

## 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（21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しまってください。
- 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、記入欄以外の余白及び裏面には、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、1つの問いに対して、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～IV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 X線及びγ線並びに中性子は□A放射線と呼ばれ、それぞれ物質と特徴的な相互作用を起こす。X線及びγ線は波長の短い光子であり、赤外線、可視光などの電磁波と区別して電磁放射線と呼ばれる。一方、中性子は原子核を構成する核子の一つであるが、核外で単独に存在するときは約□ア分の平均寿命で□Bに壊変する。中性子は電荷を持たないため、中性子の物質との相互作用は主として原子核との相互作用であるといえることができる。

<Aの解答群>

- |        |       |       |       |        |
|--------|-------|-------|-------|--------|
| 1 二次電離 | 2 非電離 | 3 非粒子 | 4 無電荷 | 5 直接電離 |
| 6 間接電離 |       |       |       |        |

<Bの解答群>

- |       |              |       |
|-------|--------------|-------|
| 1 電子  | 2 陽電子        | 3 陽子  |
| 4 重陽子 | 5 三重陽子(トリトン) | 6 中間子 |

<アの解答群>

- |       |       |       |       |       |
|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 0.3 | 2 0.4 | 3 0.5 | 4 1.0 | 5 1.5 |
| 6 2.0 | 7 3.0 | 8 4.0 | 9 5.0 | 10 10 |
| 11 15 | 12 20 | 13 30 | 14 40 | 15 50 |

II 光子の物質との相互作用は、レイリー散乱、コンプトン効果、光電効果、電子対生成、光核反応など複数存在し、その断面積は光子のエネルギーや物質の原子番号に依存する。たとえば、光子エネルギーが 16 keV で物質が水の場合には  が主たる相互作用であるが、光子エネルギーが 400 keV のとき、物質が水の場合には  が、鉛の場合には  が主たる相互作用となる。

これらのうち、コンプトン効果は光子（波長 $\lambda$ ）が軌道電子と衝突して散乱される現象をいい、光子の重要な相互作用の一つである。コンプトン効果では光電効果と同様に軌道電子が放出されるが、光電効果の場合には入射光子が消滅するのに対して、コンプトン効果では波長の長くなった光子が散乱される。この散乱光子の波長を $\lambda'$ とすると、波長の差（ $\lambda' - \lambda$ ）の値は  となる。ただし、電子の質量を  $m$ 、プランク定数を  $h$ 、光速を  $c$ 、入射光子の進行方向に対する散乱光子の散乱角を  $\phi$  とする。

<Cの解答群>

- |          |           |        |         |
|----------|-----------|--------|---------|
| 1 レイリー散乱 | 2 コンプトン効果 | 3 光電効果 | 4 電子対生成 |
| 5 光核反応   |           |        |         |

<Dの解答群>

- |          |           |        |         |
|----------|-----------|--------|---------|
| 1 レイリー散乱 | 2 コンプトン効果 | 3 光電効果 | 4 電子対生成 |
| 5 光核反応   |           |        |         |

<Eの解答群>

- |          |           |        |         |
|----------|-----------|--------|---------|
| 1 レイリー散乱 | 2 コンプトン効果 | 3 光電効果 | 4 電子対生成 |
| 5 光核反応   |           |        |         |

<イの解答群>

- |  |   |   |   |
|--|---|---|---|
| 1 $\frac{h}{mc} \cos \phi$                       | 2 $\frac{h}{mc} \sin \phi$                        | 3 $\frac{mc}{h} \cos \phi$                        | 4 $\frac{mc}{h} \sin \phi$                        |
| 5 $\frac{h}{mc} (1 - \cos \phi)$                 | 6 $\frac{h}{mc} (1 - \sin \phi)$                  | 7 $\frac{mc}{h} (1 - \cos \phi)$                  | 8 $\frac{mc}{h} (1 - \sin \phi)$                  |
| 9 $\frac{h}{mc} \cdot \frac{1}{(1 - \cos \phi)}$ | 10 $\frac{h}{mc} \cdot \frac{1}{(1 - \sin \phi)}$ | 11 $\frac{mc}{h} \cdot \frac{1}{(1 - \cos \phi)}$ | 12 $\frac{mc}{h} \cdot \frac{1}{(1 - \sin \phi)}$ |

Ⅲ 中性子はそのエネルギーにより熱中性子、熱外中性子、速中性子等に分類される。熱中性子は周囲媒体と熱平衡にある中性子をいい、その速度分布は **F** 分布を示し、平均のエネルギーは常温で **ウ** eV 程度である。熱中性子よりもややエネルギーの高いものを熱外中性子といい、さらにエネルギーが十分高いものを速中性子と呼ぶ。

原子核に中性子が捕獲される捕獲反応は熱中性子や熱外中性子等の「遅い中性子」で主として起こり、質量数が 1 増加した原子核が生成される。核内の中性子の結合エネルギーがおおよそ 8 MeV であるので、この反応は **G** 反応であり、エネルギーの低い中性子によってエネルギーの高い励起状態の核が形成される。この励起状態から  $\gamma$  線が放出される。**H** は熱中性子に対する捕獲断面積が 2,520 b(バーン)と大きいことで知られ、熱中性子の遮蔽や発生する  $\gamma$  線を利用して熱中性子の検出に用いられる。このほかに、 ${}^3\text{He}(n, p){}^3\text{H}$ 、 ${}^6\text{Li}(n, \alpha){}^3\text{H}$ 、 ${}^{10}\text{B}(n, \alpha){}^7\text{Li}$  等の核変換を起こす反応があり、比較的大きな Q 値をもつため熱中性子の検出に利用される。これらは **I** 反応と呼ばれ、通例は高エネルギー中性子の **J** 反応として起こるが、エネルギーの低い中性子でも **K** の小さい軽い核に対して起こり得る。捕獲反応及び **I** 反応は吸収反応と総称され、これには **L** 反応や中性子放出反応も含まれる。

さらに中性子のエネルギーが大きくなるに従い、反応の断面積は中性子の速度に逆比例する振る舞いを見せる。また中性子のある特定のエネルギーで捕獲反応が強く起こることがあり、これを **M** という。

<Fの解答群>

- |         |                |         |
|---------|----------------|---------|
| 1 一様    | 2 二項           | 3 ランダウ  |
| 4 ポアソン  | 5 マクスウェル・ボルツマン | 6 ローレンツ |
| 7 ウィグナー |                |         |

