

鉱物が持つ放射線飛跡検出能力を生かした未知宇宙線 および超重暗黒物質の探索

水谷 尚貴¹, 中 竜大¹, 齊 京一成¹, 二村 翔太², 井戸 悠生², 加藤 丈典², 橋口 未奈子², 伊神 洋平³, 村瀬 孔大⁴, 廣瀬 重信⁵

¹Toho University, ²Nagoya University, ³Kyoto University, ⁴The Pennsylvania State University, ⁵JAMSTEC

導入

パレオディテクターとは



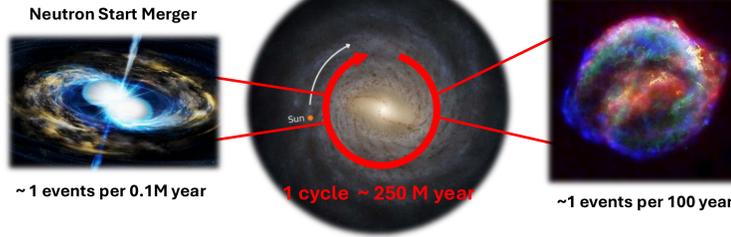
鉱物を用いた飛跡検出器のこと

- ・形跡から数億年スケールの時間が経過しているので膨大な exposure を持つ
- ・地質学的な年代スケールにわたり飛跡を記録, 保持可能

検出対象

① 超重銀河宇宙線

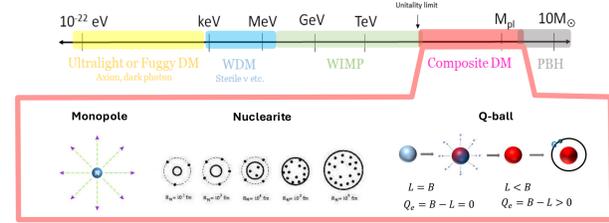
Velocity ($\beta=v/c$) $\sim O(10^{-1})$
Mass $100 \sim 200 \text{ GeV} / c^2$
Charge Z > 80



② 超重暗黒物質

Velocity ($\beta=v/c$) $\sim O(10^{-3})$
Mass $> O(10^{10}) \text{ GeV} / c^2$
Charge Z $> O(10 - 100)$

Dark Matter mass parameter



- ・中性子星の連星合体や超新星爆発などの高エネルギー天体現象由来の宇宙線の記録が残っている
- ・これらの高エネルギー天体現象は発生頻度が極めて低いため, 放出される宇宙線を人工的な検出器で捉えるのは難しい

- ・理論的には存在が予言されている, 到来頻度の低い未知粒子に対して検出感度がある

飛跡形成

The thermal spike model

① 高速重イオンの入射

高エネルギーの重イオンが固体材料中を高速で通過する

② 電子系の強励起とエネルギー移行

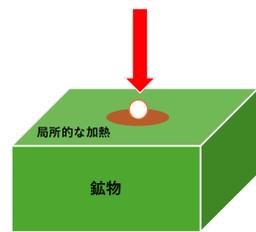
励起された電子のエネルギーが短時間で格子系へ移動し, イオン軌道近傍で局所的な急激過熱が起こる

③ 熱スパイク (局所溶融) の形成

格子温度が瞬間的に融点近傍または融点以上に達し, ナノメートルスケールの一時的な溶融領域が生成される

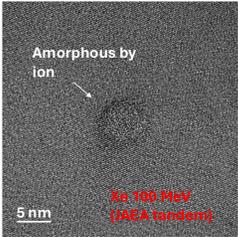
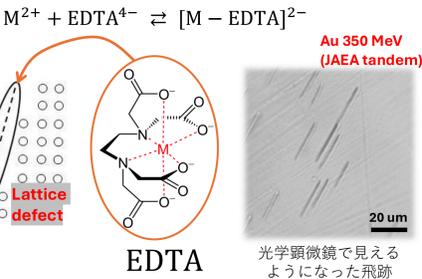
④ 急冷とイオントラック形成

熱が周囲へ拡散して急冷され, アモルファス化・欠陥集合体として円柱状のイオントラックが残る



$$\Delta E = (dE/dx) / \pi R^2$$

単位体積あたりに与えたエネルギー → この中の一部が熱に変化する



光学顕微鏡で観察するためエッチングを行う

先行研究

OLIMPIYA EXPERIMENT

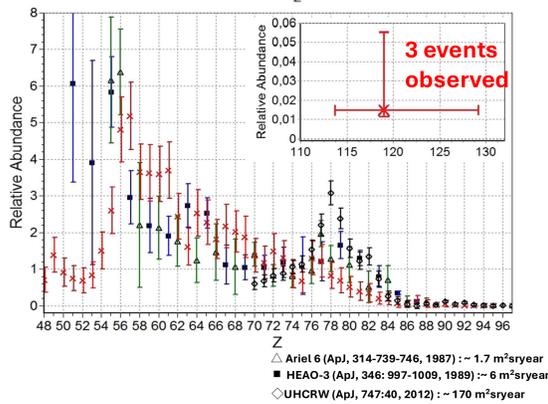
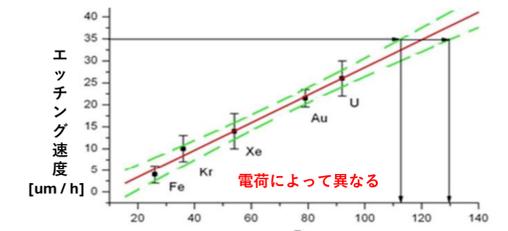


