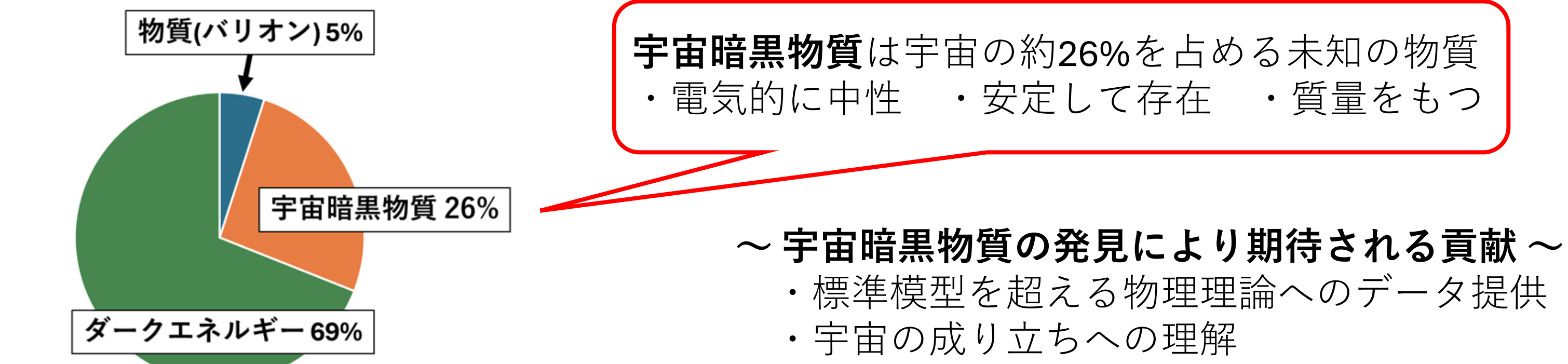


P3 機械学習を用いた低エネルギー領域のノイズの除去

天羽悠太¹, D. Chernyak², 江尻宏泰³, 伏見賢一¹, 畑和実⁴, 碓隆太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, 吉田斉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, IPMU⁸, 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

