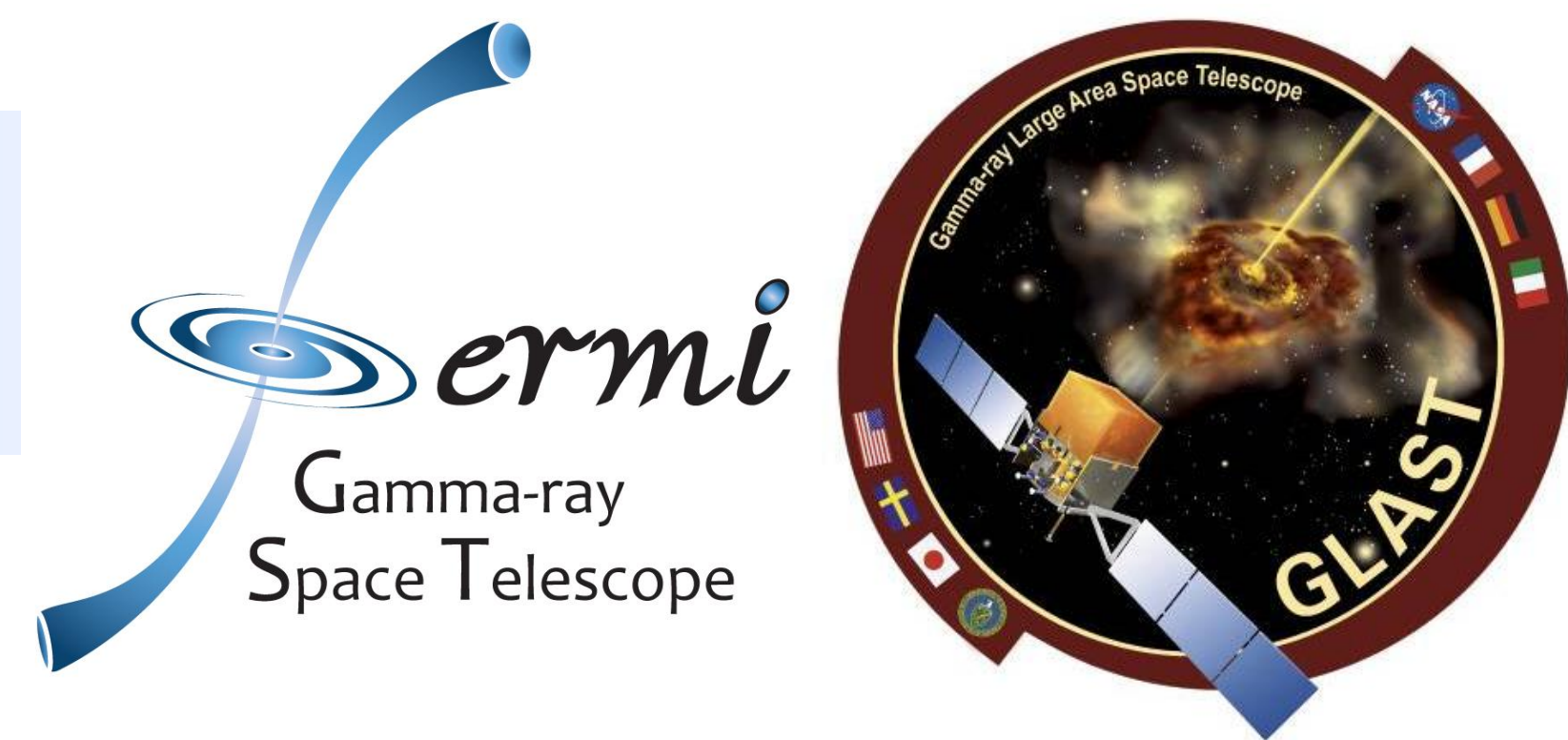


フェルミ・ガンマ線衛星でみる宇宙

茨城大学 高エネルギー宇宙物理グループ



フェルミ衛星によるガンマ線観測

●ガンマ線とは...

ガンマ線は、最も波長の短い電磁波、つまりもっともエネルギーの高い光子です(図1)。特に100MeV以上100GeV以下の領域の高エネルギーガンマ線は、荷電粒子が非常に高いエネルギーまで加速されていることを示しており、これを観測することで宇宙で起きている高エネルギー現象を知ることができます。しかし、このようなエネルギーのガンマ線は地球大気により吸収されるため、地上で直接検出することは難しく、主に人工衛星による観測が行われています。

