

計B01

大型実験装置による暗黒物質の直接探索

「宇宙の歴史をひもとく地下素粒子原子核研究」

2015年領域研究会@神戸大学

2015/05/16

山下雅樹

東京大学宇宙線研

for XMASS collaboration



XMASS検出器

$\phi 10\text{m} \times 10\text{m}$ water shield

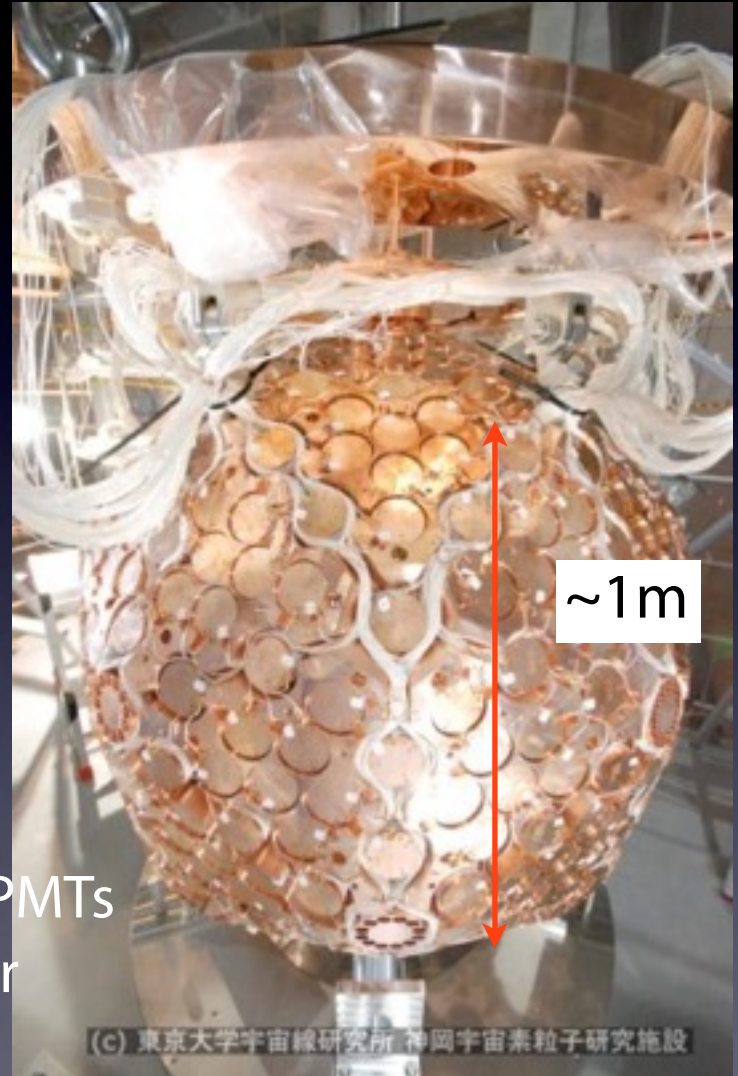


10 m

- $\phi 10\text{m} \times 10\text{m}$ ultra pure water shield with 20 inch x 70 PMTs for muon veto
- 暗黒物質直接探索でいち早く導入
- 現在の探索ではGran Sassoでも銅、鉛シールドはX

XMASS検出器

RI in PMT	Activity per 1PMT(mBq/
238U-chain	0.70+/-0.28
232Th-chain	1.51+/-0.31
40K	<5.1
60Co	2.92+/-0.16



- 642 ultra low background 2 inch PMTs
- Largest detector: 832 kg of LXe for sensitive volume.

The XMASS collaboration:

Kamioka Observatory, ICRR, the University of Tokyo: K. Abe, K. Hiraide, K. Ichimura, Y. Kishimoto, K. Kobayashi, M. Kobayashi, S. Moriyama, M. Nakahata, T. Norita, H. Ogawa, H. Sekiya, O. Takachio, A. Takeda, M. Yamashita, B. Yang

Kavli IPMU, the University of Tokyo: J.Liu, K.Martens, Y. Suzuki

Kobe University: R. Fujita, K. Hosokawa, K. Miuchi, Y. Ohnishi, N. Oka, Y. Takeuchi

