

Nuclear *E*mulsions for *W*IMP Search -
*d*irectional *m*easurement



Toho University

NEWSdm実験の スケールアップに向けた 進展と低BG技術の報告

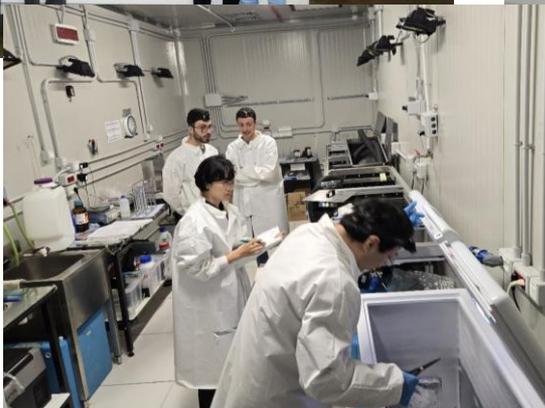
浅田貴志/ 東邦大理

NEWSdm collaboration

NEWSdm experiment

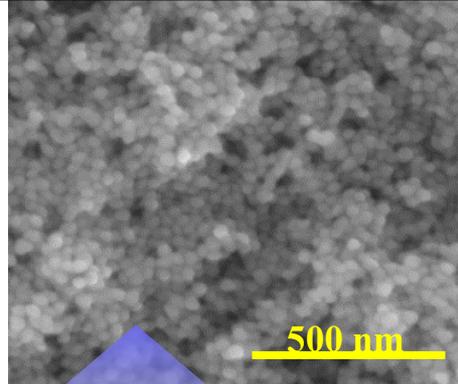


Collaborated by 5 countries, 14 institutes



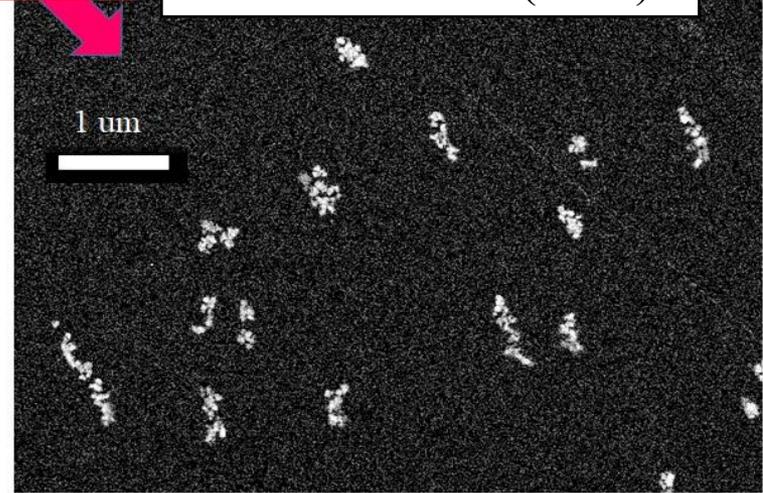
高分解能原子核乾板

AgBr(I) Crystals (SEM)

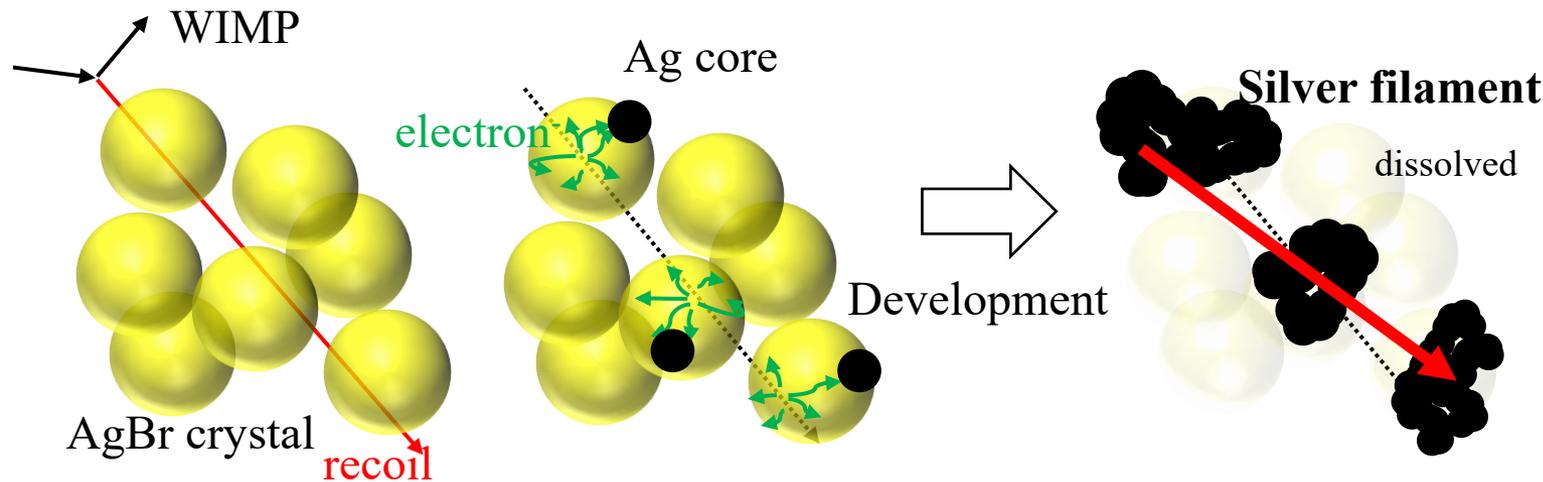


^{12}C ion

Detected tracks (SEM)



100nm~の飛跡を3次的的に記録可能



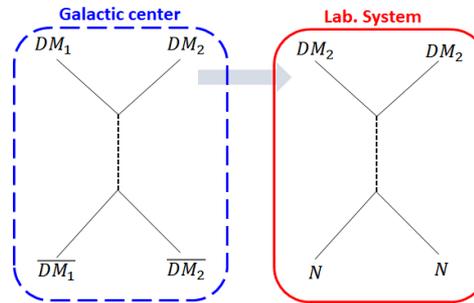
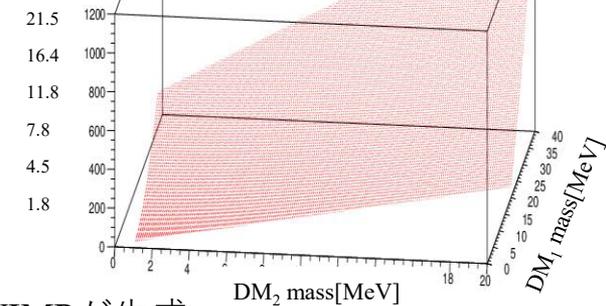
atom	Mass fraction %
H	1.6
C	10.1
N	2.7
O	7.4
Br	31.8
Ag	44.5
I	1.9

NEWSdmのターゲット

Boosted DM (multi component)

protonの期待平均エネルギー、飛程

p recoil
range energy
[um] [keV]



