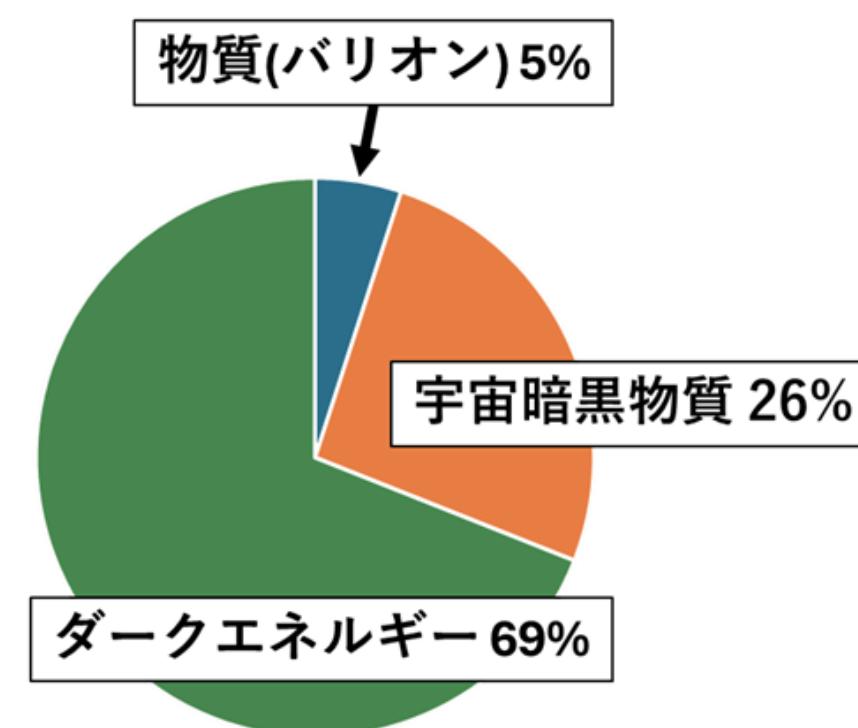


天羽悠太¹, D. Chernyak², 江尻宏泰³, 伏見賢一¹, 畑和実⁴, 研隆太⁵, 飯田崇史⁶, 池田晴雄⁴, 今川恭四郎⁷, 井上邦雄^{4,8}, 伊藤博士⁹, 岸本忠史¹⁰, 古賀真之^{4,8}, 小寺健太¹, A. Kozlov¹¹, 中村健悟^{8,12}, 折戸玲子¹, 嶋達志³, 竹本康浩^{8,13}, 梅原さおり³, 浦野雄介¹⁴, 山本雄平¹, 保田賢輔⁷, 吉田齊¹⁰, 徳島大¹, アラバマ大², RCNP³, RCNS⁴, 大阪産業大⁵, 筑波大⁶, I.S.C.Lab⁷, I.PMU⁸, 東京理科大⁹, 大阪大¹⁰, MEPhI¹¹, 大阪物療大¹², ICRR¹³, 東北大¹⁴