Tokai University: K. Nishijima

Gifu University: S. Tasaka

Yokohama National University: S. Nakamura

Miyagi University of Education: Y. Fukuda

STEL, Nagoya University: Y. Itow, R. Kegasa, K. Kobayashi, K. Masuda, H. Takiya

Sejong University: N. Y. Kim, Y. D. Kim

KRISS: Y. H. Kim, M. K. Lee, K. B. Lee, J. S. Lee

Tokushima University: K.Fushimi



日本と韓国からなる11大学／研究施設が参加する

XMASS検出器の特徴

XENON100 62kg

LUX 250kg

DAMA 250kg

XMASS:832kg

Target Mass

—例えば電子反跳ではDAMA/LIBRAの $E_{th}=2keV$ をカバーできているのはXMASSのみ。

— 4π photocavarage, 電場による消光がない。

—Target 質量ではXMASSが一番大きい。

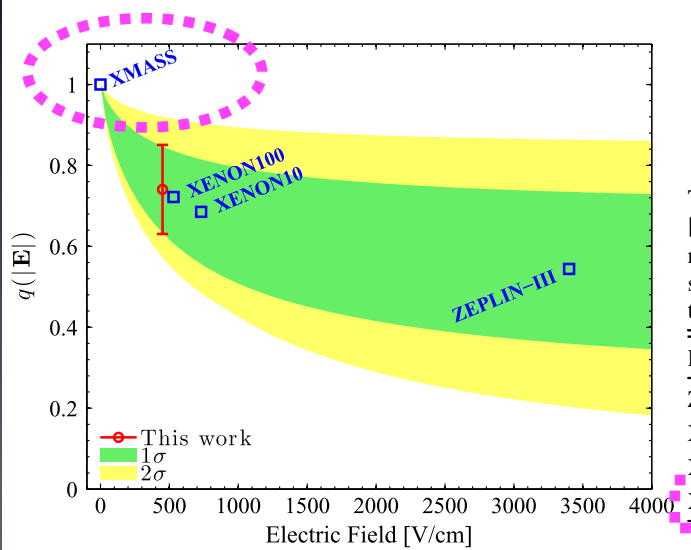


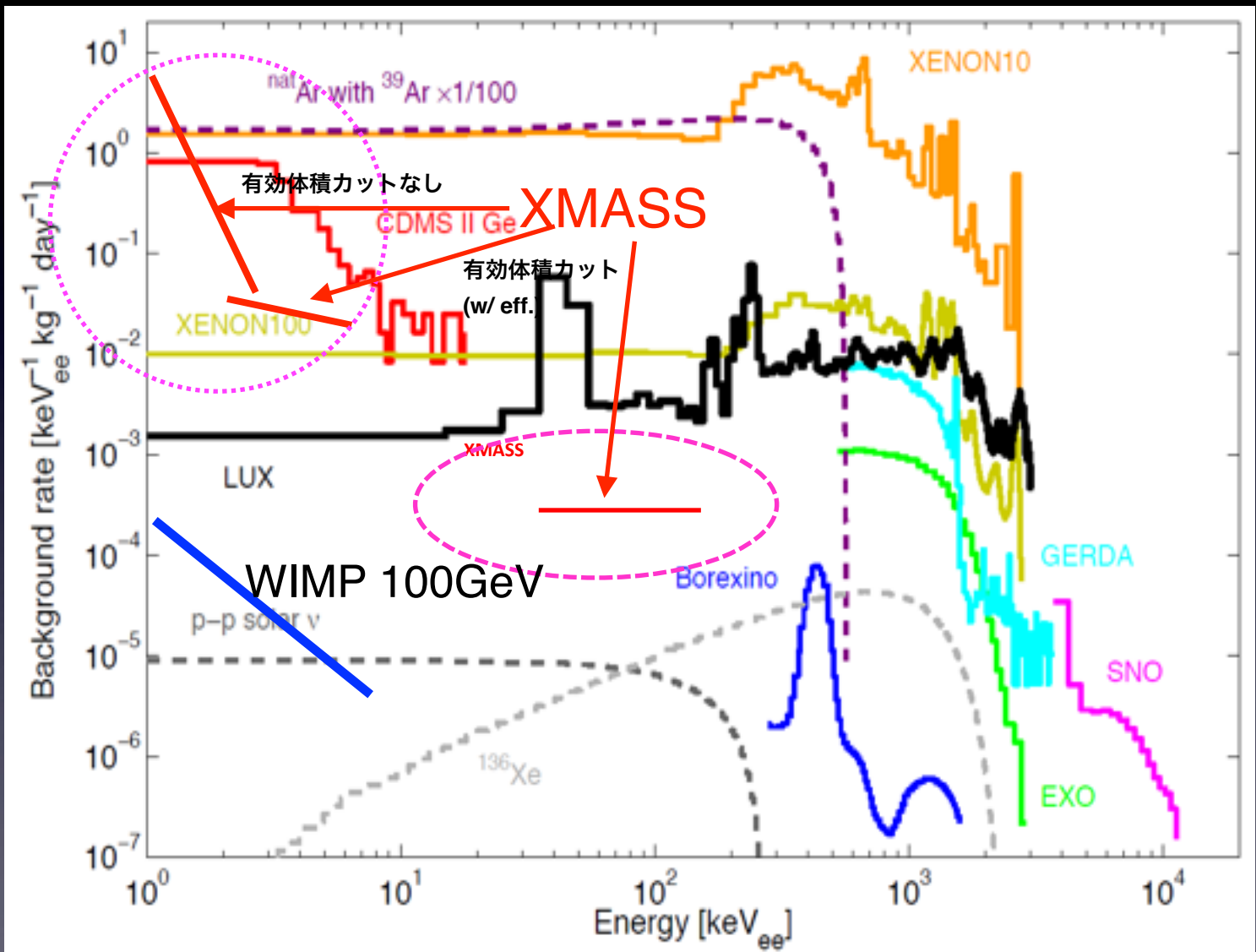
TABLE II. Four recent dark-matter searches using LXe: the second science run of ZEPLIN-III [49], results of XENON10 [3], the recent 225 live days reported from XENON100 [50], and the results of XMASS [7]. Shown are the applied electric fields used by each ($|\vec{E}|$), their quoted scintillation thresholds ($S1_{thr}$), their ^{57}Co light yield (LY_{Co}), and their electronic-recoil energy thresholds using this work (E_{thr}).

