

令和 4 年度

第 1 種放射線取扱主任者試験

問題と解答例

実務

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1 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 放射線管理の現場では、放射性物質を用いた中性子線源として、 ^{241}Am -Be 中性子線源および ^{252}Cf 中性子線源が使用されている。これらの線源は、放射性物質が外部に漏れないようにステンレス鋼の堅牢なカプセルで密封された構造を持っている。

^{241}Am -Be 中性子線源は、 ^{241}Am をベリリウム粉末に混ぜて焼結したペレットをカプセル中に封入したもので、 ^{241}Am から放出された α 線が□A 反応である $^9\text{Be}(\alpha, n)^{12}\text{C}$ 反応を起こし、連続エネルギー分布を持つ速中性子を放出する。 ^{241}Am の半減期は□B y なので、長期間にわたり中性子放出率 $[\text{s}^{-1}]$ の経時変化が少なく、多くの施設で校正用線源として使用されている。また、59.5 keV などの低エネルギー光子が放出されるが、カプセルで吸収される割合が大きく、光子による線量寄与が比較的少ない。以前は、 α 線放出体として ^{226}Ra を用いた中性子線源が使用されていたが、子孫核種である ^{214}Pb と ^{214}Bi が多数の光子を放出すること、また、ヘリウムや□C の気体の蓄積によりカプセルの長期間にわたる健全性や安全性の確保が困難であるため、現在はあまり使用されていない。

^{252}Cf 中性子線源は、□D である ^{252}Cf が自発核分裂を起こし、連続エネルギー分布を持つ速中性子を放出する。当該線源の中性子平均エネルギーは、 ^{241}Am -Be 中性子線源よりも低い。 ^{252}Cf の半減期は 2.65 y と比較的短い、比線源強度（単位放射能当たりの中性子放出率）が大きいので、線源を小形化できる特徴がある。

<A の解答群>

- 1 核破碎 2 放射化 3 しきい値 4 核分裂 5 発熱
6 吸熱 7 核融合

<B の解答群>

- 1 127 2 223 3 301 4 433 5 526
6 633 7 705

<C の解答群>

- 1 ^{85}Kr 2 ^{133}Xe 3 ^{210}Bi 4 ^{210}Pb 5 ^{210}Tl
6 ^{218}Po 7 ^{222}Rn

<D の解答群>

- 1 核分裂生成物 2 天然一次放射性核種 3 超ウラン元素
4 アルカリ金属元素 5 希土類元素 6 安定同位元素
7 ウラン系列核種

〔解答〕 I A－5 B－4 C－7 D－3

〔解説〕

A : $^9\text{Be} + \alpha \rightarrow ^{12}\text{C} + n + 5.708 \text{ MeV}$

C : ^{226}Ra は α 線を放出して ^{222}Rn となる。

^{222}Rn は貴ガスであり常温で気体の放射性同位元素、 α 線（ヘリウム原子核）は軌道電子を得てヘリウムになる。

D：超ウラン元素；原子番号が92（ウランの原子番号）を超える元素の総称。

II ^{252}Cf 中性子線源に関連する表1に示す条件に基づき、中性子および光子の線量について考察する。ただし、放射線のカプセルによる減衰および部屋の壁などでの散乱、並びにバックグラウンド放射線は無視する。

10 μg の ^{252}Cf の原子数は、ア であるから、その放射能は $1.98 \times 10^8 \text{ Bq}$ となる。また、この線源の中性子放出率 Q は、 $2.31 \times 10^7 \text{ s}^{-1}$ であることから、1回の自発核分裂で放出される平均中性子数はイ 個であることがわかる。

点状線源であることを仮定すると、 ^{252}Cf 中性子線源から $r[\text{m}]$ 離れた測定点における中性子フルエンス率 Φ は、E と表せる。 $r=1 \text{ m}$ の場合、この線源から放出される中性子の1 cm 線量当量率、 D_n は、ウ $\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ となる。他方、同じ測定点における光子の1 cm 線量当量率 D_γ は、エ $\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ となるので、 D_γ/D_n は0.1以下となる。

ここで、校正定数が1.05である中性子線量当量(率)計の実効中心を線源から1 m離れた測定点に置いたとき、同線量当量(率)計の指示値は、オ $\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ となる。

表1 ^{252}Cf 中性子線源に対する条件

放射性壊変の分岐比	α 壊変 96.9%、自発核分裂 3.1%
中性子フルエンスから1 cm 線量当量への換算係数	$0.0385 \text{ pSv} \cdot \text{m}^2$
放出されるすべての光子に関する1 cm 線量当量率定数	$0.0716 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{MBq}^{-1} \cdot \text{m}^2$

