



「ひとみ」衛星による Crab Giant radio pulse の X線電波同時観測

寺田幸功(埼玉大),

榎戸輝揚(京都大), 小山志勇(宇宙研), 馬場彩(東大),

大清水健也(埼玉大), 高見一輝(埼玉大),

高橋弘充(広島大), 渡辺伸(ISAS) ほか「ひとみ」コラボレーション,

寺澤敏夫(理化学研究所), 関戸衛(Nict 鹿島), 岳藤一宏(Nict 鹿島),

川合栄治(Nict 鹿島), 三澤浩昭(東北大), 土屋史紀(東北大),

山崎了(青山学院大), 小林瑛史(青山学院大),

木坂将太(青山学院大), 青木貴弘(山口大学) et al.



X線天文衛星「ひとみ」(ASTRO-H)

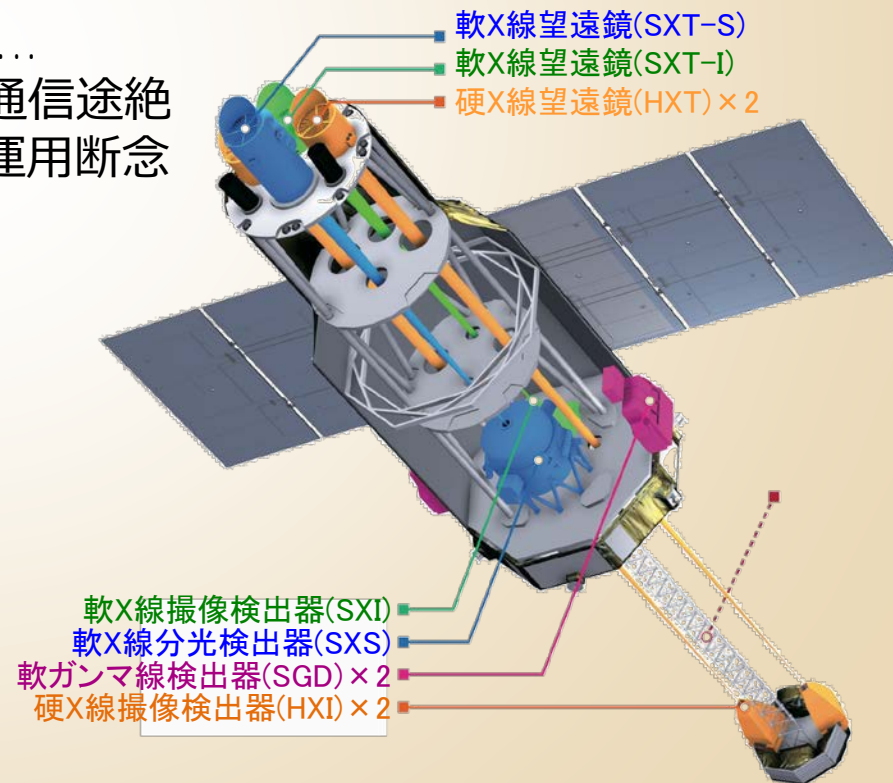
「ひとみ」(ASTRO-H) 衛星

- 0.3 ~ 600 keV 帯域のX線観測を狙う
 - 高分散分光
 - 広視野撮像
 - 硬X線撮像分光
 - 高感度ガンマ線分光
- 2003年 NeXT 計画
- 2005年 ASTRO-H ミッション開始,
- 2016年2月17日打上 ~ 3月26日通信途絶
4月28日運用断念

約 1 ヶ月の初期運用で観測した天体

(搭載機器は立ち上げ中)

- ペルセウス座銀河団
- N132D
- IGR J16318-4848
- RX J1856.5-3754
- G21.5-0.9
- Crab





「ひとみ」初期運用データは先月に公開!

観測データ : <https://darts.isas.jaxa.jp/pub/hitomi/>
 解析ソフト : <https://heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/software/lheasoft/>
 較正データベース : <https://heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/hitomi/calib/>

DARTS Data Archives and Transmission System CSODA *ASAS* JAXA Google 検索

- English

研究者向け (英語)

- データ
- HTTP
- 宇宙物理学
 - ひとみ
 - MAXI
 - すざく
 - あすか
 - ぎんが
 - てんま
 - あかり
 - IRTS
 - はるか
- 太陽系科学
 - ひので
 - ようこう
 - ひさき
 - れいめい
 - ジオテイル
 - あけぼの
 - おおぞら
 - じきけん
 - はやぶさ2
 - はやぶさ
 - かぐや
 - あかつき
 - さきがけ
 - SMILE S

DARTS (Data ARchives and Transmission System)は、天文学、太陽物理学、太陽地球系物理学、月惑星科学、微小重力科学等の多分野にわたる宇宙科学のデータアーカイブです。 DARTSについては、[About DARTS](#) をお読みください。

お知らせ

- サービス停止 情報

(13 Nov. 2017) サービスメンテナンスの為、以下期間にてサービスが利用不可となります。ご迷惑をおかけしますが、ご了承ください。
 2017-11-14 10:00 -- 15:00 (JST)

[過去のお知らせ](#)

最近のトピックス

ひとみ(ASTRO-H)のデータ公開

2016年2月に打ち上げられたX線天文衛星「ひとみ(ASTRO-H)」の観測データを公開しました。全観測リストは[こちら](#)。 打上げから約1か月の短い期間ではありましたが、「ひとみ」衛星は貴重なデータを残してくれました。 その一つが、軟X線分光検出器 (SXS: Soft X-ray Spectrometer) によるペルゼウス座銀河団の観測データです。「ひとみ」は、過去最高のエネルギー分解能による観測を行い、これまでの20倍以上の精度で高温ガスの運動を測定しました。また、それによって銀河団中心部のガスの運動を、初めて直接測定しました(*Nature*, [535, 117, 2016](#))。 (2017年10月)



「すざく」解析と同等の使い勝手。天体毎の詳細なマニュアル付き。
解析してみたい人は寺田まで連絡くれれば手伝います!

terada@phy.saitama-u.ac.jp



「ひとみ」衛星初期運用による科学成果

ペルセウス座銀河団

The Quiescent Intracluster Medium in the Core of the Perseus Cluster	A.Fabian	Nature	2016 July
Hitomi constraints on the 3.5 keV line in the Perseus galaxy cluster	M. Markevitch	ApJL	2016 July
Solar abundance ratios of the iron-peak elements in the Perseus cluster	H.Yamaguchi	Nature	2017 Nov
Measurements of resonant scattering in the Perseus cluster core with Hitomi SXS	K.Sato	PASJ	1710.04648
Atmospheric gas dynamics in the Perseus cluster observed with Hitomi	Y.Ichinohe	PASJ	1711.00240

NGC1275

Hitomi Observation of Radio Galaxy NGC 1275: The First X-ray Microcalorimeter Spectroscopy of Fe-K{alpha} Line Emission from an Active Galactic Nucleus	H.Noda	PASJ	1711.06289
---	--------	------	------------

N132D

	E.Miller		Under review
--	----------	--	--------------

RXJ1856-3754

(calibration paper only)	--	--	--
--------------------------	----	----	----

IGR J16318-4848

Glimpse of the highly obscured HMXB IGR J16318-4848 with Hitomi	H.Nakajima	PASJ	1711.07727
---	------------	------	------------

G21.5-0.9

	H.Uchida		To be submitted
--	----------	--	-----------------

Crab

Search for Thermal X-ray Features from the Crab nebula with Hitomi Soft X-ray Spectrometer	M.Tsujimoto	PASJ	1707.00054
--	-------------	------	------------