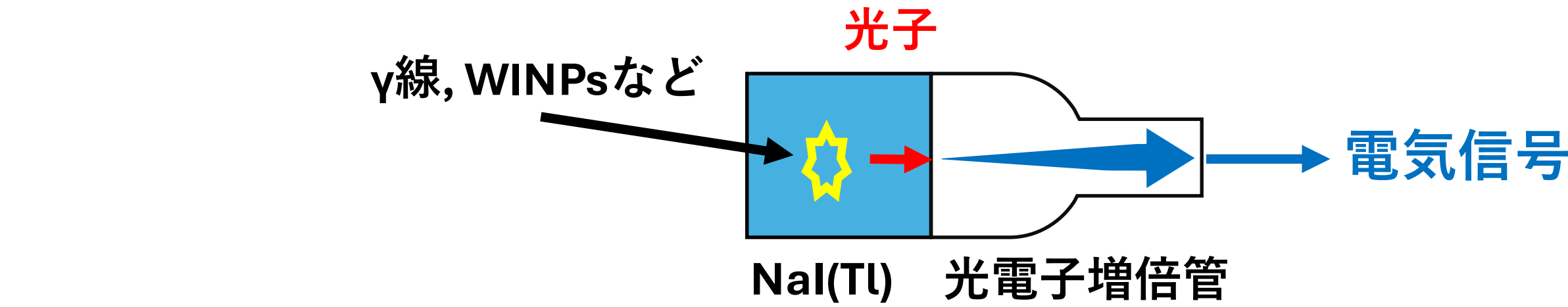


・PICOLONプロジェクトについて

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

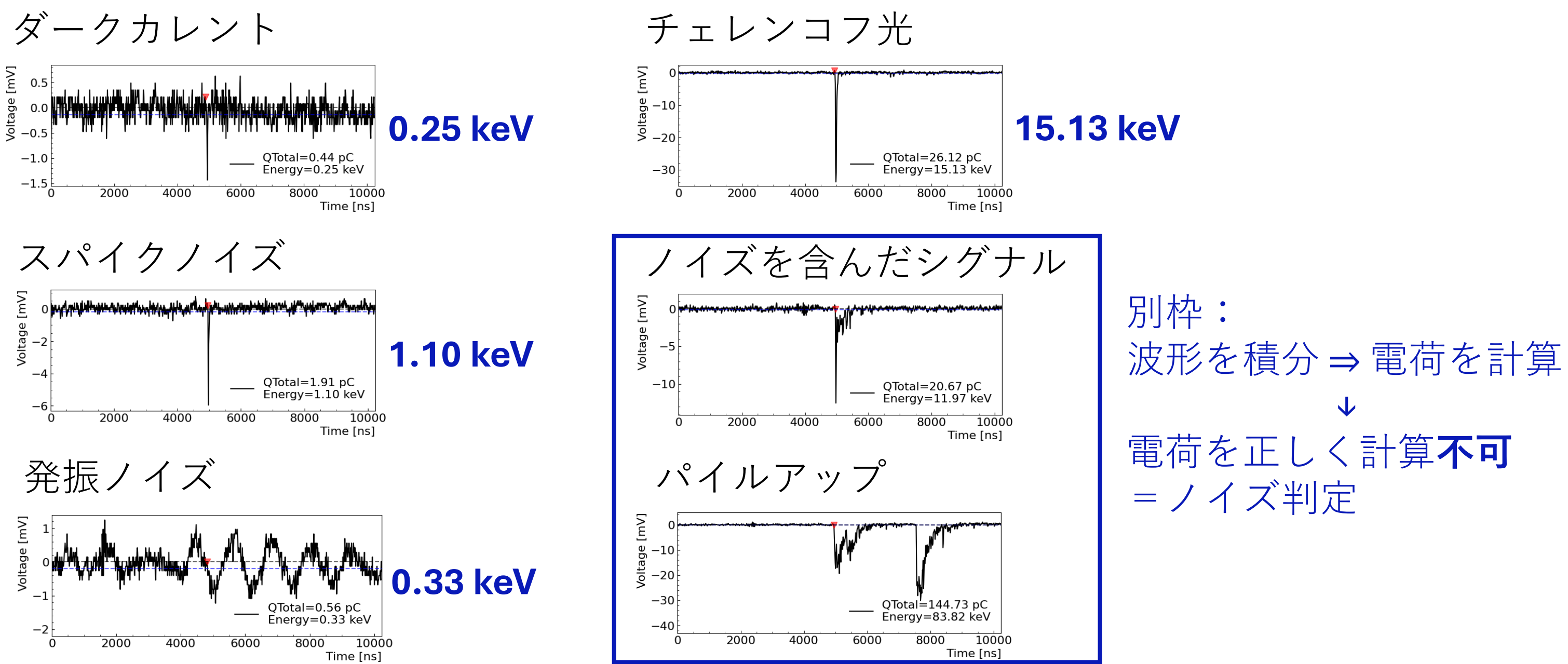
