かに星雲・かにパルサーにおける粒子加速の観測的研究

寺澤敏夫（東大宇宙線研・高エネルギー天体グループ）

配分予算：物品費（HDD）20万円、旅費5万円

共同研究者

東京大学・宇宙線研究所
武石隆治、三上諒、
東京大学・理学系研究科
牧島一夫、
東京工業大学　理工学研究科
浅野勝晃、片岡龍峰、小尾義男、樋口千夏、山越陽介、
宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所
高橋忠幸、竹内央、田中康之、
情報通信研究機構・光時空標準グループ
関戸衛、岳藤一宏、
茨城大学・理学部
吉田龍生

かに星雲・かにパルサーにおける粒子加速の観測的研究

寺澤敏夫（東大宇宙線研・高エネルギー天体グループ）

1．研究目的　　**抜粋**

かに星雲は電波から超高エネルギーガンマ線まで、**「標準光源」**の役割を果たしてきた。しかし、最近、年数%にも達する**X線強度変動が見出され、大きな話題**となっている。その原因究明は、宇宙線加速理論とチベット・CANGAROO/CTAなどのガンマ線観測に共通する緊急の課題である。また、**かに星雲へのエネルギー供給源**と考えられているかに**パルサーについても謎が残っている**。特に、1968年の発見以来、成因が不明のままであるのが巨大電波パルス(Great Radio Pulses=GRP)である。我々は、情報通信研究機構鹿島観測所、宇宙航空研究開発機構臼田観測所のメンバーと協力して数GHz帯　(Lバンド：1.4GHz帯, Sバンド：2GHz帯)におけるCrabパルサーの試験観測に着手し、GRPの謎に挑戦している。

