

筆記試験の説明

筆記試験2 : 2 時間

解答は解答用紙 (ANSWER SHEET) に書き込むこと

採点 :

正答が1つのみの場合 :

- 正しい正答が選択されていれば: + 1 点
- 間違っている、もしくは2つ以上が選択されている: 0 点

正答が複数ある場合:

- 正答1つにつき: + 1 点
- 誤答1つにつき: -0.5 点

全ての問は0点以下にはならない。誤答による減点が正答による加点よりも多い場合でも0点以下にはならない : $+1-1.5 = 0$

IESO 2017 - WRITTEN TEST NUMBER 2

セクション1: 気圏と水圏の相互作用を理解する : スポーツチャレンジ

「ベンデーグローブ (Vendée Globe)」は、他の援助を受けずに、フランス・ベンデー (Vendée) から出航して出来るだけ早く地球を1周する単独ヨットレースである。スタートとフィニッシュはSable d'Olonnes (図1Aおよび図1BにAで記されている)である。レースは2016年11月6日に始まり、Armel Le Cleac'hはノンストップで74日間の新記録で優勝した。単独航海において特に難しいことは、ヨットの後ろから好ましい風が常に吹いているルートを選ぶことにある。

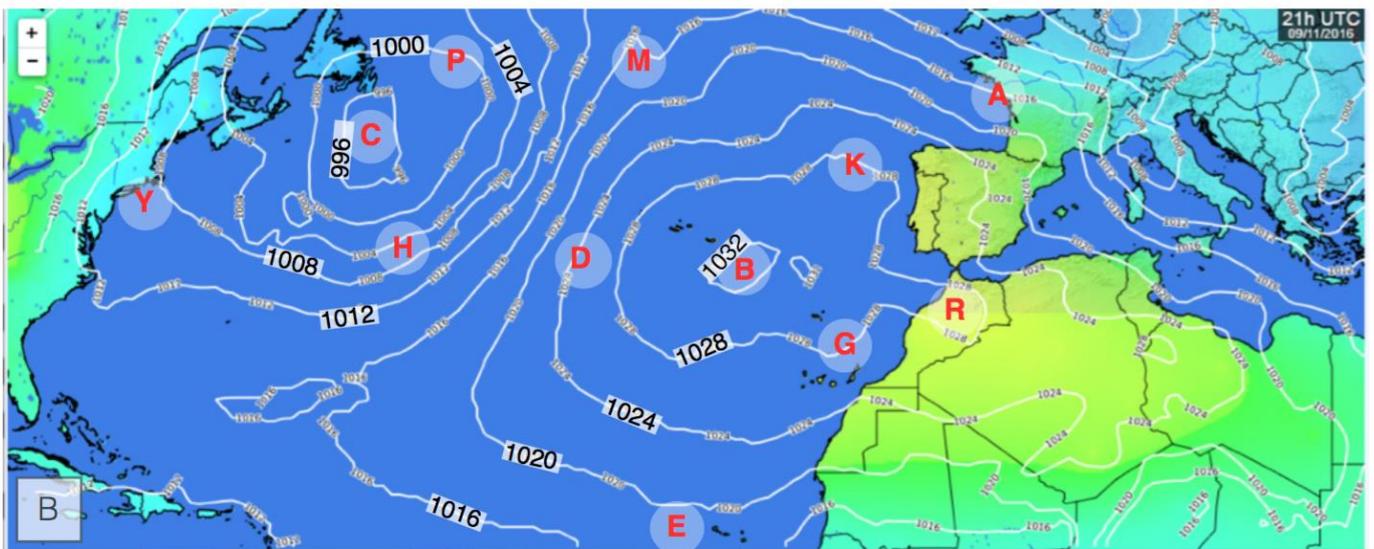
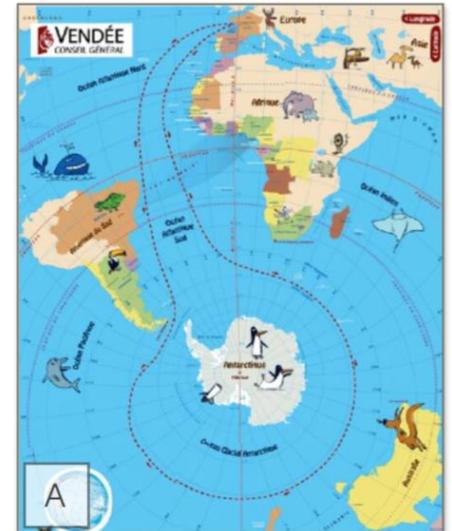


図1: (A) 「Vendée Globe」 ルートを示す地図。(B)北大西洋の等圧線図と通過ポイント (問題参照))。

問1: ヨットは卓越風を最大限に利用する。異なる気団によって発生する風の方向に関するあなたの知識を使って、Cape Verde島 (E) にたどり着くまでにレース参加者は、どのルートを通ると最も早く到着できるか。図中の気圧配置は1週間同じ状態が継続する。(正答は1つ)

- 1- 通過する順序 AKGE
- 2- 通過する順序 AKBE
- 3- 通過する順序 AKDE
- 4- 通過する順序 AMPCHE

問 2: 図1において、同じ時に、ヨットがRabat (R)からNew York (Y)までのルートを取ることに決めた。どの順に通過する航路が最も早く到着できるか？（正答は1つ）

- 1- RGDHY
- 2- RBDCY
- 3- RGDY
- 4- RKDHY

下図は、レース10日目のヨットの位置を示している。白丸印で示されたヨットのグループは速度が遅くなり、2.5ノットで航行している（参考：1ノット (kn) は時速2kmより少し遅い速度）。

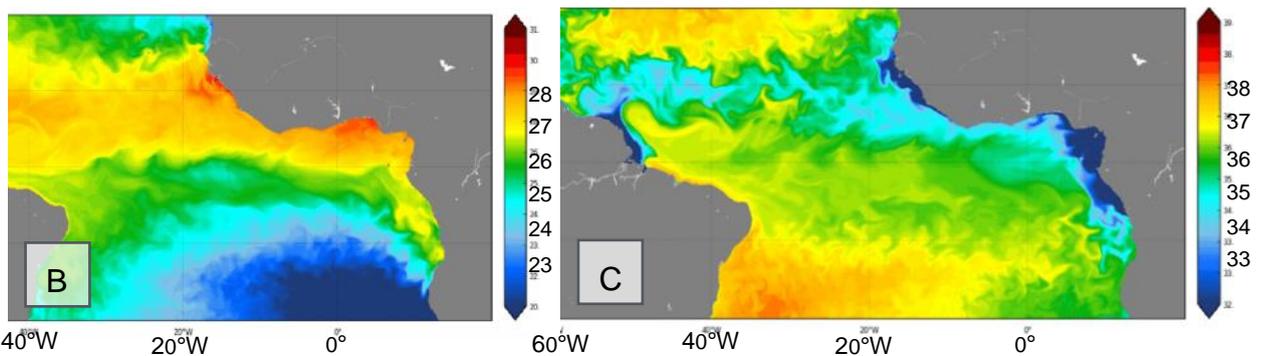


図2: 大西洋のレース開催地域。(A)3hPa幅での等圧線図、(B)海面温度 (°C)、(C)塩分 (g/L)

問3: 以下の選択肢のうち、ヨットが最も遅くなる理由として最も適切な説明はどれか？（正答は1つ）

- 1- 高い海面温度が風の発生を阻害する。
- 2- ヨットが向かい風の領域を通過する。
- 3- 海水の塩分が非常に高く、その粘性が遅くさせる。
- 4- ヨットが非常に風の弱い領域にはまってしまう。

問 4: 図2Cにおいて、熱帯は平均的な値（緑色）と異なる塩分を持つ。この理由として最も適切なものを選び。（正答は1つ）

- 1- 巨大な河川からの水の流入によって海水の塩分が低下している。
- 2- 熱帯の高気圧では、気温が低く、蒸発が弱いから
- 3- 熱帯収束帯では降雨がより重要であり、それによって塩分が低下する。
- 4- 熱帯収束帯での特徴的な強い風が上昇流を発生させ、塩分の低い海水が海面に上昇してくる。

風のない海域を避けることは、参加者すべてにとっての関心事である。IESO 2017のための船員Kito de Pavantは、次の図に示した海域で数日間、動きが取れないでいた。

