

Tomo-e Gozenによる マルチメッセンジャー 突発天体観測

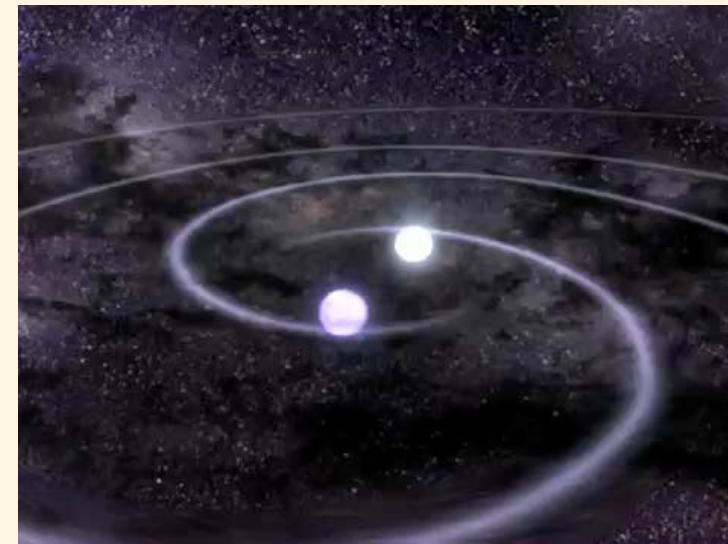
新納 悠（東京大学木曾観測所）

on behalf of the Tomo-e Gozen collaboration

マルチメッセンジャー突発天体観測における Tomo-e Gozen

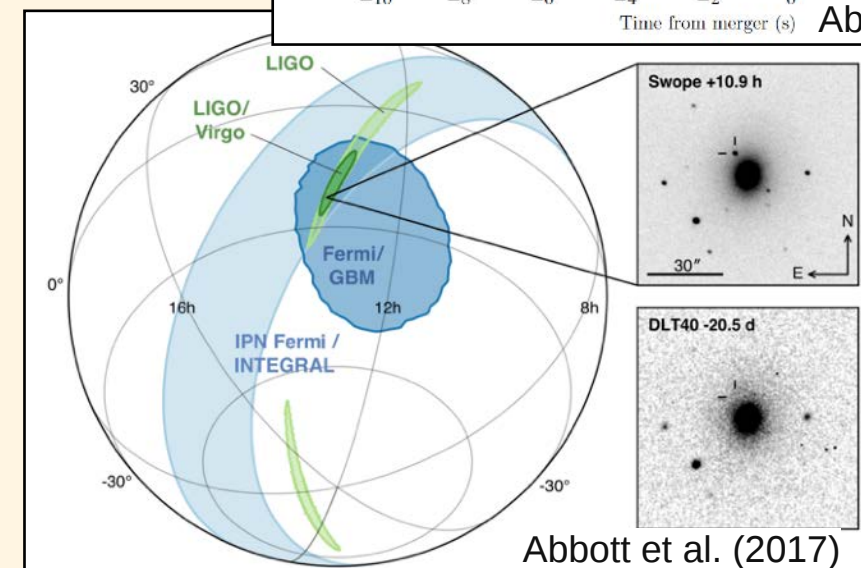
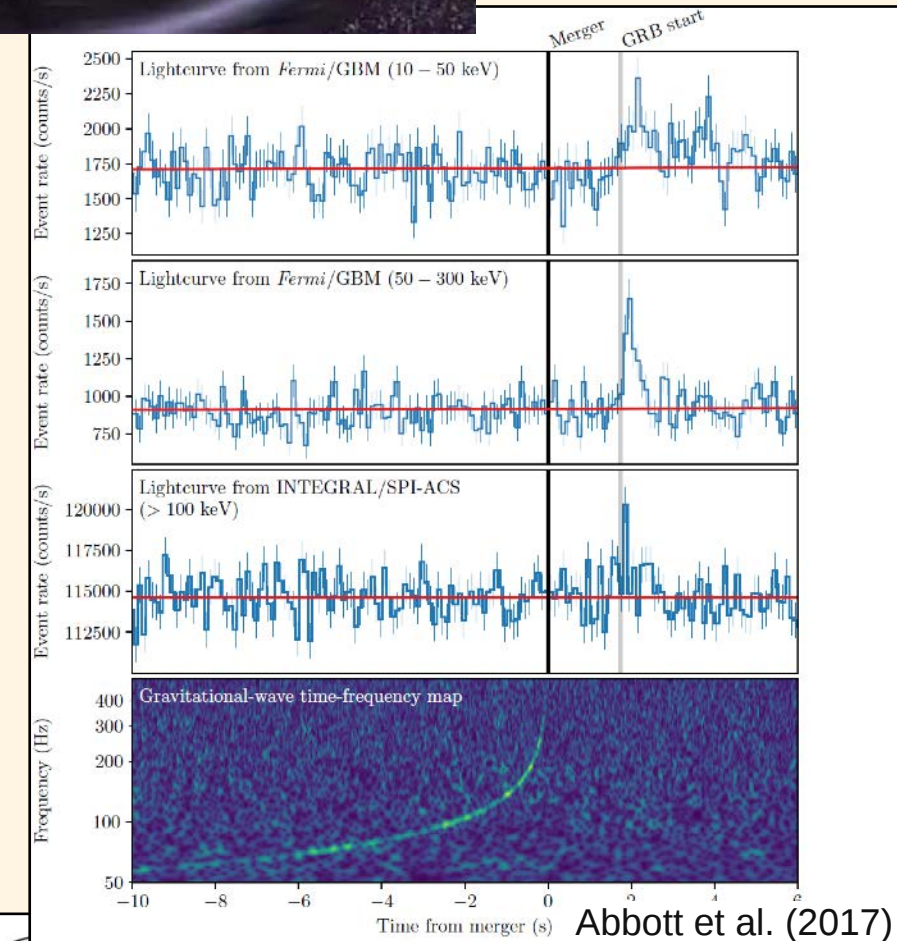
- Tomo-e Gozen による追観測
 - 広視野によって位置決定精度の悪い現象でも可視光対応天体を探査可能
 - e.g., 重力波現象、超新星ニュートリノ
- Tomo-e Gozen による同時観測
 - 動画観測によって時間変動現象発生の一瞬の振る舞いを高時間分解能で捉える
 - e.g., Fast Radio Burst、X線連星

