

XMASS検出器の低閾値化による感度向上についての研究

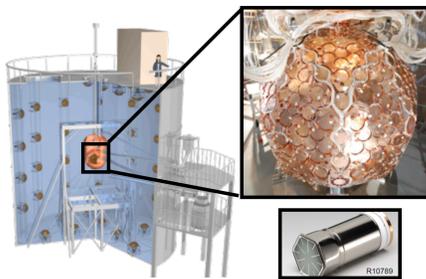
小林雅俊 他 XMASS Collaboration

東京大学宇宙線研究所附属神岡宇宙素粒子研究施設

I. イントロダクション

XMASS検出器

- Xenon detector for weakly interacting MASSive particle
- Xenon MASSive dector for Solar neutrinos
- Xenon neutrino MASS detector



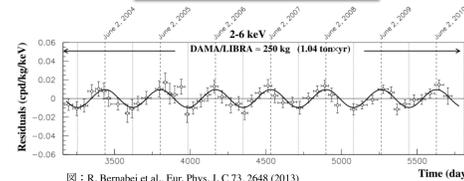
- 液体Xeを用いた多目的検出器
- 現在のXMASS-1 では球形に配置された642本のPMTで観測
- 832kgのXe：世界最大質量
- 電子反跳・原子核反跳の区別なしに観測

暗黒物質の季節変動

- 地球での観測における暗黒物質のスペクトルは、地球と暗黒物質の相対速度に依存する
- 銀河を公転する太陽の速度：~240km/s
- 地球が太陽を公転する速度：~15km/s
- 地球の運動方向(夏/冬)によって相対速度が変化(右上図)



DAMA/LIBRA

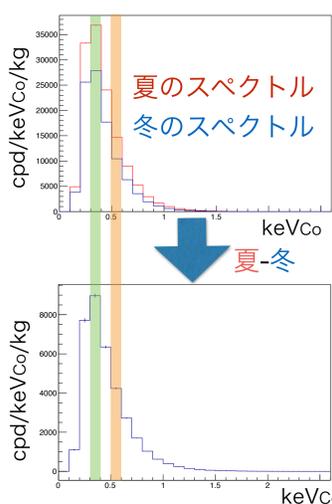


図：R. Bernabei et al., Eur. Phys. J. C 73, 2648 (2013)

- DAMA/LIBRA実験は250kgのNaIを用いて高統計で季節変動を観測した(前身のDAMA/NaIと合わせて1.33t・yr)
- 大質量のXeをもつXMASSは短期間でDAMAに匹敵する高統計で観測を行うことができ、季節変動を用いた探索に有利
- XMASSによるこれまでの観測ではDAMAの主張する領域をほとんど否定

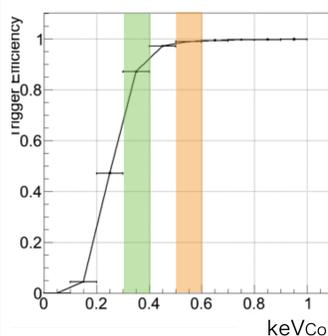
II. 暗黒物質の季節変動観測

XMASS検出器でのスペクトル



- WIMPのスペクトルは指数関数
横軸： ^{57}Co の122keV γ に対するPE数でのエネルギースケール
- 季節変動を見るため、より低いエネルギーまで観測したい
- 現在は0.5keVCo(~4.8keVnr)での解析だが、トリガー効率を考えると0.3keVCo(~3.2keVnr)まで下げることができる可能性が有る

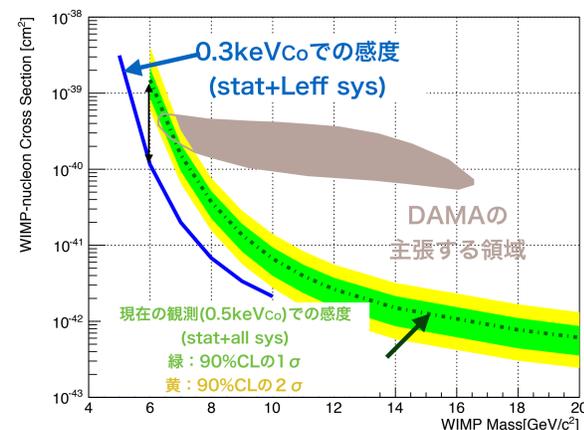
系統誤差とエネルギー閾値



- MCを用いて計算した7GeV WIMPのトリガー効率
- 0.5keVCo：95%以上
- 0.3keVCo：85%程度
- =>0.3keVCoではトリガー効率が急激に変わるため、僅かなトリガー効率の変動による系統誤差が大きくなりうる

- トリガー閾値の安定性
- 1. 検出光量の時間変化：これまでの主な系統誤差要因
 - 液体Xe内に含まれる不純物
 - =>ガス純化を行うことによって改善を図っている(左下)
- 2. エレクトロニクスの安定性：今後閾値を下げるための評価
閾値付近でのトリガー効率の変動
=>より低い閾値でのデータを取得し、安定性を確認する(右下)

