

精密地球計測による地球ダイナミクス（第3年次）

実施期間 平成15年度～平成19年度
地理地殻活動研究センター
宇宙測地研究室 眞崎 良光

1. はじめに

近年、地球規模での環境変化、特に、気候変化に対する社会的関心や危惧が高まっている。地球規模での気候変化の一例としてエルニーニョ現象が挙げられるが、この発生には太平洋域における大気と海洋の相互作用が働いている。そのため、気候変化を理解するためには大気・海洋の運動を把握することが重要だと認識されるようになった。一方、近年の宇宙測地技術の高精度化により、これらの技術を用いて観測された地球回転や地球重力場の時間変化から、大気・海洋の運動に伴った変化を検出できるようになった。大気・海洋の物質移動は、地球の慣性モーメントの変化と地球の全角運動量保存を通して地球回転を変化させ、また、移動に伴う質量分布変化がおこす地球重力場の変化が、特に低い高度を周回する人工衛星の軌道を変化させる。後者では、人工衛星の軌道摂動を高精度に測定することで、細かな重力変化を観測することができる。そこで、本研究では、力学的な観点から地球回転や重力場の変化を解析するとともに、異なるデータに基づいた地球回転モデルについて観測結果との比較を行ない、モデルの評価を行なう。

なお、本研究は科学技術振興調整費・若手任期付研究員支援の課題として実施している。

2. 研究内容

本研究課題全体では、大気や海洋のデータをもとに地球回転の変化についてフォワード計算を行ない、地球回転の観測結果との整合性を見るとともに、人工衛星による地球重力場の時間変動成分を検出して質量分布の変化をとらえ、この変化に基づく地球回転変動モデルを作成する。これら二種類のモデルを統合した地球回転変動モデル(以下、「統合地球回転変動モデル」と記す)を構築し、地球回転観測結果と比較して評価を行なう。

本研究課題における個々の研究項目は次の通りである。

大気による地球回転励起では、地球回転の観測精度に比べ大気データの精度がまだ十分ではない。本研究では、地球回転の立場から、利用可能な全球大気データの品質を評価しつつ、最良な地球回転変動モデルを作成する。

また、宇宙測地技術は、VLBIのようにCRF(天文基準座標系)との位置関係に感度を有するもの、GPSのように地球重心に感度を有するものなど、その観測手法により異なる特性を持つ。そこで、異なる手法で観測された地球回転データを統合する前提として、これらの観測点位置を共通した座標系で記述する必要がある。そのため、コロケーション観測を行ない、誤差評価を行なうことで高精度なコロケーションの解析手法を確立する。

重力の時間変動に関する研究では、重力観測衛星の観測をもとに重力異常分布を推定し、それをもとに大気・海洋・陸水を統合した質量分布モデルを構築する手法の開発を行なう。

最後に、統合地球回転変動モデルを作成し、これにより得られる地球回転変動を地球回転観測データと比較し、統合地球回転変動モデルの評価を行なう。

実施期間の第3年次にあたる本年度は、以下の2つの事項を中心に研究を行なった。

- 1) 大気角運動量関数(AAM関数)を用いた地球回転変動励起に関する研究、特に、異なる気象データを使用したときの大気による地球回転変動励起量の相違
- 2) 国立天文台VERA小笠原観測局において行なったコロケーション測定の解析と誤差評価

3. 大気角運動量関数(AAM関数)を用いた地球回転変動励起に関する研究

3. 1 得られた成果

地球回転(極運動, UT1)変動は地球を構成する色々な流体物質によって励起されており、その中でも大気の寄与が最も大きい。大気による自転変動の励起量は大気角運動量関数(AAM関数)により評価することができる。AAM関数は気圧項(大気の慣性モーメント)と風速項(固体地球に対する大気の相対角運動量)の2項から成る。昨年度の研究で、異なる大気データを用いて計算されたAAM関数の値に有意な較差