重力波イベントと 電磁波対応天体



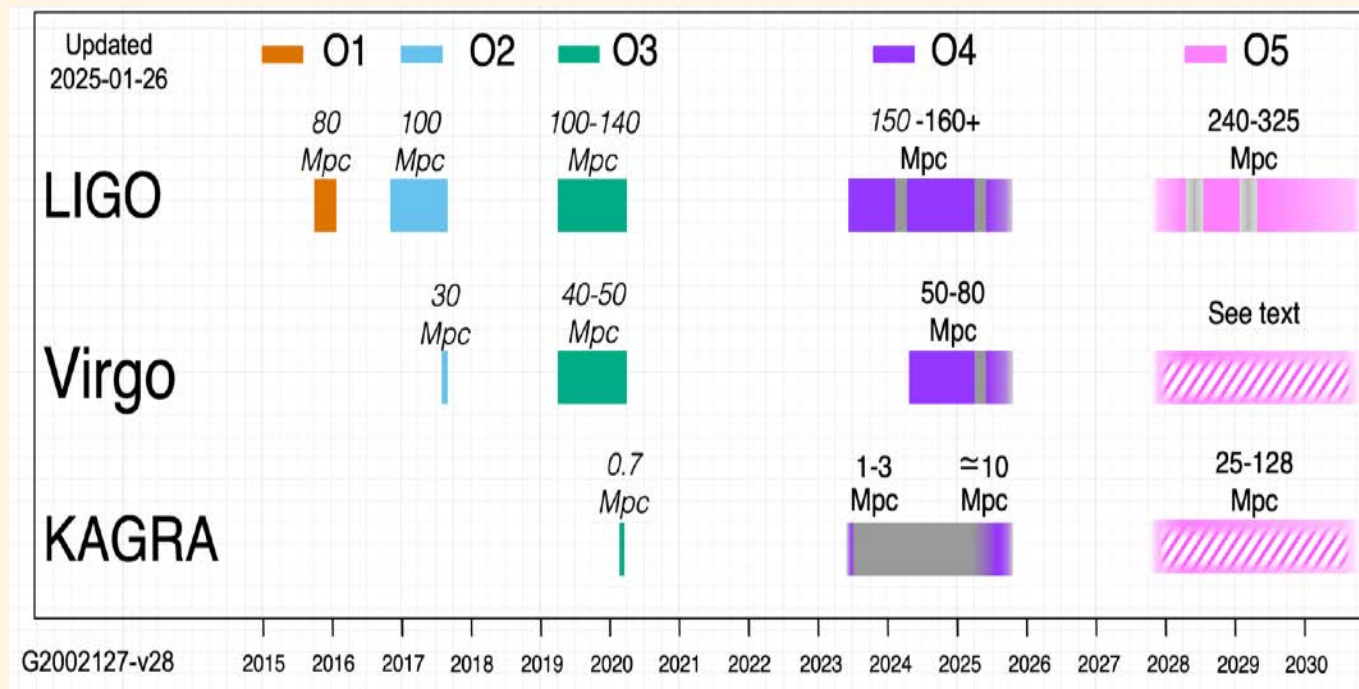
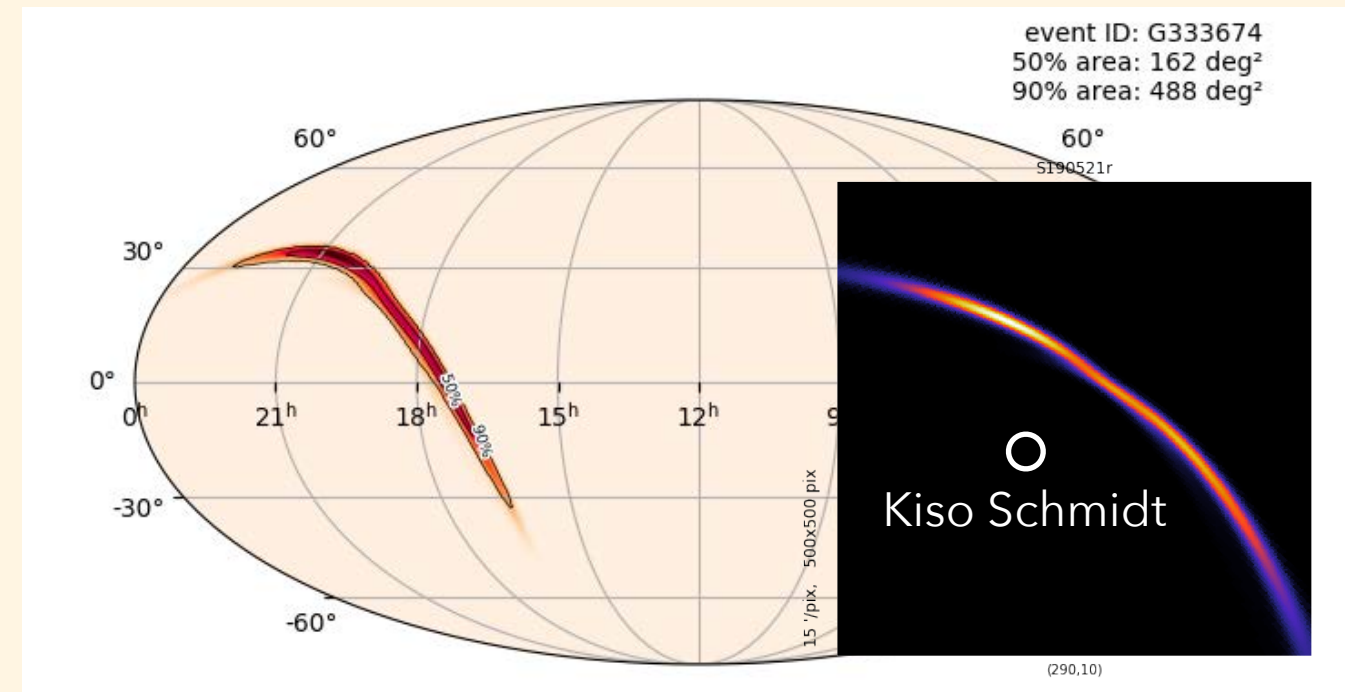
Credit: NASA/Goddard
Space Flight Center

