CTA報告185: CTA大口径望遠鏡用PMTの 増幅応答に対する磁場と入射光波長の効果の調査



本調査の目的

□ CTA大口径望遠鏡(LST)用PMTの応答を深く理解する。

LSTでは問題にならない細かい話であるが、将来の実験に役立つかもしれない。

光電子の運動の違いが増幅過程に与える影響に着目し、以下の項目を調査。

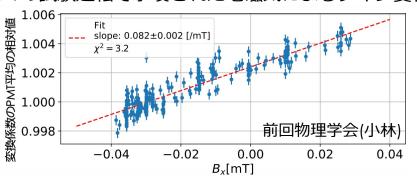
1. PMT応答の磁場依存性

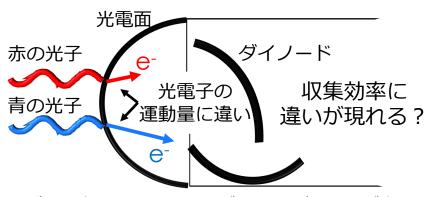
- 光電子の軌道が磁場に曲げられる
 → PMT応答の変化が予想される。
- LST-1の試験運転で、PMT応答の 地磁気との相関が示唆されている。
- 実験室での測定による理解の必要。
- 地磁気下での精密な光量測定に有用 (特に現地での較正が難しい場合)。

2. 収集効率の入射光波長依存性

- ・ 光電子の運動量の大きさに違い
 → 増幅過程、特に収集効率の変化が期待される(一光電子電荷分布の変化)。
- 一光電子レベルの測定での トリガー閾値の調整などに有用。

LST-1の試験運転で示唆された地磁気によるゲイン変化



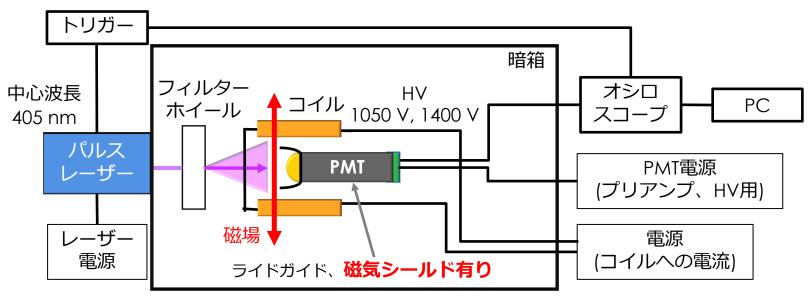


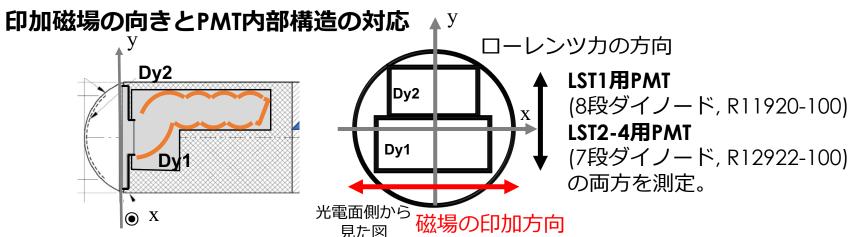
※ただし、波長によって光電子が光電面を走る厚みが違うため、 運動量の違いはそれほど単純ではない可能性がある。

