

XENONnT実験における⁸⁵Krのバックグラウンド評価

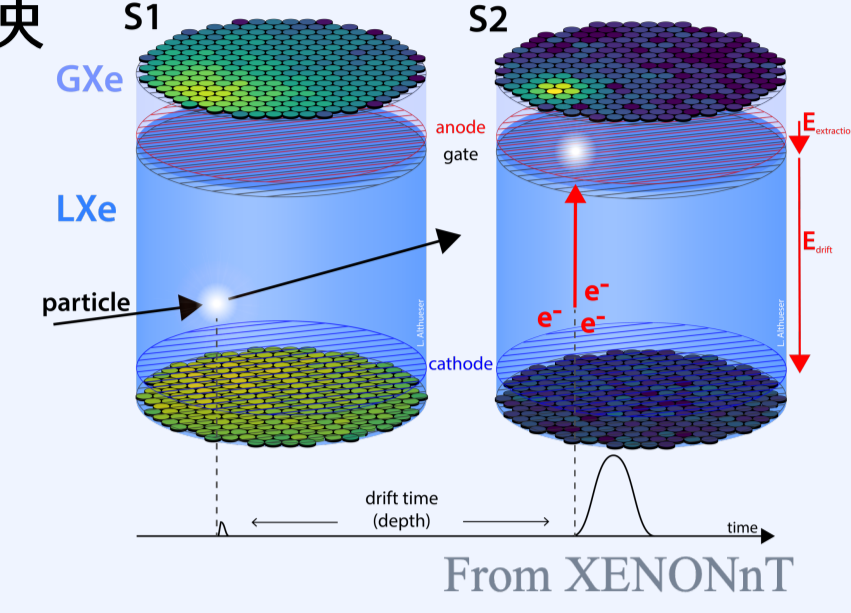
東京大学宇宙線研究所 森山研究室M1 神長香乃, XENON collaboration



Introduction :

