

# 可視光高速撮像による Fast Radio Burstの 対応天体探査

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

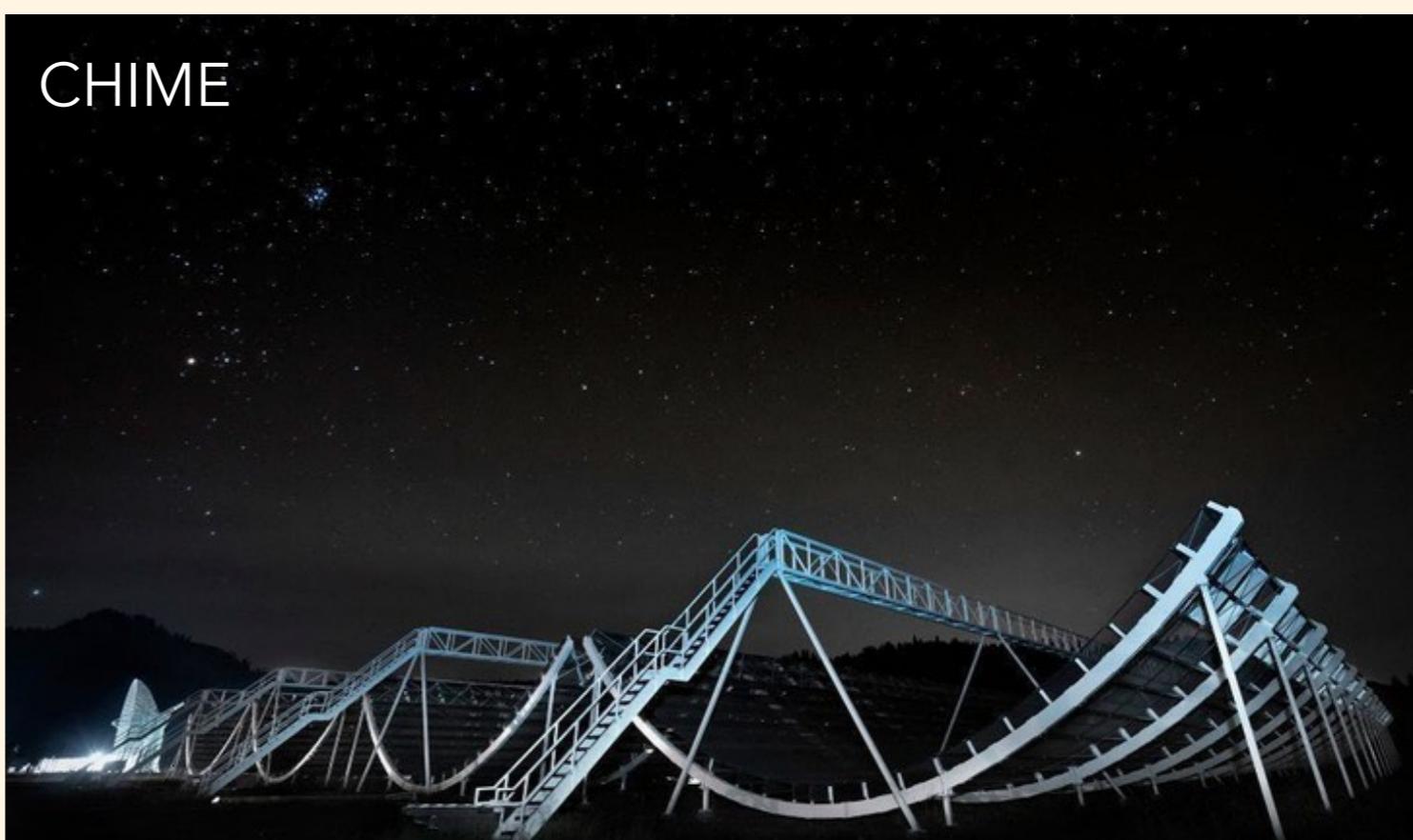
# Fast Radio Burst (FRB)とは？

HPPW: 4.6 ms

Lorimer et al. (2007)

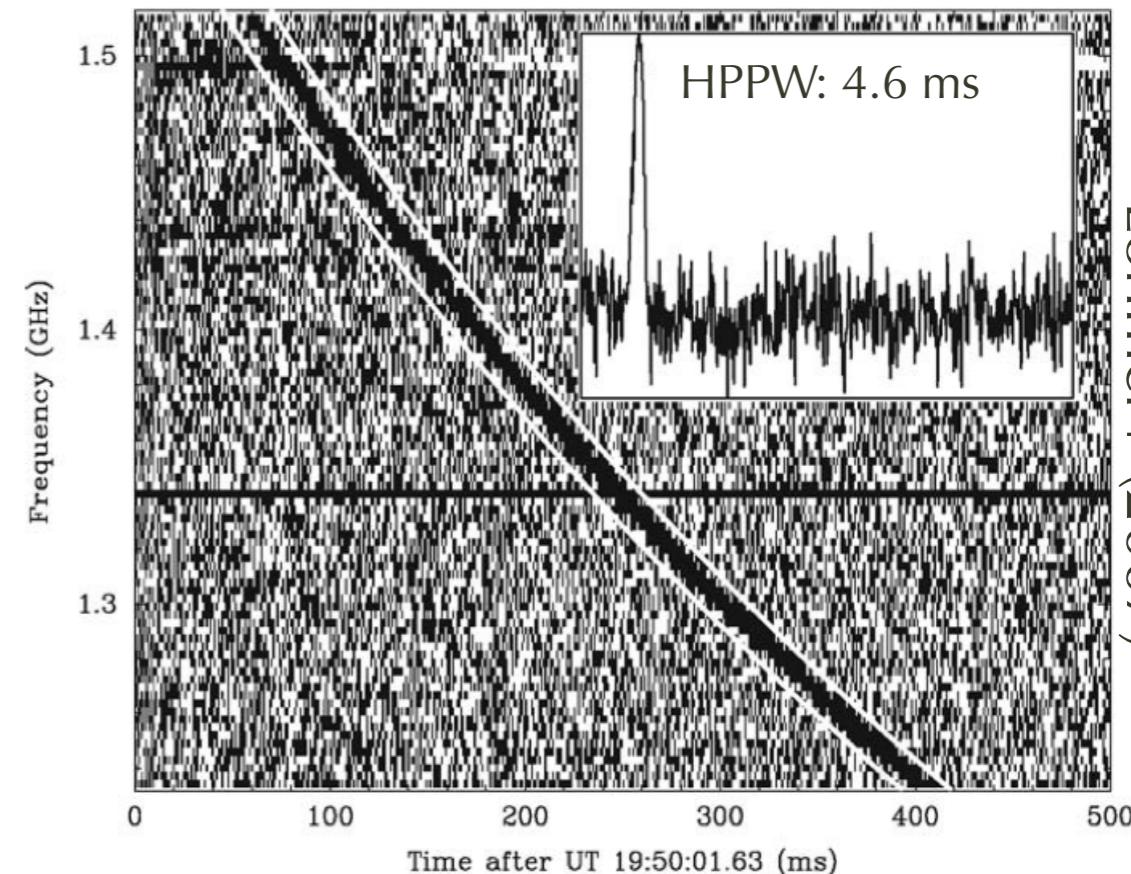
- 数ミリ秒の継続時間の電波突発現象
- 初発見はLorimer+ (2007) のFRB 010824 (Parkes 電波望遠鏡アーカイブデータ)
- 15年で約600天体発見
- CHIME による発見 > 500 FRBs

