

# 令和2年4月入学 総合研究大学院大学複合科学研究科

## 極域科学専攻入学者選抜 専門科目 博士課程（5年一貫制）

### <注意事項>

- ・ 試験開始の合図があるまで、この問題冊子の中を見てはいけません。
- ・ 試験時間は120分です。
- ・ 試験中に問題冊子の印刷不鮮明、ページの落丁・乱丁及び解答用紙の汚れ等に気付いた場合は、手を挙げて監督者に知らせなさい。
- ・ 問題及びページ番号は次のとおりです。計3問を選択して解答しなさい。3問は同一の分野から選択しても、別々の分野から選択しても構いません。  
物理学1 1ページ、物理学2 2ページ、物理学3 3ページ  
化学1 4ページ、化学2 5ページ、化学3 6-7ページ  
地球科学1 8ページ、地球科学2 9ページ、地球科学3 10-11ページ  
生物学1 12ページ、生物学2 13ページ、生物学3 14ページ
- ・ 解答用紙には罫線のもの、白紙のもの、マス目のもの3種類がありますが、どれを使用しても構いません。
- ・ 解答用紙がさらに必要な場合には、挙手をして監督者に知らせなさい。
- ・ 試験開始の合図後に、解答用紙の指定の欄に受験番号、氏名及び選択した問題を記入しなさい。解答用紙は1問ごとに別に作成しなさい。
- ・ 1問につき解答用紙が複数枚にわたる場合には、すべての解答用紙に受験番号、氏名及び選択した問題を記入し、さらに、解答用紙右下の所定の欄に、ページ数を記入しなさい（2枚の場合には、1/2、2/2、3枚の場合には1/3、2/3、3/3）。
- ・ 試験中は机の上の見やすい場所に受験票をおきなさい。
- ・ 試験中に机の上におけるのは、受験票の他、黒鉛筆、シャープペンシル、消しゴム、鉛筆削り（手動式のもの）、時計（計時機能だけのもの）です。
- ・ 耳栓は使用できません。
- ・ ハンカチ、ティッシュペーパー、目薬等の使用を希望する者は、監督者に申し出て許可を受けてから使用しなさい。
- ・ 試験時間中は、監督者の指示に従って下さい。従わない場合は退室させることがあります。
- ・ 不正行為と認められた場合は、受験自体を無効とします。
- ・ 試験室に入室してから試験終了までは、試験中の発病又はトイレ等やむを得ない場合を除いて原則として一時退室を認めません。やむを得ない場合には、手を挙げて監督者の指示に従いなさい。一時退室が認められた場合でも、原則として試験時間の延長は認めません。
- ・ 試験終了時間前に解答を終了した場合には退室を認めます。その場合には、手を挙げて監督者の指示に従いなさい。ただし、試験終了15分前以降試験終了までの間は、退室を認めません。
- ・ 試験終了5分前になったら、終了5分前の合図をします。
- ・ 試験終了後、問題冊子、解答用紙を持ち帰ってはいけません。

## <物理学 1>

問題：大気圏内を飛行する人工衛星が受ける抵抗は大気分子との完全非弾性衝突によるものと仮定した場合を考える。ここに、人工衛星の質量を  $m$ 、運動方向に垂直な断面積を  $S$ 、大気分子の密度を  $\rho$  とし、大気分子の速さは人工衛星の速さ  $v$  に比べて無視できるものとする。以下において、空欄の  に当てはまる数式又は適当な語句を答えよ。

人工衛星が時間  $dt$  の間に衝突する大気分子の質量  $dm$  は、 $S$ 、 $\rho$  などを用いると、

$$dm = \text{(あ)} \quad \text{}$$

時間  $dt$  の後の人工衛星の速度を  $v+dv$  とすると、この間の人工衛星の質量変化を考慮すれば、 (い) 保存則により、

$$m v = \text{(う)} \quad \text{}$$

となる。

以上より、人工衛星が受ける抵抗力を  $R$  とすれば、

$$R = \text{(え)} \quad \text{}$$

となり、人工衛星の速さ  $v$  の  (お) 乗に比例することがわかる。

## < 物理学 2 >

問題：誘電率  $\epsilon$ 、透磁率  $\mu$  の自由空間を伝搬する電磁波の偏波について、マクスウェル方程式を基にして述べよ。ただし、電束密度  $D$ 、電界  $E$ 、磁束密度  $B$ 、磁界  $H$  に以下の関係があるとする。

$$D = \epsilon E, \quad B = \mu H$$

### <物理学3>

問題：理想気体の準静的な断熱過程について、圧力を  $p$ 、体積を  $V$  として、ポアソンの式、 $pV^\gamma = \text{一定}$  が成立することを以下の様に考えて導く。なお、理想気体の定積モル比熱を  $C_v$ 、定圧モル比熱を  $C_p$ 、気体定数を  $R$ 、比熱比を  $\gamma (= C_p / C_v)$  とする。