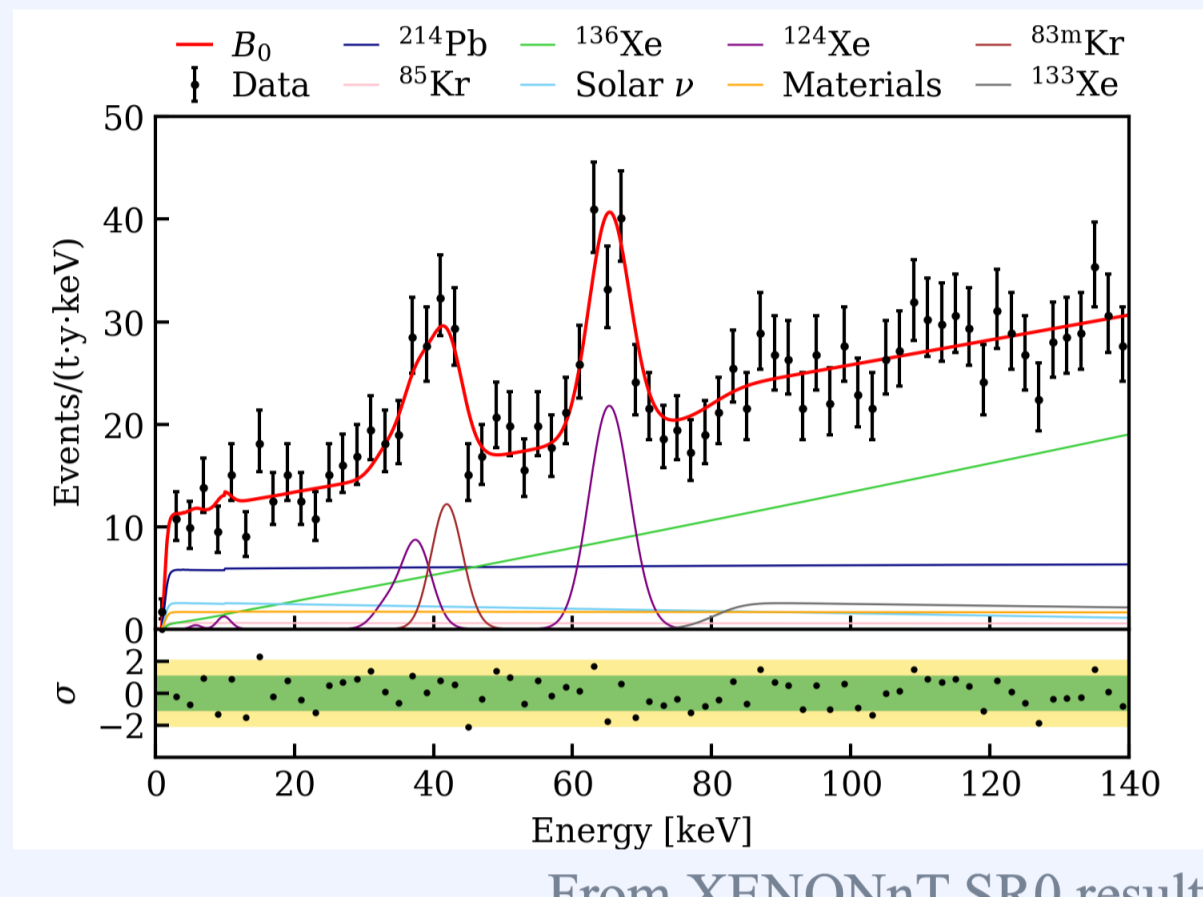
XENONnT実験

- イタリアのグランサッソ国立研究所(LNGS)地下実験施設
- Xeを用いた2相式 Time Projection Chamber (TPC)
- ダークマター有力候補のWIMP直接探索実験
- Solar pp ν, 0νββ などの探索も



放射性⁸⁵Kr background (BG)

- Xeの製造過程でKrが含まれる
⇒ 蒸留で低減 (ppb→ppt level)
- Low energy 領域で主要なBG
⇒ Solar pp ν 探索のBG
存在量の正確な推定が必要
- 現在の⁸⁵Kr量の推定 :
 - ▶ 残留ガス質量分析(RGMS) でKr量を分析 56±36 ppq(10⁻¹⁵) (SR0)
 - ▶ 施設内の空気中の⁸⁵Kr/Kr比を分析 (~2×10⁻¹¹)
 - ▶ ⁸⁵Krの量を算出
- RGMSではKrの量しかわからず、⁸⁵Kr/Krを評価する術がない

