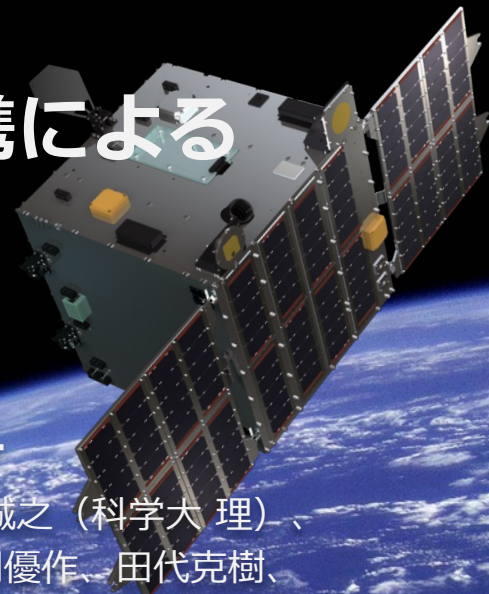


うみつばめ衛星とせいめいの連携による 紫外線突発天体の研究

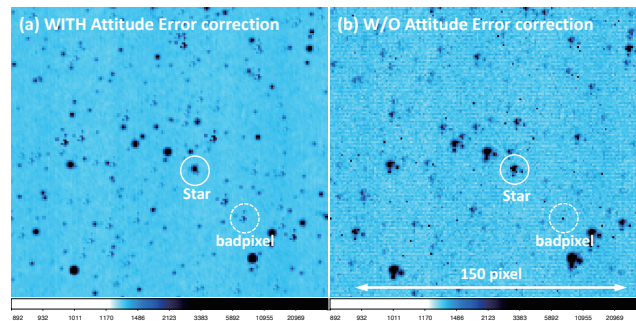
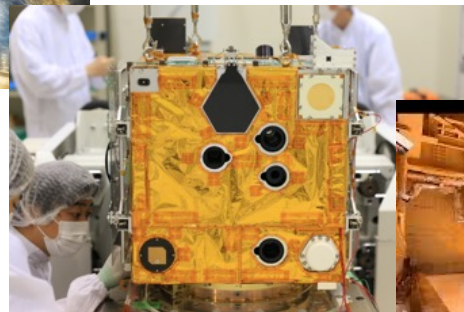
東京科学大学 理学院 物理学系 谷津陽一

福田美実、早津俊介、関響、上嶋茂諒、久保元由樹、萩尾陽菜、河合誠之（科学大 理）、
渡邊奎、小林寛之、天木祐希、小林大輝、安田萌恵、荒井湧介、尾関優作、田代克樹、
宮本清菜、中条俊大、中西洋喜（科学大 工）、坂本祐二、栞原聡文（東北大 工）、
小林宏章、村田悠、中野徹、卯尾匡史、飯塚千晴、楠木絵莉子（INET）、
武山芸英、江野口章人、白旗麻衣、寺田玲央、小澤俊貴（ジェネシア）
S. R. Kulkarni (Caltech)、富永望、庭野聖史（NAOJ）、田中雅臣（東北大）、
鈴木尚（Florida State Univ.）、諸隈智貴（千葉工大）、
and on behalf of PETREL Consortium



OUTLINE

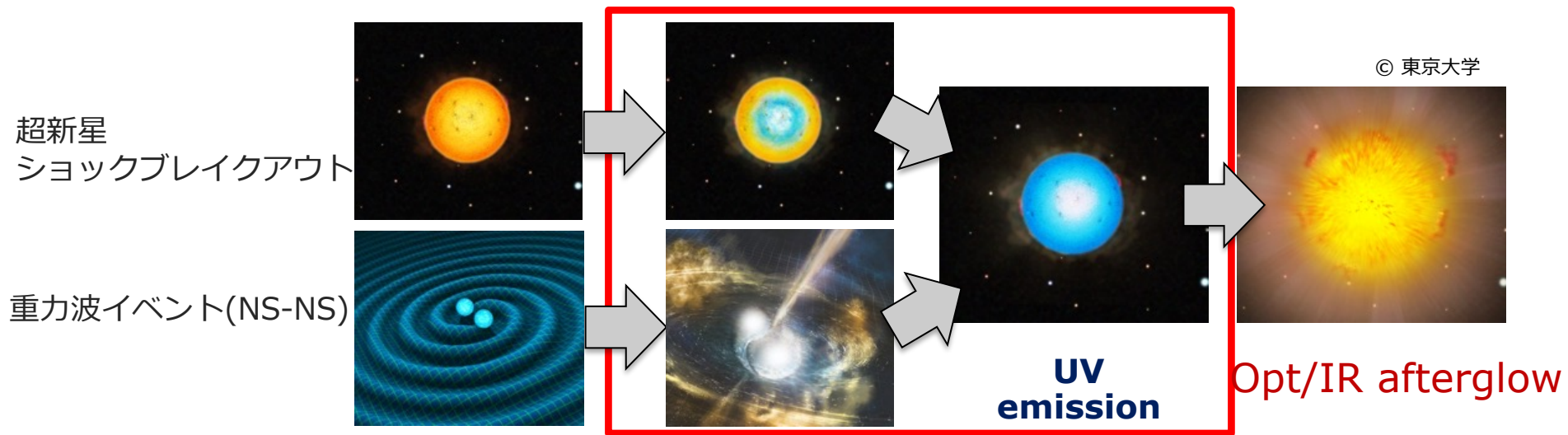
- ◆ うみつばめ衛星の紹介
- ◆ 開発・打ち上げ状況
- ◆ 連携観測の進め方など



うみつばめ衛星 (PETREL)

紫外線サーベイを行う意図

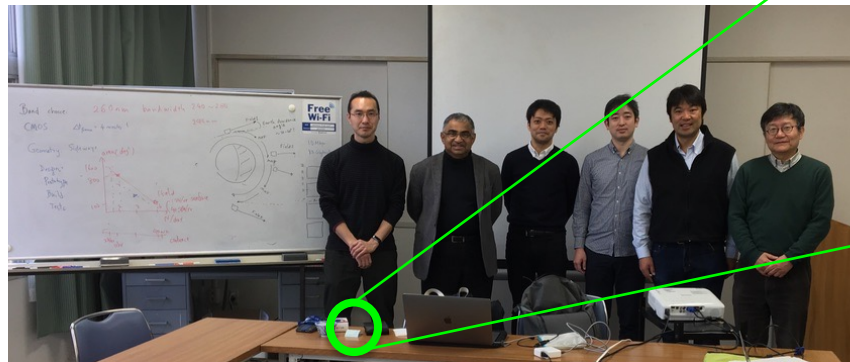
爆発 ⇒ 衝撃波加熱 ⇒ 高温 ⇒ 青い放射



爆発の初期に遡るのであれば、加熱された物体からの放射が見られる
紫外線～軟X線で探査するのが理にかなっている。

うみつばめ衛星計画

**"Synoptic Surveys: Boutique & Experiments"@Caltech 2015で提案
コンセプト：広く浅く、近くの突発天体を探す。しかも早く実現する**



UV Small Satellite mini-workshop @ Hakone 2019 Feb.

