

3.8 mせいめい望遠鏡によるはやぶさ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今後の観測計画

土井知也 (M2)¹, 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

はやぶさ2#のターゲットであるTorifuneは、近年の様々な観測結果からS(Sq)-type小惑星（Geem J+, 2023; Popescu M+, 2025）、自転周期は5.02時間（Fatka P+, 2025; Popescu M+, 2025 etc.）と推定されており、表面のローカルな（自転位相における）大きなカラーの違いは検出されていない（Popescu M+, 2025）。2024年11月、3.8 mせいめい望遠鏡/3色同時撮像カメラTriCCSを用いて、3時間程度のg, r, iカラーを取得した。平均色指数はS-type小惑星に典型的な値で、各自転位相におけるカラーの変動は先行研究よりも小さく、表面の一様性を支持する結果となった。得られたマルチカラーライトカーブは自転周期5時間未満のため、2025年10月に再度観測好機となるタイミングに再観測を行う。今回はここ20年で最も明るく、2026年7月のフライバイ前に絶対等級18.8等のTorifuneが16等台まで明るくなるラストチャンスであり、高い測光精度が期待できる。

1. フライバイ前の地上観測の必要性

【はやぶさ2# (SHARP)】

Small Hazardous Asteroid Reconnaissance Probe

（地球に脅威のある小型小惑星の偵察探査機）

→Ryuguサンプルリターン後の拡張ミッション

①Torifune (2001 CC21) 2026年7月にフライバイ

②1998 KY26 2031年にランデブー



Fig. 1 はやぶさ2のTorifuneフライバイイメージ。

【紙一重高速フライバイ】

距離: ~1 km (JAXAにて検討中)

速度: ~5 km/s

- ・搭載カメラが空間分解可能なのは2-3 s
- ・露出時間&ゲインは事前設定される
- ・観測できる面は片側のみ
- 事前に表面カラーの情報が不可欠

【Torifuneに関する先行研究】

・偏光観測

→S-typeの偏光度

・可視-近赤外分光観測

→S(Sq)-typeの反射スペクトル

・ライトカーブ観測

→自転周期5.02時間

・測光観測

→S-typeの色指数

表面カラーの変動は検出されず（一様）

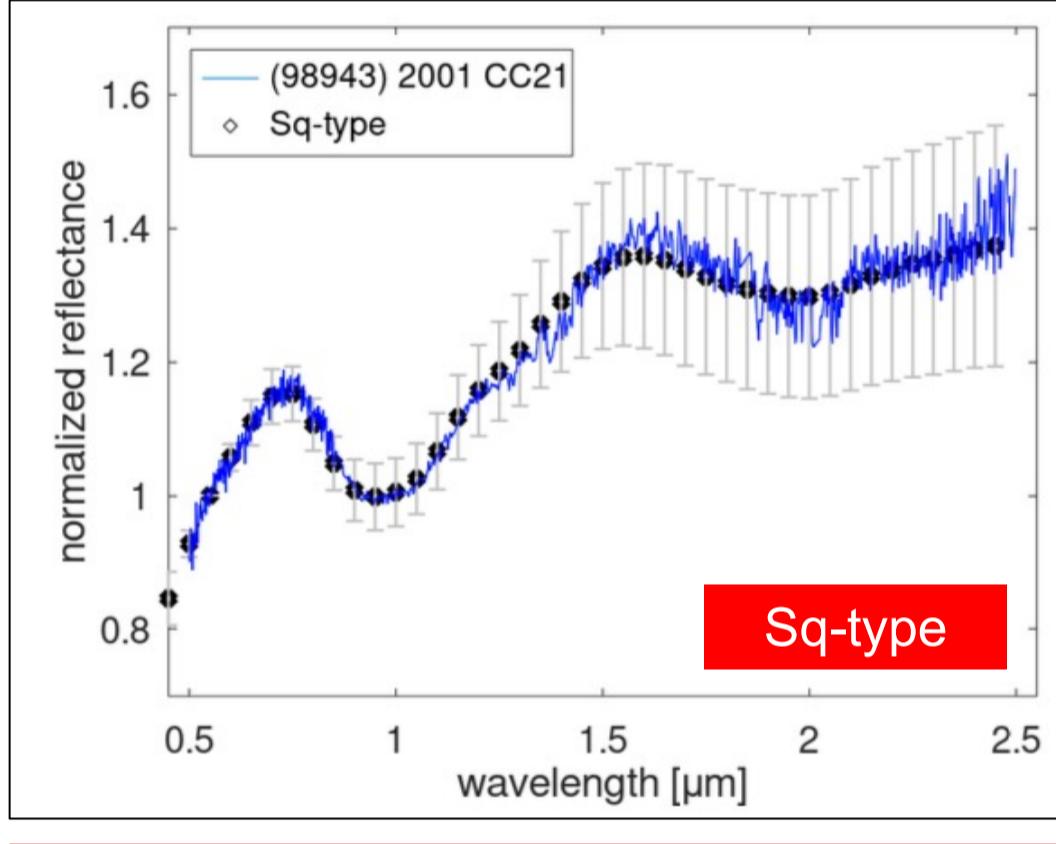


Fig. 2 10.4 m GTC/OSIRIS & 3.2 m IRTF/SpeXによるTorifuneの可視-近赤外反射スペクトル [Popescu+, 2025].

