

第14回光赤外線天文学大学間連携ワークショップ

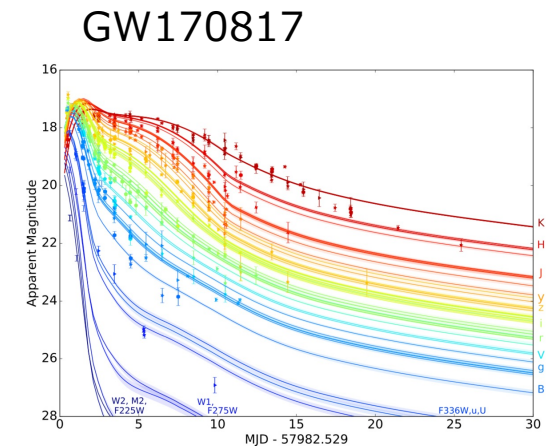
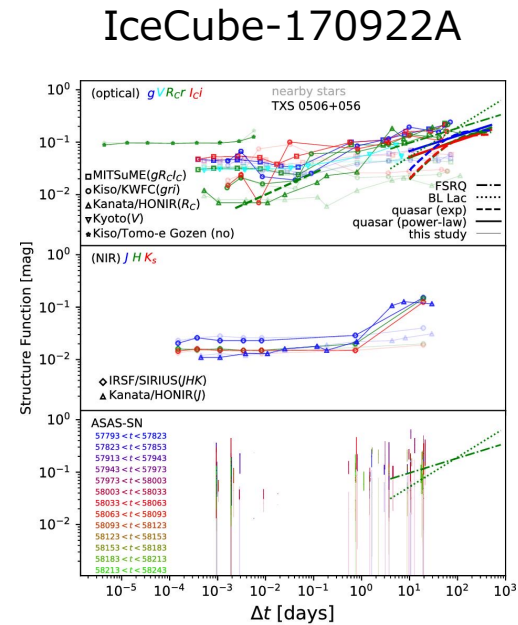
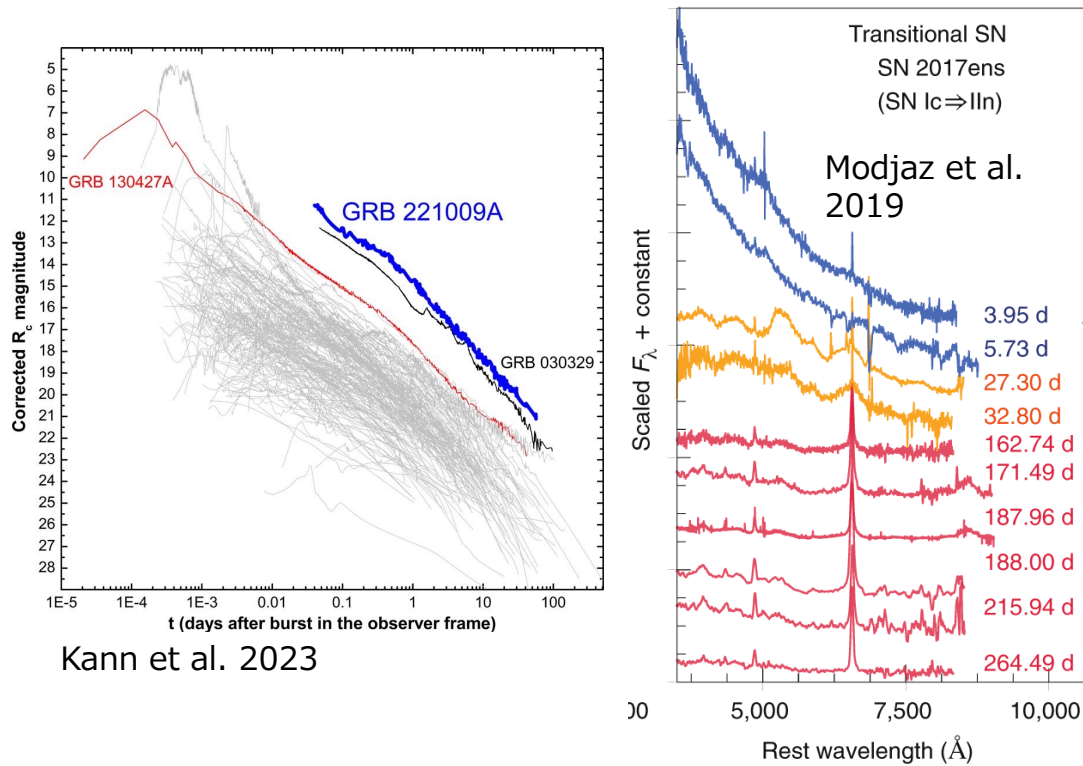
2024年3月9日

機械学習による 突発天体検知技術

東京工業大学

高橋一郎

突発天体の検出は時間との勝負



Villar et al. 2017

Morokuma et al. 2021

人の手では追いつかない事例が増えてきた → 機械学習技術の必要性

今日話すこと

- すばるHSC探査における超新星の検出
- Tomo-e Gozen 突発天体探査におけるReal/Bogus分類の改善
- Tomo-e Gozen 動画データからの短時間突発現象の検出
- MITSuMEデータを使用した差分を行わない突発天体検知手法の開発
- Tomo-e Gozenにおける突発天体即時アラートシステムの開発



8年

機械学習技術でどんなことができるのか？

すばるHSC探査における超新星の検出

Morii et al. 2016, **Machine-learning selection of optical transients in the Subaru/Hyper Suprime-Cam survey**, *PASJ*, Volume 68, Issue 6, December 2016, 104,
<https://doi.org/10.1093/pasj/psw096>

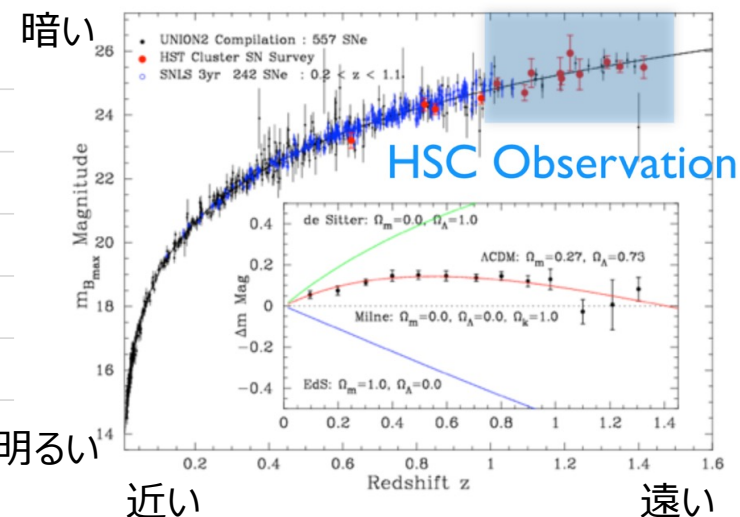
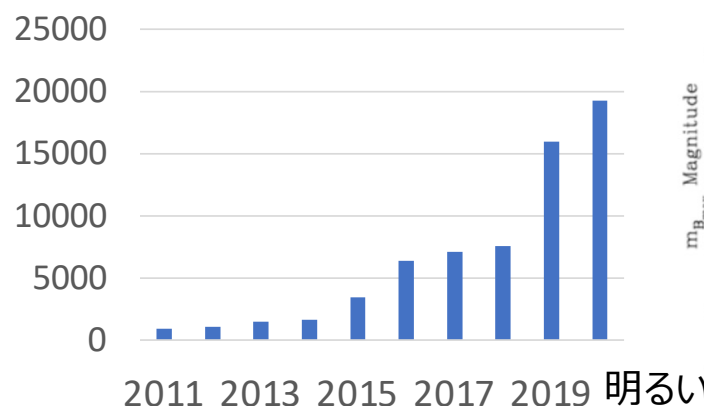
Yasuda et al. 2019, **The Hyper Suprime-Cam SSP transient survey in COSMOS: Overview**, *PASJ*, Volume 71, Issue 4, August 2019, 74, <https://doi.org/10.1093/pasj/psz050>

すばる望遠鏡による超新星探査

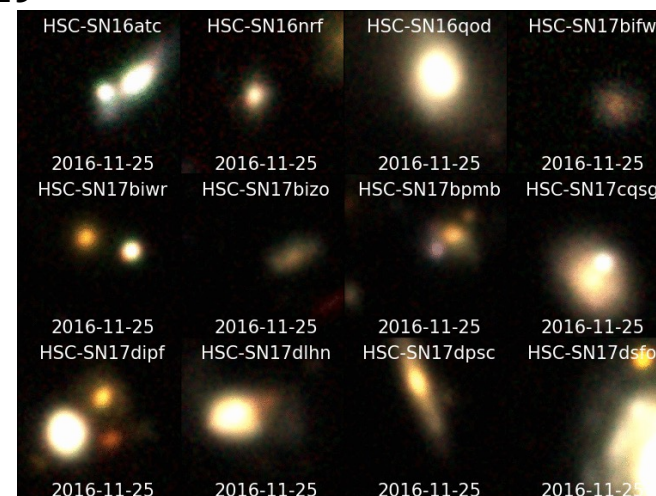
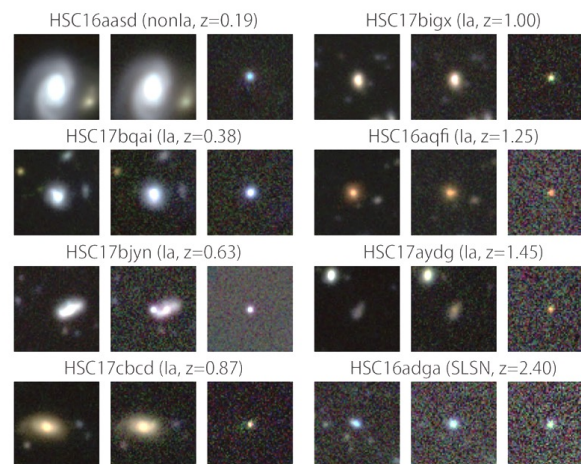
- 発見される超新星の数は急増
- 全世界での発見数は10万/年へ
- 機械学習技術の必要性
- すばる望遠鏡HSCによる探査

