

# B08 液体キセノンを用いた暗黒物質探索(XMASS)

2022/1/26

研究代表者：森山茂栄

研究目的：液体キセノンを用いた検出器で得られたデータを解析し、暗黒物質の候補であるWIMPsやaxionの検出を目指す。

合計人数：28名

査定額：200千円（研究打合せ、コラボレーションミーティング等で使用予定）

繰越額：200千円（コロナ感染対策のため全てオンラインで開催）

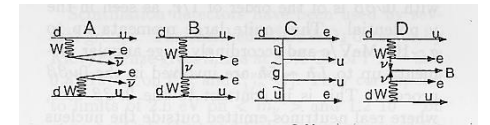
# XMASS experiment

- シンチレーション光のみを用いる simple な 1 相式大体積の液体キセノン検出器
- 世界初の ton class 暗黒物質探索実験として 2013/11~2019/3 まで 5 年間の長期観測
- 大光量 ~14pe/keV、低閾値 ~1keVee
- 暗黒物質のみならず様々な低エネルギー事象に対して探索を行ってきた
  - 暗黒物質探索 (有効体積、季節変動etc)、Hidden photon dark matter探索、 $2\nu 2e$ 重電子捕獲の探索等
- さまざまな検出器、標的、相互作用を利用した探索が非常に重要
- 現在はデータ解析の推進のため共同利用研究を行っている。

