



東京大学  
THE UNIVERSITY OF TOKYO

# 東京大学天文学教育研究センター 木曾観測所

酒向重行（東京大学大学院理学系研究科附属天文学教育研究センター）

## ■ 施設

- 1974年設立
- 暗い空, 標高1120m
- 宿泊施設, 食堂

## ■ 超広視野シュミット望遠鏡

- 視野 :  $\Phi$  9度
- 主鏡 : 150 cm球面鏡
- 補正レンズ : 105 cm口径
- F比 : 3.1



□ 大学望遠鏡としての在り方とは？

□ 1m望遠鏡で何が出来る？

東京大学木曾観測所が出した答え

T O M O ・ E

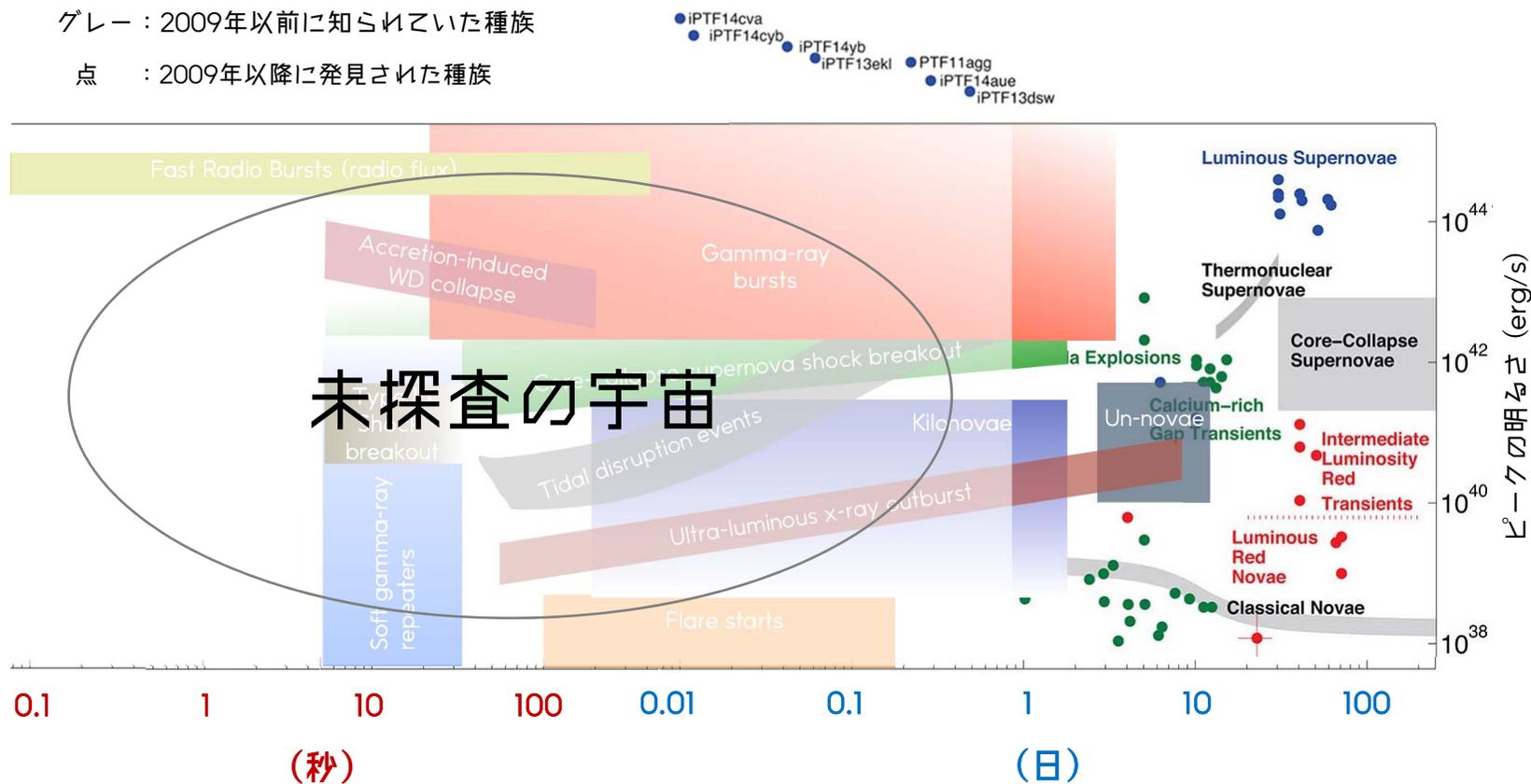
G O Z E N

- ✓ 斬新なアイデア + クイックに実施
- ✓ 圧倒的なデータ量が口径やシーイングの劣勢を巻き返す
- ✓ マイニングの力が感度を決める
- ✓ 観測の重荷を減らす