Experiment	$ \vec{E} $ (V/cm)	$S1_{thr}$ (PE)	$LY_{Co}(\frac{PE}{keV})$	E_{thr} (keV)
ZEPLIN-III	3400	2.6	1.3	$2.8^{+0.5}_{-0.5}$
XENON10	730	4.4	3.0	$2.5^{+0.4}_{-0.3}$
XENON100	530	3.0	2.3	$2.3^{+0.4}_{-0.3}$
XMASS	0	4.0	14.7	$1.1^{+0.4}_{-0.2}$

電場による消光

電場

これからの課題 (バックグラウンド)



この一年の成果

内容

● 物理結果

昨年度の成果（本発表）




- Bosonic Super-WIMPs, *Phys. Rev. Lett.* **113 (2014) 121301**
→ Chosen as Editor's suggestion
- Inelastic scattering on ^{129}Xe , *PTEP* **2014, 063C01**
- ^{124}Xe 二重電子捕獲の探索
- 自己遮蔽を用いた暗黒物質探索
- 季節変動を用いた暗黒物質探索

学会などで報告され、近々
まとめられる成果

● 低バックグラウンドにおける成果

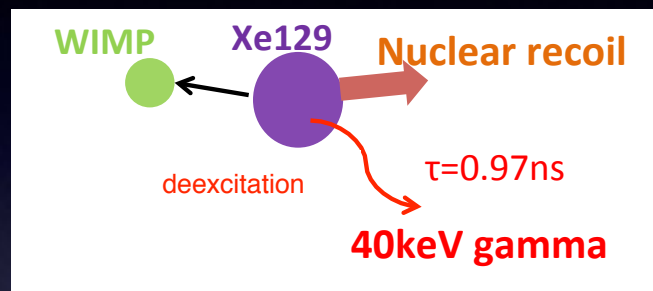
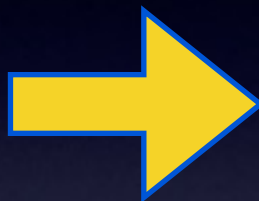
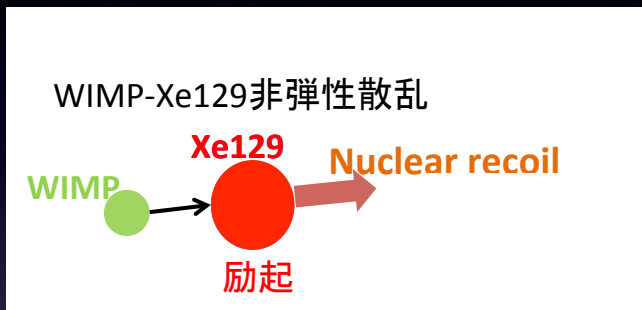
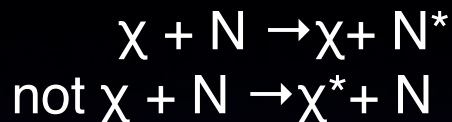
- 低バックグラウンド3inch ドーム型PMT
- α 線カウンター(表面の放射性不純物を測る)

次世代検出器
XMASS1.5に向けて



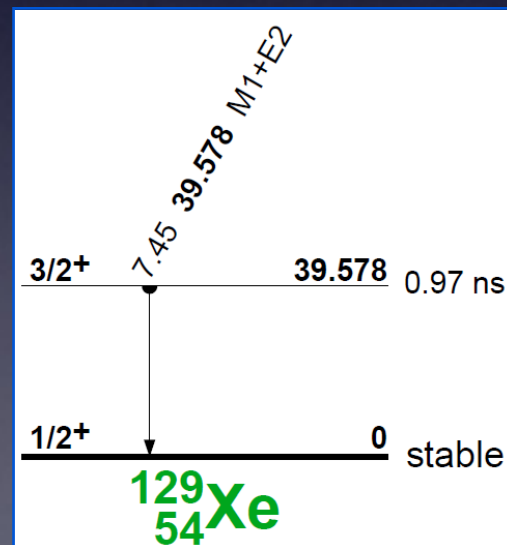
Search for ^{129}Xe Inelastic scattering by WIMP

PTEP 2014, 063C01



✓ Dark Matter Search by ^{129}Xe inelastic scattering

✓ 40 keVが同時に発生するユニークな探索。
(NaI, Iodine などでも)

