

令和2年度

第1種放射線取扱主任者試験

問題と解答例

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。

(令和2年度) 第1種生物学

次の問1から問30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31、問32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 核医学診療で行われる検査・治療とそれに用いられる核種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  $^{123}\text{I}$  は、甲状腺機能検査に用いられる。
- B  $^{131}\text{I}$  は、甲状腺がんの治療に用いられる。
- C  $^{18}\text{F}$ FDG (フルオロデオキシグルコース) は、悪性腫瘍検査に用いられる。
- D  $^{90}\text{Y}$ 抗 CD20 抗体は、B細胞悪性リンパ腫の治療に用いられる。

- 1 ACDのみ      2 ABのみ      3 BCのみ      4 Dのみ      5 ABCDすべて

[解答] 5

注)  $^{131}\text{I}$ ,  $^{90}\text{Y}$  は  $\beta^-$  線放出核種であり、 $\beta^-$  線の高い細胞殺傷性をがん治療に利用している。

問2 標識化合物とその用途として、正しいものの組合せは次のうちどれか。

- A  $^{14}\text{C}$ チミジン — DNAの合成量の測定
- B  $^{35}\text{S}$ メチオニン — タンパク質の合成量の測定
- C  $^{51}\text{Cr}$ クロム酸ナトリウム — 赤血球の寿命の測定
- D  $^{125}\text{I}$ 5-ヨード-2'-デオキシウリジン — RNAの合成量の測定

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

[解答] 1

注) D: 誤  $^{125}\text{I}$ 5-ヨード-2'-デオキシウリジンはチミジン類縁体であり、2'-デオキシ体のためRNAではなくDNA合成の基質となる。

問3 10 Gyの $\gamma$ 線急性全身被ばくによって24時間以内に発生することを想定すべき症状として正しいものの組合せは次のうちどれか。

- A 下痢
- B 意識障害
- C おう嘔吐
- D 下血
- E 死亡

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

[解答] 1

注) 急性放射線症の前駆期(被ばく後48時間以内)で現れる症状に嘔吐、下痢などの消化管症状と、めまい、意識障害といった中枢神経症状などがある。一方、下血に関しては腸粘膜上皮細胞の欠損が生じて出血が始まるのは被ばく後3~5日頃とされている。中枢神経死は1~5日以内だが、数十Gyの高線量のときである。

(令和2年度) 第1種生物学

問4 ヒトが $\gamma$ 線急性全身被ばくを受け、治療を行わなかった場合の線量、死亡時期と死因の関係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 1 Gy の全身被ばくにより 60 日程度で腸死となる。
- B 5 Gy の全身被ばくにより 30 日程度で骨髄死となる。
- C 20 Gy の全身被ばくにより 10 日程度で腸死となる。
- D 30 Gy の全身被ばくにより 7 日程度で中枢神経死となる。
- E 100 Gy の全身被ばくにより 3 日程度で腸死となる。

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

[解答] 3

注) 被ばく線量 10~30 Gy では小腸の症状が主となり、被ばくしてから 10~20 日後に死亡(腸死)する。中枢神経死は数十 Gy 以上の高線量を短時間内に被ばくした場合において数日(1~5日)以内に発生する。

問5 ヒトが全身に 5 Gy の急性 $\gamma$ 線被ばくをうけた場合、末梢<sup>しょう</sup>血中の次の血球成分のうち、最も早期に減少するのはどれか。

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

[解答] 2

注) 被ばく後 24 時間でリンパ球減少は観察可能となる。

問6 原爆被爆者の疫学調査で、次の部位のうち発がんの過剰相対リスクが最も高いものはどれか。

- 1 肝臓
- 2 直腸
- 3 胃
- 4 女性乳房
- 5 子宮

[解答] 4

注) 胃はリスク増加が認められているが、日本人では胃がんの自然発症も多いので、過剰絶対リスクが大きい、一方で過剰相対リスクは小さくなる。女性乳房はリスク増加が認められており過剰相対リスクが大きい。

問7 皮膚の薄い身体部位において、皮膚の表面から基底細胞層までの平均的深さとして最も適切なものは次のうちどれか。

(令和2年度) 第1種生物学

- 1 5-10  $\mu\text{m}$
- 2 30-300  $\mu\text{m}$
- 3 500-1,000  $\mu\text{m}$
- 4 2-4 mm
- 5 5-15 mm

[解答] 2

注) 法令の70マイクロメートル線量当量は、基底細胞層の平均の深さに対応している。

問8 自然放射線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 宇宙線による被ばくの実効線量は、高度が同じであれば緯度が高いほど大きい。
- B 地表面での宇宙線による被ばくの実効線量には、主にミュオン粒子が寄与している。
- C 日本での公衆の1人当たりの自然放射線被ばくの年間実効線量において、吸入摂取による内部被ばくの寄与は、世界平均より大きい。
- D 日本での公衆の1人当たりの自然放射線被ばくの年間実効線量において、経口摂取による内部被ばくに最も大きく寄与している核種は、 $^{14}\text{C}$ である。

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

[解答] 1

注) A: 正 経度が高いほど、地球の地磁気の磁力線に沿って進入しやすくなり、宇宙線は強くなる。

B: 正 自然放射線において、地上での荷電粒子線の大部分をミュオン粒子が占める。

C: 誤 吸入摂取は建材からの $^{222}\text{Rn}$ の寄与が大きいですが、日本は気候が温暖で湿度が高く、カビ対策で窓を開けて乾いた外気を入れる習慣が昔からあることで、 $^{222}\text{Rn}$ による被ばくを低くしているとも言われている。(RADIOISOTOPES 62, 927-938 頁, 2013 年)

D: 誤  $^{210}\text{Pb}$  や  $^{210}\text{Po}$  のほうが、 $^{14}\text{C}$  よりもその寄与は大きい。

