

Subaru/Kyoto3D II + AO188 による

高速電波バーストFRB 121102母銀河の可視光面分光観測

Kokubo et al. 2017, ApJ in press, arXiv: 1705.04693

小久保 充 (東北大学)

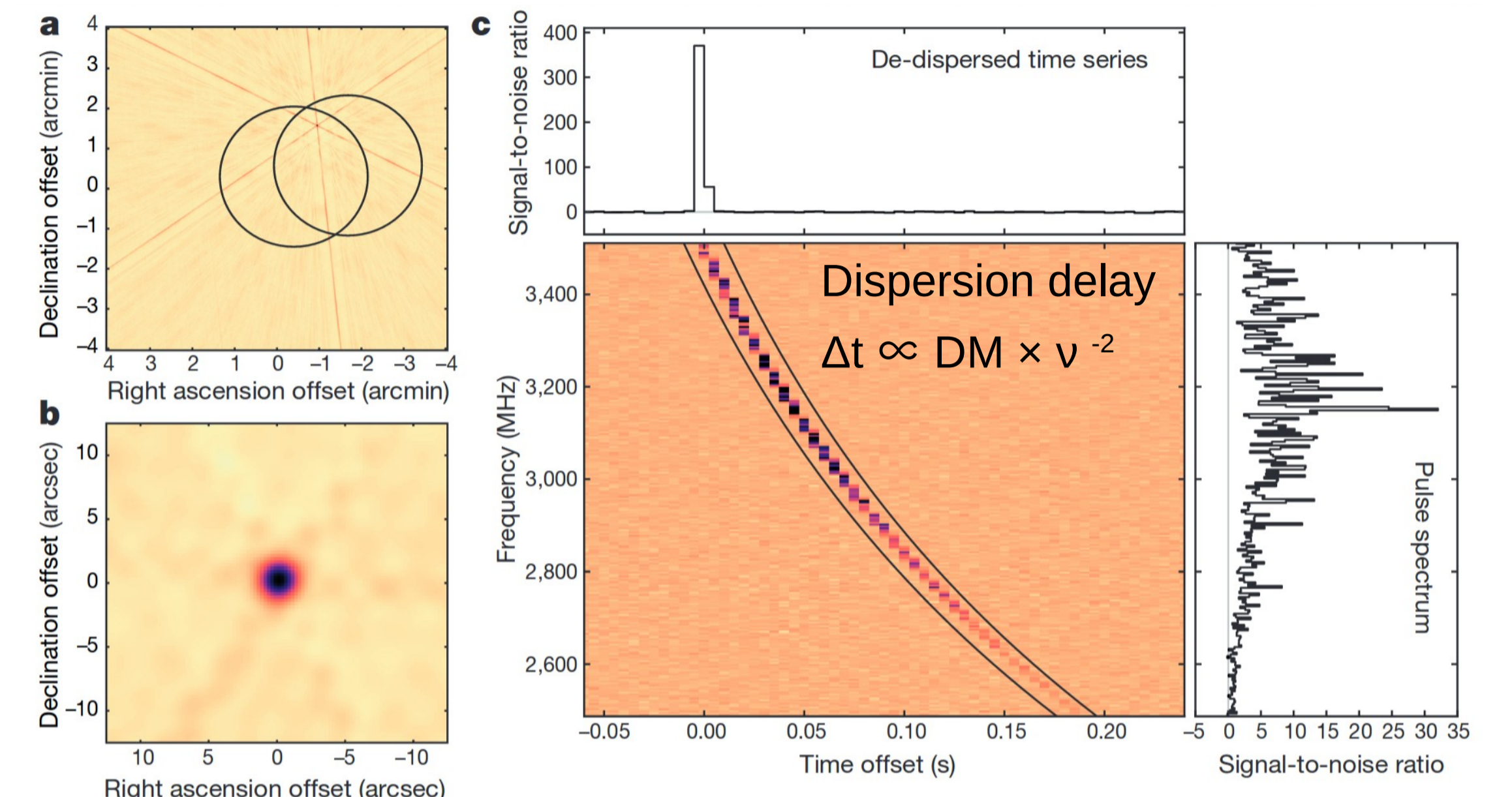
満田和真、菅井肇 (東京大学)、尾崎忍夫、美濃和陽典、服部堯、早野裕、松林和也 (国立天文台)、下農淳司、酒向重行、土居守 (東京大学)