I. PICOLON プロジェクトによる宇宙暗黒物質の探索

・宇宙暗黒物質について



宇宙暗黒物質は宇宙の約26%を占める未知の物質
・電気的に中性・安定して存在・質量をもつ

～宇宙暗黒物質の発見により期待される貢献～
・標準模型を超える物理理論へのデータ提供
・宇宙の成り立ちへの理解

・PICOLON プロジェクトについて

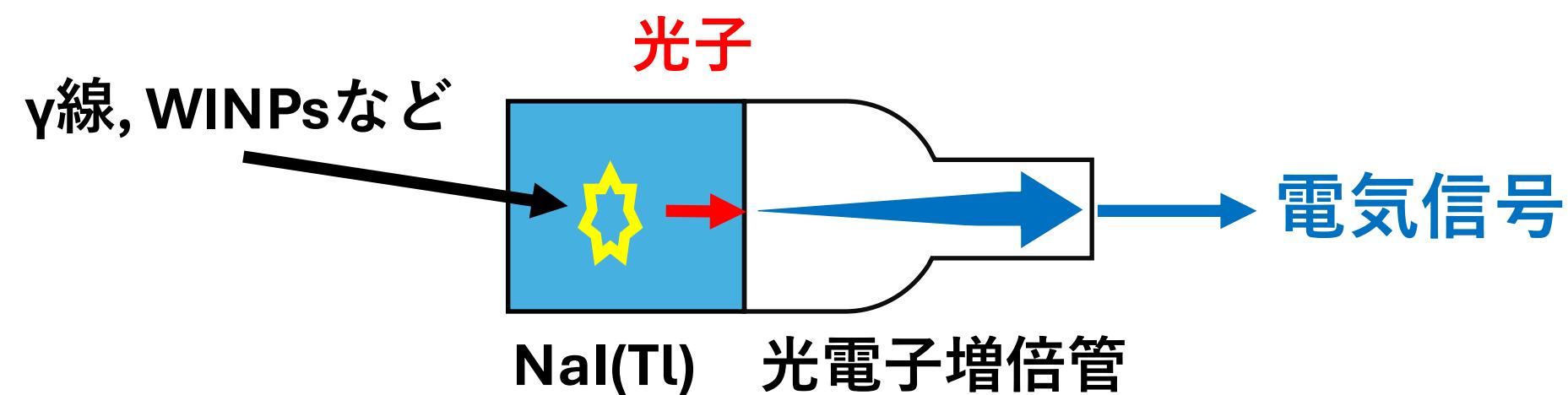


PICOLON : Pure Inorganic Crystal Observatory for LOw-energy Neutr(al)ino

宇宙暗黒物質の有力な候補 : WIMPs (Weakly Interacting Massive Particles) の探索

2 ~ 6 keVの低エネルギー領域に存在すると期待されている

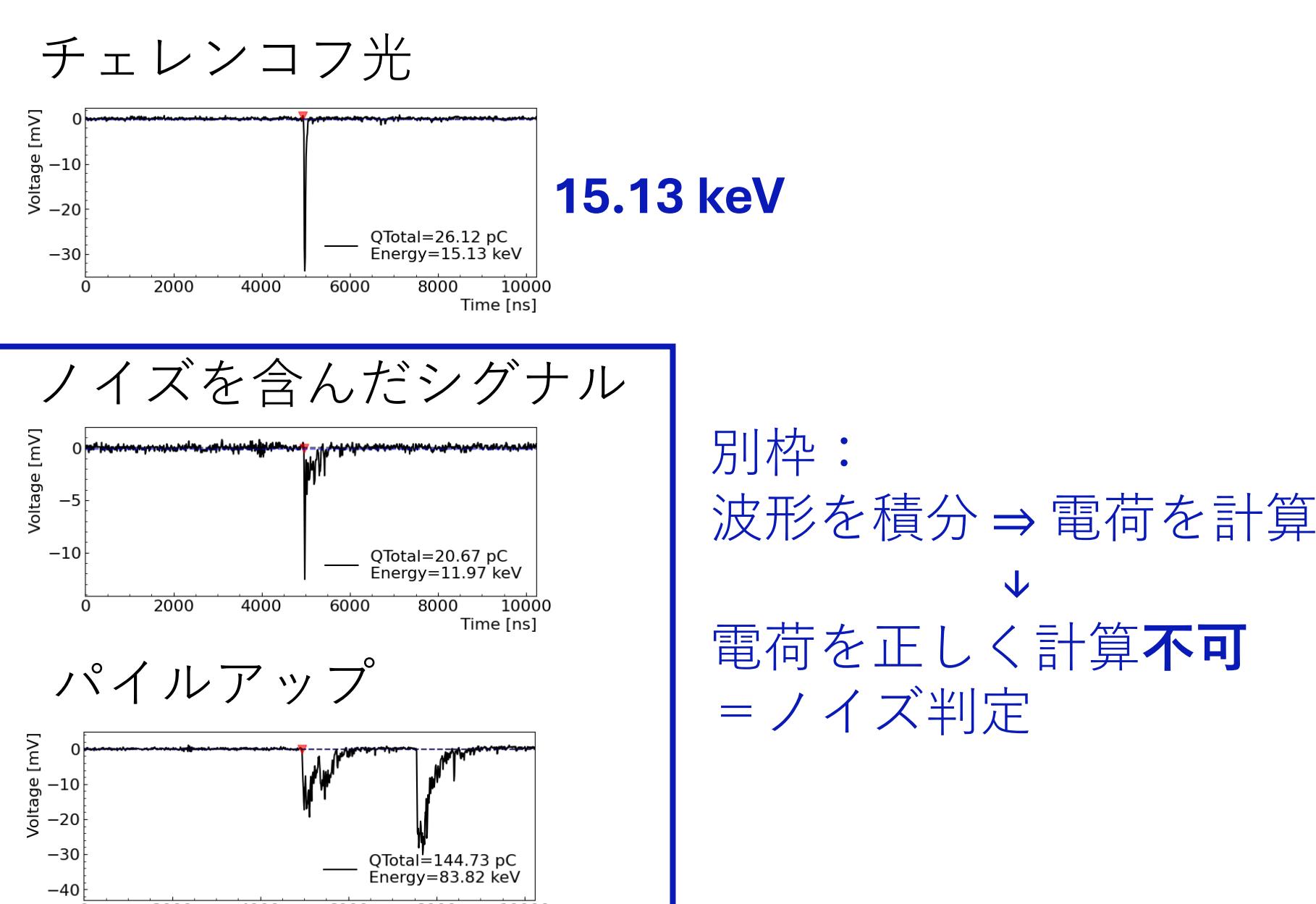
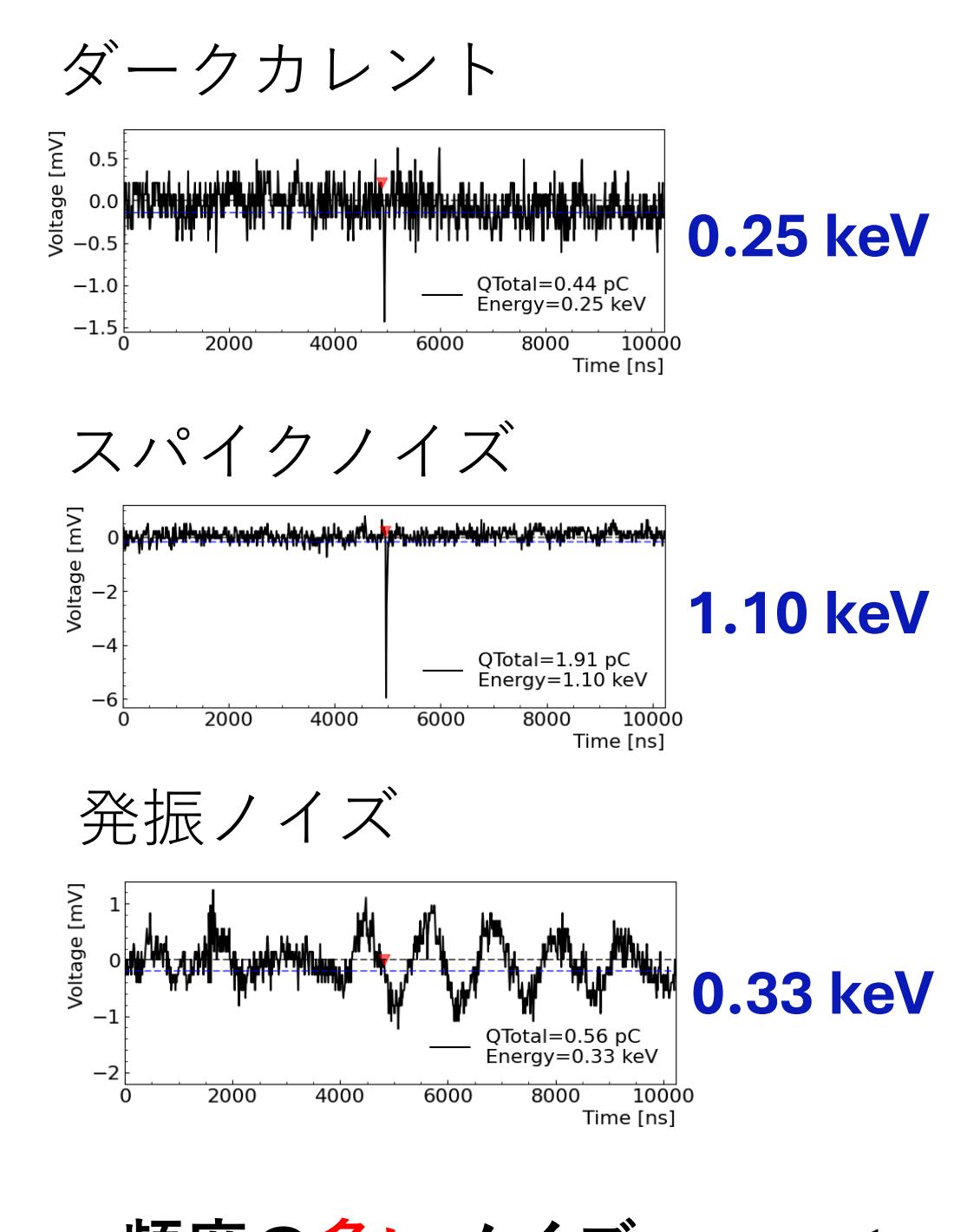
検出器 : タリウム添加ヨウ化ナトリウムシンチレーター



