

化 学

化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：10:00～11:50（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、本人確認書類（原本）、鉛筆又はシャープペンシル、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。また、アラーム機能の付いた時計は、設定を解除しておいてください。
- 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、すべての課目の解答を無効とし、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、すべての課目の解答を無効とします。

4 解答用紙（マークシート）の取扱いについて：

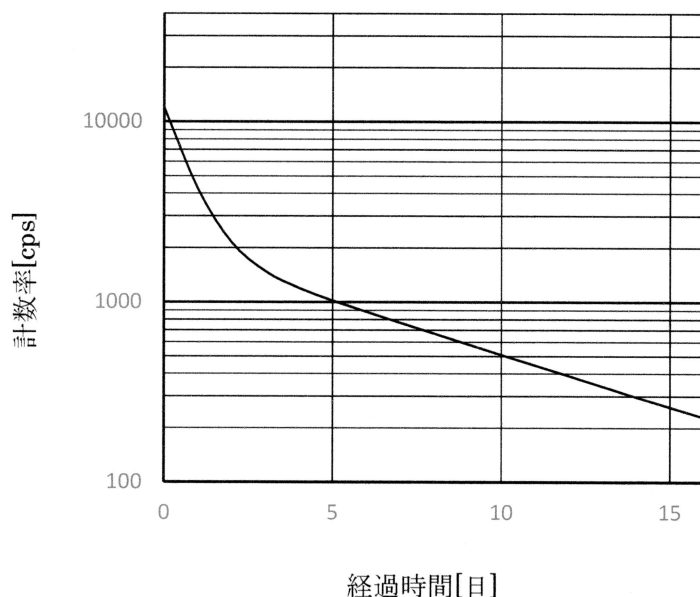
- ① 解答用紙を折り曲げたり汚したりしないでください。また、記入欄以外の余白には、何も記入しないでください。
- ② 筆記用具は、鉛筆又はシャープペンシル（HB又はB）を使用してください。また、記入を訂正する場合は、消しゴムできれいに消してください。
- ③ 解答用紙の所定の欄に氏名・受験地・受験番号を忘れずに記入してください。特に、受験番号は受験票と照合して間違えないよう記入してください。
- ④ 解答は、1つの問いに対して、1つだけ選択（マーク）してください。2つ以上選択している場合は、採点されません。

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 1 100 MBq の ^{82}Sr (半減期 25 日) を購入した。購入後 200 日で不純物として含まれていた ^{85}Sr (半減期 65 日) が ^{82}Sr と同じ放射能となった。購入時に含まれていた ^{85}Sr の放射能 [MBq] として最も近い値は、次のうちどれか。

- 1 1 2 3 3 6 4 8 5 12

問 2 とともに放射性核種である A と B の混合物がある。この混合物の放射能の時間変化を測定した結果を下のグラフに示す。A の半減期が 0.5 日であるとき、B の半減期 [日] として最も近い値は、次のうちどれか。ただし、バックグラウンド計数率を 10 cps とする。



- 1 0.5 2 2 3 5 4 10 5 20

問 3 ^{35}S のとりえる最大の比放射能 [$\text{Bq} \cdot \text{g}^{-1}$] として最も近い値は、次のうちどれか。ただし、 ^{35}S の半減期とモル質量はそれぞれ 87 日と $35 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ とする。

- 1 1.6×10^{13} 2 1.4×10^{14} 3 1.6×10^{15} 4 1.4×10^{20} 5 1.7×10^{25}

問4 ^{14}C で標識した酢酸（1 molあたりの ^{14}C の放射能は1 MBq）がある。この酢酸0.1 molにエタノール0.4 molを混合し、硫酸を添加したところ、酢酸の80%が酢酸エチルになった。酢酸エチルの比放射能 $[\text{kBq}\cdot\text{g}^{-1}]$ として最も近い値は、次のうちどれか。ただし、モル質量は、酢酸が $60\text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ 、エタノールが $46\text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ 、酢酸エチルが $88\text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ とする。

- 1 9 2 11 3 17 4 22 5 35

問5 ある放射性核種Xがその娘核種Yに壊変し、過渡平衡に達しているときの記述として正しいものは、次のうちどれか。ただし、核種Xの半減期は核種Yの半減期の2倍を超えるものとする。

- 1 Yの放射能はYの半減期で減衰する。
- 2 Yの生成速度と壊変速度は等しい。
- 3 Yの放射能はXの放射能より小さい。
- 4 Yの原子数はXの原子数より少ない。
- 5 Yの原子数とXの原子数の和は一定である。

問6 放射平衡や核種の親娘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 ^{68}Ge からのミルキングで無担体の ^{68}Ga が得られる。
- B ラジウム泉からの被ばく線量は主にラジウム同位体からの放射線による。
- C ネプツニウム系列核種には ^{225}Ac が含まれる。
- D 鉛同位体比を用いる年代測定では放射平衡の成立を前提としない。