概要

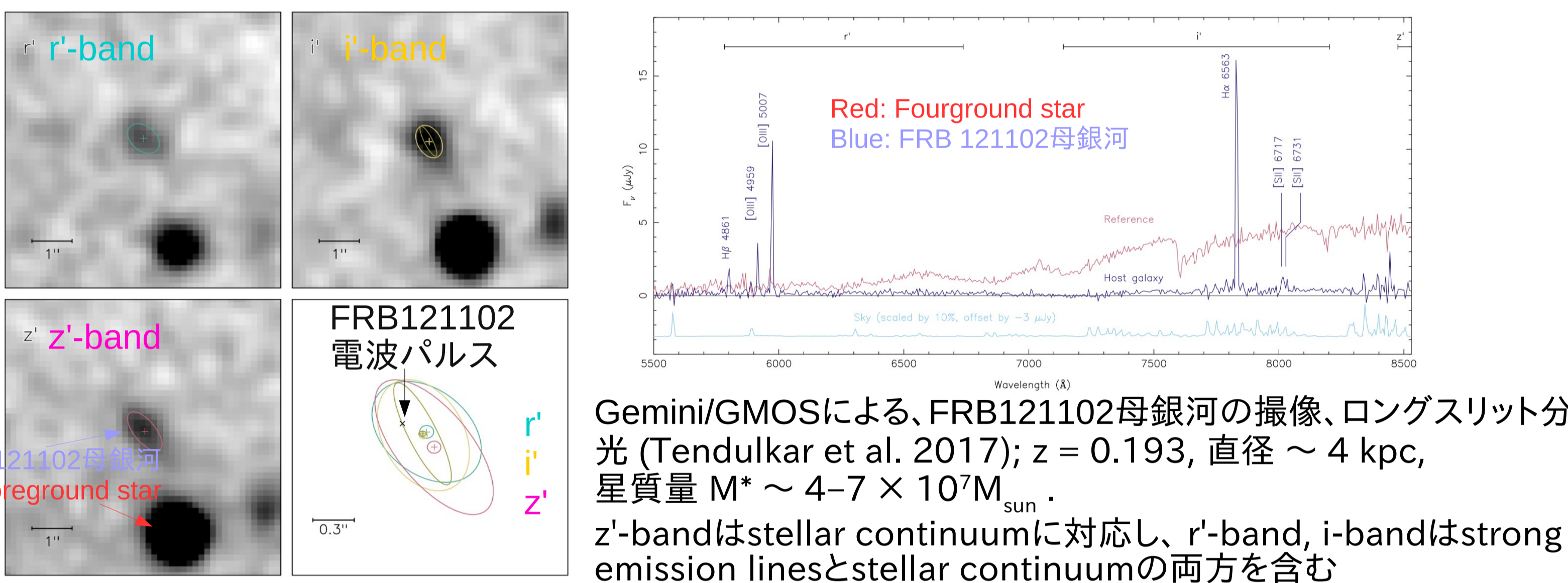
高速電波バーストFRB 121102は、可視光観測による母銀河の赤方偏移($z=0.193$)の測定が初めて可能となったFRBである。我々は、FRB121102の母銀河に対して、Subaru/Kyoto3DII+AO188による可視光AO面分光観測 ($0.73-0.92 \mu\text{m}$) を実施した。その結果、母銀河の星の分布に比べてコンパクトな、単一の $\text{H}\alpha$ 放射領域(< 0.57 秒角 at FWHM)が検出された。この $\text{H}\alpha$ 放射領域の中心位置とFRB121102の位置とのオフセットは約0.08秒角であり、FRB121102が $\text{H}\alpha$ 放射(=星形成)領域の内部で生じていることを示している。この観測結果は、FRB121102が若いパルサー/マグネター起源であるというモデルを支持している。また、観測された $\text{H}\alpha$ 領域によるdispersion measure(DM)寄与の上限値から、銀河間空間に存在するバリオン密度について $\Omega_{\text{IGM}} > 0.012$ (90% C.L.) という制限を得た。

The repeating fast radio burst FRB 121102

- 高速電波バースト = Fast Radio Burst (FRB): 近年発見された、ミリ秒電波パルス。これまでに20天体ほど報告されているが、起源は謎。
- 観測される電波パルスの分散指標 (Dispersion Measure; DM) が大きいことが特徴 → FRBが宇宙論的距離で発生していることを示唆する (銀河間物質[IGM]中の自由電子によってDM超過が生じている)。このことから、FRBはIGM中の物質密度(いわゆる“missing baryons”)を測定するプローブとしても注目されている。
- FRB 121102 は、これまでに発見されているFRBの中で唯一繰り返しパルスを生じている天体である。繰り返されるパルスの観測により、VLBI観測によるミリ秒角精度の位置決定が可能となり、可視光撮像/分光観測により、 $z = 0.193$ の母銀河(低質量、低金属量矮小銀河)が同定された (Chatterjee et al. 2017; Tendulkar et al. 2017)。



VLA電波干渉計によるFRB 121102 電波パルスの検出 (2.5–3.5GHz 帯) (Chatterjee et al. 2017). Dispersion delayから推定される分散指標(DM)は $\text{DM}_{\text{obs}} = 558 \text{ pc cm}^{-3}$.



