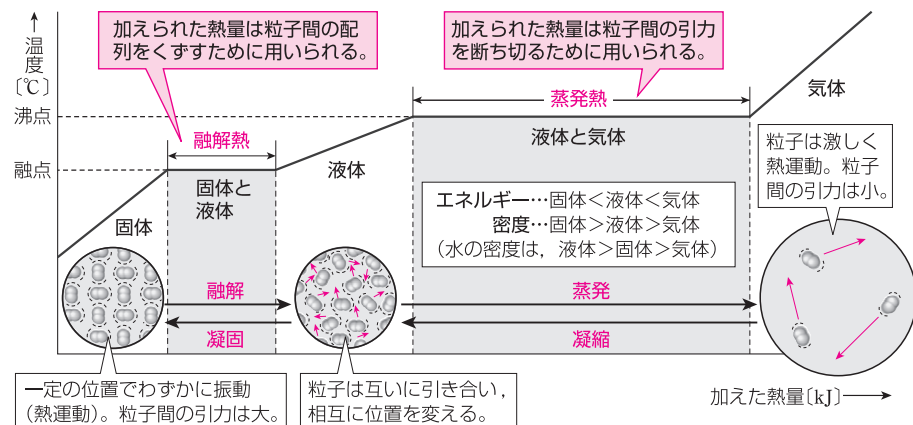


物質の三態と状態変化

1 状態変化と熱量

一定圧力のもとで、熱を加えていくと、状態変化が起こる。



融解熱：物質1 molが融解するときに吸収する熱量。〈例〉水：6.0 kJ/mol (0℃)

蒸発熱：物質1 molが蒸発するときに吸収する熱量。〈例〉水：41 kJ/mol (100℃)

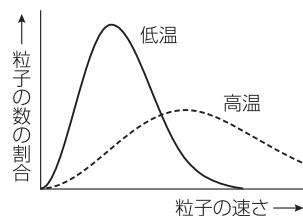
●比熱が c [J/(g・℃)] の物質 m [g] に一定の熱量を加えて温度が t [°C] 変化したとき、加えた熱量 q [J] は次式で求められる。
 $q = mct$

2 気体分子の熱運動と圧力

① **熱運動のエネルギー** 同じ温度でも、気体分子の速さには分布がある。高温ほど、速い分子の割合が大きく、エネルギーが大きい。

② **気体の圧力** 分子が容器に衝突して単位面積あたりにおよぼす力。

$$1.013 \times 10^5 \text{ Pa} = 1013 \text{ hPa} = 760 \text{ mmHg} = 1 \text{ atm}$$

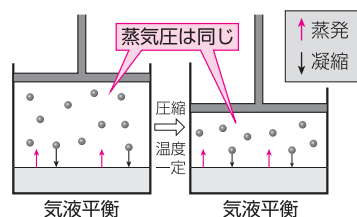


3 飽和蒸気圧と蒸気圧曲線

① 気液平衡と飽和蒸気圧

(a) **気液平衡** 容器内で、蒸発する分子の数と凝縮する分子の数が等しくなり、見かけ上変化がおこらなくなった状態。

(b) **飽和蒸気圧** 気液平衡に達しているとき、蒸気が示す圧力(単に**蒸気圧**ともいう)。蒸気圧は、温度が一定であれば、容器の体積に関係なく、一定の値を示す。



② **飽和蒸気圧の測定** 水銀柱の下端から適量の液体を入れると、その液体の蒸気圧の分だけ水銀柱が低くなる。

③ 沸騰と蒸気圧曲線

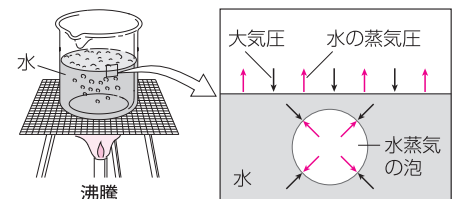
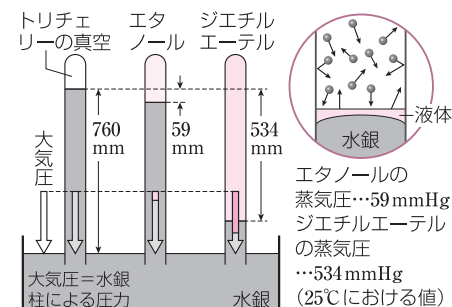
(a) **沸騰** 蒸気圧が外圧(大気圧)と等しいとき、液体の内部で気泡が形成され、液面が激しく泡立つ現象。沸騰する温度が**沸点**である。

