

Time: 09:00 to 12:00 hrs

Date: August 29, 2019

前書き:

生徒は3時間以内に筆記試験1および2の解答を終えなくてはなりません。

解答用紙のあなたの答えに対応する欄に”V”をマークしてください。

採点配分:

“正解を一つだけ選べ”は、正解が1つのみであることを示す。この問題は、以下のように採点する。

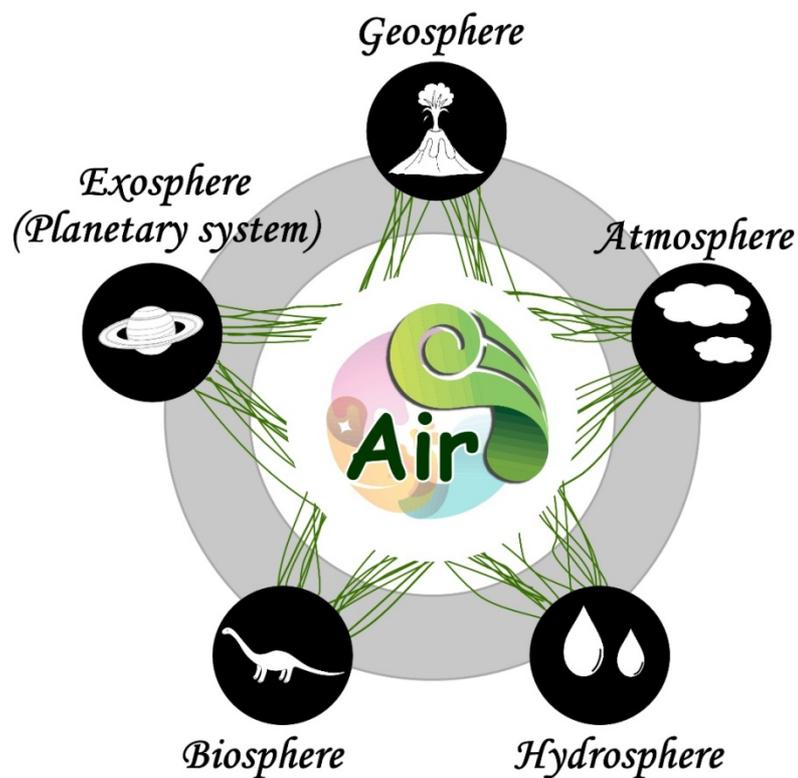
- 正解の場合：1点
- 不正解の場合：0点
- 複数の解答をした場合：0点

“正解をすべて選べ”は、正解が1つ以上あることを示す。この問題は、以下のように採点する。

- 正解1つに対して：+1点
- 不正解1つに対して：-0.5点(マイナス0.5点)
- 解答の合計が0点以下になる場合は、0点とする。

テーマ：大気

大気は多くのガスと微細で浮遊する粒子からなる。このことにより、太陽からのエネルギーを蓄えたり、生命を維持したりすることにおいて地球システムにおける重要な物質となっている。大気は水蒸気を保ち、エネルギーを吸収し、それらを熱の形で再分配し、それにより風や気象が生み出される。大気の流れは様々な物質がある場所から別の場所へ気圧の差に応じて移動することにより生じる。太陽系のほかの天体の周りの大気にも、その組成や比率に依存した様々な特徴がある。



このテストでは、私たちはあなたたちの知識、地球や太陽系の天体の大気に関連した考える能力を、地圏・気圏・水圏・生物圏という概念をもとに評価するものである。

Q1 に関する説明:

エアロゾルは微小で、固体もしくは液体からなる粒子であり、大気中に浮遊する。砂嵐や波の砕けるときに放出される海塩粒子、火山噴火などにより天然に生成され、さらには化石燃料燃焼によって人間活動によっても生成される。一般的には地面付近に存在するが、ピナツボのような大規模火山噴火においては、エアロゾルは成層圏でも作られ、それは気候に影響を与える。図 A は火山ガスによって成層圏に入る火山ガスの種類と硫酸エアロゾルの形成メカニズムに関して示したものである。図 B は火山噴火で生成されるガスの影響を模式的に示したものである。

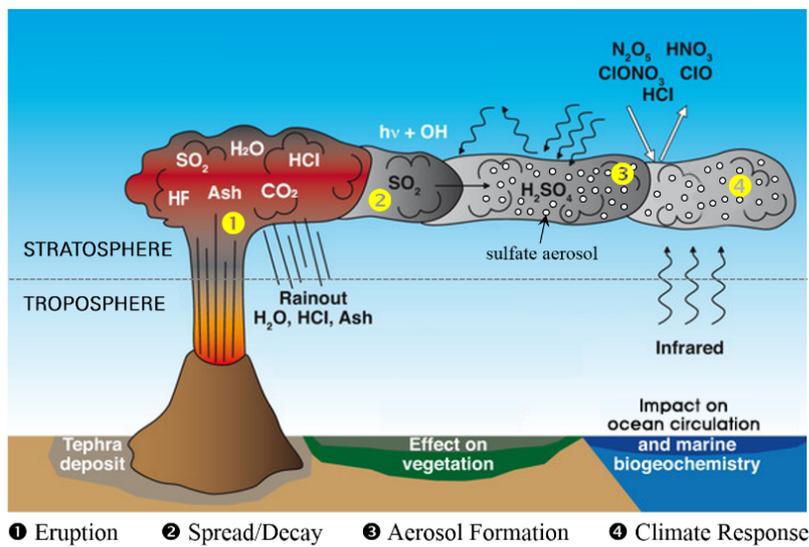


図 A

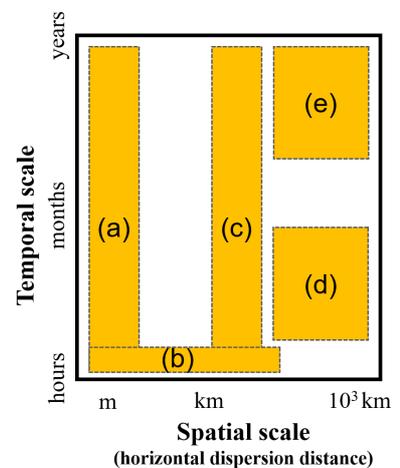


図 B

Q1) 選択肢にあげたもののなかで正しいことを述べているものをすべて選びなさい。

- a) 火山ガスのなかでもっとも量の多いものは CO₂ である。
- b) 硫酸エアロゾルは地球表面の温度を下げる効果がある。
- c) 硫酸エアロゾルは地球表層の酸性度を下げる働きがある。
- d) 火山噴火で放出されるガスはオゾン層を破壊する。
- e) 図 B において、硫酸エアロゾルによる時間-空間スケールでの影響として最もよく表現できているものは (b) である。

Q2 に対する説明:

