

過去問の出題を分析して、出題率が高い順に論述説明問題の解答例やヒントを作りました。

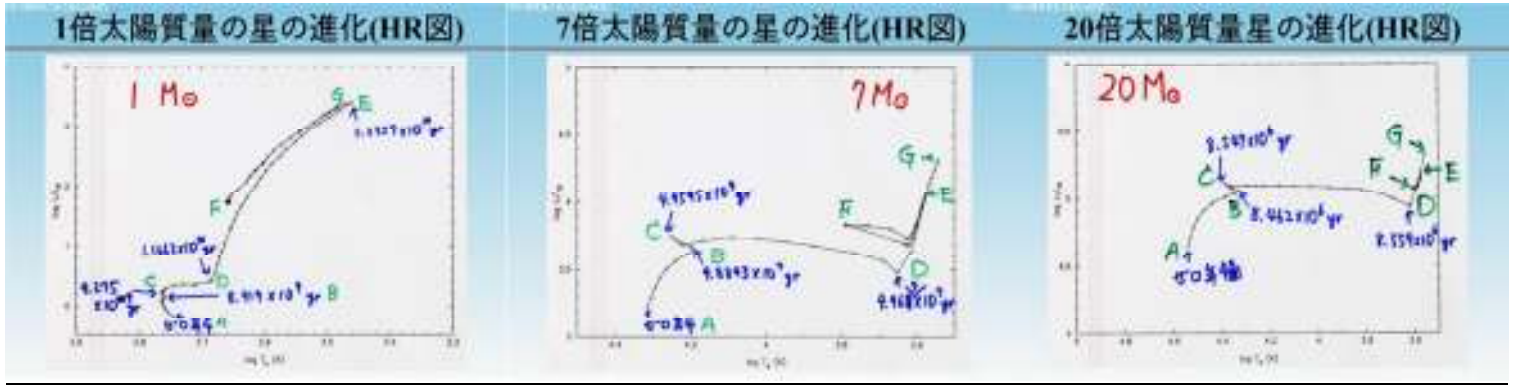
主に使用した資料は講義ノートと授業ノートですが、個人的に説明の補強がほしいと思ったところは宇宙関係の百科事典を参考にしたところもあります。

項目ごとに過去18回中での出題回数や出題年度、講義ノートの参照ページも書いてあるので、不明な部分があったときや、高木の書いた解答例なんか信用ならねえよと思われた方はそちらも見てみてください。

項目分けはてきとなので項目間で内容がやや重複しているところもあります。

カンニング等の不正利用は勘弁してね(-o-) つかれた一誤字脱字は許してください。

	11	10	09	08w	08s	07	06w	06s	05w	05s	04w	04s	02	01w	01s	00	98	97
恒星の進化	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
B-V と温度	●	●	●	●														●
BH の蒸発	●	●		●	●			●	●				●	●				●
3K 輻射とビッグバン	●	●				●		●	●		●	●	●	●		●		
大気の窓	●		●	●				●		●								●
月の起源	●		●	●	●		●		●					●				
AU,pc,年周視差	●			●	●			●	●					●				●
セファイド	●			●		●	●		●	●				●	●			
ハッブル膨張則	●			●														●
超新星の意義		●	●	●	●	●		●	●				●	●		●	●	
核融合安定性		●	●				●			●					●	●		●
チャンドラセカール限界質量		●						●	●	●			●					
宇宙の系エネルギーと膨張		●						●	●			●	●					
宇宙はしご		●						●				●				●	●	
ドレイク方程式			●			●	●			●	●			●	●			
潮汐力			●				●			●			●		●	●	●	
レーダーエコー				●	●		●		●		●			●				
ステファンボルツマン式					●	●												●
宇宙の晴れあがり					●								●					
縮退圧					●													●
重元素の起源						●	●								●			●
パルサー						●						●						
地球外生命体との交信						●												
シュバルツシルト半径							●											
pp チェイン CNO サイクル								●				●						
ヘルツシュプリングギャップ									●	●		●						
星の等級									●									
宇宙の階層構造															●			
線スペクトル																●		
重力レンズ																●		
輻射平衡と対流平衡																	●	



