

## SLRデータ解析におけるモデルの更新とその評価

松下 優, 藤田雅之: 航法測地室

佐藤まりこ: 警備救難部環境防災課

### Update of Terrestrial Reference System and Gravity Model for SLR Data Analysis

Hiroshi Matsushita, Masayuki Fujita : Geodesy and Geodetic Office

Mariko Sato : Protection of Marine Environment Division, Guard & Rescue Department

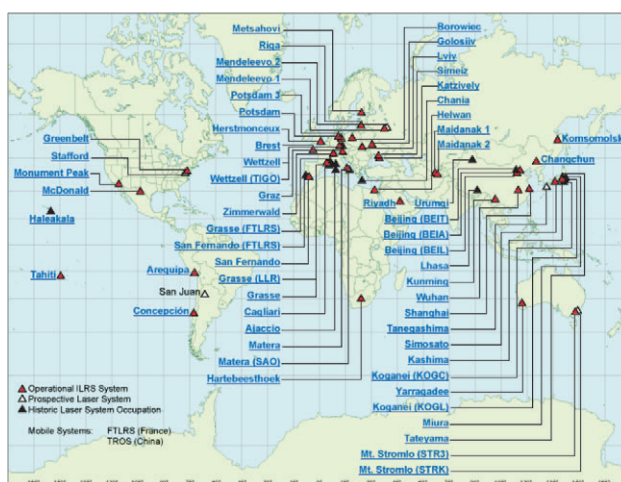
#### 1 はじめに

海上保安庁では、領海等我が国の管轄海域の確定並びに海洋測地網の構築・精度維持を目的として、1982年以来、第五管区海上保安本部下里水路観測所において、人工衛星レーザー測距 (SLR: Satellite Laser Ranging) 観測を行い、下里の世界測地系における位置を精密に決定している。取得された観測データは、国際レーザー測距事業 (ILRS: International Laser Ranging Service) の枠組みの中で、国際データセンターに送付され、数少ない東アジア地域のSLR観測局の一つとして国際地球基準座標系 (ITRF: International Terrestrial Reference

Frame) の構築・維持にも大きく貢献している。

海洋情報部ではこれまで、下里および世界のSLR観測局 (第1図) で取得された観測データを定常的に解析し、下里の地球重心座標値及び測距データのレンジバイアスの導出 (福良・藤田, 1999) を行ってきた。これらの解析には、NASA/Goddard Space Flight Centerが開発した衛星データ解析ソフトウェアGEODYN-II/SOLVEを用いている (藤田・仙石, 1997)。これまでの成果をまとめたものとして、1986年~1998年までの13年間のデータ解析結果から求めた「海洋測地成果2000」がある (仙石他, 2000)。

SLR解析には、地球重力場等の様々な物理・地球



第1図 世界のSLR観測局 (出典: ILRS Web site; 2004年10月現在)

Fig.1 Global SLR Observation sites

物理モデルを必要とする。「海洋測地成果2000」を含め、従来の定常解析で使用してきたモデル等については藤田他(1998)に詳しく述べられている。

これらのモデルは、多くの研究により日々精度向上が図られており、我々の定常解析においても、より高精度の解析を行うため、2004年分から地球重心座標系及び重力モデルを更新した。本稿では、従来のモデルと新モデルの両方を用いて、1995年1月から2004年3月までの約9年間のデータを解析し、その結果を比較・評価したので報告する。

## 2 定常解析について

我々の定常解析は、米国測地衛星LAGEOS-1、LAGEOS-2及び国産測地衛星あじさいのデータについて行っている。まずGEODYN-IIを用いて、それぞれの衛星毎に、半月毎のデータによる正規方程式を求め、さらにSOLVEによりこれらの方程式を組み合わせることで解くことにより、下里座標解及びレンジバイアスを求めている。

具体的な作業は、GEODYN-II/SOLVEを利用するためのインターフェイスとして開発した対話型解析システムGDIS(藤田他, 1998)及び測距バイアス定常解析システム(福良・藤田, 1999)を利用している。さらなる解析方法の詳細については、それぞれの文献を参照していただきたい。