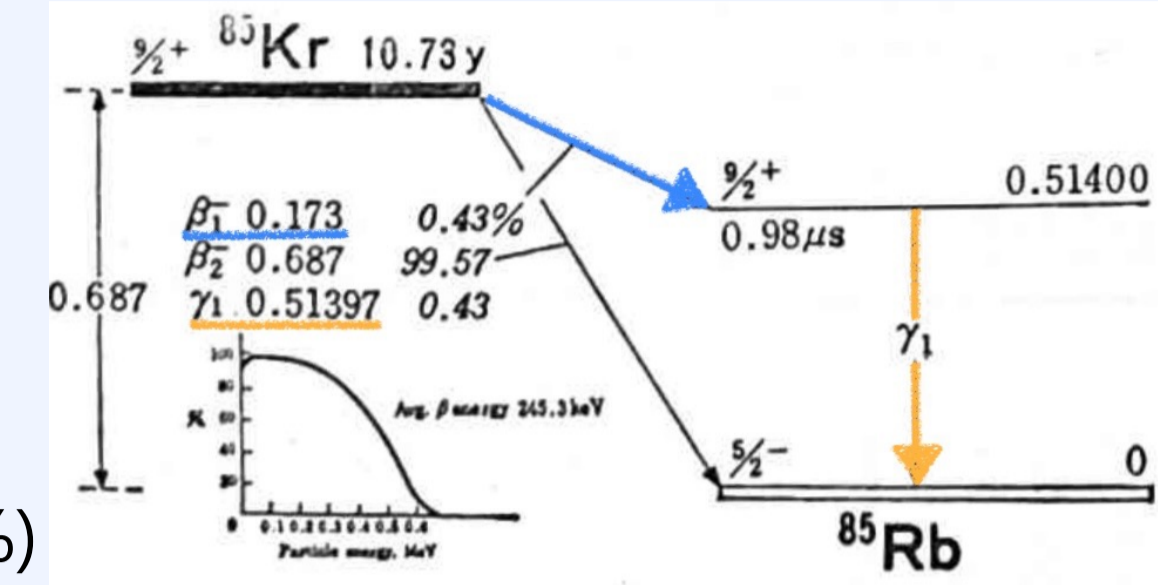


目的

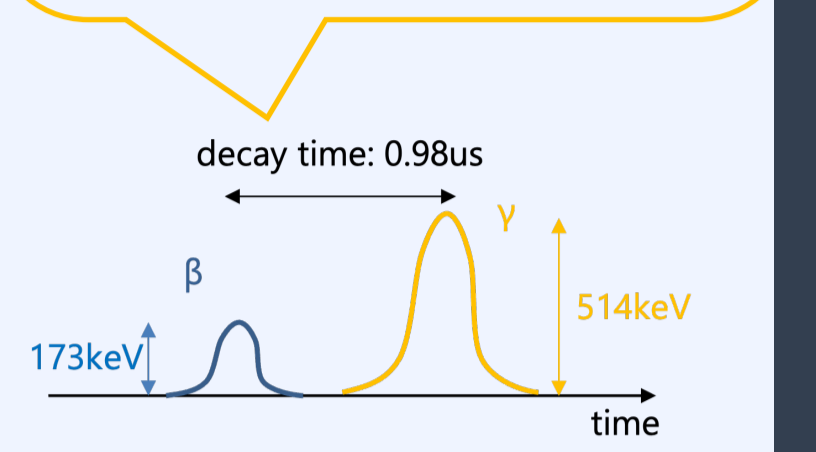
- ⁸⁵Krそのものの量を求め、⁸⁵Kr/Kr比のクロスチェックを行う
- ⁸⁵KrによるBGに制限を与え、solar pp νの観測に貢献する

方法

- ⁸⁵Krの崩壊モード
 - ▶ 687keV β-ray (BR: ~99.6%)
 - ▶ 173keV β-ray, and 514keV γ-ray with 0.98us decay time (BR: ~0.4%)