<アの解答群>

- 1 6.14×10^{15} 2 8.23×10^{15} 3 1.15×10^{16} 4 1.65×10^{16} 5 1.98×10^{16}
6 2.15×10^{16} 7 2.39×10^{16}

<イの解答群>

- 1 0.12 2 0.55 3 1.26 4 2.58 5 3.76
6 4.90 7 8.31

<Eの解答群>

- 1 $\frac{Q}{4\pi r}$ 2 $\frac{Q}{4\pi r^2}$ 3 $Q - 4\pi r^2$ 4 $Q - 2\pi r$ 5 $\frac{Q}{r^2}$
6 $\frac{Q}{2\pi r}$ 7 $\frac{Q}{2\pi r^2}$

<ウの解答群>

- 1 45.8 2 97.1 3 179 4 214 5 255
6 320 7 395

<エの解答群>

1 3.70 2 4.80 3 14.2 4 19.8 5 23.3
6 28.4 7 34.4

<オの解答群>

1 43.6 2 48.1 3 92.5 4 102 5 170
6 178 7 188 8 204 9 225 10 243
11 285 12 305 13 336 14 376 15 415

〔解答〕 II アー7 イー5 Eー2 ウー5 エー3 オー10

〔解説〕

ア： ^{252}Cf 252 g(1 mol)中の原子数は 6.02×10^{23} 個であるので10 μg (10×10^{-6} g)中には 2.39×10^{16} 個になる。

イ：中性子は自発核分裂より発生するので、自発核分裂の放射能は

$$1.98 \times 10^8 \text{ Bq} \times 0.031 \approx 6.14 \times 10^6 \text{ Bq}$$

したがって、自発核分裂1回当たりの平均中性子の数は

$$2.31 \times 10^7 / 6.14 \times 10^6 \approx 3.76$$

となる。

E：中性子フルエンス率：単位時間当たりに単位面積を通過する中性子の個数

したがって、単位時間当たりの中性子の数(Q)を球の表面積($4\pi r^2$)で割る。

ウ：点線源から1 m離れた1時間当たりの中性子フルエンス率は

$$\frac{2.31 \times 10^7 \times 3600}{4\pi(1)^2} \approx 6.62 \times 10^9 \text{ m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$$

中性子フルエンスから1 cm線量当量への換算係数を用いて

$$6.62 \times 10^9 \text{ m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1} \times 0.0385 \times 10^{-6} \mu\text{Sv} \cdot \text{m}^2 \approx 255 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$$

注) $1 \text{ pSv} = 1 \times 10^{-6} \mu\text{Sv}$

エ： $0.0716 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{MBq}^{-1} \cdot \text{m}^2 \times 1.98 \times 10^2 \text{ MBq} \div 1 \text{ m}^2 \approx 14.2 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$

注) $1 \text{ MBq} = 1 \times 10^6 \text{ Bq}$

オ：ウより中性子の1 cm線量当量率は $255 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ であるが、これを校正定数が1.05である線量当量計で計測すると指示値は $255/1.05 \approx 243 \mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$ となる。

問2 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 □ A は、電離放射線により物質に与えられる平均エネルギーを質量で除した量で、着目している微小領域内のエネルギーのみを対象とする。物質中で非荷電粒子により解放された荷電粒子の初期運動エネルギーの総和のうち、衝突損失により失われるエネルギーをその物質の質量で割った値は、□ B と呼ばれ、質量エネルギー吸収係数にエネルギーフルエンスを乗じて計算できる。□ C が成立する場合、□ A と □ B は等しくなる。

ブラッグ・グレイの空洞理論によれば、物質中の空洞に気体を充填した空洞電離箱において、気体の単位質量当たりに生成するイオン対数を N 、 W 値を W 、物質の □ D を S_m 、気体の □ D を S_g とすると、物質の吸収線量は □ E で表される。このとき、電離箱の壁の厚さは、二次電子の飛程 □ F、一次放射線に対する遮蔽効果が無視できる程度に薄く、空洞は気体中の二次電子の数や分布に影響を与えない程度に小さい。

<A、Bの解答群>

- 1 照射線量 2 吸収線量 3 衝突カーマ
4 制動カーマ 5 エネルギーフルエンス 6 フルエンス
7 シーマ

<Cの解答群>

- 1 荷電粒子平衡 2 放射平衡 3 フルエンス平衡 4 エネルギー平衡

<Dの解答群>

- 1 エネルギー阻止能 2 質量阻止能 3 線衝突阻止能 4 全線阻止能
5 線放射阻止能

<Eの解答群>

- 1 $\frac{NWS_m}{S_g}$ 2 NWS_mS_g 3 $\frac{NW}{S_mS_g}$ 4 $\frac{S_mS_g}{NW}$ 5 $\frac{S_mS_gN}{W}$
6 $\frac{S_g}{NWS_m}$

