

# 地球惑星科学II

## 第12回

2024年12月26日

# 連絡：学期末試験について

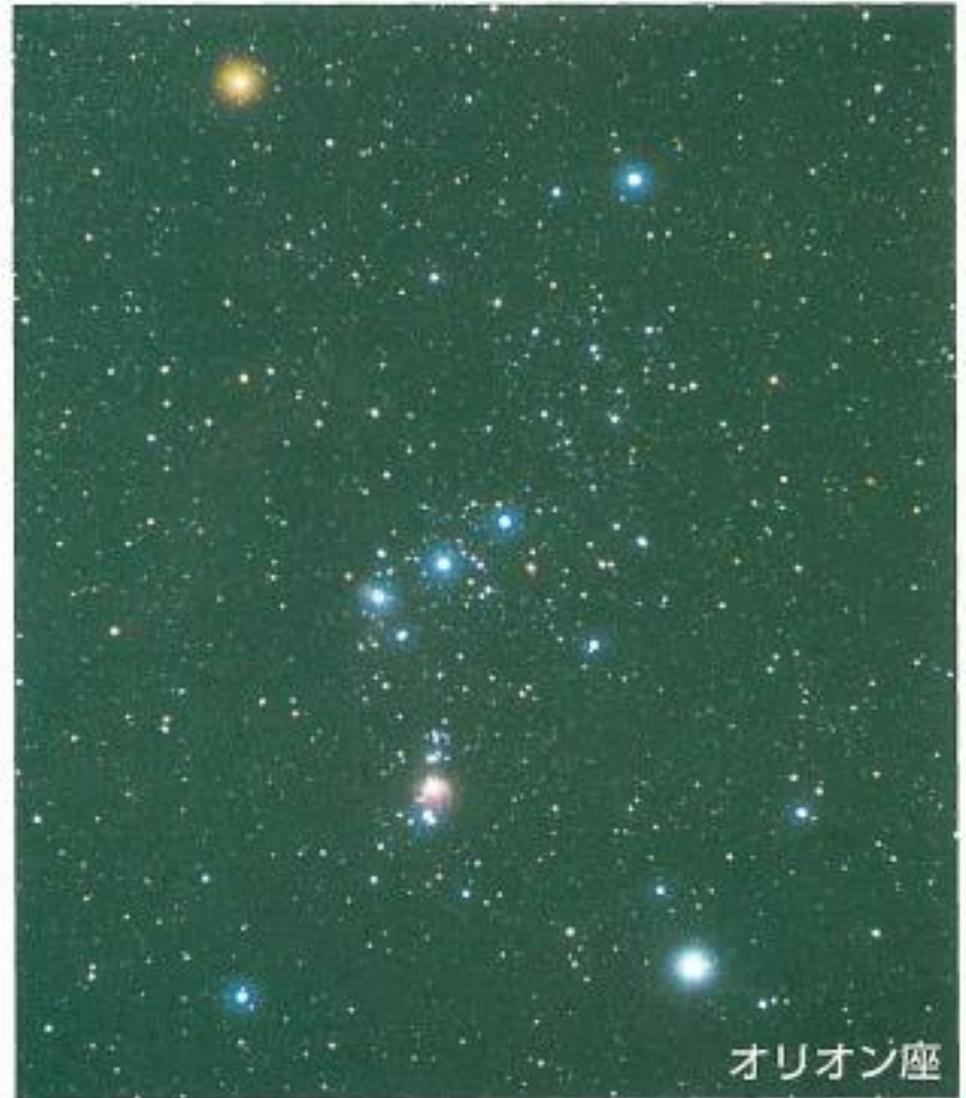
- 1月23日（木）10:30から実施
- 場所：E301
- 地球惑星科学入門・地学図表・自筆ノートは持ち込み可、電卓も持ち込み可。
  - 他の書籍・紙類などは不可
  - スマートフォン・携帯電話・電子辞書は使用禁止（電卓としての使用も禁止）
- 出題形式
  - 記述問題、計算問題
  - その場での思考を問う問題も出題

# 前回のミニレポート

- どのような観測・探査を行うと良いか？
- 解答例
  - 暗黒星雲の中でいろいろな実験をしてみたい
  - アルファケンタウリ星系の中の惑星の岩石採取
  - 地球に存在するすべての船舶のソナーを利用し海底地形や海中環境を明らかにする
  - ちょっと考えよう
    - 核弾頭などを用いて、小惑星の軌道を変える実験
    - 地球外生命体が住む惑星が見つければ人間が利用できる資源が存在する可能性がある
    - 生命体がいる惑星を探査。宇宙船で自己完結型の環境を整備。数世代にわたり人々が生活しながら、遠い星々への長期間の旅を続ける

