

## 投稿

## 2019年ノーベル物理学賞に関して

## ～ジェームス・ピーブルズ教授～

高田昌広（東京大学カブリ IPMU）

## 1. はじめに

2019年のノーベル物理学賞の1/2は、「物理的宇宙論における数々の理論的発見に対して」(“For theoretical discoveries in physical cosmology”)という受賞理由で、米国プリンストン大学のジェームス・ピーブルズ教授 (Prof. James E. Peebles) に授与された。より正確な情報は、ノーベル財団が配布している受賞理由[1]にピーブルズ教授の分野の物理的宇宙論に関する研究の進展の歴史、またその歴史の流れのなかでのピーブルズ教授の貢献、その意義について、非常に簡潔かつ正確にまとめられているので、そちらを参照されるのをお勧めする。

また、ピーブルズ教授がノーベル賞を受賞された日にプリンストン大学で公開記者会見があったが（著者は偶然にもその日にプリンストン大学にいた！）、その記者会見の様子のビデオ[2]についても、ピーブルズ教授の人物、またご自身の研究分野を専門とした動機などを知ることができるので、興味のある方はご覧になっていただきたい。

ここでは、物理学的宇宙論を専門とする研究者である著者が、ピーブルズ教授の業績について簡単に解説したい。

## 2. ピーブルズ教授と宇宙論

本題に移る前に、ピーブルズ教授がプリンストン大学物理学科の大学院生時代に宇宙論の研究を専門に選んだ1960年代の時代背景を述べておきたい。

その選択の大きな理由は、指導教員のロバート・ディッケ教授 (Prof. Robert H. Dicke) の勧めが大きかったそうである。ディッケ教

授自身がすでに重力あるいはビックバン宇宙論の理論研究の大家であったが、1960年代は量子力学の隆盛の時代であり、一般相対性理論は「数学的産物」として主流からは外れていた。その背景であっても、ディッケ教授は重力物理の重要性に着目し、宇宙背景放射をはじめとする実験、観測の研究を進めていたが、ピーブルズ教授には重力が主要な役割を果たす膨張する宇宙の理論的研究を勧めたそうである。ピーブルズ教授自身、一般相対性理論は地球あるいは太陽系のスケールで検証はされていたが、同じ理論がスケールがはるかに異なる宇宙全体も記述できるのか？という素朴な疑問もあり、その研究に関心をもったそうである。さらに、宇宙論自体が物理の分野でなかった時代なので、先行研究、論文もなく、自らの好奇心の赴くままに宇宙の物理を探ったそうである。ピーブルズ教授の才能は勿論であるが、知的好奇心の強さ、またよい意味での楽観的な思考に感心するが、自由な発想・研究を推奨するプリンストン大学の校風も後押ししたのかもしれない。

この背景の下、ピーブルズ教授は物理法則に立脚し、膨張宇宙の現象について次々と理論的定式化を成し遂げ、宇宙論の理論的枠組みの基盤を築き上げた。ピーブルズの理論的研究のいくつかについては、後の観測的研究で確認、立証された。例えば、宇宙背景放射は当時、学問的興味の研究とみなされ、ピーブルズ教授の予言は観測的に検証することは到底不可能だと思われていたが、その後の技術の進展により観測で確認され、現在では宇宙背景放射は最も精度の高いデータであり、

観測的宇宙論の強固な基盤になっている。つまり、理論予言を提案し、後の実験・観測がそれを確認する、という理論家としては最も格好いい研究スタイルを実践したのである。自分に才能がないのは棚に上げておき、なんと羨ましい限りであろうか！

このように、ピーブルズ教授は現代標準宇宙論を確立させた張本人の一人なのである。

### 3. ピーブルズ教授の業績

本題に戻ろう。ピーブルズ教授の業績は多岐に渡るが、ノーベル財団の資料によれば、主に以下の五つの業績が受賞理由として挙げられている。

(1) ビックバン宇宙誕生から3分後に起こった軽元素合成の物理過程、特に重水素、ヘリウムの生成過程、その残存量に関する定量的な計算を行った。

(2) 膨張する宇宙におけるゆらぎ（物質の空間分布の非一様性）の進化の物理過程を定式化し、特に宇宙年齢で約38万年の宇宙の晴れ上がり（電子、陽子が結合し、中性化する過程）の以前には、宇宙背景放射の光子と熱平衡状態の電離プラズマのあいだに密度の疎密波（音波モード）が励起され、特徴的な波長のゆらぎのパターンが形成される物理過程を定式化し、実際に数値計算を行った。この音波モードが、宇宙背景放射の温度非等方性の特徴的な角度スケールを与え、実際にこれがWMAPやPlanck衛星などの観測で確認され、宇宙年齢、通常物質（バリオン）の存在量、ダークマターの存在量などの宇宙論パラメータの高精度測定に繋がった。この研究については、ヤコフ・ゼルドビッチ（Yakov Zeldovich）、ラシード・スニャーエフ（Rashid Sunyaev）らのロシア（旧ソ連）の研究者らも大きな貢献をしたことを補足し

ておく。

さらに、ピーブルズ教授はダークマターの存在の必要性を早くから認識しており、宇宙の構造形成に関する先駆的な研究を成し遂げている。

(3) 我々の天の川銀河の星が分布する領域を取り囲むような大きな領域に重力のほとんどを支える大量のダークマターが存在しなければ、天の川銀河の渦巻き（ディスク）構造の「薄さ」が説明できないことを数値シミュレーションも用いて定量的に示した。

(4) 「冷たい」ダークマターの存在を導入し、膨張宇宙における宇宙の大規模構造の形成過程を定式化した。また、宇宙初期のインフレーション加速膨張のシナリオが予言する宇宙の初期条件を仮定し、当時観測されていた銀河の3次元地図による宇宙の大規模構造の統計量（2点相関関数）の振る舞いを説明できることを示した。

(5) さらに、当時はその存在が信じられていなかったアインシュタインの宇宙定数を積極的に導入し、その冷たいダークマターの構造形成モデルが銀河分布の観測結果をより良く説明できること、また検証方法を提案した。つまり、ピーブルズ教授の先駆的な研究により、現代宇宙論の標準モデル（ $\Lambda$ CDM：ラムダCDM）の重要な前提になっている、インフレーションの初期条件、アインシュタインの宇宙定数（今はダークエネルギーとも呼ばれる）、冷たいダークマターの全てが1984年までには提案されていたことを意味する。現在でもこのモデルは、様々な宇宙論データを無矛盾に説明することに成功している。

### 4. おわりに

以上が、ピーブルズ教授の功績である。著

者自身もピーブルズ教授が執筆した教科書“ The Large-scale Structure of the Universe” (1980) を読んで、宇宙論を志した一人であり、そのような研究者が世界中に多くいるだろう。

最初に紹介した記者会見で、ピーブルズ教授は、「当時私が物理的考察から提案した最も単純な宇宙の構造形成の理論模型が、現在までの様々な宇宙論観測を無矛盾に説明できることは宇宙の神秘性を示し、感動的である。しかし一方で、あまりに上手く出来すぎていて、つまらない。」とも仰っている。この標準模型を超える宇宙の物理を探るのが、ピーブルズ教授の影響を受けた我々の世代を含む、後生の研究者の使命である。

## 文 献

- [1] <https://www.nobelprize.org/uploads/2019/10/advanced-physicsprize2019-3.pdf>
- [2] <https://www.youtube.com/watch?v=JiPZrRcdgfU>



高田 昌広

\* \* \* \* \*