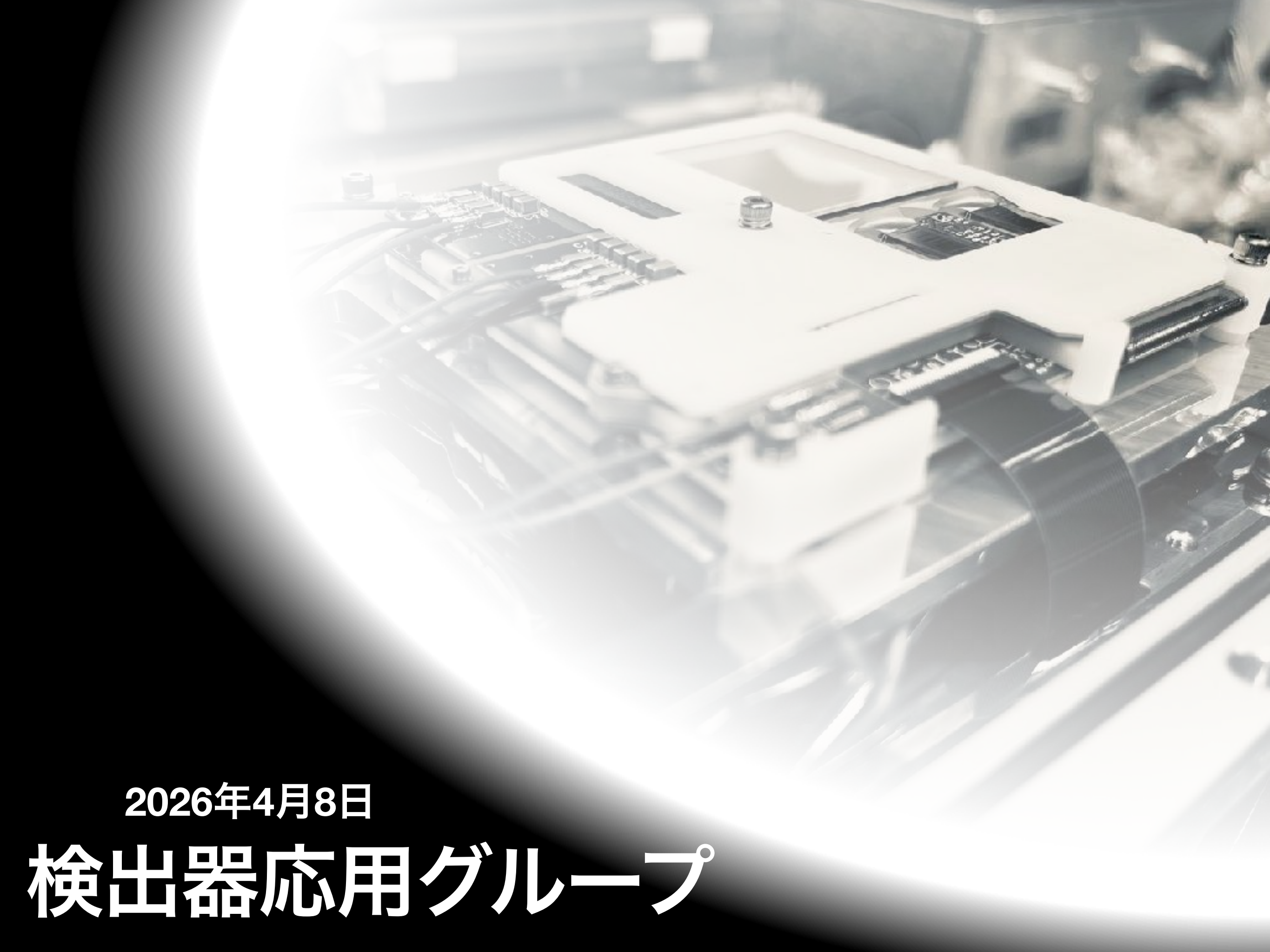
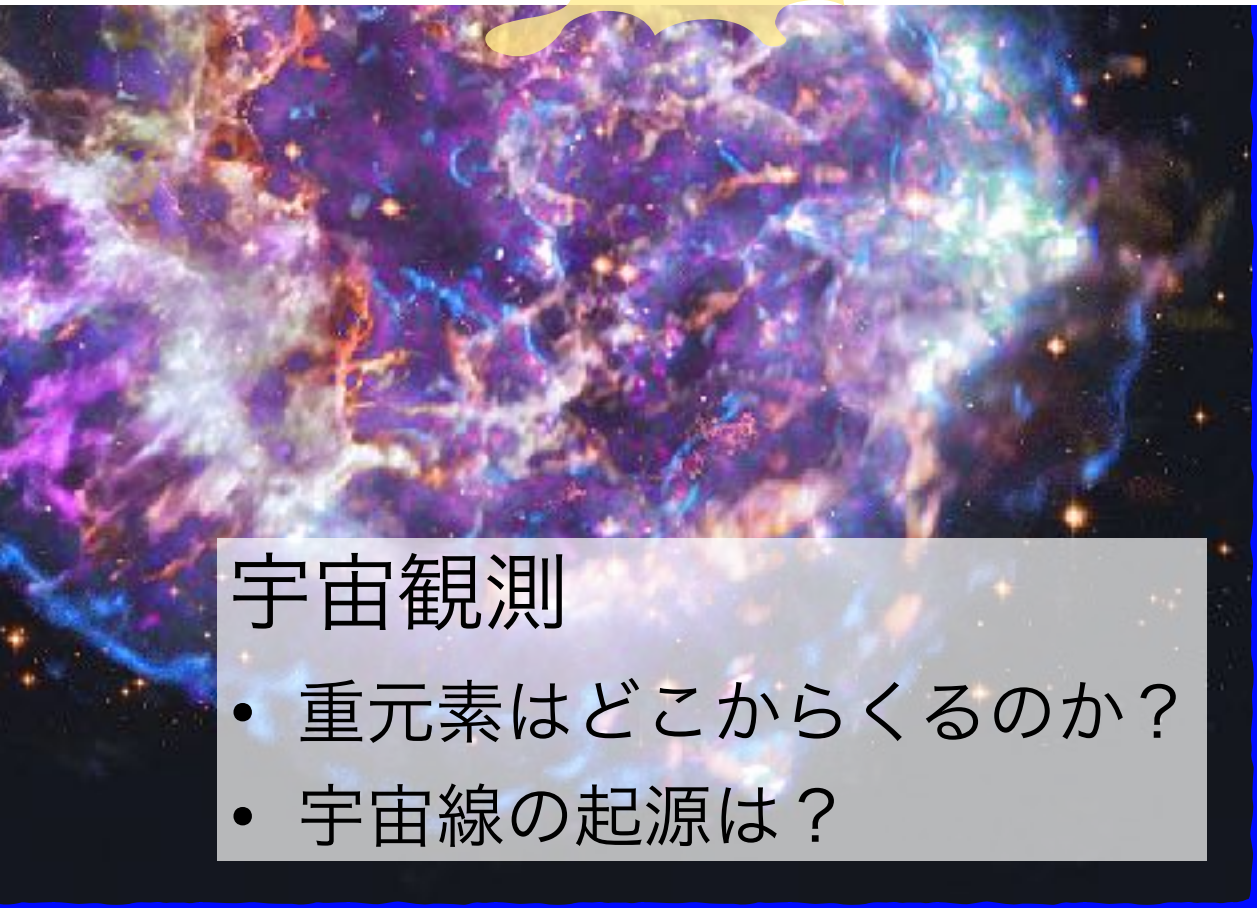




