

## ショートレクチャー「宇宙の成り立ちを明らかにする」 学生からの質問・コメントと山田 将樹 助教 からの回答一覧

質問	数学や物理学をどのように使うことで宇宙理論を証明できるのですか？
質問	①山田先生の研究において、仮説検証はどのように行うのでしょうか。例えば地球上の施設で粒子を観測する、ロケットを飛ばすなどの方法が思い浮かぶのですが、文系の学生が理解できる程度で仮説へのアプローチについて教えていただければ幸いです。
質問	宇宙の成り立ちについて深く考えたことがなかったので、興味深いと感じた。ショートレクチャーの話を聞いただけで頭が疲れた。宇宙論の研究は正解が見えないと思うが、何をもって達成されたといえるのか気になった。
回答	物理学全般に言えることですが、理論の正しさを証明するのは、実験や観測によって行われます。宇宙論の場合は、たとえば初期宇宙の高温高密度の状態の名残の光（電磁波）が宇宙に満ちていて、それがマイクロ波の電磁波として現在まで存在していて、実際に観測することができます。宇宙論を使えばこのマイクロ波の温度の分布を理論的に計算することができるので、それと観測を比べることによって、宇宙理論を検証することができます。
質問	宇宙の成り立ちを解明するのは難しいと思うのですが、火の玉の宇宙という考えはどのようにして有力なものになったのでしょうか。
回答	宇宙が火の玉（高温高密度の状態）から冷えていったとすると、その名残である電磁波が残っていることになります。実際にその電磁波（マイクロ波）を観測したことで、宇宙が火の玉にあったということが証明されています。
質問	宇宙の始まりを考えるとときに、現在の地球の素粒子や理論などを用いてもいいのですか。
回答	それは観測によって確かめるべきことです。特に、物理定数が現在のものと宇宙初期のものとは異なる可能性が考えられます。また、我々の知っている素粒子のリストが不完全である可能性も考えられます。これらの可能性を考慮して計算を行い、その結果と観測値を比べることによって、何が正しいのかということを検証していく必要があります。
質問	ほとんどの研究者がインフレーションという時代があったと考えているらしいが、インフレーションを否定する人はどのような根拠で否定するのか？
回答	インフレーション理論は一部間接的に検証されていますが、その正しさはまだ確定したとは言えません。ですので、他の理論的な可能性も考えることも重要です。そのとき、インフレーションが間違っているという主張をするのではなく、その代わりに可能性もまだ捨てきれない、という主張をします。
質問	インフレーション前の宇宙の状態に関する理論を観測実験、または理論計算で証明する方法は、現在までになにか有力なものがあるんですか。個人的には、大きな宇宙から泡のように我々の宇宙などができたというのは、証明が不可能に近いのではと感じました。
回答	インフレーション前の宇宙の状態に関する理論を証明する方法はありませんが、それをほんの少しサポートしてくれるような観測値はあります。例えば我々の宇宙が泡のようにできたとすると、宇宙が泡の表面のように少し曲がっている可能性があります。その曲率を観測することができれば、泡からできているという理解が少しだけもっともらしくなります。ただし、現在の技術ではまだその曲率は観測できていません。
質問	宇宙や素粒子物理学に関する事項は我々からすると複雑怪奇で、ともするとオカルティックにさえ見えるため、時に啓蒙書などで的を射なかったり、見当違いだったりする解説がなされていると聞きます。これを踏まえて、我々がしてしまいがちな誤解などがありましたら教えていただきたいです。
回答	何が観測事実で、何が理論上の可能性にすぎないのか、ということは常に意識して読むといいと思います。宇宙論は物理学ですので、観測で確かめられて初めて正しかったと言える、ということに注意するとよいと思います。