が見られ、それは風速場データの相違によることが分かった。そこで、本年度はこれら風速場データの相違が発生した地域・高度分布を明らかにし、地球回転モデルへの影響の推定を行なった。

解析には、月平均化した3種類の再解析気象データ（NCEP-NCAR（以下 NCEP-1）・NCEP-DOE（NCEP-2）・ECMWF（ERA-40））を使用した。大気を緯度・経度で 15° 四方、鉛直方向7層（2種類の NCEP は6層）のブロック状領域に分割し、AAM 関数の風速項に見られる相違量を地域別・高度別に評価した。

AAM 関数の風速項（極運動励起成分）の相違量の大きさについて、その空間分布を図-1に示す。2種類の NCEP データに基づく AAM 関数の相違は主に赤道域から南半球低緯度域にかけて、NCEP-2 と ERA-40 との相違は赤道域から南半球中緯度域にかけて見られる。また、前者の相違は対流圏上層（図-1の Layer4, 5 相当）に見られるが、後者の相違は対流圏中層から上層（同 Layer3-5 相当）にかけて大きい。なお、これら相違の大きい領域は、AAM 関数風速項の励起が大きいジェット気流域とは一致しない。

AAM 関数風速項に見られる相違の背景には、赤道域における風速場の解析の難しさがあると考えられる。一般に、地上との摩擦が無視できる上空の風速場について、温度風関係が成立する。しかし、コリオリ力が零となる赤道域ではこの関係が成立しないため、風速場の解析が難しい。また、気象データの編纂において、気象観測結果の重み付けや採用されている解析モデルの違いも、AAM 関数の相違に影響しているものと考えられる。

