

はやぶさ2拡張ミッション（はやぶさ2#） ターゲット小惑星Torifuneの 3色同時測光観測結果と再観測計画

せいめいUM @東京科学大学 大岡山キャンパス

2025.09.02 17:15-17:30

PI: 土井知也 (M2)¹

Co: 高木聖子¹, 関口朋彦², 黒田大介³, 浦川聖太郎³,
紅山仁^{4, 5}, 石黒正晃⁶, Jooyeon Geem⁷

¹北海道大学, ²北海道教育大学, ³日本スペースガード協会,

⁴東京大学, ⁵Observatoire de la Côte d'Azur,

⁶Seoul National University, ⁷Luleå University of Technology



Asahi

© JAXA

1. 背景

【JAXA はやぶさ2#】

Ryuguサンプルリターン後の拡張ミッション
地球に脅威のある小型小惑星の偵察探査機：「**# (SHARP)**」
Small **H**azardous **A**steroid **R**econnaissance **P**robe

【意義】

- (1) 太陽系長期航行技術の進展
- (2) 高速自転小型小惑星探査の実現
- (3) Planetary Defenseに資する科学と技術の獲得

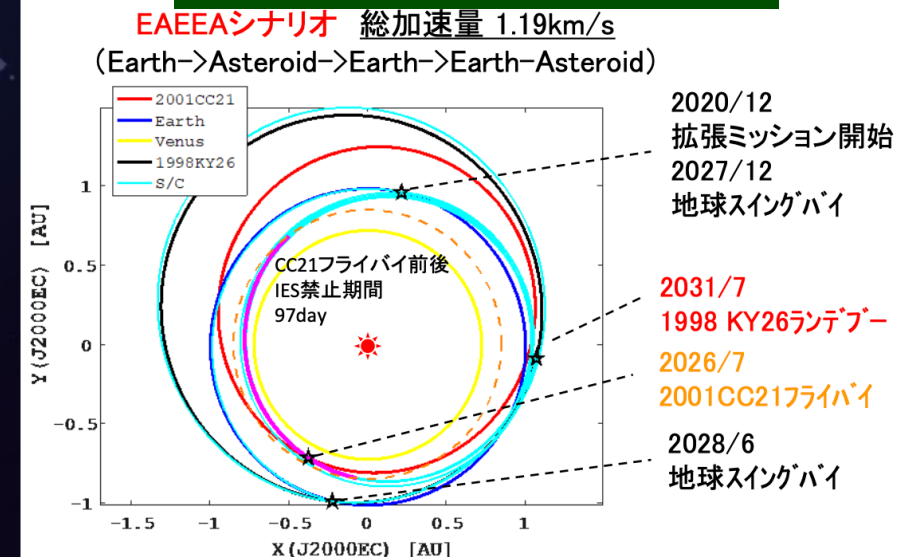
【ターゲット】

- (1) **Torifune** (2001 CC21) 2026年7月にフライバイ
- (2) 1998 KY26 2031年にランデブー

フライバイイメージ



拡張ミッションシナリオ



1. 背景

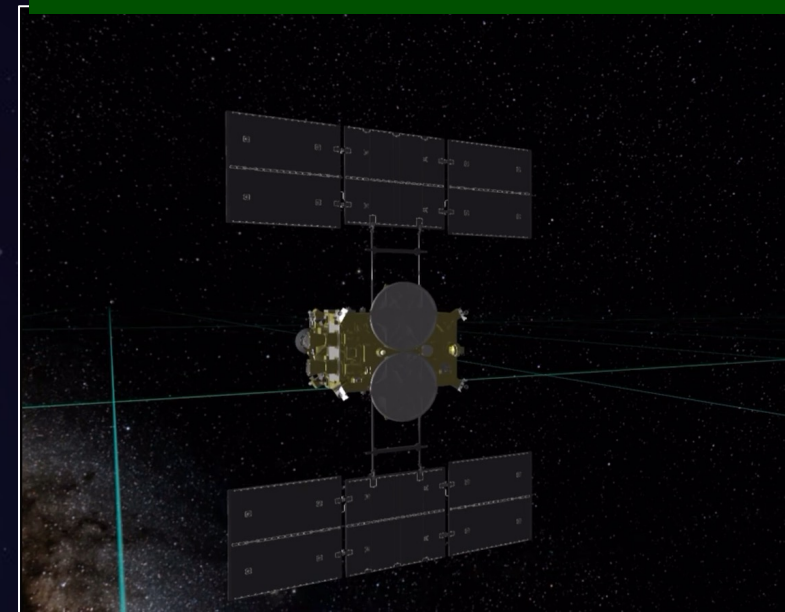
【紙一重高速フライバイ】

距離 ~1 km (詳細はJAXAにて検討中)

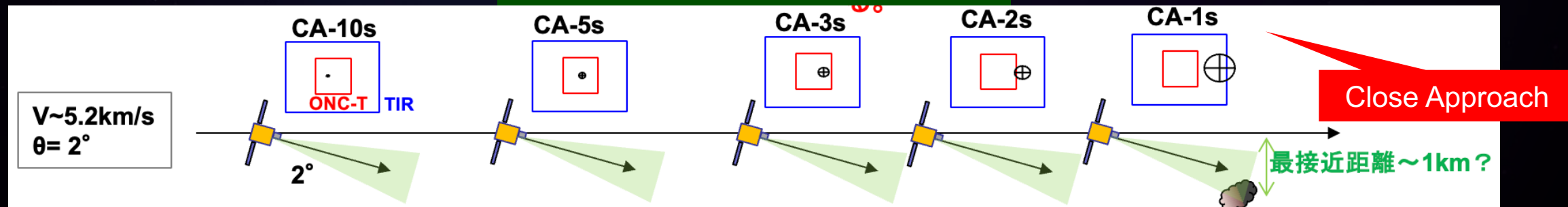
速度 ~5 km/s

- ・ 搭載カメラはRyuguランデブー用で望遠できず、空間分解した画像を取得できる時間は**2-3 s**と見積もり、その間に10枚程度の画像取得予定
- ・ フライバイ中のオペレーションはできず、露出時間&ゲインは事前設定される
- ・ フライバイで観測できるのはTorifuneの1面 (片側) のみ

フライバイシミュレーション



フライバイ時の再接近プラン



2. 探査機調査前に地上観測する必要性

【技術的必要性】

- ・ 搭載カメラの露出時間・ゲインの事前設定
→ 表面カラーが事前に分かっていないと決められない

【科学的必要性】

- ・ Torifuneの表面カラー（一様なかどうか）
→ 最も科学的価値の高い観測面の決定
→ はやぶさ2が撮像した1面（片側）のデータがTorifune全面の情報と言えるか

→ 暗い小惑星（Torifuneは18等）に最適な大口径のせいめい望遠鏡 &
自転の影響を受けない3色同時測光が可能なTriCCSでの観測

3. 先行研究

以前はL-type (S-typeのサブグループ) or S-type ?