Hitomi X-ray studies of Giant Radio Pulses from the Crab pulsar	Y.Terada	PASJ	1707.08801
--	----------	------	------------

Crab はペルセウス座銀河団に次いで早期に科学論文として受理

↑ 今回の発表はこちら。

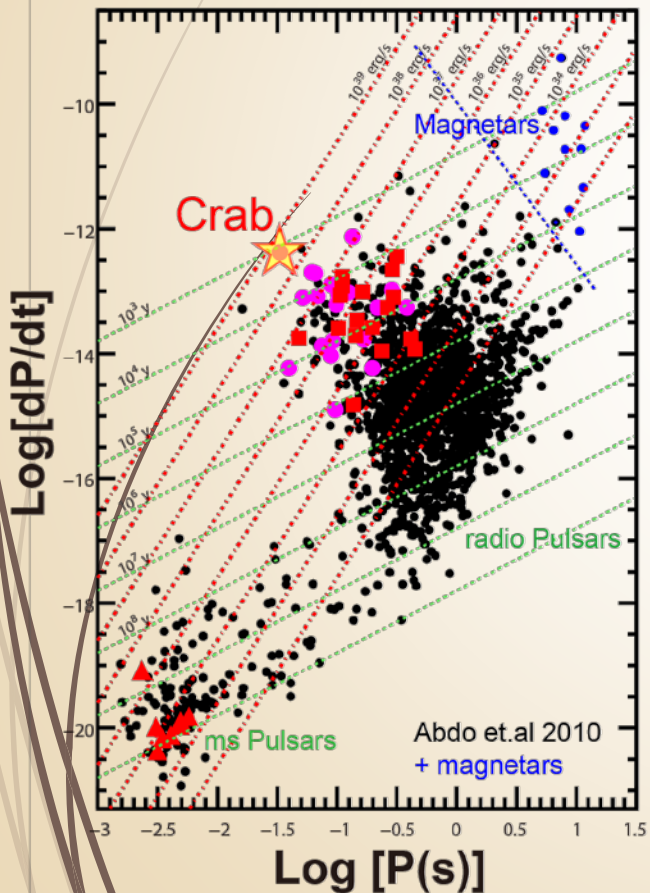


1. Crab Giant Radio Pulse

近傍の活動的パルサー

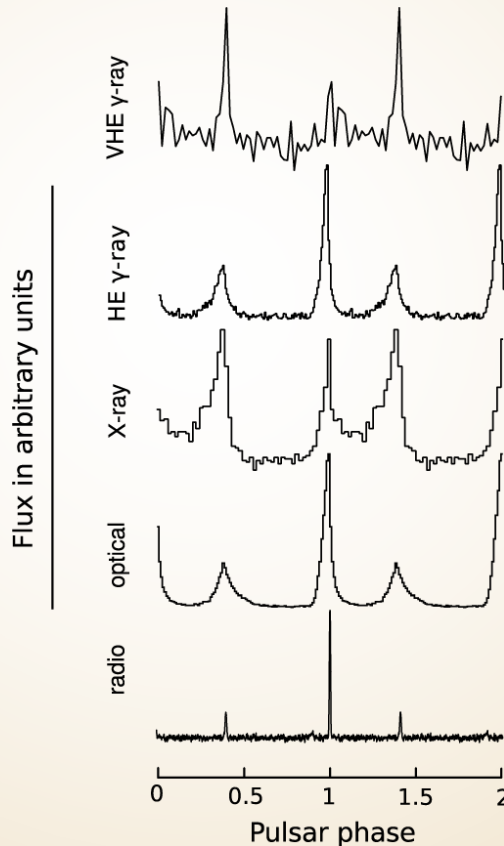
$$P = 33.7 \text{ ms}, \dot{P} = 4.2 \times 10^{-13}$$

$$\dot{E} = 5 \times 10^{38} \text{ erg/s}$$

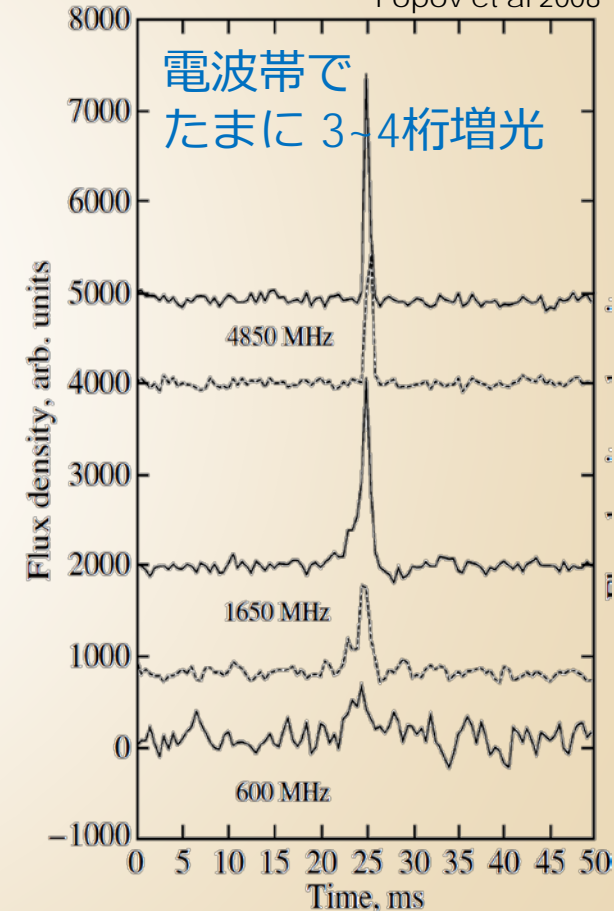


多波長Pulse 放射 と Giant Radio Pulse

Buhler & Blandford (2013)



Popov et al 2008



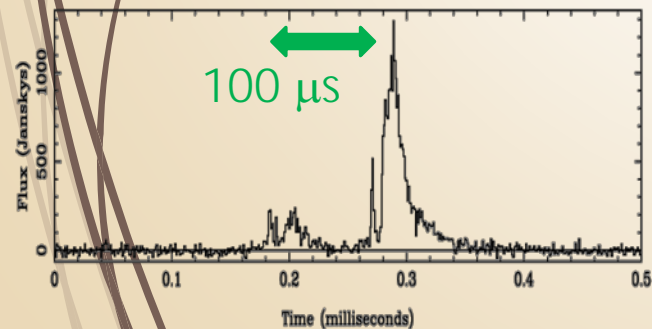
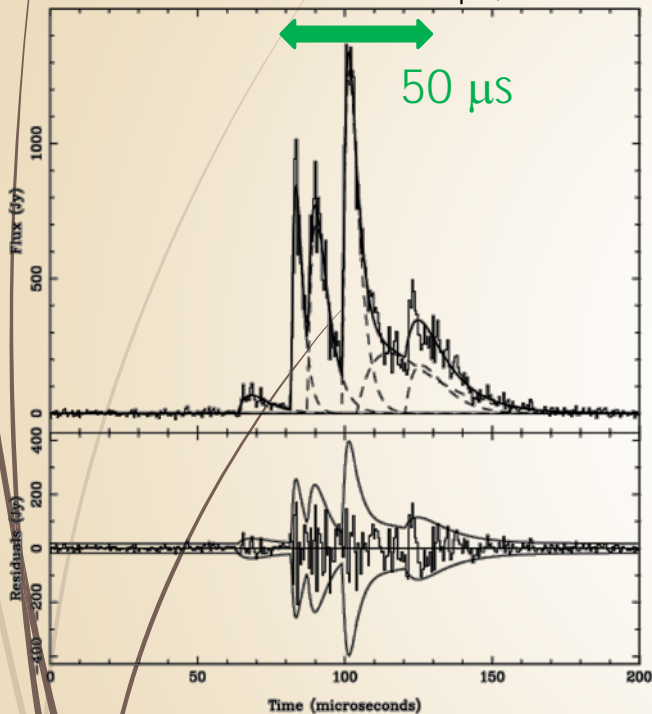
電波からガンマ線まで位相のそろったパルス放射
いまだ Giant Radio Pulse の放射機構は不明