地球大気は現在と比べて過去にはまったく異なるものであった。生物影響やマントル物質からの供給などによって、大気の組成は時間とともに変化してきた。図 A は地球大気の組成変化と生命の進化に関して図示したものである。図 B は大気の組成の時間変化を示したものである。

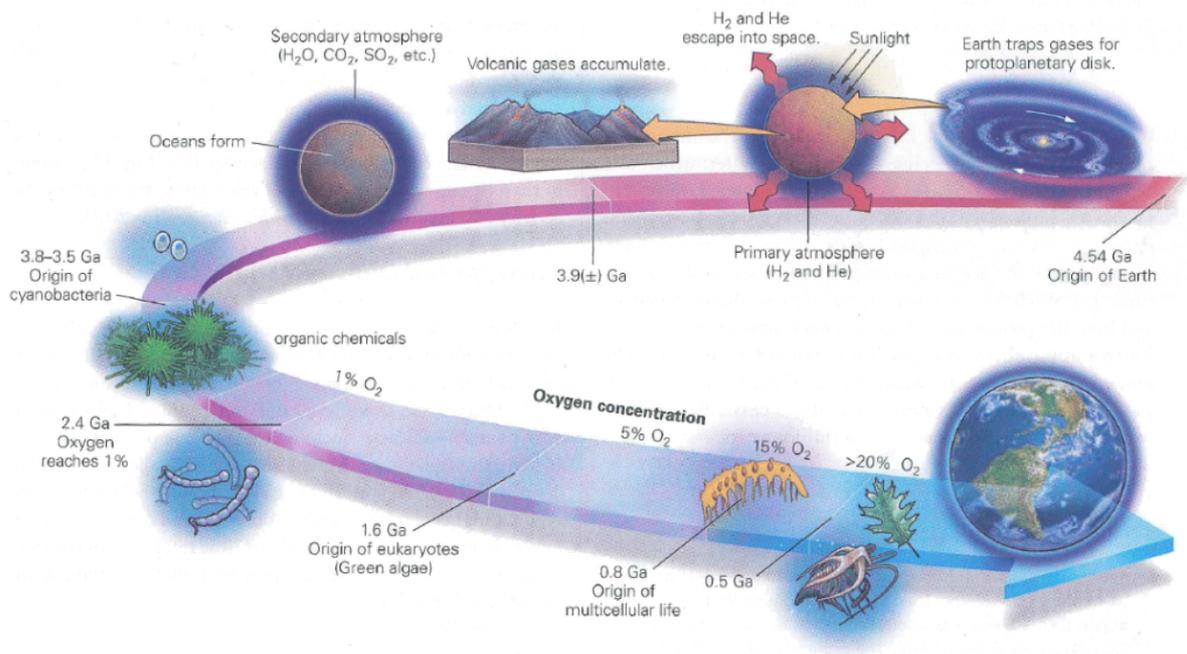


図 A

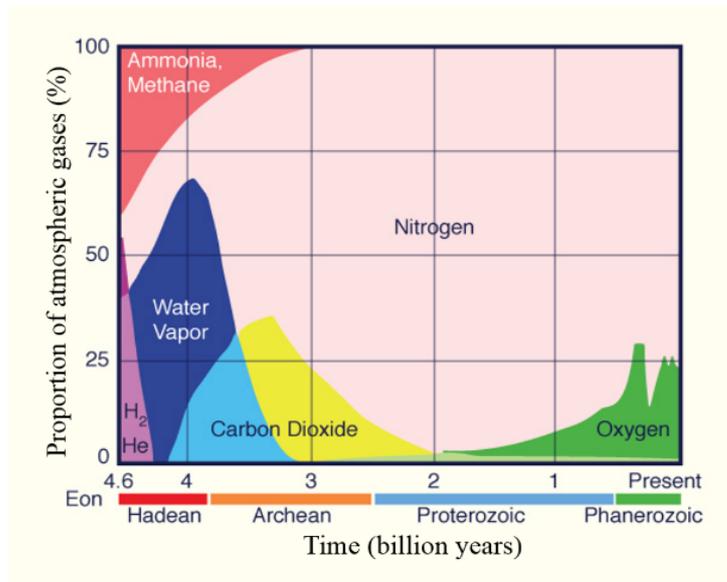


図 B



Q2) 選択肢にあげたもののなかで正しいことを述べているものをすべて選びなさい。

- a) 現在の温室効果は Archean（太古代または始生代）の温室効果よりも大きい。
- b) オゾン層はおよそ 10 億年に形成された。
- c) 光合成は真核生物（eukaryotes）が生じた 16 億年前に始まった。
- d) 生命は 20 億年前には海洋に限定されていた。
- e) 大気 CO₂ 濃度の低下の主要な（始原的な大気の 25%以上の低下を説明する）要因は海洋の形成である。

Q3-Q5 の説明:

炭素の形態のひとつである CO_2 は最も議論すべき温室効果ガスであるので、将来の気候変動をよりよく予想するためには、炭素循環を理解することが重要である。大気は、岩石圏、水圏、生物圏といった地球のほかのサブシステムと様々な時間スケールで炭素のやり取りをする (図 A)。したがって、大気 CO_2 濃度は日単位から地質時代スケールで、変動することになる。

