

**SKA**  
パスファインダー！

# もっとVERA

～マグネター観測プロジェクト～  
**進捗報告**

**赤堀卓也**

**国立天文台 水沢VLBI観測所 計画部門**

# はじめに もっとVERAとは？

## Magnetar Observation Team of VERA

X線主体だったマグネター観測にVERAで新しい知見を得ることを目指す

- 遡ること**2017年10月** . . .  
**SKAJP Transient SWG**にて
- **VERA共同利用提案 → 採択 →**  
**2018年1月チーム発足**





# はじめに

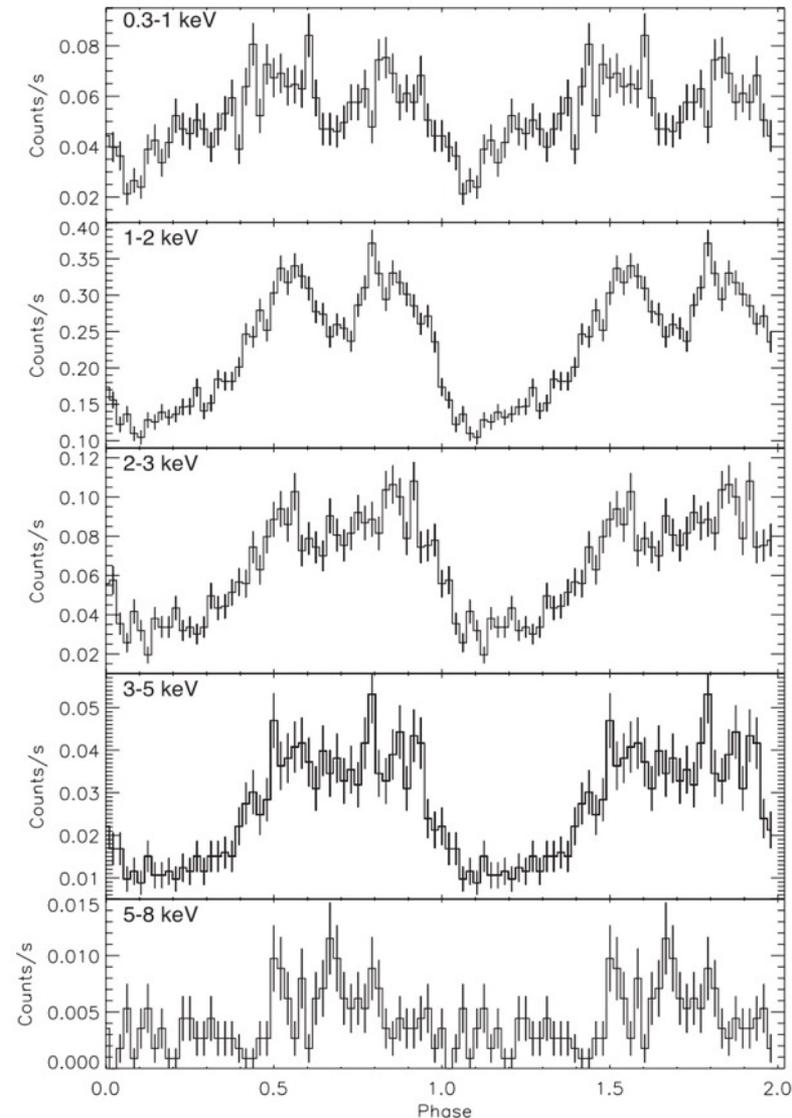
## マグネターの基礎知識

## • バースト的なX線や $\gamma$ 線の放射が見られる天体

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

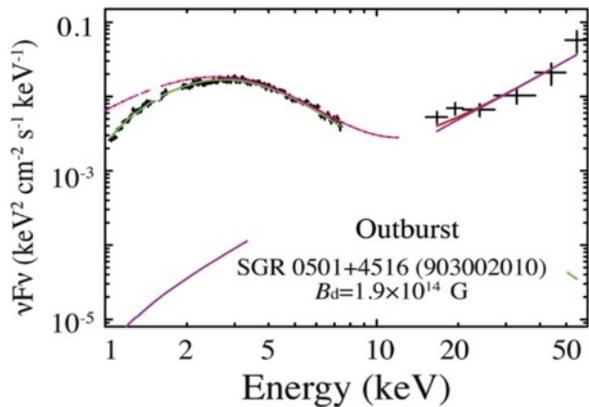
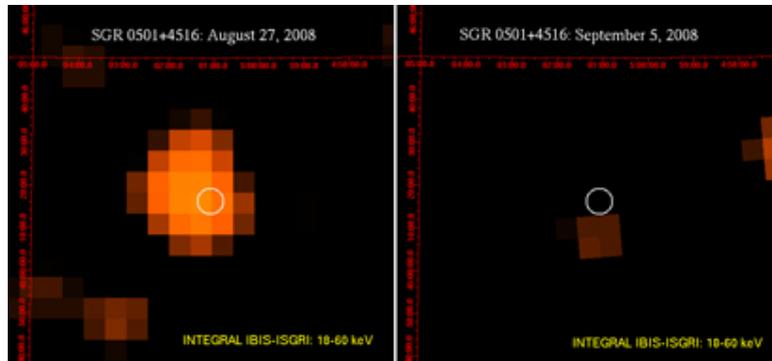
## • SGR0501+4516の例

- 2008年8月22日にSwift衛星がX線で増光する天体を発見した
- このとき電波対応はなし(未検出)
- X線強度が周期5.76秒で脈動かつ周期が単調に増加している
  - 回転する星？
- 回転速度の減少が磁場との電磁力(例：モーター発電)によるならば $2 \times 10^{14}$  Gが必要
  - 非常に強磁場な中性子星？