- 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

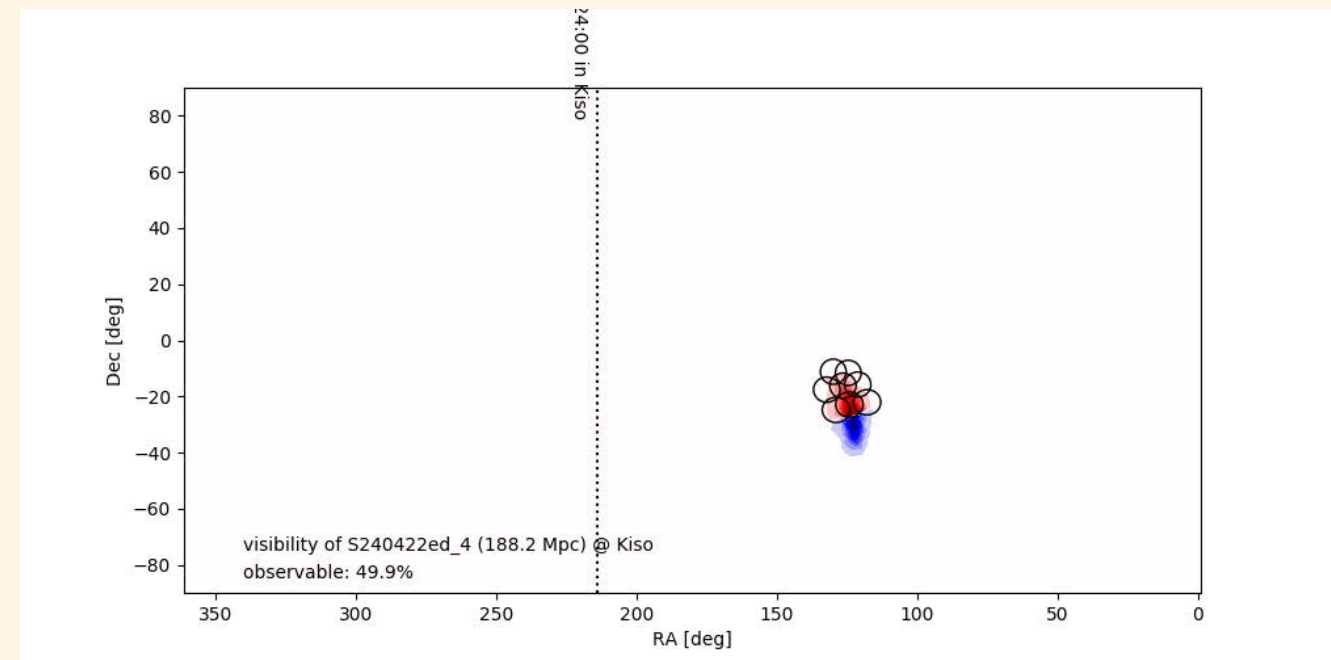
- 重力波検出を受けてその到来方向を観測して対応天体を探す
- 木曽観測所では自動追観測&解析システムを運用
 - 初期光度曲線をとらえる
 - 分光能力のある観測所に速報 (J-GEM, GCN Circular)
- 重力波位置決定精度
 - O3 (2019-) : 数百-数千 deg^2
 - O4 (2023-) : 数十-数百 deg^2
- Tomo-e Gozen の視野 $\sim 20 \text{ deg}^2$
 - ディザーして gap を埋めると $\sim 60 \text{ deg}^2$



O4は2025年10月まで実施予定 (現在は休止期間)

O4での観測

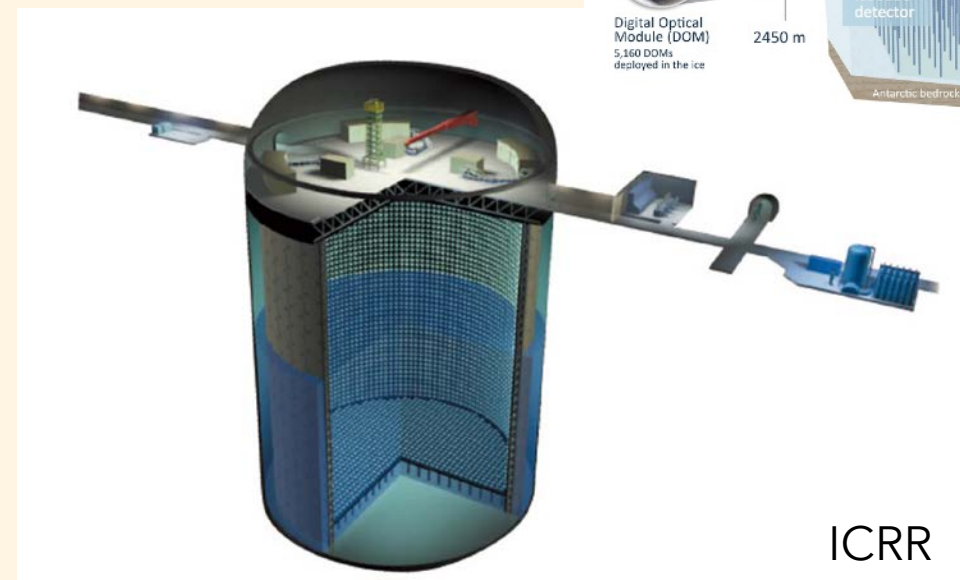
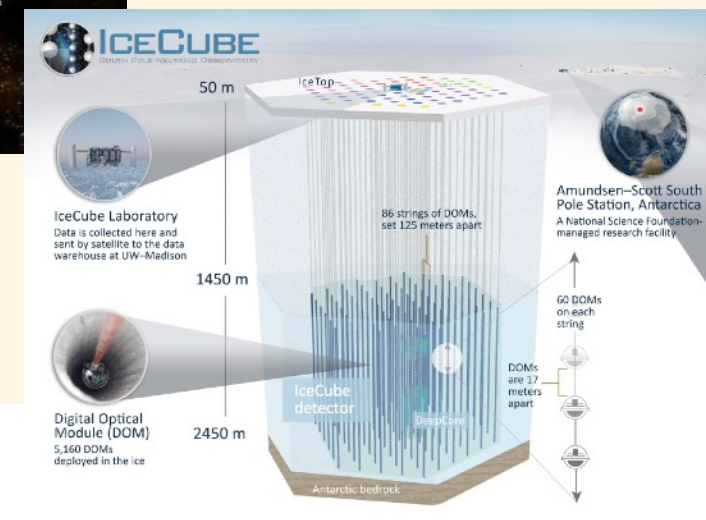
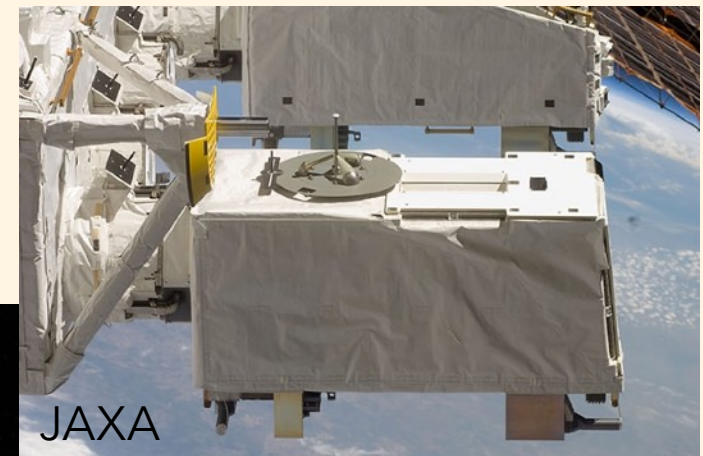
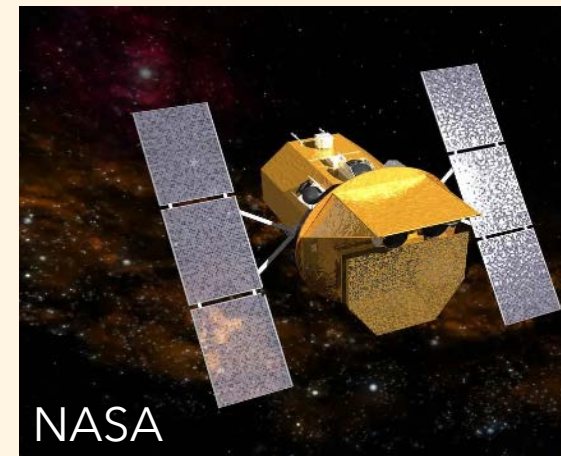
- O4期間：2023年5月-2025年10月
 - 2024年1-4月, 2025年4-5月は休止期間
- 追観測実施条件
 - BNS or NS-BH は原則観測
 - BBH は 99% area < 5000 deg² & 木曽から50%以上観測可の場合のみ
- 追観測実施頻度 ~ 2-3 events/月
- 位置決定精度によって積分時間を調整 → 2-3時間で掃ききる
 - 99% area < 300 deg²
 - 240秒露光 → $m_{\text{lim}} \sim 20.5$
 - 99% area ≥ 300 deg²
 - 48秒露光 → $m_{\text{lim}} \sim 19.5$
- contaminants ~ 1 deg⁻² down to 19.5 mag
 - high-proper motion star が多そう



