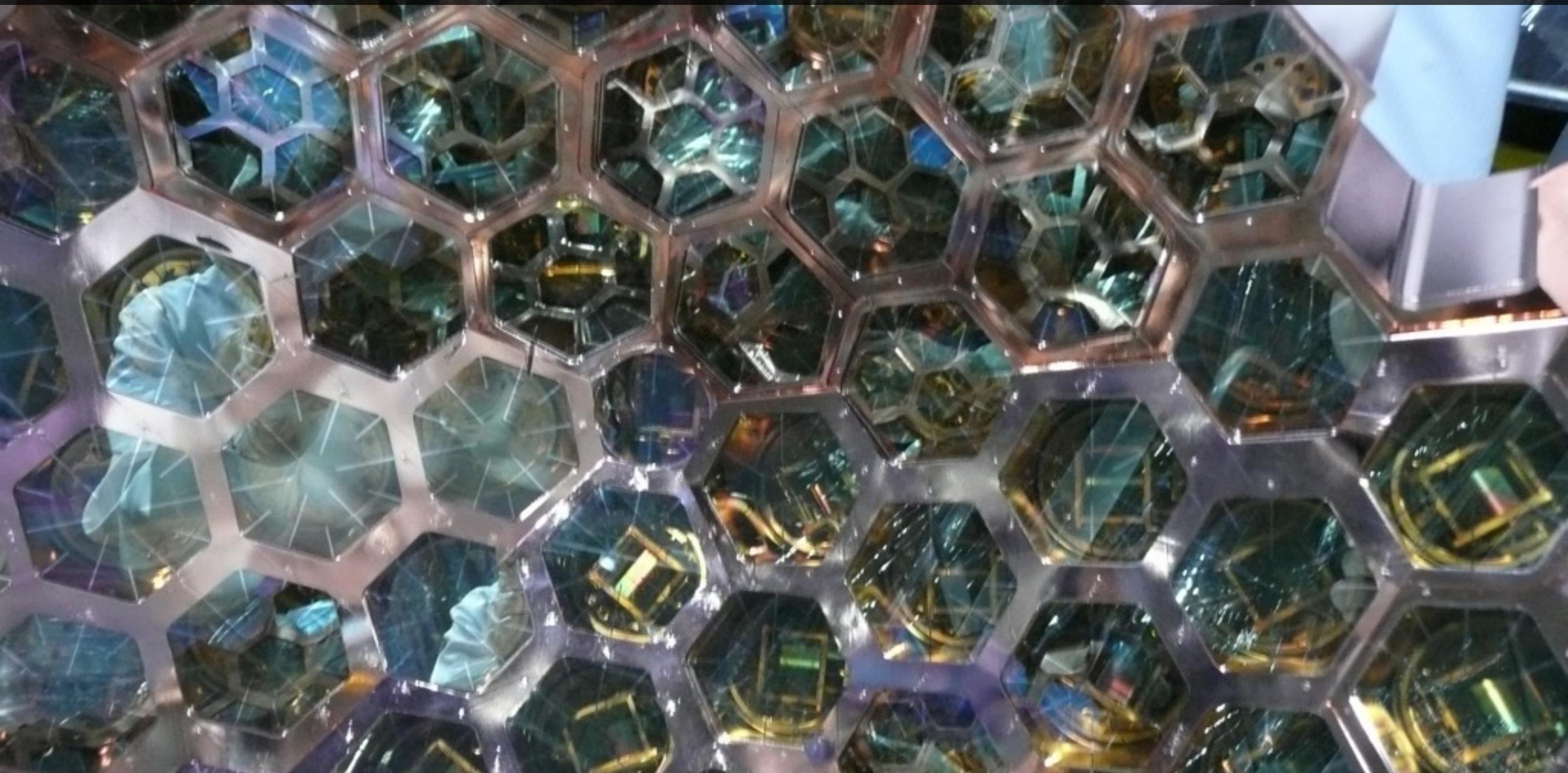


XMASS実験



東大宇宙線研 市村 晃一

for XMASS collaboration

平成26年度 宇宙線研究所 共同利用研究成果発表会

2014年12月13日



発表内容



★ XMASS実験

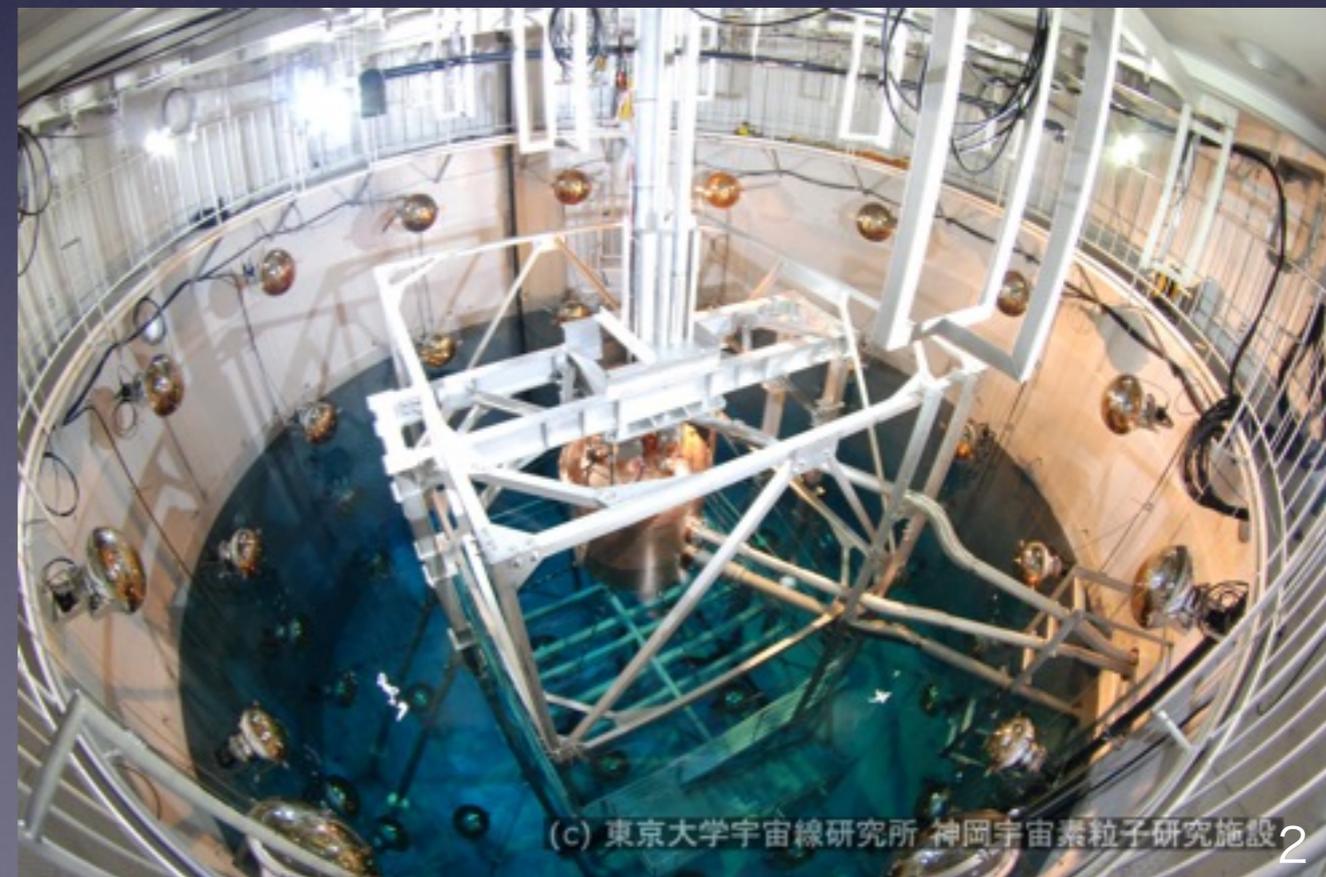
★ 今年度発表した物理結果

- Bosonic super-WIMPs
- ^{129}Xe inelastic scattering by WIMPs

★ XMASS改修後の現状

★ これからのXMASS実験

★ まとめ





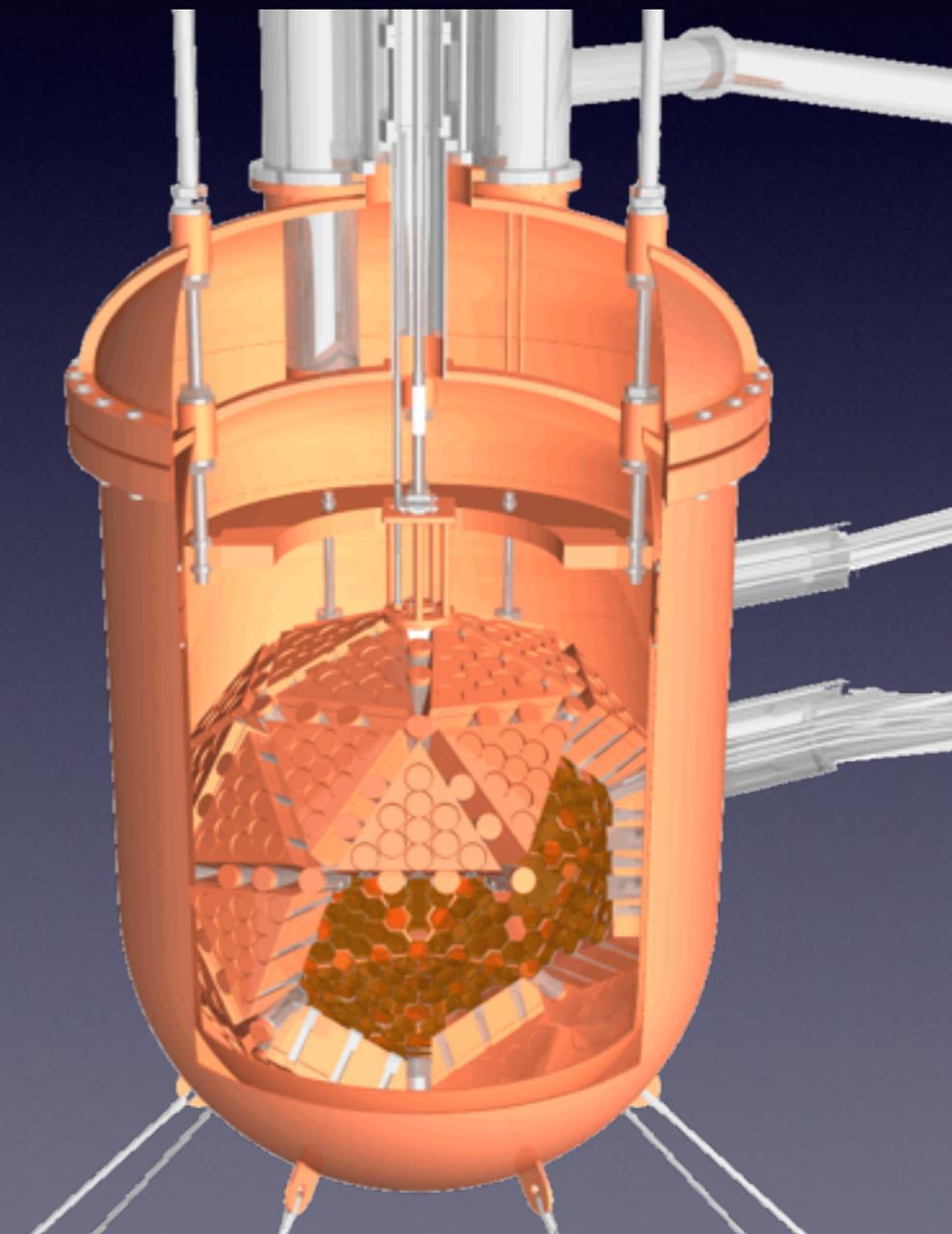
XMASS実験



- ★ 832 kgの液体キセノン1相型の実験
- ★ 642本のPMTで発光を観測

XMASS実験の特徴

- ★ 大発光量 (~ 13.9 p.e. /keV_{ee})と低しきい値 (0.3keV_{ee})
 - Low mass WIMP探索やsolar axion探索
- ★ 原子核散乱の他、電子散乱にも感度がある
 - Bosonic Super-WIMPsや暗黒物質の非弾性散乱事象の探索も可能
- ★ 832kgという大容量の標的核と、将来の大型化に適した形状





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 and B.Yang
- **Kavli IPMU, the University of Tokyo** : J.Liu, K.Martens and Y.Suzuki
- **Kobe University** : R.Fujita, K.Hosokawa, K.Miuchi, Y.Onishi, N.Oka and 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 and H.Takiya
- **Sejong University** : N.Y.Kim and Y.D.Kim
- **KRISS** : Y.H.Kim, M.K.Lee, K.B.Lee and J.S.Lee
- **Tokushima University** : K.Fushimi