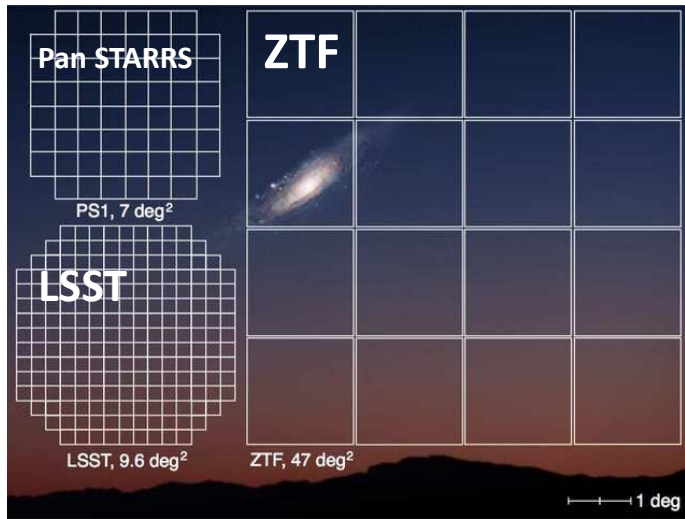
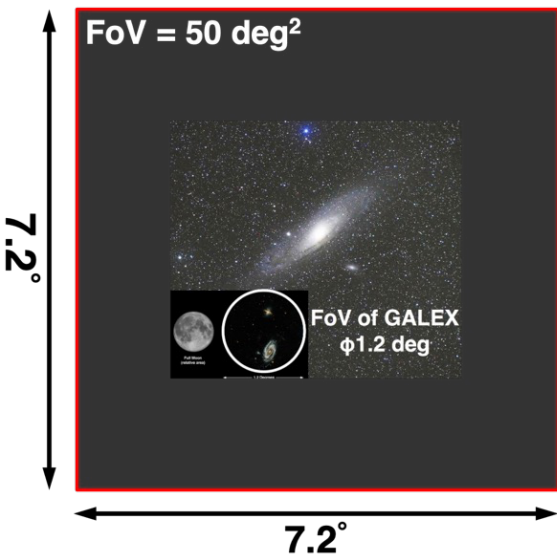


- ◆ 2020年にはJAXA革新的衛星技術実証プログラムに採択（ロケットが先に手に入った）
- ◆ 2021年に宇宙研の小規模ミッションとして採択（搭載装置の開発費）
- ◆ 衛星バスは、河合先生の科研A、私の若手A+α + 民間企業からの支援で実現(3億相当)

