

有吉 雄哉 データ同化研究開発センター 特任研究員

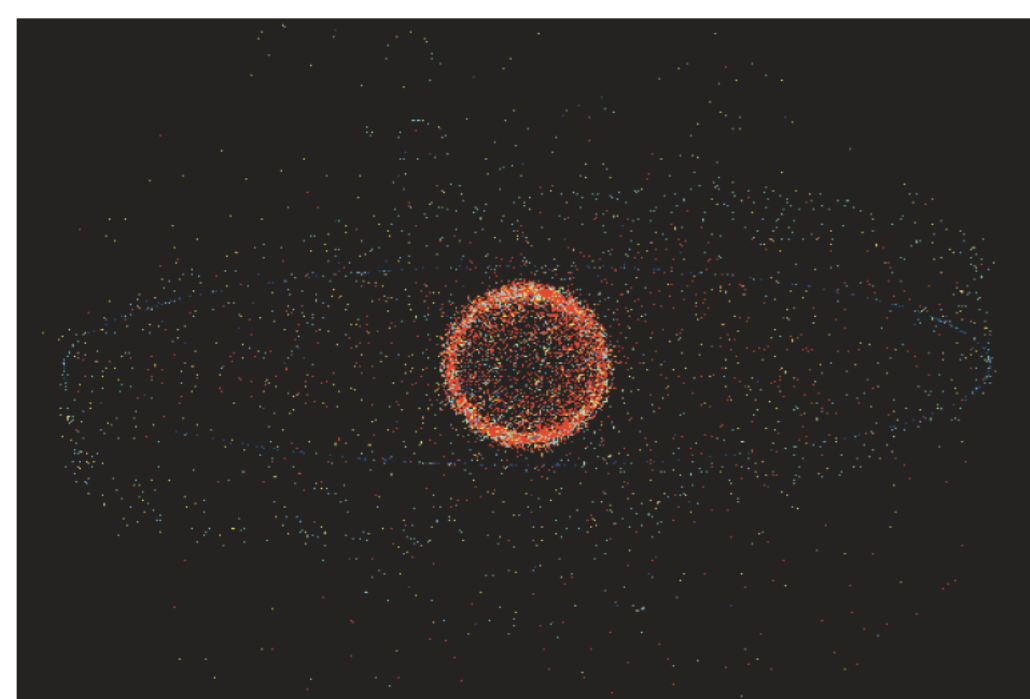
宇宙空間を飛行する不要な人工物「スペースデブリ」の中でも、特に爆発・衝突といった破砕イベントで発生した破片デブリは、その数の割合が最も高くなっています。さらにその大きさは小さいものであるため、観測によって全ての破片を追跡することは、現在の技術では不可能です。本研究は破片デブリに着目し、データ同化の技術を用いることで、各破砕イベントの状況に合致するような、オーダーメイド的な破片デブリのモデリング方法を開発することで、現況のデブリ分布推定と将来の推移予測の精度向上を目標としています。