電波での GRP の特性: fine structure

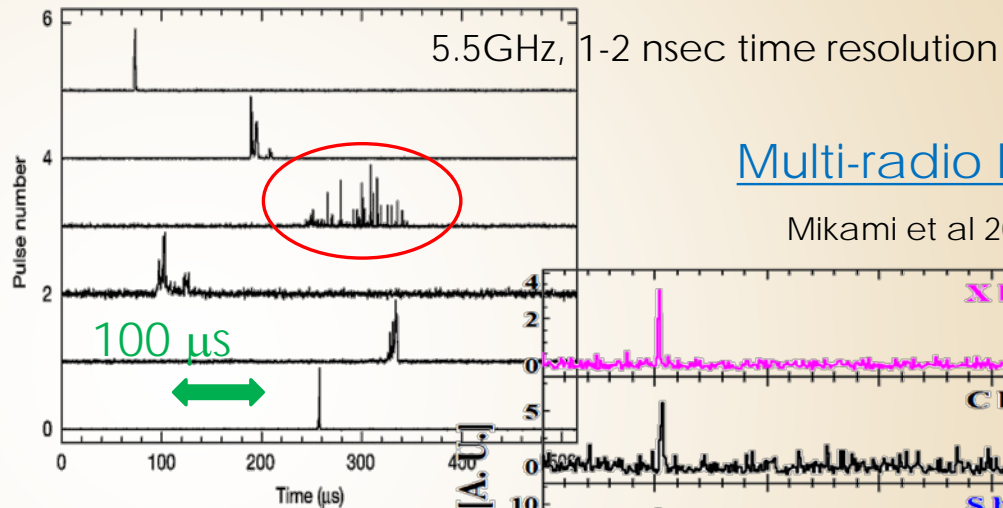
Fine structure in single GRP

Sallmen et al 1999 ApJ,



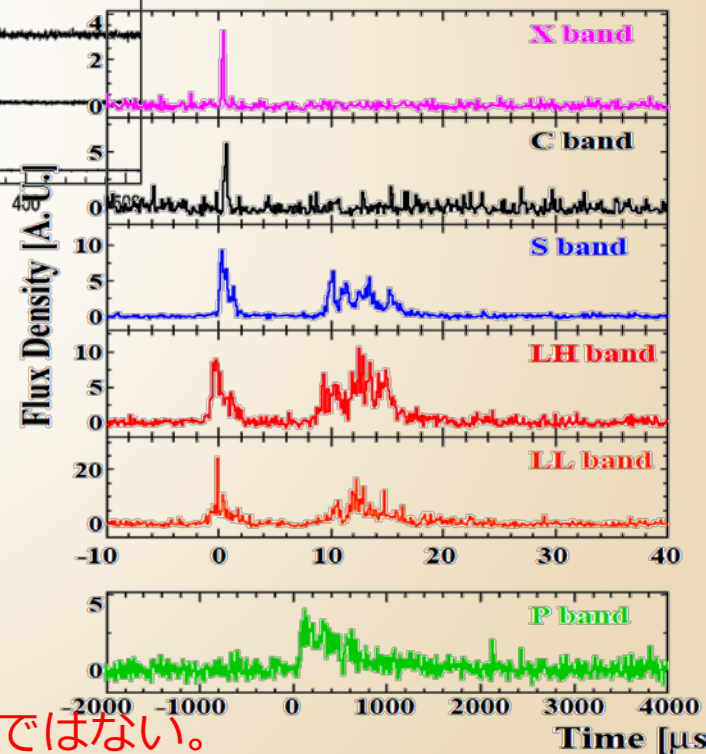
Nano-second radio pulses in GRP

Hankins et al 2003 Nature



Multi-radio band

Mikami et al 2016 ApJ

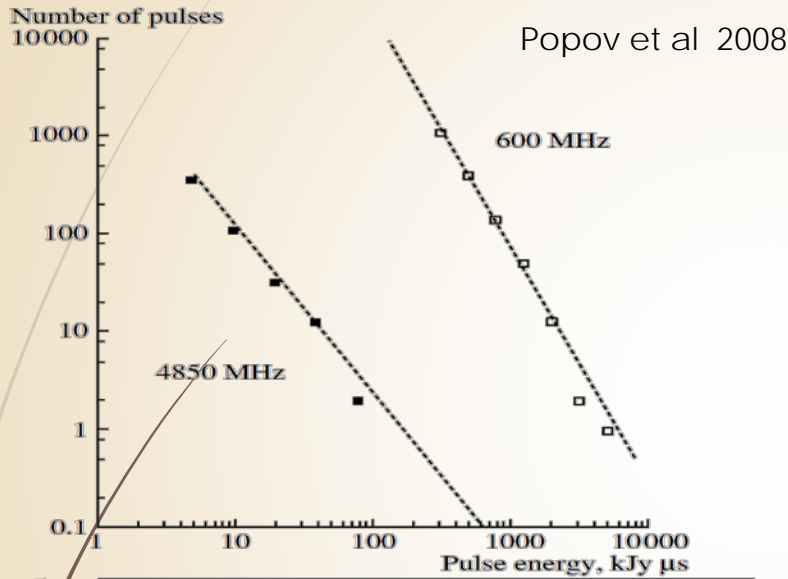


GRPは一つのパルスではない。
GRPは μ sec オーダーでは帯域によらず align。