## 3 解析条件の更新

2004年解析分より、地球基準座標系及び重力モデルを更新した。以下に、今回行った変更点について具体的に述べる。なお、新しい解析条件を以後便宜的にSTR04と呼ぶこととする。

### 3.1 地球基準座標系

IERS(International Earth Rotation and Reference Systems Service:国際地球回転・基準系事業)では、1988年から国際地球基準座標系ITRFの構築・維持を行っている。この座標系は、VLBI, SLR, DORIS, GPSといった宇宙測地技術の位置決定解を総合したものである。

従来の解析においては、グローバルSLR観測局の初期座標値および速度場を与える基準座標系として

ITRF96(Boucher et al.,1998;epoch 1997.0)を使用してきた。今回これを、ITRF2000(Boucher et al.,2004;epoch 1997.0)に更新した。

また、もう一つ関連して、下里の位置を求める際の固定局を変更した。従来は、Greenbelt局(米国メリーランド州, StationID:7105)の緯度・経度とHaleakala局(米国ハワイ州, StationID:7210)の緯度を固定して解析していたが、今回Haleakala局をHerstmonceux局(英国, StationID:7840)に入れ替えた。これは、Haleakala局が2004年5月に閉鎖されることとなったため、今回の更新に併せて変更したものである。固定局を選択する際の条件として、安定した解析ができるだけの十分なデータが取得されていること、プレート上の安定域にあることや地心に対する幾何学的配置が適切なことが挙げられるが、Herstmonceux局はいずれの条件においても適当であると判断される。

### 3.2 重力モデル

従来用いていた重力モデルはJGM-3(Tapley et al., 1996)である。その後も、多くの重力モデルが構築されたが、今回我々の解析に採用したモデルは、2003年に発表されたGRACE Gravity Model GGM01C(Tapley et al., 2003)である。これは、2002年3月に打ち上げられた重力衛星GRACE(Gravity Recovery and Climate Experiment)による観測データと、衛星のトラッキングデータや地球表面重力データ等により構築した重力モデルTEG-4(Texas Earth Gravity)を結合して構築されたものである。

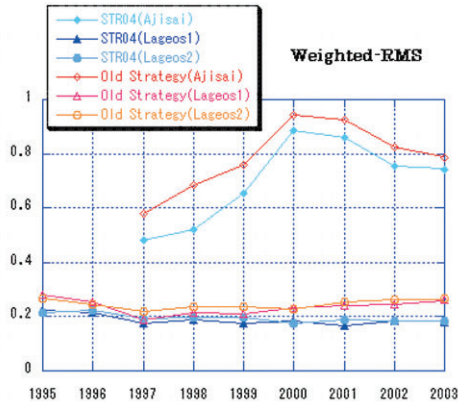
## 4 新旧解析結果の比較

第2図～第5図は、新旧の解析条件による、1995年1月から2004年3月(あじさいのレンジバイアスについては、1997年から2004年3月)までの解析結果及び比較結果を、グラフにしたものである。

第2図は、解析残差のRMSの年平均値をプロットしている。図から、STR04を適用することで、旧解析条件に比べて、明らかに解析残差が小さくなっていることがわかる。また経年的に見ると、LAGEOSは新解析条件の方が非常に安定していることがわか

る。

第3図 (a), (b) に、それぞれ新旧の解析条件で求めた下里レーザ測距点の1ヶ月 (monthly) 解と1年 (yearly) 解の時系列を、地球重心座標3成分 (X,Y,Z) について示す。これらは、LAGEOS-1とLAGEOS-2の結合解である。グラフ中のエラーバーは、座標解の推定誤差を示している。