検出器: タリウム添加ヨウ化ナトリウムシンチレーター



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

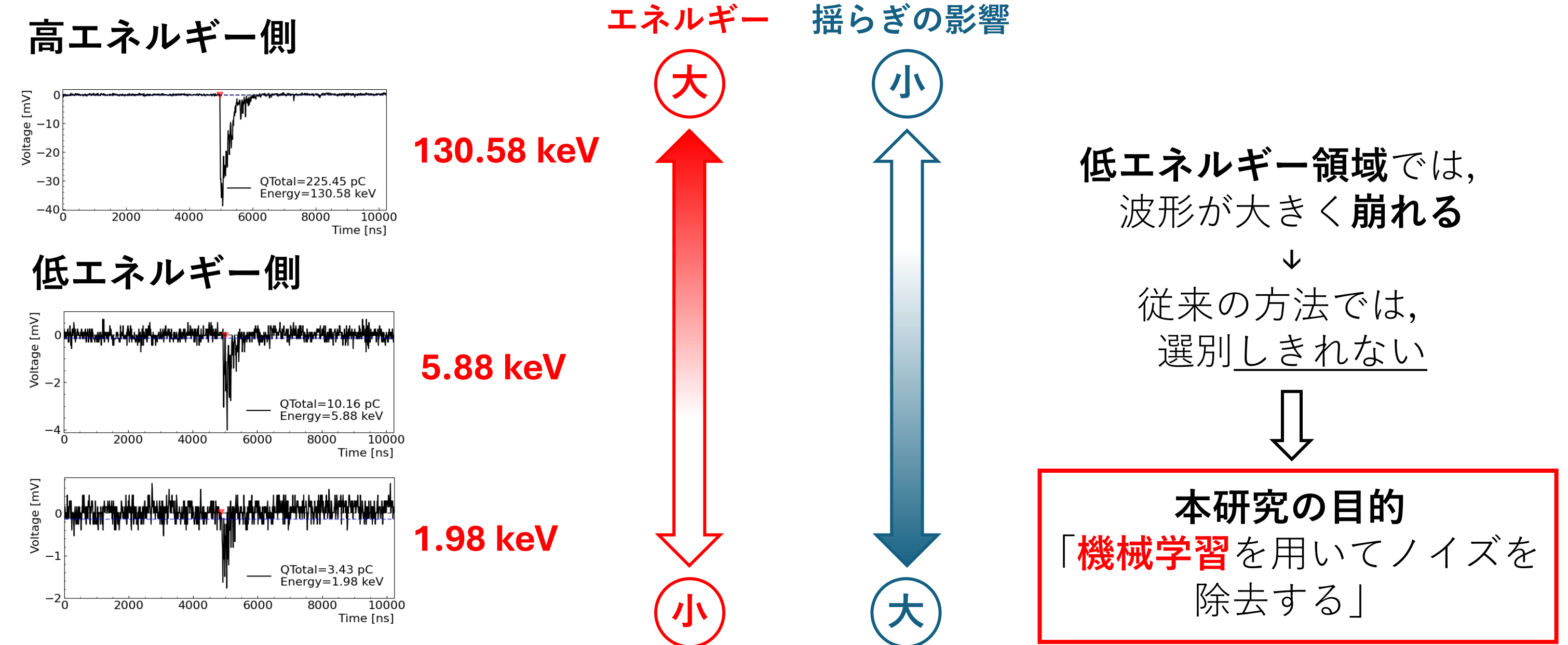
II. Nal(Tl)シンチレーターの信号について

・ノイズ (Nal(Tl)によるシンチレーション以外の信号+α)