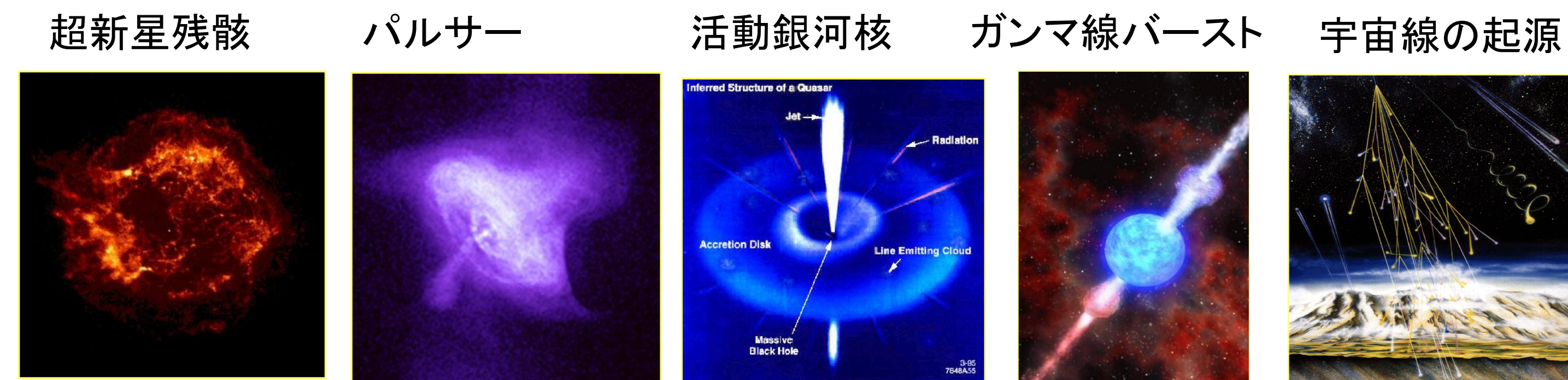
●フェルミ・ガンマ線宇宙望遠鏡

フェルミ・ガンマ線望遠鏡(通称フェルミ衛星:図2)は、日米欧の国際協力により開発されたガンマ線天文衛星です。ガンマ線検出器として、Large Area Telescope(LAT)とGLAST Burst Monitor(GBM)を搭載しており、LATでは20MeV-300GeVのエネルギー領域をこれまでで最高の感度で観測することを実現しています。一方GBMでは8keV-30 MeVのエネルギー領域で、主に突発的現象を観測しています。(詳細は右図)

観測対象となる天体は、パルサー・活動銀河核・ガンマ線バースト・超新星残骸など多岐にわたっており、高エネルギー現象(巨大ブラックホールが出すジェット流、ガンマ線バースト現象等)の解明や宇宙線の起源の解明等さまざまな成果を期待されている衛星です。



図2: 軌道周回中のフェルミ衛星の想像図。



フェルミ衛星は2008年6月11日に打ち上げられて以来3年、全天のサーベイ観測を継続中です。2011年7月には2年目カタログが公開され、2年間の観測で検出された天体の数(100MeV->100GeVのエネルギーを持つガンマ線点源)は、1873となりました。各種天体カタログとの比較により、同定が行われているが、約600の天体が、未同定天体でした。現在、取得されたデータは逐次公開されており、フェルミチームからは多くの論文が発表されています。フェルミ衛星ではガンマ線だけではなく他波長との連携も行われており、高エネルギー天文学を牽引する衛星となっています。

<参考> Fermi-LAT Collaboration 2011, arXiv:1108.143/

研究内容

◆フェルミ衛星による「白鳥座ループ」の観測 (片桐)

宇宙空間には、宇宙線という非常にエネルギーの高い粒子が存在しています。そのような粒子の一部は、超新星爆発という星が死を迎える時に引き起こす大爆発のエネルギーによって生成されています。生成された粒子は周囲のガスなどと反応して高エネルギーガンマ線を発生させており、フェルミ衛星によってそのようなガンマ線源がいくつか見つかってきました。ところが、それらのガンマ線のスペクトル(エネルギー分布)をよく見ると、奇妙な折れ曲がりがあることが分かってきました(図4)。