1 倍太陽質量

- A: ゼロ年齢主系列。中心ではppチェーンによる反応。
- B: 中心の水素が燃え尽き主系列を離れる。水素燃焼は外層に移行する。
- C: 0.1M 程度のヘリウム核形成。ヘリウム核は密度が高く、縮退する。
- D: 水素外層が対流層になり林トラックにのる。
- E: ヘリウム核が成長し、トリプルアルファ反応がおこる。反応は激しくヘリウムフラッシュとよばれる。
- F: ヘリウム燃焼が安定化し、水平分岐にのる。
- G: 炭素・酸素コアが形成されヘリウム殻燃焼に移行する。それと同時に水素外層が再び対流層となり林トラックにのる。その後半径が増大し、恒星風が吹き始める。最終的には炭素・酸素コア、すなわち白色矮星がのこる。

7倍太陽質量

- A: ゼロ年齢主系列。中心ではCNOサイクルによる反応。
- B: 星中心の対流殻全体で水素を燃やし尽くし主系列を離れる。ヘリウム核が重力エネルギーを解放しはじめる。
- C: ヘリウム核のまわりの水素殻に火が付き水素殻燃焼に移行。水素外層が膨らむ。
- D: 水素外層が対流殻となり林トラックにのる。外層膨張は落ち着くが、星は明るくなる。
- E: ヘリウム核は縮退していない。ヘリウム殻がある程度成長すると中心でトリプルアルファ反応がおこる。
- F: ヘリウム燃焼が安定化し、水平分岐にのる。中心部は対流層になっている。
- G: 中心のヘリウムがなくなるとヘリウム殻燃焼に移行する。それと同時に水素外層が再び対流殻となり林トラックにのる。その後半径が増大し、恒星風が吹き始める。最終的には炭素・酸素コア、すなわち白色矮星がのこる。

20 倍太陽質量

- A: ゼロ年齢主系列。中心ではCNOサイクルによる反応。
- B: 中心の対流殻全体で水素を燃やし尽くし主系列を離れる。ヘリウム核が重力エネルギーを解放しはじめる。
- C: ヘリウム核の温度上昇により、水素殻に火が付き、水素殻燃焼に移行する。水素外層が膨らむ。
- D: 水素外層が対流殻となり林トラックにのる。外層膨張は落ち着くが、星は明るくなる。
- E: ヘリウム核は縮退していない。ヘリウム殻がある程度成長すると中心でトリプルアルファ反応がおこる。
- F: ヘリウム燃焼が安定化し、水平分岐にのる。中心部は対流層になっている。
- G: 中心のヘリウムがなくなるとヘリウム殻燃焼に移行する。それと同時に水素外層が再び対流殻となり林トラックにのる。その後半径が増大し、恒星風が吹き始める。さらに炭素・酸素コアは収縮しながら温度を上げていく。核融合反応が進み、最終的に鉄のコアが形成されるが、それでも温度上昇は続き、中心温度が 100 億度程度になったとき γ 線吸収から生じる光分解をはじめ鉄のコアは爆縮し、ニュートリノ加熱により衝撃波を発生し超新星爆発をおこす。

超新星の意義 11/18 (→講義ノート p.54)

宇宙が生まれたときは水素とヘリウムといった軽い元素しか存在しなかったが、核融合反応により重元素が星内部に生成された。しかし、星内部で生成された重元素はとじ込められたままなので、宇宙空間にばらまかれるために超新星爆発が必要である。炭素よりも重い元素はほぼ超新星起源である。

3K輻射とビッグバン 10/18 (→講義ノート p.64)

1. ハッブル側 → 遠い銀河ほど速い速度で遠ざかっている → 宇宙は膨張している
2. 3K宇宙背景放射 ウィーンの変移則から $\lambda \cdot T = \text{一定}$ の関係があるので、初め宇宙が 3000K の黒体輻射で満たされていたが現在の宇宙を満たしている黒体輻射は3Kなので、 λ は 1000 倍になっている。すなわち、宇宙は 1000 倍に膨張していると考えられる。
3. ヘリウムは、宇宙に重量比として 25% 存在している。星の中心での核融合で合成される量よりもはるかに多く、宇宙が生まれたときに水素と同時に作られたとしないとつじつまがあわない。

ブラックホールの蒸発 9/18 (→講義ノート p.59-60)

