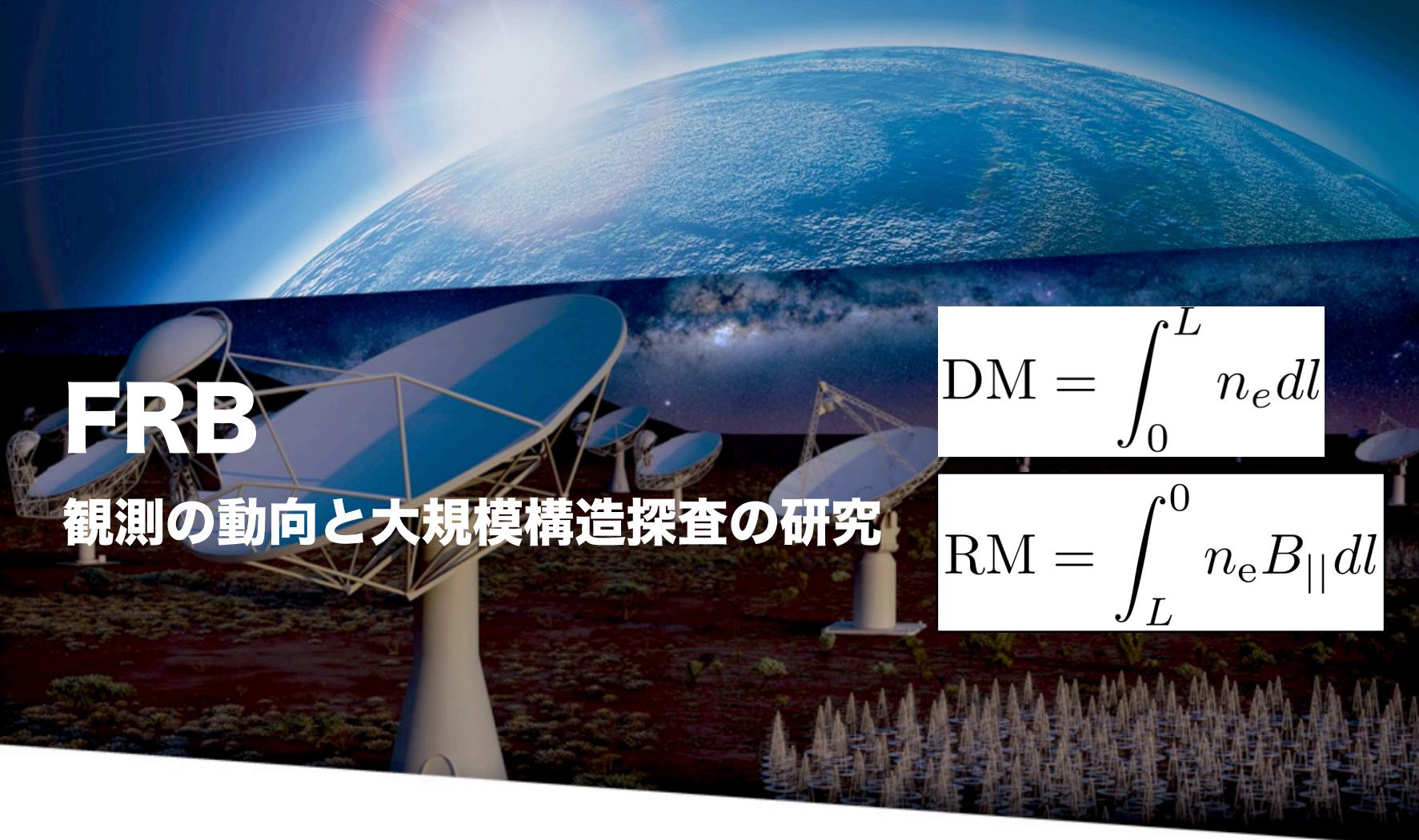


# 瞬発電波バースト (FRB)のその先へ

赤堀卓也

国立天文台 水沢VLBI観測所(三鷹オフィス) 計画部門  
プロジェクト・マネージャー / 特任研究員



# FRB

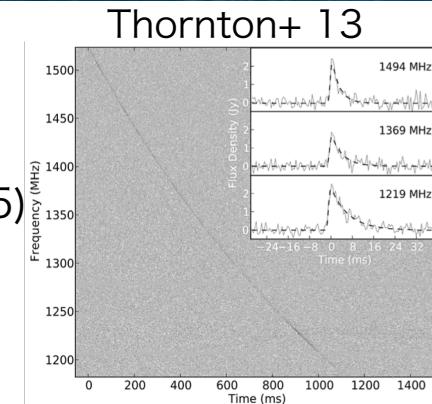
## 観測の動向と大規模構造探査の研究

$$DM = \int_0^L n_e dl$$

$$RM = \int_L^0 n_e B_{||} dl$$

## ■ Jyレベルのセンチ波がミリ秒間に発生する現象

- **FRB010724** (最初の報告: Lorimer+07); Thornton+13 (4件)
- **初実時間&円偏波~ $21 \pm 7\%$ 検出**、残光なし (FRB140514: Petroff+15)
- **直線偏波の初検出**, RM=-186 rad/m<sup>2</sup> (FRB110532: Masui+15)
- **ダブルピークFRB** (FRB121001: Champion+15)
- **リピートするFRB** (FRB121102: Spitler+16)
- **電波残光あるFRB**, 赤方偏移z~0.49, 銀河間物質 $\Omega_{\text{IGM}} \sim 4.9 \pm 1.3\%$  (FRB150418: Keane+16)
- **非常に明るいFRB**, 120Jy,  $B_{\text{LSS}} < 21(1+z)$  nG (FRB150807: Ravi+16)
- **位置同定したFRB**, 矮小銀河の星形成領域 (FRB121102: Chatterjee+17; Bassa+17)
- **超高磁場環境FRB**, RM~+14万 rad/m<sup>2</sup>, 7ヶ月で2万rad/m<sup>2</sup> 変動 (FRB121102: Michilli+18)
- **20件のまとめ報告**, FRB121102とそれ以外は性質がかなり異なる(Shannon+18)



## ■ 統計が見えつつある

- 54イベント。等方的。 **DM~100-2600 pc/cm<sup>3</sup>** → 系外 (z~0.03-3)
- 残光なし。 **レート~1(/deg<sup>2</sup>/week)?** (Macquart+15, Champion+15)

### 起源はいまだ不明

- ✓ 星のフレア(Loeb+13)
- ✓ 重力崩壊SN(Falcke+13)

✓ 超マグネター(Thornton+13)

✓ コンパクト星が掃きわけた  
何らかの強磁場流(Zhang18)

✓ WDWD合体(Kashiyama+13)

✓ NSNS合体(Totani+13)  
✓ 宇宙ひも(Cai+12)

