

# Fast Radio Burst の 可視光高速観測

**(Niino *et al.* 2022, *ApJ*, 931, 109)**

Yuu Niino (U. Tokyo)

in collaboration with:

M. Doi, S. Sako, R. Ohsawa, N. Arima, J. Jiang, N. Tominaga,  
M. Tanaka, D. Li, C.-H. Niu, C.-W. Tsai, N. Kobayashi, H.  
Takahashi, S. Kondo, Y. Mori, T. Aoki, K. Arimatsu, T. Kasuga,  
and S. Okumura

# Fast Radio Burst (FRB)とは？

HPPW: 4.6 ms

Lorimer et al. (2007)

- 数ミリ秒の継続時間の電波突発現象
- 初発見はLorimer+ (2007) のFRB 010824 (Parkes 電波望遠鏡アーカイブデータ)
- 15年で約600天体発見
  - CHIME による発見 > 500 FRBs

time →

CHIME

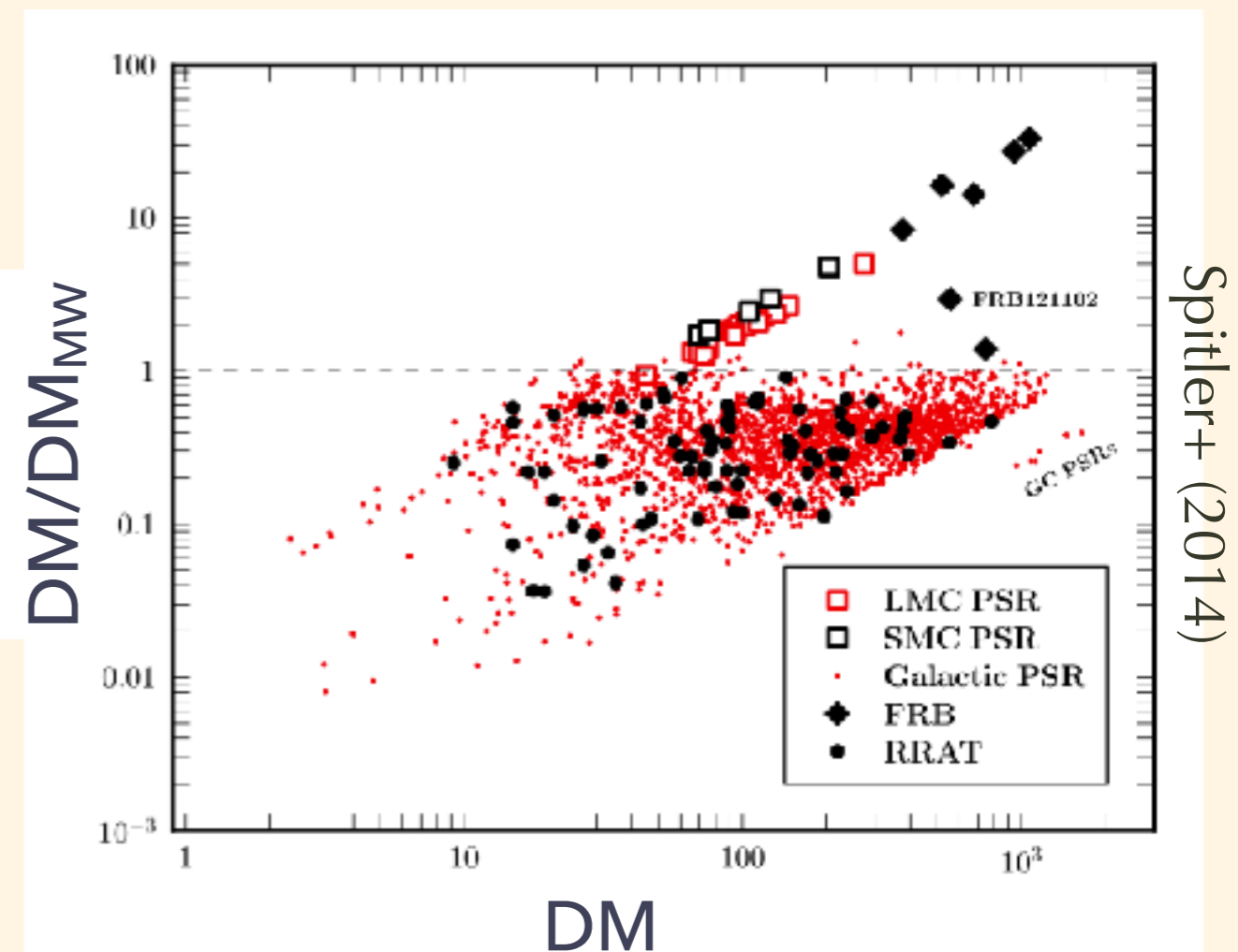
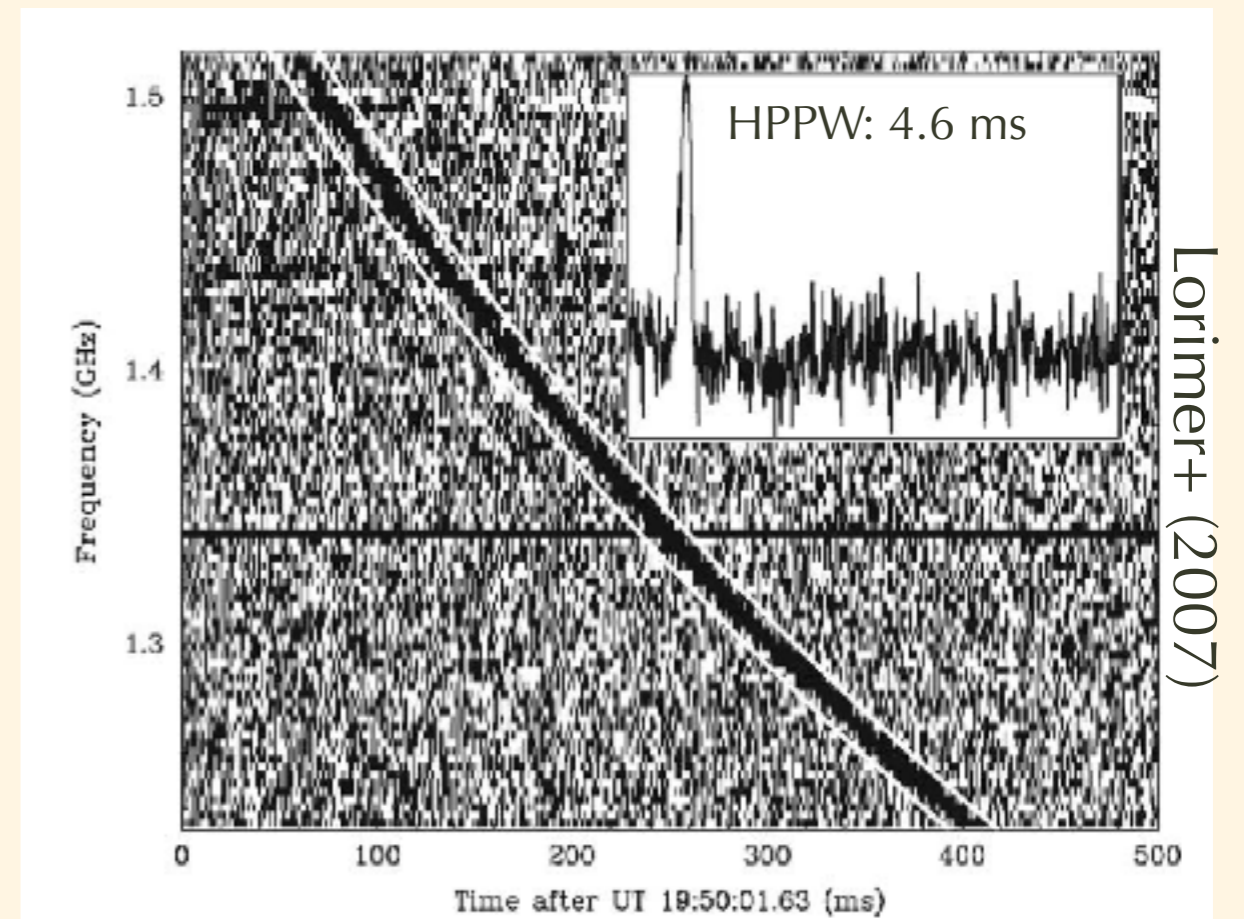
Parques電波望遠鏡



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

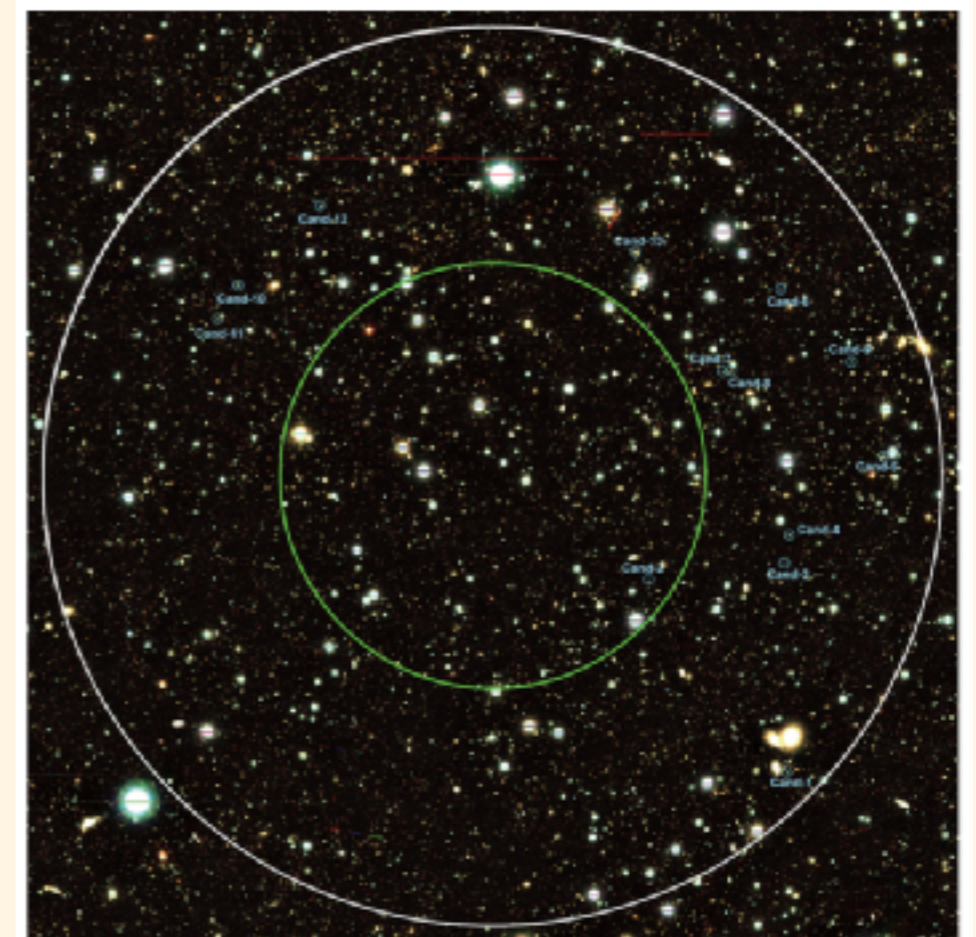
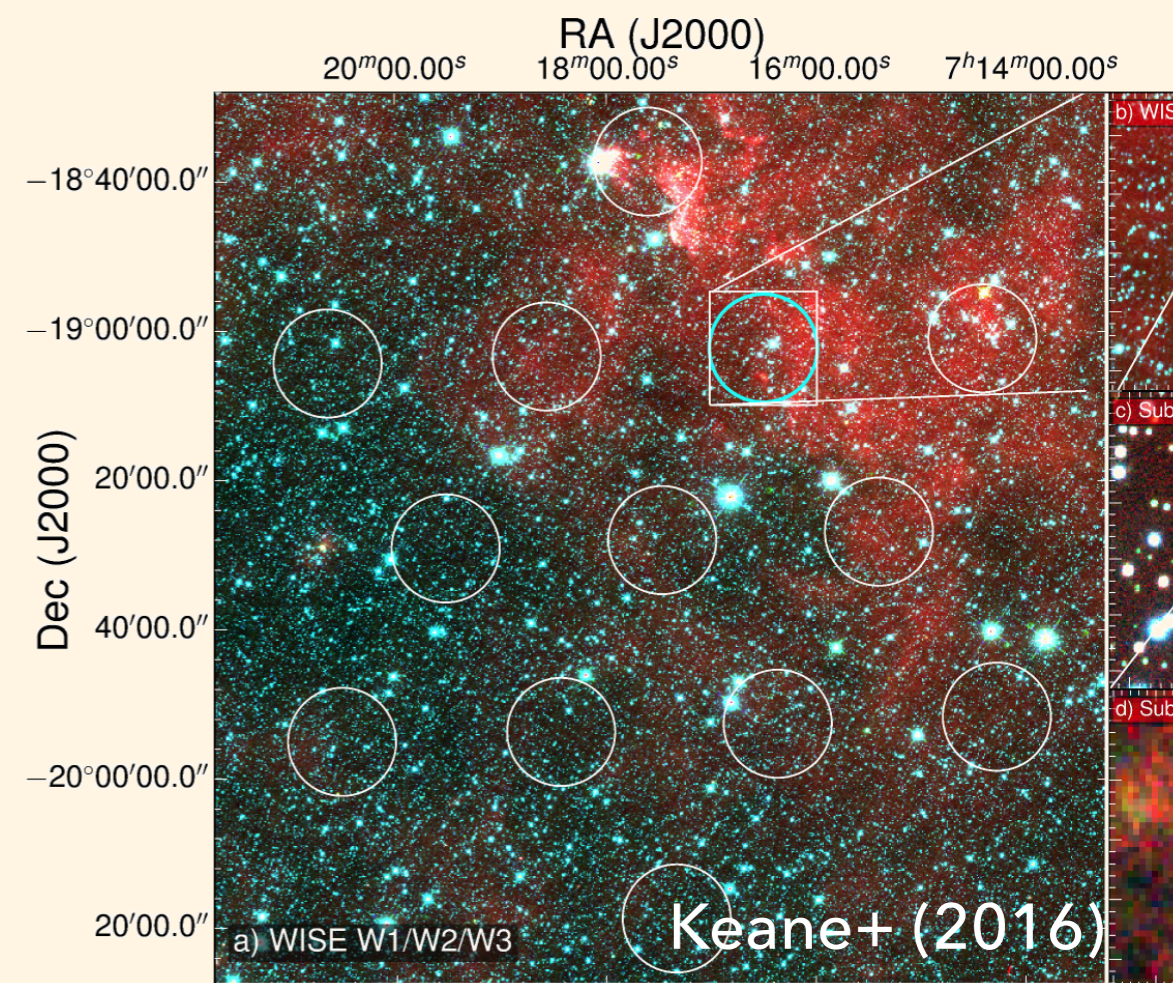
# FRBの分散量度