【偏光観測 (Geem+, 2023)】

- S-typeの偏光度

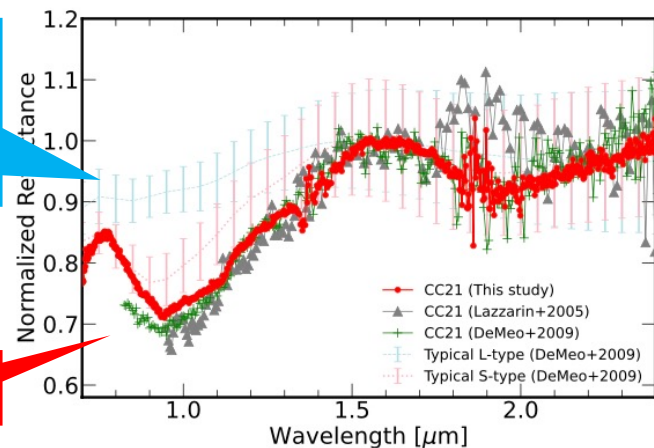
【可視－近赤外分光観測 (Geem+, 2023; Popescu+, 2025)】

- S-(Sq-)typeの反射スペクトル

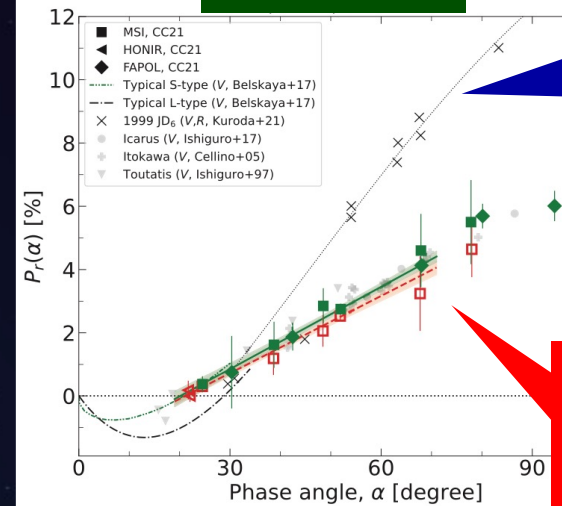
近赤外反射スペクトル 3.2 m IRTF/SpeX

L-type;
かんらん石
・輝石 少

S-type



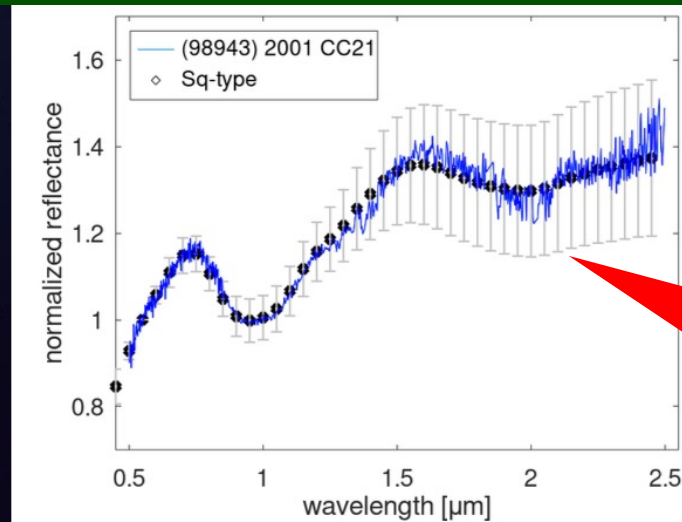
偏光度



C-type;
炭素質
Ryuguなど

S-type;
石質
Itokawaなど

可視－近赤外反射スペクトル
10.2 m GTC/OSIRIS & 3.2 m IRTF/SpeX



Sq-type;
中程度の
宇宙風化

3. 先行研究

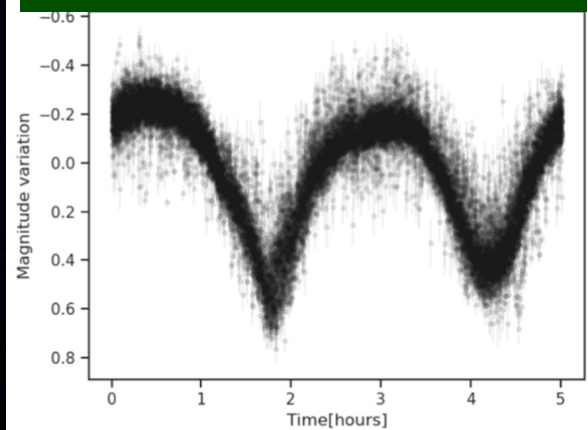
【測光観測 (Popescu+, 2025)】

- ・ S-typeの色指数 ($g-r$, $r-i$, $i-z_s$)
- ・ 表面カラーの大きな変動は検出されず (一様な表面)

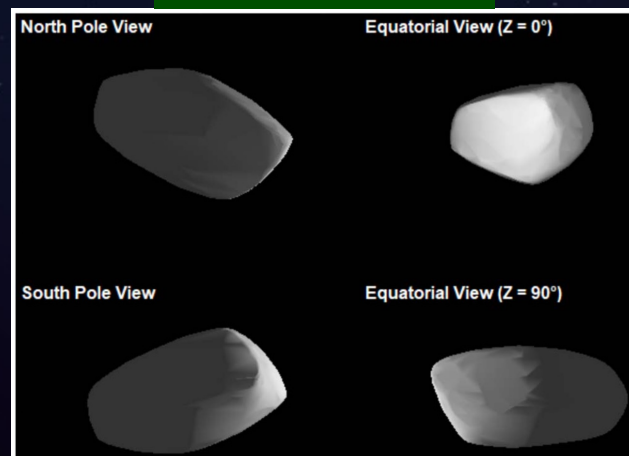
【ライトカーブ観測 (Popescu+, 2025; Fatka+, 2025 etc.)】