# 1. FRB ASKAPの20のFRB

## ■ ASKAP FRBの特徴

- 平均スペクトル幕-1.8
- 高エネルギーのFRBが若干少なめ(幕-2.1)
- 強い変調

## ・再発FRBとの違い3つ

### 1. 再発しない

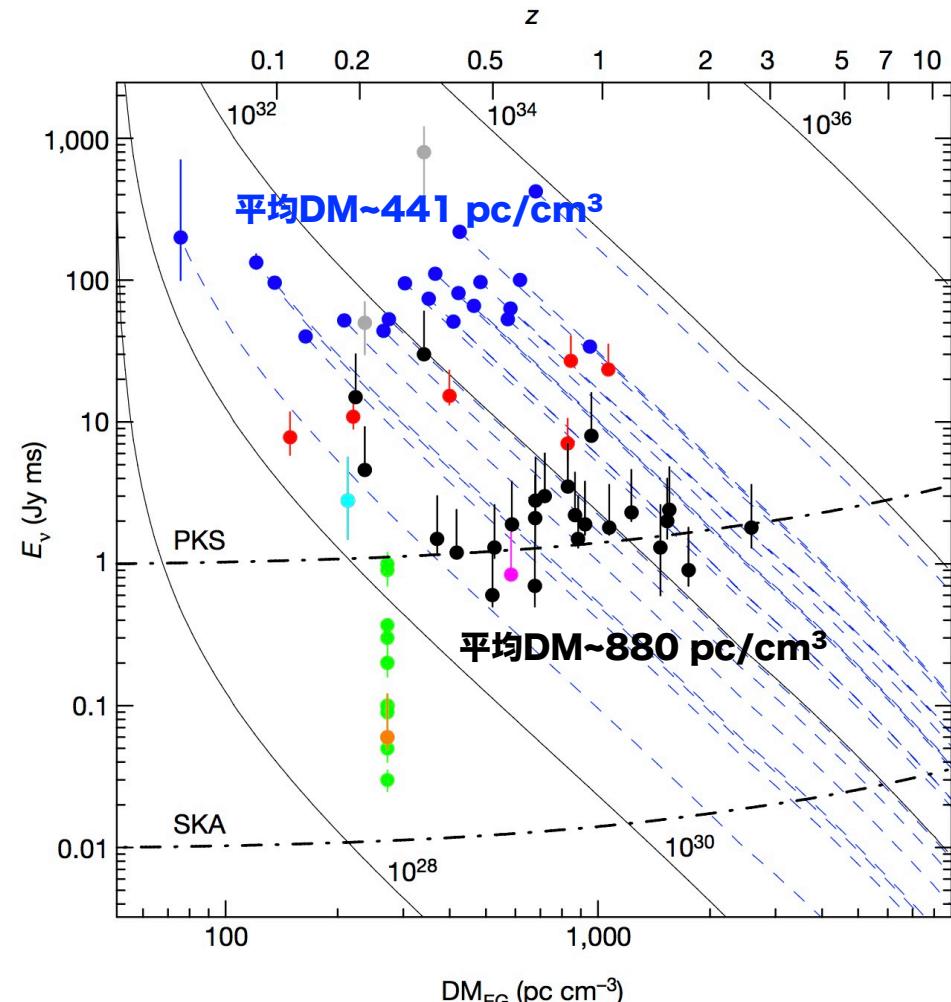
- 236~1235回の再訪で12456時間見ても皆無

### 2. スペクトル幕が違う

- 再発FRBはフラット

### 3. 明るい

- 再発FRBは桁で暗い



**ASKAP UTMOST GBT Arecibo Parkes**

Shannon+18

# 1. FRB 再発FRBの高周波観測

## ■ Burst#6

- ・ 繼続時間 $<30\mu\text{s} \rightarrow <\sim 10\text{ km}!$

## ■ ほぼ100%直線偏波

## ■ 非常に大きなRMとその変化

- ・ DM $\sim 559.7 \pm 0.1\text{ pc/cm}^3$ は不变

## ■ 銀河中心の環境に類似？

- ・  $B_{||} > 0.6\text{ mG}$
- ・ 偏波特性 $\rightarrow$ 前景に整列した強い磁場があるとデータと整合
- ・ エネルギー等分配 $\rightarrow$ 銀中的な値 ( $10^2\text{ cm}^{-3}, 10^6\text{ K}, 1\text{ pc}$ )

**Arecibo**

4.1-4.9 GHz

35日間で  
16イベント

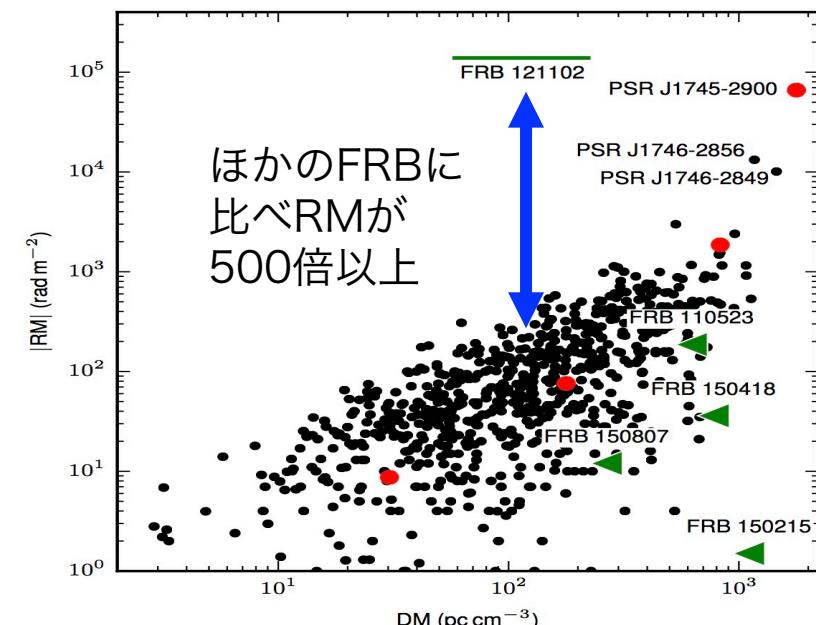
$\text{RM}_{\text{src}}$   
14.6万  
rad/m<sup>2</sup>