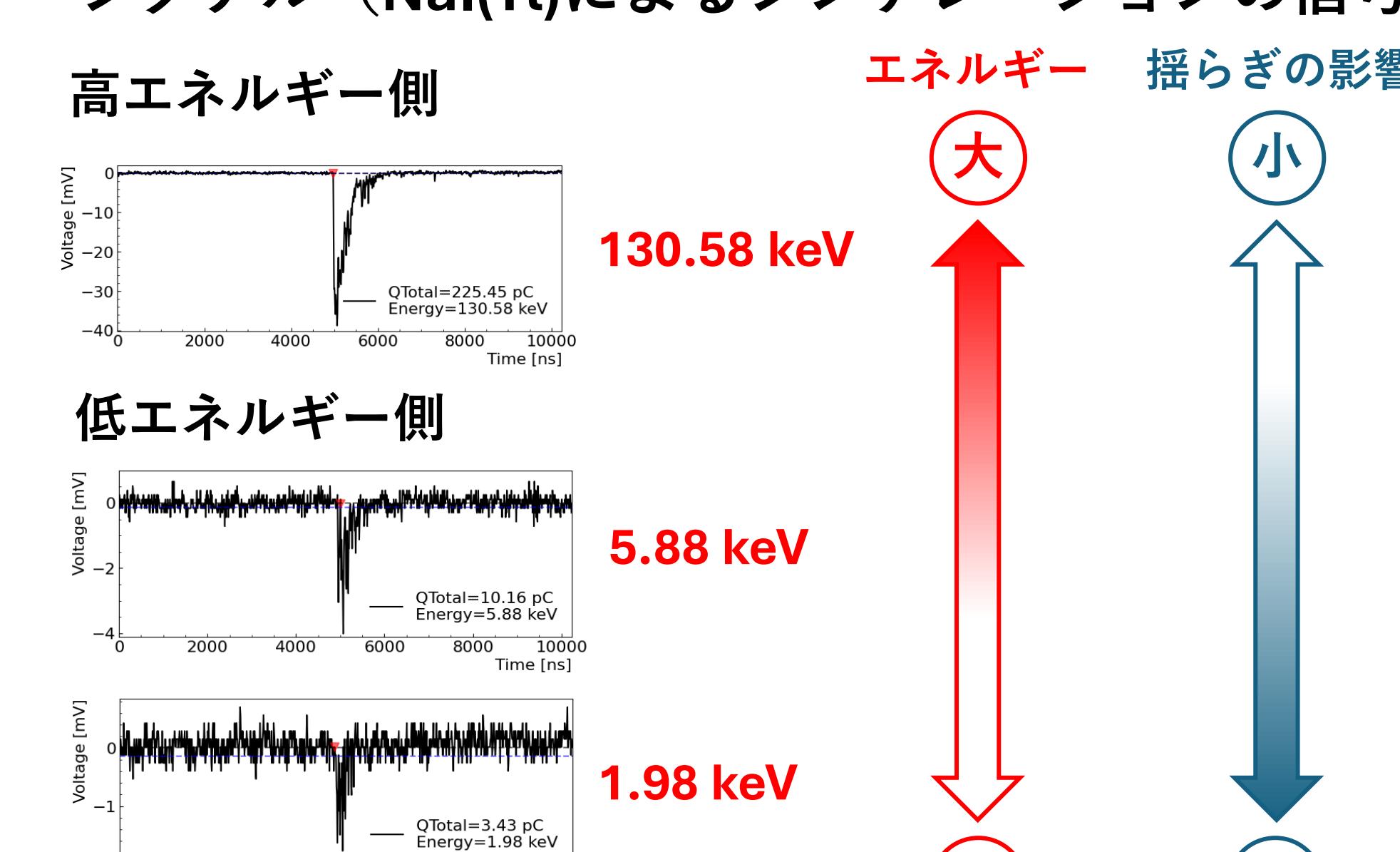
目標 : 超高純度 NaI(Tl) 検出器を開発し、WIMPs の相互作用を総合的に観測する

II. NaI(Tl)シンチレーターの信号について

・ノイズ (NaI(Tl)によるシンチレーション以外の信号 + a)



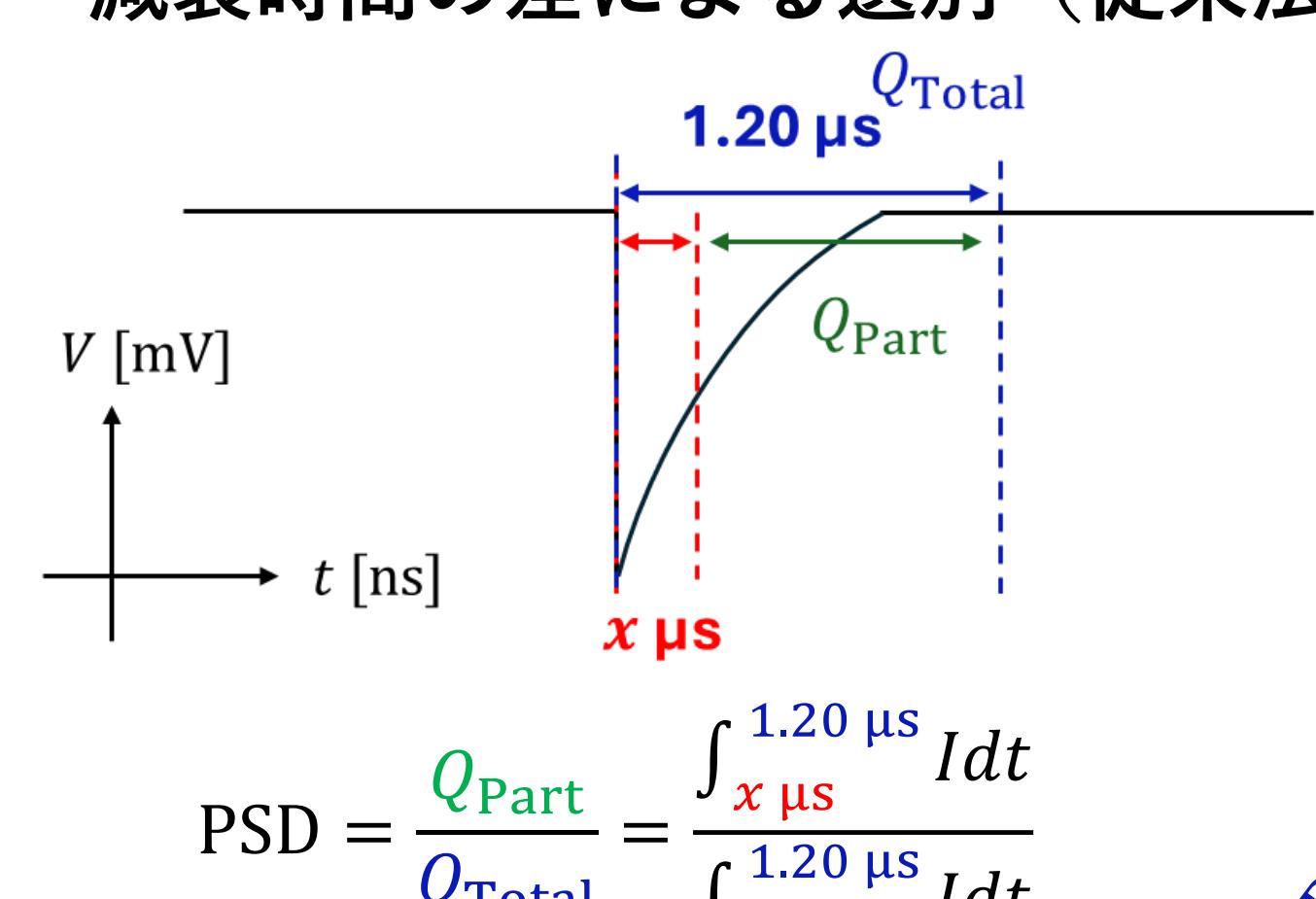
・シグナル (NaI(Tl)によるシンチレーションの信号)



