

# 精密地球計測による地球ダイナミクス（第5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、角運動量の変化に基づく地球回転変動モデルのフォワード計算結果と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」という。)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、特徴のある季節変動様式を抽出し、最適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。

最終年次にあたる本年度は、統合質量分布モデルを構築するために最適な陸水モデルを選択し、統合質量分布モデルを構築する。

近年、陸水のデータベースの整備が進んでいる。これにより、複数の陸水データセットを地球回転

の研究に使用できるようになった。しかし、その反面、データセット間でデータの値が大きく異なることがあり、どのデータセットが正しい値を収録しているのか分かっていない。そこで、本研究では、三種類のデータ（陸水データおよび重力観測データ）から極運動励起量を計算し、統合質量モデルによる励起量と観測励起量とを比較して、陸水励起量の計算に採用すべきデータセットを検討する。

### 3. 得られた成果

陸水による極運動励起量を計算するため、全球規模で解析された二種類の陸水データ（NCEP/NCAR 再解析データおよび LDAS データ）と、重力観測結果として重力観測衛星 GRACE のレベル 2 データ（テキサス大学オースチン校解析・リリース 4）を使用した。GRACE データについては、地表での等価質量密度分布に換算し、800km のガウシアンフィルターにより平滑化した上で、陸域部分の信号を取り出したものを、陸水の励起への寄与分とみなした。

統合モデルの励起量の計算には、大気励起量として NCEP-DOE 再解析データに基づく励起量を、海洋励起量として ECCO データに基づき IERS が公開している励起量をそれぞれ採用した。そして、モデル励起量に対するリファレンスとして、極運動観測結果（IERS C04）から求めた観測励起量を用いた。

図-1 に、3 種類の陸水励起量の違いによる統合モデルの極運動励起量の季節変動を示す。NCEP/NCAR 再解析データから求めた陸水励起量（④）は、観測励起量（①）に比べて、 $\chi_1$  成分の半年周変動の振幅が大きい。また、 $\chi_2$  成分においても、年周変動の振幅が過大である。その一方、LDAS データ（③）や重力観測（②）に基づく陸水励起量を用いた統合モデルは、観測励起量の季節変化の傾向を概ね再現している。この二つを比較すると、重力観測に基づく励起量の方が、観測励起量を良く再現している。したがって、陸水励起量の計算には、重力観測データから計算した励起量を採用する。

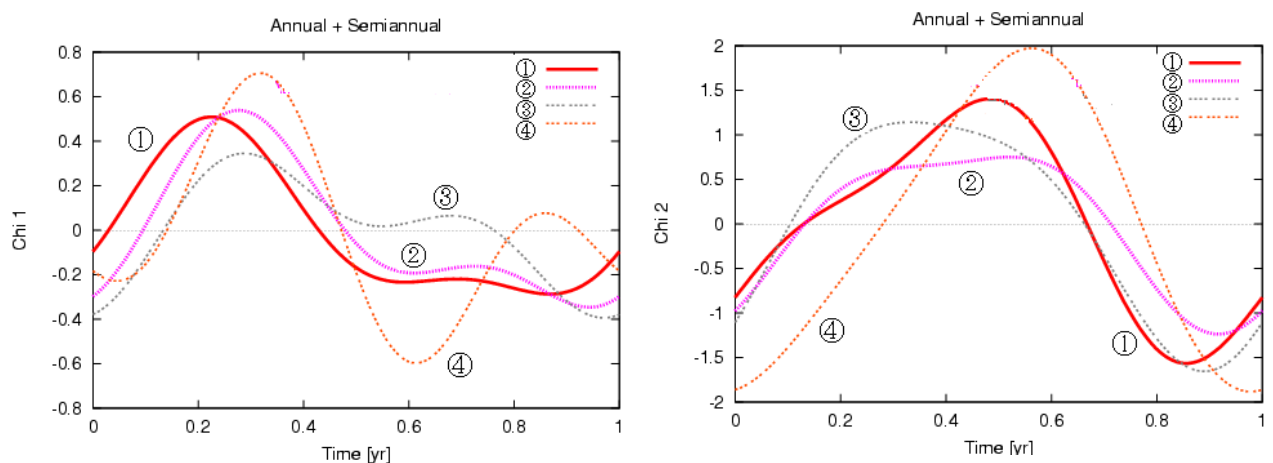


図-1 三種類の陸水励起量を用いたときの統合モデルによる極運動励起量。左は $\chi_1$ 、右は $\chi_2$ 成分。各パネルには、①観測励起量と、モデル（大気・海洋・陸水の統合）による励起量の季節変動をプロットした。後者では、陸水データとして、それぞれ ②重力観測に基づく陸水励起量 ③LDAS データに基づく陸水励起量 ④NCEP/NCAR 再解析データに基づく陸水励起量を用いた場合の結果を示す。

ところで、これまで本研究課題では、大気による励起量として、三種類の再解析気象データ（NCEP/NCAR, NCEP-DOE, ERA-40）を用いて計算し、それら励起量間の較差について議論をしてきた。統合モデルとして、どの気象データを採用するべきかを判断するため、重力観測に基づく陸水励起量を採用した上で、気象データ間の較差の影響を再検討した（図-2）。 $\chi_2$ 成分では、どの気象データを用いても、ほぼ同等の結果が得られるのに対し、 $\chi_1$ 成分では較差が見られる。次に、観測励起量