視野角の比較



UVT/PETRELは
ZTF や Tomo-e Gozen の視野を完全にカバーできる

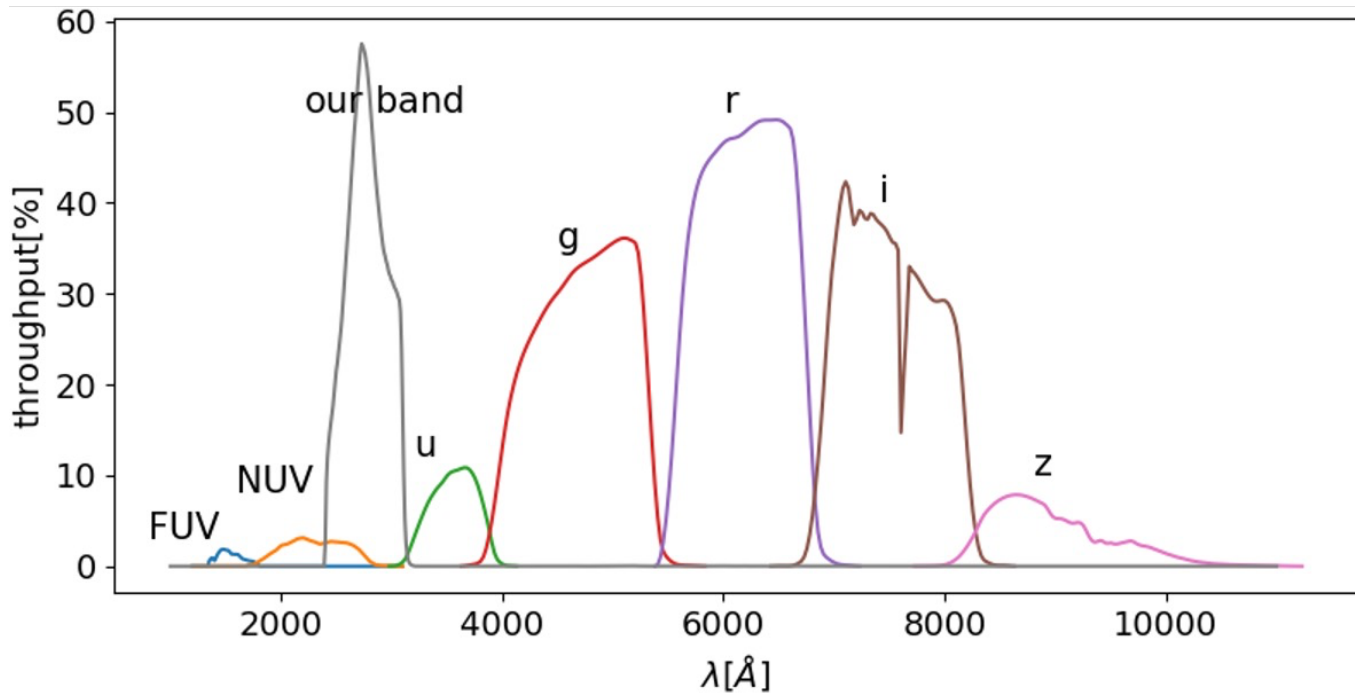


Russ et al. 2017



Kiso Schmidt Telescopes

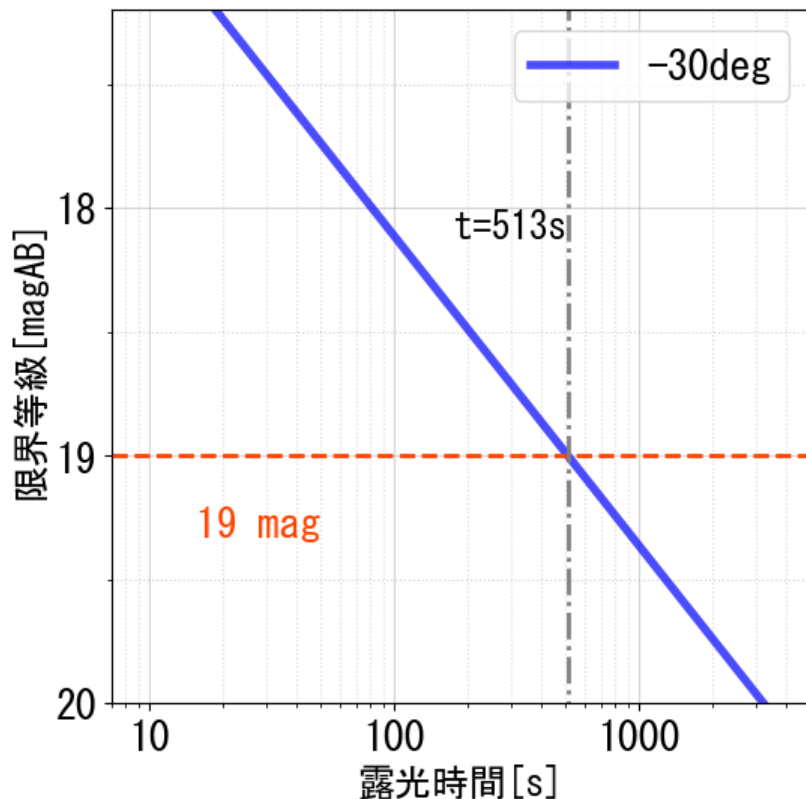
PETEL UV band



波長域 : 250~300 nm

フライトモデルの較正に基づいた限界等級の推定

-30℃での限界等級の推定(10s露光)



- ミッション要求：限界等級19等
- 検出限界：SN 5

$$\text{限界等級} = -2.5 \log_{10} \left(\frac{5\sigma_t}{S_0} \right) + M_0$$

$S_0[e^-]$ ：基準天体からの光による信号

$M_0[\text{magAB}]$ ：基準天体の等級

$\sigma_t[e^-]$ ：全ノイズによる信号

限界等級が19等になる露光時間を算出

**510sの露光で
限界等級19等@5 σ**

期待されるイベントレート

Targets	Event rate
Core Collapse Supernovae	
-Shock Breakout@Surface	1 evt/yr ($0.1d \text{ exp} \times 200\text{deg}^2$ within 100 Mpc)
-Shock Breakout@Wind	12 evt/yr ($1d \text{ exp} \times 200\text{deg}^2$ within 200 Mpc)
GW events (NS-NS)	
-Assuming GW170817	0.4-16 evt/yr (1mag dimmer than the model)
-Without UV from Jet	0.1-4 evt/yr (2mag dimmer than the model)

- Intensive surveys for the nearby galaxies of LMC/M31 will be conducted.
- In addition, type-Ia SNe, novae, stellar flares, tidal disruption events, etc will be detected.
- we will carry out coordinated observation with ZTF, GROWTH, Tomo-e Gozen, OISTER.

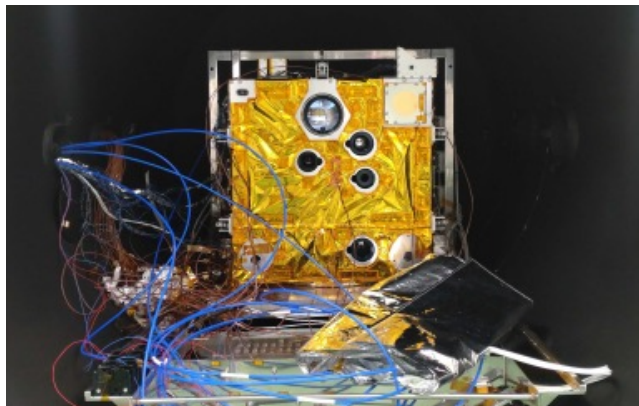
開発・打ち上げ状況

開発状況

- ◆ フライトモデルは2025年4月に完成・同6月には全環境試験を完了
- ◆ 総務省から予備免許も下りており、ロケットとの適合性審査中

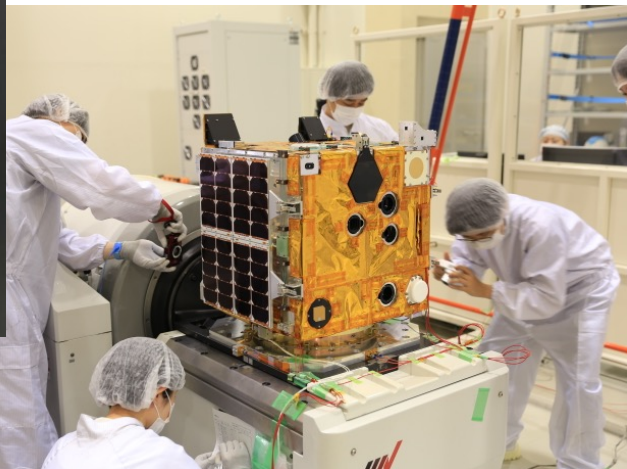
最終組み上げ

4月の組み上げ開始から嵐の3ヶ月



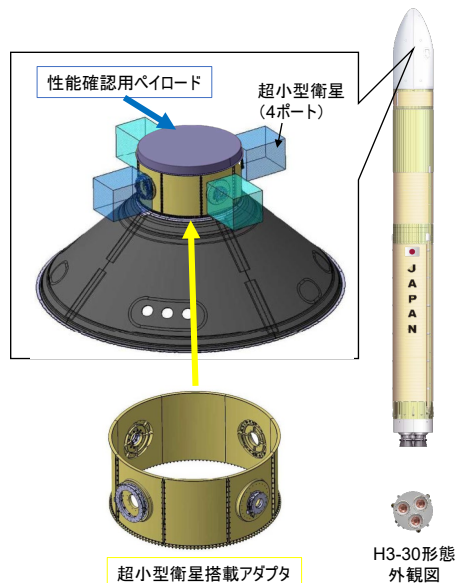
システム熱真空試験

システム機械環境試験



フライトの状況

- ◆ Epsilon ⇒ Falcon-9 ⇒ H3-30形態試験機
- ◆ ~~8月打ち上げ予定~~ ⇒ 5月の燃焼試験前に不具合
⇒ 不具合は解消し燃焼試験は成功@7/24
- ◆ ~~2026年3月打ち上げ予定~~