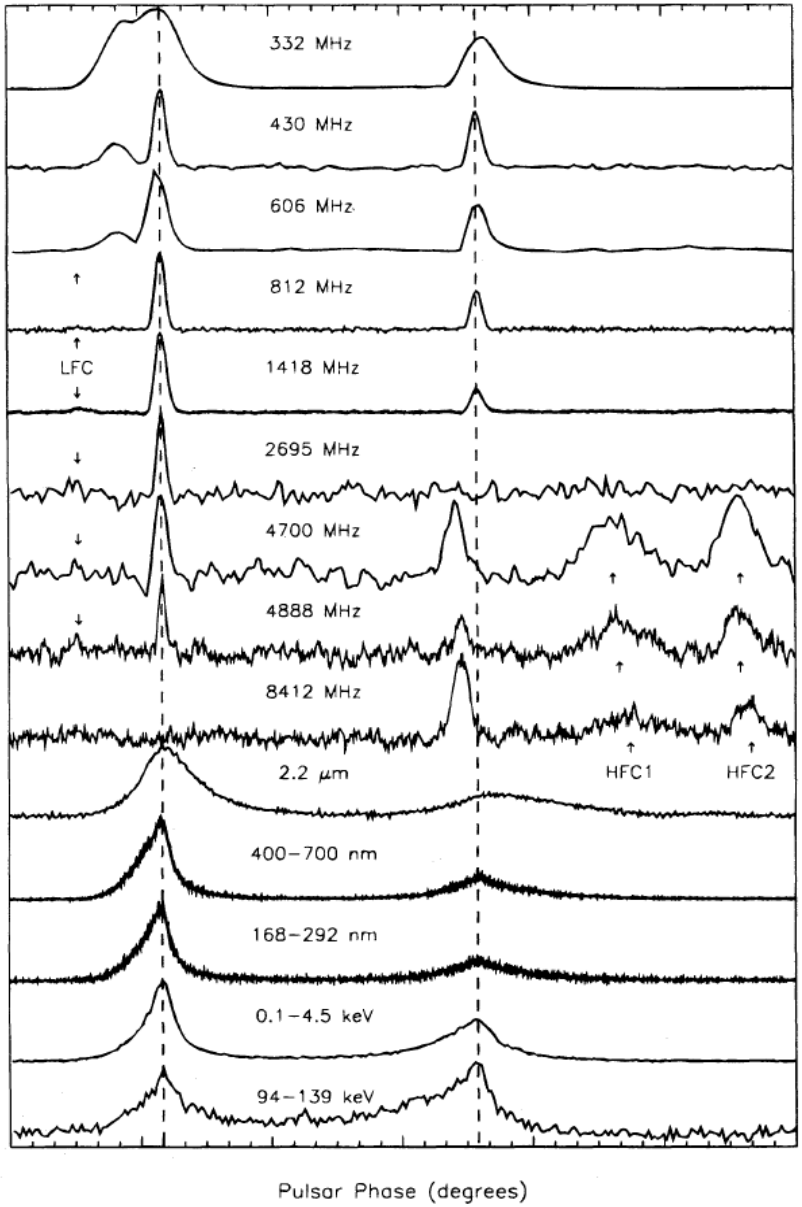
・・・

以上の点に関する理解を深めることにより、パルサー磁気圏における電波輻射機構・粒子加速機構の解明、かに星雲・星間空間プラズマの乱流構造の解明にも貢献できると期待される。

Crab pulsar 多周波数観測

(Moffett and Hankins, 1996)