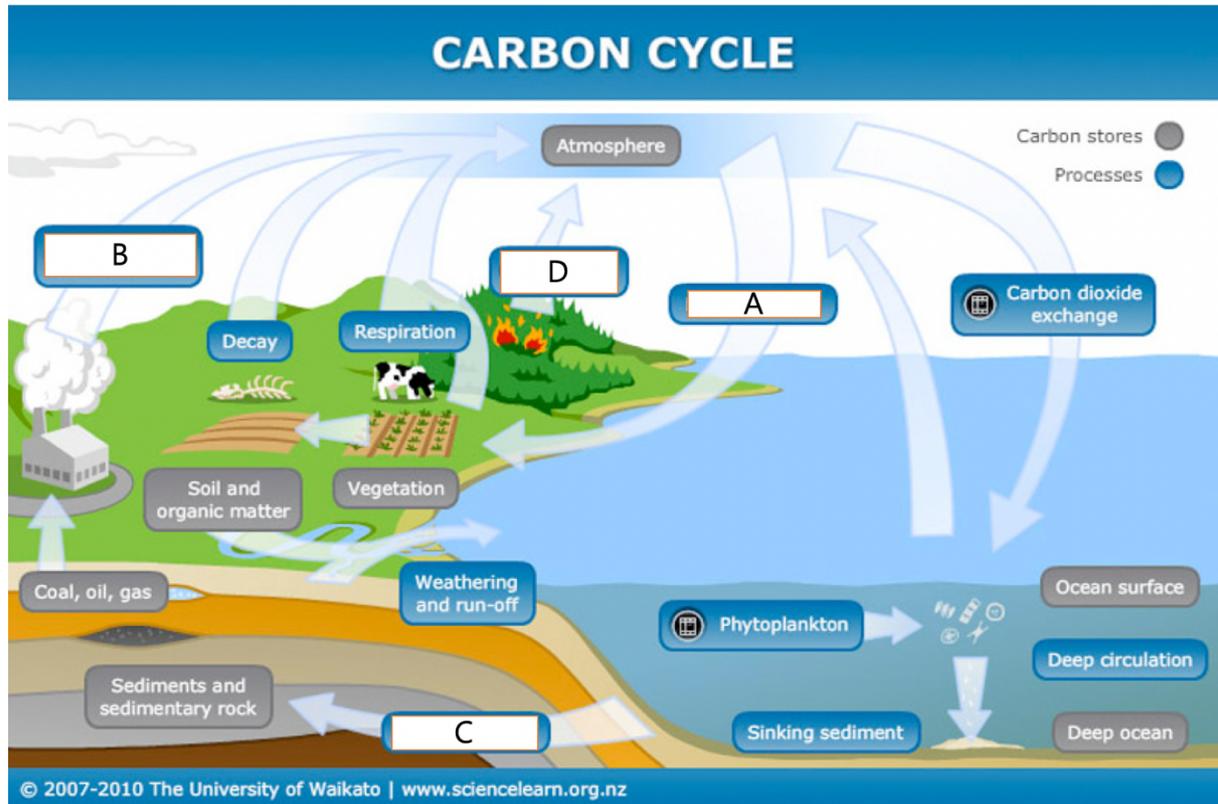


図 A

Q3) 上の図 A に基づいて、A-D の箱に関して適切な説明をすべて選びなさい。

- 南半球の植生に関連した過程 A は、北半球の夏に相当する時期に最大になる。
- 人類活動に関連する過程 B は、大気 CO_2 濃度増加の要因と考えられている。
- 過程 C は大気・海洋から永遠に炭素を隔離することができる。
- 過程 D は、高温・多湿の時期にしばしば起こる。
- 過程 A がなければ、地球大気は豊富な酸素を含むことができなかつた。

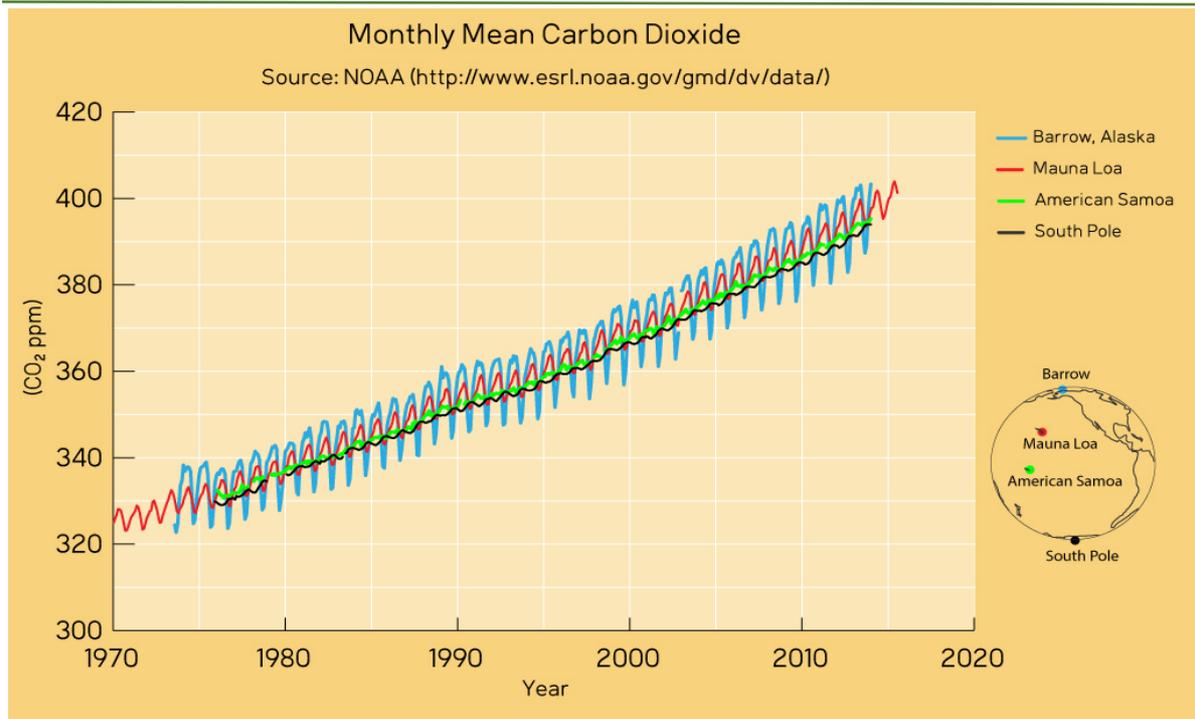


図 B

図 B は、Barrow, Mauna Loa, American Samoa, 南極で測定された月別の大気 CO₂ 濃度を示したものである。それぞれのサイトの位置は地図に示されている。CO₂ 濃度は 1958 年以降すべての観測サイトで明らかに増加している。長期変動に加えて、特に Barrow, Mauna Loa においては明確な季節変化を見出すことができる。

Q4) 上の図 A と図 B をもとに CO₂ 濃度の季節変動に関する表現として適切なものをすべて選びなさい。

- 南半球と比較して、CO₂ 濃度の季節変動が北半球で大きいのは、北半球の冬に相当する時期に太陽放射が強いためである。
- CO₂ 濃度が春の遅い時期に最大になるのは、永久凍土が溶けることにより放出される CO₂ が主たる原因である。
- 春の遅い時期から秋にかけて、北半球の森林において呼吸よりも光合成が卓越することが、9 月・10 月の低い CO₂ 濃度の要因である。
- 海洋の CO₂ の取り込み量の増大が夏季の CO₂ 濃度の低い原因である。
- 秋の早い時期における CO₂ 濃度が最低になる原因は、夏における有機物の急激な分解である。
- 南半球に比べて北半球に落葉樹林が広がっていることが、CO₂ 濃度の明らかな季節変化の要因である。
- 化石燃料燃焼が CO₂ 濃度の季節変化を弱くする。

図 C は、Barrow (アラスカ)、Mauna Loa (ハワイ) における CO₂ 濃度の季節変化の振幅の変化を示したものである。大気 CO₂ 濃度の季節変化は、大陸面積が海洋面積よりも大きい地域である高緯度で特に大きい。