(b) **蒸気圧曲線** 温度と飽和蒸気圧の関係を示す曲線。

① 温度が高いほど蒸気圧は大きくなる。

② 外圧を大きくすると、沸騰する温度は高くなる。一方、外圧を小さくすると、沸騰する温度は低くなる。

③ 分子間力が大きい物質は蒸気圧が小さく、沸点が高い。



4 物質の状態図

状態図…温度・圧力に応じて、物質が三態のうち、どの状態をとるかを示す図。

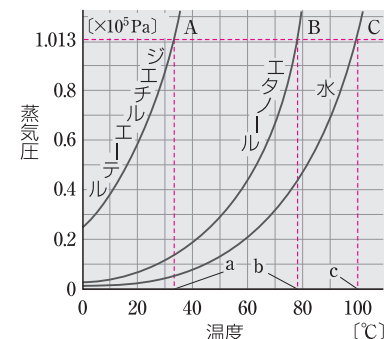
三重点…固体、液体、気体の状態が共存する点。

臨界点…液体と気体が区別できなくなる点。

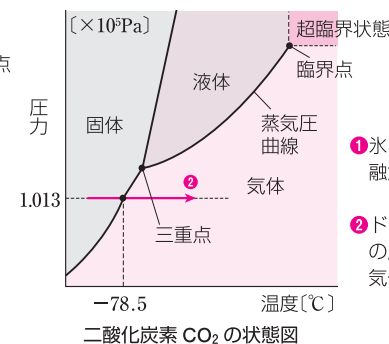
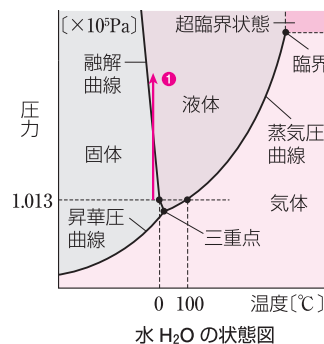
融解曲線…固体と液体の境界線。この曲線上の温度・圧力では、固体と液体が共存する。

昇華圧曲線…固体と気体の境界線。この曲線上の温度・圧力では、固体と気体が共存する。

蒸気圧曲線…液体と気体の境界線。この曲線上の温度・圧力では、液体と気体が共存する。



a, b, c は各物質の沸点 ($1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$)
同温での蒸気圧 : $A > B > C$
沸点 : $A < B < C$
分子間力の大きさ : $A < B < C$



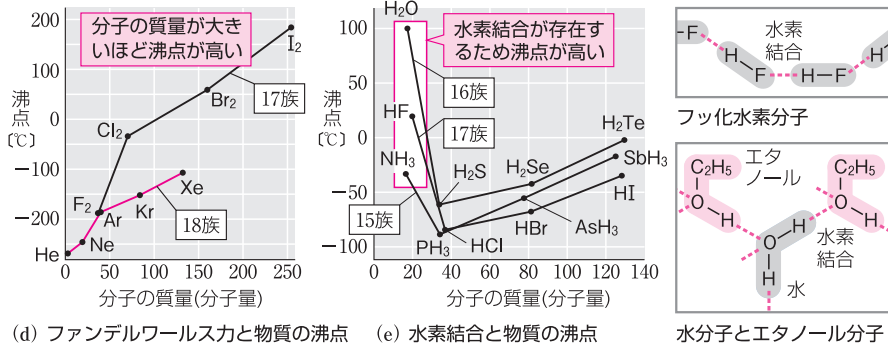
① 氷に圧力を加えると、融解して水になる。

② ドライアイス(固体)は通常の圧力では昇華して気体になる。

5 分子間力

分子間に働く弱い引力や相互作用を**分子間力**という。

- (a) **ファンデルワールス力** すべての分子間に働く弱い引力。分子の質量(分子量)が大きいほど強く作用する。
- (b) **極性分子間に働く静電的な引力** ファンデルワールス力よりも強い。
- (c) **水素結合** 電気陰性度の大きい F, O, N の原子間に水素原子が介在し、静電的な引力によって生じる結合。分子間力の中で最も強い。