- 2016年11月から6ヶ月
- 遠方の超新星（特にIa型）
- 明るさと距離の関係から宇宙モデルを推定

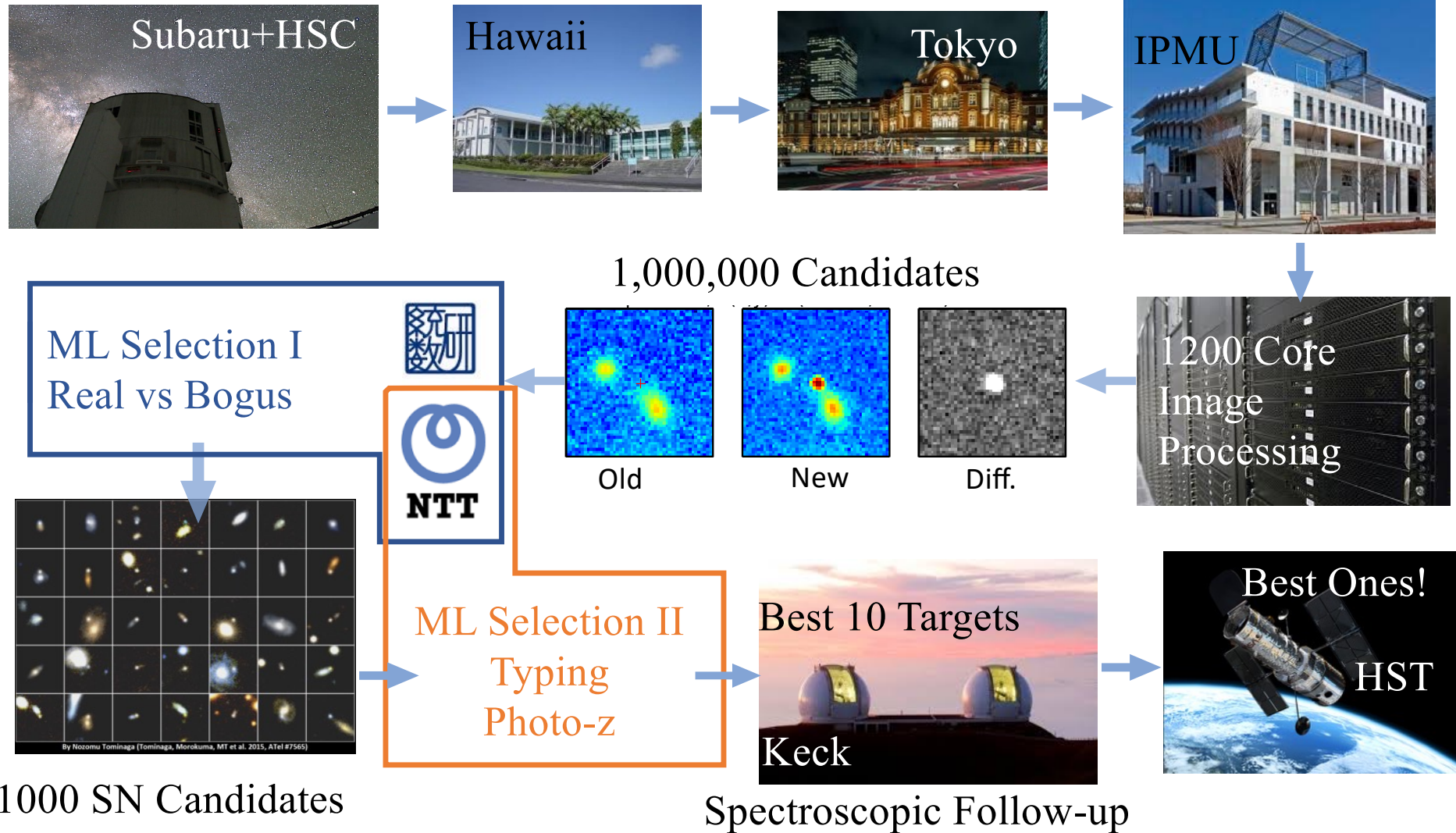
超新星の発見数



発見された超新星の例 Yasuda et al. 2019

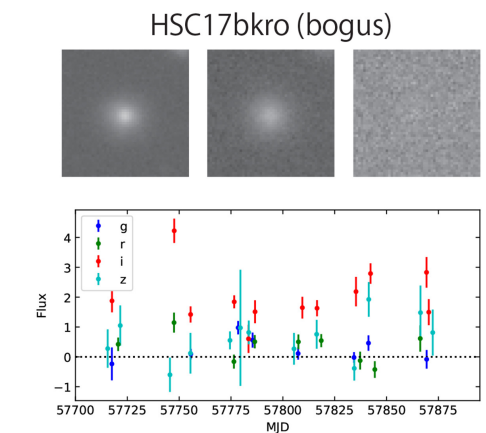
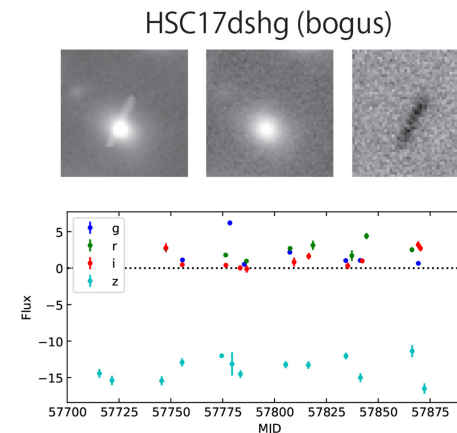
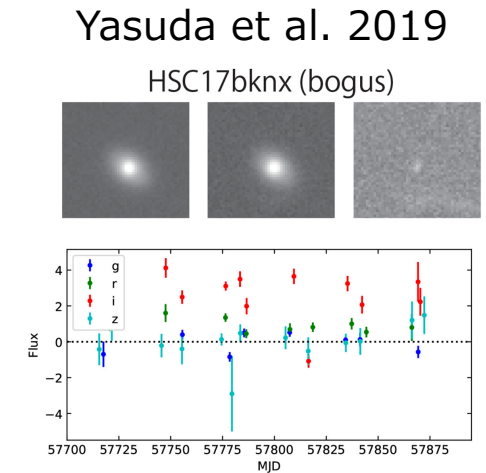
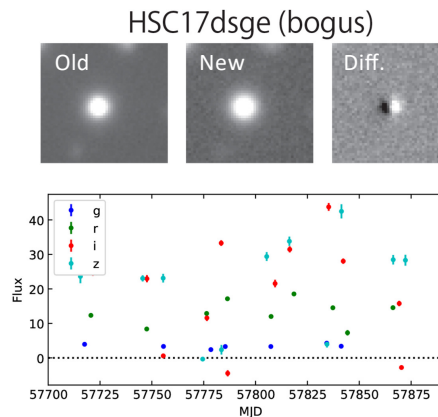


超新星探査の流れ



機械学習によるReal/Bogus分類

- 差分画像から変動天体を検出
- 誤検出 (Bogus) が大量 (10^6) に出てくる
- Realを機械学習で選別
- 複数の分類器の多数決
 - BogusとRealの画像を機械に学習させ分類
 - 変動天体の等級や星像の形状を特徴量として学習させて分類
- 最後は人の目でチェック
 - 機械による選別後でも6万天体
 - 最終的な超新星候補は1824



Tomo-e Gozen 突発天体探査における 深層学習による Real/Bogus 分類の改善

Takahashi et al. 2022, **Deep-learning real/bogus classification for the Tomo-e Gozen transient survey**, *Publications of the Astronomical Society of Japan*, Volume 74, Issue 4, August 2022, Pages 946–960, <https://doi.org/10.1093/pasj/psac047>

Tomo-e gozen project

Kiso schmidt telescope

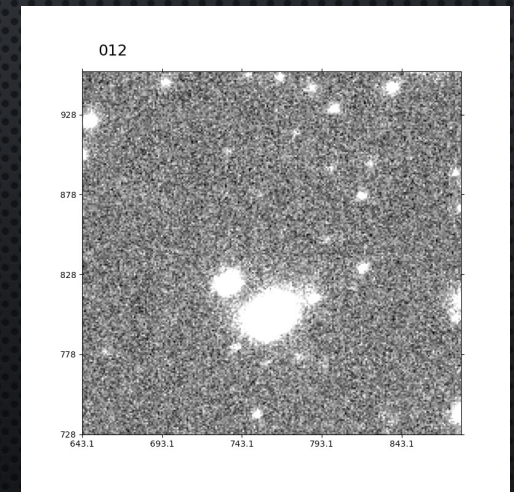
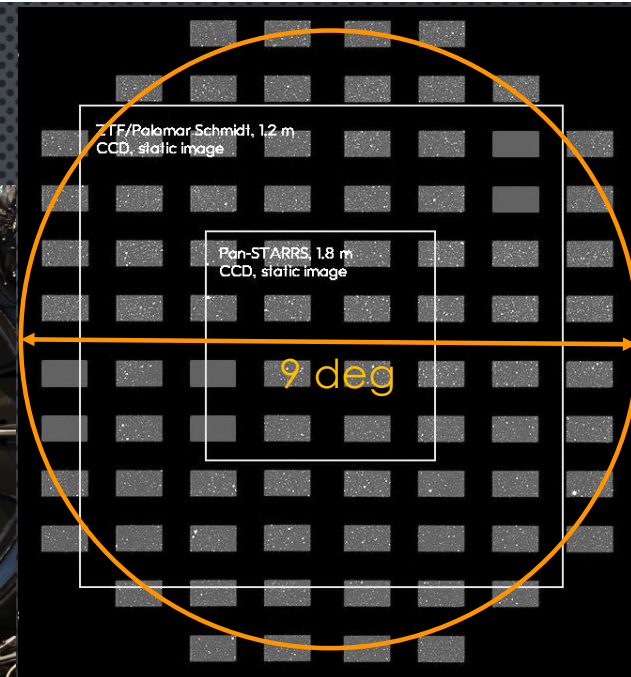
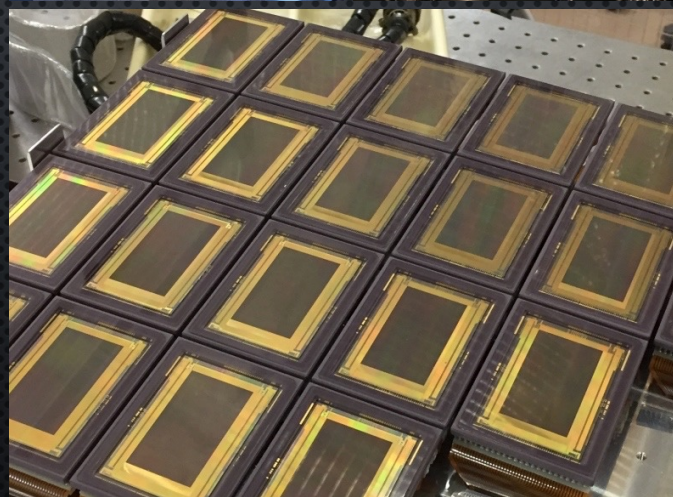
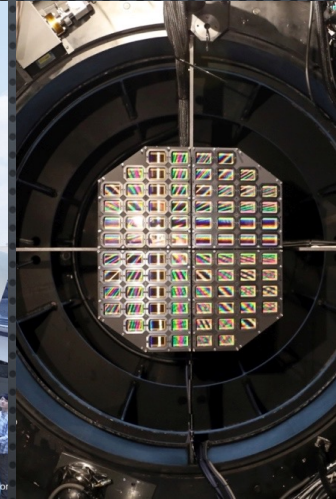
- 1.05 m
- FOV : 9 deg in diameter

