

宇宙の背後に潜む普遍的な物理法則に迫る！

山内 大介 (理学部 物理学科 宇宙理論・重力理論研究室)



概要 近年の宇宙観測技術の発展に伴い、約138億年前の宇宙誕生から現在に至るまで、宇宙の一貫した歴史が理解されるようになってきた。しかし、いまだ「宇宙はどうやって生まれたのか」「宇宙の将来はどうなるのか」といった根源的な謎が残されている。本研究では、2つの研究課題「電波望遠鏡で拓く暗黒宇宙」「一般相対性理論のほころびから迫る宇宙の加速膨張」を組み合わせることで、この宇宙最大の謎に多面的に迫っていく。

宇宙138億年の歴史と残された謎

「宇宙論」とは、入れ物としての時空と中身である天体を合わせた全体として、宇宙の性質を研究する学問分野である。たとえば、「宇宙はどうやって生まれたのか」「宇宙の歴史や未来はどうなるのか」「宇宙が何からできているのか」「宇宙はどこまで広がっているのか」といった問いに科学的に答えを与えることを目的とする。

ルメートル(1927年)とハッブル(1929年)によって宇宙が膨張していることが発見されたことを起点として、20世紀の宇宙論は劇的な進歩を遂げた。現代的な宇宙論では、アインシュタインが提唱した「一般相対性理論」を基盤として宇宙を記述する。宇宙は約138億年前に誕生した後に、指数関数的な膨張期(インフレーション)、灼熱の火の玉状態(ビッグバン)を経て、その後も膨張を続けていることが明らかとなった。特に、近年の宇宙観測技術の大きな進展に伴って、標準的な宇宙論モデルが確立し、**宇宙138億年の通史を理解できるようになってきた**と言える。

しかし、いまだ宇宙には大きな謎が存在している。本研究では、以下に示す本質的な問いに物理学により迫る：

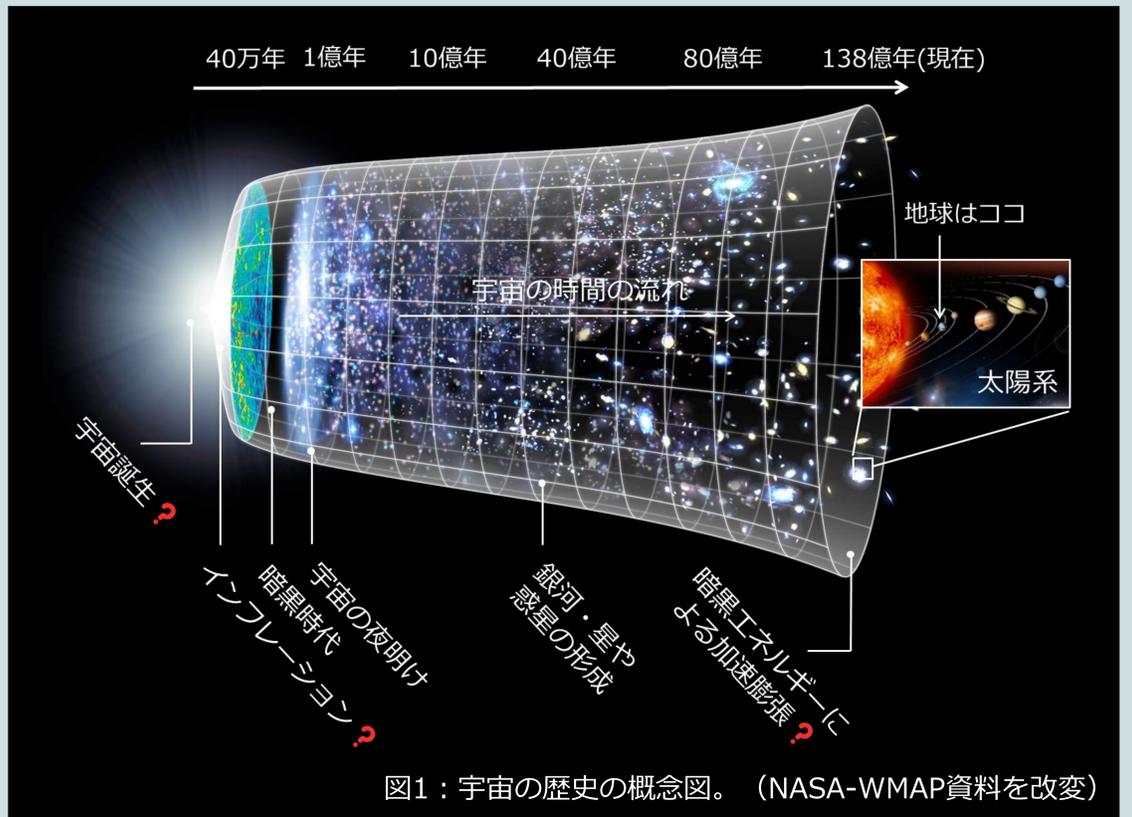


図1：宇宙の歴史の概念図。(NASA-WMAP資料を改変)