# 可視光で明るさが変動する天体

グレー：2009年以前に知られていた種族

点：2009年以降に発見された種族



変動の時間スケール

Peter Nugent (2015) より  
Jeff Cooke (2015) より

宇宙のささやきに耳を傾けよう

T O M O • E

G O Z E N



# トモエゴゼンの世界観

空のビッグデータ

宇宙シミュレーション + 広視野動画カメラ

知識

情報

望遠鏡 + 動画カメラ + 大規模データ処理の統合システム

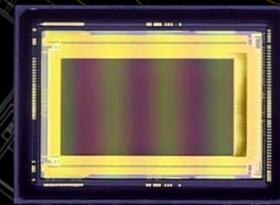
世界初の天文用広視野動画カメラ

# トモエゴゼン

Sako et al 2018, SPIE

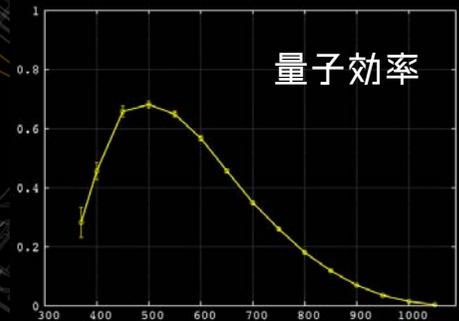
- 木曾105cmシュミット望遠鏡に搭載
- 視野 20平方度
- 84台の民生用 2k x 1k CMOSセンサー
- 毎秒2フレームの動画
- 毎夜30テラバイトのビッグデータ
- 可視光単色
- 常温、常圧、軽量設計
- 運用期間 2019 - 2030年++

