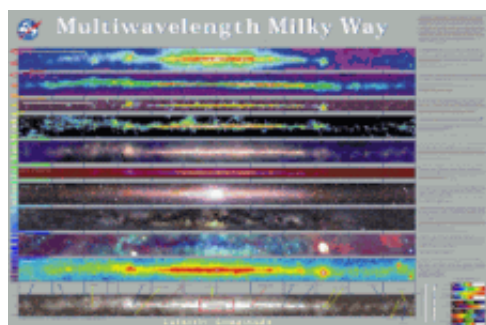
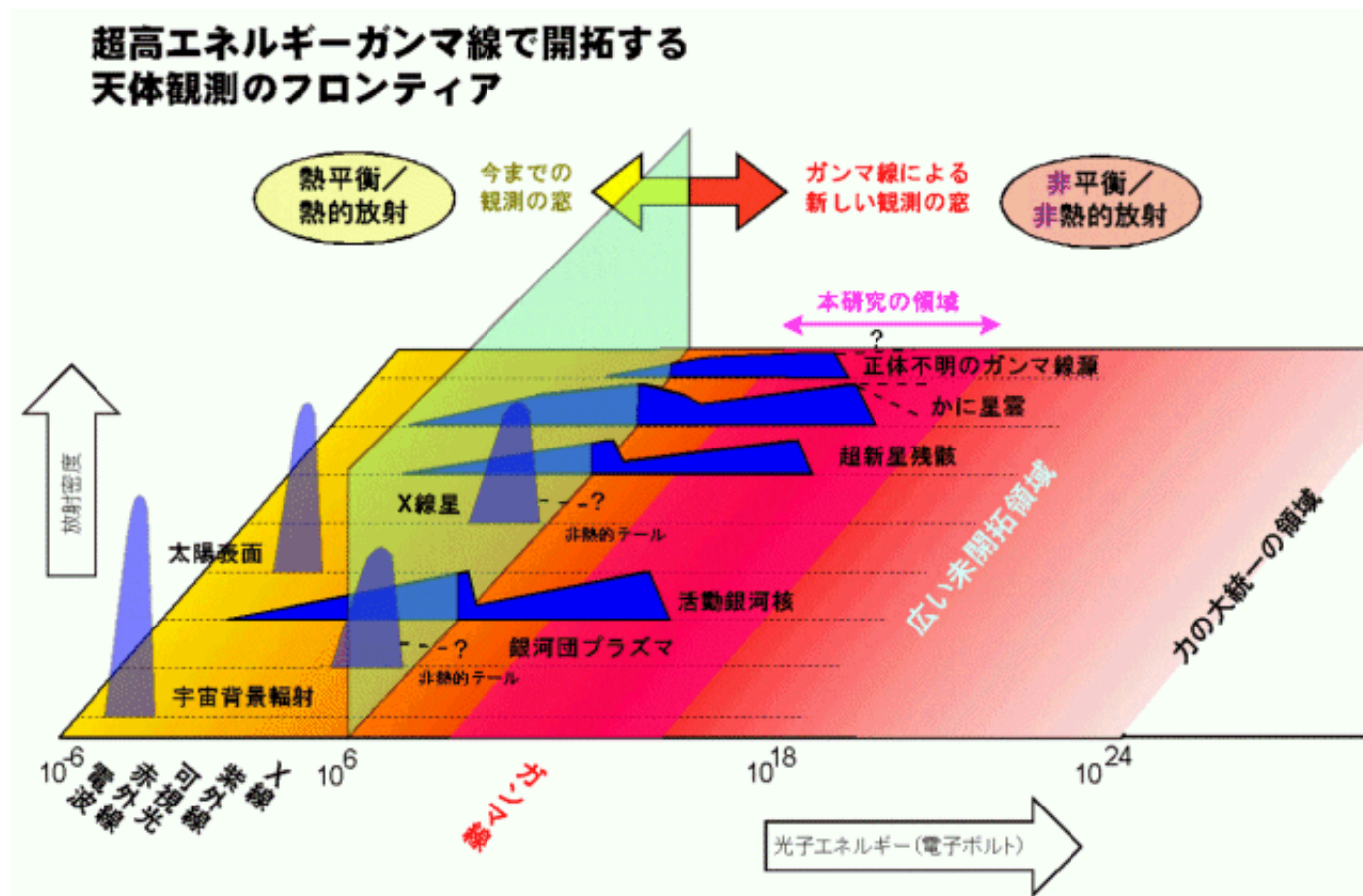




天体観測のフロンティア

古代からの可視光による天文学に加え、近年急速に電波・赤外線・紫外線・X線の天文学が進歩していますが、最も波長の短い光である**ガンマ線**による天文学はまだ始まったばかりの段階といえ、広い未開拓の領域として残されています。



