

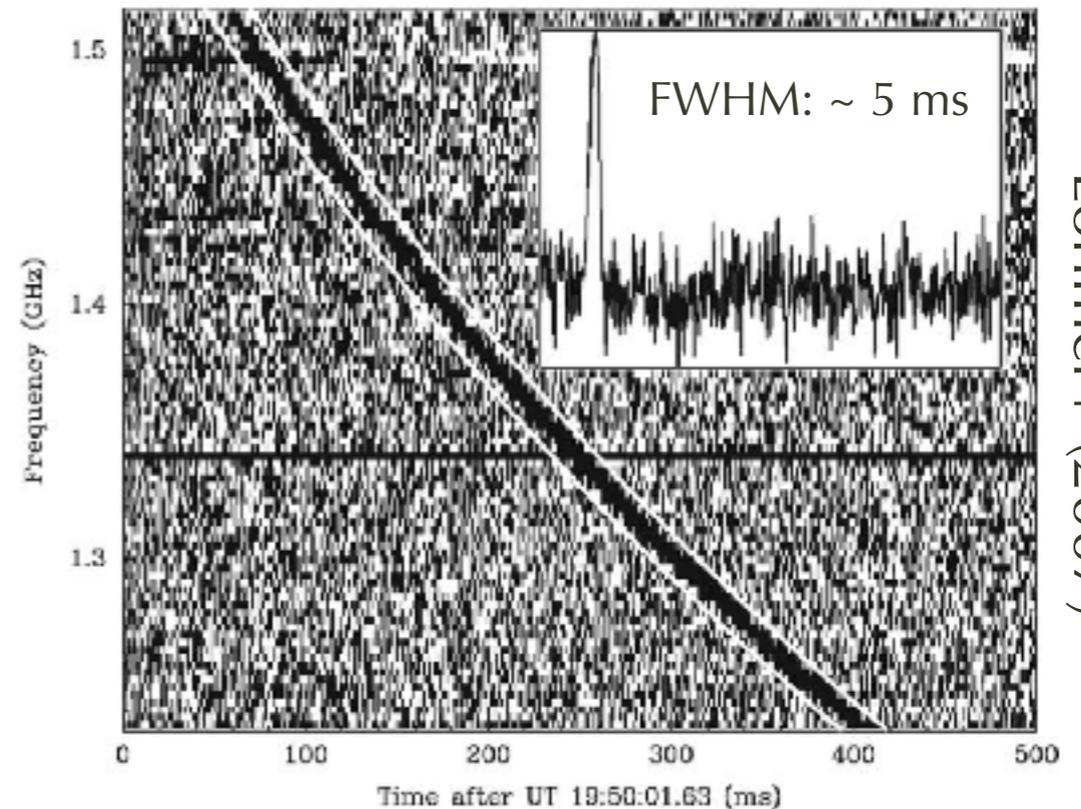
高速電波バースト 対応天体探査

新納 悠 (国立天文台)

2017年2月22日 京都大学

高速電波バーストとは？

- ❖ Fast Radio Burst (FRB)
- ❖ 数ミリ秒の継続時間をもつ電波突発天体
- ❖ 初発見はLorimer+(2007)のFRB 010824
- ❖ 観測データは2001年のもの (Parkes radio telescope)



Lorimer+ (2007)



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

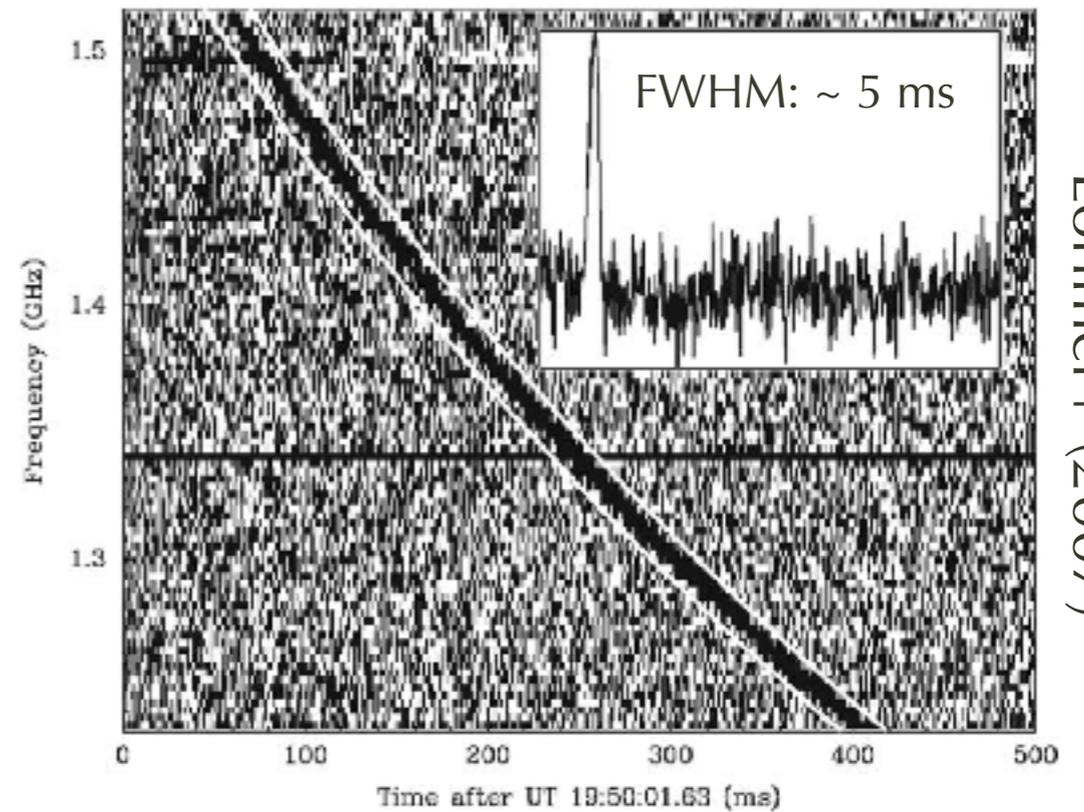
高速電波バーストとは？

- ❖ これまでに18 FRBを発見 (published)
- ❖ 16/18のFRBがオーストラリアのParkes radio telescopeによって発見
- ❖ あと2つはAreciboとGreen Bank Telescope