105cmレンズ



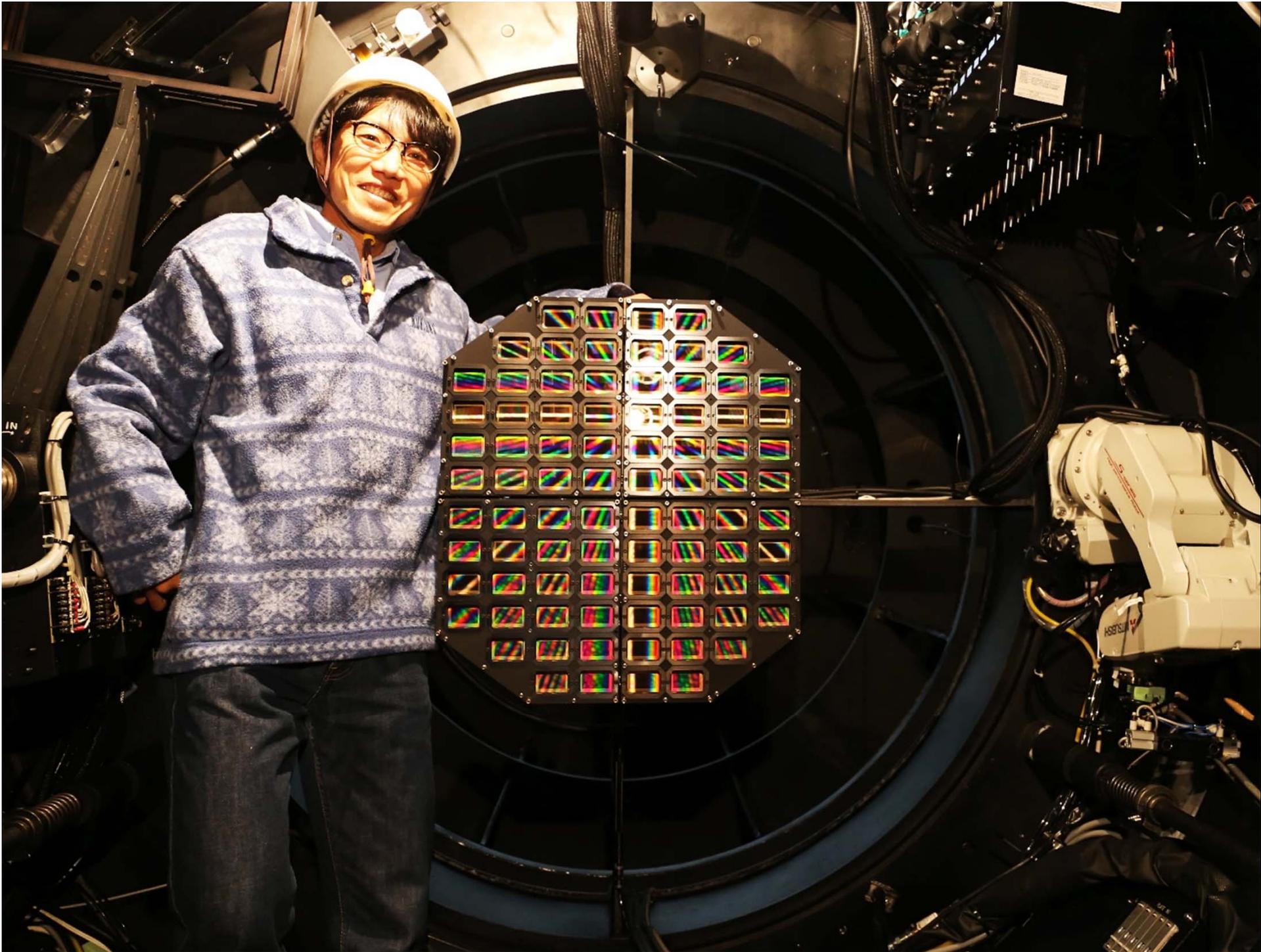
150cm主鏡

ピーク  $\eta = 0.68 @ 500 \text{ nm}$

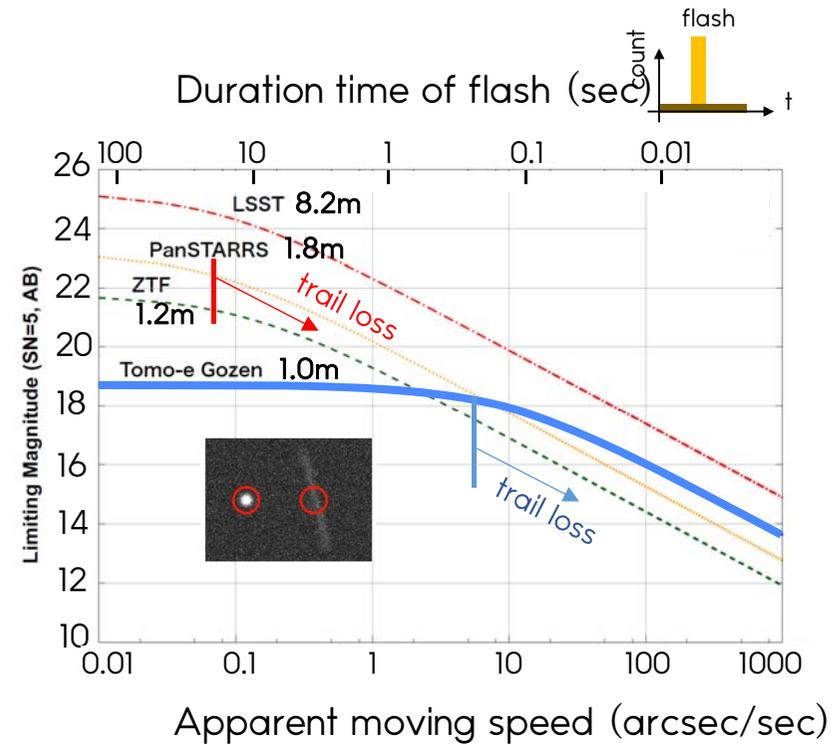
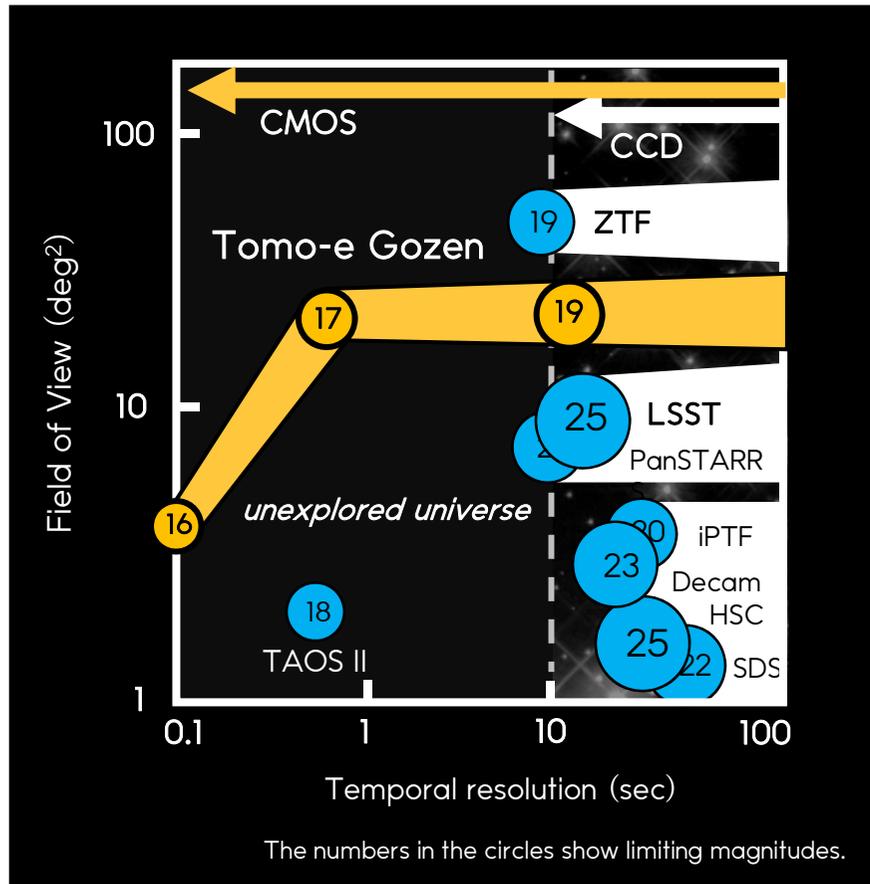


波長

- キヤノン製表面照射,  $19 \mu\text{m}/\text{pix}$
- 読み出しノイズ  $2e^-$
- 暗電流  $6e^-/\text{sec}@30^\circ\text{C}$



