

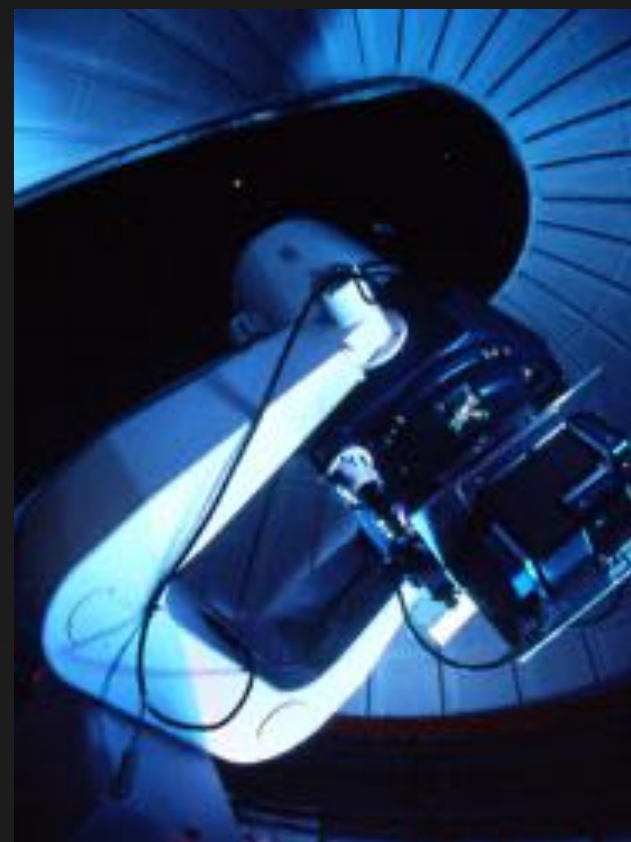
OISTERによる 微小地球接近小惑星の即時多色同時撮像観測

2021年11月24日(水) 15:45–16:00 第12回光赤外線天文学大学間連携ワークショップ @ Zoom

紅山 仁 (東京大学)



