

CTAによるガンマ線 バーストの偏光観測の可能性

山形大学・理学部

郡司修一、渡邊直輝、軽部敦人、中森健之

東京大学宇宙線研究所

吉越貴紀、大石理子

査定額：15万円、使途：発表と打ち合わせ旅費
(CTA本体の予算と合算)

1.はじめに

CTA望遠鏡を使って高エネルギーガンマ線の偏光が測定可能かを調べたい。



- 1)パルサー星雲、ブレイザーの磁場構造の研究に役立つ。
- 2)GRBを使って量子重力理論の実験的な研究に使える。

ある種の量子重力理論では、Lorentz Invarianceが破れる。



CPT対称性が破れるために、真空中を伝搬する電磁波の右円偏光と左円偏光の速度が若干変わる。

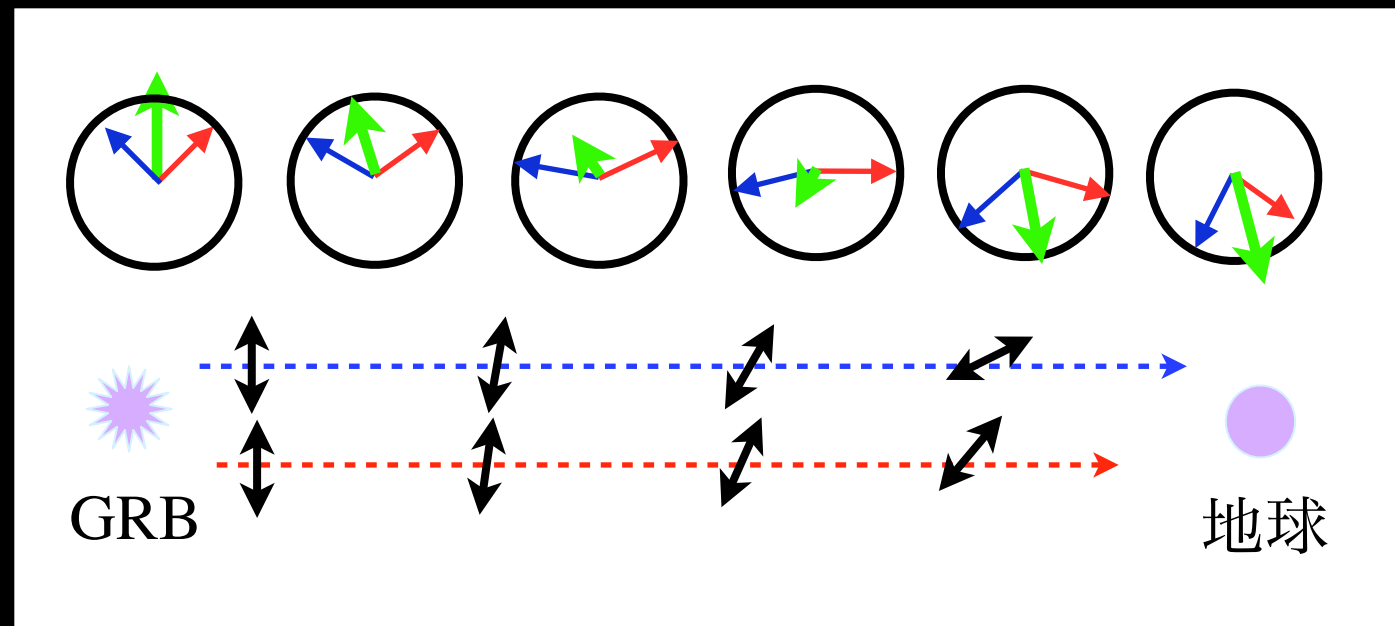


右円偏光と左円偏光の重ね合わせが直線偏光であるため、速度差があると

直線偏光の方向が回転する。この回転角度 θ は運動量の2乗に比例するため、スタートが同じ偏光方向でも空間を伝わる際にエネルギーによって偏光角が変化する。

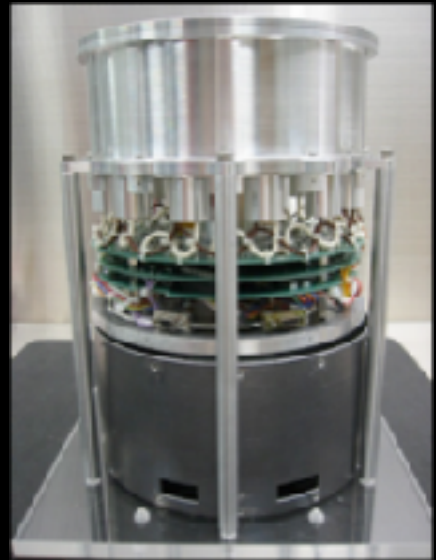


GRBのように宇宙の果てで起こる現象であれば、あながち馬鹿げた事では無い。



2011年小型のガンマ線偏光度検出器GAPはGRB 110721Aから強い偏光を受けた。

エネルギーレンジ	偏光度	偏光角
70~100keV	$71^{+29}_{-38}\%$	$155 \pm 15 \text{ deg}$
100~300keV	$100^{+0}_{-35}\%$	$161 \pm 14 \text{ deg}$



有為な偏光の差を検出はできず、アッパーリミット($\xi < 10^{-15}$)を与えた。

$$E_{\pm}^2 = p^2 \pm 2 \xi p^3 / M_{\text{PI}}$$

2012年当時にはワールドレコード

もし数100keVと数10GeVで同時にGRBの偏光を測定できると、
アッパーリミットは今回の 10^{10} 倍厳しいものになる！



現在数10~数MeVのガンマ線バースト偏光観測計画がUNH、NASA/MSFCを中心に立案されている。一方数10GeVの高感度のガンマ線望遠鏡CTAが来年には動き出す。CTAでのガンマ線バーストの検出可能性も大石さんや井上さんによって検討されている。(ざっくり1年間に1イベント程度)