XENONでは2つ連続して捉えられたS1を、エネルギーの小さい方をAlt (alternative) S1、大きい方⇒Main S1として記録する

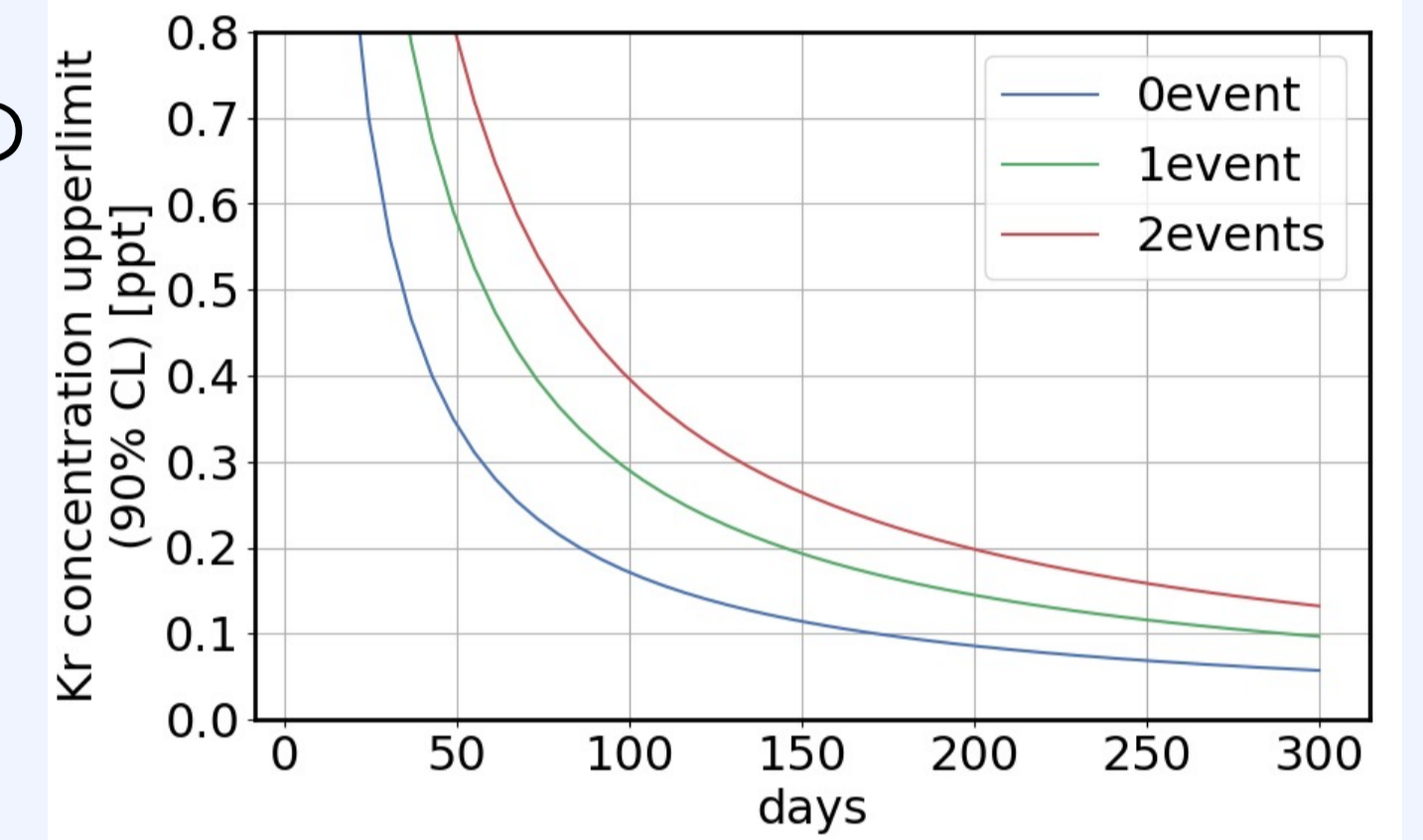


- 観測信号の中から β+γ による⁸⁵Kr-likeな事象数をカウント
 - ▶ 1us程度の時間差だとS2ではβ, γがマージされる ⇒ S1で探す

$$\text{Kr濃度の算出} : N_{\text{event}} [\text{event/FV/day}] \times \left(\frac{4.4 \text{ t(FV)}}{132 \text{ g(Xe)}} \right) \times 2 \times 10^{-11} \times N_0 \times 0.004 \times 1.77 \times 10^{-4} \text{ }^{-1}$$

$\frac{\text{Xe}[\text{mol/FV}]}{132 \text{ g(Xe)}}$ Avogadro number $^{85}\text{Kr/Kr}$ branching ratio $^{85}\text{Kr decay probability in 1d}$

- exposure期間に0, 1, 2 events観測された場合のPoisson統計 90% confidence level(CL) によるupper limit curve



- ▶ イベントが見つからなかった場合、200days exposureで Kr濃度に 0.1 ppt 以下という上限が設けられる。

Criteria :

目的・背景

- ⁸⁵Kr-likeな事象を探すためのカットの基準を決める
 - ▶ 条件: β, γのエネルギー・decay time・同じ位置から来たβ, γであること
- BG事象は十分少ないため、信号に対する効率を最大化する

使用データ

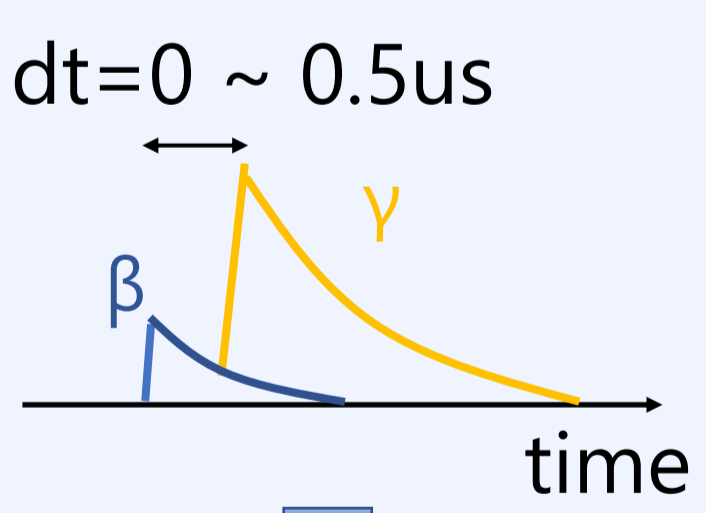
- 全事象は有効体積内(FV, 4.4t)のものを対象とする
- ⁸⁵Krによる事象をgeant4ベースでTPCの応答を含めてシミュレート

Criteria・efficiency

- 各cutのefficiency : そのcut後の事象数 / cut前の事象数
- Final efficiency : dAFT cut後の事象数 / FV cut後の事象数 = **0.4704**

Double S1 cut & Time difference cut (eff: 0.5317)

- β→alt S1, γ→main S1の両方が記録されている事象を探す
- decay time~1usのβ, γを探す ⇒ dt=10usまでの事象を取得
- dt>0.5usの事象のみを使用



