

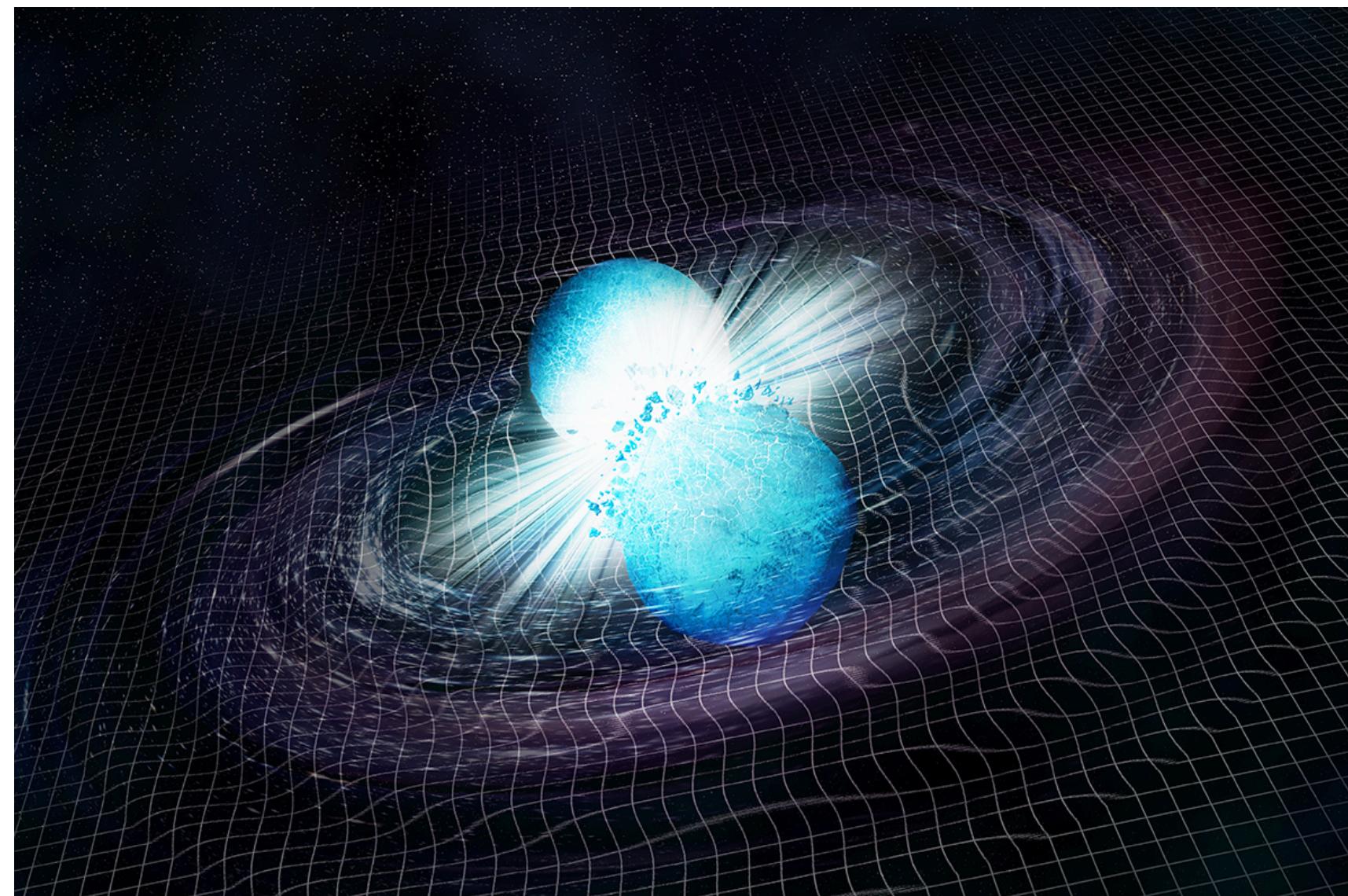
J-GEMの重力波観測ラン04における電磁波フォローアップ

笠田 真人 (東京工業大学) 、 J-GEM Collaboration

2023/2/28-3/1 第13回光赤外線天文学大学間連携ワークショップ

重力波天体の電磁波対応天体

中性子星連星またはブラックホールー中性子星連星の合体により重力波を放出
→ 噴出物質から電磁波が放射（キロノバ）



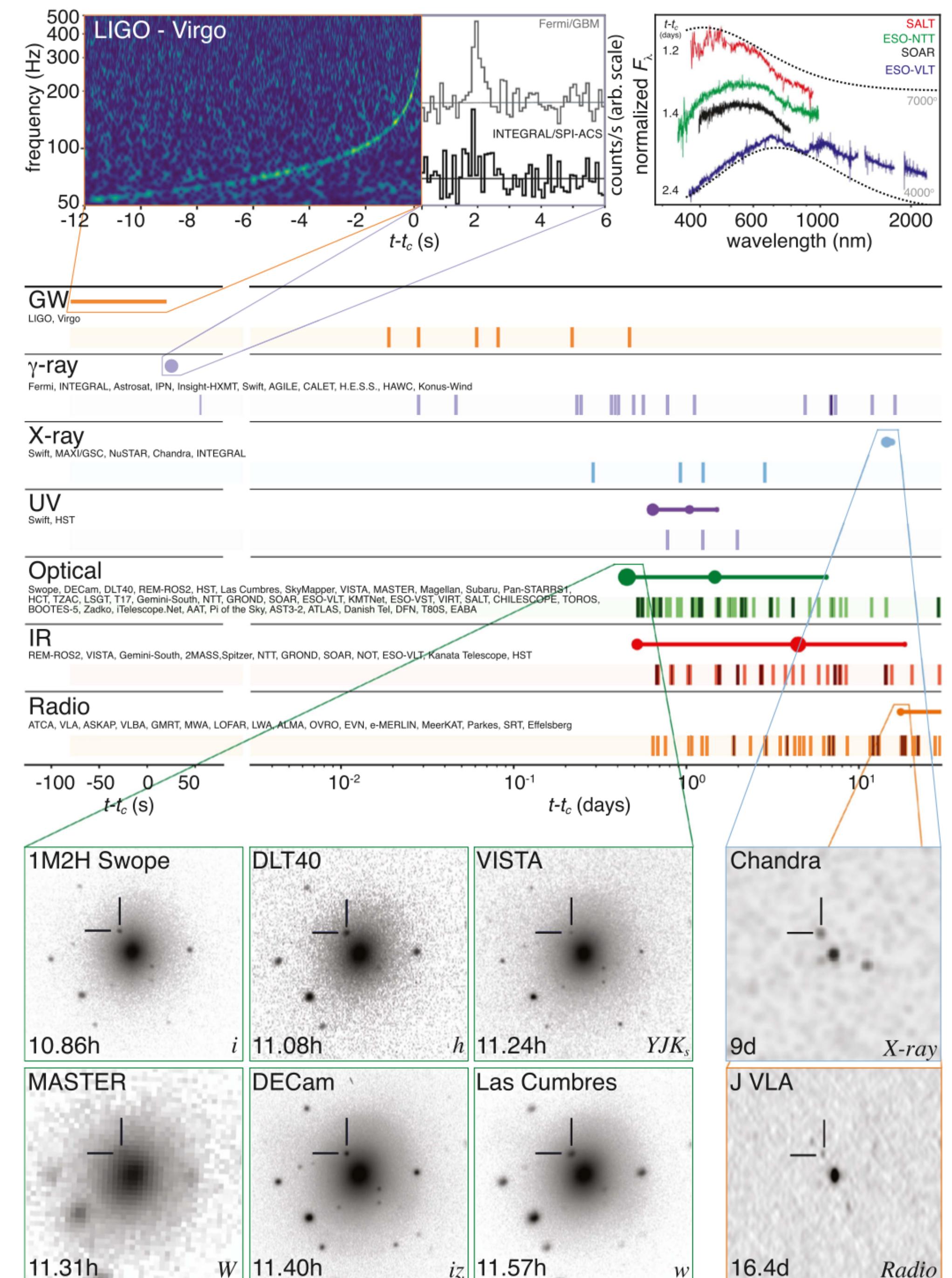
NASA/CXC/M.Weiss

電磁波フォローアップ観測から連星合体時の物理過程を調査
キロノバにおける r-process の重元素合成過程を調べる

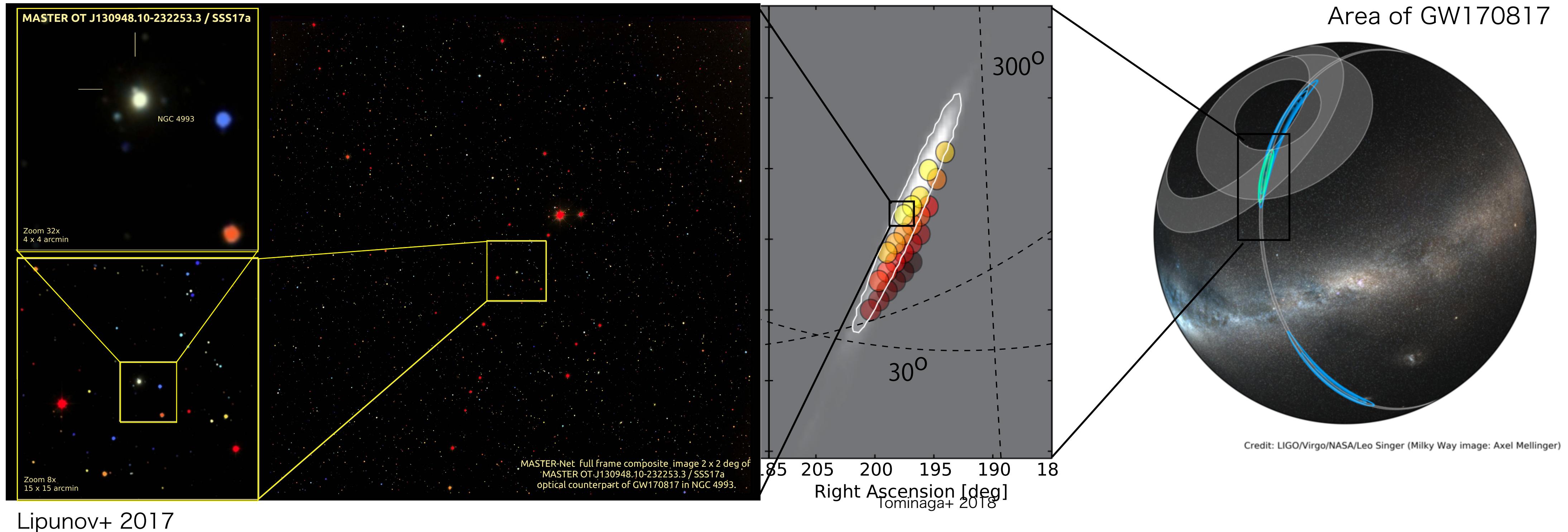
GW170817

- ・LIGO, Virgoにより重力波GW170817が検出
- ・NGC 4993の近傍で突発天体が検出
→ 重力波電磁波対応天体と同定
- ・検出された波長と時刻
 - ・ガンマ線：2秒後
 - ・X線：9日後
 - ・可視光：11時間後
 - ・電波：16日後

