

# Tomo-e Gozen Sky Atlas の開発

瀧田 怜,

酒向 重行, 大澤 亮, 紅山 仁, 高橋 英則, 近藤 荘平, 森 由貴, 青木 勉 (東京大学),

Tomo-e Gozen コラボレーション

Object name/position



name	(4896)_Tomoe ozen
ref_date	2021-02-23 12:00:00
mag	16.98

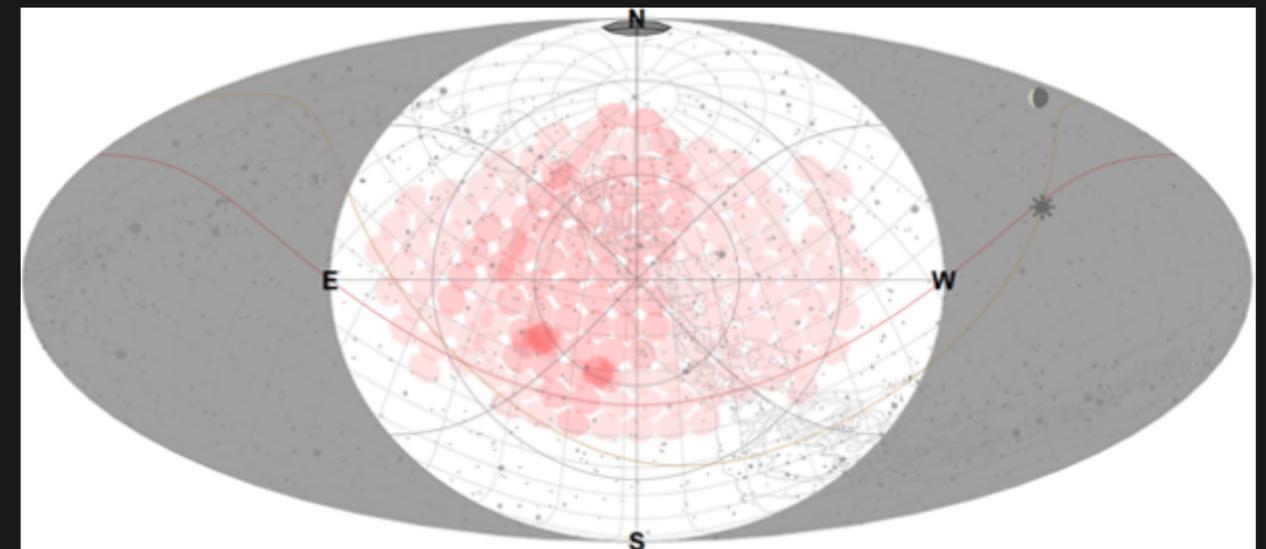
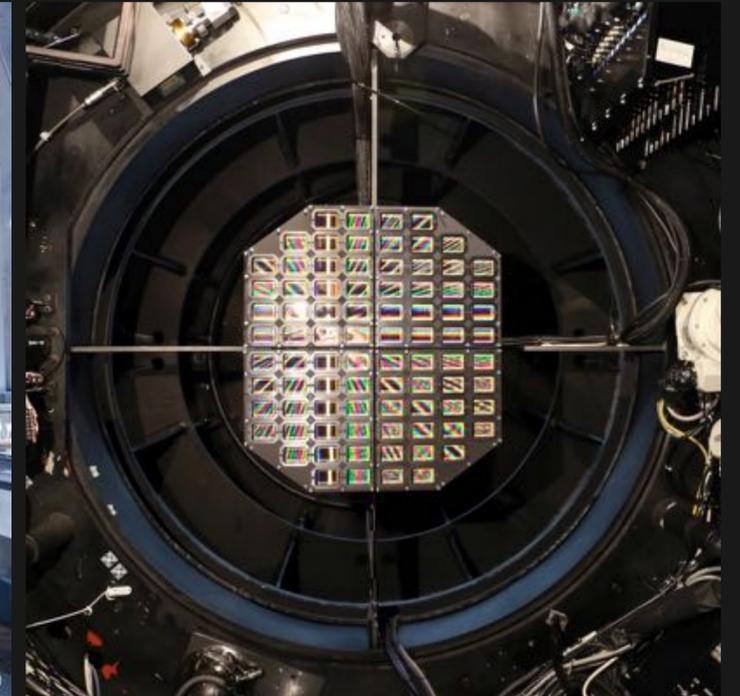
<https://tomoe.mtk.ioa.s.u-tokyo.ac.jp/skyatlas/>

# Outline

- データサーバの整備 (本郷)
  - web service
- 毎晩の観測データのクイックルック
  - Aladin Lite + HiPS => Tomo-e Gozen Sky Atlas
  - HiPS データ作成の自動化
  - 各種機能の追加

