

令和 6 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。

※問 17 は出題ミスのため、正答がありません。詳細は原子力安全技術センターの発表 (https://www.nustec.or.jp/pdf/20240930_rihm.pdf) にてご確認ください。

(令和6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 放射線の健康影響に関わる国際機関の役割についての次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A UNSCEAR は、科学的・中立な立場から放射線影響の調査・評価を行っている。
- B ICRP は、放射線防護の基本的な枠組みと防護基準を勧告している。
- C IAEA は、原子力の平和的利用の推進とともに、その安全に関わる業務を行っている。
- D WHO は、緊急時においては放射線健康リスクの評価を行う責務を有している。

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

〔解答〕5

〔解説〕

- A：正 UNSCEAR は、放射線の影響に関する国連科学委員会（United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation）であり、科学的で中立的な立場から放射線影響の調査、研究を行っている国連の委員会の一つである。
- B：正 ICRP（国際放射線防護委員会（International Commission on Radiological Protection））は、専門家の立場から放射線防護に関する勧告を行う民間の国際学術組織である。
- C：正 IAEA（国際原子力機関（International Atomic Energy Agency））は、国連の自治機関であり、原子力の平和利用の推進とその安全に関わる業務を行っている。
- D：正 WHO（世界保健機関）は、緊急時における放射線健康リスクの評価を行う責務を有している。東京電力福島第一原子力発電所事故においても、事故後1年間における日本および周辺国の住民の被ばく線量評価を実施した。

問2 タンパク質合成量を調べるために使われる標識化合物は、次のうちどれか。

- 1 $[^3\text{H}]$ チミジン
- 2 $[^{14}\text{C}]$ ウリジン
- 3 $[^{32}\text{P}]$ デオキシチジン三リン酸
- 4 $[^{35}\text{S}]$ メチオニン
- 5 $[^{18}\text{F}]$ フルオロデオキシグルコース

〔解答〕4

〔解説〕

- 1：誤 $[^3\text{H}]$ チミジンは、複製中のDNAに取り込まれるため、DNAの合成量を測定できる。
- 2：誤 $[^{14}\text{C}]$ ウリジンは、合成中のRNAに取り込まれるため、RNAの合成量を測定できる。
- 3：誤 $[^{32}\text{P}]$ デオキシチジン三リン酸は、デオキシチジン三リン酸類似体としてDNAに取り

(令和6年度) 第1種生物学

込まれる。 α 位が ^{32}P の場合、DNA鎖中にリン酸ジエステル結合として取り込まれるためDNAの合成量を測定できる。

- 4: 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}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}S で標識されたタンパク質の合成量を測定できる。
- 5: 誤 [^{18}F]フルオロデオキシグルコースは、グルコース代謝の激しい組織に取り込まれる。そのため、がんやその転移巣の画像診断(PET)に汎用される。

問3 ^{14}C を利用した生物試料の年代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。

- A 縄文貝塚の年代を貝殻に含まれる ^{14}C の比放射能から推定できる。
- B 生物試料中に含まれる ^{14}C の測定に加速器質量分析法(AMS)を利用できる。
- C 生物の死後経過年数を ^{14}C によって測定する場合、生物の死後に閉鎖系が成立していることが必要条件となる。
- D 大気圏内核実験前の1950年を基準年として、 ^{14}C 年代を算出することが多い。

- 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 ^{14}C の半減期は5730年であり、縄文時代(約13000年前~3000年前)の年代測定に適している。炭化した種実や海産動物等から ^{14}C による年代測定が日本各地の縄文貝塚で行われている。
- B: 正 加速器質量分析計により ^{14}C の数を計数することで、 ^{14}C 年代測定が高精度に行われている。
- C: 正 大気上空で常に生成する ^{14}C のサイクルから外れないと、 ^{14}C 固有の半減期で放射能が減少していかない。そのため、生物の死後に閉鎖系が成立してないと正確な年代測定は不可能である。
- D: 正 1950年代から実施された大気圏での核実験に伴う ^{14}C の生成により、大気中の ^{14}C 濃度が急激に上昇したため、核実験起源の ^{14}C の影響を受ける直前の西暦1950年を基準年として ^{14}C 年代を算出することが多い。

問4 γ 線急性全身被ばくを受けた人の末梢^{しょう}血リンパ球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 好中球よりも早くから減少する。
- B 分裂後に細胞死を起こす。
- C 被ばく直後の二動原体染色体の頻度は、線量に対し直線的に増加する。
- D 相互転座は、被ばくから数十年経過後における線量推定に用いることができる。

- 1 AとB 2 AとC 3 AとD 4 BとD 5 CとD

〔解答〕 3

〔解説〕

- A：正 末梢血リンパ球は間期死を起こしM期を経ずに被ばく後24時間以内に減少するが、好中球などの顆粒球はリンパ球よりも減少には時間を要する。
- B：誤 上記のように、分裂するM期を経ずに細胞死(間期死)を起こす。
- C：誤 被爆直後に採取された末梢血リンパ球にて二動原体染色体を評価すると、その頻度は線量に対し直線ではなく、直線-2次曲線(LQ)モデルに従う。
- D：正 相互転座は時間が経っても体内に残る安定型異常であり、被ばく後の経過時間が長い場合は相互転座頻度が線量推定の指標となる。

問5 次のうち、 γ 線の急性全身被ばくによる組織反応(確定的影響)の潜伏期が最も長いものはどれか。

- 1 永久不妊(卵巣)
- 2 白内障(視力障害)
- 3 造血機能低下
- 4 皮膚発赤
- 5 一時的脱毛

〔解答〕 2

〔解説〕

- 1：卵巣の永久不妊は、潜伏期が1週間以内の早期影響である。
- 2：白内障は、数年間の潜伏期の後に発生する晩発影響である。
- 3：造血機能低下は、潜伏期が3~7日の早期影響である。
- 4：皮膚発赤は、潜伏期が1~4週間の早期影響である。
- 5：一時的脱毛は、潜伏期が2~3週間の早期影響である。

問6 γ 線急性被ばくで起こる障害のしきい線量として、適切なものの組合せは次のうちどれか。

- | | | |
|-------------|---|---------|
| A 造血機能低下 | — | 約0.5 Gy |
| B 白内障(視力障害) | — | 約0.5 Gy |
| C 一時的脱毛 | — | 約1 Gy |
| D 腎不全 | — | 約15 Gy |
- 1 ABCのみ 2 ABのみ 3 ADのみ 4 CDのみ 5 BCDのみ

