

Tomo-e Gozen動画観測で発見 された"フラッシュ天体"について

有馬 宣明 (日本大学)

投稿中の関連論文 “An optical transient candidate of ≈ 2 -second duration captured by wide-field video observations”

Noriaki Arima, Mamoru Doi, Shigeyuki Sako, Yuu Niino, Ryou Ohsawa, Nozomu Tominaga, Masaomi Tanaka, Michael Richmond, Shinsuke Abe, Naoto Kobayashi, Sohei Kondo, Yuki Mori, Ko Arimatsu, Toshihiro Kasuga, Shin-ichiro Okumura, Jun-ichi Watanabe, Takuya Yamashita

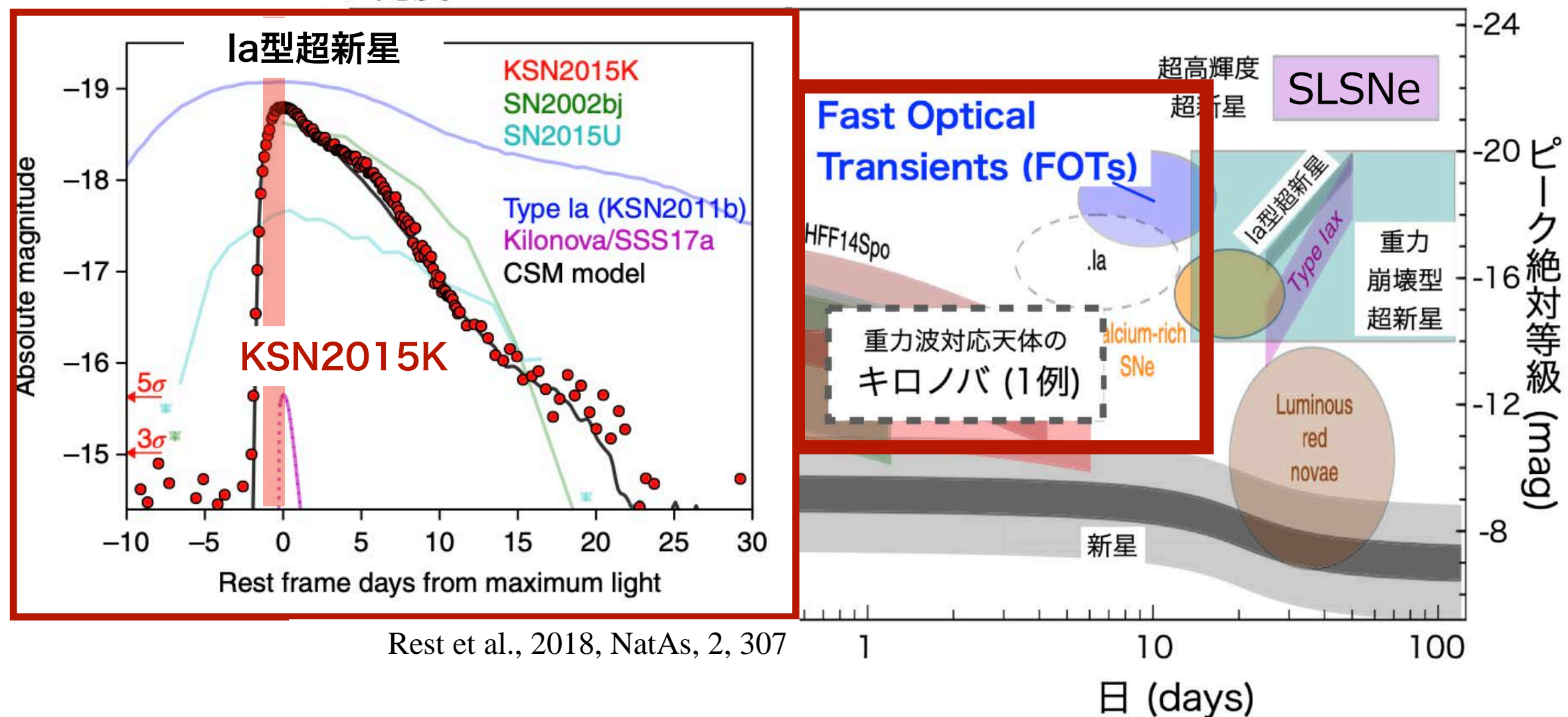
目次

- 【観測】 秒スケール突発天体を狙ったTomo-e Gozen地球影動画探査
- 【解析】 動画データから点源フラッシュ天体を探すソフトウェア
- 【結果】 検出された“Tomo-e フラッシュ天体”
 - TMG20200322 (by 有馬)
 - Tomo-e PM フラッシュ (by 菊池さん)
- 【考察】 フラッシュ天体の星像の伸びについて
- まとめと今後

Tomo-e 動画観測で狙う可視光突発天体

- 広視野($\sim > 10 \text{ deg}^2$), 高頻度($< \sim 1 \text{ day}$)による可視光サーベイ時代
 - **短時間側($< \sim 10 \text{ days}$)の種族**が見つかり始める