☒	7928167	133.2901503, -18.1660211	17.01						2
	202404aadt	GW follow-up (O4)	79373296						2
	2024-04-25	S240422ed	83161983						
		0.00542472271236							
☐	7928164	128.499355, -20.448481	22.50						2
	202404aadt	GW follow-up (O4)	79375270						2
	2024-04-25	S240422ed	83172179						
		0.149691							
☒	7928163	134.1670977, -14.3440607	22.50						2
	202404aadt	GW follow-up (O4)	79375268						2
	2024-04-25	S240422ed	83175213						
		0.074025							
☐	7928162	119.9205004, -10.5350425	16.96						2
	202404aadt	GW follow-up (O4)	79374572						2
	2024-04-25	S240422ed	83171435						
		0.089464							
☒	7928161	126.7830716, -8.2220953	18.74						3
	202404aadt	GW follow-up (O4)	79375303						3
	2024-04-25	S240422ed	83174962						
		0							
☐	7928160	119.9334256, -11.1560102	22.50						1
	202404aadt	GW follow-up (O4)	79375756						1
	2024-04-25	S240422ed	83169360						
		0.114381							
☒	7928159	124.5487104, -7.1652935	16.14						3
	202404aadt	GW follow-up (O4)	79374316						3
	2024-04-25	S240422ed	83171099						
		0.159691							
☐	7928158	125.0397084, -7.1057795	17.33						1
	202404aadt	GW follow-up (O4)	79374327						1
	2024-04-25	S240422ed	83167963						
		0.016857							

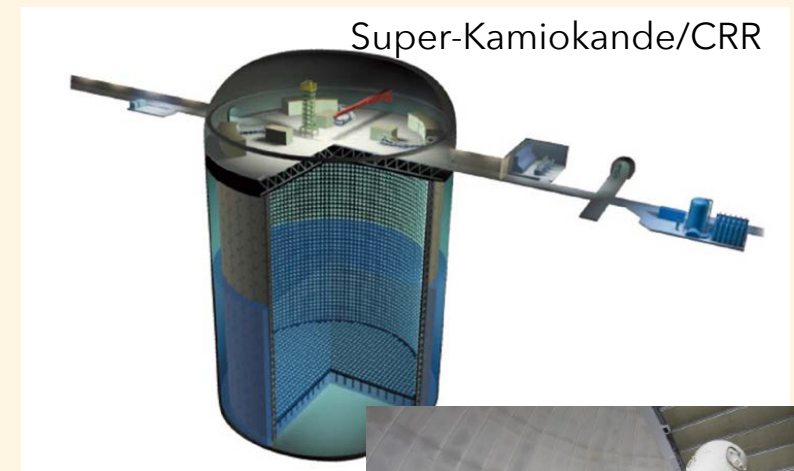
自動追観測の拡張

- MAXI アラート（酒向さん、瀧田さん）
- Swift, Fermi GRB アラート（Dainottiさん等）
- Super-Kamiokande ニュートリノアラートへの対応（新納）
- CHIME/FRB アラート（間所さん講演）
- Einstein Probe イベントアラート（兒玉さん講演）
- IceCube ニュートリノアラートへの対応（敏蔭さん講演）

