



# NEWAGE / CYGNUS

神戸大 東野 聡

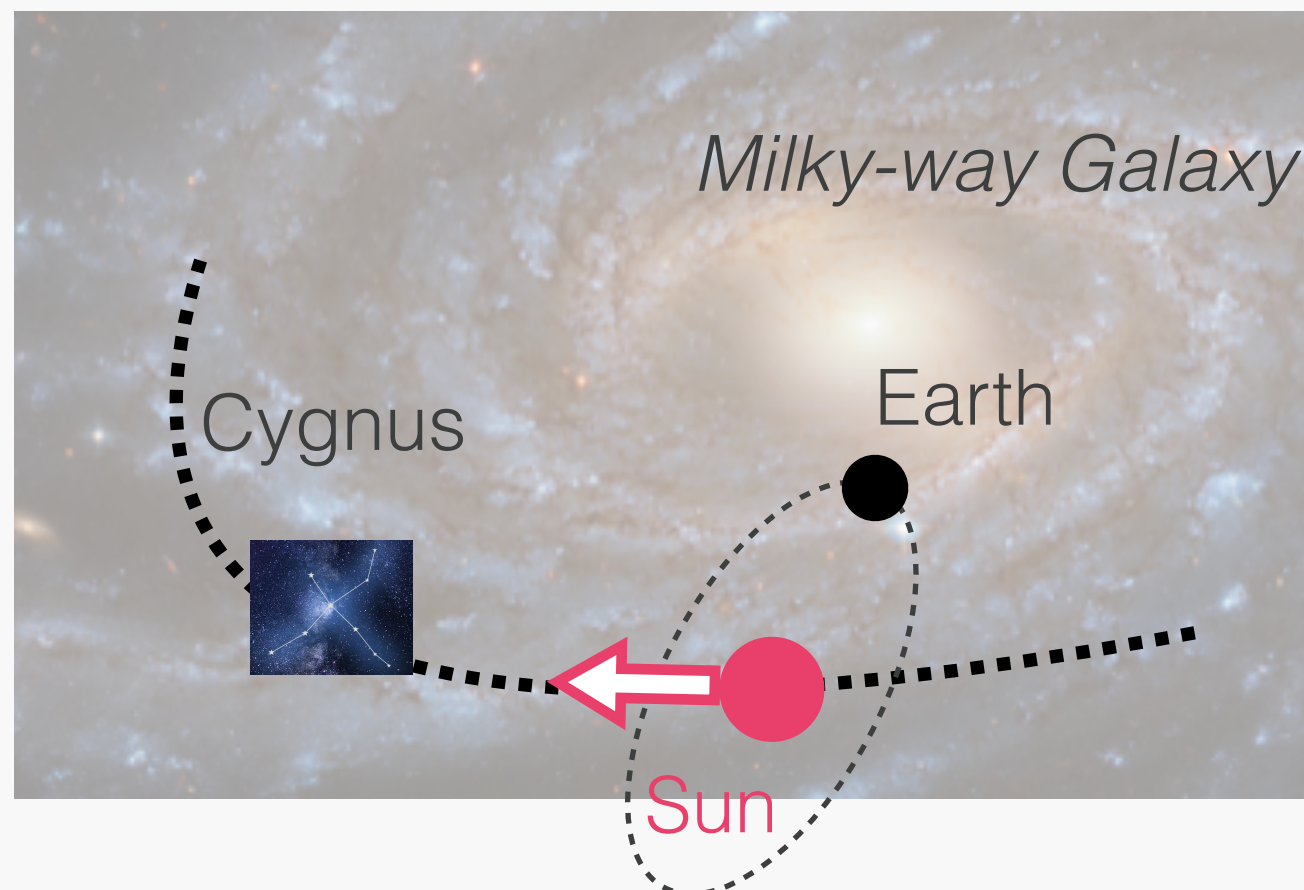
NEWAGE collaboration

2025年 3月 10日

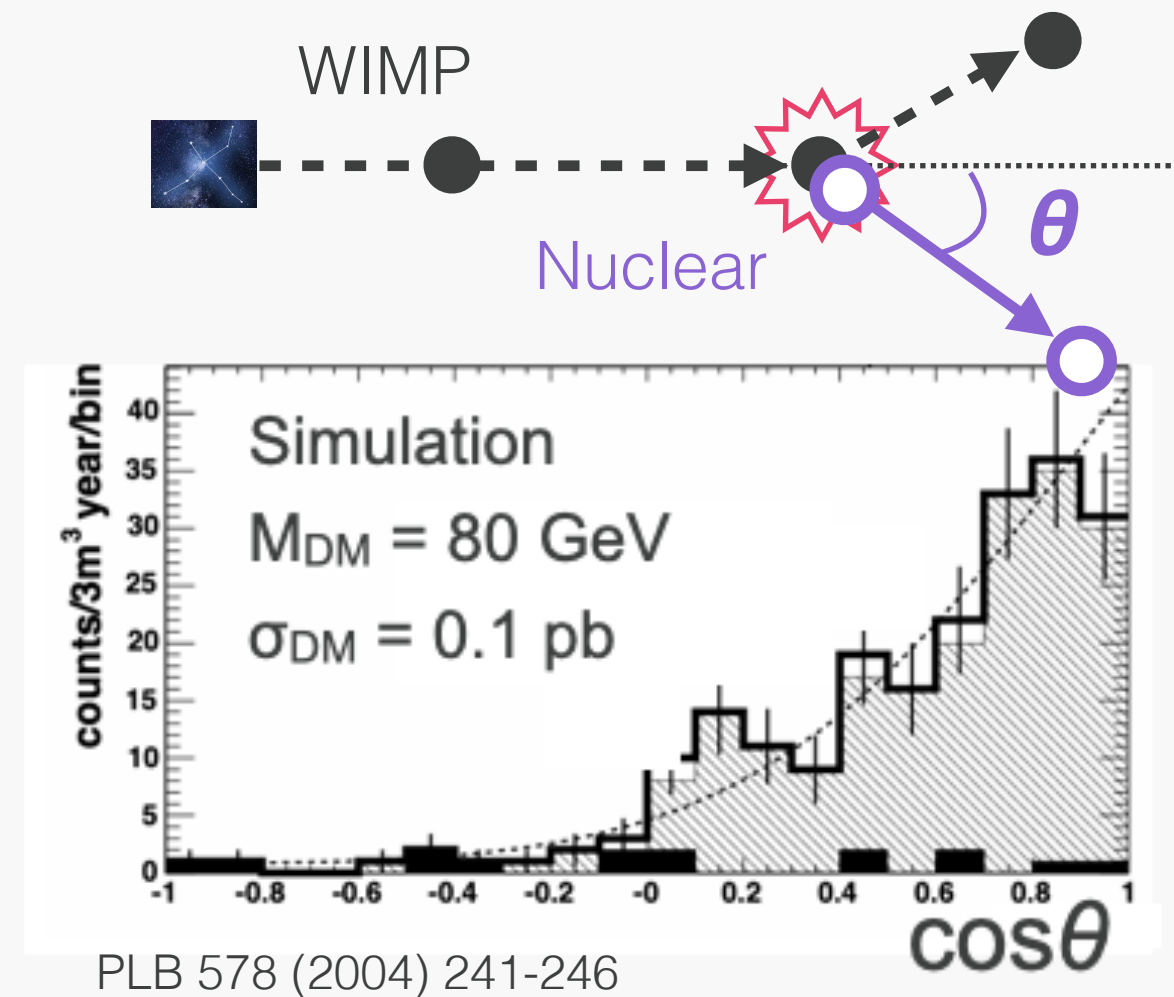
イントロダクション

# 方向感度をもつ暗黒物質探索

- はくちょう座方向からくる暗黒物質 (WIMP) による原子核反跳の散乱角測定
- 標準ハローモデルを裏付ける強い証拠
  - ➔ 近年、銀河中心にてDMが散乱 & 加速されるモデルも検証中
    - ▶ CRDM (Cosmic Ray-boosted DM)やSelf-interacting DMなど
- 暗黒物質の発見から性質理解へ



3



# ニュートリノfog

- XENONnT実験により $^8\text{B}$  CEvNS観測

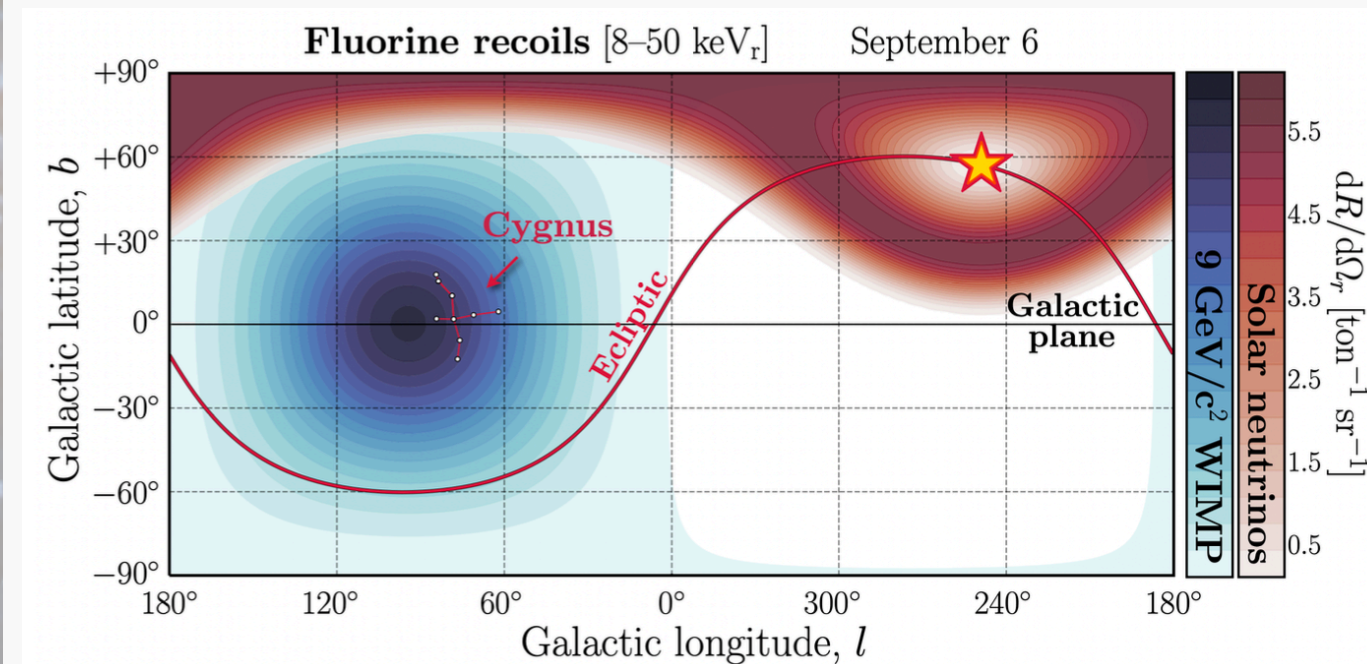
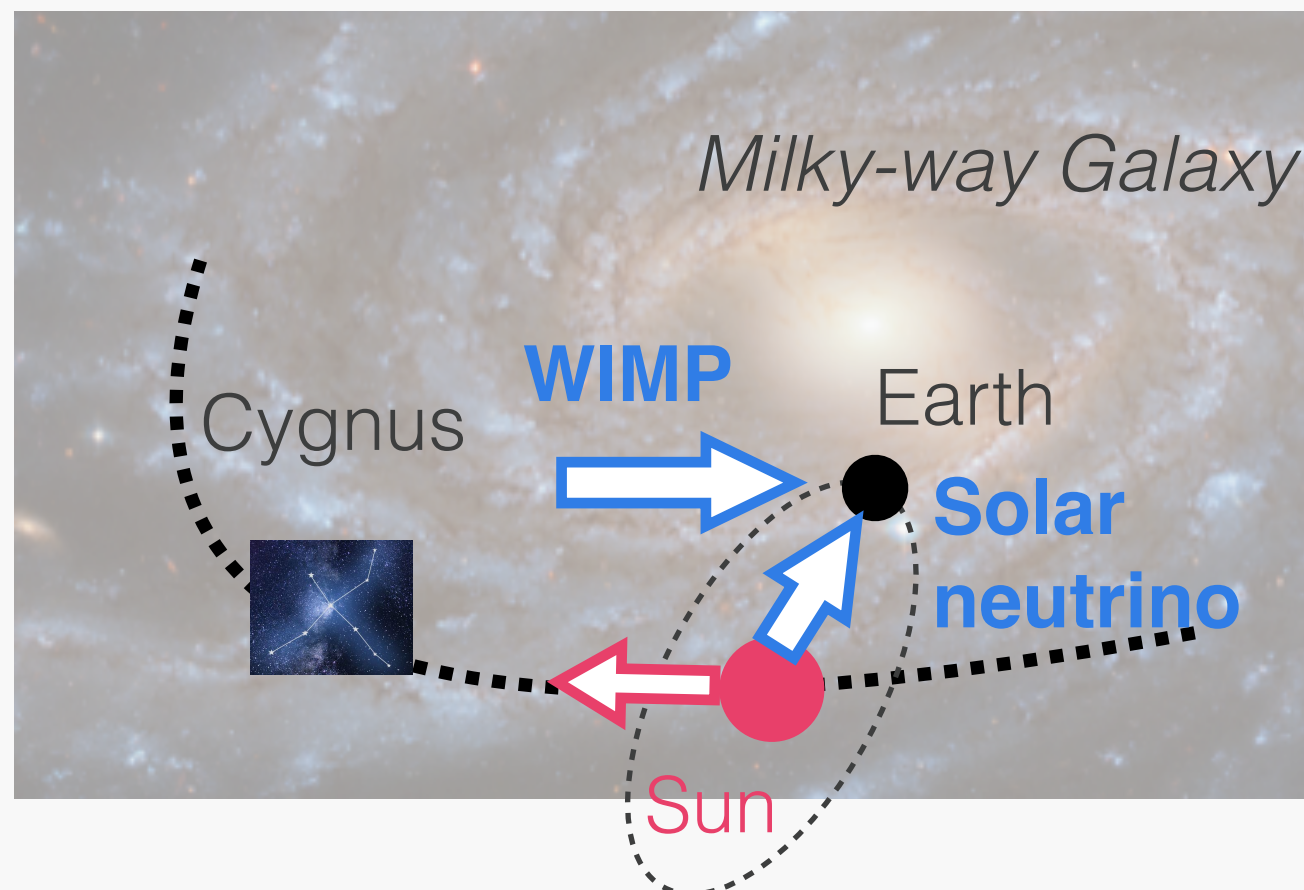
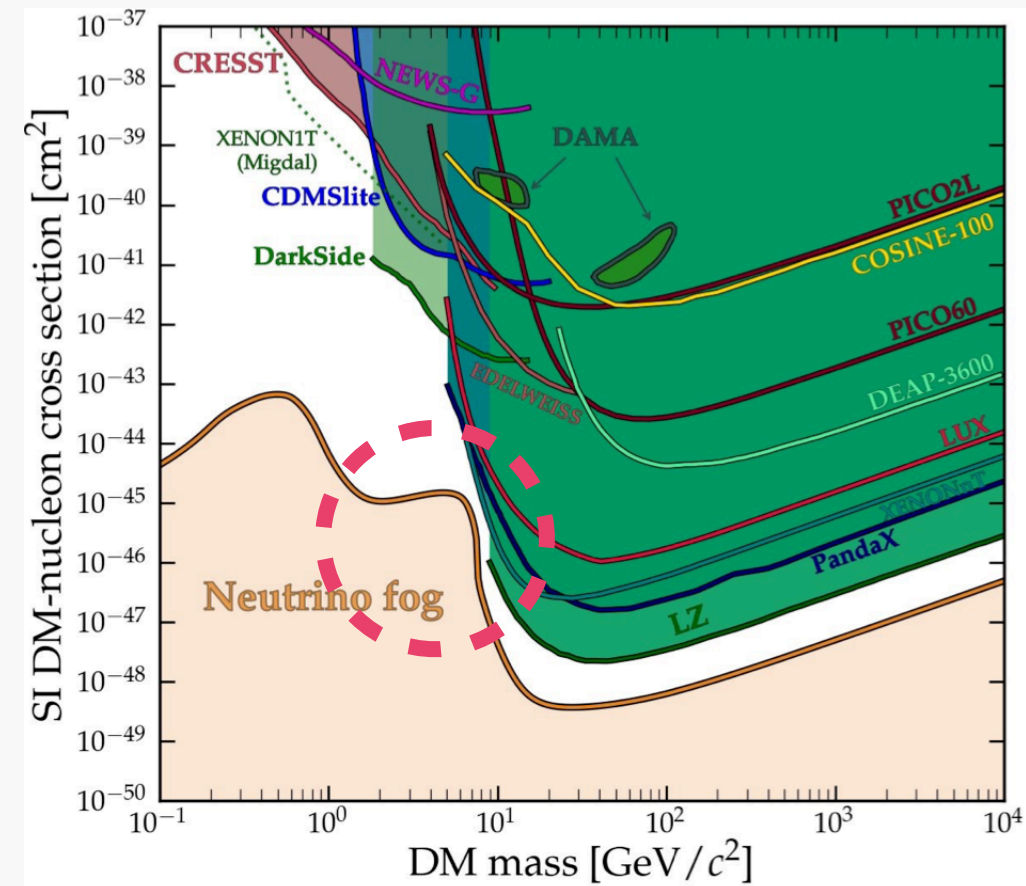
- ➡ 太陽ニュートリノによる原子核反跳検出