分離されず1ピークとして記録される (dt = 0usのイベント)
⇒ efficiencyロスが最大

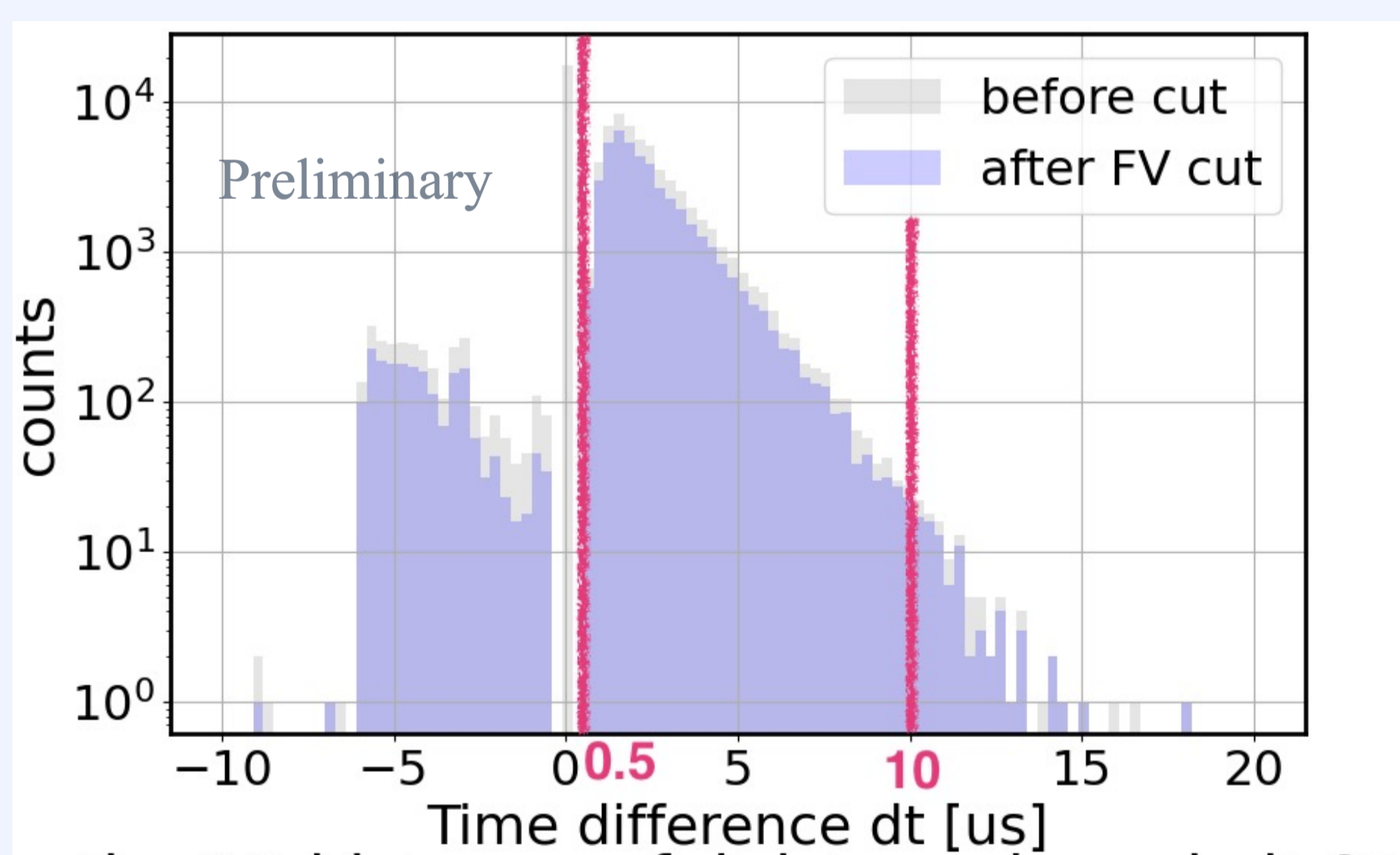


Fig. 1D histogram of dt b/w main and alt S1

Energy cuts (eff: 0.8960)

① Main S1 energy cut (eff: 0.9874)

- 514 keV γがエネルギーをS1に100%落とす時、5600 pe程度で観測される
- 実際は一部はS2でも観測されるため、殆どの事象が3000~5000 peで観測

