

ガンマ線宇宙望遠鏡開発 とガンマ線宇宙像

広島大学宇宙科学センター
特任教授 大杉 節

天文・宇宙物理研究における私の目指すゴール

*我々が宇宙の中のここに存在するシナリオを知りたい
*宇宙がどの様に生れ、どの様に発展・進化し、
その結果現在があるのか？
その筋書きを書いた自然法則（物理法則）を知りたい

壮大な「宇宙の謎ジグソーパズル」を完成させるために、
いろいろな方法で、いろいろな天体現象を研究している

宇宙観測にとって 重要な光の性質

- 光は真空中を真っ直ぐ進む…直進性
(どの方向から来たか分かる)
- 最も早い速度で進む…最速
(非常に遠方まで届く)
- 真空中の速度が波長(色)に無関係に一定
- 波の性質を持っている…重ね合わせ、干渉

光で見えない世界はあるか？

宇宙の構成: 時間・空間とエネルギー (相対性理論は、時空とエネルギーの対等性)

我々の宇宙のエネルギー構成

- * バイオン物質 (光で見える物質): 4.4%
- * 暗黒物質 (光 X、重力 ○): 21.6%
- * 暗黒エネルギー (宇宙を加速膨張): 74%

光で直接見える世界(宇宙)は～<5% ! (エネルギーから推定すると!)

宇宙を見る(観る)目、手段

- ・ 光、可視光! → 光学望遠鏡!
- ・ その他には?

電波望遠鏡、赤外線望遠鏡、
X線望遠鏡、ガンマ線望遠鏡

これらは、皆 電磁波! 光の仲間!

光 = 電磁波

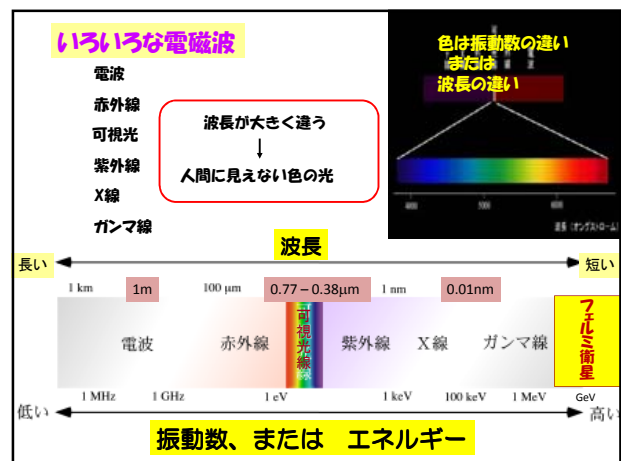
なぜ宇宙は電磁波(光)でしか見えないのだろうか?

見えていないのだろうか?

電磁波で見えない世界はあるのだろうか?



1.5mかなた望遠鏡

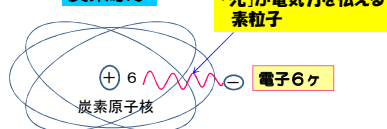


なぜ光か?

星や我々を作っている物質と光の関係

- ・ 元素(炭素、窒素、酸素、鉄など)からできている
- ・ 元素は原子の形態で存在する

炭素原子



電気を持つ物だけが、光を発光、吸収、反射
などの反応をすることができる

従って 光で見える物は、内部に電気を持つ物のみ

ガンマ線で宇宙を見る

- ・ なぜガンマ線か?

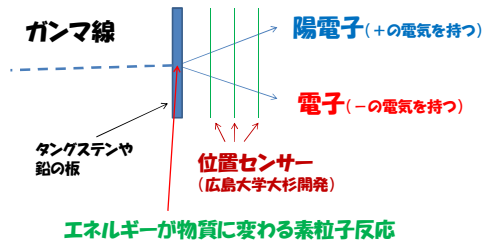
ガンマ線: 非常にエネルギーの高い光

(可視光の～10億倍のエネルギー、波長: 素粒子サイズ)

- ・ 極限状態の宇宙像がみえる?
- ・ 極限状態の自然法則(物理法則)の実験場
(地球上では実現できない極限状態)
- ・ 例えば、ブラックホール、中性子星、極超新星爆発(GRB?)
- ・ ブラックホールは宇宙進化に大きな役割を果たした?
- ・ 大きな銀河の中心には巨大質量ブラックホールが居る
(太陽系のある我々の銀河中心にもある)
- ・ ブラックホールは典型的なガンマ線放射天体

