

広がったTeVガンマ線源 VER J2019+368のX線観測

2016年9月14日 日本天文学会 秋季年会 @愛媛大学

田中 慎之 (広島大学)

水野 恒史、高橋 弘充、勝田 隼一郎 (広島大学)
林 克洋 (名古屋大学)、山崎 了 (青山学院大学)

目次

・ <u>Introduction</u>	<u>4P</u>
VER J2019+368の過去の観測	
・ <u>XMMの解析</u>	<u>2P</u>
イメージ	
スペクトル	
・ <u>議論</u>	<u>2P</u>
・ <u>まとめと今後</u>	<u>1P</u>
	<u>計 9P</u>

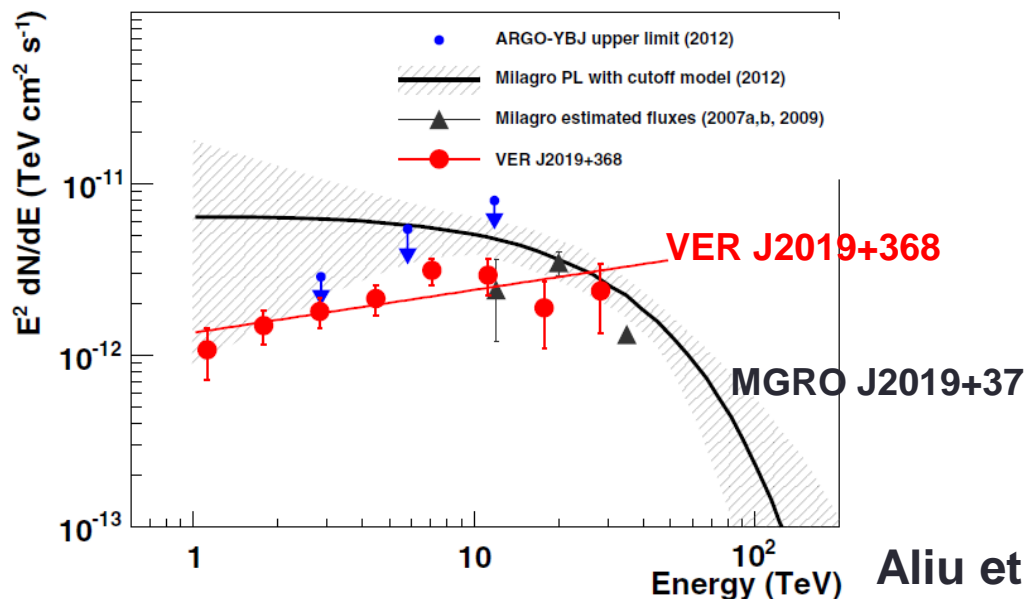
introduction

VER J2019+368の過去の観測 (TeVガンマ線)

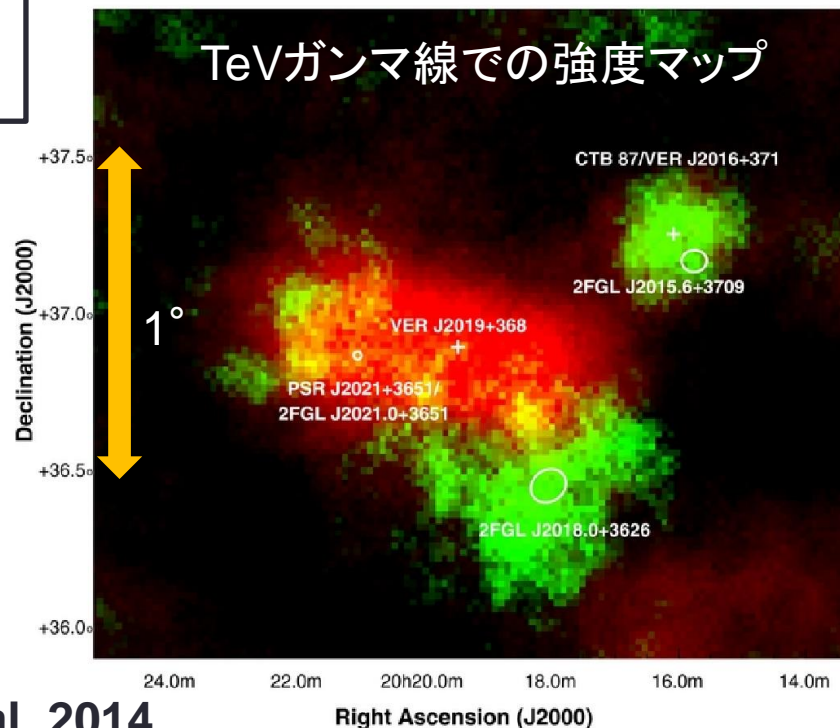
- 2007年にMilagro望遠鏡が”はくちょう座X”方向に大きく広がった TeVガンマ線放射MGRO J2019+37を発見した。(Abdo et al. 2007)
- その後、VERITASによる追観測でいくつかの放射に分解され、その主放射領域がVER J2019+368。

放射領域 (2D gauss 1σ) : $0.34^\circ \times 0.13^\circ$
 Flux (1 - 10 TeV) = 7×10^{-12} erg/s/cm²
 ベキ指数 $\Gamma = 1.75 \Rightarrow$ ハードなスペクトル