time →

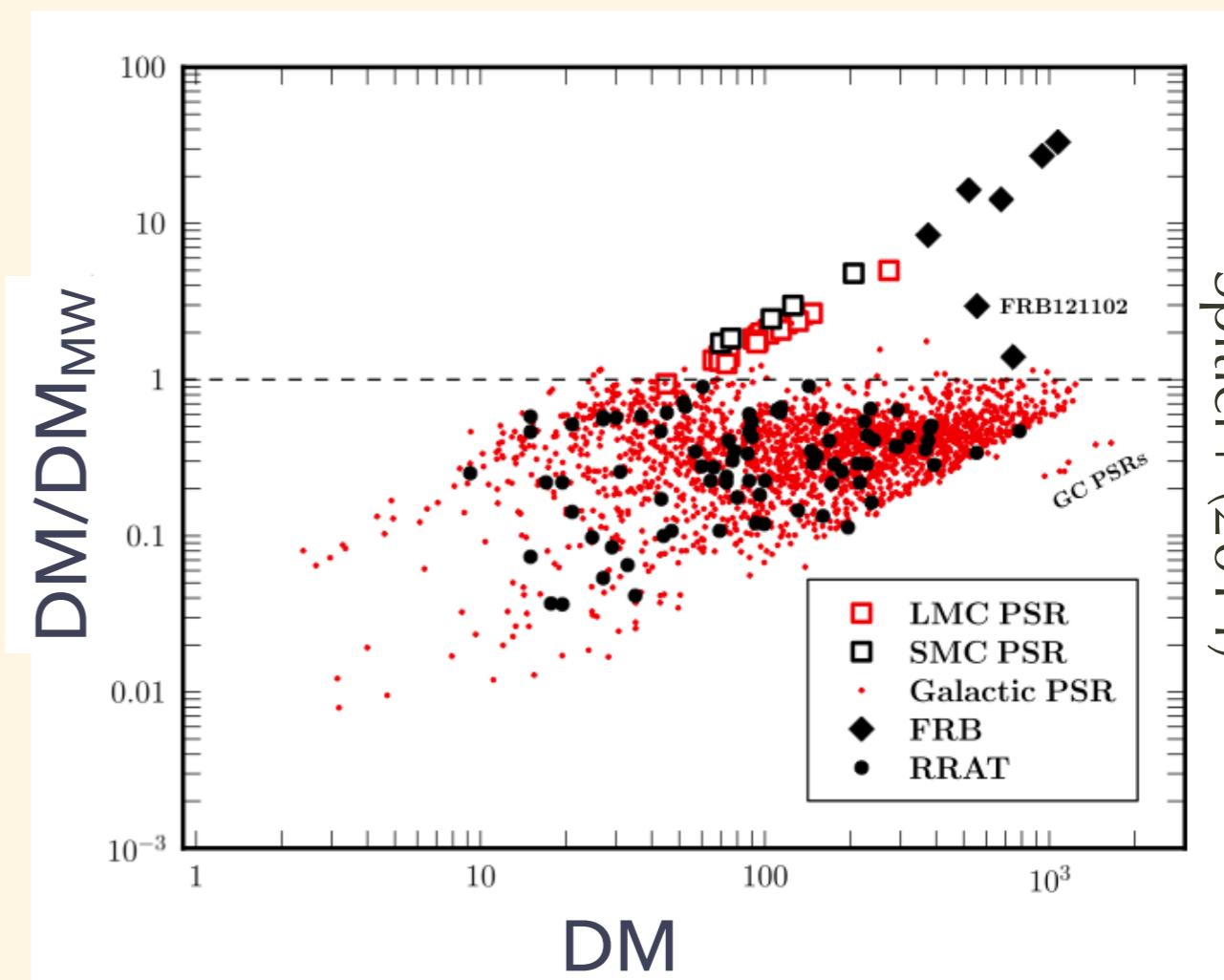


# FRBの分散量度

- 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 ~ 100-2000 [cm<sup>-3</sup>pc]
  - > 天の川成分
    - 銀河間物質由来なら赤方偏移 ~ 0.1-2.0
    - 電離ガスがソースに付随しているかも？



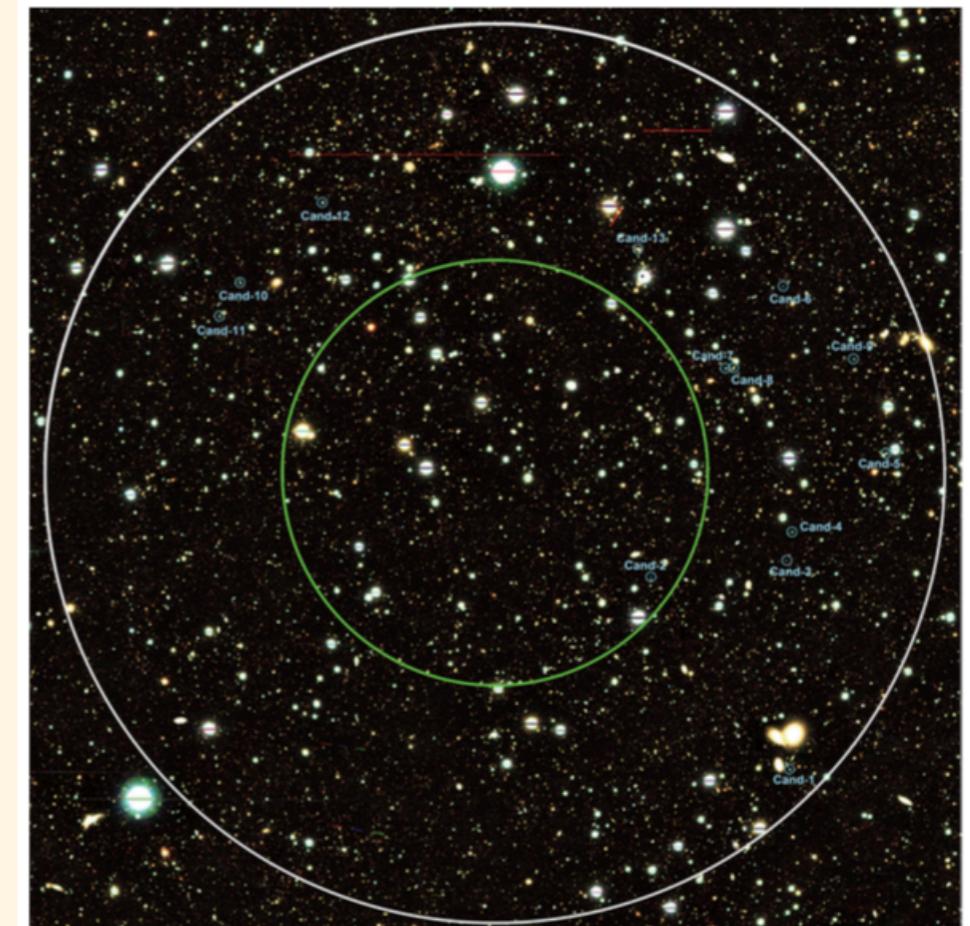
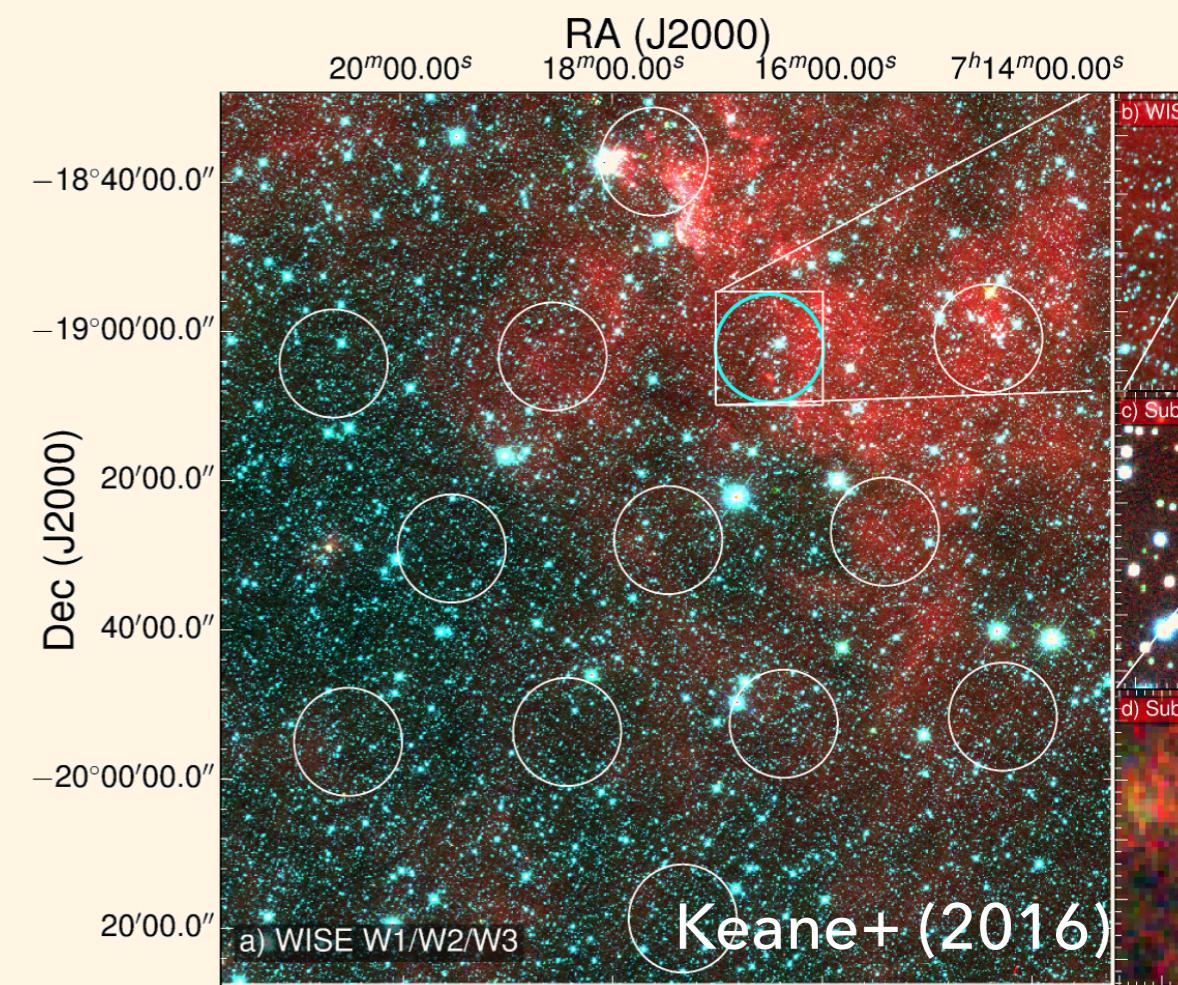
Lorimer+ (2007)



