

XMASS:液体キセノン中の ラドンバックグラウンドの研究

14/12/6,12/7@名古屋大学

神戸大学大学院理学研究科物理専攻 修士1年

藤田 黎

contents

- ・ XMASS実験紹介
- ・ My work : 液体キセノン中のラドンバックグラウンドの研究

XMASS実験

- 液体キセノンを用いた多目的実験

- 暗黒物質**

- 太陽ニュートリノ
 - double beta decay など...

- 暗黒物質探索**

- 液体キセノンを用いた世界最大の検出器(832kg)

- キセノンと暗黒物質が弾性散乱する際に落としたエネルギーをシンチレーション光として捉える。

XMASS検出器

PMT 642本

約80cm

液体キセノン : 832kg





神岡

実験室LabC



(c) 東京大学宇宙線研究所 神岡宇宙素粒子研究施設

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: 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

Institute of Socio-Arts and Sciences, The University of Tokushima : K. Fushimi

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

液体キセノンの利点

- ・ 大きい原子番号 $Z=54$ と密度 $\rho = \text{約} 3\text{g/cm}^3$
 - コンパクトで大質量の検出器
- ・ 大きな発光量 (46000photon/MeV)
- ・ 発光波長: 175nm
 - 真空紫外領域で波長変換材を使わずPMTで直接観測可能
- ・ 液ガス両方の状態での純化が可能

低バックグラウンド環境への取り組み

- ・ 暗黒物質との反応は非常に稀

→バックグラウンドを減らすことが重要

- ・ XMASSでは次のようなことを行っている。

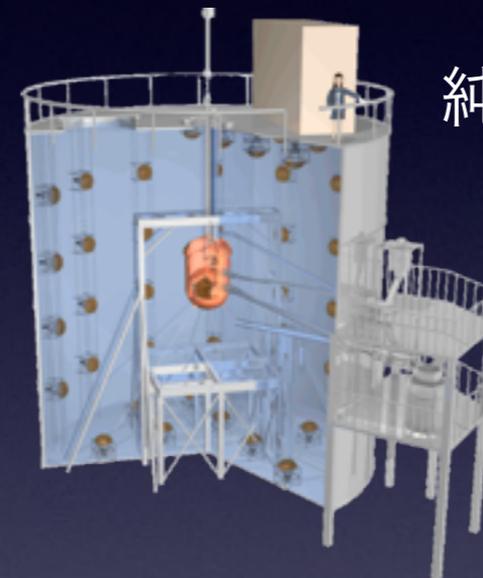
- ・ 地下1000mで実験(宇宙線 μ 粒子を10万分の1に減らせる)

- ・ 純水タンクによるシールド

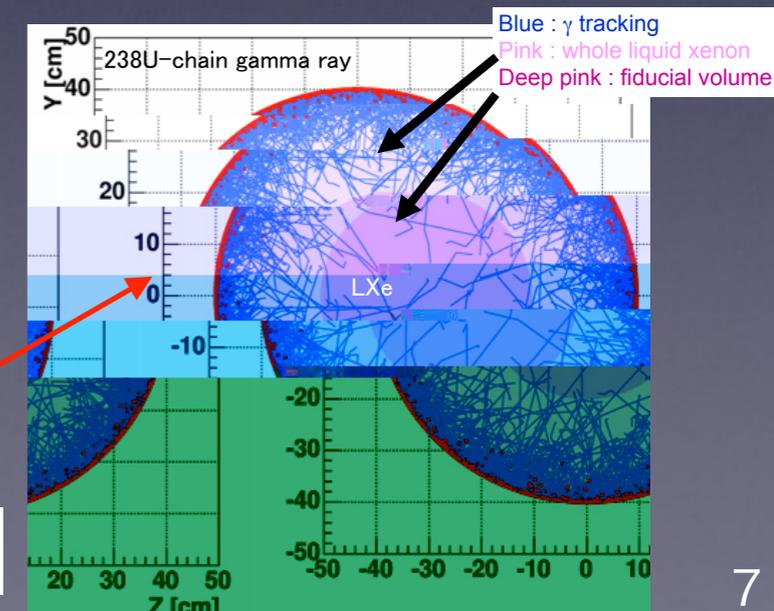
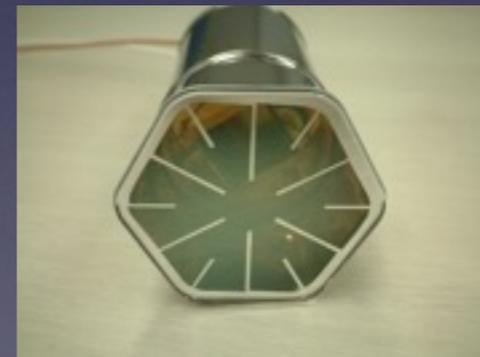
- ・ 検出器に放射性物質の少ないものを用いる(PMT,無酸素銅等)