1 TeV < E
 0.6 TeV < E < 1 TeV



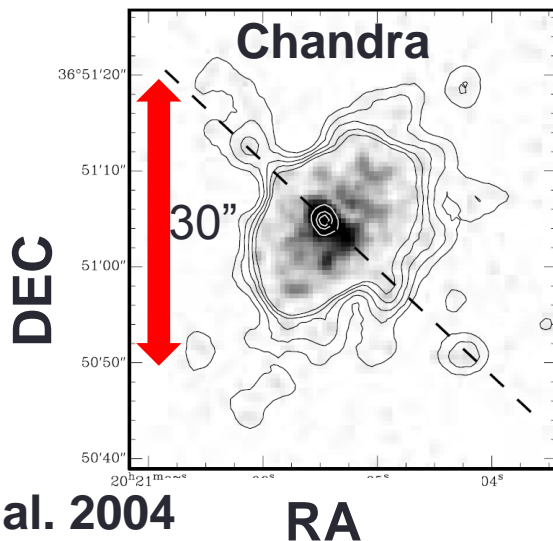
Aliu et al. 2014



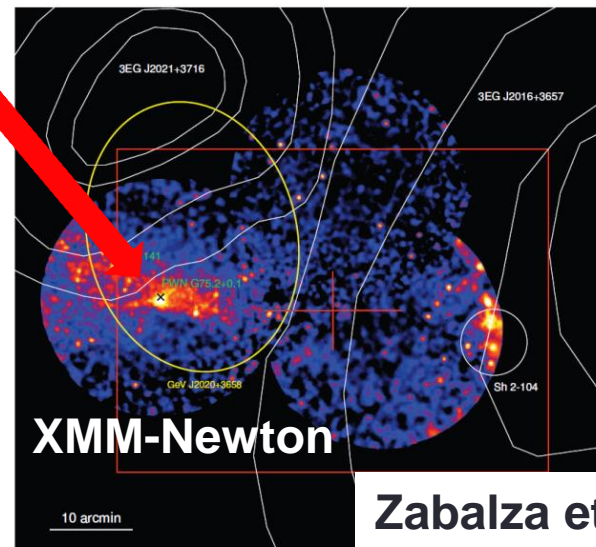
introduction

VER J2019+368の過去の観測 (X線)

- Chandraによる観測から、VER J2019+368の放射領域内に
パルサーPSR J2021+3651 と
そのまわりに 20"程度のパルサー星雲PWN G75.2+0.1を発見。
 - ・ パルサー PSR J2021+3651
 特性年齢：17.2 kyr, スピンダウン光度： 3.4×10^{36} erg/s
- XMMによる観測から、パルサー星雲がパルサーの**東西10分角程度に
 広がっている**ことを確認。ただし、定量的議論はなし。
- VER J2019+368のX線対応天体として、
パルサー PSR J2021+3651/パルサー星雲 PWN G75.2+0.1が最も有力。



Hessels et al. 2004



Zabalza et al. 2010

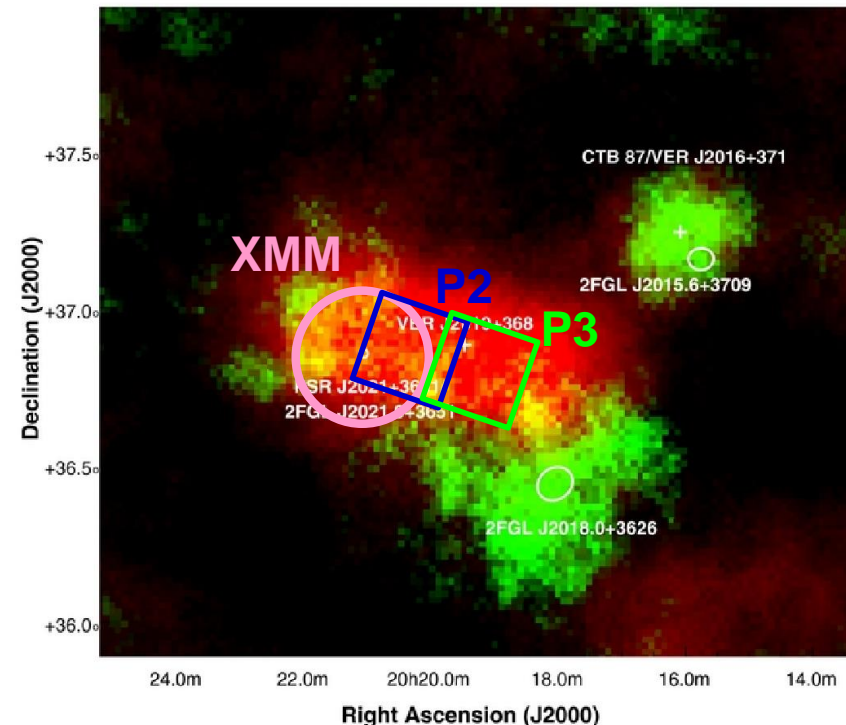
introduction

本研究の目的

広い視野で優れた空間分解能を持つXMM-Newtonと、広がった放射に対して感度の高いSuzakuの観測結果を用いることで、TeVガンマ線源VER J2019+368の放射機構について議論し、パルサー星雲での宇宙線(電子)のエネルギー分布や磁場を推定すること。

○ 今回用いた観測データ

観測領域	RA [deg]	DEC [deg]	観測時間 [ks]
P2 (Suzaku)	305.07	36.85	35.0
P3 (Suzaku)	304.80	36.80	35.7
XMM	305.27	36.85	127



introduction

Suzakuによる観測 (X線)

2016年春の物理学会
「すざく」による広がったTeVガンマ線
放射VER J2019+368のX線観測 (2)

(T. Mizuno, N. Tanaka (Hiroshima Univ.))

