

トモエ動画モニタサーベイの現状と 大規模な光度曲線データ



2年ぶりに現地参加できて、
とても嬉しいです！！



東北大学 理学研究科物理学専攻 素粒子宇宙理論研究室
(東京大学 ビッグバン宇宙国際研究センター 客員研究員)

直川史寛

逢澤 正嵩 (茨城大)、大澤 亮 (国立天文台)、田中雅臣 (東北大)
檜山 和己 (東北大)、敏蔭星治 (東北大)

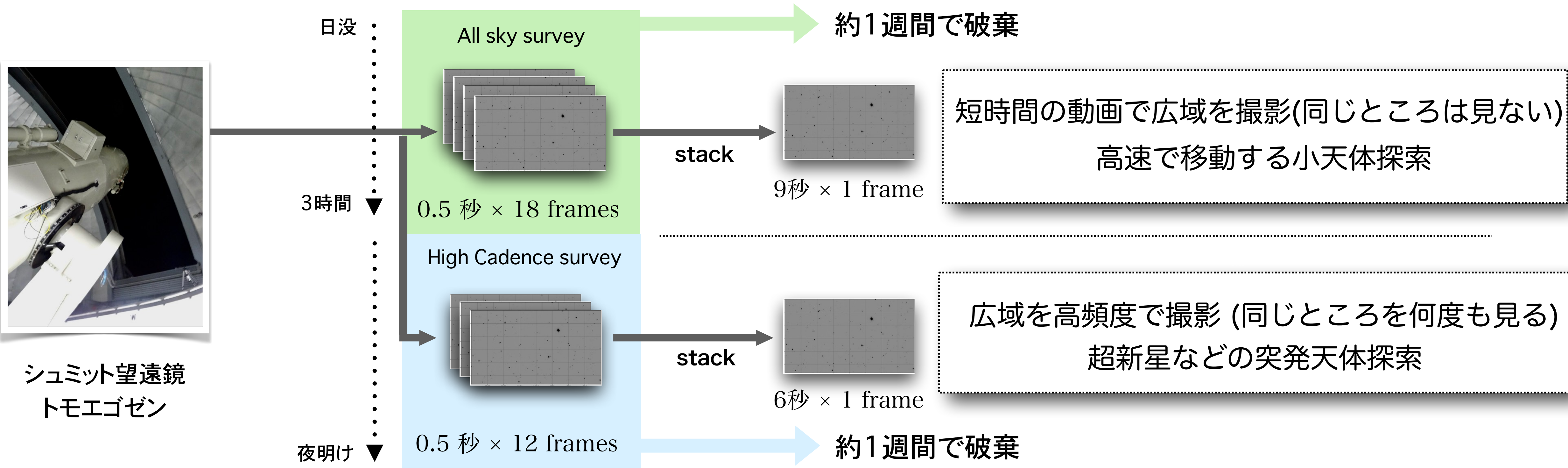
T O M O • E
G O Z E N



トモエゴゼンによるサーベイ観測

2019 : トモエゴゼン科学運用開始

2019~2024 : 主に 2 種類のサーベイが毎日行われてきた (+トワイライト)

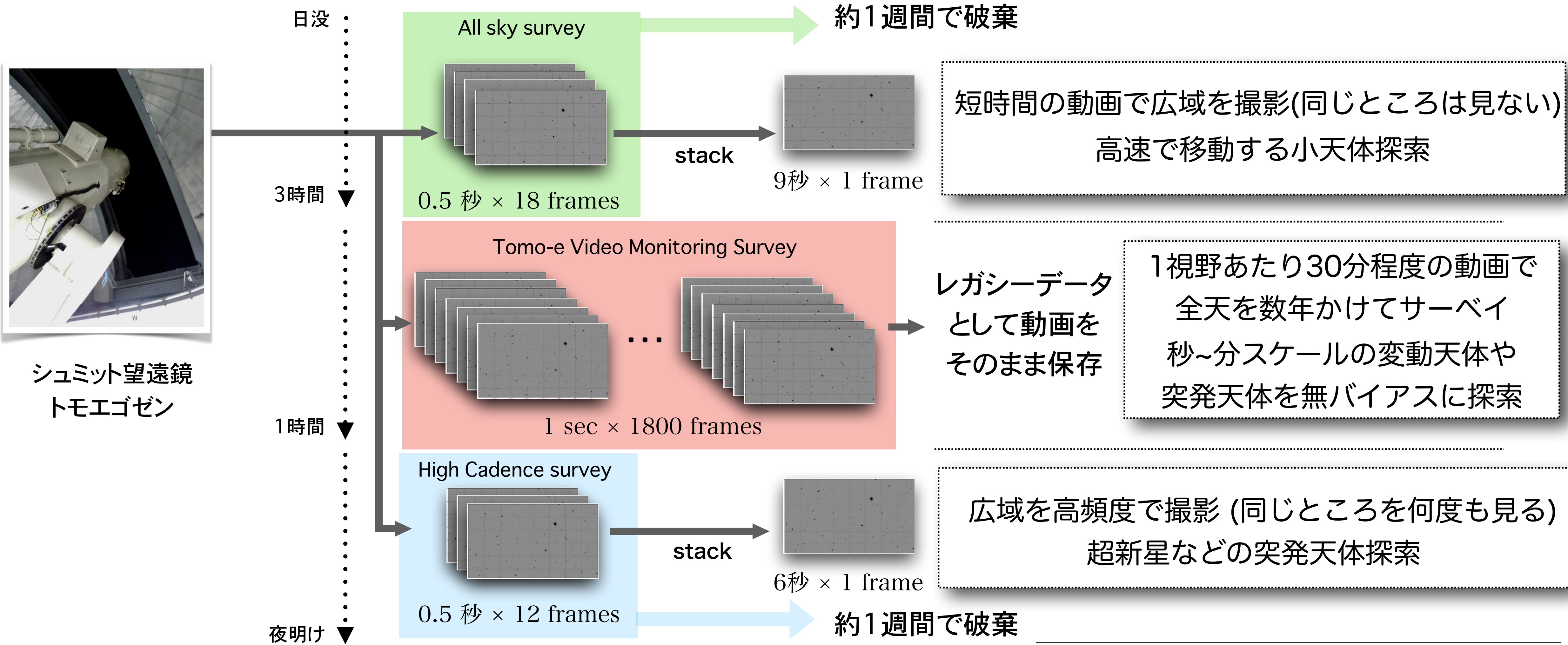


各視野短時間の動画 (<10秒)

動画データは原則1週間程度で破棄 (スタック画像のみをアーカイブ)

トモエゴゼンによるサーベイ観測

- 2019 : トモエゴゼン科学運用開始
- 2019~2024 : 主に 2 種類のサーベイが毎日行われてきた (+トワイライト)
- 2025~ : 同じ視野の長時間動画サーベイを追加



● 2025~ “Tomo-e Video Monitoring Survey” 「トモエ動画モニタサーベイ」 開始

数十分同じ視野の動画を取り、レガシーデータとして残す

2026年5月18日
20 deg², 1 fps, 1800 frames

2026年5月18日
20 deg², 1 fps, 1800 frames

2026年5月19日
20 deg², 1 fps, 1800 frames

2026年5月19日
20 deg², 1 fps, 1800 frames

➤ 毎晩 1 fps × 30 min × 2 pointings (全天サーベイモードの場合)

➤ 需要に合わせた多様なサーベイデザイン

全天モード: 録画する天域は毎晩変更 (一度見たところは見ない)

多波長モード: 他の天文台 (CHIME) との同時観測

地球影モード: 人工天体のノイズ軽減のため、地球影や月影を観測

広視野

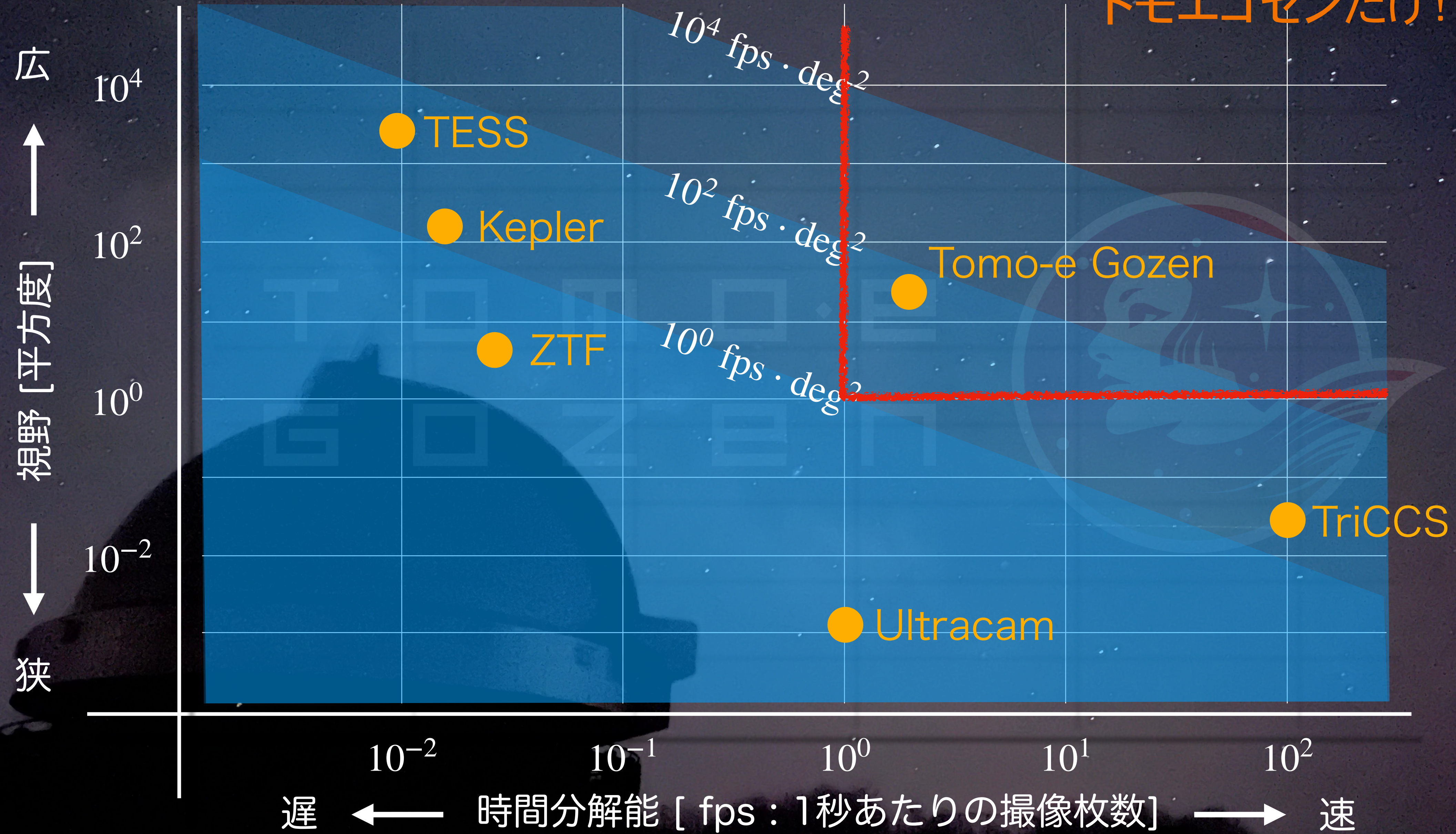
シュミット望遠鏡



動画観測

Tomo-e Gozen

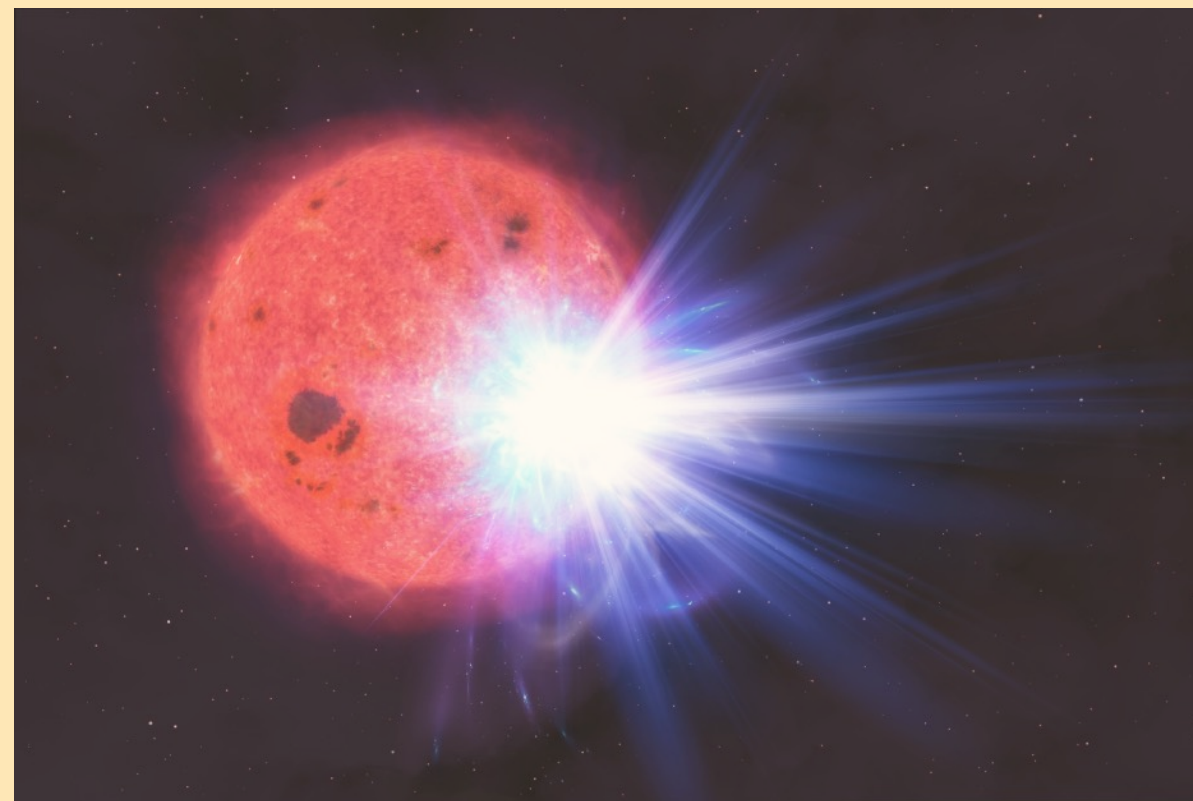
動画でサーベイできるのは
トモエゴゼンだけ!!!



