

ガンマ線バースト天体の観測によりアインシュタイン相対性理論の適用限界に挑戦

広島大学、JAXA/ISAS、東京工大のフェルミガンマ線宇宙望遠鏡⁽¹⁾ 日本チーム及び国際研究チームは、フェルミガンマ線宇宙望遠鏡が2009年5月10日に捉えた（宇宙航空研究開発機構 JAXA/ISAS の大野雅功研究員がモニター当番中に検出）約73億光年⁽²⁾の彼方で発生したガンマ線バースト（GRB）と呼ばれる天体現象を解析し、GRB観測史上最高エネルギーである310億電子ボルトのガンマ線（可視光のエネルギーは数電子ボルト）を検出しました。さらにこのガンマ線が73億光年の長旅をしても、エネルギーの低いガンマ線の到着とほぼ同時であることを確認しました。現代物理学の2大基礎理論は相対性理論と量子力学ですが、時間・空間（時空）を記述する理論としてこの両者を統一する理論の構築には相対性理論の修正が必要と考えられています。この観測ではアインシュタインの相対性理論の基礎である「真空中では光速はエネルギー（波長）に依らず一定」という原理が非常に高いエネルギーまで精度よく成立することを検証しました。

水やガラス等の物質中では光速がエネルギー（波長）によって異なります。これによりプリズムで七色の虹が観測されます。同様に真空中でも時空の量子構造（時空が連続的ではなく最少単位長さの泡状構造がある）のため僅かであるが同様な効果（光速の分散）があり、特に非常にエネルギーの高い光ではこの効果が大きく出る可能性があります。速度差が僅かでもあれば、73億光年の長距離を伝わることで到着時刻に大きな差が出るはずで

今回の観測測定では310億電子ボルトの高エネルギーガンマ線（従って波長が非常に短い⁽³⁾）が73億光年の長距離を伝搬しても、低エネルギーガンマ線と比較し到着時刻差は非常に小さく、従ってエネルギー（波長）による速度差は非常に小さくしなければならぬということが分りました。

この結果は、アインシュタインの相対性理論が非常に微小な領域まで厳密に成立していることを表わし、量子重力理論が予想する時空の泡状構造効果はもっとミクロな領域でのみ働くことを要求し、理論の構築に強い制限を与えることとなります。

論文は、フェルミガンマ線宇宙望遠鏡国際共同研究チームの成果としてネイチャー誌⁽⁴⁾に発表されました。

脚注

(1) 広島大学を中心とする日本チームが開発に大きな貢献をし、NASA が2008年6月に打ち上げたガンマ線衛星。

(2) このガンマ線バーストは、南米チリにあるVLT望遠鏡の観測で、GRBが起こった母銀河の距離が測定され73億光年と確定しました。

(3) 300億電子ボルトのガンマ線の波長は、約10兆分の1mm

(4) Nature オンライン版 10.1038/nature08574

日本人著者

広島大学: 大杉節 深沢泰司 水野恒史 山崎了 片桐秀明 高橋弘充 上原岳士 花畑義隆

JAXA: 大野雅功 高橋忠幸 尾崎正伸

東京工業大学: 河合誠之 浅野勝晃 中森健之

早稲田大学: 片岡淳

SLAC 国立加速器研究所: 釜江常好 田島宏康 内山泰伸 田中孝明 林田将明

ペンシルバニア州立大学: 当真賢二

日本フェルミ・ガンマ線宇宙望遠鏡 web page

<http://www-heaf.hepl.hiroshima-u.ac.jp/glast/glast-j.html>

参考論文

“A limit on the variation of the speed of light arising from quantum gravity effects”

(量子重力効果による光速の変化に対する制限)

論文責任者: 大野 雅功(ISAS/JAXA), Jonathan Granot (イギリス, ハートフォードシャー大学), Sylvain Guiriec (アメリカ, アラバマ大), Veronique Pelassa (フランス, モンテペリエ大)

ネイチャー誌に掲載 (オンライン版 10. 1038/nature08574)

