

令和4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4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 次の標識化合物とそれを利用して標識される生体高分子として、正しいものの組合せはどれか。

標識化合物	生体高分子
A $[^{14}\text{C}]$ チミジン	DNA
B $[^{125}\text{I}]$ 5-ヨード-2'-デオキシウリジン	DNA
C $[^{35}\text{S}]$ メチオニン	タンパク質
D $[^3\text{H}]$ ロイシン	タンパク質

- 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〕

A：正 DNA合成の基質となるチミジン内の炭素を $^{14}\text{C}$ で置換したものである。

B：正  $[^{125}\text{I}]$  5ヨード 2'デオキシウリジンはチミジン類似体としてDNAに取り込まれやすい。

C：正 開始コドンで翻訳される放射性アミノ酸であり、メチオニン本来のSが $^{35}\text{S}$ に置換されている。合成反応液や細胞培養液に添加して翻訳させることにより、 $^{35}\text{S}$ で標識されたタンパク質を合成できる。

D：正 タンパク質を構成するロイシンの水素原子をトリチウムに置換した放射性アミノ酸である。合成反応液や細胞培養液に添加して翻訳させることにより、 $^3\text{H}$ で標識されたタンパク質を合成できる。

問2 次の標識化合物のうち、一般的にガンマカメラによる核医学画像診断に用いられるものの組合せはどれか。

- A  $[^{123}\text{I}]$ ヨウ化ナトリウム
- B  $[^{67}\text{Ga}]$ クエン酸ガリウム
- C  $[^{11}\text{C}]$ メチオニン
- D  $[^{99\text{m}}\text{Tc}]$ 過テクネチウム酸ナトリウム

- 1 ABDのみ    2 ABのみ    3 ACのみ    4 CDのみ    5 BCDのみ

〔解答〕1

〔解説〕A、Bは軌道電子捕獲により $\gamma$ 線、Dは核異性体転移により $\gamma$ 線を発するので、ガンマカメラによる撮像に用いられる。Cの $^{11}\text{C}$ は、ポジトロン放出核種であり、PET診断に用いられる。

問3  $\gamma$ 線急性全身被ばく後に見られる末梢<sup>しょう</sup>血中の血球成分の変化に関する次の記述のうち、正しい

(令和4年度) 第1種生物学

ものの組合せはどれか。

- A 1 Gy 被ばく後2日以内にリンパ球数の一過性の増加が見られる。
  - B 4 Gy 被ばく後2日以内に好中球数の一過性の増加が見られる。
  - C 1 Gy 被ばく後のリンパ球数の減少は好中球数の減少より早期に見られる。
  - D 4 Gy 被ばく後の血小板数の減少は赤血球数の減少より早期に見られる。
- 1 ACDのみ    2 ABのみ    3 ACのみ    4 BDのみ    5 BCDのみ

〔解答〕 5

〔解説〕

- A：誤 リンパ球においては、被ばくにより一過性の増加は認められない。
- B：正 好中球では被ばく後2日以内に一過性の増加が見られ、この現象は初期白血球増加と呼ばれる。
- C：正 リンパ球の減少は被ばく後24時間で観察可能であり、白血球の中で最も早期に減少が認められる。
- D：正 血小板と赤血球とも核を持たないため放射線感受性は低い、血小板は赤血球より寿命が短いため、減少は血小板でより早期に見られる。

問4 5 Gy の  $\gamma$  線急性全身被ばく後、2時間以内に50%以上の頻度で見られる症状として、正しいものの組合せは次のうちどれか。

- A 嘔吐
- B 下痢
- C 発熱
- D 意識障害

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

〔解答〕 3

〔解説〕 5 Gy の全身被ばくによる急性放射線症候群では、嘔吐および発熱が2時間以内に50%以上の頻度で認められ、下痢は3～8時間後に発症するが、意識に障害は生じない。

(IAEA Safety Reports Series No.2 “Diagnosis and Treatment of Radiation Injuries”, 1998)

問5 放射線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 晩発性障害はすべて確率的影響である。
- B 急性障害はすべて確定的影響である。
- C 生殖腺に生じる障害はすべて確率的影響である。
- D 肺の線維化は晩発性障害である。

- 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〕

- A：誤 晩発性障害には、確定的影響である白内障が含まれる。  
B：正  
C：誤 生殖腺の障害による一時的不妊は、確定的影響である。  
D：正 肺の確定的影響として、急性では約3ヶ月で肺浮腫や肺炎が発症し、その後晩発障害として肺線維症に移行する。

問 6 職業被ばく及び医療被ばくによる発がん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 ウラン鉱夫において、肺がんの増加が見られた。  
B ラジウム時計文字盤工において、骨がんの増加が見られた。  
C 胸部X線透視を行った結核患者において、乳がんの増加が見られた。  
D トリウムを含む造影剤を投与された患者において、肝がんの増加が見られた。  
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〕

- A：正 ウラン鉱山内でのウラン・トリウム系列核種である $^{222}\text{Rn}$ あるいは $^{220}\text{Rn}$ を吸入することにより、肺がんの増加が見られた。  
B：正 文字盤工が筆先を口先で整えた際に $^{226}\text{Ra}$ が摂取され、カルシウムと同じ第2族元素であるため、 $^{226}\text{Ra}$ が骨に集積し骨がんが増加した。  
C：正 米国での追跡調査により、胸部X線透視を行った結核患者において、主に19歳以下の女性にて乳がんの増加が観察されている。  
D：正 過去に使用されていた二酸化トリウムコロイドを主剤とするX線造影剤トロトラストは、肝臓に集積し、投与された患者に肝がんを多発させた。

問 7 ラドン( $^{222}\text{Rn}$ )、トロン( $^{220}\text{Rn}$ )及びこれらの子孫核種の吸入による自然放射線被ばくに関する次の記述のうち、正しいものはどれか。

- 1 ラドン、トロンはともに $\alpha$ 壊変を経て、ラジウムとなる。  
2 日本における1人当たり、1年当たりのラドン及びその子孫核種の吸入による内部被ばく線量の平均は、トロン及びその子孫核種の吸入による内部被ばく線量の平均に比べて高い。  
3 ラドン原子自身あるいはトロン原子自身が放出する放射線による被ばく線量は、それぞれのすべての子孫核種が放出する放射線による被ばく線量に比べて高い。  
4 日本における1人当たり、1年当たりのラドン、トロン及びこれらの子孫核種の吸入による内部被ばく線量の平均は、約2ミリシーベルトである。  
5 日本における1人当たり、1年当たりのラドン、トロン及びこれらの子孫核種の吸入による内部