〔解答〕 2

〔解説〕

- A：正 造血機能低下のしきい線量は、約0.5 Gyである。

(令和6年度) 第1種生物学

B: 正 白内障(視力障害)のしきい線量は、約0.5 Gyである。

C: 誤 一時的脱毛のしきい線量は、約4 Gyである。

D: 誤 腎不全のしきい線量は、約20 Gyである。

問7 成人の生殖腺への γ 線急性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 1 Gyの被ばくで、男性は被ばく直後から一時的不妊となる。

B ICRP2007年勧告では、男性の永久不妊のしきい線量は約6 Gyとしている。

C ICRP2007年勧告では、女性の永久不妊のしきい線量は約3 Gyとしている。

D 卵巣に被ばくした場合、年齢が低いほど少ない線量で永久不妊となる。

1 AとC 2 AとD 3 BとC 4 BとD 5 CとD

〔解答〕3

〔解説〕

A: 誤 0.1 Gyの被ばくで潜伏期3~9週を経て、男性の一時的不妊となる。

B: 正 男性の永久不妊は、しきい線量約6 Gyで潜伏期3週間を経て発症する。

C: 正 女性の永久不妊は、精巣より低くしきい線量約3 Gyで潜伏期1週間以内に発症する。

D: 誤 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。2.5~5.0 Gyにて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。

問8 広島・長崎の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 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。

B 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。

C 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。

D 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。

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 被爆時年齢が10歳である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歳以上である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。

B: 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。

C: 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。

D: 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。

問9 広島・長崎の原爆被爆者の調査において、有意な増加が認められているものの組合せはどれか。

- A 急性骨髄性白血病
- B 慢性骨髄性白血病
- C 急性リンパ性白血病
- D 成人T細胞白血病
- E 腎臓がん

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

〔解答〕1

〔解説〕

A～D：原爆被爆者の白血病に関する調査においては、急性および慢性の骨髄性白血病と急性リンパ球性白血病のみに有意な増加が認められている。成人T細胞白血病はレトロウイルス感染による白血病であり、被ばくによる有意な増加は認められていない。

E：腎臓がんは、原爆被爆者にて有意な増加は認められていない。

問10 広島・長崎の原爆被爆者におけるがんの発生および線量反応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。ただし、線量反応関係を表す場合には横軸に線量、縦軸に発生率をとるものとする。

- A 白血病の線量反応関係は、LQ(直線-2次曲線)モデルによく適合する。
- B LQモデルでは、低線量域における発生率はL(直線)モデルより小さいが、線量が大きくなると急激に発生率が大きくなるという特徴がある。
- C 白血病については、被爆後約2年から増加し始め、被爆後約6～8年で発生のピークを迎えた後低下している。
- D 固形がんは、現在でも新たな発生が認められている。

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

〔解答〕5

〔解説〕

A：正 白血病の線量反応関係は、LQモデルによく適合する一例である。

B：正 記載のとおり、LQモデルでは、低線量域における発生率はLモデルより小さいが、線量が大きくなると発生率が急激に大きくなるという特徴を持つ。

C：正 原爆被爆者の白血病に関して、被ばく後約2年から増加しはじめ、被ばく後6～8年で発生のピークとなり、その後低下している。

D：正 放射線に起因すると考えられる固形がんリスクの増加は、被爆の約10年後から認められ始め、ほとんどの固形がんでは、被爆時年齢に関係なく急性放射線被曝によりがん発生リ

スクは生涯を通じて増加する。

問11 トリチウムの生体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 内部被ばくと外部被ばくのうち、影響が出るのは主に内部被ばくである。
- B 水分子として摂取されるトリチウムが、生体内で有機物と結合することはない。
- C 水分子として存在するトリチウムの日本における排液中または排水中の濃度限度は 60 Bq/cm^3 とされている。
- D 経口摂取した場合のトリチウムの実効線量係数はセシウム 137 の値よりも大きい。

- 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 トリチウムからは β -線のみが放出され、その最大エネルギーは 0.0186 MeV と微弱であるため、外部から放射線が体内に透過しづらいので、外部被ばくよりも内部被ばくによる影響が大きい。
- B：誤 水分子として摂取されてトリチウムが、同位体交換反応や体内での代謝を経て有機物に取り込まれることがある。
- C：正 日本における廃液中又は排水中のトリチウム濃度限度は、水分子として 60 Bq/cm^3 である。
- D：誤 経口摂取した場合の実効線量係数は、トリチウムでは化合物形により異なるが最大で $4.2 \times 10^{-8} \text{ mSv/Bq}$ であるが、 ^{137}Cs ではすべての化合物において $1.3 \times 10^{-5} \text{ mSv/Bq}$ であり、セシウム 137 のほうが大きい。

問12 自然放射線による内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 世界全体における自然放射線被ばくの1人当たり、1年当たりの平均実効線量において、吸入摂取によるものと経口摂取によるものがほぼ同程度の数値を示す。
- B 日本における1人当たり、1年当たりのラドン ^{222}Rn 及びその子孫核種の吸入による内部被ばくの平均実効線量は、トロン ^{220}Rn 及びその子孫核種の吸入による内部被ばくの平均実効線量に比べて高い。
- C ラドン ^{222}Rn 原子自身およびトロン ^{220}Rn 原子自身が放出する放射線による被ばくの平均実効線量は、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の平均実効線量に比べて高い。
- D 日本における1人当たり、1年当たりのラドン ^{222}Rn 、トロン ^{220}Rn およびこれらの子孫核種の吸入による内部被ばくの平均実効線量は、世界全体における1人当たり、1年当たりのラドン ^{222}Rn 、トロン ^{220}Rn およびこれらの子孫核種の吸入による内部被ばくの平均実効線量よりも低い。

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

(令和6年度) 第1種生物学

〔解答〕 4

〔解説〕

- A：誤 自然放射線による内部被ばくの世界平均では、吸入摂取により 1.26 mSv、経口摂取により 0.29 mSv であり、経口摂取によるものが少ない。
- B：正 ラドン及びその子孫核種による吸入摂取にて約 0.37 mSv、トロン及びその子孫核種による吸入摂取にて約 0.09 mSv であり、トロン ^{220}Rn によるものが小さい。
- C：誤 ラドン ^{222}Rn (半減期 3.8 日) 及びトロン ^{220}Rn (半減期 55.6 秒) 原子自身からは、実効線量への寄与が大きい α 線が両者とも 1 本発生するのみである。一方、それぞれが安定核種の ^{206}Pb 及び ^{208}Pb までに壊変する際には、ラドンでは α 線が 4 回、トロンでは α 線が 3 回発生し、親核種よりも半減期の長い核種も存在するため、それぞれの子孫核種による平均実効線量のほうがより大きくなる。
- D：正 岩石やコンクリートはラドン・トロンの親核種であるウランやラジウムを含む。日本家屋では木造が多く、また昔ながらの建築工法では日本家屋は通気性が良く、地中から屋内に侵入したラドン・トロンが速やかに屋外に拡散するためと考えられている。