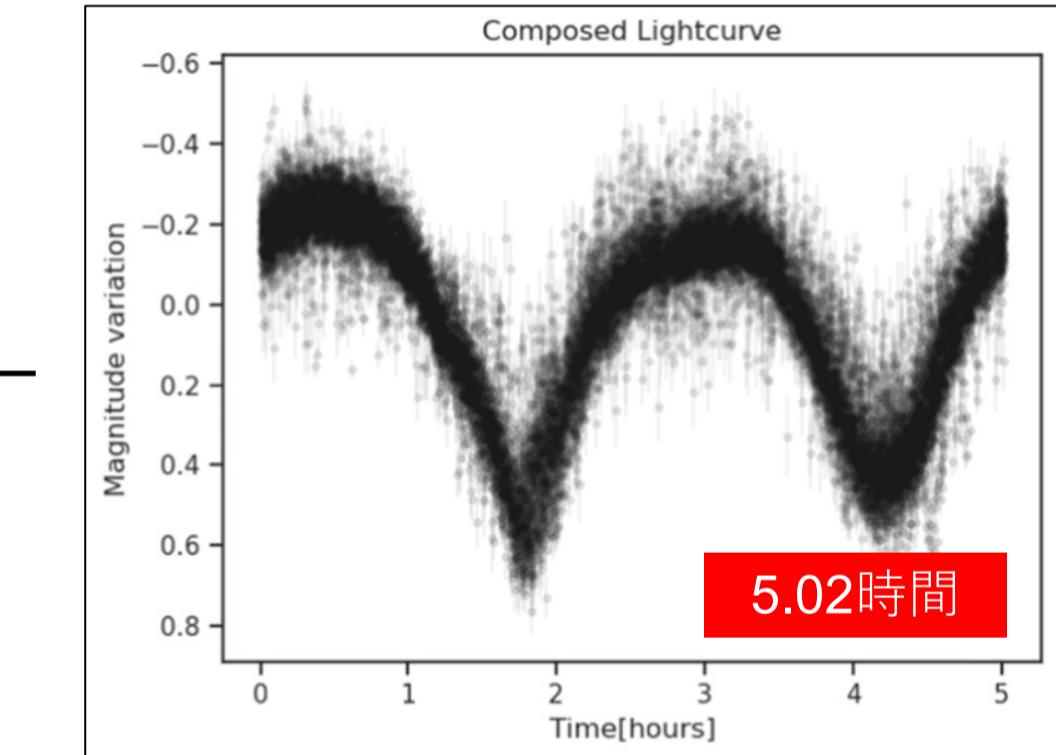


Fig. 3 Torifuneのライトカーブ [Popescu+, 2025].

2. 3.8 mせいめい望遠鏡/3色同時撮像カメラTriCCS

【国立天文台共同利用 (2024B)】

・3色同時撮像測光モード

g, r, i-filter (Pan-STARRS)

