

気象学基礎問題, 千本ノック

神山 翼 (こうやま つばさ) メール: tsubasa@is.ocha.ac.jp

節の名前は、太字で示した教科書に対応していますが、好きな教科書で勉強して構いません。必ずしも教科書に載っているとは限らないので、自分で調べて解答してください。★は難しいので、最初は飛ばしても良いです。また、わからないところは、遠慮なく神山に質問してください。

田中博著『地球大気科学』共立出版, 第2章-第5章

大気層区分

1. 地球大気の下層約 11 km (熱帯だと約 16 km) 程度の層は、○○圏と呼ばれている。
2. 1. の上に位置するのは○○圏である。
3. 1. と 2. の境目を○○圏○○という。
4. 3. の高さは、何を基準に定義されるか。
5. 3. の気圧は約 {10, 100, 1000}hPa である。

大気の組成

6. 地球大気の組成のうち 78% は○○である。
7. 地球大気の組成のうち 21% は○○である。
8. 水蒸気は例外的に不均質で、そのほとんどが○○圏に存在する。

気圧の鉛直変化

9. 地表の気圧は約 {10, 100, 1000}hPa である。
10. 気圧は高さ方向に { 線型に, 指数関数的に, 対数関数的に } 減少する。
11. ★次の 2 つの方程式から密度 ρ を消去することで, 10. を導出せよ。ただし, 気温 T は 250-300K 程度でほぼ一定と考えて良い。
 - 静水圧平衡の式 (二つの高さの圧力差 dp は, 間に入った空気層の重さ $-\rho g dz$ である)

$$dp = -\rho g dz$$

- 気体の状態方程式 (気圧 p , 密度 ρ , 乾燥大気の気体定数 R , 気温 T の間に成り立つ関係式)

$$p = \rho RT$$

気温の鉛直変化

12. 乾燥断熱減率とは何か, 説明せよ。
13. 湿潤断熱減率とは何か, 説明せよ。
14. { 乾燥断熱減率, 湿潤断熱減率 } の方が小さい。
15. 14 の理由を簡単に説明せよ。

太陽放射と地球放射

16. 太陽定数とは何か, 説明せよ。

17. 物体の温度 T と、その物体（黒体とする）から放射される単位面積当たりの放射エネルギー E の間に成り立つ式を答えよ。
18. 17. の法則をなんというか。
19. 地球が太陽放射をどれだけ反射するかという反射率のことを、カタカナ四文字で〇〇〇〇という。
20. 地球の放射平衡温度が約 255 K であることを導出せよ。
21. 地球がもし立方体だった場合、放射平衡温度は何 K になるか。ただし、光は立方体のある 1 面にずっと当たっているが、地球の温度は何らかの速いプロセスによって 6 面でほぼ均質化されるとする。

放射エネルギースペクトル

22. ★プランクの法則

$$B(\lambda, T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{\exp(hc/\lambda kT) - 1}$$

から、ウィーンの変位則を導出せよ。

23. ウィーンの変位則を用いて、太陽放射 (6,000K) は可視光線に最大強度があることを示せ。
24. ★プランクの法則から、17. の法則を導出せよ。
25. キルヒホッフの法則は、黒体において〇〇率と〇〇率が等しいという法則である。
26. いわゆる「大気の窓」とはどのようなものか、説明せよ。

大気のエネルギー収支

27. 地球の平均アルベドは約 {0.1, 0.3, 0.7, 0.9} である。
28. 雪のアルベドは約 {0.1, 0.3, 0.7, 0.9} である。
29. 光の波長に比べ粒子が同程度時の散乱を {レイリー散乱, ミー散乱} と呼ぶ。
30. ミー散乱の例は、{空が青い, 雲が白い, 夕焼けが赤い} ことである (全て選べ)。
31. 光の波長に比べ粒子が十分に小さい時の散乱を {レイリー散乱, ミー散乱} と呼ぶ。
32. レイリー散乱の例は、{空が青い, 雲が白い, 夕焼けが赤い} ことである (全て選べ)。
33. 熱伝導や対流によってエネルギーが運ばれることを〇熱が輸送されたという。
34. 地表で水が蒸発した際に熱を吸収し、その水蒸気が上空に運ばれ、上空で再び水滴に戻る際に放出したとき、〇熱が輸送されたという。
35. ★熱帯の乾燥域では、水蒸気からの {放射冷却, 潜熱解放} と、下降気流による {断熱圧縮, 断熱膨張} がバランスしている。
36. ★熱帯の湿潤域では、降水に伴う {放射冷却, 潜熱解放} と、上昇気流による {断熱圧縮, 断熱膨張} がバランスしている。