その他、補注、補助・参考説明

注1) 光は、波長が短いほどエネルギーが高く、波長とエネルギーは逆比例の関係にあります。

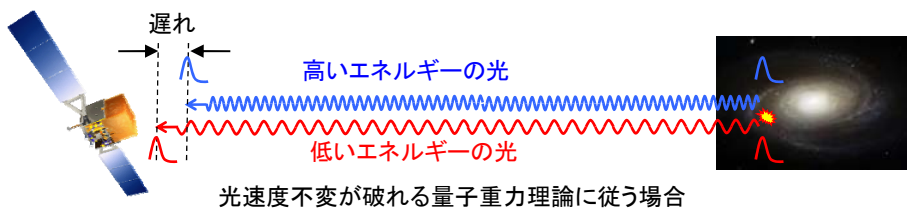
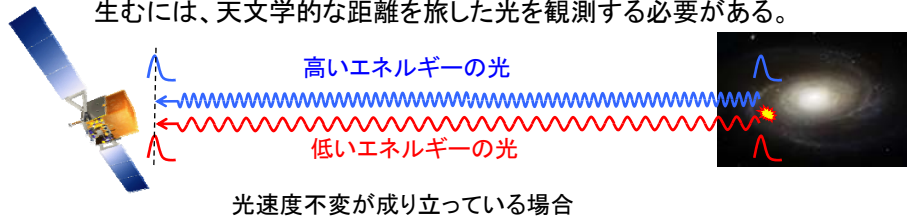
注2) ガンマ線バーストは短時間、エネルギーの高い光であるガンマ線で明るく輝きすぐに消えてしまう天体現象で、非常に遠くで起こるエネルギーの高いある種の爆発現象です。

注3) 相対性理論は時空が連続であること(無限に小さく分割可能である)を仮定しています。量子力学はミクロの世界の力学を記述するためにニュートン力学を修正したもので、エネルギーに最小の単位があり、例えば光は振動数に基礎物理定数であるプランク定数 h をかけた単位のエネルギーを持つ粒子として扱います。従って光の強さはその整数倍になります。時空にも最少長さ(プランク・スケール)という量子構造があれば、プランク・スケールという極微の世界では相対性理論を修正して量子重力理論を作らなければなりません。その場合、光速度が時空の量子化のためにエネルギー依存性を持つことが考えられます。

光速の“ずれ”を”測定”できるか？



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須



ガンマ線バースト

よくある質問と解答

1)「ローレンツ不変」とは、どの観測者から見ても「真空中の光速」は光の波長にかかわらず正確に同じ、という意味ですか？

* 解答: その通りです。真空中の信号の伝わる早さの上限が定数 C =光速であって、光速を超える速度はないこと、光は質量がなく上限の C の速度を持つというのが相対性理論の意味する「ローレンツ不変」です。

2) その他の光の性質ではなく、なぜ特に波長依存性に注目しているのですか？

* 解答: エネルギーの高い光は、波長が短いので、量子力学の「不確定性原理」により、時空が微小泡構造を持つと考えられている極微の世界に感度が高いと考えられます。300億電子ボルトのエネルギーを持つ光の波長は 約10兆分の1mmです。

3) 一回の観測で、光速は波長により異なることを見つけると、なぜローレンツ不変を破ることになるのですか？ 他の観測者が同様な光速の波長依存性を見つけたことを示す必要はないのですか？

* 解答: 今回の観測測定では、「ローレンツ不変」は非常に高い精度で成り立っていることを示し、300億電子ボルトの光が73億光年伝播しても差が表れないほど光速は一定(波長依存性が見えない)という結果です。実験や観測事実は必ず追試により確かめる必要があります。

す。従って、これからガンマ線バーストが起こる度に「ローレンツ不変」のテストを行うこととなります。最終的には「ローレンツ不変」の破れを発見できれば量子重力理論構築の糸口となります。

4) 慣性系の観測者とありますが、単にどの観測者から見てもではいけないのですか？

* 解答: 慣性系の観測者とは、加速度や重力の影響で時空が歪む影響のない(小さい)所の観測者という意味です。その条件のときに特殊相対性理論が適用できます。

5) 「ローレンツ不変」と「ローレンツ対称性」は同じ意味ですか？

* 解答: 同じです

6) 「ローレンツ不変」がプランク・スケールでは敗れ、どのようなスケールにおいても破れているわけではないのがどうしてわかるのですか？

* 解答: 私達は、普通の光(波長の長い、エネルギーの低い光)が正確に光速度Cを持つことを知っています。一方、プランク・スケールで象徴される極微の世界では量子力学が支配しているはず、従って量子重力理論が成立しているはずと信じる理由がいくつかあります。量子重力理論で記述できる極微の世界では、ローレンツ不変は破れると予想され、破れ方は理論により異なります。

7) 今回の方法は「ローレンツ不変」のテストとして最も感度の高い方法なのですか？それとも数あるテスト方法の一つに過ぎないのですか？

* 解答: 「ローレンツ不変性」のテスト方法はたくさんあります。その中で非常に感度が高いと考えられている実験方法の一つです。ガンマ線バーストからの光は私達の知る宇宙の4分の1を横切るくらい非常に長距離を長時間かけて伝播しますし、非常にエネルギーの高い光を出しますので、エネルギーによる速度差があれば到着時間の差は大きく観測されるはずで