CTA(特にLST)で偏光を観測できるのかを事前に調べておくことは意味がある。

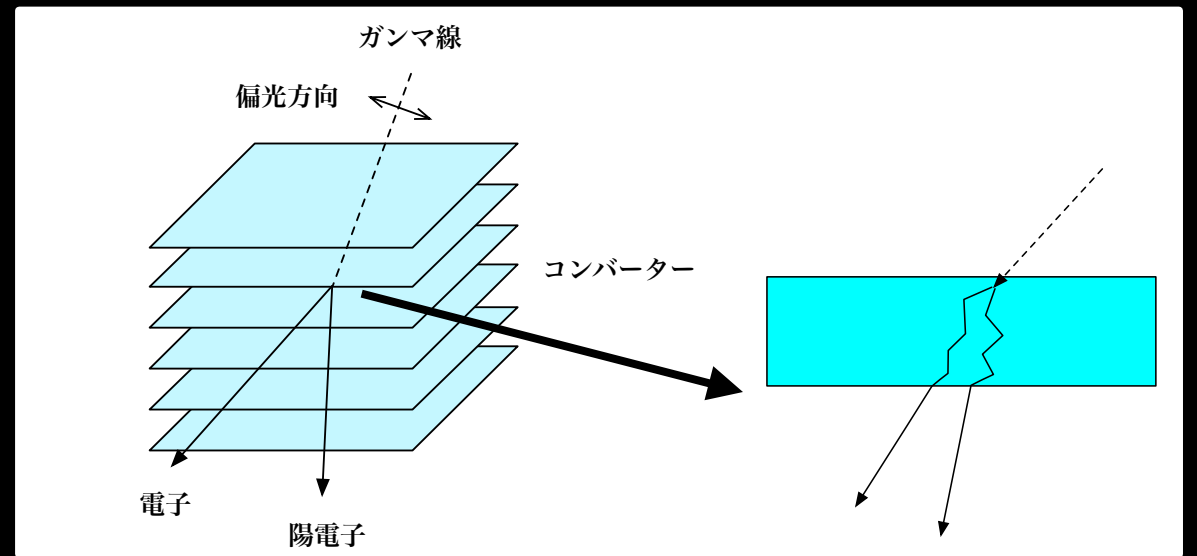
2. 偏光検出原理

1.02MeV以上のガンマ線では**電子対生成**が主要な物理プロセスとなり、この相互作用の偏光方向依存性を使って偏光を検出する事となる。

1)簡単にできるならなぜ、COS B、EGRET、Fermi LAT、CALETでやらないのか？

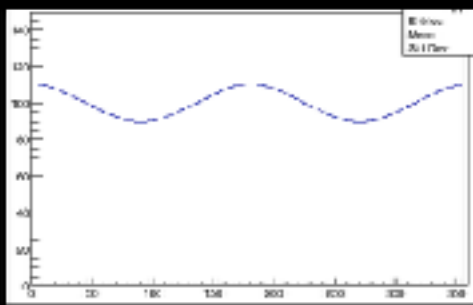
↓
 コンバーターにタングステンシートが入っているため、ここで多重散乱を起こし、偏光検出はできない。