- ・ キセノンによる自己遮蔽(キセノンは高密度、Zが大きいので γ 線をよく遮蔽する)

発生したガンマ線は中心付近に入り込めない

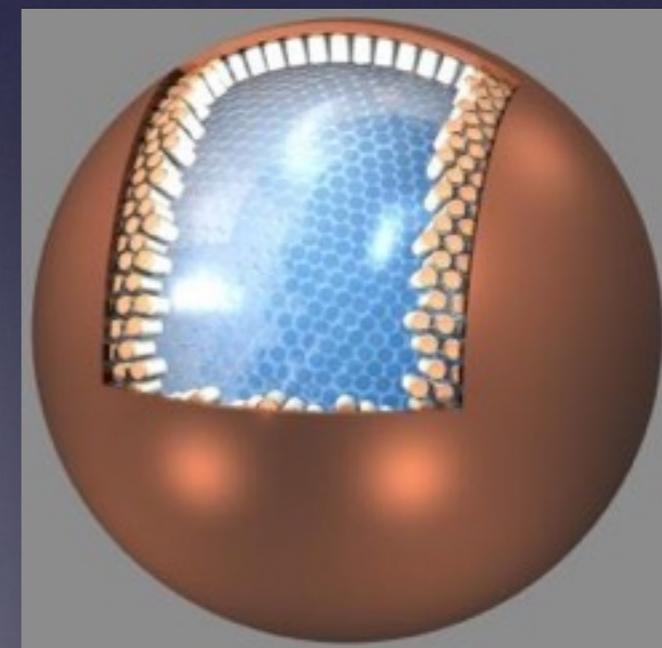


純水タンク



現状とこれから

- ・ 2010年10月~2012年6月 コミッショニングラン
 - ・ 予期せぬバックグラウンドが見つかる(PMT AI シール)
- ・ 2012年6月~2013年10月 バックグラウンド低減のための改造作業
 - 1桁以上のBG低減に成功
- ・ 2013年11月~ 観測開始
 - 低閾値での季節変動の探索
 - 検出器の中心での原子核反跳事象の探索
- ・ 将来計画
 - ・ XMASS-1.5
 - ・ 標的質量1トンでの暗黒物質探索
 - ・ XMASS-II
 - ・ 標的質量10トンで様々な物理を高統計、高精度で測定



