



2025 年 10 月 30 日

報道関係者各位

慶應義塾大学

約 70 億年前の宇宙の温度を高精度に測定 ―「昔の宇宙は熱かった」ビッグバン理論の予測と完全一致―

慶應義塾大学大学院理工学研究科の小谷 竜也（博士課程 1 年）と同大学理工学部物理学科の岡 朋治教授、国立天文台からなる研究チームは、アルマ望遠鏡で過去に観測されたクェーサー「PKS1830-211」方向の公開データを詳細に解析しました。その結果、約 70 億年前に相当する赤方偏移 $z = 0.89$ における宇宙マイクロ波背景放射（以下、CMB）の温度を 5.13 ± 0.06 K と測定しました。この値は中間赤方偏移で得られた CMB 温度の測定値としてこれまでで最も高精度なものです。さらにこの値は、現在の宇宙における CMB 温度（約 2.7 K）のおよそ 2 倍であり、「CMB 温度が時間と共に $(1+z)$ に比例して上昇する」というビッグバン宇宙論の基本予測と完全に一致します。したがって本測定値は、標準宇宙論の検証に重要な制約を与えるものです。

本研究成果は、10 月 29 日発行の米国の天体物理学専門誌『The Astrophysical Journal』に掲載されました。

1. 本研究のポイント

- ・アルマ望遠鏡^{*1}で過去に取得されたクェーサー^{*2}PKS1830-211 方向の公開データを詳細に解析し、約 70 億年前の宇宙マイクロ波^{*3}背景放射（CMB）の温度を精密に測定。
- ・中間赤方偏移^{*4}において、これまでで最も高精度な CMB 温度の測定値を取得。
- ・本測定値が標準的なビッグバン宇宙論の予測と完全に一致することを確認。

2. 研究背景

宇宙は、非常に高温・高密度な“火の玉状態”から始まり、断熱膨張を経て低温・低密度な現在の姿に進化したと考えられています。これは「ビッグバンモデル」と呼ばれ、1960 年代以降、有力な宇宙進化のモデルとされてきました。一方で、近年ではこのモデルとは異なる理論モデルも複数提唱されています。

CMB は、全天から一様かつ等方的に届くマイクロ波帯の放射です。これは、初期宇宙を満たしていた高温の黒体放射^{*5}が宇宙膨張と共に温度を下げながら届いたものと考えられ、ビッグバンモデルの強力な観測的証拠とされています。標準モデルでは CMB 温度は宇宙年齢と共に変化し、過去に遡るほど $(1+z)$ に比例して上昇することが予測されます。このことは、過去の宇宙における CMB 温度を精密に測定することで、宇宙モデルの観測的検証が可能であることを示しています。

過去の CMB 温度を測定するために、遠くの銀河中を漂う希薄な原子・分子によって背景天体からの電磁波が吸収される現象を利用する方法があります。原子・分子は、その宇宙年齢の時代における CMB によってエネルギー状態が変化し、背景光に対して吸収を生じます。この吸収強度を基に解析を行うことで、当時の CMB 温度が推定できます。吸収を生じる原子・分子が遠方に存在する場合、光が地球に届くまでに長い時間を要するため、その吸収信号は過去の宇宙の状態を反映しています。そのため、遠くの銀河内の原子・分子による電磁波の吸収強度を解析することで、過去の CMB 温度を見積もることができます。