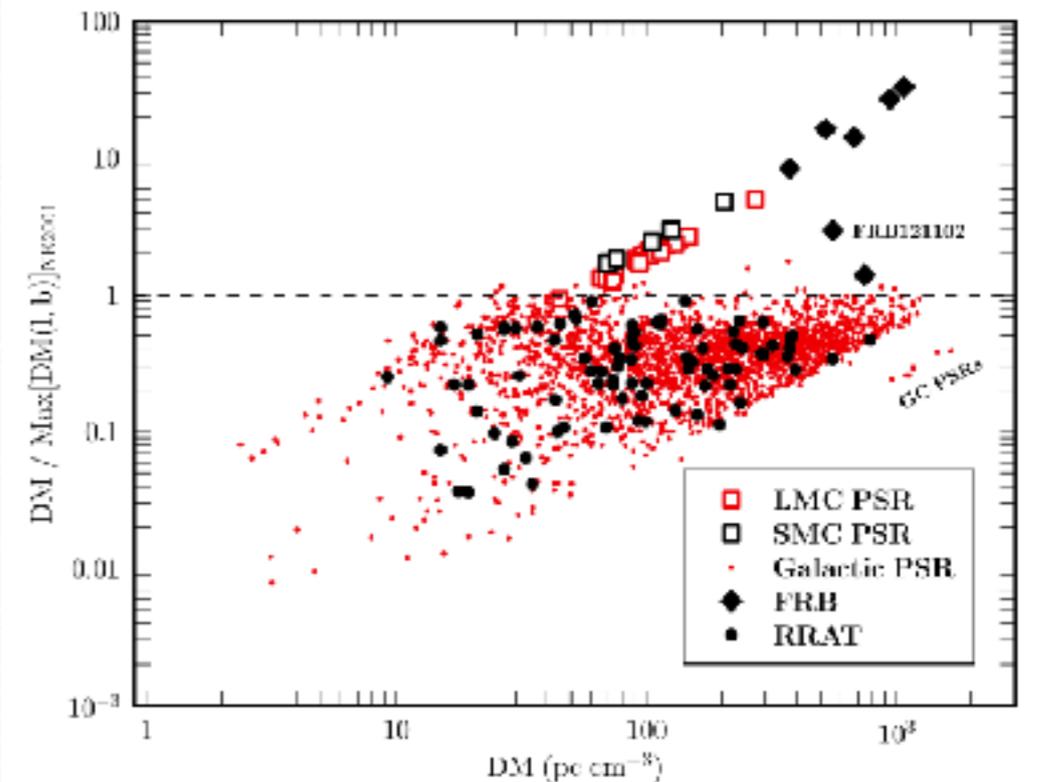


FRBの観測的諸性質

- ❖ Dispersion Measures (DM)
 - ❖ 視線上の自由電子柱密度
[cm^{-3}pc]
 - ❖ 波長に依存した到来時間遅延 $\propto \nu^{-2}\text{DM}$
- ❖ FRB DM : $10^{2-3} \text{ cm}^{-3}\text{pc}$
 - ❖ MW ISMモデルを超過
- ❖ 超過がIGM由来と仮定すると赤方偏移 $\sim 0.1-1$



Lorimer+ (2007)



Spitler+ (2014)

FRBの観測的諸性質

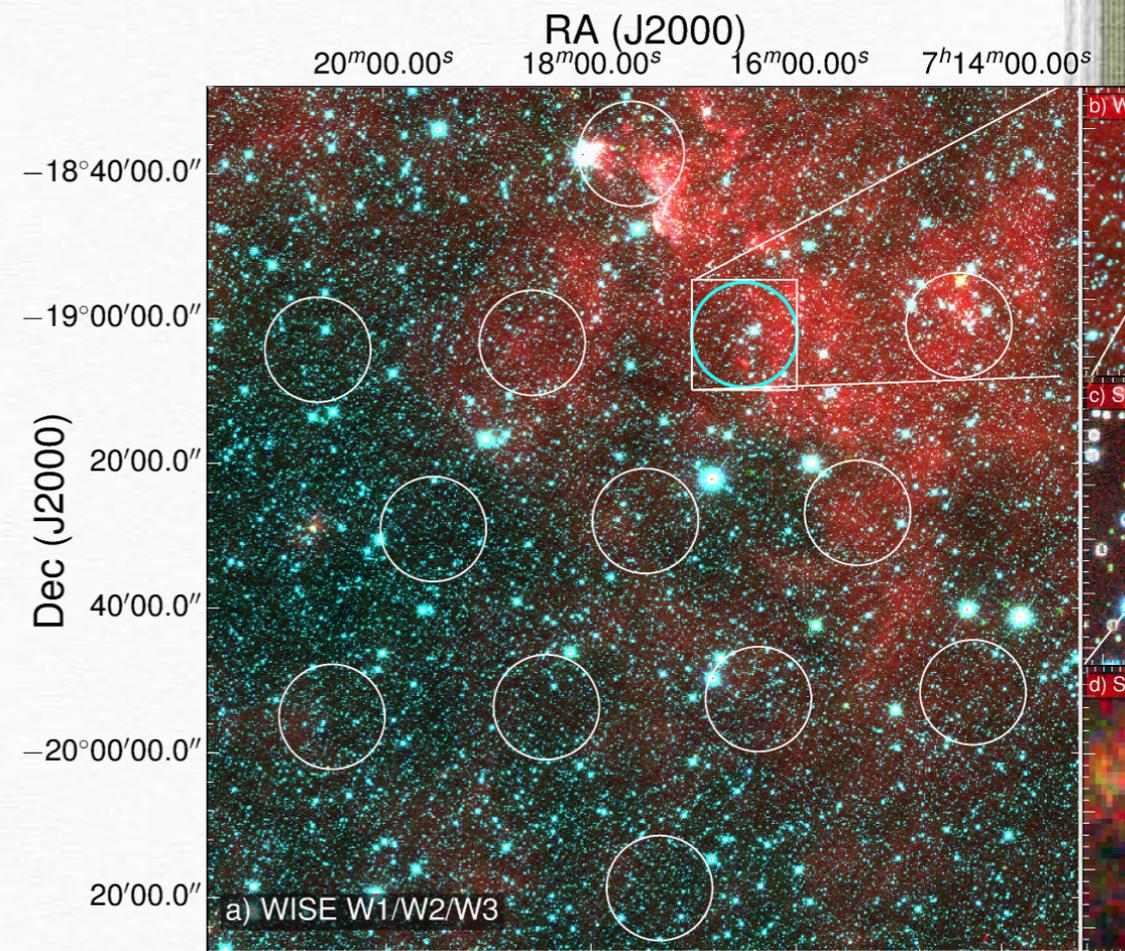
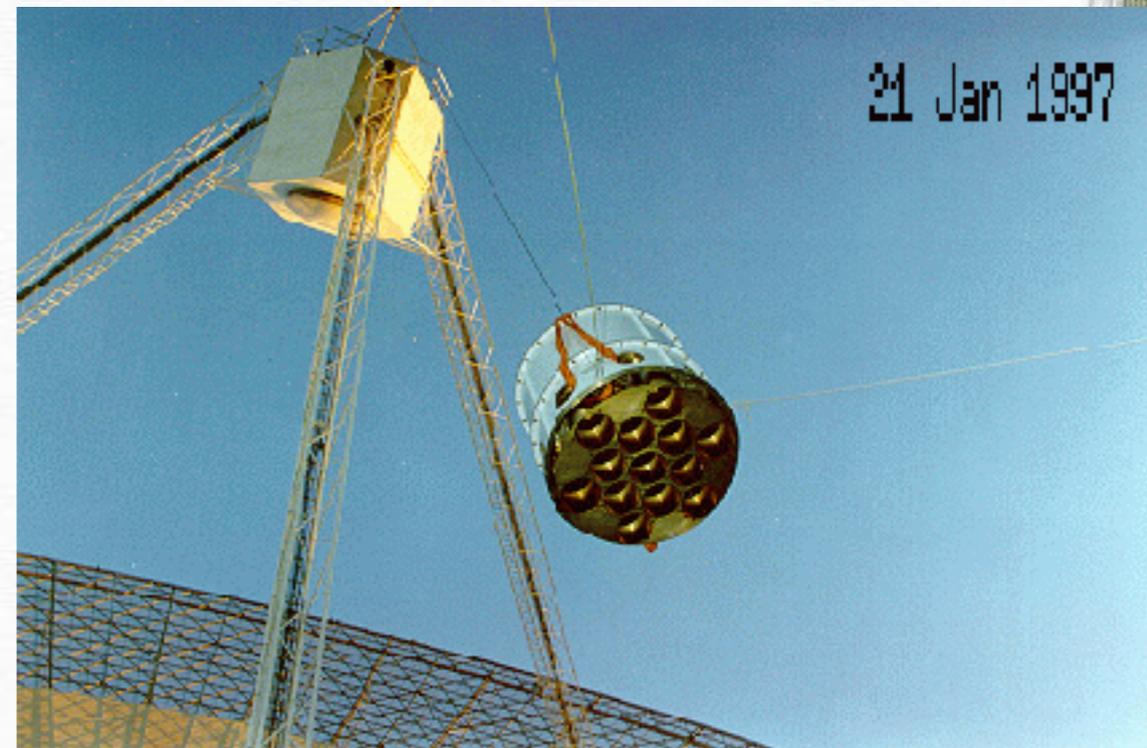
- ❖ 発生頻度 : $a \text{ few} \times 1000 \text{ sky}^{-1} \text{ day}^{-1}$
 - ❖ 高銀緯で低銀緯より数倍程度多い？
- ❖ Fluence : order of $\sim \text{Jy ms}$
- ❖ If cosmological...
 - ❖ rate density at $z < 1$:
 - ❖ $\sim 10^4 \text{ yr}^{-1} \text{ Gpc}^{-3}$
 - ❖ エネルギー : $\sim 10^{38-40} \text{ erg}$