# 今日のテーマ

- 恒星とはどのようなものか？
- 恒星の分類
  
- 参照：地球惑星科学  
入門 31章



地学図表P.141

# 恒星の見かけの明るさ(実視等級)

明るさの差を面積で表す



1等

$$100 = 2.512^5$$



2等

$$2.512^4$$



3等

$$2.512^3$$



4等

$$2.512^2$$



5等

$$2.512$$



6等

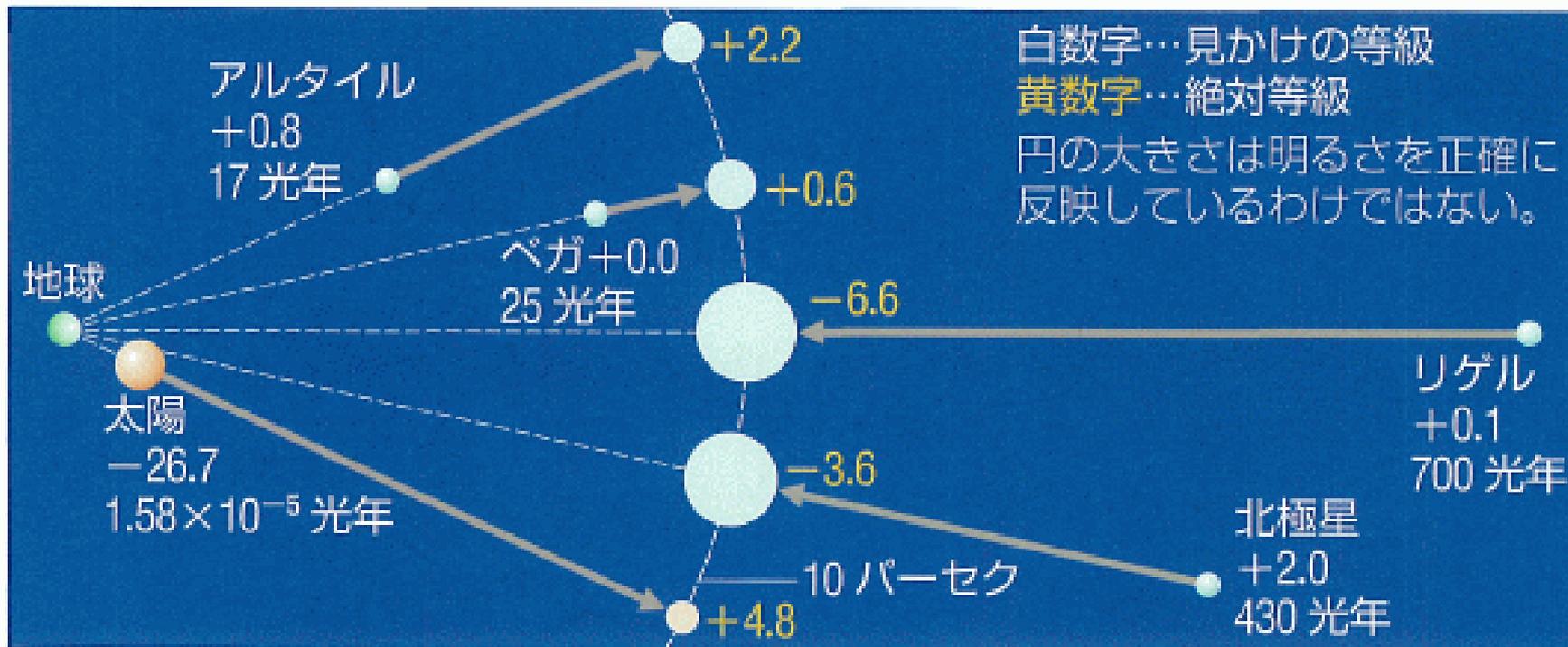
$$1$$

地学図表P.38

二訂版地学図表P.140

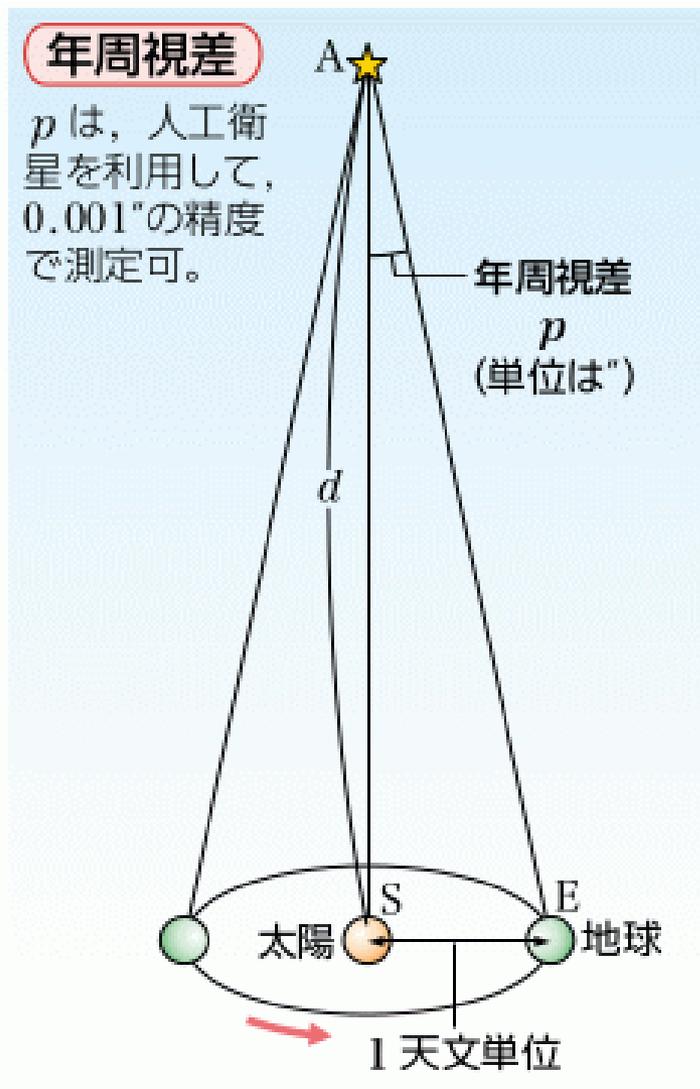
明るさ(等級)	星数	星数累計	明るさ(等級)	星数	星数累計
-0.5等以上	2	2	6.5~ 8.5	59000	68000
-0.5~0.5	7	9	8.5~10.5	470000	540000
0.5~1.5	12	21	10.5~12.5	3200000	3700000
1.5~2.5	67	88	12.5~14.5	19000000	23000000
2.5~4.5	900	990	14.5~16.5	100000000	120000000
4.5~6.5	7600	8600	16.5~18.5	420000000	540000000