量子力学のハイゼンベルクの不確定性理論から、非常に短い時間 Δt であれば、あるエネルギー $4E$ を持った粒子、反粒子が対生成、対消滅することができる。

この現象はシュバルツシルト半径の近傍で確率的に起こるが、統計力学的な処理をすることで、ブラックホールでも他の星と同じく黒体輻射近似することができ、表面温度が定義できる。

この輻射(ホーキング輻射)によってエネルギーを失うと、エネルギーと質量は等価なのでブラックホールの質量は減少する。また、ブラックホールの温度は質量に反比例するので温度は上昇し、加速度的に質量エネルギーを失い、最終的にBHの質量が0となり消滅する。

セファイド 8/18 (→講義ノート p.14)

2 日から 200 日程度の周期で明るさが変化する変光星で、周期と平均絶対光度の両対数グラフを描くと直線的な関係があるので、周期を測ることでセファイドまでの距離が計算できるため、年周視差が測定できない遠方の銀河までの距離を周期を観測することによって計算することができる。

月の起源 7/18 (→講義ノートでは扱われていない。)

原始地球形成時に他の天体が衝突し、その天体の一部や、地球のマグマオーシャンが地球の周りに飛散したのから月が形成されたとするジャイアントインパクト説が最も有力であるとされている。

AU、pc、年周視差 7/18 (→講義ノート p.11-12)

AUとは天文単位で約 1.5×10^{11} m、地球-太陽間の距離である。

年周視差とは、地球の公転による視差のため、天体の天球上の位置が公転周期と同じ周期で変化して見える現象のことで、地球から見ると天体は楕円運動するように見える。この楕円の長半径をラジアン表記したときの大きさを θ 、地球の公転周期を a とすると、その星までの距離 d は、

$$d \doteq \frac{a}{\theta} \text{ となる。}$$

年周視差を p (秒角) で表すと、

$$d(m) = \frac{3.0857 \times 10^{16}}{p} \text{ となる。} \quad \text{天体の距離計算簡略化のため } 1\text{pc} = 3.0857 \times 10^{16} \text{ m と定義した。}$$

核融合安定性 7/18 (→講義ノート p.37-38)

水爆などにおける核融合反応は、反応によって発生した熱によって反応効率が上昇するという正のフィードバックが働く反応機構をもつ。それに対して星は自己重力系であり、星の内部では核融合によって熱が多く出て温度が上昇すると星全体が膨張し、断熱膨張の結果、逆に中心温度が下がる。つまり負のフィードバックが働き、見かけの比熱が負のようなふるまいをする。よって星中心の核反応率が上昇せずに安定な核反応をつづけることができる。

ドレイク方程式 7/18 (→講義ノート p.71-72)

天の川銀河に存在する文明の数を見積もる式は以下のようになる。

$$N = R_* \cdot f_p \cdot n_e \cdot f_i \cdot f_c \cdot L$$

R_* : 天の川銀河で1年のうちに生まれる恒星の数。平均として 10 とする。

f_p : その恒星が惑星系を持つ割合。恒星の寿命なども考慮して 0.1 とする。

n_e : ひとつの恒星あたり、生命発生可能な環境を持った惑星の数。太陽系には地球1つだけとして1とする。

f_i : 生命発生可能な環境を持つ惑星で生命が発生する確率。地球では生命が発生しているので1とする。

f_c : 発生した生命が知的生命に成長する確率。地球を例とすると1が妥当だが、安全性を見込み 0.1 とする。

L : 知的生命が技術文明を興すことのできる確率。これも f_i と同様安全性を見込んで 0.1 とする。

L : 文明社会の持続時間。

潮汐力 7/18 (→講義ノート p.59)

ここではブラックホールによる引力のことであり、質量 m の質点2つが長さのひもでつながれているモデルを考えると、ブラックホール中心からの距離 r では、

$$T = \frac{GMml}{r^3} \quad \text{となる。}(M \text{ はブラックホール質量})$$

大気の窓 6/18 (→講義ノート p.27)

地球大気により、ガンマ線、X線、赤外線などは吸収され地上まで届かない。

大気の窓とは大気の吸収を受けずに地上まで届く可視光、赤外線の一部、ミリ波よりも波長の長い電波などの波長帯のことを指す。吸収される波長帯の観察のためには大気圏外に出る必要があり、ハッブル宇宙望遠鏡などがその例である。

