



京都大学
KYOTO UNIVERSITY



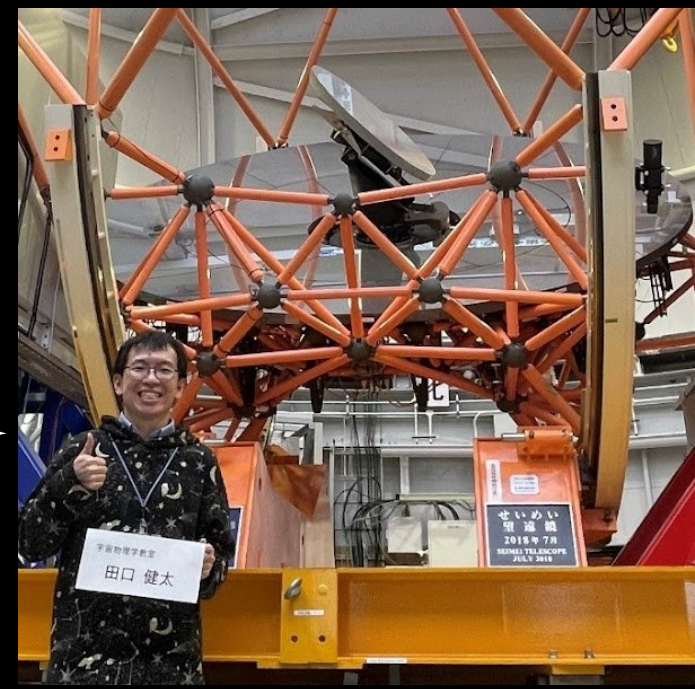
京都大学大学院理学研究科附属天文台

岡山天文台

せいめい望遠鏡を用いた マルチメッセンジャー天文学観測の現状

2025-09-02 田口健太
(京都大学宇宙物理学教室・岡山天文台)

English Below



おしながき

- マルチメッセンジャー天文学観測
 - 重力波追観測
 - IceCube ニュートリノ追観測
- 関係するプロジェクト
 - Einstein Probe 突発天体のフォローアップ (ポスター宣伝)

重力波 (GW) + 電磁波観測

- Good Example: **GW 170817**.

- **GRB 170817A**
- AT 2017gfo (**Kilonova**)

→ 連星中性子星合体だと判明

- GW → 合体前後の連星の質量
- 光赤外線 → 元素組成 (スペクトル) など

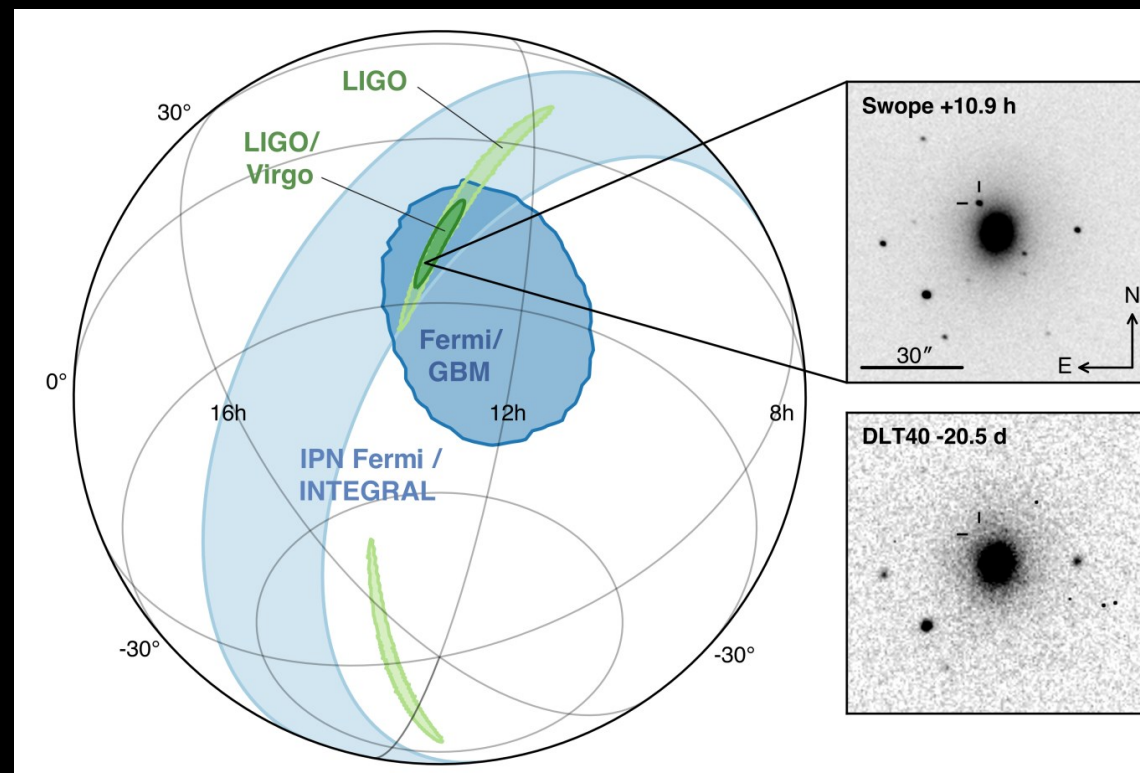
- 更なる GW + 光赤外線観測例が必要

- 2例目の連星中性子星合体
- 中性子星-ブラックホール合体
- Other embarrassing events?

- **可視光でのサーベイ観測**は、重力波源の**電磁波対応天体の特定**に必須

- GW の到来方向には非常に大きな誤差がある

[Abbott et al. \(2017\)](#)

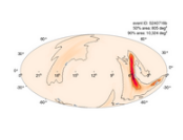
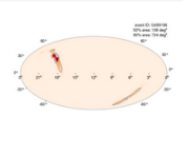
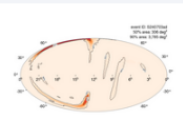
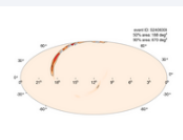


重力波追観測用スクリプト

- 現在用意しているスクリプト
 1. 重力波アラート監視スクリプト
 - LIGO/Virgo/KAGRA Public Alerts を見に行く
 2. 自動観測スクリプト
 - 重力波イベントごとに「J-GEM planner」で誤差領域内の銀河リストが提供される
 - Queue システム + TriCCS 撮像モードでその銀河を順次撮像観測
 3. Reduction スクリプト
 - GNUmakefile ベース

