

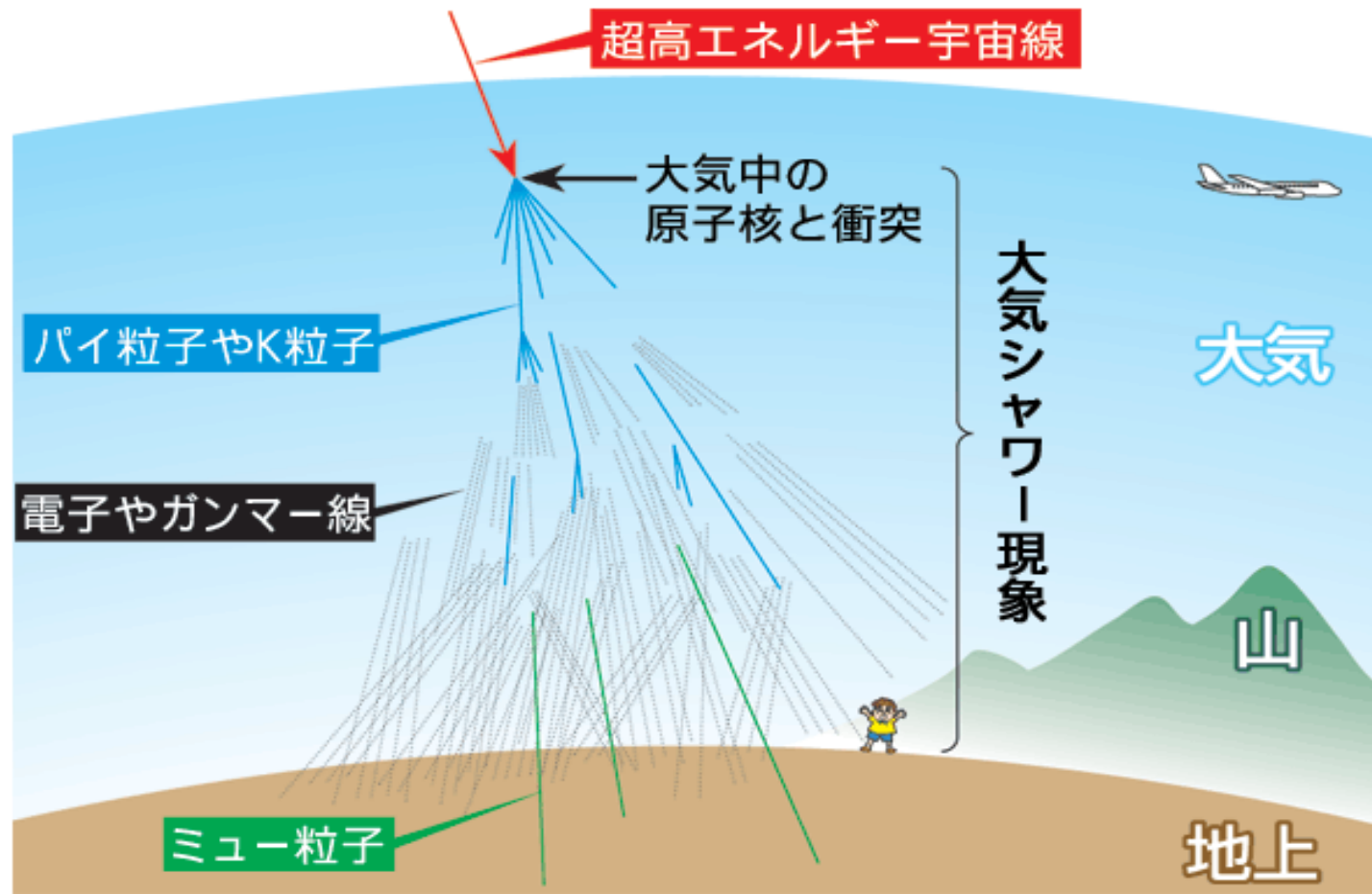
# X線天文衛星「すざく」の成果について

- 長年の天文学の謎「銀河宇宙線の起源」を明らかに -

宇宙航空研究開発機構  
宇宙科学研究本部  
教授 高橋忠幸

# 宇宙線(Cosmic Rays) 宇宙からやってくる高エネルギーの荷電粒子

## 宇宙のどこか



10の15乗(ペタ)電子ボルトまで  