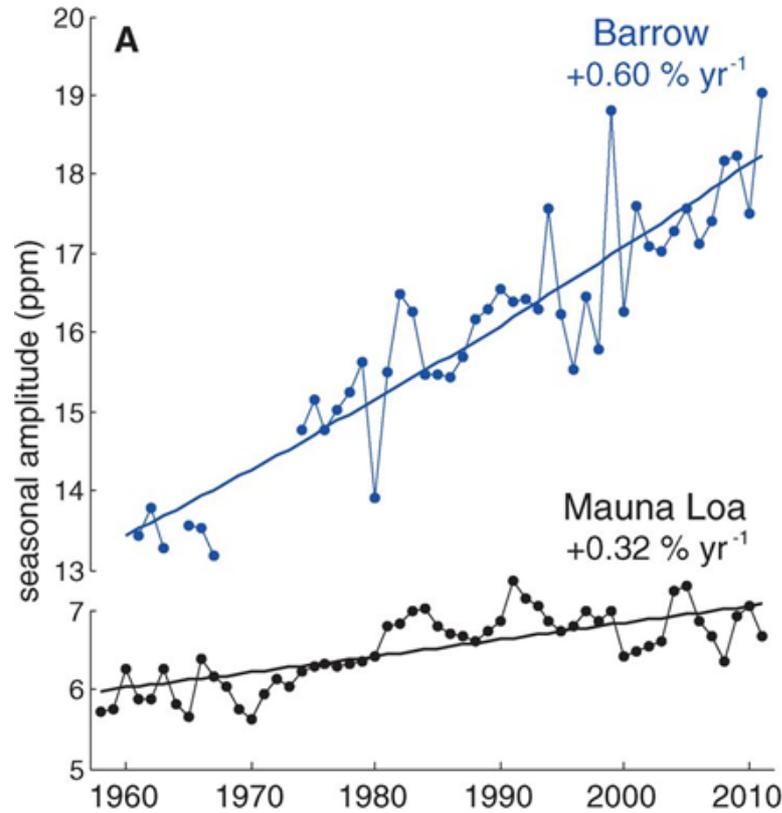


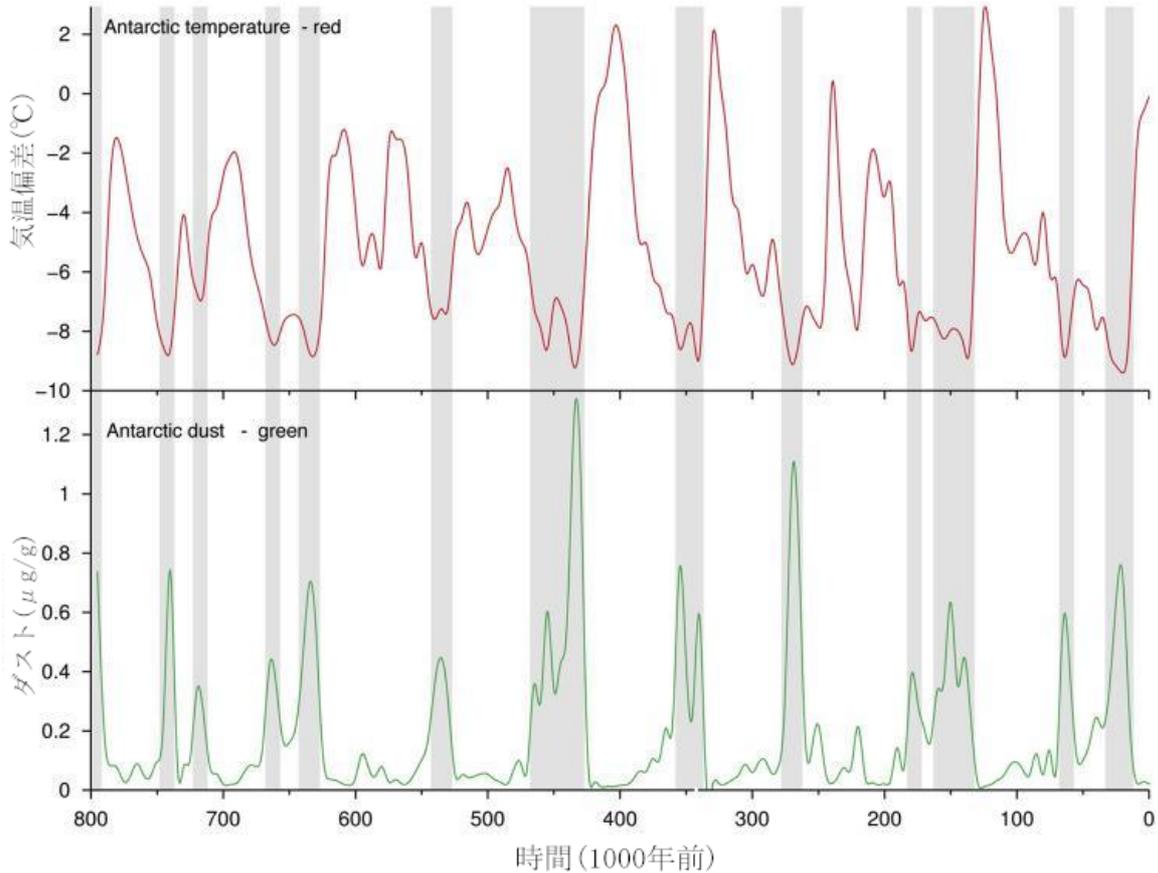
図 C

Q5) どのような環境変動が CO₂ の季節変化を増幅させているか？正しく述べているものをすべて選べ。

- a) 砂漠化
- b) 海洋における炭素の取り込みの上昇
- c) ツンドラの緑化・低木林化
- d) 太陽黒点活動の高頻度化
- e) 火山活動の活発化
- f) 農業活動強化
- g) 植生による光合成生産量の増加

Q6の導入

以下の図は、南極のアイスコアから求めた過去 80 万年の気温とダストの量の変化を示す。



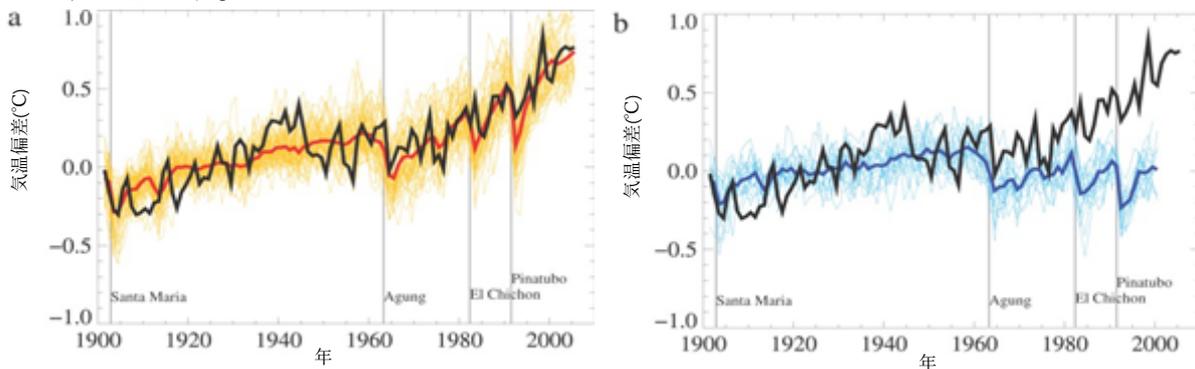
Q6) 上の図をもとに、適切な説明を 1 つだけ選びなさい。

- a) ダストが高濃度である時期は高い気温で特徴づけられる。
- b) 寒冷期に大気中のダストの量が増加すると、アルベドが増加し、高温になる。
- c) 寒冷期に大気中のダストの量が増加すると、アルベドが低下し、高温になる。
- d) 最大氷期に引き起こされる乾燥した期間に形成される広大な砂漠からの風によってダストは広がる。
- e) 最小氷期（間氷期）に引き起こされる乾燥した期間に形成される広大な砂漠からの風によってダストは広がる。