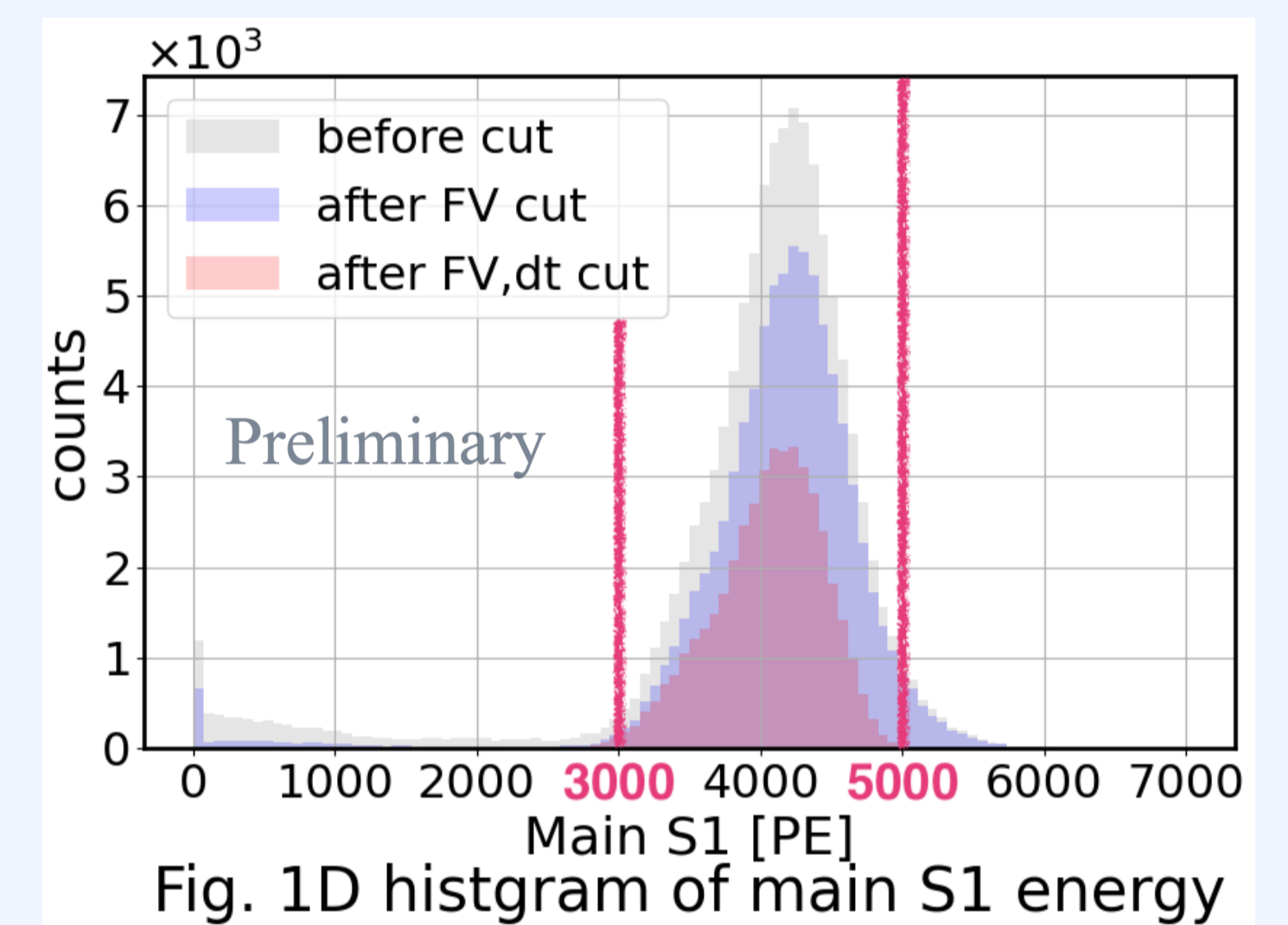


Fig. 1D histogram of main S1 energy

② Alternative S1 energy cut (eff: 0.9076)

- 173 keV βがエネルギーをS1に100%落とす時、1900 pe程度で観測される
- 30~40 peにsingle electron事象が入るので下限も設定