「多波長で見る銀河」についてはこちら（NASAページの日本語

訳）

用語集

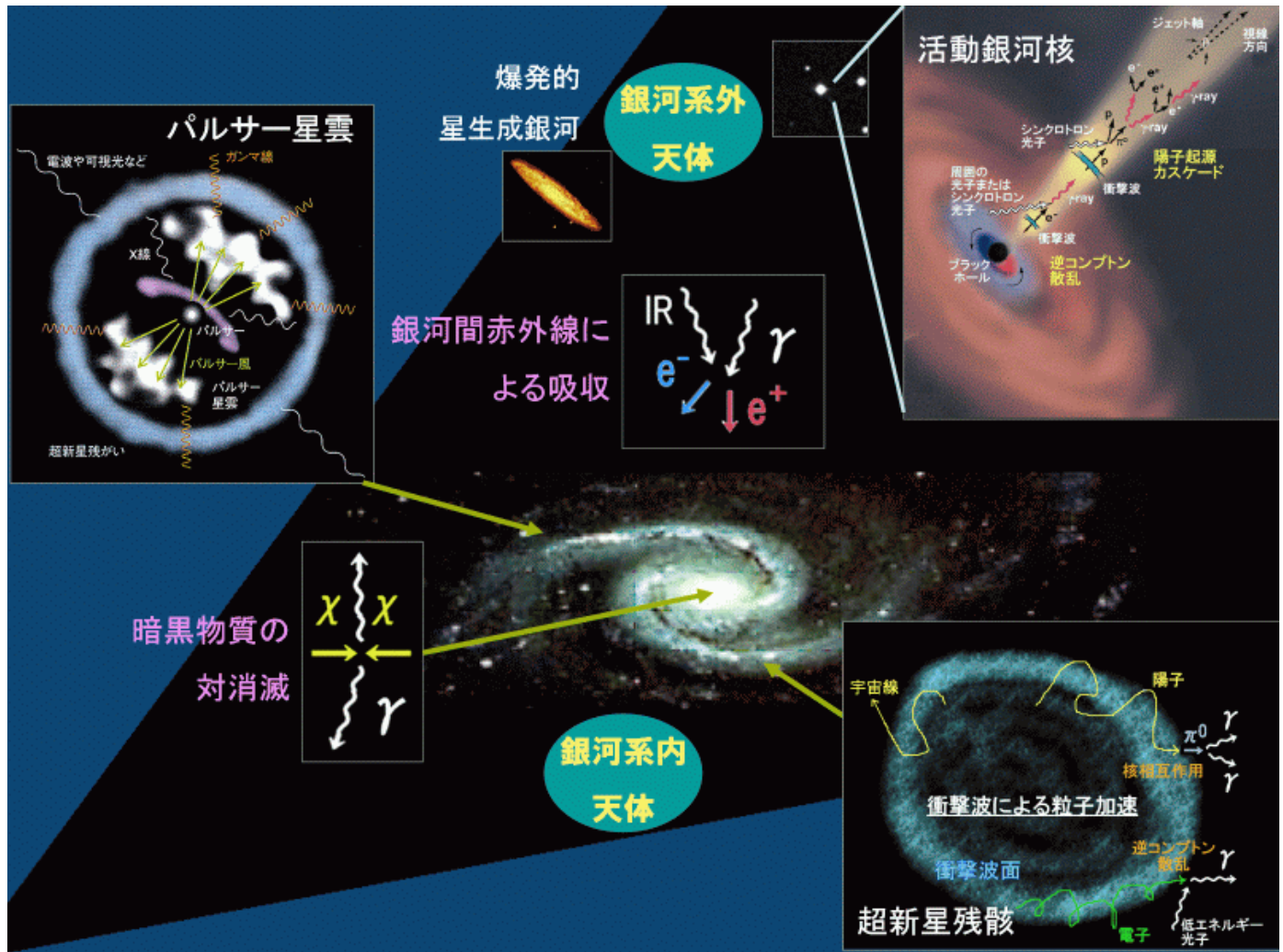
Masaki Mori

Last update: November 17, 2011



ガンマ線天体物理学

電波からX線にかけての放射は熱的な放射が主であるのに対し、ガンマ線は非熱的な機構でしか放出されません。このような機構には高エネルギーまで加速された電子や陽子が 必要で、粒子を高エネルギーまで加速するような激しい活動を行っている天体のみがガンマ線天体になり得ます。銀河内の天体では、超新星残骸やパルサー星雲など、銀河系外の天体では活動銀河核などがガンマ線天体として 見つかっていますが、まだ未知のタイプの天体も期待されています。また、宇宙の暗黒物質由来のガンマ線の可能性も指摘されています。