スペースデブリとは？

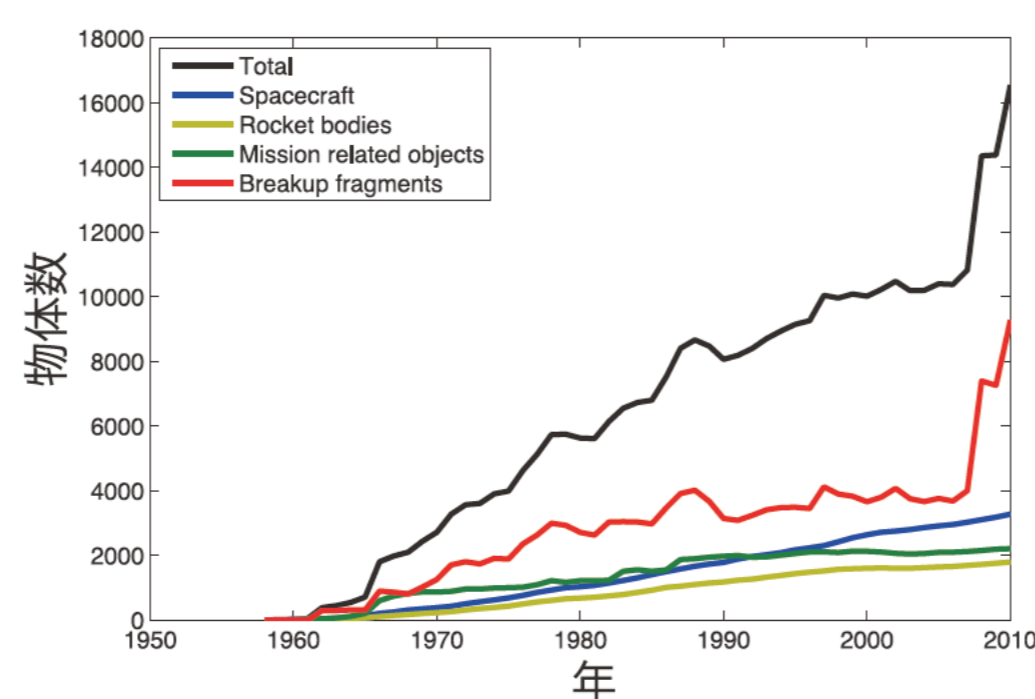
宇宙ゴミとも呼ばれる宇宙空間を飛行する不要な人工物のことです。使用後の人工衛星やロケット上段機体などの大型のものから、爆発・衝突で発生した破片、ロケット燃料の燃えかすや剥がれ落ちた塗料片といった非常に小さなものまであります。

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)