~40 collaborators

11 institutes

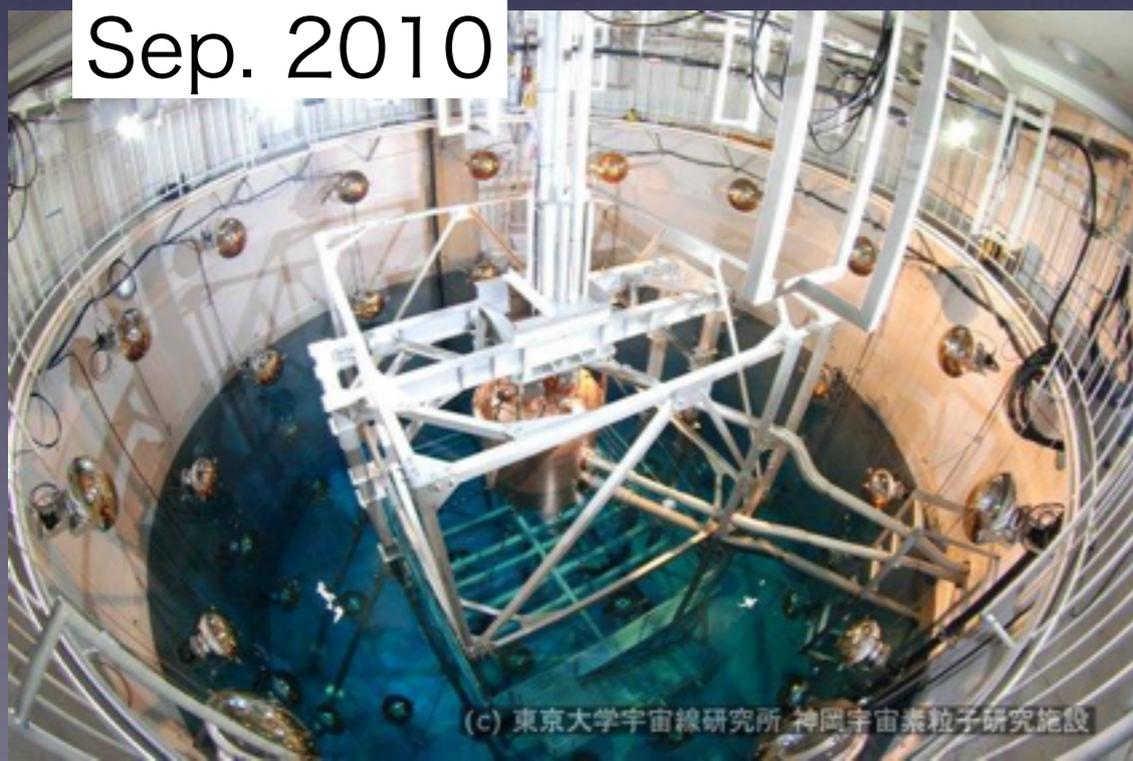




XMASS実験の歴史



Sep. 2010



(c) 東京大学宇宙線研究所 神岡宇宙素粒子研究施設

Aug. 2013





コミットメントランのデータを用いた物理結果

- Light mass WIMP search (Phys. Lett. B 719 78 (2013))
- solar axion search (Phys. Lett. B 724 46 (2013))
- Bosonic super-WIMPs (NEW!)
- ^{129}Xe inelastic scattering by WIMPs (NEW!)



Bosonic Super-WIMPs



モチベーション

- ★ LHC実験等で今までのところSUSYの証拠が見つかっていない
- ★ WIMP等の冷たい暗黒物質を仮定する場合、宇宙空間の銀河より小さいサイズの構造に対して予想される構造が現実より複雑なものになってしまう

→ **WIMPに限らず、様々な暗黒物質候補を探索する価値が上昇!**

Bosonic Super-WIMPs

- ★ WIMPより軽く、より相互作用が弱い
- ★ lukewarmダークマター候補
- ★ pseudoscalarとvector bosonの候補があり、vector bosonの場合はdark/para/hidden photonとも呼ばれる
- ★ vector bosonの場合はastrophysicalな制限しか存在しない
- ★ 観測される信号は電子散乱事象：XMASSで探索可能



Bosonic Super-WIMPs



(1) Pre-Selection

(2) (1)+位置のカット ($R < 15\text{cm}$)

(3) (2)+PMTのヒット時間を用いた表面事象のカット

(4) (3)+ 発光パターンを用いた表面事象のカット

★ 期待される信号：SuperWIMPの静止質量と等しいエネルギーにピークを持つ電子散乱信号

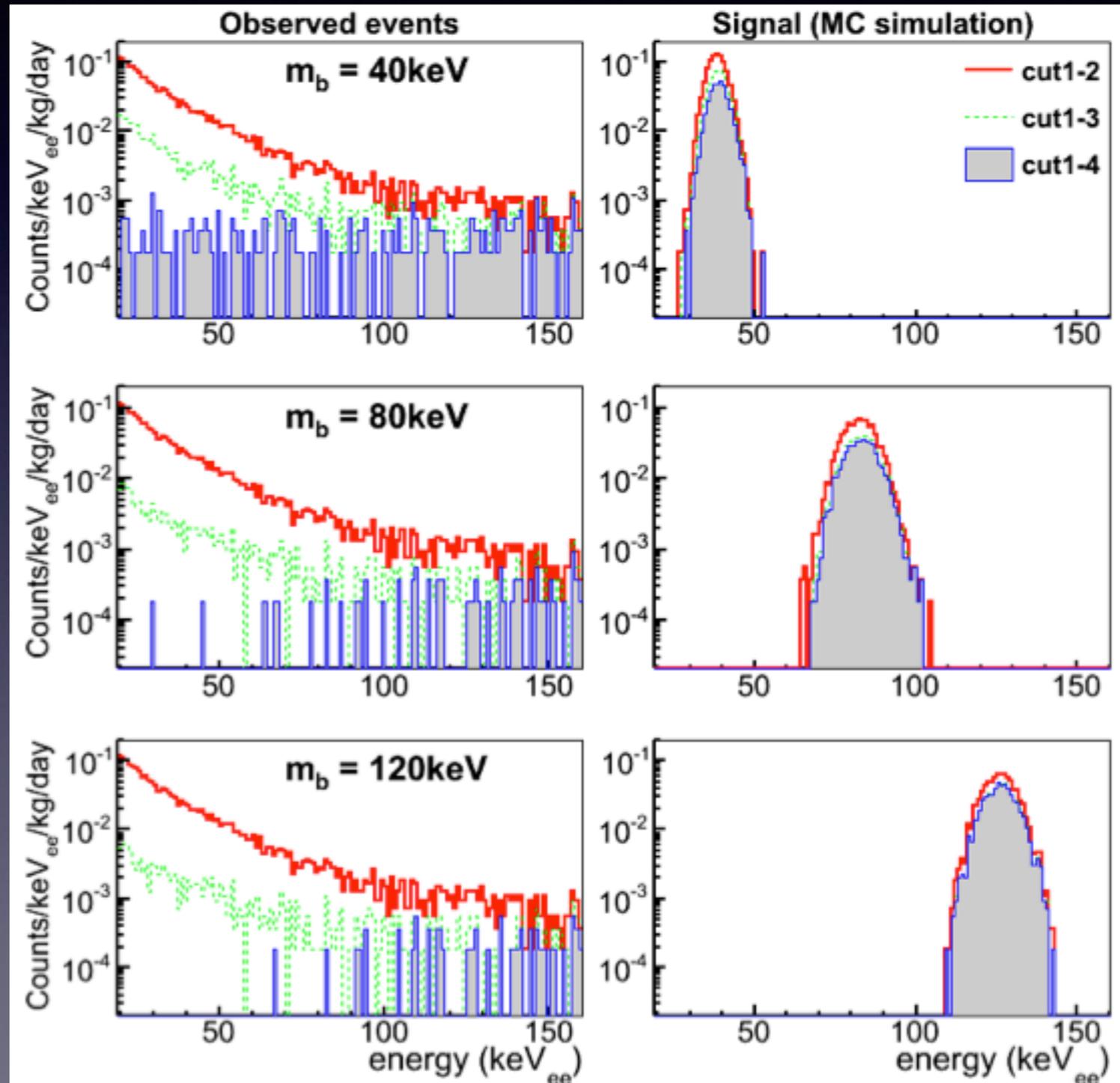
• Pospelov et, al. Phys. Rev. D 78 115012 (2008)

