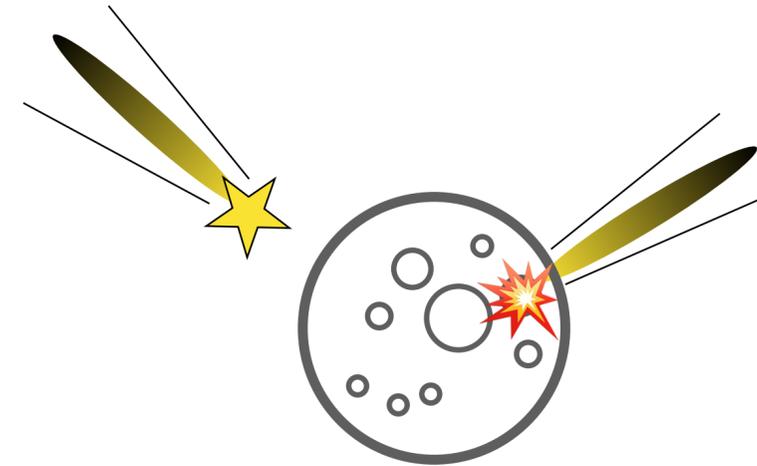


しぶんぎ座流星群による月面衝突閃光を狙った TriCCS 高速撮像観測

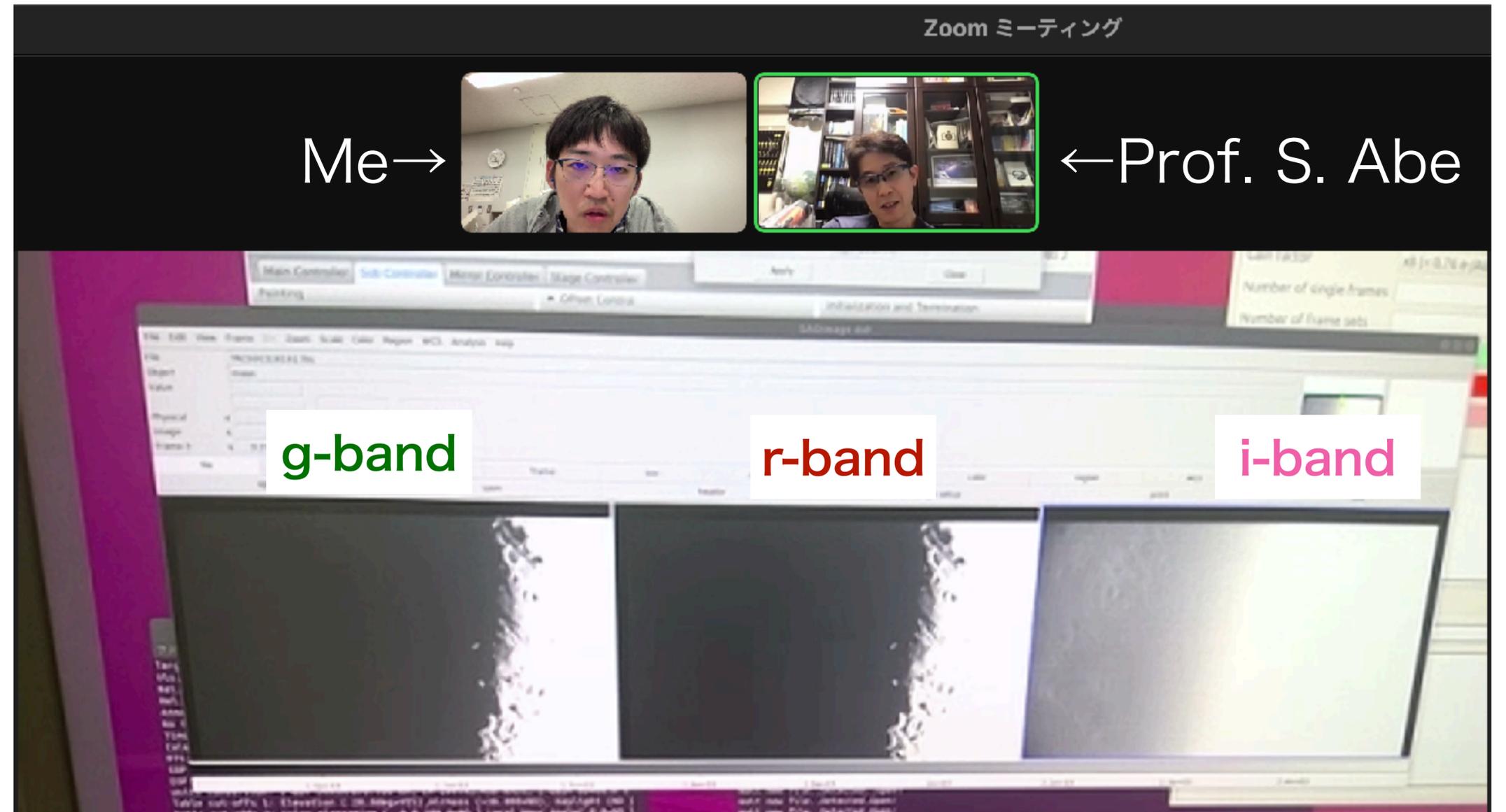


有馬宣明 (日本大学), 阿部新助 (日本大学),
川端美穂 (京都大学), 有松亘 (京都大学)

目次

- インTRODクシヨN
- 観測計画
- データ解析
- 結果
- 今後の観測計画

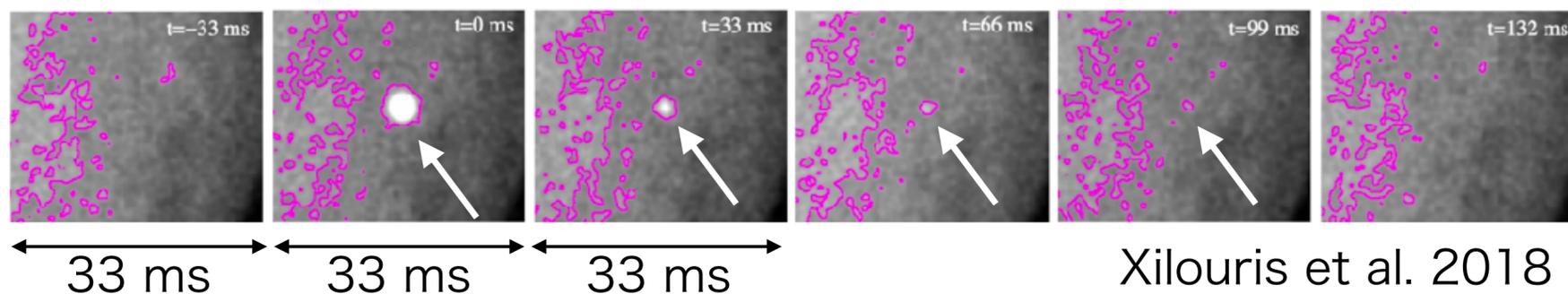
月面試験観測 via Zoomの様子 (2023/10/21)



