

令和 3 年度

第 2 種放射線取扱主任者試験

問題と解答例

物理学 化学 生物学

解答例は公益社団法人日本アイソトープ協会放射線安全取扱部会が解答の一案として作成したものです。

次の問1から問10について、5つの選択肢のうち適切な答えを1つだけ選び、また、問11の文章の□の部分について、解答群の選択肢のうち最も適切な答えを1つだけ選び、注意事項に従って解答用紙に記入せよ。

問1 X・ γ 線に関する次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A X線と γ 線とは、その波長によって区分される。
- B X・ γ 線の波長は、可視光よりも短い。
- C X・ γ 線は、質量をもたない。
- D X・ γ 線は、運動量をもたない。

1 AとB 2 AとC 3 BとC 4 BとD 5 CとD

〔解答〕3

〔解説〕

- A：誤 X線と γ 線は、その波長でなく発生機構によって区分される。
- B：正 可視光の波長は約360～800nm、X・ γ 線の波長は約10nm以下である。
- C：正 X・ γ 線(光子)を含む電磁波は、質量を持たない。
- D：誤 プランク定数を h 、X・ γ 線の波長を λ とすると、その運動量 p は $p=h/\lambda$ で表される。

問2 原子核に関する次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A 原子核は正の電荷を帯びている。
- B 核子同士は核力で結合している。
- C 原子核の直径は 10^{-12} m程度である。
- D 核子1個当たりの結合エネルギーが最も大きいのは安定な原子核では質量数が120の原子核である。

1 ACDのみ 2 ABのみ 3 BCのみ 4 Dのみ 5 ABCDすべて

〔解答〕2

〔解説〕

- A：正 原子核は、正の電荷を持つ陽子と電荷を持たない中性子からなる。
- B：正 陽子及び中性子、すなわち核子同士は、核力で結合している。
- C：誤 原子核の直径は $10^{-15} \sim 10^{-14}$ mである。
- D：誤 核子1個あたりの結合エネルギーが最も大きいのは安定な原子核では質量数が約60の原子核である。

問3 $^{56}_{26}\text{Fe}$ の核子当たりの結合エネルギー[MeV]として、最も近い値は次のうちどれか。ただし、 $^{56}_{26}\text{Fe}$ の原子、陽子、中性子および電子の質量を、それぞれ55.9349 u、1.0073 u、1.0087 u、

および 0.0006 u とする。また、 $1\text{ u}=932\text{ MeV}$ とする。

1 8.2 2 8.5 3 8.8 4 9.1 5 9.4

〔解答〕 3

〔解説〕 ^{56}Fe 原子 1 個あたりの核子の結合エネルギーは、 ^{56}Fe の質量欠損 ΔM 、すなわち ^{56}Fe の陽子 26 個、中性子 30 個および電子 26 個質量の和から ^{56}Fe 原子 1 個の質量を引いた値をエネルギー E に換算したものであることから、

$$\Delta M = (1.0073\text{ u} \times 26 + 1.0087\text{ u} \times 30 + 0.0006\text{ u} \times 26) - 55.9349\text{ u} = 0.5315\text{ u}$$

$$E = 0.5315\text{ u} \times 932\text{ MeV} = 495.358\text{ MeV}$$

^{56}Fe 原子中の核子は 56 個あるので、核子あたりの結合エネルギーは

$$495.358\text{ MeV} \div 56 = 8.8456\cdots \div 8.8\text{ MeV}$$

問4 次のうち、質量数が変化しない壊変として、正しいものの組合せはどれか。

- A α 壊変
- B β^- 壊変
- C β^+ 壊変
- D 軌道電子捕獲

1 ABC のみ 2 AB のみ 3 AD のみ 4 CD のみ 5 BCD のみ

〔解答〕 5

〔解説〕

A：誤 α 壊変は、 ^4He を放出し、質量数が 4 減少する壊変である。

B：正 β^- 壊変は、原子核中の中性子が陽子、電子、反ニュートリノに変わり、生成した電子が β^- 線として放出される壊変であるが、原子中にある核子の数は不変であるので質量数は変化しない。

C：正 β^+ 壊変は、原子核中の陽子が中性子、陽電子、ニュートリノに変わり、生成した陽電子が β^+ 線として放出される壊変であるが、原子中にある核子の総数は不変であるので質量数は変化しない。

D：正 軌道電子捕獲は、原子核中の陽子が軌道電子を捕獲し中性子に変わる壊変であり、この壊変に伴って蛍光 X 線あるいはオージェ電子を放出する。しかし、原子中にある核子の総数は不変であるので質量数は変化しない。

問5 次の A～C の放射線について、水中における LET の値が小さい順に並んでいるものはどれか。

- A 0.1 MeV の電子
- B 10 MeV の α 粒子
- C 10 MeV の陽子

- 1 $A < B < C$
- 2 $A < C < B$
- 3 $B < A < C$
- 4 $C < B < A$
- 5 $C < A < B$

〔解答〕 2

〔解説〕 放射線が物質中を通過する際、飛程の単位長さあたりに平均して失うエネルギーを LET (Linear Energy Transfer) という。LET は放射線の種類により異なり、電子や X 線・ γ 線で小さく、陽子、重イオン、中性子線などで大きい。また、同じエネルギーの重荷電粒子の場合、粒子の電荷が大きいほど短い飛程の間に物質と多く相互作用し、自らの持つエネルギーを物質に与えるので、陽子線より α 線の方が LET は大きい。

したがって、LET は

0.1MeV の電子 < 10MeV の陽子 < 10MeV の α 粒子
となる。

問 6 次の現象に伴う光子のうち、連続エネルギー分布をもつものの組合せはどれか。

- A 核異性体転移
 - B 軌道電子捕獲
 - C 光電効果
 - D 高エネルギー β 線の減速
- 1 ACD のみ 2 AB のみ 3 BC のみ 4 D のみ 5 ABCD すべて

〔解答〕 4

〔解説〕

- A：誤 原子核のエネルギー準位が高いものから低いものに遷移するときに発生する光子で、エネルギーは γ 線と同様に、単色のエネルギーである。
- B：誤 軌道電子が原子核に捕獲されると電子軌道に空席が生じ、よりエネルギーの高い電子軌道の電子により空席が埋められる。このとき、特性 X 線あるいはオージェ電子が発生するが、このうち光子は特性 X 線である。特性 X 線のエネルギーは、電子軌道の結合エネルギーの差分となり、単色のエネルギーである。
- C：誤 光電効果に伴う光子は、入射 γ 線のエネルギーから軌道電子の結合エネルギーを差し引いた特性 X 線であり、単色のエネルギーである。
- D：正 運動エネルギーを持つ β 線が原子核の近くを通る際、原子核からのクーロン力により制動を受け、エネルギーの一部が光子に変換され、制動 X 線を放出する。制動の受け方は様々なので、連続エネルギー分布となる。

問7 高純度 Ge 半導体検出器を用いたガンマ線スペクトル測定に関する次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。ただし、入射 γ 線のエネルギーは Ge の K 吸収端より高いとする。