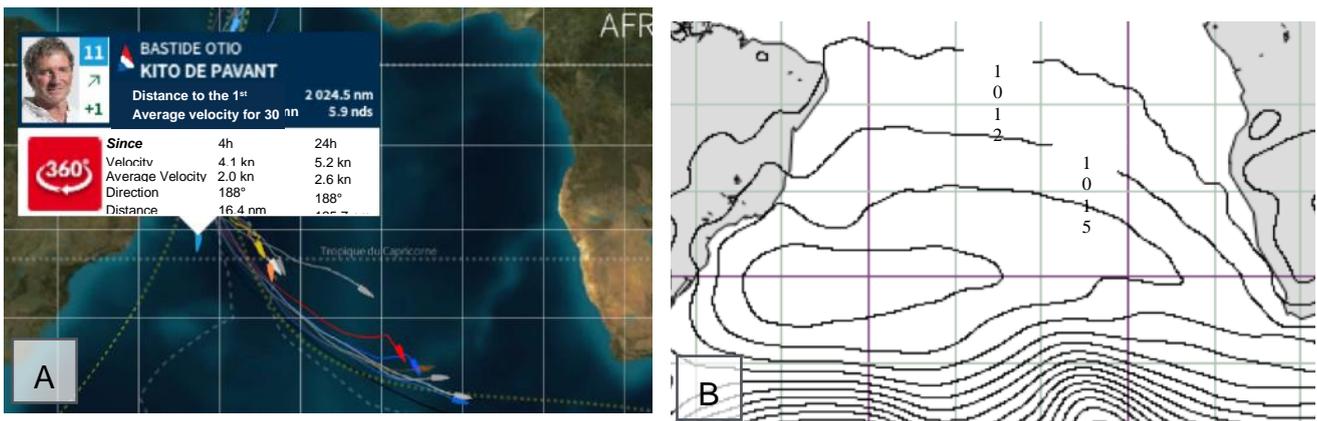


図3: 2016年12月2日の、競技者 Kito de Pavant の位置（青い矢印）とほかの競技者。(A) 位置図は過去24時間の彼の速さ（ノット）の変化も示している。距離は海里（nm）で示している。1nm = 1.85 km (B) 2016年12月12日レース海域の等圧線図。間隔は3 hPa。

問5 Kito de Pavantがレースのこの海域で遭遇した問題を答えなさい。（正答は1つ）

- 1 彼のヨットは風のない低気圧の中心にいた。
- 2 彼のヨットは風のない高気圧の中心にいた。
- 3 彼のヨットはボートの動きを遅らせる海面が浅く窪んだ低気圧の中心にいた。

問6 南半球の高気圧の周囲で吹く風（複数回答可）

- 1 時計回り
- 2 反時計回り
- 3 高気圧の中心に近づくと強くなる
- 4 高気圧の中心に近づくと弱くなる

ケープ岬（南アメリカの南端）南方のドレーク海峡を2016年12月26日に横断するとき、海洋観測機関が、南米と南極半島の最北端の間の水温と塩分の水深分布を記録した。

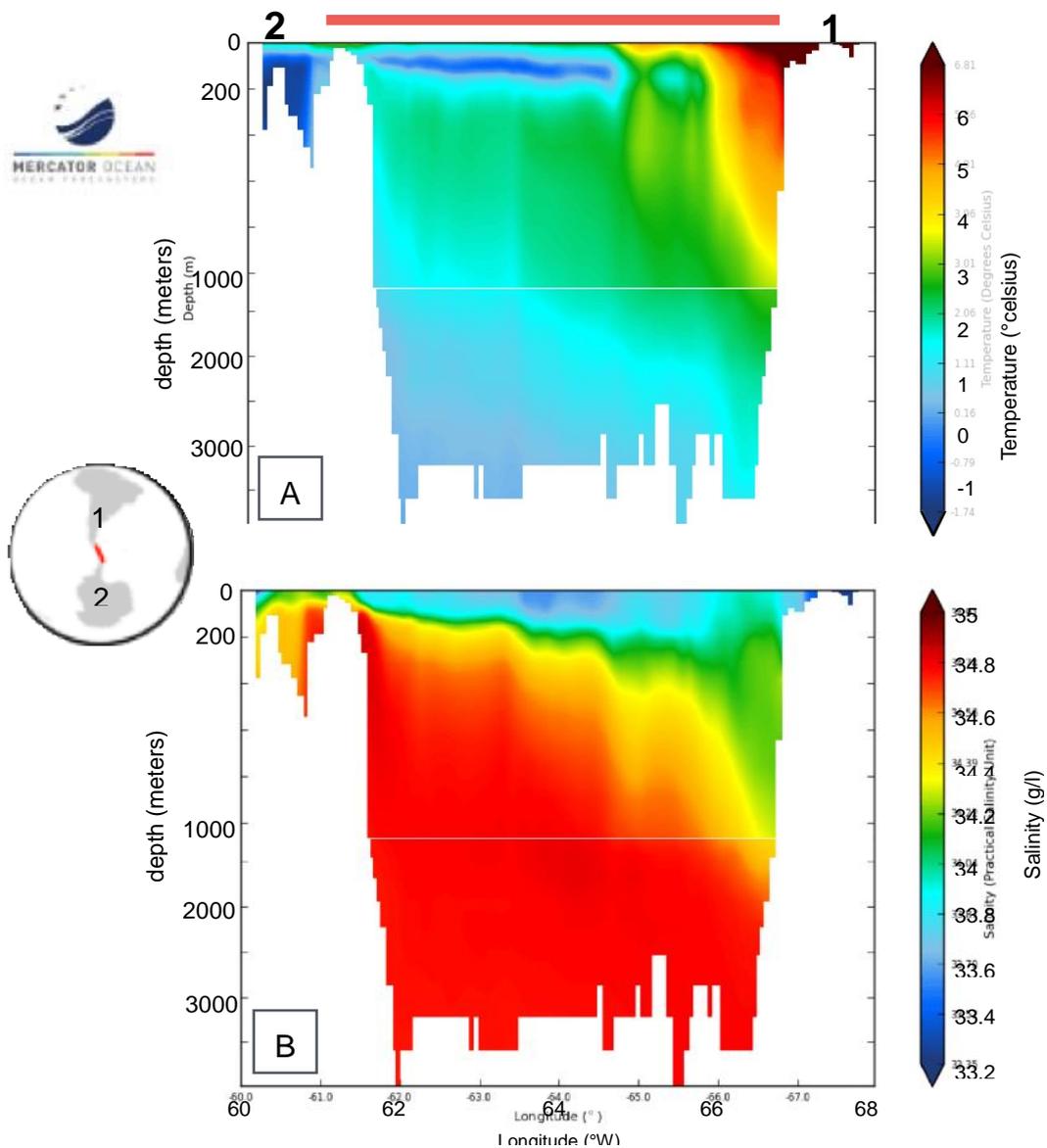


図4 ドレーク海峡（南極から地球を見た挿入図に明示）に沿った測線での水温（A）と塩分（B）

問7 図4について、経度62.5°で言えること。(正答は一つ)

- 1 水温と塩分の鉛直分布は、全体的に異常は見られない。
- 2 少なくとも一部で水温分布のみが異常である。
- 3 少なくとも一部で塩分分布のみが異常である。
- 4 両方の分布とも異常である

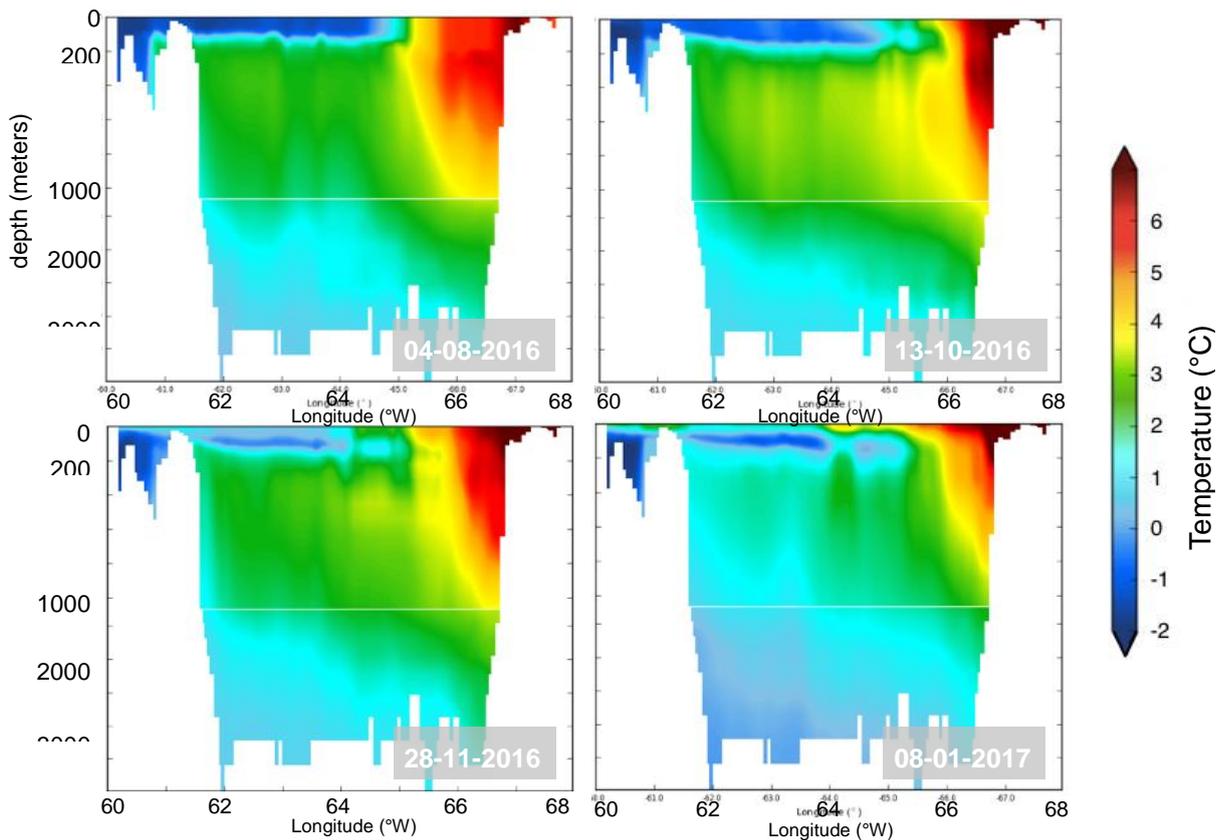


図5 図4で示した測線2016年8月～2017年1月の異なる日の水温分布

図8 図4と5について、次のうちどの文が正しいか。(複数解答可)

