

太陽フラックス遅延時間が衛星軌道精度に及ぼす影響

The effect of the solar fluxes delay time on the orbital accuracy

森 茂博[1], # 宇佐美 昌樹[2], 内田 雅士[2], 山本 富嘉[2]
Shigehiro Mori[1], # masaki usami[2], Masashi Uchida[3], Tomiyoshi Yamamoto[4]

[1] NASDA・衛星運用技術部, [2] 大興電子・宇宙

[1] Satellite Mission Operation Dep., NASDA, [2] Daiko, [3] @DAIKO, [4] @

(1) 概要

高度 1000km 位までの低高度の人工衛星の軌道は、大気の影響を受け、またこの軌道の大気密度は、太陽活動の影響により大きく変化する。太陽活動を表す観測の太陽フラックス値と地球大気に影響が及ぶ時刻には、太陽フレアプラズマ雲（第二集団）が地球大気に到達するのに要する時間の遅れがあることが知られている。

本報告は人工衛星の軌道解析から得た、この太陽フラックス値の遅延時間の推定値及びその推定値を用いた軌道決定/予報の精度の向上について述べる。特に、太陽フラックス遅延時間としてこれまで軌道計算に広く用いられてきた Jacchia71 年モデルの 1.0 ± 0.12 日とは異なる、1.8~2.0 日という推定結果を得た。また、この推定値を用いることにより軌道決定/予報の精度向上が確認されこの遅延時間の変動が予想された。

(2) 太陽フラックス遅延時間の推定

人工衛星の軌道決定は、測距データを用いて最小自乗法（バッチ推定）で行っているが、この時に軌道 6 要素の他に衛星の大気抵抗補正係数：1 も同時に推定する。この 1 は衛星表面の特性により定まるため、軌道決定時刻に依存せずどの時刻においても同じ推定値になるのが望まれる。しかし、太陽活動の極大期においては推定した 1 の値は度々大きく変化する。

そこで、システム誤差として観測の太陽フラックスに対する遅延時間に注目した。太陽フレアプラズマ雲（第二集団）は、発生から 1~2 日間を得て地球に到達し、磁気嵐や極光（オーロラ）の原因となることが知られている。超高層大気もプラズマ雲との衝突により、急激に変化していることが予想された。

この遅延時間を正確に推定するため、1.0~2.0 日間の遅延時刻に対して 0.2 日間の遅延モデルを与え、3 日程度の測距データを用いて軌道及び 1 を推定した。解析した衛星 MOS-1, GINGA は 1989 年の 9 月 3 日~9 月 16 日、ようこう、あすかは、2000 年の 4 月 17 日~5 月 3 日の期間の測距データを用いている。条件は以下である。

Solar Flux データ : NOAA 公表の F10.7 (20 時 UT の観測値)

大気密度モデル : Jacchia-Robert モデル (地磁気による大気密度への影響考慮)

地球重力モデル : GEM-T3 (位数、次数は 36 次まで考慮)

本解析で得られた衛星 MOS1 の大気抵抗補正係数の推定値の変化の様子を (図 2) に示す。また、参考に推定の期間の太陽フラックス値を (図 1) に示す。これらの図及び他の衛星の結果から、1 及び長半径の推定値の変化が少ないものを評価の基準とした。その結果、遅延時間としては 1.8~2.0 日が妥当と認められた。

(3) 太陽フラックス遅延モデルと軌道決定/予報精度

衛星の軌道計算における大気密度モデルとして、Jacchia が 1971 年に発表したモデルを基礎として、Robert が軌道計算に適した形に改良したものが最も普及しており、Jacchia-Robert モデルと言われる。このモデルの太陽フラックス遅延時間 $t = 1.0 \pm 0.12$ 日である。その後、1977 年に Jacchia は改良したものを発表しており、それらは以下になっている (H: 太陽の時角)

$$t = 1.26 + 0.37 \sin(H - 92^\circ) \text{ 日 (Jacchia, Slowey, and Campbell 1973)}$$

$$t = 1.74 + 0.26 \cos(H) \text{ 日 (Paul, Volland, and Roemer 1974)}$$

衛星「あすか」及び「ようこう」について、遅延モデル別の軌道決定/予報精度の評価を行った。期間は、前節に同じ太陽活動極大期の 2000 年の 4 月 17 日~5 月 3 日である。軌道決定値を約 2 週間伝播した時の軌道予報値と、予報値と同一時刻で求めた軌道決定値の差を (表) に示す。この期間の太陽活動による外圏温度の変化は、Jacchia モデルから約 100°K と推定でき、高度約 600km では基本大気密度は約 2 倍前後変化していることが判った。この大気密度の変化は、衛星に対する抗力の変化となる。このため、太陽フレアの地球大気との衝突時刻のモデル誤差は、軌道の長半径、衛星の位置の誤差 (r , R) に影響を及ぼす。表はこの様子を示しており、遅延時間を評価値 1.8 日に固定したモデルは、これらの精度が著しく向上することが判った。