用語集

Masaki Mori

Last update: November 2, 2006

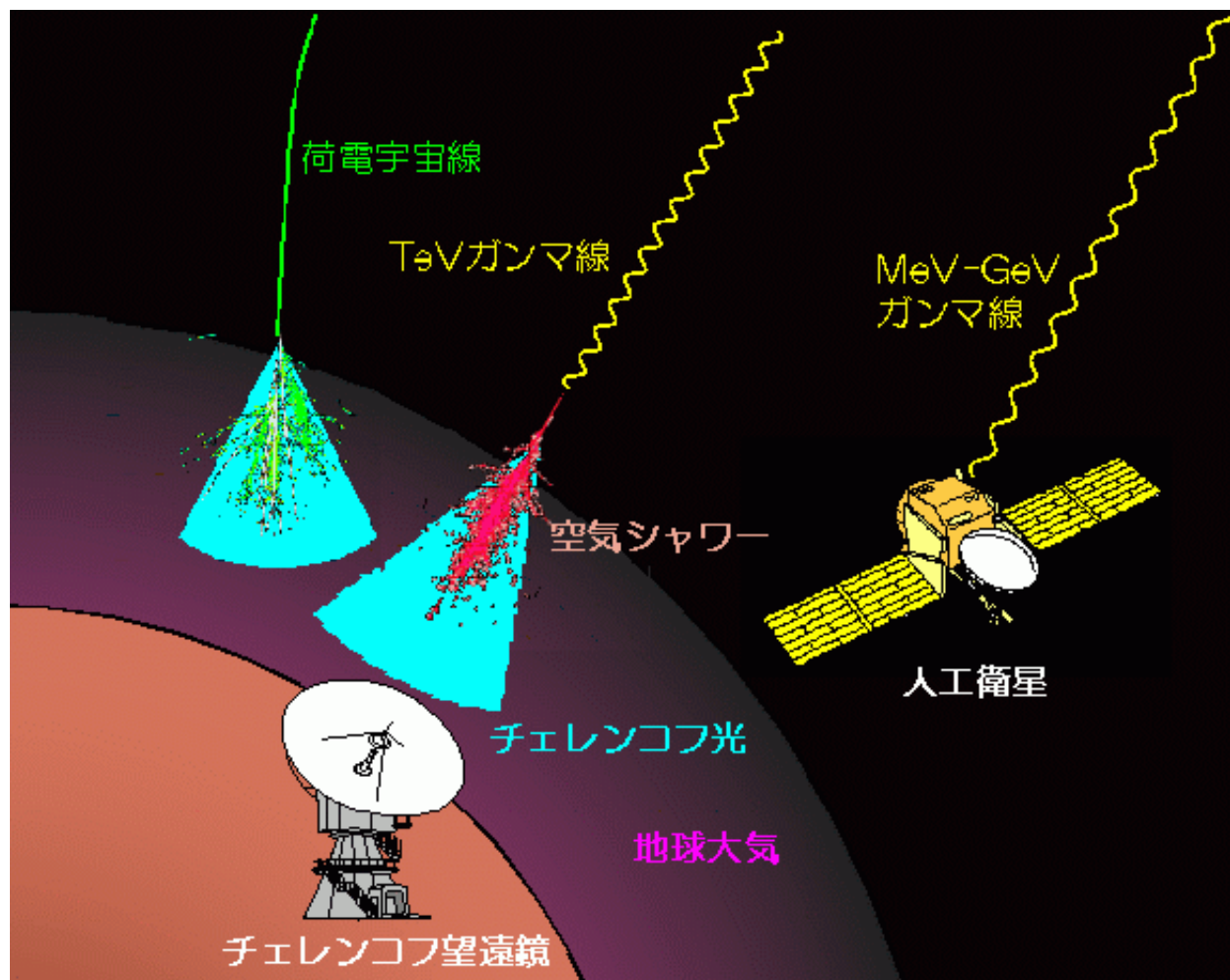


ガンマ線の観測

天体ガンマ線は地球大気と衝突を起こすため、直接地表には 降ってきません。そこで、比較的エネルギーの低いガンマ線は 人工衛星に搭載した検出器により大気外で観測が行われて きました。一方、超高エネルギー($\text{TeV} = 10^{12}\text{eV}$ 領域)のガンマ線が大気中で起こすシャワー現象から放出されるチェレンコフ光は地上まで到達するので、この光をとらえることにより 間接的にガンマ線の観測が可能になります。

しかし、地球に降り注ぐ宇宙線も同様にシャワーを起こしてチェレンコフ光を 放出するので、ガンマ線の信号はこの宇宙線の雑音に埋もれてしまいます。1980年代の終わりにイメージング法が発達してこの雑音を抑えることができる

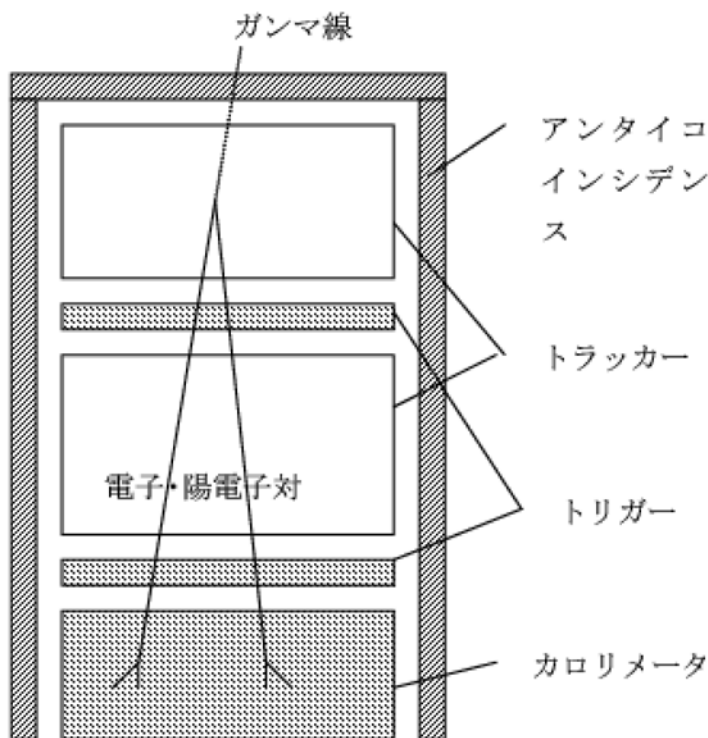
ようになってから、TeV領域ガンマ線の 大気チェレンコフ望遠鏡による地上観測が急速に進展しました。



Masaki Mori
Last update: May 29, 2006



人工衛星によるガンマ線観測



数十MeV以上のガンマ線の主な物質との相互作用は電子・陽電子対生成なので、衛星軌道でガンマ線を直接観測するにはこの過程を利用します。すなわち、検出器内で入射ガンマ線を電子・陽電子対に変え、それらの飛跡とエネルギーを測定します。