レーダーエコー実験 6/18 (→講義ノート p.11)

地球に最も近付いたときに金星に電波を発射し、反射してくるまでの時間を計ることで 2 惑星間の距離が求められ、ケプラー第3法則を用いて地球軌道の長半径を高い精度で求められる。軌道半径は年周視差から距離を計算するときの基礎となる。

B-Vと温度 5/18 (→講義ノート p.16)

天体の性質を明らかにするために、絶対等級を測定するときに青色 (blue light) と黄緑色 (visual light) に感度をもつフィルターを用いて測定する。二つのフィルターを通して測定した絶対等級、あるいは見かけの等級の差は距離に依存しないことが重要である。これらの等級差は星などの色を表すので色指数と呼ばれる。また、星から届く光の波長がわかるため、ウィーンの変位則から星の表面温度が求められる。

チャンドラセカール限界質量 5/18 (→講義ノート p.42)

中心密度の高い白色矮星は、量子力学的な圧力である縮退圧によって支えられている。縮退圧によって支えられている星は中心の密度が大きくなるにつれて質量は増えるが、半径は小さくなる。また電子の縮退圧で支えられる白色矮星の質量には上限があり、その限界質量をチャンドラセカール限界質量という。

宇宙の系エネルギーと膨張 5/18 (→講義ノート p.65)

宇宙を半径Rの密度一様の球と仮定する。重力のみを考えた場合、宇宙の運動方程式は、

$$\frac{d^2 R}{dt^2} = -\frac{GM}{R^2} \quad \text{となる。}$$

これを積分して整理すると、

$$E = \frac{1}{2} \left(\frac{dR}{dt} \right)^2 - \frac{GM}{R} \quad \text{となる。}$$

宇宙は $\begin{cases} E > 0 & \text{のとき 永久に膨張。} \\ E = 0 & \text{のとき 無限大で膨張はとまる。} \\ E < 0 & \text{のとき 途中で収縮を始める。} \end{cases}$

現在宇宙はE=0であると考えられている。

宇宙はしご 5/18 (→講義ノート p.10)

宇宙における距離測定の制度を高めるために幾つかの段階を踏む必要がある。

1. レーダーエコー実験により、地球軌道半径を決定する。
2. 年周視差により近傍のセファイド型変光星の距離を決定する。
3. セファイド型変光星の絶対光度の決定。
4. セファイド型変光星の周期・光度の両対数関係を導出。
5. 近傍銀河中のセファイド型変光星周期観測から絶対光度を決定。
6. セファイド型変光星の見かけの光度と絶対光度の比較から近傍銀河の距離決定。

こうして距離を決定する。

重元素の起源 4/18 (→講義ノート p.54)

宇宙にはじめ存在した元素は水素、ヘリウムであるが、星の内部の核融合反応で炭素程度の元素まで生成される。しかし、星内部に閉じ込められているため、超新星爆発によってはじめて宇宙空間に巻き散らかされた。

ハッブル膨張則 3/18 (→講義ノート p.8)

宇宙が膨張しているという事実の基となった。ハッブル膨張則は、遠くの銀河ほど早く運動するというもので、 $v = H_0 r$ という式で表される。

v は銀河の後退速度、 r は我々から銀河までの距離。 H_0 はハッブル定数で、ハッブル定数の逆数は宇宙年齢に等しい。

ステファン・ボルツマン式 3/18 (→講義ノート p.19)

星からの放射を黒体放射スペクトルで近似し、プランクの黒体放射式を全ての振動数と上半面の立体角 $d\Omega$ に対して積分すると、

$$f = \sigma T^4 \quad \text{の式を得る。}$$

ここで、 f はエネルギーフラックス、 σ はステファン・ボルツマン定数である。

星の半径を R とすると、単位時間あたりのエネルギー放出量 L は、

$$L = 4\pi R^2 \sigma T^4 \quad \text{となる。}$$

ここで L は星から放出されるエネルギー総量で光度ともいう。

ヘルツシュプルング・ギャップ 3/18 (→講義ノート p.46)