問1. 空欄  に当てはまる式や語句を埋めよ。

$n$  mol の理想気体についての、微小な変化をする際に入出力する熱量を  $d'Q$ 、内部エネルギー  $U$  の変化量を  $dU$ 、気体が外部にした仕事量  $W$  の変動量を  $dW$  とすれば、 $dW$  を  $p$ 、 $V$  やその微小変動量で表すと、 $dW =$   (あ)  …①

であることから、微分形式の熱力学第  (い)  法則は、 $d'Q =$   (う)  …②

となる。断熱過程では、 $d'Q =$   (え)  …③

理想気体の内部エネルギー  $U$  は温度  $T$  のみの関数であることから、1 mol 当たり内部エネルギーを  $u = U/n$  とすれば、定積モル比熱  $C_v$  は、 $C_v =$   (お)  …④

であるから、 $dU$  は、 $n$ 、 $C_v$ 、 $T$  やその微小量により、 $dU =$   (か)  …⑤

と書ける。

③と⑤を②に代入して、 $0 =$   (き)  …⑥

問2. 上記問1で導いた関係式、および、気体の状態方程式、必要であれば、マイヤーの関係式  $C_p = C_v + R$  を使い、 $pV^\gamma = \text{一定}$  を導け。

## <化学 1>

### 問題 1

(1) 20°Cで80 mLの水に20 gの塩化ナトリウムを溶かすと、塩化ナトリウム溶液が約87 mLできる。この塩化ナトリウム溶液のモル濃度を有効数字2桁で求めよ。なお、NaとClの原子量をそれぞれ23および35とする。

(2) ある場所で採取した雪に含まれている硫黄元素の濃度を測定したところ、 $128 \mu\text{g/L}$ であった。この雪に含まれる物質の中で、硫黄元素を含む物質は硫酸のみであると仮定した場合、硫酸の濃度を  $\mu\text{g/L}$  と当量濃度 ( $\mu\text{eq/L}$ ) で示せ (小数点以下の値は不要)。H、S、Oの原子量をそれぞれ1、32、16とする。

問題 2 : 酢酸は弱酸で、水溶液中での電離度が小さい。未電離の酢酸と電離したイオンとの間に平衡(電離平衡)が成立する。

(1) 化学式を使って酢酸の電離平衡を表せ。

(2) 酢酸の濃度を  $c \text{ mol/L}$ 、その温度における電離度を  $\alpha$  とした場合の平衡定数(電離定数)  $K_a$  を  $c$  と  $\alpha$  を用いて記述せよ。

(3)  $K_a$  を  $1.85 \times 10^{-5}$  とするとき、 $1.00 \text{ mol/L}$  の酢酸溶液中の水素イオン濃度を有効数字2桁で求めよ。

問題 3 : 濃度  $36 \text{ mg/L}$  の塩酸、および濃度  $0.01 \text{ mol/L}$  の水酸化ナトリウム溶液の pH はいくらか。なお、塩酸及び水酸化ナトリウムの電離度を1とする。

