

木曾105 cmシュミット望遠鏡

Tomoe Gozen による

マルチメッセンジャー

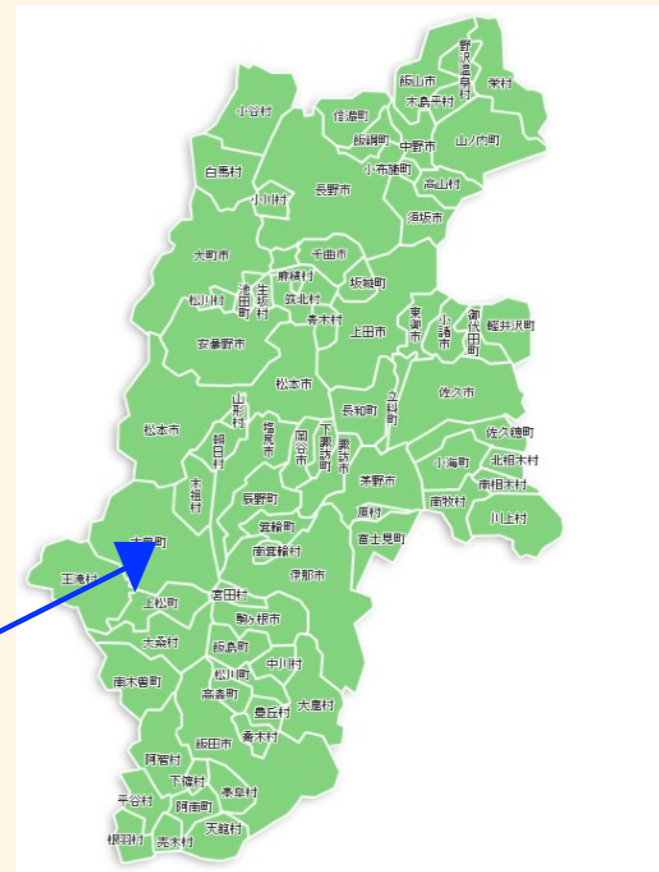
突発天体観測



新納 悠 (東京大学木曾観測所)