FRBの起源モデル

- ❖ Collapse of rotating super-massive neutron stars to black holes (e.g., Falcke & Rezzolla 2014)
- ❖ NS-NS連星合体 (e.g., Totani 2013)
- ❖ WD-WD連星合体 (e.g., Kashiyama+ 2013)
- ❖ パルサーのsuper giant pulse (e.g., Cordes & Wasserman 2015; Connor+ 2015)
- ❖ マグネターのgiant flare (e.g., Popov+ 2007, 2013)
- ❖ “Cosmic comb”: パルサー + blast wave (Zhang+ 2017)
- ❖ etc...

FRB位置・距離

- ❖ 電波望遠鏡のビームサイズ：
 - ❖ 約 10 arcmin
 - ❖ 母銀河の決定は困難
- ❖ DMによる距離はあくまで推定
 - ❖ 距離測定には対応天体・母銀河が必要
- ❖ 他波長での対応天体の発見が望まれる
- ❖ 2014年以降real time alert実現



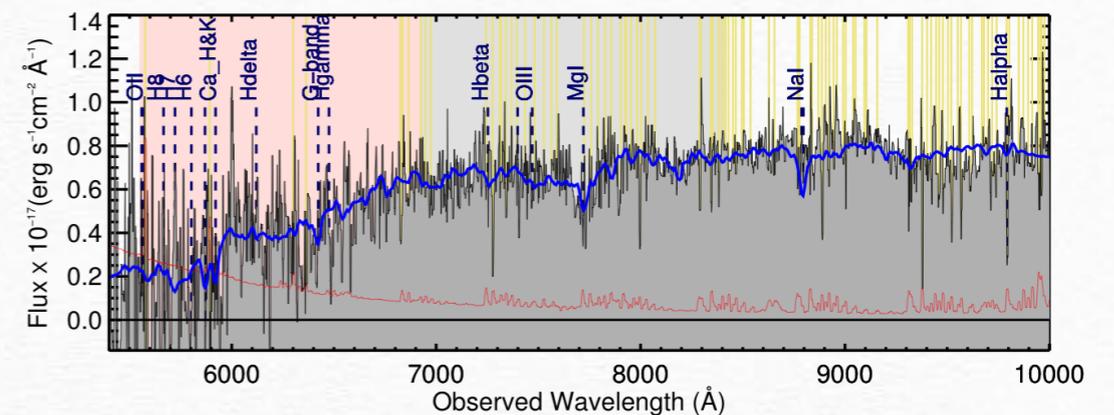
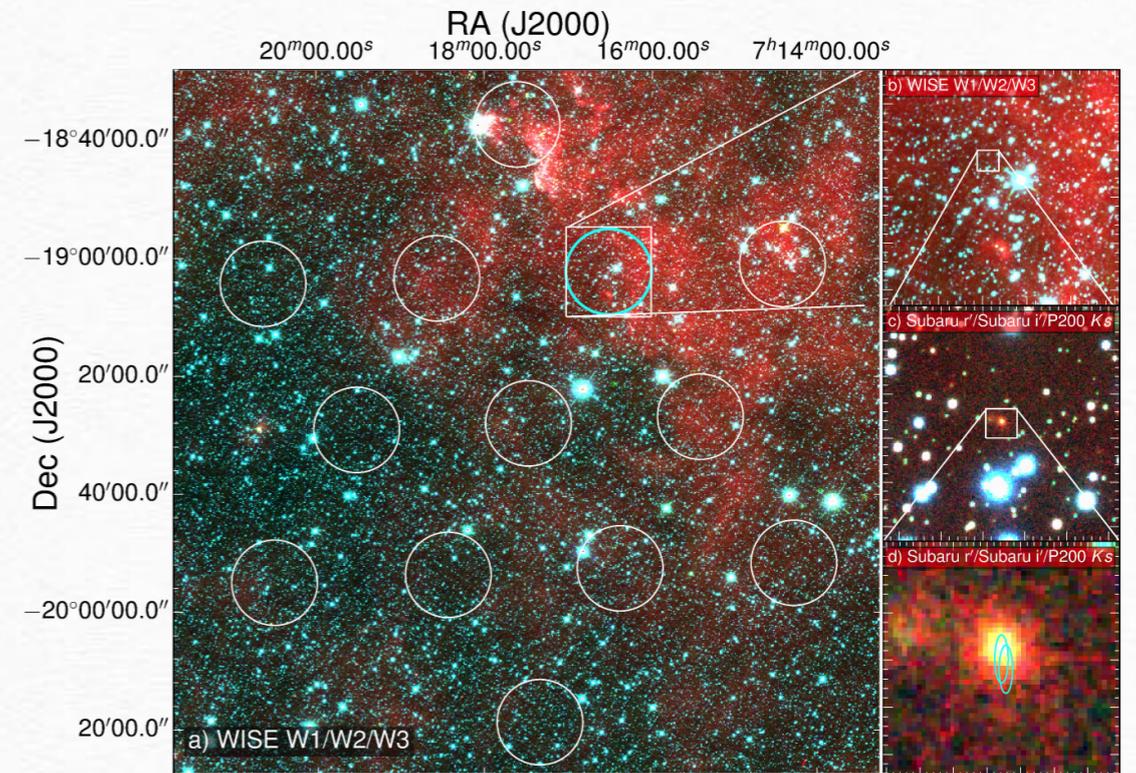
Keane et al. (2016)