# About Tomo-e Gozen

- ・ トモエゴゼン
  - ・ 木曾観測所 105 cm シュミット望遠鏡に搭載
  - ・ **広視野**: ~20 平方度
    - ・ 39 分角 x 22 分角 x 84 chips
  - ・ **動画観測**: 2--68 fps
  - ・ フィルター無し (可視光全域)
- ・ 動画サーベイ観測
  - ・ 毎晩 ~7000 平方度
  - ・ 1 視野あたり **2 fps, 9 秒間 (18 枚) の動画データ**
    - ・ 突発天体や移動天体の探査
    - ・ 9 秒間の動画を足し合わせた画像データを保存



一晩の観測領域

# Web Service

- 本郷キャンパス内にデータサーバを設置
  - web サービス: <https://tomoe.mtk.ioa.s.u-tokyo.ac.jp/>
    - トモエゴゼンの紹介
    - 木曾観測所内限定の情報 (VPN が必要だったもの)
      - 観測ステータス
      - データ公開 (準備中)
      - NEO, 超新星のプロジェクトページ (要パスワード)
  - Sky Atlas によるデータのクイックルック



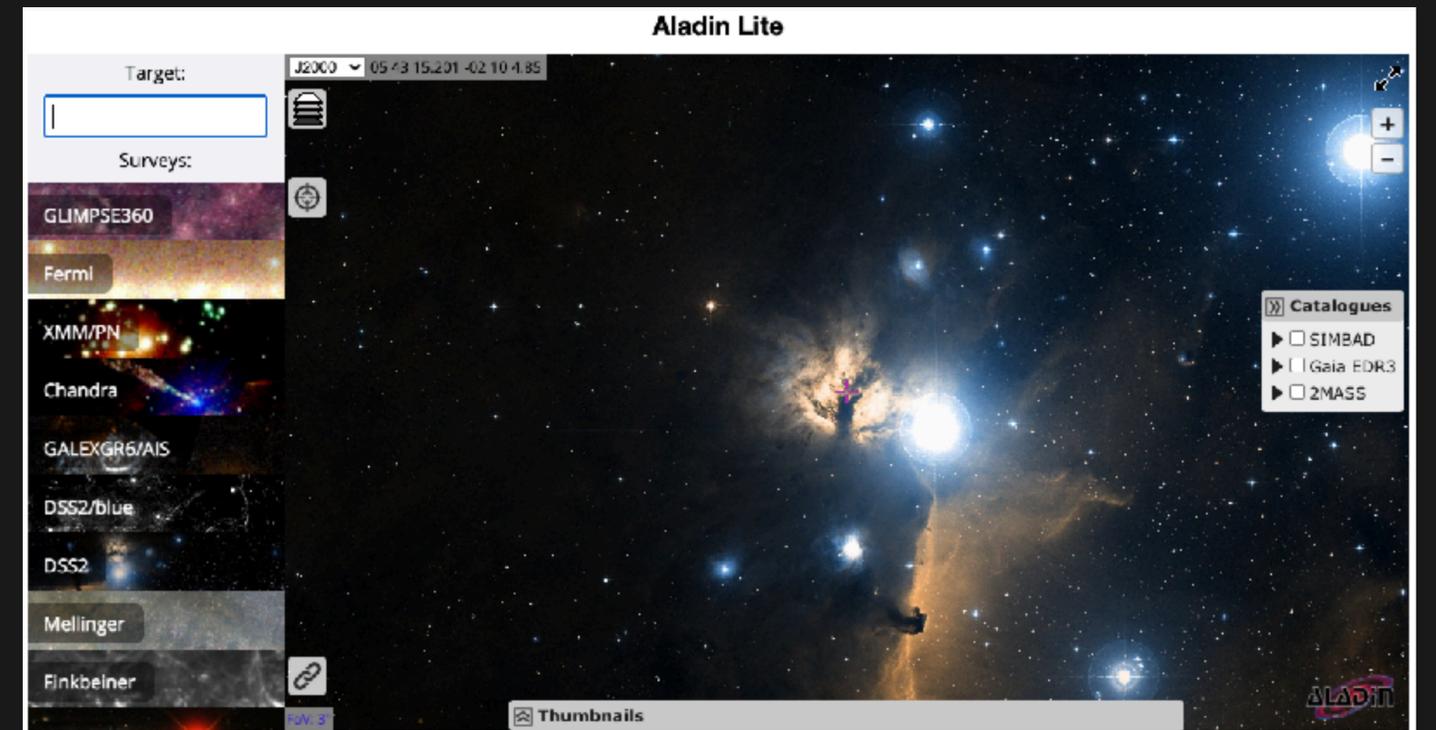
# About Sky Atlas

- 目的

- 毎晩の観測データをクイックルックしたい
- 過去のデータとの比較を簡単にやりたい

- Aladin Lite + HiPS

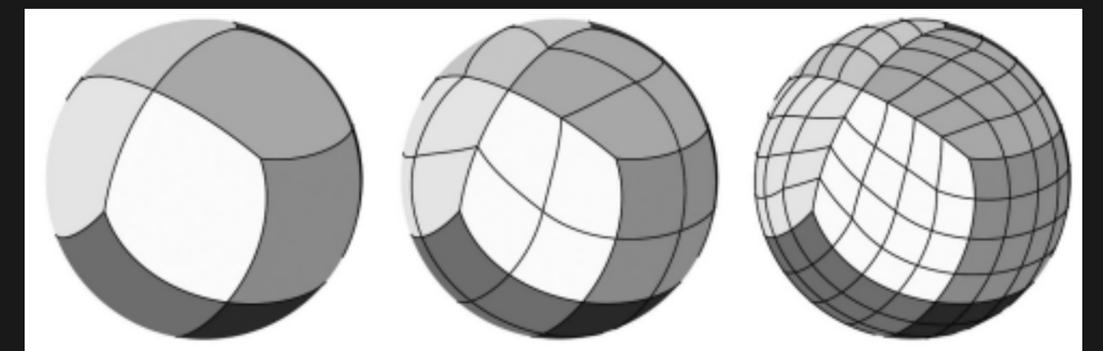
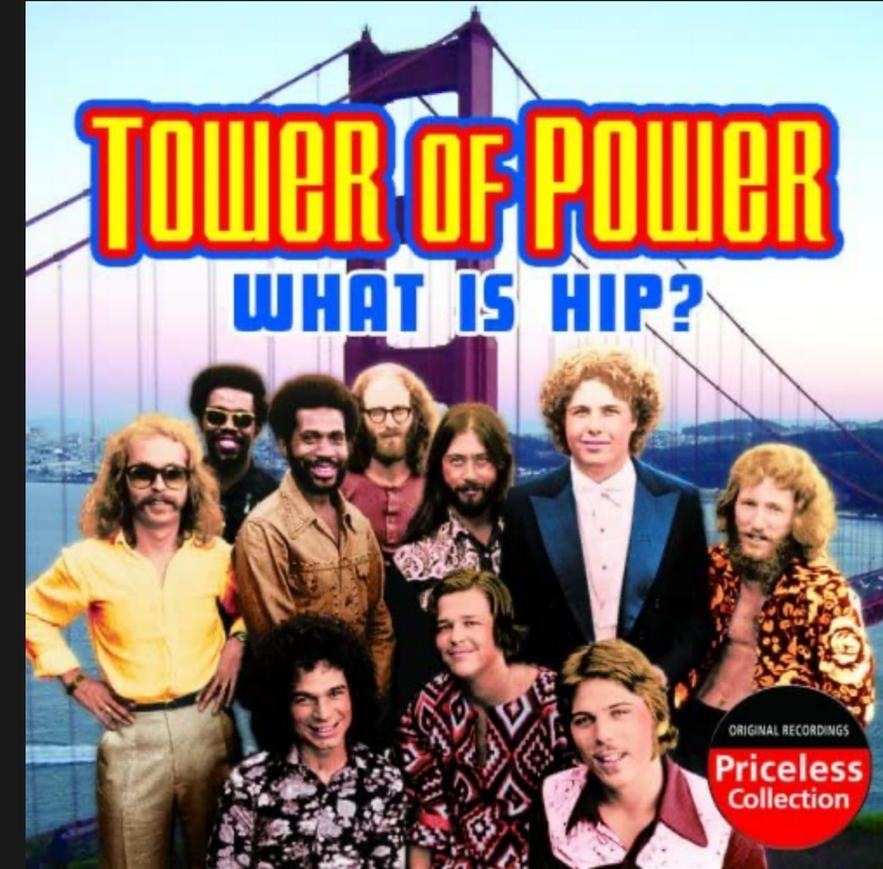
- Aladin Lite: JavaScript で動作する web ブラウザベースの画像ビューア
