

## 同位体分析計測法の開発

Development of Precise Isotope Analysis

裕 隆太（HAZAMA Ryuta）

現在、宇宙の全質量の約2割を占めるダークマターの存在が示唆され、人類の知りうる通常の物質はわずか5%以下で、残りの大部分は、ダークエネルギーとよばれる宇宙を加速膨張させる斥力の源が担っていると考えられている。ダークマターの正体については、ブラックホール、MACHO(Massive Astrophysical Compact Halo Object)と呼ばれる大質量の自身で光らない天体候補から、ニュートリノ、アクシオン、ニュートラリーノに代表されるWIMP(Weakly Interacting Massive Particles)等の素粒子候補まで、現在、世界中で観測競争が苛烈を極めている。我々は、未知素粒子候補のニュートラリーノのような宇宙誕生後現在まで崩壊することなく安定して存在しうる重い粒子（コールドダークマター）の実験的な探索を、岐阜県飛騨市神岡地下実験室で行っており、NaI(Tl)シンチレーターを用いたWIMP s 探索に当たり、超高純度結晶開発を行った。1998年にイタリアのDAMAグループが、約100 kgの大質量NaI(Tl)検出器を用いた測定によって有意な信号を観測したとの報告があった。彼らは電子換算エネルギーで2 keVeeから6 keVeeの範囲でバックグラウンドなどの影響では説明できない季節的な計数率の変動があると主張した。その後、他の標的核（Ge, Si, Xeなど）を用いた実験でDAMAの結果は否定されたが、DAMAグループはNaI(Tl)の質量を250 kgに増量してさらに精度を高めた測定を継続し、2018年には季節変動の有意性が $13\sigma$ に達したと報告した。現在、NaI(Tl)を用いたDAMA/LIBRAの結果の検証は必須課題になっており、多くのグループが同じ標的核NaIを用いた検証に取り組んでいるが、NaI(Tl)結晶に含まれる放射性不純物に起因するバックグラウンドの影響が大きいため、十分な感度による検証がまだ進んでいない。ダークマターは我々の銀河の中を漂っており、その平均速度は地球近傍で光速の0.1%程度であり、太陽系付近の宇宙暗黒物質による質量密度は $0.3\sim 0.5 \text{ GeV}/c^2/\text{cm}^3$ であると考えられている。ダークマターはその名の通り見えない（通常の物質との相互作用が弱い）が、非常に稀に通常の物質と散乱し、原子核に反跳エネルギーを与える。この反跳を捉えることがダークマター検出のほぼ唯一の信号である。つまり何も無い所で突如原子核が反跳を受けるといった信号を探し、この反跳エネルギーは数keV程度であり、さらに反応率は1日に数回といった量なので、非常に低バックグラウンドの検出器で低エネルギー領域を探索しなければならない。我々は、神岡地下実験室で実施した超高純度NaI(Tl)シンチレーターを用いた低バックグラウンド測定によって1 keV程度の低エネルギー領域において $3.4 \text{ /day/keV/kg}$ の低バックグラウンドを達成することに成功した。特に低バックグラウンド達成の鍵となる結晶シンチレーターの高純度化開発において、原料のNaIパウダー、結晶成長のルツボ、空気中の放射性物質、研磨、ハウジング部材選定含め、U系

列、Th系列、なかでも $^{210}\text{Pb}$ 、 $^{40}\text{K}$ 、ラドン等の自然放射性物質除去・対策[1,2]が要となり、ICP（誘導結合プラズマ）質量分析計による結晶中不純物濃度の極微量計測法及び除去法の開発を行った。

#### 参考文献

1. A. Kozlov, K. Fushimi, R. Hazama et al., Detectors for direct Dark Matter search at KamLAND, Nucl. Instr. Methods in Phys. Res. A958, 162239-1～4, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.nima.2019.05.080>
2. 裕 隆太(招待講演), “ICP-MS for CANDLES/PICO-LON”, “極低放射能技術”研究会 新学術領域「宇宙の歴史をひもとく地下素粒子原子核研究」山形県天童市, 2018年3月9日.