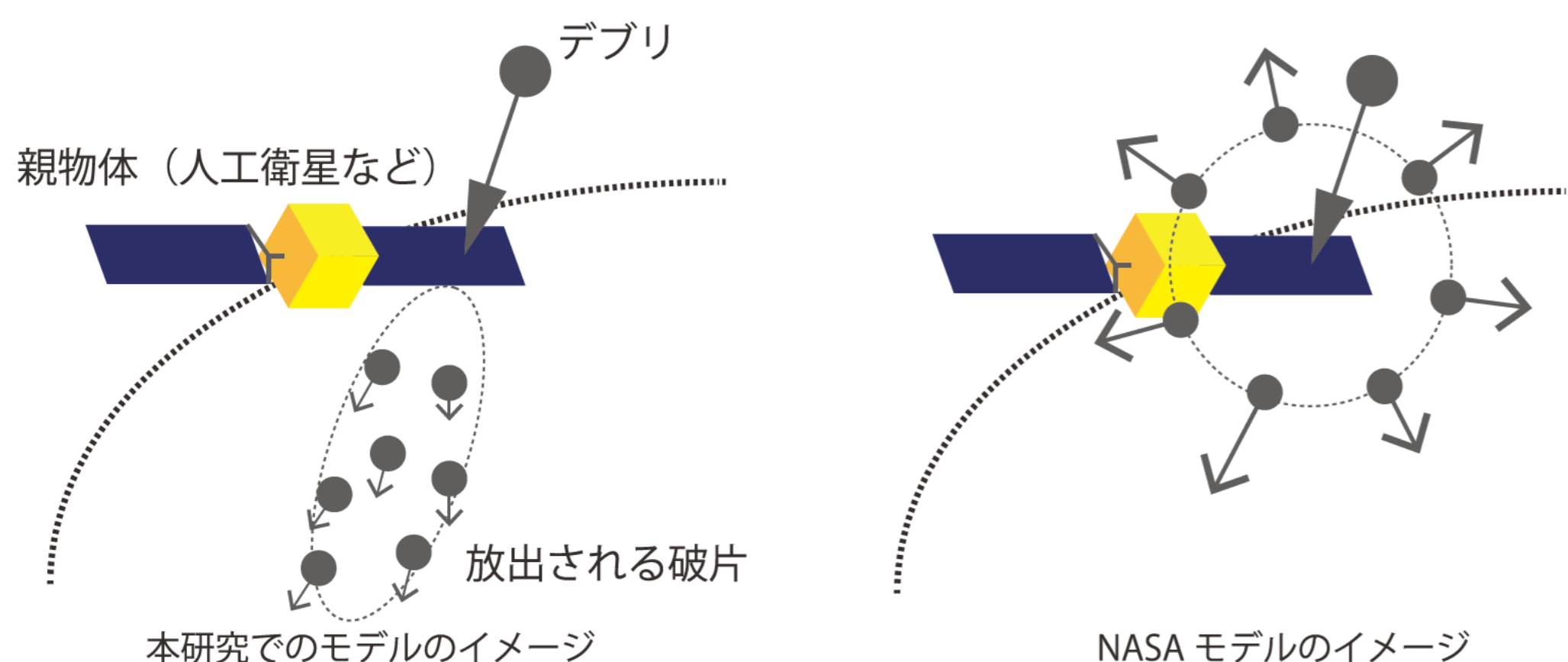
破片デブリと NASA 標準破砕モデル

破片デブリは人工衛星の爆発や衝突といった破砕イベントで生成されるデブリのことです。破砕イベントが1度起こるとその人工衛星が破損するだけでなく多数の破片デブリが生成・放出されます。これらによって、さらに他の人工衛星への衝突の危険性が増します。現況では、観測・追跡されている宇宙空間の人工物体の約半数は破片デブリです。

現況を正しく知ることは、今後のデブリ分布の推移の予測の精度を向上させ、デブリ低減対策をより良いものへと導きます。特にその数が多い破片デブリを正しく知ることは、非常に重要です。しかし、破片デブリは小さなものが多く、その全てを観測で明らかにすることは現在の技術では不可能です。

そこで数理モデルにより破片デブリ群の状況を推定する必要がありますが、将来を予測する推移モデルで使用される NASA 標準破砕モデルは、過去の破砕イベントの観測結果や実験結果に基づいた平均的な破片デブリ群を出力するため、現況の破片デブリ群の推定にはそのままでは使用できません。

本研究ではデータ同化の技術を用いることで、各破砕イベントの状況に合致するような、オーダーメイド的な破片デブリのモデリング方法を開発中です。



破砕直後の破片の物理的特性の推定

破片デブリの物理的特性分布の推定には、破砕イベント直後の破片の情報が必要不可欠です。

そこで本研究ではまず、破砕直後の破片の物理的特性の推定から着手しています。この物理的特性には、破片デブリの

- 軌道
- 面積質量比または弾道係数
- 太陽輻射圧に関する係数

等を含めることとします。また、併せて破砕時刻の推定を行います。

図は粒子フィルタを用いて、物体の形状が単純で質量が既知の CubeSat XI-V (東京大学が開発、現在も運用中) の軌道を推定したものです。衛星に働く摂動力には、J2 項のみを考慮しています。状態空間モデルは次式のように定めています。