温室効果

37. 温室効果とは何か、説明せよ。
38. 温室効果気体の例を 3 つ挙げよ。
39. 日傘効果とは何か、説明せよ。
40. 放射対流平衡温度は、どのような仮定をおいて求めた鉛直温度分布か。

放射収支の季節変化と南北変化

41. 年平均の放射平衡温度が最も高いのは {赤道付近, 北極, 南極} である。
42. 太陽放射の吸収量は熱帯に強く偏っているが、地球放射の量は太陽放射ほど強く偏っていないのはなぜか。

気圧と等圧面高度

43. 気象学では、高さ方向の座標を表すために、(幾何学的な) 高度 z の代わりに $\circ\circ$ を用いることがあるが、これを p 座標系 (または単に p 系) という。
44. 気圧は高さとともに減少するが、気圧が $1/e$ になる高さ H を何というか。
45. 11. を参考に、乾燥空気の気体定数 R 、気温 T (一定とする)、重力加速度 g を用いて 44. を表せ。
46. ★ 11. を参考に、地表から 44. の高さまでに、大気の質量は何 % 存在しているかを求めよ。
47. 等圧面上 (等 p 面上ともいう) で高度が周りよりも高い地点は、等高度面上 (等 z 面上ともいう) で周りよりも気圧が { 高い, 低い }。
48. 等圧面上で高度が周りよりも高い地点は、その等圧面の下にある大気平均気温が周りよりも { 高い, 低い }。
49. 48. をもとに考えると、赤道付近と極域では、{ 赤道付近, 極域 } の方が等圧面上の高度が高いことがわかる。

気温の南北分布

50. 東西方向の平均のことを、 $\circ\circ$ 平均ともいう。
51. 50. を英語で言うと、{ zonal, meridional } mean という。
52. 南北平均を英語で言うと、{ zonal, meridional } mean という。
53. 北半球の冬 (12 月から 2 月まで) のことを、気象学では $\circ\circ\circ$ と表すことが多い。
54. 北半球の夏 (6 月から 8 月まで) のことを、気象学では $\circ\circ\circ$ と表すことが多い。
55. 極夜 (polar night) とは、緯度 66.6° よりも高緯度で、太陽が 1 日中 { 沈まない, 昇らない } 現象のことをいう。
56. 冬季の極域成層圏において、わずかに数日で数十度以上温度が上昇する現象のことを何というか。

東西風の南北分布

57. 気象学において「西風」とは、{ 西から吹く風, 西向きに吹く風 } のことをいう。
58. 気象学では、東西風は $\{u, v, w\}$ を用いて表し、正の値のときに { 西風, 東風 } を表す。
59. 気象学では、南北風は $\{u, v, w\}$ を用いて表し、正の値のときに { 北風, 南風 } を表す。
60. 気象学では、鉛直流は $\{u, v, w\}$ を用いて表し、正の値のときに { 上昇風, 下降風 } を表す。
61. 中緯度地域の上空に一年中存在する強い西風のことを { 貿易風, 偏西風ジェット気流 } という。
62. 赤道付近の恒常的な東風のことを { 貿易風, 偏西風ジェット気流 } という。
63. 飛行機で移動する際、東京からロサンゼルスに行くには 8 時間程度で済むが、ロサンゼルスから東京に帰るときには 10 時間程度かかる理由を述べよ。
64. 『天空の城ラピュタ』で、ドーラが自分たちの飛行船の真東を飛ぶゴリアテに追いつくために「貿易風を使えば良い」と言うが、これが現実の地球上だとすると誤りである理由を述べよ。
65. 北緯 60° 付近の成層圏に存在する強い偏西風を $\circ\circ$ ジェットという。
66. 偏西風を北極を中心とした地図で見ると、北極を中心一周した渦のように見えるが、この渦のことを \circ 渦という。

鉛直子午面循環

67. 子午面循環とは、{ 南北, 東西 } 方向に断面を切ったときに見える循環のことである。
68. 流線関数とは何か、説明せよ。
69. 赤道付近で上昇し、緯度 30° 付近で下降する子午面循環を $\circ\circ\circ\circ$ 循環という。
70. 赤道付近の大気下層に存在する、南北両半球からの収束域を $\circ\circ\circ\circ$ 帯、またはアルファベット 4 文字で $\circ\circ\circ\circ$ という。
71. 69. の循環を駆動するものは何か、分かることを説明せよ。
72. 69. の循環が極地方まで到達しないのは、地球の $\circ\circ$ が原因である。