<Fの解答群>

- 1 より薄く 2 と関係なく 3 と等しく 4 より厚く

〔解答〕Ⅰ A-2 B-3 C-1 D-2 E-1 F-4

〔解説〕

E：ブラッグ・グレイの空洞理論より、物質による吸収線量が D_m 、質量阻止能が S_m 、気体による吸収線量が D_g 、質量阻止能が S_g であるとき、

$$D_m : D_g = S_m : S_g$$

荷電粒子が気体中に1つのイオン対を作るときに費やす平均エネルギーが W 値であるから、電離箱内に生じたイオン対の数を N とすると $D_g = NW$ となる。

よって、

$$D_m : NW = S_m : S_g$$

$$D_m = \frac{NWS_m}{S_g}$$

Ⅱ 放射線管理の現場で用いられる放射線測定器で γ 線測定に適しているのは、感度が高くバックグラウンド測定も可能な **G** 式サーベイメータと、それより感度は低いがエネルギー応答に優れた **H** 式サーベイメータである。表面汚染検査用測定器としては、**I** 式サーベイメータは β 線測定にも利用できるが、計数率が高いと数え落としが起きやすい。**J** 式サーベイメータは α 線測定に適している。

<G～Jの解答群>

- | | | |
|-------|-------------------------|-------------------------|
| 1 電離箱 | 2 NaI(Tl)シンチレーション | 3 ZnS(Ag)シンチレーション |
| 4 GM管 | 5 BF ₃ 比例計数管 | 6 ³ He 比例計数管 |

〔解答〕Ⅱ G-2 H-1 I-4 J-3

〔解説〕

G-J：各放射線測定器による主な用途は下表のとおり。

放射線測定器	主な用途
電離箱	中・高線量域の γ 線空間線量測定
NaI(Tl)シンチレーション	低線量域の γ 線空間線量測定
ZnS(Ag)シンチレーション	α 線の表面汚染密度測定
GM管	β 線の表面汚染密度測定
BF ₃ 比例計数管	熱中性子線の空間線量測定
³ He 比例計数管	熱中性子線の空間線量測定

問3 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。

密封されていない放射性同位元素（非密封 RI）を使用する際には、外部被ばくのみではなく、内部被ばくにも注意するとともに、身体や使用機器等の RI による汚染を避けなければならない。

気体の非密封 RI や飛散しやすい液体・粉体の非密封 RI は、空気中への拡散を防ぎ、内部被ばくを低減できるように必要に応じてフードの中で取り扱う。フード内やフード周辺の床には、汚染を拡大しないように□ A □を貼る。

非密封 RI は、不注意や器具の破損で RI がこぼれても汚染が広がらないように□ A □で覆ったバットの上で取り扱う。作業中は、RI からの放射線の種類に応じたサーベイメータを近くに置き、必要に応じて線量率の測定や汚染の有無の確認を行う。

作業終了後、RI を片付けたのち、フード内やフード周辺の床などの汚染検査を行う。汚染が確認されたらその場所に印をつける。床の汚染の場合は、汚染の拡大を防ぐために、汚染箇所の周囲を区画して立ち入らないようにする。汚染箇所は速やかに除染し、検出限界以下になったことを確認する。

汚染検査では、測定値から表面汚染密度[Bq・cm⁻²]を計算し、その値を放射線施設内の人が常時立ち入る場所において人が触れる物の□ B □と比較する。測定方法には、直接測定法と間接測定法がある。

直接測定法は、器具や床などの表面の汚染を、サーベイメータを用いて直接測定する方法である。汚染のない場所でバックグラウンド計数率を把握しておき、サーベイメータの□ C □に応じた速さで検出部を移動させながら測定しないと、汚染を見逃してしまうことがあるので注意が必要である。

間接測定法は、□ D □で表面をふき取り、ろ紙に付着した RI を測定、定量する方法である。汚染場所のバックグラウンド計数率が高い場合や、汚染核種の□ E □場合に有効な方法である。しかしながら、表面汚染密度を定量するには、ふき取り効率を考慮しなければならない。

