

軌道履歴を利用した破片スペースデブリの物理的特性の推定

有吉 雄哉 データ同化研究開発センター 特任助教

宇宙空間を飛行する不要な人工物「スペースデブリ」の中でも、特に爆発・衝突といった破砕イベントで発生した破片デブリは、その数の割合が最も高くなっています。さらにその大きさは小さいものであるため、観測によって全ての破片を追跡することは、現在の技術では不可能です。

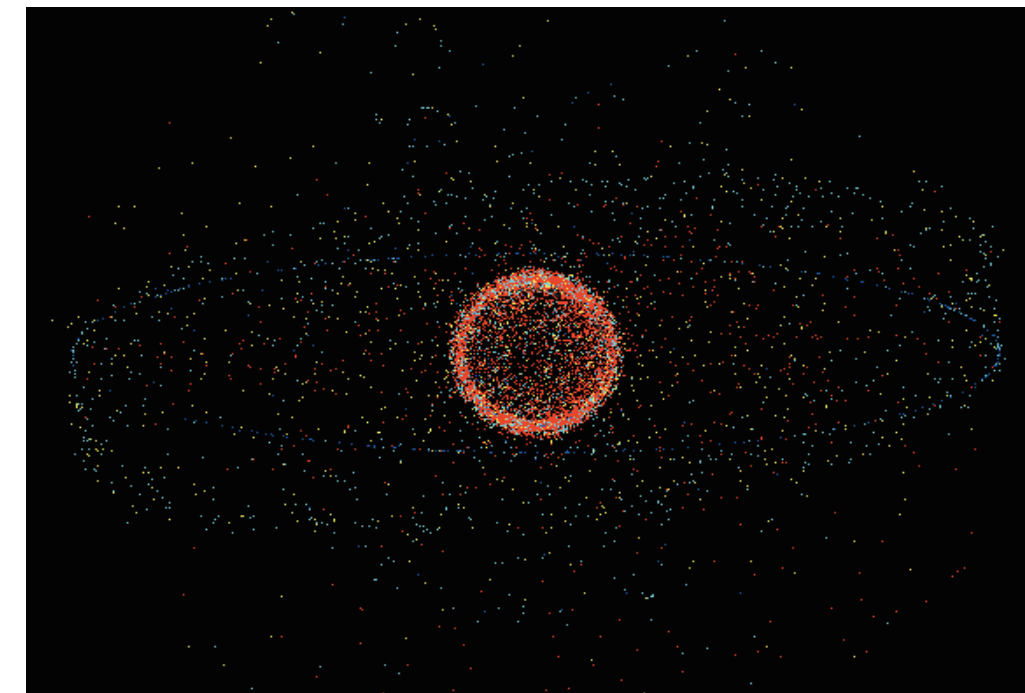
また、破片デブリの軌道は公開されていますが、その大きさといった情報は一般には公開されておらず、将来の軌道予測のためには、大きさ等を推定する必要があります。本研究は、公開されている軌道履歴から軌道予測に必要となる物理パラメータを推定することを目指しています。