**GBT**

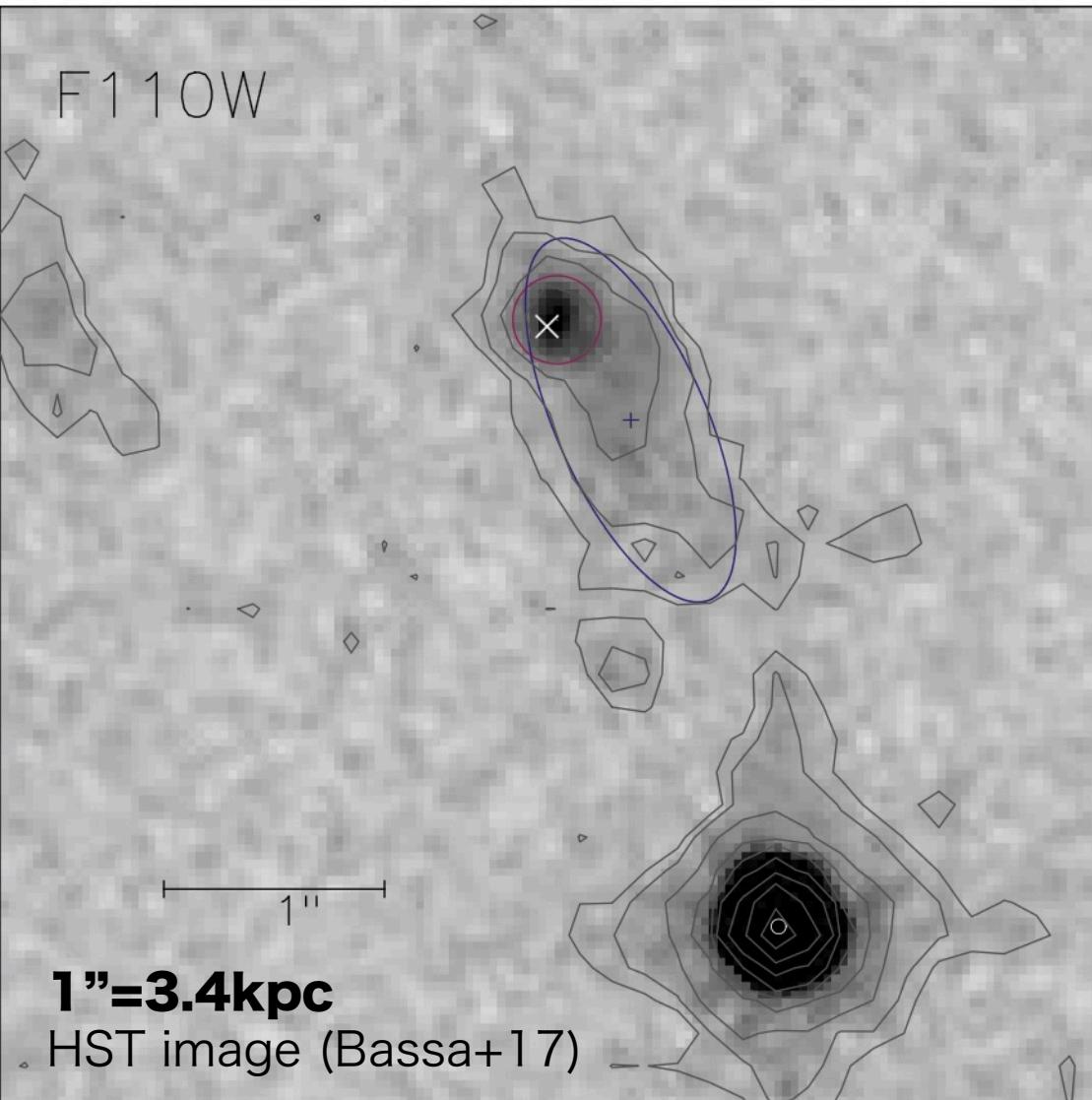
4-8 GHz

7ヶ月後に  
2イベント

$\text{RM}_{\text{src}}$   
13.3万  
rad/m<sup>2</sup>

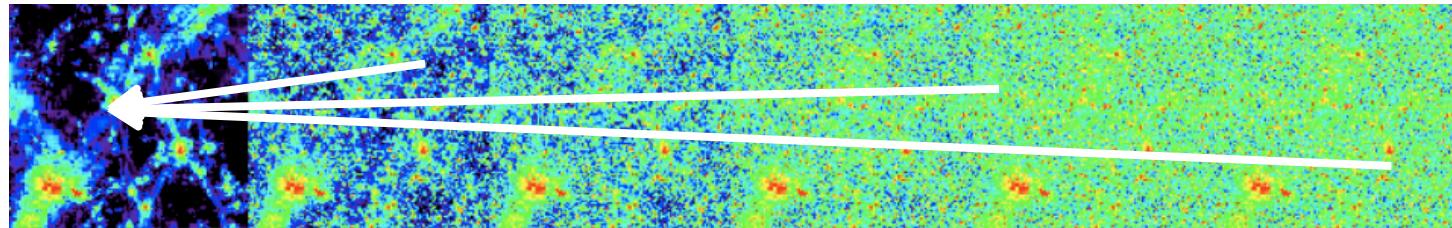


# 1. FRB FRB121102の発生場所

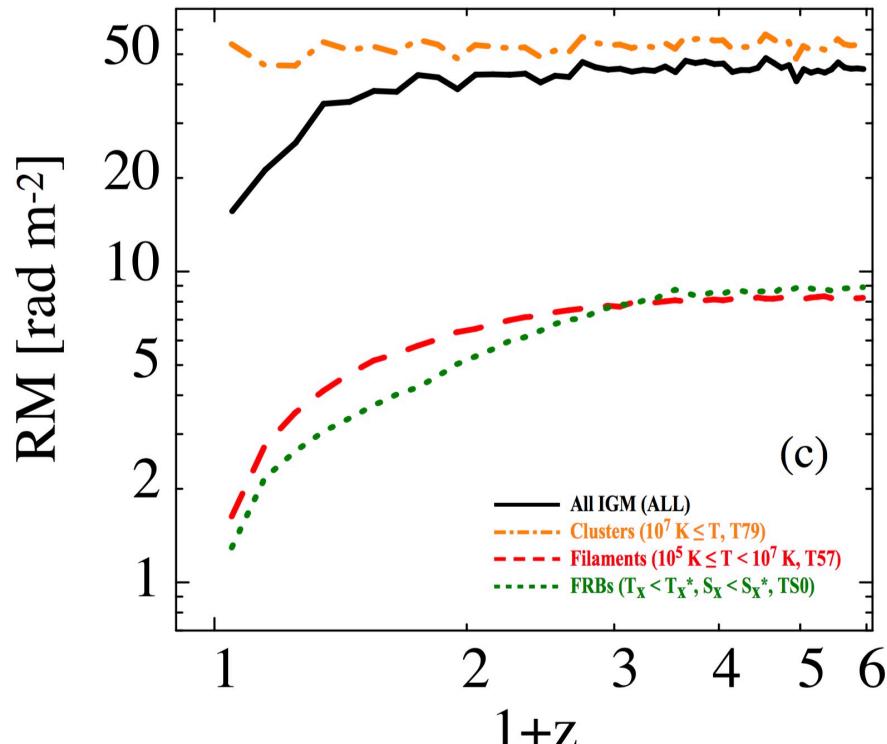
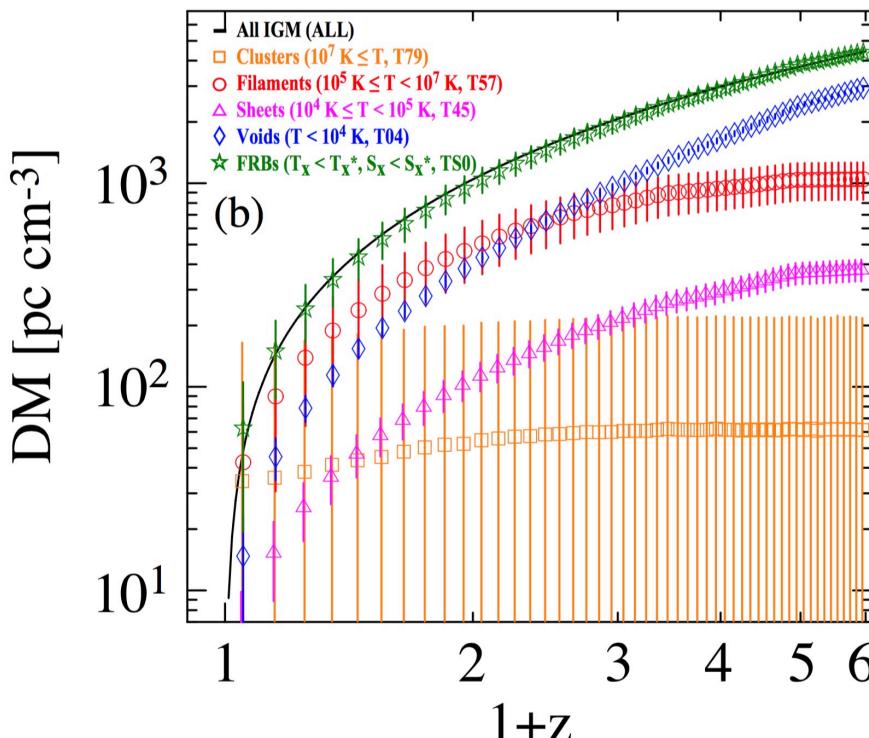


We present optical, near-IR, and mid-IR imaging that improves on the ground-based imaging presented in Tendulkar et al. (2017) and resolves the host galaxy of FRB 121102, revealing a bright knot of star formation located in the outskirts of an irregular (5–7 kpc half-light diameter), low-mass ( $M_\star \sim 10^8 M_\odot$ ), low-metallicity ( $12 + \log_{10}([\mathrm{O}/\mathrm{H}]) = 8.0$ ) dwarf galaxy. The persistent radio source that is coincident with the FRB (Chatterjee et al. 2017; Marcote et al. 2017) is located within the 0.68 kpc half-light radius of the star-forming region. Recent high spatial resolution H $\alpha$  observations confirm the coincidence of FRB 121102 with the star-forming region in its host galaxy, and yield similar estimates of the size of the star-forming region and the offset of the FRB with its centroid (Kokubo et al. 2017).