（この例は同時観測ではない）



低周波電波

↓

高周波電波

↓

赤外

↓

可視

↓

X

↓

γ

パルサーは宇宙線源の有力候補（PAMELA,Fermi陽電子成分異常を説明？）

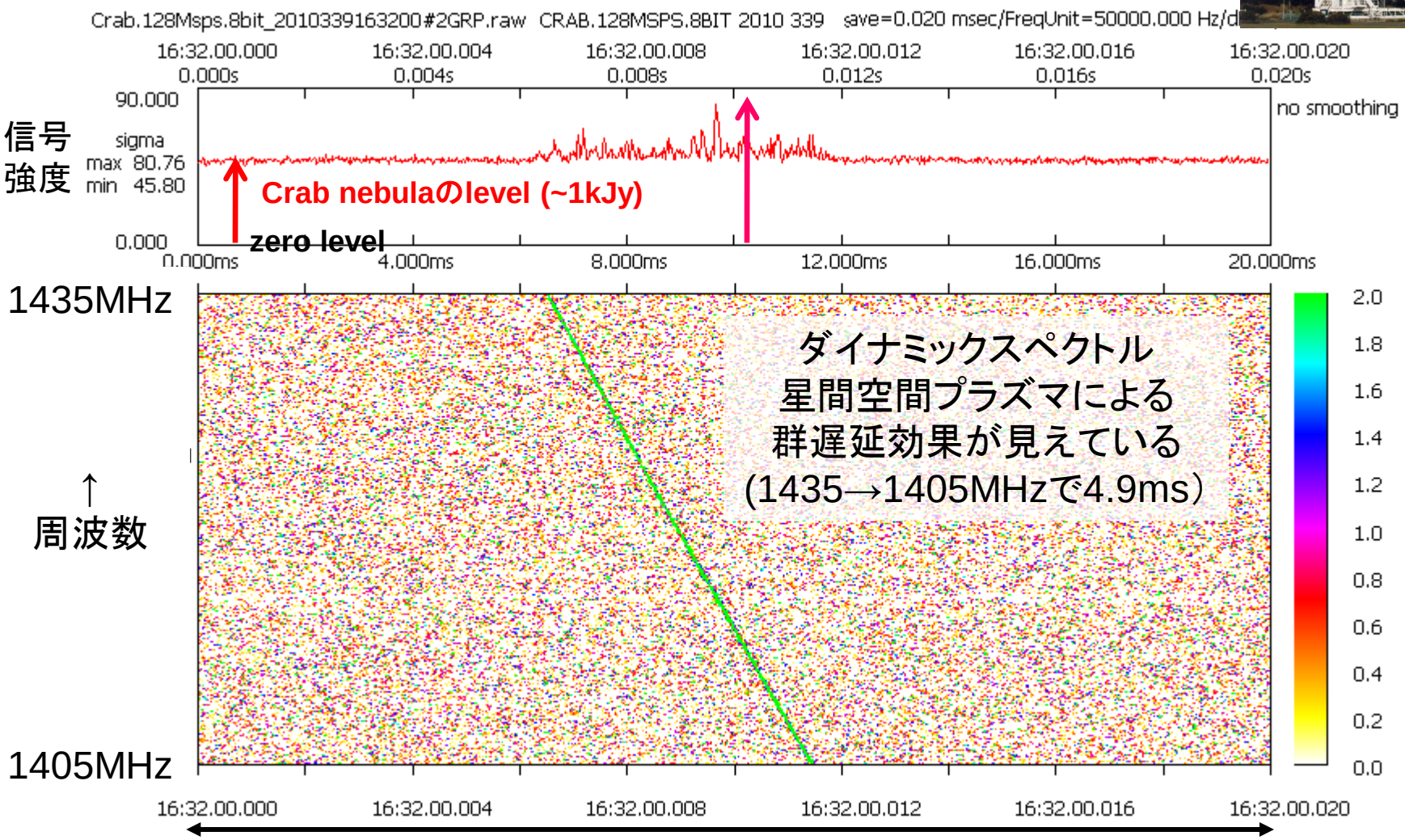
特に、

Crab pulsarは代表的パルサーとしてガンマ線望遠鏡の観測ターゲットでもある