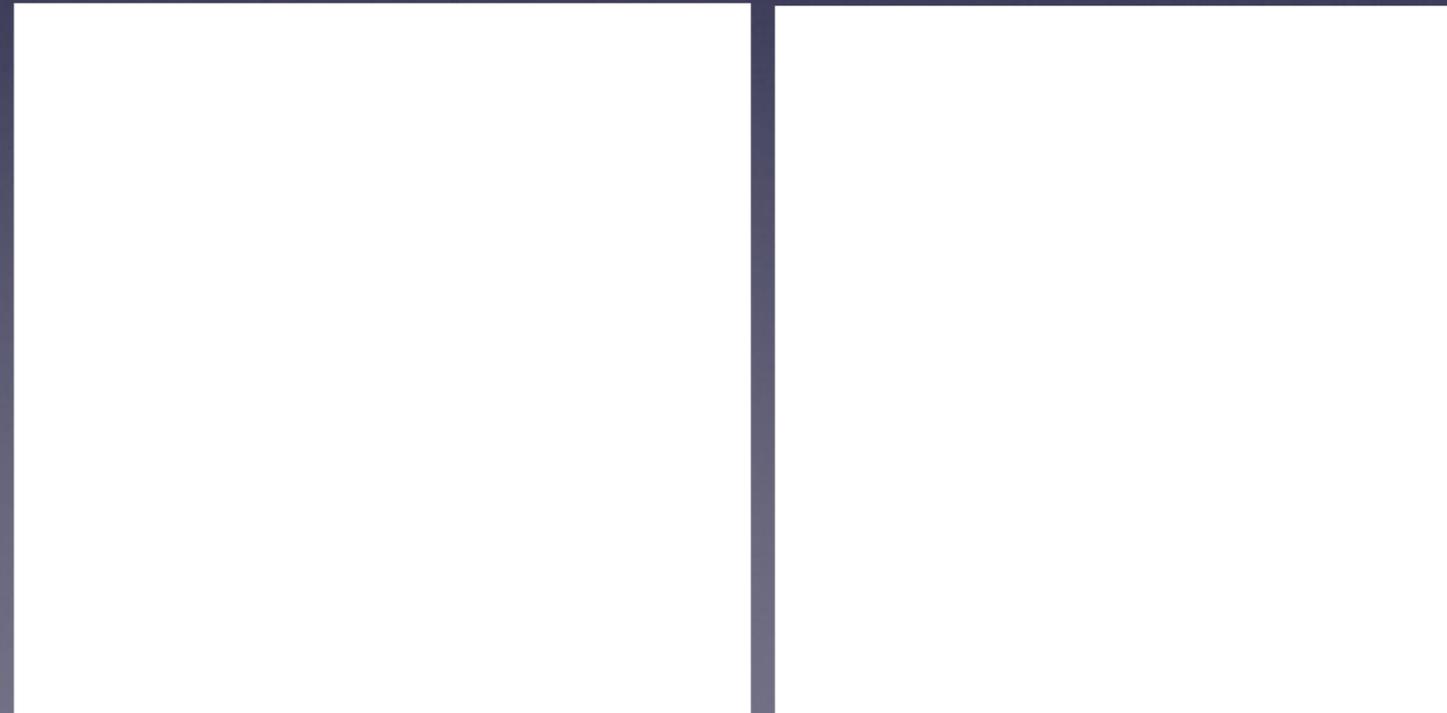
これまでの結果

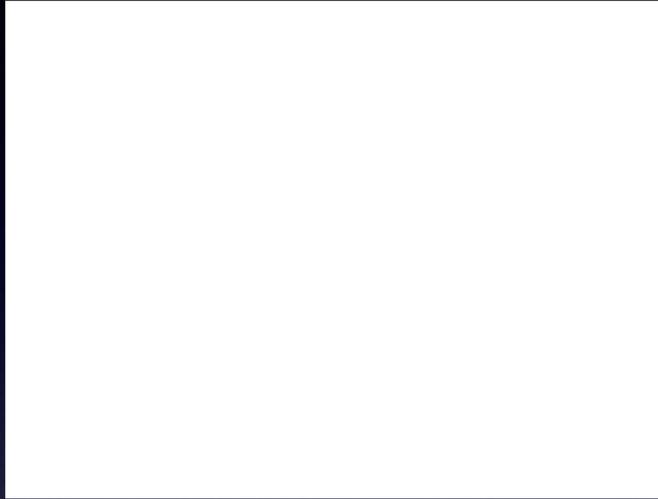
Light WIMP search

Physics Letters B 719 (2013) 78-82

軽い暗黒物質探索

WIMP-原子核の弾性散乱

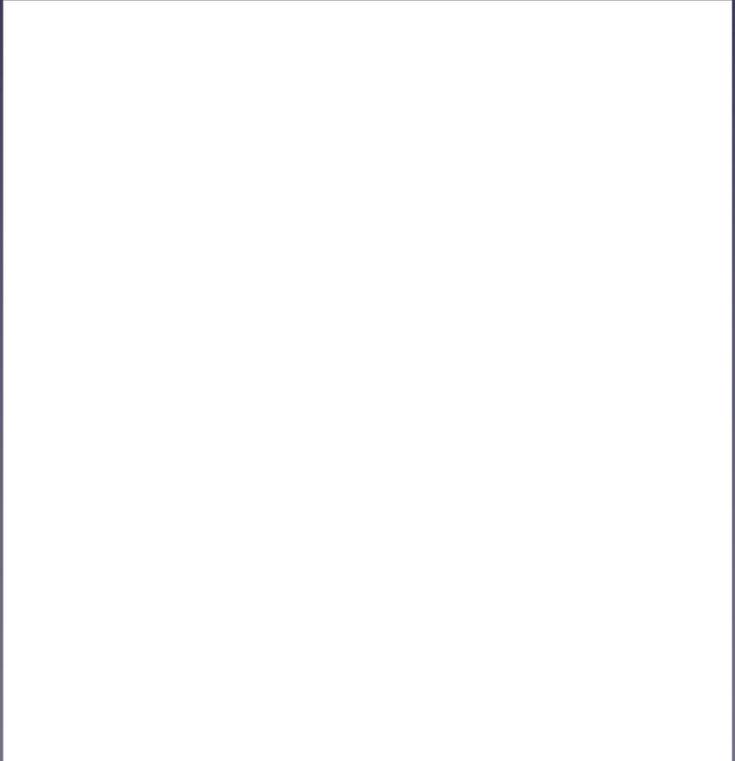
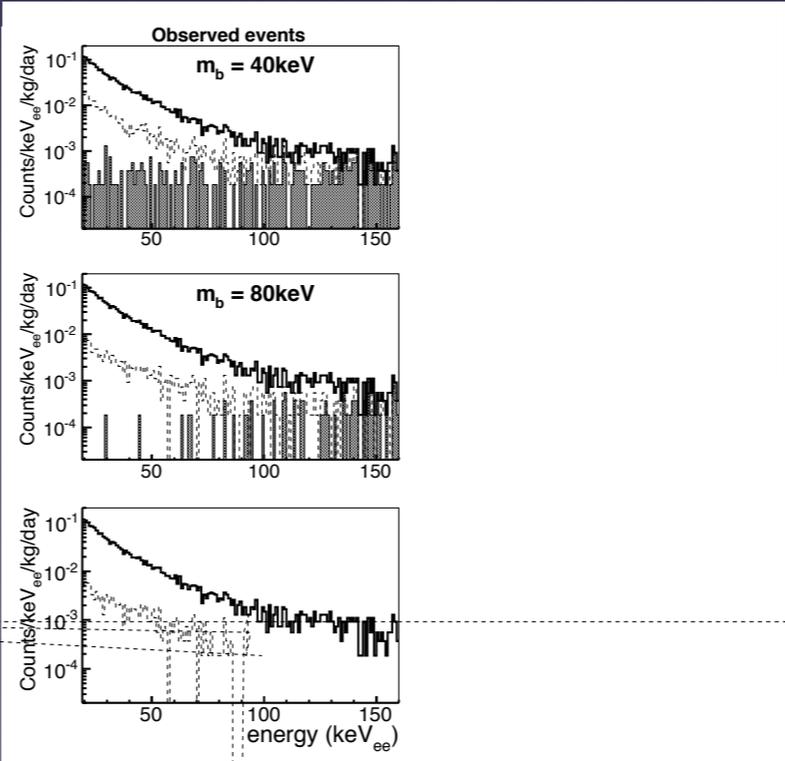