1. 磁場依存性測定

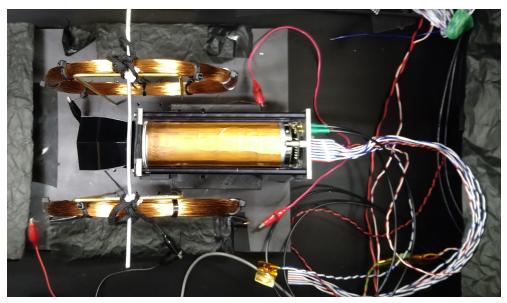
磁場依存性の測定系

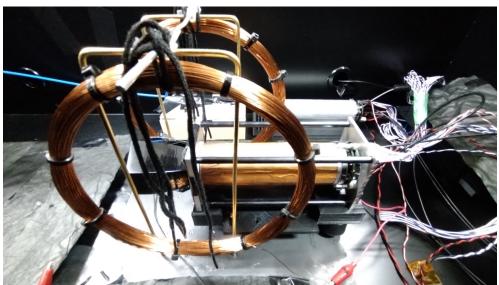
測定系ダイヤグラム

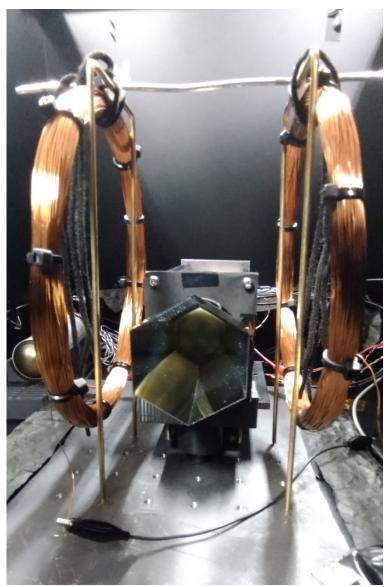




磁場依存性の測定系(写真)







電流と磁場の対応付け

- □ コイルの電流を変えながらコイル間の磁場を測定。
- □ 電流と磁場は期待通り比例関係。
- 💶 傾きは理論値と6%の範囲で整合。

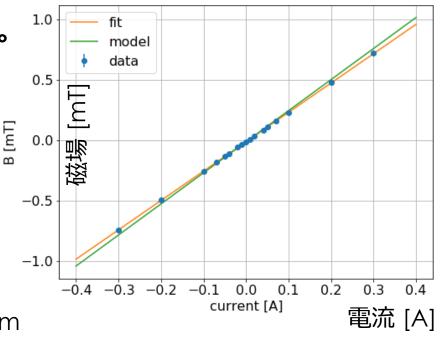
データのフィットで得られた傾き 2.43043(3) mT/A

理論予測值

2.57 mT/A

※コイルの諸量

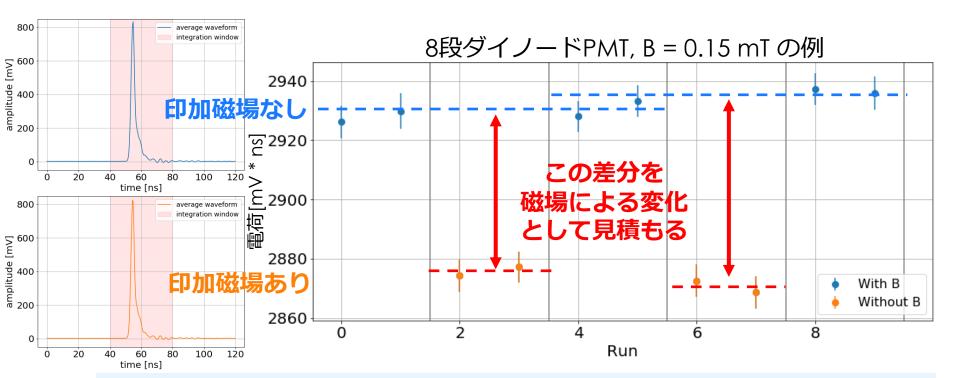
巻き数 N = 280 半径 r = 8 cm 間隔 d = 10.5 cm



■ 測定系の地磁気は -0.01 mT 程度。

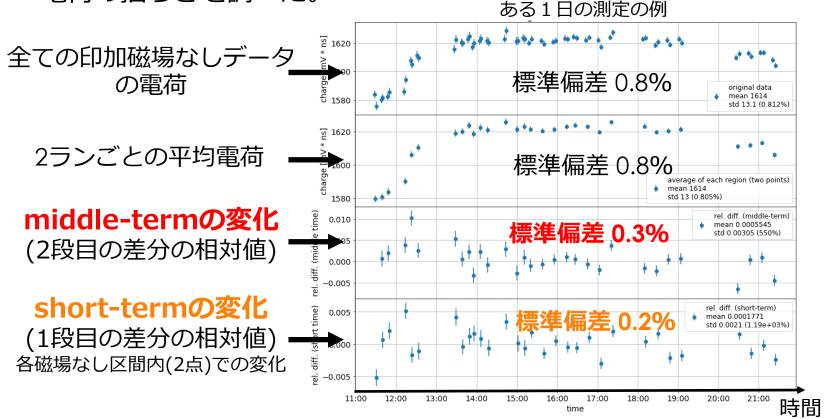
データ取得と解析

- □ 検出光電子数~600程度の光量で、<u>印加磁場ありとなしを繰り返し測定</u>。 (1ラン = 500 or 1000イベント、2ラン毎に切り換え。)
- 40 nsの時間幅、固定位置で波形を積分して電荷を計算。
- □ 印加磁場ありでの電荷を前後の印加磁場なし電荷と比較し、 相対的な電荷の変化を見積もる。(さらに複数サイクルで平均。)
- □ このような測定を磁場強度を変えて繰り返す。