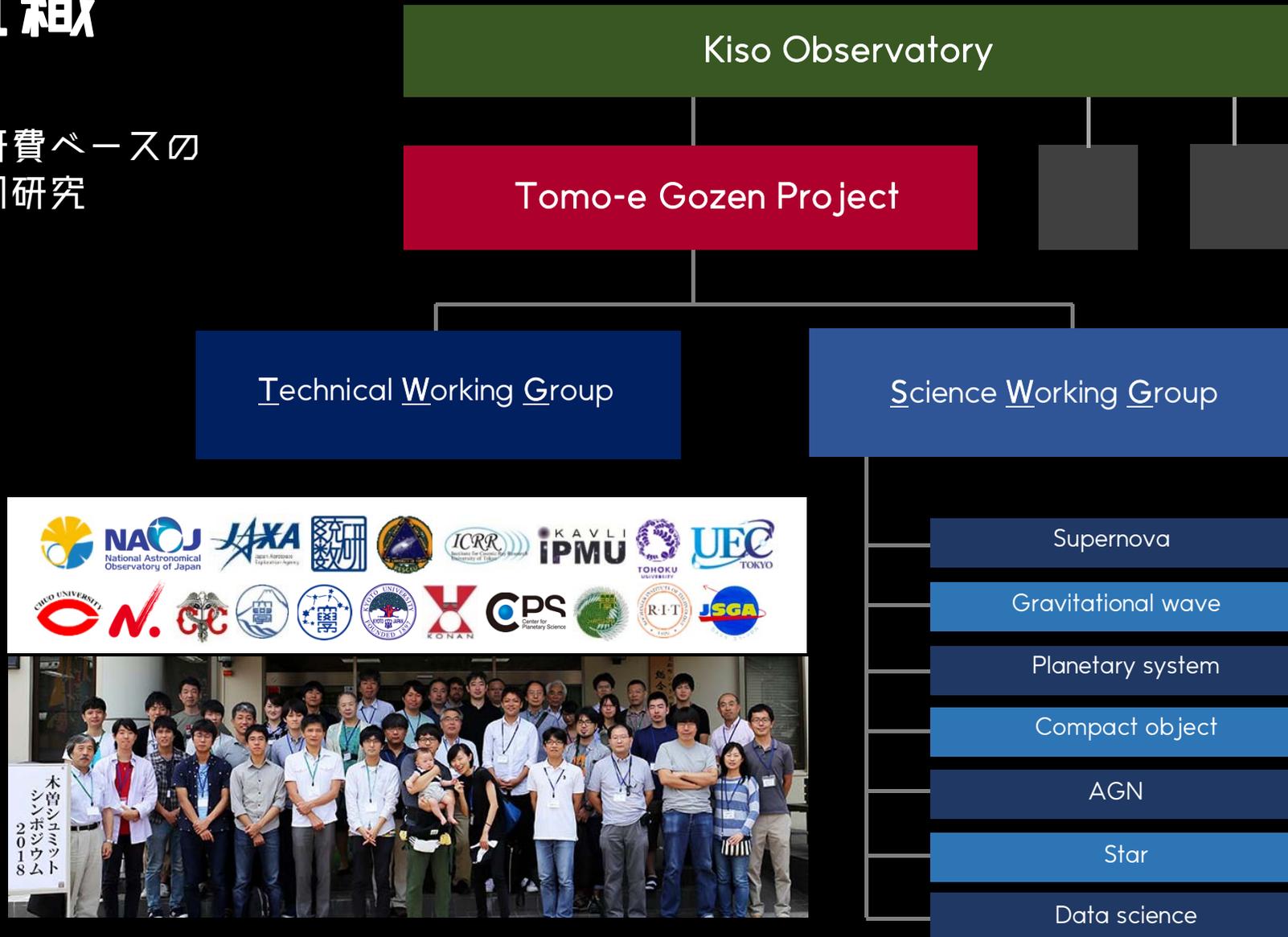
# 突発現象・移動天体の探査能力



Tomo-e Gozen :	0.5 sec/frame, $N_{\text{read}}=2 e-$
PanSTARRS, ZTF :	30 sec/frame, $N_{\text{read}}=5 e-$
LSST :	60 sec/frame, $N_{\text{read}}=10 e-$