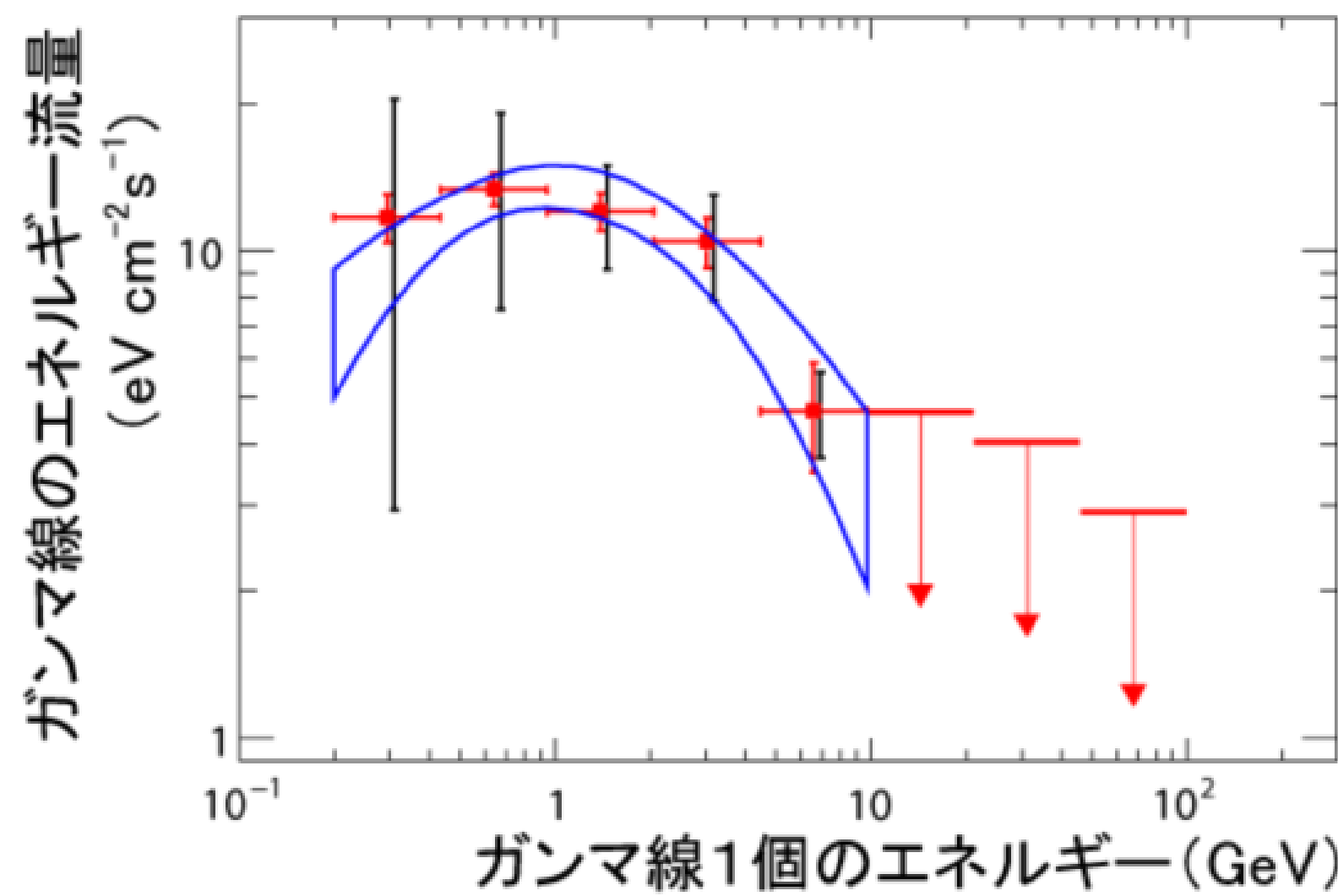


図4 超新星残骸「はくちょう座ループ」から放射されるガンマ線のスペクトル。グラフの点に付いている縦軸はエネルギー流量の誤差(赤:統計誤差、黒:系統誤差)、横軸は解析に使用したエネルギー範囲を示す。赤い矢印は、有意な信号が得られなかった点で、エネルギー流量の上限値を示す。青い線に囲まれた領域は、スペクトルの形状としてログパラボラを仮定した場合に最もよく適合する形状から68%の信頼水準に含まれる領域。

その折れ曲がり、生成された宇宙線が時と共に爆発波から抜け出して拡散していく効果によって作られたという説(拡散説)などがありますが、諸説あり、まだはっきりしていません。折れ曲がりの起源を明らかにするには、ガンマ線の空間分布が役に立ちます。

本研究ではフェルミ衛星のデータを用いて「はくちょう座ループ」と呼ばれる超新星残骸に着目しました(図5)。「はくちょう座ループ」は見た目の大きさが約3度(月の約6倍)もあり、ガンマ線を放射する超新星残骸の中では最も大きいので、詳細な空間分布を議論するのに適しています。データを詳細に解析した結果、「はくちょう座ループ」では、スペクトルの折れ曲がり、拡散説では難しいことが分かりました。