$$T_2 = M_1 - M_2$$

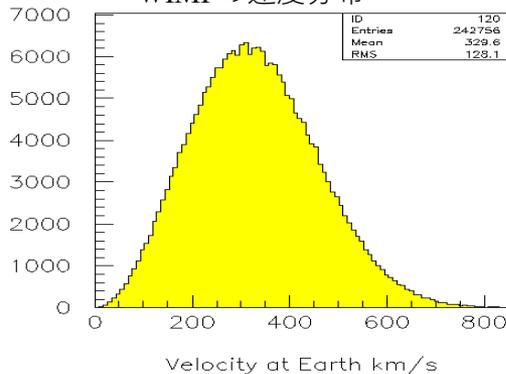
主WIMPの対消滅により軽いWIMPが生成

・加速される場合、protonで有利な探索が可能

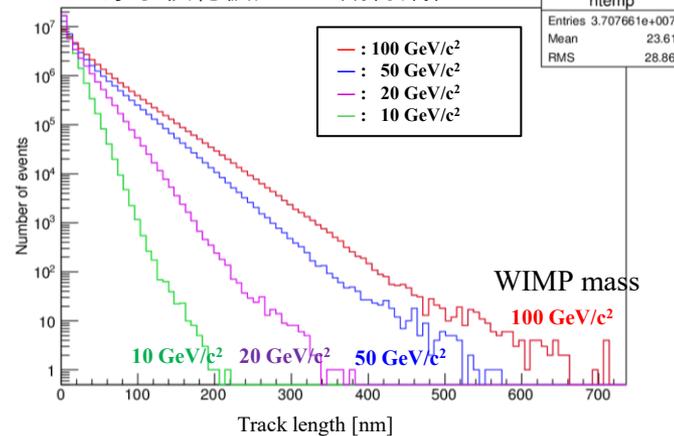
主に1um以上がターゲットレンジ

WIMP wind

WIMPの速度分布



原子核乾板内での期待飛程



standardなWIMPモデル

銀河内の速度分布でエネルギーに制限

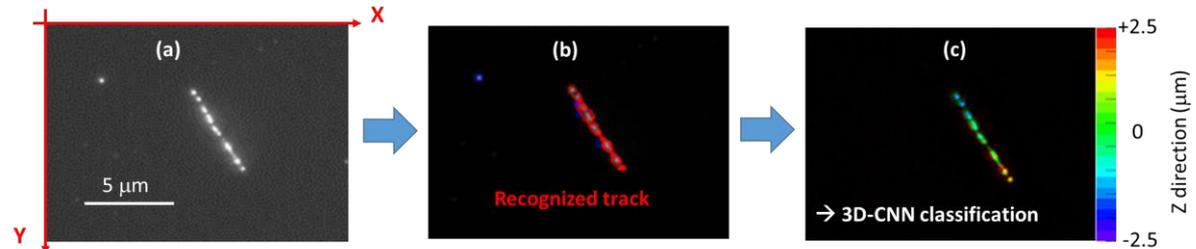
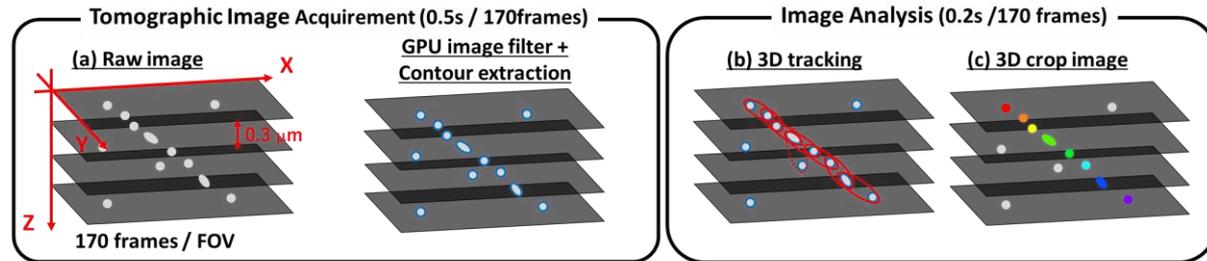
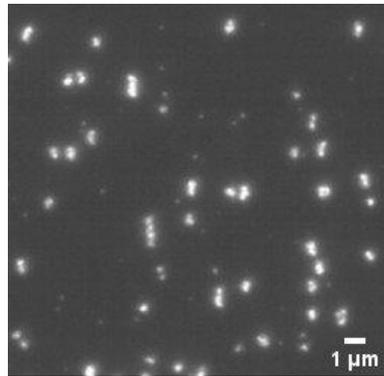
AgBr / CNOがメインターゲット

1um以下がターゲットレンジ

高速・高精度飛跡解析システム

2D 楕円解析
 $\lesssim 1\mu\text{m}$
 $\sim 0.4 \text{ kg/year/machine}$

3D chain analysis
 $>1\mu\text{m} \sim 100\text{keV}@p$
 $\sim 1.3 \text{ kg/year/machine}$

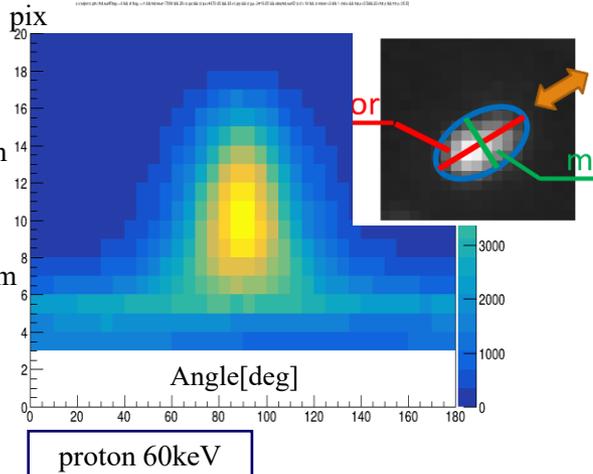


PTEP (2021) 4, 043H01
 Phys. Rev. C 107, 014608 (2023)

↑輝点のつながりを再構成し、3Dでのトラッキング

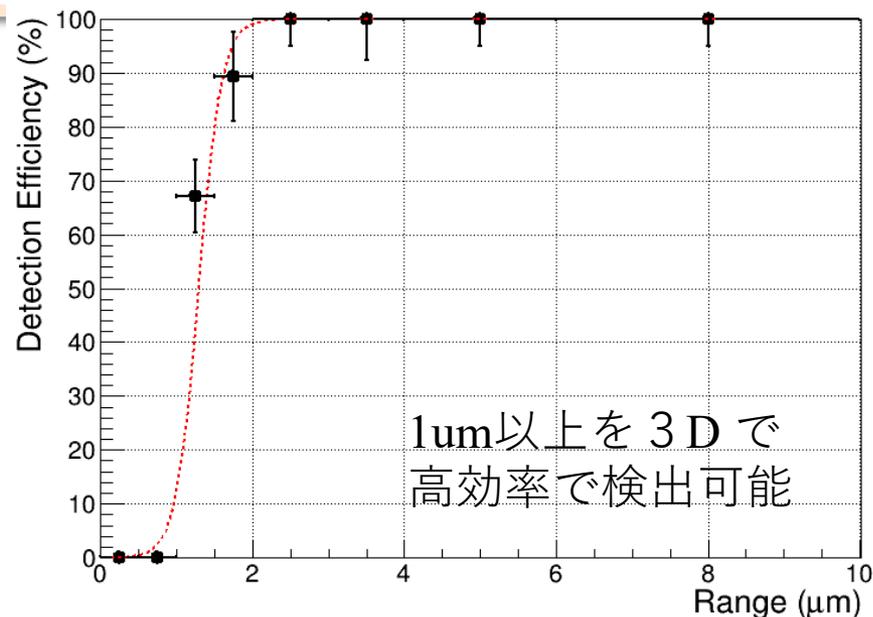
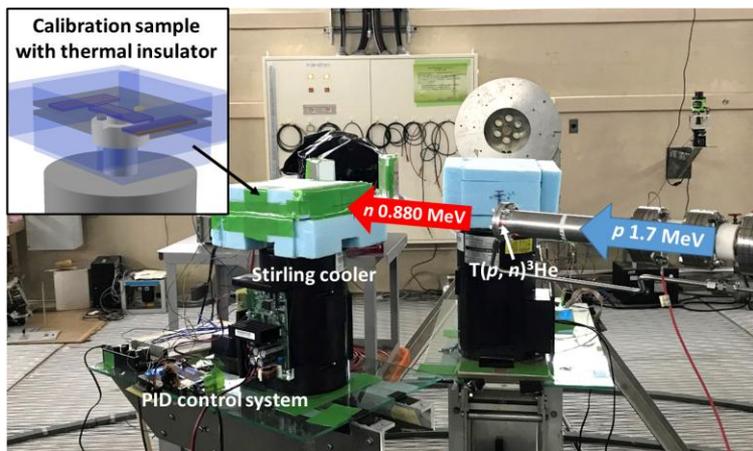
←分離できない輝点を形状で分析