DM探索目線では削減できないBG

- ➡ 10 GeV付近でニュートリノfog到達

- 方向感度をもつ探索が開拓の解

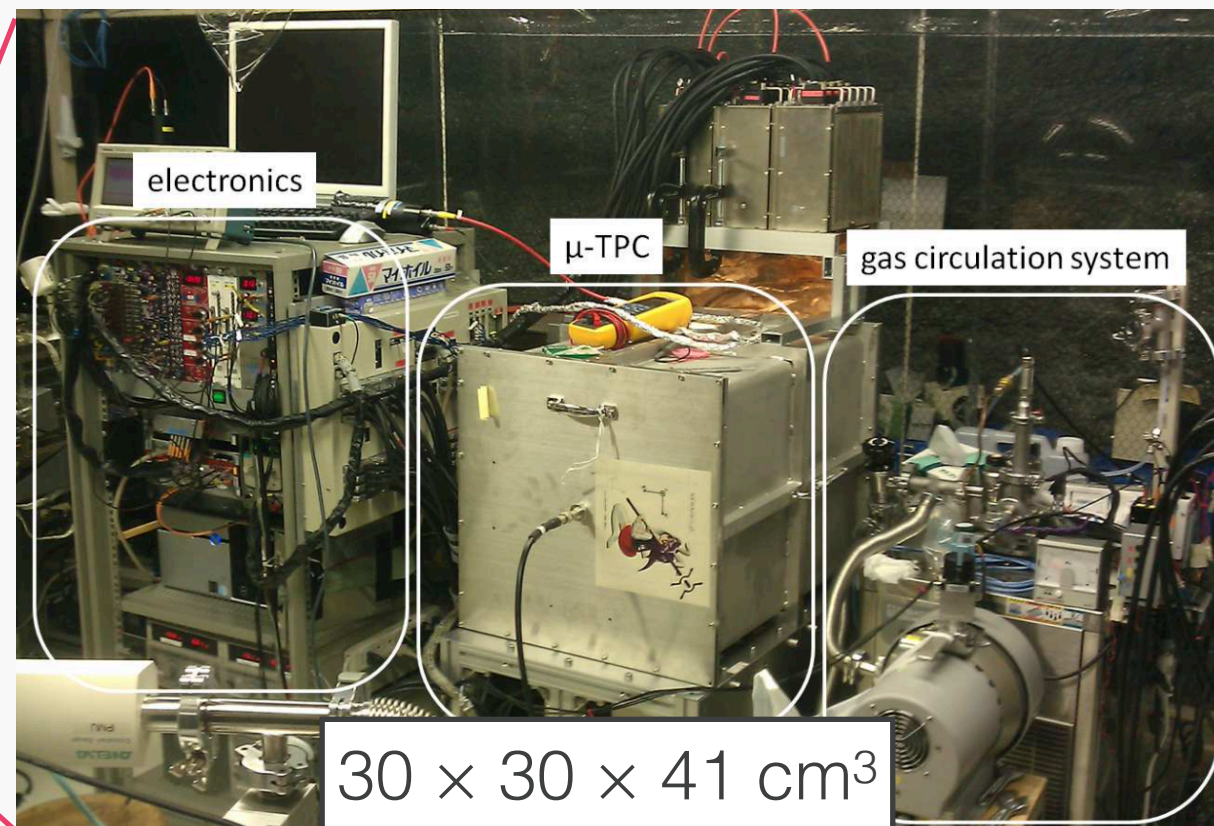
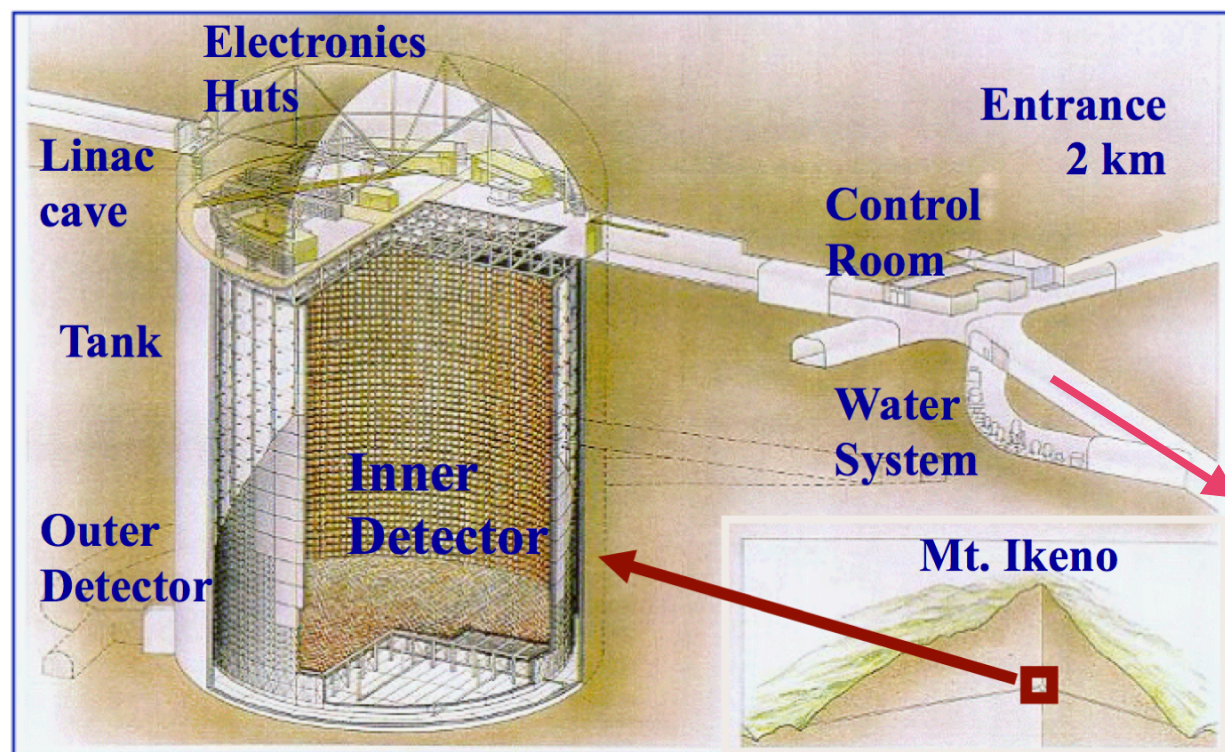
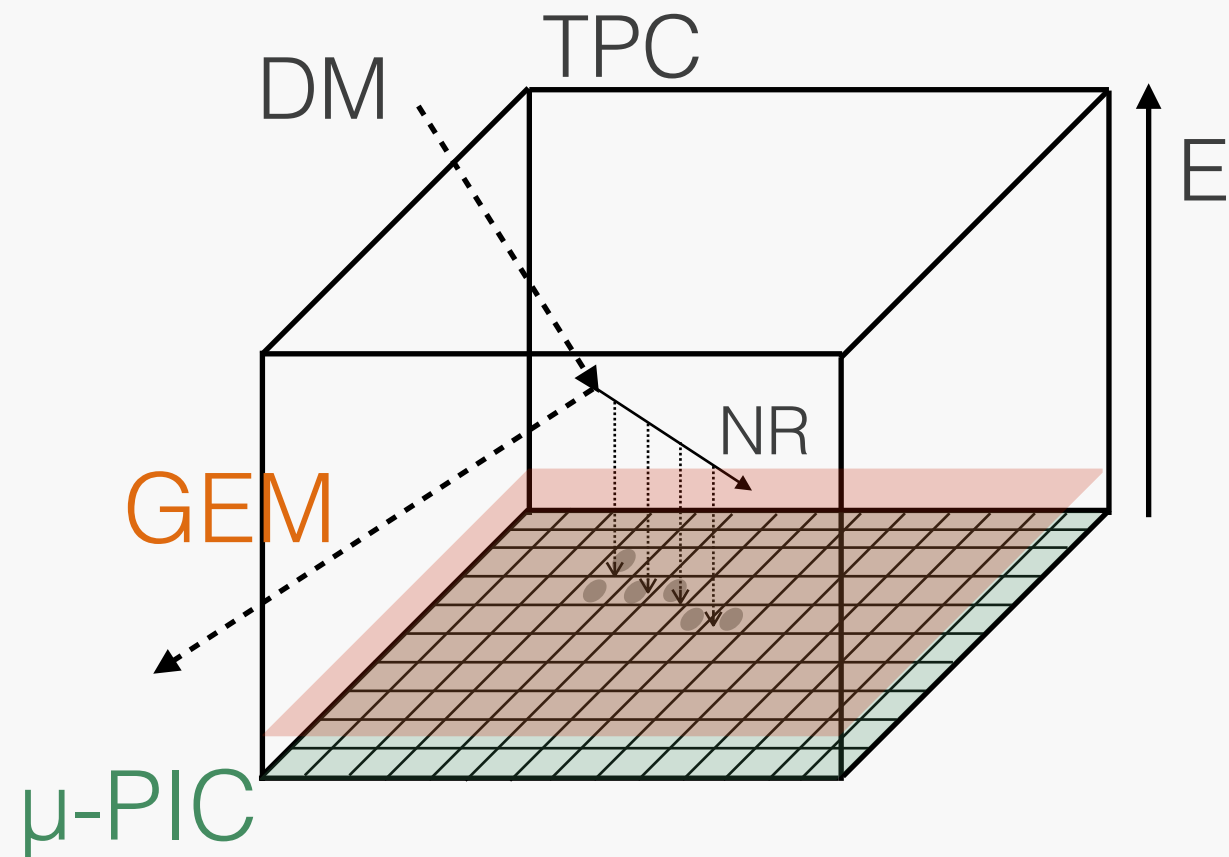
➡ : 地球からみた相対的な運動方向