on behalf of the Tomoe-e Gozen collaboration

木曾観測所と 木曾シュミット望遠鏡

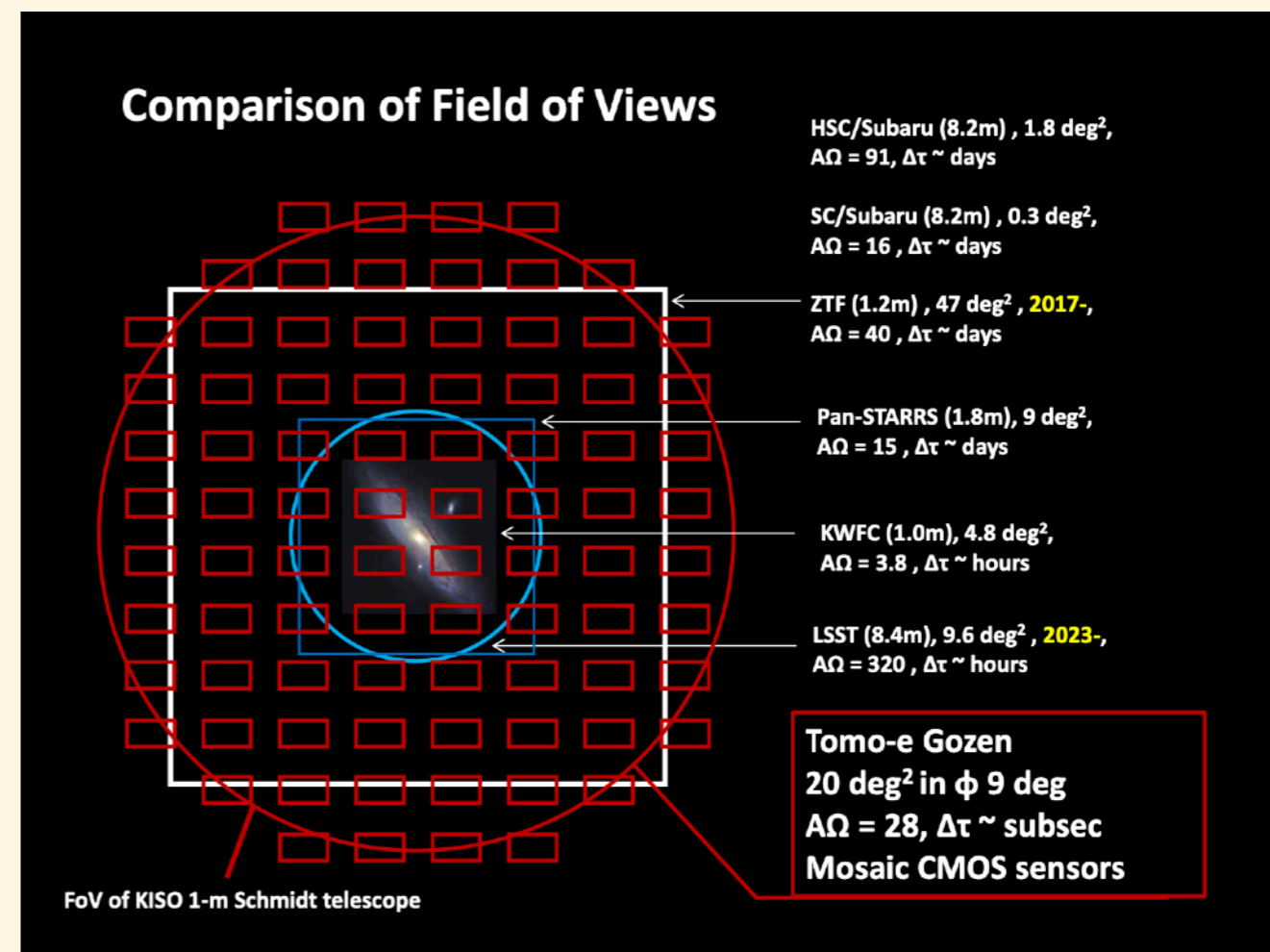
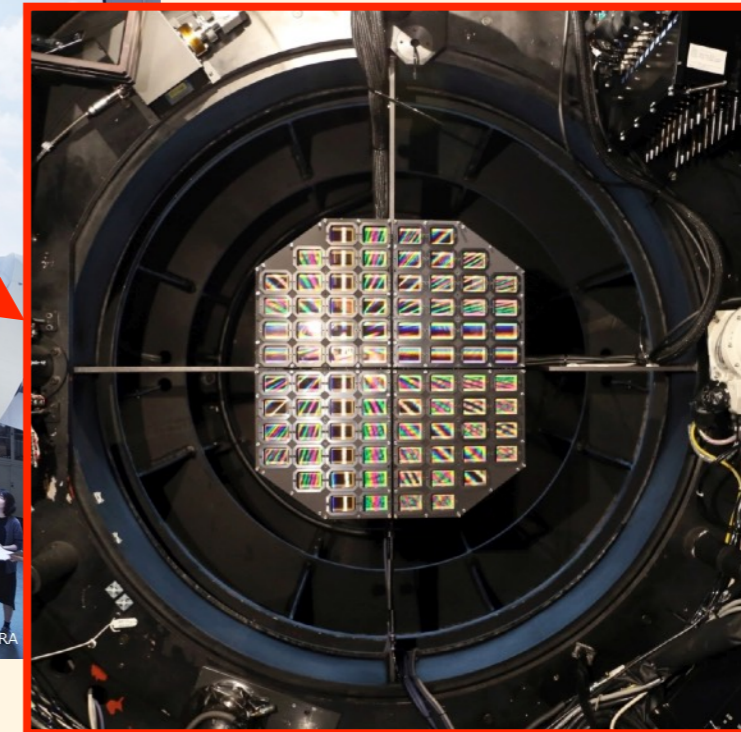
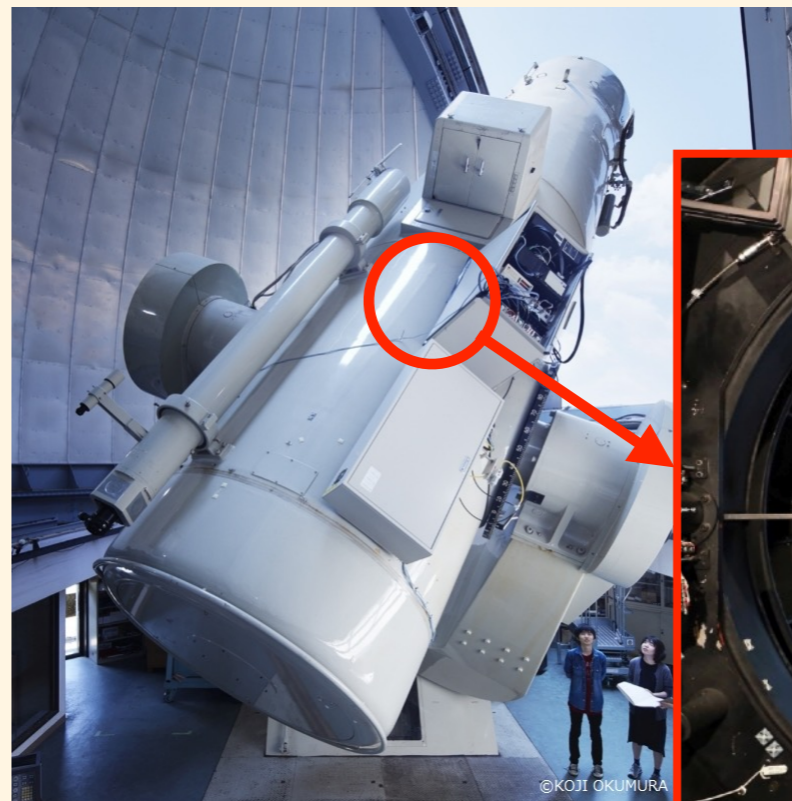