Spitler+ (2014)

# FRB発生現場

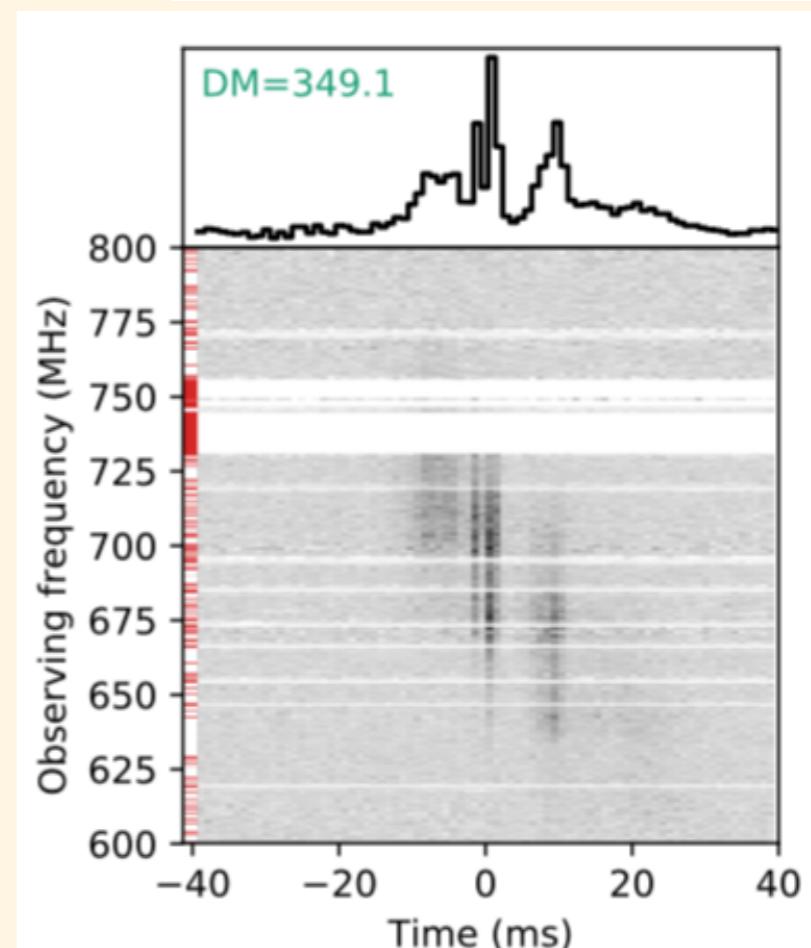
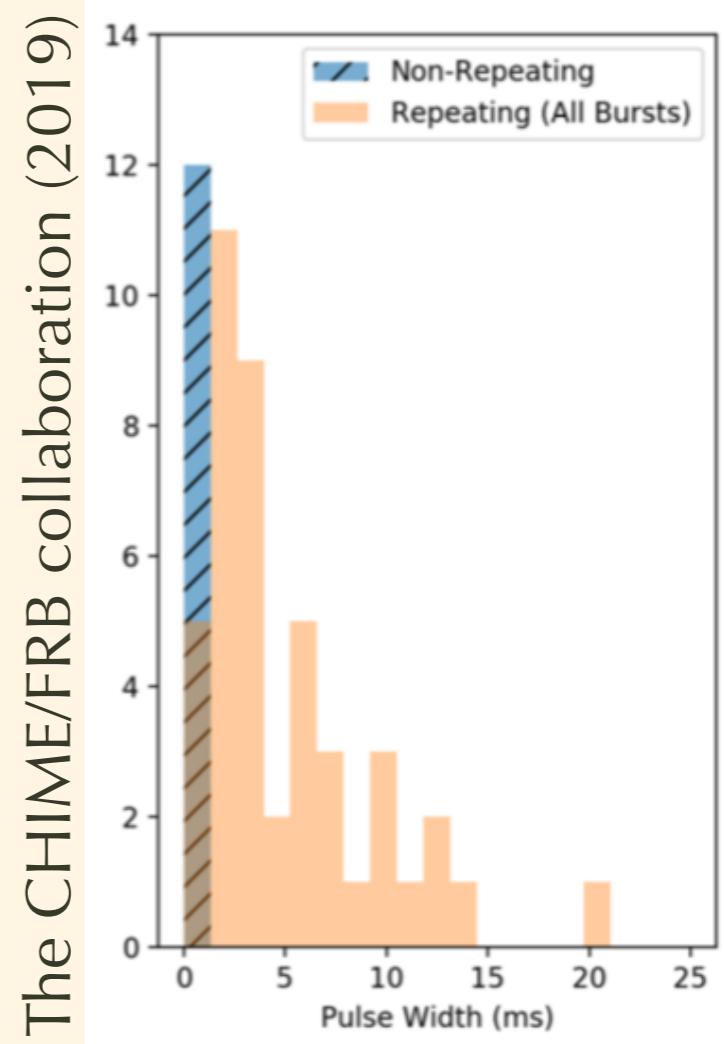
- FRBを多く見つけている電波望遠鏡は位置決定精度が低い
  - ~ 10分角
- 位置決定精度の高い電波望遠鏡はFRB発見数が少ない
  - ≈ 1秒角は 20 FRBs
  - 内 7 FRBs は後述の repeating FRB源
- 母銀河の同定・距離測定はごく一部のFRBのみ



Tominaga+ (2018, FRB 151230)

