

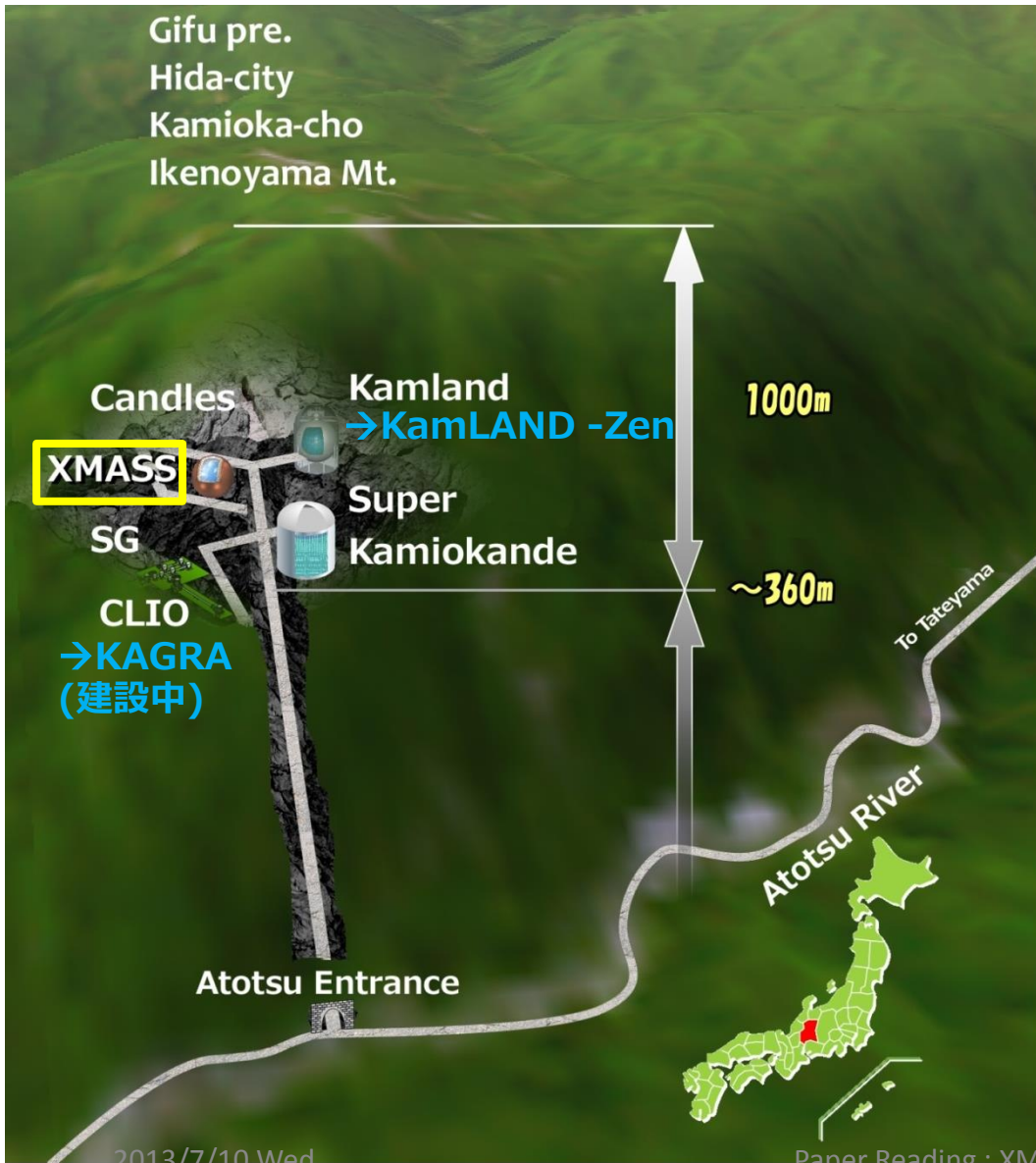


Status and Prospects of Dark Matter Search in XMASS

(Xenon detector for weakly interacting MASSive Particles)

Naoyuki Shinoda
July 10th

XMASS実験



- 暗黒物質の直接探索
- $pp/\text{}^7\text{Be}$ 太陽ニュートリノ観測
- $0\nu\beta\beta$ 崩壊の探索
を行う多目的実験
- 暗黒物質と検出器原子核との
弾性散乱により生じる
エネルギーを観測
- 大型キセノン検出器
 - 低エネルギー閾値
 - 低バックグラウンド
- 2010/10~2012/06
試験運転終了

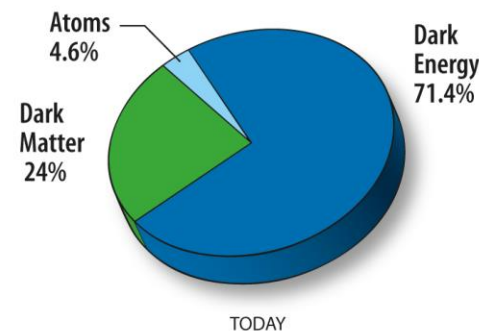
暗黒物質の直接探索

- 暗黒物質の存在を示す多数の観測(1930~)