明らかな電磁波対応天体が
検出された唯一の例



重力波到来領域での電磁波対応天体の探索



- ・重力波の到来領域の大きな不定性により、領域内には多数の星や銀河が存在
- ・世界中の望遠鏡群を用いて重力波の電磁波対応天体の同定を目指す



J-GEM電磁波対応天体探査：2つの戦略

候補銀河の観測

通常視野の望遠鏡: FoV < 1 deg²

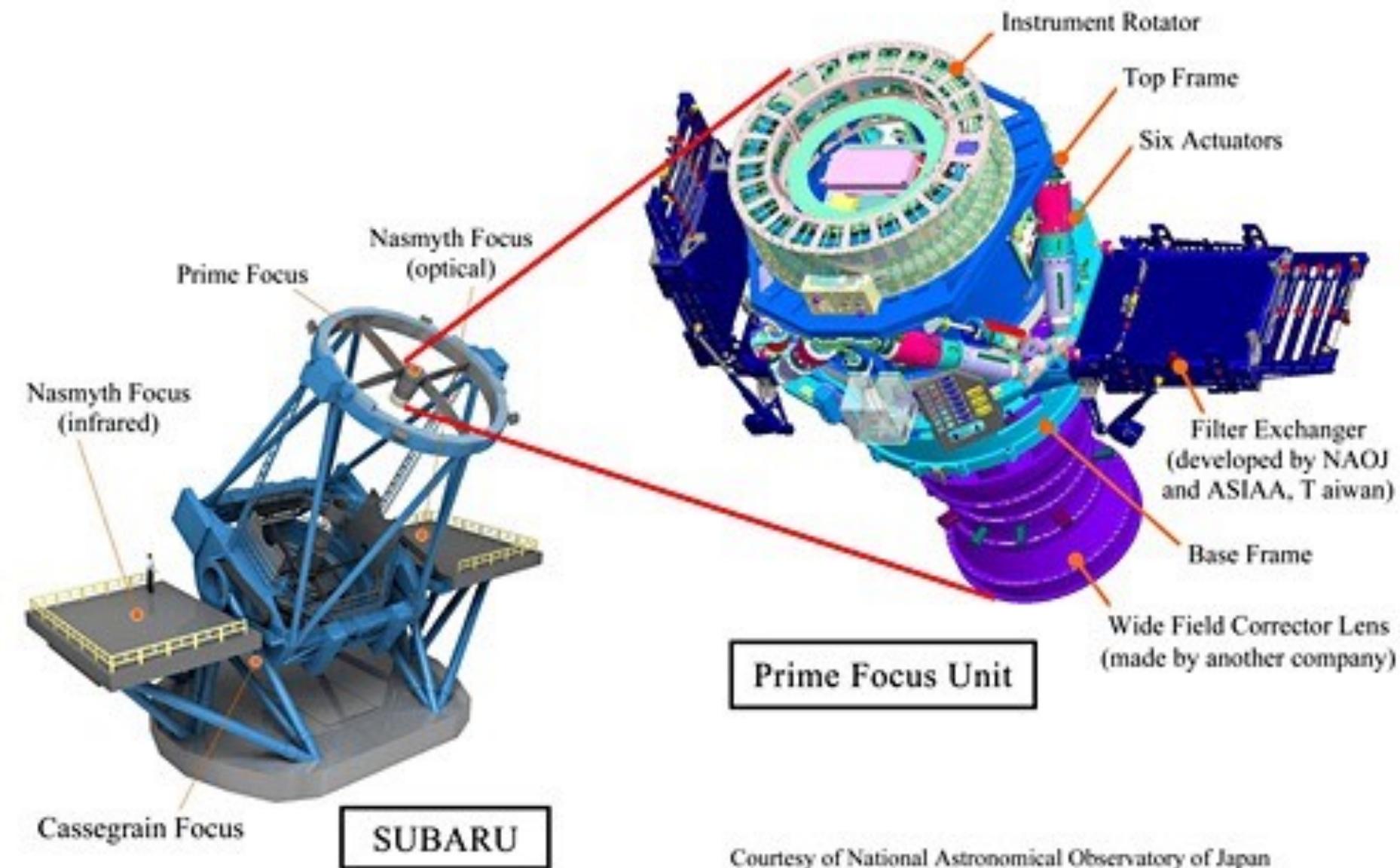


重力波検出器の高確率天域・距離にある
GLADE銀河カタログの明るい銀河多数を観測

| | | |
|--------|---------------|--------|
| Kanata | OAO WFC | B&C |
| IRSF | MITSuME | SaCRA |
| Nayuta | Akeno/Okayama | Seimei |

