

# 論文審査の結果の要旨

氏名 堀江 友樹

本論文は 8 章からなる。第 1 章は本研究において hidden photon ダークマターを探索する動機と検出方法の独自性を述べた部分であり、第 2 章では hidden photon の理論やダークマター生成のメカニズム、hidden photon に対する制限を述べ、第 3 章は過去の実験的研究及び今回採用した実験的方法の基礎となる説明および立案部であり、第 4 章では学位申請者が用いた実験装置の全体像および装置の詳細を述べ、第 5 章では装置の較正、特に検出器のノイズ及びゲイン評価について述べられ、第 6 章では観測のための機器の測定及び調整、そして実際の hidden photon 探索について示され、第 7 章ではデータ解析とその探索の結果、それに基づく議論が行われ、第 8 章に結論が述べられている。

ダークマターの正体の解明は興味深い問題である。現在原子核を散乱する事象の探索により広く研究が進められているが、それらは比較的質量の重い weakly interacting massive particles が研究対象である。一方ダークマターの正体が全く分っていないことを考えると、より質量が軽い候補、weakly interacting slim particles と呼ばれる一連の候補の探索を行うことも重要である。本研究においては、その候補の 1 つに該当する hidden photon の探索を行った。これまでダークマターを構成する hidden photon を直接探索した例は少なく、かつ不明な質量に対して広帯域の探索を行うことのできる本研究の手法は評価できる。本研究は今後の hidden photon ダークマター探索にとって新たな実験的手法を切り拓いた。

Hidden photon は、photon との僅かな混合により電子を振動させることが可能であり、その結果金属板表面でその質量に相当するエネルギーを持つ光子（電波）に変換される可能性がある。電波の放出方向は、ほぼ金属表面に垂直であることが期待されている。この性質を利用した実験的探索手法が提案されていたが、論文提出者は、より現実的に実現しやすい実験装置を世界で初めて設計し、建設を行い、実際に探索を行った。具体的には金

属平面鏡とパラボラアンテナを組み合わせ比較的広帯域を一度に探索できる独自の構成を採用した。本論文の主眼は、第5章から第7章に述べられている検出器の応答のノイズの理解と較正、データ収集、そして得られたデータ解析及び信号の探索である。

第5章は、探索を行った結果得られる信号の有意度と強度を評価するための、測定器のノイズとゲインの評価にあてられている。FFT 解析装置による特徴的な現象を理解し、ノイズの評価に成功した。また、点源である衛星からの電波を利用し、放送電波強度を基に測定装置のゲインを評価している点は工夫が見られる。これらは探索結果を解釈するための礎となるものであり、物理学上の成果を得るために本質的なものである。

第6章は、検出器の幾何学的形状が理想から逸脱していることによる効率の低下について詳細に評価している。電波天文学の知識を用い、金属平面鏡の完全な平面からのずれや、パラボラアンテナの理想からのずれの与える影響を正しく評価した。それらを組み合わせ測定した際に観察されたパワーの周期的構造が、平面鏡とパラボラアンテナとの共鳴現象であることを看破し、確認した。このように理解できた検出器を用い、探索を行った。

第7章では、得られたデータの解析が述べられている。解析にあたっては、共鳴現象やFFT の解析ビン同士の相関を考慮する申請者の技量が見られた。解析の結果、アンテナがなくても観察されるノイズを除いて、統計的に有意な、白色ノイズで説明できない信号は見られなかった。これによりこれまで宇宙論的な議論に基づいた制限しかなかった領域に対し、新たな制限を与えることができた。

なお、本論文については他2名との共同研究によるものであるが、装置の建設から較正、データ収集、そしてデータ解析の詳細に渡り、殆ど全ての部分は論文提出者が主体となって開発し、遂行したものと判断する。これまでに比べ比較的広帯域の探索が可能な、新しい手法により、宇宙論的な制限を超える感度で探索を遂行する手法を確立した点も高く評価できる。

従って、博士（理学）の学位を授与できると認める。