

微小地球接近小惑星の 即時動画/多色測光観測

2020-11-11(水) 9:55-10:10 第11回 光赤外線大学間連携ワークショップ @ zoom

紅山 仁 (東京大学 修士2年)

Co : 酒向 重行, 大澤 亮, 瀧田 怜, 諸隈 智貴 (東京大学),
奥村 真一郎, 浦川 聖太郎 (日本スペースガード協会),
吉田 二美 (産業医科大学/千葉工業大学)

微小地球接近小惑星の 即時動画/多色測光観測

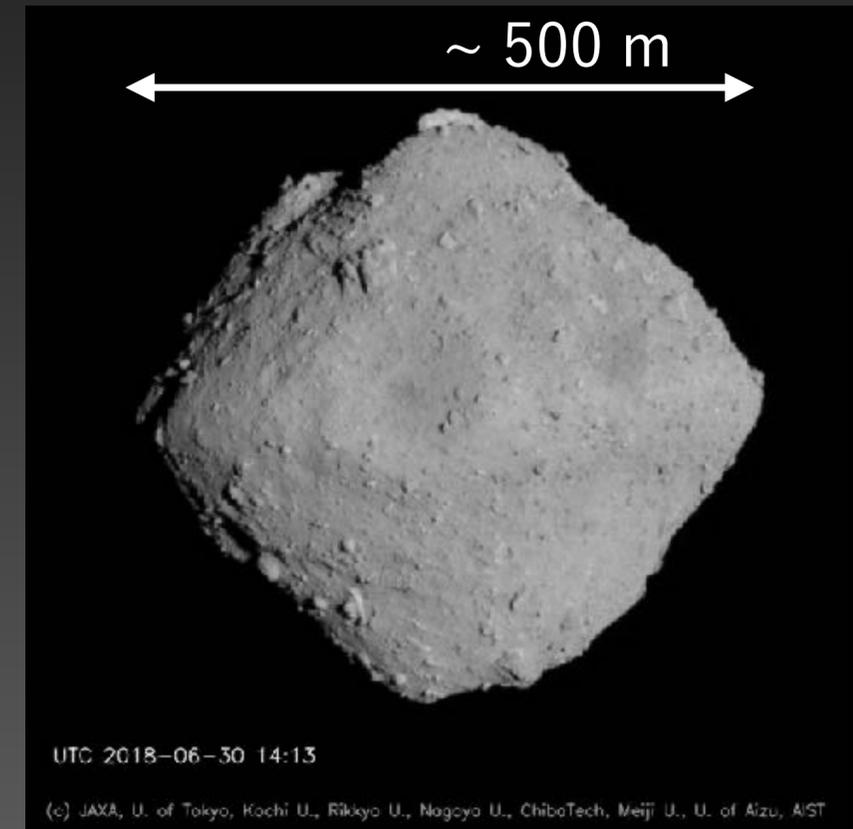
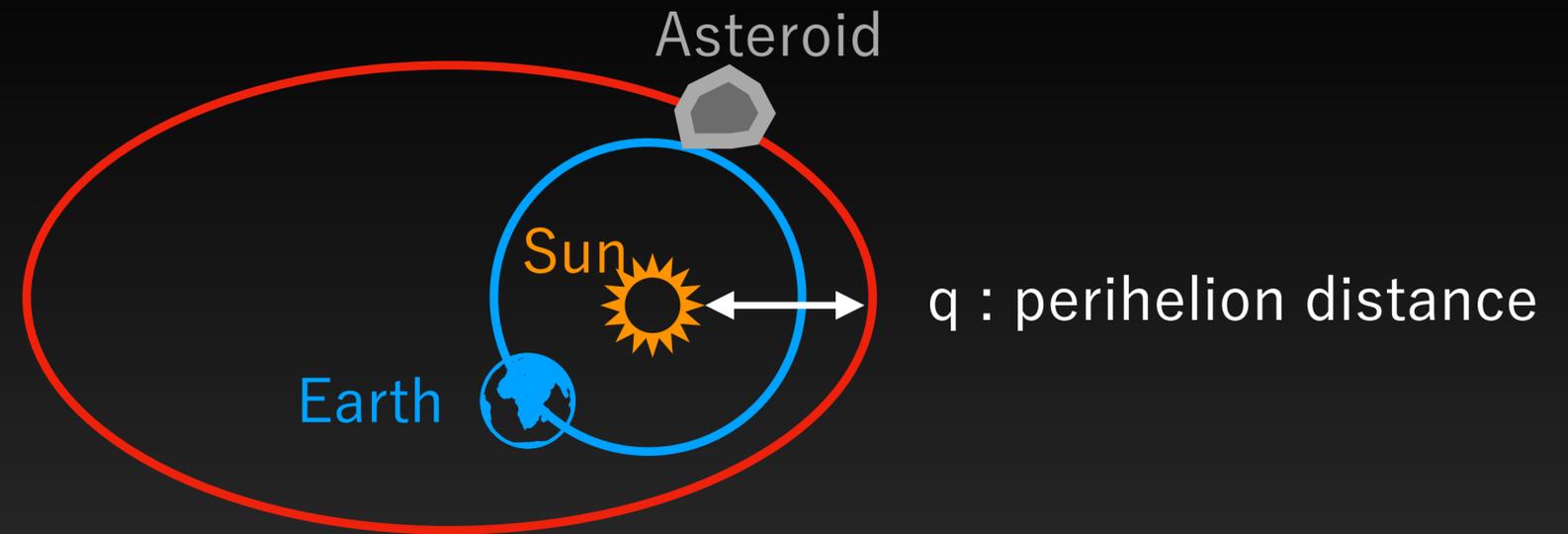
地球接近小惑星

