

# 論文の内容の要旨

## Search for hidden photon cold dark matter in sub-meV range by using a millimeter-wave spectrometer

(ミリ波スペクトロメータを用いた sub-meV 領域における  
Hidden Photon Cold Dark Matter 探索 )

氏名 富田 望

銀河系の回転曲線や宇宙背景放射(CMB)のスペクトルなど、数多くの観測から宇宙の27%は光で観測することのできない物質成分であることがわかっており、暗黒物質と呼ばれている。その物理的な正体は未だにわかっていない。有力な候補として WIMP(Weakly Interacting Massive Particle)と呼ばれる GeV~TeV 程度の重い粒子や、逆に WISP(Weakly Interacting Slim Particle)と呼ばれる軽い粒子などが提唱されている。これらのモデルを想定したさまざまな探索実験が行われているが、未だに検出には至っていない。

Hidden photon は標準模型を拡張する「隠れた」U(1)対称性に対応するゲージボソンであり、

$$\mathcal{L} = -\frac{1}{4}F_{\mu\nu}F^{\mu\nu} - \frac{1}{4}X_{\mu\nu}X^{\mu\nu} + \frac{m_{\gamma'}^2}{2}X_\mu X^\mu - \frac{\chi}{2}F_{\mu\nu}X^{\mu\nu} + J^\mu A_\mu$$

というラグランジアンで記述される。ここで  $A^\mu$ 、 $F^{\mu\nu} = \partial^\mu A^\nu - \partial^\nu A^\mu$  は通常の電磁場とその強度であり、 $X^\mu$ 、 $X^{\mu\nu} = \partial^\mu X^\nu - \partial^\nu X^\mu$  は hidden photon 場と場の強度である。Hidden photon は質量  $m_{\gamma'}$  と、mixing angle  $\chi$  の 2 つのパラメータで記述される。また kinetic mixing term  $-\frac{\chi}{2}F_{\mu\nu}X^{\mu\nu}$  の寄与により通常の電磁場とわずかな相互作用を持つ。

Hidden photon が冷たい暗黒物質(HPCDM)たりうるシナリオとして misalignment mechanism によるものが指摘されている。HPCDM は空間を満たす古典場としてふるまい、かつ kinetic coupling によりわずかに通常の電磁場へのもれこみを持つ。この効果により鏡面からはそれと垂直に微弱な電磁波が発せられることになる。近年提唱された Dish antenna 法は球面状のアンテナを用いてこの電磁波をその中心に集光し、HPCDM 探索を行おうというものである。この原理をさらに応用した、平面鏡とパラボラアンテナを用いる方法が提案、実施されている。この手法は平面鏡を HPCDM 由来の電磁波を発する波源としてみなし、パラボラアンテナを用いて集光するものである。HPCDM が鏡から発する転換光の周波数は Hidden photon 質量に対応する位置に鋭いピークを持ち、その広がりには暗黒物質の速度分散に由来する。分光測定の結果をフィッティングすることでこの信号を探索することができる。

我々はこの手法を天文観測で使われる低温検出器を用いて行った。測定系は大きく分けて4つの部分からなる。

- HPCDM 転換光の波源となる鏡。

- 転換光を集光するホーンアンテナ。
- 信号を増幅する2段のアンプ。初段が10K程度に冷やされており低ノイズ。
- 分校測定を行うスペクトラムアナライザー。

この測定系を用い、2日間のHPCDM探索測定を行った。探索範囲は $115.79\mu\text{eV}$  ~  $115.84\mu\text{eV}$ である。

系統誤差としてもっとも大きく寄与するものは2段目のアンプのゲインの時間ドリフトであるため、探索測定中は2時間おき程度にゲインのキャリブレーション測定を挟みながら測定した。また測定装置の各部分に由来する系統誤差、またフィッティング手法に存在する系統誤差の見積もりを行った。