- 1 8月の間、表面と比べ3000mでは水は冷たい。
- 2 氷の集合(浮遊する氷)が南極の海岸から離れ、2016年8月のうちに測線の西経64.5度に到達した。
- 3 2017年1月のうちに、氷の集合(浮遊する氷)が高密度になり沈んだ。
- 4 より高密度なので、水圏の下層は低温で高塩分の水で構成されている。

ナミビアの海岸を通過する際、船員は明日理科の海岸に向かう多数の漁船に出会った。この地域にはニシン（魚）が見られる。

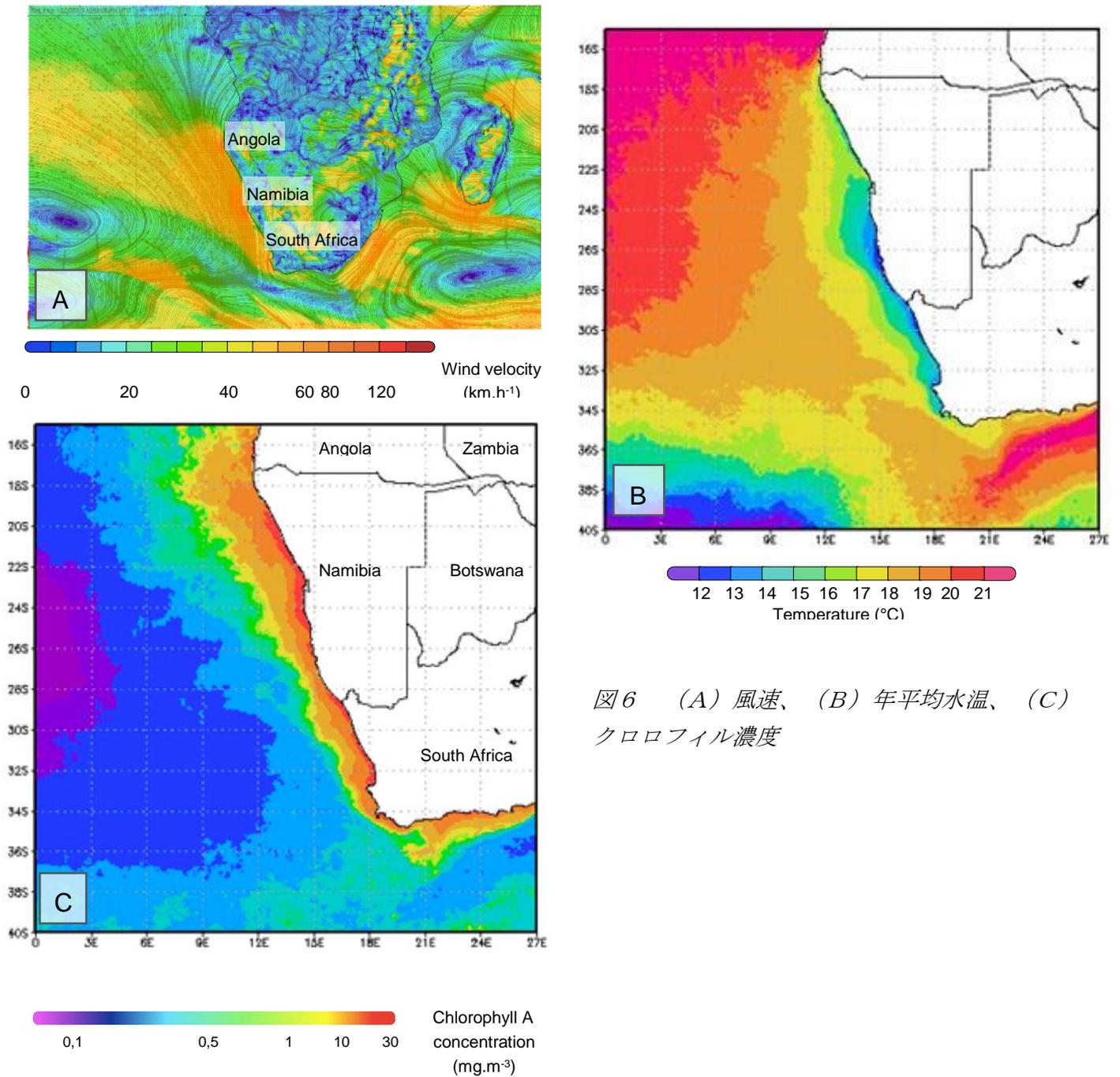


図6 (A) 風速、(B) 年平均水温、(C) クロロフィル濃度

問9 図6について、下の文のうち正しいものをすべて選びなさい。(複数回答可)

- 1 ナミビアの海岸に近い海水は、より沖合よりも暖かい。
- 2 ナミビア海岸沿いの水温の違いは、深部からの水の湧昇による。
- 3 この湧昇水の起動力は深層と表層の水温の違いである。
- 4 この湧昇水の起動力は海面の風による力である。
- 5 暖かい水には高い第一次生産力があり、食物連鎖を豊かにする。
- 6 高い第一次生産力は栄養成分の増加と関連があり、食物連鎖を豊かにする(熱帯連鎖)。

問10：ナミビアとアンゴラに位置する大陸棚を含む大陸平原は、石油やガスハイドレートを含む化石燃料を多く含有していることで知られている。この地域の地形と、気象学的・気候学的な条件は過去数百年の間ほとんど変わっていないことが分かっており、アフリカの西南側の海岸は長いこと砂漠であった。次の説明文のうち、正しいものを選択せよ。（複数回答可）

- 1- 石油は大西洋の海底で作られ、上昇する海流によって表面方向へと運ばれる。
- 2- 動物の死骸や植物などの大陸からの有機物が大陸棚を含む大陸平原に堆積し、炭化水素を生成する主たる材料となる。
- 3- プラクトンによる有機物は大陸棚を含む大陸平原に堆積するが、酸素が欠乏した状況でのみ、それらは炭化水素へと変換される。
- 4- 大陸棚を含む大陸平原に堆積するプラクトンの有機物は、無酸素環境にあるはずで、炭化水素に変化される。

船乗りKito de Pavantは、2016年11月17日に赤道を横切った時にIESO2017と名の付いたGPS付きのブイ（浮標、buoy）を海に流した。このブイは海流の影響によって漂流する方向が決まり、その位置を表す経度と緯度を毎時間記録している。