- およそ1ヶ月前に出荷
- 3週間前ロケット取り付け作業
⇒ 打ち上げ
- 打ち上げ後1ヶ月でチェックアウト
⇒ N月には本格運用開始

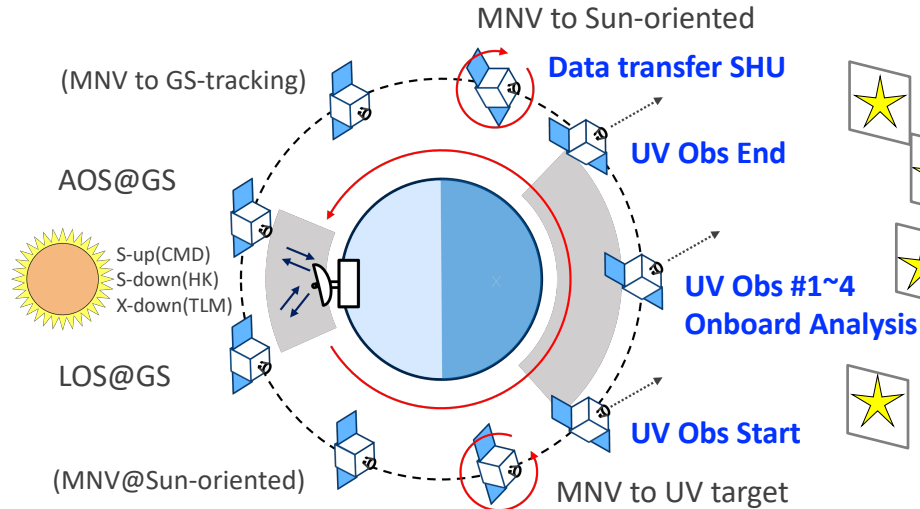


H3の燃焼試験@種子島

観測計画

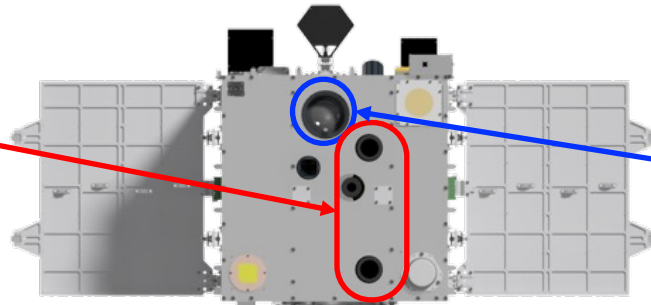
典型的観測シーケンス

日照中は
地球観測or充電



夜間は
紫外線天文観測

每周回30分間
最大4点タイリング
covers $\sim 200 \text{ deg}^2$



せいめいUM 2025



定常観測

◆ 可視天域:

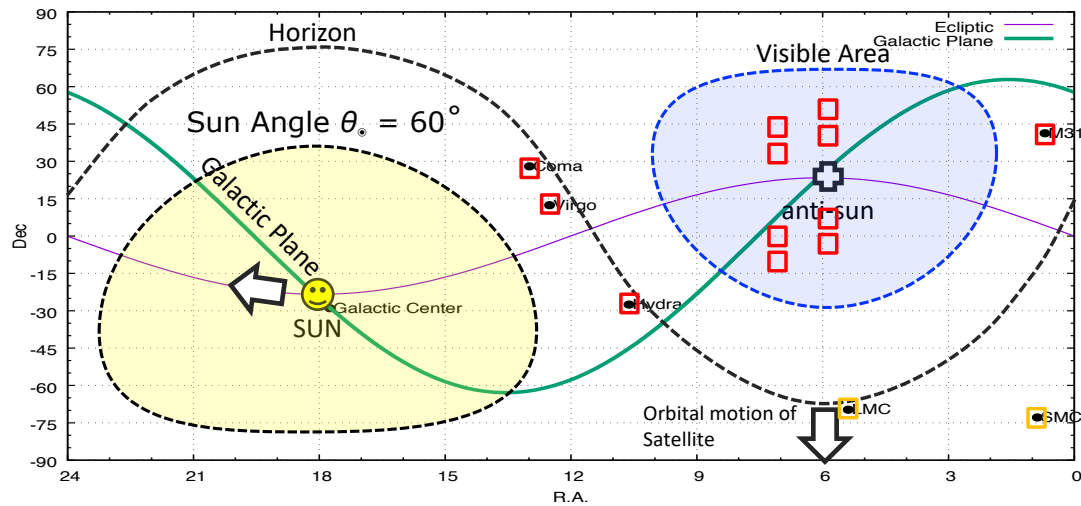
反太陽方向周辺
(太陽回避角 $> 90^\circ$)

◆ Coverage: $\sim 2\pi$ str

◆ Limiting mag :