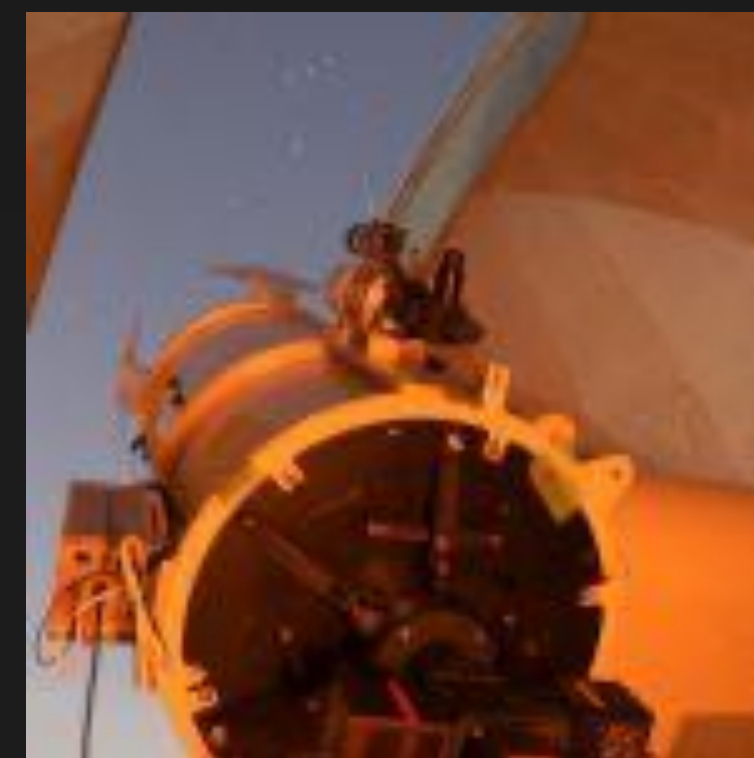
むりかぶし望遠鏡 (1 m) @ 沖縄



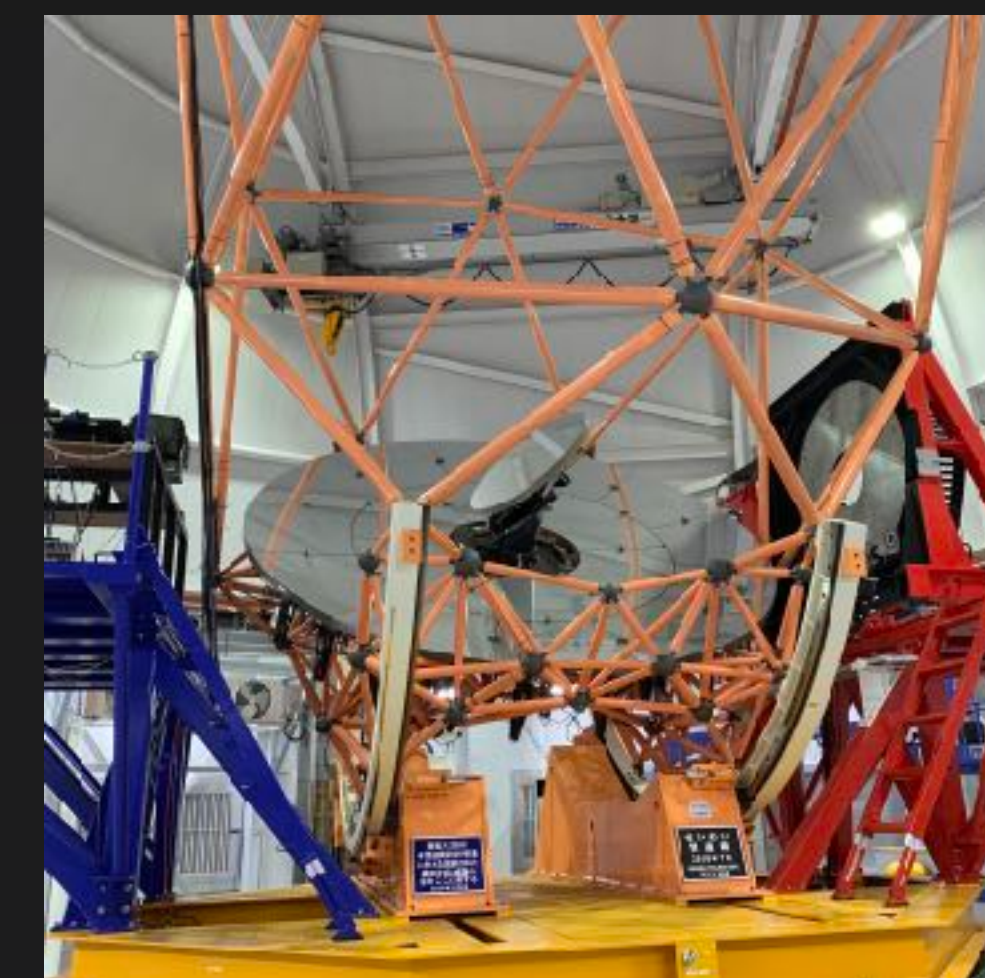
50 cm望遠鏡 @ 山梨



50 cm望遠鏡 @ 岡山



SaCRA (55 cm) @ 埼玉

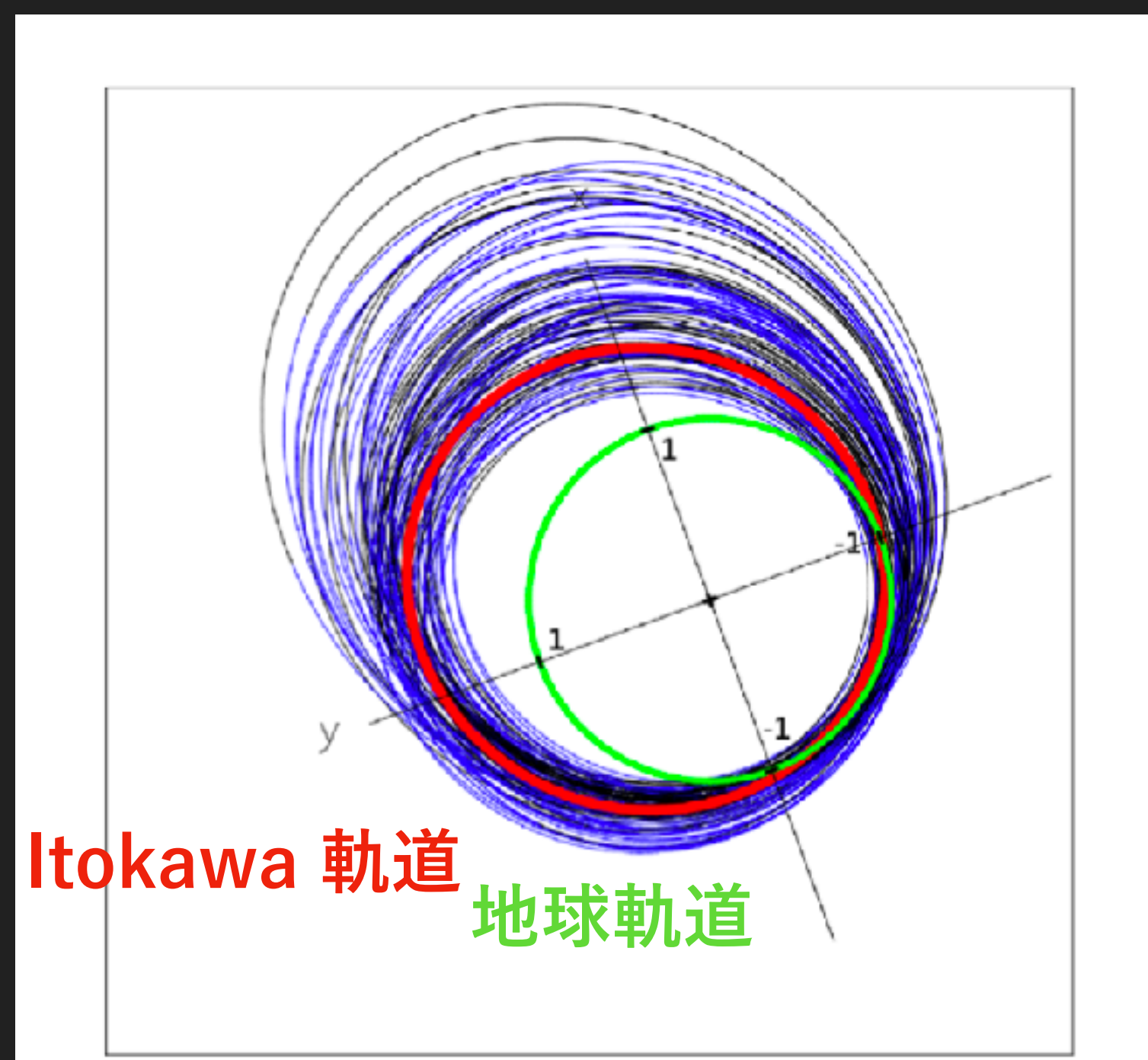


せいめい望遠鏡 @ 岡山

背景：太陽系小天体の観測意義

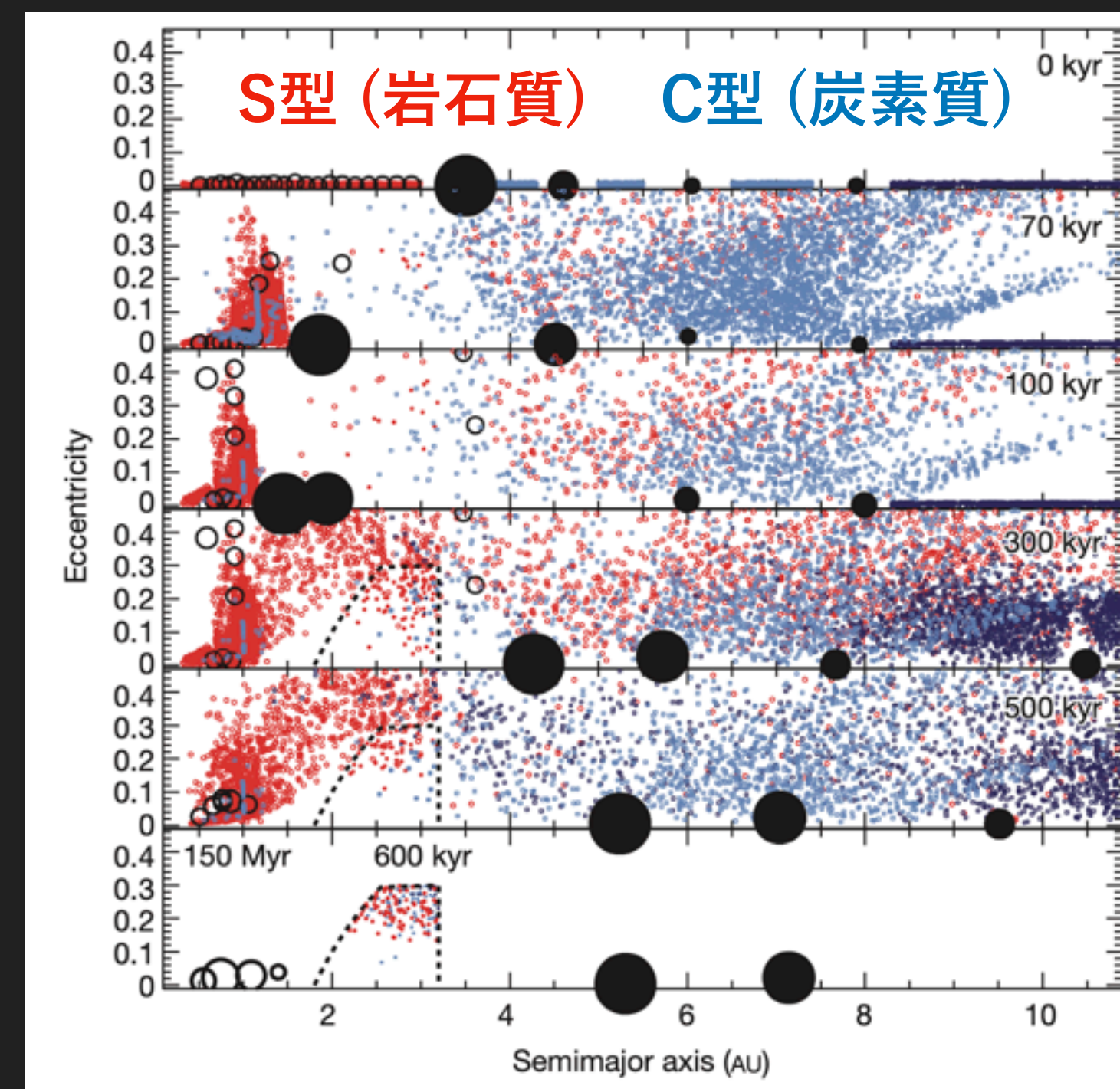
- 太陽系小天体（小惑星、彗星、外縁天体）の軌道や組成は太陽系の起源、進化過程を知る鍵

- ▶ **軌道要素：**
衝突による族 (family) 形成



小惑星 Itokawa の軌道と類似軌道小惑星 (Jopek+2020, figure7)