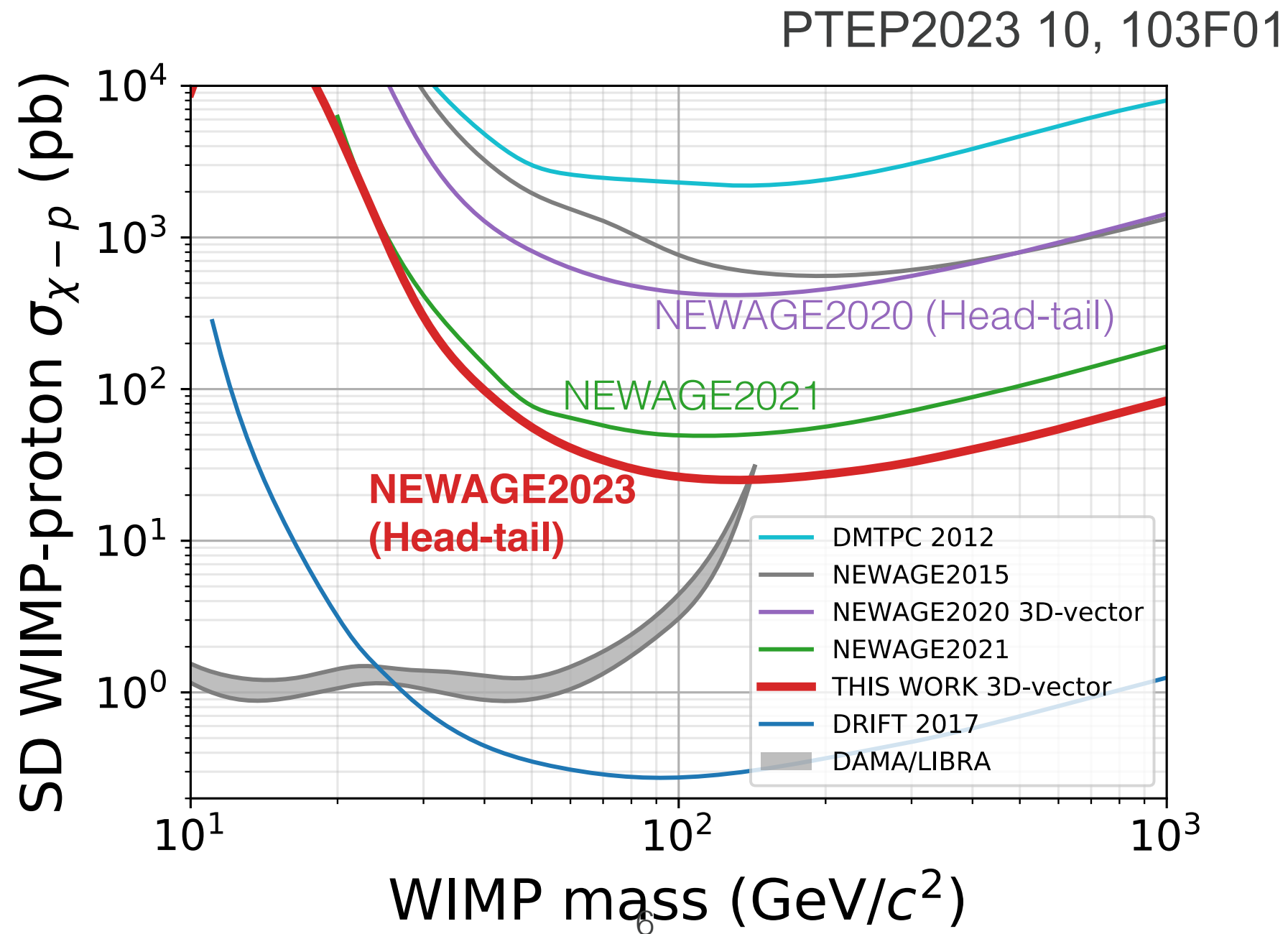
# NEWAGE

- 神岡坑内 (Lab-B) での地下実験
- 低圧ガスTPCで暗黒物質探索
  - ➔  $30 \times 30 \times 41 \text{ cm}^3$  fiducial volume
  - ➔ 低圧 $\text{CF}_4$  ガス (0.1 atm)