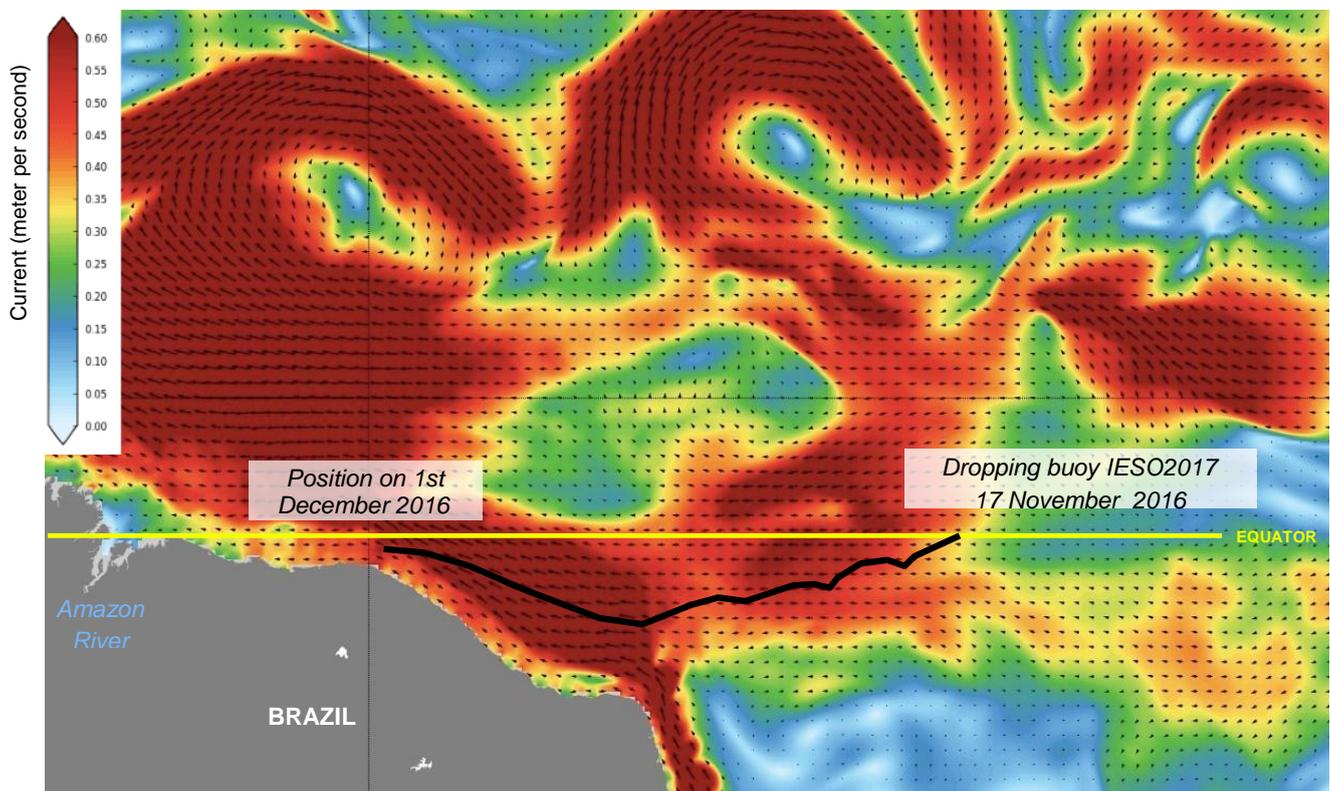


図7：赤道付近での大西洋の地図。黒線はIESO2017ブイの位置を2016年11月17日から12月1日まで追跡したものである。ブイは船乗りKito de Pavantによって赤道で放たれた。地図上の色は海流の速さを表していて、矢印は方向を表している。この図上に示されている海流は「赤道海流」と呼ばれている。

問11: 図7を参照して解答せよ。次の説明文のうち、正しいものを選択せよ。(複数回答可)

- 1- ブイを運んでいる海流は南半球の貿易風によって生じている。
- 2- ブイを運んでいる海流は大西洋の東西での温度差によって生じている。
- 3- ブイを運んでいる海流は大西洋の東西での塩分の差によって生じている。
- 4- ブイを運んでいる海流は大西洋の東西の海面差によって生じている。
- 5- ブイを運んでいる海流の進行方向は転向力(コリオリ力)の影響を受けている。



図8: ブイが後半に移動した、2016年12月15日から2017年1月4日までの追跡図である。各点は毎日同じ時間(深夜)に測定した場所に対応している。

問12: 図8上を参照して解答せよ。南アメリカ大陸の海岸沿いをブイが流れているときの経路を読み取ることで、次のうち正しいと言えるものを1つ選択せよ。

- 1- ブイの速度は一定で、ブイの軌跡は海岸と平行になる。
- 2- ブイの速度は一定で、ブイの軌跡は海岸に近づいても海岸の影響を受けない。
- 3- 海流と反対の淡水流が海岸に近づくにつれて生じ、ブイの速度は減少する。
- 4- 海岸に近づくにつれて水深が浅くなり、ブイの速度は減少する。
- 5- 海流と反対の淡水流が海岸に近づくにつれて生じ、ブイの速度が増加する。
- 6- 海岸に近づくにつれて水深が浅くなり、ブイの速度は増加する。

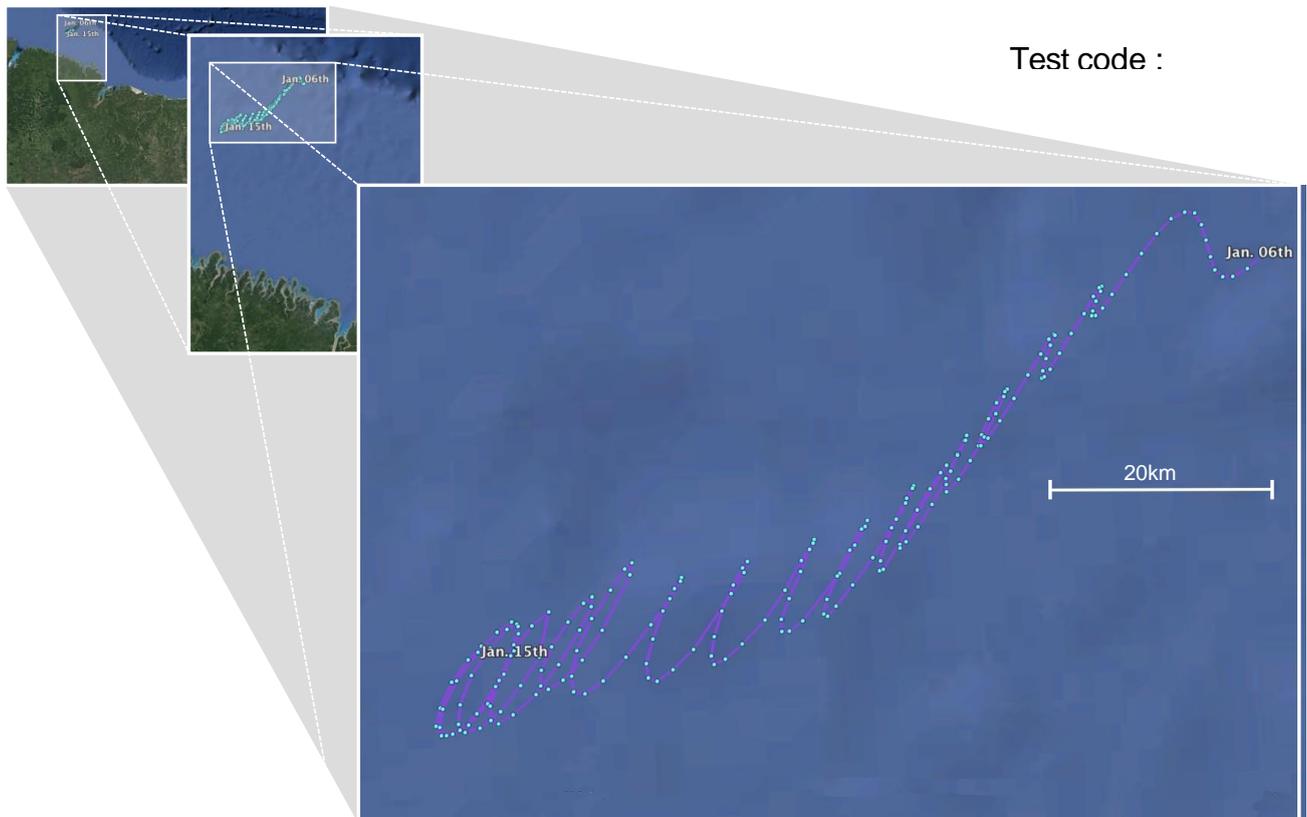


図9 :南アメリカ大陸付近でのブイの軌跡。一時間ごとに計測されたブイの座標が記されている。

問13 : 図9を参照して、ブイの挙動を表す次の文を完成させるのに最も適する数値を1つ選択せよ。

- 観測される現象は、平均して ○○ 時間で周期的に起きていると推定される。

- 1- 6時間
- 2- 12時間
- 3- 24時間

問14 : 図9で見られる現象の考えられる原因として最も適するものを次の中から1つ選べ。

ここに見られる軌跡を引き起こしているのは...