(令和4年度) 第1種生物学

被ばく線量の平均は、世界全体における1人当たり、1年当たりのラドン、トロン及びこれらの子孫核種の吸入による内部被ばく線量の平均より高い。

〔解答〕 2

〔解説〕

- 1: 誤 ラジウムが $\alpha$ 壊変を経て、ラドン、トロンとなる。
- 2: 正
- 3: 誤 ラドンあるいはトロンは貴ガスであり、吸気後は多くが呼気によって体外に放出されるが、子孫核種であるポロニウムあるいは鉛、ビスマスは金属元素であり肺に沈着する。このため、子孫核種による被ばく線量は、ラドンおよびトロン原子自身による被ばく線量より高い。
- 4: 誤 平均は、約 0.47 mSv である。(環境省ホームページ)
- 5: 誤 世界平均は約 1.26 mSv であり、我が国での平均約 0.47 mSv より高い。(環境省ホームページ)

問 8 物理的半減期が 300 日の放射性核種が体内に取り込まれたとする。300 日後に体内の放射能が 16 分の 1 に減少していたとき、生物学的半減期[日]として最も近い値は次のうちどれか。

- 1 43    2 60    3 75    4 100    5 225

〔解答〕 4

〔解説〕 300 日後に体内の放射能が 16 分の 1 になった(半減期が 4 回経過した)ことから、この放射性核種の有効半減期は 75 日である。よって、 $1/75 = 1/300 + 1/T_b$  より、生物学的半減期は、100 日となる。

問 9 ヒドロキシルラジカル ( $\cdot\text{OH}$ ) 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 求電子反応により還元される。
- B 2 分子が結合して過酸化水素を生成する。
- C 間接作用による DNA 損傷への寄与は水素ラジカルよりも大きい。
- D その寿命はスーパーオキシドラジカルの寿命より長い。

- 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 ヒドロキシルラジカルは酸化作用が非常に強く、他の原子や分子より電子を奪い取り自身は還元される。
- B: 正 2 分子のヒドロキシルラジカルから、過酸化水素が生成することが知られている ( $\cdot\text{OH} + \cdot\text{OH} \rightarrow \text{H}_2\text{O}_2$ )。このような反応は、ラジカルカップリングと呼ばれる。
- C: 正 水素ラジカルは、酸化作用とともに還元性も有し、DNA 損傷への寄与は強力な酸化作用を

(令和4年度) 第1種生物学

持つヒドロキシルラジカルより小さい。

D: 誤 ヒドロキシルラジカルは、スーパーオキシドより反応性が高く短寿命である。

問10 放射線の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 全溶質分子に対する損傷を受ける溶質分子の割合は、溶質分子の濃度を上げると減少する。
- B 損傷を受ける溶質分子の数は、溶質分子の濃度を上げると増加する。
- C 照射後に酸素分圧を高めると作用が増強される。
- D 温度を下げると作用が軽減される。
- E グルタチオンにより作用が軽減される。

1 ABCのみ 2 ACEのみ 3 ADEのみ 4 BCDのみ 5 BDEのみ

〔解答〕3

〔解説〕

A: 正 希釈効果に関する正しい記述である。放射線量が一定であれば、間接作用による反応性の高いラジカル種の発生数は一定であるので、溶質分子の濃度を上げると損傷を受ける割合は低下する。

B: 誤 上記のように、発生するラジカル種は一定のモル数であるので、溶質分子の濃度を上げても損傷を受ける溶質分子の数は一定である。

C: 誤 酸素効果に関する誤った記述である。酸素分圧が高ければ、放射線の間接作用により活性酸素種が多く発生し作用が増強されるが、照射後に酸素分圧を高めても、活性酸素種は増加しないため増強作用は認められない。

D: 正 温度効果に関する正しい記述である。温度を下げると、生じたラジカル種の拡散や反応性が低下するため、作用は軽減される。

E: 正 グルタチオンはラジカルスカベンジャー作用を持つため、発生したラジカル種を減少させ作用を軽減させる。

問11 DNA及び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 二本鎖DNAの向かい合う塩基は、水素結合により結合している。
- B 8-オキソグアニンはチミンと対合することにより突然変異の原因となる。
- C 放射線照射による塩基の損傷は、DNAから塩基が遊離する原因となる。
- D  $\gamma$ 線によって生じる単位吸収線量当たりのDNA一本鎖切断の数は、二本鎖切断の数の約3倍である。

1 AとB 2 AとC 3 BとC 4 BとD 5 CとD

〔解答〕2

〔解説〕

A: 正 アデニンとチミンは二本の水素結合で、グアニンとシトシンは三本の水素結合で結合する。

B: 誤 8-オキソグアニンは、アデニンと対合する。

C: 正 塩基の損傷により、2'-デオキシリボースと塩基との N-グリコシド結合が切断され塩基が DNA から遊離することがある。

D: 誤 DNA 一本鎖切断の数は、二本鎖切断の数の 25 倍程度生じる。

問 12 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 の断片化が観察される。

B 細胞膜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促進される。

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

〔解答〕 3

〔解説〕

B: 誤 細胞膜ではなく、核の凝縮が観察される。

A、C、D: 正 正常細胞では放射線照射により、正常 p53 タンパク質の発現が誘導され、A、C といった一連のアポトーシスの反応が促進される。

問 13  $\gamma$  線照射したマウスの仔における 1 遺伝子座位当たりの平均放射線誘発変異頻度として、横軸が吸収線量[Gy]、縦軸が変異頻度のグラフを描いたとき、縦軸の切片が  $1.0 \times 10^{-5}$ 、傾きが  $3.6 \times 10^{-6} \text{ Gy}^{-1}$  となるデータが得られたとする。ヒトの倍加線量[Gy]を、このデータを用いて間接法によって推定したとき、最も近い値は次のうちどれか。ただし、ヒトの自然変異頻度は 1 世代、1 遺伝子座位当たりの平均値として  $3.0 \times 10^{-6}$  と推定されている。