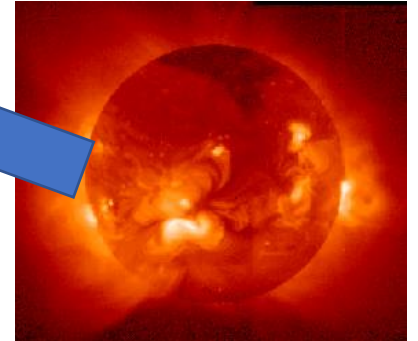


Neutrino-less double beta decay

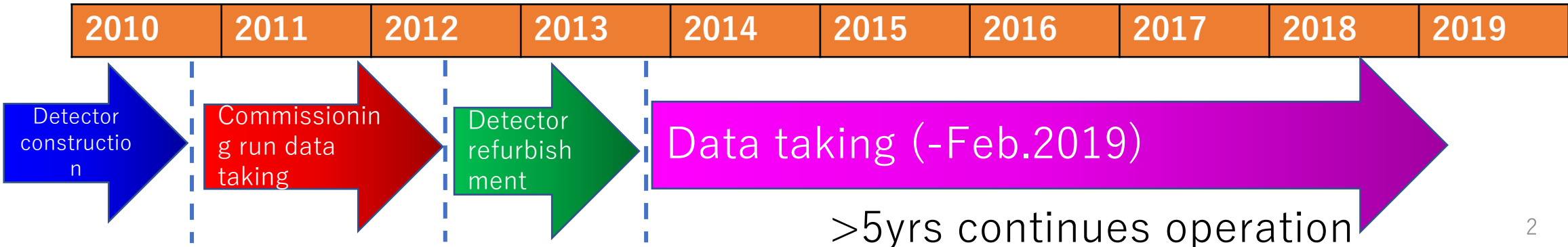
Dark matter



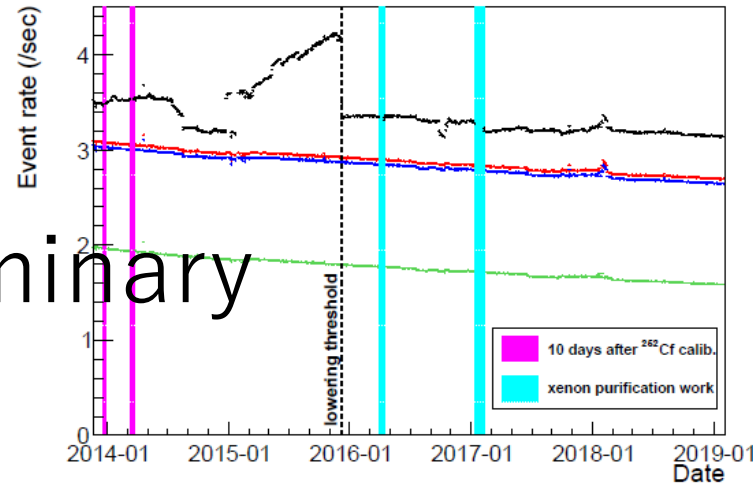
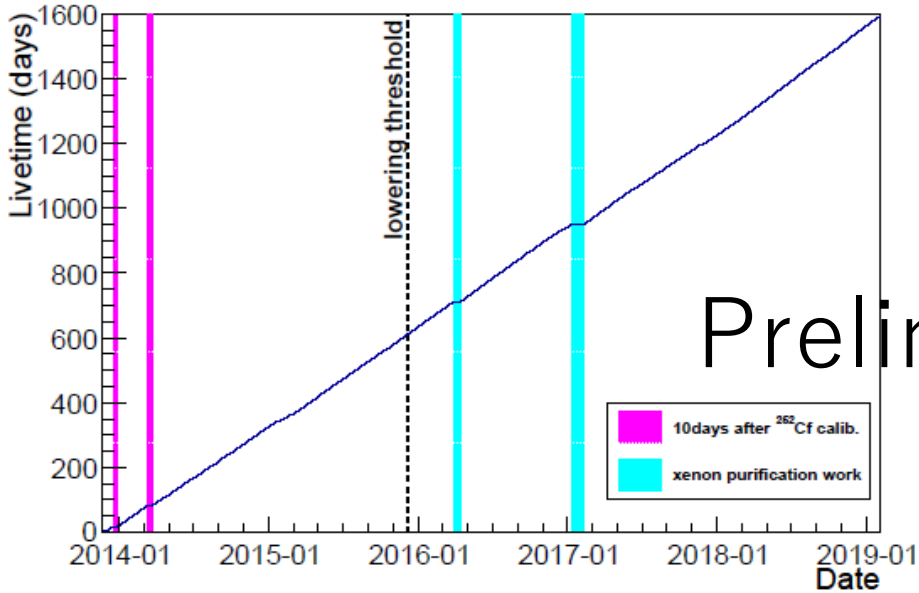
Solar neutrino



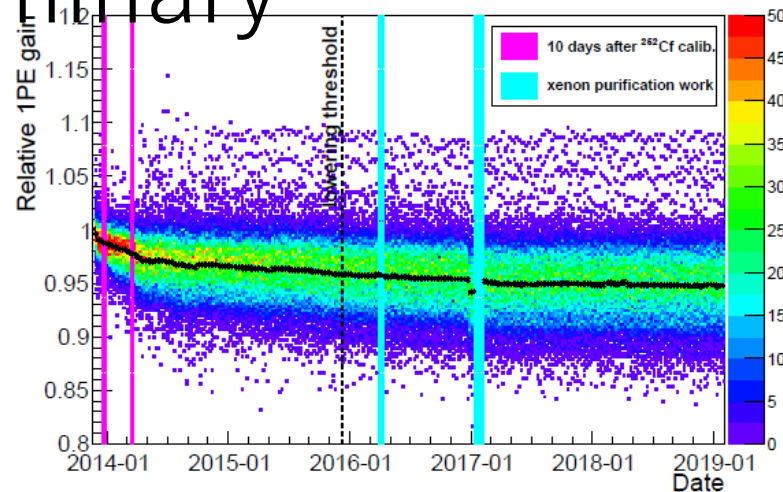
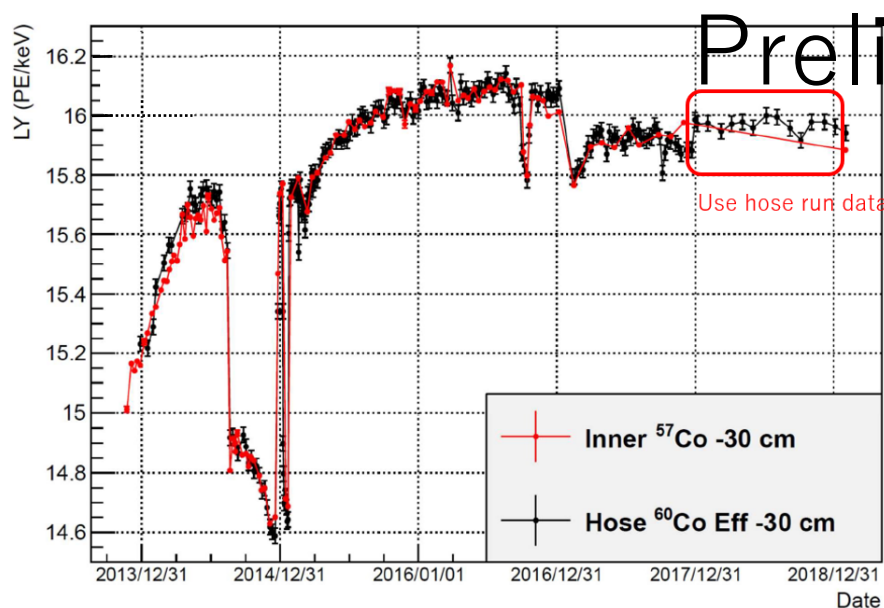
(c) 東京大学宇宙線研究所 神岡宇宙素粒子研究施設



