

質問と回答

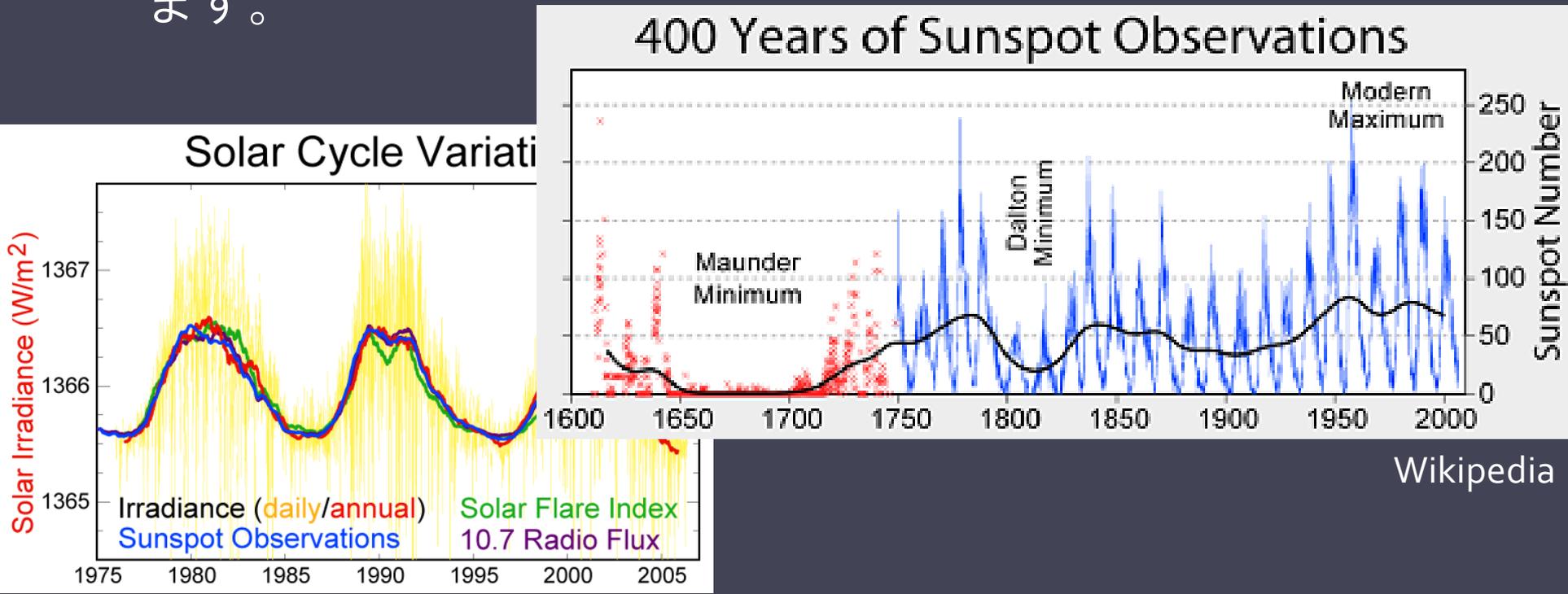
- 4/16
- プロジェクターの光をもう少し明るくしてほしい
- スライドをまとめた紙を配布してほしい
 - これは、大量の紙があるので、できません。
- 地球外生命との交信の可能性について意見を聞きたい
 - 授業で話します。
- 好きな星は何ですか？
 - 特にはないですが、土星を望遠鏡で見ると感動します。
- レポートの課題を授業の初めに言ってほしい
 - 確かにそうですね。ただ、そうすると授業を聞かずに調べちゃうかもなので、最後に出す方針です。
- スライドの公開がPDFだと動画が見られない
 - 動画は、容量や著作権の関係で、ネットに上げるのが難しいのです。

- 4/23
- 太陽の近くに惑星が多いのはなぜですか
 - これは、発見されている系外惑星が、その惑星系の太陽（中心星）に近いのが多いという意味でしょうか？ 理由は2つあって、一つは中心星に近い惑星のほうが発見しやすいということです。もう一つは、実際に中心星に近い惑星のほうが形成されやすいということです。中心星に近い惑星のほうが形成に必要な時間が少なくて済み、できやすいといわれています。しかし、観測で発見しやすいということもあって、どれくらいできやすいのか？ ということははっきりとはわかっていません。
- 人類は種として100万年存続できると思いますか？
 - もはや想像するしかないですが、どうなのでしょう？ SFのほうに、深く考えた人の考え方がいろいろ見つかるかと思います。

- レポートを書く時間が短いです
 - これは、講義の時間配分上15分程度とさせていただきます。
- 動画にはリンクを張ってください
 - アドレスはできるだけ調べて、載せるようにします。
- ドレイクの式の $N=L(\text{年})$ がわかりません
 - ちょっとわかりにくかったですが、文明の寿命を年の単位で書くと、たまたま交信可能な文明の数が、文明の寿命の数字と一致するということです。
- 太陽の組成が0.01%の桁まででわかるのはなぜですか？
 - わかっているのは、太陽表面の組成です。これは、太陽表面からの光を、分光観測によって詳しく調べることによってわかります。分光観測については、恒星のところで、詳しく説明します。