6 物質の融点・沸点と化学結合

構成	原子(金属元素)		原子(非金属元素)	
	金属結合	電子放出 陽イオン	電子受容 陰イオン	共有結合
		イオン結合		共有結合
結晶	金属結晶	イオン結晶	共有結合の結晶	分子結晶
化学式	組成式	組成式	組成式	分子式
電気伝導性	よい	よくない (融解液や水溶液はよい)	よくない (黒鉛はよい)	よくない
融点	低い~高い	高い	非常に高い	低い
外力に対する性質	展性・延性を示す	かたいが、割れやすい	非常にかたい	やわらかく、くだけやすい
例	銅 Cu アルミニウム Al	塩化ナトリウム NaCl 酸化銅(II) CuO	ダイヤモンド C 二酸化ケイ素 SiO ₂	二酸化炭素 CO ₂ 水 H ₂ O

注 ① 結合力の強さ

共有結合, イオン結合, 金属結合 ≫ 水素結合 > 極性分子間に働く引力 > ファンデルワールス力

② 一般に, 結合力が強いほど, 結晶はかたく, 融点・沸点も高くなる。

プロセス 次の文中の()に適切な語句, 数値を入れよ。

- 1 固体では, 粒子は一定の位置でわずかに(ア)している。気体では, 粒子は空間中を自由に直進運動している。粒子のこのような(ア)や直進運動を(イ)という。
- 2 気体が液体になる変化を(ウ), 液体が固体になる変化を(エ)という。
- 3 物質 1 mol が融解するときに吸収する熱量を(オ)といい, kJ/mol の単位で表される。また, 物質 1 mol が蒸発するときに吸収する熱量を(カ)という。
- 4 気体分子が単位面積あたりにおよぼす力を気体の(キ)という。
- 5 760 mm の水銀柱が示す圧力は(ク)mmHg であり, これは(ケ)Pa に相当する。
- 6 温度一定の密閉容器内で, 蒸発する分子の数と凝縮する分子の数が等しくなった状態を(コ)の状態という。このとき, 蒸気の示す圧力が(サ)である。
- 7 多数の分子が規則正しく配列してできた固体を(シ)結晶という。水の結晶では, 水分子 H₂O 間にファンデルワールス力のほか, (ス)結合が作用している。

プロセスの解答

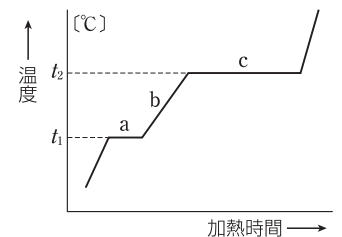
(ア) 振動 (イ) 熱運動 (ウ) 凝縮 (エ) 凝固 (オ) 融解熱 (カ) 蒸発熱 (キ) 圧力
(ク) 760 (ケ) 1.013×10^5 (コ) 気液平衡 (サ) 飽和蒸気圧(蒸気圧) (シ) 分子 (ス) 水素

基本例題 1 三態変化とエネルギー

→問題 2・3

図は, 1.013×10^5 Pa のもとで 36 g の氷を一様に加熱したときの時間と温度の関係を示したものである。次の各問いに答えよ。

- (1) 図中の c における水の状態を答えよ。
- (2) t_1 , t_2 の温度は, それぞれ何とよばれるか。
- (3) a で加えられた熱量は何 kJ か。ただし, 氷(水)の融解熱は 6.0 kJ/mol とする。
- (4) b で加えられた熱量は何 kJ か。ただし, 水の比熱を 4.2 J/(g・℃) とする。



考え方

a では氷の融解, c では水の蒸発が起きている。水が状態変化している間は, 加えられた熱量のすべてが状態変化に用いられるため, 温度は一定に保たれる。 t_1 は水の融点 0℃, t_2 は水の沸点 100℃ である。

(3) 氷の融解熱が 6.0 kJ/mol なので, 氷 1 mol (18 g) の融解には 6.0 kJ の熱量が必要である。

(4) 必要な熱量 $Q[J]$ は, 次式で求められる。

$$Q[J] = \text{質量 } m[g] \times \text{比熱 } c[J/(g \cdot ^\circ C)] \times \text{温度変化 } t[^\circ C]$$

解答

- (1) 液体と気体が共存
- (2) t_1 : 融点, t_2 : 沸点
- (3) 水 H₂O のモル質量は 18 g/mol
 なので, 氷(水) 36 g は $\frac{36 \text{ g}}{18 \text{ g/mol}} = 2.0 \text{ mol}$ である。したがって,
 $6.0 \text{ kJ/mol} \times 2.0 \text{ mol} = 12 \text{ kJ}$
- (4) $Q = 36 \text{ g} \times 4.2 \text{ J/(g} \cdot ^\circ \text{C)} \times 100^\circ \text{C} = 15120 \text{ J} = 15 \text{ kJ}$