1 0.12 2 0.36 3 0.83 4 1.2 5 1.7

〔解答〕 3

〔解説〕 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る。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。ヒトの自然発生突然変異の頻度が  $3.0 \times 10^{-6}$  であるから、変異頻度を  $3.0 \times 10^{-6}$  上昇させると自然発生突然変異の頻度と合わせて 2 倍の突然変異頻度となるため、この線量が倍加線量となる。よって、マウスでのデータをもとにヒトの倍加線量を推定する間接法にしたがい、グラフの傾き  $3.6 \times 10^{-6} (\text{Gy}^{-1})$  より、 $3.0 \times 10^{-6} \div 3.6 \times 10^{-6} (\text{Gy}^{-1}) = 0.83 \text{ Gy}$  となる。

問 14 培養ヒト正常体細胞における染色体および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 相同組換えによる DNA 二本鎖切断修復は、相同染色体を必要とする。

(令和4年度) 第1種生物学

- B 非相同末端結合による DNA 二本鎖切断修復は、相同染色体を必要としない。  
C 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。  
D 染色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。
- 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 ヒト細胞には2つの主要な DNA 二本鎖切断修復経路が存在する。1つは相同組換えである。DNA 複製によって生じた同じ配列を持つ染色体である「姉妹染色分体」の DNA 配列を利用して修復を行うものである。
- B：正 ヒト細胞のもう1つの主要な DNA 二本鎖切断修復経路は、非相同末端結合である。DNA の相同性とは無関係に切断された末端同士を直接結合するものである。
- C：誤 下記参照
- D：正 染色体異常には染色体型異常と染色分体型異常がある。DNA 複製前すなわち G<sub>1</sub>期や G<sub>0</sub> 期に照射されると起こる染色体型異常では、DNA 複製により切断個所を含めて合成され、姉妹染色分体の同じ位置に異常が見られる。

問 15 ある哺乳類培養細胞に対して、<sup>3</sup>H-チミジン、<sup>125</sup>I-コンカナバリンをそれぞれ X 線照射の場合と同じ生存率 50%になるように投与し、核、細胞質、細胞膜の3つの区分での吸収線量を比較することにより、放射線の重要な標的となる区分を調べる実験を行い、下の表の結果を得た。この実験結果から考えられる内容として、正しいものの組合せは次のうちどれか。ただし、コンカナバリンは糖鎖に結合するタンパク質である。

照射または投与	各区分の吸収線量[Gy]		
	核	細胞質	細胞膜
X線	3.3	3.3	3.3
<sup>3</sup> H-チミジン	3.8	0.27	0.01
<sup>125</sup> I-コンカナバリン	4.1	24.7	516.7

- A <sup>3</sup>H-チミジンは、核に多く集積する。  
B <sup>125</sup>I-コンカナバリンは、細胞膜に多く集積する。  
C 生存率を決める放射線の標的が核に存在する。  
D 細胞膜の吸収線量が生存率に最も大きく寄与する。
- 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〕

(令和4年度) 第1種生物学

- A: 正  $^3\text{H}$ -チミジンを投与した場合、核の吸収線量が高くなったため、 $^3\text{H}$ -チミジンは核に多く集積するものと考えられる。哺乳類細胞における放射線の標的は DNA であると考えられており、致死効果が最も大きいものは DNA 前駆物質である  $^3\text{H}$ -チミジンである。その理由は2つあり、DNA に取り込まれた  $^3\text{H}$  が  $^3\text{He}$  に元素変換するためと、DNA が  $^3\text{H}$  からの  $\beta$  線を被ばくするためである。
- B: 正  $^{125}\text{I}$ -コンカナバリンを投与した場合、細胞膜の吸収線量が高くなったため、 $^{125}\text{I}$ -コンカナバリンは細胞膜に多く集積するものと考えられる。
- C: 正 同じ生存率 50%でも、細胞質ならびに細胞膜の吸収線量が桁違いに変化しているケースがある。一方、核の吸収線量はあまり変わらない。このことから、核の吸収線量と生存率には関係があると考えられる。そのため、生存率を決める放射線の標的が核に存在すると考えられる。
- D: 誤 同じ生存率 50%でも、細胞膜の吸収線量が 0.01 Gy の時もあれば 516.7 Gy の時もあるので、細胞膜の吸収線量は生存率にほとんど寄与していない。

問 16 直線-二次曲線(LQ)モデルに関する次の記述のうち、正しいものはどれか。

- 1 細胞生存率曲線を片対数グラフ上に描くと、 $\alpha/\beta$  比が大きいほど、曲がり大きい。
- 2  $\alpha/\beta$  比は次元を持たない無名数である。
- 3  $\alpha/\beta$  比が大きいほど、亜致死損傷からの回復が大きい。
- 4  $\alpha/\beta$  比は、早期反応組織よりも晩発性反応組織で小さい傾向がある。
- 5 腫瘍組織の  $\alpha/\beta$  比は、一般的に早期反応組織よりも晩発性反応組織に近い傾向がある。

〔解答〕 4

〔解説〕

- 1: 誤  $\alpha$  が直線、 $\beta$  が二次曲線に関する係数に相当する。そのため、 $\alpha/\beta$  比が大きいほど直線の寄与が大きいと考えられるため、曲線の曲がり小さくなる。
- 2: 誤  $\alpha$  は線量の逆数の次元、 $\beta$  は線量の二乗の逆数の次元を持つため、 $\alpha/\beta$  比は線量の次元を持つ。
- 3: 誤 亜致死損傷回復 (SLD 回復) は、低線量率の方が回復量は大きい。そのため、 $\alpha/\beta$  比が大きいほど、SLD 回復は小さくなる。
- 4: 正  $\alpha/\beta$  比は早期反応組織で大きく (10 Gy 前後)、晩発性反応組織で小さい (2~3 Gy 程度)。
- 5: 誤 腫瘍組織の  $\alpha/\beta$  比は正常組織の  $\alpha/\beta$  比よりも大きく、一般的に早期反応組織に近い傾向がある。

問 17 培養ヒト体細胞について、細胞周期と放射線の影響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 S 期前半に比べて S 期後半から  $G_2$  期前半は放射線致死感受性が低い。
- B 非相同末端結合による修復に関わる遺伝子を欠損する細胞は、S 期後半から  $G_2$  期前半にかけ