Q7の導入:

以下の図は、世界の平均気温の偏差（1901年から1950年を基準とする）の観測結果(黒線)を、気候モデルシミュレーションにおいて(a)人為的要因と自然要因を考慮した場合(赤線)、自然要因のみ考慮した場合(青線)を表す。灰色の垂直線は主な火山噴火のタイミングを示す。

太い赤色と青色の線は、薄い黄色と青色の線で表される様々なシミュレーションの平均を示す。

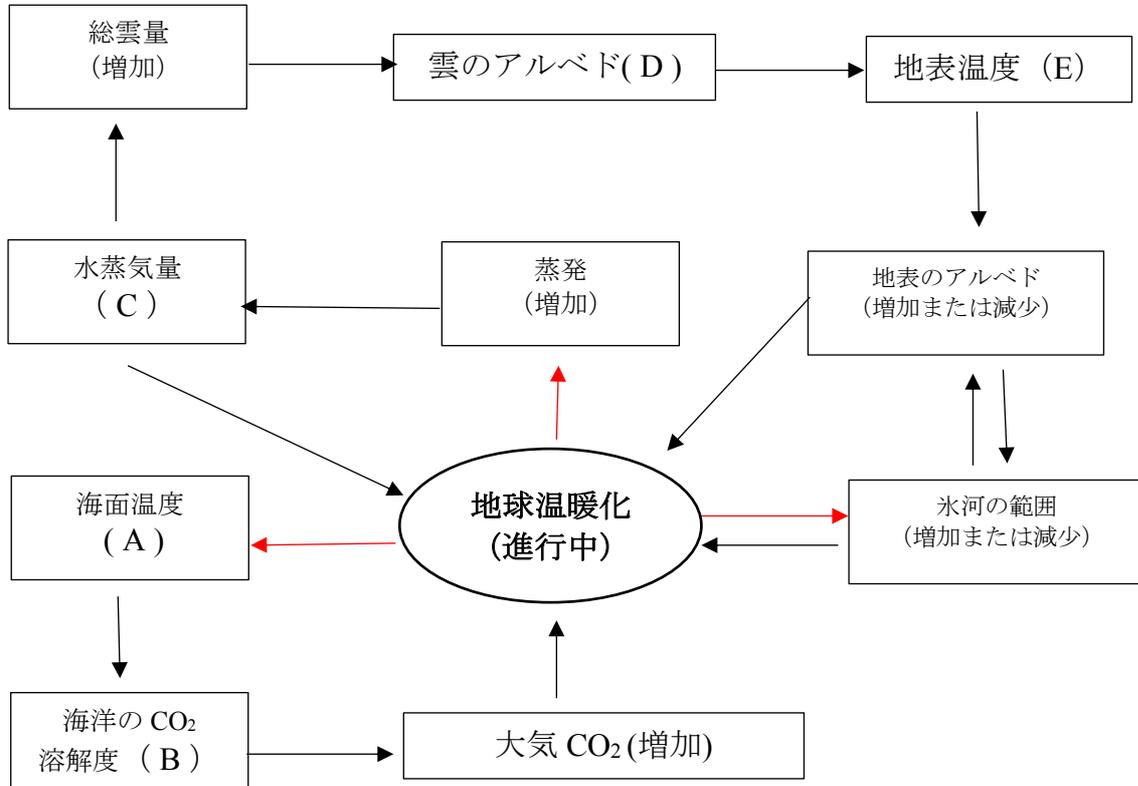


Q7) 上の図の結果を正しく述べている説明をすべて選びなさい。

- a) 火山や太陽活動等の自然要因は 20 世紀後半の急速な温暖化を引き起こした。
- b) 観測された急速な地球温暖化は、たとえ人為的要因(特に温室効果ガスやエアロゾルの放出)が最先端コンピュータの気候モデルシミュレーションに含まれたとしても再現できない。
- c) 強力な火山噴火は、灰やエアロゾルの成層圏への注入を通して地上を冷やし、最近の急速な地球温暖化を抑制する。
- d) コンピュータの気候モデルシミュレーションは、過去 50 年間に観測された地球温暖化が人間活動によるものである可能性が非常に高いことを実証した。
- e) 全球的な気候における個々の火山噴火の冷却効果は、温室効果による長期間の温暖化傾向と比べた時、通常短命である。

問題 Q8 の概要:

下の図は、「地球温暖化が進行していること」に関連する正と負のフィードバック関係を示しています。



Q8) 上の図に関するすべての正しい記述を選択してください。注：上記の (A) から (E) に適合する単語は、「減少」または「増加」のいずれかです。

- a) 森林伐採による大気中の CO₂ の増加により、このフィードバック関係で海面温度が上昇します。
- b) 海洋の CO₂ の溶解度が低下すると、このフィードバック関係で海洋の pH が上昇します。
- c) E は「増加」です。
- d) 総雲量の増加により、氷河面積の増加は正のフィードバックを誘発します。
- e) 氷河面積の減少は、負のフィードバックにつながります

問題 Q9 の概要:

オゾン層は、有害な紫外線が地球の表面に到達するのを防ぐため、重要です。1966年、イギリス南極調査の科学者が南極の上のオゾン層に穴を発見しました。1974年、シャーウッド・ローランド(Sherwood Roland)は、冷蔵庫やその他の機器で使用されるフロン (CFC) がオゾン層を破壊することを示唆しました。

その後採択されたモントリオール議定書は、1987年以降オゾン破壊物質を規制しています。世界的な努力が、2000年以降、オゾン全量の減少が元に戻っていることを示しています。図Aは、1971年から2017年までの衛星観測に基づいて2065年までシミュレートされた全オゾンの時間的および空間的分布を示しています。図Bは、1999年の3つの日付 (7月28日、9月29日、12月23日) における南極上空のオゾン分圧 (mPa) の鉛直プロファイルを示しています。

