

# 小型望遠鏡を用いたスペースデブリの観測と軌道算出

福岡工業大学附属城東高等学校科学部：

北里 虎大、梶崎 天翔、村田 陸斗 (高2) 【福岡工業大学附属城東高等学校】

## 1. 要旨

現在スペースデブリ（以下デブリ）が世界的な問題となっている。本研究では、デブリをデータベースに多数登録するために、小型望遠鏡でデブリを観測し、その画像から軌道を算出することを目的とした。軌道を算出するためには、軌道要素6種類を算出する必要がある。現在算出に用いられている数式は難解なことから高校数学を応用した簡単な数式で構築することにした。先行研究で昇交点赤経・軌道傾斜角を算出し軌道を出した。今回は位置を特定するため残り4つのうち3つの算出に挑戦した。観測した画像のデータから、構築した数式に代入、軌道要素の真値と比較した結果、近地点引数は誤差が生じたが、平均運動・離心率では僅かな誤差で算出することに成功した。

## 2. 動機・先行研究・目的

近年デブリ問題が深刻化している。そこで小型望遠鏡でデブリを撮影し、軌道要素を高校数学の数式のみで軌道算出を行った。先行研究では、未登録デブリを効率的に観測するために、モデル軌道を算出し、モデル軌道上にモデルデブリを2.5° 間隔に配置して観測を行った。また、高校数学のみで数式を構築し、デブリの軌道要素である軌道傾斜角・昇交点赤経の算出に成功した。今回はまだ算出を行っていない軌道要素に関して、高校数学のみで構築を行って算出することを目的にした。

## 3. 研究方法

観測に使用した機材

望遠鏡...ボーグ 101ED、赤道儀...ビクセン SXP

冷却 CCD カメラ...QHY9

使用ソフト...heavensat2.4、ステラショット

観測手順

- 望遠鏡にレデューサー・カメラを取り付け、モデルデブリに望遠鏡を向けて固定撮影を行う。
- 観測したデブリを未登録デブリと仮定し、デブリの追尾撮影を行い、時間差のある複数枚の画像を撮影する。

地心距離について

先行研究で行った軌道算出では、地心赤経・赤緯を算出する際に必要である地心距離を、静止軌道の値である42160kmで代用して算出を行ったが、今回、より正確な値を算出するために、ケプラーの第三法則を用いたフィードバック作業で修正を行った。

最初にデブリの地心距離を42160kmと仮定して、地心座標（赤経・赤緯）の算出を行った。デブリの軌道を真円とみなして地心座標の約1時間の変化から、デブリの角速度、周期を予測し、ケプラーの第三法則で静止衛星と比較してデブリの軌道半径を決定する。

この軌道半径と地心距離を比較して一致していなかった場合は地心距離を修正して座標計算からやり直し、両者が一致するまでこの修正作業を行った。この距離をこの区間の中央の時刻の距離とする。

軌道要素の算出

地心距離の修正作業を3区間で行えば軌道上の3点の座標を決定できると考えた。現在一般的に用いられる数式は大学数学を応用した難解な数式であるため、

多くの人に広めるために高校数学だけを用いた方法の構築を試みた。まず地球の中心を原点としたx,y平面と考え、位置が確定した3点からの距離がすべて等しい点の座標を算出した。この点が今回観測したデブリの楕円軌道の中心の点となる。この時点で楕円軌道の軌道長半径が決まり平均運動が決定し、離心率の算出もできる。この値は非常に小さかったので軌道の形はほぼ真円とみなしてよいことが分かった。

最後に、地球の中心とデブリの軌道円の中心を線で結んで近地点を求め、近地点の座標（近地点引数）を算出した。

## 4. 結果

約1時間の継続観測で1点の距離決定ができることがわかったので、最北点で発見したデブリ像を見失わないようにしながら、NORADのデータベースに登録されていないデブリと仮定したデブリを約4時間におたつて追跡撮影することに成功した。

そこで撮影して得られたデータを構築した数式に代入して、軌道要素の算出を行ったところ、タイタン3Cの既知デブリ、NORAD番号33509であることが分かった。比較を行った結果、近地点引数に関しては、私たちが算出した値と真値では大きくずれが発生したものの、先行研究で構築した数式によって算出することが出来る軌道傾斜角・昇交点赤経、そして本研究で構築した数式によって算出した平均運動・離心率に関しては、真値に非常に近い値を算出することに成功した（表1）。

表1 33509の真値と算出値の軌道要素の比較

	軌道傾斜角	昇交点赤経	離心率
算出値	3.5°	303.4°	0.004
33509	3.5°	303.3°	0.004

	平均運動	近地点引数
算出値	1.03	59.01°
33509	1.02	86.34°

## 5. 考察・結論

近地点引数に関して大きく誤差が発生した。その原因は、近地点引数の算出を行った際楕円軌道を真円で近似した点に問題があったと考えている。また、1時間ごとの距離算出を行った点も問題があったと考えている。しかし、今回構築した数式によって算出した平均運動・離心率の値は真値とほぼ等しい値を算出することに成功した。

このことから、私たちが構築した一部の数式に関して、正常に働いていると考えられる。また、ケプラーの第三法則を用いたフィードバック作業を行う方法は軌道要素をより正確な値に近づける方法として有効だと考えられる。

## 6. 今後の展望

残りは、近地点引数・近地点離角のみとなった。これらについても高校生が理解できるような簡単な数式を引き続き、構築して算出を行っていく。また、より多くの方にデブリについて知ってもらおう活動を行っていく。