Tomo-e gozen camera

- Wide-field CMOS imager
- 84 CMOS sensors
- 20 deg² sky in 2 fps
- 30 TB /night

CMOS image sensor

- 2000 x 1128 pixels
- Non-cooling
- Low read noise of 2 e⁻



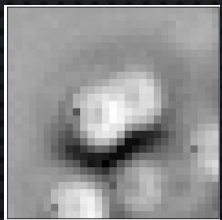
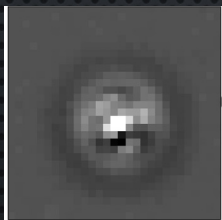
http://www.mtk.ioa.s.u-tokyo.ac.jp/kiso/p/top_e.html

突発天体の検出

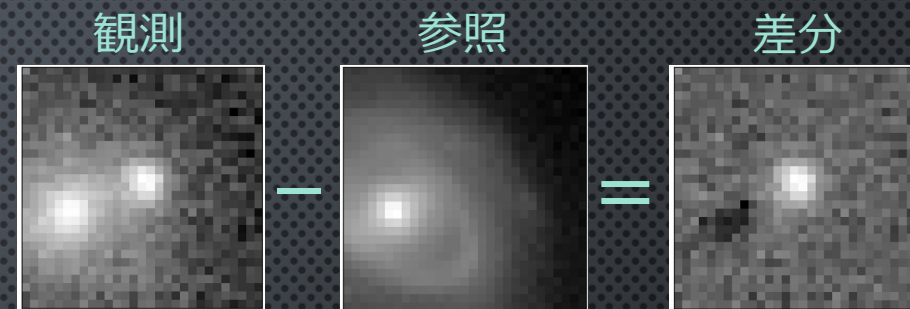
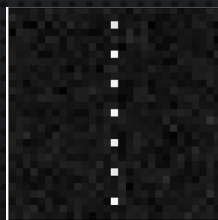
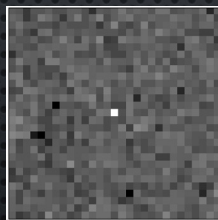
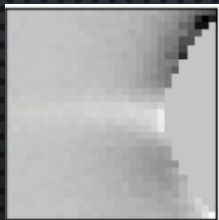
- 画像差分による検出
- 誤検出 (Bogus) $\sim 10^6/\text{Night}$
 - > 機械学習を使用したReal/Bogus分類

Bogusの例

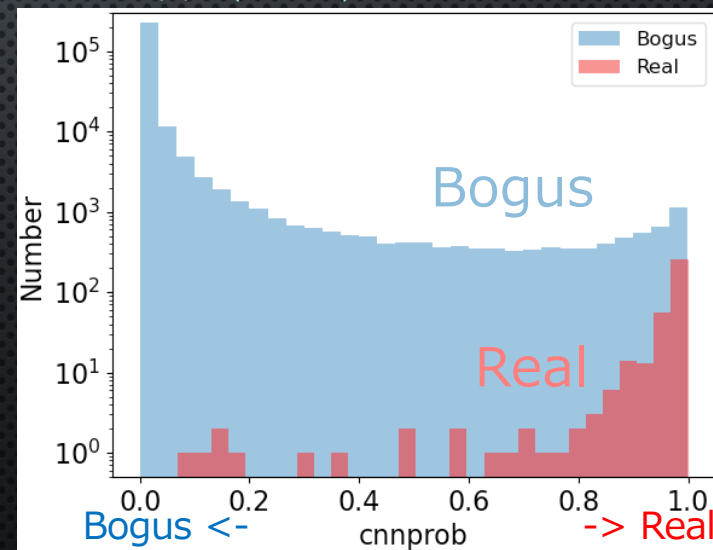
差分の失敗



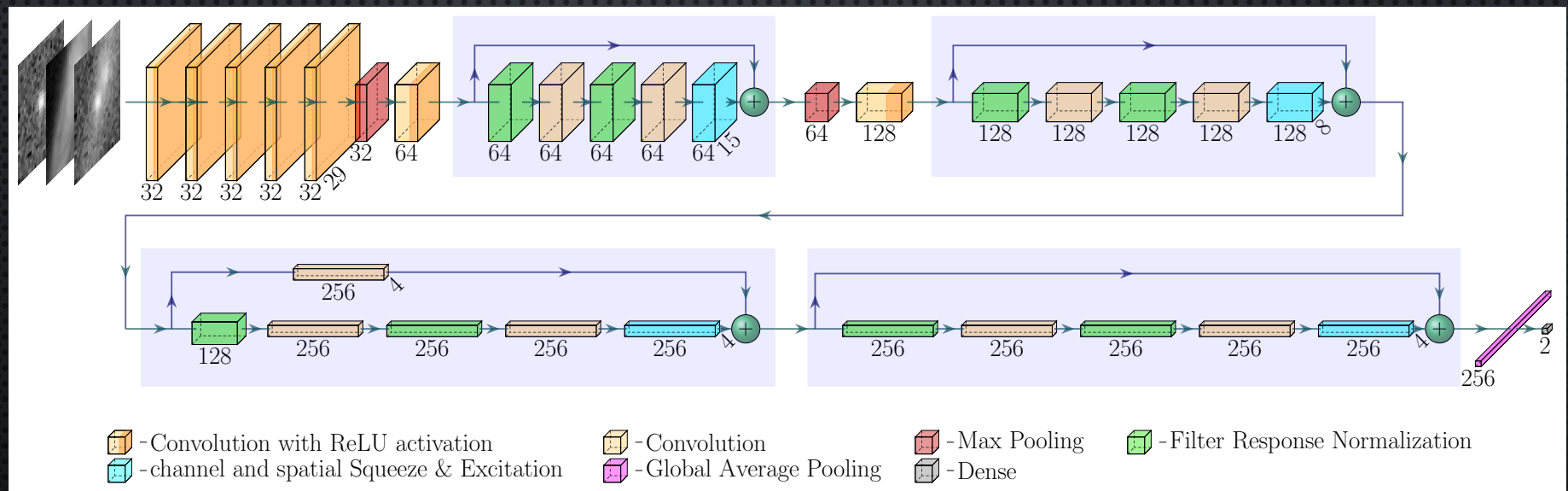
装置起源



機械学習 (CNN) による分類結果

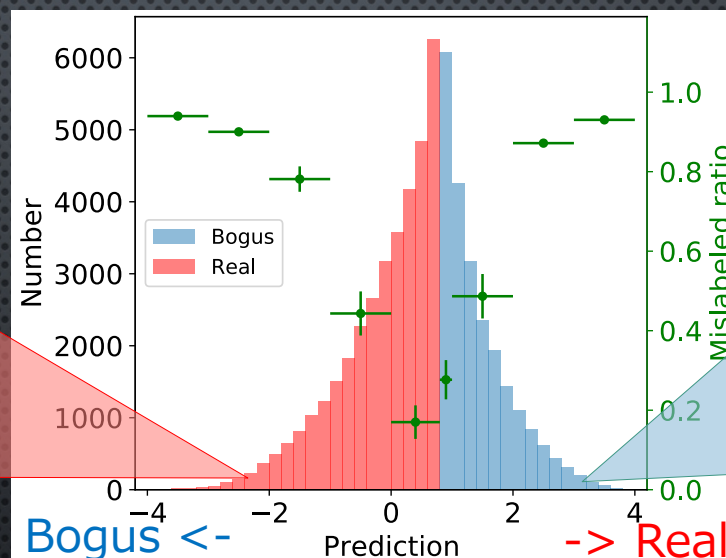
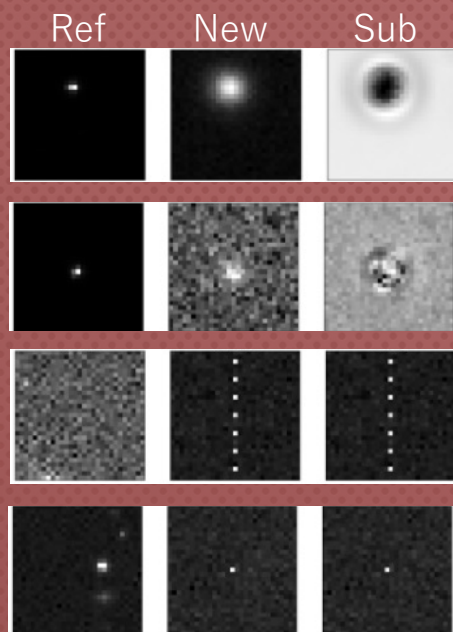