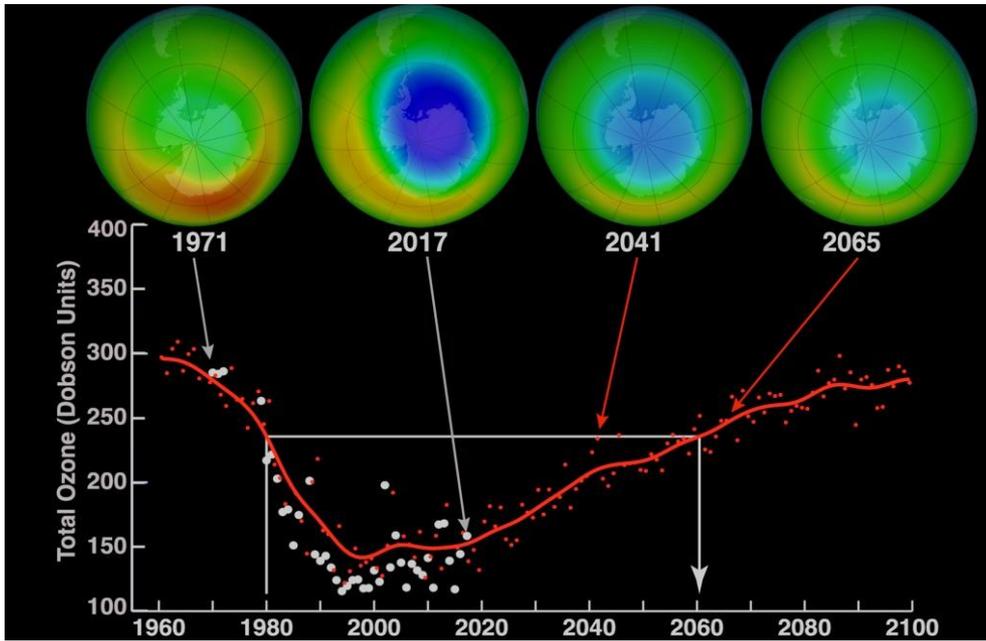


図 A 縦軸：総オゾン (ドブソン単位)

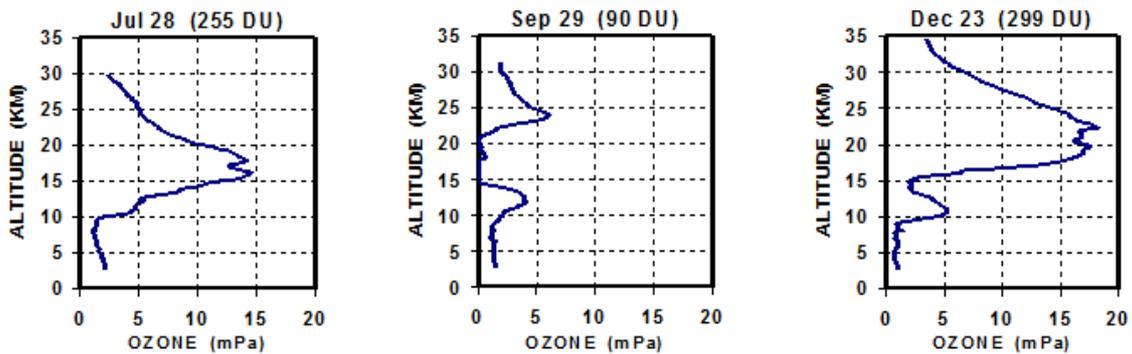


図 B 縦軸：高度(km) 横軸：オゾン (mPa)

7月28日(255 ドブソン単位) 9月29日(90 ドブソン単位) 12月23日(299 ドブソン単位)



Q9) すべての正しい説明を選択してください。

- a) オゾンホールのは大きさは、2000年よりも2017年の方が大きかった。
- b) 1999年9月29日のオゾンホール（図B）は北極でも同時に発生しました。
- c) 南極の表面に到達する紫外線の量は、1971年よりも2017年の方が増加しました。
- d) 南極大陸上のオゾンホールは、南半球の秋季に記録されました。
- e) 図Bに示すオゾン層の復元は、オゾン層の上部から始まります。
- f) オゾン層破壊とオゾンホール形成の主な原因は、人間が製造した化学物質です。

Q10～Q12 の導入:

平年では、赤道太平洋上を東から西へと貿易風が強く吹く。貿易風は西部赤道太平洋へ暖水をもたらす、インドネシア周辺に暖水プールを形成する。

これを補うために、南米の海岸や赤道に沿って冷水が深部から海面へと上がってくる（湧き上がる）。この湧昇は海洋表層に傾いた温度躍層を形成するとともに、東部赤道太平洋に（低温な）海面水温偏差を形成する。一方、西部赤道太平洋において、大気中の対流性の上昇運動が背の高い雲、すなわち積雲を形成し、しばしば強い雨をもたらす。対照的に、東部赤道太平洋における大気の下層運動は、晴れて乾燥した天気をもたらす傾向にある。

この鉛直方向の大気循環のパターンはウォーカー循環と呼ばれる。この循環に変化があると、海面水温が平年の状態より高くなったり低くなったりする、エルニーニョ現象やラニーニャ現象が生じる。

