

太陽と同程度の大きさの加速源が脈動しながら大質量星をまわっていた

-X線天文衛星「すざく」が
明らかにした謎のガンマ線連星における
超高エネルギー粒子の生成

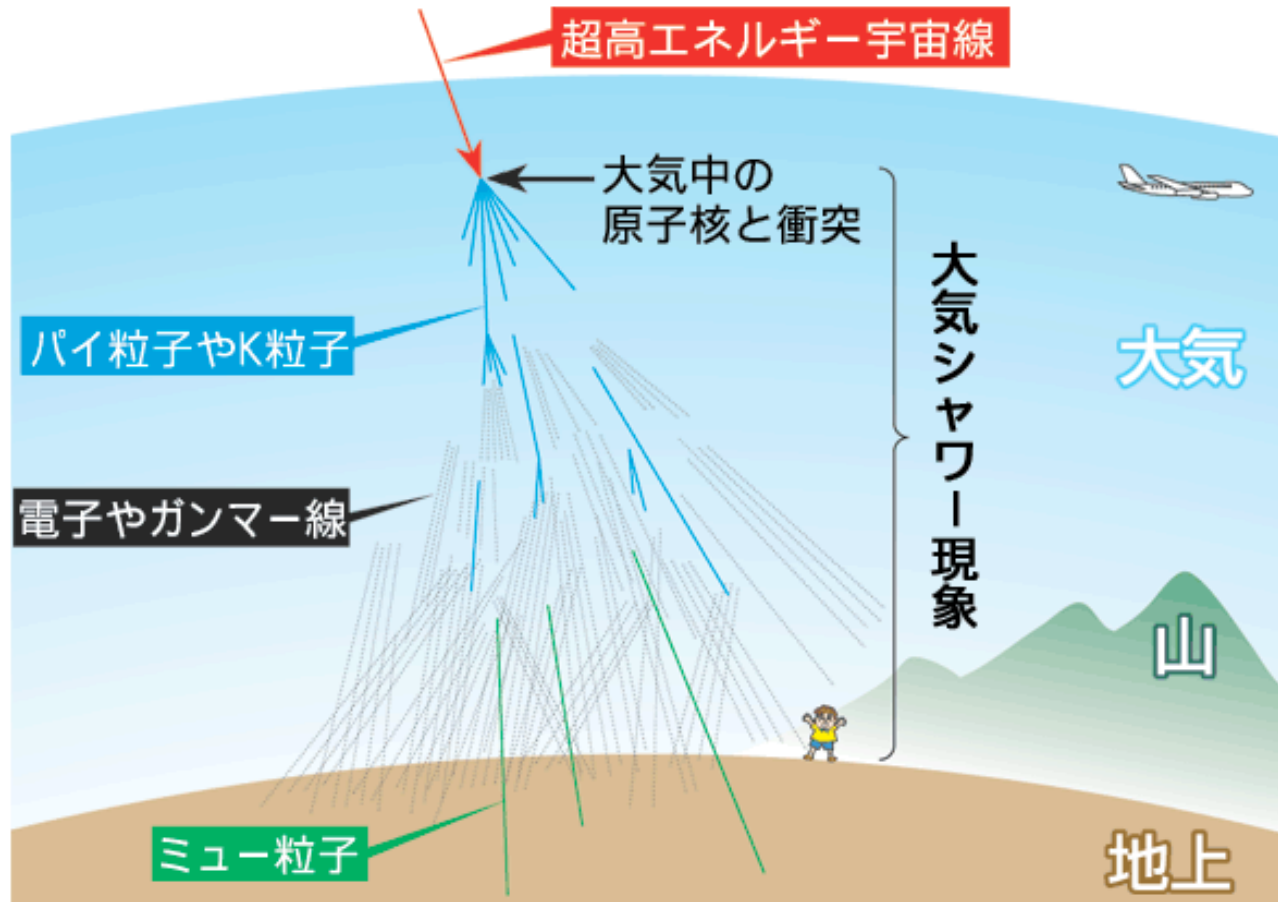
高橋忠幸、岸下徹一(ISAS/JAXA)、田中孝明、内山泰伸(スタンフォード大学)
Khangulyan (マックスプランク研究所), Aharonian (マックスプランク研究所 / ダブリン高等研究所)、他

