

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。
- 学生証は, 担当教員が見えるように机の上に置くこと。
- 試験中は, 学生証, 鉛筆又はシャープペンシル, 消しゴム, 地球惑星科学入門, 地学図表, 自筆ノート以外, 机の上に置いてはならない。
- 上記以外の物品 (電卓も含む) はすべてカバンの中に入れて座席の下に置くこと。スマートフォン等の電子機器は, 必ずアラームの設定を解除し電源を切り, カバンにしまうこと。身につけたり, 手に持っていたり, 机の上に置くと, 理由の如何を問わずに不正行為とみなす。
- 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。不正行為を行った者は, 処分され卒業が延期される。
- 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。

2019 年 01 月 24 日

問1 以下の問に答えよ. いずれも図表を用いずに 100 字程度で解答せよ.

- (a) 地表から高度およそ 100km までの地球大気では, 高度方向に温度変化率が異なる複数の層が重なった構造が作られている. この理由を説明せよ.
- (b) エルニーニョとはどのような現象か説明せよ.
- (c) 天気の季節変化が起こる理由を説明せよ.
- (d) 銀河とはどのようなものか説明せよ.
- (e) 系外惑星とはどのようなものか説明せよ.

問2 授業で得た知識・考え方をを用いて人類にとって必要なエネルギーについて考えてみよう。世界中で1年間に消費されるエネルギー量は約 4×10^{20} J/年 (主に化石燃料) とされている。

(a) 大気海洋のエネルギー源は太陽光エネルギーである。太陽放射に関する以下の問に答えよ。

- (1) 地球の軌道において、太陽光線に垂直な 1 m^2 の面が1秒間に受け取る太陽放射エネルギーはおおよそ $1400 \text{ J/sec/m}^2 (= 1400 \text{ W/m}^2)$ である (これは太陽定数と呼ばれる。なお、J はエネルギーの単位)。地球が1秒間に受け取る太陽エネルギーを地球表面の球面全体に均等に分配したとき 1 m^2 あたりの太陽放射エネルギー量 (全球平均太陽放射エネルギー) を求めよ。
- (2) 単位面積あたりの太陽放射量は緯度によって変化する。図1は正味の太陽入射量と地球が射出する放射量の緯度分布を示したものである。単位面積あたりの正味の太陽入射量はなぜ高緯度では減少するのかを説明せよ。
- (3) 正味の太陽入射量と地球放射量の差は大気・地表系に対する熱の供給を表す。赤道域においてこの熱量が全て大気に与え続けられると仮定して、赤道上の底面積 1 m^2 を持つ大気柱の温度は1ヶ月で何度上昇するか図1を用いて見積もれ。ただし、 1 m^2 あたりの大気柱の質量を 10^4 kg (10t)、大気の比熱を 10^3 J/K/Kg とせよ。
- (4) 実際の大気では、上の(3)で考えた状況とは異なり、温度が上昇し続けることは起こらない。熱帯における熱の超過分は循環によって高緯度領域に輸送されている。熱輸送を担っているのは大気と海洋の大規模な循環である。大気と海洋それぞれについて大規模な循環はどのようなものであるか説明せよ。

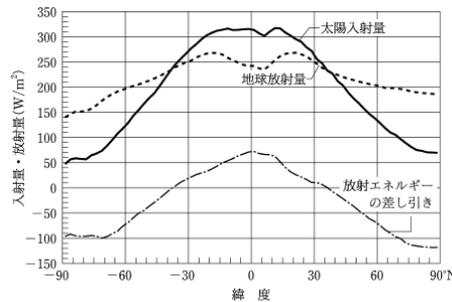
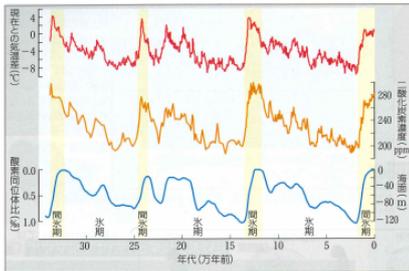


図1: 正味の太陽入射量と地球放射量の緯度分布。正味の太陽入射量とは、大気上端に到達する太陽放射から大気・地表面に反射される分を差し引いた残りであり、大気・地表面系に吸収される太陽放射量を表す。この図には1年平均した量を示してある。単位はいずれも $\text{W/m}^2 = \text{J/sec/m}^2$ であり、1秒あたり 1 m^2 あたりに入出入りするエネルギー量 (熱量) をあらわす。原図は地球惑星科学入門 230 ページ。

(b) 化石燃料の使用に関連して、地球温暖化が問題となっている。以下では全球規模の気温変化について考える。

- (1) 地球全体の気温が変動する現象の 1 つとして氷期・間氷期サイクルがある (図 2a)。氷期・間氷期サイクルを起こす原因として考えられているものを説明せよ。
- (2) 図 2(a) を用いて間氷期と間氷期の間の期間における温度の時間変化率を K/年 の単位で求めよ。
- (3) 図 2(b) に示した温度の上昇現象が地球温暖化である。地球温暖化をもたらす原因として人為起源の CO_2 の排出が考えられている。大気中の CO_2 濃度が増加するとなぜ温度が上昇するのか、温室効果のメカニズムとあわせて説明せよ。
- (4) 図 2(b) を用いて地球温暖化による温度の時間変化率を K/年 の単位で求めよ。
- (5) 上の (2) と (4) で求めた 2 つの温度の時間変化率の値をもとに、地球温暖化が問題視される理由を説明せよ。

(a) 氷期・間氷期サイクル



(b) 地球温暖化

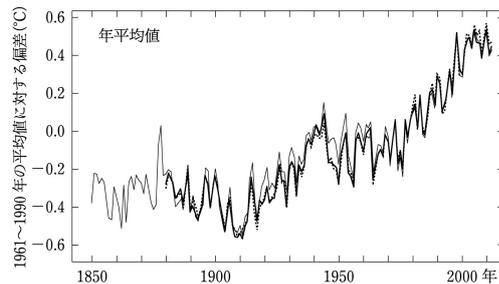


図 2: 表面温度の全球平均値の変動. (a) 氷期・間氷期サイクルの場合. 原図は地学図表 160 ページ. (b) 地球温暖化の場合. 原図は地球惑星科学入門 338 ページ. いずれも横軸は時間.