# 絶対等級



地学図表P.140

# 近い恒星までの距離の測定方法



年周視差が1秒  
となる距離を  
1 パーセク(parsec)  
という

# 計算問題

- 太陽系の端では太陽は何等星か？
  - 太陽系の端で太陽を見つけることはできるか？
  - 太陽系の端で太陽は何番目に明るい星？
  - 太陽の実視等級は-26.75等
  - 明るさが100倍違うと等級で5異なる

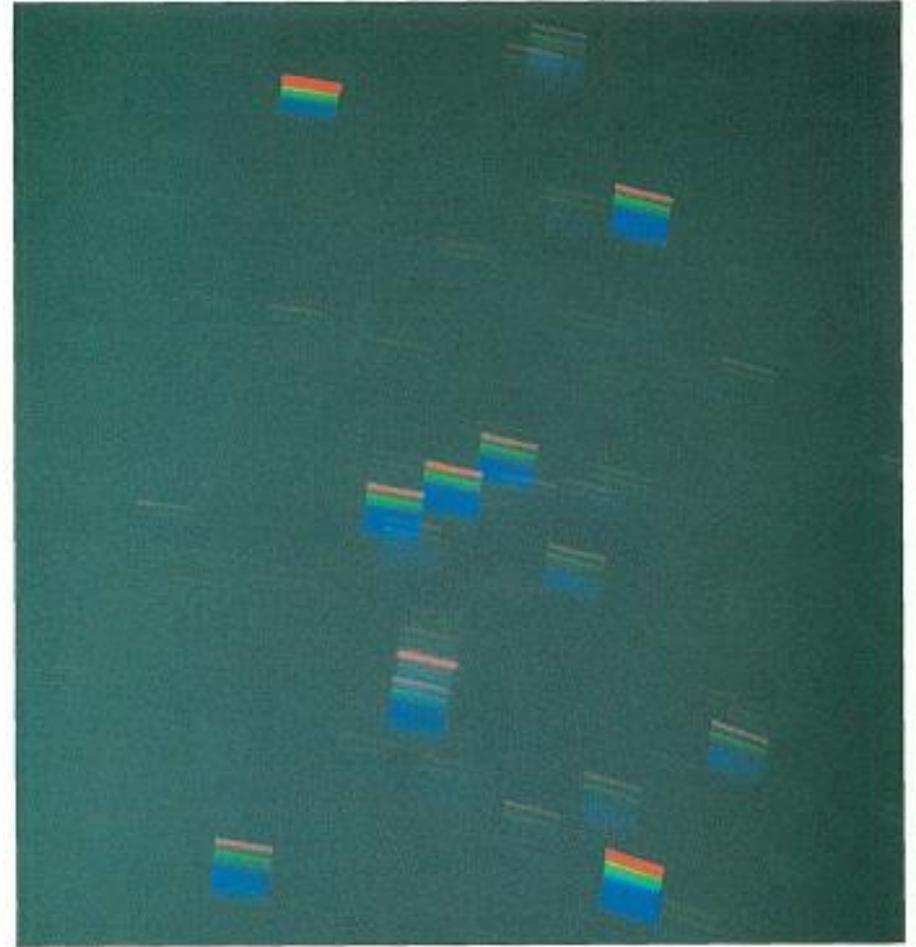
# 計算問題：解答例

- 太陽系の端では太陽は何等星か？

- 太陽－地球間： $1\text{ au}$
- 太陽－太陽系の端： $10^5\text{ au}$  (太陽の重力圏)
- 太陽の実視等級は $-26.75$ 等
- 明るさが100倍違うと等級で5異なる

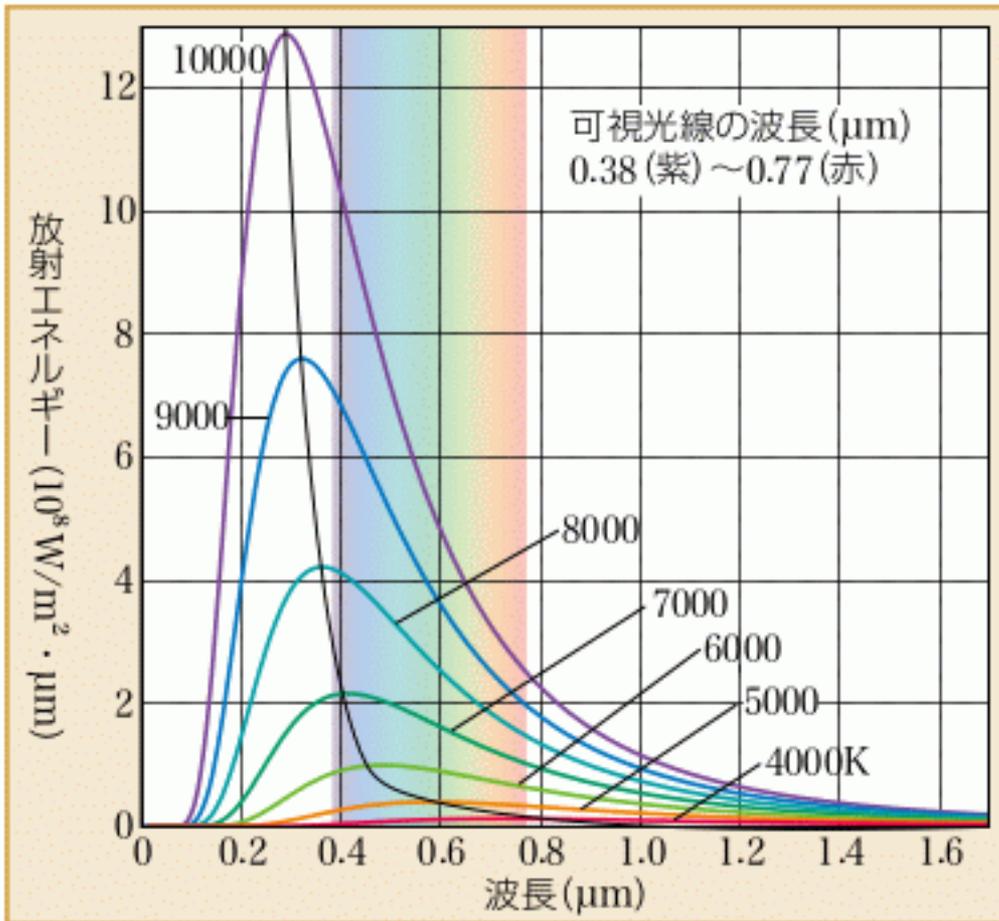
- 距離比： $\frac{10^5}{1} = 10^5$
- 明るさの比： $(10^5)^{-2} = \left(\frac{1}{100}\right)^5$
- 等級差： $5 \times 5 = 25$
- 太陽系端での太陽の等級： $-26.75 + 25 = -1.75$