Bosonic super-WIMP search

Physics Review Letters 113,121301 (2014)

- warm dark matterの候補
- pseudo-scalar,vector bosonを探索
- super-WIMPは光電効果と似た反応
- 実験的に初めて制限を与えた



My work :

液体キセノン中ラドンバックグラウンドの研究

- ・ Motivation
- ・ ^{214}Bi - ^{214}Po coincidence 解析
- ・ ^{214}Bi - ^{214}Po coincidence 解析 : 結果
- ・ まとめ

Motivation

・ラドン

- ・ XMASS実験のバックグラウンドの1つ
- ・ ウラン系列の希ガス 有効体積内に存在(検出器部材から放出されている)
- ・ 娘核の ^{214}Pb (β 崩壊)の低エネルギー領域が暗黒物質探索のBGとなる。

→自己遮蔽することが出来ない

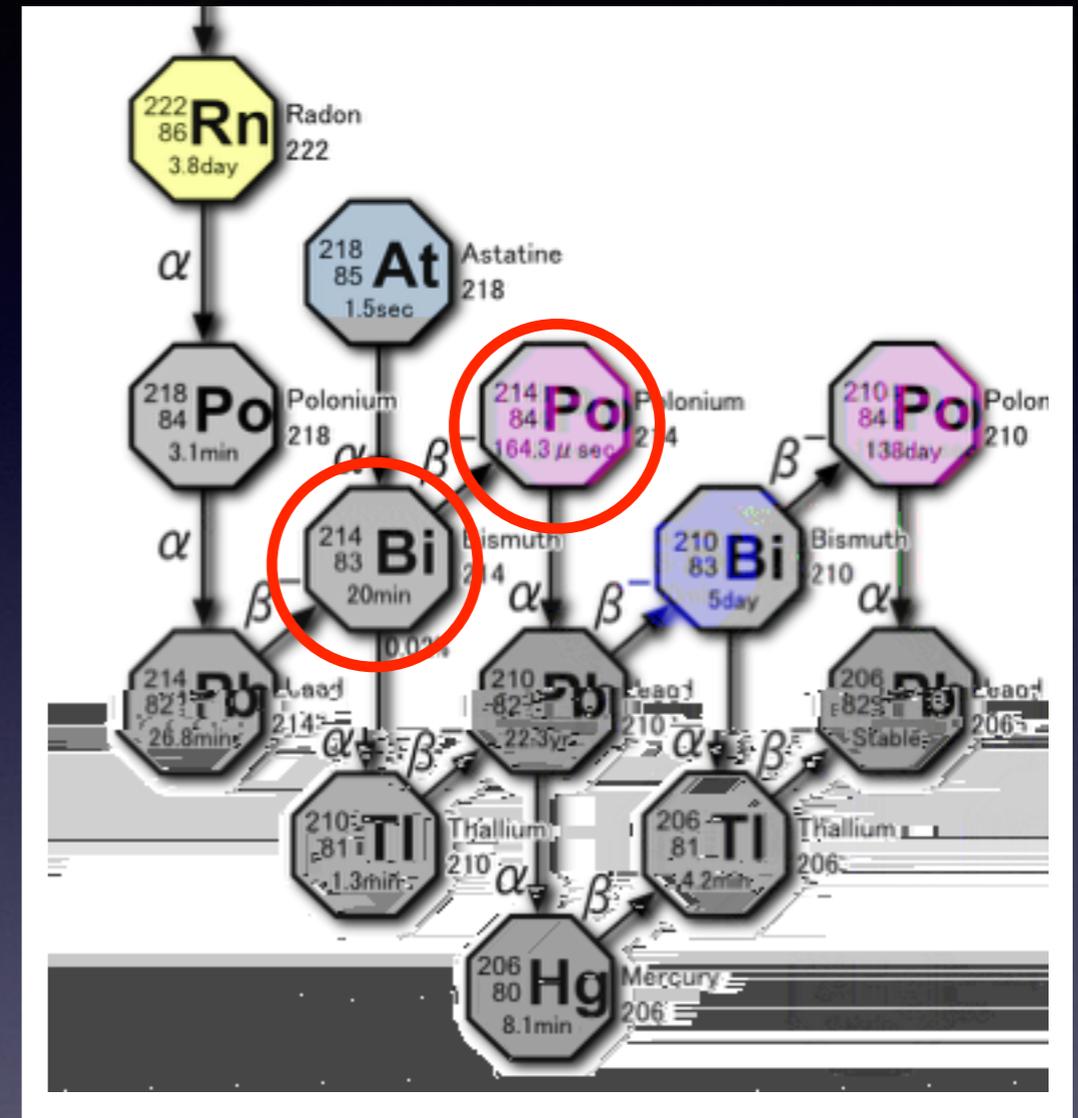
- ・ 目標値：全体のバックグラウンドの寄与の1/10になるように $<1.2\text{uBq/kg}$ と定めた(小川 2011/9/16 物理学会発表)
- ・ ラドンは検出器に一様に分布していると考えられるのでcontrol sampleとして事象再構成のパフォーマンスの評価に用いることができる。
- ・ 今回はXMASSの改修後のデータ114.42時間をもちいて液体キセノン中のラドン 222 の量を見積もる