- P2領域で
パルサー星雲由来の強く広がった放射を確認
- このパルサー星雲のX線放射を
wabs × powerlaw でスペクトルフィットした。

$$N(H) = 0.83 (\pm 0.12) \times 10^{22} \text{ atoms/cm}^2$$

$$\Gamma = 2.05 (\pm 0.12)$$

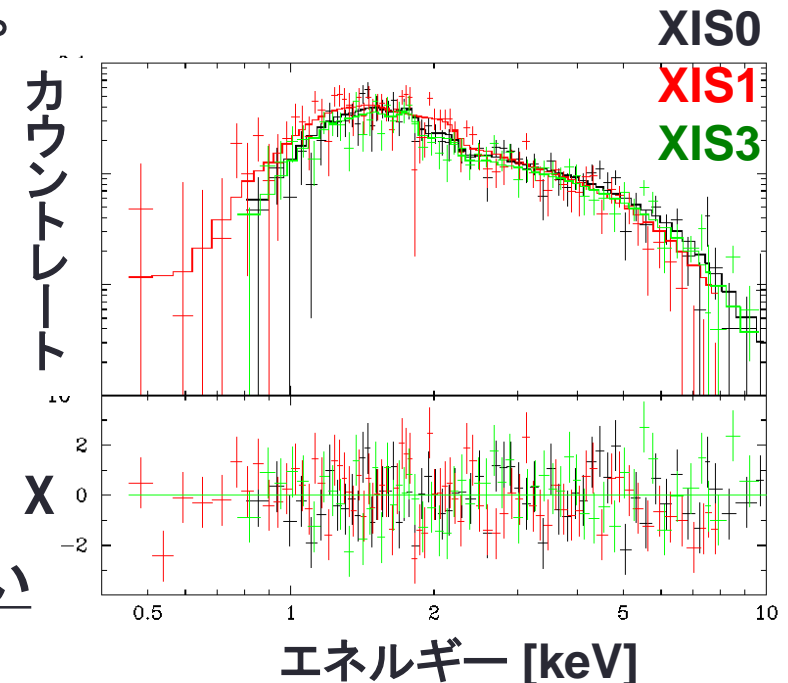
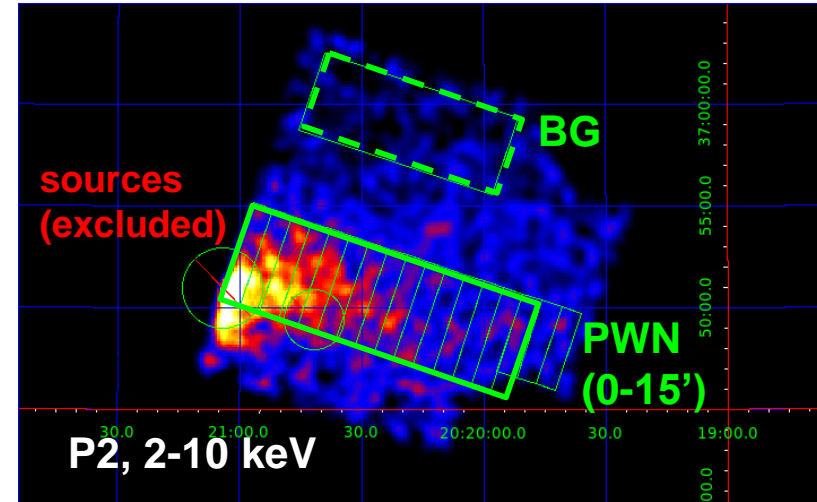
$$\text{Flux}(0.5-2 \text{ keV}) = 6.04 \times 10^{-13} \text{ erg/s/cm}^2$$

$$\text{Flux}(2-10 \text{ keV}) = 20.0 \times 10^{-13} \text{ erg/s/cm}^2$$

$$\text{chi}^2/\text{dof} = 211/188$$

西側パルサー星雲の広がり : 15' × 10'

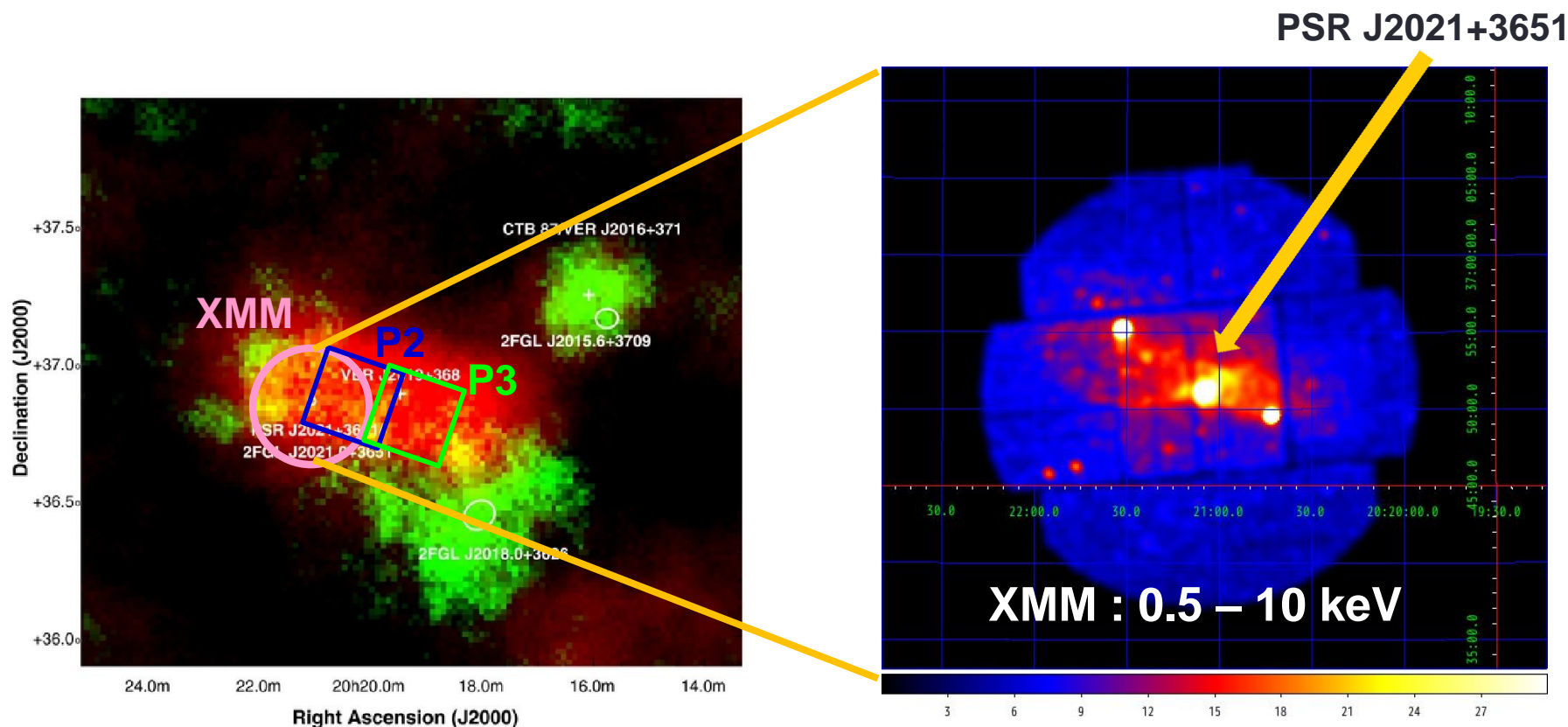
西側パルサー星雲を定量的に評価した
⇒ しかし、パルサー星雲全体は観測していない