# 組織

科研費ベースの  
共同研究

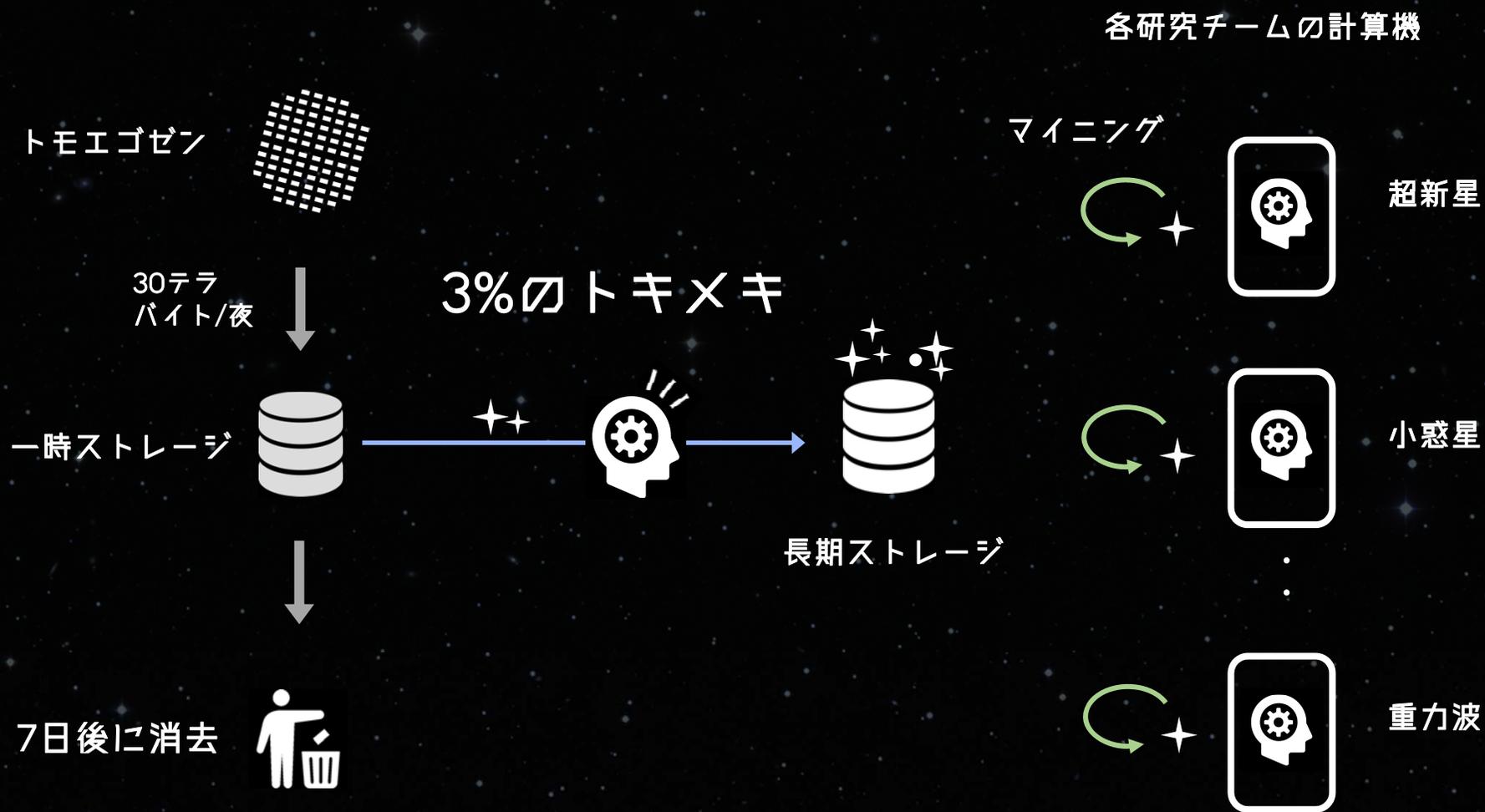


木曾シュミットシンポジウム (2018/7)

# オンサイト計算機群

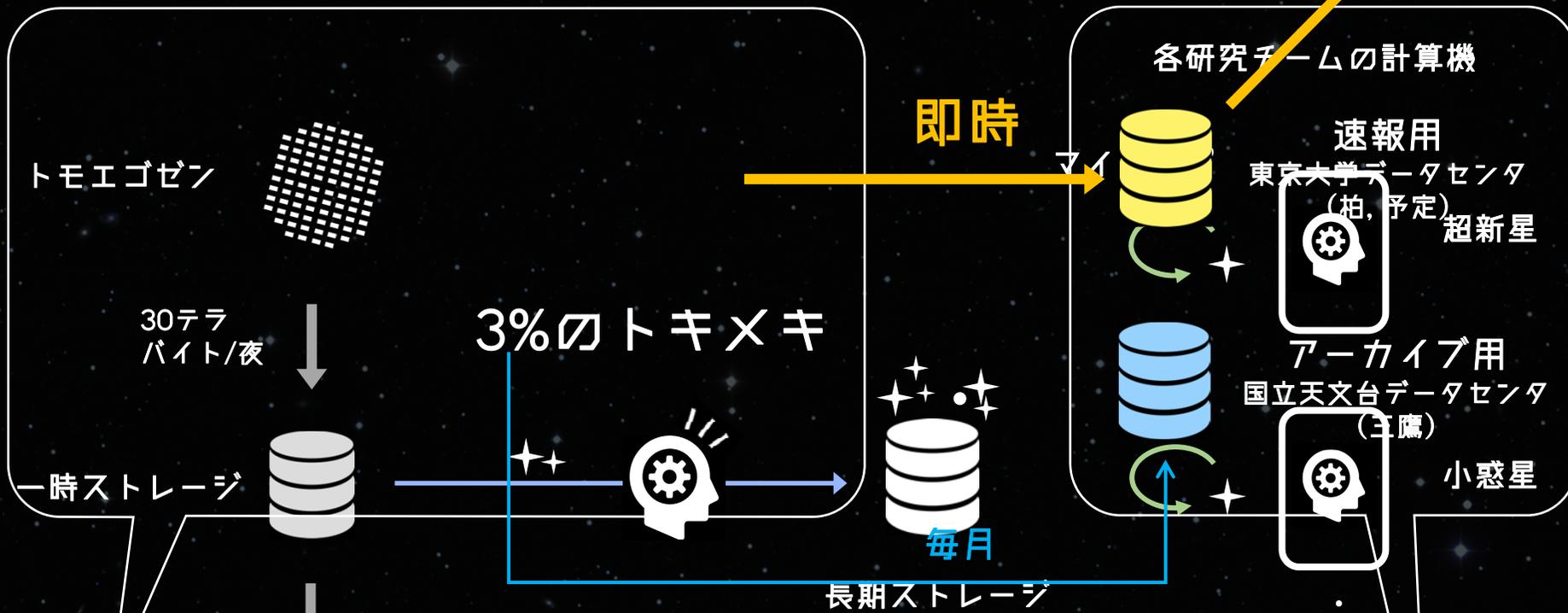
- カメラと直結
- CPU 200コア
- ストレージ 1ペタバイト
- 高速接続 10ギガbps
- 機械学習・最適化アルゴリズムによる  
インテリジェントシステム