中質量星は主系列段階で、対流核全体で水素が同時になくなり、ヘリウム核が形成される。ヘリウム各は熱源をもたないため収縮を続け、重力エネルギーの解放によって水素核燃焼は盛んになるが、発生するエネルギーは水素外層膨張に使われるため表面温度も下がり、明るさも減少する。この領域にとどまる時間は主系列段階に留まる時間が赤色巨星分岐に留まる時間に比べて短く、ヘルツシュプルング・ギャップと呼ばれる。

宇宙の晴れ上がり 2/18 (→講義ノート p.66)

ビッグバンとともに始まった高温高密度の宇宙では、物質はプラズマ状態で存在していた。宇宙膨張で 3000Kほどまでに下がったとき、プラズマ状態であった電子と原子核は結合して中性原子となり、光は自由電子による散乱を受けなくなり、宇宙が遠くまで見通せるようになった。これを宇宙の晴れ上がりという

縮退圧 2/18 (→講義ノート p.40)

極端に温度が低い星内部では熱運動による圧力はゼロになるが、空間に存在する物質の密度が原子核の密度に近づくと、量子力学的な圧力が無視できない大きさになる。この圧力を縮退圧という。

パルサー 2/18 (→講義ノート p.56)

非常に正確な周期で電波のパルスを出す天体。これは強力な磁場をもった高速回転する中性子星だと考えられている。パインリー・パルサーの近星点移動の観測が一般相対理論の裏付けとなっている。

pp チェインとCNOサイクル 2/18 (→講義ノート p.35)

主系列星の中心部は高温のため、原子核と電子がバラバラに存在するプラズマ状態にあるが、さらに温度が上がると2つのプロトンが核力によって合体が始まり、最終的にヘリウム原子核となる。星の質量が 1.1 倍太陽質量よりも軽い星ではおもにこのppチェイン反応が起こる。

星の質量が 1.1 倍太陽質量よりも重い星では炭素、窒素、酸素の原子核を触媒にして、プロトンの合体からヘリウム原子核が作り出される。このCNOサイクルは効率の良い核反応で、エネルギー発生の主体であり、熱発生率は温度の上昇に敏感である。

地球外生命体との交信 1/18 (→講義ノート p.73-74)

地球外知的生命体と交信する場合、効率の良い電波を使う。

数字や科学の知識は共通の理解が得られると思われるので、情報交換にはそれを用いる。

ただ、たとえばn光年離れた知的生命と交信するためには、地球の技術文明が少なくとも2n年以上の寿命を持っていることが必要である。

シュバルツシルト半径 1/18 (→講義ノート p.58)

半径R、質量Mの星の表面からの脱出速度は

$$v = \sqrt{\frac{2GM}{R}} \quad \text{と表される。}$$

これが光速となるときの星の半径を重力半径、またはシュバルツシルト半径という。

星の等級 1/18 (→講義ノート p.13)

等級とは天体の明るさを表す尺度である。等級が 1 等級変わると、明るさは $\sqrt[5]{100}$ 倍変化する。これは人間の目の光に対する感度が対数的であるためである。

宇宙の階層構造 1/18 (→講義ノート p.7)

自ら光り輝く星を恒星と呼び、恒星の集団を星団と呼ぶ。

恒星や星団の集合が銀河を成し、その銀河の集合を銀河団と呼ぶ。

それらの分布のつながりが宇宙の大規模構造を成している。

宇宙の大規模構造という区分は近年になって提唱されたものである。

線スペクトル 1/18 (→講義ノート p.18)

天体から届く電磁波を周波数ごとに分けてエネルギーフラックス分布図を作ったとき、ごく狭い領域に針のように鋭く分布しているものを線スペクトルという。

エネルギーフラックスが周りよりも大きいものを輝線、小さいものを吸収線という。

重力レンズ 1/18 (→講義ノート p.25)

一般相対論の効果により、光の道筋が曲げられる現象を、重力レンズ効果という。非常に強い重力場があると、光の進路は曲げられる。重力レンズ効果は、ダークマター存在を示唆していたり、宇宙の重力源の分布情報を与えてくれる。

輻射平衡と対流平衡 1/18 (→講義ノート p.37)

主系列星における熱輸送の方法には、光子の熱拡散による輻射によるものと、温度の勾配によって起こる対流によるものがある。

温度が高いと光に対する不透明度が小さくなり、対流は起きにくい、温度が低いと光に対する不透明度が大きくなり、対流が起こる。