- 1- 岸边と沖合での塩分の違いによって発生する乱流である。
- 2- 岸边と沖合での海水温度の違いによって発生する乱流である。
- 3- 潮汐流である。

SECTION 2: STANDING ON THE EARTH, GAZING AT THE PLANETS

レースの途中、Kito de Pavant は異なる月齢の月を観察する機会があった。彼が見たことから私たちがわかることはどのようなことか？

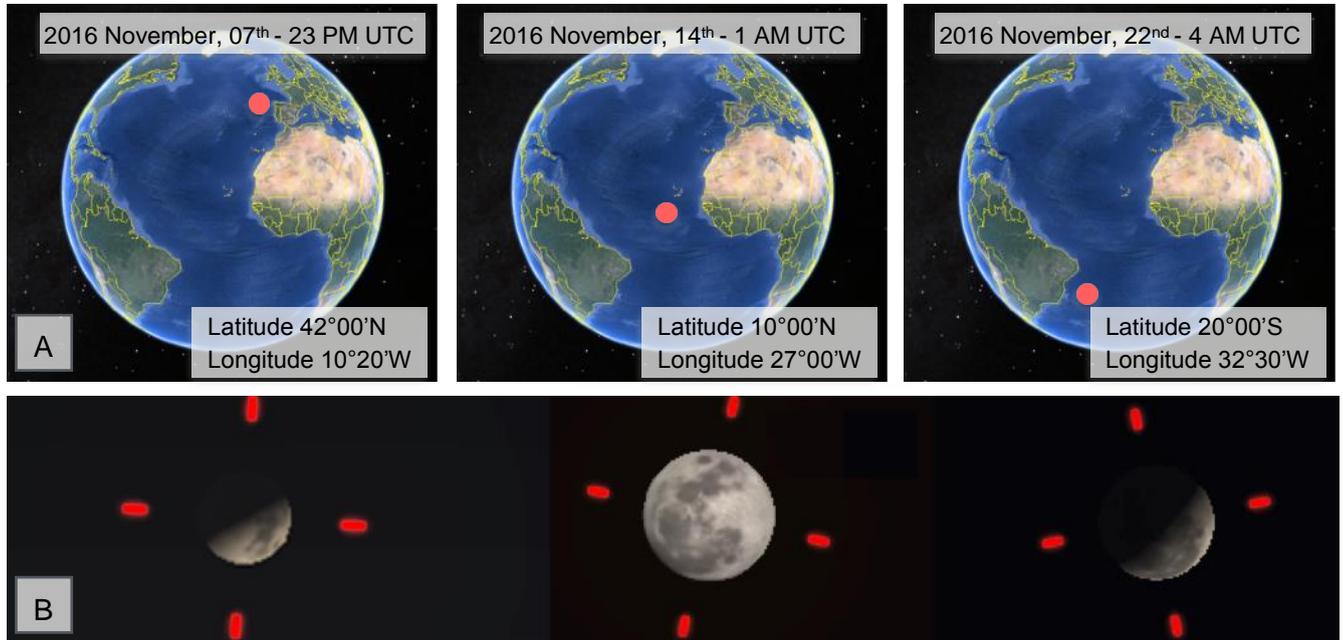


図10: (A)2016年11月にKito de Pavantがいた場所 (B) それぞれの場所で彼が見た月の画像

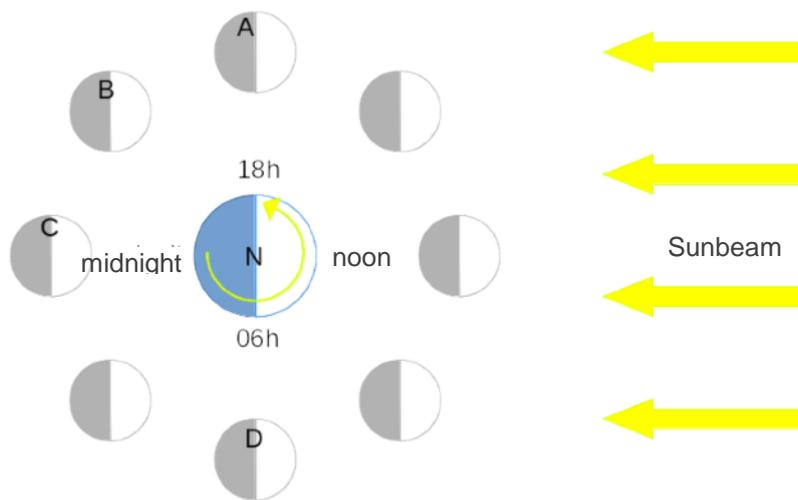


図 11: 太陽、地球、月の3つの天体の位置関係と月齢

問15: 図11において、11月の7日から8日にかけて、太陽-地球系に対する月の位置は以下の選択肢の中でどの位置か? (正答は1つ)

- 1- A
- 2- B
- 3- C
- 4- D

問 16: 11月の14日から15日の夜にかけて、月は90度(天頂)の位置に到達する。この状態は以下のどれに相当するか?(複数解答可)

- 1- 北回帰線と南回帰線の間にいる時のみ観察できる。
- 2- 満月の時のみ可能である。
- 3- 満月の時は地球上のどこでも可能である。
- 4- 極めて稀で、特定の場所で最大でも年に2回しかおきない。

問 17: 11月7日と22日に観察された月はとても似ている。それはなぜか。(正答は1つ)

- 1-月の朔望周期(会合周期)は約14日間であるから
- 2-月の恒星周期は約28日である。それゆえ、観測者は半月の14日の中間点における同じ状態の月を見た。
- 3-観測者は同一半球で観測していないので、合のあとの1/4周期目の日と、合の前の1/4周期目の日の月は一見同じように見える。
- 4-観測者は同じ時間に観測していないので、合のあとの1/4周期目の日と、合の前の1/4周期目の日の月は一見同じように見える。

問 18: 11月14日の満月は18:00から6:00の間で観測可能であった。正しい文章を選べ。(正答は1つ)

- 1-これは満月の際はいつでもこうなる。
- 2-これは非常に稀な場合であり、ほとんどの場合、正午に見られる。
- 3-これは、ただ単に赤道近くに位置していることだけで説明できる。

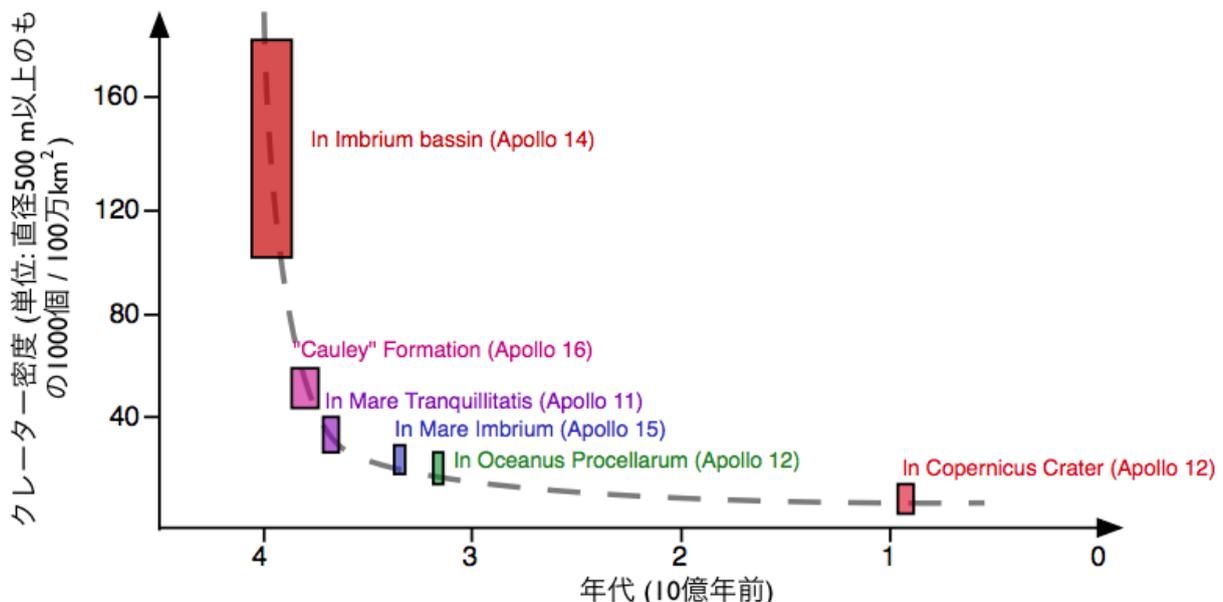


図 12: 月の表面に見られるクレーターの数と年代の対比グラフ。破線(曲線)は観察データ(長方形)の最適近似曲線。

問 19: 図12は、月面のクレーター密度と衝突した年代の関係を示している。このことを踏まえて、この反比例関係の正確なグラフの形に影響する変数は次の選択肢のどれか（複数回答可）。

- 1- 太陽系形成以降、衝突する小天体の減少
- 2- 天体表面を更新するテクトニクス（構造運動）
- 3- 天体から小惑星帯やカイパーベルトまでの距離
- 4- 考慮している天体の公転周期と自転周期
- 5- 衝突された天体の表面温度
- 6- 衝突された天体のサイズ