本研究の目的
「機械学習を用いてノイズを除去する」

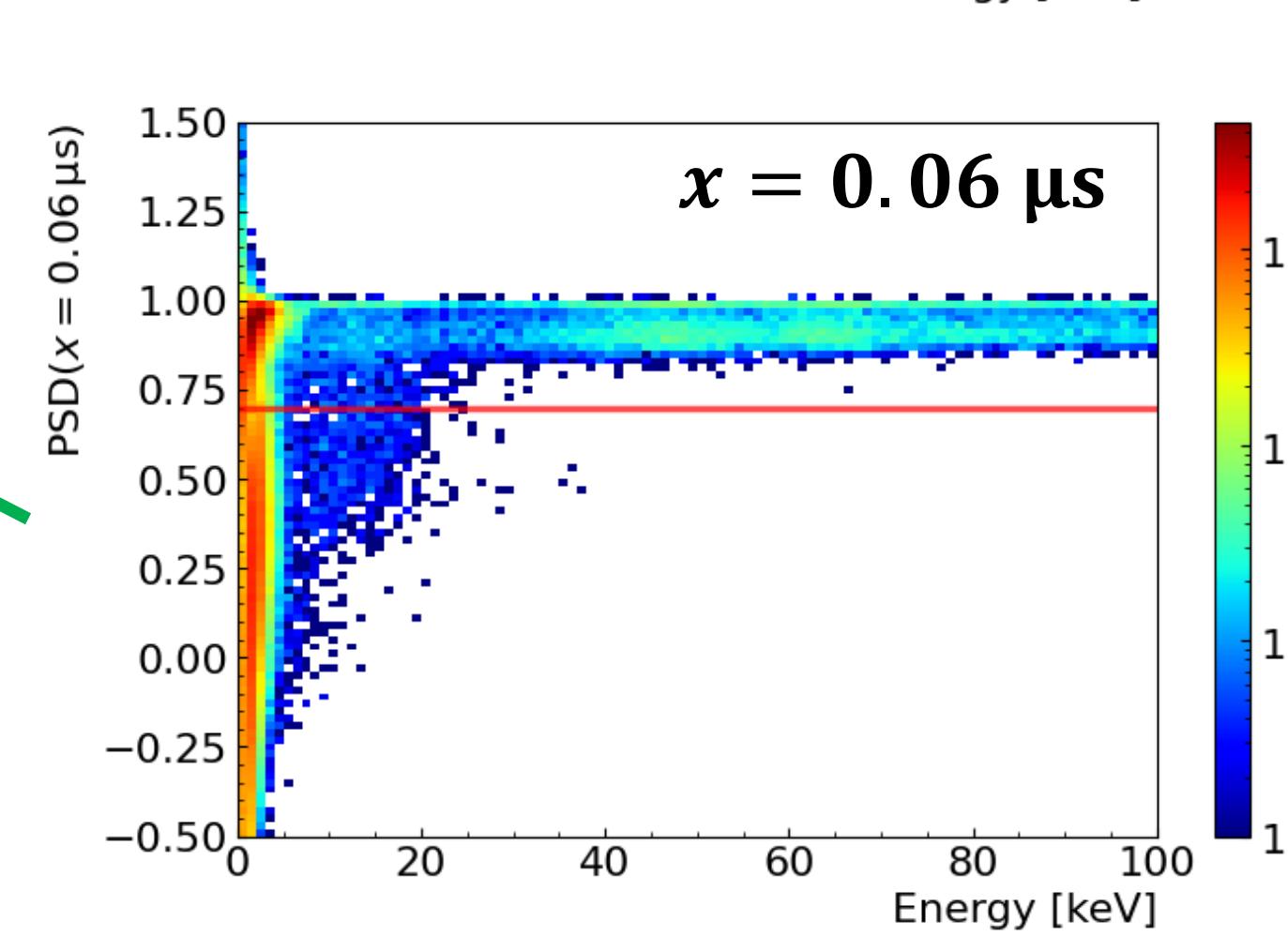
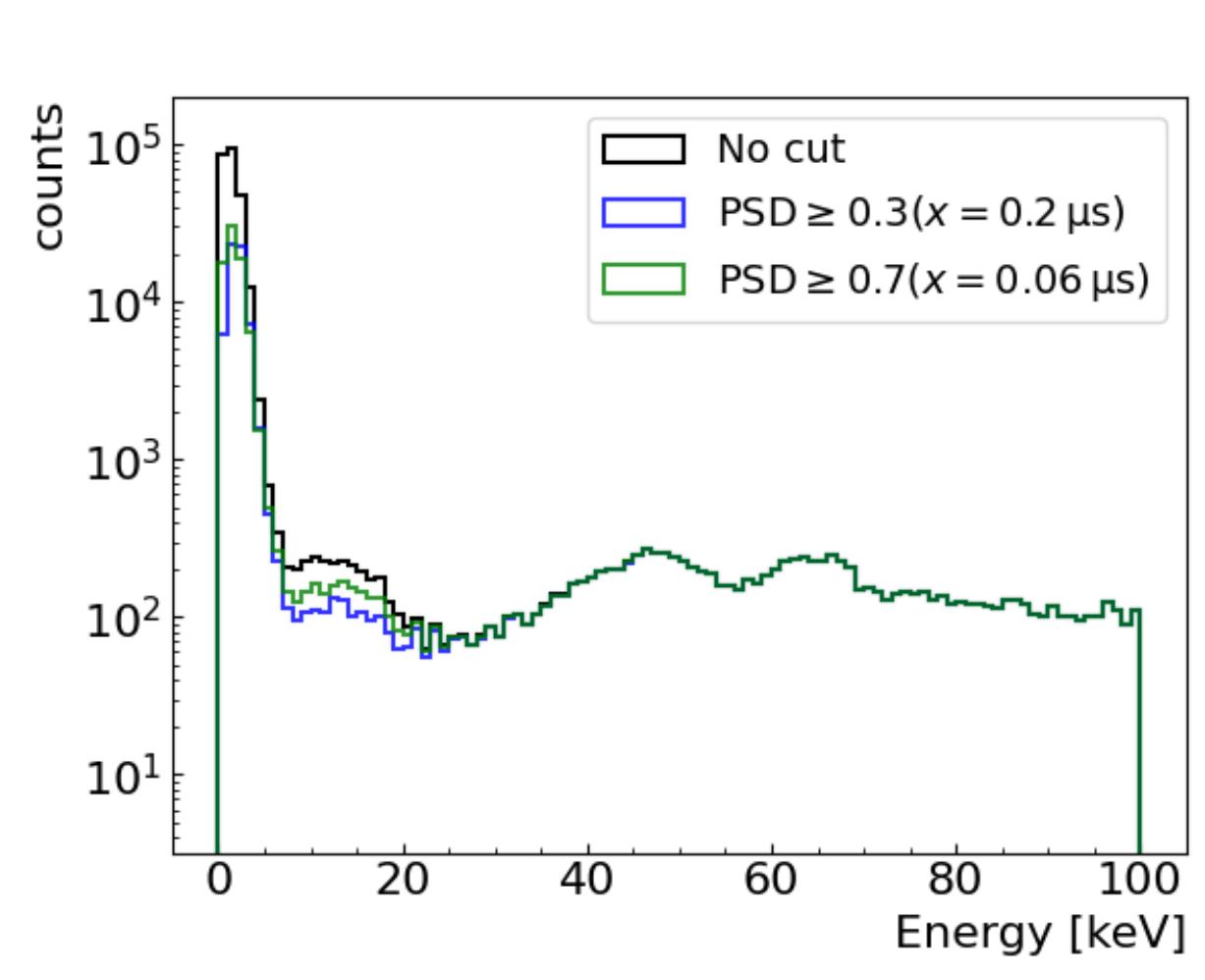
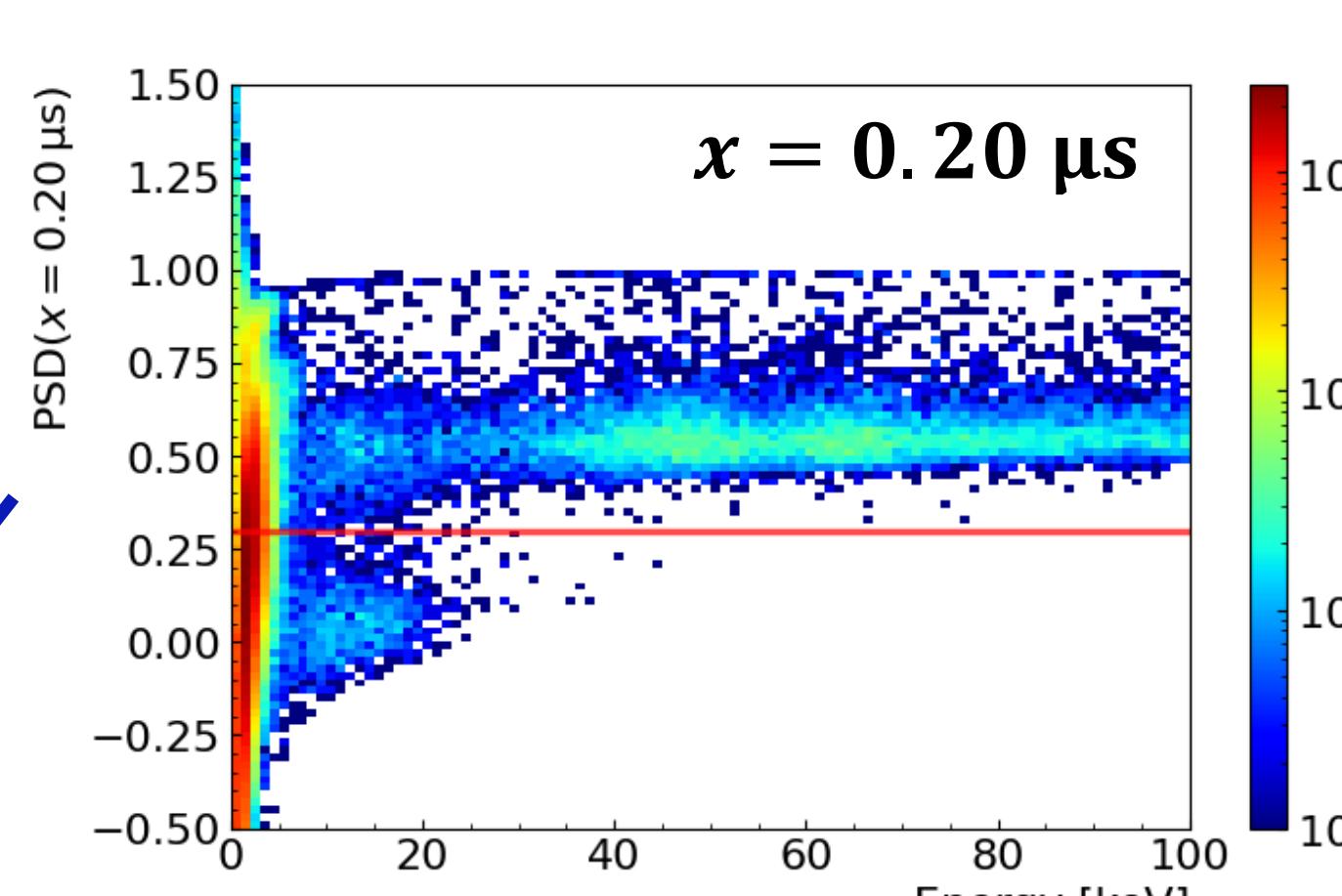
III. 従来のノイズの除去法