重力波用スクリプト #1: 重力波アラート監視スクリプト

- Grace DB (<https://gracedb.ligo.org/superevents/public/O4/>) を見に行く

GraceDB Public Alerts ▾ Latest Search Documentation Login							
Please log in to view full database contents.							
Event ID	Possible Source (Probability)	Significant	UTC	GCN	Location	FAR	Comments
S240716b	BBH (>99%)	Yes	July 16, 2024 03:49:00 UTC	GCN Circular Query Notices VOE		1 per 4.0307e+07 years	
S240705at	BBH (>99%)	Yes	July 5, 2024 05:32:15 UTC	GCN Circular Query Notices VOE		1 per 4.4755e+07 years	
S240703ad	BBH (>99%)	Yes	July 3, 2024 19:13:55 UTC	GCN Circular Query Notices VOE		1 per 2.6751e+05 years	
S240630t	BBH (>99%)	Yes	June 30, 2024 10:17:03 UTC	GCN Circular Query Notices VOE		1 per 16736 years	
S240629by	BBH (91%), NSBH (8%)	Yes	June 29, 2024 14:52:56 UTC	GCN Circular Query Notices VOE		1 per 100.04 years	

重力波用スクリプト #1: 重力波アラート監視スクリプト

- Grace DB (<https://gracedb.ligo.org/superevents/public/O4/>) を見に行く
 - 着目すべきパラメータ:
 - HasNS: 合体前の連星系が中性子星を含む確率 (**ブラックホール合体は無視**する)
 - HasRemnant: 中性子星由来の物質が合体に伴い放出される確率
 - FAR: **False Alarm Rate** (検出器で重力波イベントと同じ波形が偶然検出される頻度)
 - 50%/90% **誤差領域の立体角**
 - Seimei/TriCCS での追観測する候補イベント
 - $\text{FAR} \lesssim 10^{-8} \text{ Hz}$ & **誤差領域 $\lesssim 100 \text{ deg}^2$** .
 - HasNS, HasRemnant > 0 (**ブラックホール同士の合体ではない**)
 - **Visibility** が良い
- 現状、そのような event は無い。
- GW170817 は極めてレアな事象だったと言える。

重力波用スクリプト #2: 自動観測スクリプト

- **Queue システム (前原さん) に依存**
- 実行方法: `./seimeiGW.py eventid PROPID observer`↵
 - 自動的に実行できるよう、重力波アラート監視スクリプトと連結
 - してみたものの、イベントが無いので正しく連結できているか不明...
 - 今後の田口の観測時間などで、閾値を下げて動作試験予定
- 自動観測スクリプトの中身
 - ToO の発動 (共同利用は未対応: 次スライド)
 - Main loop
 1. **J-GEM planner (次々スライド)** から誤差領域内の銀河リストを取得 (都度更新)
 2. 観測する銀河 (確率が高く、visibility が良く、まだ観測されていない) を選択
 3. **安全確認 (人身事故の防止)**: 望遠鏡がリモートモードかつ人感センサーがオフ
 4. 2 で選んだ銀河を観測する queue コマンドを queue サーバーに送る
 5. 望遠鏡が動いて TriCCS (g2/r2/i2) の撮像露出が開始される

ToO の発動

- 自動観測開始(直)前に発動を「宣言」するのが望ましい

- 京大時間: 専用 web フォーム
 - ToO をかけて良いか機械が判定してくれる。
 - 共同利用: Slack で発動
 - **ToO をかけて良いかの判別が困難**
 - 優先度の高い他 ToO がかかっているか知るのが難しい
- 京大時間の方から先に準備中

京大時間: Web フォーム

ToO Request Form for Kyoto U. Time

残り持ち時間と観測スケジュールをチェックし、ToOが発動可能か確認します。
発動可能であれば**ToO申請フォーム**が出現するので、そこからToOを発動させてください。
本日利用可能なGrismと天候はページ下部から自身で確認してください。
緊急の場合は、Web申請後に観測室の専用回線(080-3455-8082)や観測者に直接連絡してください。
その他、[京大時間に関する情報はこちら](#)。 [ToO monitor\(発動状況\)](#)は[こちら](#)。

Proposal ID (採択課題一覧):

25B-K-0001

Date:

2025/08/31

Time:

From 18:00 to 18:01

Cf. 天文薄明: 20:05 -- 28:07

航海薄明: 19:34 -- 28:39

市民薄明: 19:03 -- 29:09

日没・日出: 18:37 -- 29:35

観測交代時間

0.25夜: 22:02

0.50夜: 24:00

0.75夜: 26:04

Confirm the Availability

共同利用: Slack

7月30日 (火) ▾

 **Kenta TAGUCHI (Kyoto)** 12:57

Date: 2024-07-30 20:00 ~ 20:45

PROP-ID: 24B-N-CT10

PI: 田口健太

Comment: 現地で観測します。

J-GEM Planner が提供する候補銀河リスト

- 重力波の誤差領域は広い (観測対象は $\lesssim 100 \text{ deg}^2$ のイベント)
 - TriCCS の FoV は $12.6 \times 7.5 \text{ arcmin}$ しかなく、この全てを scan するのは非現実的
→ **誤差領域内にある銀河を順次撮像**するという戦略を採る
 - GW170817 同様、重力波イベントは銀河に付随するものだと決め打ちする
- J-GEM planner: 重力波イベントごとに母銀河確率付き銀河リストを提供
→ この**リストに従い確率の高い銀河から順次 TriCCS で撮像**

(J-GEM: Japanese Collaboration for Gravitational-Wave Electro-Magnetic Follow-up)
候補銀河リストの例: S240615dg

galid	eventid	prob	inserted	ra	dec	dist	OptExpected	NirExpected	state	obsids	updated
GL003202+445251	S240615dg	0.28161	2024-06-19 21:46:01.982220	8.0091	44.8808	1071.7469	27.7	25.2	Observed	Seimei-TriCCS	2024-06-16 17:50:39.100667
GL002857+455417	S240615dg	0.055124	2024-06-19 21:46:01.982220	7.2385	45.9047	811.0104	27	24.5	Observed	Seimei-TriCCS	2024-06-16 18:24:42.369934
GL002711+460313	S240615dg	0.048759	2024-06-19 21:46:01.982220	6.794	46.0536	902.6792	27.3	24.8	Observed	Seimei-TriCCS	2024-06-16 18:18:34.686420
GL003644+464922	S240615dg	0.04022	2024-06-19 21:46:01.982220	9.1839	46.8227	1000.7425	27.5	25			
GL002720+462126	S240615dg	0.039475	2024-06-19 21:46:01.982220	6.8328	46.3572	873.7037	27.2	24.7	Observed	Seimei-TriCCS	2024-06-16 18:12:24.024992

重力波用スクリプト #3: Reduction スクリプト

- 以下の簡易的な一次処理を実行:
 - Dark 引き
 - Flat 割り
 - Sky 引き
 - WCS 貼り合わせ
 - 複数フレーム足し合わせ
 - Pan-STARRS1 のテンプレート引き ('J-GEM image server' 使用)
 - 場合によっては TriCCS の方が Pan-STARRS より深くなることもあるようだ
- GNUmakefile ベースでスクリプトを概ね作成した
- 今後は**観測終了時 (Dark 取得後/朝?) に自動実行できるようにする**予定
- 限界等級測定機能も追加予定