- A 光電効果では、入射 γ 線は全エネルギーを Ge 原子の軌道電子に与えて光電子を生成する。
- B 光電効果の確率(全ての軌道電子を含む)は入射 γ 線エネルギーのほぼ-5 乗に比例する。
- C X線エスケープピークは、入射 γ 線のエネルギーが低いほど観測されやすい。
- D コンプトン端は、入射 γ 線の散乱角が 90° のときのコンプトン電子のエネルギーに相当する。
- E Ge では 100 keV 未満のエネルギーの γ 線においてコンプトン散乱が主な相互作用となる。

1 AとC 2 AとD 3 BとC 4 BとE 5 DとE

〔解答〕 1

〔解説〕

A：正

B：誤 光電効果の原子断面積 τ は原子番号 Z と入射 γ 線のエネルギー E_γ に依存し、

$$\tau \propto Z^5 E_\gamma^{-3.5}$$

の関係を持つ。

従って、光電効果の確率は、原子番号の 5 乗、入射 γ 線の -3.5 乗に比例する。

C：正 エスケープピークの大きさは検出する X 線のエネルギーに依存し、半導体素子の K 吸収端の直上のエネルギーでは、光電吸収断面積が大きく光電吸収が素子の表面付近で起きやすくなるため、大きくなる。高エネルギーになると素子内部での吸収やコンプトン散乱による吸収が大きくなり、エスケープピークは目立たなくなる。

D：誤 コンプトン端は入射 γ 線が電子に最もエネルギーを与えたときの電子のエネルギーを示しており、入射 γ 線の散乱角が 180 度のときに最大となる。

E：誤 100keV 未満のエネルギーの γ 線においては光電効果が主な相互作用となる。

問8 中性子線源に関する次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A ^{241}Am -Be 線源から放出される中性子のエネルギーは線スペクトルを示す。
- B ^{252}Cf 線源から放出される中性子のエネルギーは連続スペクトルを示す。
- C 3 年間の使用における ^{241}Am -Be 線源の強度の減衰は 1%未満である。
- D 3 年間の使用における ^{252}Cf 線源の強度の減衰は 1%未満である。

1 AとB 2 AとC 3 BとC 4 BとD 5 CとD

〔解答〕 3

〔解説〕

- A: 誤 ^{241}Am -Be 線源は(α, n)反応を用いた中性子線源($^9\text{Be} + \alpha \rightarrow ^{12}\text{C} + n$)。得られる中性子のエネルギースペクトルは MeV 領域にいくつかのピークを持つ連続スペクトル分布となる(平均エネルギーは 4.5 MeV 付近)。
- B: 正 ^{252}Cf は 96.9% が α 崩壊し、3.1% が自発核分裂をする。自発核分裂により 1g あたり毎秒 2.3×10^{12} 個の中性子を放出する。放出される中性子のエネルギーのスペクトルはマクスウェル分布に従う連続スペクトル。
- C: 正 ^{241}Am の半減期は 458 年。3 年後はほぼ減衰していない。
- D: 誤 ^{252}Cf の半減期は 2.65 年。3 年後は半分以下に減衰。

問9 次の量と単位の関係のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A カーマ — $\text{C} \cdot \text{kg}^{-1}$
B 線減弱計数 — m^{-1}
C 相互作用断面積 — m^2
D 質量阻止能 — $\text{J} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$
E 粒子フルエンス — $\text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$

- 1 ABE のみ 2 ACD のみ 3 ADE のみ 4 BCD のみ 5 BCE のみ

〔解答〕 4

〔解説〕

- A: 誤 カーマとは、物質中で非荷電粒子によって生成された全ての荷電粒子の単位質量あたりの運動エネルギーの総和で単位は $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$
- B: 正 線減弱係数とは、放射線の物質中での単位長さ当たりの減弱係数をいい単位は m^{-1}
- C: 正 相互作用断面積とは、ある特定の相互作用を起こす確率をいい、単位は m^2 、特別な単位は b バーンである。
- D: 正 質量阻止能とは、荷電粒子が物質中で失うエネルギーの損失分であり、飛程の単位長さ当たりに損失するエネルギーを物質の密度で割った量である。単位は、 $\text{J} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$ である。
- E: 誤 粒子フルエンスとは単位面積当たりの入射粒子数であり、単位は m^{-2}

問10 計数時間を X 倍にしたところ、計数率の標準偏差はおおよそ 0.58 倍になった。 X に最も近い値は、次のうちどれか。ただし、線源強度の減衰は無視できるものとする。

- 1 2.0 2 3.0 3 4.0 4 5.0 5 6.0

〔解答〕 2

〔解説〕 測定時間 t の測定値が N の時、標準偏差 σ_n は、 $\sqrt{N}/t$ で表される。今、測定時間を X 倍にしたとき測定値も NX となるため、 $\sqrt{NX}/Xt = 1/\sqrt{X} \sigma_n = 0.58 \times \sigma_n$ となる。整理すると $1/\sqrt{X} = 0.58$ よって $X = 1/0.58^2 = 2.97$ となる。一番近い値は 3

問 11 放射線と物質との相互作用に関する次の I、II の文章の の部分について、解答群の選択肢のうち最も適切な答えを 1 つだけ選べ。

I 宇宙飛行士が宇宙に滞在中に、暗闇の中でも光を感じたという報告がある。その原因として、放射線による視神経への物理的作用や、ラジカルによる化学的作用の可能性が提案されているが、未解明である。一方、これと似たような報告が、光子の外部照射による放射線治療を受けた患者から聞かれることがあり、その色が可視光としては波長の短い ア 色であったことから、チェレンコフ光の可能性を考えてみた。

真空中での光の速度 c は $3.00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ であり、屈折率 n の媒質中での光の速度は c/n である。チェレンコフ光は、媒質中において荷電粒子の速度 v が媒質中における光の速度を上回るときに発生するので、媒質が眼球の硝子体（屈折率 $n=1.33$ ）であれば、荷電粒子の速度が $v > \text{A} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ のときにチェレンコフ光が発生する。