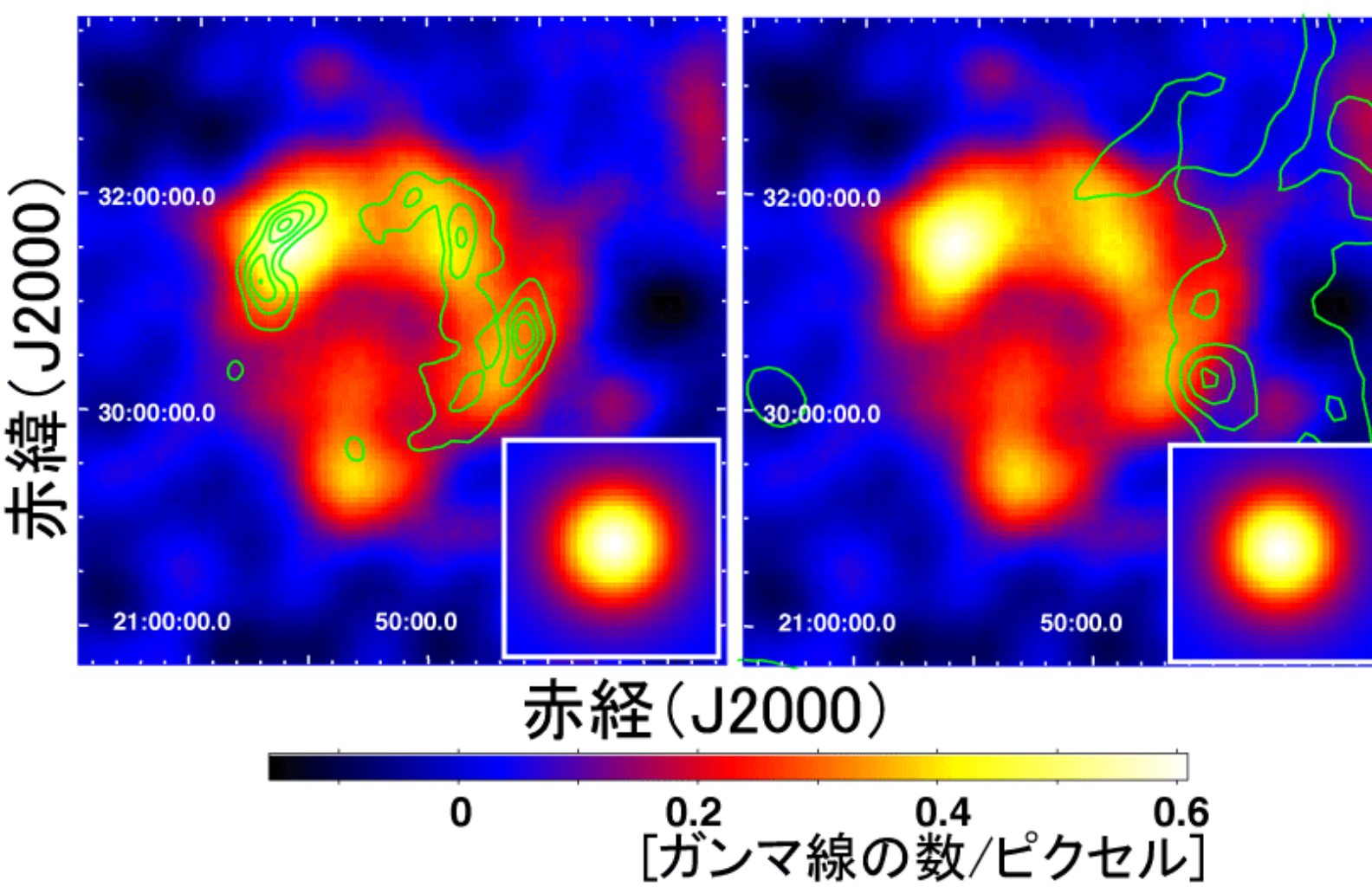
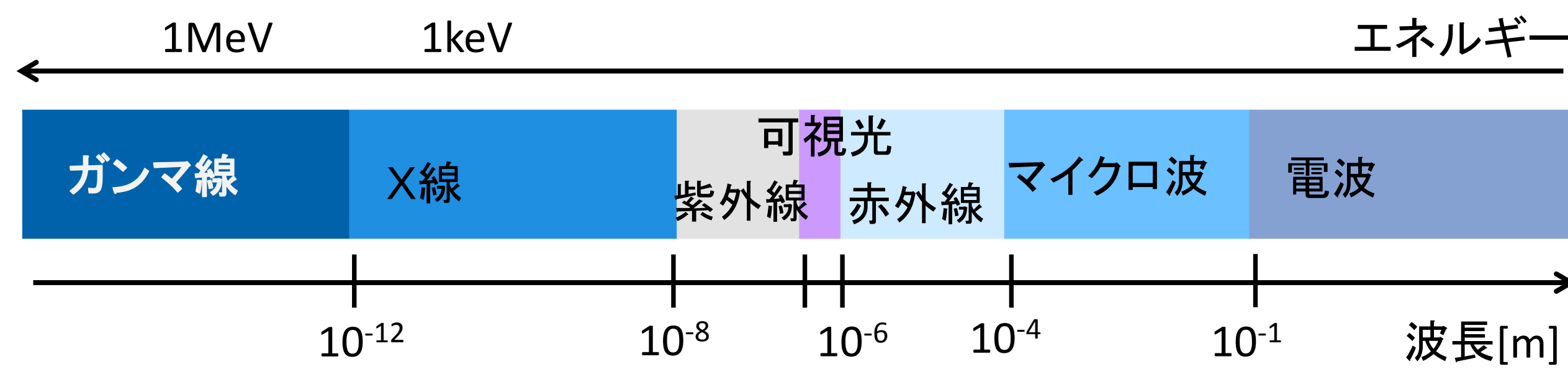