過去 1 年間の重力波関連観測

- 2/9: S250206dm (NS-BH か NS-NS)
 - 元々誤差領域が数百 $\text{deg}^2 \rightarrow$ 2/8 に 50% 誤差領域が 38 deg^2 まで小さくなり観測
- 8/20: AT 2025ulz
 - S250818k (誤差領域は大きかったが、ZTF が突発天体を報告したので追観測)
- 条件 (誤差領域 $< 100 \text{ deg}^2$ & 中性子星を持つ) を満たす重力波イベントの数が非常に少ない
 - 自動 ToO・自動実行機能の動作確認試験が出来ていない
 - 今後は田口の観測日に threshold を下げる (ブラックホールでも行く) などして、来るべき時に備えた試験をする予定。

IceCube ニュートリノイベントの追観測

- ニュートリノ: もう 1 つのマルチメッセンジャー観測対象
- IceCube: 南極点に建設された世界最大規模のニュートリノ検出器
 - 南極点の下的冰河を、ニュートリノのターゲットおよび Cherenkov 放射体として利用する
- 重力波の自動観測スクリプトを、ほぼそのまま使いまわすことが可能。
 - 誤差領域内の Blazar を TriCCS の g2/r2/z で撮像する。
- 過去 1 年間の関連観測
 - 11/28 IC140125_41215060
 - 3/9 IC140626_1288692
 - 4/7 IC140752_31006975
 - 5/4 IC140824
 - 8/20 AT 2025ulz

ポスター宣伝: Einstein Probe 天体のフォローアップ

- Low-luminosity GRB (LLGRB) という現象を狙った ToO 観測 (since 2025A)
- LLGRB が高エネルギーニュートリノを生成している可能性が指摘されている
→ マルチメッセンジャー組で LLGRB を狙っての観測に取り組んでいる
- LLGRB を年間数個発見すると考えられる、Einstein Probe 衛星報告の天体を追観測する
- 成果
 - EP250404a: GCN #40074 (報告 24 分後に GRB 観測)
 - EP250828a: GCN #41582 (次スライド)

TriCCS 撮像モードを用いた Low-Luminosity γ 線バーストの可視光対応天体の探査計画

田口健太 (京都大学岡山天文台) on behalf of a larger collaboration

Abstract

Low-Luminosity GRB (LLGRB) は通常の γ 線バースト (GRB) より約 4 桁低い光度を持つ種族である。LLGRB は通常の GRB より発生頻度が多いはずだが、暗さのために観測例が極めて少ない。しかし、2024 年に打ち上げられた高感度 X 線望遠鏡 Einstein Probe (EP) によりこの現状が改善され、年間複数個の LLGRB が発見されたと考えられる。そこで我々は TriCCS 撮像モードを用いて EP 発見の突発天体を追観測している。

1. Low-luminosity γ 線バースト (LLGRB) とは?

γ 線バースト (GRB) は宇宙におけるもっともエネルギーの大きな恒星の爆発現象である。GRB では短時間 ($< 100 - 1000$ 秒) に、 $10^{50} - 10^{52}$ erg s^{-1} (放射が等方的だと仮定した場合) もの高光度の γ 線が放射される。GRB のうち継続時間が長い (> 2 秒) ものは long-GRB と呼ばれている。Long-GRB は重い星の超新星爆発と関係していることが知られており、その高光度の γ 線放射は相対論的 jet によると考えられている。GRB の中でも、典型的なものより 4 桁ほど γ 線光度が低いものが存在し、これらを low-luminosity GRB (LLGRB、図1) と呼ぶ。この低い光度のために、**詳細な観測が行われた LLGRB は過去に 10 数個ほどしか存在しない**。しかし、LLGRB の観測数が少ない理由は、その暗さによる観測/バイアスに過ぎず、宇宙における実際の発生率は通常の GRB よりも 100 倍以上高い、 $100 - 1000$ Gpc $^{-3}$ yr $^{-1}$ と推定されている [1]。つまり **LLGRB は通常の GRB よりも遥かに普遍的な現象である**。このことから、LLGRB は通常の超新星爆発と、GRB との間を接続する重要な天体現象であると言える。

2. 2023 年以前の LLGRB の観測

LLGRB に対応する超新星の観測はあまり進展していない。2023 年までの過去 25 年間で、LLGRB と対応する超新星の観測が行われた明確な天体は 5 例しか無い (GRB 090425 = SN 1998bw, GRB 031203 = SN 2003hw, GRB 060218 = SN 2006aj, GRB 100316D = SN 2010bh, GRB 171205A = SN 2017iuk)。Swift/BAT の検出限界は $10^{-9} - 10^{-8}$ erg s^{-1} cm $^{-2}$ であり、LLGRB では 150 Mpc の距離に対応する。この限界距離では、期待される LLGRB の観測数は極めて少なかった (図1)。このため、(1) LLGRB の母天体、(2) LLGRB はどのように爆発して γ 線を放射するの? (3) LLGRB は高エネルギーニュートリノの起源となるか? など LLGRB に関する根本的な問いに対しては結論が得られていないのが現状である。しかし、**この現状は 2024 年 1 月に打ち上がった Einstein Probe の登場により劇的に改善されることが期待される**。

3. Einstein Probe (EP) の登場

2024 年 1 月、Einstein Probe (以下 EP) が打ち上がった。EP は広視野の X 線望遠鏡 (WXT、分解能 ~ 3 arcmin) と追跡観測用の X 線望遠鏡 (FXT、分解能 ~ 20 arcsec) を持つ。特に WXT は高視野 (3600 deg 2) かつ、軟 X 線 (0.5 - 4 keV) 帯域への高い感度を有する。2024 年 8 月末時点で 27 個の X 線突発天体が EP チームにより報告され、典型的な flux は $10^{-10} - 10^{-9}$ erg s^{-1} cm $^{-2}$ と、感度が Swift よりも 10 倍あることが確認されている。EP の高感度によって、 $L = 10^{46}$ erg s^{-1} の LLGRB であっても、500 Mpc まで検出可能と考えられる (図1)。控えめに 100 Gpc $^{-3}$ yr $^{-1}$ という event rate を仮定しても、EP による LLGRB の発見率は 6 yr $^{-1}$ 程度が期待され、うち半数が北半球から観測可能と考えられる。すなわち、**EP の登場によって、超新星に付随する LLGRB を年間に複数個観測可能になる時代がもたらされたと考える**。また LLGRB の放射は GRB より soft であることが知られており [2]、soft X 線に強い感度を持つ EP との相性が優れている。実際 EP 240414a = SN 2024gsa および EP 250108a = SN 2025kg の 2 天体は、対応する超新星まで発見されており、GRB や LLGRB と超新星との関係性が議論されている [3, 4]。

4. 我々の LLGRB 探査計画

我々は Seimei/TriCCS による撮像観測と Gemini/GMOS による分光観測とを組み合わせた ToO 観測を計画している (図2)。

(1) Seimei/TriCCS を用いた LLGRB の可視光対応天体の特定

EP のアラートを受けて TriCCS 撮像モード (g2/r2/i2) を用いて追観測を行う。EP による位置決定の誤差領域全体を、TriCCS の 1 視野でカバーできる。なお LLGRB は比較的近傍 ($d < 500$ Mpc) の銀河に付随していると予想される。この距離 ($\mu < 38.5$ mag) では最も暗い銀河 (~ 15.5 AB mag) も PS1 の限界等級 (23 AB mag) より明るいとえられる。EP によるアラートの大部分は LLGRB では無い GRB だと考えられるが、**EP/FXT の誤差領域内に PS1 の近傍銀河が存在するイベントは、LLGRB の可能性が最も高いと考えられるので、ToO を特に積極的に実施する**。