大気中の原子で電子対生成が起こるなら、多重散乱は非常に小さく抑えられる。



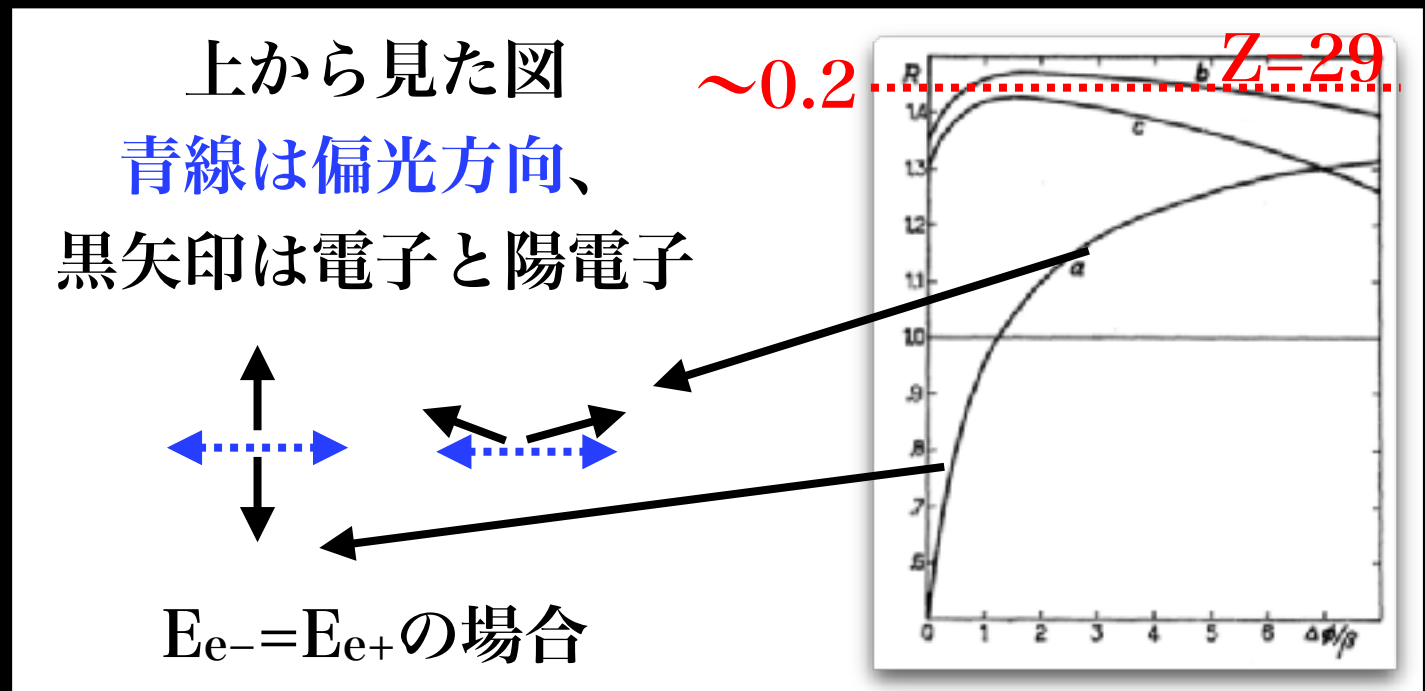
2)電子対生成の偏光依存性は小さいのではないか(R~0.1)？

$$\sigma(\phi) = \frac{\sigma_0}{2\pi} [1 + R \cos(2(\phi - \phi_0))]$$