# 恒星の色

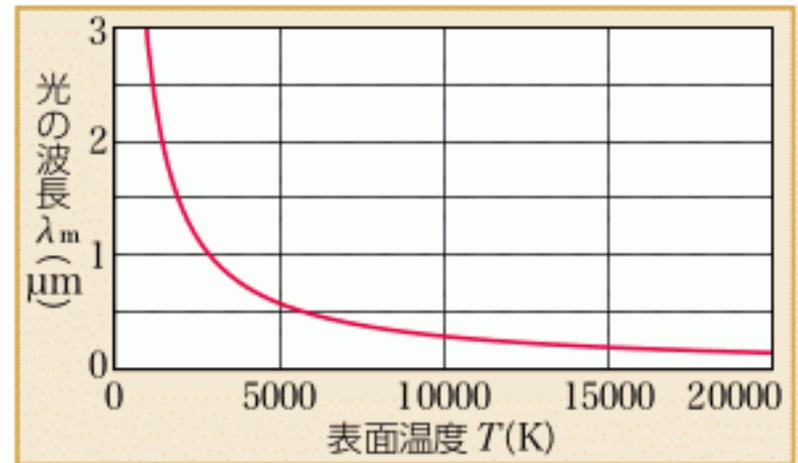


地学図表P.141

# 恒星の温度



地学図表P.141

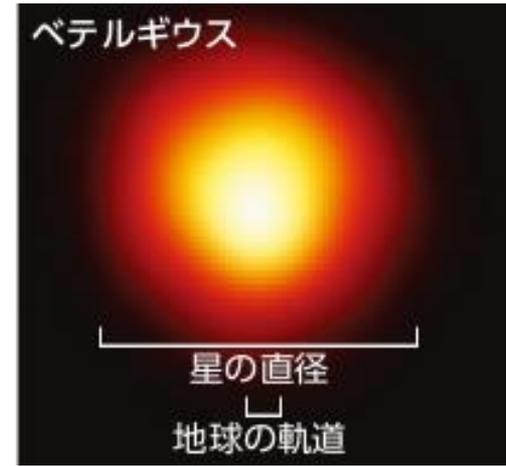
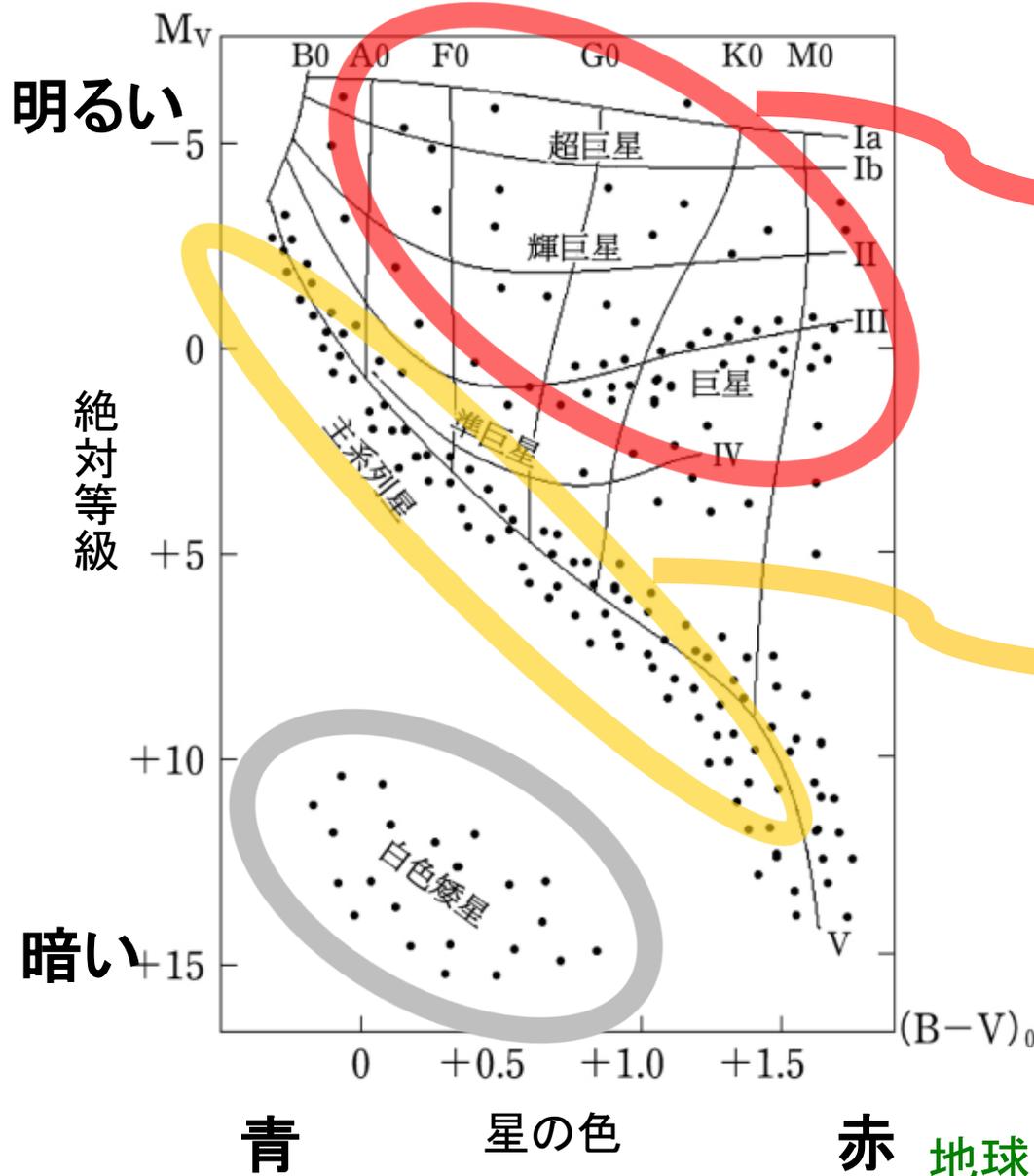


