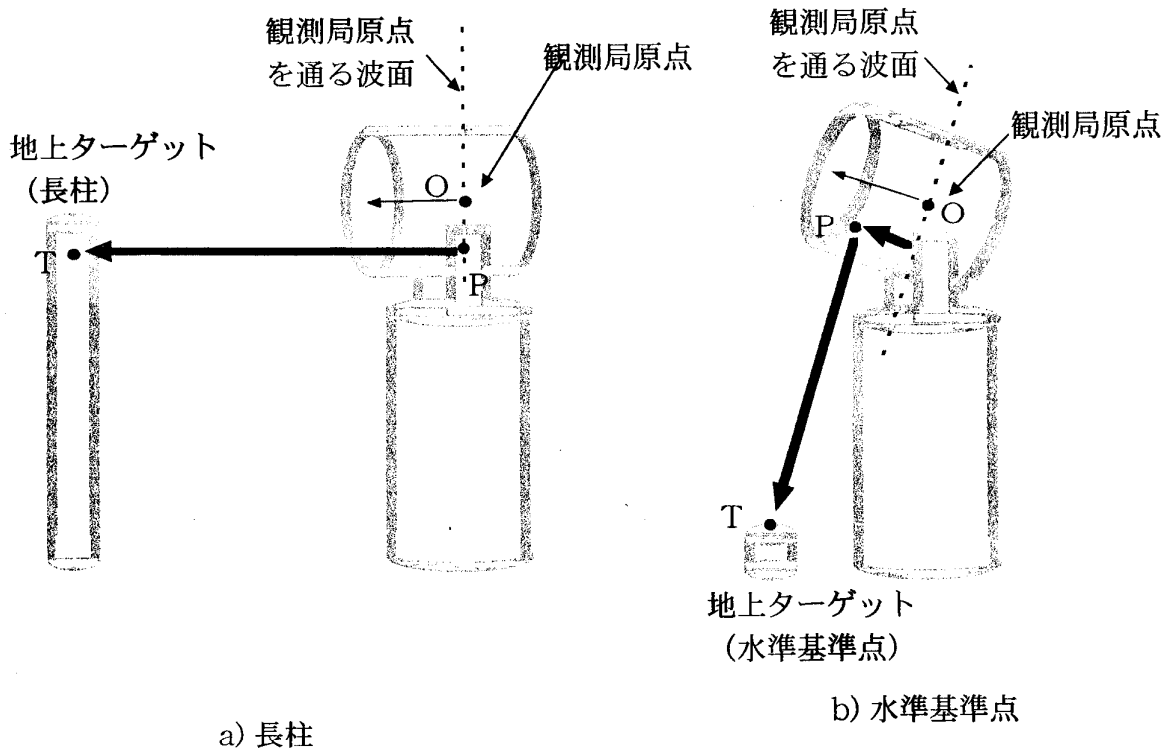


図3 地上ターゲット測距概念図

$$\rho_i = \text{SQRT}\{ [((T_i)_x - (\overrightarrow{OP_i})_x) - 0_x]^2 + [((T_i)_y - (\overrightarrow{OP_i})_y) - 0_y]^2 + [((T_i)_z - (\overrightarrow{OP_i})_z) - 0_z]^2 \} / c + \delta + \delta_p$$

のように修正する必要がある。ここで、 ρ_i は*i*番目の地上ターゲットに対する測距の観測値（片道。局内遅延を含む）、 T_i は*i*番目の地上ターゲットの座標、 $\overrightarrow{OP_i}$ は*i*番目の地上ターゲットを測距するときの0を原点とするP点の相対位置ベクトル、0は観測局原点位置の座標、*c*は光速、 δ は局内遅延量（片道）、 δ_p は観測局原点を通過した波面が*p*に到達するまでの経過時間である。この観測方程式を用いて、0の3成分および δ の推定を行う。

この方法を適用するためには、望遠鏡に固定した座標系でのP点の位置を正確に測定しておく必要がある。長柱の場合、P点は観測局原点を通過する波面上にあるため、 δ_p は0である。水準基準点の場合、P点は鏡筒上に取り付けたミラーまたはプリズムの位置であり、この位置を望遠鏡に固定した座標系で正確に測定しておく必要がある。