実際の汚染検査に備えて、次のような模擬試料による実験を行った。実験室の床と同じ材質の板に³²Pを含む水溶液を10 cm 四方内に滴下し、乾燥させた。まず、GM サーベイメータで直接測定したところ15,550 cpmであった。なお、バックグラウンド計数率は50 cpm とする。次に、□ D □で汚染箇所の10 cm 四方内をふき取り、この□ D □をGM 計数装置で測定したところ5,430 cpmであった。ふき取った部分をGM サーベイメータで再び同様に直接測定したところ6,250 cpmであった。これより、ふき取り効率は□ ア □%であり、表面汚染密度は□ イ □Bq・cm⁻²である。なお、GM 計数装置のバックグラウンド計数率は30 cpm であり、計数効率は15%とする。

汚染が確認されたら、汚染の状況に応じた方法により除染を行う。除染は、まず水でふき取る。除染対象により使用される除染剤は異なるが、いずれの除染対象にもよく利用される除染剤に□ F □がある。ただし、効果があるのは限られた核種（元素）であることに注意が必要である。

<A～D の解答群>

- 1 アルミ箔 2 ポリエチレンろ紙 3 薬包紙
- 4 スミアろ紙 5 表面密度限度 6 検出限界
- 7 定量限界 8 時定数 9 壊変定数
- 10 減衰定数

<E の解答群>

(令和4年度)第1種実務

- 1 β 線エネルギーが低い 2 β 線エネルギーが高い 3 γ 線エネルギーが低い
4 γ 線エネルギーが高い

<アの解答群>

- 1 10 2 20 3 30 4 40 5 50
6 60 7 70 8 80

<イの解答群>

- 1 2 2 5 3 6 4 10 5 34
6 600 7 1,000

<Fの解答群>

- 1 可塑剤 2 乳化剤 3 キレート形成剤 4 中和剤
5 沈殿剤

〔解答〕 A-2 B-5 C-8 D-4 E-1 ア-6 イ-4 F-3

〔解説〕

A：ポリエチレンろ紙は、ろ紙部で非密封R Iを含む液体等を吸着させ、ポリエチレン部で液体等を透過させないようにしている。

B：人が常時立ち入る場所において人が触れる物の表面の放射性同位元素の表面密度限度は、放射性同位元素等の規制に関する法律施行令 放射線を放出する同位元素の数量等を定める件 別表第4に定められ、汚染検査で得られた表面汚染と比較する。

放射線施設内での表面汚染密度限度は、以下のとおり。

α 線を放出する核種：4 Bq/cm²

α 線を放出しない核種：40 Bq/cm²

C：時定数はサーベイメータの応答時間であり、時定数以上の時間で測定する必要がある。

D：間接測定法の最も普通の発見方法であるスミア方法で用いるふき取りろ紙。

「JIS Z 4504 放射性表面汚染の測定方法」に記載される。

E：³H等の β 線エネルギーが低い核種は、直接測定法が不向きである。

ア：ふき取り前後のGMサーベイメータで直接測定した値からバックグラウンド計数率を減じて正味計数率を求め、スミアろ紙に移行した値を求める

ふき取り前の正味計数率；15,550 cpm－50 cpm＝15,500 cpm

ふき取り後の正味計数率；6,250 cpm－50 cpm＝6,200 cpm

スミアろ紙に移行した計数率；15,500 cpm－6,200 cpm＝9,300 cpm

この値をふき取り前の正味計数率で除してふき取り効率を求める。

ふき取り効率；9,300 cpm/15,500 cpm×100＝60 %

イ：スミアろ紙のGM計数装置の値からバックグラウンド計数率を減じて正味計数率を求める。

スミアろ紙の正味計数率；5,430 cpm－30 cpm＝5,400 cpm

アのふき取り効率を利用し、ふき取り前の計数率を算出する。

ふき取り前の計数率；60 %：100 %＝5,400 cpm：X cpm X＝9,000 cpm

(令和4年度) 第1種実務

cpm 値を cps 値へ変換後、計数効率を用いて Bq 値へ変換し、 1 cm^2 当たりの表面汚染密度を求める。

放射能； $9,000\text{ cpm}/60/0.15=1,000\text{ Bq}$

表面汚染密度； $1,000\text{ Bq}/100\text{ cm}^2=10\text{ Bq}\cdot\text{cm}^{-2}$

F：キレート形成剤は、金属イオンと可溶性の錯塩であるキレート錯体を形成するので、除染で利用される。

問4 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。

非密封の ^3H 、 ^{14}C 、 ^{32}P 、 ^{45}Ca の4種類のRIを使用する実験を計画しているグループと、取扱等について事前の打合せを行った。