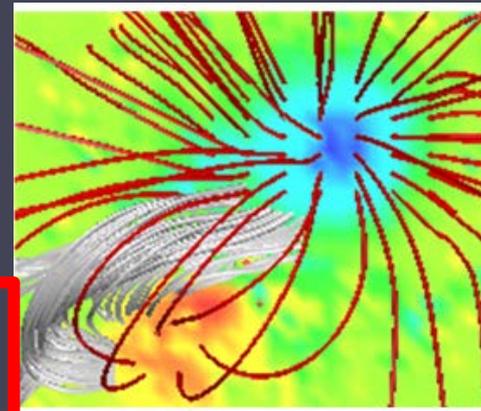
- 5/7
- 太陽中心核が1600万度でも低温というのは、水素原子が反応するためには足りない、または温度が低いということですか
 - 1つの水素原子核が反応するのに10億年以上待たなければいけないほど、核融合が起こるには温度が低いということです。
- 太陽中心核の水素がすべて燃えるのに100億年かかると思ったが、中心核より外側の場所の水素が中心核へ来ることはないのか？（水素は太陽内で混ざって均等にはならないの？）
 - 中心核の外に、放射層という静かな領域があって、そこではガスはほとんど混ざりません。
- 黒点についてもっと詳しく説明してほしい
 - すいません。時間が足りないので、簡単な説明とになってしまいました。

- 5/14
- 褐色矮星と恒星はどちらの数が多いですか？
 - 太陽近傍では、恒星のほうが6倍多いといわれています。ただし、銀河全体でどちらが多いのかは、まだ分からないと思います。
- 太陽の黒点が減少傾向にあるが、これは何を示しているのか？
 - 太陽の磁氣的活動が静かになっているということを意味します。



- 黒点は周りより温度が低いのに、スライドのサーモグラフィーのような図を見ると、片方は赤くて温度が高く見えるのはなぜですか？

- 色は磁界の強さを表しています。赤はプラス、青はマイナスだと思います。

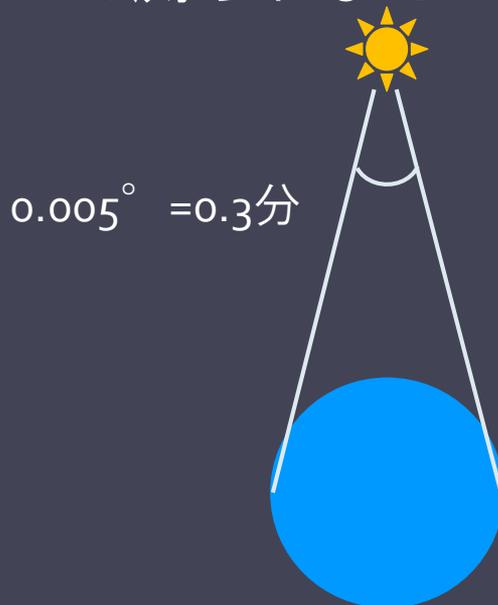


磁場がマイナスで強い

磁場がプラスで強い

- 遠い距離にある星は三角測量では測ることはできないのですか。
 - GAIAという2013年打ち上げの衛星なら約1万4千光年まで測ることができます。
 - それより遠くの星は、もう測ることはできません。さまざまな方法を使って距離を推定します。（いくつかは授業で説明します）

