

## 物 化 生

物理学、化学及び生物学のうち放射線に関する課目

試験が始まる前に、このページの記載事項をよく読んでください。裏面以降の試験問題は、指示があるまで見てはいけません。

1 試験時間：10:00～11:45（1 時間 45 分）

2 問題数：6 題（20 ページ）

3 注意事項：

- ① 机の上に出してよいものは、受験票、鉛筆又はシャープペンシル（HB 又は B）、鉛筆削り、消しゴム、時計（計算機能・通信機能・辞書機能等の付いた時計は不可）に限ります。
- ② 計算機（電卓）、定規及び下敷きの使用は認めません。
- ③ 不正行為等を防止するため、携帯電話等の通信機器は、必ず、電源を切ってカバン等の中に入れてください。
- ④ 問題用紙の印刷不鮮明、ページの落丁・乱丁又は解答用紙の汚れなどに気付いた場合は、手を挙げて試験監督員に知らせてください。なお、試験問題の内容に関する質問にはお答えできません。
- ⑤ 試験終了の合図があったら、ただちに筆記用具を置いてください。  
なお、試験監督員が解答用紙を集め終わるまで、席を離れてはいけません。
- ⑥ 問題用紙は持ち帰っていただいて結構です。
- ⑦ 不正行為を行った者は、受験を中止させ、退場を命じます。

4 解答用紙（マークシート）の取扱いについて：

- ① 解答用紙を折り曲げたり汚したりしないでください。また、所定の欄以外の余白には、何も記入しないでください。
- ② 筆記用具は、鉛筆又はシャープペンシル（HB 又は B）を使用してください。また、記入を訂正する場合は、消しゴムできれいに消してください。
- ③ 解答用紙の所定の欄に氏名・受験地・受験番号を忘れずに記入してください。特に、受験番号は受験票と照合して間違えないよう記入してください。
- ④ 解答は、所定の欄に 1 つだけ選択（マーク）してください。2 つ以上選択している場合は、採点されません。

問1 次のⅠ、Ⅱの文章の□の部分に入る最も適切な語句、記号、数値又は数式を、それぞれの解答群から1つだけ選べ。

Ⅰ  $\alpha$ 壊変や $\beta$ 壊変で生じた原子核は、励起状態にある場合がある。この励起状態の原子核がより低い準位に遷移する際に $\gamma$ 線が放出される。例えば $^{137}\text{Cs}$ は $\gamma$ 線源として知られるが、 $\gamma$ 線自体は□A□して生じる□B□の励起状態が基底状態に遷移する際に放出されるものである。 $^{137}\text{Cs}$ は壊変割合5.4%で□B□の基底状態へ壊変し、残りが□B□の励起状態へ壊変する。□B□の励起状態の半減期はおおよそ□C□秒で、このような寿命の長い励起状態の原子核を□D□と呼び、その遷移を□D□転移と呼ぶ。

励起状態にある原子核が $\gamma$ 線を放出するかわりに、そのエネルギーを軌道電子に与えてこれを放出する現象を□E□といい、放出される電子のエネルギー分布は、□F□となる。放出された電子の準位に空席が生じるので、これを外側の軌道電子が埋めるときにその準位間のエネルギー差はX線として放出されるか、あるいは電子に与えられ原子を電離するのに費やされる。□B□の励起状態から基底状態への遷移におけるK軌道電子に対する□E□係数を $\alpha_K$ 、全ての電子に対する□E□係数を $\alpha_T$ 、K-X線に対する蛍光収率を $\omega_K$ とすると、1回の遷移によって放出される $\gamma$ 線の放出割合 $\Gamma_g$ は□G□であり、そのときK-X線が放出される確率 $\Gamma_X$ は□H□となる。□E□係数は□I□や遷移のタイプによって異なるが、蛍光収率 $\omega_K$ は□I□にのみ依存する。

次に、空気中に置かれた $^{137}\text{Cs}$ 点線源（放射能5 GBq）について考える。この線源からは、エネルギーが□ア□ $\times 10^{-13}$  Jの $\gamma$ 線が毎秒□イ□ $\times 10^9$ 本放出される。線源から1 m離れた点におけるこの $\gamma$ 線の光子束密度（フルエンス率）は□ウ□ $\times 10^8$   $\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ となる。空気の質量エネルギー吸収係数を $2.93 \times 10^{-3}$   $\text{m}^2\cdot\text{kg}^{-1}$ とし、 $\alpha_T$ 及び $\alpha_K$ をそれぞれ0.11、0.09とすると、この点におけるエネルギーフルエンス率は□エ□ $\times 10^{-5}$   $\text{J}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ となり、電子平衡が成立するとき、同点での $\gamma$ 線による空気の吸収線量率は□オ□ $\times 10^{-4}$   $\text{Gy}\cdot\text{h}^{-1}$ となる。

<A、Bの解答群>

- |                     |                      |                      |                      |
|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 1 $\alpha$ 壊変       | 2 $\beta^-$ 壊変       | 3 $\beta^+$ 壊変       | 4 EC壊変               |
| 5 IT                | 6 内部転換               | 7 $^{136}\text{Ba}$  | 8 $^{137}\text{Ba}$  |
| 9 $^{138}\text{Ba}$ | 10 $^{136}\text{Xe}$ | 11 $^{137}\text{Xe}$ | 12 $^{138}\text{Xe}$ |
| 13 $^{133}\text{I}$ | 14 制動放射              |                      |                      |

<Cの解答群>

- |                         |                         |                         |                        |
|-------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|
| 1 $2.55 \times 10^{-3}$ | 2 $15.3 \times 10^{-3}$ | 3 $25.5 \times 10^{-3}$ | 4 $153 \times 10^{-3}$ |
| 5 $255 \times 10^{-3}$  | 6 1.53                  | 7 2.55                  | 8 15.3                 |
| 9 25.5                  | 10 153                  | 11 255                  | 12 352                 |
| 13 478                  |                         |                         |                        |

<D~Fの解答群>

- |          |          |            |         |
|----------|----------|------------|---------|
| 1 安定同位体  | 2 準安定原子  | 3 核異性体     | 4 同重体   |
| 5 オージェ効果 | 6 電子捕獲   | 7 脱励起      | 8 内部転換  |
| 9 トンネル効果 | 10 電子付着  | 11 線スペクトル  | 12 一様分布 |
| 13 連続分布  | 14 ガウス分布 | 15 ボルツマン分布 |         |

<Gの解答群>

- |                                   |                                  |                                    |                                 |
|-----------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|
| 1 $\alpha_T$                      | 2 $\frac{1}{\alpha_T}$           | 3 $\frac{1}{1+\alpha_T}$           | 4 $\frac{\alpha_T}{1+\alpha_T}$ |
| 5 $\frac{1-\alpha_T}{1+\alpha_T}$ | 6 $1-\alpha_T$                   | 7 $\frac{1}{1-\alpha_T}$           | 8 $\frac{\alpha_T}{1-\alpha_T}$ |
| 9 $\frac{1+\alpha_T}{1-\alpha_T}$ | 10 $\frac{\alpha_K}{1+\alpha_T}$ | 11 $\frac{1-\alpha_K}{1+\alpha_T}$ | 12 $1-\alpha_K$                 |
| 13 $\frac{1}{1-\alpha_K}$         | 14 $\frac{\alpha_T}{1-\alpha_K}$ | 15 $\frac{1+\alpha_T}{1-\alpha_K}$ |                                 |