協力者：京大・村田さん（現地観測者）
京大・有松さん（観測時間提供）

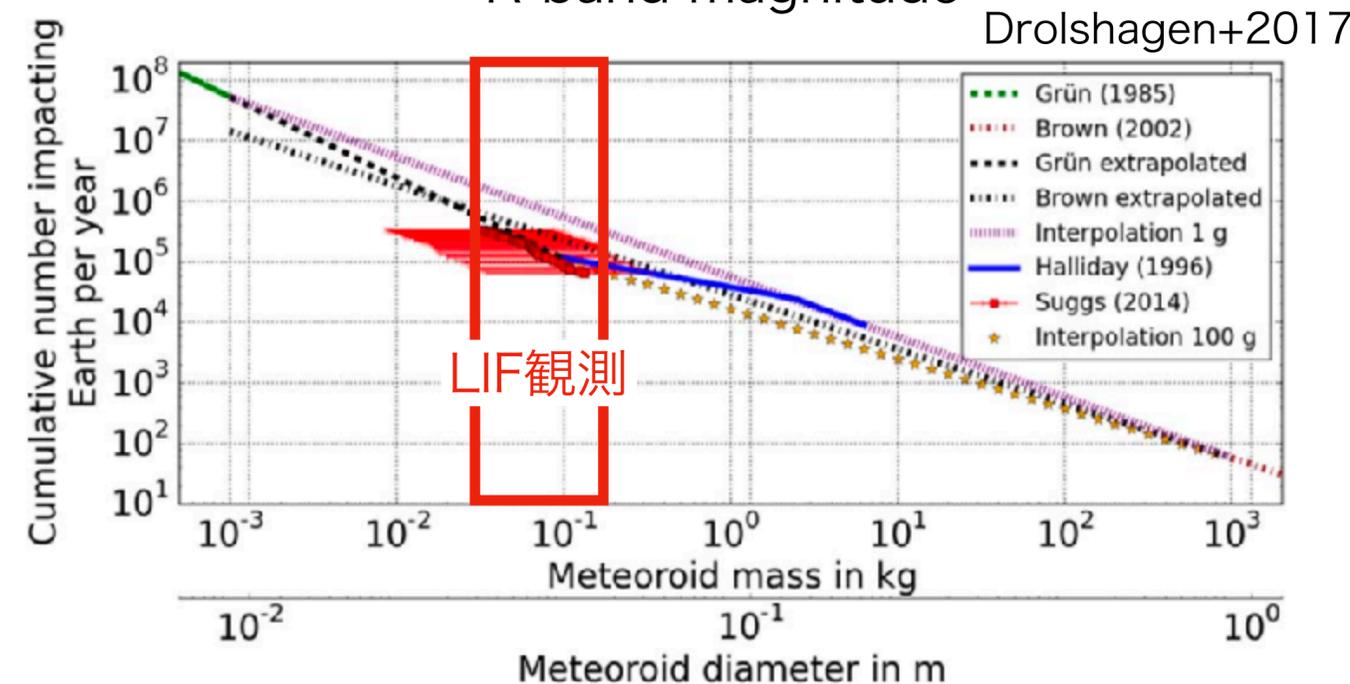
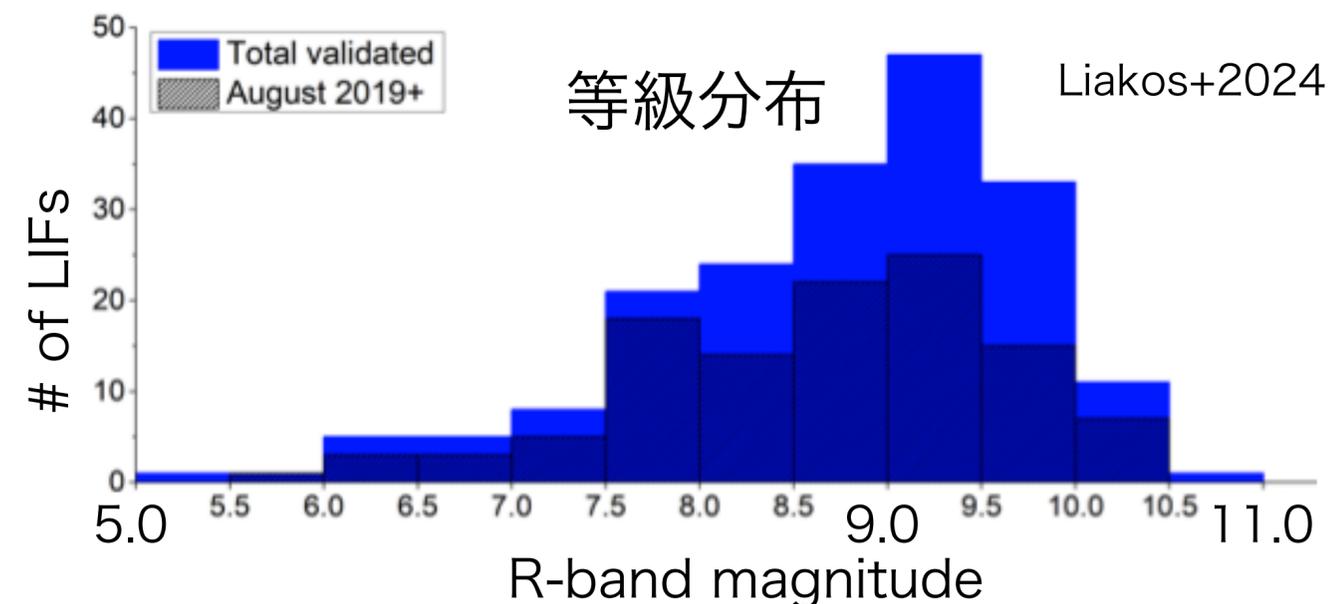
イントロダクション

- 流星体 (meteoroid) : 彗星や小惑星を起源とする直径約 $30 \mu\text{m} \sim 1 \text{m}$ の個体物質 (IAUの定義)
- 月面衝突閃光 (Lunar Impact Flash; LIF)**とは、cm - 数10 cm サイズの流星体が大気の無い月面に高速 (秒速数10 km)で衝突する際に生じる 0.01~0.1 s 程度の可視光~近赤外線による短時間発光
 - 地球大気で生じる流星とは違い点光源として観測される (下図)



- 黒体放射を仮定して推定される **ピーク温度は約 2000 ~ 6000 K** (Bonanos+2018; Yanagisawa+2021; Avdellidou+2021)

- なぜLIF (月面) を狙うのか?
 - 巨大な検出器とみなせる (Elv. > 30度の地球大気観測の約100倍)
 - 火球を引き起こすような > cm サイズの流星体の衝突頻度、質量・サイズ分布を効率的に調べられる
 - 超高速衝突現象の発光効率 ($\eta = E_{\text{lum}}/E_{\text{kin}}$)の推定



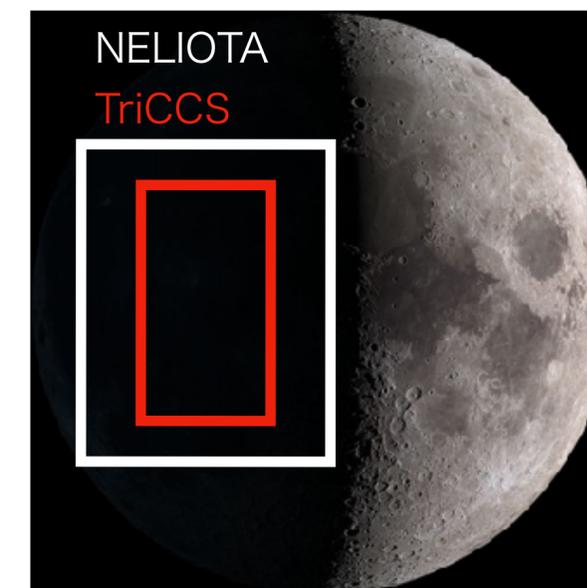
Why せいめい/TriCCS ?

- NELIOTA: 1.2 m 望遠鏡を用いたESAの月面監視プロジェクト (2018 - 2023 July)
 - 2台のCMOSカメラを用い、既存の月面モニター望遠鏡で唯一2バンド(R, I)同時観測が可能
→ 3バンド同時高速撮像が可能なせいめい望遠鏡/TriCCSが使えるのでは？！