- ・ 5.02 hの自転周期
- ・ 形状

自転による明るさの変動

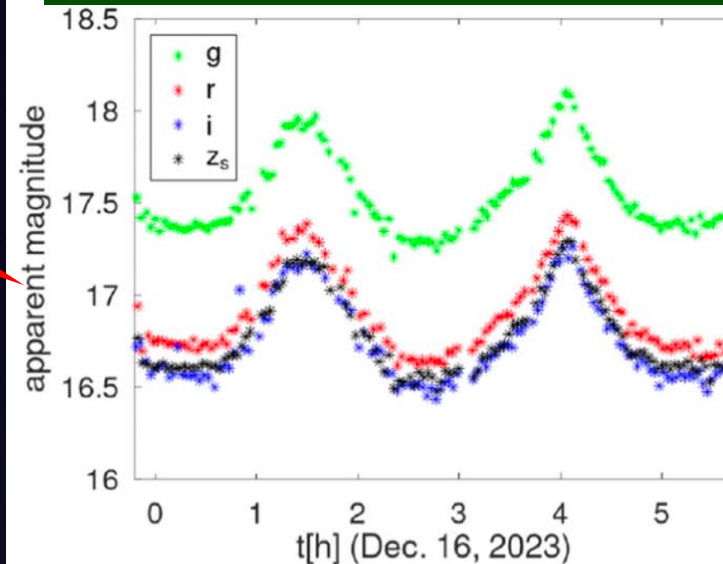


3Dモデル

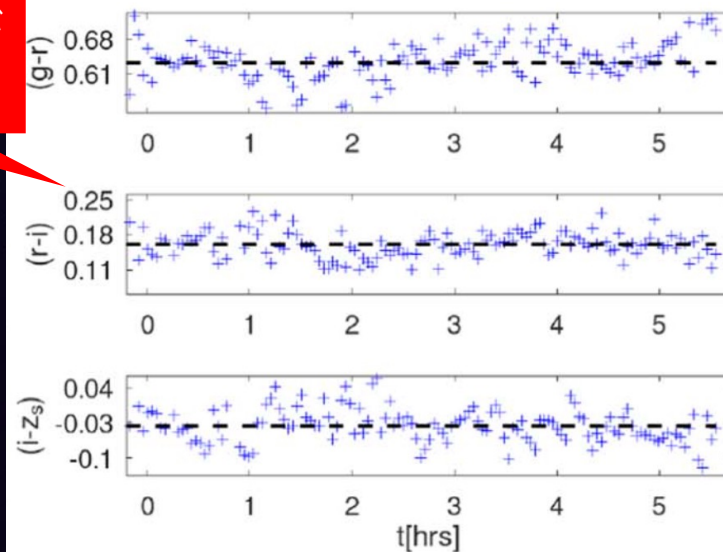


$g - r = 0.663 \text{ mag.}$,
 $r - i = 0.177 \text{ mag.}$,
 $i - z_s = -0.061 \text{ mag.}$
(SDSS system filter)

自転による表面カラーの変動
1.52 m TCS/MuSCAT2



色指数の変動が
小さい (一様)



4. 目的

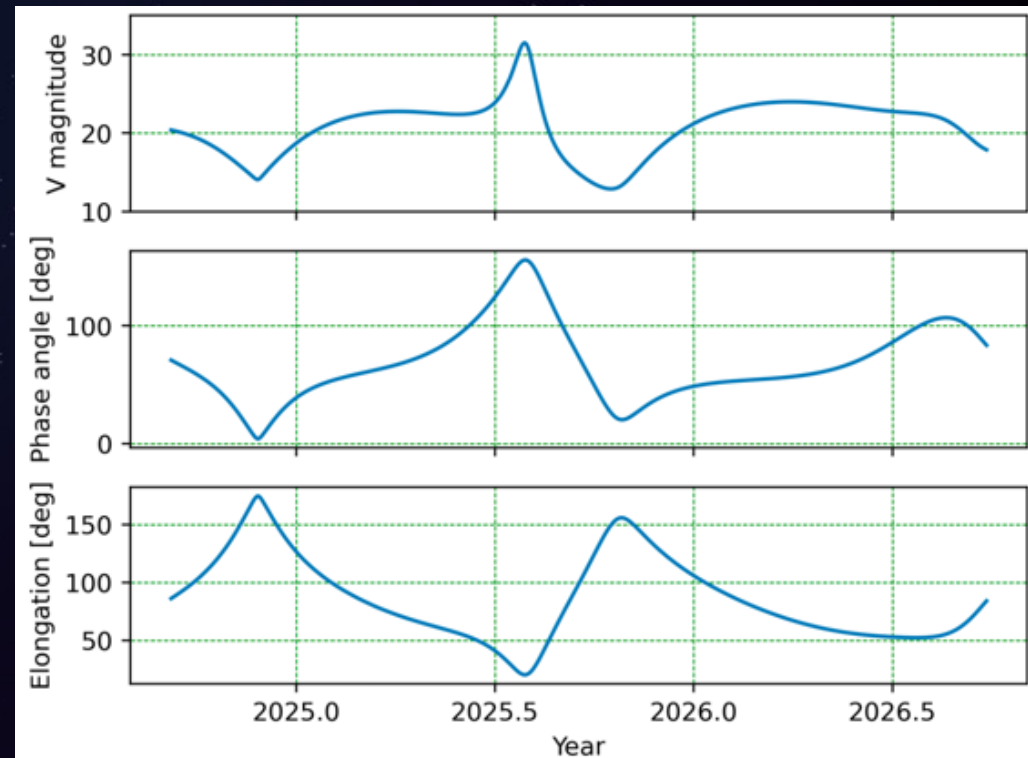
【測光観測】

- (1) 自転周期5.02 h以上の継続観測でTorifune全面のカラーデータを取得
- (2) 先行研究(Popescu+, 2025)よりも精度の良いカラーデータを取得