ピーク光度 可視光突発天体の光度 vs. 継続時間

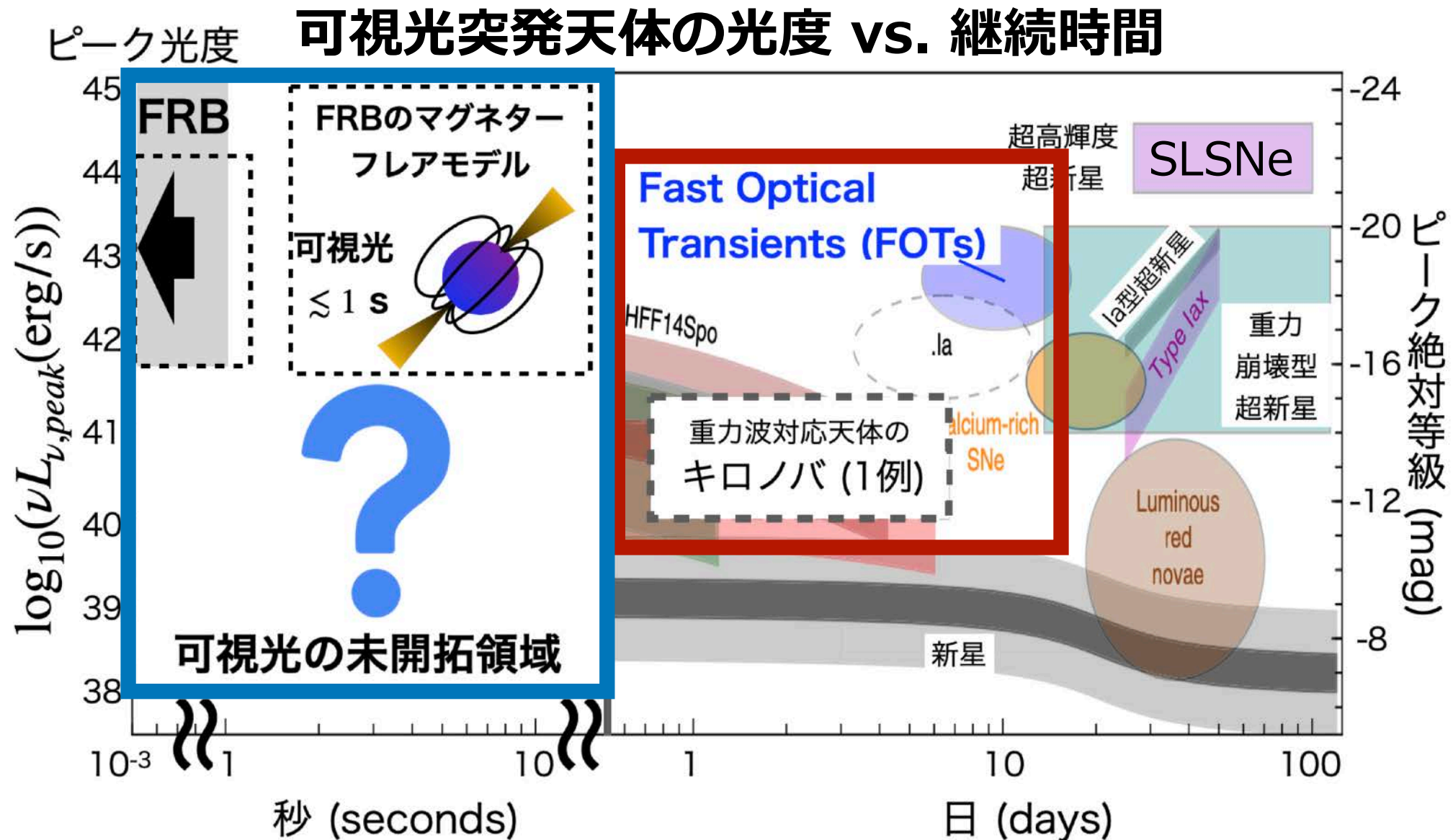


Rest et al., 2018, NatAs, 2, 307

Rodney et al., 2018, NatAs, 2, 324を一部改変

Tomo-e 動画観測で狙う可視光突発天体

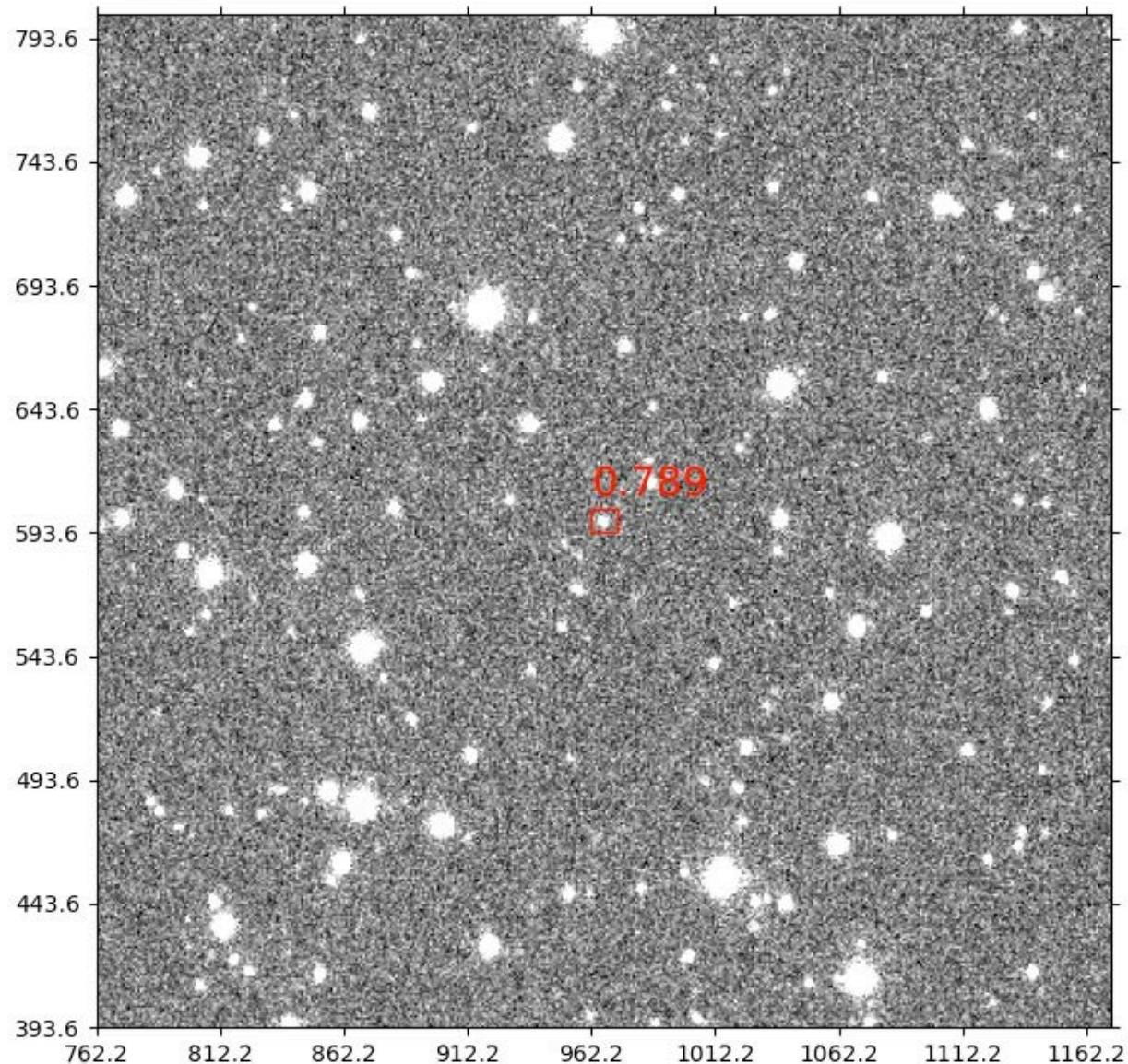
- 広視野($\sim > 10 \text{ deg}^2$), 高頻度($< \sim 1 \text{ day}$)による可視光サーベイ時代
 - 一方、 ~ 10 秒 ($\sim \text{CCD}$ の読み出し時間) 以下の時間スケールは未開拓
- Tomo-e の1 fps動画観測で"超"短時間**秒スケール突発天体**を探す



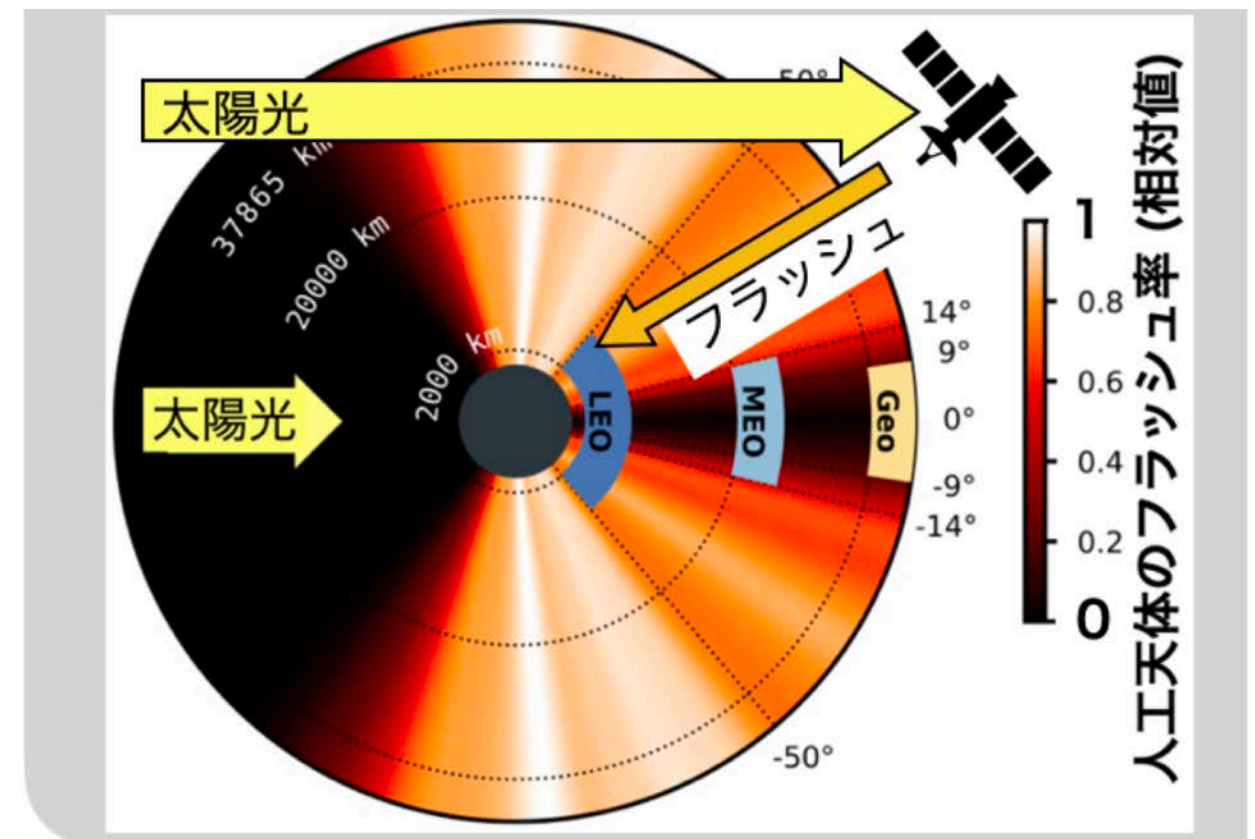
動画観測 at 地球影

- 人工天体の太陽光の反射による“フラッシュ” (継続時間 < 1秒)
 - Tomo-eによる全天サーベイ (stackする前の動画データ)においても多数のフラッシュが検出 (約90イベント in ~250 deg² · hour)
 - 静止軌道上の地球影領域 ($\varphi \sim 20$ deg) をモニター観測することが有効