# 1. FRB 遠方宇宙からのメッセージー



- ・ 経路の90%はボイド、DMはWHIM( $z < 1$ )とボイド( $z > 1$ )が支配
- ・ RMは銀河団が支配的(もし視線上にあれば)。次いでWHIM。



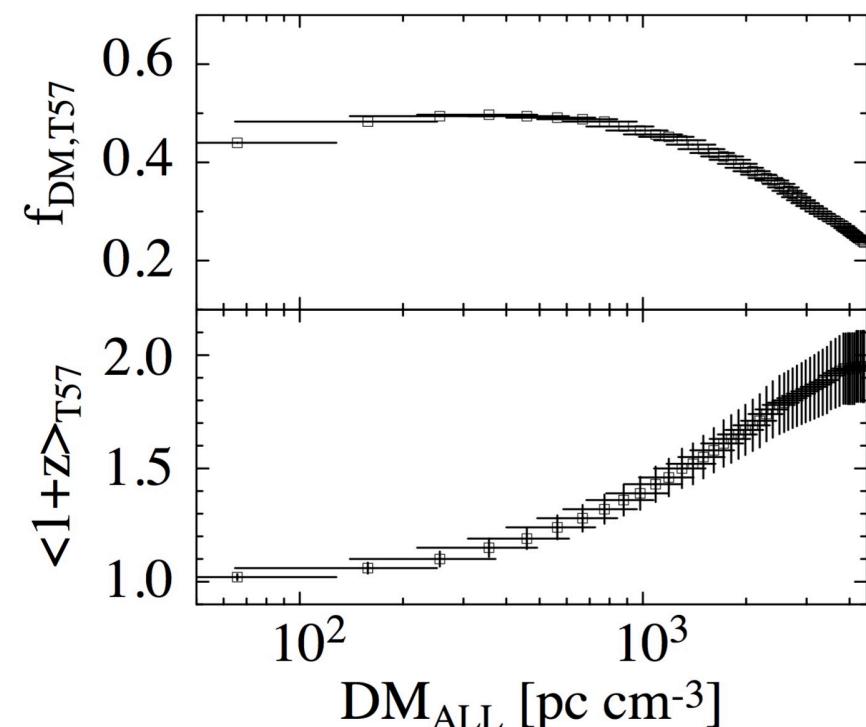
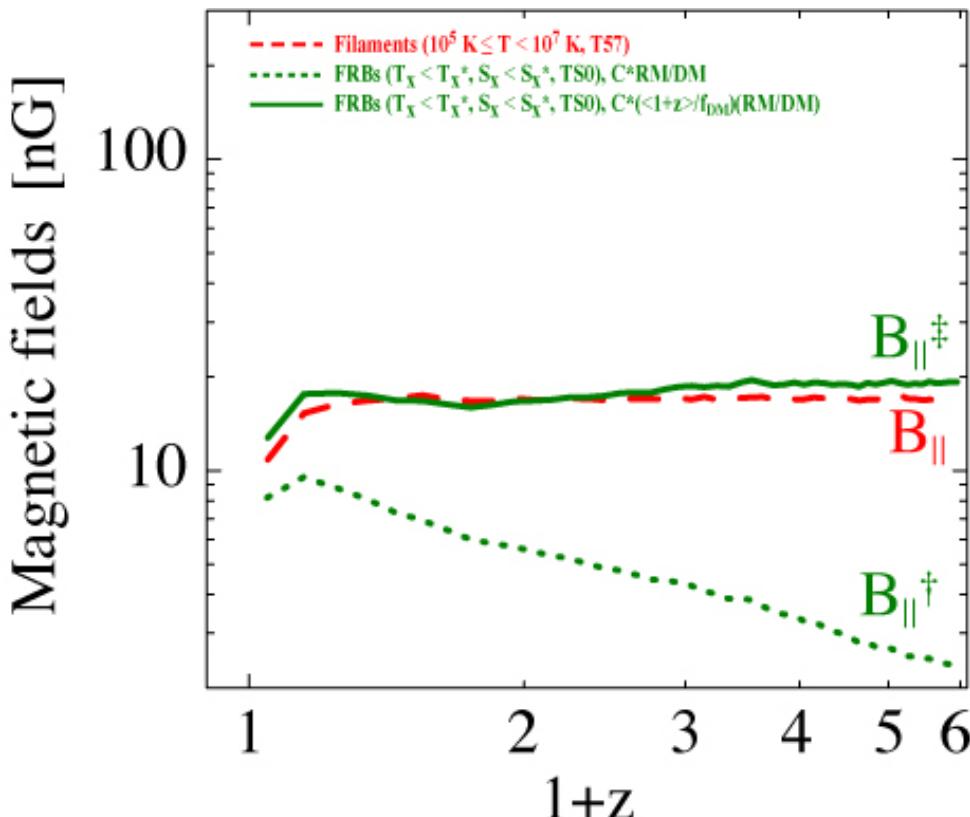
# 1. FRB 磁場強度の推定は原理的に可能？

- 偏波したFRBからDMとRMを同時に計測できる

- ただし  $B_{||} \sim RM/DM$  ではない

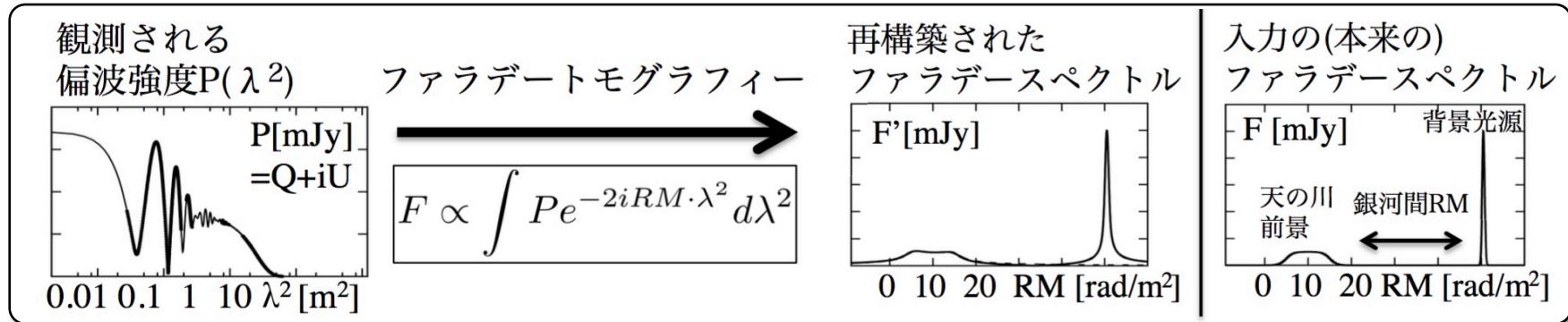
$$\Omega_{M0}=0.27, \Omega_{\Lambda0}=0.73, H=70$$

$$B_{||}^{\ddagger} = \frac{\langle 1+z \rangle}{f_{DM}} B_{||}^{\dagger} = \frac{\langle 1+z \rangle}{f_{DM}} \frac{C_D RM}{C_R DM}$$