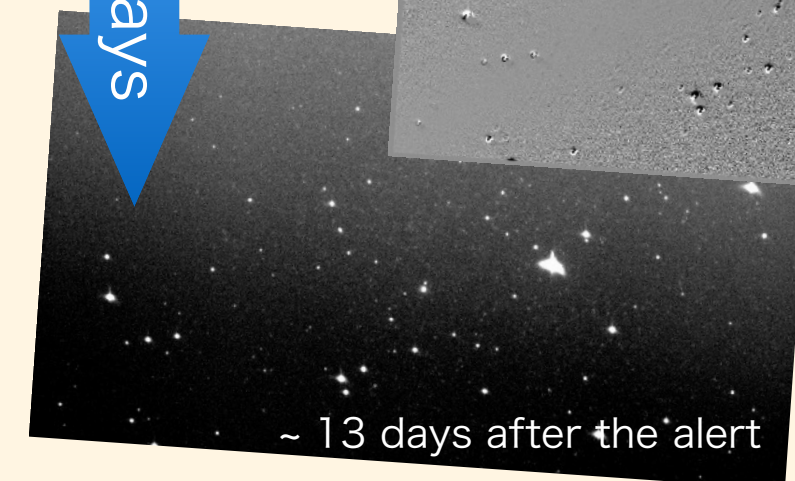
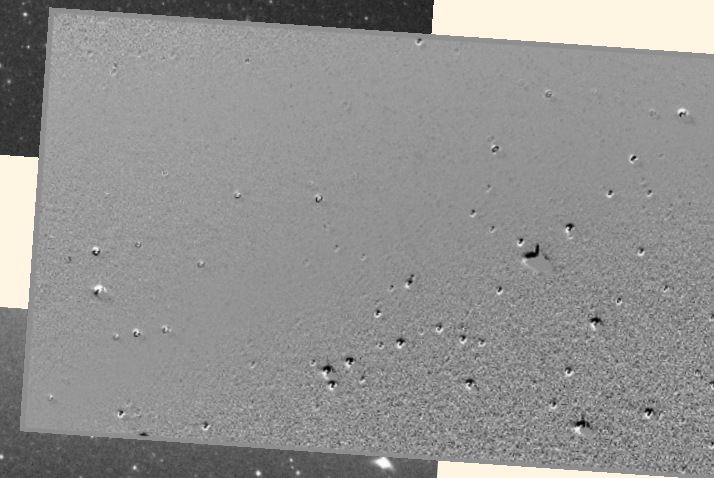


Super-Kamiokande ニュートリノアラート

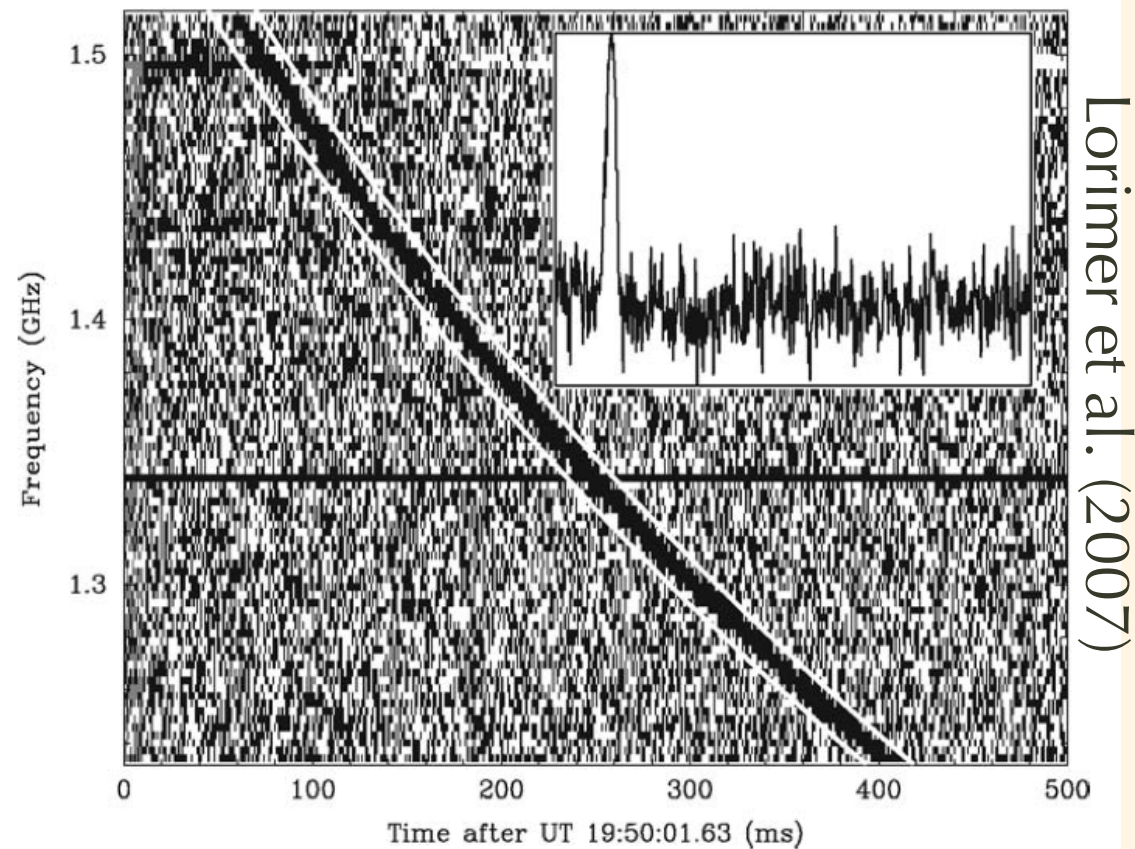
- Super-Kamiokande (SK) によるニュートリノバーストのアラートを受けて即時追観測を行い、近傍超新星の最初期の姿を捉える。
- SK collaboration から GCN にアラートが発せられると、重力波と同様に自動追観測を実施するシステムを構築（2024/6より運用）
- 確度の低い low level alert（非公開）連携
 - 2024年12月 MoU締結
- 実際に low level の現象が発生したためTomo-e Gozenで追観測
 - これまでに2回（ ~ 1 per 2-3 months）
 - 宇宙線由来の偽信号である可能性が高い
 - それらしい天体は今のところ見つからず