- Dispersion measure (DM)
  - 電波パルスはlow-frequencyほど遅れて観測される
  - $DM \propto$  自由電子柱密度
  - FRB DM  $\sim$  100-2000  $[cm^{-3}pc]$
  - > 天の川成分
    - 銀河間物質由来なら赤方偏移  $\sim$  0.1-2.0
    - 電離ガスがソースに付随しているかも？



# FRB発生現場を探す

- FRBを多く見つけている電波望遠鏡は位置決定制度が低い
  - ~ 10分角
- 位置決定制度の高い電波望遠鏡はFRB発見数が少ない
  - $\approx 1$ 秒角は 20 FRBs
  - 内 7 FRBs は後述の repeating FRB源
- 母銀河の同定・距離測定はごく一部のFRBのみ

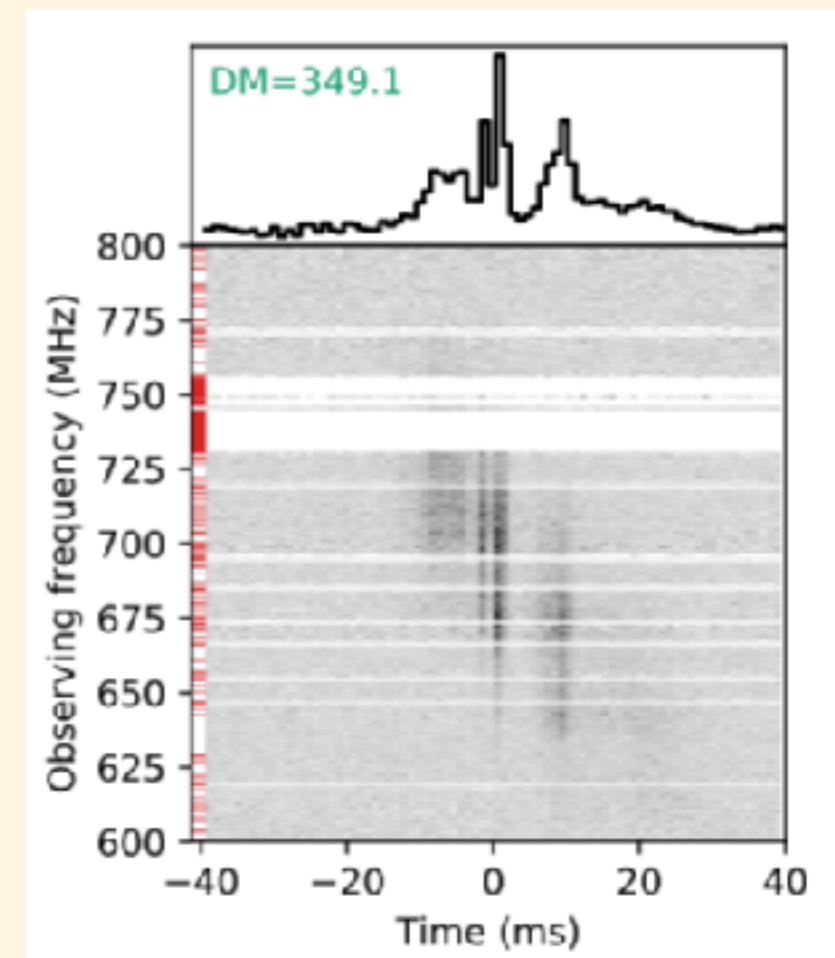
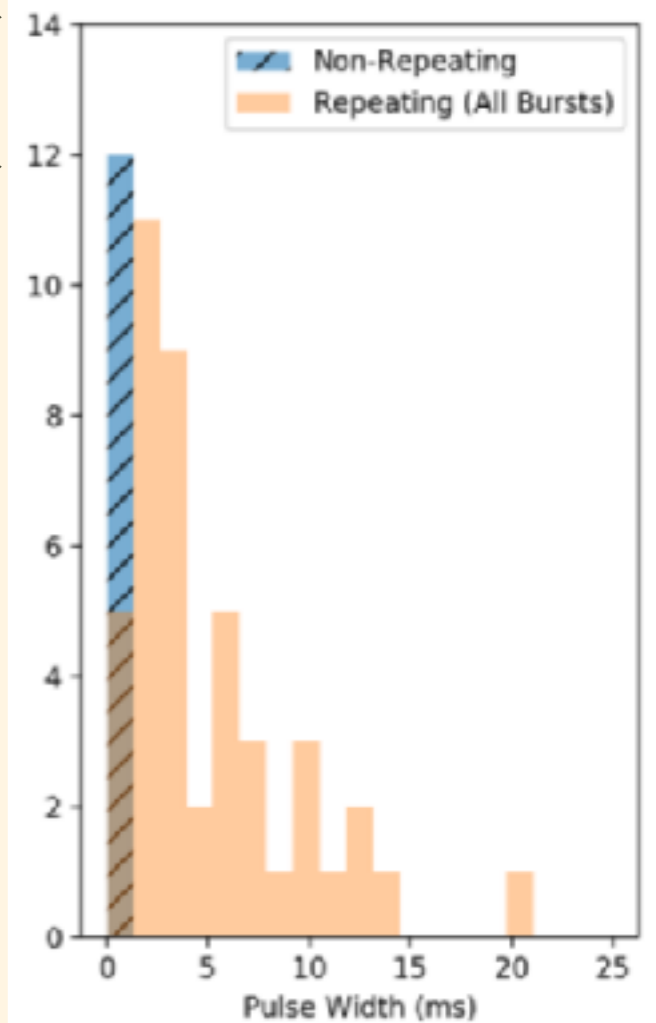


Tominaga+ (2018, FRB 151230)

# Repeating/Non-repeating FRB

- 一部のFRBは最初の発見後にrepeat burstを見せている
  - これまでに約30天体
- 長時間追観測してもrepeatしないFRBもある
  - 複数種族？
  - repeating FRBはパルス幅が広い？
  - 多くの repeating FRB (but not all) で 'sad trombone' feature が見られる

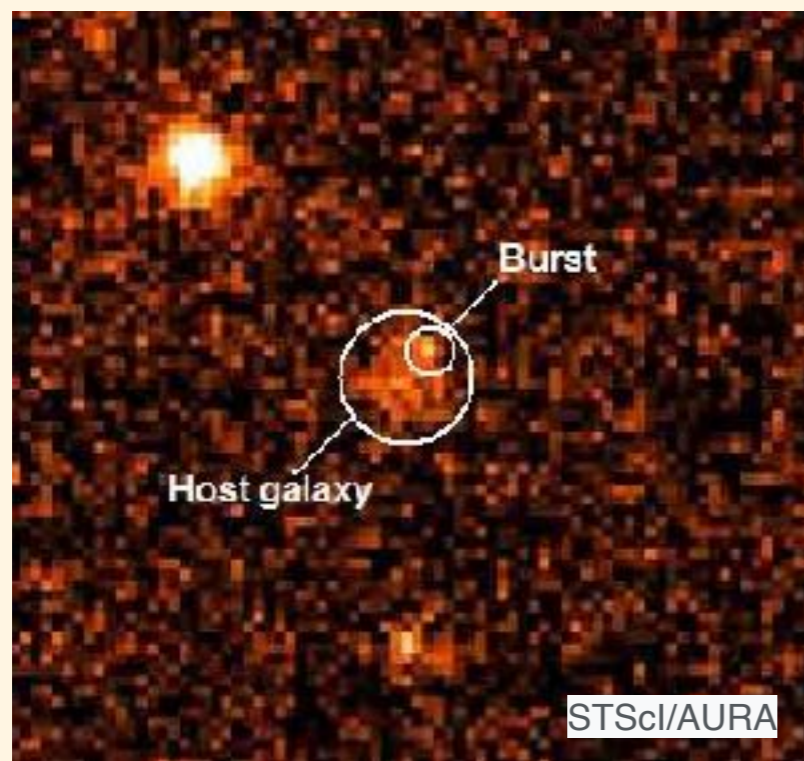
The CHIME/FRB collaboration (2019)