214Bi-214Po coincidence 解析

- 222Rnを娘核である214Biから見積もる。

- ▶ 214Bi β 崩壊
(3.272MeV, 19.9min)
- ▶ 214Po α 崩壊
(7.687MeV, 164 μ s)

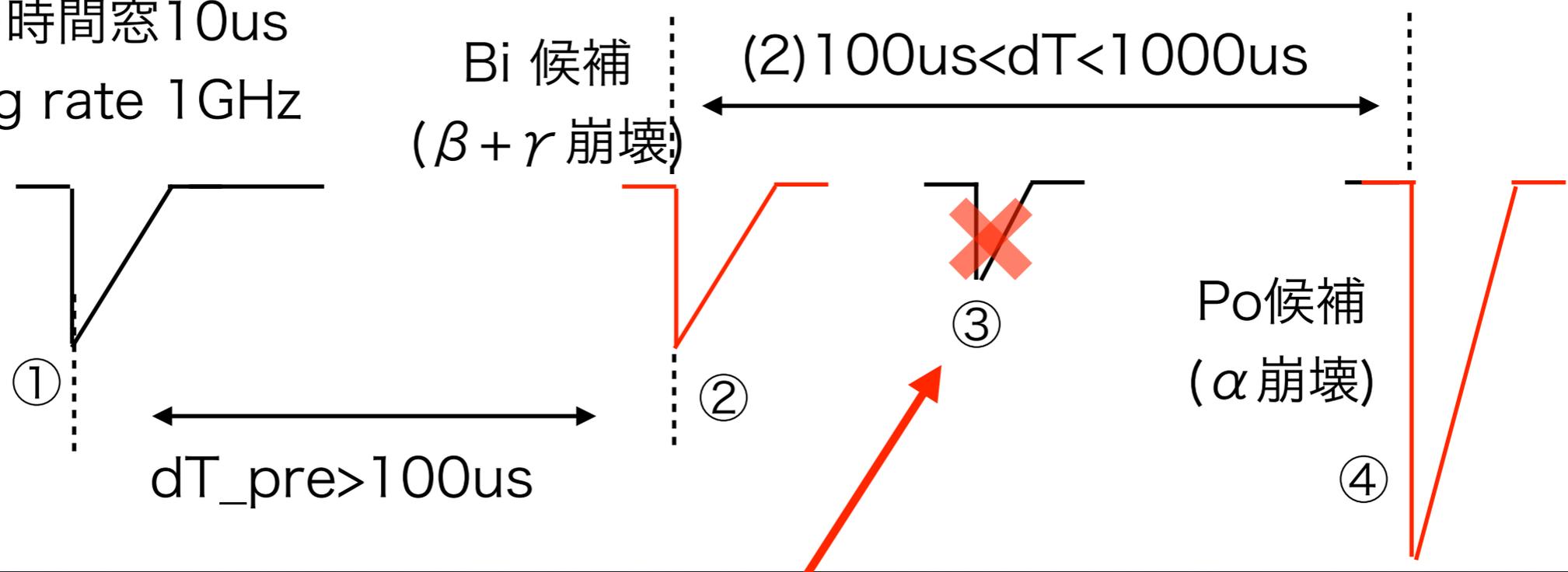
- 214Poの短い半減期を利用しBi-Poのペアを選別する。



ウラン系列(222ラドン以降)

214Bi-214Po coincidence 解析(2)

FADCの時間窓10us
sampling rate 1GHz



cut条件 :

・ preselection

検出器内の事象

PMTのヒット数 ≥ 4

チェレンコフ事象カット (PMTの窓で起こった早い事象のカット)