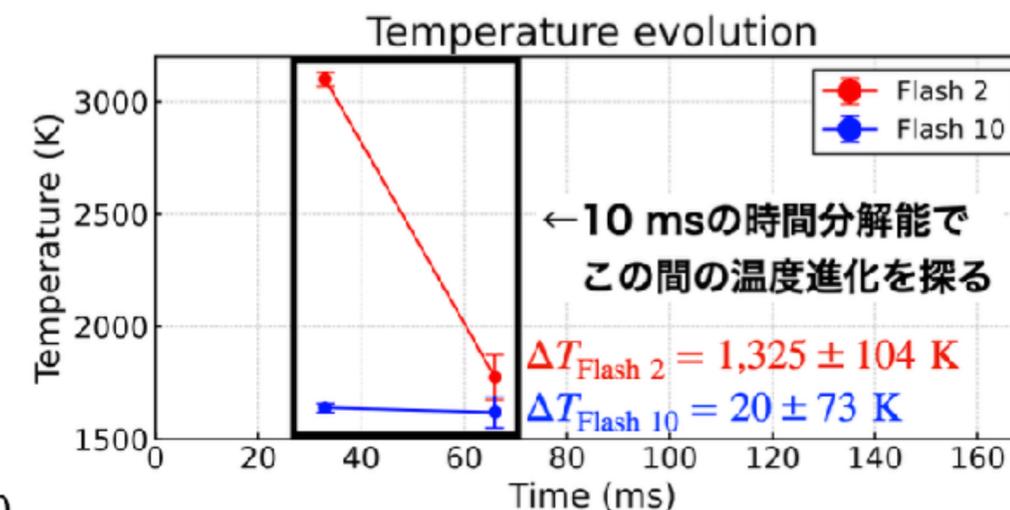
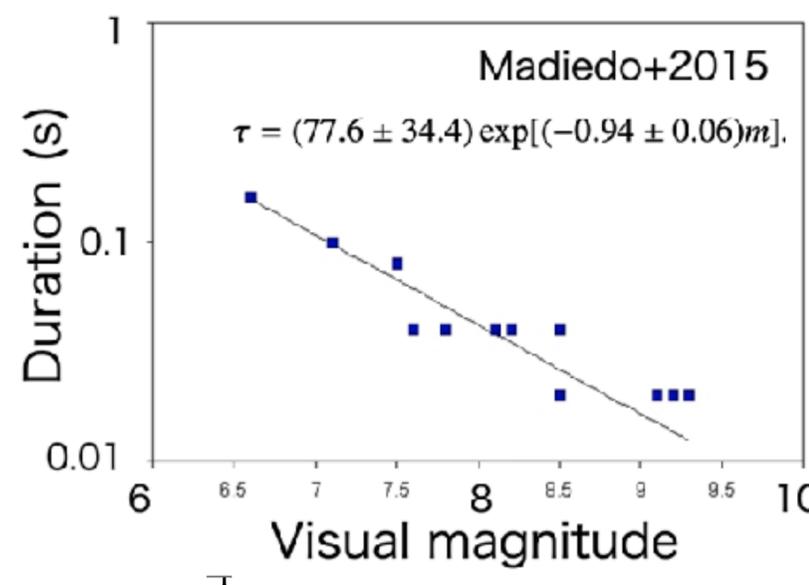


月面上の視野 (FoV)

	Telescope D (m)	FoV (arcmin ²)	Filter	time res. (ms)	lim. mag (S/N=2.5)
NELIOTA	1.2	17.0 x 14.4	R, I	33	~ 12.4
TriCCS	3.8	12.6 x 7.5	g, r, i (or z)	10.2	~ 13.2 ($\propto \sqrt{t} * D$)

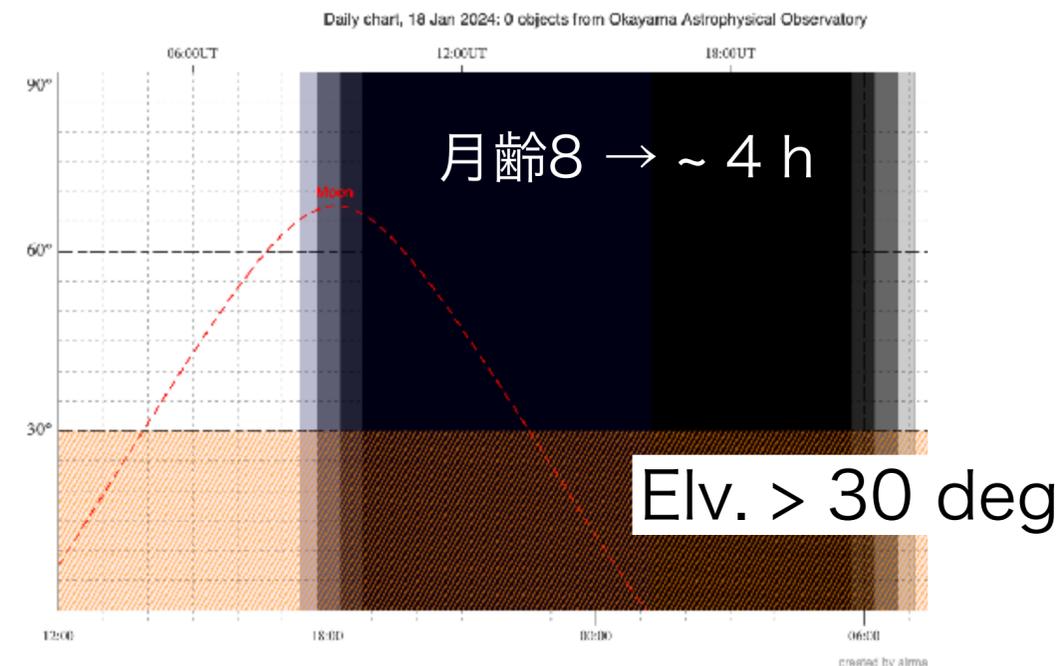
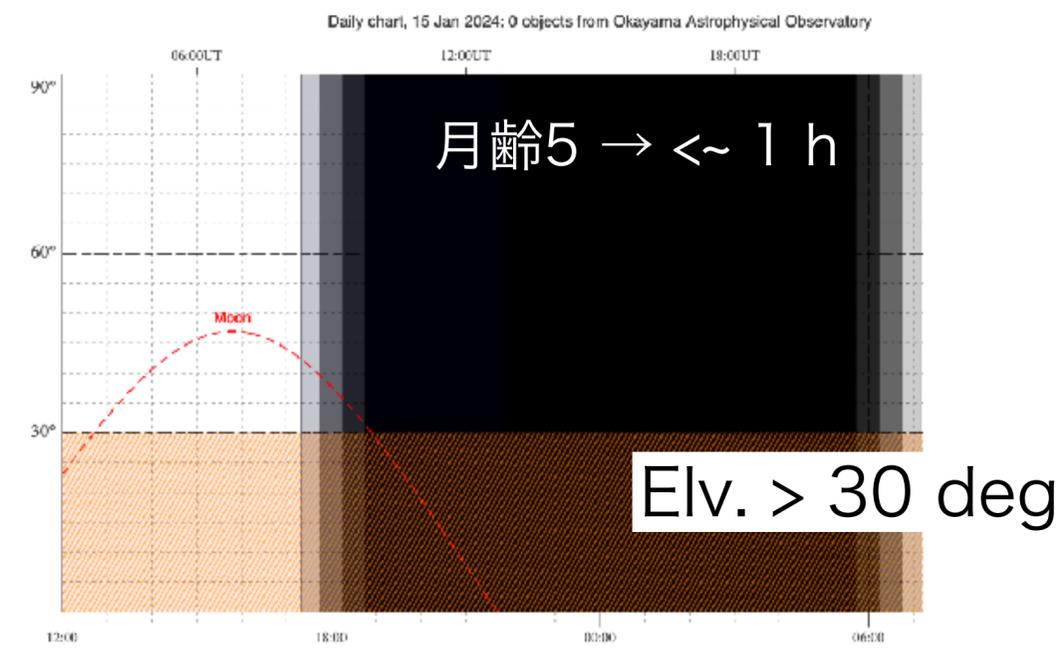
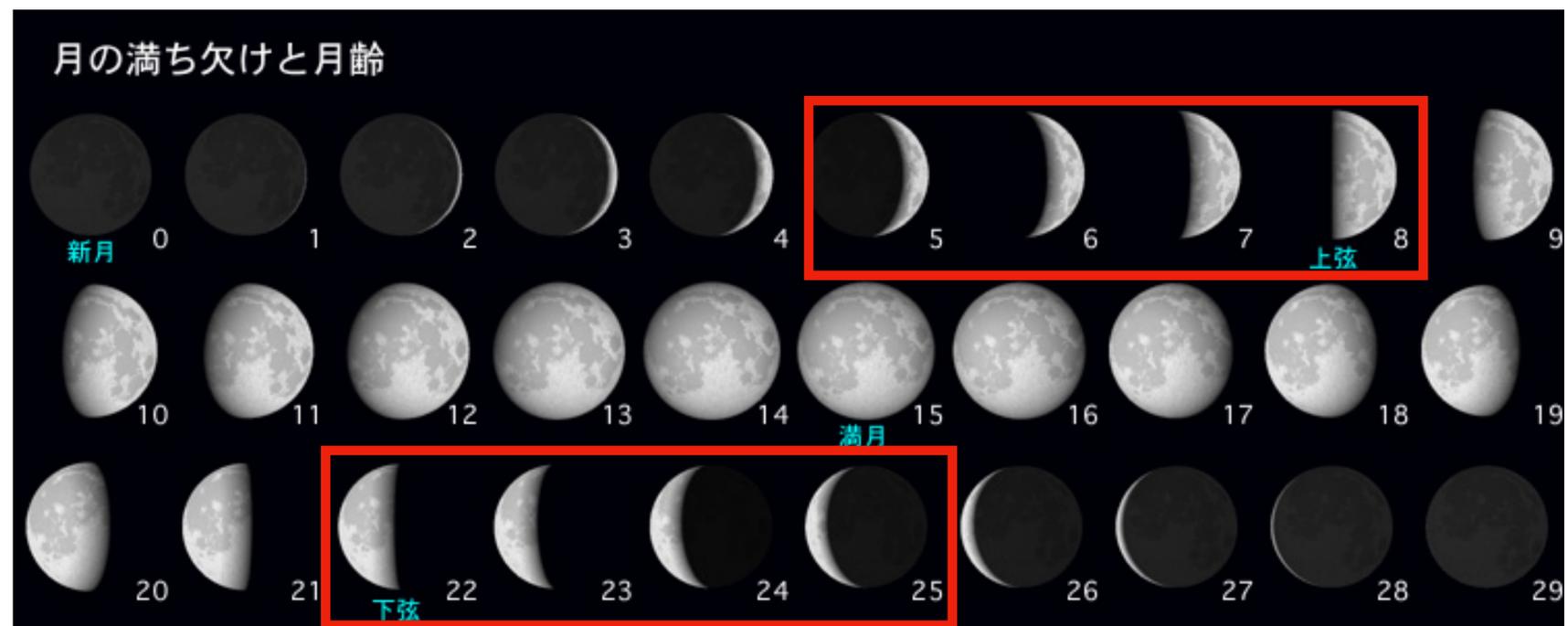