トモエ動画モニタサーベイの科学目標

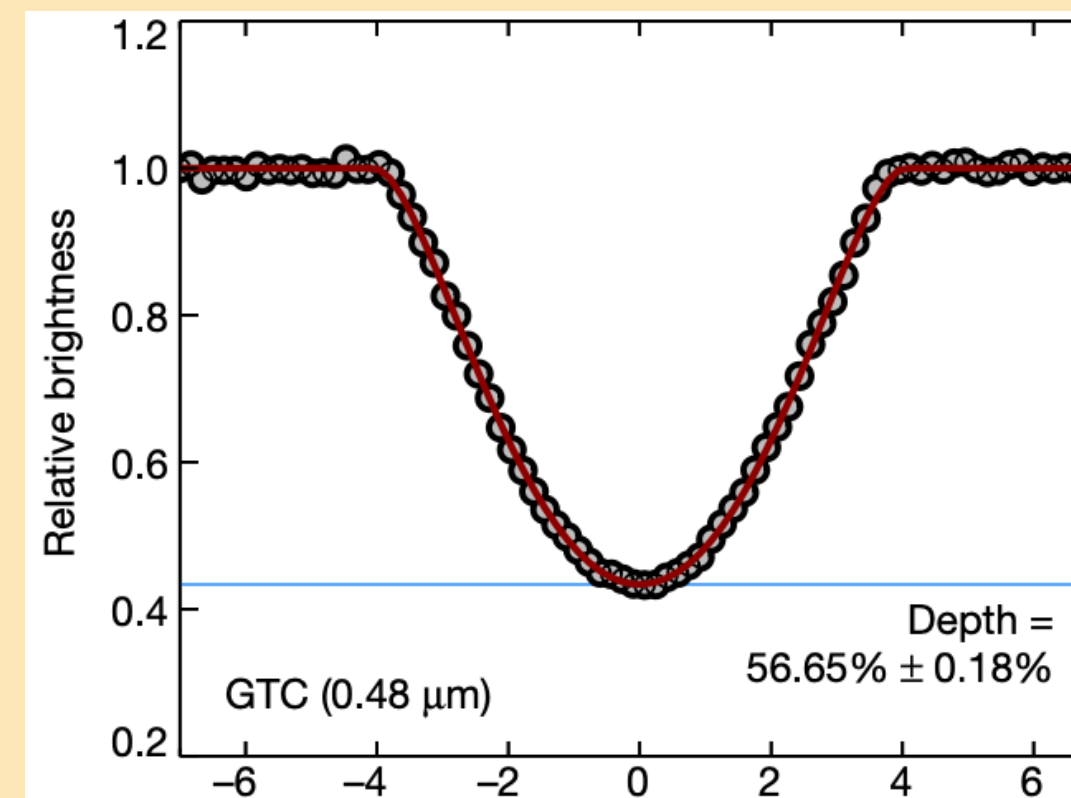
- 高速電波バースト対応天体探索 (新納さん et al.)
- 秒スケール突発現象探索 (有馬さん et al.)
- 秒スケール変動天体(特に恒星)探索 (逢澤, 檜山, 大澤, 直川 et al.)

高速 恒星 フレア ($10^1 - 10^2$ 秒)



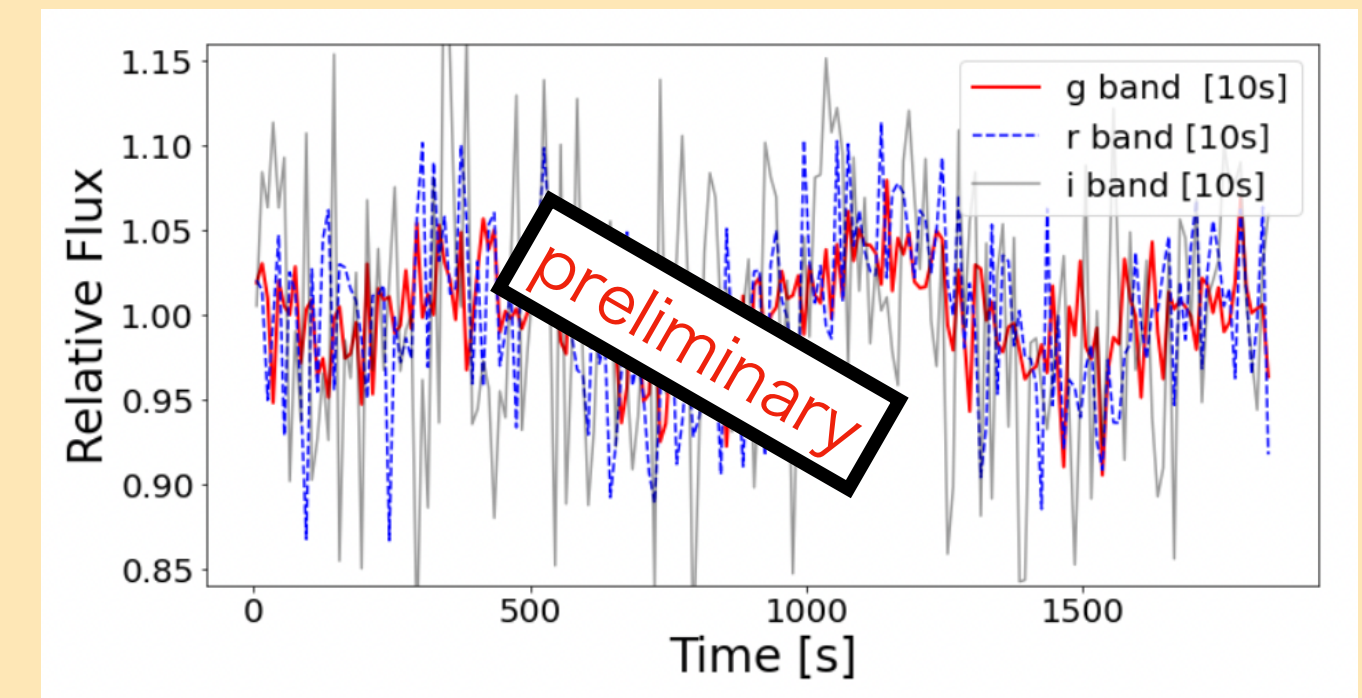
クレジット：東京大学木曾観測所

白色矮星トランジット (分)



Vanderburg et al., Nature, Vol585, 363, 2020

高速変動白色矮星



HeSO

HeSO (Hertz stellar object) サーベイ

2019-2020 年：約 40 時間分の 1 fps データを取得し、無バイアスサーベイ
M型星の高速フレアを 22 件検出 (Aizawa et al., PASJ, 74, 5, 1069-1094, (2022))

今回議論したいこと

- 毎晩溜まり続けている動画データ
将来的には、どのようにすべきか？
- 得られた科学的アウトプット（特に光度曲線）
将来的には、どのように公開すべきか？

これらの課題は木曾観測所だけでなく、
今後の光赤外コミュニティで共通の課題になる（と思う）。

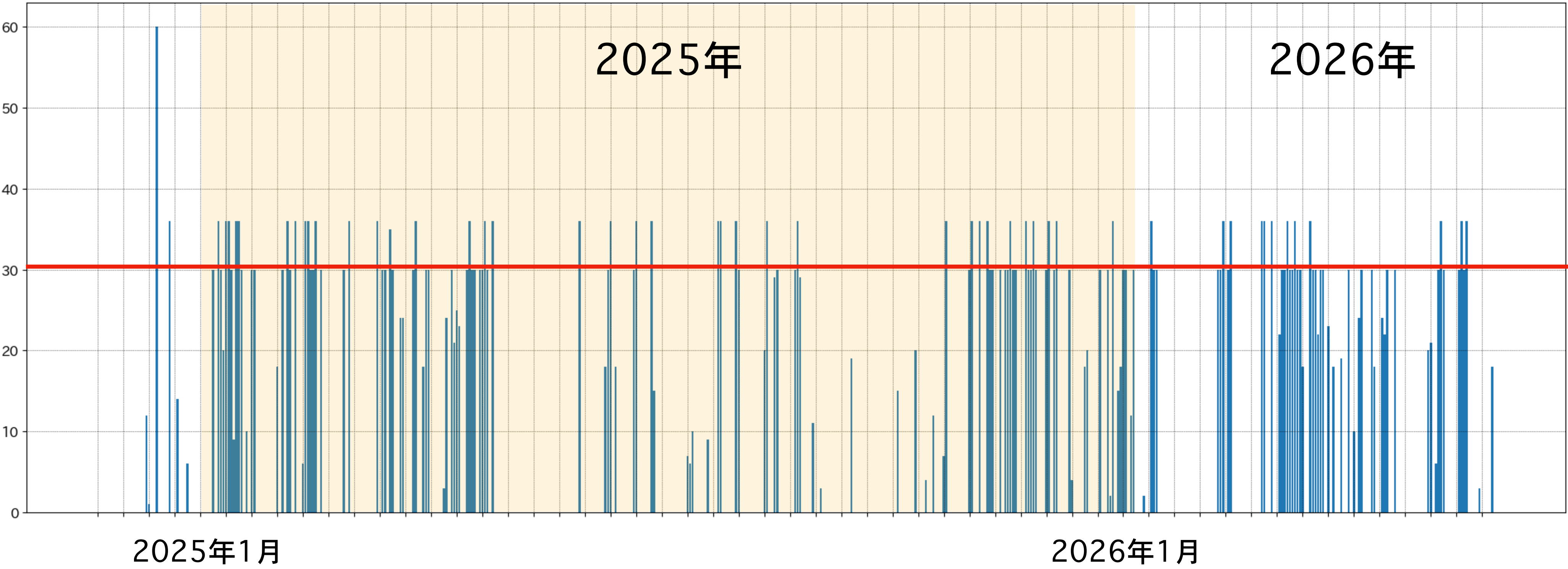
その前に、、

今はどんな感じなの？

トモ工動画モニタサーベイの現状

毎晩のトモ工動画モニタサーベイの露光数 (explD の数)

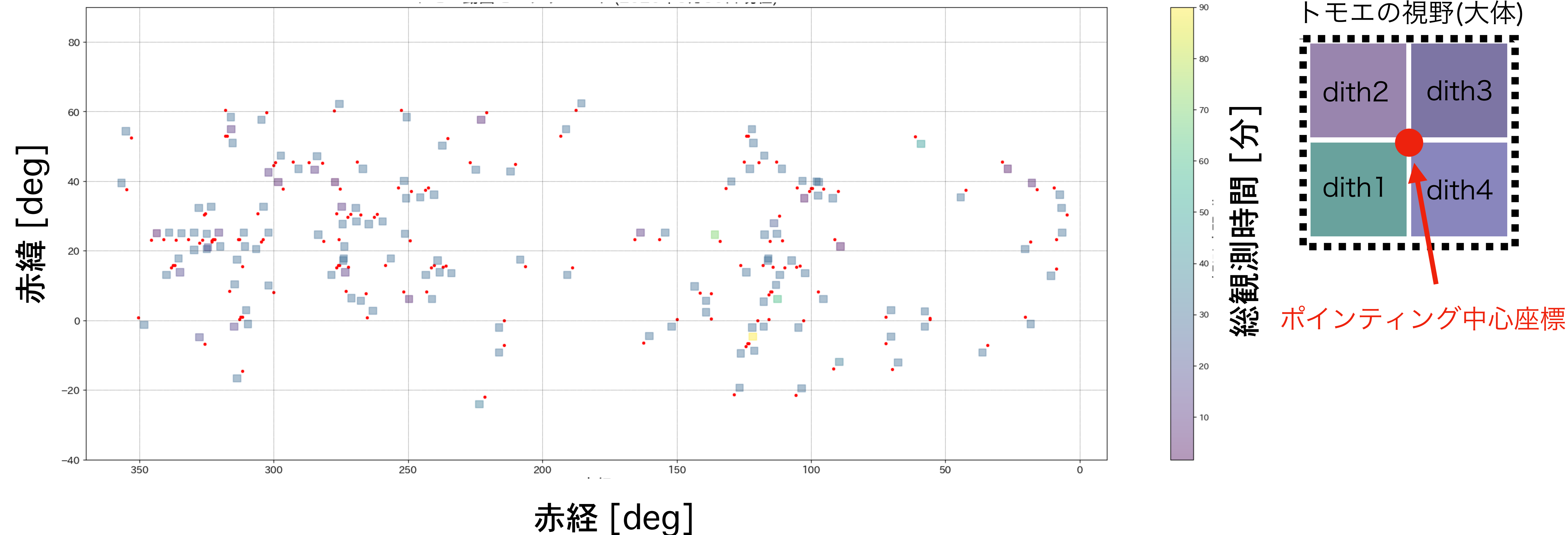
上手く行けば
一晩あたり
1秒*120 frames
を 30 露光行う
(全天モード)



- 2024年12月20日 試験運用開始 2025年1月 本格運用開始
- ⇒ これまでに 182 晩で 観測が行われた (大体 2~3 日に1回)
 - ⇒ 総露光時間 約151時間 (全天モード 66 時間, 多波長モード 62 時間, 地球影モード 23 時間)

トモエ動画モニタサーベイの現状

トモエ動画モニタサーベイ (全天モード) の掃天率 (5月末現在)



- ⇒ 現状の枠組み内では順調に観測が進行しているように見える
- ⇒ ただし、このペースでは全北天を埋めるには 何十年もかかる 🤔

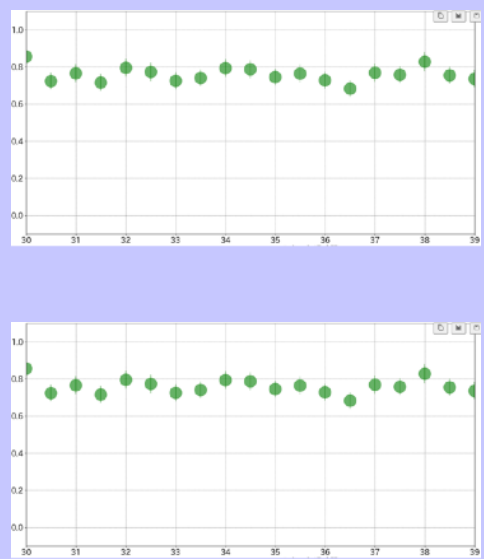
トモエ動画モニタサーベイの現状

独自の計算機環境



独自のパイプライン

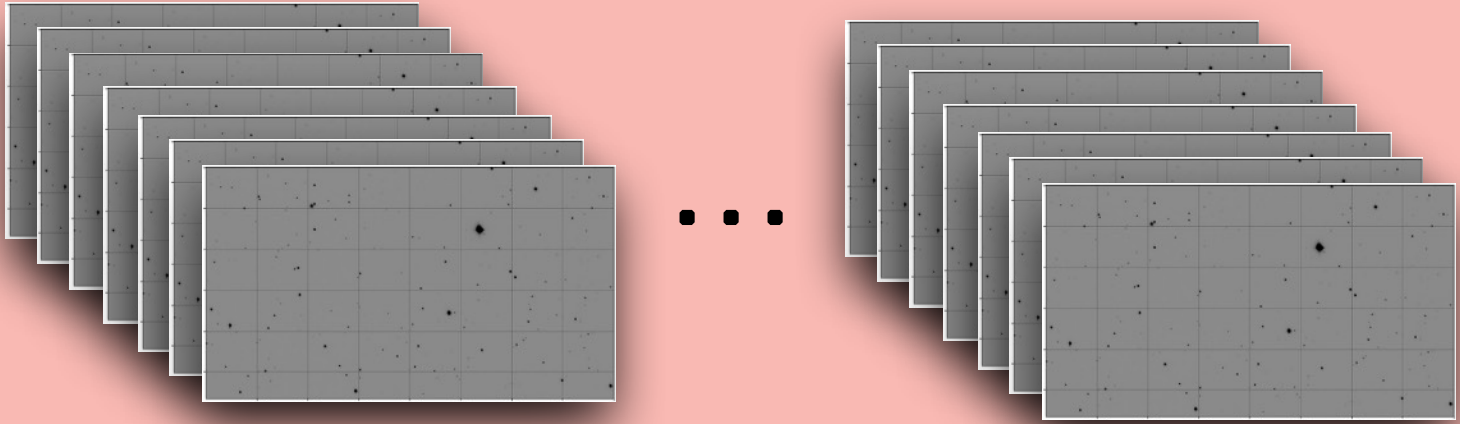
白色矮星や
赤色矮星を
測光、光度曲線作成



利用者(例:直川)