4. 地上測量とレンジング結果の比較

KSP・SLR施設整備の一環として各局の主要な基準点の測量が行われた。この測量では、SLR関係の基準点の他、VLBIアンテナ軸交点位置、時刻比較用GPSアンテナ

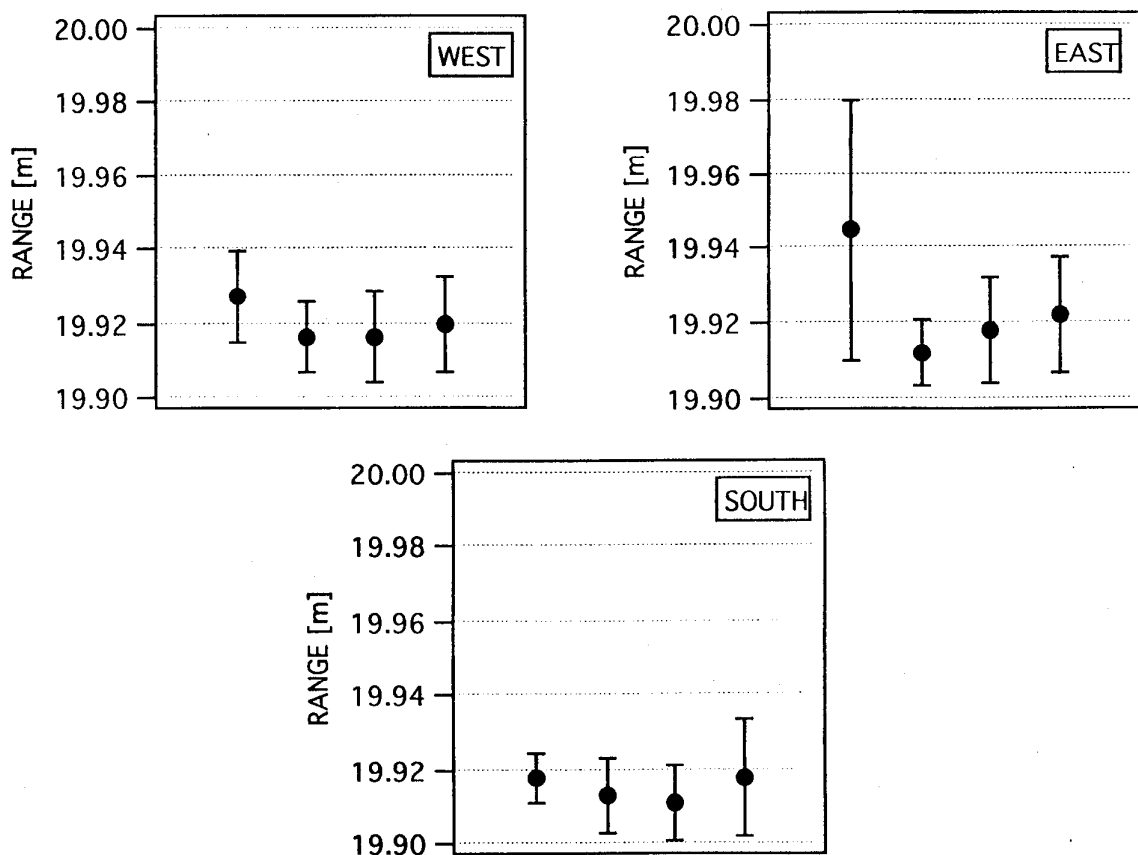


図4 鹿島の各長柱に対する測距結果から求めた局内遅延（距離換算値）

それぞれ左から、96/12/14、96/12/23、96/12/25、97/01/11の測距結果をもとに計算した局内遅延。

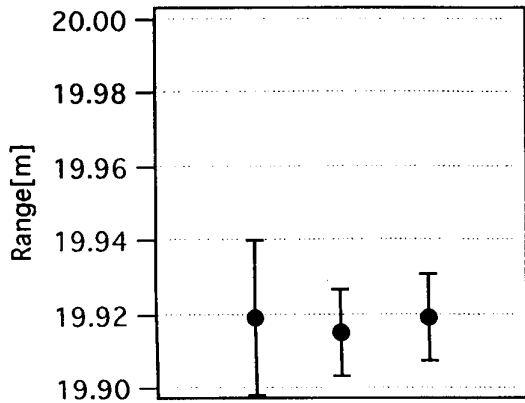


図5 各長柱毎の局内遅延（距離換算値）平均値の比較（左から東、南、西の各長柱）

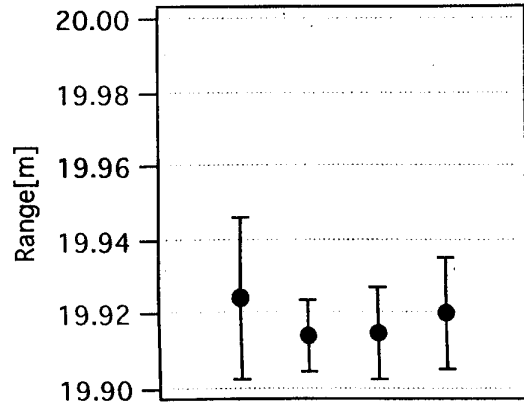


図6 各観測日毎の局内遅延（距離換算値）平均値の推移（左から、96/12/14、96/12/23、96/12/25、97/01/11）

ナ位置、測位用GPSアンテナ位置も測られた。ただし、SLR局の観測局原点の位置は直接測量されていない。望遠鏡の設置前に、望遠鏡台座の中心位置が精密に測定されているため、それをもとに望遠鏡の図面から観測局原点位置が求められた。また、測量されたVLBIのアンテナ交点位置も、Azの回転軸上ではあるが、E1軸に関しては回転中心の確認を行っていない。

一方、鹿島局の3本の長柱に対するレーザ測距を、昨年暮れから試験的に実施し、いくつかのデータを取得している。光軸を曲げる装置（ミラーまたはプリズム）がまだ装備されていないため、水準基準点に対する測距はまだ行っていない。そのため、先に述べた局内遅延と観測局原点位置の推定は行えないが、得られた測距値と、地上測量の結果から計算したOTベクトルの絶対値の差をとり、簡易的に局内遅延を求めた。図4に結果を示す。