

PICOLON 神岡 DAQ システムの構築と新 NaI(Tl)結晶のインストール

永見美空¹ 伏見賢一² 折戸玲子² 山本祐平^{2D} Chernyak³ 江尻宏泰⁴ 嶋達志⁴ 梅原さおり⁴ 畑和実⁵ 池田晴雄⁵ 井上邦雄^{5,9} 古賀真之^{5,9} 裕隆太⁶ 飯田崇史⁷ 今川恭四郎⁸ 保田賢輔⁸ 中村健悟^{14,9} 竹本康浩^{15,9} 伊藤博士¹⁰ 岸本忠史¹¹ 吉田斉¹¹ 小寺健太¹² A.Kozlov¹³

徳島大理工¹ 徳島大院社会産業理工学研究部² Univ.ofAlabama³ 大阪大核物理研究センター⁴ 東北大ニュートリノ科学研究センター⁵ 大阪産業大デザイン工学部⁶ 筑波大数理物理学系⁷ I.S.C.Lab.(株)⁸ 東京大カブリ数物連携宇宙研究機構⁹ 東京理科大理工¹⁰ 大阪大理¹¹ 徳島大院創成理工学研究科¹² MEPHI¹³ 大阪物療大¹⁴ 東京大宇宙線研究所¹⁵

宇宙暗黒物質(Dark Matter)探索

- 【性質】 ●電荷を持たず安定 ●質量を持つ
- 光学観察不可の未知物質(電磁波の吸収・放出なし)
- 【最有力候補 WIMPs】

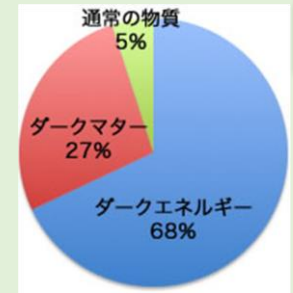


図1 宇宙の構成

世界で行われている DM 探索

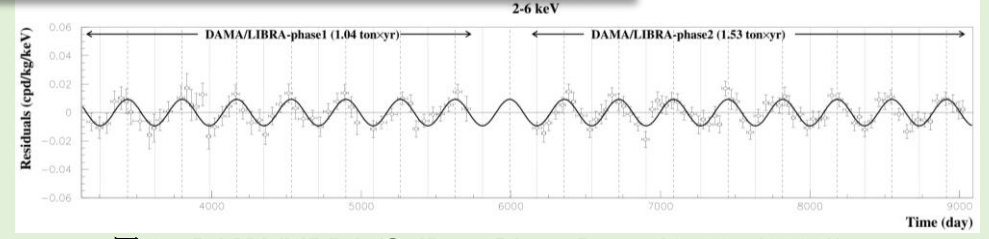


図2 DAMA/LIBRA (SciPost Phys. Proc. 12, 025 (2023))

DAMA/LIBRA:250 kg NaI(Tl)検出器・未知の季節変動を主張
 ANAIS:季節変動を否定 COSINE:逆位相の季節変動を主張
 【実験感度の向上方法】①低いバックグラウンド(BG)濃度
 ②十分に大きい検出器の質量 ③十分に低いエネルギー閾値

Weakly Interacting Massive Particles

観測エネルギー低い(計数率:1 t 検出器で1年に数個)
 →長期安定性のある DAQ システムが必要

【目的】
 Pure Inorganic Crystal Observatory for LOW-energy Neutr(al)ino の略
 世界最高純度相当の NaI 結晶の開発
 NaI(Tl) 検出器による DM 探索・DAMA/LIBRA の未知の季節変動検証

神岡 DAQ システム構築

【システム環境】

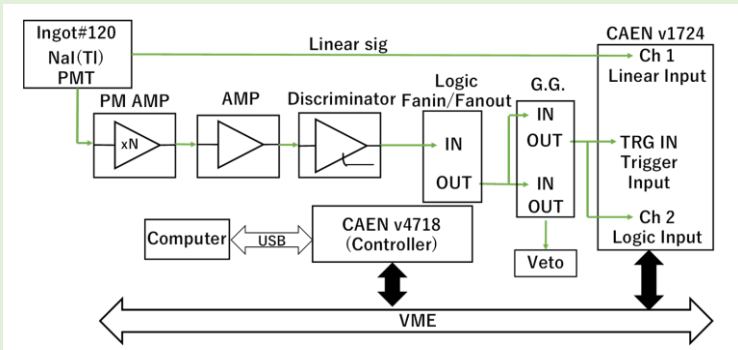


図3 神岡 DAQ システムの信号ブロック図

- CAEN のシステム(WaveDump)
- データ使用量 306 MB/日
- メモリ 12 GB(ディスク 3.0 TB)