<ウの解答群>

- |         |         |         |         |        |
|---------|---------|---------|---------|--------|
| 1 0.010 | 2 0.025 | 3 0.034 | 4 0.050 | 5 0.10 |
| 6 0.25  | 7 0.34  | 8 0.50  | 9 1.0   | 10 2.5 |
| 11 3.4  | 12 5.0  |         |         |        |

<Gの解答群>

- |        |        |         |      |
|--------|--------|---------|------|
| 1 発熱   | 2 吸熱   | 3 化学    | 4 可逆 |
| 5 荷電変換 | 6 電子入射 | 7 イオン入射 |      |

<Hの解答群>

- |        |        |         |         |     |
|--------|--------|---------|---------|-----|
| 1 コバルト | 2 マンガン | 3 カドミウム | 4 インジウム | 5 金 |
| 6 水銀   | 7 鉛    |         |         |     |

<Iの解答群>

- |          |         |        |          |
|----------|---------|--------|----------|
| 1 核分裂    | 2 核融合   | 3 荷電変換 | 4 荷電粒子放出 |
| 5 熱中性子検出 | 6 中性子捕獲 | 7 核転換  |          |

<Jの解答群>

- |        |        |         |      |
|--------|--------|---------|------|
| 1 発熱   | 2 吸熱   | 3 化学    | 4 可逆 |
| 5 荷電変換 | 6 電子入射 | 7 イオン入射 |      |

<Kの解答群>

- |        |        |           |           |
|--------|--------|-----------|-----------|
| 1 核力   | 2 遠心力  | 3 クーロン障壁  | 4 結合エネルギー |
| 5 質量欠損 | 6 表面張力 | 7 束縛エネルギー |           |

<Lの解答群>

- |          |         |        |       |
|----------|---------|--------|-------|
| 1 核転換    | 2 核融合   | 3 荷電変換 | 4 核破砕 |
| 5 熱中性子検出 | 6 中性子捕獲 | 7 核分裂  |       |

<Mの解答群>

- |            |       |                |
|------------|-------|----------------|
| 1 自己吸収     | 2 吸収端 | 3 ブライト・ウィグナー共鳴 |
| 4 共鳴吸収     | 5 全吸収 | 6 共鳴散乱         |
| 7 ラザフォード散乱 |       |                |

IV 10 keV~500 keV 程度のエネルギーをもつ速中性子は物質中では主として原子核との弾性散乱によりエネルギーを失う。エネルギー $E_n$ の速中性子が質量 $M$ の原子核と弾性散乱したとき、原子核に与える最大エネルギー $E$ は次式で表される。ただし、中性子の質量を $n$ とする。

$$E = \boxed{\text{エ}} E_n$$

反跳核のエネルギーは、 $0 \sim E$ に渡って $\boxed{\text{N}}$ 分布する。このようにして中性子のエネルギーを効率よく低下させる物質を減速材といい、水、パラフィン、黒鉛などがある。黒鉛( $^{12}\text{C}$ )の場合、反跳原子核の最大エネルギー $E$ は $\boxed{\text{オ}}$   $E_n$ である。これにより、衝突後の中性子の平均エネルギーは $\boxed{\text{カ}}$   $E_n$ となる。

500 keV を超えるエネルギーの速中性子では、弾性散乱のほかに非弾性散乱が起こり、また種々の荷電粒子放出反応も起こる。

<Nの解答群>

- |         |                |         |
|---------|----------------|---------|
| 1 一様    | 2 二項           | 3 ランダウ  |
| 4 ポアソン  | 5 マクスウェル・ボルツマン | 6 ローレンツ |
| 7 ウィグナー |                |         |

<エの解答群>

- |                              |   |  |                              |
|------------------------------|---|--|------------------------------|
| 1 $\frac{nM}{(n+M)}$         | 2 $\frac{2nM}{(n+M)}$                             | 3 $\frac{4nM}{(n+M)}$                              | 4 $\frac{nM}{(n+M)^2}$       |
| 5 $\frac{2nM}{(n+M)^2}$      | 6 $\frac{4nM}{(n+M)^2}$                           | 7 $\frac{n^2M^2}{(n+M)}$                           | 8 $\frac{2n^2M^2}{(n+M)}$    |
| 9 $\frac{4n^2M^2}{(n+M)}$    | 10 $\frac{n^2M^2}{(n+M)^2}$                       | 11 $\frac{2n^2M^2}{(n+M)^2}$                       | 12 $\frac{4n^2M^2}{(n+M)^2}$ |
| 13 $\frac{8n^2M^2}{(n+M)^2}$ | 14 $\frac{n^{\frac{1}{2}}M^{\frac{1}{2}}}{(n+M)}$ | 15 $\frac{2n^{\frac{1}{2}}M^{\frac{1}{2}}}{(n+M)}$ |                              |

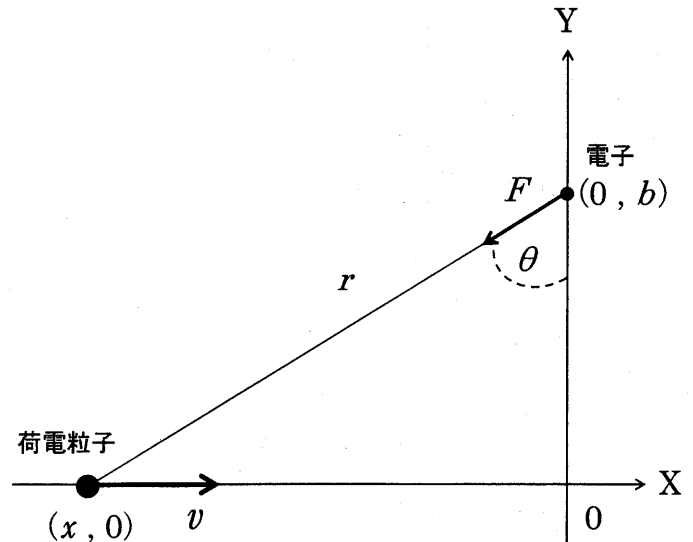
<オ、カの解答群>

- |         |         |         |        |         |
|---------|---------|---------|--------|---------|
| 1 0.12  | 2 0.20  | 3 0.28  | 4 0.36 | 5 0.44  |
| 6 0.52  | 7 0.60  | 8 0.68  | 9 0.72 | 10 0.80 |
| 11 0.86 | 12 0.92 | 13 0.98 |        |         |