左図は検出器の概念図です。入射ガンマ線は上部で電子・陽電子対となり、その飛跡をトラッカーでとらえ、エネルギーをカロリメータで測定します。飛跡からガンマ線の到来方向が分かります。ガンマ線の入射を知るためには、トリガーで検出され、アンタイコインシデンスで検出されないという条件をつけ、荷電粒子事象を排除します。



1991年に打ち上げられたコンプトンガンマ線天文台衛星により、数百～十GeV天体ガンマ線の理解は飛躍的に進歩しました。現在、2006年に打ち上げられたイタリアのアジレ衛星、および2008年に打ち上げられたNASAのフェルミガンマ線宇宙望遠鏡(左図)が活躍しており、さらなる発展が期待されています。

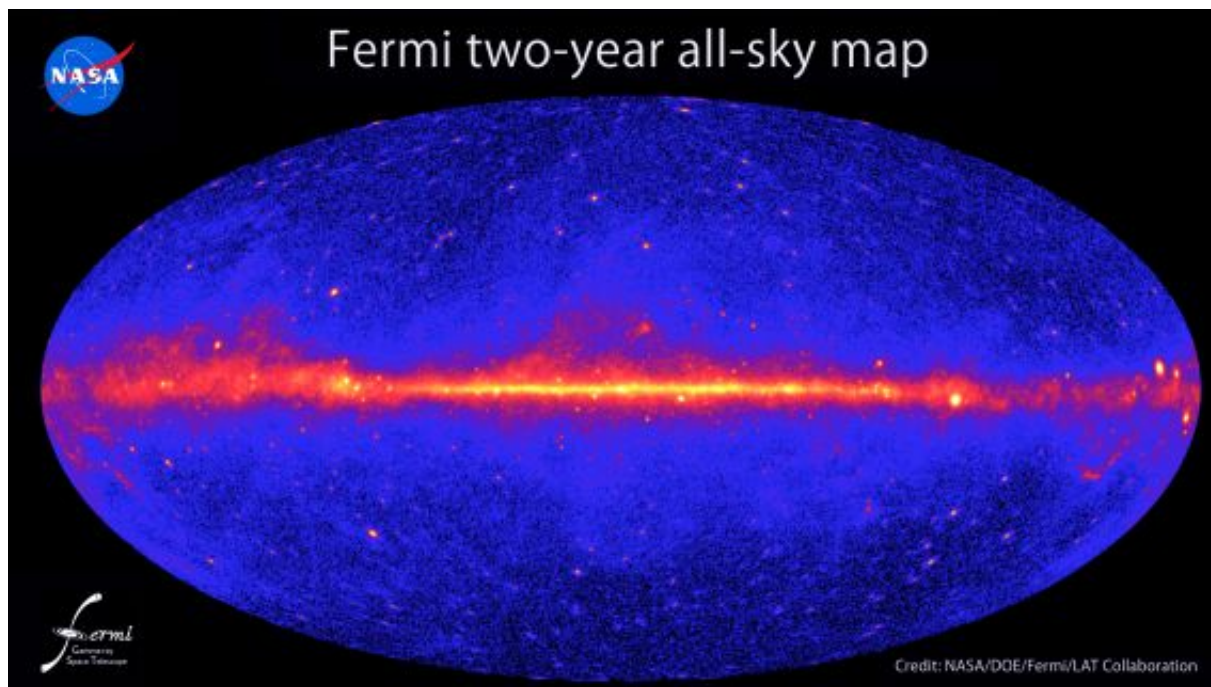
- * [コンプトンガンマ線天文台衛星\(CGRO\)](#)
- * [アジレ\(AGILE\)ガンマ線衛星ホームページ](#)
- * [フェルミ\(Fermi\)ガンマ線宇宙望遠鏡ホームページ](#)

