

生 物 学

生物学のうち放射線に関する課目

試験が始まる前に、このページの記載事項をよく読んでください。裏面以降の試験問題は、指示があるまで見てはいけません。

1 試験時間：13:30～15:20（1時間 50分）

2 問題数：

五肢択一式 30問（30点）、多肢択一式 2問（30点）（60点満点）（16ページ）

3 注意事項：

- ① 机の上に出してよいものは、受験票、鉛筆又はシャープペンシル（HB又はB）、鉛筆削り、消しゴム、時計（計算機能・通信機能・辞書機能等の付いた時計は不可）に限ります。
- ② 計算機（電卓）、定規及び下敷きの使用は認めません。
- ③ 不正行為等を防止するため、携帯電話等の通信機器は、必ず、電源を切ってカバン等の中にしまってください。
- ④ 問題用紙の印刷不鮮明、ページの落丁・乱丁又は解答用紙の汚れなどに気付いた場合は、手を挙げて試験監督員に知らせてください。なお、試験問題の内容に関する質問にはお答えできません。
- ⑤ 試験終了の合図があったら、ただちに筆記用具を置いてください。
なお、試験監督員が解答用紙を集め終わるまで、席を離れてはいけません。
- ⑥ 問題用紙は持ち帰って結構です。
- ⑦ 不正行為を行った者は、受験資格を失ったものとみなし、試験室からの退出を命じます。また、試験終了後に不正行為を行ったことが発覚した場合、試験実施時にさかのぼり受験資格を失ったものとみなします。

4 解答用紙（マークシート）の取扱いについて：

- ① 解答用紙を折り曲げたり汚したりしないでください。また、記入欄以外の余白には、何も記入しないでください。
- ② 筆記用具は、鉛筆又はシャープペンシル（HB又はB）を使用してください。また、記入を訂正する場合は、消しゴムできれいに消してください。
- ③ 解答用紙の所定の欄に氏名・受験地・受験番号を忘れずに記入してください。特に、受験番号は受験票と照合して間違えないよう記入してください。
- ④ 解答は、1つの問いに対して、1つだけ選択（マーク）してください。2つ以上選択している場合は、採点されません。

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 次の標識化合物のうち、陽電子放射断層撮影 (PET) 診断に用いられるものの組合せはどれか。

- A $[^{13}\text{N}]\text{NH}_3$ (アンモニア)
- B $[^{15}\text{O}]\text{CO}_2$ (二酸化炭素)
- C $[^{123}\text{I}]\text{MIBG}$ (メタヨードベンジルグアニジン)
- D $[^{99\text{m}}\text{Tc}]\text{MDP}$ (メチレンジホスホン酸テクネチウム)

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

問 2 γ 線の生物作用を利用した応用例と照射される γ 線の吸収線量として、正しいものの組合せは次のうちどれか。

応用例	吸収線量
A ウリミバエの不妊化	70 Gy
B ジャガイもの芽止め	100 Gy
C 米の品種改良	300 Gy
D 医療用器具の滅菌	500 Gy

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

問 3 次の核種のうち体内で主に骨に集積するものの組合せはどれか。

- A ^{60}Co
- B ^{90}Sr
- C ^{137}Cs
- D ^{226}Ra

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

問4 γ 線全身被ばく後の急性放射線障害の初期応答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 3 Gy被ばく2時間後までに、50%以上の発生率で嘔吐がみられる。
- B 5 Gy被ばく2時間後までに、50%以上の発生率で発熱がみられる。
- C 7 Gy被ばく4時間後までに、50%以上の発生率で頭痛がみられる。
- D 9 Gy被ばく1時間後までに、50%以上の発生率で下痢がみられる。

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

問5 γ 線を全身急性1回被ばくした場合のヒト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。ただし、特別な治療を行わない場合とする。

- A 15 Gy被ばく後の平均生存期間は3.5日である。
- B 100 Gy被ばく後の平均生存期間は2日以下である。
- C 60日以内に半数が死亡する線量は約4 Gyである。
- D 4 Gy被ばく後3日以内に、末梢血中のリンパ球数が一過性に増加し、その後被ばく前より減少する。