・減衰時間の差による選別 (従来法)



※減衰時間 : 信号強度が $1/e$ になるまでの時間

NaIの減衰時間 ~ 230 ns



IV. 使用した機械学習

・使用した機械学習のアルゴリズム

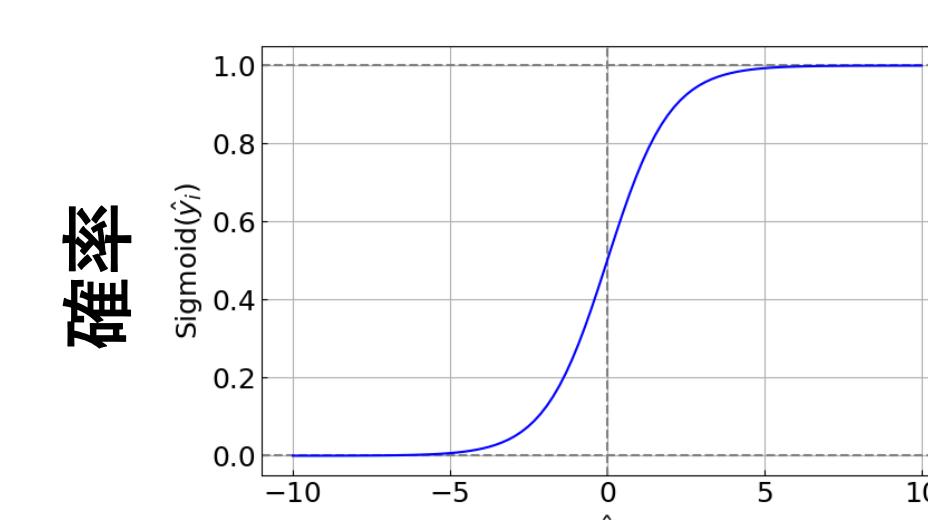
教師あり学習 : XGBoost (eXtreme Gradient Boosting)

$$L = \sum_i l(y_i, \hat{y}_i) + \sum_k \Omega(f_k), \quad \text{where } \Omega(f) = \gamma T + \frac{1}{2} \lambda \|\omega\|^2$$

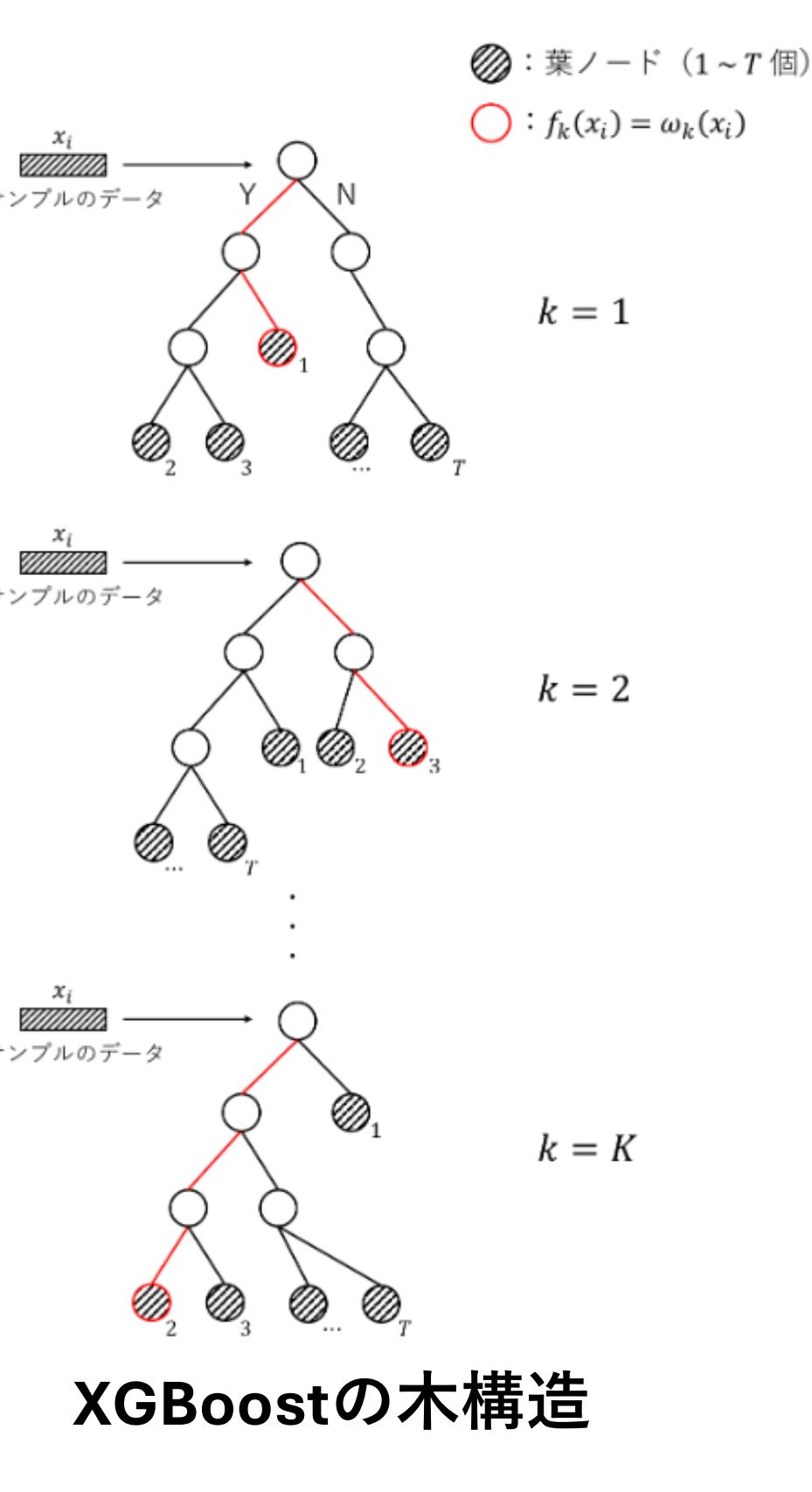
損失関数 L : モデルの予測値 \hat{y}_i と実際のラベル y_i の差を数値化し、学習の最適化に利用する指標