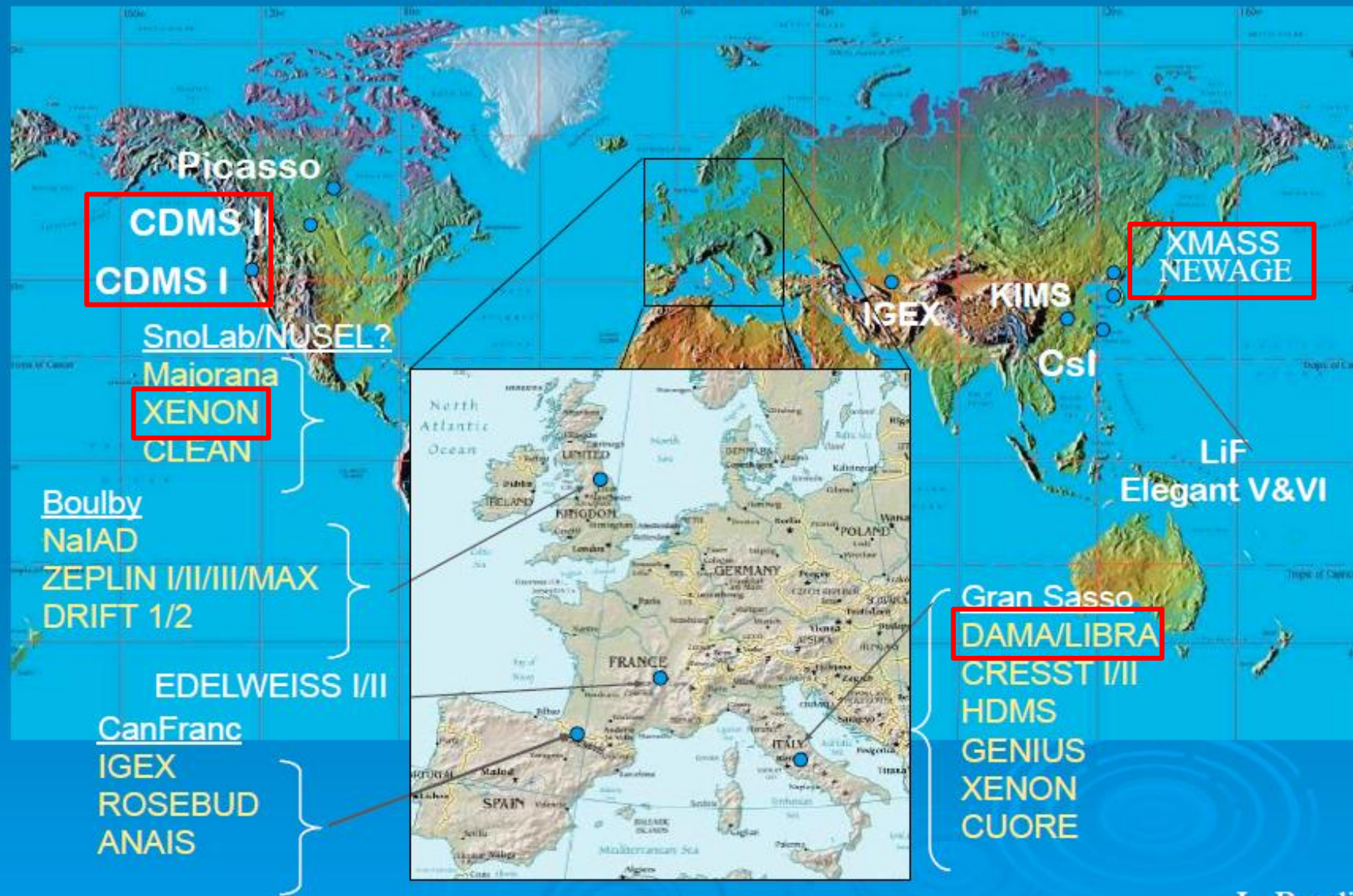
- 銀河の回転速度分布
- WMAPによる観測結果

- 様々な暗黒物質の探索実験

- ① NaI(Tl)による暗黒物質の季節変動測定
 - DAMA/LIBRA (初のpositive results)
- ② Ge(or Si)を用いた探索
 - CDMS, EDELWEISS
- ③ Liquid Xeを用いた探索
 - **XMASS**, XENON100, ZEPLIN-IIIなど



World Wide WIMP Search



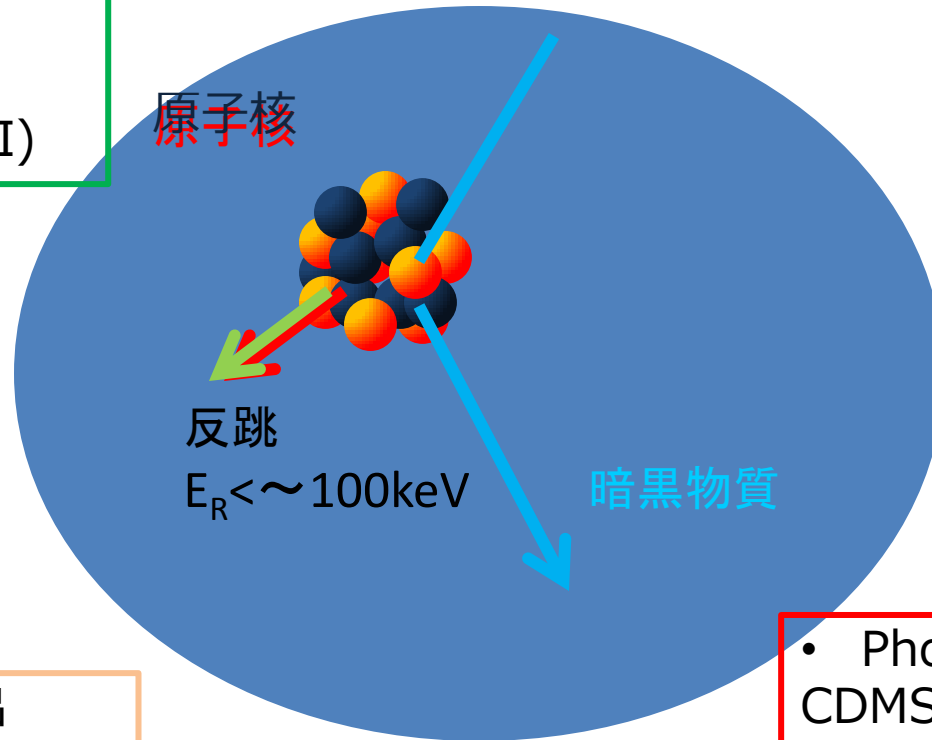
L. Baudis

様々な検出方法(1/2)

暗黒物質と原子核との衝突によって生じる反跳核エネルギーを観測
(最近は1つの検出器で複数の情報を得て粒子識別を行うのが盛ん)

- 光検出
XMASS(LXe),
DAMA/LIBRA(NaI)

- (原子核飛跡)
NIT 名古屋大学



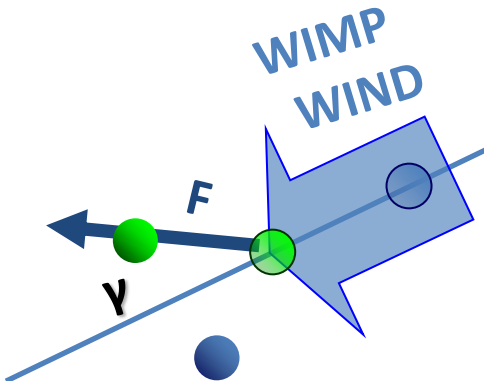
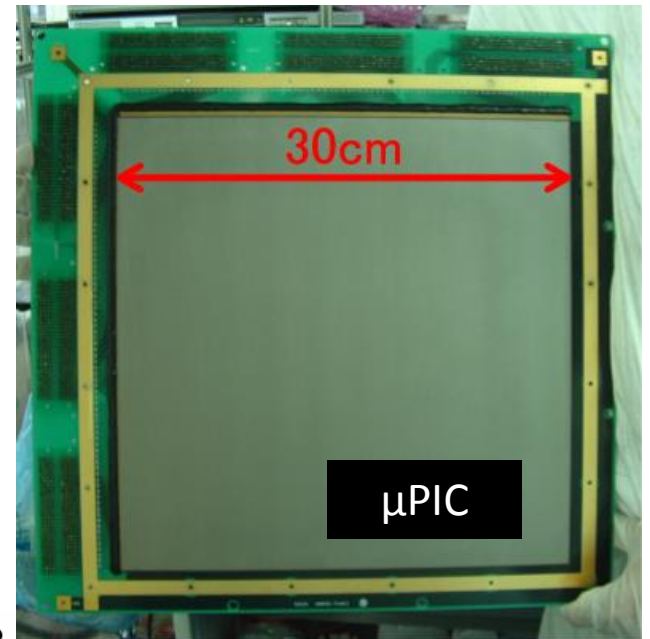
- 光 + 電離検出
XENON100(LXe)