問2 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。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 荷電粒子と物質の相互作用について考えよう。

真空中において時刻  $t$  のとき、図に示すとおり電子(質量  $m$ 、電荷  $-e$ )が Y 軸上の点  $(0, b)$  にあり、質量  $M$  (ただし  $M \gg m$ )、電荷  $+ze$  の荷電粒子が X 軸上の点  $(x, 0)$  を速さ  $v$  で X 軸上の正の方向に通過する場合を考える。このとき電子は Y 軸に対し図中の  $\theta$  の方向で荷電粒子より□ア力  $F$  を受ける。両者の間隔が  $r$  であるとする、 $F = k$  □A (ただし  $k$  は比例定数) である。電子の得る運動量  $P$  は□イに等しく、荷電粒子の速さ  $v$  が電子のそれより十分大きい場合、荷電粒子が無限遠方から接近し無限遠方へ遠ざかるまでの間、電子は点  $(0, b)$  に留まっているとみなせる。このとき、 $P$  の X 成分及び Y 成分はそれぞれ次のように表すことができる。



$$P_x = \text{□B} \quad (1)$$

$$P_y = \int_{-\infty}^{\infty} \{ k \text{□A} \cdot \text{□C} \} dt \quad (2)$$

よって  $P$  を  $r$  の代わりに  $b$  と  $\theta$  を用いて表すと

$$P = \sqrt{P_x^2 + P_y^2} = \int_{-\infty}^{\infty} k \text{□D} \cdot (\text{□C})^3 dt \quad (3)$$

となる。

ここで、

$$\frac{d(\tan \theta)}{dt} = \frac{1}{\cos^2 \theta} \cdot \frac{d\theta}{dt} = \frac{d\left(\frac{x}{b}\right)}{dt} = \frac{1}{b} \cdot \frac{dx}{dt} = \frac{v}{b}$$

これより、 $dt = \frac{b}{v} \cos^{-2} \theta d\theta$  の関係を用いると、

$$P = k \text{□E} \int_{\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} \cos \theta d\theta = 2k \text{□E} \quad (4)$$

が得られる。

また電子の得る運動エネルギー  $T$  は  $P$  を用いて表すと

$$T = \text{□F} \quad (5)$$

なので、(4) 式及び (5) 式より

$$T = 2k^2 \boxed{G} \quad (6)$$

である。これは  $\boxed{U}$  により、荷電粒子が失うエネルギーに等しい。

<ア～ウの解答群>

- |            |             |          |
|------------|-------------|----------|
| 1 ローレンツ    | 2 ファンデルワールス | 3 クーロン   |
| 4 ブラッグ     | 5 モーメント     | 6 角速度    |
| 7 速度       | 8 力積        | 9 ポテンシャル |
| 10 運動エネルギー | 11 運動量保存則   | 12 質量保存則 |
| 13 空洞原理    | 14 エネルギー保存則 |          |

<Aの解答群>

|                      |                      |                     |                    |                            |
|----------------------|----------------------|---------------------|--------------------|----------------------------|
| 1 $\frac{ze^2}{r^2}$ | 2 $\frac{ze^2}{b^2}$ | 3 $\frac{ze^2}{bv}$ | 4 $\frac{ze^2}{r}$ | 5 $\frac{z^2e^4}{mb^2v^2}$ |
|----------------------|----------------------|---------------------|--------------------|----------------------------|

<B、Cの解答群>

|                     |                     |                |                |                     |
|---------------------|---------------------|----------------|----------------|---------------------|
| 1 $\theta$          | 2 $\sin\theta$      | 3 $\cos\theta$ | 4 $\tan\theta$ | 5 $\sin^{-1}\theta$ |
| 6 $\cos^{-1}\theta$ | 7 $\tan^{-1}\theta$ | 8 -1           | 9 0            | 10 1                |

<D～Gの解答群>

|                      |                      |                     |                      |                            |
|----------------------|----------------------|---------------------|----------------------|----------------------------|
| 1 $\frac{ze^2}{r^2}$ | 2 $\frac{ze^2}{b^2}$ | 3 $\frac{ze^2}{bv}$ | 4 $\frac{ze^2}{mbv}$ | 5 $\frac{z^2e^4}{mb^2v^2}$ |
| 6 $\frac{P}{m}$      | 7 $\frac{P}{2m}$     | 8 $\frac{P^2}{2m}$  | 9 $\frac{P^2}{m}$    | 10 $\frac{P^2}{m^2}$       |



II Iの(6)式より高速(速度  $v$ )の荷電粒子(質量  $M$ 、電荷  $ze$ )は、電子との相互作用において **H** に比例してエネルギーを失う。荷電粒子が物質内を通過する際に単位長さ当たり失うエネルギー

$-\frac{dE}{dx}$  は阻止能と呼ばれ、次のような **工** の式で表される。

$$-\frac{dE}{dx} = \frac{e^4}{4\pi\epsilon_0^2 m} \text{I} \times N_A \rho \frac{Z}{A} \left[ \ln \frac{2mv^2}{I \left\{ 1 - \left( \frac{v}{c} \right)^2 \right\}} - \left( \frac{v}{c} \right)^2 \right] \quad (7)$$

ここで、 $\epsilon_0$ は真空の誘電率、 $N_A$ はアボガドロ数、 $\rho$ 、 $Z$ 、 $A$ 及び $I$ はそれぞれ物質の密度、平均の原子番号、質量数及びイオン化ポテンシャルであり、 $c$ は光速である。これを $\rho$ で除した

$-\frac{1}{\rho} \cdot \frac{dE}{dx}$  は **オ** と呼ばれる。

荷電粒子が物質中で止まるまでに進んだ距離を飛程  $R$  といい、飛程  $R$  は

$$R = \int_E^0 \frac{dE}{\text{J}} \quad (8)$$

と表せる。(7)式、(8)式及び $E = Mv^2/2$ の関係を用いると、ある物質に対する速度の等しい2種類の荷電粒子の飛程は次のように表される。(添字の1、2はそれぞれ粒子の種類を表す)

$$R_2 = \frac{M_2}{M_1} \left( \frac{z_1}{z_2} \right)^2 R_1 \quad (9)$$

例えば200 MeV陽子の水中飛程が26 cmであるとすると(9)式から核子当たり200 MeVの炭素イオン( $^{12}\text{C}^{6+}$ )の水中飛程は **K** cmと計算できる。