★ 166日、41kgの有効体積で探索

★ カットは各SuperWIMP質量で最適化

★ 残った事象数は ^{214}Pb から予想されるBG事象数と一致：

Photoelectric-like interaction





Bosonic Super-WIMPs



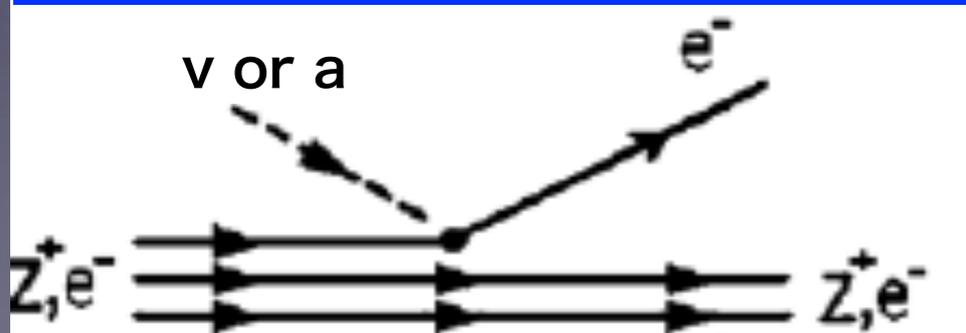
★ 期待される信号：SuperWIMPの静止質量と等しいエネルギーにピークを持つ電子散乱信号

- Pospelov et, al. Phys. Rev. D 78 115012 (2008)

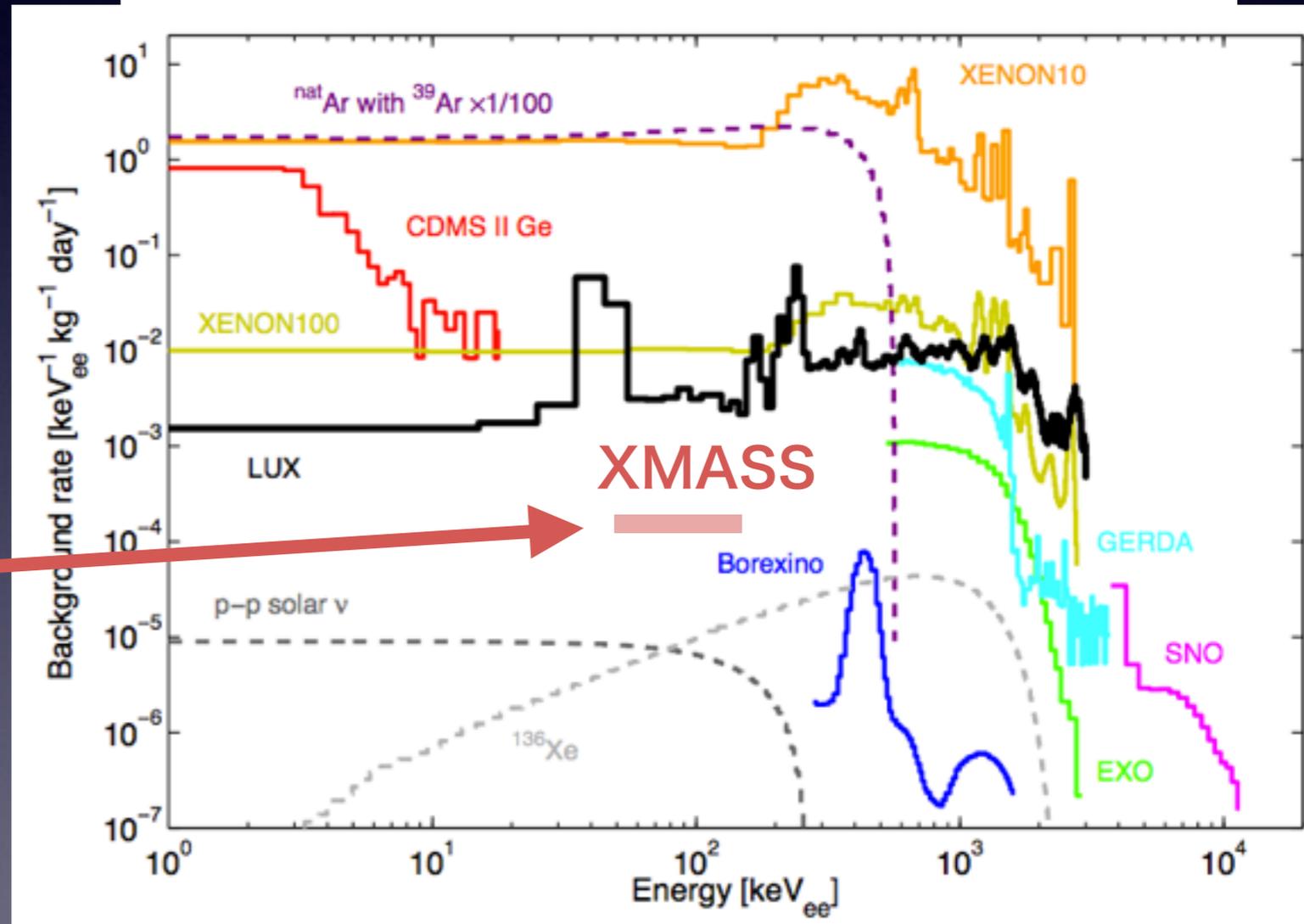
- ★ 166日、41kgの有効体積で探索
- ★ カットは各SuperWIMP質量で最適化
- ★ 残った事象数は ^{214}Pb から予想されるBG事象数と一致：

$$O(10^{-4})/\text{day}/\text{kg}/\text{keV}_{ee}$$

Photoelectric-like interaction



各暗黒物質探索実験、 $0\nu\beta\beta$ 実験、ニュートリノ実験でPID前、有効体積カット後のBG事象数



from D.C.Malling's thesis (2013)

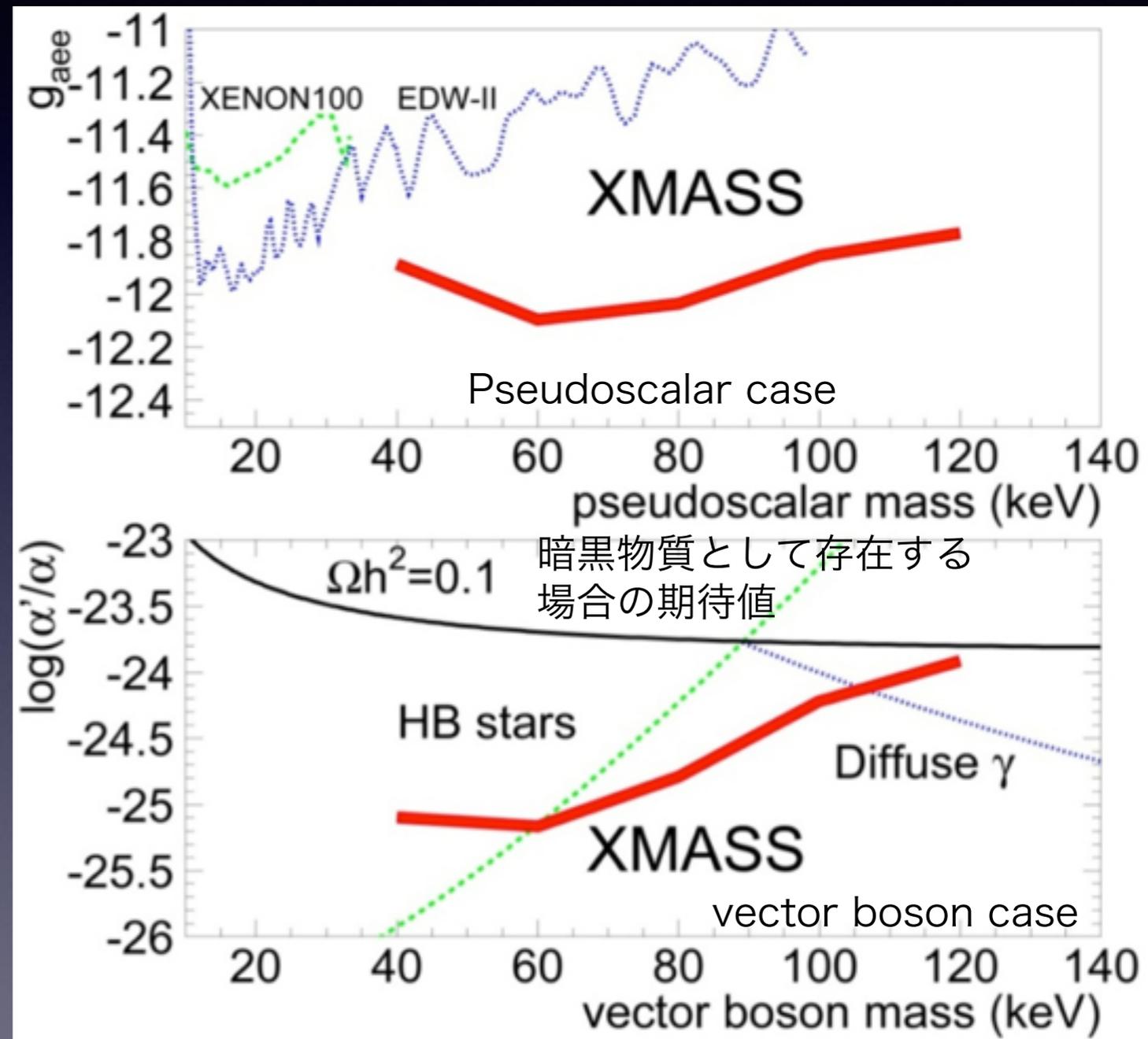
電子散乱事象探索において世界最高感度を達成している!