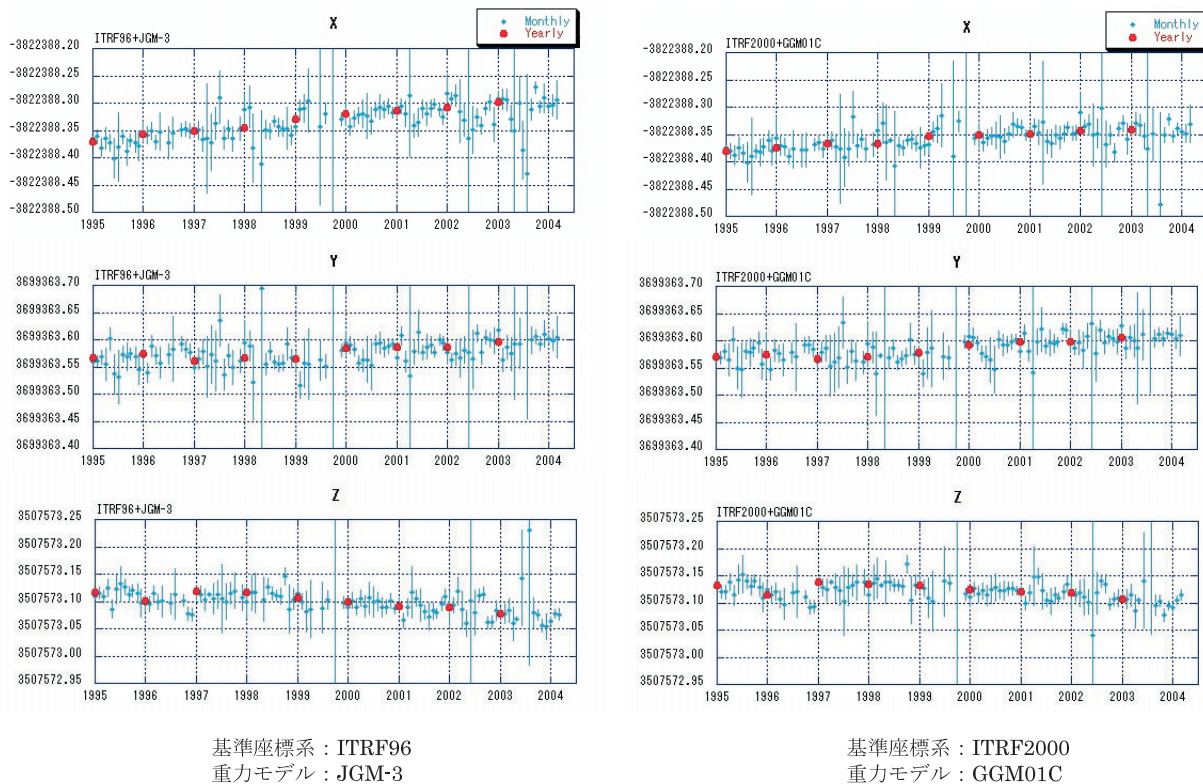
第2図 位置解析における解析残差のRMS  
Fig.2 Residual RMS of position analysis

これらの時系列を比較すると、STR04による方が1年解から大きく外れる1ヶ月解が減少し、年変化のふらつきが小さくなっており、結果がより安定していることがわかる。

第3図 (b) は、新旧解析条件による解の座標差をプロットしたものである。Y及びZ成分については一定のバイアスがあるが、X成分については明確な線形の時間ドリフトが見られる。

第4図は、固定局を変えたことによる下里の決定座標値を比較したものである。図から、Haleakala局をHerstmonceux局に変更したことによる影響はほとんど見られず、第3図に見られる新旧解析条件による差は、固定局を変えたことによるものではないことがわかる。