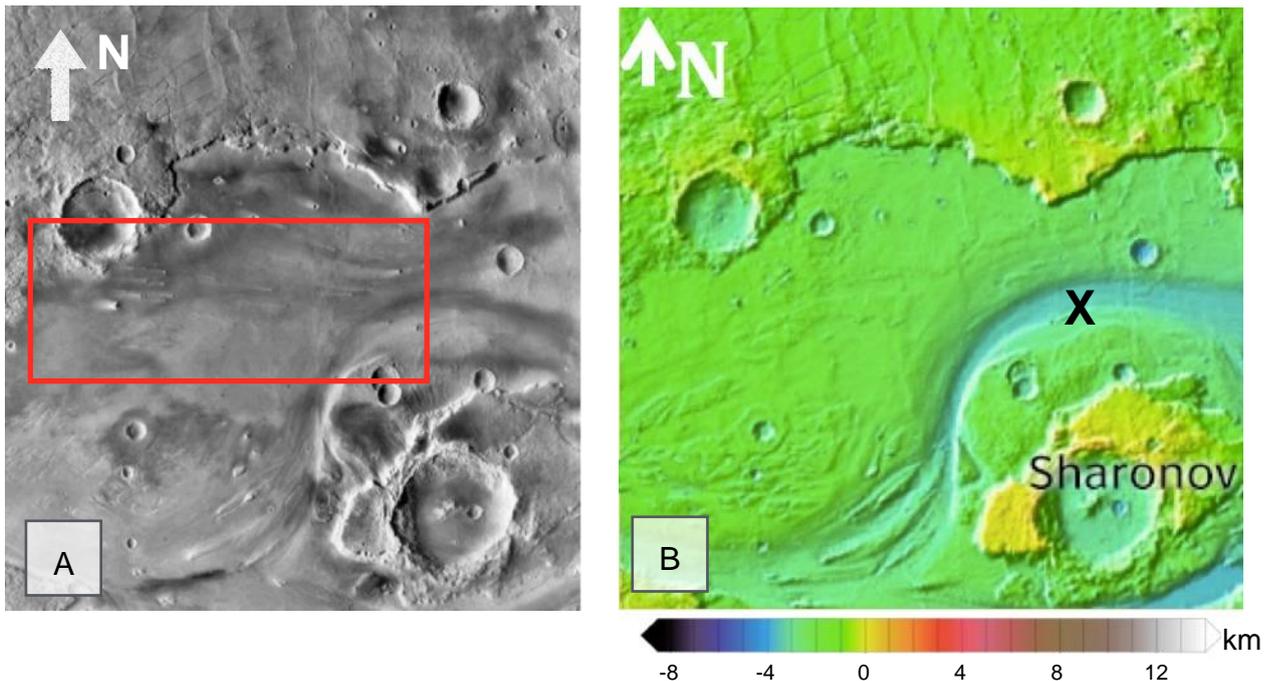


図13 火星の”Kasei Valles”の位置。(A) この領域の衛星写真。Sharonovクレーターは100kmの直径を持つ。(B) 同じ領域の高度分布イメージ

問 20: 点Xで示した”Kasei Valles”を形成した川はどちらの方向に向かって流れているか（正答は一つ）。

- | | |
|------|-------|
| 1- 南 | 5- 南東 |
| 2- 北 | 6- 北西 |
| 3- 東 | 7- 南西 |
| 4- 西 | |

問 21: 図13Aの赤枠で囲まれた小さなクレーターとつながっている小さな筋（条痕）が見られる。考えられる説明としては風により生じたというものである。その場合にはその方角は次のどれか。

- 1- 西・北西に向かっている
- 2- 西・南西に向かっている
- 3- 東・北東に向かっている
- 4- 東・南東に向かっている

問 22: 図13を参照にしてください。次のような地質学的イベントが認識される。 Test code : WT-2

A- 川の流れ

B- 小さなクレーター

C- 北西にある巨大クレーター

D- 北部にある割れ目

E- 風による筋 (条痕)

これらのイベントの比較年代学的な順番 (古いものから若いもの) として正しいものを選びなさい (正答は一つ)。

1- A/B/C/D/E

3- D/C/A/B/E

2- A/C/D/E/B

4- C/D/B/E/A

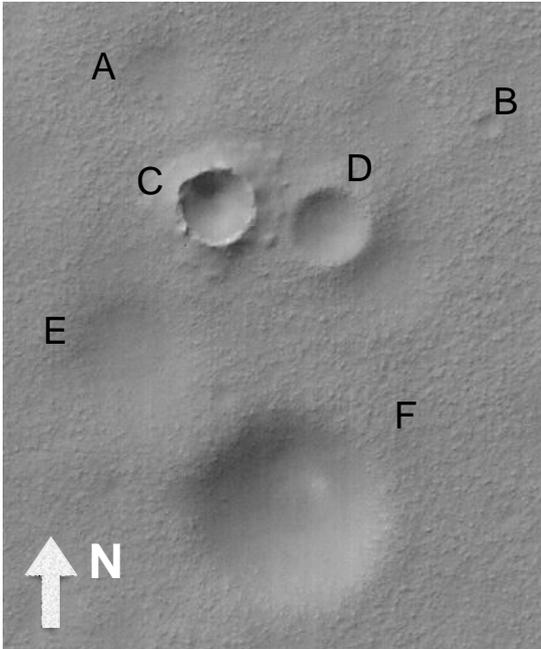


図 14: Sonia Planumと名付けられた火星の領域の衛星写真である。Mars Surveyor (MGS) missionの火星軌道カメラにより得られたものである

問 23: 図14を参照にしてください。相対的な年代の順番 (古いものから若いもの) として正しいものを一つ選びなさい。

1- A/B/C/D/E/F

5- A/E/F/B/D/C

2- E/F/D/C/B/A

6- C/D/B/F/E/A

3- C/D/B/A/E/F

7- D/A/E/C/B/F

4- F/E/A/B/D/C

8- B/D/E/F/A/C

問 24: 金星、地球、火星では、月や水星に比べて、クレーターの数が少ない。その理由を一つ選べ。

1- これらの惑星に衝突する隕石が少ないから

2- 表面を再生するような火山活動のため

3- 月によって地球は守られているから

4- 侵食のため

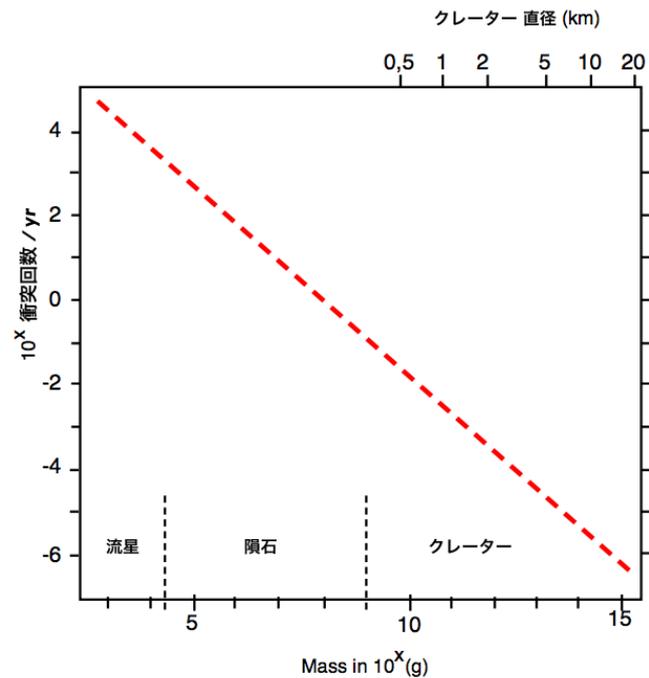


図15: Hughes scaleを表す図。天体の質量、クレーターの直径、衝突の頻度は相互に関連している。図表中の値は、天体がおよそ15.4 km/sで地球に接近しているときの速度である。

出典: Hughes (1992) Space Science Reviews.

問25: Hughesが発表した図によると(図15)、地球上に直径5 kmのクレーターを作る天体の質量は... (正答は1つのみ)

- 1- 100キロトン
- 2- 0.1 メガトン
- 3- 10 メガトン
- 4- 1 ギガトン

問26: 問25で述べた天体が地球に衝突する頻度は... (正答は1つのみ)

- 1- 1世紀に一度
- 2- 10,000年に一度
- 3- 100万年に一度

問27: 地球上にできる、衝突によるクレーターの大きさを決定する要因を選択せよ。(複数解答可)

- 1- 天体の形
- 2- 天体の質量
- 3- 天体に含まれる氷の量
- 4- 天体の衝突速度
- 5- 衝突地点における森林の密度(立木の密度)
- 6- 天候

問28: 図15を参照して解答せよ。地震観測点から100 km以内の地点でマグニチュードM=5.5の衝突が起きたとき、地震計が正確に観測できないほど大きな地震動を引き起こした(飽和現象)。マグニチュード“M”の地震が、火星で一年の間に発生する頻度は、 $R(M) = 100 \times 10^{(3.5-M)}$ で表すことができる。火星の半径は3376 kmである。この飽和現象が一年の間に発生する確率を計算せよ。(正答は1つ)

- 1- 2.9%
- 2- 100%
- 3- 33%
- 4- 0.02%

セクション2：驚くべき土星の衛星の存在

エンセラダスは7つある主な土星の衛星のうちの1つである。表1に特筆すべきこの天体の特徴の一部が記されている。表面が明白に見えるため、複雑な地形の観測が盛んに行われているが、この大きさの天体の地質を理解するのは簡単ではない。この問題では、エンセラダスにおいて現在進行形で行われている地質活動について理解していきたい。

エンセラダスの特徴					
物理的性質				化学的性質	
直径 (km)	密度 (g cm^{-3})	重力加速度 (m s^{-2})	表面温度 (K)	組成 (体積割合)	大気
500	1.2	0.06	73	10% 珪酸塩 鋳物 90% 水	微量 (H_2O)

表1: エンセラダスの物理的・化学的性質

問29: エンセラダスは分化を経ていることを踏まえて、この衛星の珪酸塩鋳物で出来た核の半径を求めよ。(1つ選択)

- 1- 85 km.
- 2- 100 km.
- 3- 115 km.
- 4- 140 km.