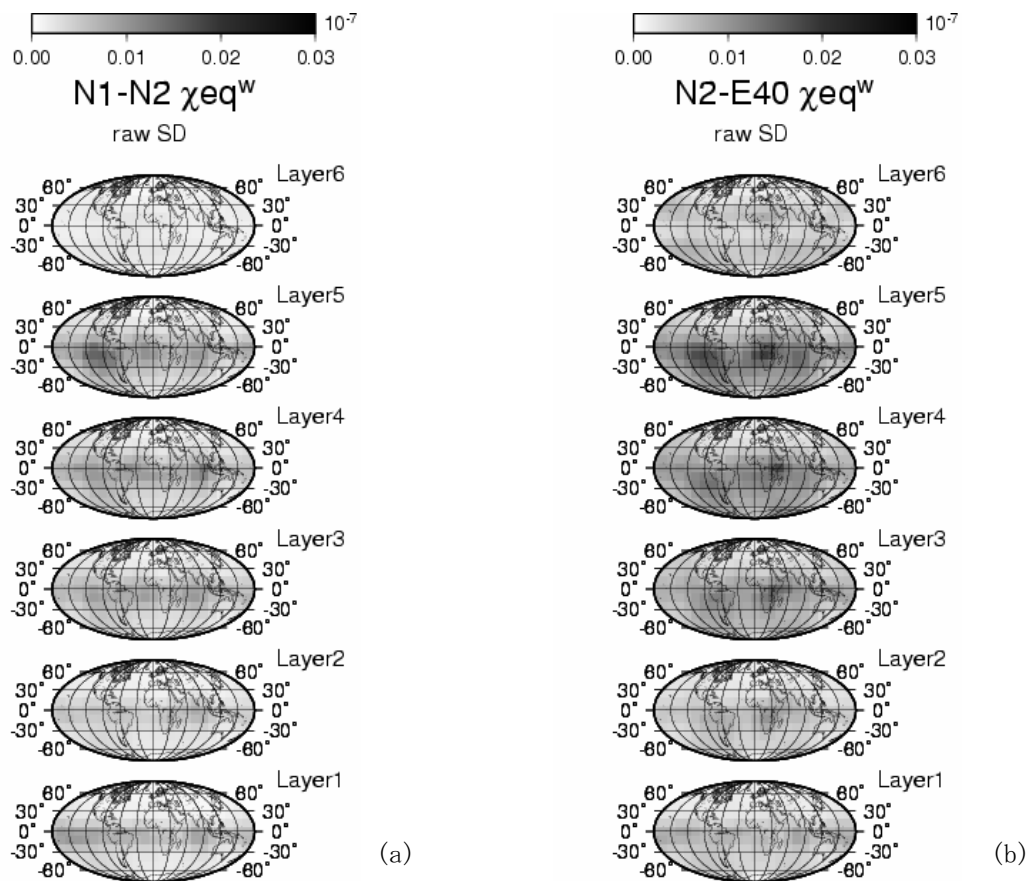


図-1 大気データによる AAM 関数(極運動励起成分, 風速項のみ)相違量の空間分布. (a)NCEP-1 と NCEP-2 との相違 (b)NCEP-2 と ERA-40 との相違. 鉛直方向の分割は上層から順に (Layer6) 10-100hPa, (Layer5) 100-300hPa, (Layer4) 300-500hPa, (Layer3) 500-700hPa, (Layer2) 700-850hPa, (Layer1) 850hPa-地上 である. 濃い領域ほど相違量が大きいことを示す.

3. 2 結論

赤道域は自転軸からの距離が最も大きいため、赤道域の大気が最も効率良く地球回転を励起する。そのため、赤道域の大気データ（特に風速データ）の良否が、大気による地球回転モデルの良否に大きく影響する。

次の段階として、主成分解析等を用いて地域ごとに特徴的な変動パターンを抽出し、地球回転観測で得

られた変動パターンとの比較を通して、地球回転観測の立場から大気データの問題点を調査する予定である。

3. 3 文献

Masaki, Y. (2006) : Comparison of Two AAM Functions Calculated from NCEP/DOE and ERA-40 Reanalysis Data Sets, in Proceedings of *Journées 2005: Systèmes de Référence Spatio-Temporels*, in press.

4. 国立天文台 VERA 小笠原観測局において行なったコロケーション測定の解析と誤差評価

4. 1 得られた成果

国立天文台 VERA 小笠原観測局（東京都小笠原村父島）において、平成 15 年 12 月にコロケーション測定を行なった。国立天文台 VERA 計画は地球回転観測を観測目的の 1 つに掲げたプロジェクトであり、国内に VLBI 観測局 4 局を建設した。本測定の目標は、小笠原観測局 VLBI アンテナと本院電子基準点父島（軌道追跡局）との間のローカルタイを得ることである。

本測定の解析は、局所座標系における VLBI アンテナ参照点（Az 軸・E1 軸交点）位置の決定(①②③)、丸数字は表-1 の解析ステップを表す）と、この位置を地球基準座標系で表すための座標変換(④)の、2 つに大きく分けることができる。

まず、VLBI アンテナ周囲に配した測量標識(A, B, C, D, U, Y, 図-2 参照)の位置を地上測量により決定した(①)。ここで、A を原点とし、水平面に投影した AB 方向を U 軸、鉛直下向きを W 軸とする局所直交座標系(U, V, W)を導入した。つぎに、アンテナ近傍の 4 点(A, B, C, D)に対する、アンテナ剛体部に設置したキャッツアイ反射器 1 器の相対位置を決定した(②、図-3 (a)参照)。アンテナを Az 軸・E1 軸まわりに駆動させると、キャッツアイ反射器はアンテナ参照点を中心とする球殻上を動く。様々なアンテナ姿勢で測定したキャッツアイ位置を用いて、最小二乗法により球殻中心位置（すなわちアンテナ参照点位置）を決定した(③)。この球殻フィッティングの残差分布(図-3 (b))にキャッツアイ測定位置の方向による二極性のパターンが見られないことから、この球殻フィッティングの妥当性が示された。また、RMS 残差が 0.70[mm]、残差の最大絶対値は 1.1[mm]と小さく、参照点位置を高精度で決定することができた。