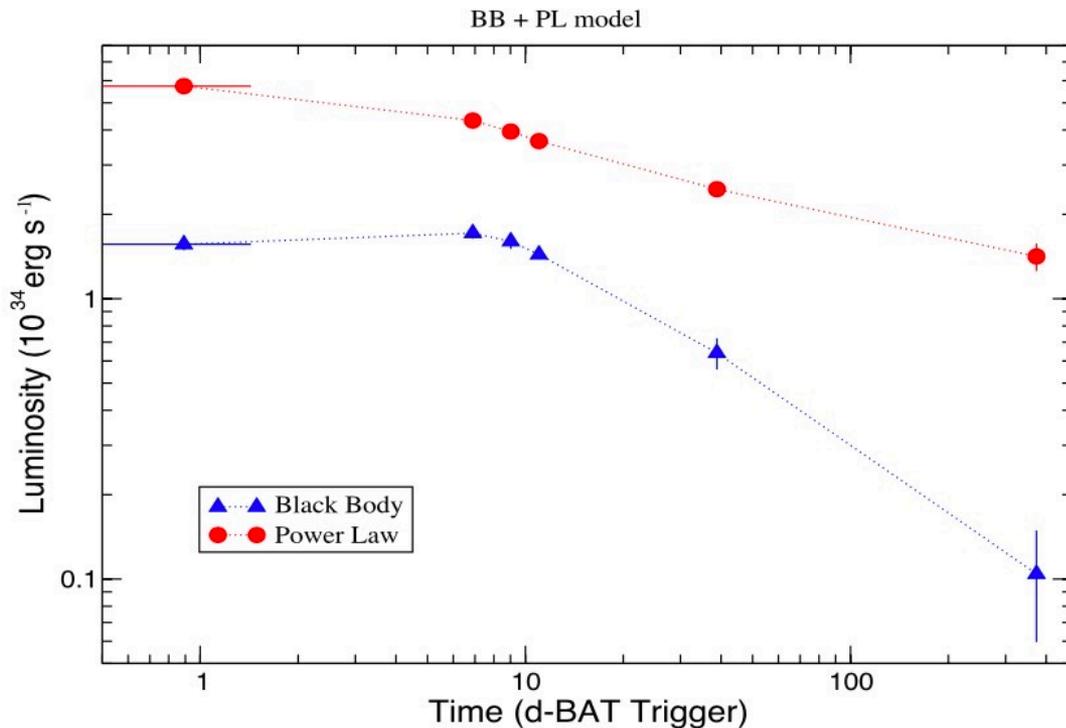
• **SGR0501+4516の例**

- X線は時間経過で減衰
- 黒体成分と非熱的(幂則)成分
- 今は黒体放射(0.5keV)のみ
- **一般に電波は見えない**



Parameters	Blackbody + Power law <sup>a</sup>	
	2008-08-23	2009-09-30
<i>kT</i> (keV)	0.70 ± 0.01	0.50 ± 0.02
BB radius (km)	1.41 ± 0.05	0.39 ± 0.05
BB flux <sup>b</sup>	2.1 ± 0.1	0.14 ± 0.06
Γ	2.74 ± 0.02	3.84 ± 0.06
PL flux	7.7 ± 0.1	1.9 ± 0.5
Abs. flux	4.1 ± 0.1	0.30 ± 0.02
Unab. flux	9.6 ± 0.1	1.9 ± 0.1

