

問 1 地球大気の温度の高度分布とその成因に関する次の文章の空欄 (a) ~ (c) に入る適切な語句の組み合わせを、下記の①~⑤の中から一つ選べ。

図は地表面から熱圏下部までの地球大気の温度の標準的な高度分布を示している。この図からわかるように、地球大気には温度が 250 K を越える高温域が 3 か所存在する。そのうち、高度が最も低い高温域は対流圏下端にあり、地表面における太陽放射の吸収がその主な成因である。次の高温域は (a) 付近にあり、その成因はオゾンによる太陽放射中の (b) の吸収である。高度が最も高い高温域は熱圏内にある。熱圏では窒素や酸素が太陽放射中の (b) や X 線によって (c) して高温となっている。

○光解離 (photodissociation)

何が起る?

分子が紫外線を吸収して、原子や別の分子に分解される反応。

例



○必要な光のエネルギー

光電離より低いエネルギー (UV-B, UV-C)

○主に起る高度

20~60 km (成層圏中心)

特に重要なのは O₂ の光解離で、これが

O (酸素原子) を作り

それが O₂ と反応して O₃ (オゾン) を作る

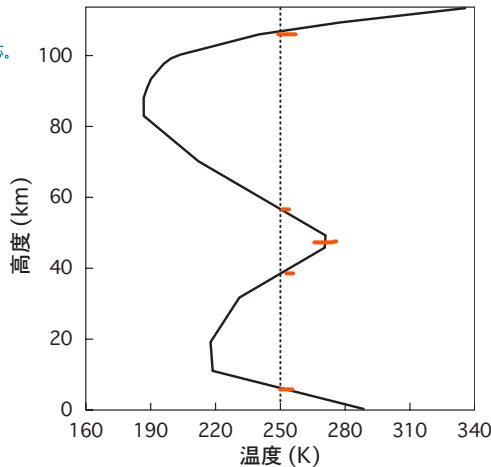
という オゾン生成の源 になっています。

○温度分布への影響

オゾンは紫外線を吸収して加熱されるため、

成層圏では高度が上がるほど温度が上昇する (逆転層)

という特徴的な温度構造が生まれます。



光電離(photoionization)

何が起る?

分子や原子が紫外線・X線を吸収して電子を失い、イオンになる反応。

例



✓必要な光のエネルギー

非常に高いエネルギー (短波長のUV、EUV、X線)

✓主に起る高度

80 km 以上 (中間圏上部~熱圏)

特に電離層 (E層・F層) を形成する主要なプロセス。

✓温度分布への影響

光電離が起る高度では、

高エネルギー光が吸収される

電子が飛び出す際にエネルギーが熱として残る

その結果、熱圏は 1000 K を超える高温になります。

- | | (a) | (b) | (c) |
|--------------|-----|-----|-------|
| ① 成層圏の中央部 | | 赤外線 | 光解離 |
| ② 成層圏の中央部 | | 紫外線 | 光電離 |
| ③ 成層圏と中間圏の境界 | | 赤外線 | 光解離 |
| ④ 成層圏と中間圏の境界 | | 紫外線 | 光電離 4 |
| ⑤ 成層圏と中間圏の境界 | | 紫外線 | 光解離 |

光解離 → 分子がバラバラになる (成層圏の温度逆転の原因)

光電離 → 電子が飛び出す (熱圏の高温と電離層の原因)

問 2 夜間に晴れると放射冷却によって放射霧が発生することがあり、この場合には、霧粒周辺の空気は水蒸気の凝結の潜熱によって温められている。

地表から高度 300 m までの層に 一様な濃度の放射霧 が発生し、この霧粒に含まれる水の量は、その全てが雨として降ったときの雨量に換算して 0.03 mm であるとする。また、この層内の空気の地表面 1 m² あたりの質量 ^m を 300 kg、空気の定圧比熱を 1000 J K⁻¹ kg⁻¹、水蒸気の凝結の潜熱を 2.5 × 10⁶ J kg⁻¹、水の密度を 10³ kg m⁻³ としたとき、この霧の発生に伴う気温上昇量として最も適切なものを、下記の①~⑤の中から一つ選べ。