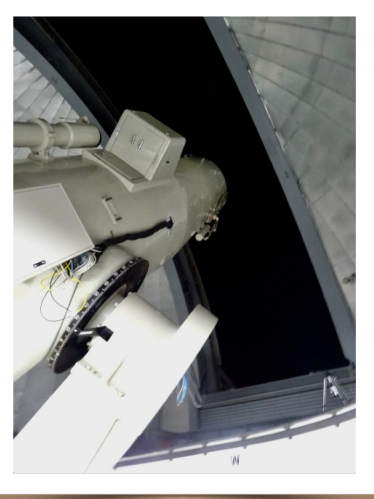


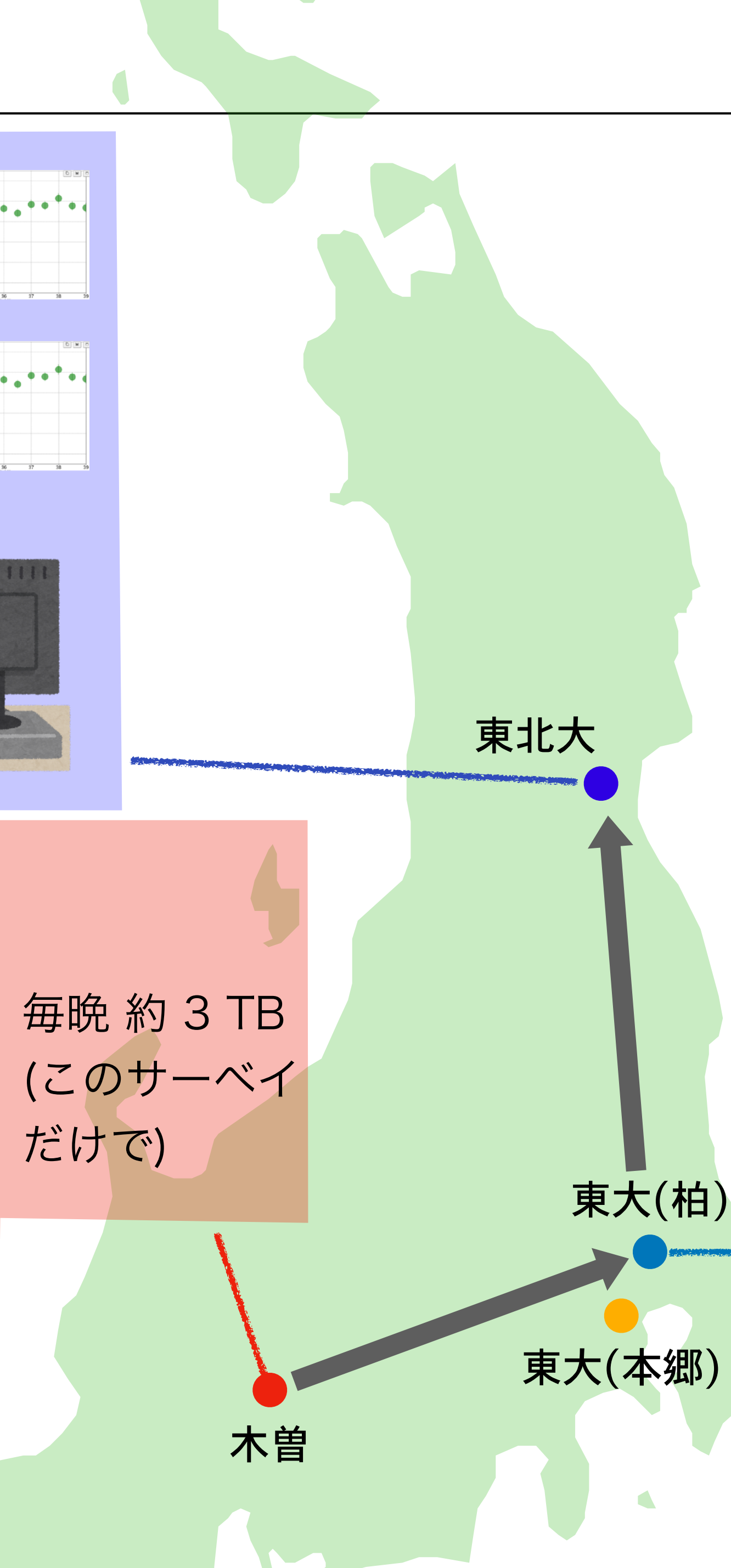
トモエ動画モニタサーベイ



1 sec × 1800 frames

毎晩 約 3 TB
(このサーベイ
だけで)