# 2020年度の成果 全観測データを用いた暗黒物質探索



- 5年の全観測データを使った最終の解析を進めている
  - 1相式、大体積の液体キセノン検出器としてとして世界で他にはない結果
  - 2013/11/20~2019/2/1
    - live time 1590.9日
  - 安定したデータを収集



- 5年、livedtime 1590日のデータを用いた解析が進行中。解析をほぼ終えて、現在論文を用意中

# 全データを用いた暗黒物質解析

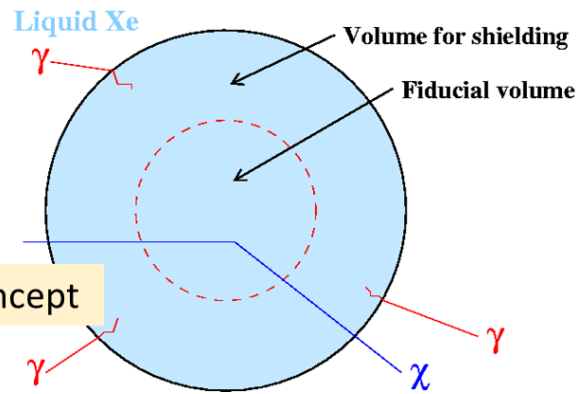
## • XMASSでの暗黒物質探索

### • 有効体積内部での探索

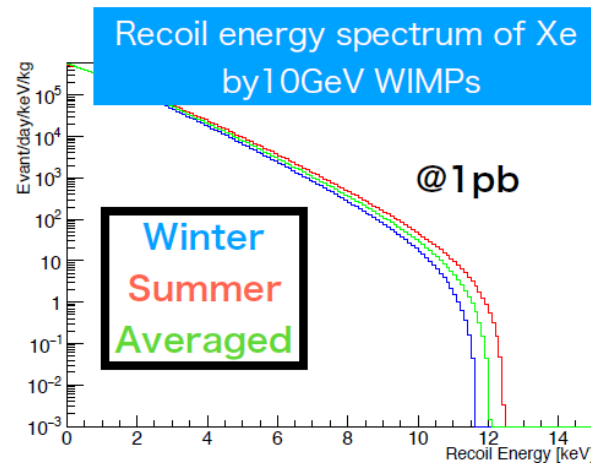
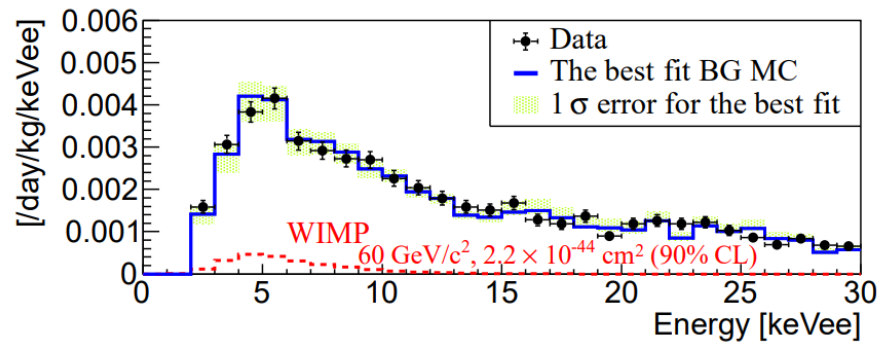
- 位置再校正の情報をもちいて中心部半径20cm以内、有効体積100kg での事象を選ぶ
- 事故遮蔽効果、外部からのBGは外部の領域で止まるため、大幅にBGを減らすことができる
- BG+予想される暗黒物質からの信号で fit を行い探索
- [Phys. Lett. B 789 \(2019\) 45-53](#), [arXiv:1804.02180](#) 705.9日でのデータ

