

下里水路観測所 SLR データの測距バイアス解析

福良博子：航法測地課

藤田雅之：海洋研究室

Continuous estimation of range biases included in SLR data of Simosato Hydrographic Observatory

Hiroko Fukura : Geodesy and Geophysics Division

Masayuki Fujita : Ocean Research Laboratory

1. はじめに

第五管区海上保安本部下里水路観測所（以下、下里）では、1982年より人工衛星レーザー測距（SLR）観測を行っている（Sasaki et al., 1983）。下里は、永きにわたり安定したデータ供給を行っている東アジア地域の重要な観測局として、その実績は国際的にも高く評価されている。

SLR は、現在最も高精度な宇宙測地技術の一つであるが、より一層の精度向上を目指して、世界中の観測局でその観測誤差の克服に努めている。中でも一般に最も生じ易い観測誤差に、測距バイアスと時間バイアスがあり、これらが時間的に不規則に発生するとデータの質が著しく劣化する。

下里の衛星測距データにも、観測開始当初から、数cmの一定した測距バイアス誤差が含まれていることが報告されてきたが、時間的にも安定しており、解析時の処理が可能のため、データの質としてはさほど問題視されてこなかった。しかしながら、近年の要求測位精度の高まりから考えると、このようなバイアス原因の把握と、時間的安定性の自己管理は大変重要である。

ここではまず、下里を含む SLR グローバルデータを定常的に解析することにより、下里の測距バイアスを監視するシステムを作成し、運用を開始したので、その概要を紹介すると共に、推定された測距バイアスについて考察する。

2. 測距バイアスについて

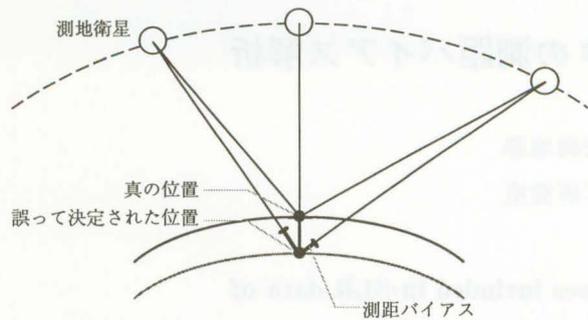
SLR 観測では、地上の観測装置からレーザー光を発射し、それが衛星上に取り付けられた反射鏡に反射して戻ってくるまでの往復走時を測定しており、測距データは刻々の観測装置・衛星間の距離である。ところが、何らかの要因により、この測距値に系統誤差が含まれていることがあり、これを一般に測距バイアス（range bias）と呼ぶ。

測距バイアスは、単独の観測点のみでは同定できないが、グローバルデータを同時に解析することにより、衛星軌道条件が拘束され、パラメータとして推定することができる。

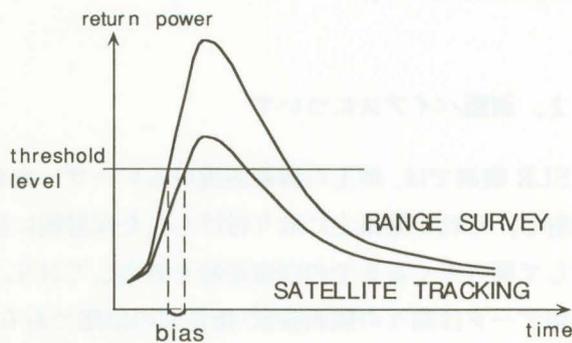
ただし、測距バイアス値が時間的に変動すると、扱いが大変困難になるため、データの質という観点では、その時間的安定性が大変重要な要素である。

観測局の測位という目的からみると、水平方向については、あらゆる方向からのデータが十分にあり、かつ測距バイアスが時間的に安定していれば、その影響は相殺され、あまり結果には影響しない。しかしながら、鉛直方向については、原理的に上方からのデータしか得られないため、高さ成分のバイアスの原因となる（第1図）。

下里の測距データについては、従来から米国航空宇宙局ゴダード宇宙飛行センター（NASA/GSFC）やテキサス大学宇宙研究センター（UT/CSR）などの解析により、7cm程度の「安定した」測距バイアスがあるとされてきた。