図5 フェルミ衛星で取得した超新星残骸「はくちょう座ループ」から放射されるガンマ線の撮像イメージ。緑の等高線は、(左図)超新星爆発の衝撃波がガス中を通過する際に放射される光(H α 輝線)。(右図)一酸化炭素の分子線で、比較的高い分子ガスの位置を示しています。右下の差し込み図は、ガンマ線の角度分解能を示しています。

<参考>Katagiri et al.2011,ApJ,741,44K

図1: 電磁波の種類と波長、エネルギー(10⁶=1MeV,10³eV=1keV)



●搭載検出器



GBM

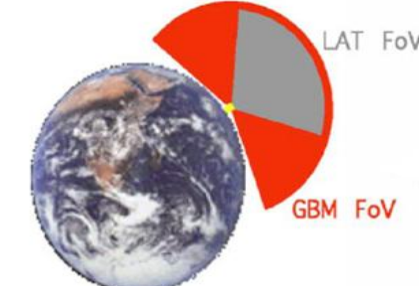
(Gamma-ray Burst Monitor)

- 8 keV → 30 MeV
- 主に突発天体を監視
- 検出器: NaI(Tl) x 12 + BGO x 2

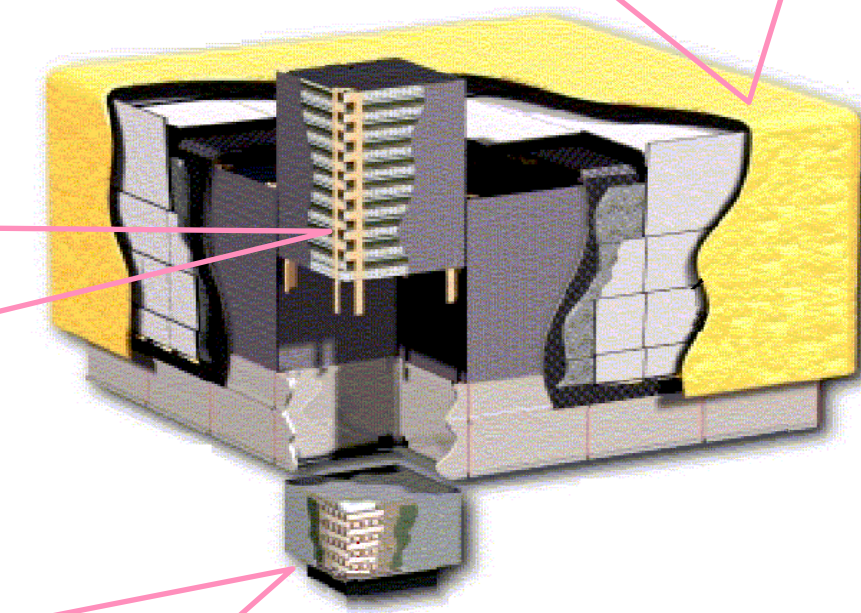
LAT
(Large Area Telescope)

- 20 MeV → 300 GeV
- 視野 2.4 str
- 約3時間ごとに全天を走査

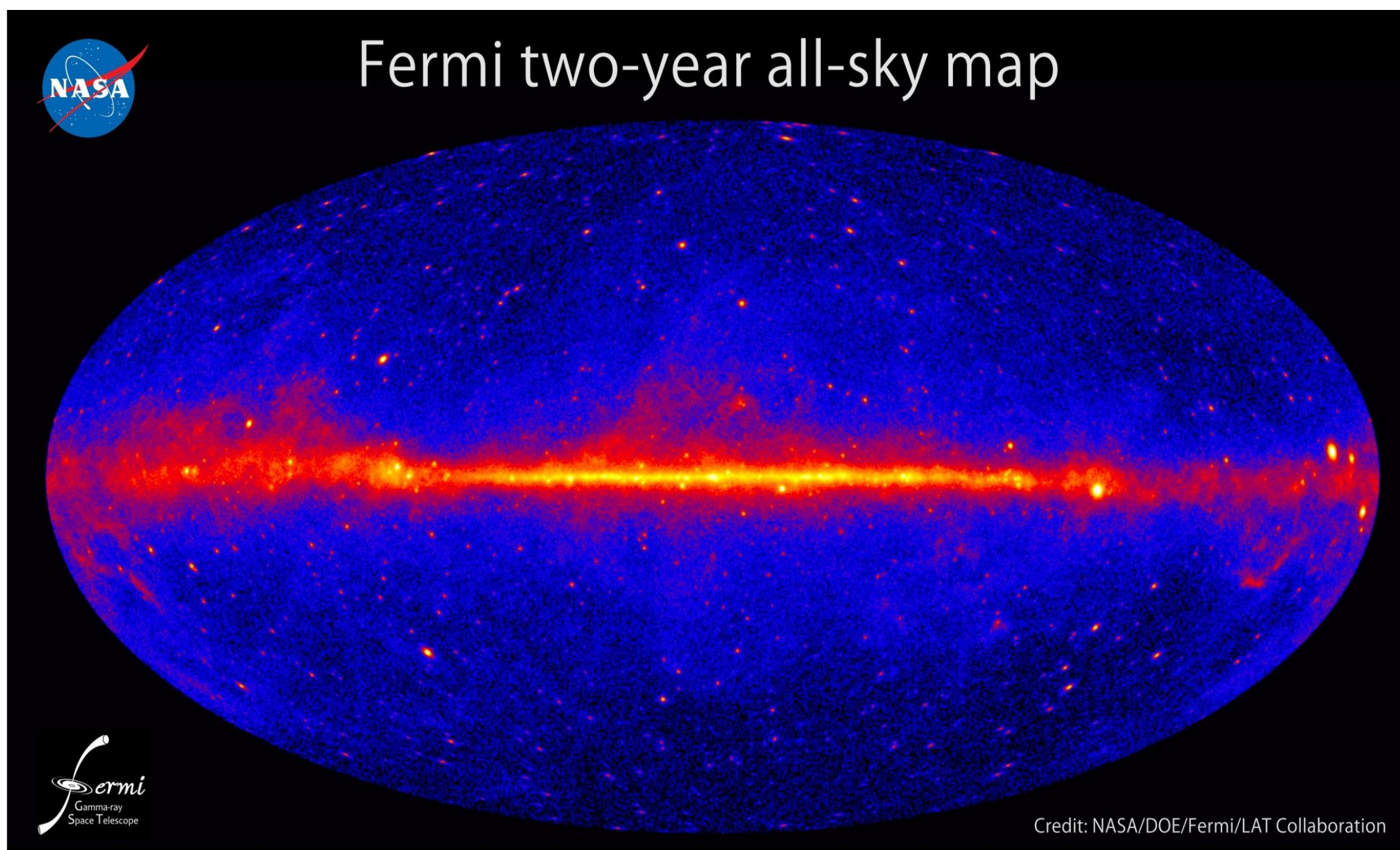
- トラッカー
多重シリコンストリップ検出器
電子対の飛跡を測定
ガンマ線の到来方向を再構成