- 暗い側のLIFの明るさ・温度を見誤っている可能性 (積分時間 > LIFのduration; 右図)
 - TriCCSでより正確な光度・温度進化を追う



観測計画

- LIF観測が可能な時期：月の夜側が見える時期 → 月明かりとvisibilityから、三日月から半月程度に限られる
 - 三日月→半月に向かうにつれて長時間観測できる（一方で背景光は高くなる）

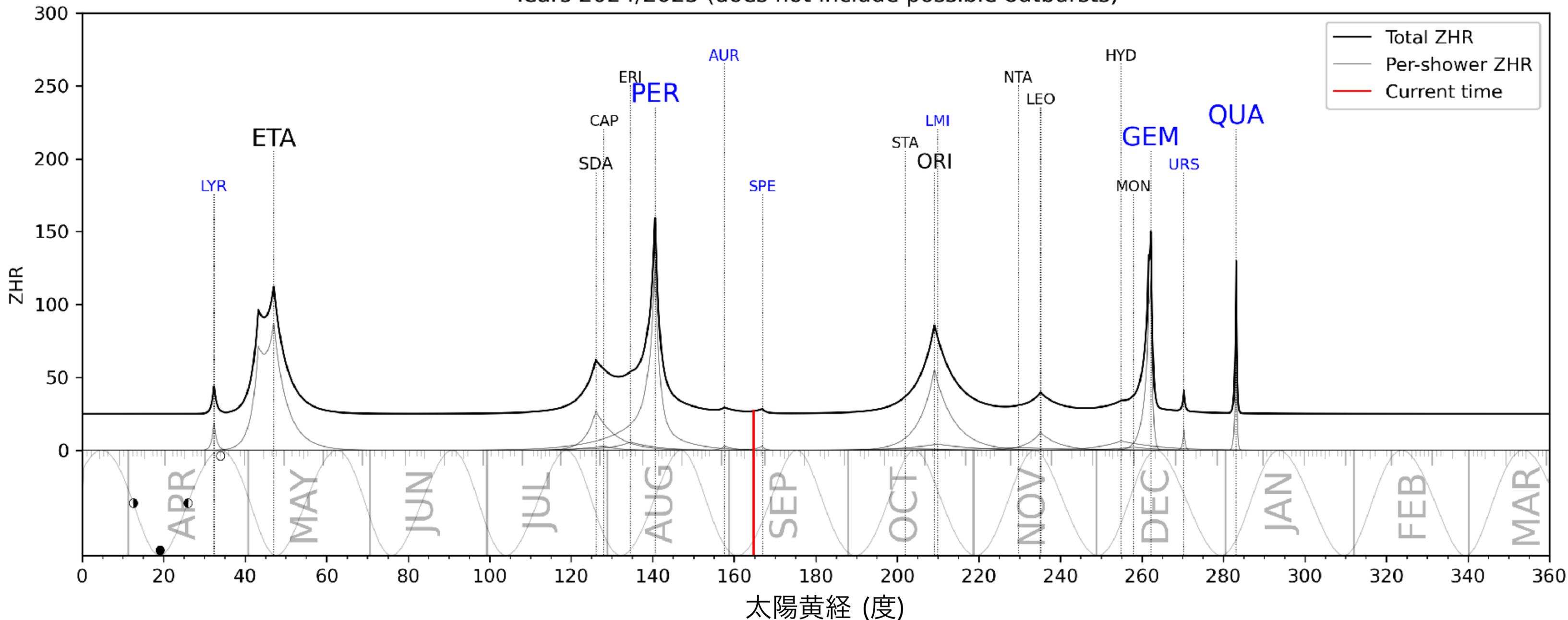


- 流星体が多く期待される流星群の時期を狙う
 - 月齢と極大になるタイミングが合う流星群を選定
→しぶんぎ座流星群（2024A 共同利用で実施）

流星群の活動時期とZHR

ZHR：流星群の放射点为天頂にあり、光害のない理想的な条件
(最微等級6.5 mag)で見ることのできる1時間あたりの流星の数

Years 2024/2025 (does not include possible outbursts)