質問	なぜビッグバンによって宇宙が膨張したのですか？
回答	火の玉の宇宙になる以前にはインフレーションと呼ばれる急激な膨張をしている時代がありました。その膨張のエネルギーが熱エネルギーに転換されて火の玉の宇宙になったのですが、インフレーションの膨張の勢いの慣性でそのまま膨張を続けている、と解釈することができます。

質問	宇宙の膨張につれて、地球と太陽の距離は遠くなりますでしょうか。そうでなければ、具体的に何と何の間の距離が拡大していますでしょうか。
質問	宇宙が膨張している根拠は何ですか？
質問	宇宙が膨張して薄くなっていった場合、地球にはどのような影響が与えられると考えられていますか。そもそも地球が変化するほど宇宙は膨張するのでしょうか。
回答	宇宙という空間自体が膨張しているなら、地球の大きさが大きくなっていくのか？私たちの体自体が大きくなっていくのか？とってしまうかもしれませんが、そうではありません。私たちの体を構成している原子たちは、互いに強く結合していて、その結果として体の大きさが決まっています。それは空間が膨張していても変わりません。これは太陽系でも同じです。地球と太陽は互いに引力を及ぼし合って回転運動をしています。その運動は宇宙膨張の影響をほとんどうけません。宇宙の膨張というのはマクロなスケールで見るとその影響を感じることはできませんが、人間や星くらいの大きさのスケールではその影響はほとんど無視できます。しかし逆に、我々の住んでいる銀河系と遠くの銀河をみると、これらの間の引力は無視できるほど小さいです。この場合、宇宙が膨張していることによって、これらの銀河の間の距離はだんだんと離れていくこととなります。宇宙が膨張しているかどうかを検証するには、遠くの銀河が離れていっていることを観測すればよいということとなります。実際にそうやって宇宙の膨張が"発見"されました。

質問	宇宙が膨張し続けているということは、過去に遡ると宇宙は一点に収束するということだと思えます。その小さな宇宙も何かしらの空間の中に存在していたと考え、宇宙よりもさらに周りに何かが存在しているといえますか。
回答	マルチバースの話では、宇宙は無限に続くので一点には収束しそうにありません。Creation from nothingの話では、時空自体が生まれるので、その"周り"というのは定義できません。時空間自体が生まれるので、その"外側"というのはありません。

質問	②宇宙に縁・外側は存在するのでしょうか。山田先生の見解があれば教えていただきたいです。
回答	宇宙には閉じた宇宙と開いた宇宙の二つの可能性があります。閉じた宇宙の場合は、限界まで遠くへ行くと一点に収束します。開いた宇宙の場合は、無限に広がっています。どちらも境界があるとは言えません。いまの観測技術では、これらのどちらになっているかを検証することはできていません。

質問	宇宙におけるインフレーションの前の狭い、所謂「無」の状態を感覚的につかめないのですが、先生はどのような解釈をしていますか？
回答	時間も空間もないので確かにイメージはできませんが、理論的にはそういう可能性もあるというのが不思議ですね。

質問	太陽がなくなったら宇宙はどうなるんですか？
回答	太陽は単に一つの星ですので、無くなろうが宇宙自体には関係ありません。ただし地球人は困ると思います。

質問	天文学の授業を受けていて宇宙について興味が出ていたので、宇宙の構造についての詳しい説明が聞きたいです。
回答	宇宙には初め0.001%程度の"むら" (ゆらぎ) があって、それが成長して銀河などの構造を形成しました。このもとの"むら"は、インフレーションの時代の量子ゆらぎからきたと考えられています。我々の見ている銀河の構造は、量子的なゆらぎを起源としていることとなります。

質問	宇宙分野に興味があるがその基礎となる物理の知識が乏しい、という場合は物理の基礎からなぞっていくしかないのでしょうか。特定の基礎知識さえ身につければ理解が進む宇宙系の学問分野や理論はありますか？
回答	一般向けの雑誌を読むだけなら物理の知識はあまり必要ないと思います。一方で、本当の意味で理解したいのであれば基礎的な物理学から学んでいく必要があります。しかし、宇宙論を理解するのに必要な一般相対性理論は、他の前提知識もなく理解できるはずだと言う人もいます。特に宇宙で用いるのは一般相対性理論を一様等方宇宙で近似して単純化したものなので、もしかしたら宇宙論の教科書をそのまま読んで理解できるかもしれません。