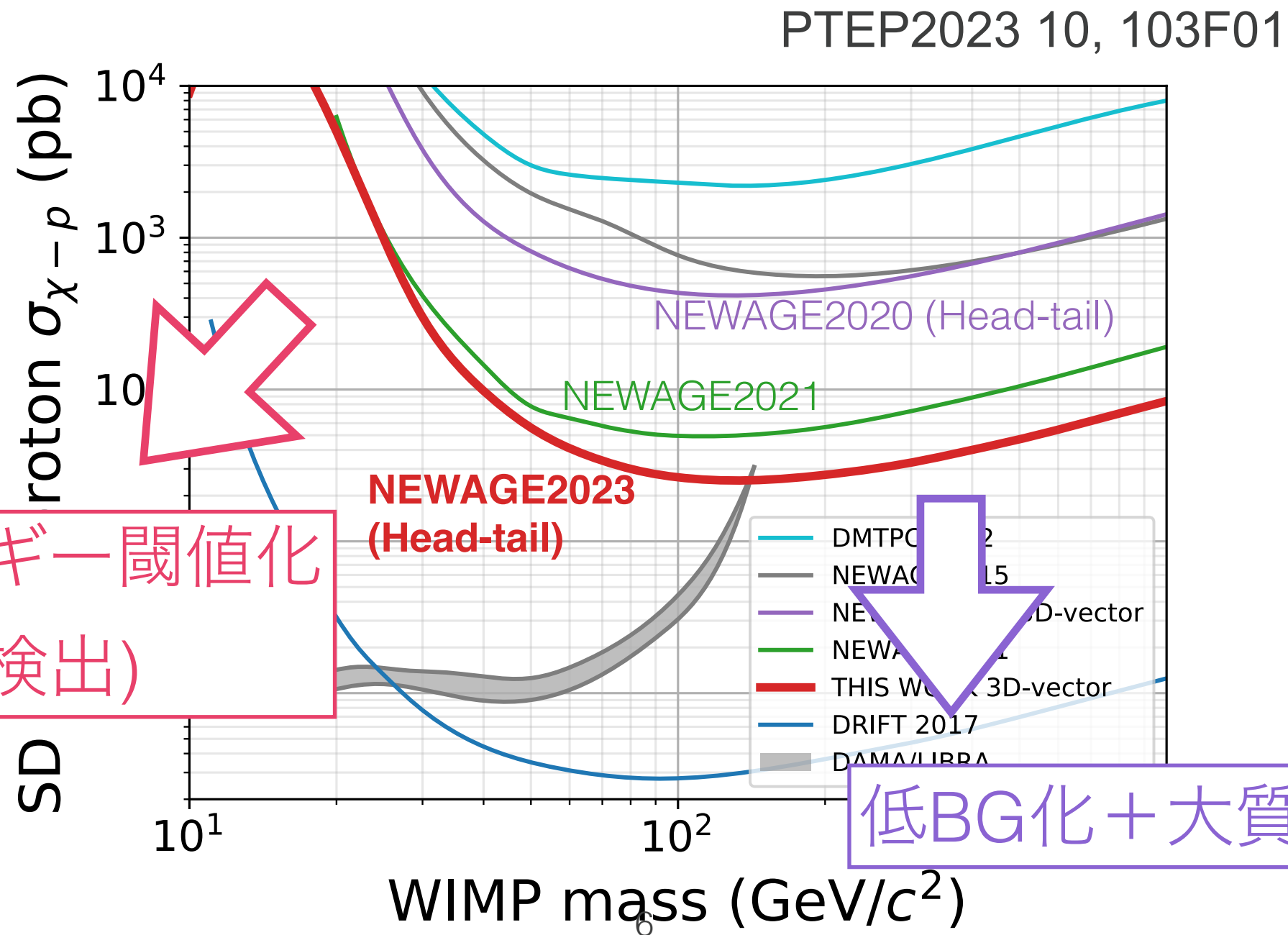
# NEWAGE現状と今後

- 到来方向を含めた解析で世界最高感度を更新
  - ➔ “DAMA/LIBRA”領域について方向感度を持つ探索を開始



# NEWAGE現状と今後

- 到来方向を含めた解析で世界最高感度を更新
  - ➔ “DAMA/LIBRA”領域について方向感度を持つ探索を開始

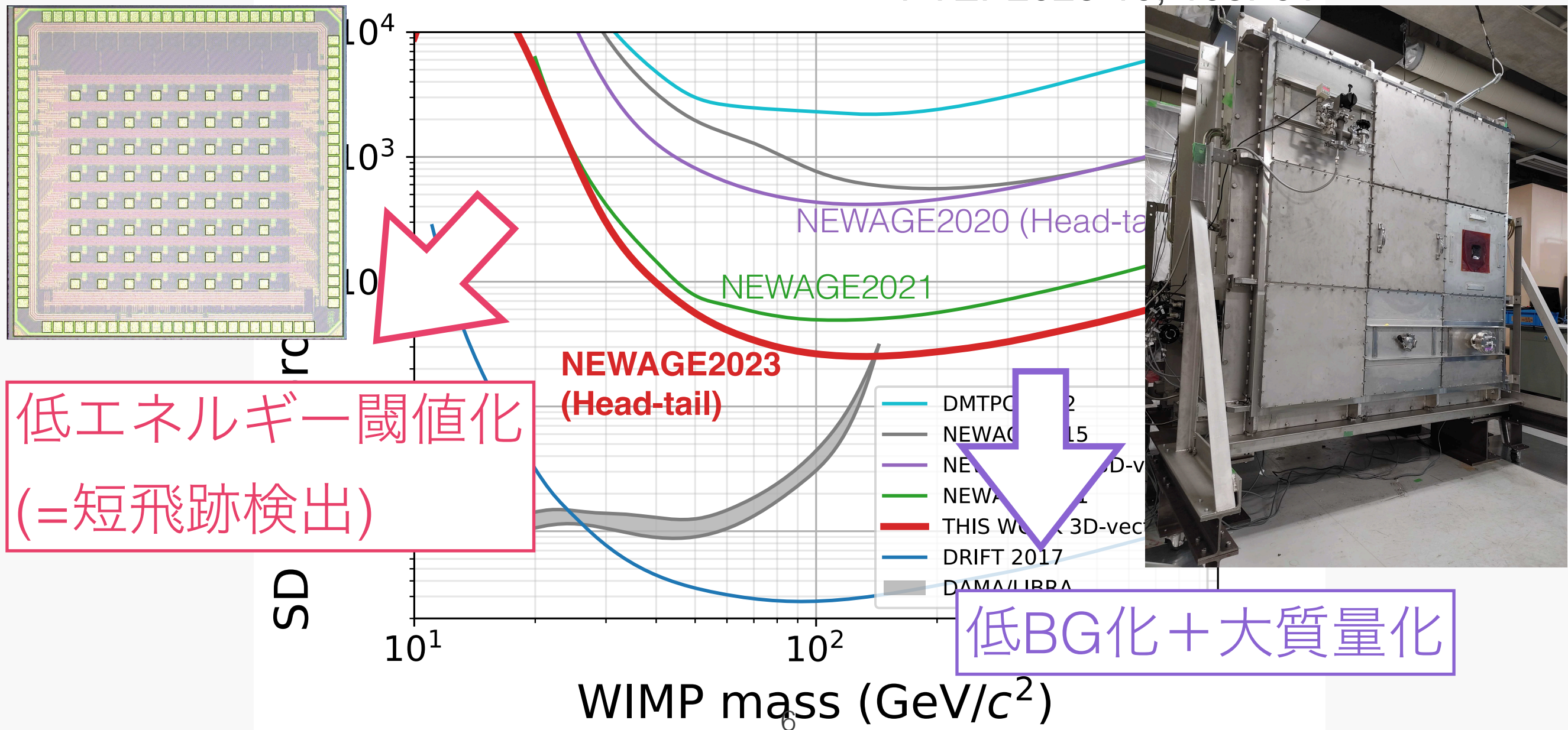




# NEWAGE現状と今後

- 到来方向を含めた解析で世界最高感度を更新
  - ➔ “DAMA/LIBRA”領域について方向感度を持つ探索を開始

PTEP2023 10, 103F01



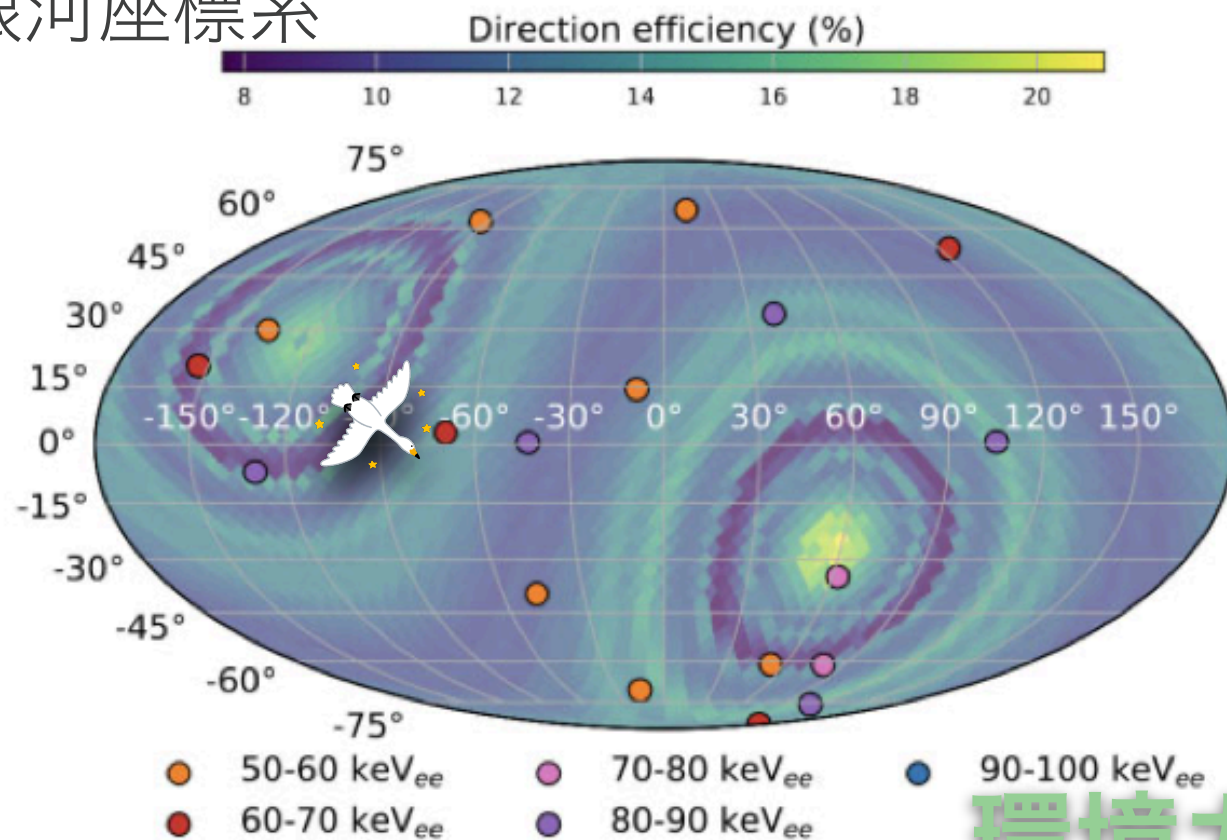


低BG化 + 大質量化

# 現状のBG理解

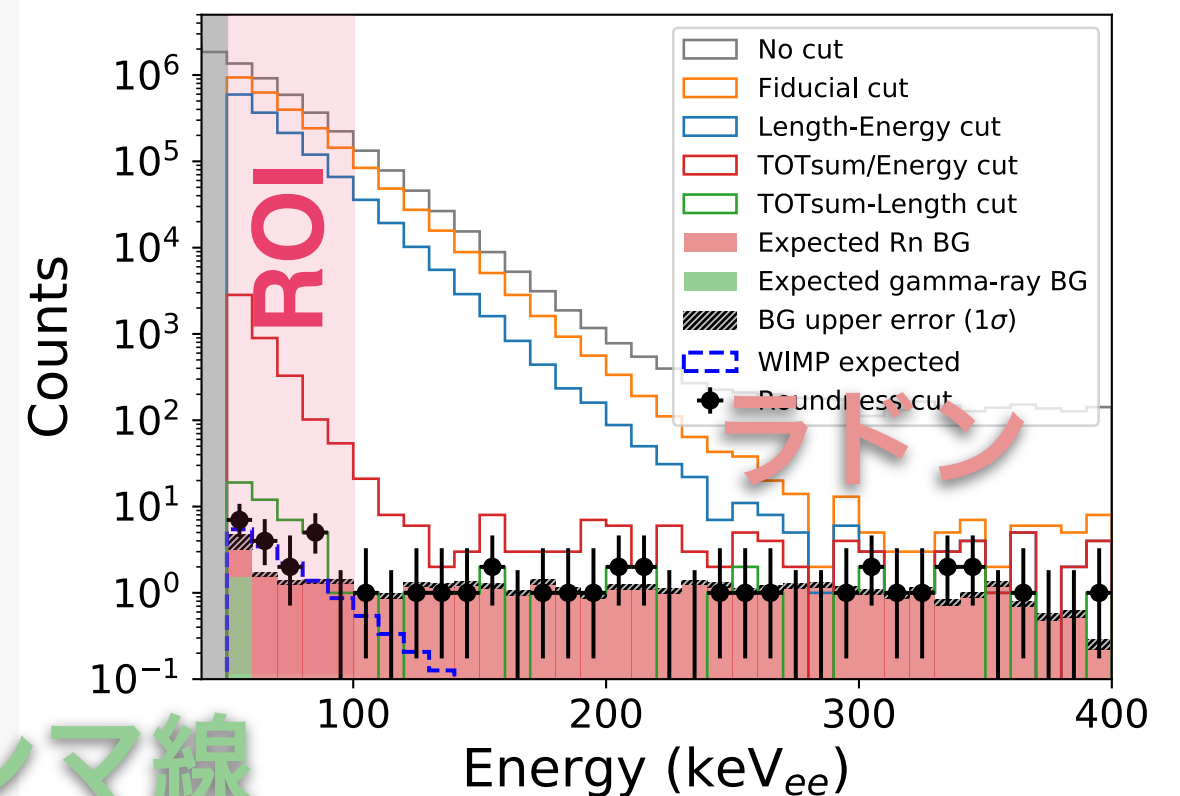
- 現状は選別事象に指向性なし、BG事象と判断
- その内訳の理解も進んでいる
  - ➔ 現状最も支配的なBGはガス中のラドン (decay alphaを誤選別)
  - ➔ 環境ガンマ線による電子反跳の誤選別も無視できない

銀河座標系



環境ガンマ線

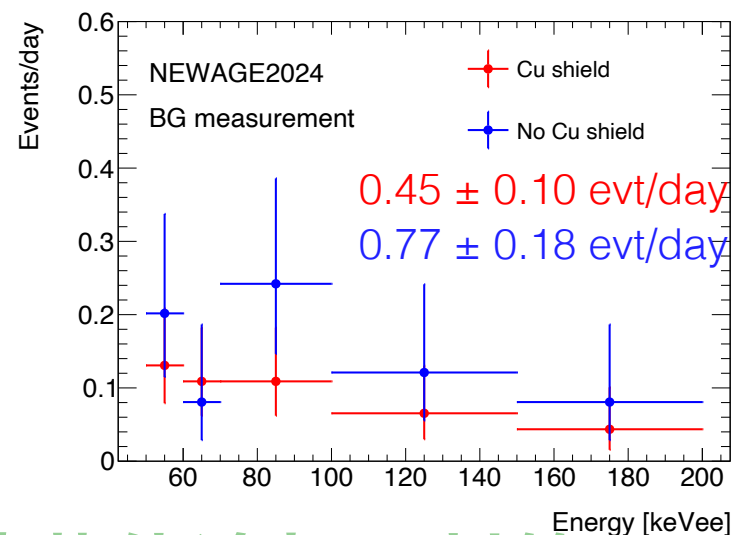
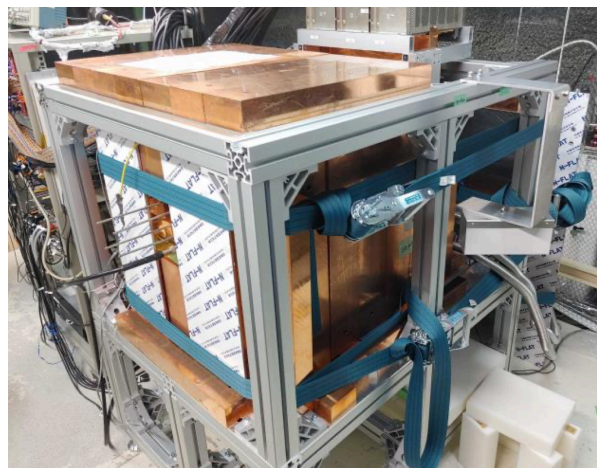
PTEP2023 10, 103F01



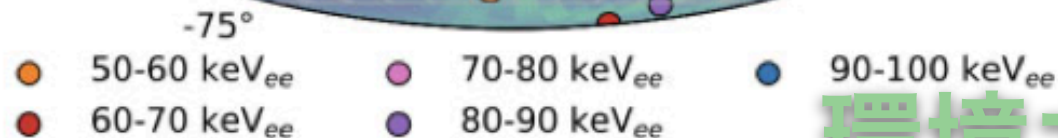
# 現状のBG理解

- 現状は選別事象に指向性なし、BG事象と判断
- その内訳の理解も進んでいる
  - ➔ 現状最も支配的なBGはガス中のラドン (decay alphaを誤選別)
  - ➔ 環境ガンマ線による電子反跳の誤選別も無視できない

銀河座標系

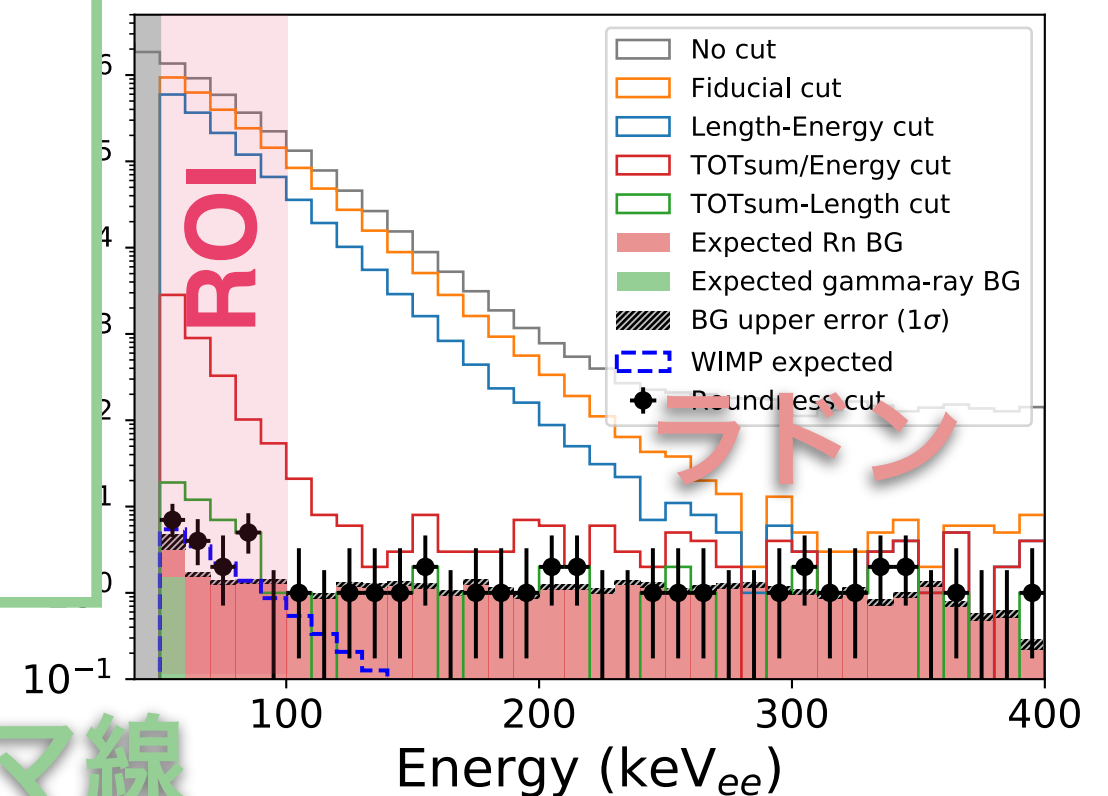


シンプルな遮蔽体追加で対策



環境ガンマ線

PTEP2023 10, 103F01

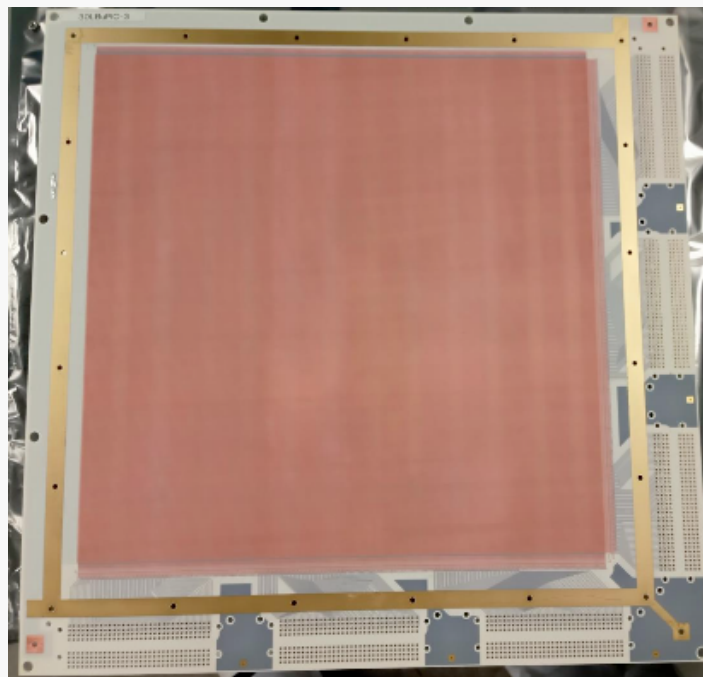




# 内部ラドン削減への試み

- ガスチェンバー内の構造物から湧き出す
  - ➔ U/Th系列のRIが崩壊して貴ガスのラドンを放出
  - ➔ 崩壊で出てきたalpha線が壁 (主に天井と床) に当たり短飛跡にfake