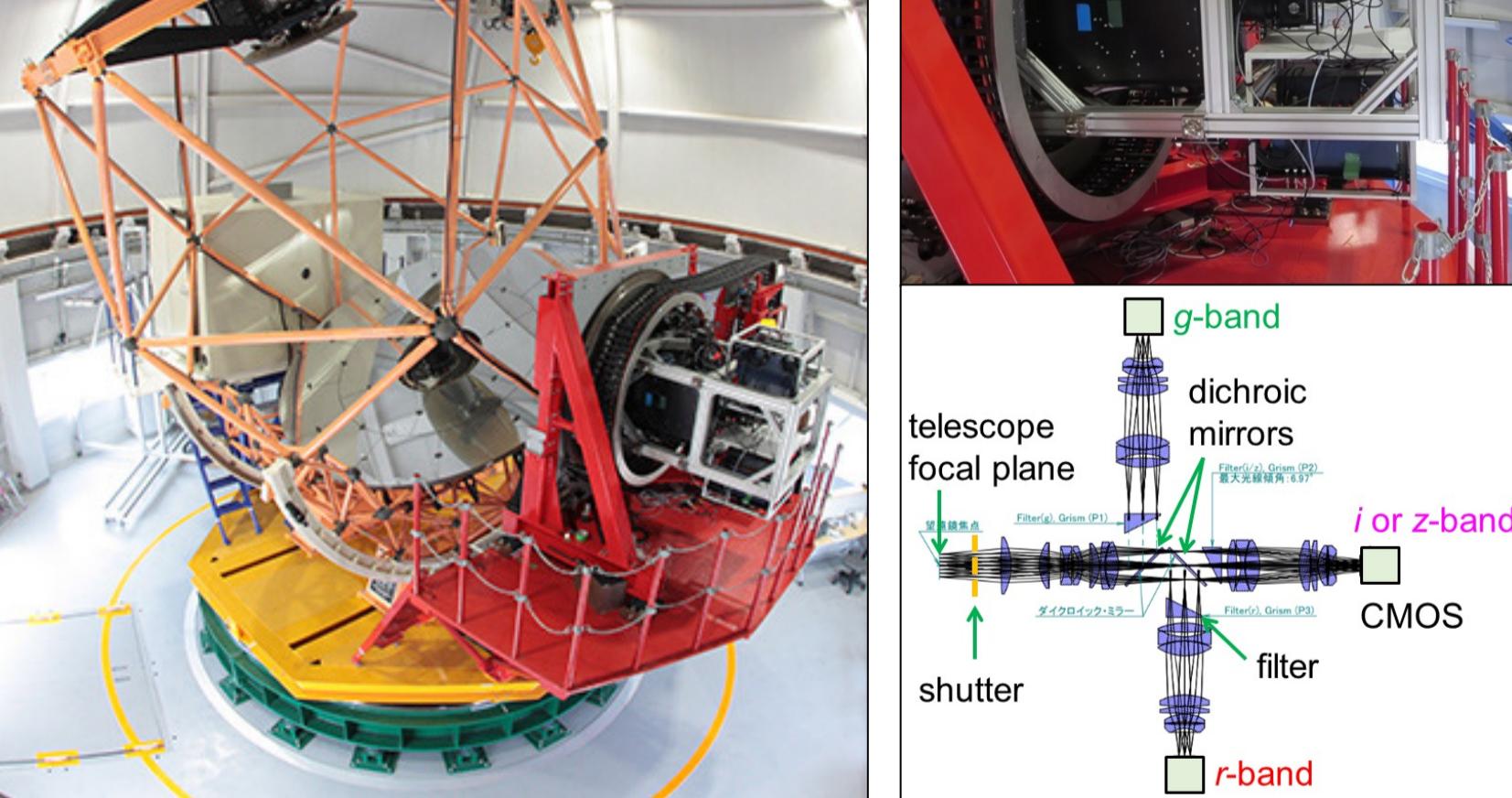


Fig. 5, 6 京都大学所有3.8 mせいめい望遠鏡（岡山天文台）, 3色同時撮像カメラTriCCS.