問 13 次の放射性核種のうち、体内で主に骨に集積する核種（骨親和性核種）として正しいものの組合せはどれか。

- A ^3H
B ^{32}P
C ^{60}Co
D ^{90}Sr

- 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 トリチウムは、特定の臓器に蓄積することなく、全身に分布すると考えられている。
- B：正 リンは骨の構成成分であり、そのため ^{32}P は主に骨に取り込まれ集積する。
- C：誤 ^{60}Co の体内摂取後の挙動は不明な点が多いが、骨に強く集積することはないとされる。
- D：正 ^{90}Sr は、骨構成成分であるカルシウムと同じ第 2 族元素であるため、体内での挙動が類似し主に骨に集積する。

問 14 内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 ホールボディカウンタは内部被ばく線量の測定に用いられる。
B 尿や糞などの生体試料を用いたバイオアッセイ法で内部被ばく線量が推定できる。
C 線源から飛散した放射性物質は外部被ばくの原因となるが、内部被ばくの原因とはならない。
D 実効線量係数は、内部被ばく線量の算定に用いられる。

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

〔解答〕 2

〔解説〕

- A：正 ホールボディカウンタは、体の中から出てくる γ 線を計測する装置であり、内部被ばく線量の測定に用いられる。放射性セシウムは体の至る所に分布するので、体内量の計測にはホールボディカウンタが用いられる。
- B：正 バイオアッセイ法は、尿や糞などの中にある放射性物質の量を測る内部被ばく線量推定法である。
- C：誤 線源から飛散した放射性物質は、呼吸により体内に吸引される可能性があるため、内部被ばくの原因にもなり得る。
- D：正 体内に放射性物質を取り込んだ時の内部被ばくによる実効線量は、摂取した放射性物質の放射能（ベクレル）に実効線量係数（シーベルト/ベクレル、核種と摂取経路によって決まる係数）を乗じることにより求められる。そのため、実効線量係数は、内部被ばく線量の算定に用いられる。

問 15 医療被ばくおよびそ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 診療行為による医療従事者の被ばくを含む。
- B 介助に伴う患者家族の被ばくを含む。
- C UNSCEAR2008年報告書では、世界人口における核医学診断による年間集団実効線量に比べて、X線診断による年間集団実効線量の方が大きい。
- D 過去には、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事例がある。
- 1 ABCのみ 2 ABDのみ 3 ACDのみ 4 BCDのみ 5 ABCDすべて

〔解答〕 4

〔解説〕

- A：誤 医療被ばくは患者の被ばくであり、診療行為による医療従事者の被ばくは職業被ばくに分類される。
- B：正 医療被ばくには、介助に伴う患者家族の被ばくも含まれる。
- C：正 UNSCEAR2008年報告書によると、世界人口における核医学診断による医療被ばくが集団線量として202,000 Sv・人であるのに対し、放射線（X線）診断による医療被ばくは4,000,000 Sv・人であり、後者の方が大きい。
- D：正 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事例が複数報告されている。

問 16 X線を細胞に照射した場合に生じる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 DNA-タンパク質間架橋は電離放射線に特有な損傷である。

(令和6年度) 第1種生物学

- B 単位吸収線量当たりの DNA-タンパク質間架橋の数は DNA 二本鎖切断の数よりも多くなる。
C 単位吸収線量当たりの塩基損傷の数は塩基遊離の数よりも多くなる。
D 単位吸収線量当たりの DNA 二本鎖切断の数は DNA 一本鎖切断の数よりも多くなる。
- 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 DNA とタンパク質の架橋 (DNA-タンパク質クロスリンク：DPC) は、電離放射線以外にも、紫外線やホルムアルデヒドなどの変異原物質で誘発され得る DNA 損傷である。
- B：正 1 Gy 当たり DNA-タンパク質架橋は 150 個生成、二本鎖切断は 40 個生成という報告があり、DNA-タンパク質架橋の数は DNA 二本鎖切断の数よりも多いと考えられる。
- C：正 DNA 損傷の起こりやすさは、①塩基損傷 (ヒドロキシラジカル ($\cdot\text{OH}$) 等による酸化) > ②塩基遊離 (塩基と糖の間の結合が切れる脱塩基反応) > ③一本鎖切断 > ④二本鎖切断の順である。そのため、単位吸収線量当たりの塩基損傷の数は、塩基遊離の数よりも多い。
- D：誤 上記より、単位吸収線量当たりの DNA 二本鎖切断の数は、DNA 一本鎖切断の数よりも多くはない。

問17 ヒト体細胞における DNA 損傷と修復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 ピリミジンダイマーは光回復酵素によって修復される。
B 塩基除去修復では、DNA グリコシラーゼによって損傷塩基と糖鎖との結合が切断される。
C ヌクレオチド除去修復能の異常は、色素性乾皮症(XP)に関係している。
D ヒドロキシラジカルによって塩基の酸化損傷が生成される。
- 1 ACD のみ 2 AB のみ 3 AC のみ 4 BD のみ 5 BCD のみ

〔解答〕 出題ミスのため、正答がありません。

〔解説〕

- A：誤 ピリミジンダイマーは紫外線による DNA の損傷の一種で、ヒトにおいては光回復酵素は存在せず、ヌクレオチド除去修復によって修復される。
- B：「糖鎖」ではなく「糖」ならば正である。塩基除去修復では、DNA グリコシラーゼという酵素が塩基損傷部位に作用し、DNA の塩基と糖の間の結合を切断する。
- C：正 色素性乾皮症 (XP) の患者の多くは、ヌクレオチド除去修復で働くタンパク質の遺伝子に変異があり、ヌクレオチド除去修復能が異常であると言える。
- D：正 ヒドロキシラジカルは活性酸素の一種で、塩基の酸化損傷を生成する。これにより DNA 損傷が誘発される。

問18 ヒト体細胞における放射線による DNA 二本鎖切断の修復に関する次の記述のうち、正しいも

(令和6年度) 第1種生物学

の組合せはどれか。

- A 相同組換えによる修復は、主に相同染色体を鋳型として用いて行われる。
- B 細胞周期の中で相同組換えによる修復が活発な時期では、細胞の放射線致死感受性は低い。
- C 非相同末端結合による修復は、 G_2 期においては行われない。
- D 非相同末端結合による修復は、相同組換えによる修復に比べて誤りを起こしやすい。