銀河宇宙線  
10の15乗電子ボルト以上  
銀河系外からの宇宙線

宇宙線の組成  
98% 陽子と核子  
2% 電子

### 1912年 Hess による宇宙線の発見

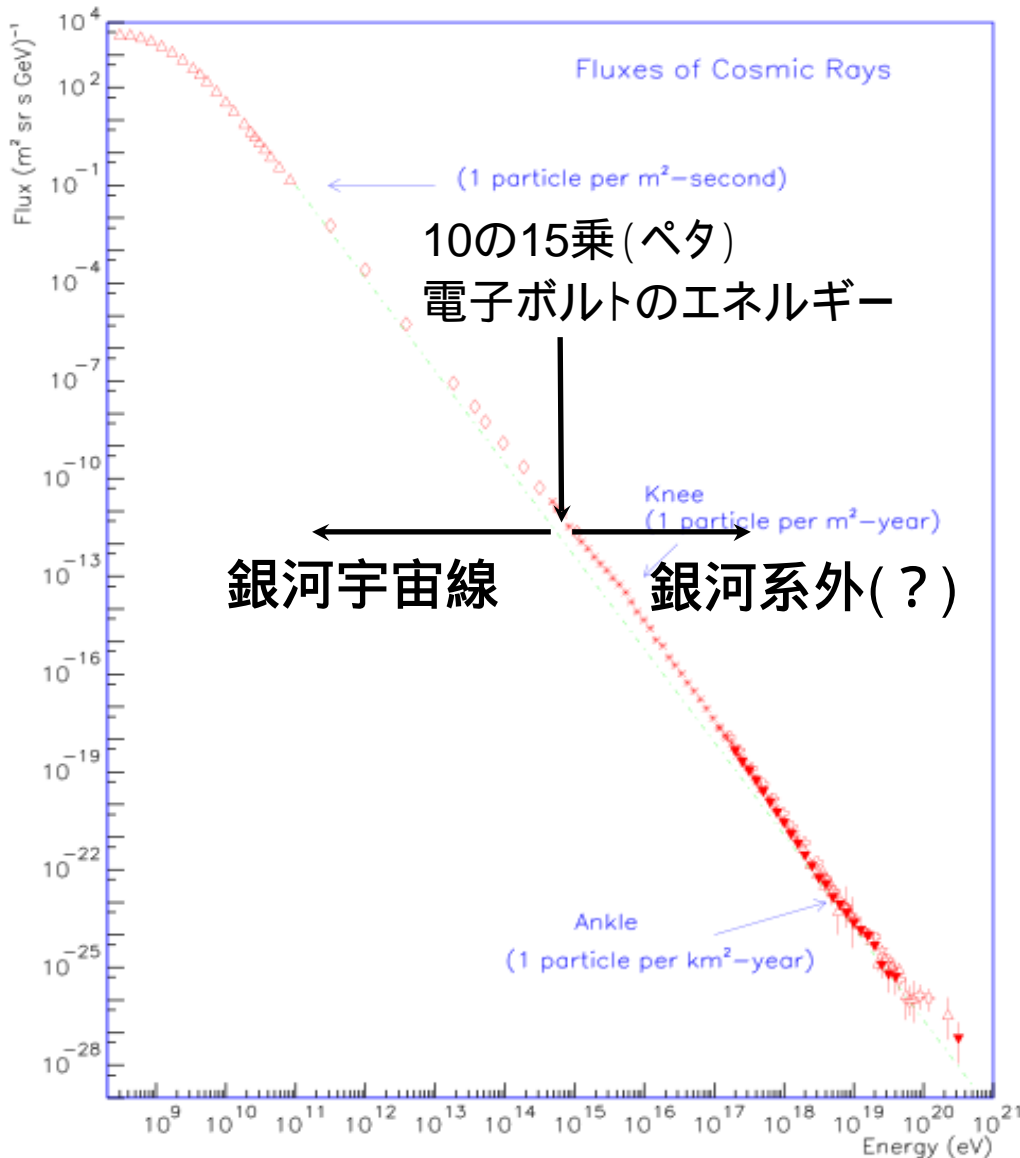
宇宙線の起源は約100年前に発見されて以来の謎で  
宇宙物理の最大の謎の1つとされていた