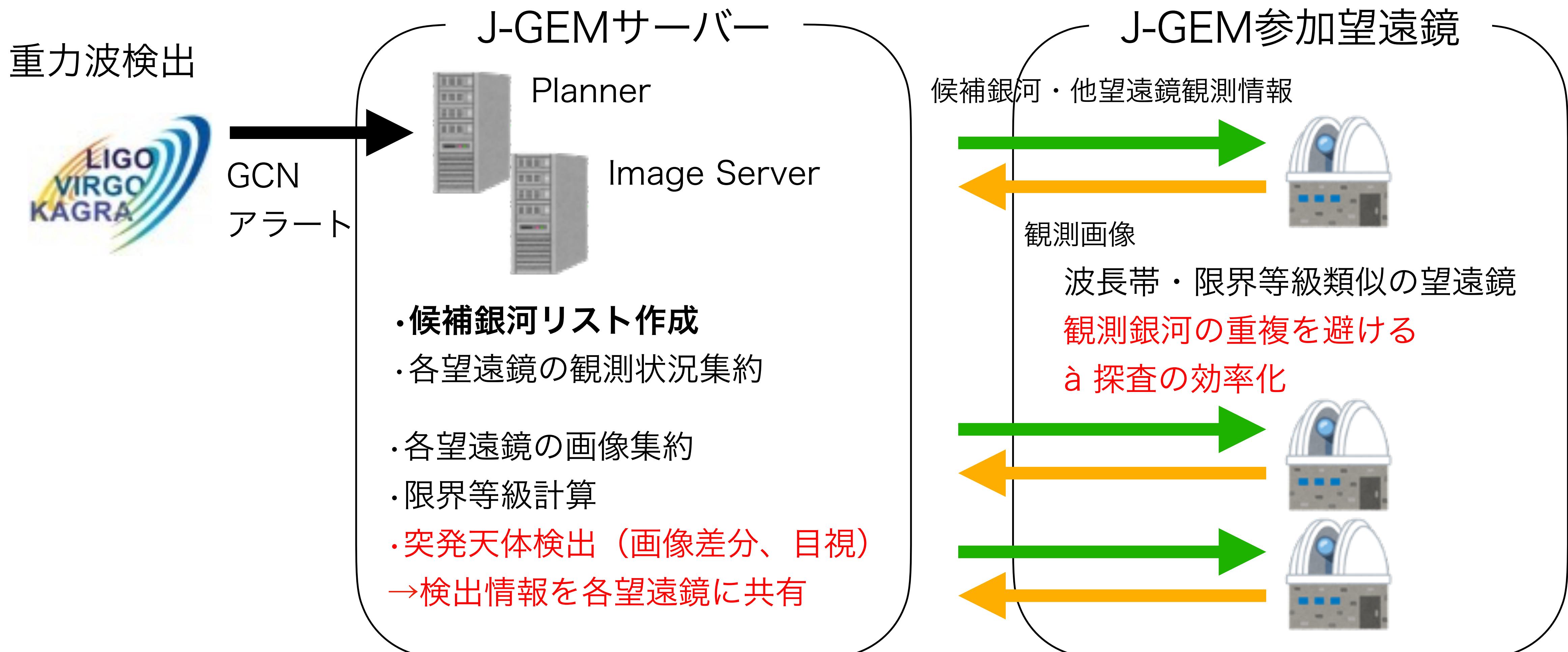
高確率天域の掃天観測

広視野望遠鏡: FoV > 1 deg²

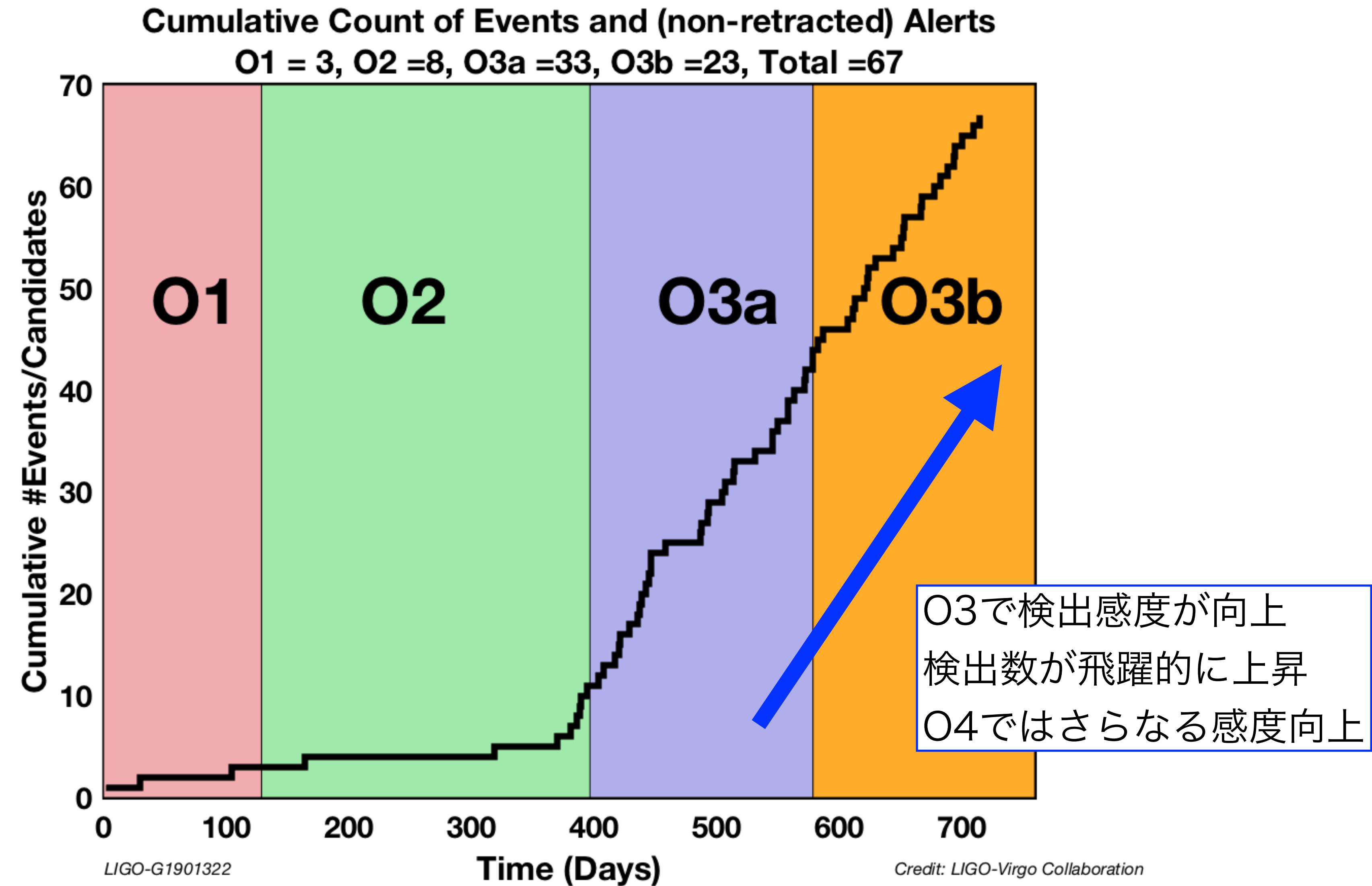


Subaru/HSC 重力波検出器の確率マップで
Kiso/Tomo-e 高確率天域を無バイアス観測
MOA-II →カタログ未記載の銀河もカバー

候補銀河観測：情報一元化による観測効率化



Third Observing Run (O3)



O3において56の重力波トリガー

GraceDB [Public Alerts](#) [Latest](#) [Search](#) [Documentation](#) [Login](#)

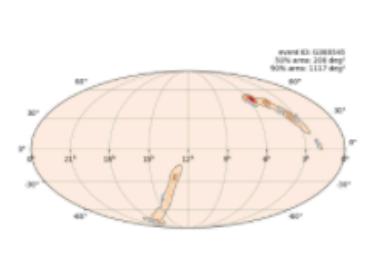
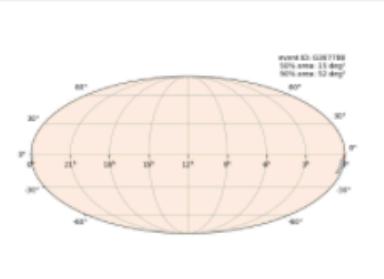
Please log in to view full database contents.

LIGO/Virgo O3 Public Alerts

Detection candidates: 56

