

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
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

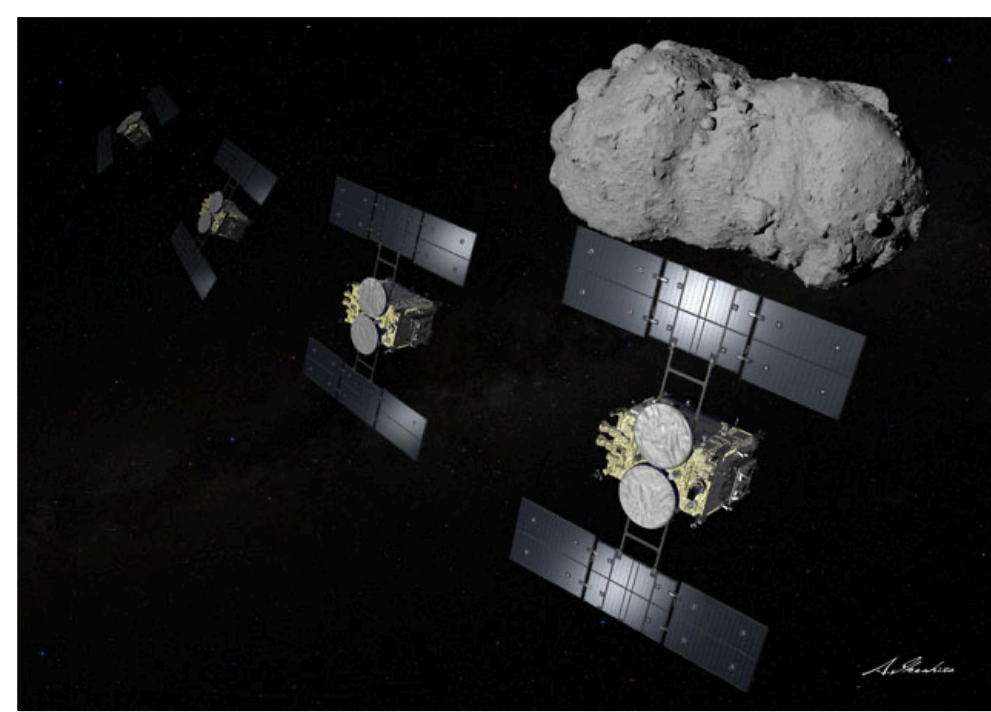


Fig. 1 はやぶさ2のTorifuneフライバイイメージ。

【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）

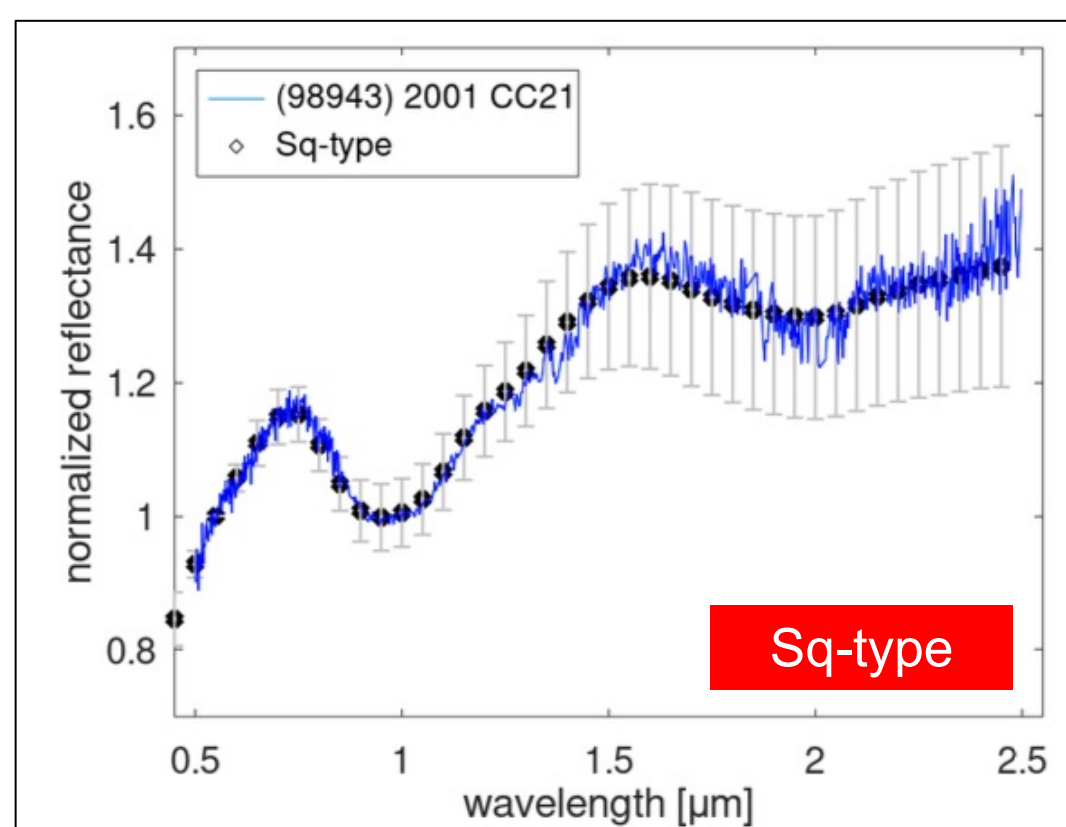