171 人工天体フラッシュの例



静止軌道(GEO)上の地球影

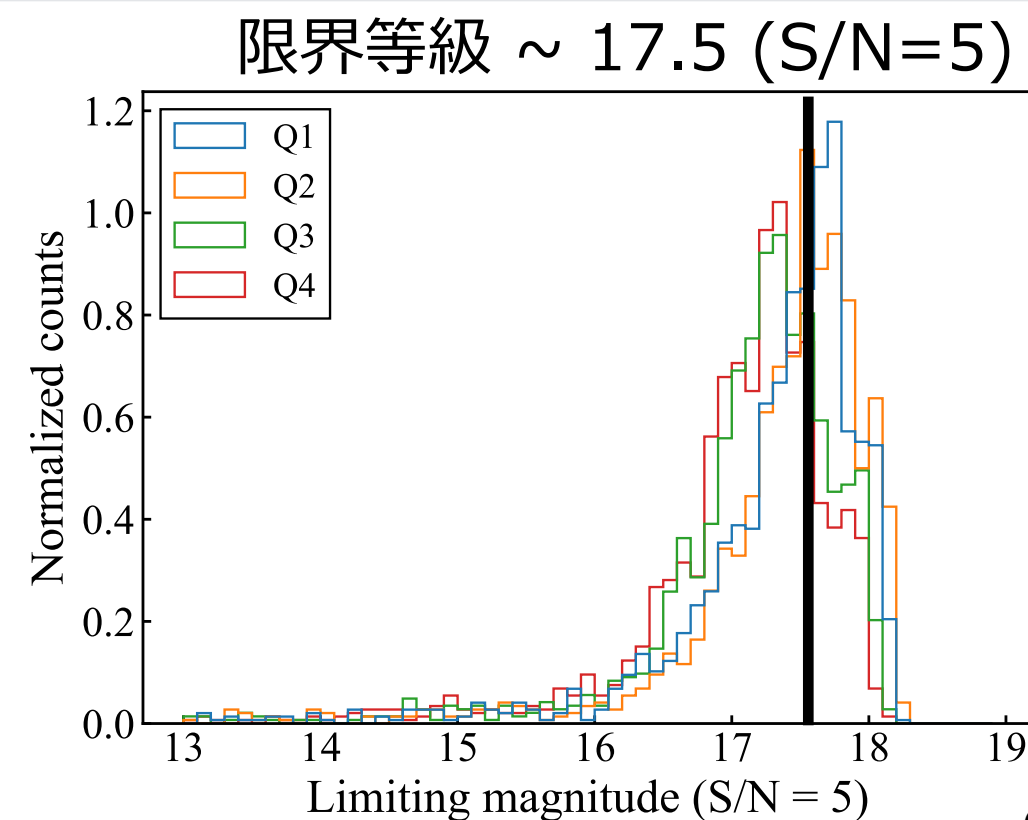
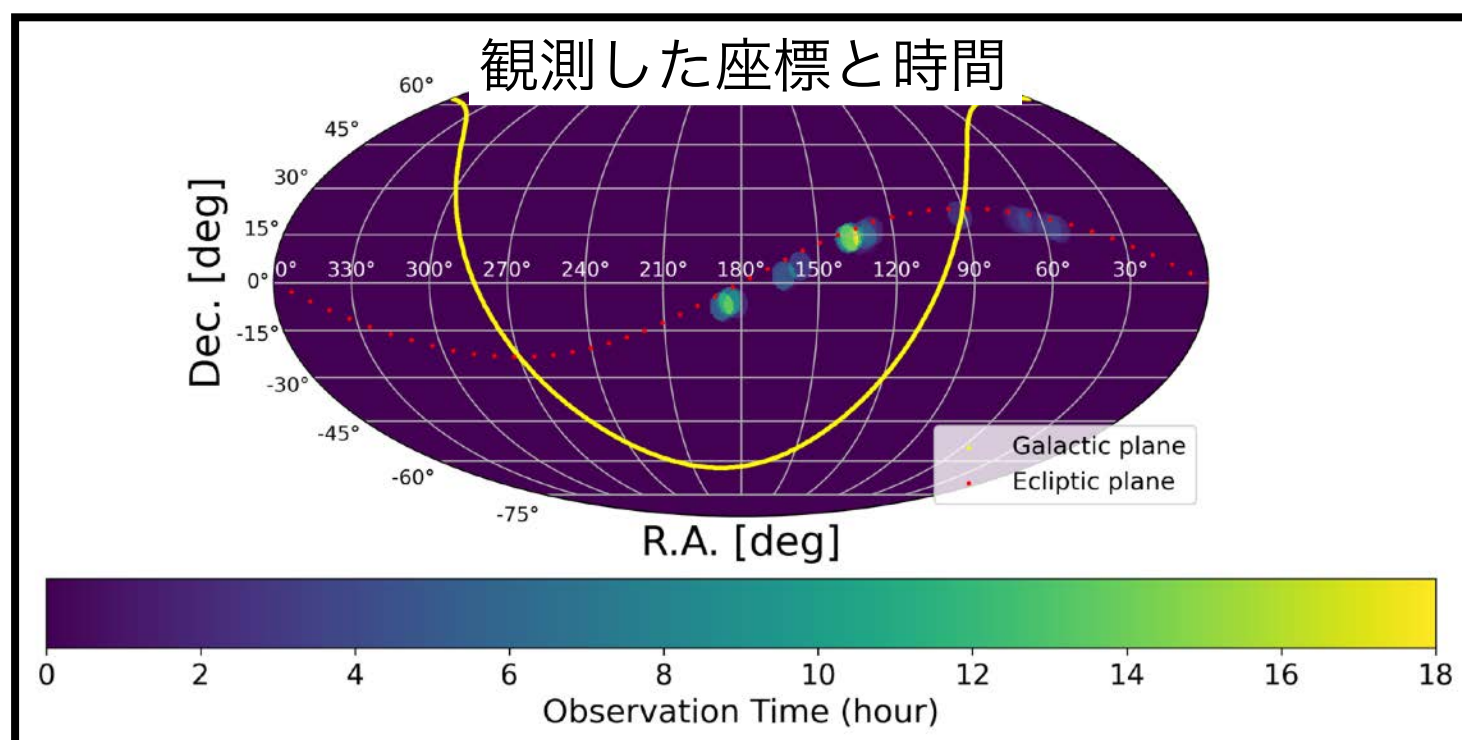


Corbett et al. 2020, ApJL, 903, L27より一部改変

←田中雅臣さん提供動画 (8' x 8' in size)

これまでの観測状況

観測日	内容	総観測時間 [hour]	有効視野・観測時間 [deg・hour]	結果
2016年3月～4月	Tomo-e 試験機 (2 fps) Richmond et al., 2020	52.5	～50	不検出
2019年11月～ 2020年3月	有馬D論 (1 fps)	50.0	～790	1天体
2024年3月	追加観測 (1 fps)	～15	未計算	-
2025年4月8日～	スケジュール観測開始 (1時間/晩, 1 fps)	～10 (5/20時点)	未計算	-