これらのRIはすべて□A放出核種であり、半減期が最長のものは最短のものに比べて約□B倍長く、放出する□Aのエネルギーもさまざまであるため、取扱いや廃棄物処理には各核種に適した異なる配慮が必要となる。 ^3H と ^{14}C は有機化合物として、 ^{32}P と ^{45}Ca は水溶液での使用を計画している。

計画の一部には ^3H と ^{14}C を同時に使用する実験がある。 ^3H と ^{14}C は、液体シンチレーション計数装置を用いて測定し、□Cを行うことにより、 ^3H と ^{14}C の放射能を同時に測定できる。液体シンチレーション計数装置での放射能測定では、試料をシンチレーションカクテルと混合するために一般に測定試料はその後の実験に使用できないが、□Dのように□Aのエネルギーが高い場合には、試料からの□Eを測定することによって水溶液のまま測定ができるので貴重な試料を損失しない。一方□Dが放出するようなエネルギーが高い□Aに対して、□Fの発生をおさえながら効率的に遮蔽するためには、□Gを用いる。実験では気化しやすい ^3H と ^{14}C を含む標識化合物を取り扱うため、排気設備に接続した□H内で行うことにした。

実験廃液中の ^{32}P はリン酸イオン(PO_4^{3-})の化学形であり、 ^{32}P は□Iに共沈させて除去しておくことにした。また、実験廃液中の ^{45}Ca はカルシウムイオン($^{45}\text{Ca}^{2+}$)の化学形であり、 ^{45}Ca は□Jとして沈殿分離することとした。

<A、Bの解答群>

- 1 α 線 2 β 線 3 β^+ 線 4 γ 線 5 消滅放射線
6 制動放射線 7 内部転換電子 8 オージェ電子 9 500 10 1,500
11 5,000 12 15,000 13 50,000 14 150,000 15 500,000

<C、Dの解答群>

- 1 同時計数 2 波高弁別 3 減衰時間測定
4 デッドタイム補正 5 計数率補正 6 クエンチング補正
7 ^3H 8 ^{14}C 9 ^{32}P
10 ^{45}Ca

<E～Gの解答群>

- 1 チェレンコフ光 2 燐光 3 二次電子 4 化学発光
5 消滅放射線 6 制動放射線 7 内部転換電子 8 オージェ電子
9 パラフィン紙 10 コンクリート 11 アクリル板 12 鉄ブロック
13 鉛ブロック

<Hの解答群>

- 1 コールドボックス 2 クーラーボックス 3 グローブボックス
4 デシケータ 5 オートクレーブ 6 インキュベータ

<Iの解答群>

- 1 硫化銅 2 硫酸バリウム 3 塩化銀 4 水酸化鉄(III)
5 水酸化ナトリウム 6 水酸化亜鉛

<Jの解答群>

- 1 フッ化カルシウム 2 硝酸カルシウム 3 臭化カルシウム
4 炭酸水素カルシウム 5 塩化カルシウム

〔解答〕 A-2 B-14 C-2 D-9 E-1 F-6 G-11 H-3 I-4 J-1

〔解説〕

A： ^3H 、 ^{14}C 、 ^{32}P 、 ^{45}Ca は β^- 線放出核種である。

B：各核種の半減期は ^3H ：12.32年、 ^{14}C ：5700年、 ^{32}P ：14.268日、 ^{45}Ca ：162.61日であり、最も長い ^{14}C の半減期と最も短い ^{32}P の半減期の比は $(5700 \times 365)/14.268 = \text{約 } 146,000$ 倍となる。解答群中の最も適切な答えは150,000となる。

C：同時計数、デッドタイム補正、計数率補正、クエンチング補正は核種を区別するものではなく、減衰時間測定も半減期の長い ^3H と ^{14}C を区別することは出来ない。 ^3H から放出される β^- 線の最大エネルギーは18.6 keV、同様に ^{14}C の β^- 線最大エネルギーは157 keVであり波高弁別が可能。

D： β^- 線最大エネルギーは ^3H ：18.6 keV、 ^{14}C ：157 keV、 ^{32}P ：1711 keV、 ^{45}Ca ：257 keVである。最も大きなエネルギーを持つ ^{32}P が適切。

E：チェレンコフ光の水中におけるしきいエネルギーは約260 keVであり、水溶液中の ^{32}P はチェレンコフ光を放出する。

F：制動放射線

G：最大エネルギー E_0 の β^- 線が原子番号 Z の物質に衝突するとき、制動放射がエネルギーに代わる割合 W は $W = 3.5 \times 10^{-4} E_0 Z$ となり、原子番号に比例する。従って高エネルギーの β^- 線を遮蔽するためには低原子番号の物質が適切である。パラフィン紙では遮蔽能が低いため効率的に遮蔽するためにはアクリル板が適切。