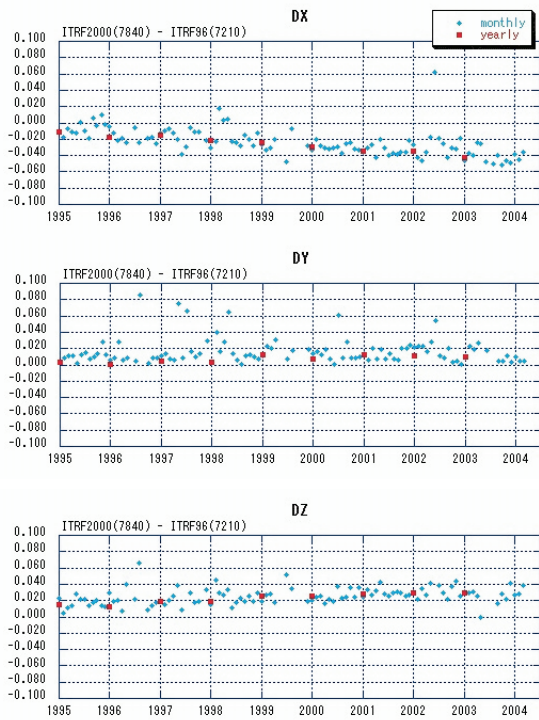
次に、下里におけるあじさい、LAGEOS-1、LAGEOS-2の半月毎および年平均のレンジバイアス解析結果を第5図に示した。図中の赤線は、過去の下里での観測において、安定していると言われていた衛星毎のバイアス値である(福良, 藤田, 1999)。



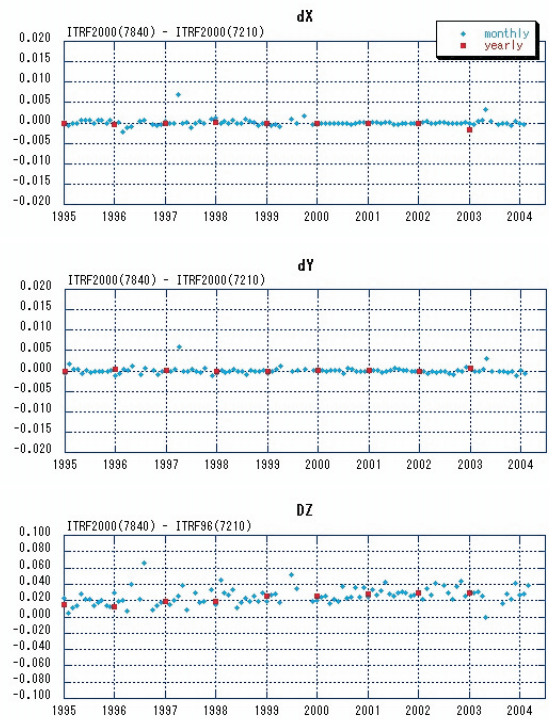
基準座標系 : ITRF96  
重力モデル : JGM-3

基準座標系 : ITRF2000  
重力モデル : GGM01C

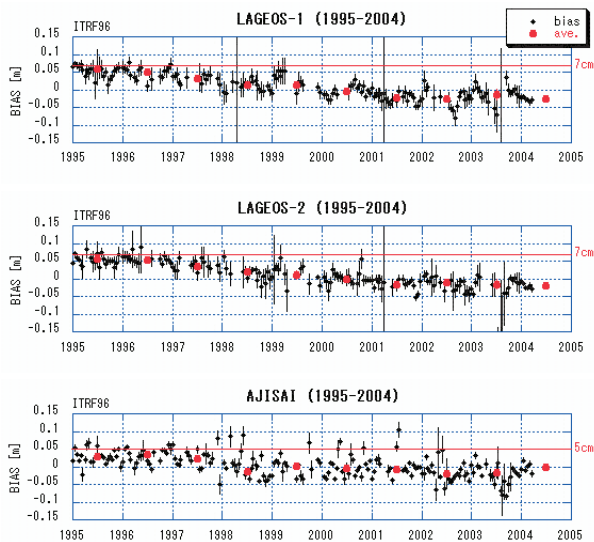
第3図 (a) 位置解析結果  
Fig.3 (a) Result of position analysis