Astrophys. J. 829:120(2016)

Table 2
Registered Events of Heavy and Superheavy Nuclei in Various Experiments

| Z Interval | Ariel 6 (1) | HEAO-3 (2) | UHCRE (3) | OLIMPIYA |
|----------------|-------------|------------|-----------|----------|
| 1 Z ≥ 50 | 412 | 362 | — | 10283 |
| 2 50 ≤ Z ≤ 58 | 240 | 204 | — | 5612 |
| 3 60 ≤ Z ≤ 68 | 84 | 34 | — | 2814 |
| 4 Z ≥ 70 | 88 | 62 | 2567 | 1233 |
| 5 70 ≤ Z ≤ 73 | 29 | 10 | — | 715 |
| 6 74 ≤ Z ≤ 80 | 29 | 42 | — | 449 |
| 7 81 ≤ Z ≤ 86 | 27 | 10 | — | 59 |
| 8 88 ≤ Z ≤ 103 | 3 | 0 | 35 | 9 |
| 9 Z ≥ 92 | 2 | 0 | — | 4 |

442 olivine



実験

先行研究の電荷識別に対するクロスチェックとカンラン石エッチング手法の確立のために地球上で採集されたサンプルにイオンビームを照射し, エッチング・分析を行う



粒状のカンラン石をレジンを固め, 研磨し, 磨いた面にイオンビームを照射した

Au 350 MeV JAEA tandem
Xe 290 MeV/n QST HIMAC



WN solution

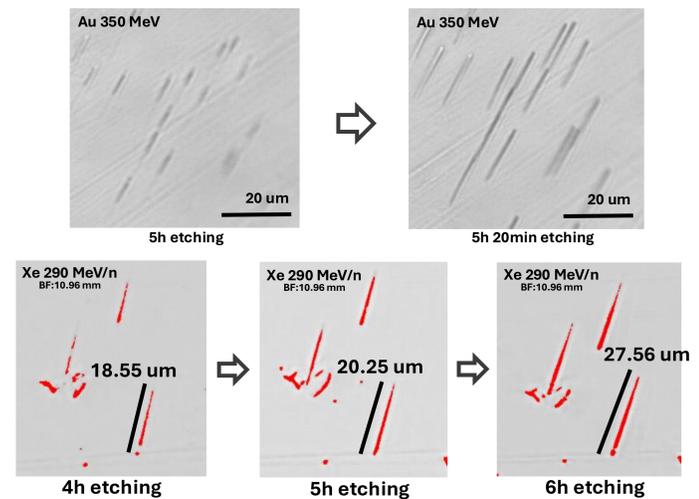
4:3 NaOH溶液 超純水 120mL NaOH 90g
エッチング液 超純水 100mL EDTA 40g
シュウ酸 1g リン酸 1mL

カンラン石エッチング溶液を安定的に作成できるレシピを作成



A: x_1, y_1, z_1
B: x_2, y_2, z_2
C: x_3, y_3, z_3
D: x_4, y_4, z_4
X: x, y, z

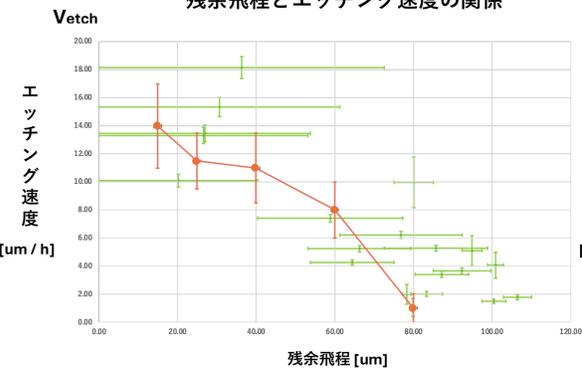
サンプルにエッチングで消えないマークをつけることで event by event での測定が可能



結果

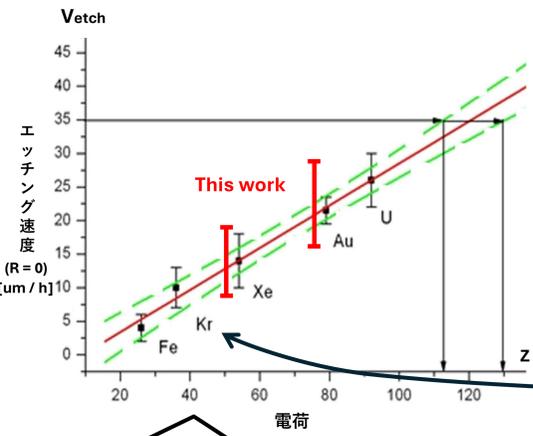
今回の実験結果を先行研究 (OLIMPIYA EXPERIMENT) と比較したデータ

残余飛程とエッチング速度の関係



+ : 今回分析した Xe サンプル
● : OLIMPIYA から引用した Xe データ

エッチング速度と電荷の関係



先行研究同様, 電荷によるエッチング速度の違いが見られた

まとめと展望

できるようになった事

- ・カンラン石エッチング手法の確立
- ・Xe, Au サンプルの分析

今後の展望



- ・Kr などの他の核種についての検証
- ・実際の隕石サンプル分析
- ・カンラン石中の飛跡形成メカニズムの研究
- ・低速領域の飛跡の電子顕微鏡での分析

超重銀河宇宙線探索のため
超重暗黒物質探索のため