まだ、レーザや受信系の調整が完全ではないので、測距誤差が距離にして7~35mmと大きい。最終的に4mm以下になる見込みである。各長柱に対する結果は誤差の範囲で一致していることから、地上測量、レーザ測距とも正しく行われていると考えられる（図5）。また、約1カ月に渡って観測を行っているが、局内遅延に有為な変化は見られない（図6）。

5. まとめ

地上ターゲットに対するレーザ測距を行って、局内遅延および観測局原点位置の推定を行う具体的な方法を検討し、新しい観測方程式を提案した。

鹿島の3本の長柱に対して行った試験的なレーザ測距の結果と、測量の結果とを比較し、局内遅延を簡易的に求めた。その結果、得られた局内遅延量が、各長柱に対し誤差の範囲で一致すること、約1カ月間にわたり誤差の範囲で安定であることが確認された。

今回の結果は、システムが不完全な状態での試験的な測距によるものである。今後、水準基準点に対する測距装置を整備し、所期の性能を発揮できるようにシステムの調整を行って、局内遅延および観測局原点位置の推定を行い、その安定性を確認していく予定である。

参考文献

- 1) 国森他、「東京SLR局測距値キャリブレーションの高精度化」、第464回共通談話会資料、1994
- 2) Degnan, J. J., "Satellite Laser Ranging: Current status and Future Prospects", IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing, Vol. GE-23, No.4, 1985
- 3) 雨谷他、「4.2.2 観測塔および周辺施設」、通総研季報、Vol.42, No,1, 1996
- 4) 大坪他、「4.2.7 解析ソフトウェア」、通総研季報、Vol.42, No,1, 1996