<Hの解答群>

- |   |  |  |   |
|---|--|--|---|
| 1 $\frac{\omega_K}{1+\alpha_T}$               | 2 $\frac{\omega_K \alpha_T}{1+\alpha_T}$ | 3 $\omega_K \frac{1-\alpha_T}{1+\alpha_T}$ | 4 $\omega_K (1-\alpha_T)$                 |
| 5 $\frac{\omega_K}{1-\alpha_T}$               | 6 $\frac{\omega_K \alpha_T}{1-\alpha_T}$ | 7 $\omega_K \frac{1+\alpha_T}{1-\alpha_T}$ | 8 $\frac{\omega_K \alpha_K}{1+\alpha_T}$  |
| 9 $\omega_K \frac{1-\alpha_K}{1+\alpha_T}$    | 10 $\frac{1-\alpha_K}{\omega_K}$         | 11 $\frac{\omega_K}{1-\alpha_K}$           | 12 $\frac{\omega_K \alpha_T}{1-\alpha_K}$ |
| 13 $\frac{1+\alpha_K}{(1-\alpha_T) \omega_K}$ |  |  |   |

<Iの解答群>

- |             |           |              |
|-------------|-----------|--------------|
| 1 発光        | 2 結合エネルギー | 3 放出エネルギー    |
| 4 質量数       | 5 質量欠損    | 6 原子番号       |
| 7 核子数       | 8 半減期     | 9 イオン化ポテンシャル |
| 10 励起ポテンシャル | 11 中性子数   | 12 衝突阻止能     |

<アの解答群>

- |         |         |         |         |         |
|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1 0.76  | 2 0.83  | 3 1.06  | 4 1.29  | 5 1.52  |
| 6 1.76  | 7 2.00  | 8 2.24  | 9 2.48  | 10 2.72 |
| 11 3.01 | 12 3.59 | 13 3.79 | 14 4.20 | 15 4.62 |

<イ、ウの解答群>

- |                               |                               |                               |                               |
|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 1 $3.40 \times \Gamma_g^{-1}$ | 2 $3.53 \times \Gamma_g^{-1}$ | 3 $3.77 \times \Gamma_g^{-1}$ | 4 $4.00 \times \Gamma_g^{-1}$ |
| 5 $4.20 \times \Gamma_g^{-1}$ | 6 $3.53 \times \Gamma_g$      | 7 $3.77 \times \Gamma_g$      | 8 $3.98 \times \Gamma_g$      |
| 9 $4.20 \times \Gamma_g$      | 10 $4.48 \times \Gamma_g$     | 11 $4.73 \times \Gamma_g$     | 12 $3.98 \times \Gamma_K$     |
| 13 $4.20 \times \Gamma_K$     | 14 $4.48 \times \Gamma_K$     | 15 $4.73 \times \Gamma_K$     |                               |

<エ、オの解答群>

- |         |         |         |         |         |
|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1 0.76  | 2 0.83  | 3 1.06  | 4 1.29  | 5 1.52  |
| 6 1.76  | 7 2.00  | 8 2.24  | 9 2.48  | 10 2.72 |
| 11 3.01 | 12 3.59 | 13 3.79 | 14 4.20 | 15 4.62 |

II 原子番号が  $\boxed{J}$  以上の原子核では、外からの刺激なしに核分裂が起こることがあり、これを自発核分裂という。この過程は  $\alpha$  壊変と競合して起こり、一般に  $\alpha$  壊変の確率のほうが高い。自発核分裂の部分半減期は  $\boxed{K}$  が増すとともに急激に減少する。中性子線源として利用される  $^{252}\text{Cf}$  は、半減期が 2.65 年であり、自発核分裂の割合が 3.1% で核分裂に伴い高速中性子を放出する。核分裂当たりの中性子放出数は平均で 3.76 個である。従って、1 g の  $^{252}\text{Cf}$  から毎秒放出される中性子数は  $\boxed{\text{カ}}$   $\times 10^{12} \text{ s}^{-1}$  となる。ただし、1 年  $= 3.16 \times 10^7 \text{ s}$  とする。

このような中性子線源から放出された高速中性子は原子核と衝突し運動エネルギーの一部を与えて散乱する。原子核との衝突が弾性衝突である場合は、原子核内部のエネルギーに変化は起こらず、入射中性子と原子核の間にはエネルギー並びに運動量の保存則が成り立つ。原子核の質量数を  $A$ 、衝突の前後における中性子のエネルギーをそれぞれ  $E_1$  及び  $E_2$  とすると、衝突後の中性子の取りうるエネルギー範囲は、

$$\boxed{L} \leq E_2 \leq \boxed{M}$$

となり、このエネルギー範囲で一様な頻度分布となる。ただし、

$$A = \left( \frac{A-1}{A+1} \right)^2$$

である。標的となる原子核が三重水素 ( $^3\text{H}$ ) の場合には、衝突後の三重水素の平均エネルギー  $\overline{E_R}$  は、

$$\overline{E_R} = \boxed{\text{キ}} E_1$$

となる。

< J、K の解答群 >

1 84	2 88	3 92	4 96	5 質量
6 原子番号	7 核子数	8 中性子数	9 半減期	10 核力

< カ、キ の解答群 >

1 0.14	2 0.26	3 0.38	4 0.50	5 0.62
6 0.74	7 0.86	8 0.98	9 1.6	10 1.9
11 2.1	12 2.3	13 3.7	14 4.1	15 4.5

< L、M の解答群 >

1 0	2 $0.5E_1$	3 $E_1$	4 $A E_1$
5 $A^{-1} E_1$	6 $(1+A) E_1$	7 $(1+A^{-1}) E_1$	8 $(1-A) E_1$
9 $(1-A^{-1}) E_1$			

問2 次のI、IIの文章の□の部分に入る最も適切な語句、数値又は数式を、それぞれの解答群から1つだけ選べ。

I 荷電粒子線の発生には加速器が利用される。加速器は直流電場を用いるものと高周波電場を用いるものに大別できる。

直流電場を用いるものは□Aとと呼ばれる。加速電極の両端の電圧を $V$ とし、荷電粒子の質量を $M$ 、電荷を $ze$ とすると、真空中で荷電粒子の得るエネルギー $E$ は、

$$E = \square \text{ア}$$

で与えられる。すなわち、2MVの電圧の□Aで重陽子および2価のヘリウムイオン( ${}^4\text{He}^{2+}$ )を加速すると、それぞれのエネルギー $E$ は□イおよび□ウMeVであり、またこのとき重陽子の速度 $v_d$ のヘリウムイオンの速度 $v_{\text{He}}$ に対する比( $v_d/v_{\text{He}}$ )は□エである。