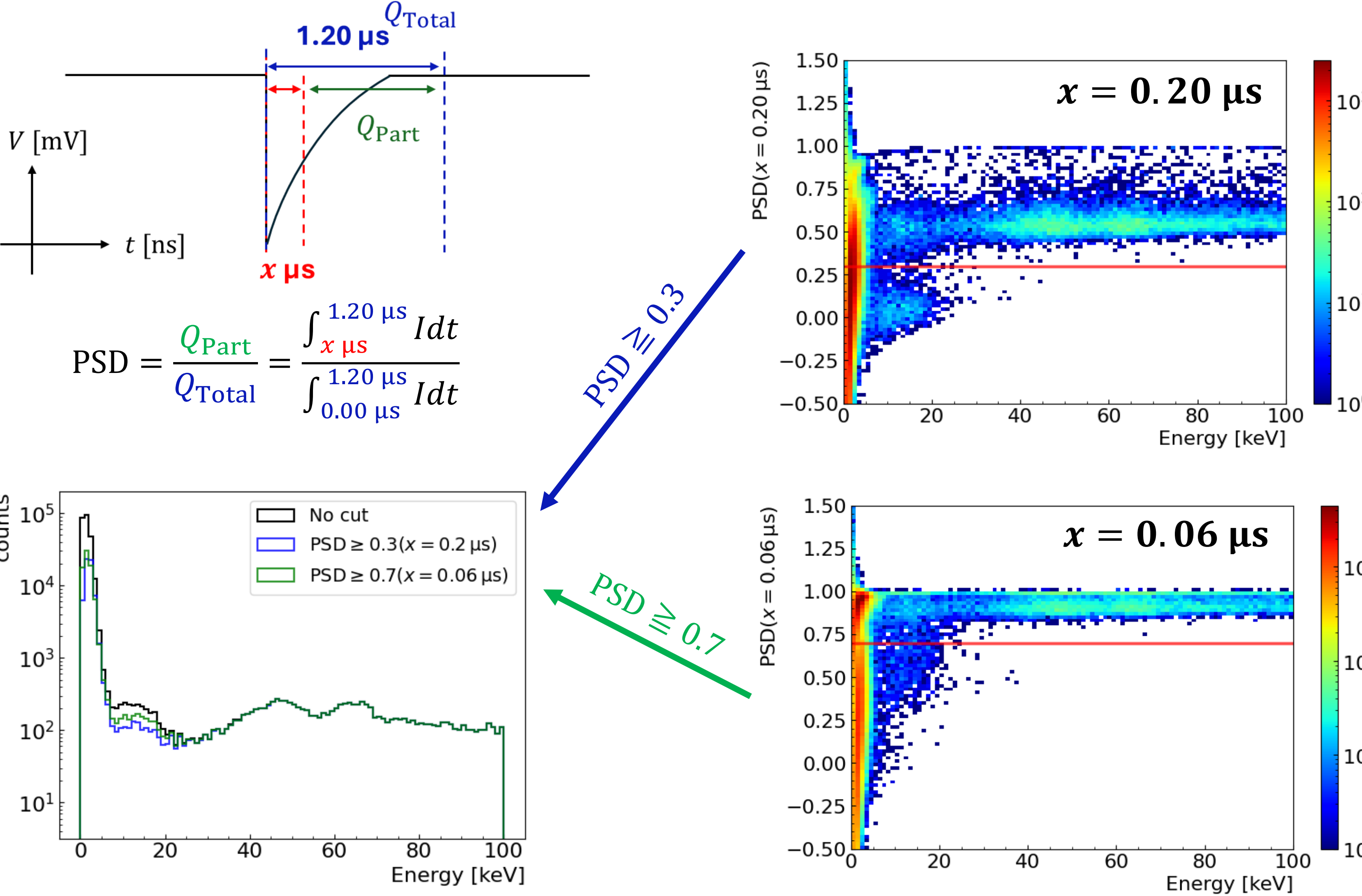
頻度の多いノイズ < 頻度の少ないノイズ

・シグナル (Nal(Tl)によるシンチレーションの信号)



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)



IV. 使用した機械学習

・使用した機械学習のアルゴリズム

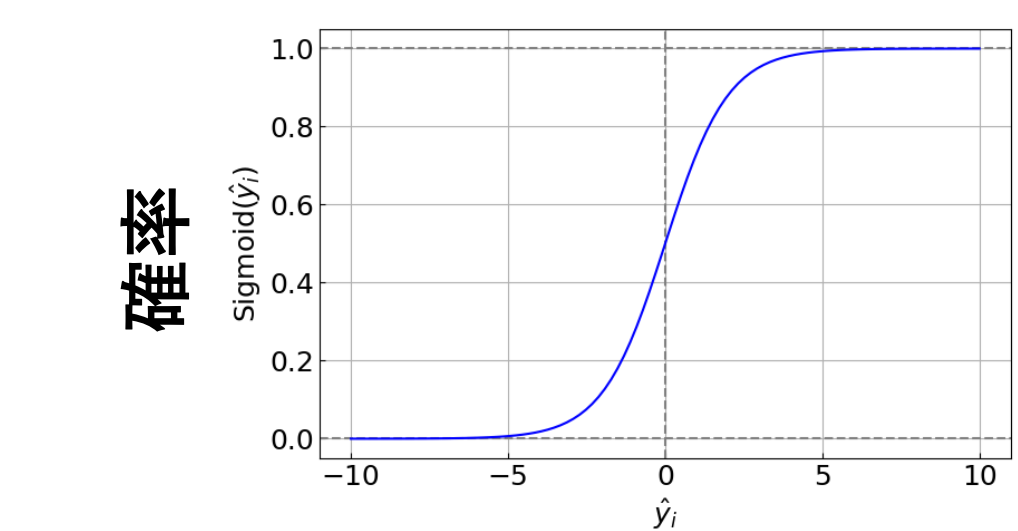
教師あり学習: XGBoost (eXtreme Gradient Boosting)

