

● 安達 俊介 特定助教

Shunsuke ADACHI (Assistant Professor)

研究課題: ダークマターの正体を解明する実験研究—前人未到の質量領域を拓く
(Dark matter experiment with millimeter waves - Probing unexplored mass region)

専門分野: 素粒子物理学 (実験) (Elementary Particle Physics (Experiment))

受入先部局: 理学研究科 (Graduate School of Science)

前職の機関名: 東京大学国際高等研究所カブリ数物連携宇宙研究機構
(Kavli Institute for the Physics and Mathematics of the Universe (WPI),
The University of Tokyo)



宇宙は何からできているか？これは基礎科学の根本的な問いの一つかと思えます。我々素粒子物理学の分野ではこの問いに答えるべく、様々な実験装置を駆使して研究しています。特に、ダークマターというのは素粒子物理学が直面している大きな課題の一つです。ダークマターは宇宙観測によって宇宙の約1/4のエネルギーを占めている物質であり、間違いなく存在する物質として知られています。しかし、ダークマター1個がどのくらい重いのか？ダークマターがほかの物質にどのような影響を及ぼすのか（どのように反応するのか）などは全く知られておらず、現在の素粒子物理学では説明できない謎の物質となっています。このダークマターの正体を解明することは、宇宙を解明する大きな一歩となるはずですが。私は、今まで電波望遠鏡の開発に携わってきましたが、白眉の5年間では電波（特にミリ波）を用いた新しいアプローチでのダークマター研究実験をおこない、ダークマターの正体に迫ります。

What is the universe made of? This is one of the fundamental questions for humans. Elementary particle physicists including me aim to understand it. Dark matter is one of the main components of the universe. By cosmic observations, it has been found that dark matter exists around us and constitutes about a quarter of the energy of the whole universe. However, we don't know several aspects about dark matter: how large its mass is and how we can detect it around us (how it interacts with the matters). I desire to understand such unknown aspects by detecting dark matter on the earth. In my previous career, I have been involved in the development of a radio telescope. Taking advantage of the radio-wave (millimeter-wave) techniques gained through that work, I'm trying a new experimental approach to the detection of dark matter. Conventional experiments have searched for only dark matter with a relatively heavy mass. On the other hand, my approach by using the millimeter waves allows us to investigate a dark matter in a very light mass range, where any person has not explored yet. I aim to search for the unexplored mass range of dark matter under the Hakubi project.

宇宙の謎、ダークマター

我々が生きている宇宙の構成要素の割合というのは、宇宙観測によって精密に測られており、ダークマターと呼ばれる謎の物質が宇宙の25%もの割合を占めています [1]。水素といった元素の周期表に出てくるような我々のよく知っている物質は、宇宙全体の5%にしかありません。ダークマターには質量があります。その重力が与える銀河の回転速度への影響を観測で発見するなどして、ダークマターの存在は確実です。また、我々の銀河の中に、ひいては地球上に存在していると考えられています。一方で、ダークマターが重力以外にどう他の物質に影響を与えるのか（どういった相互作用

をするのか）？どのくらい重いか（質量がいくつ）？など基本的なことは全くの謎です。ダークマターの理解を深めるためには、地上で直接ダークマターを検出し、これらダークマターの性質を突き止めることが必要不可欠です。

広い可能性を探って

従来のダークマター探索実験では、ダークマターと他の物質の粒子が衝突した際に弾き飛ばされた粒子を検出することで、ダークマターの兆候をつかもうとしています。今まで20年以上様々な実験が乱立し、精力的に探索されてきていましたが、未だにその兆候はあ

りません [2]。これらの実験で探していたダークマターは比較的軽く、eV（電子ボルト）という質量の単位で10億 eV 以上でした。ダークマターがその質量である確固たる証拠はなく、ほかの質量領域の可能性も示唆されています。そこで、私は従来とは異なる、超軽量のダークマターの探索に挑みます。

ミリ波で未開拓質量領域を切り拓く！

超軽量のダークマターの可能性として、ダークフォトンという新粒子が提案されています [3]。ダークフォトンとは、重力以外に光に対して非常に弱く影響を与えます。これによって、ダークフォトンが金属表面（導体境界面）で非常に弱い光に転換されると言われています。そこで、この転換光を非常に高感度・低ノイズの検出器で測定してダークフォトンを探し出します。かの有名なアインシュタインの E （エネルギー）= mc^2 （質量）の式で示されているように、ダークフォトンの質量はエネルギーに対応し、転換光のエネルギーはこの式によって一意に定められます。ダークフォトンの質量がいくつであるかはわからないものの、様々な宇宙観測結果によって可能性のある質量が制限されています。その中でも 0.0001—0.001 eV という質量領域は



図1 ダークフォトンの検出方法。金属板でダークフォトンが微弱なミリ波の光に転換される。開発する高感度ミリ波受信機で、この光を捉える。

図2にあるようにあまり制限のない領域であり、ダークフォトン探索がなされていない前人未踏の領域です。この領域の質量=エネルギーに相当する光は、人が見ることのできる可視光よりずっとエネルギーの低いミリ波と呼ばれる電磁波になります。わたしは、このダークフォトン転換光を捉えるのに特化したミリ波受信機を開発してダークフォトンの探索に挑みます。

DOSUE-RR（どすえーダブルアール）実験

ダークフォトンミリ波領域（周波数で10 GHz~300 GHz）で高い感度で測定する実験、「DOSUE-RR（どすえーダブルアール）」を2020年より立ち上げました。非常に弱いミリ波を探索するには、非常に高感度・低ノイズな受信機が必要になります。極低温技術（~270℃）や高速のデータ取得技術、超伝導デバイスなどを駆使して独自の受信機を開発し、白眉プロジェクトの5年間で今まで人類が探索したことのない超軽量な質量領域でのダークフォトンの探索をおこないます。

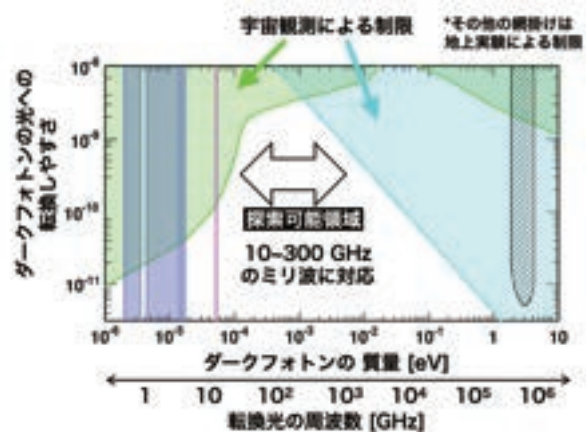


図2 宇宙観測によって制限されている質量の領域。網掛けの部分が制限されている領域で、その間の白い領域がぼっかりあいている。

参考文献

[1] Planck Collaboration, “Planck 2018 results I. Overview and the cosmological legacy of Planck,” *Astronomy & Astrophysics*, vol. 641, no. A1, p. 56, 2020.

[2] Particle Data Group, “2020 Review of Particle Physics: Dark matter,” *Progress of Theoretical and Experimental Physics*, vol. 2020, no. 8, p. 083C01, 2020.

[3] P. Arias, D. Cadamuro, M. Goodsell, J. Jaeckel, J. Redondo and A. Ringwald, “WISPy cold dark matter,” *Journal of Cosmology and Astroparticle Physics*, vol. 2012, no. 06, p. 013, 2012.