Gemini/GMOSによる、FRB121102母銀河の撮像、ロングスリット分光 (Tendulkar et al. 2017); $z = 0.193$, 直径 $\sim 4 \text{ kpc}$, 星質量 $M^* \sim 4-7 \times 10^7 M_{\text{sun}}$. z' -bandはstellar continuumに対応し、 r' -band, i -bandはstrong emission linesとstellar continuumの両方を含む

- FRB121102の電波パルスの発生位置は、母銀河のstellar continuum(z' -band)の重心位置から約0.3秒角オフセットしている (Tendulkar et al. 2017). さらに、強い輝線放射を含む r' -band, i' -bandの光の重心位置は、 z' -band重心位置からオフセットしている。

← 母銀河はirregularな形態を持っている? 母銀河中の星形成領域(輝線放射領域)とFRB発生位置との関係はどうなっているか?

- $\text{H}\alpha$ 輝線放射領域の位置、形態を調べるため、FRB121102母銀河に対するSubaru/Kyoto3D II 面分光を実施した。

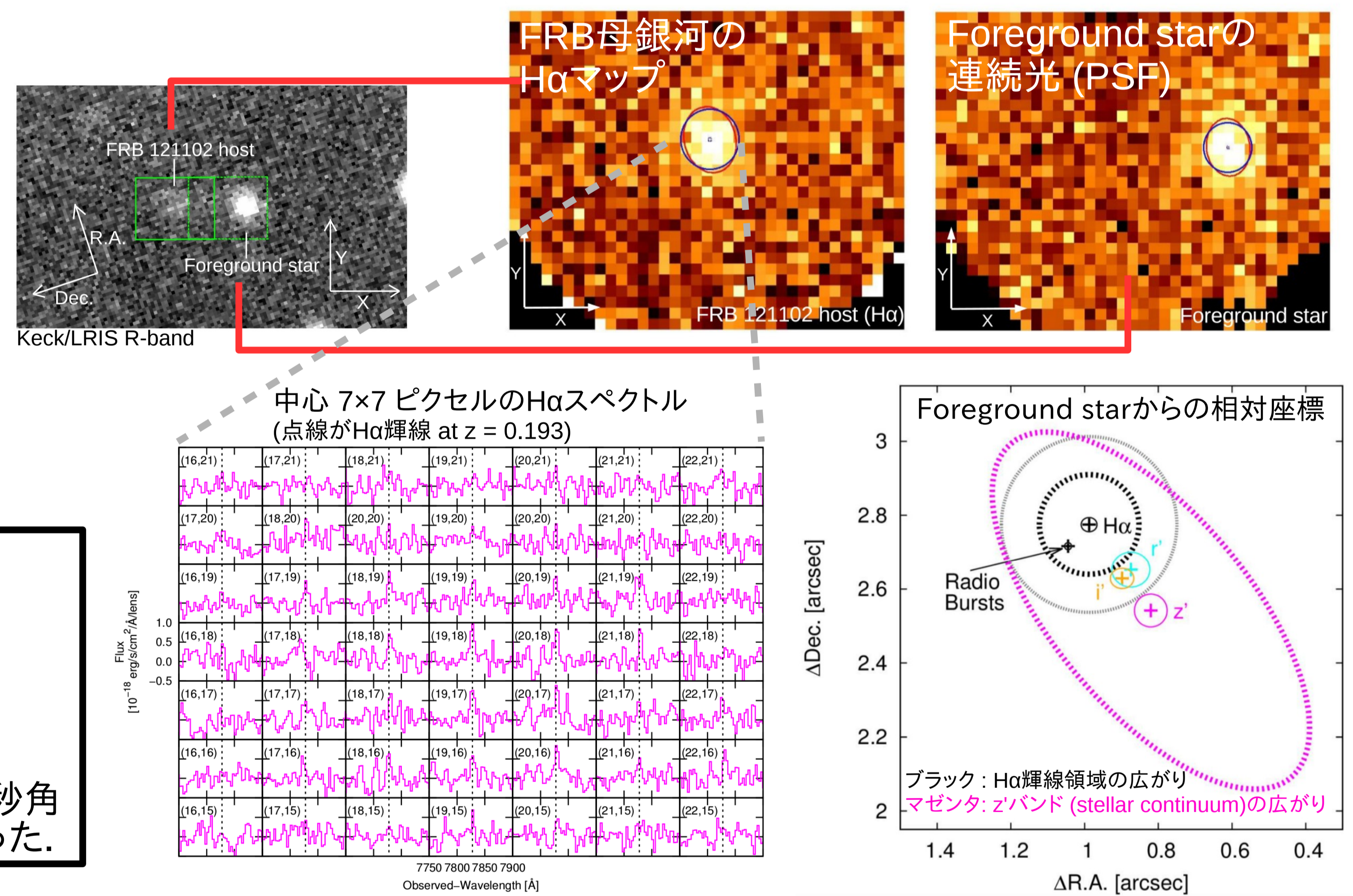
FRB 121102母銀河の $\text{H}\alpha$ 輝線面分光観測

観測

- すばる望遠鏡/Kyoto 3DII + AO188 可視光 ($7300 - 9200 \text{ \AA}$) 補償光学付き面分光 on February 9, 2017
- FWHM = 1.2 – 1.4 秒角 (AO off) → 0.5 – 0.6 秒角 (AO on)
- Foreground star を観測することでPSFを測定。FRB母銀河の位置の較正は、“foreground starからの相対座標”としてキャリブレーション

結果

- FRB母銀河の内部に $\text{H}\alpha$ 輝線領域 = 星形成領域 を検出
- PSFサイズよりも少し広がった構造を持っていることから、 $\text{H}\alpha$ 輝線放射領域のサイズは $r_{\text{H}\alpha} \sim 0.14 - 0.24$ 秒角 at 1σ 半径 $\sim 0.33 - 0.57$ 秒角 (1.1 – 1.9 kpc) at FWHM
- $\text{H}\alpha$ 放射領域の中心とFRB121102位置との間のオフセットは 0.08 ± 0.02 秒角 → FRBの発生位置は $\text{H}\alpha$ 放射領域 = 星形成領域の内部であることがわかった。