2026年4月8日

検出器応用グループ

硬X線で“見る” 宇宙から生命現象まで

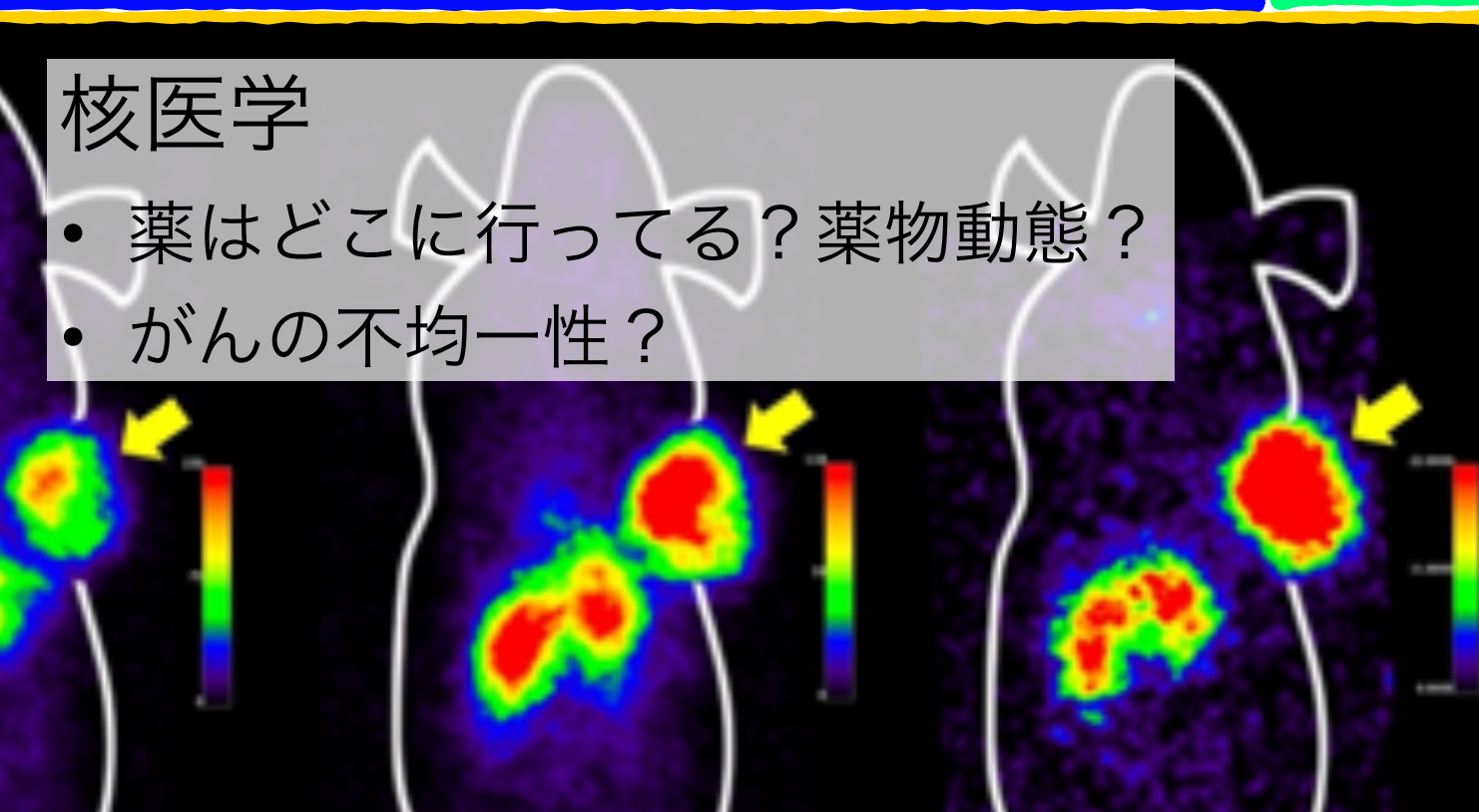


宇宙観測

- 重元素はどこからくるのか？
- 宇宙線の起源は？

ミュオンイメージング

- 隕石の元素組成は？
- 電池の内部構造は？

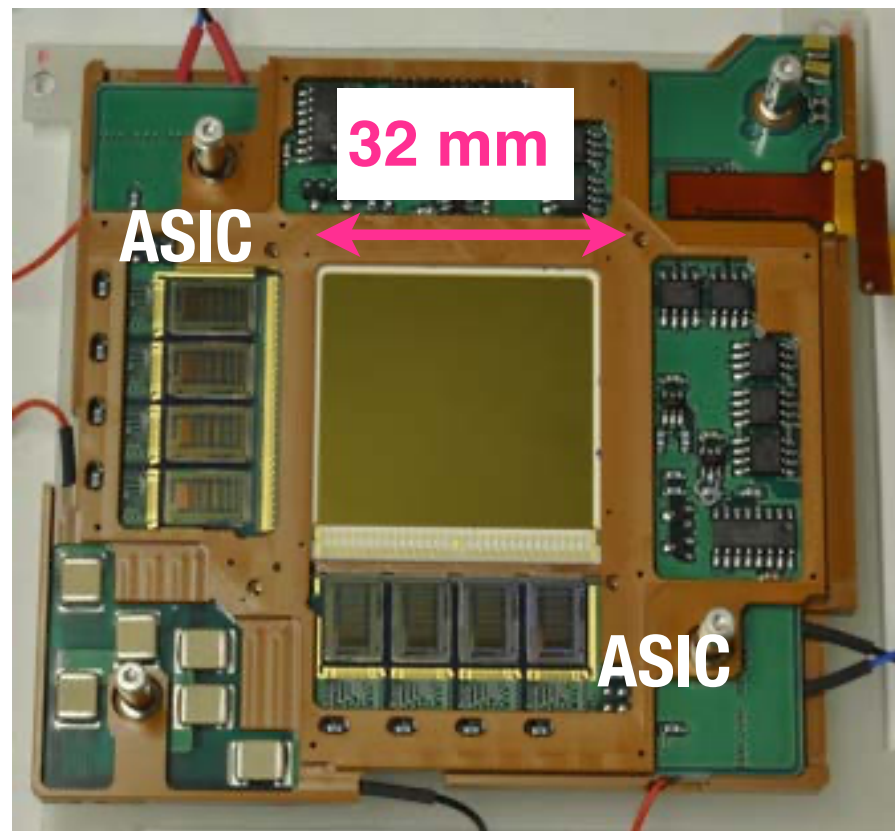


核医学

- 薬はどこに行ってる？薬物動態？
- がんの不均一性？

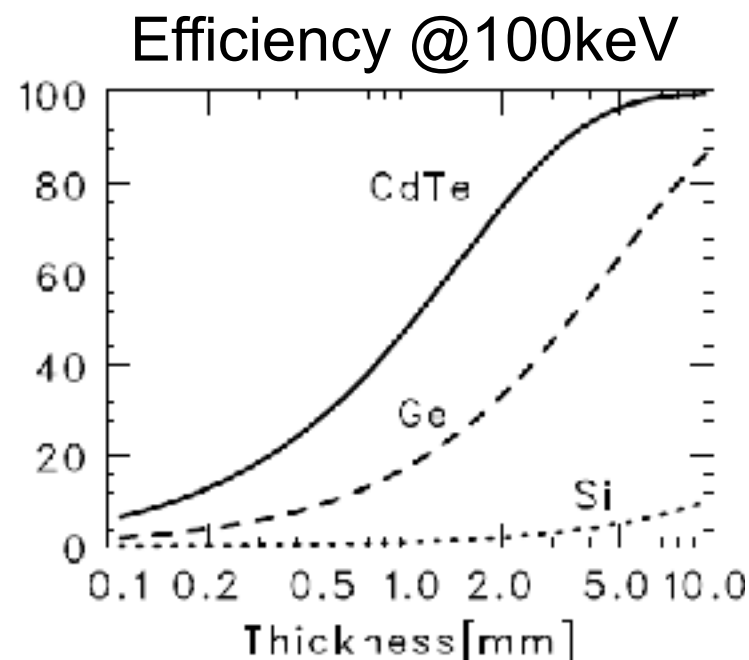
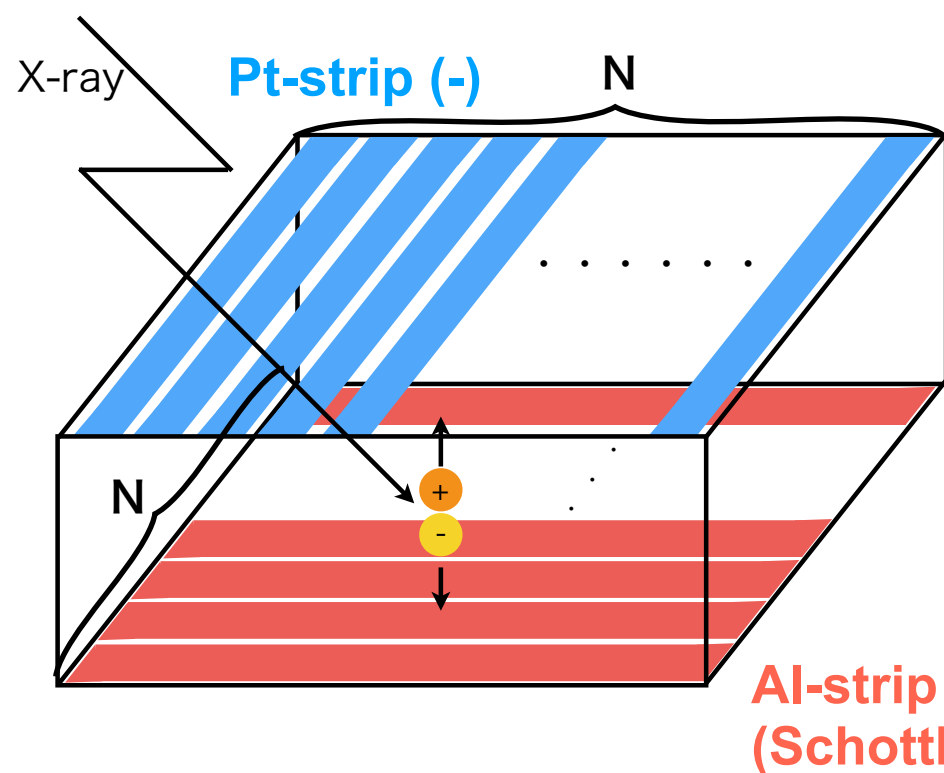
既存の検出器では
感度や**位置分解能**が不足。
→検出技術の向上が必須！

Key technology: CdTe半導体検出器

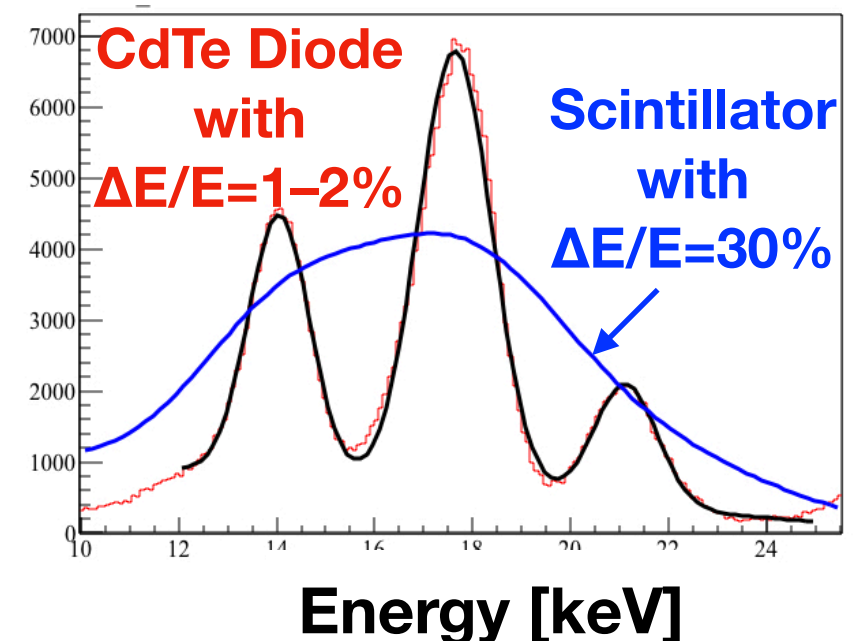


CdTe double-sided strip detector (CdTe-DSD)

