

地球惑星科学II (基礎クラス:29–34)

学期末試験・問題

- 試験開始の指示があるまで試験問題を見ないこと.
- 地球惑星科学入門・地学図表・自筆ノート・筆記具のみ持ちこみ可.
電子機器 (電卓など) は一切持ち込み不可.
- 携帯電話やアラーム付きの時計の電源を切り, 鞆にしまうこと.
- 他受験者の迷惑となる行為は厳に慎み, 静粛を保つこと.
- 不正行為は決して行わないこと. 不正行為を行った場合には 0 点とする.
- 問 1 から 問 3 の全ての問題に解答せよ.
- 解答用紙は指定のものを使うこと. 解答欄は解答用紙の裏面に続いている.
必ず学生番号と氏名を記入すること.
- 計算の際には正確な数値を出す必要はない. 有効数字 1 桁の計算で十分である.
以下の例のように概数を使って計算せよ.

$$365 \sim 400$$
$$(10)^{1/2} \sim 3$$

電卓を使わなくても計算できるように数字をうまく切り捨て・切り上げせよ.
ただし, どのような近似を行ったかがわかるように計算過程も記すこと.

2018 年 02 月 01 日

問1 以下の (a) ~ (f) はあなたの同級生が抱いた素朴な疑問である. 100 字程度 (3 行程度) のわかりやすい説明で疑問を解決してあげなさい.

(a) 山の上では気圧が低いのはどうして?

(b) なぜ冬は寒くて夏は暑いのか?

(c) なんで黒潮ってできるのか?

(d) 強い光を出している太陽の燃料って何なの?

(e) 遠くの恒星のまわりに惑星が存在するってどうしてわかるのか?

問2 水 (H_2O) は惑星の形成から気候状態の決定に至るまで、地球惑星科学分野における様々な問題で重要な役割を果たしている。p.5 の数表を適宜参照して、水に関する以下の問に答えよ。

(a) 水の相変化は惑星形成過程において重要な役割を果たす。太陽系が形成された原始太陽系円盤を考える。

(1) 原始太陽系円盤中の気体成分の温度が氷の融点を下まわる位置を天文単位で見積もれ。円盤の気体成分の温度は次式で決定されると考えよ。

$$S(r) = \varepsilon\sigma T(r)^4 \quad (1)$$

$S(r)$ は太陽からの距離 r における太陽定数、 $T(r)$ は気体成分の温度である。 $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} [\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}^4]$ はシュテファン・ボルツマン定数である。 ε は温室効果の強度を表す指数であり、 $\varepsilon = 0.3$ を用いよ。また、惑星形成時には太陽光度は現在の 7 割であったことも考慮せよ。

(2) 上記の結果をもとに地球型惑星と木星型惑星の 2 種の惑星が存在する理由を説明せよ。

(b) 地球が保有する水の量について考える。

(1) 地球が持つ水は微惑星からもたらされたものである。地球を作った微惑星と隕石は素性が同じだと仮定して地球にもたらされた水の総質量 [kg] を見積もれ。隕石には質量にして 1% の H_2O が含まれるとせよ。

(2) 上記の結果と海洋質量と比較し、その違いは何によってもたらされたかを考察し、その内容をまとめよ。

(c) 地球の表層に存在するもっとも大きな水塊は海洋である。海洋中に生じる深層循環はどのような特徴を持つか、成因は何かを説明せよ。

(d) 地球表層における H_2O は固体 (氷) としても存在する。過去の地球において、数百万年以上の時間スケールで表層の氷の量はどのように変動したか、その成因に関して議論されていることを説明せよ。

(e) 水の凝結により発生する熱は大気循環のエネルギー源となっている。

(1) 赤道域における年降水量は約 2000 [mm/年] である。これより、 1 m^2 あたりに平均的に 1 秒間に発生する凝結熱 [$\text{J}/\text{s}/\text{m}^2$] を見積もれ。それは赤道域における太陽放射エネルギーのおよそ何割になっているか?