一方、高周波電場を用いる加速器には、荷電粒子を一对の電極で何度も加速するタイプと、複数の電極を通過させ加速するタイプがある。前者、後者の代表例として、それぞれ□Bおよび□Cがある。いずれのタイプでも、正イオンを加速するには、正イオンの進行方向と電場の向きを一致させる必要があることから、これを満たす周波数の高周波電場が用いられる。□Bでは、一定で一様な磁場 $B$ により荷電粒子は□D力を受け円運動をする。このときの粒子(質量 $M$ 、電荷 $ze$ )の角速度を $\omega$ とし、円の半径を $r$ とすると、非相対論的速度の範囲では、□D力は□オであり、これが円運動の向心力□カに等しいことから、 $\omega = \square \text{キ}$ を得る。したがって加速粒子の角速度は一定であり、加速に用いられる高周波電場の周波数は□クとなる。

<A~Dの解答群>

- |          |             |             |
|----------|-------------|-------------|
| 1 レーザー   | 2 シンクロトロン   | 3 サイクロトロン   |
| 4 ベータトロン | 5 クーロン      | 6 ローレンツ     |
| 7 フレミング  | 8 ファンデルワールス | 9 線形加速器     |
| 10 円型加速器 | 11 静電型加速器   | 12 タンデム型加速器 |

<アの解答群>

- |          |                  |                   |                   |
|----------|------------------|-------------------|-------------------|
| 1 $zeV$  | 2 $\frac{ze}{V}$ | 3 $\frac{zeV}{M}$ | 4 $\frac{ze}{MV}$ |
| 5 $zeMV$ |                  |                   |                   |

<イ~エの解答群>

- |       |       |       |       |       |
|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 0.1 | 2 0.2 | 3 0.5 | 4 0.6 | 5 0.8 |
| 6 1   | 7 2   | 8 3   | 9 4   | 10 5  |
| 11 6  | 12 7  | 13 8  | 14 9  | 15 10 |

<オ~クの解答群>

- |                 |                          |                           |                           |
|-----------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 1 $zeV$         | 2 $\frac{ze}{V}$         | 3 $\frac{zeV}{M}$         | 4 $\frac{ze}{MV}$         |
| 5 $zeMV$        | 6 $\frac{zeB}{M}$        | 7 $\frac{zeB}{\pi M}$     | 8 $\frac{zeB}{2\pi M}$    |
| 9 $zeBr\omega$  | 10 $\frac{zeBr}{\omega}$ | 11 $\frac{zeBr\omega}{M}$ | 12 $\frac{zeBr}{M\omega}$ |
| 13 $Mr\omega^2$ | 14 $\frac{Mr}{\omega^2}$ | 15 $\pi Mr\omega^2$       |                           |

II 加速器で得られた荷電粒子線を物質に照射した際の吸収線量評価は次のようになされる。

単色の荷電粒子線の場合、吸収線量は荷電粒子線の  $E$  と物質の  $F$  の積によって得ることができる。

次に物質中に小さな空洞を作りガスが封入された場合を考える。荷電粒子線の  $G$  に比べ空洞が十分小さい場合、荷電粒子線の  $E$  は不変と考えられ、物質と空洞ガスの吸収線量の比は、 $F$  の比と等しくなる。これを  $H$  という。この関係を用いると空洞中のガスの電離量から物質中での吸収線量が求まる。

例えば、物質が組織等価物質、空洞が  $1\text{ cm}^3$  の空気 ( $20^\circ\text{C}$ 、 $1$  気圧) とし、 $H$  の成立する条件下で、空洞に  $300\text{ MeV}$  の陽子線を照射した際に、空洞空気より  $26\text{ nC}$  の電荷を得たとする。 $0^\circ\text{C}$ 、 $1$  気圧の空気の密度を  $1.3\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ 、 $W$  値を  $34\text{ eV}$  とすると、 $20^\circ\text{C}$ 、 $1$  気圧の空気の吸収線量は  $K$  Gy である。 $F$  は概ね物質の平均の質量数に対する原子番号の比 ( $\langle Z/A \rangle$ ) に比例する。空気および組織等価物質の  $\langle Z/A \rangle$  をそれぞれ  $0.50$  および  $0.55$  とすると、空洞を組織等価物質に置き換えた場合の吸収線量は  $K$  Gy となる。

<E~Hの解答群>

- |                  |         |                  |         |
|------------------|---------|------------------|---------|
| 1 飛程             | 2 阻止能   | 3 壁効果            | 4 カーマ   |
| 5 空洞原理           | 6 カーマ係数 | 7 ビルドアップ         | 8 フルエンス |
| 9 平均質量阻止能        |         | 10 エネルギーフルエンス    |         |
| 11 平均質量エネルギー吸収係数 |         | 12 平均質量エネルギー転移係数 |         |
| 13 過渡平衡          |         |                  |         |

<K、Lの解答群>

- |        |        |        |        |         |
|--------|--------|--------|--------|---------|
| 1 0.33 | 2 0.36 | 3 0.40 | 4 0.57 | 5 0.63  |
| 6 0.66 | 7 0.69 | 8 0.73 | 9 0.80 | 10 0.88 |



問3 次のⅠ～Ⅲの文章の□の部分に入る最も適切な語句、記号、数値又は数式を、それぞれの解答群から1つだけ選べ。

Ⅰ 地球形成時から現在も存在している天然放射性同位体からなる壊変系列は3つあり、これらは放射壊変を繰り返して、最終的には鉛の安定同位体になる。各系列のうち最初の同位体から最後の安定同位体に至るまでのα壊変の回数が多いのは、□A□系列の8回であり、最も少ないのは□B□系列である。また、鉛の安定同位体のうち、質量数□C□の同位体は天然の放射壊変系列とは無関係である。

ウラン鉱物中で $^{238}\text{U}$ と、それと永続平衡にある $^{230}\text{Th}$ の質量をそれぞれ $M_{\text{U}}$ 、 $M_{\text{Th}}$ 、放射能を $A_{\text{U}}$ 、 $A_{\text{Th}}$ 、半減期を $T_{\text{U}}=4.5\times 10^9$ 年、 $T_{\text{Th}}=7.5\times 10^4$ 年とすると、 $^{238}\text{U}$ と $^{230}\text{Th}$ の放射能比 $\frac{A_{\text{Th}}}{A_{\text{U}}}$ は次のように表せる。

$$\frac{A_{\text{Th}}}{A_{\text{U}}} = \square \text{ D } \square$$

したがって、その鉱物に含まれている1.0 gの $^{238}\text{U}$ と永続平衡にある $^{230}\text{Th}$ の質量はおおよそ□E□ μgとなる。

<A、Bの解答群>

- |          |          |             |
|----------|----------|-------------|
| 1 アクチニウム | 2 トリウム   | 3 プロトアクチニウム |
| 4 ウラン    | 5 ネプツニウム |             |

<Cの解答群>

- |       |       |       |       |        |
|-------|-------|-------|-------|--------|
| 1 201 | 2 202 | 3 203 | 4 204 | 5 205  |
| 6 206 | 7 207 | 8 208 | 9 210 | 10 212 |