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

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

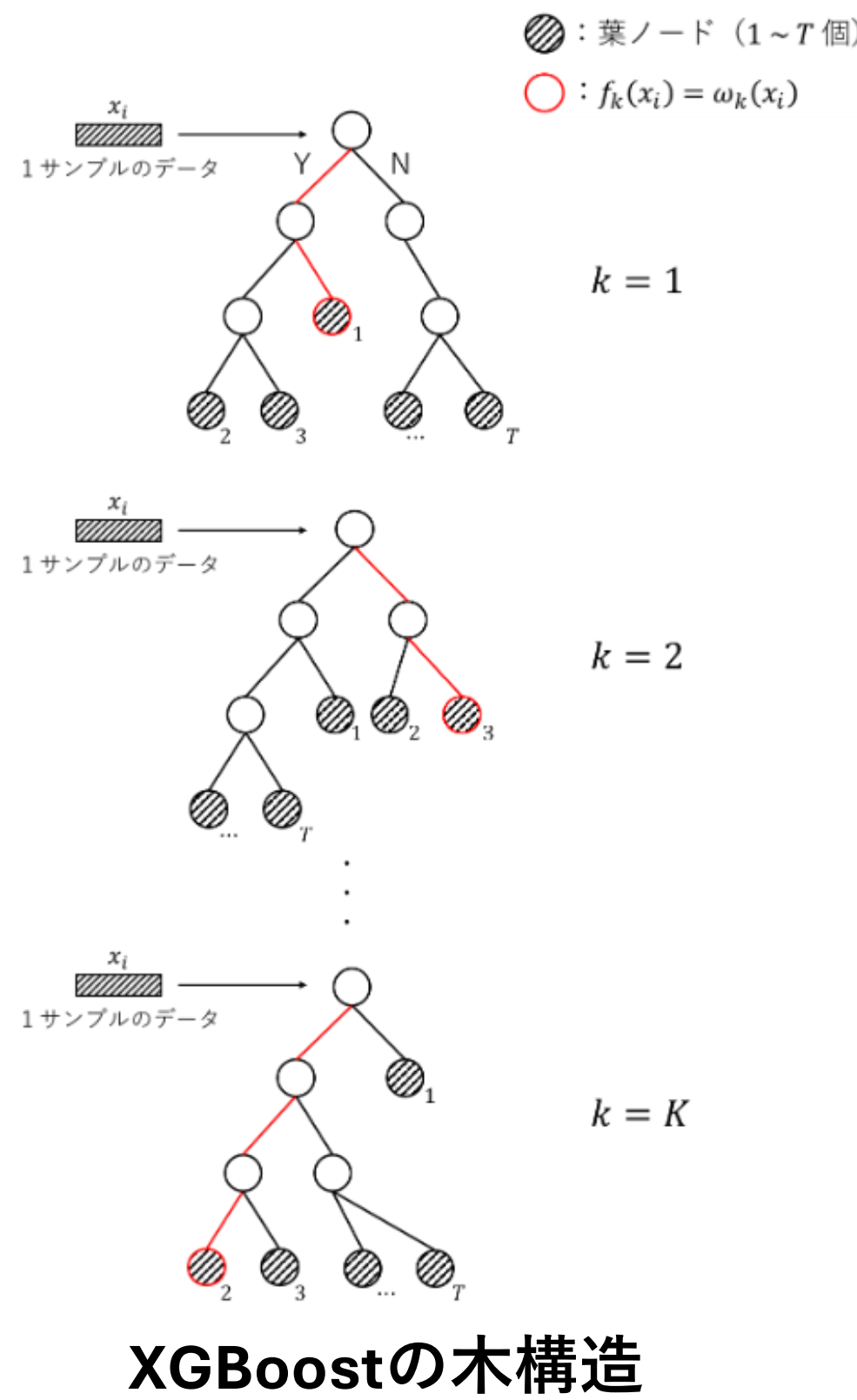
T: 葉ノードの数, $f_k(x_i) = \omega_k(x_i)$: 木の出力 (重み)
 γ, λ : XGBoostの特有のパラメータ

