

[宇宙の謎への挑戦－ブラックホール研究最前線－]

当真賢二講師への質問・コメント

質問	ブラックホールを観測する際に見られる光には、波長の長さに決まりはあるのでしょうか。観測写真ではオレンジに近い光のように見えますが、高エネルギーの短波長の光ではなくそのような色の光なのはどうしてでしょうか。
回答	どの科学分野の画像について言えることですが、色は実際のものでないことが多いです。このオレンジ色も人為的なもので、実際は電波で光っているので目に見えません。高エネルギーの電子が磁場中で光ると電波を発します。

質問	ご講義ありがとうございました。光すらも出てこれないというのは、光の速度(を出せるようなエネルギー)よりもブラックホールの引くエネルギーの方が大きいということでしょうか？
回答	はい、ブラックホールから出てくるには光が無量大のエネルギーを持つ必要があるということになります。ブラックホールの重力が極限的に強く、光は出てこれないのです。

質問	ブラックホールの観測ができたというのは今後の科学において非常に大きな発見だと思いますが、そもそも「ブラックホールがある」、と考えられたのはいつ頃からですか？また、なぜそう考えられるのですか？
回答	1990年代です。エクス線衛星観測によって、太陽の6倍程度であるが大きさがわずか300kmほどしかないと考えられる天体が見つかりました。それほど高密度な天体はブラックホールと考えられます。

質問	ブラックホールの内外のエネルギーのやり取りやその詳しい仕組みを解明できたとして、それは具体的にどんなことに役立ちますか？
回答	「役立つ」とは非常に多くの意味を持ちえます。たとえば天動説と地動説が違う意味で「役立つ」ていることを考えてみてください。太陽が規則正しく回る天動説は日常生活に役立ち、地動説は地球を宇宙の中で相対的に考えることに役立ちます。1999年のブダペスト宣言「科学は知識のため、平和のため、開発のため、社会のためにあるべき」に基づけば、今回の成果は知識に役立つのだと思います。

質問	2020のノーベル物理学賞はブラックホールについての研究内容ですが、これがどのようにすごくて、このことで何か新しい事実がわかったりしますか
回答	内容の一つは、観測的に、我々の棲む銀河の中心に巨大なブラックホールが存在すると示したことです。現代天文学の理解では、宇宙のどの銀河にも、中心に巨大ブラックホールが存在します。ブラックホールが銀河の成長を制御してきた可能性があります。我々の地球の存在もブラックホールと関係しているかもしれません。

質問	イベントホライズン望遠鏡でブラックホールの質量を求めたとありましたが、それはどのようにして求められたのですか。
回答	ブラックホールの周囲のガスが光り、それがブラックホールの重力で曲げられることで、リング状に見えます。そのリングの大きさはブラックホールが重いほど大きくなります。リングの大きさを測定することで質量を求めました。

質問	ブラックホールの中心には何があると思いますか？
回答	ブラックホールの中心に何があるかは現代物理学の大いなる謎です。その解明には、一般相対性理論と量子論の融合が必要ですが、まだ成功していません。

質問	當真賢二先生へ: 宇宙の謎について詳しく講義していただきありがとうございました。ブラックホールはどのようにしてその絶大な重力を生み出しているのでしょうか? また、消滅までのどのくらい時間がかかるのでしょうか? ご回答のほどよろしくお願いたします。
回答	重力は物体に近づけば近づくほど強くなります。地球は質量が大きいですが、サイズも大きいです。よって私たちと地球の中心との距離は大きく、重力はそこまで強くなりません。しかし仮に地球の質量を保ったまま、そのサイズを小さくして、中心に近づいていくと、重力はどんどん強くなります。極限的に強くなった結果がブラックホールです。ブラックホールはホーキング放射というもので小さくなりえますが、銀河中心にあるような巨大ブラックホールの場合、消滅までの時間は宇宙年齢より長いです。