(令和4年度) 第1種生物学

て最も高い放射線致死感受性を示す。

C X線に比べて、 $100 \text{ keV} \cdot \mu\text{m}^{-1}$ の炭素イオン線では致死感受性の細胞周期依存性が小さい。

D  $G_2$ 期に被ばくした場合、主に染色分体型異常が見られる。

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

〔解答〕 3

〔解説〕

A：正 細胞は分裂期またはその付近で放射線感受性が最も高い。また、S期末期で感受性が最も低い。そのため、S期後半から、それに続く $G_2$ 期前半は、放射線致死感受性が低い。

B：誤 S期後半では相同組換え修復が起きるため、放射線感受性が低い。

C：正 高LET放射線は放射線感受性の細胞周期依存性が小さい。

D：正  $G_2$ 期に被ばくを受けた細胞には染色分体型異常が見られ、末端欠失がよく観察される。

問18 ヒトの胎内被ばくによる放射線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、小児期被ばくと比較して統計学的に有意に高い。

B 受精後0日から8日までの時期に被ばくして生き残った胚は、正常に発生すると考えられている。

C 受精後9日から8週までが、奇形が生じる可能性が妊娠期間中で最も高い。

D 受精後9日から8週までが、精神遅滞が生じる可能性が妊娠期間中で最も高い。

- 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 胎内被ばくは小児期被ばくよりもリスクは低いと考えられている。

B：正 受精直後に被ばくして生き残った胚は正常に育っていくと考えられている。

C：正 奇形が生じる可能性が最も高い期間は、器官形成期である受精後9日～8週における被ばくである。

D：誤 精神遅滞が生じる可能性が最も高い期間は、受精後8～15週における被ばくである。

問19 胎児期に $\gamma$ 線急性全身被ばくした場合に、精神遅滞発生のしきい線量[Gy]として最も適切なものは次のうちどれか。

- 1 0.008～0.012    2 0.02～0.06    3 0.08～0.12    4 0.2～0.6    5 0.8～1.2

〔解答〕 4

〔解説〕 胎児期に $\gamma$ 線急性全身被ばくした場合に精神遅滞発生のしきい線量は200～400 mGyと考えられている。

問20 成人の $\gamma$ 線急性局所被ばくによる生殖腺の影響に関する次の記述のうち、正しいものはどれか。

- 1 精巣に1 Gy 被ばくした場合、被ばく直後から不妊となる。
- 2 精巣に1 Gy 被ばくした場合、永久不妊となる。
- 3 卵巣に1 Gy 被ばくした場合、永久不妊となる。
- 4 卵巣に被ばくした場合、年齢が高いほど少ない線量で永久不妊となる。
- 5 卵巣に被ばくした場合、卵原細胞の死が不妊の原因となる。

〔解答〕4

〔解説〕

- 1：誤 精巣の一時的不妊の $\gamma$ 線急性吸収線量のしきい線量は約0.1 Gyと考えられているが、潜伏期が3～9週存在する。
- 2：誤 精巣の永久不妊の $\gamma$ 線急性吸収線量のしきい線量は、約6 Gyと考えられている。
- 3：誤 卵巣の永久不妊の $\gamma$ 線急性吸収線量のしきい線量は、約3 Gyと考えられている。
- 4：正 2.5～5.0 Gyでは15～40歳では60%が永久不妊となり、40歳以上では100%永久不妊となる。5～8 Gyでは15～40歳では70%が永久不妊となり、40歳以上では100%永久不妊となる。
- 5：誤 卵巣では卵子の生産よりも卵子の機能維持や保護のために組織が分化しているので、これらに対する放射線影響が不妊の原因と考えられる。

問21 急性X線局所被ばくによる皮膚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 5 Gyの被ばくにより3週間程度で一時的脱毛が起こる。
  - B 乾性落屑<sup>せつ</sup>のしきい線量は、湿性落屑のしきい線量より高い。
  - C 7 Gyの被ばくにより約1年後以降に委縮が起こる。
  - D 4 Gyの被ばくにより1日以内に紅斑が見られる。
- 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 一時的脱毛は、3 Gy以上で、14～28日で起こると考えられる。
- B：誤 乾性落屑のしきい線量は、湿性落屑のしきい線量よりも低い。
- C：誤 萎縮のしきい線量は11 Gyと言われており、出現時期も14週以降と言われている。
- D：正 紅斑は、3～10 Gyで、14～21日で起こると考えられる。

問22 次の記述のうち、正しいものはどれか。

- 1 放射線により過剰に誘発された突然変異頻度を自然突然変異頻度の2倍にする吸収線量を倍加線量という。
- 2 ICRP2007年勧告では遺伝性(的)影響におけるヒトの倍加線量として100 mGyが用いられている。

る。

- 3 遺伝性(的)影響は倍加線量が大きいほど、起こりやすい。
- 4 一般に、遺伝性(的)影響には線量率効果が見られない。
- 5 一般に、遺伝性(的)影響の重篤度は線量に依存しない。

〔解答〕 5

〔解説〕

- 1: 誤 倍加線量においては、放射線により過剰に誘発された突然変異頻度は、自然突然変異頻度と同じ値である。つまり、倍加線量は突然変異頻度を2倍にする吸収線量である。
- 2: 誤 ヒトの倍加線量として1 Gyが仮定されている。
- 3: 誤 倍加線量が大きいほど、遺伝性(的)影響が起こるのに必要な線量は大きいので、遺伝性(的)影響は起こりにくい。
- 4: 誤 同一の放射線量の照射を受ける場合、低線量率で長時間照射を受ける場合と、高線量率で短時間の照射を受ける場合とでは、生物学的効果は大きく異なり、後者の方が効果は大きい。これを線量率効果という。線量率効果は遺伝性(的)影響にも認められる。
- 5: 正 遺伝性(的)影響は確率的影響であるため、頻度は線量に伴って増加するが、重篤度は線量に依存しない。

問 23 原爆被爆者における全固形がんによる死亡の相対リスクおよび過剰相対リスク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 被爆時年齢、到達年齢によらず、相対リスクと過剰相対リスクの差は常に一定である。
  - B 相対リスクは、到達年齢が同じであれば、一般に被爆時年齢が低いほど大きい。
  - C 過剰相対リスクは、被爆時年齢が同じであれば、一般に到達年齢が高いほど大きい。
  - D 30歳で被爆し、70歳に到達したときの過剰相対リスクは1 Gyにおいて0.4~0.5である。
- 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 過剰相対リスクは相対リスクから1を引いた値である。そのため、相対リスクと過剰相対リスクの差は常に一定となる。
- B: 正 一般に被爆時年齢が低いほど放射線リスクが高いことが、原爆被爆者の寿命調査により明らかになっている。
- C: 誤 過剰相対リスクは、被爆時年齢が同じ場合、到達年齢が高くなるほど小さくなる。
- D: 正 被爆時年齢が10歳だと過剰相対リスクはどの到達年齢においても1 Gyにおいて概ね1を超えるが、被爆時年齢が30歳以上だと過剰相対リスクはどの到達年齢においても1 Gyにおいて概ね1を下回る。