- HiPS: 全天のデータを記述する枠組みを利用した画像セット
- -> Google Map のようにウェブブラウザ上で画像の閲覧や拡大縮小が可能



<https://aladin.u-strasbg.fr/AladinLite/>

# What Is HiPS?

- Hierarchical Progressive Surveys (Fernique+2015)
- HEALPix による天球面の分割スキームを利用
  - 512x512 pix の画像データの集合
    - HEALPix は一次元
  - 複数の "階層" (空間分解能) のデータを作成
    - ビューアの視野に応じて最適な画像を表示



# Making HiPS Data

- 対象となるスタック済みデータの取得
  - "all-sky survey" のデータのみが対象
  - 明け方の観測終了を待って、本郷のサーバにデータを転送
    - 2 時間程度 -> 将来的にはデータ取得後にそのまま転送したい
- Aladin の java applet を利用した HiPS データへの変換
  - コマンドラインによるバッチ処理
  - 2 時間程度
- トータルで 4 時間程度 -> お昼ごろにはデータ作成完了
  - 観測した領域の広さに強く依存する

# HiPS Data Summary

- 最大空間分解能によってデータサイズは変動
  - Tomo-e Gozen のピクセルスケール: ~1.9"
  - hips order = 8 (1.6")
    - fits + png で 150 GB (5000 平方度)
    - png 単体なら 1/10
      - fits 画像は公開しない
  - 100 nights/year として 10 年で 15TB

