精密衛星測位による地球環境監視技術の開発（第２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

(1) 日本とその周辺における重力ジオイド・モデルの短波長成分のさらなる改良

衛星重力観測を応用し、日本とその周辺における絶対的なジオイド・モデルの構築を推進するため、基盤となる日本の地域ジオイド・モデルの短波長成分をさらに高度化する研究を行った。なお、本項目は一般研究「重力場モデリングにおける系統誤差除去手法の開発（第２年次）」および「ジオイドの高精度モデリングに関する研究（第６年次）」と一体的に行ったものであり、詳細はそれぞれの報告に譲る。

(2) 重力衛星 GRACE による衛星重力場モデルの評価

先行する衛星重力ミッションである GRACE だけから決定された長波長重力場モデル EIGEN-GRACE01S（GFZ）、GGM01S（Tapley et al., 2004）を用いて、精密衛星測位観測による重力場モデリングの統合に関する基礎的な調査を行った。

EIGEN-GRACE01S は、GRACE の 39 日分の GPS による精密軌道、距離変化率測定、衛星搭載の加速度計データなどを用いて決定された重力ポテンシャル・モデルであり、７０次を超える球面調和係数については Kaula の経験則による正則化処理が施された１２０次・位までの全係数と、共鳴をもつ 140 次までの一部の係数が決定されている。また、GGM01S は、同じく GRACE のデータ 111 日分から正則化処理を加えずに求められた１２０次・位までの球面調和関数モデルである。

これらの球面調和係数モデルについて、相異なる特定の次数までの係数をとり、それより高次について EGM96（Lemoine et al., 1997）を３６０次まで結合したモデルを作成してジオイドを求め、GPS/水準法による全国のジオイド高データと比較した（図１）。その結果、いずれのモデルも GRACE のデータから決定されたモデルの 90 次までの係数を用いた場合が、回帰平面の傾斜率（長波長誤差を示唆する量）および回帰後の誤差の標準偏差が最も小さくなった。つまり、GRACE のデータを用いて、９０次までの重力場（波長約 444 km）が改良されていることを示している。昨年度の研究から、衛星に搭載された GPS 観測による低軌道衛星の軌道データから４０次までの係数が改善され、これに GRACE の２衛星間距離変化率の測定を１ヶ月以上加えて、９０次までの係数が改善されることが分かる。

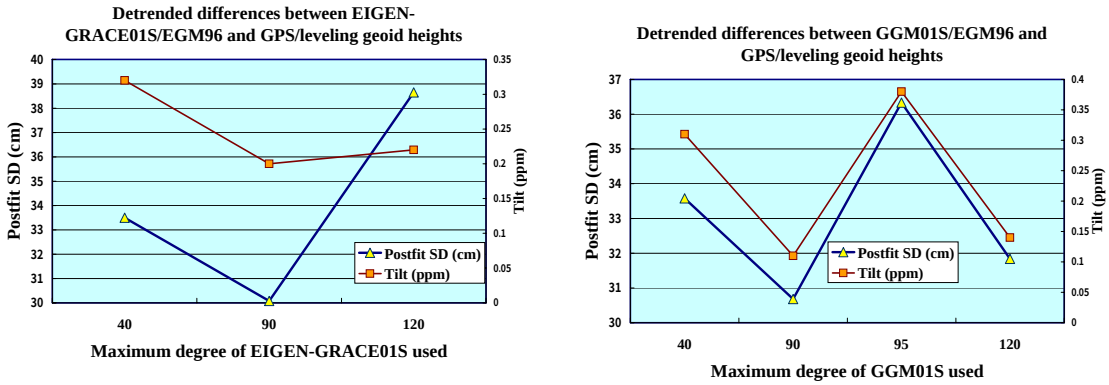

図１ 重力ポテンシャルモデルと GPS/水準ジオイド高データの較差の平面回帰統計量。（左）EIGEN-GRACE01S,（右）GGM01S。回帰平面の傾斜率と回帰後の較差の標準偏差を示す。

４．結論

日本とその周辺については、陸海上の重力データを用いて短波長成分について大幅に改良された重力場モデル JGEOID2004 が構築され、これを基盤としてジオイドの中長波長成分の決定を高精度化する準備が整った。地球の周りの低軌道を飛ぶ、先行する重力衛星 CHAMP や GRACE による観測で得られた全球重力ポテンシャル・モデルから、衛星搭載 GPS による精密軌道決定から４０次まで、同一軌道を飛ぶ２衛星間の電波測定データから９０次までの重力場の改良が実現されていることが明らかになった。今後は、CHAMP や GRACE の実際の観測データを用いた重力場の復元解析を進め、これらによって観測される重力場の時間変動度の特性やエイリアシングの影響など、重力場の復元精度やその応用について研究を行い、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。

参考文献

Tapley, BD, S Bettadput, M Watkins, C Reigber (2004) The gravity recovery and climate experiment: Mission overview and early results, Geophysical Research Letters, 31, L09607, doi:10.1029/2004GL019920