

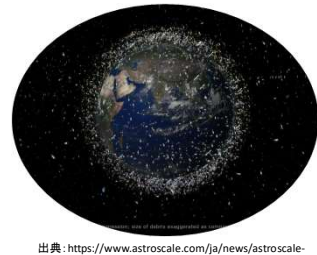
スペースデブリの効果的な排除方法について

～軌道データを用いた3次元的可視化～

東京都立小石川中等教育学校 3D 皆川壮輔

-要旨-

近年、宇宙開発業界の中で問題となっているのが、故障した人工衛星などが宇宙空間を高速で飛行しているスペースデブリである。今や人工衛星は私達の生活になくてはならないものになっているが、デブリが衝突した際の被害は計り知れない。そこで、本研究では地球軌道場を飛行しているデブリの軌道を3次元的に可視化することで、よりデブリの危険性を示し、更にデブリを回収するための方法を模索していくことが主な目的である。



出典: <https://www.astroscale.com/ja/news/astroscale-awarded-uk-space-agency-bid-to-study-removal-of-two-defunct-satellites-from-space>

-背景-

現在の宇宙には壊れて使えなくなった人工衛星が大量に飛行している。これらの物体は地球軌道場を秒速7kmで飛行しており、正常に作動している人工衛星に衝突したときは、人工衛星を壊すと同時に大量のスペースデブリを発生させる。このような減少が宇宙空間上で連鎖的に発生し、デブリの数は1億個以上にまで膨れ上がっている。宇宙飛行士の命をも脅かす存在で大変危険であり、早急な対応が求められる。

-目的-

本研究による軌道可視化により、中級の周りをどのような軌道でデブリが周回しているのかをより正確に、近い存在として認識できる。さらに、デブリを回収する衛星の軌道投入方法についても考察を行うことができる。これにより、円滑な回収につながり、将来の人類の宇宙化活動の場をより広げることにも貢献したいと考える。

-手法-

地球軌道上を飛行している飛行物体のデータを「space-track.org」から入手する。このデータはTLE形式といい、右のような形式となっている。これは1行の説明と2行の数値を1組としたテキストファイルである。情報は北アメリカ航空宇宙防衛司令部(NORAD)を通じて管理・発信されている。最初の行には衛星一つ一つに割り振られている衛星番号(カタログ番号)が表記されており、故障するなどしてデブリとなったものに関しては「DEB」という表記が追加される。今回の研究に使用したTLEデータは下記のものである。この数値をgoogle colab環境上で作成したpythonコードに入力することで、3D描画を行った。(※コードの生成には一部生成AIを使用した。)

GCOM-W1 (SHIZUKU)															
1	38337	0	12625	0	126194.00000000	0.00000000	00000-0	17700-3	0	60658					
(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)	(k)	(l)	(m)	(n)	(o)	(p)
2	38337	98.1978	133.0858	0001777	101.6799	154.6424	14.57141916	8063							
(q)	(r)	(s)	(t)	(u)	(v)	(w)	(x)	(y)	(z)	(aa)	(ab)	(ac)	(ad)	(ae)	(af)

(a)人工衛星の名称 (b)行番号 (c)分類(1は分類なし) (d)国際識別番号(打上げ年の下2桁)
(e)国際識別番号(打上げ年における打上げ数) (f)エポック(年通算日+その日における00時からの経過時間)
(g)エポック年(西暦の下2桁) (h)エポック(年通算日+その日における00時からの経過時間)
(i)平均運動の1次の時間微分 (j)平均運動の2次の時間微分 (k)大気抵抗係数項(小数点以下を表示)
(l)エフェリスタイプ (m)エレメント番号 (n)チェックサム (o)行番号
(p)衛星番号 (q)人工衛星番号 (r)軌道傾斜角(度) (s)昇交点赤経(度)
(t)離心率(小数点以下を表示) (u)近地点引数(度) (v)平均近点距離(度) (w)平均運動(周数/日)
(x)エポック時の周回数(回) (y)チェックサム (z)チェックサム

↑TLE形式の説明。

この人工衛星は、もともとロシア宇宙局のものであり、地球低軌道(LEO)を飛行していた。しかし、**2015年に世界で初めての人工衛星衝突事故**を起こし、少なくとも**600個以上のデブリ**に分解された。よって「DEB」という表記がないが衝突事故により分解されたデブリの一つであると判断して研究に用いた。