- ▶ Fine Pitch < 250 μm + Large Area (32 x 32 mm^2)
- ▶ Pt/CdTe/Al structure — CdTe diode
→ 高いエネルギー分解能
- ▶ 両面ストリップ型検出器
→ 2x128=256 channels (<< 128x128=16384)
- ▶ 検出効率 < 100 keV
- ▶ モジュール化され積層が可能に。



3

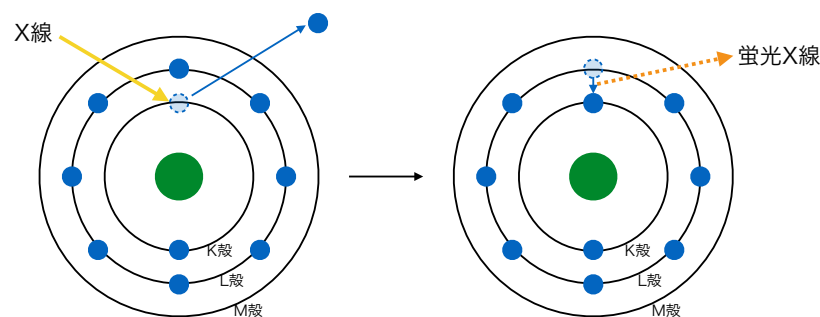




負ミューオン非破壊元素イメージング分析

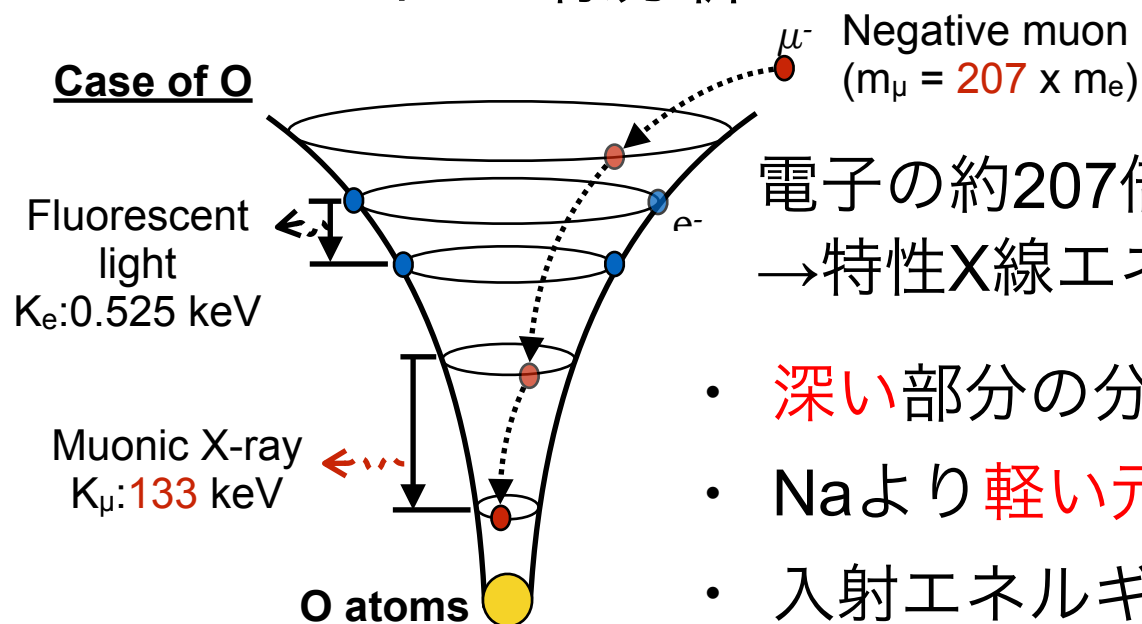
負ミューオンで見る元素分析の世界

❖ 通常のX線分析



- 表面の分析
- Naより原子番号の大きい元素の分析 ($> 1 \text{ keV}$)

❖ ミューオンX線分析

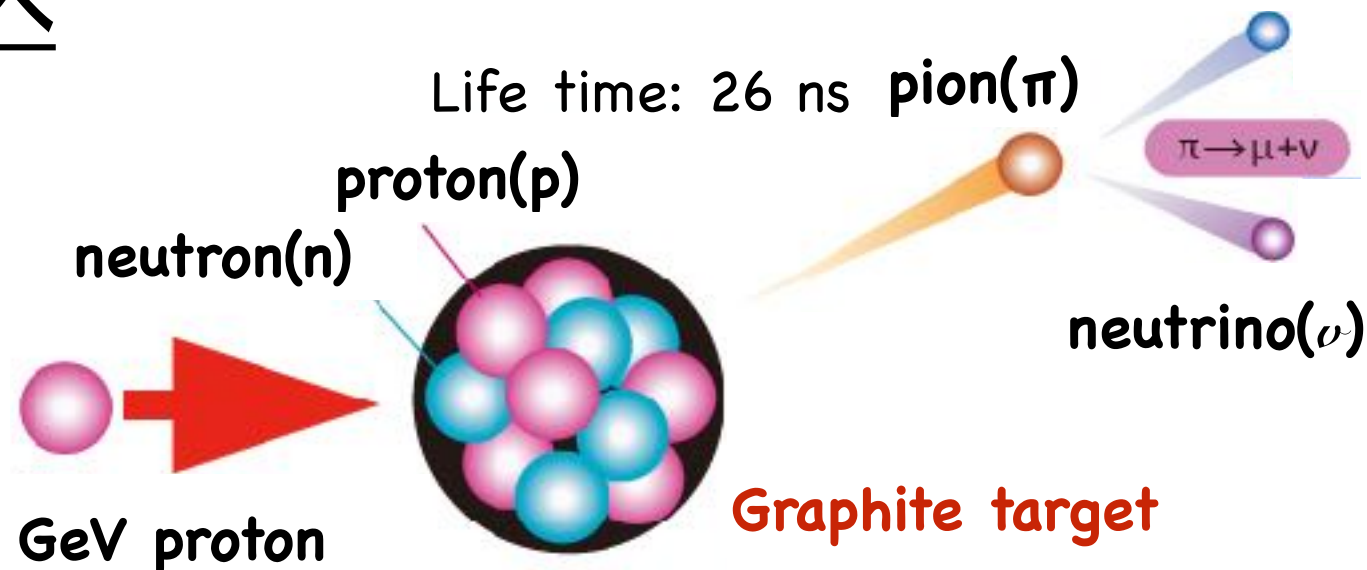
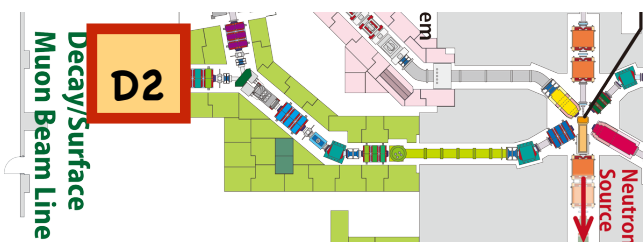


電子の約207倍の質量
→ 特性X線エネルギーも207倍！

- 深い部分の分析
- Naより軽い元素の分析
- 入射エネルギー選択によって停止深さを選べる

Life time: $2.2 \mu\text{s}$ muon(μ)

Life time: 26 ns pion(π)



2008@J-PARC 大強度のミューオンビーム完成

負ミュオン非破壊分析の発展

2008@J-PARC 大強度のミュオンビーム完成

2014年

ミュオンX線元素分析の実証実験 (Terada et al. 2014, Ninomiya et al. 2015)

2018年

世界初ミュオンX線イメージング (Katsuragawa et al. 2018)

2022年

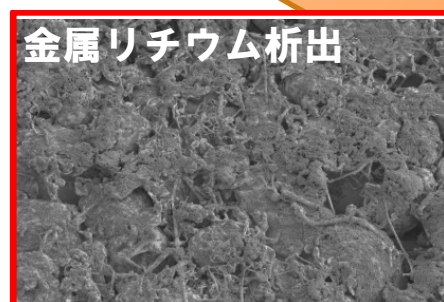
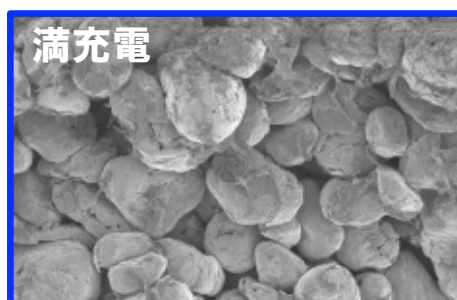
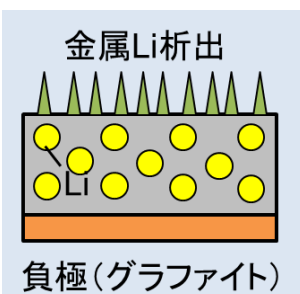
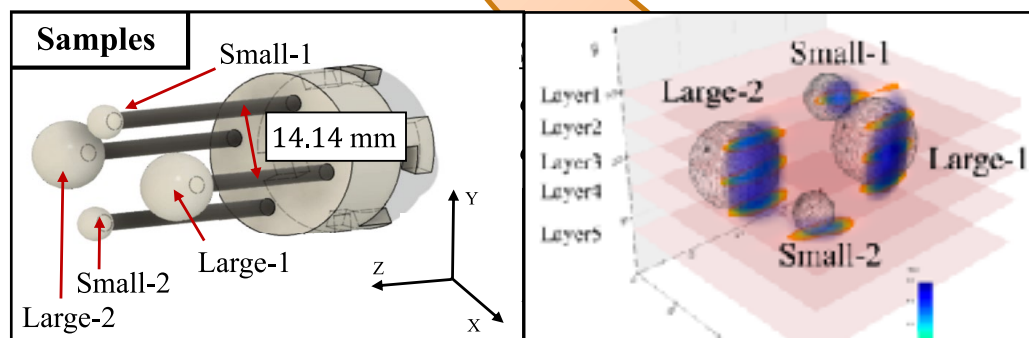
世界初ミュオンX線の3Dイメージング