科学計算専用
の大規模クラウド



ストレージ



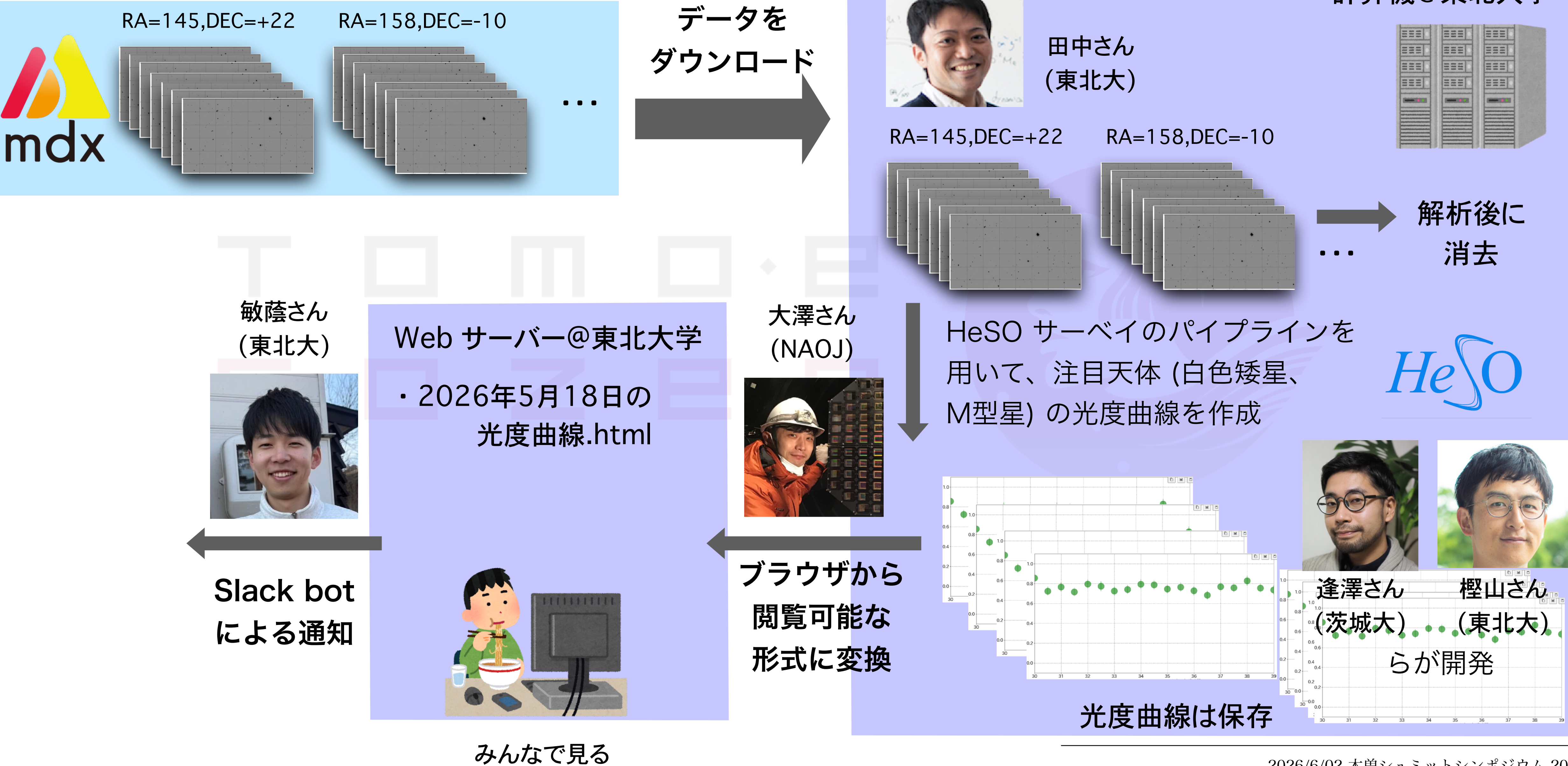
RA=132,DEC=+25

RA=140,DEC=+13

RA=81,DEC=+41

全北天に対する
約30分の動画
レガシーデータ
が蓄積されてく

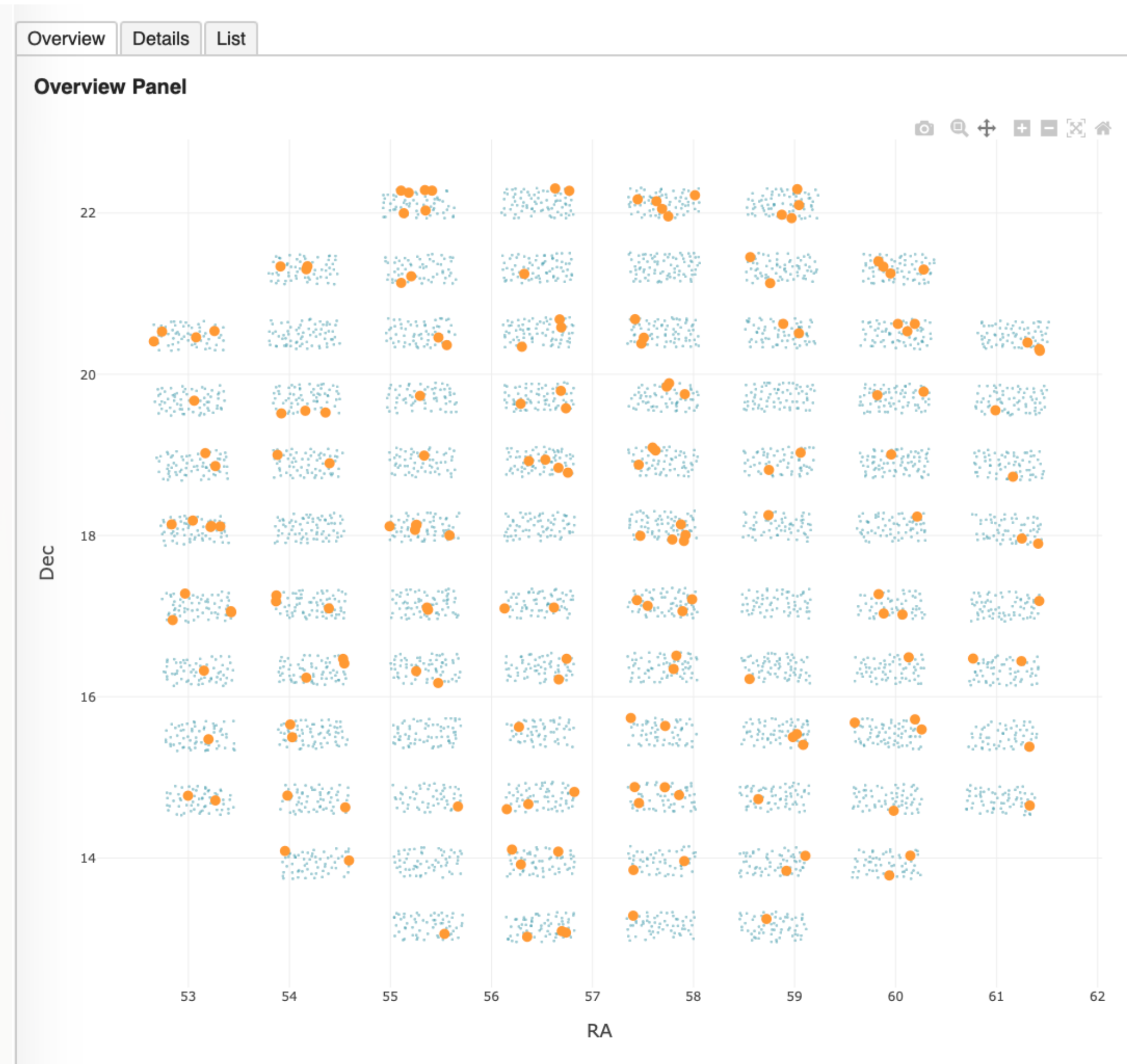
トモエ動画モニタサーベイの現状



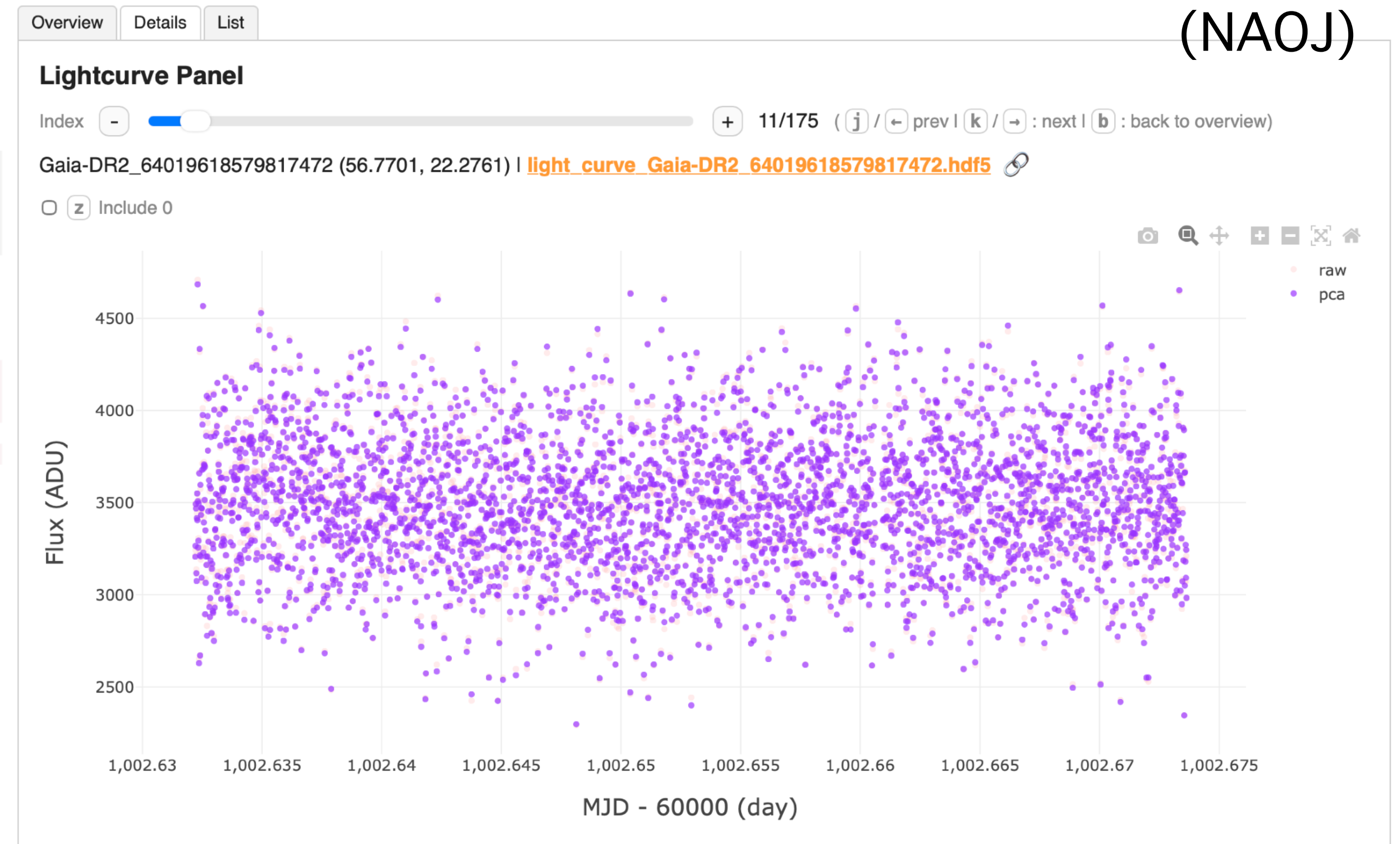
計算された光度曲線は逐一ブラウザから閲覧可能



大澤さん
(NAOJ)



天体の位置



光度曲線

今回議論したいこと

- 毎晩溜まり続けている動画データ
- 将来的には、どのような解析体制が良いか？
- 得られた科学的アウトプット（特に光度曲線）
- 将来的には、どのように公開すべきか？

これらの課題は木曾観測所だけではなく、今後の光赤外コミュニティで共通の課題になる（と思う）。

将来的には、どのような解析体制が良いか？

➤ 白色矮星と赤色矮星だけなら、現状 (16コア) でもギリギリ回るが…

- ・ 生データのダウンロード (約 30 時間) + 光度曲線の計算 (半日くらい)
 - ⇒ 2~3 日かけて 1 日分のデータを捌く
 - ⇒ 観測の成功割合 (2~3日に1回) を考慮すると、ギリギリ追いつく

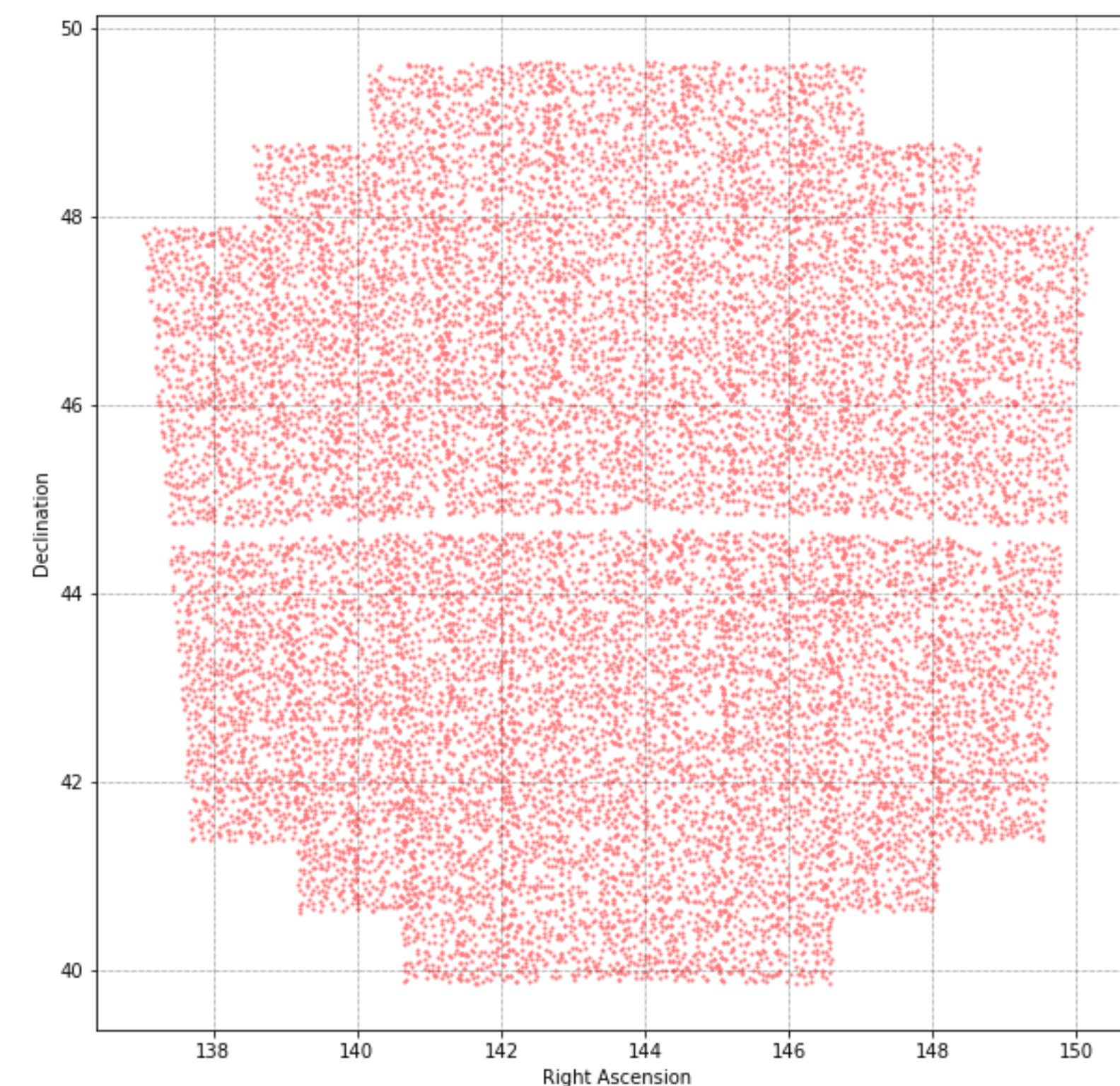
➤ 個人研究なら、それでも良いが…。レガシー創出のために

- ・ 観測所のサーベイとして、それで良いのか？
- ・ より無バイアスな光度曲線作成で、活用の幅は広がるはず

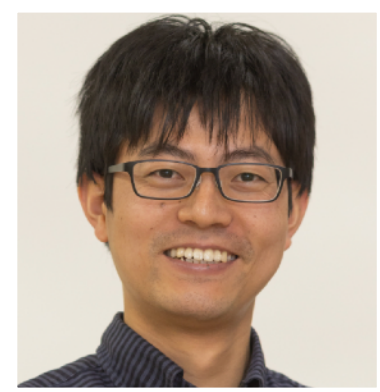
計算機



田中さん
(東北大)



木村さん
(東北大)



秒スケールで、コレコレの天体の変動を調べれば
孤立ブラックホールを探索できる！ (需要の例)

- ・ そもそも mdx から大規模なデータをダウンロードは少しアホらしい

mdx の
偉い人



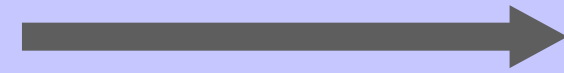
ストレージだけでなく、スパコンの部分も
ぜひ活用してください。

トモエ動画モニタサーベイの現状

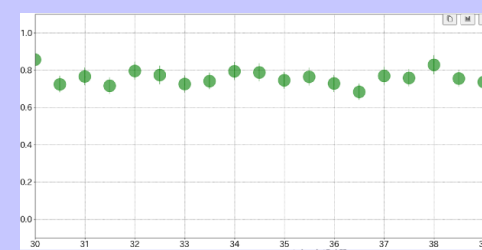
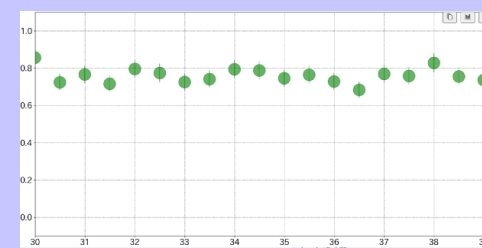
独自の計算機環境



独自のパイプライン



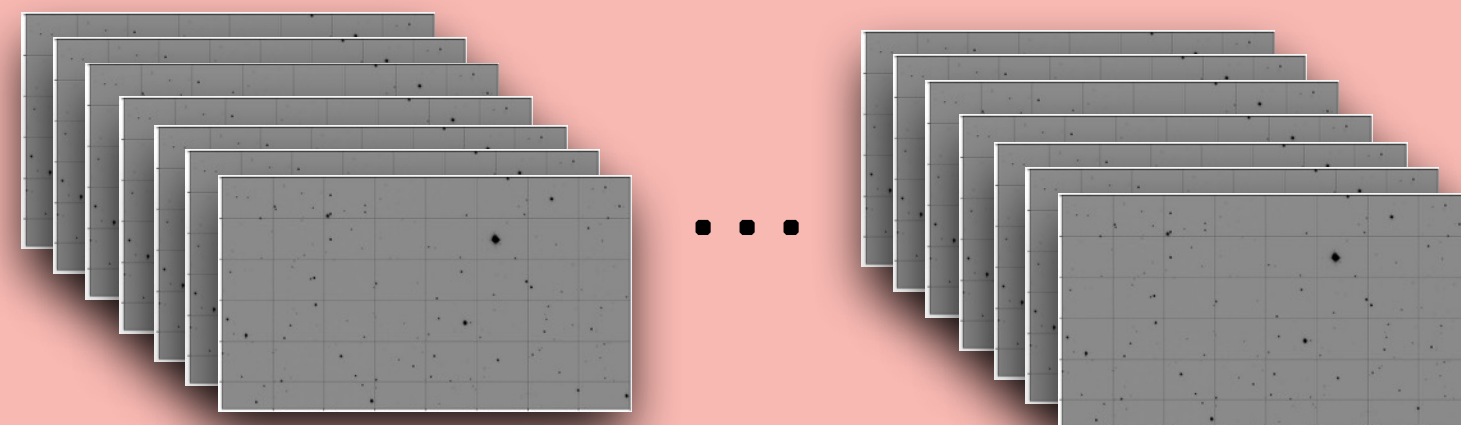
白色矮星や
赤色矮星を
測光、光度曲線作成



利用者(例:直川)

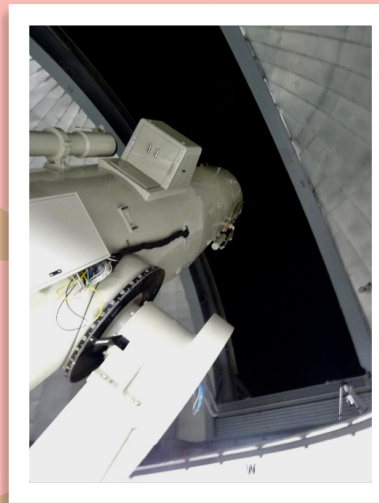
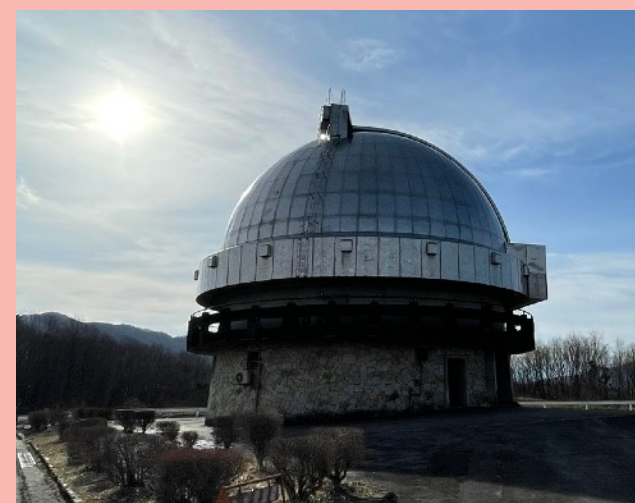


トモエ動画モニタサーベイ



1 sec × 1800 frames

毎晩 約 3 TB
(このサーベイ
だけで)



東北大

東大(柏)

東大(本郷)

木曽

色々な面で
メリットが
大きいはず

スパコン



科学計算専用
の大規模クラウド

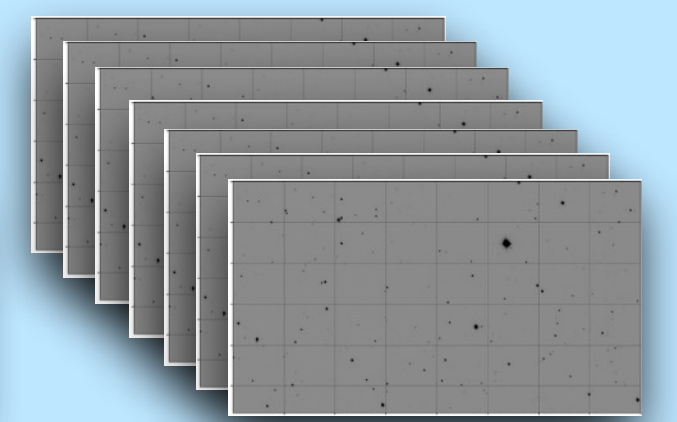
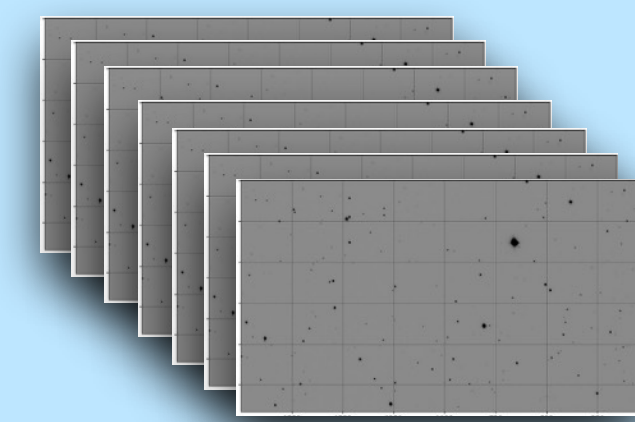