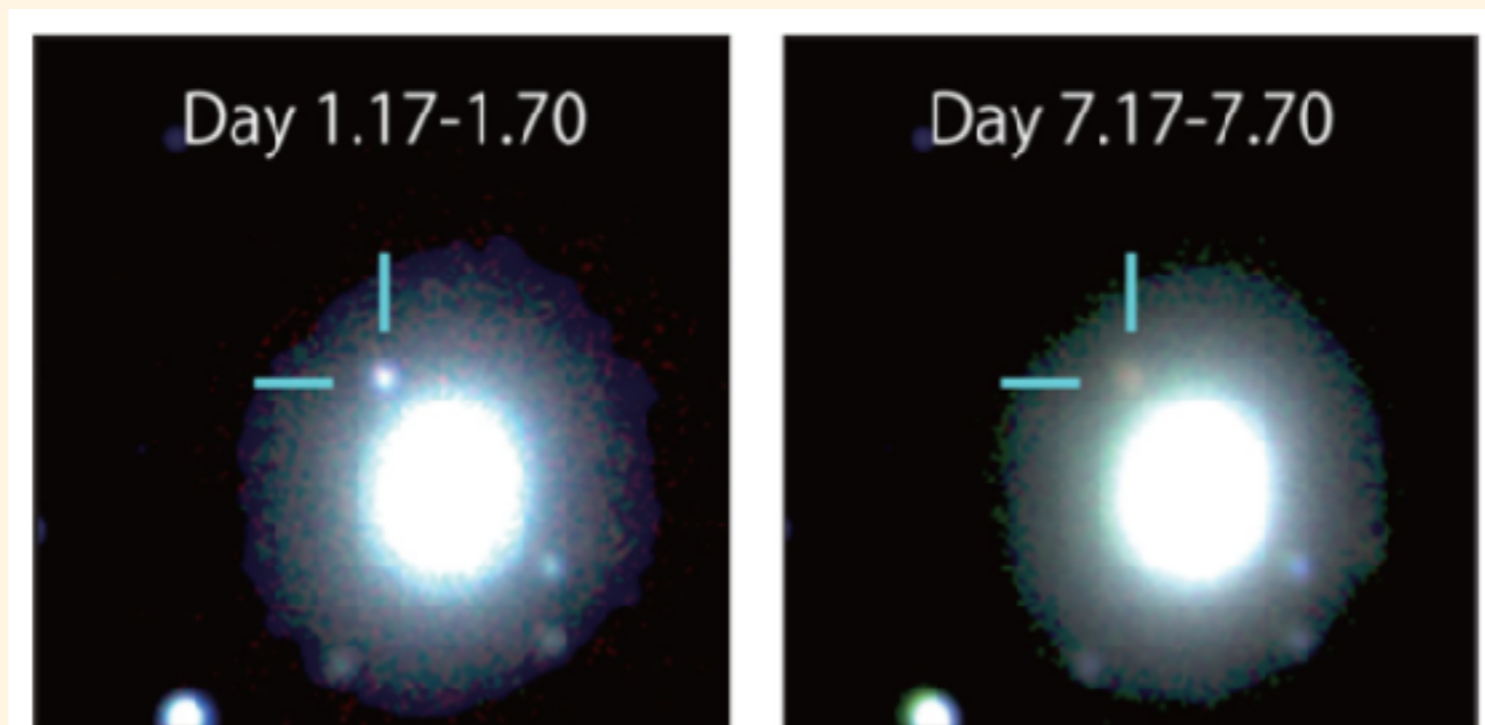
# 突発天体の多波長

## (or マルチメッセンジャー) 観測

- 謎に包まれた突発現象の解明において多波長対応天体の発見は重大な手がかりとなる
  - ガンマ線バースト: 残光 & Ic型超新星
  - 重力波イベント: キロノヴァ & ガンマ線バースト



GRB 970228 afterglow by HST

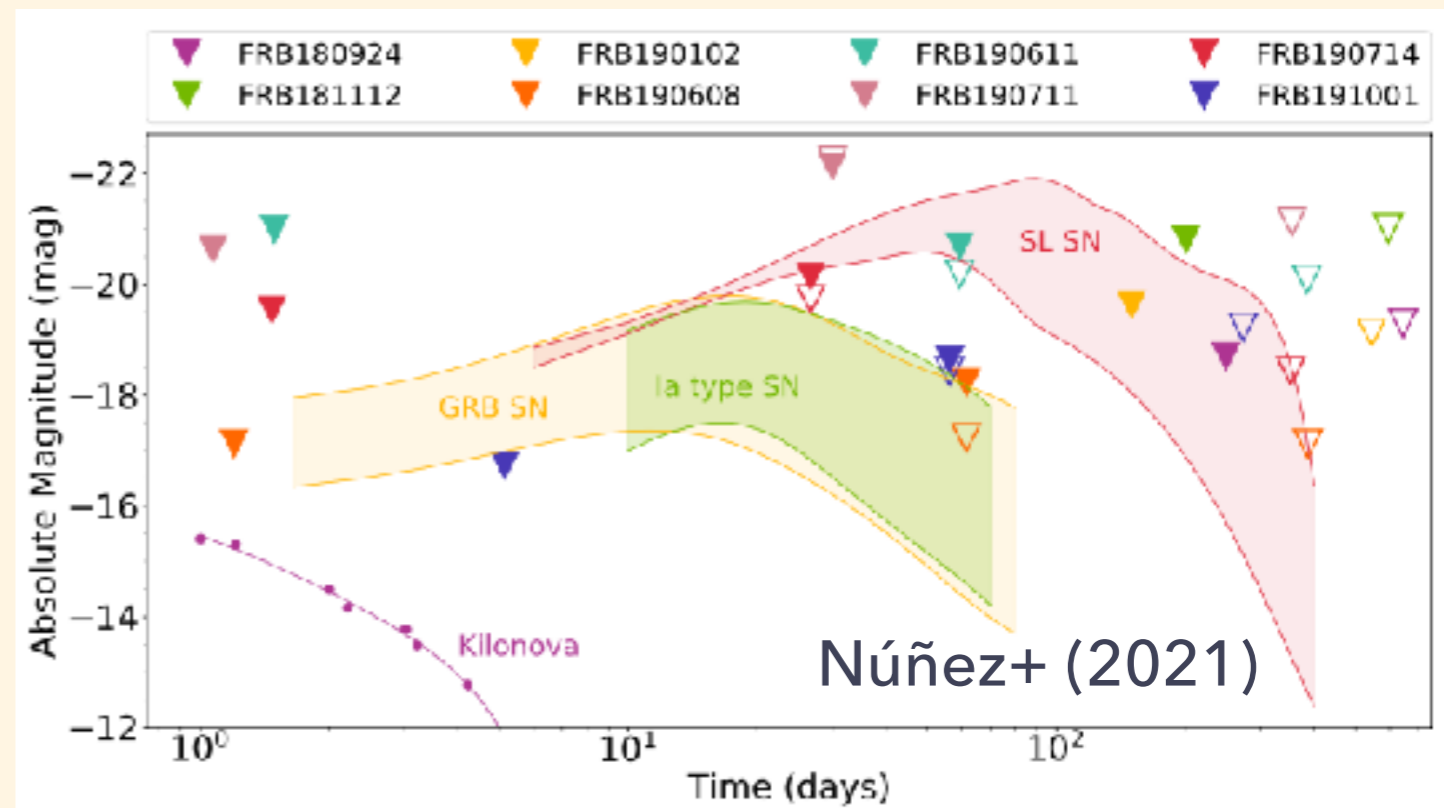
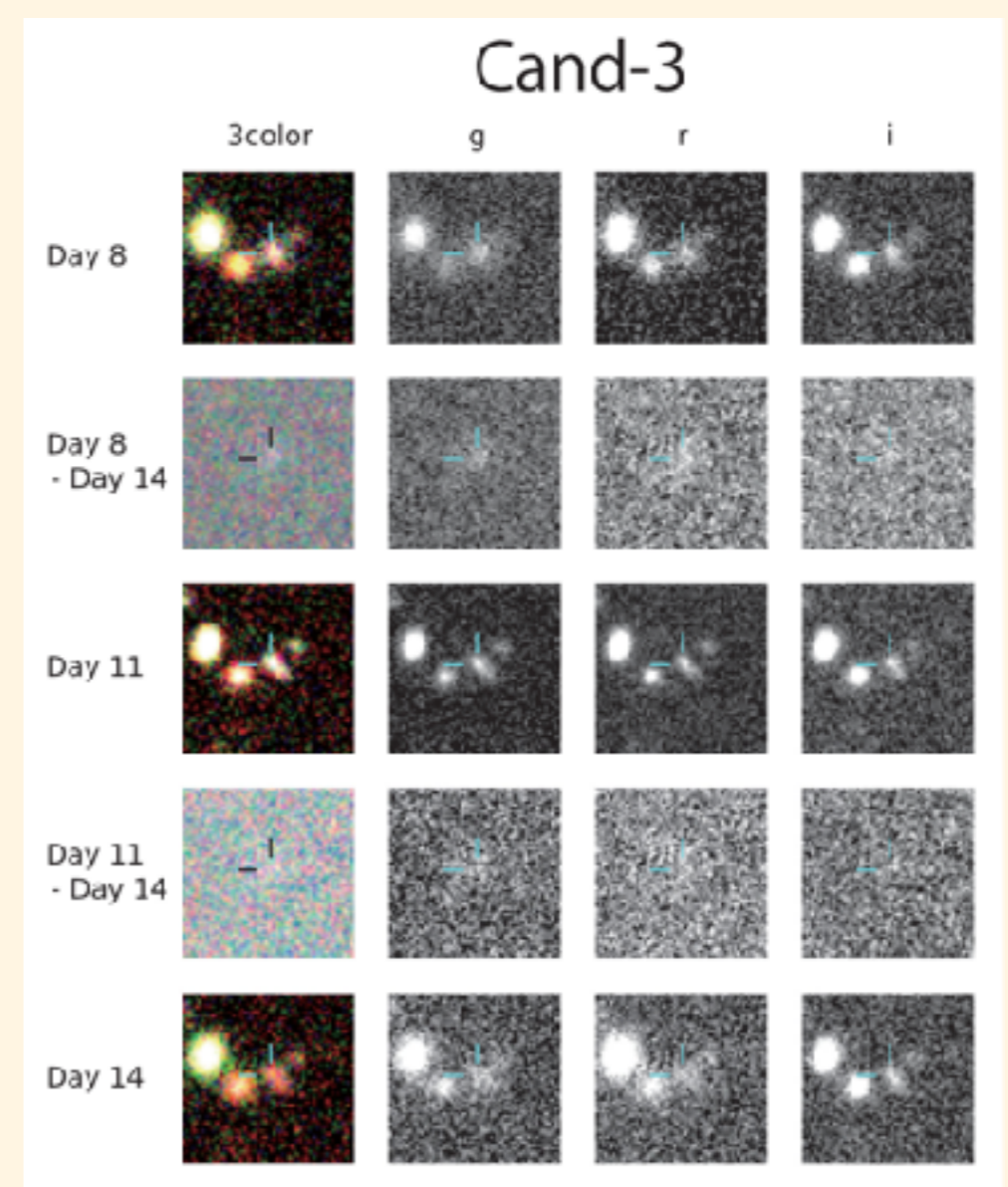


Subaru image of AT2017gfo associated with GW170817  
(Utsumi+ 2017)