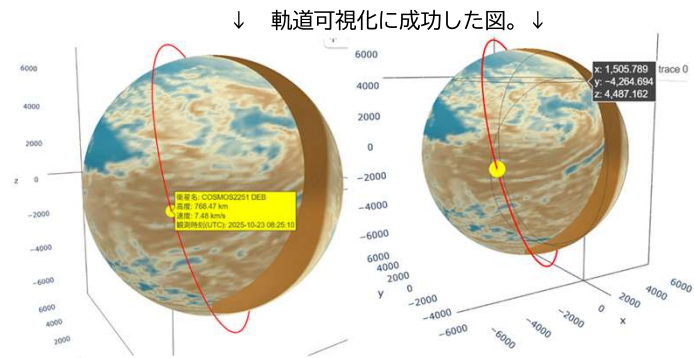
0 COSMOS 2251

1 22675U 93036A 25289.64673243 .00000199 00000-0 81685-4 0 9995

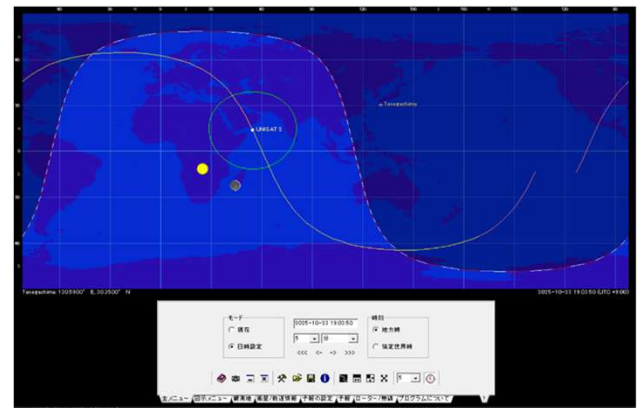
2 22675 74.0394 60.1949 0024390 161.0399 199.1666 14.33179956689556

-結果-

上記の衛星情報を生成したコードに入力することで、目標としていた軌道の可視化に成功した。右にその図を示す。また、参考に2次元での軌道を示す。これは専用の描画アプリ「Orbitron」を用いることで可視化に成功した。右のように、地球を模した中央の球体の周りを回るように、デブリの軌道を描画した。また、デブリを表す黄色の点にカーソルを合わせると、衛星名と高度、速度と観測時間が表示される。コードをpythonで実行すると入力した任意のTLEデータをx, y, z軸に変換し、その情報をプロットすることで軌道を描画している。(※TLEデータはコード上に手動で入力する。)



↓2次元での軌道の可視化。



-考察-

このような結果から、任意のスペースデブリの情報をTLEデータを用いて可視化することができた。描画した軌道情報から、このデブリは高度700km付近を多く飛んでいることがわかった。他のデブリについても検証を重ねたところ、同様に地球低軌道(LEO)と呼ばれる低高度でのデブリが非常に多かった。また、高度が約760kmと地球に近く、国際宇宙ステーションへの衝突の可能性があると考えられる。

-結論・展望-

今回の研究で、宇宙を飛行している物体のTLEデータを用いることで、人工衛星だけでなくスペースデブリの軌道についても2次元、3次元的に可視化することができるということが実証された。しかし、地球をもした球体の画像処理が荒くなってしまったので、次の研究では更に繊細に描画できるように気をつけたい。また本研究では、まだ具体的な回収方法やそれに関する軌道情報については求められなかった。しかし、3次元で可視化できたことを活かし、高度や速度を計算でも求め、それを関数として可視化できるようにしたいと考える。

-参考文献・引用文献-

<https://www.astroscale.com/ja/news/astroscale-awarded-uk-space-agency-bid-to-study-removal-of-two-defunct-satellites-from-space>
https://gportal.jaxa.jp/gpr/assets/mng_upload/GCOM-W/TLE.pdf
<https://www.space-track.org/>
https://www.astroarts.co.jp/news/2009/02/13satellite_collision/index-j.shtml
<https://simpleorbitviewer.streamlit.app/>
<https://humans-in-space.jaxa.jp/hiv-x/>
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/97/The_Earth_seen_from_Apollo_17.jpg
<https://sorabatake.jp/23655/>
<file:///C:/Users/2023003520/Downloads/64966011.pdf>
https://www.jaxa.jp/press/2025/08/files/20250822-1_01.pdf
<https://ensatellite.com/ja/tle/>
<https://celestrak.org/NORAD/elements/table.php?GROUP=last-30-days&FORMAT=tle>
<https://chatgpt.com/>