基|本|問|題

思考

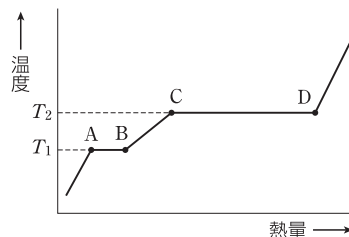
1. 三態間の変化 次各記述に最も関係の深い状態変化の名称を答えよ。

- 戸外に干しておいた洗濯物が乾いた。
- アイスクリームの箱の中に入れておいたドライアイスがなくなった。
- 熱いお茶を飲もうとしたら、眼鏡が曇った。
- 冷蔵庫の製氷皿にぬれた指で触れるとくっついた。

思考 論述 グラフ

2. 状態変化とエネルギー 図は、ある物質を $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ のもとで加熱したときの、加えた熱量と温度の関係を示したものである。

- AB間、BC間およびCD間では、この物質はそれぞれどのような状態で存在するか。
- 温度 T_1 、 T_2 をそれぞれ何というか。
- AB間で温度が上昇していないのはなぜか。
- この物質の質量および体積は、C点とD点ではそれぞれどちらが大きいのか。



知識

3. 融解熱・蒸発熱 0℃の水(水)180gをすべて100℃の水蒸気にするのに必要な熱量は何kJか。ただし、この操作は $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ のもとで行い、水の比熱を $4.2 \text{ J/(g} \cdot ^\circ\text{C)}$ 、融解熱を 6.0 kJ/mol 、蒸発熱を 41 kJ/mol とする。

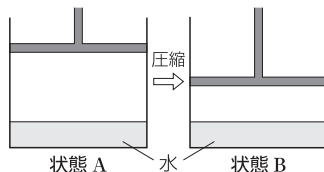
思考

4. 気体分子の熱運動と圧力 次の記述のうちから、誤りを含むものを2つ選べ。

- 気体分子の熱運動は、温度が高いほど激しく、エネルギーが大きい。
- ある温度における気体分子の速さには分布がある。
- He、Ne、 O_2 のうち、同じ温度で平均の速さが最も大きいのは O_2 である。
- 気体の圧力は、単位面積あたりに衝突する分子の数が多いほど大きい。
- 気体の圧力は、温度が高いほど小さい。

思考

5. 飽和蒸気圧 水蒸気で飽和した容器(状態A)がある。温度を変えずに、ピストンを押し下げて容器の内容積を半分にして十分な時間放置した(状態B)。この実験に関する記述として正しいものを2つ選べ。



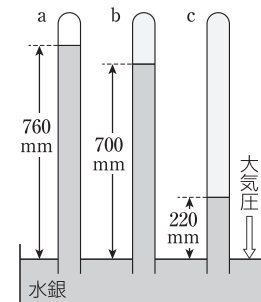
- A、Bとも、蒸発も凝縮もおこっていない。
- A、Bとも、単位時間に蒸発する分子の数と凝縮する分子の数が等しくなっている。
- Bの蒸気圧は、Aの蒸気圧の2倍になっている。
- A、Bとも同じ蒸気圧を示す。

知識

6. 水銀柱と蒸気圧 次の文を読み、下の各問に答えよ。

約1mの長さの一方を閉じたガラス管3本に水銀を満たし、これを水銀中に倒立させ、室温で放置した。はじめ、a～cでは水銀柱の高さが760mmであったが、bには下部から物質Bを、cには物質Cをそれぞれ適量入れると、気液平衡の状態に達し、水銀柱は図のような高さになった。

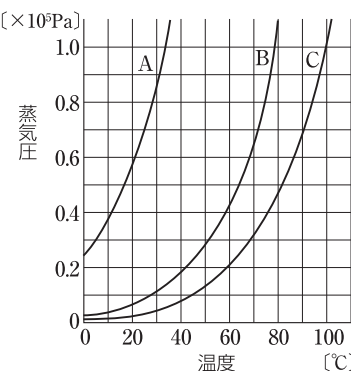
- 大気圧は水銀柱で何mmに相当するか。
- 物質B、Cの飽和蒸気圧はそれぞれ何mmHgか。
- 物質B、Cでは、分子間力はどちらが大きいのか。