Crab pulsarの電波パルスには数百～数千に1つ、巨大な強度を持つものがある(Giant Radio Pulse＝GRP)

鹿島観測でのこれまでの最強GRP

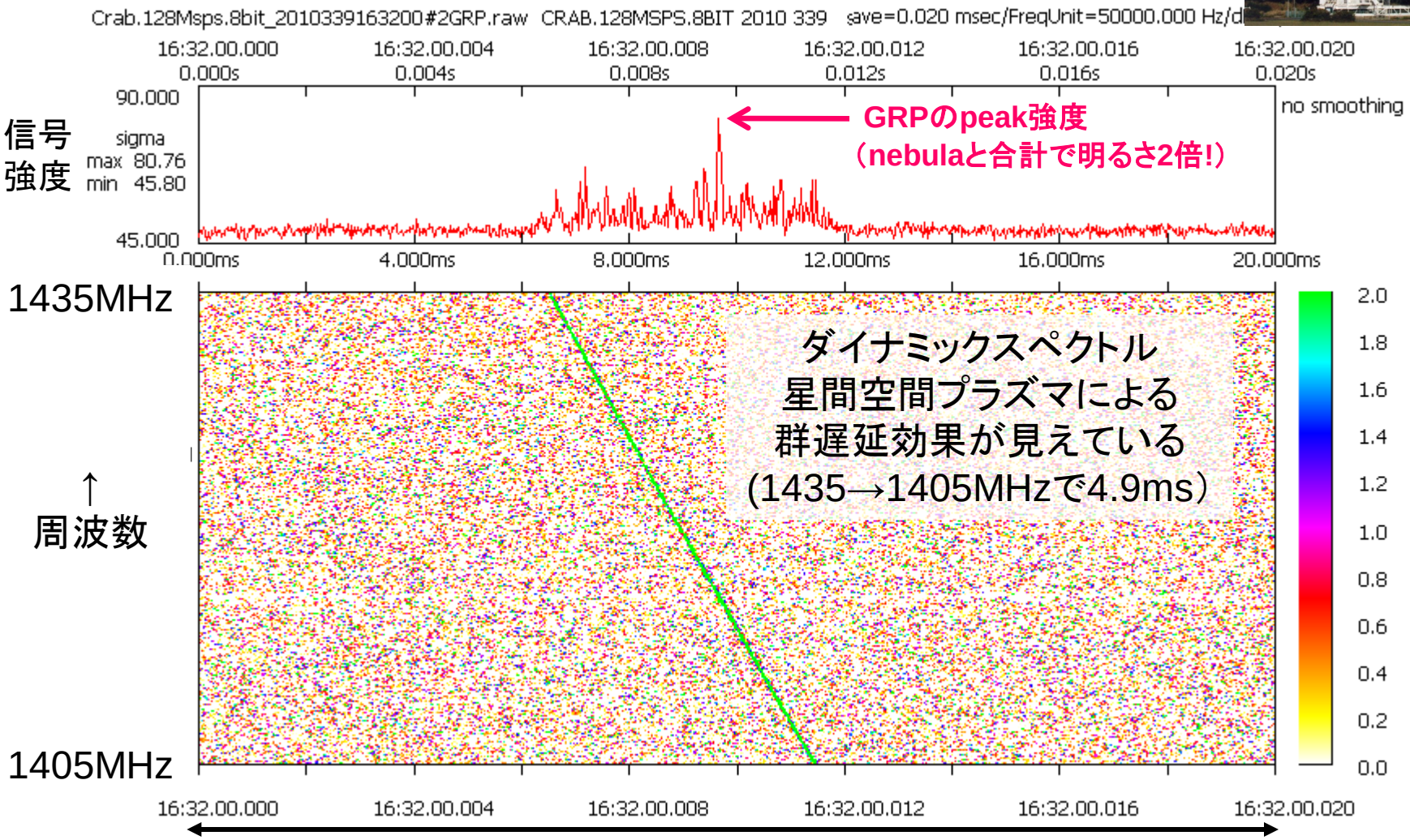
2010/12/05 Kashima 1405-1435MHz Crab GRP 生データ