### ノーベル賞

- 1936年 Hess 宇宙線の発見
- 1936年 Anderson 陽電子の発見
- 1948年 Blackett 霧箱と宇宙線
- 1949年 湯川 中間子論
- 1950年 Powell 中間子の確立

# 銀河宇宙線(Cosmic Rays)の起源

## 宇宙線の数



宇宙線のエネルギー

## 加速源の有力候補: 超新星残骸



果たして10の15乗電子ボルトという高いエネルギーまで超新星残骸で加速できるのか？

これまで証明されていなかった

宇宙線のエネルギー =  
増幅率 × 磁場 × 時間 × 衝撃波速度<sup>2</sup> 乗

わかっていない

# X線天文衛星「すざく」(JAXA)



2005年7月10日打上げ  
優れた広帯域X線分光(スペクトル解析)  
解析に使用したエネルギー範囲:  
0.4-40 キロ電子ボルト

「すざく」衛星の論文 "The X-ray observatory Suzaku" (2007, Publication of Astronomical Society of Japan 59, S1-S7) が Thomson Scientific社の調査により、2007年9月期に Space Science 分野の New Hot Paper(最近の2ヶ月で最も引用された論文)として挙げられている。

# X線天文衛星「チャンドラ」(NASA)

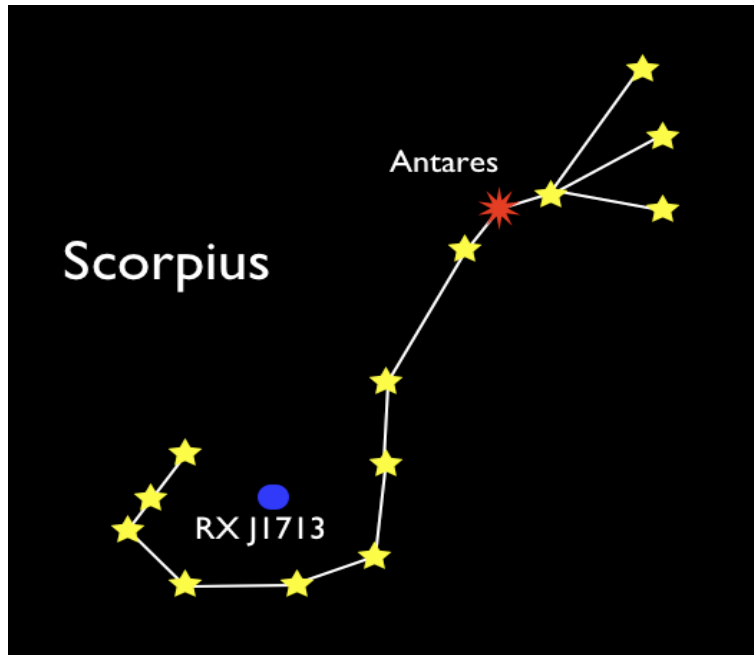
1999年打ち上げ  
優れた解像度(1秒角)  
解析に使用したエネルギー範囲:  
0.7-7 キロ電子ボルト