~ 12 days



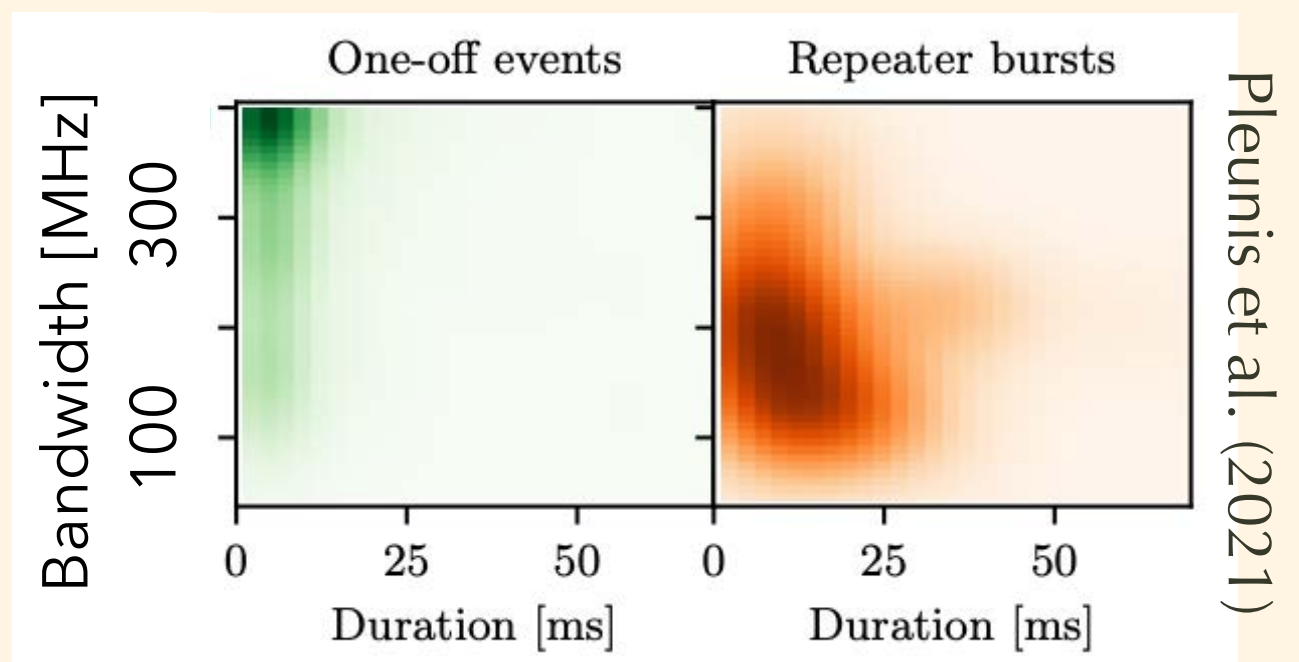
Fast Radio Burst の観測



- Fast Radio Burst (FRB) :
 - 数ミリ秒の継続時間の電波突発現象
 - 大部分は銀河系外起源と考えられる
 - 発生源は未解明
 - repeater/non-repeater が存在
 - 詳しくは間所さんの講演

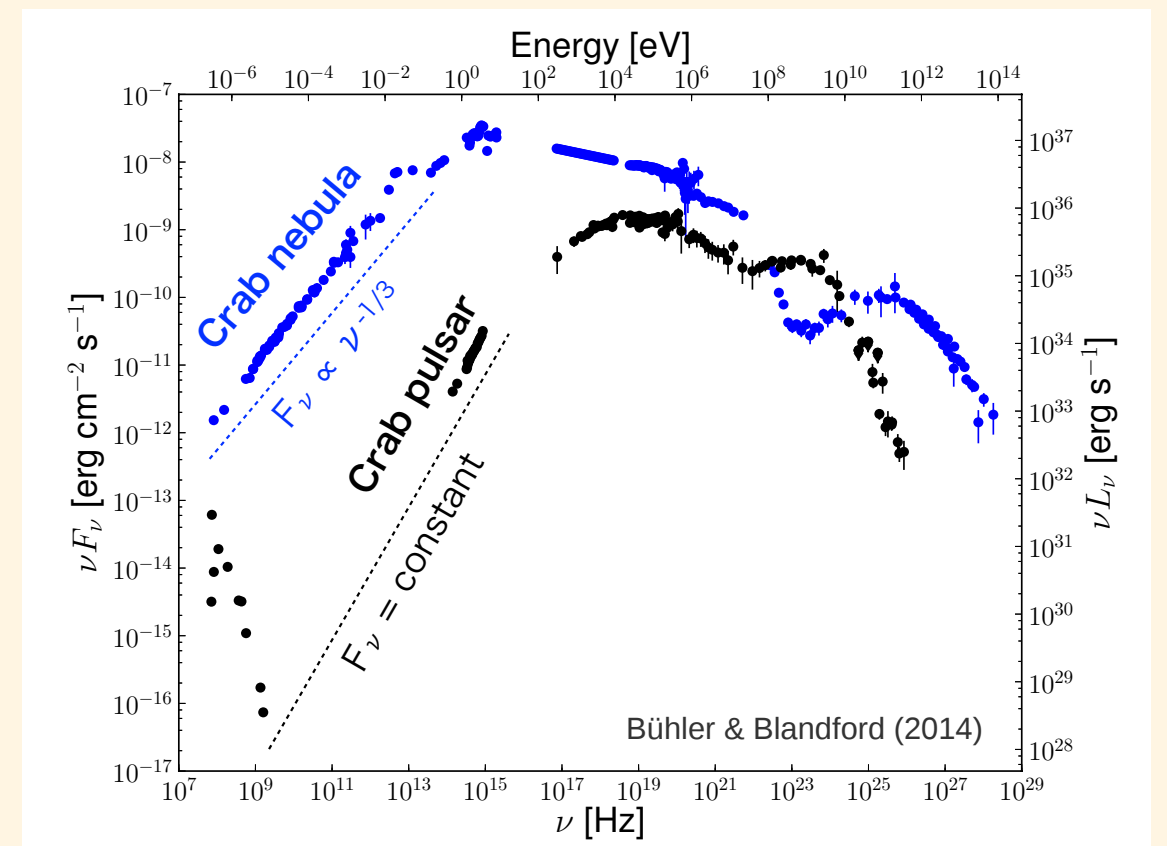
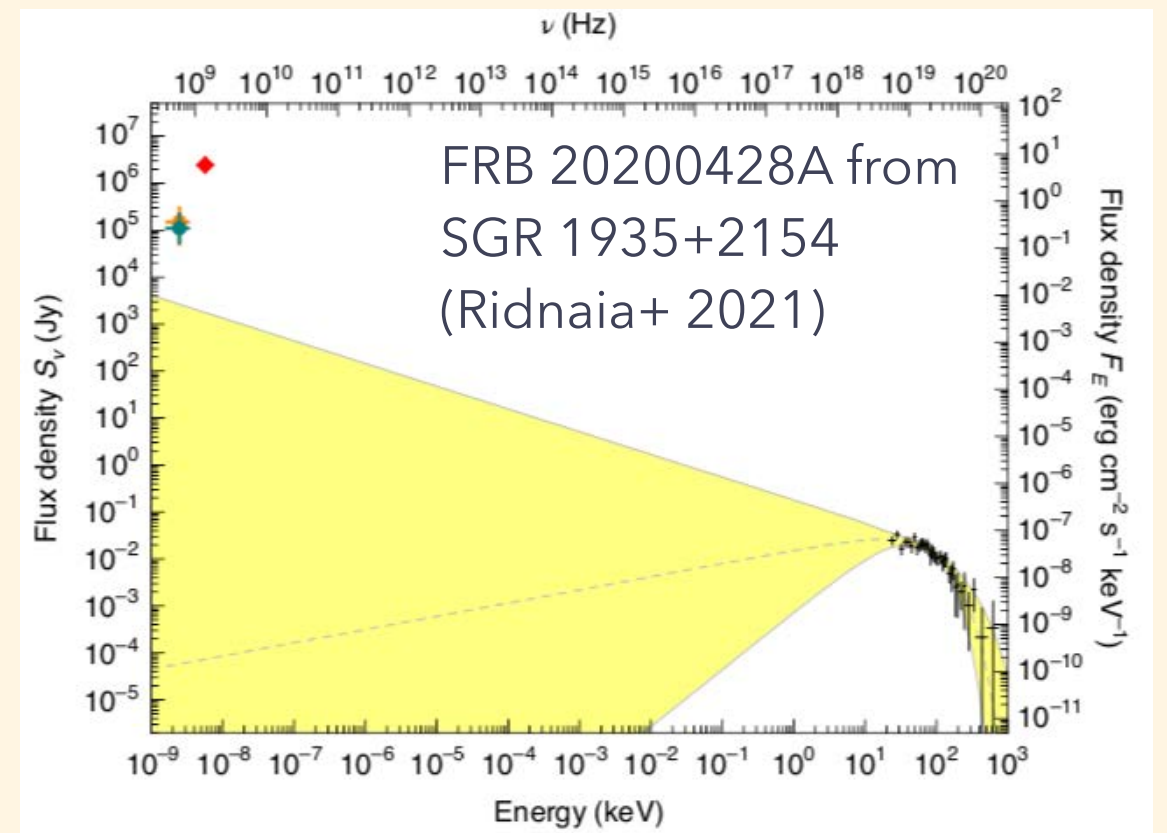