3Dサンプルと再構成画像 (Chiu et al. 2022)

2023年

はやぶさ隕石の非破壊分析
(Ninomiya et al. 2023, Osawa et al. 2023)

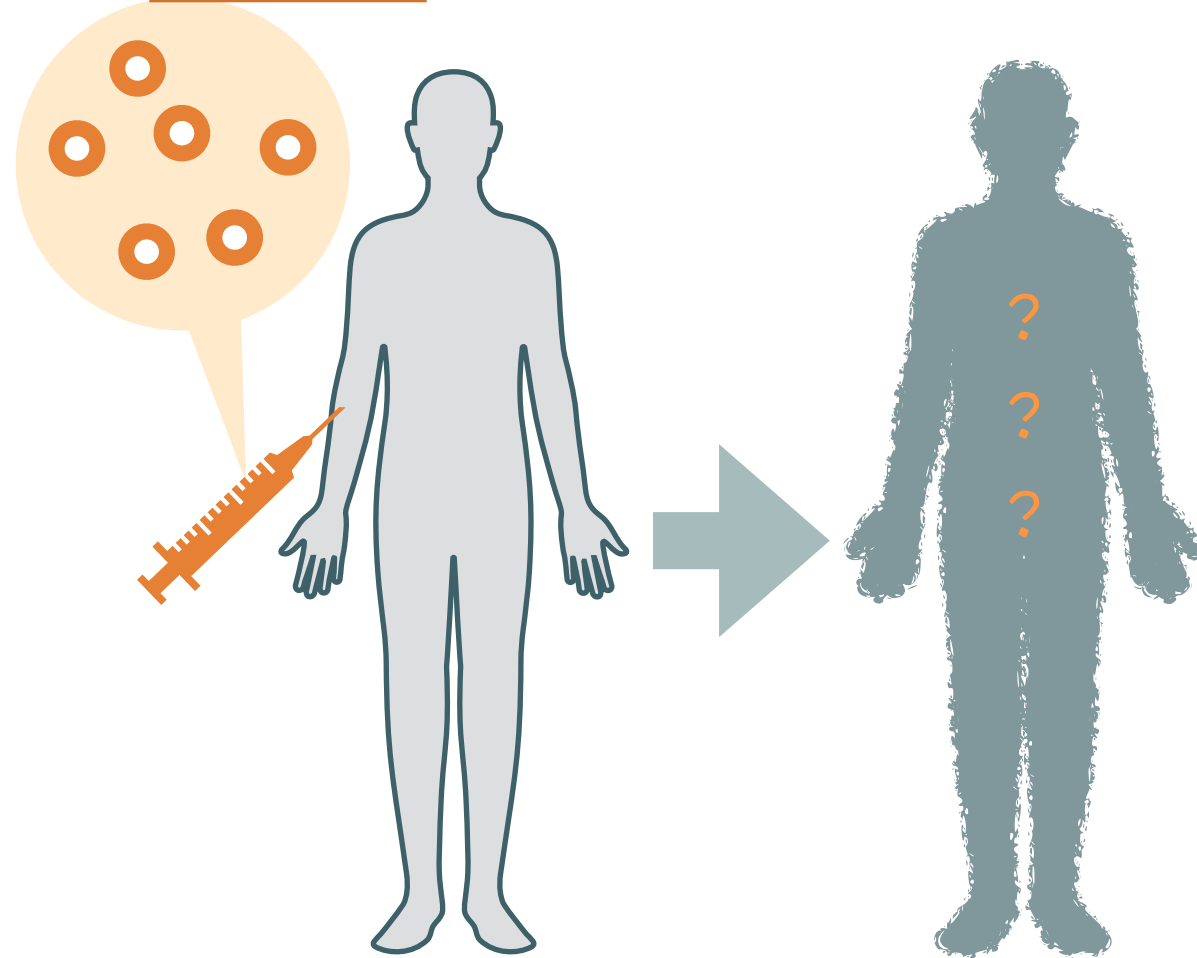
現在
リチウム電池の非破壊分析



分子イメージング

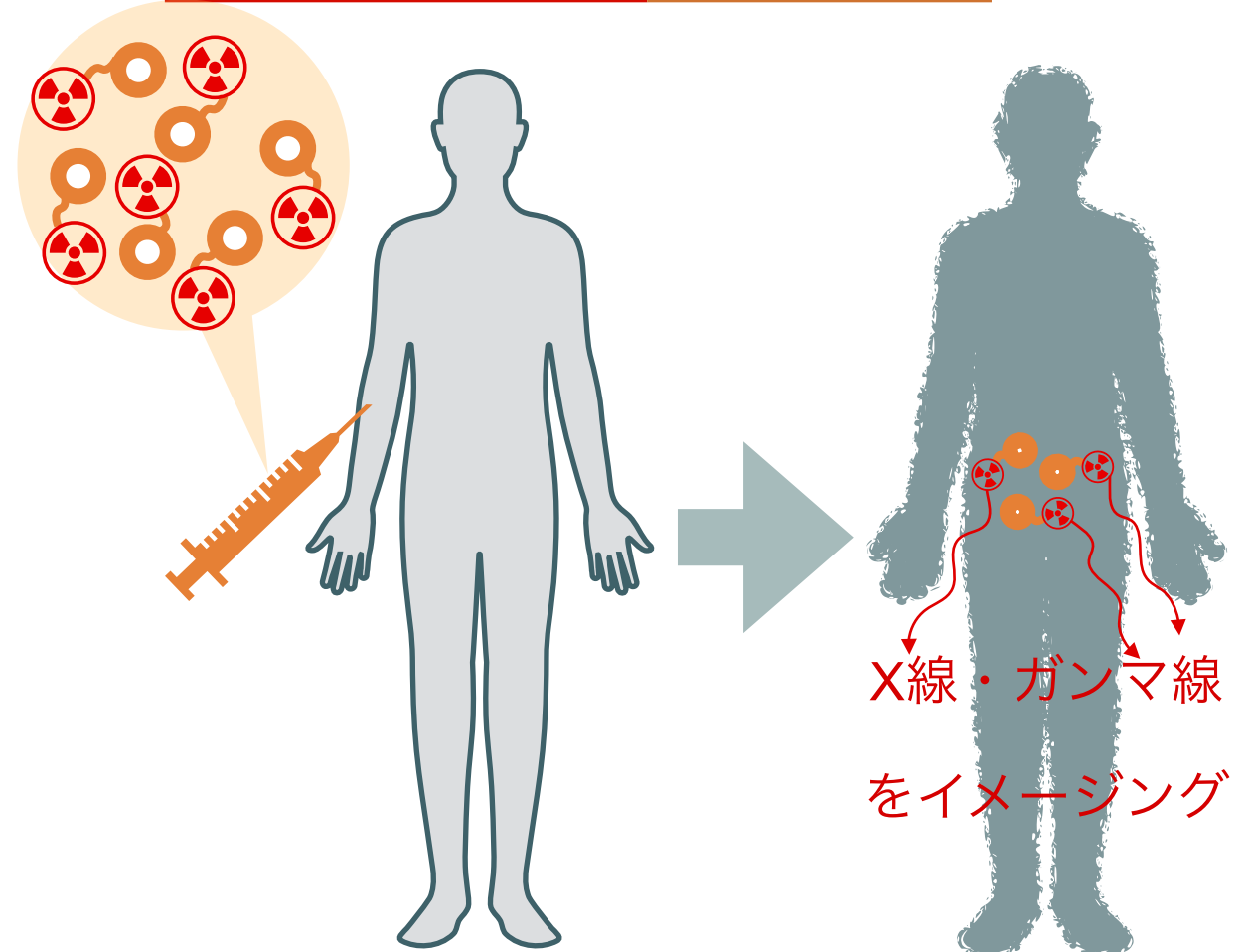
薬は体のどこに行っているのか

通常の薬



薬がどこにいるのか、
「見る」ことができない。

放射性同位元素をつけた薬



薬がどこにいるのか
「見る」ことができる。

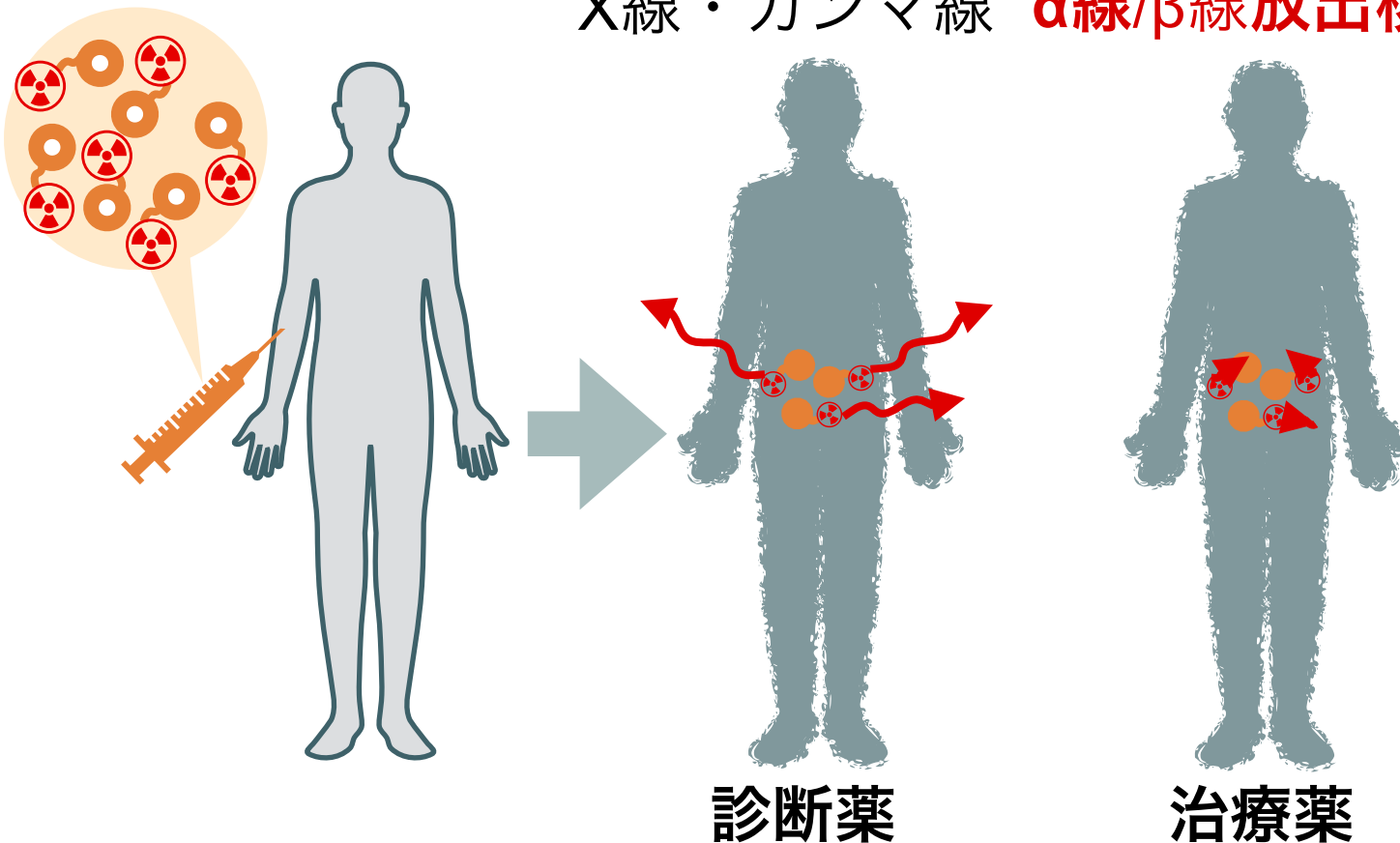
日本の死因第1位「悪性新生物」の研究が大きく発展する！

がんの性質は患者ごとに極めて多様！薬の効果もそれぞれ違う。

患者に合わせて診断・治療するには、「薬の動き」を見れる装置が必要！

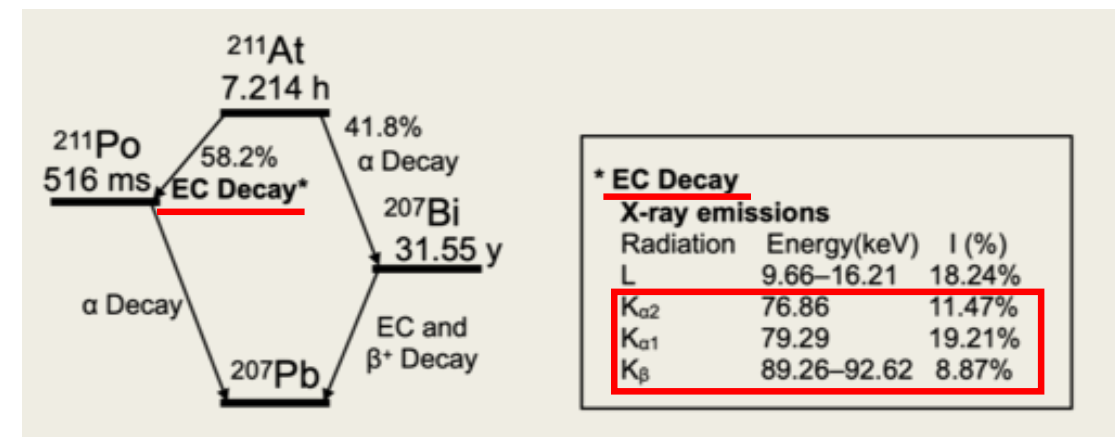
新しいがん治療法：アルファ線標的治療

X線・ガンマ線 α 線/ β 線放出核種



治療効果や副作用の正確な予測には“**薬物動態の可視化**”が必須！

アルファ線は体外に出てこない。
体のどこにいるのかわからない！



アルファ線放出核種：アスタチン (^{211}At)

- ◆ 治療 (アルファ線) + 画像化 (硬 X 線)
- ◆ 投与量が診断用放射性核種より少ない。
- ◆ X線放出率も診断用放射性核種より少ない。

→ 高感度が重要！

従来の装置(SPECT)