現時点で我々は 10 数個の EP 天体を追観測しており、このうち EP250404a は**即時観測 (EP の報告 24 分後) に成功**した。本天体は通常の GRB であったが、残光を検出した [5]。また、直近では EP250828a の **$L = 22.3$ の対応天体を世界に先駆けて報告**している [6]。

(2) Gemini/GMOS を用いた分光観測

TriCCS により LLGRB の可視光対応天体が発見された際は、Gemini/GMOS での ToO を発動して超新星のスペクトルを取得し、LLGRB までの距離を決定する。特に、21 等までの天体ならば、Ic 型超新星の中でのサブタイプの区別や、爆発の膨張速度を決定が可能となる。

参考文献

- [1] Liang et al. (2007), ApJ, 662, 1111, [2] Pian et al. (2006), Nature, 442, 1011,
- [3] van Dalen et al. (2025), ApJL, 982, 47, [4] Srinivasaragavan et al. (2025), ApJL, 988, 60,
- [5] Taguchi, Maeda, Tanaka (2025), GCN Circular #40074,
- [6] Taguchi, Tanaka, Toshikage (2025), GCN Circular #41582,
- [7] Lien et al. (2016), ApJ, 829, 7, [8] Campana et al. (2006), Nature, 442, 1008,
- [9] D'Elia et al. (2018), A&A, 619, 66.

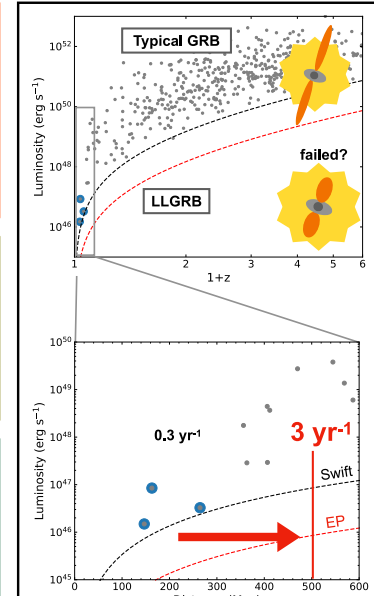


図1: (上) Swift 発見の GRB のうち、赤方偏移が既知のもの [7]。青で示す 3 天体は $< 10^{47}$ erg s^{-1} と特に暗く、これらが LLGRB である。(下) EP の登場により、観測可能な LLGRB が Swift より 1 桁増加すると期待される。

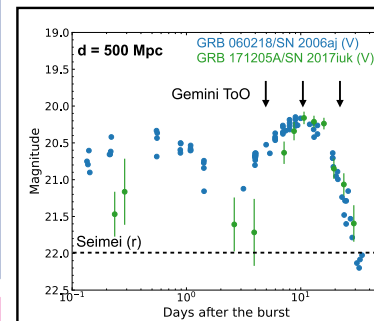


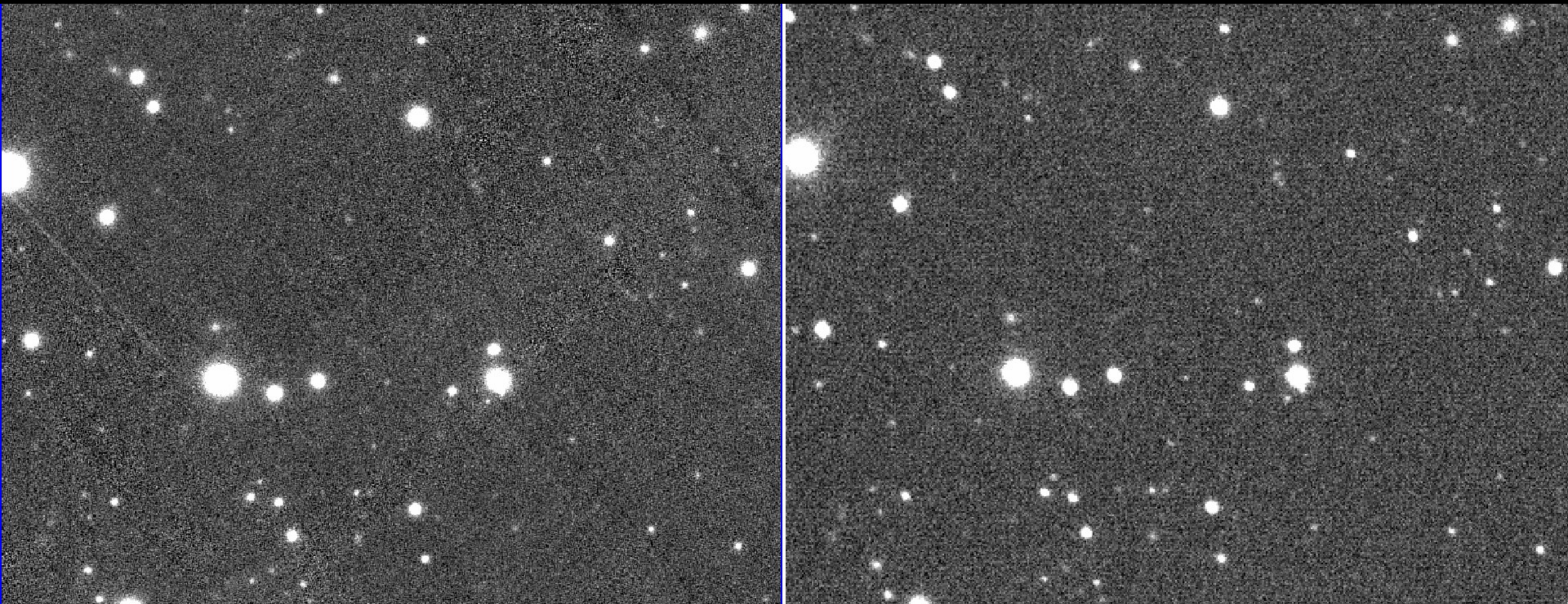
図2: 500 Mpc にある LLGRB から期待される光度曲線の想像図 (SN 2006aj [8]、SN 2017iuk [9] との比較)。特に 1 日以内に終了する GRB 残光と、2 週間程度後に出現する超新星との撮像を我々は狙う。

EP250828a: GCN #41582

- 2025/8/28 07:32:33 (UTC) 発見
- 2025/8/28 10:51:02 アナウンス
- 2025/8/28 13:20:39 観測開始。18.5 分露出を g2/r2/i2 で行った。
 - i2 = 22.3 AB mag の対応天体を発見して第一報告することが出来た
 - g2, r2 では non-detection。
 - 世界の他のチームからも、遅れて報告がされた。
- 簡易解析による、本データでの 5σ 限界 AB 等級: 22.3, 22.1, 22.5 (g2, r2, i2)
 - 特に i バンドに関しては、TriCCS の方が Pan-STARRS よりも良いデータ (次スライド)