20msのデータ

鹿島観測でのこれまでの最強GRP

2010/12/05 Kashima 1405-1435MHz Crab GRP 生データ



20msのデータ

鹿島観測でのこれまでの最強GRP

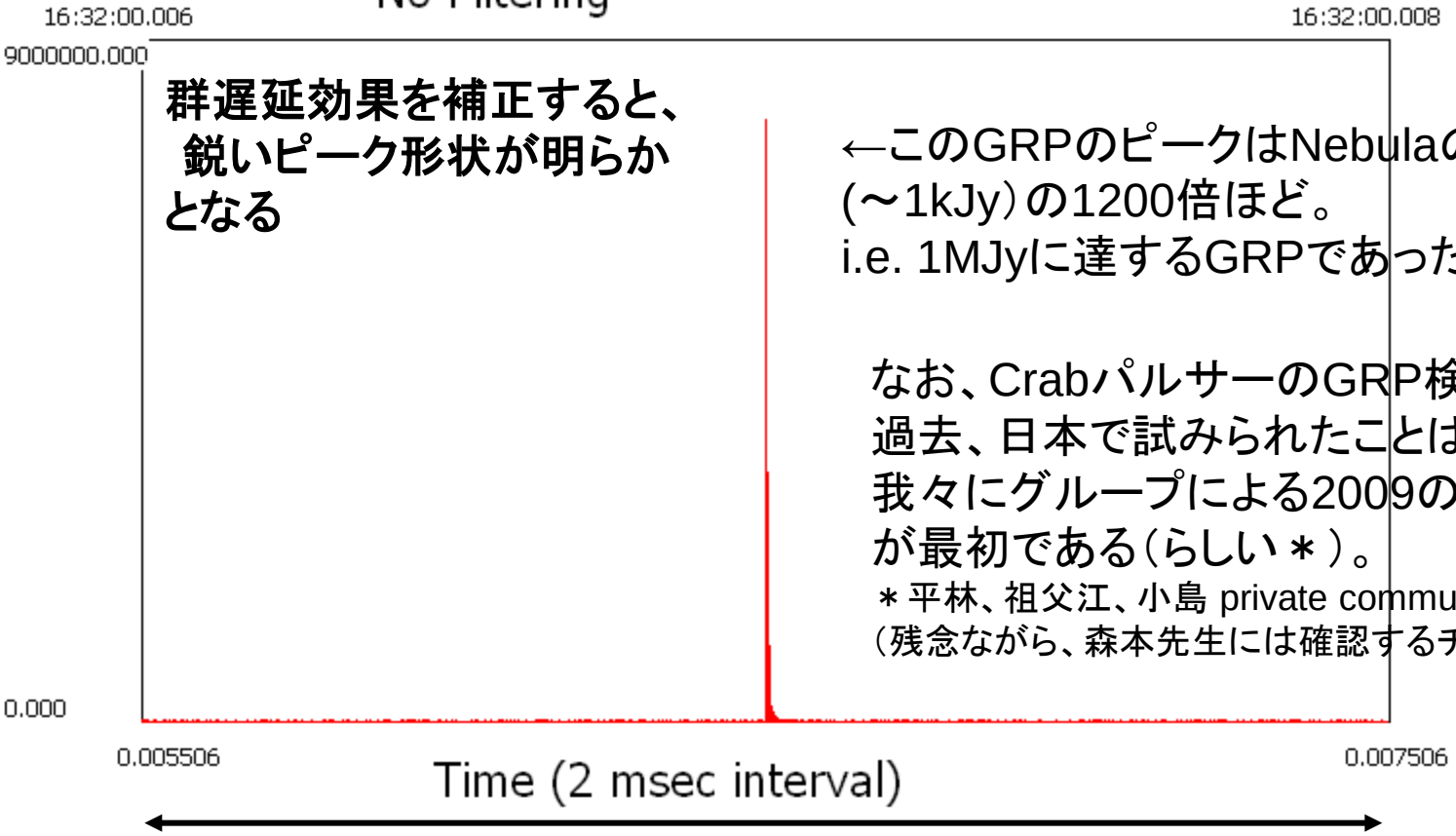
2010/12/05 Kashima 1405-1435MHz Crab GRP 群遅延補正後

