

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 6月13日現在

機関番号：11501

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22540244

研究課題名（和文） 中性子星磁気圏における粒子加速理論の新展開

研究課題名（英文） A new view of the particle acceleration theory for the neutron star magnetosphere

研究代表者

柴田 晋平（SHIBATA SHINPEI）

山形大学・理学部・教授

研究者番号 90187401

研究成果の概要（和文）：ガンマ線宇宙望遠鏡フェルミの成功によって、新しい観測事実の集積が急速に起こり、関連した多波長観測を加えて、新しい時代が始まろうとしている。そんな中で、本研究では、フェルミ時代の中性子星磁気圏理論の構築を目指して研究を実施した。

研究成果の概要（英文）：Fermi gamma-ray observatory yields a great expansion of data and new fact on the pulsar magnetosphere. This situation of these days, together with variety of observational results in other wave length, requires new theories and models. In this project, we are attempting to construct such a new view and a new theory for the particle acceleration in the pulsar magnetosphere.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2012年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2013年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
総計			4,290,000

研究分野：宇宙物理学

科研費の分科・細目：天文学

キーワード：高エネルギー天文学、プラズマ物理学、パルサー

1. 研究開始当初の背景
パルサーの磁気圏における加速機構の研究には、加速粒子からの直接の放射であるガンマ線の放射の研究が非常に重要な意味を持つ。しかし、これまでガンマ線パルサーは数個しか観測されておらず磁気圏構造および粒子加速の理論の発展は停滞していた。

2. 研究の目的 2008年に6月に打ち上げ

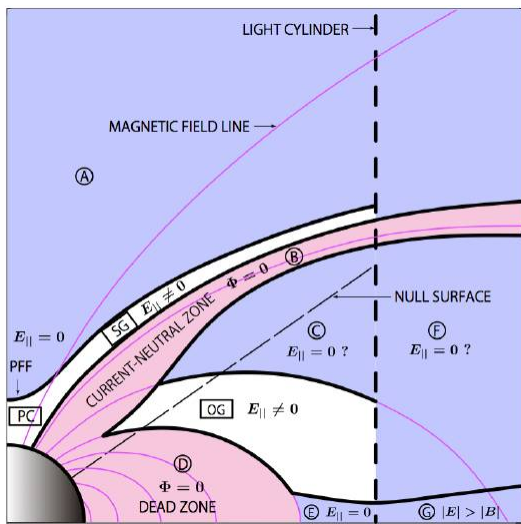
られ翌年から観測が順調に進みだすと、 γ せんパルサーがたくさん見つかって現在117個のガンマ線パルサーがカタログ化されるに至った。そして、たくさんの観測事実が包み上げられ、新しいパルサー磁気圏の構造と粒子加速の機構が検討される磁気になっている。この点に注目したいくつかのシリーズ的な研究を実施し、粒子加速機構の基礎をかためるのが研究目的である。

3. 研究の方法

磁気圏の粒子シミュレーションを世界に先駆け実施する事、日本の X 線観測衛星とガンマ線をあわせて新しい考察を加える事、パルル波形の研究のためのコード開発などを実施する。

4. 研究成果

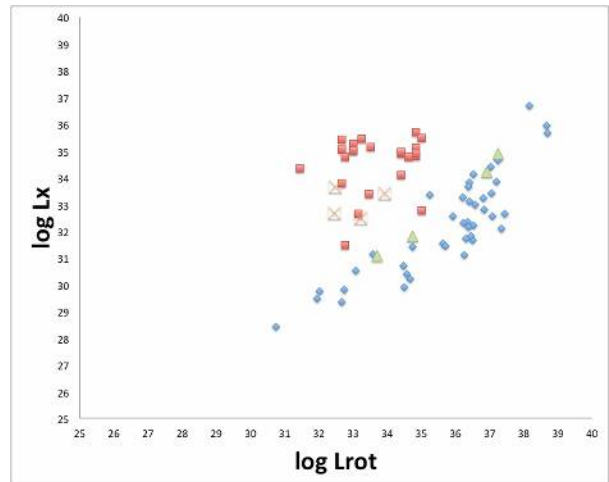
(1)3次元構造の粒子シミュレーションを実施し、あたらしく、電流中性面を発見し、新しい観測の解釈を提示できた。従来のポーラーキャップモデル、スロットギャップモデル、アウターギャップモデルの関係を明確にした。



図：新理論による磁気圏構造の概念図。中緯度に電流中性面というあたらしい構造を発見した。(Yuki et al. 2012)

(2)幾何構造からパルス波形を算出するプログラムの開発を行った。開発は予想以上複雑で現在も開発を続けている。

(3)観測による検証を進めるため、電波パルサーでありながらマグネターの性質を示す天体を、日本のX線天文衛星「すざく」を新たにひとつ発見した。



図：通常のパルサー(ダイヤモンド形の点)とマグネター(四角形の点)に対して、強磁場パルサーは両方にまたがっている事を示す観測データを得た(三角は強磁場パルサーで通常のパルサーのもの、×は強磁場パルサーでマグネター形のもの)。

マグネターのように磁場による加熱が起こるためには必ずしもダイポール磁場成分が大きくなる必要がなく、ダイポール磁場が小さくても磁場による加熱やバーストができることが自然に理解できる。

