

筆記試験の指示

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

0点以下になる問題はない。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。 : $+1-1.5=0$

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」は、他の援助を受けずに、フランス・ベンデー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日に始まった。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、追い風という適切な風が常に吹いているルートを選ぶことにある。

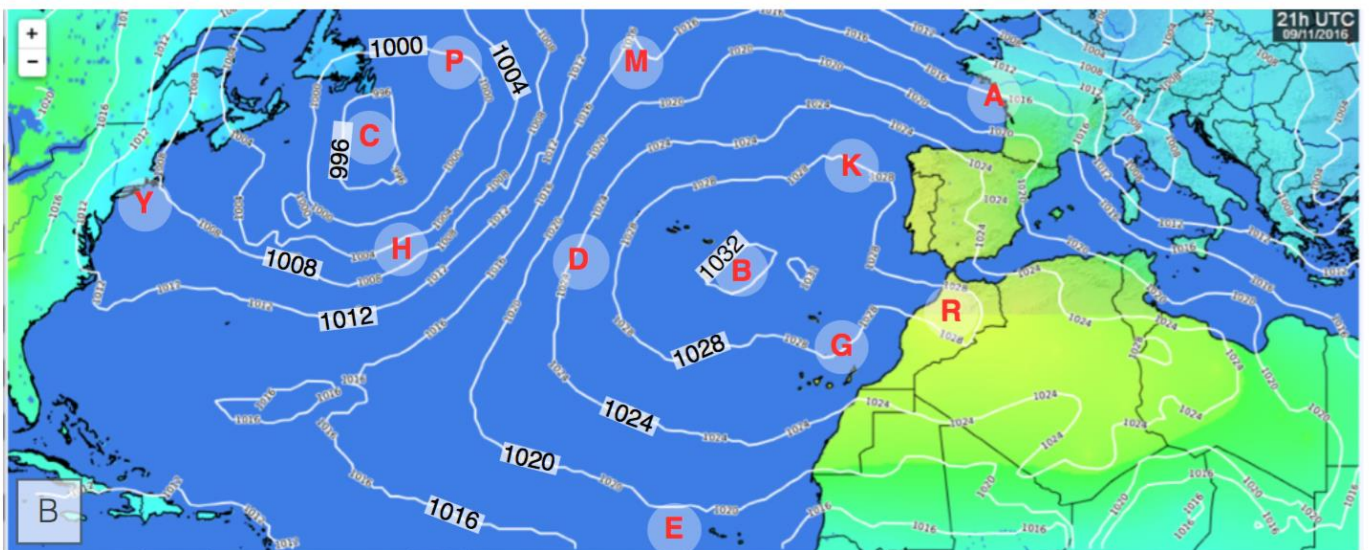
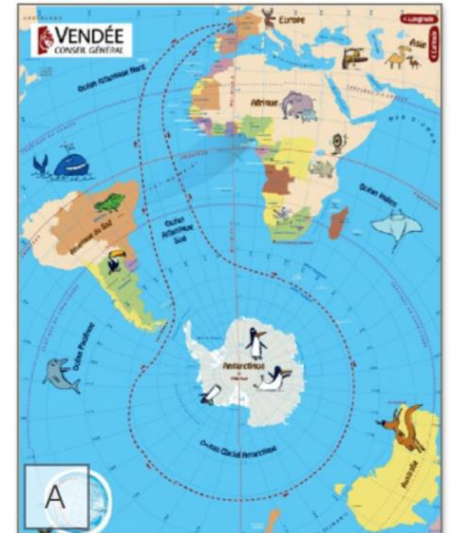


図 1: (A) 「Vendée Globe」 ルートを示す地図。(B) 北大西洋の等圧線図と通過ポイント (問題参照)。

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向に関するあなたの知識を使って、Cape Verde諸島 (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答えよ。上の図中の気圧配置は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。どの航路が最も早いか。(正答は 1 つ)

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

下図は、レース10日目の競技者の位置を示している。あるヨットグループ（白丸印）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）。

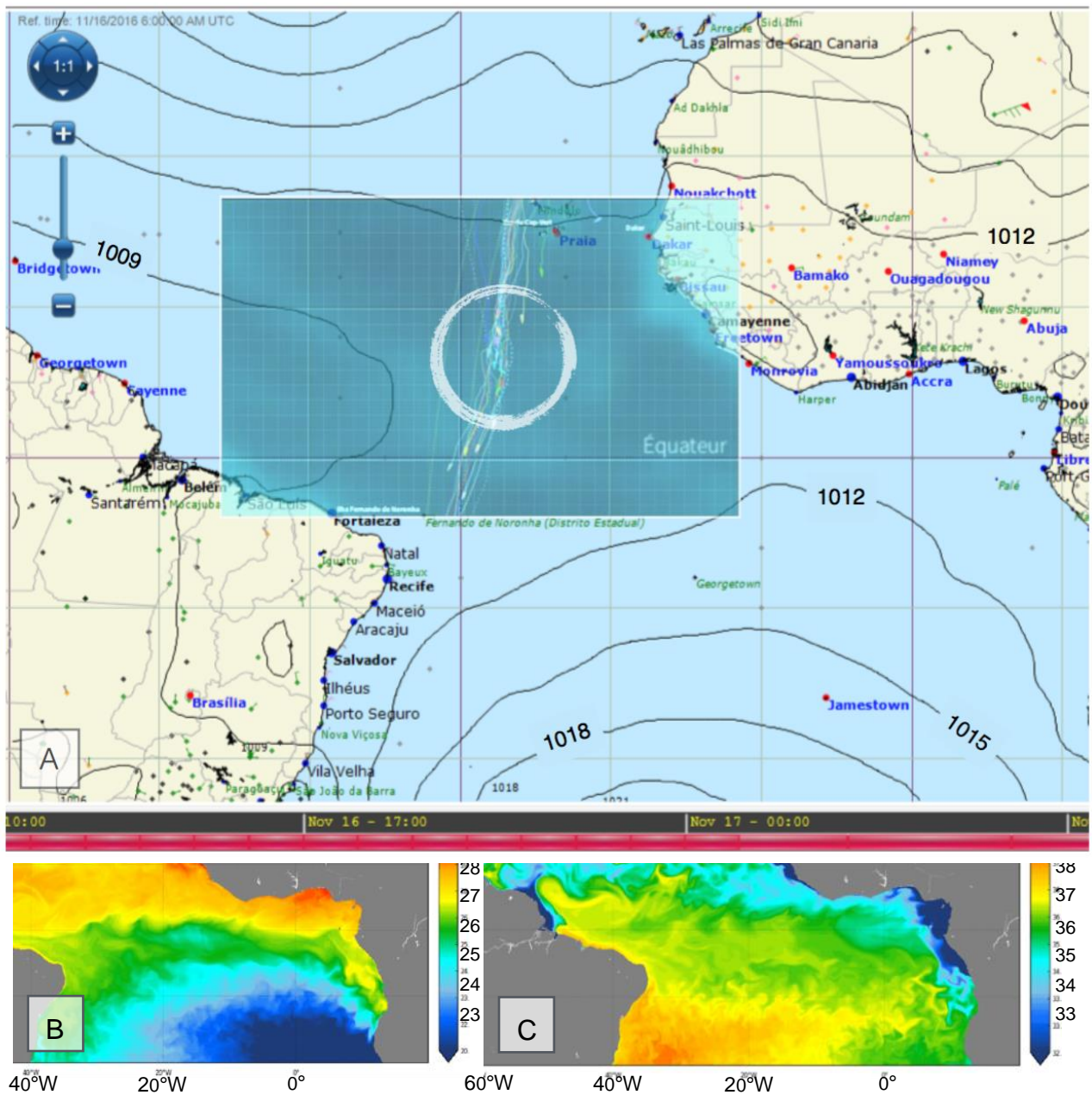


図 2: 大西洋のレース開催地域。(A) 3hPa間隔での等圧線図、(B) 海面温度図 (°C)、(C) 塩分図 (g/L)

問3: ヨットがやむを得ず低速度で航行している状況の説明は、次のうちどれか。(正答は1つ)