- Phonon検出
CDMS II(Si/Ge)
(Phononの熱エネルギー
+イオン化エネルギー)

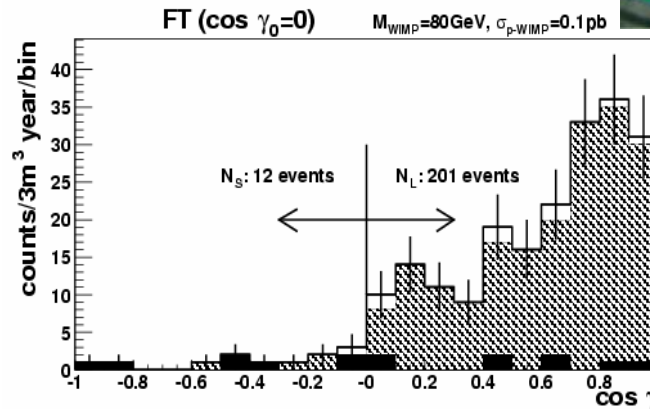
様々な検出方法(2/2)

NEWAGE

- 世界初の方向に感度を持った暗黒物質探索
- 特徴
 - **暗黒物質検出の確実な証拠を示せる**
 ∴ 「暗黒物質の風」は方向性を持つ
 (白鳥座より到来)
 - 統計量が少なくて済む



太陽系には暗黒物質の風が吹き付ける



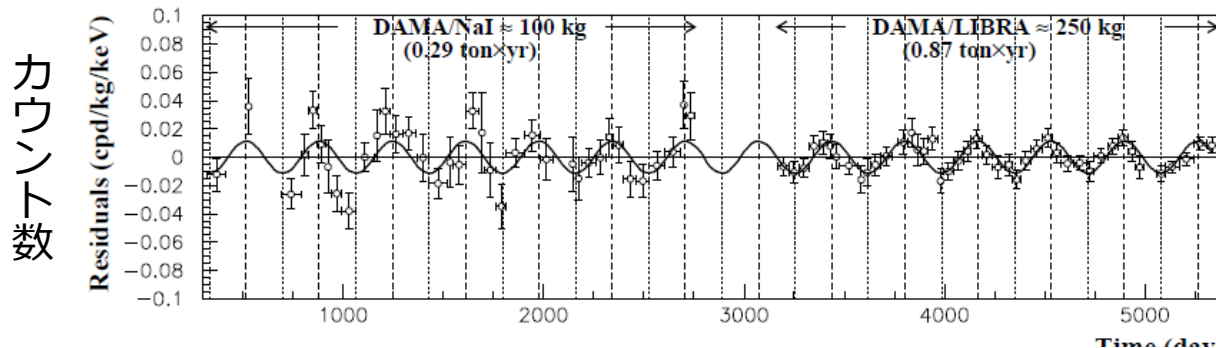
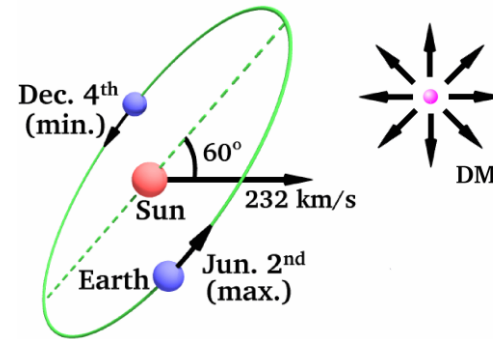
前後の非対称度が10倍以上
(数十事象で十分)



唯一のpositive result

DAMA/LIBRA

- 暗黒物質の検出数に季節変動がある
 - Max: ~2 June, min: ~2 Dec
 - ∴ 夏と冬で相対速度に差



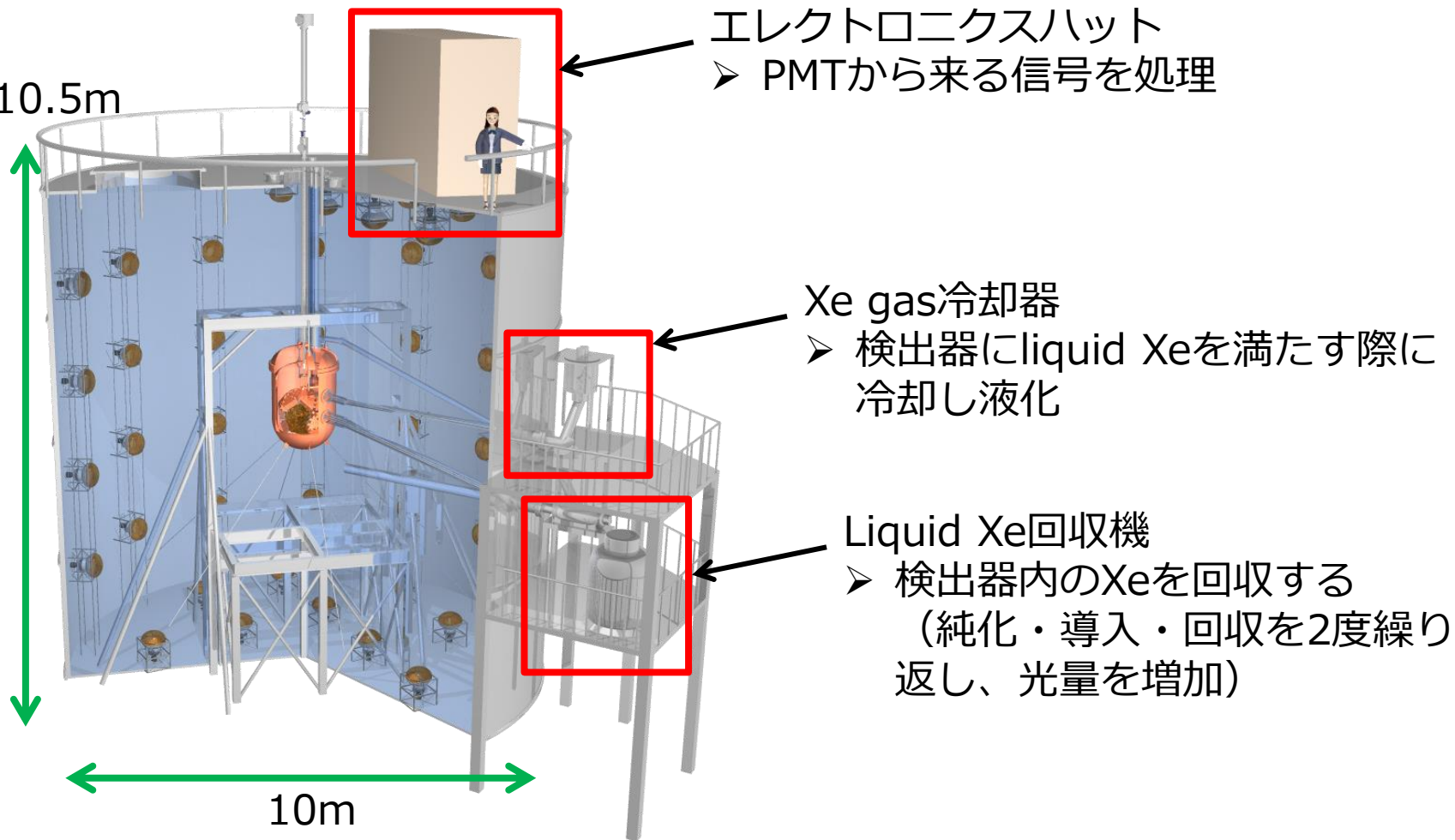
周期的変動を確認 (暗黒物質の存在証明か)
(Fit関数の振幅、位相値が理論値と無矛盾☺)

