

単一のレーダを用いたスペースデブリ軌道決定のための位置・速度推定精度の検討

Study on the Accuracy of Position and Velocity Estimation
for Orbit Determination of Space Debris with a Single Radar

磯田 健太郎
Kentaro Isoda

阪本 卓也
Takuya Sakamoto

佐藤 亨
Toru Sato

京都大学大学院 情報学研究科 通信情報システム専攻
Graduate School of Informatics, Kyoto University

1 研究背景・目的

現在、地球周回衛星軌道上を運動する不要物体であるスペースデブリが宇宙環境問題となっており、将来の宇宙基地等との衝突が懸念されている。そのため、デブリの軌道を把握することが重要である。米国においては、大きさ約 10 cm 以上のデブリを複数のレーダを用いて観測し、カタログ化している [1]。しかし、衝突時の危険性を考慮すると、大きさ約 1 cm までのデブリを観測する必要があるが、そのためには大型のレーダが必要となり、複数の設置は現実的ではない。我が国では、2003 年岡山県に設立された KSGC(上斎原スペースガードセンター)レーダによってデブリ観測が行われている。複数のレーダを用いずに単一のレーダのみでデブリの軌道決定を行い、カタログ化するためには、一回の観測パスで得られた位置・速度を用いて、次回接近時にデブリを再捕捉する必要がある。我々は KSGC レーダを用いた位置・速度推定法を提案してきた [2]。本稿では KSGC レーダでデブリを再捕捉するための位置・速度推定精度について検討する。

2 位置・速度の要求精度

デブリの軌道は、衛星と同様に軌道 6 要素によって決定される。レーダ観測では位置ベクトル r 、速度ベクトル V が推定でき、これらから軌道 6 要素を推定し軌道計算を行う。KSGC でデブリを観測した後、再捕捉するタイミングは、A:デブリが地球を一周したとき、B:約 12 時間後、C:約 24 時間後の 3 種に分類される。これらは主にデブリの軌道傾斜角 i や、観測点の平均近地点離角 M_0 によって決まる。捕捉条件 A の場合のデブリの運動を図 1 に示す。縦軸が緯度、横軸は経度である。今回の検討では、観測点を KSGC レーダの真上とし、運動方向には誤差がなく、速さのみに推定誤差が生じた場合を考える。アンテナ座標系(北, 西, 天頂をそれぞれ x, y, z 軸)で、A-C の真値を次に設定する。

A:高度 800 km, $V=(0.0, -8.0, 0.0)$ km/s

B:高度 1,350 km, $V=(6.9, 0.0, 0.0)$ km/s

C:高度 800 km, $V=(8.0, 0.0, 0.0)$ km/s

A は $i = 35^\circ$ 近地点で観測し、デブリが地球を一周してきた時に再捕捉する場合である。B は $i = 90^\circ$ 遠地点で観測し、デブリが地球を一周してきた時には KSGC の観測範囲外のレンジへ移動するため、約 12 時間後に近地点側でデブリを再捕捉する場合である。C は $i = 90^\circ$ 近

地点で観測し捕捉条件 A,B の両方の場合で KSGC の観測範囲外のレンジへ移動するため、約 24 時間後に再び近地点側でデブリを再捕捉する場合である。評価として、最接近時の位置が KSGC の観測可能範囲内(距離 1,350 km, 仰角 15° 以上)、KSGC の 1 ビーム内 (1.9° 内)に収まる速度誤差 ΔV 、そのときの到来時間誤差 ΔT_0 を調べる。その結果を表 1 に示す。KSGC 観測範囲内と 1 ビーム範囲内を比較して、1 ビーム範囲内の方が許容誤差が著しく小さいことがわかる。また、捕捉条件 C では許容誤差が極めて小さい。文献 [2] で RCS 27.1 m^2 の実データに対し、速さを予報値との誤差 3.9 m/s で推定できることを明らかにした。この場合 1 ビーム範囲内の捕捉条件 A または B の場合については、再捕捉が可能である。今後は位置、速度ベクトルの方向誤差に対しても同様に検討する必要がある。

表 1 各捕捉条件における要求推定精度

捕捉条件	KSGC 観測範囲内		1 ビーム範囲内	
	ΔV [m/s]	ΔT_0 [min]	ΔV [m/s]	ΔT_0 [sec]
A	-700-200	-35-13.6	-45-43	± 180
B	86.2	24	3.79	+60
C	-44-78	-31-59	-0.83-0.82	± 36

参考文献

- [1] P. A. Jackson, *Orbital Debris Conference*, No AIAA-90-1339, April, 1990.
[2] 磯田, 阪本, 佐藤, 信学・総合大会 B-2-9, 2006.

An Example of Retracking Space Debris

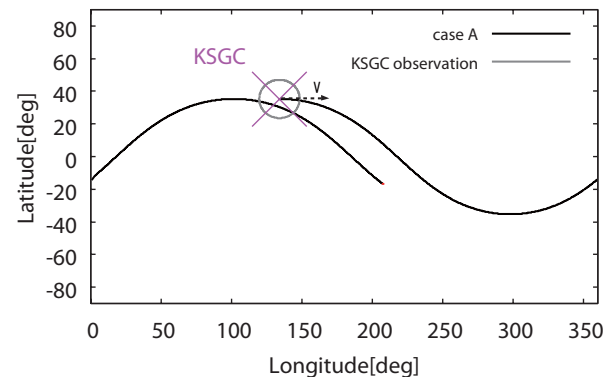


図 1 スペースデブリの運動 (捕捉条件 A)