Bosonic Super-WIMPs

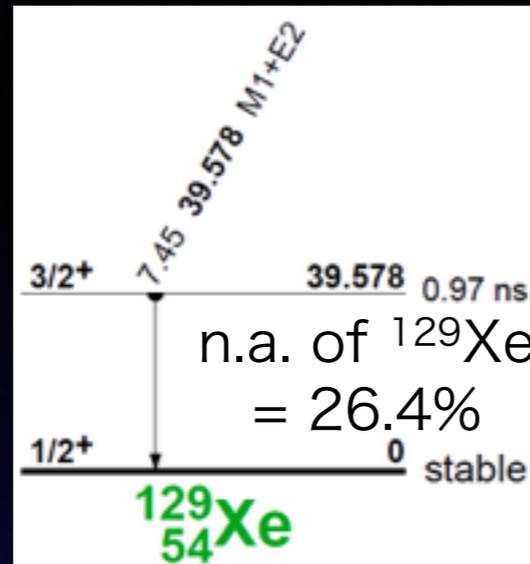


- ★ 40-120 keVの質量領域を探索
- ★ これまでで最も厳しい制限
- ★ vector bosonについては世界初の実験的な制限
 - SuperWIMPsが宇宙の暗黒物質の全てである、というシナリオを否定
- ★ Physical Review Letters 113, 121301 (2014)にて Editor's Suggestionとして掲載





^{129}Xe inelastic scattering by WIMPs



★ $\chi + ^{129}\text{Xe} \rightarrow \chi + ^{129}\text{Xe}^*$
 $\rightarrow \chi + ^{129}\text{Xe} + \gamma \text{ (39.6 keV, } \tau \sim 1.0 \text{ ns)}$

★ 39.6 keV γ + 原子核反跳のシグナルを探索

- 暗黒物質探索の中では比較的高エネルギーの探索

★ ^{129}Xe はSD相互作用にも感度がある

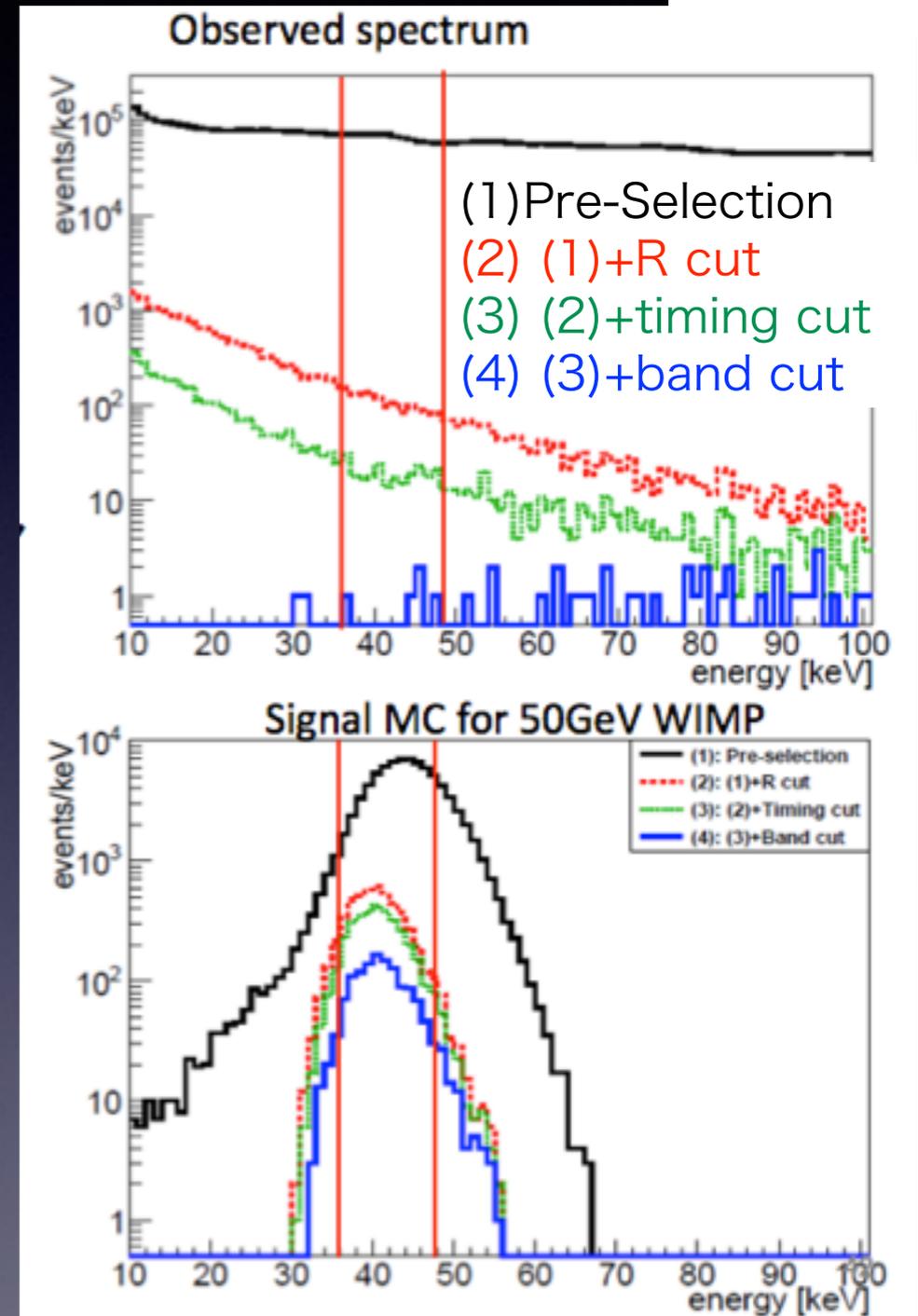
★ 弾性散乱より非弾性散乱は1桁程度頻度が低いと予想されているが、リダクションの効率が良くなれば、見込みのある探索となる。(内田 2014/03 JPS)

★ SuperWIMPsと同じ166日のデータセットを使用

★ 30-80keVでS/Nが最大になるようカットを最適化

- 10-30 keV, 80-100 keVのデータを使用

★残った事象数は $3 \times 10^{-4} / \text{day/kg/keV}_{ee}$: Xe中のRn (^{214}Pb)から予想されるBG量と一致

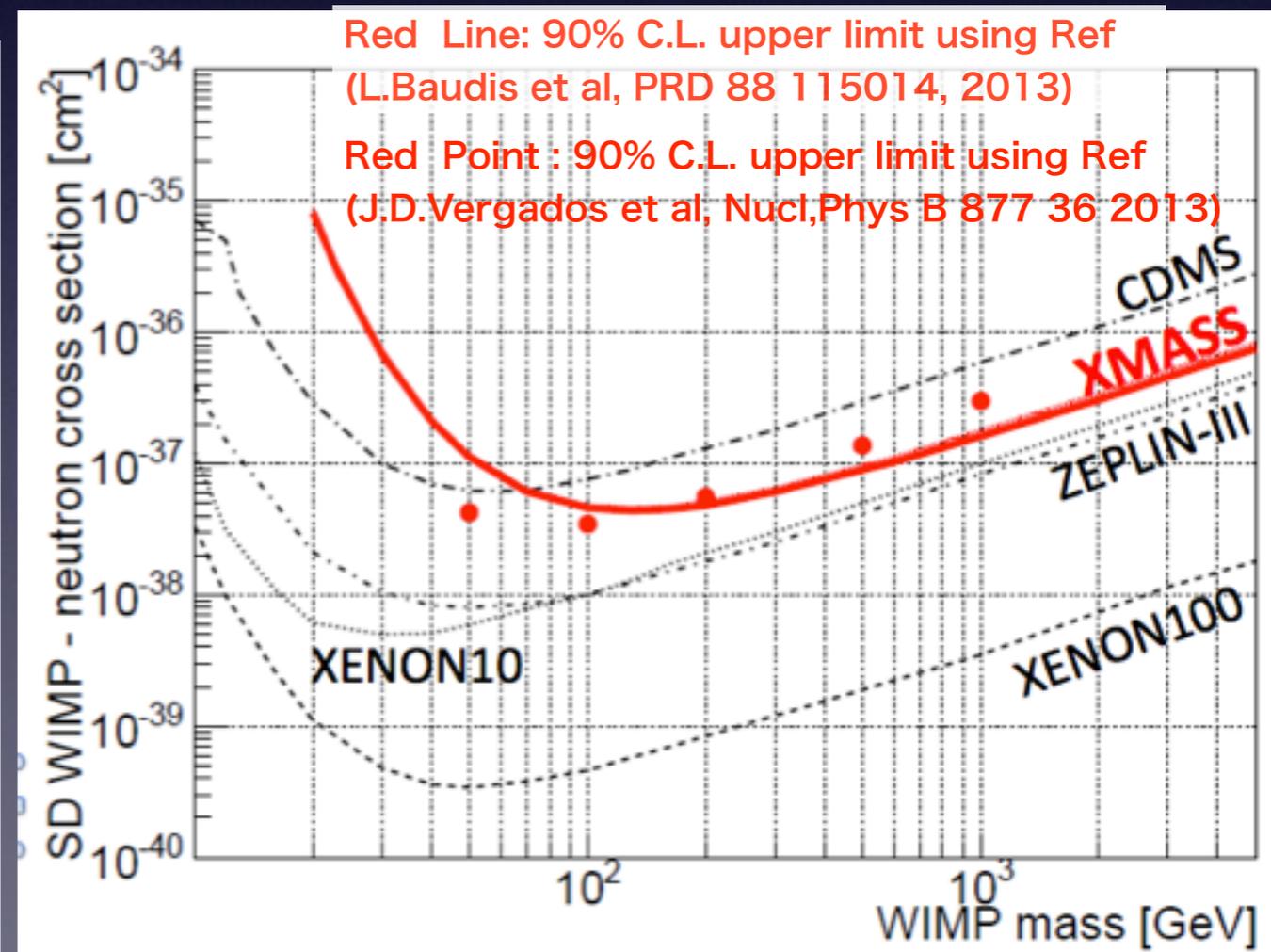
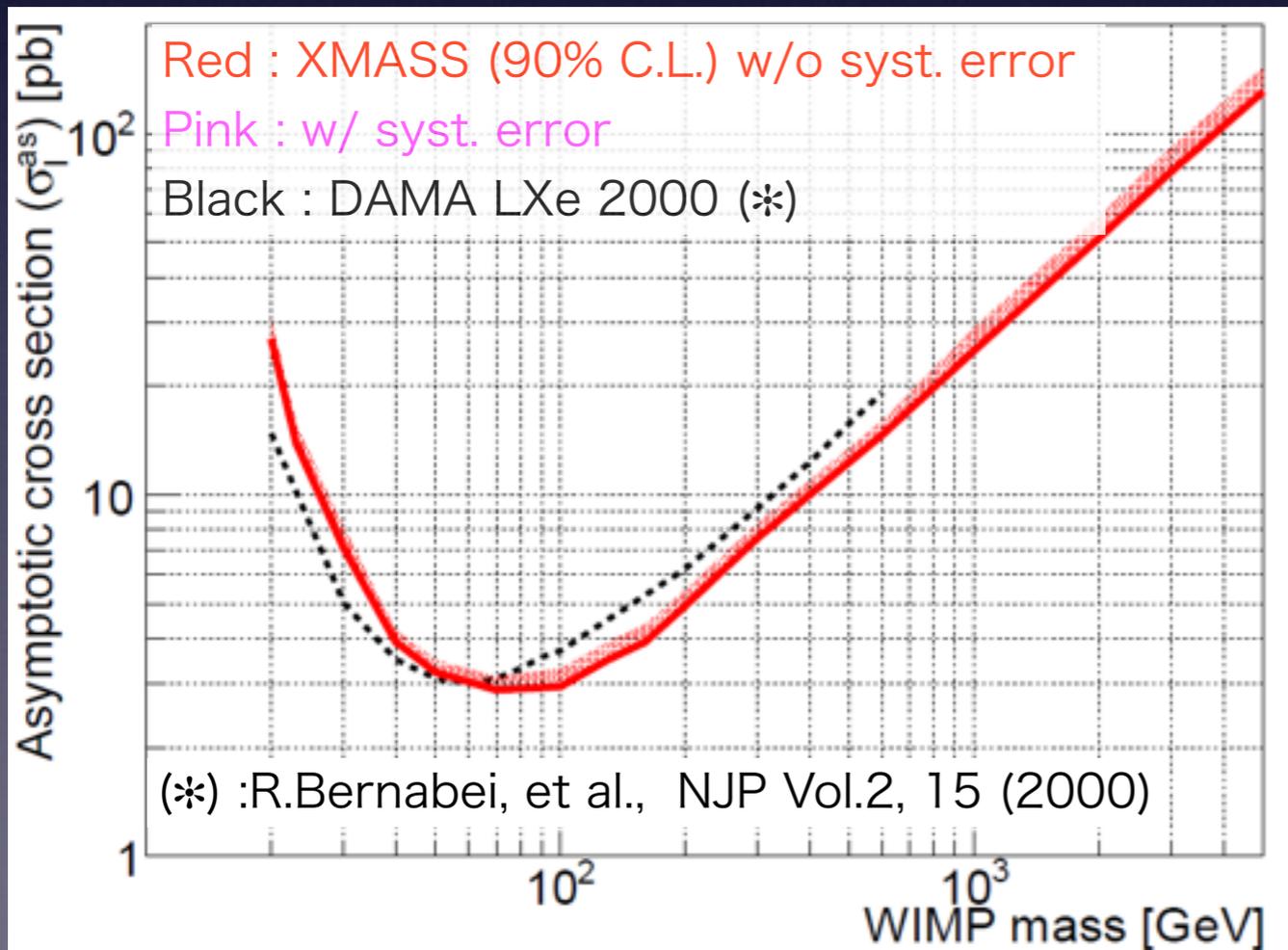