# FRB の

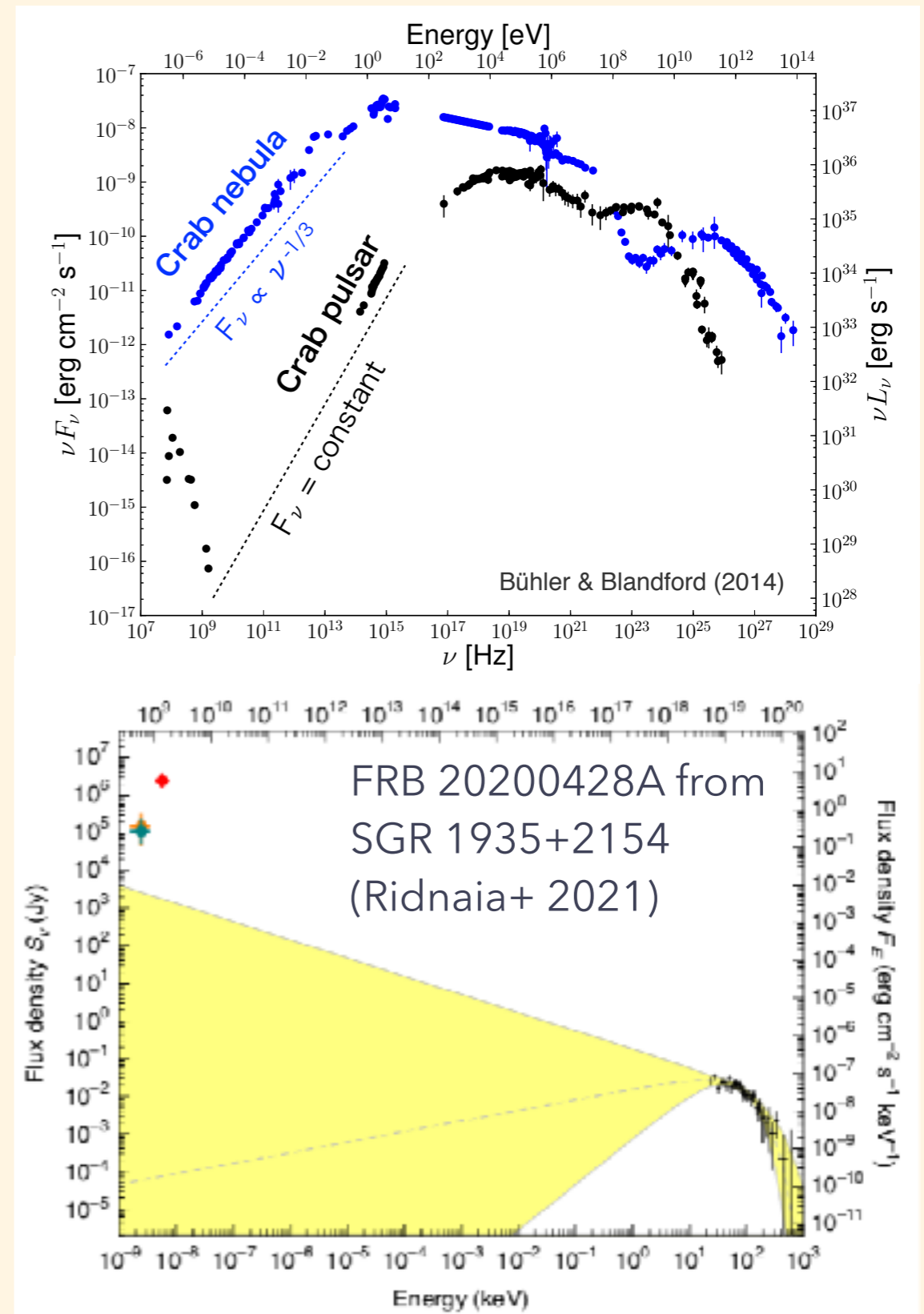
## 多波長対応天体探査

- 様々な波長での ToO 観測 (hours–months) が行われている
  - 確実にみられる対応天体は見つっていない
- 可視光において：
  - SN Ia, SL SN 等の明るい突発天体の付随は数例で棄却
  - SN II, kilonova 程度の比較的暗い突発天体は棄却されない
  - AT2020hur が repeating FRB 180916B と < 1秒角の座標で発生 (Li+ 2022)
    - 同時の電波観測はなし



# 他波長での同時放射？

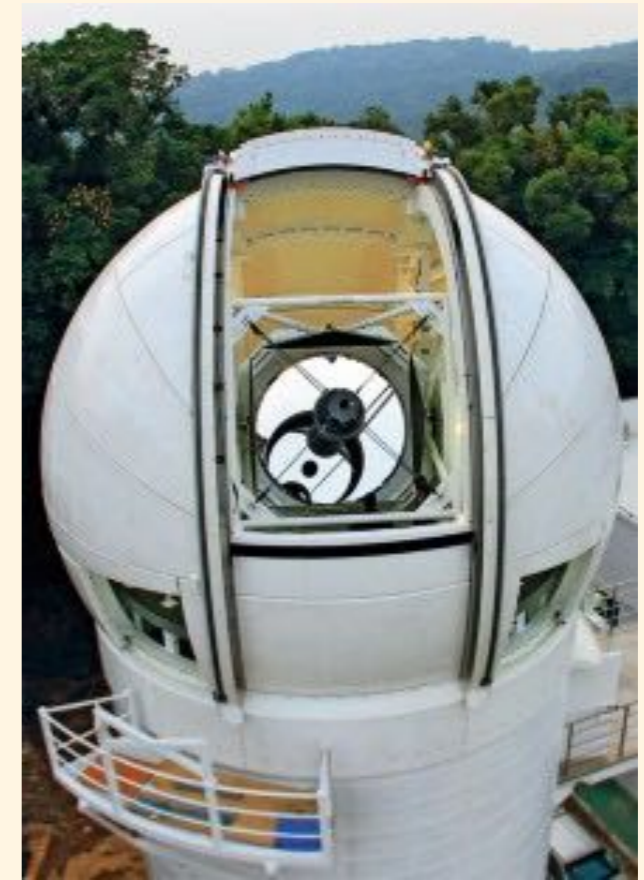
- 一部のパルサーは幅広い観測波長帯で検出されている
- FRB 20200428A
  - FRB によく似た電波バーストが銀河系内のマグネター SGR 1935+2154 から発生
  - X線フレアも同時に観測
- 銀河系外の FRB について電波以外の放射成分が見つかった例はない
- 理論予想
  - inverse Compton in a pulsar magnetosphere (Yang+ 2019)
  - blastwave collision into a hot wind bubble (Beloborodov+ 2020)



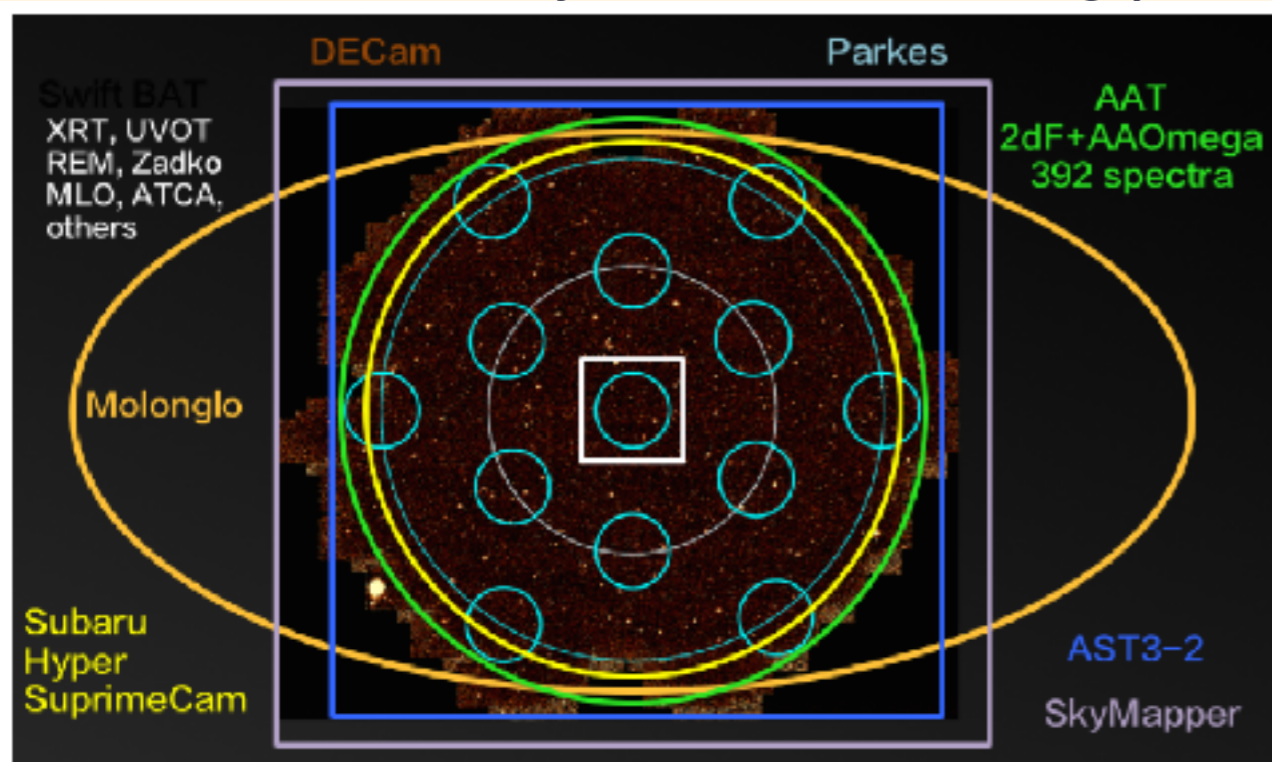


# 可視光での FRB 同時観測

- 秒以下のタイムスケールで観測できる可視光装置は珍しい
- 広視野サーベイ
  - Deeper Wider Faster (Andreoni & Cooke 2019)
    - 可視光部分は高速ではない
- FRB 121102 の監視観測
  - Hardy+ (2017) using ULTRASPEC
    - $< 0.33$  mJy with 70 ms using EMCCD
  - MAGIC collaboration (2018)
    - $< 8.6$  mJy with  $\sim 1$  ms using photomultiplier