- ① 0.040 °C
 ② 0.25 °C 2
 ③ 0.40 °C
 ④ 2.5 °C
 ⑤ 4.0 °C

$$V_m = 10^3 \times 0.03 \times 10^{-3} \text{ kg}$$

$$V_m \times E = \frac{0.03 \times 2.5 \times 10^6 \text{ J}}{1000 \times 300 \text{ kg}} = \frac{0.03 \times 2.5 \times 10^6}{3} = 0.1 \times 2.5 = 0.25 \text{ °C}$$

$$1 \text{ m}^2 \text{あたり}$$

$$10^3 \times 0.03 \times 10^{-3}$$

$$= 0.03 \text{ kg}$$

問 3 湿潤空気の物理量の大小関係について述べた次の文 (a) ~ (c) の正誤の組み合わせとして正しいものを、下記の①~⑤の中から一つ選べ。

(a) ある空気塊を断熱的に膨張させると、気圧が低くなるにつれてその気圧における露点温度も低くなる。○

(b) 同じ気圧にある 2 つの空気塊を比べると、湿球温位の高い方が相当温位も高い。○

(c) ある空気塊の混合比の値 (g kg^{-1} 単位) は、その空気塊の比湿の値 (g kg^{-1} 単位) よりも小さい。

(a) (b) (c)

① 正 正 正

② 正 正 誤

③ 正 誤 正

④ 誤 正 誤

⑤ 誤 誤 正

条件
気圧: $p=1000\text{hPa}$
気温: $T=300\text{K}$ (約 27°C)
露点温度: $T_d=295\text{K}$ (約 22°C)
各種温位のおおよその値
温位 θ : 1000hPa では温位はほぼ気温と同じなので温位は 300K
 $\theta=300\text{K}$
相当温位 θ_e : 約 334K
混合比 $r=0.016\text{kg/kg}$
程度はかなり湿った空気、ボルトン型の近似から
 $\theta_e=340\sim 345\text{K}$ (ここでは約 344K とみなせる)
飽和相当温位 θ_{es} : 約 362K
同じ 1000hPa で $T=300\text{K}$
の空気を「完全に飽和している」と仮定した場合の相当温位で、
 $\theta_{es}=360\sim 365\text{K}$ (ここでは約 362K)
湿球温位 θ_w : 約 297K
 θ_w : この条件だと湿球温度はだいたい
 $T=297\text{K}$ (約 24°C) 程度になり、
 1000hPa では湿球温位はほぼその値とみなせるので
 $\theta_w=297\text{K}$

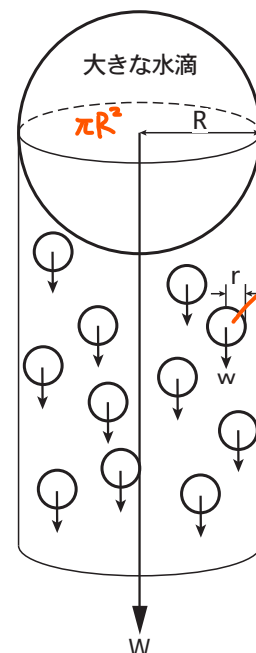
問 4 図のように、雲の中に半径 r の小さな水滴が一様に分布して鉛直下向きに速さ w で落下しており、その雲の中を r よりも十分に大きい半径 R の水滴が同じく鉛直下向きに速さ W ($W > w$) で落下している。大きな水滴が小さな水滴を併合して雨粒に成長するとき、大きな水滴の単位時間当たりの質量増加量を表す式として最も適切なものを、下記の①~⑤の中から一つ選べ。