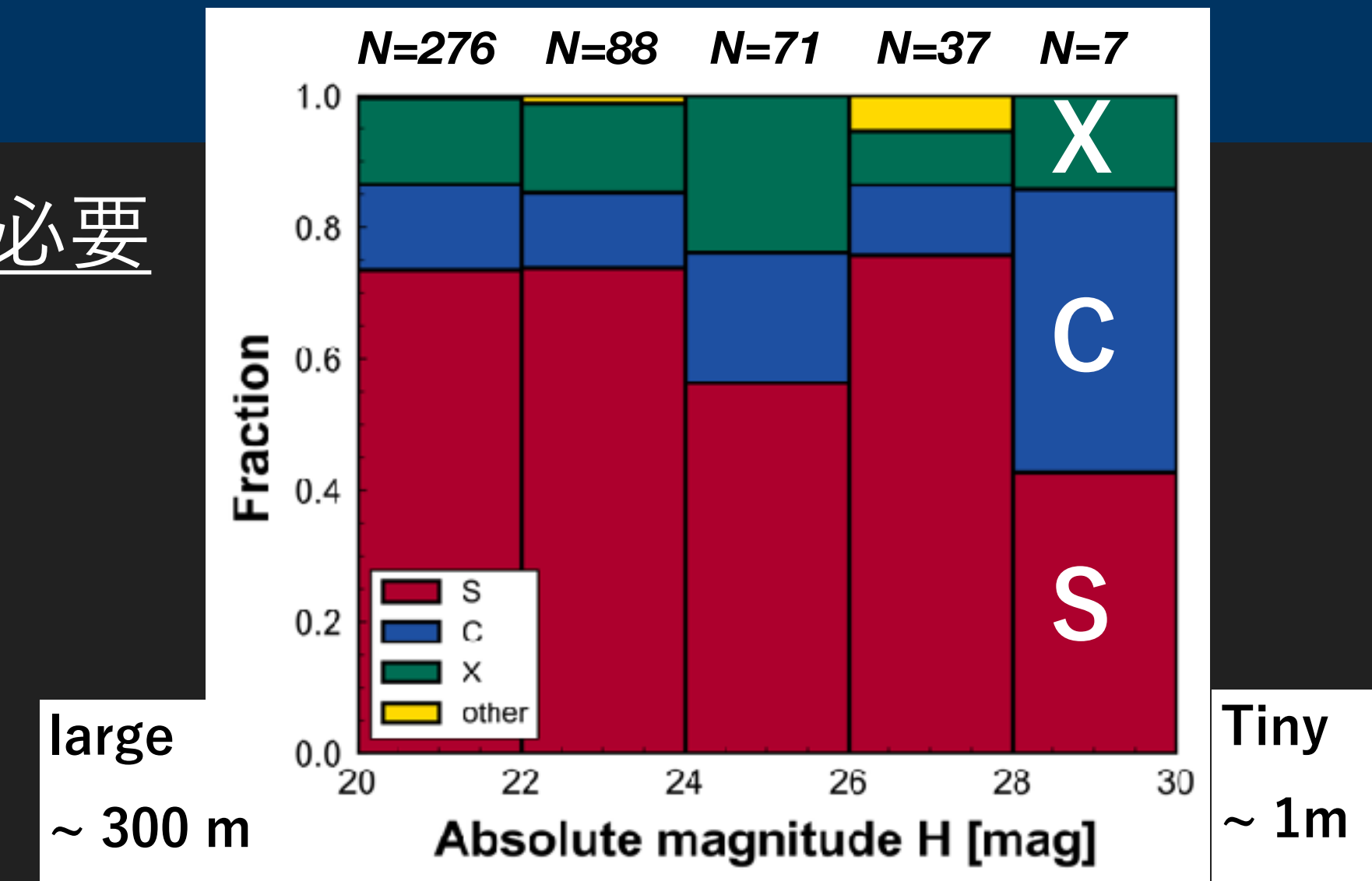
- ▶ **組成分布：**
Grand Tack model による惑星移動を反映



惑星移動に伴う小天体の軌道変化 (Walsh+2012, figure2)

微小小惑星のスペクトル型分布

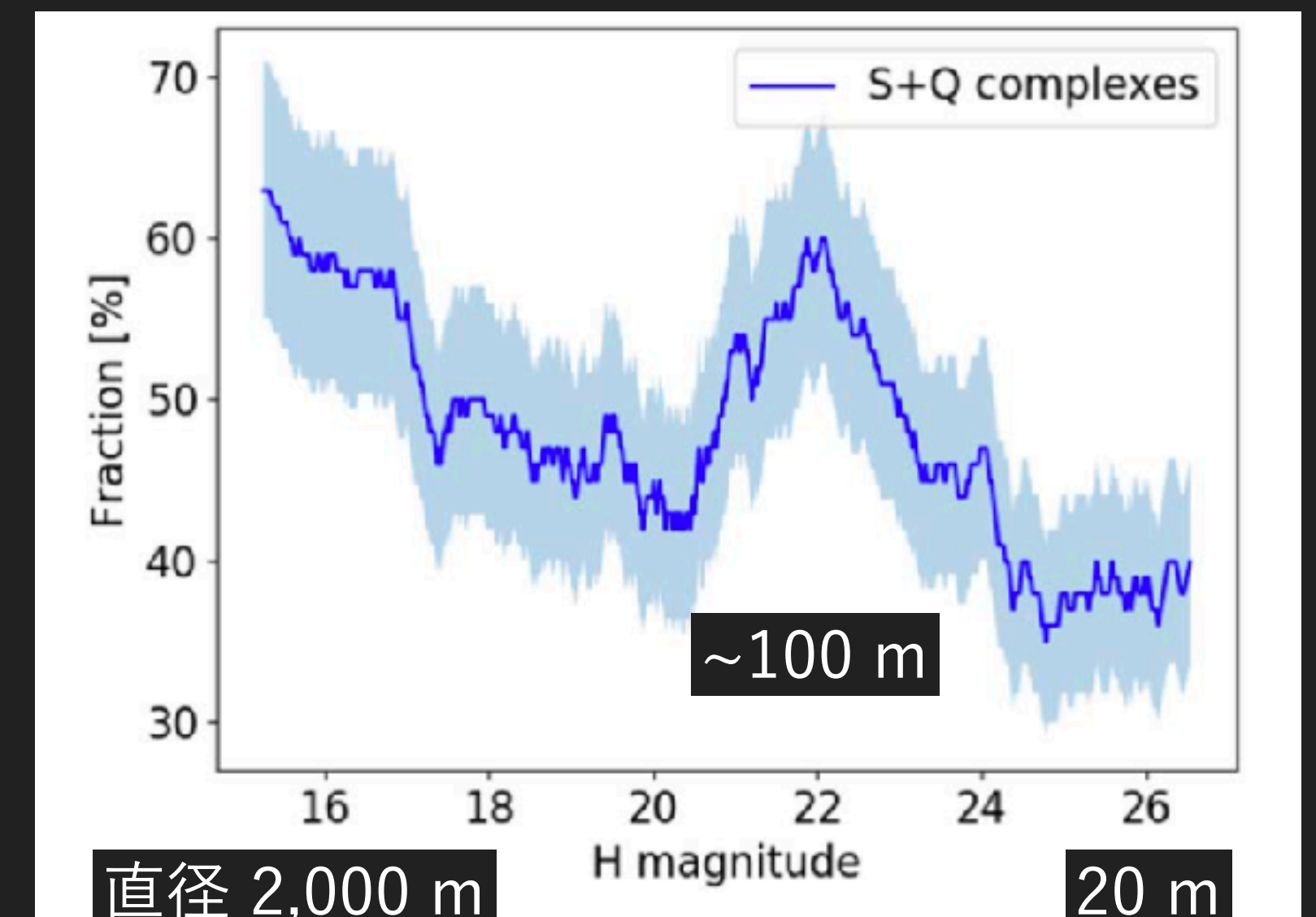
- 小惑星の起源、物質輸送の解明には広いサイズの組成分布が必要
 - ▶ 小さい小惑星は存在数が多く衝突頻度大
- 小天体の組成の議論には宇宙風化作用の理解が不可欠
 - ▶ 微小小惑星に対しても宇宙風化およびリフレッシュ作用は効果的に作用するのか? ラブルパイルと一枚岩で差は?