温度が高いほど

- ・光の波長が短い
- ・単位面積当たりの放出エネルギー量

多い:  $\sim \sigma T^4$

# 恒星の分類: HR図

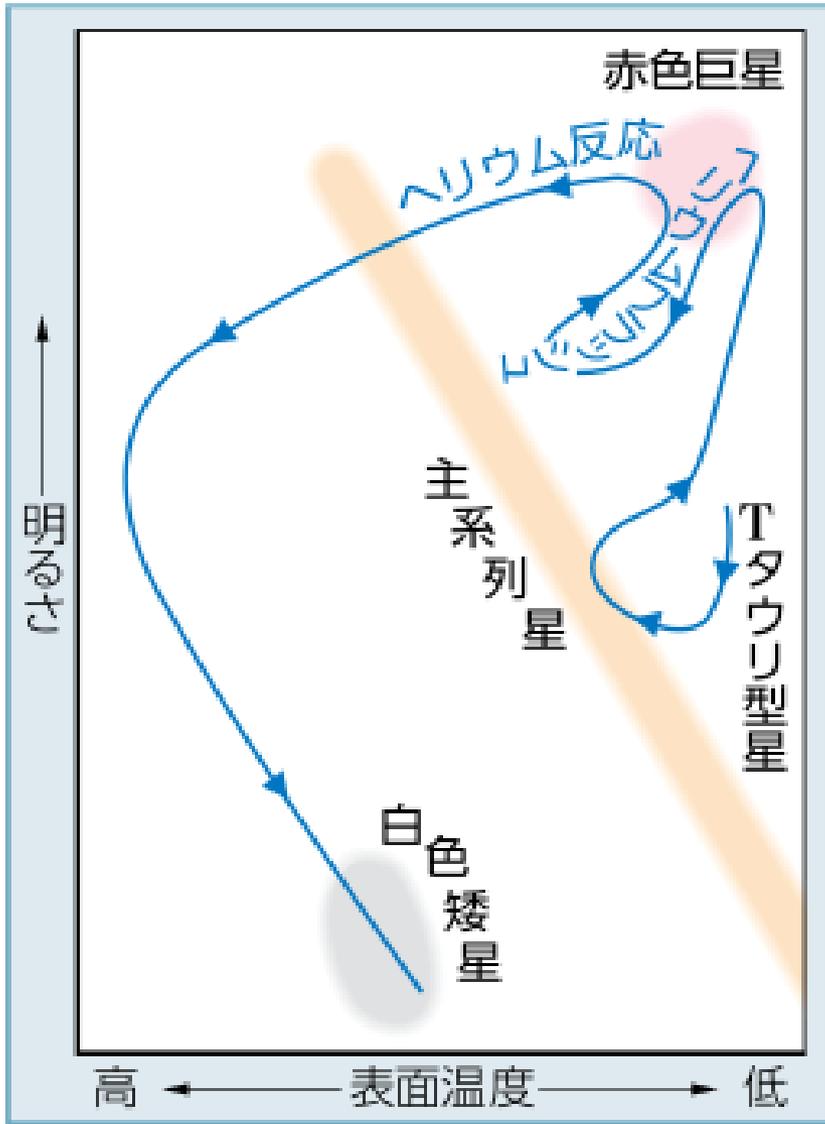


地学図表P.140



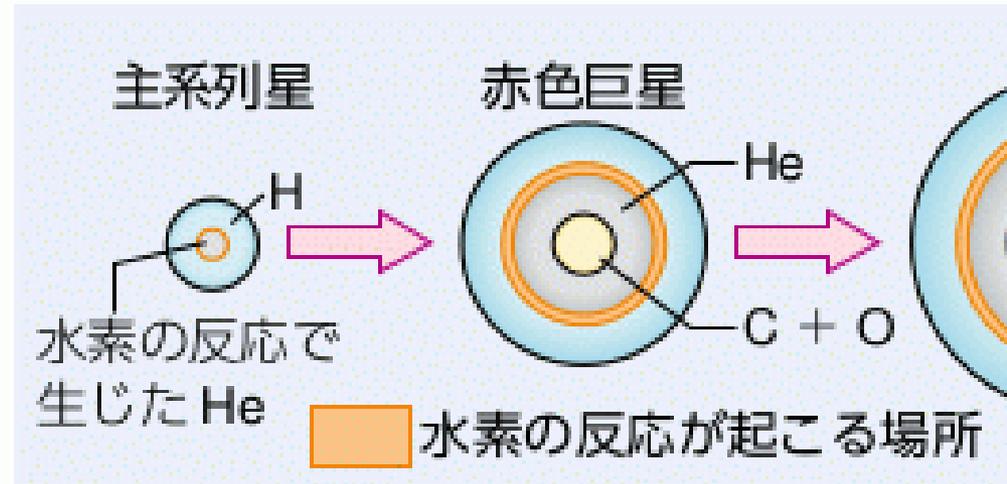