- 1- 高い海面温度が風の発生を妨げる。
- 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閉じ込められてしまう。

問 4: 図2Cを参照しなさい。熱帯は平均的な値(緑色の部分)と異なる塩分を持つ。最も適切なものを選び。(正答は1つ)

- 1- 大河川からの水の流入が海水の塩分低下をもたらす。
- 2- 熱帯の高圧帯では、気温が低く、蒸発が弱い。
- 3- 熱帯収束帯では降雨がより重要であり、それが塩分低下をもたらす。
- 4- 熱帯収束帯での特徴的な強い風が湧昇流を発生させ、塩分の低い海水を海面にもたらす。

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。

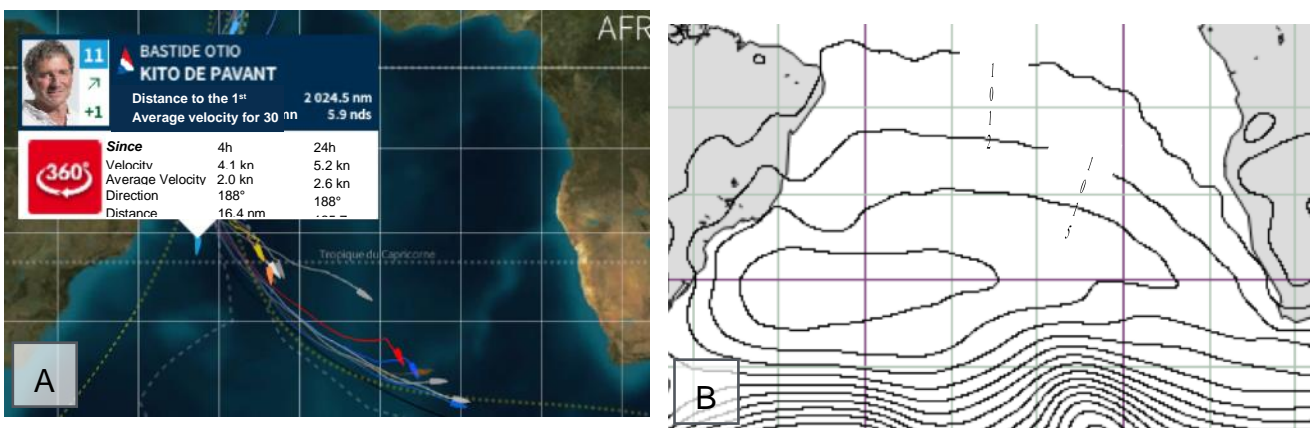


図 3: 2016年12月2日の競技者 Kito de Pavant の位置(青い矢印)とほかの競技者。(A) 位置図は過去24時間の彼の速さ(ノット)の変化も示している。距離は海里(nm)で示している。1nm = 1.85 km (B) 2016年12月12日レース海域の等圧線図。等値線間隔は3 hPa。

問5 Kito de Pavantがこのレース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は… (複数回答可)

- 1 時計回りに回転する
- 2 反時計回りに回転する
- 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、南米の南端と南極半島の最北端間の測線沿いに水温と塩分の水深分布を記録した。

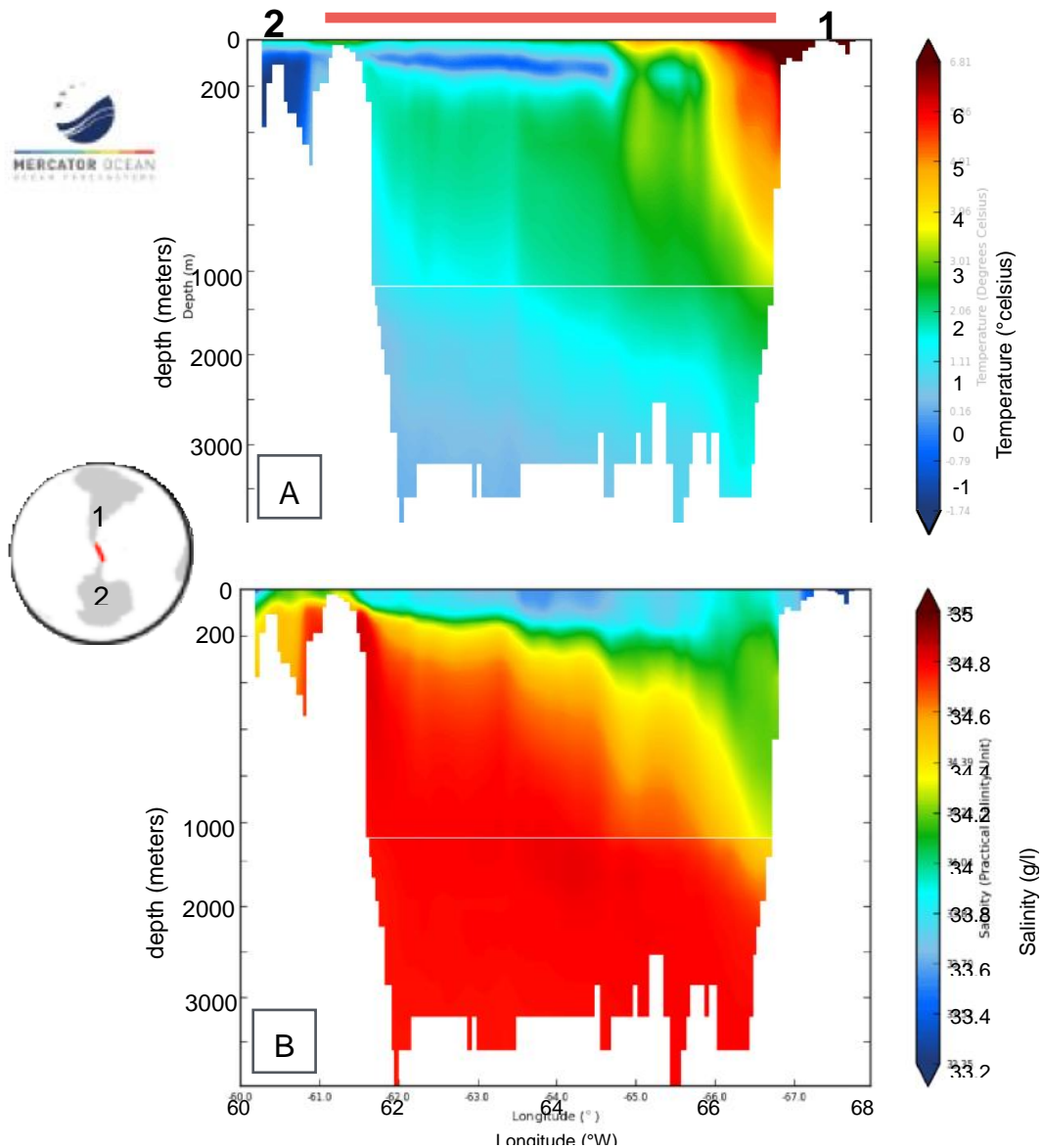


図4 ドレーク海峡 (南極から地球を見た挿入図に明示) に沿った測線での海水温 (A) と塩分 (B) の変化

問7 図4を参照しなさい。西経62.5°で言えることは…（正答は1つ）

- 1 水温と塩分の勾配は、深度全体で異常は見られない。
- 2 少なくとも一部で水温勾配のみが異常である。
- 3 少なくとも一部で塩分勾配のみが異常である。
- 4 両方の勾配とも異常である。