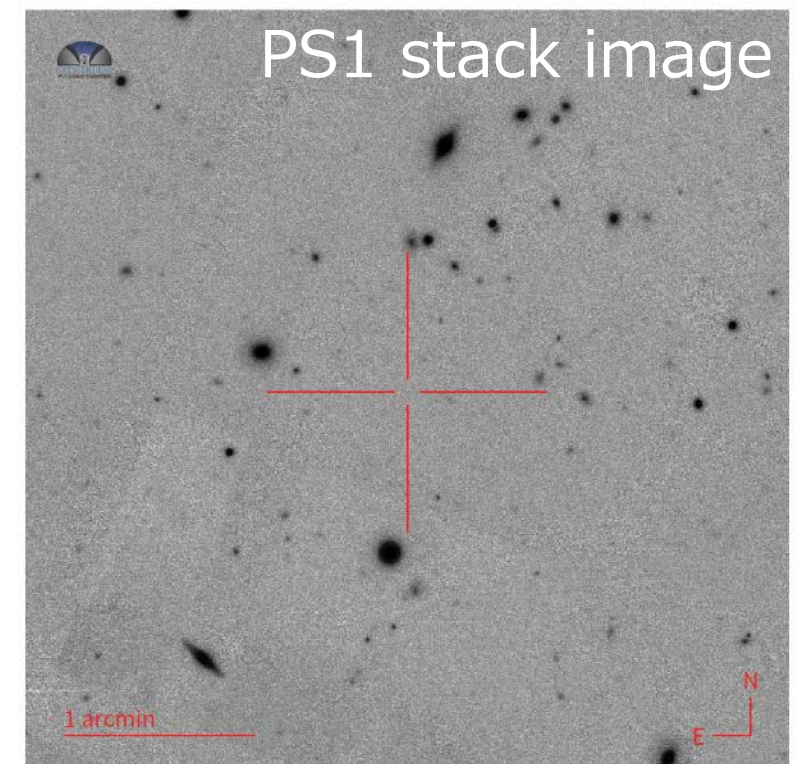


Tomo-e フラッシュの検出

- 2020-03-22 24時2分(JST)頃に地球影領域内で検出 (S/N = 10)
 - 継続時間は2秒以下 (2フレームで消える)
 - Gaia G-band 等級 16.9 ± 0.1 mag, 16.7 ± 0.1 mag (frame #1, #2)
 - 可視光対応天体は未検出 (PS1 stack image 限界等級 ~ 23.5 mag)

Preliminary results

Preliminary results



Tomo-e フラッシュ (TMG20200322)

- 2フレーム目の星像の伸び
 - seeing 約2.9"(赤円) に対して北東方向に約3" ~ 最大約10"
 - PSFの歪みの指標として楕円率 $e = 1 - b/a$ (a, bは長軸, 短軸方向の分散)

Frame #1

Frame #2

Preliminary results

contours: 2.0, 3.0, 4.0 x bkg rms

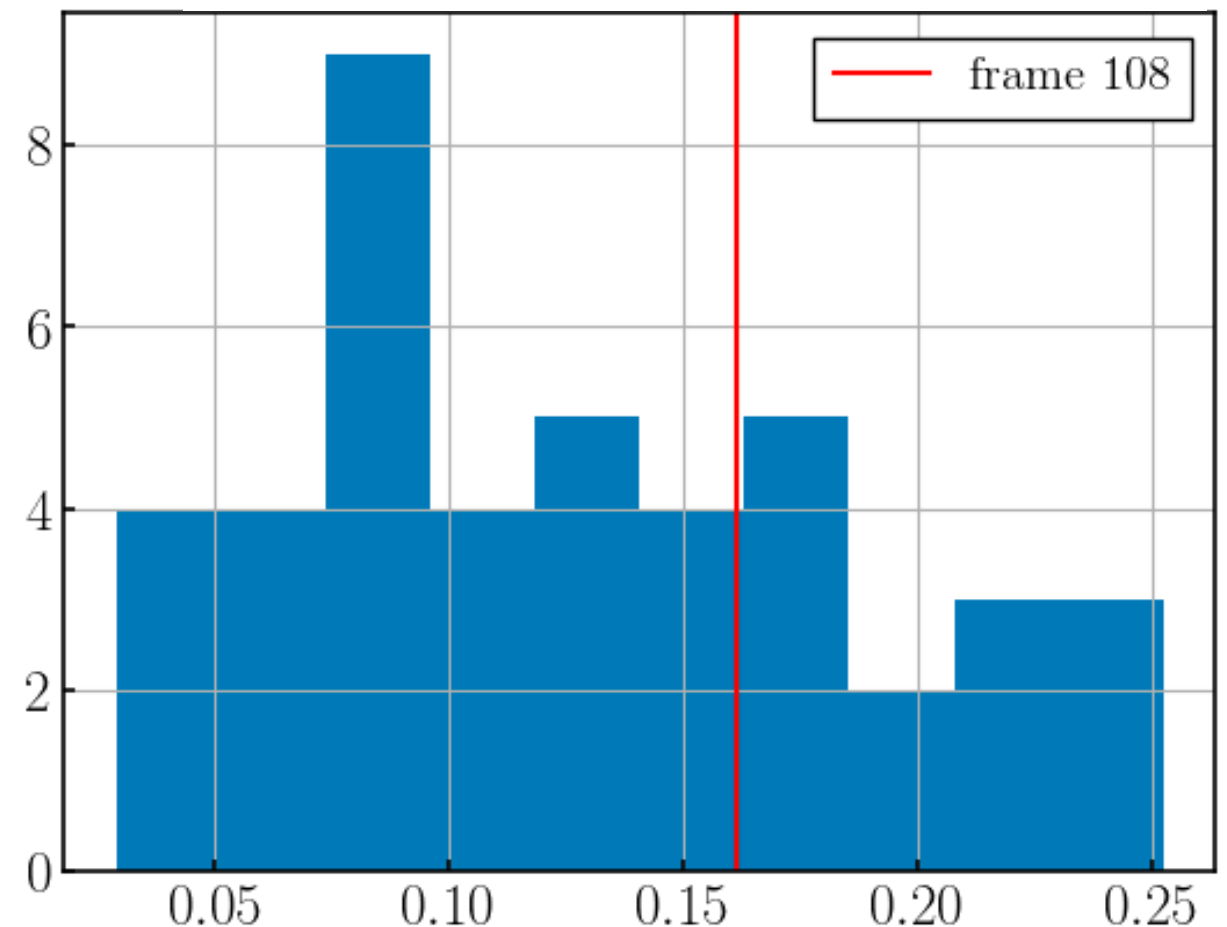
Tomo-e フラッシュ (TMG20200322)

- 2フレーム目の星像の伸び
 - seeing 約2.9" (赤円) に対して北東方向に約3" ~ 最大約10"
 - PSFの歪みの指標として楕円率 $e = 1 - b/a$ (a, b は長軸, 短軸方向の分散)
 - 同じフレームの星の分布と比較 → frame #1は典型的