ガンマ線宇宙望遠鏡の原理

- ・ガンマ線を反射する鏡があるか？
- ・ガンマ線を捕まえる？・・・素粒子反応を使う
- ・エネルギーが物質に変わる $E=mc^2$ (相対性理論)



NASAからいただいた感謝状の盾



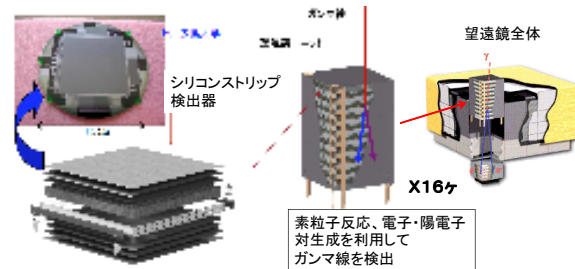
センサー研究開発の経緯

- ・1986年 開発研究開始 → SSCプロジェクト
- ・1988年～2000年までIEEE-NSの常連となる
- ・1993年 広島でセンサー開発国際シンポジウム
- ・1994年～ CDF II センサー開発 (トップクォーク発見グループ)
- ・1997年 NASAガンマ線宇宙望遠鏡計画に参加
- ・2001年 日本(広島大学・浜松ホトニクス)開発センサーの採用決定(英国、米国の競争相手に勝つ)
- ・2002年～2004年 センサー製造・検査(日本担当)
- ・2005年～2006年 望遠鏡組み立て(外国機関担当)
- ・2007年 衛星組み立て、環境試験(NASA, NRL担当)
- ・2008年6月 打ち上げ成功 (過去に例がないほど順調)
- ・2008年8月～現在 全天サーベイ観測続行中 (5年 + 5年 運用予定)

フェルミ・ガンマ線宇宙望遠鏡に1万枚使用

衛星使用センサー部
浜松ホトニクス製作

日本チームの貢献



- ◆主検出部(半導体検出器 10,000枚)の開発、性能評価 [広島大学]
- ◆衛星運用、キャリブレーション、データ解析ほか[全機関]

人工衛星搭載用機器 部品選択原則 (最も成功確率を上げるための原則)

- ・打ち上げてしまうと修理出来ない！
- ・故障確率1%の部品を100%使う？ どれかが故障する
- ↓ 対策・要求
- * 使用実績が豊富で、非常に高い確率で動作すること
- * 故障した場合、地上から対処方法が確立していること
- ↓
- 使い込まれた部品の中で最も安定度が高く信頼できるもののみ使用
- ・・・性能より実績、信頼度

フェルミ衛星・シリコン・ストリップセンサー(SSD)の場合

- 企画はSSDを用いた画期的なガンマ線望遠鏡の提案であったが
- ・SSDを用いた計画規模の装置は前例がない！
(300万チャネル、80万検出チャネル、70m²)
- ←NASAの基準に合わない！
- 信頼性を証明するにはどうすればいい？
- * 望遠鏡のプロトタイプを作って動作させる・・・単位モジュール製作、試験
- * SSDの品質・信頼度向上で、規模のギャップを乗り越える (大杉の責任)
- > 20倍の信頼度向上を示す
- * 多くのモジュールに分け、故障した部分を切り離し移動可能にする
- * 信号読み出し回路、制御コンピュータを全て二重に

フェルミ・ガンマ線宇宙望遠鏡

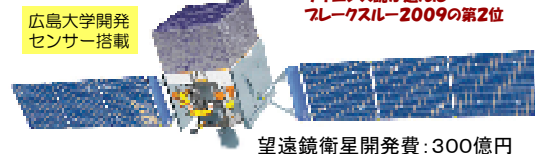
軌道: 高度560km円軌道
周期: 95分
重さ: 4.3トン
視野: 全天の20%
2周で全天をスキャン