本物が偽物に埋もれる

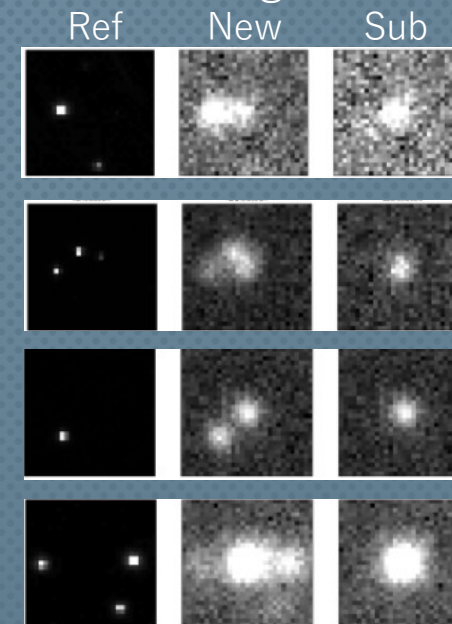


学習方法の改善②：ラベルエラーへの対処

ラベル：Real



ラベル：Bogus



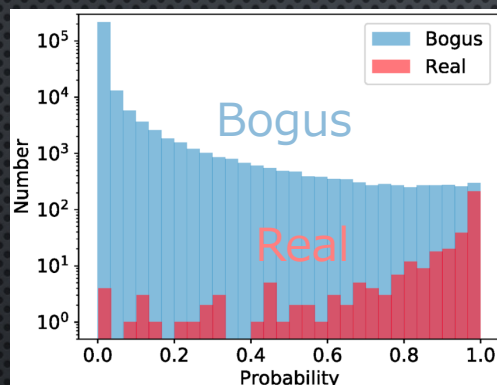
- ラベルエラーの比率：0.6% (Bogus), 1.0% (Real)
- 学習を2段階に：

- (1) 学習データ自体を分類し、誤分類しているものを「ラベルなし」に
- (2) 半教師あり学習

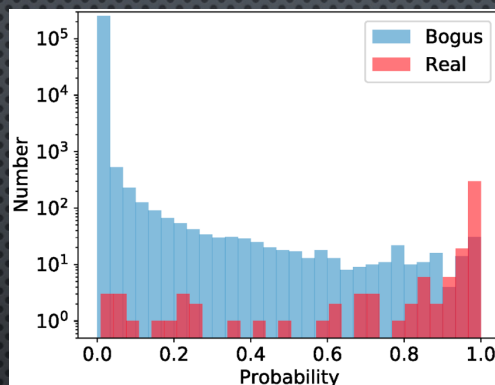
性能評価

出力

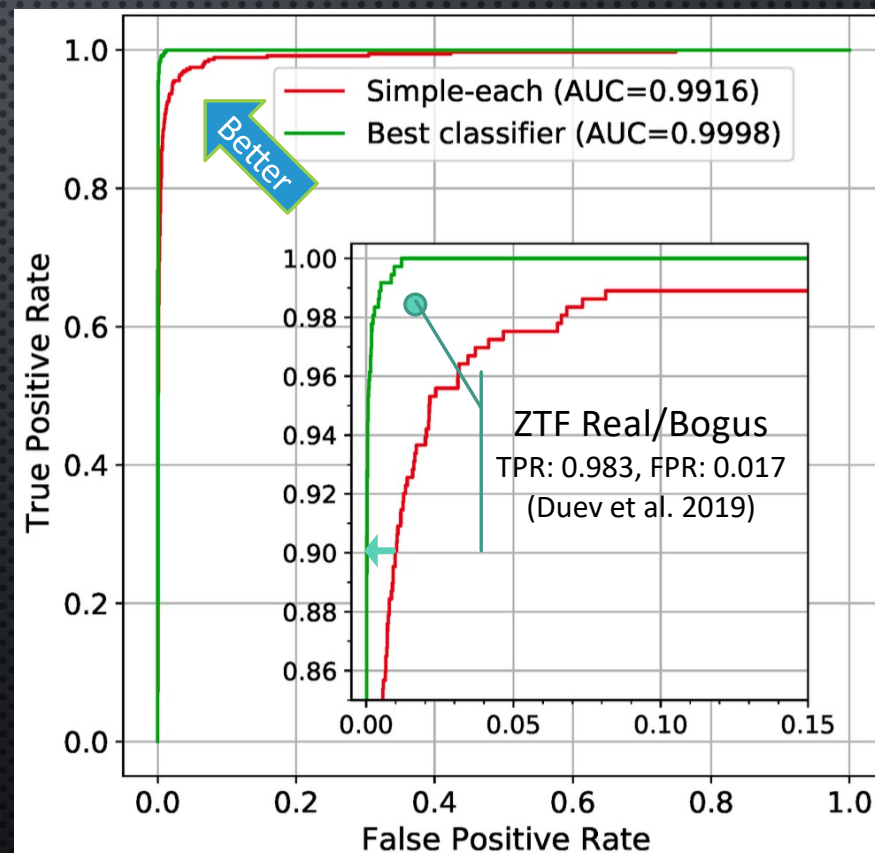
従来モデル



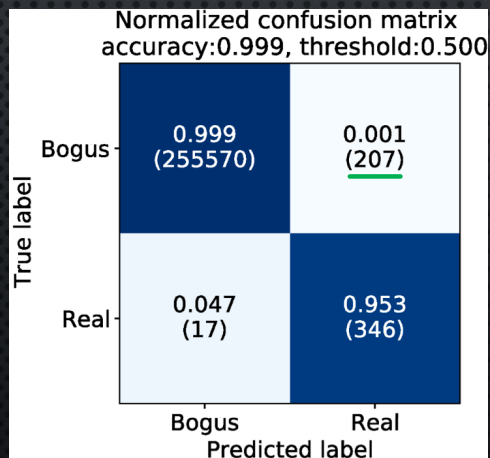
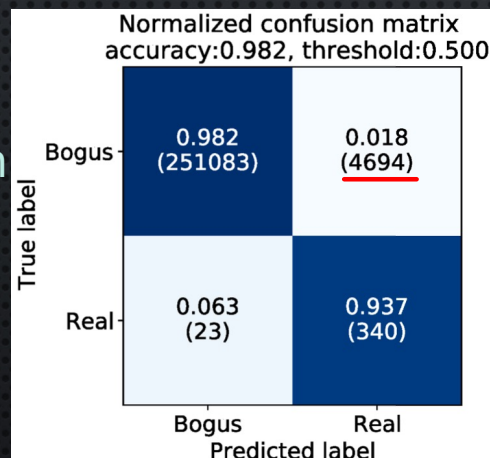
新モデル