SORT: EVENT ID (A-Z) ▼

• • • • •

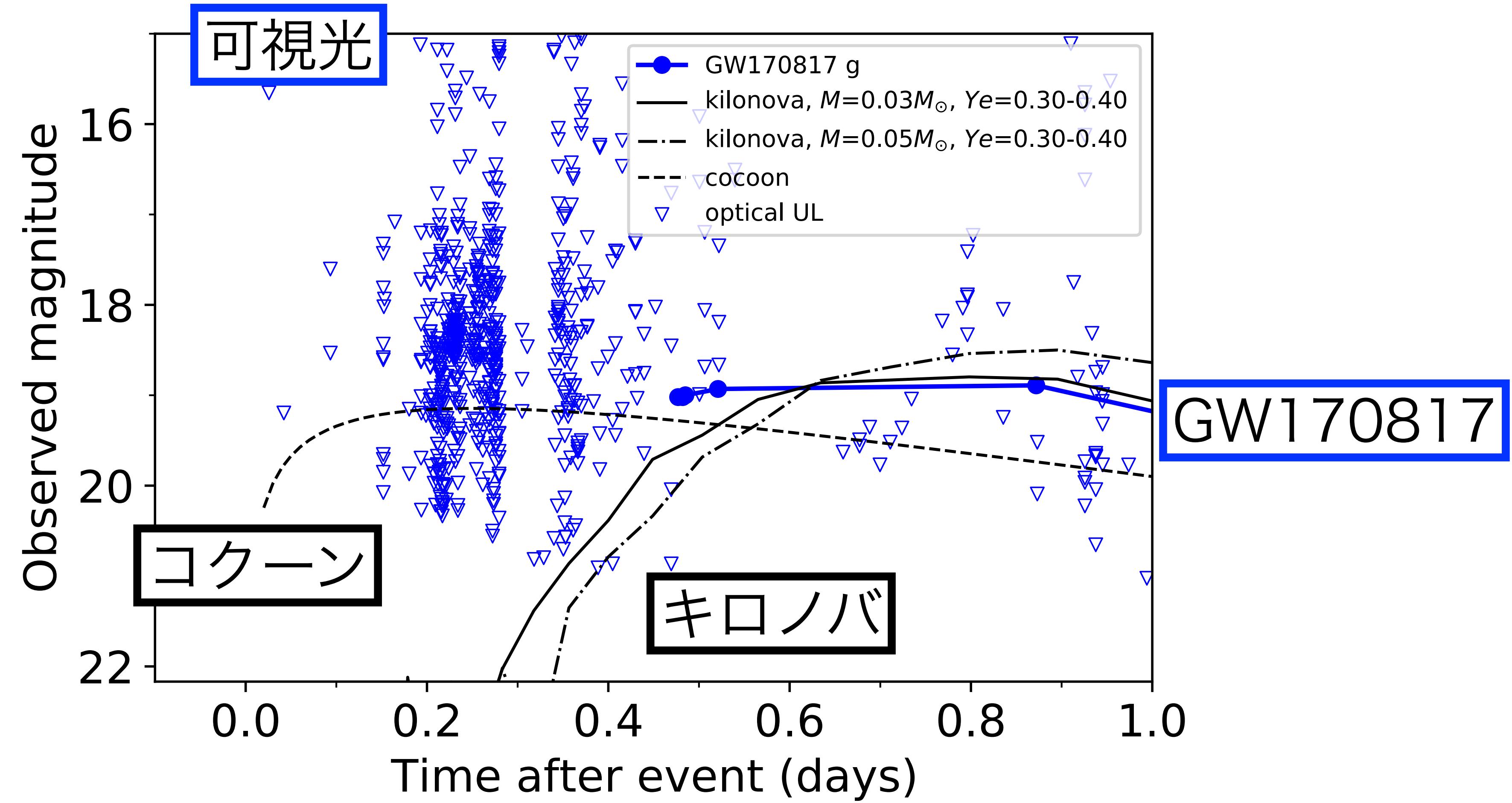
| Event ID | Possible Source (Probability) | UTC | GCN | Location | FAR | Comments |
|-----------|----------------------------------|--------------------------------|--|---|---------------------------|----------|
| S200316bj | MassGap (>99%) | March 16, 2020 21:57:56 UTC | GCN Circulars Notices VOE |  | 1 per 446.44 years | |
| S200311bg | BBH (>99%) | March 11, 2020 11:58:53 UTC | GCN Circulars Notices VOE |  | 1 per 3.5448e+17 years | |