3. 観測

【衝効果を利用】

→大気を持たない天体が位相角（太陽-小惑星-地球のなす角）0°付近で急増光し明るくなる現象

→地心距離も影響し、数年に一度の観測好機



Tab. 1 2024年11月のTorifuneの観測状況。

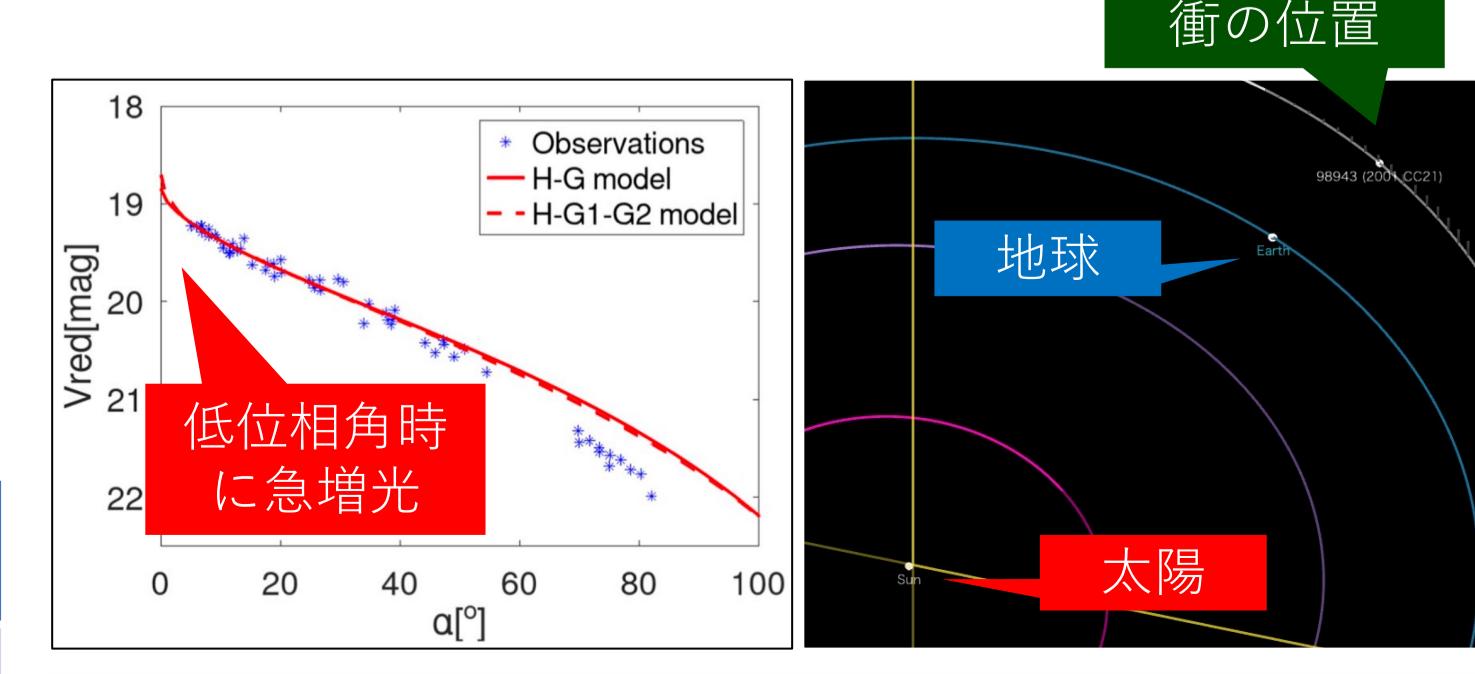


Fig. 7, 8, 9 位相角 (α) の定義図, Torifuneの位相角による明るさの変動 (Popescu+, 2025), 2024年11月27日のTorifuneの位置。

観測日	位相角	Filter	露出時間 [s]	観測時間
27 Nov. 2024	5-6°	g2, r2, i2	120	~20 min.
28 Nov. 2024	6-7°	g2, r2, i2	120	~3 hours

Fig. 7, 8, 9 位相角 (α) の定義図, Torifuneの位相角による明るさの変動 (Popescu+, 2025), 2024年11月27日のTorifuneの位置。

4. 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、3時間程度のカラーデータを取得（天候不良で一部データを得られず）