Camera+14; Enoto+17



# はじめに マグネターはどうして生まれた？

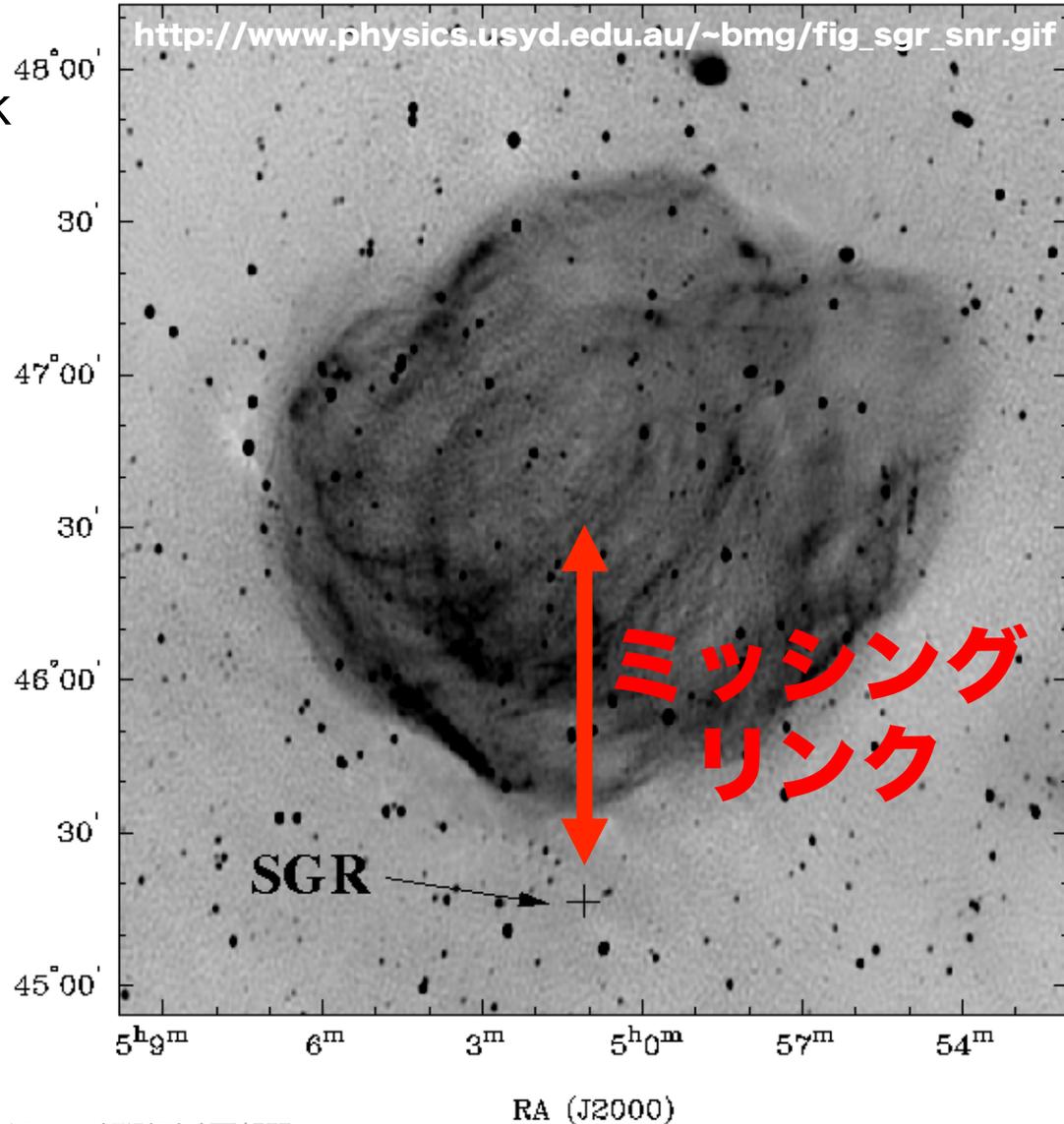
## • 大質量星の超新星爆発

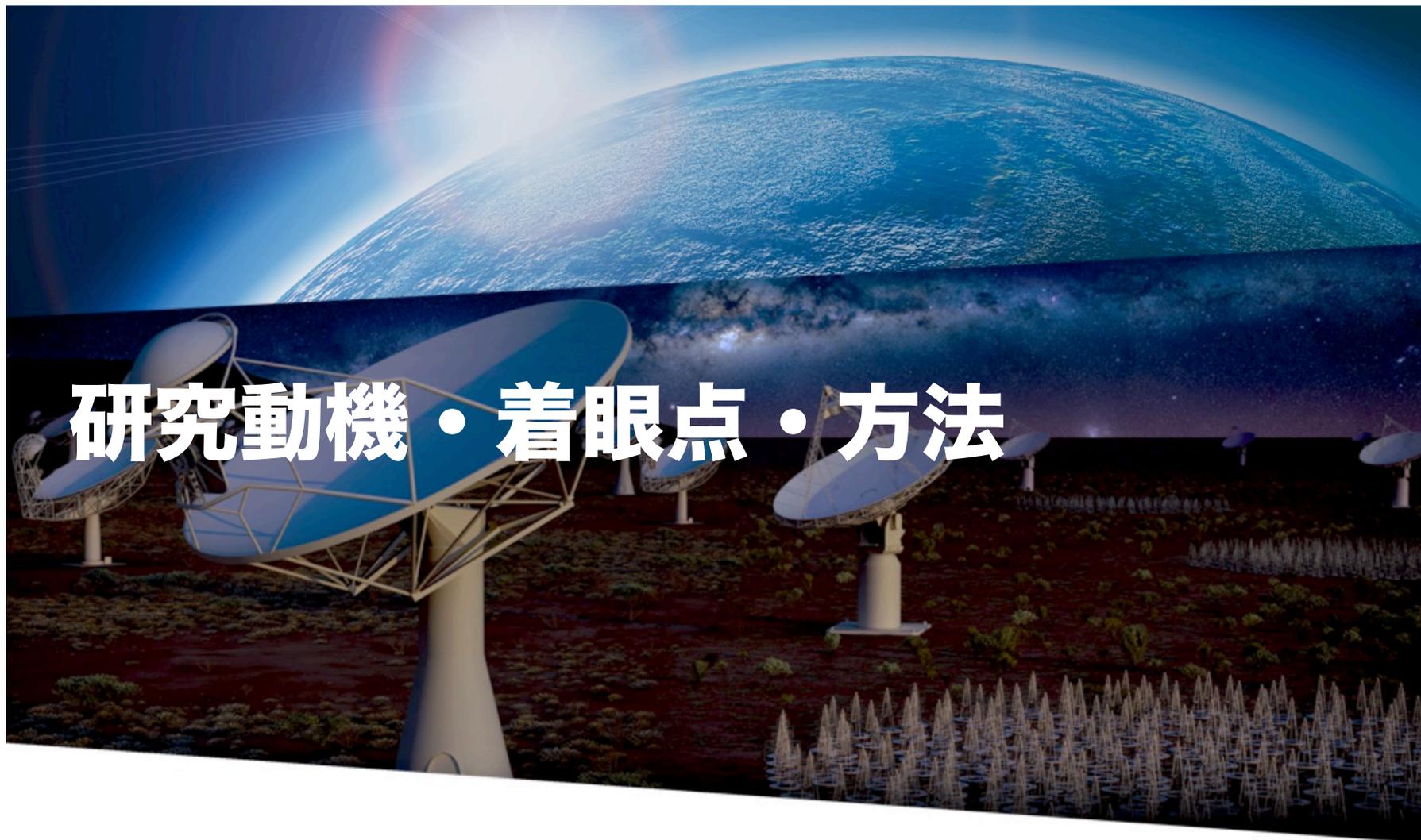
- Standing accretion shock instability (SASI)で振動
- 誕生時は回転高速で星内部に強いダイナモが発生？

## • 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

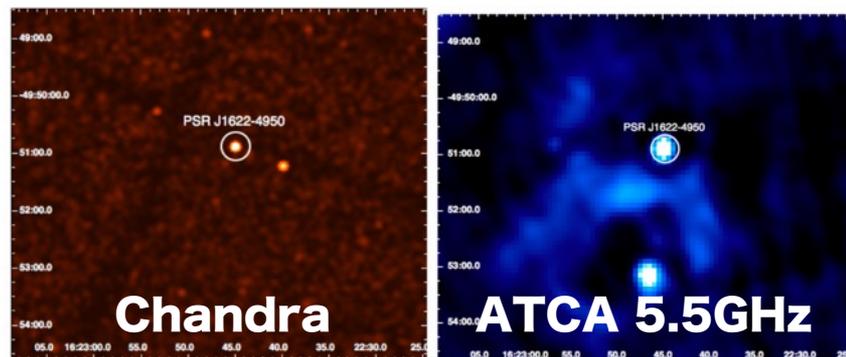




# 研究動機・着眼点・方法

## • PSR J1622-4950

- Parkes64mのサーベイ中に電波バースト発見(Levin+10)
- 磁場強度  $\sim 2.8 \times 10^{14} \text{ G}$
- X線追観測 → 黒体放射？  
**バーストではない**
- 長期監視 → 強度の経年弱化和  
 冪指数の経年硬化 (Anderson+12)