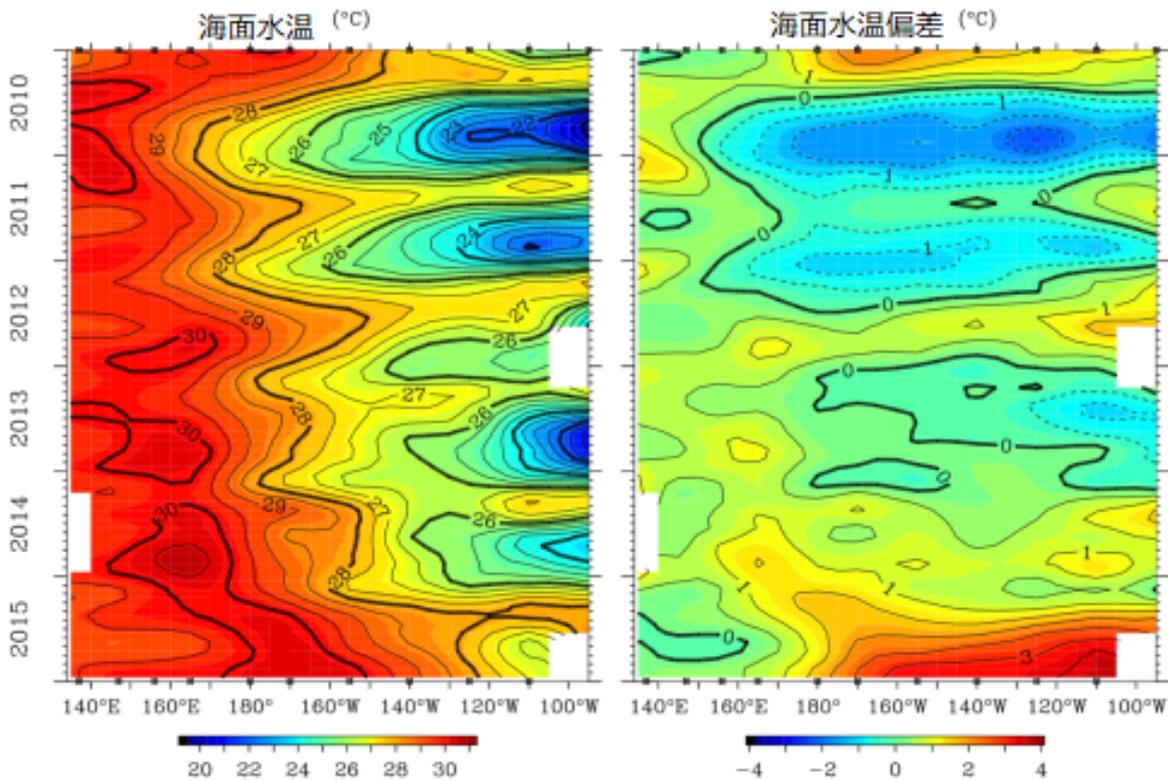


図 1. 赤道太平洋における海面水温（左）と、そこから季節サイクルを除いたあとの偏差（右）の時間変化。出典：NOAA

Q10) 上の図 1 を参考にして、エルニーニョ現象やラニーニャ現象を説明した文として正しいものをすべて選べ。

- a) エルニーニョ現象は毎年発生する。
- b) 海面水温が常に高い東部太平洋では対流活動が常に盛んである。
- c) エルニーニョ現象時の赤道太平洋上の貿易風は、エルニーニョ現象がない平年時の貿易風よりも弱い。
- d) 2010 年から 2011 年にかけてラニーニャ現象が発生した。
- e) エルニーニョ現象は東部太平洋から西部太平洋へと運ばれた暖水によって引き起こされる。
- f) エルニーニョ現象時には、インドネシアで干ばつが起こる。
- g) エルニーニョ現象時には、南米の西岸において海面高度が平年よりも低くなる。

図 2(a)および 2(b)は、エルニーニョ現象時とラニーニャ現象時の海面水温偏差と海面クロロフィル a 濃度の空間分布を、順不同で示している。

図 3 は南方振動指数 (SOI) の時系列である。SOI は、中部太平洋に位置するタヒチとオーストラリア北部に位置するダーウィンとの海面気圧 (SLP) の差から計算される。

したがって、この指数は、東西方向の海面気圧差にともなう大気の大規模な鉛直循環であるウォーカー循環の強さを表現することができる。

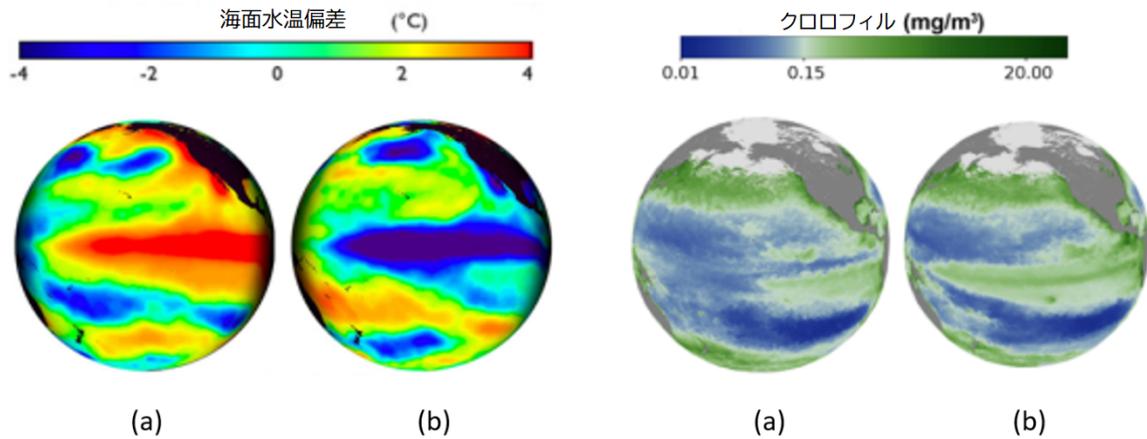


図 2. 左は海面水温偏差，右は海面クロロフィル-a 濃度。(a)および (b)は，順不同でエルニーニョ時またはラニーニャ時のもの。

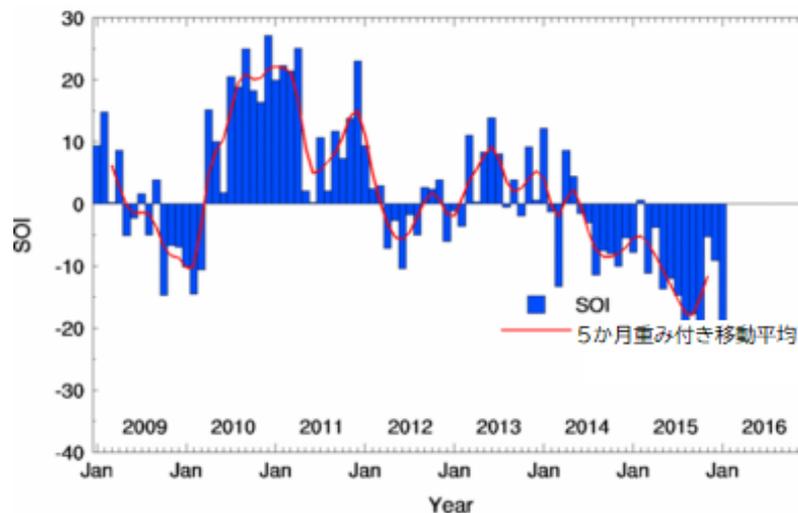


図 3.

Q11) 正しいものをすべて選べ。

- a) (a)はラニーニャ現象，(b)はエルニーニョ現象に対応する。
- b) (a)の期間において，ウォーカー循環は平年よりも弱い。
- c) (a)の期間において，潜在的な漁獲量は東部太平洋で減少する。
- d) (b)の期間において，ダーウィンとタヒチとの SLP の差は平年よりも小さくなる。
- e) (b)の期間において，温度躍層の東西勾配は平年よりも小さくなる。
- f) 2010/2011 年は(a)の期間にあたり，2015/2016 年は(b)の期間にあたる。

