

ガンマ線バーストからの高エネルギー背景ニュートリノ

村瀬孔大 共同研究者 長滝重博 (京都大学基礎物理学研究所)

2005 年度第 18 回理論懇シンポジウム 2005 年 12 月 25 - 27 日

ガンマ線バーストは宇宙で最も激しい天体現象の一つである。現在、ガンマ線バーストの標準モデルにおいてはバーストは衝撃波加速によって高エネルギーまで加速された電子からの電磁放射として説明されるが、その際電子だけでなく陽子も高エネルギーまで加速されると考えられる。そのような高エネルギーまで加速された陽子は光子と相互作用 ($p\gamma$ 反応) することによって、TeV-PeV の高エネルギーニュートリノが生成されると考えられている (e.g., [2])。このようにして作られたニュートリノは IceCube などの次世代の大型ニュートリノ観測機器で検出されることが期待されている。もしバーストからのニュートリノが検出できれば、ガンマ線バーストにおいて baryon が高エネルギーまで加速されている証拠となるだけでなく、我々に電磁観測以外の情報を与えてくれることになるので大変興味深い。

Waxman らによる予言以来、バーストからのニュートリノについての定量的な仕事はなされるようになってきたが (e.g., [3])、背景ニュートリノについては殆どなされていない。そこで我々はガンマ線バースト発生率が星形成率に従うという仮定の下で、内部衝撃波モデルの下での典型的なバーストで期待されるニュートリノ背景放射の計算を定量的に行った。本研究では $p\gamma$ 反応を定量的に取り扱うためにモンテカルロシミュレーションキットである GEANT4 を利用した。これによって今までしばしば無視されてきた多重度や非弾性度をきちんと考慮しての計算が可能になった。不定性の少ない、より正確な計算を行うためには適当なパラメータを選ばねばならないが、現在ガンマ線バーストについては内部エンジンの問題をはじめ、放射メカニズムなど未知の部分が多く、従って現時点ではパラメータサーベ이를せざるをえない。観測が進んでゆけば、このような問題は改善され不定性の少ない計算を行うことができるようになるだろう。

以下に得られた主な結果を述べる。まず多重度や非弾性度の効果は典型的なガンマ線スペクトルに対してはファクターの差しか生まないが、よりフラットなスペクトルに対してはフラックスを 1 桁上げるなどの影響を与えることがわかった (Fig.1 参照)。また背景ニュートリノについては、Waxman&Bahcall のようにガンマ線バーストで最高エネルギー宇宙線を説明できるほどの大きな nonthermal-baryon-loading 因子を仮定するとより高いフラックスにもなりうることを示した。これは言い換えれば、光子密度が高ければより低い nonthermal-baryon-loading 因子でも Waxman&Bahcall で予言されるのと同程度のフラックスを得ることができることを示している。このような場合、ガンマ線バーストは最高エネルギー宇宙線のソースでなくともよい。典型的なガンマ線バーストに対して optically thick になるほど光子密度が高ければ、 $\epsilon_{acc} = 10$ 程度の nonthermal-baryon-loading 因子でも検出できる見込みはあるだろう (Fig.2 参照)。いずれにせよ IceCube で検出するには十分な量の baryon が高エネルギーまで加速されていなければならない。内部衝撃波モデルが正しい限り、ニュートリノ観測は nonthermal-baryon-loading 因子に制限を与えてくれるであろう。また大きな nonthermal-baryon-loading 因子は中性パイオンからのガンマ線によりガンマ線バーストのスペクトルに影響を与えてしまうことを示唆している。これについても GLAST の観測が我々に新たな情報を与えてくれることになるだろう。

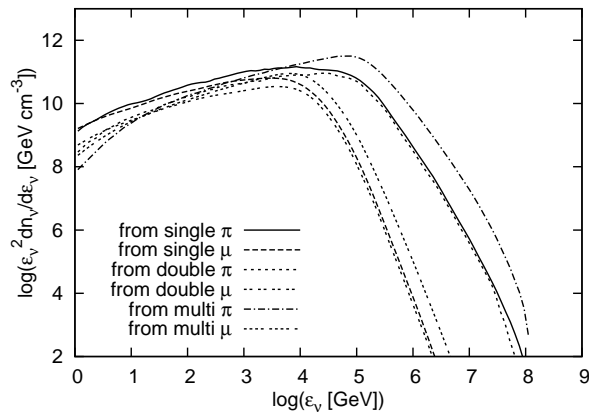


FIG. 1: 平均的なガンマ線スペクトルに比べてフラットなガンマ線スペクトルを仮定したときに生成されるニュートリノのスペクトル。

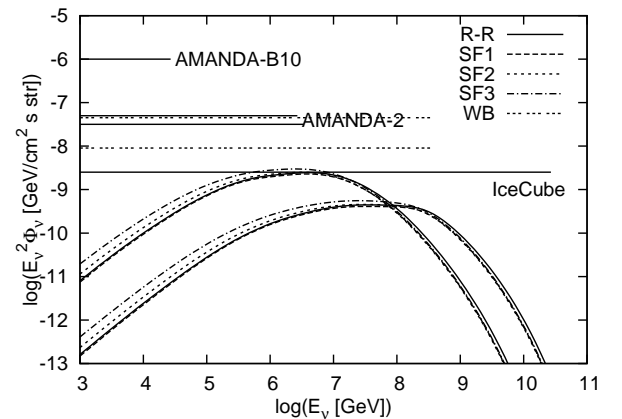


FIG. 2: $\epsilon_{acc} = 10$ のときの背景ニュートリノスペクトル。上が典型的なバーストが比較的内側で起きている場合で下が比較的外側で起きている場合。

- [1] K. Murase and S. Nagataki, astro-ph/0512275 (2005)
- [2] E. Waxman and J.N. Bahcall, Phys. Rev. Lett., 78, 2292 (1997)
- [3] K. Asano, ApJ, 623, 967 (2005)