^{129}Xe inelastic scattering by WIMPs

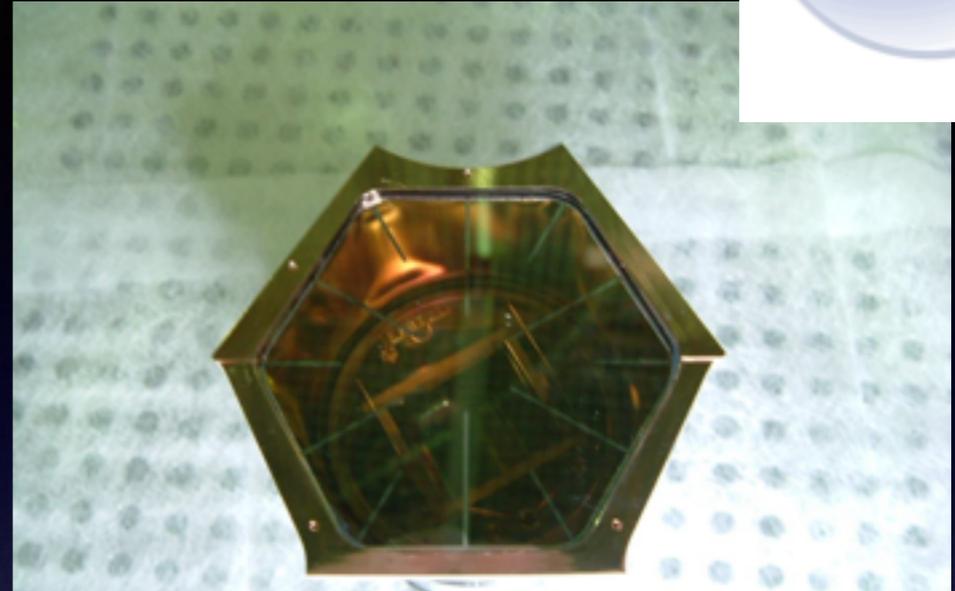


- ★ 有効体積41kg内の ^{129}Xe : 11kg、 w/o BG subtraction
- ★ 非弾性散乱の断面積 : 3.2pb(50GeV), 50GeV以上ではDAMAを超える感度
- ★ SD相互作用についても50GeVで110fb (42fb)の上限値を得た