問24 低LET放射線( $1 \text{ keV} \cdot \mu\text{m}^{-1}$ )と比較した場合の高LET放射線( $100 \text{ keV} \cdot \mu\text{m}^{-1}$ )の正常ヒト線維芽細胞に対する作用の特徴として、正しいものの組合せは次のうちどれか。

- A 細胞致死効果の線量率効果が小さい。
- B 生存率曲線の傾きが大きい。
- C 細胞致死効果の酸素増感比が小さい。
- D 照射24時間後に残存するDNA二本鎖切断の数が多い。

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〕

- A：正 高LET放射線は線量率効果が小さい。
- B：正 高LET放射線は生存率曲線の傾きが大きい。
- C：正 高LET放射線は直接作用が主となるため、酸素増感比は小さい。
- D：正 高LET放射線はDNA二本鎖切断をより多く起こす。

問25 RBE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 ICRPが勧告する放射線加重(荷重)係数の根拠となっている。
- B 細胞致死効果や突然変異など、着目する生物効果によって値が異なる。
- C 1つの生物効果に対しては、基準放射線の線量域にかかわらず同じ値となる。
- D 基準放射線として、 $^{60}\text{Co}$ 線源からの $\gamma$ 線を用いることができる。
- E 線量率を変化させても値は変わらない。

1 ABDのみ    2 ABEのみ    3 ACDのみ    4 BCEのみ    5 CDEのみ

〔解答〕1

〔解説〕

- A：正 生物学的効果比(RBE)は、放射線加重(荷重)係数の根拠となっている。
- B：正 RBEとして、X線・ $\gamma$ 線・電子線は1といったおおよその目安の値がとられているが、一般には、放射線の種類やエネルギーのほか、線量率、器官や組織の性質、細胞分裂の時期など、複雑な要因が関係してくる。
- C：誤 Bの解説参照。
- D：正 RBEとして、X線・ $\gamma$ 線・電子線は1という値が定められている。
- E：誤 Bの解説参照。

問26 放射線による外部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 一般的に $\alpha$ 線の外部被ばくでは、重篤な障害を生じることはほとんどない。
- B 一般的に $\beta$ 線の外部被ばくでは、骨髄障害よりも皮膚障害を起こしやすい。
- C  $^{60}\text{Co}$ 線源からの $\gamma$ 線は身体の深部まで到達する。

(令和4年度) 第1種生物学

D がん治療で用いる陽子線は体内で停止するとき、ブラッグピークを形成する。

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

〔解答〕5

〔解説〕

A：正  $\alpha$ 線は透過性が小さく、組織透過距離はおよそ数十 $\mu\text{m}$ のため、外部被ばくでは障害を起しにくい。一方、内部被ばくでは障害が大きく問題となる。

B：正  $\beta$ 線は $\alpha$ 線より透過性が高く、皮膚を透過するものの、透過距離はおよそ数mmまでであり、皮膚障害は起こしやすいものの、深部にある骨髄への障害は起こしにくい。

C：正  $^{60}\text{Co}$ 線源からの $\gamma$ 線は身体の深部にまで透過するため放射線治療に用いられる。

D：正 陽子線は、体内において停止する直前に急激に電離能がピークに達するブラッグピークを形成し、この特性を活かしたものが陽子線治療である。

問27 ICRP2007年勧告における放射線加重係数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 すべてのエネルギーの光子に対して1が与えられている。

B すべてのエネルギーの電子に対して1が与えられている。

C すべてのエネルギーの陽子に対して2が与えられている。

D すべてのエネルギーの中性子に対して20が与えられている。

- 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 光子の放射線加重係数はいずれも1である。

B：正 電子および $\mu$ 粒子の放射線加重係数はいずれも1である。

C：正 陽子および荷電パイオンの放射線加重係数はいずれも2である。

D：誤 中性子は中性子エネルギー $E_n$ が1MeV未満であれば放射線加重係数は $2.5+18.2e^{-[\ln(E_n)]^2/6}$ 、1MeV以上50MeV以下であれば $5.0+17.0e^{-[\ln(2E_n)]^2/6}$ 、50MeVより高い場合には $2.5+3.25e^{-[\ln(0.04E_n)]^2/6}$ である。

問28  $\beta$ 線により甲状腺が平均1.0 mGy、 $\gamma$ 線により脳が平均0.5 mGy被ばくした。このときの実効線量[mSv]として、最も近い値は次のうちどれか。甲状腺、脳の組織加重係数を、それぞれ0.04、0.01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。

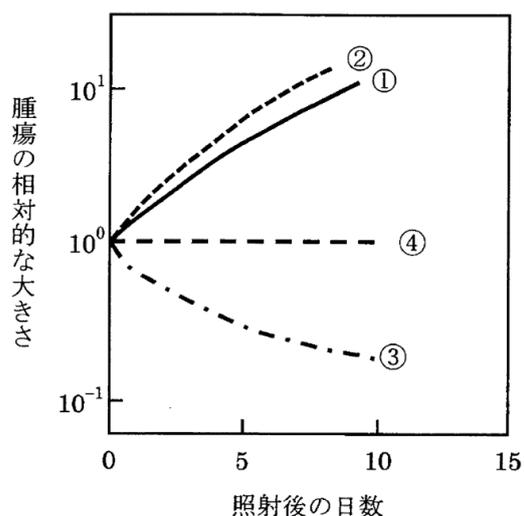
- 1 0.040 2 0.045 3 0.050 4 0.085 5 0.090

