

最高エネルギー宇宙線源加速候補天体 2FGL J0939-1734 の電波観測

田中 洋輔 (茨城大学大学院 理工学研究科)

Abstract

陽子や電子が主である宇宙線の起源問題は、その発見から 100 年過ぎた今でも明らかにされていない。通常、宇宙線は銀河間磁場による影響で到来方向を断定することは困難である。しかし 10^{18}eV 以上のエネルギーをもつ宇宙線であれば、銀河間磁場による影響をほとんど受けることなく地球上に飛来することができると考えられている。このような非常に高いエネルギーをもつ宇宙線は、銀河系外であれば超新星残骸や活動銀河などの天体における粒子加速によるものであると考えられている。本研究は宇宙線の加速源となりうる天体を調査することを目的とする。

1 Introduction(UHECRs)

地球に飛来している宇宙線はべき型のスペクトルをもつ(図 1)。そのエネルギーは様々で、エネルギーが高い宇宙線ほど到来頻度は少なくなっている。一般にスペクトルには折れ曲がりが見られ、 10^{16}eV 程度における折れ曲がり knee、 10^{18}eV 程度における折れ曲がり ankle と呼ばれている。

通常、宇宙線は銀河間磁場の影響を受けるため到来方向を特定することが困難だが、 10^{18}eV 程度以上の大きなエネルギーをもつ、いわゆる最高エネルギー宇宙線(Ultra High Energy Cosmic Rays)は、銀河間磁場の影響を受けにくく、到来方向の情報のある程度保ったまま地球に到来すると考えられる。

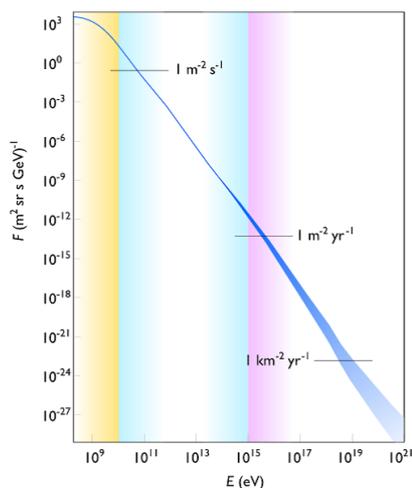


図 1: 宇宙線のスペクトル [©wikipedia]

2 Selection(2FGLJ0939-1734)

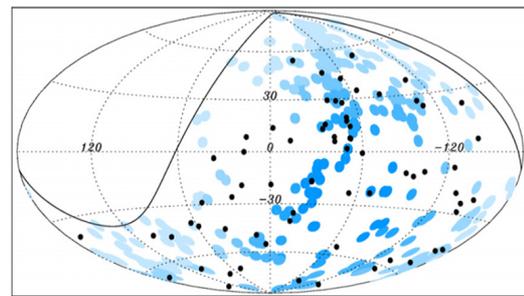


図 2: 最高エネルギー宇宙線 (UHECRs) のイベントと近傍にある活動銀河核の分布。黒丸が $5.5 \times 10^{19} \text{eV}$ 以上の宇宙線の到来方向。青丸が 75Mpc 以内にある活動銀河核の方向で、3.1 度の円で描かれている。

近年になって、Auger 宇宙線観測所から宇宙線の到来方向と近傍の活動銀河核に空間的な相関が認められるという結果が出された(図 2)。Auger 観測所は南米アルゼンチンに建設され、2004 年から宇宙線の観測を行っている。ここでは、宇宙線を非常に高い精度を感度でもって測定している。2009 年末までに $5.5 \times 10^{19} \text{eV}$ を超える宇宙線を 69 イベント検出している。ただし、この観測所から出された結果は空間的な相関があることを示すだけで、実際に対応天体が宇宙線の加速源であるかは判断できない。

最高エネルギー宇宙線のような非常に高いエネルギーまで加速しうる天体では大規模な加速が行われているはずである。そのような領域では、周囲の物

質や場との相互作用によって粒子は非熱的な放射をする。特にガンマ線は高エネルギー粒子加速が起こっている直接的な証拠となる。

そこで 2008 年に打ち上げられたフェルミ宇宙望遠鏡の 2 年目カタログに注目した。フェルミ望遠鏡は GeV 領域のガンマ線を最高の感度で観測している望遠鏡である。フェルミ望遠鏡のガンマ線源天体から、平均的な曲り角の範囲内に最高エネルギー宇宙線が複数個あるような天体を選出され、その中の天体に活動銀河核があった、それが今回観測を行った天体 2FGL J0939-1734 である。