- 1 AとB 2 AとC 3 BとC 4 BとD 5 CとD

問6 唾液腺への局所 γ 線急性被ばく後2~3日間にみられる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 6 Gy未満の被ばくでは臨床的に観察される影響は認められない。
- B 8 Gyの被ばくにより、血清中の唾液腺型アミラーゼ値が上昇することがある。
- C 8 Gyの被ばくにより、唾液腺の腫脹が生じることがある。
- D 8 Gyの被ばくにより、唾液腺の痛みが生じることがある。

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

問7 原爆被爆者における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、部位によらず、相対リスクと過剰相対リスクの差は一定である。
- B 全固形がんの過剰相対リスクは、到達年齢が同じであれば、被爆時年齢が低いほど大きい。
- C 全固形がんの過剰相対リスクは、被爆時年齢が同じであれば、到達年齢が低いほど大きい。
- D 30歳で被爆し、70歳に到達したときの全固形がんの相対リスクは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

問8 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 頭部白癬のX線治療を受けた患者において、甲状腺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

問9 医療診断による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 日本における1人当たり、1年当たりの医療診断による被ばくの実効線量は、平均で約4 mSvである。
- B 体幹部CTによる被ばくの実効線量は、1検査当たり約10 mSvである。
- C 胸部X線（直接）撮影による被ばくの実効線量は、1検査当たり0.5~1 mSvである。
- D 乳房X線撮影（マンモグラフィー）による被ばくの乳腺における吸収線量は、1検査当たり2~3 mGyである。

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

問 10 預託実効線量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 子供の場合、摂取時から50年間で積算期間とする。
- B 預託実効線量の単位はシーベルトである。
- C 長期にわたる外部被ばくの影響を評価するために用いる。
- D 確率的影響のリスクを評価するために用いる。

1 AとB 2 AとC 3 AとD 4 BとC 5 BとD

問 11 公衆の1人当たりの年間実効線量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 宇宙放射線による被ばくは、高度が同じであれば高緯度の地域に比べて低緯度の地域の方が高い。
- B 世界平均ではラドンとその子孫核種による内部被ばくが自然放射線による被ばくの中で最も多い。
- C 日本平均では医療診断による被ばくが自然放射線による被ばくよりも多い。
- D 日本平均では食物からの内部被ばくが自然放射線による被ばくの中で最も多い。

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

問 12 放射線による直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 DNAの共有結合の解離によるラジカルの発生がある。
- B 乾燥した酵素のX線による不活性化に関与する。
- C ジメチルスルホキシドによって抑制される。
- D フリーラジカルが関与する。

1 ACDのみ 2 ABのみ 3 BCのみ 4 Dのみ 5 ABCDすべて

問 13 放射線による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 ラジカルスカベンジャーにより作用が軽減される。
- B 無酸素下よりも酸素存在下で作用は大きくなる。
- C 凍結状態にすると作用が軽減される。
- D 溶質分子の濃度が変化しても不活性化される溶質分子の割合は変わらない。

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

問 14 放射線により細胞に生じる 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 γ 線では単位吸収線量当たりの DNA 2本鎖切断の数は DNA 1本鎖切断の数の約20倍である。
- B DNA 2本鎖切断は電離放射線に特有な損傷である。
- C DNA 2本鎖切断は発がんの原因となる。
- D γ 線では単位吸収線量当たりの塩基損傷の数は DNA 2本鎖切断の数より多い。

1 AとB 2 AとC 3 BとC 4 BとD 5 CとD

問 15 ヒト体細胞における DNA 2 本鎖切断の修復及び突然変異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 相同組換えによる修復は、主として相同染色体を利用して行われる。
- B 非相同末端結合による修復は、 G_2 期では起こらない。
- C 非相同末端結合による修復は、相同組換えによる修復よりも誤りを起こしやすい。
- D 放射線で誘発される突然変異の中で欠失の占める割合は、自然に起こる突然変異の場合よりも多い。