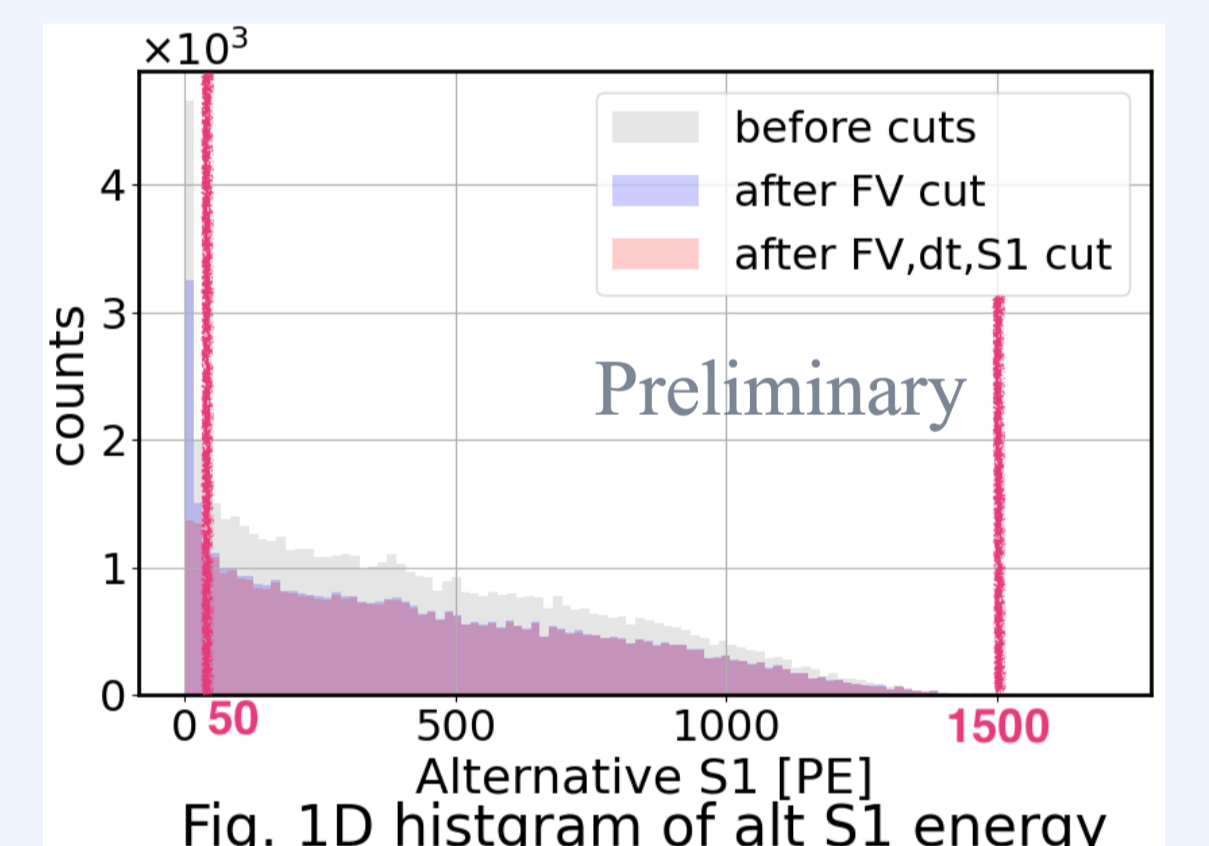


Fig. 1D histogram of alt S1 energy

③ Main S2 cut (eff: 0.9997)

- S2でβ, γそれぞれの観測は難しい ⇒ S2の存在のみを要請

Area Fraction Top(AFT) difference cut (eff: 0.9874)

▶ 信号がTop PMTで観測された割合、TPC内の反応点のz方向の位置を表す

- Main, alt S1のAFT値が乖離 ⇒ 信号の発生点が離れている
- Alt S1 energyでbinに分け、99% quantileとなる点でフィッティング