- 木曾シュミット望遠鏡
 - 口径：105 cm
 - 視野：直径 9 度



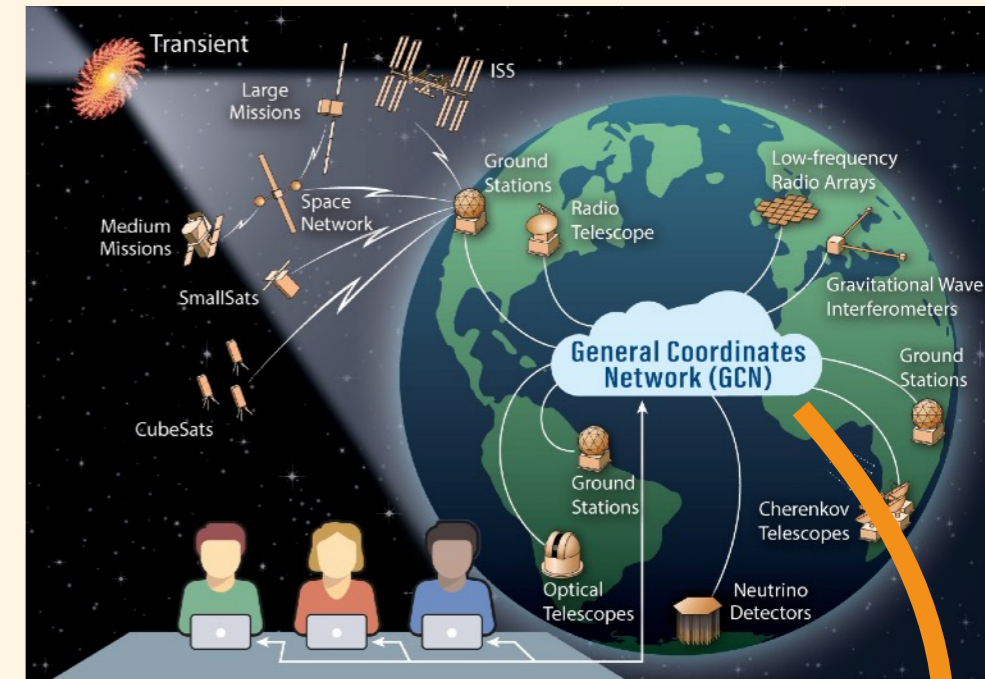
Tomo-e Gozen

- 視野 20 deg^2 の CMOS カメラ
 - 84 CMOS sensors
 - 2 fps 高速読み出し
 - 各 $2,000 \times 1,128 \text{ pix}$
- 検出限界
 - $\sim 18.5 \text{ mag}$ with 12 sec exp.
 - $\sim 20.5 \text{ mag}$ with 4 min exp.
 - $\sim 20 \text{ min}$ to fill the $\phi = 9 \text{ deg}$ ($= 60 \text{ deg}^2$) area down to 20.5 mag
- 毎晩の広域サーベイで変動現象を探查 (自動観測)



Tomo-e Gozen による突発天体追観測

- 広視野によって位置決定精度の悪い現象でも可視光対応天体を探査可能
 - e.g., 重力波現象、超新星ニュートリノ
- 動画観測で短時間スケールの光度変動も捉える
- 観測スクリプト（レシピファイル）による自動観測のため、急なToOの割り込みに対応しやすい。
- 主に VOEvent 版 GCN Notice でアラート受けて自動追観測
- 重力波、GRB、MAXI突発天体、IceCube TeV ニュートリノ、EP突発天体、CHIME/FRB、Super-Kamiokande MeV ニュートリノ

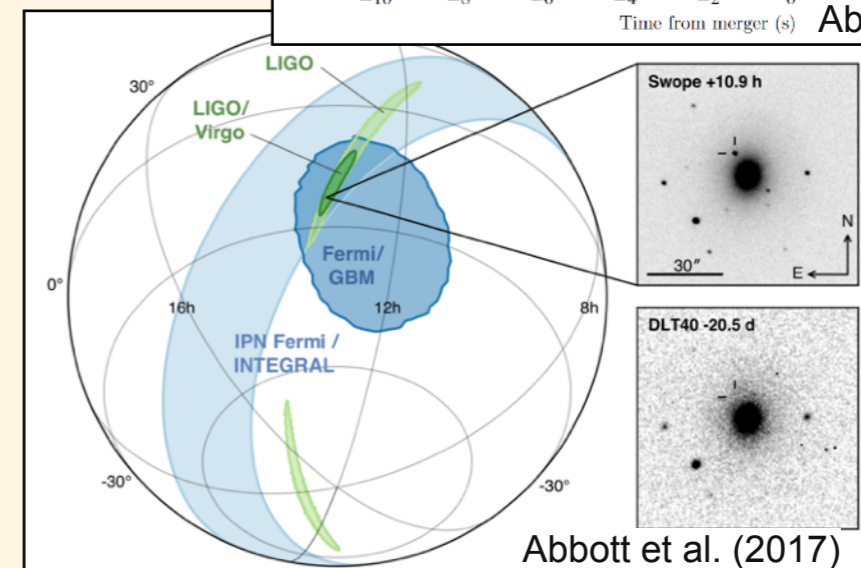
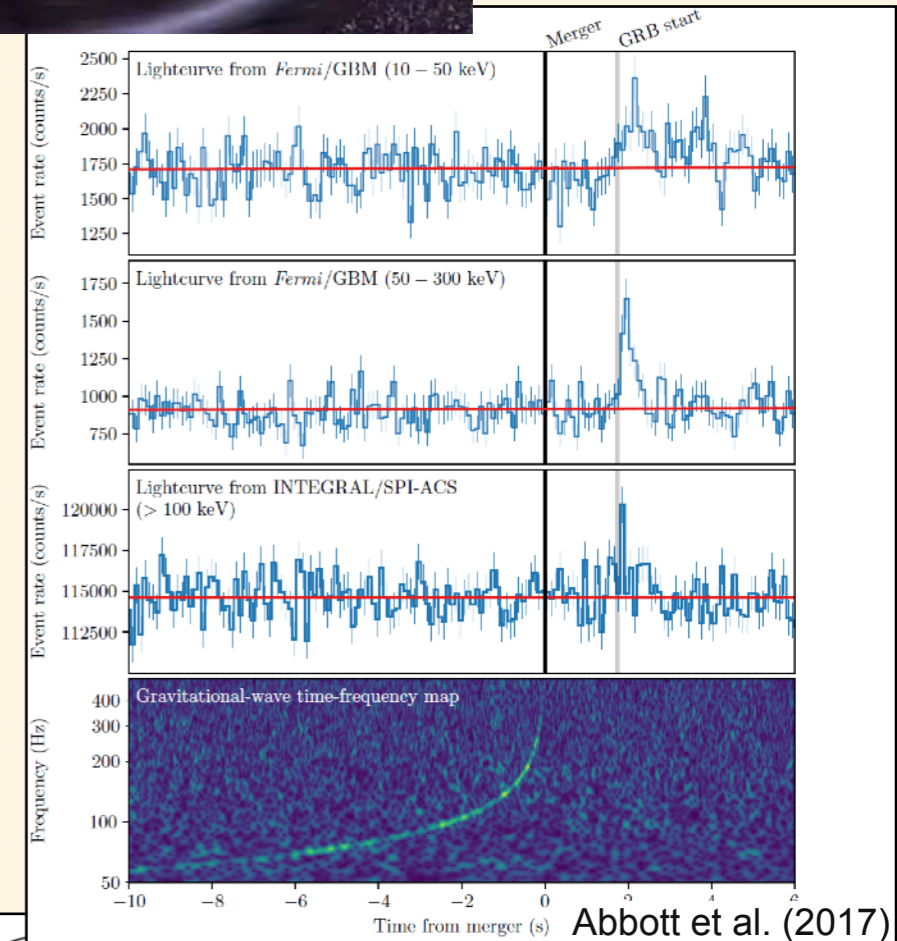