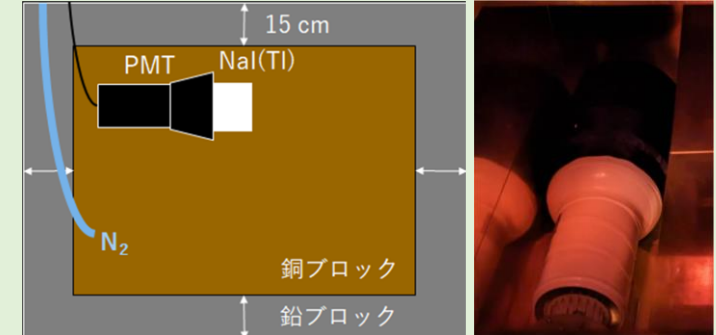


図4 実験セットアップ(神岡)

図5 NaI(Tl)検出器

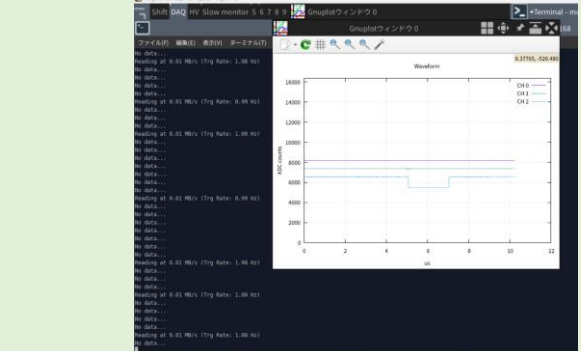


図6 神岡 DAQ システムの画面

【実験と解析】 シールド内に線源(⁶⁰Co, ¹³³Ba, ¹³⁷Cs)を入れて計測・エネルギー較正・解析

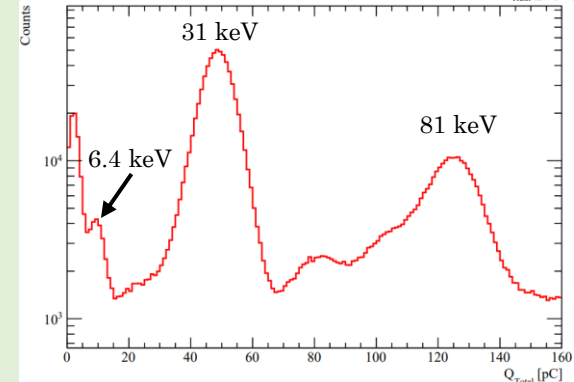
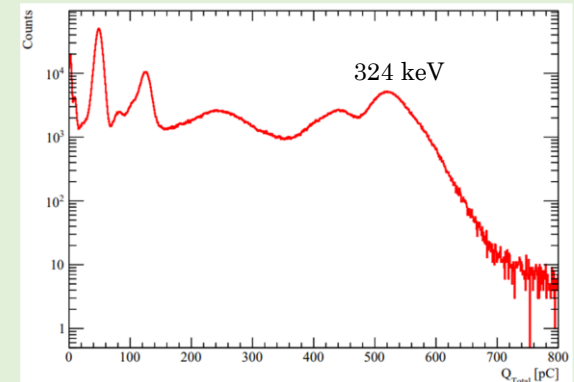


図7 エネルギースペクトル(¹³³Ba)
6.4 keV のピーク確認

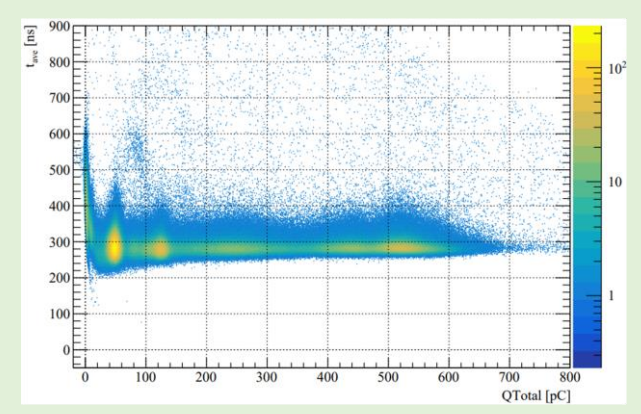


図8 平均時間 <t> (¹³³Ba)

$$\langle t \rangle = \frac{\sum_{t=0}^{1200 \text{ ns}} V(t)t}{\sum_{t=0}^{1200 \text{ ns}} V(t)}$$

t:時間[ns] V(t):電荷量[pC]