### • 季節変動を用いた探索

- 銀河系に対する地球の移動速度が夏と冬でことなるため、地球から見た暗黒物質の速度分布が夏と冬で異なる。
- 季節変動として観測ができる。信号の数%の変動が想定される
- 核子反跳信号を用いた探索
  - 4~20GeV の質量の暗黒物質に対して
  - [Physical Review D 97, 102006 \(2018\)](#), [arXiv:1801.10096](#)、2.7年 livetime 800日
- bremsstrahlung を用いた探索
  - 0.32~1GeV の質量の暗黒物質に対して
  - [Physics Letters B 795 \(2019\) pp. 308-313](#), [arXiv:1808.06177 \[astro-ph.CO\]](#)、3.5年 livetime 2.8年



MASS concept



Revo. of earth  
Revo. of Solar system

• Migdal 効果を用いた探索を新たに進めている

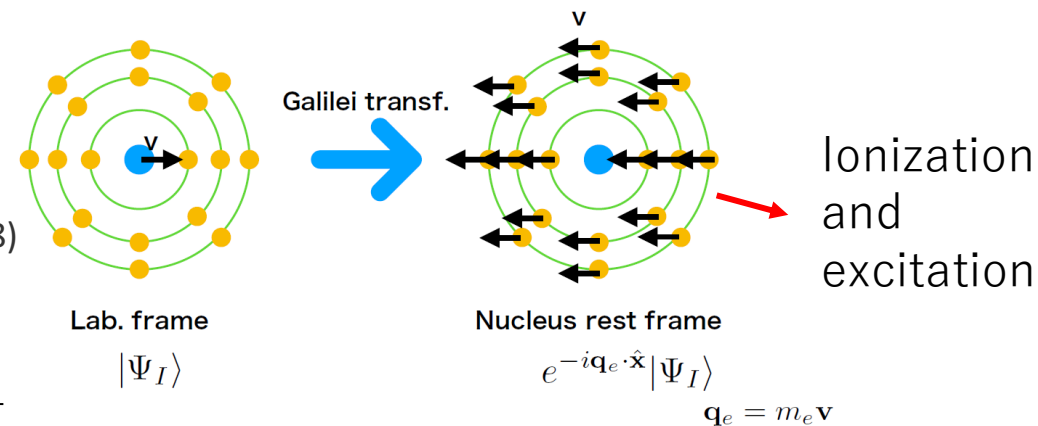
# Migdal 効果を用いた季節変動解析

# Migdal effect

[A. B. Migdal; 1939]

$$Z_{FI}(q_e) = \langle \Psi_F | e^{-i\mathbf{q}_e \cdot \hat{\mathbf{x}}} | \Psi_I \rangle$$