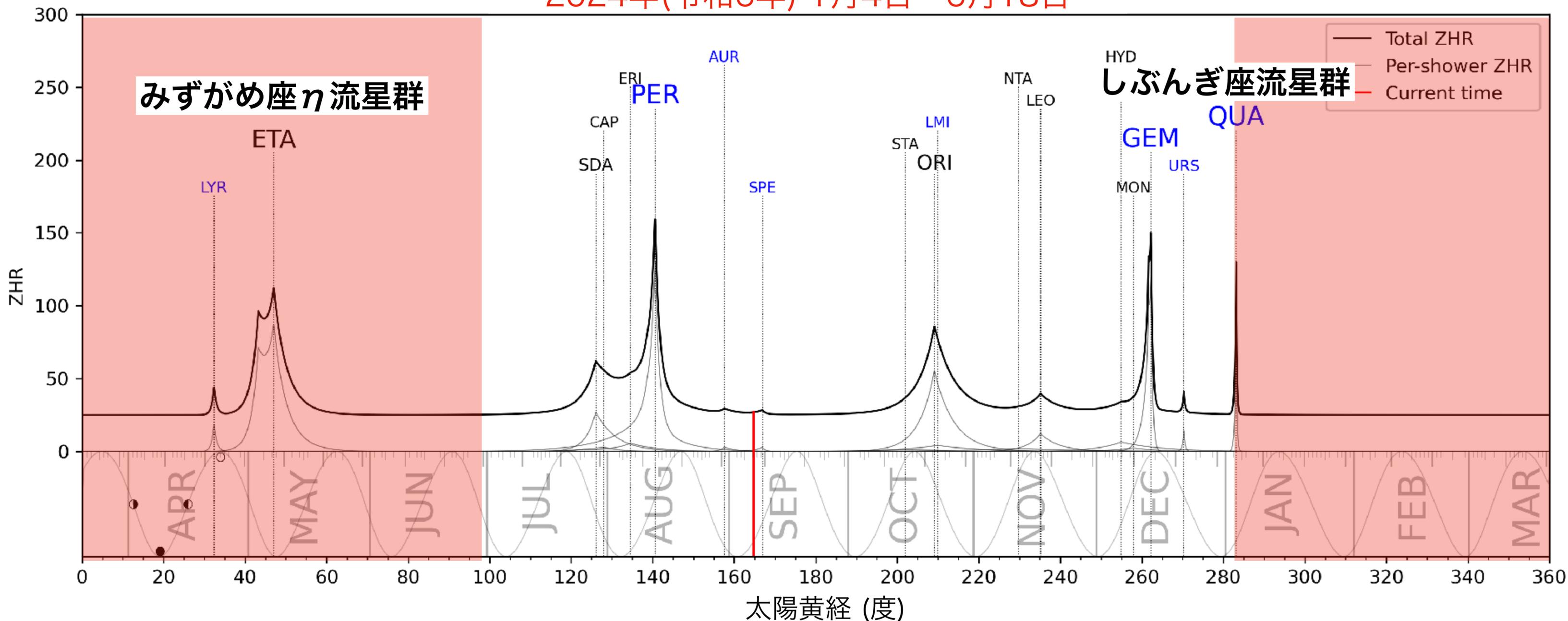
<https://globalmeteornetwork.org/flux/>

流星群の活動時期とZHR

ZHR：流星群の放射点为天頂にあり、光害のない理想的な条件
(最微等級6.5 mag)で見ることのできる1時間あたりの流星の数

2024A 共同利用の観測期間

2024年(令和6年) 1月4日~6月18日

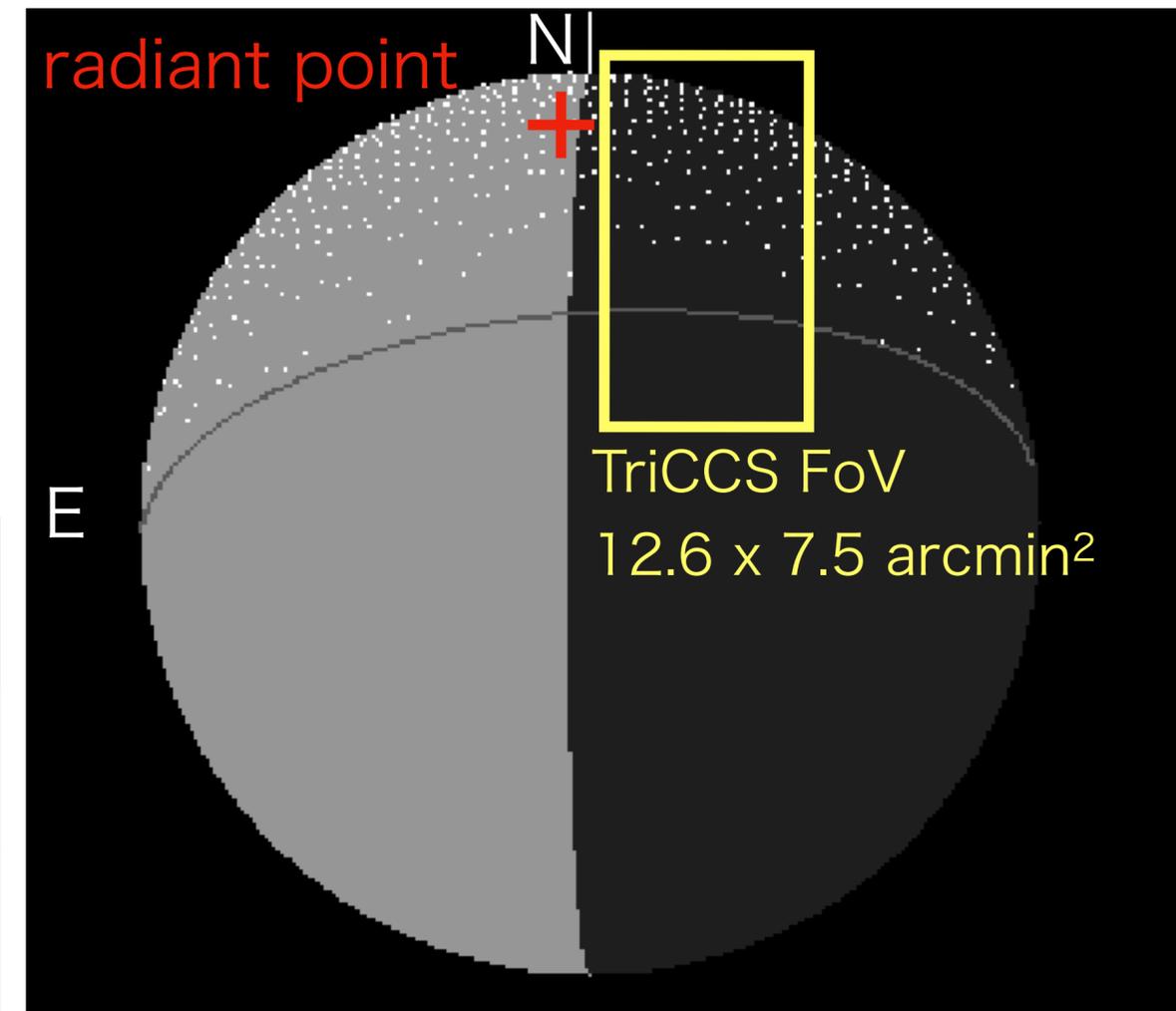


<https://globalmeteornetwork.org/flux/>

Seimei/TriCCSによる観測

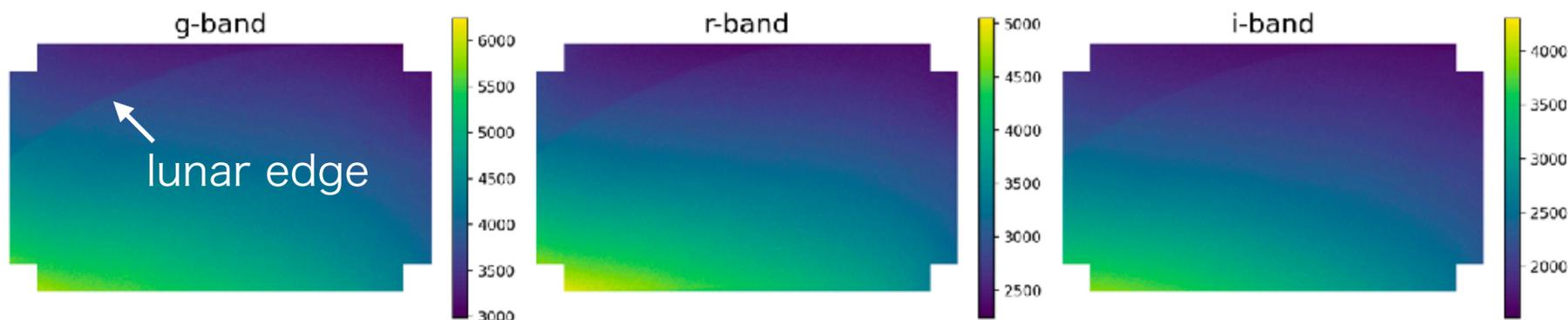
- しぶんぎ座流星群 (Quadrantids)
 - 活動期: Dec. 28 - Jan. 12, ZHR = 80 (年によって変動大 \approx 60 - 200)
 - 2024年のピーク予想 Jan. 4, 09:00 UT
 - 2024Aの共同利用期間の初日 (2024/01/04) に観測実施
 - 2024/01/03 (TriCCSスタッフでCo-Iの川端Mさんとの共同研究)
 - 計 1.5 時間分の月面データを取得

日付 (UT)	月齢	フレームレート	バンド	観測時間 (min)	データ量 (TB)
2024-01-03 18:15 ~ 20:50	22.1 	98-fps (= 10.2 ms)	g, r, i	35	7.1
2024-01-04 19:14 ~ 21:13	23.1 	98-fps (= 10.2 ms)	g, r, i	55	11