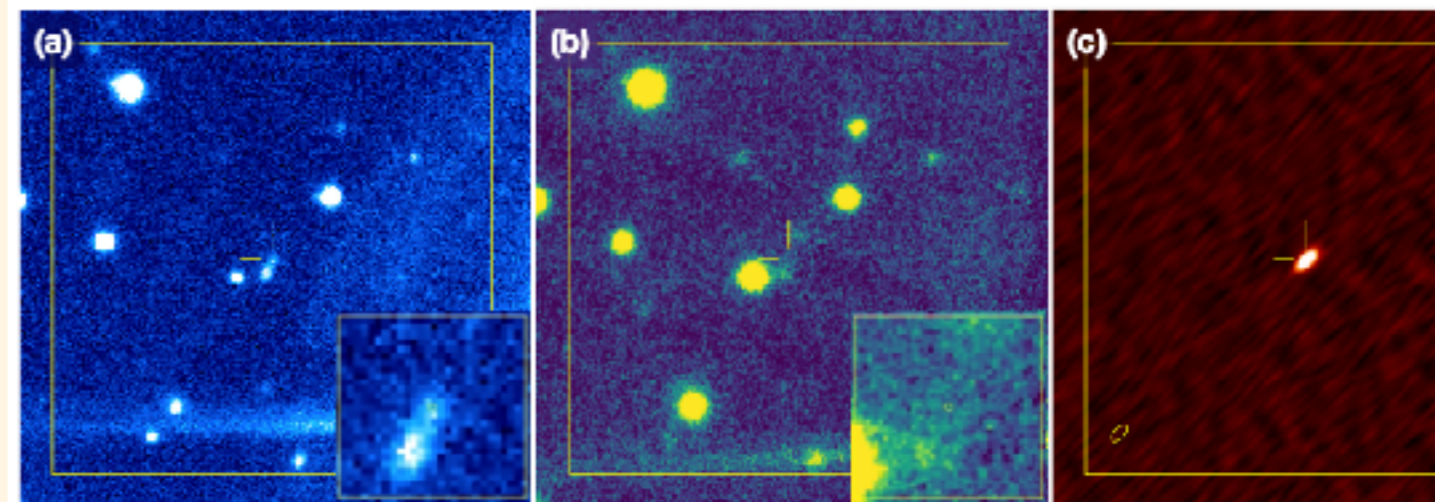
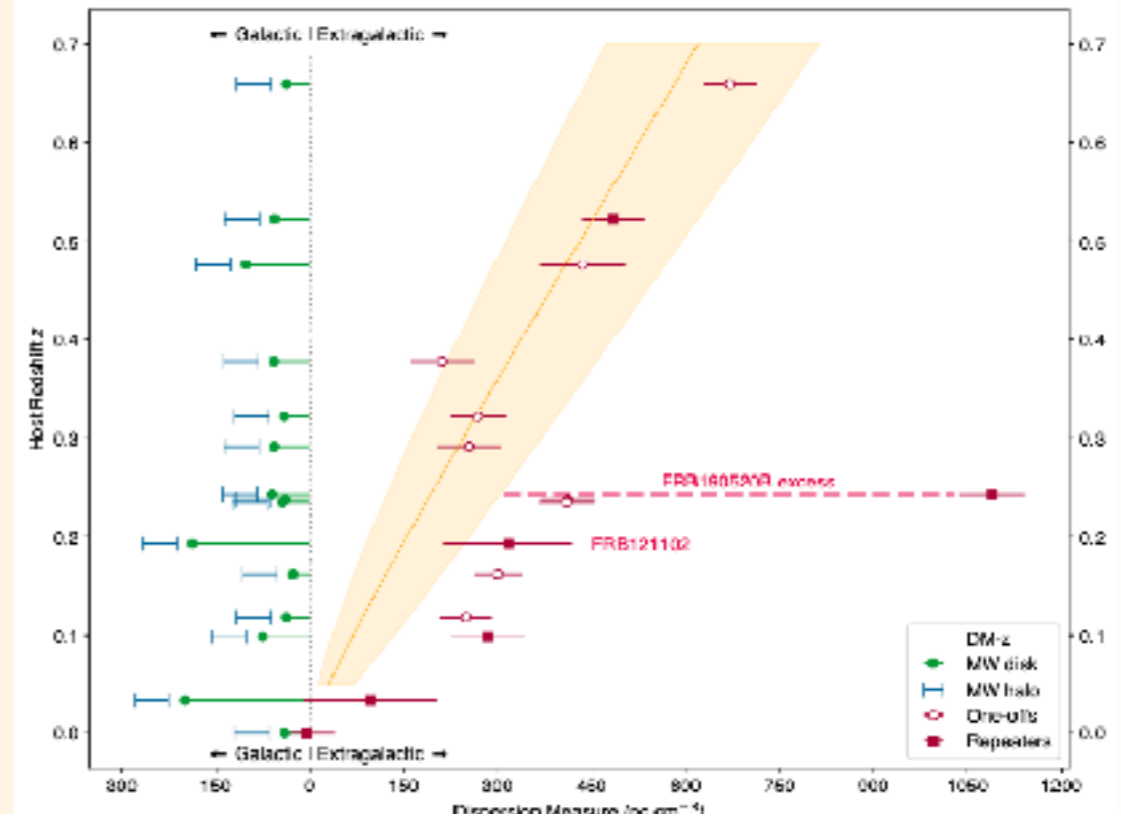
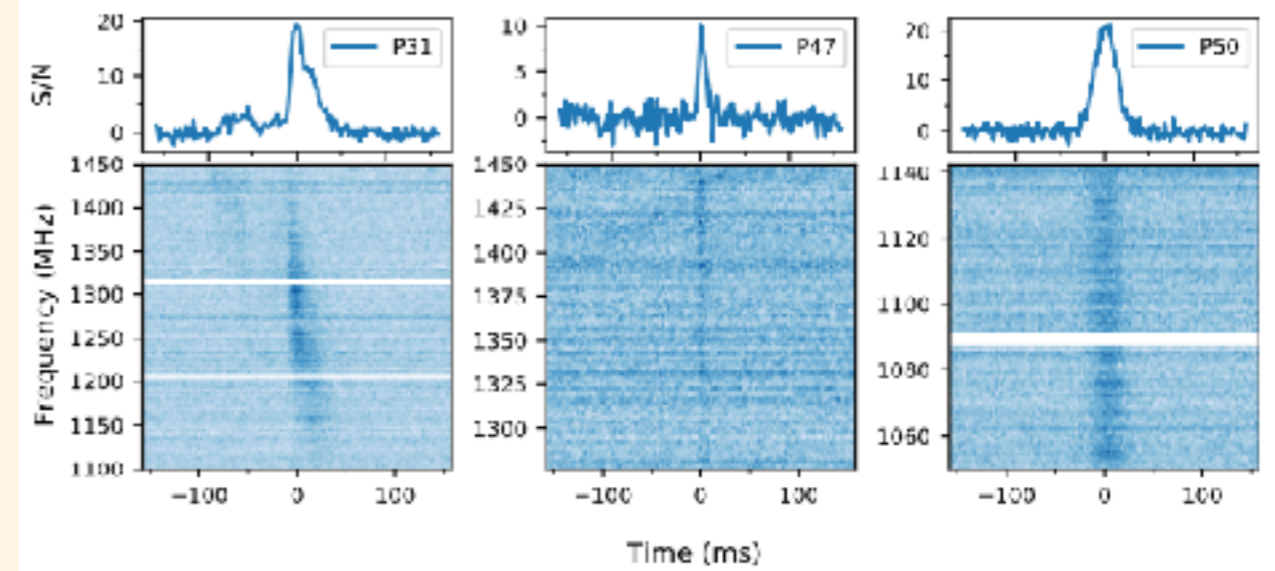
Southhornthum (2018)



Credit: R. Wagner

# FRB 20190520B

- Niu+ (2022)
  - discovery by FAST
  - localization by VLA
  - $DM_{\text{ex}} = 1200 \text{ cm}^{-3}\text{pc}$ 
    - $z > 1$  if IGM
  - host galaxy redshift = 0.24
  - associated with a compact radio source
  - > 80 bursts detected so far



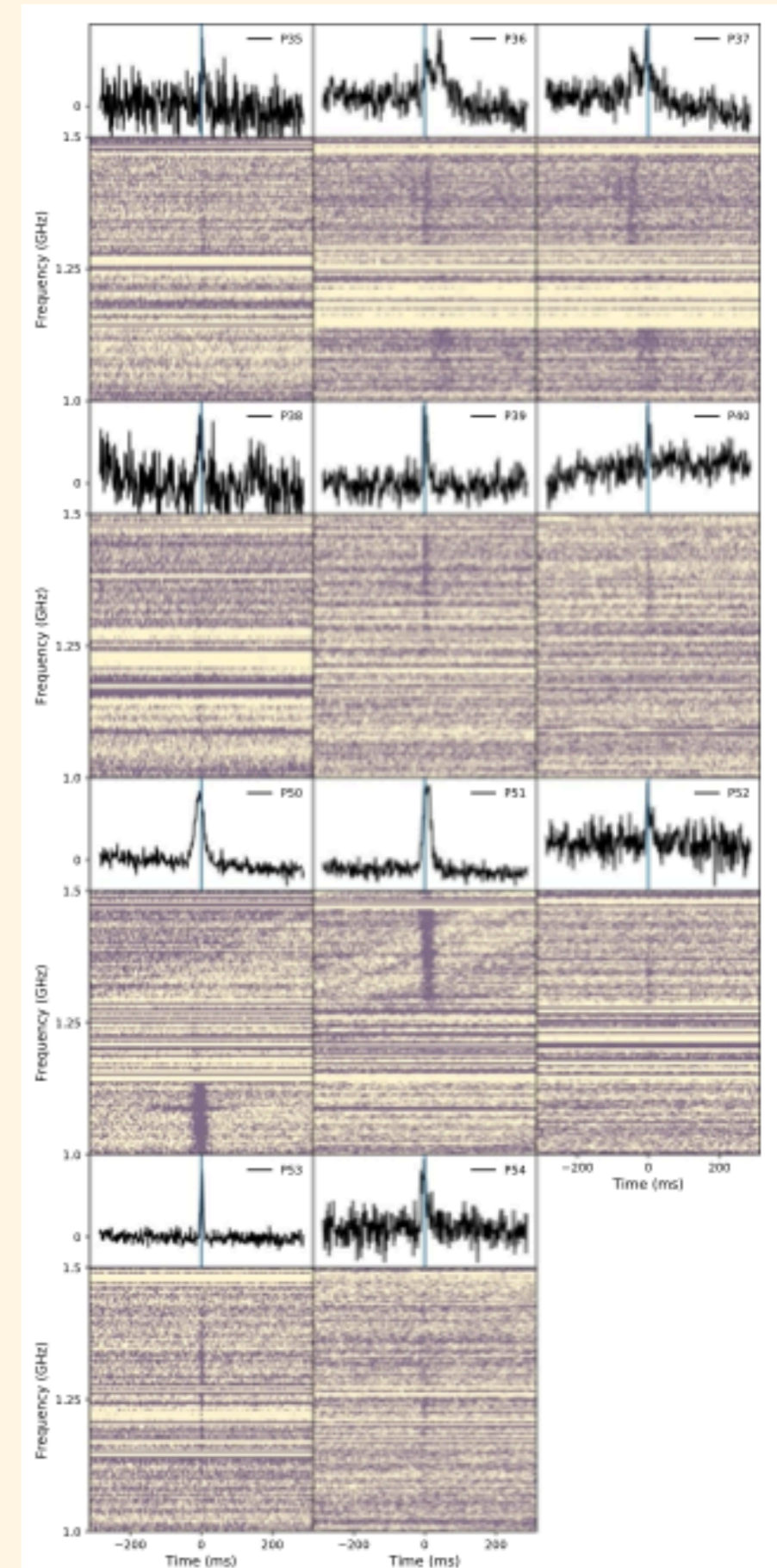
# FAST との可視-電波同時観測

- Tomo-e と FAST による同時観測
  - 2020年8月4, 6, 14, 16日
  - 計約5.5時間
- 24.4 fps with partial readout
  - FoV  $\sim 8 \times 5$  arcmin<sup>2</sup>
  - 40.9 ms/frame
  - gap between frames  $\sim 0.1$  ms
- unfiltered:  $\sim 3700$ - $7300$  Å