## <化学2>

問題1：以下に挙げた語句の中から2つを選択し、それぞれについて100～150字程度で簡潔に説明せよ。

- ・ 気体の断熱圧縮
- ・  $\beta$  壊変
- ・ 混成軌道
- ・ 理想溶液

問題2：大気、陸域、海洋の間の二酸化炭素の循環について、2つ以上の過程を挙げて、あわせて300～400字程度で論述せよ。

### <化学 3>

問題：ある系が熱  $Q$  を吸収し、仕事  $W$  をした結果、系の内部エネルギー  $U$  が

$\Delta U$  だけ増加したとき、熱力学第一法則は

$$\Delta U = Q - W \quad (\text{ア})$$

と書ける。

圧力を  $P$ 、体積を  $V$  として、関数  $H$

$$H = U + PV \quad (\text{イ})$$

を定義すると、圧力が一定(定圧)の時、熱  $Q$  と関数  $H$  の変化量  $\Delta H$  の間には

$$Q = \Delta H \quad (\text{ウ})$$

の関係が成り立つ。

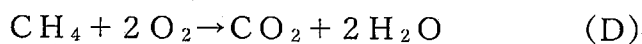
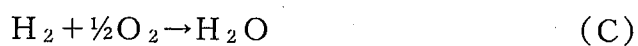
以下の問いに答えなさい。

- (1) 関数  $H$  は何と呼ばれるか。
- (2) 式 (ア) から式 (ウ) を導きなさい。
- (3) 式 (ウ) を定圧下の化学反応に当てはめると、関数  $H$  が状態関数 (状態に応じて定まる関数) であることから「定圧反応熱は反応前後の状態がそれぞれ同じであれば、反応の道筋にはよらない」ことがわかる。このことは、何の法則と呼ばれているか。

(4) (3) の法則は、実験的に求めることがむずかしい反応熱を他の既知の反応熱から求めるのに用いられる。下記の化学反応 (A)



は通常の条件では容易に起こらないので、その反応熱  $\Delta H_r$  を求めることは困難である。しかし、(A) の各物質の以下の燃焼反応



における C、 $\text{H}_2$ 、 $\text{CH}_4$  それぞれの燃焼熱  $\Delta H_c(\text{C})$ 、 $\Delta H_c(\text{H}_2)$ 、 $\Delta H_c(\text{CH}_4)$  を使って、反応熱  $\Delta H_r$  を求めることができる。

$\Delta H_c(\text{C})$ 、 $\Delta H_c(\text{H}_2)$ 、 $\Delta H_c(\text{CH}_4)$  を使って、 $\Delta H_r$  を求めなさい。なお、その際に、(B)、(C)、(D) の熱化学方程式も示しなさい。



## <地球科学 1>

問題：

①1980年代から現在までの海面上昇の要因とメカニズムについて250～350字程度で、②現在から今世紀末までに見込まれる海面上昇の要因とメカニズムについて250～350字程度でそれぞれ記述しなさい。

なお、下記の文面は、海面上昇に関わる「Yahoo!ニュースコメント」を抜粋したものであるが、これはあくまで参考資料であり、個々の真偽については自分で判断しなさい。また回答において、この「Yahoo!ニュースコメント」に無理に触れる必要はありません。

- ・海面上昇はしていない。コップの中の氷が溶けても溢れ出ない。島、陸が沈んでるだけである。
- ・温暖化ではなく、氷の下で火山が噴火して、氷を溶かしている、東日本大地震あたりから地球が活動期に入った影響。だいいち、外気がマイナス50℃からマイナス30℃なっても氷は溶けない。
- ・これからミニ氷河期に向かうのだから、解けた氷により多少の海面上昇はあり得るが、熱により水分は蒸発するので氷点下である北極と南極の氷が増える結果となる。7mの海面上昇などあり得ない
- ・海面上昇に1番作用するのは、気温上昇による水の体積の膨張なんだけどね。学者の世界では常識。
- ・北極の氷は海水に浮かんでいるから溶けても海面は上昇しないと武田教授などは言っています。
- ・南極の氷の量が増えてるので圧力で溶けてるけど、増えてる。

## <地球科学 2>

問題：以下に挙げた語句の中から4つを選択し、それぞれについて150字程度で簡潔に地球科学的説明を与えよ。

- ・地球楕円体
- ・炭素質隕石
- ・アルベド
- ・示相化石
- ・グラニュライト
- ・構造土
- ・原生代
- ・D''層

### <地球科学3>

問題：下記の文を読んで、問1、問2、問3に答えなさい。

剛体地球の回転運動について考える。なお、ここでは、地球の中心から赤道面内の経度0度の方向にのぼした軸をX軸、東経90度の方向にのぼした軸をY軸とする。また、地球の中心から北極にのぼした軸をZ軸とする。