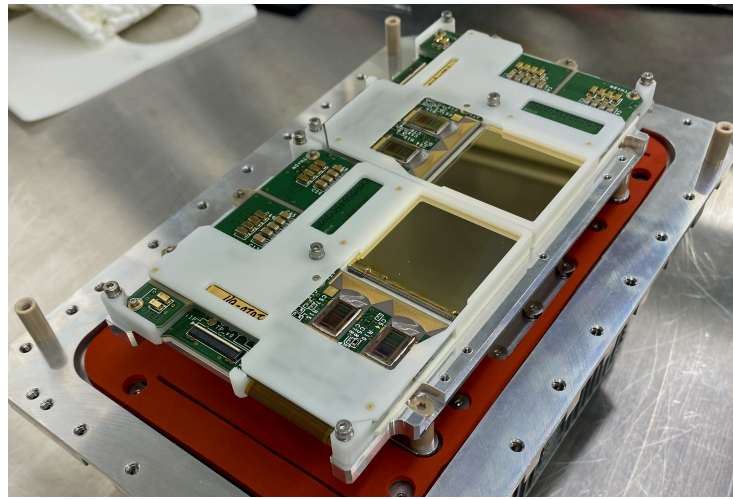
マルチピンホール

+ NaIシンチレータ

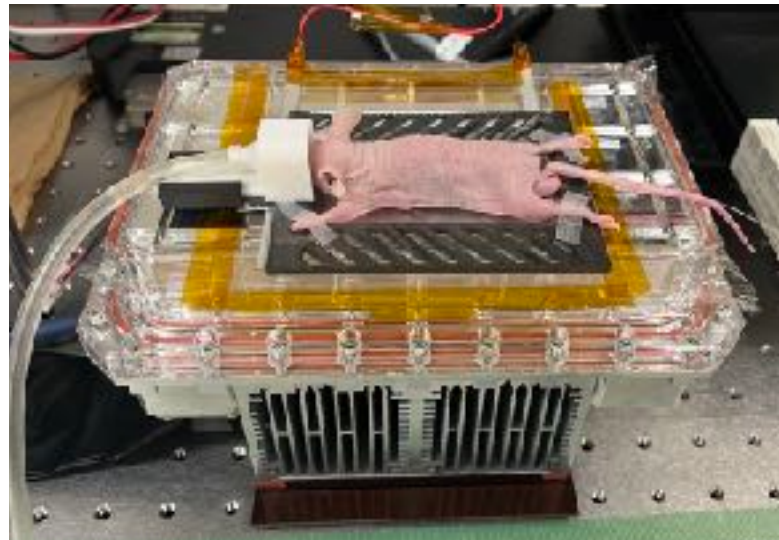
視野が狭く、薬物動態を可視化するには不向き。

^{211}At の薬物動態を可視化

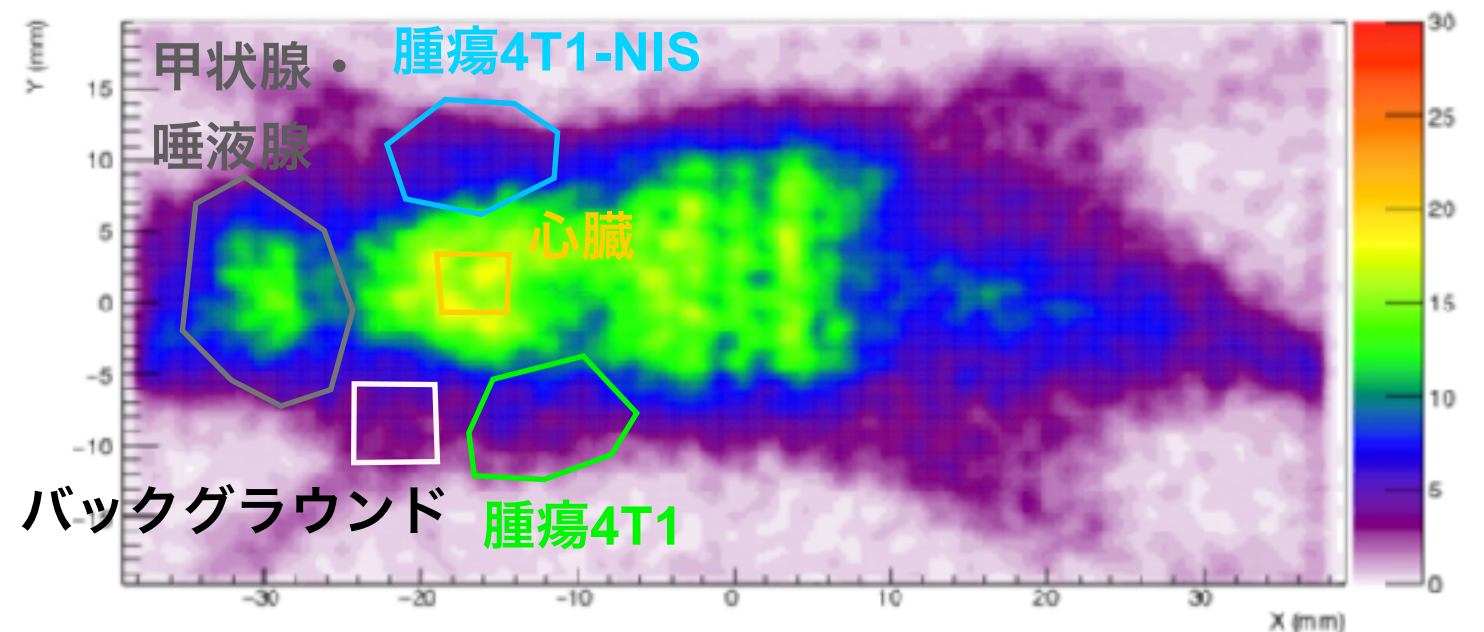
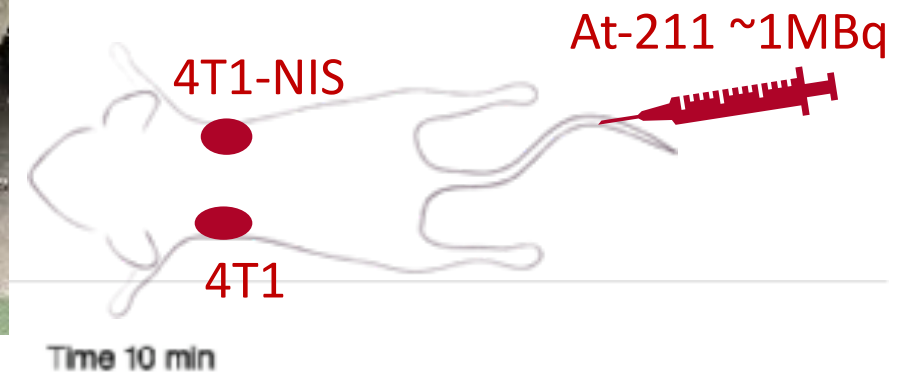
- **CdTe半導体検出器**
民の技術で再設計
(CdTeの厚型化含む)



- **タングステン製平行コリメータ**
金属 3Dプリンタによる造形
(東レ・プレシジョンとの共同開発)



担がんマウスに1MBqの NaAt を
投与して経時変化を撮像。



従来の小動物SPECTでは難しい
薬物動態の可視化・定量化が可能

注目のα線治療用核種 ^{225}Ac

末期がんの完全寛解が報告されている