観測例1

FRB 150418

FRB 150418

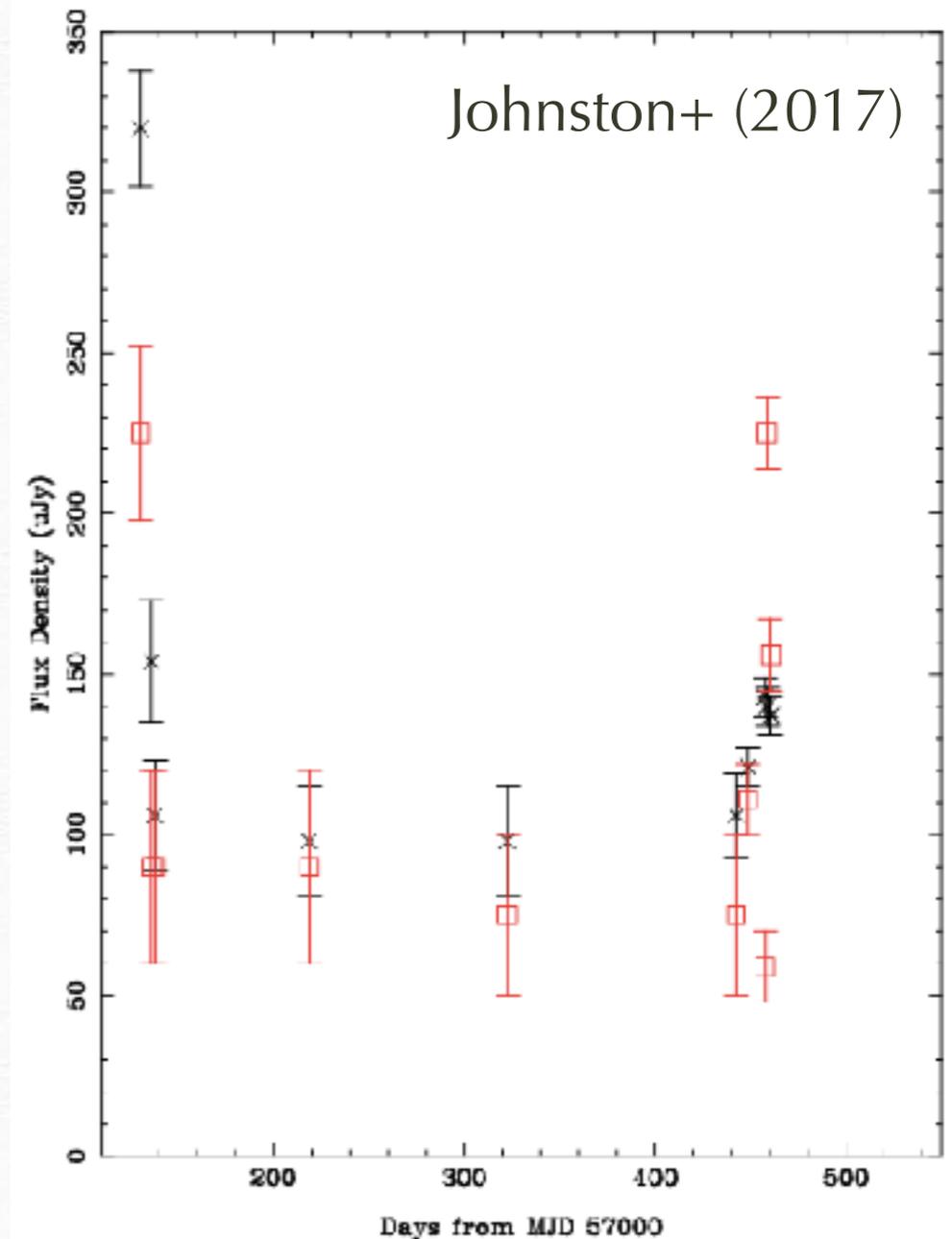
- ❖ Parkes で検出 & alert
 - ❖ 2件目のFRB real-time alert
- ❖ すばるやATCAが対応天体探査
 - ❖ ATCA (5.5, 7.7 GHz) で特異な変動天体を発見
 - ❖ ~ arcsecの位置精度
 - ❖ すばる (S-Cam) は変動なし
 - ❖ 全景減光大
- ❖ ATCA変動天体の母銀河をすばる (FOCAS) で分光
 - ❖ elliptical galaxy @ $z = 0.49$
 - ❖ DMからの推定赤方偏移と一致



Keane et al. (2016)

FRB 150418

- ❖ ATCA変動天体はAGNからの電波の星間scintillationとしても説明できる
(Williams & Berger 2016; Akiyama & Jhonson 2016)
- ❖ ATCA変動天体が本当にFRB 150418と関連しているのか証拠が不十分