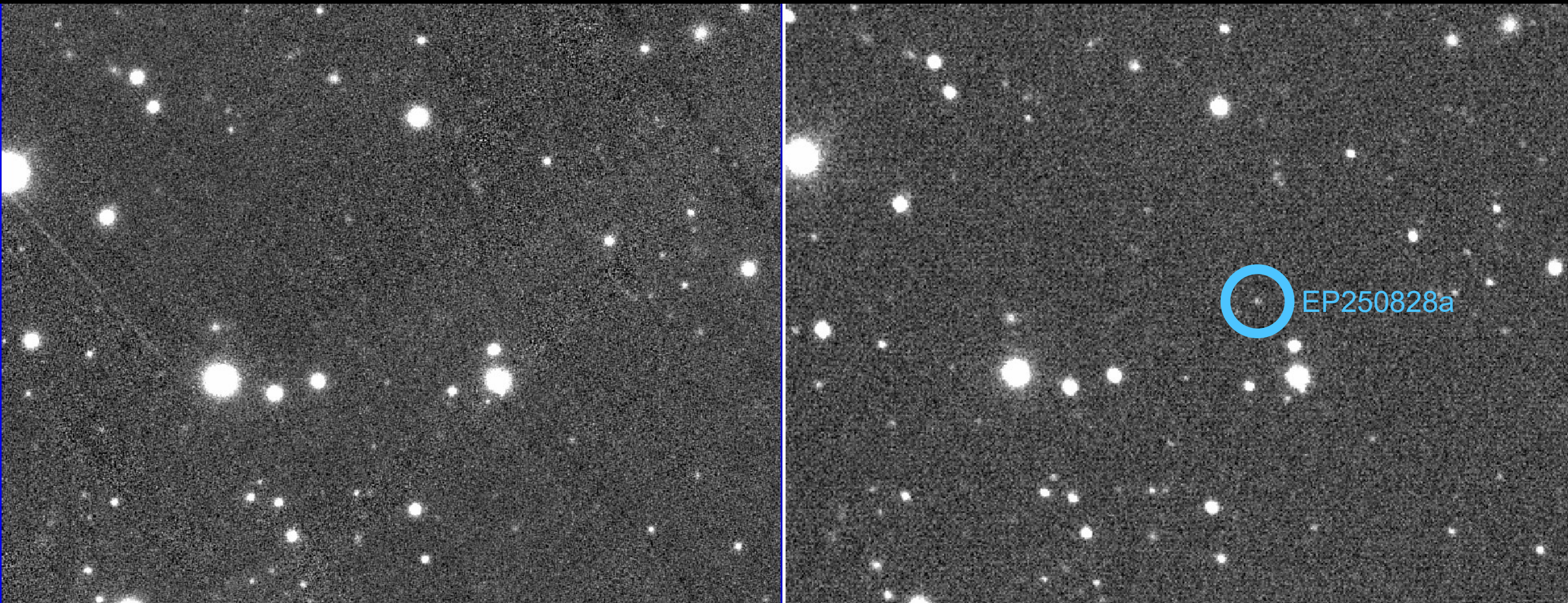
TriCCS の深さ

- i バンド画像を Pan-STARRS (左) と TriCCS (右) で比較



TriCCS の深さ

- i バンド画像を Pan-STARRS (左) と TriCCS (右) で比較



まとめ

- マルチメッセンジャー天文学観測
 - 重力波追観測
 - 3つのスクリプトを用意している
 1. 重力波アラート監視スクリプト
 2. 自動観測スクリプト
 3. Reduction スクリプト
 - 条件を満たすイベント数が少ないので、今後は田口の観測時に条件を緩め自動 ToO の試験予定
 - IceCube ニュートリノ追観測: 重力波の自動観測スクリプトをほぼそのまま使える
- 関係するプロジェクト
 - Einstein Probe 突発天体のフォローアップ (ポスター宣伝): 見て下さい
 - TriCCS の深さ: 18.5 分露出・iバンドで Pan-STARRS より良いデータ



京都大学
KYOTO UNIVERSITY

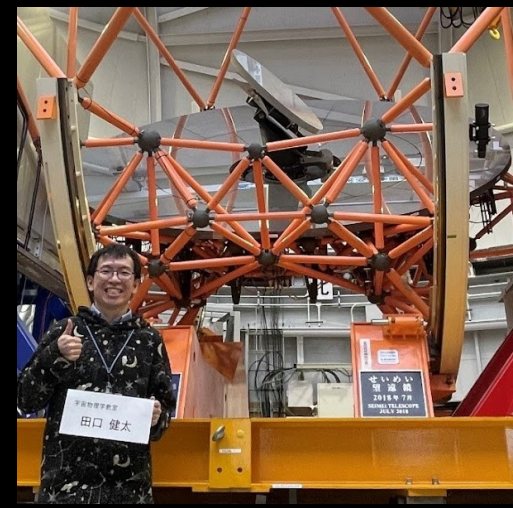


Okayama Observatory
Kyoto University

Current Status of Multi-messenger Astronomical Observations Using Seimei Telescope

2025-09-02 Kenta Taguchi

(Department of Astronomy & Okayama Observatory, Kyoto University)