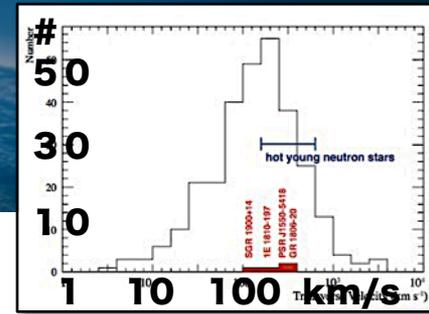


DM=820 pc cm<sup>-3</sup>  
 D=9 kpc (NE2001)  
 RM=-1484 rad m<sup>-2</sup>

Date (yyyy-mm-dd)	MJD	Central Frequency (MHz)	Flux Density (mJy)	Spectral Index ( $\alpha$ )	Polarization		
					Linear (mJy)	P.A. (deg)	Circular (mJy)
2008-11-22	54793	5312	33.0 ± 0.3	-0.13 ± 0.04	26.6 ± 0.7 (79%)	-17.5 ± 0.5	≤2.0 (≤6%)
		8768	30.9 ± 0.6		25.0 ± 0.8 (81%)	-25.8 ± 0.7	≤2.5 (≤8%)
2008-12-05	54806	4800	40.4 ± 0.3	-0.44 ± 0.04	5.7 ± 0.4 (14%)	+26.7 ± 1.5	-6.2 ± 0.3 (15%)
		8256	31.9 ± 0.6		5.8 ± 0.7 (18%)	-22.5 ± 2.5	-4.8 ± 0.5 (15%)
2009-12-08	55174	5500	13 ± 1	+0.2 ± 0.2			
2010-02-27 <sup>a</sup>	55255	9000	14.3 ± 0.8				

**電波バーストは数カ月～1年続く？**

# 着眼点 マグネターの課題3つ



## • 課題1：なぜバーストが起こるのか？

- 着眼点：数100km/sの固有運動をする中性子星は星間ガスと激しく衝突する。**高速度ガス衝突**が磁気圏に摂動を与える？
- 解決策：マグネターの位置と速度を測る

## • 課題2：マグネターの強磁場の起源は何か？

- 着眼点：SASIや高速回転が原因なら、磁場強度と**キック速度**と超新星残骸の形状とに何らかの傾向があるのでは？
- 解決策：マグネターの位置と速度を測る

## • 課題3：電波バーストの放射機構は何か？

- 着眼点：**冪(-0.5)**は電波パルサーの冪(-2)より**緩い**。放射機構や発生場所の違い、バーストの起源と関係？FRBとの関連は？
- 解決策：低周波に加えて高周波(22GHz)での電波観測&監視



**VERAによる位置天文観測の実施**

## • 研究方法

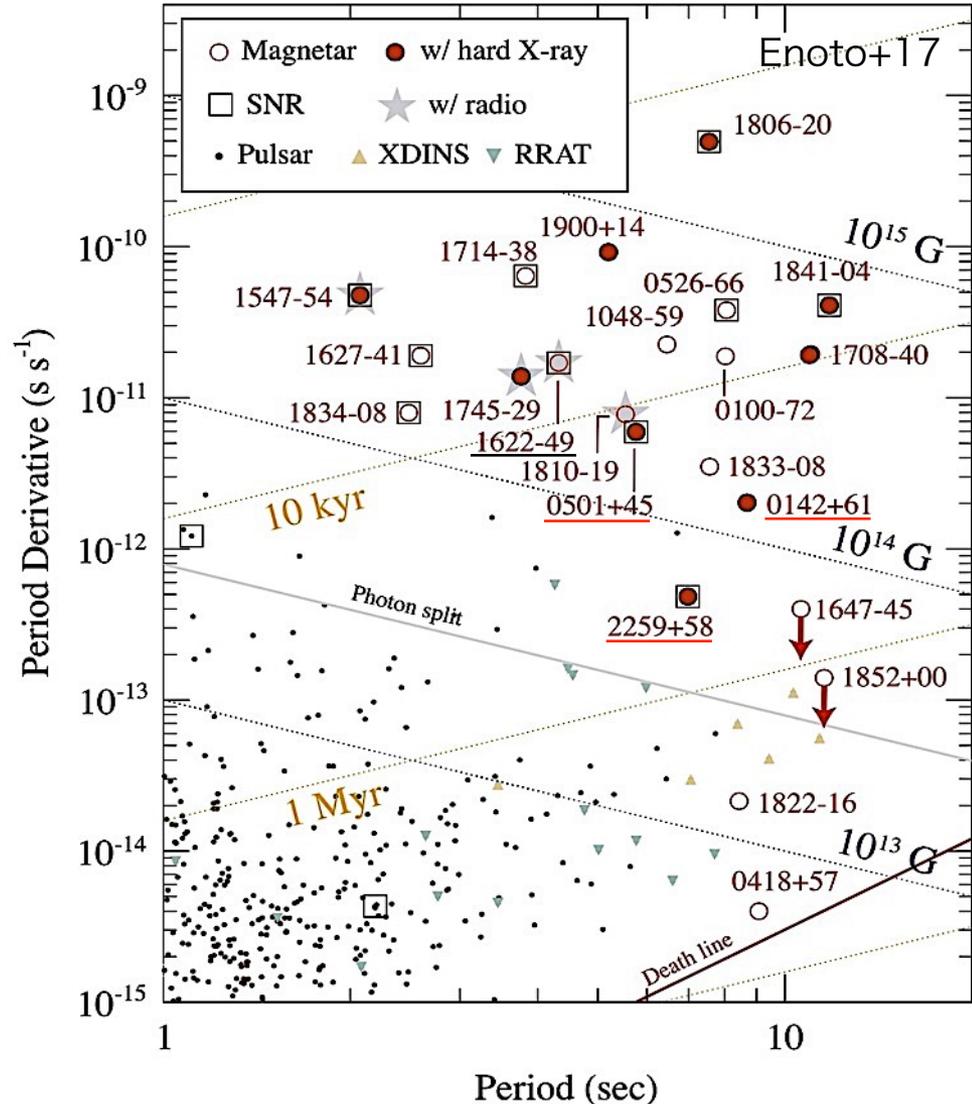
- VERA2ビームK帯連続波
- 1.2 mas, 2.3 mJy@200分
- **深い観測**：マグネターはパルサーか？電波が受かったら天球面運動速度を決定
- **定時監視**：バースト警戒