200 MeV陽子の水中での **オ** が  $4.5 \text{ MeV} \cdot \text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$  であるとすると、 $1.0 \times 10^8 \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  のフルエンス率でこれが垂直入射した場合、表面付近における水吸収線量率は **L**  $\text{Gy} \cdot \text{min}^{-1}$  となる。また核子当たり200 MeVの炭素イオン( $^{12}\text{C}^{6+}$ )の場合は同じフルエンス率に対し **M**  $\text{Gy} \cdot \text{min}^{-1}$  となる。

<H~Jの解答群>

- |                   |                        |                     |                     |                    |
|-------------------|------------------------|---------------------|---------------------|--------------------|
| 1 $\frac{Z}{v}$   | 2 $\frac{v}{Z}$        | 3 $\frac{Z^2}{v^2}$ | 4 $\frac{v^2}{Z^2}$ | 5 $-\frac{dE}{dx}$ |
| 6 $\frac{dv}{dx}$ | 7 $\frac{dx}{d\theta}$ |                     |                     |                    |

<工、オの解答群>

- |               |         |        |
|---------------|---------|--------|
| 1 質量エネルギー吸収係数 | 2 線減弱係数 | 3 放射長  |
| 4 質量阻止能       | 5 W値    | 6 ブラッグ |
| 7 グレイ         | 8 ベーテ   | 9 プランク |

<K~Mの解答群>

1 2.2

2 4.3

3 8.7

4 13

5 52

6 78

7 156

8 312

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 難溶性塩 CuS の溶解度積  $K_{sp(\text{CuS})}$  は、飽和水溶液における固-液平衡  $\text{CuS} \rightleftharpoons \text{Cu}^{2+} + \text{S}^{2-}$  のイオン濃度の積  $K_{sp(\text{CuS})} = [\text{Cu}^{2+}][\text{S}^{2-}]$  で表される。溶液中のイオン濃度の積が  $K_{sp(\text{CuS})}$  よりも大きくなると溶液から固体が析出する。 $\text{S}^{2-}$  は水溶液中で□ A □である  $\text{H}_2\text{S}$  の解離により生成するため、 $[\text{S}^{2-}]$  は溶液の pH に強く依存し、pH が□ B □なると増加する。

$^{64}\text{Cu}^{2+}$  を 1.0 kBq ( $1.1 \times 10^{-16}$  mol) と  $^{65}\text{Zn}^{2+}$  を 1.0 kBq ( $5.1 \times 10^{-14}$  mol) 含む  $\text{Cu}^{2+}$  と  $\text{Zn}^{2+}$  の各濃度  $1.0 \times 10^{-3} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  の  $0.3 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  塩酸溶液 1 L がある。これに  $\text{H}_2\text{S}$  を吹き込んで飽和させる (この条件では  $[\text{S}^{2-}] = 7.6 \times 10^{-23} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  となる)。ただし、 $K_{sp(\text{CuS})} = [\text{Cu}^{2+}][\text{S}^{2-}] = 6.5 \times 10^{-30} (\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})^2$ 、 $K_{sp(\text{ZnS})} = [\text{Zn}^{2+}][\text{S}^{2-}] = 2.2 \times 10^{-18} (\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})^2$  とする。

この操作により硫化銅(Ⅱ)が沈殿し、溶液中に残る銅イオン濃度は  $^{64}\text{Cu}^{2+}$  と非放射性  $\text{Cu}^{2+}$  も含めて  $K_{sp(\text{CuS})}/[\text{S}^{2-}]$  で表され、 $8.6 \times$  □ C □  $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$  となる。なお、1.0 kBq  $\cdot \text{L}^{-1}$  の  $^{64}\text{Cu}^{2+}$  のみで硫化物は□ D □。一方、 $[\text{Zn}^{2+}]$  と  $[\text{S}^{2-}]$  との積は  $7.6 \times$  □ E □  $(\text{mol} \cdot \text{L}^{-1})^2$  であり、この値は  $K_{sp(\text{ZnS})}$  より小さいので  $^{65}\text{Zn}^{2+} + \text{Zn}^{2+}$  は沈殿しないで溶液中に残り、 $\text{Cu}^{2+} + ^{64}\text{Cu}^{2+}$  と  $\text{Zn}^{2+} + ^{65}\text{Zn}^{2+}$  の相互分離が可能になる。

このような難溶性塩の生成を利用して、各種の放射性核種を相互に分離することができる。例えば、 $^{26}\text{Al}^{3+}$ 、 $^{64}\text{Cu}^{2+}$ 、 $^{65}\text{Zn}^{2+}$ 、 $^{137}\text{Cs}^+$  とそれぞれの担体を含む  $0.3 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  塩酸溶液に、 $\text{H}_2\text{S}$  を通すと  $^{64}\text{Cu}^{2+}$  が硫化物として沈殿する。沈殿をろ別後、ろ液を沸騰させて  $\text{H}_2\text{S}$  を追い出した後に、アンモニア水を過剰に加えると□ F □のみを水酸化物として沈殿分離することができる。次いで、そのろ液に  $\text{H}_2\text{S}$  を通じると□ G □が硫化物として沈殿し、□ H □が溶液中に残る。

<A、Bの解答群>

- |       |      |       |       |       |
|-------|------|-------|-------|-------|
| 1 強酸  | 2 弱酸 | 3 強塩基 | 4 弱塩基 | 5 大きく |
| 6 小さく |      |       |       |       |

<Cの解答群>

- |              |             |             |             |             |
|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 1 $10^{-10}$ | 2 $10^{-8}$ | 3 $10^{-6}$ | 4 $10^{-4}$ | 5 $10^{-2}$ |
|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|

<Dの解答群>

- |        |         |
|--------|---------|
| 1 沈殿する | 2 沈殿しない |
|--------|---------|

<Eの解答群>

- |              |              |              |              |              |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 1 $10^{-28}$ | 2 $10^{-26}$ | 3 $10^{-24}$ | 4 $10^{-22}$ | 5 $10^{-20}$ |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|

<F～Hの解答群>

- |                         |                         |                         |                       |
|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------|
| 1 $^{26}\text{Al}^{3+}$ | 2 $^{64}\text{Cu}^{2+}$ | 3 $^{65}\text{Zn}^{2+}$ | 4 $^{137}\text{Cs}^+$ |
|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------|

II 試料中のある成分(化合物)を定量するとき、その成分を完全に分離して定量することは容易ではない。同位体希釈分析法は、目的成分の全量を分離する必要がなく、その一部を純粋に取り出すことができれば定量ができる特徴をもつ。