H：排気設備に接続し、その中で実験を行うことが可能なものはグローブボックスである。

I：リン酸イオンの化学系にある $^{32}\text{PO}_4^{3-}$ は Fe^{3+} イオンを担体として加え、溶液を塩基性にすることで水酸化鉄(III)と共に共沈する。

J：水に不溶なのはフッ化カルシウム。

問5 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 放射性物質を体内に取り込むことにより内部被ばくが生ずる。飲食物と一緒に放射性物質を取り込むことを□Aと呼ぶ。体内に取り込んだ放射性物質の量が、代謝や排泄によって半分に減るまでの時間が生物学的半減期であり、放射性壊変による減衰と代謝や排泄による減少によって半分に減るまでの時間が有効半減期である。有効半減期は、□B。一般に、放射性物質の生物学的半減期は、年齢により変化する。例えば、 ^{137}Cs を□Aにより体内に取り込んだ場合、各年齢区分における生物学的半減期と物理的半減期について、短いものから順に並べると、□Cとなる。

<Aの解答群>

- 1 経皮吸収 2 吸入（吸入摂取） 3 経口摂取

<Bの解答群>

- 1 物理的半減期よりも短く、生物学的半減期よりも短い
2 物理的半減期よりも長く、生物学的半減期よりも長い
3 物理的半減期よりも短く、生物学的半減期よりも長い
4 物理的半減期よりも長く、生物学的半減期よりも短い
5 物理的半減期と等しい
6 生物学的半減期と等しい

<Cの解答群>

- 1 物理的半減期 < 幼児（1歳）の生物学的半減期 < 成人の生物学的半減期
2 物理的半減期 < 成人の生物学的半減期 < 幼児（1歳）の生物学的半減期
3 幼児（1歳）の生物学的半減期 < 物理的半減期 < 成人の生物学的半減期
4 幼児（1歳）の生物学的半減期 < 成人の生物学的半減期 < 物理的半減期
5 成人の生物学的半減期 < 幼児（1歳）の生物学的半減期 < 物理的半減期

〔解答〕Ⅰ A-3 B-1 C-4

〔解説〕

A：放射性物質を飲食物と一緒に口から取り込むことを経口摂取と呼ぶ。放射性物質は消化管を通して体内に吸収される。

B：有効半減期は、放射性物質の生物学的減少により物理学的半減期より短くなり、同じく物理学的減衰により生物学的半減期より短くなる。

また、有効半減期 T_e と生物学的半減期 T_b 及び物理学的半減期 T_p 間では、 $1/T_e = 1/T_b + 1/T_p$ の式が成り立つ。これは $(T_b + T_p) / T_p \times T_e = T_b$ と変形することができる。このとき $(T_b + T_p) / T_p$ は必ず1より大きくなるので、 $T_e < T_b$ になる。 T_p に対しても同様のことがいえる。

C： ^{137}Cs の物理学的半減期は約30年である。生物学的半減期は、1歳までで9日、9歳までで38日、30歳までで70日、50歳までで90日となっている。幼児の代謝の速度は成人に比べて速いため、その生物学的半減期は成人のものよりも短くなる。

II 体内に取り込まれ血漿中に存在する¹³⁷Csは、主に D として排泄される。また、セシウムはカリウムと似た性質を持つため、排泄されずに残った¹³⁷Csは E に多く分布することが知られている。そのため、¹³⁷Csのモニタリングとして、D のバイオアッセイや全身カウンタによる体外計測が行われている。体内に取り込んだ放射性物質の総放射エネルギーは、残留している放射能を体内残留率で割る、あるいは排泄された放射能を排泄率で割ることによって求められる。この体内残留率や排泄率を評価するために、体内動態モデルが利用されてきた。セシウム体内動態モデルの構築には、カリウムやセシウムの他に、カリウムと似た性質を持ち体内に多く天然放射性物質として含まれる F のデータが使われている。

ICRP Publication 137 のセシウム体内動態モデルでは、線源となる各臓器・組織をコンパートメントとして表し、セシウムのコンパートメント間の移行を計算する。例えば、摂取後の時間 t [d] における血漿と E の各コンパートメントのセシウム量を、それぞれ $A(t)$ 、 $B(t)$ 、血漿から E への移行係数[d⁻¹]を a 、逆方向を b とすると、E コンパートメントのセシウム量の時間変化は、

$$dB(t)/dt = aA(t) - bB(t) \quad (1)$$

と表すことができる。なお、このモデルでは、E は、血漿との間でのみセシウムの交換を行うと仮定されている。体内分布が平衡に達した時の血漿と E のコンパートメントのセシウム量(全身量に対する割合)を各々 A_e と B_e とすると、式(1)より G の関係式が得られる。ここで、 A_e と B_e をそれぞれ 0.002、0.8 とすると、血漿から E への移行係数 a が 30.0 d⁻¹ であるとき、E から血漿への移行係数 b は H d⁻¹ と求めることができる。これらの移行係数を用いたセシウム体内動態モデルを利用することにより、体内残留率や排泄率を評価することができる。