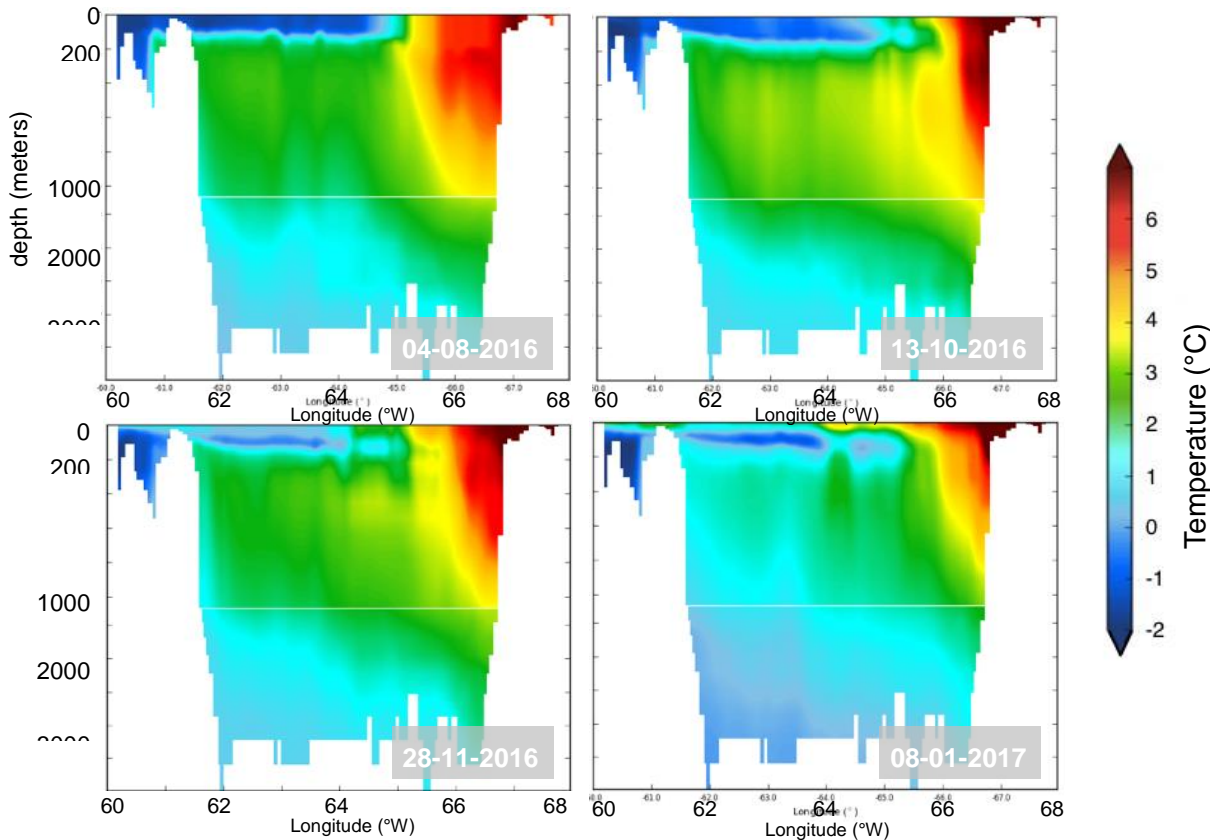


図5 図4で示した測線の2016年8月～2017年1月の異なる日の水温分布

図8 図4と5を参照しなさい。次のうちの文が正しいか。（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月のうちに測線が通る西経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・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、船員はアフリカ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）がいる。

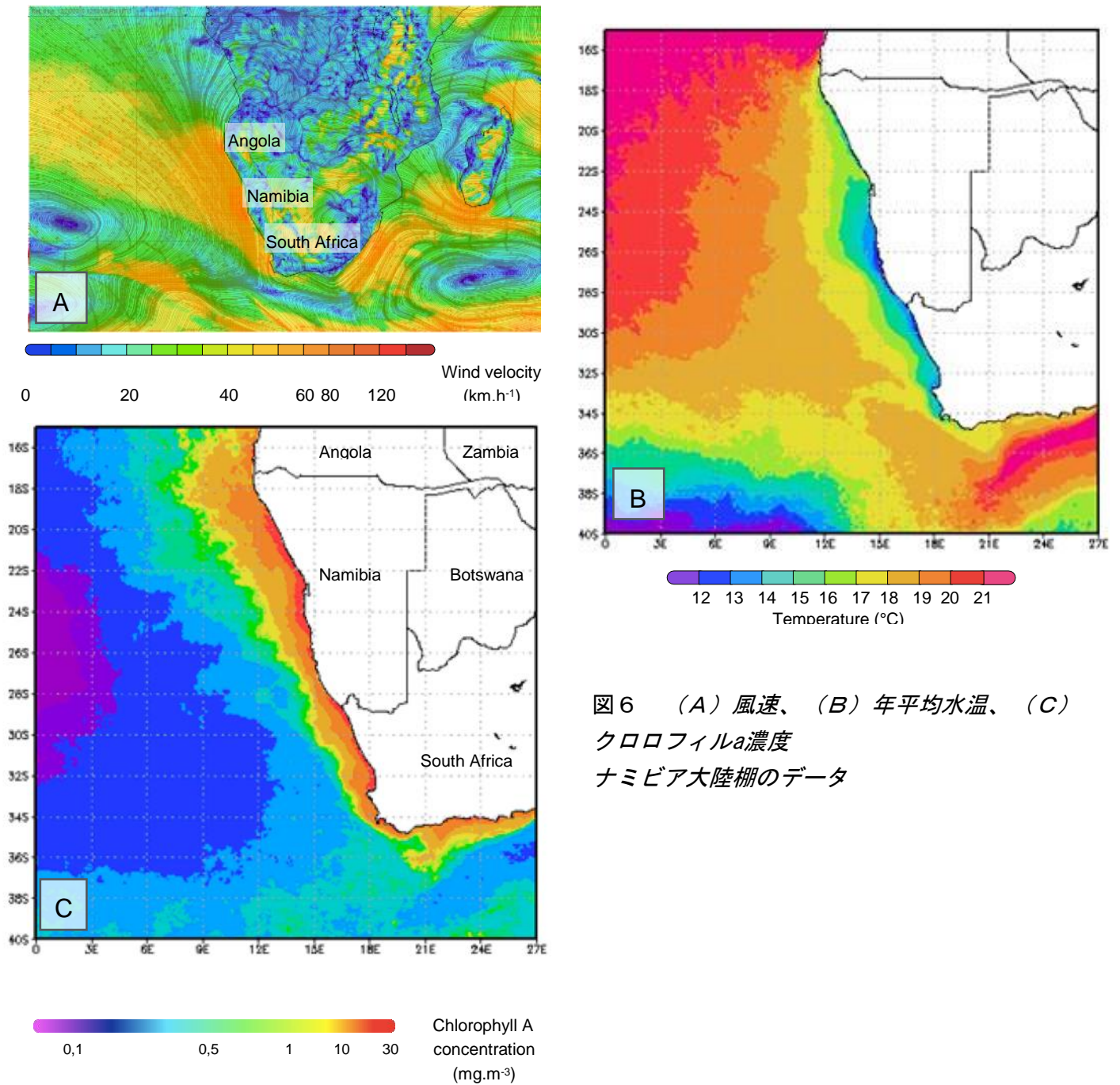


図6 (A) 風速、(B) 年平均水温、(C) クロロフィルa濃度
ナミビア大陸棚のデータ

問9 図6を参照しなさい。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、海面上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（熱帯連鎖）を豊かにし、魚が豊富になる。
- 6 高い第一次生産力は栄養成分増加と関連があり、豊かな食物連鎖（熱帯連鎖）を維持する。

問10： ナミビアとアンゴラに位置する大陸棚には、化石燃料（石油やガスハイドレート）を多く存在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十万年の間ほとんど変わっていないことが分かっている。アフリカの南西側の海岸はずっと砂漠であった。次の説明文のうち、正しいものはどれか。（複数回答可）

- 1-プランクトンの存在と食物連鎖の豊かさは、炭化水素の形成にとって欠かせない要素である。
- 2-石油は大西洋の海底で作られ、湧昇流によって表面方向へと運ばれる。
- 3-大陸からの有機物（動物の死骸や植物）が大陸棚に堆積し、炭化水素を生成する主たる材料となる。
- 4-プランクトンの有機物は大陸棚に堆積するが、酸素が欠乏した状況でそれらは炭化水素へと変換される。