- 反同時計数シールド
プラスチックシンチレータ
荷電粒子バックグラウンドの除去



- カロリメータ
CsI(Tl)シンチレータ
電子対のエネルギーを測定
ガンマ線のエネルギーを再構成



(右)図3: フェルミ衛星の2年間の観測で得られた、エネルギーE > 1GeVのガンマ線強度分布を表した、全天でのマップ。銀河中心部が黄色～赤になっており、ガンマ線の強度が高くなっています。中心部以外でもガンマ線源が多数あることがわかります。

◆最高エネルギー宇宙線源候補天体の観測的研究 (M1福田)

宇宙線がどのような天体で加速されているかという「宇宙線の起源問題」は未だ明らかになっていない問題の1つです。宇宙線は荷電粒子なので通常、星間磁場によって飛跡が曲がってしまい、到来方向を特定することが難しいですが、10¹⁸eV以上のエネルギーをもつ最高エネルギー宇宙線は、磁場による回転運動の曲率半径が非常に大きく、到来方向の情報をある程度保ったまま地球に到来すると考えられています。この最高エネルギー宇宙線をかつてない高精度と高感度で観測している南オージェ観測所での観測結果より、宇宙線と近傍の活動銀河核の空間的な相関があることが示唆されています。最高エネルギー宇宙線が加速されるような領域では、大規模な粒子加速が起こっており、周囲の物質・場との相互作用で非熱的な電磁波を発生すると考えられます。そのため、高エネルギーガンマ線の観測は、高エネルギー粒子の加速が起こっている直接的な証拠となります。

本研究では、フェルミ衛星の2年間の観測をもとにしたガンマ線カタログと宇宙線の相関を求めました(図6.7)。その結果、複数の最高エネルギー宇宙線の到来方向と空間的に相関があるガンマ線源があることがわかりました。(図8)。