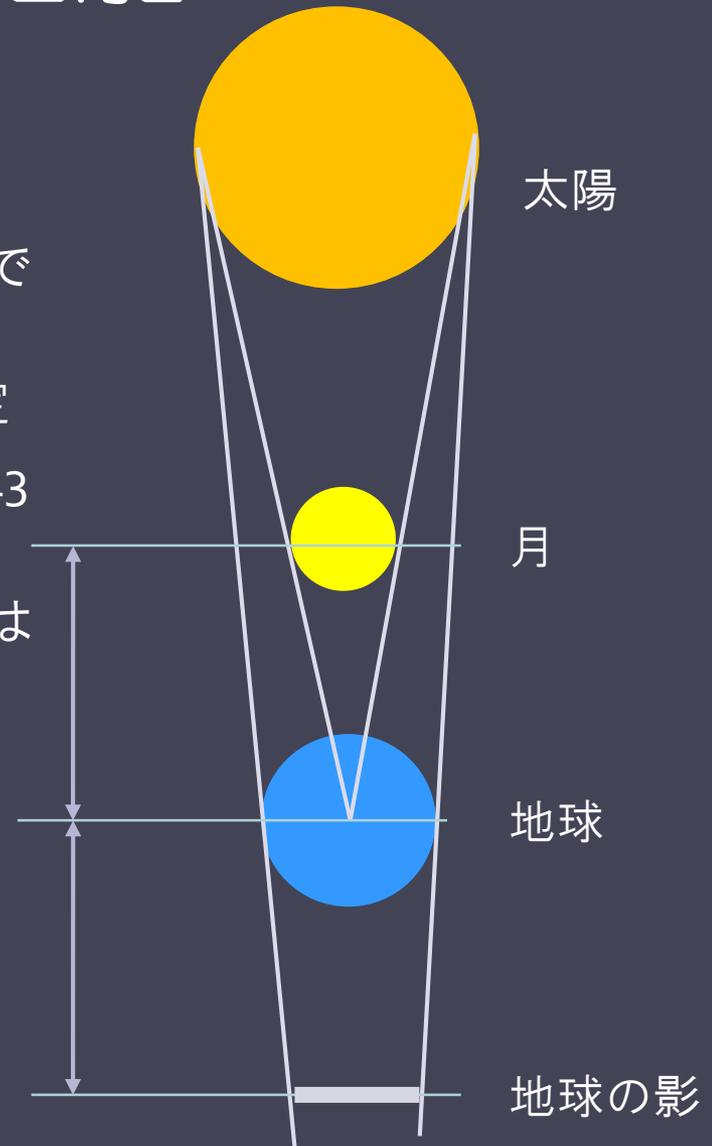
- 三角測量の角度の出し方がよくわかりません。
 - 説明不足だったようなので、再度説明します
- 太陽の距離はどうやって求められたのですか？
 - 三角測量で求められそうですが、太陽は遠すぎて肉眼では測れません
 - 18–19世紀には、金星が太陽の前を通り過ぎる現象「金星の日面通過」を使って測ることが試みられました。しかし、うまくいかなかったようです。
 - ちなみに、月までの距離は、紀元前2世紀にヒッパルコスによって測られました。



金星の日面通過

月、太陽の距離

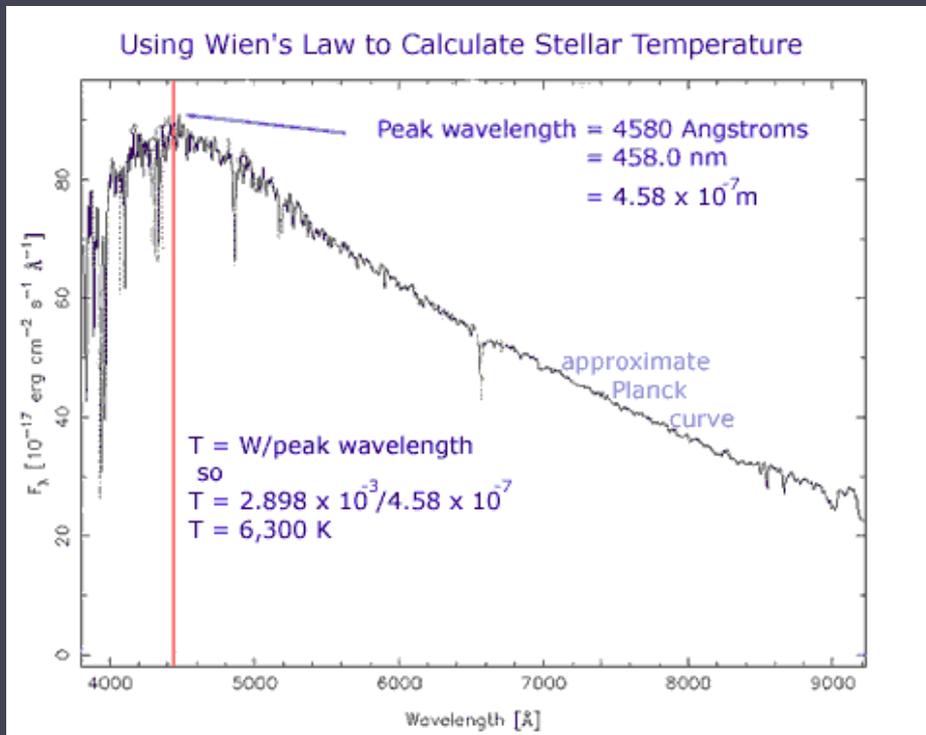
- 月食を用いた、月の距離の測定
- ヒッパルコス(B.C. 190-120頃)
 - 月と太陽の見かけの大きさがほぼ同じであることを利用
 - 太陽までの距離を、490地球半径と仮定
 - 月までの距離は、67地球半径となる。43万km。実際は、38万km
 - 太陽の距離が無限大でも、月との距離は59地球半径となる。