T : 葉ノードの数, $f_k(x_i) = \omega_k(x_i)$: 木の出力 (重み)
 γ, λ : XGBoost の特有のパラメータ

$$\hat{y}_i = \eta \sum_{k=1}^K f_k(x_i) \quad \eta : \text{学習率}$$



モデルの出力値を確率に変換



損失関数を最小化する方向に弱学習器を繰り返し追加し、予測精度を高めるアルゴリズム

[2]

V. 本研究のデータ解析の結果

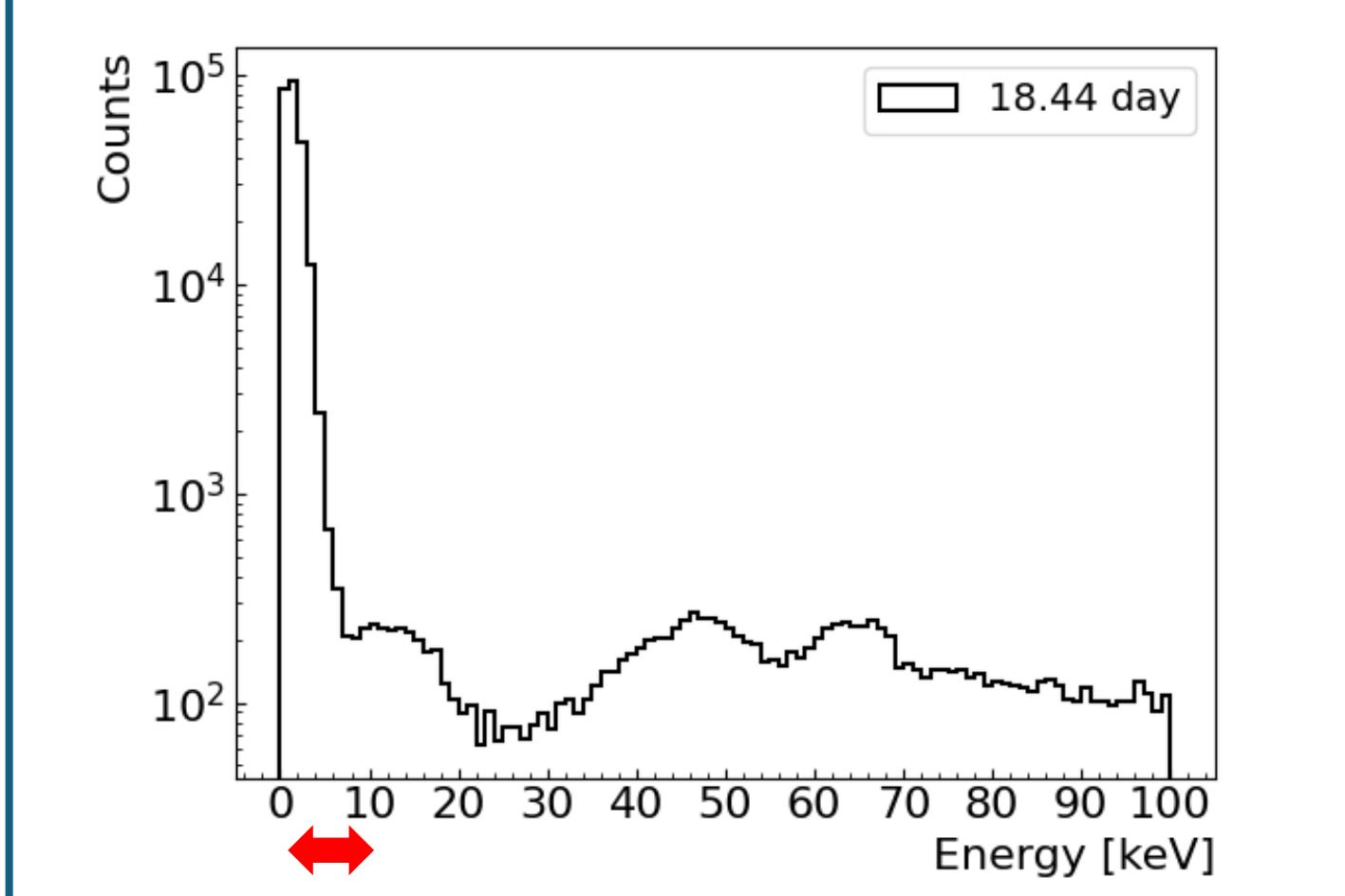
・学習データ

波形から計算される11個のパラメータ

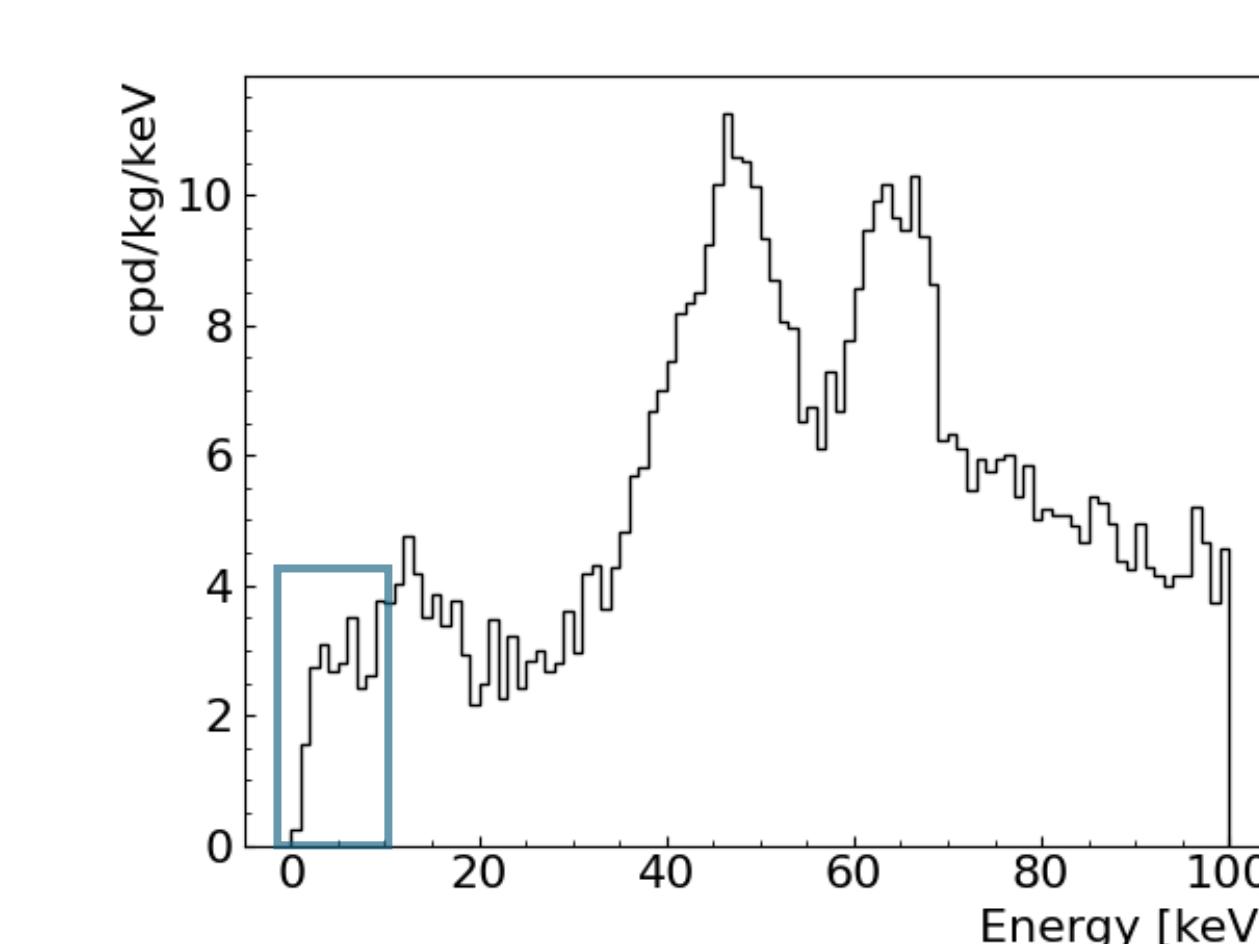