- ・ 近日点距離 $q < 1.3 \text{ au}$ の小惑星
 - ▶ 探査機によるその場観測
 - ▶ スペースガード
 - ▶ 10 m 級の微小小惑星も観測可能

微小小惑星

- ・ 直径 $< 100 \text{ m}$ の小惑星 (本発表において)
- ・ 一枚岩であれば、集積体であるより大きなラブルパイル小惑星と 本質的に異なる

異なる力学進化?? 起源は ??



地球接近小惑星 (162173) Ryugu
(クレジット: JAXA)

地球接近小惑星の力学進化史

① Yarkovsky driftによる移動

メインベルト小惑星は太陽からの輻射により
少しずつ軌道が変化(Yarkovsky効果)

① Yarkovsky drift

10m小惑星が共鳴に入るまでの
のタイムスケール：a few Myr

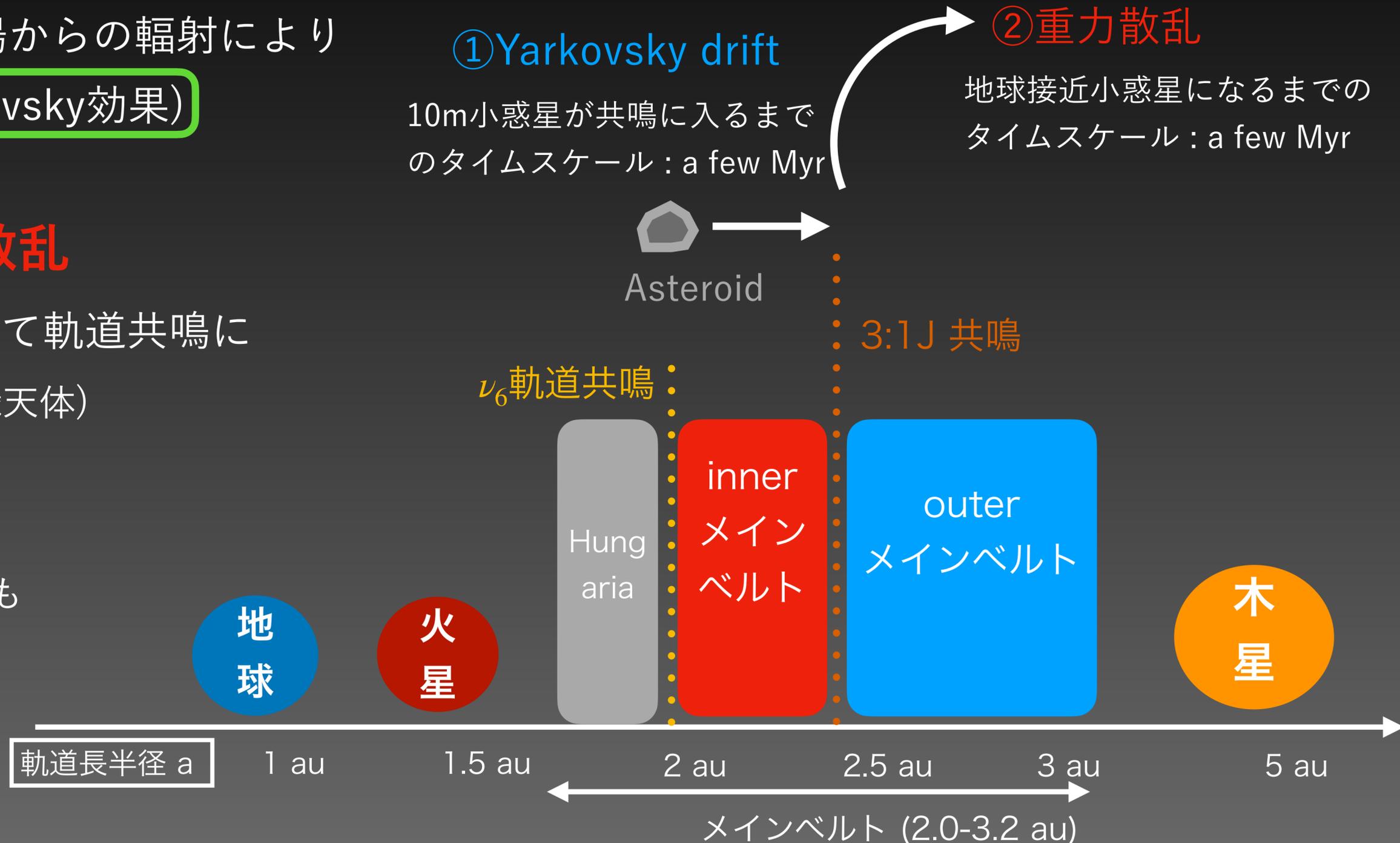
② 重力散乱

地球接近小惑星になるまでの
タイムスケール：a few Myr

② 巨大惑星による重力散乱

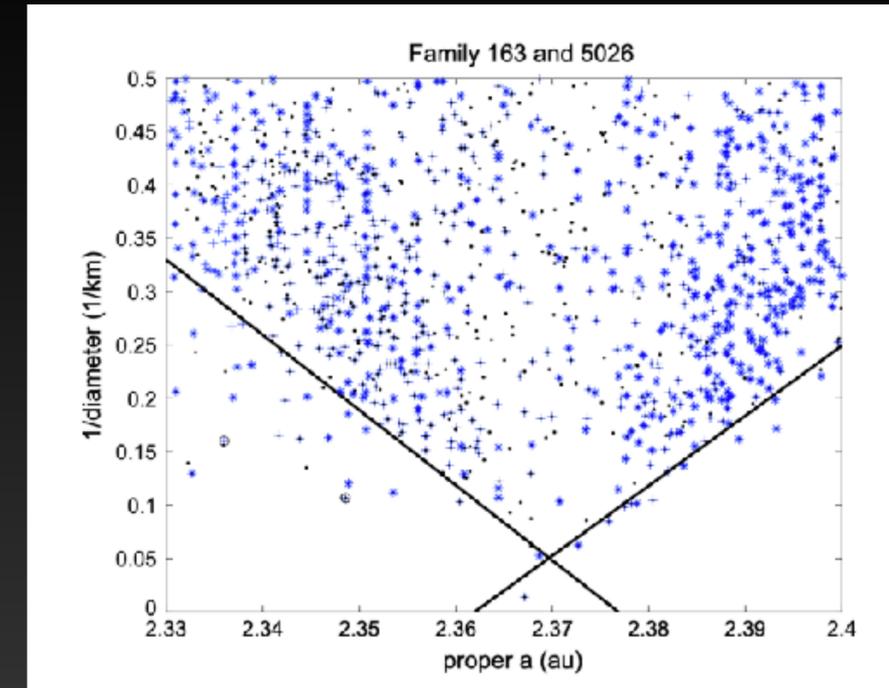
軌道長半径aが増加/減少して軌道共鳴に
→ 地球接近小惑星 (or 外縁天体)
(cf. カークウッドの空隙)

※ 移動を経る過程で、自転速度も
変化しうる(YORP効果)