XMMの解析

イメージ

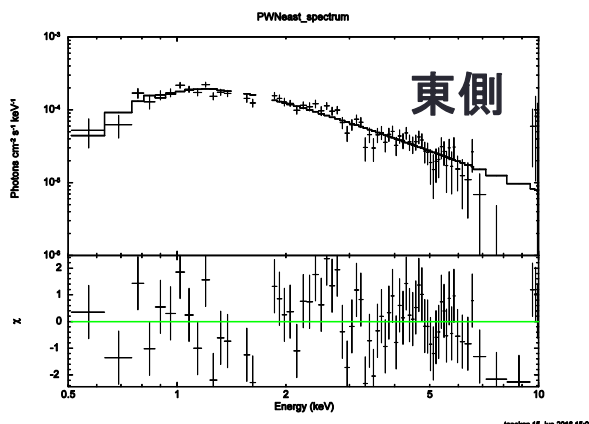
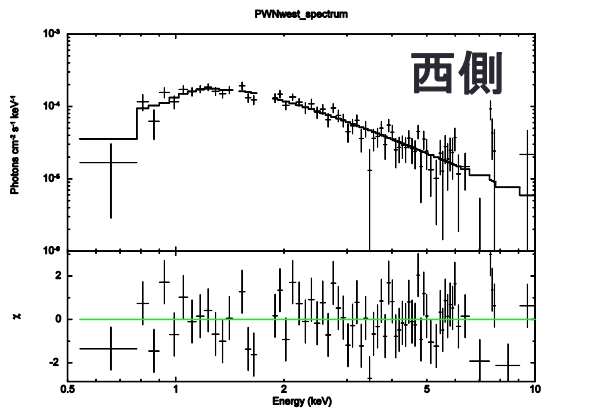
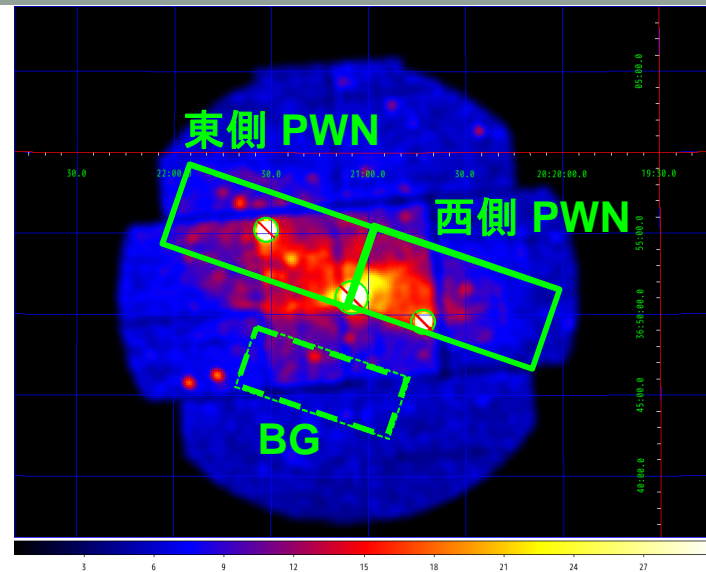
- 0.5 – 10 keVのカウントマップ
 - ・ MOS2のみを使用
 - ・ カウントレートによるフレアカット、 $\sigma = 0.26'$ のガウシアンでsmoothing済み
- 先行研究と同様に、**パルサーの東西に伸びるパルサー星雲を確認**



XMMの解析

パルサー星雲のスペクトル解析

- MOS2のみを使用
- カウントレートによるフレアカット済み
- PWN (5' × 12'), BG (4' × 10')
- フィットモデル : wabs × powerlaw



	東側	西側
N(H) ($\times 10^{22} \text{ cm}^{-2}$)	0.47 ± 0.07	0.67 ± 0.12
Γ	1.85 ± 0.13	2.11 ± 0.18
Flux (0.5 - 2 keV) ^a	4.60×10^{-13}	4.10×10^{-13}
Flux (2 - 10 keV) ^a	1.68×10^{-12}	1.41×10^{-12}
χ^2/dof	125.9/98	115.4/98

^a: 単位 [erg/s/cm²]

東西とも wabs × powerlaw でフィットでき、
おおよそ同じフラックスやベキ指数が得られた。

⇒ 東西とも同じエネルギー分布をした電子による
シンクロトン放射

定性的議論

TeVガンマ線とX線のフラックス比

X線をシンクロトン放射と仮定
 ガンマ線を逆コンプトン散乱と仮定

X線とガンマ線のフラックス比

$$\frac{F_\gamma(1 - 10 \text{ TeV})}{F_X(2 - 10 \text{ keV})} = \frac{U_{\text{rad}}}{U_{\text{mag}}} = \frac{6.7 \times 10^{-12}}{6.0 \times 10^{-12}} \sim 1.1$$