重力波イベントと電磁波対応天体



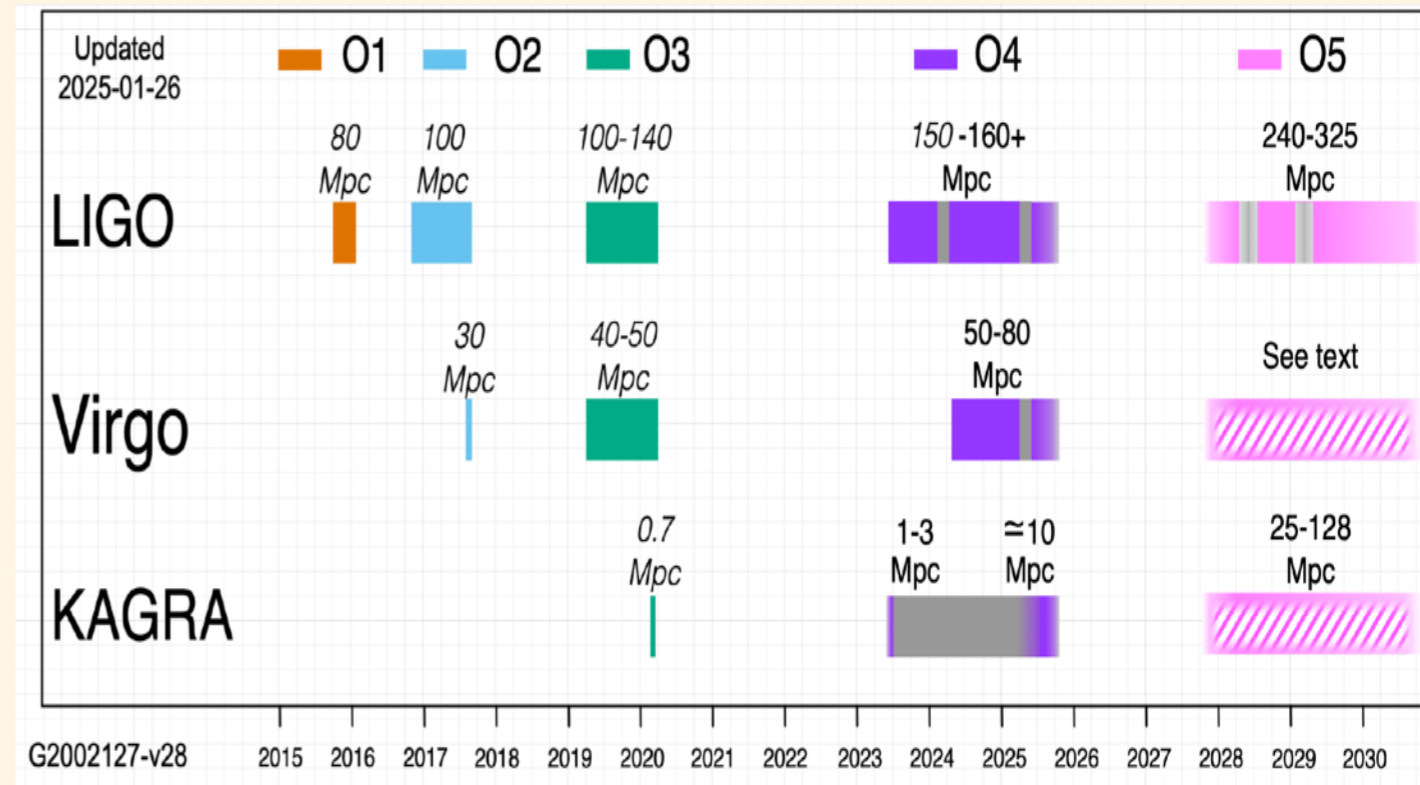
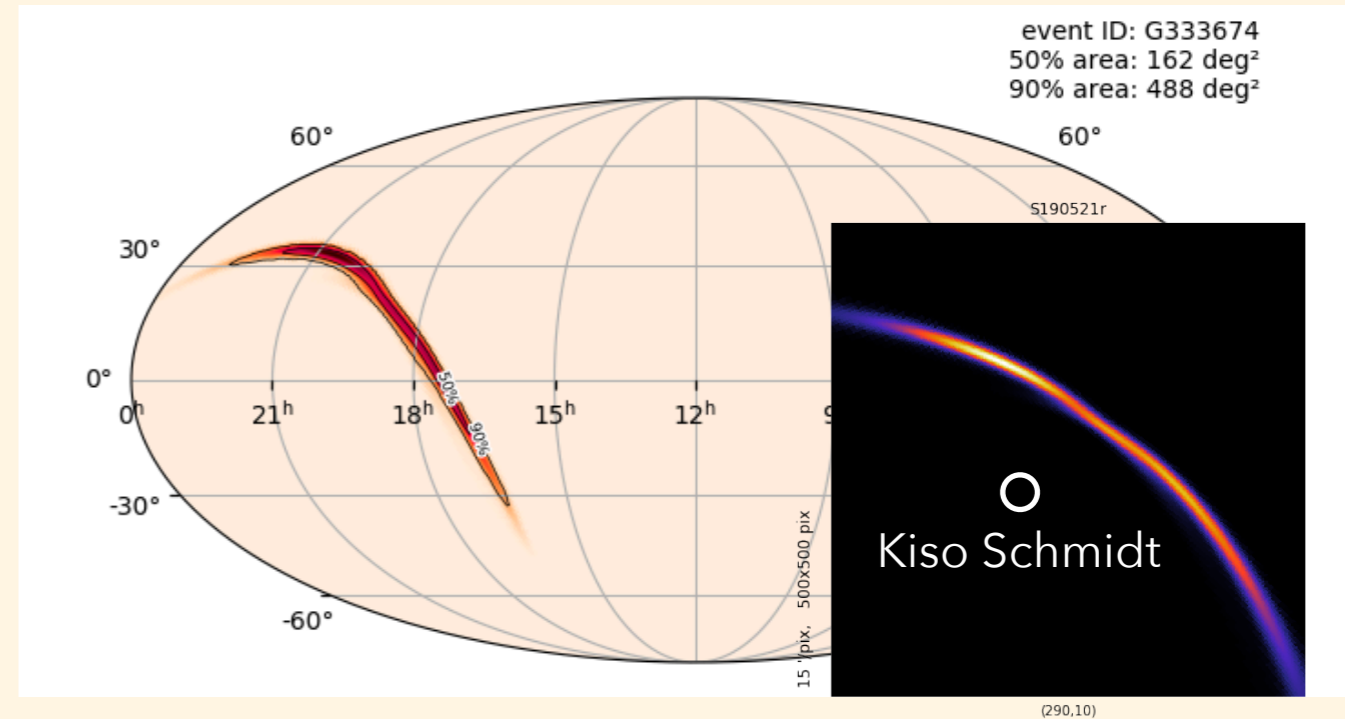
Credit: NASA/Goddard
Space Flight Center