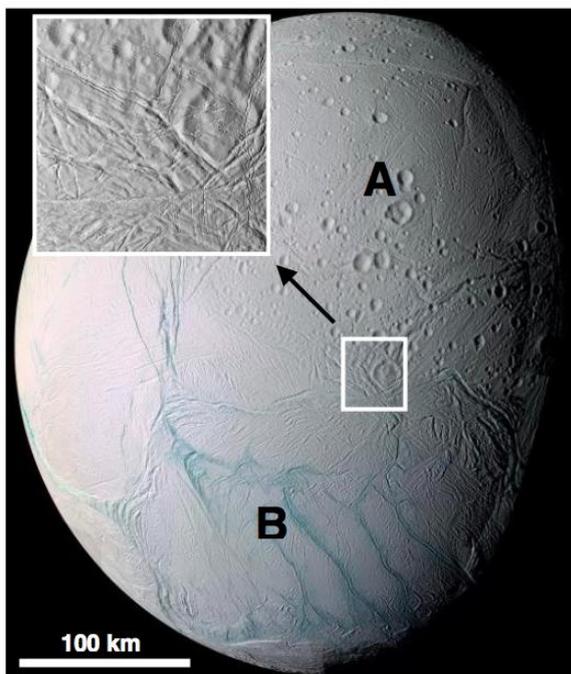


図16：探査機カッシーニがエンセラダスの上空1000 kmで2005年7月14日に撮影した衛星画像。(出典: planet-terre.ens-lyon). **Zone A**は天体の大半を占める無数のクレーターが見られる領域を示す。**Zone B**はこの衛星の南極を指しており、地形の起伏と無数の筋が観測される。

© 2005 NASA/JPL/Space Science Institute

図16内に挿入されている拡大図には、Zone Bの構造がクレーターを横切っている様子が示されている。即ち、Zone Bにはクレーターが全く存在していないことから、より最近できた地形であることが分かる。エンセラダスの表層の一部を定期的に更新する内部活動が発生しているに違いない、という仮説を科学者は立てている。

問30：地球と比較して考えて、現在のエンセラダスで発生している内部活動の規模を決めるのに必要な変数を選べ。(複数回答可)

- 1- 探査で得られたエンセラダスの地表での大気圧
- 2- 探査で得られた表面温度
- 3- 火山岩を検出するための表面の化学組成
- 4- 磁場

エンセラダスの性質を踏まえた観点から考えると、エンセラダスでのテクトニクスを稼働させ続ける唯一のエネルギー源として、太陽エネルギーが考えられる。下の図はエンセラダスの温度分布の特性を示している。

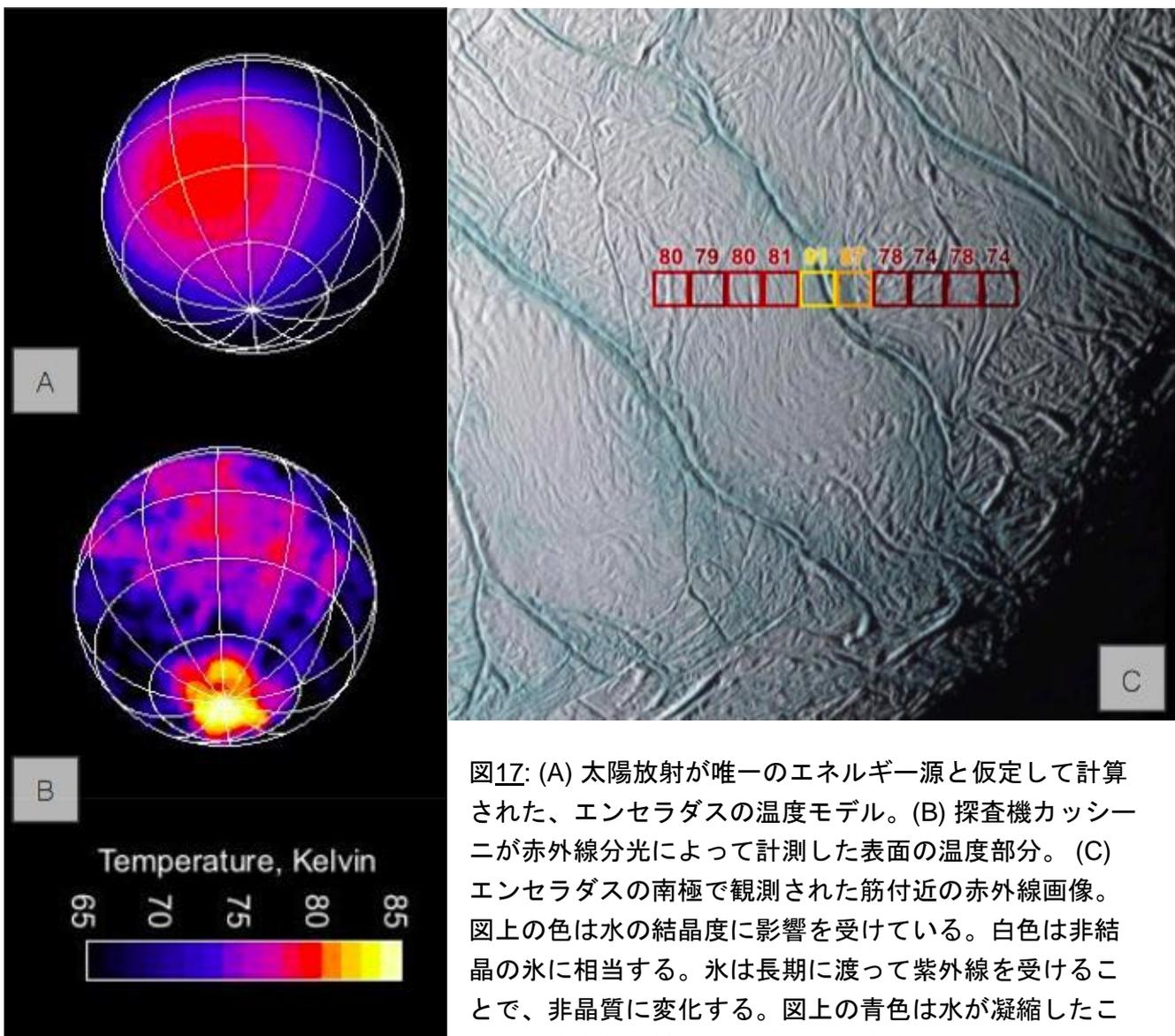


図17: (A) 太陽放射が唯一のエネルギー源と仮定して計算された、エンセラダスの温度モデル。(B) 探査機カッシーニが赤外線分光によって計測した表面の温度部分。(C) エンセラダスの南極で観測された筋付近の赤外線画像。図上の色は水の結晶度に影響を受けている。白色は非結晶の氷に相当する。氷は長期に渡って紫外線を受けることで、非晶質に変化する。図上の青色は水が凝縮したことで生成された結晶化した氷に対応する。

© 2005 NASA/JPL/Space Science Institute

問31: 図17を参照して解答せよ。 温度モデルと分光計の観測データを見比べることで分かることを選択せよ。(正答は1つのみ)

- 1- この衛星の熱源は太陽放射だけである。
- 2- 太陽から離れすぎているので、エンセラダスの温度分布は太陽からほとんど影響を受けていない。
- 3- この衛星の赤道付近には、相当の熱源が存在している。
- 4- 太陽からの熱はエンセラダスの表面温度に影響を及ぼしているが、それ以外の熱源が南極付近に存在している。

問 32: エンセラダスの南極にある衛星表面のたくさんの筋は、そこで観測される温度異常と相関がある。この観測により推測されることはどれか。（正答は一つ）

- 1- 衛星表面の筋は新しく形成された水の存在により、見えるようになった。
- 2- 衛星表面の筋は新しい地質構造であり、その温度異常は水が存在する可能性を示さない。
- 3- 衛星表面の筋はとても古い構造であり、過去に衛星の表面を流れた水によって侵食された証拠である。
- 4- 衛星表面の筋は、水の流路である。