Frame #1

Preliminary results

S/N = 10 ~ 15の視野星の楕円率



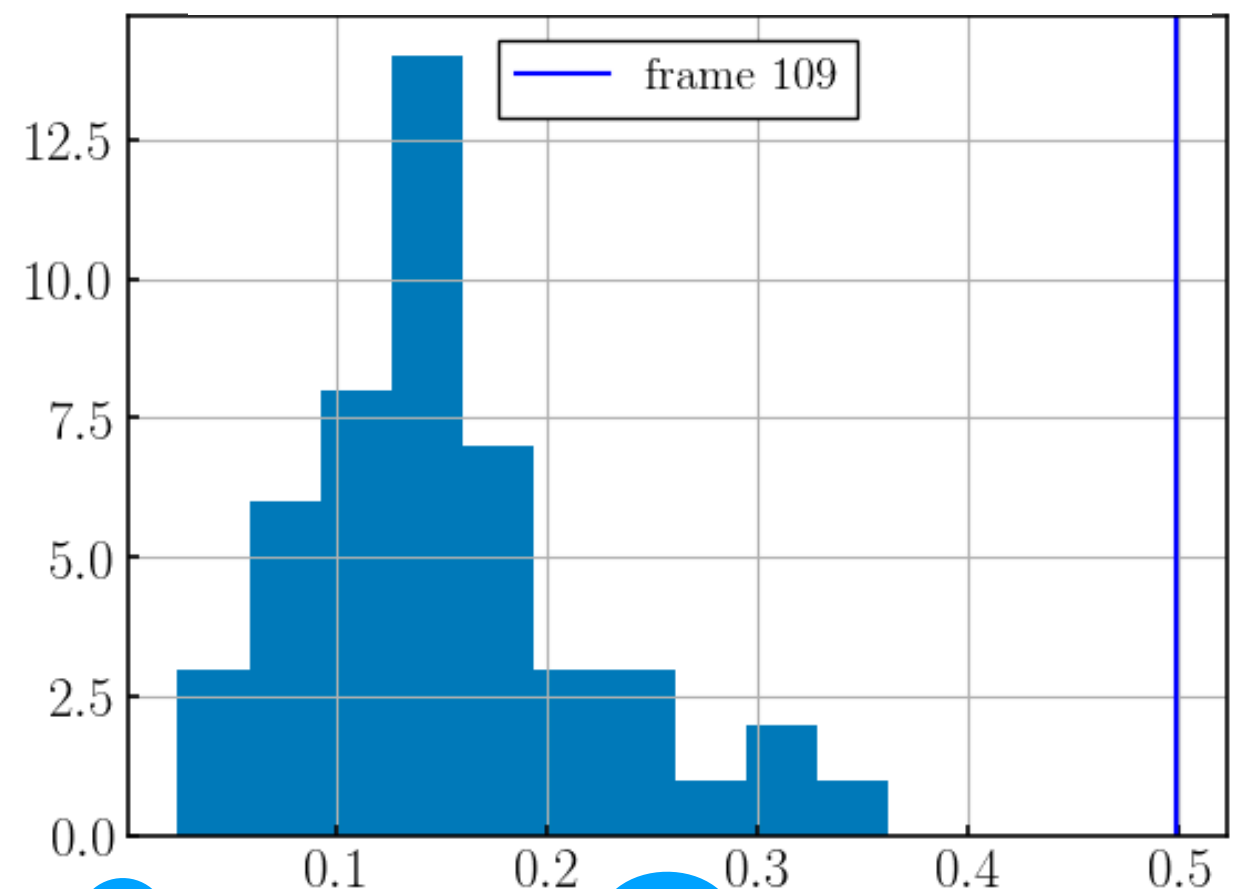
Tomo-e フラッシュ (TMG20200322)

- 2フレーム目の星像の伸び
 - seeing 約2.9" (赤円) に対して北東方向に約3" ~ 最大約10"
 - PSFの歪みの指標として楕円率 $e = 1 - b/a$ (a, b は長軸, 短軸方向の分散)
 - 同じフレームの星の分布と比較 → frame #2は有意に星像が伸びている

Frame #2

Preliminary results

S/N = 10 ~ 15の視野星の楕円率



e=0

e=0.25

e=0.5

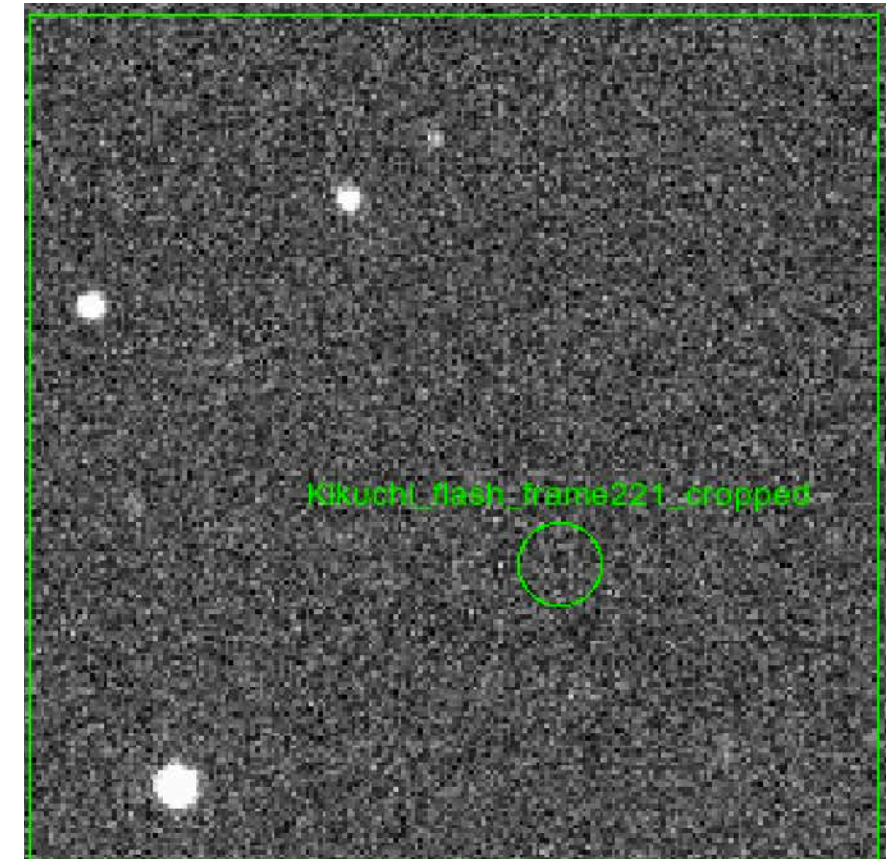
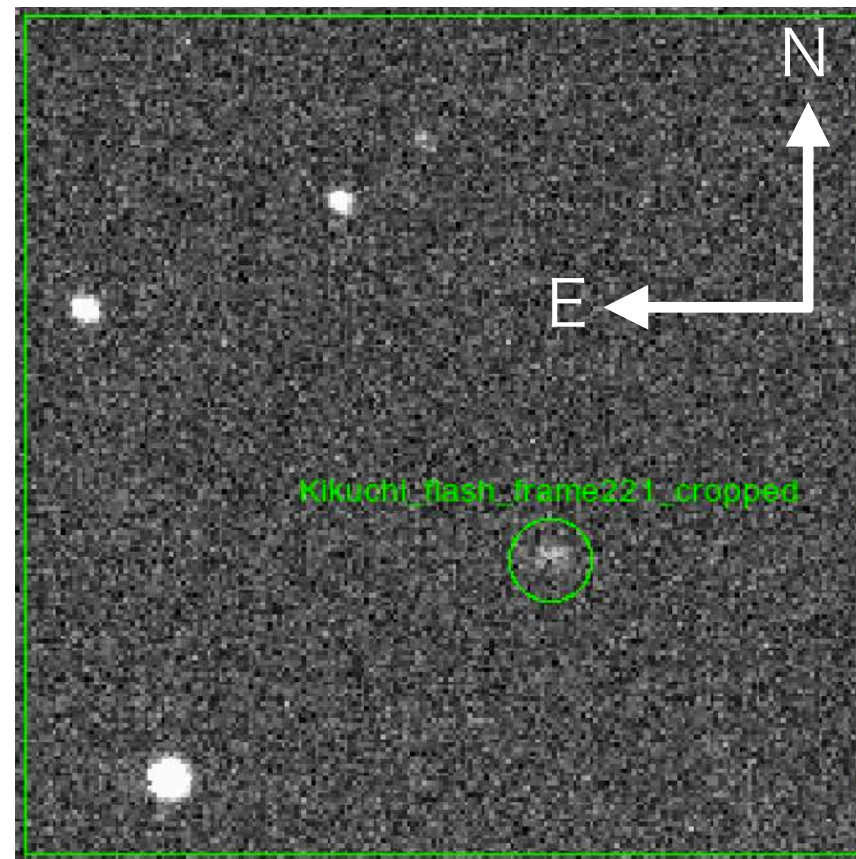
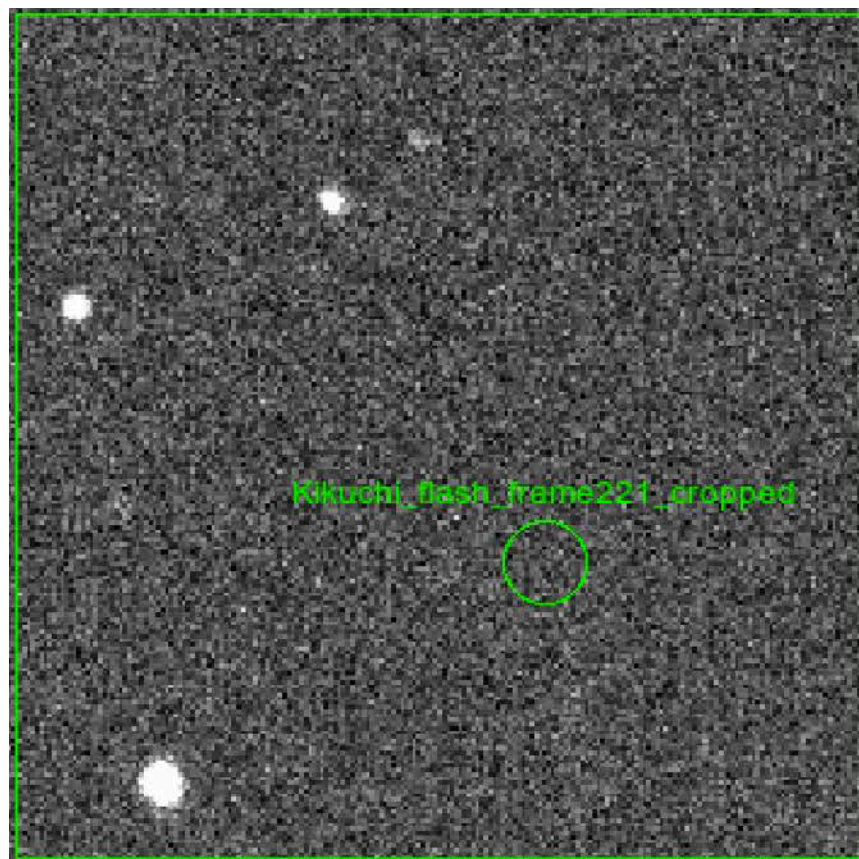
Tomo-e PM 菊池フラッシュ