ヒットタイミングによるノイズカット

・ BiPoペアを選ぶためのカット

Bi候補と前の事象の時間差のカット (アフターパルスの除去) $dT_{pre} > 100\mu s$

2事象目の光量 $> 25000 p.e.$

FADCの波形解析によるカット (α イベントを選ぶ)

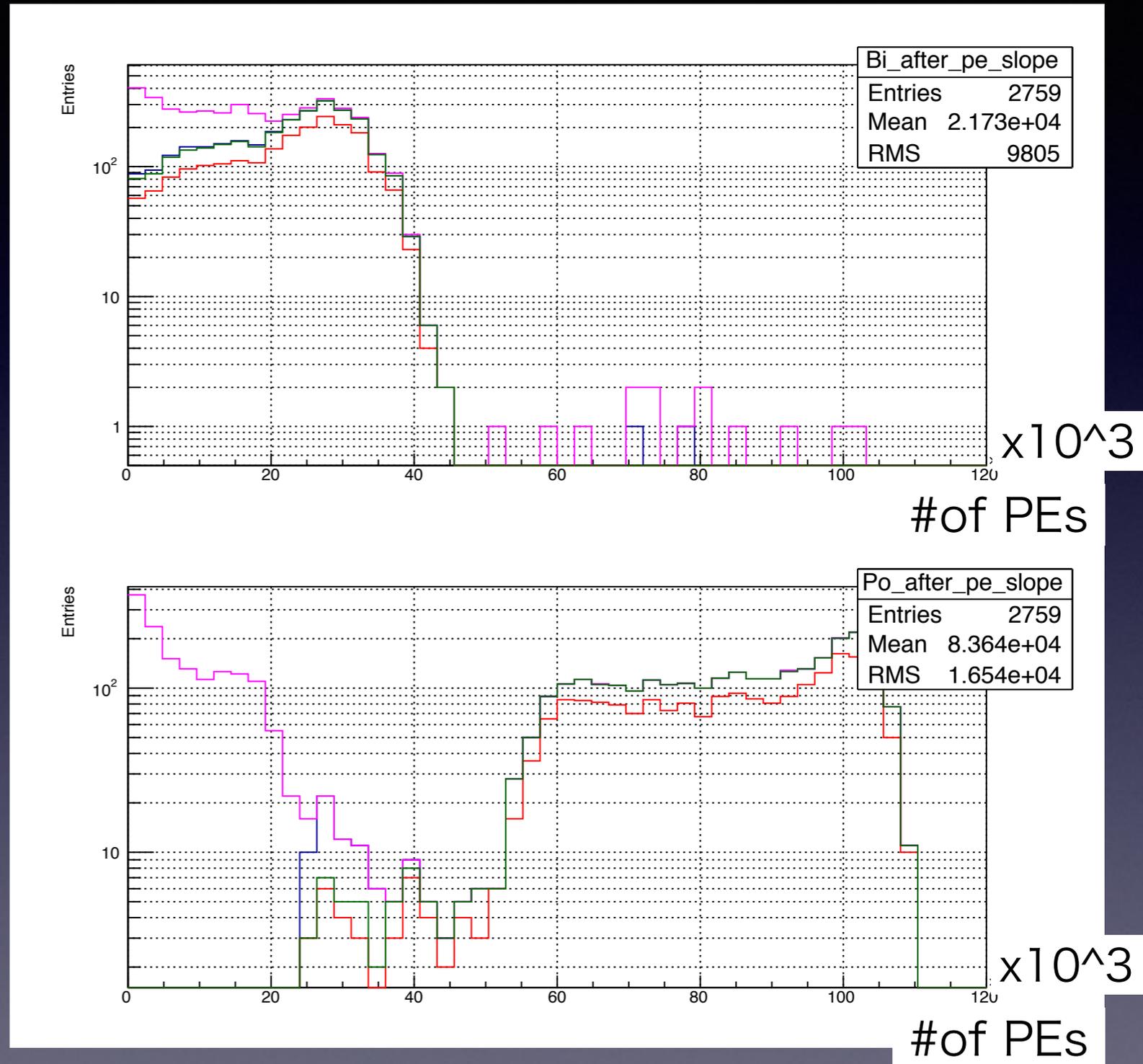
Bi候補とPo候補の時間差 $100\mu s < dT < 1000\mu s$

preselectionで除いたイベントはペアを組まない

214Bi-214Po coincidence 解析：結果

	criteria	Bi-Po pair
cut1	preselection + 2nd totalNPE>20+ +dT_pre>100us +dT<1000us	4246
cut2	cut1+2nd event PE>25000	2803
cut3	cut2+2nd decay slope<35ns	2759
cut4	cut3+dT>100us	2059