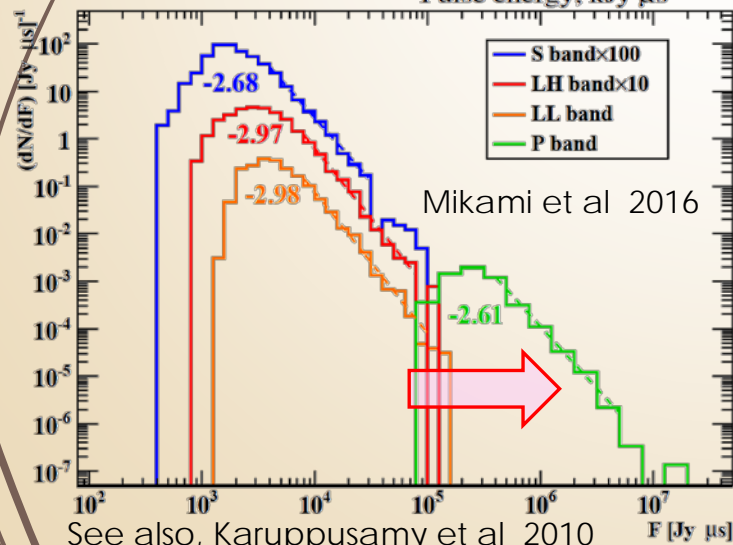
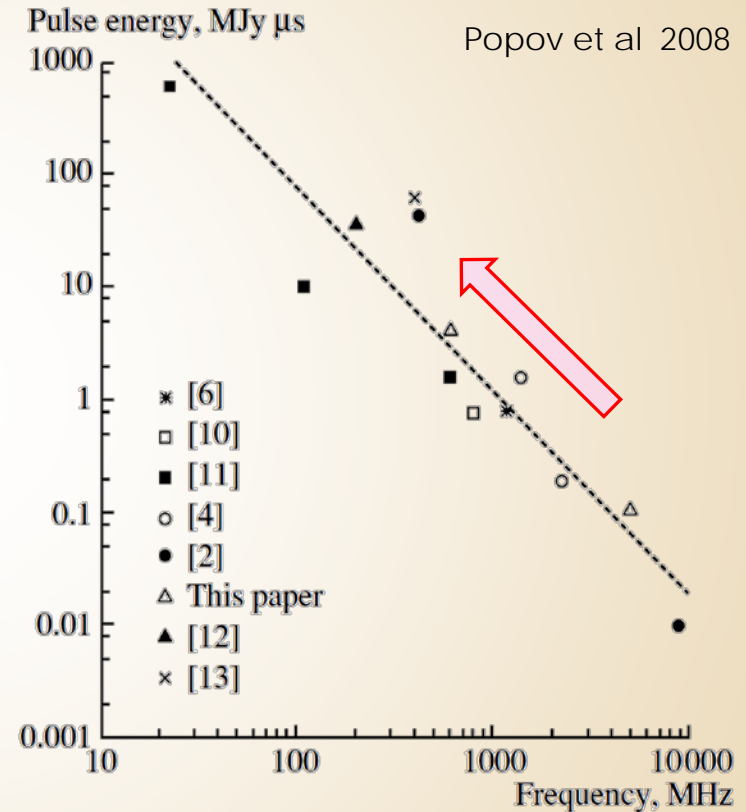


電波でのGRPの特性: 発生頻度分布

Energy distribution function



Energy spectrum of MainPulse GRP

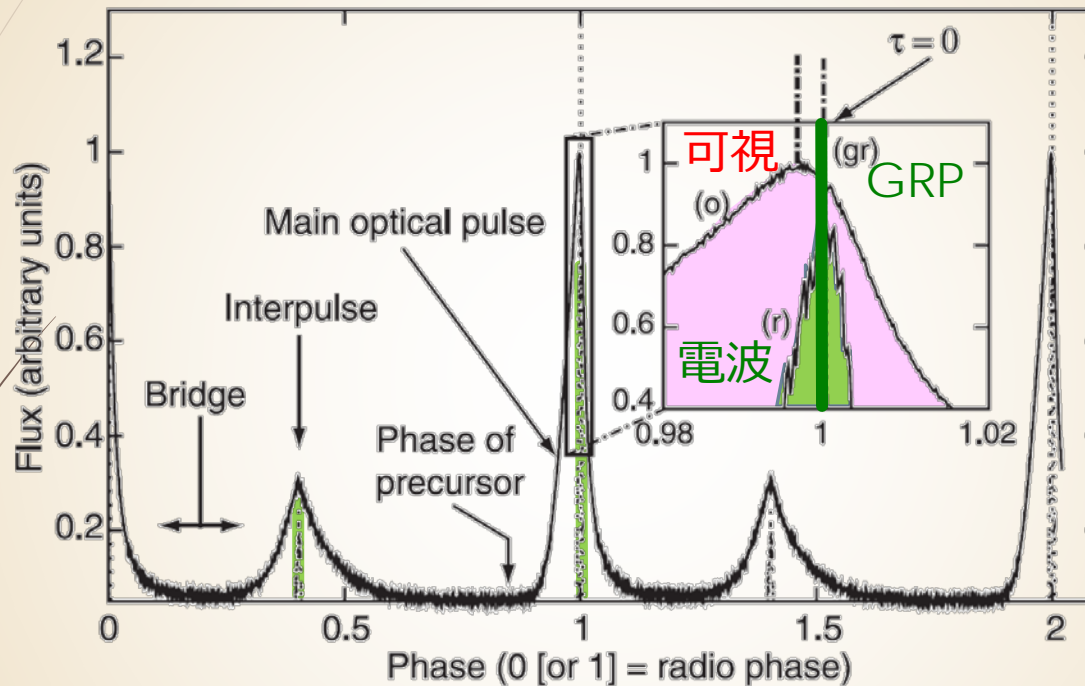


低周波数帯の方が fluence大
(GRP同定には低周波帯域)



可視光でも GRP に同期して増光

Shearer et al. 2003



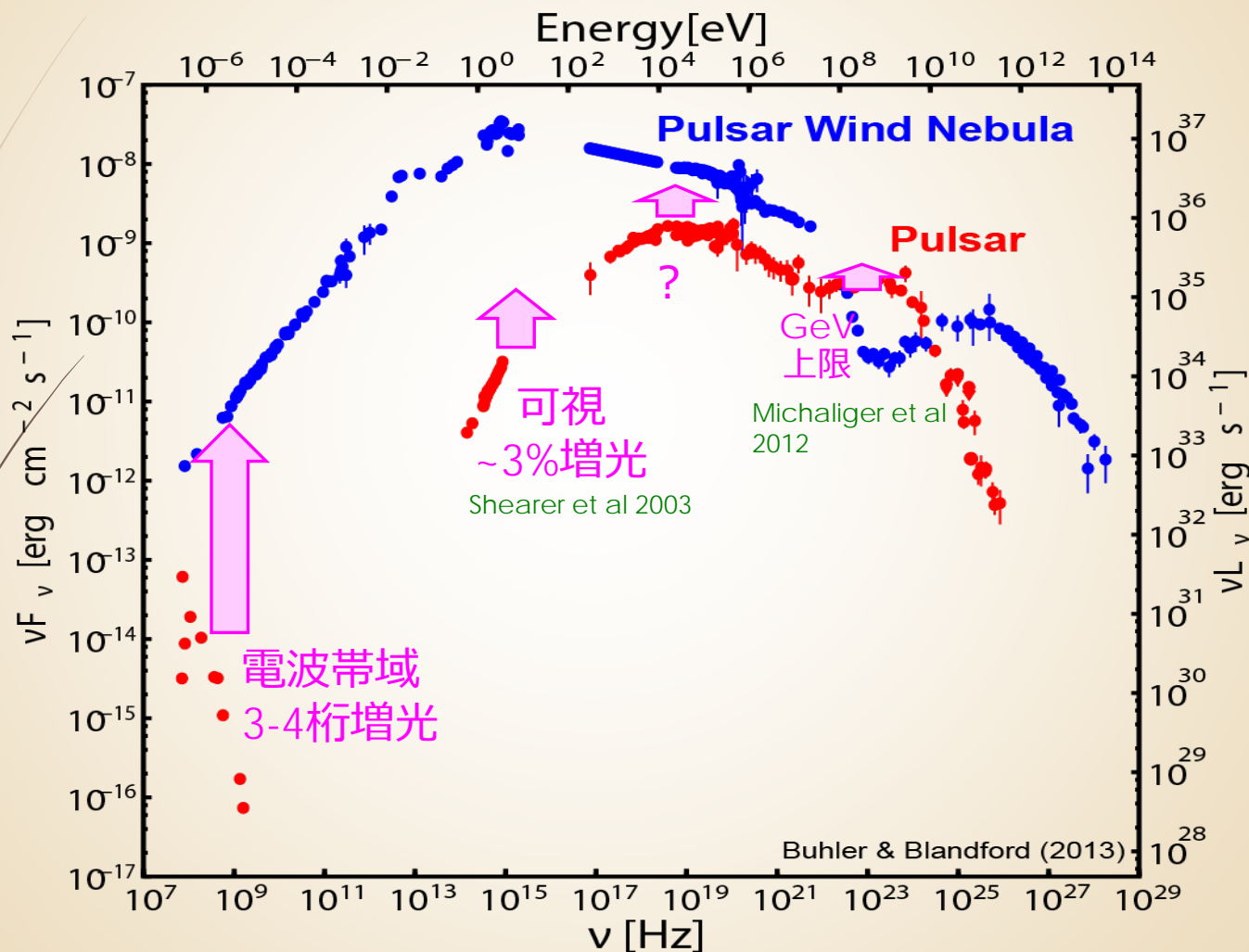
- GRPに同期して, Main Pulse の peak 12 μsec 間のみ 3% 増光
- その他のパルス波形に変化は無し