しかし、他の実験により否定されている
→まだ結論は出ていない (∴任意の仮定で出された結果)

なぜ流行っている液体Xe？

- 質量数が多い Xe($A \sim 131$)
 - 反応断面積 $\propto A^2$
- 大きな原子番号($Z = 54$)と密度($\rho = \sim 2.99\text{g/cm}^3$)
 - 検出器のサイズがコンパクト
 - 外部由来のBGも表面から少しの距離で止まる (self-shielding)
- 大量のシンチレーション光を発する
- 純化しやすく、極低BG環境を実現
- 長寿命の放射性同位体が存在しない
∴暗黒物質との反応 (rare event) を区別できる

XMASS検出器(1/3)



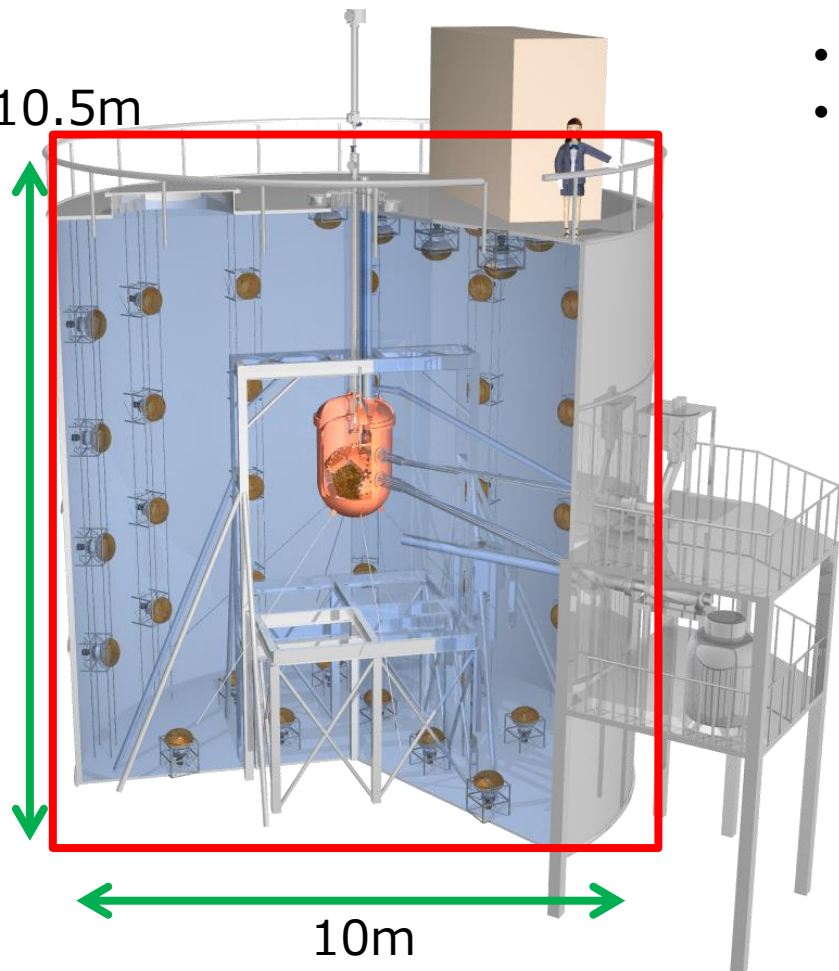
XMASS検出器(2/3)

Outer Detector(OD)