をリファレンスとして三種類の励起量を比較した。しかし、三種類の励起量の結果には、それぞれ一長一短があり、どの気象データを大気励起量の計算に採用するのが最適か、判断するには至らなかった。

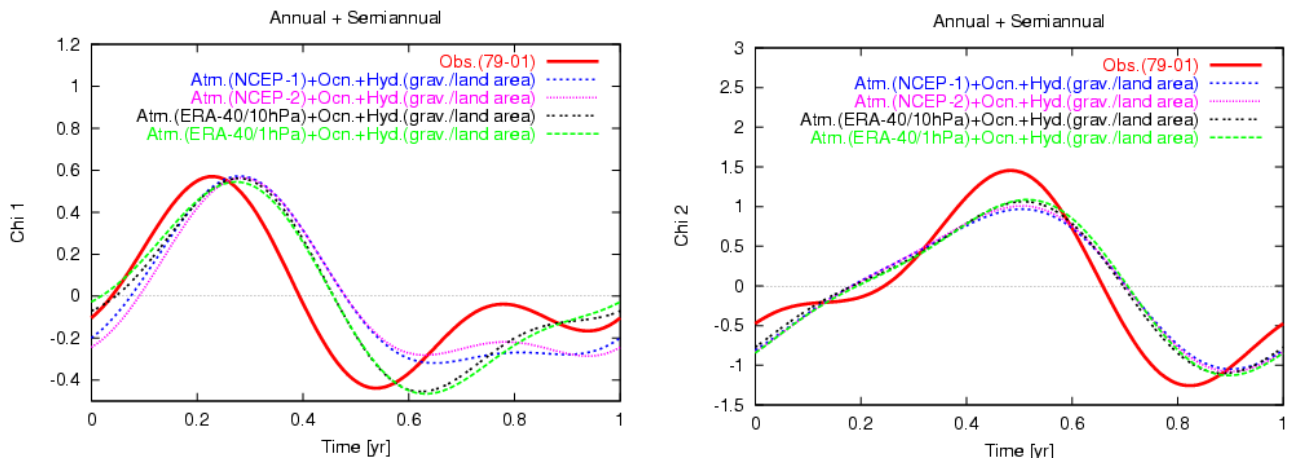


図-2 大気・海洋・陸水を統合した極運動励起量の季節変動成分。重力観測に基づく陸水励起量を採用したときに、三種類の気象データによる統合モデル励起量の違いを、観測励起量（太線）と比較したもの。左は $\chi 1$ ，右は $\chi 2$ 成分。

#### 4. 結論

本研究課題では、地球表層流体を統合した地球回転励起モデルとして、

大気：再解析気象データ

(NCEP/NCAR, NCEP-DOE, ERA-40のうち、どれが最良かについて、判断には至らなかった。)

海洋：ECCO 海洋データ

陸水：重力観測衛星 GRACE データ

を用いて構築することが良いことが分かった。本研究で採用した仕様および解析処理は、以下の通りである。

大気：

再解析気象データ

時間分解能 6 時間

空間分解能  $2.5^\circ \times 2.5^\circ \times$  気象データの鉛直レベル

励起関数を計算（質量項＝表面気圧，運動項＝風速）

海洋：

ECCO 海洋データ（IERS 地球物理流体センターのデータを使用）

時間分解能 12 時間

空間分解能（ECCO データのグリッドに基づく）

励起関数を計算（質量項＝海底面圧力，運動項＝海流）

陸水：

重力観測衛星 GRACE データ

テキサス大学オースチン校 CSR 解析によるレベル 2 データ（リリース 4）

時間分解能 1 ヶ月

空間分解能（使用した Stokes 係数の次数）60 次まで

地球表面での等価質量密度分布に換算し、800km のガウシアンフィルターにより平滑化

陸域のみを取り出し、その質量分布をもとに励起関数（質量項のみ）を計算

その結果得られた統合モデルによる極運動励起の季節変動を、観測励起量の季節変動と比較して評価したところ、以下の結論を得た。

- ・  $\chi$  1 成分（グリニジ経度方向）は、大気・海洋・陸水による励起をすべて考慮することにより、6～7 mas の精度で、極運動励起の季節変動成分のモデル化を達成できた。
- ・  $\chi$  2 成分（東経 90° 方向）は、ほとんどの季節帯において、6～7 mas の精度で極運動励起の季節変動成分のモデル化を達成できた。しかし、北半球の夏季に、観測励起量との比較で 10mas レベルの不一致が生じている。

本研究では、大気・海洋・陸水の三種類の地球物理流体による極運動励起を考慮することで、極運動励起の季節変動について、6～7 mas の精度レベルでモデル化を達成することができた。特に、 $\chi$  1 成分は、三種類の流体のいずれかを欠いても、この精度を達成することができない。そのため、統合モデルが、極運動励起モデルとして有効であることが分かった。しかし、 $\chi$  2 成分の北半球夏季に見られる不一致については、今後の検討課題として残っている。

また、データの信頼性が疑われていた、陸水による極運動の励起量の計算では、GRACE による重力観測データをもとにした陸水励起モデルを採用することにより、信頼できる陸水励起モデルを構築することができた。また、これを用いることにより、観測された極運動励起量をよりよく説明できる統合モデルが構築できた。