Caption: CSIRO's Parkes radio telescope. Credit: David McClenaghan, CSIRO



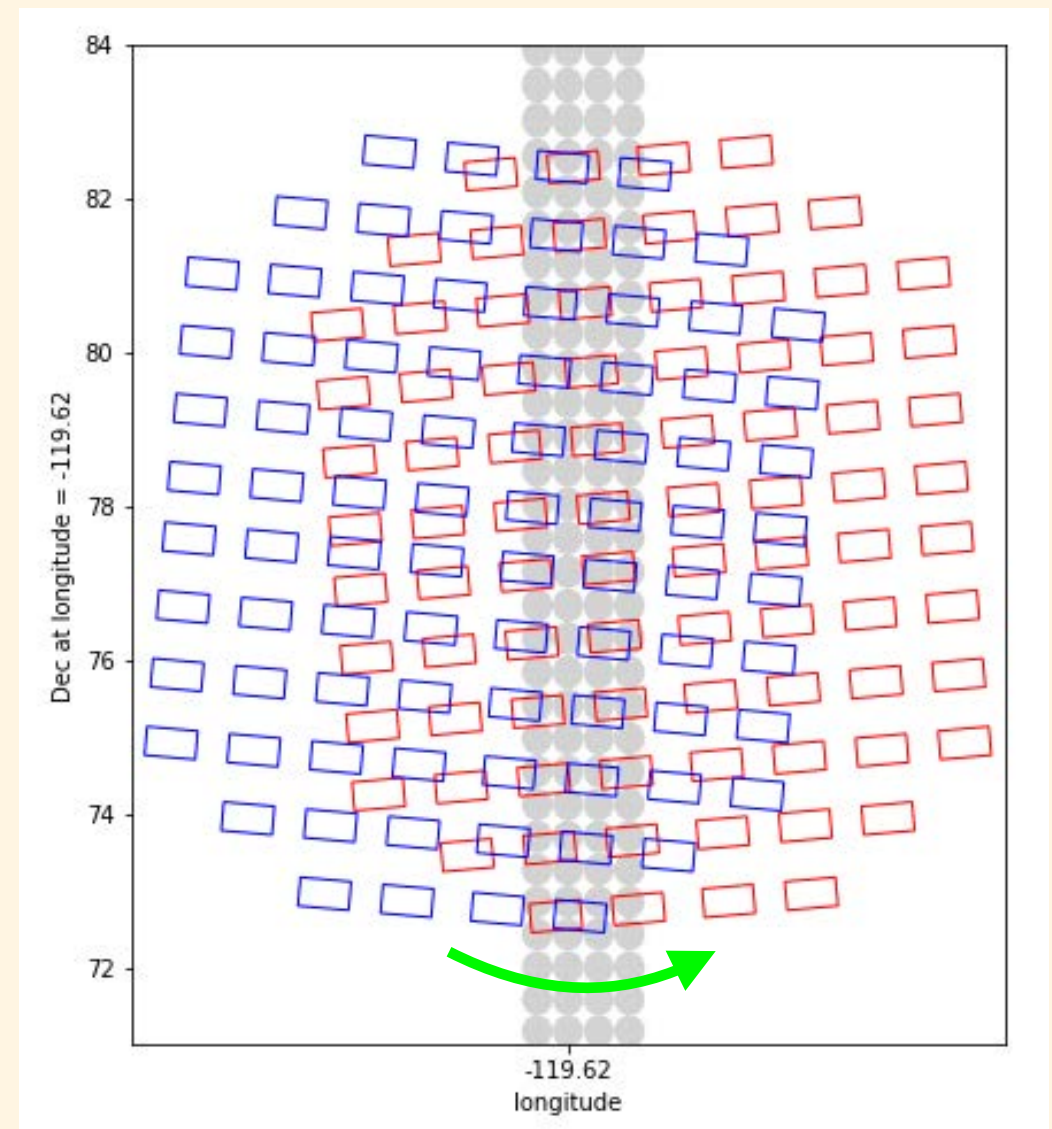
FRB の他波長での放射

- SGR 1935+2154 burst の際には同時にX線成分も検出
- 他波長成分はあり得る
- 一部のパルサーでは可視光でもパルスが観測されている。
- 可視光での < 1 s 突発現象を
探査できる観測装置は珍しく、これまでも観測例は少ない。
- Tomo-e Gozen なら可能



CHIME/FRBとの同時探査

- FoV of CHIME $\sim 250 \text{ deg}^2$
 - E-W $\sim 2^\circ$, N-S $\sim 120^\circ$
- Tomo-e Gozen observes the meridian of the CHIME location at Dec $\sim 80^\circ$.
 - overlapped FoV $\sim 5 \text{ deg}^2$
 - HA $\pm 2.5 \text{ deg}$ (20 min period)
- rate of FRBs detectable by CHIME/FRB
 - $\sim 820 \text{ sky}^{-1} \text{ day}^{-1}$ (CHIME/FRB collaboration 2021)
 - expected event rate in the overlapped FoV $\sim 1 \text{ per } 240 \text{ hrs}$
- $\sim 150 \text{ hrs}$ conducted so far
 - Now conducted as a part of the "Tomo-e Video Monitoring Survey".