宇宙はどうやって生まれたのか？

宇宙の将来はどうなるのか？

① 電波望遠鏡で拓く暗黒宇宙

宇宙の大きな謎に迫るためには、本質的に新しい観測量の探求が必須となる。宇宙の最初期の情報が保存されている人類未踏の宇宙の時代「**暗黒時代**」「**宇宙の夜明け**」(宇宙年齢40万歳—数億歳)の観測がカギになる(図1参照)。

人類未踏の時代を探查するほとんど唯一の手段は、中性水素の超微細構造遷移に伴う電波(21cm線)である。本研究計画では、21cm線を主な観測量とする電波望遠鏡計画：**Square Kilometre Array 天文台**^{#1}[1][2]と**月面天文台TSUKUYOMI**^{#2}[3]に着目し、詳細な宇宙進化の情報から宇宙の謎に迫っている。

[#1] 日本SKAコンソーシアム宇宙論グループを7年にわたり主催 (総説論文3件, 科学白書2件, 招待・基調講演11件)

[#2] JAXA 月面の科学検討グループ 月面天文台班に選出 (2022-)



図2：左図：SKA天文台想像図 ©SKAO

右図：月面想像図および月面天文台イメージ ©読売新聞

② 一般相対性理論のほころびから迫る宇宙の加速膨張

現在の宇宙は加速度的に膨張していることが様々な観測から示唆されている(2011年ノーベル物理学賞)。この観測事実を説明するには、「**暗黒エネルギー**」と呼ばれる「宇宙を加速させる何か」が必要となるが、その**正体は全くの不明である**。現代物理学における**最大の謎の1つ**となっている。

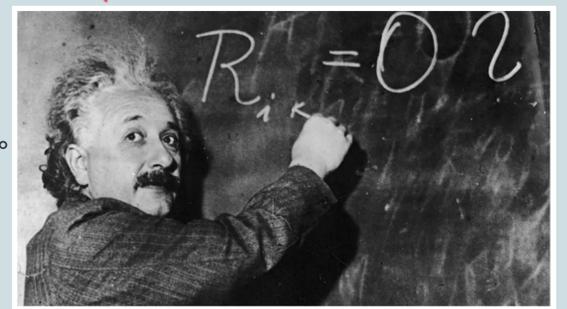


図3：一般相対性理論を提唱したアルバート・アインシュタイン

さらに、暗黒エネルギーの性質は、我々の宇宙の将来を決めることが知られており、我々の宇宙観にとっても重要である。

注目すべき事実として、暗黒エネルギーの存在を示す証拠は数十億光年のような非常に大きなスケールの観測から得られるが、そのようなスケールでの一般相対性理論の検証はなされていない。すなわち、**アインシュタインの一般相対性理論のほころびが見えている可能性**があり、世界的にも大きな注目が集まっている。

本研究計画では、最先端の宇宙観測と連携することで^{#3}[4]、**宇宙の背後に潜む(アインシュタインの一般相対性理論を超えるかもしれない)普遍的な物理法則**を探求する[5]。

[#3] 「理論と観測の協奏による重力理論の検証」ワーキンググループ 立ち上げ & コアメンバー (総説論文1件, 招待講演4件)

[1] 総説：DY et al., Publ.Astron.Soc.Jap., 68(2016)6, R2
[2] 総説：Bacon, ..., DY et al., Publ.Astron.Soc.Austral., 37(2020)e007
[3] 読売新聞オンライン2022/11/26付記事, 日経新聞1/15付記事

[4] 総説：Arai, ..., DY et al., PTEP 2023(2023)7, 072E01 (2023年9月にJPS Hot Topicsに記事が掲載)
[5] Langlois, Saito, DY, Noui, Phys.Rev.D 97(2018)6, 061501