質問	私は文系の学生ではありますが、文系にもわかるよう説明して下さったので多少は理解できたように感じます。そこで質問ですが、ブラックホールの観測時にリングの部分だけが目立って見えるのはなぜなのでしょう。内部が真っ暗なわけではないとおっしゃっていましたが、外周だけ際立つのが疑問に思った次第です。
回答	ブラックホールの周囲のガスがだいたい一様に光ります。その光はブラックホールにあまり近づかなければ少し重力で曲げられて遠くに逃げられます。ブラックホールにあまりにも近づくと周回しながら吸い込まれます。それらの軌道の中に、周回するけれど辛うじて逃げられる軌道があります。その軌道には様々な方向から光が集まり、際立って明るくなることとなります。

質問	ダークエネルギーやダークマターはどれくらいの量があると推定されているのか気になりました。
回答	宇宙の物質のうち、我々の知っている光る物質は全体の約5%に過ぎず、ダークマターはその約6倍、ダークエネルギーは約14倍と推定されています。

質問	一番目の内容で、宇宙が拡張していると判断に至った証拠があれば紹介していただきたいと思いました。宇宙という広大で1世代では変化に気づけないような対象においてどのような研究によって拡張しているとなったのかが気になります。
回答	光のドップラー効果がその証拠です。音のドップラー効果は救急車が遠ざかると音が変わることです。銀河の光の測定から、どの銀河も遠ざかっていることがわかっています。それは宇宙が膨張しているとすると自然に説明できます。

質問	ブラックホールの質量は太陽の65億倍であると表記されていましたが、その質量はどのような方法で推測しているのでしょうか。
回答	ブラックホールの周囲のガスが光り、それがブラックホールの重力で曲げられることで、リング状に見えます。そのリングの大きさはブラックホールが重いほど大きくなります。リングの大きさを測定することで質量を求めました。

質問	今回の講義を聞いて、専門的なブラックホールの話のみならず、学問そのものに対する姿勢も学ばせてもらいました。講義中でブラックホールの回転についての議論をしたという話がありましたが、どのような根拠からブラックホールが回転していると結論づけたのかが気になりました。
回答	観測されたリング状の放射は明るさが非対称でした。それはブラックホールの回転に起因すると考えられます。ブラックホールが回転していると周囲のガスも同じように回転させられており、近づいてくる方向が明るく見えます。

質問	イベントホライズン望遠鏡の観測で用いた電波の望遠鏡は約 5000 万光年離れたブラックホールを見たということですが、その望遠鏡で観測できる最大の距離はどのくらいなのですか？
回答	ブラックホールの周囲のガスによるリング状の放射を観測するには、ある程度大きく、明るくなければなりません。現在のイベントホライズン望遠鏡では、今回の M87 銀河(約 5500 万光年)と我々の銀河中心のみが観測できます。望遠鏡の数を増やしたり感度を上げれば、より多くの銀河中心を見ることが可能となります。

質問	ブラックホールは宇宙の中で、どれくらいの体積を占めていますか？
回答	宇宙にあるどの銀河にも中心に巨大ブラックホールがあると考えられています。一つの銀河の大きさが 10 の 21 乗 cm、ブラックホールの大きさが 10 の 15 乗 cm 程度というようなスケール感です。

質問	留学や海外での研究に踏み出すきっかけと、やると決意した決め手を教えてください。
回答	中学生のときに宇宙物理学を志し、科学では海外に一流の研究者が沢山いることや海外の文化が日本とかなり異なることを知り、そのときから国費で海外に行くぞと決めていました。博士号を取るまでは、英語や研究の実力をつけてから海外に行こうとなんとなく思っていたが、博士号を取った後の職が日本で見つからず、未熟のまま海外に行くことになりました。後で考えると早めに行ってよかったと思います。

質問	・ヘリウムや重水素などの原子核が出現してから、どのように星が形成されるのですか？ ・岩手県奥州市水沢出身です。水沢観測所に遊びに行ったことが何度かありました。水沢観測所では、どのような研究を行ったのですか？
回答	宇宙初期にわずかにあった密度の非一様性が重力で際立ち、至る所でガスの塊ができていきます。重力でガスが潰れていくとガスが高温になり、その圧力で重力を支えらえるようになります。それが星です。水沢では、ブラックホールが駆動するプラズマジェット噴出のメカニズムを研究しています。