electron wave functions



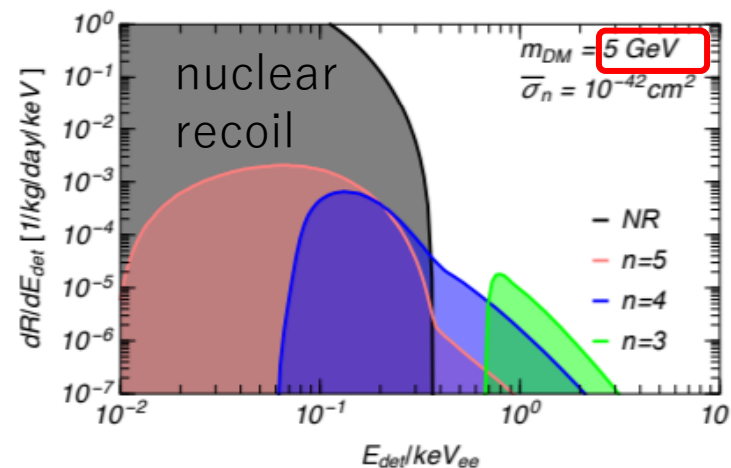
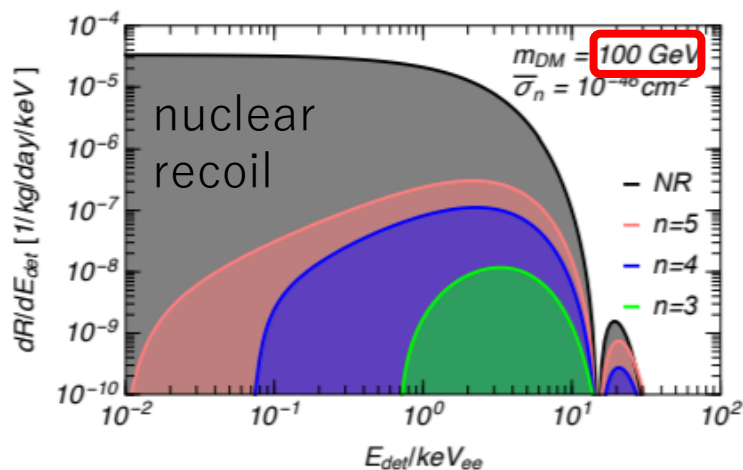
- Migdal 効果
  - 原子核反跳の際に軌道電子と核子が完全に同期して運動する近似を用いない
  - 結果としてイオン化、励起が発生する
- In M.Ibe et al., [Journal of High Energy Physics](#) volume 2018, Article number: 194 (2018) arXiv:1707.07258v3 [hep-ph]
  - キセノンに対して、この効果からのエネルギーロス計算
  - 予想される event rate は少ないが、軽い暗黒物質に対しては核子反跳によるエネルギーロスより大きなエネルギーロスが期待される
  - 探索を行うことができる別のチャンネルとなる
- 伊部さんの計算をもとにXMASS検出器中で予想される信号を計算、探索を行う

$$\frac{d\sigma}{dE_R} \simeq \sum_{E_{ec}^F} \frac{1}{2} \frac{m_A}{\mu_N^2 v_{DM}^2} |F_A(q_A^2)|^2 \bar{\sigma}_N |Z_{FI}(q_e)|^2,$$