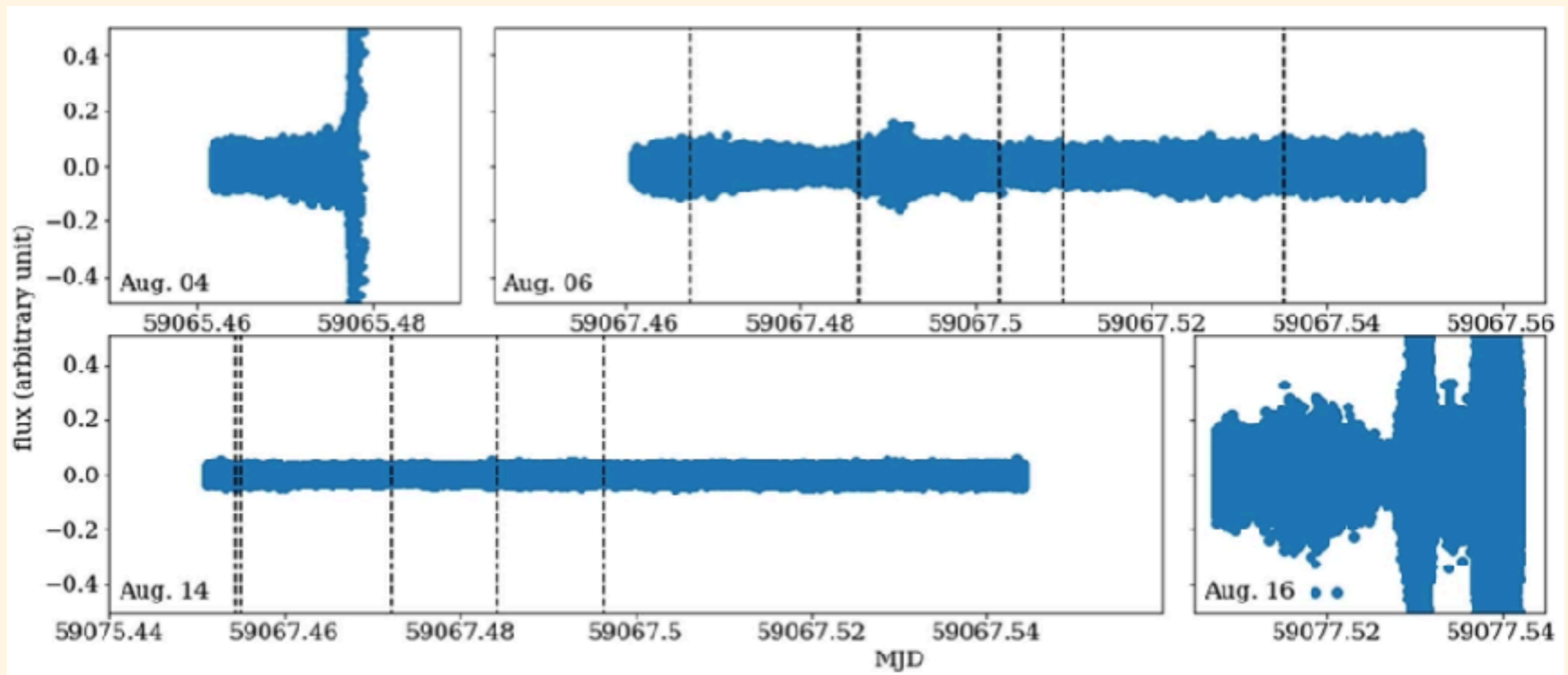
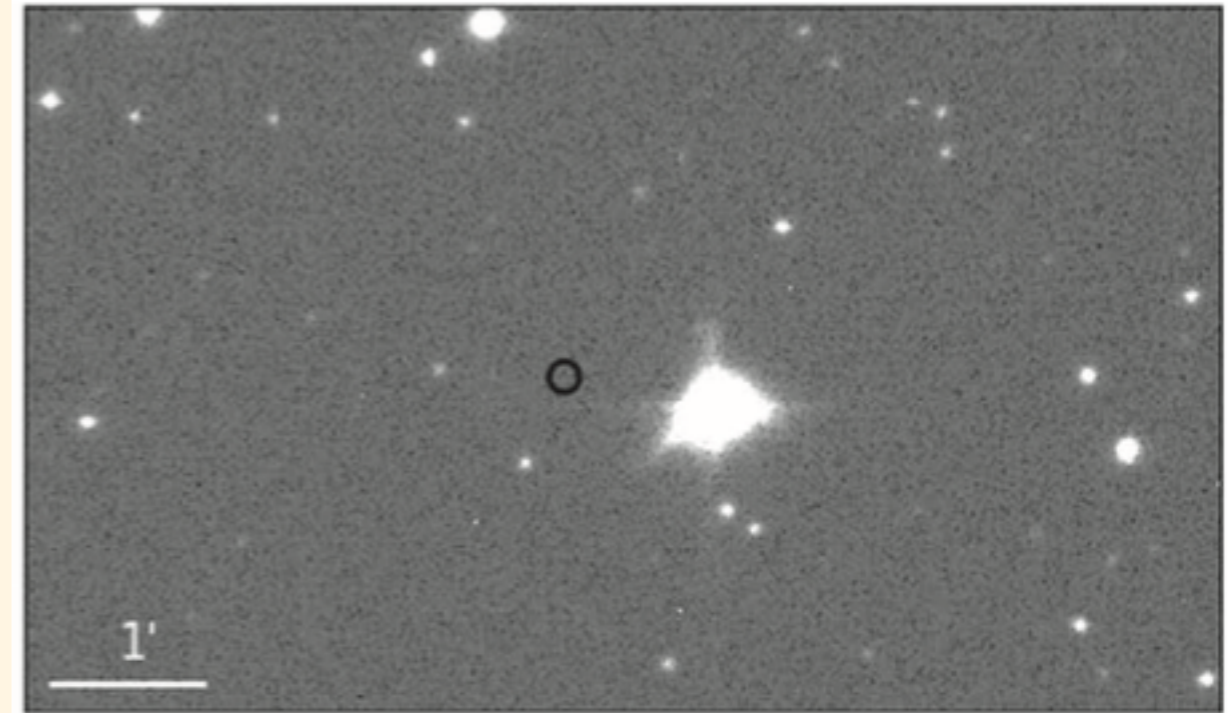
# 電波バーストの検出

- 11 bursts are detected
  - 6 bursts on Aug. 6
  - 5 bursts on Aug. 14
  - 0 bursts on Aug. 4 & 16
- fluence range  $\sim 60\text{-}300$  mJy ms



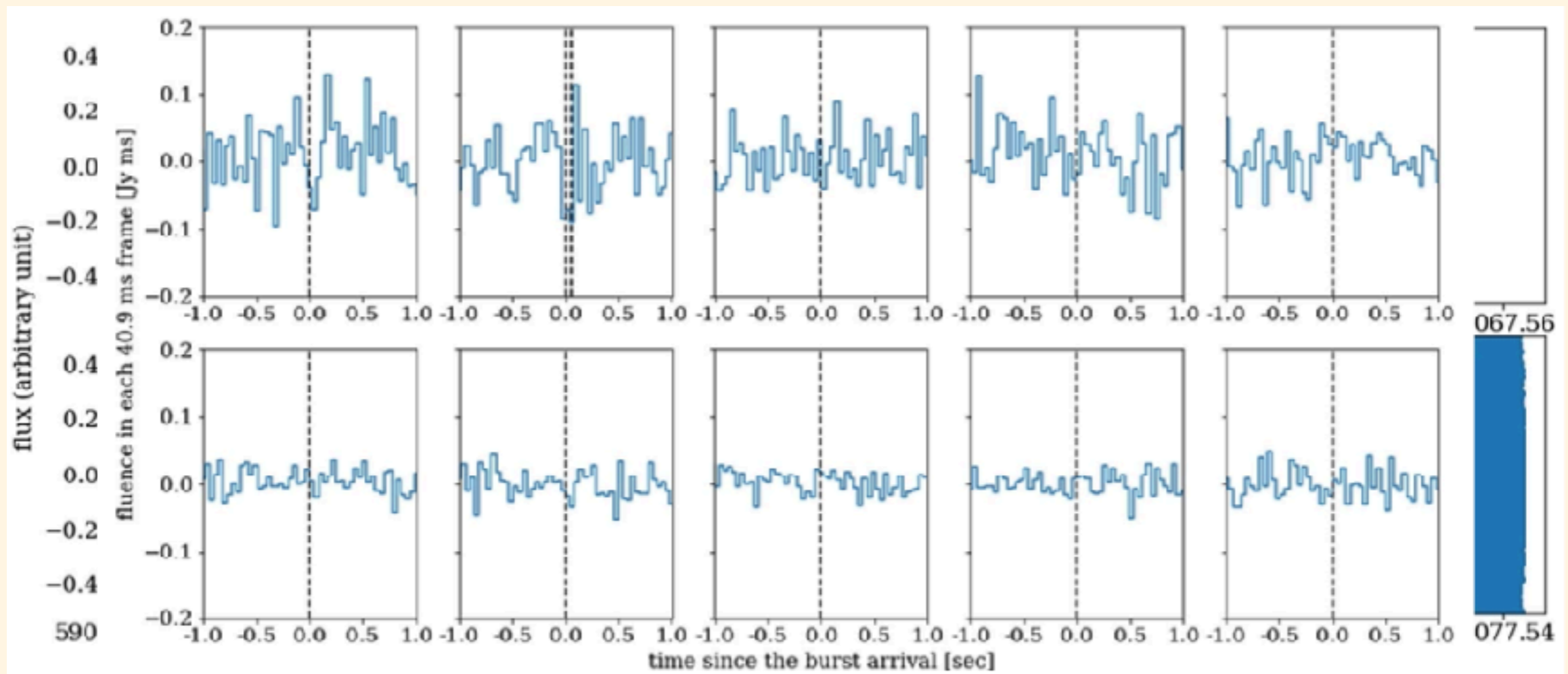
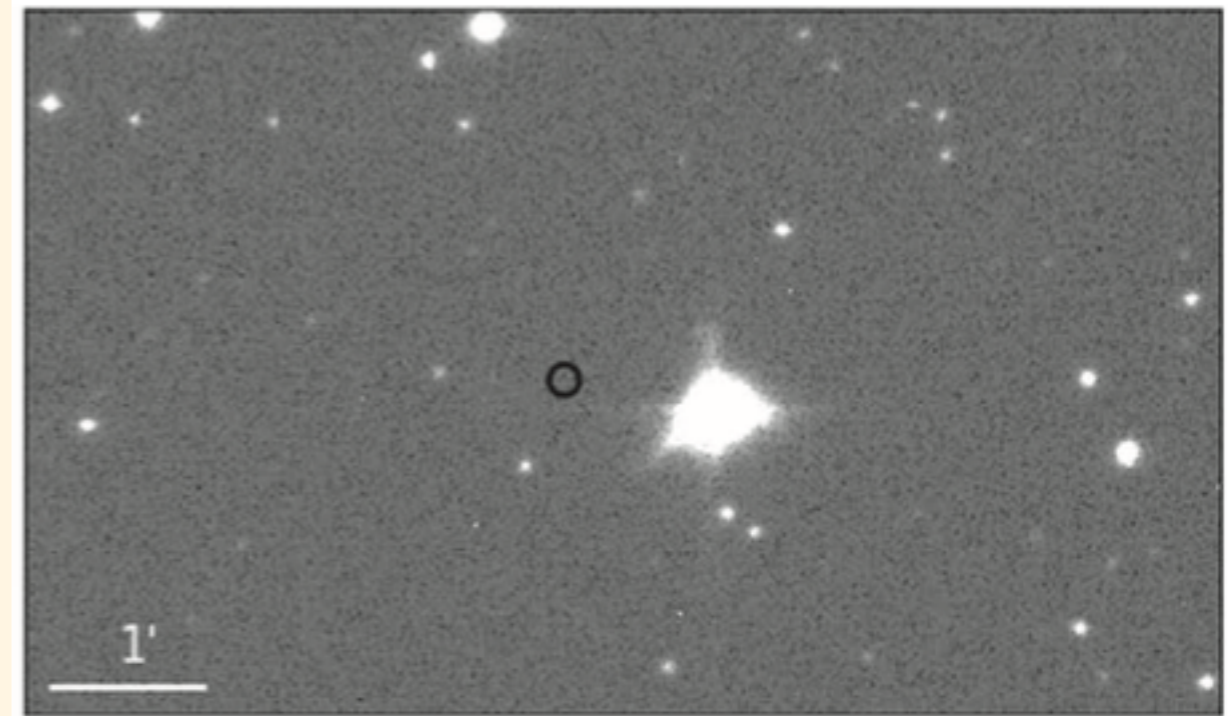
# Optical lightcurve