# データ処理



# データ処理

世界へ



長野木曾  
7[?]消去

- フレッシュネスが大切
- Twitter的

木曾広域情報センター 上り4ギガbps





# 観測プログラム

中小口径望遠鏡で  
追観測可能

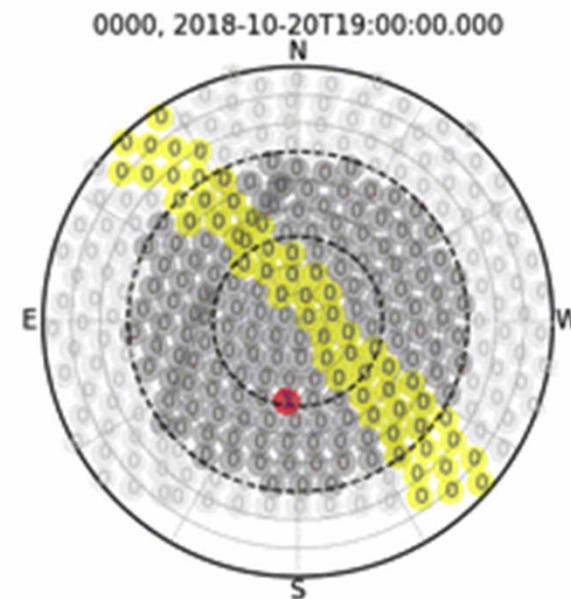
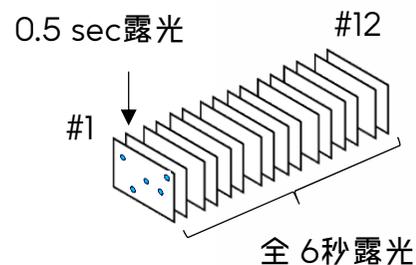
## 1. 広域サーベイ

