

# 精密衛星測位による地球環境監視技術の開発（第3年次） － 精密ジオイドの決定とその応用開発 －

実施期間 平成14年度～平成16年度  
地理地殻活動研究センター  
宇宙測地研究室 黒石 裕樹

## 1. はじめに

本研究は、精密衛星測位を活用した斬新な発想による地球環境監視システムの実現を目指し、その要素技術の基礎開発を推進することを目的とする、文部科学省科学技術振興調整費による共同研究「精密衛星測位による地球環境監視技術の開発」の研究項目の一つとして国土地理院が実施するものである。本共同研究では、グローバルな地球環境を、地球大気・電離圏とその下層に広がる陸水・雪氷・海洋圏の2領域に大別し、それぞれについて新しい発想に基づく衛星観測法の開発を試みる。つまり、前者では衛星測位電波の大気伝搬遅延・屈折現象を利用したGPS掩蔽、後者では地球重力場による衛星軌道の微細変動観測による衛星重力ミッションを応用し、これらはそれぞれ、「GPS掩蔽法を用いた地球大気圏モニタ技術開発」、「衛星重力ミッションの基礎技術開発」のサブテーマとして実施される。

「衛星重力ミッションの基礎技術開発」は、「衛星軌道決定精度の向上に関する基礎技術開発」、「光・電波による衛星間測位技術開発」、「衛星搭載型加速度計の開発」の3つの要素技術の開発と、それらの技術による最適な衛星ミッションの物理設計を行う「将来衛星観測ミッションの物理設計と応用技術開発」の4課題から構成される。本研究は、物理設計に関する課題の研究項目の一つである。

ローカルジオイドは、グローバルな座標系における絶対位置が決定できれば、海水準変動や海洋の力学的挙動の絶対量の基準を提供する。現時点では、全球重力場の中長波長成分が十分な精度で決定できていないため、ローカルジオイドの絶対位置決定精度が不足している。重力衛星ミッションでは、重力場中長波長成分を全球にわたり均質かつ高精度に観測できるため、既存のローカルな陸海上重力場データと衛星観測ミッションデータを統合して重力場とローカルジオイドの絶対位置決定手法を開発し、必要となるジオイドの絶対位置決定精度を実現する衛星ミッションデータのスペックを明らかにする研究を行う。

## 2. 研究内容

国土地理院において開発された日本周辺の陸海上重力場モデルやジオイド・モデルと、先行する衛星重力ミッションであるCHAMPやGRACEのデータとを統合して重力場・ジオイドを決定するアルゴリズムの開発を行う。開発されたアルゴリズムをもとに、CHAMPやGRACEで得られた観測データに用いた重力場とジオイド決定を実施して評価を行い、アルゴリズムの改良を図る。さらに、衛星重力ミッションの異なる設定条件に対するジオイド決定精度を推定するシミュレーション手法を検討し、衛星観測ミッションのスペックを明らかにする研究を行う。

## 3. 得られた成果

今年度においては、重力衛星CHAMPによる精密測位データから、全球重力モデルを復元する手法を検討した。測位データとしては、GFZによって処理された2003年1～6月におけるLevel4の精密軌道解を利用し、1.5日を軌道長（アーク）として地球基準座標系ITRF96における位置3成分が30秒間隔で与えられたものを用いた。

重力場復元には、米国ゴダード宇宙飛行センターが開発したソフトウェアGEODYN2/SOLVEを用いた。重力場の復元は、標準偏差を25mmとして測位解各成分をデータに力学的な軌道決定方程式を

組み、重力場を推定パラメータとして求める方法を採用した。重力場については Kaula の経験則による正規化を 25 次以上の球面調和係数について適用し、加速度計データの代わりに経験加速度モデルをパラメータとして含めた。また、大気と海洋の質量再配分による重力場の時間変動についての de-aliasing を行わない、初歩的な解析を行った。

1 ヶ月分ごとにデータをまとめて復元した全球重力モデル (monthly model) を求め、その degree variances を調べると、ジオイド高からは約 60 次以上、重力からは約 50 次以上のパワーに振動がみられた。この結果は、少なくともこれらの次数において十分な平均重力場の決定が実現されていないことを示している。

つぎに 6 ヶ月のデータ全てをまとめて復元したモデルに対する各月の monthly model の較差を求め、その地理的分布を調べた。ただし、決定精度が有意に劣っていると思われる  $C_{20}$  項を除き、比較的安定した解が得られていると思われる 45 次までの係数だけを含めた。重力の較差場、ジオイド高の較差場とも、極域で大きな東西走向の較差、中・低緯度域で軌道パターンと思われる縞状の較差 (最大 5 mgal) が見られることが明らかになり、また、長期間のデータを含めた解がむしろ安定していないと思われる結果が得られた。

#### 4. 結論

CHAMP 衛星による High-Low SST 方式の重力場復元手法、つまり、低高度極軌道衛星の軌道擾乱をその衛星に搭載された GPS 観測による精密測位を用いて決定し、それから重力場を復元する手法、について基礎的な方法が確立された。その方法を用いて CHAMP の 6 ヶ月分の観測データから、1 ヶ月、3 ヶ月、6 ヶ月の平均重力場解析を行ったところ、昨年度までに行った評価のように球面調和係数で 40 次程度までは比較的安定しているものの、全体的には安定した解が得られなかった。これは、大気等の質量再配分による重力場の時間変動の除去 (de-aliasing) を使わず、また、非保存力の影響除去において加速度計データを使う代わりに経験加速度モデルを用いた解析を行ったことによると思われる。非保存力による加速度を経験的加速度モデルとして推定する手法では、そのモデルと相関が高い低次の重力場係数の推定との間で干渉するため、解の不安定性は十分な高頻度で加速度計による実測加速度を使う必要があることを示している。また、得られた重力場モデル間の較差の地理的分布には南北走向に縞模様を示す streaking がみられ、この軌道パターンに沿った系統的誤差は短周期の重力場時間変動現象によるエイリアシングであると考えられる。これは、大気・海洋の質量再配分による短周期変動によると考えられ、その影響を重力場の復元において補正する必要性を示すと考えられる。

データ公開の遅れのため、今回の研究では GRACE 衛星による Low-low SST 方式の重力場復元手法、つまり、同一の低軌道を前後して周回する双子衛星間の距離 (変化率) 測定から重力場を復元する手法、の開発と評価ができなかった。昨年度までの評価から、この手法は長波長成分も含めより高精度で高分解能であり、また、地域的に分解能を高めた重力場の決定が可能であると考えられる。今後は、GRACE 衛星の観測データを用いた局所域の高精度重力場決定手法を開発し、それを局所的な重力データを統合してジオイドの絶対位置決定を高精度化する研究への発展が期待される。

なお、本課題で用いたソフトウェア GEODYN2/SOLVE は本共同研究においてゴダード宇宙飛行センターから使用許可を得たものである。便宜を図っていただいた同センターの Benjamin F. Chao 博士に感謝いたします。

#### オリジナル論文

Kuroishi, Y, W Keller (2005) Wavelet approach to improvement of gravity field-geoid modeling for Japan, J Geophys. Res. 110, B03402, doi:10.1029/2004JB003371