# 1. FRB ファラデートモグラフィー

- ・ストークスQU → フーリエ変換→ RMの関数としての偏波強度



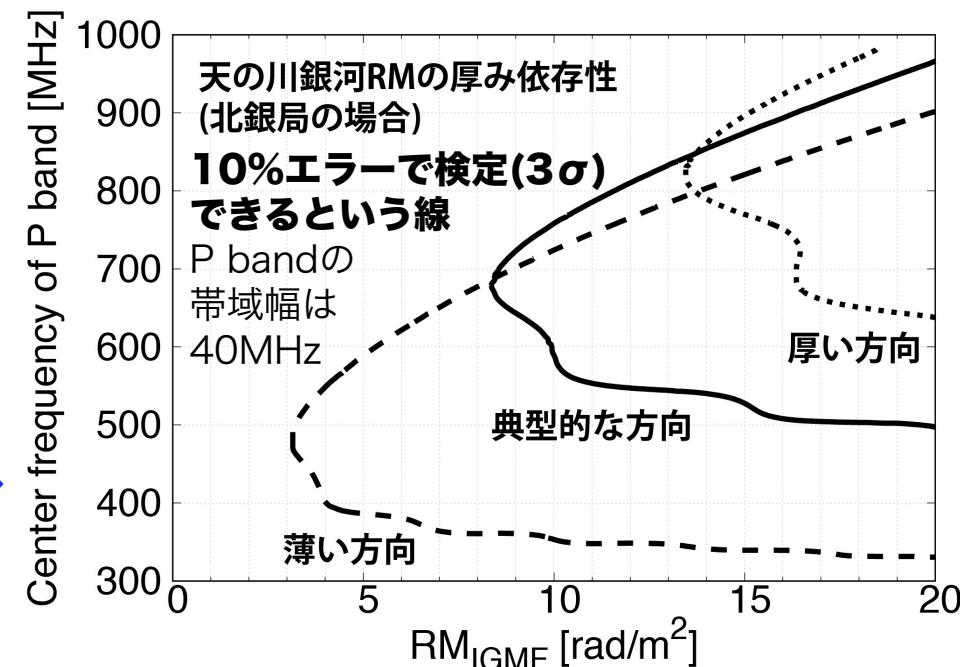
再構築したFをモデルフィットして  
隙間の大きさ=銀河間RMを制限する

↓

再構築したFの品質は観測データの  
周波数(正確には  $\lambda^2$ )に依存

↓

一体どの周波数で観測するのが最適?  
→ 1.4, 1.6GHz帯が得られる前提で、  
必要な低周波の帯域をフィッシャー情報量解析により調べた





# マグネター

## 研究の動向とマグネターVLBI観測

## 2. マグネター マグネターとは？

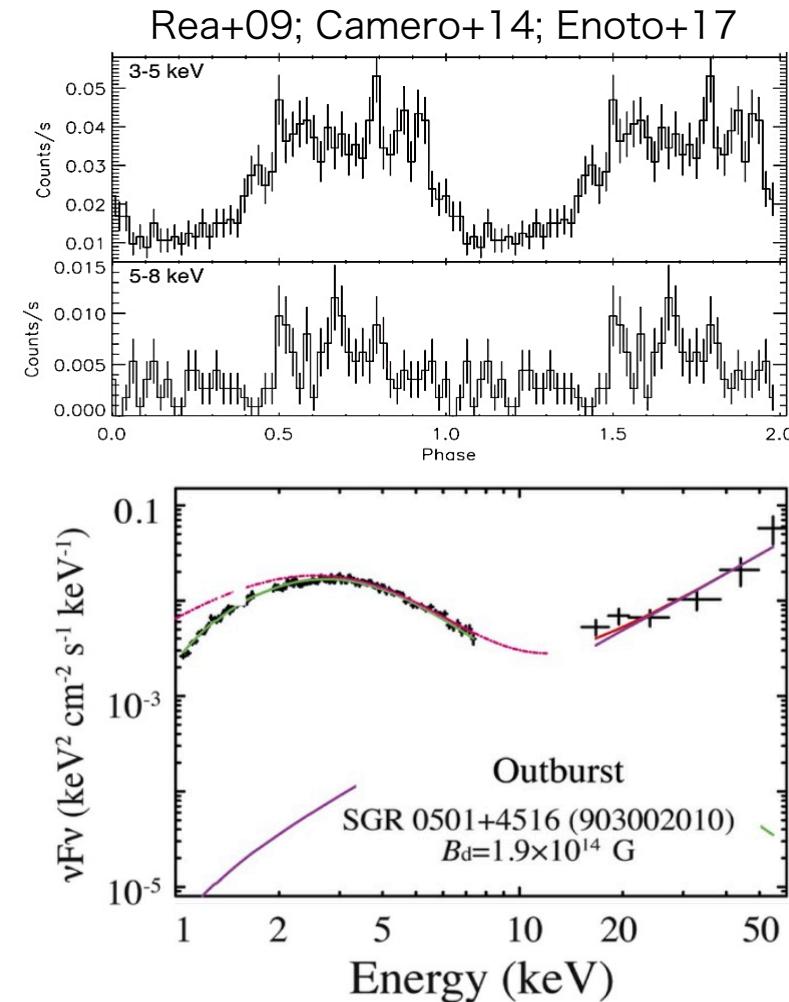
### ■バースト的なX線・ $\gamma$ 線の放射天体

- Soft Gamma-ray Repeater (SGR)
- Anomalous X-ray Pulsar (AXP)

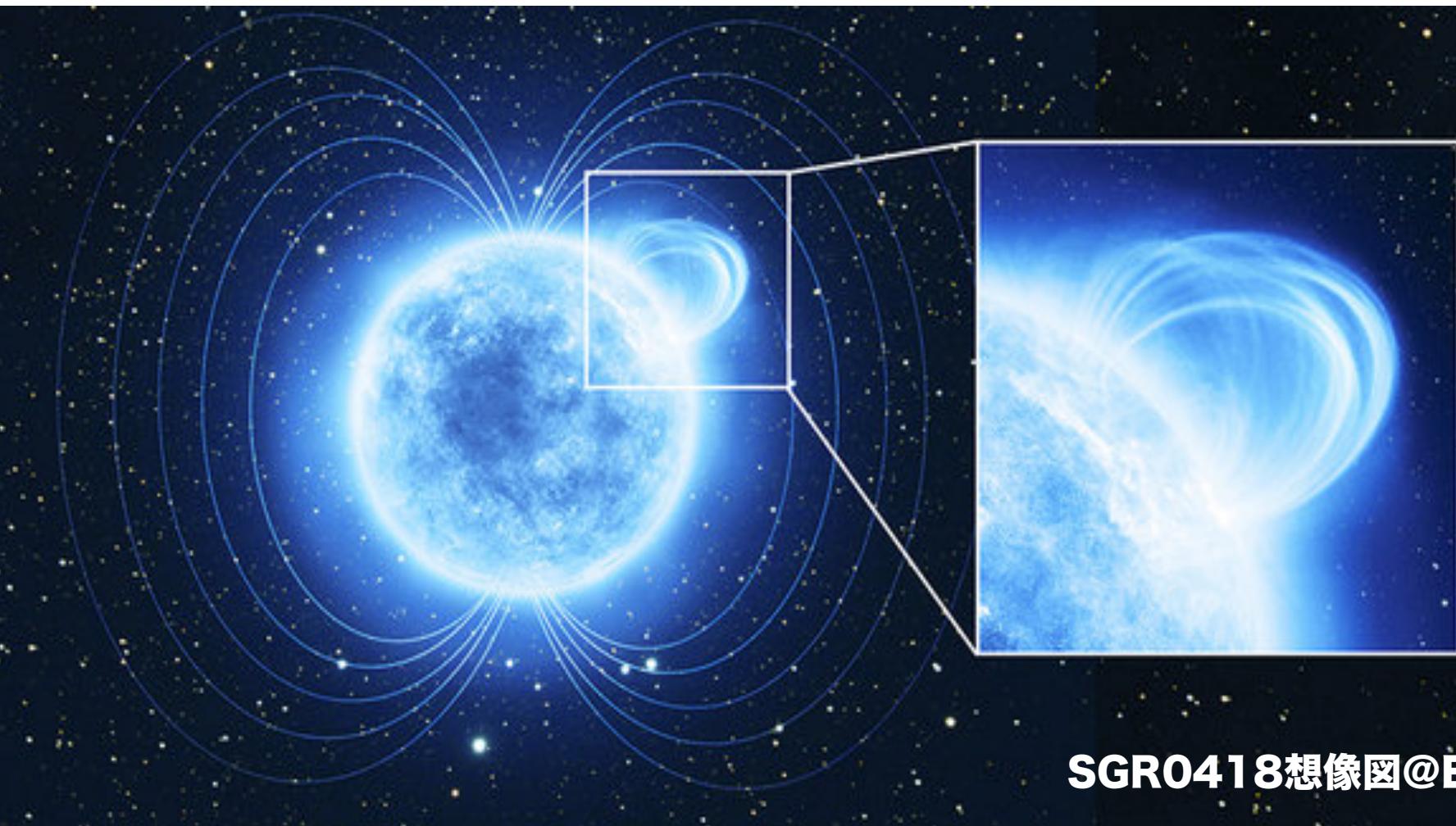
### ■SGR0501+4516の例

- 2008年8月22日にSwift衛星がX線で増光する天体を発見
- 周期5.76秒で脈動→回転する星？
- 周期が単調増加→電磁力ブレーキ（手回し発電）ならば  $2 \times 10^{14}$  G →強磁場な中性子星？
- X線は黒体成分と非熱的(幕則)成分、時間で減衰、今は黒体放射(0.5keV)
- 電波は終始見えない