光学顕微鏡で高分解能解析と高速読み出しを両立

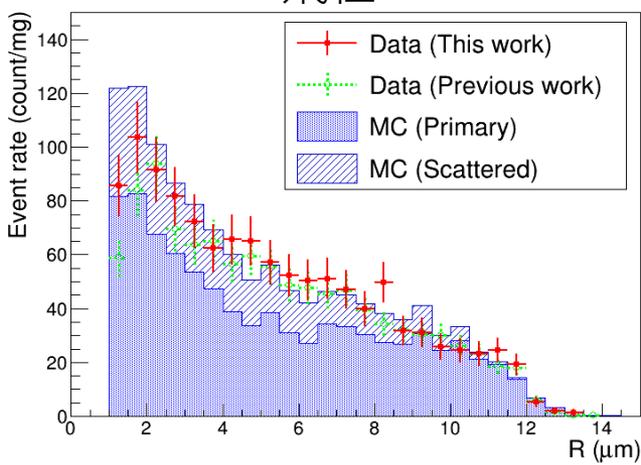


3D chain analysisによるproton検出 単色中性子による性能評価

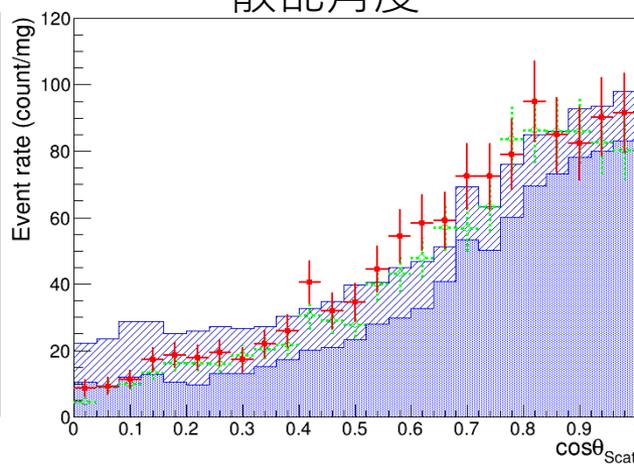
880 keV単色中性子照射
(T(p,n)³He) @AIST



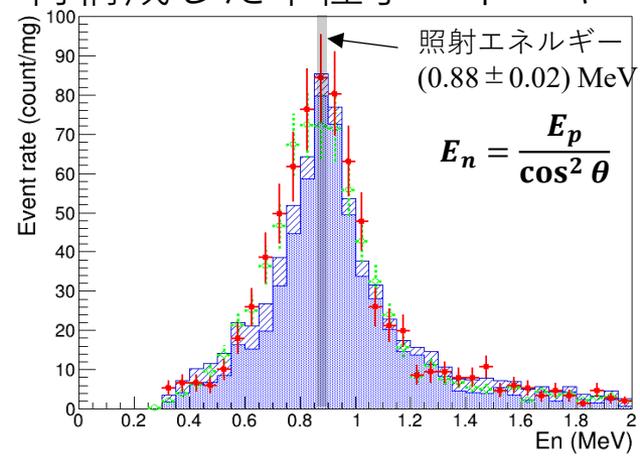
飛程



散乱角度



再構成した中性子エネルギー



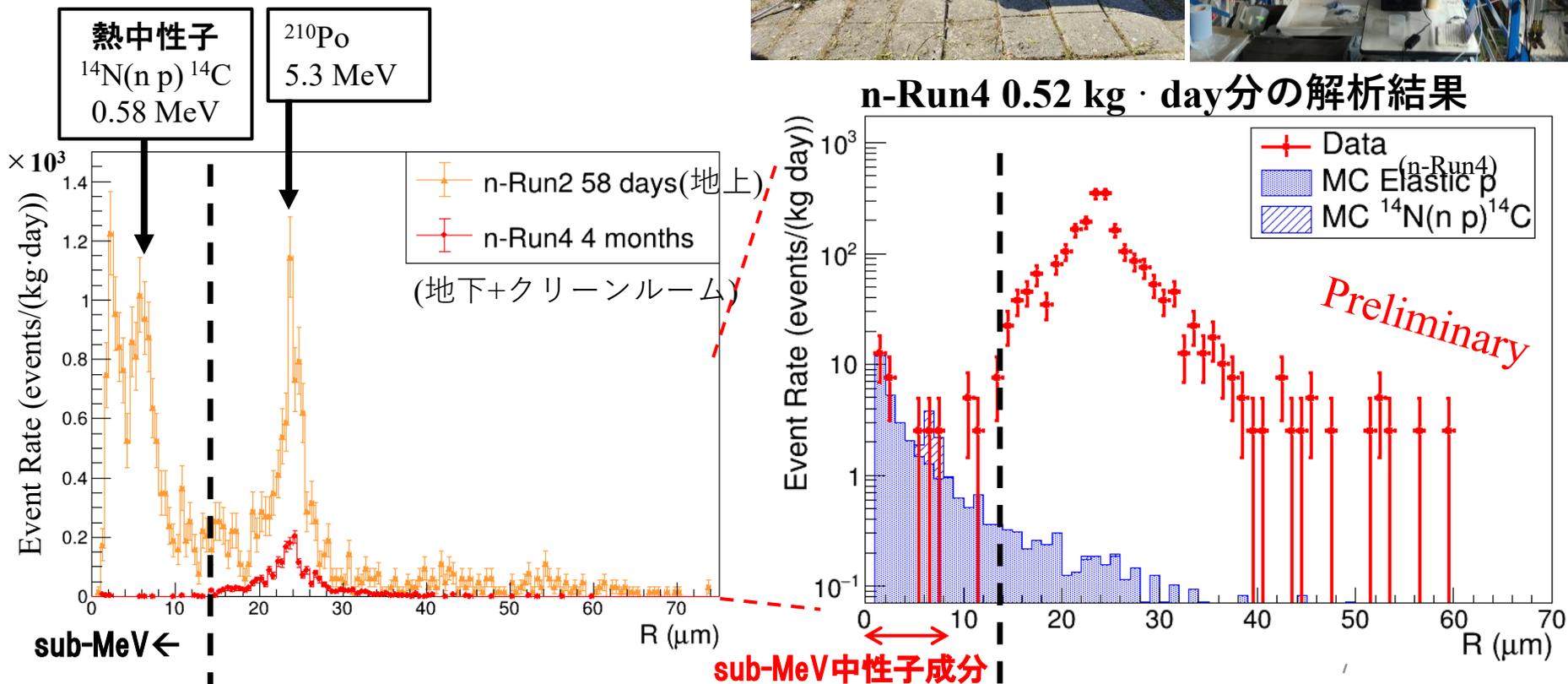
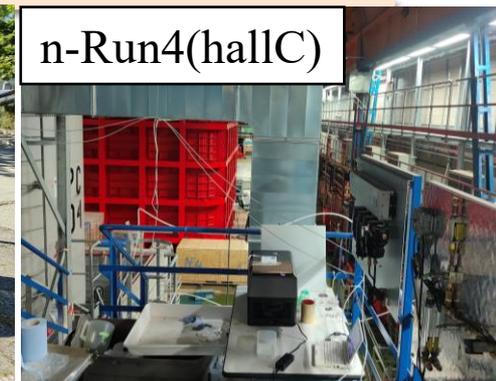
3D chain analysisによる環境中性子測定

- LNGS地上・地下で1 kg·day 規模のRun
- 地下でも予測されるSub-MeV領域の環境中性子・熱中性子ピークが見え始めた
- ラドンノイズ対策と地下測定のスケーラップがしたい

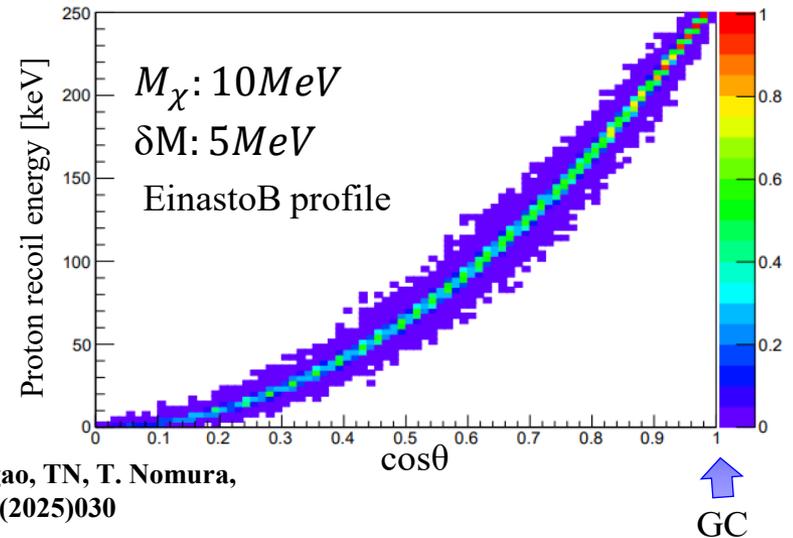
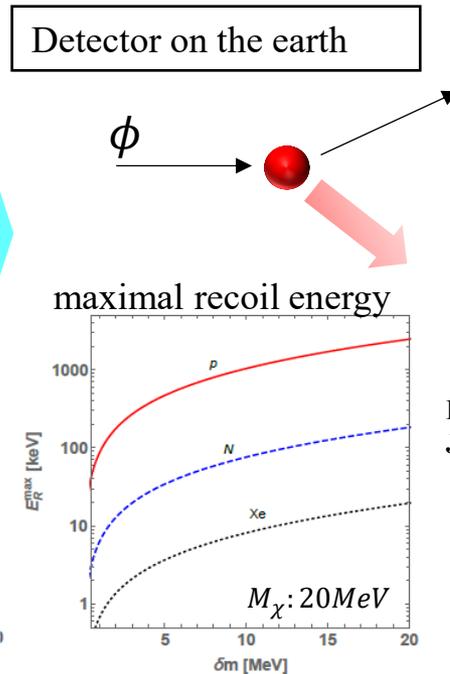
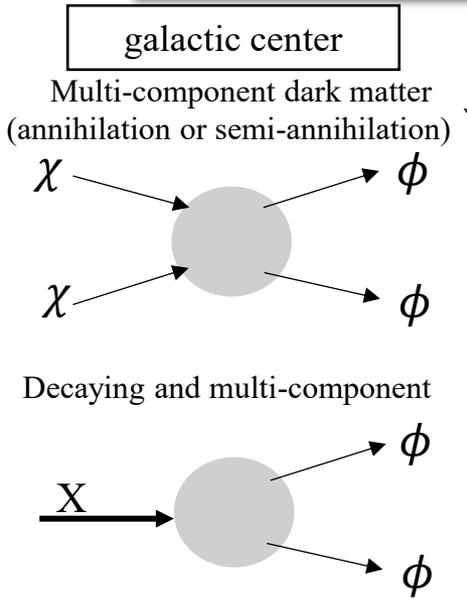
n-Run2 LNGS地上



n-Run4(hallC)