TimeShift=0.000000000
PwrBoost=1.000

Crab.128Msps.8bit_2010339163200#2GRP.raw // 2009-2010 mode
start=0.000000sec duration=20 msec with DM= 56.798500

No smoothing
DM= 56.7985

No Filtering



群遅延効果を補正すると、鋭いピーク形状が明らかとなる

←このGRPのピークはNebulaの平均レベル(～1kJy)の1200倍ほど。
i.e. 1MJyに達するGRPであった。

なお、CrabパルサーのGRP検出は過去、日本で試みられたことはなく、我々にグループによる2009の報告が最初である(らしい＊)。
＊平林、祖父江、小島 private communication
(残念ながら、森本先生には確認するチャンスがなかった)

2msのデータ

かに星雲・かにパルサーにおける粒子加速の観測的研究
特に、巨大電波パルスの観測的研究

２つの立場がありうる

○巨大電波パルス(GRP)そのものの謎に挑戦

○GRPを使って電波伝搬路の物理を探る

巨大電波パルス(GRP)そのものの謎に挑戦

他の波長のパルスとの相関？（赤外、可視、X，ガンマ）

Lyutikovのモデルによると電波とガンマに相関が期待される

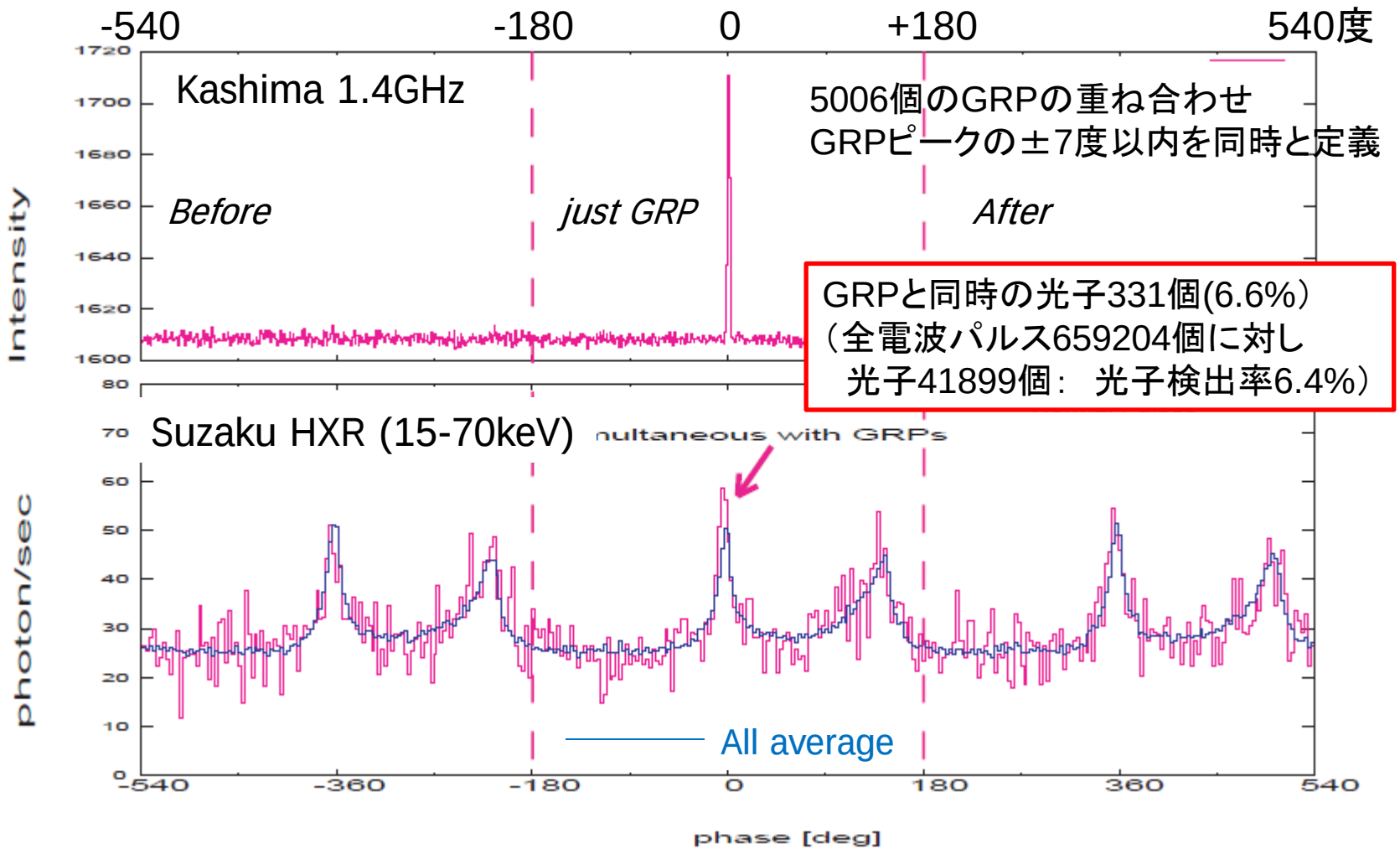
CrabPulsar における GRP と他波長のパルスの相関研究

	エネルギー帯	変動	Author	年	方法
Optical		3%	Shearer et al.	2003	直接
Soft X	1-10[keV]	$< 7\%$	Patt et al.	1999	間接
Soft X	1-20[keV]	not significant	Kawai et al.	1993	間接
Hard X	15-70[keV]	?	Ours.	2011	直接
Soft γ	50-220[keV]	< 2.5 倍	Lundgren et al.	1995	直接
Hard γ	0.1-5[GeV]	< 4 倍	Bilous et al.	2011	直接

電波とHESS，MAGICとの同時観測も行われているが、
結果はまだ公表されていないようである

K.Nagata, Master thesis, TokyoTech (2011 March)

GRP-HXR, correlated or not? Superposed analysis for Apr. 2010 data



Slight enhancement of X-ray counts, but not statistically significant yet
(enhancement ~ one sigma level)