GRPの放射領域は電波・可視で近く、
GRP放射で磁気圏の構造が変化した兆候もない(局所的な現象?)



他の波長ではどうなっているか？



(動機) パルサー放射が最も明るいX線帯域ではどうなっているのか？



GRP同期・他波長増光のまとめ

波長・装置名	帯域	MP-GRP	IP-GRP	Phase 定義	参考文献
Optical	6000~7000 Å	+3% (7.8 σ)	<2.5% (1 σ)	0.02 phase	Shearer+ 03
Chandra	1.5 – 4.5 keV	< 10% (2 σ)	< 30% (2 σ)	0.02 phase?	Bilous + 12
Hitomi SXS	2 – 10 keV	< 90% (3 σ)	< 180%(3 σ)	0.03 phase	Hitomi collaboration PASJ in press
Suzaku HXD	15 – 75 keV	+ 21.5% (2.7 σ)		0.008 phase	Mikami+14
Hitomi HXI	5 – 80 keV	< 40% (3 σ)	< 200%(3 σ)	0.03 phase	Hitomi collaboration PASJ in press
Hitomi SGD phabs	10 – 300 keV	< 200 % (3 σ)	< 1100%(3 σ)	0.03 phase	
Hitomi all	2 – 300 keV	< 25% (3 σ)	<110% (3 σ)	0.03 phase	
CGRO/OSSE	50-220 MeV	< 250% (1 σ)	IP,MP区別無し	5 cycles	Lundgren +95
CGRO/EGRET	0.05 ~ 30 GeV	< 460% (3 σ)		100ms	Ramanamurthy & Thompson 98
Fermi/LAT	0.1 ~ 5 GeV	< 400% (2 σ)	<1200% (2 σ)	On-pulse phase	Bilous+11
VERITAS	>150 GeV	<500 ~ 1000 % (2 σ ?)	?	0.021phase (MP) 0.046 phase (IP)	Aliu +12

- 可視光以外の高エネルギー観測はどれも Upper limitである。
- 「ひとみ」衛星の強み: 10 keV 以下でも 30 μ sec 絶対時刻精度がある
(Terada et al JATIS 2018, under review)



2. 観測

arXiv/1707.08801

Hitomi X-ray studies of Giant Radio Pulses from the Crab pulsar *

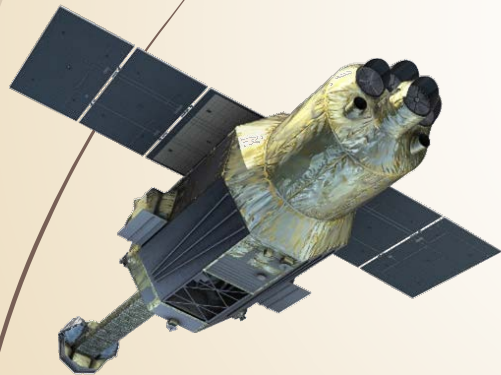
Hitomi Collaboration, Felix AHARONIAN¹, Hiroki AKAMATSU², Fumie AKIMOTO³, Steven W. ALLEN^{4,5,6}, Lorella ANGELINI⁷, Marc AUDARD⁸, Hisamitsu AWAKI⁹, Magnus AXELSSON¹⁰, Aya BAMBA^{11,12}, Marshall W. BAUTZ¹³, Roger BLANDFORD^{4,5,6}, Laura W. BRENNEMAN¹⁴, Gregory V. BROWN¹⁵, Esra BULBUL¹³, Edward M. CACKETT¹⁶, Maria CHERNYAKOVA¹, Meng P. CHIAO⁷, Paolo S. COPPI^{17,18}, Elisa COSTANTINI², Jelle DE PLAA², Cor P. DE VRIES², Jan-Willem DEN HERDER², Chris DONE¹⁹, Tadayasu DOTANI²⁰, Ken EBISAWA²⁰, Megan E. ECKART⁷, Teruaki ENOTO^{21,22}, Yuichiro EZOE²³, Andrew C. FABIAN²⁴, Carlo FERRIGNO⁸, Adam R. FOSTER¹⁴, Ryuichi FUJIMOTO²⁵, Yasushi FUKAZAWA²⁶, Akihiro FURUZAWA²⁷, Massimiliano GALEAZZI²⁸, Luigi C. GALLO²⁹, Poshak GANDHI³⁰, Margherita GIUSTINI², Andrea GOLDWURM^{31,32}, Liyi GU², Matteo GUAINAZZI³³, Yoshito HABA³⁴, Kouichi HAGINO²⁰, Kenji HAMAGUCHI^{7,35}, Ilana M. HARRUS^{7,35}, Isamu HATSUKADE³⁶, Katsuhiko HAYASHI²⁰, Takayuki HAYASHI³⁷, Kiyoshi HAYASHIDA³⁸, Junko S. HIRAGA³⁹, Ann HORNSCHEMEIER⁷, Akio HOSHINO⁴⁰, John P. HUGHES⁴¹, Yuto ICHINOHE²³, Ryo IZUKA²⁰, Hajime INOUE⁴², Yoshiyuki INOUE²⁰, Manabu ISHIDA²⁰, Kumi ISHIKAWA²⁰, Yoshitaka ISHISAKI²³, Masachika IWAI²⁰, Jelle KAASTRA^{2,43}, Tim KALLMAN⁷, Tsuneyoshi KAMAE¹¹, Jun KATAOKA⁴⁴, Satoru KATSUDA⁴⁵, Nobuyuki KAWAI⁴⁶, Richard L. KELLEY⁷, Caroline A. KILBOURNE⁷, Takao KITAGUCHI²⁶, Shunji KITAMOTO⁴⁰, Tetsu KITAYAMA⁴⁷, Takayoshi KOHMURA⁴⁸, Motohide KOKUBUN²⁰, Katsuji KOYAMA⁴⁹, Shu KOYAMA²⁰, Peter KRETSCHMAR⁵⁰, Hans A. KRIMM^{51,52}, Aya KUBOTA⁵³, Hideyo KUNIEDA³⁷, Philippe LAURENT^{31,32}, Shiu-Hang LEE²¹, Maurice A. LEUTENEGGER⁷, Olivier O. LIMOUSIN³², Michael LOEWENSTEIN⁷, Knox S. LONG⁵⁴, David LUMB³³, Greg MADEJSKI⁴, Yoshitomo MAEDA²⁰, Daniel