NASAが2008.6.11に
ケプカナベラルから
打ち上げ

37個のガンマ線バルサー発見
宇宙最大エネルギーの爆発観測
多数のガンマ線を出す銀河発見

サイエンス誌が選んだ
ブレークスルー2009の第2位

広島大学開発
センサー搭載



望遠鏡衛星開発費: 300億円

国際共同開発: 米国、日本、イタリア、フランス、スウェーデン、ドイツ

GLAST(Fermi) 衛星打ち上げの瞬間

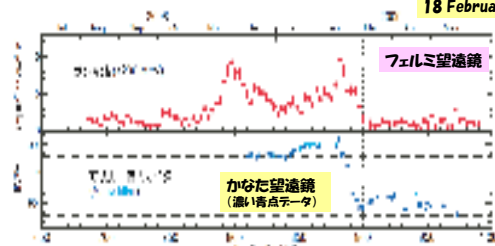


②

フェルミ・ガンマ線望遠鏡と、かなた望遠鏡の連係観測

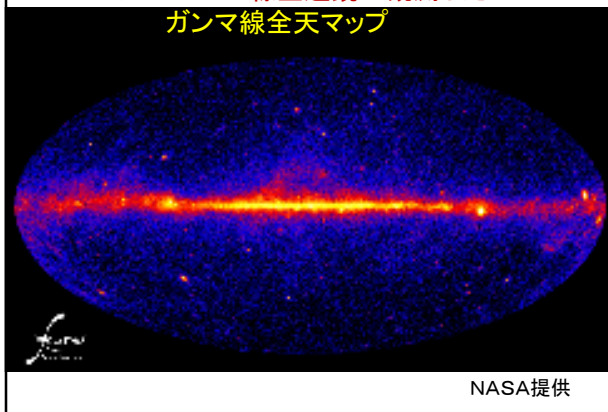
Blazar 3C279 おとめ座53億光年の距離

ネイチャー誌
Vol 463
18 February 2010



フェルミ衛星が観測したγ線光度曲線（上）と、かなた望遠鏡が観測した可視光偏光方位角の時間変化（下）
フレアが同時に起こり、終わる直前に偏光方位角が回転している。
新しい発見・・・活動銀河中心の巨大質量ブラックホールが作るジェット構造
解明へ有力なヒント

フェルミ・ガンマ線望遠鏡が観測した ガンマ線全天マップ



観測事実と解釈

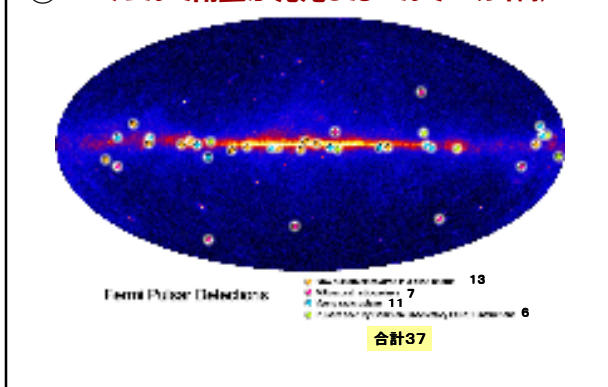
観測事実:

- * ガンマ線フレアと可視光が、同時発生していること
- * フレアの持続時間は～20日であること
- * 可視光の偏光の方位角は、フレアに同期し連続的に180度回転した

解釈

- ガンマ線の発生領域はブラックホールのすぐそばではない
- その場所が、強く整列した磁場を持つ
- 発生領域の磁場は、「軸対象で直線・一様」ではないはず

① フェルミ衛星が発見したパルサー(1年間)



③

光の速度差?

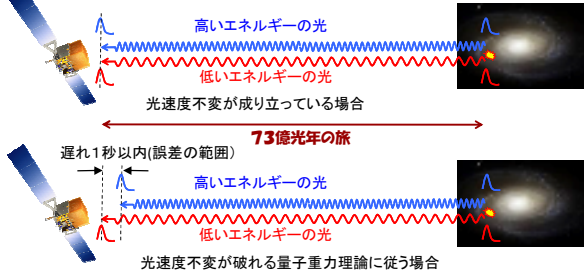
- * 水の屈折率 $n = (\text{真空中の光速}) / (\text{水中の光速})$
つまり、水中では真空中の2/3の速度
- * 水中では色によって速度が違う(屈折率が違う)
→虹!