3D chain analysis によるMCBDM探索

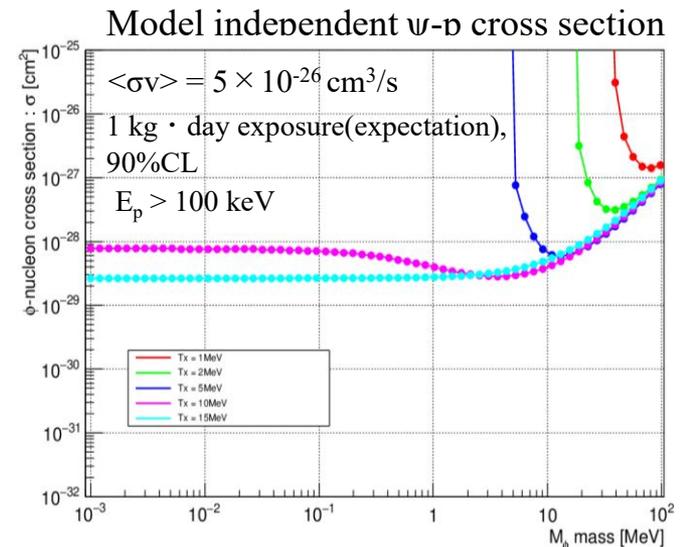


K.I. Nagao, TN, T. Nomura,
JCAP04(2025)030

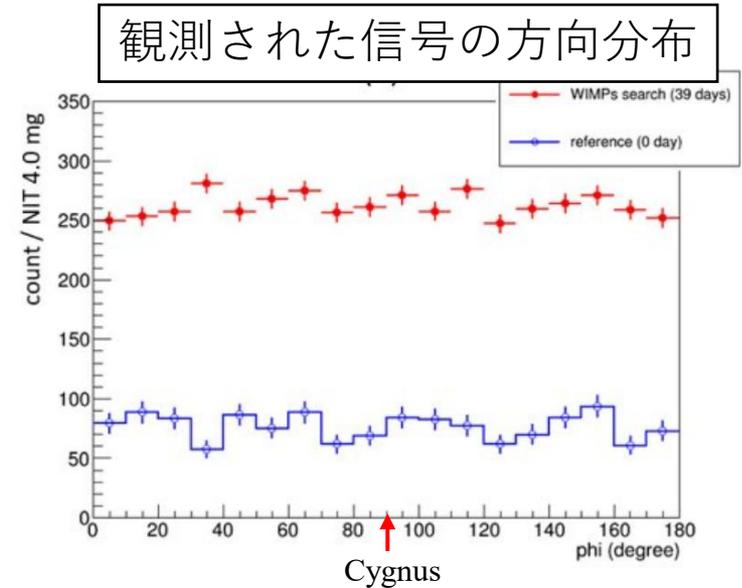
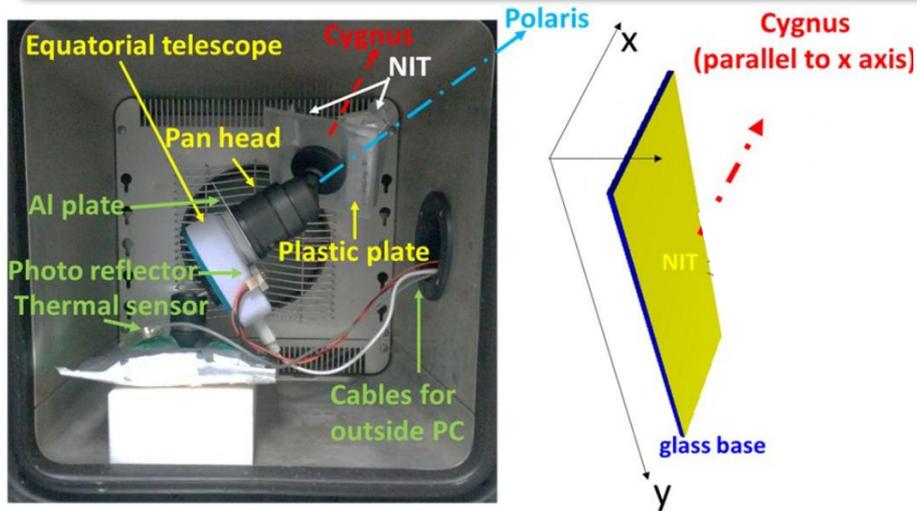
検出するものはほぼ中性子計測と同じく sub-MeV領域

岩盤減衰を避けた地上で比較的高い断面積領域を見る
BGとなる中性子のシールド+赤道儀(GC方向)

10 kg · day以上を狙いたい



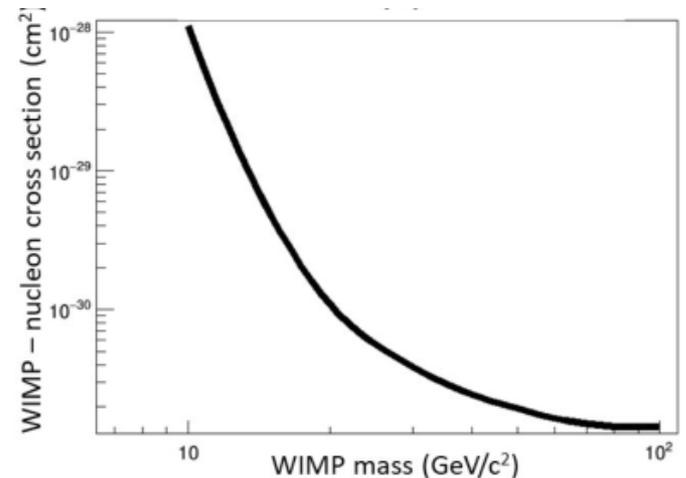
赤道儀マウントを用いた 2D directional DM search



- 赤道儀を用いた方向感度のある初の探索
(@名古屋大)
- 地上未遮蔽環境、環境ガンマ線事象が支配的
(>80%)
- $0.015 \text{ g} \times 39 \text{ days} = 0.59 \text{ g} \cdot \text{days}$

A. Umemoto et al JCAP02(2025)012

地上小規模Runで、原子核乾板で方向情報を使った初の制限



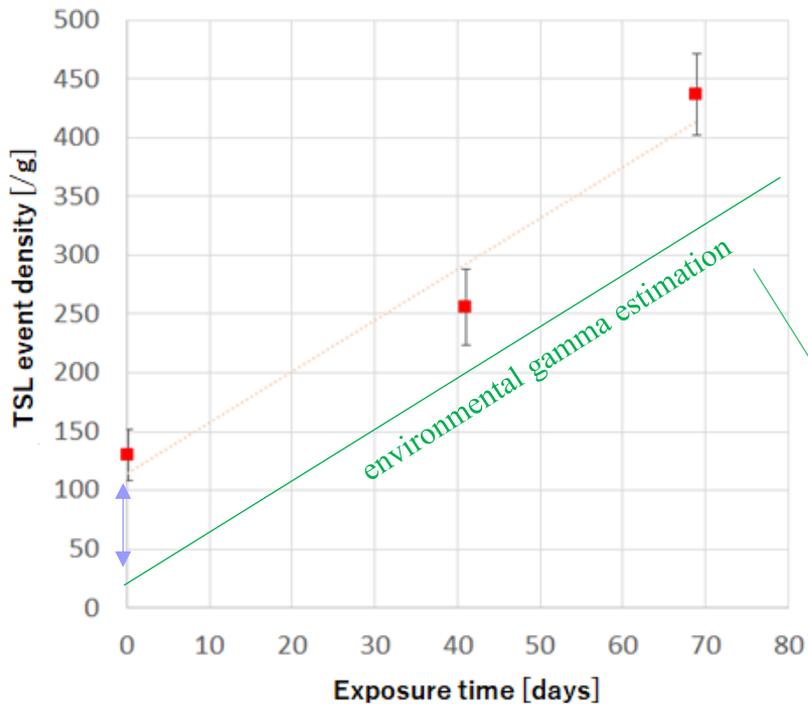
2D directional DM searchスケールアップの課題

- < 1 μ mでは環境ガンマが問題になるためシールド必須
→赤道儀を動かせるシールド設計
- 環境ガンマでないBGが1g～規模で見え始める

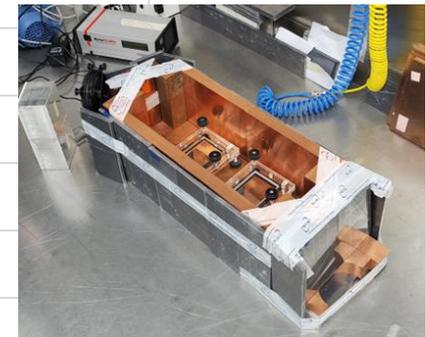
NEWSdmシールド@hall C



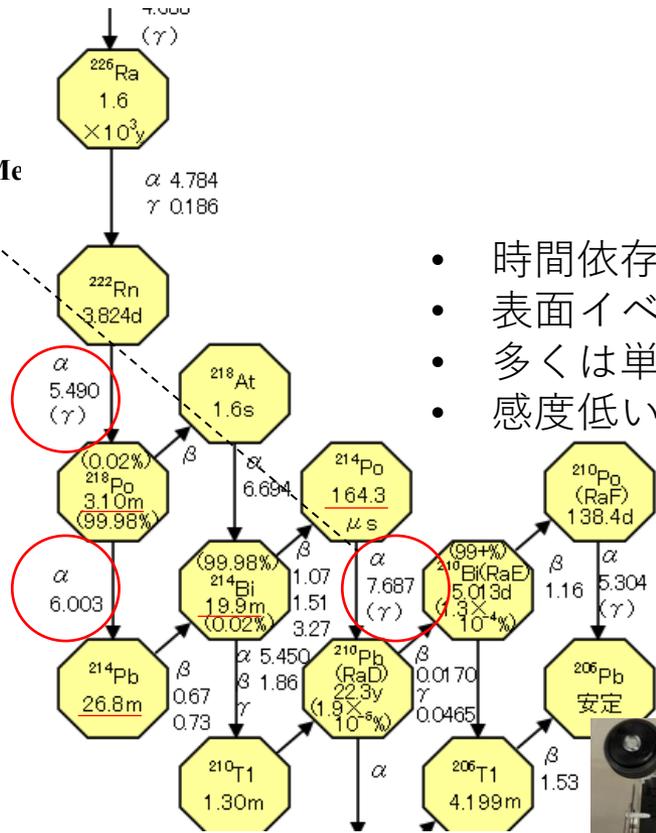
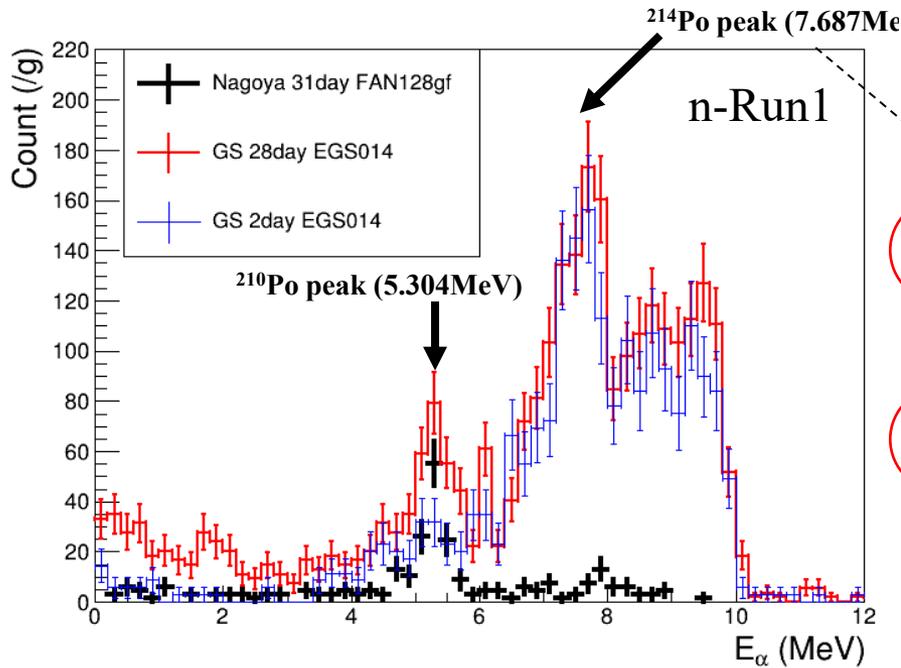
シールドなし長期照射の2D 解析