X線・電波同時観測を実施

X線観測

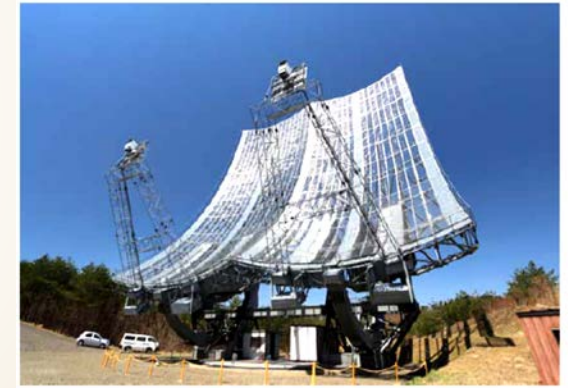
- 「ひとみ」衛星
SXS @ 2-12 keV
HXI @ 5 - 70 keV
SGD @ 40 - 600 keV



- 2016/3/25 12:17 ~ 18:01

電波観測

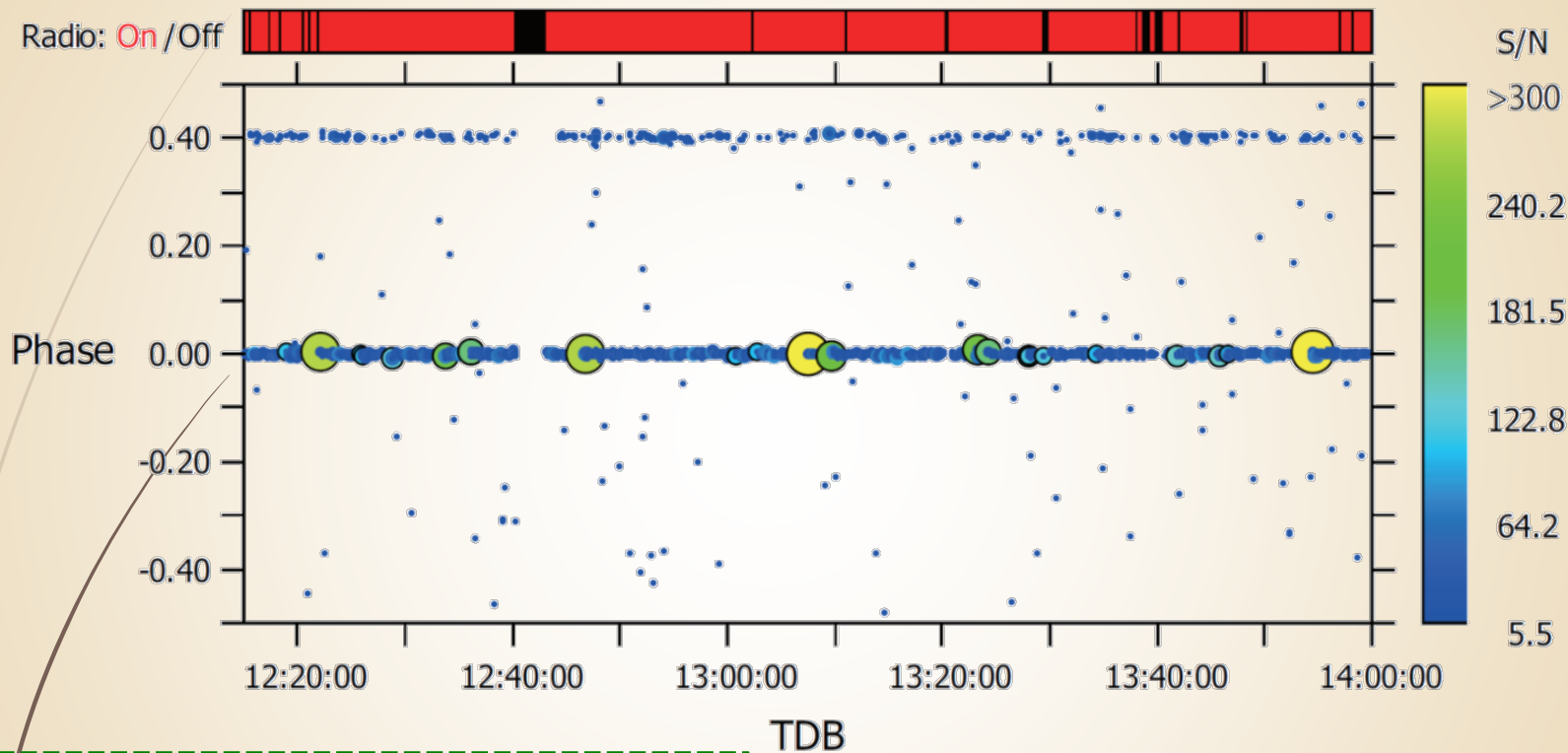
- Nict鹿島 34mパラボラ @1.4GHz, 2.3GHz
- 東北大・飯館 31m 鏡 @ 325MHz



- 2016/3/25 12:00 ~ 13:59



電波観測によるGRP同定



周期、周期変化率も電波で計測

$P = 33.720439605 \text{ ms}$
 $\dot{P} = 4.19816100\text{E-}13 \text{ s/s}$
 $\text{MJD } 57472 + 2.874260532\text{e-}07$

※ X線データも consistent
(衛星の時刻較正にも使用)

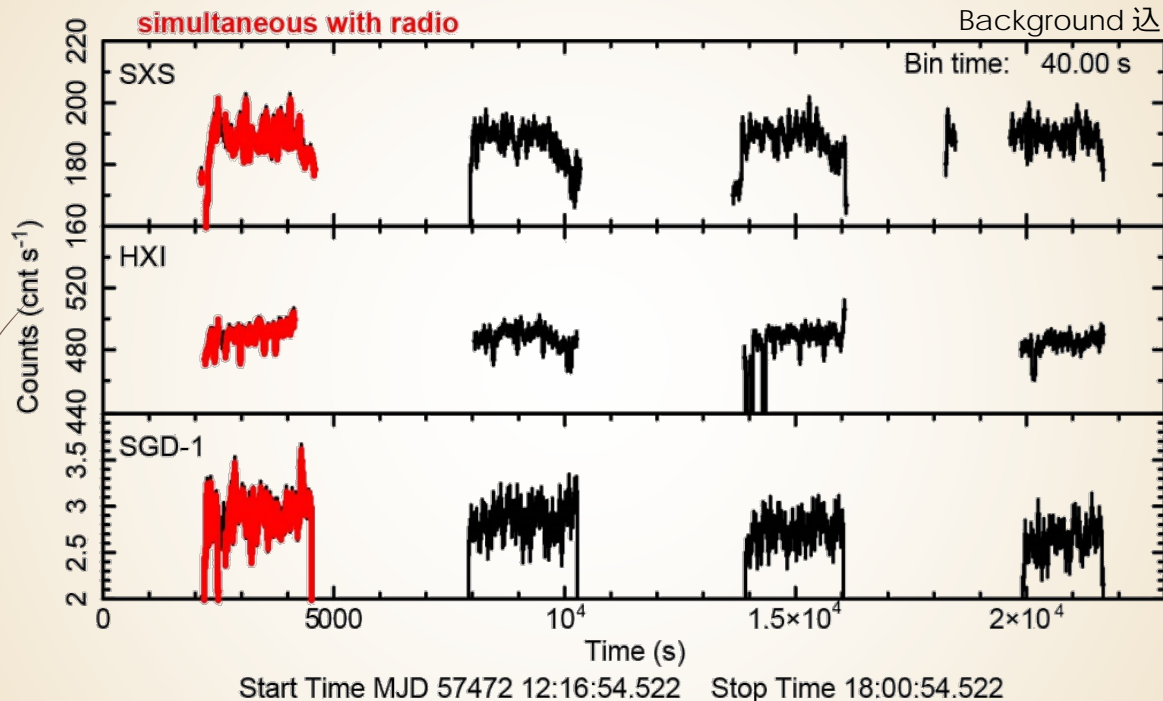
GRP検出 ($> 5.5 \text{ kJy } \mu\text{s}$)