<D、E の解答群>

- 1 毛髪 2 歯 3 汗 4 涙 5 尿
6 痰 7 爪 8 呼気 9 骨格筋 10 肝臓
11 脳 12 甲状腺 13 腸 14 骨 15 心臓

<F の解答群>

- 1 ルビジウム 2 鉛 3 ポロニウム 4 ラドン
5 リン 6 コバルト 7 ストロンチウム 8 ラジウム

<G の解答群>

- 1 $a/b = B_e/A_e$ 2 $a/b = A_e/B_e$ 3 $a \cdot b = A_e B_e$ 4 $a + b = A_e + B_e$
5 $a - b = A_e - B_e$

<H の解答群>

- 1 7.5×10^{-8} 2 5.3×10^{-5} 3 7.5×10^{-2} 4 3.0×10^1 5 1.2×10^4

〔解答〕 II D-5 E-9 F-1 G-1 H-3

〔解説〕

D：血液の細胞以外の成分である血漿は、腎臓で濾過されて尿となる。

E：カリウムと同様、吸収されたセシウムの多くは、骨格を動かす筋肉である骨格筋に分布する。

F：ルビジウムは、カリウムやセシウムと同じ第1族元素（アルカリ金属）である。同じ族に属する元素は似た性質を示す傾向がある。

G：体内分布が平衡に達したということは、セシウム量の時間変化が見かけ上0になったと考えることができる。式(1)より $0 = aA_e - bB_e$ がいえるので、これを变形して $a/b = B_e/A_e$ とすることができる。

H：上記の式より $b = aA_e/B_e$ となるので、 $b = 30.0 \times 0.002 / 0.8 = 0.075$ が求められる。

III 放射性物質が体内に取り込まれ、体内に留まることにより将来にわたって受ける内部被ばく線量は、預託実効線量と呼ばれる。国際放射線防護委員会の2007年勧告では、成人の場合は摂取後 I 年間に受ける線量により預託実効線量を評価することが推奨されている。ここで、1年間毎日摂取することにより ^{137}Cs の預託実効線量 0.9 mSv を成人にもたらす食品中の ^{137}Cs 放射能濃度を求めてみよう。計算条件として、この食品の1日の摂取量を 1 kg とし、預託実効線量の計算に用いる実効線量係数を $0.013 \text{ mSv} \cdot \text{Bq}^{-1}$ とする。この条件の場合、食品中の ^{137}Cs 放射能濃度は、J $\text{Bq} \cdot \text{kg}^{-1}$ と計算できる。

<I、Jの解答群>

1	10	2	20	3	30	4	40	5	50
6	70	7	90	8	100	9	130	10	160
11	190	12	220	13	250	14	300	15	500

〔解答〕 III I-5 J-11

〔解説〕

I：預託実効線量は、放射性核種から受ける線量率を摂取後の期間積算することによって求められる。成人に対しては預託期間として50年が推奨されている。

J：内部被ばくによる実効線量（預託実効線量） $E \text{ (mSv)}$ は実効線量係数 $e \text{ (mSv/Bq)}$ と放射性同位元素の摂取量 $I \text{ (Bq)}$ の積、 $E = e \times I$ で求められる。

さらに食品中の放射能濃度を $C \text{ (Bq/kg)}$ 、食品の摂取量を $m \text{ (kg)}$ とすると、 $I = C \times m$ が成り立ち、 C について解くと $C = E / (e \times m)$ となる。今回の条件での食品中の ^{137}Cs 放射能濃度は以下のように求められる。

$$C = 0.9 \text{ (mSv)} / (0.013 \times 10^{-3} \text{ (mSv/Bq)} \times 365 \text{ (kg)}) \div 190 \text{ (Bq/kg)}$$

問6 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。

国際放射線防護委員会 ICRP の 2007 年勧告では、確率的影響に対する放射線防護の目的においては、代表的個人における性別及び年齢で平均化された生涯リスク推定値を用いることが適切であるとの判断を示している。確率的影響には発がんが□Aが含まれ、線量の増加とともにリスクが増加する直線しきい値なしモデルに従うと考える防護体系が構築されている。そのリスクの推定においては、結果の重篤度を表現するため、致死率や生活の質（QOL）の低下、寿命損失などの確率を考慮に入れて計算が行われている。