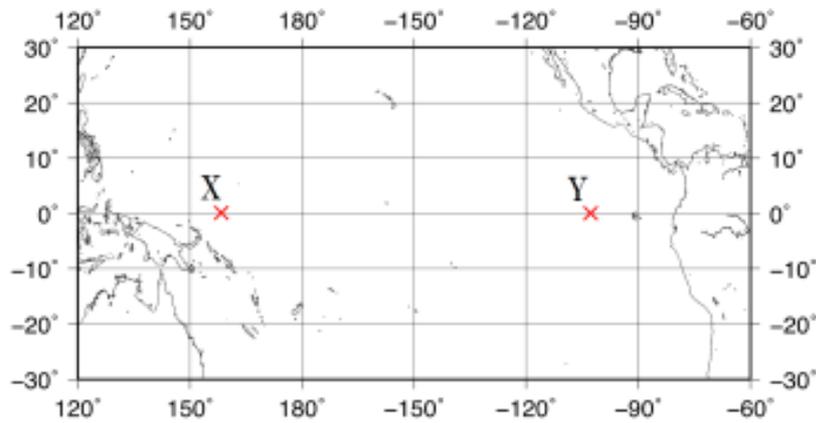


図 4. 水温と塩分の観測地点

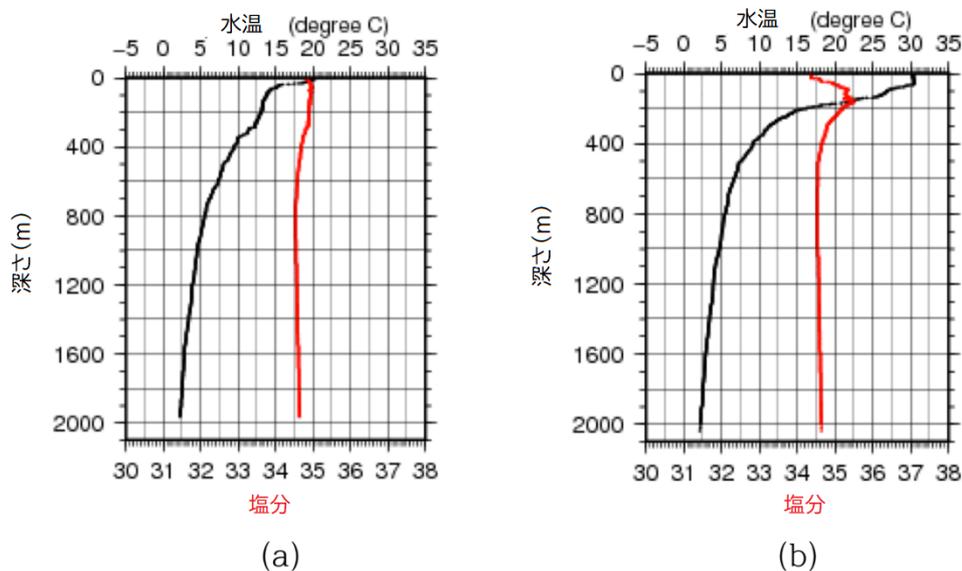


図 5. X または Y で観測された水温と塩分のプロファイル，順不同。

図 4 は観測点 X と Y の場所を示し，そこでの水温と塩分のプロファイルが図 5 に示されている。これらのプロファイルはラニーニャ現象が発生した 2007 年の北半球夏季に得られたものである。

Q12) 正しいものをすべて選べ。

- a) 観測点 X で得られたプロファイルを示しているのは(a)である。
- b) 観測点 X における海面気圧は平年値（長期間の平均値）よりも低い。
- c) 観測点 X と Y における海流の向きはどちらも，西風によって東向きとなっている。
- d) 観測点 X と Y における 1000 m 以深の海水はどちらも，極域付近で形成されたものである。
- e) 海洋深層の循環の主要な駆動力は海上風である。
- f) 観測点 X の周辺において，降水量は蒸発量よりも多い。

Q13-Q14 のイントロダクション:

図 A は太陽系の 3 つの地球型惑星の中間赤外スペクトルを示している。

図の実線は観測された実際のスペクトルで、それぞれの惑星の大気に含まれる分子に起因する吸収特徴が認められ、また、破線はスペクトルによくフィットするような温度の黒体放射を示している（たとえば、惑星 c のスペクトルは CO_2 に起因する吸収帯が認められ、220K の黒体放射でよく近似される）。

図 B は、3 つの惑星（惑星(1), (2), (3)）での、高度による気温変化を示している。

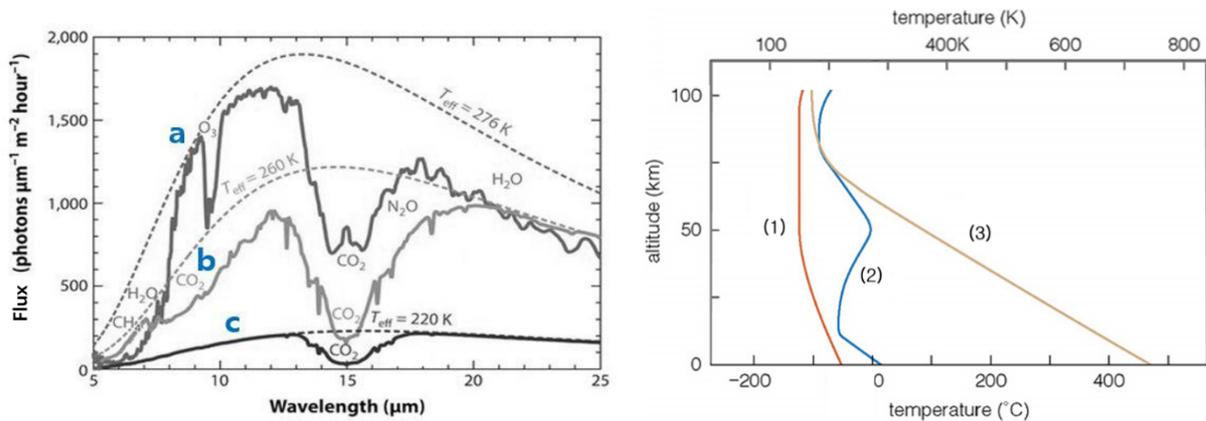


図 A

図 B

Q13) 図 A を参照し、正しい説明をすべて選択せよ。

- a) a, b, c のスペクトルは可視波長域のものである。
- b) 3 つの惑星の大気はすべて CO_2 を含んでいる。
- c) 惑星 a, b の大気に含まれておらず、惑星 c の大気のみに含まれている分子は O_3 である。
- d) 図 A における惑星 a, b, c の大気には、 H_2O , CO_2 , O_3 のみが含まれていると考えられる。
- e) 3 つの惑星のうち、惑星 a が最も多くのエネルギーを放射している。

Q14) 図 A, B を参照し、正しい説明をすべて選択せよ。

- a) 図 B において、惑星(1)では地表面からの高度が上がるにつれ気温は上昇する。
- b) 図 B において、惑星(2)では地表面からの高度が上がるにつれ気温が上昇する領域がある。
- c) 図 B において、3 つの惑星のうち惑星(2)が最も地表面温度が高い。
- d) 図 B の惑星(1)は図 A の惑星 a と同じである。
- e) 図 B の惑星(2)は図 A の惑星 a と同じである。
- f) 図 B の惑星(3)は図 A の惑星 a と同じである。