3. 研究内容・成果

研究チームは、これまでに豊富な分子吸収線が検出されてきた **PKS1830-211** を背景光源として注目し、アルマ望遠鏡で過去に観測された公開データを分析しました（図 1）。その結果、シアン化水素の吸収線を複数取得しました（図 2 (a)）。それを基に、視線を遮る吸収ガスが均一に分布していないことや、吸収強度の時間変動、吸収ガスが背景光を遮蔽する効果を考慮に入れて、吸収ガスの物理状態をより正確に反映した測定を行いました。これらの検討要素は、2013 年に同天体を対象として同じ赤方偏移において行われた CMB 温度測定では考慮されていなかった要素です。詳細な解析の結果、吸収ガスが存在する時点（およそ 70 億年前）の宇宙では、CMB 温度が 5.13 ± 0.06 K であったことが判明しました（図 2 (b)）。本測定結果は、先行研究に比べて約 40% 精度の高いもので、中間赤方偏移においてこれまでで最も信頼できる測定値を提供します。さらに、本測定値は標準的なビッグバン宇宙論の基本予測と完全に一致しています（図 2 (c)）。これにより、「昔の宇宙は熱かった」という予測が正しいことを 70 億年前の時点において確認することができました。

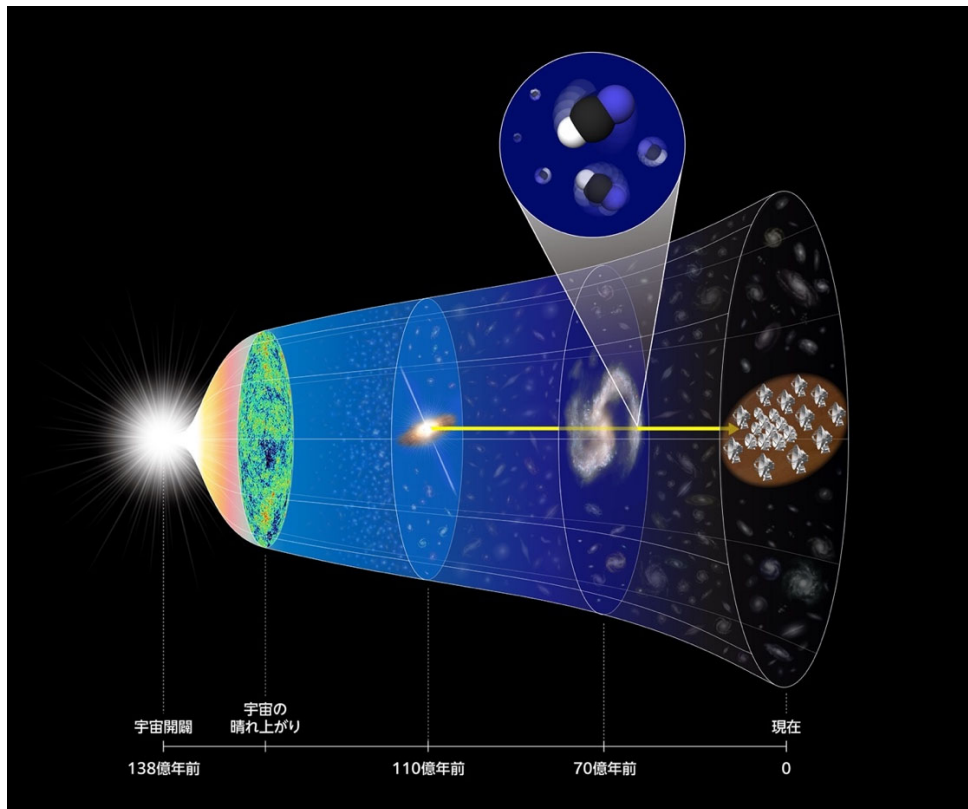