→2024B-N-CN22 0.5夜×2

2024Bで(1)は達成できず、再観測を申請

→2025B-N-CN12 0.5夜×1



5. 観測

低位相角時
に急増光

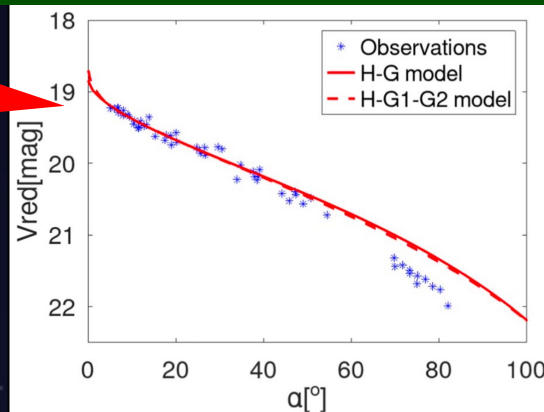
【観測好機】

地心距離と衝効果による明るい
タイミング

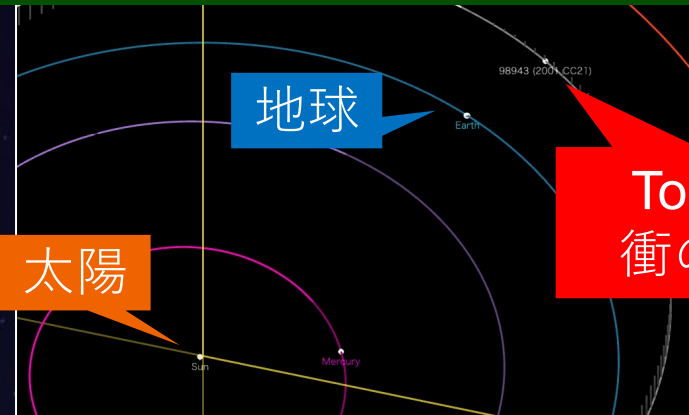
位相角（太陽－小惑星－地球のなす角）
が 0° 付近で急増光し明るくなる現象



Torifuneの明るさの変動



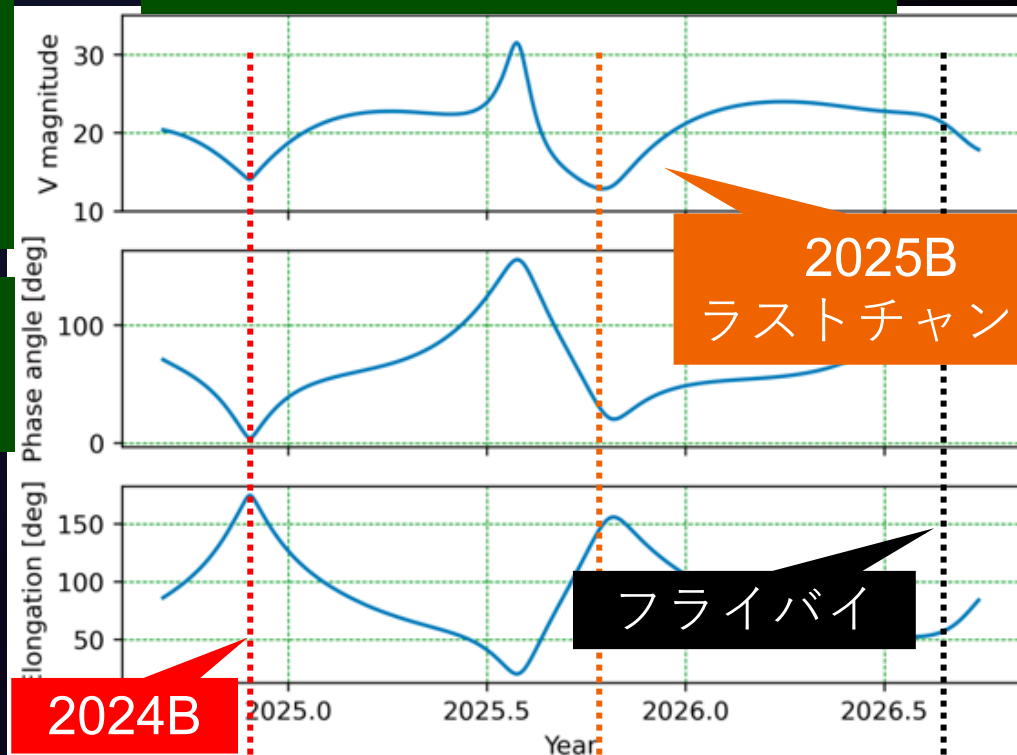
Torifuneの位置 27 Nov. 2024



Torifuneの観測状況の変動

見かけの等級

位相角



2024B	位相角
27 Nov. 2024	$5\text{--}6^\circ$