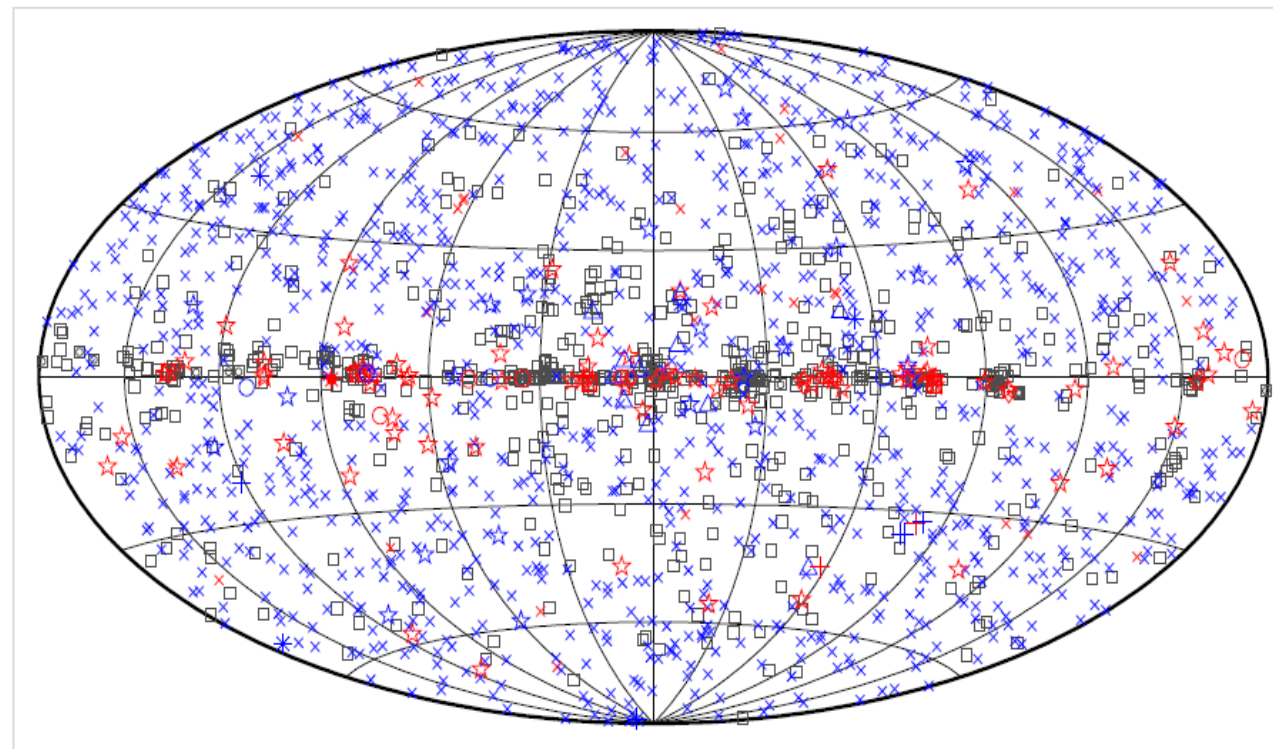


図6: フェルミ衛星で観測された1873のガンマ線源。それぞれの点(ガンマ線源)から3.1°の円を考えます。

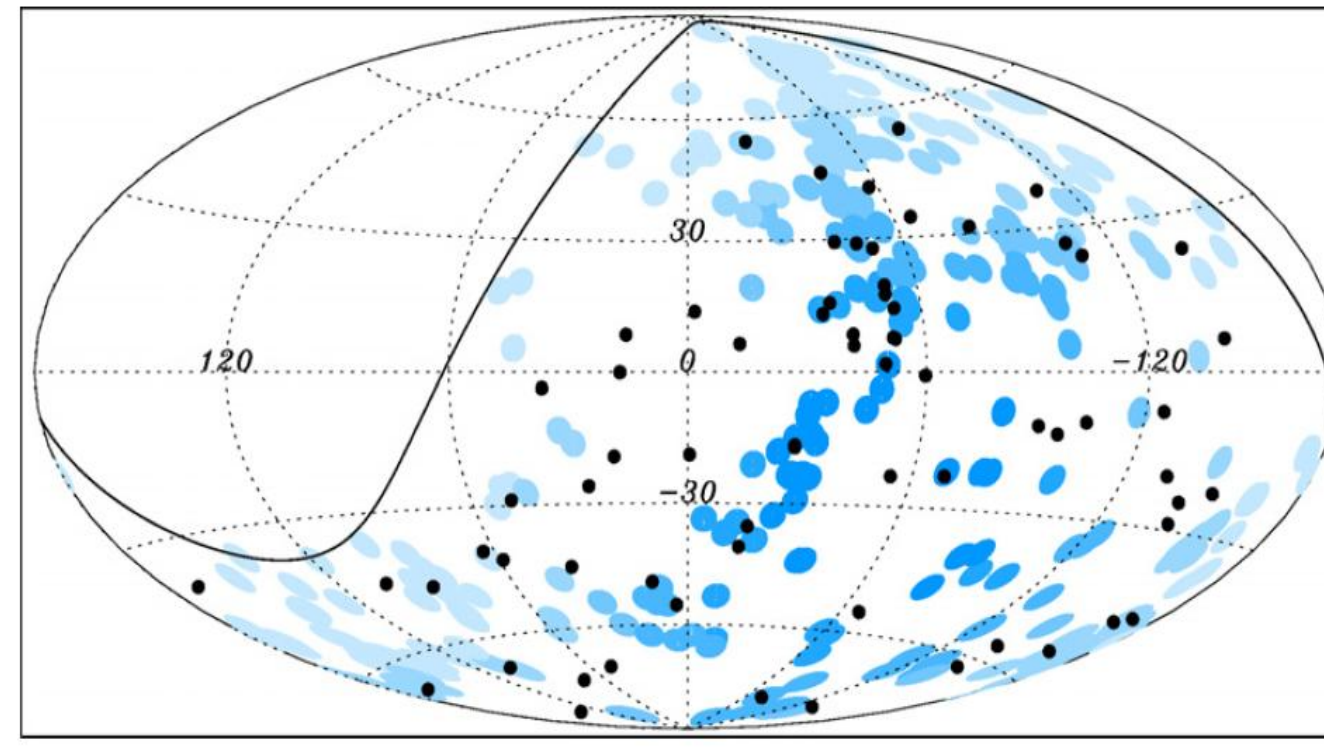


図7: 黒が最高エネルギー宇宙線到来方向。青は近傍AGNのカatalogですが、今回は無視します。

これらのガンマ線源のうち、既に詳細な研究がされているCentaurus