地球の慣性モーメントテンソル  $I$ 、角速度ベクトル  $\omega$  を

$$I = \begin{bmatrix} A & 0 & 0 \\ 0 & B & 0 \\ 0 & 0 & C \end{bmatrix}, \omega = \begin{bmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \\ \omega_3 \end{bmatrix}$$

としたとき、角運動量ベクトル  $H$  は

$$H = I\omega = \begin{bmatrix} A\omega_1 \\ B\omega_2 \\ C\omega_3 \end{bmatrix} \quad (1)$$

となる。外部トルクベクトル  $L$  を

$$L = \begin{bmatrix} L_1 \\ L_2 \\ L_3 \end{bmatrix} \quad (2)$$

としたとき、回転する物体に固定された座標系上での運動方程式は

$$L = \dot{H} - H \times \omega \quad (3)$$

で表される。ここで、 $\dot{H}$  は  $H$  の時間微分、 $\times$  はベクトル積を表わす。

式(3)の各成分は

$$L_1 = ( \quad \textcircled{1} \quad )$$

$$L_2 = ( \quad \textcircled{2} \quad )$$

$$L_3 = ( \quad \textcircled{3} \quad )$$

となる。

外部トルクが働かないとき、(  $\quad \textcircled{4} \quad$  ) であることから、X成分とY成分の運動方程式はそれぞれ、

$$( \quad \textcircled{5} \quad )$$

( ⑥ )

となる。

Z軸のまわりに地球が自転していると考え、X軸のまわりの慣性モーメントとY軸のまわりの慣性モーメントを等しいとすると、 $A=B$ となる。

いま地球の自転速度  $\omega_3 = \omega$  とし、

$$h = \frac{C - A}{A}$$

とおくと、X成分とY成分の運動方程式はそれぞれ、

( ⑦ )

( ⑧ )

となる。

この微分方程式を解くと

$$\omega_1 = a \cos(h\omega t + \alpha)$$

$$\omega_2 = a \sin(h\omega t + \alpha)$$

と振動を表す式となる。ここで、 $a$ と $\alpha$ はある定数である。この振動の周期を  $T$  とすると

$T = ( \text{⑨} )$

である。

問1：上の文章の(①)～(⑨)に入る適当な式を書きなさい。

問2：上記の周期  $T$  は何とよばれているか答えなさい。

問3：実際の地球は剛体ではないが、上の文章で述べたような振動現象が存在する。この現象は何とよばれているか答えなさい。

## <生物学 1 >

問題：以下の文章を読み、問1から問4に答えよ。

制限された共通の資源をめぐって競争する2種は、生存率、成長率、繁殖率などの適応度要素および個体群増加率の低下などを通じ、互いに相手に対して負の効果を与える。植物にとっては(ア)、(イ)などが、動物にとっては(ウ)、(エ)などが競争の対象になる資源である。競争は個体間の関係により、消費型競争と干渉型競争の2つに分けられる。

こうした種間競争は互いに負の効果を与えるので、同じニッチを占める2種は共存できないと考えられる。これを(オ)とよぶ。種間競争はニッチ分化を促進させ、それにより競争の影響を緩和させると考えられる。

ところが、湖沼や海洋など一見ニッチ分化の余地がほとんどない単純な環境でも極めて多種類の植物プランクトンが共存しており、アメリカの生態学者ハッチンソンはこれを「プランクトンの逆説」として指摘した。

問1. 上の文章中の(ア)～(オ)に当てはまる適切な言葉を入れよ。

問2. 消費型競争と干渉型競争の違いについて200字程度で説明せよ。

問3. ニッチ分化について、具体的な事例を挙げて200字程度で説明せよ。

問4. 「プランクトンの逆説」はどのような論理で説明されるか、200字程度で考えを述べよ。

## <生物学2>

問題：海洋の大気中二酸化炭素吸収メカニズムのひとつに生物ポンプという考え方があある。生物ポンプに関して、生物海洋学的観点から具体的事例をあげ、400字程度で説明せよ。

## <生物学3>

問題：以下に挙げた語句の中から4つを選択し、それぞれについて150字程度で簡潔に、生物学的な説明を与えなさい。

- ・ 湿性遷移
- ・ 種子散布
- ・ マイクロプラスチック
- ・ 新生産と再生生産
- ・ アデノシン三リン酸
- ・ リービッヒの最小律
- ・ 自然選択による進化
- ・ CAM型光合成