28 Nov. 2024	$6\text{--}7^\circ$

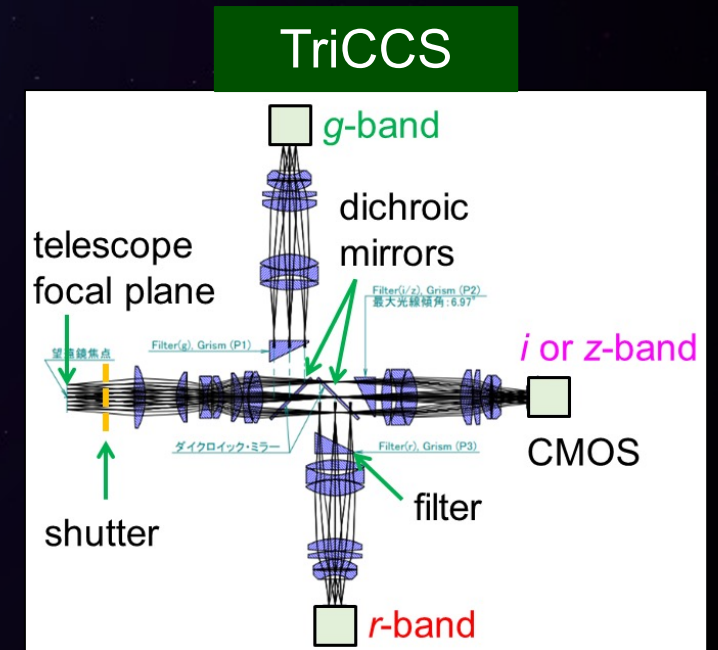
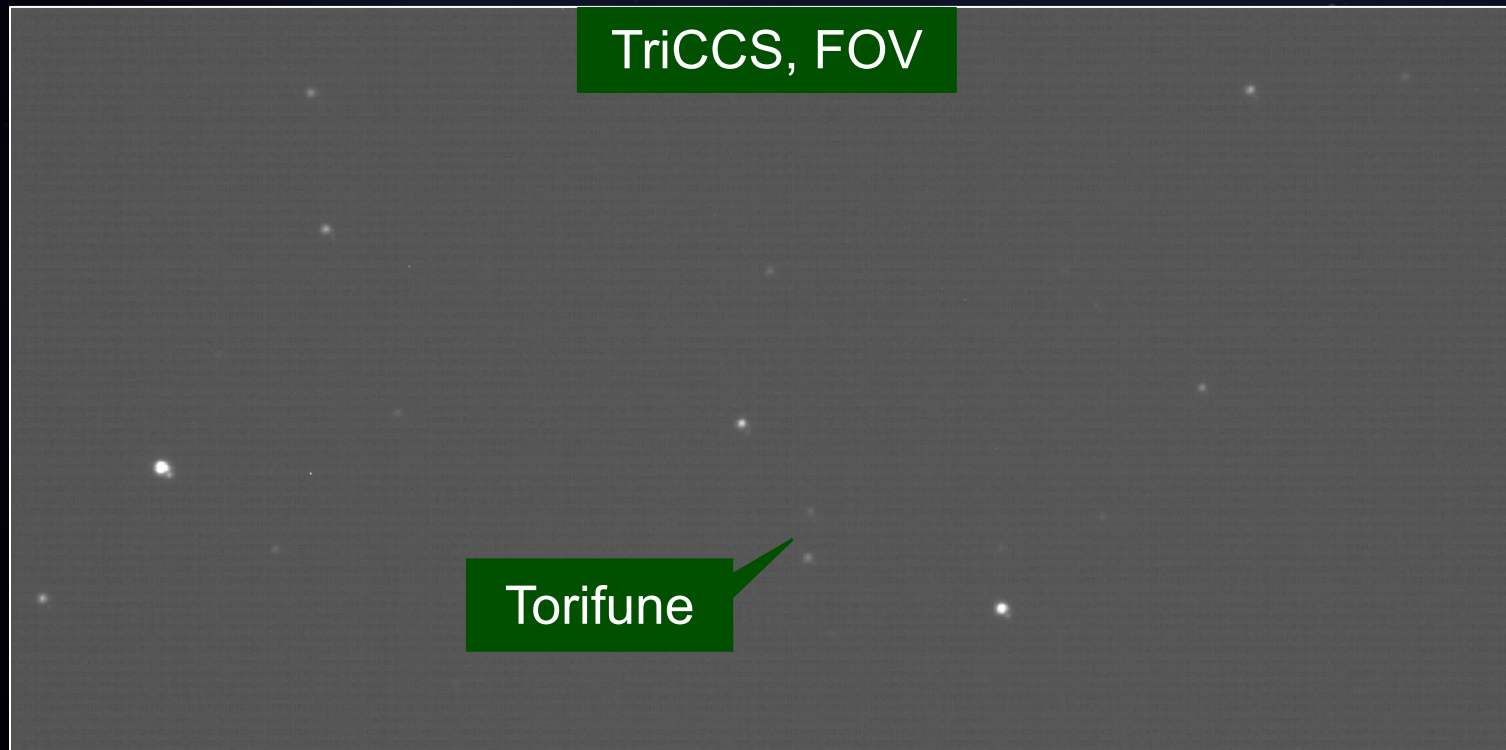
2025B	位相角
22 Oct. 2025	20°

5. 観測

【TriCCS】

- ・ 3色同時撮像測光モード
Pan-STARRS system filter (g, r, i)
- ・ 移動天体追尾モード

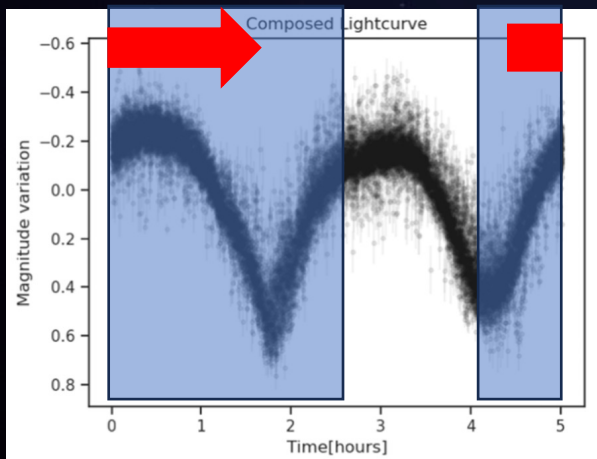
2024B	Filter	露光時間 [s]	観測時間
27 Nov. 2024	<i>g2, r2, i2</i>	120	~20 min.
28 Nov. 2024	<i>g2, r2, i2</i>	120	~3 hours