また、4 点(A, B, U, Y)において 24 時間セッションの GPS 観測を行なった。同じ点で得られた GPS 測位座標と局所座標系における位置座標から、これら 2 つの座標系間の座標変換パラメータが得られる。本解析では、並進・回転の 6 パラメータによる座標変換（Helmert 変換）を行ない、地球基準座標系におけるアンテナ参照点位置を得た(④)。

本解析により、電子基準点父島に対する小笠原観測局 VLBI アンテナの相対位置ベクトルとして

$$(dX, dY, dZ) = (-2143.0748, -2358.3014, -343.6853) \text{ [m]}$$

$$\text{推定誤差 } 1\sigma \quad (0.0020, 0.0014, 0.0015) \text{ [m]}$$

を得た。なお、Helmert 変換後における各測量標識の位置の推定誤差 1σ を図-2 に重ねて示す。

4. 2 結論

本解析の各ステップにおける推定誤差を表-1 にまとめる。上述した Helmert 変換後のアンテナ参照点位置の推定誤差は、局所座標系における同位置の推定誤差 ($\sigma_U, \sigma_V, \sigma_W$) = (0.28, 0.31, 0.44) [mm] に比べて大きい。これは地上測量の誤差に比べ、GPS 測位誤差が大きいためである。

本観測により、小笠原観測局 VLBI アンテナと本院電子基準点父島との間のローカルタイが得られた。この解析結果は、VLBI の座標系と GPS の座標系を統合するためのデータとして、IERS(国際地球回転および基準座標系事業)による ITRF(国際地球基準座標系)の構築・維持に貢献することになる。

4. 3 謝辞

本測定作業にあたり、本院から佐々木與四夫、柴原充、堤隆司、宮本純一各氏の協力を得た。また、同局の施設使用等にあたり、田村良明、堀合幸次、亀谷收各氏をはじめとする国立天文台 VERA 観測所関係者の協力を得た。ここに謝意を表す。

参考文献

Masaki, Y., Matsuzaka, S. and Tamura, Y. (2006) : Local Tie Survey at VERA Ogasawara Station at Site Chichijima, in *IVS 2006 General Meeting Proceedings* (Behrend, D. and Baver, K. D., eds.), in press.