Fig. 2 10.4 m GTC/OSIRIS & 3.2 m IRTF/SpeXによるTorifuneの可視-近赤外反射スペクトル [Popescu+, 2025].

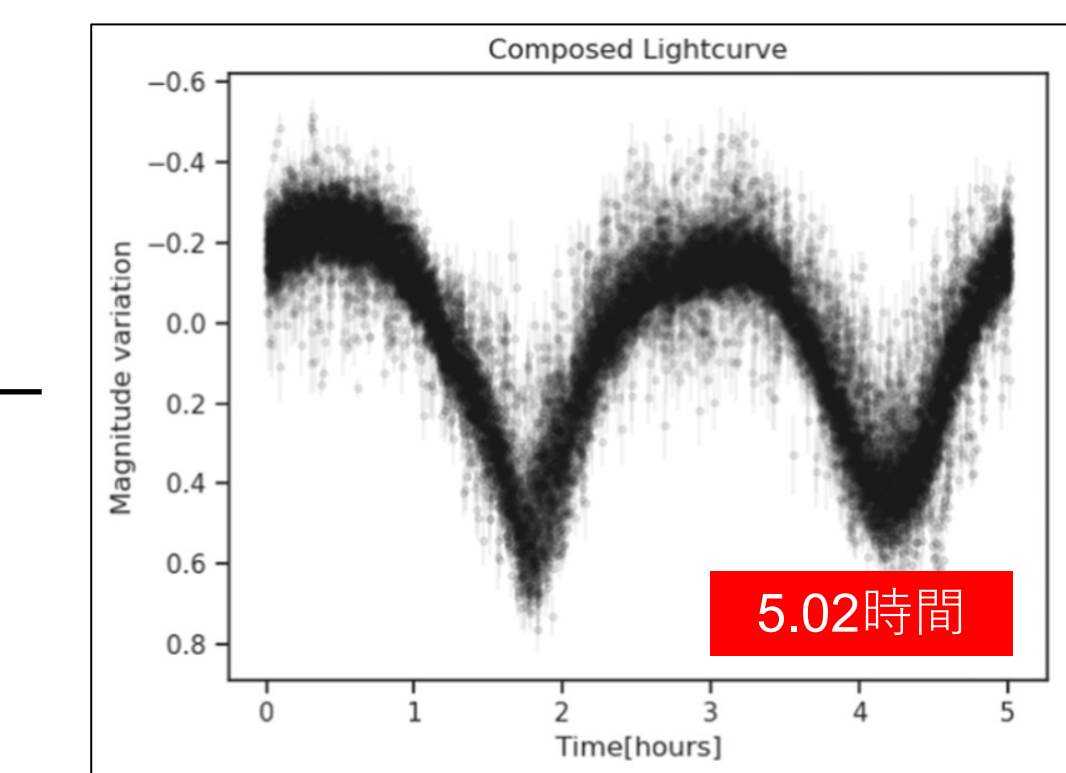


Fig. 3 Torifuneのライトカーブ [Popescu+, 2025].

Fig. 4 1.52 m TCS/MuSCAT2でのTorifuneのカラーライトカーブと色指数変動 [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)