定量すべき化合物と同じ化学形の標識化合物を試料に添加して定量する方法は直接希釈法と呼ばれる。この方法では、試料中の化合物の質量  $X$  を定量するために、標識化合物の一定量(質量  $a$ 、比放射能  $S_0$ )を加えて十分に混合する。その後、混合物から定量すべき化合物の一部を分離して精製し、その質量と放射能を測定して比放射能  $S$  を求める。表を参考にして、混合前の標識化合物の全放射能  $S_0 a$  は、混合後の全放射能  に等しい。この関係から  $X = \text{$  が得られる。

|     |           | 質量      | 比放射能  | 全放射能                           |
|-----|-----------|---------|-------|--------------------------------|
| 添加前 | 定量すべき化合物  | $X$     | 0     | 0                              |
|     | 添加する標識化合物 | $a$     | $S_0$ | $S_0 a$                        |
| 添加後 | 混合物       | $X + a$ | $S$   | <input type="text" value="I"/> |

一例として、 $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Ni}^{2+}$ 、及び  $\text{Zn}^{2+}$  を含む  $6 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  塩酸溶液試料中の  $\text{Zn}^{2+}$  を直接希釈法で定量する。この試料溶液に、 $10 \text{ mg}$  の  $^{65}\text{Zn}^{2+} + \text{Zn}^{2+}$  (比放射能  $15.0 \text{ kBq} \cdot \text{mg}^{-1}$ ) を加え、十分混合して均一にした。この溶液の一部をとり、 $6 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  塩酸で前処理した  カラムに通す。これらの金属イオンは塩化物イオンとクロロ錯体を生成すると  カラムに吸着される。 $6 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  塩酸を流し続けると、 $\text{Ni}^{2+}$  はいずれの塩酸濃度でも陽イオンのままなので、まず  が溶出し、次いで  $2.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  塩酸で  が、最後に  $0.005 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  塩酸を流すと最もクロロ錯体を作りやすい  が溶出する。溶出した  の一部をとり、質量と放射能の測定から比放射能  $2.0 \text{ kBq} \cdot \text{mg}^{-1}$  を得た。したがって、試料溶液中の  $\text{Zn}^{2+}$  の質量は   $\text{mg}$  であった。

< I、J の解答群 >

- |                                     |                                     |                                     |                                     |
|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 1 $S_0(X + a)$                      | 2 $S(X + a)$                        | 3 $a\left(\frac{S_0}{S} - 1\right)$ | 4 $a\left(\frac{S}{S_0} - 1\right)$ |
| 5 $a\left(\frac{S_0}{S} + 1\right)$ | 6 $a\left(\frac{S}{S_0} + 1\right)$ | 7 $\frac{aS}{S_0 - S}$              | 8 $\frac{aS_0}{S_0 - S}$            |
| 9 $\frac{aS}{S_0 + S}$              | 10 $\frac{aS_0}{S_0 + S}$           |                                     |                                     |

<Kの解答群>

- 1 セファデックス                      2 シリカゲル                      3 陽イオン交換樹脂  
4 陰イオン交換樹脂

<L~Nの解答群>

- 1  $\text{Ni}^{2+}$                       2  $\text{Cu}^{2+}$                       3  $\text{Ni}^{2+}$ と $\text{Cu}^{2+}$                       4  $\text{Zn}^{2+}$ + $^{65}\text{Zn}^{2+}$

<Oの解答群>

- 1 20                      2 35                      3 50                      4 65                      5 80

Ⅲ 試料中の成分で放射能はあるが、比放射能が分からない、あるいは求めることが難しい試料がある。この場合には二重希釈法が用いられる。試料中の放射性化合物を定量するために、試料から等しい量を取り、試料Aと試料Bとする。A、Bの各試料中に含まれる放射性化合物の質量  $X$ 、比放射能  $S_0$  を以下のように求める。

まず、試料A、試料B各々に同じ化学形の非放射性化合物を異なる量(質量  $a$ 、 $b$ )加えて十分に混合した後、A、B各々から同化合物の一部を分離して精製し、その質量と放射能を測定して、それぞれの比放射能  $S_a$  及び  $S_b$  を求める。

| 試料A |             | 質量      | 比放射能  | 全放射能    |
|-----|-------------|---------|-------|---------|
| 添加前 | 定量すべき放射性化合物 | $X$     | $S_0$ | $S_0 X$ |
|     | 添加する非放射性化合物 | $a$     | 0     | 0       |
| 添加後 | 混合物         | $X + a$ | $S_a$ | $P$     |

各々の試料において混合前の全放射能は混合後の全放射能に等しいので、表に示す試料Aでは  $S_0 X = P$  となる。試料Bについても同様な式が成り立つので、 $X = Q$  となる。また、放射性化合物の比放射能は  $S_0 = R$  として求められる。

一例として、二重希釈法で  $^{65}\text{Zn}^{2+}$  を含む試料中の  $\text{Zn}^{2+}$  を定量する。

100 mL の溶液試料から 40 mL ずつ分取し、一方の試料Aには非放射性の  $\text{Zn}^{2+}$  化合物を 5 mg 加えて十分に混合した後、一部を純粋に分離したところ、その比放射能は  $600 \text{ Bq} \cdot \text{mg}^{-1}$  であった。他方の試料Bには非放射性の  $\text{Zn}^{2+}$  化合物 15 mg を加えて同様に処理したところ、その比放射能は  $500 \text{ Bq} \cdot \text{mg}^{-1}$  であった。試料Aに含まれる  $\text{Zn}^{2+}$  化合物の質量は、 $S$  mg であり、また、元の溶液試料 100 mL 中の質量は  $T$  mg である。