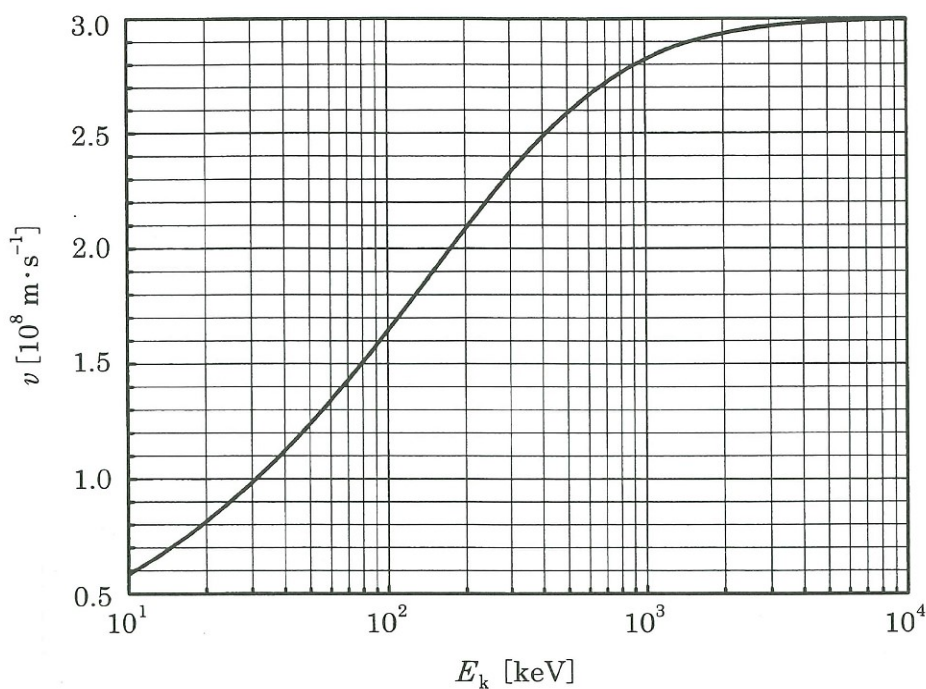
次に、光子との相互作用により硝子体中で生成する二次電子(質量 m_e)について、その速度 v と運動エネルギー E_k の関係を考える。両者の関係は イ に基づいて、

$$E_k = \frac{m_e c^2}{\sqrt{\text{ウ}}} - m_e c^2 \quad (1)$$

である。これを v について解くと

$$v = c \sqrt{1 - \left(\frac{m_e c^2}{m_e c^2 + E_k} \right)^2} \quad (2)$$

である。ただし、(1)、(2)式中の $m_e c^2 = \text{B} \text{ MeV}$ である。(2)式をグラフで示した図 1 より読み取ると、硝子体中で二次電子が $v > \text{A} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ を満たしてチェレンコフ光が発生する必要条件は、 $E_k > \text{C} \text{ keV}$ である。

図1 電子の運動エネルギー E_k と速度 v の関係(片対数表示)

<ア～ウの解答群>

- | | | | |
|------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| 1 赤 | 2 黄 | 3 緑 | 4 青 |
| 5 量子電磁気学 | 6 統計熱力学 | 7 特殊相対論 | 8 弦理論 |
| 9 $1 + \left(\frac{v}{c}\right)^2$ | 10 $1 + \left(\frac{c}{v}\right)^2$ | 11 $1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2$ | 12 $1 - \left(\frac{c}{v}\right)^2$ |

<A～Cの解答群>

- | | | | | |
|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 1 1.33×10^8 | 2 2.26×10^8 | 3 3.00×10^8 | 4 3.33×10^8 | 5 4.00×10^8 |
| 6 0.51 | 7 1.02 | 8 2.04 | 9 4.08 | 10 110 |
| 11 160 | 12 210 | 13 270 | 14 330 | 15 390 |

〔解答〕I ア-4 イ-7 ウ-11 A-2 B-6 C-13

〔解説〕チェレンコフ光とは、屈折率 n の物体を通過する荷電粒子の速度 v が物質中における光速度 c/n より大きい場合に放射する可視線あるいは紫外線のことで、可視光の場合一般的に波長の短い青色となる。

チェレンコフ光は、入射する放射線が光子の場合、硝子体中の物質との相互作用で生じた二次電子の速度が c/n を超える場合に生じる可能性がある。

ここで、硝子体中で生成する荷電粒子(二次電子)の硝子体中光速度は、

$$\frac{3.0010^8}{1.33} = 2.26 \times 10^8 \text{ (m/s)}$$

である。

さて、特殊相対論では、速度とエネルギーの関係性は

$$E = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} - mc^2$$

となる。したがって、硝子体中で生成する質量 m_e の二次電子における速度 v と運動エネルギー E_k の関係は、問題中の式 (1) のとおりとなる。

ここで、電子の静止エネルギー $m_e c^2$ は 0.51 MeV であるから、この値及び硝子体中の二次電子の速度 $2.26 \times 10^8 (\text{m/s})$ を式 (1) に代入して、

$$E_k = \frac{0.51}{\sqrt{1 - \left(\frac{2.26 \times 10^8}{3.00 \times 10^8}\right)^2}} - 0.51 = 0.265 \dots \approx 0.27$$

となる。

したがって、チェレンコフ光発生の必要条件は

$$E_k > 0.27 (\text{MeV}) \text{ すなわち } E_k > 270 (\text{keV})$$

である。

II 次に、入射光子のエネルギー E_γ と二次電子の運動エネルギー E_k の関係を考える。光子と物質との相互作用が エ の場合には $E_k \approx E_\gamma$ である。しかし硝子体の組成の原子番号は概して低い
ため、放射線治療に用いられるエネルギーの光子では エ は相対的に起こりにくい。このとき、二次電子を発生させる主な相互作用の1つは オ であり、そのエネルギーの関係は $E_k < E_\gamma$ である。

オ のとき E_k は連続スペクトルを示すが、その最大エネルギーを E_k^{max} とすると、これは入射光子の散乱角が $\theta = \text{D }^\circ$ のときに生じ、

$$E_k^{\text{max}}(E_\gamma) = E_\gamma - \frac{E_\gamma}{1 + \frac{E_\gamma}{m_e c^2} (1 - \cos \theta)} \bigg|_{\theta = \text{D }^\circ} = \frac{2E_\gamma}{2 + \frac{m_e c^2}{E_\gamma}} \quad (3)$$

である。(3)式をグラフで図2に示す。

図2より、 E_k^{max} の二次電子がIで求めた条件 ($E_k > \text{C keV}$) を満たしてチェレンコフ光を発生するためには、入射光子のエネルギーの必要条件は $E_\gamma > \text{E keV}$ である。放射線治療に用いられる光子は一般的にこの条件を十分に満たしている。以上の考察より、患者が治療中に感じたとされる ア 色の光の原因は、チェレンコフ光であった可能性が考えられる。