<http://depression-note.com/health/sunshine>

# 太陽の進化



地学図表P.143

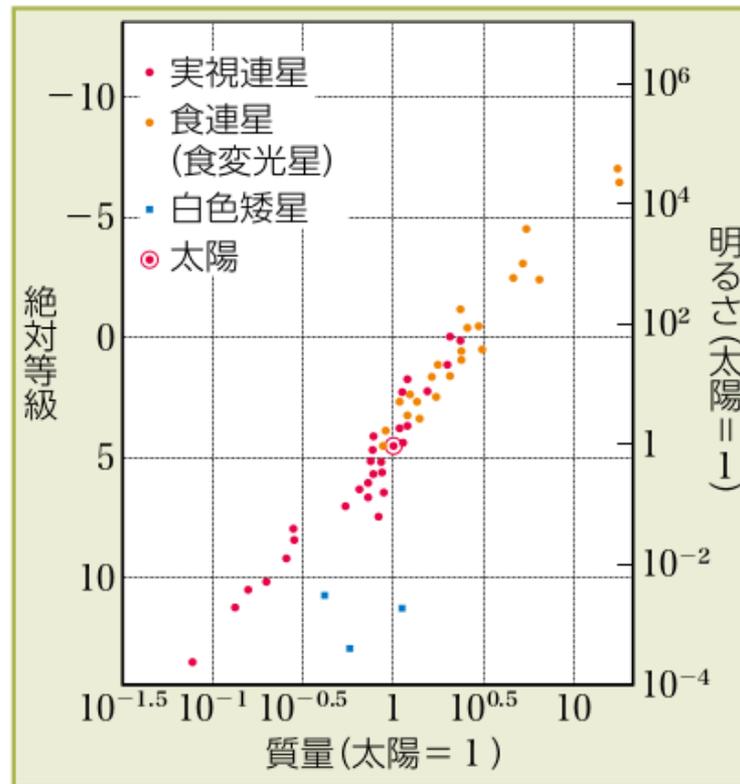
地学図表P.142



ヘリウム燃焼  
(トリプルアルファ反応)  
 $4\text{He} + 4\text{He} + 4\text{He} \rightarrow ^{12}\text{C} + \gamma$