ダイポール磁場がいくら大きくても、磁場による加熱やバーストを全く起こさないタイプのパルサーとダイポール磁場が大きく、しかも、磁場の散逸を起こすトロイダル磁場を持つパルサーの二つの系列が存在する事を示唆する事ができた。

(4)強磁場パルサーの効果の研究を行った。特に、マグネターにおいて光子分裂の効果を入れて、マグネターからのスペクトルを説明するモデルを世界に先がけて提出した。(既成の考えとは異なる点も多いたまだ論文は受理されていない。)

特にこの研究では、強磁場の中で講師分裂したあと、平行モードになった光子が、続けてまた光子分裂する可能性を検討した。量子電磁気学的な効果をいれると、コンプトン散乱において平行モードも有限な散乱振幅をもつため、平行モードから垂直モードへの変換が可能になる。すると再び、光子分裂を起こす事ができるので、さらに低いエネルギー、つ

まり、観測されている硬X線領域のスペクトルをうまく説明できるようになる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計11件)

(1) 査読有り ; Bamba A., Mori K., Shibata S
Chandra View of Pulsar Wind Nebula Tori
2010, *Astrophys. J.* 709, 507-511

(2) 査読有り ; Umizaki M., Shibata S.
Method of the Particle-in-Cell Simulation
for the Y-point in the Pulsar
Magnetosphere
2010, *Pub. Astr. Soc Japan*, 62, 131-142

(3) 査読有り ; Enoto T., Nakazawa K.,
Makishima K., Rea N., Hurley K., Shibata
S.
Broad-band study with Suzaku of the
magnetar class
2010, *Astrophys J. Letter* 722, L162 L167

(4) 査読有り ; Wada T., Shibata S.
A Particle Simulation for the Axisymmetric
Pulsar Magnetosphere: II. the case of dipole
field
2011a, *Mon. Not. R. astron. Soc.*, 418,
612-624

(5) 査読有り ; Yuki S., Shibata S.
A Particle Simulation for the Pulsar
Magnetosphere: Relationship of Polar Cap,
Slot Gap, and Outer Gap
2012, *Pub. Astr Soc. Japan*, 64, 43-9

(6) 査読有り ; Lin L. C. C., Takata J., Kong
A. K. H., Hui C. Y., Chang H. K., Huang R.
H. H., Liang J. S., Shibata S., Hwang C.
Y.
Investigation of CTA 1 with Suzaku
Observation
2012, *MNRAS*, 426, 2283-2290

(7) 査読無し ; Shibata S.
The structure of the pulsar magnetosphere

via particle simulation with GRAPE
2013, "Neutron Stars and Pulsars:
Challenges and Opportunities after 80
years", J. van Leeuwen (ed.)
Proceedings IAU Symposium 291, 279-282

(8) 査読無し ; Kouzu T., Terada Y., Tashiro
M. S., Yamada S., Bamba A., Yuasa T., Mori
K., Fukazawa Y., Enoto T., Tanaka Y. T.,
Shibata S., Makishima K.
2012, *American Institute of Physics
Conference Series*, 1427, 265

(9) 査読無し ; Shibata S., Yuki S., Wada T.,
Umizaki M.
The Structure of the Pulsar Magnetosphere
via Particle Simulation
2010, "The Energetic Cosmos: from Suzaku
to Astro-H", eds. Makishima K. and
Nakazawa K., JAXA-SP-09-008E, 226-117
Otaru, Hokkaido, Japan 29 June - 2 July
2009

(10) 査読無し ; Yuki S., Shibata S., Wada T.,
Umizaki M.
Method of Particle Simulation for the
Pulsar Magnetosphere by Use of
Special Purpose Computer, GRAPE-6
2010, "The Energetic Cosmos: from Suzaku
to Astro-H", eds. Makishima K. and Nakazawa
K., JAXA-SP-09-008E118-119, Otaru,
Hokkaido, Japan 29 June - 2 July 2009

(11) 査読無し ; Umizaki M., Shibata S., Yuki
S.
A PIC Simulation for Break-up of the Closed
Magnetic Field of the Pulsar Magnetosphere
2011, "The Energetic Cosmos: from Suzaku
to Astro-H", JAXA-SP-09-008E, 120-121
Otaru, Hokkaido, Japan 29 June - 2 July
2009

[学会発表] (計9件)

(1) 2013. 3. 13、柴田晋平
パルサー・マグネター研究の現状、宇宙線研
究所小研究会「パルサー磁気圏における粒子
加速と電磁放射」
東京大学宇宙線研究所

(2)2012. 10. 5、柴田晋平
パルサー磁気圏研究の方向およびマグネターとパルサーの関係
高エネルギー宇宙物理学研究会
首都大学東京

(3)2012. 3. 20、柴田晋平、
「パルサー磁気圏研究最前線」
日本天文学会プラズマセッション招待講演
龍谷大学
京都府京都市

(4) 2011. 12. 16、柴田晋平、
「パルサーとマグネターの境目とX線スペクトル形成」
高エネルギー宇宙物理研究会
大阪大学会館
他、5件

〔その他〕
ホームページ等
<http://astr-www.kj.yamagata-u.ac.jp/~shibata/>

6. 研究組織

(1)研究代表者

柴田 晋平 (SHIBATA SHINPEI)
山形大学・理学部・教授
研究者番号 90187401