- 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 相同組換え修復とは、DNA二本鎖切断損傷を修復する機構の一つである。DNA二本鎖切断部位周辺と同一もしくは相同な染色体（すなわち姉妹染色分体もしくは相同染色体）を鋳型として合成することで、DNA二本鎖切断が修復される。ヒトを含む高等動物細胞では、相同染色体はほとんど鋳型として機能しないため、相同組換え修復は姉妹染色分体が存在する細胞周期のS期の後半から G_2 期に限定される。
- B：正 相同組換え修復は細胞周期のS期後半で起こっている。細胞は分裂期またはその付近で放射線感受性が最も高く、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。以上のことから、相同組換え修復が活発なS期後半では、細胞の放射線致死感受性は低い。
- C：誤 ヒトを含む高等動物細胞において、相同組換え修復が細胞周期のS期後半から G_2 期に限定されるのに対し、非相同末端結合は細胞周期全体を通じて可能という特徴を持つ。すなわち、 G_2 期においても非相同末端結合による修復は行われる。
- D：正 非相同末端結合は、相同染色体DNAの遺伝情報を用いないで切断端の損傷部位を取り除いた後、直接ヌクレオチドが挿入されて再結合が起こる。この場合、塩基の切り出しと正しい遺伝情報に基づかない挿入が起こるので、誤った遺伝情報を持つようになる場合が多い。すなわち、正しい遺伝情報に基づいたDNA合成がなされる相同組換えによる修復に比べて、非相同末端結合による修復は誤りを起こしやすい。

問19 放射線によって誘発され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 染色体型異常では一対の姉妹染色分体の同じ位置に異常が見られる。
- B 染色分体型異常では一対の姉妹染色分体の同じ位置に異常が見られる。
- C G_1 期の被ばくでは主に染色分体型異常が生じる。
- D G_2 期の被ばくでは主に染色体型異常が生じる。

- 1 AとC 2 AとD 3 BとC 4 BとD 5 CとD

〔解答〕 2

〔解説〕

- A：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_1 期や G_0

期に放射線が照射されると起こる染色体異常では、DNA複製により切断箇所を含めて複製され、姉妹染色分体の同じ位置に異常が見られる。

B：誤 放射線照射がDNA複製後のG₂期の場合、染色体異常が見られる。そのため、染色体異常では、姉妹染色分体の同じ位置に異常は見られない。

C：誤 上記より、G₁期に放射線が照射されると、主に染色体異常が生じると考えられる。

D：正 上記より、G₂期に放射線が照射されると、主に染色体異常が生じると考えられる。

問20 放射線誘発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 染色質(クロマチン)の凝縮が観察される。

B 染色体DNAの断片化が観察される。

C ミトコンドリアの膜電位が変化する。

D 死細胞はマクロファージなどによって貪食^{どん}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〕5

〔解説〕

A：正 アポトーシス検出法として、染色質(クロマチン)の凝縮の可視化が利用される。

B：正 アポトーシスでは染色体DNAの断片化が起きる。

C：正 放射線照射によるアポトーシスでは、ミトコンドリア膜電位の喪失が要因となる。

D：正 マクロファージは、免疫系を担う白血球の一種で、体内に侵入した病原体や死んだ細胞を貪食して分解する役割を担っている。

問21 多標的1ヒットモデルおよびそれに基づいて片対数グラフ用紙上に描いた線量-生存率曲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。ただし、D₀は平均致死線量、D_qは準しきい線量、nは標的の数である。

A 線量が高くなるにつれて直線に近づく。

B D_qが大きいほど分割照射の影響が大きい。

C X線はα線に比べてD₀が大きい。

D D_q=D₀/nの関係がある。

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

〔解答〕1

〔解説〕

A：正 多標的1ヒットモデルでは、低線量域では曲線的、高線量域では直線的になる。

B：正 準しきい線量D_qが大きいと低線量域での曲線部の肩が大きくなる。そのため分割照射を行うと、生存率がより高くなるため(1回照射の生存率との差が大きくなるため)、D_qが大きいほど分割照射の影響が大きいと言える。

C: 正 平均致死線量 D_0 が大きいと高線量域での直線部の傾きが緩やかになる (致死線量が高いということは、同じ生存率になる時により大きな線量が必要となるため)。 α 線よりも X 線の方が線エネルギー付与 (LET) は小さく、致死線量は大きいと考えられることから、X 線は α 線に比べて D_0 が大きいと考えられる。

D: 誤 D_q 、 D_0 、標的数 n の間の関係式は、 $n = \exp(D_q/D_0)$ である。

問 22 直線-2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 α/β 比は次元を持たない無名数である。
- B α/β 比が小さいほど分割照射の影響が大きい。
- C α/β 比は早期反応組織において晩発性反応組織よりも小さい傾向がある。
- D 腫瘍組織の α/β 比は一般に晩発性反応組織よりも早期反応組織に近い傾向がある。

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 α/β 比の単位として Gy がよく用いられ、次元を持ち、無名数ではない。

B: 正 α/β 比が小さいほど生存率曲線の肩が大きく曲線的になるため、分割照射の影響が大きい (1 回照射の生存率と大きな差が生じる)。

C: 誤 早期反応組織では α/β 比が大きく、晩発性反応組織では α/β 比が小さい。

D: 正 腫瘍組織の α/β 比は早期反応組織の α/β 比に近いとされている。

問 23 分割照射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 細胞に分割照射する場合、同じ線量を 1 回で照射する場合に比べて、DNA 損傷の修復が起こりにくい。
- B 細胞に分割照射する場合、一般的に、間隔を長くするほど細胞生存率が低くなる。
- C 細胞に分割照射する場合、一般的に、総線量が同じであれば、1 回あたりの線量が小さいほど、細胞生存率は高くなる。
- D がん治療において分割照射を行う理由の一つとして、正常組織障害をできるだけ小さくすることがあげられる。

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

〔解答〕 5

〔解説〕

A: 誤 分割照射は、放射線を何回かに分けて照射する方法である。正常細胞とがん細胞の修復力の差を利用して、正常細胞への影響を抑え、がん細胞への影響を大きくすることに利用される。同じ線量を 1 回で照射する場合に比べて分割照射では、亜致死障害からの回復 (SLD 回復) が起こることから、DNA 損傷の修復が起こりやすいと考えられる。