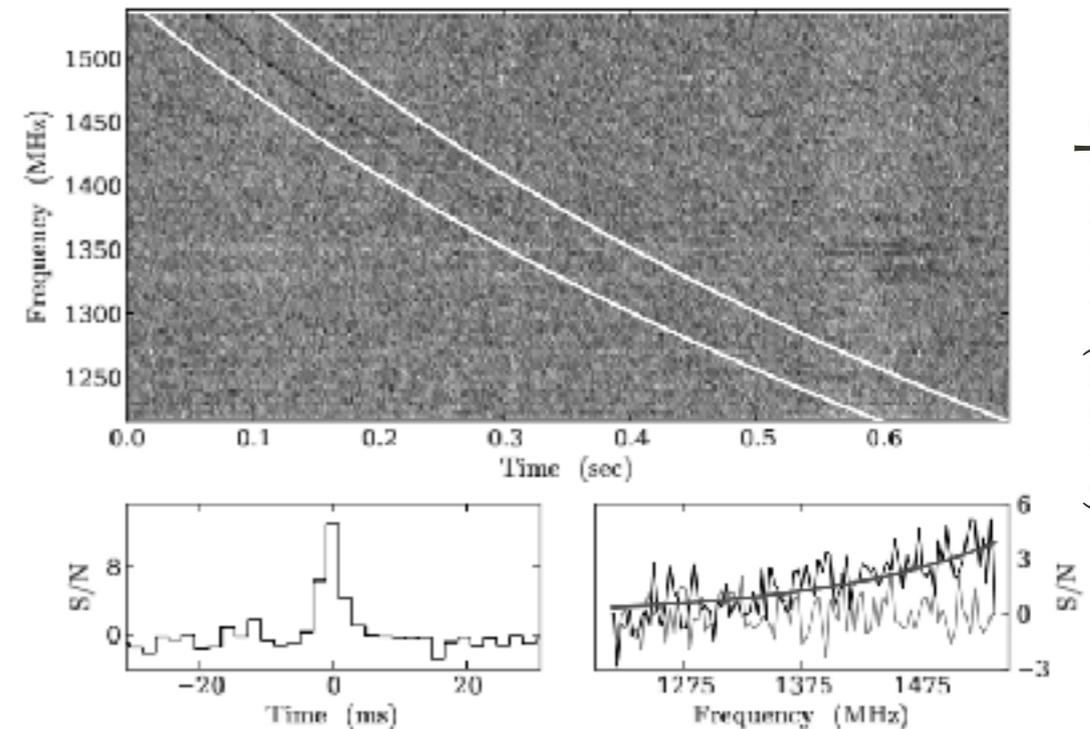


観測例2

FRB 121102

FRB 121102

- ❖ 2014年にAreciboのデータから発見 (Spitler+ 2014, Parkes以外で初)
- ❖ Galactic anti-center方向
- ❖ $DM = 557.4 \text{ cm}^{-3}\text{pc}$
 - ❖ MWモデルの約3倍
 - ❖ 赤方偏移 0.26?

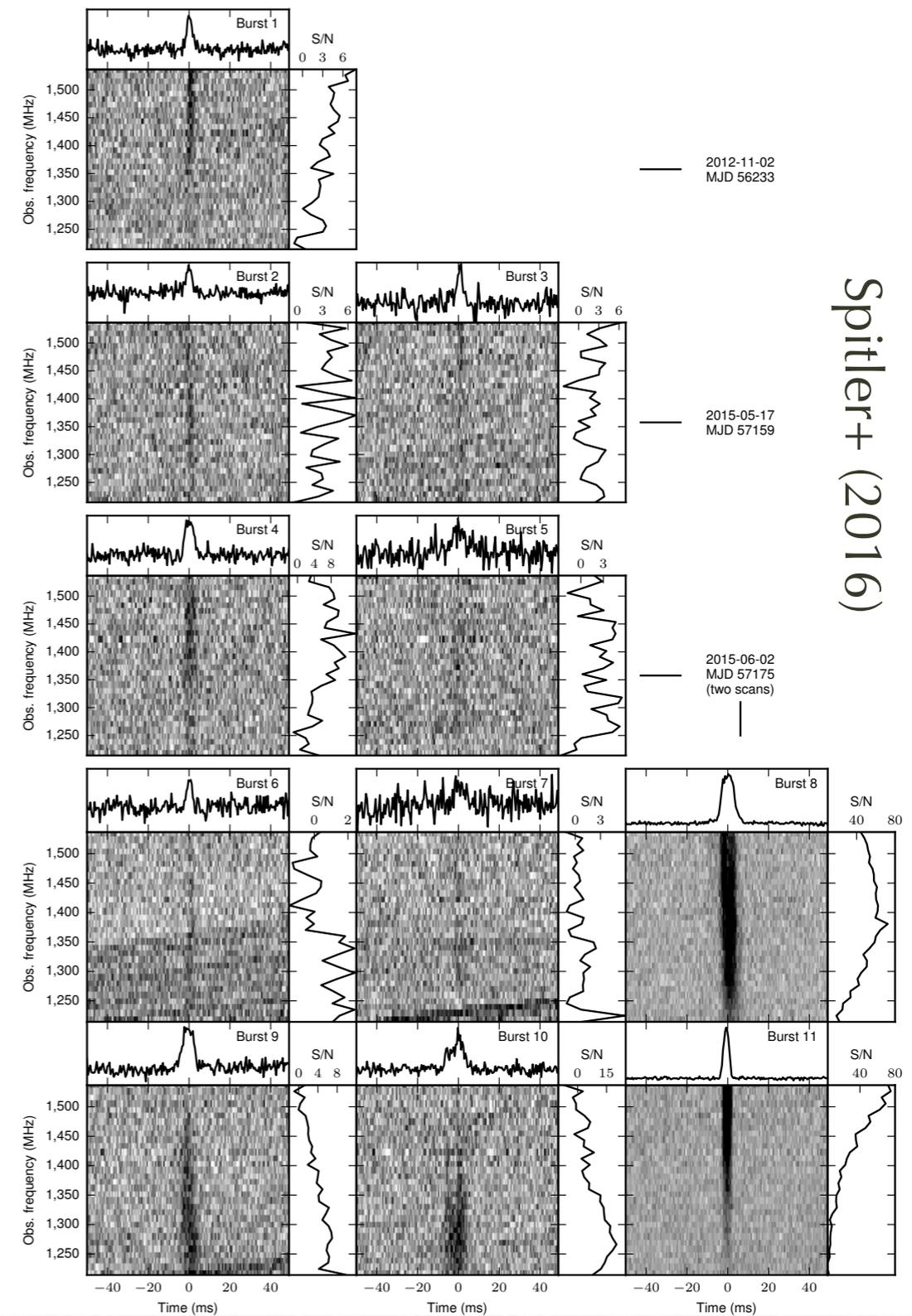


Spitler+ (2014)