問9 人工放射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 全世界の原子力施設からのトリチウムの年間排出量合計は、宇宙線による自然界の年間生成量より少ない。
- B 大気圏内核実験で放出された放射性核種に起因する2000年からの100年間に受ける被ばくの集団実効線量預託に最も大きく寄与する核種はトリチウムである。
- C 大気圏内核実験に起因する1人当たりの年間被ばくの実効線量の世界平均が約0.1 mSvとなった時期がある。
- D 現在の1人当たりの年間被ばくの実効線量の世界平均において、大気圏内核実験に起因する被ばくの寄与は、原子力発電による被ばくの寄与より大きい。

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

[解答] 3

注) B: 誤 100年間に注目しているので半減期が非常に長いものが寄与することになる。具体的

(令和2年度) 第1種生物学

には半減期  $5.70 \times 10^3$  年の  $^{14}\text{C}$  である。一方トリチウムの半減期は 12.32 年である。

問 10 骨髄に吸収線量が 0.5 mGy の  $\beta$  線による被ばく、肝臓に吸収線量が 0.05 mGy の  $\alpha$  線による被ばくがあった場合を想定する。このときの実効線量[mSv]として、最も適切な値は次のうちどれか。ただし、骨髄及び肝臓の組織加重係数を、それぞれ 0.12、0.04 とし、他の放射線による被ばく、及び他の組織・臓器への被ばくは考えないものとする。

- 1 0.062
- 2 0.08
- 3 0.10
- 4 0.16
- 5 0.32

[解答] 3

注) 放射線加重係数を覚えている必要がある。電子は 1,  $\alpha$  粒子は 20 である。

骨髄の等価線量  $0.50 \text{ mGy} \times 1 = 0.50 \text{ mSv}$

肝臓の等価線量  $0.05 \text{ mGy} \times 20 = 1.00 \text{ mSv}$

実効線量  $0.50 \text{ mSv} \times 0.12 + 1.00 \text{ mSv} \times 0.04 = 0.10 \text{ mSv}$

問 11 食品 1 kg 中に含まれるカリウム 40 の放射能濃度[Bq・kg<sup>-1</sup>]が、少ない順に正しく並べられたものは、次のうちどれか。

- 1 トウモロコシ油 < うるち米 < じゃがいも < 素干し昆布
- 2 うるち米 < トウモロコシ油 < 素干し昆布 < じゃがいも
- 3 じゃがいも < 素干し昆布 < うるち米 < トウモロコシ油
- 4 素干し昆布 < うるち米 < トウモロコシ油 < じゃがいも
- 5 素干し昆布 < トウモロコシ油 < じゃがいも < うるち米

[解答] 1

注) 海藻類にはカリウムが多く含まれる。乾燥昆布の  $^{40}\text{K}$  は 1000~3000 Bq/kg 程度と報告されている。(Isotope News 2015 年 9 月号 No.737 32-36 頁)

問 12 次の放射性核種のうち、骨親和性核種として正しいものの組合せはどれか。

- A  $^{32}\text{P}$
- B  $^{55}\text{Fe}$
- C  $^{90}\text{Sr}$
- D  $^{226}\text{Ra}$

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

[解答] 3

注) 骨質の主成分にリン酸カルシウムがある。ゆえに  $^{32}\text{P}$ , そして Ca と同じ第 2 族元素である  $^{90}\text{Sr}$  や  $^{226}\text{Ra}$  は骨質に集積する。鉄の親和性臓器は造血器(骨髄), 肝, 脾であり, 骨親和性核種へは

分類されない。

問13 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 乾燥状態にすると直接作用が主となる。
- B 温度を下げると直接作用の寄与が大きくなる。
- C グルタチオンは間接作用を減少させる。
- D 酸素分圧が低くなると間接作用の寄与が小さくなる。

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

[解答] 5

注) A: 正 間接作用は水分子から生じるラジカルによるものであり、乾燥状態では間接作用は起こらない。

B: 正 低温ではラジカルの拡散が妨げられ、標的分子との相互作用が減り間接作用は減弱し、相対的に直接作用の寄与が大きくなる。

C: 正 グルタチオンはラジカルと反応しやすく、ラジカルを減少させるので間接作用は減弱する。

D: 正 酸素が少なくなると、ラジカルと酸素の反応によって生じる新たなラジカル種が少なくなるため、間接作用は減弱する。

問14 1 Gy の  $\gamma$  線を培養細胞に照射するとき、1 細胞あたりに生じる DNA2 本鎖切断の数量を減らすものの組合せは次のうちどれか。

- A 温度を下げる。
- B 酸素分圧を上げる。
- C エチルアルコールを加える。
- D BrdU (5-ブロモデオキシウリジン) を加える。

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

[解答] 3

注) A: 正 低温下では放射線の間接作用は減弱するので、2本鎖切断の数量を減らす。

B: 誤 酸素が存在していると放射線の効果は大きくなり、2本鎖切断の数量を増やす。

C: 正 エチルアルコールはラジカルスカベンジャーとして作用するので、2本鎖切断の数量を減らす。

D: 誤 BrdU は放射線に対する感受性を増加させるので2本鎖切断の数量を増やす。

問15 生体物質の水溶液への放射線照射によって生じる活性種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 水素ラジカルは DNA などの生体分子からの水素引き抜き反応を起こす。
- B スーパーオキシドラジカルの平均寿命はヒドロキシルラジカルの平均寿命より短い。
- C 水和電子には還元作用がある。

(令和2年度) 第1種生物学

D ヒドロキシルラジカルはDNA1本鎖切断を引き起こさない。

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

[解答] 1

注) B: 誤 ヒドロキシルラジカルはスーパーオキシドラジカルより反応性が高いため、平均寿命が短い。

D: 誤 放射線によるDNA損傷のうち、ヒドロキシルラジカルが誘導する損傷は間接作用と呼ばれ、 $\gamma$ 線照射によるDNA1本鎖切断に大きく寄与している。