思考 グラフ

7. 蒸気圧曲線 図は、物質A～Cの蒸気圧曲線である。これをもとにして、次の各問に答えよ。

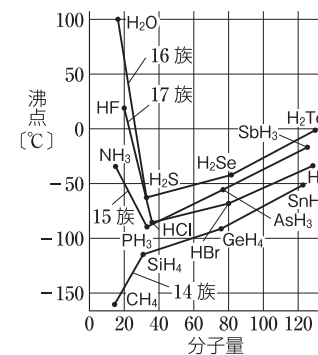
- 最も沸点の高い物質はA～Cのうちどれか。
- 分子間力が最も強い物質はA～Cのうちどれか。
- 外圧が $0.8 \times 10^5 \text{ Pa}$ のとき、Bは何℃で沸騰するか。
- Cを80℃で沸騰させるには、外圧を何Paにすればよいか。
- 20℃で、 $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ から圧力を下げたとき、最初に沸騰する物質はA～Cのうちどれか。



知識 グラフ

8. 水素化合物の沸点 14～17族元素の水素化合物の沸点と分子量の関係を図に示した。次の(1)、(2)の理由として最も関係が深いと考えられるものを、下の①～⑤からそれぞれ選べ。

- 14族では、分子量が大きくなると水素化合物の沸点が高くなる。
 - 15～17族では、分子量が最も小さい水素化合物の沸点が他の同族の水素化合物よりも著しく高い。
- ① 金属結合 ② 共有結合 ③ イオン結合
④ 水素結合 ⑤ ファンデルワールス力



思考

9. 分子と沸点の高低 次の(1)～(3)の各物質の組み合わせのうち、融点・沸点が最も高いと考えられる物質の化学式をそれぞれ示せ。また、その理由を(ア)～(ウ)から選べ。

- H_2 , N_2 , F_2 (2) CH_4 , SiH_4 , H_2S (3) H_2O , H_2S , HCl

[理由] (ア) 極性がある (イ) 分子量が大きい (ウ) 水素結合を形成する

知識

10. 分子結晶と共有結合の結晶 次を示す物質の結晶について、下の各問いに答えよ。

(ア) 塩化ナトリウム (イ) 銅 (ウ) 二酸化ケイ素 (エ) 二酸化炭素
(オ) アンモニア (カ) 塩化アンモニウム (キ) エタノール (ク) ヨウ素

- (1) 分子結晶をすべて選び、記号で示せ。
- (2) 水素結合を形成している分子結晶を2つ選び、記号で示せ。
- (3) 共有結合の結晶を選び、記号で示せ。

知識

11. 結晶の分類 次の記述に該当するものを各群からそれぞれ選び、記号で答えよ。

- (1) 原子が自由電子を共有してできる結晶。展性や延性に富む。
- (2) 分子が規則正しく並んだ結晶。融点が低く、昇華しやすい。
- (3) 粒子が静電的に引き合っている結晶。融解液や水溶液は電気を導く。
- (4) 巨大な分子ともみなすことができる結晶。極めてかたく、融点が非常に高い。

A群：(ア) 共有結合の結晶 (イ) 金属結晶
(ウ) 分子結晶 (エ) イオン結晶

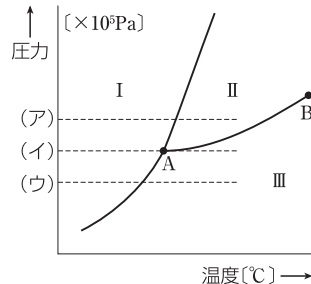
B群：(a) ダイヤモンド (b) 金 (c) 硝酸カリウム (d) ドライアイス

発展例題1 二酸化炭素の状態図

⇒問題12

図は、二酸化炭素の状態図を模式的に示したものである。次の各問いに答えよ。

- (1) 領域Ⅰ、Ⅱ、Ⅲでは、二酸化炭素はそれぞれどのような状態にあるか。
- (2) $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ を表す線は、図中の(ア)～(ウ)のどれに相当するか。
- (3) 状態図から、一定温度で液体に圧力を加えると、状態はどのように変化することがわかるか。
- (4) 点A、Bの名称はそれぞれ何か。また、点Bよりも温度・圧力の高い状態は何とよばれるか。