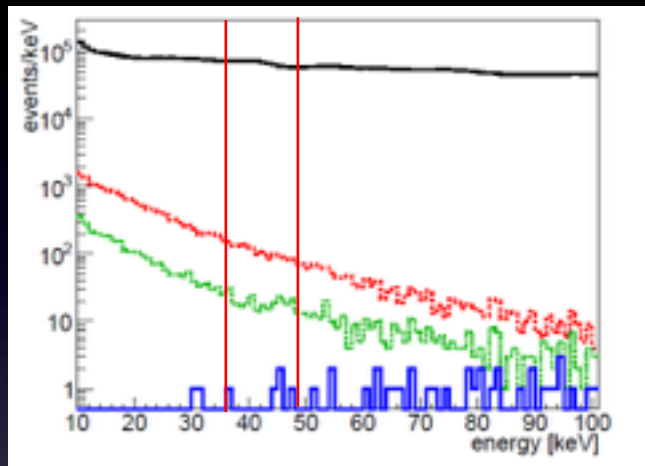
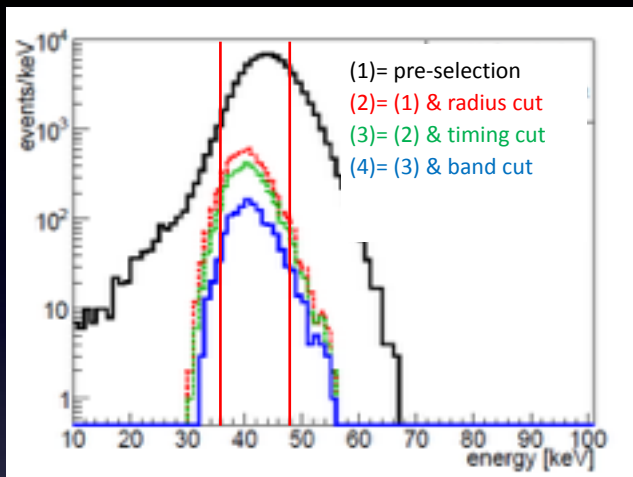


Search for ^{129}Xe Inelastic scattering by WIMP

PTEP 2014, 063C01

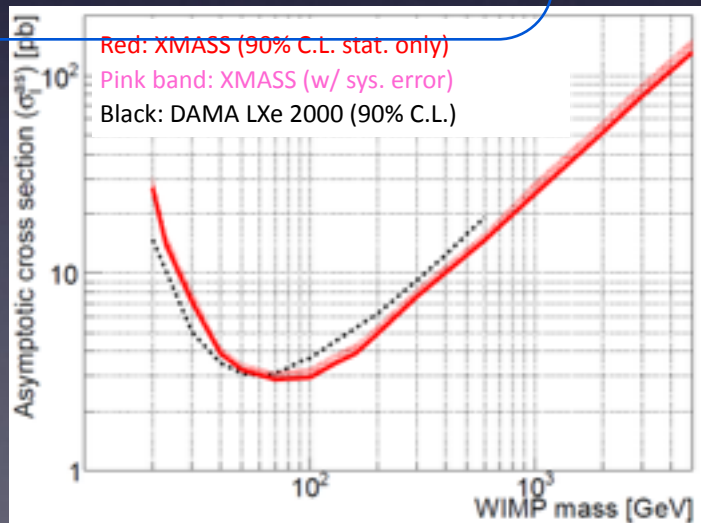
信号のMCとカット

Observed data (165.9 days)



- ✓ 40 keVが同時に発生するユニークな探索。
(NaI, Iodine などでも)
- ✓ 41 kg の有効質量, 2010/12/24-2013/05/10
165.9日のデータ。
- ✓ 光電子と時間情報、パターンによるカット
- ✓ 3pb at 100 GeV.(>80GeVで最も厳しい制限)

excitation cross section [pb]

