

## 別紙 4

報告番号	※ 甲 第 号
------	---------

## 主 論 文 の 要 旨

## 論文題目

原子核乾板を用いた暗黒物質方向探索実験の高感度化の研究

氏 名 梅本 篤宏

## 論 文 内 容 の 要 旨

宇宙の暗黒物質の直接検出と正体解明は現在の科学の重要課題の一つである。暗黒物質はさまざまな宇宙観測のデータからその存在が示唆され、その性質として非相対論的な速度で銀河内を運動する重たい粒子(質量  $1 \text{ GeV}/c^2 - 10 \text{ TeV}/c^2$ ) が有力視されている。暗黒物質は素粒子標準模型を越えた新理論の粒子であると考えられており、その詳細理解は宇宙論と素粒子物理学の両方でさらなる発展につながる。

天の川銀河に束縛された暗黒物質は地球上で検出可能であり、暗黒物質の質量およびバリオン物質との反応断面積は、弾性散乱によって反跳された原子核を捉えることで測定される。現在稼働中の多くの実験は地球の公転による暗黒物質の相対速度の季節変化を利用し、それに伴う反跳原子核のエネルギースペクトルの変動を捉えることでその検出を狙っている。しかし、検出したとする実験(DAMA 等)がある一方で、その探索範囲を排除したとする実験(XENON 等)があり明確な答えを出せていない。

申請者は、暗黒物質により反跳されたサブミクロン長の原子核の飛跡を超微粒子原子核乾板(NIT: Nano Imaging Tracker)を用いて検出し、その反跳方向に太陽系の固有運動による偏りが見られることを利用する方向検出の可能性に注目し、その実現のための研究を行った。これまでに光学顕微鏡像の楕円度を用いてNITに記録された低速重粒子の飛跡方向検出は実証されていたが、従来手法で算出される楕円率と角度にはデジタイズにより特定方向への偏りが生じ、真の飛跡方向の検出が出来ていなかった。また、NIT の検出素子である  $\text{AgBr(I)}$  結晶を安定的に成長させる手法が開発されていたが、結晶サイズと暗黒物質の探索能力の関係性に関しては未評価であった。

そこでまず、楕円率のデジタイズを抑制するため、画像をフーリエ変換し波数空間で処理する手法を考案し、角度異方性の少ない画像処理フィルターを開発した。ピクセル位置と輝度情報を

組みあわせて用いることで情報量を増やし、光学像の矩形認識により楕円率を算出していた従来手法に対して 40 nm 球形粒子の楕円率分布の裾の広がりを 1.4 から 1.2 に抑え光学形状の認識精度を向上させた。また光学シミュレーションを導入し、間隔と方向を変えて生成した 2 個の 40 nm の球形粒子の光学像を用いて楕円率と粒子間距離について評価し、相関性の向上と角度による楕円率のばらつきを 15% から 1% へ抑えたことを示した。

次に AgBr(I) 結晶のサイズを 40 nm から 70 nm とすることで飛跡の輝度が約 3 倍向上することを示し、100 keV の炭素飛跡に対して楕円率 1.3 以上の閾値での認識効率を 12% から 35% に向上させた。30 keV の飛跡に対しても  $1\sigma = 28.6^\circ$  の決定精度で方向認識を実証し、暗黒物質の方向探索実験の中で最も低いエネルギー閾値を達成し、DAMA が主張する質量  $10 \text{ GeV}/c^2$  の暗黒物質の方向性探索を可能とした。

並行して光学シミュレーションと NIT の結晶配置を取り入れた飛跡生成シミュレーターを開発し、反跳飛跡のエネルギーと検出される光学形状の関係を定量化することで現行の解析手法での NIT の検出器応答を可視化させた。

さらに塗布前の NIT を  $0.22 \mu\text{m}$  孔径のメンブランフィルタで濾過することで不純物(ダスト)を除去する手法を考案し、非物理的な背景事象数を 1/10 に減少した。

これらの成果をもとに、NIT を赤道儀に搭載した地上実験を行い暗黒物質の質量と反応断面積に制限をつけた。また背景事象を理解するために環境  $\gamma$  線遮蔽を行った地上実験を行い、時間に比例して増加する背景事象が環境  $\gamma$  線、宇宙線ミュオンならびに NIT に含まれる  $^{14}\text{C}$  をはじめとする放射線同位体による電子成分に起因することを示し、それぞれ成分毎に定量化することで背景事象除去に向けた研究方針を示した。

以上のことから、申請者は NIT を用いた暗黒物質の方向探索実験において反跳飛跡の方向検出能力向上と解析体制の構築を行い、地上での探索結果から現状の到達点と次期方向探索実験での感度向上のための指針を示した。