## 低RI含有の検出器開発



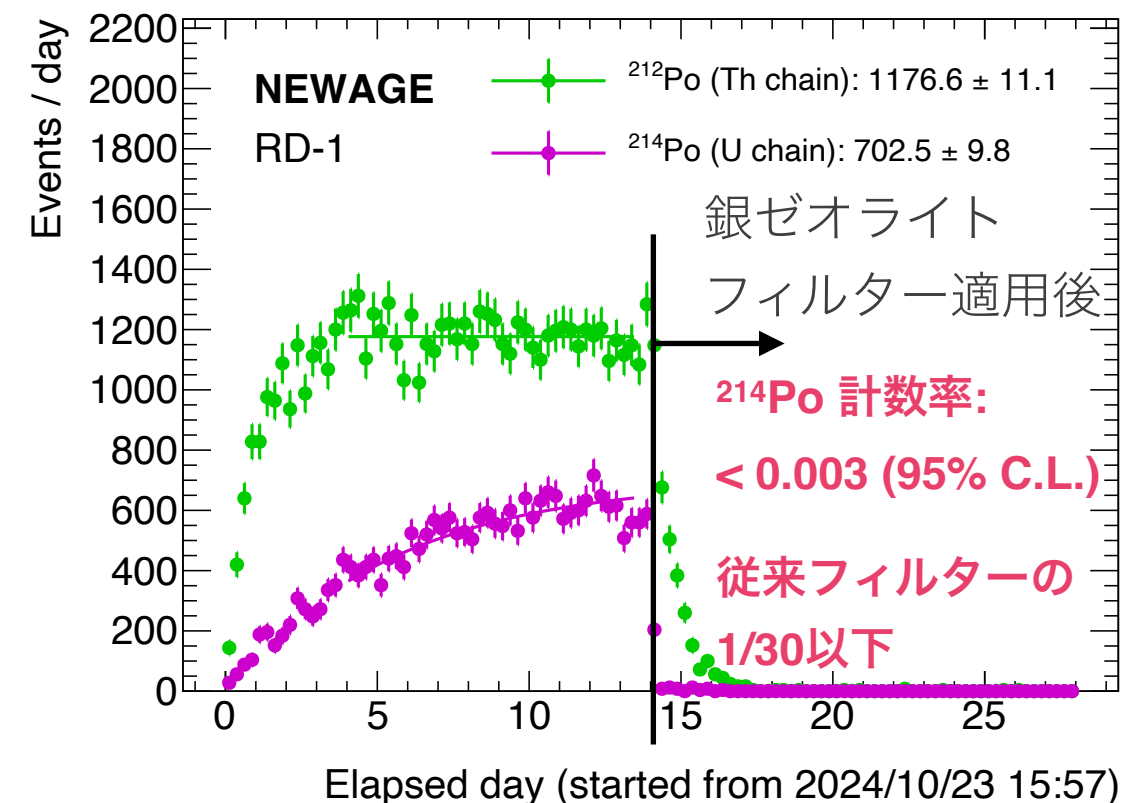
“Low BG  $\mu$ -PIC”の開発  
U系列のラドンを一桁低減

NIMA 1072 (2025) 170145 → 神岡検出器に実装済

## ガス循環システムのラドンフィルター改善



銀ゼオライト  
8Ag-FER-B 20g  
(神戸大 竹内さんより拝借)

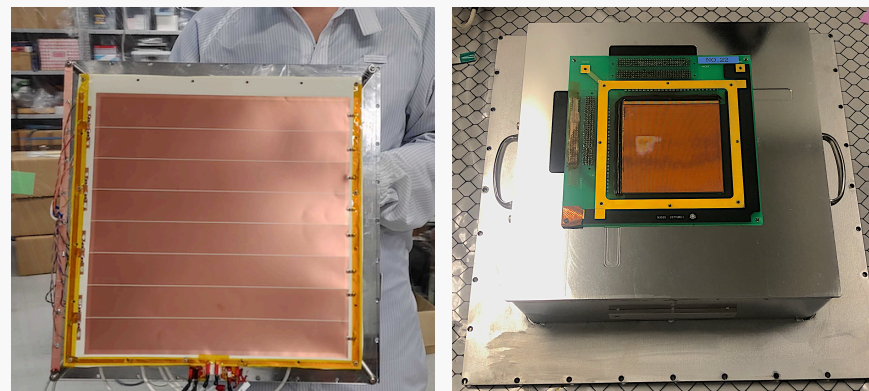
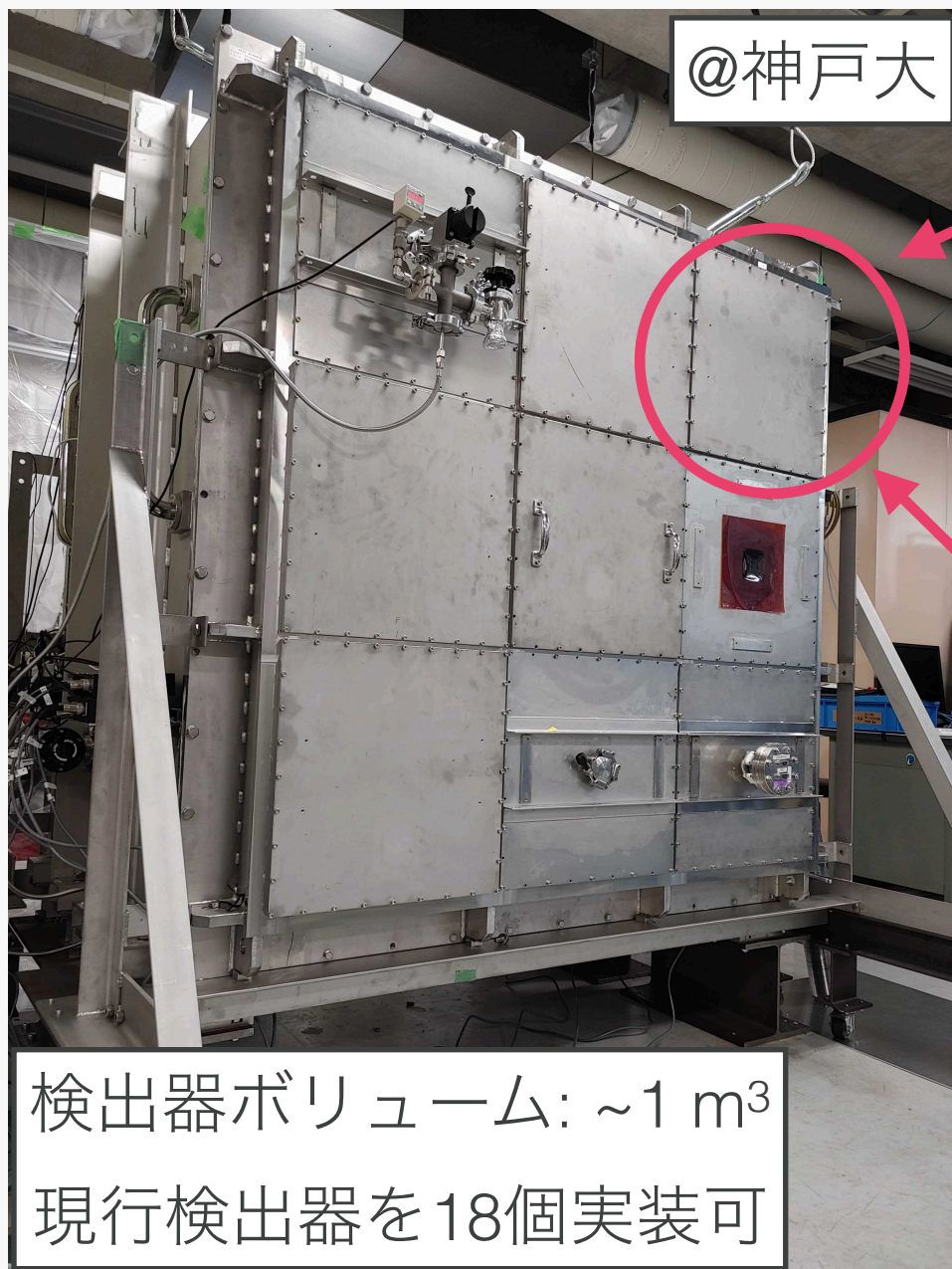


Th系列のラドン低減が直近の課題

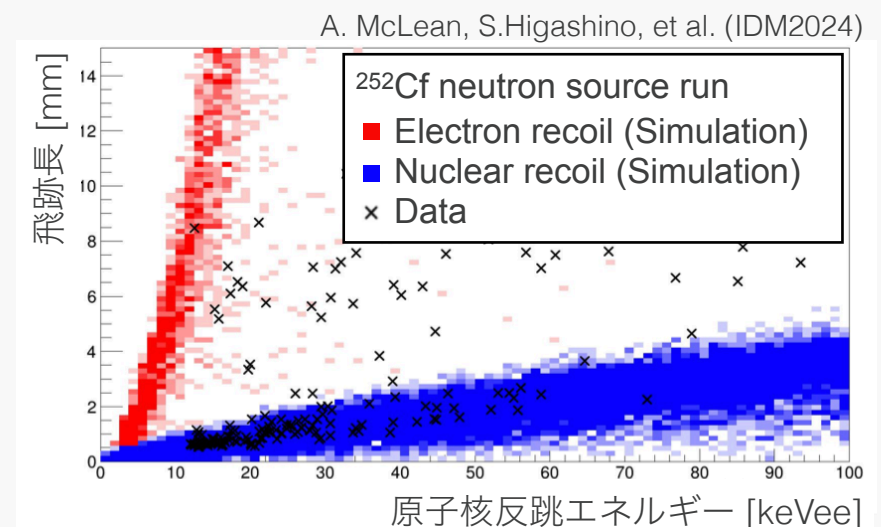
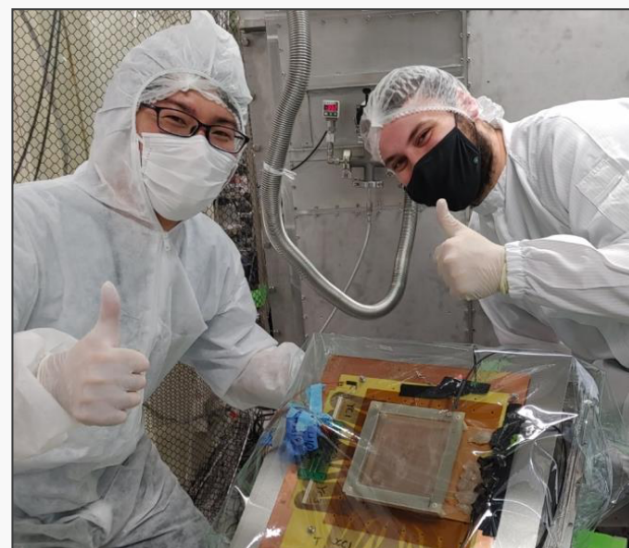


# CYGNUS-KM / NEWAGE (C/N-1.0)

- モジュラーデザインの大型検出器、チェンバーやガス循環系など準備完了 @神戸大
  - ➔ モジュール型検出器を開発、調整中 (神戸大、シェフィールド大ほかCYGNUSコンソーシアム)
- 地下実験でのBG理解→大型検出器へフィードバックを図り“極低BG検出器”として地下へ