議論

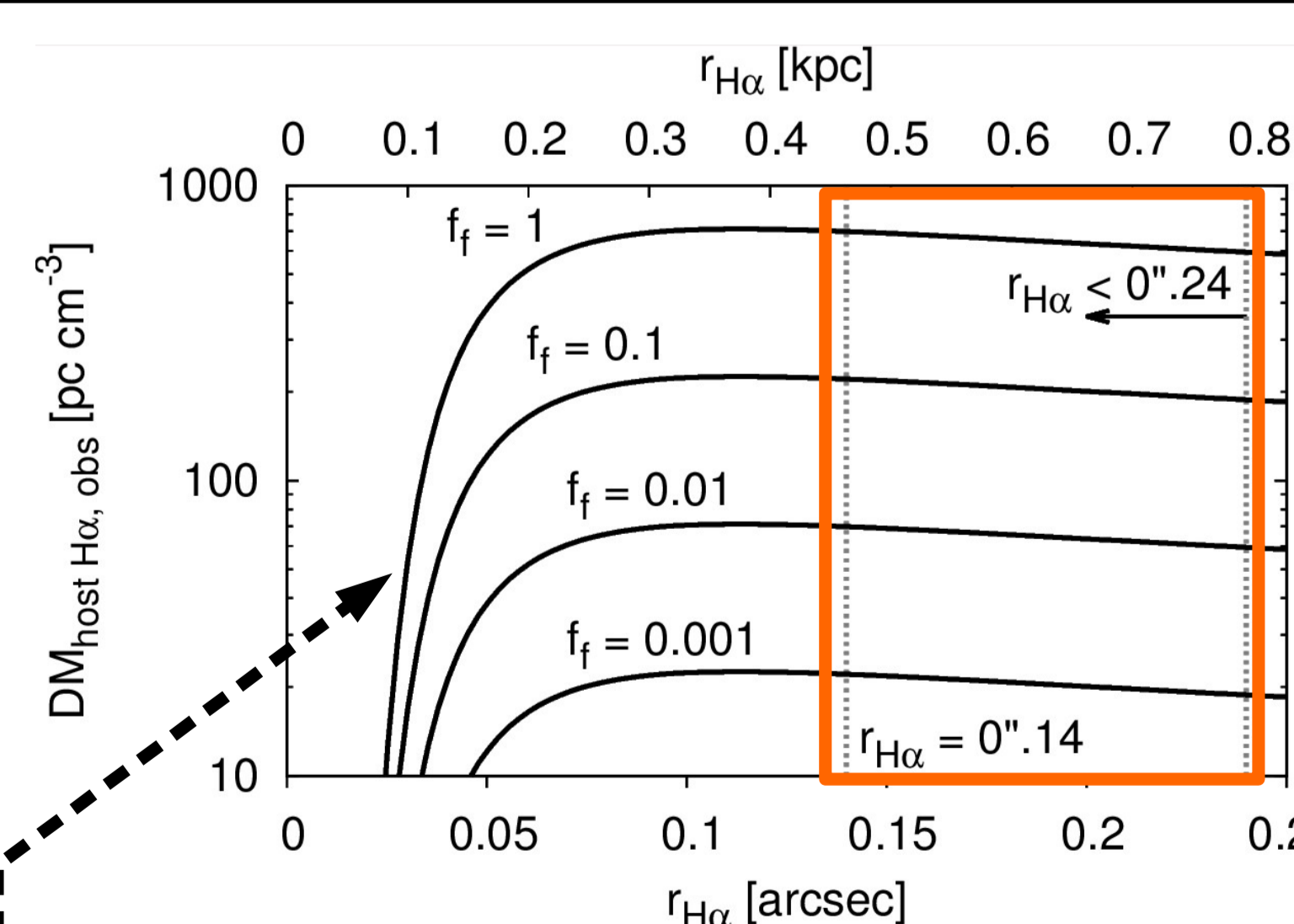
FRB121102の発生源に対する示唆

- FRB121102は 低金属量矮小銀河の星形成領域中で発生している。 → ロングガンマ線バースト(Long GRB)や水素欠乏型超高輝度超新星(SLSNe-I)の発生環境の観測結果と似ている。このことから、FRBと大質量星形成/爆発との関係性が示唆される
- ← 若いパルサー/マグネターがFRBの起源であるというシナリオと無矛盾

大質量星 → (LGRB/SLSNe-I) → マグネター誕生 → FRB

$\text{H}\alpha$ 放射領域によるDMの寄与

- 観測された母銀河中の $\text{H}\alpha$ 放射領域によるDMの寄与を、 $\text{H}\alpha$ 放射強度と領域のサイズから推定。
- $\text{H}\alpha$ 放射領域のフィリングファクター f_f が0.1よりも小さいとすると、 $\text{DM}_{\text{host H}\alpha, \text{obs}} < 225 (\pm 28) \text{ pc cm}^{-3}$ → IGM中のバリオン密度について $\Omega_{\text{IGM}} > 0.029$ (> 0.012 at 90% C.L.) という制限を得る。
- 他のFRBも同様に星形成領域内部で生じているとすると、 $\text{H}\alpha$ 放射領域のDM寄与の定量的評価は困難 → Ω_{IGM} への制限は弱い。



$$\text{DM}_{\text{host H}\alpha, \text{obs}} = \left(\frac{1}{1+z} \right) \left(\frac{L_{\text{FRB}}}{L} \right) \text{DM}_{\text{host H}\alpha, \text{s}}$$