<Dの解答群>

- |   |   |   |
|---|---|---|
| 1 $\frac{230}{238} \cdot \frac{M_{\text{Th}}}{M_{\text{U}}} \cdot \frac{T_{\text{U}}}{T_{\text{Th}}}$ | 2 $\frac{230}{238} \cdot \frac{M_{\text{Th}}}{M_{\text{U}}} \cdot \frac{T_{\text{Th}}}{T_{\text{U}}}$ | 3 $\frac{230}{238} \cdot \frac{M_{\text{U}}}{M_{\text{Th}}} \cdot \frac{T_{\text{U}}}{T_{\text{Th}}}$ |
| 4 $\frac{230}{238} \cdot \frac{M_{\text{U}}}{M_{\text{Th}}} \cdot \frac{T_{\text{Th}}}{T_{\text{U}}}$ | 5 $\frac{238}{230} \cdot \frac{M_{\text{Th}}}{M_{\text{U}}} \cdot \frac{T_{\text{U}}}{T_{\text{Th}}}$ | 6 $\frac{238}{230} \cdot \frac{M_{\text{Th}}}{M_{\text{U}}} \cdot \frac{T_{\text{Th}}}{T_{\text{U}}}$ |
| 7 $\frac{238}{230} \cdot \frac{M_{\text{U}}}{M_{\text{Th}}} \cdot \frac{T_{\text{U}}}{T_{\text{Th}}}$ | 8 $\frac{238}{230} \cdot \frac{M_{\text{U}}}{M_{\text{Th}}} \cdot \frac{T_{\text{Th}}}{T_{\text{U}}}$ |   |

<Eの解答群>

- |       |       |       |       |       |
|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 1.2 | 2 1.4 | 3 1.6 | 4 1.8 | 5 10  |
| 6 12  | 7 14  | 8 16  | 9 18  | 10 20 |

II 壊変系列をつくらない天然放射性同位体の  $^{40}\text{K}$  の半減期は、 $1.25 \times 10^9$  年 ( $3.94 \times 10^{16}$  秒) である。カリウム 1 g 当たりの  $^{40}\text{K}$  の放射能は、おおよそ [ア] Bq となる。ただし、カリウムの原子量は 39.1、 $^{40}\text{K}$  の同位体存在度は 0.0117% とする。

$^{40}\text{K}$  は、89.1% の分岐比で [F] して安定同位体  $^{40}\text{Ca}$  になり、この部分半減期は、[イ] 年である。一方、10.8% の分岐比で [G] し、安定同位体  $^{40}\text{Ar}$  になる。この部分半減期は  $1.2 \times 10^{10}$  年である。この際、[H] MeV の  $\gamma$  線を放出する。

岩石が固化した時点では  $^{40}\text{Ar}$  を含まず、固化してからの  $^{40}\text{K}$  の壊変で生成した  $^{40}\text{Ar}$  がすべて岩石中に留まり、しかも岩石が閉じた系を保持できれば  $^{40}\text{K}$  と  $^{40}\text{Ar}$  の原子数比から岩石の固化年代が決定できる。固化時と現在の  $^{40}\text{K}$  の原子数をそれぞれ  $N_{10}$  と  $N_1$ 、その間の経過時間を  $t$ 、 $^{40}\text{K}$  の壊変定数を  $\lambda$  とすると、 $N_1 = N_{10} e^{-\lambda t}$  の関係から固化時の原子数  $N_{10}$  は  $N_1 e^{\lambda t}$  となる。したがって、 $^{40}\text{K}$  から生成した  $^{40}\text{Ar}$  の原子数、すなわち現在の  $^{40}\text{Ar}$  の原子数  $N_2$  は [I] と表され、 $N_1$  と  $N_2$  が分かれば固化年代が求まる。分析には試料を二分し、一方は質量分析から  $N_2$  を求め、他方は全カリウム量の化学分析から  $N_1$  を求める方法が利用される。また、試料を中性子照射し、 $^{39}\text{K}$  (存在度 93.3%) の [J] 反応で  $^{39}\text{Ar}$  (半減期 269 年) に変換した後、試料を加熱融解し、 $^{39}\text{Ar}$  と  $^{40}\text{Ar}$  の原子数比を質量分析計により測定する方法もある。

<アの解答群>

- |         |      |      |       |       |
|---------|------|------|-------|-------|
| 1 3     | 2 10 | 3 30 | 4 100 | 5 300 |
| 6 1,000 |      |      |       |       |

<F、Gの解答群>

- |               |                |                |         |
|---------------|----------------|----------------|---------|
| 1 $\alpha$ 壊変 | 2 $\beta^-$ 壊変 | 3 $\beta^+$ 壊変 | 4 EC 壊変 |
| 5 核異性体転移      |                |                |         |

<イの解答群>

- |                        |                     |                        |                        |
|------------------------|---------------------|------------------------|------------------------|
| 1 $1.4 \times 10^8$    | 2 $2.8 \times 10^8$ | 3 $4.2 \times 10^8$    | 4 $1.4 \times 10^9$    |
| 5 $2.8 \times 10^9$    | 6 $4.2 \times 10^9$ | 7 $1.4 \times 10^{10}$ | 8 $2.8 \times 10^{10}$ |
| 9 $4.2 \times 10^{10}$ |                     |                        |                        |

<Hの解答群>

- |        |        |        |        |        |
|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1 1.10 | 2 1.33 | 3 1.46 | 4 1.53 | 5 1.64 |
|--------|--------|--------|--------|--------|

<I、Jの解答群>

- |                                 |                                 |                                 |                   |
|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-------------------|
| 1 $0.891N_1(e^{\lambda t} - 1)$ | 2 $0.891N_1(e^{\lambda t} + 1)$ | 3 $0.108N_1(e^{\lambda t} - 1)$ |                   |
| 4 $0.108N_1(e^{\lambda t} + 1)$ | 5 $N_1(e^{\lambda t} - 1)$      | 6 $N_1(e^{\lambda t} + 1)$      |                   |
| 7 (n, $\gamma$ )                | 8 (n, p)                        | 9 (n, 2n)                       | 10 (n, $\alpha$ ) |

Ⅲ 上層大気中の  $^{14}\text{N}$  と二次宇宙線との核反応で生成する  $^{14}\text{C}$  は、半減期 5,700 年 ( $1.8 \times 10^{11}$  秒) であり、考古学的試料などの年代決定に利用されている。その年代決定では、年代未知の試料と標準

試料 (基準となる現代炭素) 中の  $^{14}\text{C}$  と  $^{13}\text{C}$  の炭素同位体原子数比  $\frac{N_{^{14}\text{C}}}{N_{^{13}\text{C}}}$  の比較が行われる。標準

試料中の炭素 1 g 当たりの放射能は 0.23 Bq であり、原子数比  $\frac{N_{^{14}\text{C}}}{N_{^{12}\text{C}} + N_{^{13}\text{C}}}$  は  $1.2 \times 10^{-12}$  である。