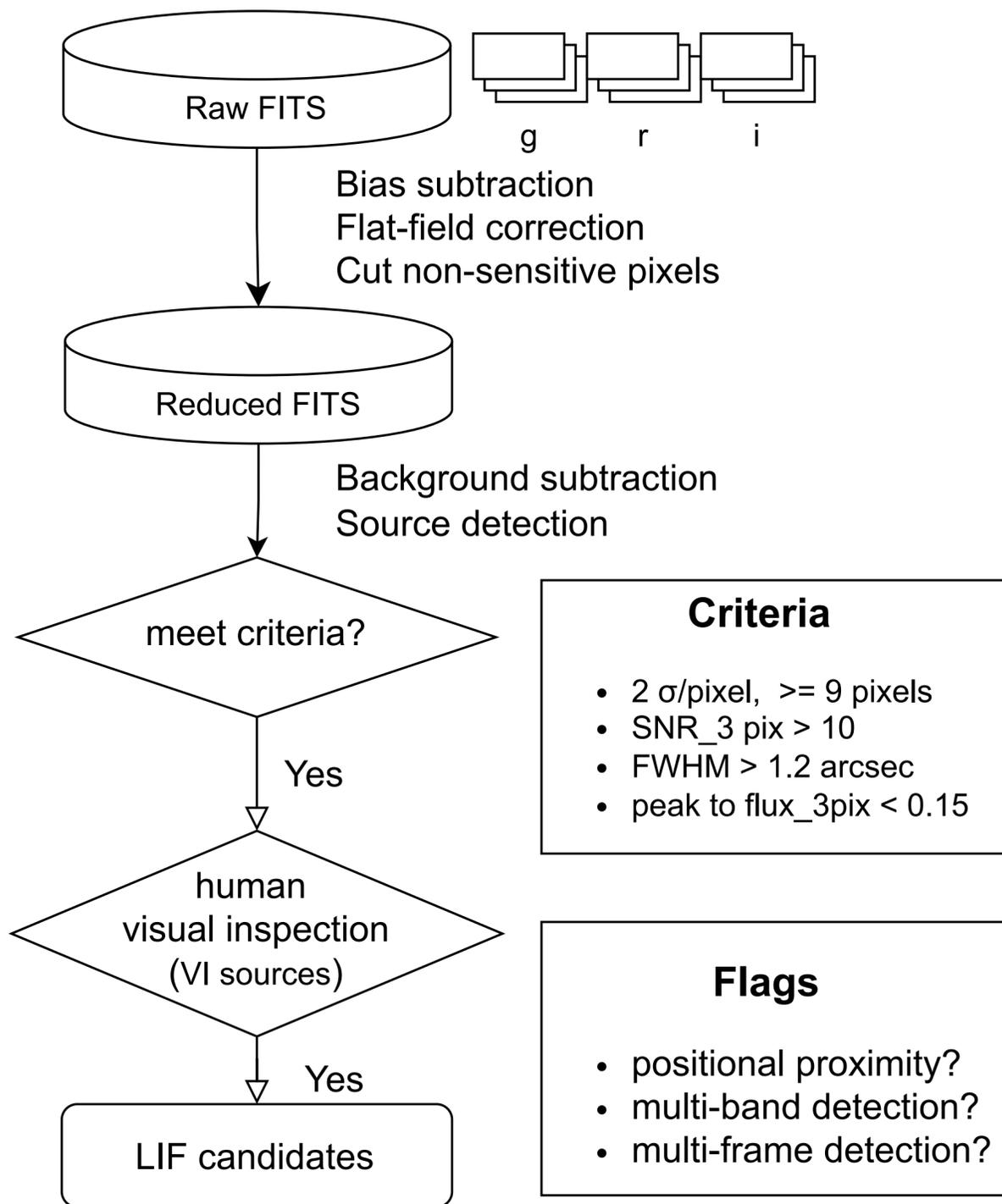
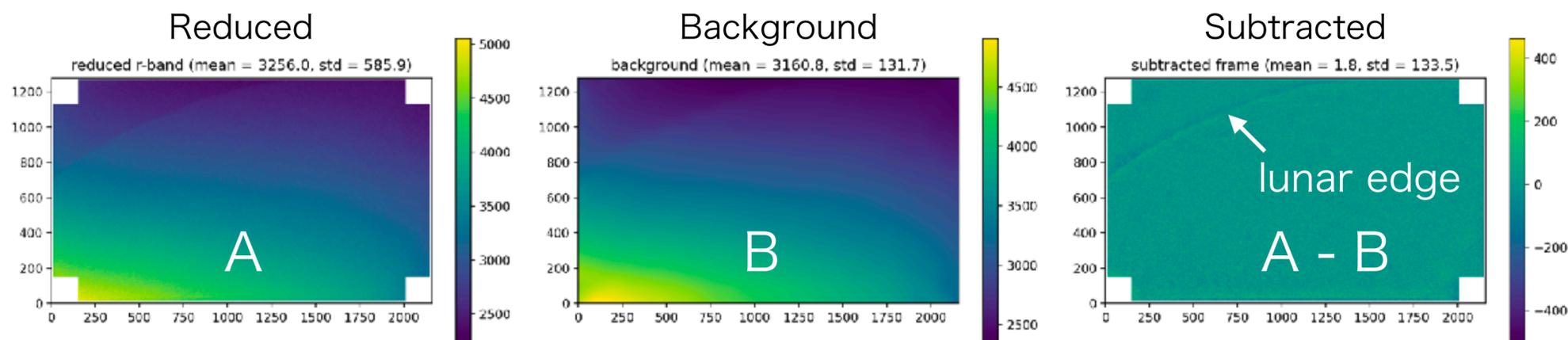
データ解析

- Reduction (dark & flat-field correction)



- Background subtraction & source detection

- 3x3 median filtering -> 64 x 64 pixels mesh spline interpolation
- threshold: $2 \sigma_{\text{bkg}}$ & 9 adjacent pixels