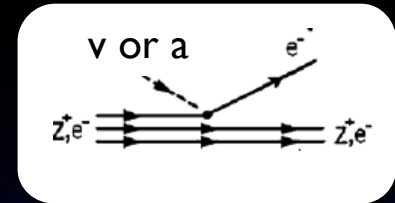


Masaki Yamashita

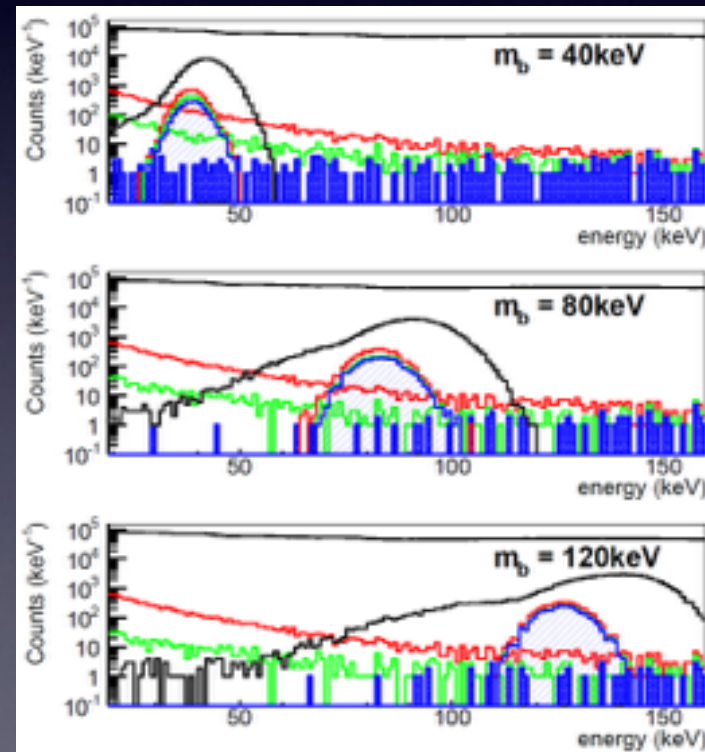
Search for Bosonic super-WIMPs

Phys. Rev. Lett. **113** (2014) 121301

- ダークマターの候補はたくさんあり、Miracle な WIMP だけではなく、今の所 SUSY は見つからないのだから、様々な候補を探索するのは重要である。
- 一方、CDM は、宇宙の大規模構造をよく説明できるが、銀河スケールでの食い違いが指摘されている。 => Warm Dark Matter
- sterile neutrino や gravitino が候補となるがこれらは検出できない。。。
- その他、より軽く、弱く相互作用する Super-WIMP が候補
- pseudoscalar or vector boson.
- 光電効果のように検出媒体にエネルギーを落とすので検出が可能である。
- 質量に相当する peak を探索する。

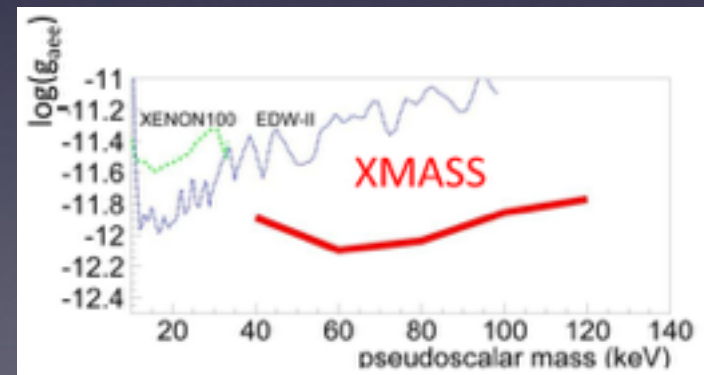
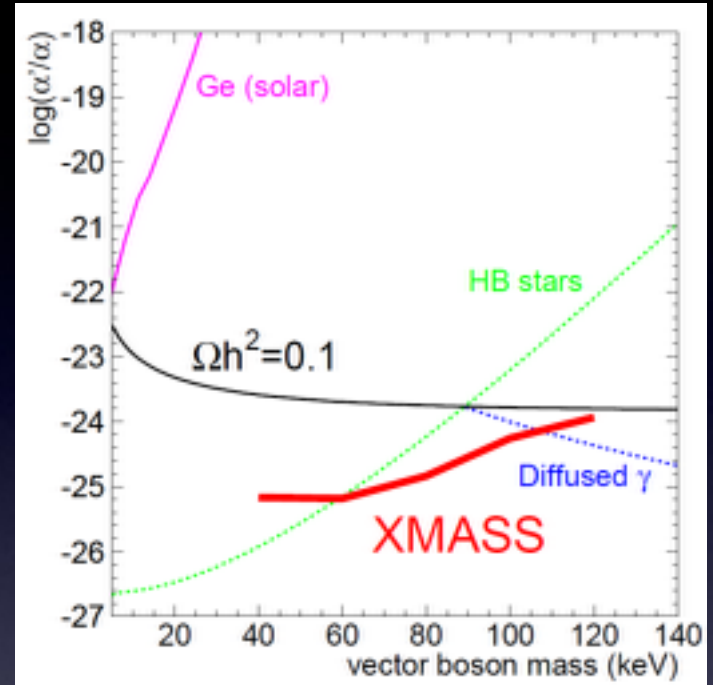


観測データと信号(MC)



Bosonic super-WIMPs Search Results

- 初めての直接観測が行われた。
(非弾性散乱探索と同じデータセット)
- Vector-boson case:
 - このタイプのWarm Dark Matterを否定。
- Pseudoscaler case:
 - The most stringent direct constraint on gae.



低バックグラウンドにおける成果

- 低バックグラウンド3inch ドーム型PMT
- アルファカウンター

R13111



表面 α 粒子カウンター



神岡地下、クリーンルーム

ドーム型3inch Hamamatsu PMT(R13111)

180度が視野に入る魚眼PMT.