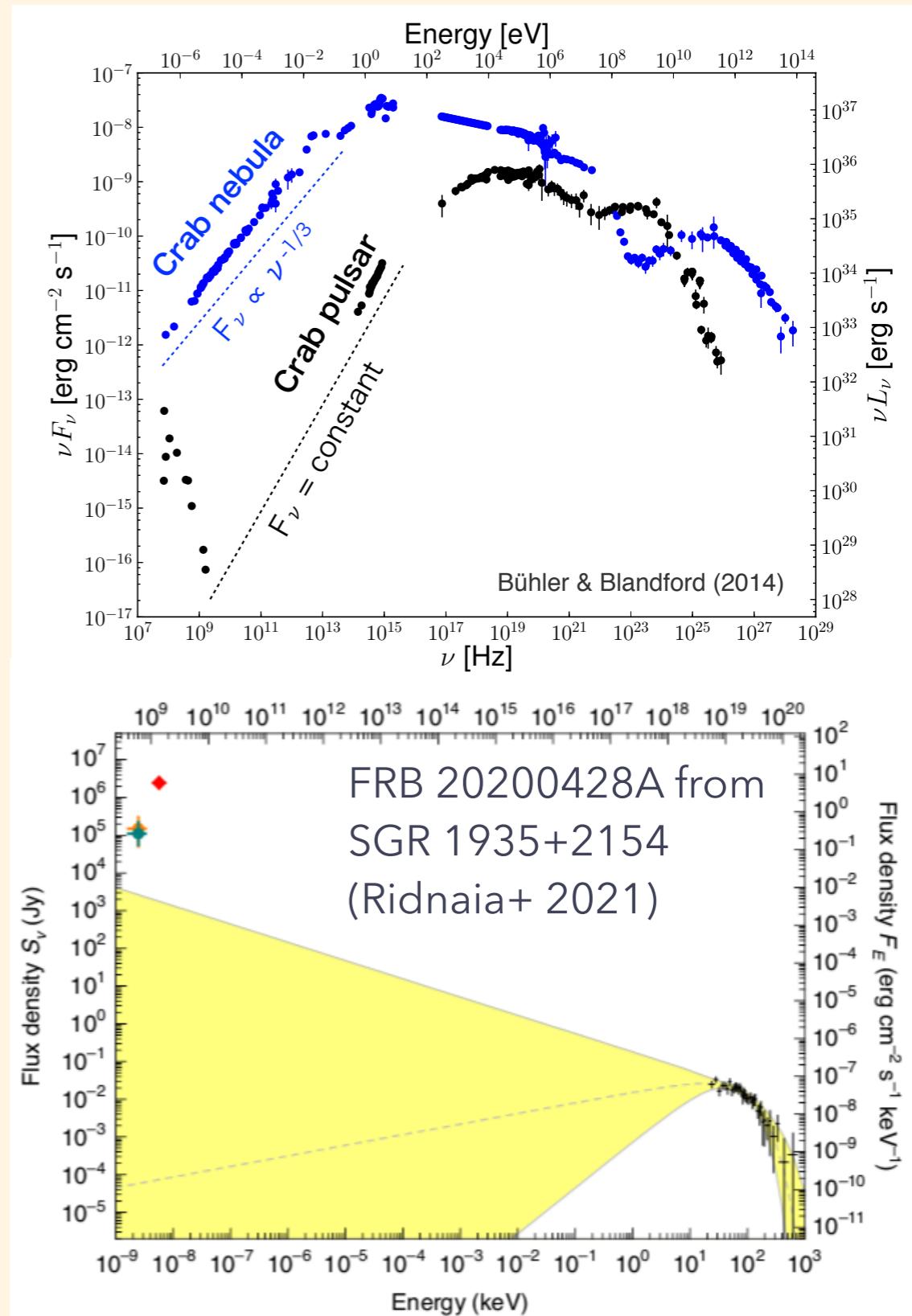
# Repeating/Non-repeating FRB

- 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



# 他波長対応天体？

- 他波長対応天体がみつかればFRBの正体解明の重大な手がかりになる
  - 様々な波長・時間スケールで探査が行われている
- FRBと同程度の時間スケールでの放射の可能性
  - 一部のパルサーは幅広い観測波長帯で検出
  - FRB 20200428AとX線対応天体 from SGR 1935+2154
  - 理論予想
    - inverse Compton in a pulsar magnetosphere (Yang+ 2019)
    - blastwave collision into a hot wind bubble (Beloborodov+ 2020)

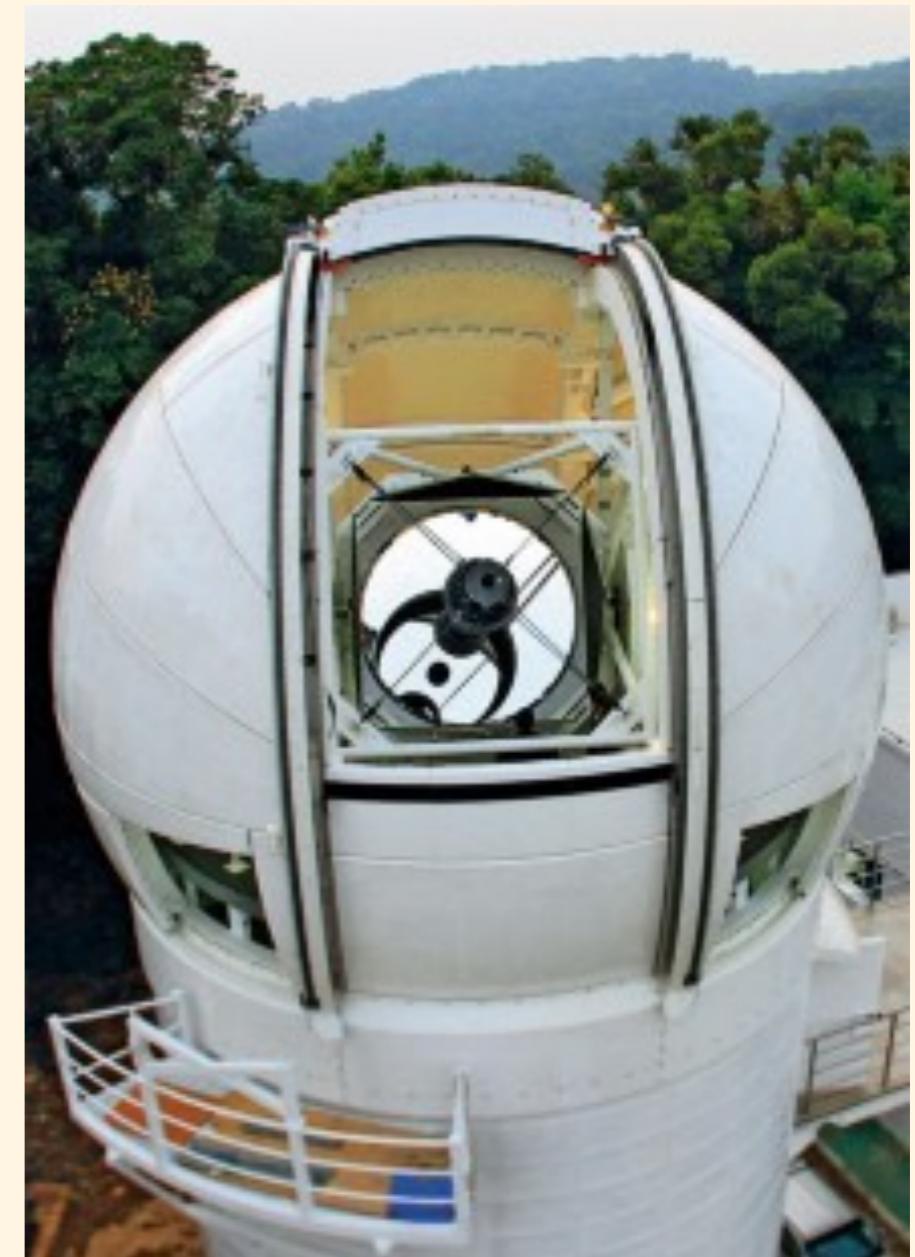


# 可視光での FRB 同時観測

- 秒以下で観測できる可視光装置は珍しい
- FRB 121102 の監視観測
  - Hardy+ (2017) using ULTRASPEC on TNT
    - $< 0.33 \text{ mJy}$  with 70 ms using EMCCD
  - MAGIC collaboration (2018)
    - $< 8.6 \text{ mJy}$  with  $\sim 1 \text{ ms}$  using photomultiplier



Credit: R. Wagner



Soonthornthum (2018)