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



$$\text{Sigmoid}(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}$$

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

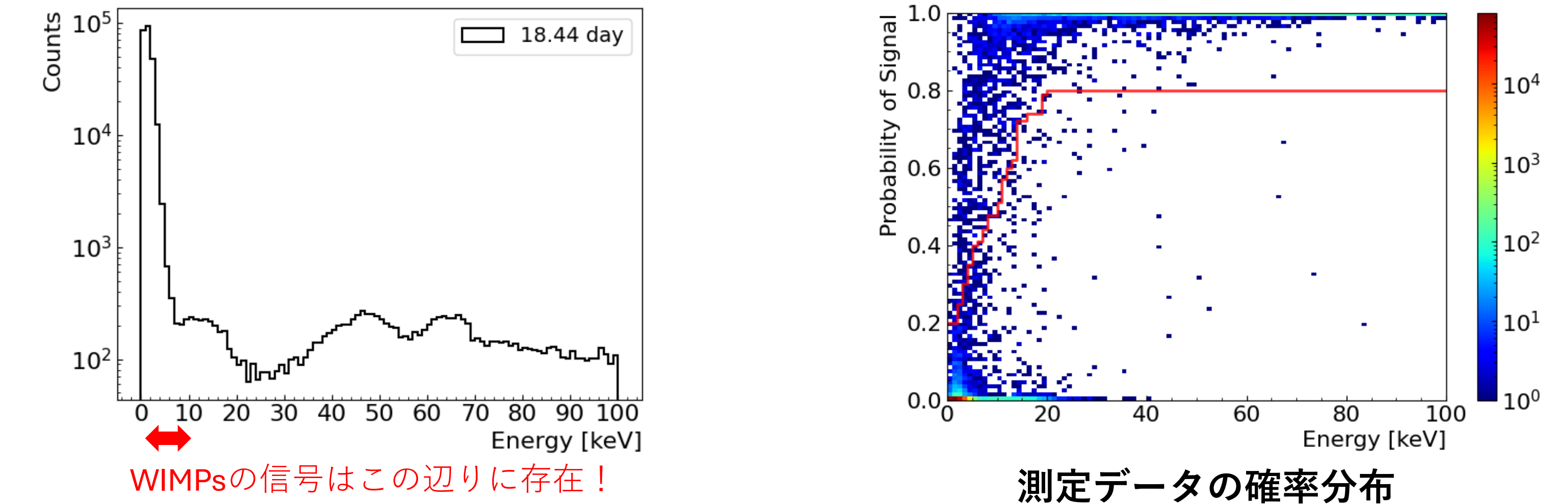
V. 本研究のデータ解析の結果

・学習データ

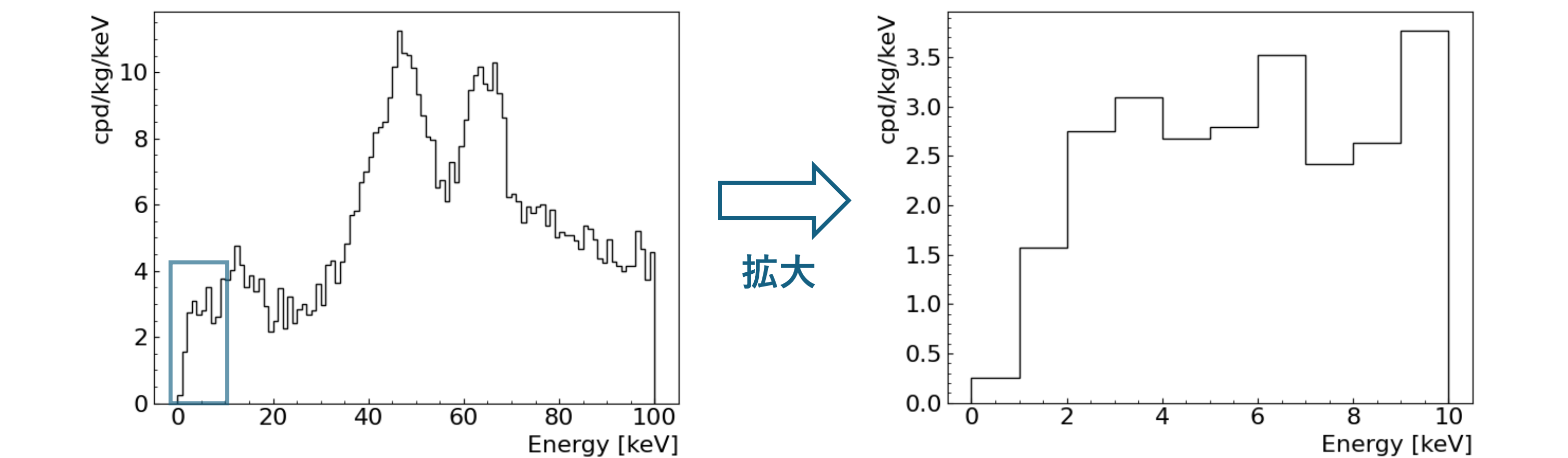