$\frac{N_{^{13}\text{C}}}{N_{^{12}\text{C}}}$  を 0.011 とすると、標準試料の  $\frac{N_{^{14}\text{C}}}{N_{^{13}\text{C}}}$  は  ウ  となる。このように同位体比が非常に小さく、

また、 $^{14}\text{N}$  のような  K  が共存する  $^{14}\text{C}$  の測定には、通常の質量分析計の利用は難しい。このため、 $^{14}\text{C}$  と  $^{14}\text{N}$  を十分に識別し分離できる加速器質量分析法が開発され、試料炭素 1 mg 程度でその

中の  $^{14}\text{C}$  原子数が  $10^5 \sim 10^6$  個程度であれば分析が可能になっている。例えば、ある試料の  $\frac{N_{^{14}\text{C}}}{N_{^{13}\text{C}}}$  が

$1.38 \times 10^{-11}$  とすると、その試料の年代はおおよそ  エ  年前となる。

なお、人体には平均して 18 重量%の炭素が含まれている。体重を 70 kg とすると、体内にある  $^{14}\text{C}$  の放射能はおおよそ  オ  Bq となる。 $^{14}\text{C}$  の他にも、宇宙線による誘導放射性核種には、主に窒素、酸素及び  L  の核破碎反応で生成する  $^3\text{H}$ 、 $^7\text{Be}$ 、 $^{36}\text{Cl}$  等も含まれる。

<ウの解答群>

- |   |                       |    |                       |   |                       |   |                       |
|---|-----------------------|----|-----------------------|---|-----------------------|---|-----------------------|
| 1 | $1.1 \times 10^{-11}$ | 2  | $2.4 \times 10^{-11}$ | 3 | $2.8 \times 10^{-11}$ | 4 | $3.1 \times 10^{-11}$ |
| 5 | $1.1 \times 10^{-10}$ | 6  | $2.4 \times 10^{-10}$ | 7 | $2.8 \times 10^{-10}$ | 8 | $1.1 \times 10^{-9}$  |
| 9 | $2.4 \times 10^{-9}$  | 10 | $3.1 \times 10^{-9}$  |   |                       |   |                       |

<K、Lの解答群>

- |   |      |   |       |   |       |   |     |
|---|------|---|-------|---|-------|---|-----|
| 1 | 同重体  | 2 | 同素体   | 3 | 同中性子体 | 4 | ネオン |
| 5 | アルゴン | 6 | クリプトン |   |       |   |     |

<エ、オの解答群>

- |   |        |    |        |   |        |   |        |
|---|--------|----|--------|---|--------|---|--------|
| 1 | 1,000  | 2  | 2,000  | 3 | 3,000  | 4 | 4,000  |
| 5 | 5,000  | 6  | 11,000 | 7 | 17,000 | 8 | 23,000 |
| 9 | 29,000 | 10 | 34,000 |   |        |   |        |

問4 次のⅠ～Ⅲの文章の□の部分に入る最も適切な語句、記号、数値又は数式を、それぞれの解答群から1つだけ選べ。

Ⅰ 現在、118種類の元素が発見されている。天然に存在する元素のうち、最も大きい原子番号は□アであるが、原子番号43の□Aと原子番号61の□Bは天然には存在しない。原子番号が□アを超える元素は□C元素と呼ばれ、すべて人工放射性元素である。原子番号が104以上の元素は□D元素と呼ばれ、重イオン核融合反応によって合成されることが多い。例えば、113番元素ニホニウム(Nh)は、加速器で加速した $^{70}\text{Zn}$ イオンを $^{209}\text{Bi}$ に照射して、 $^{209}\text{Bi} (^{70}\text{Zn}, n) ^{278}\text{Nh}$ 反応により初めて直接合成された。 $^{278}\text{Nh}$ の半減期は1.4ミリ秒、また、この反応の核反応断面積は $2.2 \times 10^{-14} \text{ b}$  (バーン)と見積もられており、例えば、 $209 \mu\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$ の $^{209}\text{Bi}$ 標的に $2 \times 10^{13} \text{ 個} \cdot \text{s}^{-1}$ で $^{70}\text{Zn}$ を照射すると、□イ日間当たり1個の割合で $^{278}\text{Nh}$ が合成されることになる。

<ア、イの解答群>

- |      |       |       |      |      |
|------|-------|-------|------|------|
| 1 10 | 2 44  | 3 65  | 4 73 | 5 87 |
| 6 92 | 7 101 | 8 110 |      |      |

<A、Bの解答群>

- |      |      |      |      |      |
|------|------|------|------|------|
| 1 Ac | 2 At | 3 Fr | 4 Pm | 5 Rn |
| 6 Tc | 7 U  |      |      |      |

<C、Dの解答群>

- |           |           |            |
|-----------|-----------|------------|
| 1 超アクチノイド | 2 超ウラン    | 3 超ネプツニウム  |
| 4 超プルトニウム | 5 超ランタノイド | 6 アクチニウム系列 |
| 7 ウラン系列   |           |            |

Ⅱ 図1に示す核図表は、陽子数を縦軸に中性子数を横軸に並べた核種の表で、壊変様式やその娘核種を調べたり、天然に存在しない核種をどのような核反応で製造するかを計画するとき、便利な表である。例えば、 $^{72}\text{Ga}$ の□Eによる娘核種は、左上に位置する $^{72}\text{Ge}$ である。また、酸化ガリウムを標的とした場合、 $^{72}\text{Ga}$ は左に位置する $^{71}\text{Ga}$ の□F反応で製造することができる。

半減期が244日 ( $2.11 \times 10^7$ 秒)の $^{65}\text{Zn}$ は $^{64}\text{Zn}$ の□F反応、または $^{65}\text{Cu}$ の□G反応で製造することができる。□G反応による製造では、 $^{65}\text{Zn}$ を標的から化学分離することで $^{65}\text{Zn}$ は無担体の状態となり、その比放射能(亜鉛の単位質量当たりの放射能)は□F反応による製造の場合と比べて大きくなる。例えば、2gの亜鉛金属と0.2gの銅金属を用いてそれぞれ10 MBqの $^{65}\text{Zn}$ を製造した場合、後者の $^{65}\text{Zn}$ の比放射能は前者の約□ウ倍となる。また、□F反応により生成した $^{65}\text{Zn}$ の比放射能は□Hするが、□G反応による $^{65}\text{Zn}$ の比放射能は□Iとなる。

$^{65}\text{Zn}$ を銅金属標的から化学分離するにはイオン交換樹脂の利用が便利である。イオン交換樹脂へ

の吸着のしやすさは分配係数を用いて表される。分配係数は、対象元素の交換平衡時の樹脂相での濃度と溶液相での濃度の比として定義される。例として、Cu(II)とZn(II)の陰イオン交換樹脂への分配係数の塩酸濃度に対する変化を図2に示す。これを参考にすると、次の化学操作で銅と亜鉛を分離することができる。