ただし、雲の中の小さな水滴の数密度を n 、水の密度を ρ とする。また、小さな水滴は大きな水滴が近づいても落下の経路を変えることはなく、大きな水滴と接触する小さな水滴はすべて併合されるものとする。

$$\pi R^2 V n \frac{4}{3} \pi r^3 \rho$$

$$= \frac{4}{3} \pi^2 n \rho r^3 R^2 V$$

$$V = W - w$$



① $4\pi^2 n \rho r^2 R^2 W$

② $4\pi^2 n \rho r^2 R^3 W$

③ $\frac{4}{3} \pi^2 n \rho r^3 R^2 (W - w)$

④ $\frac{4}{3} \pi^2 n \rho r^3 R^2 W$

⑤ $\frac{4}{3} \pi^2 n \rho r^3 R^3 (W - w)$

問 5 太陽放射に関する次の文 (a) ~ (d) の正誤の組み合わせとして正しいものを、下記の①~⑤の中から一つ選べ。

(a) 夏至 (6 月) の 1 日間に大気上端の水平な単位面積に入射する太陽放射エネルギー量は、北極点の方が赤道上の地点よりも多い。○

(b) 海表面における直達太陽放射の反射率は、太陽の高度角が大きいほど大きい。✕

(c) 冬至 (12 月) の 1 日間に地球全体で受ける太陽放射エネルギー量は、夏至の 1 日間よりも多い。○

(d) 可視光線が大気的气体分子によって散乱を受けるとき、波長が $0.4 \mu\text{m}$ の紫色光の散乱係数 (入射光に対する散乱光の割合) は、波長が $0.6 \mu\text{m}$ の橙色光の散乱係数の約 5 倍になる。○

- | | | | | |
|---|-----|-----|-----|-----|
| | (a) | (b) | (c) | (d) |
| ① | 正 | 正 | 誤 | 誤 |
| ② | 正 | 誤 | 正 | 正 |
| ③ | 正 | 誤 | 正 | 誤 |
| ④ | 誤 | 正 | 誤 | 正 |
| ⑤ | 誤 | 誤 | 正 | 誤 |

物理的な理由 (フレネル反射)
 水面での反射率はフレネルの式で決まり、入射角が大きい (= 太陽高度が低い) ほど反射率が急増します。
 例: 海面の反射率 (直達日射)

太陽高度	入射角	反射率の目安
90° (真上)	0°	約 2%
30° (中)	60°	約 10%
10° (低い)	80°	30~40% 以上
0° (地平線)	90°	ほぼ 100% (海が鏡のように光る)

 夕方の海がキラキラ光るのはこのためです。
 直感的なイメージ
 太陽が高いとき (昼)
 → 光はほぼ垂直に海に入る
 → 反射は少なく、ほとんどが海に吸収される
 太陽が低いとき (朝・夕)
 → 光が浅い角度で海に入る
 → 反射が増え、海が強く光って見える

問 6 慣性振動について述べた次の文章の空欄 (a) ~ (d) に入る適切な語句または式の組み合わせを、下記の①~⑤の中から一つ選べ。

角速度 Ω で自転している地球に固定された座標系上では、北半球の北緯 ϕ の地点を速さ V で水平移動する単位質量の空気塊に働くコリオリ力の水平成分の大きさは (a) となる。コリオリ力は移動方向と直角に働くため、これ以外に水平方向に働く力がないときにはこの空気塊は水平円運動を行う。この円の半径を r とすると、この空気塊には (b) で表される遠心力が外向きに働く。この遠心力がコリオリ力と釣り合うことを利用して、円周の長さを速さで割ると、円運動の周期は (c) となる。この円運動は慣性振動と呼ばれる。