ROCカーブ

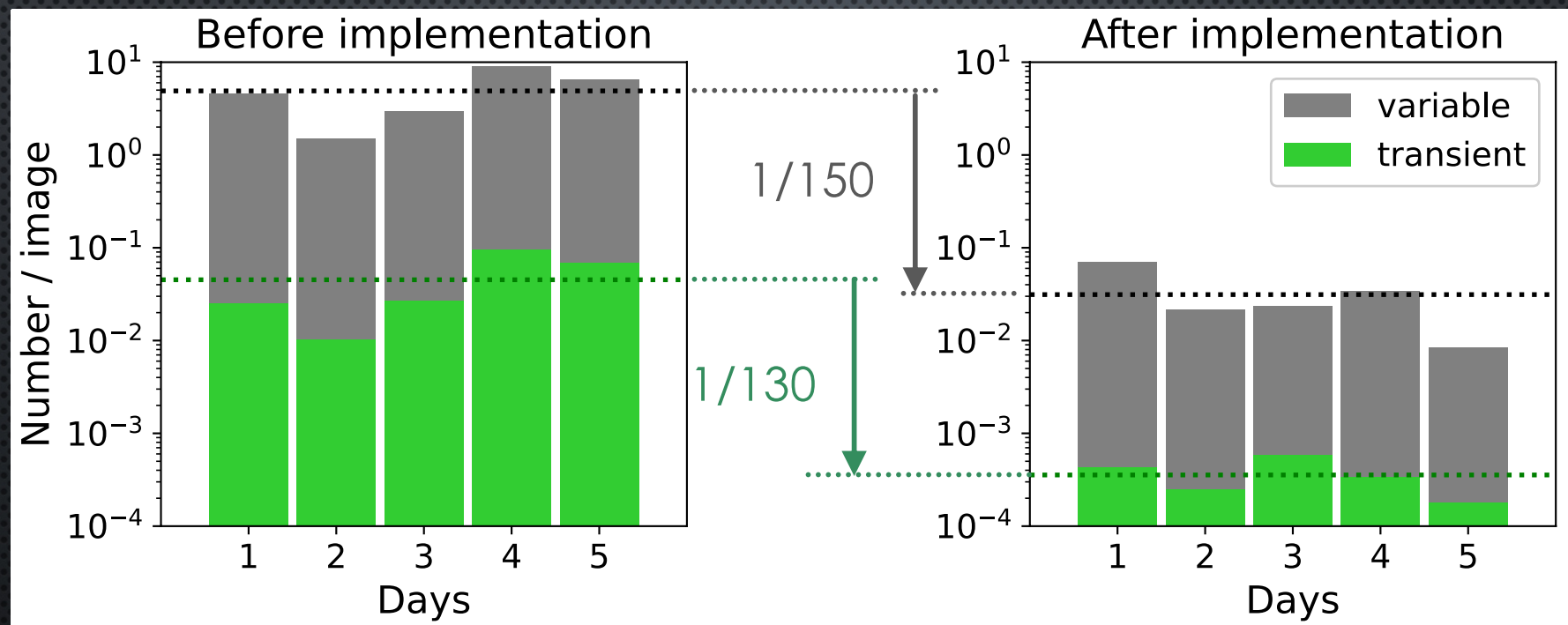


Confusion matrix



実運用での成績

- Tomo-e Gozenの解析パイプラインに新しい分類器を実装
- 実装前後での突発天体候補数の変化を調査

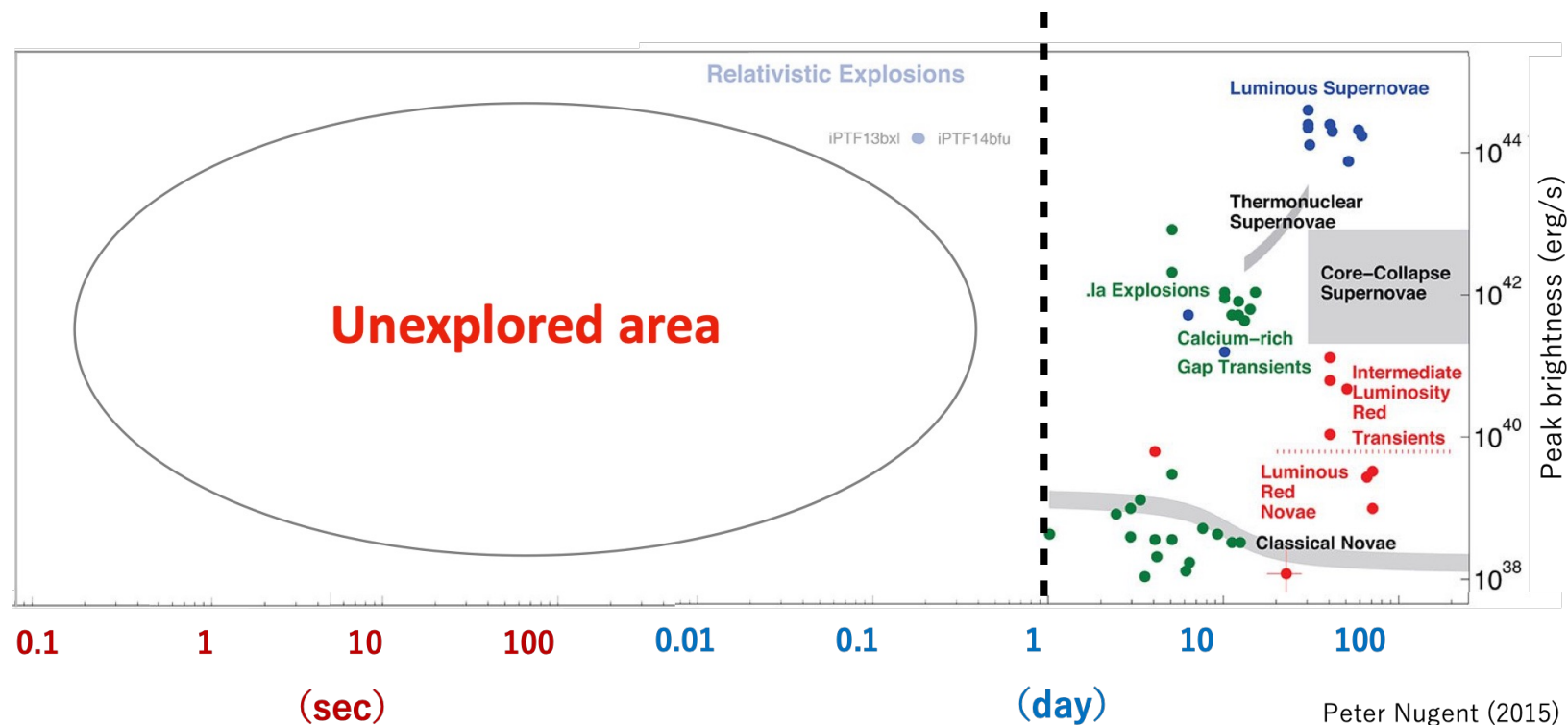


突発天体候補の数が1日あたり5000天体から40天体に

Tomo-e Gozen動画データからの 短時間突発現象の検出

短時間変動天体

Current limit

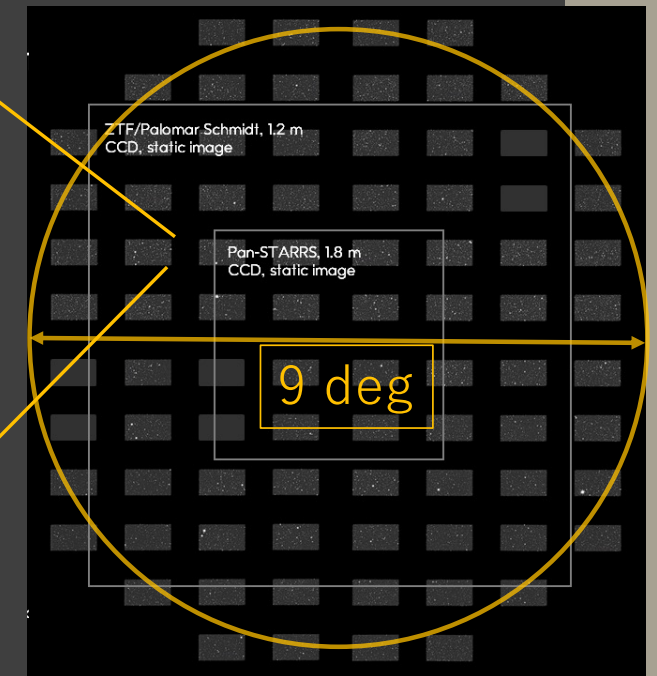
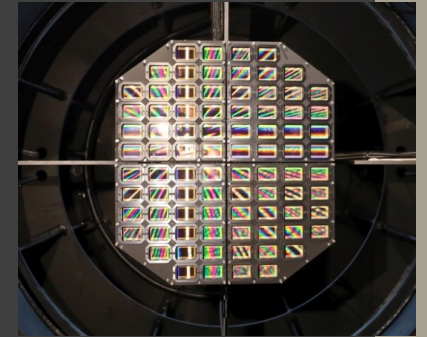


Peter Nugent (2015)

Timescale of brightness variation

Tomo-e Gozen 動画データ

- 2fpsの動画データを撮れる
- 全ての動画をチェックしきれていない



機械学習技術を応用して短時間変動天体を高速に検出する

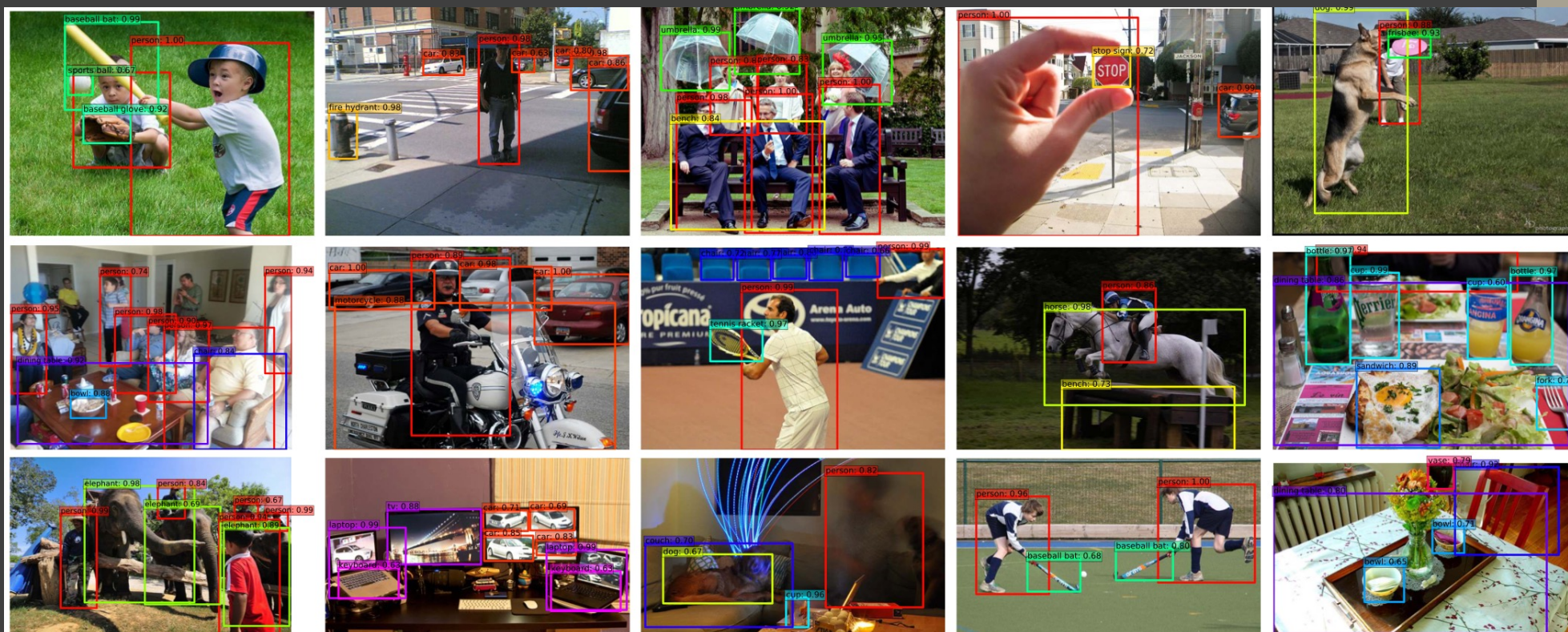
Single Shot Multibox detector (SSD)

Liu et al. 2015 (arXiv:1512.02325)

- 画像中の物体検出
- 位置と大きさ、種類を推定

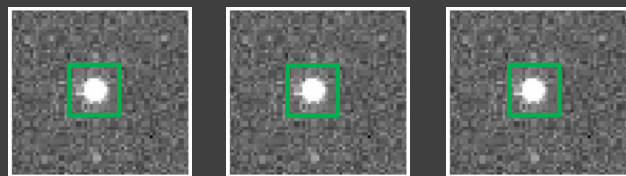
[1512.02325] SSD: Single Shot MultiBox Detector

W Liu 著 · 2015 · 被引用数: 28698 — Abstract: We present a method for detecting objects in images using a **single** deep neural network. Our approach, named **SSD**, discretizes the ...

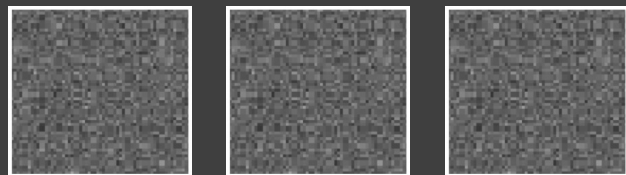


検出方法

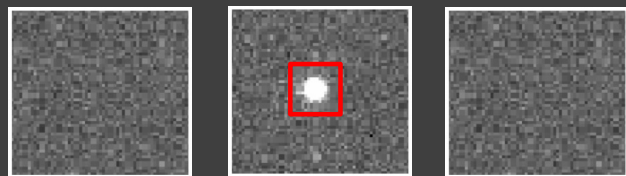
- 各フレームでSSDによる物体検出
- 連続する3フレームを入力
- 1フレームだけ光る天体(Flash)を検出