(1) T.Takahashi, T.Kishishita, Y.Uchiyama, T.Tanaka, K.Yamaoka, D.Khangulyan, F.A. Aharonian, V.Bosch-Ramon, J.A.Hinton, Astrophysical Journal 697, 1, pp.592-600 (2009)

(2) T.Kishishita, T.Tanaka, Y.Uchiyama, T.Takahashi, Astrophysical Journal 697 L1-L5 (2009)

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
銀河系内宇宙線

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

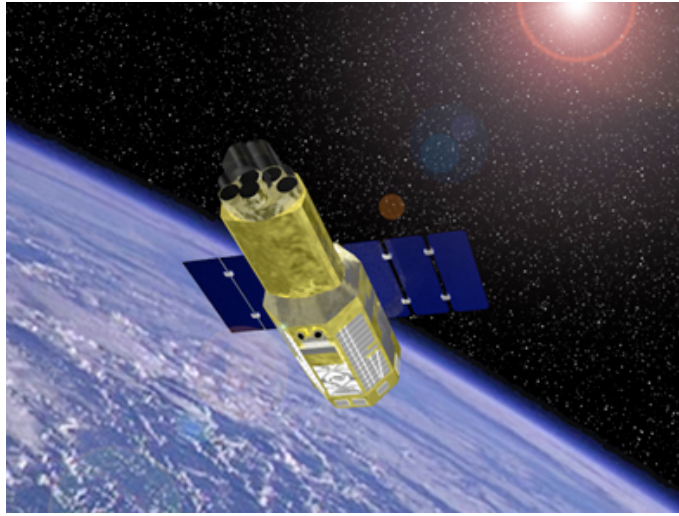
ノーベル賞

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

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

X線天文衛星「すざく」(JAXA)



2005年7月10日打ち上げ
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：
0.6-60 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。

TeVガンマ線望遠鏡 HESS（ヨーロッパ）

テラ電子ボルト（TeV）のガンマ線を検出する地上装置



LS5039

新たに発見された謎の宇宙線の加速源

LS5039の連星系の想像図



(National Optical Astronomy Observatory)

X線連星はブラックホールや中性子星の強い重力場に伴星から物が落ち込むことで、X線で明るく、X線天文学がはじまって以来の研究対象でした。実際、最初の宇宙X線源はX線連星です。

最近、LS 5039 というX線連星から X線光子の10億倍もエネルギーの高いTeVガンマ線が発見されました。(Aharonian et al. 2005 Science)