唯一のアルファ線放出核種 ^{225}Ac

Ac治療の前後に撮像されたPETイメージ

^{225}Ac の特徴

- 治療（アルファ線） + 画像化（X線・ガンマ線）
- 半減期:10日（移動距離の長い海外で注目度高い）

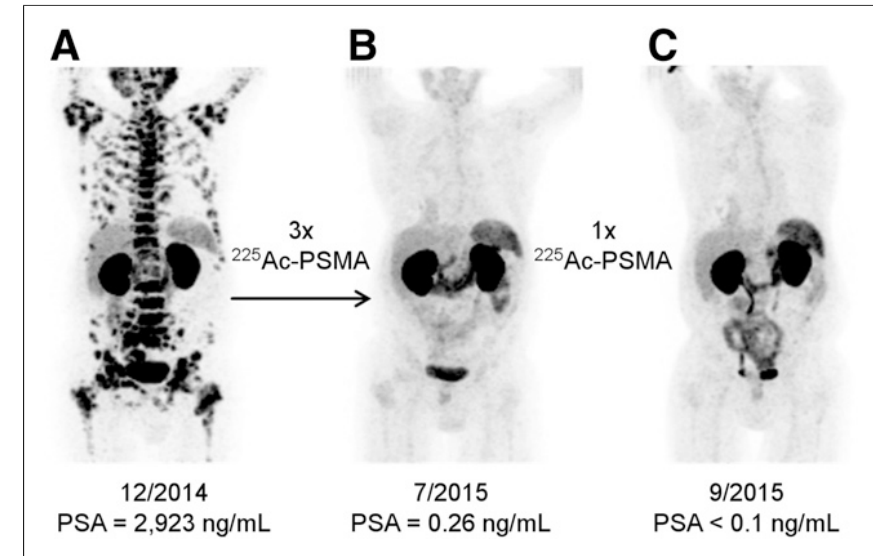
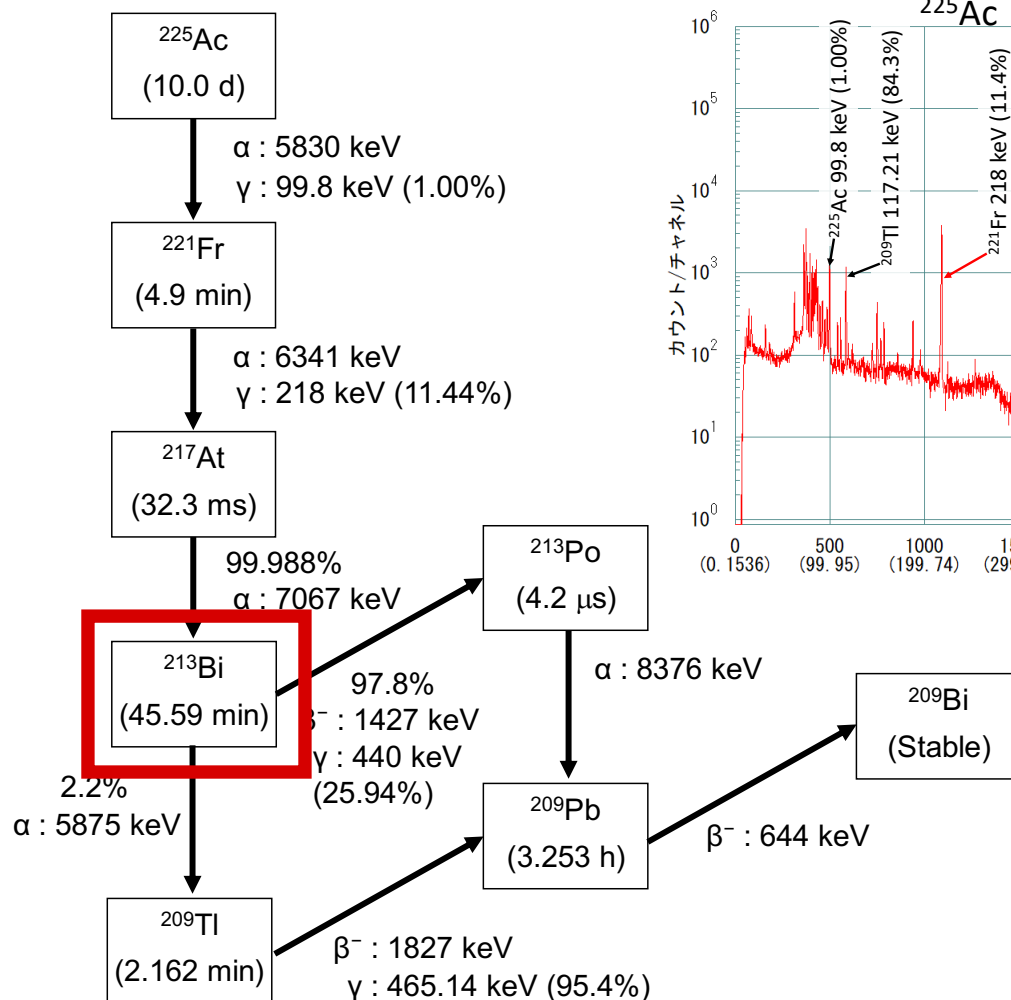
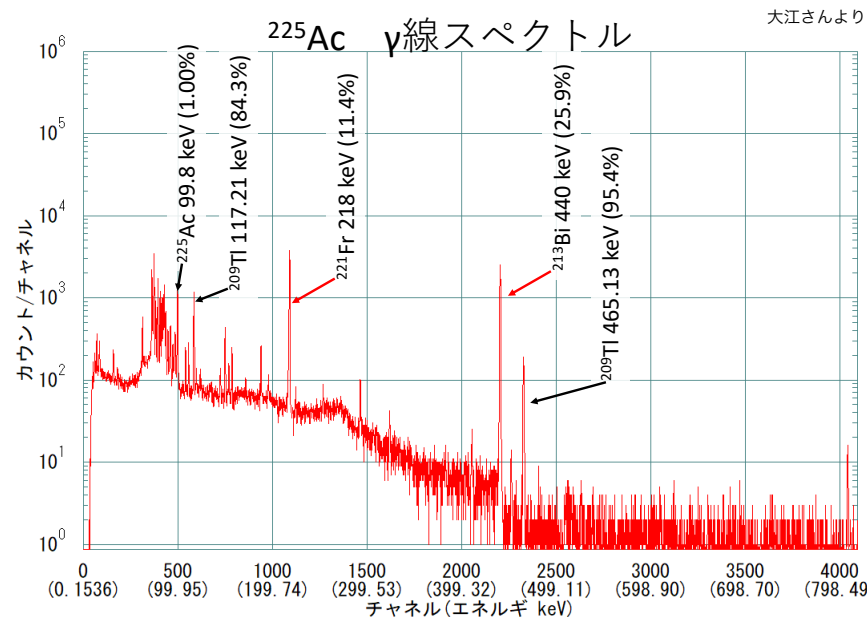


FIGURE 1. ^{68}Ga -PSMA-11 PET/CT scans of patient A. Pretherapeutic tumor spread (A), restaging 2 mo after third cycle of ^{225}Ac -PSMA-617 (B), and restaging 2 mo after one additional consolidation therapy (C).