**バーストは星震に起因するとされるが未確立**



## 2. マグネター マグネターとは？



SGR0418想像図@ESA

**バーストは星震に起因するとされるが未確立**

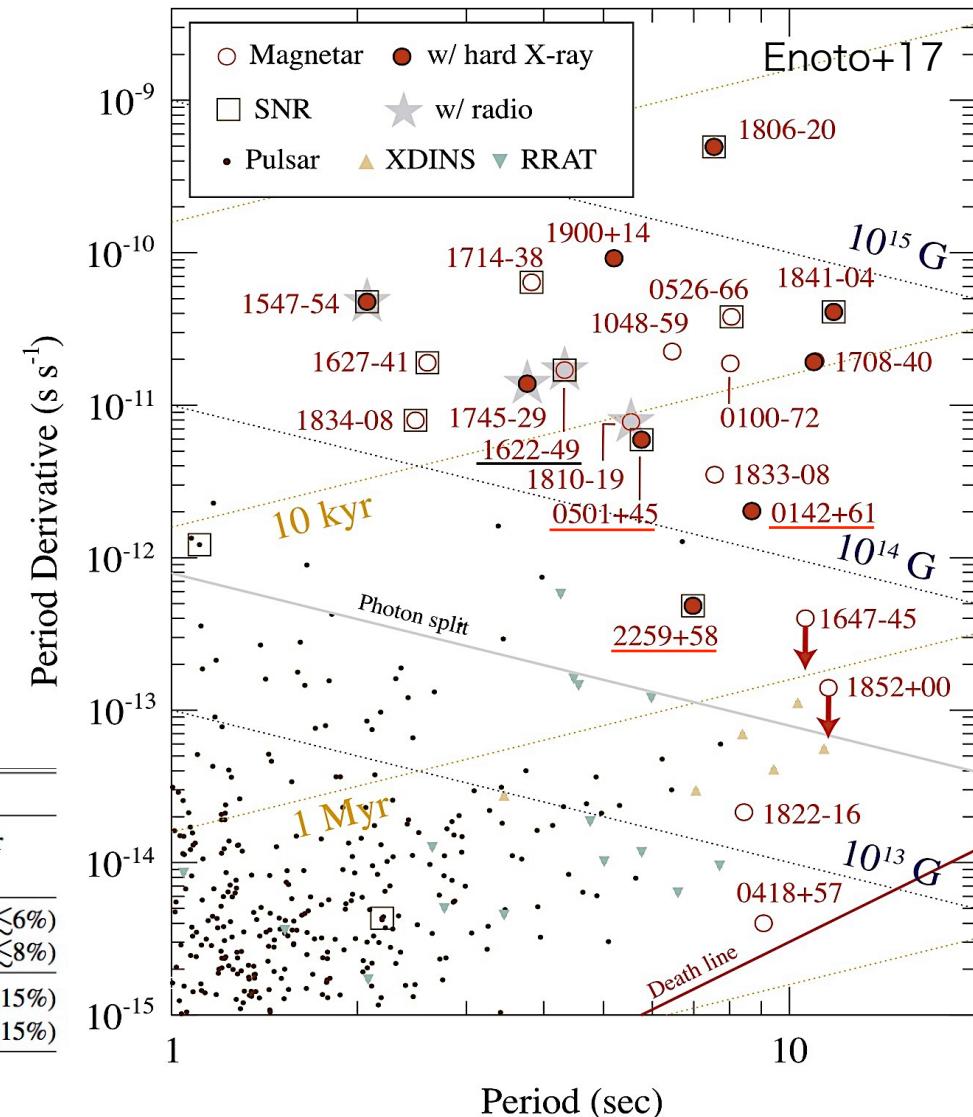
## 2. マグネター 電波アウトバースト「も」ある

- PSR J1622-4950の例
    - 磁場強度  $\sim 2.8 \times 10^{14}$  G
    - X線追観測 → ただの黒体放射  
→ X線バーストしてなかった

電波バーストは数カ月～1年続く？

Date (yyyy-mm-dd)	MJD	Central Frequency (MHz)	Flux Density (mJy)
2008-11-22	54793	5312	$33.0 \pm 0.3$
		8768	$30.9 \pm 0.6$
2008-12-05	54806	4800	$40.4 \pm 0.3$
		8256	$31.9 \pm 0.6$
2009-12-08	55174	5500	$13 \pm 1$
2010-02-27 <sup>a</sup>	55255	9000	$14.3 \pm 0.8$

Spectral Index ( $\alpha$ )	Polarization		
	Linear (mJy)	P.A. (deg)	Circular (mJy)
$-0.13 \pm 0.04$	$26.6 \pm 0.7$ (79%)	$-17.5 \pm 0.5$	$\lesssim 2.0$ ( $\lesssim 6\%$ )
	$25.0 \pm 0.8$ (81%)	$-25.8 \pm 0.7$	$\lesssim 2.5$ ( $\lesssim 8\%$ )
$-0.44 \pm 0.04$	$5.7 \pm 0.4$ (14%)	$+26.7 \pm 1.5$	$-6.2 \pm 0.3$ (15%)
	$5.8 \pm 0.7$ (18%)	$-22.5 \pm 2.5$	$-4.8 \pm 0.5$ (15%)
$+0.2 \pm 0.2$			