微小天体に対するYarkovsky/YORP効果

- ・ 軌道を変化させるYarkovsky効果 $\propto \frac{1}{D}$
 - ・ 自転速度を変化させるYORP効果 $\propto \frac{1}{D^2}$
- 小さい天体に強く作用(?)
- ・ サイズ以外にも形状, 密度, 表面様相, etc.に依存
 - ラブルパイル/一枚岩小惑星では異なる?
 - 10 m級の小惑星でも本当に強く働く?
 - ・ **現在の自転速度**と**生成時の自転速度**の比較
 - 観測からYORP効果に関する制約
 - 小惑星輸送/起源の理解



削除しました。

小惑星のサイズ-自転周期関係
(MinorPlanet.Info, 2020Oct)

即時動画/多色測光観測による特徴づけ

- 以下2種類の観測 (観測対象の多くはTomo-e Gozenが発見した小惑星)
 - ▶ 光赤外線大学間連携 OISTER (Optical and Infrared Synergetic Telescopes for Education and Research) による3色同時観測

→ **スペクトル型(組成) サイズ**

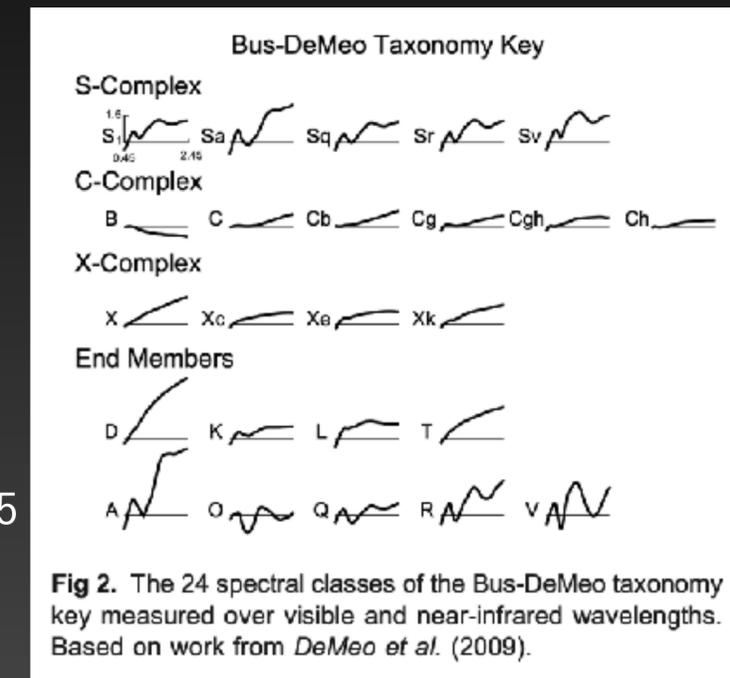
同時観測により高速撮像する小惑星の型を正確に推定可能

- ▶ 木曾Tomo-e Gozenを用いた 2Hz動画観測

→ **自転周期 形状**

動画観測により高速自転を捉えること可能

DeMeo+2015



削除しました。

小惑星のサイズ-自転周期関係
(MinorPlanet.Info ,2020Oct)