Class0: 通常の星

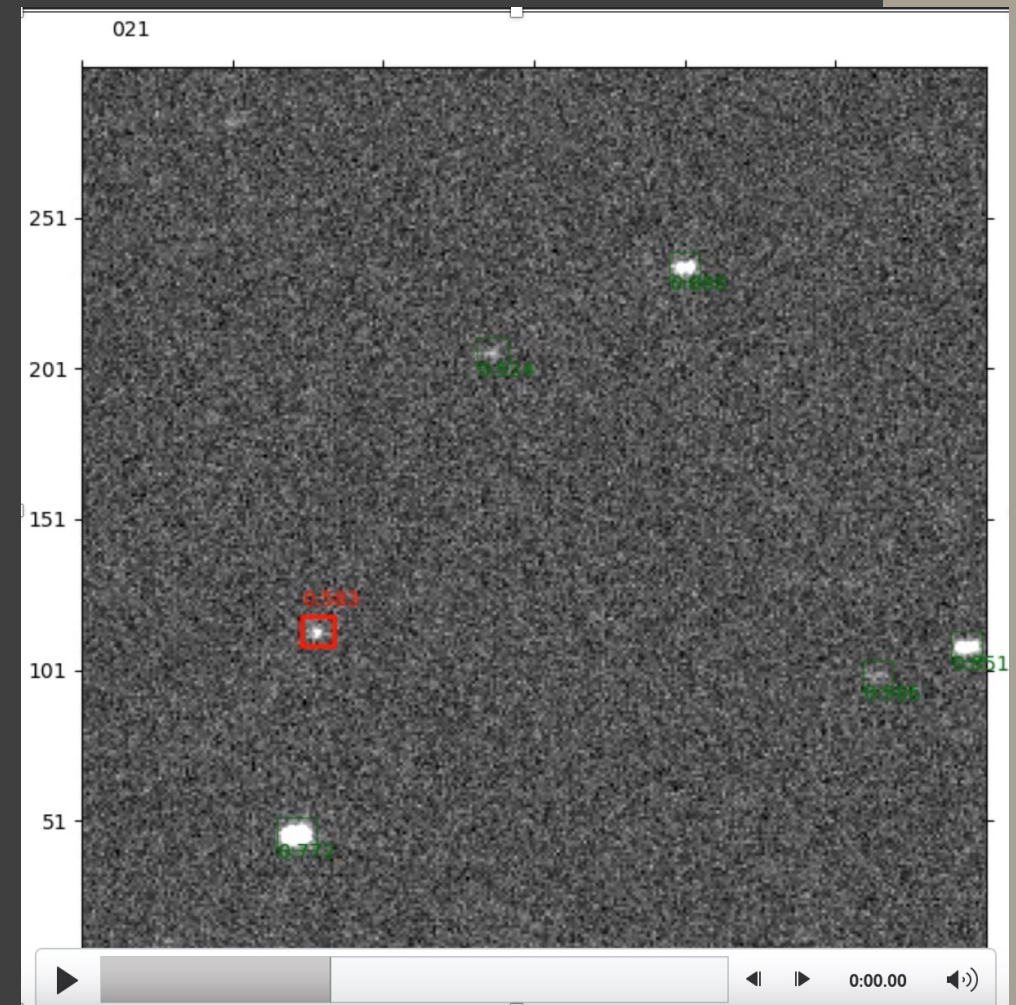


Class1: 背景



Class2: Flash

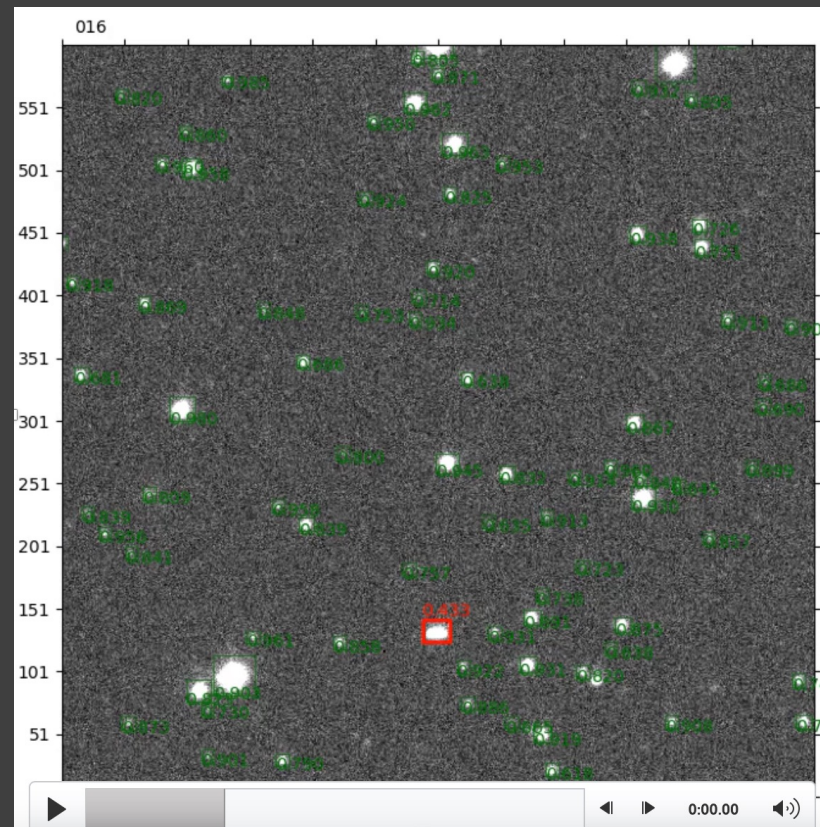
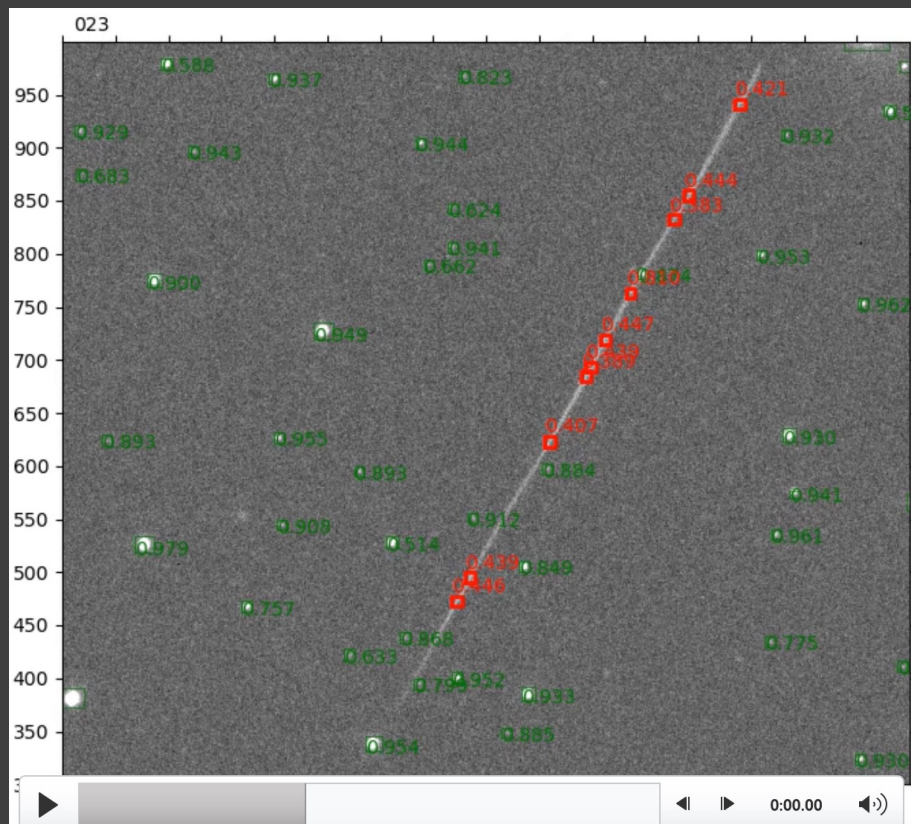
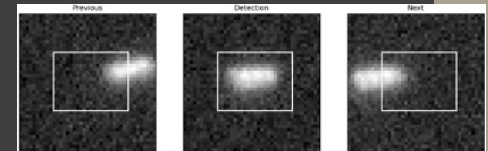
Flash候補：21フレーム目に検出



誤検出例

流星 (23フレーム目)