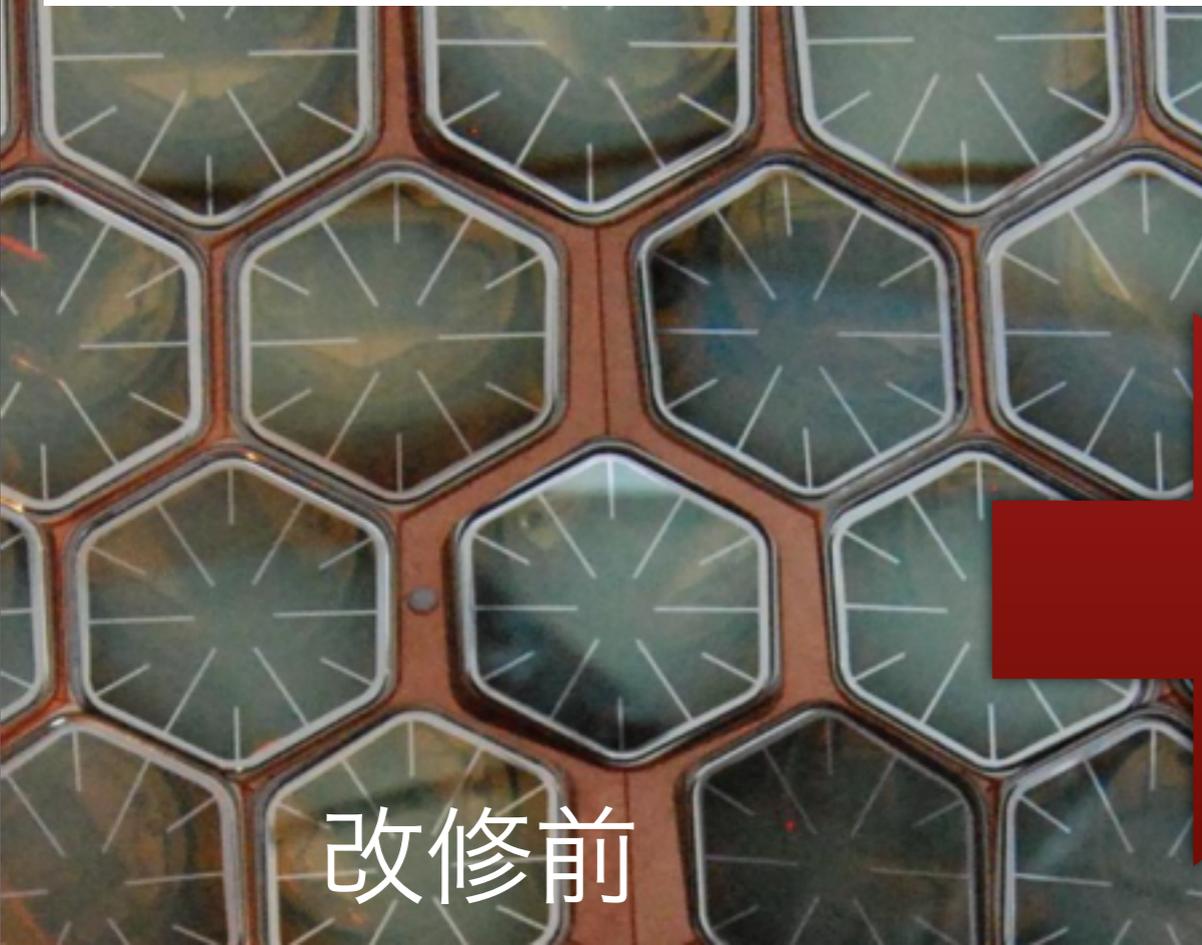




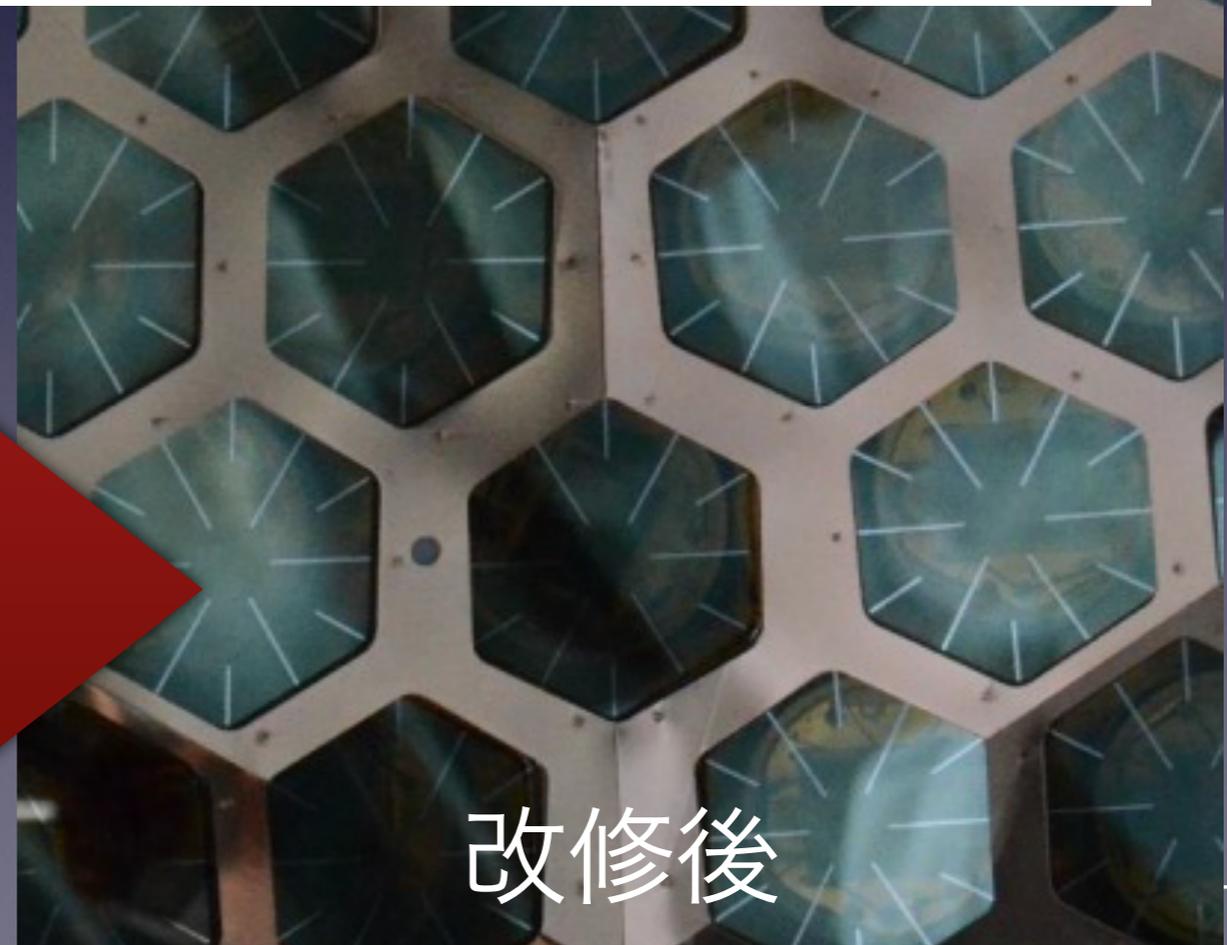
XMASS改修後の現状



PMT Alシールからの発光、 β 線、X線を銅リング、高純度Al蒸着で遮蔽
銅リング間に出来る溝をなくすために銅プレートを設置



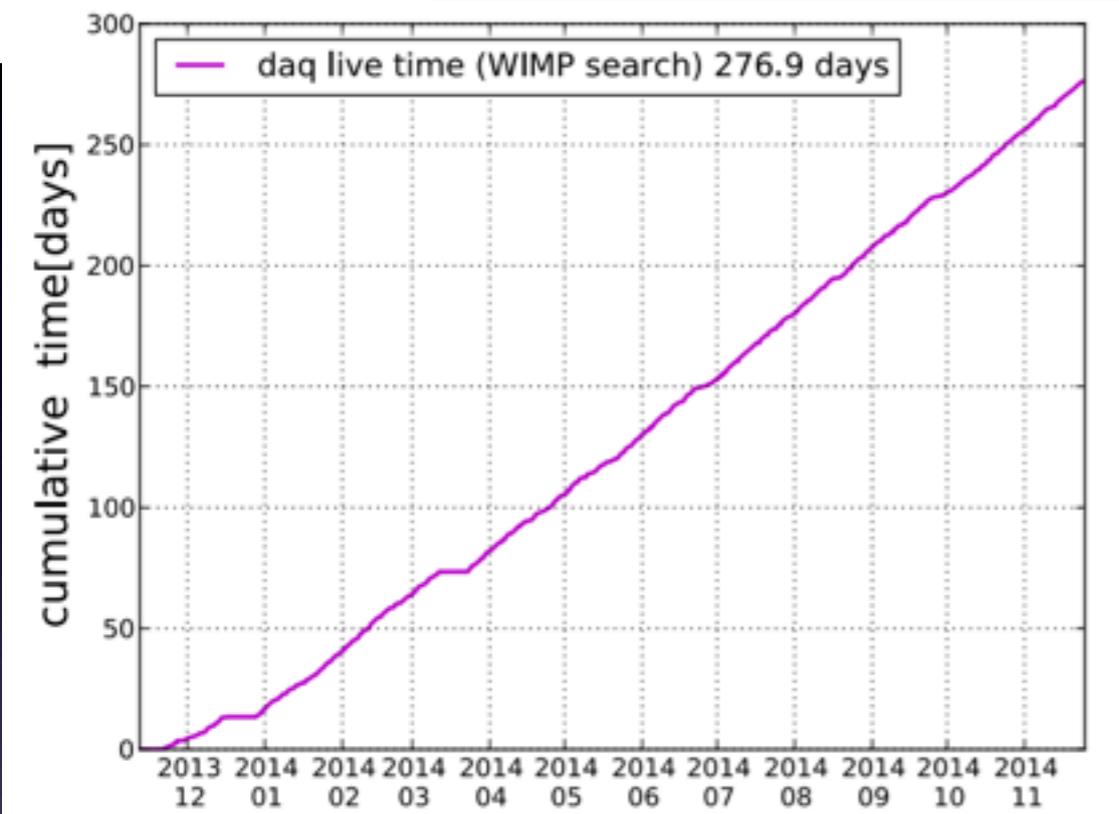
改修前



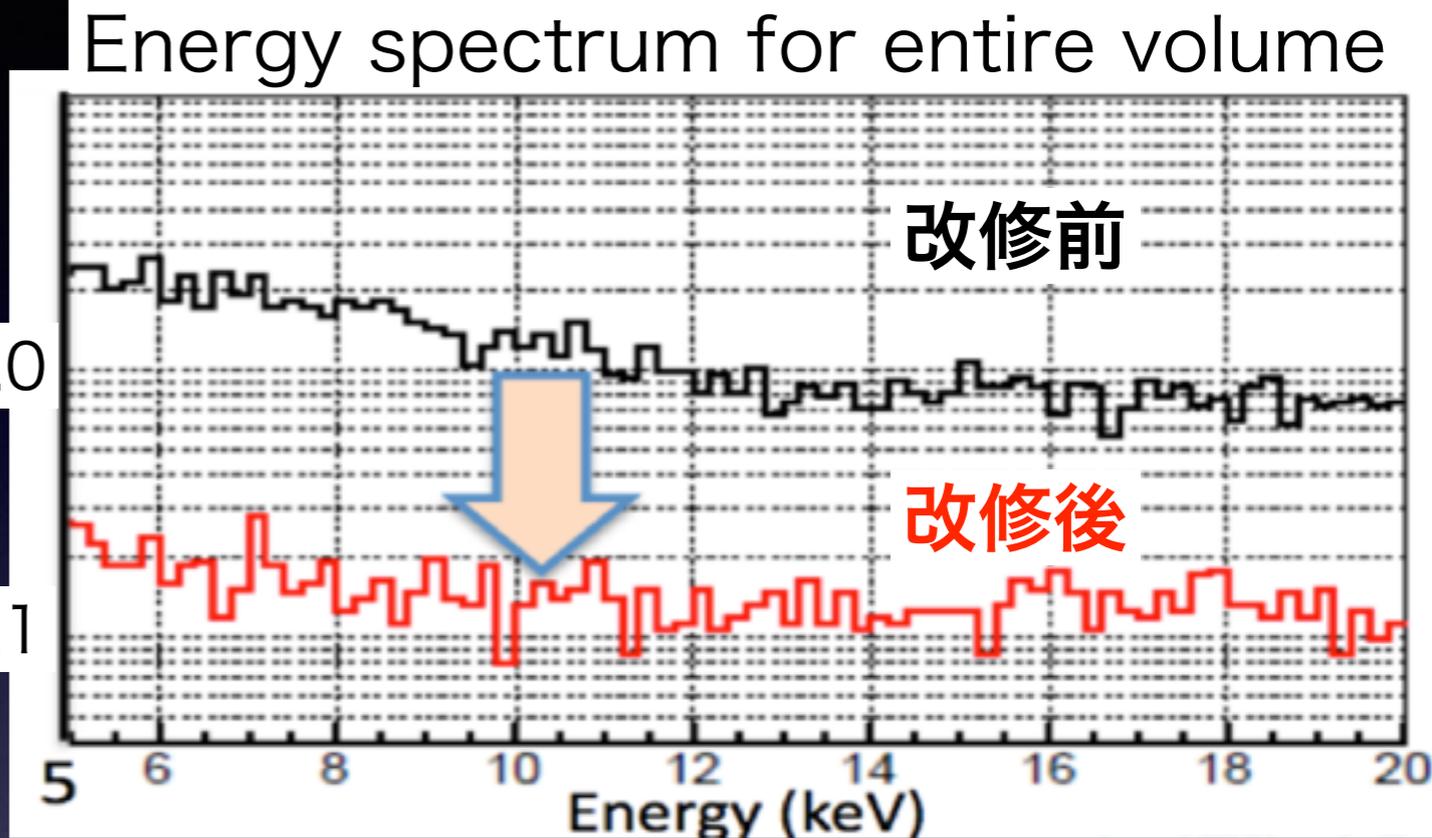
改修後



XMASS実験の現状



Counts/day/keV/kg



- ★ 2013年11月より測定再開
- ★ 277日分のデータを順調に収集
- ★ ATMを用いた解析→FADCを用いた解析
- ★ しきい値 1keV → 0.3 keV

- ★ 5keV以上以上ではおよそ1/10のリダクションに成功！ (山下、小川 2014/09 JPS)
- ★ 有効体積領域での暗黒物質探索や季節変動解析が現在進行中



これからのXMASS実験



★ 現状の問題点

- RIが多かったアルミシール
- ✓ すでに4~5桁RIの少ないものを準備
- 表面のBG事象が近接PMTで見えにくい
- ✓ ドーム型のPMTに変更 (最終デザインが決定)