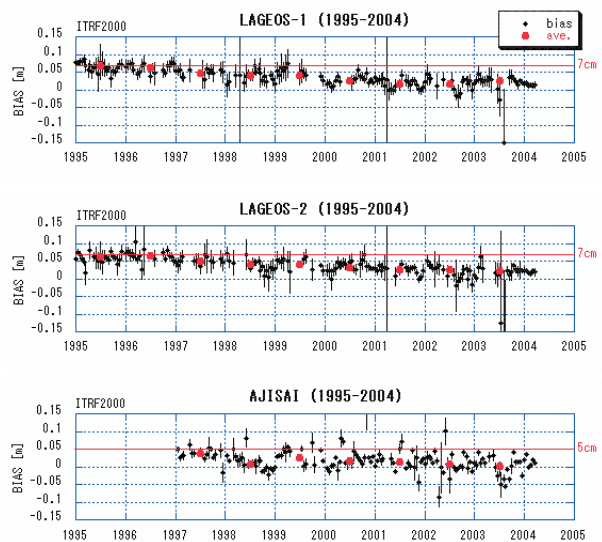
第3図 (b) 新旧解析の座標差  
Fig.3 (b) Difference of coordinates between STR04 and old analysis



第4図 固定局の違いによる座標差  
Fig.4 Difference of coordinates for fixed stations



基準座標系 : ITRF96  
重力モデル : JGM-3



基準座標系 : ITRF2000  
重力モデル : GGM01C

第5図 レンジバイアス解析結果  
Fig.5 Result of range bias analysis

LAGEOS-1, 2では7 cm, あじさいでは5 cmと推定されている. エラーバーが極端に大きいデータは, 下里のデータが少ないことを示している.

図をみると, レンジバイアスの推定値は, STR04の方が明らかに全体的なばらつきが改善されており, 推定誤差も小さくなっている. これは, 主にITRF2000により基準座標系の精度が向上したことで下里の初期座標値がより真値に近くなったため, レンジバイアスの推定精度が向上したものと解釈される. 逆に, 従来の解析条件によるレンジバイアスの経年変化は見かけ上のものであり, 観測機器の経年変化等のハードウェアの変化を必ずしも十分には捉えていなかったことを意味しており, 再検討が必要である.

## 5 まとめ

SLR定常解析における地球基準座標系及び重力モデルを最新のものに更新した. 新旧の解析結果を比較した結果, 下里の位置座標及びレンジバイアスの推定精度が向上したことがわかった.

これにより, 1) 下里位置のさらなる高精度の把握, 2) レンジバイアスの原因究明, 3) データ品質管理システムの高度化などが可能になる.

今回は, 地球基準座標系と重力モデルを分けずに議論を進めた. そのため, どちらがどのように影響を与えているかは確実な判断はできない. 今後の課題として, 地球基準座標系の影響や, 様々な重力モデルが与える影響を分けて議論し, 他のパラメータやモデルについても更新および評価を行い, 更新の是非を判断するための基準を設けていく必要がある.

## 参 考 文 献

- Boucher, C., Altamimi, Z., Sillard, P. : Results and Analysis of the ITRF96, *IERS Technical Note*, **24**, (1998)
- Boucher, C., Altamimi, Z., Sillard, P., and Feissel-Vernie, M. : The ITRF2000, *IERS Technical Note*, **31**, (2004).
- 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**, 108, (1998).

福良博子・藤田雅之 : 下里水路観測所SLRデータの測距バイアス解析, 水路部技報, **17**, 51, (1999)

仙石新・加藤 剛・福良博子・小山 薫・藤田雅之・矢吹哲一郎 : Lageos I 及び Lageos II の long-arc 解析による本土海洋測地基準点座標決定と日本測地系と世界測地系の変換パラメータの再決定, 水路部研究報告, **36**, 97, (2000)

Tapley, B. D., et al., The joint gravity model 3, *J. Geophys. Res.*, **101**, 28029-28049 (1996).

Tapley, B. D., Kim, M. C., Poole, S. R., Cheng, M. K., Chambers, D. P., and Ries, J. C. : The TEG-4 Gravity Field Model, Topex/Poseidon Science Working Team 1999 meeting, (1999).