(令和6年度) 第1種生物学

- B：誤 分割照射の間隔が長いと回復が進むため、細胞生存率は高くなると考えられる。
- C：正 低線量域では生存率が下がりにくいとすると、分割照射における1回当たりの線量が小さいほど、1回当たりの線量が多い場合に比べ生存率は高くなると考えられる。同じ総線量で考えた場合、この生存率曲線の挙動とSLD回復を理由として、生存率は高くなると考えられる。
- D：正 LQモデルにおいて正常組織の α/β 比は腫瘍組織の α/β 比に比べ小さいと考えられる。そのため、正常組織の分割照射効果は腫瘍組織のそれに比べ大きく、正常組織の生存率は腫瘍組織のそれに比べ高くなると考えられる。また、正常組織の生存率が高いということは、正常組織においてはSLD回復の効果もより大きい。このような理由から、正常組織障害をできるだけ小さくすることは、がん治療において分割照射を行う理由の一つとして妥当である。

問24 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有意に高い。
- B 着床から受精後8週までは、奇形が生じる可能性が妊娠期間中で最も高い。
- C 受精後8週から15週までは、精神遅滞が生じる可能性が妊娠期間中で最も高い。
- D 精神遅滞の発症にはしきい値が存在する。
- 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 ヒトの胎内被ばくによる発がんリスクは、小児期被ばくによるリスクと比較して高くはないと考えられている。
- B：正 妊娠中の胚発生期から出産までにおける被ばく時期毎の確定的影響の種類の主なものとしきい線量は下記の通りである。
- 着床前期（受精後0～8日）：胚死亡・流産、100 mGy以上
- 器官形成期（受精後9～60日）：身体奇形、100～200 mGy
- 胎児期（受精後60～270日）：精神発達遅滞・小頭症、120 mGy以上
- 以上のことから着床から受精後8週までは、奇形が生じる可能性が妊娠期間中で最も高いと考えられる。
- C：正 上記より、受精後8週から15週までは、精神遅滞が生じる可能性が妊娠期間中で最も高いと考えられる。
- D：正 上記より、精神遅滞の発症にはしきい値が存在すると考えられる。

問25 放射線による遺伝性（的）影響に関する次の記述のうち、誤っているものはどれか。

- 1 特定座位法を用いたマウス実験において、線量率効果が認められている。
- 2 特定座位法を用いたマウス実験で見られた変異は、主に顕性（優性）である。

- 3 遺伝性(的)影響のリスク推定に用いられる間接法は、倍加線量法とも呼ばれる。
- 4 倍加線量が多いことは、遺伝性(的)影響が起りにくいことを意味する。
- 5 ICRP2007年勧告では、ヒトの倍加線量として1 Gyを採用している。

〔解答〕 2

〔解説〕

- 1: 正 特定座位法を用いたマウス実験において、線量率効果は認められている。
- 2: 誤 特定座位法を用いたマウス実験では、主に潜性(劣性)変異であるとの報告がある。
- 3: 正 倍加線量法は、放射線の遺伝性(的)影響の評価に用いられている。照射実験のできる生物種では、単位線量当たりの誘発突然変異を調べる直接法が用いられている。一方、照射実験のできないヒトには、間接法という工夫された倍加線量法が用いられている。
- 4: 正 倍加線量が多いということは、遺伝性(的)影響が起るのに大きな線量を要するため、遺伝性(的)影響が起りにくいことを意味する。
- 5: 正 ICRP2007年勧告では、ヒトの倍加線量として1 Gyを採用している。

問 26 X線と比較した場合の炭素イオン線($70 \text{ keV} \cdot \mu\text{m}^{-1}$)の細胞致死作用の特徴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 同じ程度の致死作用をもたらすのに必要な吸収線量が多い。
 - B 線量率効果が小さい。
 - C ラジカルスカベンジャーによる防護効果が大きい。
 - D 酸素効果が小さい。
- 1 AとB 2 AとC 3 AとD 4 BとD 5 CとD

〔解答〕 4

〔解説〕

- A: 誤 炭素イオン線の方が線エネルギー付与(LET)は大きい。そのため、同じ程度の致死作用をもたらすのに必要な吸収線量は、X線に比べ、より小さいと考えられる。
- B: 正 低線量率で長時間照射を受ける場合と、高線量率で短時間照射を受ける場合とでは、後者の方が生物学的効果は大きい。これを線量率効果と言う。線量率効果は、低LET放射線を照射した時には大きく、高LET放射線を照射した時には小さい。つまり、炭素イオン線の線量率効果は、X線に比べ、より小さいと考えられる。
- C: 誤 ラジカルスカベンジャーとは、自らラジカルと反応することで、他の分子との反応を阻害する物質である。放射線が物質を電離または励起し、それによって生じたフリーラジカルがDNA損傷を引き起こすことが放射線の間接作用である。炭素イオン線のような高LET放射線では間接作用よりも直接作用の方が影響は大きいと考えられる。そのため、ラジカルスカベンジャーによる防護効果は、X線に比べると大きくないと考えられる。
- D: 正 放射線照射時に、細胞や組織中に酸素が存在している時の生物への影響が、酸素が存在し

ていない時の影響に比べて高いことを酸素効果と言う。酸素の存在はラジカルすなわち放射線の間接作用に大きく影響を及ぼすため、酸素効果は低 LET 放射線で顕著であり、高 LET 放射線では酸素効果は小さい。

問 27 原子力災害時の住民の安定ヨウ素剤の服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 近隣のかかりつけ医の指示に従って服用する。
- B 呼吸や飲食によって摂取された放射性ヨウ素が甲状腺に集積することを防ぐ。
- C 放射性ヨウ素にさらされる 24 時間前から 2 時間後までに服用することが望ましい。
- D 40 歳以上の者には服用効果はほとんど期待できない。

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 原則として、原子力規制委員会が再度の服用の必要性を判断し、その判断に基づき原子力災害対策本部又は地方公共団体からの指示があった場合のみ服用する。
- B：正 安定ヨウ素剤を摂取することで血中のヨウ素濃度が高くなり、甲状腺ホルモンの合成が一時的に抑えられ血中から甲状腺へのヨウ素の取り込みが抑制される。その結果として放射性ヨウ素の取り込みを減少させる。
- C：正 放射性ヨウ素にさらされる 24 時間前からさらされた後 2 時間までの間に安定ヨウ素剤を服用することにより、放射性ヨウ素の甲状腺への集積の 90%以上を抑制することができる。
- D：正 WHO ガイドラインにおいては、40 歳以上の者への安定ヨウ素剤の服用効果はほとんど期待できないとされている。ただし 40 歳以上であっても妊婦や授乳婦は、胎児及び乳児に対する放射性ヨウ素による甲状腺の内部被ばくの健康影響が大きいことから、安定ヨウ素剤の服用対象者となる