< P ~ R の解答群 >

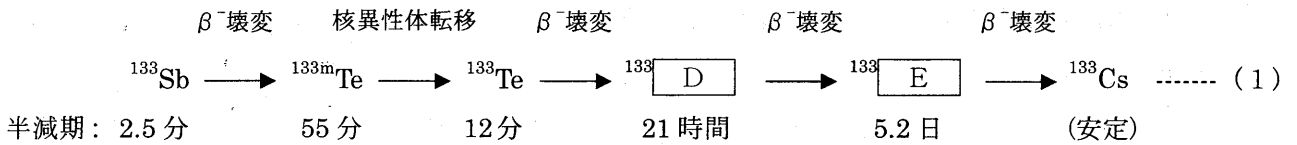
- |   |  |                                 |                                 |
|---|--|---------------------------------|---------------------------------|
| 1 $S_0(X + a)$                            | 2 $S_0(X + b)$                             | 3 $S_a(X + a)$                  | 4 $S_b(X + b)$                  |
| 5 $\frac{S_a a - S_b b}{S_a - S_b}$       | 6 $\frac{S_b b - S_a a}{S_a - S_b}$        | 7 $\frac{S_a a - S_b b}{a - b}$ | 8 $\frac{S_b b - S_a a}{a - b}$ |
| 9 $\frac{S_a S_b (a - b)}{S_b b - S_a a}$ | 10 $\frac{S_a S_b (b - a)}{S_b b - S_a a}$ |                                 |                                 |

< S、T の解答群 >

- |       |       |       |      |      |
|-------|-------|-------|------|------|
| 1 30  | 2 45  | 3 60  | 4 75 | 5 98 |
| 6 113 | 7 145 | 8 158 |      |      |

問4 次のI～IV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  $^{235}\text{U}$ は、熱中性子により核分裂すると、2～3個の中性子と、二つの質量の異なる核分裂片を生成(非対称核分裂)するとともに、約□A MeVのエネルギーを発生する。したがって、1gの $^{235}\text{U}$ がすべて核分裂すると、約□B Jのエネルギーを発生する。二つの核分裂片は、質量数が□C及び133～144で大きな生成収率を示す。これらの核分裂生成核種はいずれも中性子過剰であり、ほとんどが $\beta^-$ 壊変する。例えば次のように、質量数133の生成核種は、壊変していずれも安定核種の $^{133}\text{Cs}$ になる。



核分裂生成核種は、事故等で外部に放出されると大きな環境汚染問題となるが、一方では、核分裂を利用して有用な医療用アイソトープも製造されている。

<Aの解答群>

- |      |       |       |      |      |
|------|-------|-------|------|------|
| 1 1  | 2 2   | 3 5   | 4 10 | 5 20 |
| 6 50 | 7 100 | 8 200 |      |      |

<Bの解答群>

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

<Cの解答群>

- |           |          |           |           |           |
|-----------|----------|-----------|-----------|-----------|
| 1 79～89   | 2 90～100 | 3 101～111 | 4 112～132 | 5 145～156 |
| 6 157～163 |          |           |           |           |

<D、Eの解答群>

- |       |       |       |       |       |
|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 Ar  | 2 Br  | 3 Ca  | 4 Cl  | 5 S   |
| 6 Se  | 7 I   | 8 K   | 9 Kr  | 10 Mg |
| 11 Na | 12 Rb | 13 Sr | 14 Te | 15 Xe |

II 原子力発電所の事故による環境の放射能汚染において、主要な $\gamma$ 線放出核種として $^{137}\text{Cs}$ (半減期:30年;1cm線量当量率定数: $0.093\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ )と $^{134}\text{Cs}$ (半減期:2年;1cm線量当量率定数: $0.25\mu\text{Sv}\cdot\text{m}^2\cdot\text{MBq}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ )がある。 $^{137}\text{Cs}$ は $^{235}\text{U}$ の熱中性子核分裂で高い収率で生成する一方、 $^{134}\text{Cs}$ の核分裂生成収率は極めて小さい。この $^{134}\text{Cs}$ は、Iの(1)式で示した数種類の核分裂生成物から生じた安定核種 $^{133}\text{Cs}$ が原子炉の核燃料中に蓄積し、さらに(2)式のように、その

反応で生成したものであり、長時間使用した核燃料中に多く含まれる。



したがって $^{134}\text{Cs}$ は、過去の核爆発実験のフォールアウトでは、ほとんど検出されていない。

$^{137}\text{Cs}$ と $^{134}\text{Cs}$ が放射能[Bq]で等量(1:1)あるとき、 $^{137}\text{Cs}$ と $^{134}\text{Cs}$ の原子数比はであり、また $^{137}\text{Cs}$ と $^{134}\text{Cs}$ による1cm線量当量率の比はである。これが15年後においては、 $^{137}\text{Cs}$ と $^{134}\text{Cs}$ の放射能の比はとなり、1cm線量当量率の比はとなる。

<Fの解答群>

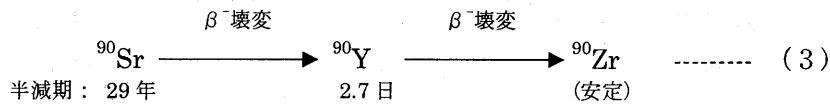
- |   |        |   |                |   |         |   |                 |   |        |
|---|--------|---|----------------|---|---------|---|-----------------|---|--------|
| 1 | (n, p) | 2 | (n, $\gamma$ ) | 3 | (n, 2n) | 4 | ( $\gamma$ , n) | 5 | (d, p) |
|---|--------|---|----------------|---|---------|---|-----------------|---|--------|

<G~Jの解答群>

- |    |           |   |          |   |          |   |          |    |          |
|----|-----------|---|----------|---|----------|---|----------|----|----------|
| 1  | 128 : 1   | 2 | 64 : 1   | 3 | 47 : 1   | 4 | 30 : 1   | 5  | 24 : 1   |
| 6  | 15 : 1    | 7 | 0.84 : 1 | 8 | 0.37 : 1 | 9 | 0.06 : 1 | 10 | 0.02 : 1 |
| 11 | 0.008 : 1 |   |          |   |          |   |          |    |          |



Ⅲ 核分裂生成物に含まれている長寿命核種のうち、体内に摂取された場合、問題になるのが $^{90}\text{Sr}$ (半減期：29年)である。 $^{90}\text{Sr}$ は **K** であり、人体内に入ると骨に沈着し長期間にわたる内部被ばくが問題になる。 $^{90}\text{Sr}$ は(3)式のように $\beta^-$ 壊変により逐次壊変する。単離した $^{90}\text{Sr}$ は18日間以上経過すると、生成する $^{90}\text{Y}$ (半減期：2.7日)の放射能がほぼ一定な値となり、 $^{90}\text{Sr}$ の放射能と1%以内で等しくなる。このような放射平衡状態を **L** という。