この周期から、北緯 30° の地点で北向きにゆっくりと水平移動を開始した空気塊は、その 6 時間後には (d) 向きに移動していることになる。

$$\Omega = \frac{\pi}{T}$$

$$\Omega = \frac{2\pi}{24}$$

$$\Omega = \frac{\pi}{12}$$

$$\frac{2\pi}{\Omega} = \frac{2\pi \times 12}{\pi}$$

$$= \frac{24\pi}{\pi}$$

$$= 24$$

- | | | | | |
|---|-----------------------|-----------------|--------------------------------|-----|
| | (a) | (b) | (c) | (d) |
| ① | $2\Omega V \sin \phi$ | $\frac{V}{r}$ | $\pi \Omega \sin \phi$ | 南 |
| ② | $2\Omega V \cos \phi$ | $\frac{V^2}{r}$ | $\pi \Omega \cos \phi$ | 東 |
| ③ | $2\Omega V \sin \phi$ | $\frac{V^2}{r}$ | $\frac{\pi}{\Omega \sin \phi}$ | 北東 |
| ④ | $2\Omega V \cos \phi$ | $\frac{V}{r}$ | $\frac{\pi}{\Omega \cos \phi}$ | 南 |
| ⑤ | $2\Omega V \sin \phi$ | $\frac{V^2}{r}$ | $\frac{\pi}{\Omega \sin \phi}$ | 東 |