# 超新星残骸RX J1713-3946

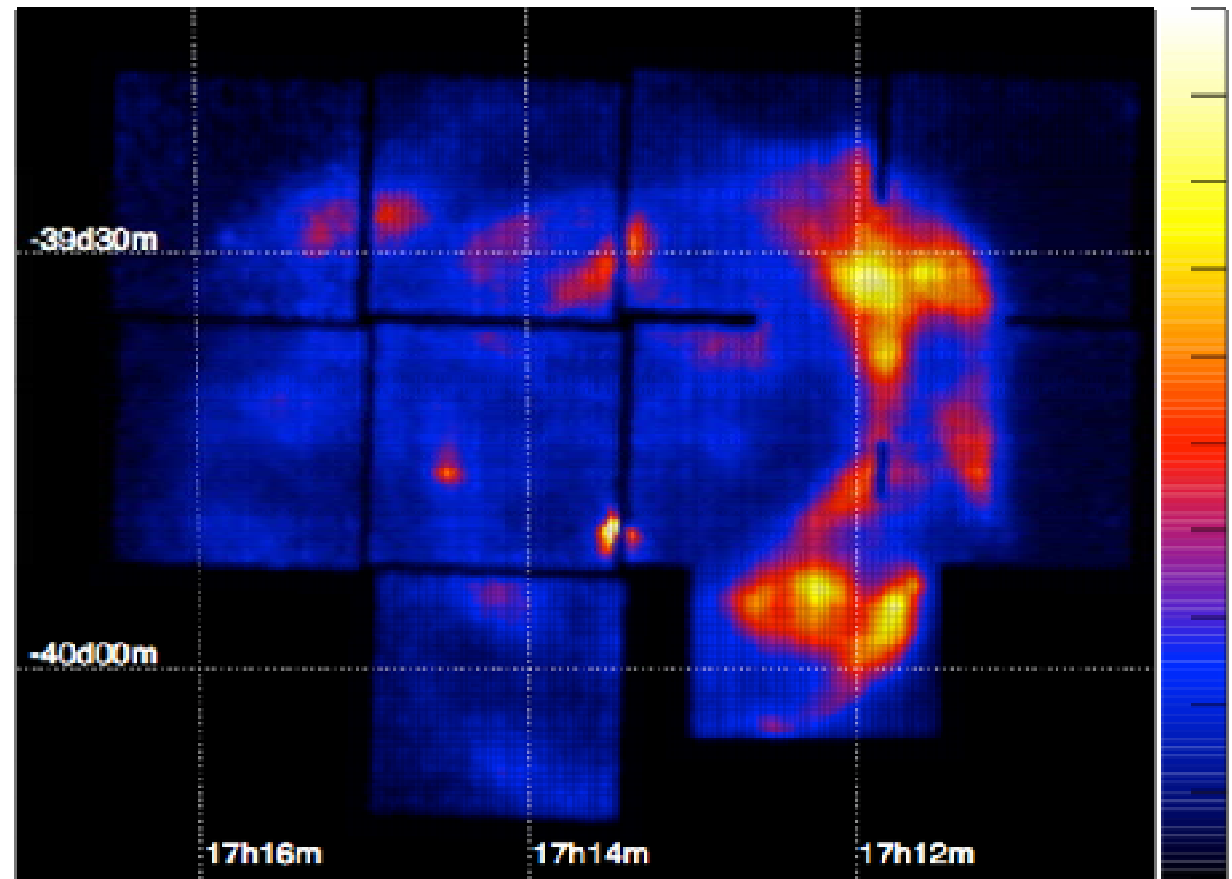
さそり座に位置する超新星残骸

地球から3000光年程度  
寿命1600年と推定される  
大きさ30光年(半径)