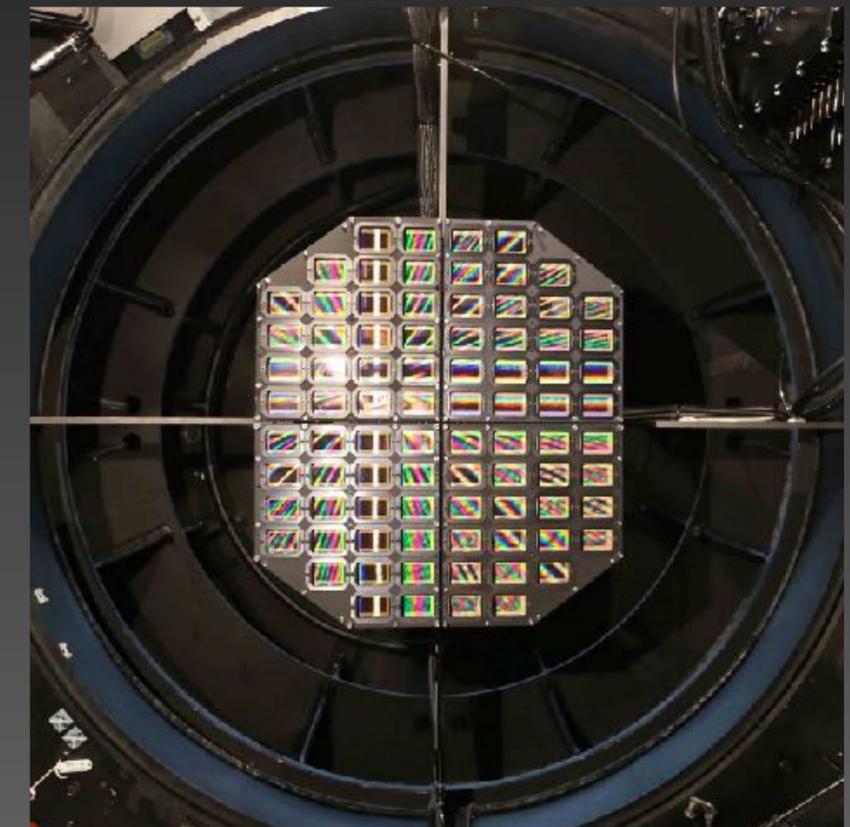
動画観測

- 木曾Tomo-e Gozenを用いた2Hz 動画観測を実施
(21天体(+ α), 平均直径 31 m)

木曾105 cm望遠鏡



焦点面に搭載された
Tomo-e Gozen

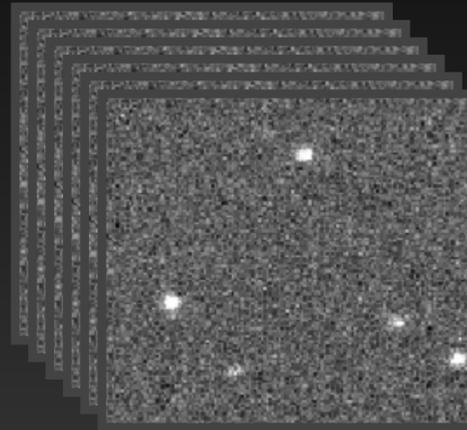


削除しました。

解析方法 (動画観測)

1. 観測データからのNEOの軌道決定

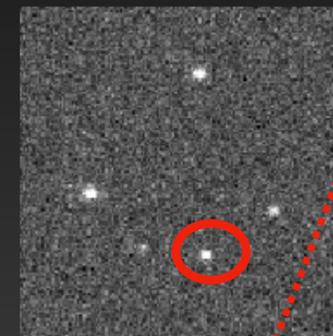
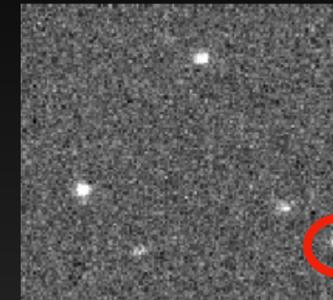
Tomo-e Gozenによる動画データ



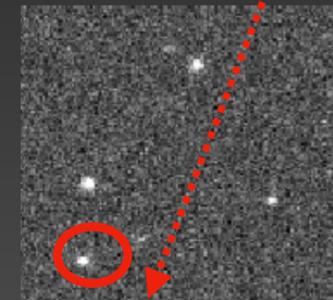
観測対象の多くは軌道不定性が大きく、天体暦の位置精度は高くない。

目視で数枚の画像上のNEOの位置を確認し
内/外挿することで任意の時刻の天体位置を得る。

1フレーム目



Nフレーム目



Asteroid Orbit

$f(t)$

2. 測光

Gaia DR2カタログを用いた相対測光
(アパーチャ: fwhmの1.5-2倍)

3. 周期解析

高速移動天体の観測ではしばしば視野移動が生じ、
不均一サンプリングとなる。

Lomb-Scargle法(Lomb 1976)を用いて周期を推定。

観測結果 (動画観測)