- Main Pulse GRP: 2187 cycles
- Inter Pulse GRP: 185 cycles



X線観測データ

「ひとみ」X線データと 完全同時時間帯



完全同時は
2.2 k sec 程度

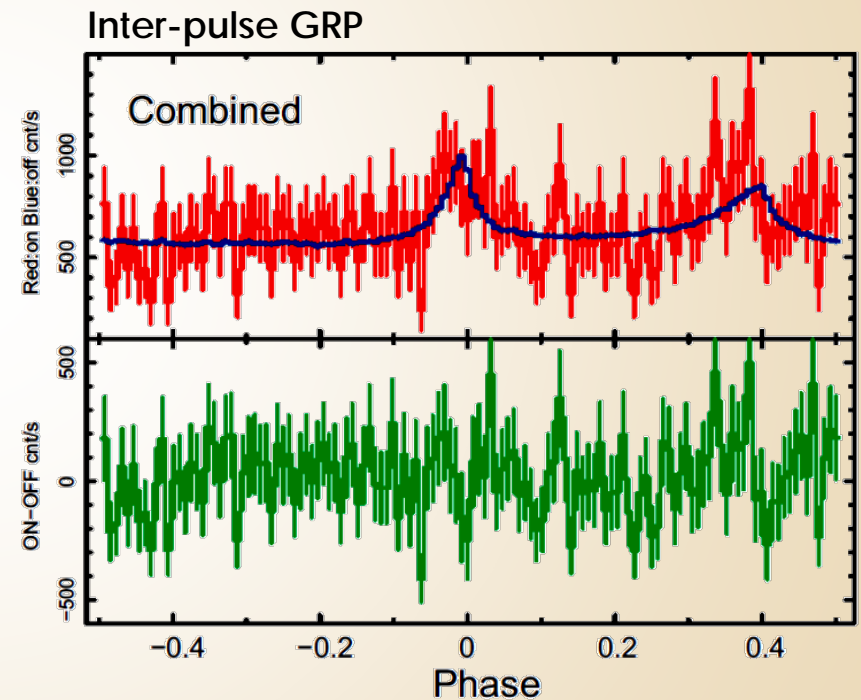
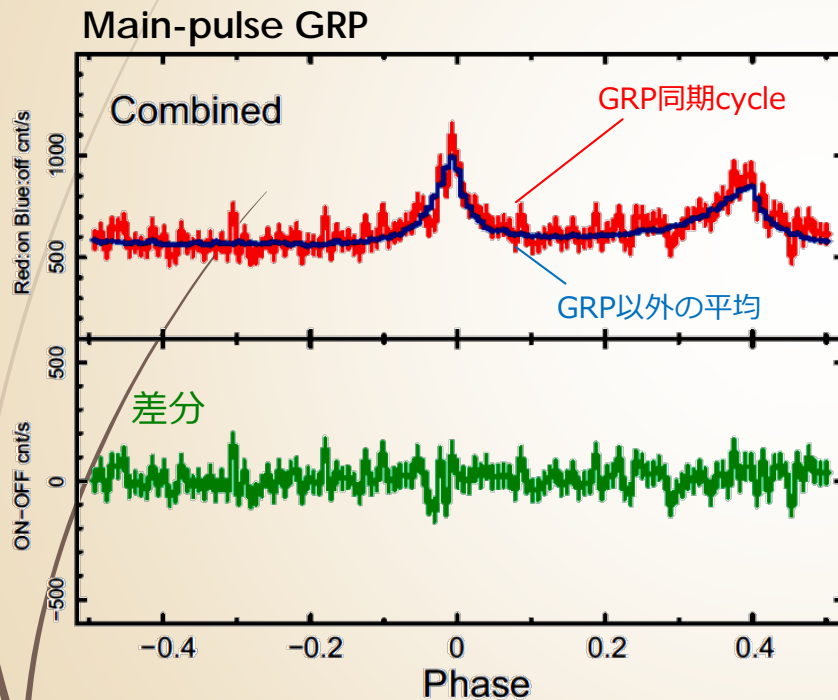
GRPに同期したX線イベント統計

GRP	完全同時 計	Main Pulse GRP	Inter Pulse GRP
SXS 軟X	64,701 pls (2.2 ksec)	1,171 pls	103 pls
HXI 硬X	50,705 pls (1.7 ksec)	945 pls	85 pls
SGD 軟γ	63,197 pls (2.1 ksec)	1,144 pls	98 pls



GRPに同期したX線パルス波形

SXS, HXI, SGD全て足し合わせた Pulse profile (論文には個別あり)