- 中性子星連星合体 GW170817/
AT2017gfo/GRB 170817A
 - 重力波と電磁波の両方で観測される
 - 史上初&これまで唯一
- 全ての中性子星連星合体が
GW170817 like とは限らない
 - 観測例を増やす
 - 発見したら分光することも重要



重力波イベントの追観測体制

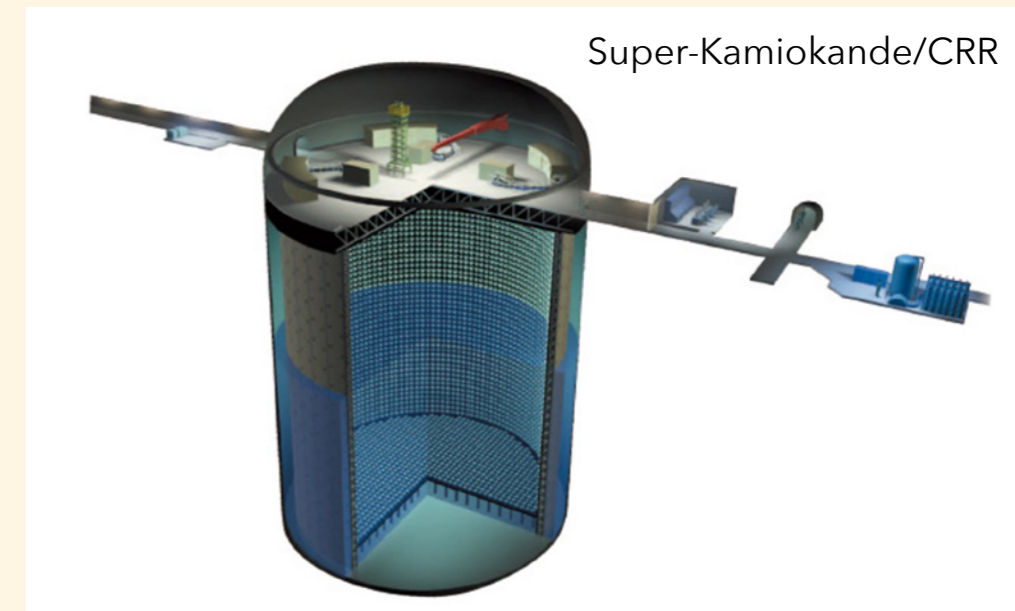
- 重力波検出を受けてその到来方向を観測して対応天体を探す
- 木曾観測所では自動追観測&解析システムを運用
 - 初期光度曲線をとらえる
 - 分光能力のある観測所に速報
- 重力波位置決定精度
 - O3 (2019-) : 数百-数千 deg²
 - O4 (2023-) : 数十-数百 deg²
- Tomo-e Gozen の視野 ~ 20 deg²
 - ディザーして gap を埋めると ~ 60 deg²



O4は2025年11月まで実施予定

Super-Kamiokande ニュートリノアラート

- Super-Kamiokande (SK) からのアラートを受けて即時追観測し超新星 (SN) のたち上がりを捉える
 - 重力波と同様に GCN にアラートが発せられると自動追観測
 - 2024/6より運用
 - 数十-百年に1回の頻度
 - Tomo-e と SK のプロジェクト間 MoU に基づいて low-level アラート情報を受け取る
 - 年に数回の頻度