〔解答〕2

〔解説〕実効線量(Sv)は、各組織の等価線量に組織加重係数を乗じ、これらを全身の組織について加

算した総和の線量である。 $\beta$ 線の放射線加重係数は1であり甲状腺の組織加重係数は0.04であるから、甲状腺にて $1.0 \text{ (mGy)} \times 1 \times 0.04 = 0.04 \text{ (mSv)}$ となる。一方で $\gamma$ 線の放射線加重係数は1であり脳の組織加重係数は0.01であるから、脳にて $0.5 \text{ (mGy)} \times 1 \times 0.01 = 0.005 \text{ (mSv)}$ となる。これらを合計し、実効線量は $0.04 + 0.005 = 0.045 \text{ mSv}$ となる。

問 29 p53 タンパク質の遺伝子が正常又は欠損したヒトがん細胞をマウスに移植した。作製された腫瘍について、放射線照射後の大きさの変化をグラフに示す。



グラフの曲線は、それぞれ①p53 正常細胞で作製した腫瘍の非照射時、②p53 欠損細胞で作製した腫瘍の非照射時、③p53 正常細胞で作製した腫瘍の 15 Gy 照射時、及び④p53 欠損細胞で作製した腫瘍の 15 Gy 照射時の照射後の腫瘍の相対的な大きさの変化を示す。この実験結果から考えられる内容として、正しいものの組合せは次のうちどれか。ただし、照射後 0 日においてすべての腫瘍の大きさは同じであり、腫瘍の大きさの変化にはヒトがん細胞数のみが影響を与えると仮定する。

- A p53 正常細胞は、p53 欠損細胞と比べて増殖速度が速い。
- B p53 正常細胞では、照射後に細胞死が生じた。
- C p53 欠損細胞では、放射線による腫瘍の増大に対する抑制効果がない。
- D p53 欠損細胞は、p53 正常細胞と比べて放射線抵抗性である。

- 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〕

A：誤 p53 正常細胞は、p53 欠損細胞より日数に対する腫瘍の相対的な大きさが小さいため増殖速度は遅いと判断できる。

B：正 p53 正常細胞は、照射後に腫瘍の相対的な大きさが減少しているため細胞死が起きたと判断できる。

- C: 誤 p53 欠損細胞は照射しない場合には腫瘍の相対的な大きさが増加していたが、照射した場合には腫瘍の相対的な大きさの減少はみられないものの、増加もみられないため腫瘍増大の抑制効果はあると判断できる。
- D: 正 p53 正常細胞は照射により腫瘍の相対的な大きさが減少しているが、p53 欠損細胞により照射により腫瘍の相対的な大きさ増加もみられないものの、減少もみられないため p53 正常細胞より放射線抵抗性であると判断できる。

問 30 陽電子断層撮影(PET)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 陽電子の対消滅で生じる 662 keV の光子を検出する。  
B 同時計数が用いられる。  
C  $^{14}\text{C}$  コリンは脳腫瘍の診断に用いられる。  
D  $^{18}\text{F}$  フルオロデオキシグルコース(FDG)はがん診断に用いられる。
- 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〕

- A: 誤 陽電子の対消滅で生じる  $\gamma$  線 (光子の) エネルギーは 511keV である。  
B: 正 PET は検出器にて同時計数法を用いて生体に投与された陽電子崩壊核種で標識したトレーサーの投影データを収集し、その分布画像を得る方法である。  
C: 誤 脳腫瘍の診断に用いられるのは  $^{11}\text{C}$  コリンである。  
D: 正  $^{18}\text{F}$  フルオロデオキシグルコース (FDG) はブドウ糖と似た性質を持っており、ブドウ糖を多く必要とするがん細胞がこれを取り込む性質を利用して、がん診断に用いられている。

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 ヒトの放射線高感受性遺伝病の 1 つにナイミーヘン染色体不安定性症候群 (NBS) がある。この遺伝病は *NBN* 遺伝子の変異によって生じ、毛細血管拡張性運動失調症(AT)と同様に、 A  遺伝様式を示す。したがって、ある NBS の患者の両親が健康な場合、 B  が一对の *NBN* 遺伝子の  C  に変異を持つ。さらに、この患者の兄弟姉妹が健康な場合、その兄弟姉妹は  D  の確率で一对の *NBN* 遺伝子の  C  に変異を持つ。NBS 患者において一对の *NBN* 遺伝子に異なる変異を持つ場合と、同一の変異を持つ場合がある。このうち、患者の両親がいとこの場合、患者では一对の *NBN* 遺伝子に  E  。

<A の解答群>

- 1 常染色体顕性(優性)    2 常染色体潜性(劣性)    3 X 染色体顕性(優性)  
4 X 染色体潜性(劣性)

<B の解答群>

(令和4年度) 第1種生物学

1 父親のみ    2 母親のみ    3 父親と母親のいずれか一方のみ    4 父親と母親の両方

<Cの解答群>

1 一方    2 両方

<Dの解答群>

1 1/4    2 1/3    3 1/2    4 2/3    5 3/4

<Eの解答群>

- 1 異なる変異を持つ場合が多い
- 2 同一の変異を持つ場合が多い
- 3 異なる変異を持つ場合と同一の変異を持つ場合がほぼ同数見られる

[解答] I    A-2    B-4    C-1    D-4    E-2

[解説]

A: 常染色体劣性遺伝形式をとる。

B、C: 常染色体劣性遺伝形式をとるため、両親が健康でその子供が発症するためには父親と母親共に一对の *NBN* 遺伝子の片方に変異 (ヘテロ接合) がなければならない。

D: メンデルの法則より変異していない遺伝子を A (優性)、変異している遺伝子を a (劣性) とすると、両親はいずれも Aa となり、その子供の遺伝子型比は AA:Aa:aa=1:2:1 となる。患者は aa であるため、健康な兄妹は AA または Aa となるから AA:Aa=1:2 であり、一对の遺伝子に変異があるのは Aa であることから健康な兄妹のうち Aa の割合は 2/3 となる

E: 同一の変異はすなわちホモ接合、異なる変異はヘテロ接合を指す。近親者婚では高く常染色体劣性遺伝疾患の頻度は増加することが言われており、常染色体劣性遺伝疾患患者の両親がいとこ同士である場合、両親が共に劣性遺伝子の保因者 (ヘテロ接合) であると考えられる。NBS は常染色体劣性遺伝疾患であるため一对の遺伝子に同一の変異、すなわち変異した遺伝子がホモ接合している。