- 2016-03-02 20時53分(JST)頃、地球影内で検出 (~ 16.4 mag)
 - (RA, DEC) = (10:58:30, +6:44:54)
 - 発光継続時間は0.5秒以下 (2 fpsの1フレームのみ検出)

0.5 sec before

detection frame

0.5 sec after

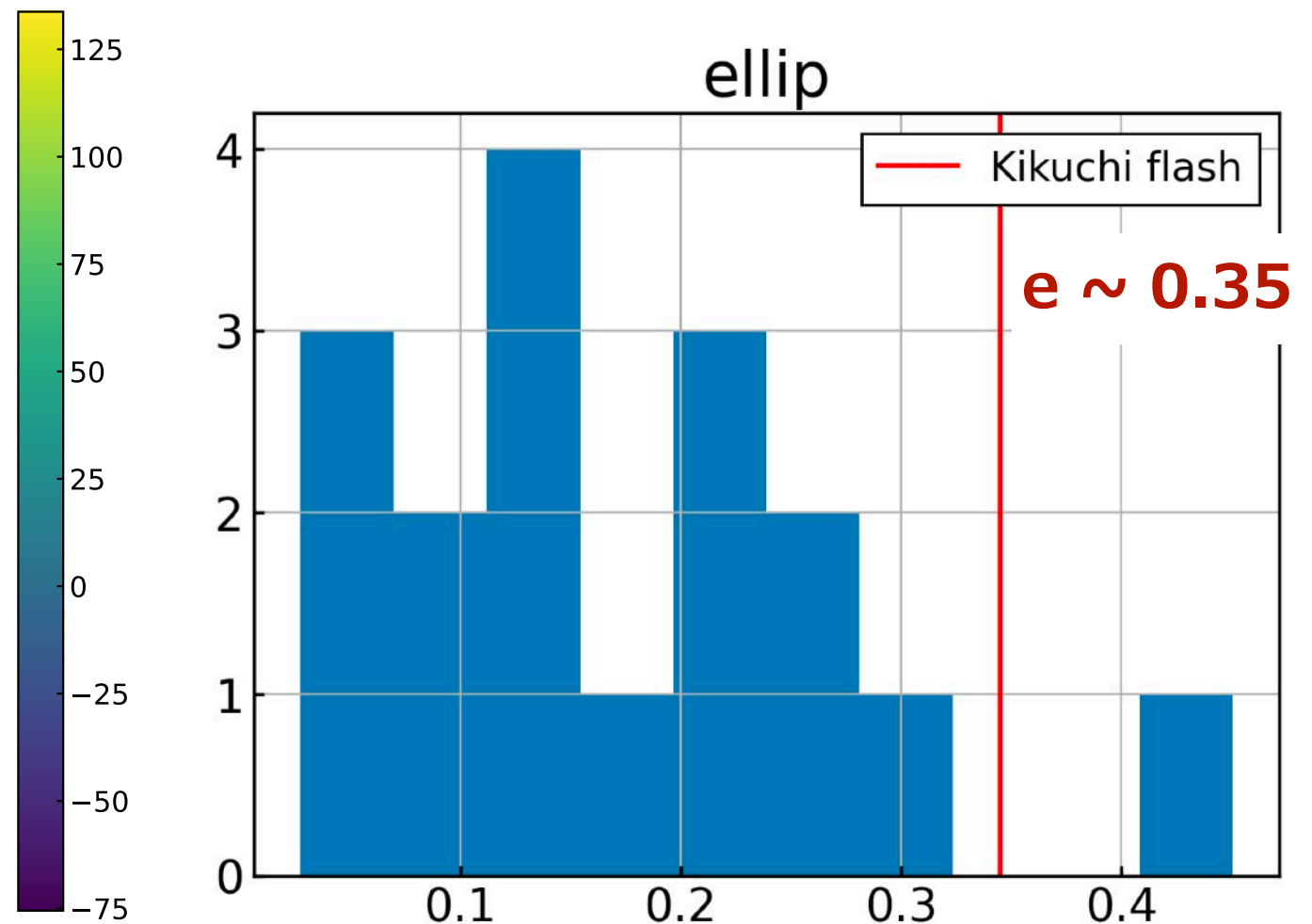
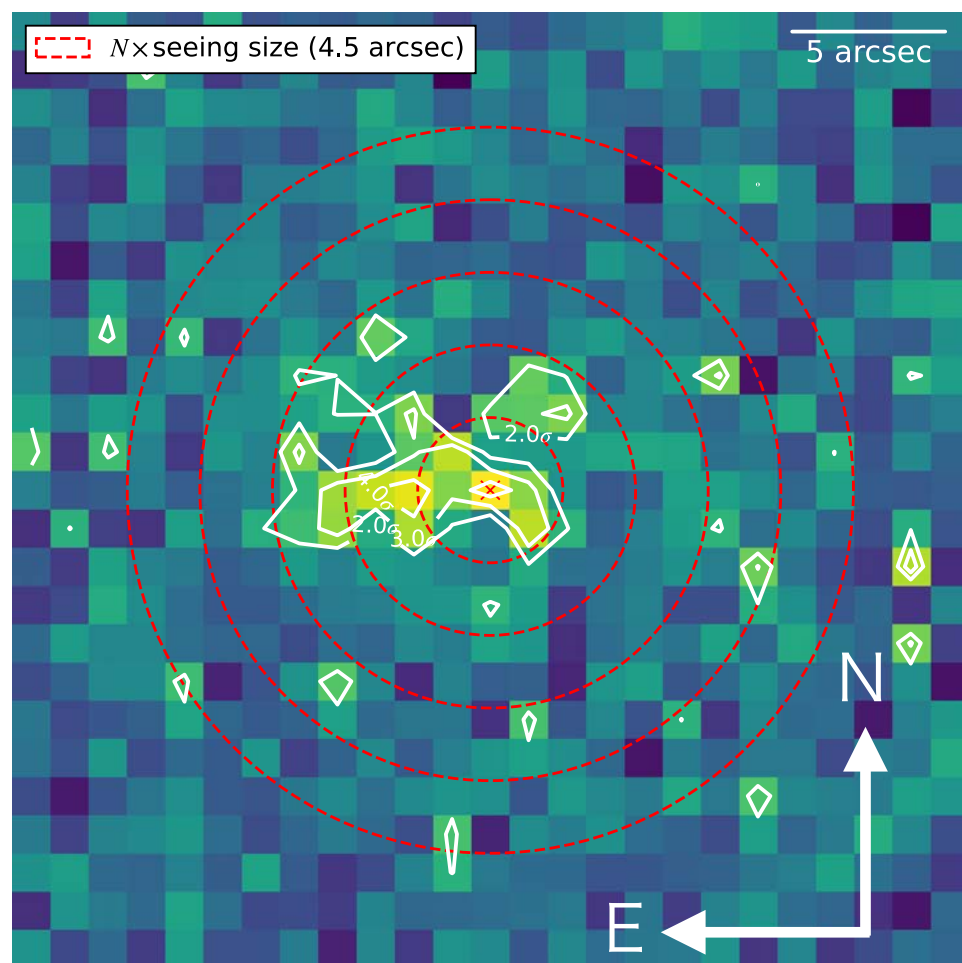