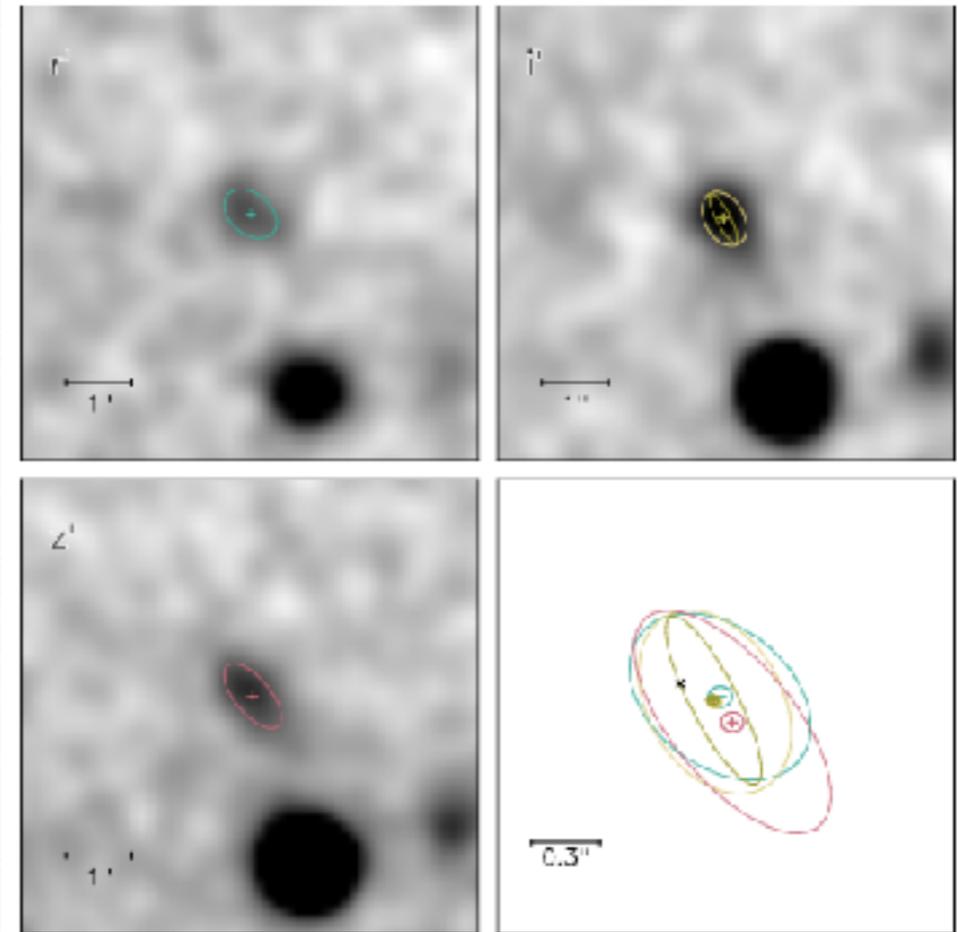
FRB 121102

- ❖ 繰り返すFRB
 - ❖ 約3時間の追加観測で
同じ方向・DMのバーストをさらに10回検出
(Spitler+ 2016)
 - ❖ 周期性は見られない
- ❖ 他のFRBについては繰り返しは見られない
 - ❖ 別種族の現象？

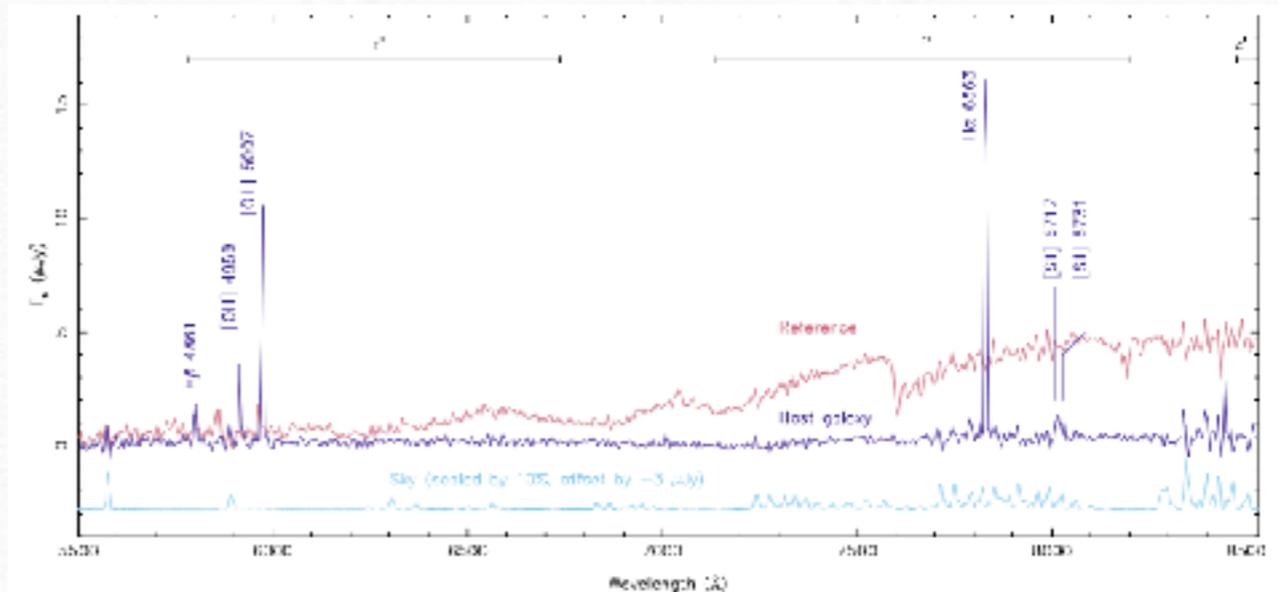


FRB 121102

- ❖ 繰り返しの観測により位置決定
 - ❖ 干渉計 (VLA) で ~ 0.1 arcsec
- ❖ 母銀河の同定 (Chatterjee+ 2017)
 - ❖ dwarf galaxy @ $z=0.19$
 - ❖ long GRBやSLSNの母銀河に類似
 - ❖ persistent radio source有り
 - ❖ FRBの起源か?
 - ❖ low-luminosity AGN? young SNR?



Tendulkar+ (2017)