電子対生成の断面積は凄く複雑。
 電子と陽電子のエネルギーが違っているものも採用すれば、Rを大きくできる

Maximon Pys.Rev. 1962



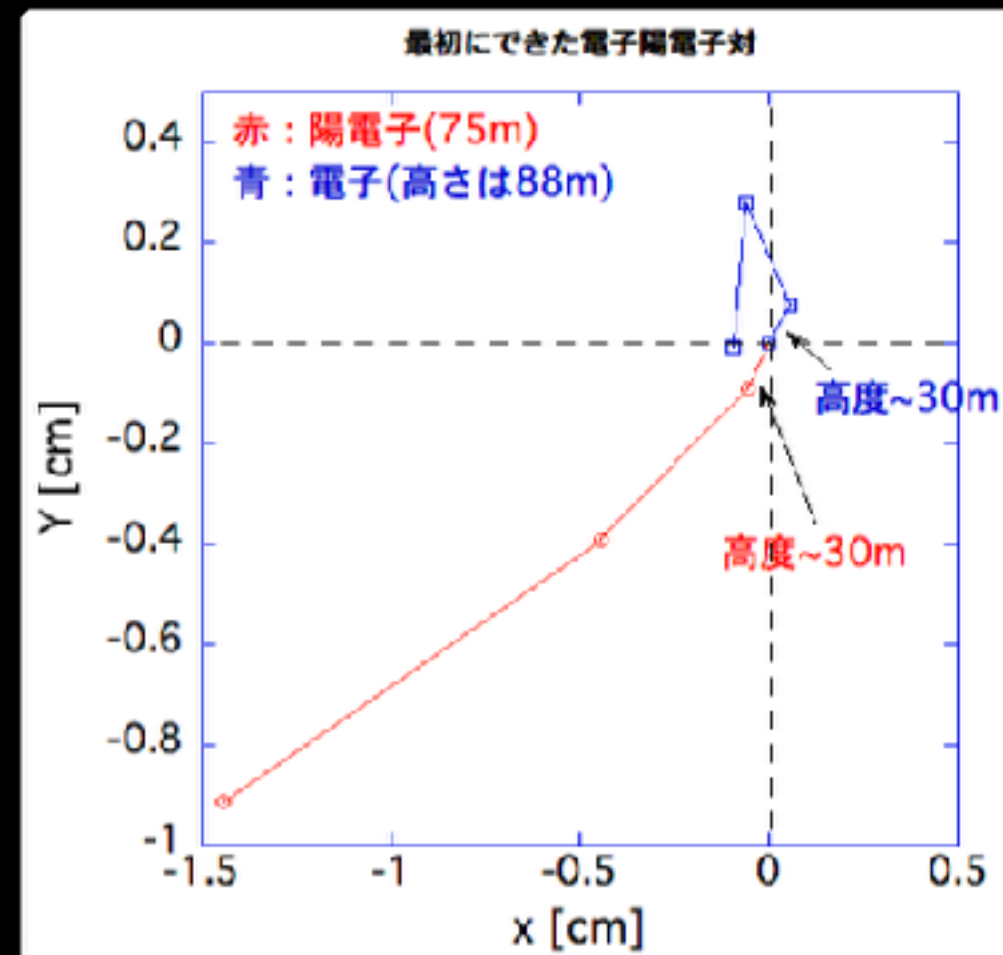
3. 現在の研究状況

チェレンコフ光のパターンを調べて高エネルギーガンマ線が最初に起こす電子対生成の方向を検出できるか？ 