$$T = \frac{\pi}{\Omega \times \sin 30^\circ}$$

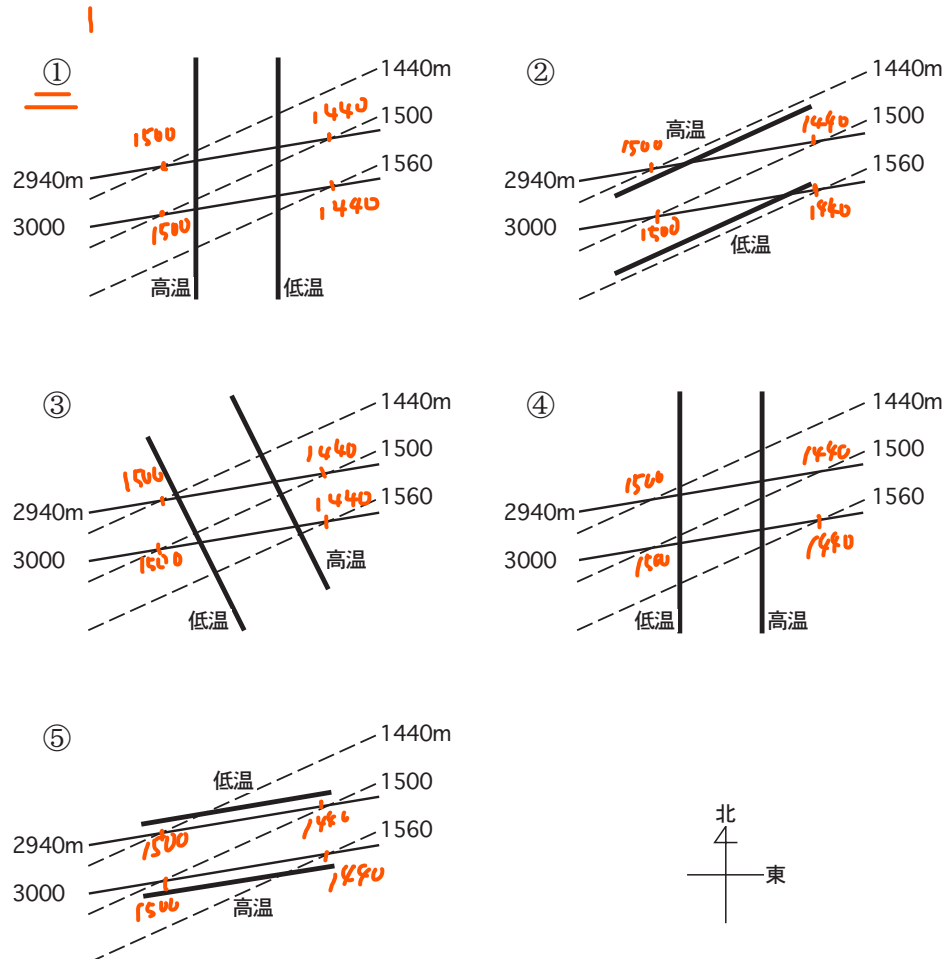
$$= \frac{2\pi}{\Omega}$$

$$\Omega = \frac{2\pi}{24(\text{H})}$$

$$T = \frac{2\pi}{2\pi} 24(\text{H}) = 24\text{H}$$

5

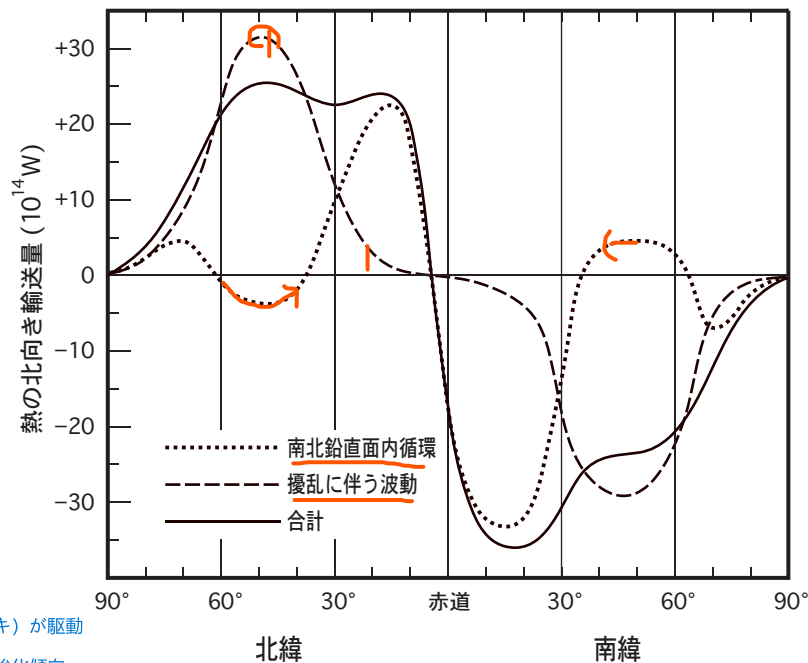
問 7 図は北半球中緯度において静力学平衡にある大気を表した平面図であり、850hPa 等圧面の高度分布を破線と右側の数値で、700hPa 等圧面の高度分布を細い実線と左側の数値で表している。太い実線はこの大気の 700hPa と 850hPa 間の気層の平均気温の水平分布を表す等温線である。太い実線によって 気層の平均気温の水平分布が最も適切に表されているものを、下図の①～⑤の中から一つ選べ。



問 8 大気運動による熱輸送に関する次の文章の空欄 (a) ~ (d) に入る適切な語句の組み合わせとして正しいものを、下記の①~⑤の中から一つ選べ。

図は大気運動による年平均の北向き熱輸送量の緯度分布を表したもので、点線は南北鉛直面内の循環による熱輸送量を、破線は低気圧・高気圧などの擾乱に伴う波動による熱輸送量を、実線はそれらの合計すなわち大気運動による熱輸送量を示している。

この図から、南北鉛直面内の循環によって (a) 半球から (b) 半球に熱が運ばれていること、および擾乱に伴う波動による熱輸送は両半球の緯度 $20^{\circ} \sim 45^{\circ}$ では大気を (c) するように働いていることを読み取ることができる。また、両半球の緯度 50° 付近では南北鉛直面内の循環によって極から赤道向きにエネルギーが輸送されている。これは大気運動の平均操作によって現れる (d) 循環に対応している。



まとめ (ポイントだけ押さえる版)
発生原理: ロスビー波・重力波の散逸 (ブレーキ) が駆動
向き: 熱帯で上昇 → 中緯度へ輸送 → 極で下降
強さ: ゆっくりだが地球規模で重要、温暖化で強化傾向
高度: 主に $10 \sim 30$ km (成層圏下部)
季節変化: 冬半球で強い、秋は春より強い (最新研究)

	(a)	(b)	(c)	(d)
①	北	南	加熱	フェレル循環
②	北	南	冷却	ブリューワドブソン循環
③	北	南	冷却	フェレル循環
④	南	北	加熱	フェレル循環
⑤	南	北	加熱	ブリューワドブソン循環

ブリューワ・ドブソン循環とは? (全体像)
成層圏 (高度約 $10 \sim 30$ km) で起こる地球規模の子午面循環。
特徴は:
①熱帯の対流圏界面付近で上昇
②成層圏に入った空気が中緯度～高緯度へ輸送
③極域で下降
という「ゆっくりした大循環」。
この循環が熱帯で生成されたオゾンを経へ運ぶため、
オゾン層の分布を決める最重要プロセス。