塗布段階のシールド乾燥ボックス



ラドン (娘核) 混入?

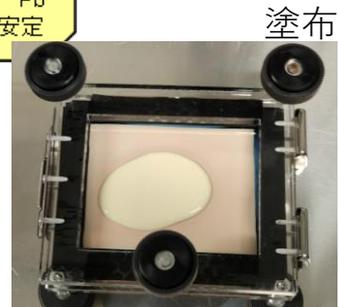


- 時間依存なし
- 表面イベントでない
- 多くは単独飛跡
- 感度低い・分解能悪い



携帯型電離箱
alpha guardで
222Rn測定

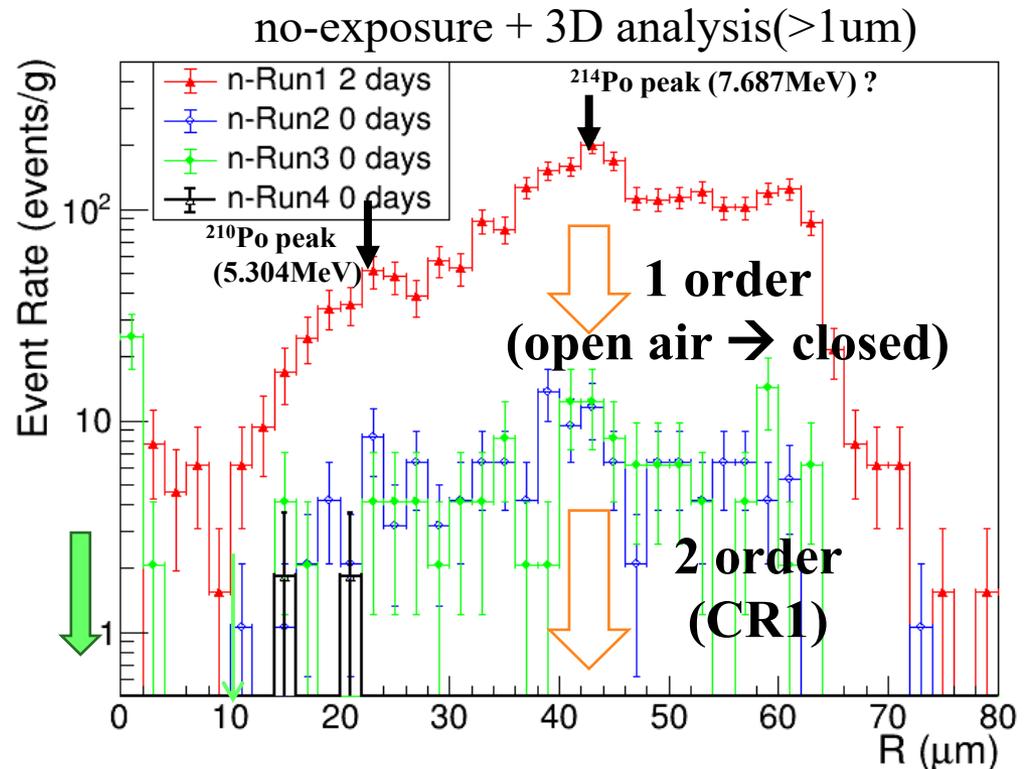
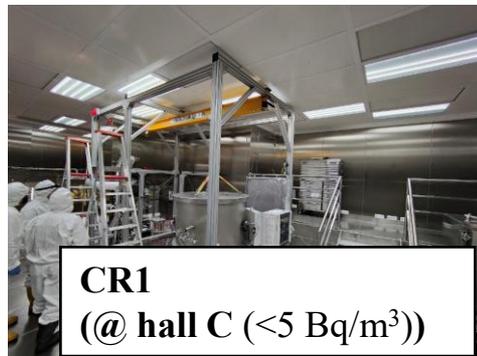
place	Radon Bq/m ³
hallF prod.room	72.5
hallF dev.room desk	87
hallF corridor air	73.8
hallC	46.9
hallC compressed air (drying in shield)	163.1
hallC N2 (exposure in shield)	2.3
hallB air (source of room air)	18.6
CR1 (druing Run19)	3.7



↓ 乾燥

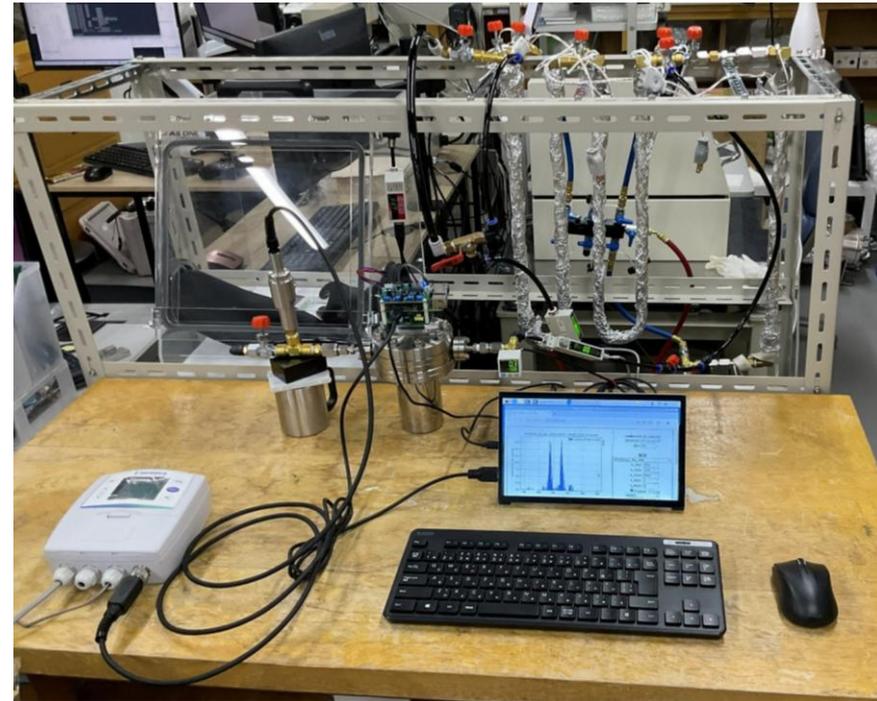
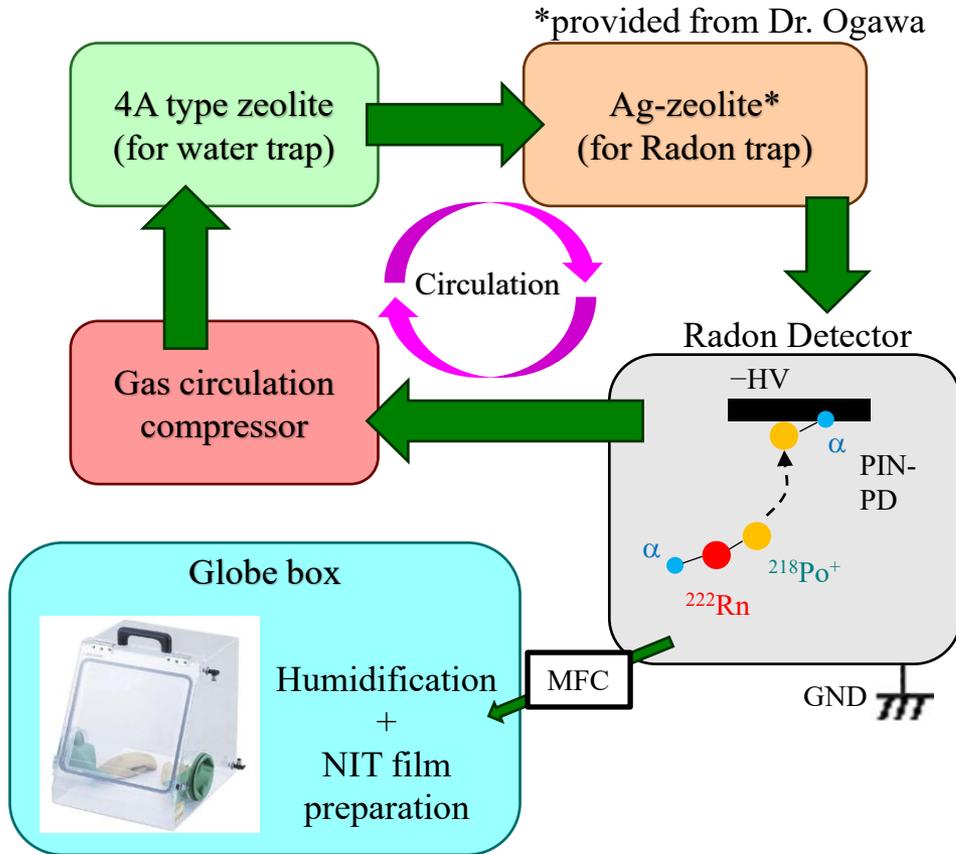