移動天体



議論

- 処理速度

- 4 枚の民生用GPUでほぼリアルタイムで処理可能
- 一晩のデータを1日で処理

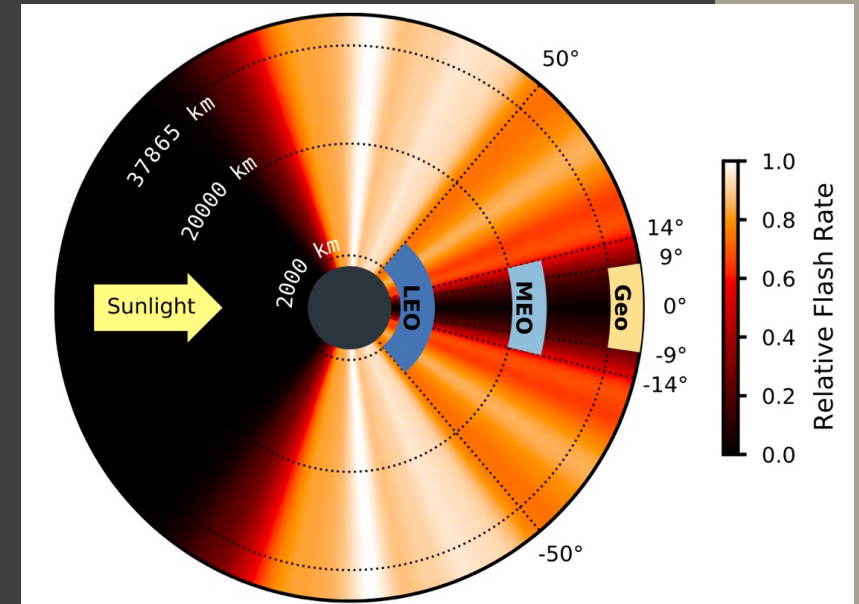
- Flash候補天体の起源

- 太陽との離角：120~145 度
- 人工衛星やデブリによる太陽光反射

- 今後

- サンプル数を増やしてより正確な検証へ
- 本物のFlash天体を探査

Evryscope による地球影に対するflash rate分布



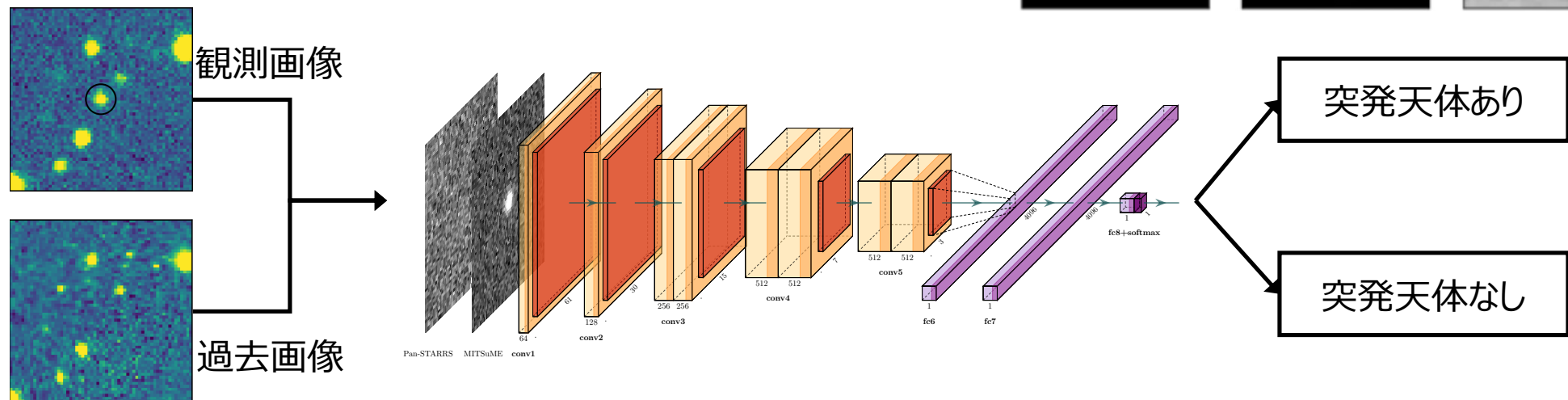
Corbett et al. 2020

MITSuMEデータを使用した 差分を行わない突発天体検知手法の開発

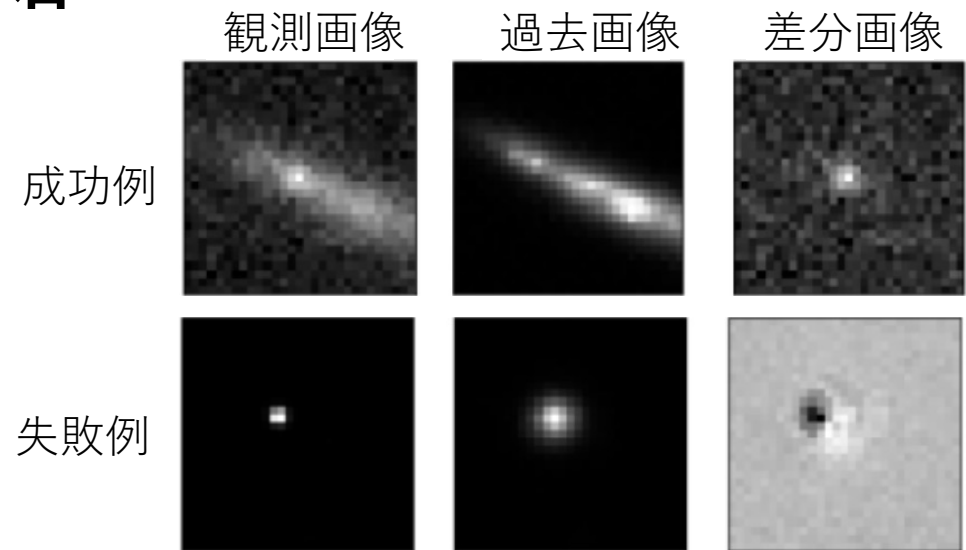
伊藤尚泰、東京工業大学2022年度修士論文

差分を行わない突発天体検知

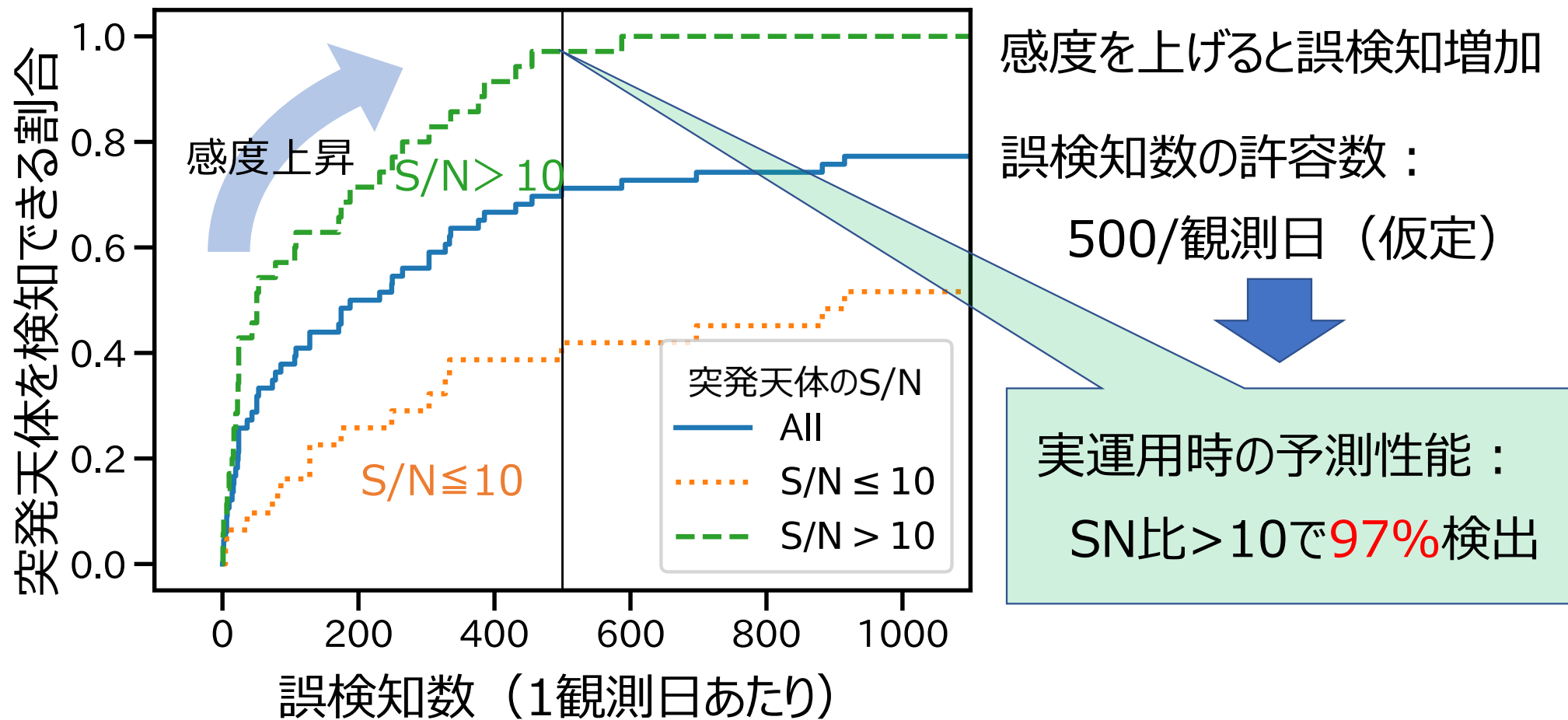
- 差分画像で**引き残し**が発生
 - 異なる望遠鏡データでの差分
- 画像差分を行わずに直接検知
- MITSuMEの実際のGRB残光でテスト



浜崎 (2020)