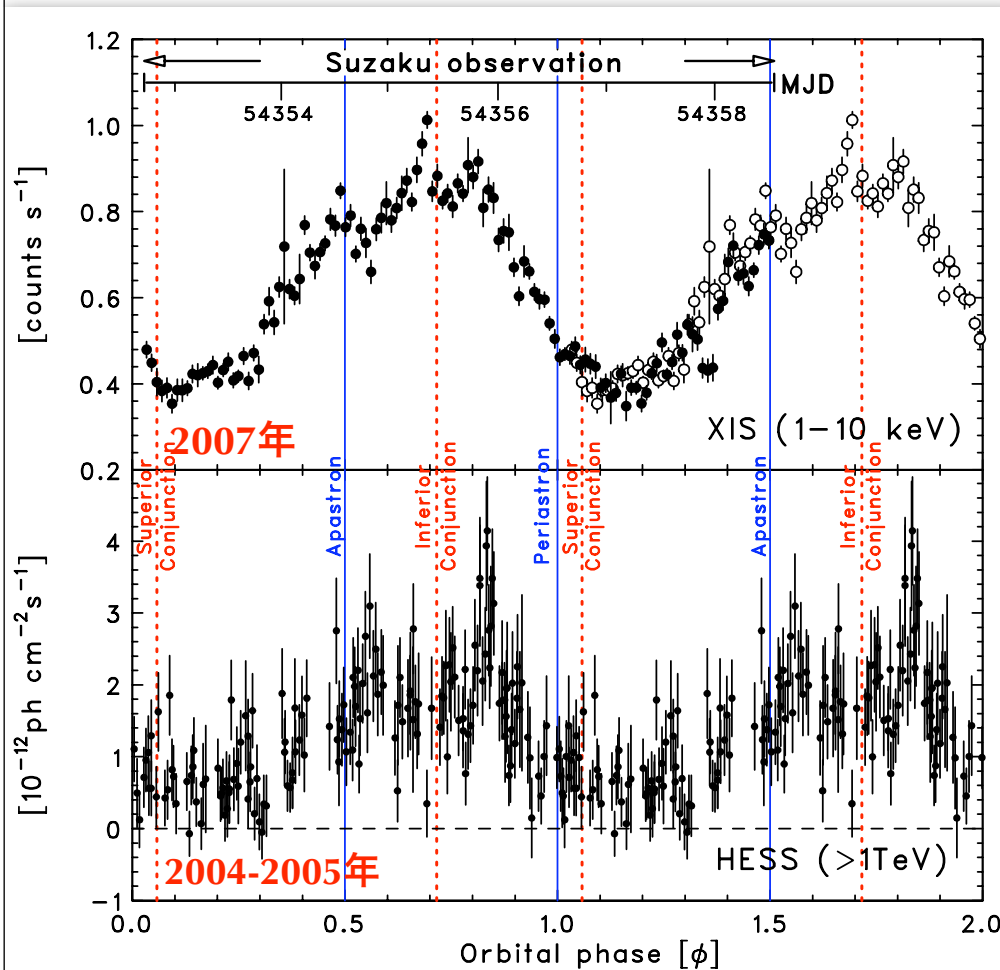
これは、このX線連星でテラ電子ボルトにまで粒子が加速されている証拠となりました。

さらに、驚くべきことにこのTeVガンマ線の放射が約4日のLS5039の連星系周期と連動して時計のように正確に、強弱を繰り返していることが発見され (Aharonian et al. 2006 A&A)、軌道に沿って変動する超高エネルギー粒子やTeVガンマ線がどのようにして作られるのか、議論が巻き起こりました。。

今回の新しい結果

6日間

光度曲線



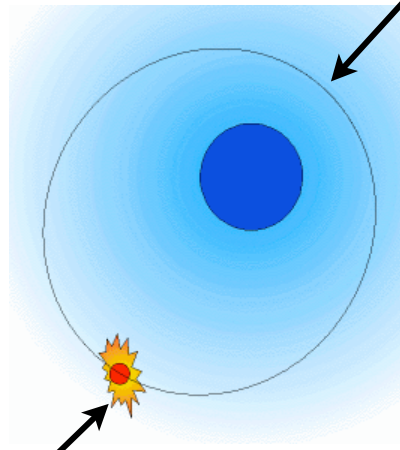
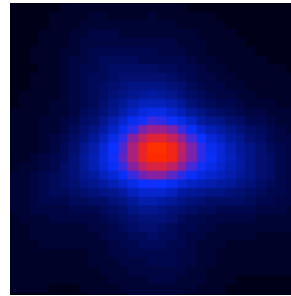
この天体の正体を探るため、すざく衛星を用いて、連星周期の1.5倍、6日間という長期観測を行い、全連星周期に対するスペクトル変動をとらえました。

60 keVまでの高いエネルギーまでのX線スペクトルを連星の全周期にわたって観測したのははじめてです

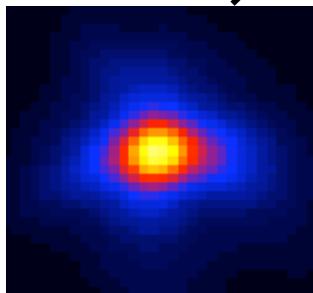
1. 超高エネルギー電子起因のシンクロトロン放射がX線領域までのび、それが連星の軌道周期に同期して周期的に放射されている事を見。伴星との距離が遠い時に放射強度大。
2. 強度変動に対して、そのスペクトルの形がほとんど変化しないことを見。
3. シンクロトロンX線が連星周期にともなって変動する現象が宇宙で見つかったのは初めて。
4. 変動のパターンはTeVガンマ線と類似