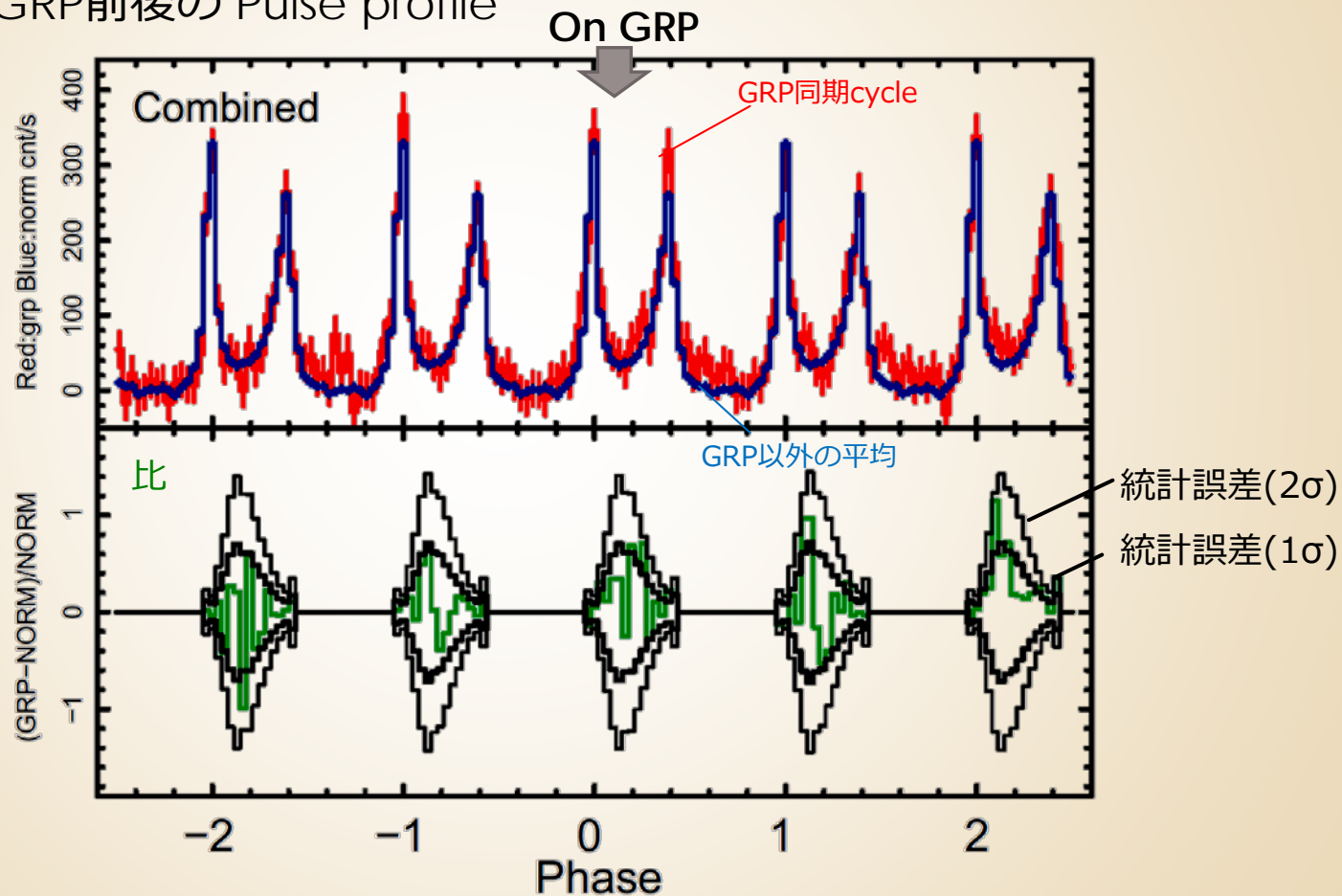


Pulseに同期した 有意な増光は見られず。



GRPに同期したX線パルス波形

Main pulse-GRP前後の Pulse profile



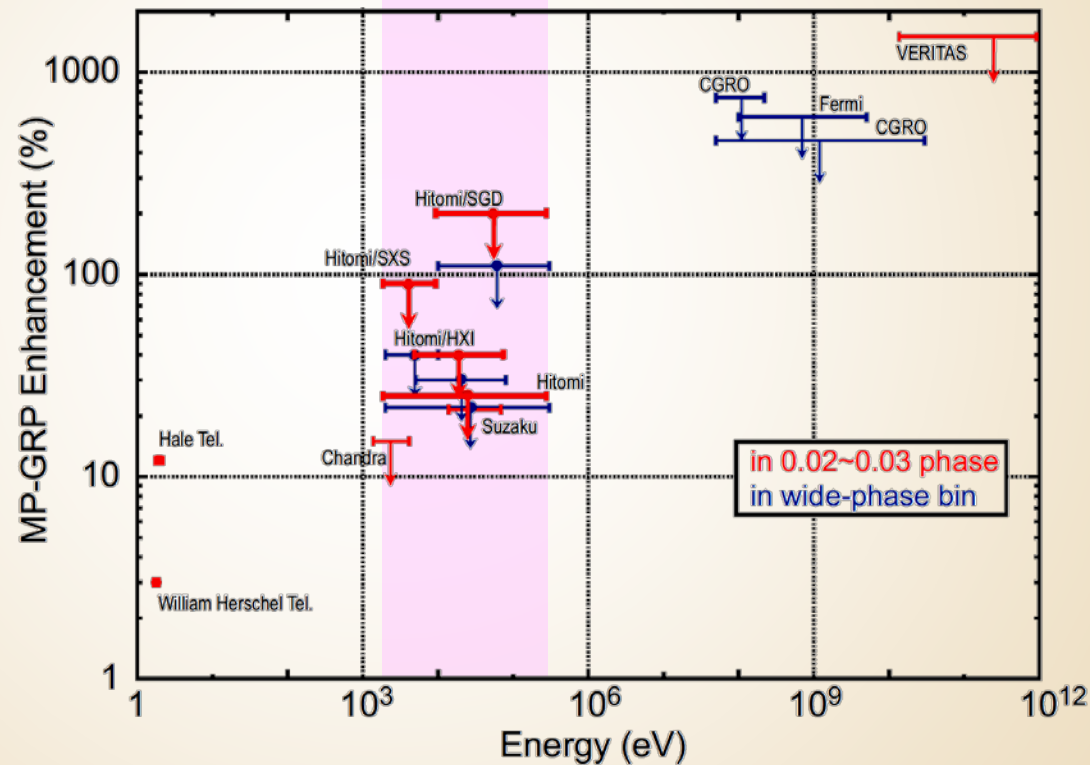
GRP前後でも Pulse 波形に変化はない

(前後29 pulsesを確認; 上限 0.03 phaseで <25%)



3. 「ひとみ」電波同時観測の結果まとめ

- GRP に同期した Pulse 増光は見えなかった
 - Main Pulse: < 22 % (0.20 phase) or < 25% (0.03 phase)
 - Inter Pulse: < 80% (0.20 phase) or < 110% (0.03 phase)



※ 4.5 ~ 10 keV, 70 ~ 300 keV 帯域の上限は初

- GRP前後の波形に擾乱は見られなかった
磁気圏全体の構造に変化が無く局所的な現象である事をサポート



discussion

• 可視で見られた増光は何だったのか？

- 広帯域スペクトルから、X線と同じくシンクロトロン放射だと仮定 ※
- 磁気圏構造を変えずにシンクロトロン強度を一時的に増光させた
 - (a) 粒子数 or (b) 磁気強度 が増えて増光？
- 増光が見られた位相は Pulse peak のごく短い時間 ($\sim 10 \mu\text{s}$)
 - (b) 磁場強度を変化させても peak に align する必要なし(たまたま?)
 - (a) の方が素直

“局所的に電磁波を放射する粒子が増加”

※ Crab 以外の GRP は？

- young pulsars: Crab, PSR B0540-69,
- milli-second pulsars: PSR B1937+21, PSR B182-24A,
- Slow rotator: PSR B0950+08, etc

• X線はどの程度、増光するのだろうか？

- 可視光増光は GRP電波放射エネルギーと同程度
 - GRP ($> 2.2 \text{ kJy } \mu\text{s}$) : $> 2.2 \times 10^{-17} \text{ erg/cm}^2$ in $10 \mu\text{s}$
 - 可視増光(定常 3%) : $\sim 3 \times 10^{-17} \text{ erg/cm}^2$ in $100 \mu\text{s}$ で同程度
- 可視光増光は Pulse peak のみ
 - 粒子数が変化するならX線も Pulse peak でのみ増光するのでは？
 - X線も同程度なら、定常放射の 0.02% within $10 \mu\text{s}$ に相当。
- 「ひとみ」 3σ 上限値は $< 25\%$ (統計的に難しかった)

“大有効面積の検出器に期待”



まとめ

- ▶ Energetic な中性子星パルサーである Crab を対象に、「ひとみ」と鹿島&飯館とでX線・電波同時観測を実施した
- ▶ 2,200 秒弱の同時観測期間の中で、Main pulse で1,000 pulse 程度、Inter-pulse で90 pulse 程度が GRP と同期したパルスと同定した
- ▶ GRPに同期したX線増光は有意には検出できず、増光の 3σ 上限は $<22\% \sim 25\%$ (Main pulse), $<80\sim 100\%$ (Inter pulse) となった。
- ▶ GRP前後のパルス波形も変化は見られなかった。

- ▶ GRPのX線増光が、可視増光と同様に、Pulse peak の短時間($\sim 10 \mu\text{sec}$)で生じ、電波と同程度の放射エネルギーなら、X線定常放射の0.02%レベルの増光を検知しないといけない。