第1図 測距バイアスが観測局の測位値に与える影響
測距バイアスを含むデータを解析すると、鉛直方向の測位バイアスとなる。



第2図 反射光強度の違いによる測距バイアスの発生

原因としては、SLR 観測装置の内部遅延補正に起因するとする考えが有力である。SLR 観測では、観測時毎に、あらかじめ距離の分かっている地上の反射鏡までの測距観測（レンジサーベイ）を行い、その測距値と真値との差から、衛星測距値に含まれる装置の内部遅延量を補正している。これに伴い、二つの誤差要因が考えられる。一つは、既知とする地上反射鏡までの距離の値に誤差がある場合で、これが単純な測距バイアスとなることは明白である。もう一つは、衛星測距観測とレンジサーベイの反射光強度の違いによりバイアスが生じる、というものである。これは、下里では、反射信号の到着時刻同定に「しきい値 (threshold) 方式」を採用しているため、第2図に示されるように、強度の違いがバイアスとなるという考えである。そのいずれか、あるいは両方であるかは、現在までのところ明らかではない。

その他にも、一般的に考える測距バイアスの要因はいくつかあるが（例えば、衛星上に取り付けられた複数の反射鏡からの反射光の重なりによるパル

ス波形の崩れなども、よく挙げられる）、いずれもその性質からみて、下里のバイアスの主因とは考えにくい。

3. 測距バイアスの定常解析システム

3.1 概要

水路部では、近年 NASA の軌道解析ソフトウェアである GEODYN-II/SOLVE を導入し（藤田・仙石, 1997）、SLR データ解析が対話形式で行える簡易システム（GDIS）を作成した（藤田他, 1998）。今回、下里の測距バイアス監視を定常業務とするにあたり、GDIS を利用しつつ、さらに目的を特化した専用プログラムを作成した。

本解析に用いるデータは、下里を含むグローバル SLR 観測局のノーマルポイント形式データである。現在、測地衛星ラジオス 1, 2 とあじさいについて、それぞれ半月アーク毎の下里における測距バイアスを推定している。他の観測局のバイアスは 0 として推定していないが、これは下里の測位に殆ど影響を与えないためである。

解析に用いられる各種パラメータ・地球物理モデル、また外力パラメータの推定条件は、基本的に GDIS と同様であるが、グローバル観測局の座標値、速度場については、従来用いていた ITRF93（元期 1993.0）に代わり、最新の ITRF96（Boucher et al., 1998；元期 1997.0）を用い、これを固定値としている。

解析の時期は、本来グローバル SLR データが手に入り次第行うのが望ましいが、現在 GDIS への依存性から、地球回転パラメータとして、国際地球回転事業（IERS）が発行している Bulletin B の最終値を用いているため、実際には約一ヶ月遅れの解析となる。今後速報値を用いて、より早く結果を出すことも検討していきたい。

3.2 手順

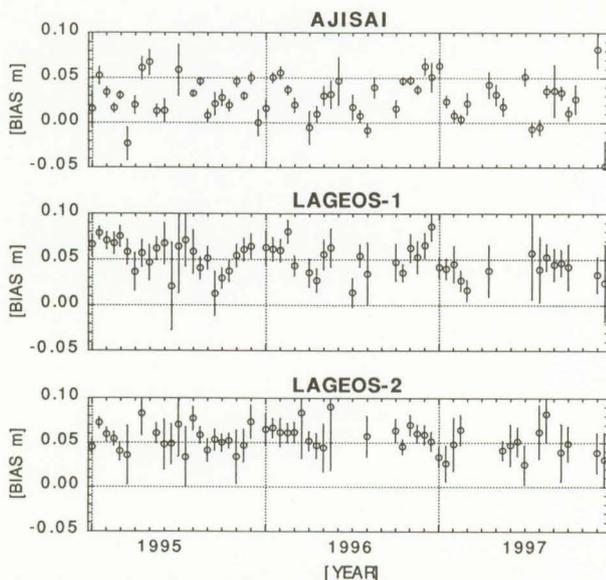
本解析作業は、固定した作業ディレクトリ内での、単純なシェルコマンド方式を採っている。以下の説明では、具体的な作業構成を示す目的で、作業ホームディレクトリを "GLB_SLR/" として、必要な手順のみを簡単に記す。なお、サブディレクトリの表記

で、 $\{SAT\}$ は衛星名を、 $\{YY\}$ は年を表す。

- (1) 必要なデータを、国際標準形式（クイックルックノーマルポイント）で"GLB_SLR/DATA/ $\{SAT\}$ /"に格納し、GEODYN-II バイナリ形式に変換する。変換には、"GLB_SLR/DATA/"内で、コマンドシェル"MK_DATGD"を実行する。
- (2) 各衛星毎に分かれた作業ディレクトリ("GLB_SLR/ANL/ $\{SAT\}$ /"内)で、以下の3段階のシェルコマンドを実行する。その際に必要な情報は、解析する期間のみである。
 - (a) "SET_ANL": GEODYN-II に与える解析設定ファイルと解析実行シェルコマンド"rungd"を作成する。
 - (b) "rungd": GEODYN-II を実行する。
 - (c) "CLN_SAVE": GEODYN-II 解析終了後、作業ディレクトリ内を整理して、"GLB_SLR/ANL/ $\{SAT\}$ / $\{YY\}$ /"内に年別に解析結果を保存する。
- (3) "GLB_SLR/POST/"内で、コマンドシェル"SIMB"を実行する。これにより、SOLVE を実行し、推定された下里の測距バイアス値を表示する。

