

重力観測衛星からの地球重力場の時間変動の抽出に関する研究（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

現在、地球重力場変動の観測を目的とする重力観測衛星が運用されており、水循環に伴う質量再配分の検出など、地球科学・環境科学分野での観測成果が期待されている。一般に人工衛星を用いた重力場解析は、ある時間長で切り出した軌道弧に対する軌道決定と、軌道摂動を利用した全球重力場決定の、2つのステップから成る。これらのステップでは、解析手法や設定条件の違いによって得られる結果が異なるため、解析手法の検討が必要である。そこで本研究では、モンスーンによる海水の吹き寄せを例にとり、長周期での重力場変動の有無や様式を評価するための全球重力場決定手法の開発を行なう。

なお、本研究は一般研究として実施している。

2. 研究内容

昨年度は、reduced dynamic 法による重力観測衛星 CHAMP の軌道決定において、軌道積分のための重力場モデルとして、大気による重力場の短周期変動を与える場合、この変動モデルの考慮の有無による軌道決定精度の違いについて研究を行なった。その結果、特定のパス（2機の GPS 衛星と地上観測局との組み合わせ1通りに対して、CHAMP 衛星が地上観測局上空を1回通過する事象とする。すなわち、1パスごとに、二重位相差を測定する機会が生じる。）において、軌道決定の残差が大きい傾向が見られた。今年度は、同じ解析事例を精査して、GPS を用いた軌道決定における解析パラメータの設定について検討する。

3. 得られた成果

低高度軌道に投入された重力観測衛星には GPS アンテナが搭載されており、GPS による精密測位が可能である。そこで、重力観測衛星 CHAMP の速報軌道解である RSO データ（レベル3、2002年8月7～9日のデータを使用）を初期軌道とし、reduced dynamic 法を用いて、GPS データを用いたキネマティック処理による測位解と軌道決定位置との RMS 残差が小さくなるように軌道改良を行なった。軌道弧の長さは0時から翌日6時までの30時間である。なお、解析には軌道解析ソフトウェア GEODYN-II を用いた。GEODYN-II は、大気による重力場変動を摂動モデルに組み込むことができる。本解析では、静的重力場として GGM01C（球面調和係数100次まで）を使用し、大気重力場変動として同係数20次までを考慮した。GPS による重力観測衛星の位置の決定には、二重位相差（2機の GPS 衛星から送出された信号を、地上観測局と重力観測衛星に搭載された GPS アンテナで受信し、解析処理を行なう）の測定を用いた。

パスによる残差の大小を表-1に示す。GPS による重力観測衛星の位置決定では、GPS 衛星自身の軌道決定精度が、結果に影響する可能性があるため、この表には、すべて同じ2機の GPS 衛星ペアを用いた（すなわち、地上局のみが異なる）二重位相差の測定事例のみを挙げた。パスによる残差の違いは、二重位相差の測定に使用した地上観測局に依存していることが確認できる。しかし、表-1で残差が大きい事例の観測局を用いた二重位相差の測定事例であっても、別の GPS 衛星ペアを用いた場合、残差が小さい例も見受けられた。

表－1 二重位相差（GPS 衛星 2 機，重力観測衛星搭載の GPS 受信アンテナ，地上観測局の GPS アンテナ）により決定された重力観測衛星の位置と，軌道決定された重力観測衛星の位置との RMS 残差．ただし，ここに挙げた結果は，すべて同じ 2 機の GPS 衛星を用いた（すなわち，地上局のみが異なる）解析事例を示す．各表第 3 列は，全観測数に対して，実際に軌道決定に用いた観測数を示す．

(a) 比較的精度良く決まっている観測例				(b) あまり精度良く決まっていない観測例			
地上局	パス ID	使用数／ 全観測数	RMS [mm]	地上局	パス ID	使用数／ 全観測数	RMS [mm]
PRDS_GPS	# 1	40/ 40	6.47	GALA_GPS	# 6	26/ 40	20.32
	#2688	41/ 41	8.65		#2692	38/ 41	19.60
BILI_GPS	# 3	40/ 40	10.92	TROM_GPS	# 8	34/ 40	22.74
	#1352	49/ 49	8.85		#1354	49/ 49	6.37
	#2689	16/ 16	8.44	KOUR_GPS	# 27	12/ 18	24.50
					#2694	31/ 41	21.31

この結果は，同じ GPS 衛星ペアを用いた二重位相差の測定事例であり，観測時間帯も近接していることから，GPS 衛星自身の軌道決定精度はほぼ同じと考えられる．したがって，このパスによる精度の違いは，地上観測局との関連性を示唆している．地上局に関連した誤差要因として，アプリアリに与えた位置のエラーや，GPS 信号の伝播経路上（対流圏遅延推定など）のエラーなどが考えられる．しかし，残差が大きい観測局であっても，別の GPS 衛星ペアを用いた二重位相差の測定では，残差が小さい例もあることから，対流圏遅延推定のエラーが要因になっている可能性がある．

残差の大きなデータについて，最小二乗法での重みを小さくするような設定をしているが，地上局（またはパス）ごとの残差に関する出力レポートの結果をもとに，残差の大きなデータについては，再解析や手作業での解析パラメータの設定をすることが有効となる可能性がある．

4. まとめ

重力観測衛星を用いた重力場解析で必要となる衛星の軌道決定において，解析手法や設定条件の違いによって得られる結果が異なるため，解析手法の検討を行ない，次のような結果を得た．

- ・軌道決定精度と軌道弧長との間には，明確な関係は認められなかった．GPS を用いて決定した位置による拘束に加え，経験的加速度をはじめとする未知パラメータによる軌道の調整や，反復計算による軌道改良の働きにより，最終的な軌道決定精度にはほとんど影響しなかった．
- ・リファレンスとして与える重力場として，大気による重力場の短周期変動の有無による軌道決定精度の違いを調べたが，明瞭な違いは認められなかった．
- ・初期設定したパラメータやモデルの良否は，最初に算出された軌道解やその未知パラメータの推定結果に影響を与えることはあったが，GPS による位置決定による拘束や反復計算の過程で，逐次修正・排除されるため，最終結果の残差には影響が現れにくい傾向がある．

本研究では，重力場の決定や，海水の質量変動の解析には至らなかったが，GPS による精密測位を用いた人工衛星の軌道決定における，解析条件の設定や解析上の注意点を検討することができた．

GPS 二重位相差の測定では，対流圏遅延の推定などがエラーの原因となる可能性があり，適切な除去や，解析上の重みの低減を検討する必要がある．出力される残差レポートを確認して，パスや地上局に対応したエラーの有無を確認し，パラメータの設定変更の是非を検討することも必要である．

5. 謝辞

本研究の解析には，アメリカ航空宇宙局ゴダード宇宙飛行センターで開発された軌道解析ソフトウェア GEODYN-II を使用した．同ソフトウェアの使用許諾をいただいたことに感謝する．