1. 発生原理 (なぜ循環が生じるのか?)
成層圏は自力で強い循環を作れない
成層圏は安定成層で、対流のような強い鉛直運動が起きにくい。
→ では何が循環を駆動しているのか?
駆動源は「波のブレーキ」= ロスビー波・重力波の散逸
最新の理解では:
● 中緯度で上昇するロスビー波が成層圏で砕ける (ブレーキになる)
→ 東西風の運動量が失われる
→ その反作用として上向きの力 (ブレーキ補償流) が生じる
→ 熱帯で上昇流が生まれる

3. 循環の強さ (どれくらい強い?)
BDC は「ゆっくり」だが、地球規模では非常に重要。
上昇速度: 数 mm/s 程度
全体の質量流量: 約 10^{14} kg/s 規模
近年の観測・再解析では:
温暖化により BDC は強化傾向 (特に 1979 年以降)
原因は成層圏の波活動の増加 (ロスビー波・重力波)

4. 高度分布 (どの高さで強い?)
主に 成層圏下部 ($10 \sim 30$ km)
熱帯の上昇は対流圏界面 (約 17 km) 付近
中緯度への水平輸送は $20 \sim 30$ km で顕著
極域の下降は $15 \sim 25$ km 付近で強い

5. 季節変化 (季節でどう変わる?)
冬半球で強く、夏半球で弱い (基本)
冬極 → 強い下降流
夏極 → 上昇流
熱帯上昇は年間を通じて存在
理由: 冬半球ではロスビー波活動が強く、波のブレーキが大きい
*春と秋にも非対称性がある (最新研究)
Sato & Hirano (2019) によると:
秋の循環は春より強く広い

6. BDC が地球に与える影響
オゾンの極方向輸送 → オゾン層の形成
成層圏の水蒸気量の調整
極渦の強さ・成層圏突然昇温 (SSW) との関係
気候変動に伴う成層圏の長期変化
特にオゾン輸送は、Dobson がオゾン観測から
循環を発見した根拠でもある。

2. 循環の向き (流れの方向)
基本構造 (年平均)
熱帯対流圏界面付近 → 上昇
成層圏下部 ($10 \sim 30$ km) → 中緯度へ水平輸送
中緯度～極域 → 下降

問 9 ガストフロントについて述べた次の文章の空欄 (a) ~ (c) に入る適切な語句の組み合わせを、下記の①~⑤の中から一つ選べ。

ガストフロントは局地前線の一種であり、積乱雲の中で発生した強い下降気流が勢いよく地表面に到達したあとと外出流となって水平に広がっていく際の先端部分のことである。ガストフロント通過時には地表では突風が吹くとともに (a) が急低下し、相対湿度は (b) する。ガストフロントは上昇流を伴っており、ガストフロントに沿って (c) と呼ばれる特徴的な雲が発生することがある。

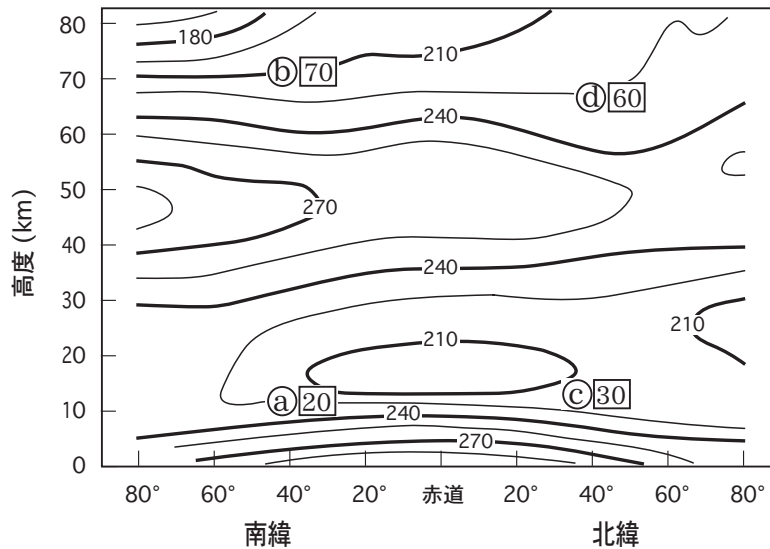
	(a)	(b)	(c)	
①	気温	増加	アーク雲	特徴 発生場所 アーク雲 (Arcus) 発生原因 積乱雲の前面 (低い高度) 見たい 冷気外出流が暖気を押し上げる 気象的意味 黒く低い帯状の雲、迫力がある 雷雨・突風の前兆
②	気温	増加	ベール雲	
③	気温	減少	アーク雲	
④	気圧	増加	アーク雲	
⑤	気圧	減少	ベール雲	

