

準天頂軌道のハンドオーバ点の位置と衝突離心率

1. はじめに

準天頂衛星軌道は、傾斜角が 45 度付近で 0.1~0.3 程度の離心率を持つ同期軌道である。昇交点赤経が 120 度ずつ異なる 3 軌道に 1 機ずつ投入されて、移動体通信ミッション、測位ミッション等に使用される。1 つの衛星は、遠地点を中心に約 8 時間、ミッションに使用され、境界で別の衛星にミッションを引き継ぐ。その引き継ぐ点をハンドオーバ点と言う。軌道要素にずれが無ければハンドオーバ点で 2 衛星は高度と緯度 ϕ は同じであり、一般に小さい経度差 $\Delta \lambda$ を持つ。そして、もし経度差がゼロであれば、2 衛星は衝突する事になる。ハンドオーバ点の位置は主に離心率によって決まる。本資料では、傾斜角と離心率によってハンドオーバ点の緯度と経度差がどのように変化するかを述べる。 $\Delta \lambda$ がゼロとなる離心率をここでは衝突離心率と呼ぶ。

2. 解析方法

1 つの準天頂軌道を図 2-1 に示す。1 つの衛星の運用期間は遠地点を中心に約 8 時間であり、別の衛星にハンドオーバする点 P では、平均近点離角 M は以下の値となる。

$$M = \pi + \frac{\pi}{3} = \frac{4\pi}{3} \quad (2-1)$$

ケプラー方程式(超越方程式)を解いて、この M に対する離心近点離角 E を求め、更に真近点離角 f に変換すると、次式の $\Delta \theta$ が求められる(図 2-1 参照)。

$$f = \pi + \Delta \theta \quad (2-2)$$

図 2-1 の球面三角 ABC に対して、球面三角法を適用すると、

$$\tan \alpha = \frac{\tan \Delta \theta}{\cos i} \quad (2-3)$$

となる。ハンドオーバ時の 2 衛星の経度間隔 $\Delta \lambda$ は、

$$\Delta \lambda = 2\alpha - 120^\circ \quad (2-4)$$

で求められる。図 2-2 を参照。

ハンドオーバ点の緯度 ϕ は、球面三角法により

$$\tan \phi = \tan i \cos \alpha$$

で求められる。

以上で、ハンドオーバ点間の経度差 $\Delta \lambda$ と緯度 ϕ が得られる。参考までに、図 2-3 に、傾斜角 45 度、離心率 0.1 の場合の地上軌跡を示す。

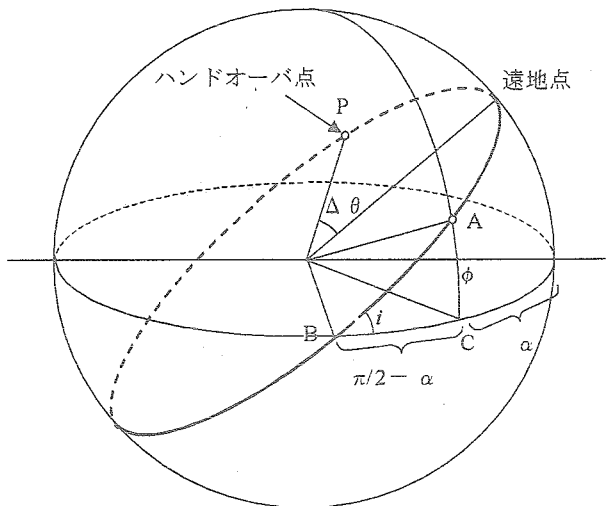


図 2-1 準天頂軌道のハンドオーバ点

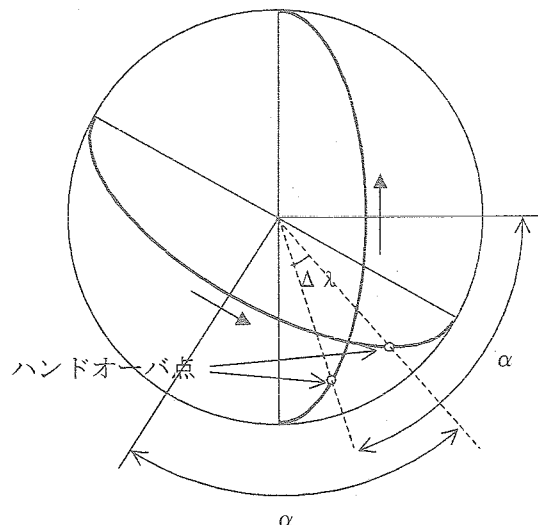


図 2-2 北極方向から見たハンドオーバ点 ($\Delta \lambda > 0$ の場合の図)

3. 解析結果

図 3-1 に傾斜角 45 度、50 度、55 度の 3 ケースに対し、離心率を 0.0 から 0.3 まで変えた時のハンドオーバー点の ϕ と $\Delta \lambda$ の変化を示す。 $\Delta \lambda$ が正の時は、ハンドオーバー点は地上軌跡のクロス点より北に位置し、負の時は南に位置する。 $\Delta \lambda$ がちょうどゼロの時、軌道要素にずれが無ければ衝突が生じる。