かに星雲・かにパルサーにおける粒子加速の観測的研究
特に、巨大電波パルスの観測的研究

２つの立場がありうる

〇巨大電波パルス(GRP)そのものの謎に挑戦

〇GRPを使って電波伝搬路の物理を探る

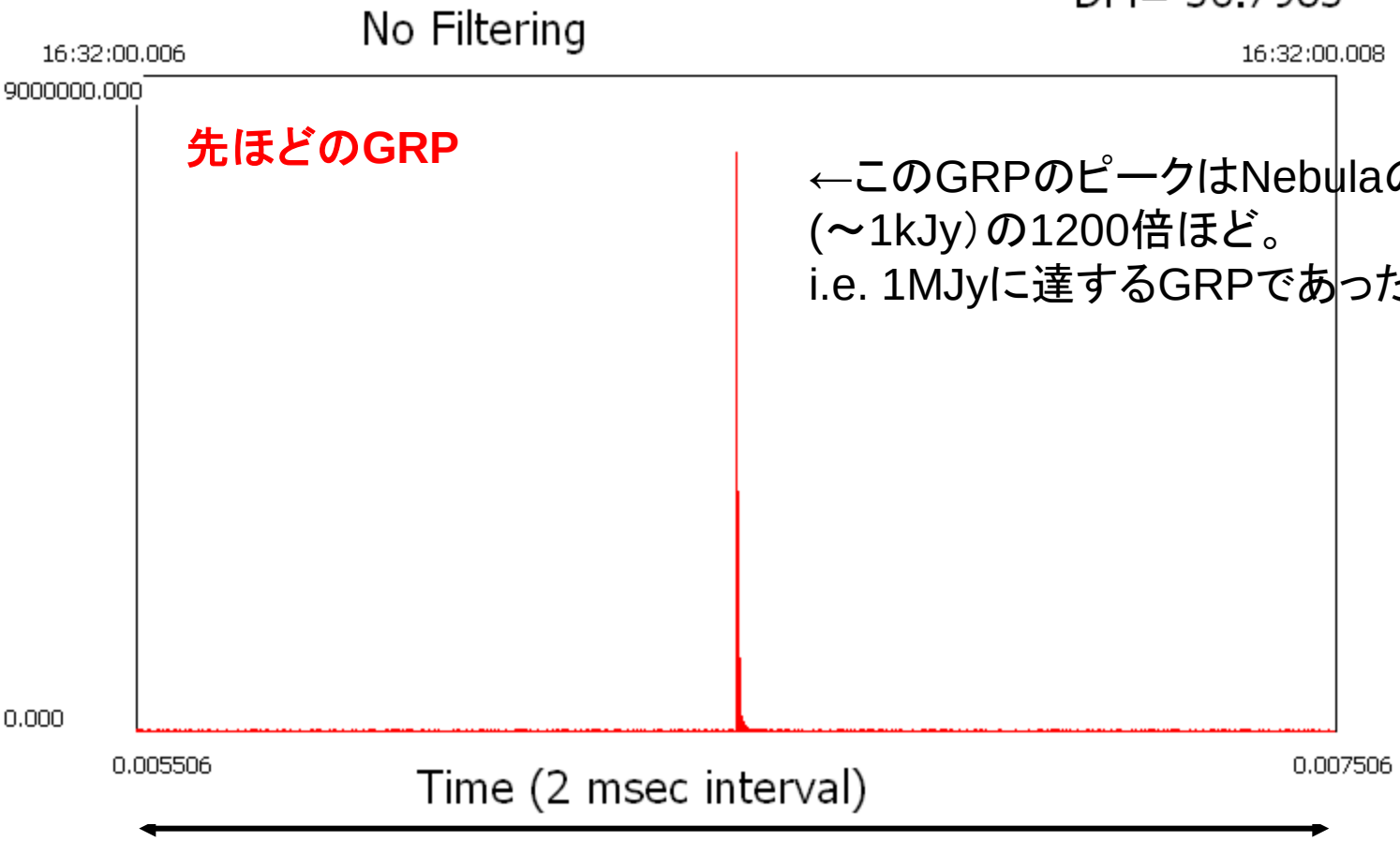
鹿島観測でのこれまでの最強GRP

2010/12/05 Kashima 1405-1435MHz Crab GRP 群遅延補正後

TimeShift=0.000000000
PwrBoost=1.000

Crab.128Msps.8bit_2010339163200#2GRP.raw // 2009-2010 mode
start=0.000000sec duration=20 msec with DM= 56.798500

No smoothing
DM= 56.7985



←このGRPのピークはNebulaの平均レベル(～1kJy)の1200倍ほど。
i.e. 1MJyに達するGRPであった。

2msのデータ

鹿島観測でのこれまでの最強GRP

2010/12/05 Kashima 1405

Crab.128Msps.8bit_2010339163200#2GRP.ra
start=0.000000sec duration=20 msec with D

No Filtering

16:32:00.006

9000000.000

先ほどのGRP

時間的構造を拡大してみると、
Truncated exponential型
のprofileが見える

0.000

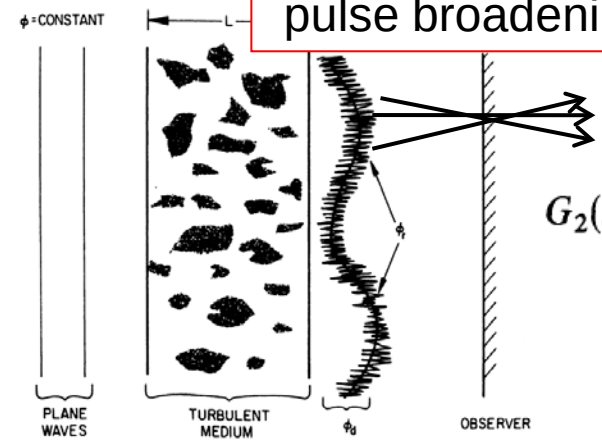
0.006407

Time (200 usec interval)