- 72個の20インチ PMT
- 水シールドによるB.G.低減
 - 宇宙線ミュオン起源のEventのveto
 - 低エネルギー中性子・ガンマ線の遮蔽

水タンク内を常に清潔に保っている

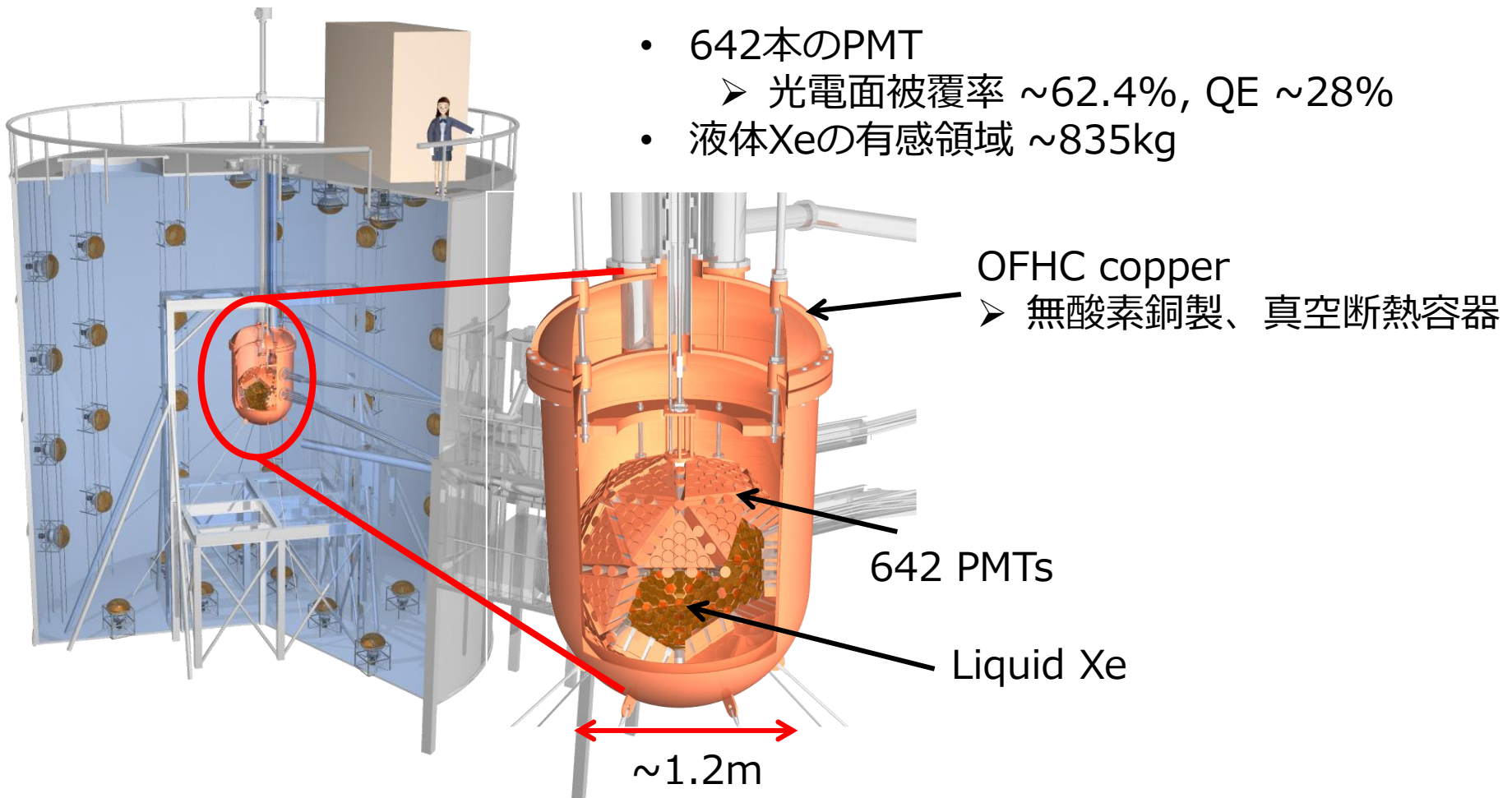
- 不純物、ラドンガスの除去
- UV滅菌、循環・純化システム etc.



XMASS検出器(3/3)

Inner Detector(ID)

- 642本のPMT
 - 光電面被覆率 ~62.4%, QE ~28%
- 液体Xeの有感領域 ~835kg

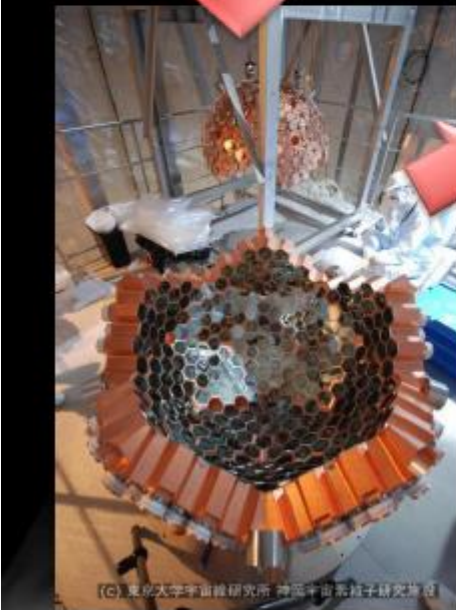


Detector construction

1st application of WC tank for WIMP search



WIMP search



By fall, 2010

液体Xeの発光効率(L_{eff})

L_{eff} (Scintillation efficiency)

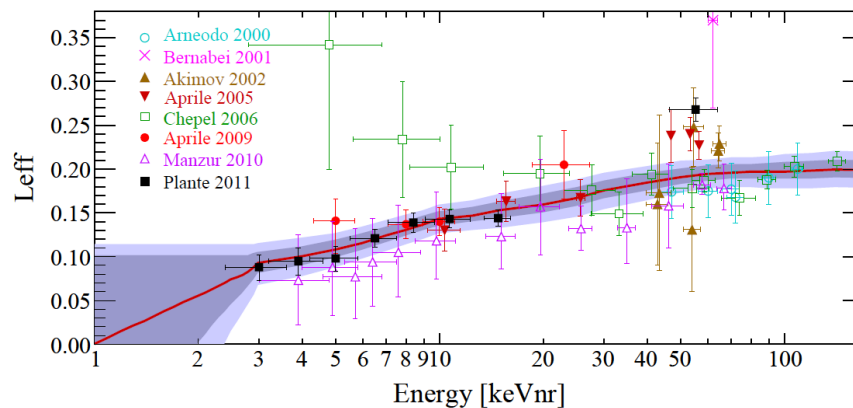
= (原子核反跳によるEnergy deposit) / (電子反跳によるEnergy deposit)