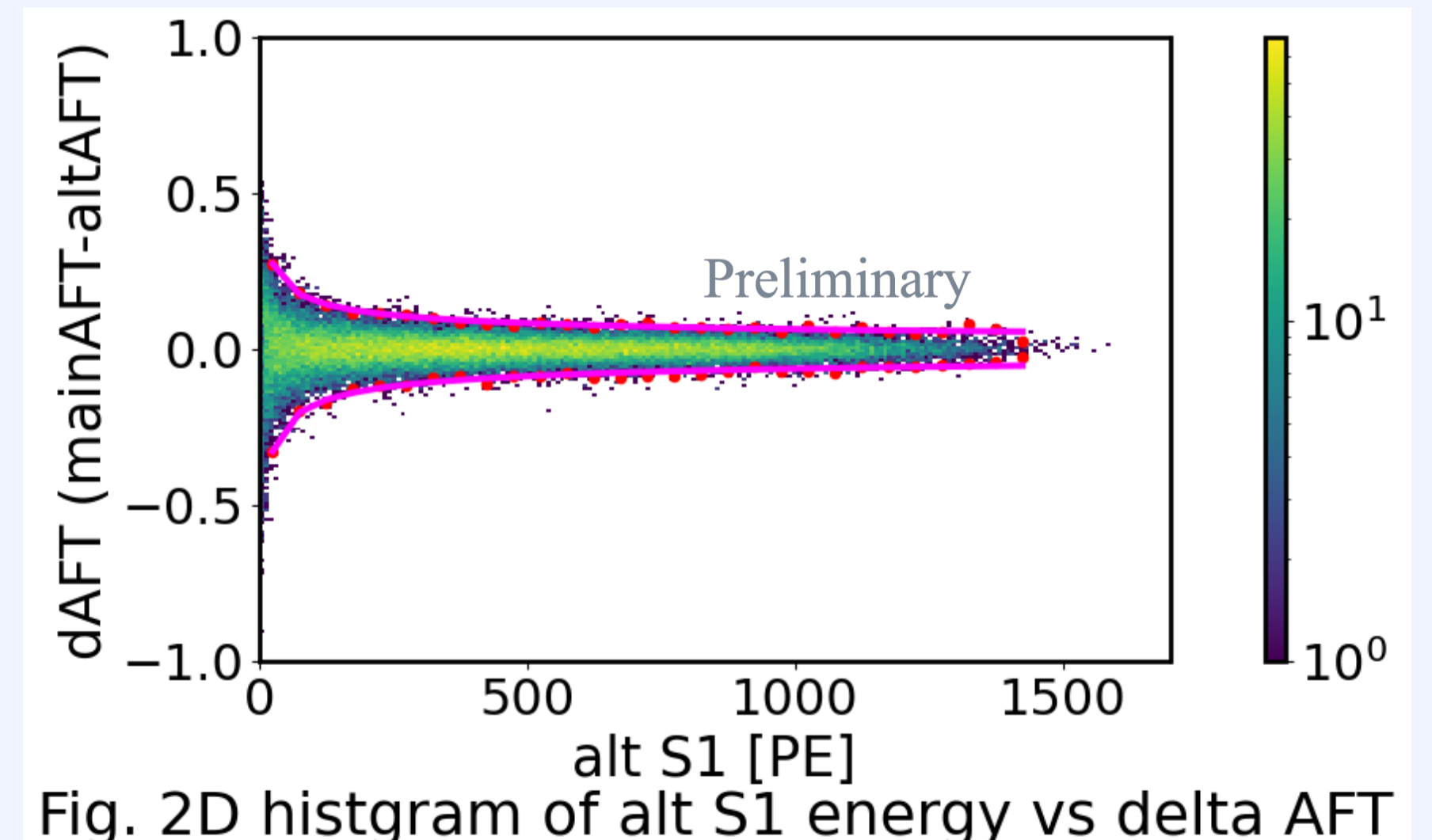
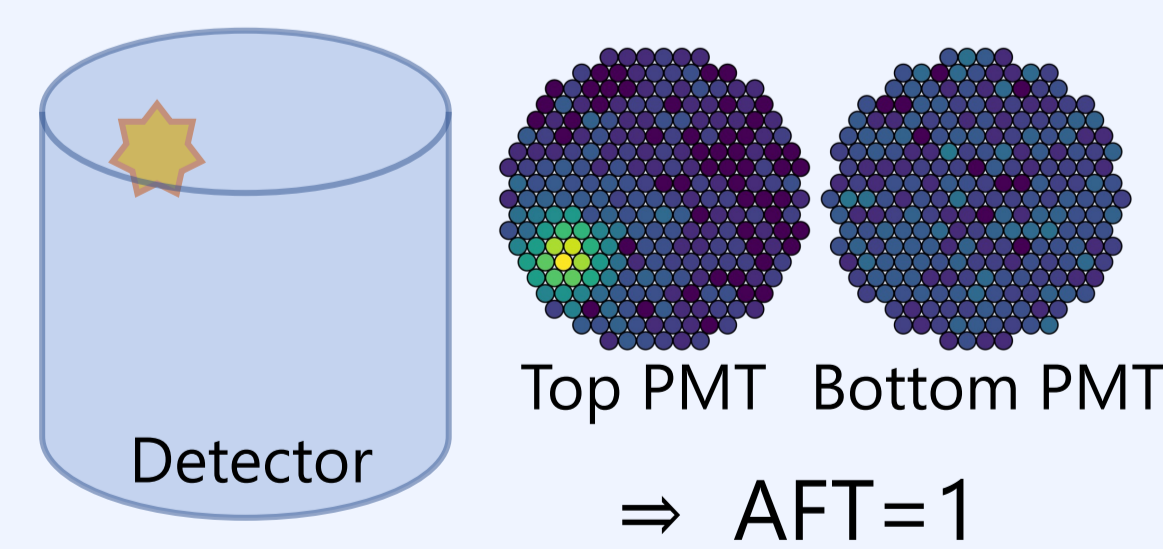


Fig. 2D histogram of alt S1 energy vs delta AFT

Result in SR0 (preliminary) :

結果

- Science Run 0 (SR0)のデータ(exposure time: 97 days)にcut適用 ⇒ 0 event
- cut efficiencyを考慮した結果、Kr濃度の90% CL upper limit ⇒ 0.176 ppt

予想される accidental BG

- 97 daysに⁸⁵Kr由来でないBG事象は 7.1×10^{-3} 回

Main S1 energy cutのみ: 0.0944 Hz
 Alt S1 energy cutのみ: 3.57×10^{-3} Hz
 Accidental ⁸⁵Kr-like signal(10us以内, dAFT<±0.125):
 $0.0944 \times 3.57 \times 10^{-3} \times 10^{-5} \times 0.25 = 8.4 \times 10^{-10}$ Hz

Future :

- 現在運転中のSR1のデータでも同様にKr濃度を算出
- RGMSによる濃度との整合性 (= ⁸⁵Kr/Kr比の正当性)を確認
- cut範囲の見直しや⁸⁵Kr-likeな事象の判別が他にできないか工夫し、cut efficiencyを向上させる
- exposure timeを伸ばして Kr濃度の上限を与え、⁸⁵KrによるBG事象により強い制限を与えsolar pp ν探索やDM探索に貢献