ガンマ線とX線のフラックス比が**同程度** $\Rightarrow U_{\text{mag}}$ と U_{rad} の比が**同程度**

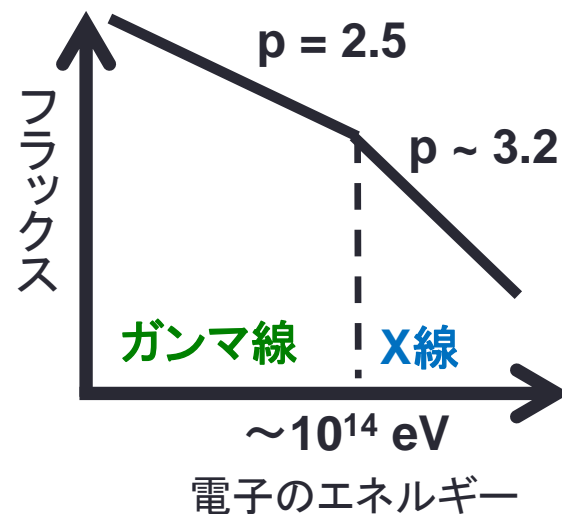
これは、 $U_{\text{mag}}(B = 3\mu\text{G}) = 0.22 \text{ eV/cm}^3$

$U_{\text{rad}}(\text{CMB}) = 0.25 \text{ eV/cm}^3$ と考えても矛盾しない

電子のエネルギー分布

- ① 一様な注入と特性年齢、一様な磁場を仮定したときの
 ブレイクエネルギー $E_b \sim 80 \text{ TeV}$
 - ② 1-10 keV のX線と、1-10 TeVのガンマ線を作り出す
 電子のエネルギーの境界 $E_b \sim 100 \text{ TeV}$
- ①と②で似た値が得られている。

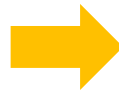
100 TeV前後で電子のエネルギー分布に折れ曲がりがあることを示唆



多波長スペクトルに基づく議論

○仮定

- ・ パルサーからの一様な注入
- ・ パルサーの特性年齢 (17.2 kyr)
- ・ 一様な磁場 (3uG)

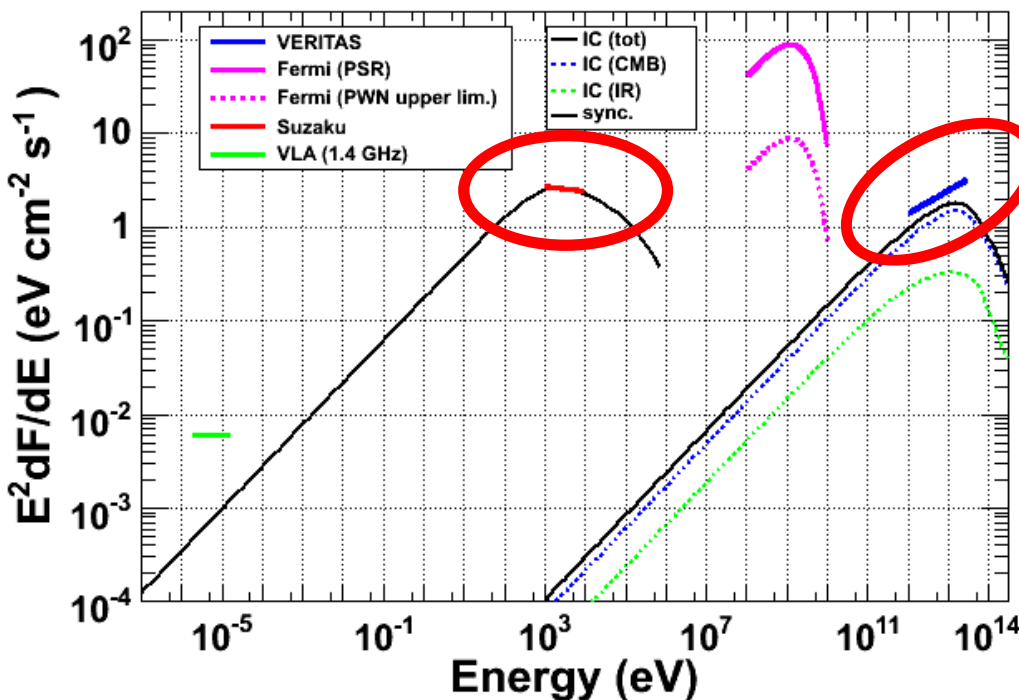


○計算

- ・ ブレイクエネルギー $E_{bk} = 80 \text{ TeV}$
- ・ シンクロトン放射
- ・ 逆コンプトン散乱

TeVガンマ線放射の70%

⇒ X線パルサー星雲は
TeVガンマ線源の主なX線対応天体



○上記の仮定の下で

- ・ 磁場を 3 uGより大きくする
⇒ 電子のBreak エネルギー小
⇒ TeVガンマ線がsingle PLであることに矛盾
- ・ 磁場を 2.5 uGより小さくする
⇒ モデルが観測を超えてしまう
⇒ 磁場は3 uG程度となる

まとめと今後

まとめ

- VER J2019+368は”はくちょう座X”方向に見つかった大きく広がったTeVガンマ線源である。
- **東西ともパルサー星雲は概ね同じフラックス・ベキ指数をしている。**
⇒ 東西とも同じエネルギー分布をした電子によるシンクロトロン放射
- パルサーからの一様な注入とパルサーの特性年齢、一様な磁場を仮定し、計算すると、
 - ・ **パルサー星雲がTeVガンマ線放射の約70%を説明できる。**
⇒ X線パルサー星雲はTeVガンマ線源の主なX線対応天体
 - ・ 磁場は 3 uG 程度となる。