- 壁際事象が視野に入り、バックグラウンドを効率的に落とす。
- effective areaが上昇

前回よりも3桁以上U/Thの低いアルミシール

3インチにすることで大型化に対応。

試作に成功

ダイノード構造、電圧分配についても大幅な改良を加えて

- 収集効率が均一、最も低い場所でも80%以上ある。(QEは~30%)
- TTSの大幅改善。時間分解能を上げチェレンコフ事象の除去率を上げる。
- R10789 5.6nsec → R13111 <3.5nsec

部材の放射能を従来の六角PMT(R10789)の1/10を目指し、スクリーニン

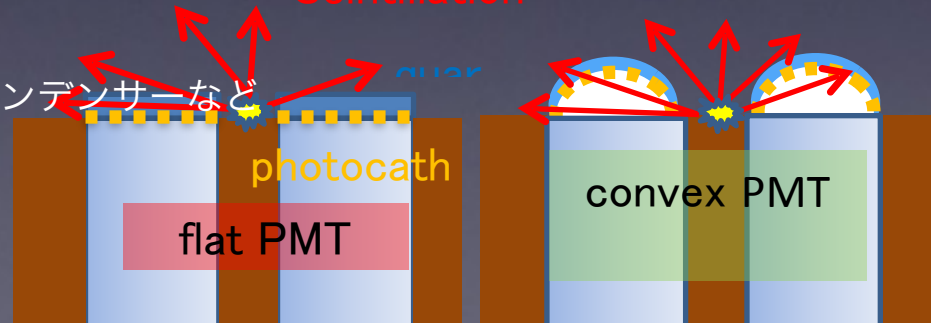
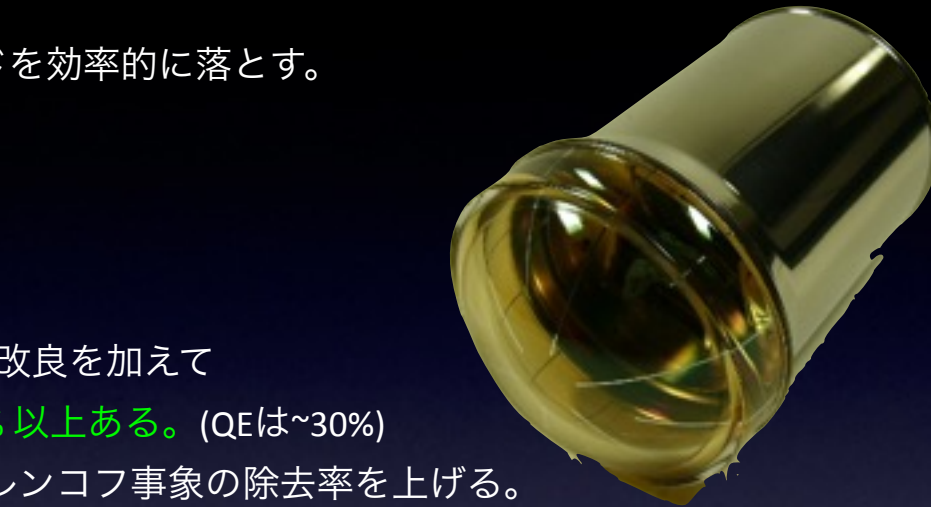
目標値は(回路込みで)