# Tomo-e Gozen と FAST による 可視-電波同時観測

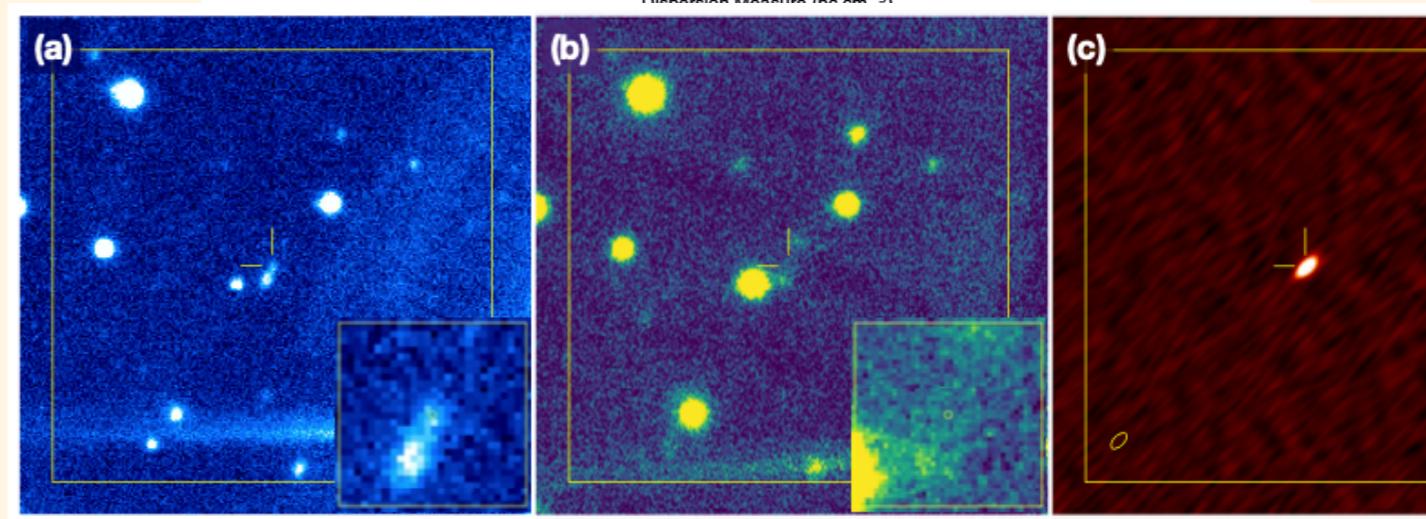
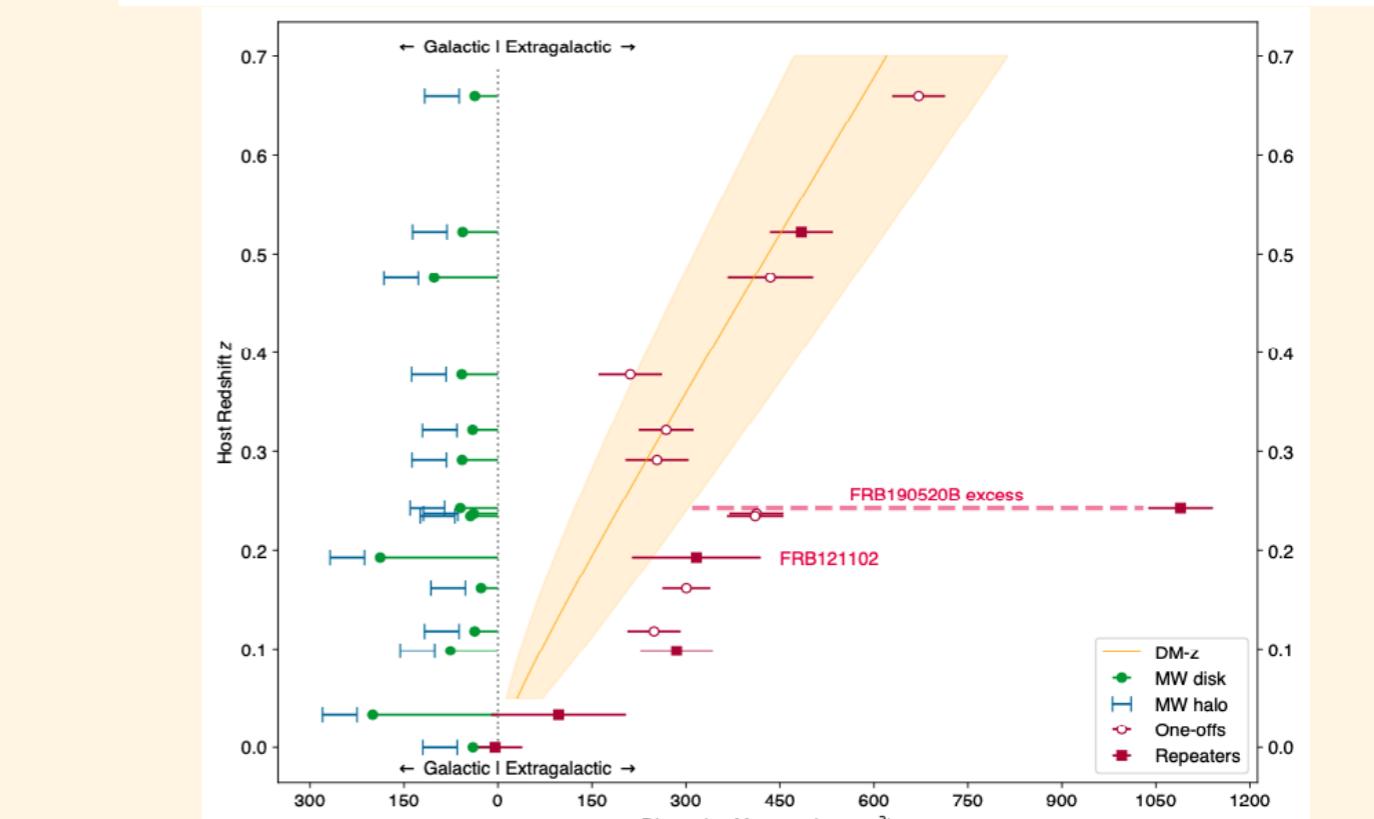
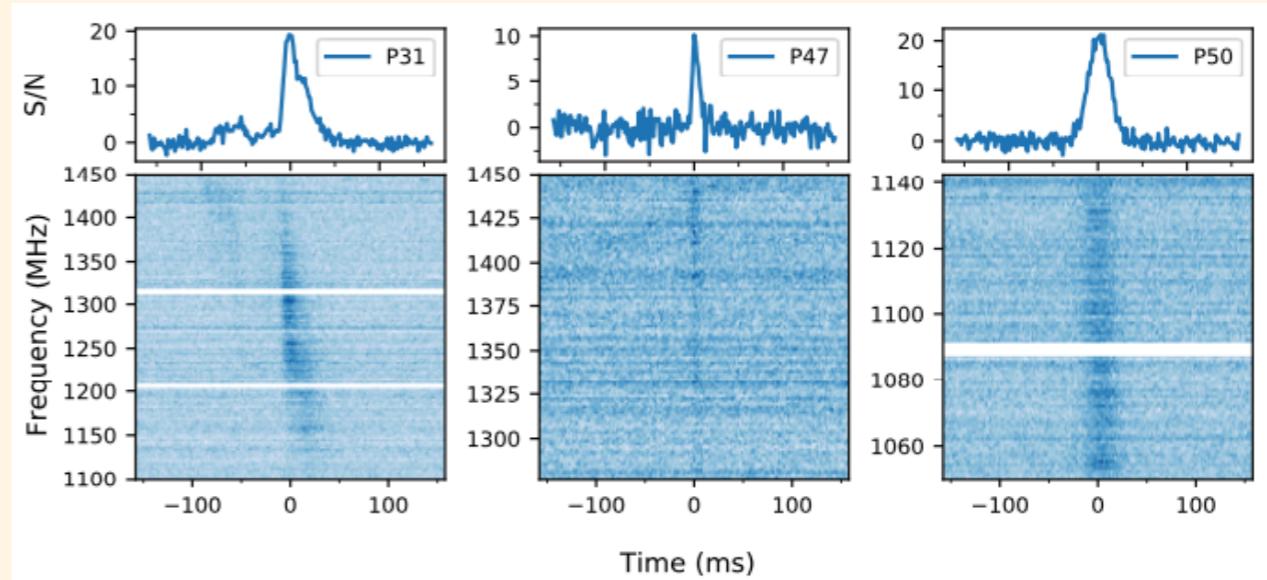
- Niino et al. 2022, *ApJ*, 931, 109
  - repeating FRB 20190520B の観測
  - 2020年8月4, 6, 14, 16日
  - 計約5.5時間
  - 24.4 fps with partial readout
    - FoV  $\sim 8 \times 5 \text{ arcmin}^2$
    - 40.9 ms/frame
    - gap between frames  $\sim 0.1\text{ms}$
  - unfiltered:  $\sim 3700\text{-}7300 \text{ \AA}$