国際共同研究“**CYGNUS**”コンソーシアムを形成  
英国シェフィールド大との共同研究を牽引、**国際研究基盤確立**

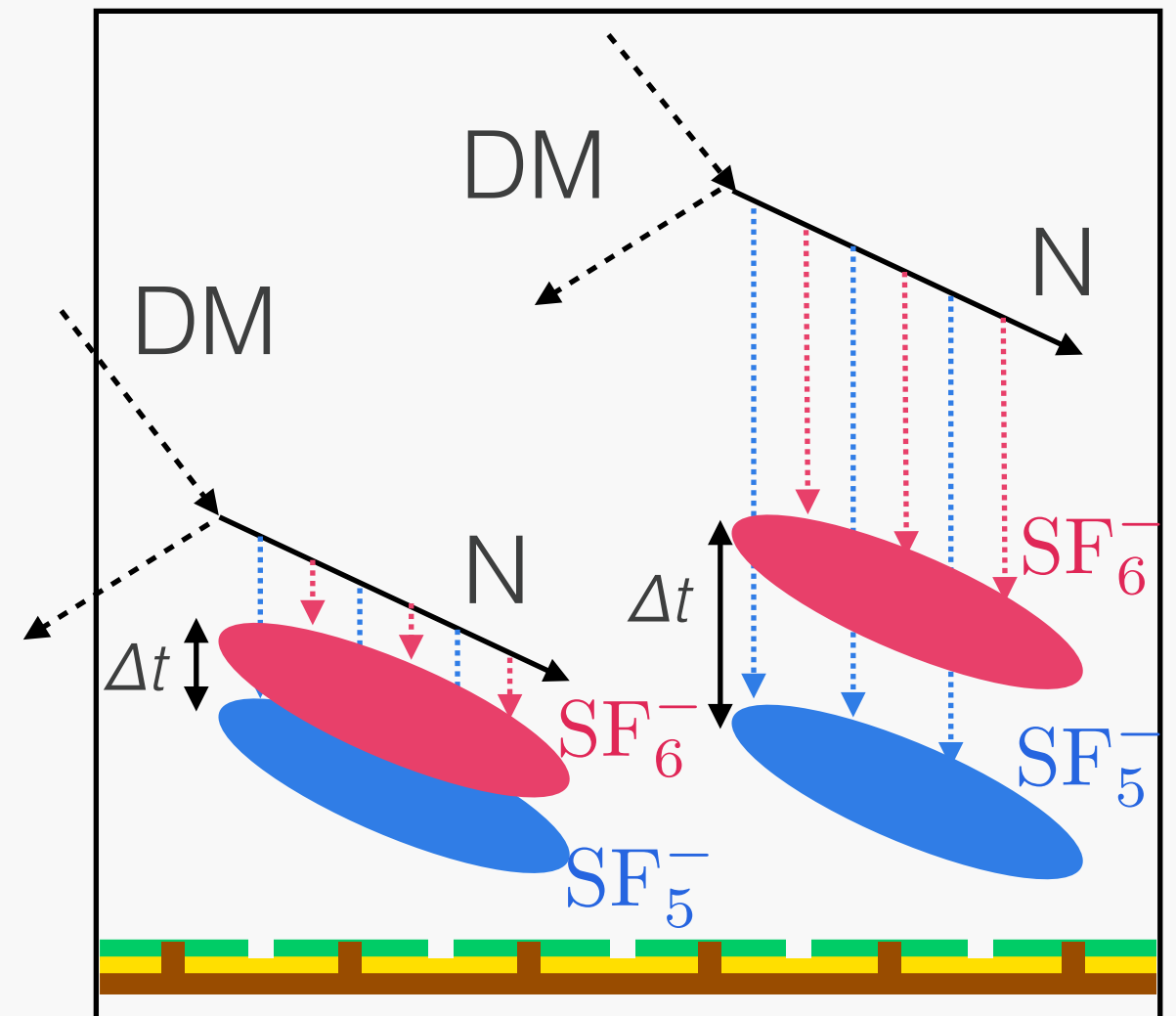
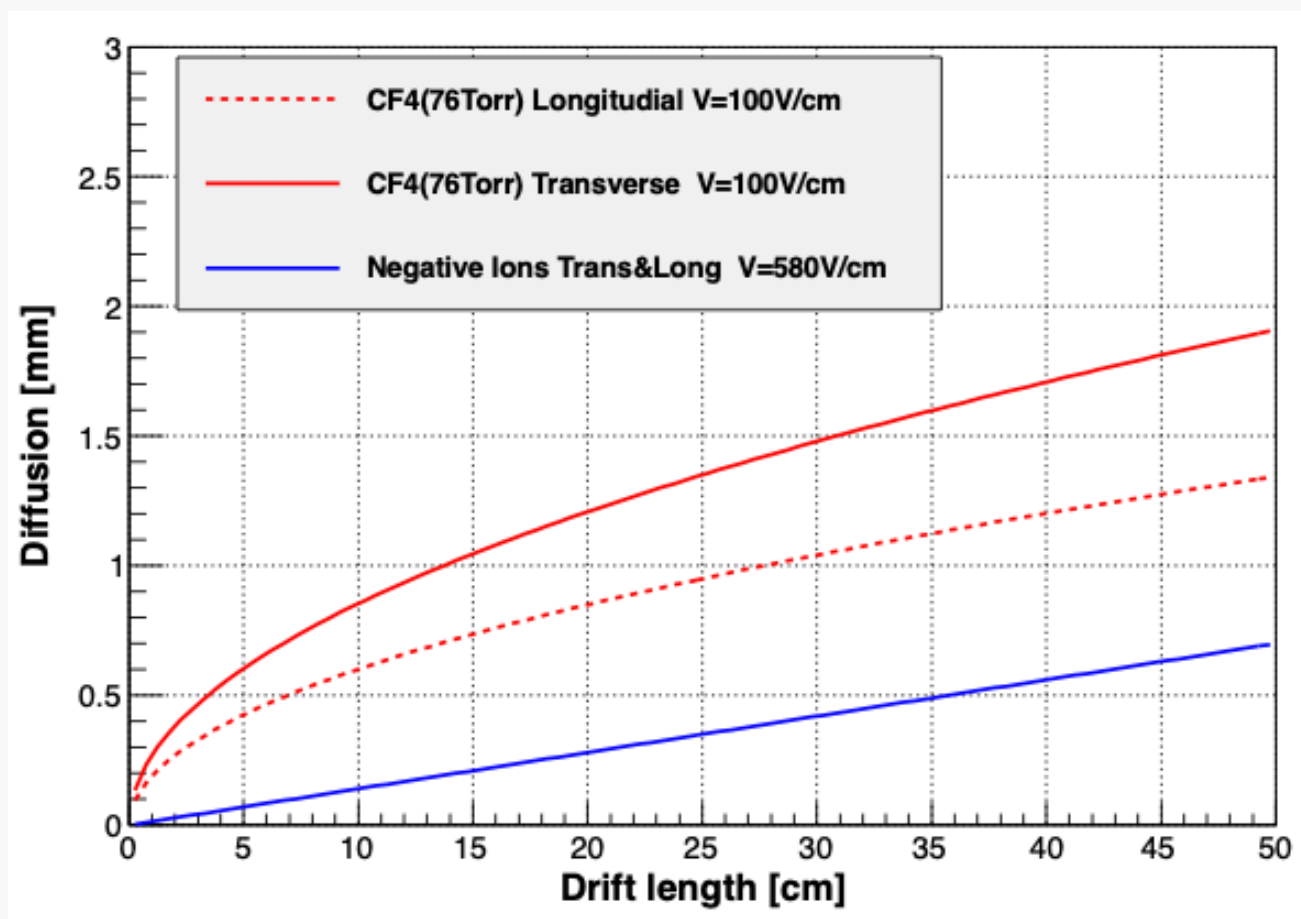


# 低エネルギー閾値化



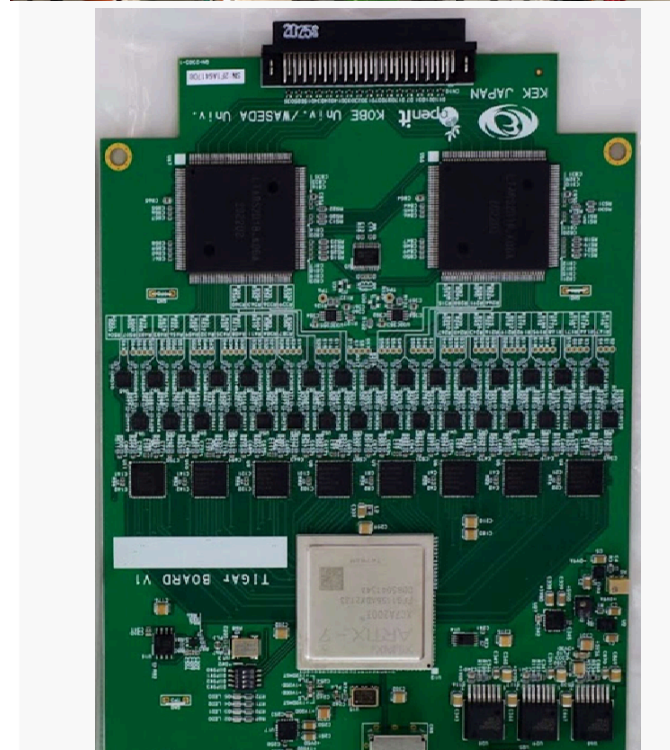
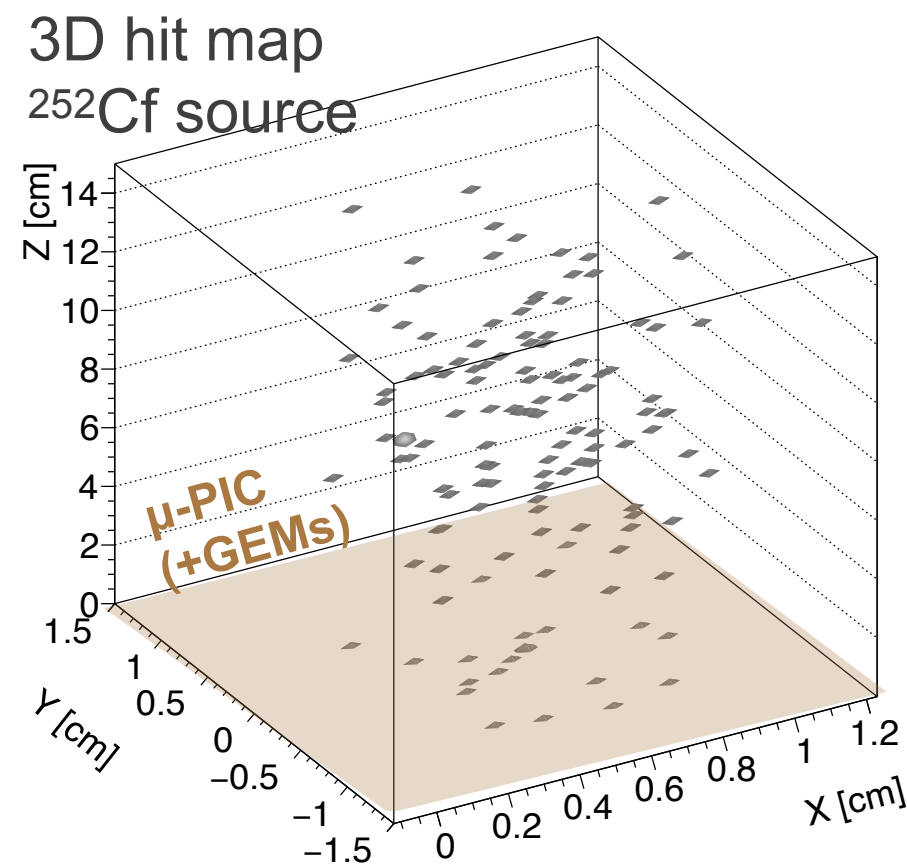
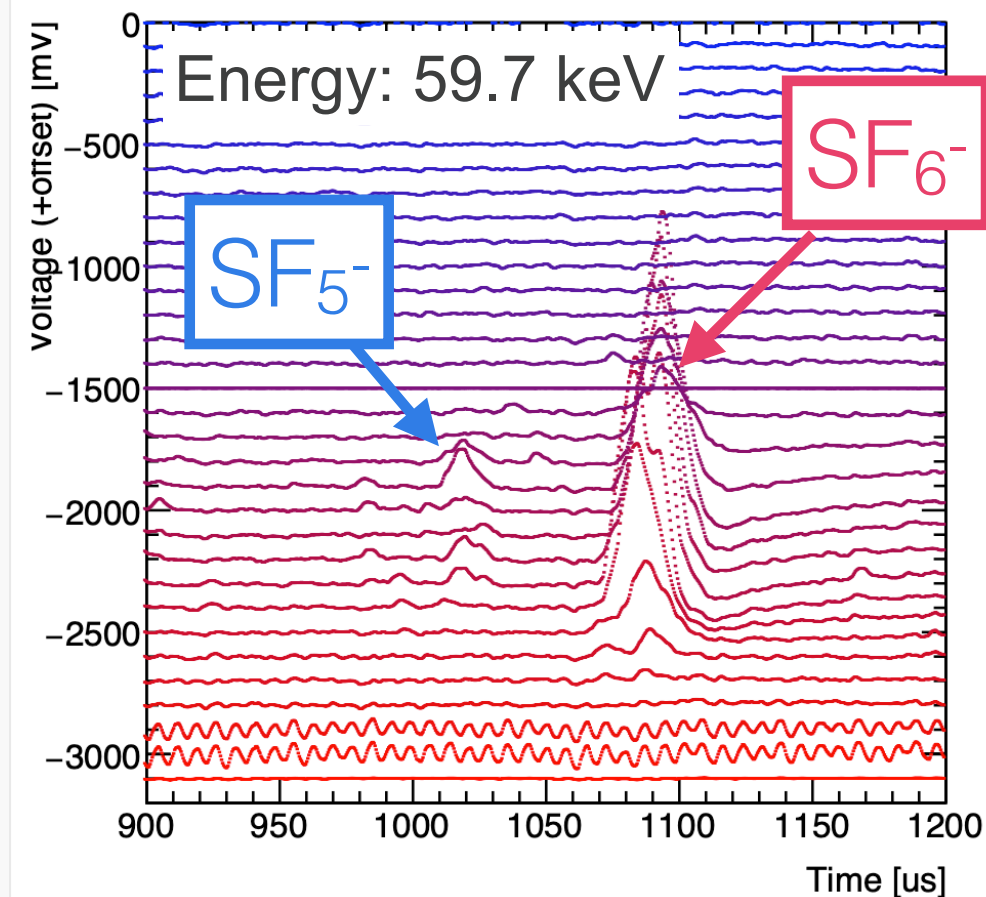
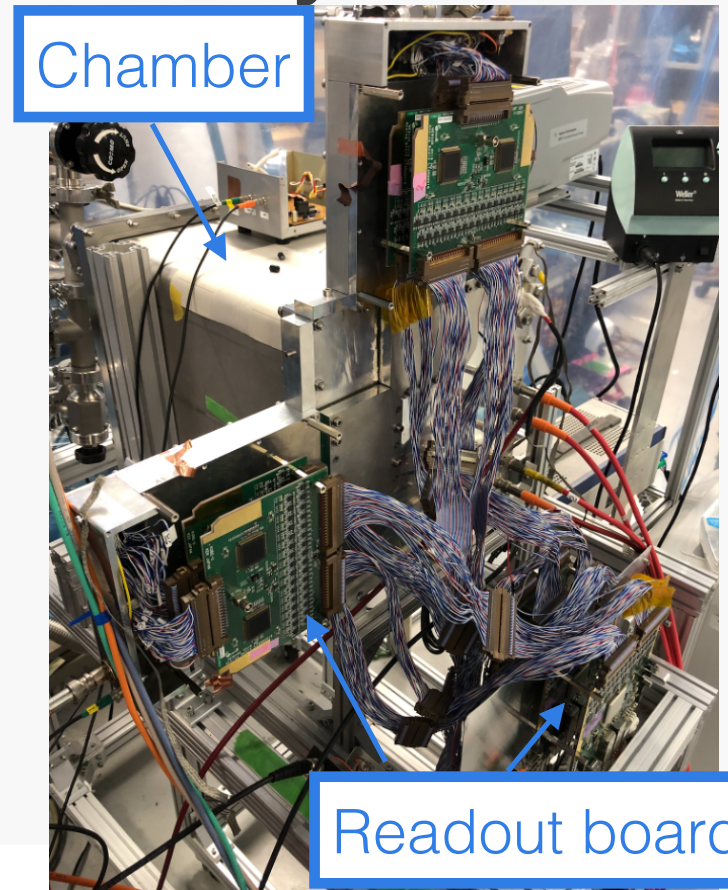
# 低エネルギー = 短飛跡検出に向けた戦略