Binzel+2019, Bus & Binzel 2002, Binzel+2004, Devogele+2019, Mommert+2016, Popescu+2019, Perna+2018

- スペクトル型が推定された微小小惑星は100天体あまり
直径 100 m 以下と定義
- Devogele+2019 は直径 100 m 付近に
S型 (Silicate) 小惑星の存在割合のピークを検出
 - ▶ H ~ 22 はラブルパイル小惑星と一枚岩小惑星の境目に一致?

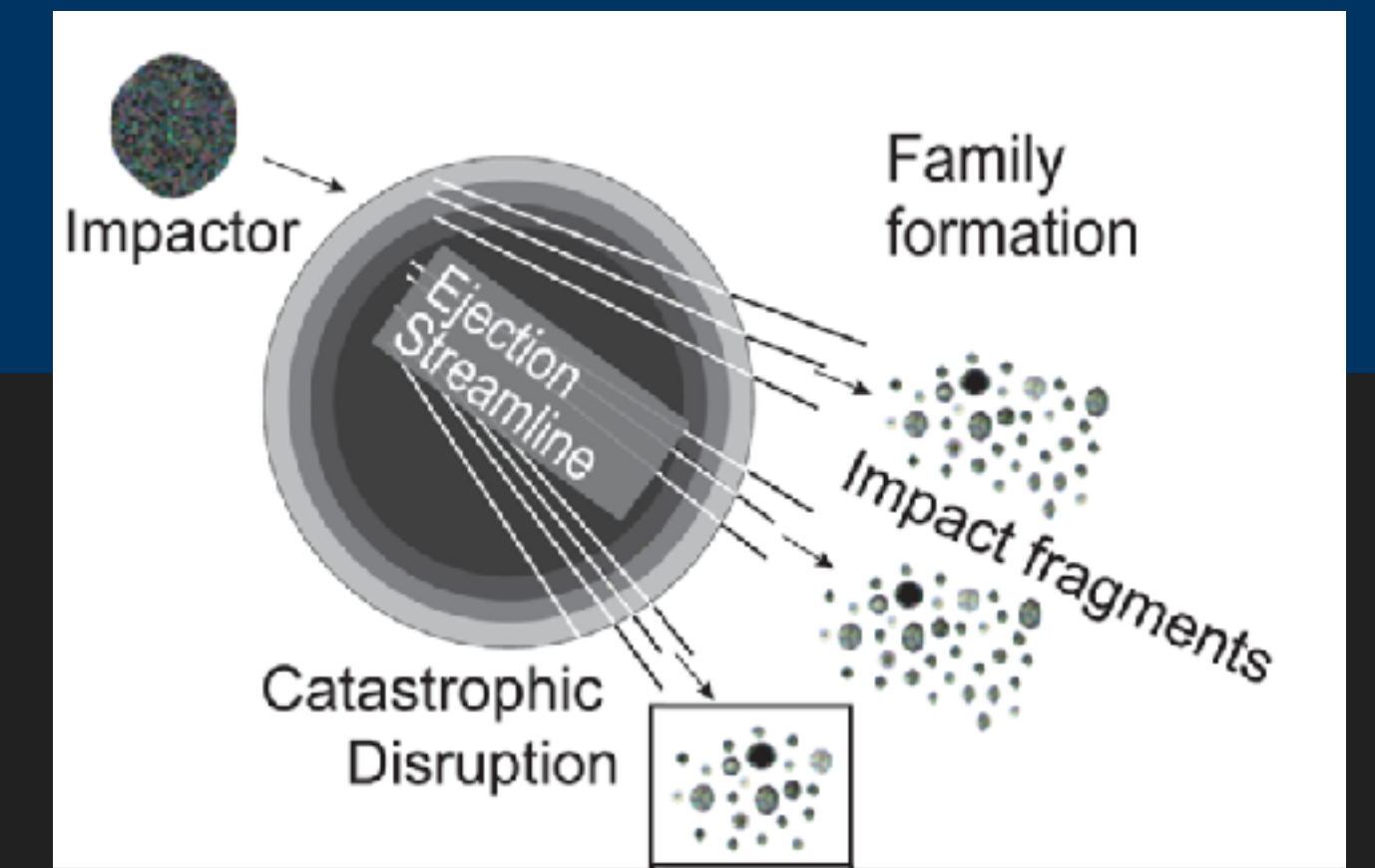
微小小惑星のスペクトル型推定は
宇宙風化とそのリフレッシュ作用検証のために重要



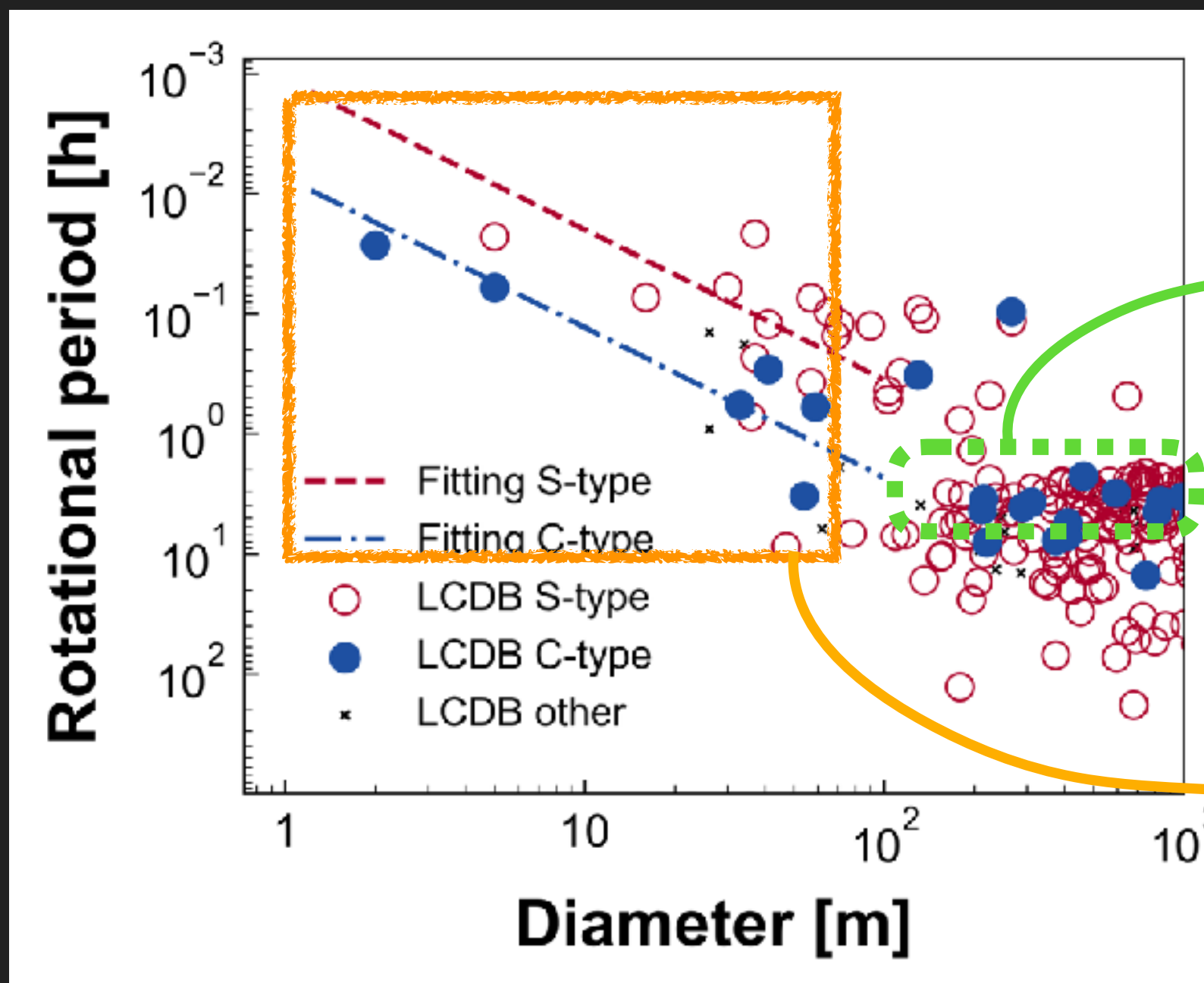
Devogele+2019, figure 7

「スペクトル型+自転周期」推定

- 現在観測される小惑星の多くは過去に衝突、破壊を経験
太陽系史の解明において小惑星の強度や力学史の理解は不可欠
- 小惑星の組成と自転周期の組み合わせはそれらの理解に有用

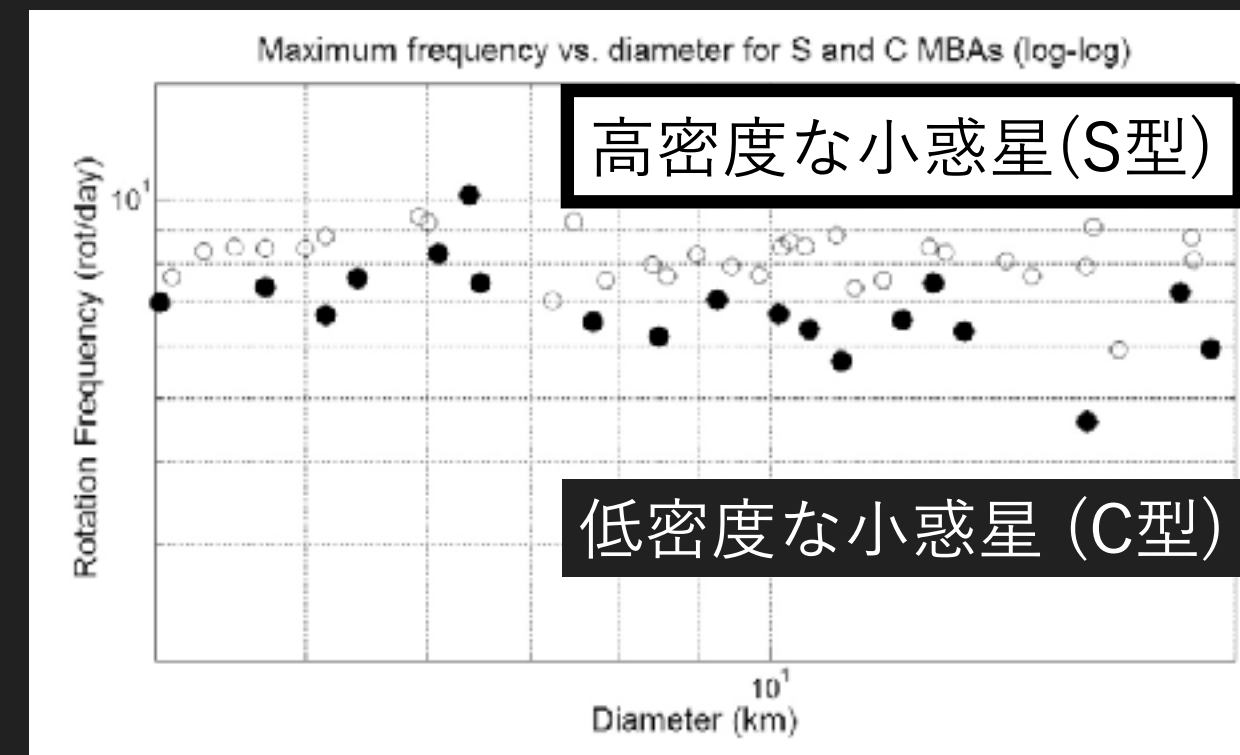


Sugita+2019 Fig.8 ***