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発信器を海に投入した。この発信器は海流の影響によって漂流する方向が決まり、その経度と緯度を毎時間送信している。

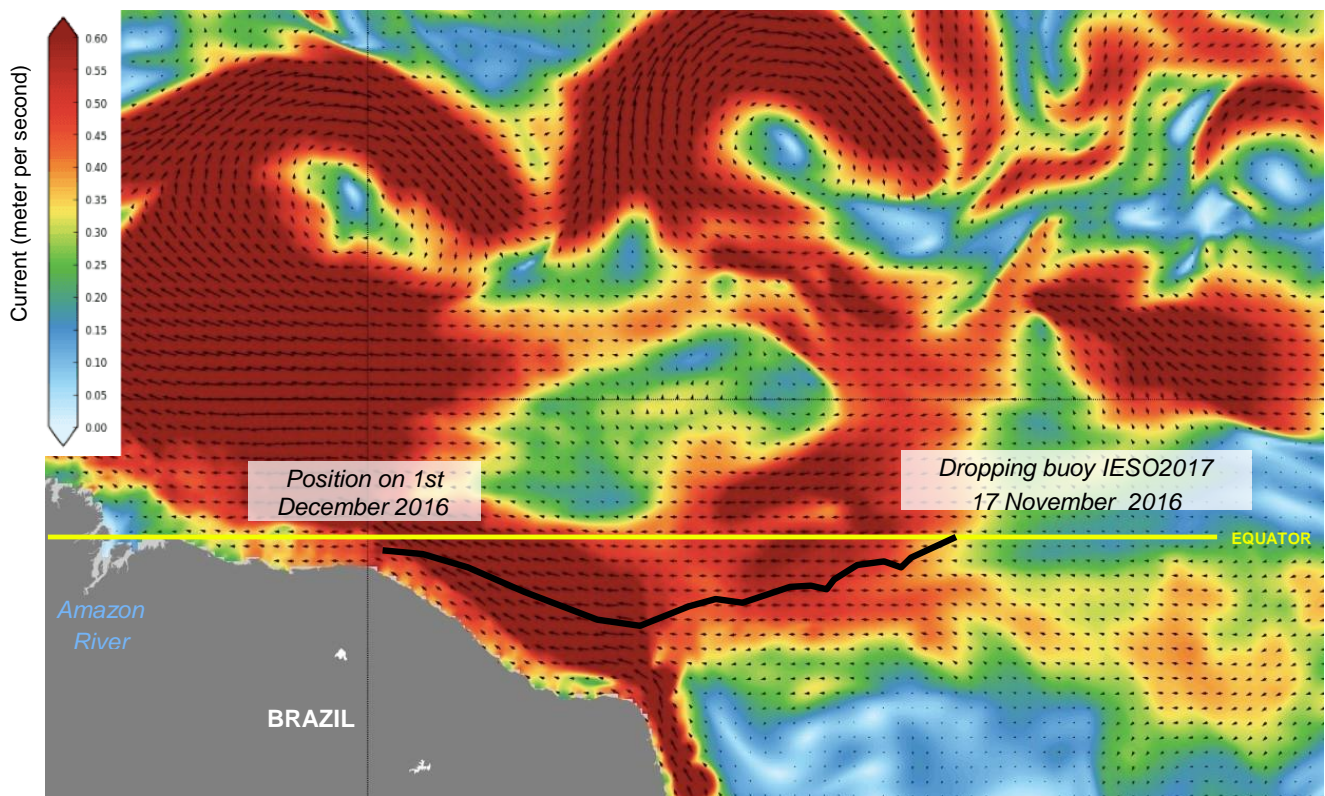


図7：赤道大西洋の地図。黒線はIESO2017発信器の動きを2016年11月17日から12月1日まで示したものである。発信器は船乗りKito de Pavantによって赤道を通過する際に放たれた。色は海流の速さを、矢印は方向をそれぞれ表している。この図に示されている海流は「赤道海流」と呼ばれている。

問11: 図7を参照しなさい。次の説明文のうち、正しいものはどれか。(複数回答可)

- 1- 発信器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- 発信器を運んでいる海流は大西洋の東西の温度差によって生じている。
- 3- 発信器を運んでいる海流は大西洋の東西の塩分の差によって生じている。
- 4- 発信器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- 発信器を運んでいる海流の進行方向はコリオリ力の影響を受けている。



図 8: 2016年12月15日から2017年1月4日までの発信器の移動の終末期を示している。各点は毎日同じ時間（深夜）の場所に対応している。

問12: 南アメリカ大陸の海岸（図8）に発信器が近づく経路を分析して、次のうち正しい文を選べ。（正解は1つ）

- 1- 速度は一定で、軌跡は海岸と平行になる。
- 2- 速度は一定で、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のため、発信器が海岸に近づくにつれて、速度は減少する。
- 4- 発信器が海岸に近づくにつれて水深が浅くなり、速度は減少する。
- 5- 海流と反対の淡水流のため、発信器が海岸に近づくにつれて、速度が増加する。
- 6- 発信器が海岸に近づくにつれて水深が浅くなり、速度は増加する。

Test code : WT-2

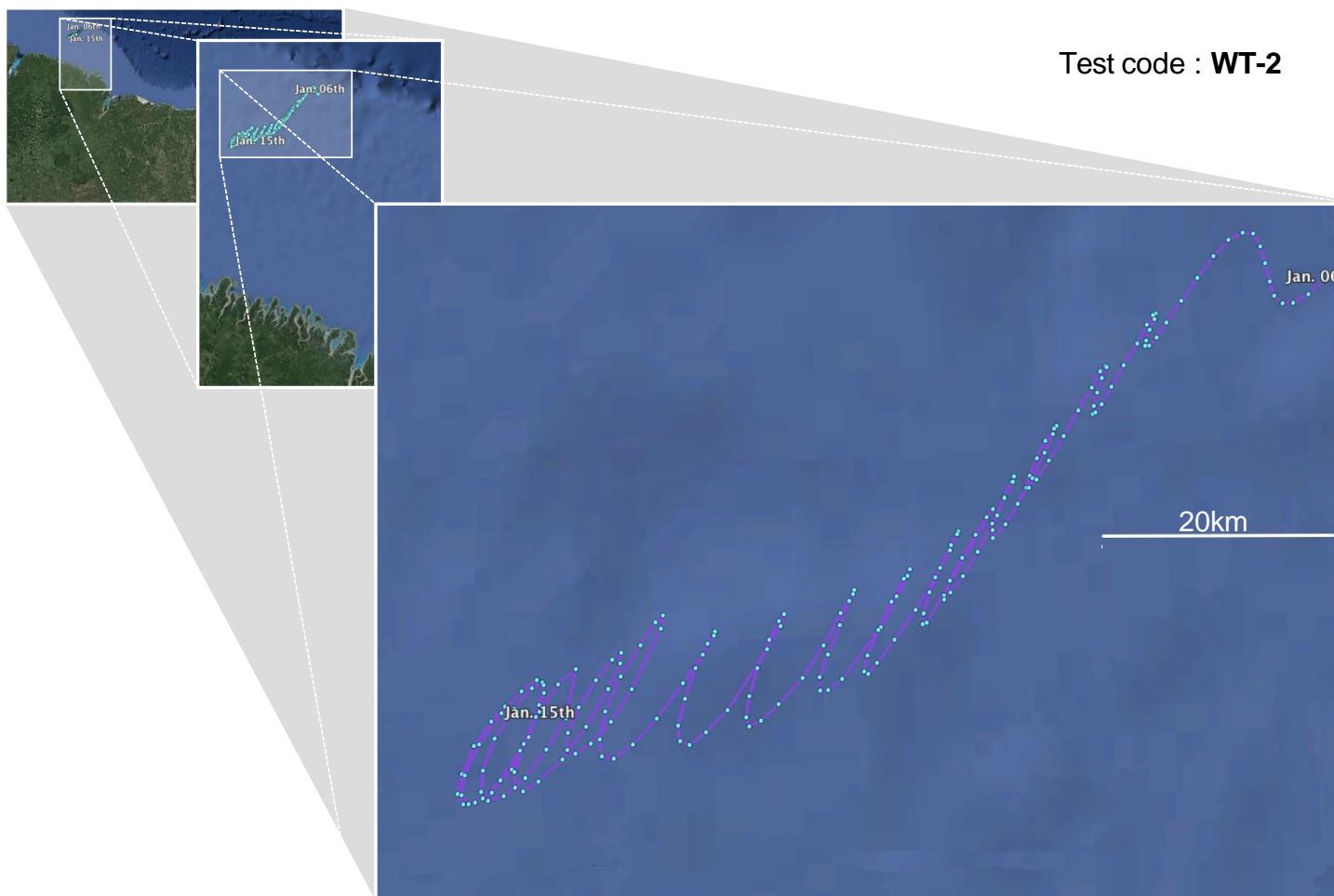


図9 :南アメリカ海岸付近での発信器の軌跡。 位置は一時間ごとに計測された。

問13 : 図9を参照して、発信器の挙動を最も正しく述べた文を選べ。

- 観測された現象は、平均して ○○ 時間の周期であると推定される。(正解は1つ)

