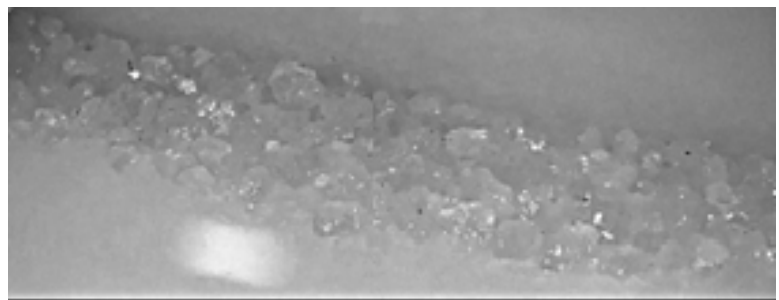


パレオディテクターによる暗黒物質の直接探索

暗黒物質は宇宙の約四分の一を占めるものの、光学的には観測できずその正体は謎のままである。この未知の物質の正体を明らかにするため様々な試みがなされている。例えば、XENONnT では、トン単位の液体キセノンを用いて直接探索を行っている。XENONnT のような直接探索では、検出器の質量と実験時間の積に検出感度が制限される。人間が行う実験では時間を無限にのばすことはできず、また、液体キセノンを用いた方法も規模の限界が見えてきている。そこで、検出器に鉱物を用いる方法である「パレオディテクター」という手法が着目されている。鉱物は地質学的スケールの時間で暗黒物質と相互作用しているため、少量でも大規模実験を超える感度で暗黒物質を探索できる可能性がある。本研究では岩石学、地質年代学、素粒子宇宙物理学、X 線分光、電子顕微鏡学、分析化学を融合し、パレオディテクターによる暗黒物質やその他の未知素粒子の直接探索を目指している。この手法では、暗黒物質が WIMP であると仮定し、暗黒物質と鉱物中の原子との相互作用により生じた飛跡を読み取り、そこから暗黒物質と原子の散乱断面積を推測する。

パレオディテクターによる暗黒物質直接探索の歴史は長く、1995 年に Snowden-Ifft ら[1]は雲母をフッ酸でエッチングしたものを原子間力顕微鏡 (AFM) で観察している。しかし、暗黒物質の検出には至らなかった。Drukier ら[2]は、ウラン濃度の低いことがパレオディテクターの条件であるとし、岩塩、瀉利塩、カンラン石および Nickelbischofite を候補としている。また、Edwards ら[3]は、ヌチュワニンジャイトやシンジャル石も候補としている。また、Baum ら[4]は、Snowmass プロセスでパレオディテクターによる暗黒物質直接探索に関する Letter of Interest (LOI) を提出している。飛跡の読み取り方法としては、電子顕微鏡、ヘリウムを用いたイオンビーム顕微鏡、AFM や放射光を用いた透視が提案されている。

我々のプロジェクトでは、鉱物の選定と飛跡の読み取り方法について以下のように考えて原理実証に向けて取り組んでいる。鉱物試料については宇宙線によるノイズが少ないことと十分な試料を準備できる可能性があることを考慮し、海底から採取したカンラン石と、第四紀の玄武岩中に含まれる捕獲岩の中のカンラン石を用いることにした。また、飛跡の読み取りは、エッチング試料の光学読み取りを検討することにした。



マリアナ海溝で採取したレールゾライトから分離したカンラン石。

まず、ウラン濃度が本当に低いのか評価するため、カンラン石を溶液法により誘導結合プラズマ質量分析法 (ICP-MS) により測定した。その結果、理論的研究[2][3]で仮定しているような低濃度のカンラン石が存在することが示された[5]。また、予察的に白雲母をエッチングして観察したところ、核的阻止能が支配的な条件下で形成された飛跡を容易に識別できることが明らかになった。白雲母は K-Ar 法で年代を求められるため、パレオディテクターとしての有効性を今後検討する。

今後は磁気単極子の直接探索[6]でも使われた白雲母などを試すとともに、暗黒物質に限らず様々な未知素粒子を探索できる可能性を考慮してプロジェクトを進めていく。

[1] Snowden-Ifft, D.P., E.S. Freeman, and P.B. Price, *Phys. Rev. Lett.*, 74, 4133, 1995

[2] Drukier, A. K., S. Baum, K. Freese, M. Górski, and P. Stengel, *Phys. Rev. D*, 99, 043014, 2019

[3] Edwards, T. D. P., B. J. Kavanagh, C. Weniger, S. Baum, A. K. Drukier, K. Freese, M. Górski, and P. Stengel, *Phys. Rev. D*, 99, 043541, 2019

[4] Baum, S., E. Brown, T. D. P. Edwards, K. Freese, J. R. Jordan, C. Levy, K. McMichael, K. Odgers, M. Schaller, J. Spitz, and P. Stengel, *Snowmass 2021 LOI*, 2021

[5] 加藤丈典・小坂由紀子・浅原良浩・瀬瀬佑衣・道林克禎, 日本鉱物科学会 2021 年年会, 2021

[6] Ghosh, D., and S. Chatterjee, *Europhys. Lett.*, 12, 25, 1990