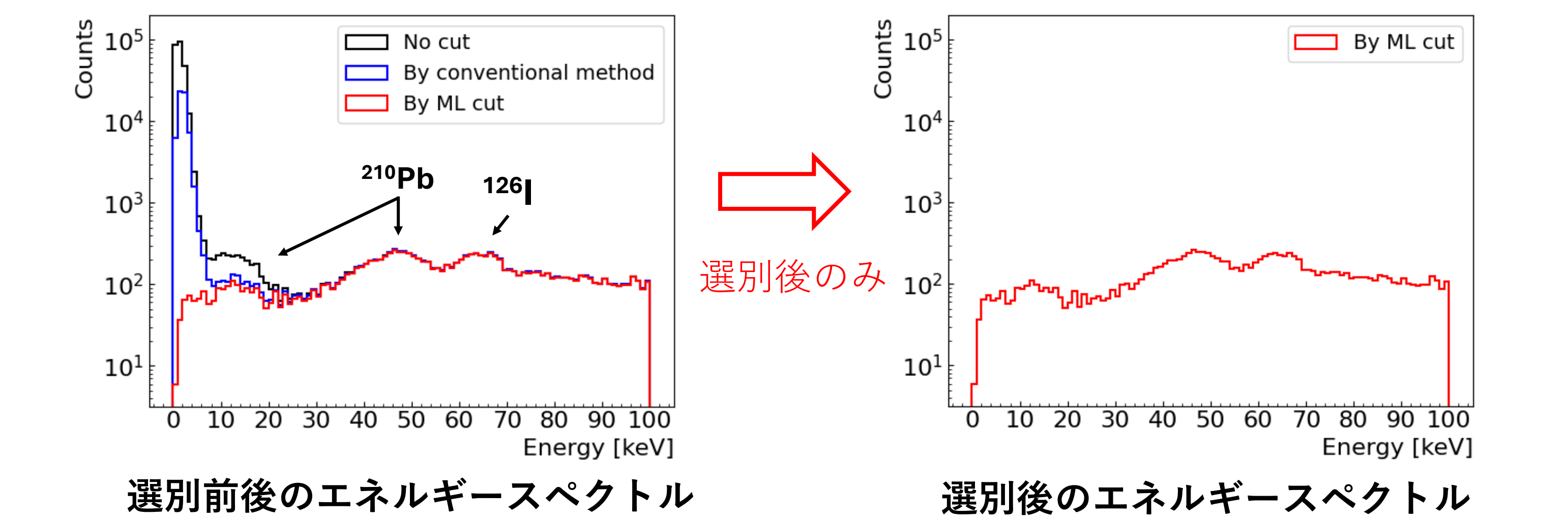
波形から計算される11個のパラメータ

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

・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
⇒ Nal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 & 予測できる
- ・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