- 1- 6時間
- 2- 12時間
- 3- 24時間

問14 : 下に挙げた考えられる原因のうち最も適するものを選べ。

ここに見られる軌跡を引き起こしているのは…(正解は1つ)

- 1- 沿岸と沖合での塩分の違いによって発生する乱流
- 2- 沿岸と沖合での海水温度の違いによって発生する乱流
- 3- 潮汐流

セクション2 : 地球に立って惑星を見ること

レースの途中、Kito de Pavant は異なる形の月を観察する機会があった。彼が見たことを私たちはどのように理解できるか。

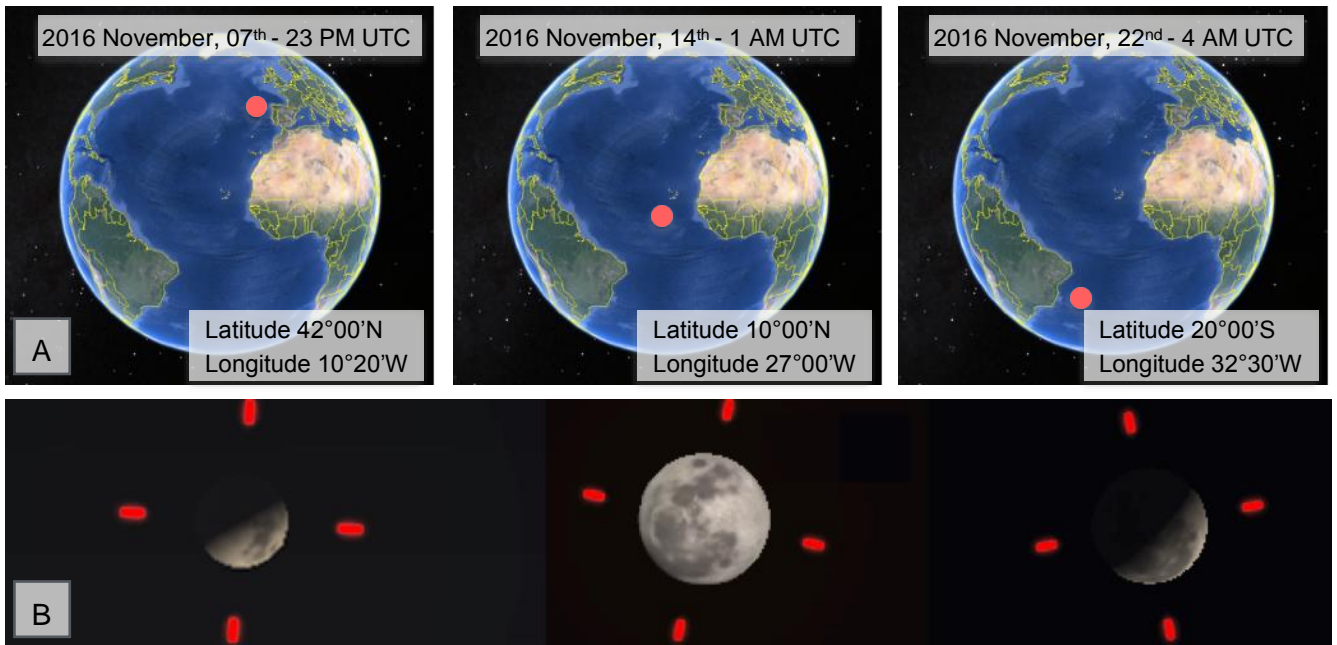


図10: (A)2016年11月にKito de Pavantがいた場所 (B) それぞれの場所で彼が見た月の画像

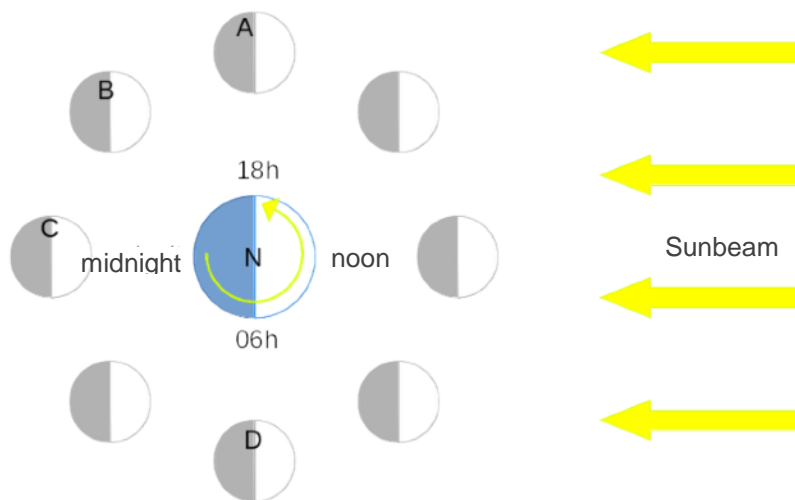


図 11: 3 つの天体 (太陽、地球、月) の位置関係と月の形

問15: 図11を参照しなさい。11月7日から8日にかけて太陽-地球系に対する月の位置は… (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度に到達する。この状態は…(複数解答可)

- 1- 熱帯にいる時のみ観察できる。
- 2- 満月の時のみありうる。
- 3- 満月の時は地球上のどこでもありうる。
- 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…(正答は1つ)

- 1-月の朔望周期は約14日間であるから
- 2-月の公転周期は約28日である。それゆえ、観測者は中間の14日に同じ状態の月をみる。
- 3-観測者は同一半球で観測していないので、上弦と下弦の月は同じようにみえる。
- 4- 観測者は夜の同じ時間に観測していないので、上弦と下弦の月は同じようにみえる。

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る。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からである。