ストレージ

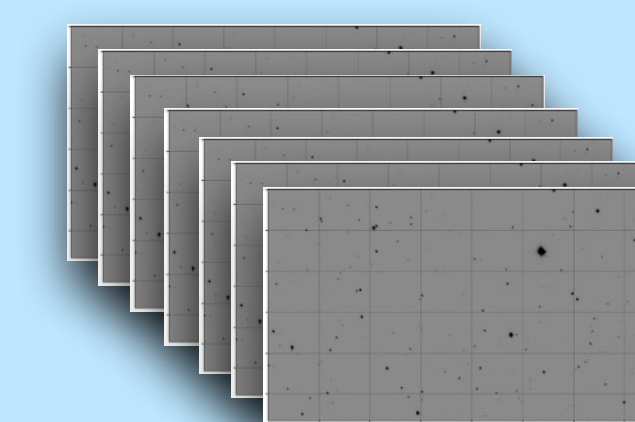


RA=132,DEC=+25

RA=140,DEC=+13



RA=81,DEC=+41

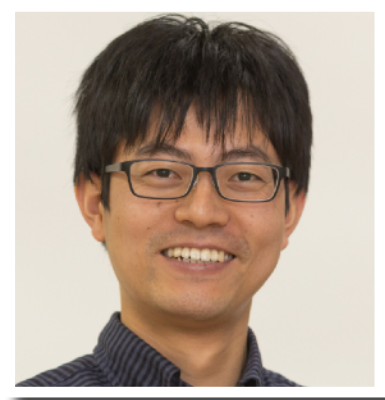


全北天に対する
約30分の動画
レガシーデータ
が蓄積されてく

将来的には、どのような解析体制が良いか？

➤ 個人研究なら、ローカルでも良いが…。これはレガシーサーベイ

木村さん
(東北大)



秒スケールで、コレコレの天体の変動を調べれば
孤立ブラックホールを探索できる！（需要の例）

mdx の
偉い人



ストレージだけでなく、スパコンの部分も
ぜひ活用してください。

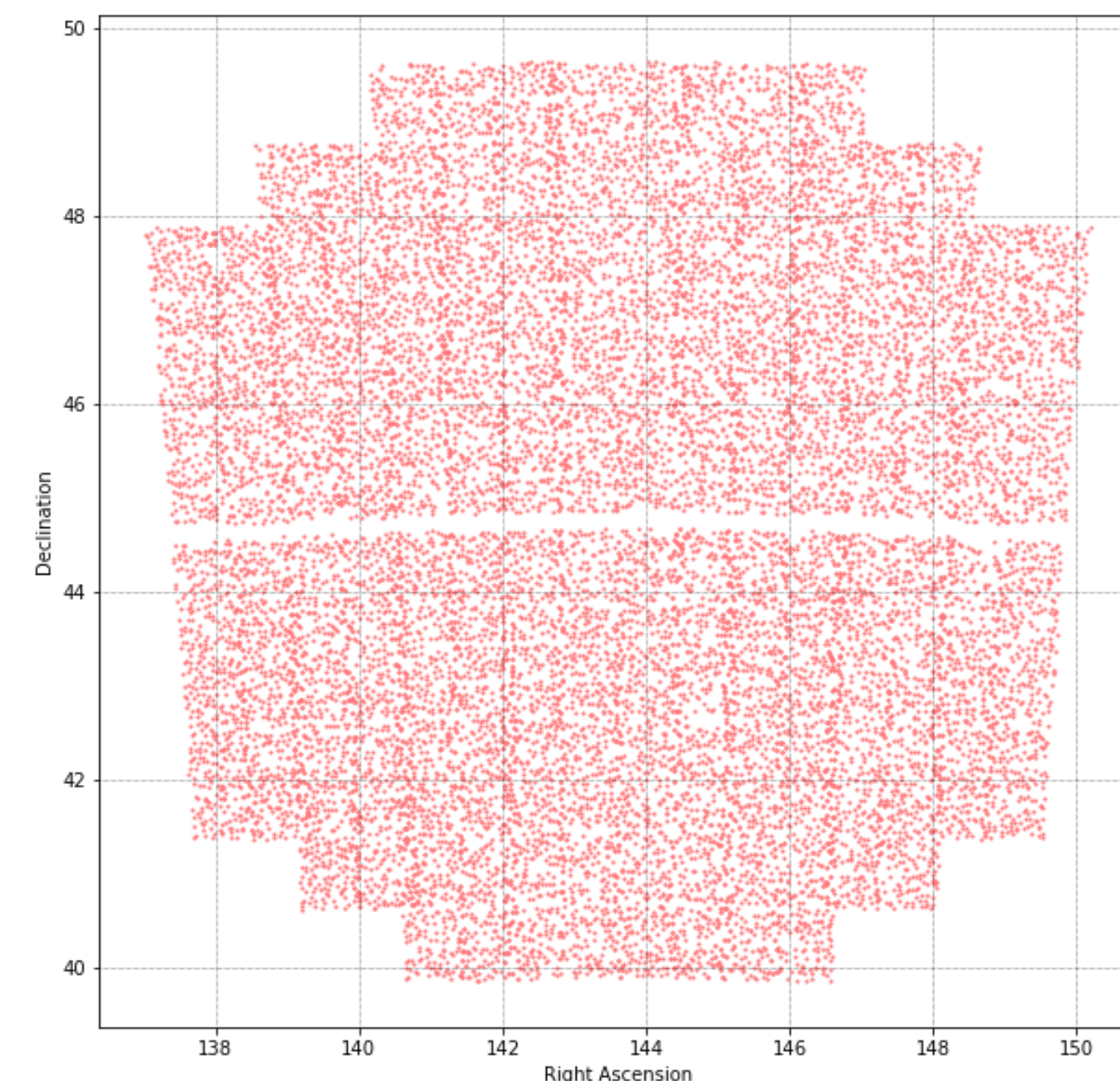
現状
16コア



➤ mdx なら、どの程度のことができるか？

- ・ 生データのダウンロードは必要ない
⇒ 光度曲線の計算時間がほぼ全て
- ・ 現在 (16コア) 計算しているのは、1 万個 程度 (< 16等全て)
- ・ 数百コア程度あれば、10 万個 程度 (< 18等全て)

十分 リアルタイムで解析可能



解析体制の善し悪し

	メリット	デメリット
研究者or研究チーム 単位で行う 	・ 既に計算資源があればコストは小。 ・ チーム内での融通は効きやすい。	・ 計算機がない場合は初期費用が大きい。 ・ 新規参入の障壁が大きい。 ・ データダウンロードが大変。 ・ 全ての研究者が SINET に繋がっているわけではない。
mdx で行う 	・ 大規模な計算機が使える。 ・ データダウンロードの必要がない。 ・ レガシーデータの創出。 ・ 新規参入の障壁が小さい。 ・ 計算機自体の保守運用コスト無。	・ お金がかかる (ポイント使用料) ・ 運用の制御権が我々にない。 (例) 運用終了 ストレージを依存している時点で 同じ宿命ではある

今回議論したいこと

- 毎晩溜まり続けている動画データ
将来的には、どのような解析体制が良いか？
- 得られた科学的アウトプット (特に光度曲線)
将来的には、どのように公開すべきか？

これらの課題は木曾観測所だけではなく、今後の光赤外コミュニティで共通の課題になる (と思う)。

トモエゴゼンのアーカイブデータ

TOMO E GOZEN

Tomo-e Gozen Archive / list / 2025-11-20 / 1491160

Obstime (UTC) ◆ Exp ID ◆ nFits ◆ Object ◆ Observer ◆ Project

2025-11-20 15:46 1491160 84 earthshadow_J0335+1652 Kiso Observatory Tomo-e Video I

Stacked Image

select/unselect all

download selected filelist

det226 det216 det116 det126

det235 det225 det215 det115 det125 det135

det244 det234 det224 det214 det114 det124 det134 det144

det243 det233 det223 det213 det113 det123 det133 det143

det242 det232 det222 det212 det112 det122 det132 det142

det241 det231 det221 det211 det111 det121 det131 det141

det341 det331 det321 det311 det411 det421 det431 det441

det342 det332 det322 det312 det412 det422 det432 det442

det343 det333 det323 det313 det413 det423 det433 det443

det344 det334 det324 det314 det414 det424 det434 det444

det335 det325 det315 det415 det425 det435

det326 det316 det416 det426

観測から180日経過後 スタック画像を公開

- Twilight survey
- All sky survey
- High-cadence survey
- Tomo-e Video Monitoring survey

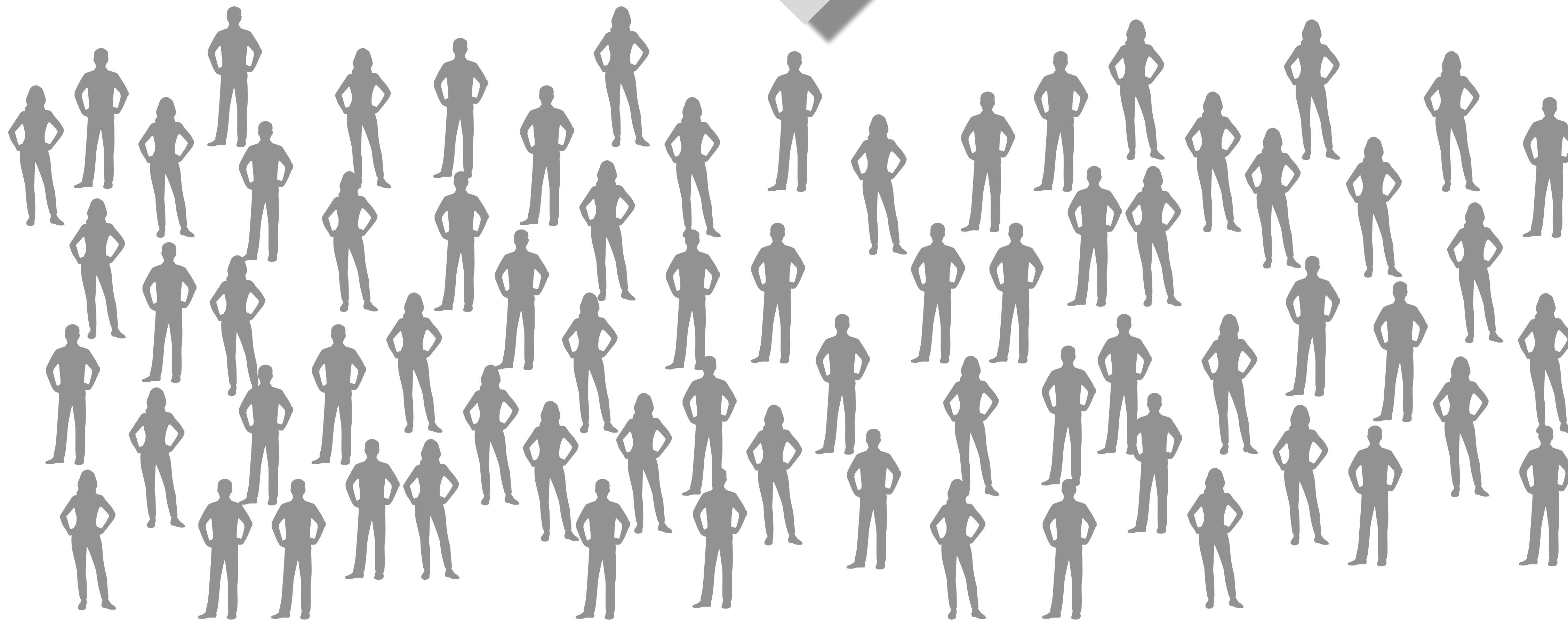
今後は、キューブデータも公開？
特に動画モニタサーベイは、
キューブを活用してこそ、なんぼのもの

しかし…

ここから生データを落として、実際に動画解析を行える人はどの程度いるのだろうか？？

2026/6/02 木曾シュミットシンポジウム 2026

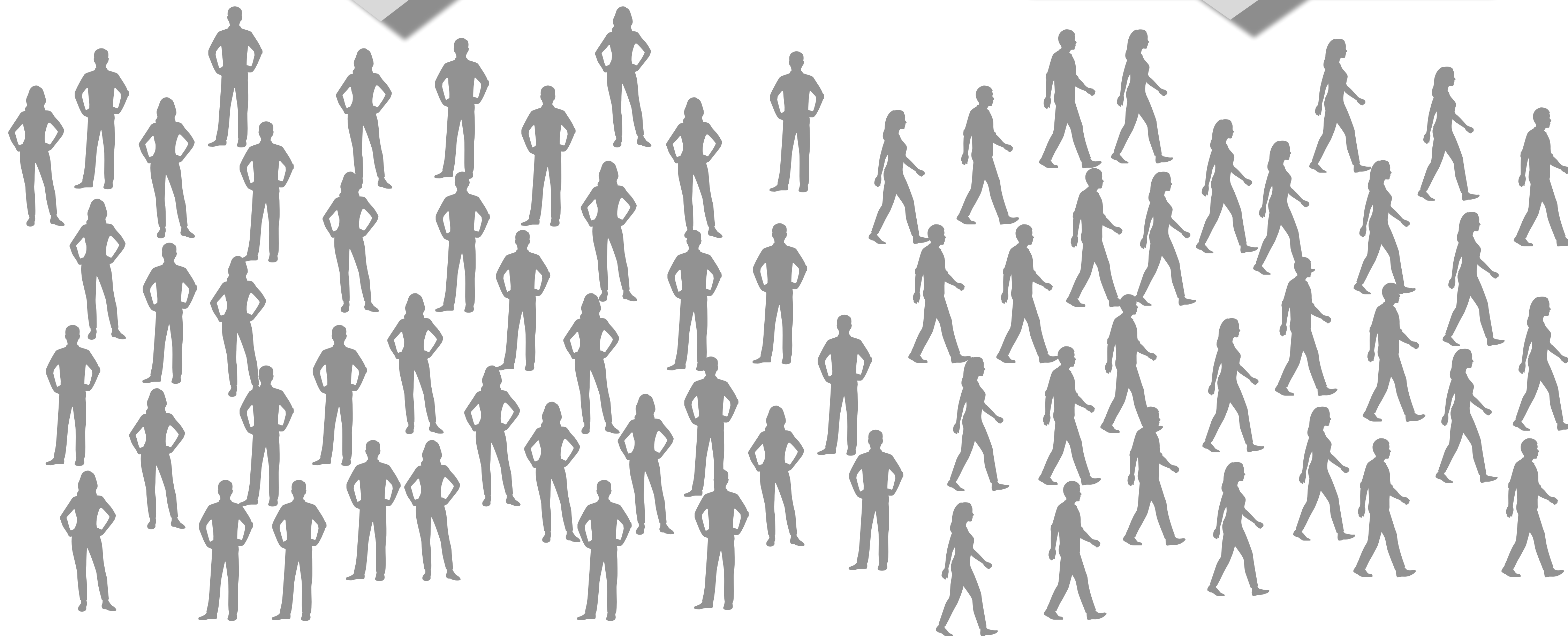
宇宙の研究をしています (時間変動する夜空に興味があります)