# 恒星の性質は質量が決める

- 質量光度関係

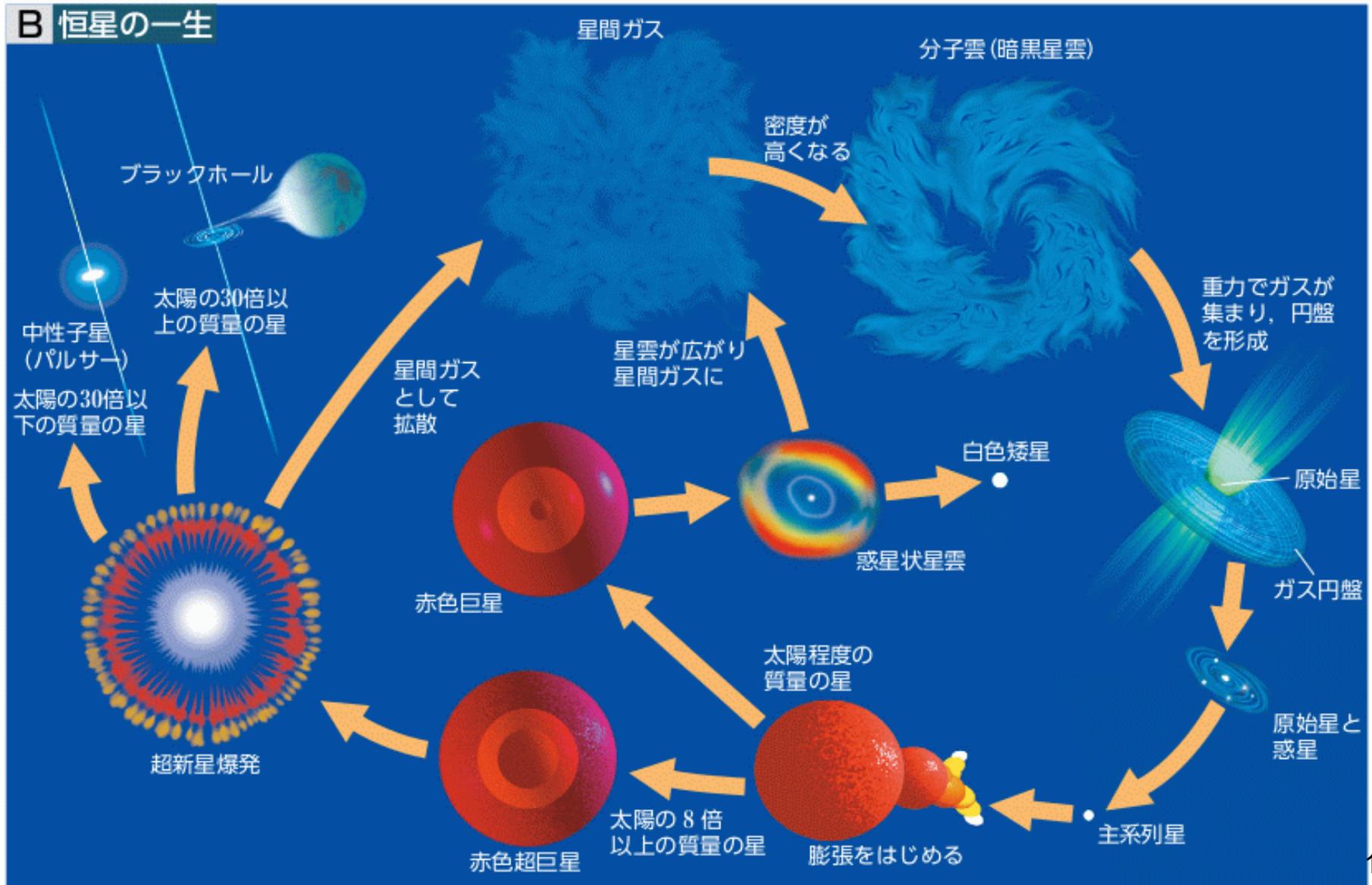


地学図表P.146

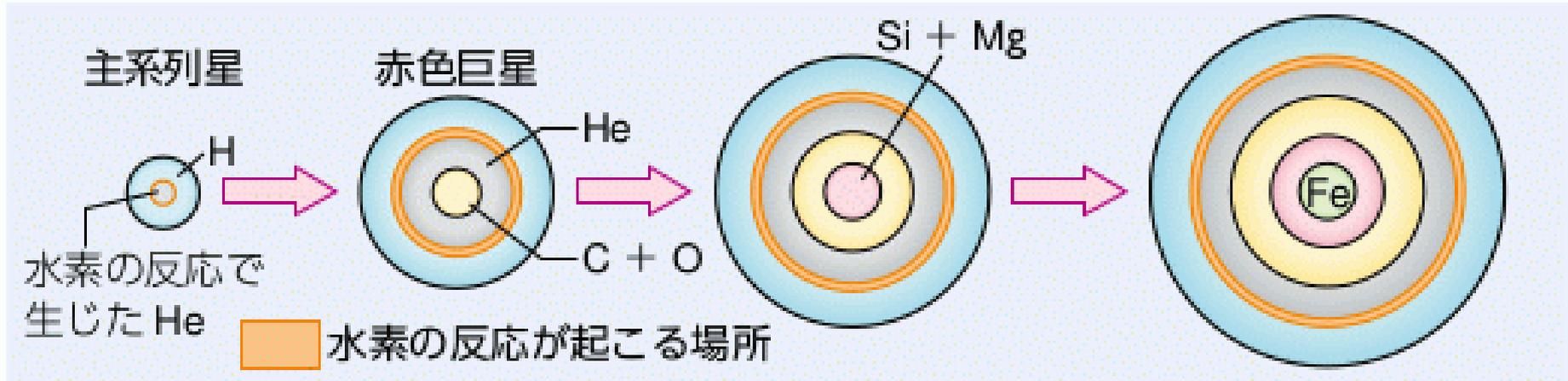
- 質量が大きい恒星ほど寿命が短い

# 恒星の一生

地学図表P.142



# 大質量星の進化 ( $10M_{\text{sun}}$ 以上の場合)



ヘリウム燃焼  
(トリプルアルファ反応)  
 $4\text{He} + 4\text{He} + 4\text{He} \rightarrow ^{12}\text{C} + \gamma$

炭素燃焼の例  
 $^{12}\text{C} + ^{12}\text{C} \rightarrow ^{24}\text{Mg} + \gamma$   
酸素燃焼の例  
 $^{16}\text{O} + ^{16}\text{O} \rightarrow ^{28}\text{Si} + ^4\text{He}$