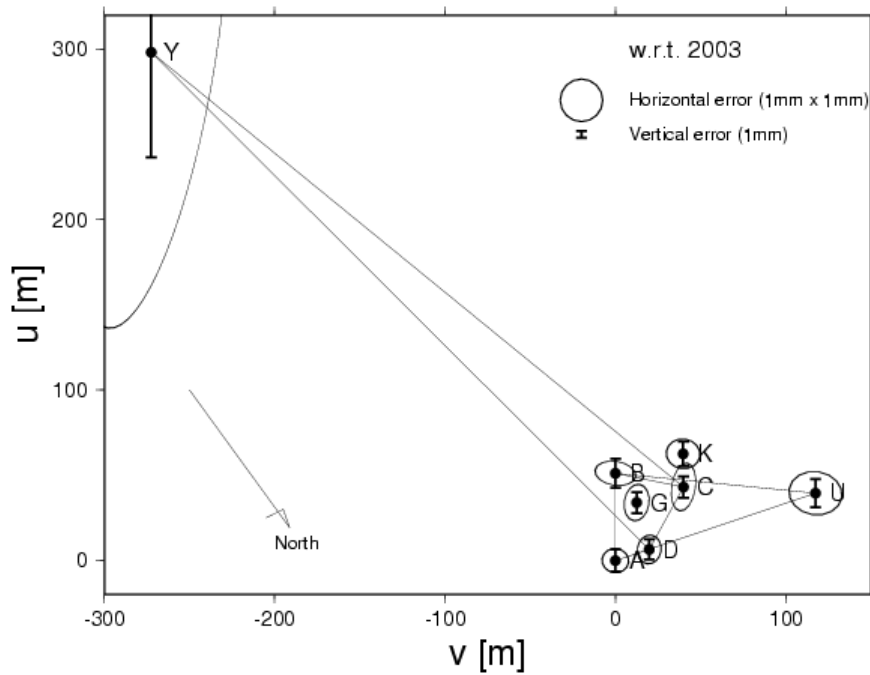


図-2 本測定の配点図. VLBI アンテナは四角形 ABCD の内部にある. ここで, 点 A, B, C, D, U, Y は本測定で使用した測量標識 (Y は夜明山三角点) であり, 本解析で使用した局所直交座標系 (U, V, W) の平面位置 (U, V) で示した. U 軸の方向は方位角 (北から東回り) 約 216.0° である. なお, 図には Helmert 変換後, 電子基準点父島に対する位置の推定誤差 1σ (楕円は水平位置, バーは鉛直位置) を併記した. ここで, G は VLBI アンテナ参照点, K は天文台局舎屋上の GPS 観測点である. Y 点の誤差が大きいため, Helmert 変換のパラメータ決定において同点を除外した.

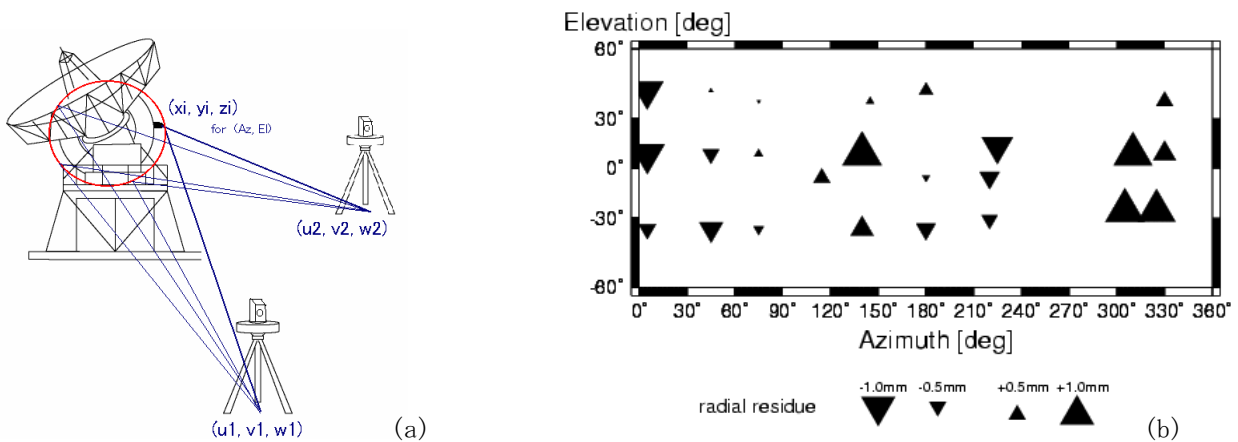


図-3 (a) 測量標識に対するキャッツアイ反射器の相対位置の測定方法. (b) キャッツアイ反射器の測定位置に対する球殻フィッティング残差の分布. キャッツアイの位置はアンテナ参照点から見たキャッツアイ測定位置の方位角 (北から東回り) ・高度角として表わし, 残差はアンテナ参照点から測ったキャッツアイ反射器までの距離と球殻半径との差を, 正值▲, 負値▼で表わす.

表-1 本解析の位置決定における誤差のまとめ

各解析ステップにおける位置決定対象	位置の推定誤差 (1σ)
① 測量標識位置	数 mm
② キャッツアイ反射器位置	数 mm
③ 局所座標系 (U, V, W) における VLBI 参照点位置	(0.28, 0.31, 0.44) mm
④ 地球基準座標系 (X, Y, Z) における VLBI 参照点位置 (電子基準点父島に対する相対位置として)	(2.0, 1.4, 1.5) mm