live time:114.42 hours



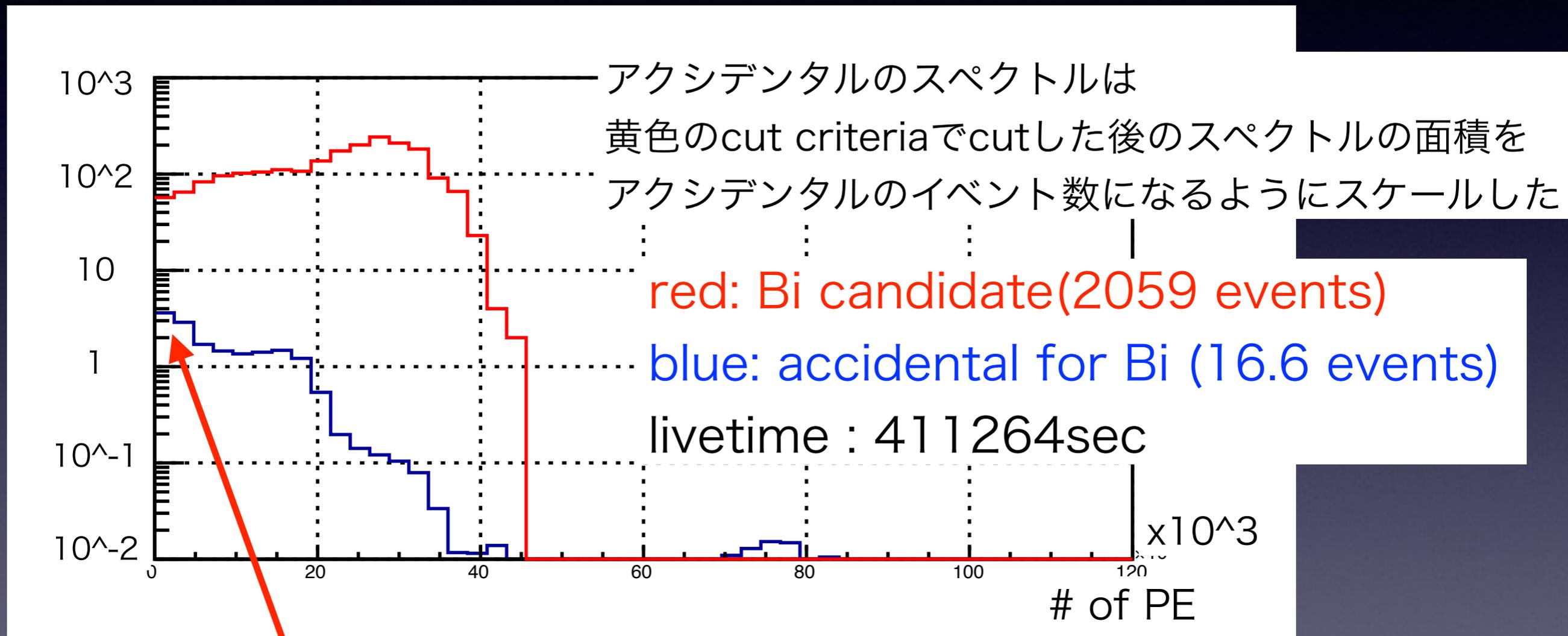
各カットのスペクトルと残ったイベント数

最終的に2059イベントが残った。



アクシデンタルイベントの見積もり(1)