スペクトル型が報告されている小惑星の直径-自転周期関係*

直径 大



Carbognani 2017 (Fig.5) **

直径が大きな小惑星 (> 100 m) において自転周期+組成の観測結果から自転破壊が起こっていることを示した

直径 小

微小小惑星 (< 100 m)の観測は難しくサンプルが少ない

- ▶ 大きな小惑星と同様に組成依存性が存在するか？
自転破壊に達している？
- ▶ 現在の傾向は観測バイアス？ 他の物理？

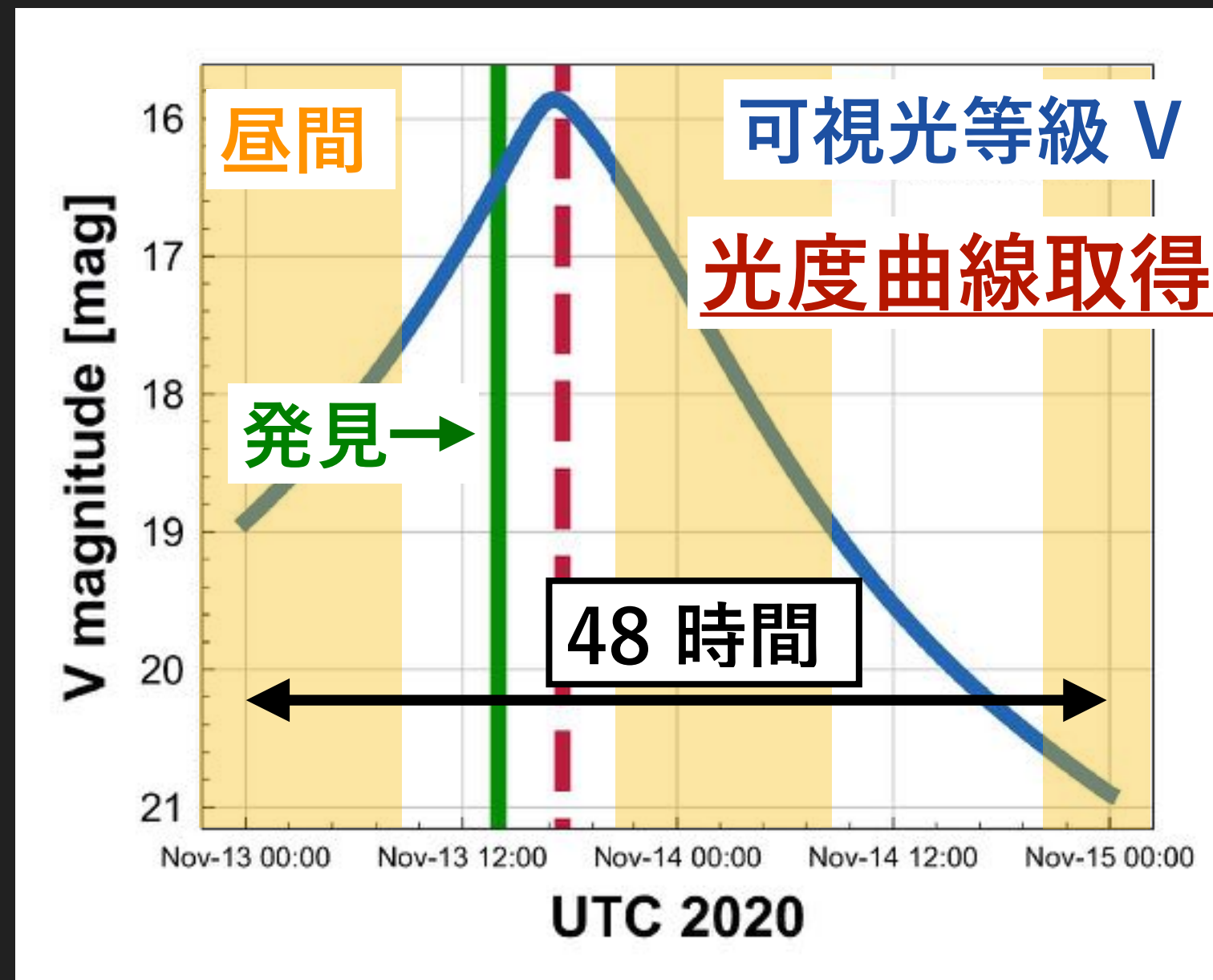
* Generated with data from Warner B. D. et al. 2009, Icarus, 202, 134, Binzel+2019, Icarus, 324, 41, Bus & Binzel 2002, Icarus, 158, 146, Binzel+2004, Icarus, 170, 259, Devogele+2019, AJ, 158, 196, Mommert+2016, AJ, 151, 98, Popescu+2019, A&A 627, A124, Perna+2018, PSS, 157, 82