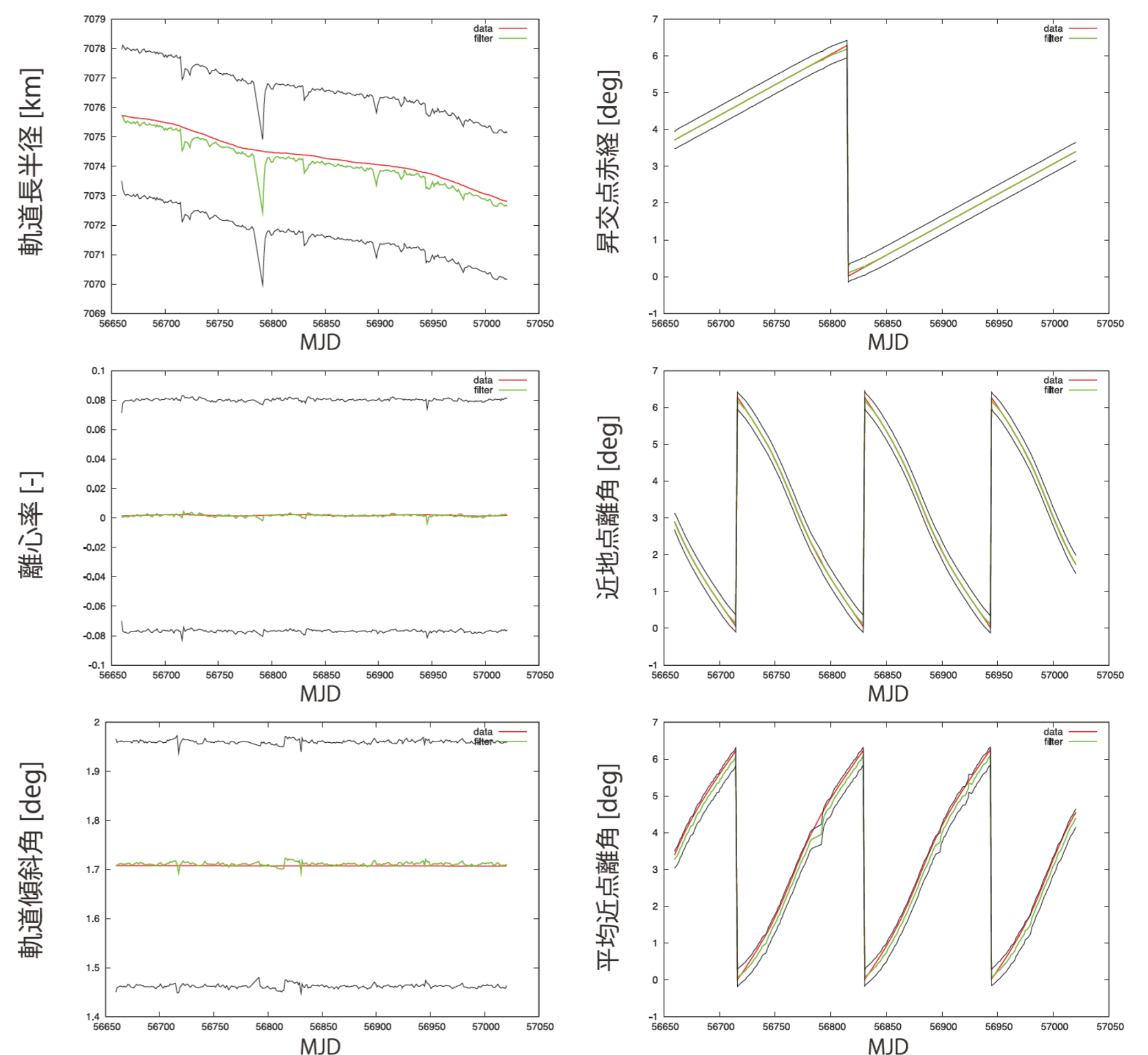
$$x_t = f(x_{t-1}, v_t) : \text{システムモデル}$$

$$y_t = x_t + w_t : \text{観測モデル}$$

$$x_t = [a_t \quad e_t \quad i_t \quad \Omega_t \quad \omega_t \quad M_t]^T$$

$$y_t = [a_t \quad e_t \quad i_t \quad \Omega_t \quad \omega_t \quad M_t]^T$$

- a_t : 軌道長半径
- e_t : 離心率
- i_t : 軌道傾斜角
- Ω_t : 昇交点赤経
- ω_t : 近地点離角
- M_t : 平均近点離角
- x_t : 状態空間ベクトル
- y_t : 観測ベクトル



粒子フィルタによる軌道の推定結果

今後の予定

- 他の摂動力の考慮
- 面積質量比、太陽輻射圧の推定
- 破砕時刻の推定
- 破片デブリ群の物理的特性分布の推定