銅金属標的を **J** で溶解後、**K** を加えると銅と亜鉛はともに水酸化物として沈殿する。このとき **K** を過剰に加えすぎると生成した沈殿は溶解してしまうので、注意が必要である。この沈殿を **工** mol・L<sup>-1</sup>の塩酸溶液にして、陰イオン交換樹脂カラムに通すとZn(II)は最も樹脂に吸着し、Cu(II)は吸着せずカラムから流出するので、亜鉛と銅が分離できる。0.01 mol・L<sup>-1</sup>の塩酸を流すと亜鉛は樹脂から溶離する。

<sup>65</sup> Ge	<sup>66</sup> Ge	<sup>67</sup> Ge	<sup>68</sup> Ge	<sup>69</sup> Ge	<sup>70</sup> Ge	<sup>71</sup> Ge	<sup>72</sup> Ge	<sup>73</sup> Ge	<sup>74</sup> Ge
31 s	2.3 h	19 m	271 d	1.6 d	20.8%	11.4 d	27.5%	7.7%	36.3%
<sup>64</sup> Ga	<sup>65</sup> Ga	<sup>66</sup> Ga	<sup>67</sup> Ga	<sup>68</sup> Ga	<sup>69</sup> Ga	<sup>70</sup> Ga	<sup>71</sup> Ga	<sup>72</sup> Ga	<sup>73</sup> Ga
2.3 m	15 m	9.5 h	3.3 d	1.1 h	60.1%	21 m	39.9%	14 h	4.9 h
<sup>63</sup> Zn	<sup>64</sup> Zn	<sup>65</sup> Zn	<sup>66</sup> Zn	<sup>67</sup> Zn	<sup>68</sup> Zn	<sup>69</sup> Zn	<sup>70</sup> Zn	<sup>71</sup> Zn	<sup>72</sup> Zn
39 m	48.6%	244 d	27.9%	4.1%	18.8%	56 m	0.6%	2.4 m	47 h
<sup>62</sup> Cu	<sup>63</sup> Cu	<sup>64</sup> Cu	<sup>65</sup> Cu	<sup>66</sup> Cu	<sup>67</sup> Cu	<sup>68</sup> Cu	<sup>69</sup> Cu	<sup>70</sup> Cu	<sup>71</sup> Cu
9.7 m	69.2%	13 h	30.8%	5.1 m	2.6 d	31 s	2.9 m	5 s	20 s

※灰色は安定核種、白色は放射性核種を表す。

※安定核種には同位体存在度、放射性核種には半減期(s:秒、m:分、h:時、d:日)を添えた。

図1 陽子数 29~32、中性子数 33~42 の核図表

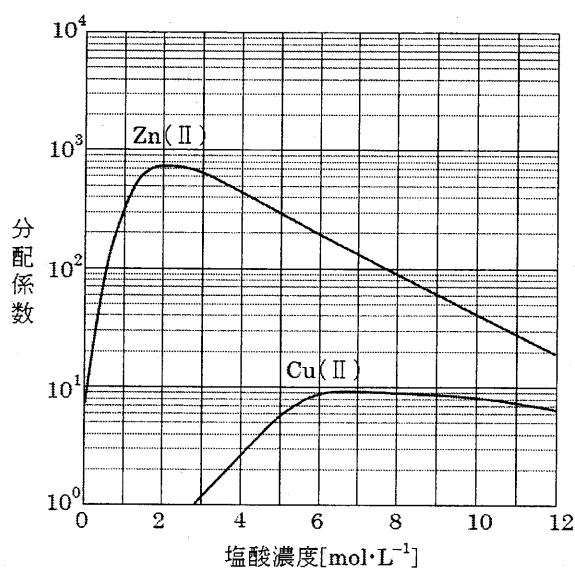


図2 塩酸溶液におけるZn(II)とCu(II)の陰イオン交換樹脂への分配係数

<Eの解答群>

- |               |                |                |         |
|---------------|----------------|----------------|---------|
| 1 $\alpha$ 壊変 | 2 $\beta^-$ 壊変 | 3 $\beta^+$ 壊変 | 4 EC 壊変 |
| 5 核異性体転移      |                |                |         |

<F、Gの解答群>

- |                  |                   |                   |          |
|------------------|-------------------|-------------------|----------|
| 1 (n, $\gamma$ ) | 2 (n, p)          | 3 (n, 2n)         | 4 (p, n) |
| 5 (p, $\alpha$ ) | 6 ( $\gamma$ , n) | 7 ( $\gamma$ , p) |          |

<ウの解答群>

- |                   |                   |                   |                   |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 1 $1 \times 10^1$ | 2 $2 \times 10^3$ | 3 $6 \times 10^7$ | 4 $4 \times 10^8$ |
| 5 $2 \times 10^9$ |                   |                   |                   |

<H、Iの解答群>

- |              |                  |
|--------------|------------------|
| 1 時間に反比例して減少 | 2 時間とともに指数関数的に減少 |
| 3 時間に比例して増加  | 4 時間とともに指数関数的に増加 |
| 5 時間に依存せず一定  |                  |

<J、Kの解答群>

- |               |               |
|---------------|---------------|
| 1 アンモニア水      | 2 塩化アンモニウム水溶液 |
| 3 希塩酸         | 4 希硝酸         |
| 5 水酸化ナトリウム水溶液 |               |

<エの解答群>

- |      |      |     |     |     |
|------|------|-----|-----|-----|
| 1 1  | 2 2  | 3 4 | 4 6 | 5 8 |
| 6 10 | 7 12 |     |     |     |

Ⅲ 半減期が短い核種を長期間に何度も使用したい場合、その都度製造するのは不便である。そこで、長半減期の核種を製造し、これの娘核種として入手する方法がある。例えば、半減期が 1.1 時間の  $^{68}\text{Ga}$ が必要なときは、半減期 271 日の  $^{68}\text{Ge}$ を製造し、カラムに吸着させる。 $^{68}\text{Ge}$ の半減期は娘核種の半減期の 1,000 倍以上長いので、十分な時間が経過すると、この 2 つの核種は放射平衡状態に達する。 $^{68}\text{Ge}$ と  $^{68}\text{Ga}$ の壊変定数をそれぞれ  $\lambda_1$  と  $\lambda_2$ 、最初の時刻では  $^{68}\text{Ge}$ のみ存在しその原子数を  $N_{10}$ とすると、時間  $t$ 経過した時刻での  $^{68}\text{Ga}$ の原子数  $N_2$ は次式で与えられる。

$$N_2 = \boxed{\text{L}} N_{10}(e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t})$$

$^{68}\text{Ge}$ の壊変により時間とともに生成する  $^{68}\text{Ga}$ のみをカラムから繰り返し溶離することをミルクィングといい、 $^{68}\text{Ga}$ の半減期よりも長期間にわたって  $^{68}\text{Ga}$ を手軽に入手することができる。 $^{68}\text{Ge}$ の放射能が 20 MBq であるとき、 $^{68}\text{Ga}$ を溶離後約 14 時間経つとカラム中の  $^{68}\text{Ga}$ の放射能は極大に達し、この  $^{68}\text{Ga}$ の放射能は、 $\boxed{\text{M}}$  MBq となる。 $^{68}\text{Ga}$ は  $\beta^+$ 壊変する核種で、特に陽電子放射断層撮影 (PET) による診断での利用が期待されている。PETは、互いに  $\boxed{\text{N}}$ 度方向に  $\boxed{\text{O}}$ 本放出される  $\boxed{\text{P}}$  keV の  $\gamma$ 線を測定することで、 $\beta^+$ 壊変する核種の分布を断層撮影する核医学診断の方法である。