1 AとB 2 AとC 3 BとC 4 BとD 5 CとD

問 16 次のうち、単位吸収線量当たり、1細胞当たりの DNA 1 本鎖切断の生成数に影響を与えるものの組合せはどれか。

- A 温度
- B LET
- C ラジカルスカベンジャー
- D 酸素分圧

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

問 17 体内に取り込まれたある放射性核種について、摂取直後にある臓器に 100 Bq の集積が認められた。この臓器において、集積後から有効半減期よりも十分長い時間にわたる総壊変数（累積放射能[MBq·s]）に最も近い値は、次のうちどれか。ただし、この放射性核種の物理的半減期を 30 年、この臓器における生物学的半減期を 100 日とする。また、その間、臓器への新たな集積はなく、臓器重量の増減もないと仮定する。

- 1 0.34 2 590 3 850 4 1,200 5 16,000

問 18 次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A アポトーシスを起こす過程では核の断片化が起こる。
- B 末梢血リンパ球は放射線致死抵抗性である。
- C アポトーシスは放射線被ばくによってのみ起こる細胞死である。
- D アポトーシスを起こす過程ではクロマチンの凝縮が起きる。

- 1 AとB 2 AとC 3 AとD 4 BとD 5 CとD

問 19 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 二動原体染色体は被ばく線量の推定に使用できる。
- B 染色体凝縮を起こしている細胞で観測する。
- C ヒト末梢血赤血球で観測することができる。
- D 不安定型染色体異常はがん化の原因となる。

- 1 AとB 2 AとC 3 BとC 4 BとD 5 CとD

問 20 次の照射条件で、正常ヒト線維芽細胞を 2 Gy 照射したときの生存率が高い順に並べられているものはどれか。

- A ^{60}Co γ 線
- B がん治療用炭素線ブラッグピーク部
- C がん治療用陽子線ブラッグピーク部
- D 低酸素下での ^{60}Co γ 線

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

問 21 ヒトの胎内被ばくにより重度知的障害が最も起こりやすい被ばくの時期は、次のうちどれか。

- 1 受精後8日まで
- 2 受精後8日～8週
- 3 受精後8週～15週
- 4 受精後15週～25週
- 5 受精後25週以降

問 22 γ 線被ばくを受けた眼の水晶体の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 線量が大きくなると放射線白内障の平均的な発症までの期間が短縮する。
- B 水晶体混濁のしきい線量は0.5 Gyである。
- C 放射線白内障は水晶体の後囊^{のう}下（目の奥に近い部分）で細胞が被ばくすることによって起こる。
- D 線量率が低下すると視力障害性の放射線白内障のしきい線量は低下する。

1 ABCのみ 2 ABのみ 3 ADのみ 4 CDのみ 5 BCDのみ

問 23 9.5 Gy の γ 線被ばくによる肺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 肺の一部だけが被ばくした場合でも肺全体に炎症が生じる。
- B 被ばく後1週間で肺浮腫が出現する。
- C 被ばくにより50%以上の頻度で放射線肺炎が起こる。
- D 被ばく後約6か月以降に肺線維症が起こる。

1 ABCのみ 2 ABのみ 3 ADのみ 4 CDのみ 5 BCDのみ

問 24 ^{137}Cs γ 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 3 Gy被ばくの数時間後に、被ばく部位に軽い痛みを生じることがある。
- B 被ばく後48時間以内に見られる紅斑は、毛細血管の拡張により生じる。
- C 被ばく後2～3週間後に見られる紅斑は、血管の狭窄により生じる。
- D 難治性潰瘍のしきい線量は、1回で被ばくした場合より同一線量を分割して被ばくした場合の方が小さい。

1 ABCのみ 2 ABのみ 3 ADのみ 4 CDのみ 5 BCDのみ

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、正しいものの組合せはどれか。

- A マウス実験において、遺伝性(的)影響の線量率効果は認められていない。
- B マウス実験で見られた遺伝性(的)影響は、主に顕性(優性)の突然変異である。
- C 遺伝的リスクの推定に用いられる倍加線量法は間接法とも呼ばれる。
- D 倍加線量が小さいほど、遺伝性(的)影響が起りやすいことを意味する。