ハンドリング環境中のラドン有無の影響



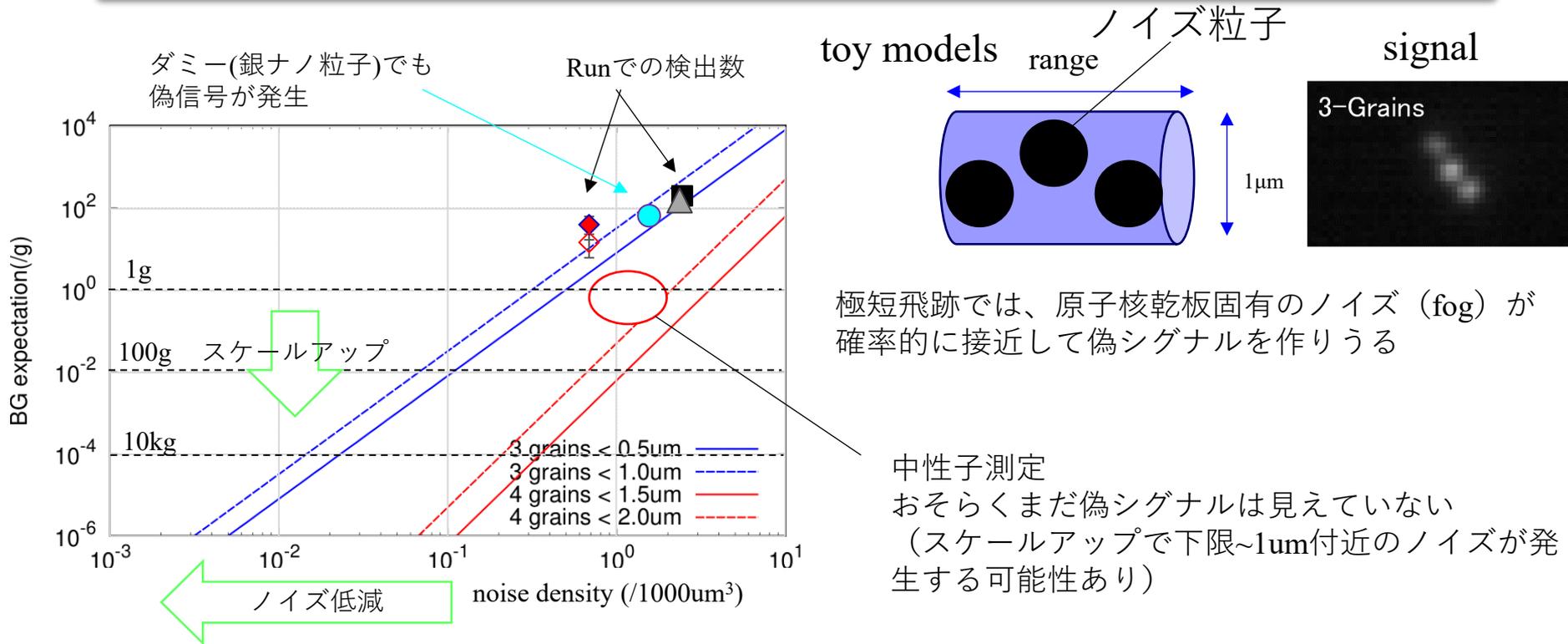
環境中のラドン排除で α 線レンジのBGは大幅低減
 sub-MeV (1-3 μ m) でもイベント減少あり
 \rightarrow 2D解析でのバックグラウンドもラドン起因の可能性
 クリーンルーム外作業でもできるだけ減らしたい

ラドンフィルタリングシステム



@神奈川大学

ノイズ粒子のchance coincidence 問題

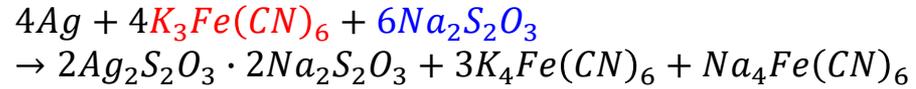


fog量自体に製造バッチ等に依存する不安定性があり問題

スケールアップには偽信号発生が無視できる程度に低減することが必要
(ノイズ粒子数を $> 1\mu\text{m}$ 飛跡では1桁、 $\approx 1\mu\text{m}$ 飛跡では2桁以上低減)

化学処理によるノイズ粒子の除去

Farmer減力剤



飛跡現像銀

銀の酸化分解

錯体化して
溶解除去



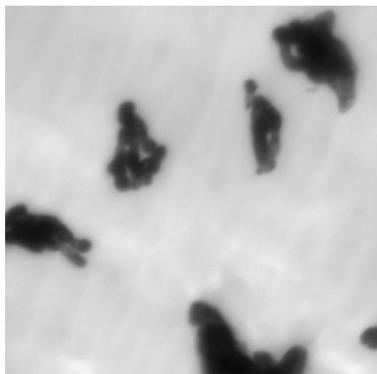
フェリシアン化ナトリウム

チオ硫酸ナトリウム

ノイズ粒子

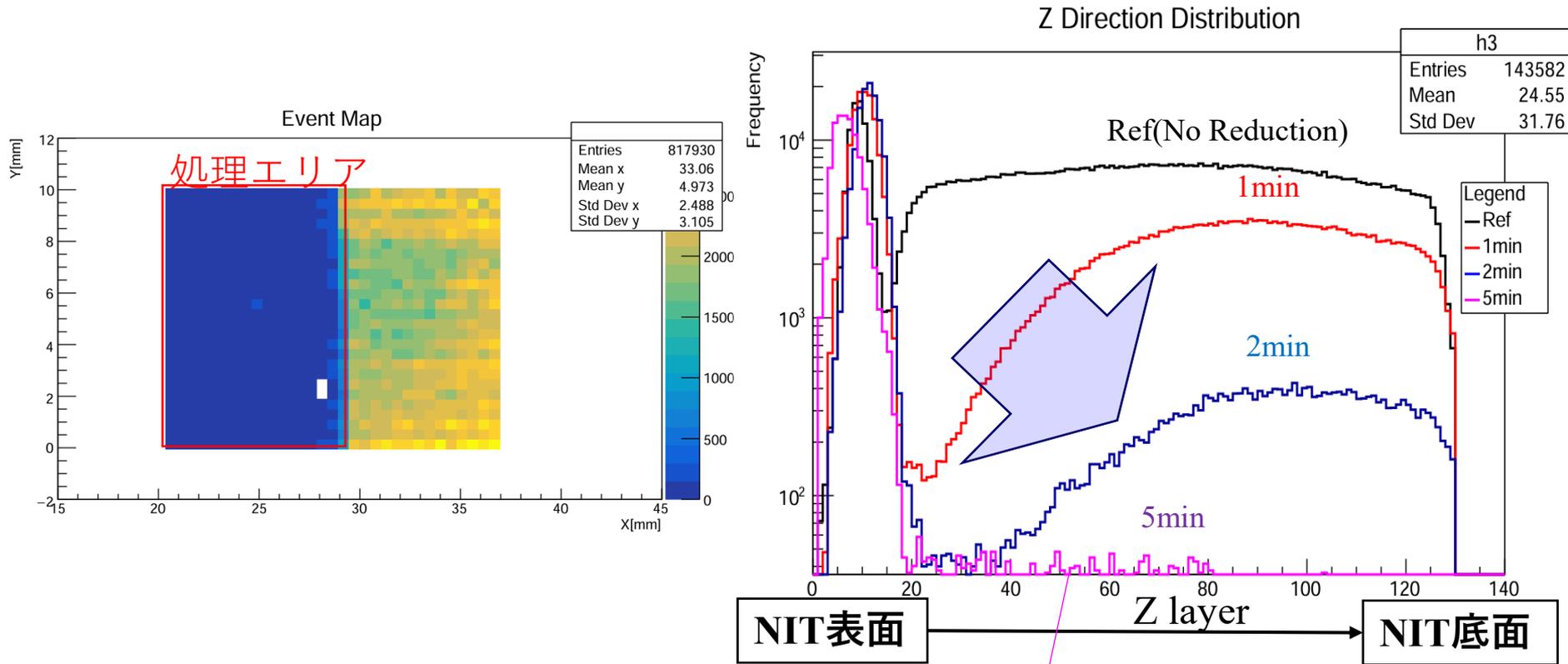


サイズ・構造差により
除去速度の差異が生じる？



1um
α線の現像銀(GR1現像)