問16 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 DNA-タンパク質間架橋は電離放射線に特有の損傷である。

B DNA2本鎖切断は電離放射線に特有の損傷である。

C  $\gamma$ 線によるDNA2本鎖切断の収率はチミン塩基損傷の収率より小さい。

D  $\gamma$ 線によるDNA-タンパク質間架橋の収率はDNA2本鎖切断の収率より大きい。

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

[解答] 4

注) A: 誤 DNA-タンパク質間架橋は電離放射線のほかに、紫外線やアルデヒド化合物、重金属イオン、抗がん剤などにより生成される。

B: 誤 DNA2本鎖切断は電離放射線のほかに、紫外線、活性酸素、化学物質、抗がん剤などによっても引き起こされる。

問17 急性 $\gamma$ 線被ばくによる精巣および精子の障害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 精子形成過程で最も放射線致死感受性が高いのは精原細胞である。

B 精子形成過程で最も突然変異誘発率が高いのは精原細胞である。

C 精原細胞はセルトリ細胞よりも放射線致死感受性が高い。

D 精巣に1 Gyを被ばくした場合、被ばく直後から不妊を生じる。

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

[解答] 1

注) B: 誤 減数分裂後の精母細胞の突然変異率は、精原細胞や精子より高い。

D: 誤 精巣に1 Gyを被ばくした場合、3~9週後に一時的な不妊になるとされている。

問18 放射線照射によって誘発されるアポトーシス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 染色体DNAの断片化が起こる。

B 染色質(クロマチン)の凝縮が観察される。

C ミトコンドリアの膜電位が変化する。

D 正常p53タンパク質によって抑制される。

(令和2年度) 第1種生物学

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

[解答] 1

注) D: 誤 放射線などにより DNA 損傷が生じたとき、正常 p53 タンパク質は DNA の修復や細胞周期の停止、アポトーシスを引き起こす。

問 19 放射線による染色体異常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 染色体型異常では相同染色体の同じ位置に異常が見られる。
- B 染色分体型異常では姉妹染色分体の同じ位置に異常が見られる。
- C G<sub>1</sub>期の被ばくでは主に染色体型異常が生じる。
- D G<sub>2</sub>期の被ばくでは主に染色分体型異常が生じる。

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

[解答] 5

注) A, B: 誤 染色体の構造異常は、両方の染色分体の同じ位置に異常部を持つ染色体型異常と片方の染色分体のみに異常部を持つ染色分体型異常に分類される。染色体型は G<sub>1</sub>期、染色分体型は G<sub>2</sub>期に生じる。このほかに姉妹染色分体交換という異常があるが、S期の複製された二つの染色分体の間で起こるもので染色分体型異常とは異なる。姉妹染色分体交換は放射線によりほとんど誘発されず、化学物質の暴露により誘発されやすいとされている。

問 20 放射線による染色体異常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 二動原体染色体は不安定型異常に分類される。
- B 転座は安定型異常に分類される。
- C 転座に比べて二動原体染色体の方が、被ばく後早期の線量推定によく用いられる。
- D 二動原体染色体に比べて転座の方が、がんの原因となる可能性が高い。

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

[解答] 5

注) A~D: 正 染色体異常は放射線や化学物質、ストレスなどにより増加することが知られており、染色体の変化から被ばく線量を推定する生物学的線量評価(バイオドジメトリ)が確立されている。転座は安定型染色体異常に分類され、細胞分裂が可能なため長期間安定して存在し、被ばく後数年経過しても調べることができる。また転座型染色体異常は発がん抑制遺伝子が失われ、がんの原因になる可能性がある。一方で二動原体染色体は不安定型異常に分類され、細胞分裂できずに細胞死に至るため、減少していく特徴がある。

問 21 正常ヒト線維芽細胞に 4 Gy の  $\gamma$  線照射を行った場合、次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。ただし、特に断わらない場合、線量率は  $1 \text{ Gy} \cdot \text{min}^{-1}$  で、1回で照射を行うものとする。

- A 1回で 4 Gy 照射した場合、2時間の間隔を空けて 2 Gy ずつ照射した場合に比べて生存率が高

(令和2年度) 第1種生物学

い。

B  $1 \text{ Gy} \cdot \text{h}^{-1}$  の線量率で照射した場合、 $1 \text{ Gy} \cdot \text{min}^{-1}$  の線量率で照射した場合に比べて生存率が高い。

C 無酸素下で照射した場合、通常酸素濃度下で照射した場合に比べて生存率が高い。

D 炭素イオン線（ブラッグピーク部）を  $4 \text{ Gy}$  照射した場合に比べて生存率が高い。

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

[解答] 5

注) A : 誤 総線量が同じ場合、1 回照射より分割照射の方が生存率を増加させる。この生存率の上昇を亜致死損傷回復 (sub-lethal damage recovery: SLD 回復) という。

問 22 直線-二次曲線 (LQ) モデル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 細胞生存率曲線を片対数グラフ上に描くと、線量が大きくなるにつれて直線に近づく。

B  $\alpha/\beta$  比が大きいほど分割照射の影響が大きい。

C 早期反応は晩期反応に比べて  $\alpha/\beta$  比が大きい。

D 原爆被爆者における被ばく線量と白血病の過剰絶対リスクの関係は、直線モデルより直線-二次曲線 (LQ) モデルによくあてはまる。

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

[解答] 4

注) A : 誤 LQ モデル ( $\exp(-\alpha D - \beta D^2)$ ) は、線量が大きくなるにつれて二次曲線(Q)モデル ( $\exp(\beta D^2)$ ) に近似され、片対数グラフで曲線となる。