0.006607

200μsのデータ

pulse broadening効果



散乱角が0を中心とした
ガウス分布をすると仮定

$$G_2(t) = \exp(-t/t_D) \quad \text{for} \quad t \geqq 0,$$

$$= 0 \quad \text{for} \quad t < 0,$$

$$t_D = (300/f_{MDz})^4 \times 9.4\,\text{msec}$$

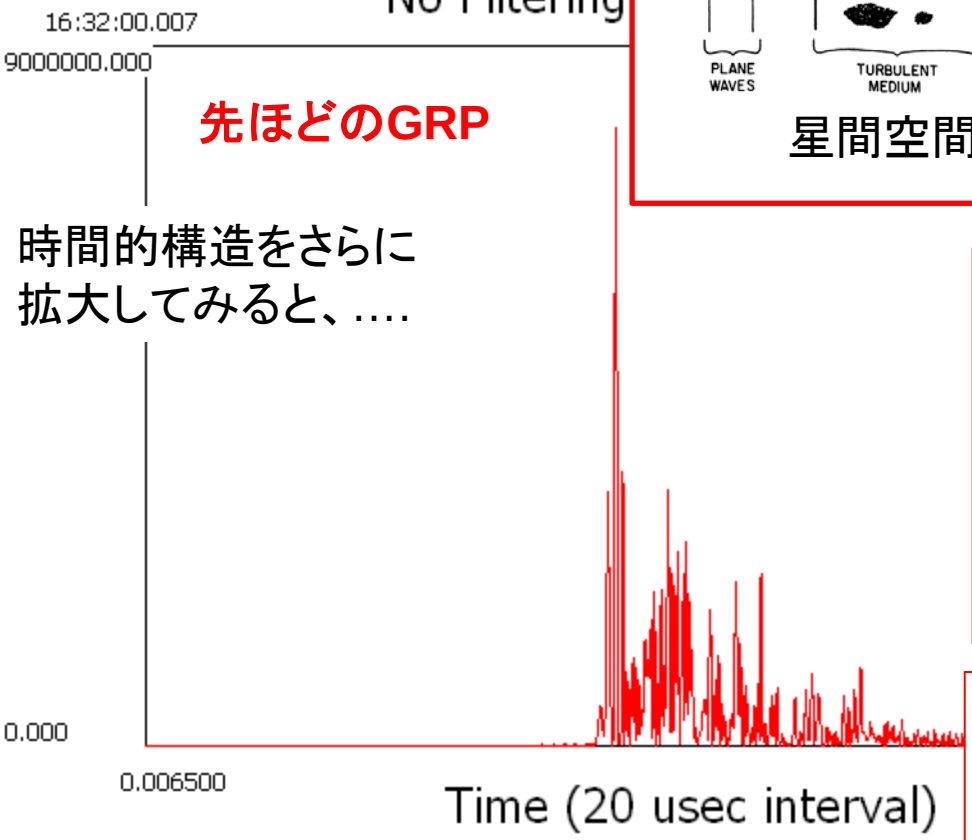
星間空間電子密度揺らぎによる電波の散乱

鹿島観測でのこれまでの最強GRP

2010/12/05 Kashima 1405

Crab.128Msps.8bit_2010339163200#2GRP.ra
start=0.000000sec duration=20 msec with D

No Filtering

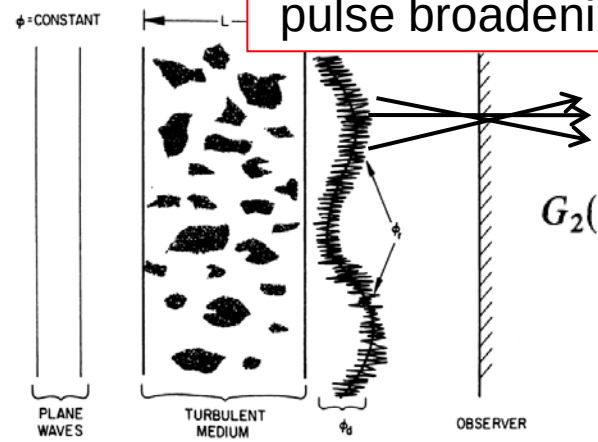


先ほどのGRP

時間的構造をさらに
拡大してみると、....

20μsのデータ

pulse broadening効果



散乱角が0を中心とした
ガウス分布をすると仮定

$$G_2(t) = \exp(-t/t_D) \quad \text{for} \quad t \geqq 0,$$
$$= 0 \quad \text{for} \quad t < 0,$$
$$t_D = (300/f_{MDz})^4 \times 9.4\,\text{msec}$$

星間空間電子密度揺らぎによる電波の散乱

平滑化していない生データ
1/128μ秒（～7ナノ秒）
→ 周波数帯域で時間分解能が制限
30MHzなので33ナノ秒まで分解

もともとVLBI用の記録系を応用
簡単に高時間分解能が実現

仮定されていた散乱体の統計的性質を明らかにできる可能性(1.4GHz帯のデータをここまで分解してみた例は文献にはない)

かに星雲・かにパルサーにおける粒子加速の観測的研究
特に、巨大電波パルスの観測的研究

２つの立場がありうる

〇巨大電波パルス(GRP)そのものの謎に挑戦

〇GRPを使って電波伝搬路の物理を探る

それぞれについて鋭意努力中！

数時間の電波観測で2TB HDD数台が必要
→共同利用予算（物品費）を有効に使用