→ L_{eff} の不確定さがUpper Limitに影響する



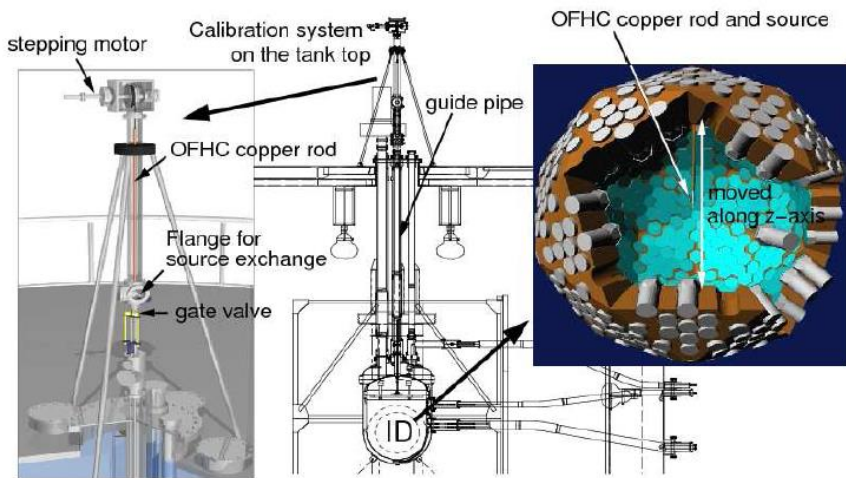
まずこれを測定する

L_{eff} の測定結果

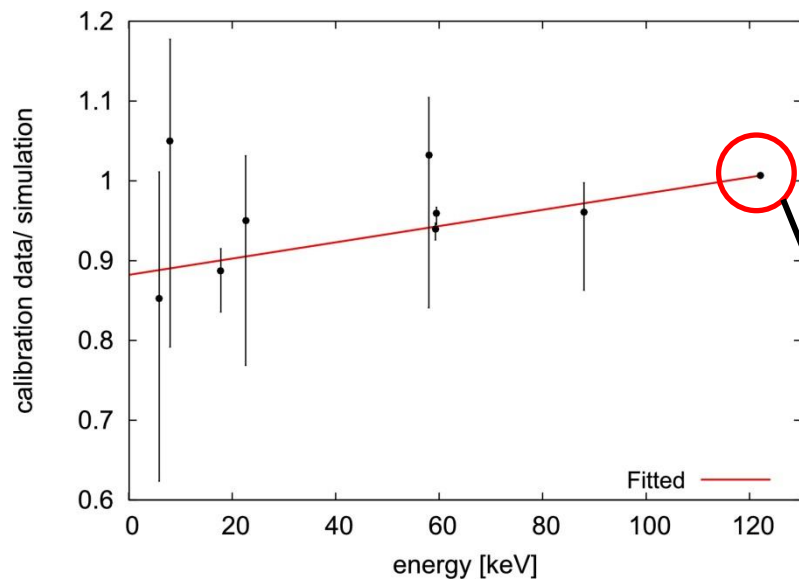


今回の解析では中心値を用いて上限値を見積もった。

Calibration



- Calibration source
 - ^{55}Fe , ^{109}Cd , ^{241}Am , ^{57}Co , ^{137}Cs
(Xe内部をz軸に沿って移動させる)
 - PMT holderにも設置
(検出器の外部放射線の影響を study)



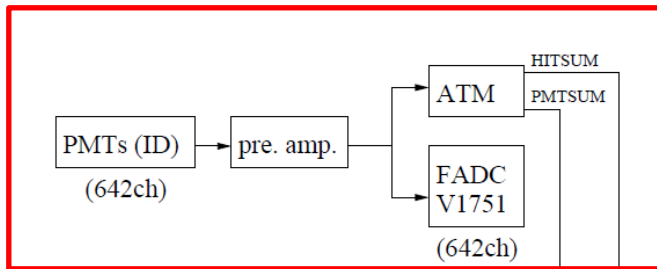
- 観測された光電子数とシミュレーション値との比をプロット
- 0.3keVeeを閾値に設定した際のフィットによる誤差
→1.3% (系統誤差)

^{57}Co を用いてエネルギー較正

- 14.7p.e./keVを達成☺
非常に大きな値 ∴低エネルギー閾値を達成

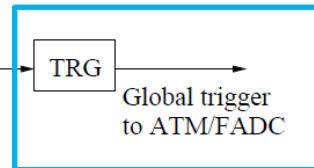
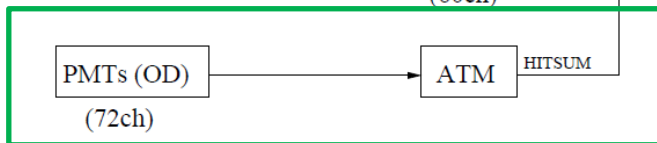
DAQ system

ID trigger発行(1~3)

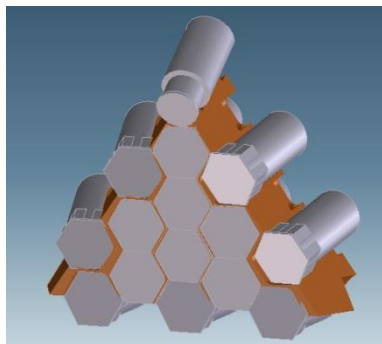


4

OD trigger発行(1~3)



ATM : ADCs + TDCsの機能
(電荷量、シグナルの到達時間を記録)



10~11 PMTs
(Rectangular holder)

- 10~11個のPMTにつき1個のATMが対応
- 1. 各holder毎にPMTのHit signalをATMが記録(HITSUM)
- 2. 全てのATMでHit signalの和を取る
(global ID HITSUM signal)
- 3. Threshold(3Hits)を超えたら、ID triggerを発行
(OD triggerは7Hitsで発行される)
- 4. ID(OD)triggerいずれか、または両方が発行されると、
global triggerが発行されその時のデータが集められる

残存background

- PMTに使用されているシールに ^{238}U , ^{210}Pb を含むAl → 主要因 (図1)
 - シール部分を銅製カバーで覆う、きれいなAlを使用
- OFHC copperに含まれる ^{60}Co (宇宙線生成同位体)
 - 出来るだけ屋外に出さない ~130日
- Liquid Xe内に含まれている ^{85}Kr (放射性同位体)
 - 蒸留装置によりKr濃度を5桁落とす
- PMT holderとOFHC copperの間に存在するGORE-TEX
 - 低エネルギーのBG → under study