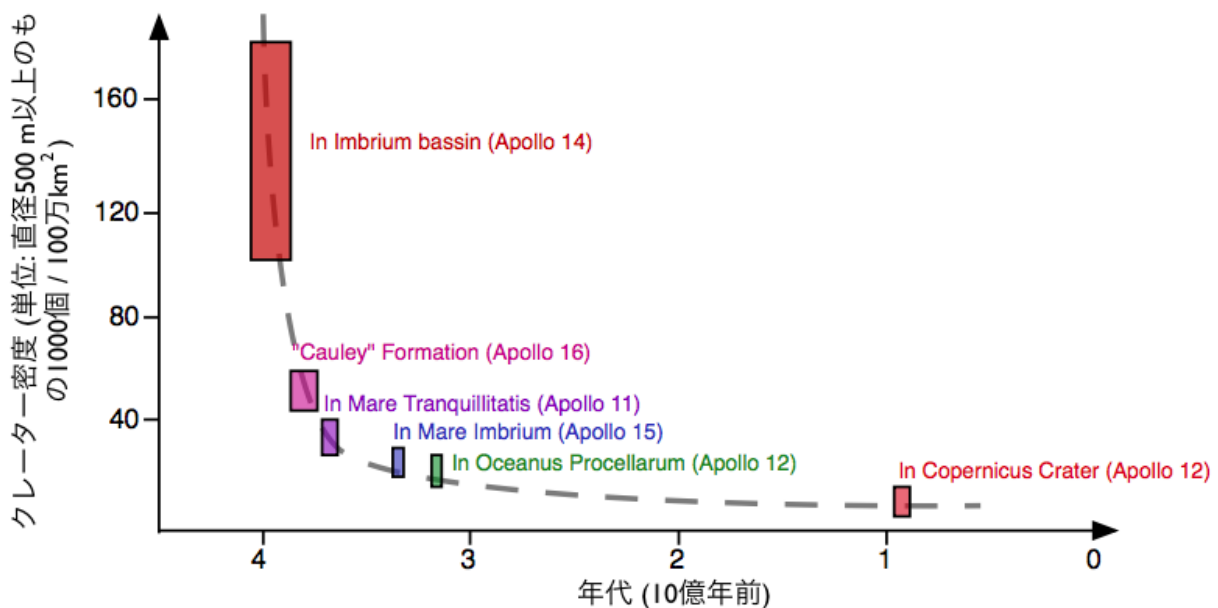


図 12: 月面に見られるクレーターの数と月面の年代の対比グラフ。破線は観察データの最適近似曲線。

問 19: 図12は、月面のクレーター密度と衝突した表面の年代が双曲線の関係であることを示している。この反比例関係の正確なグラフの形に影響するのは、次の変数のどれか。(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
- 3- 天体から小惑星帯やカイパーベルトまでの距離
- 4- 問題の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

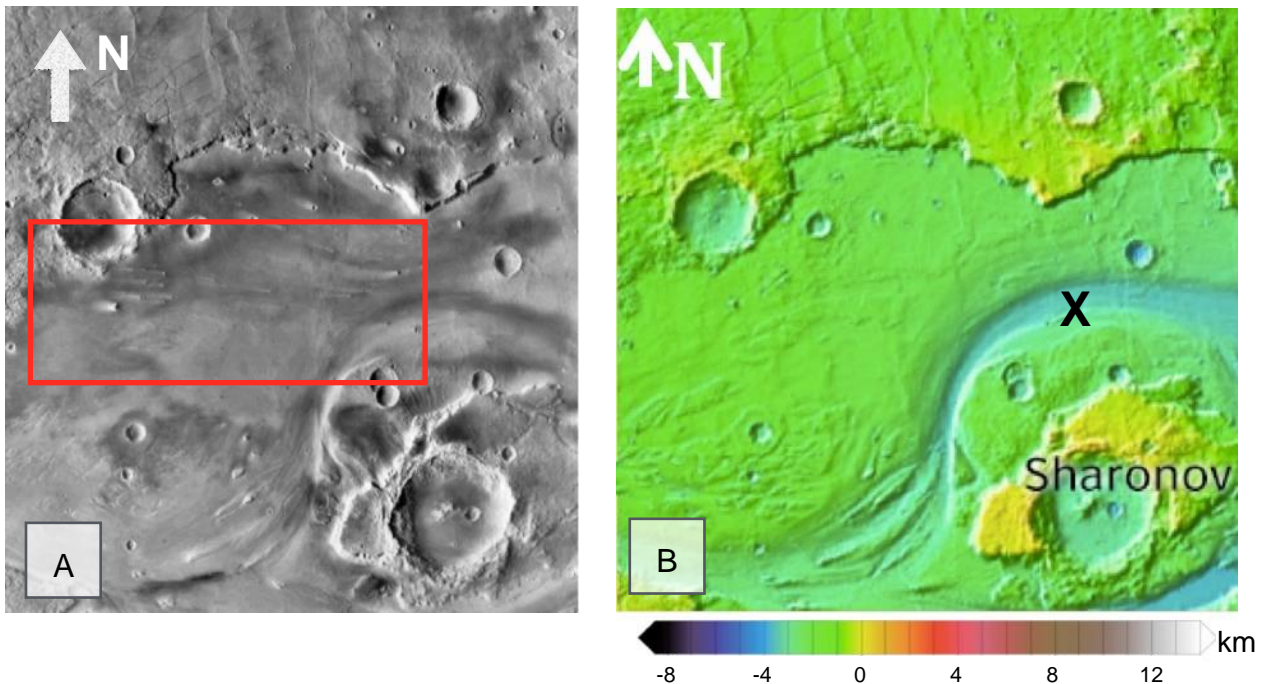


図13 火星の”Kasei Valles”の位置。(A) この領域の衛星写真。Sharonovクレーターは100kmの直径である。(B) 同じ領域の地形画像

問 20: 点Xで示した”Kasei Valles”を形成した川が流れている向きは。(正答は一つ)

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

問 21: 図13Aの赤枠内の小さなクレーターとつながっている小さな筋が見られる。考えられる説明は風の存在である。その場合、方角はどれか。

- 1- 西・北西向き
- 2- 西・南西向き
- 3- 東・北東向き
- 4- 東・南東向き

問 22: 図13を参照しなさい。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 (最も古いものから最も新しいもの) として正しい順番を選びなさい。
(正答は1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

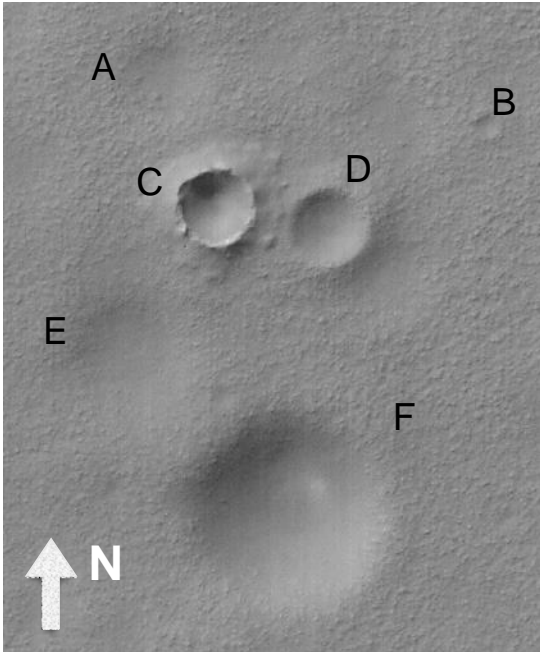


図 14: Sonia Planumと名付けられた火星の領域の衛星画像である。Mars Surveyor (MGS) missionの火星軌道カメラ (MOC) により得られたものである。

問 23: 図14を参照しなさい。クレーターの相対的な年代の順番 (最も古いものから最も新しいもの) として正しいものはどれか。

- 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… (正解は1つ)

- 1-これらの惑星に衝突する隕石が少ないから
2-表面を更新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

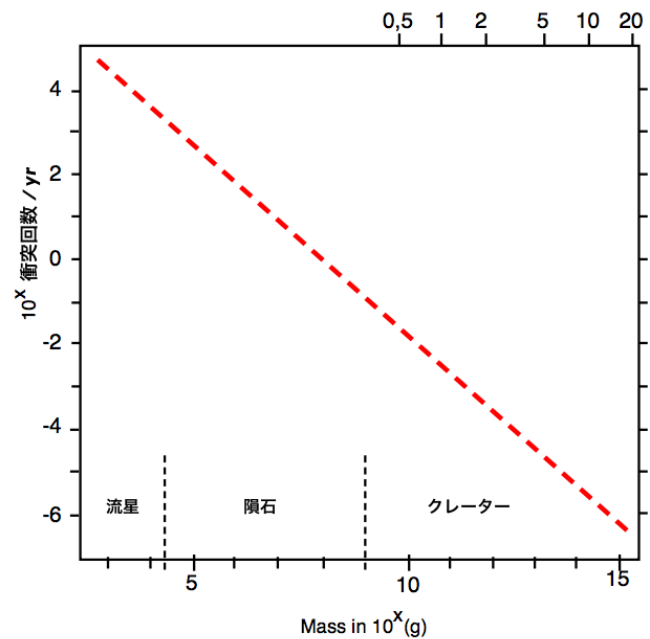


図 15: Hughes scaleを表す図。天体の質量、クレーターの直径、衝突の頻度は相互に関連している。図表中の値は、天体がおよそ15.4 km/sの速度で地球に接近しているときに適用される。

出典: Hughes (1992) Space Science Reviews.