今後

- XMMのデータのより詳細な解析
 - ・ BG除去やvignetting補正

参考文献

- Abdo+12, ApJ 753, 159
- Aliu+14, ApJ 788, 78
- www.snipview.com
- www.jaxa.jp
- Mitsuda et al. 2007
- Hessels +04, ApJ 612, 389
- Zabalza +10, J. of Mod. Phys. D.19, 811
- Ong et al. 2013, Proc. 33rd ICRC Conf.(arXiv:1307.5003)
- 2016年春の物理学会 T. Mizuno et al.
「すざく」による広がったTeVガンマ線放射VER J2019+368のX線観測 (2)

backup

○はくちょう座Xとは？

はくちょう座方向にある、さし渡し数度にも及ぶ大規模な星生成領域で、広がった電波源として見つかった。太陽系からの距離は1.5kpc程度とされている。

○X線とガンマ線の関連は？

X線とガンマ線では見ているものが違う。

X線・・・高エネルギー電子のシンクロトロン放射

ガンマ線・・・高エネルギー電子による逆コンプトン散乱

シンクロトロンも逆コンプトン散乱もPWNで加速された電子が作り出すと考えることができる。

→X線のフラックスとガンマ線のフラックスの比をとってまずは議論する。

→多波長スペクトルを作成し、最終的な議論をする。

○OVERITASとは？

Very Energetic Radiation Imaging Telescope Array Systemの略

2007年に観測開始。アメリカのアリゾナにある口径12m望遠鏡4台からなる施設
観測領域は85 GeV – 30 TeV。観測はチェレンコフ光を用いる。

backup

○Milagroとは？

ニューメキシコのJemes山で2001年から2008年まで稼働していた検出器。空気シャワーを検出。

○VER J2019+368のガンマ線観測

1 - 10 TeVのフラックスは $7e-12$ [erg/s/cm²]。距離が1.5kpcというのを考慮すると、luminosityは $2e33$ [erg/s]となる。放射領域のサイズは $1.2\text{deg} \times 0.6\text{deg}$ 程度なので、intensityは $4e-8$ [erg/s/cm²/sr]となる。ガンマ線のスペクトルのベキ数は1.7-1.8程度とかなり強い。

○XMM-Newton

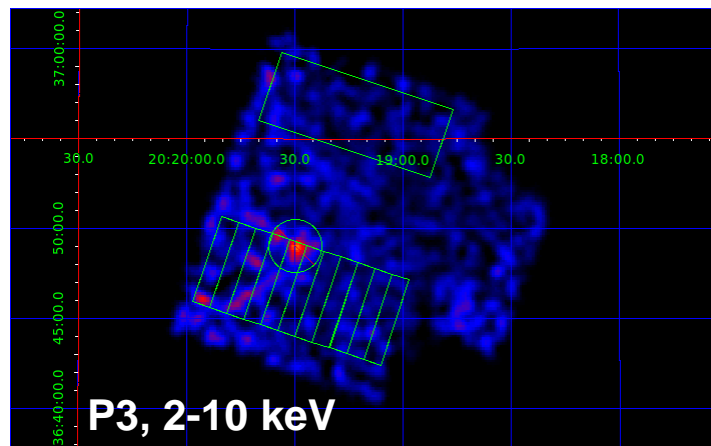
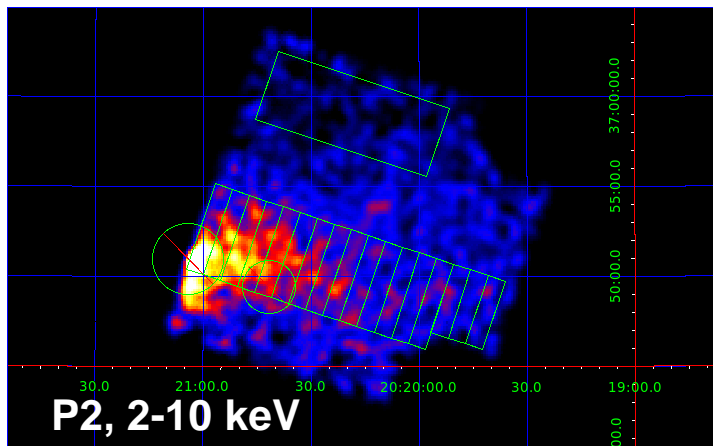
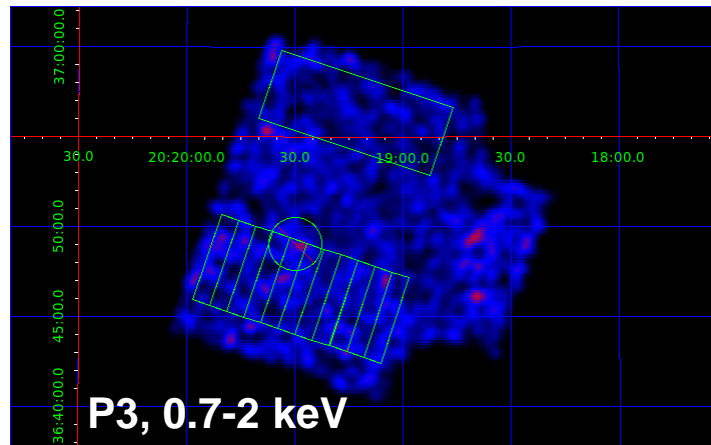
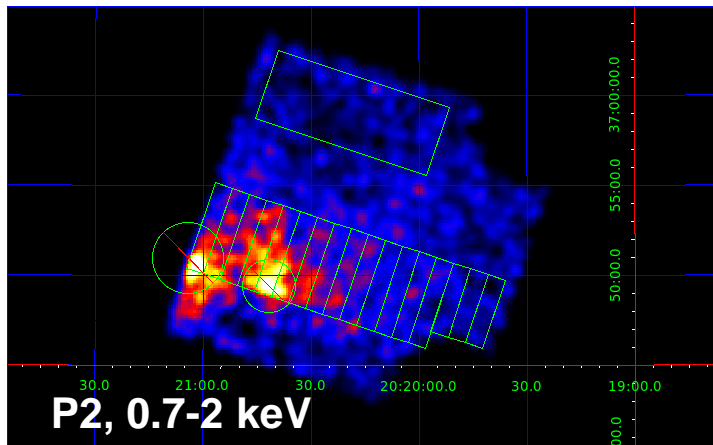
高度は7000-114000kmの楕円軌道。軌道周期は48時間。現在も現役。平均的な地球の磁気圏は約60000km