ベール雲 (Veil)
 山頂・建物・雲頂付近 (高めの高度)
 地形による上昇流 or 雲頂での広がり
 薄く白いベール状の雲
 積乱雲の発達や地形風の指標

ひとことまとめ
 アーク雲: 雷雨の前に現れる“黒い壁のような雲”
 ベール雲: 山や雲頂にかかる“薄い白いベール”

問 10 図は地表面から高度 80km までの 1 月の平均気温 (K) の緯度高度分布であり、図中の①~④の文字とそれに併記された□内の数値は、それぞれ同月の高層風の平均東西成分の極値の位置とその大きさ (絶対値: ms^{-1}) を示している。温度風の関係を考慮して、①~④の各点における高層風東西成分の極値の向きの組み合わせとして正しいものを、下記の①~⑤の中から一つ選べ。

REDPDF参照



	①	②	③	④
①	東風	西風	東風	西風
②	東風	西風	西風	東風
③	西風	東風	東風	東風
④	西風	東風	西風	西風
⑤	西風	西風	西風	西風

層厚の違いの大きさは層の平均気温の差による
 差の大きさは高度が高い(気圧が低い)ほど顕著になる

問 11 温室効果を持つ気体について述べた次の文 (a) ~ (c) が表す気体の名称の組み合わせとして正しいものを, 下記の①~⑤の中から一つ選べ。

(a) 湿地帯や水田での有機物の分解, 動物の腸内発酵, 天然ガスの採掘などにより発生する。大気中の濃度は 19 世紀初頭から増加を続けている。

(b) 各種燃料や廃棄物の燃焼等により発生する。近年, 大気中の濃度は 1 年あたり約 0.25% の割合で増加している。同一分子数で比較したこの気体による温室効果は (a) よりも大きい。

(c) 化石燃料の燃焼などに伴って大気中に排出される。近年, 大気中の濃度は 1 年あたり約 0.4% の割合で増加している。同一分子数で比較したこの気体による温室効果は (a) よりも小さい。

	(a)	(b)	(c)	
①	一酸化二窒素	二酸化炭素	メタン	
②	一酸化二窒素	メタン	二酸化炭素	
③	二酸化炭素	一酸化二窒素	メタン	
④	メタン	一酸化二窒素	二酸化炭素	4
⑤	メタン	二酸化炭素	一酸化二窒素	

問 12 気象庁以外の者が気象の予報業務を行うために気象庁長官の許可を受けるとき,
その審査の基準として, 申請者が有していなければならないと定められたものを
記した次の (a) ~ (d) の正誤の組み合わせとして正しいものを, 下記の①~⑤の
中から一つ選べ。

(a) 当該予報業務に必要な観測資料を収集する施設及び要員 ○

(b) 予報の種類に応じて気象庁が指定して提供する予報資料を受けることができ
る専用の施設及び要員 ×

(c) 当該予報業務の目的及び範囲に係る気象庁の警報事項を迅速に受けること
ができる施設及び要員 ○

(d) 予報事項を利用者に迅速に伝達できる施設及び要員 ×

(a) (b) (c) (d)