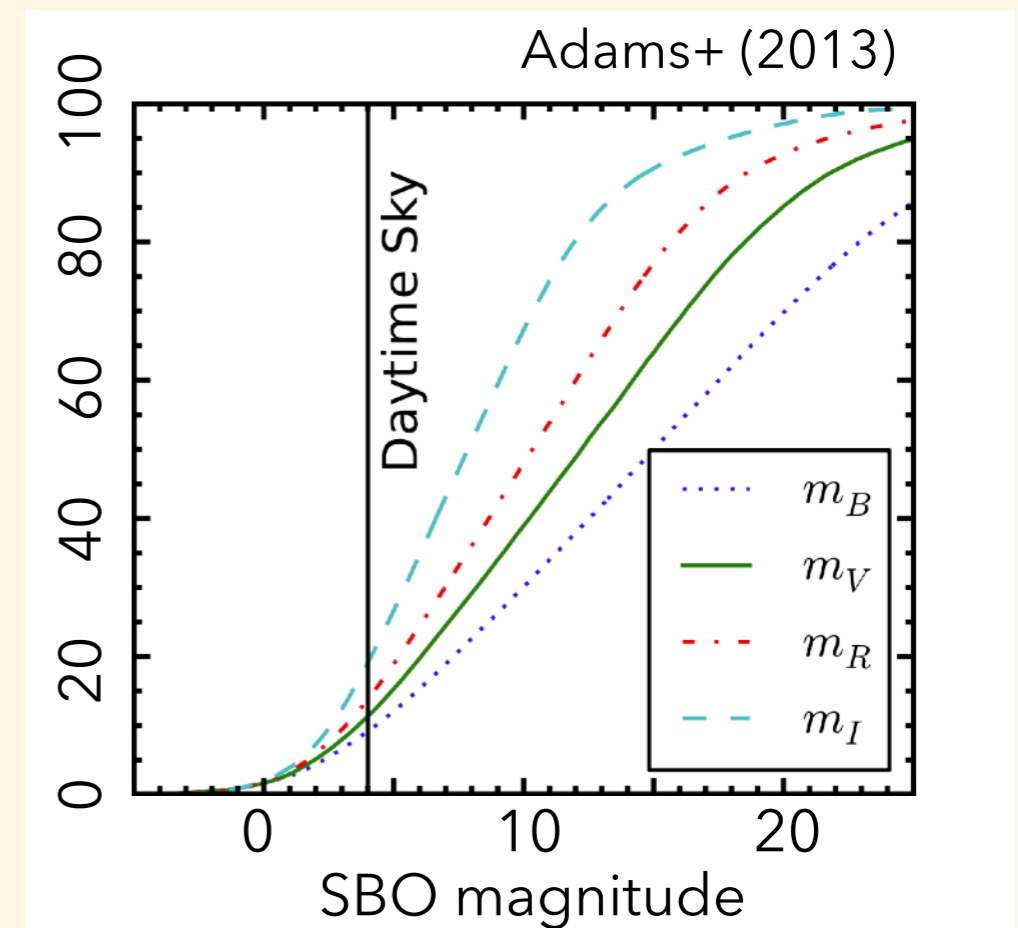
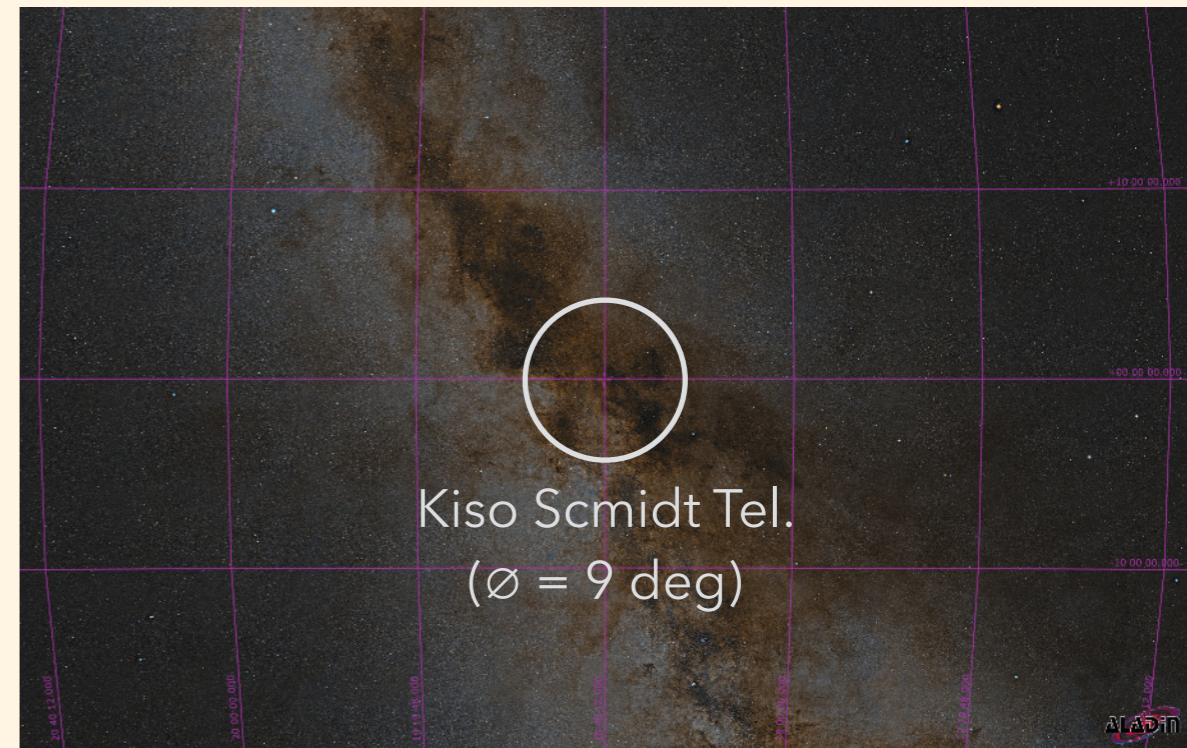
golden alerts
public
via GCN