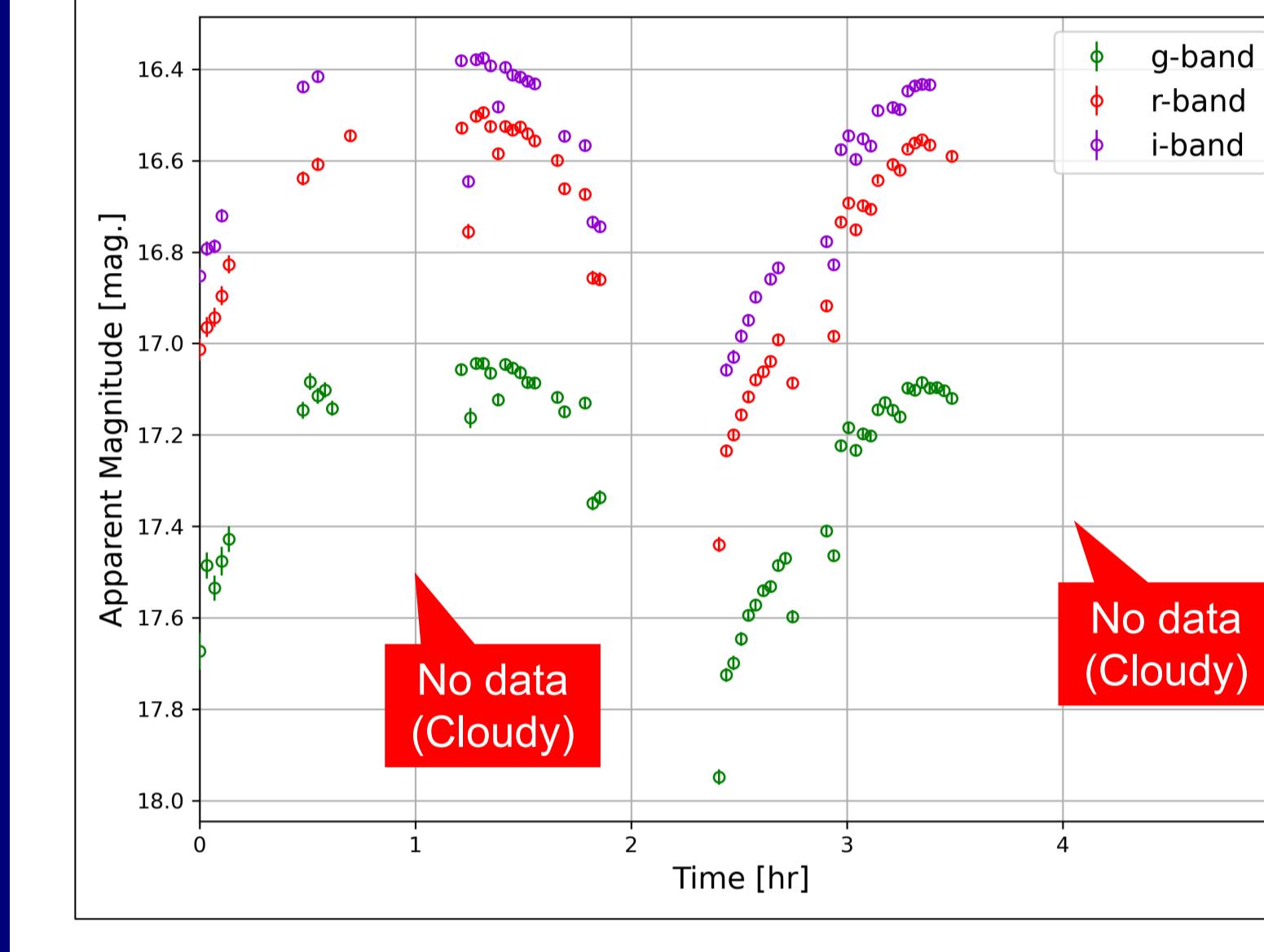


Fig. 10, 11 2024年11月に取得したマルチカラーライトカーブ（横軸: Torifuneの自転周期5.02時間）, 観測できた自転位相.

形状、等級差とともに先行研究のライトカーブ(Fatka+, 2025; Popescu+, 2025 etc.)とよく一致(Fig. 3)

しかし、全面のデータは取得できず → **再観測の必要性**

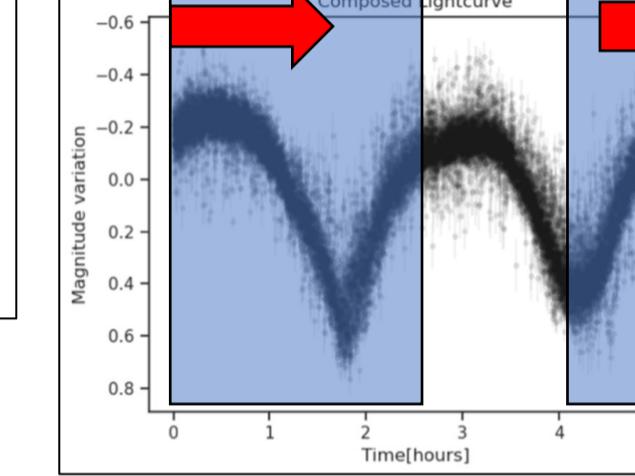
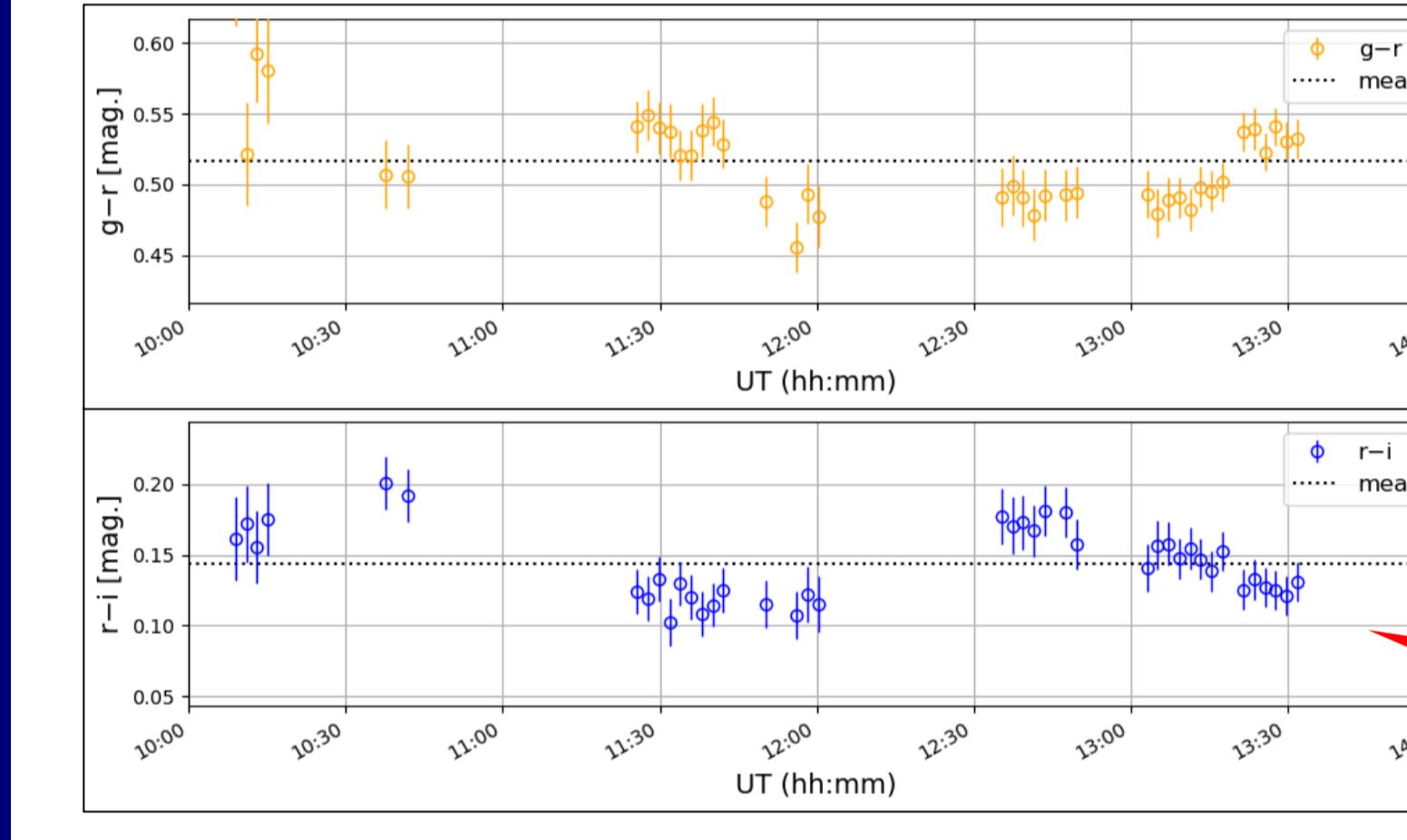