(c) 化石燃料の代替候補の 1 つである太陽光発電について考察しよう。

- (1) 東芝のソーラーパネルは、面積 50 m^2 の場合に 10kW ($= 10000 \text{ J/sec}$) の出力ができるそうである。昼夜の存在、緯度による日射量の差などを一切無視して 50 m^2 のソーラーパネルが常に 10kW の出力できると仮定して、この太陽光発電で人類が使用する全エネルギー ($4 \times 10^{20} \text{ J/年}$) をまかなうためにはどれほどのソーラパネルが必要か見積もれ。地球の表面積に対する必要なソーラパネルの面積の比で答えよ。
- (2) 化石燃料を廃止して、全て太陽光発電に切替えることは現実的だろうか? 上の (1) の結果をもとに論じよ。

問3 図3は太陽系における元素の相対存在度(存在する原子の数の比)を示したものである。この図をもとに、元素の起源、恒星・惑星の形成・進化に関する以下の問に答えよ。

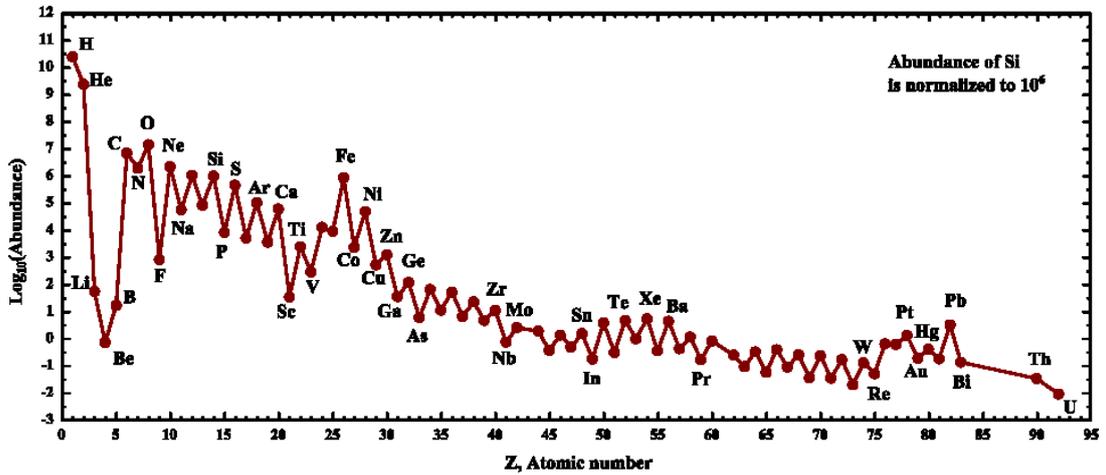


図3: 太陽系における元素の相対存在度. 各元素の存在度は 10^6 個 (100 万個) のケイ素原子あたりの原子の数としてあらわされる. 縦軸は対数目盛になっている. 原図は <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:SolarSystemAbundances.svg>.

(a) 図3に示されている軽い元素 H (水素) と He (ヘリウム) は宇宙の初期において形成された. 宇宙の初期に関する以下の問題に答えよ.

(1) 宇宙の進化を解明する大きな手がかりになったのは次のハッブルの法則である.

$$v = Hr.$$

ただし, v は後退速度 (地球から天体を見たときに天体が遠ざかる速度), r は天体までの距離, H はハッブル定数である. この式にあらわれる後退速度, 距離を観測する原理について説明せよ.

(2) 後退速度は一定だと仮定して, ハッブルの法則から r 光年離れている銀河が我々の銀河系に接していたのは何年前と見積もられるか答えよ. ただし, H の値として 7.0×10^{-11} [1/年] を用いよ.

(3) 上の (2) の結果から, 宇宙は初期においてどのような状態にあったと考えられるか, 説明せよ.

(b) 図3に示された Li (リチウム) から Fe (鉄) までの元素は恒星の内部で作られた.

(1) 太陽程度の質量をもつ恒星が生まれてから死を迎えるまでの過程を説明せよ. ただし, C, O などの元素が形成される過程に関する説明も加えること.

- (2) 図3に示されたFe(鉄)より重い元素はどのように形成されたと考えられているか、説明せよ。
- (3) 太陽は宇宙の中で1番最初に生まれた恒星ではないことがわかる。それはなぜか、説明せよ。
- (c) 図3に示された組成比を持つ元素が集まったものが地球そして太陽系である。星間分子雲から地球が形成される過程を説明せよ。
- (d) 炭素のみから成る惑星の存在可能性を考えてみよう。そのような惑星は、内部においてダイヤモンドが大量に形成されているかもしれない。これをダイヤモンド惑星と呼ぶことにしよう。
- (1) 図3に示された元素存在度をもつ微惑星を集積させ、炭素以外の元素を宇宙空間に捨てるという方法で地球と同程度の質量をもつダイヤモンド惑星を作ること考える。その場合、地球何個分の材料が必要になると見積もられるか？酸素が地球質量のおよそ30%を占めるということを用いて考えよ。
- (2) 宇宙のどこかにダイヤモンド惑星が存在する可能性はあるだろうか？上の(1)の結果をもとに論じよ。