画像サイズ = 4分角

Tomo-e PM 菊池フラッシュ

- 2016-03-02 20時53分(JST)頃、地球影内で検出 (~ 16.4 mag)
 - (RA, DEC) = (10:58:30, +6:44:54)
 - 発光継続時間は0.5秒以下 (2 fpsの1フレームのみ検出)
 - 東の方向に星像が伸びている \rightarrow seeing $\sim 4.5''$ に対して $\sim 9.0''$

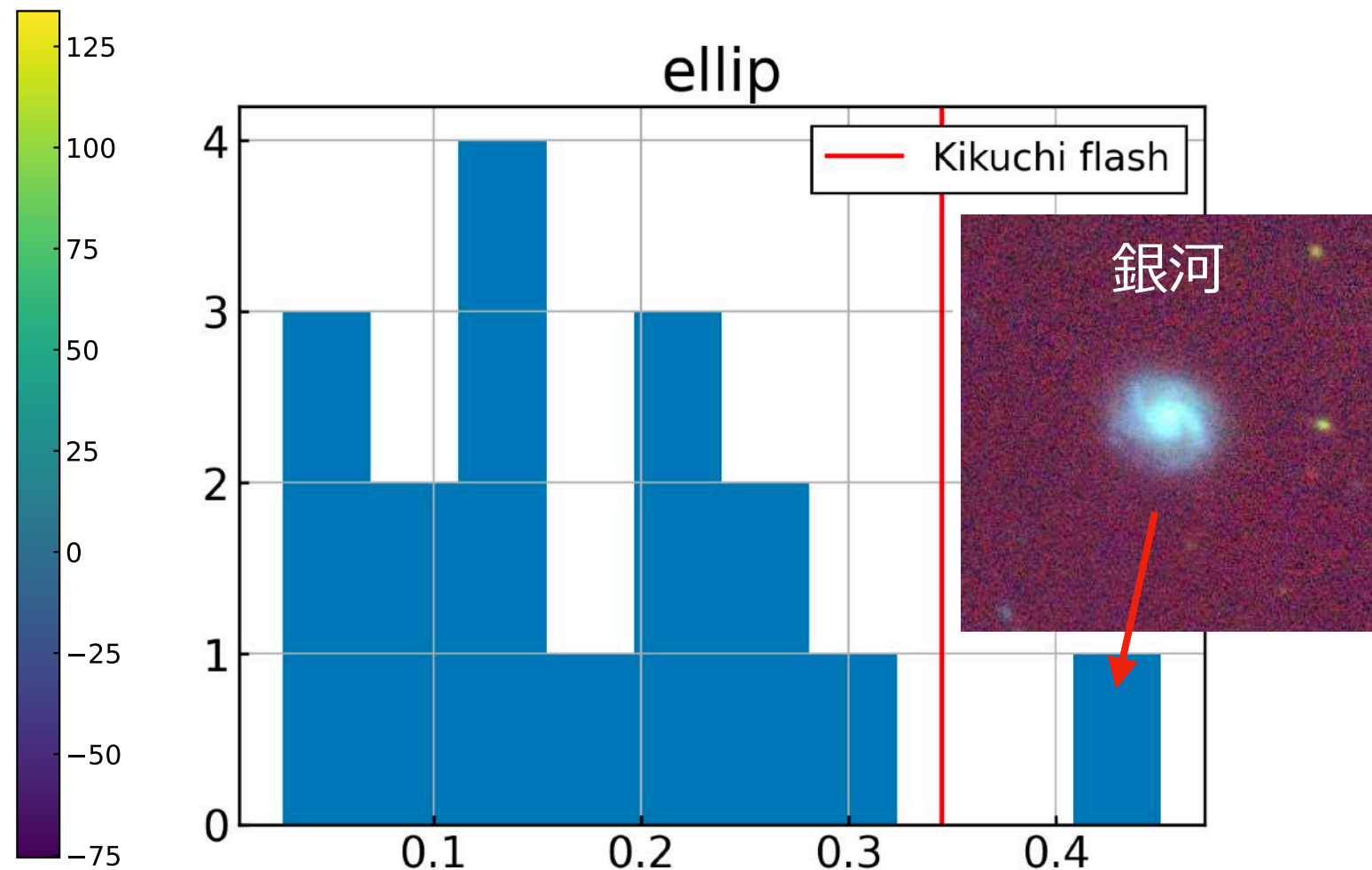
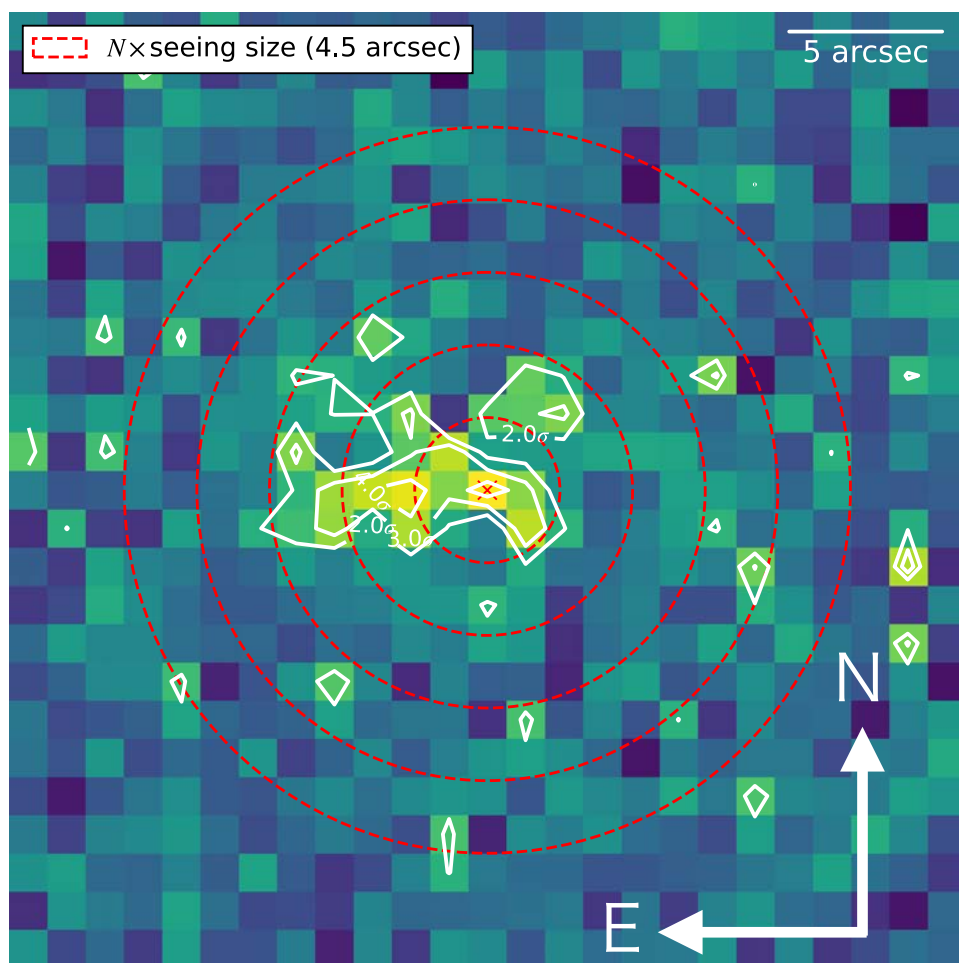
Tomo-e PM 菊池フラッシュ