Masaki Mori

Last update: April 21, 2009

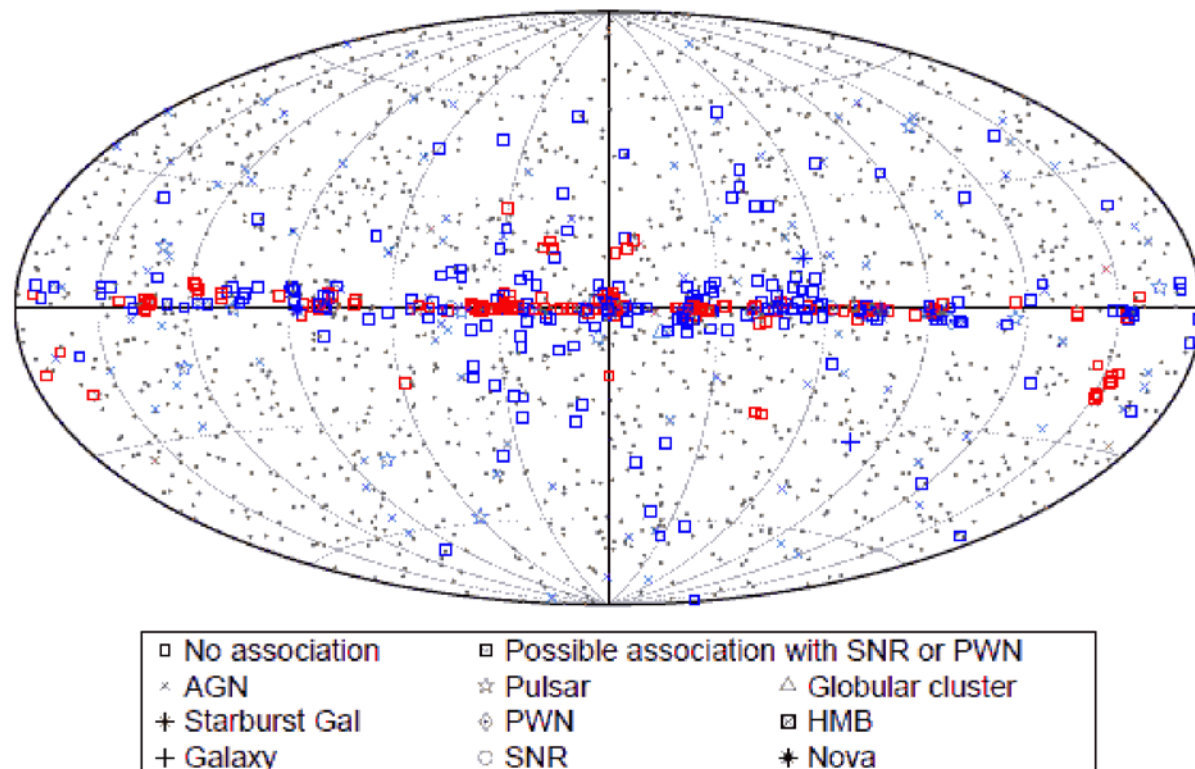


ガンマ線で見える天球



2008年6月に打ち上げられたフェルミ衛星LAT検出器による2年間の観測から得られたガンマ線の天球図です。楕円は天球を投影したもので、中央が銀河中心方向、上が銀河北極・下が銀河南極方向、中心をとる水平

方向が銀河面になっています。明らかに銀河面はガンマ線で明るく輝いています。それ以外に多数の点状天体が分布しています。これらには[活動銀河核](#)や[パルサー](#)、[パルサー星雲](#)など、多くの活動的天体が含まれます(左下図)。(左図をクリックするとラベル付きの拡大図を表示します。)



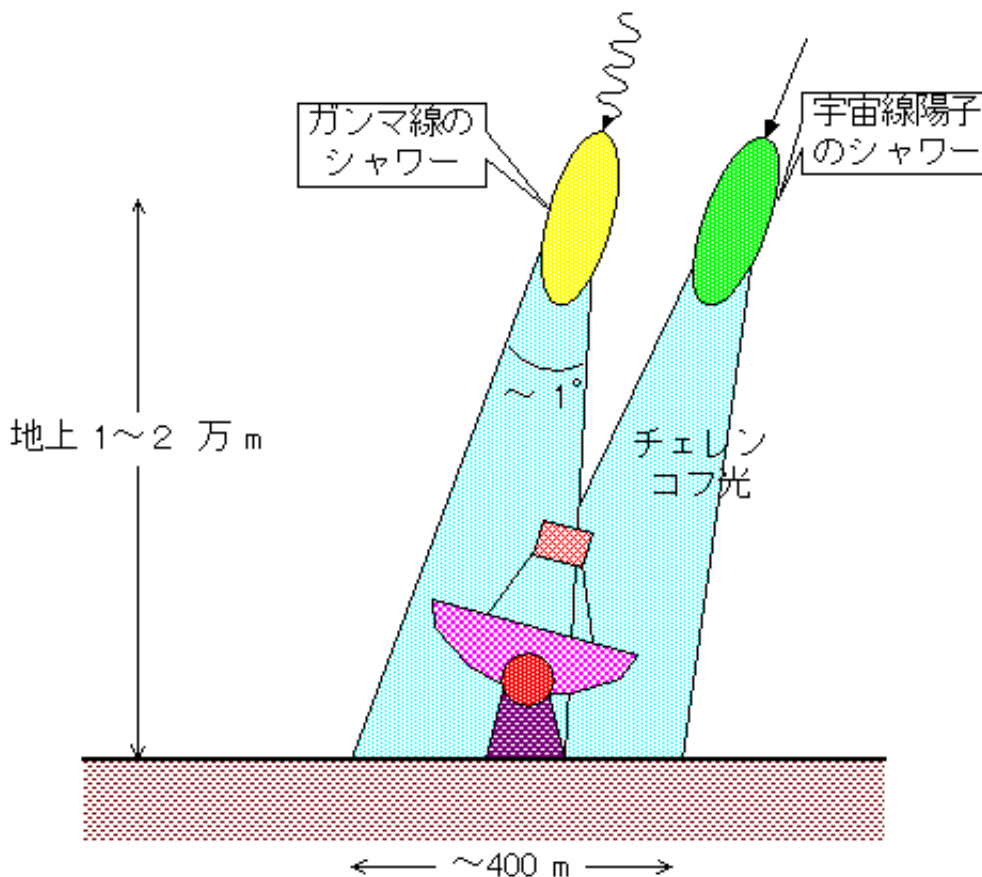
2011年8月に公表されたFermi-LAT Second Source Catalogに載っている1873天体の分布図。AGN(活動銀河核)、Pulsar(パルサー)、X-ray binary(X線連星)、Globular cluster(球状星団)などが他の波長で観測されている天体と同定されていますが、

Unassociated(未同定)天体(左図では点で示されている)も多く含まれています。

* [フェルミ\(Fermi\)ガンマ線宇宙望遠鏡ホームページ](#)