<Lの解答群>

1 $\frac{\lambda_1}{\lambda_2}$	2 $\frac{\lambda_2}{\lambda_1}$	3 $\frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1}$	4 $\frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1}$
5 $\frac{\lambda_1}{\lambda_2 + \lambda_1}$	6 $\frac{\lambda_2}{\lambda_2 + \lambda_1}$		

<M~Pの解答群>

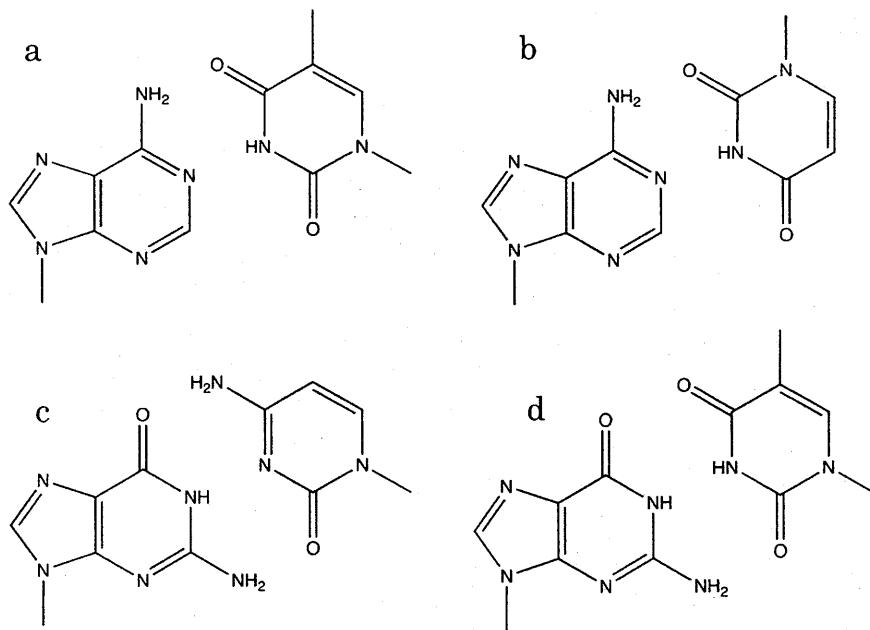
1 0.003	2 0.1	3 2	4 10	5 20
6 25	7 30	8 40	9 45	10 90
11 180	12 270	13 511	14 1,022	15 1,333

問5 次のI～IIIの文章の□の部分に入る最も適切な語句、記号又は数値を、それぞれの解答群から1つだけ選べ。

I 細胞は分裂を繰り返すことによって増殖する。細胞が分裂を終えてから次の分裂を終えるまでを細胞周期といい、4つの時期に分けられる。この中で、DNA複製が行われる時期を□A□期、細胞分裂が行われる時期を□B□期という。

□A□期におけるDNA複製は次のようにして行われる。まず、DNAの2本鎖がほどけて1本鎖となり、これを鋳型として、塩基の相補性に基づいて、もう1本の鎖が合成される。そのとき、新しいDNA鎖は必ず□C□の方向に合成される。鋳型となる1本鎖のある位置にグアニンがあったとすると、もう1本の鎖の向かい合った位置には□D□が入る。下の図のa～dのうち、グアニンと□D□の塩基対を正しく表しているのは□E□である。

□B□期には、まず、□F□が消失し、中心体を極として微小管が伸びて□G□が形成され、また、染色体が凝縮する。次に、この□G□に凝縮した染色体が結合し、中央に整列する。続いて、姉妹染色分体が1本ずつ反対側の中心体に向かって移動する。さらに□F□が再び形成され、最後に細胞質分裂が起こって、細胞分裂が完了する。





<A、Bの解答群>

- 1 G<sub>0</sub>                      2 G<sub>1</sub>                      3 G<sub>2</sub>                      4 M                      5 S

<Cの解答群>

- 1 3'末端から5'末端                      2 5'末端から3'末端                      3 N末端からC末端  
4 C末端からN末端

<Dの解答群>

- 1 アデニン                      2 イノシン                      3 ウラシル                      4 シトシン                      5 チミン

<Eの解答群>

- 1 a                      2 b                      3 c                      4 d

<F、Gの解答群>

- 1 核小体                      2 核膜                      3 ゴルジ体                      4 小胞体  
5 細胞膜                      6 紡錘体                      7 ミトコンドリア

II 正常ヒト二倍体細胞1個当たり  本の染色体があり、合計で約  個の塩基対がある。この細胞に1 Gyのγ線を照射すると、細胞1個当たり、約  個のDNA2本鎖切断を生じる。ヒト体細胞において、DNA2本鎖切断は主として、非相同末端結合と相同組換えの2つの機構で修復される。相同組換えは  を必要とするため、細胞周期の  期の後半から  期に限定される。相同組換えが行われる期間では、その他の時期と比べ、放射線致死感受性は  。

<Hの解答群>

- 1 21                      2 22                      3 23                      4 42                      5 44  
6 46

<Iの解答群>

- 1  $6 \times 10^7$                       2  $6 \times 10^8$                       3  $6 \times 10^9$                       4  $6 \times 10^{10}$   
5  $6 \times 10^{11}$

<Jの解答群>

- 1 4                      2 40                      3 400                      4 4,000

<Kの解答群>

- 1 姉妹染色分体                      2 相同染色体                      3 常染色体                      4 性染色体

<L、Mの解答群>

- 1 G<sub>0</sub>                      2 G<sub>1</sub>                      3 G<sub>2</sub>                      4 M                      5 S

<Nの解答群>

- 1 高い                      2 低い

Ⅲ 培養細胞に放射線を照射すると、細胞周期の進行が一時停止する。これを細胞周期チェックポイント機構という。細胞周期チェックポイント機構は細胞の放射線致死感受性に深く関わっている。

細胞周期チェックポイント機構において重要な役割を担う分子の1つにATMがある。ATMは  の原因遺伝子から作られるタンパク質で、p53をはじめ多くのタンパク質を  する活性を持っており、 を通じてこれらのタンパク質の機能を制御すると考えられている。p53は特定のDNA配列に結合し、その近傍にある遺伝子の  を促進する。p53によって制御を受ける遺伝子群の中には、p21など細胞周期の進行を抑制する働きを持つタンパク質の遺伝子がいくつか知られている。p21は細胞周期進行を制御するサイクリン依存性キナーゼに結合し、その活性を阻害する。この他にも、ATMがさまざまなタンパク質を介してサイクリン依存性キナーゼの活性を阻害する経路が明らかにされている。