Credit: Ou Dongqu/Xinhua/ZUMA

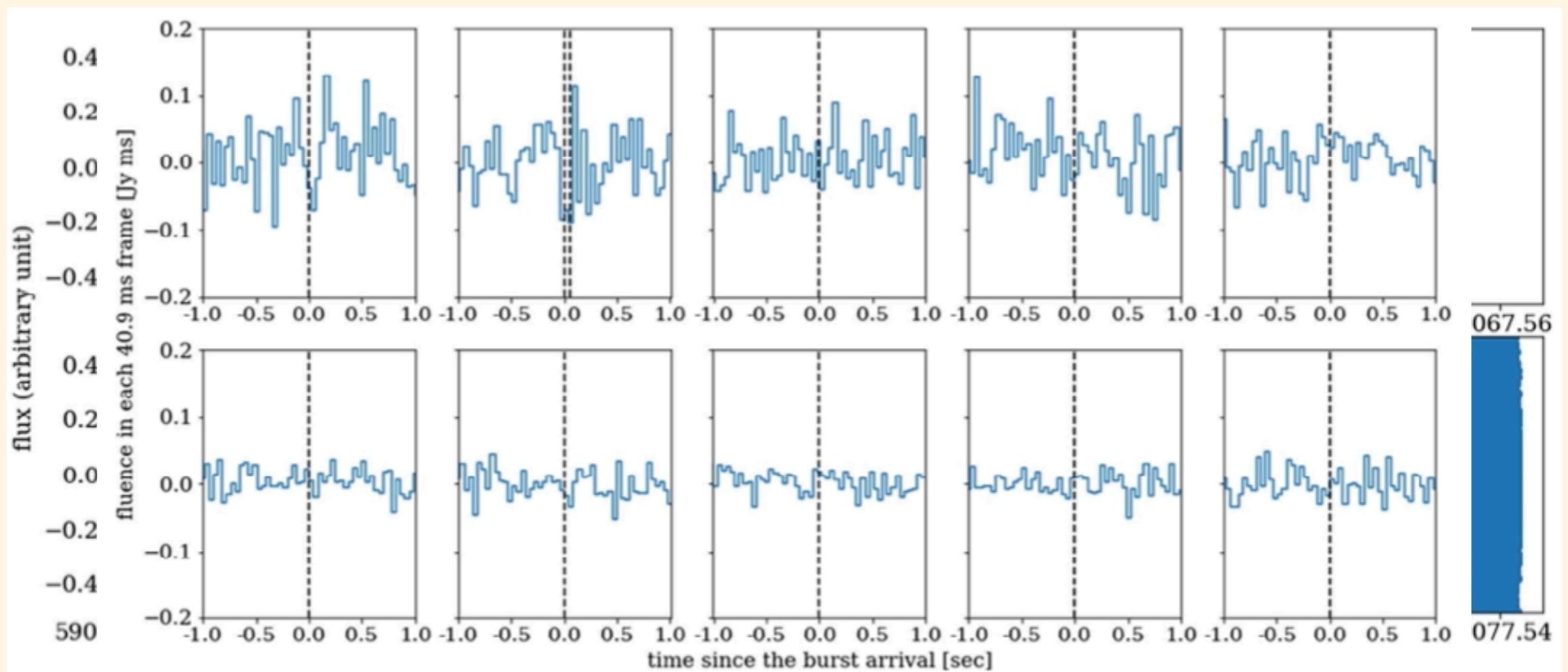
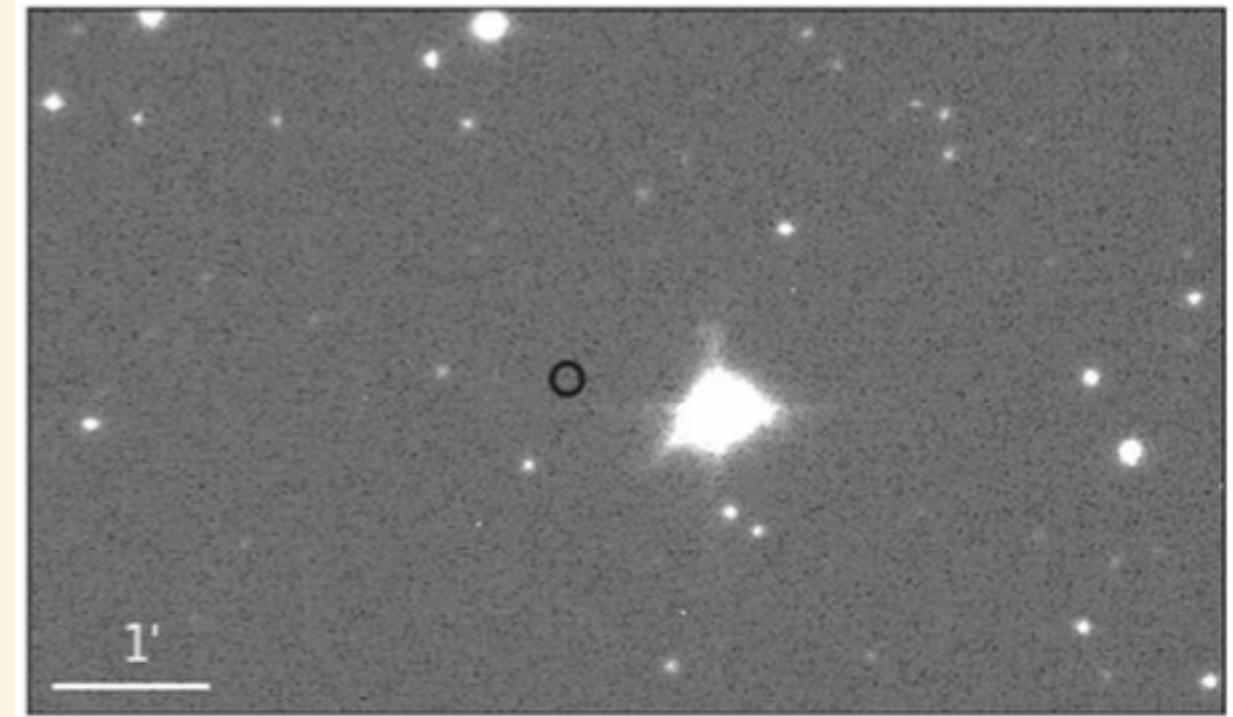
# FRB 20190520B

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



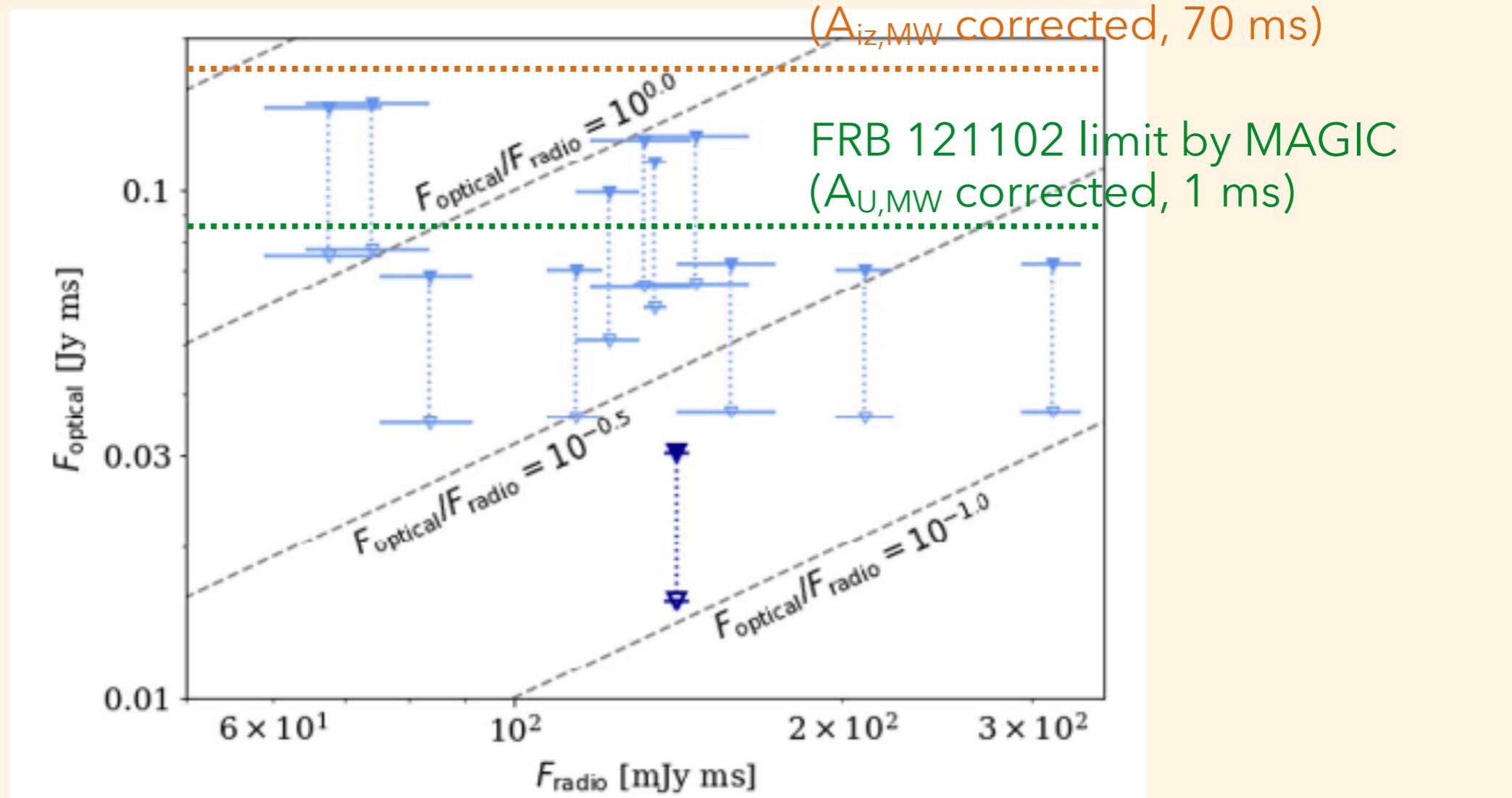
# Search for an optical emission

- FASTによって11の電波バーストを検出
  - fluence  $\sim 60\text{-}300 \text{ mJy ms}$
  - forced photometry で可視光バーストは見られない