low-level alerts
private
via email



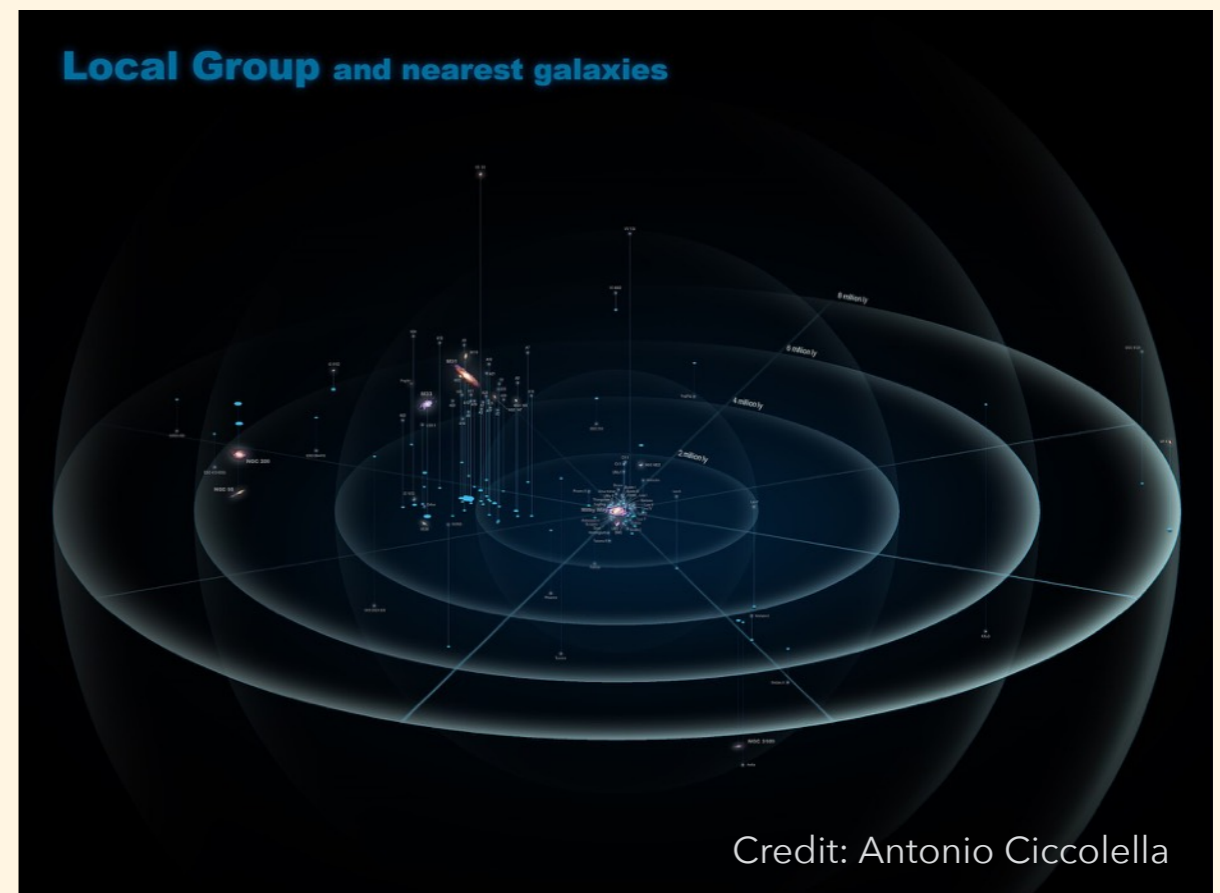
SK Golden アラートの追観測

- 銀河系内 SN 由来と考えられる
 - 数十-百年に1回 (貴重!!)
- SK による位置決定精度 ~ 3 deg
 - 木曾シュミット望遠鏡の広視野観測にマッチ
- 限界等級 ~ 20 mag (露光 ~ a few min)
 - 銀河円盤の減光越しに大部分の SN shock breakout を検出可
- ニュートリノバーストから可視光増光まで数分の場合もありうる
 - 人の手を介さない自動追観測で対応
- 専用の検出パイプラインが必要かも？