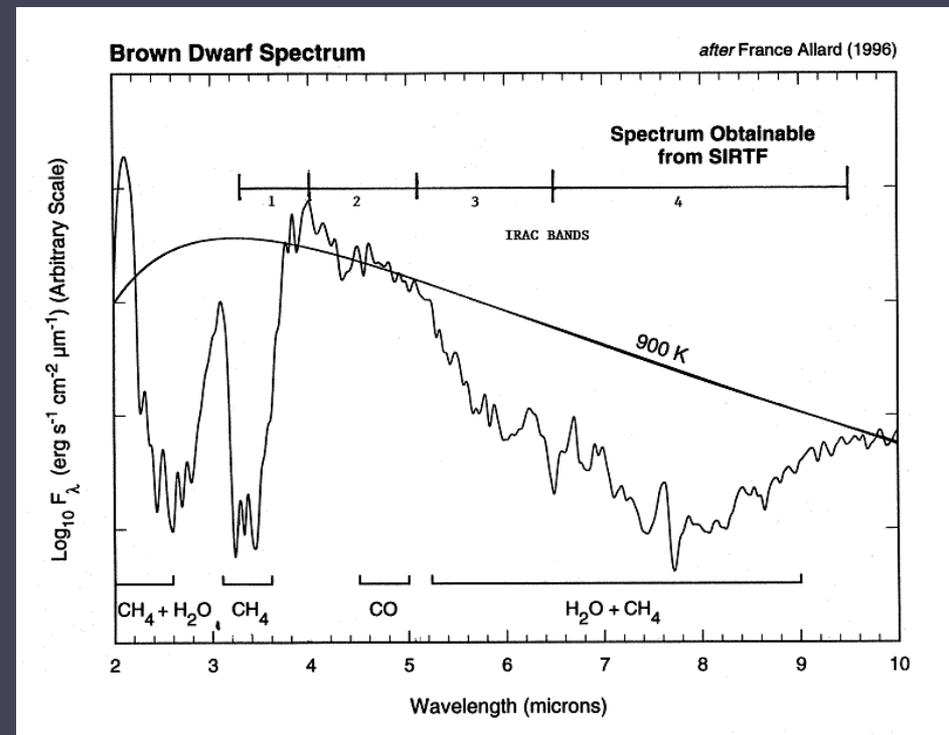
- ヒッパルコスが月までの距離を測定する方法で、太陽の距離が地球半径の490倍というのは、どこから出てきたのですか？

– ヒッパルコスは、地球上の2点から太陽の方向を観測して、三角測量で距離を決めようとしたが、視差を測ることができずに、決められませんでした。そこで、少なくとも490倍以上離れている、と結論したのです。490倍とは、太陽の距離の下限として、という意味です。その時、月食の観測から、月の距離は67地球半径となります。また、太陽が無遠慮にあると仮定すると、月までの距離は59地球半径となります。このことから、月までの距離は59～67地球半径と結論しました。

- 分光観測するには、光源の色は白色でないといけないのでしょうか？ もともとの色がわからないと、分光してもわからない気がします。
 - 普通の恒星の場合は、細かいギザギザを除けば、割ときれいなスペクトルをしているので、分光すると色も同時に分かります。普通でない天体（褐色矮星など）では、大きな凸凹があるので、色も、この色と決めるのは難しいです。



恒星 (6300K)のスペクトル



褐色矮星 (900K?)のスペクトル

- シリウスなど近い星と遠い星では、春と秋で見える位置が違って、星座の見え方は異なるのですか？
 - 最も近い α ケンタウリでも視差は1秒=1度/3600より小さいので、春と秋では星座の形はほとんど全く変わりません。
- HR図を描くとき、温度の軸は、左に行くほど高くなるようにするのはどうしてですか。
 - どうしてでしょう？ この図を初めて描いたRussellがすでにこのように描いたようです。
- 太陽は赤色巨星、または赤色超巨星のどちらになるかはわからないのですか。
 - 太陽は、赤色巨星にはなりませんが、赤色超巨星にはなりません。
- 恒星の一生の後半部分が難しくわかりにくかった。
 - すいません。あまり詳しく説明できなかったのですが、次頁で少しだけ補足します。

● ヘリウムが燃焼すると、星が暗くなるのがなぜかわからなかった。

- ここの事情は複雑です。難しいのですが、簡単に記します。
- 中心でヘリウムが燃焼する前は、中心核が徐々に重力収縮していきます。そのすぐ外にある、水素燃焼核も（少しだけ）中心に向かって落ちていき、重力エネルギーが解放され温度が上がります。すると水素燃焼核の核反応率が急上昇して、明るくなります。これが赤色巨星です。

- ヘリウムの燃焼が始まると、中心核は少し膨張します。水素燃焼核も外側に（少しだけ）移動します。重力に逆らって仕事をするため、水素燃焼核の温度が下がり、核反応率も減少します。星全体としては、ヘリウムの燃焼が始まったにもかかわらず、水素の反応率が落ちるため、暗くなってしまいます。



赤色巨星段階の内部の様子

- 炭素と酸素が生成される仕組みが良くわからなかった。
 - ヘリウムの原子核が2つくっつくくとベリリウムになるのですが、質量数8のベリリウム原子核は不安定なので、すぐにもとのヘリウム2つに分かれてしまいます。極々まれにベリリウムが壊れる前に3つ目のヘリウムがくっつくくと、安定な炭素原子核ができます。その炭素にヘリウム原子核がさらについて、酸素ができます。
- 炭素や酸素は、核反応で別の元素に変わるのですか。
 - 太陽では、炭素や酸素の原子核反応を起こせるほど、中心核の温度は上がりません。もっと重い星になると、炭素や酸素は燃えて、ネオンやマグネシウム、ケイ素といった重い原子核が作られます。
- ブラックホールの話が聞きたい
 - このあと少しだけします。