$k$	$N_{\text{side}} = 2^k$	$N_{\text{pix}}$	$\theta_{\text{pix}}$	$k_{\text{tile},512}$	$N_{\text{tile},512}$	$\theta_{\text{tile},512}$
0	1	12	58:6			
1	2	48	29:3			
2	4	192	14:7			
3	8	768	7:33			
4	16	3072	3:66			
5	32	12 288	1:83			
6	64	49 152	55:0			
7	128	196 608	27:5			
8	256	786 432	13:7			
9	512	3 145 728	6:87	0	12	58:6
10	1024	12 582 912	3:44	1	48	29:3
11	2048	50 331 648	1:72	2	192	14:7
12	4096	201 326 592	51:5	3	768	7:33
13	8192	805 306 368	25:8	4	3072	3:66
14	$2^{14}$	$3.22 \times 10^9$	12:9	5	12 288	1:83
15	$2^{15}$	$1.29 \times 10^{10}$	6:44	6	49 152	55:0
16	$2^{16}$	$5.15 \times 10^{10}$	3:22	7	196 608	27:5
17	$2^{17}$	$2.06 \times 10^{11}$	1:61	8	786 432	13:7
18	$2^{18}$	$8.25 \times 10^{11}$	0:81	9	3 145 728	6:87
19	$2^{19}$	$3.30 \times 10^{12}$	0:40	10	12 582 912	3:44
20	$2^{20}$	$1.32 \times 10^{13}$	0:20	11	50 331 648	1:72
21	$2^{21}$	$5.28 \times 10^{13}$	0:10	12	201 326 592	51:5
22	$2^{22}$	$2.11 \times 10^{14}$	50.3 mas	13	805 306 368	25:8
23	$2^{23}$	$8.44 \times 10^{14}$	25.1 mas	14	$3.22 \times 10^9$	12:9
24	$2^{24}$	$3.38 \times 10^{15}$	12.6 mas	15	$1.29 \times 10^{10}$	6:44
25	$2^{25}$	$1.35 \times 10^{16}$	6.29 mas	16	$5.15 \times 10^{10}$	3:22
26	$2^{26}$	$5.40 \times 10^{16}$	3.15 mas	17	$2.06 \times 10^{11}$	1:61
27	$2^{27}$	$2.16 \times 10^{17}$	1.57 mas	18	$8.25 \times 10^{11}$	0:81
28	$2^{28}$	$8.65 \times 10^{17}$	0.786 mas	19	$3.30 \times 10^{12}$	0:40
29	$2^{29}$	$3.46 \times 10^{18}$	0.393 mas	20	$1.32 \times 10^{13}$	0:20

hips\_order

分解能

# Sky Atlas Features

- Aladin Lite は JavaScript ベースなのでいろいろと拡張可能
  - 各観測日のデータの登録
  - 天体カタログの作成・描画
    - 小惑星等の移動天体
      - Minor Planet Center から軌道要素を取得し、観測日毎に位置を計算
    - TNS 天体
  - 画像上のお絵書き
    - 星座線の表示
    - グリッド線の表示

# Quick Guide

天体検索 (英語のみ)

例: M31, Sirius

英語・日本語  
切り替え

Object name/position やまねこ

Tomoe-20210204

現在表示している画像 (日付)

拡大・縮小  
マウススクロールでも可

火星

天王星

L: 月 (Luna)  
H: 水星 (Hermes)  
V: 金星  
M: 火星  
J: 木星  
S: 土星  
U: 天王星  
N: 海王星  
P: 冥王星

# Quick Guide

The screenshot shows the Tomoe Sky Atlas web application. The browser address bar displays the URL: `tomoe.mtk.ioa.s.u-tokyo.ac.jp/skyatlas/?lang=ja&target=05%2022%2013`. The main area is a star map with constellation boundaries and labels in Japanese, including ぎよしゃ, ペルセウス, おうし, おひつじ, オリオン, いかくじょう, うさぎ, and others. A control panel on the left side is highlighted with a red box. It contains the following elements:

- Object name/position: やまねこ
- Image selection: トモエゴゼンの画像
- Date selection: 2021-02 (left) and 2021-02-04 (right)

A red text box with white text is overlaid on the control panel, providing instructions:

**画像の選択**  
左側: 観測した月で範囲を選択  
右側: その月の中の観測データを選択

At the bottom right, there are logos for Tomoe Sozen and ALADIN. A small menu icon is visible at the bottom left.