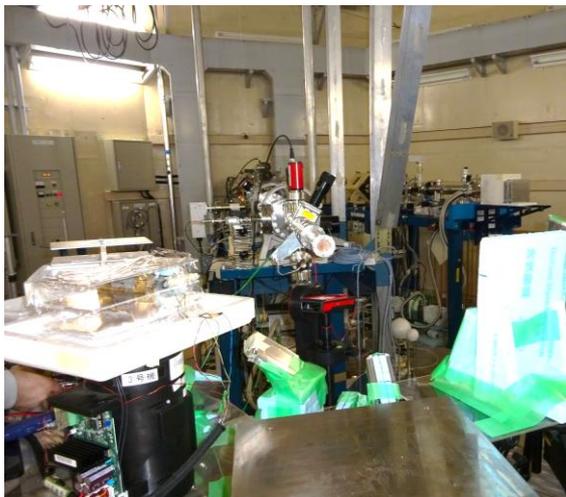
化学処理によるノイズ粒子の除去



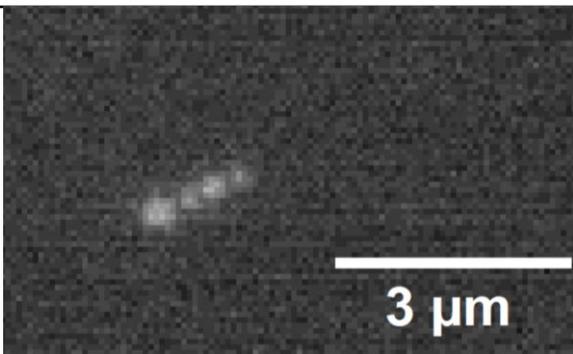
減力剤作用で、劇的にノイズ密度が低減

$O(10^{-4}) / 1000\mu\text{m}^3 \rightarrow \sim\text{ton scale!}$

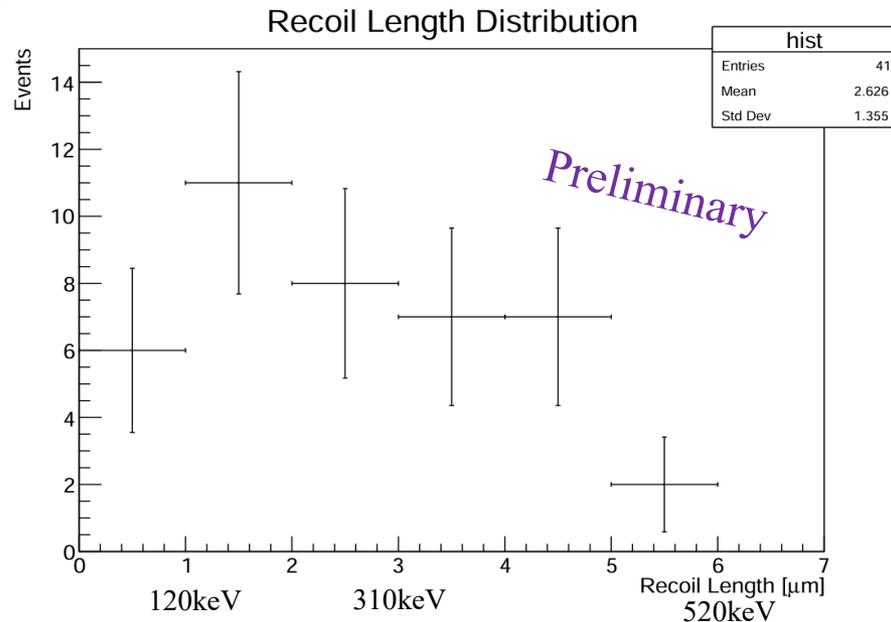
単色中性子反跳飛跡を用いた 新ノイズ除去手法の検証



Test by neutron exposure with
608 keV [p(T,n)He] @AIST



シグナルも低コントラストのため
半手動測定



減力後proton 検出効率 : $19 \pm 3\%$

ノイズ粒子 :

ref : 6.2 ± 0.1 (/1000 μm^3)

ref+減力 : $\leq 1 \times 10^{-4}$ (/1000 μm^3)

→ 原理的には >ton scale実験で

chance coincidenceなし、かつproton検出可能

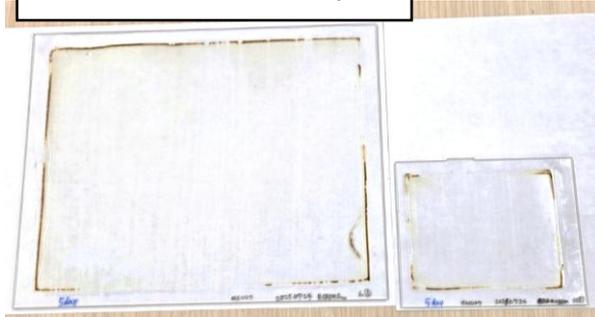
今後自動読み取りでの最適化と電子BG等への評価を進めていく

原子核乾板ハンドリングのスケールアップ

機械式・大型フィルタリングシステム

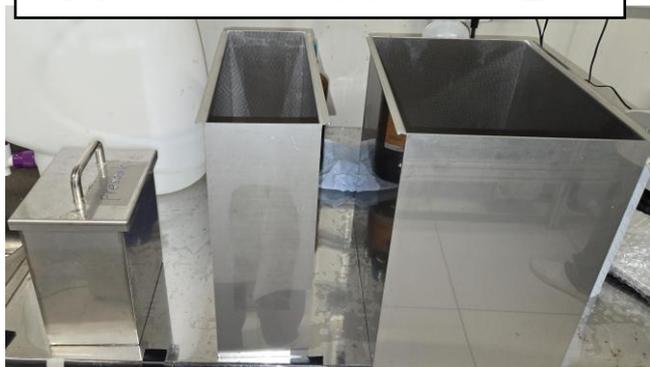
これまでのRunは最大で 標的質量~30g
→ 数100g~kgを目指したオペレーションの改善

フィルム大型化



mass 2g → 10g /枚

現像処理等も大型化・最適化



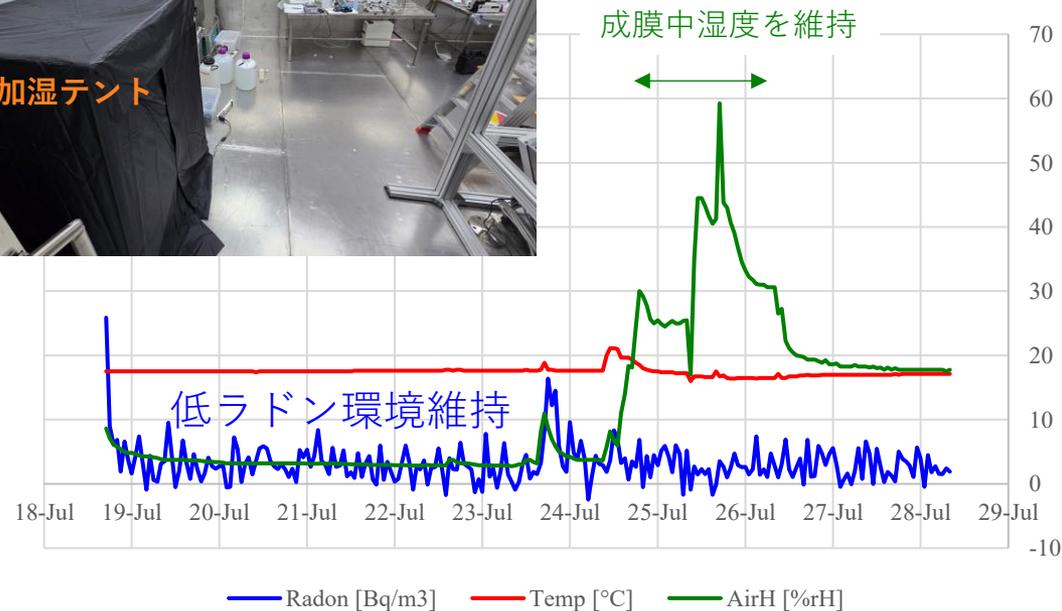
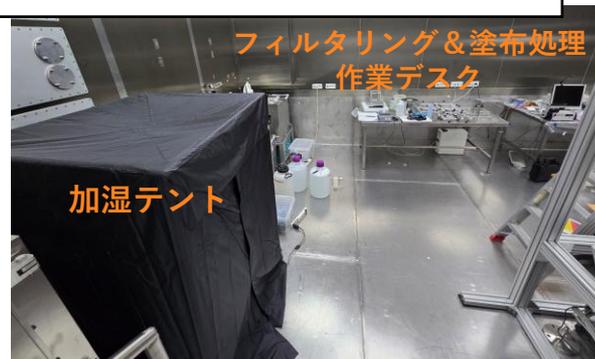
従来2L