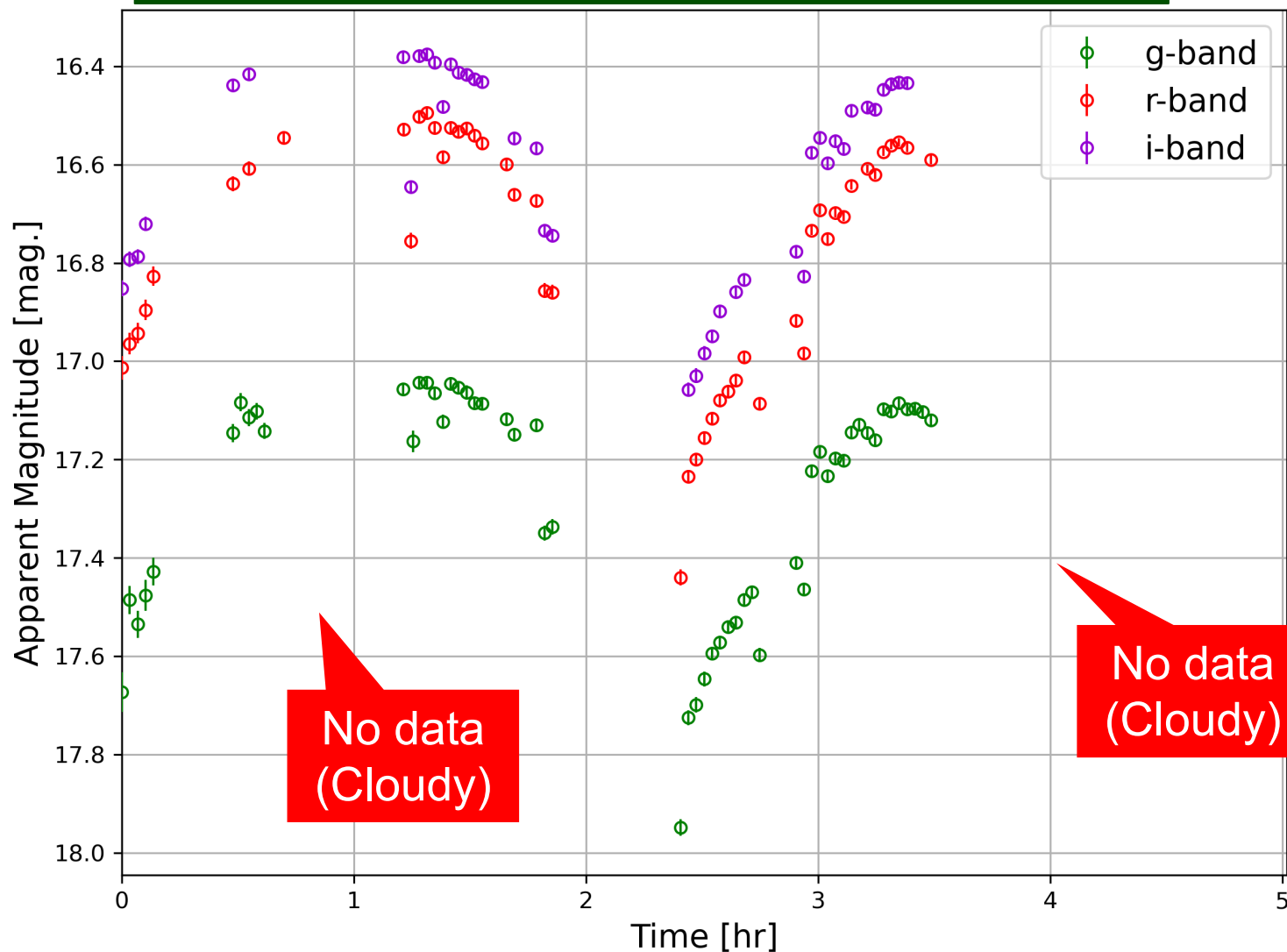
6. 結果

【マルチカラーライトカーブ】

- ・ 自転周期5.02時間のうち
天候不良で3時間程度のみ
→不十分
- ・ 形状、等級差ともに
先行研究(Popescu+, 2025)の
ライトカーブとよく一致