○Suzaku

高度は250-550kmの楕円軌道。軌道周期は96分。しかし現在は運用終了。

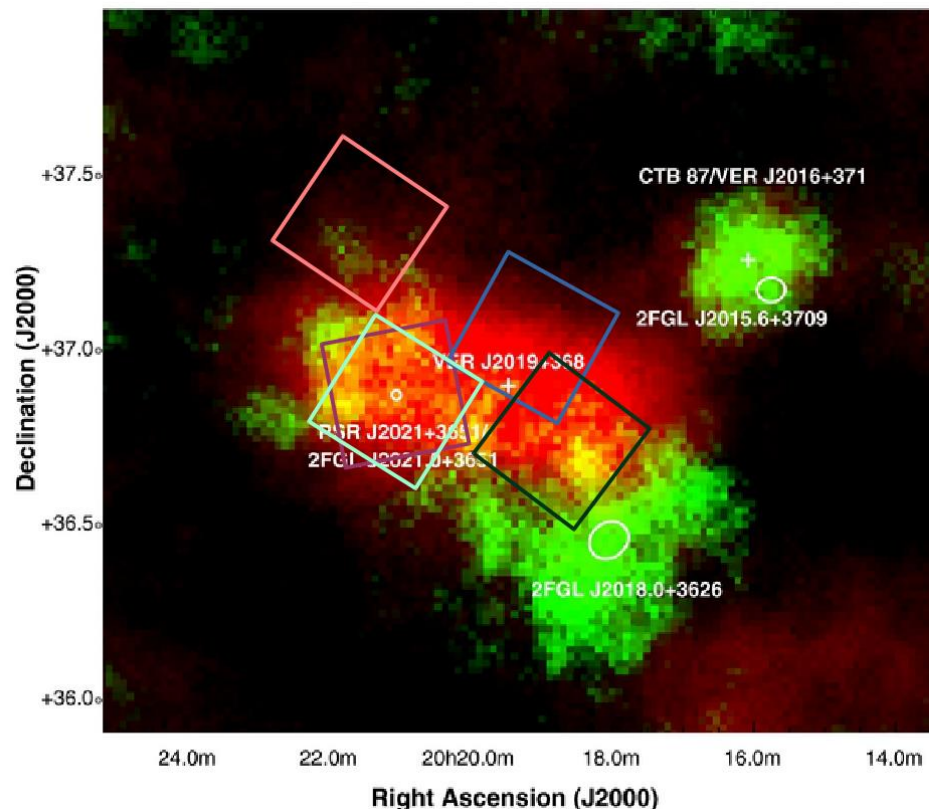
○OWRとは？

通常見られる水素などの吸収線が見られない。→外層がはがされている。ヘリウム・炭素・窒素などの非常に幅の広い輝線が見える。かなり不安定な星。



解析結果

イメージ解析

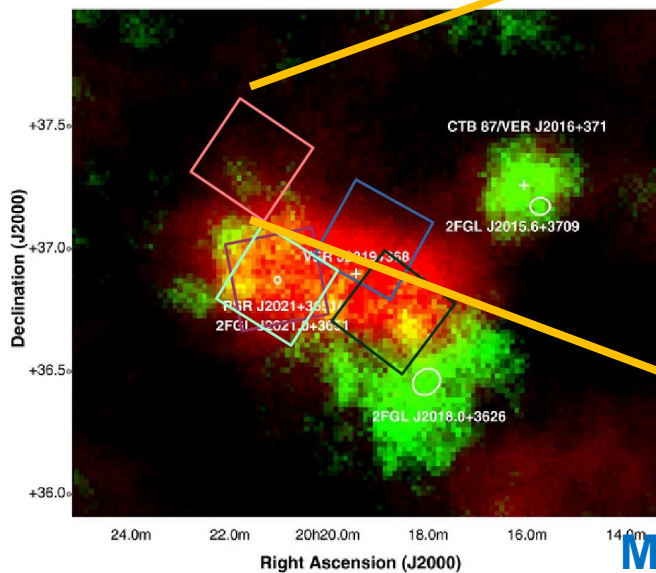


今回用いるXMM-Newtonの観測データ

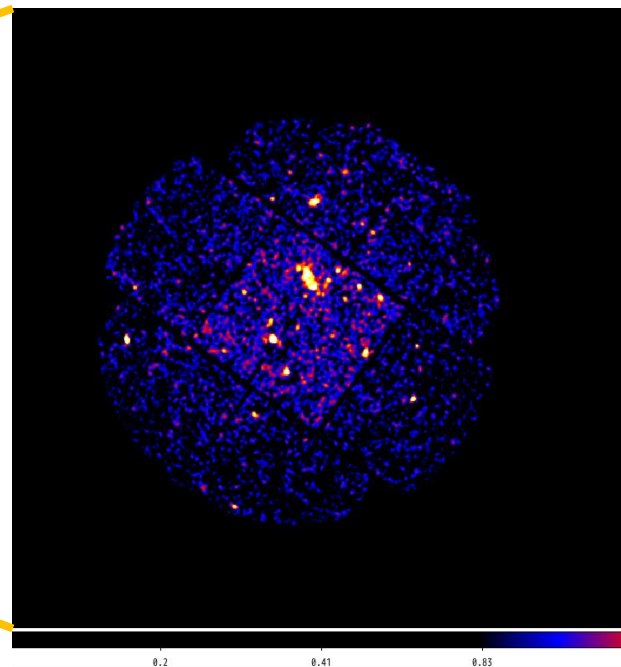
観測領域	観測回数	観測時間 [ks]
PSR J2021+3651	1	127
WR142	2	61 , 20
MGRO J2019+37	1	48
IGR J20188+3647	1	16
G75.2+0.1	2	34 , 30