図1. 測定に用いたアンテナと低温検出器



図2. 装置の上に鏡を設置しての測定

探索の結果 HPCDM 由来の信号は探索範囲では発見されなかった。この結果を元に HPCDM のパラメータ空間に図 3 のような 95%信頼区間で上限をつけた。これは現在この領域でもっとも強い制限となっている。Mixing angle  $\chi$  の探索感度は有効面積の $\cdot 1/2$  乗に比例するが、 $1.5 \times 10^{-3} \text{m}^2$  という小さい光学系での実験にもかかわらず、装置由来ノイズ、空をバックグラウンドとすることによる測定時の熱ノイズ両方が低いことを利用することにより未探索のパラメータ空間を探索することができた。

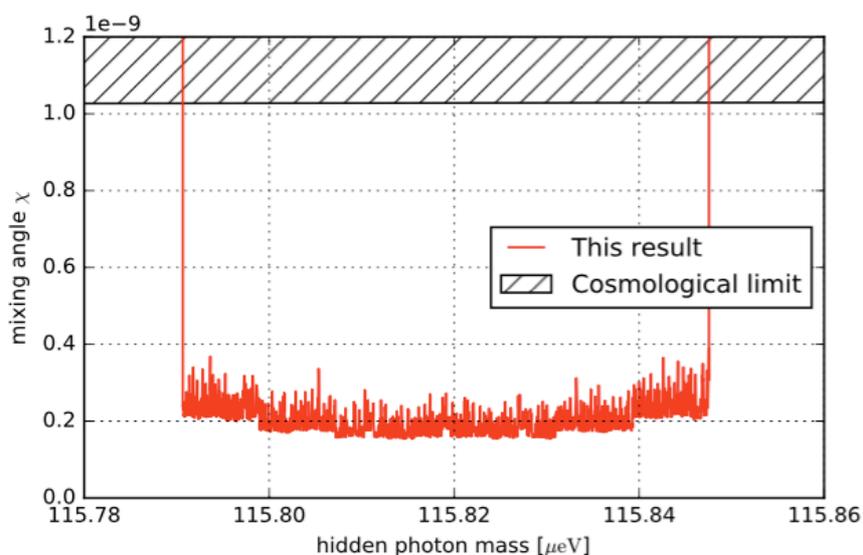


図 3: 本探索でつけた 95%信頼区間(赤)と現在の宇宙論的制限(黒)。横軸が hidden photon 質量、縦軸が mixing angle。

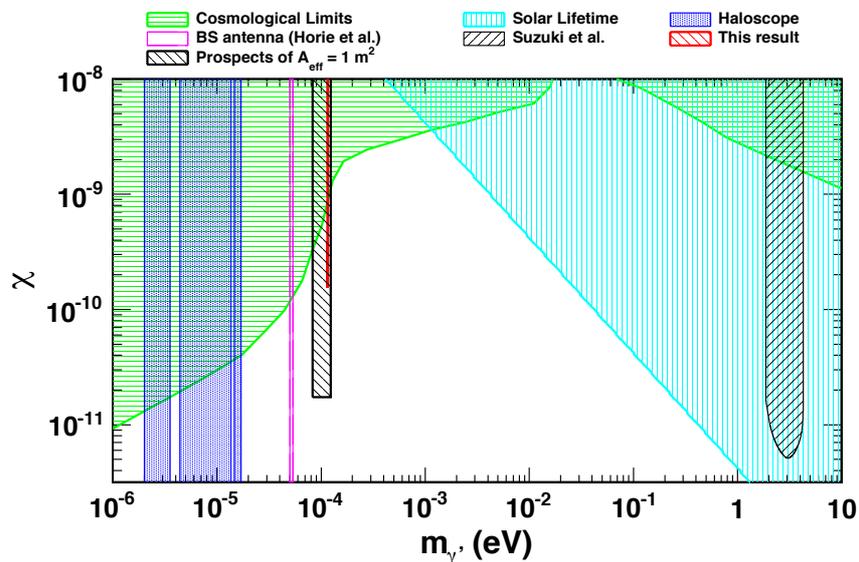


図 4: 有効面積  $1 \text{m}^2$  の光学系を用いた場合に予測される探索範囲(黒枠)、本実験の信頼区間(赤)、他の実験的・観測的制限