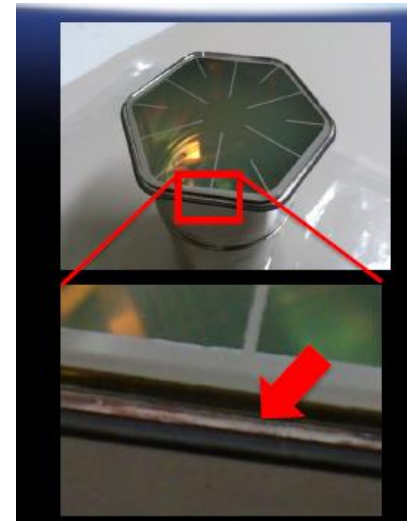


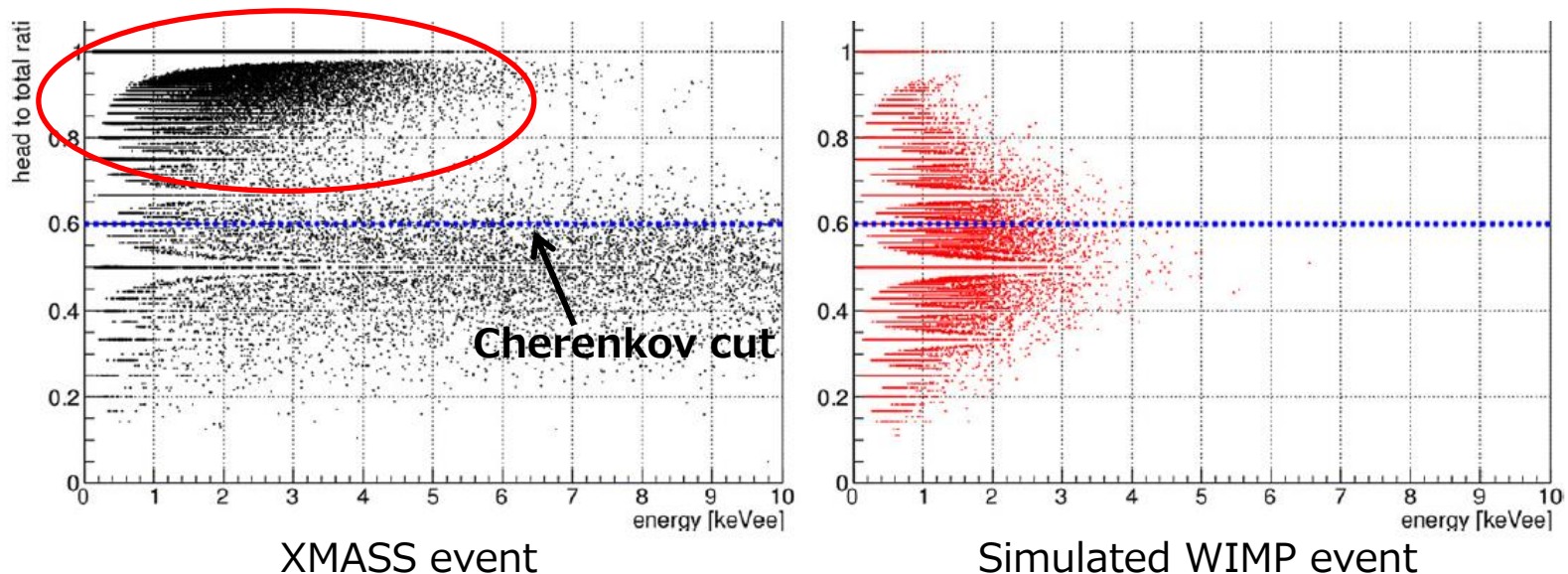
図1

その他のbackground

- 宇宙線ミュオン起源
 - ODのPMTsからのシグナルによるveto
- 外部由来の γ 線・中性子
 - liquid Xeのself-shielding
- 鉱山内の空気中に含まれるRn（濃度が地上の約30倍！）
 - 活性炭を用いたRn除去
- PMTに含まれる ^{40}K の崩壊により発生する電子のチェレンコフ事象

Eventselection(1/2)

- PMTに含まれる ^{40}K により生じるチェレンコフ事象のカット
 - 最も重要なカット
 - ある事象内の全PMTのHitシグナルが最初の20nsに60%含まれる
→チェレンコフ事象

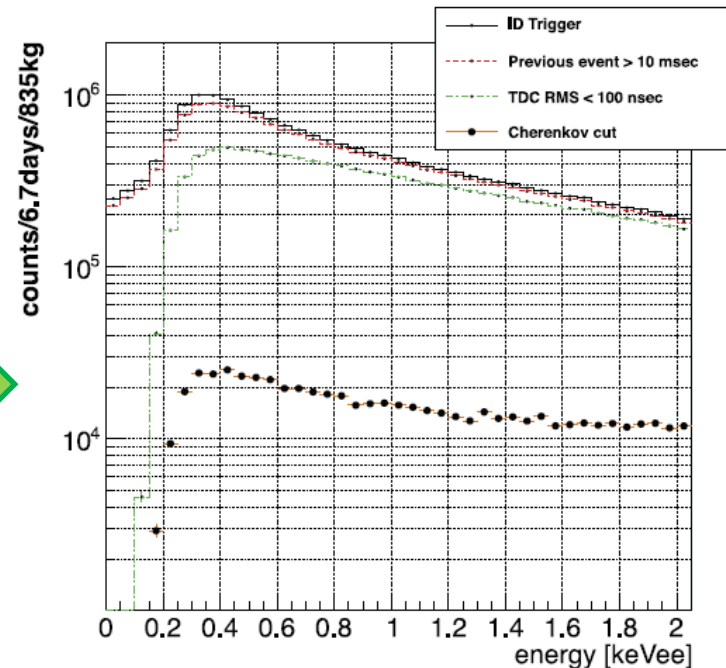


head-to-total ratio = (#of Hits in 20ns window)/(total #of Hits)
Case of Cherenkov event ~ 1 , WIMP event ~ 0.5

Eventselection(2/2)