73. 緯度 60° 付近で上昇し、緯度 30° 付近で下降する子午面循環を○○○○循環という。

74. 70. は、季節進行によって { 夏半球, 冬半球 } 側に移動する。

水蒸気量の南北分布

75. 比湿とは何か、説明せよ。

76. 比湿を、英語では {specific, relative} humidity という。

77. 比湿が最も大きいのは、{ 熱帯, 中緯度, 極域 } の対流圏 { 上層, 中層, 下層 } である。

78. 気候学では $P - E$ という指標がしばしば用いられるが、 P と E はそれぞれ何の略で、何を意味するか。

79. $P - E$ が最も正に大きい緯度帯は { 赤道付近, 20° , 50° } 付近で、{ 湿潤, 乾燥 } 地域である。

80. $P - E$ が最も負に大きい緯度帯は { 赤道付近, 20° , 50° } 付近で、{ 湿潤, 乾燥 } 地域である。

固体, 液体, 気体の相変化

81. 水は氷に相変化するとき、熱を { 周囲に放出, 周囲から吸収 } する。

82. 氷は水に相変化するとき、熱を { 周囲に放出, 周囲から吸収 } する。

83. 水是水蒸気に相変化するとき、熱を { 周囲に放出, 周囲から吸収 } する。

84. 水蒸気は水に相変化するとき、熱を { 周囲に放出, 周囲から吸収 } する。

85. 天気予報や湿度計など、日常生活で見かける湿度のことを気象学では○○湿度と呼ぶ。

86. 単位体積の空気に含まれている水蒸気の質量を○○湿度という。

87. 水蒸気の分圧 p_v , 普遍 (一般) 気体定数 R^* (高校で習う気体定数), 水蒸気の分子量 M_v , 水蒸気密度 ρ_v , 温度 T の間に成り立つ関係式を書き下せ。

88. 気液平衡下にある (これ以上水蒸気が増えると水滴になる) 水蒸気分圧のことを、○○○○○○という。

89. 88. は、(少なくとも気象学の扱う湿潤空気の範囲においては) ○○のみの関数である。

90. 88. を 89. の関数として表したものは、ほとんど { 指数関数的な, 対数関数的な } 単調増加関数である。

91. 85. の定義を述べよ。

92. ある湿潤空気塊を等圧過程によって冷やした際に、凝結が始まる温度のことを○○温度という。

93. 混合比 (mixing ratio) m と比湿 q の違いは何か、説明せよ。

94. ★高校で習う理想気体の状態方程式 $pV = nR^*T$ から、気象学で用いられる乾燥空気における理想気体の状態方程式 $p = \rho R_d T$ を導出せよ。ただし、 ρ は空気の密度であり、 M を乾燥空気の平均分子量として $R_d := R^*/M$ は乾燥空気の気体定数である。

95. 乾燥空気の平均分子量 M を具体的に計算し、単位を含めて整数で答えよ。ただし、乾燥空気は mol 比で窒素 78%, 酸素 21%, アルゴン 1% の混合気体とする。

96. 乾燥空気の気体定数を具体的に計算し、単位を含めて答えよ。

97. 湿潤空気についても乾燥空気の状態方程式が使えるように、水蒸気分の違いを温度側に組み込むことで、計算を簡便にすることができる。このような操作によって計算され用いられる仮想的な温度のことを、○温度という。

98. ★97. を T_v と書くと、 $T_v = (1 + 0.61m)T$ と書けることを示せ。

雲の形成

99. 過飽和はなぜ起こるか。

100. 過飽和を避け、スムーズに水蒸気が凝結して雲になるために必要な核を○○核という。

101. 100. をアルファベット三文字の略称で○○○という。

102. 100. として働く代表的な粒子としては、具体的にどんなものがあるか。

水滴の成長

103. 雨は空の高いところで作られて落ちてくるにも関わらず、落下スピードは肌に当たっても痛くない程度の速さである。これは、○○と○○○○が釣り合うことで、ほとんど加速度ゼロで落ちてくるからである。
104. 103. のときの速度を○○速度という。
105. ★ ρ を水の密度, g を重力加速度, η を粘性係数, r を (球と近似した際の) 雨滴半径とすると、104. の速度 w が $w = (2\rho gr^2)/(9\eta)$ となることを運動方程式から導出せよ。
106. 半径の大きな粒子の方が 104. の速度が { 大きい, 小さい } ため、大きな雨滴は小さな雨滴を併合しながら落下する。
107. 雲粒が併合して大きな雨滴に成長しながら落ちてくる雨のことを { 暖かい, 冷たい } 雨という。
108. 過冷却とは何か, 説明せよ。
109. 過冷却水には水蒸気が凝結・凝固しにくい, 氷晶には水蒸気が凝固しやすい。そのため、雲の中では { 過冷却水, 氷晶 } の方が成長しやすく、それが雪となって落ちてくる。
110. 109. の雪が、地上に着くまでに溶けて落ちてくる雨のことを { 暖かい, 冷たい } 雨という。
111. 熱帯や中緯度の暖候期に降る雨は { 暖かい, 冷たい } 雨であり、中高緯度の雨の多くは { 暖かい, 冷たい } 雨である。
112. 地上気温が 0°C よりも多少高い場合でも、湿度が { 高, 低 } ければ、氷が昇華する際に熱を奪うため、地上で雪となる傾向がある。