PET/CT-scans (Kratovich et al. 2016)

放出されるX線・ガンマ線の
輝線が多い
→イメージングの期待が高い



イメージングの課題

- ガンマ線はそもそもイメージングが難しい
- X線放出率は ^{211}At の1/7！
- 娘核種 ^{213}Bi が薬から外れて正常臓器に蓄積？

宇宙観測

超高分解能で挑む硬X線天文学の世界

東京大学（高橋、馬場）、F-REI（武田）、京都（桂川）

SuperHERO:

Next Generation Hard X-Ray Focusing Telescope

- ◆ 硬X線観測（20—70 keV）
- ◆ <10 arcsecond
(NuSTAR(2012)の角度分解能1分角)
- ◆ 高エネルギー天体からの非熱的放射を伴う物理過程
 - パルサーを動力源とするシンクロトロン星雲
 - 超新星残骸の衝撃波による粒子加速
 - 活動銀河核の超大質量BHによるジェット放射

PI: Nick Thomas
(NASA/MSFC)

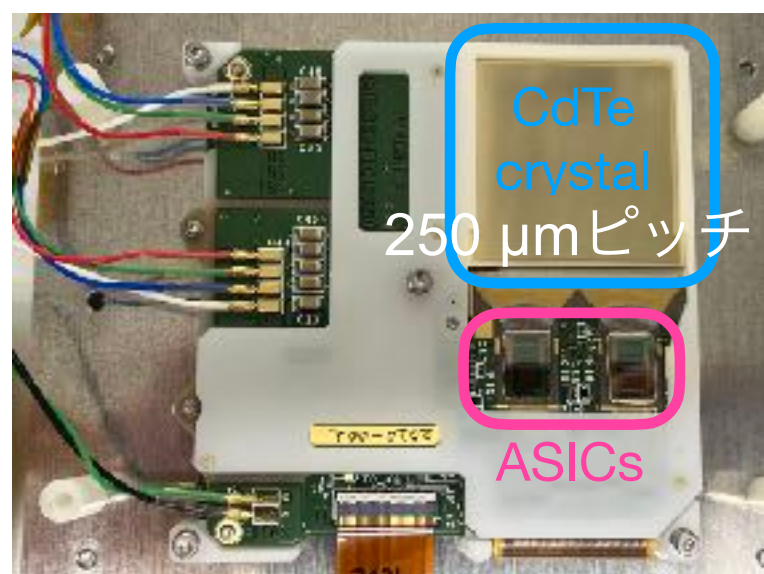
共同研究

高角度分解能のための検出器開発

MSFC: NiCo mirror

Japan: 1mm CdTe-DSD

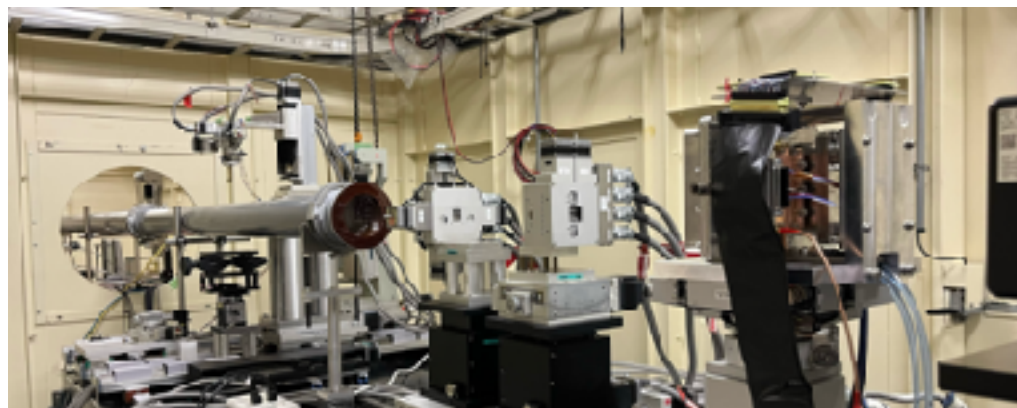
CdTe-DSD



高角度分解能の実現には高位置分解能の検出器が必須

→日本チームで！

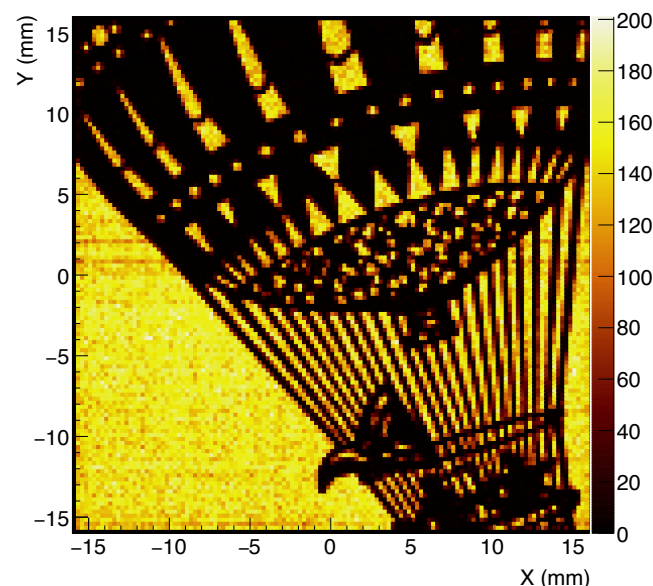