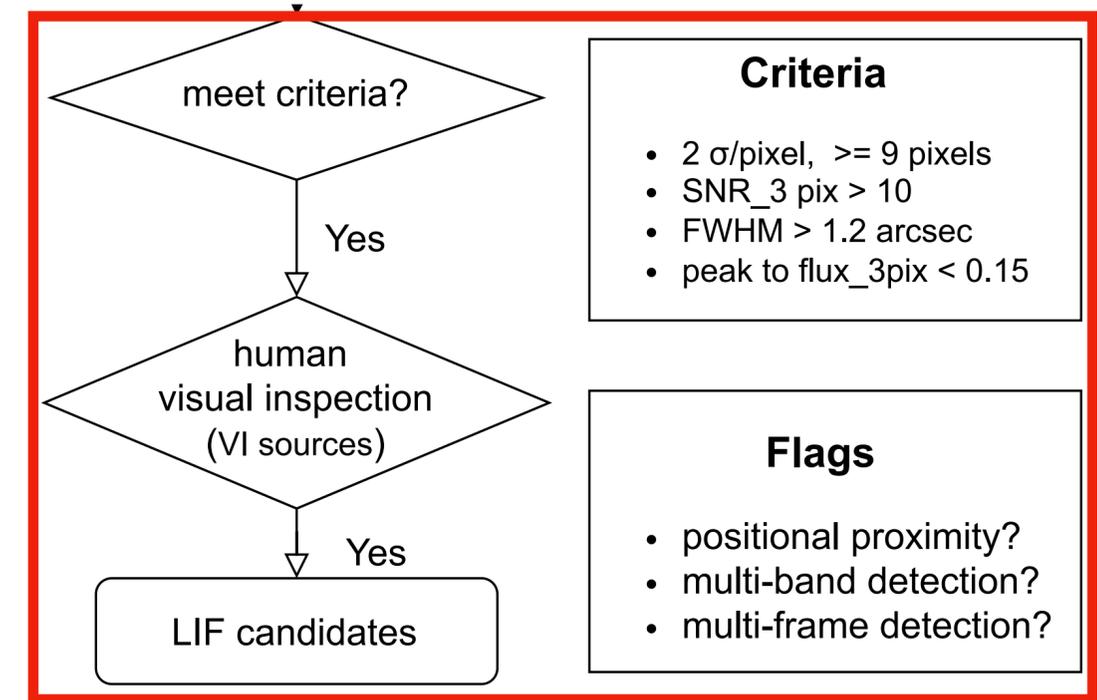


結果

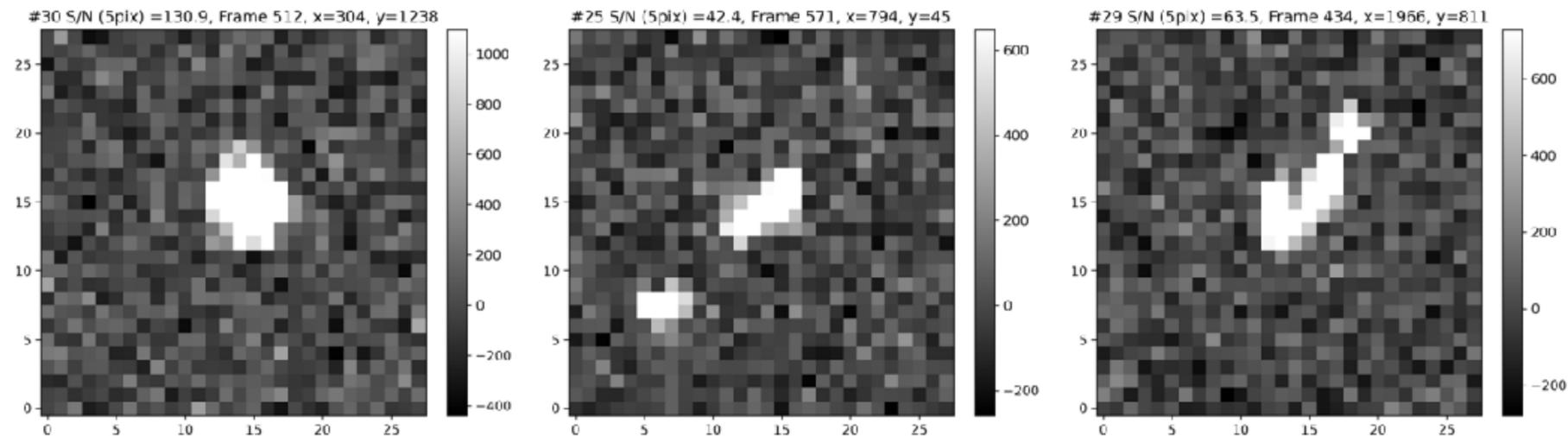
Summary of g, r, i-band video analysis

UT	# of FITS (incl. g,r,i)	# of sources ($2\sigma_{\text{bkg}} \times 9\text{pix}$)	# of VI sources	# of LIF candidates
2024-01-03	660	1665	13 (0.78 %)	0
2024-01-04	990	2009	16 (0.80 %)	0

* the number where the detection of moving objects is excluded (4672 including moving object detection)

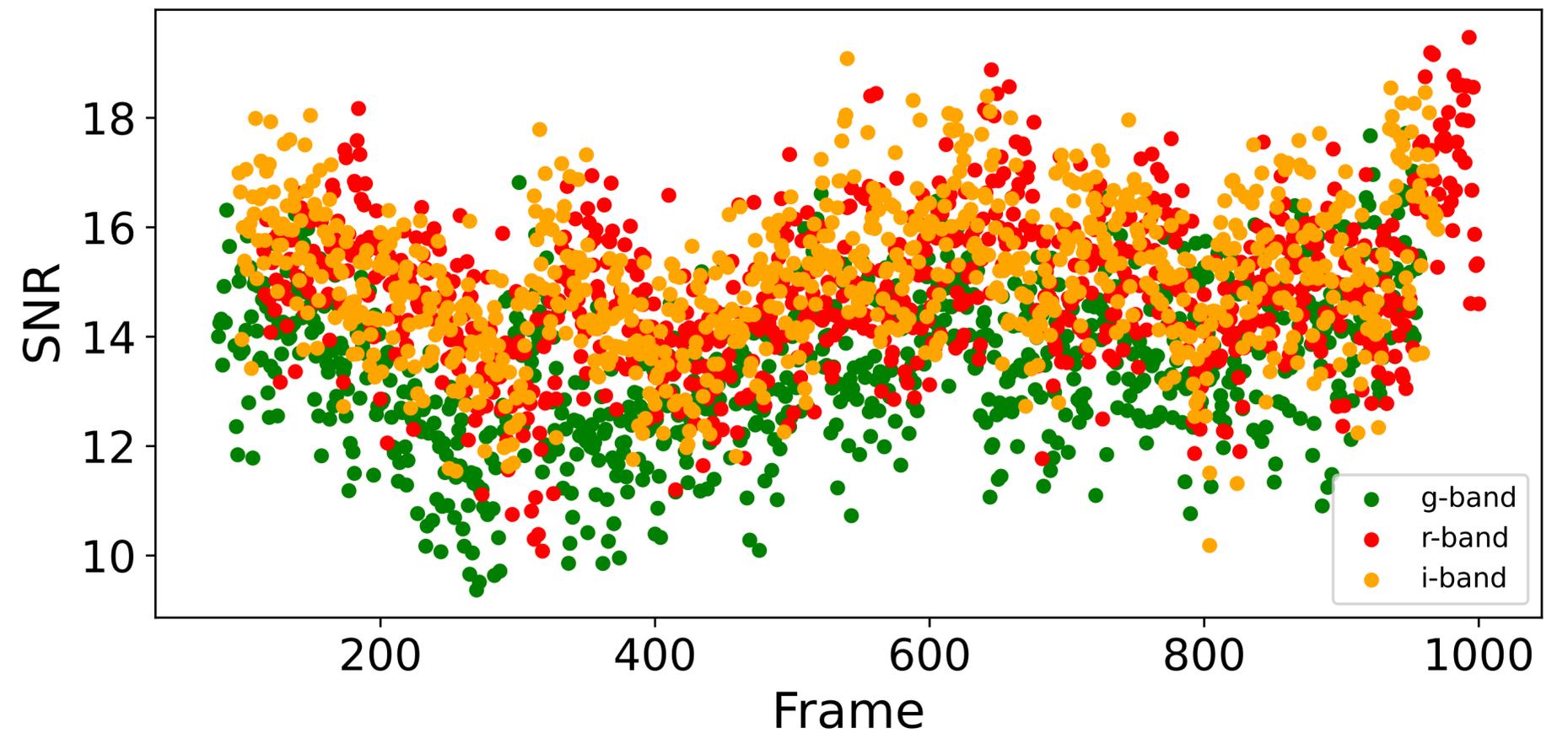
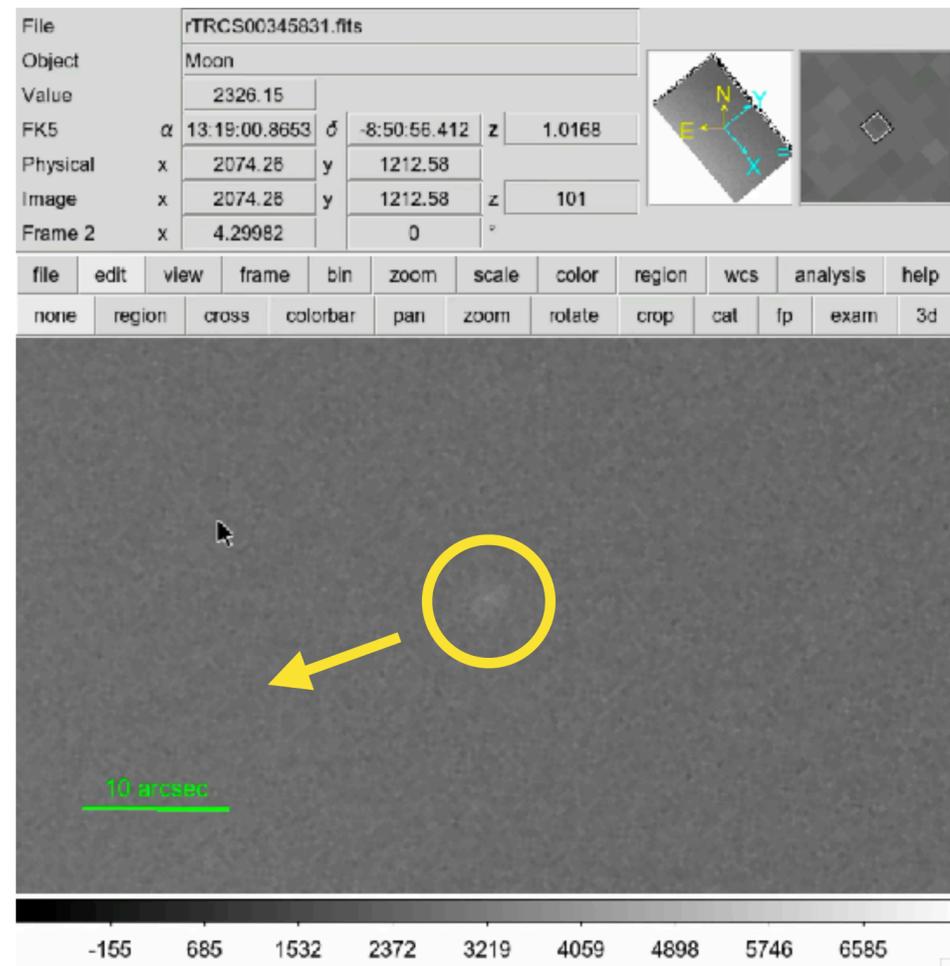