問25: Hughes scale (図15)によると、地球上に直径5 kmのクレーターを作る天体は質量が… (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- 天体の速度
- 5- 衝突地点における森林の密度 (立木の密度)
- 6- 天気

問28: 図15を参照しなさい。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。このような現象が1年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は特筆すべきこの天体の特徴の一部を示している。地表が非常に明瞭に見えるため、この大きさの天体としては地質の説明が難しい複雑な地形の観測が盛んに行われている。目的は現在の地質活動について研究することである。

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でき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

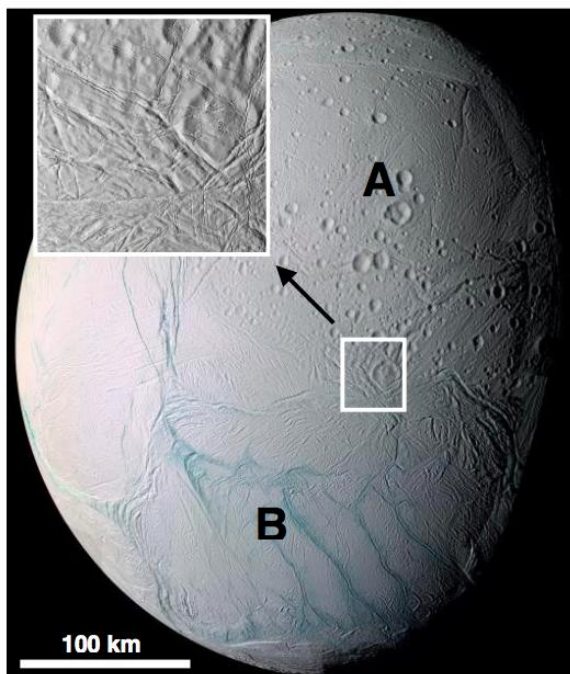


図16 : 2005年7月14日に上空1000 kmを飛行した探査機カッシーニによって得られたエンセラダスの画像。(出典: planet-terre.ens-lyon). Zone Aは無数のクレーターで特徴付けられるこの天体の領域を示す。Zone Bはこの衛星の南極にあたり、地形の起伏と無数の筋が観測される。

© 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を示している。即ち、Zone Bにはクレーターが全く存在しておらずより新しい。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 : 地球との類推から考えて、現在のエンセラダス内部活動を決めるのに必要な変数を選べ。
(複数回答可)

- 1- 探査機で得られたエンセラダスの地表での大気圧
- 2- 探査機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的性質
- 4- 磁場

エンセラダスの性質の観点から、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。下の記録はエンセラダスの温度分布の特性を示している。

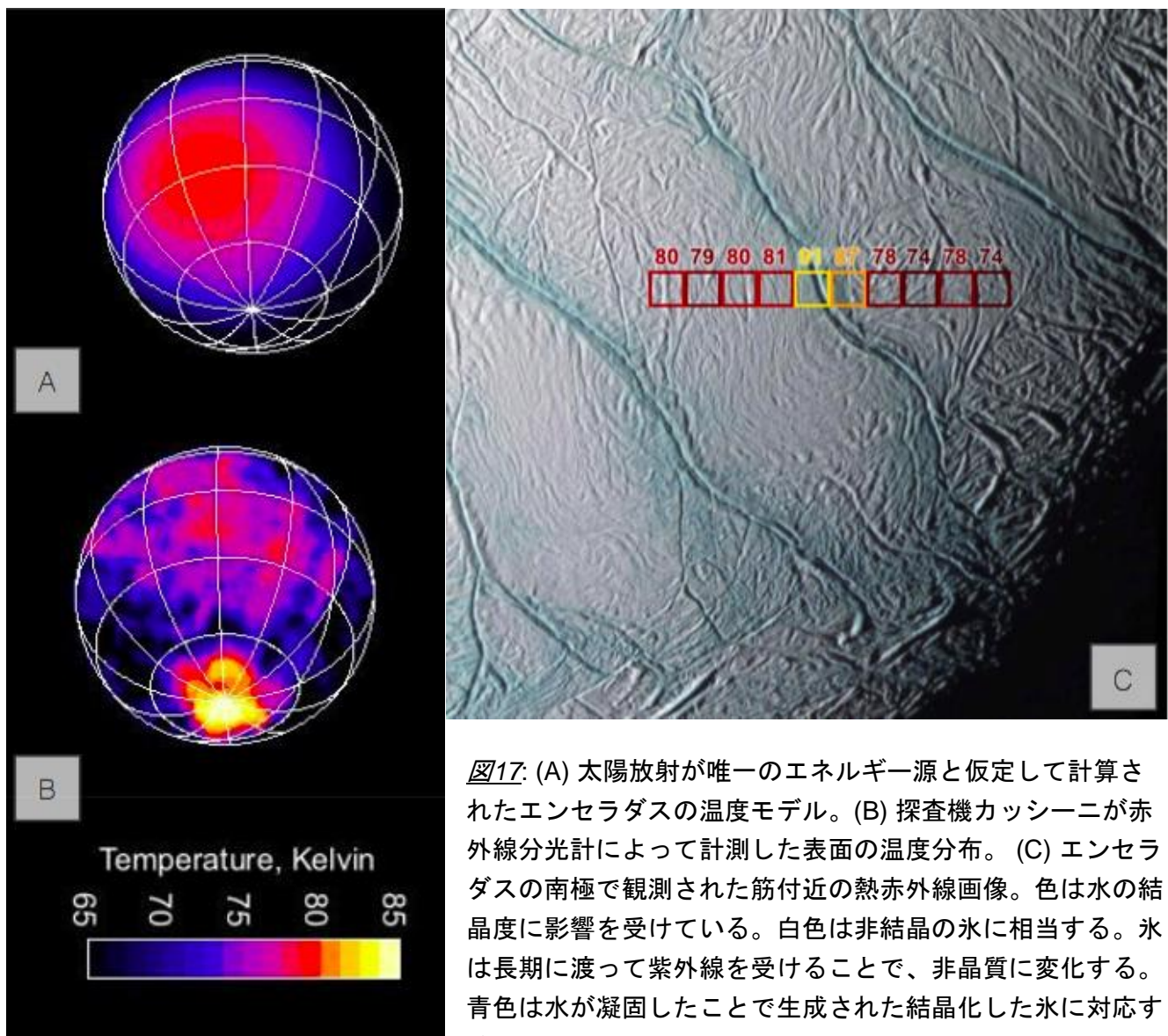


図17: (A) 太陽放射が唯一のエネルギー源と仮定して計算されたエンセラダスの温度モデル。(B) 探査機カッシーニが赤外線分光計によって計測した表面の温度分布。(C) エンセラダスの南極で観測された筋付近の熱赤外線画像。色は水の結晶度に影響を受けている。白色は非結晶の氷に相当する。氷は長期に渡って紫外線を受けることで、非晶質に変化する。青色は水が凝固したことで生成された結晶化した氷に対応する。

© 2005 NASA/JPL/Space Science Institute

問31: 図17を参照しなさい。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は… (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は太陽から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、温度異常と対比されている。この観測により推測されることはどれか。（正答は1つ）

- 1- 最近のテクトニックな構造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- 最近のテクトニックな構造の温度異常は水を存在させない。
- 3- 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- 衛星表面の水の現在の流路である。

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、カッシーニは気相の水を検出するイオン・中性子質量分析計（INMS）、氷の粒子を検出する宇宙塵分析器（CDA）を起動させた。