- 21天体中11天体の周期を推定

削除しました。

0秒

1000秒

削除しました。

削除しました。

削除しました。

削除しました。

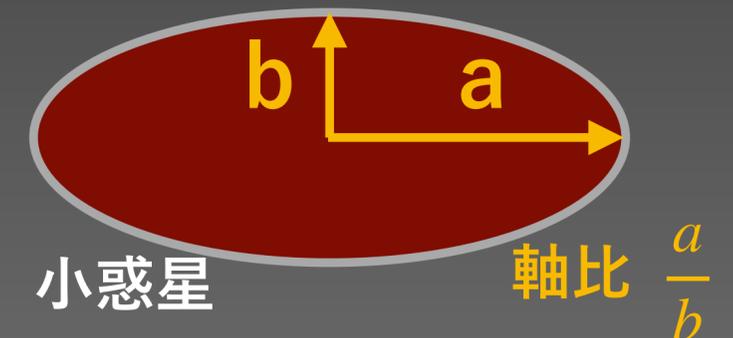
サイズ-自転周期

~ 秒の自転周期まで検出可能な動画観測を用いてもこれまでと似た分布。

微小惑星の分布は生成時の速度にピークか。

自転周期-軸比

強い相関は見られない。
先行研究と整合的。
(Thirouin+2016, Hatch+2015)



多色観測

- 石垣(g,R,I) / 埼玉(r,i,z) / 明野(g,R,I) / 岡山(g,R,I)
3色同時カメラを用いた多色同時観測を実施

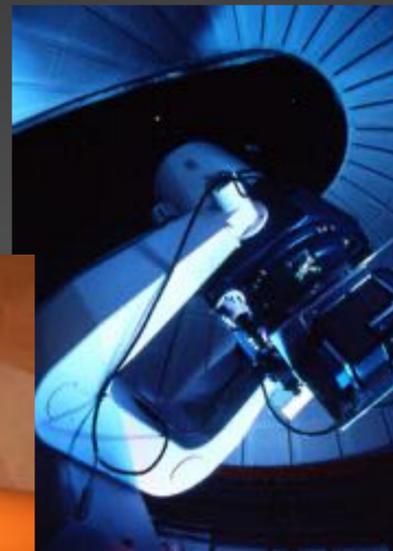
むりかぶし



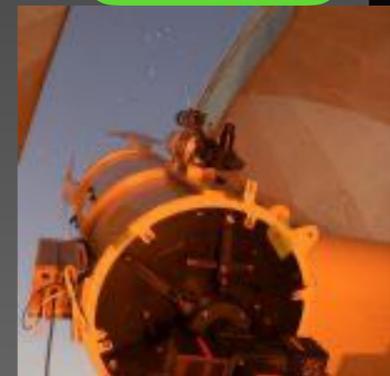
岡山



明野



SaCRA



削除しました。

順次解析中

解析方法 (多色観測)