$\sim 50 \text{ deg}^2$ @ 19.0~ mag/7 min

$\sim 200 \text{ deg}^2$ @ 19.5~ mag/4 orb



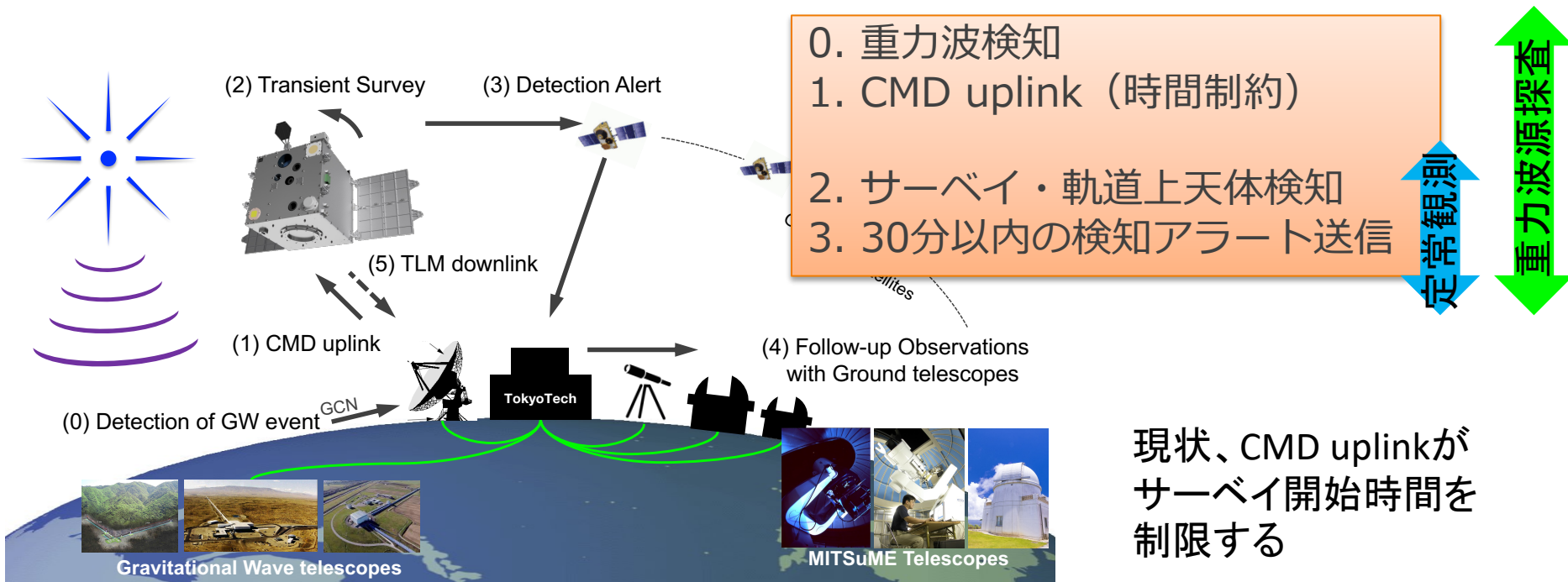
同一の4天域をおよそ3週間ずつ連続観測し、次の天域へ移行

⇒ 年間 **3500 deg²** をおよそ **20 mag_{AB}** でサーベイ

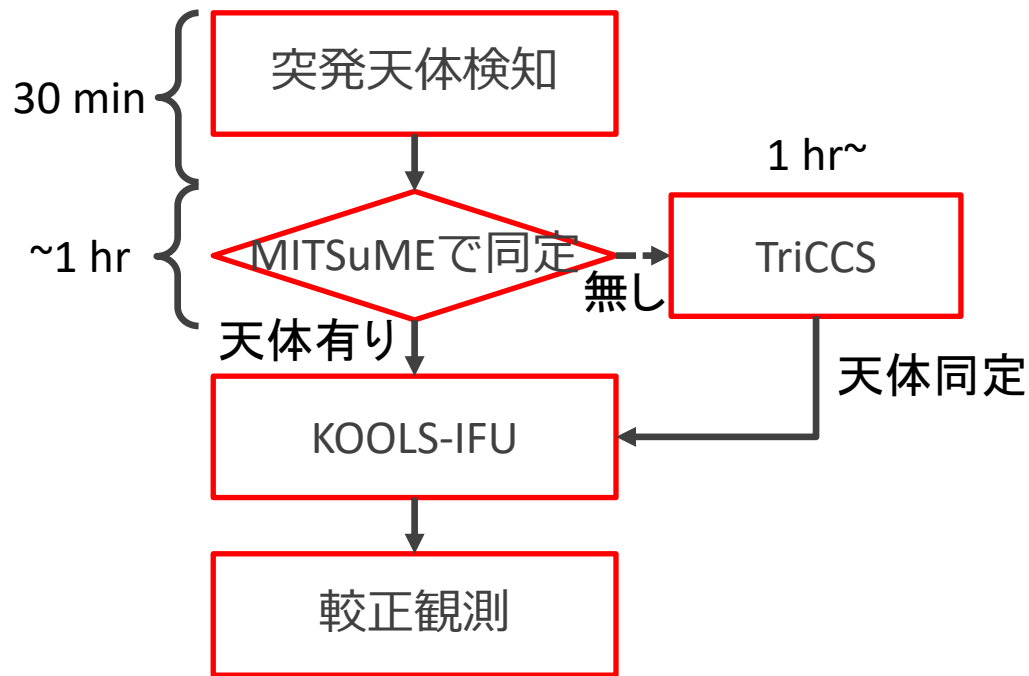
(近傍超新星探索を想定しており、銀河面以外であればどこを見ても良い)

Mission Goal: 紫外線を起点とする時間領域天文学

地上望遠鏡と連携し、即時多波長観測を実現させる



せいめいでの観測 (ToO)



- ◆ 同定 (TriCCS)
 - 60min ⇒ 対応天体の決定
- ◆ 分光 (KOOLS-IFU)
 - 20min exp x 3 frame
 - 11夜のモニタリング
- ◆ 母銀河の分光 (KOOLS-IFU)
 - 15min x 1夜
- ◆ 天体検知アラート後
MITSuMEで同定することを想定
- ◆ Overhead 1.5hr~
⇔ Refereeから
「遅くなってしまうのでは？」
というご指摘あり

ToOの開始条件について

◆制約条件：

- オンボード天体検知アルゴリズムの精度
- 宇宙線の影響等をきちんと評価してから？
(フライトデータで検討する必要あり)

◆位置決定精度

- 12.7秒角以上 (≒ ピクセルスケール)
- この精度でいきなり測光を開始できるか？？

◆同時・連携観測

- あらかじめターゲットがわかっているならば同時観測
- 連携研究者からの観測リクエストにはできるだけ柔軟に対応したい

まとめ

- ◆ 紫外線広視野サーベイ衛星の開発が完了。2026年3月打ち上げ予定
- ◆ 20 magAB@250~300nm for 1800 s exposure
- ◆ FoV=50deg² => 3500 deg² survey/year

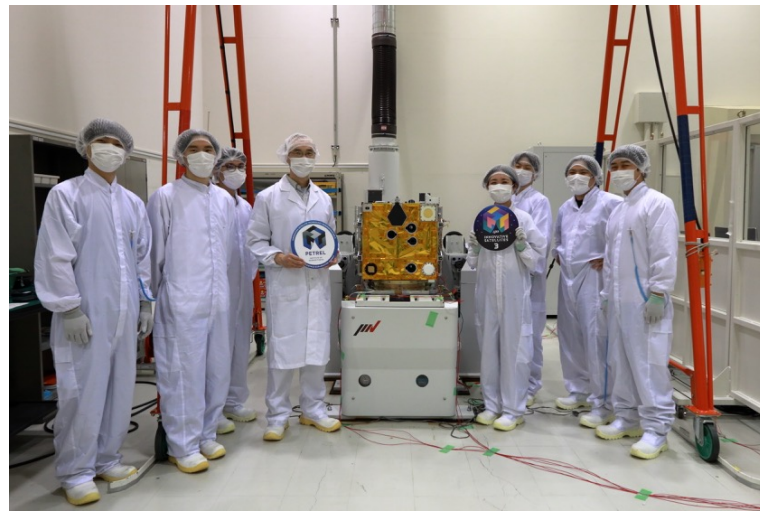
- ◆ 科学的目標、

- 超新星ショックブレイクアウト
- 重力波現象??? (O4は終わってるので、キロノヴァ探査)
- そのほか、突発天体探査

現状、衛星は完成してフライト待ち

- ◆ せいめいでの追観測

- 明るい変動天体に対してKOOLS-IFUを用いた分光観測
- 観測開始条件についてはフライトデータを見て検討

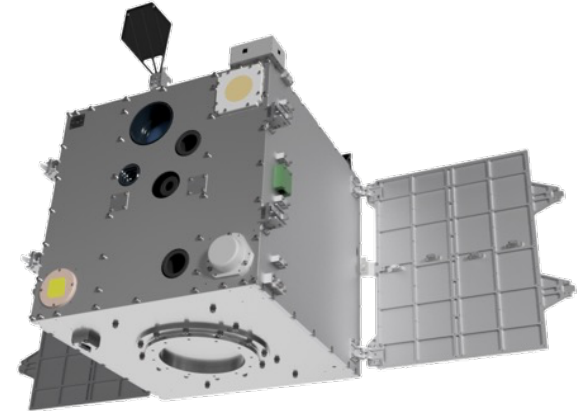
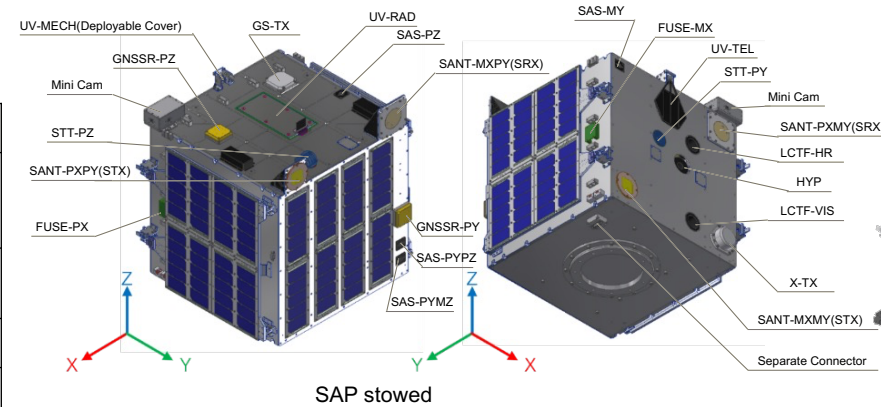