生データを活用できる人は、ごく一握り

光度曲線のデータ解析もします

データ解析はしません



生データを活用できる人は、ごく一握り

生画像からでも解析をします

生画像データの解析まではしません



生データを活用できる人は、ごく一握り

生画像からでも解析をします

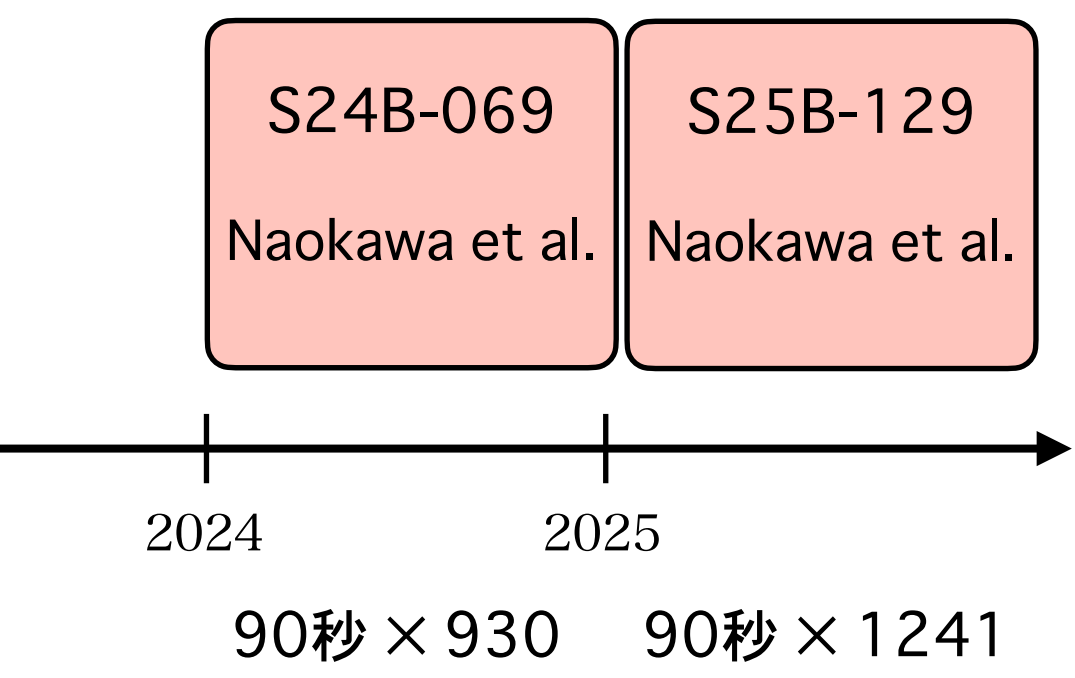
アーカイブに動画データが落ちていても、
それを拾って活用できる人は、ごく一握りなはず

- おそらく、その多くは元から関係者
- 解析技術、ストレージ、計算資源、ネットワーク回線 などが障壁となる

- 動画データだけでなく、光度曲線自体をアーカイブできれば、活用の幅が大きく広がるはず。
- そもそも、既に計算された光度曲線を誰かがやり直すのは資源の無駄。。。。
- 生データ解析のきっかけにもなる

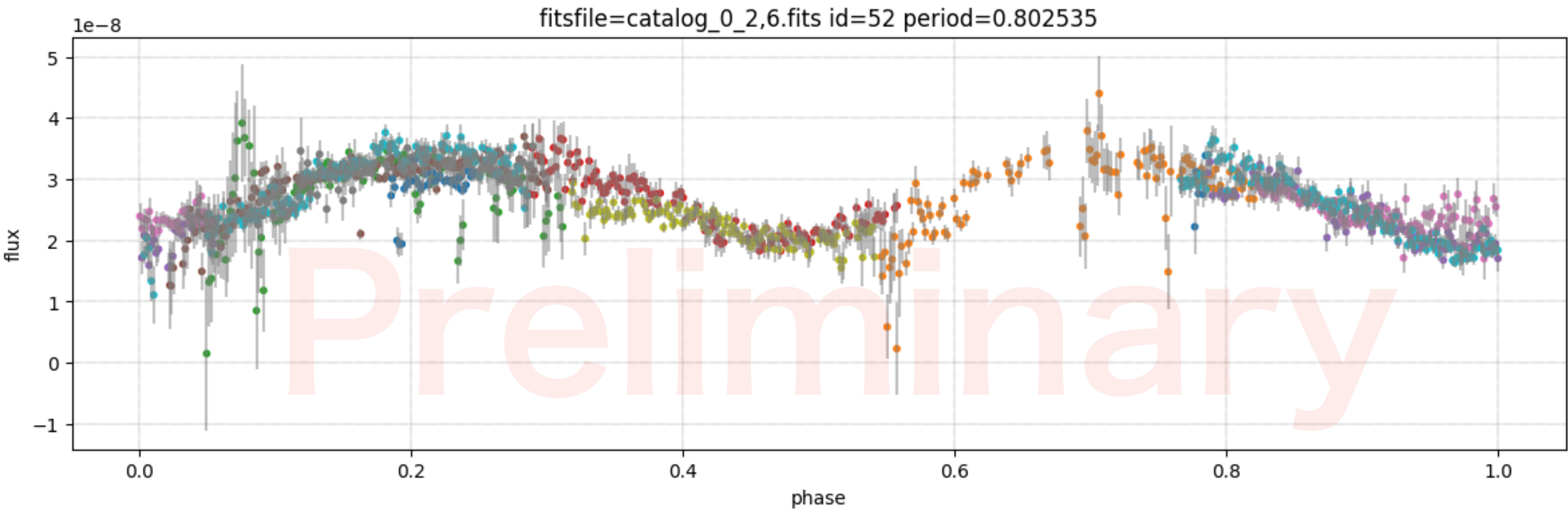
光度曲線があれば

同様の事例：すばる HSC による アンドロメダ銀河 時間軸サーベイ



- ・ 変光星 (食連星) 探索を目的に 2024, 2025 年で 17 半夜割当
- ・ 90秒積分 × 約2,200 フレーム 取得

with 仏坂 (東大), 増田 (阪大), 杉山, 高田, 安田 (IPMU), K.Wong (東大), R. Lupton (プリンストン)
白石 (西はりま), J. Soetkin (東大), 檜山 (東北大)



RaDec from Vilardell et al. (2010)



天文月報 119, 6, 365 (2026, 日本天文学会)

すばる望遠鏡 学生PI現地観測プログラム特集(2)

S24B-069
Naokawa et al.

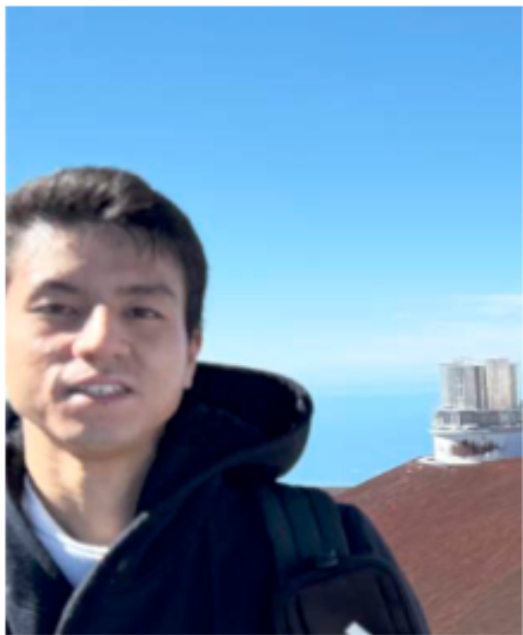
アンドロメダの距離を測る

直 川 史 寛

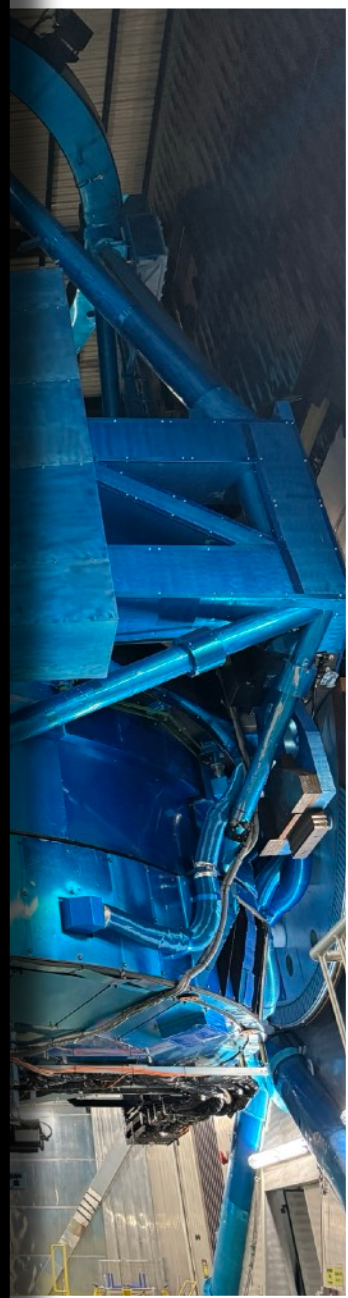
〈東京大学理学系研究科物理学専攻, 東京大学理学系研究科附属ビッグバン宇宙国際研究センター
〒113-0033 東京都文京区本郷 7-3-1〉

〈東北大学理学研究科物理学専攻 素粒子・宇宙理論グループ 〒980-8578 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-3〉

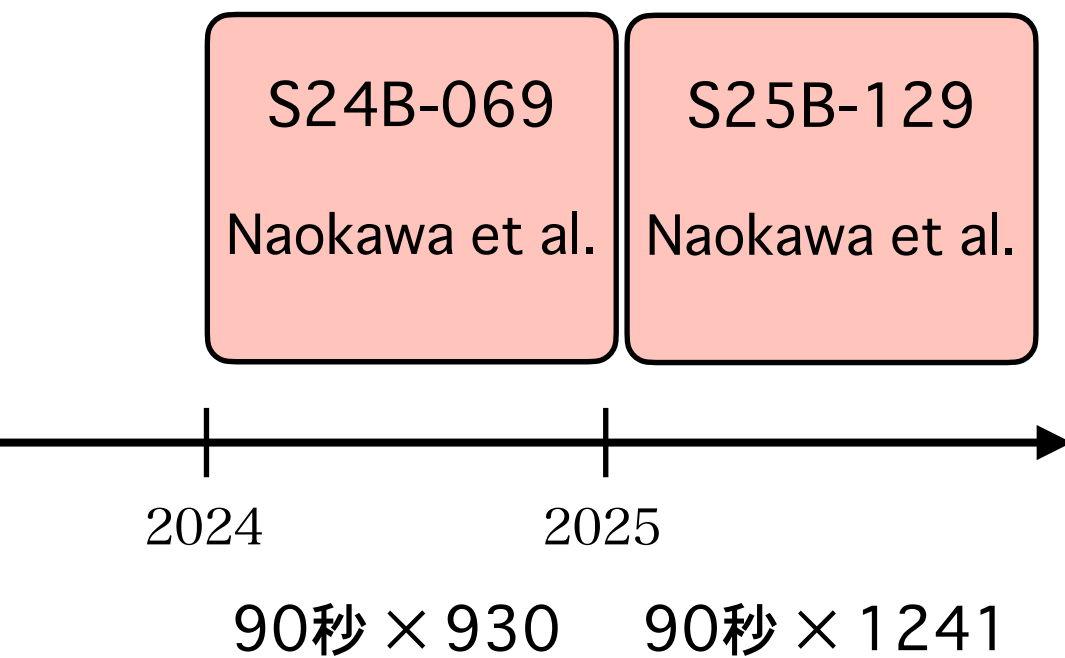
e-mail: fumihiko.naokawa.e7@tohoku.ac.jp