DNAの合成量は  を用いて調べることができる。健常者由来の培養線維芽細胞では非照射時に比べ、放射線照射後に  の取り込みが  する。 患者由来の培養線維芽細胞では、健常者由来の培養線維芽細胞の場合に比べて、放射線照射によるDNA合成量の  の程度が  。このことが、 患者由来の培養線維芽細胞が健常者由来の培養線維芽細胞の場合に比べて高い放射線致死感受性を示すことの一因であると考えられている。

<Oの解答群>

- |                    |             |
|--------------------|-------------|
| 1 色素性乾皮症           | 2 重症複合免疫不全症 |
| 3 ナイミーヘン染色体不安定性症候群 | 4 ファンコニ貧血   |
| 5 毛細血管拡張性運動失調症     |             |

<Pの解答群>

- |         |          |        |      |
|---------|----------|--------|------|
| 1 アセチル化 | 2 ユビキチン化 | 3 リン酸化 | 4 合成 |
| 5 分解    |          |        |      |

<Qの解答群>

- |       |      |      |      |      |
|-------|------|------|------|------|
| 1 組換え | 2 修復 | 3 転写 | 4 複製 | 5 翻訳 |
|-------|------|------|------|------|

<Rの解答群>

- |                                   |  |
|-----------------------------------|--|
| 1 [ <sup>3</sup> H]チミジン           | 2 [ <sup>14</sup> C]ロイシン                 |
| 3 [ <sup>18</sup> F]フルオロデオキシグルコース | 4 [ $\gamma$ - <sup>32</sup> P]アデノシン三リン酸 |
| 5 [ <sup>35</sup> S]メチオニン         |  |

<Sの解答群>

- |      |      |
|------|------|
| 1 増加 | 2 減少 |
|------|------|

<Tの解答群>

- |       |       |
|-------|-------|
| 1 大きい | 2 小さい |
|-------|-------|

問6 次のⅠ、Ⅱの文章の□の部分に入る最も適切な語句又は数値を、それぞれの解答群から1つだけ選べ。なお、解答群の選択肢は必要に応じて2回以上使ってもよい。

Ⅰ 放射線の飛跡の単位□ア□当たりのエネルギー付与をLETという。細胞の吸収線量が同じでも、照射する放射線のLETが異なると、生物効果が大きく異なる場合がある。ある生物効果を起こすのに必要な基準となる放射線の吸収線量と、同じ効果を起こすのに必要な、対象となる放射線の吸収線量との比をRBEという。RBEは、指標とする事象によって値が異なる。例えば、ヒト正常線維芽細胞の細胞致死に着目した場合、200 kVのX線を基準放射線としたときの高LET放射線のRBEは、生存率が50%のときのほうが10%のときより□イ□なる。これは横軸に吸収線量を線形目盛りで、縦軸に生存率を対数目盛でプロットした線量-生存率曲線が、X線では□ウ□曲線になるのに対し、LETの高い放射線ではほぼ直線となるためである。また一般に放射線のLETが高くなるにつれ、致死効果に関するRBEは大きくなるが、□A□  $\text{keV}\cdot\mu\text{m}^{-1}$ 程度で最大値となり、それ以上ではLETの増加とともに小さくなる。□A□  $\text{keV}\cdot\mu\text{m}^{-1}$ 程度までRBEが増加するのは、X線などに比べて修復しにくいDNA損傷の収率が高くなるためと考えられている。これを示す実験的根拠として、一般にDNA2本鎖切断の非相同末端結合による修復機構を欠く細胞では、致死効果のRBEが正常細胞より□エ□ことがあげられる。

一方、ICRP2007年勧告では放射線防護で用いられる□オ□係数はRBEに基づいてはいるが、致死効果を指標とした研究ではRBEは1から3までの値が多いのに対し、□オ□係数は□カ□を評価することを目的とし、さらに安全を見込んでいるために、例えばアルファ粒子に対しては□B□と、大きな値に決められている。

<ア～エの解答群>

- |         |         |       |       |
|---------|---------|-------|-------|
| 1 長さ    | 2 質量    | 3 面積  | 4 体積  |
| 5 線量    | 6 時間    | 7 大きく | 8 小さく |
| 9 大きい   | 10 小さい  | 11 低  | 12 高  |
| 13 上に凸の | 14 下に凸の |       |       |

<Aの解答群>

- |           |           |          |           |
|-----------|-----------|----------|-----------|
| 1 20～60   | 2 60～80   | 3 80～100 | 4 100～200 |
| 5 200～300 | 6 300～500 |          |           |

<オの解答群>

- |         |        |        |        |
|---------|--------|--------|--------|
| 1 放射線加重 | 2 組織加重 | 3 線質   | 4 実効線量 |
| 5 線量当量  | 6 組織線量 | 7 等価線量 |        |

<カの解答群>

- |         |         |
|---------|---------|
| 1 確率的影響 | 2 確定的影響 |
|---------|---------|

<Bの解答群>

- 1 2                      2 5                      3 10                      4 15                      5 20  
6 30

II  $\gamma$ 線ではその生物効果の [C] %が [キ] の放射線分解の結果生じるラジカルによる [ク] の寄与によるものであるとされている。 [ク] の大きさに影響する因子はいくつか存在し、酸素もそのひとつである。すなわち [キ] の放射線分解では生体分子と反応する様々なラジカルが生じるが、そのうちの [ケ] は、 [キ] の電離で生じた電子に水分子が配位した水和電子により酸素が1電子還元されて生じる。また、酸素には生体分子に生じた損傷が化学的修復をされる前に損傷として固定する働きがあるといわれている。したがって酸素の有無は放射線により引き起こされる生体反応の大きさに影響する。

酸素が存在しない条件で、ある効果を起こす吸収線量と酸素が存在する条件で同じ効果を起こす吸収線量の比を酸素効果比という。生体内での酸素効果比は最大 [D] 程度までの値となる。酸素効果比が2となるのは酸素分圧が [E] mmHg 程度のときである。正常組織では、酸素分圧はおおよそ [F] mmHg である。LET の高い放射線による致死効果では、酸素効果は $\gamma$ 線に比べて [コ] なる。LETが  $200 \text{ keV} \cdot \mu\text{m}^{-1}$  を超えると酸素効果比はほぼ [G] になることが知られている。また、LETの高い放射線では [ク] の寄与が $\gamma$ 線より [サ] なる。

<Cの解答群>

- 1 10~30                      2 30~50                      3 50~80                      4 80~95

<キ~サの解答群>

- 1 RNA                      2 水                      3 タンパク質  
4 脂質                      5 直接作用                      6 間接作用  
7 水素ラジカル                      8 スーパーオキシドラジカル  
9 窒素ラジカル                      10 ヒドロキシルラジカル  
11 過酸化水素                      12 大きく                      13 小さく

<Dの解答群>

- 1 0                      2 1                      3 3                      4 5                      5 10  
6 20

<Eの解答群>

- 1 0                      2 3                      3 20                      4 40                      5 80  
6 100                      7 300

<Fの解答群>

1 20~100

2 100~200

3 200~300

4 300~400

5 400~500

<Gの解答群>

1 0

2 1

3 3

4 5

5 10

6 20

7 30