Biのためのカット条件
・ preselection + $dT_{pre} > 100\mu s$ + $dT > 1000\mu s$

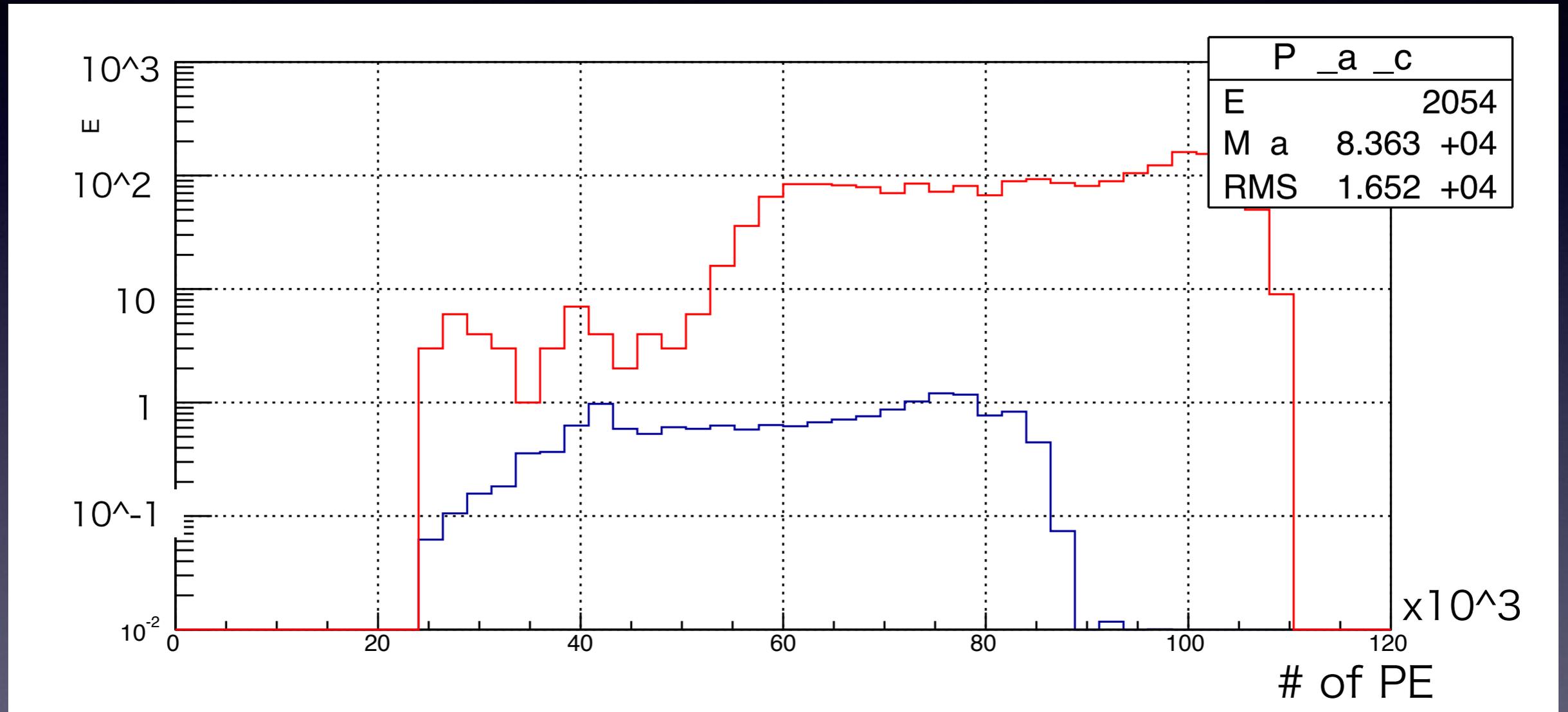


低エネルギー側では少し純度が落ちる

アクシデンタルイベントの見積もり(2)

Poアクシデンタルのためのカット条件

- preselection + totalPE>25000 + decay slope<35ns + dT>1000us



red: Po candidate : 2059 events

blue: accidental for Po : 16.6 events

livetime : 411264 sec

アクシデンタルイベントの見積もり

アクシデンタルレート [Hz]

= 1 事象目のレート (p17 blue spectrum) [Hz]

x 2 事象目のレート (p18 blue spectrum) [Hz] x 時間窓 (900us)

= 1.90[count/sec] x 0.023[count/sec] x 900[us]

= 4.03e-5[count/sec]

アクシデンタルイベント

= アクシデンタルレート [Hz] x live time [s]

= 4.03e-5[count/sec] x 411264[sec] = **16.6[events]**

アクシデンタルイベント / 残ったイベント

= 16.6 / 2059 = 0.8%

集めたサンプルに含まれる
アクシデンタルの量



222Rn濃度 見積もり

- live time : 411264 sec
- # of BiPo pair : 2059
- accidental events : 16.6
- cut efficiency($100 < dT < 1000 \mu s$) : 0.65
 - 今の時点ではdTのみ(PE, α 事象カットの見積もりはまだ)
- 液体キセノン : 832kg
- activity : $(2059 - 16.6) / (411264 \times 0.65 \times 832)$
= $9.17 \pm 0.20 \mu Bq/kg$ (stat only)

c.f.

XENON100 20 $\mu Bq/kg$, LUX 10 $\mu Bq/kg$, EXO 4 $\mu Bq/kg$, SK ~a few $\mu Bq/kg$ (純水), NEWAGE 25mBq/kg(CF₄, 14g)

参考:

XENON100 collaboration, E. Aprile et al., Study of the electromagnetic background in the XENON100 experiment, Phys. Rev. D 83 (2011) 082001

EXO-200 collaboration, J.B. Albert et al., An improved measurement of the $2\nu\beta\beta$ half-life of ¹³⁶Xe with EXO-200, arXiv:1306.6106

LUX collaboration, D.S. Akerib et al., First results from the LUX dark matter experiment at the Sanford Underground Research Facility, arXiv:1310.8214

http://www-sk.icrr.u-tokyo.ac.jp/sk/pub/master/Nakano_master_thesis.pdf

NEWAGE 中村D論

まとめ

- ・ XMASSの改修後のデータ(114.42時間)を用いてラドン濃度を見積もった。
- ・ 純度よくBiPoペアを選び出した。
- ・ 液体キセノン中に含まれるラドン222は $9.17 \pm 0.20 \text{ uBq/kg}$ だとわかった。

今後…

- ・ 選び出した事象について事象再構成を行い再構成のパフォーマンスを評価する。
- ・ 時間的にラドン量が安定しているかの確認