すざくによるLS5039の観測

すざくで取得したイメージ



連星系の模式図(HESS)



すざくで取得したイメージ

シンクロトロンX線の変動

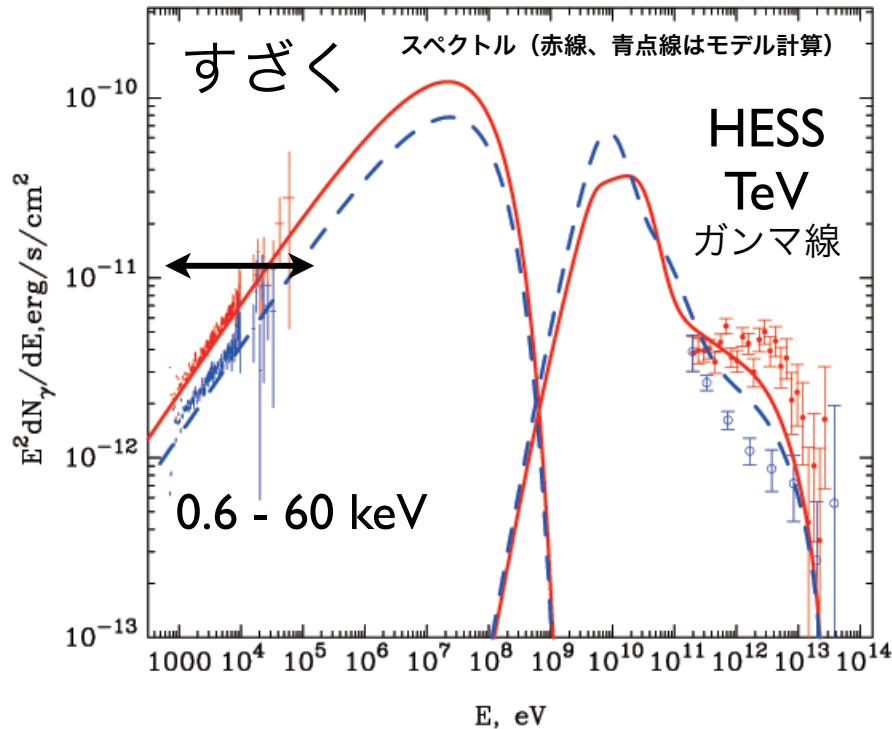
TeVガンマ線の変動は、その元となる超高エネルギー電子が一定に入射されているのに、その電子によって作られたTeVガンマ線が、周りの光子の密度があまりにも高いので吸収される効果で説明されてしまいます。

この効果は同じ電子が磁場の中で作り出すシンクロトロンX線にはあてはまりません。では、何故シンクロトロンX線がTeVガンマ線と連動して、変動するのでしょうか？ここに、超高エネルギー宇宙線の加速の現場を探る手がかりがありました。

今回の新しい結果 その2

「すざくX線」と「TeVガンマ線」の組み合わせ

新しい発見



1) X線とTeVガンマ線の強度比から磁場の強度が3 Gaussと強い事がわかった。

2) X線シンクロトロンスペクトルの形が変わらず、強度だけ変動するのは、

a) 超高エネルギー電子を加速する領域の大きさが変動する

かつ

b) 粒子加速は、その変動の時間スケールよりも短い

ことが要求される。

この条件で計算すると、加速領域は太陽の直径と同程度から3倍位で脈動していることがわかり、この大きさの中で1秒間という短時間にテラ電子ボルトまでに電子を加速しているという結果がでました。これはこれまで発見された宇宙の加速器の中でも最も効率よく電子を加速する天体の一つです。謎だったガンマ線連星系は、とても効率のよい宇宙線加速の現場だったのです。