要望など (5/28)

講義のやり方など

- 動画があるとよい
 - できるだけ取り入れるようにします。
- スライドが暗い。画面が見にくい。
 - カーテンを閉めるようにします。
- 軽い実験があるとよい。
 - 良い実験があれば、探したいと思います。
- 授業の切れ目とスライドの切れ目が違うのを改善してほしい。
 - すいません。少し複雑な内容になると、1つのスライドの説明に時間がかかってしまうので、進行のコントロールが難しく、最後まで進められなくなっています。

レポートについて

- レポートを書く時間を20分にしてほしい。時間がなくてまとまったことが書けない。
 - 説明が不十分になってしまうと思いますが、書ける範囲で書いてください。時間がない点については、採点のとき気をつけます。
- 内容が難しくなると、レポートを書くまでに理解する時間がない。
 - これも、上のように書ける範囲でお願いします。
- ちょっとした計算問題があったらよい。
 - 検討します。
- レポートの内容が、最後に話した内容になることが多いので、遅刻してもいいことになっている。
 - そうですね。初めのほうに話した内容も出題するようにします。
- レポート返却の2つの封筒が違う方向から回されると、どちらの方向に回したらよいか混乱する。
 - 回し方を一方向にします。

講義内容について

- 専門的なことになると、なぜそうなるかが分からない。
 - なるべくわかりやすく話そうと思いますが、不十分な点については参考文献を挙げるなどしていきます。
- ブラックホールや中性子星の話の詳細を話してほしい。
- 宇宙の構造や空間などの物理学的視点から学ぶ分野を解説してほしい。
- 宇宙のこれからについて話してほしい。
- 衛星の減速問題の話が聞きたい。
- 星座の話が聞きたい
 - 講義テーマについては、宇宙にある星やガス（星団、星雲、銀河、銀河団など）がメインになります。
 - 宇宙論などの、より物理物理した話は、簡単に紹介するくらいを予定していますが、興味を持つ人も多いということはわかりました。今後の参考にさせていただきます。

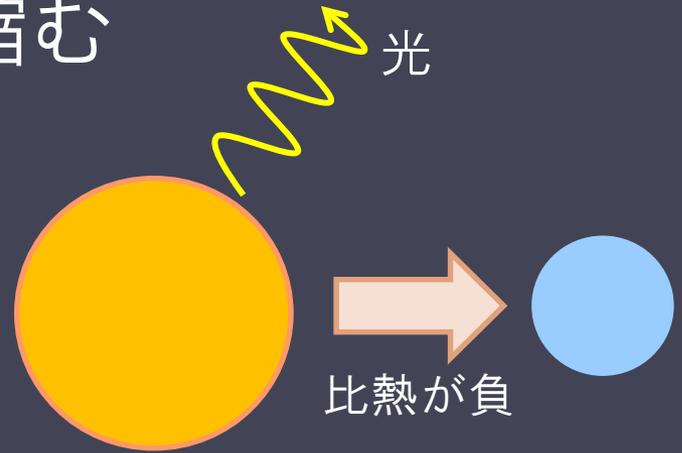
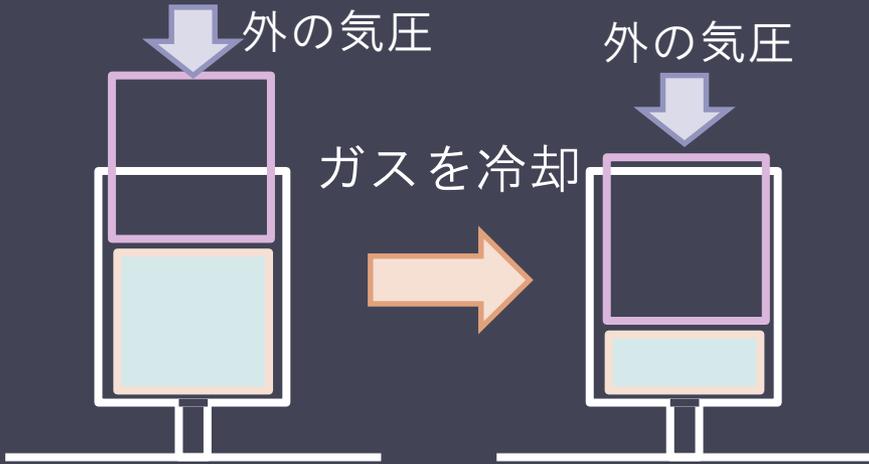
- 太陽の最期で、C,Oの中心核はなぜFeのように収縮しないのですか？

- 太陽の場合、炭素、酸素の中心核は「縮退」という状態になります。「縮退」とは、量子力学で出てくる概念なのですが、非常に大雑把にいうと、固体のような性質を持つということです。太陽中心核は「ガス」なのですが、「固体」のように固くなってしまいます。そのため収縮は止まります。