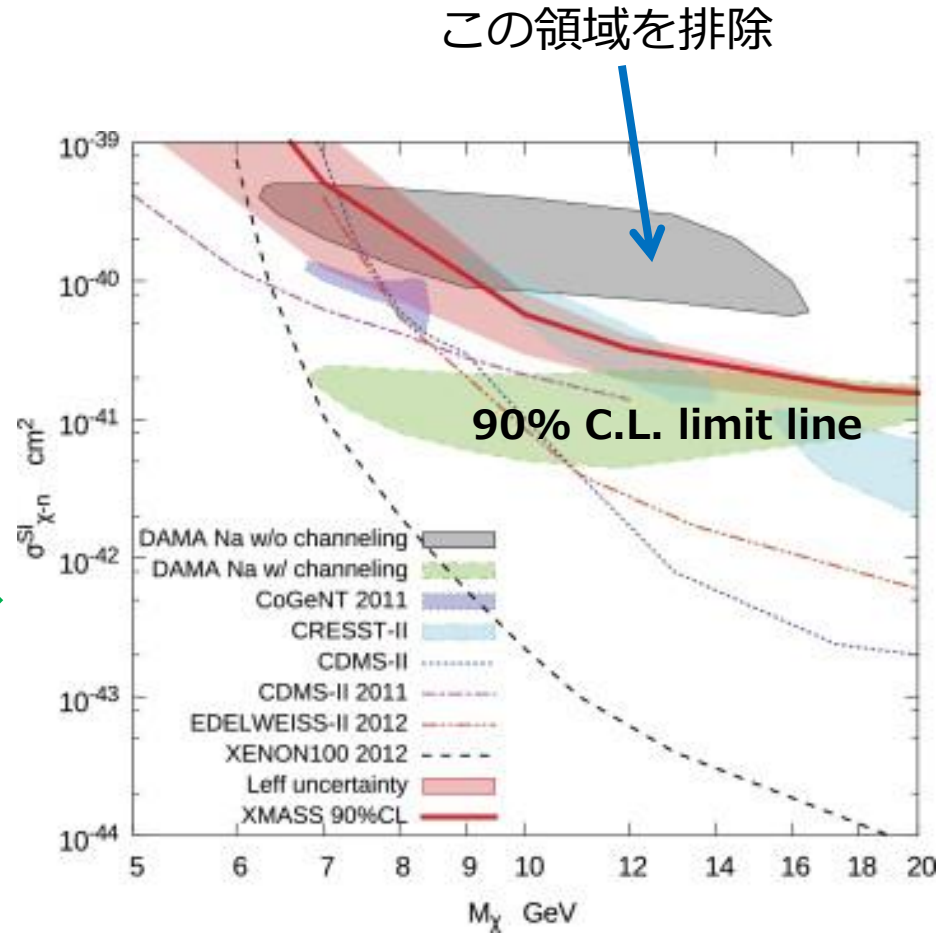
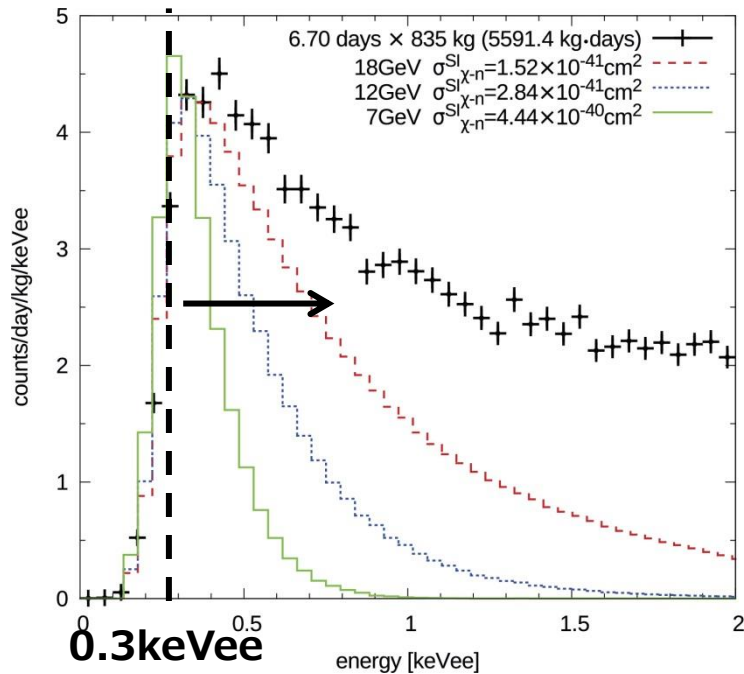
- Hit時間分布のRMSが100ns以内
 - PMTのアフターパルスによるHit事象を除外
- 直前の事象との時間差が10ms以上
 - 高エネルギー事象の直後に生じるノイズ事象を除去
- IDのみからのTriggerに一致
 - 宇宙線由来のミュオンをveto

Each step of Data reduction



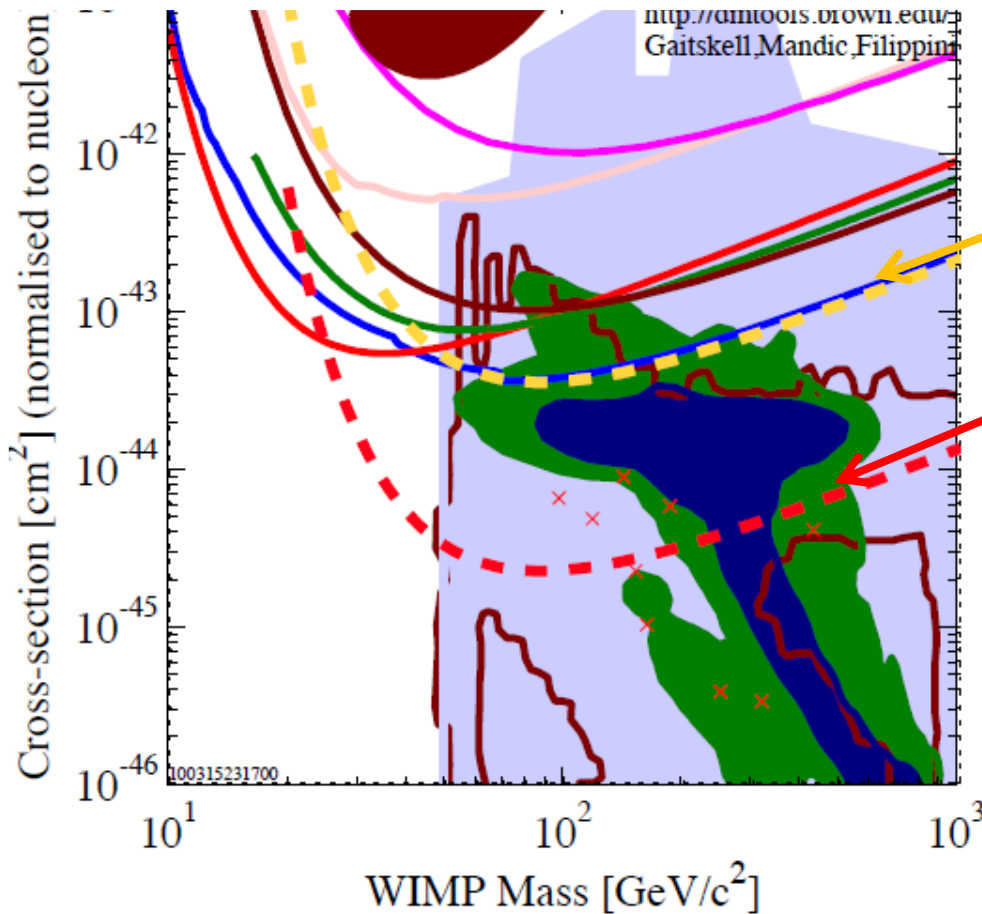
Results

- 期間：2012年2月の6.7日分
- 5591.4 kg day exposure
- エネルギー閾値 0.3keVee
(トリガー効率が50%)



WIMPsの存在が示唆されていた領域の一部を排除

Prospects



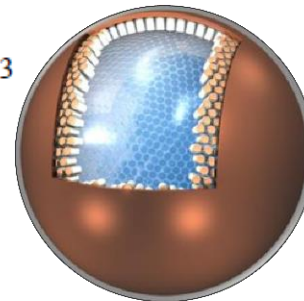
主要なBGであるPMTを抜本的に改造
 ➤ BGの影響を減らし、今夏に再稼働予定

XMASS 800kg 10days

XMASS 800kg 1year

- 2015~ XMASS-1.5
 (ターゲット質量 1t) を計画

~Future



- ◆ 10ton FV(24ton LXe)
 - solar ν
 - $0\nu\beta\beta$