9/4MUが終わった後、
実機見学にご案内い
たします

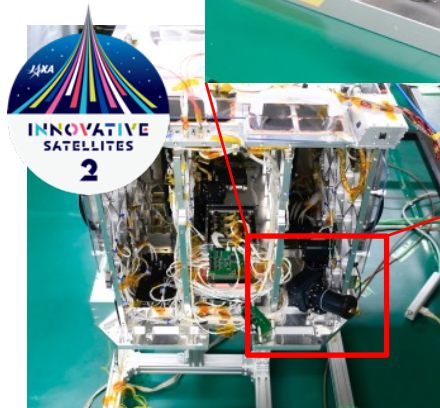
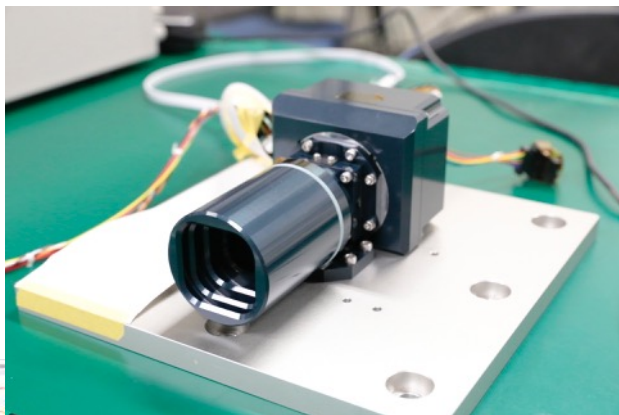
Satellite system

◆ Specification of the satellite

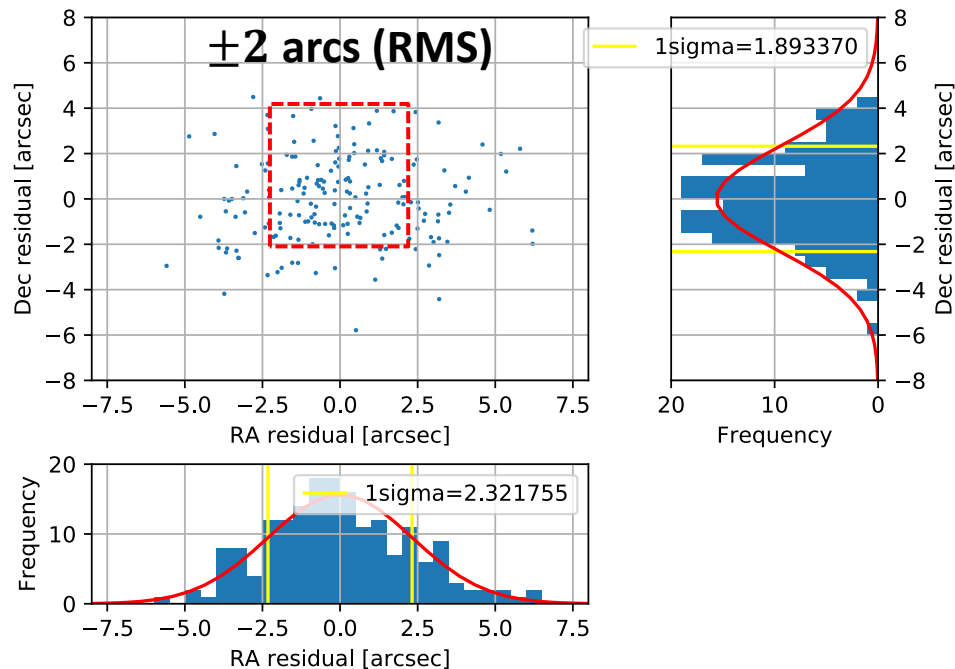
Parameter	Value
Mission	• Hyper/Multi spectral Earth observation • Ultraviolet Astronomical observation
Size/Structure	470×1300×480 2-deployable Solar array padle
Mass	<65Kg
Power	Power generation : 150.7W BTT : 9600mAh Power cons: 30~50 W
Attitude Control	STT-based zero-momentum 3-axis control
Commutnication	S-UP : 1 Kbps(PSK) S-DOWN : 100K~100Kbps (BPSK) X-DOWN : 20Mbps (QPSK) Globalstar: 9 byte/packet (BPSK)
Data Recorder	Mission data (SHU) : 64 GByte×2 HK (DRU) : 2 GByte
Mission Life	2 yr (TBD)



Key Tech1: Flight proven arcsec-accuracy STT



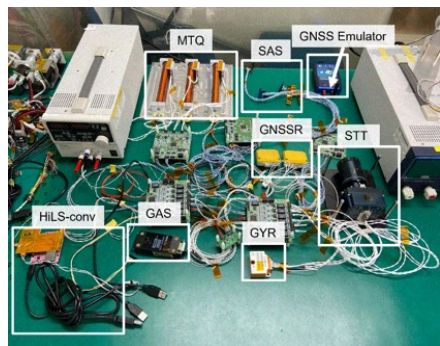
Attitude Error of STT



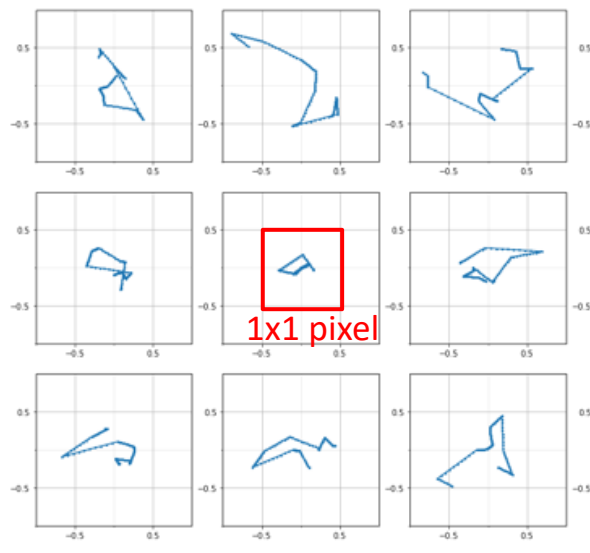
Launched in 2021=> still working !!