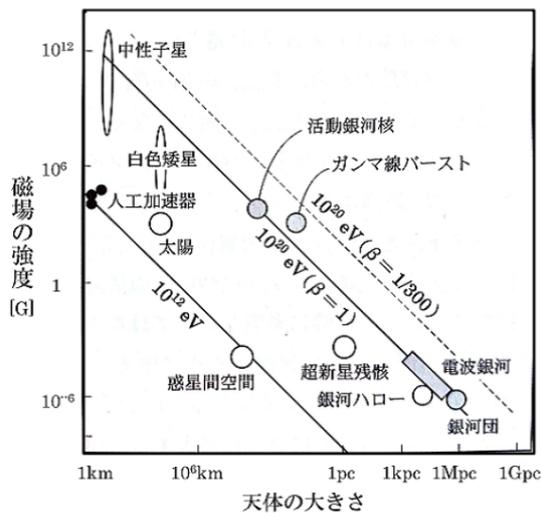


図 3: Hillas Plot

活動銀河核はコンパクトな放射領域で非常に高い放射輝度を持ち、電波からガンマ線までの非常に広いスペクトルを特徴としている。活動銀河核のエネルギースペクトル分布はシンクロトロン放射と自己コンプトン散乱のモデル (SSC モデル: Synchrotron self Compton) を考えることができ、これを得るには広い波長における観測が必要である。ラーモア半径 r_L の関係式は

$$r_L = \frac{E}{ZeB} \quad (1)$$

で表され、宇宙線のエネルギーを E 原子番号を Z 、磁場の強さを B としてラーモア半径を天体の広がりと考えれば、図 3 の Hillas plot において、 10^{18} eV 以

上のエネルギーまで加速しうる天体として、活動銀河核は十分に考えられる天体である。

選出されたガンマ線源天体 2FGL J0939-1734 に対して野辺山 45m 電波望遠鏡を用いた連続波観測と大学連携の JVN (Japanese VLBI Network) による VLBI 観測を実施。SSC モデルにおけるフィッティング不定性を小さくすることと時間変動を押さえることを目的に、野辺山の観測では複数の波長でモニタリング観測を行った。VLBI 観測では高分解能を利用してジェット構造の検出を目指した。

3 Observation

3.1 野辺山 45m 単一鏡観測

観測天体 2FGL J0939-1734 (同定天体 CRATES J0939-1731, PMN J0939-1731) は今までに 100MHz ~ 10GHz 程度の低い周波数においては観測されているが、電波領域でのそれより高い周波数での観測データがない (図 4)。

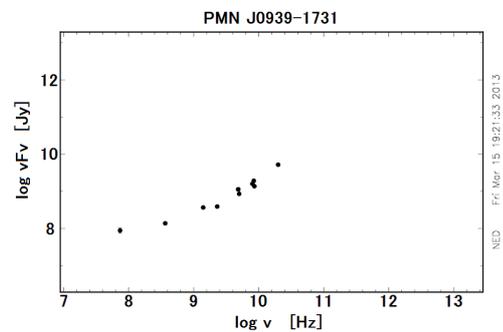


図 4: PMN J0939-1731 のフラックスデータ

またこの天体は既知天体との位置の相関は見つかっていないが、時間変動の相関は見つかっていない天体である。時間変動が確認できれば、天体の大きさにもある程度制限を付けることができる。野辺山観測では、10GHz 以上の周波数 (23GHz, 43GHz, 80GHz, 100GHz) でのフラックスを得ることと時間変動を得ることを目的として連続波観測を行った。フラックスキャリブレーションには火星を用いた。

SED と Light Curve を挿入

3.2 VLBI 観測

2FGL J0939-1734(CRATES J0939-1731) は活動銀河核と同定されている。同定天体は、電波領域では点源に見える。これに対して高い角度分解能の観測を行い、本当に点源天体なのかを確認する必要がある。もし、点源天体ではなく、ジェット成分が存在するような活動銀河核で、そのジェットが検出できたならば、継続的に観測を行っていき、ジェット成分の時間変動を抑えることで、さらなる議論が可能になる。VLBI 観測は角度分解能が非常に良く、大学連携 JVN による VLBI 観測であれば 4 ミリ秒角程度の角度分解能が得られる。観測は 8GHz で実施した。

これにおいて現在、解析ソフト AIPS を用いて解析中である。

4 Reference

1. Pierre Auger Collaboration, Abreu, P., Aglietta, M., et al. 2010, *Astroparticle Physics*, 34, 314
2. NASA Fermi Home Page
<http://fermi.gsfc.nasa.gov/>
3. 福田修論 (茨城大学) 2012