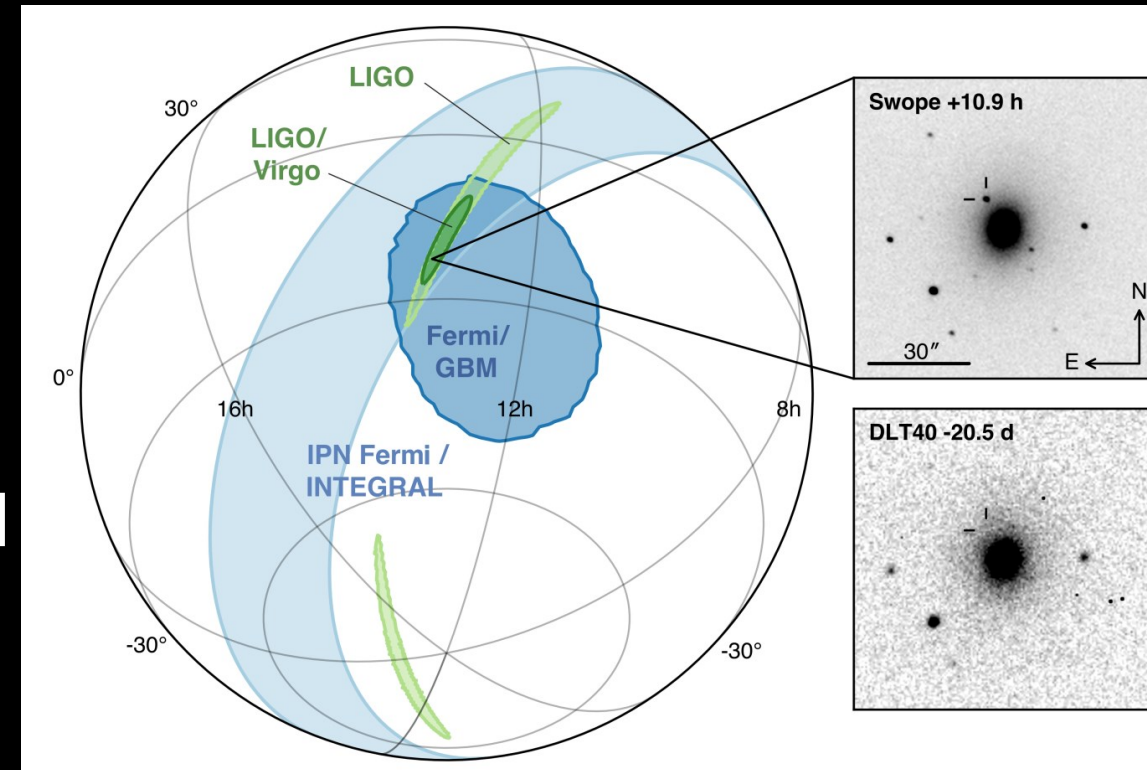
Contents

- **Multi-messenger Astronomical Observations**
 - **Following-up Gravitational Wave Events**
 - **Following-up IceCube Neutrino Events**
- Related Project
 - Following-up Einstein Probe Transients (Poster)

Gravitational Wave (GW) + Electromagnetic Wave

- Good Example: **GW 170817**
 - **GRB 170817A**
 - AT 2017gfo (**Kilonova**)
- turns out to be a NS-NS merger
 - GW → masses before/after merger
 - Optical → elemental abundance (spectra)
- More GW + optical observations needed
 - 2nd NS-NS merger
 - 1st NS-BH merger
 - Other embarrassing events?
- **Optical surveys** are necessary to **identify the counterpart of GW**
 - GW has a large uncertainty in direction

[Abbott et al. \(2017\)](#)

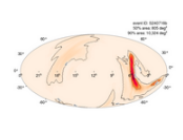
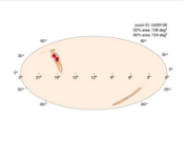
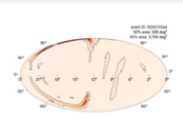
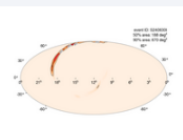


For Following-up Observation of Gravitational Wave Events

- We have prepared three scripts:
 1. GW Alert Monitor Script
 - Checking LIGO/Virgo/KAGRA Public Alerts
 2. Automatic Observation Script
 - For each GW event, “J-GEM planner” lists galaxies in the uncertainty region of direction
→ Imaging galaxies in the list by the queue system + TriCCS imaging mode
 3. Reduction Script
 - Based on GNUmakefile

Script for GW #1: GW Alert Monitor

- Check the Grace DB (<https://gracedb.ligo.org/superevents/public/O4/>)

GraceDB Public Alerts ▾ Latest Search Documentation Login							
Please log in to view full database contents.							
Event ID	Possible Source (Probability)	Significant	UTC	GCN	Location	FAR	Comments
S240716b	BBH (>99%)	Yes	July 16, 2024 03:49:00 UTC	GCN Circular Query Notices VOE		1 per 4.0307e+07 years	
S240705at	BBH (>99%)	Yes	July 5, 2024 05:32:15 UTC	GCN Circular Query Notices VOE		1 per 4.4755e+07 years	
S240703ad	BBH (>99%)	Yes	July 3, 2024 19:13:55 UTC	GCN Circular Query Notices VOE		1 per 2.6751e+05 years	
S240630t	BBH (>99%)	Yes	June 30, 2024 10:17:03 UTC	GCN Circular Query Notices VOE		1 per 16736 years	
S240629by	BBH (91%), NSBH (8%)	Yes	June 29, 2024 14:52:56 UTC	GCN Circular Query Notices VOE		1 per 100.04 years	

Script for GW #1: GW Alert Monitor

- Check the Grace DB (<https://gracedb.ligo.org/superevents/public/O4/>)
 - Important parameters:
 - HasNS: probability that progenitor binary has at least 1 NS (**ignoring BH-BH**)
 - HasRemnant: probability matters from NS ejected
 - FAR: **False Alarm Rate**
 - Spherical angle of 50%/90% **error region**
 - Events that Seimei/TriCCS follows
 - $\text{FAR} \lesssim 10^{-8} \text{ Hz}$ & **error region** $\lesssim 100 \text{ deg}^2$.
 - HasNS, HasRemnant > 0 (**not a BH-BH event**)
 - **Good visibility**
- To date, no such events has been discovered
- GW170817 was a really rare event

Script for GW #2:

Automatic Observation Script

- **Depending on the queue system (by Maehara-san)**
- To run: `./seimeiGW.py eventid PROPID observer`↵
 - To run automatically, connected with script #1 (GW alert monitor)
 - However, since there are no good events, it is unknown if the scripts are connected well.
→ Tests with lower criteria will be planned.
- The contents of automatic observation scripts
 - Trigger ToO (**Open-use time is not supported**, next slide)
 - Main loop
 1. Get galaxy list from **J-GEM planner (next next slide)** (updated on each loop)
 2. Choose a galaxy to observe (high “host-probability”, good visibility, not observed)
 3. **Check safety (prevent accident)**: telescope is in remote mode & human sensor is off
 4. Send queue commands to observe the galaxy chosen in 2 to the queue server
 5. Telescope moves & start exposure by TriCCS (g2/r2/i2)

To Trigger ToO

- It is good to declare to trigger ToO (just) before automatic observation
 - Kyoto University Time: web form
 - The system judge if ToO may be triggered
 - Open-use Time: Slack
 - **Difficult to classify ToO is allowed**
 - Difficult to know higher priority observation is running
- We prepare Kyoto University time at first

Open-use Time: Slack

7月30日 (火) ▾

 **Kenta TAGUCHI (Kyoto)** 12:57

Date: 2024-07-30 20:00 ~ 20:45

PROP-ID: 24B-N-CT10

PI: 田口健太

Comment: 現地で観測します。



Kyoto University Time: web form

ToO Request Form for Kyoto U. Time

残り持ち時間と観測スケジュールをチェックし、ToOが発動可能か確認します。
発動可能であれば**ToO申請フォーム**が出現するので、そこからToOを発動させてください。
本日利用可能なGrismと天候はページ下部から自身で確認してください。
緊急の場合は、Web申請後に観測室の専用回線(080-3455-8082)や観測者に直接連絡してください。
その他、[京大時間に関する情報はこちら](#)。 [ToO monitor\(発動状況\)](#)は[こちら](#)。