1 ABDのみ 2 ABのみ 3 ACのみ 4 CDのみ 5 BCDのみ

問 26 ICRP2007年勧告における確率的影響の名目リスク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。ただし、全集団とは被ばく時年齢が0～85歳の集団、成人とは被ばく時年齢が18～64歳の集団とする。

- A 全集団のがんの名目リスク係数は、1 Sv当たり5.5である。
- B 線量・線量率効果係数(DDREF)として $\frac{1}{2}$ を採用している。
- C 全集団のがんの名目リスク係数は、成人のがんの名目リスク係数より大きい。
- D 全集団、成人ともに、遺伝性(的)影響の名目リスク係数は、1990年勧告より小さくなっている。

1 ABCのみ 2 ABのみ 3 ADのみ 4 CDのみ 5 BCDのみ

問 27 生殖腺の局所被ばくによる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 精巣の γ 線1回短時間被ばくによる男性の一時的不妊のしきい線量は、0.15 Gyである。
- B 精原細胞は精(子)細胞より突然変異誘発率が高い。
- C 卵巣が被ばくした後、卵胞刺激ホルモンの一過性の上昇がみられることがある。
- D 卵巣が被ばくした場合、成人女性では被ばくした年齢が低いほど少ない線量で永久不妊になる。

1 ACDのみ 2 ABのみ 3 ACのみ 4 BDのみ 5 BCDのみ

問 28 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陽子に対して2が与えられている。
- C すべてのエネルギーのアルファ粒子に対して20が与えられている。
- D 中性子についてはエネルギーが1 MeVのときに最大となる。

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

問 29 ^{99m}Tc の医療応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 ^{99m}Tc は ^{99}Mo からのミルキングによって製造する。
- B ^{99m}Tc の半減期は21万年である。
- C ^{99m}Tc から放出される511 keVのエネルギーを持つ γ 線を検出する。
- D [^{99m}Tc]MAA(テクネチウム大凝集人血清アルブミン)は肺シンチグラフィに用いられる。

1 ABCのみ 2 ABのみ 3 ADのみ 4 CDのみ 5 BCDのみ

問 30 ホウ素中性子捕捉療法(BNCT)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 熱中性子や熱外中性子を照射する。
- B ^{11}B と中性子の核反応を利用する。
- C ^4He と ^7Li が生じる。
- D 代表的なホウ素薬剤の1つにアミノ酸誘導体のBPA(p-boronophenylalanine)がある。

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

問 31 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 放射線生物学では細胞の死を「分裂する能力の喪失」と定義することがある。この定義による細胞の死を [ア] と呼ぶ。放射線照射により「分裂する能力を喪失」すると、細胞は 0 回から数回の分裂後にその後の分裂を停止するのに対し、分裂能を失わないと細胞が分裂を繰り返して 1 つの細胞由来の細胞集団（コロニー）を形成する。単独の培養細胞は肉眼では見えないが、コロニーを形成すると肉眼で確認できる大きさになる。このようなコロニーを作るかどうかで細胞の生死を判定する。放射線照射後の細胞生存率を計算してみよう。照射していない 100 個の細胞を培養して 90 個のコロニーができたとする。このときのコロニー形成率は [A] % である。同じ細胞 1,000 個に X 線を 2 Gy 照射した後培養して 90 個のコロニーができたとする、2 Gy 照射での生存率は [B] である。放射線の吸収線量を D 、生存率を S とすると、多くの培養細胞の線量-生存率曲線は $\ln S = -\alpha D - \beta D^2$ で近似できる。 α と β の値は、照射条件や細胞の性質に大きく左右される。

照射条件として放射線の線質や照射中の溶存酸素濃度は、細胞生存率に大きな影響を与えることが知られている。線質の効果を定量的に表すために [イ] が、酸素の効果を定量的に表すために [ウ] が用いられる。酸素の濃度が 0.5% 以下の条件で照射すると大気条件下で照射した場合と比較して生存率は [エ] なる。正常ヒト線維芽細胞に中性子線を照射した場合、 ^{137}Cs 線源の γ 線照射時と比べて α/β の値は [オ]。このとき [ウ] は [カ]。