** Carbognani 2017, P&SS, 147
*** Sugita+2019, Science, 364, 6437

微小惑星観測の困難性

1. 即時観測が必要 (数時間 – 数日)

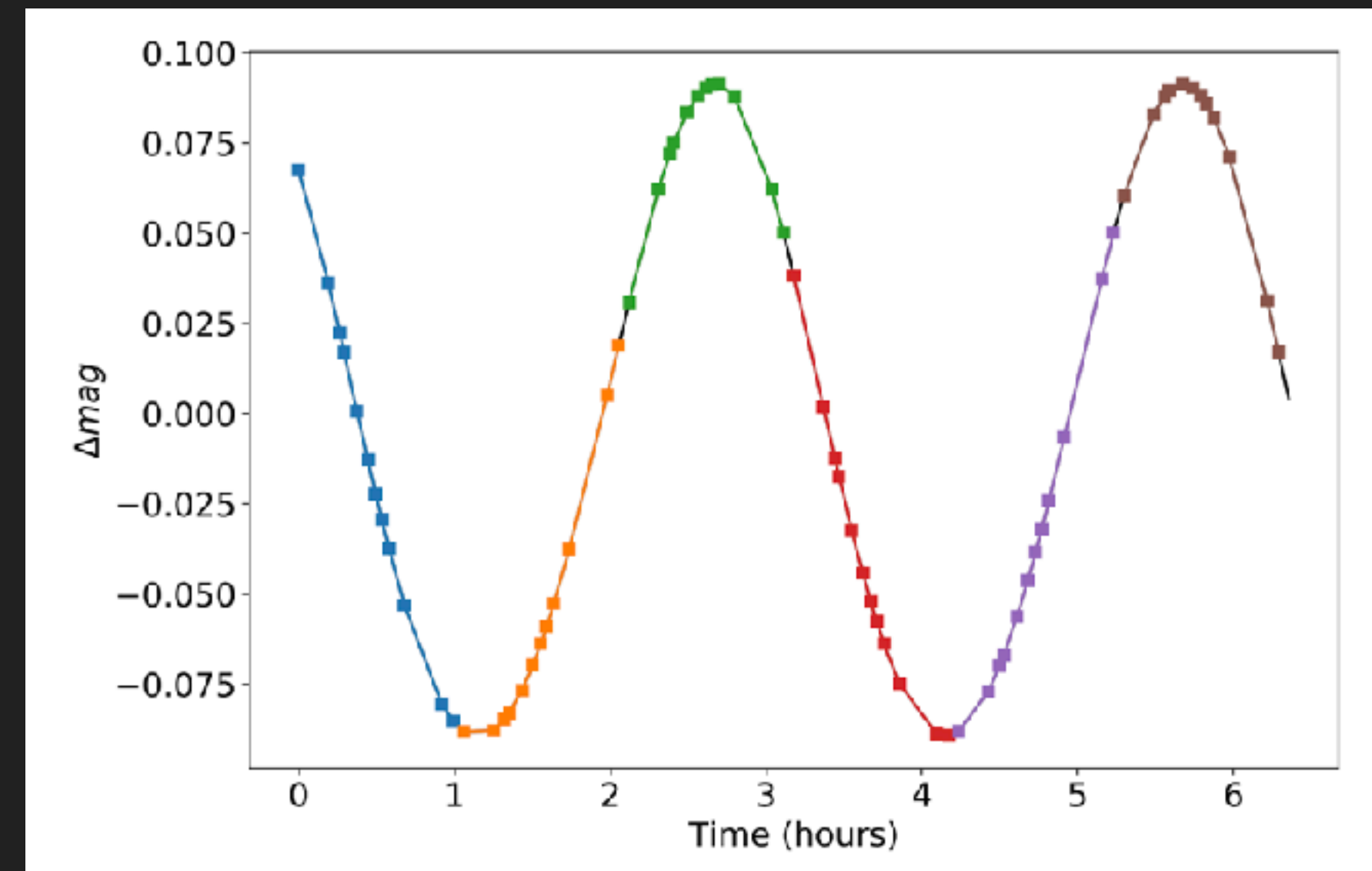
- ▶ 地球に近づいた小惑星であれば観測者と小惑星の距離が近くなり、明るく観測可能
- ▶ しかし地球に近づいた小惑星は天球上移動速度が速く、迅速な追観測(を可能にする連携)が必要



直径 5 m NEO 2020 VH₅ の天体暦

2. 高速自転小惑星には他波長同時観測が必要

- ▶ 直径 100 m 以下小惑星の平均自転周期は ~10 分。速いものは 10 秒程度で高速自転している。
- ▶ 数分間露光してS/Nを稼ぐ観測では自転による光度変化の影響を受ける。フィルター切り替え観測で得るスペクトルは不適。



複数バンドで取得した光度曲線例 (Morate+2021, figure15)