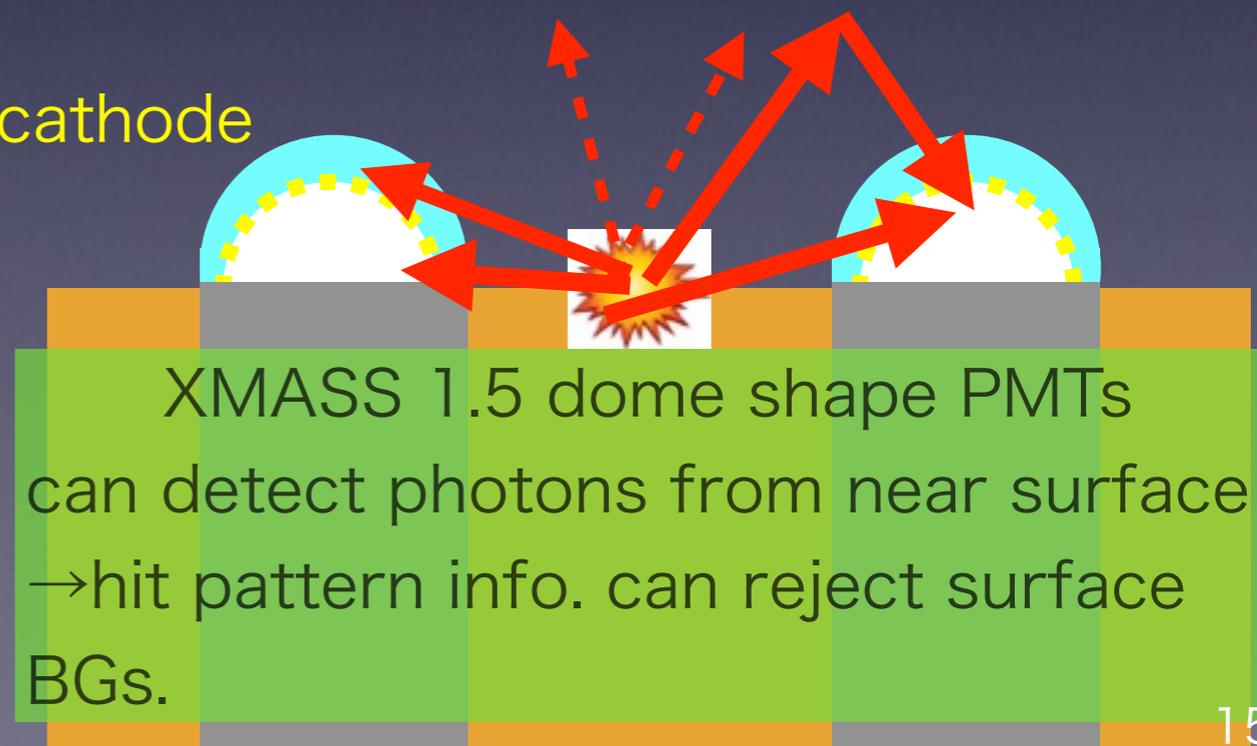
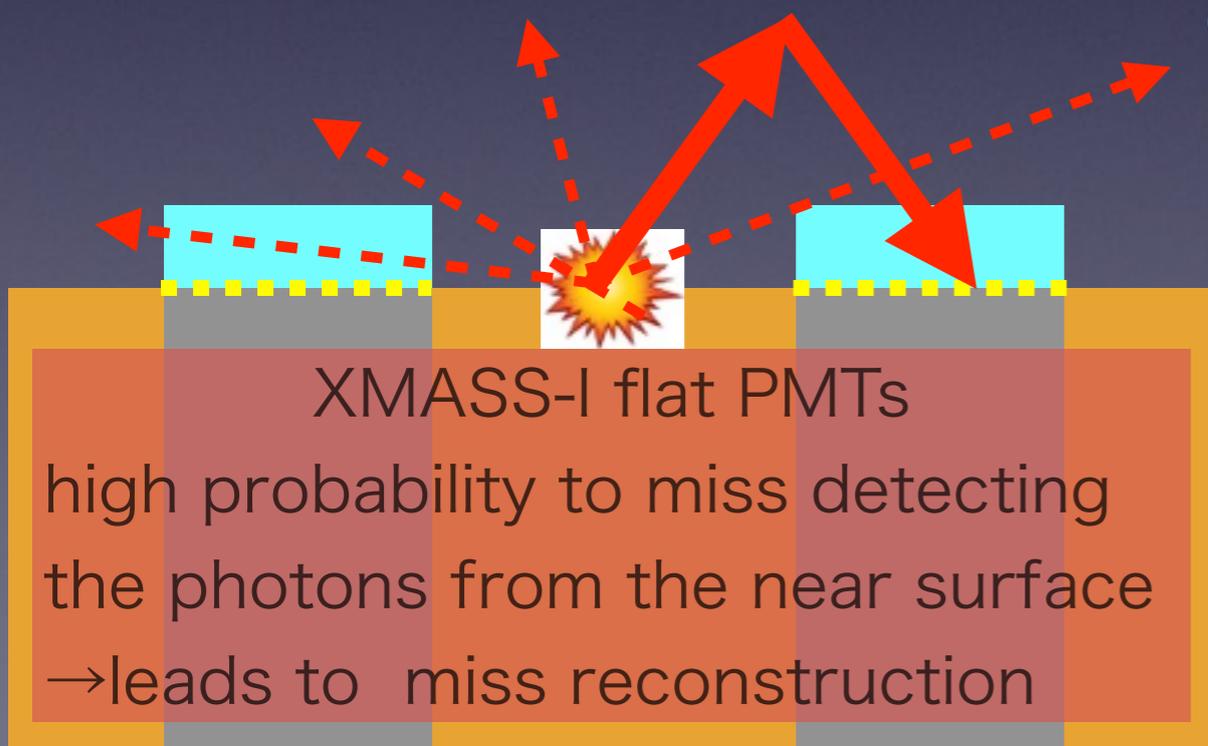
ドーム型のPMT



Scintillation Photons

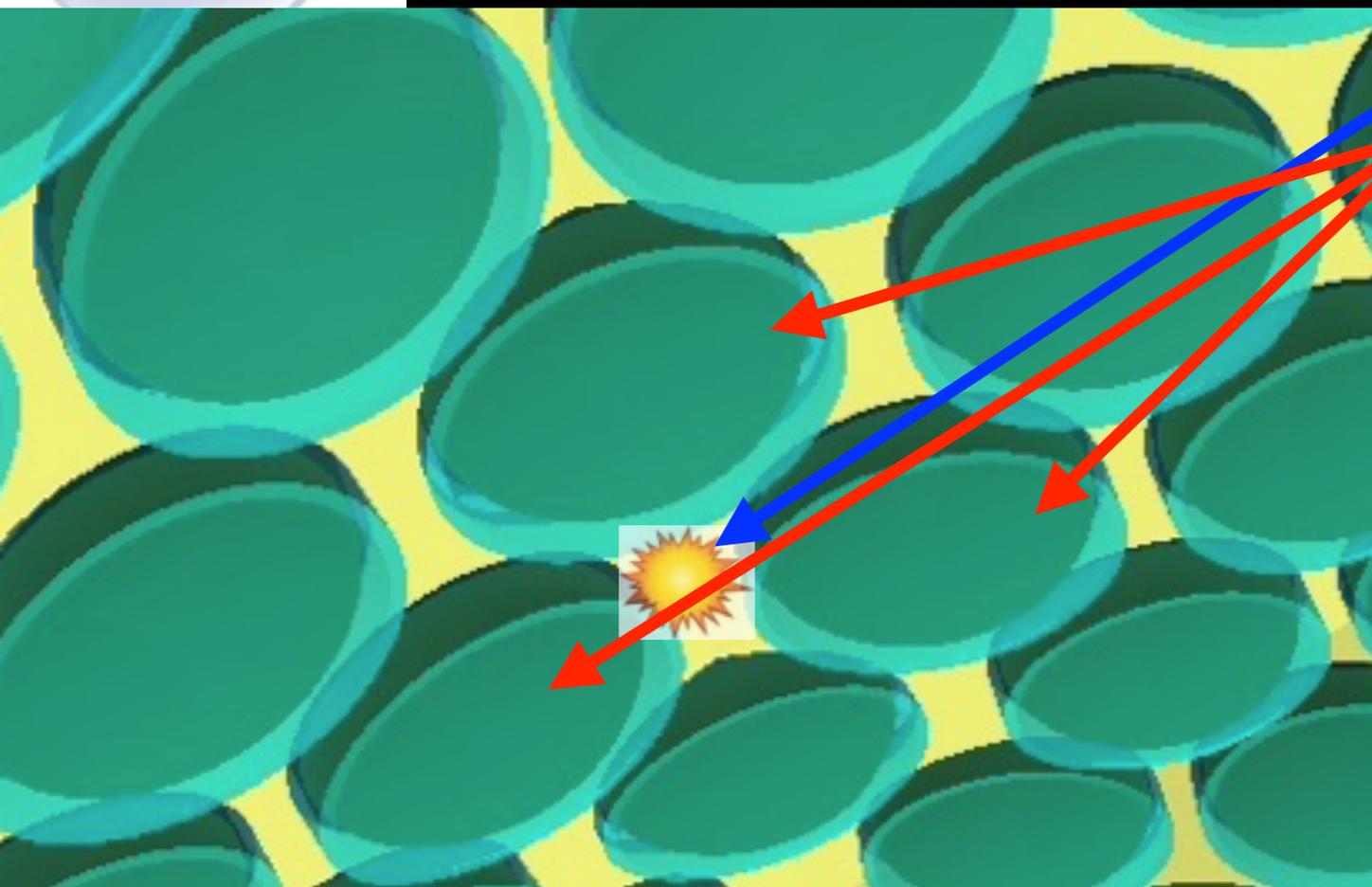
Quartz

Photo cathode

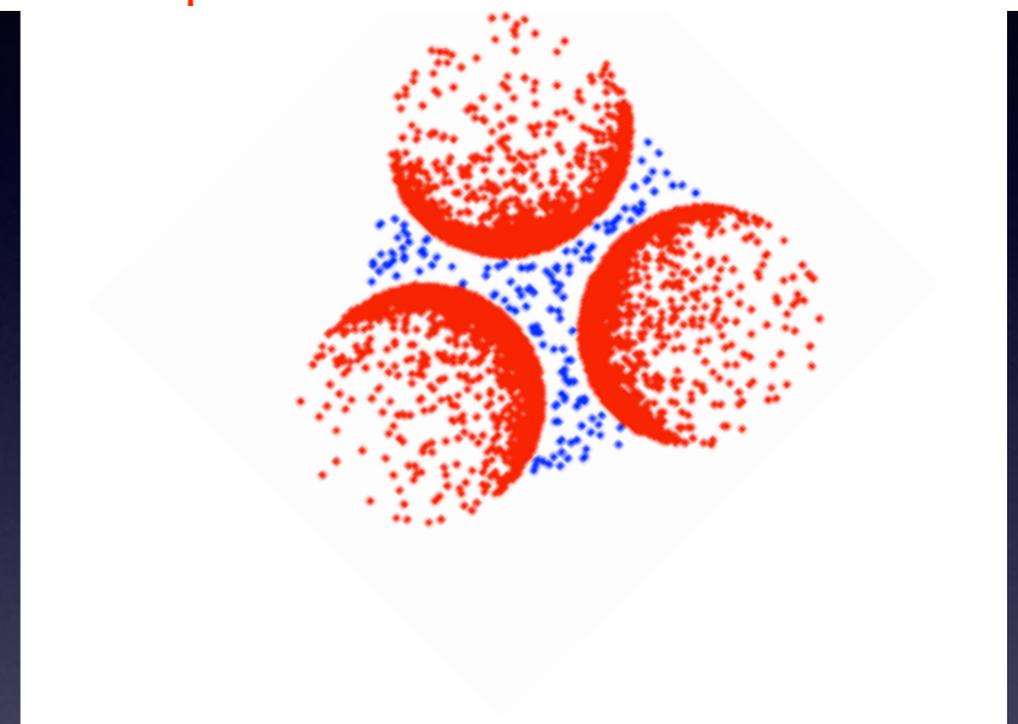




これからのXMASS実験



表面BG事象を発生させた位置
近接3本のPMTで光子がヒットした
位置 (photo cathode)