Fig. 10, 11 2024年11月に取得したマルチカラーライトカーブ（横軸: Torifuneの自転周期5.02時間）, 観測できた自転位相.

【色指数変動】

- ・3時間の中でg-r, r-iの色指数の変動はそれぞれ0.05等程度 → 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)より変動は小さい(Fig. 4)

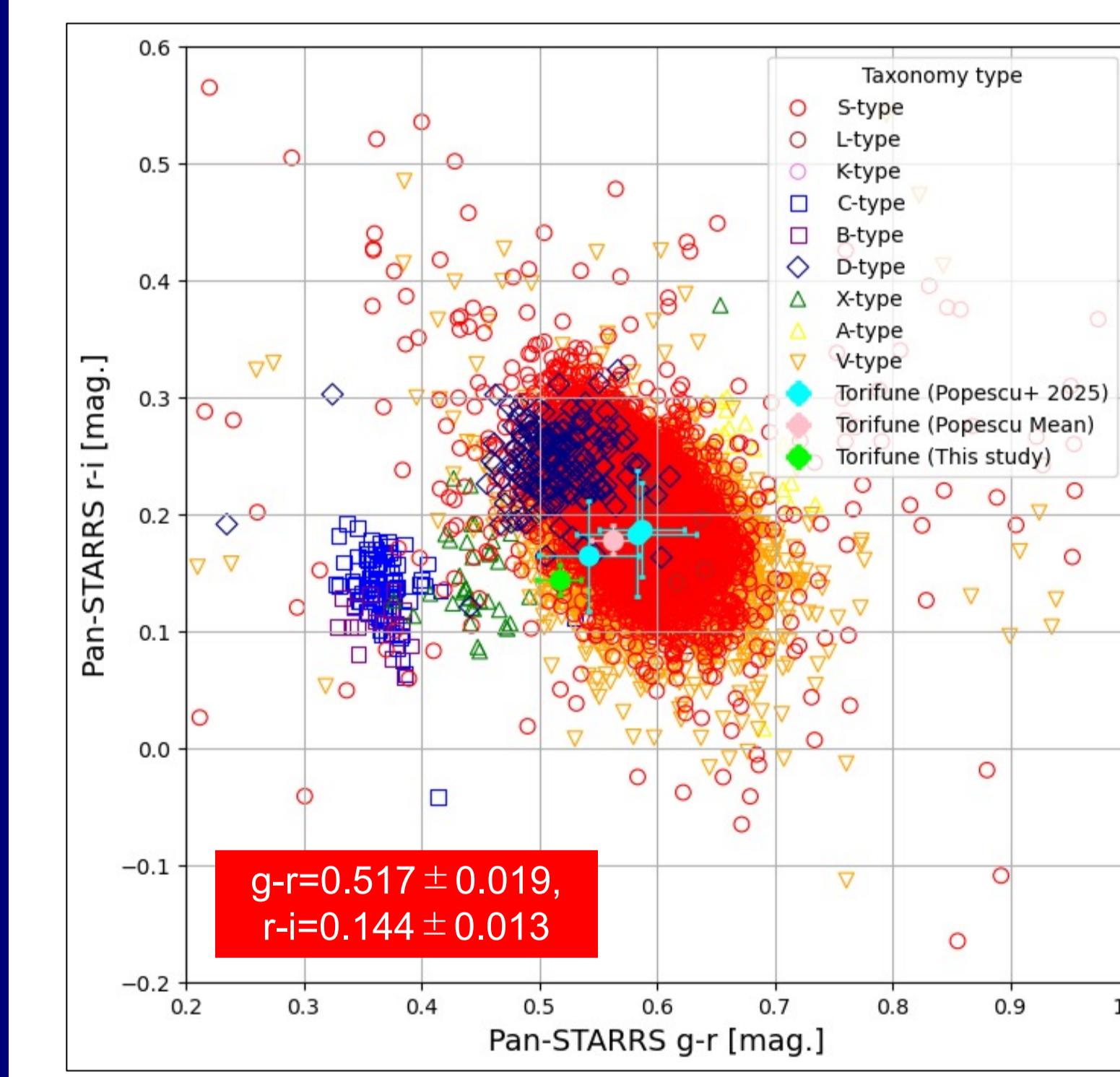
→精度の高いカラーデータを取得(g, r, iそれぞれの測光精度: S/N=100-150)