本研究の狙い

- 国内望遠鏡と連携し発見から数時間 – 数日で微小惑星の多色同時撮像観測を行う。

狙い1. 微小惑星の「スペクトル型」推定

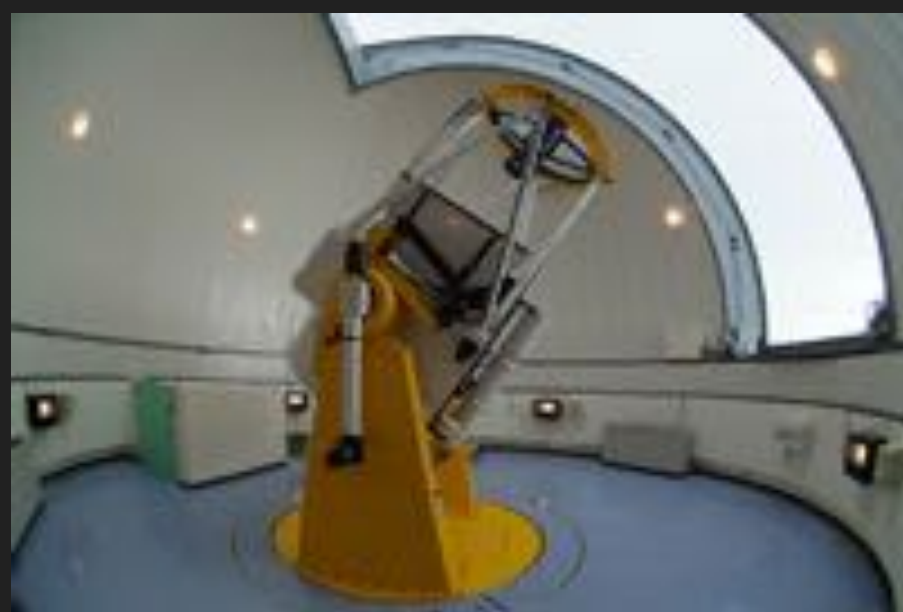
-> 宇宙風化とリフレッシュ作用の理解

狙い2. 微小惑星の「スペクトル型 + 自転周期」推定

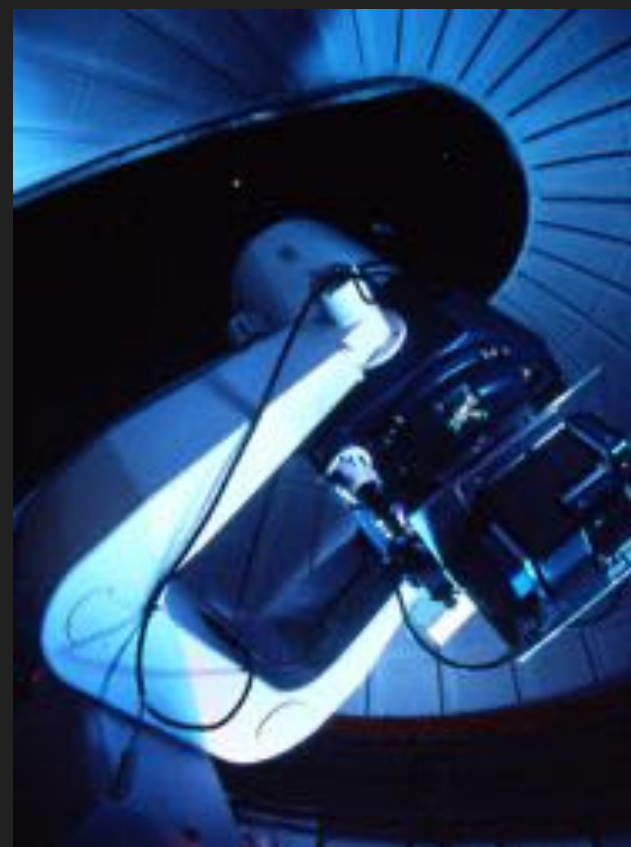
-> 微小惑星の強度や力学史への制限

光・赤外線天文学大学間連携

(Optical and Infrared Synergetic Telescopes for Education and Research, **OISTER**)



むりかぶし望遠鏡 (1 m) @ 沖縄



50 cm望遠鏡 @ 山梨



SaCRA (55 cm) @ 埼玉



50 cm望遠鏡 @ 岡山



せいめい望遠鏡 @ 岡山

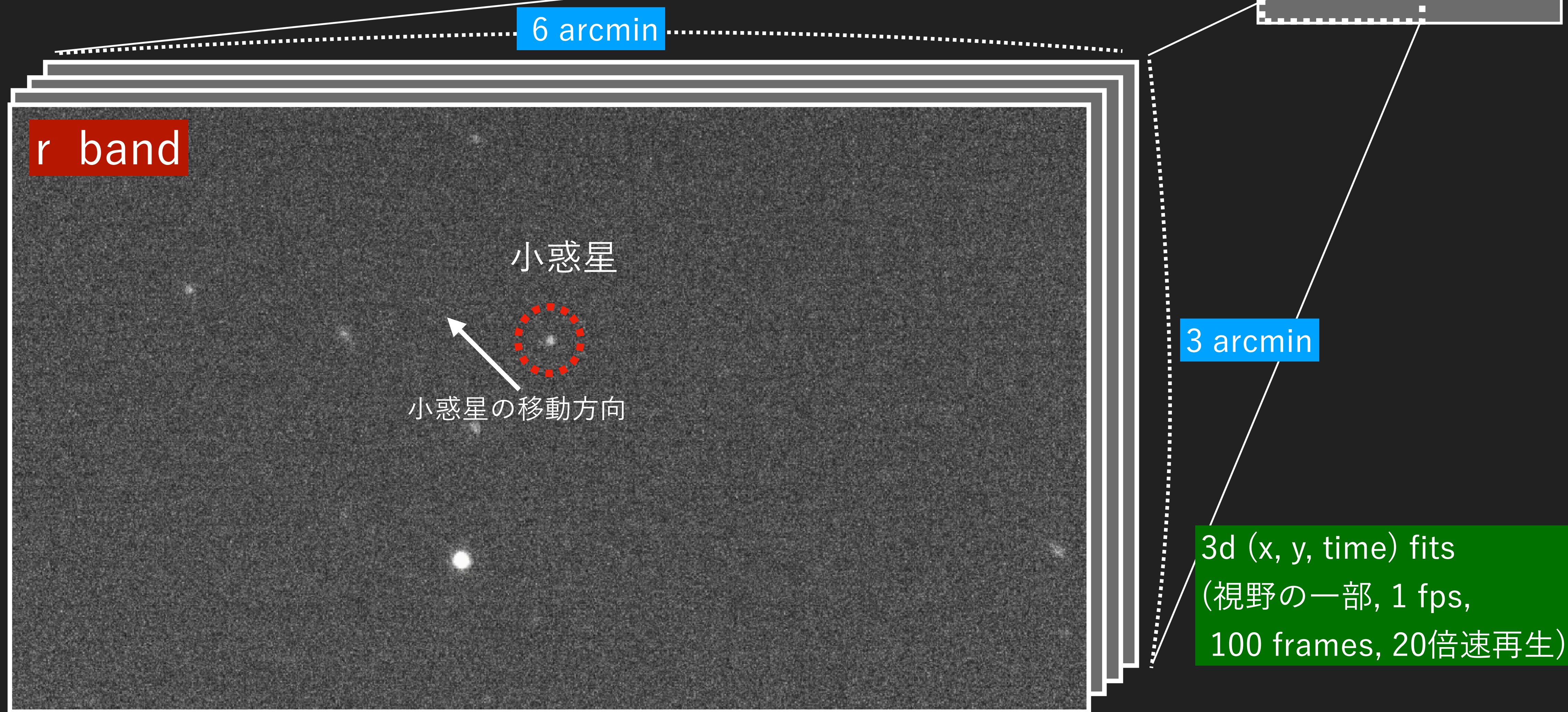
これまでの観測

- 2021年度はOISTERを通じて**3件の観測**を依頼
(京都大学、石垣島天文台の方々ありがとうございました。)