シンクロトロンX線や超高エネルギーガンマ線(テラ電子ボルト)によって銀河面でひとときわ輝き、宇宙線の製造工場として有望

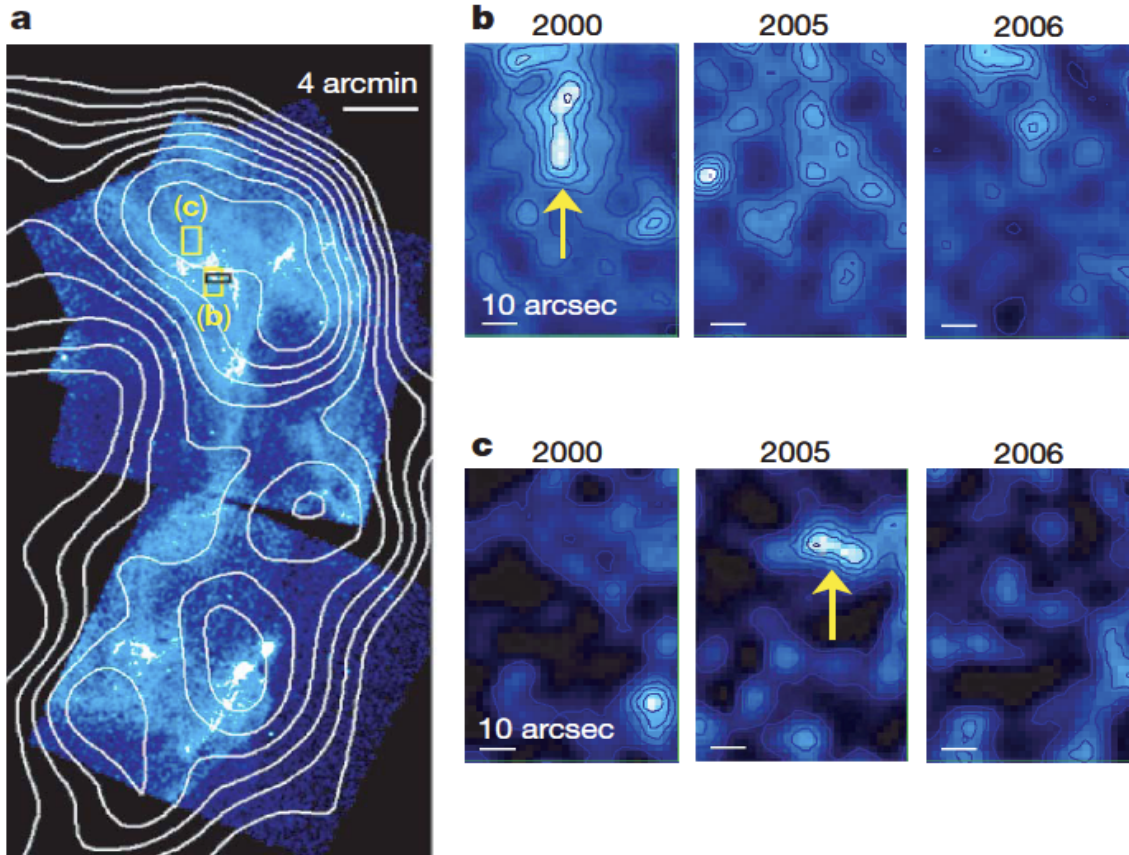
## 「すざく」による観測



「すざく」、「チャンドラ」を駆使して観測  
(高い競争率の観測提案を通す)