B : 誤 亜致死損傷回復により  $\alpha/\beta$  比が小さい細胞・組織ほど分割照射の影響が大きい。

C : 正 早期反応型の正常組織やほとんどの腫瘍細胞は、晩期反応を示す正常細胞より  $\alpha/\beta$  比が大きい。

D : 正 白血病以外は直線 (L) モデルによくあてはまる。

問 23  $\gamma$  線によるヒトの胎内被ばく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 発がんリスクは、幼児期の被ばくと比較して高い。

B 受精後 8 日までに  $2.0 \text{ Gy}$  被ばくすると胚死亡が増加する。

C 受精後 1 月に  $2.0 \text{ Gy}$  被ばくすると奇形発生が増加する。

D 受精後 3 月に  $1.0 \text{ Gy}$  被ばくすると精神発達遅滞が増加する。

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

[解答] 4

注) A : 誤 原爆被爆者の疫学データにおいて胎内被ばくは幼児期の被ばくと比べて発がんリスクに有意な差は認められていない。

問 24 次の放射線障害のうち、主に毛細血管の閉塞によるものの組合せはどれか。

A 放射線脊髄症

(令和2年度) 第1種生物学

- B 白内障
- C 男性の一時不妊
- D 皮膚の晩発性難治性潰瘍
- E 消化管穿孔

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

[解答] 3

注) B: 誤 白内障は加齢, 糖尿病, 放射線, 紫外線等により, 水晶体を構成するたんぱく質が変性することに起因し, 水晶体が濁った状態に至る。

C: 誤 精巣への0.15 Gy以上の被ばくで生じる一時的な不妊は, 精原細胞の分裂停止で分化細胞の供給が止まることにより起こる。

問25 ヒトの自然突然変異の頻度を1世代、1遺伝子座位当たり $2.95 \times 10^{-6}$ 、および放射線誘発突然変異の頻度を1世代、1遺伝子座位当たり $3.6 \times 10^{-6} \text{ Gy}^{-1}$ としたとき、放射線誘発突然変異の倍加線量[Gy]として、最も近い値は次のうちどれか。

- 1 0.65
- 2 0.82
- 3 1.22
- 4 1.64
- 5 1.80

[解答] 2

注) 倍加線量とは生物の一代の間に自然に起こっている突然変異の割合を2倍にするのに必要な放射線量であり, すなわち自然発生突然変異が起こる割合に加え同じ割合で変異を起こす線量が倍加線量となる。 $2.95 \times 10^{-6} / 3.6 \times 10^{-6} = 0.81944 \dots = 0.82 \text{ Gy}$ となる

問26 放射線による遺伝性(的)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 マウス実験で見られた放射線誘発突然変異は、潜性(劣性)が多い。
- B マウス実験では、遺伝性(的)影響の線量率効果は認められていない。
- C 倍加線量が小さいほど、遺伝性(的)影響が起こりやすいことを意味する。
- D 原爆被爆者の追跡調査において、遺伝性(的)影響の有意な増加は確認されていない。

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

[解答] 3

注) A: 正 マウス実験では一般的に放射線で引き起こされる突然変異は優性より劣性の方が多い

B: 誤 マウス個体を照射した場合の遺伝性(的)影響は線量に対して直線的に増加する。また高線量率のほうが低線量率よりも遺伝性(的)影響の発生率は高くなる(線量率効果)。

C: 正 倍加線量は生物の自然発生性の突然変異の割合を2倍にするのに必要な放射線量であり, すなわち倍加線量が小さいほど遺伝性(的)影響が起こりやすいことになる。

D: 正 動物実験では放射線による遺伝性(的)影響は認められているが, 原爆の被爆者の調

(令和2年度) 第1種生物学

査では遺伝性(的)影響の有意な増加は認められていない。

問27 毛細血管拡張性運動失調症およびその原因遺伝子から作られる ATM タンパク質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 毛細血管拡張性運動失調症は常染色体潜性(劣性)遺伝様式を示す。
- B 毛細血管拡張性運動失調症の患者は高発がん性を示す。
- C 毛細血管拡張性運動失調症の患者由来の線維芽細胞は細胞周期チェックポイントに異常を示す。
- D ATM タンパク質は p53 タンパク質などをリン酸化する酵素活性を持つ。

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

[解答] 5

- 注) A: 正 毛細血管拡張性運動失調症は11番染色体劣性遺伝病である。
- B: 正 DNA損傷があってもチェックポイント機能が働かず、DNA損傷がある状態で細胞分裂が行われるため発がん率が高く、特にリンパ腫白血病が多い。
- C: 正 毛細血管拡張性運動失調症では細胞周期チェックポイント機構が備わっていないため、その患者由来の線維芽細胞には細胞周期チェックポイントに異常が示される。
- D: 正 ATMタンパク質はp53タンパク質をリン酸化することで細胞の増殖をコントロールしていることが明らかにされている。