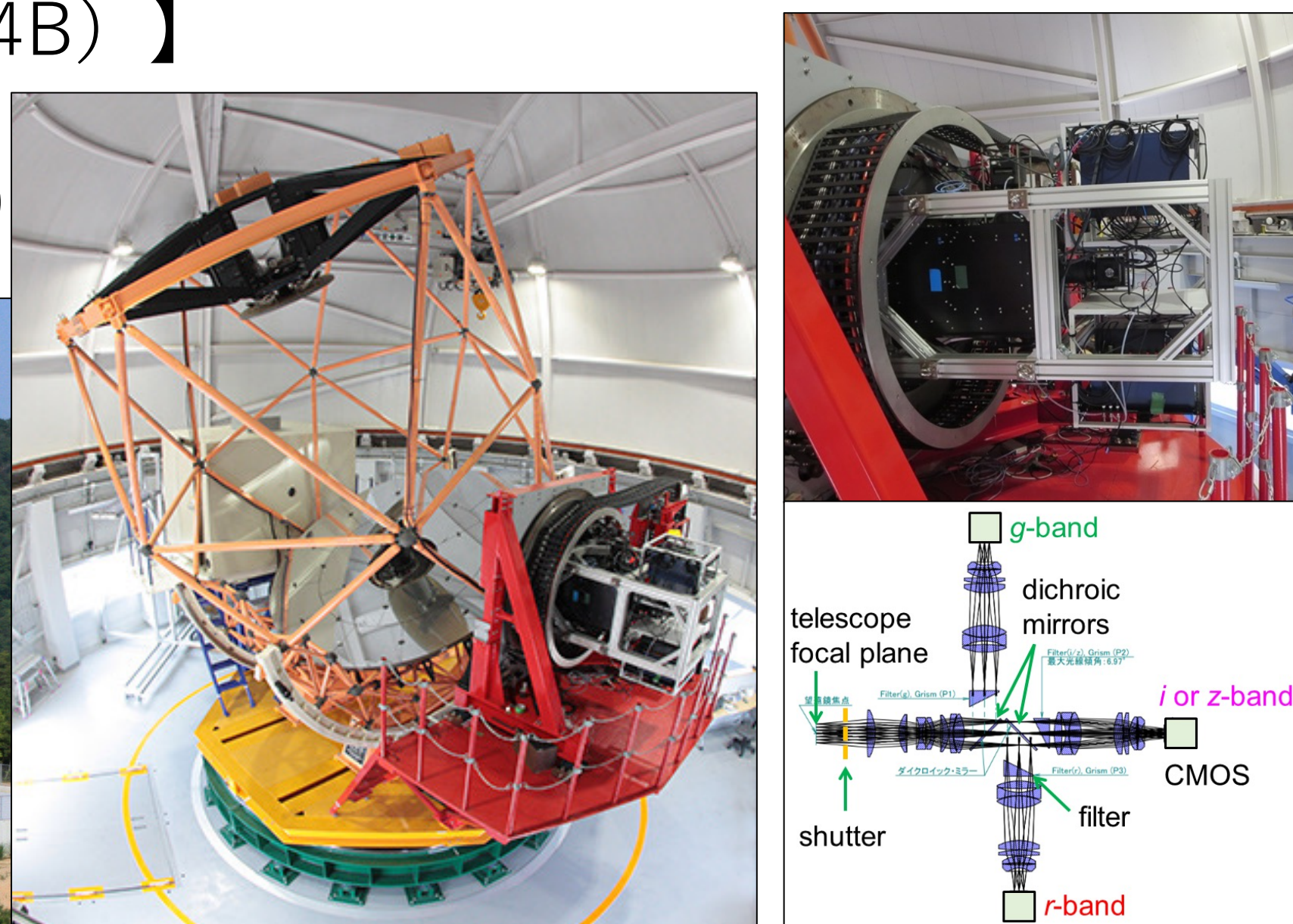
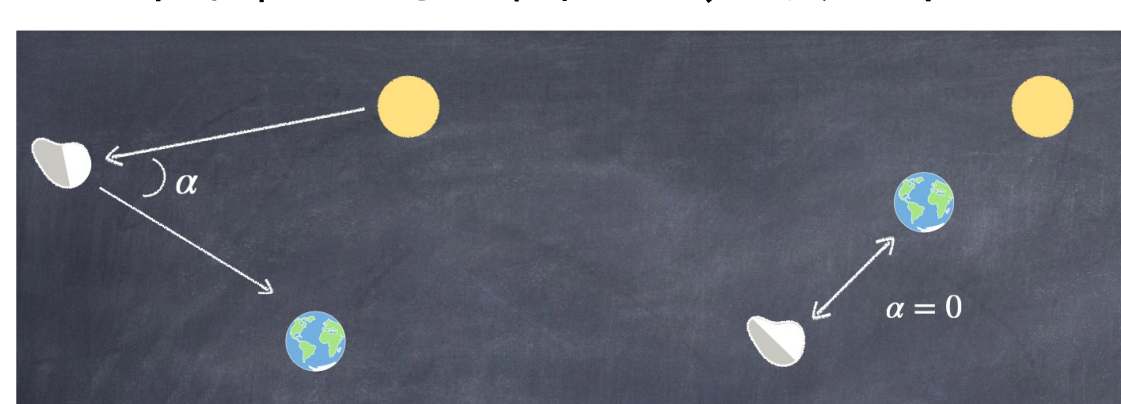


Fig. 5, 6 京大大学所有3.8 mせいめい望遠鏡（岡山天文台）、3色同時撮像カメラTriCCS.

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.