II *NBN* 遺伝子から作られる Nbs1 タンパク質は、Mre11 および Rad50 タンパク質と複合体を形成し、DNA 二本鎖切断の修復において重要な役割を担う。NBS と似た症状を示す遺伝病(NBSLD)患者で Mre11、Rad50 タンパク質の遺伝子の変異が報告されている。

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、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、メッセンジャーRNA(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、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。下の表はコドンとアミノ酸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 コドン表

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	グルタミン	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	グルタミン酸	GGA	
	G	GUG		GCG		GAG		GGG	

以下に Mre11、Rad50 の遺伝子に見られる変異の例を 3 つ示す。

変異 1 Mre11 mRNA の 338 番目の A(下線)が G に置換  
333 番から 343 番まで UCAAGAAUGGCA

変異 2 Rad50 mRNA の 3,277 番目の C(下線)が U に置換  
3,272 番から 3,282 番まで AACCUCGAGAA

変異 3 Rad50 mRNA の 3,939 番目の A(下線)が U に置換  
3,934 番から 3,944 番まで CAUUAAAAAUA

変異 1 から変異 3 の中で、アミノ酸のうち 1 個が別のアミノ酸に変化するものは  であり、  
 が  に変化する。このような変異を  変異という。

また、変異 1 から変異 3 の中で、アミノ酸に対応するコドンが終止コドンに変化するものは  
 であり、開始されるコドンに対応するアミノ酸から数えて、 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。

<ア～エの解答群>

- 1 変異 1      2 変異 2      3 変異 3      4 サイレント  
5 ミスセンス    6 ナンセンス    7 フレームシフト

<F、Gの解答群>

- 1 アスパラギン    2 アスパラギン酸    3 アルギニン  
4 イソロイシン    5 グリシン          6 グルタミン

(令和4年度) 第1種生物学

7 グルタミン酸	8 システイン	9 セリン
10 チロシン	11 トリプトファン	12 トレオニン
13 プロリン	14 メチオニン	15 リシン

<Hの解答群>

1 112	2 113	3 1,011	4 1,012	5 1,092
6 1,093	7 1,312	8 1,313	9 9,828	10 9,829
11 11,814	12 11,815			

[解答] II アー1 イー5 ウー2 エー6 F-2 G-5 H-5

[解説] 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。

333番目から343番目は、U CAA GAU GGC Aと区切られる。変異1では下線があるAがGに変換されるので、U CAA GGU GGC Aとなり、GAUはアスパラギン酸であるがGGUはグリシンであるためアミノ酸が変化する。このように塩基が他の塩基に置き換わり、アミノ酸が変わる変異をミスセンス変異という。3,272番目から3,282番目では、AA CUU CGA GAAと区切られ、変異2では、AA CUU UGA GAAとなりCGAはアルギニンであるがUGAは終止コドンとなる。このように塩基が他の塩基に置き換わり、終止コドンとなってタンパク質合成が止まる変異をナンセンス変異という。なお終止コドンの手前の塩基でタンパク質合成が終了するので、アミノ酸が作られるのは3276番目までとなり、 $3276 \div 3 = 1,092$ 個となる。3,934番目から3,944番目では、CAU UAA AAA UAと区切られ、変異3では、CAU UAU AAA UAとなる。UAAは終止コドンであるが、UAUはチロシンであり、引き続きタンパク質合成が行われることになる。

III 正常ヒト二倍体線維芽細胞に1 Gyの $\gamma$ 線を照射した場合、細胞1個当たり約  個のDNA二本鎖切断が生成する。Nbs1、Mre11、Rad50の複合体(MRN複合体)は、 によるDNA二本鎖切断修復の初期段階において重要な役割を担うと考えられている。MRN複合体とさらにいくつかのタンパク質によって、DNA二本鎖切断で生じた末端付近で2本の鎖のうち1本の分解が行われ、一本鎖DNAが形成される。この一本鎖DNAと相補性を有するかどうかで  の鋳型となる鎖の検索が行われる。

また、MRN複合体は、ATの原因遺伝子から作られるATMタンパク質を、放射線によって生じたDNA二本鎖切断部位に結合させる上でも重要な役割を担うと考えられている。ATMタンパク質はp53タンパク質やヒストンH2AXタンパク質を  化する機能を持っている。このようにNbs1タンパク質は、Mre11、Rad50、ATMと協働しながらDNA二本鎖切断に対する多様な細胞応答に重要な役割を担っており、このことがNBS患者の細胞の放射線高感受性の原因と考えられる。

<Iの解答群>

1 4	2 40	3 400	4 4,000
-----	------	-------	---------

<J、Kの解答群>

(令和4年度) 第1種生物学

- |           |           |             |           |
|-----------|-----------|-------------|-----------|
| 1 BER     | 2 NER     | 3 V(D)J 組換え | 4 相同組換え   |
| 5 非相同末端結合 | 6 アセチル    | 7 グリコシル     | 8 メチル     |
| 9 ユビキチン   | 10 リン酸    | 11 脱アセチル    | 12 脱グリコシル |
| 13 脱メチル   | 14 脱ユビキチン | 15 脱リン酸     |           |

〔解答〕 III I-2 J-4 K-10

〔解説〕

I: 細胞に 1 Gy の  $\gamma$  線を照射すると 1 細胞あたり、1000 箇所の DNA 一本鎖切断、40 箇所の DNA 二本鎖切断が起こる

J: MRN 複合体は DNA 修復時の相同組み換えに関わる。相同組み換えは DNA 二本鎖切断時に損傷のない相同 DNA を鋳型にする修復である。

K: ATM 蛋白は p53 タンパク質などをリン酸化し活性化させる。

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。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 放射線が生体に及ぼす影響は、放射線の強度や線質だけでなく、被ばくする生体側の様々な要因によって変化する。ここでは、培養細胞を  $^{60}\text{Co}$  線源からの  $\gamma$  線により照射する場合を考えてみよう。細胞の構成成分の中で水の割合が最も大きい。したがって、細胞への  $\gamma$  線的作用では、 $\gamma$  線が水分子に作用した時に起こる現象が重要である。 $\gamma$  線が水分子に作用すると、マイクロ秒以下の非常に速い物理的・化学的過程を経て、数種類のラジカルが生じる。 $\gamma$  線のエネルギーを吸収して水分子が励起されると、水素ラジカルと  A  が生じる。一方、水分子が電離されると、電子と非常に不安定な  $\text{H}_2\text{O}^+$  ラジカルを生じる。前者は水分子が配位することにより  B  を生じ、後者は分解すると水素イオンと  C  を生じる。 B  は強い  D  であり、溶存酸素と反応すると  E  を生じ、水分子や水素イオンと反応すると水素ラジカルを生じる。このようにして生じた短寿命のラジカルは、DNA、タンパク質、脂質といった細胞構成成分と反応し、様々な影響を与える。このように、放射線が水分子に作用して、その結果生じたラジカルが生体成分に作用することを間接作用と呼び、培養細胞を  $^{60}\text{Co}$  線源からの  $\gamma$  線により大気圧、室温で照射する場合は、DNA 損傷における間接作用の寄与は  F  %と考えられている。