スペースデブリとは？

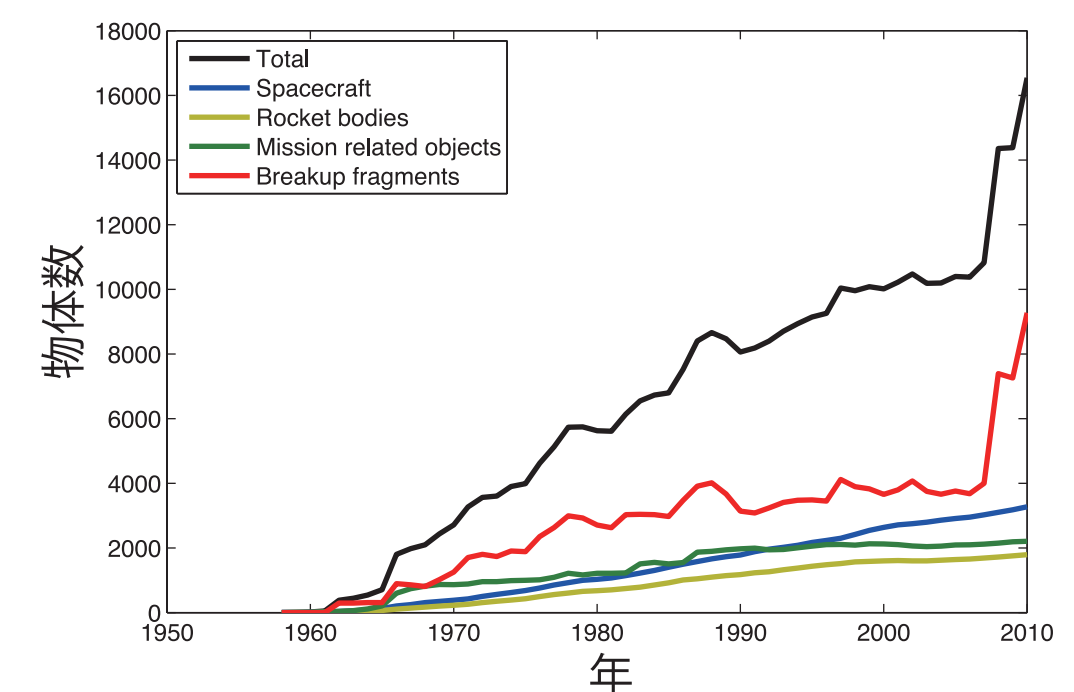
宇宙ゴミとも呼ばれる宇宙空間を飛行する不要な人工物のことです。使用後の人工衛星やロケット上段機体などの大型のものから、爆発・衝突で発生した破片、ロケット燃料の燃えかすや剥がれ落ちた塗料片といった非常に小さなものまであります。

デブリは、非常に高速に飛行しているため、デブリと運用中の衛星が衝突すると、最悪の場合、システム全体が破損してしまうような事故になります。また、有人宇宙ミッションで、宇宙船や宇宙服にデブリが衝突すれば、宇宙飛行士の生命が脅かされます。

このように危険なデブリが増加し続けており、人類の持続的な宇宙開発の大きな障害となっています。



地球近傍の人工物の分布（赤がデブリ）
(c) 九州大学



軌道上物体数の推移
(米国 Satellite Situation Report より)

破片デブリ

破片デブリは、人工衛星やロケット上段機体が爆発したり他の人工物体と衝突することによって発生します。これまでに多数の人工衛星やロケット上段機体が、破砕イベントにより破片デブリとなっており、現在地球を周回する人工物の約半数を占めています。これらの破片デブリは非常に小さいものが大半とはいえ、他の人工物体と同様に高速に飛行しているため、衝突すれば人工衛星等に影響を与えます。

地球周回軌道上の人工物体は、その軌道が米国によって公開されています。（軍事関連等を除く。）しかし、その大きさや質量といった物理的特性に関する情報は、一般には公開されていません。これらの物理的特性は将来の軌道計算に必要な情報であるため、何らかの方法によって推定する必要があります。