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

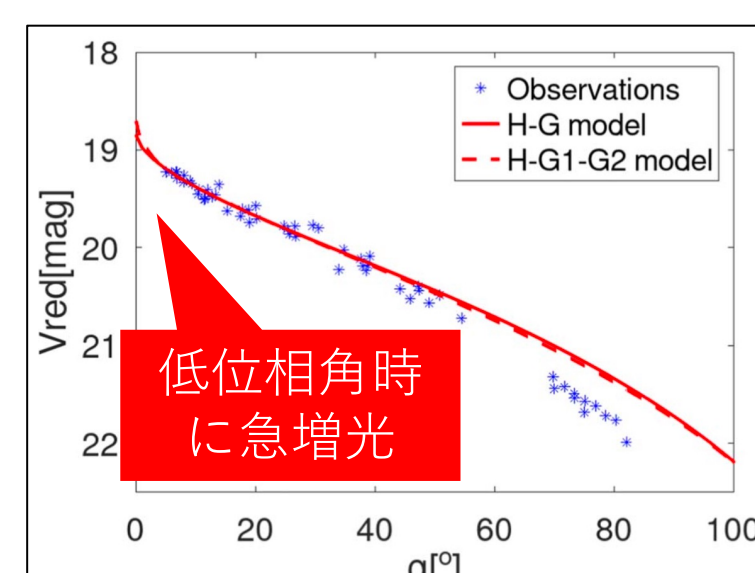
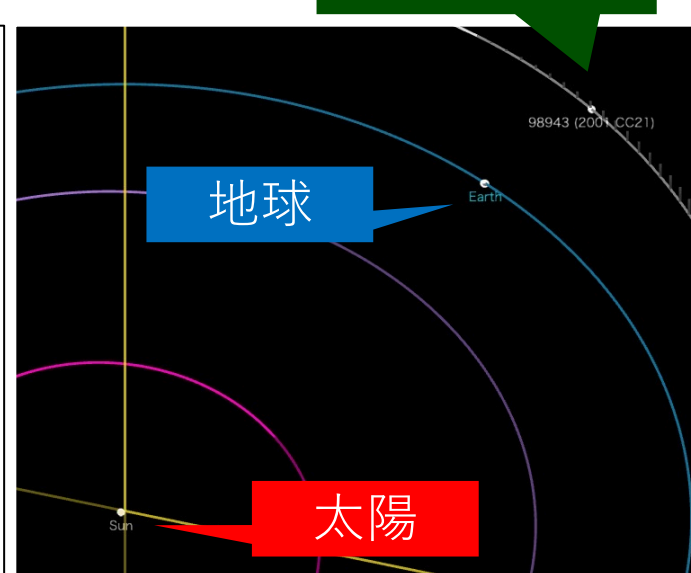
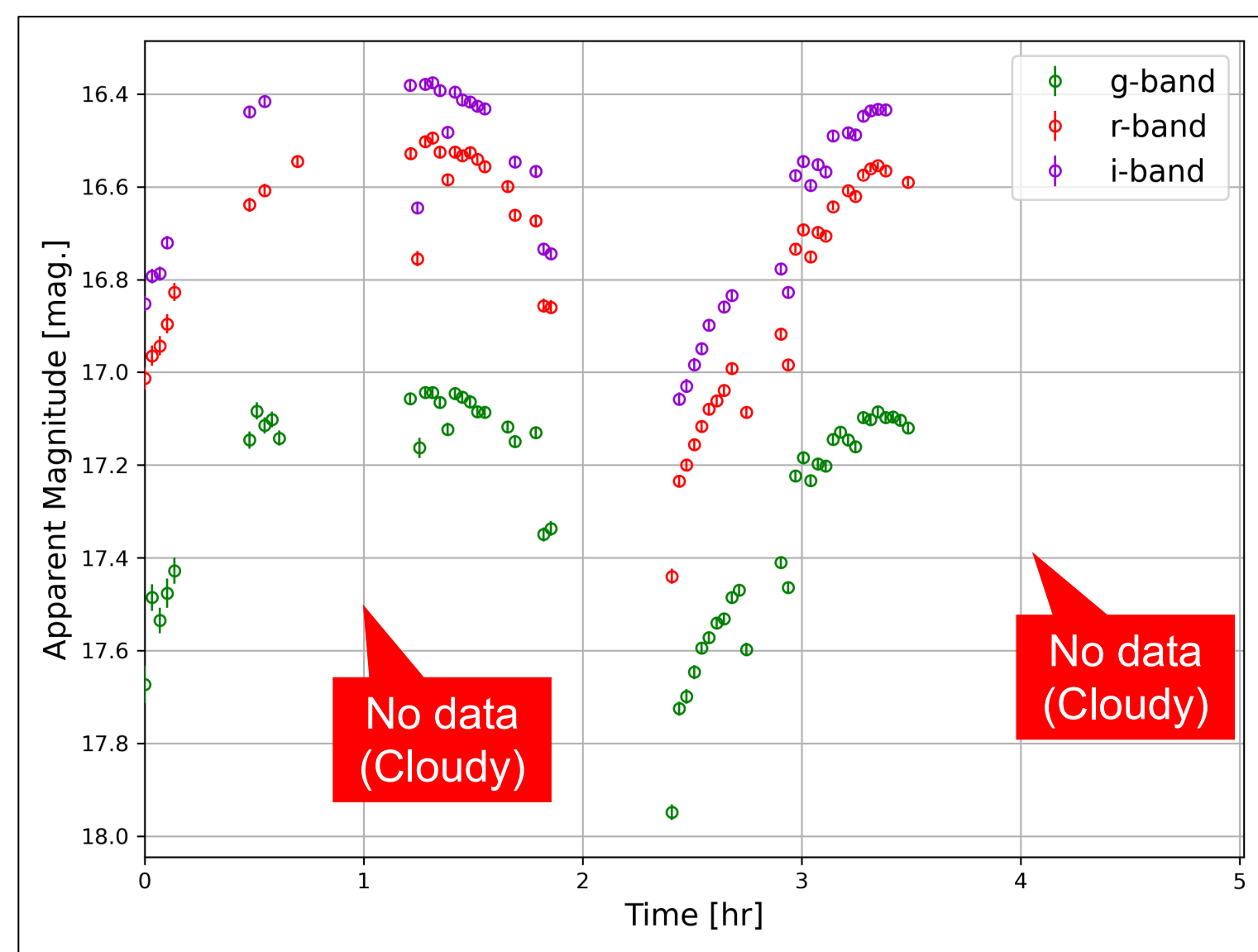