問28 LETに関する次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

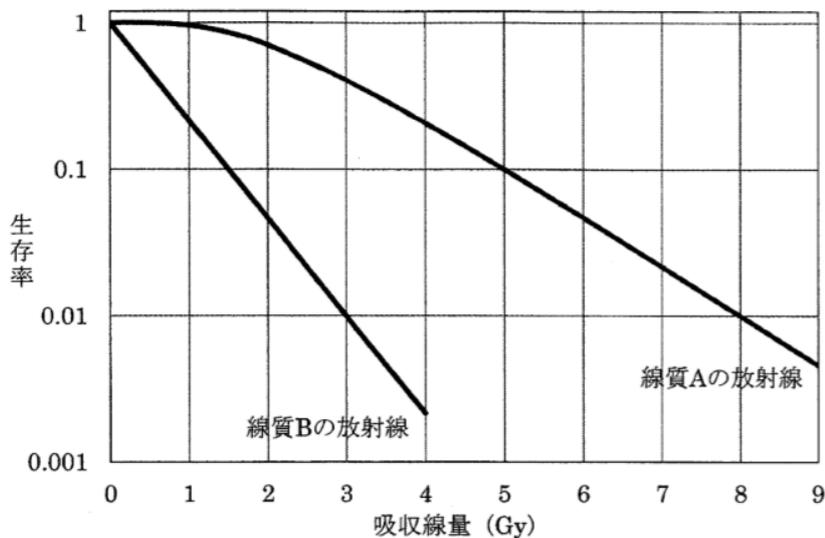
- A 高LET放射線は、低LET放射線よりも細胞致死作用の線量率効果が小さい。
- B ブラッグピークを示す放射線は、すべて高LET放射線である。
- C LETが大きいほどRBEは大きくなる。
- D 高LET放射線は、低LET放射線よりも生存率曲線の肩が小さい。

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

[解答] 3

- 注) A: 正 高LET線は低LET線に比較して線量率効果および照射条件による修飾が小さい。
- B: 誤 ブラッグピークを示す放射線は高LETとは限らない。例えば陽子線は低LET放射線として扱われるようになっている。
- C: 誤 LETの増大に伴いRBEは大きくなるが、LETが100 keV/μmを超えるあたりではかえって減少する。
- D: 正 高LET線ではSLD回復が小さいため、生存率曲線の肩が小さくなる。

問29 培養ヒト線維芽細胞に対して線質Aの放射線と線質Bの放射線を照射した後の生存率を求めたところ、下のグラフの結果を得た。線質Aの放射線を基準放射線としたとき、生存率が0.01および0.1のときの線質Bの放射線の生物学的効果比(RBE)について、最も適切な値の組合せは次のうちどれか。



生存率 0.01 の RBE      生存率 0.1 の RBE

1	0.4	0.3
2	0.4	3.3
3	2.7	0.3
4	2.7	3.3
5	40	0.3

[解答] 4

注) 「RBE=ある効果を得るのに必要な基準放射線の吸収線量/同じ効果を得るのに必要な試験放射線の吸収線量」であるから、生存率 0.01 では  $8/3 = 2.666666$ 、生存率 0.1 では  $5/1.5 = 3.33333$  となる。

問 30 放射線を用いたがんの治療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 重粒子線は低酸素環境のがん細胞にも有効である。
- B 電子線は表在性腫瘍よりも深在性腫瘍の治療に適している。
- C  $^{192}\text{Ir}$  は密封小線源として用いられる。
- D  $^{223}\text{Ra}$  は核医学治療 (内用療法) に用いられる。

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

[解答] 3

注) A : 正 重粒子線は高 LET 線であり、低酸素環境のがん細胞に対して強い致死効果がある。

B : 誤 電子線は皮膚面から 2~6 cm の腫瘍の治療に適している。

C : 正  $^{192}\text{Ir}$  は密封小線源として患部に挿入してがん組織に照射する遠隔操作密封小線源治療に用いられる。

D : 正  $^{223}\text{Ra}$  は骨転移のある去勢抵抗性前立腺癌の核医学治療 (内用療法) に用いられる。

問 31 次の I ~ III 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 放射線の生物作用を理解する上で、遺伝情報を担う DNA の構造を理解することが重要である。DNA はデオキシリボース、リン酸、塩基から構成される。塩基には4種類があり、そのうちグアニンは向かい合った鎖の **A** と **B** 個の **C** 結合で結ばれ、塩基対を形成する。下の図1の a ~ f のうち、グアニンと **A** との塩基対を正しく表しているのは **D** である。ただし、図1では炭素原子および炭素原子に直接結合した水素原子は省略してある。また、二重の波線はデオキシリボースに結合していることを示す。