現状のまとめ

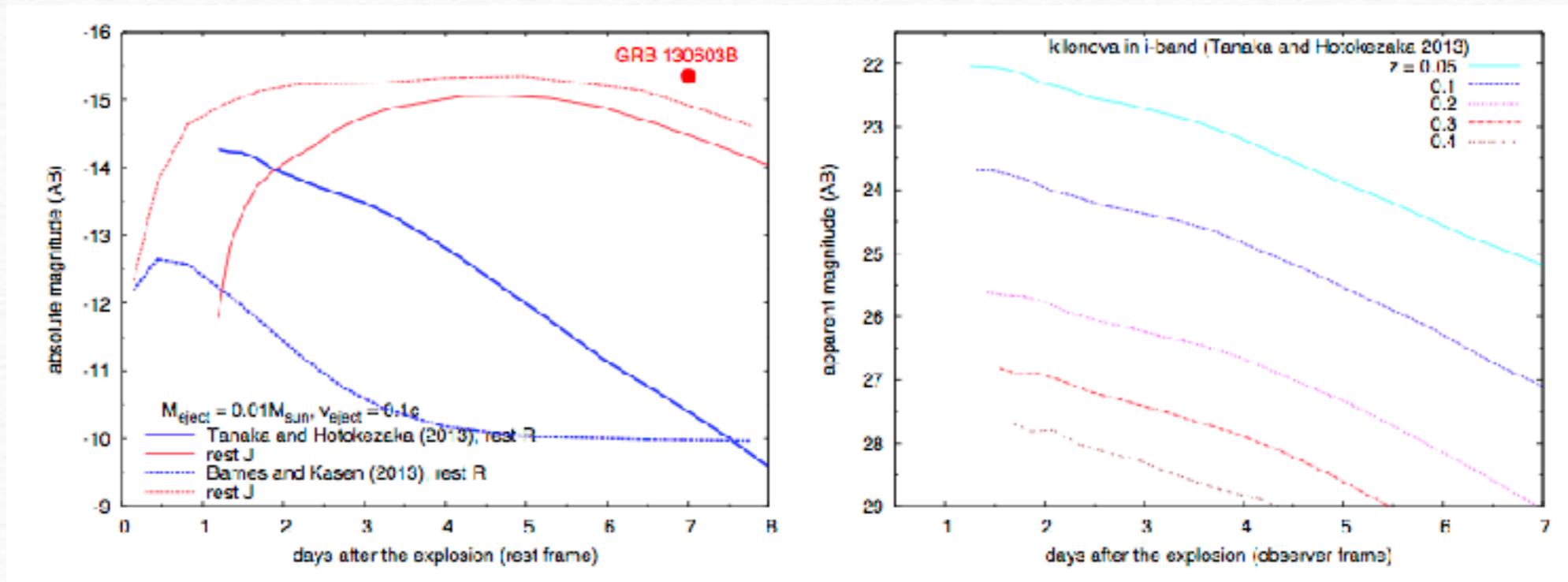
- ❖ FRBの起源はいまだ謎
 - ❖ FRBそのもののarcsecスケール以下の位置決定はrepeating burst の1つのみ
 - ❖ repeating burstと他のFRBの関係は不明
 - ❖ 対応天体は不確かな候補が見つかったいるのみではっきりしない
- ❖ 対応天体を見つけてFRBの起源に迫りたい

可視光対応天体探査

FRBの起源モデル

- ❖ Collapse of rotating super-massive neutron stars to black holes (e.g., Falcke & Rezzolla 2014)
- ❖ NS-NS連星合体 (e.g., Totani 2013) 可視光対応天体
- ❖ WD-WD連星合体 (e.g., Kashiyama+ 2013)
- ❖ パルサーのsuper giant pulse (e.g., Cordes & Wasserman 2015; Connor+ 2015)
- ❖ マグネターのgiant flare (e.g., Popov+ 2007, 2013)
- ❖ “Cosmic comb”: パルサー + blast wave (Zhang+ 2017)
- ❖ etc... 可視光対応天体？

対応天体候補 1 : kilonovae



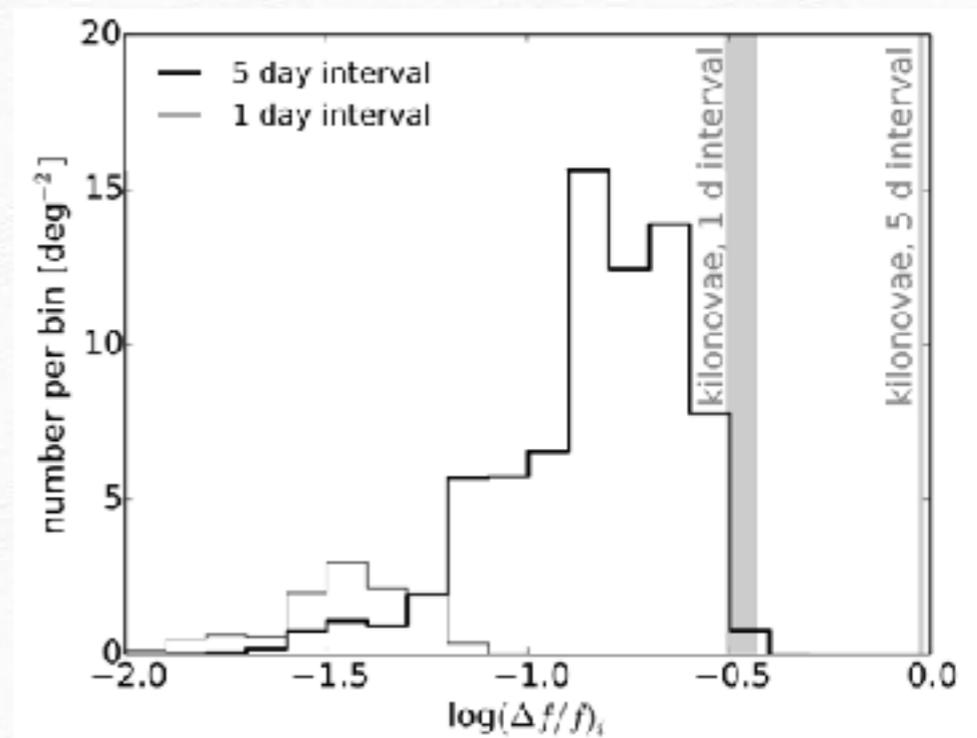
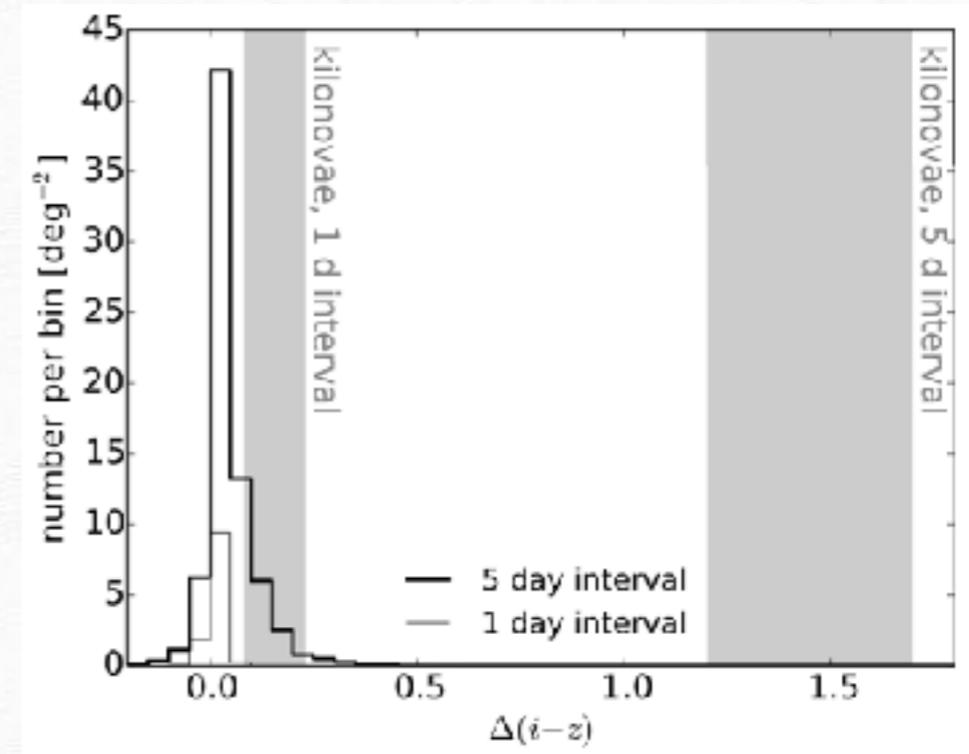
- ❖ NS-NS連星合体に伴う可視・近赤外突発天体 (Li & Paczynski 1998)
 - ❖ ejecta内の r -process元素合成で生成される放射性元素のエネルギー
 - ❖ short GRB 130603B に付随した候補天体発見 (e.g. Tanvir+ 2013).
- ❖ r -process元素の高いopacityのため可視光で暗く赤い (Barnes & Kasen 2013; Tanaka & Hotokezaka 2013)
 - ❖ モデルによっては8m級で $z \sim 0.3$ 程度まで観測 (~ 27 ABmag)