# Quick Guide

J2000 05 22 13.916 +10 19 6.87

Object name/position やまねこ

Tomoe-20210204

太陽系内天体

- 月, 惑星, 冥王星
- Itokawa, Ryugu, 木曾にゆかりのある小惑星
- 小惑星 (小惑星番号 1000 番まで)
- 接近中の彗星

太陽系内の天体を表示  
観測した晩の位置を計算

彗星は座標精度があまり良くない  
(周期の求まっているものが少ない)  
明るさの予測がしづらい

J2000 09 17 56.493 -06 13 5.16

Tomoe-20210223

名称	(4696) Tomoe
座標	0220
観測時刻 (推定)	2021 02 23
世界時	12:00:00
可視光等級	16.98

21時の予想座標

3時

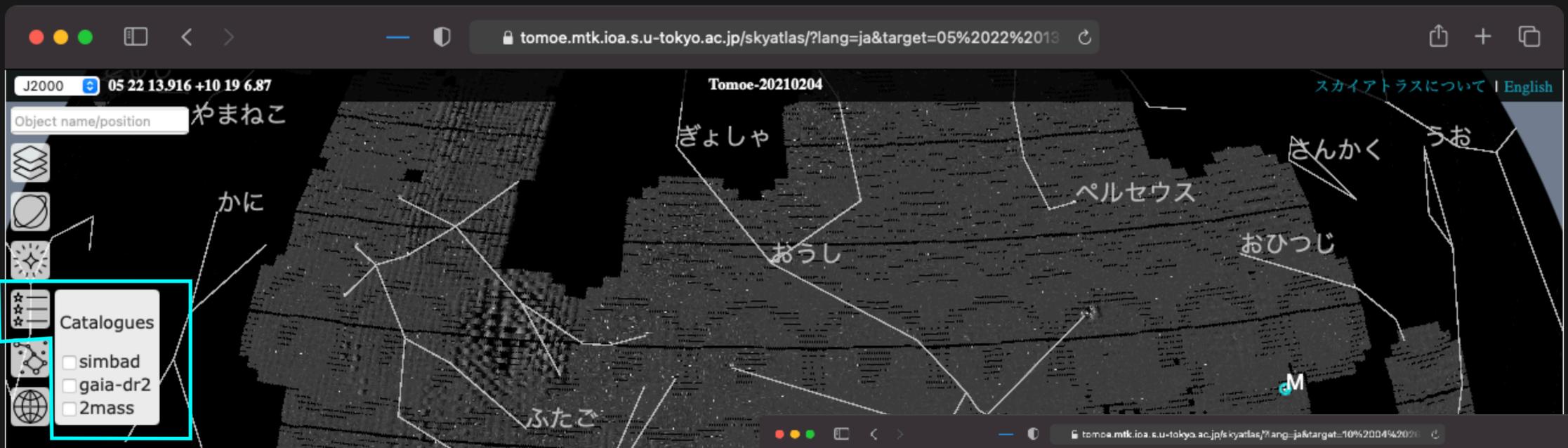
18時

天体の移動する方向

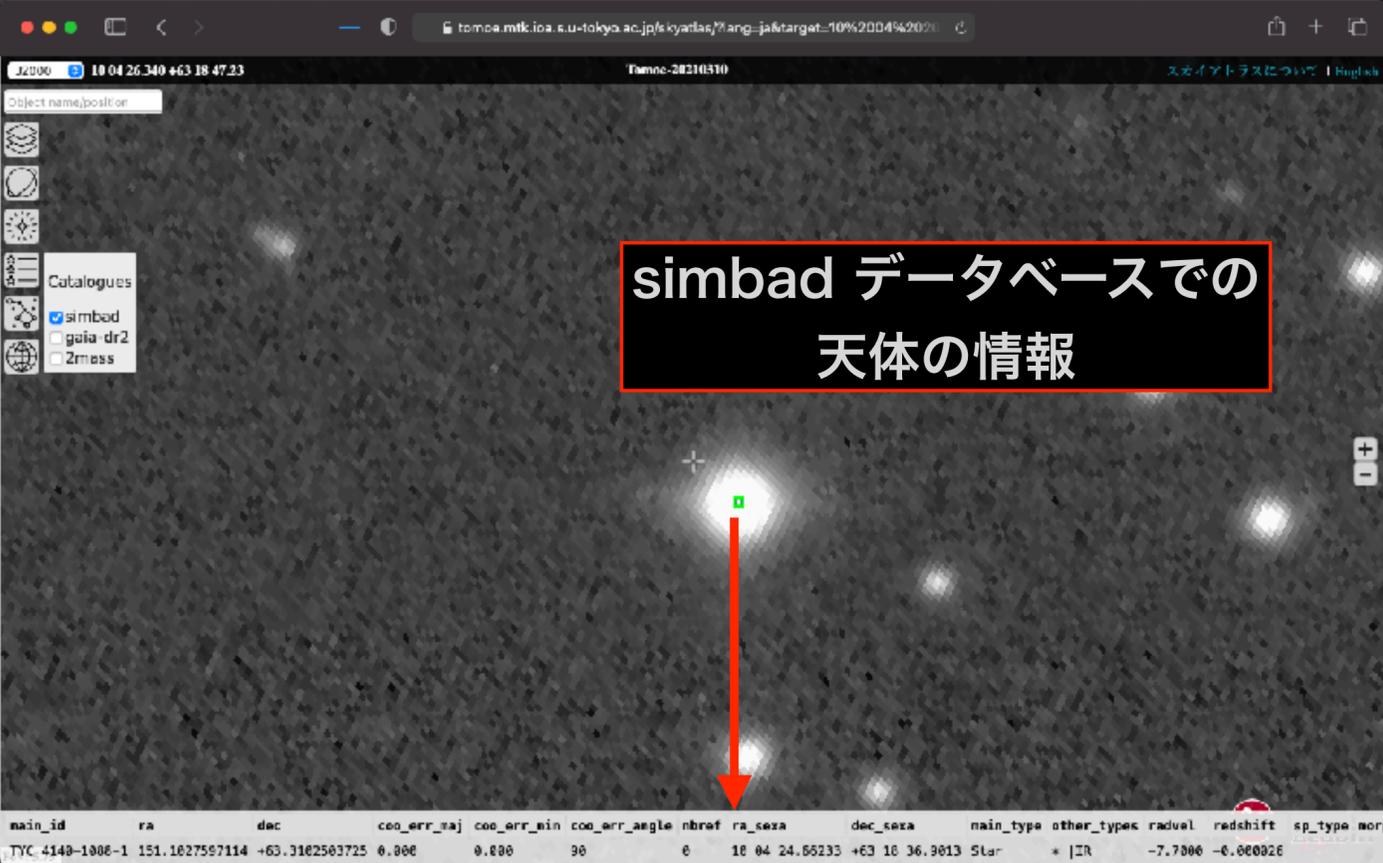
# Quick Guide

The image shows two screenshots of the Tomoe Sky Atlas web application. The top screenshot displays a constellation map with labels in Japanese such as 'かに' (Cancer), 'ぎょしゃ' (Cygnus), 'ペルセウス' (Perseus), 'おひつじ' (Aries), and 'うお' (Pisces). A search bar at the top left contains 'J2000 05 22 13.916 +10 19 6.87' and 'Object name/position やまねこ'. A sidebar on the left has a red box around the '突発天体' (Transient) and '突発天体データベース' (Transient Database) options. A large text box in the center reads: '突発天体 (超新星等の急に増光する天体) 現在は Transient Name Server で報告された天体を表示' (Transient (objects that suddenly increase in brightness, such as supernovae) Currently, objects reported by the Transient Name Server are displayed). The bottom screenshot shows a zoomed-in view of a star field with a red box around a specific point. A tooltip for this point shows '名称 AT 2021 rl' and '突発天体データベース' with a 'Link' button. A red box at the bottom right of this screenshot reads: 'Transient Name Server へのリンク' (Link to Transient Name Server).