平均値からの変動が小さい

Fig. 12 2024年11月に取得したg-r (上), r-i (下) の色指数の変動 (横軸: 観測時間).

【平均色指数】

- ・3時間の中でg-r, r-iの平均色指数はS-typeに典型的な値 → 先行研究(Popescu+, 2025)の最も近い位相角の観測値と整合的 その他の観測値とは微妙に異なる



先行研究で位相角による色指数の大きな変動は検出されず

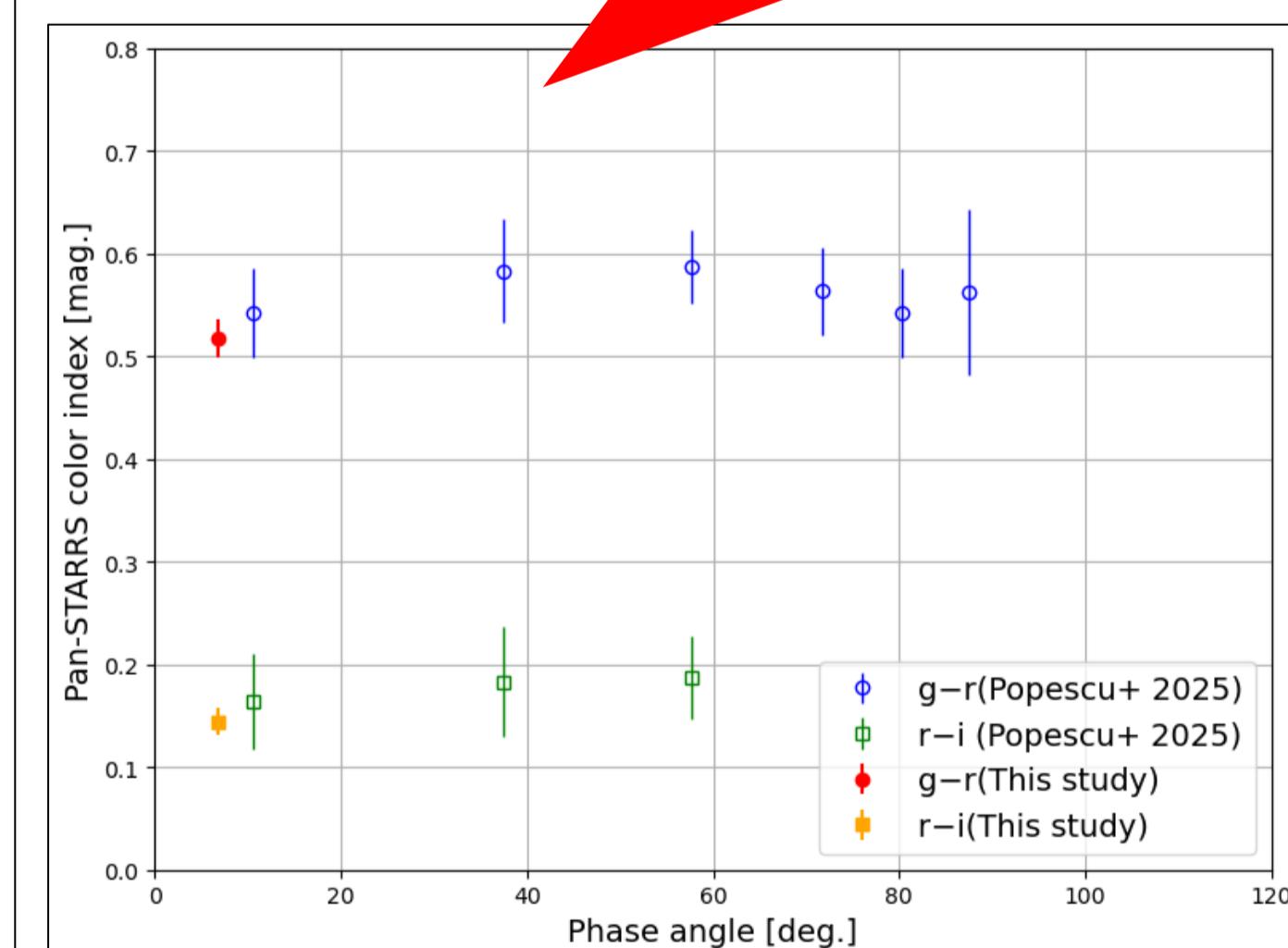


Fig. 13, 14 Torifuneの平均色指数, Torifuneの各位相角での色指数（それぞれ先行研究の値はSDSS systemからPan-STARRS systemに変換）.