問 28 散布すると植物の土壌中からの放射性セシウムの取り込みを軽減する効果の高い元素は次のうちどれか。

1 N 2 C 3 P 4 K 5 Na

〔解答〕 4

〔解説〕カリウム (K) とセシウムは化学的な性質が類似しているため、土壌中にカリウムが十分にあるとセシウムは植物に吸収されにくくなる。

問 29 ホウ素中性子捕捉療法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 熱中性子と水の核反応を利用している。

(令和6年度) 第1種生物学

- B 核反応で発生する α 粒子とリチウム核を利用している。
- C X線治療に比べて治療期間が短い。
- D 主に白血病の治療に利用されている。
- E 中性子を照射した後にホウ素薬剤を投与する。

1 AとD 2 AとE 3 BとC 4 BとE 5 CとD

〔解答〕 3

〔解説〕

- A：誤 熱中性子とホウ素の核反応を利用している。
- B：正 熱中性子線がホウ素と衝突して核反応を起こし、 α 粒子とリチウム（反跳）核が発生し、これらががん細胞に対して高い細胞致死効果を発揮する。
- C：正 X線治療では複数回の照射が必要であるが、ホウ素中性子捕捉療法では1、2回の照射で完了するため治療期間が短い。
- D：誤 頭頸部がんや悪性黒色種で有効だった臨床報告があり、本邦では頭頸部がんにて保険適応治療が認められている。
- E：誤 照射前にホウ素薬剤を投与し、あらかじめ疾患臓器に集積させる必要がある。この集積を確認後に、中性子が照射される。

問30 陽電子放射断層撮影(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 がんなどの病変を検査する画像診断に利用される。
- B 使用される代表的核種は、 ^{18}F 、 ^{14}C 、 ^{13}N 、 ^{15}O である。
- C 標識したブドウ糖類似化合物を使用することがある。
- D 薬剤からの α 線を検出して画像化する。

1 AとC 2 AとD 3 BとC 4 BとD 5 CとD

〔解答〕 1

〔解説〕

- A：正 がん、難治性てんかん、虚血性心疾患、心サルコイドーシスの画像診断に用いられる。
- B：誤 ^{14}C ではなく ^{11}C である。その他は、PETで使用される正しい核種である。
- C：正 ^{18}F 標識したブドウ糖類似化合物であるフルオロデオキシグルコース (FDG) を使用して、がんの診断に用いられることがある。
- D：誤 陽電子と周囲の電子が結合した際に発生する消滅放射線(消滅 γ 線)を検出して画像化する。

問31 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。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。

細胞の構成成分の中で最も割合の大きいのは水であり、細胞への γ 線の作用では γ 線が水分子に

(令和6年度) 第1種生物学

作用した時に起こる現象が重要となる。常温での $1\text{ Gy}\cdot\text{min}^{-1}$ 程度の γ 線照射の場合に生じる DNA 損傷は、その **A** %が水分子の励起や電離の結果生じるラジカルなどを介する **B** によって引き起こされると考えられている。 γ 線により水分子が励起されると、**C** とヒドロキシルラジカルが生じる。一方、水分子が電離されると、電子と非常に不安定な H_2O^+ ラジカルが生じる。電子は水分子が配位することにより **D** を生じ、 H_2O^+ ラジカルは分解すると、水素イオンと **E** を生じる。**D** は強い **F** であり、水分子や水素イオンと反応すると **G** を生じる。

放射線と水分子との相互作用において酸素が存在すると、**G** は酸素を1電子還元して **H** を生じる。**H** は **D** と酸素との反応でも生じる。この **H** は活性酸素の一種であり通常の酸素よりも酸化活性が高い。これらの反応は酸素濃度に依存する。このように酸素存在下では放射線による **H** などの有毒物質の産生が増加する。生体には、生じたラジカルを還元して元に戻す物質が存在する。**I** は **H** を消去する最も重要な酵素である。

酸素の存在により放射線の影響が増強されることは、酸素効果と呼ばれている。酸素効果の強さを示す指標を酸素増感比(OER)といい、(酸素が存在 **J** 条件で、ある効果を起こす吸収線量) ÷ (酸素が存在 **K** 条件で同じ効果を起こす吸収線量) としてあらわされる。 γ 線の細胞致死効果における OER は、最大 **L** 程度となる。酸素効果は酸素分圧の上昇により増大するが、20~30 mmHg 付近でほぼ最大値に近くなる。大気中の酸素分圧は **M** mmHg 程度であるが、成人の動脈血の酸素分圧は **N** mmHg 程度であり、通常の人体中の細胞では放射線の効果が低減するような低酸素状態にはならない。しかし固形腫瘍の一部には低酸素状態の細胞が存在し、がんの放射線治療における放射線抵抗性の一因と考えられている。この放射線抵抗性を克服するためにミソニダゾールなどの低酸素細胞 **O** が開発された。

<Aの解答群>

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

<B~Hの解答群>

- 1 直接作用 2 間接作用 3 水素ラジカル
4 スーパーオキシドラジカル 5 窒素ラジカル 6 ヒドロキシルラジカル
7 水酸化物イオン 8 水素イオン 9 水和電子
10 窒素イオン 11 還元剤 12 酸化剤
13 中和剤

<I~Kの解答群>

- 1 アミラーゼ 2 カタラーゼ 3 グルタチオンペルオキシダーゼ
4 スーパーオキシドジスムターゼ 5 プロテアーゼ 6 ホスホリパーゼ
7 する 8 しない

<Lの解答群>

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

<M~Oの解答群>

- 1 20~30 2 40~50 3 60~70 4 90~100
5 110~130 6 140~160 7 170~190 8 抗酸化剤

9 阻害剤

10 防護剤

11 増感剤

〔解答〕 A-3 B-2 C-3 D-9 E-6 F-11 G-3

H-4 I-4 J-8 K-7 L-3 M-6 N-4 O-11

〔解説〕

A、B：放射線が電離や励起などを起こして直接的に標的分子自身を変化させ、細胞が障害することを直接作用と言い、放射線が水分子を電離または励起させてラジカルが生じ、これが標的分子に作用して障害を与えることを間接作用と言う。1Gyの γ 線で生じる細胞1個あたりのDNA損傷の内訳は、直接作用による一本鎖切断が1000、二本鎖切断が40、間接作用によるDNA塩基損傷が3000と言われている。そのため、間接作用によるDNA損傷の割合は $3000/4040 \times 100$ から約74%となる（一般的に γ 線による間接作用の寄与は50～80%と言われる）。