雲の分類

113. 十種雲形における層状雲は、{ 雲頂, 雲底 } の高さによって下層雲, 中層雲, 上層雲の 3 つに分類される。
114. 十種雲形のうち、下層雲に該当する 3 つの名称とアルファベット用いた略号を述べよ。
115. 十種雲形のうち、中層雲に該当する 2 つの名称とアルファベット用いた略号を述べよ。
116. 十種雲形のうち、上層雲に該当する 3 つの名称とアルファベット用いた略号を述べよ。
117. 十種雲形のうち、対流雲に該当する 2 つの名称とアルファベット用いた略号を述べよ。
118. 十種雲形で、下層雲には共通して○の漢字が入っている (対応する接頭辞は strato-)。
119. 十種雲形で、中層雲には共通して○の漢字が入っている (対応する接頭辞は alto-)。
120. 十種雲形で、上層雲には共通して○の漢字が入っている (対応する接頭辞は cirro-)。
121. 十種雲形で、対流をともなつてモコモコ (ポコポコ? 笑) としている雲には○の漢字が入っている (対応する接頭辞は cumulo-)。
122. 十種雲形で、降水をともなう雲には○の漢字が入っている (対応する接頭辞は nimbo-)。
123. いわゆる「うろこ雲」は十種雲形でいうとどれか。
124. いわゆる「ひつじ雲」は十種雲形でいうとどれか。
125. いわゆる「すじ雲」は十種雲形でいうとどれか。

雲の放射特性

126. 雲のアルbedoや透過率が大きいほど、太陽放射 (短波放射ともいう) によって雲は暖まり { やすい, にくい }。
127. 126. のようなプロセスに加えて、雲を構成する水滴や氷晶は地球放射 (長波放射ともいう) も吸収したり射出したりもする。これらを全て加味して放射の量を計算したとき、短波放射と長波放射をまとめた正味の放射フラックスに { 収束, 発散 } があるとき、雲は放射によって加熱される。
128. 雲の放射に対する役割は、大気モデル構築において最も不確かさの { 大きな, 小さな } 過程の一つである。

渡部雅浩著『絵でわかる地球温暖化』講談社、第1章-第2章、第4章-第5章

気象と気候

129. 時々刻々の気温, 風邪, 湿度, 雨などの大気現象のことを総じて { 気象, 気候 } という。

130. 長期間の平均的な大気-海洋-陸面系の状態のことを総じて { 気象, 気候 } という。

気候の変動と変化

131. 気候システムに自励的に生じるゆらぎのことを {climate variability, climate change} という (日本語では「気候変動」という)。

132. 131. の例としては { エルニーニョ南方振動, 地球温暖化 } が挙げられる。

133. 気候システムに外部からの強制力 (外的要因) が加かって生じる変化のことを {climate variability, climate change} という (日本語では「気候変動」という場合と「気候変化」という場合がある)。

134. 133. の例としては { エルニーニョ南方振動, 地球温暖化 } が挙げられる。

135. 地球温暖化について研究する専門者が集まり, 人為起源による気候の変化, 影響, 適応及び緩和方策に関して報告書をまとめている, 1988 年に国連環境計画 (UNEP) と世界気象機関 (WMO) により設立された組織のことをアルファベット 4 文字で OOOO という。

地表気温の変化

136. 世界全体で平均することを, 気候学では全 O 平均という。

137. 20 世紀の間に, 136. の地表気温は約 {0.08°C, 0.8°C, 8°C} 上昇した。

138. 20 世紀の地表気温上昇は, { 陸上, 海上 } の方が高かった。

139. 20 世紀の日本付近の地表気温上昇は, 概して 136. の地表気温上昇と比べてやや { 大きかった, 小さかった }。

地球は温暖化していると言えるのか?

140. 地球が温暖化すると, 大気の水蒸気量は { 増加, 減少 } する。

141. 地球が温暖化すると, 海洋の貯熱量は { 増加, 減少 } する。

142. OOOOOOOO という観測機器が用いられるようになったことで, 水深 2000 m までの水温の観測が世界中で行えるようになった。

143. 木の年輪やサンゴ, 氷床コアといった古気候学的データで過去の気温を推定する際に用いられる気温の代替指標のことを, 英語で p OOOO という。