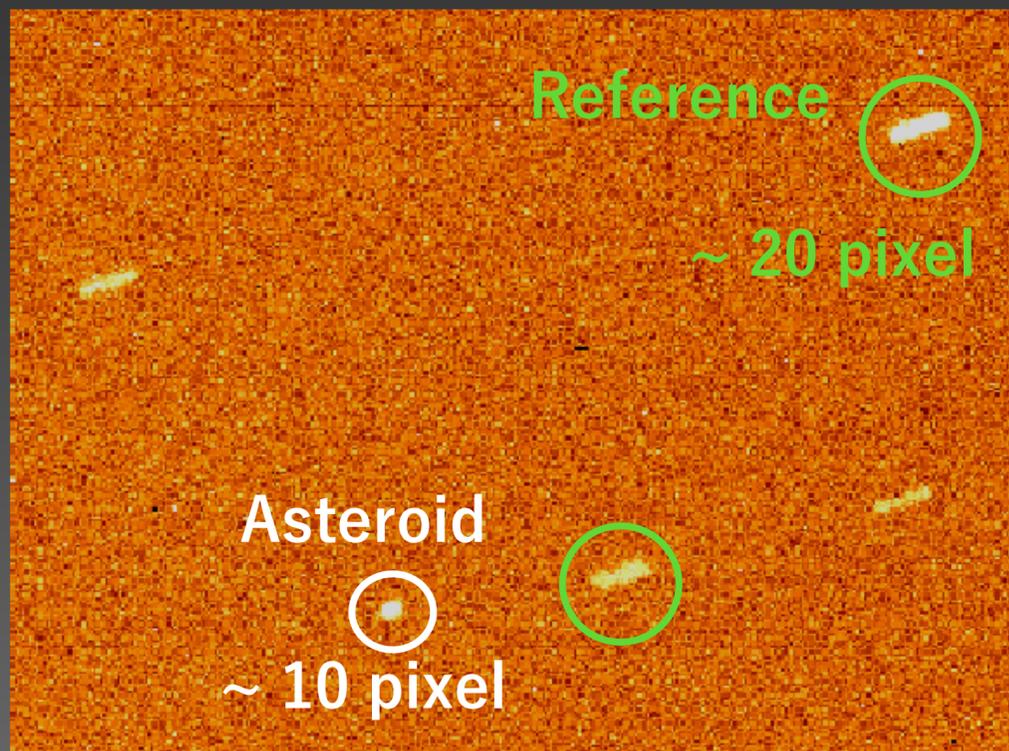
1. 観測データからのNEOの軌道決定

動画データの解析と同様に複数枚のデータから小惑星の軌道を推定し、位置を決定する

2. 測光

Pan-STARRS カタログを用いた相対測光

(アパーチャ: 星像が伸びた恒星を含む円形開口測光)



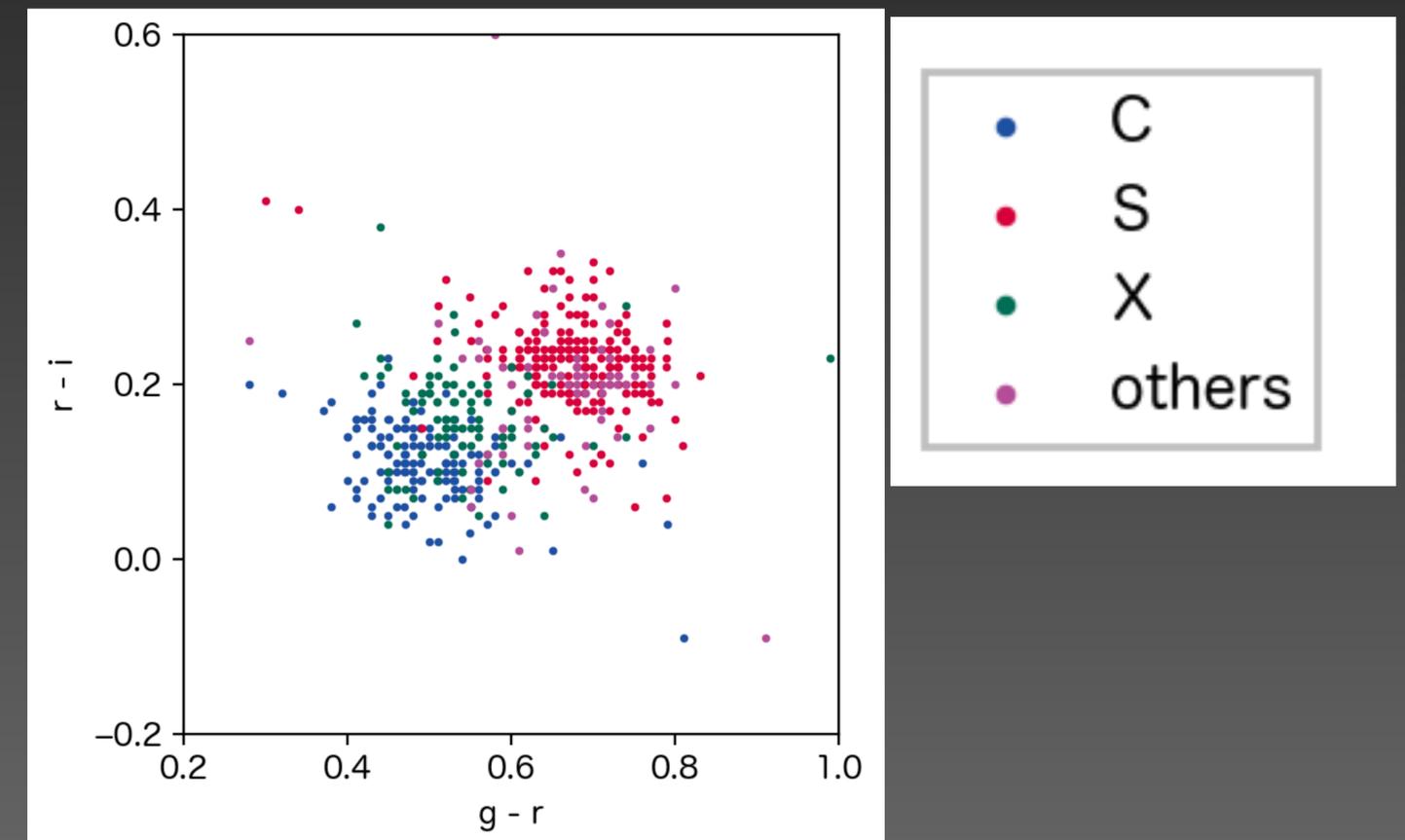
むりかぶしによる
単一フレーム
非恒星追尾データ
(30 s exposure)