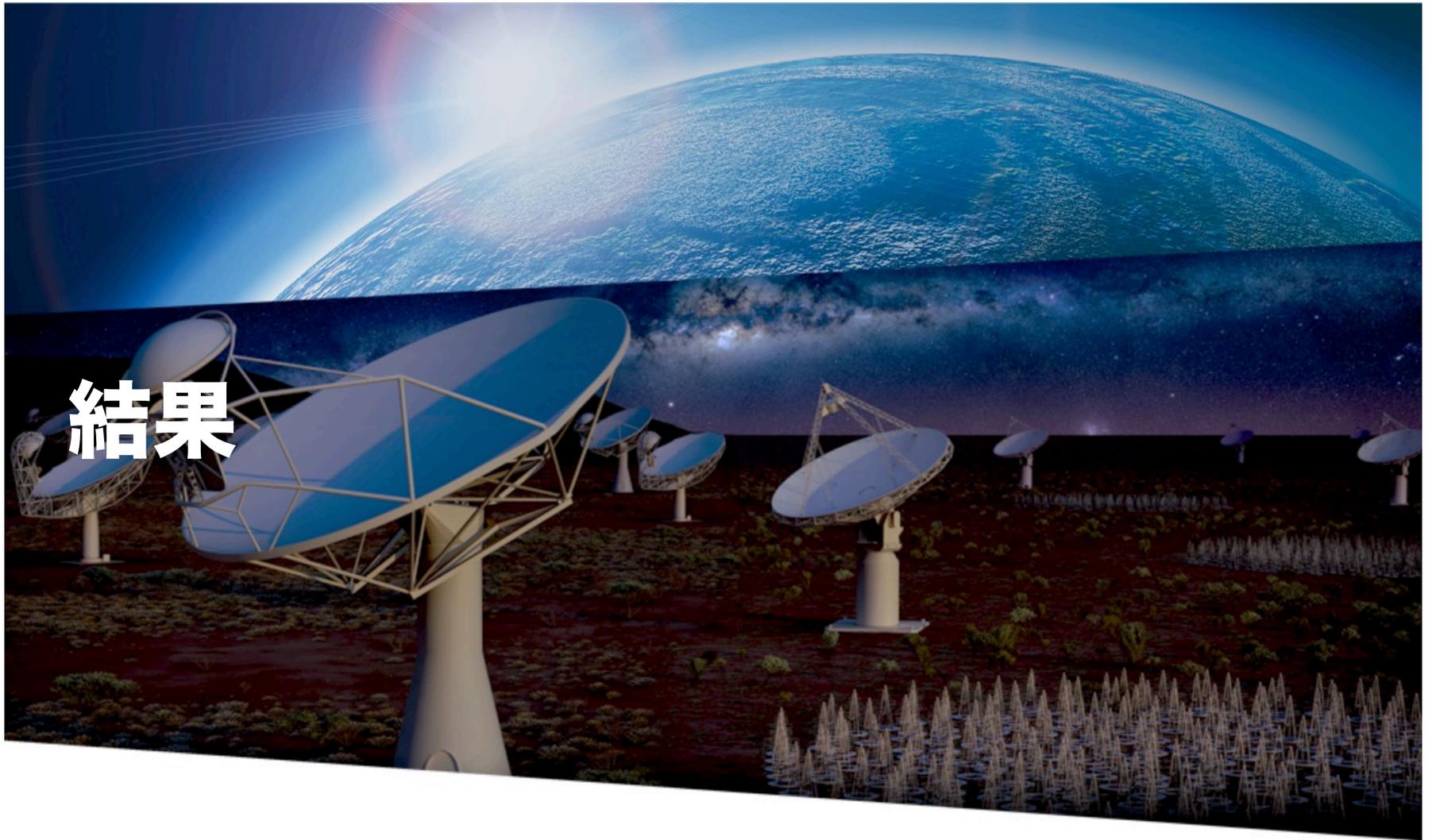
## • 観測対象

- マグネターカタログから銀中を避け、位相参照天体が3度以内にある天体 → **3天体**

## • SGR0501+45

- 2kpc離れていると仮定
- 200km/s → 1.7mas/月
- 同光度 → 0.3Jy@22GHz





# 結果 (仮) 深い観測の結果

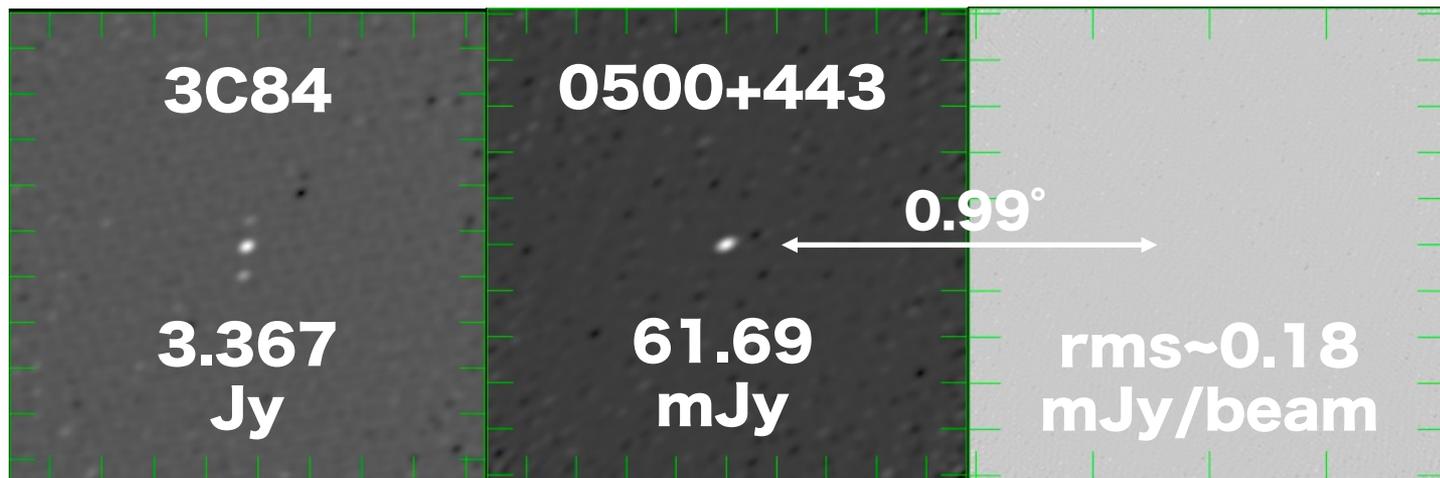
中心周波数 **22.290 GHz**  
 同時帯域幅 **128 MHz**  
 (注) 電波が恒常的に出ていると仮定  
 標準的な位相参照校正と結像を実施