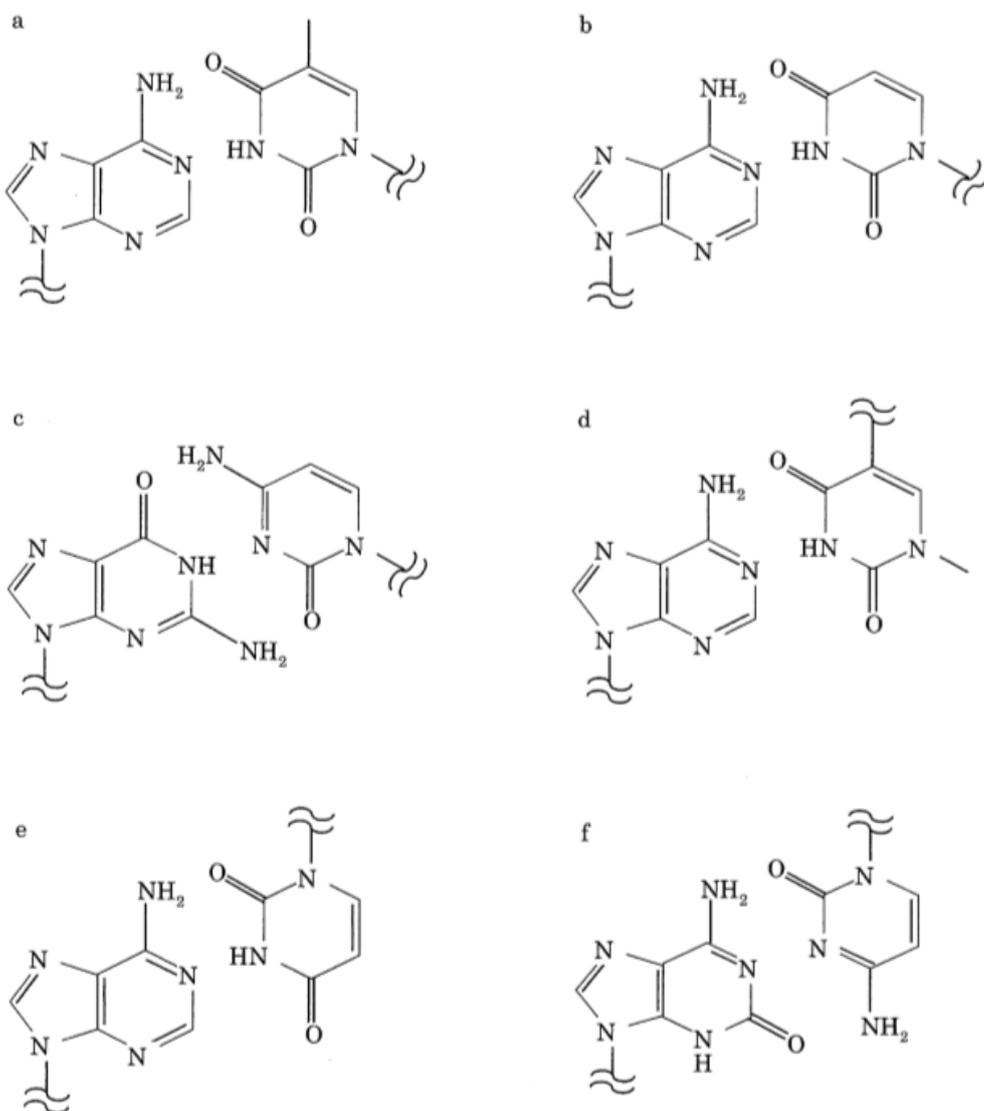


図1

<A の解答群>

- |         |        |        |        |
|---------|--------|--------|--------|
| 1 アデニン  | 2 アラニン | 3 イノシン | 4 ウラシル |
| 5 システイン | 6 シトシン | 7 チミン  | 8 チロシン |

<B の解答群>

(令和2年度) 第1種生物学

1 1          2 2          3 3          4 4          5 5

<Cの解答群>

- 1 アミド                  2 グリコシル                  3 高エネルギーリン酸  
4 水素                  5 疎水                  6 ペプチド  
7 リン酸ジエステル

<Dの解答群>

- 1 a          2 b          3 c          4 d          5 e  
6 f

II 放射線によって生じるさまざまなDNA損傷の中で、DNA2本鎖切断は最も重篤なものと考えられている。ヒトの正常二倍体細胞に1 Gyの $\gamma$ 線を照射すると、細胞1個当たり約  個のDNA2本鎖切断が生じる。DNA2本鎖切断の  修復に関わるDNA依存性プロテインキナーゼ触媒サブユニット(DNA-PKcs)遺伝子に変異を有するマウスやヒトは細胞の放射線致死高感受性に加え、 機能の異常を呈する。これはV(D)J組換えと呼ばれる  遺伝子の再編成過程において  が関わるためである。

<Eの解答群>

- 1 4          2 40          3 400          4 4,000

<Fの解答群>

- 1 相同組換え                  2 非相同末端結合                  3 塩基除去  
4 スクレオチド除去          5 ミスマッチ                  6 SOS

<Gの解答群>

- 1 肝          2 心          3 腎          4 肺          5 生殖  
6 免疫

<Hの解答群>

- 1 サイトカイン                  2 ステロイドホルモン受容体                  3 ヒストン  
4 抗体                  5 神経伝達物質受容体                  6 増殖因子

III 細胞の放射線致死高感受性と  機能の異常を呈するヒト遺伝病の原因遺伝子の1つとして Artemis と呼ばれるものがある。Artemis 遺伝子から作られるメッセンジャーRNA (mRNA) とタンパク質をそれぞれ Artemis mRNA、Artemis タンパク質と呼ぶことにする。

なお、以下において、タンパク質のアミノ酸の数は、タンパク質合成が開始されるコドンに対応するアミノ酸を1個目とし、以下、タンパク質合成が進行する方向に向かって増えるように数えることとする。また、mRNAの塩基の番号は、タンパク質合成が開始されるコドンの1番目の塩基を1番とし、以下、タンパク質合成が進行する方向に向かって増えるように付けることとする。下の表1はコドンとアミノ酸との対応を示したもので、遺伝暗号表あるいはコドン表などと呼ばれる。

表1

1番目の塩基	3番目の塩基	2番目の塩基							
		U	C	A	G				
U	U	UUU	フェニルアラニン	UCU	セリン	UAU	チロシン	UGU	システイン
	C	UUC		UCC		UAC		UGC	
	A	UUA	ロイシン	UCA		UAA	終止コドン	UGA	終止コドン
	G	UUG		UCG		UAG		UGG	トリプトファン
C	U	CUU	ロイシン	CCU	プロリン	CAU	ヒスチジン	CGU	アルギニン
	C	CUC		CCC		CAC	CGC		
	A	CUA		CCA		CAA	CGA		
	G	CUG		CCG		CAG	CGG		
A	U	AUU	イソロイシン	ACU	トレオニン	AAU	アスパラギン	AGU	セリン
	C	AUC		ACC		AAC	AGC		
	A	AUA	ACA	AAA		リシン	AGA	アルギニン	
	G	AUG	ACG	AAG		AGG			
G	U	GUU	バリン	GCU	アラニン	GAU	アスパラギン酸	GGU	グリシン
	C	GUC		GCC		GAC	GGC		
	A	GUA		GCA		GAA	GGA		
	G	GUG		GCG		GAG	GGG		

ヒト遺伝病患者で見られる Artemis 遺伝子の変異の1つに Artemis mRNA の 173 番の C が U に変化するものがある。図2は正常な Artemis mRNA の 171 番から 180 番までの塩基配列を示したものである。正常な Artemis タンパク質では、 個目のアミノ酸は  であるが、この変異を持つ mRNA から作られるタンパク質では、 個目のアミノ酸は  である。このような変異を  変異という。