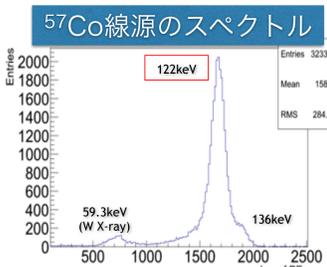
XMASS検出器での感度



- 統計誤差とXeの発光効率に関する誤差を考慮に入れた予想感度
- 0.3keVCoまで観測することで、DAMAの主張する季節変動を完全に検証することが期待される

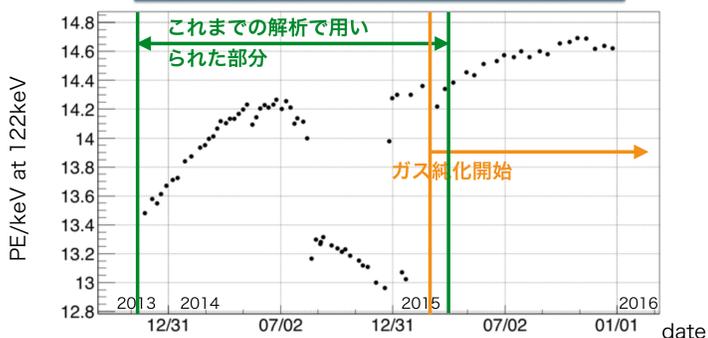
III. XMASS検出器の低閾値化

検出光量の時間変化の安定化



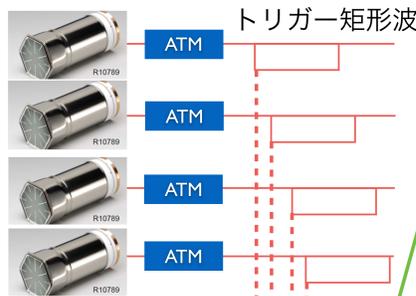
- ^{57}Co を用いた較正を定期的に行うことで、検出器の応答をモニターしている
- 122keV γ のピークをフィットし、それに対する検出光電子数を計算する

1keVあたりの検出光電子数の時間変化

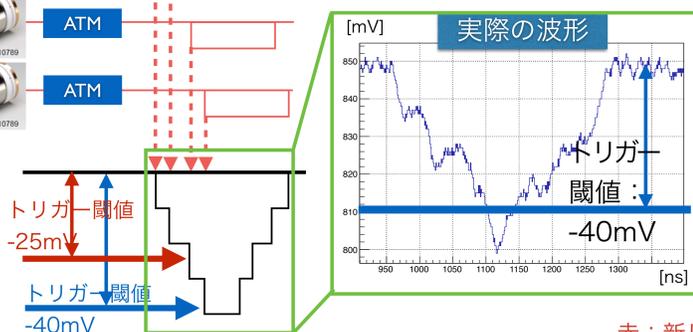


- ガスの純化により検出器応答の安定化を行っている
- サンプルング等を行い、特に汚れた箇所のXeガスを除去
- 継続的にゲッターによって不純物を除去

エレクトロニクスの安定性評価



- XMASSのトリガー：“アナログ”ヒット
- PMTから、~0.25PE以上の信号が来るとATM(Analog TimingModule)が矩形波を出す(11mV,200ns)
- 各PMTごとの矩形波を足し上げ、閾値-40mV(~4本)を越えるとトリガー

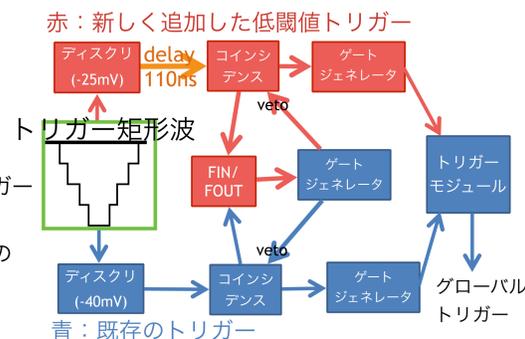


- 実際の測定時は完全に閾値で離散的なヒット分布とはならない
- ベースラインのふらつき
- 矩形波の波形歪み等

- 0.5keVCo解析は5hit以上であったのに対し、0.3keVCo解析では閾値付近の4hitイベントが含まれる
- 解析に用いるイベントのトリガー効率について安定性評価が必要

低閾値トリガー

- 閾値-25mV (2-3hit相当)のトリガーを追加
- 既存のトリガーで取得したデータへ影響しない様、低閾値トリガーには遅延を入れる等の工夫をしている
- -25mVでの4hit以上の分布を用い、-40mVの場合との比較、その時間的安定性を評価する
- 今後、3hitでのデータに関しても解析を進めていく予定



IV. まとめ

- XMASS実験：大質量キセノンをを用いた暗黒物質探索
 - 暗黒物質の季節変動を高統計で検証することができる
- これまでの季節変動解析は系統誤差の影響から0.5keVCoで行われていたが、このエネルギー閾値を下げられる可能性がある
 - DAMAの主張する領域を完全に検証することが期待される
- 系統誤差の問題
 - 検出光量の安定性：Xeガス純化によって改善
 - エレクトロニクスにおけるトリガー効率の時間安定性：新しく低閾値トリガーを入れ、安定性の評価を開始