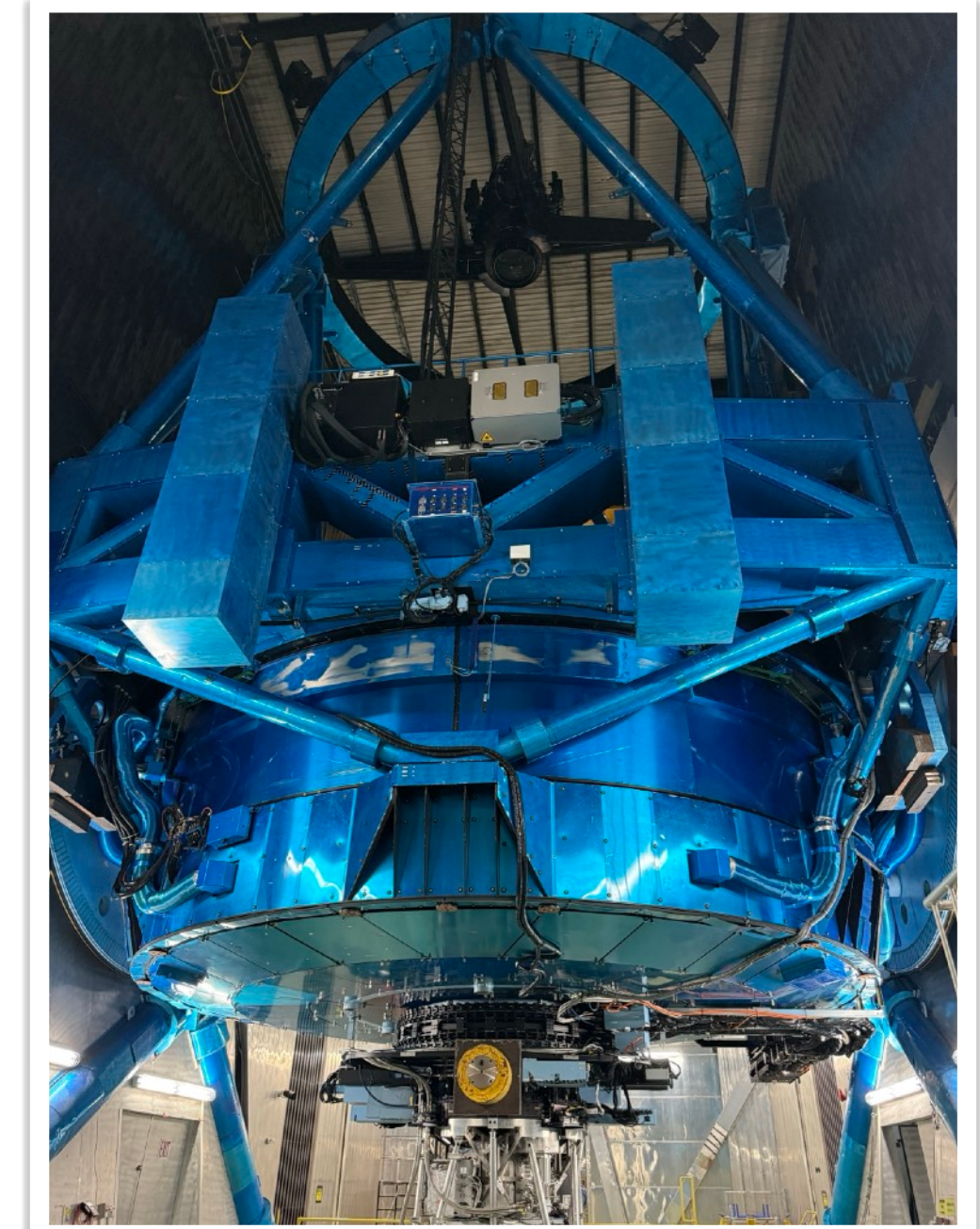
2024, 25年の2期にわたる計30日間, 学生PI渡航制度にご支援いただき, ハワイ島にてすばる望遠鏡を用いた観測を行いました. 主焦点に構えるHyper Suprime-Cam (HSC) でアンドロメダ銀河の長期モニタリング観測を行い, 史上最高精度での絶対距離測定を目指すものです. HSCは現在, 麓のヒロオフィスからのリモート運用を行っており, 私マウナケアには登らずリモート観測を行いました. それでは, わざわざ現地に赴く意味はあるのでしょうか? 私の回答としては「大いにあり」です. 以下では, その理由をお話します.



同様の事例：すばる HSC による アンドロメダ銀河 時間軸サーベイ

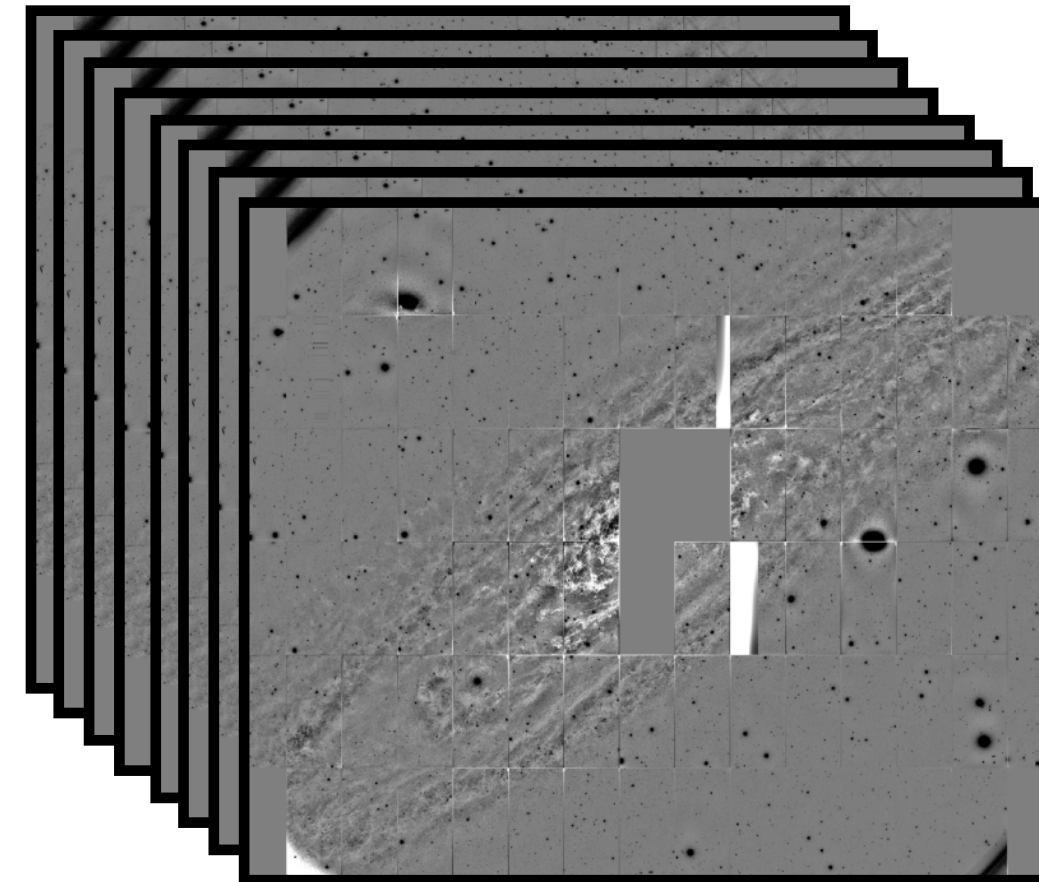
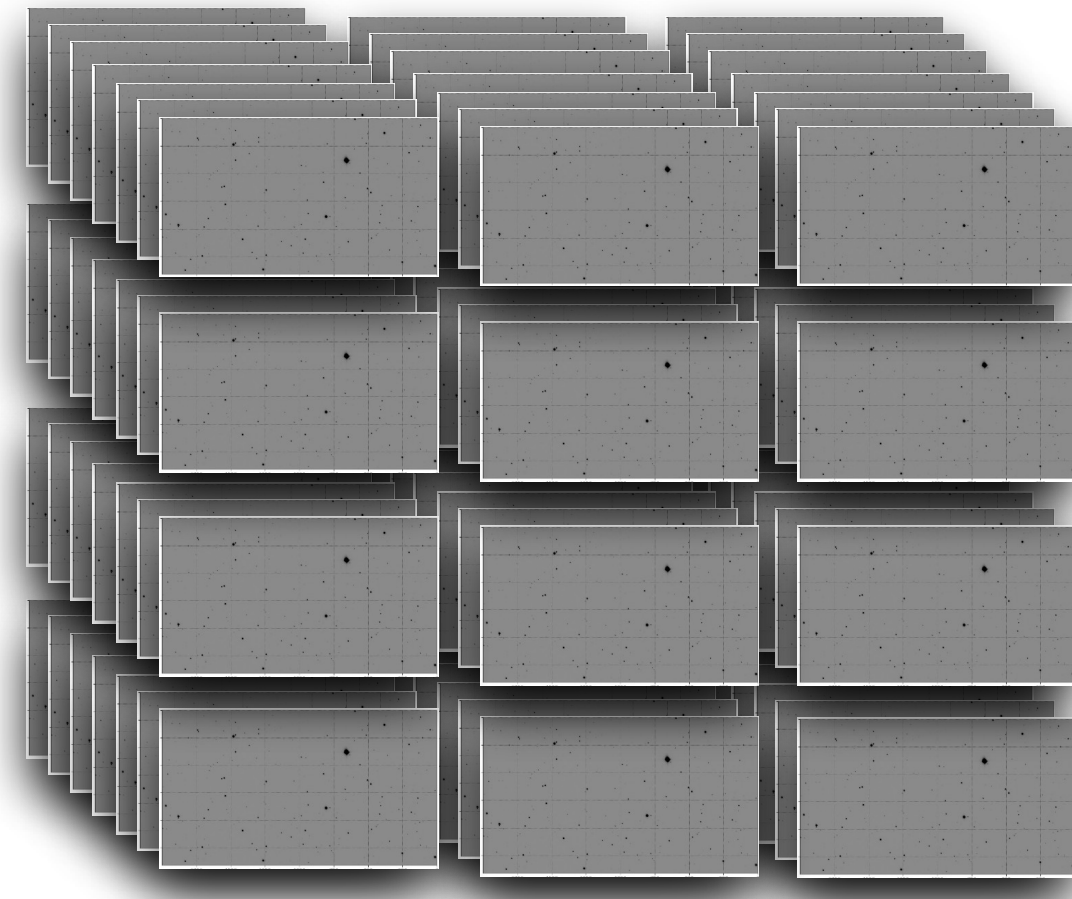


- ・ 変光星 (食連星) 探索を目的に 2024, 2025 年で 17 半夜割当
- ・ 90 秒積分 × 約 2,200 フレーム 取得
- ・ アーカイブデータも含めると、90 秒積分 × 約 3,600 フレーム
- ・ 周期変動天体の位相カバー率は
 周期 2 日以下：ほぼ 100% 周期 5 日：約 60%
- ・ 統合解析すれば十分レガシーデータとなる。
 - ・ マイクロレンズ サーベイ (杉山さん, IPMU)
 - ・ 突発天体候補の解析 (敏蔭さん, 東北大)



議論 2：科学的アウトプット (光度曲線) の公開

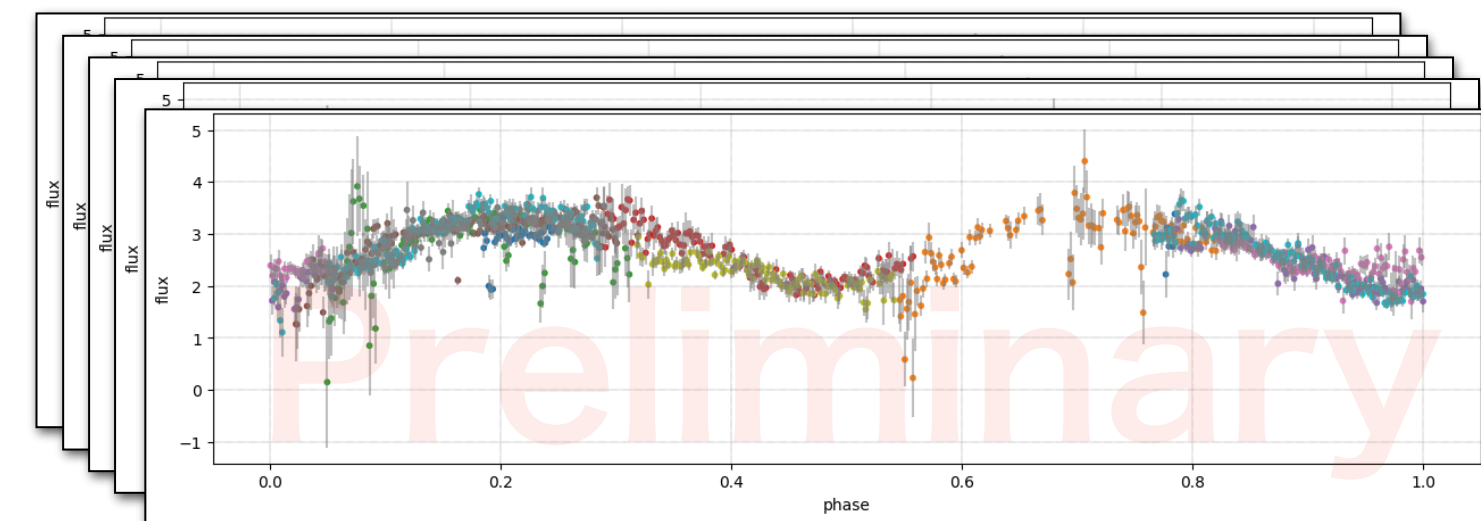
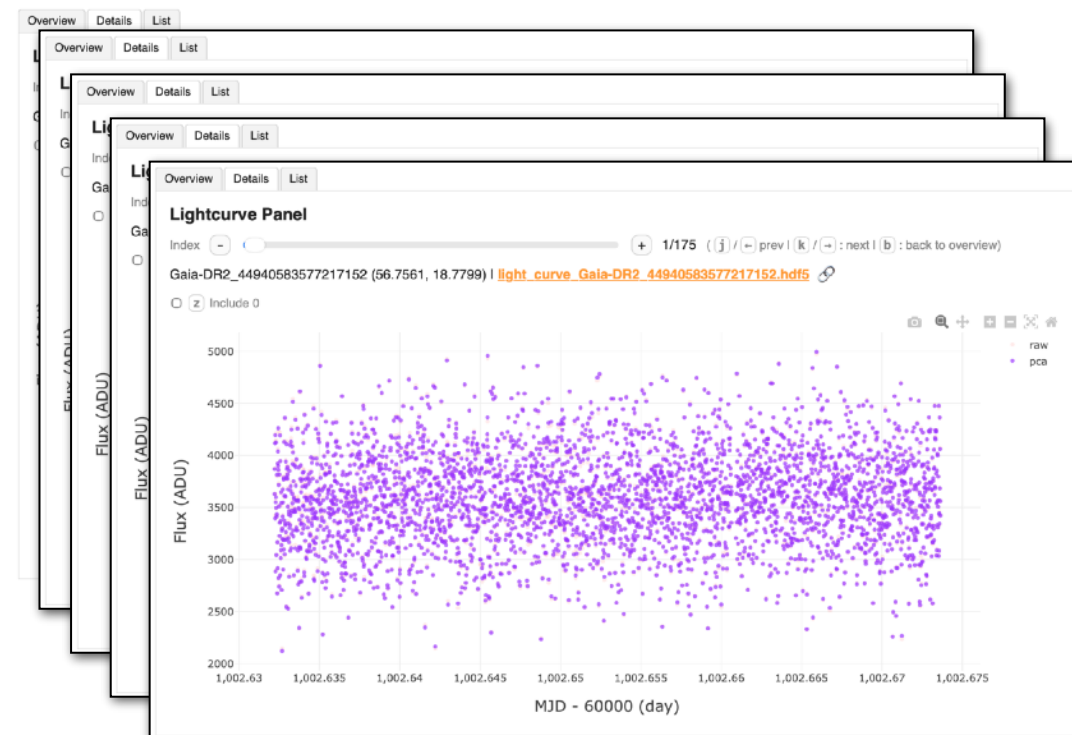
生画像 (動画) だけをアーカイブするのではなく…



SMOKA



光度曲線も
何らかの枠組みで
アーカイブ・公開



RaDec from Vilardell et al. (2010)