U/Th系列 ~0.1 mBq/PMT, 60Co ~0.3 mBq/PMT, 40K ~1 mBq/PMT

- ガラス、側管素材が大きな寄与をしているので減らそうとしている。

ガラスは材料から製作

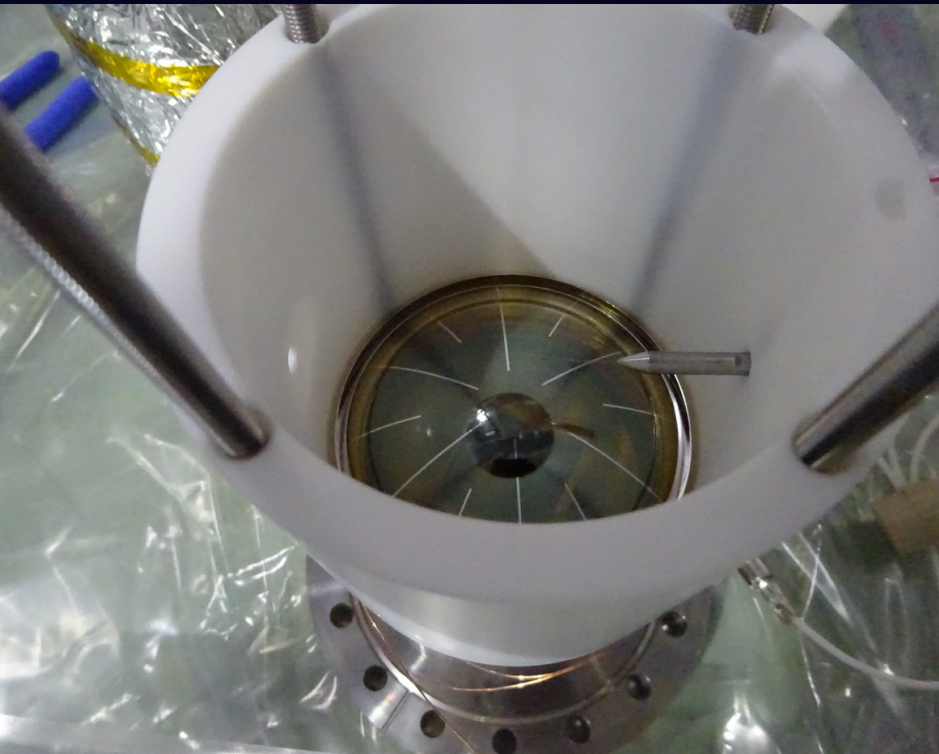
側管金属はコバルトから変更、コンデンサーなど



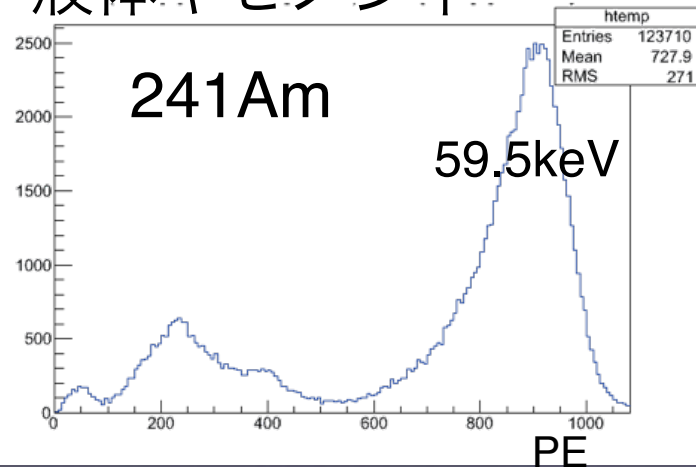
動作試験

試作品が到着

- QE, TTS, 収集効率などが設計通りの性能が確認できた。
- 低温テストや液体キセノン中での性能試験を開始した。
- 今の所順調に進んでいる。



液体キセノン中



表面に由来するバックグラウンド

—表面に由来するバックグラウンドはしばしば**検出器の感度を決める重要な component.**

—液体／ガス検出器の場合、内部バックグラウンドは後から対応できる。

—解析のキーは如何にこの表面バックグラウンドを減らすかが多くの実験で見られる。
(シンチレータ、Ge検出器などなど)

—しかし、表面のバックグラウンドの測定となると非常に難しい。

—空気中のRadonの娘核が付着した場合、 ^{210}Pb や ^{210}Po がバックグラウンドとなるがHPGeでは感度が悪く、ICP-MS, GD-MSなども役に立たない。

—しばしば**実機自体が一番感度良く測れるため、実験が始まってから頭を悩ます。。。**

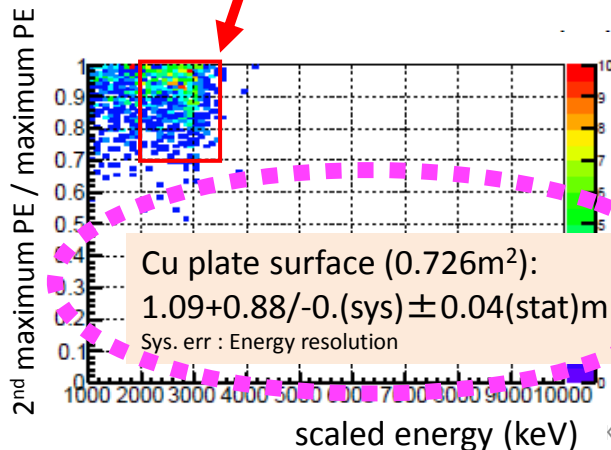
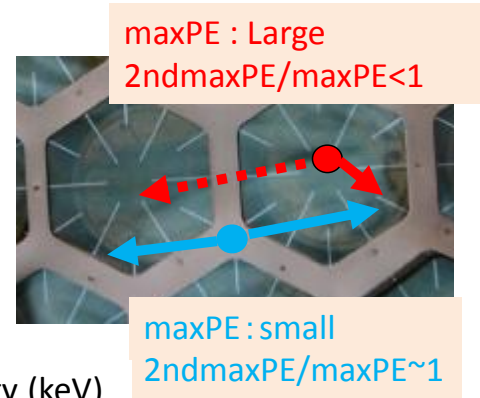
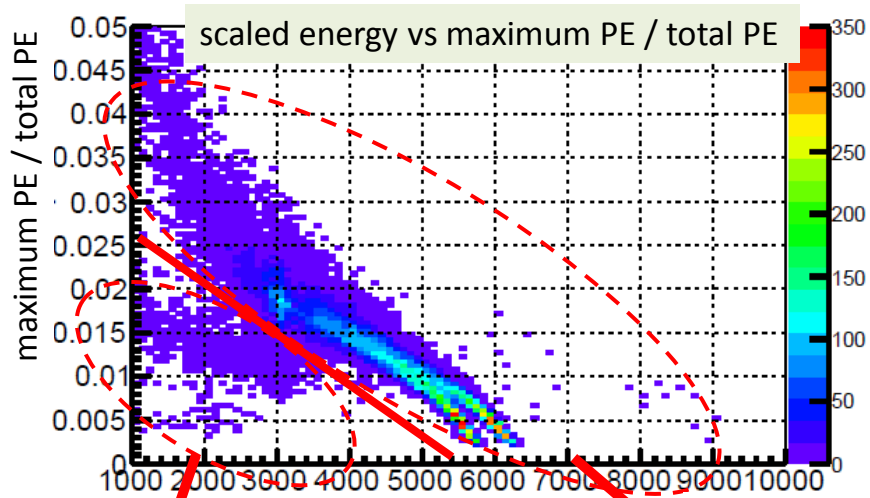
(今後のさらなる大型検出器では。。。)