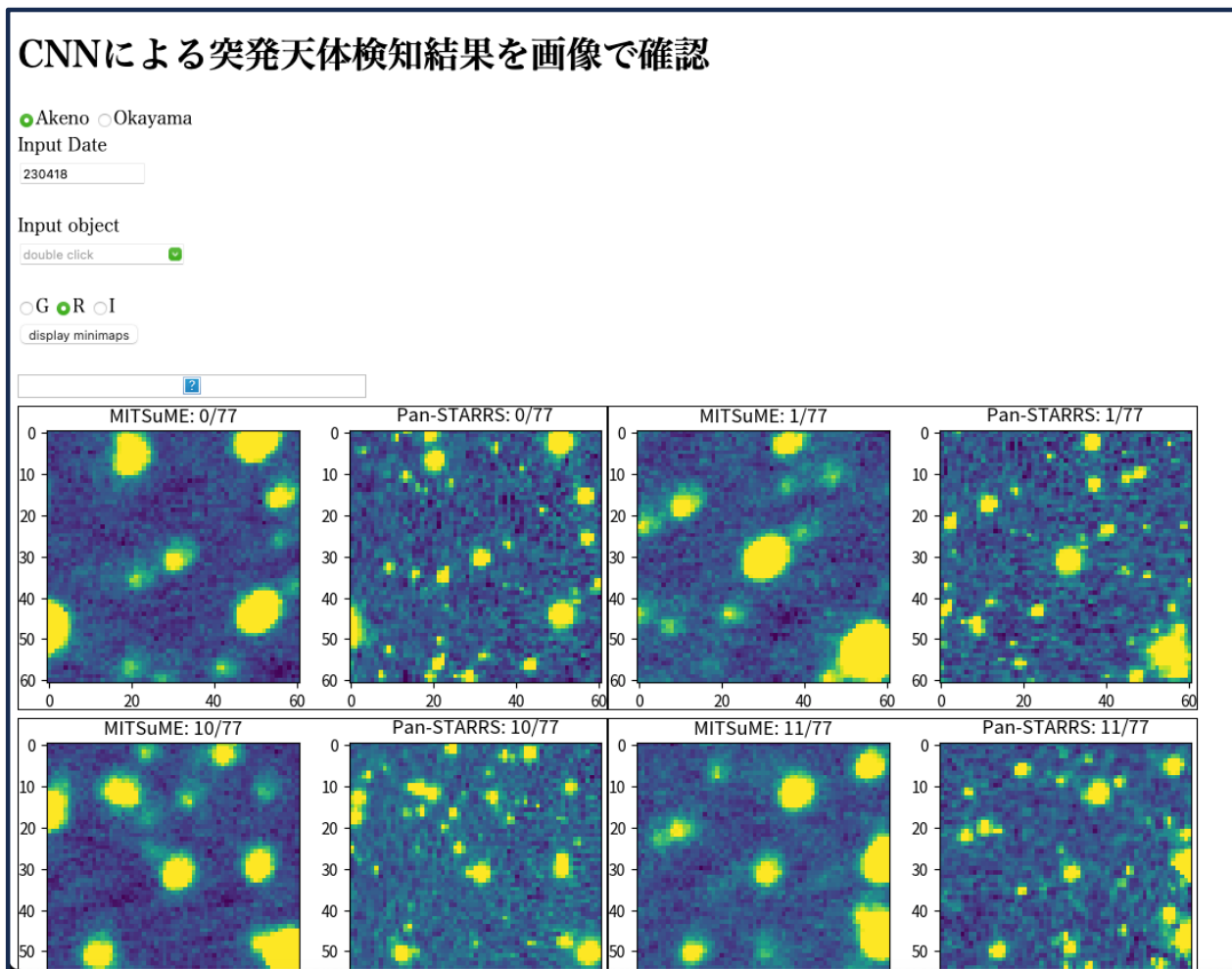


MITSuMEの運用時における識別器の予測性能



MITSuME解析パイプラインに実装しテスト中

- 検知された候補をweb上で確認
- 今後実際の観測データで精度を上げていく予定



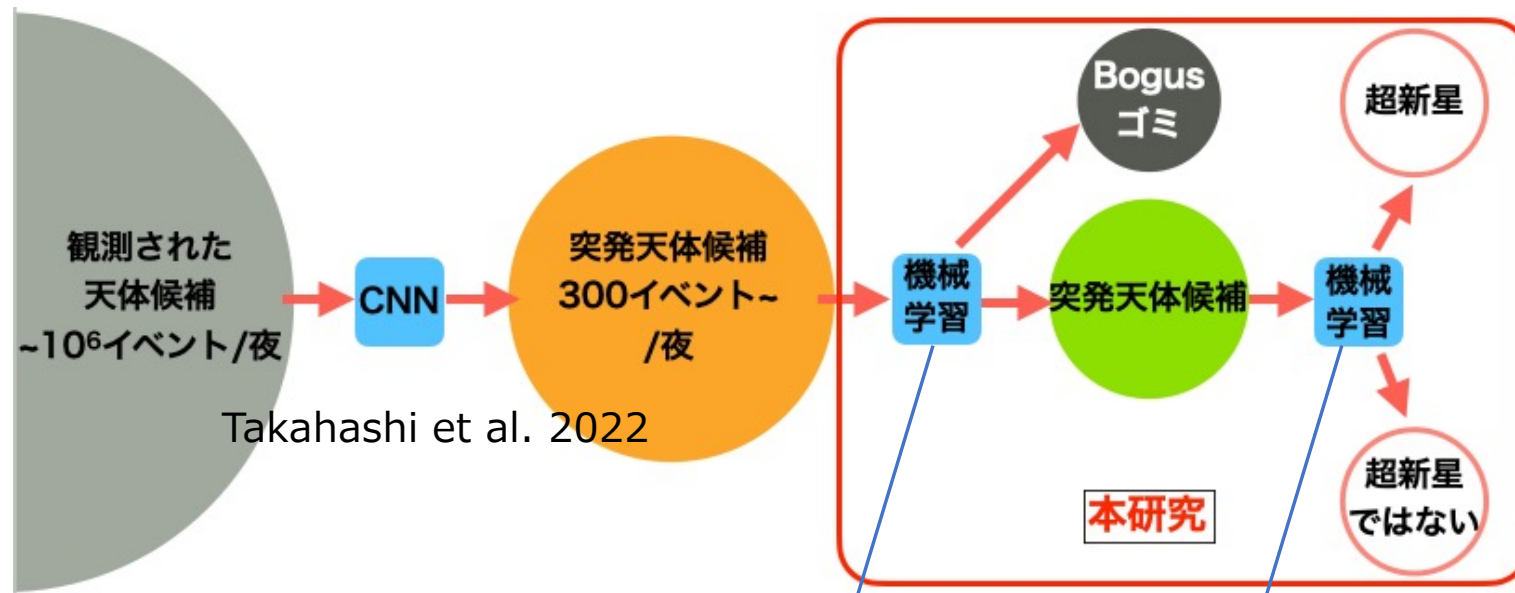
Tomo-e Gozenにおける 突発天体即時アラートシステムの開発

星野龍一、電気通信大学2023年度修士論文

私のやったこと： ①機械学習の入門編を教えた
②月 1 ペースでのミーティングでアドバイス

Tomo-e Gozen発の突発天体アラートの実現

星野龍一, 2023年度電通大修士論文より



ランダムフォレストなど基本的な分類器を使用

特徴量：計64個

- Tomo-e Gozenのデータベースの情報（座標、ライトカーブ、形状、CNNのスコア）
- 外部の銀河・天体のカタログ（GLADE、Pan-STARRS、gaia）

実装と観測

- Tomo-eのパイプラインに分類器を実装しテスト
- 1日平均17個の突発天体候補アラート
- アラートにより発見された超新星 2 天体をTNSに報告（越さん発表）
- 今後は更なるシステム改善を予定



The screenshot shows the Transient Name Server (TNS) interface. At the top, there is a navigation bar with the TNS logo, the text "TRANSIENT NAME SERVER", and buttons for "SEARCH", "ASTRONOTES", "BOTS", and "LIGO GW". Below the navigation bar is a large image of a colorful nebula. Underneath the image, the name "SN 2024acn" is displayed in a red banner. The main content area contains the following information:

RA/DEC (2000) 11:10:40.441 +21:06:26.87
167.668505874 +21.1074646977

Type SN II
Redshift 0.031

Links: [Discovery Report](#) [Classification Report](#)

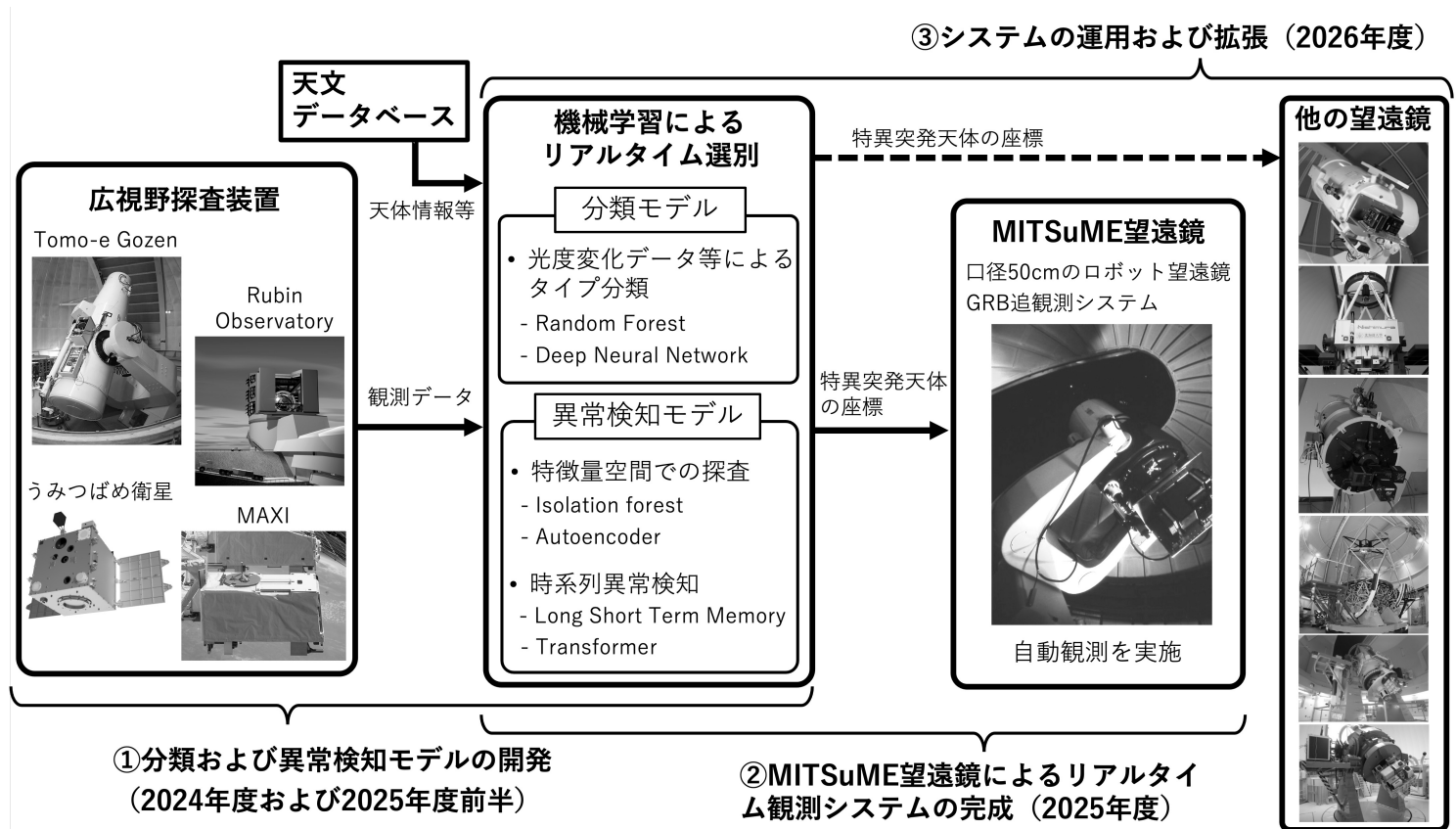
Reporting Group	Discovering Data Source	Discovery Date	TNS AT	Public	Discovery Mag
Tomo-e Gozen	Tomo-e Gozen	2024-01-13 19:30:26.000	Y	Y	17.57

Filter
Other-

Reporter/s
Ryotaro Koshi (The University of Tokyo), Ryuichi Hoshino (The University of Electro-Communications), Ichiro Takahashi (Tokyo Institute of Technology), Shigeyuki Sako (The University of Tokyo), Taiga Sasaoka (The University of Tokyo), Nozomu Tominaga (National Astronomical Observatory of Japan), Kenta Taguchi (Kyoto University)

来年度から新たな研究を開始予定

- 科研費 基盤cで採択
- 機械学習による特異突発天体の選別 + MITSuMEでの自動追観測



まとめ

これまでに学んだこと：

枯れた技術を実際のデータに即応用し使える程度に実装できるかが重要

- **すばるHSC**探査における超新星の検出
- **Tomo-e Gozen**突発天体探査におけるReal/Bogus分類の改善
- **Tomo-e Gozen**動画データからの短時間突発現象の検出
- **MITUSuME**データを使用した差分を行わない突発天体検知手法の開発
- **Tomo-e Gozen**における突発天体即時アラートシステムの開発
- 来年度から機械学習による特異な突発天体の選別研究（科研費 基盤c）を開始