

ミリ波受信機を用いた“お手軽”ダークマター探索実験 ——DOSUE-RR

安達 俊介 (京都大学白眉センター adachi.shunsuke.5d@kyoto-u.ac.jp)

ダークマターの重力効果はさまざまな宇宙観測で確認されている。このダークマターという物質の存在が明らかになった一方で、その素粒子的な性質はほとんどわかっていない。特に、ダークマター1個あたりの質量は依然として不明であり、 10^{-20} eVから 10^{27} eVまでの途方もない範囲にわたって可能性がある(質量はエネルギーと等価であり、エネルギーの単位である電子ボルトeVで表される)。

素粒子物理学において、ダークマターというのは“期待の星”である。素粒子の標準理論を記述する全ての素粒子が実験的に確認されたが、標準理論には満足できない問題点も多々ある。標準理論の枠組を超えた理論とそれに付随する未知粒子によって、そういった問題点を解決できるのではないかと考えられている。ダークマターは標準理論の素粒子では説明できない未知の粒子である。よって、ダークマターの粒子としての性質を解明できれば、標準理論を超える物理学を構築する糸口になるはずだ。

ダークマターの性質を解明するための実験として、ダークマターを地球上で検出してやろうとする実験がある。ダークマターは重力のため、銀河を覆うように局在する。太陽系はこのダークマターハローの中を公転運動しているのだから、標準模型の素粒子と相互作用するならば、地球上で検出できるはずだ。

これまで、“**WIMP**”という約1 GeV以上の比較的重い粒子が四半世紀もの長きにわたって探索されてきたが、確固たる検出結果はまだない。そこで最近では、WIMPにとらわれることなくより幅広い可能性を探求する研究が盛んになっている。世界中でさまざまな実験がおこなわれており、京都で我々がおこなっているDOSUE-RR(どす

え-ダブルアール、Dark-photon dark-matter Observing System for Un-Explored Radio-Range)も従来と異なる μeV から meV の超軽量なダークマターを探索する実験である。超軽量なダークマターの候補の一つとして、“**ダークフォトン**”がある。光とのみ超微弱に相互作用する粒子とされ、DOSUE-RRはこれをターゲットとしている。

ダークフォトンとは金属板表面で通常の光に転換し、さらにその伝播方向が金属板表面に対して垂直になる。その転換光を受信機で検出できれば、ダークフォトンの検出が可能となる。転換光の周波数はダークフォトンの質量に比例し、狙っている質量領域だと転換光は10-240 GHzに相当する。この周波数帯の光は**ミリ波**と呼ばれる周波数帯域であり、ミリ波受信機で捉えることができる。ただし、その転換率は非常に小さいはずであり、超微弱な光を捉える必要がある。

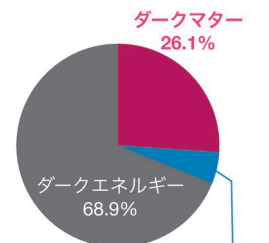
DOSUE-RRは2020年に始動し、現在までに2周波数帯域(10-18 GHz, 18.0-26.5 GHz)での探索を達成した。基本的には市販で購入できるミリ波部品の組み合わせで、比較的短い開発期間で“お手軽”に探索をおこなってきた。さらには、極低温クライオスタットを用いてより微弱な信号を検出できるミリ波受信機も開発している。

以上のように世界一の感度でダークフォトンを探求することに成功し、信号検出には至っていないが、ダークマターの幅広い可能性を絞りこむことに貢献している。小規模な実験であるが、大規模化が進む素粒子宇宙の実験分野の中で、短時間でインパクトのある成果を得ている。今後はさらなる高周波化と効率化によってより広い質量でかつより微弱な転換光の信号を探し、ダークフォトンの発見に繋げたい。

用語解説

ダークマター：

ほとんど反応しないために、さまざまな性質が謎に包まれた物質である。質量を持つこと、宇宙の中で銀河に局在していることはわかっている。我々の天の川銀河にも存在している。



水素などの通常の物質 5.0%

ダークマターの宇宙に占めるエネルギー密度の割合。宇宙の1/4ものエネルギーをダークマターが占めている。

WIMP：

Weakly Interacting Massive Particleの略。ダークマターが宇宙初期に熱平衡から脱結合して宇宙に残存しているとすると、現在の密度をよく再現できるため、ダークマターの有力候補とされている。

ダークフォトン：

素粒子の標準理論の簡単な拡張によって導入される未知粒子。質量を持ち、かつ光とのみ弱く相互作用する。

ミリ波：

電波の一種で、周波数としてはおよそ30-300 GHzである。DOSUE-RRの周波数帯は厳密にはミリ波とその下の周波数帯であるマイクロ波も一部含む。