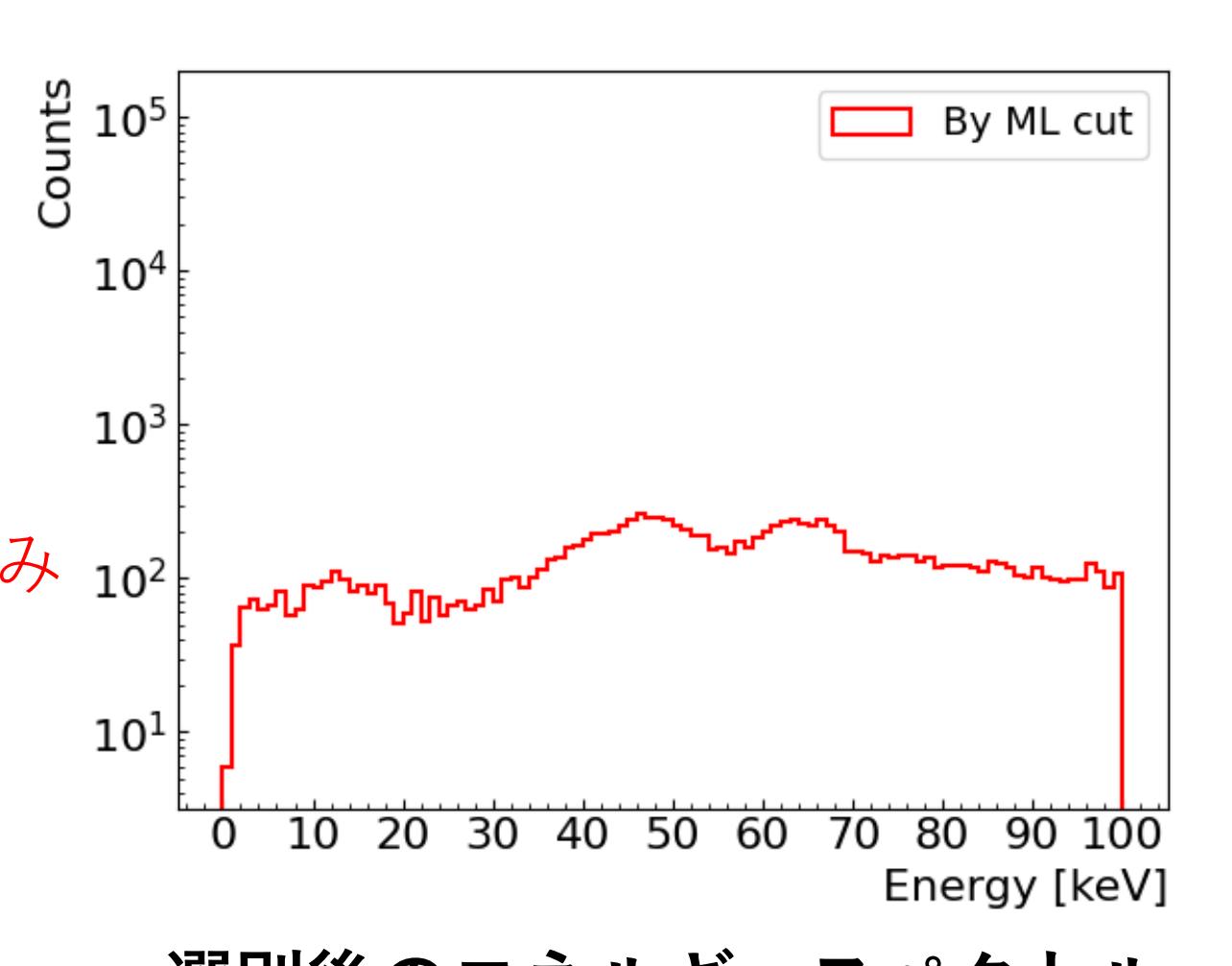
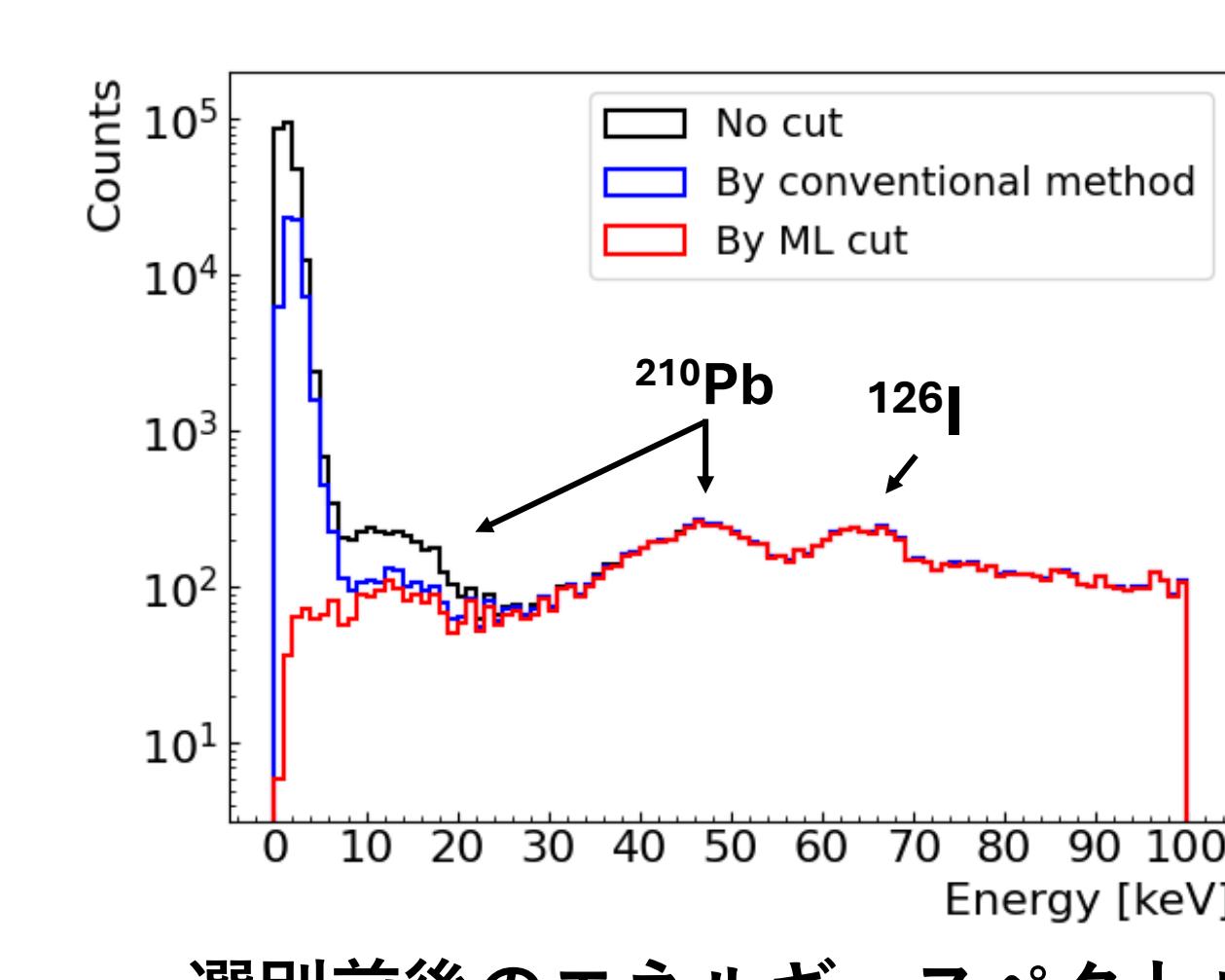
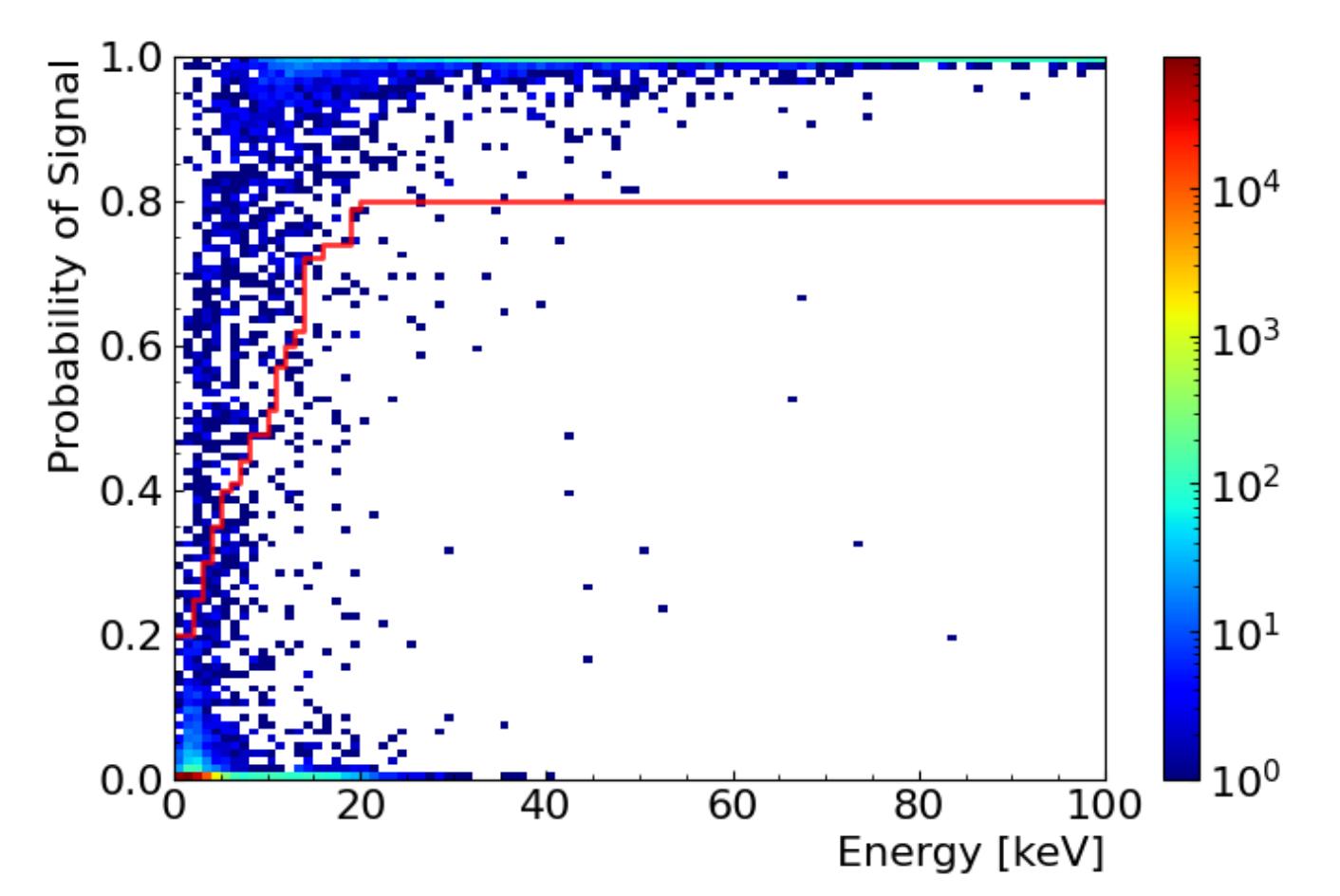
元々、学習データとして波形を使用していた
⇒ 上手くいかなかった

[3]

・ノイズの除去の実施結果



元々の約18.44日間測定したデータのエネルギースペクトル



ROI (2 ~ 6 keV) の計数率は約 3 cpd/kg/keV

目標は 1 cpd/kg/keV 以下

VI. まとめと今後の展望

・まとめ

・ノイズ除去において機械学習は有効！

・WIMPsの探索に必要な感度には、3倍程度足りない
⇒ NaI結晶 or PMT or シールド内部の汚染が原因

・今後の展望

・データセットに低エネルギー領域のシグナルのイベントを追加する
⇒ 教師データの数が多いほどより精密に学習 & 預測できる

・深層学習を行う
⇒ 大規模データを扱える & 複雑なパターンを認識する能力が高い

VII. 参考文献

- [1] 伏見賢一. 『宇宙物理学入門 現代宇宙物理学のAからΩ (第3版)』. 大阪教育出版, 2021.
- [2] Tianqi Chen and Carlos Guestrin. Proc. KDD '16. 2016, 785–794.
- [3] M. Antonello et al. Eur. Phys. J. C **81**, (2021), 299