地学図表P.142

- 主系列星から赤色巨星へ進化
- 恒星の内部で元素合成が起こる：  
炭素、酸素、ケイ素、マグネシウム、鉄

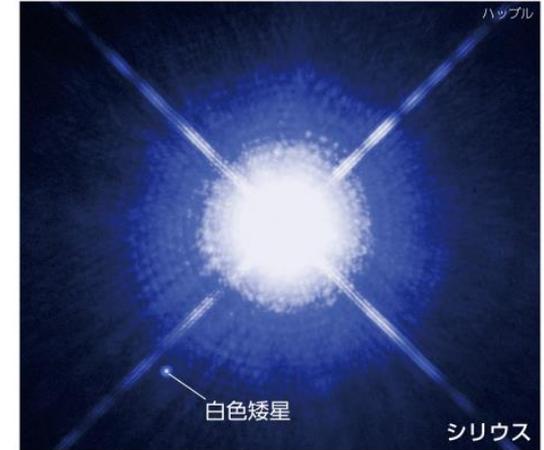
# 星の死

## ・ 小質量星の場合

惑星状星雲  
の形成

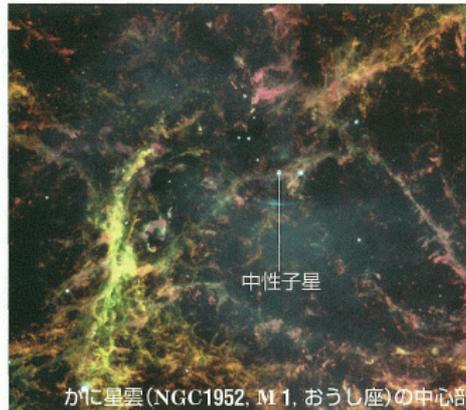


白色矮星  
の形成



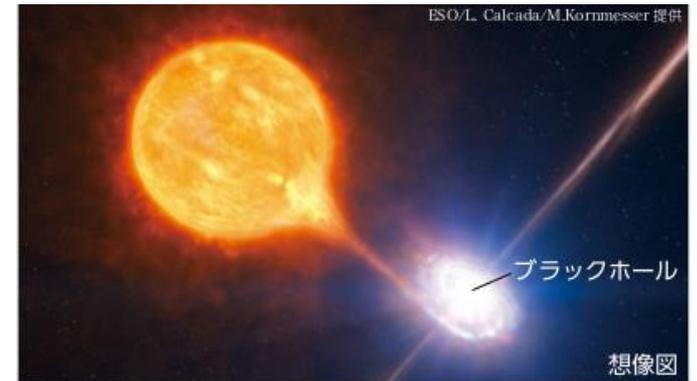
## ・ 大質量星の場合

超新星爆発



重たい元素  
の合成

ブラック  
ホール  
の形成



# 元素の存在比

宇宙初期の  
元素合成



恒星内部の  
元素合成

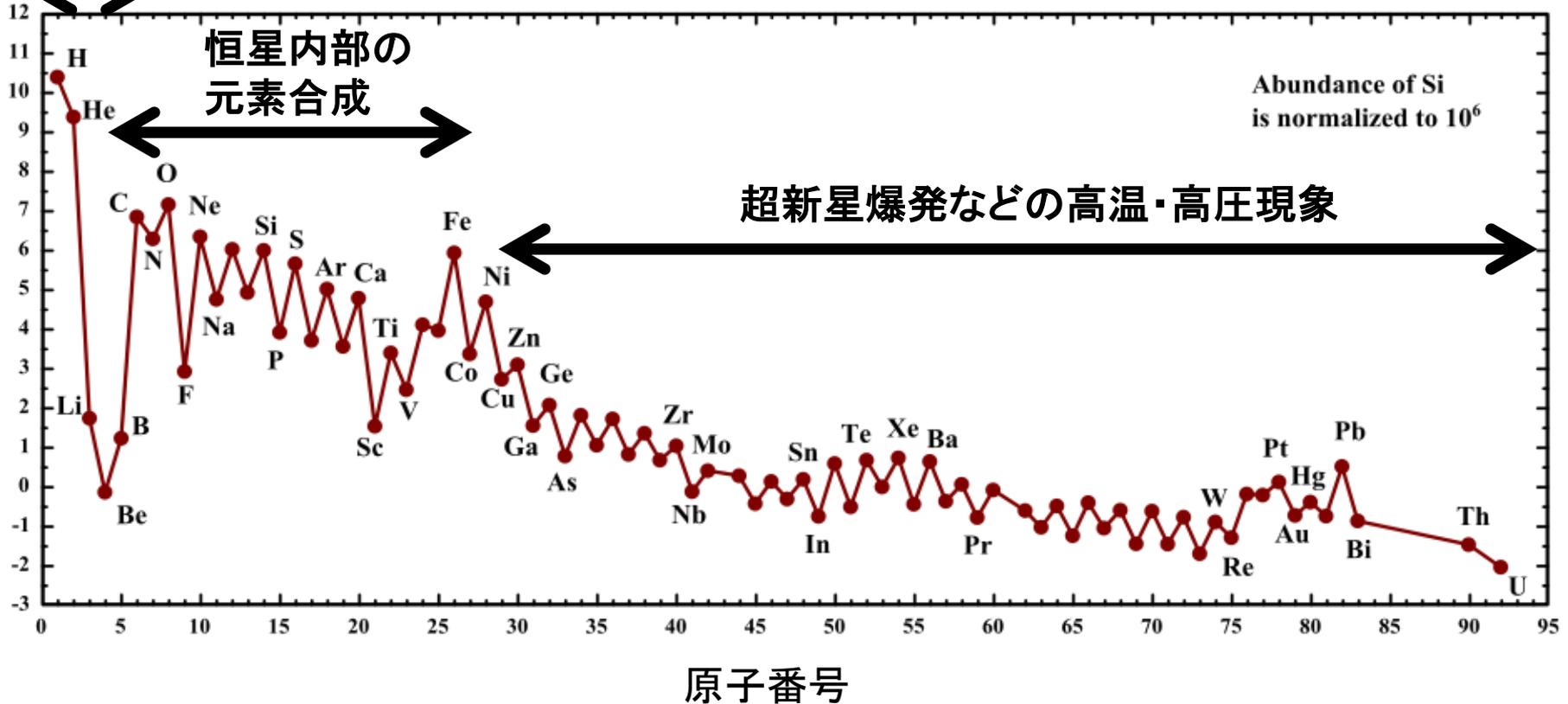


超新星爆発などの高温・高圧現象



Abundance of Si  
is normalized to  $10^6$

存在比



[https://online.science.psu.edu/astro140\\_fawd001/node/11779](https://online.science.psu.edu/astro140_fawd001/node/11779)