- 重い星では、鉄の中心核が「縮退」する場合としない場合があります。縮退しないと、ガスの性質を持っているので、収縮します。中心核が仮に縮退したとしても、新たに作られた鉄が上から降り積もってきて、その重みで収縮してしまいます。

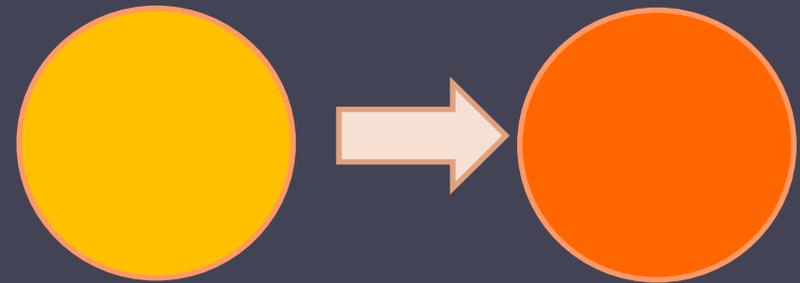
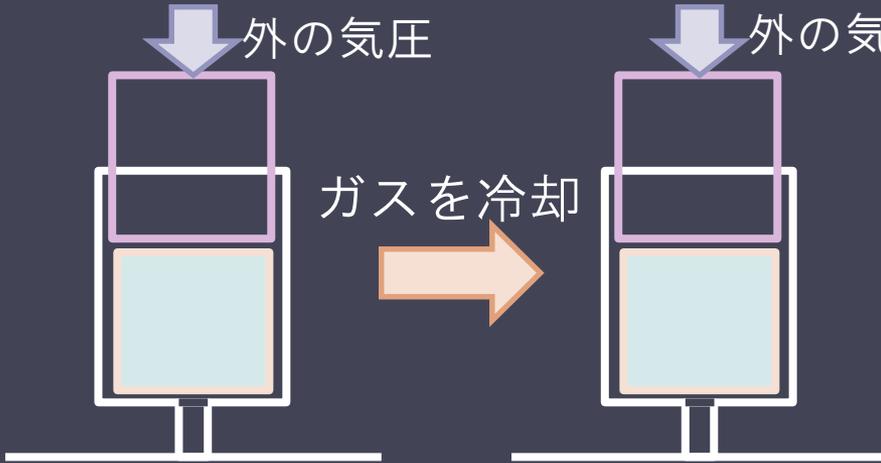
電子の縮退