C、D、E、F、G、H、I：水分子が励起されると $\cdot\text{OH}$ （ヒドロキシルラジカル）と $\text{H}\cdot$ （水素ラジカル）の両方が生成され、一方、水分子が電離されると非常に不安定な H_2O^+ と電子（ e^- ）が生じる。 H_2O^+ は不安定のため分解して水素イオンと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、水と反応すると水素ラジカルを生成する。さらに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。生体内では、特異的に活性酸素を消去する機構が備わっており、 $\cdot\text{O}_2^-$ についてはスーパーオキシドジスムターゼ（SOD）、 H_2O_2 においてはカタラーゼによって酵素的に分解処理される。

J、K、L：酸素存在下での放射線効果は、無酸素下または低酸素下と比較して大きい。逆に無酸素下または低酸素下では放射線効果は小さくなる。つまり放射線効果は酸素分圧が高ければ大きく、酸素分圧が低くなれば小さくなる。酸素効果の大きさ、すなわち低酸素の影響を表すのに、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、以下の式で示される酸素増感比（OER）が用いられる。

酸素増感比（OER）

=無酸素または低酸素下である効果を得るのに必要な線量/酸素存在下で同じ効果を得るのに必要な線量

γ 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。

M、N：大気の酸素分圧160mmHg、動脈血の酸素分圧は80～100mmHgと言われている。

O：ミソニダゾールはニトロイミダゾール化合物の一種で、酸素に代わって放射線により発生する電子と結合したり、生体高分子から生じた有機ラジカルを固定することで増感効果を示す。そのため放射線治療における低酸素細胞増感剤として研究が進められている。

問32 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一つだけ

選べ。

I ヒトの放射線高感受性遺伝病の一つに毛細血管拡張性運動失調症(AT)がある。AT は ATM 遺伝子の変異によって生じ、**A** 遺伝様式を示す。したがって、ある AT 患者の両親がともに健常者である場合、**B**。さらに、この患者の兄弟姉妹の一人が健常者である場合、この健常者が一对の ATM 遺伝子のいずれにも患者と同じ変異を持たない確率は **C** である。AT 患者において、一对の ATM 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。このうち両親がいとこの場合、患者では一对の ATM 遺伝子に **D**。

<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>

- 1 父親のみが、一对の ATM 遺伝子の一方に変異を持つ
- 2 父親のみが、一对の ATM 遺伝子の両方に変異を持つ
- 3 母親のみが、一对の ATM 遺伝子の一方に変異を持つ
- 4 母親のみが、一对の ATM 遺伝子の両方に変異を持つ
- 5 父親と母親のいずれか一方のみが、一对の ATM 遺伝子の一方に変異を持つ
- 6 父親と母親のいずれか一方のみが、一对の ATM 遺伝子の両方に変異を持つ
- 7 父親と母親の両方が、一对の ATM 遺伝子の一方に変異を持つ
- 8 父親と母親の両方が、一对の ATM 遺伝子の両方に変異を持つ

<Cの解答群>

- | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 1/4 | 2 1/3 | 3 1/2 | 4 2/3 | 5 3/4 |
|-------|-------|-------|-------|-------|

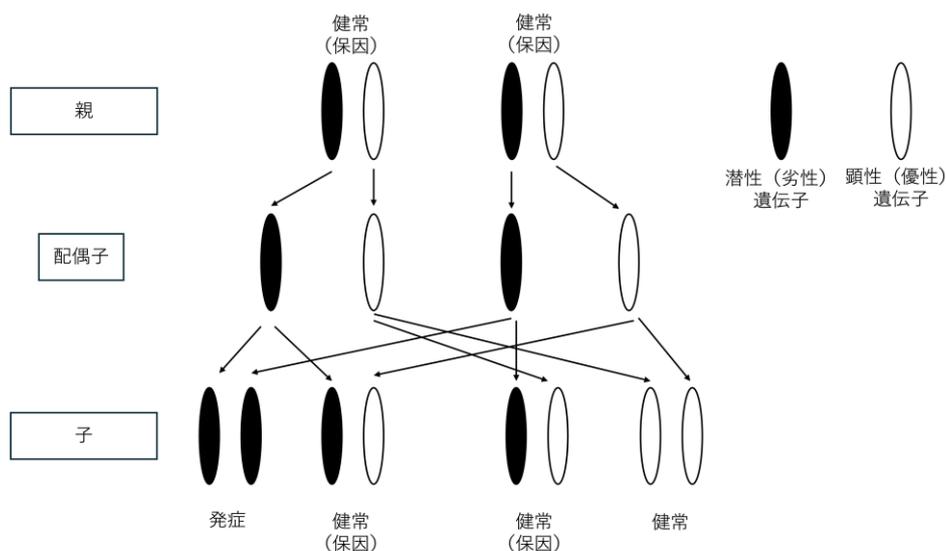
<Dの解答群>

- 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

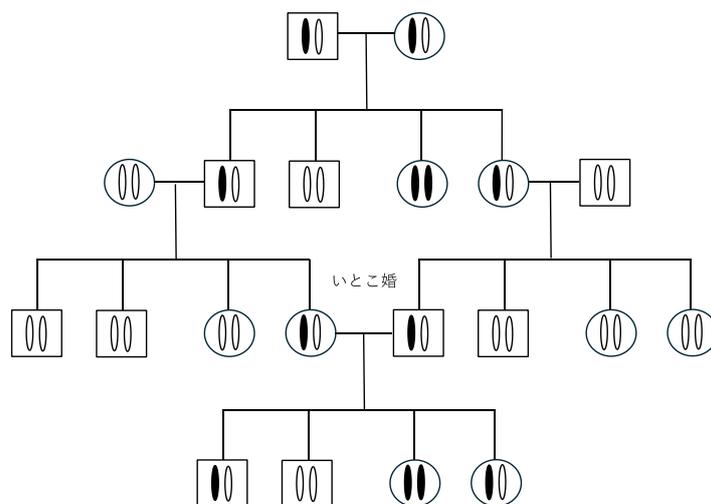
[解答] I A-2 B-7 C-2 D-2

[解説]