O3におけるJ-GEMのフォローアップ

| | Type | Distance (Mpc) | localization (deg ²) | Observation (Gal. number) | Cumulative Prob (%) | GCN |
|-----------------|-------------|-------------------|-------------------------------------|------------------------------|------------------------|------------------------|
| GW190408_181802 | BBH | 1550 | 387 | 1 | 0.0042 | 24064 |
| GW190412 | BBH | 740 | 156 | 157 | 0.62 | 24113, 24350 |
| GW190425 | BNS | 160 | 7461 | 170 | 1.9 | 24192, 24230, 24328 |
| GW190426_190642 | BBH | 370 | 1131 | 64 | 2.0 | 24299 |
| S190510g | Terrestrial | 277±92 | 1166 | 15 | 1.3 | 24464 |
| GW190814 | NSBH | 240 | 23 | 24 | 9.8 | 25377, 25389 |
| GW190930_133541 | BBH | 760 | 24220 | 18 | 0.27 | 25920, 25941 |
| S191205ah | Terrestrial | 385±164 | 6378 | 1 | 0.0 | 26381 |
| S191213g | Terrestrial | 195±59 | 4480 | 45 | 1.5 | 26477 |
| S200114f | Terrestrial | - | 403 | 42 | - | 26803 |
| S200213t | Terrestrial | 201±80 | 2326 | 74 | 5.0 | 27066 |

23の重力波イベントに対してフォローアップ観測を実施

03での得られた検出限界とモデル曲線



重力波源のモデル曲線と検出限界を比較

100Mpcで発生すれば検出可能

重力波源の距離と重力波不定領域サイズ

重力波源領域に存在する銀河の個数

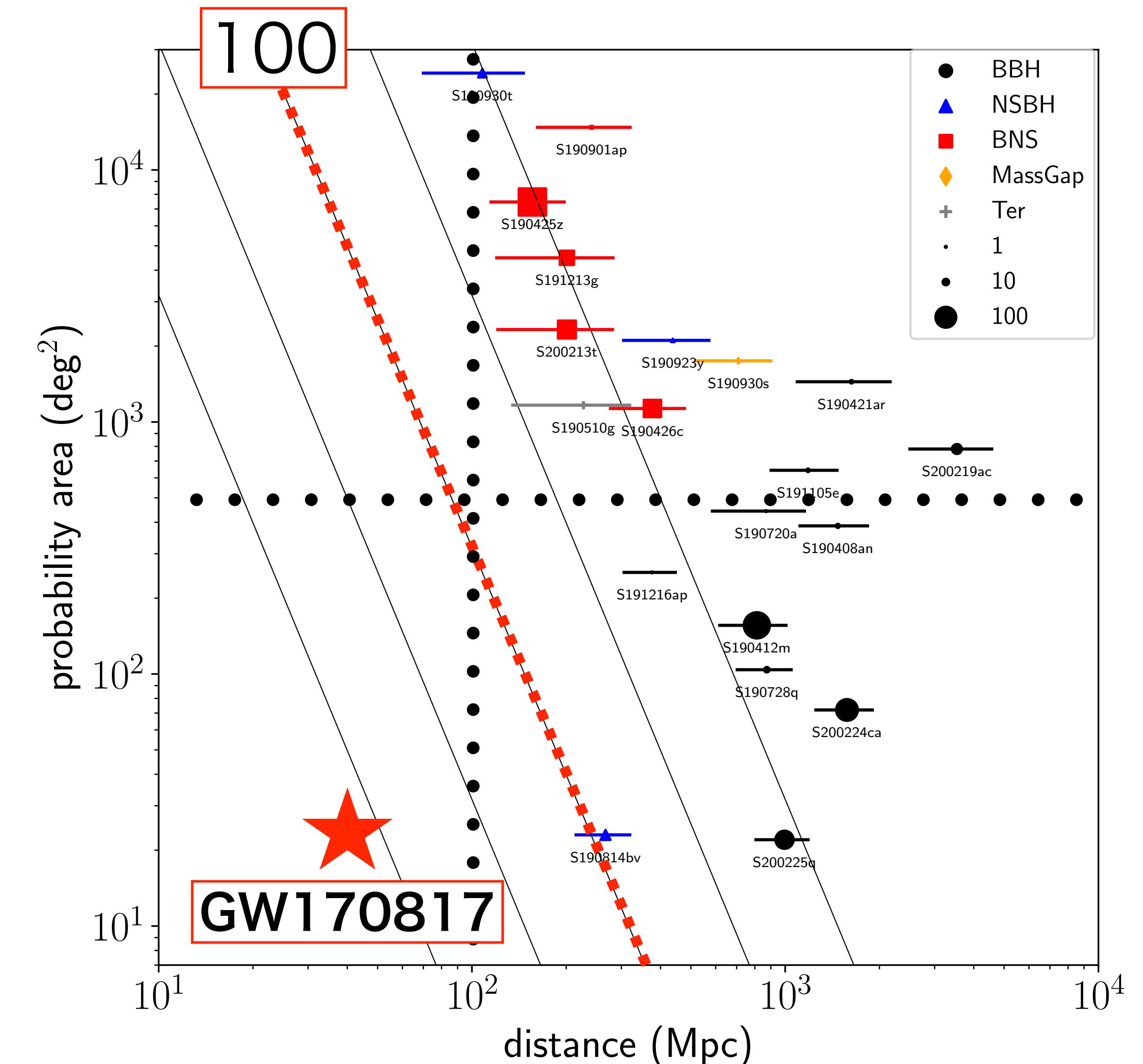
$$N = 0.00235 \times \frac{4}{3} \pi d^3 \frac{\Delta \Omega}{4\pi}$$