# Quick Guide



天体カタログの検索 (研究者向け)



simbad データベースでの天体の情報

# Quick Guide



星座の表示  
非表示切り替え

座標グリッドの表示  
非表示切り替え

# Artefacts

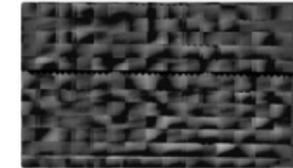
- ・ 観測、データ処理は自動で行われる
- ・ 質の悪いデータもそのまま使われるため、スカイアトラスの画像には不自然なデータが現れる
  - ・ 薄雲の通過
  - ・ CMOS チップ間の隙間
  - ・ 移動天体 (主に人工衛星)
  - ・ ゴースト (明るい星、惑星の周辺)

## よくある質問

### 「トモエゴゼンスカイアトラスについて」

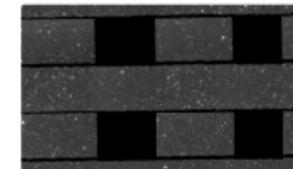
#### 空がまだら模様に見えます。

観測中に薄雲が通過したことが原因です。トモエゴゼンは雲を避けるように自動観測を行っていますが、薄雲を完全に避けることはできません。スカイアトラスでは取得したデータを選別せずに利用しているため、このような薄雲のデータも含まれます。



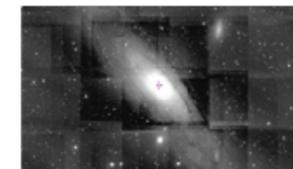
#### 空に隙間があります。

データが取得されなかった領域です。84枚のCMOSイメージセンサーのそれぞれの間には隙間があります。この隙間を埋めるために観測する空の場所を少しずつ変えながらデータを取得しています。しかし、現在のスキャン方法では隙間を完全に埋めることができていません。トモエゴゼンは空の広い領域の観測を目的としているため、若干の隙間は許容しています。電気的な要因でデータの取得に失敗した場合も、観測データの一部分が欠損します。



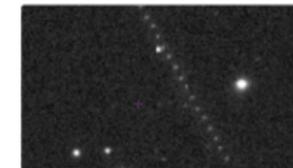
#### 天体の周辺の空が凹凸に見えます。

データの処理による問題です。トモエゴゼンの84枚のCMOSイメージセンサーの画像データをつなぎ合わせる際に、それぞれのイメージセンサーが見ている空の平均的な明るさを揃える処理をしています。明るい天体や広がった星雲等が含まれるデータでは空の明るさの測定が困難なため、画像間に段差が生じてしまいます。



#### 直線状に天体が並んでいます。

大部分は人工衛星または宇宙デブリです。スカイアトラスの画像はトモエゴゼンが19回連続で取得した0.5秒露光の画像データを足し合わせて作成されます。18枚の画像の中に1回しか検出されない信号はノイズとして除去されます。空を高速に移動する人工衛星や宇宙デブリの軌跡はこの処理により除去される対象ですが、夜露光の軌跡の先頭と末尾の像は前後の画像データにまたがる（二回検出される）ため除去されずに残ります。そのため人工衛星や宇宙デブリの軌跡は、直線状に並ぶ17個の点像としてスカイアトラスの画像の中に現れます。