Migdal factor

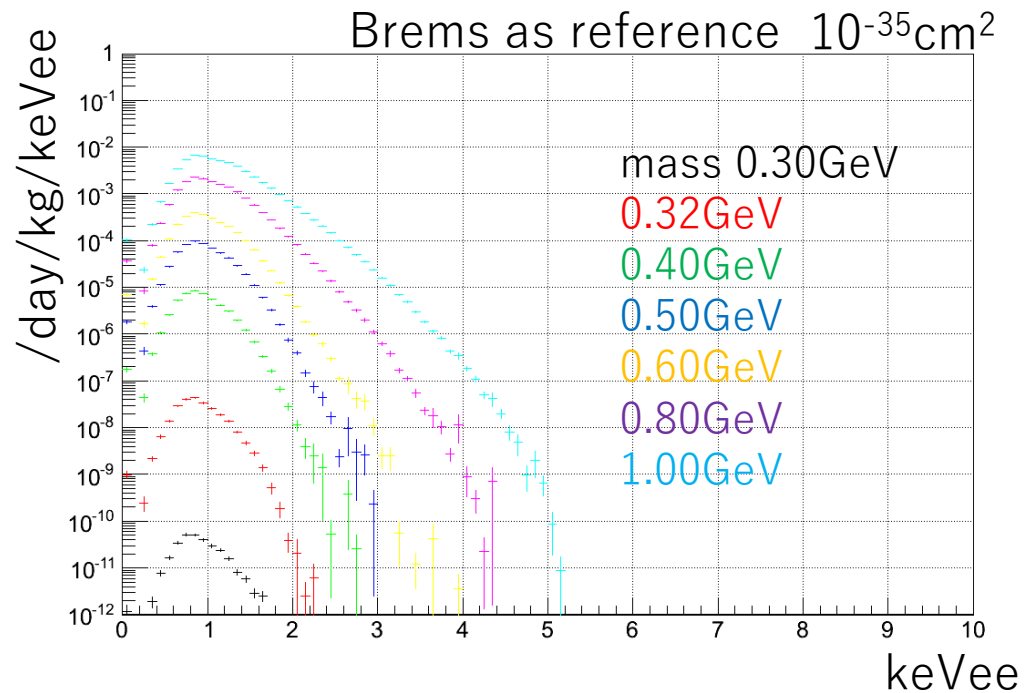
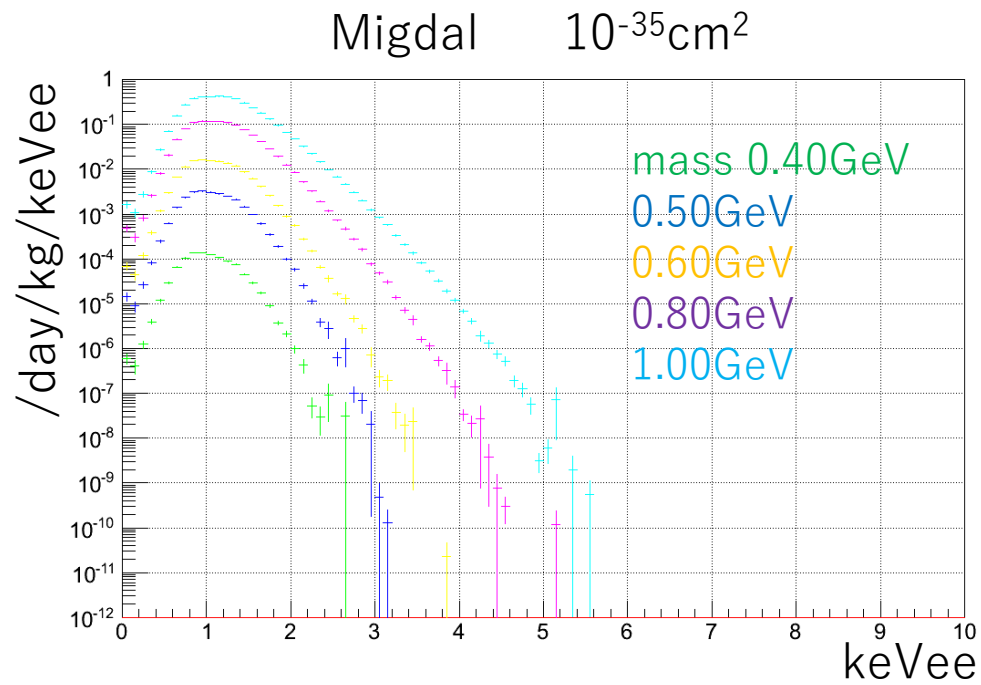
$$Z_{FI}(q_e) = \langle \Psi_F | e^{-i\mathbf{q}_e \cdot \hat{\mathbf{x}}} | \Psi_I \rangle$$

$$q_e = \frac{m_e}{m_A} q_A$$



M.Ibe et al., arXiv:1707.07258v3 [hep-p]