Gehrels+ 2016

d: 天体までの距離

$\Delta\Omega$: 重力波方向の不定性

観測可能な銀河数を200個以下とすると
距離 100Mpc、方向不定性 500deg2



O4にむけて

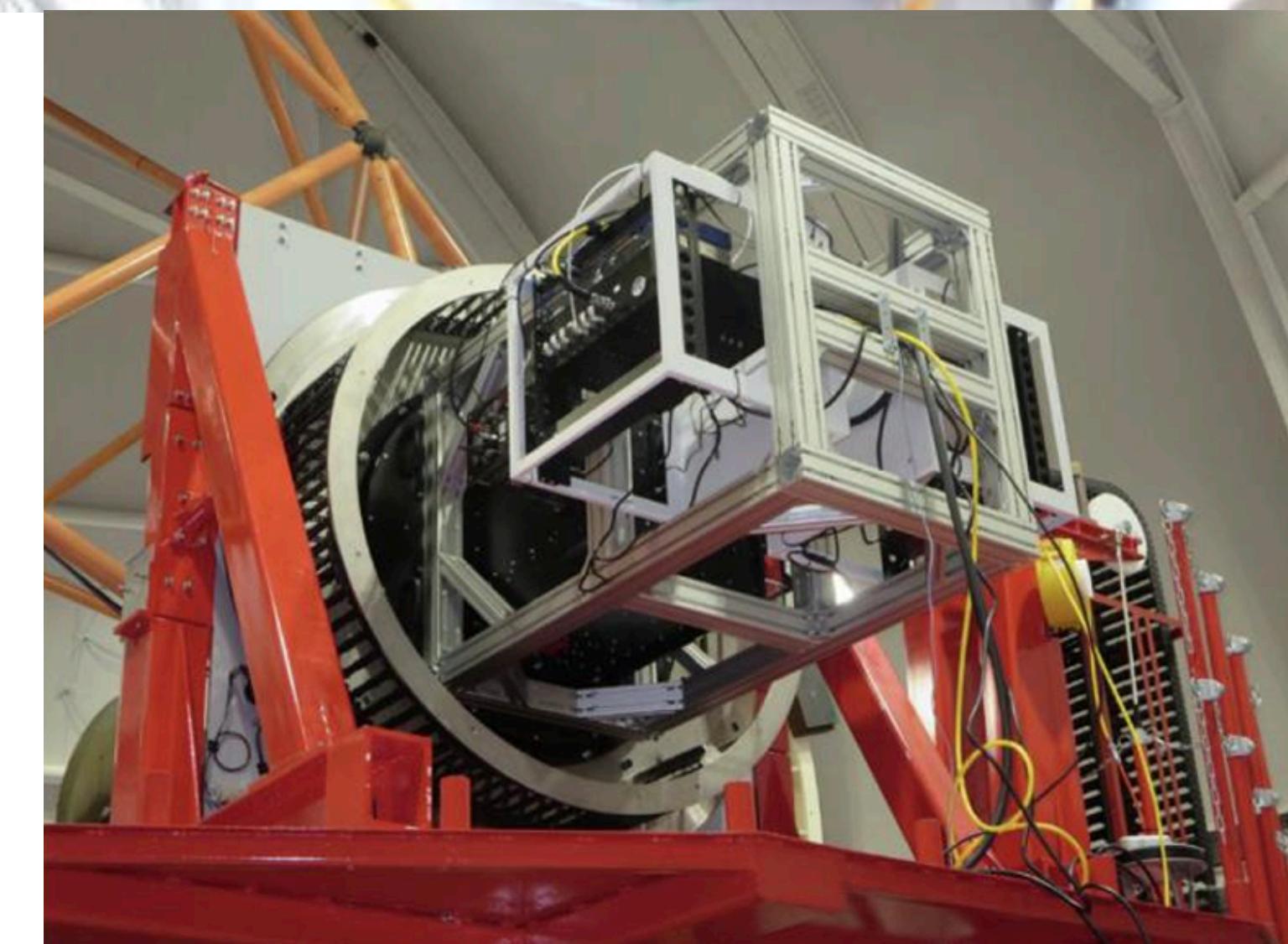
2023年5月24日にO4開始

1ヶ月前からエンジニアリングランを実施

04への取り組み①：せいめい/TriCCS

せいめい望遠鏡/TriCCS

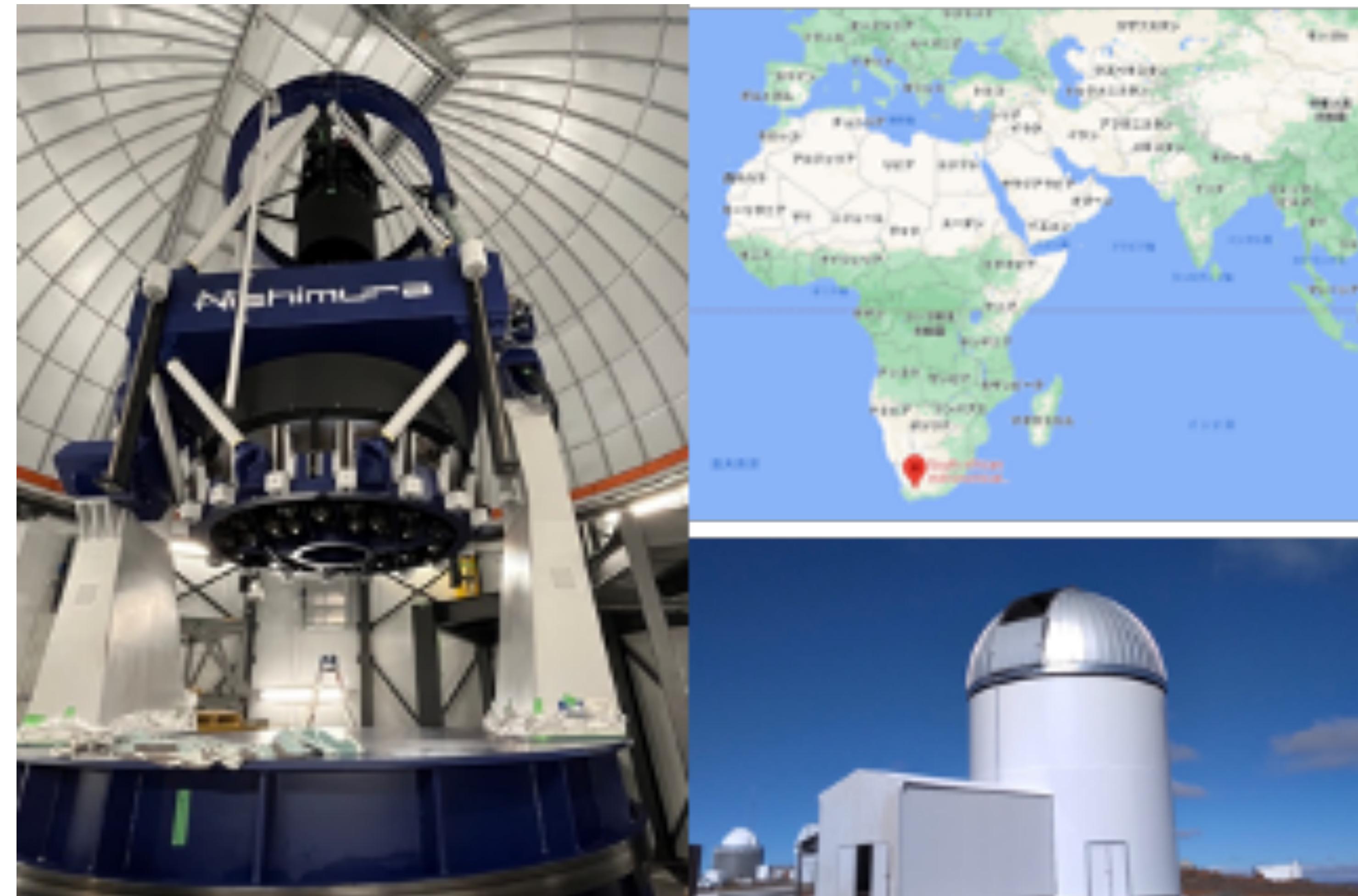
- ・可視光3バンド同時撮像 ($g, r, i/z$)
 - ・候補銀河の即時観測・解析
- 京大・TriCCSチームと準備中