そこで本研究では、公開されている軌道履歴から破片デブリの物理的特性を推定することを目指しています。

軌道上人工物体の面積質量比の推定方法

$x_t = [x_{r,t} \ x_{s,t} \ x_{w,t} \ v_{r,t} \ v_{s,t} \ v_{w,t}]^T$: 状態空間ベクトル

$y_t = [x_{r,t} \ x_{s,t} \ x_{w,t} \ v_{r,t} \ v_{s,t} \ v_{w,t}]^T$: 観測ベクトル

$\theta = [A/m]$

$x_t = f(x_{t-1}, v_t)$: システムモデル

ここでは、軌道摂動として、

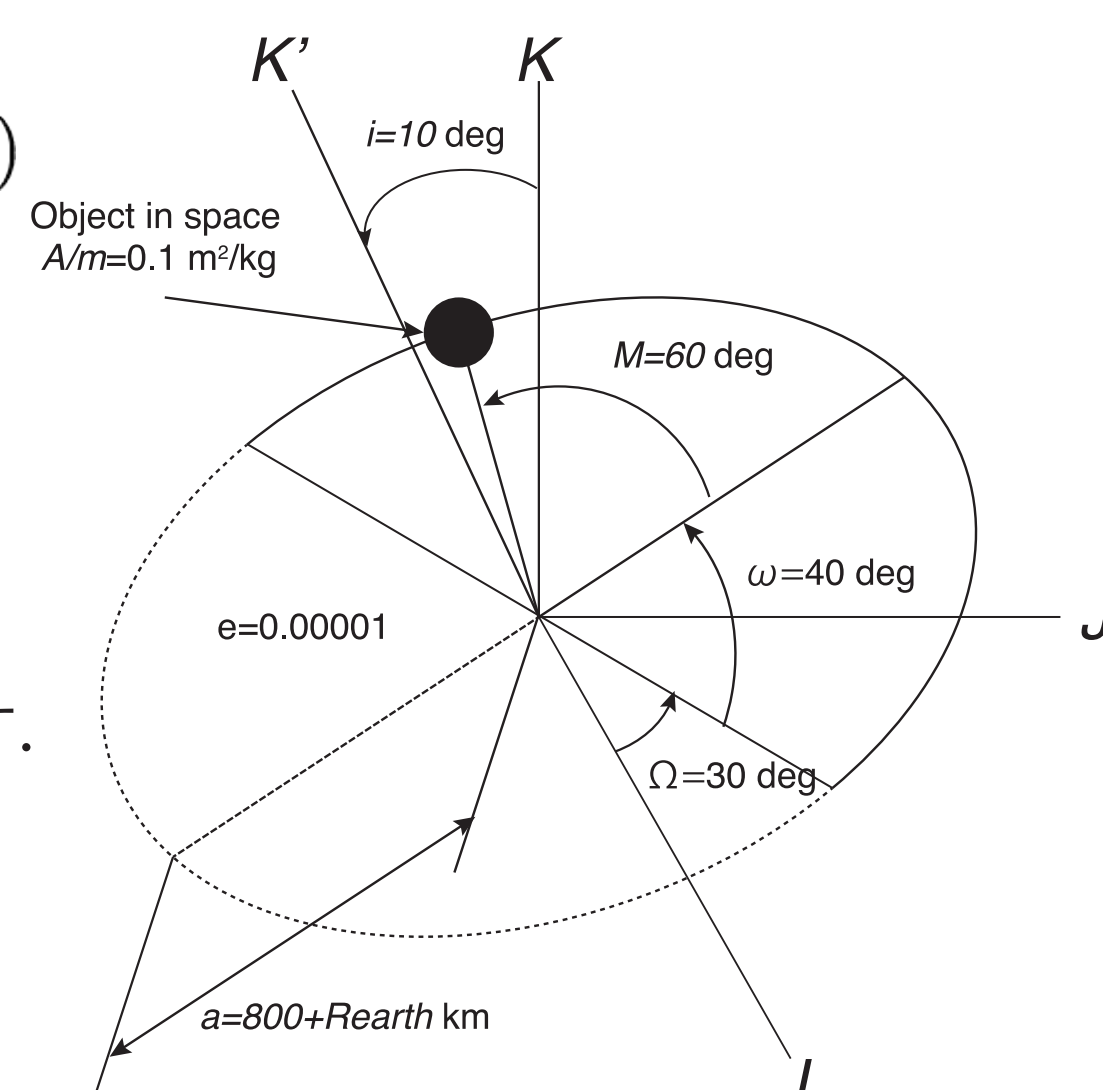
- 地球が非球体であることによる摂動
- 太陽・月の重力
- 大気抵抗（面積質量比により変化）
- 太陽輻射圧（面積質量比により変化）

を考慮しています。

$y_t = x_t + w_t$: 観測モデル

パーティクル MCMC を利用して面積質量比の事後分布 $p(\theta|y_{1:T})$ を推定します。

ここでは、右図のような仮想的な軌道上人工物を仮定し、設定した面積質量比が推定できるかを確認しています。



推定結果