表 3-1 に、各傾斜角に対して $\Delta \lambda = 0$ 付近の離心率を掲げる。 $\Delta \lambda$ がゼロとなる離心率(衝突離心率)は、傾斜角 45 度では約 0.0992、50 度では約 0.1310、55 度では約 0.1715 である。

表 3-1 $\Delta \lambda = 0$ 付近の離心率

傾斜角	離心率	$\Delta \lambda$ (deg)	ϕ (deg)
45 度	0.0991	0.0201	26.558
	0.0992	0.0047	26.563
	0.0993	-0.0106	26.569
	0.0994	-0.0260	26.574
50 度	0.1309	0.0178	30.783
	0.1310	0.0034	30.788
	0.1311	-0.0111	30.794
	0.1312	-0.0255	30.799
55 度	0.1713	0.0241	35.520
	0.1714	0.0105	35.525
	0.1715	-0.0030	35.531
	0.1716	-0.0166	35.536

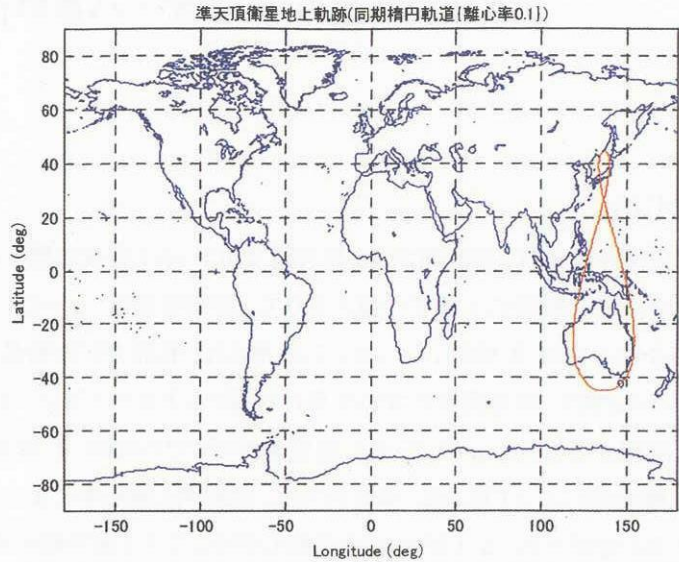


図 2-3 傾斜角 45 度、離心率 0.1 の同期軌道の地上軌跡 (衛星ミッション推進センターの概念検討報告会資料より)

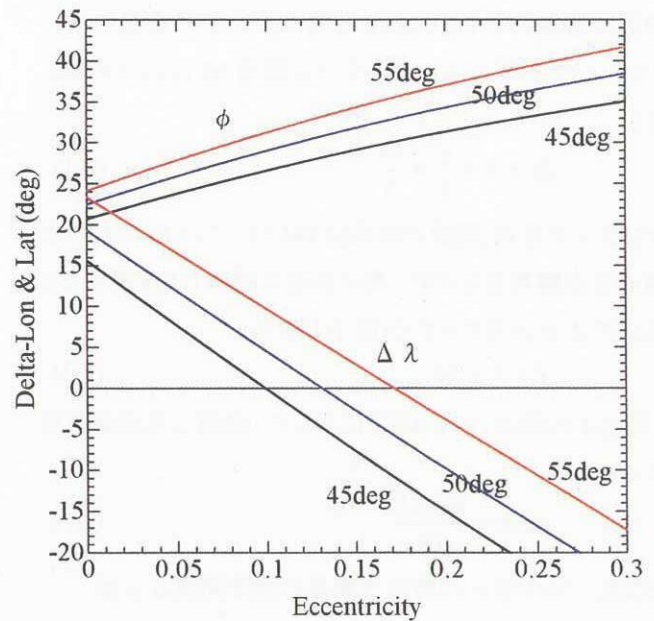


図 3-1 離心率による ϕ と $\Delta \lambda$ の変化

3 つの準天頂衛星軌道は、地球重力場の扁平性(J_2 項など)、月・太陽の重力、太陽輻射圧などの摂動を受けて変化するが¹⁾、定期的に軌道保持制御が行なわれて、ある範囲内に保持される。 $\Delta \lambda$ がゼロとなる衝突離心率を採用しても、実際の軌道要素はある程度のずれを常に持っていると考えられるため、衝突の可能性は極めて小さいと予想されるが、モンテカルロ・シミュレーション等で安全性の確認が必要であろう。

4. おわりに

準天頂軌道のハンドオーバ点の位置が、採用する傾斜角及び離心率によって、どのように変化するかを示した。ハンドオーバ点間の経度差がゼロとなる衝突離心率に近い離心率を採用した場合、ミッション運用時のハンドオーバが容易と言う利点があるが、2 衛星の衝突の確率も増える。このような場合は、各軌道要素の保持幅を考慮したモンテカルロ・シミュレーションなどで事前に評価しておく必要がある。

5. 参考文献

1)木村和宏, 田中正人, “準天頂衛星システムの軌道保持,” 第44回宇宙科学技術連合講演会 3C11, 2000年10月.