コメント	時空の創成のときの図にあった、「Imaginary Time」が気になりました。次元も時空も想像が難しい領域ですが、様々な説があって、一般人からするとSFのようにも思えることが数式で証明されるというのはとても興味深かったです。
回答	この Imaginary time は数学的な便宜上使っているもので、量子的なトンネル効果が起きていることを表しています。あくまで数学的な計算方法として使っていて、時間が虚数方向に動いていたという解釈は基本的にはしません。

質問	お話の後半で、宇宙の成り立ちについて理論的に考えられていることをいくつか紹介されていましたが、そういった理論は始めどのようにして考えられるのでしょうか。アイデア、元になる部分、考えつく瞬間などについて教えていただきたいです。
回答	最近の宇宙論は素粒子理論と密接に関係しています。異なる専門家のアイデアをうまく落とし込むことで、新しい理論が生まれるのだと思います。

質問	Multiverse の考え方はどのようにして生まれたのか、その背景が知りたいです。
回答	物理学の究極理論と考えられている超弦理論によると、“真空”というのはたくさんあり、それに応じて宇宙もたくさんあることが自然だと考えられています。このことから、Multiverse という考えが生まれました。

質問	宇宙の基本原理を探求するとき、人間の頭脳では追いつけない限界のようなものはあるのでしょうか。
回答	たとえば、多体系のような複雑な系や、相互作用が強くて近似的な解析を使えない系などは、人間の理解の限界を超えているように思います。しかし、それでも統計力学や熱力学が発展しているように、有益な情報を抜き出す理論を作り出すことができます。また、方程式を解くのにコンピューターによる数値計算が必要だとしても、それは人間が考え出した方法です。もしかしたら、見方によっては限界みたいなものはないのかもしれません。

コメント	私は文系で、昔から理科が苦手でしたが宇宙に関する話題は好きで、興味がありました。宇宙はまだまだ謎の多いことばかりなので、私が生きている間にどれだけのことが明らかになるのか楽しみです。
コメント	宇宙ができる前はどんな世界だったのかがとても気になった。
コメント	宇宙の研究というとどちらかというと自分の目に見える星だったりを研究するものと思い込んでいたが、それ以上に規模の大きい研究であると知り驚いた。宇宙の成り立ちという自分の想像もつかないようなものでも自分が学んだ知識の延長線上に研究の最前線があると考えると学問やそれを広げていく研究の偉大さを感じる。
コメント	宇宙が今も膨張していることは初めて知りました。
コメント	私はよく漠然と宇宙とは何なのか考えることがありますが、講義を聞いて、本当に謎が多い存在であると思いました。だからこそ研究し甲斐があるし、私たちが生きる意味のひとつになりうるのだろうと思いました。
コメント	以前から宇宙に関心があったので、とても興味深かった。
コメント	宇宙の成り立ちについてのさまざまな可能性について知ることが出来て良かったです。
コメント	科学で百億年前の出来事を知ることができるのは不思議だと思いました。
コメント	宇宙の成り立ちには素粒子理論の考え方が必要というのは初めて知った。より深く宇宙の成り立ちについて知りたいと感じた。
回答	宇宙理論は日常生活で役に立つことはないかもしれませんが、多くの人がなんとなく宇宙に興味を持っていたり、我々の住んでいるこの宇宙の成り立ちについて知りたいと思っているということが研究の原動力となっています。私の話を聞いたときに、面白い、そこまでわかっているなんてすごい、不思議だ、もっと知りたい、と聞いていただけたらうれしいです。