環境試料中の $^{90}\text{Sr}$ の分析では、 $^{90}\text{Sr}$ の $\beta^-$ 線の最大エネルギーが0.54 MeVと低く、 $^{90}\text{Y}$ が共存すると定量困難である。一方、娘核種 $^{90}\text{Y}$ の $\beta^-$ 線の最大エネルギーが **M** ことから、 $^{90}\text{Sr}$ の定量にはこれを利用する。試料からストロンチウムを分離回収して精製した後、2週間以上待つ。その塩酸溶液に **N** の捕集剤として $\text{Fe}^{3+}$ を、 **O** の保持担体として $\text{Sr}^{2+}$ を、それぞれ塩化物の形で加えた後、加熱しながらアンモニア水を加えて水酸化鉄(Ⅲ)の沈殿をつくり、この沈殿中に娘核種 $^{90}\text{Y}$ を共沈させて親核種 $^{90}\text{Sr}$ から分離する。 $^{90}\text{Y}$ の放射能測定から共沈させた時刻における $^{90}\text{Y}$ の放射能を算出し、放射平衡にあった $^{90}\text{Sr}$ の放射能を求めることができる。

<Kの解答群>

- |          |            |        |
|----------|------------|--------|
| 1 アルカリ金属 | 2 アルカリ土類金属 | 3 ハロゲン |
| 4 遷移元素   |            |        |

<Lの解答群>

- |        |        |        |
|--------|--------|--------|
| 1 溶解平衡 | 2 永続平衡 | 3 過渡平衡 |
|--------|--------|--------|

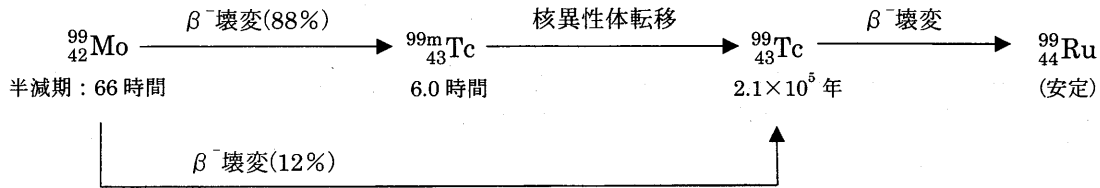
<Mの解答群>

- |                  |                |                |
|------------------|----------------|----------------|
| 1 0.0186 MeV と低い | 2 1.71 MeV と高い | 3 2.28 MeV と高い |
|------------------|----------------|----------------|

<N、Oの解答群>

- |                    |                    |                    |                    |                   |
|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------|
| 1 $^{89}\text{Rb}$ | 2 $^{89}\text{Sr}$ | 3 $^{90}\text{Sr}$ | 4 $^{89}\text{Y}$  | 5 $^{90}\text{Y}$ |
| 6 $^{89}\text{Zr}$ | 7 $^{90}\text{Zr}$ | 8 $^{89}\text{Nb}$ | 9 $^{90}\text{Nb}$ |                   |

IV 核医学診断で最も多く用いられている  $^{99m}\text{Tc}$  (半減期：6.0時間) の製造には、 $^{99}\text{Mo}$  (半減期：66時間) による  $^{99m}\text{Tc}$  ジェネレータが利用できる。それに使用する  $^{99}\text{Mo}$  は、 $^{235}\text{U}$  の熱中性子核分裂反応で製造され、無担体に近いものが得られる。 $^{99}\text{Mo}$  は  $\beta^-$  壊変し、その 88% は  $^{99m}\text{Tc}$  に、残りの 12% は直接  $^{99}\text{Tc}$  (半減期： $2.1 \times 10^5$ 年) になる。生成した  $^{99m}\text{Tc}$  は核異性体転移して  $^{99}\text{Tc}$  になる。



分離精製した  $^{99}\text{Mo}$  中では、 $^{99m}\text{Tc}$  の放射能が増加し、約 23 時間後に最大となる時、 $^{99m}\text{Tc}$  の放射能は、その時点での  $^{99}\text{Mo}$  の放射能の約  $\boxed{P}$  % になる。その後、 $^{99m}\text{Tc}$  の放射能は次第に半減期  $\boxed{Q}$  時間で減衰するようになる。約 60 時間以上で  $^{99}\text{Mo}$  と  $^{99m}\text{Tc}$  は放射平衡状態になり、これを  $\boxed{R}$  という。このとき、 $^{99m}\text{Tc}$  の放射能と  $^{99}\text{Mo}$  の放射能の比は、 $^{99m}\text{Tc}$  と  $^{99}\text{Mo}$  の壊変定数をそれぞれ  $\lambda_{\text{Tc}}$  及び  $\lambda_{\text{Mo}}$  とすると、 $\boxed{S}$  で表され、 $^{99m}\text{Tc}$  の放射能は  $^{99}\text{Mo}$  の放射能を  $\boxed{T}$  。

<P、Qの解答群>

- |    |     |   |    |   |    |   |    |    |     |
|----|-----|---|----|---|----|---|----|----|-----|
| 1  | 6   | 2 | 11 | 3 | 55 | 4 | 60 | 5  | 66  |
| 6  | 77  | 7 | 80 | 8 | 88 | 9 | 97 | 10 | 100 |
| 11 | 106 |   |    |   |    |   |    |    |     |

<Rの解答群>

- |   |      |   |      |   |      |
|---|------|---|------|---|------|
| 1 | 溶解平衡 | 2 | 永続平衡 | 3 | 過渡平衡 |
|---|------|---|------|---|------|

<Sの解答群>

- |   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | $\frac{\lambda_{\text{Mo}}}{\lambda_{\text{Tc}} - \lambda_{\text{Mo}}}$     | 2 | $\frac{\lambda_{\text{Tc}}}{\lambda_{\text{Tc}} - \lambda_{\text{Mo}}}$ | 3 | $\frac{0.88\lambda_{\text{Mo}}}{\lambda_{\text{Tc}} - \lambda_{\text{Mo}}}$ |
| 4 | $\frac{0.88\lambda_{\text{Tc}}}{\lambda_{\text{Tc}} - \lambda_{\text{Mo}}}$ |   |   |   |   |

<Tの解答群>

- |   |                    |   |                    |
|---|--------------------|---|--------------------|
| 1 | 常に上回る              | 2 | 始めは上回るが次第に下回るようになる |
| 3 | 始めは下回るが次第に上回るようになる | 4 | 上回ることはない           |