相対論: 真空中では光速は色(波長)によらず一定
これ、ほんと??

量子論と相対論は極限で矛盾・・・物理学の根本問題

光速の“差”が測定できるだろうか？

量子重力理論が予言する光速の“ずれ”はごく僅か。測定可能な“ずれ”を生むには、天文学的な距離を旅した光を観測する必要がある。



できるだけ遠い天体から瞬間的に発生する
できるだけ高いエネルギーの光の観測が必要

→ **ガンマ線バースト**

暗黒物質(dark matter)が存在する証拠

銀河回転速度・・・外に行くほど遅くなるはず(ケプラー回転、重力=遠心力)
・・・ところが、銀河外縁部は距離によらず速度ほぼ一定

銀河団中に閉じこめられた高エネルギーガスの存在

* ロケットの脱出速度は地球の重力により決まる。地球大気も地球重力により捕らえられている。

* X線で測った銀河団中のガスの温度は、観測に掛かる銀河の質量から計算される脱出速度より遙かに高いにもかかわらず閉じこめられている！・・・重力は遙かに強い！

* 重くて幽霊のような素粒子？ 密度は薄く大きなスケールでのみ貢献

重力は生み出すが 反応性は非常に弱く、宇宙誕生の時からほとんどがそのまま生き残っている様な素粒子でなくてはならない

多量に集まっていると予想される銀河中心、銀河団中心では

○ 素粒子反応で高エネルギーガンマ線を出す可能性あり？

○ フェルミ衛星で検出できる可能性あり？

アインシュタインの相対性理論に挑戦 光の速さは色(波長)によらず一定？

* 宇宙地平線の半分の距離(73億光年)で競った色々な波長のガンマ線競争・・・ほぼ同時到着・・・アインシュタインの優勢勝ち
(New York Timesの記事) 学術雑誌ネイチャーに発表した論文

* 異なる波長の光(ガンマ線)は73億光年の長距離走っても到達時間に差が認められない・・・光速一定(アインシュタインが仮定)

アインシュタインの相対性理論・・・真空中の光速一定(30万km/秒)

量子重力理論：空間にもミクロな泡粒のような構造があるはず？

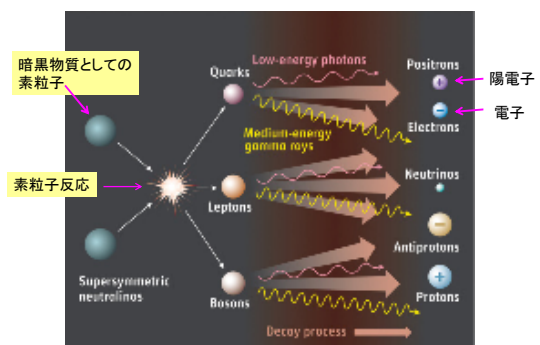
→ 透明媒質中の光速度に差(虹の原理)、

同様に、真空中でも色(波長)によって速度差あり？

結果：差は認められなかった → 一定？

アインシュタインの勝ち！

電子・陽電子源、ガンマ線源としての暗黒物質



④ Dark Matter (暗黒物質)？

宇宙を支配している(間の帝王)暗黒物質？

* 私たちの知る星や銀河の4～5倍もの重力を生み出す見えない物質がある・・・暗黒物質

* この暗黒物質が我々の宇宙や銀河の構造を決めている

* あなたの周りにもあるはず！この瞬間にもあなたを通り抜けている？ 電気を持たないのだから我々は感じない！

* 重くて幽霊のような素粒子・・・WIMP (Weakly Interacting Massive Particle)

大きな宇宙規模では、大きな重力は生み出すか？

○ 素粒子反応でガンマ線を出す可能性あり？

○ フェルミ衛星で検出できる可能性あり？

まとめ

- ・ 世界随一のガンマ線宇宙望遠鏡開発成功
- ・ 広島大学はセンサー開発で非常に重要な貢献をした
- ・ 「フェルミ・ガンマ線宇宙望遠鏡」は高性能であり大きな可能性を持つ
- ・ ガンマ線宇宙望遠鏡は、その高性能を生かし新発見を多数
- ・ 10年間の運用・観測によりガンマ線宇宙観の確立を目指す