試しにCORSIKAで20GeVのガンマ線を垂直入射させる。

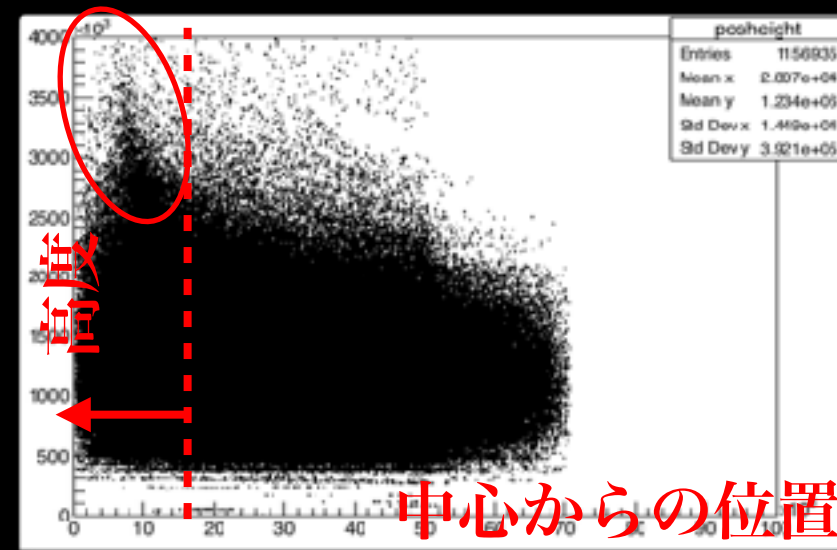
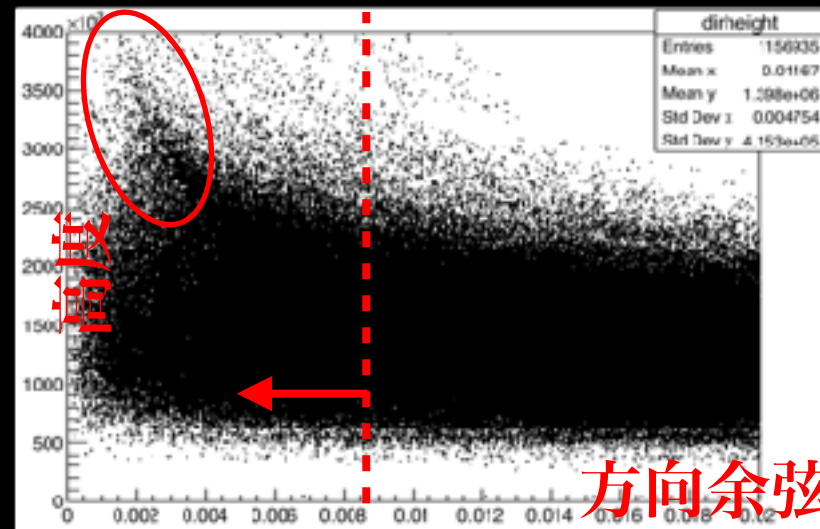
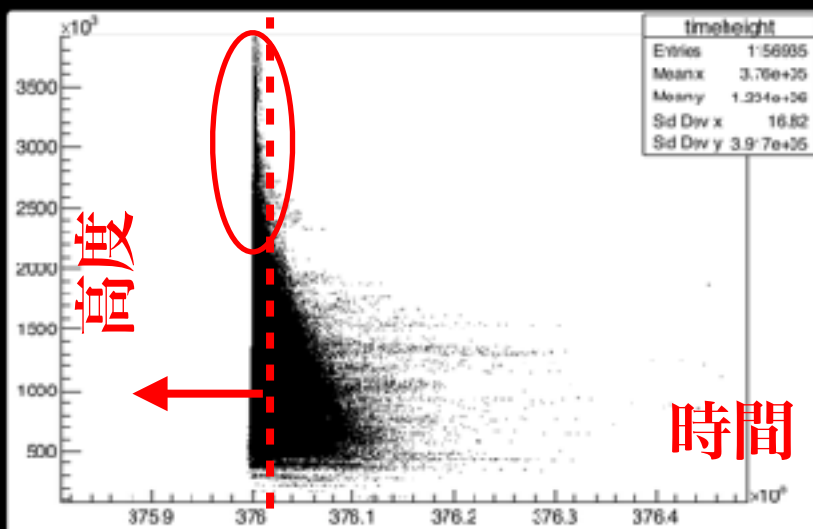