$$= 324 \text{ pc cm}^{-3} \times \left(\frac{L_{\text{FRB}}}{L} \right) f_f^{1/2} C \left(\frac{L}{1 \text{ kpc}} \right)^{1/2} \times \left(\frac{\text{EM}_{\text{host, s}}}{600 \text{ pc cm}^{-6}} \right)^{1/2}$$

$$\text{DM}_{\text{obs}} = \text{DM}_{\text{MW}} + \text{DM}_{\text{IGM}} + \text{DM}_{\text{host, obs}}$$

- FRB121102のDMは $\text{DM}_{\text{obs}} = 558.1 \pm 3.3 \text{ pc cm}^{-3}$
- FRB121102の視線方向におけるMilky Wayのハロー + 円盤中のプラズマの寄与: $\text{DM}_{\text{MW}} = 218 \pm 44 \text{ pc cm}^{-3}$
- Λ CDM宇宙論パラメータ + IGM中に含まれるbaryonの割合(“missing baryon”) f_{IGM} を与えた場合のIGMの寄与:

$$\text{DM}_{\text{IGM}} \approx 177 \text{ pc cm}^{-3} \times \left(\frac{\Omega_{\text{IGM}}}{0.044} \right) \left(\frac{H_0}{67.7} \right)$$

$$\Omega_{\text{IGM}} \equiv 0.044 \left(\frac{f_{\text{IGM}}}{0.9} \right) \left(\frac{\Omega_b}{0.049} \right)$$

- 多波長でのFRB同定はこれまで無い ← FRB発生源の制限のために非常に重要 → パークス, アレシボ, SKAなどの電波望遠鏡と、すばる望遠鏡広視野可視撮像の同期観測を継続してコーディネートする必要がある (e.g., Keane et al. 2016)