5. まとめ・再観測計画

【まとめ】

- ・3時間のカラーデータ
- ・S-typeの色指数
- ・表面の一様性を支持

【再観測計画 (2025B)】

- ・g, r, i-filterでの自転周期5時間以上継続観測
- ・フライバイ前に16等台まで明るくなるラストチャンス → 高い測光精度が期待できる
- 2025年10月22日21時頃

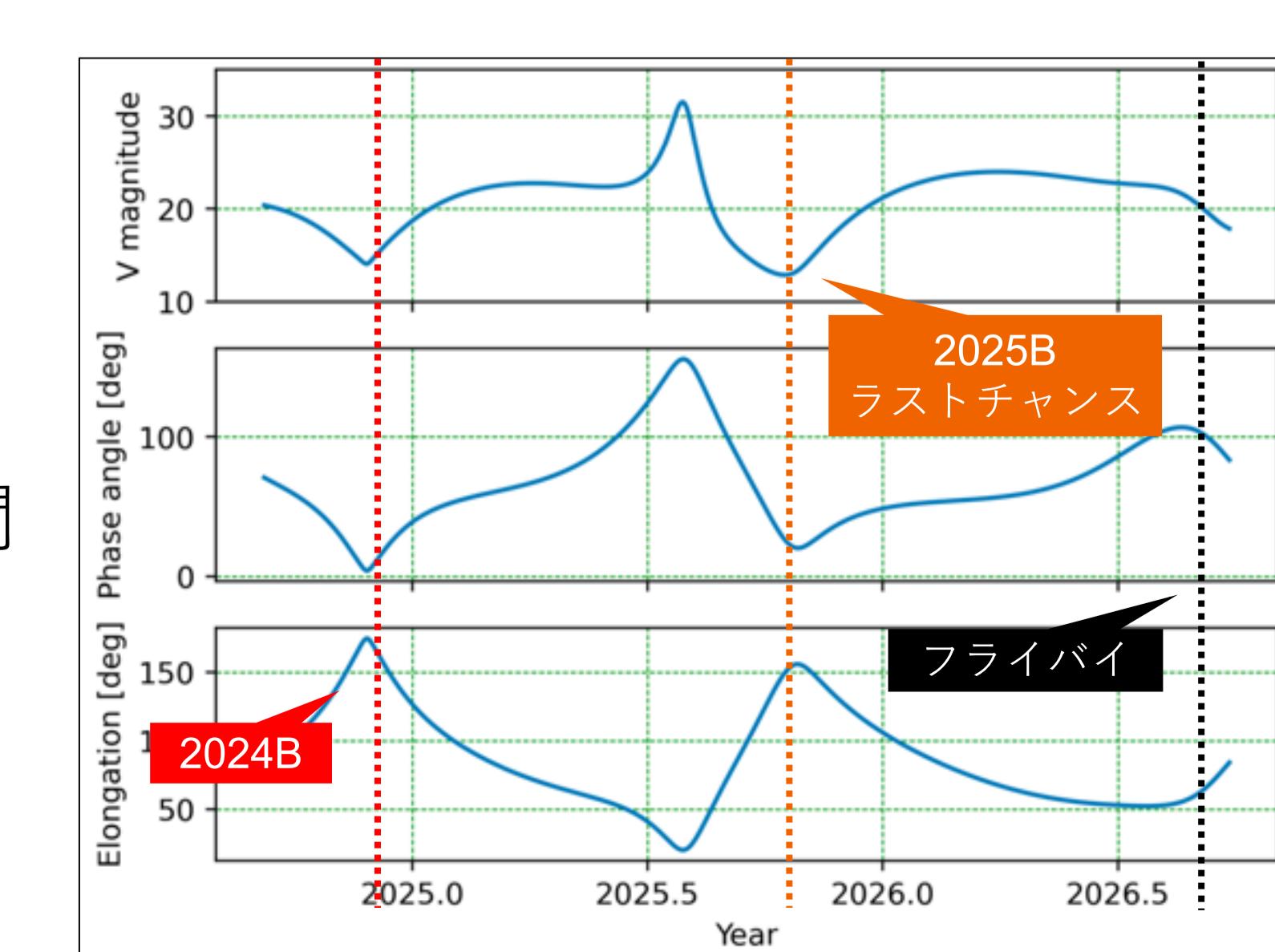


Fig. 15 Torifuneの観測状況変動.