(5) 今後の課題

低高度 (~1000km) の地球周回衛星の軌道決定及び予報の精度を向上させるために、太陽フレア第 2 集団の発生と地球到達時刻を正確に知ることは、非常に重要であることが判った。特に、高精度な軌道決定を行うとする時には、最も主要な誤差源となることが想定される。

今後の課題として、以下があげられる。

1) 太陽活動平穏期、太陽活動活発期の初期、中期、後期で遅延時間が異なることが

ないかを調べる。

2) 世界の観測所で観測されている太陽活動に関するデータから、太陽フレアの発生時刻を正確に知ることができないかを調べる。

受付番号 000502
 日本語タイトル 太陽フラックス遅延時間が衛星軌道精度に及ぼす影響
 投稿著者 山本 富嘉
 セッション番号 E021

①1989年9月3日～1989年9月17日

表2-1 遅延量と予報精度 (ぎんが: 高度490km~690km 傾斜角 31度)

大気密度モデル	フラックス遅延量	$\Delta a(m)$	Δe	$\Delta i(deg)$	$\Delta \phi(deg)$	$\Delta R(km)$
Jacchia71	-1.0日	429	3.2E-05	0.0076	-2.020	-244.42
	-1.2日	401	3.4E-05	0.0075	-1.919	-232.199
	-1.4日	372	3.6E-05	0.0074	-1.813	-219.373
	-1.6日	341	3.8E-05	0.0073	-1.701	-205.821
	-1.8日	309	4.0E-05	0.0072	-1.585	-191.785
	-2.0日	276	4.2E-05	0.0070	-1.467	-177.507

表2-2 遅延量と予報精度 (MOS-1: 高度901km~920km 傾斜角 99度)

大気密度モデル	フラックス遅延量	$\Delta a(m)$	Δe	$\Delta i(deg)$	$\Delta \phi(deg)$	$\Delta R(km)$
Jacchia71	-1.0日	7.6	1.5E-06	0.000052	-0.036	-4.576
	-1.2日	6.7	1.4E-06	0.000051	-0.032	-4.067
	-1.4日	5.8	1.5E-06	0.000050	-0.028	-3.559
	-1.6日	4.9	1.5E-06	0.000050	-0.025	-3.178
	1.8日	3.9	1.5E-06	0.000050	-0.021	-2.669
	-2.0日	2.9	1.5E-06	0.000050	-0.017	-2.161

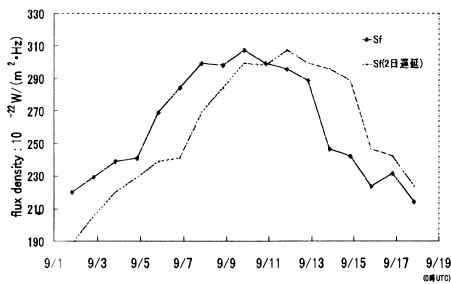


図1-1 Sfと2日の遅延を考慮したSf

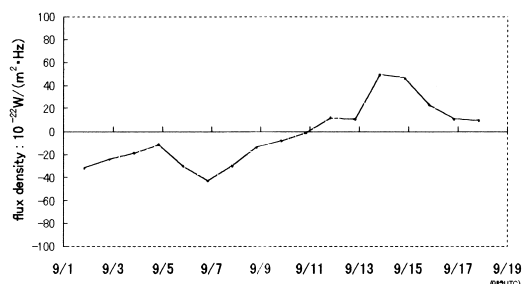


図1-2 2日の遅延を考慮したSfとSfの差

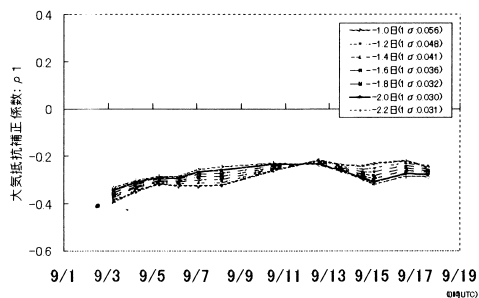


図2-1 ぎんが: 遅延量とrho 1の関係

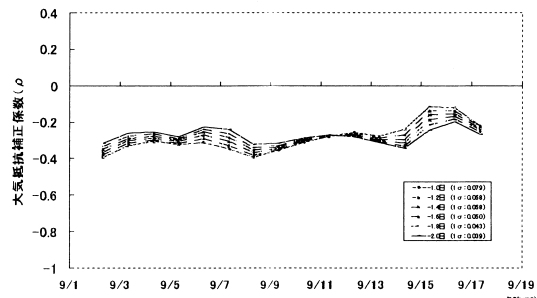


図2-2 MOS-1: 遅延量とrho 1の関係