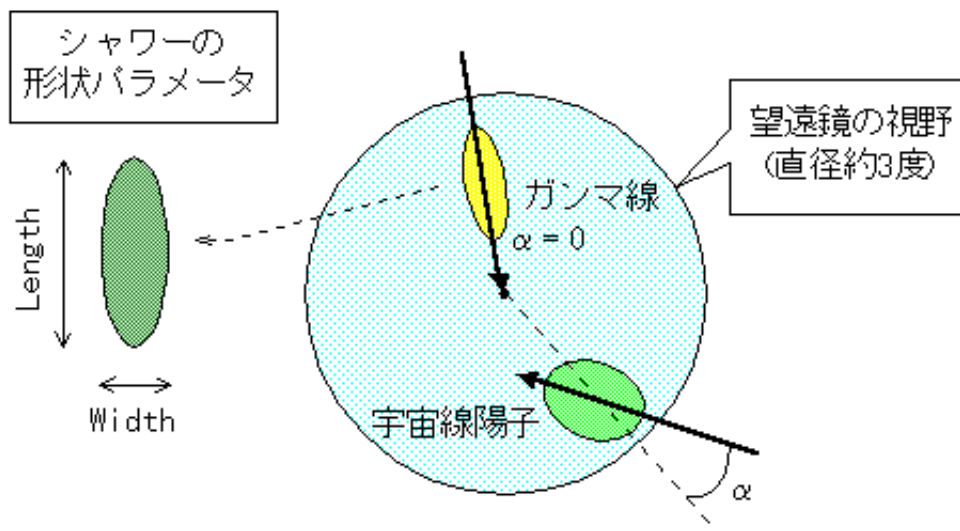


超高エネルギー天文学における大気チェレンコフ観測



地球大気に入射する高エネルギー宇宙線は、核相互作用により大気の原子核と衝突し、生成された粒子が電磁相互作用などにより新たな粒子を作り出す、という過程の繰り返りで、空気シャワーと呼ばれる大量の粒子群をつくる。

シャワー中の荷電粒子が大気中の光速(真空中より遅い)より速く走ると、チェレンコフ放射と呼ばれる光を放出する。この光は地上では1度程度の円錐状に放射され、地上で反射鏡を用いて集光し、超高速のカメラで光のフラッシュとして撮像することができる。



粒子のシャワーはガンマ線観測には雑音となる宇宙線粒子によっても作られるが、宇宙線のチェレンコフ光像は広がっており、あらゆる方向から入射するため、天体方向を向いたガンマ線のつくるチェレンコフ光像と区別することが可能である。これを「イメージング法」と呼ぶ。

* [Air Cherenkov Detectors](#) (NASA [Imagine the Universe!](#))

* [他の実験へのリンク](#).