Proposal ID (採択課題一覧):
25B-K-0001 ▾

Date:
2025/08/31

Time:
From 18 ▾ : 00 ▾ to 18 ▾ : 01 ▾

Cf. 天文薄明:	20:05 -- 28:07	観測交代時間
航海薄明:	19:34 -- 28:39	0.25夜: 22:02
市民薄明:	19:03 -- 29:09	0.50夜: 24:00
日没・日出:	18:37 -- 29:35	0.75夜: 26:04

Confirm the Availability

Galaxy List Provided by “J-GEM Planner”

- GW has a large error region (even though we limit to $\lesssim 100 \text{ deg}^2$)
 - FoV of TriCCS = $12.6 \times 7.5 \text{ arcmin}$ → non-realistic to scan the whole region
 - We limit to image **galaxies within the error region**
 - Like GW170817, we assume GW events are accompanied by galaxies.
- J-GEM planner provides a galaxy list of ‘host probability’ for a GW event.
 - **TriCCS exposes galaxies one by one, starting with the highest probability.**

(J-GEM: Japanese Collaboration for Gravitational-Wave Electro-Magnetic Follow-up)

Example of a galaxy list: S240615dg

galid	eventid	prob	inserted	ra	dec	dist	OptExpected	NirExpected	state	obsids	updated
GL003202+445251	S240615dg	0.28161	2024-06-19 21:46:01.982220	8.0091	44.8808	1071.7469	27.7	25.2	Observed	Seimei-TriCCS	2024-06-16 17:50:39.100667
GL002857+455417	S240615dg	0.055124	2024-06-19 21:46:01.982220	7.2385	45.9047	811.0104	27	24.5	Observed	Seimei-TriCCS	2024-06-16 18:24:42.369934
GL002711+460313	S240615dg	0.048759	2024-06-19 21:46:01.982220	6.794	46.0536	902.6792	27.3	24.8	Observed	Seimei-TriCCS	2024-06-16 18:18:34.686420
GL003644+464922	S240615dg	0.04022	2024-06-19 21:46:01.982220	9.1839	46.8227	1000.7425	27.5	25			
GL002720+462126	S240615dg	0.039475	2024-06-19 21:46:01.982220	6.8328	46.3572	873.7037	27.2	24.7	Observed	Seimei-TriCCS	2024-06-16 18:12:24.024992

Script for GW #3: Reduction Script

- Standard reduction:
 - Dark subtraction
 - Flat fielding
 - Sky subtraction
 - WCS mapping
 - Combining multiple frames
 - Template subtraction using Pan-STARRS1 template (using 'J-GEM image server')
 - Be careful that TriCCS may become deeper in some cases.
- Script runner is made based on the GNUmakefile
 - To do:
 - **Automatic run after observation (after getting dark or morning?)**
 - Measuring limiting magnitude

GW-related Observations in the Last 1 Year

- 2/9: S250206dm (NS-BH or NS-NS)
 - At first error region $\sim$ several $100 \text{ deg}^2 \rightarrow 50\%$ getting smaller (38 deg^2) on 2/8
- 8/20: AT 2025ulz
 - S250818k (Error region is large; however, ZTF reported a transient in the region)
- There are no GWs that satisfy our requirement
 - $\rightarrow$ We have not been able to test if ToO & script run automatically
 - $\rightarrow$ We will soften the criteria (observe even BH-BH, etc.) in Taguchi's time to test.

Following up on IceCube Neutrinos

- Neutrinos: another kind of multi-messenger observation
- IceCube: the largest neutrino detector under the South Pole.
 - Utilize the glacier as a target for neutrinos and a Cherenkov radiator.
- The automated GW observation script can be used almost similarly.
 - Blazars within the error region are imaged by TriCCS g2/r2/z.
- Neutrino-related observations within the last 1 year:
 - 11/28 IC140125_41215060
 - 3/9 IC140626_1288692
 - 4/7 IC140752_31006975
 - 5/4 IC140824
 - 8/20 AT 2025ulz

Poster: Following up on Einstein Probe Transients

- ToO for Low-luminosity GRB (LLGRB) from 2025A.
- LLGRBs are a possible origin of high-energy neutrinos
 - Some multi-messenger people are interested
- Several LLGRBs are considered to be discovered by the Einstein Probe annually.
- Results
 - EP250404a: GCN #40074 (GRB observed 24 minutes after the report)
 - EP250828a: GCN #41582 (next slide)

Plan for Exploring Optical Counterparts of Low-luminosity γ -ray Bursts Using TriCCS Imaging Mode

Kenta Taguchi (Okayama Observatory, Kyoto University) on behalf of a larger collaboration

Abstract

Low-Luminosity GRBs (LLGRBs) are a class of γ -ray bursts (GRBs) with luminosities approximately four orders of magnitude lower than typical γ -ray bursts. LLGRBs should occur more frequently than typical GRBs, but their extreme faintness results in very few observational examples. However, the high-sensitivity X-ray telescope Einstein Probe (EP), launched in 2024, is expected to improve this situation, leading to the discovery of several LLGRBs per year. Therefore, we are conducting follow-up observations of transient objects detected by EP using the TriCCS imaging mode.

1. What are Low-luminosity γ -ray Bursts (LLGRB)?

γ -ray bursts (GRBs) are the most energetic stellar explosions in the universe. During a GRB, extremely high-luminosity gamma rays are emitted over a short duration ($< 100 - 1000$ s), reaching energies of $10^{50} - 10^{52}$ erg s^{-1} (assuming isotropic radiation). GRBs with longer durations (> 2 s) are called long-GRBs. Long-GRBs are known to be associated with supernova explosions of massive stars, and their high-luminosity γ -ray emission is thought to originate from relativistic jets. Among GRBs, some show γ -ray luminosities ~ 4 orders of magnitude lower than typical GRBs; these are called low-luminosity GRBs (LLGRBs, Fig. 1). **Due to this low luminosity, only about a dozen LLGRBs have been observed in detail to date.** However, the scarcity of LLGRB observations is just an observational bias due to their faintness; their actual cosmic event rate is estimated to be $\sim 100 - 1000$ Gpc $^{-3}$ yr $^{-1}$, over 100 times higher than that of typical GRBs [1]. In other words, **LLGRBs are a far more universal phenomenon than typical GRBs.** Therefore, LLGRBs are important astrophysical phenomena since they link typical supernovae and GRBs.