Fig. 7. 8, 9 位相角 (α) の定義図, Torifuneの位相角による明るさの変動 [Popescu+, 2025], 2024年11月27日のTorifuneの位置.



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）



形状、等級差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**

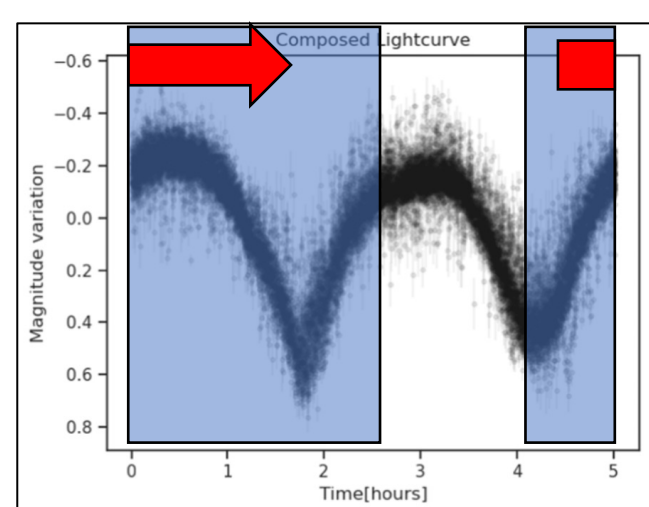
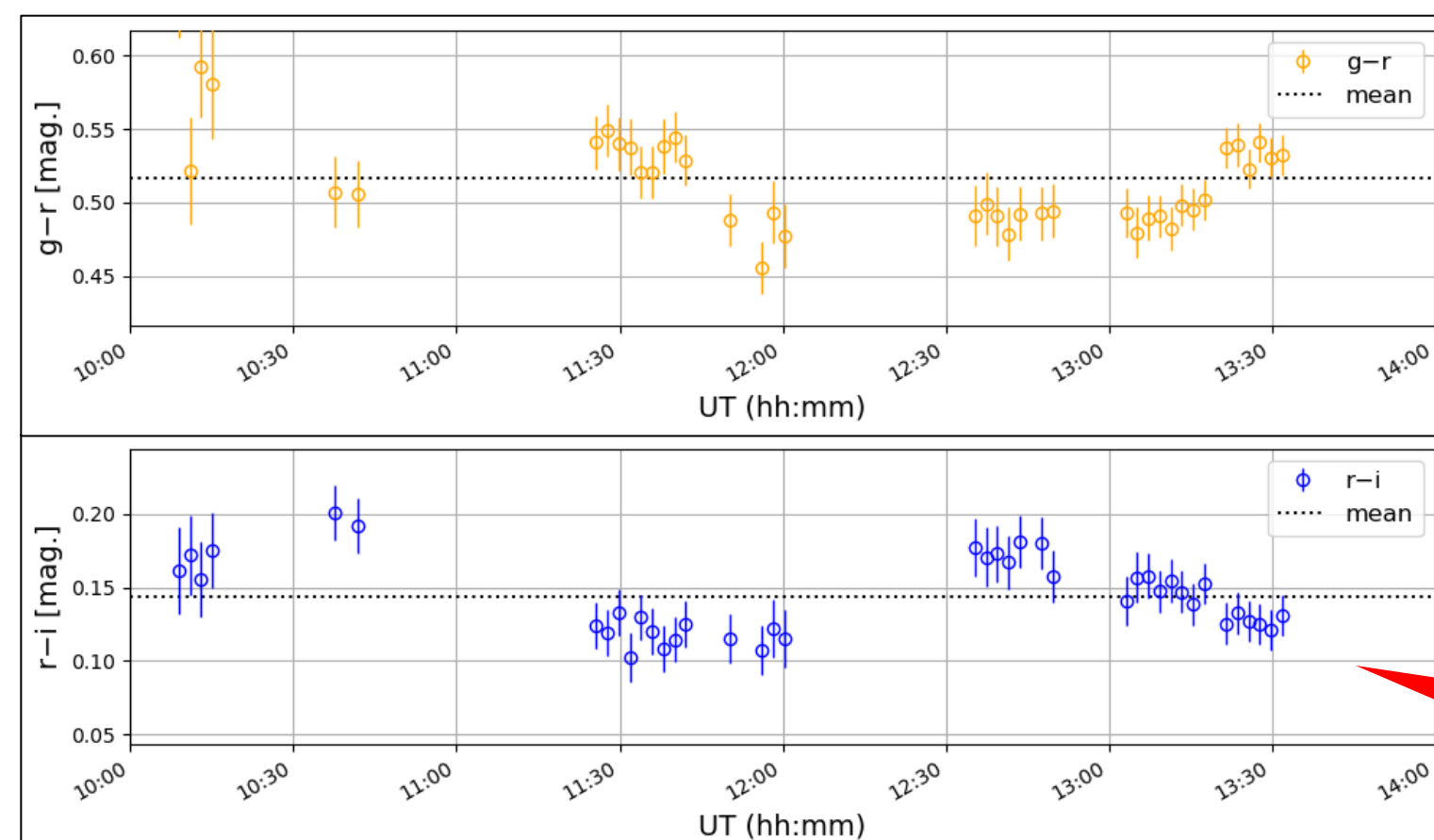