解析結果

イメージ解析

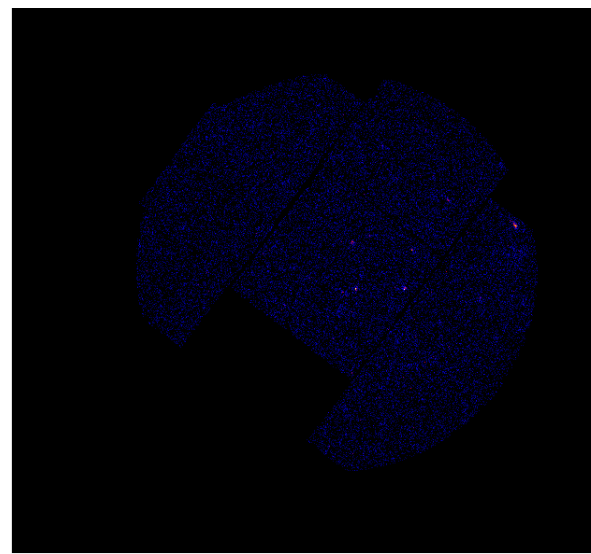
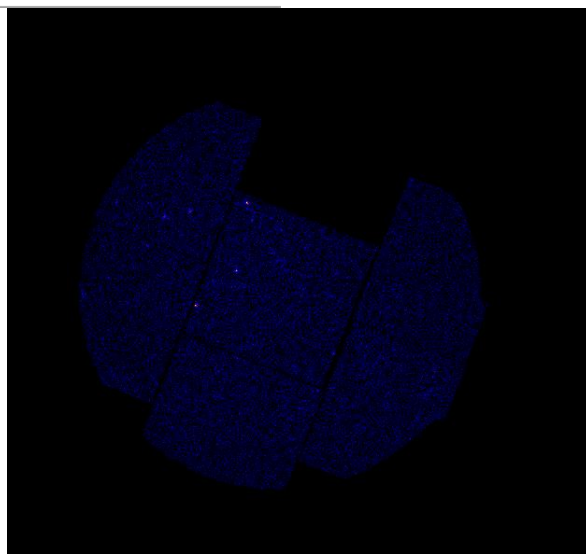


WR142



MGRO J2019+37

IGR J20188+3647



introduction

XMM-Newton衛星

1999年に打ち上げられた衛星

今回用いる検出器

○EPIC(European Photon Imaging Camera)

0.2 ~ 12 keVのX線に感度を持つ

EPICには、3つの検出器が存在
MOS1 / MOS2 / PN



基本的な性能

	XMM-Newton		Suzaku
○空間分解能	よい (~10 arcsec)	⇔	悪い (~1.8')
○有効面積 @ 6 keV	大 (1500 cm ²)	⇔	(~1000 cm ²)
○視野	大 (直径:30 arcmin)	⇔	(18' × 18')



広い視野と優れた空間分解能で広がった放射領域の全体像がつかめる。

introduction

Suzaku衛星

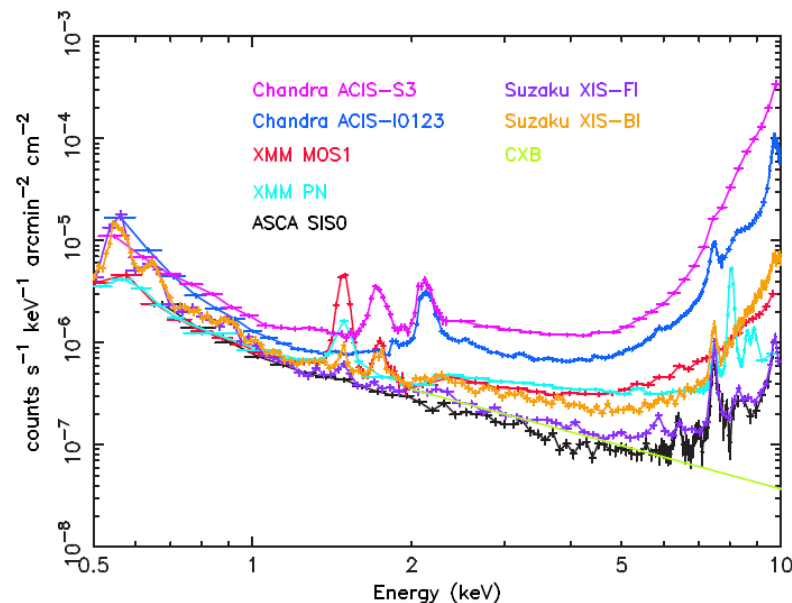
2005年に打ち上げられた衛星

今回用いる検出器

○XIS(X-ray Imaging Spectrometer)

X線のスペクトルと広い領域のX線撮像が目的

XISは4つ検出器がある



基本的な性能

Suzaku

XMM-Newton

○低バックグラウンド + 安定 ⇔ バックグラウンド高い + フレア



低バックグラウンド + 安定で
広がった放射に対して感度が良い