2. Observations of LLGRBs until 2023

Observations of supernovae associated with LLGRBs have not progressed significantly. Over the past 25 years, up to 2023, only five supernovae corresponding to LLGRBs have been observed in detail (GRB 080425 = SN 1998bw, GRB 031203 = SN 2003W, GRB 060218 = SN 2006aj, GRB 100316D = SN 2010bh, GRB 171205A = SN 2017iuk). It is because the detection limit for Swift/BAT is $10^{-10} - 10^{-9}$ erg s^{-1} cm^{-2} , corresponding to a distance of 150 Mpc for LLGRBs; at this limiting distance, the expected number of observed LLGRBs was extremely low (Fig. 1). Therefore, fundamental questions regarding LLGRBs, such as (1) the progenitors of LLGRBs, (2) how LLGRBs explode and radiate gamma rays, and (3) whether LLGRBs are the source of high-energy neutrinos, remain unresolved. However, **the situation is expected to improve dramatically with the launch of the Einstein Probe in January 2024.**

3. The Launch of the Einstein Probe (EP)

In January 2024, the Einstein Probe (EP) was launched. EP has a wide-field X-ray telescope (WXT, angular resolution of ~ 3 arcmin) and a tracking X-ray telescope (FXT, angular resolution of ~ 20 arcsec). WXT features a large field of view (3600 deg 2) and high sensitivity in the soft X-ray band (0.5 - 4 keV). As of late August 2024, 27 X-ray bursts have been reported by the EP team, with typical fluxes ranging from 10^{-10} to 10^{-9} erg s^{-1} cm^{-2} , which confirms EP has a sensitivity ~ 10 times greater than Swift.

The high sensitivity of EP can detect LLGRBs up to 500 Mpc, even if their luminosity is 10^{46} erg s^{-1} (Fig. 1). Even assuming a conservative event rate of 100 Gpc $^{-3}$ yr $^{-1}$, the discovery rate of LLGRBs by EP is expected to be ~ 6 yr $^{-1}$, with half of these observable from the northern hemisphere. In other words, **the launch of EP began an era in which multiple LLGRBs associated with supernovae can be observed annually.** Furthermore, the radiation from LLGRBs is known to be softer than GRBs [2], which has high similarity with EP's strong sensitivity in soft X-rays.

In fact, EP 240414a = SN 2024gsa and EP 250108a = SN 2025ks have been discovered with counterparting supernovae, and the relationship between GRBs, LLGRBs, and supernovae is being discussed [3, 4].

4. Our Plan for Exploring LLGRBs

We plan to combine Time-of-Opportunity (ToO) observations of imaging with Seimei/TriCCS and spectroscopy with Gemini/GMOS (Fig. 2).

(1) Identifying Optical Counterparts of LLGRBs Using Seimei/TriCCS

Following EP alerts, we conduct follow-up observations using the TriCCS imaging mode (g2i/2i/2). The single FoV of TriCCS can cover the entire positional uncertainty by EP. Note that LLGRBs are expected to be associated with relatively nearby galaxies ($d < 500$ Mpc). At this distance ($\mu < 38.5$ mag), even the faintest galaxies (~ 15.5 AB mag) are expected to be brighter than the PS1 limiting magnitude (23 AB mag). While most alerts triggered by EP are likely to be non-LLGRBs, **events where PS1 nearby galaxies exist within the EP/FXT error region are considered the most likely candidates for LLGRBs. Therefore, ToO observations should be initiated particularly aggressively for these events.**

At present, we have conducted follow-up observations of over ten EP objects. Among these, EP250404a was successfully observed immediately (**24 mins after the EP report**). This object was a standard GRB, but an afterglow was detected [5]. Furthermore, most recently, **we were the first in the world who discover the optical counterpart of EP250828a with an $z = 22.3$** [6].

(2) Spectroscopy Using Gemini/GMOS

After TriCCS detects the optical counterpart of an LLGRB, a ToO observation is triggered with Gemini/GMOS to obtain the supernova spectrum and determine the redshift of the LLGRB. In particular, for objects down to magnitude 21, it is possible to distinguish subtypes of type Ia supernovae and determine the expansion velocity of the explosion.

References

- [1] Liang et al. (2007), ApJ, 662, 1111, [2] Plan et al. (2006), Nature, 442, 1011,
- [3] van Dalen et al. (2025), ApJL, 982, 47, [4] Srinivasaragavan et al. (2025), ApJL, 988, 60,
- [5] Taguchi, Maeda, Tanaka (2025), GCN Circular #40074,
- [6] Taguchi, Tanaka, Toshikage (2025), GCN Circular #41582,
- [7] Lien et al. (2016), ApJ, 829, 7, [8] Campana et al. (2006), Nature, 442, 1008,
- [9] D'Elia et al. (2018), A&A, 619, 66.

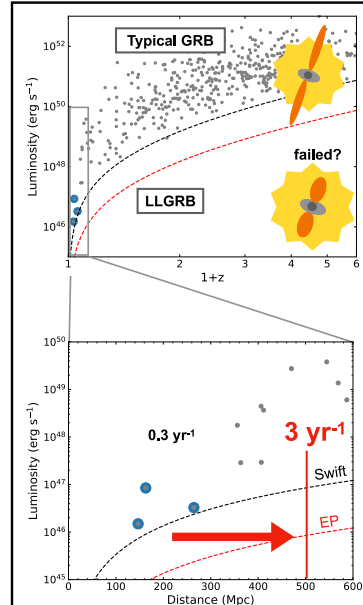


Figure 1: (Top) GRBs detected by Swift with known redshifts [7]. The three particularly faint ($< 10^{47}$ erg/s) colored blue are LLGRBs. (Bottom) Zooming up of the top panel. With EP, the number of observable LLGRBs is expected to increase by an order of magnitude compared to Swift.

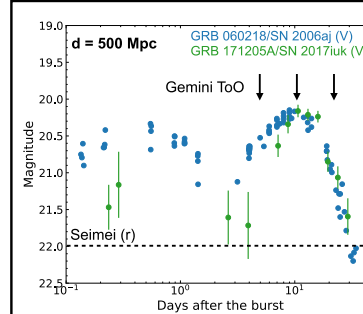


Figure 2: expected light curve from an LLGRB at 500 Mpc (compared with SN 2006aj [8] and SN 2017iuk [9]). We specifically aim to image the GRB afterglow, which ends within one day, and the supernova that appears about two weeks later.

EP250828a: GCN #41582

- 2025/8/28 07:32:33 (UTC) discovered
- 2025/8/28 10:51:02 announced
- 2025/8/28 13:20:39 start observation. g2/r2/i2 exposure for 18.5 minutes.
 - We discovered and announced i2 = 22.3 AB mag counterpart to the world
 - Non detection by g2 and r2.
 - Other groups in the world reported the same object being delayed from us.
- 5σ limiting AB magnitudes: 22.3, 22.1, 22.5 (g2, r2, i2)
 - TriCCS data are as deep as Pan-STARRS (next slide)

Comparison of Pan-STARRS and TriCCS

- i-band image of Pan-STARRS (left) and TriCCS (right)



Comparison of Pan-STARRS and TriCCS

- i-band image of Pan-STARRS (left) and TriCCS (right)



Summary

- **Multi-messenger Astronomical Observations**
 - **Gravitational Wave Events**
 - We have 3 scripts:
 1. GW alert monitor script
 2. Automatic observation script
 3. Reduction script
 - The number of GW events that satisfy the criteria is small
 - Script will be tested under Taguchi's observation time with softer criteria.
 - **IceCube Neutrinos**: the same script as GW can be used.
- Related project:
 - Einstein Probe Transients (Poster)
 - TriCCS' depth: 18.5 minutes exposure gives 22.3, 22.1, 22.5 (g2, r2, i2) limiting magnitudes.