Fig. 10, 11 2024年11月に取得したマルチカラーライトカーブ（横軸：Torifuneの自転周期5.02時間）、観測できた自転位相.

【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

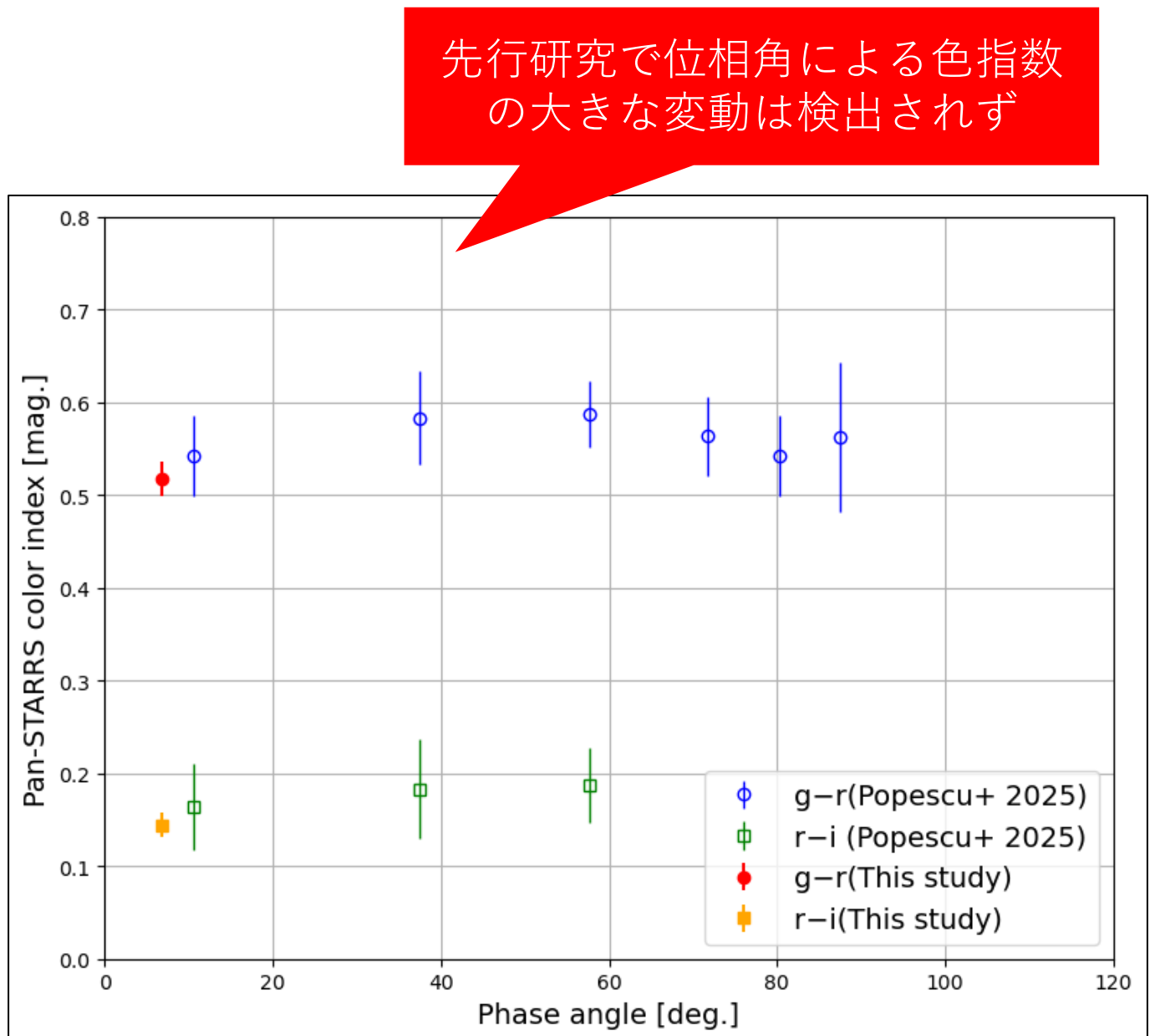
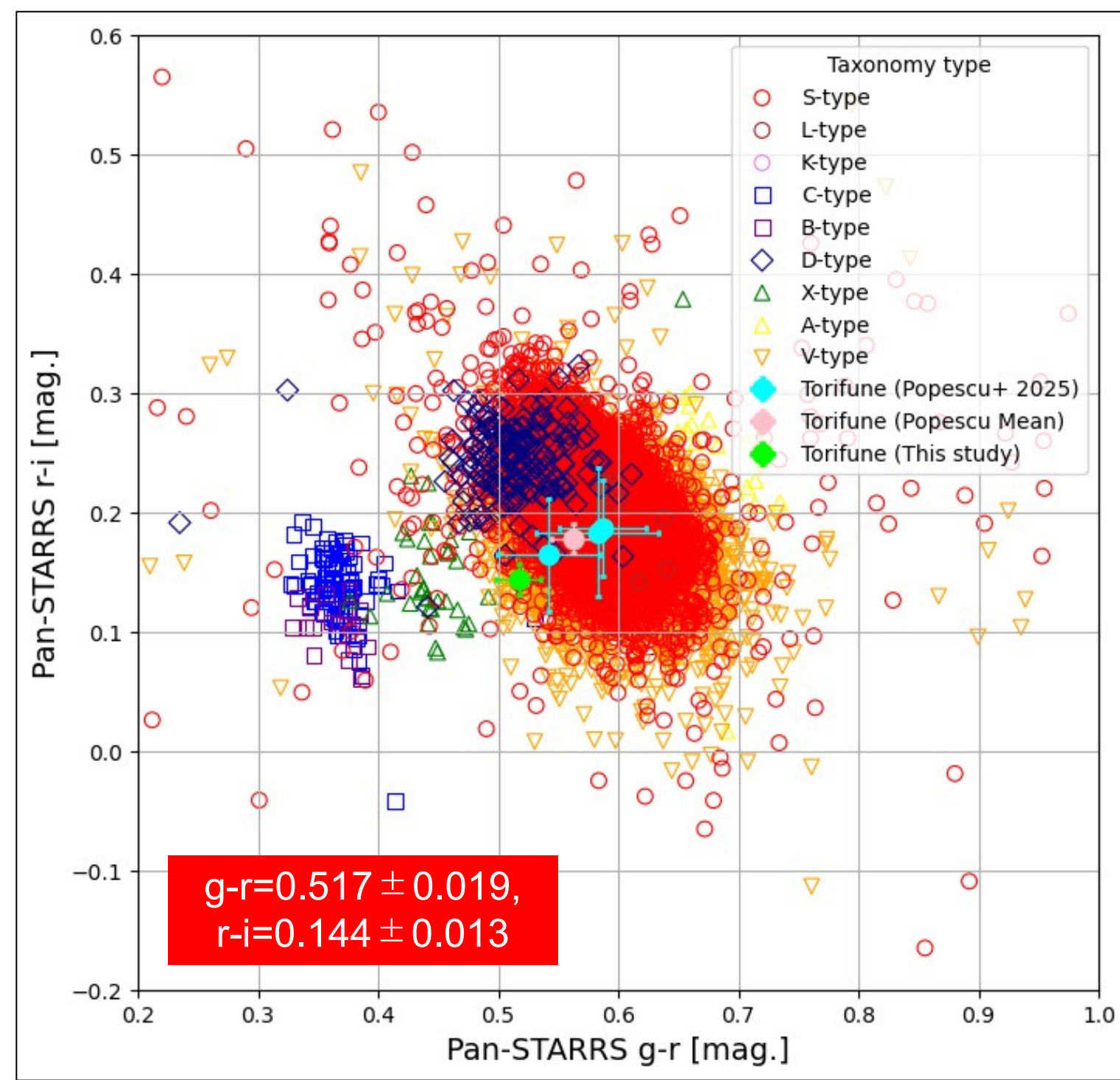