図1 背景クェーサー（PKS1830-211）、シアン化水素の吸収を生じる前景銀河、および観測者（アルマ望遠鏡）の位置関係を示す模式図。

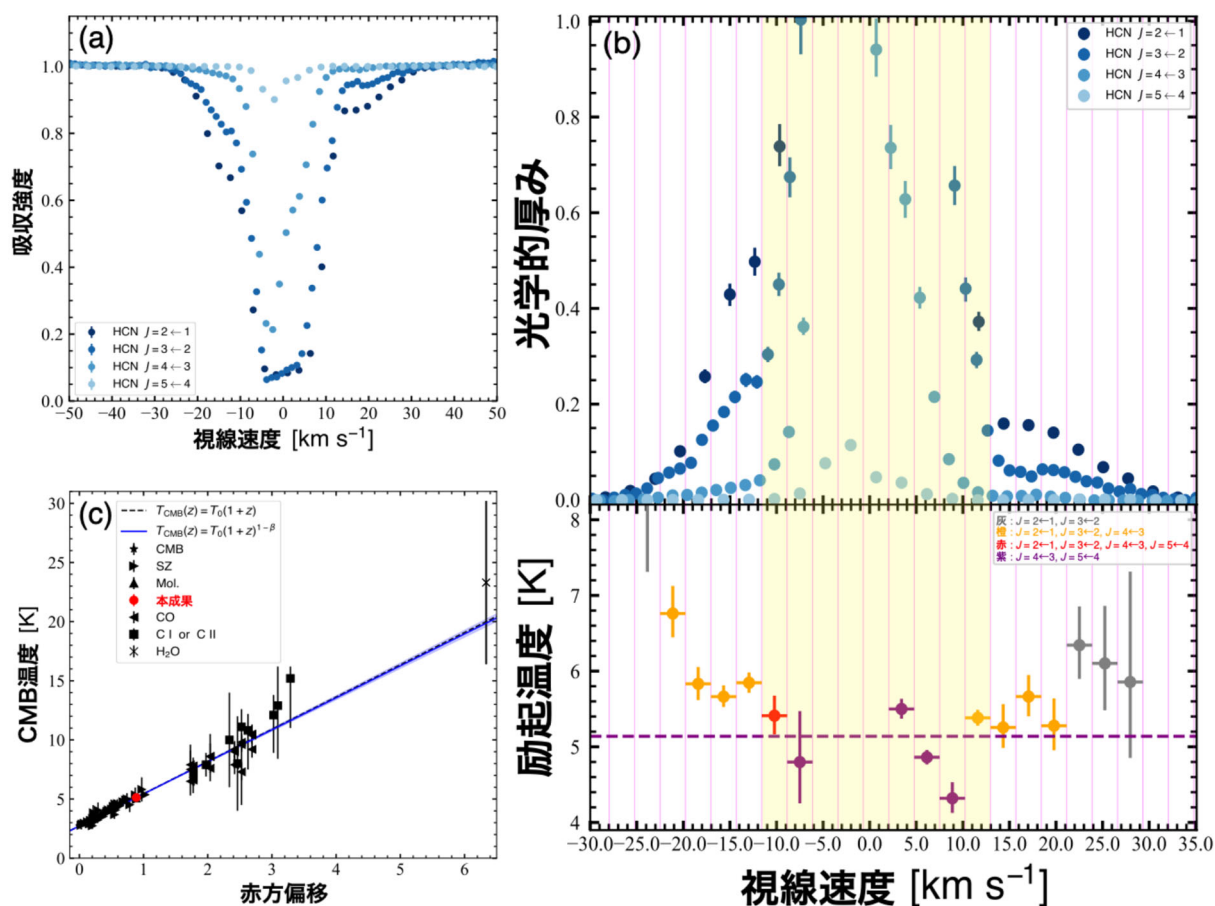


図 2 (a) アルマ望遠鏡により取得されたシアン化水素 (HCN) の吸収線スペクトル。HCN の異なるエネルギー状態間の遷移に伴う 4 つの吸収線を、青いグラデーションで示している。(b) 吸収強度から計算される光学的厚み (上) と励起温度 (下) のプロファイル。励起温度はマゼンタで示される速度ビン毎に計算され、用いた遷移に応じてプロットを色分けしている。紫の破線は標準モデルの予測値 ($=5.14$ K) である。吸収の中心 (黄色で示された範囲) の加重平均値 ($=5.13 \pm 0.06$ K) が、この時代の CMB 温度を最もよく反映していると考えられる。(c) CMB 温度の赤方偏移に対する依存性。本研究の測定値 (赤プロット) と先行研究の測定値 (黒プロット) をモデル式でフィットした結果 (青実線と影) を示している。本研究の測定値は、標準モデル (黒破線) と誤差の範囲内で一致しており、ビッグバン理論を 70 億年前の宇宙で検証したことを示している。