4. 1995~1997年の測距バイアス推定結果及び考察

今回のシステムを用いて、1995年までさかのぼり、下里の測距バイアスを推定した。ここでは、



第3図 測距バイアスの時系列

1995~1997年の3年間の推定結果について示し、そのふるまいについて若干の考察を行う。

第3図に、推定された3年間の下里の測距バイアスの時系列を、あじさい、ラジオス1、2についてそれぞれ示す。図のエラーバーは、推定誤差(フォーマルエラー)を示している。これは主にデータ数に依存しており、あじさいよりもラジオスのエラーバーが大きいのは、あじさいの方が、データ数が多いためである。また、極端にエラーバーが大きいものは、期間中の下里のデータがほとんどないことを示している。

第3図の時系列について、各年毎および3年間を通しての重みつき平均値とrmsを求めた結果を第1表に示す。全体として見ると、平均値は3~5cmぐらいである。また、各衛星とも1997年のバイアス値が、それ以前に比べて、少し小さくなっているように見える。ここには示していないが、1998年の前半も引き続きこの傾向があり、これが何らかの要因の変化によるものかどうか、今後検討する必要がある。

さらに注目すべき点は、衛星別で比較した場合、あじさいの推定測距バイアス値が、ばらつきは若干大きいものの、ラジオスに比べて有意に小さいということである。

このことは、先の項で述べた測距バイアスの要因のうち、二つめと整合的である。すなわち、衛星測距の反射光強度は、ラジオスに比べてあじさいの方が強いので、この原理に従うと、あじさいのバイアス値の方が小さくなることが予測されるからである。これだけでバイアスの要因を特定することはできないが、一つの示唆と見ることができる。

第1表 バイアスの重みつき平均値 (括弧内はrms, 単位はmm)

	1995	1996	1997	3years
AJISAI	31 (10)	36 (15)	22 (19)	31 (14)
LAGEOS-1	60 (16)	52 (17)	37 (11)	53 (19)
LAGEOS-2	57 (11)	58 (8)	43 (10)	55 (11)

5. まとめ

SLR グローバルデータ解析に基づき、下里の衛星測距バイアスを監視するシステムについて紹介し、最近の測距バイアス値について考察した。

本来測距バイアスは、ハードウェア側の問題であり、考える要因を取り除く努力が必要であることはもちろんだが、それ自身では判断できないため、解析を通じて監視していくことが必要である。このような観点から、最近では CSR をはじめ、WWW (World Wide Web) を通じて、こうしたデータの質のレポートを行っている機関もあり、これらも併用しながら、データの監視を行っていきたい。

既に述べたように、測距バイアスは、時間的に安定していれば比較的扱いやすい誤差であり、これまでは、下里に関して、かえって改善して値を変化させない方がよいという声もあるほどであった。

しかしながら、今後の SLR 観測の役割としての鉛直方向の決定精度の重要性を考えると、やはり原因の特定されない測距バイアスは看過し得ないものである。また、1998年11月より国際レーザー測距事業(ILRS)という新たな組織が発足する予定であり、SLR データの国際的標準化のため、各観測局に対し、これまで以上に質・量が求められるようになる。

このような背景から、下里では、本稿で考察した要因にも鑑み、技術的な検討も進めつつある。これに基づき、早急に観測装置の整備計画を練ることが望ましく、それと共に、定常的なデータの質の管理システムを構築・維持していくことが必要である。

参 考 文 献

- Boucher, C., Altamimi, Z., and Sillard, P.: Results and Analysis of the ITRF96, IERS TECHNICAL NOTE, 24, (1998).
- 藤田雅之・仙石新: NASA の衛星データ解析ソフトウェア「GEODYN-II」の導入, 水路部技報, 15, P 5-10, (1997).
- 藤田雅之・久保岡俊宏・池田信広: GEODYN-II/SOLVE 対話型解析システム (GDIS) による SLR データ解析, 水路部技報, 16, P108-117,

(1998).

- Sasaki, M., Ganeko, Y., and Harada, Y.: Satellite Laser Ranging System at Simosato Hydrographic Observatory, Data Report of Hydrographic Obs., Series of Astronomy and Geodesy, 17, P49-60, (1983).