質問	ブラックホールは光すら放出することができないにも関わらず、なぜガスを放出することはできるのでしょうか。
回答	厳密に言えば、ブラックホールからガスは放出されません。ブラックホールに落ち込む前に、ガスは高いエネルギーを獲得し(物は落下すると速くなる)、重力を振り切って逃げるすることができます。

質問	ブラックホール以外にも観測が困難で、理論上は存在していても観測できていない天体や物質は他にもあるのですか？
回答	たくさんあります。クォーク星、宇宙ひも、ホワイトホール、ワームホール、宇宙最初の星、生命のいる惑星、などなど。

コメント	宇宙の可能性の大きさを非常に感じた。医療工学の道に進みたいと考えていたが、宇宙に興味を抱くようになった。様々なものをヒントに理論的に考えることは非常に面白いことだと感じた。様々なヒントから得たことを利用し工夫を凝らして、研究をされていると思うので、頭を柔らかくして独創的な考えをして、エンジニアとして最前線に行きたいとさらに感じた。
回答	現代の科学では、「独創的な考えをして」、そして他の研究者と協働することが大事です。分野は細分化されていて(それは自然なりゆきです)、研究者一人が全てを把握することは不可能となりました。他分野の研究者や学生と議論する、ということも忘れずにがんばってください。

質問	宇宙についてはほとんど分かっておらず、学んだことを使って解明していく面白さや興味深さがあると思います。ブラックホールに入っていったものはどこへ行ってしまうのか気になります。
回答	ブラックホールに入ると中心に向かって落下していくしかありません。中心がどうなっているかは現代物理学の大いなる謎です。

質問	研究内容についての話はとても興味深く、ブラックホールは巨大な質量を持ったものだという程度の認識を改めることができました。自分自身物理系の学生であり、ほぼ数学のような物理の授業につらさを感じることもあるのですが、面白い研究に取り組めるようになるために基礎的な学習を頑張ろうと思えました。 質問なのですが、技術の向上などによってより高精度な観測が可能になった場合、研究はどのように発展していくと思われますか？
回答	そうですね、線形代数や解析学など、この後どういう使い方をするのか知ると学ぶ意欲が増えると思います。カリキュラムに沿って与えられる勉強だけでなく、様々な種類の本を読んで積極的に視野や学ぶ意欲を広げることが大事です。天文学の歴史は、観測技術の向上で新しい天体现象が発見されることで発展してきました。さらに言えば、ニュートンの力学や解析学は天文観測がきっかけになっています。ブラックホールでいえば、電波観測の解像度が向上すれば、ブラックホールからエネルギーが引き抜かれてプラズマジェットを駆動する様子が観測できるかもしれません。その方向性で私は研究しています。

質問	アインシュタインが提唱した相対性理論によれば、光速より高い速度は存在し得ないはずですが、ブラックホールの莫大な重力は光をも脱出不能にします。その理由は「脱出速度が理論上光速を超えてしまうから」とのことですが、なぜこのような現象が起こり得るのでしょうか？
回答	重力は物体に近づけば近づくほど強くなります。地球は質量が大きいですが、サイズも大きいので、よって私たちと地球の中心との距離は大きく、重力はそこまで強くなりません。しかし仮に地球の質量を保ったまま、そのサイズを小さくして、中心に近づいていくと、重力はどんどん強くなります。極限的に強くなった結果がブラックホールです。たしかに、光速は物質の速度の最大値です。ブラックホール近くでは"時空が"（より正しくは慣性系が）光速より速く落下しています。時空は物質ではないので、矛盾はないのです。

コメント	講義名から興味を惹かれました。難しかったけど、理解できるまでにもっと詳しいことを知りたいなと思いました。
コメント	ブラックホールの写真については、見たことしかありませんでした。ですので、写真を撮影した方法や様々な国が協力し合った話などを聞いて面白かったです。
コメント	個人的に宇宙に強い興味があるので、講義をととても楽しませていただきました。物理学に限らず学問全般をすることの面白さが伝わってきて、とても刺激になりました。
コメント	実際に観測するために100年の歳月を要するようなものの存在を、理論的に示したアインシュタインは偉大だと思った。
コメント	ブラックホールが見れる仕組みが分かって良かった。