Sta	$\tau_\theta$	$T_{rx}$	$T_{sys}$
MIZ	0.12	83	121
IRK	0.09	93	135
OGA	0.11	86	131
ISG	0.20	97	186

**10hr**

End	$\tau_\theta$	$T_{rx}$	$T_{sys}$
MIZ	0.14	85	142
IRK	0.08	96	142
OGA	0.10	89	135
ISG	0.18	110	189

## R18093A(2018/4/3)

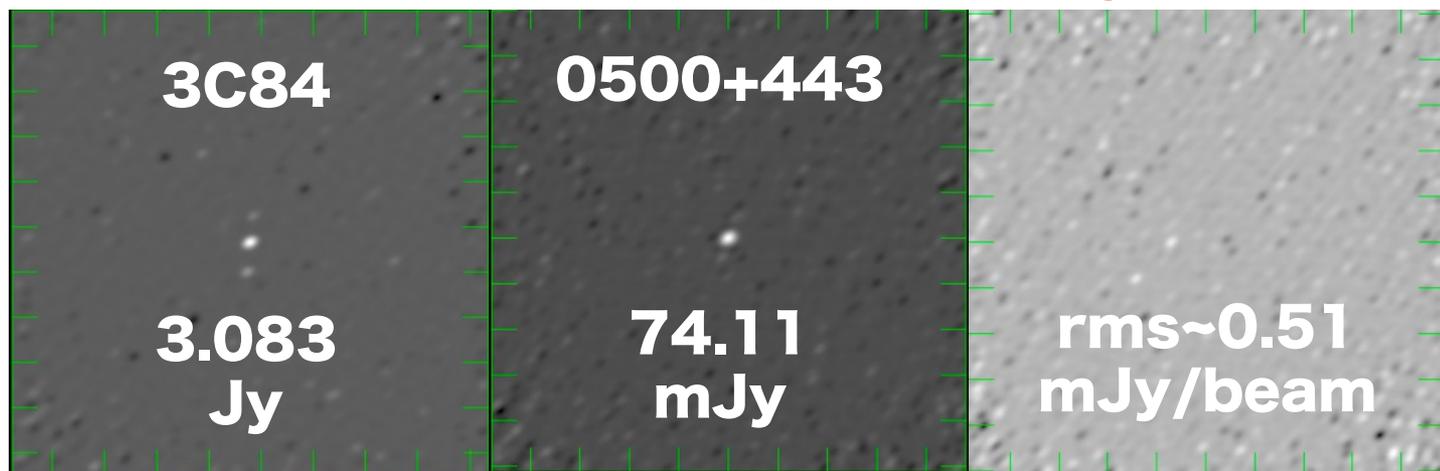


Sta	$\tau_\theta$	$T_{rx}$	$T_{sys}$
MIZ	0.15	71	132
IRK	0.25	119	232
OGA	0.19	117	203
ISG	0.26	176	310

**10hr**

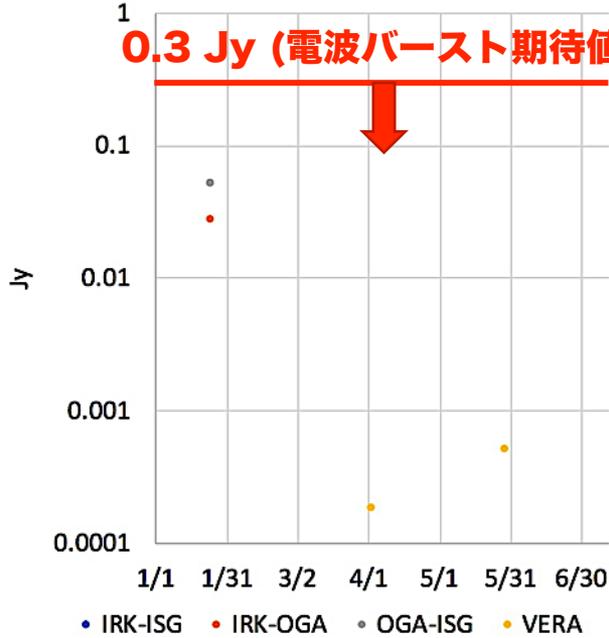
End	$\tau_\theta$	$T_{rx}$	$T_{sys}$
MIZ	0.17	88	157
IRK	0.21	124	229
OGA	0.29	143	278
ISG	0.23	114	216

## R18148B(2018/5/29, 55days)

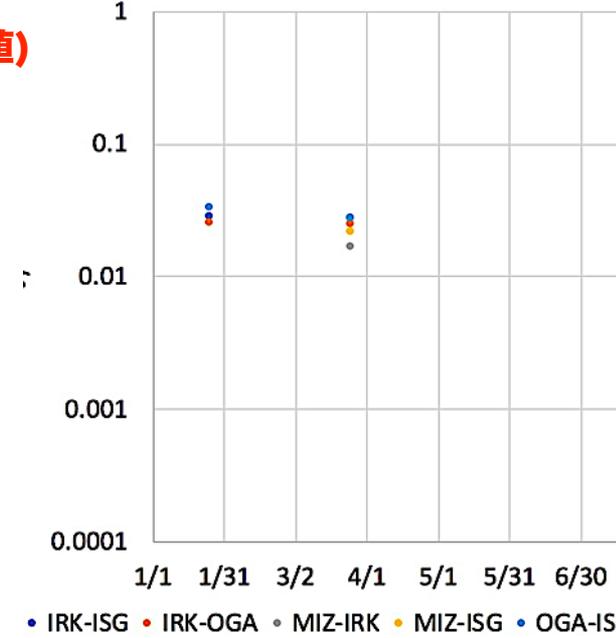


SGR0501+45

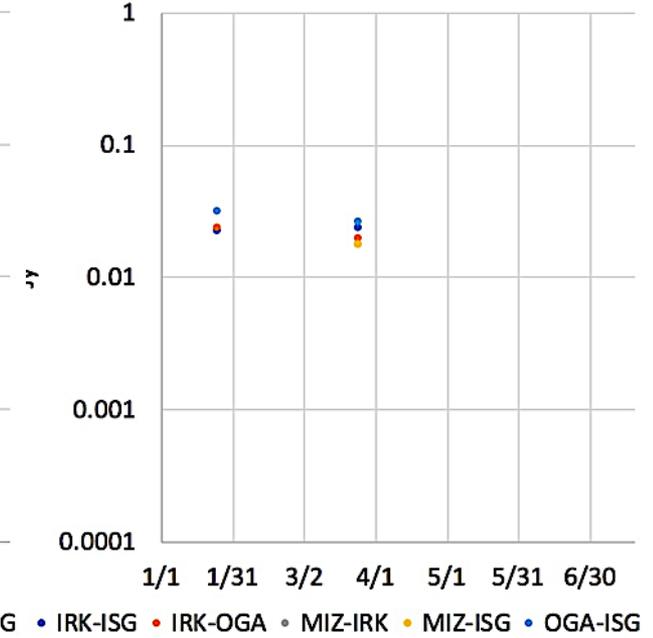
0.3 Jy (電波バースト期待値)