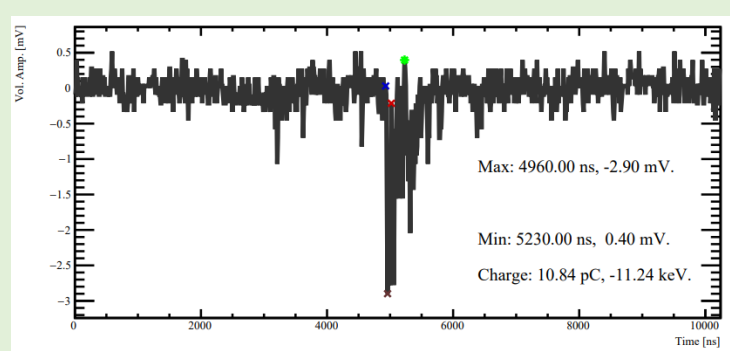


図10 ¹³³Ba6.4keV とと思われる NaI(Tl)信号の取得波形
200 < t < 600, 8 < QTotal < 12 のみにカット

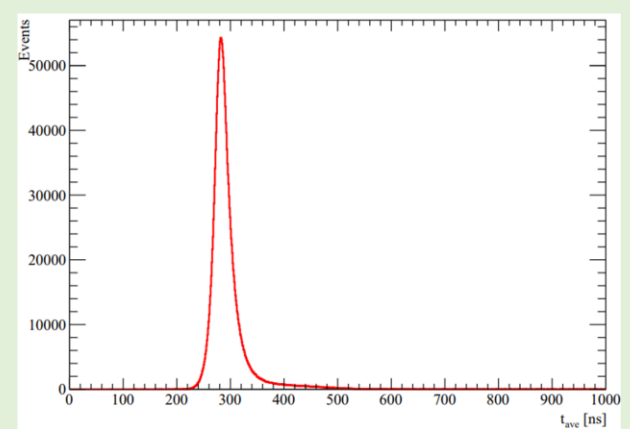


図9 平均時間 <t> とイベント数 (¹³³Ba)

新 NaI(Tl)結晶インストール

【純化方法の課題】

放射性不純物 Pb の十分な除去が必要
 →樹脂の選定・液性条件を調査・Ingot #120 の開発

【純化過程】

- 実験環境：窒素で満たした環境下
 → ²²²Rn 親核とする ²¹⁰Pb 混入防止
1. 再結晶法で NaI 結晶を析出 → ⁴⁰K 除去
 2. 析出した NaI を溶かし樹脂通過 → ²¹⁰Pb 除去
 3. グラファイト坩堝で乾燥 → ²²⁶Ra と Th 系列の減少
 4. ゆっくり冷却

【現在の結晶】



図11 新しい NaI(Tl)結晶(Ingot #120)
 結晶寸法 $\phi 7.74 \times 7.70 \text{ cm}^3$ 結晶質量 1317 g
 エネルギー分解能@662 keV
 9.7%(開発時) 12.7%(神岡)

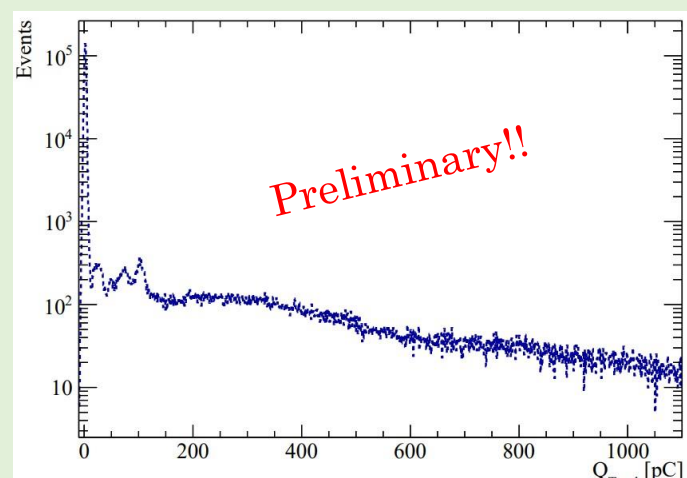


図12 BGのエネルギースペクトル(30.95日)

まとめ

【結論】

神岡 DAQ システム：神岡にて DAQ システム構築・運用を可能に
 新 NaI(Tl)結晶：新しい純化方法で開発した NaI(Tl)検出器のインストール

【展望】現在の DAQ システムで BG 計測継続

- ①新しい NaI 結晶の純度評価 ②シリアルモニター設置と季節変動の検証

参考文献

伏見賢一 他：高純度化 NaI(Tl)の結晶成長, 日本結晶成長学会誌, Vol.49, No.4, 6-9 (2023)
 長井崇文：高速・大容量のデータ収集システムの構築, 卒業論文, (2023)
 小寺健太：PICOLON 宇宙暗黒物質のための NaI(Tl)結晶の BG 評価, 修士論文(2023)
 DAMA/LIBRA : SciPost Phys. Proc. 12, 025 (2023)
 CAEN V4718 <https://www.caen.it/products/v4718/> (2024年1月16日)
 XMASS ダークマターについて <http://www-sk.icrr.u-tokyo.ac.jp/xmass/> (2024年1月16日)