超新星の混入

- ❖ ≥ 10 arcmin のエラーサークルをカバーしつつ暗い kilonova を検出できるすばるでの観測が重要
- ❖ 深く広い対応天体探査では無関係なSNの混入が予想される
- ❖ 混入SNのモックカタログ (Niino, Totani & Okumura 2014)
 - ❖ Ia型および重力崩壊型 (Ibc, IIP, IIL, IIn) のSNを考える：
 - ❖ luminosity functions (Barbary+ 2012; Dahlen+ 2012)
 - ❖ spectral templates (Hsiao+ 2007; Nugent+ 2002)
 - ❖ cosmic SN rate history
 - ❖ Ia : Okumura+ (2014)
 - ❖ core-collapse: \propto cosmic SFR history with normalization to low-z SN rate of each type (Dahlen+ 2012).

SN Contamination

- ❖ 5日間隔、 $i < 27.5$ ABmag
の変動天体探査
 - ❖ 混入SN数： 73.5 deg^{-2}
 - ❖ 3.3 / Parkes beam
- ❖ 色変化や減光のはやさで
kilonovaとSNは区別可能
 - ❖ epoch 1で $< m_{\text{limit}} - 0.5$ な
らepoch 2で検出できな
くてもよい

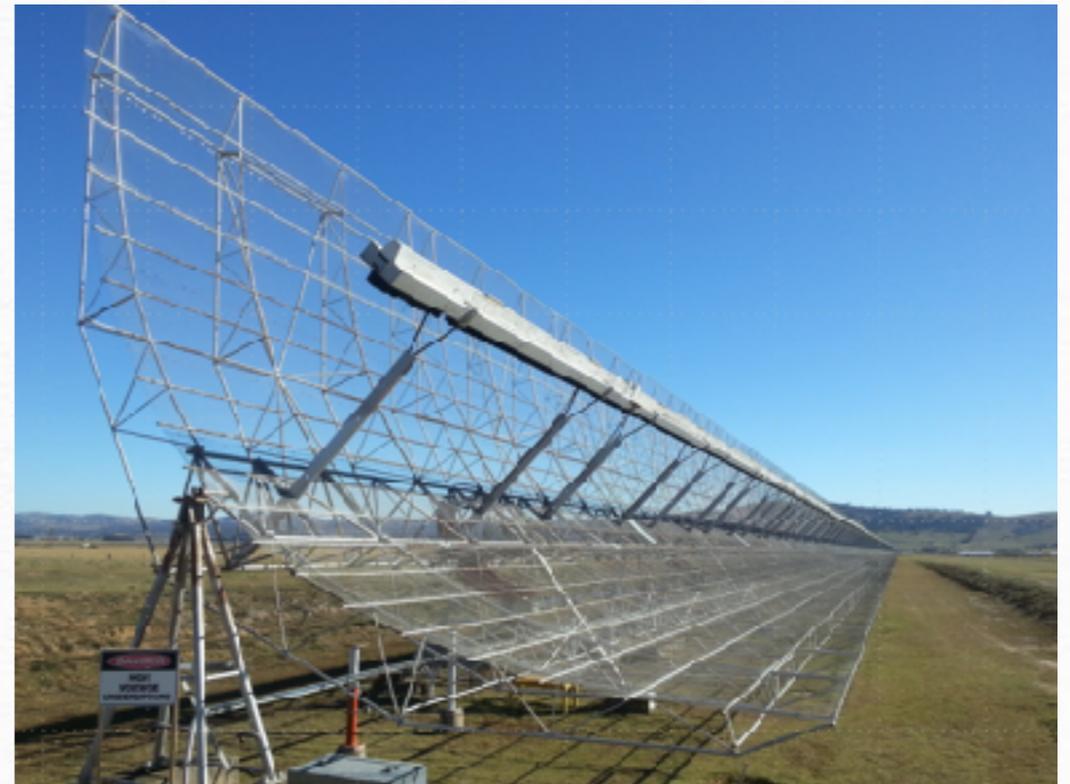


対応天体候補 2 : SN Ia

- ❖ WD-WD連星合体によるFRBにはSN Iaが付随するかもしれない
- ❖ kilonovaより明るく検出は容易、光度曲線もよくわかっているなので1日程度の精度で発生日の特定が可能。
 - ❖ Tomo-e の場合は数時間積分で ~ 24 mag (?)
 - ❖ $z \lesssim 0.6$ のFRBについて探査可能
 - ❖ Niino+ (2014) モックカタログではFRBと同日に発生したSN Ia ($i < 24$ mag) が偶然エラーサークル内に混入する可能性は1%以下
 - ❖ 同日発生 of SN Ia 発見なら高い信頼度で対応天体

U-ToMOe-ST?

- ❖ Tomo-eの視野はParkesのエラーサークルを追観測するにはoverspec気味
- ❖ FRB search by UTMOST (upgraded MOST)
 - ❖ talk by M. Caleb & C. Flynn (先週のFRB会議 in Aspen)
 - ❖ FOV $\sim 8 \text{ deg}^2$ (Parkesの14倍)
 - ❖ 3 FRBs in 0.5 yr (unpublished)
 - ❖ localization : $15'' \times 6^\circ$



まとめ

- ❖ FRB研究は始まったばかりでその正体は全くの謎
 - ❖ 他波長での対応天体発見が非常に重要
- ❖ NS-NS連星やWD-WD連星の合体など、可視光対応天体の存在が期待される起源モデルもある。
 - ❖ 対応天体がkilonovaならすばるによる観測が非常に重要
 - ❖ SN Iaが対応天体の場合中小口径望遠鏡が活躍
 - ❖ UTMOSTなど一部の電波望遠鏡は非常に細長いエラーサークルをもち、Tomo-eのような超広視野が有利。