II 体内に取り込まれた放射性物質は、主に肝臓や腎臓で代謝された後に体外に排泄される。排泄など生物学的要因により体内量が半分になる時間を生物学的半減期  $T_b$  という。放射性物質は物理的半減期  $T_p$  により壊変するため、体内に残留している放射性物質の放射能が取り込み時の半分になる時間は、式  $\square M$  により与えられる有効半減期で表される。摂取された放射性物質は血中に入ると全身性に循環し、物質によっては特定の臓器に集積してその臓器の障害を起こすこともある。内部被ばくでは飛程の短い放射線の影響も問題となる。ヒトにおける内部被ばくによる誘発腫瘍として、トロトラスト注入患者における  $\square N$  腫瘍や、時計のラジウム夜光塗料文字盤工に起こった  $\square O$  腫瘍が歴史的に知られており、いずれの発がんも  $\square P$  線の寄与が大きいと考えられている。放射性物質の種類によって、特定の臓器・細胞に集積する性質を利用して様々な放射性医薬品が臨床応用されている。カルシウムと化学的性質が似ているために  $\square A$  は  $\square Q$  に集積するので、悪性腫瘍の  $\square Q$  転移によって起こる疼痛緩和に有効である。また、 $\square R$  が甲状腺ホルモンの成分であることを利用して、甲状腺機能亢進症の治療に  $\square I$  が経口剤として用いられる。

<Mの解答群>

|   |                                      |                          |               |
|---|--------------------------------------|--------------------------|---------------|
| 1 $\frac{T_b \times T_p}{\sqrt{T_b^2 + T_p^2}}$ | 2 $\frac{T_b \times T_p}{T_b + T_p}$ | 3 $\sqrt{T_b^2 + T_p^2}$ | 4 $T_b + T_p$ |
|---|--------------------------------------|--------------------------|---------------|

<N~Rの解答群>

- |            |           |                  |        |
|------------|-----------|------------------|--------|
| 1 肝臓       | 2 大腸      | 3 <sup>脾</sup> 臓 | 4 骨    |
| 5 $\alpha$ | 6 $\beta$ | 7 $\gamma$       | 8 カリウム |
| 9 ヨウ素      | 10 マグネシウム |                  |        |

<A、Iの解答群>

- |                            |                    |                     |                   |
|----------------------------|--------------------|---------------------|-------------------|
| 1 $^{27}\text{Mg}$         | 2 $^{40}\text{K}$  | 3 $^{89}\text{Sr}$  | 4 $^{90}\text{Y}$ |
| 5 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ | 6 $^{131}\text{I}$ | 7 $^{137}\text{Cs}$ |                   |

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 細胞に放射線を照射した場合、酸素濃度によって放射線感受性が異なることが知られている。放射線照射時に酸素があると、酸素がない場合に比べて細胞の放射線感受性が□A□なる。この現象を酸素効果という。酸素効果の大きさはOERで表される。酸素の有無に関わらず生物学的効果が等しい場合はOERの値は□B□である。

酸素効果の機序の一つとして以下のようなものが考えられている。放射線が細胞に照射されると、細胞内の□C□分子に作用して化学的に不安定で反応性に富む物質をいくつか生成する。その中で□D□は生物影響が最も大きい。□D□はDNAなどの生体高分子と反応して□E□を引き抜いたり、付加反応を起こす。その結果、□F□が生じる。□F□は酸素と反応して損傷が固定される。その結果として□G□に2本鎖切断などの損傷が増加すると考えられている。

酸素効果以外にも細胞の放射線感受性は次のような機序によって変化することもある。一つは損傷の発生自体を減らす機序によるものである。放射線によって生じるラジカルを減少させる物質としてラジカルスカベンジャーがある。ラジカルスカベンジャーは、□D□と反応して□D□の作用を減弱する。また、□F□は、ラジカルスカベンジャーの一種である□H□の□I□から□J□を受け取り、その結果、放射線による□G□の損傷の発生は減少する。

さらに、細胞の放射線感受性に影響を及ぼす別の機序として、放射線によって発生した□G□の損傷を修復する機序が存在する。2本鎖切断が修復される場合には、主に□K□と□L□が働く。□K□は細胞周期全般に見られ、誤りが多い修復といわれている。これに対し、□L□は細胞周期の□M□に限られるが、誤りが少ない修復といわれている。このように、細胞の放射線感受性は、様々な機序の働きによって修飾される。

<A~Fの解答群>

- |           |              |              |
|-----------|--------------|--------------|
| 1 低く      | 2 高く         | 3 0          |
| 4 1       | 5 10         | 6 水          |
| 7 酸素      | 8 水素         | 9 酸素ラジカル     |
| 10 OHラジカル | 11 生体高分子ラジカル | 12 有機過酸化ラジカル |

<Gの解答群>

- |       |       |         |
|-------|-------|---------|
| 1 RNA | 2 DNA | 3 タンパク質 |
|-------|-------|---------|

<Hの解答群>

- |        |          |          |
|--------|----------|----------|
| 1 アラニン | 2 グルタチオン | 3 グルタミン酸 |
|--------|----------|----------|

<Iの解答群>

- |       |       |                     |
|-------|-------|---------------------|
| 1 OH基 | 2 SH基 | 3 NH <sub>2</sub> 基 |
|-------|-------|---------------------|

<Jの解答群>

- |     |      |      |
|-----|------|------|
| 1 水 | 2 酸素 | 3 水素 |
|-----|------|------|

<K～Mの解答群>

- |             |                         |                         |
|-------------|-------------------------|-------------------------|
| 1 塩基除去修復    | 2 ヌクレオチド除去修復            | 3 相同組換え修復               |
| 4 非相同末端結合修復 | 5 G <sub>1</sub> 期～S期前半 | 6 S期後半～G <sub>2</sub> 期 |
| 7 M期        |                         |                         |

II 酸素効果は、放射線治療の効果を左右する重要な因子である。がん細胞は増殖が速いため、腫瘍には、酸素濃度が周囲の領域と異なっている領域がある。そのため、腫瘍内には、正常組織の酸素分圧  mmHg と異なる酸素分圧に慢性的におかれている細胞が存在する。この細胞は正常組織に比べ放射線  で、放射線治療効果が  要因の一つと考えられている。このことから放射線治療においては、酸素分圧の  環境下の細胞に対し放射線増感効果を示し、酸素分圧の  環境下の細胞には放射線増感効果を示さない薬剤が求められている。

<N～Rの解答群>

- |        |         |          |           |
|--------|---------|----------|-----------|
| 1 5～10 | 2 10～20 | 3 20～100 | 4 100～150 |
| 5 低感受性 | 6 高感受性  | 7 高い     | 8 低い      |