04への取り組み②：PRIME 1.8m 望遠鏡

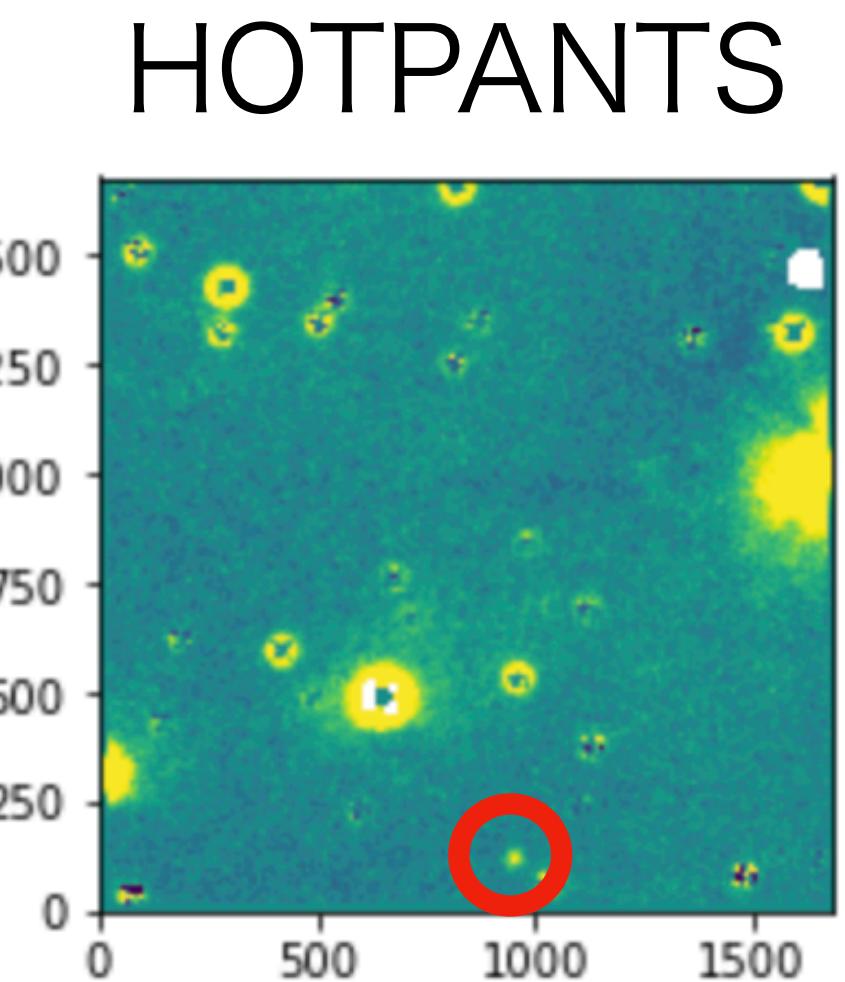
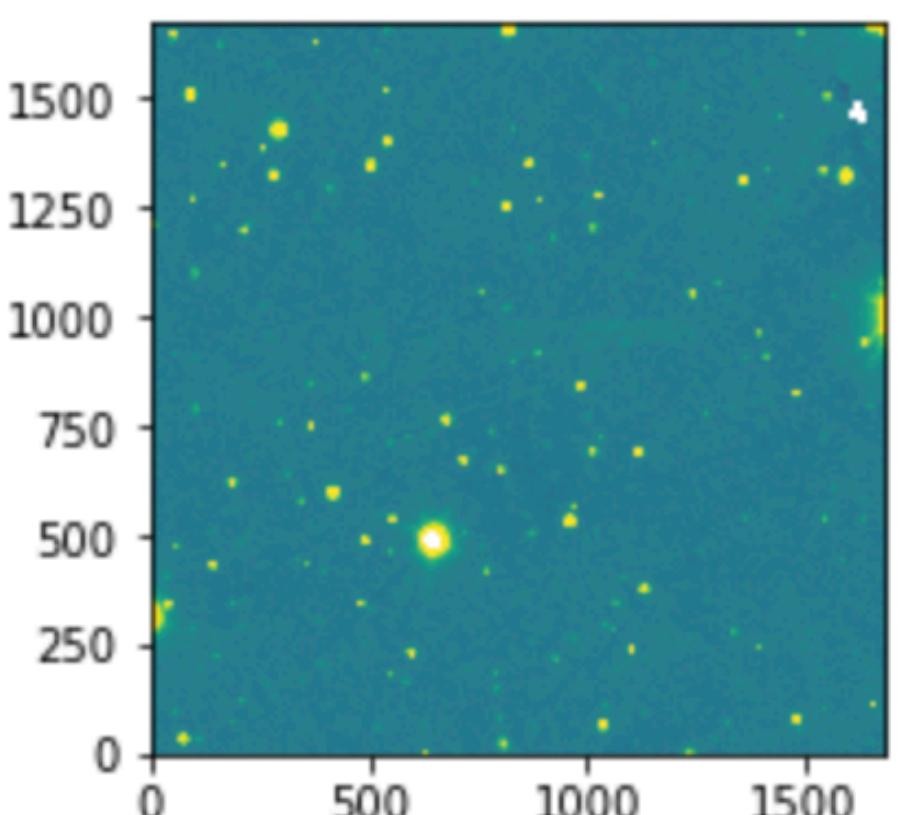
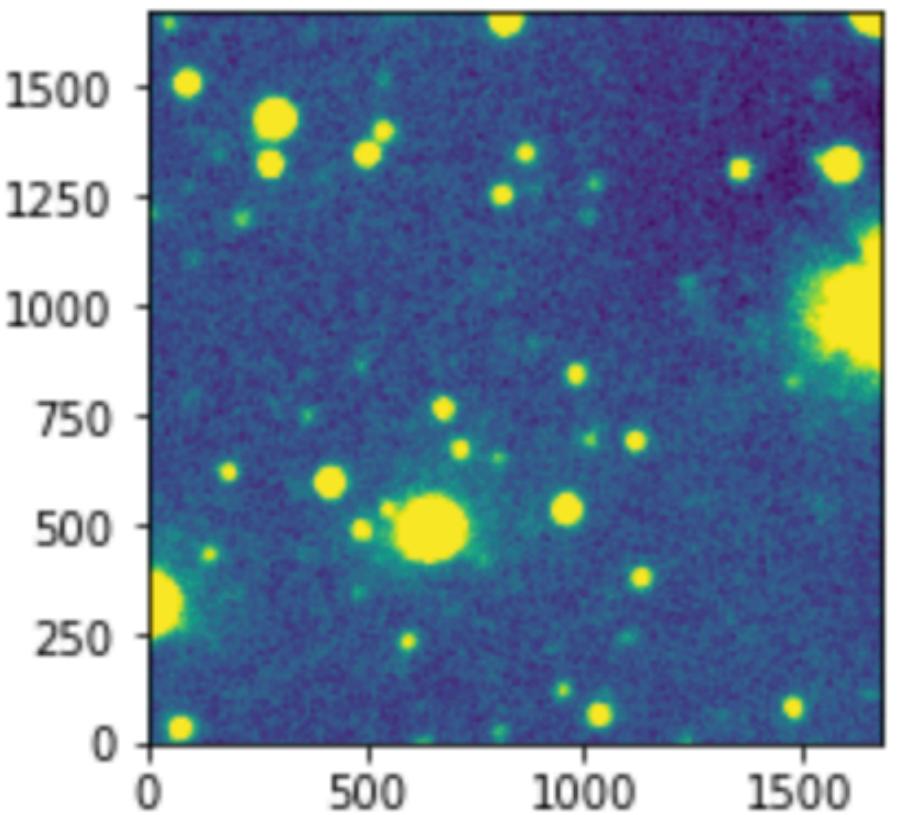
PRIME望遠鏡の特徴