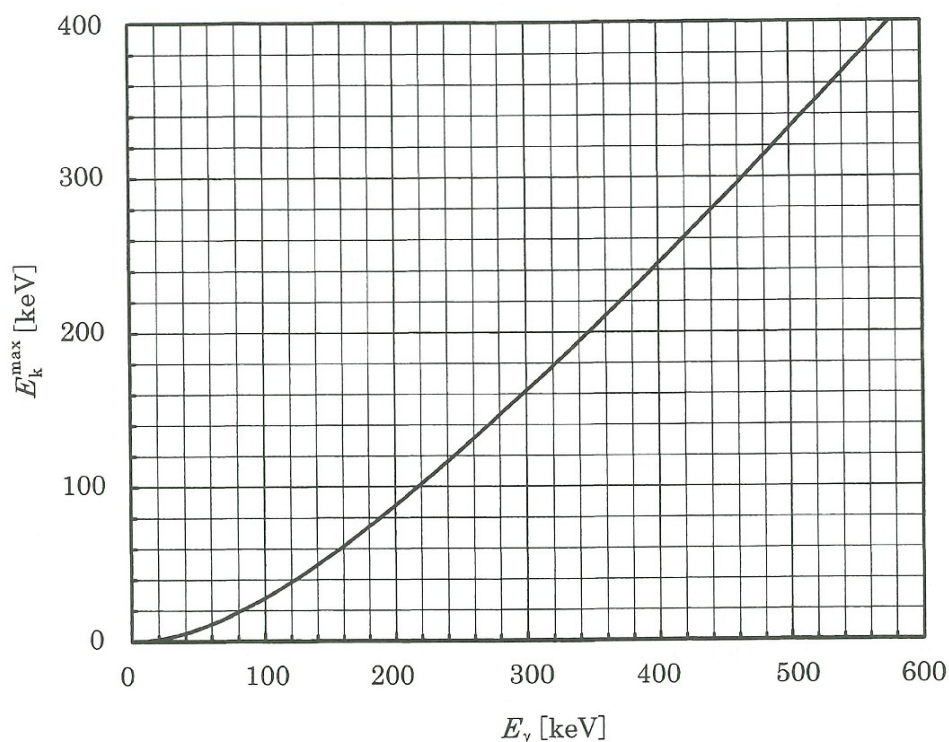


図2 入射光子エネルギー E_γ と[オ]で生じる二次電子の最大運動エネルギー E_k^{max} の関係

<エ、オの解答群>

- | | | | |
|-----------|----------|---------|-----------|
| 1 コンプトン散乱 | 2 レイリー散乱 | 3 ラマン散乱 | 4 量子ホール効果 |
| 5 光電効果 | 6 トンネル効果 | 7 光核反応 | 8 放射線分解 |

<D、Eの解答群>

- | | | | | |
|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1 0 | 2 30 | 3 45 | 4 60 | 5 90 |
| 6 120 | 7 135 | 8 150 | 9 180 | 10 230 |
| 11 280 | 12 330 | 13 380 | 14 430 | 15 480 |

〔解答〕Ⅱ エー5 オー1 Dー9 Eー14

〔解説〕入射光子のエネルギー E_γ と二次電子の運動エネルギー E_k が等しいとき、入射した光子と物質との相互作用は光電効果によるものである。光電効果は、原子番号が大きな物質と相互作用した場合に起こりやすく、硝子体など原子番号が小さな物質ではコンプトン散乱が優勢となり、そのとき $E_k < E_\gamma$ である。コンプトン散乱により散乱される電子が最大エネルギーとなるのは入射方向に電子が散乱される場合、すなわち散乱角 $\theta = 180^\circ$ の場合である。ここで問題中図2より、 $E_k = 270\text{keV}$ のとき $E_\gamma = 430\text{keV}$ であるから、チェレンコフ光発生に必要な入射光子のエネルギー条件は $E_\gamma > 430\text{keV}$ である。放射線治療に用いるX線あるいは γ 線のエネルギーは一般的に 1MeV 以上であるので、硝子体におけるチェレンコフ光発生の条件を十分満たしている。

次の問1から問10について、5つの選択肢のうち適切な答えを1つだけ選び、また、問11の文章の□の部分について、解答群の選択肢のうち最も適切な答えを1つだけ選び、注意事項に従って解答用紙に記入せよ。

問1 放射性核種の壊変に関する次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A 半減期の10倍が経過したとき、その放射性核種の放射能は1/256に減衰する。
B 異なる放射性核種の放射能が同じとき、それぞれの核種の原子核数は半減期に比例する。
C 分岐壊変する放射性核種において、部分壊変定数 λ_A 、 λ_B と全壊変定数 λ_T とは次の関係にある。
$$1/\lambda_T = 1/\lambda_A + 1/\lambda_B$$

D 放射性核種を含む物質を容器に密封したとき、時間とともに容器内の放射能が増加する場合がある。

1 AとB 2 AとC 3 BとC 4 BとD 5 CとD

〔解答〕4

〔解説〕

A：誤 ある時点での放射能を A_0 [kBq]、ある時点から t 日経過後の放射能を A [kBq]、半減期を T [日] とすると、以下の式が成り立つ。

$$A = A_0 \times \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}}$$

半減期の10倍経過後なので、 $t=10T$ となり、 $(1/2)$ の10乗で1/1024に減衰する。

B：正 原子核数 N 、放射能 A 、壊変定数 λ 、半減期 T としたとき、以下の式が成り立つ。

$$A = \lambda N$$

$$N = A/\lambda = A \times T/\ln 2$$

原子核数は半減期に比例する。(問3の解説参照)

C：誤 $\lambda_T = \lambda_A + \lambda_B$ である。

D：正 壊変によって生成した核種が放射性核種である場合、生成した核種の半減期よりもその元の核種の半減期が長い場合に起こる。

問2 ^{60}Co γ 線源の放射能が製造時に10.0 MBqであったが、年数が経って現在は2.5 MBqに減衰した。製造時からの経過年数として、最も近い値は次のうちどれか。

1 2.5 2 5.0 3 8.0 4 11 5 15

〔解答〕4

〔解説〕この線源の製造時の放射能を A_0 [Bq]、 t 年後の放射能を A [Bq]、半減期を T [年] とすると、以下の関係が成り立つ。

$$A = A_0 \times \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}} \quad A_0=10.0\text{M[Bq]}, A=2.5\text{M[Bq]} \text{ を代入し、}$$

$$2.5\text{M} = 10.0\text{M} \times \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}}$$

$$\left(\frac{1}{4}\right) = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}}$$

放射能 A が製造時 A_0 の 4 分の 1 に減衰したので、上式の $(t/T) = 2$ となり、半減期の 2 倍が経過したと考えられる。 ^{60}Co の半減期は 5.27 年なので、その 2 倍で 10.54 年となり、選択肢で最も近いのは 4 番である。

問3 H_2^{15}O を含む水がある。ある瞬間の放射能が 100 MBq とすると、そのときの H_2^{15}O の質量 [g] に最も近い値は次のうちどれか。ただし、 ^{15}O の半減期を 120 s、アボガドロ定数を $6 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ 、および $\ln 2 = 0.7$ とする。

- 1 5×10^{-17} 2 5×10^{-15} 3 5×10^{-13} 4 5×10^{-11} 5 5×10^{-9}

〔解答〕 3

〔解説〕 最初に原子数 N を求める。放射能 $A[\text{Bq}]$ と壊変定数 λ と原子数 N の関係 $A = \lambda N$ から、
 $N = A / \lambda \quad \dots \textcircled{1}$ である。