Simulation of Attitude Control System

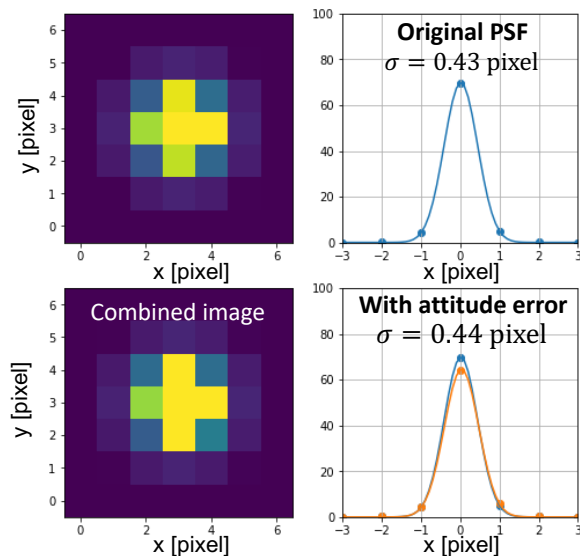
HiLS



Attitude jitters for 10s

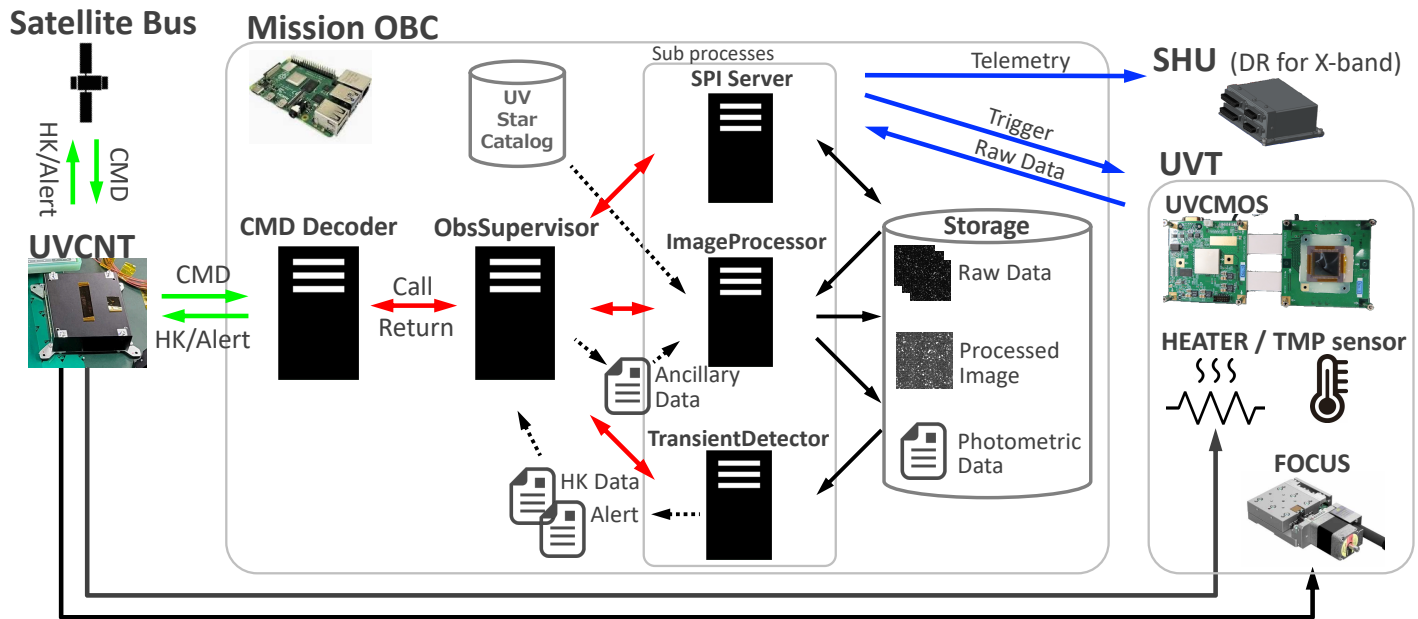


Simulated Star image combining 10 frames (10s)



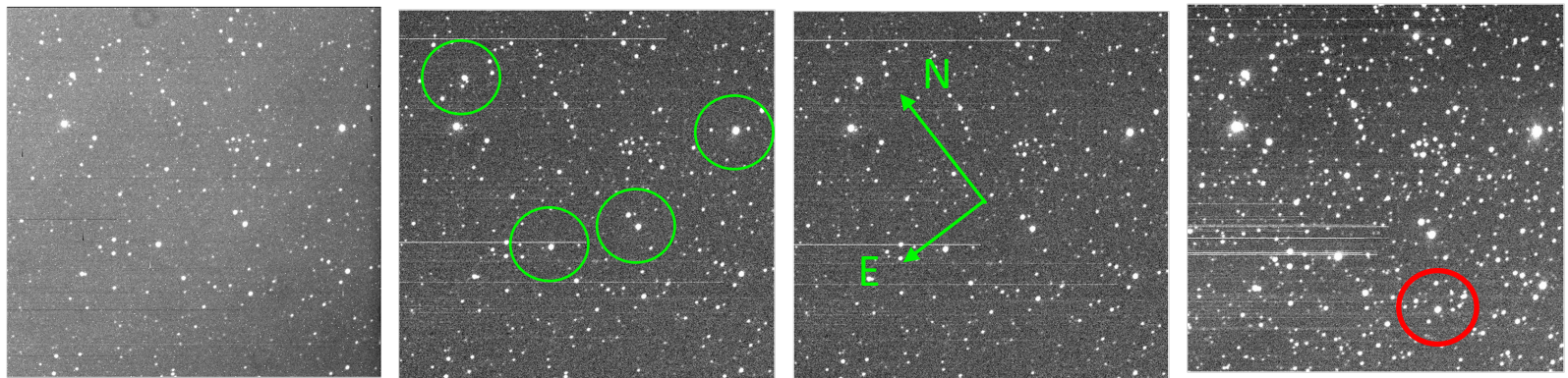
Resultant image quality appears almost identical to the original PSF of the optics.
ADCS achieves sufficient attitude stability incorporate with STT.

UVT Control Software



Automatic data reduction and transient detection software is designed based on the data analysis pipeline of the robotic telescope system (MITSuME) .