- 普通のガスは冷却すると縮む



星は、冷えて縮む → 温度が上がる

- 縮退した電子ガスは冷却しても縮まない

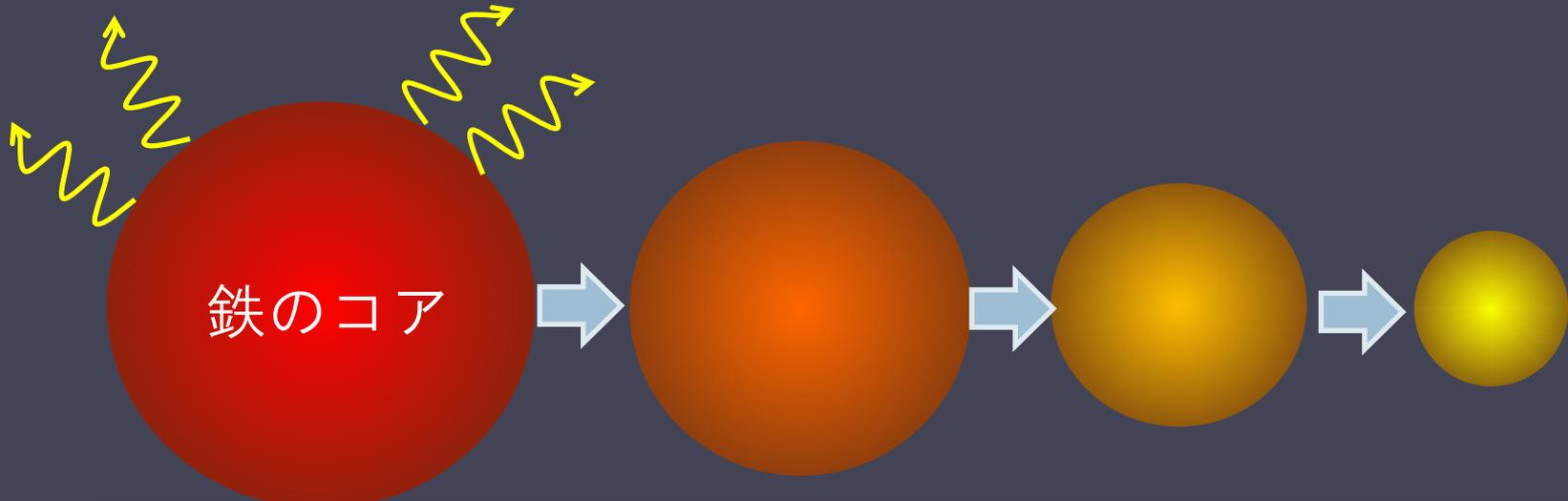


白色矮星は
冷えても縮まない → 温度が下がる

- カミオカンデで、陽電子の発する光を検出した時に、陽子の崩壊ではなくニュートリノが関与しているとどうしてわかったのか？
 - 超新星が爆発していないときも、ずっと観測していて、陽子崩壊の光は検出できていませんでした。そこで突然光を検出したのは、超新星起源のニュートリノだとわかりました。
- 鉄のコアの重力崩壊の部分で、冷えながら温度が上がるというのが、わからなかった。
 - 「冷える」という言葉が悪かったですね。鉄は、周りの光を吸い込んで、そのエネルギーをニュートリノとして宇宙に放出し、周りの温度を下げようとします。すると、コアが収縮して重力エネルギーが解放されるため、かえって温度が上がってしまう、ということです。ニュートリノが宇宙に放出されてエネルギーを失うのに（冷える）、温度は上がります。これを「非熱が負」といいます。

ニュートリノ放射によって、エネルギーが抜ける

冷えながら縮む→温度上昇



ニュートリノ放射でエネルギーを失うと、温度が上がる

- ニュートリノを放射して冷える
- 圧力が低くなり、重力で縮む
- 縮むと、重力エネルギーが解放され熱くなる

これを、比熱が負という

- ゴムシートの動画で、太陽の代わりにいびつだったのは何故ですか？
 - 確かにいびつでしたね。特に意味はないと思います。作者の趣味でしょう。
- 中性子星の質量は正確には測れないのですか？
 - 単独の中性子星の重さを測るのは、難しいです。銀河系には中性子星同士が連星となっている天体（PSR B1913+16）があります。この中性子星からのパルス周期の変動を調べることで質量を正確に求めることができ、1.441太陽質量と1.378太陽質量の連星系と見積もられています。また、この連星系は重力波を放出してエネルギーを失い、間隔が縮まっていることも発見され、1993年のノーベル物理学賞になっています。

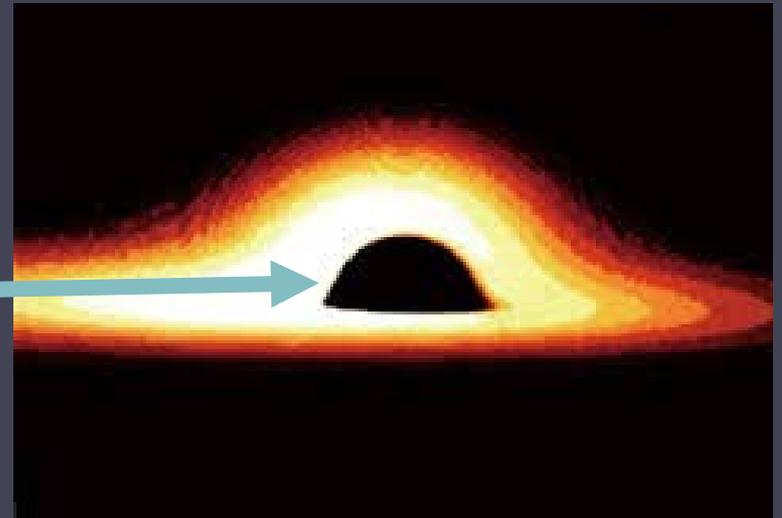
- たとえ、ブラックホールにちぎれた空間がなかったとしても、建物を立てたら強すぎる重力でつぶされますよね。
 - ちょっと違っていて、ブラックホールではすべての物質が中心に向かってしか運動できないのです。建物を建てるには物を持ち上げないといけないのですが、それが不可能なのです。
- ブラックホールで光が脱出できないということは、光が質量を持っているということなのですか？
 - 光は、曲がった空間の中を「まっすぐ進むつもりになっている」と考えてください。ブラックホールでは、質量があろうがなかろうが、まっすぐ進む「つもり」だと中心に落ちてしまうのです。

- ブラックホールに自分が飲みこまれたら潰れてしまうのは確実なのではないでしょうか？ 異世界につながっているという可能性はないのですか？
 - 異世界や、ワームホールというものを通して宇宙の違う場所につながっていると言う物理学者もいます。あくまで理論の仮説ということですので、私個人としては、あまり本気に考えてはいません（専門外というのもあります）。
- 脱出速度を使って $\sqrt{2GM/R} > c$ として、 $M > c^2 R / (2G)$ で M の最低値を求められない理由は何ですか？
 - ブラックホールの半径 R （の最低値）を何らかの方法で見積もれば、おっしゃる通り M の最低値がわかります。多くのブラックホール候補天体の質量はこのようにして見積もられています。

- ブラックホールの穴は目で見えますか？
 - 後ろに隠されるものがあれば、見ることはできます。大阪教育大学の福江教授によると、図のように、光る円盤を背景にシルエットとして見えます。