探査機カッシーニは不思議なエンセラダスの南極の上空を飛行し、化学的な測定を行った。そのために、カッシーニは気体の水を検出するためにイオン・中性子質量分析計 (Ion and Neutral Mass Spectrometer; INMS) を使い、氷の粒子を検出するために宇宙塵分析器 (Cosmic Dust Analyzer; CDA) を用いた測定を行った。

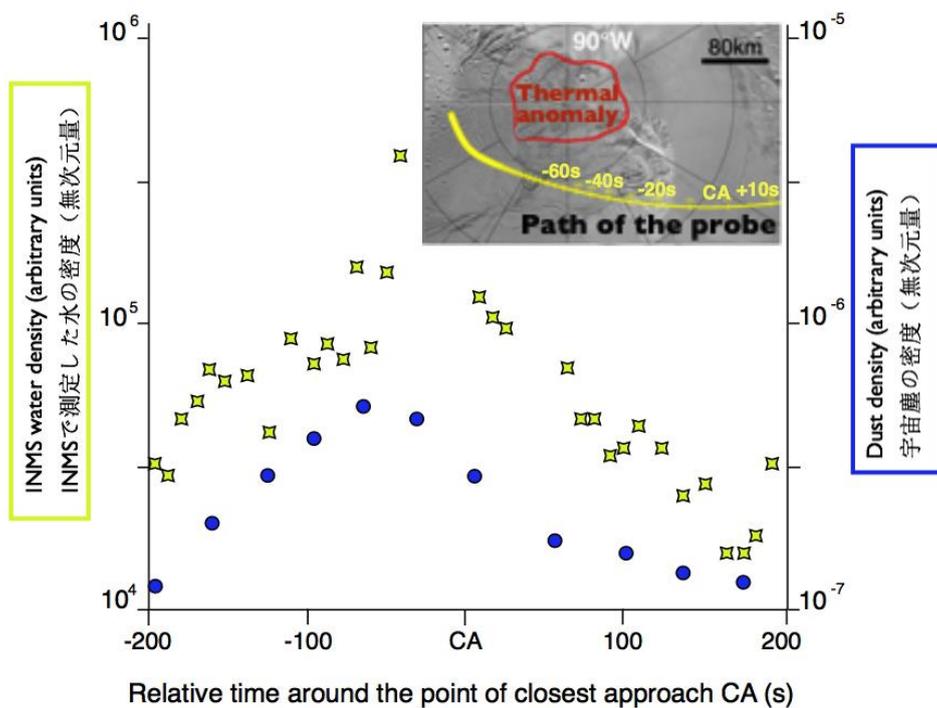


図 18 カッシーニ探査機に載せられた観測装置による測定結果を示したグラフ。グラフ中の写真は南極付近における、探査機の飛行経路を示している。CA (closest approach) は探査機が衛星表面に最も近づいた地点である。NASA/UPL/University of Michigan/ Max Plank inst. 2005©より修正。

問 33: 図 18において、カッシーニ探査機による測定結果は何を示しているか。（複数正解可）

- 1- カッシーニ探査機は、その飛行経路上で均質な氷粒子と水蒸気の存在を記録した。
- 2- カッシーニ探査機は、氷粒子と水蒸気が拡散し高い濃度で検出される地帯（100 km以上）を記録した。この地帯は、探査機が一番低い高度を飛行した地点と一致している。
- 3- カッシーニ探査機は、水蒸気と氷粒子が高濃度に濃集している地帯を記録した。この地帯は、南極における熱異常の地域と一致している。
- 4- 水蒸気と氷粒子の濃度が高い地域の外側は少量の水蒸気と氷粒子が存在している。このことは、エンセラダスに薄い大気が存在していることを示している。

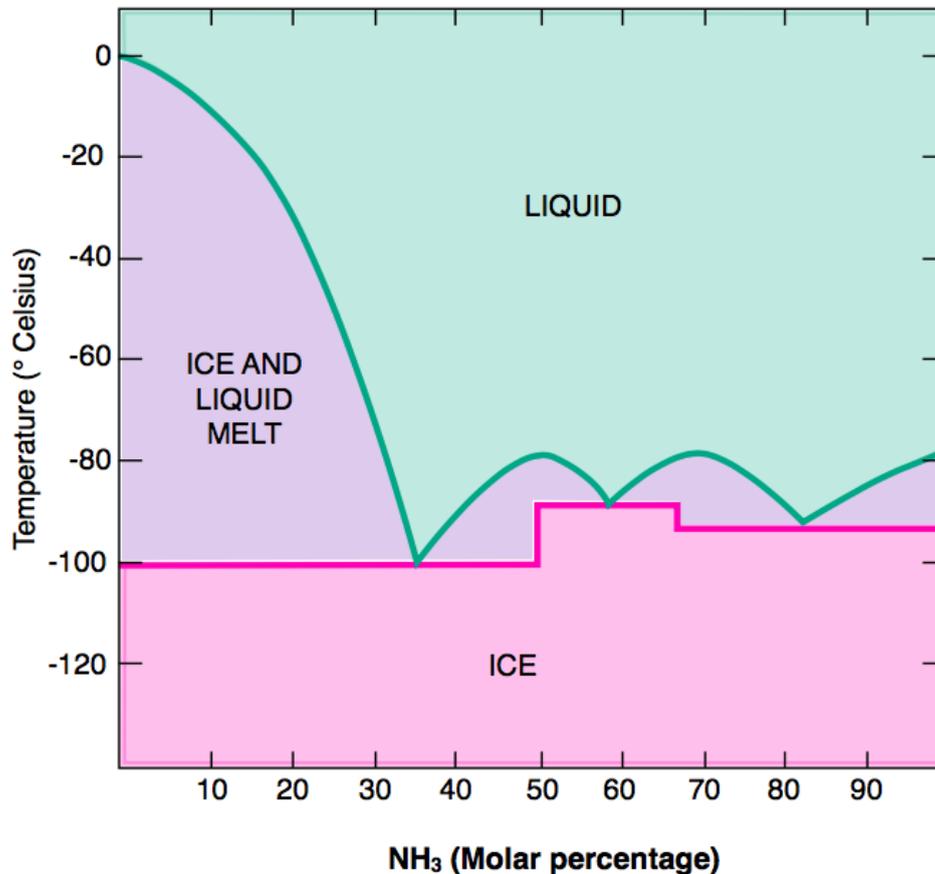


図 19: H_2O - NH_3 の混合物の相変化を示した図。この混合物は共晶系である (H_2O と NH_3 は反応しない状態), すなわち相変化に関して単一の純粋な物質のように振る舞う純粋な物質の混合物としてみなせる。圧力はエンセラダスの表面の圧力と同一である。
© 2005 NASA/JPL/Univ. Michigan/Max Planck Institute.

問 34: 図 19に関して、混合物が完全に融ける一番低い温度（最低融解温度; **minimum melting temperature**）を示す組成はどれか。

- 1- 20%のアンモニアと80%の水の混合物
- 2- 35%のアンモニアと65%の水の混合物
- 3- 65%のアンモニアと35%の水の混合物
- 4- 80%のアンモニアと20%の水の混合物

問 35: 図 19から推測された最低融解温度（**minimum melting temperature**）は、エンセラダスの状態と整合的かどうか？

- 1- エンセラダスの表面で測定された平均気温は、水とアンモニアの混合物が溶解していることを示している。
- 2- 南極における温度異常地帯の近くで測定した温度は、液体が一時的に存在していることを示している。
- 3- エンセラダスの表面の状態では、水を含む液体の存在する可能性はない。
- 4- 大気中に放出された水の存在は、エンセラダスの内部状態が液体もしくは気体が存在可能なことをしめしている。



図20：写真は、エンセラダスの表面の氷火山の爆発の様子。調査により水蒸気と氷が噴出されていることがわかっている。

(NASA/JPL/Space Science Institute)

問36：図20を参考にして、次の文のうちから結論として正しいといえるものを選択せよ。(複数回答可)

- 1- 北部は太古の火山活動、南部は太古の海で特徴づけられている。
- 2- エンセラダスの表面は不均質である。それは太陽放射で氷が状態変化し、クレーターを打ち消して平らな表面を形成していることを示している。
- 3- エンセラダスの表面は南半球の一部だけが最近のものである。それは今は凍っているが、将来的に衝突によるクレーターが重なっていくだろう。
- 4- エンセラダスの表面は、南極でとても変わった火山の形態を示している。それは、水蒸気が大気に噴出され液体の水は地表に広がって凝固している。
- 5- 衛星の南半球は、説明できない内部エネルギーの要因により引き起こされている活動的な地殻運動によって特徴づけられている。
- 6- エンセラダスはそのサイズにも関わらず、氷火山によって保たれている大気を持っている。