半減期を $T[\text{s}]$ と表す時、 $\lambda = \ln 2 / T$ なので、これを①に代入して、

$$N = A \times T / \ln 2 \quad \dots \textcircled{2} \text{ である。}$$

H_2^{15}O の分子量 M は、 $(1+1+15)[\text{g/mol}]$ である。求める質量を $w[\text{g}]$ 、アボガドロ定数を N_A で表すと、

$$w[\text{g}] = N / N_A [\text{mol}] \times M[\text{g/mol}]$$

この式に②を代入して、

$$w = A \times T / (\ln 2 \times N_A) \times M$$

この式に、それぞれの値を入れると

$$\begin{aligned} w &= [(100 \times 10^6) \times 120 / (0.7 \times 6.0 \times 10^{23})] \times 17 \\ &= (10/7) \times 10^8 \times 20 \times 10^{-23} \times 17 \\ &= (3400/7) \times 10^{-15} \\ &\doteq (500) \times 10^{-15} = 5 \times 10^{-13} \end{aligned}$$

問4 トリウム系列に関する次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A 系列の始まりは ^{228}Th である。
 B ^{220}Rn (トロン)を含む。
 C ^{210}Po を含む。
 D 系列の終わりは ^{208}Pb である。

- 1 AとB 2 AとC 3 AとD 4 BとC 5 BとD

〔解答〕 5

〔解説〕

A：誤 トリウム系列の始まりは ^{232}Th である。

B：正

C：誤 ^{210}Po はウラン系列に存在する核種である。

D：正

トリウム系列は ^{232}Th から始まり、6 回の α 壊変と、4 回の β 壊変を経て、安定同位元素の ^{208}Pb で終わる。以下、壊変系列図を示す。

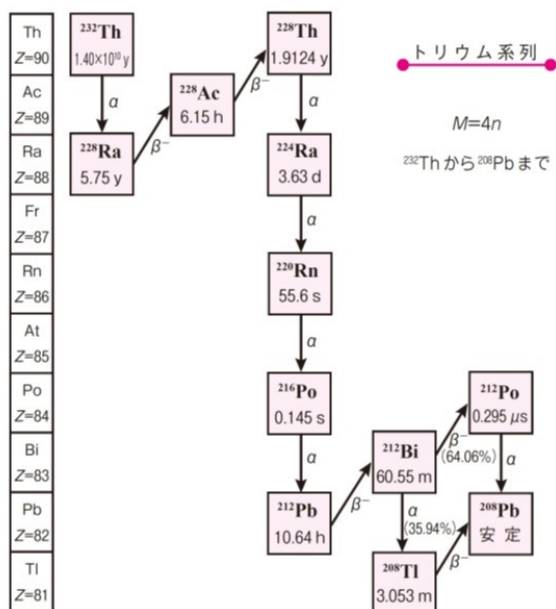


図 2.1 放射性壊変系列 (a) トリウム系列
半減期と壊変の分岐比は「アイソトープ手帳 12 版」
(JRIA) による。m は min を表す。

(9 版 放射線取扱の基礎－第 1 種放射線取扱主任者試験の要点 (日本アイソトープ協会) より)

問 5 2 つの核種の関係のうち、放射平衡が成り立つものの組合せは次のうちどれか。

- A ^{90}Sr — ^{90}Y
 B $^{99\text{m}}\text{Tc}$ — ^{99}Tc
 C ^{137}Cs — $^{137\text{m}}\text{Ba}$
 D ^{239}Pu — ^{235}U

- 1 AとB 2 AとC 3 AとD 4 BとC 5 BとD

〔解答〕 2

〔解説〕

- A : 正 $^{90}\text{Sr} \rightarrow ^{90}\text{Y} \rightarrow ^{90}\text{Zr}$ の壊変をたどる。 ^{90}Sr の半減期は 28.78 年、 ^{90}Y の半減期は 64.1 時間であり、娘核種の半減期が親核種に比べて著しく短いため、永続平衡となる。
- B : 誤 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ は原子核が基底状態よりエネルギーが高い準安定状態であり、そのエネルギーを γ 線として放出して ^{99}Tc となる。
- C : 正 $^{137}\text{Cs} \rightarrow ^{137\text{m}}\text{Ba} \rightarrow ^{137}\text{Ba}$ の壊変をたどる。 ^{137}Cs の半減期は 30.07 年、 $^{137\text{m}}\text{Ba}$ の半減期は 2.55 分であり、娘核種の半減期が親核種に比べて著しく短いため、永続平衡となる。
- D : 誤 ^{239}Pu の半減期は約 2.4 万年、 ^{235}U の半減期は約 7 億 400 万年であり、娘核種の半減期が親核種の半減期より長い。よって放射平衡は成り立たない。

問6 次のうち、放射性核種のみの組合せはどれか。

- | | | | |
|---|-----------------|------------------|------------------|
| 1 | ^3H | ^{22}Na | ^{24}Na |
| 2 | ^6Li | ^{20}Ne | ^{22}Ne |
| 3 | ^7Be | ^{18}F | ^{19}F |
| 4 | ^{10}B | ^{15}O | ^{18}O |
| 5 | ^{11}C | ^{13}N | ^{15}N |

〔解答〕 1

〔解説〕

- 1 : 正 ^3H (12.3 年)、 ^{22}Na (2.6 年)、 ^{24}Na (15 時間) は放射性核種である。
- 2 : 誤 ^6Li 、 ^{20}Ne 、 ^{22}Ne は安定核種である。
- 3 : 誤 ^{19}F は安定核種、 ^7Be (53 日)、 ^{18}F (120 分) は放射性核種である。
- 4 : 誤 ^{10}B 、 ^{18}O は安定核種、 ^{15}O (2 分) は放射性核種である。
- 5 : 誤 ^{15}N は安定核種、 ^{11}C (20 分)、 ^{13}N (10 分) は放射性核種である。

* 括弧内は半減期

問7 A～D の核種について、放出割合の最も高い β 線の最大エネルギーが低い方から順に並んでいるものは、次のうちどれか。

- A ^{14}C
- B ^{85}Kr
- C ^{90}Y
- D ^{147}Pm
- | | |
|---|---------|
| 1 | A<B<C<D |
| 2 | A<D<B<C |
| 3 | B<D<A<C |
| 4 | B<C<D<A |
| 5 | C<A<D<B |

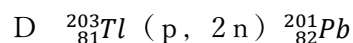
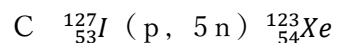
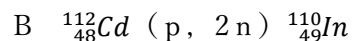
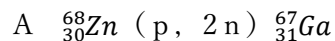
〔解答〕 2

〔解説〕 各核種の放出割合の最も高いベータ線の最大エネルギー値。() 内は放出割合

^{14}C : 0.156 MeV (100%)、 ^{85}Kr : 0.687 MeV (99.6%)、 ^{90}Y : 2.280 MeV (100%)、

^{147}Pm : 0.224 MeV (100%)

問8 次の核反応式のうち、正しいものの組合せはどれか。



1 AとB 2 AとC 3 AとD 4 BとC 5 BとD

〔解答〕 2

〔解説〕 質量数は陽子数と中性子数の和、原子番号は陽子数。

A : 正

B : 誤 核反応後の質量数は $112+1-2 = 111$

C : 正

D : 誤 核反応後の質量数は $203+1-2 = 202$

問9 陽電子を放出する核種として、正しいものの組合せは次のうちどれか。

A ^{11}C

B ^{15}O

C ^{18}F

D ^{67}Ga

E $^{99\text{m}}\text{Tc}$

1 ABCのみ 2 ABDのみ 3 ACEのみ 4 BDEのみ 5 CDEのみ

〔解答〕 1

〔解説〕 現在、医療では主に4種のポジトロン核種 (^{11}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O 、 ^{18}F) が臨床利用されている。