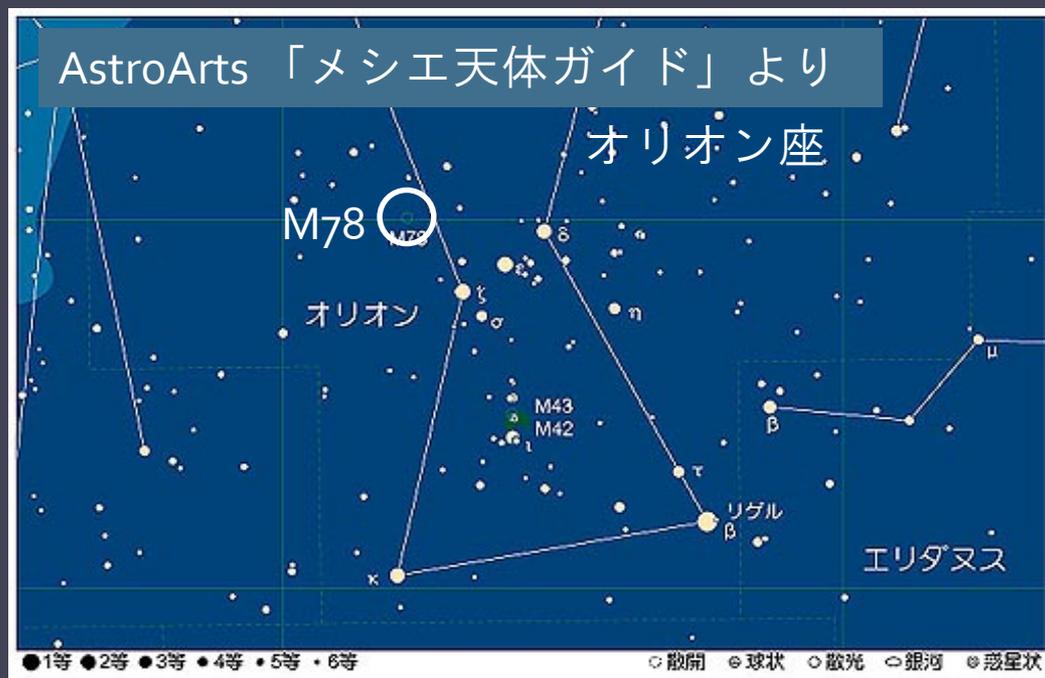


降着円盤を背景とするブラックホール
大阪教育大学・福江研究室のHPより



降着円盤の中のブラックホール

- M78星雲って現実に存在するんですか？
 - M78はメシエカタログに載っている、オリオン座の散光星雲（距離1630光年）です。若い人も、そんなことを聞くんですね。



- 渦巻銀河と渦巻ではない銀河の数の比率はどのくらいですか？
 - おとめ座銀河団では（銀河系の近くにあるため、暗いものまで数を数えやすい）、大ざっぱに言って、楕円銀河は渦巻銀河の1/10くらい、不規則銀河は渦巻銀河の10倍程度多いようです。
- 前だけではなく、後ろの電気も消して問題ない気がする。
 - そう思う人が多ければ消します。
- 動画を見る時に、同じところを何回も見るのは冗長と感じた
 - あまり、時間の無駄にならないようにしたいと思います。

- ブラックホールでは組上げができないから建物ができないのであれば、上から積み上げれば建築できるのではないのでしょうか？

- 確かにそうですね。説明が足りませんでした。図では、ブラックホールに地面があるように書いてありますが、本当は地面自体が中心に向かって落ち込んでいきます。したがって、地面自体がなくて建物は建造できません。中心に到達した地面や建物がどうなるのかは、現在の物理学ではわかりません。

- 銀河中心のブラックホールによって銀河そのものがなくなることはあるのでしょうか？

- 現在も銀河中心ブラックホールは周りの星やガスを吸って成長を続けています。しかし、ブラックホールに吸い込まれる星は銀河のごく一部にとどまり、多くの星は吸い込まれることはありません。

脱出できる？



ブラックホールの地面(?)も中心に落ちていきます。

- 星とガスの物質循環の材料がなくなってしまうと、宇宙はどうなってしまうのですか？
 - － 白色矮星、中性子星、ブラックホール、また核融合を起こさない小さな星である褐色矮星のみが残されることになります。その後どうなるかは、よくわかりません。もし宇宙の膨張が速い場合はガスも残りませんが、もう集まって星を作ることはできなくなるほど薄く広がるでしょう。少し古いですが、一つの考え方がWikipediaの「宇宙のエンドゲーム」という項目にあります。
- 昨日は6月24日、ケネスアーノルド事件から68年。UFOの日でしたね。
 - － ところで講義でもお話ししたかもしれませんが、私は地球外知的生命体というものは存在しないと仮定しています。特に科学的根拠はありません。私は「知的」という概念が、人間以外には通用しないという可能性を考えています。未知の知的生命体も、人間の期待するような、あるいは理解できるような行動をとるという前提が、多くの議論の背後にあるように思われます。個人的な意見ですが、その前提はあまりにも楽観的過ぎると考えています。
- ロールシャツハテストって聞いたことがないんですけど。
 - － 昔、流行ったんです。今はもうすたれたのでしょうか。