Torifuneの自転によるカラー変動（自転周期）

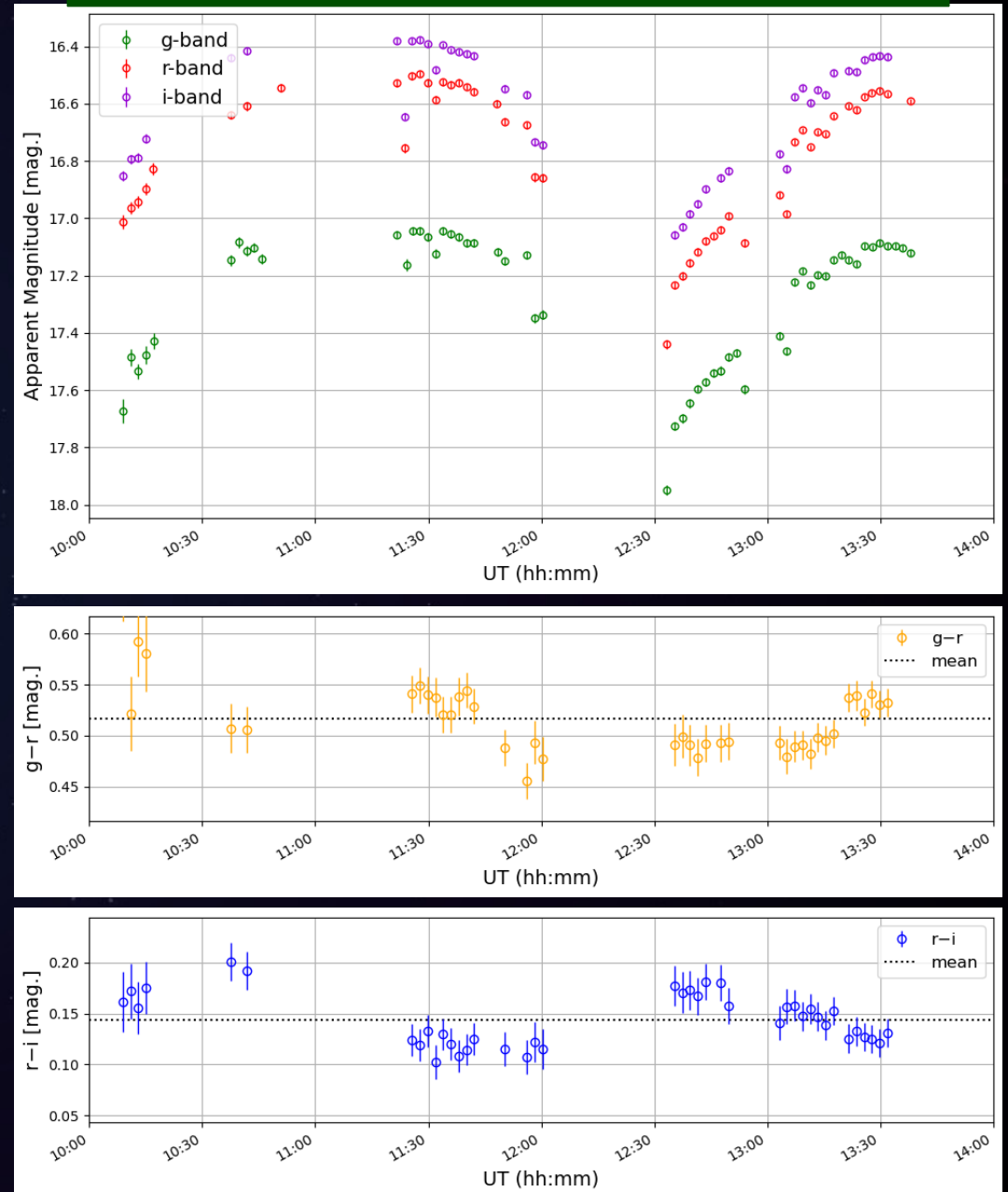


6. 結果

【色指数の変動】

- ・ g-r, r-iの変動はそれぞれ0.05等程度
→3時間の中でカラーの大きな変動は検出されず
表面の一様性を支持
- ・ 先行研究(Popescu+, 2025)より色指数の変動が小さい
→実際の表面のカラーと測光精度（天候・機器）の影響を受ける
→精度の高いカラーデータを取得できた
(一晩を通してのg, r, iそれぞれの測光精度は S/N=100-150)

Torifuneの自転によるカラー変動 (UT)



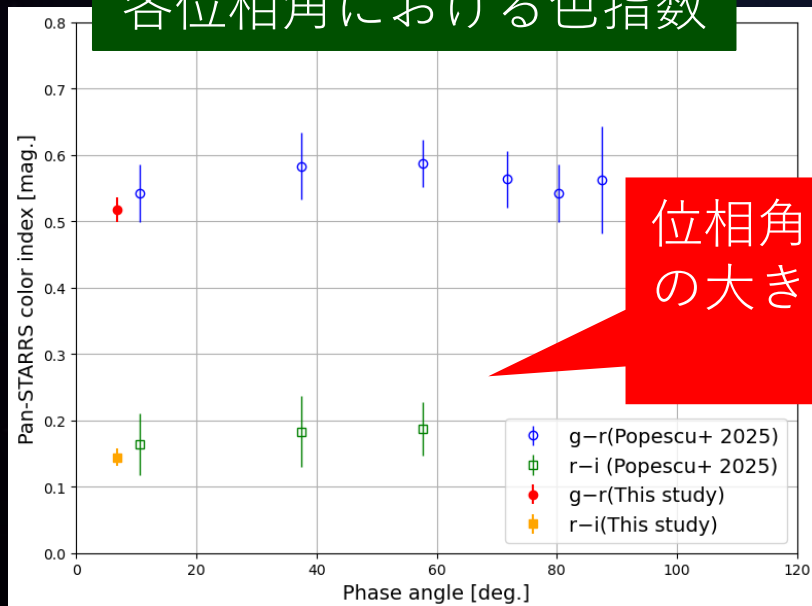
6. 結果

【平均色指数】

・ S-type

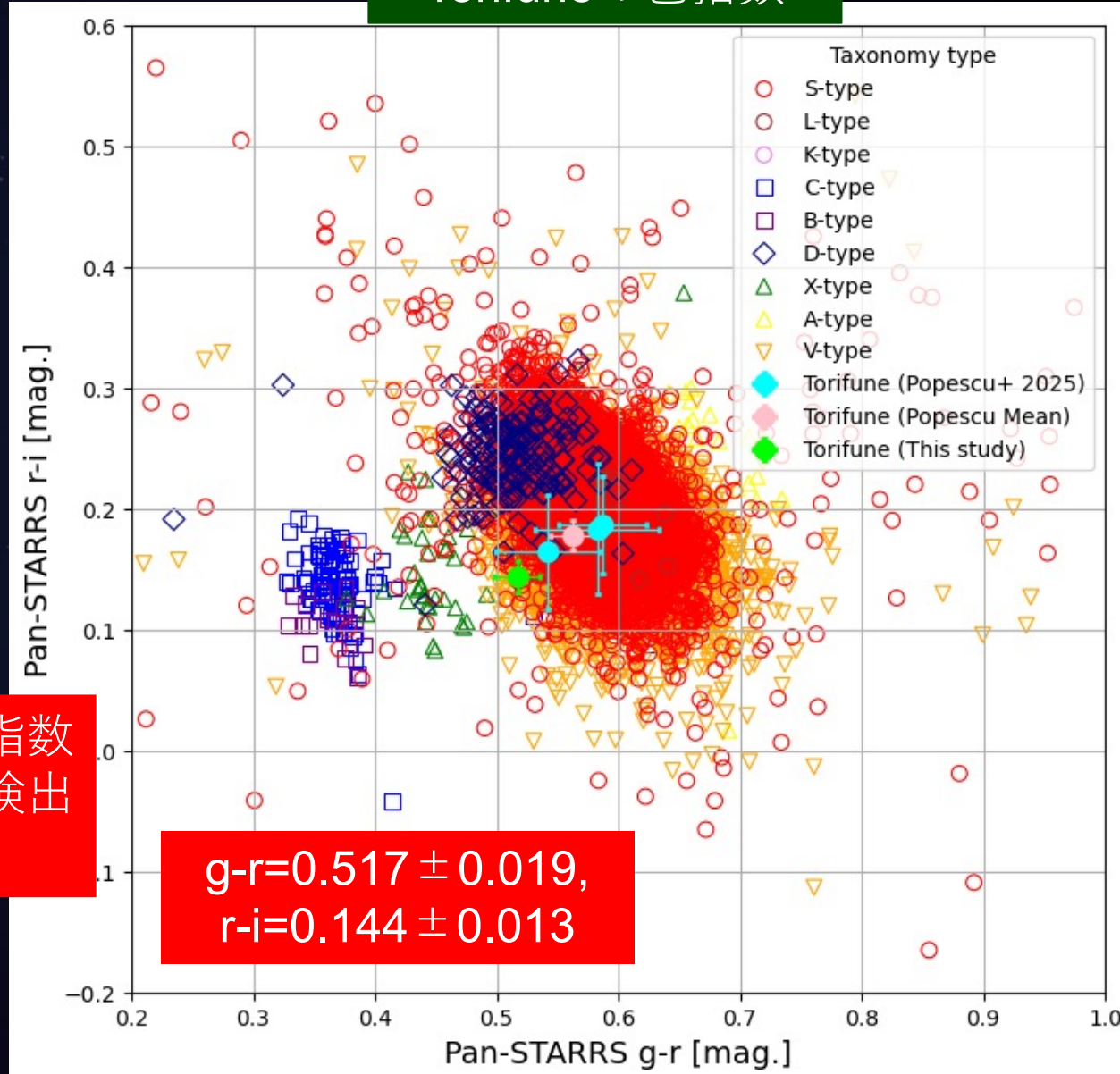
- ・ 先行研究(Popescu+, 2025)の最も近い位相角での観測値と整合的