- 7,000平方度 - 2時間頻度 - 深さ18等級
- 超新星、新星、フレア、YSO……

> 高度35°

## 2. 追観測・多波長同時観測

- 重力波、ニュートリノ
- FRB、X線バースト、パルサー



広域サーベイのシミュレーション

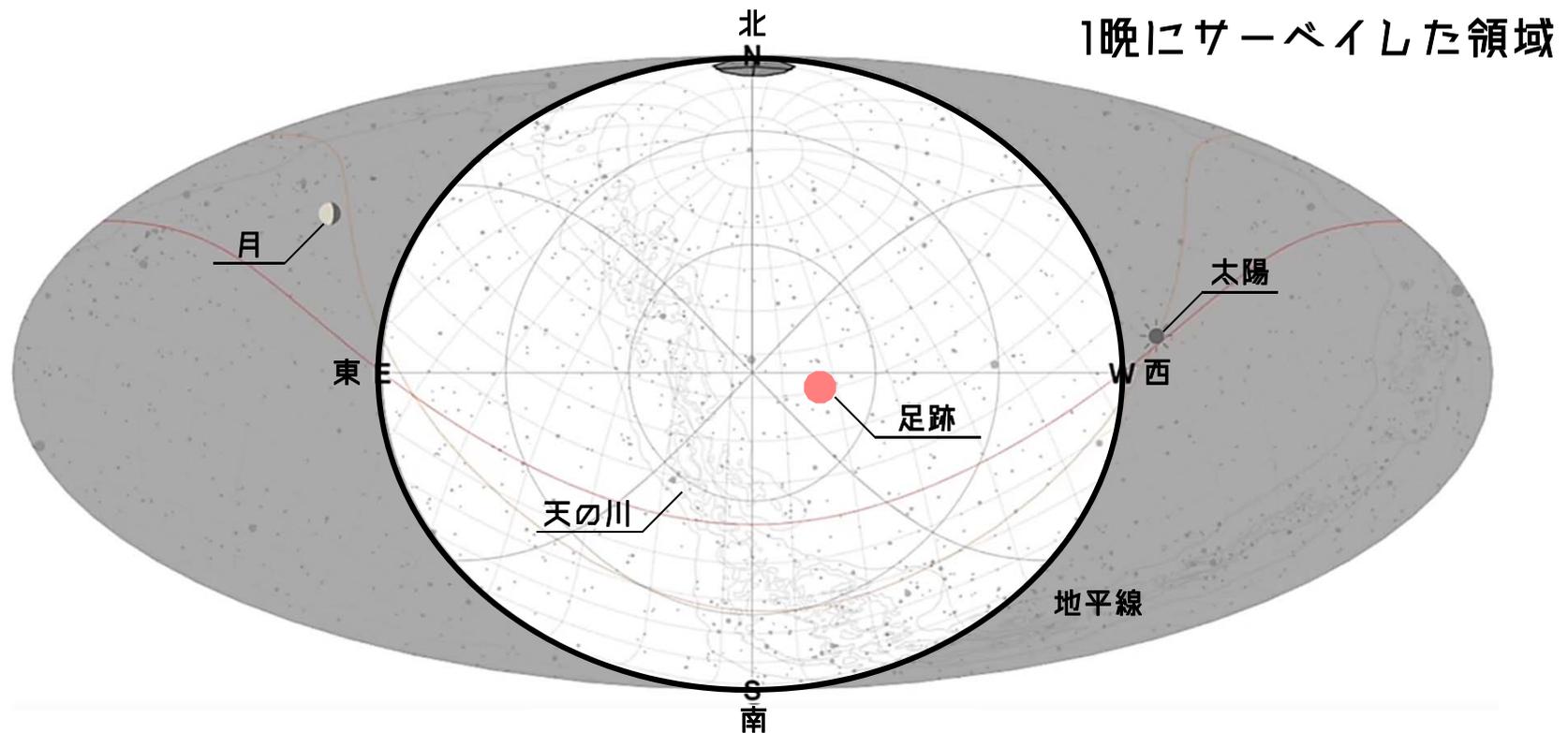
- 各丸: 9度直径の視野
- 黄色: 天の川

## 3. 固定視野 + 高速観測

- 全読 fps@ 20 deg<sup>2</sup>、部分読 < 200 fps@ 52" x 38"
- TNO掩蔽, YSOs, フレア, FRB, 連星WD, 連星BH, 微光流星, NEOs