★ ドーム型PMTの恩恵について：

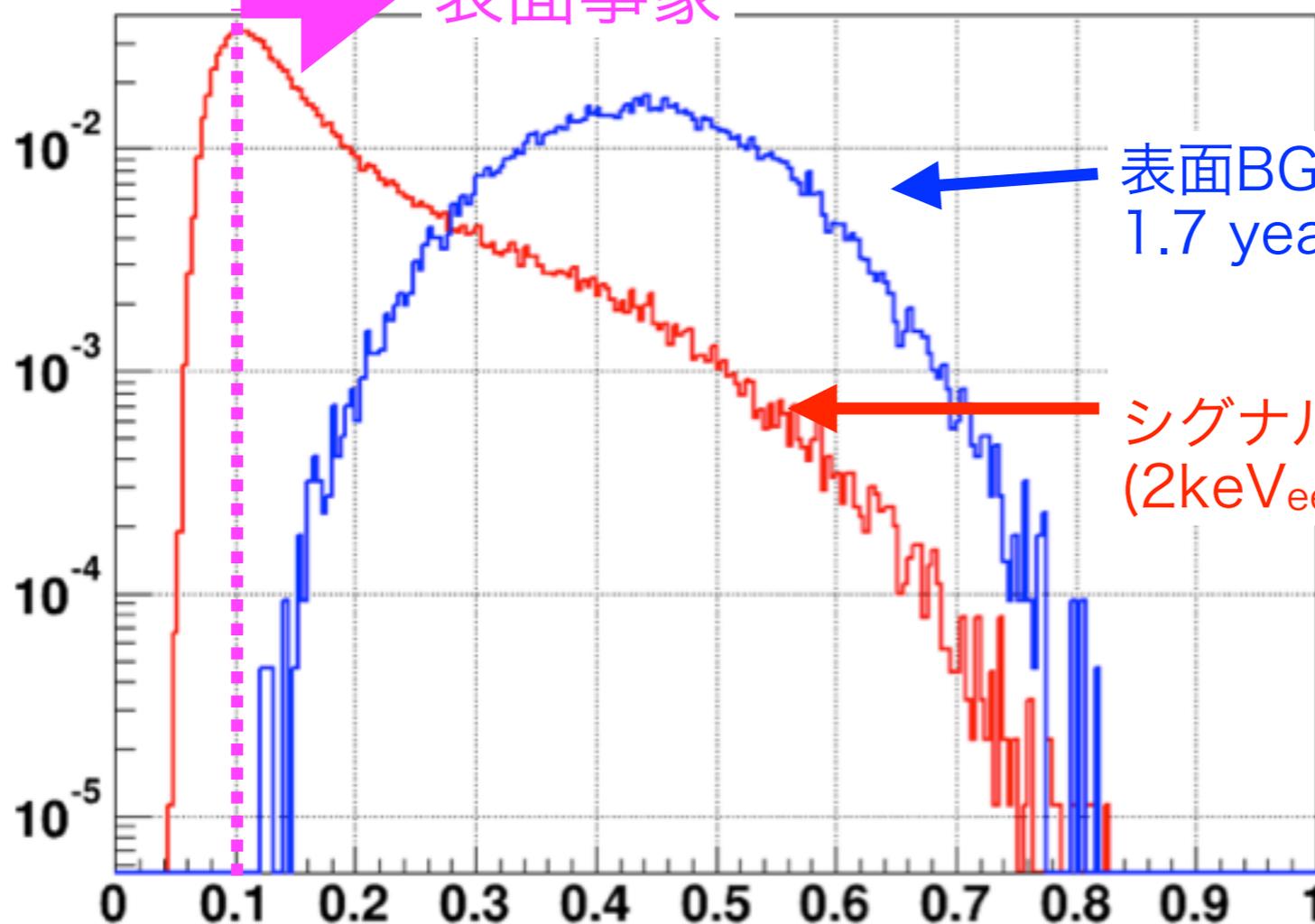
- BGの発生点から近接する3本のPMTが40~50%の光量を受け取る



これからのXMASS実験



事象数を1に規格化



表面BG : ^{210}Pb 2.0-2.5 keV
1.7 year equiv.

シグナル :
(2keV_{ee} α 検出器内で一様発生)

$\frac{\text{隣接3本のPMTの光量の最大値}}{\text{全PMTの光量}}$

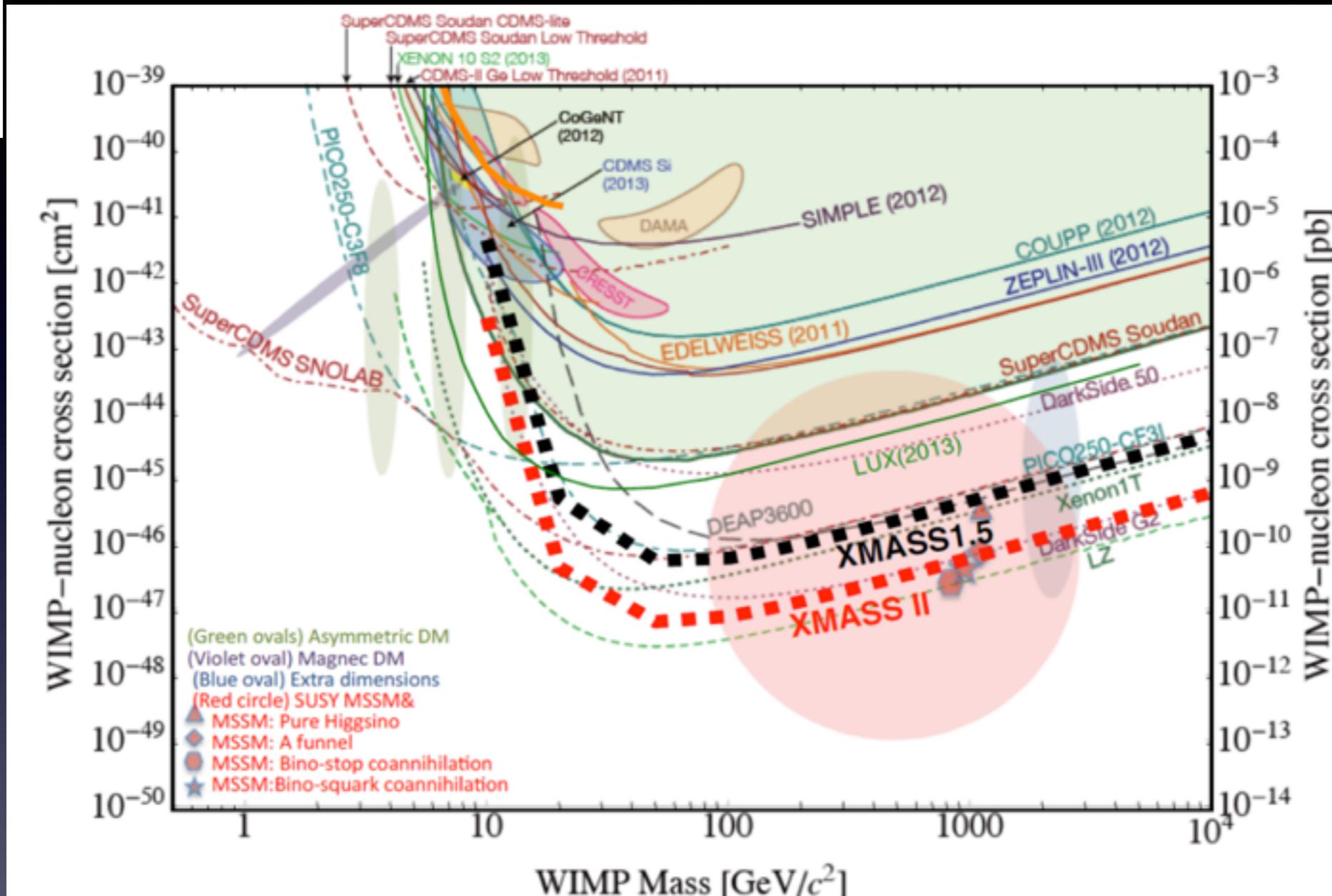
★ ドーム型PMTの恩恵について :

- BGの発生点から近接する3本のPMTが40~50%の光量を受け取る
- 表面事象IDの例 : 3PMTs の光量 > 全光量の10% (信号効率20%)
- 現在の表面BGレベルでも、簡単なカットで表面事象の問題を解決できる

★ 各 부품のRI測定、検出器の形状の詳細設計を行っている



これからのXMASS実験



- ★ ドーム型PMTによる表面BG除去とさらなる低BG化で 10^{-46} cm²を超える感度でのWIMP探索が期待される
- ★ XMASS実験の特徴である電子散乱事象(非弾性散乱、bosonic SuperWIMPs, 太陽アクシオン)についても世界最高感度で探索していく



まとめ



- ★ コミッショニングデータから今年新たに2つの物理成果を発表
 - Bosonic super-WIMPs (PRL 113, 121301 (2014))
 - ^{129}Xe inelastic scattering by WIMPs (PTEP 063C01 (2014))
- ★ これらの物理成果は、XMASS実験が電子散乱事象についても世界最高の低バックグラウンド環境を達成したため
- ★ 改修後も順調にデータ収集を行っている。
 - BGの理解、有効体積領域での探索、季節変動探索が進行中
- ★ XMASS-1.5の詳細設計も進行中