また、 ^{67}Ga と $^{99\text{m}}\text{Tc}$ は放出 γ 線を利用したシンチグラフィに用いられている。

A : 正 半減期 約20分

B : 正 半減期 約2分

C : 正 半減期 約110分

D : 誤 半減期 約3.26日

E : 誤 半減期 約6時間

問10 G値に関する次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A 吸収エネルギー100 eV 当たりに変化または生成する化学種の数である。
B 水の放射線分解生成物の G 値は放射線の LET によって変化しない。
C 水への X・ γ 線照射によるラジカル生成のうち、 $\cdot\text{OH}$ の G 値は、 $\cdot\text{H}$ の G 値よりも大きい。
D フリッケ線量計で利用される酸化反応($\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+}$)の G 値は、溶存酸素の有無に依存する。

1 ACD のみ 2 AB のみ 3 AC のみ 4 BD のみ 5 BCD のみ

〔解答〕1

〔解説〕

A：正 G 値とは、吸収エネルギー100 eV 当たりに生成あるいは変換される分子数のこと

B：誤 線量率や LET の影響を受ける。

C：正 γ (X)線照射時の水の放射線分解で生じる化学種の G 値は、 $G(\text{OH}\cdot) = 2.82$ 、 $G(\text{H}\cdot) = 0.57$ である (単位は、個/100 eV) *。よって、 $G(\text{OH}\cdot) > G(\text{H}\cdot)$

D：正 照射により生成した $\text{H}\cdot$ ラジカルが酸素と反応するため、線量が大きくなると溶存酸素の減少により収量が低下する。

*勝村康介【連載】放射線化学事始め *Isotope News* No.746 (8月号) 48-49, 2016

室屋裕佐 最新放射科学(基礎編) 5. 水と水溶液の放射化学 *Radioisotopes*, 66, 425-435, 2017

問11 次の I、II の文章の□の部分について、解答群の選択肢のうち最も適切な答えを1つだけ選べ。

I ある核種が放射線を放出して別の核種に変わる現象を放射性壊変と呼ぶ。放射性壊変で生じた核種は基底状態になるとは限らず、励起状態になることがある。励起状態の寿命は通常、非常に短い。その一例を挙げると、 ^{60}Co から□A□が放出され、引き続き、2本の□B□が放出され、基底状態の安定な ^{60}Ni となる。一方、放射性壊変で生成した原子核の励起状態が長く続く場合は、原子核がその励起状態からより低いエネルギー準位の状態あるいは基底状態に転移することがあり、これを核異性体転移という。一般に、核異性体転移においては□B□の放出と□C□の放出が競合する。

次に、質量数のもっと大きな原子核の放射性壊変の例を挙げてみる。 ^{238}U に始まる壊変系列では、□D□を放出する壊変を8回繰り返すだけでなく、 β -壊変などの壊変を複数回繰り返して行い、最終的に安定な ^{206}Pb となる。また、 ^{238}U は、□D□を放出する壊変180万回に対して、1回くらいの極めて低い頻度の□E□で壊変する。

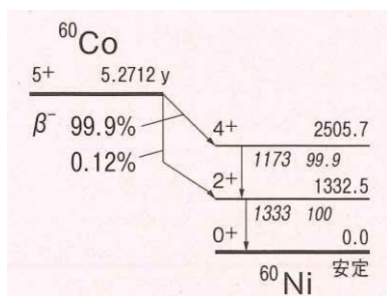
<A~E の解答群>

- | | | | |
|---------------|--------------|--------------|--------------|
| 1 X線 | 2 消滅放射線 | 3 α 線 | 4 β -線 |
| 5 β^+ 線 | 6 γ 線 | 7 δ 線 | 8 内部転換電子 |

- 9 コンプトン電子 10 二次電子 11 核破碎 12 誘導核分裂
13 自発核分裂

〔解答〕 I A-4 B-6 C-8 D-3 E-13

〔解説〕 ^{60}Co は、半減期 5.27 年で、99.88% は、壊変図にあるように 0.31 MeV の β 線を放出して、励起状態となる。さらに励起状態の Ni から 1.17 MeV と 1.33 MeV の γ 線を放出して安定化状態となる。ウラン系列の ^{238}U では、 α 線、 β 線を放出する壊変だけではなく、極めて低頻度の自発核分裂を起こす。



(9 版 放射線取扱の基礎－第1種放射線取扱主任者試験の要点 p27 (日本アイソトープ協会) より)

II Cs は K 、 Rb などとともに F に属する元素であり、また、 Cs には多くの種類の放射性同位体がある。その中の 1 つ ^{134}Cs が土壌などの環境試料に検出された場合、 ^{134}Cs は原子力発電所の事故に由来する可能性が高いと考えてよい。 ^{134}Cs は、核分裂収率は極めて小さいが、核分裂の結果として核燃料棒内で生じ蓄積された安定核種 G が、中性子に長時間照射されて、 (n, γ) 反応により生成すると考えられるからである。 ^{134}Cs が ^{137}Cs と混在する土壌試料において、放射能比 $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ は、両核種の半減期が異なることを考慮すると、時間とともに H。したがって、この放射能比からも土壌の放射能汚染が原子力発電所の事故に由来するか否かを判断できる。なお、両核種の放射能をよりよい精度で測定するのに最も適した放射線測定器は I である。

また、 ^{134}Cs と ^{137}Cs で土壌が汚染された場合、飲料水や農産物を通して生ずる内部被ばくの線量評価も重要となる。この場合、ある適切な将来の期間にわたり、摂取された放射性物質から受けると予測される総線量、すなわち、J 実効線量が評価される。

<F の解答群>

- 1 アルカリ金属 2 アルカリ土類金属 3 希土類
4 重金属

<G の解答群>

- 1 ^{131}Cs 2 ^{132}Cs 3 ^{133}Cs

<H の解答群>

- 1 増加する 2 減少する 3 変わらない

<Iの解答群>

1 Ge 検出器 2 比例計数管 3 GM 計数管 4 電離箱

<Jの解答群>

1 積算 2 蓄積 3 生涯 4 預託

〔解答〕 II F-1 G-3 H-2 I-1 J-4

〔解説〕 周期律表から Cs はアルカリ金属に属し、 ^{137}Cs 、 ^{134}Cs いずれもウランの核分裂に由来するものと考えられる。ウランの核分裂によって生成される核分裂収率は、 ^{137}Cs の方が ^{134}Cs より高く、生成されやすい。安定同位体の ^{133}Cs の (n, γ) 反応により ^{134}Cs 生じることもある。半減期は、それぞれ ^{134}Cs ; 2.06 年、 ^{137}Cs ; 30.2 年であることから、 ^{134}Cs の方が速く壊変するので $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ 存在比は時間とともに減少する。