Masaki Mori

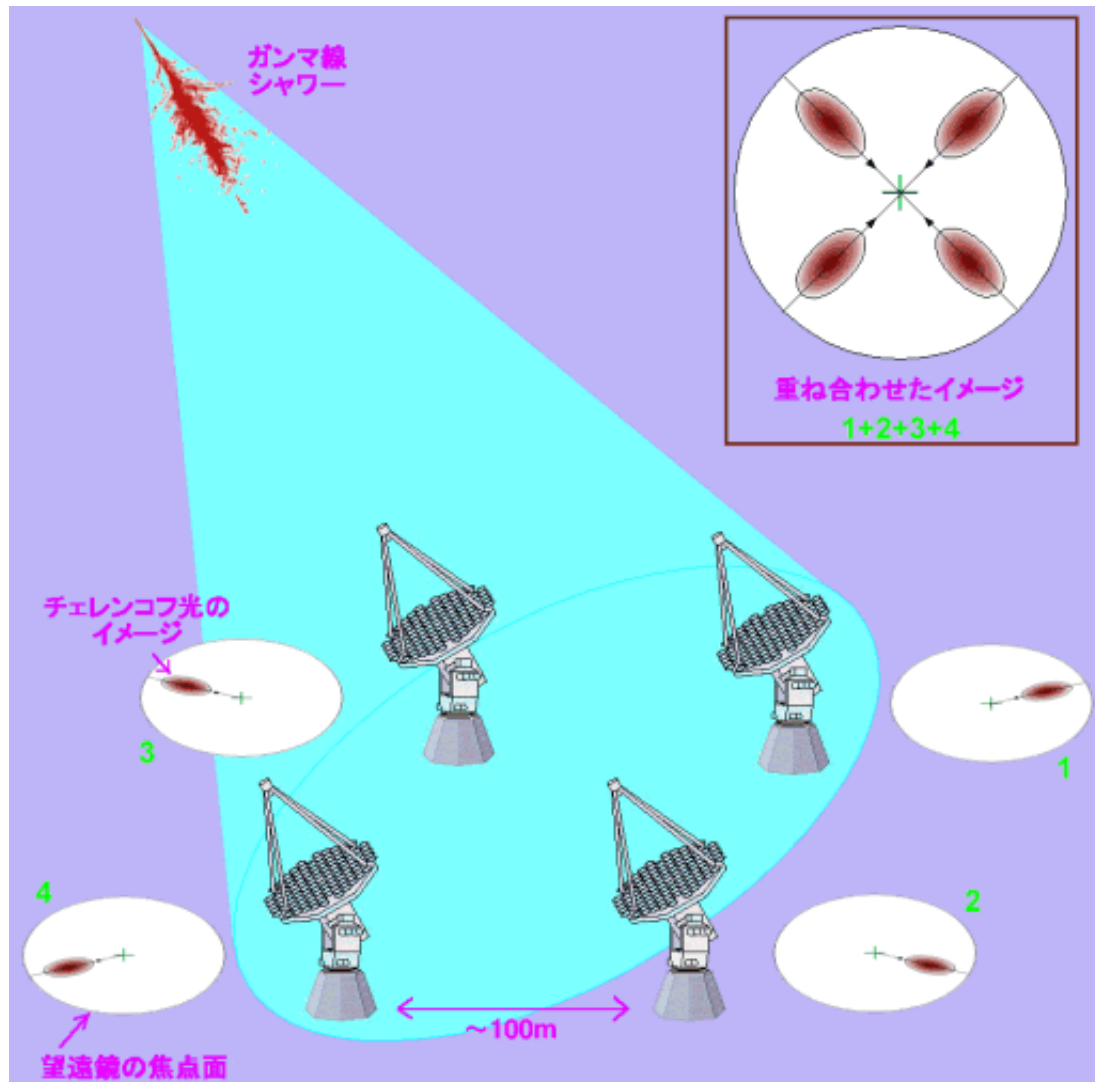
Last update: May 29, 2006

ritsumeimei.ac.jp/.../methodJ.html



チェレンコフ望遠鏡によるガンマ線のステレオ観測

超高エネルギーの天体ガンマ線が大気中で起こすシャワー現象は 地上高度5-10km程度の上空で起こり、放出されるチェレンコフ光は 直径300m程度の光の円盤として地上まで到達します。この円盤内に複数の望遠鏡が入った場合、チェレンコフ光の 像は元のガンマ線の到来方向から1度程度離れて観測されますが、像の長軸方向の交点はガンマ線の到来方向と一致します。このことを利用してガンマ線天体を観測する角度分解能を 高くし、宇宙線雑音との分離を高めることができます。これがステレオ観測と呼ばれる方法です。

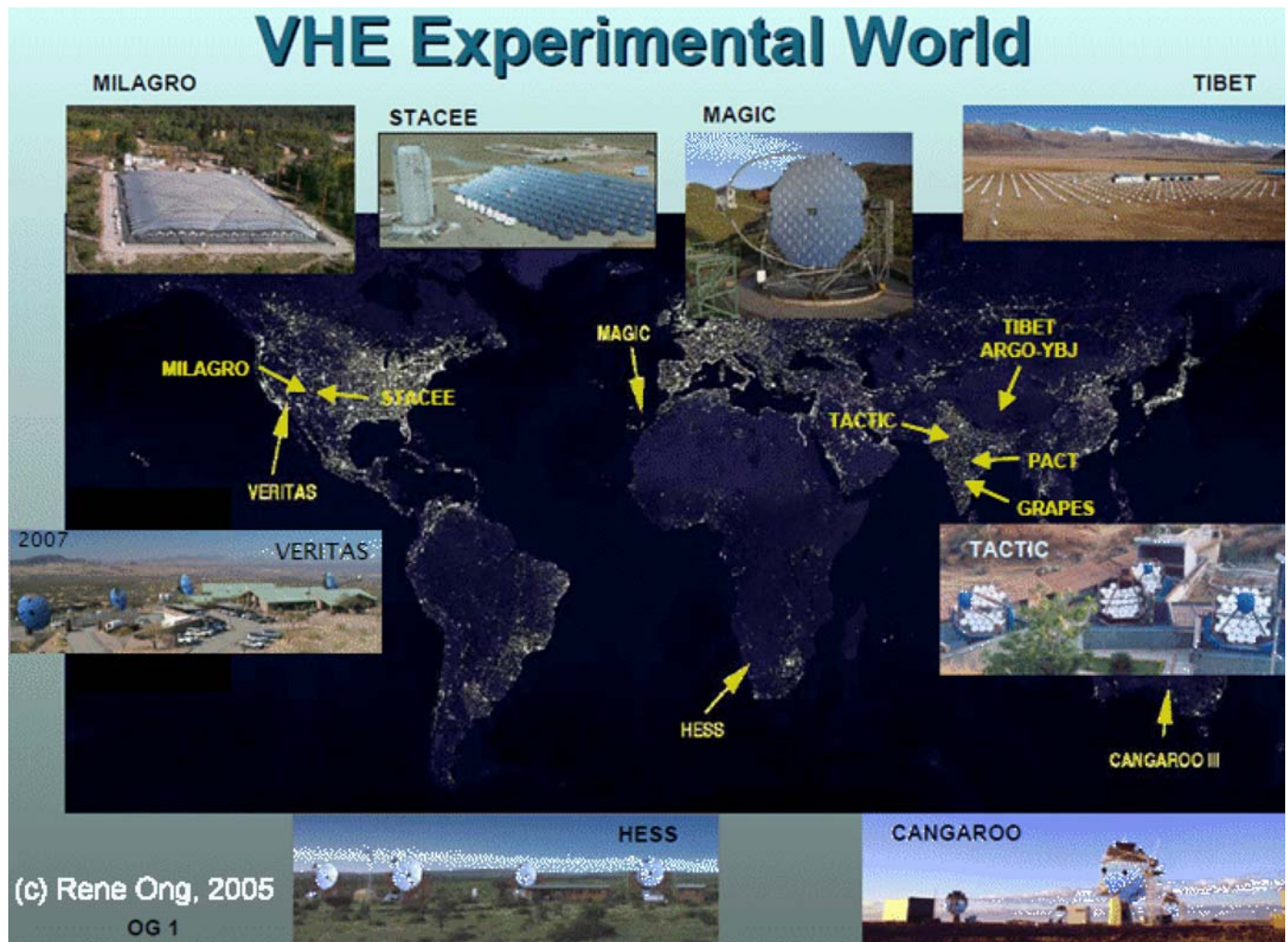


Masaki Mori

Last update: May 29, 2006



世界の超高エネルギーガンマ線観測施設



This picture is clickable: click an instrument picture (or name) to jump to its Website!