① 正 正 正 誤

② 正 誤 正 誤 2

③ 正 誤 正 正

④ 誤 正 誤 正

⑤ 誤 誤 誤 正

問 13 予報業務の許可を受けた者が, 予報業務を行う事業所ごとに置かなければなら
ない気象予報士の人数について述べた次の文の空欄 (a) ~ (c) に入る適切な語句
の組み合わせを, 下記の①~⑤の中から一つ選べ。

気象または (a) の予報業務の許可を受けた者が配置しなければならない気象
予報士の数は, その事業所で現象の予想を行う (b) に応じて定められており,
(c) ときには 3 名以上の専任の気象予報士を置かなければならない。

(a)

(b)

(c)

① 波浪 対象の府県の数 3 府県を超える

② 地象 1 日あたりの時間 8 時間以下の

③ 波浪 1 日あたりの時間 8 時間を超え 16 時間以下の 3

④ 地象 対象の府県の数 1 府県を超え 3 府県以下の

⑤ 波浪 1 日あたりの時間 16 時間を超える

問 14 気象庁が行う予報および警報について述べた次の文 (a) ~ (d) の正誤の組み合わせとして正しいものを, 下記の①~⑤の中から一つ選べ。

(a) 気象庁は, 気象, 地象 (地震は地震動に限る), 津波, 高潮, 波浪及び洪水についての一般の利用に適合する予報及び警報をしなければならない。○

(b) 気象庁は, 津波, 高潮, 波浪及び洪水以外の水象についての一般の利用に適合する予報及び警報をすることができる。○

(c) 気象庁は, 気象, 津波, 高潮及び洪水についての水防活動の利用に適合する予報及び警報をしなければならない。○

(d) 気象庁は, 津波, 高潮及び洪水以外の水象についての水防活動の利用に適合する予報及び警報をすることができる。○→×

- | | (a) | (b) | (c) | (d) |
|---|-----|-----|-----|-----|
| ① | 正 | 正 | 正 | 正 |
| ② | 正 | 正 | 正 | 誤 |
| ③ | 正 | 誤 | 正 | 誤 |
| ④ | 誤 | 正 | 誤 | 誤 |
| ⑤ | 誤 | 誤 | 誤 | 正 |

「水防活動の利用に適合する」という表現は
気象業務法 第13条の趣旨に基づく

条文にそのままの文言はないが、
水象に関する予報・警報は災害防止 (= 水防活動) を目的として発表される

よって、気象庁は津波・高潮・洪水以外の水象についても
水防活動に資する予報・警報を行うことができる

問 15 国の機関が行う洪水予報等に関する水防法の規定について述べた次の文章の空欄 (a) ~ (e) に入る適切な語句の組み合わせを, 下記の①~⑤の中から一つ選べ。

気象庁長官は, 気象等の状況により洪水, 津波又は (a) のおそれがあると認められるときは, その状況を国土交通大臣及び関係 (b) に通知するとともに, 必要に応じ (c) の協力を求めて, これを (d) に周知させなければならない。

国土交通大臣は, 二以上の都府県の区域にわたる河川その他の流域面積が大きい河川で洪水により国民経済上重大な損害を生ずるおそれがあるものとして指定した河川について, 気象庁長官と共同して, 洪水のおそれがあると認められるときは (e) を示して当該河川の状況を関係 (b) に通知するとともに, 必要に応じ (c) の協力を求めて, これを (d) に周知させなければならない。

- | | (a) | (b) | (c) | (d) | (e) |
|---|-----|----------|--------|--------------|------------|
| ① | 高潮 | 都道府県知事 | 市町村長 | 居住者及び
滞在者 | 水位又は流量 |
| ② | 浸水 | 指定地方行政機関 | 報道機関 | 一般 | 予想浸水区域及び水深 |
| ③ | 高潮 | 指定地方行政機関 | 都道府県知事 | 市町村長 | 水位又は流量 |
| ④ | 浸水 | 都道府県知事 | 都道府県知事 | 市町村長 | 予想浸水区域及び水深 |
| ⑤ | 高潮 | 都道府県知事 | 報道機関 | 一般 | 水位又は流量 |