8L

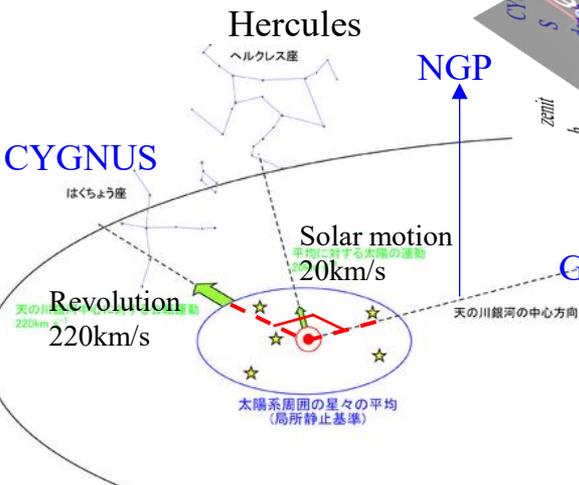
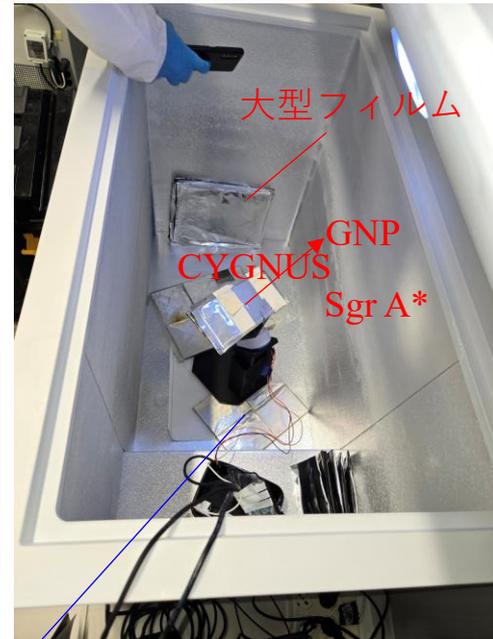
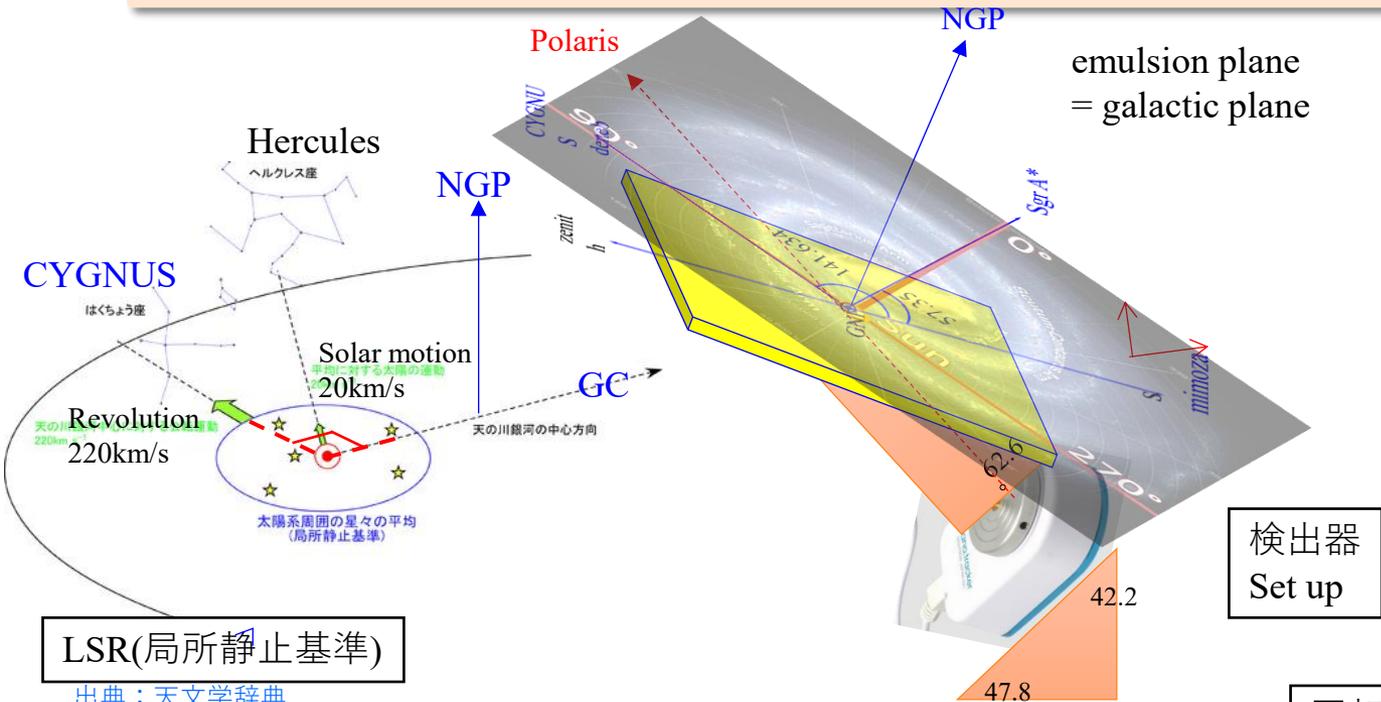
16L



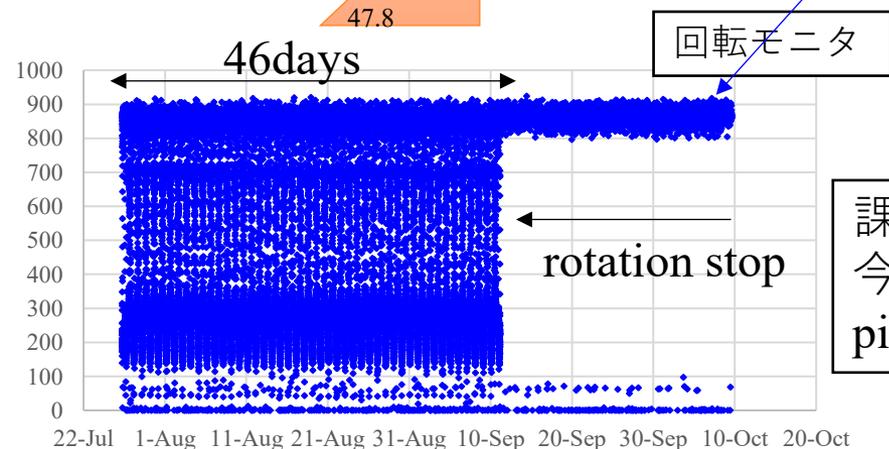
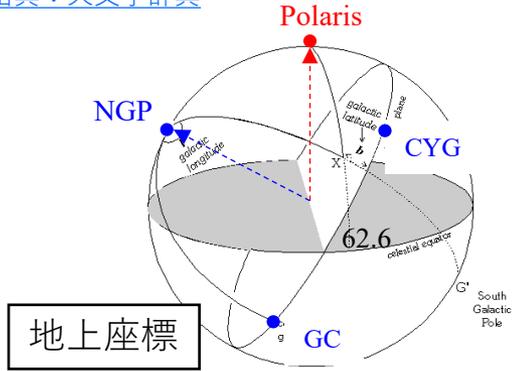
CR1内オペレーションの改善



スケールアップ赤道儀Runの デモンストレーション

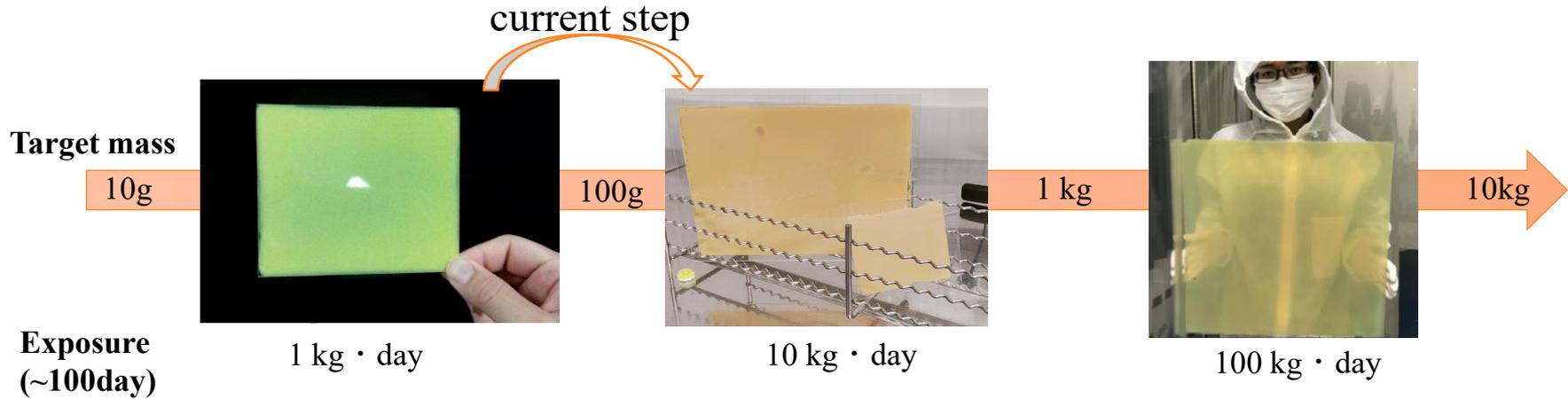


LSR(局所静止基準)
出典：天文学辞典



課題を洗い出し、今年5-6月を目処に pilot runを計画

スケールアップと課題



Scanning time
(現在~1 kg·year/machine)

~3 month/machine

~6 month/4machine

Neutron run
track range: [1-100]um

ラドン問題の解決

ハンドリング規模大型化

Boosted DM run
track range: [1-100]um

+ 地上中性子シールド・赤道儀実装

std. WIMP run
track range: [-1]um

chance coincidence 問題の解決

地下ガンマシールド
・赤道儀実装

解析能力の向上
大規模実験化

より
チャレンジング

まとめ

- 高分解能原子核乾板を用いた暗黒物質探索実験NEWSdm実験をイタリア・グランサッソ研究所で推進
- $<1\mu\text{m}$ レンジの2D解析、 $>1\mu\text{m}$ レンジの3D解析技術で $\sim\text{kg/year}$ 規模の解析能力
- スケールアップのため、ラドンやノイズのchance coincidenceによる背景事象が課題
 - クリーンルームオペレーションでラドン低減に成功、ノイズも減少
 - 化学処理によってノイズ自体を大幅に低減する技術を開発
- 赤道儀Runのスケールアップデモンストレーションを実施
 - 課題の洗い出しを行い、今年5-6月頃にpilot Runを検討