(2) 上記の結果を踏まえて地球の低緯度領域に生じる大規模な循環 (ハドレー循環と呼ばれる) の説明をせよ。

(f) 大気中の水蒸気量は表面付近の気温に大きく影響する。大気中の水蒸気量が増えると温室効果により表面温度は上昇するか下降するか? 温室効果のしくみとあわせて説明せよ。

(g) 生物にとって必要となる地球表層の水のリサイクルの速さについて考える。中緯度の大気には、水の深さにして約 10 [mm] の水蒸気が含まれている。年間降水量は約 1500 [mm/年] である。これより、大気中の水蒸気が入れ換わる時間 (リサイクル時間) を日単位で見積もれ。

問3 図1は銀河の分布図である。この図を用いて以下の問に答えよ。

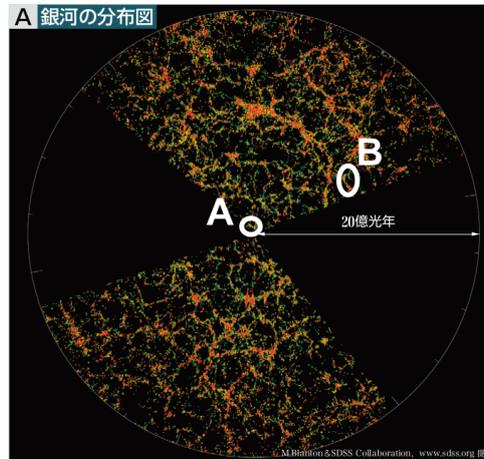


図1: 銀河の分布. 地学図表13ページの図を改変したもの.

- (a) 図1を作成するためにはそれぞれの銀河までの距離を求める必要がある。観測によって銀河までの距離を求める原理を説明せよ。
- (b) 銀河の中には多数(典型的には1000億個)の恒星が含まれている。太陽と同程度の質量を持つ恒星の誕生から死を迎えるまでにどのように進化するかを説明せよ。
- (c) 図1中Aの白丸○内にあるのは、銀河系にもっとも近い銀河団であるおとめ座銀河団である。おとめ座銀河団の質量は 2.0×10^{61} [kg] と見積もられている。おとめ座銀河団は何個の銀河から成っているか見積もれ。恒星1つの典型的な質量として太陽質量の値を用いよ。
- (d) 図1に示された宇宙の大規模構造の成因を、宇宙の歴史と関連づけて説明せよ。
- (e) 全ての銀河は地球から後退していることがわかっている。
 - (1) 銀河の後退速度を求める原理を説明せよ。
 - (2) 図1中Bの白丸○内にある銀河団が観測限界(宇宙の地平線ともいう。距離にして137億光年)に到達するのに何年かかるかを見積もれ。後退速度は一定だと仮定せよ。ハッブルの法則

$$v = Hr \quad (2)$$

を用いて計算しても良い。ハッブル定数 H の値として 2.4×10^{-5} [km/sec/(光年)] を用いると、光年の単位の r から [km/sec] の単位で v を求めることができる。

- (3) 上の答で得られる遠い将来には、現在地球のある場所から宇宙はどう見えると考えられるか?

付録

水の密度 (293K の値)	998 kg/m ³
水蒸気の凝結熱 (273K)	2.5×10^6 J/kg
太陽の質量	2.0×10^{46} kg
地球の質量	5.972×10^{24} kg
地球の半径	6.378×10^6 m
海洋の質量	1.38×10^{21} kg
現在の地球の太陽定数	1366 W/m ²
地球と太陽の間の距離 (1 天文単位)	1.5×10^8 km
1 光年	9.46×10^{15} m

表 1: 物理定数および諸定数

x	\sqrt{x}								
2	1.414...	7	2.645...	17	4.123...	31	5.567...	43	6.557...
3	1.732...	11	3.316...	19	4.358...	37	6.082...	47	6.855...
5	2.236...	13	3.605...	23	4.795...	41	6.403...	53	7.280...

表 2: 平方根の値