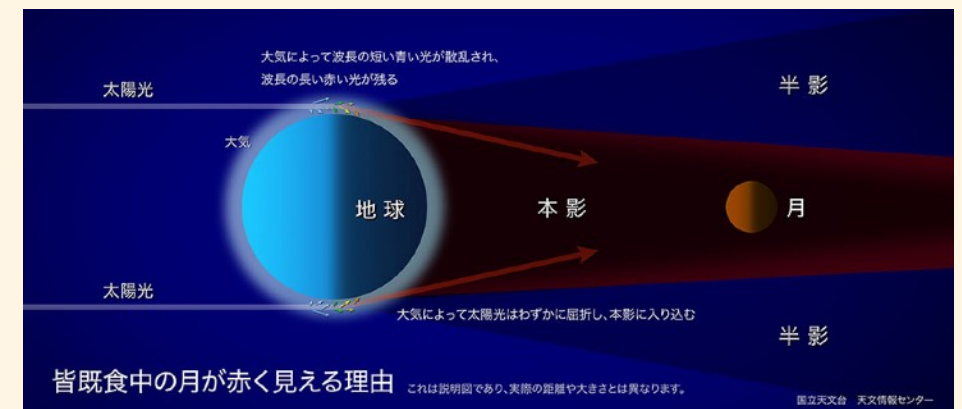


Tomo-e Video Monitoring Survey

- 2024年12月開始
- 約1時間の動画観測を毎晩行う
 - wide field: 1日あたり 30 min × 2 pointing ずつで北天全域を動画で敷き詰める（直川さん講演）
- Earth shadow: 地球の影になっている領域を 1 時間観測し人工天体の混入を避けて短時間突発天体を探す（有馬さん講演）
- CHIME/FRB: 広視野電波望遠鏡 CHIME の視野と重なる領域を観測して FRB 等電波突発天体の可視光成分を探す



Credit: W. M. Keck Observatory/Adam Makarenko



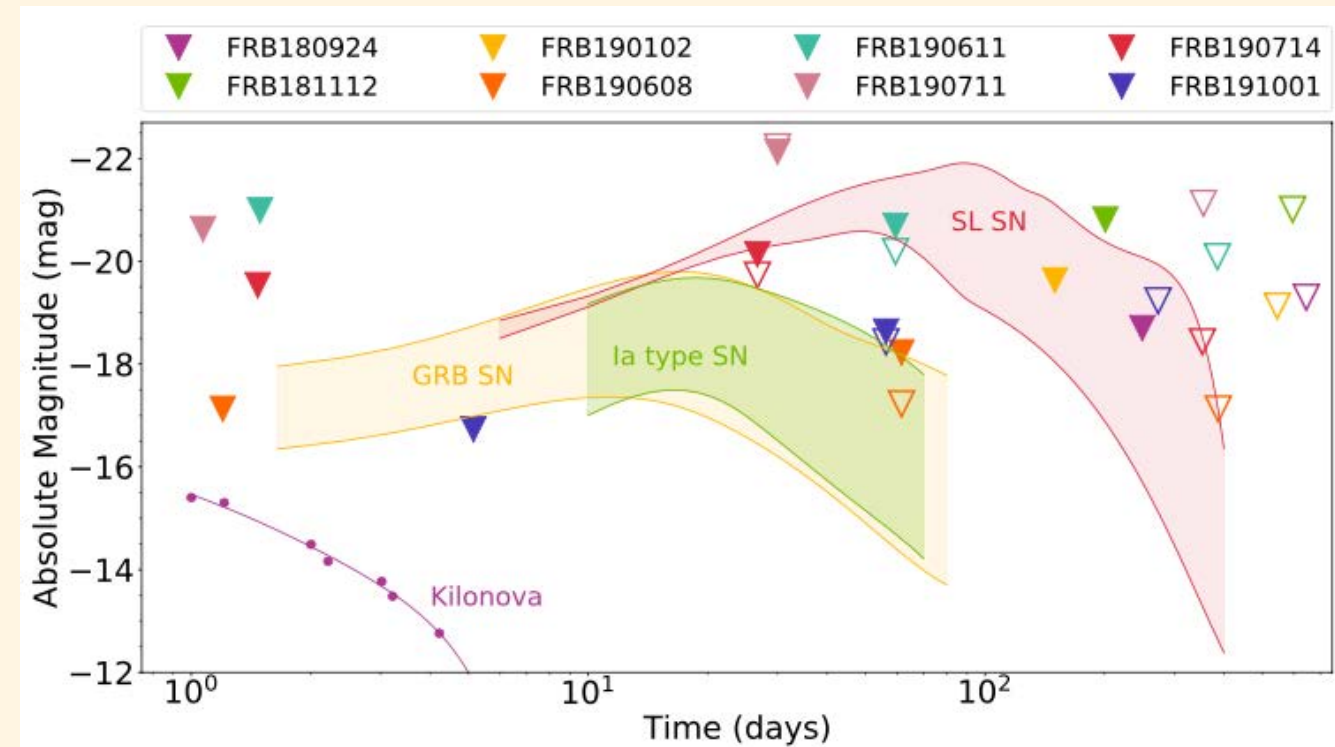
Credit: NAOJ



Courtesy of CHIME

FRB の追観測

- 非同時放射を探す追観測もさまざまな波長で行われている
- 可視光対応天体に対する制限は SN Ia 程度
 - 近傍イベントを追観測したい
- CHIME の FRB 発見 $\sim 500 \text{ yr}^{-1}$
 - $z < 0.1$ の割合 $\sim 1\%$ (DM分布から推定)
- CHIME の位置決定精度
 - $\sim a \text{ few} \times 10 \text{ arcmin}$
 - 追観測には広視野が必要



Núñez+ (2021)

詳しくは間所さん講演

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・他メッセンジャーとの連携観測においても強力
- 木曽シュミット／Tomo-e Gozen の特性を活かした観測が実施・準備中