壊変に伴う放出 γ 線はエネルギー準位が近接しているため、エネルギー分解能の高い Ge 検出器が適している。

内部被ばく線量評価は、預託実効線量で評価される。

次の問1から問10について、5つの選択肢のうち適切な答えを1つだけ選び、また、問11の文章の□の部分について、解答群の選択肢のうち最も適切な答えを1つだけ選び、注意事項に従って解答用紙に記入せよ。

問1 真核細胞に関する次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A 放射線の重要な標的分子はDNAと考えられる。
- B 染色体DNAは核に存在する。
- C DNAにはタンパク質をコードする領域(ヌクレオチド配列)は存在しない。
- D タンパク質は核の中で合成される。

1 AとB 2 AとC 3 AとD 4 BとC 5 BとD

〔解答〕1

〔解説〕

A：正 放射線は直接作用及び間接作用によってDNA損傷を引き起こす。

B：正 染色体DNAは核に存在し、DNAは細胞周期のS期に複製される。

C：誤 タンパク質は設計図であるDNAをもとに作られる。

D：誤 核内ではDNAからRNAへの転写が行われ、核外にある粗面小胞体に運ばれる。粗面小胞体のリボソーム上で、転写されたRNAの情報をアミノ酸配列に翻訳して、タンパク質が合成される。

問2 3Gyの γ 線全身急性被ばく後、最も早く減少傾向を示す末梢血球の成分は、次のうちどれか。

- 1 単球
- 2 リンパ球
- 3 好中球
- 4 血小板
- 5 赤血球

〔解答〕2

〔解説〕末梢リンパ球は分化した細胞であるが非常に放射線感受性が高い。リンパ球減少のしきい線量は0.5 Gyである。放射線被ばくによりアポトーシスを起こすため、被ばく後24時間で観察可能になる。

問3 次の放射線障害のうち、確率的影響に分類されるものとして、正しいものの組合せはどれか。

- A 放射線宿酔
- B 造血機能低下

- C 不妊
- D 固形がん
- E 白血病

1 AとB 2 AとC 3 BとD 4 CとE 5 DとE

〔解答〕5

〔解説〕確率的影響に分類されるのは、がん、白血病、遺伝性影響である。

問4 放射線の直接作用と間接作用に関する次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A 高 LET 放射線では低 LET 放射線に比べて DNA 損傷に対する間接作用の寄与が大きくなる。
- B 希釈効果は直接作用より間接作用で顕著に観察される。
- C 酸素効果は間接作用より直接作用で顕著に観察される。
- D 間接作用では、水の放射線分解により生成されたフリーラジカルを介して生体内標的分子に効果が生じる。

1 ACD のみ 2 AB のみ 3 AC のみ 4 BD のみ 5 BCD のみ

〔解答〕4

〔解説〕生物に対する放射線の影響は放射線と DNA 分子が相互作用する直接作用と、水との相互作用により生じたラジカルが DNA 損傷を起こす間接作用とがある。

- A：誤 高 LET 放射線では低 LET 放射線に比べて DNA 損傷に対する寄与は直接作用の方が大きくなる。
- B：正 水中の物質が放射線によって不活性化される場合に、その水中濃度が低くなるほど、不活性化される物質の割合が増加する効果を希釈効果といい、間接作用で顕著に観察される。
- C：誤 酸素中で物質を照射した方が無酸素中で照射するよりも放射線感受性が高くなる効果を酸素効果といい、間接作用で顕著に観察される。

D：正

問5 放射線による DNA 損傷に関する次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A 塩基損傷は2本鎖切断よりも高頻度で生成する。
- B 1本鎖切断は2本鎖切断よりも高頻度で生成する。
- C 1本鎖切断の主な修復経路は非相同末端結合と相同組換えである。
- D 複数の DNA 損傷が近接して生じたものを、DNA クラスター損傷という。

1 ABC のみ 2 ABD のみ 3 ACD のみ 4 BCD のみ 5 ABCD すべて

〔解答〕2

〔解説〕

A：正 X線 1mGy 当たりの損傷は1細胞につき塩基損傷 2.5 箇所、1本鎖切断 1 箇所、2本鎖切断 0.04 箇所といわれている。

(Morgan、米国放射線防護委員会 (NCRP) 年次総会 (第44回、2009))

B：正

C：誤 非相同末端結合とは損傷によって生じた2つの末端をつなぐ修復方法であり、相同組換え修復は自己の細胞で複製された姉妹染色分体を利用して修復を行う方法である。これらは2本鎖切断の主な修復経路である。

D：正

問6 放射線感受性に関する記述として、適切なものの組合せは次のうちどれか。

- A ベルゴニー・トリボンドーの法則は細胞や組織の放射線感受性に関わるものである。
- B 細胞が活発に分裂している組織は放射線感受性が高い。
- C 未分化の腫瘍細胞は分化の進んだ腫瘍細胞よりも放射線感受性が高い。
- D 成熟後細胞分裂が行われていない組織は放射線感受性が低い。

1 ABCのみ 2 ABDのみ 3 ACDのみ 4 BCDのみ 5 ABCDすべて

〔解答〕5

〔解説〕放射線が身体に及ぼす影響は体の組織や臓器によって異なる。放射線に対する感受性は

- ①細胞分裂の頻度が高い組織ほど感受性が高い
- ②将来行う細胞分裂の数が多い組織ほど感受性が高い
- ③形態・機能が未分化な細胞ほど感受性が高い

と言われており、この法則をベルゴニー・トリボンドーの法則という。

分裂が盛んな血液や骨髄などの造血器、皮膚、消化管粘膜などの組織は放射線感受性が高く、分化が終わっている筋肉組織や神経組織は放射線感受性が低い。

問7 不安定型の染色体異常として、正しいものの組合せは次のうちどれか。

- A 二動原体染色体
- B 転座
- C 環状染色体
- D 逆位

1 AとB 2 AとC 3 BとC 4 BとD 5 CとD

〔解答〕2

〔解説〕安定型染色体異常の転座や逆位では、染色体全体の形としては異常がないため、正常な染色体を有する細胞の場合と同様に細胞分裂過程で倍加した姉妹染色分体が娘細胞へと分配される。その結果、染色体異常を有する細胞が体内で長期間増殖し続けることになる。一方、

不安定型染色体異常の二動原体染色体や環状染色体、断片の場合は、構造が異常であるために細胞分裂の過程で染色分体を分配ができない。よって、不安定型染色体異常を有する細胞は、時間経過に伴って次第に消失して行く。

問 8 細胞に対する放射線の致死作用の修飾要因に関する次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A ラジカルスカベンジャーが働くと放射線の致死作用は軽減される。
- B 放射線防護剤として、SH 基をもつ化合物が使用されている。
- C 温熱による放射線の増感効果はがん治療に応用されている。
- D 酸素分圧が増加すると放射線による致死効果は低下する。