## 2. マグネター 強磁場はどうして生まれた？

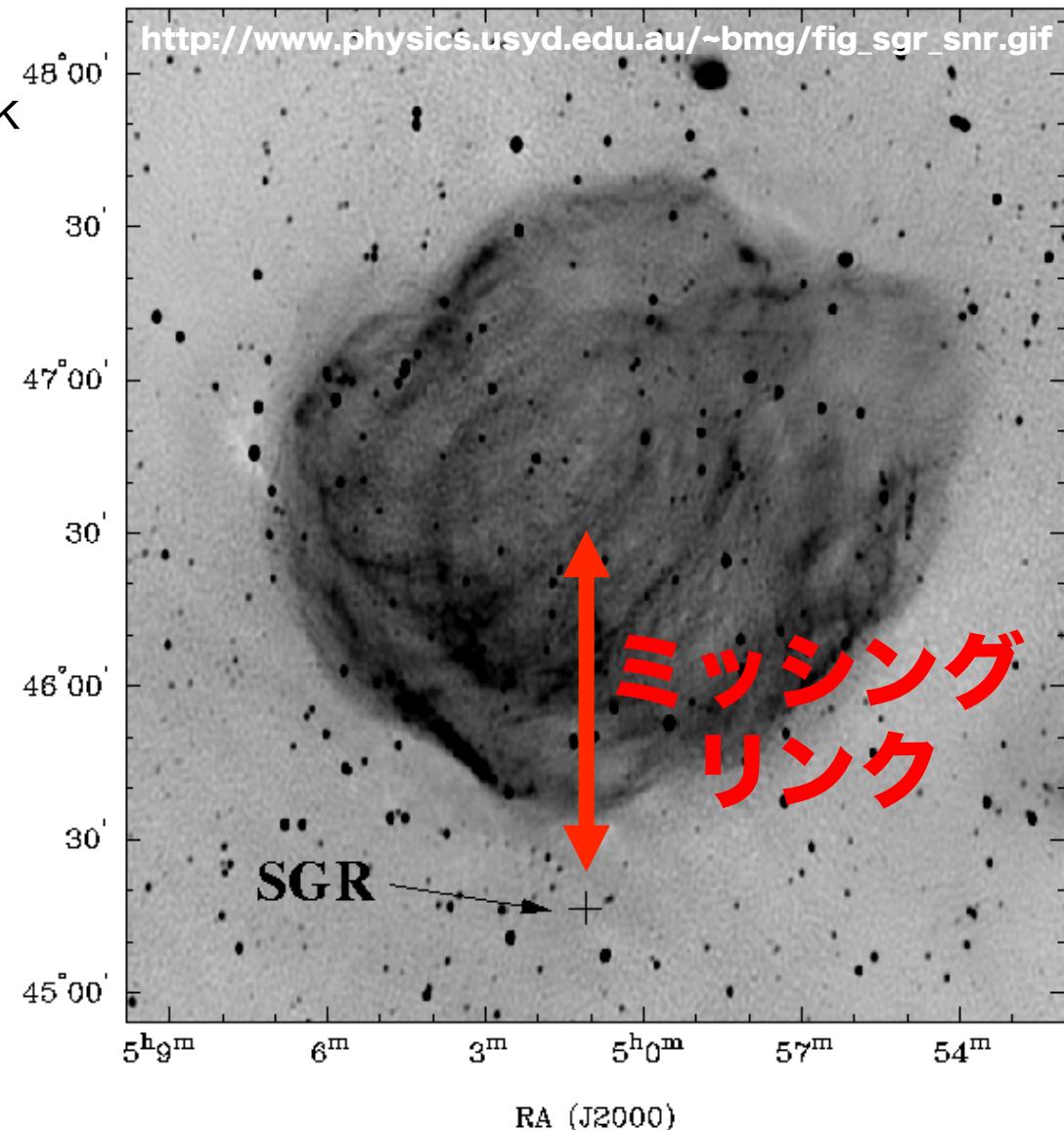
### ・大質量星の超新星爆発

- Standing accretion shock instability (SASI)で振動
- 誕生時は回転高速で星内部に強いダイナモが発生？

### ・SGR0501+4516の例

- SNR HB9？
- マグネターまでの距離
- マグネターの速度

方法	SNR HB9までの距離(kpc)
銀河回転	0.8±0.4
H $\alpha$ フィラメントの半径速度	~1.1
Sedov膨張+X線スペクトル進化	~1.1
表面輝度-距離関係	1.3-1.8
ペルセウス腕	~2



## 2. マグネター マグネターの課題3つ

水沢VLBI観測所



**VERAによる位置天文観測の実施**

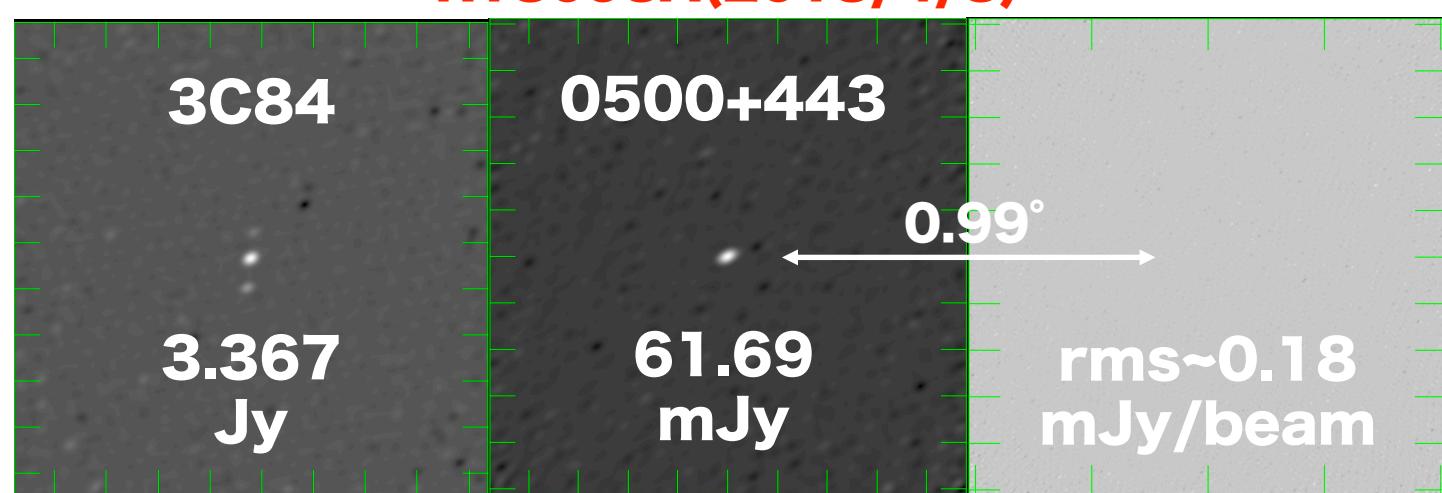
# 結果 深い観測の結果

中心周波数 22.290 GHz  
同時帯域幅 128 MHz  
(注) 電波が恒常的に出ていると仮定  
標準的な位相参照較正と結像を実施

Sta	$\tau_0$	T <sub>rx</sub>	T <sub>sys</sub>
MIZ	0.12	83	121
IRK	0.09	93	135
OGA	0.11	86	131
ISG	0.20	97	186

10hr

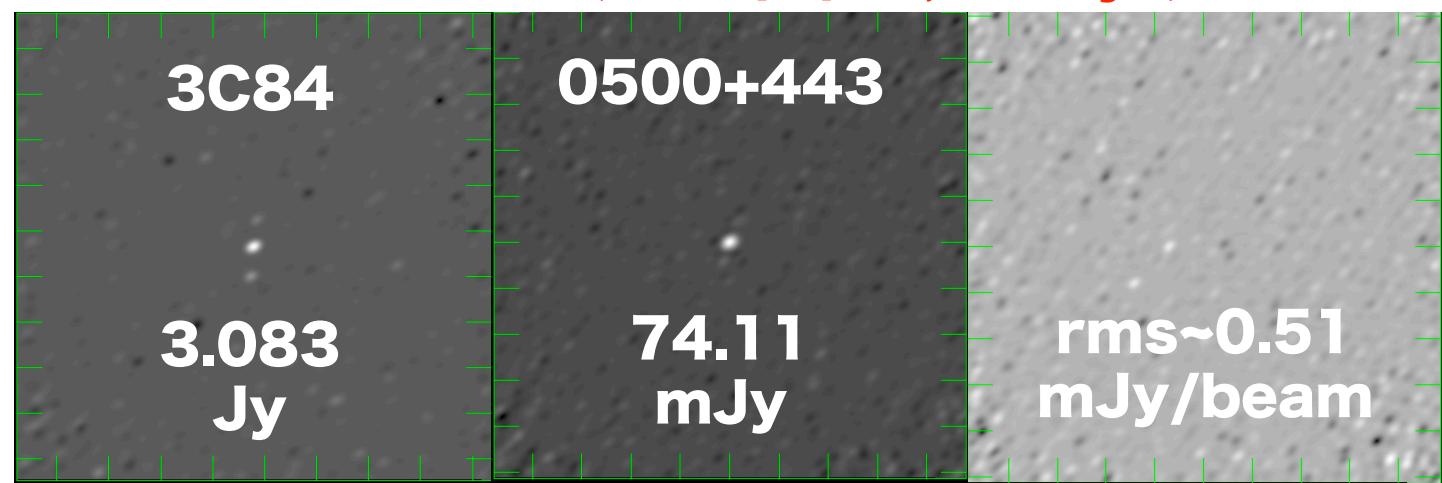
End	$\tau_0$	T <sub>rx</sub>	T <sub>sys</sub>
MIZ	0.14	85	142
IRK	0.08	96	142
OGA	0.10	89	135
ISG	0.18	110	189



Sta	$\tau_0$	T <sub>rx</sub>	T <sub>sys</sub>
MIZ	0.15	71	132
IRK	0.25	119	232
OGA	0.19	117	203
ISG	0.26	176	310