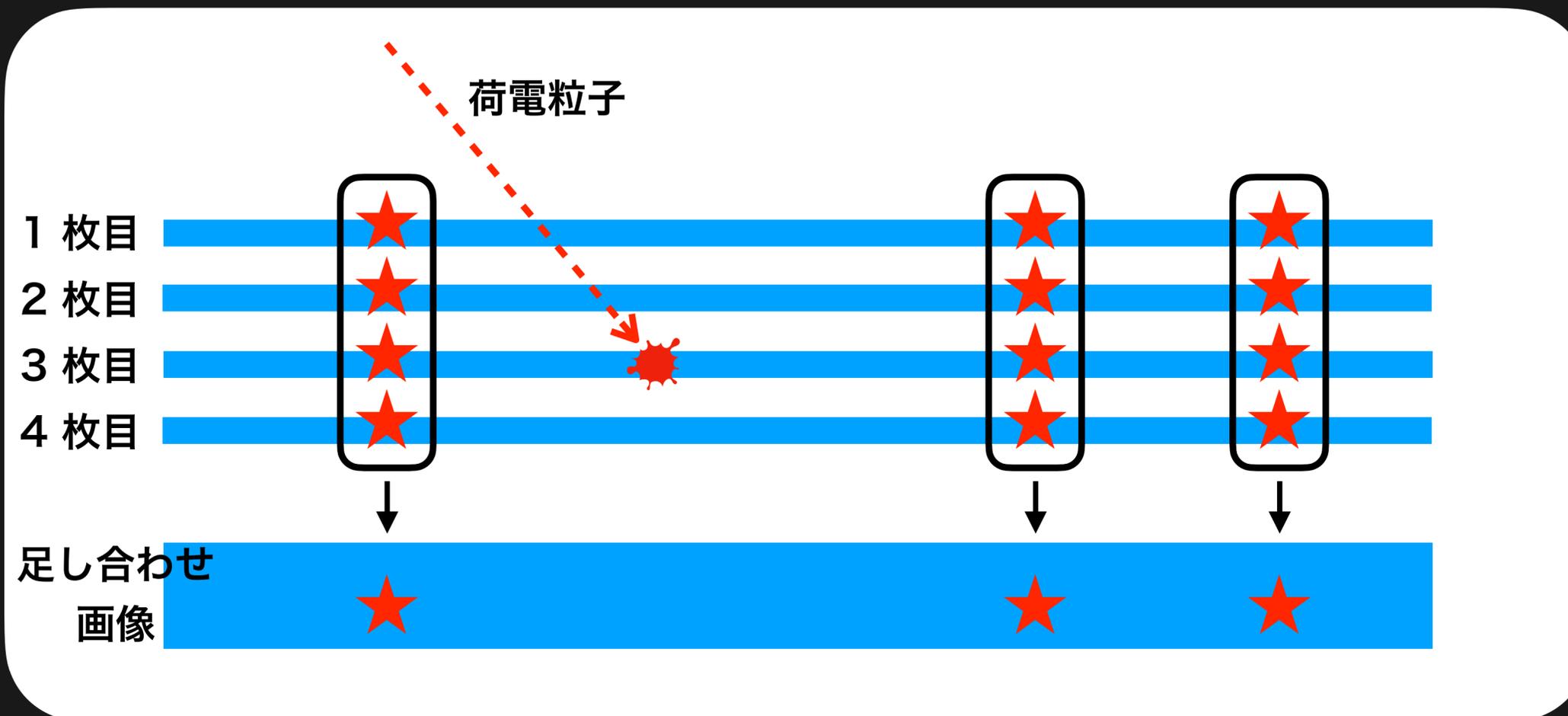
#### クラゲのような模様が見えます。

光学的なゴーストです。シュミット望遠鏡ではクラゲ形状のゴーストが出現することが知られています。シュミット望遠鏡のクラゲ形状のゴーストは明るい星が視野内に入った時に、望遠鏡光軸に対して対称の位置に出現します。明るい天体の縦や横方向にマジックパターンが発生することもあります。