- ・近赤外帯域の撮像観測
- ・FoV: 1.45 deg²
- ・南アフリカ → 南天



04への取り組み③：Image Serverの改良

- ・画像差分から突発天体を検出
- ・HOTPANTSの差分解析
(PSFをモデルフィットから推定)
→ 明るい星まわりで引き残り



- ・ZOGYの差分解析
(PSFを実際の点源から推定)
→ 星まわりの引き残りはない

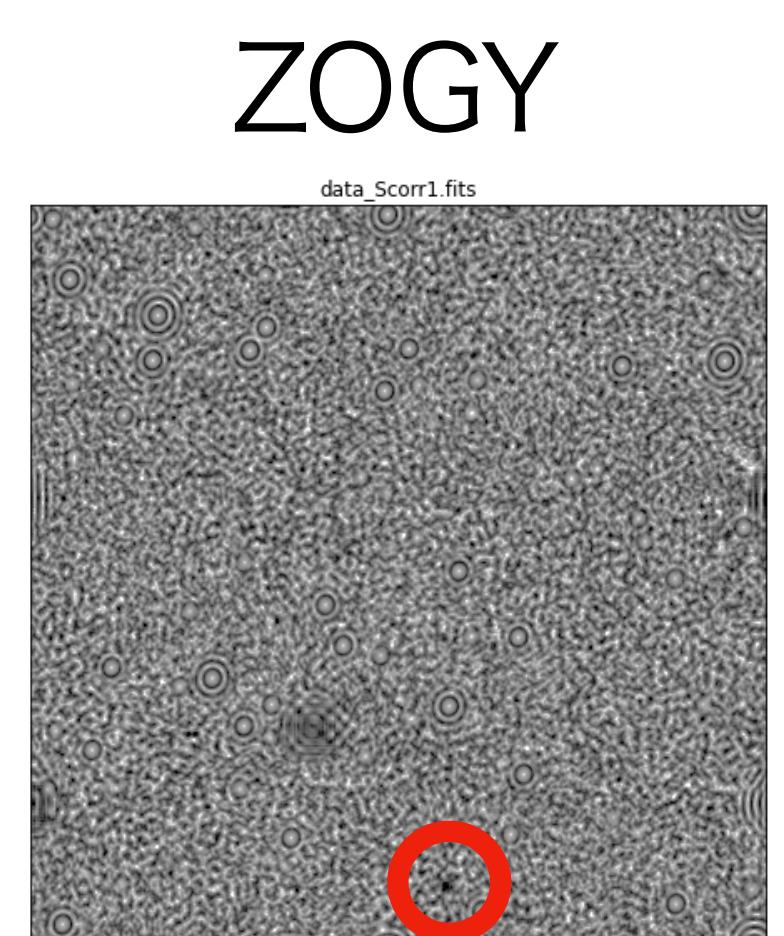
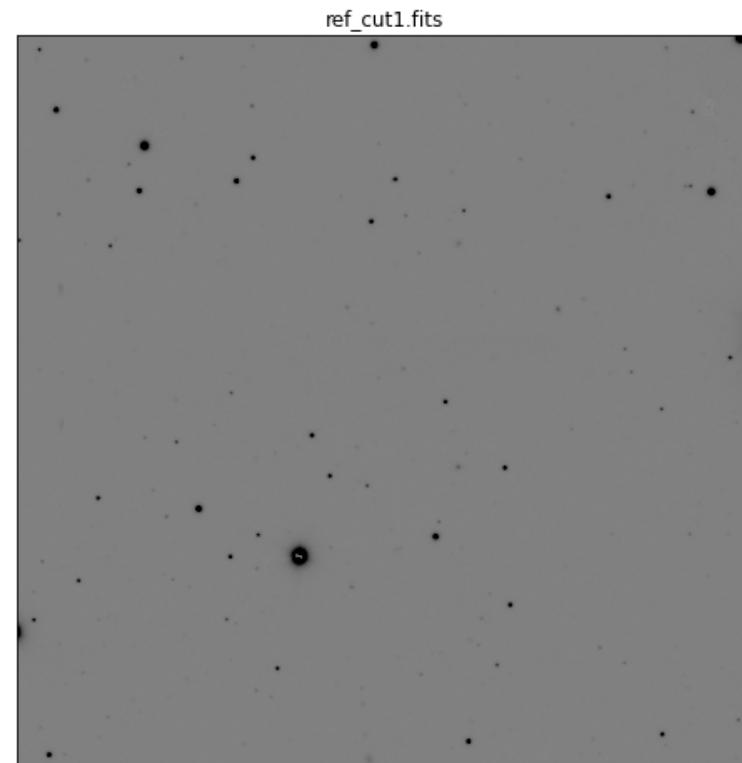
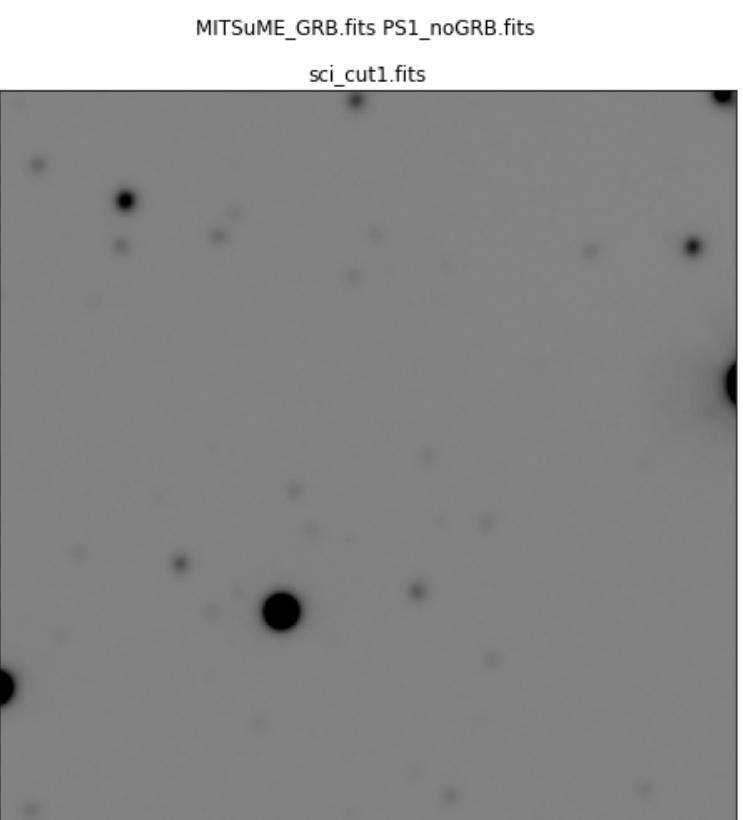


Image Serverの差分解析をZOGYに
より実施

まとめ

- ・ J-GEMは2つの戦略で突発天体を探査する
- ・ Plannerにて重力波到来領域内の銀河リストを取得し、観測や検出情報を統合する
- ・ Image Serverにて取得された銀河画像から突発天体を探す
- ・ O3には23の重力波イベントに対してフォローアップを実施した
- ・ J-GEMのフォローアップでは距離100Mpc、方向不定性 500deg^2 以下の重力波イベントにおいて対応天体の検出が期待できる
- ・ O4にむけて準備を進めている

Light curves in Optical and NIR