Onboard Data Reduction Pipeline



1. Reduction

- Bias subtraction
- Flat field correction
- Combining Images

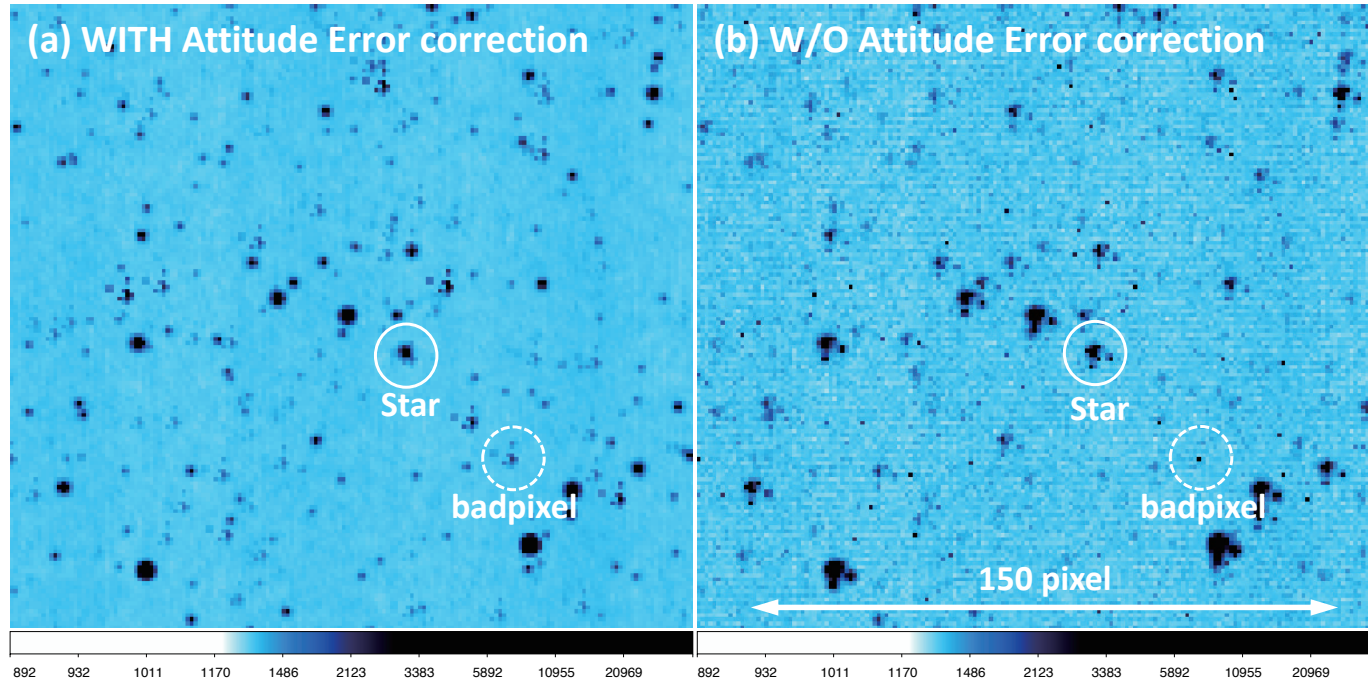
2. Analysis

- Astrometry
- Photometry
- Data Compression (TLM)

3. Transient Detection

- Searching for Variable Objects
⇒ Detection alert (Alert)

Testing the ImageProcessor with simulated images

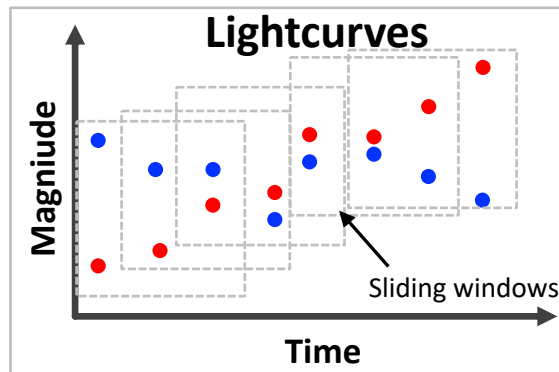


Everything seems to be working correctly.
(but we need to deal with the badpixels)

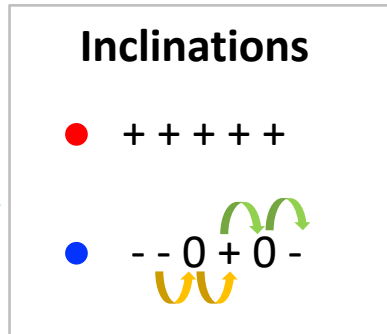
Transient Detection Algorithm

◆ Fast Transient Finding(FTF) Algorithm (Strausbaugh +22)

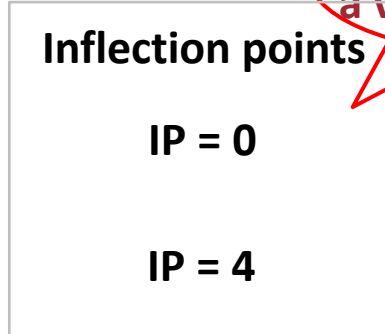
Developped for *DWF* (Deeper, Wider, Faster) Program



1. Data is sampled from sliding windows.



2. The inclination is evaluated for the sampled data as UP(+), DOWN(-) or FLAT(0).



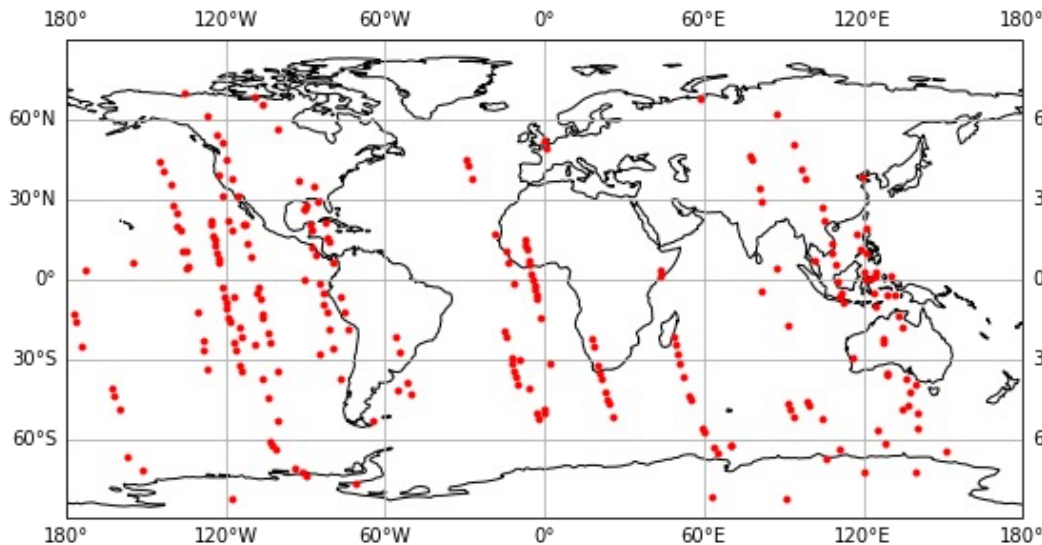
3. Inflection points(IPs) are counted.

IP=0 is judged as a variable source!

The identification rate is over 80% for objects ~1 mag brighter than the detection limit.

Key Tech2: Flight-proven real-time communication system

- ◆ Utilizing Globalstar's network
- ◆ Alert delay is around 2~3 min from everywhere from LEO



Launched in 2021=> still working !!

we can distribute detection alert within a few minutes to the ground!!