田中博士論文から

# チャンドラを用いた発見



X線で1年以内で明るくなったり暗くなったりしてる箇所を発見

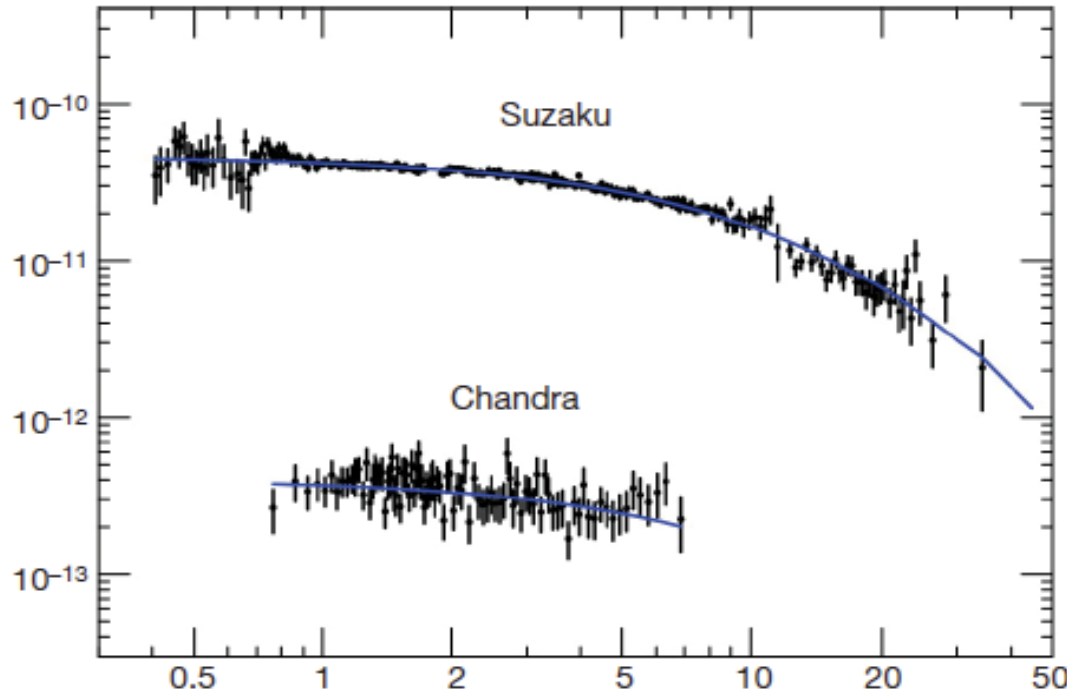
このような現象の発見は初めて

シンクロトロンX線を出すような高エネルギーの電子が、非常に小さな領域の中で、一年以内のタイムスケールで、現れたり消えたりしている。(磁場との相互作用によりエネルギーを得たり(加速)、失ったり(冷却)している。)

これまで長年にわたって想定されていたよりも100倍も強い磁場(1ミリガウス)の存在を示す

第一の発見

# 「すざく」を用いた発見



40 keVまでの高いエネルギーまでの  
X線スペクトルの測定は初めて

X線強度が10キロ電子ボルト付近から急  
激に落ちることが判明！

シンクロトロン放射のスペクトル解析から  
磁場の乱れのパラメータが最大限界に達していることが  
わかった。

加速は磁場の乱れの中をいったり来たりしておこる。  
電子のエネルギー増幅率が最大となっている。

宇宙線の構成要素である電子のエネルギー増  
幅率が最大であることを示す

理論的な予想をはじめて観測的に証明

$$\text{宇宙線のエネルギー} = \text{増幅率} \times \text{磁場} \times \text{時間} \times \text{衝撃波速度}^2 \text{乗}$$

## 第二の発見

↑  
すざく

↑  
チャンドラ

↑  
文献

↑  
(既知/チャンドラで確認)

# 結論

超新星残骸において、爆発後も宇宙線が加速され続けていることをリアルタイムで「見る」事にはじめて成功

さらに、「想定されていたより100倍強い磁場」と「最大のエネルギー増幅率での粒子加速がおこっていること」を発見。この強い磁場は、この超新星残骸から放出されている超高エネルギーガンマ線は陽子による事を示し、論争に決着。

超新星残骸RX J1713-3946において、電子・陽子のエネルギーと磁場のエネルギーが互いに増幅しあうことにより、とてつもない速さで高エネルギー宇宙線が生成され続けている。

X線は電子から、ただし、同じく加速されている陽子は磁場中でも殆どエネルギーを失わない。したがって、発見されたような環境があれば、1600年という寿命の中で、地球に降り注ぐ、10の15乗電子ボルトという高いエネルギーにおよぶ宇宙線(陽子)を作り出すことが可能である(宇宙線の条件をクリア)。

銀河宇宙線の起源は超新星残骸である



# 参考

本成果はNature 10月4日号に掲載された

論文タイトル

Extremely fast acceleration of cosmic rays in a supernova remnant

著者

内山 泰伸<sup>1</sup>, Felix Aharonian<sup>2</sup>, 田中 孝明<sup>1,3</sup>, 高橋 忠幸<sup>1</sup>, 前田 良知<sup>1</sup>

<sup>1</sup>JAXA 宇宙科学研究本部

<sup>2</sup>Dublin Institute of Advanced Study (Ireland),  
Max-Planck-Institute for Kernphysik (Germany)

<sup>3</sup>Kavli Institute for Particle Astrophysics and Cosmology, スタンフォード大学

---

## スタンフォード大学線形加速センターニュース

“Roger Blandford, director of KIPAC, agrees, “The origin of cosmic rays is a puzzle that’s nearly a century old. It’s great to finally get some clarity on the issue.”

<http://today.slac.stanford.edu/a/2007/10-04.htm>