10hr

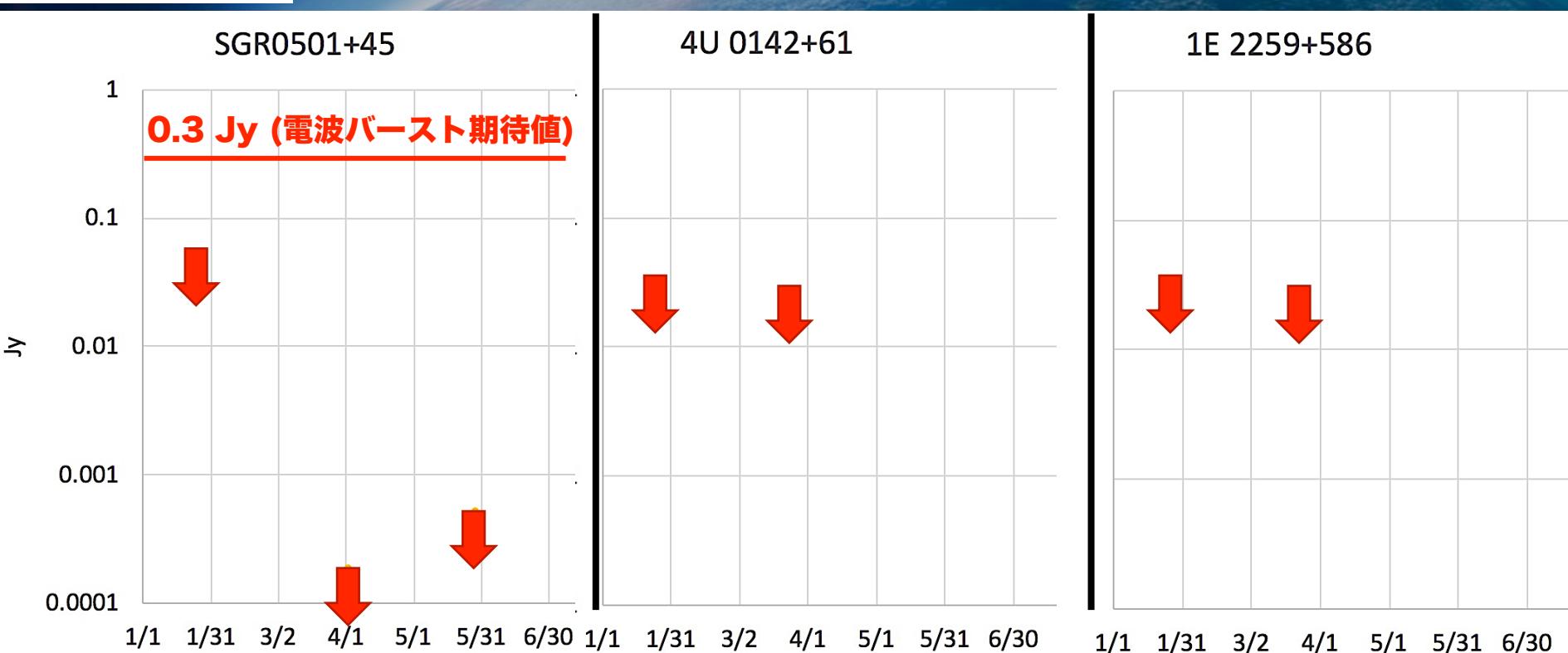
End	$\tau_0$	T <sub>rx</sub>	T <sub>sys</sub>
MIZ	0.17	88	157
IRK	0.21	124	229
OGA	0.29	143	278
ISG	0.23	114	216



## 2. マグネター 観測の結果

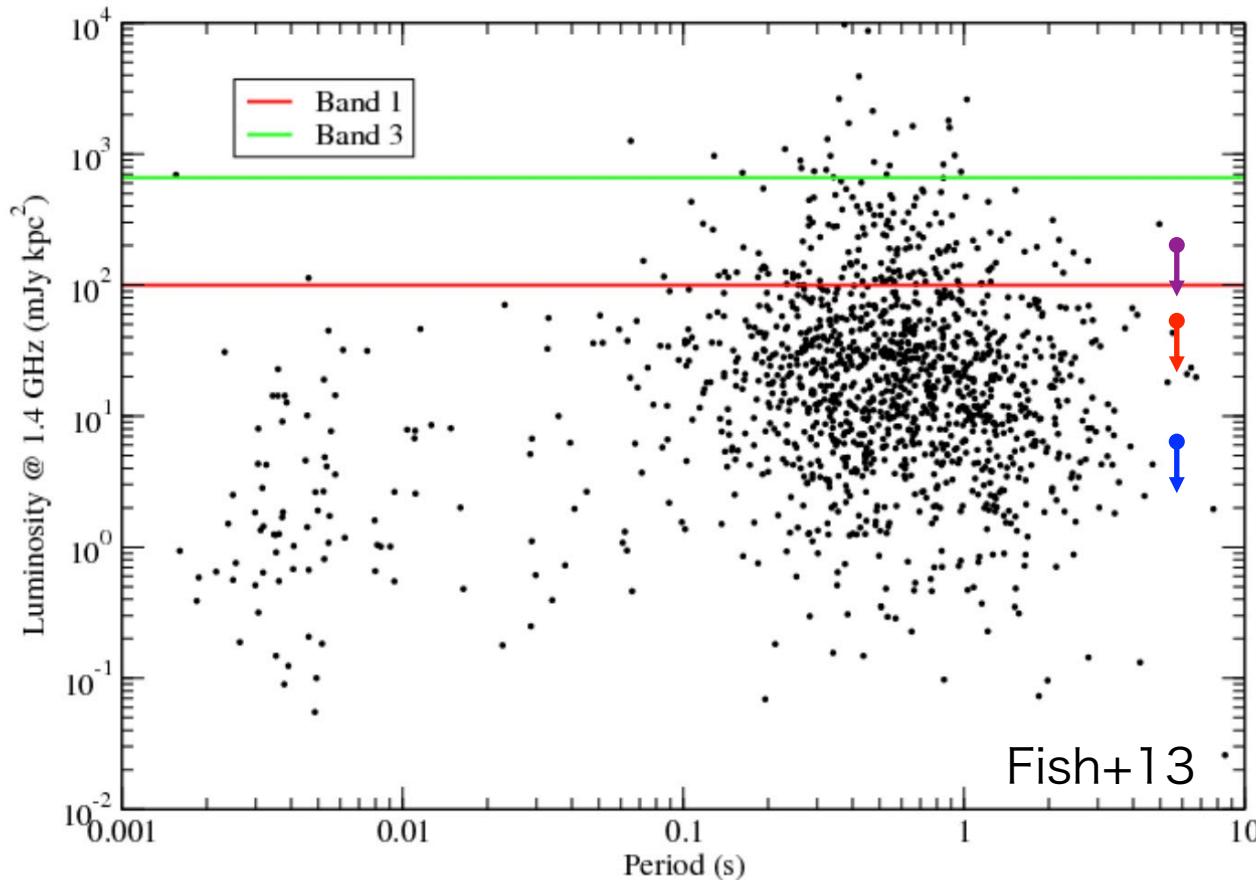
中心周波数 22.459 GHz  
同時帯域幅 2048 MHz

SGR0501+45



- ・有意な電波バーストの検出なし (起こらなかった)
- ・ $\sigma \sim 0.2\text{--}0.5 \text{ mJy/mas}^2$ を越える電波放射もなし

## 2. マグネター 展望：広帯域追観測の実施



- **12Gbps(2048MHz帯域幅)観測提案が採択**
  - 感度4倍向上、2019年1月頃を予定

# まとめ

- **FRBを使った大規模構造磁場の探査の可能性**
  - **直線偏波したFRB**はDMとRMの情報を同時にもたらす
  - DMとRMは視線上の大規模構造の磁場の情報を含んでいる
  - **UHF帯で万遍なくデータを取得**できれば制限できるかも
- **マグネターのVERAによるVLBI観測&監視**
  - **マグネターの位置・速度決定**はアウトバースの発生原因、放射機構、マグネター強磁場の起源の解明に重要
  - VERAを使って3つのマグネターを観測・監視中
  - **今のところ検出には至っていない**