- 性能評価
- デモ機制作
- 応答関数の作成
- DEデザイン



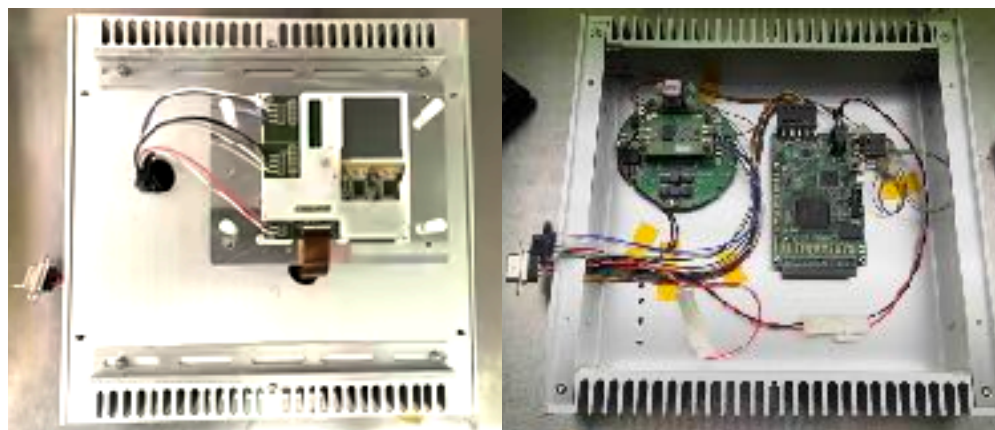
2026.2@MSFC

- 検出器の立ち上げ
- キャルデータ測定

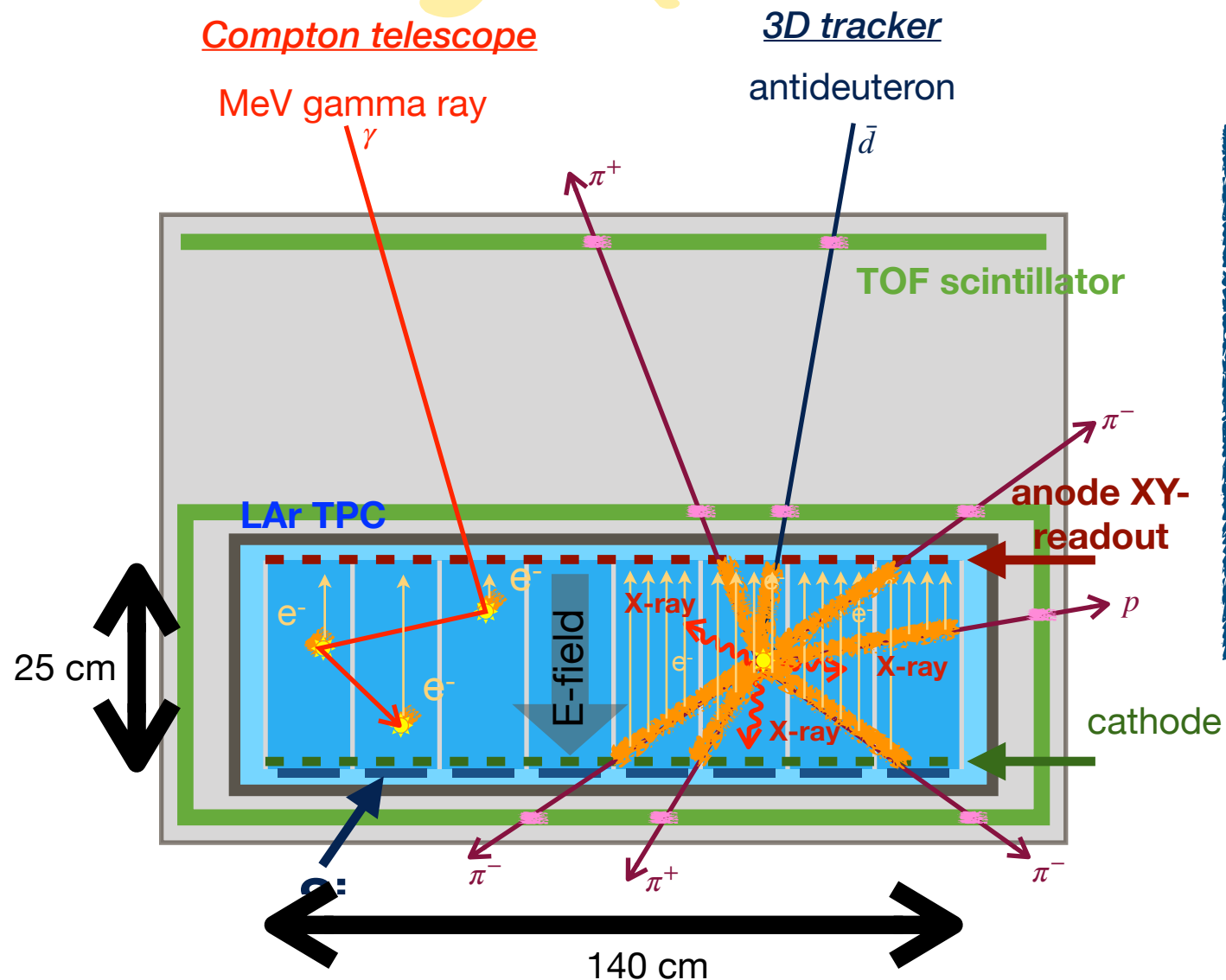
硬X線イメージ



制作中のデモ機



GRAMS Gamma-Ray and AntiMatter Survey



日米国際協力による宇宙・素粒子融合実験：
宇宙を構成する「もの」の起源と正体に迫る

- 大型の液体アルゴン放射線検出器を飛翔体に搭載
- 長時間気球フライト
→ 将来の人工衛星サーベイミッションへ

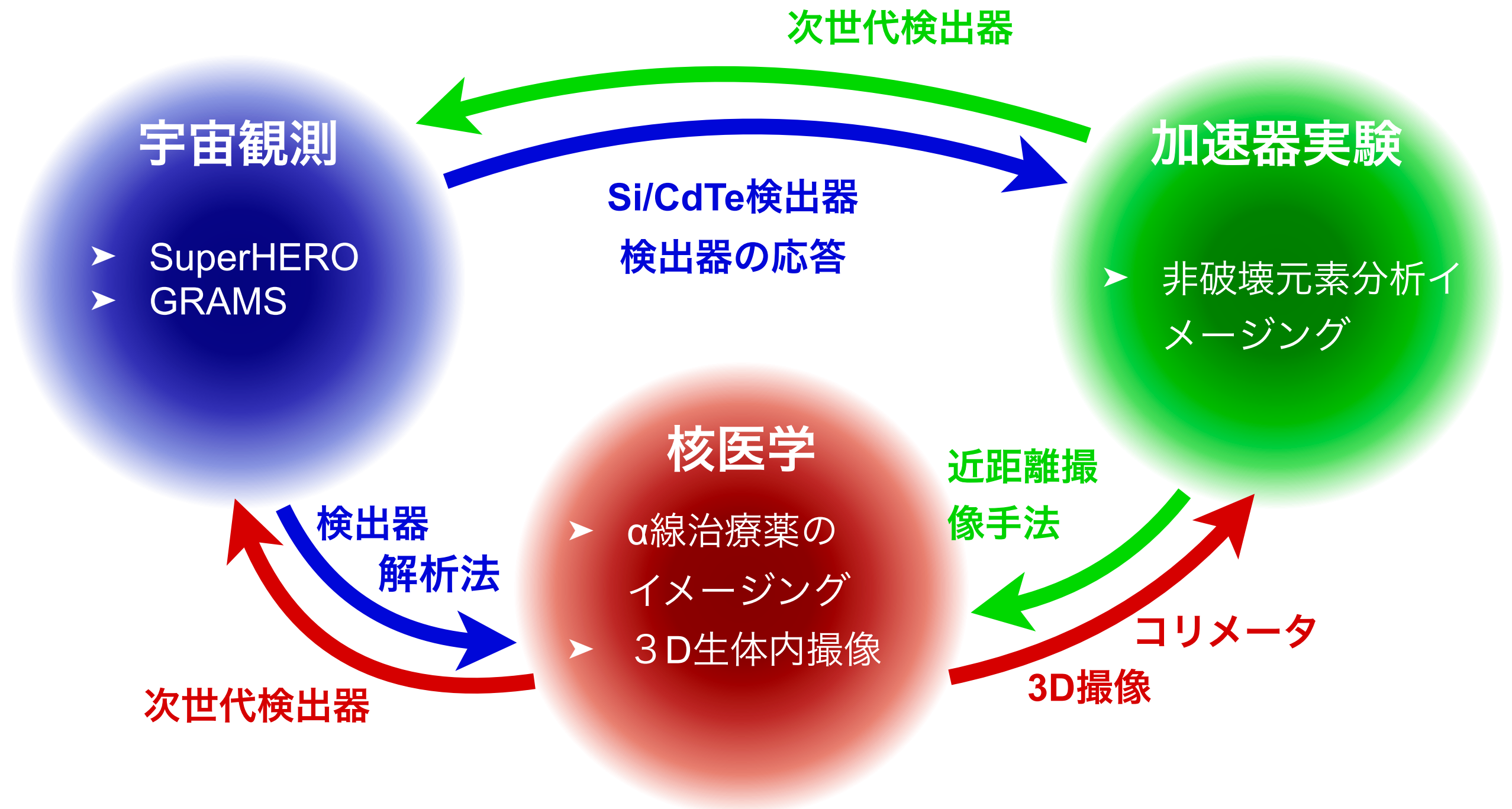
1. 液体検出器の特徴

高密度・大容量充填が可能

2. 素粒子物理実験における実績

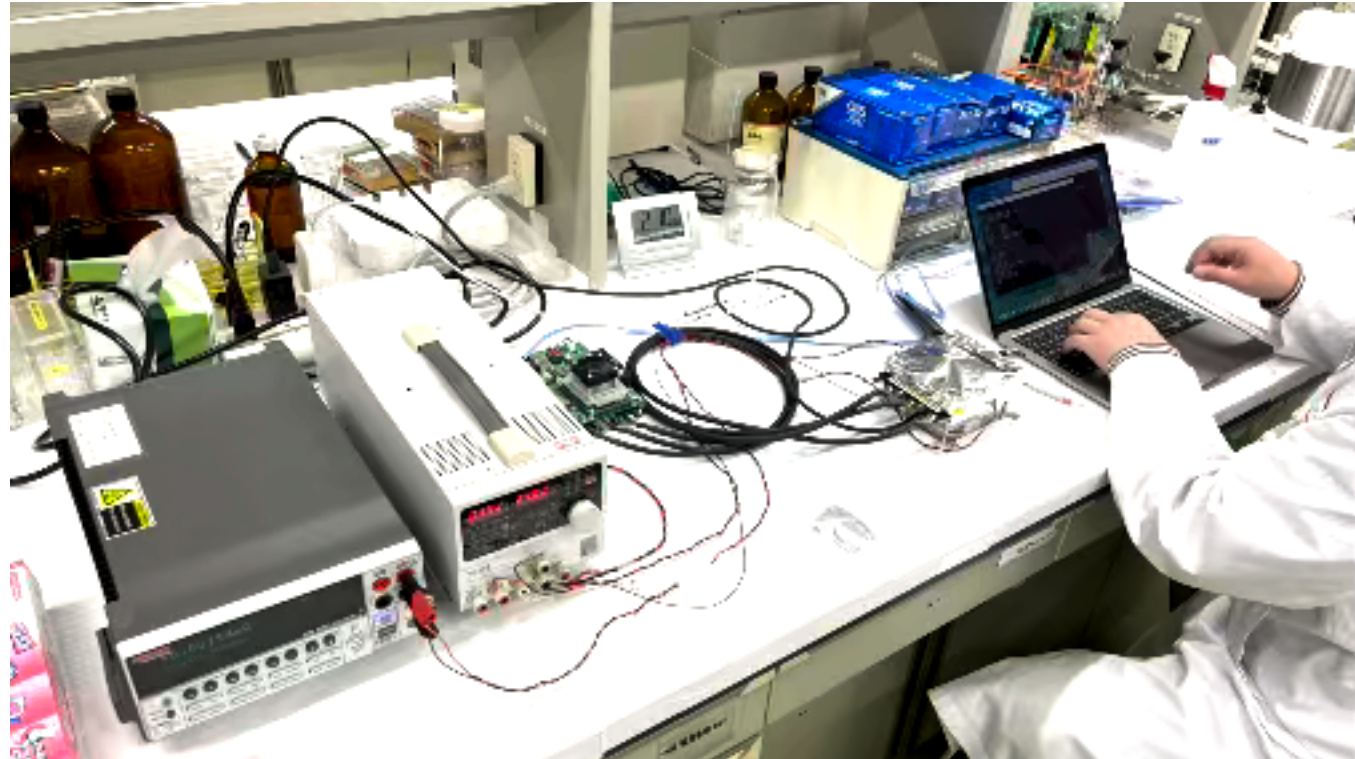
ニュートリノ・地下暗黒物質探索実験

光検出器による異分野融合研究



新しい基盤技術開発

大面積CMOSピクセル検出器



- ・ 性能評価試験の実施
- ・ 読み出しパラメータの最適化
- ・ 解析アルゴリズムの開発
- ・ CdTeや大面積への拡張
- ・ FPGAの最適化

宇宙：CdTeへの拡張、大型化 → 次世代観測検出器

μX：マルチピンホール+CdTe → <1mm分解能

平行コリメータ+ピクセル → 微小析出の定量

核医：coded mask+ピクセル → Acイメージング