4U 0142+61

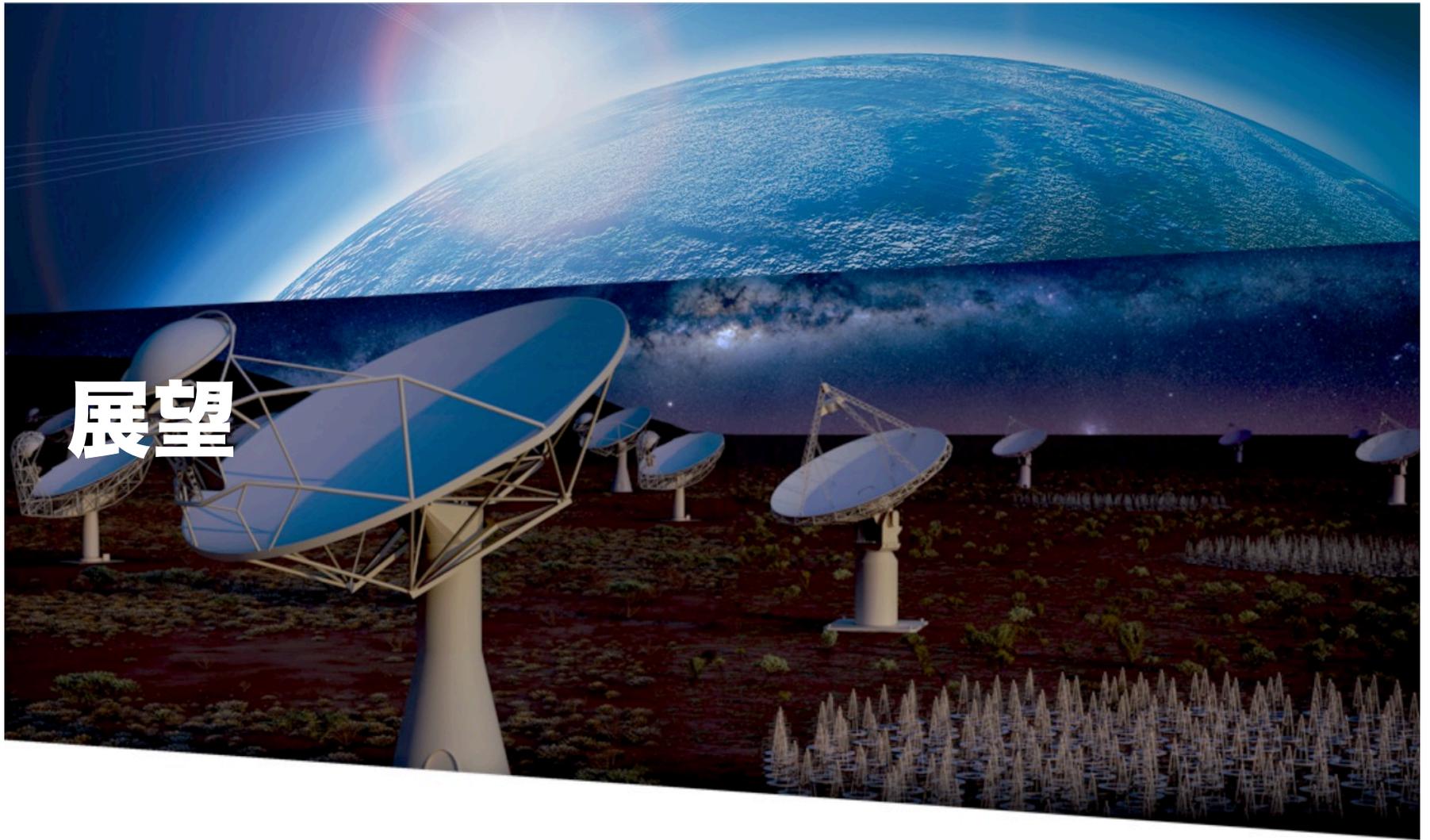


1E 2259+586



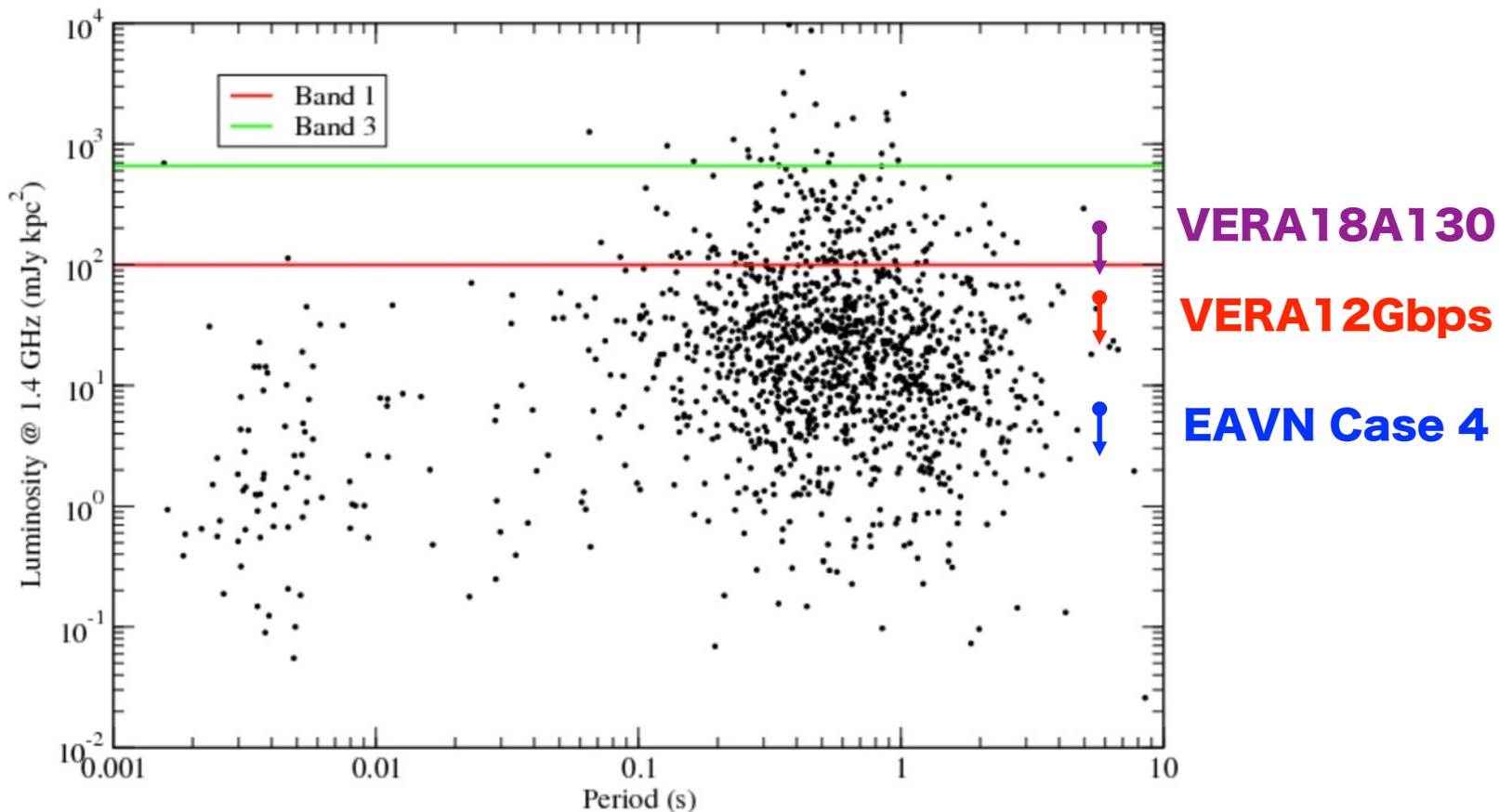
## 観測結果のまとめ

- 有意な電波バーストの検出なし (起こらなかった)
- 雑音  $\sigma \sim 0.2-0.5 \text{ mJy}/\text{mas}^2$  を越える定常放射もなし
- (広帯域) 定時監視でも有意な検出なし



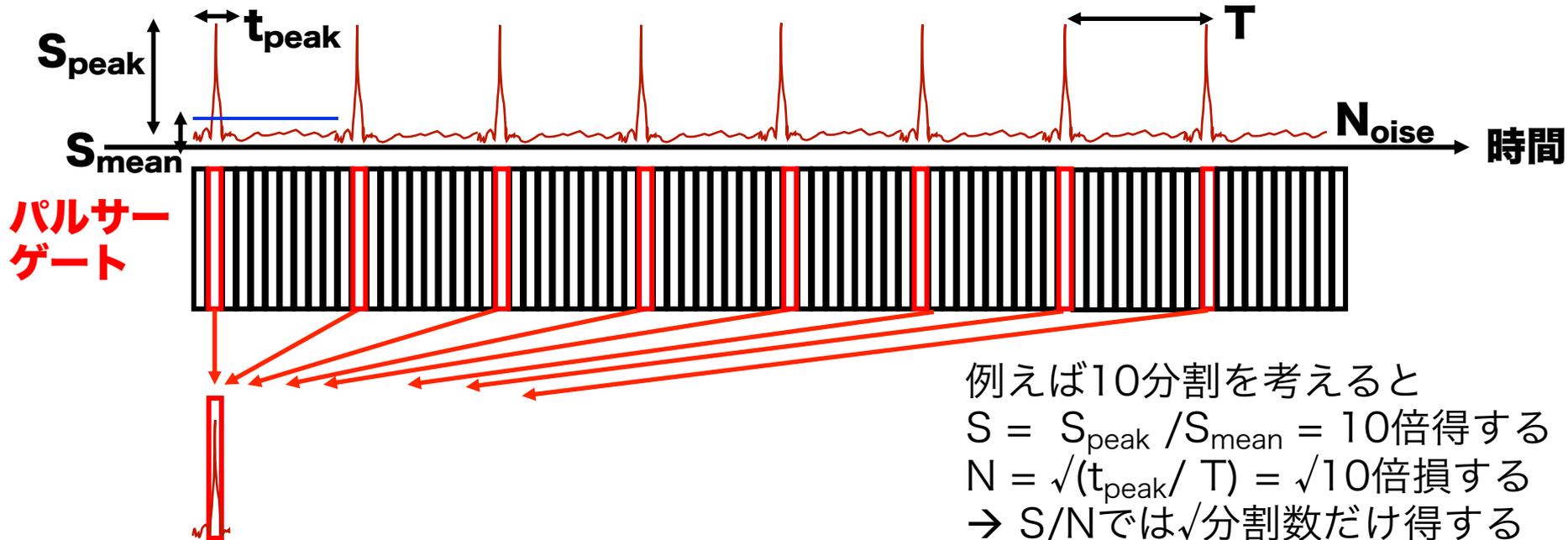
# 1. 広帯域追観測の実施

Fish+13



- **12Gbps(2048MHz帯域幅)提案で4倍感度向上**
- **パルサー上位3-4割の光度なら検出の可能性ある**

# 2. パルサーゲートの開発



## • PSR J0332+5434の観測提案

- $S=0.3\pm0.08$  mJy @ 23.05 GHz (Effersberg 2GHz BW, 1997年1月, Kramer+97)
- $P = 714.520408$  ms, DM 26.776 pc/cc,  $D=1.43$  kpc
- $S/N=6$  (12Gbps)で検出の見込み  $\rightarrow$  **パルサーゲート開発**

## ・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**

## ・将来展望

- ・ マグネターが静穏時に並の電波パルサーなのかどうかを広帯域追観測によって判別する
- ・ VERA初の定常電波パルスの検出を狙う
- ・ 位相補正後に適用できるパルサーゲートの開発を達成
- ・ パルサーゲートをマグネターに適用しさらに追い込む
- ・ 以上をまとめて論文化(2019Q2頃)