A近傍の領域を除外したところ、新たに5個(図7の1~5)の最高エネルギー宇宙線を加速している候補となる天体を見つけました。今後はこれらの天体についてどのような特性を持つか、電波によるフォローアップ観測も加えて詳細な解析を行っていく予定です。

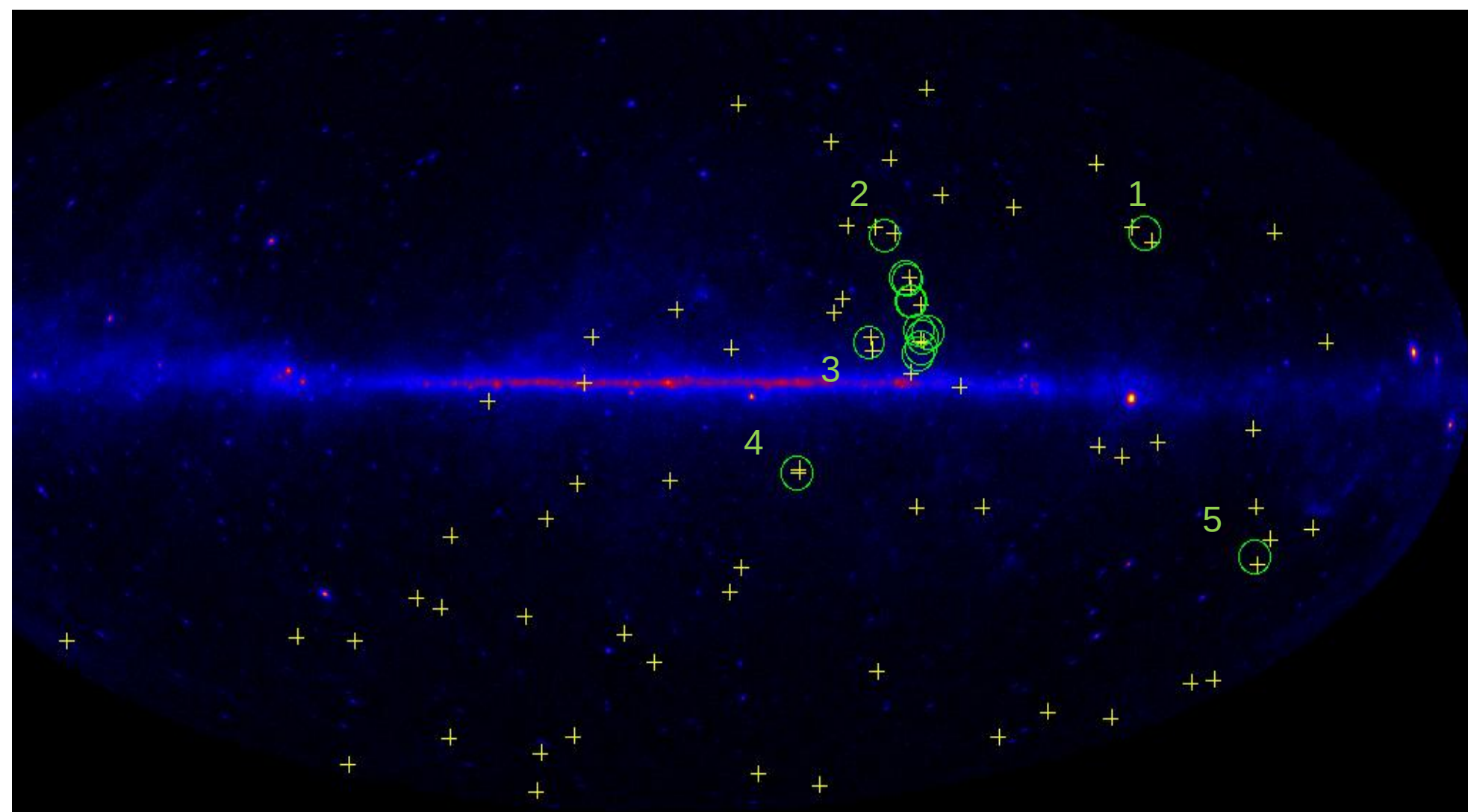


図8: 黄色の+が最高エネルギー宇宙線の到来方向を示しています。黄緑の円は最高エネルギー宇宙線を2個以上含んでいるガンマ線源(フェルミソース)を3.1°の円で示したものです。