具体的には、日本の原爆被爆者の寿命調査（Life Span Study）を中心とした疫学研究による各臓器・組織に対するがんの罹患率等のデータから、各臓器・組織の部位別の生涯リスクを推定した。次いで、□B以外の臓器・組織のがんのリスクについては、線量・線量率効果係数を考慮して、推定値を□アに調整した。ここで得られた推定値から、疾患の自然発生率が異なる集団間で一般化するために、適切に重み付けして各臓器・組織の症例数を推定する方法を定めてアジア4集団と欧米3集団に適用し、その平均として、各臓器・組織の1万人当たり1 Sv 当たりに増加する症例数を求めた。これを「□C」と呼ぶ。さらに□Cに対して、致死率、QOL、寿命損失などの確率を評価して各臓器・組織の1万人当たり1 Sv 当たりの□Dを計算し、その合計値として、「□Dで調整された□C」が求められた。これにより得られた数値をもとに、がんについて全集団で□イ%/Sv、成人作業場で□ウ%/Sv、□Aについて全集団で□エ%/Svという推定値が示された。

組織加重係数についても□Dから推定されている。□Dを合計して1になるように規格化した相対□Dを計算したうえで、この推定過程における不確実性を考慮し、各臓器・組織を4つのカテゴリーにグループ分けして、それぞれの組織臓器に対してグループに共通の値を割り当てた。例えば□Eに対しては0.01という値が、□Fに対しては0.04という値が割り当てられている。

<Aの解答群>

- 1 組織反応 2 遺伝性(的)影響 3 急性影響
- 4 晩発影響 5 遠達効果

<B～Dの解答群>

- 1 乳房 2 皮膚 3 生殖腺
- 4 骨髄 5 骨表面 6 疾病
- 7 死亡率 8 罹患率 9 損害
- 10 損失 11 過剰相対リスク 12 過剰絶対リスク
- 13 名目リスク係数 14 生物学的効果比

<アの解答群>

- 1 5倍 2 2倍 3 2分の1 4 5分の1

<イ～エの解答群>

- 1 0.01 2 0.02 3 0.04 4 0.05 5 0.1
- 6 0.2 7 0.4 8 0.5 9 0.8 10 1.3

11 4.1 12 4.8 13 5.5 14 6.0

<E、Fの解答群>

- 1 骨表面、唾液腺、皮膚 2 骨髄（赤色）、唾液腺、皮膚 3 生殖腺
4 結腸、肺、甲状腺 5 膀胱、食道、肝臓 6 心臓、腎臓、リンパ節
7 ^{すい}膵臓、小腸、脾臓

〔解答〕 A-2 B-4 C-13 D-9 ア-3 イ-13 ウ-11 エ-6 E-1 F-5

〔解説〕

A：発がんや遺伝性（的）影響は、確率的影響に分類される。

B、ア：骨髄以外の臓器・組織のがんのリスクは、線量・線量率効果係数を考慮して、推定値を2分の1に調整した。白血病のリスク推定値は、性、被ばく時年齢、及び被ばく後の経過時間による修飾効果を考慮した直線-二次のリスクモデルで線量・線量率効果係数が既に考慮されている。

C：名目リスク係数は、代表的集団における性と被ばく時年齢別生涯リスク推定値を平均化することと求められる。

D：名目リスク係数に対して、致死率・QOL・寿命損失などの確率を評価すると、各臓器・組織の1万人当たり1Sv当たりの損害の推定値が得られる。組織加重係数についても損害で調整された名目リスク係数に基づいている。

イ～エ：がんの罹患率データを基に損害で調整された名目リスク係数は、次のとおりである。

被ばく集団	がん	遺伝性影響
全集団	5.5 %/Sv	0.2 %/Sv
成人作業員	4.1 %/Sv	0.1 %/Sv

E、F：組織加重係数は、組織・臓器を次の4つのカテゴリーにグループ分けして、それぞれのグループに共通の値を割り当てた。寄与の合計は1となる。

組織・臓器	組織の数	組織加重係数	寄与の合計
骨表面、脳、唾液腺、皮膚	4	0.01	0.04
膀胱、食道、肝臓、甲状腺	4	0.04	0.16
生殖腺	1	0.08	0.08
骨髄（赤色）、結腸、肺、胃、乳房、残りの組織※ ※残り合計14組織への平均線量に適用される	6	0.12	0.72
合 計			1