G A C U A A G G A G

図2

また、別の例として、Artemis mRNA の 759 番の G が欠失するものがある。図3は正常な Artemis mRNA の 751 番から 850 番までの配列を示したものである。なお、塩基の番号を数えやすいように 10 塩基ごとに空白を挿入している。この変異を持つ mRNA から作られるタンパク質は  個目のアミノ酸まで正常 Artemis タンパク質と同じ配列を持つが、そこからアミノ酸配列が大きく異なり、 個のアミノ酸からなるタンパク質が作られる。このような変異を  変異という。

751番から780番まで CAUCCCAAGG CAGAGGAAUA UUUUCAGUGG  
 781番から810番まで AGCAAUUAC CCUGUGGAAU UACUUC CAGA  
 811番から840番まで AAUAGAAUUC CACUCCACAU AAUCAGCAUU  
 841番から850番まで AAGCCAUCCA

図3

<Iの解答群>

1 57      2 58      3 59      4 60      5 171  
 6 172      7 173      8 174      9 175      10 517  
 11 518      12 519      13 520

<ア、イの解答群>

(令和2年度) 第1種生物学

- |             |          |            |
|-------------|----------|------------|
| 1 アラニン      | 2 アスパラギン | 3 アスパラギン酸  |
| 4 イソロイシン    | 5 グリシン   | 6 グルタミン    |
| 7 グルタミン酸    | 8 システイン  | 9 セリン      |
| 10 チロシン     | 11 トレオニン | 12 トリプトファン |
| 13 フェニルアラニン | 14 リシン   | 15 ロイシン    |

<ウ、エの解答群>

- |           |             |         |
|-----------|-------------|---------|
| 1 サイレント   | 2 ナンセンス     | 3 ミスセンス |
| 4 フレームシフト | 5 トランスバージョン |         |

<J、Kの解答群>

- |          |          |          |          |          |
|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1 252    | 2 253    | 3 254    | 4 276    | 5 277    |
| 6 758    | 7 759    | 8 760    | 9 831    | 10 832   |
| 11 2,277 | 12 2,280 | 13 2,283 | 14 2,302 | 15 2,305 |

[解答]

I A-6 B-3 C-4 D-3

注) DNAの構造に関する設問

A, B, C: グアニンと結合するのはシトシンのみである。アデニンはチミンまたはウラシルと結合する。グアニンとシトシンは3本の水素結合で結ばれ、一方アデニンはチミンまたはウラシルと2本の水素結合で結ばれる。

D: 3本の水素結合で結ばれるのはcのみであるため他の選択肢は除外される。Bはアデニンとチミンの結合である。

II E-2 F-2 G-6 H-4

注) DNAの損傷と修復に関する設問

E: ヒトの正常二倍体細胞に1 Gyの $\gamma$ 線を照射した場合、細胞1個あたり、1本鎖切断では約1000個、2本鎖切断では約40個生成する。

F: DNA2本鎖切断は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。非相同末端結合修復は切断部位をDNA結合性触媒サブユニット(DNA-PKcs)とKuヘテロ2量体(Ku70, Ku86)からなるDNA依存性プロテインキナーゼ(DNA-PK)により再結合する修復機構である。

G: DNA-PKcs遺伝子に変異を有するscidマウスの研究では放射性致死高感受性の他、T細胞とB細胞がなく抗体産生ができないため免疫機能異常を呈する。

H: 抗体はV(D)J組み換えによって抗体産生に必要な遺伝子を複数の遺伝子から切り出し、非相同末端結合により抗体のDNAを再合成することにより作成される。この非相同末端結合にはDNA-PKcsが必要であり、そのためscidマウスにおいて抗体産生できない原因はDNA-PKcs遺伝子に変異によるものと考えられている。

III I-2 A-11 I-4 U-3 E-4 J-2 K-4

(令和2年度) 第1種生物学

注) 変異によるタンパク質の変化に関する設問

- I: コドンは3塩基1セットとなるので、3番目の塩基は常に3の倍数となり、その次の数がコドンの始まりとなる。コドンの最後の塩基の順番を3で割るとアミノ酸の順番が求められる。171-180番目までの塩基配列では172-174、175-177、178-180と区切られる。173番目は172-174番目の内にあるので $174 \div 3 = 58$ 番目のアミノ酸に関与する。
- ア: 正常な Artemis mRNA の172-174番目の塩基配列はACUとなるので表1からアミノ酸はトレオニンとなる。
- イ: 変異した Artemis mRNA の172-174番目の塩基配列は173番がUに変化したのでAUUとなり表1からアミノ酸はイソロイシンとなる。
- ウ: この変異はDNA配列が変化することによって、アミノ酸が置き換わったのでミスセンス変異である。
- エ: この変異は1塩基ずれて違うアミノ酸を指定しているのでフレームシフト変異である。
- J: 759番目の塩基は $753 \div 3 = 253$ 番目のアミノ酸に相当する。759番目の塩基であるGが欠失しても760番目の塩基であるGがシフトされるので759番目までは塩基配列は変化しない。しかしながら761番目の塩基であるCが760番目にシフトするので、760番以降の塩基配列は変化するので254番目以降のアミノ酸も変化する。
- K: その後のコドンを追っていくと829-831番目(元の830-832番目)の塩基配列がUAAであり終始コドンとなる。終始コドンには対応するアミノ酸がないため、その前の828番目までが対象となり $828 \div 3 = 276$ 個となる。