Tomo-e PM 菊池フラッシュ

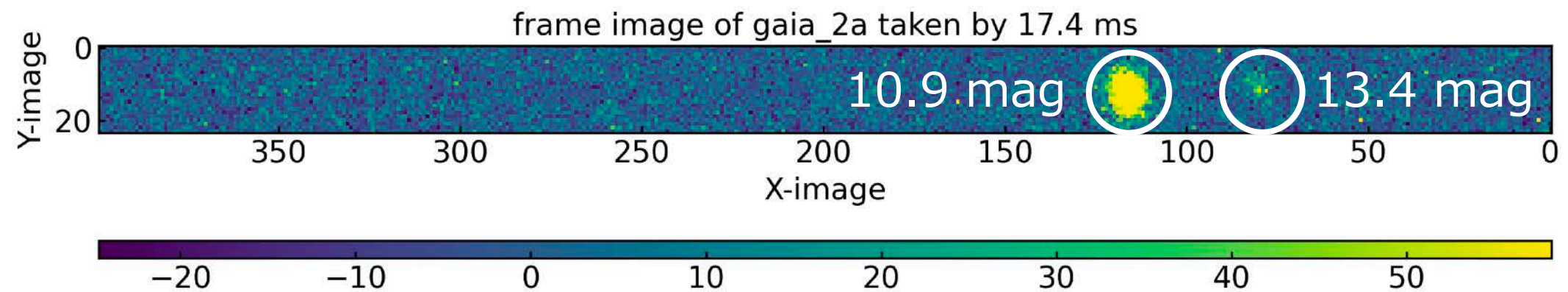
- 2016-03-02 20時53分(JST)頃、地球影内で検出 (~ 16.4 mag)
 - (RA, DEC) = (10:58:30, +6:44:54)
 - 発光継続時間は0.5秒以下 (2 fpsの1フレームのみ検出)
 - 東の方向に星像が伸びている \rightarrow seeing $\sim 4.5''$ に対して $\sim 9.0''$

Tomo-e PM 菊池フラッシュ



Tomo-e フラッシュの星像の伸び

- 大気揺らぎによる影響
 - Tomo-e Gozenの最高速 (57 pfs) 観測での星像の歪みを調査
 - 通常の星のPSFが17.4 ms の積分時間の場合にどこまで歪むか？
 - プレアデス星団の星の楕円率を測定 (検出閾値: $1.5 \times \text{bkg RMS}$)



Preliminary results

→ ~20 ms程度の継続時間だったとしても大気揺らぎでは説明困難

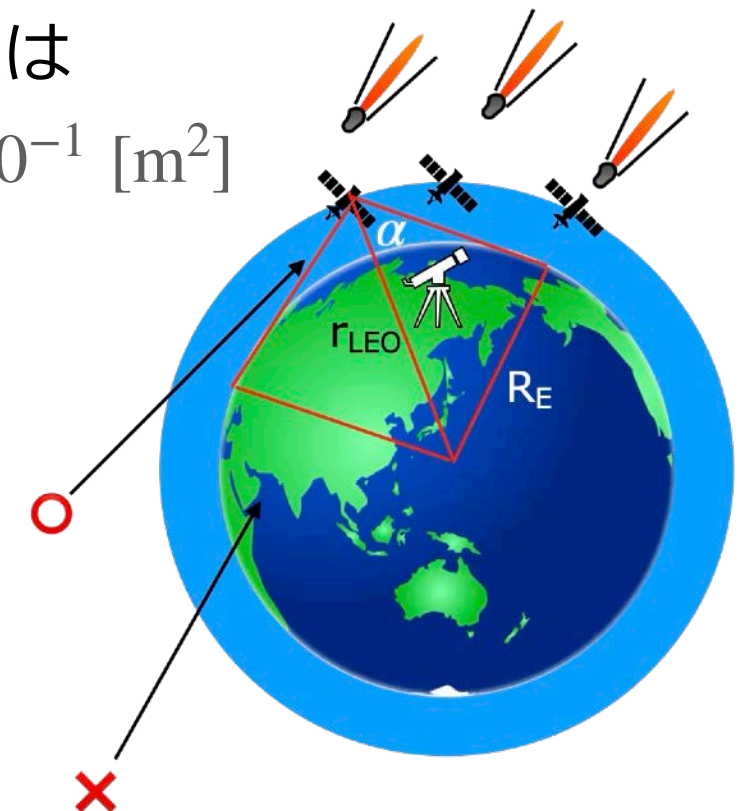
2 物体の衝突発光の可能性

- 流星体同士による衝突発光@低軌道(LEO), GEO
 - $m_v = 16.8 \text{ mag}$ となる条件から必要な質量
→ $> 10^{-6} \text{ g}$ @LEO, $> 10^{-1} \text{ g}$ @GEO
 - 流星体の質量モデル分布から総断面積を推定
 - 約50時間のTomo-e 観測での期待値
 $N(\text{LEO}) \sim 2 \times 10^{-9}$, $N(\text{GEO}) \sim 4 \times 10^{-14} \ll 1$ イベント

月面衝突閃光



- 流星体を人工天体に置き換えてみる
 - LEOにおけるカタログ化された人工天体の総断面積は
 $\sigma(\text{satellite}) \sim 2.1 \times 10^4 \text{ [m}^2\text{]}$ (c.f.) $\sigma(\text{meteoroid}) \sim 6 \times 10^{-1} \text{ [m}^2\text{]}$
 - 約50時間のTomo-e 観測での期待値
 $N(\text{LEO}) \sim 2 \times 10^{-5} \ll 1$ イベント



まとめと今後

- **Tomo-e Gozen 動画観測で可視光秒スケール突発現象を探查**
 - 1 fps動画観測@地球影領域の実施（現在, 約75時間分のデータを取得）
 - 約50時間分のデータからTomo-e フラッシュ天体 1 イベントを発見
- **発見されたTomo-e フラッシュ天体 (TMG20200322)**
 - 2フレームのみで検出（継続時間 < 2 sec）
 - 過去の地球影観測で見られたフラッシュにも共通して見られるPSFの伸び
→ 現状、20 msec 程度の星の大気揺らぎや天体衝突閃光でも説明困難
- **今後の観測と新たな解析**
 - 計200時間の取得を目標（x4 of 有馬D論）
 - 差分解析の実施 → 銀河に現れた突発天体や増光幅の小さい天体の検出
 - 1 fps 光度曲線解析 → 異常検知手法を用いた秒スケール増(減)光の検出