- 問題点はドリフト電子の拡散と読み出しピッチ
  - “陰イオンガス” を微細読み出しで勝負
    - ▶ ガス分子が電離電子をアタッチ、大きく重たい陰イオン形成→ゆっくり低拡散なドリフト
- 陰イオンガスに $\text{SF}_6$ ガスを選択→絶対位置の再構成可能 (BG削減に有力)



# 低拡散な陰イオンガスのstudy

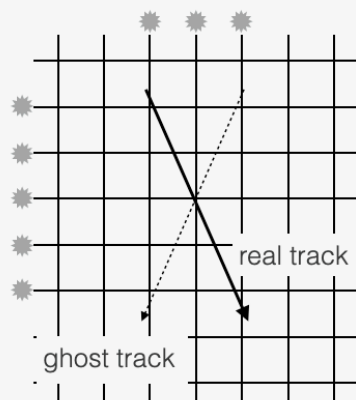
- 暗黒物質探索への適用はまだされていなかった
  - ➔ 専用のエレクトロニクスファームウェア開発
  - ➔ 原子核反跳の絶対位置での3次元飛跡再構成を初実証
    - ▶ arXiv: 2302.10725 / 2023 JINST 18 C06012
- 角度分解能等の評価に向けて研究継続中



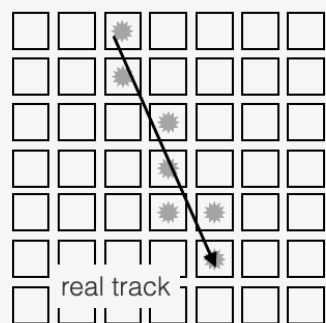


# 微細ピクセル読み出し

- 従来の位置読み出し検出器は**400  $\mu\text{m}$ ピッチのストリップ型**
  - ➔  $\text{SF}_6$ で拡散を抑えられたいま、より微細なピッチで短飛跡検出が可能に
- 次世代検出器として**250  $\mu\text{m}$ ピッチのピクセル**検出器開発に着手
  - ➔ ガス検出器 + 得意分野の高集積エレクトロニクス開発で勝負、**研究を立ち上げた**

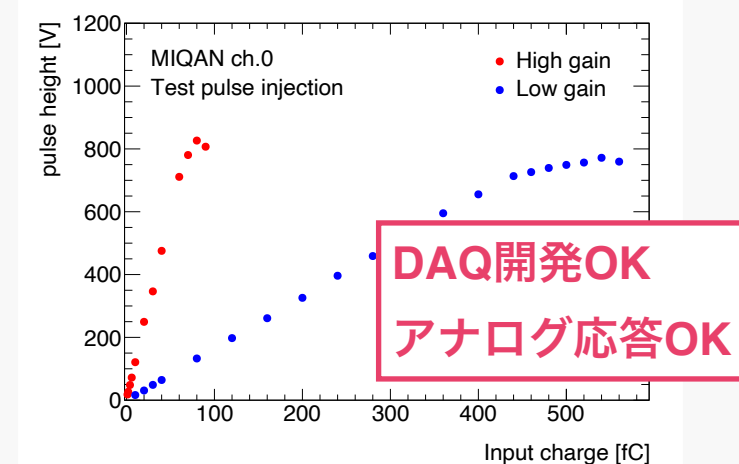
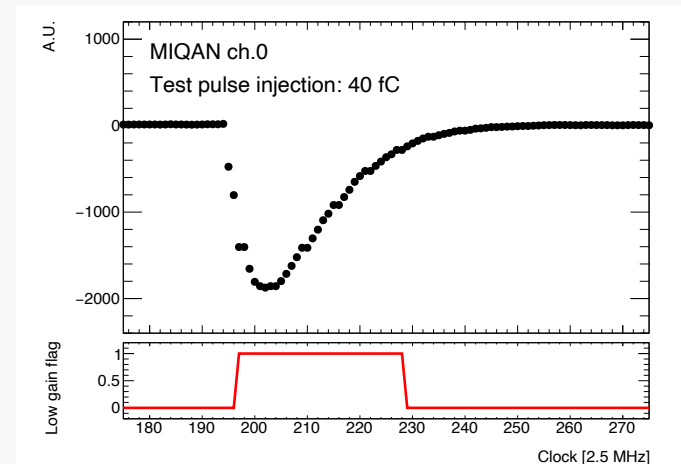
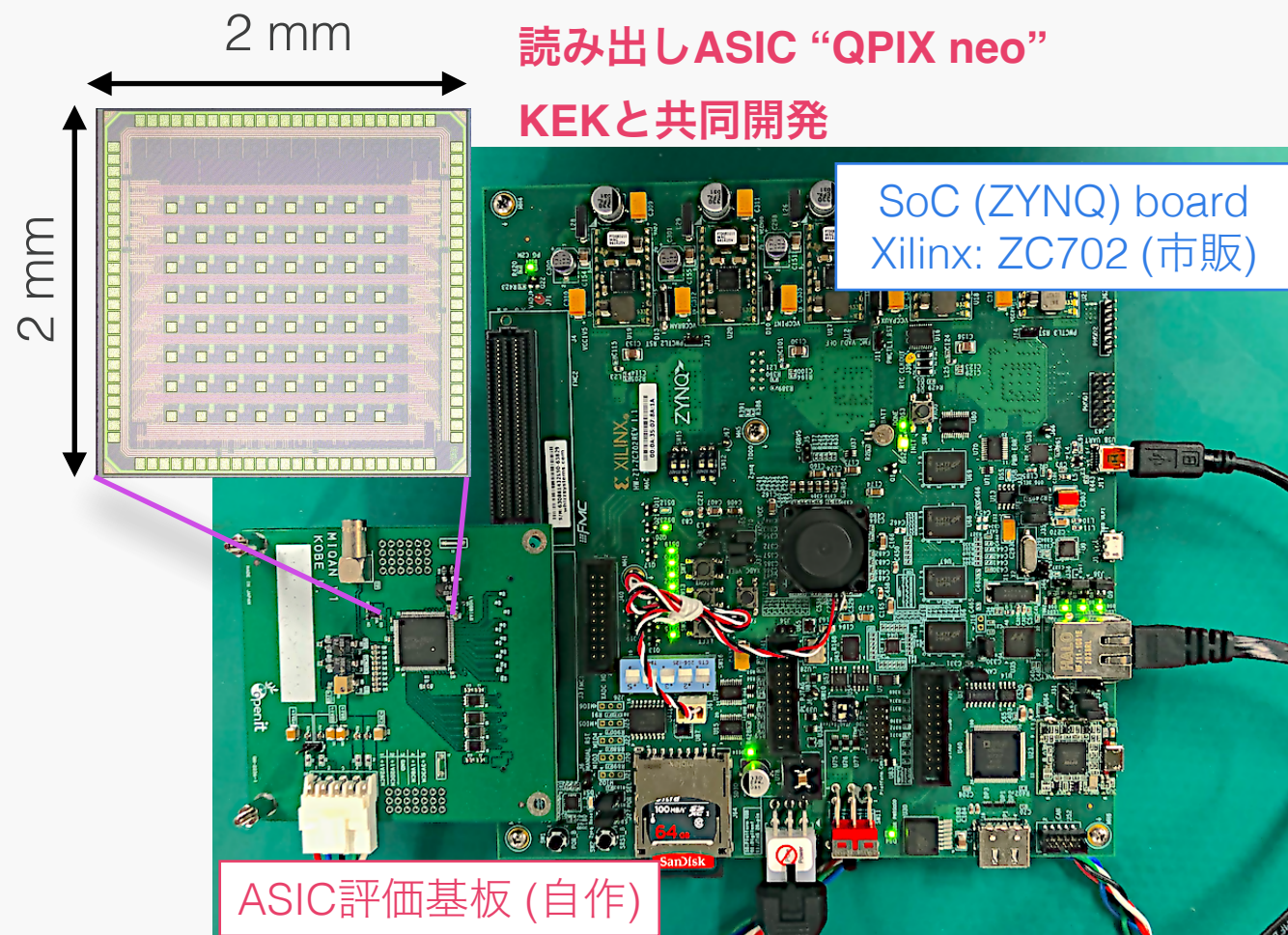


Strip readout  
現行NEWAGE



Pixel readout

新型検出器





# NEWAGEロードマップ

2024

2025

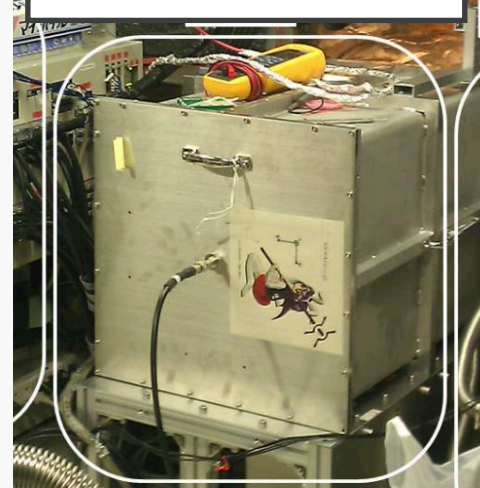
2026

2027

...

2030

NEWAGE 0.3b''



30 × 30 × 41 cm<sup>3</sup>

地下測定  
(~300実測日)

2023年12月

低BG  $\mu$ -PIC実装

NEWAGEのlimit更新  
0.3b, "低BG測定"

低BG  $\mu$ -PIC  
C/N-1.0に実装

低質量探索  
小型ピクセル"低閾値"

ピクセル検出器試験  
(小型検出器)

C/N-1.0



1 m<sup>3</sup>

2025年中

Module-1実装  
地上測定開始

Module-0, 1地下測定  
(commissioning)

低BG  $\mu$ -PIC  
C/N-1.0に実装  
5モジュール使用

18モジュール運転  
1 m<sup>3</sup> チェンバーで  
地下測定

2025年度  
神岡坑内へ搬送

DAMA/LIBRA領域到達  
C/N-1.0, "大質量測定"

# NEWAGEロードマップ

2024

2025

2026

2027

...

2030

NEWAGE 0.3b''

地下測定  
(~300実測日)

NEWAGEのlimit更新  
0.3b, "低BG測定"

低質量探索  
小型ピクセル"低閾値"

2023年12月

低BG  $\mu$ -PIC実装

ピクセル検出器試験

低BG測定をキーワードに  
絶賛評価中

低BG  $\mu$ -PIC  
C/N-1.0に実装

低BGの理解を深めて  
C/N-1.0にフィードバック  
その後地下実験へ

C/N-1.0

2025年中

Module-1実装  
地上測定開始

Module-0, 1地下測定  
(commissioning)

低BG  $\mu$ -PIC  
C/N-1.0に実装  
5モジュール使用

18モジュール運転  
1 m<sup>3</sup> チェンバーで  
地下測定

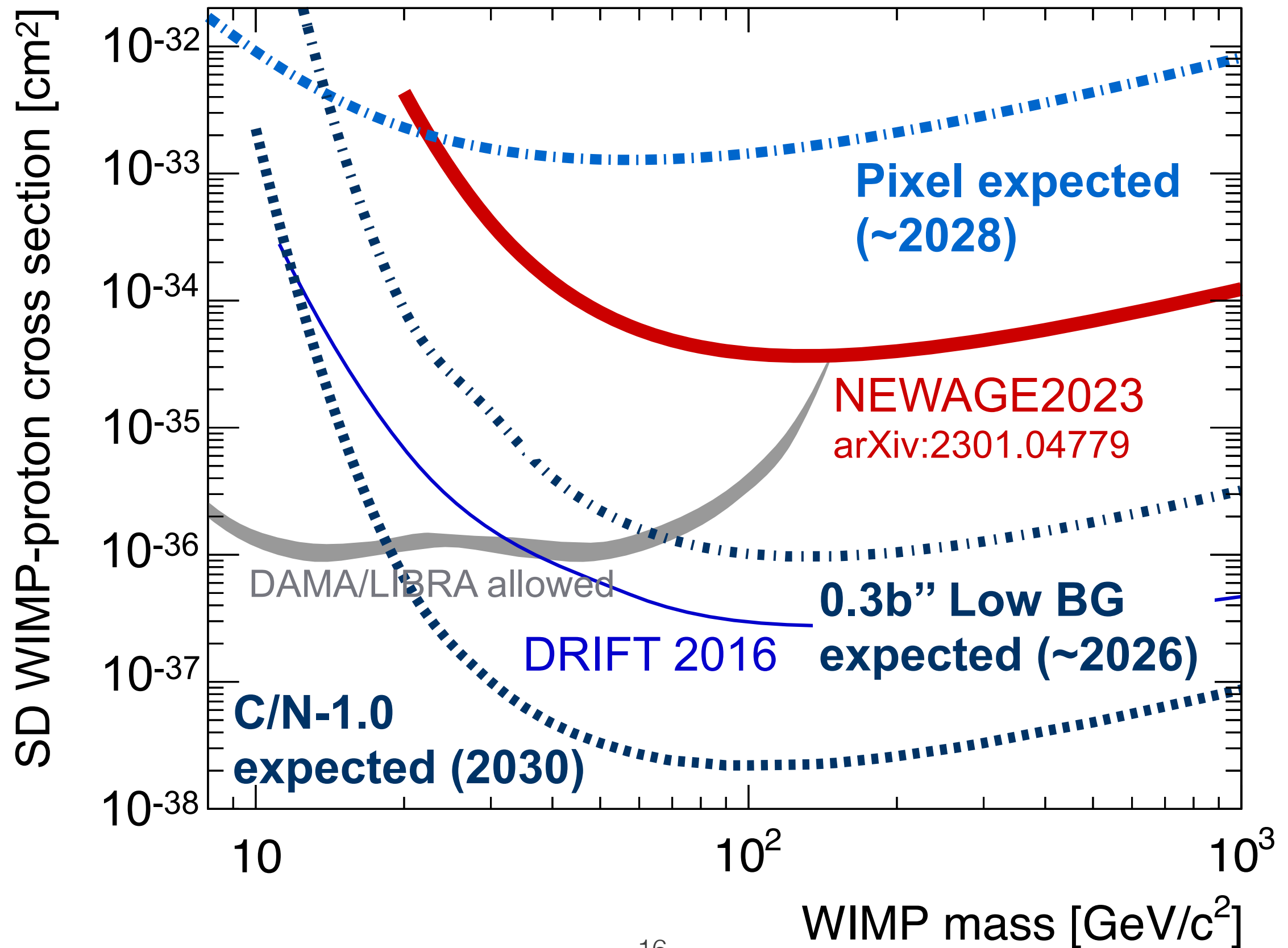
2025年度  
神岡坑内へ搬送

DAMA/LIBRA領域到達  
C/N-1.0, "大質量測定"