Fig. 13, 14 Torifuneの平均色指数, Torifuneの各位相角での色指数（それぞれ先行研究の値はSDSS systemからPan-STARRS systemに変換）.

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時間以上の継続観測
・ 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～

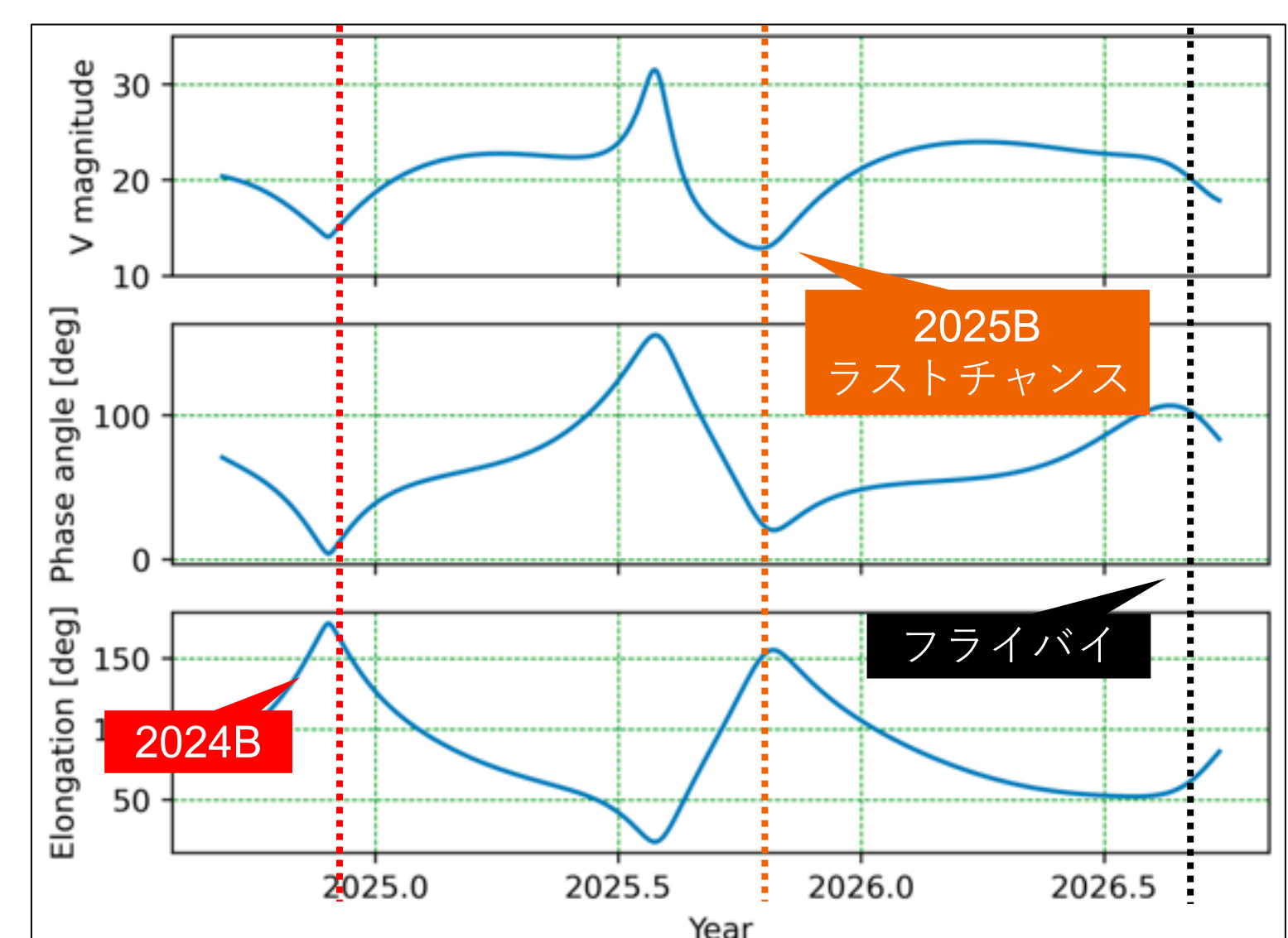


Fig. 15 Torifuneの観測状況変動.