4. 今後の展開

今回の成果は、より高い赤方偏移における CMB 温度の測定を目指したキューサー観測の契機となります。特に、赤方偏移が $z > 1$ 、すなわち約 80 億年以上前の遠方宇宙における CMB 温度を精密に測定することでビッグバン宇宙論をより厳密に検証することができます。今後、本研究チームは、アルマ望遠鏡を用いて新たなキューサー方向の分子吸収線観測を予定しています。この観測によって高赤方偏移における新たな CMB 温度の測定値が取得できれば、標準モデルからのわずかな逸脱を高精度で検証できると期待されます。さらに本成果は、1 平方キロメートル電波望遠鏡 (SKA) や次世代大型電波干渉計 (ngVLA) など、次世代電波望遠鏡による将来の CMB 温度測定に向けた道を拓くものでもあります。

※本研究は、日本学術振興会科学研究費助成事業 (科研費)、基盤研究 (A) No.20H00178 の補助を受けて行われました。

<原論文情報>

本研究成果は、10月29日発行の米国の天体物理学専門誌『The Astrophysical Journal』に掲載されました。論文の題目、および著者と所属は以下の通りです。

“A New Precise Measurement of the Cosmic Microwave Background Radiation Temperature at $z = 0.89$ toward PKS1830-211”

小谷 竜也（慶應義塾大学 大学院理工学研究科 博士課程 1年）

岡 朋治（慶應義塾大学 理工学部 物理学科 教授）

榎谷 玲依（国立天文台 チリ観測所 特任准教授）

柳原 一輝（慶應義塾大学 大学院理工学研究科 修士課程 2023年3月修了）

金子 美由起（慶應義塾大学 大学院理工学研究科 修士課程 2023年3月修了）

有山 諒（慶應義塾大学 大学院理工学研究科 修士課程 2025年3月修了）

『The Astrophysical Journal』, October 29, 2025, vol. 993, Issue 1, id.134 (7pp)

URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.3847/1538-4357/ae0a1e>

DOI: 10.3847/1538-4357/ae0a1e

<参考>

慶應義塾大学理工学部 岡朋治研究室 <http://aysheaia.phys.keio.ac.jp/index.html>

<用語説明>

※1) アルマ望遠鏡 (ALMA:アタカマ大型ミリ波サブミリ波干渉計): 南米のチリ共和国北部にあるアタカマ砂漠の標高約 5000 メートルの高原に建設された巨大電波望遠鏡。国立天文台を代表とする東アジア、米国国立電波天文台を代表とする北米連合、欧州南天天文台を代表とするヨーロッパなどの国際共同プロジェクトとして進められている。

※2) クェーサー: 遠方の宇宙で強い光を放つ、恒星のような点状の天体。

※3) マイクロ波: 周波数約 300 MHz から 300 GHz の範囲の電磁波。電波の一種。

※4) 赤方偏移: 天体から放射された光の波長が観測者に届くまでにどれだけ伸びたかを表す指数で、記号 z で表される。特に非常に遠方にある天体からの光は、宇宙膨張によって波長が伸びるため、赤方偏移は宇宙年齢を表す指標となる。

※5) 黒体放射: 熱平衡状態にある光子の放射。

※ご取材の際には、事前に下記までご一報くださいますようお願い申し上げます。

※本リリースは文部科学記者会、科学記者会、各社科学部等に送信させていただいております。

・研究内容についてのお問い合わせ先

慶應義塾大学 理工学部 物理学科 教授 岡 朋治（おか ともはる）

TEL : 045-566-1833 E-mail : tomo@phys.keio.ac.jp

・本リリースの配信元

慶應義塾広報室（増田）

TEL : 03-5427-1541 FAX : 03-5441-7640

E-mail : m-pr@adst.keio.ac.jp <https://www.keio.ac.jp/>