最初に見える電子陽電子は超前方に動く。横方向の運動量は小さく、1,2回の散乱でアジムス方向は容易に変化する。

電子陽電子生成から50m程度で作られるチェレンコフ光を検出すれば、クリアなパターンが見えるはず。



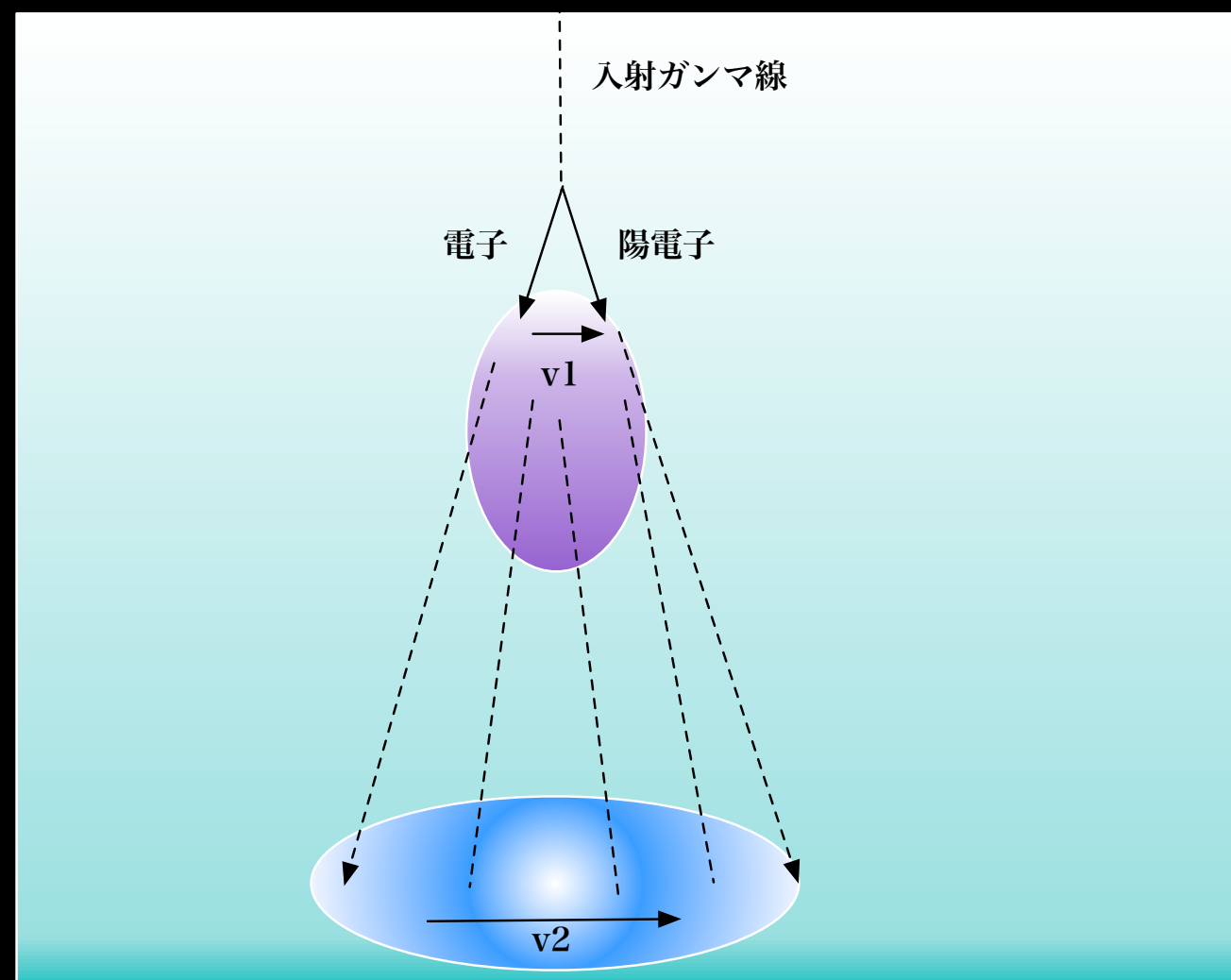
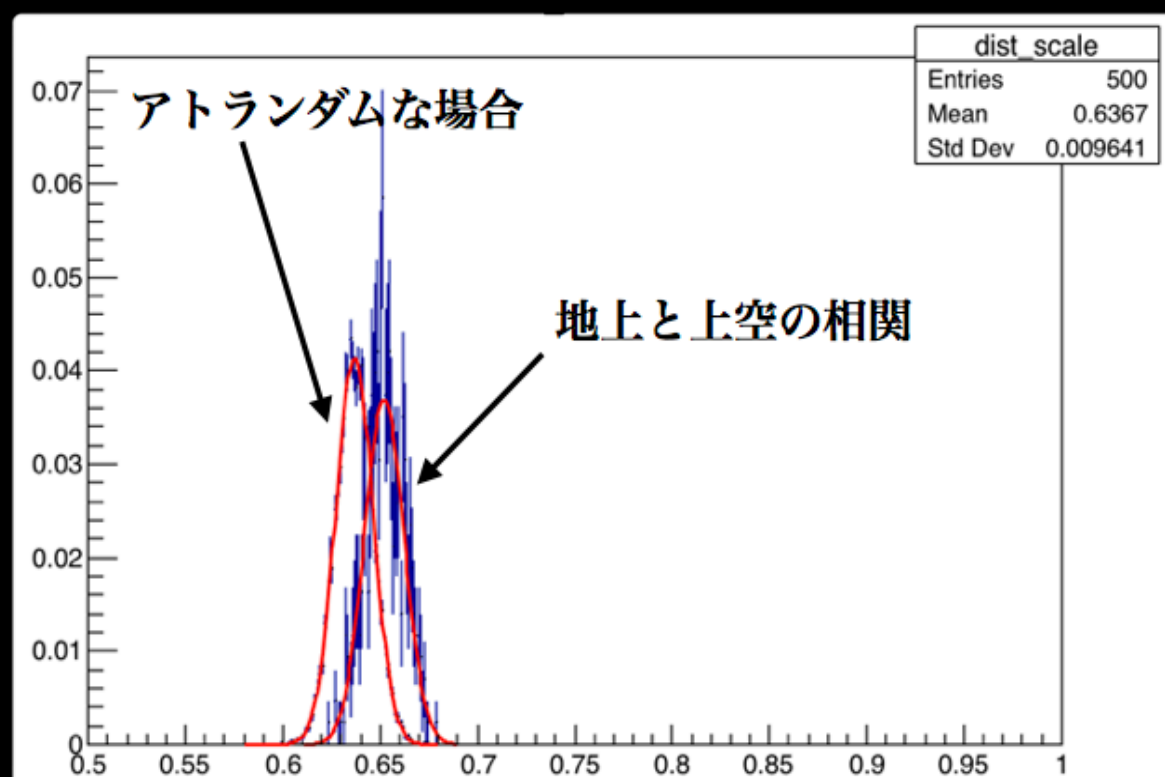
高度：15~25km程度