# Migdal 効果を用いた季節変動解析



## 検出器で想定される信号の計算

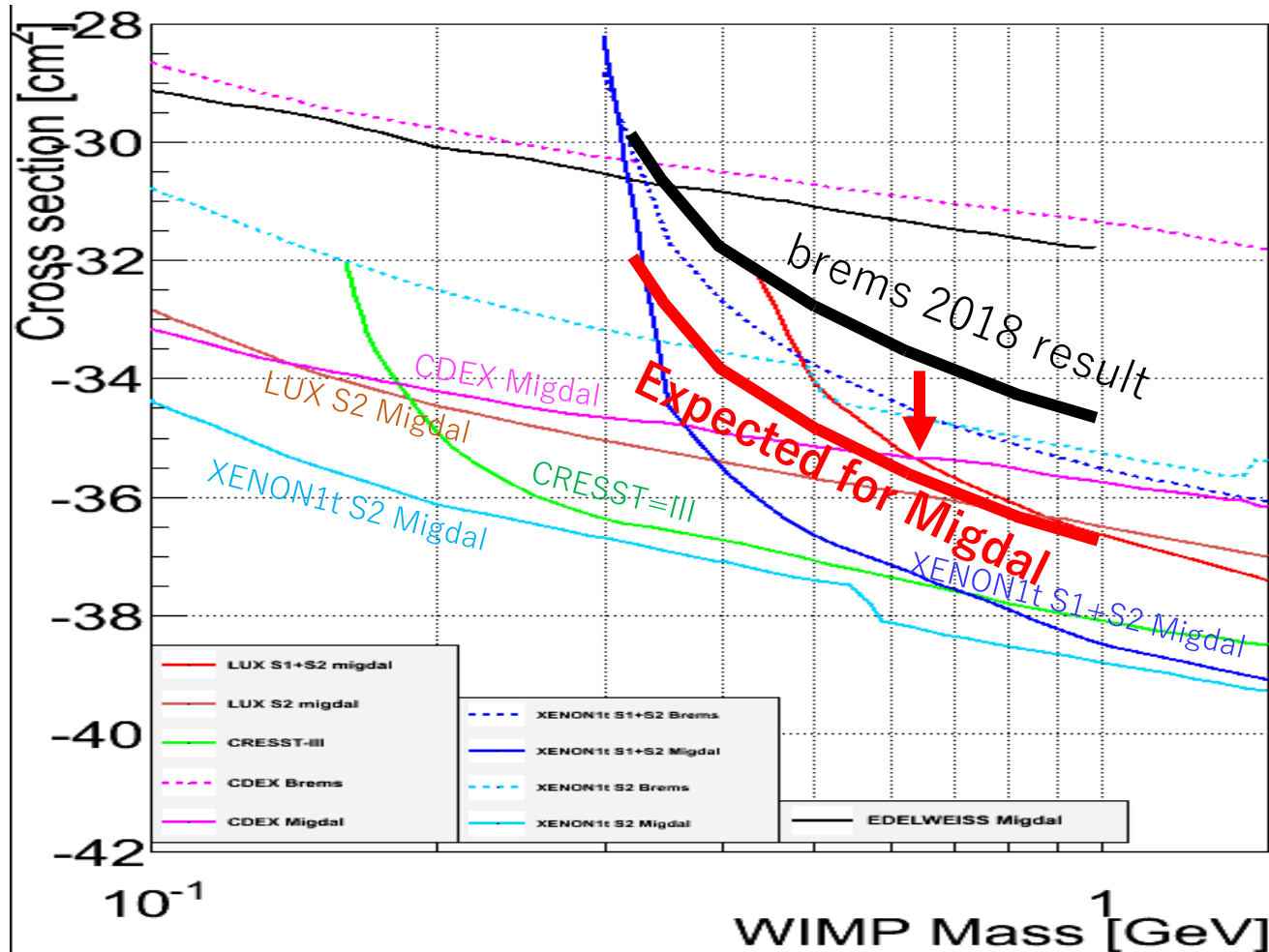
1. Migdal 効果から想定されるエネルギーロスを計算
  1. 放出電子と、脱励起からのX線それぞれからの寄与を分けて考慮
  2. それぞれ個別にスペクトラムを計算
2. モンテカルロシミュレーションでそれぞれに検出器応答を適用、足し合わせたものを信号として計算
  1. 検出器でキャリブレーションができていて 1keVee 以上のエネルギーロスを発光の閾値とする ( $^{55}\text{Fe}$  の escape X を使ったキャリブレーション)
  2. 脱励起からの寄与はほぼ 1keVee 以下だったため最終的には考慮せず

• Bremsから予想される信号（下図）から 2桁程度大きなイベントレートが期待される

• 信号(振動成分あり)+BG(時間による減少あり)でデータを時間の関数で fit し、信号成分を計算

# 予想感度

Spin independent



- Migdal を用いた季節変動
  - 信号レートが2桁大きいため brems の結果から2桁良い感度が得られると予想される
  - 期間、統計が長くなっている分の改善も期待される
  - 季節変動を用いた探索では最も感度が良い結果になる
- 他の解析もほぼ完了
  - データ量が増えたことによる改善が想定されている
  - 核子反跳、bremsstrahlung を用いた季節変動探索
    - 期間、lifetimeが1.5~2倍に
  - 有効体積での探索
    - lifetime が2倍

# Summary

- XMASSでは5年間の長期安定データを測定した
  - 1相式、大体積の液体キセノン検出器として世界で唯一の結果
- XMASS 全データを用いた最終解析を進めている
  - 5年分のデータを用いて多数のチャンネルでの暗黒物質探索の結果を解析している、解析はほぼ完了。
  - 季節変動解析
    - 新たに Migdal 効果からの信号探索
      - 軽い質量領域での探索
      - 2018 のbremsstrahlungでの探索結果より 2桁程度改善する見込み
    - 核子反跳信号、bremsstrahlung での信号探索
      - 期間、lifetimeが1.5~2倍
  - 有効体積
    - lifetime が 2 倍
  - 論文を準備中