系統誤差の見積もり

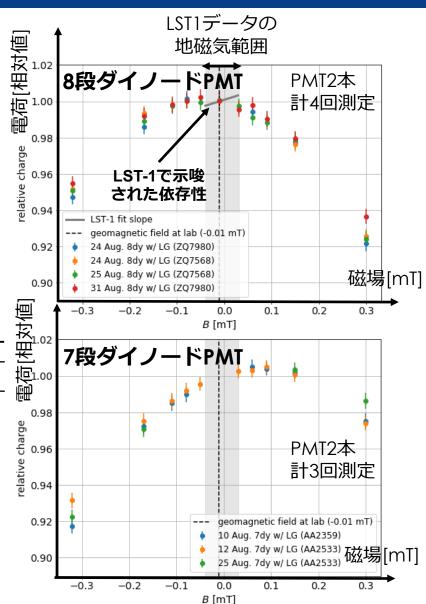
■ 系統誤差の見積もりのため、印加磁場なしのデータを集め、 電荷の揺らぎを調べた。



各測定日のデータを見ても同様の結果であり、 磁場による電荷変化の系統誤差を0.3%と見積もった。

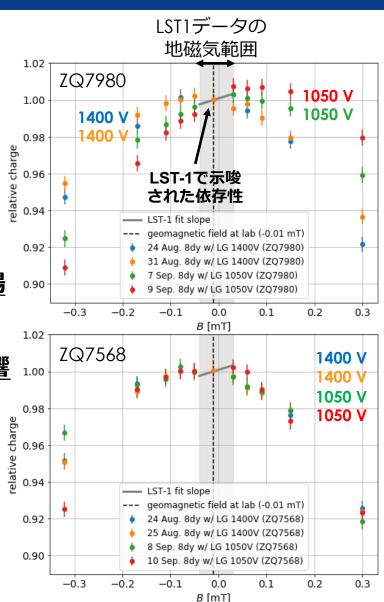
磁場依存性測定の結果 @1400 V

- <u>-0.3 mTから0.3 mTの磁場の範囲を</u> <u>測定し、**PMTの出力電荷の変化を 約0.3%の精度で求められた**。</u>
- 磁場が大きくなると、向きの正負によらず電荷は減少。
- 地磁気レベルの磁場(±0.03 mT)でも 0.7%程度の電荷変化が起こる得ること がわかった。
- 1400 VではLST-1と8段ダイノードPMT の結果は変化の向きは整合しなかった。
- 8段ダイノードPMTと7段ダイノード PMTの依存性は異なることがわかった。 浜松ホトニクスの測定でも同様に 8段と7段が異なる傾向が確認された。 前段部の構造は同じなので、 後段も影響すること示唆している。



HVの磁場依存性への影響

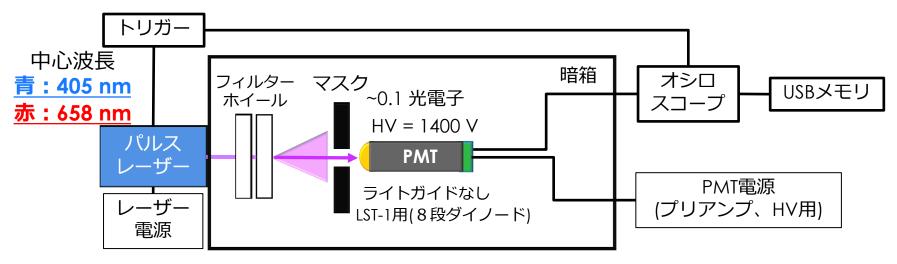
- HVを1050 V(おおよそLST-1の運用電圧) にして8段ダイノードPMTを2本測定し、 1400 Vでの結果と比較。
- □ 一方のPMT(ZQ7980)では、B=0 mT付近 での傾きが反転し、LST-1の結果と整合 する傾きとなった。
- 一方のPMT(ZQ7568)では、HVによる磁場 依存性の変化は確認できなかった。
- □ HVは磁場依存性に影響し得るが、その影響 の仕方が単純ではないと考えられる。
- LST-1と実験室測定の比較のためには、 今後このHVの影響を理解する必要がある。
- 初段ダイノードの電圧はHVによらず一定 なので、後段も影響することを示唆。