A、B、C：毛細血管拡張性運動失調症 (AT) は 11 番染色体潜性 (劣性) 遺伝病で ATM をコードする ATM 遺伝子に変異が起こる常染色体潜性 (劣性) 遺伝病である。常染色体潜性 (劣性) 遺伝病において、両親が健常で、次の代で発症する子供が生まれるためには、両親が共に遺伝子の一对の遺伝子の片方 (ヘテロ) に変異が起きている必要がある。子の中で発症する確率は、変異した遺伝子を一对 (ホモ) に有したものになるので 1/4 になる。一方、健全な子の中で、変異した遺伝子を保有しない確率は 1/3 となる (下図)。



D: 親者婚では常染色体潜性(劣性)遺伝疾患の頻度は増加することが言われており、常染色体潜性(劣性)遺伝疾患患者の両親がいとこ同士である場合、両親が共に同一の潜性(劣性)遺伝子の保因者であると考えられる(下図)。



II 培養細胞に放射線を照射すると、細胞周期の進行が一時停止する。これを細胞周期チェックポイント機構という。細胞周期チェックポイント機構は細胞の放射線感受性に深く関わっている。ATM 遺伝子から作られるタンパク質(以下、ATM タンパク質)は細胞周期チェックポイント機構において重要な役割を担っている。

正常ヒト二倍体線維芽細胞に 1 Gy の γ 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。ATM タンパク質は、DNA 二本鎖切断に応答して、p53 タンパク質をはじめ多くのタンパク質を する活性を持っており、 を通じて、これらのタンパク質の機能を調節すると考えられている。p53 タンパク質は特定の DNA 配列に結合し、その近傍にある遺伝子の を調節する。p53 タンパク質によって 調節を受ける遺伝子群の一つに、細胞周期チェ

9 脱ユビキチン化 10 脱リン酸化

<Gの解答群>

1 組換え 2 修復 3 転写 4 複製 5 翻訳

<アの解答群>

1 a 2 b 3 c 4 d

<Hの解答群>

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

<イの解答群>

1 e 2 f 3 g 4 h

[解答] II E-2 F-5 G-3 ア-2 H-1 イ-4

[解説]

E: 1Gyの γ 線照射において細胞1個あたりのDNAの二本鎖切断が約40個生じると言われている。これに対してDNAの一本鎖切断が約1000個生じると言われている。

F、G、ア: 放射線によるDNA損傷に際し、ATMはp53をリン酸化することで活性化させる。p53はp21の転写因子であるため、その活性化は、p21の発現を誘導し、p21がCDK-cyclin複合体へ結合することによってCDKのリン酸化能を抑制する。これにより、細胞周期進行を抑制、すなわち細胞増殖を負に制御する。

H: チミジンはDNA合成に必要な物質であり、³Hでチミジン標識されたチミジンがDNA合成量を調べるのに用いられる。

イ: AT患者ではATM遺伝子の変異により正常な細胞であれば、放射線照射により細胞周期進行が制御され、DNA合成が抑制されるが、AT患者細胞ではこのような抑制が起こらず、放射線抵抗性DNA合成と呼ばれる状態を示す。そのため、AT患者由来の細胞では放射線を照射されてもDNA合成の抑制は正常細胞に比較して小さい。

III 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3 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	メチオニン	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

下に正常な ATM の mRNA の 1351 番から 1450 番までの塩基の配列を示す。塩基を数えやすいように 10 塩基ごとに空白を挿入してある。

1351 番から 1380 番 CGUACACCAU AUGUGUUACG AUGCCUUACG

1381 番から 1410 番 GAAGUUGCAU UGUGUCAAGA CAAGAGGUCA

1411 番から 1440 番 AACCUAGAAA GCUCACAAAA GUCAGAUUUA

1441 番から 1450 番 UUAAAACUCU

AT 患者でみられる変異の一つに、下線を付した 1355 番目の C が欠失した変異がある。この変異は 変異である。この変異を持つ mRNA から作られるタンパク質は、X 個目のアミノ酸である までは正常な ATM タンパク質と同じアミノ酸配列を持つが、X+1 個目以降のアミノ酸配列が全く異なり、正常な ATM タンパク質より短い Y 個のアミノ酸からなるタンパク質が作られる。ここで、X = × 100 + 、Y = × 100 + である。

< I の解答群 >

- | | | |
|---------|-----------|-------------|
| 1 サイレント | 2 トランジション | 3 トランスバージョン |
| 4 ナンセンス | 5 ミスセンス | 6 フレームシフト |

< J の解答群 >

- | | | | |
|----------|-----------|------------|----------|
| 1 アスパラギン | 2 アスパラギン酸 | 3 アラニン | 4 アルギニン |
| 5 イソロイシン | 6 グリシン | 7 グルタミン | 8 グルタミン酸 |
| 9 セリン | 10 チロシン | 11 トリプトファン | 12 トレオニン |

(令和6年度) 第1種生物学

13 ヒスチジン		14 バリン		15 フェニルアラニン					
<ウの解答群>									
1	1	2	2	3	3	4	4	5	5
6	11	7	12	8	13	9	14	10	15
11	40	12	41	13	42	14	43	15	44
<エ、オの解答群>									
1	51	2	52	3	53	4	54	5	55
6	61	7	62	8	63	9	64	10	65
11	71	12	72	13	73	14	74	15	75

〔解答〕 III I-6 J-4 ウ-4 エ-1 オ-11

〔解説〕

I、J、ウ、エ、オ：塩基が欠失または挿入により、三つ組の塩基がずれて、その後のアミノ酸配列や終始コドンの位置が変化する変異をフレームシフト変異という。ここでは1355番目のCが欠失したことにより、それ以降（1356番目以降）の塩基は一つずつ繰上げになる。三つ組の三番目（最後尾）の塩基は3の倍数になる。元の配列は1351番以降はCGU ACA CCA・・・であったが、1355番目のC欠失後はCGU AAC CAU・・・となる。欠失により1353までの塩基、すなわち $1353 \div 3 = 451$ 番目のアミノ酸配列に変化はないが、452番目のアミノ酸はプロリンからヒスチジンとなり、以降塩基がずれ込む。1414-1416番目（元の1415-1417番目）の塩基はUAGとなり、終始コドンであるため、1413番目までの塩基から生成されるアミノ酸で終了するため、 $1413 \div 3 = 471$ 個のアミノ酸からなるタンパク質となる。今回のフレームシフト変異により452番目以降のアミノ酸が変わるため、 $X = 452 - 1 = 451$ となる。一方、Yは全てのアミノ酸数となるので471となる。 $X = \text{ウ} \times 100 + \text{エ} = 451$ $Y = \text{ウ} \times 100 + \text{オ} = 471$ となり選択肢からウに入る数字は4しかなく（3以下では、エ、オに当てはまる数がない）、4を入れるとエは51、オは71となる。