Masaki Mori
Last update: December 6, 2007

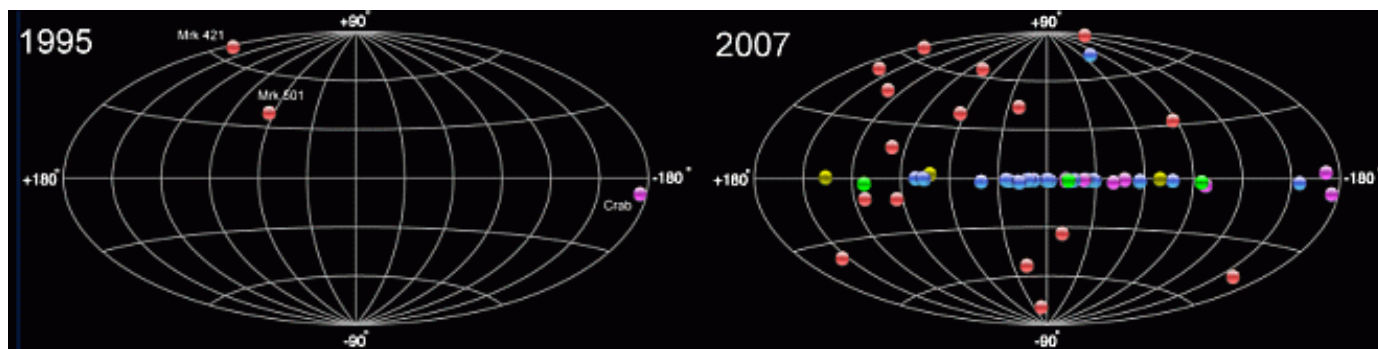


超高エネルギーガンマ線天体

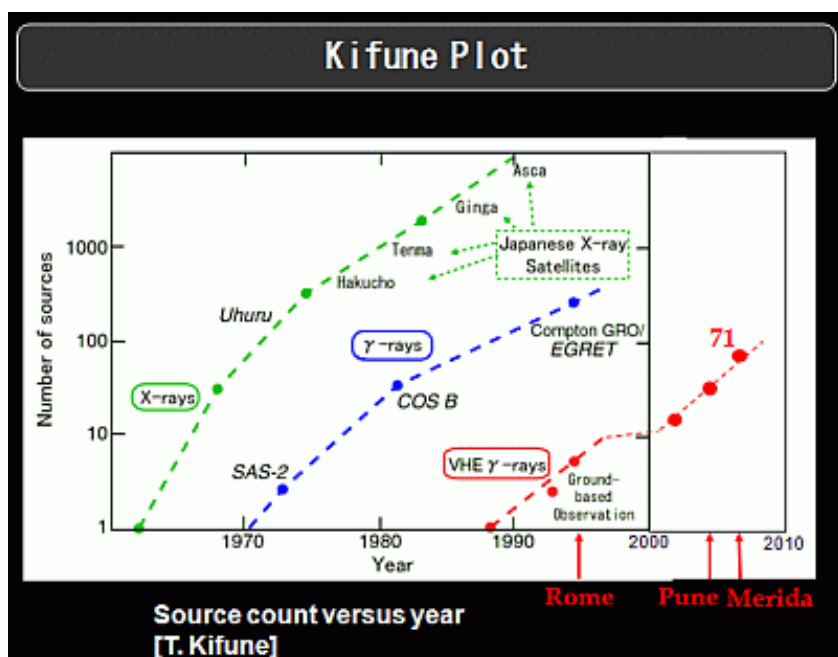
最初に確立した超高エネルギー($\text{TeV} = 10^{12}\text{eV}$ 領域)ガンマ線天体は「[かに星雲](#)」で、1989年アメリカ・アリゾナのホイップル天文台にある10m口径を用いたチェレンコフ望遠鏡の観測によるものでした。その後日豪共同によるCANGAROOグループ、ドイツなどのHEGRAグループ、フランスなどのCATグループによる「第二世代」のチェレンコフ望遠鏡による解像型チェレンコフ望遠鏡の発展の時代を経て、現在はCANGAROO-III、ドイツなどのH.E.S.S.グループ(ナミビア)・MAGICグループ(カナリア諸島)、アメリカなどのVERITASグループ(アメリカ・アリゾナ)が「第三世代」のチェレンコフ望遠鏡として稼働中であり、TeVガンマ線源の数は70個以上に達するまでになりました。

宇宙線の起源として有力視されてきた[超新星残骸](#)をはじめ、[パルサー星雲](#)やX線連星、銀河系外の天体では[活動銀河核](#)が同定されていますが、正体のわからない未同定天体も多く見付かり、他の波長の観測を通じた説明が待たれています。

(個々の天体について詳しくは 下記カタログを参照下さい。)



1995年と2007年時点におけるTeVガンマ線天体の天球図。(緑は超新星残骸、紫はパルサー星雲、黄はX線連星、赤は活動銀河核、青は未同定天体) [(c) TeVCat]



X線、ガンマ線、超高エネルギーガンマ線における天体数の増加。発案者の木舟正(東京大学宇宙線研究所名誉教授)に敬意を表して「Kifune plot」と呼ばれている。 [(c) R.Ong/J.Hinton]

[TeVガンマ線天体カタログ](#)