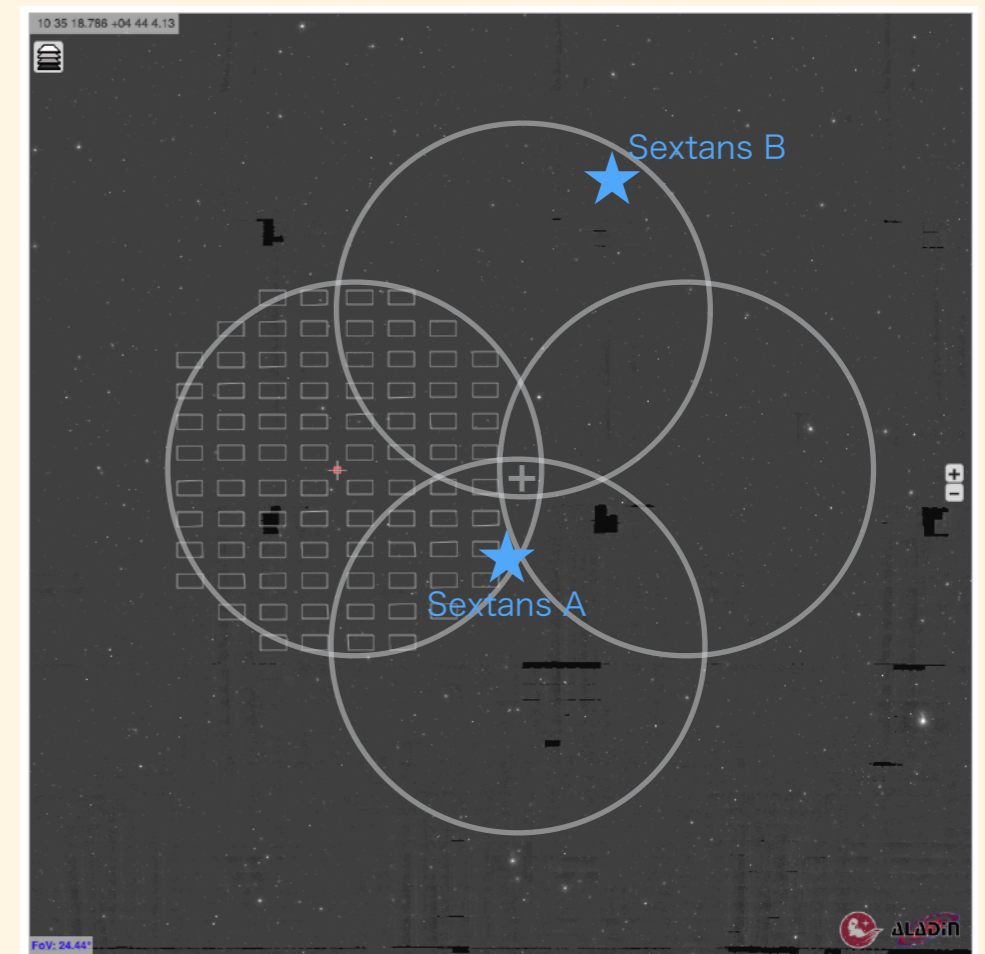
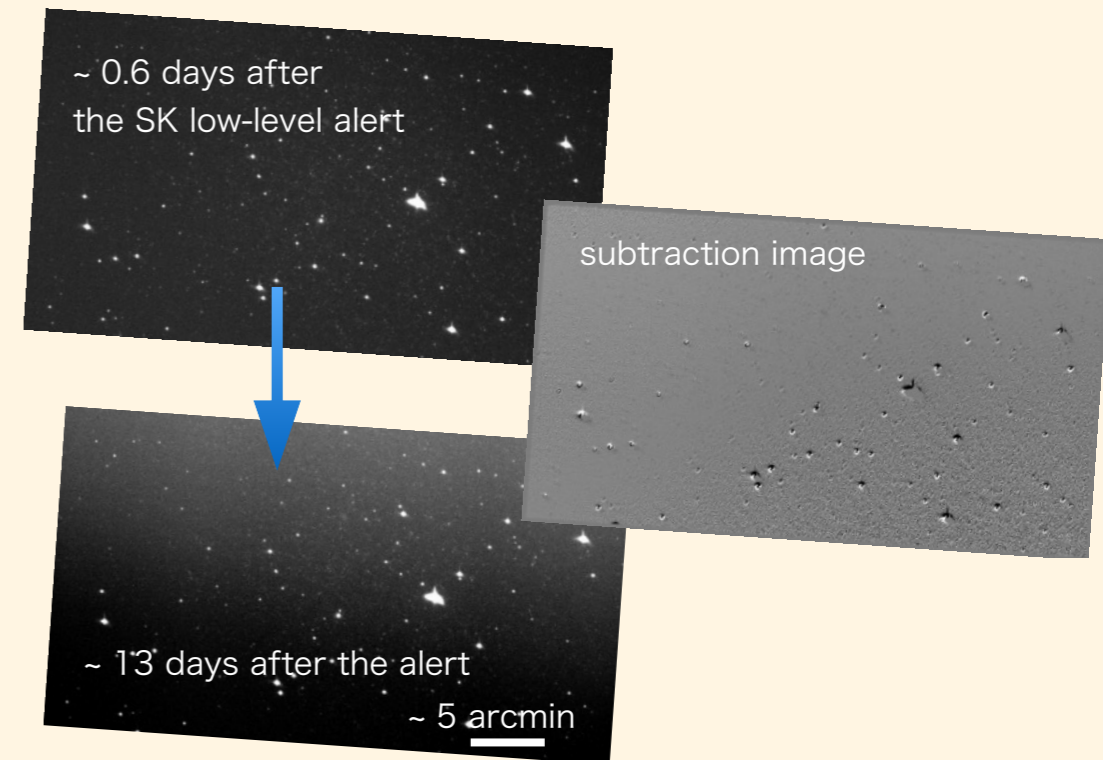
SK low-level アラートの追観測

- 確度の低い low level alert（非公開）についても連携観測
 - 2024年 MoU締結
 - ニュートリノ事象数 > 10
 - ほとんどはバックグラウンド
 - 本番に向けた練習
 - 何か見つければ大発見！
- 実際に low level の現象が発生して Tomo-e Gozenで追観測
 - 1年弱で2回
- Hyper-Kamiokande では局所銀河群内（アンドロメダ銀河、他）のSN ニュートリノバーストが low-level 検出される可能性がある。
 - low-level 検出にどう対応していくかは今のうちに検討しておくべき



SK low-level アラートの追観測

- low-level アラート1 on Oct. 1, 2024
 - 事象数: 16
 - 位置決定精度 ~ 28.6 deg (68%)
 - 領域内に Fornax dSph (~ 140 kpc)
 - Dec ~ -34 deg で reference image なし
 - ~ 0.6, 13 days 後に Fornax dSph を観測
 - 差分画像上に天体なし
- low-level アラート2 on Apr. 15, 2025
 - 事象数: 21
 - 位置決定精度 ~ 29 deg (68%)
 - Sextans 領域
 - アラート後 ~ 3, 26 hrs で ≈ 10 deg 領域を観測
 - 自動パイプライン解析で有力な候補は見つからず
 - 望遠鏡振動の影響あり



Summary

- 木曽シュミット / Tomo-e Gozen の広視野・高時間分解能は他波長・他メッセンジャー現象の追観測においても強力
- すでに様々な突発現象の追観測が行われている
- SKニュートリノの追観測は2024年開始
 - これまでに low-level アラート2件の追観測実施、今後も実施予定。
 - 未知の現象を探査 & 解析試験