- 母銀河等の定常天体はTomo-eの画像では検出なし
- forced photometry でライトカーブを抽出
- 可視光バーストは見られない



# Optical lightcurve

- 母銀河等の定常天体はTomo-eの画像では検出なし
- forced photometry でライトカーブを抽出
- 可視光バーストは見られない

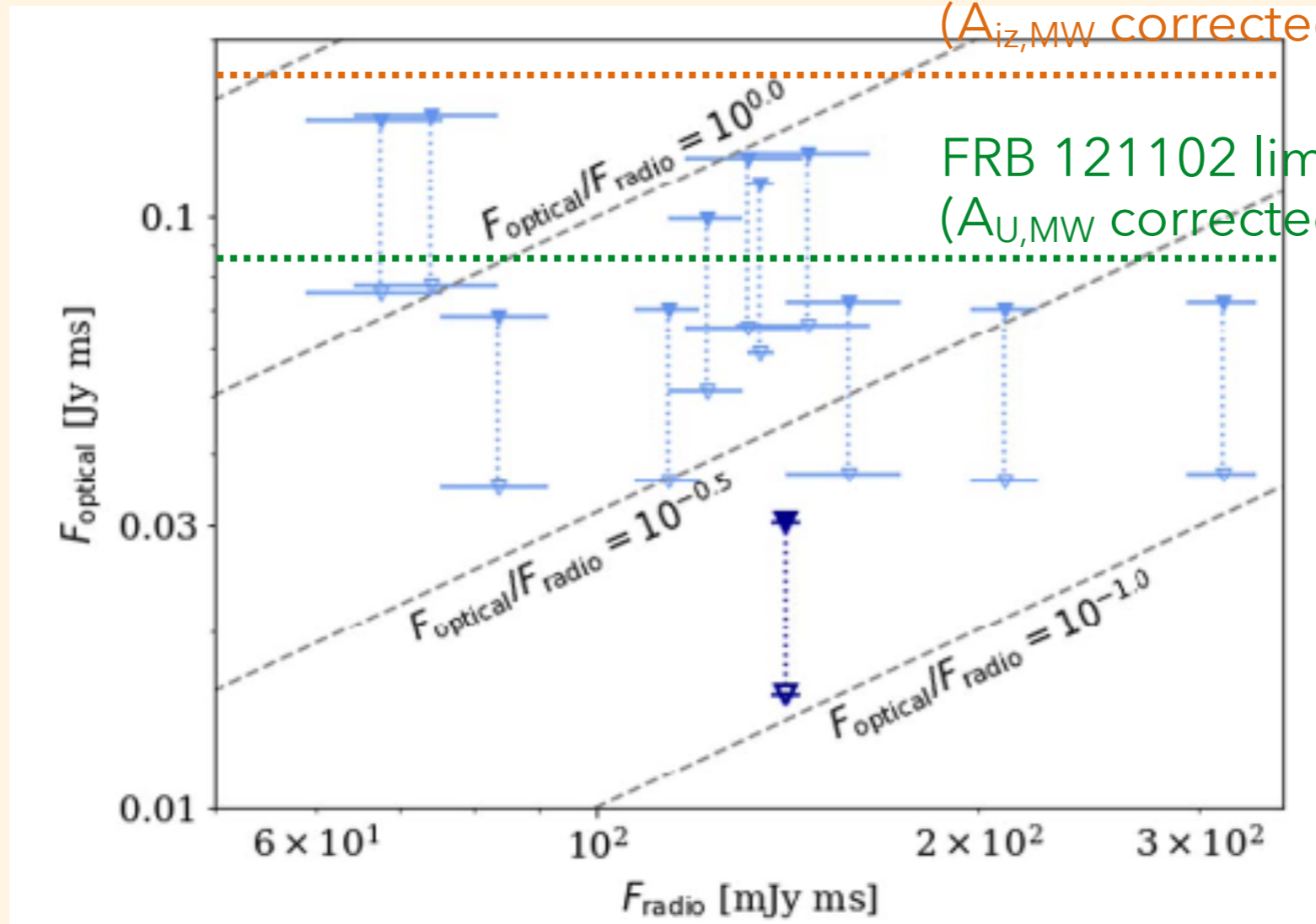


# Optical fluence limits

- extinction corrected fluence limit ( $E_{B-V,MW} = 0.25$ )
  - 0.068-0.149 Jy ms (individual)
  - 0.029 Jy ms (stacked)
- $F_{\text{opt}}/F_{\text{radio}} \approx 0.2-2.1$

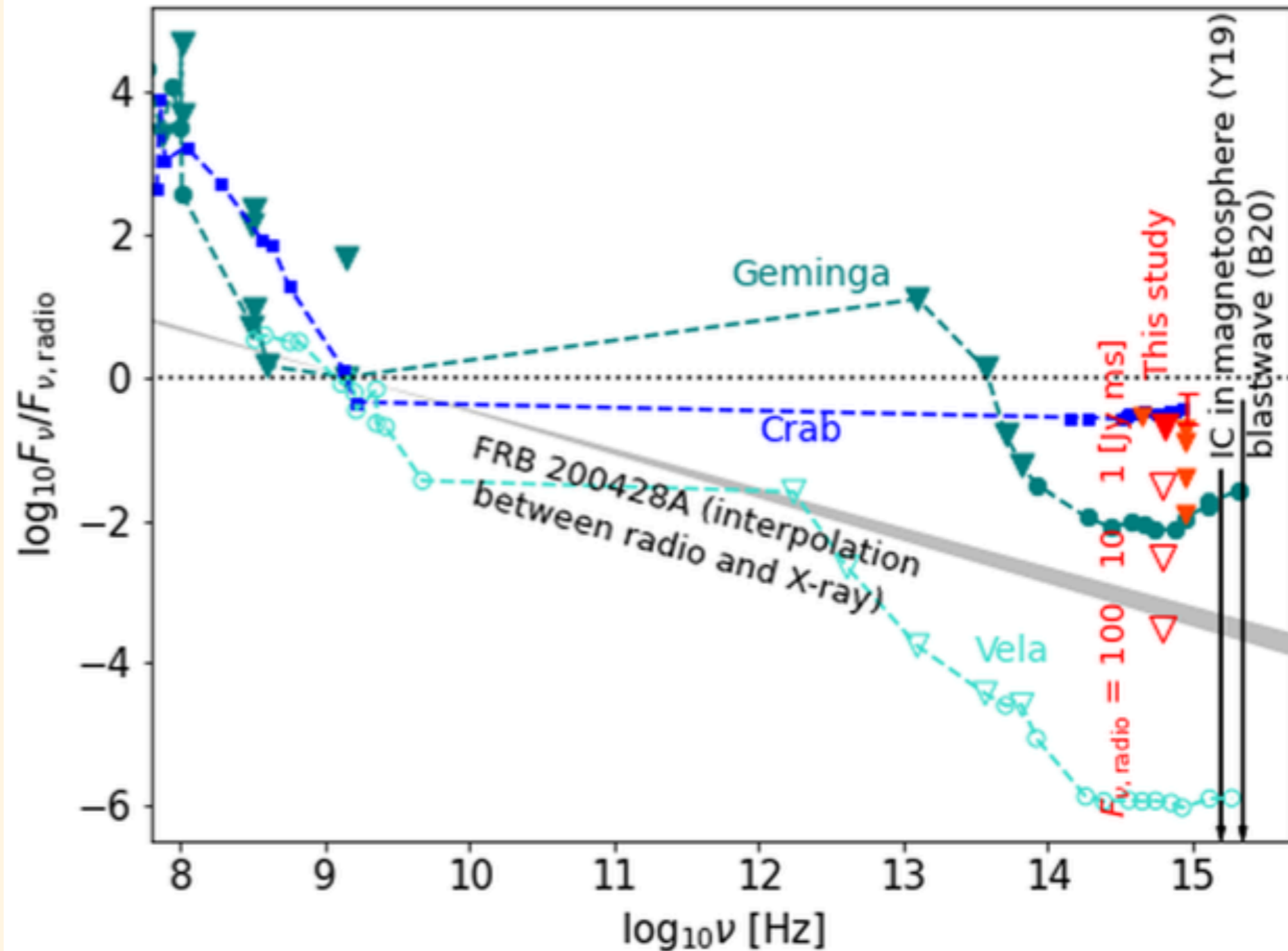
FRB 121102 limit by ULTRASPEC  
( $A_{iz,MW}$  corrected, 70 ms)

FRB 121102 limit by MAGIC  
( $A_{U,MW}$  corrected, 1 ms)



# SED への制限

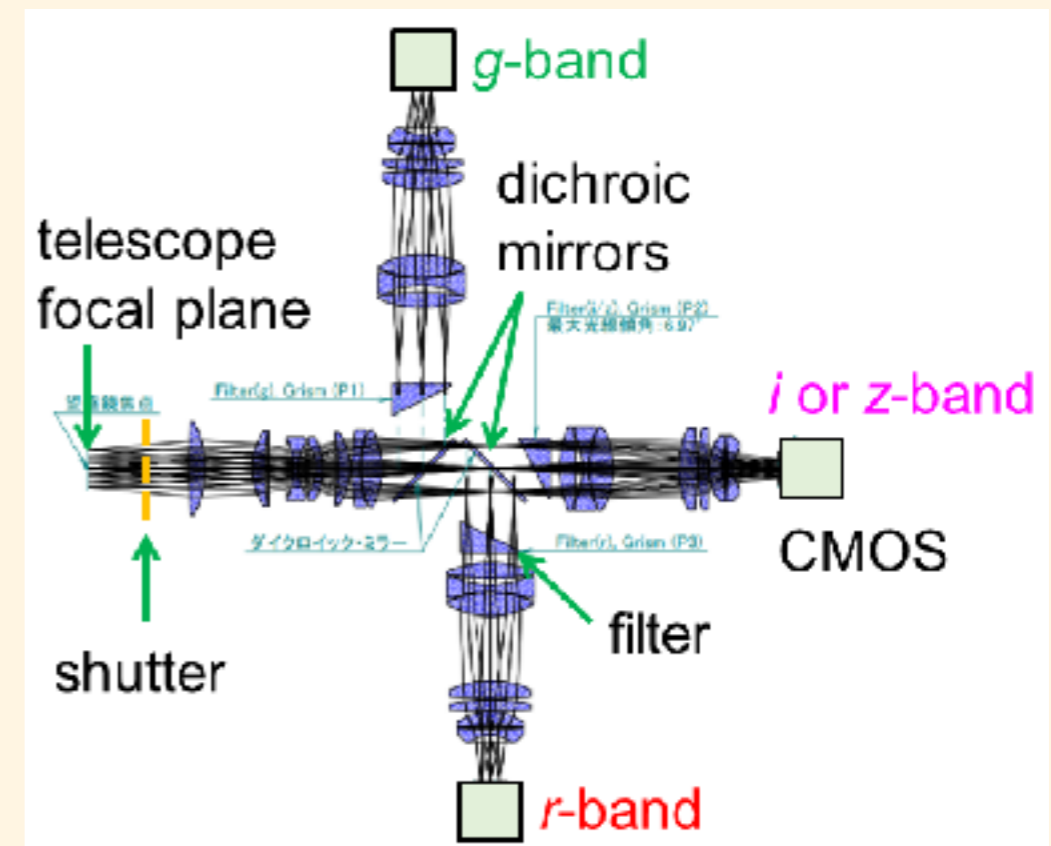
- 可視/電波比に対する現在の制限はCrab pulsarのSEDと同等
- 今回のTomo-e制限と同等の制限を 100 Jy ms の電波バーストに対して得れば：
  - Geminga SED
  - radio-X interpolation of FRB 200428A





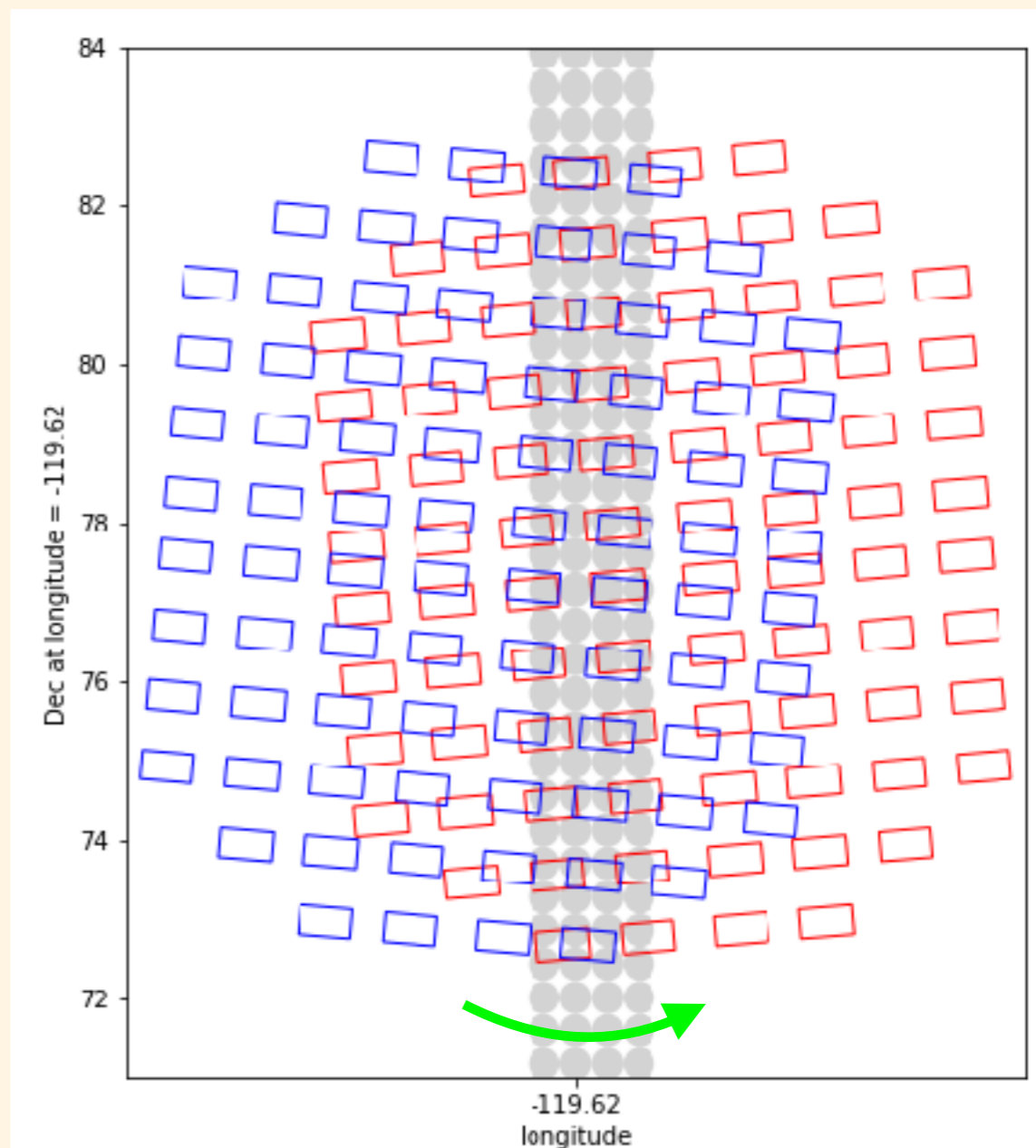
# High-Speed Observations With TriCCS

- Seimei telescope
  - 3.8 m telescope operated by Kyoto U
- TriCCS
  - imager with frame rate of 98 fps
    - spectroscopic mode is coming soon
  - FoV  $\sim 12.6 \times 7.5$  arcmin<sup>2</sup>
  - 3 bands at once (g, r, + i or z)
  - fluence detection limit
    - $\sim 0.02$  Jy ms with 10 ms under a good condition