<アの解答群>

- | | | | |
|-----------|-------|----------|----------|
| 1 増殖死 | 2 間期死 | 3 アポトーシス | 4 ネクローシス |
| 5 オートファジー | | | |

<Aの解答群>

- | | | | | |
|-------|-------|------|------|------|
| 1 8.1 | 2 9.0 | 3 10 | 4 50 | 5 81 |
| 6 90 | 7 100 | | | |

<Bの解答群>

- | | | | | |
|---------|---------|--------|--------|--------|
| 1 0.081 | 2 0.090 | 3 0.10 | 4 0.50 | 5 0.81 |
| 6 0.90 | 7 1.0 | | | |

<イ～エの解答群>

- | | | | |
|-------|--------|-------|--------|
| 1 BER | 2 NER | 3 OER | 4 PLDR |
| 5 RBE | 6 SLDR | 7 低く | 8 高く |

<オの解答群>

- | | | |
|---------|---------|---------|
| 1 大きくなる | 2 変わらない | 3 小さくなる |
|---------|---------|---------|

<カの解答群>

- | | | |
|---------|---------|---------|
| 1 大きくなる | 2 変わらない | 3 小さくなる |
|---------|---------|---------|

II 高線量率のX線や γ 線による全身被ばくでは、線量に応じて様々な組織で障害が起こる。これらの障害の原因となる細胞の放射線感受性は、いくつかの例外はあるものの「キ」の法則としてまとめられている。「キ」の法則では、細胞分裂の頻度が「C」細胞ほど、また、形態及び機能において「ク」細胞ほど放射線感受性が高いとしている。

被ばく直後から数週間以内に起きる急性障害について考えてみよう。例えば、上皮組織内部では、上皮としての機能を担っている細胞（機能細胞）は、組織幹細胞と比べて放射線感受性は「D」。機能細胞は有限の寿命をもち、それによる減少分を幹細胞の増殖によって補充することができなくなると急性障害が発症する。そのため腸や皮膚の上皮組織での急性障害では、被ばくから一定数の機能細胞が失われて症状が現れるまでに線量に応じた時間差があることが多い。皮膚の上皮（表皮）組織の幹細胞は「ケ」に存在し、小腸上皮の幹細胞は「コ」に存在する。ヒトの小腸上皮細胞の寿命は約「E」日であり、この期間に応じて症状が現れる。

<キ、クの解答群>

- | | |
|---------------|----------------|
| 1 ハーディ・ワインベルグ | 2 ベルゴニー・トリボンドー |
| 3 エントナー・ドウドロフ | 4 未熟な（未分化の） |
| 5 成熟した（分化した） | |

<Cの解答群>

- | | |
|------|------|
| 1 高い | 2 低い |
|------|------|

<Dの解答群>

- | | | |
|------|------|---------|
| 1 高い | 2 低い | 3 変わらない |
|------|------|---------|

<ケ、コの解答群>

- | | | | |
|--------|-------------------------|--------|-----------------------|
| 1 基底層 | 2 角質層 | 3 顆粒層 | 4 絨毛先端 ^{じゅう} |
| 5 樹状細胞 | 6 クリプト(腺窩) ^か | 7 黒色素胞 | |

<Eの解答群>

- | | | | |
|-------|-------|---------|---------|
| 1 1~2 | 2 3~7 | 3 14~21 | 4 30~60 |
|-------|-------|---------|---------|

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 1 つだけ
選べ。

I ヒトの代表的な放射線高感受性遺伝病の 1 つに A がある。この遺伝病は ATM 遺伝子の変異によ
って生じ、 B 遺伝様式を示す。この遺伝病の患者の両親が健康な場合、 C が一対の ATM
の遺伝子の D に変異を持つ。また、この遺伝病の患者の兄弟姉妹が健康な場合、その兄弟姉妹
は E の確率で一対の ATM の遺伝子の D に変異を持つ。

< A の解答群 >

- | | |
|----------------|-------------|
| 1 毛細血管拡張性運動失調症 | 2 色素性乾皮症 |
| 3 コケイン症候群 | 4 重症複合免疫不全症 |
| 5 フェンコニ貧血 | 6 鎌型赤血球貧血症 |