1 ABC のみ 2 ABD のみ 3 ACD のみ 4 BCD のみ 5 ABCD すべて

〔解答〕 1

〔解説〕

- A：正 ラジカルスカベンジャーによりラジカルが消去されれば、その分間接作用が軽減される。
- B：正 システインなどの SH 化合物は、OH $\cdot$ や H₂O₂といったラジカル類と反応する。その結果、ラジカルの DNA などの生体高分子への結合を阻害できる。
- C：正 温熱療法と放射線治療を併用したがん治療はハイパーサーミアとよばれる。40 数度に加温することで、温熱療法そのものの効果に加えて、放射線による障害の回復の阻害が起こると考えられている。
- D：誤 照射により生じるラジカル類は酸素と反応し、生体分子に影響を及ぼす。よって、酸素分圧が高いほど放射線感受性は高くなる（酸素効果）。

問 9 胎内被ばくに関する次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A 奇形は、器官形成期の被ばくで起きる。
- B 新生児死亡は、着床前期の被ばくで起きる。
- C 精神遅滞は、受精後 26 週以降の被ばくで起きる。
- D 胎生期のどの時期の被ばくでも発がんのリスクがある。

1 A と B 2 A と C 3 A と D 4 B と C 5 B と D

〔解答〕 3

〔解説〕 妊娠期間は、受精から受精後 2 週間までを着床前期、2 週から 8 週までが器官形成期、8 週から出生（40 週）までが胎児期と呼ばれる。これら妊娠のステージによって放射線の影響が異なる。

- A：正 器官形成期における被ばくでは、小頭症、無脳症、四肢異常などの形態的影響、いわゆる奇形となる。しきい線量は 100 mGy と推定されている。

- B：誤 着床前期のしきい線量 100 mGy 以上の被ばくでは胚死亡し、気づかれないまま流産となるケースが多く、新生児誕生（死産）まで妊娠は継続されない。
- C：誤 胎児期では特に 15 週までの期間の被ばくで、精神発達遅滞が生じる可能性がある。
- D：正 妊娠のどの時期であっても癌関連遺伝子変異が起こる可能性があるので、リスクはある。

問 10 放射線のヒトへの影響に関する次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A 中枢神経の損傷による^{けいれん}痙攣は身体的影響である。
- B 胎児が被ばくして生じる奇形は遺伝性(的)影響である。
- C 生殖腺の細胞死で起きる不妊は遺伝性(的)影響である。
- D 悪性腫瘍の発生は身体的影響である。
- 1 A と B 2 A と C 3 A と D 4 B と C 5 B と D

〔解答〕 3

〔解説〕

- A：正 放射線による中枢神経系の被ばくは、身体的影響である。
- B：誤 胎児の被ばくは、妊娠という特殊な状況下での身体的影響である。
- C：誤 生殖腺の細胞死による不妊は遺伝性影響ではなく、被ばくによる身体的影響である。
- D：正 悪性腫瘍の発生は、放射線による体細胞変異に基づく身体的影響によるものである。

問 11 次の文章の□の部分について、解答群の選択肢のうち最も適切な答えを1つだけ選べ。

皮膚は、表面から深部に向かって表皮、真皮、皮下組織の順で構成されている。表皮の最下層にある基底細胞層中の表皮の□A□が盛んに分裂し、分化しながら、表面に向かって押し上げられて□B□となる。基底細胞層にあるメラニン細胞はメラニン色素を合成し、紫外線等のエネルギーを吸収して組織への影響を減弱させる。このほか表皮には免疫に関わるランゲルハンス細胞もあり、病原体等に対する生体防御において重要な役割を担っている。

また、真皮には皮膚の構造や機能の維持に必要なコラーゲン、毛細血管、皮脂腺、汗腺等に加えて、毛根とそれを包む毛包(毛嚢)がある。毛包の底部には毛包の□A□があり、分裂して毛髪の伸長を促進する。皮下組織は、主に□C□で構成され、内臓の□C□とともに□D□代謝に寄与している。

皮膚は、放射線感受性が高く、X線やγ線の急性被ばくでは、1～2 Gy で毛髪の成長が阻害され、3 Gy 以上で□E□が起きる。また、3～10 Gy の被ばくでは、毛細血管の拡張による□F□やメラニン色素の沈着が見られ、8～12 Gy で□G□が起きる。さらに高線量の被ばくでは、20 Gy 以上で壊爛や難治性□H□が生じる。難治性□H□が完治せず慢性化すると、皮膚がんが生じる可能性がある。

実効線量の評価では、個々の臓器・組織における I の起こりやすさを考慮して重み付けをするための組織加重係数が用いられており、皮膚では ア とされている(ICRP2007年勧告)。

<A、Bの解答群>

- 1 胚細胞 2 子孫細胞 3 娘細胞 4 内分泌細胞 5 幹細胞
6 粘液細胞 7 腺房細胞 8 角化細胞

<C、Dの解答群>

- 1 筋肉組織 2 多糖類 3 アミノ酸 4 脂肪組織 5 タンパク質
6 造血組織 7 脂質 8 軟骨組織

<Eの解答群>

- 1 結節 2 白癬 3 脱毛 4 脱皮

<F～Hの解答群>

- 1 脱臼 2 紅斑 3 黄斑 4 白斑 5 裂傷
6 潰瘍 7 乾性落屑 8 挫傷

<Iの解答群>

- 1 確定的影響 2 確率的影響

<アの解答群>

- 1 0.01 2 0.04 3 0.08 4 0.12

〔解答〕 A-5 B-8 C-4 D-7 E-3 F-2 G-7 H-6 I-2 ア-1

〔解説〕

A～D：皮膚組織の構造や、組織を構成する細胞の機能等に関する記述。脂質は重要なエネルギー補給源および貯蔵体である。摂取したエネルギーに余剰が発生した場合、我々は体内の脂肪組織でこれを脂肪の形で蓄える。そして飢餓状態になると蓄積していた脂肪を消費して生き延びる。

E～H：皮膚における急性影響のしきい値に関する記述。紅斑は放射線により損傷した上皮細胞がヒスタミン様物質を放出するために起こる毛細血管の拡張によるもの。メラニン色素はラジカルを消去する役割を担うが、被ばく後に大量に生成された色素がそのまま表皮の一部に残存することがある。また、皮膚が慢性的に損傷をくりかえすような場合にも色素沈着が起る。糜爛とは、湿潤ともいわれ、皮膚表面がただれて湿っている状態のこと。難治性潰瘍とは、感染や血管障害などにより傷ついた皮膚がなかなか修復されず、化膿したり、部分的に壊死したり、肉芽形成などにより変形したりしている状態。

I、ア：ICRP2007年勧告で提示された組織加重係数は、骨髄(赤色)、結腸、肺、胃、乳房が0.12、生殖腺が0.08、膀胱、肝臓、食道、甲状腺が0.04、皮膚、骨表面、脳、唾液腺が0.01、これら以外の臓器・組織が0.12(総和が1.00となる)。