上記のように間接作用の過程で  E  が生じるが、その量は酸素濃度に依存する。 E  は活性酸素種の 1 つであり、生体に毒性を示す。生体内で生じた  E  を消去する酵素として最も重要なのは  G  である。一方、 A  などによる水素引き抜き反応で生じた有機ラジカルと酸素分子が反応すると、有毒な過酸化物を生じる。このように、間接作用は酸素濃度の影響を受け、酸素濃度が高いと放射線の生体有害作用が強くなる。これを酸素効果と呼び、酸素効果の指標として  H  がある。数 Gy の  $\gamma$  線を大気中で細胞に照射したときの細胞致死の  H  は一般に  I  の値をとる。

<A~E の解答群>

(令和4年度) 第1種生物学

- |                |          |              |
|----------------|----------|--------------|
| 1 水素ラジカル       | 2 窒素ラジカル | 3 ヒドロキシルラジカル |
| 4 スーパーオキシドラジカル | 5 水素イオン  | 6 窒素イオン      |
| 7 水酸化物イオン      | 8 水和電子   | 9 還元剤        |
| 10 酸化剤         | 11 中和剤   |              |

<Fの解答群>

- 1 0~20    2 20~50    3 50~80    4 80~100

<G、Hの解答群>

- |                  |                  |
|------------------|------------------|
| 1 カタラーゼ          | 2 スーパーオキシドジスムターゼ |
| 3 グルタチオンペルオキシダーゼ | 4 ホスホリパーゼ        |
| 5 プロテアーゼ         | 6 ATPアーゼ         |
| 7 チロシンヒドロキシラーゼ   | 8 DNAポリメラーゼ      |
| 9 LET            | 10 PCR           |
| 11 CSF           | 12 OER           |
| 13 RBE           | 14 DRF           |
| 15 PLD           |                  |

<Iの解答群>

- 1 0.2~0.4    2 1~2    3 2.5~3    4 3.5~4    5 4.5~5

[解答] I    A-3    B-8    C-3    D-9    E-4    F-3    G-2    H-12    I-3

[解説]

A~E: 放射線により水分子が励起されると水素ラジカル ( $\cdot\text{H}$ ) とヒドロキシルラジカル ( $\cdot\text{OH}$ ) が生じる。一方、水分子が電離されると非常に不安定な  $\text{H}_2\text{O}^+$  と電子 ( $e^-$ ) が生じる。 $\text{H}_2\text{O}^+$  は不安定のため分解してヒドロキシルラジカルを生じる。電子の周りには水分子が配列して、強い還元作用を有する水和電子となる。この水和電子は強力な還元剤として働き、酸素と反応すると酸素分子に電子が付加されスーパーオキシドラジカル ( $\cdot\text{O}_2^-$ ) となる。

F: 低 LET 放射線である  $\gamma$  線の間接作用の寄与は 50-80%程度と言われている。

G: スーパーオキシドラジカルは生体内にあるスーパーオキシドジスムターゼ (SOD) により分解される。

H: 酸素効果の大きさを表す指標として、無酸素下または無酸素である効果を生じるのに要する線量と、酸素存在下で同じ効果を生じるのに要する線量の比で表される酸素増感比 (OER) が用いられる。

I:  $\gamma$  線などの低 LET 放射線の OER は 2.5~3 であり、酸素による放射線感受性の変動が大きい。

II 培養ヒト正常線維芽細胞を  $\gamma$  線で照射すると、吸収線量に応じて細胞は死ぬ。数 Gy 程度の照射では、培養細胞は通常  死に至る。このような細胞死を  と呼ぶ。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 。同じ組織の中でも分裂している幹細胞に比べて、分裂を終了

した機能細胞は、放射線致死感受性が **イ** ことが多い。これには例外があり、末梢血リンパ球は、分裂を終了した機能細胞であるにもかかわらず放射線致死感受性が高い。これは、照射をきっかけとして短時間に秩序立って起こる **L** と呼ばれる細胞死が起こるためである。一方、数十 Gy などの大線量を照射した場合は、細胞の分裂能や代謝機能が失われ、細胞が壊れてそのまま死に至る。このような細胞死を **M** と呼ぶ。

<Jの解答群>

- 1 分裂することなく
- 2 1回から数回の分裂を経たのちに
- 3 5回から8回の分裂を経たのちに
- 4 10回以上の分裂を経たのちに

<Kの解答群>

- 1 分裂死
- 2 間期死

<ア、イの解答群>

- 1 高い
- 2 低い

<L、Mの解答群>

- 1 アポトーシス
- 2 エンドサイトーシス
- 3 オートリシス
- 4 ネクローシス
- 5 ファゴサイトーシス

〔解答〕 II J-2 K-1 ア-2 イ-2 L-1 M-4

〔解説〕

J、K：分裂死は照射後に細胞が数回分裂した後に死亡する現象で、間期死は大線量の放射線を被曝することで細胞が分裂することなく死亡する現象である。10Gy以下の $\gamma$ 線では分裂死となる。間期死には10Gy以上必要となる。

ア、イ：ベルゴニー・トリボンドーの法則では①細胞分裂頻度の高いものほど②将来、分裂回数が多いものほど③形態および機能において未分化なものほど、放射線感受性は高いとされている。そのため細胞分裂をこれ以上行わないような筋組織や分裂を停止した機能細胞などは放射線抵抗性となる。

L：リンパ球は放射線被曝により直接アポトーシスで細胞死が起こるために、極めて放射線感受性が高い

M：アポトーシスは細胞の縮小、クロマチンの凝縮、核の断片化などの形態的变化を伴う細胞死であるのに対し、ネクローシスは細胞の膨潤、溶解など細胞が壊れる細胞死を指す。