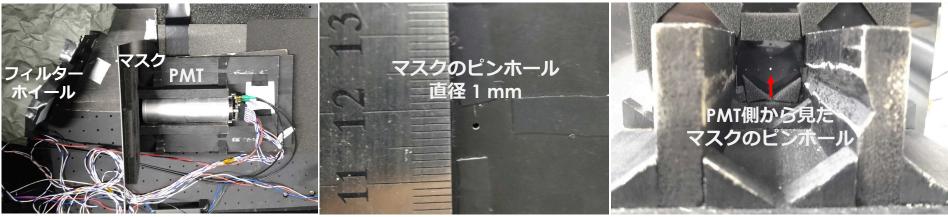


2. 収集効率の波長依存性測定

調査の方法

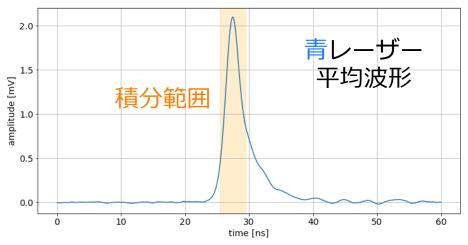
□ 中心波長が青(405 nm)の入射光と赤(658 nm)の入射光で、 それぞれ一光電子の出力電荷分布を測定し、比較する。

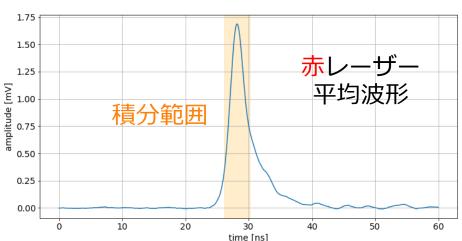




波形解析

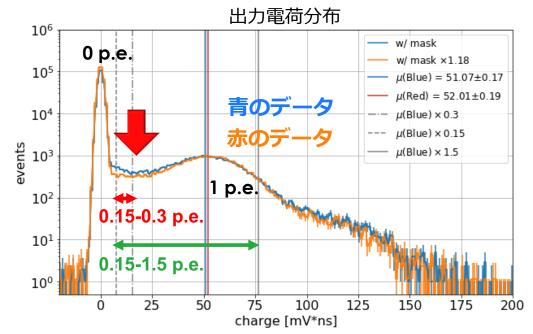
- 入射光を遮蔽して取得したデータ の平均波形を使ってベースライン を補正。
- □ さらに各イベントで、パルスより 前の部分(最初の10 ns)のデータを 使ってベースラインのオフセット を補正。
- 一光電子データの平均波形の ピーク時刻を調べ、その周り4 ns で各イベントの波形を積分して 電荷を計算。





入射光波長依存性測定の結果

- □ 一光電子の電荷分布のピークよりも低電荷側で入射光の波長によるもの と考えられる違いが見られた。
- □ ピークの電荷を1 p.e.としたとき、x p.e.からy p.e.に入るイベント数をN(x-y)と定義し、分布の形の指標として
 r = N(0.15-0.30)/N(0.15-1.50)を定義すると、
 <u>r(Blue)</u> = 0.070-0.077, r(Red) = 0.064-0.068 であった。(値の幅は10万イベント×4回のデータセットで得られたばらつき)



入射光が青の時の方が 電子が増幅がされにくいこと を示唆。

光電子の運動量が高いと 増幅されにくいと解釈できる。

※この異なる成分が0 p.e.側から 生じている可能性もあり、今後 スペクトル形状の詳細な比較が必要。

まとめと今後の展望

CTA大口径望遠鏡用PMTの増幅応答のより深い理解のため、 光電子の運動に着目し、磁場と入射光波長の効果を調査した。

1. PMT出力電荷の磁場依存性

- □ -0.3 mTから0.3 mTの磁場をかけて出力電荷の変化を調べ、 地磁気レベルの磁場でも0.7%程度の変化があることがわかった。
- □ HVは磁場依存性に影響し得ることがわかった。ただし単純な依存性ではなさそう。LST-1との比較のためにも、引き続きHVの影響の調査が必要。
- 8段ダイノードPMTと7段ダイノードPMTの磁場依存性は異なることが わかった。HVの影響と合わせて後段での影響も示唆しており、今後要調査。

2. 収集効率の入射光波長依存性

- □ 青と赤の入射光で一光電子の出力電荷分布を比較し、**青の場合の方が** 低電荷側のイベントが多いことがわかった。これは光電子の運動量の違い により解釈できるが、今後さらにスペクトル形状をより詳細に調査したい。
- □ さらにPMTの統計を増やす、不確かさを詳細に評価するなどしたい。