< B 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) | | |

< C の解答群 >

- | | |
|------------------|------------|
| 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 |

< D の解答群 >

- | | |
|------|------|
| 1 一方 | 2 両方 |
|------|------|

< E の解答群 >

- | | | | | |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 1 $\frac{1}{4}$ | 2 $\frac{1}{3}$ | 3 $\frac{1}{2}$ | 4 $\frac{2}{3}$ | 5 $\frac{3}{4}$ |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|

II 次に、A の患者で ATM 遺伝子にどのような変異があるかを見てみよう。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、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、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		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	

多数の患者でATM遺伝子の一部あるいは大部分の欠失が見られるが、1個から数個の塩基の変化が見られる場合もある。一例として、ATMタンパク質のmRNAの8,711番目のアデニンがグアニンに置き換わるような変異がある。図1に正常なATMタンパク質のmRNAの8,701番目から8,720番目の塩基配列を示す。ATMタンパク質のア個目のアミノ酸は、正常な遺伝子から作られるとFであるが、この変異遺伝子から作られるとGとなる。

塩基の番号：8,701番から8,720番

CCUACUCCUGAGACAGUCC

図1

別の例として、ATMタンパク質のmRNAの7,517番目から7,520番目までの4個の塩基が欠失するような変異がある。図2に正常なATMタンパク質のmRNAの7,511番目から7,530番目の塩基配列を示す。このような変異をH変異といい、この変異遺伝子からは正常なATMタンパク質より小さ

い イ 個のアミノ酸からなるタンパク質が作られる。

塩基の番号：7,511番から7,530番

UGAAGAGAGACGGAAUGAAG

図2

<ア、イの解答群>

- | | | | | |
|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1 2,505 | 2 2,506 | 3 2,507 | 4 2,508 | 5 2,903 |
| 6 2,904 | 7 2,905 | 8 2,906 | 9 7,516 | 10 7,520 |
| 11 7,521 | 12 8,711 | 13 8,712 | 14 8,715 | |

<F、Gの解答群>

- | | | |
|-------------|----------|------------|
| 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 |

<H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 フレームシフト | 6 ミスセンス |

Ⅲ 放射線によって生じるさまざまなDNA損傷の中で、**I**は最も重篤なものと考えられている。正常ヒト二倍体細胞に1 Gyのγ線を照射すると、細胞1個当たり約**ウ**個の**I**が生じる。ATMタンパク質は、放射線によって生じた**I**部位にNBS1タンパク質（ヒト放射線高感受性遺伝病の1つであるナイミーヘン染色体不安定性症候群の原因遺伝子から作られるタンパク質）などを介して結合し、p53タンパク質やヒストンH2AXタンパク質など少なくとも数百種類のタンパク質を**J**化する機能を持っている。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群の**K**を促進する。これらの遺伝子群から作られるタンパク質群のなかには、細胞周期チェックポイントやアポトーシスに関わるものがある。また、**I**の修復に関わるタンパク質の中には、**J**化されたH2AXタンパク質に直接的あるいは間接的に結合することによって損傷部位に集積するものが多数存在する。このように、ATMタンパク質は**I**に対するさまざまな応答を制御するのに重要な役割を担っており、このことが**A**の患者の細胞が放射線高感受性を示す理由であると考えられている。

< I の解答群 >

- | | | |
|--------------|--------------|-------------|
| 1 DNA 1 本鎖切断 | 2 DNA 2 本鎖切断 | 3 ピリミジンダイマー |
| 4 塩基損傷 | | |

< ウの解答群 >

- | | | | | |
|-----|------|-------|---------|---------|
| 1 5 | 2 40 | 3 200 | 4 1,000 | 5 3,000 |
|-----|------|-------|---------|---------|

< J の解答群 >

- | | | | |
|---------|--------|---------|-------|
| 1 アセチル | 2 メチル | 3 ユビキチン | 4 リン酸 |
| 5 グリコシル | 6 SUMO | | |

< K の解答群 >

- | | | | |
|-------|------|------|------|
| 1 組換え | 2 修復 | 3 転写 | 4 転座 |
| 5 複製 | 6 翻訳 | | |