Examples of VI sources



移動天体の検出

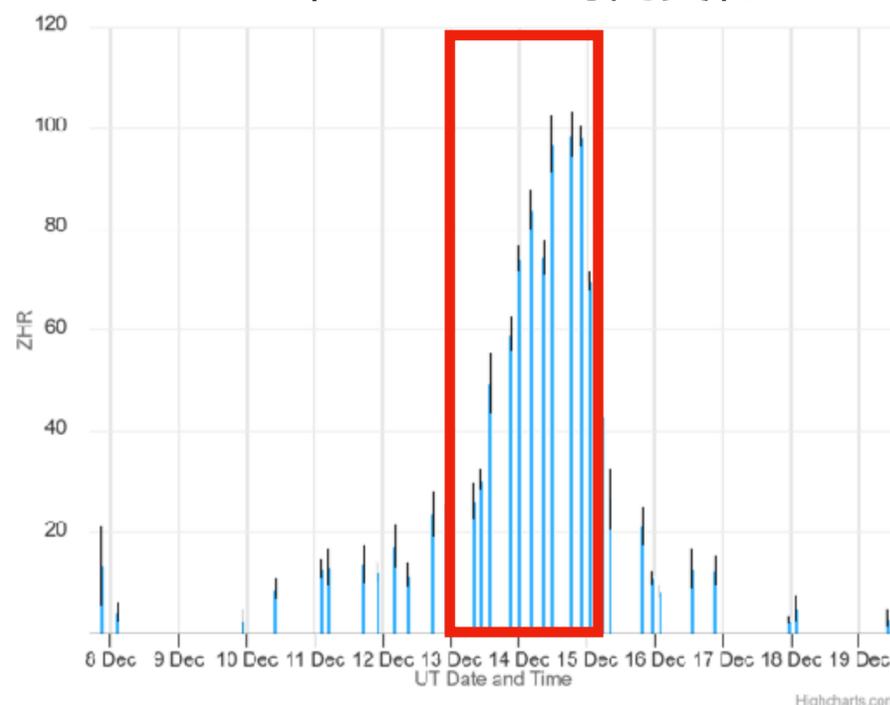
- ・ 月面の前を横切る移動天体 を3バンドで検出
 - ・ ~ 50 arcsec/sec で南東方向に移動 (右図)
 - ・ S/N = 10 ~ 18



反省点と今後の観測計画

- しぶんぎ座流星群の短い極大期を観測できなかった
 - ピークが鋭く、極大から前後6時間でZHRが半分以下になる
 - 我々の観測はピーク時刻から約13時間経過していた
 - 装置トラブルにすぐに対応できなかった (約2時間のロス)
 - CMOS制御GUIの問題でFITSが生成されなくなった
- 今後の観測計画 (2025年12月12日~15日)
 - ふたご座流星群 (ZHR ~ 100 at 12月14日前後)が観測好機

2023年のZHRの時間変化

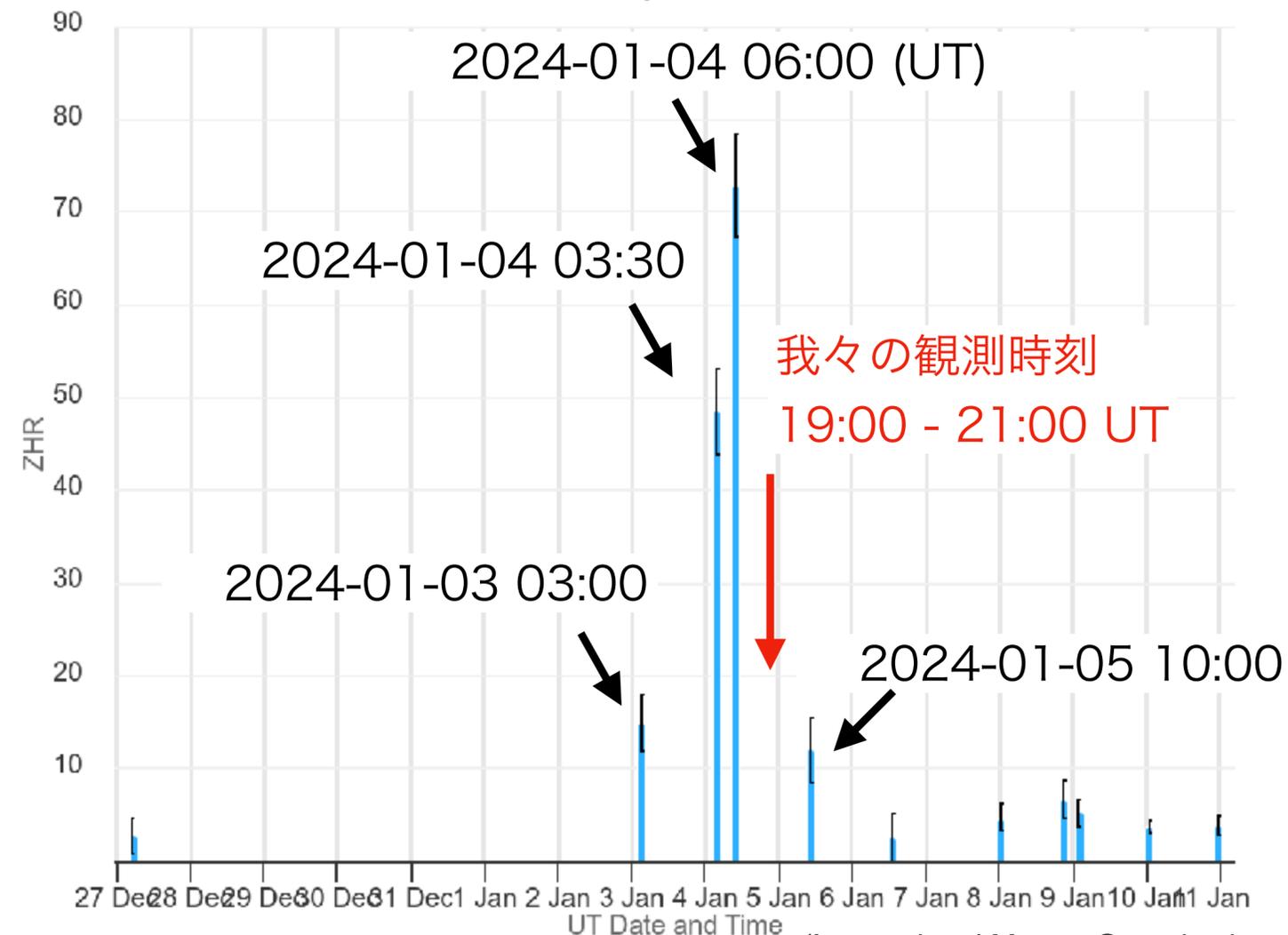


2025年12月

週	日	月	火	水	木	金	土	
第1週		1 月齢 10.8 (長潮)	2 月齢 11.8 (若潮)	3 月齢 12.8 (中潮)	4 月齢 13.8 (中潮)	5 満月 月齢 14.8 (大潮)	6 月齢 15.8 (大潮)	
	第2週	7 月齢 16.8 (大潮)	8 月齢 17.8 (大潮)	9 月齢 18.8 (中潮)	10 月齢 19.8 (中潮)	11 月齢 20.8 (中潮)	12 下弦 月齢 21.8 (中潮)	13 月齢 22.8 (小潮)
		第3週	14 月齢 23.8 (小潮)	15 月齢 24.8 (小潮)	16 月齢 25.8 (長潮)	17 月齢 26.8 (若潮)	18 月齢 27.8 (中潮)	19 月齢 28.8 (中潮)

Quadrantids 2024 ZHR Graph

Corrected hourly meteor rate



(International Meteor Organization, IMO)

まとめ

- しぶんぎ座流星群による月面衝突閃光 (LIF) を検出を目指し、せいめい/TriCCSを用いた最高速モード(98-fps)のg, r, i-band同時撮像観測を実施
 - TriCCS月面動画データからLIFを見つけるための動画解析コードを作成 (S/N ~ 10の移動天体を検出)
 - 観測で得られた約1.5時間の動画データからはLIF候補無し
 - しぶんぎ座流星群の非常に短時間の流星数のピークに合わせられなかった
- 今後の課題
 - せいめい/TriCCS観測で実際に何等のLIFまで検出できそうか? (限界等級の推定)
 - 人工的なPSFを埋め込んだ検出システムのcompleteness 評価 (月齢、太陽光照射境界からの距離の関数?)
- 次期計画
 - 2025年に月面観測の好機となる12月のふたご座流星群を狙った観測