考え方

- (1) 一定圧力で温度を高くすると、固体→液体→気体と変化する。
- (2) 二酸化炭素は、 $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ では昇華性を示し、固体から直接気体に変化する。
- (3) Ⅰの固体とⅡの液体の境界線が右上がりなので、一定温度で圧力を高くしていくと、液体は固体に変化する。
- (4) 点Aでは、固体、液体、気体の3つの状態が共存し、これを**三重点**という。点Bの温度と圧力を超えると、液体と気体の密度が同じになり、液体と気体を区別できなくなる。この点を**臨界点**といい、これよりも温度と圧力が高い状態を**超臨界状態**という。超臨界状態の物質を**超臨界流体**といい、物質を溶かし出す性質にすぐれる。

解答

- (1) Ⅰ 固体
Ⅱ 液体
Ⅲ 気体
- (2) (ウ)
- (3) 固体になる。
- (4) A 三重点
B 臨界点
超臨界状態

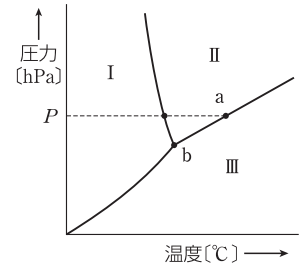
例題
解説動画

発展問題

思考 論述 グラフ

12. 物質の三態 図に水の状態を模式的に示した。

- (1) a点の温度の値が100のとき、圧力Pの値を4桁の数字で記せ。
- (2) 領域Ⅱから領域Ⅰへの状態変化(A)、領域Ⅲから領域Ⅱへの状態変化(B)および領域Ⅰから領域Ⅲへの状態変化(C)の名称をそれぞれ記せ。
- (3) 水に圧力を加えると沸点はどのように変化するか。
- (4) 氷に圧力を加えると融点はどのように変化するか。
- (5) 点bを何というか。また、点bでは、水はどのような状態で存在するか。

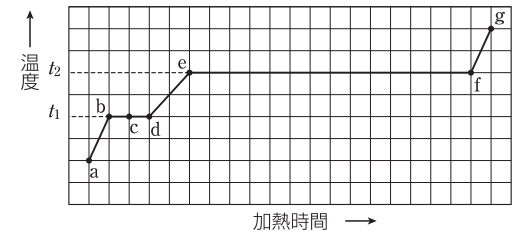


(11 岩手医科大 改)

思考 論述 グラフ

13. 状態変化と熱量 $1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$ のもとで、氷(点a)を一定の割合で加熱し続けた場合の温度変化を、図に示した。次の各問いに答えよ。

- (1) 点b、c、d、gはおもにどのような状態であるか。氷、水、水蒸気の語句を用いて答えよ。
- (2) 富士山頂で同様の実験を行ったときの t_2 の値は、図の t_2 の値に比べてどうなるか。
- (3) 0°C の水90gを加熱して 50°C の水にした。何kJの熱量が必要か。ただし、氷の融解熱は 6.0 kJ/mol 、水の比熱は $4.2 \text{ J/(g} \cdot ^\circ\text{C)}$ とする。
- (4) ef間は、bd間よりも多くの熱量を必要とするのはなぜか。簡潔に記せ。

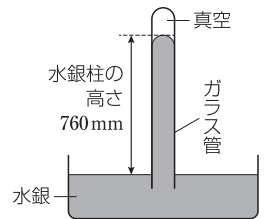


(11 広島工業大 改)

思考

14. 蒸気圧 外圧 $1.01 \times 10^5 \text{ Pa}$ 、 25°C で、一端を閉じたガラス管に水銀を満し、水銀を入れた容器の中で倒立させたと、水銀柱は容器の水銀面から760mmの高さになり、上部に真空の空間ができた。次の各問いに答えよ。

- (1) ヘキサン(液体)をガラス管に少しずつ注入したところ、水銀面にヘキサンが残っているとき、水銀柱の高さは610mmであった。 25°C におけるヘキサンの蒸気圧は何Paか。ただし、ヘキサンの体積は無視できる。
- (2) 水銀の代わりに水を用いて、水を入れた容器に倒立させたとすると、水柱の高さは何mになるか。次のうちから、最も適当なものを1つ選べ。ただし、密度は、水が 1.00 g/cm^3 、水銀が 13.6 g/cm^3 、 25°C の水の蒸気圧は $3.00 \times 10^3 \text{ Pa}$ とする。



① 9.80 ② 10.0 ③ 10.3 ④ 12.0 ⑤ 13.4 (20 松山大 改)