上の赤丸の部分だけを抜き出してみれば、より鮮明に見える。

最初はチェレンコフ望遠鏡云々は考えず、原理的にできそうか調べてみる

- 1) 上空の電子陽電子の放出方向をxy平面に投影したベクトルを $v1$ と呼ぶ。
- 2) 地上に落ちたチェレンコフ光に対してカットを通過した光子だけを取り出してフィットし、そのベクトルを $v2$ とする。
- 3) $v1$ と $v2$ の内積を取り、その絶対値を計算する。
- 4) 以上の操作を1000回繰り返して平均値を求める。
- 5) さらに以上の操作を多数回繰り返す。



アトランダムな場合に比べ、 $v1$ と $v2$ には弱いながらも多少の相関が出た。

4.まとめと今後の課題

もしCTAで高エネルギーガンマ線の偏光が測定できれば、様々な高エネルギー天体の磁場構造を詳細に調べられるだけでなく、量子重力理論の検証にも大きな威力を発揮すると思われる。



CORSIKAを使って、高エネルギーガンマ線が最初に起こした電子対生成で生じるチェレンコフ光を地上で選び出せるかを調べた結果、簡単にはできるわけでは無いが、上空での電子陽電子の射出方向と地上で得られるチェレンコフ光のパターンには弱いながら相関が見られた。

今後の課題：

- ・ CORSIKAで偏光ガンマ線を打てるようにする。
- ・ カットパラメーターを最適化する。
- ・ 高エネルギーガンマ線のエネルギー、方向を変えてスタディーをする。
- ・ CTA望遠鏡のシミュレーターを一部使って、より具体的なスタディーを行う。

やることは腐るほどあると思います。