# 広域動画サーベイの例

2019年9月19日のトモエゴゼンの足跡



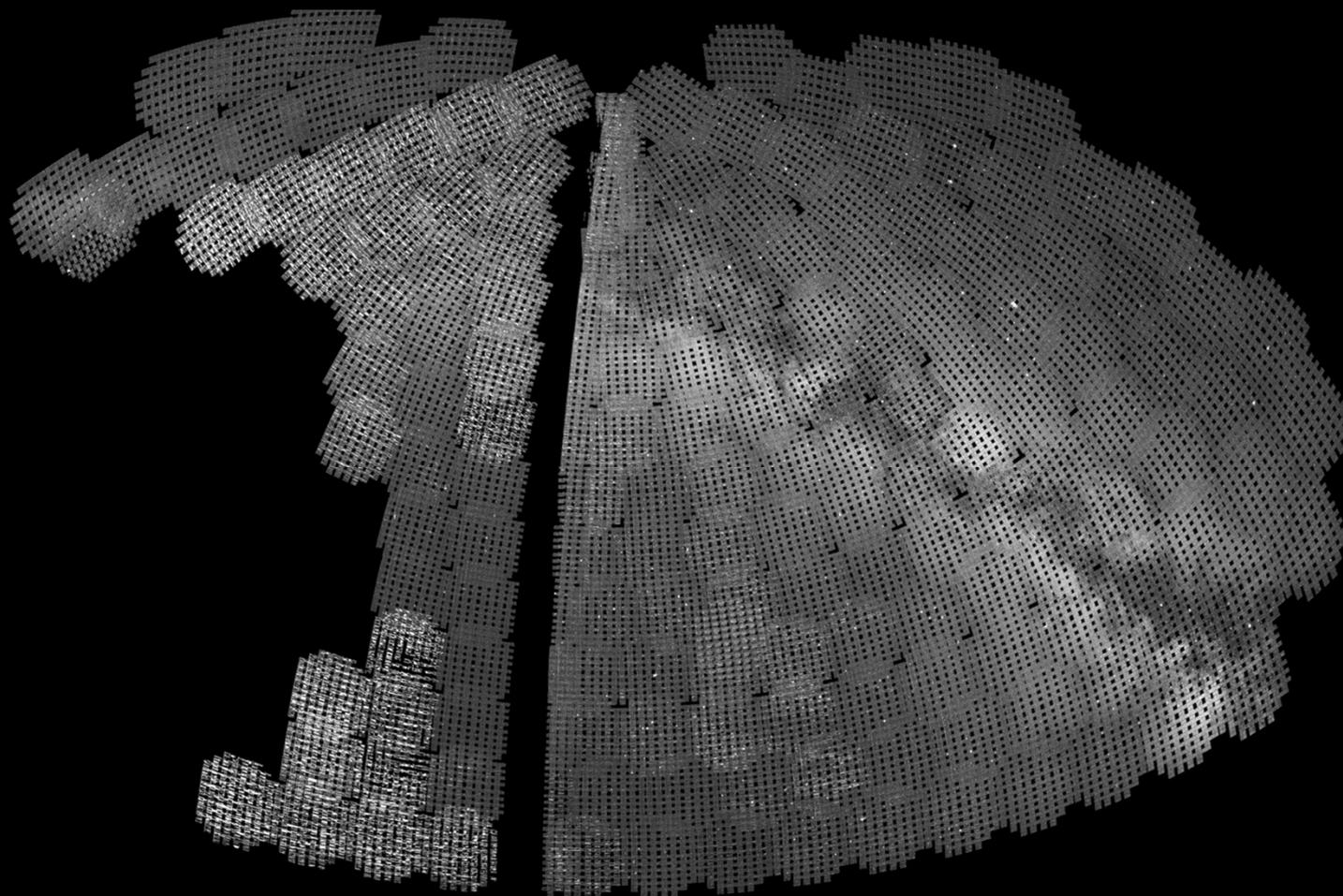
- 巡回セールスマン問題の最適化法を応用
- 状況の変化に応じて適時に再最適化

各視野：27レーム/秒 - 6秒間

全視野：2時間 - 7,000平方度 - 18等星

検出天体：3,000万個/夜

合成画像





# Tomo-e広域サーベイ

## 2. 高速移動天体検出 パイプライン

### $v > 1 \text{ arcsec/sec}$ 移動天体の検出

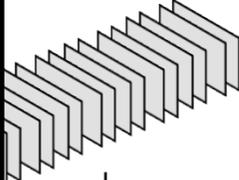
**Tomo-e Gozen NEO Viewer**

Moving Objects

detections: 157

No.	DATE(UTC)	Obj ID.	image	score	RA, DEC	V_ra ["/sec]	V_dec ["/sec]	SN
68	2019-09-09T11:47:04.621	19Jaibww_19481+65672		0.983	19h28m53.0041s +06d33m59.5394s	5.83	1.9	13.62
113	2019-09-09T11:56:18.431	19Jaibxz_18254-28848		0.956	18h15m16.5929s -02d53m04.8308s	6.19	-0.38	25.85
138	2019-09-09T11:57:14.349	19Jaibyc_18170-84879		0.904	18h10m15.2947s -08d29m16.1086s	1.37	-0.18	20.03

天体抽出動画



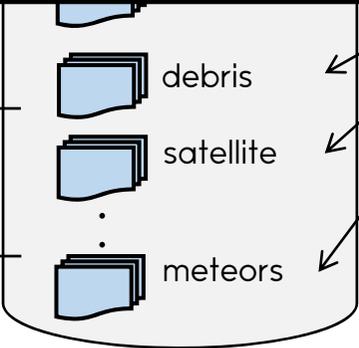
Simple photometry  
 $10^8$   
records/night

Photometry table  
with feature values



SQL interface

Alerts of follow-ups



数100件/夜  
検出

↓ Bogus (artificial, seeing dance, cosmic ray, etc.) is rejected.

Satellite, space catalogues

サイエンスチーム担当 ←

→ Tomo-eシステム担当

# 2020年台のマルチメッセンジャー 重力波天文学

重力波の到来を聴く



重力波望遠鏡  
カグラ/神岡



東大木曾  
トモエゴゼン

京大岡山3.5m  
せいめい望遠鏡

重力波源を狙う

重力波源を見極める

# データの公開

共同研究を歓迎いたします

## • Tomo-e広域サーベイ

- オペレーション 基本的に毎晩、完全自動観測
- イベントデータ (フレッシュなデータ)
  - アクセス方法 2021年まで . . . . . 木曾観測所経由  
2021年以降 . . . . . 東大柏データセンター経由
  - アクセス権 全データ . . . . . 東京大学との共同研究が必要  
一部データ . . . . . 一般公開をめざす
- アーカイブ 国立天文台データセンター

## • キャンペーンプログラム

- 観測提案 東京大学との共同研究としてご相談ください†
- オペレーション キューシステムによる半自動観測。クラシカル観測なし。

†東京大学木曾観測所は全国共同利用は2016年度で終了しました。

□ 大学望遠鏡としての在り方とは？

□ 1m望遠鏡で何ができる？

東京大学木曾観測所が出した答え



T O M O · E  
G O Z E N

- ✓ 斬新なアイデア + クイックに実行
- ✓ 圧倒的なデータ量が口径やシーイングの劣勢を巻き返す
- ✓ マイニングの力が感度を決める
- ✓ 観測の重荷を減らす