各位相角における色指数



位相角による色指数
の大きな変動は検出
されず

Torifuneの色指数



7. まとめ

【観測結果】

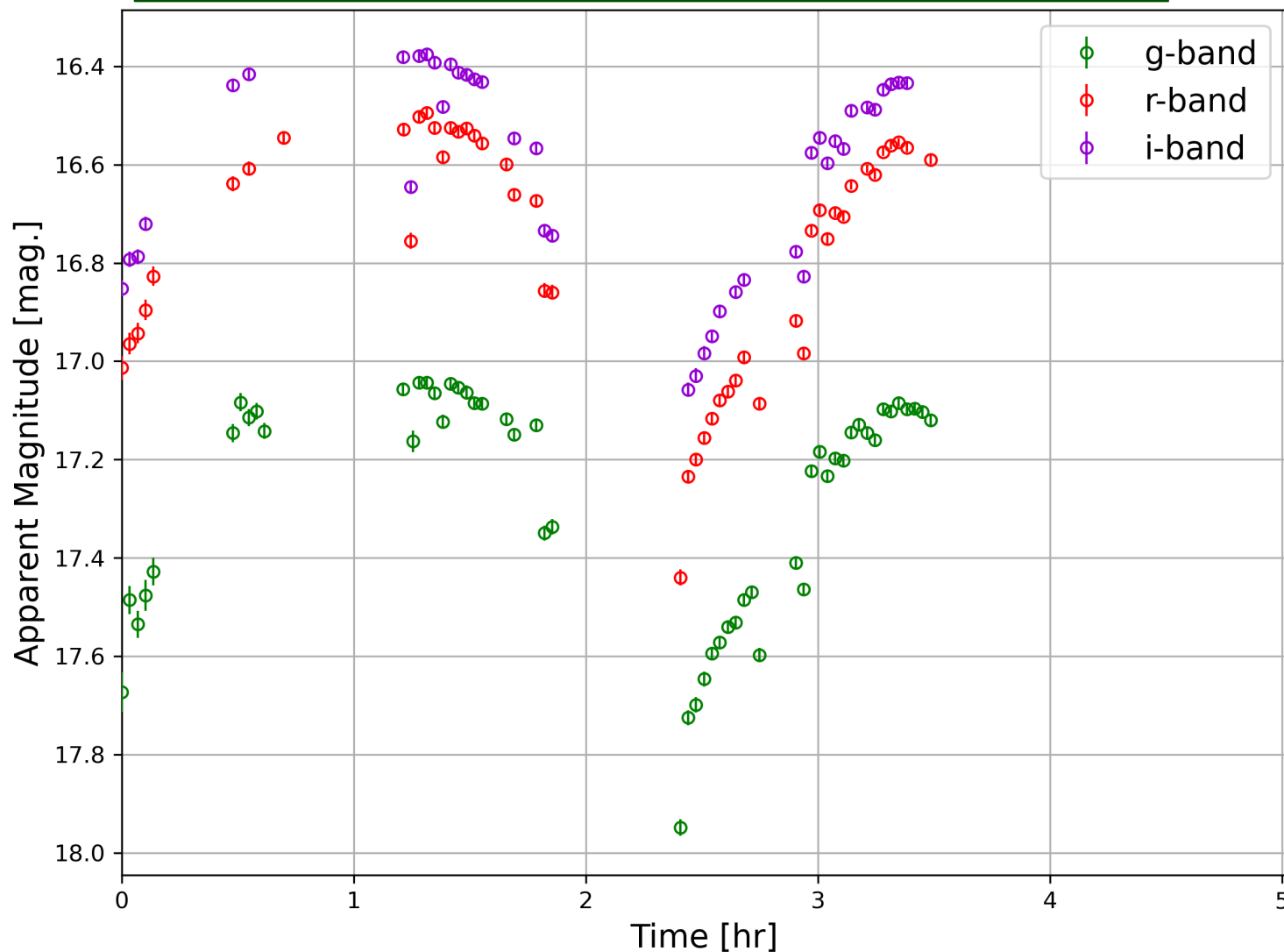
- ・ 3時間のカラーはS-typeで
表面は一様であることを支持
- ・ 全面のカラーは得られず
→ 2025Bにて再観測の必要性

【再観測計画】

- ・ フライバイ前に16等台まで
明るくなるラストチャンス
- ・ g, r, i-filterでの自転周期5時間
以上の継続観測
→ 2025B-N-CN12

22 Oct. 2025, 2-3Q

Torifuneの自転によるカラー変動（自転周期）



8. その他

【謝辞】

- ・ 2024Bにてダーク、フラットフレームを撮像・提供して下さった世話人の方々に感謝申し上げます
- ・ 2025Bにて観測時間を調整していただいた岡山の職員の方々に感謝申し上げます

【コメント】

- ・ せいめい望遠鏡の観測可能高度が 20° よりも小さくなると、彗星など観測ターゲットの幅が広がるかと思います
- ・ 移動天体追尾モードの精度が上がる（現在は観測中に視野中央からズレていく）と、解析が行いやすくなるかと思います
（※このモードがあることは大変ありがたいです）