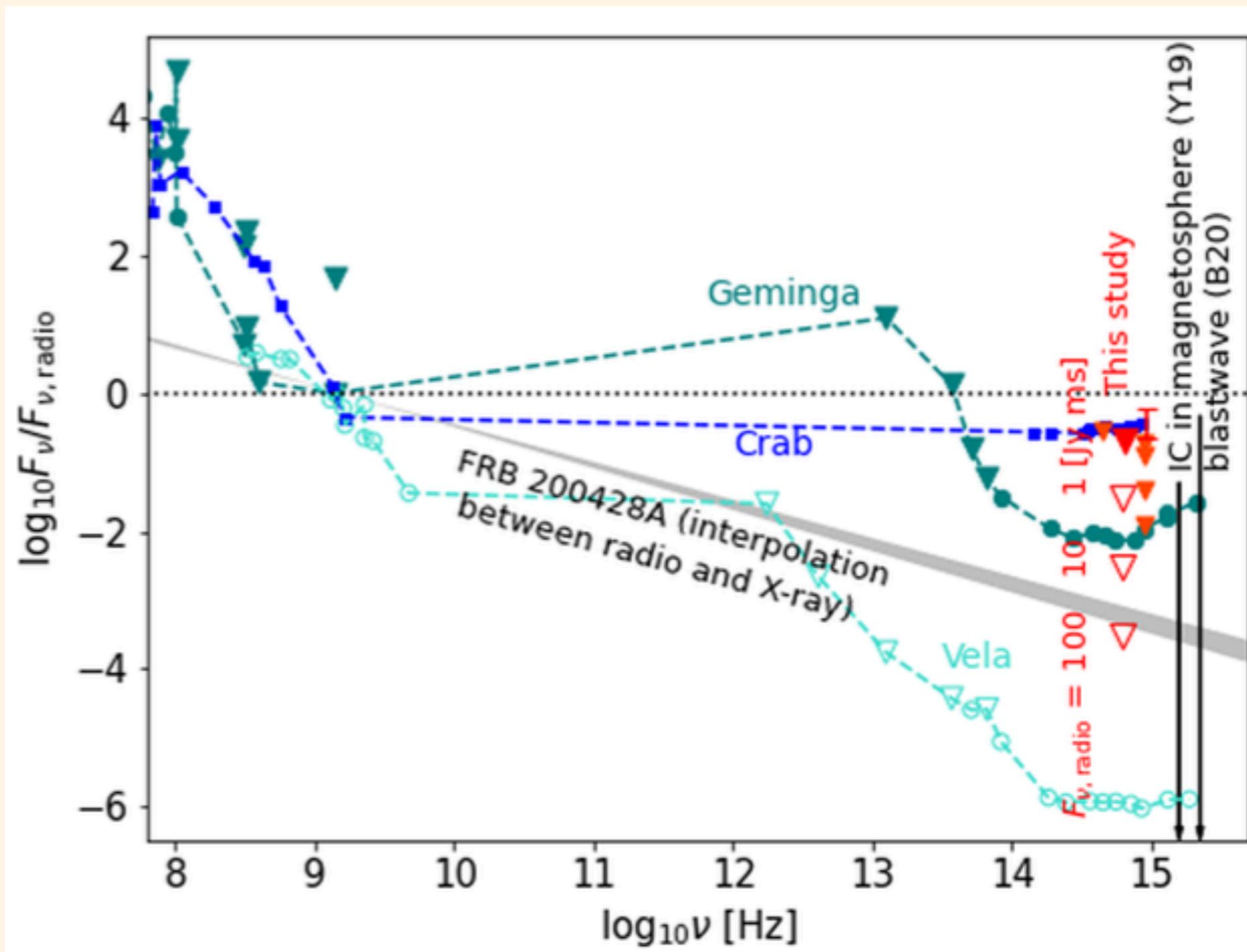
# Optical fluence limits

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



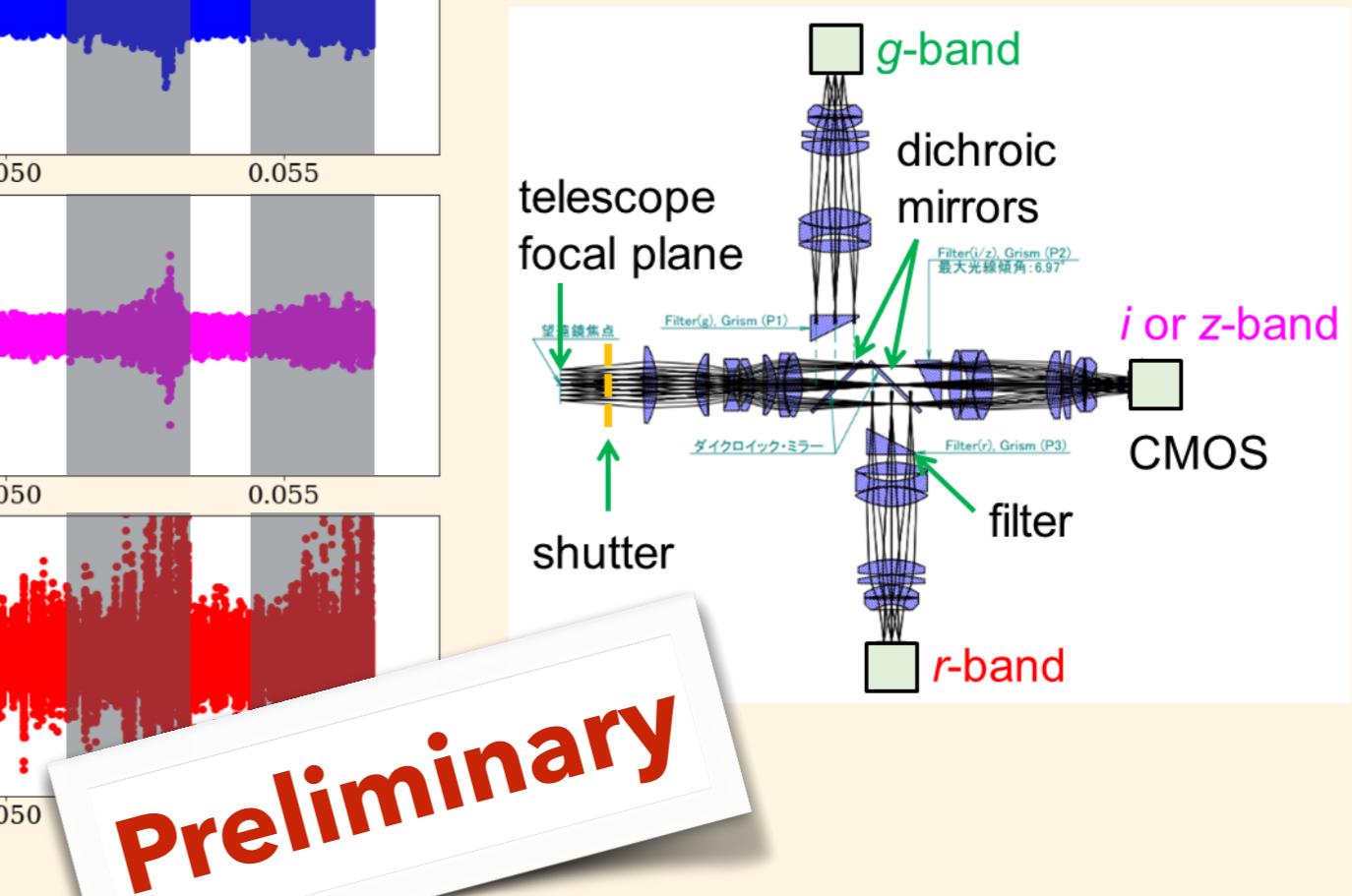
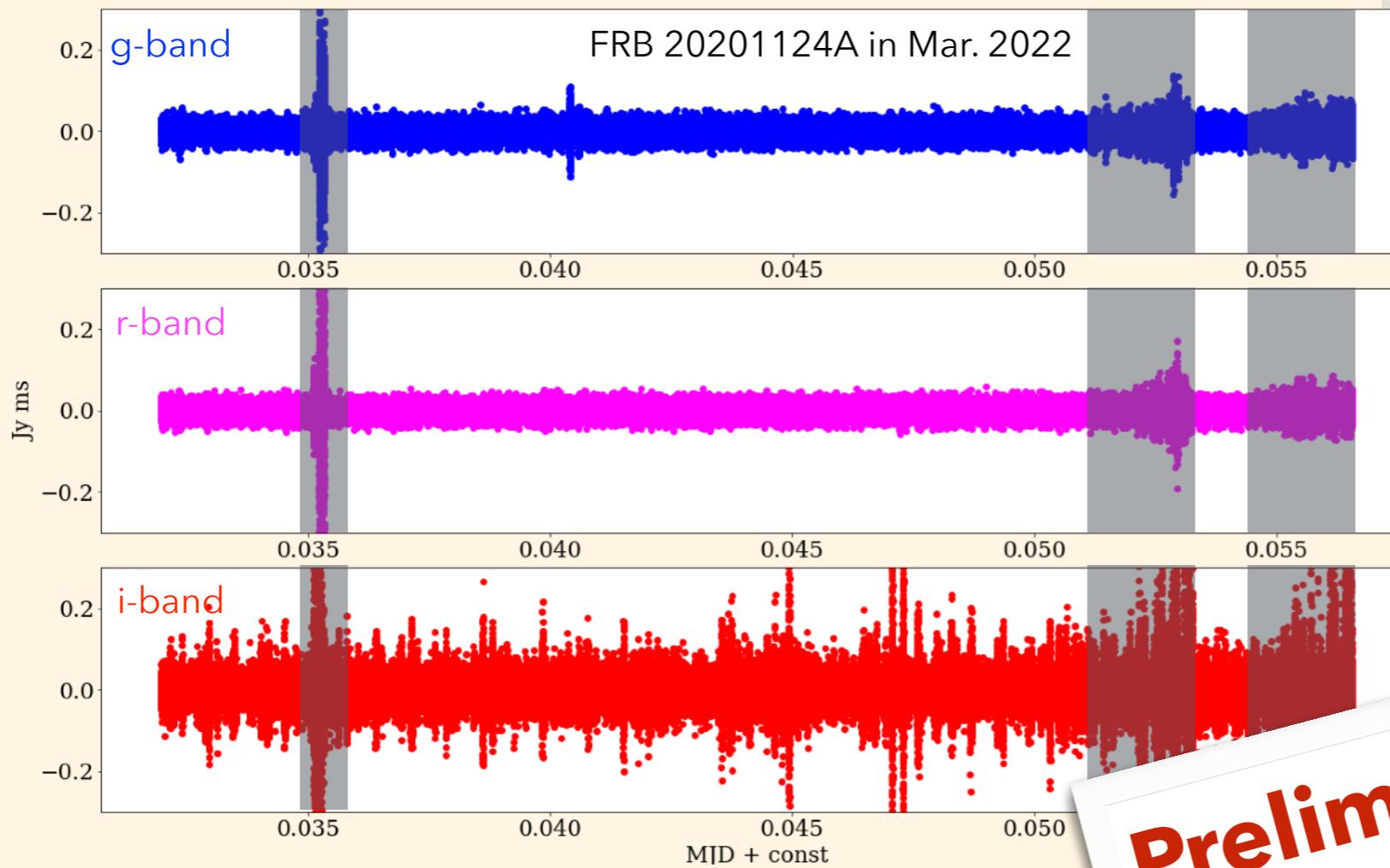
# 電波-可視SEDへの制限

- 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



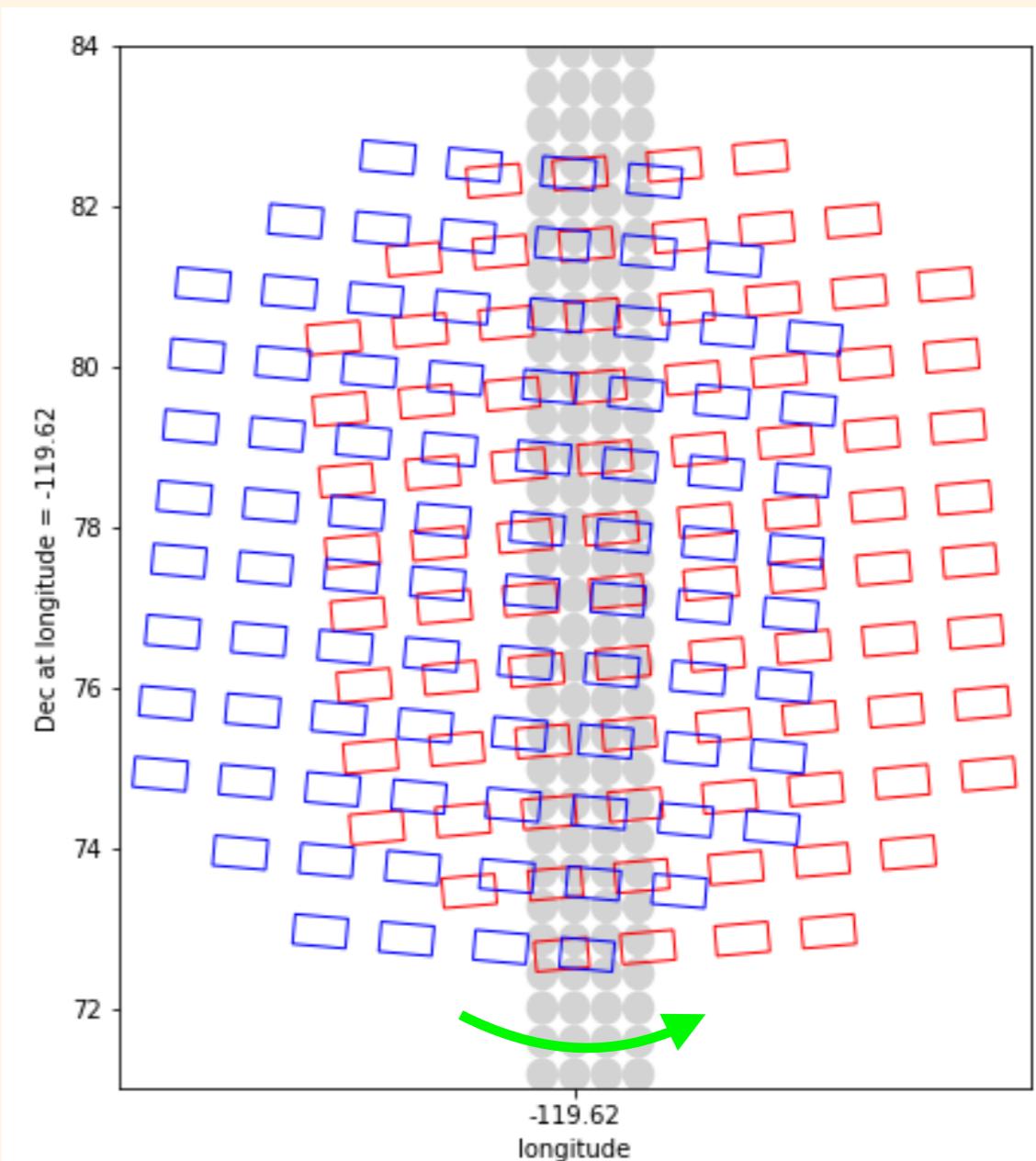
# High-Speed Observations With Seimei/TriCCS

- TriCCS
  - 98 fps images in 3 bands at once
    - spectroscopic mode is in commissioning phase
  - $5\sigma$  fluence limit  $\sim 0.025 \text{ Jy ms}$  with  $\sim 10 \text{ ms}$  exposure 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  $+\/- 2.5 \text{ deg}$  (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  $\sim 1$  per 240 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。
- さらなる観測をTomo-e Gozen & TriCCSで実施中