問32 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。ただし、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 細胞は分裂を繰り返して増殖しており、分裂から次の分裂までの期間を細胞周期と呼ぶ。細胞周期のうち、クロマチンが凝縮して染色体となり細胞が2つに分裂する時期をM期(分裂期)、M期の終了から次のM期の開始までの期間を間期と呼ぶ。間期はさらに細分されDNAを□A□する時期をS期、S期の前の時期をG<sub>1</sub>期、S期の後の時期をG<sub>2</sub>期と呼ぶ。細胞の放射線致死感受性はこの周期の中で大きく変化する。培養ヒト正常細胞にγ線を1 Gy・min<sup>-1</sup>の線量率で照射した場合、M期が最も感受性が□ア□く、S期の後半からG<sub>2</sub>期は最も感受性が□イ□い。これはDNA修復能の変化と関係すると考えられている。実際にDNA2本鎖切断の修復に働く機構の1つである□B□が細胞周期全体で働くのに対し、S期後半からG<sub>2</sub>期ではこれに加えて□C□も働くことが分かっている。これは□C□が修復時の鋳型として、傷害部分と相同な配列を持つDNA鎖を必要とするためである。相同な配列を持つDNA鎖としては主として□D□が用いられる。ヒト正常細胞では一般的に細胞周期の中で□ウ□またはG<sub>0</sub>期(休止期若しくは静止期)に存在する細胞の割合が高いことから、この2種類のDNA2本鎖切断修復機構のうち□E□のほうが主体となる。

<A~Eの解答群>

1 複製

2 転写

3 翻訳

(令和2年度) 第1種生物学

- |           |              |                   |
|-----------|--------------|-------------------|
| 4 複写      | 5 相同組換え修復    | 6 非相同末端結合修復       |
| 7 塩基除去修復  | 8 スクレオチド除去修復 | 9 ミスマッチ修復         |
| 10 SOS 修復 | 11 相同染色体     | 12 cDNA (相補的 DNA) |
| 13 姉妹染色分体 | 14 二動原体染色体   |                   |

<ア、イの解答群>

- 1 高            2 低

<ウの解答群>

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

II 放射線被ばく後の細胞死の様式として、**F**と**G**に分類することがある。M期を経てから死ぬことを**F**と呼び、M期に至る前の間期に死ぬことを**G**という。培養ヒト正常線維芽細胞が数 Gy 程度被ばくした場合にはこれらのうち**H**が主となる。生体の組織では一般に細胞増殖が盛んで細胞の入れ替わりの激しい腸上皮のような組織に比べて、筋肉のように分裂頻度の低い組織は放射線に対する感受性が**エ**い。同じ組織の中でも幹細胞に比べて、分裂していない機能細胞は、放射線致死感受性が**オ**いことが多い。しかしながら、末梢血リンパ球は、分裂していない機能細胞であるにもかかわらず放射線致死感受性が**カ**い。これは、**I**という能動的な死の機構が被ばくをきっかけとして発現するためである。

<F~Hの解答群>

- |            |          |             |
|------------|----------|-------------|
| 1 オートリシス   | 2 アポトーシス | 3 分裂死       |
| 4 ネクロシス    | 5 間期死    | 6 ファゴサイトーシス |
| 7 ピノサイトーシス |          |             |

<エ~カの解答群>

- 1 高            2 低

<Iの解答群>

- |          |             |            |
|----------|-------------|------------|
| 1 オートリシス | 2 アポトーシス    | 3 ピノサイトーシス |
| 4 ネクロシス  | 5 ファゴサイトーシス |            |

[解答]

I A-1 B-6 C-5 D-13 E-6 ア-1 イ-2 ウ-1

注) 細胞周期と放射線感受性に関する設問

A: S期はDNA合成(複製)期である。

B: 非相同末端結合修復は細胞周期全体に見られる。

C: 相同組換え修復は細胞周期のS期後半~G<sub>2</sub>期に限られる。

D: 姉妹染色分体はS期に合成された同じ遺伝情報を持つ2本の染色分体同士のことである。相同組換えでは自己細胞で複製された姉妹染色分体が用いられる。

E: 相同組換え修復は細胞周期のS期後半~G<sub>2</sub>期に限られるためG<sub>1</sub>期またはG<sub>0</sub>期は非相同末端結合修復が主体となる。

ア, イ, ウ: M期は放射線感受性が最も高く, G<sub>1</sub>期後期~S期前期も放射線感受性が高い。S期後期からG<sub>2</sub>期前期及びG<sub>1</sub>期前期は放射線感受性が低い。一般に細胞周期の中でG<sub>1</sub>期にはチェックポイント機構があり, G<sub>2</sub>期, S期, M期に比べてその時間が長く, また正常組織では多くの細胞がG<sub>0</sub>期にとどまっているため, 正常細胞ではG<sub>1</sub>期, G<sub>0</sub>期に存在している割合が高い。

II F-3 G-5 H-3 エ-2 オ-2 カ-1 I-2

注) 細胞死に関する設問

F, G: 細胞周期の観点から分裂死, 間期死に分類される。分裂死は活発に細胞分裂している細胞が, 放射線照射を受けてから何回かの細胞分裂をした後に, 無限増殖能を失って起こる細胞死であり, その名の通り, 分裂期(M期)を経て起こる。一方, 間期死は, 間期(S, G<sub>1</sub>, G<sub>2</sub>期)にある細胞が放射線照射を受けた後, 分裂せず死にいたるものである。

H: 分裂死は, 骨髄や腸の幹細胞, 腫瘍細胞, そして培養細胞など盛んに分裂している細胞で見られる。

エ, オ: 筋細胞などの分化した細胞分裂を行わない細胞で間期死が見られるが, このような細胞では放射線感受性が低い。

カ, I: 細胞死は細胞の形態からネクロシスとアポトーシスに分類される。アポトーシスは生理的で受動的な細胞死であり, クロマチンの凝集やDNAの断片化が認められる。リンパ球で見られる高感受性間期死はアポトーシスである。リンパ球は分裂しない細胞でありながら放射線高感受性である。