# Wide field non-repeater search by Tomo-e Gozen with CHIME/FRB

- 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  $\sim 1 \text{ per } 240 \text{ hrs}$



# Summary

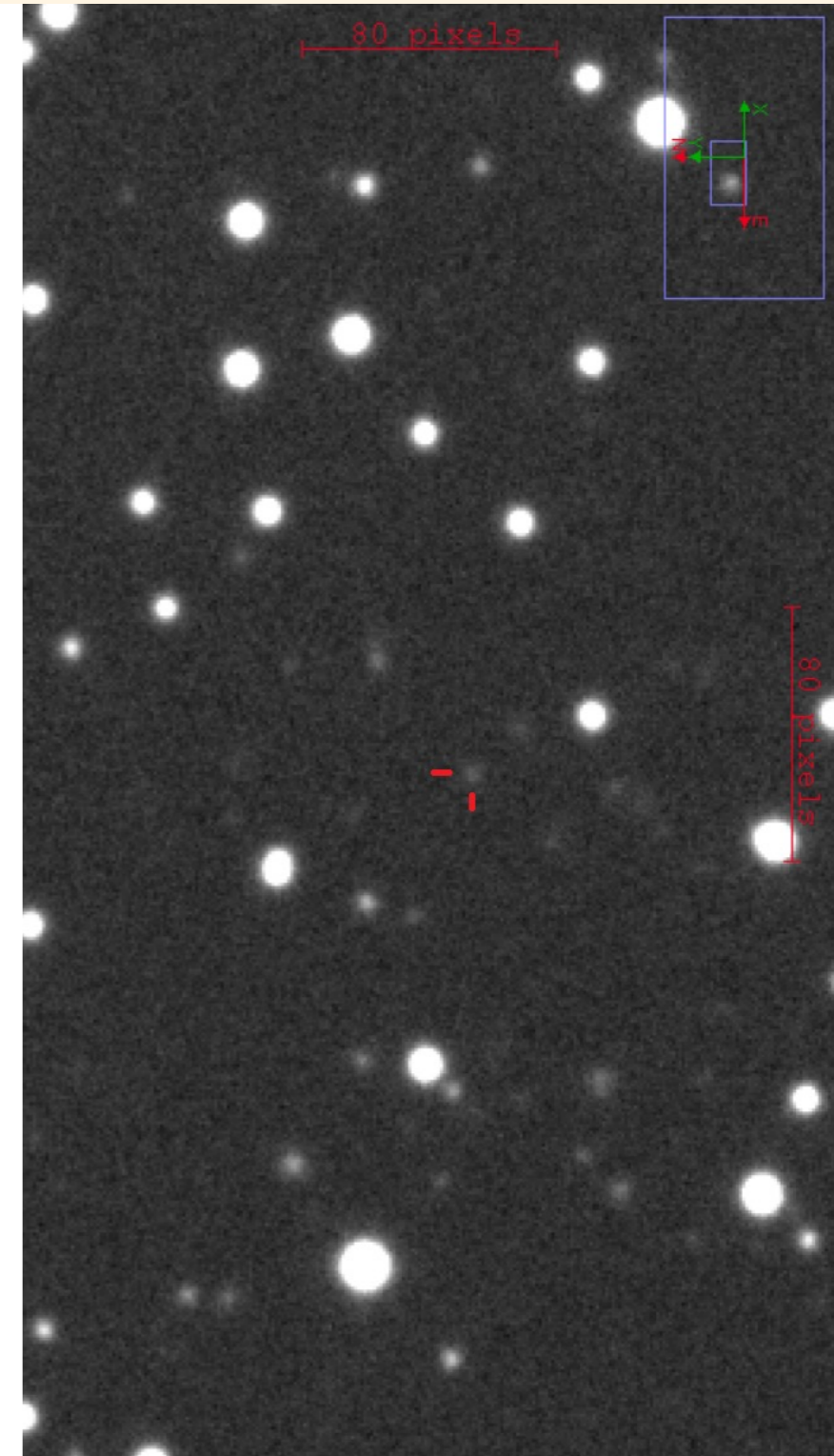
- Repeating FRB 20190520Bに対してFASTによる電波観測と同時に24.4 fps (40.9 ms/frame) の可視光高速観測を行ない、11の電波バースト発生の瞬間をおさえた。
  - 可視光非検出による上限値  $F_{\text{opt}} < 0.029 \text{ Jy ms}$
  - FRB 20190520B に対しては初の制限
  - FRB 121102 に対する従来の制限より深い (in Jy ms)
- より明るい電波バーストに対して同様の可視光制限がつけば、FRB SED に対して強い制限がかけられる。

**GRB**

# Kiso observations

- We have developed a software that listens to GCN streams (alerts from SWIFT and FERMI satellites) and automatically submits observations for Kiso Schmidt telescope based on observability and type of the GRB.
- 7 followups have been made so far including the detection of high-z new year burst GRB 220101A:

**Dainotti et al.**



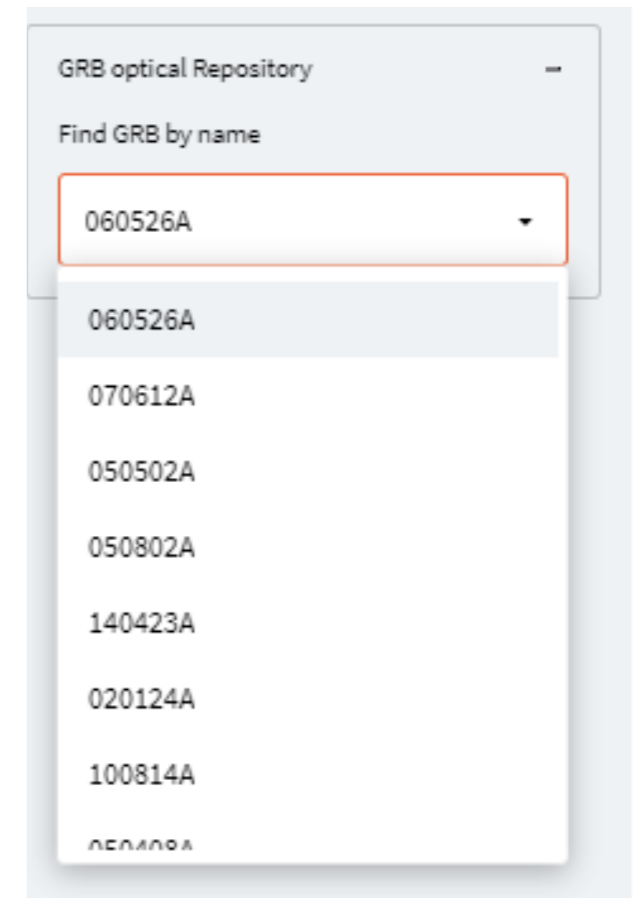
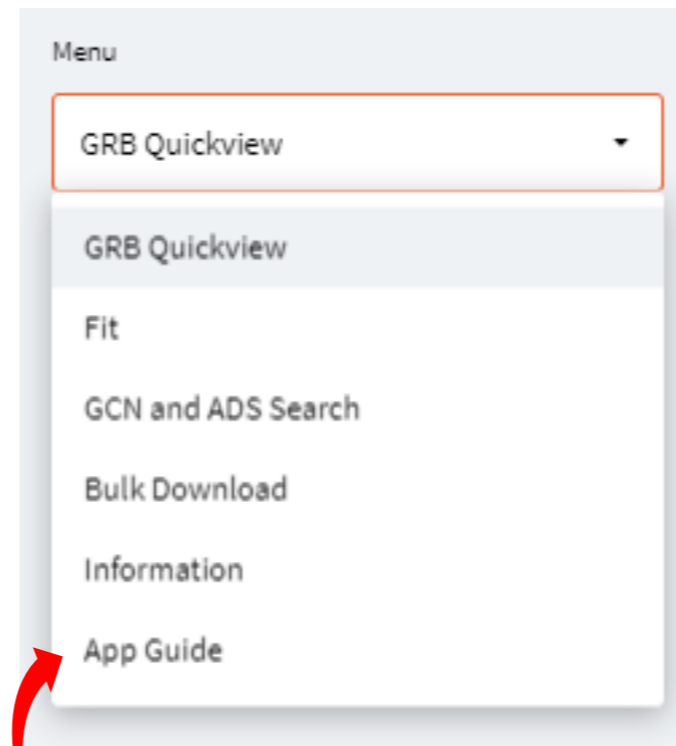
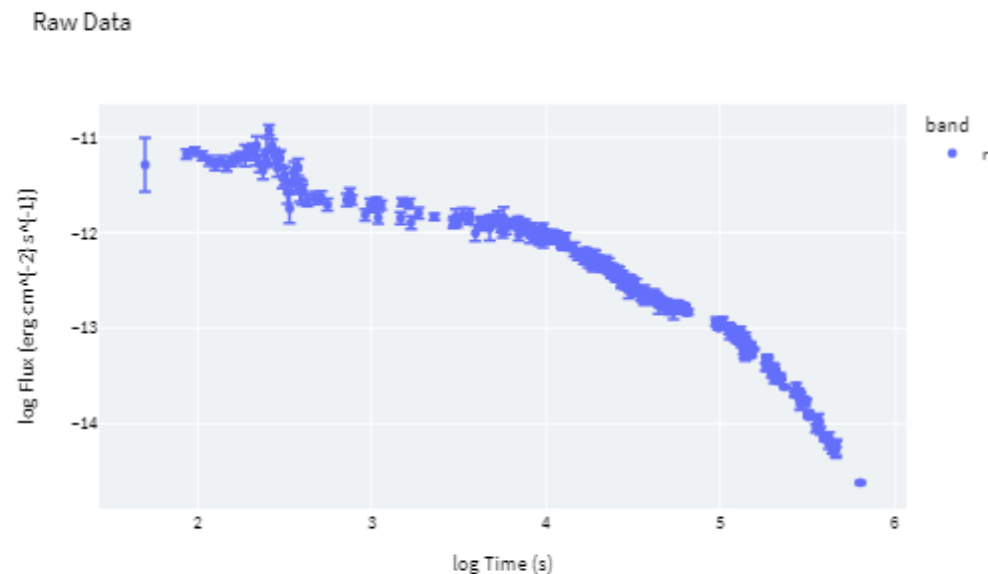
# A new Gamma Ray Burst Optical Repository

A tool based on the largest GRB optical catalogue to date (including KISO observations)

## Gamma Ray Bursts Optical Repository

### GRB 060526A Quickview

Right Ascension: 15h31m23s  
Declination: +00° 15'  
Redshift: 3.21



Useful tools for the GRB lightcurves analysis

Interactive fitting interface

Dainotti, M. G., Fathima, R., et al. 2022