# Artefacts (satellite)

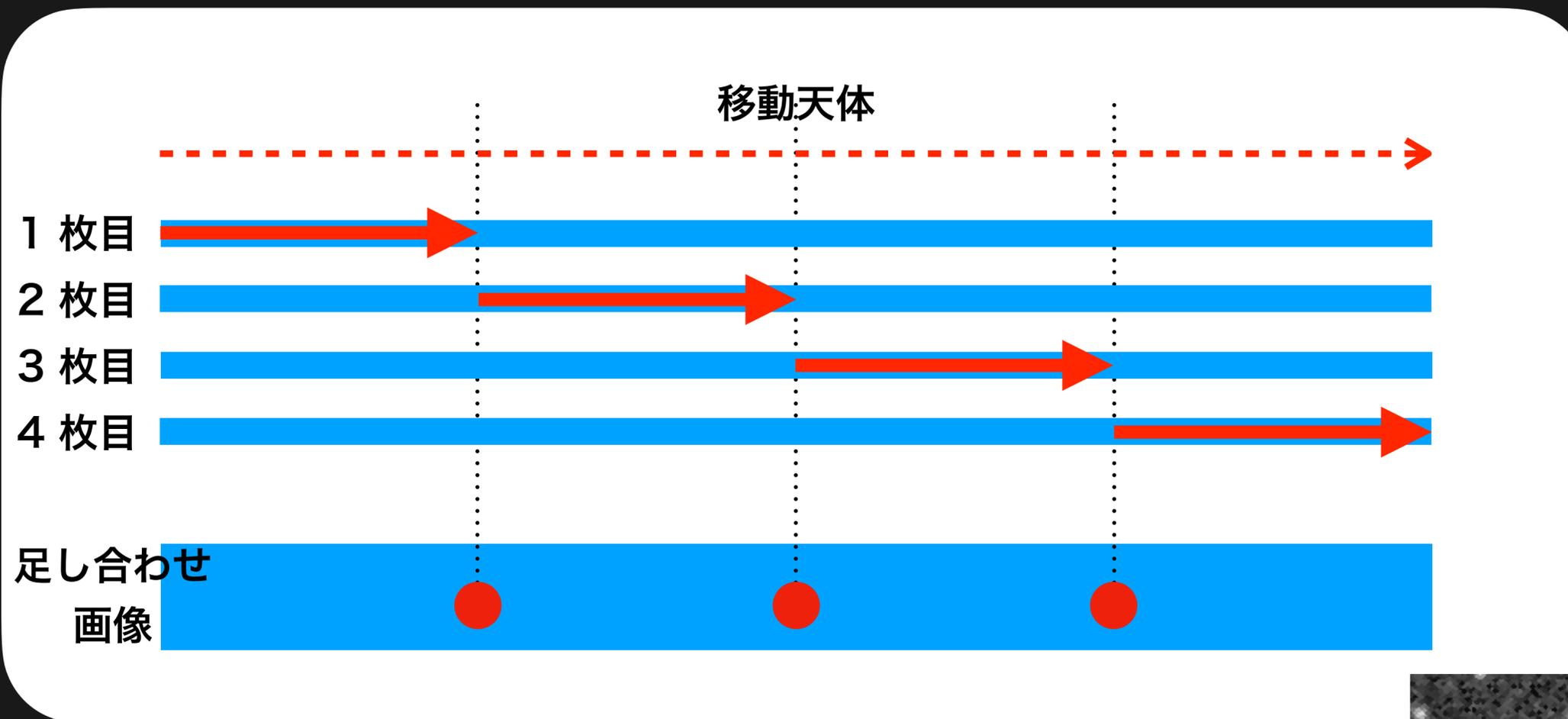
0.5 秒毎に 18 枚  
の画像を連続で取得



荷電粒子等によるノイズは 18 枚の画像のうち 1 枚にだけ現れる  
-> 一回だけ検出された点は足し合わせによって消える

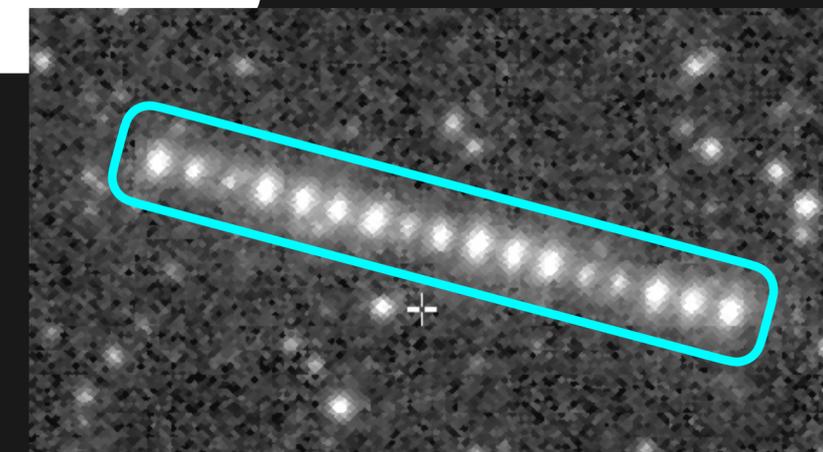
# Artefacts (satellite)

0.5 秒毎に 18 枚  
の画像を連続で取得



荷電粒子等によるノイズは 18 枚の画像のうち 1 枚にだけ現れる  
-> 一回だけ検出された点は足し合わせによって消える

移動天体の場合は、前後の画像にまたがって (二回) 検出される  
-> 17 個の点が直線上に並ぶ



# Summary

- 本郷のデータサーバからのデータ公開
- Sky Atlas の作成・公開
  - (png 画像の) 即時公開
  - 今後の展望
    - Northern Sky Survey (超新星プロジェクト用のリファレンス画像) の追加
    - "比較モード" の作成
      - 異なる観測日のデータを左右に表示