30 × 30 ×

1 m<sup>3</sup>

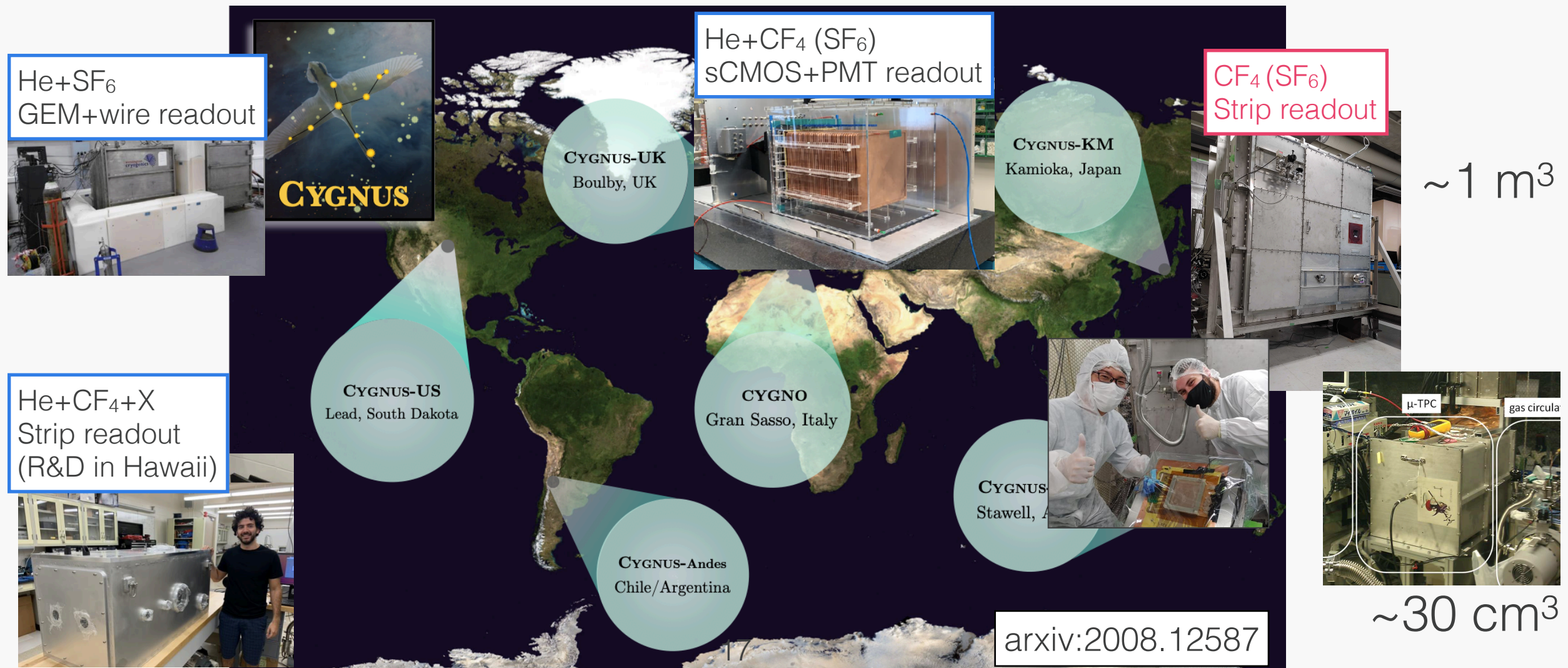
# Expected limits



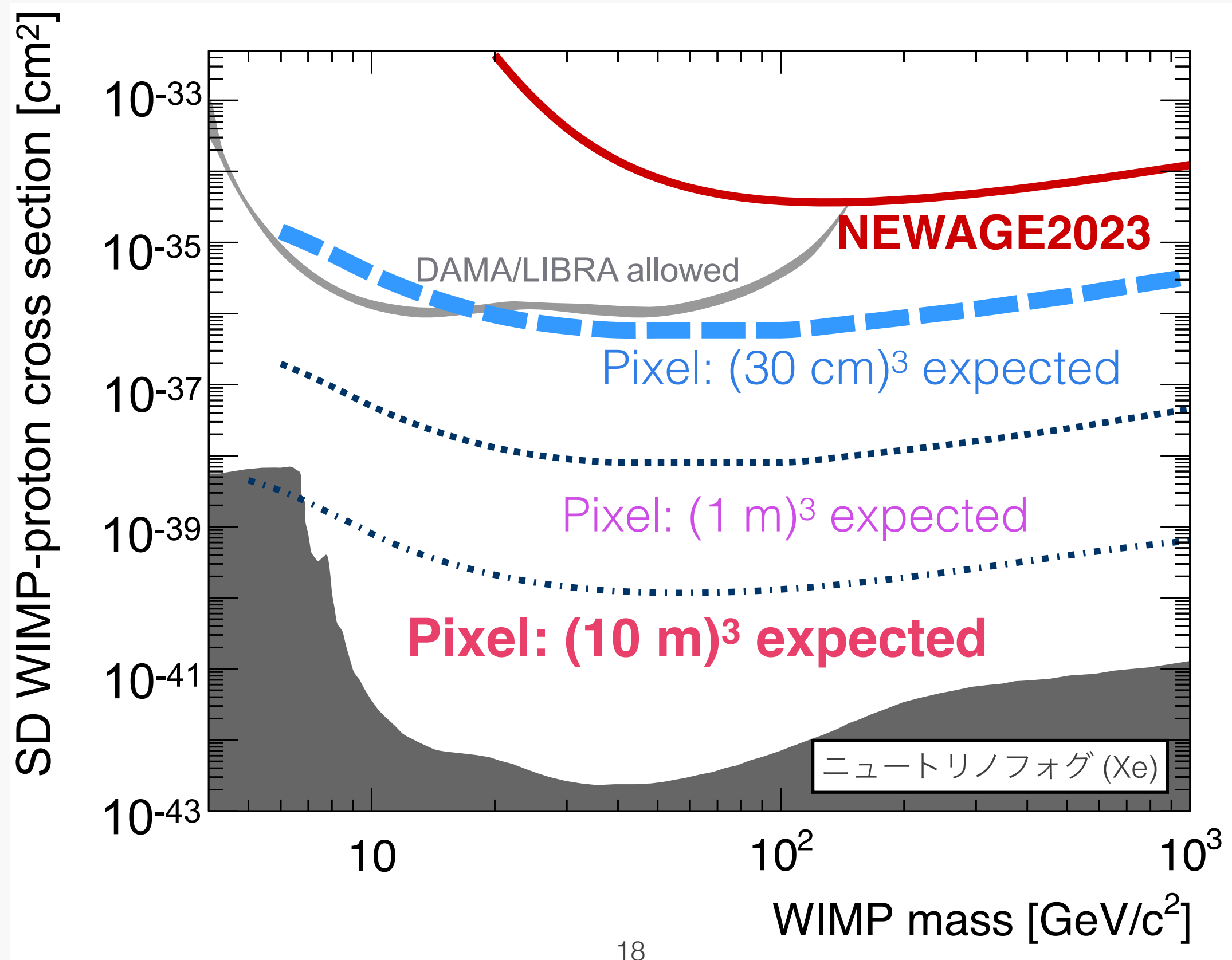


# “CYGNUS” コンソーシアム

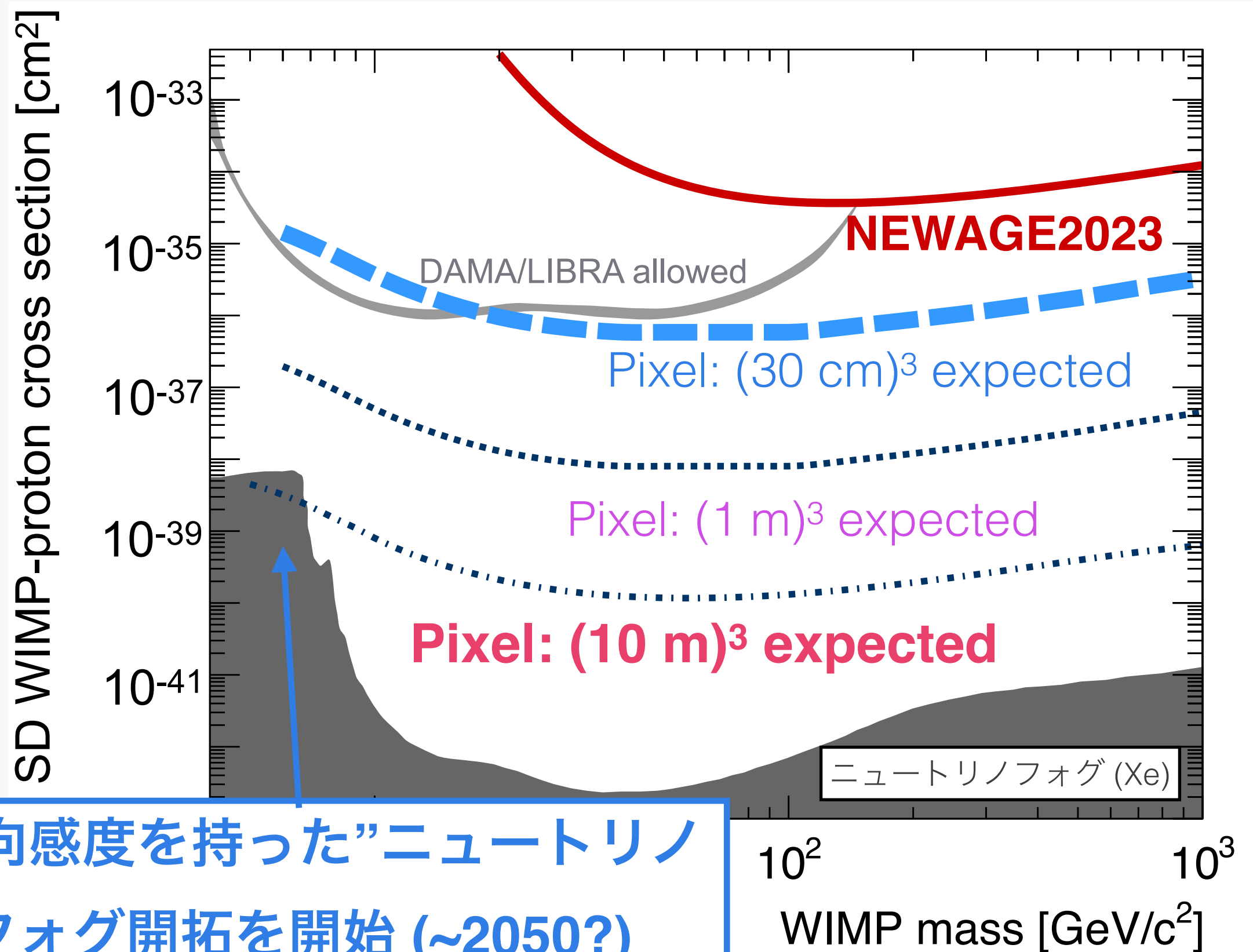
- 各地下実験施設で1 m<sup>3</sup>級のガスTPC開発中
- 将来的に結果をコンバインしてより感度を出す
  - ➔ 現在は進捗状況等をシェアしつつ各々が技術を磨いている
- 1 m<sup>3</sup>級を超えた規模では海外連携が必須、その基盤を確立



# “CYGNUS / NEWAGE” ロードマップ



# “CYGNUS / NEWAGE” ロードマップ





# 結論

- NEWAGE: **到来方向感度**をもつ暗黒物質探索実験
  - ➔ 暗黒物質の運動学から素粒子、宇宙の理解へ
- **方向感度を持った**探索でワールドレコード
  - ➔ “DAMA/LIBRA領域”を**方向感度込み**で探索開始
- 極低BG化、大型化、低エネルギー閾値化が課題
  - ➔ 並行した改善、開発を実施中
- ニュートリノフォグ開拓へ向け海外とも連携: CYGNUS
  - ➔ **方向感度を持った**探索を行い暗黒物質発見&性質理解へ！