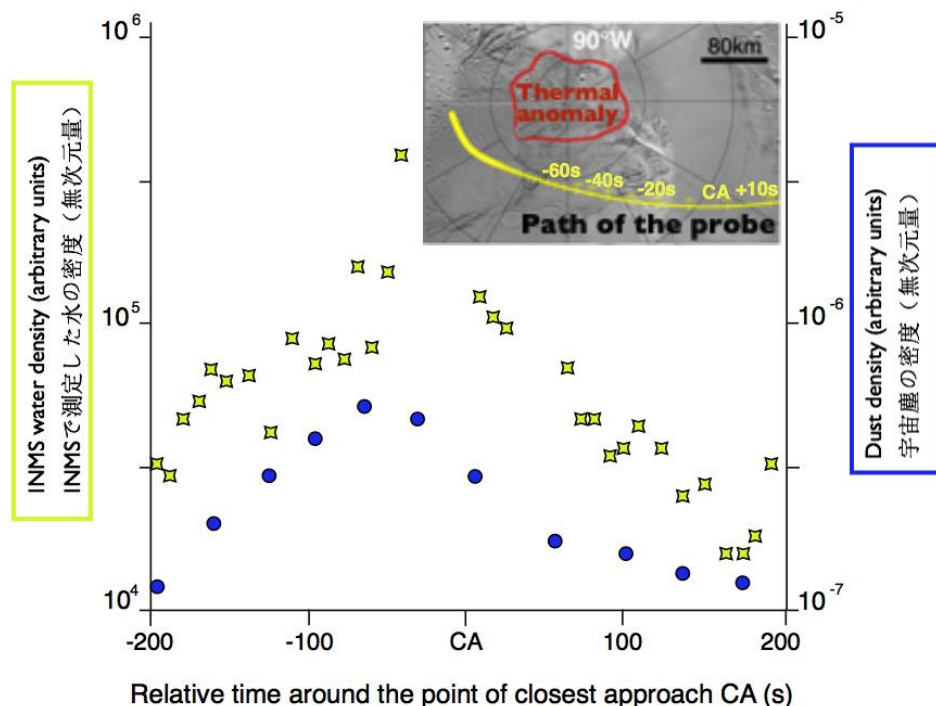


図 18 カッシーニ探査機に搭載された観測装置による測定結果を示したグラフ。グラフ中の写真は南極付近における探査機の飛行経路を示している。再接近点（CA）は探査機が衛星表面に最も近づいた地点である。NASA/UPL/University of Michigan/ Max Plank inst. 2005 “©より修正。

問 33: 図 18を参照しなさい。カッシーニ探査機による測定結果が示しているのは…（複数正解可）

- 1- 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- 探査機は、氷粒子と水蒸気が高い濃度で検出される拡散地帯（100 km以上）を記録した。これ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- 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。これは南極近くの熱異常地域と一致している。
- 4- 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。エンセラダスに薄い大気が存在している。

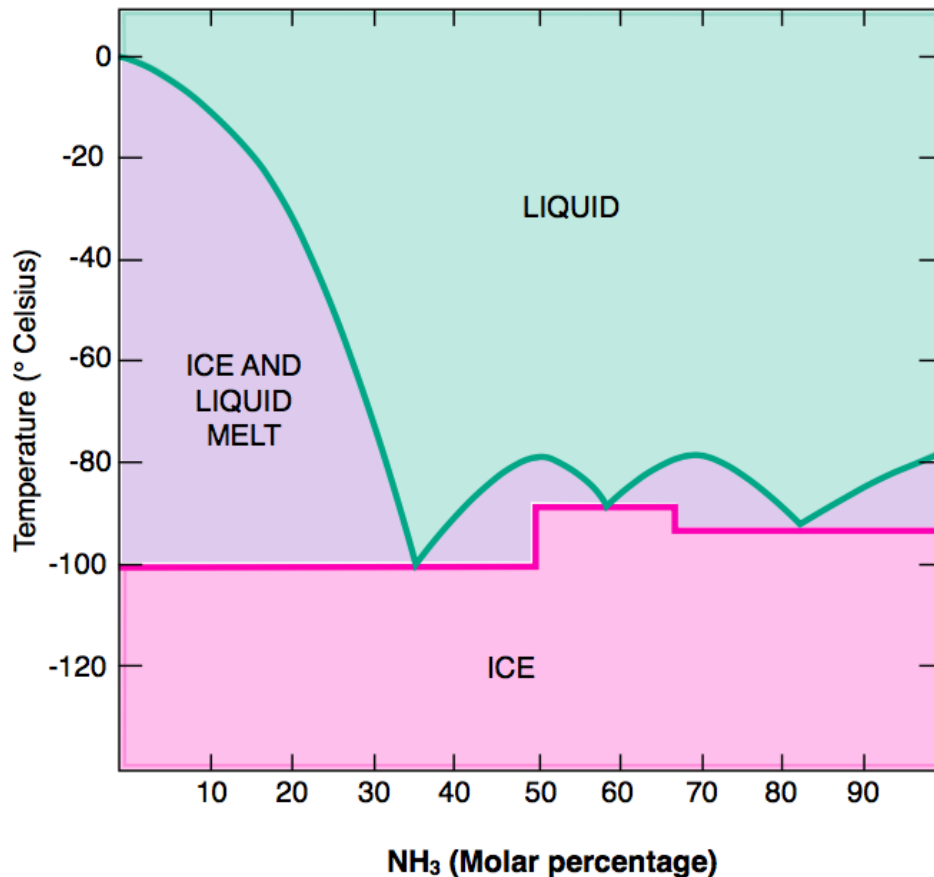


図 19: H_2O-NH_3 の混合物の相変化を示した図。この混合物は共晶系である。すなわち相変化に関して単一の純粋な物質のように振る舞う純粋な2物質の混合物としてみなせる。実験時の圧力は衛星の表面の圧力と同一である。 © 2005 NASA/JPL/Univ. Michigan/Max Planck Institute

問 34: 図 19を参照しなさい。最低融解温度になる組成はどれか。

- 1- 90%のアンモニアと10%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は、エンセラドスの状態と整合的か。

- 1- エンセラドスの表面で測定された平均気温では、水とアンモニアの混合物が溶解しうる。
- 2- 南極異常地帯のレベルで局地的に測定した温度では、液体が急速に出現しうる。
- 3- エンセラドスの表面では、水を含む液体が出現しうることはない。
- 4- 大気中に放出された水の存在は、内部状態が液相もしくは気相で出現しうるものであることを示している。

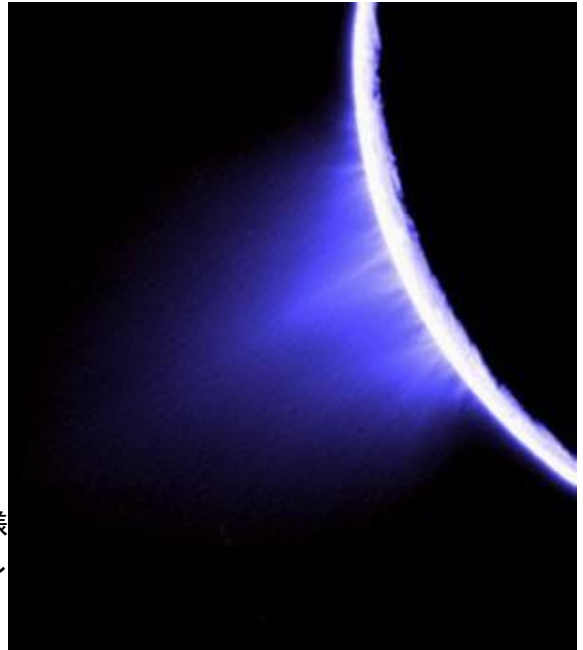


図20： 写真は、エンセラドス表面の氷火山の噴出の様子。分析結果は水蒸気と氷が放出されていることを示している。

(NASA/JPL/Space Science Institute)

問36： 図20を参照しなさい。次の文のうちから結論として正しいといえるものはどれか。(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- エンセラド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、地表を平滑にしてクレーターをならしていることを示している。
- 3- エンセラドスの表面は南半球の一部だけが最近のものであることを示している。それは今は凍っているが、クレーターが徐々に増えるだろう。
- 4- エンセラドスの表面は、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源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- エンセラド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がある。