削除しました

観測データ例

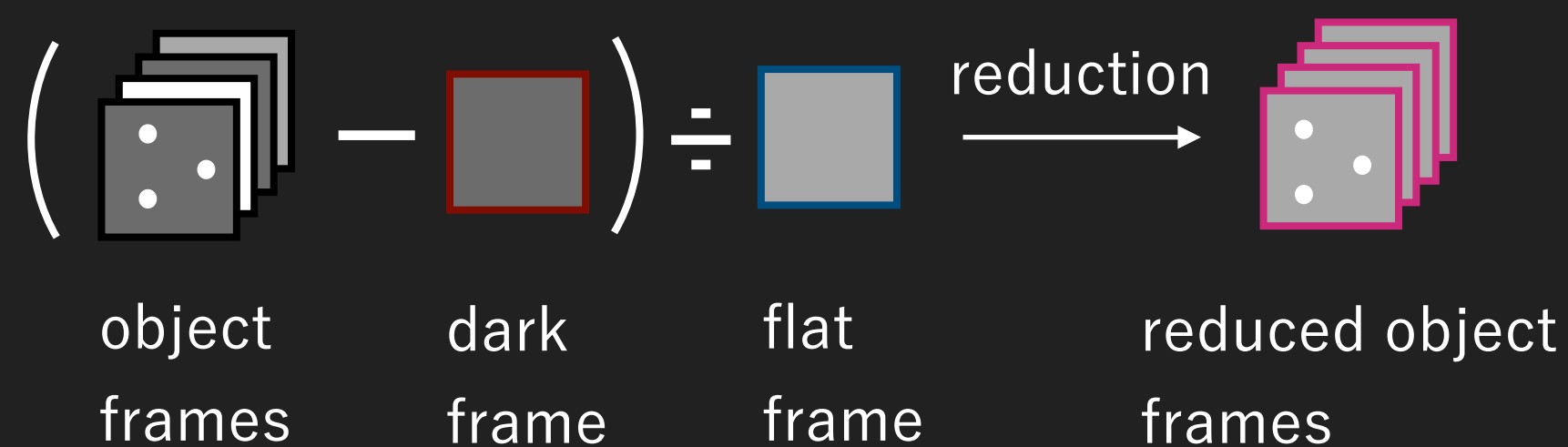
- 小惑星を追尾 (非恒星追尾)



解析の流れ

1. 一時処理

- ・ バイアス & ダーク引き
- ・ フラット補正
- ・ WCS 較正



3.1. 光度曲線の作成

視野内の星を用いた差測光
(differential photometry)

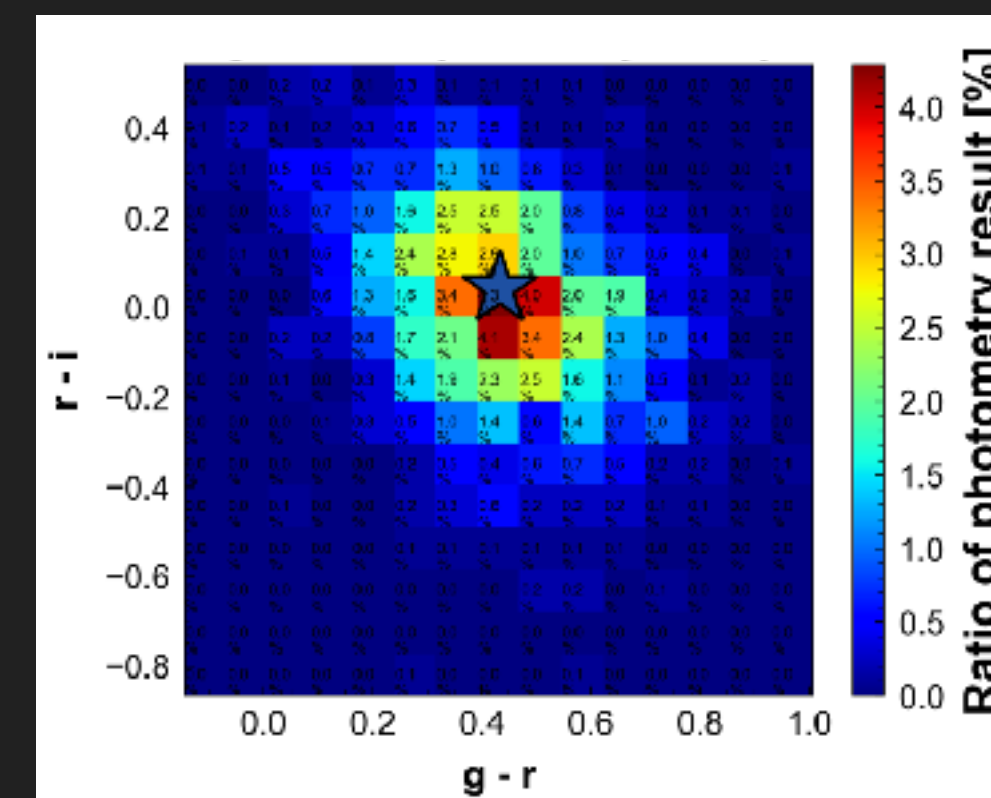


削除しました

3.2. 色光度曲線の作成

Pan-STARRS カタログ星
を用いた相対測光
(relative photometry)

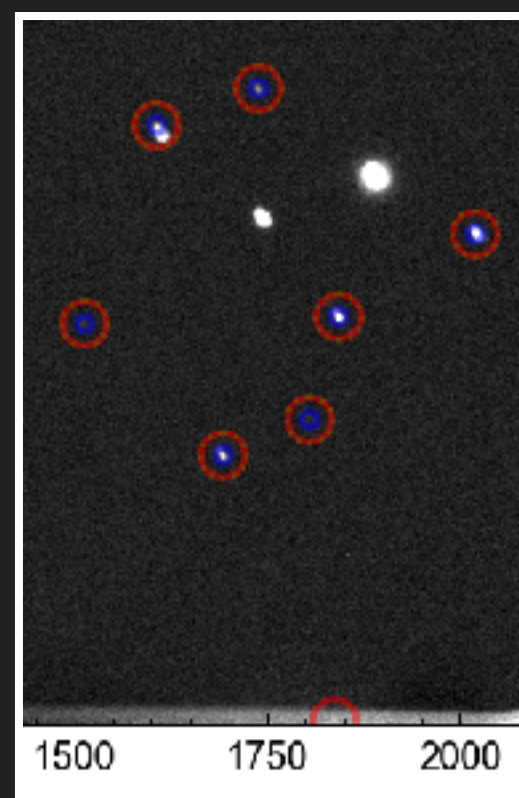
絶対的な等級値決定には
色補正のための係数が必要。
観測日の標準星を用いて
係数を決定し、色を推定。



2. 開口測光

SExtractorを用いた円形開口測光
により視野内の標準星と移動天体
の明るさを測定

移動天体は実際の検出位置を
もとに開口位置を決定



結果：光度曲線（むりかぶし）

- 20分間の光度曲線から0.5 等以上の高度変動を検出
- 3バンドの同時光度曲線から色を決定



結果：光度曲線（せいめい）

- 21:00 木曾(Tomo-e Gozen)の観測で高速自転を検出
- 22:00 OISTERの枠組みでToO観測を依頼
- 23:30 ~ 25 分間の光度曲線を取得

g-band

削除しました

r-band

削除しました

z-band

結果：色の決定

削除しました

削除しました

削除しました

削除しました

自転位相毎のスペクトル型変化

削除しました

まとめと今後

- 太陽系小天体（小惑星、彗星、外縁天体）の軌道や組成は太陽系の起源、進化過程を知る鍵。観測的困難性（即時観測、多波長同時観測）から微小小惑星の観測数は限られている。
- 直径 100 m 以下の小惑星13天体に対しOISTER + せいめいで迅速な多色同時観測を実施。
- 5天体のスペクトル型を推定。S型3天体、C型2天体
-> 定量的な分類モデルの作成
- さらに5天体の自転周期を推定。
自転周期+スペクトル型が求まったサンプルを増大
-> 理論予測との比較
- 高速自転小惑星のスペクトル型の均一性を評価
-> 不均一性に関する定量的な評価

削除しました

本観測に携わるOISTER関係者の皆様へ感謝申し上げます。
いつもありがとうございます。