3. スペクトル型推定

Jordi et al.2006の経験式に基づき等級を変換

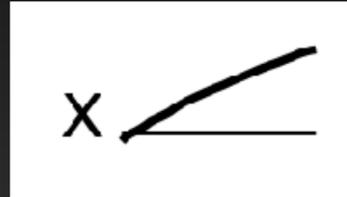
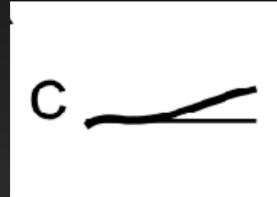
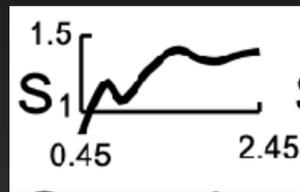
MITSuME 3色 $g, R, I \Leftrightarrow g, r, i, z$

二色図上でSDSS等級/スペクトル型が既知の小惑星と比較することでスペクトル型を推定



観測結果 (多色観測)

- 2020PY2, 2020UQ6の
スペクトルタイプ: C型またはX型



スペクトル型毎の反射率
DeMeo+2015

削除しました。

微小NEO サイズ-自転周期

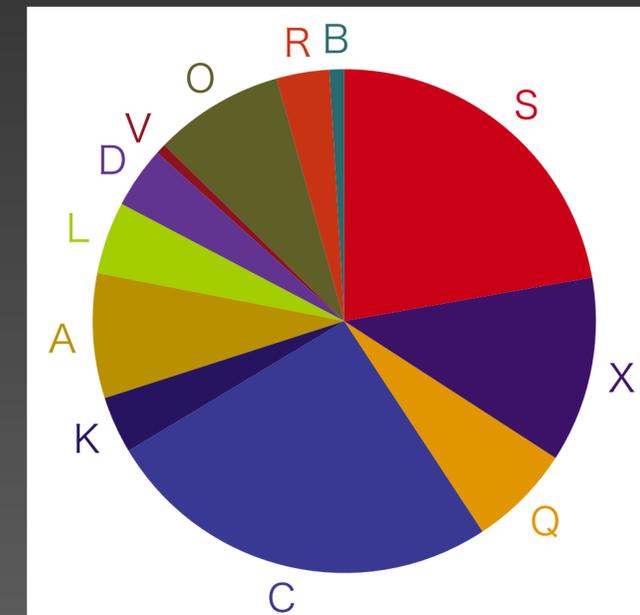
自転周期 - 組成共に推定した微小NEOは少ない。
(米 MANOSで69天体 + α)

微小天体でC型の割合が増加傾向？

さらなる観測が必要。

削除しました。

微小NEOの質量パーセント比
NEOs $\leq 20m(H>26)$; N=74



Binzel+2004(SMASS), Mommert+2016(UKIRT),
Perna2018(NEO Shield-2), Devogele+2019(MANOS)

まとめと今後

- ・ 微小(10m級)な小惑星は一枚の岩で構成されており、それらが集積したより大きなラブルパイル小惑星とは本質的に異なる
- ・ 地球近傍小惑星の起源, 力学進化史の解明には一枚岩小惑星の性質を知ることが不可欠
- ・ 光赤外線大学間連携 OISTER (Optical and Infrared Synergetic Telescopes for Education and Research) の枠組みを通して微小な小惑星の3色同時観測 → **スペクトル型(組成)/サイズ**
- ・ 木曾Tomo-e Gozenを用いた動画観測 → **自転周期/形状**

近々観測好機を迎える小惑星

	V等級	サイズ	自転周期	組成	備考
1988 XB	14等台	677 m	None	B	高精度で軌道が定まった天体。
2017 WJ16	16等台	49 m	None	None	3年間観測がなく軌道不定性大。追観測があれば狙いたい
2020 SO	14等台	6 m	None	None	一時的に地球にトラップされる小惑星(minimoon)の可能性。
2000 WO107	13等台	6.5 km	None	X	メインベルト小惑星

- ・ さらに自転周期 & 組成 サンプルを増やす