—**表面のバックグラウンドを定量的に測りたい!**

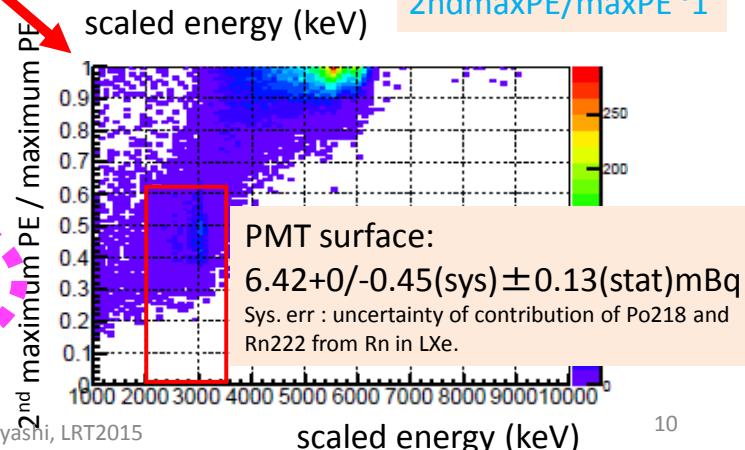
—**前もって、制作／建設中のどの過程で放射性物質が付着したのか原因究明し、さらにはより低バックグラウンド化を進めていきたい!**

XMASSでの現状：無酸素銅＋電解研磨のプレートト

surface background after RFB



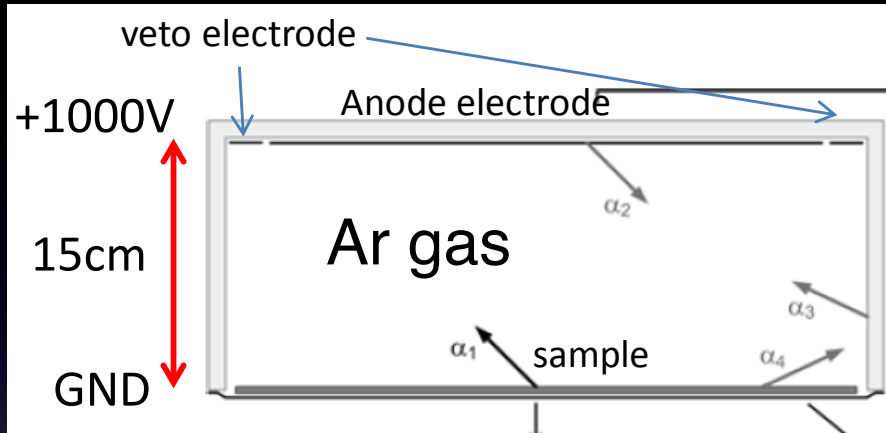
©.Kobayashi, LRT2015



10

銅の表面 => ~0.8 x 10⁻³ alpha/sec/m²

低バックグラウンドαカウンター(XIA Ultra-Lo-1800) 表面α粒子カウンター



神岡地下、クリーンルーム

メーカー実績では、
 $\sim 1.6 \times 10^{-3}$ alpha/s/m²

$\sim 0.4 \times 10^{-3}$ alpha/s/m²
をすでに実現

XMASS実機 ($\sim 0.8 \times 10^{-3}$ alpha/s/m²)

- 2015年に地下実験施設に初めて導入
- 宇宙線、電解研磨ガスライン、などの改善を経てbackgroundが改善。
- メーカー実績値よりも $<1/3$ に減らすことに成功した。
- 今後、さらに改良を加えるとともに、このカウンターを利用し放射性物質付着の原因究明やその低減を行なっていく予定。

Summary

✓ 物理結果

- Bosonic Super-WIMPs, *Phys. Rev. Lett.* **113 (2014) 121301**
- Inelastic scattering on ^{129}Xe , *PTEP* **2014, 063C01**

✓ 低バックグラウンド化における成果

- ✓ 3inch ドーム型PMTのstatus
- ✓ α カウンターのstatus

✓ 近々

- ^{124}Xe 二重電子捕獲の探索
- 自己遮蔽を用いた暗黒物質探索
- 季節変動を用いた暗黒物質探索