理想は
ADC ?
天文データセンター

- せめて、観測所 or データ取得者が計算済の光度曲線だけでも公開できれば。
- ユーザーが座標を打ち込めば、元画像から光度曲線が計算される仕組みが理想。

光度曲線・カタログデータ公開 各手法の善し悪し

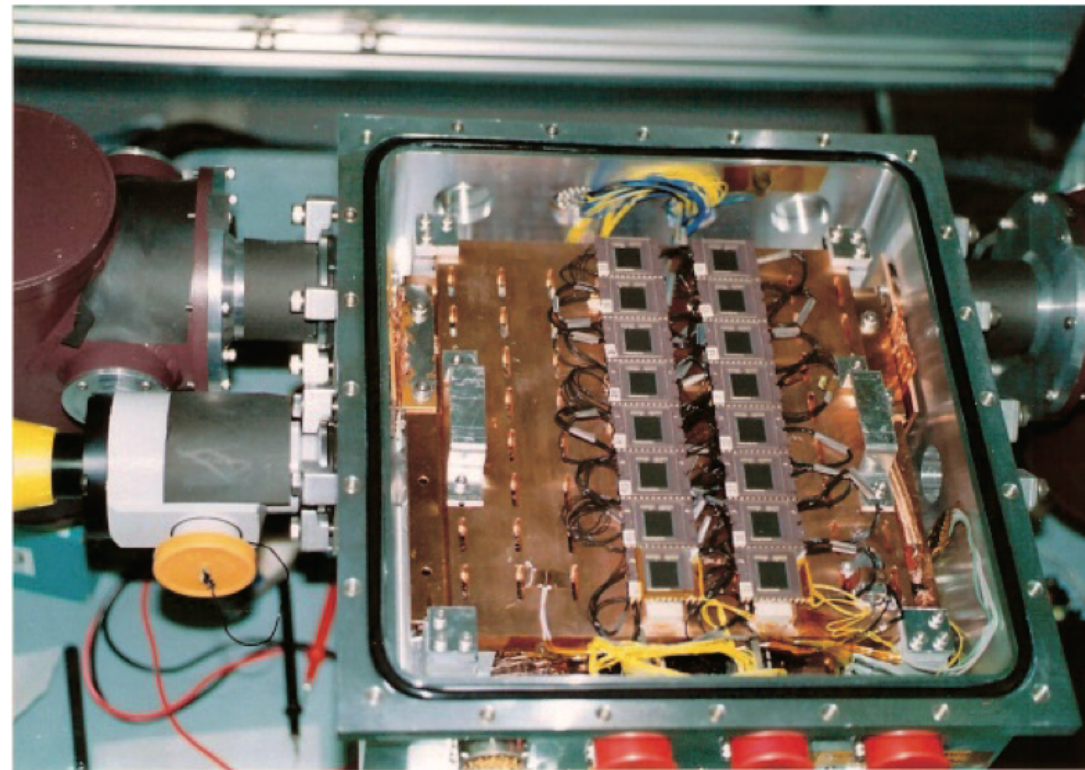
	メリット	デメリット
研究者or研究チーム 単位で行う	・ 整備や改良は研究者の好きにできる。	・ 維持/運用コスト ・ 不安定 (研究者のやる気に依存) ・ 身内にしか共有されない可能性
観測所単位で行う (例:木曾観測所)	・ 観測所へのアクセス増加 ・ 観測所やプロジェクトの宣伝効果 ・ 個人単位よりは運用が安定	・ 観測所へのアクセス増加 ・ 観測所の負担 ・ 人的資源が不足すれば運用が不安定化
コミュニティ単位 で行う (例：ADC)	・ 最も運用が安定 (世界中からのアクセスに耐えうる) ・ ADC や SMOKA へのアクセス増加 ・ 世界中に行き渡りデータの真価を 発揮	・ ADC の資源を食う (例)カタログの整備/サポート/バージョン管理

木曽観測所は、より大規模な望遠鏡に搭載する技術の基礎研究の場ともなってきた

今、我々が直面する課題は、今後の天文学にとって重要なリハーサルとなるはず

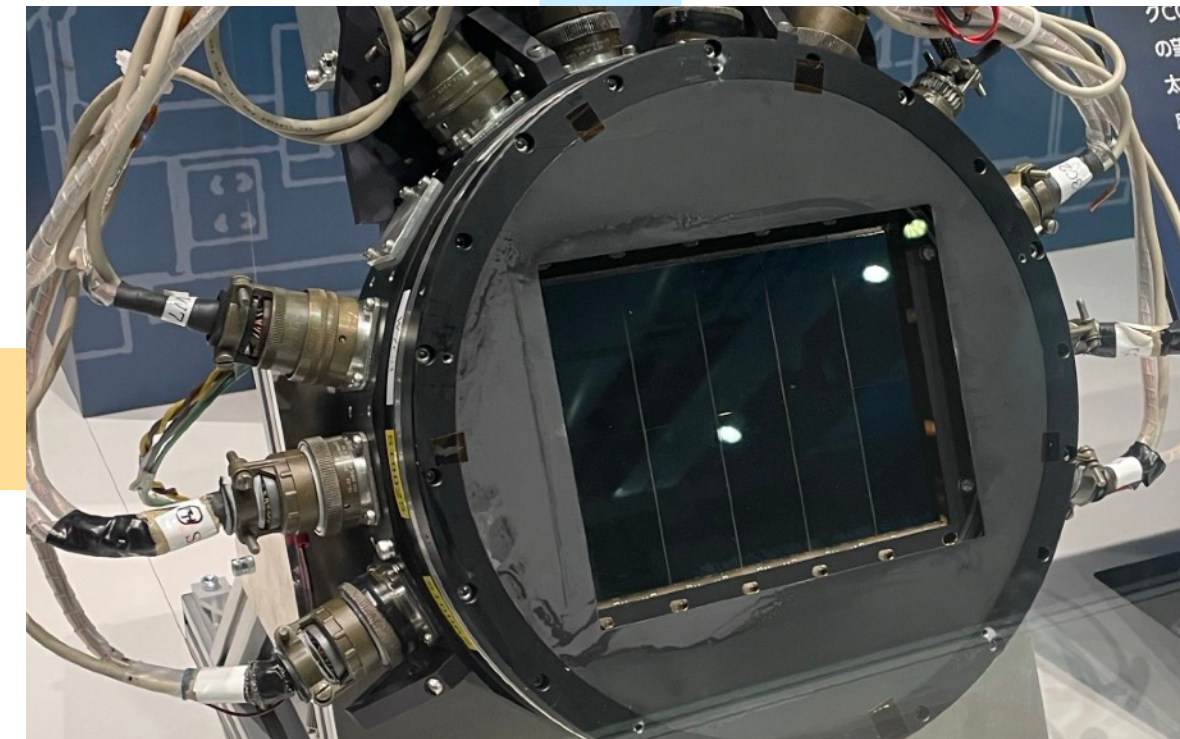


105cm Schmidt



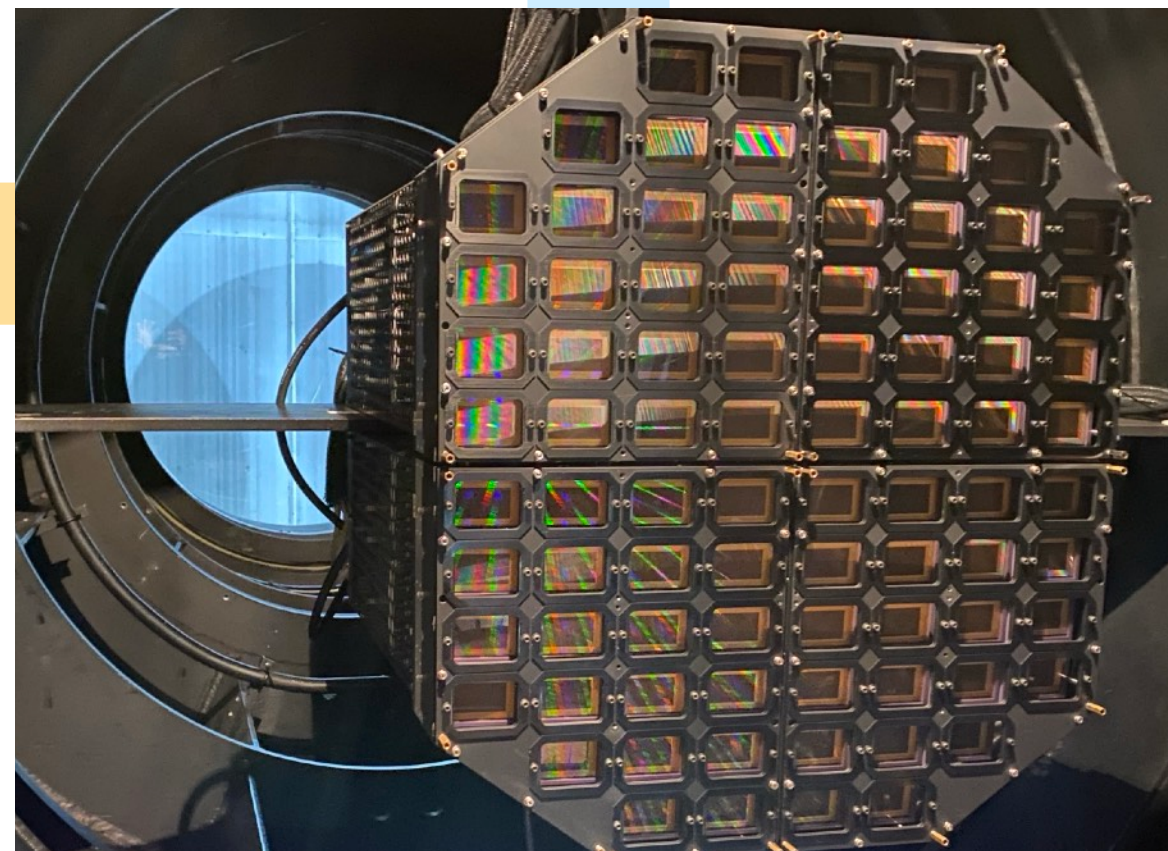
Mosaic CCD

画像：木曽観測所40周年記念誌（東京大学木曽観測所）より



Suprime-Cam

@ 国立科学博物館（上野）

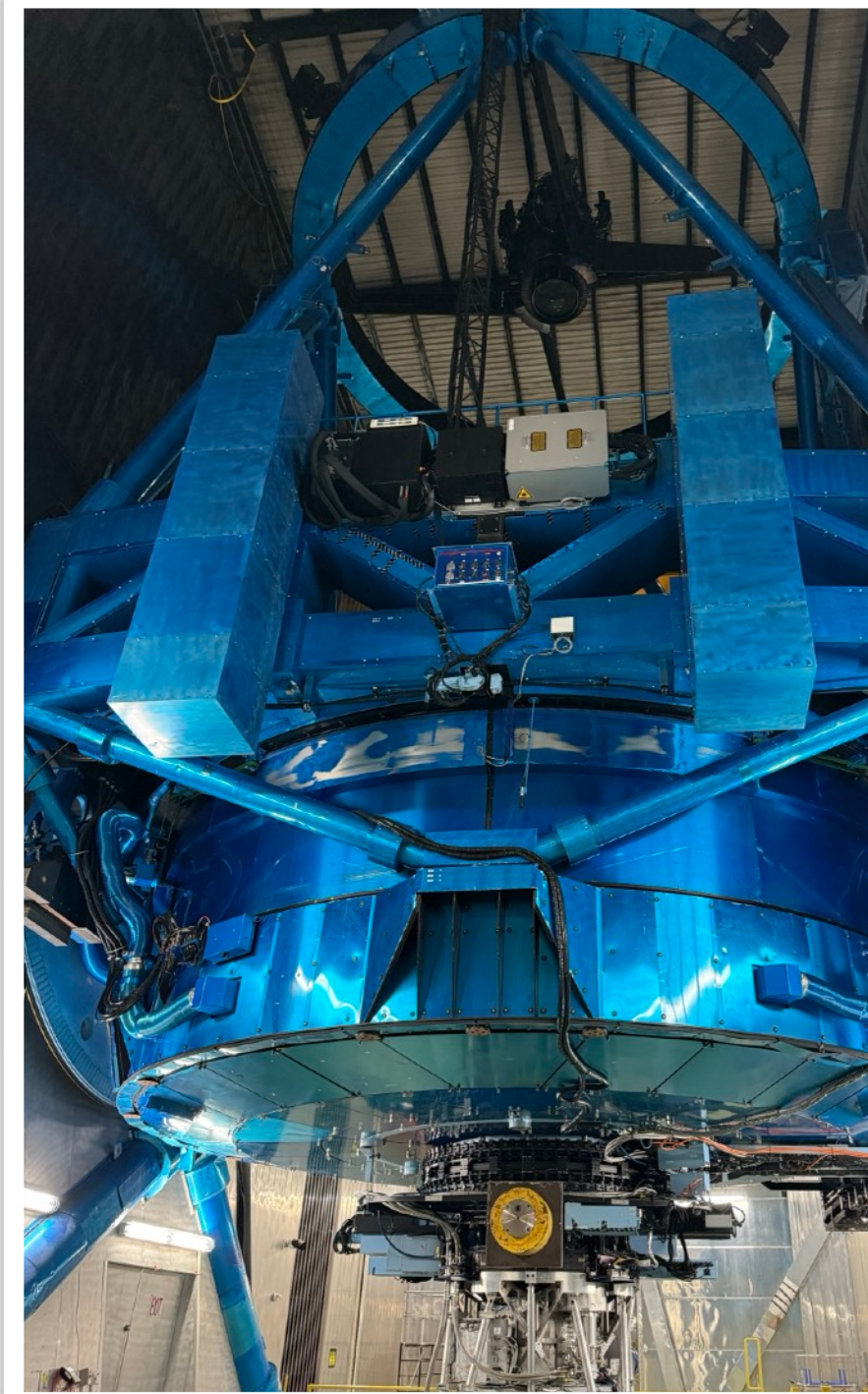


Tomo-e Gozen

Subaru CMOS ??

宮崎所長 基盤A

高速CMOSカメラによる
広視野天体撮像探査の
新展開



Subaru

まとめ

➤ トモエ動画モニタサーベイの現状

- ・サーベイデータは着実に蓄積している。
- ・東北太ローカルに、解析環境が完成間近 (白色矮星・M型星 が対象)
 - ⇒ 他の計算機にも容易に移植可能
 - ⇒ 計算資源があれば、他の天体も対象にできる。

➤ 議論1：将来的なデータの解析体制

- ・ローカルだけでは、データを活かしきれない。
- ・mdx のストレージだけでなく、計算資源も活用できれば。

➤ 議論2：将来的な科学的成果 (特に光度曲線) の公開体制

- ・生画像を活用できる人は一握り。光度曲線があれば、使う人ははるかに増加。
- ・計算済の光度曲線は、いずれ公開したい。

全北天の光度曲線データベースを作りましょう!