- 1 AとB 2 AとC 3 BとC 4 BとD 5 CとD

問7 以下の放射性核種を製造する際に利用できるターゲットと核反応の関係として、正しいものの組合せはどれか。

	放射性核種	ターゲット	核反応
A	^{32}P	硫黄	(n, p)
B	^{14}C	窒化アルミニウム	(n, p)
C	^{13}N	水	(p, α)
D	^{18}F	ネオン	(d, α)

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

問8 半減期20分の放射性核種を以下の照射時間で製造し、冷却時間後に使用する場合に、使用する時点の放射能が大きい順に並んでいるものは、次のうちどれか。ただし、照射時間以外の製造に関わる照射条件は全て同じとする。

	照射時間 [分]	冷却時間 [分]
A	20	10
B	40	20
C	60	40

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

問9 核反応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 核反応エネルギー(Q値)は、反応後の核反応生成物の質量の和(M_f)と反応前の標的核種および入射粒子の質量の和(M_i)の差($M_f - M_i$)に相当するエネルギーである。
- B 核反応エネルギー(Q値)は、負の値となることはない。
- C (γ, n)反応では、標的核の原子番号と生成核の原子番号は等しい。
- D 核反応断面積は、入射粒子のエネルギーに依存する。

- 1 AとB 2 AとC 3 BとC 4 BとD 5 CとD

問10 核分裂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 ^{238}U は自発核分裂を起こさない。
- B ^{235}U の熱中性子による誘導核分裂では中性子欠損核が主に生成する。
- C ^{235}U は熱中性子と同じ運動エネルギーの陽子では誘導核分裂を起こさない。
- D ^{235}U の熱中性子による誘導核分裂では、質量数95および138付近に核分裂収率の極大がある。

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

問11 リンの同位体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}P は主にEC壊変する。
- B ^{31}P は安定同位体である。
- C ^{32}P は最大エネルギー約1.7 MeVの β^- 線を放出する。
- D ^{33}P は β^- 壊変して放射性の ^{33}Si を生成する。

- 1 AとB 2 AとC 3 BとC 4 BとD 5 CとD

問12 次の核種の組合せのうち、3つの核種がいずれも放射性かつ同族であるものはどれか。

- | | | |
|--------------------|-------------------|-------------------|
| 1 ^3H | ^{23}Na | ^{134}Cs |
| 2 ^{10}B | ^{45}Ca | ^{226}Ra |
| 3 ^{90}Y | ^{147}Pm | ^{237}Np |
| 4 ^{51}Cr | ^{56}Mn | ^{59}Fe |
| 5 ^{15}N | ^{33}P | ^{209}Bi |

問13 次のうち、安定核種のための組合せはどれか。

- | | | |
|--------------------|------------------|------------------|
| A ^{15}O | ^{16}O | ^{18}O |
| B ^{24}Mg | ^{25}Mg | ^{26}Mg |
| C ^{32}S | ^{33}S | ^{34}S |
| D ^{40}Ca | ^{42}Ca | ^{44}Ca |
| E ^{57}Ni | ^{58}Ni | ^{60}Ni |

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

問14 次の壊変系列のうち、ラドン同位体を含むものの組合せはどれか。

- A アクチニウム系列
- B ウラン系列
- C トリウム系列
- D ネプツニウム系列

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

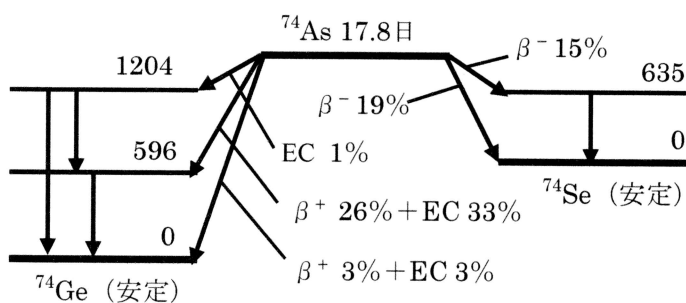
問15 放射壊変に伴い発生するX線に関する次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A ^{51}Cr は連続X線のみを放出する。
- B ^{63}Ni はCoの特性X線を放出する。
- C ^{68}Ga はZnの特性X線を放出する。
- D $^{99\text{m}}\text{Tc}$ はMoの特性X線を放出する。
- E ^{241}Am はNpの特性X線を放出する。

- 1 AとB 2 AとC 3 BとD 4 CとE 5 DとE

問16 ^{74}As の壊変図式を以下に示す。 ^{74}As 線源に関する次の記述のうち、正しいものの組合せはどれか。エネルギーの単位はkeVである。

- A ^{74}Se になる壊変の部分半減期は、 ^{74}Ge になる壊変の部分半減期より短い。
- B γ 線スペクトルに511 keVのピークが現れる。
- C Geの特性X線を放出する。
- D 608 keVの γ 線を放出する。



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

問17 次の標識された化学種のうち、揮発性のものの組合せはどれか。

- A $[^{74}\text{As}]\text{AsH}_3$
- B $[^{51}\text{Cr}]\text{Cr}_2\text{O}_3$
- C $[^{22}\text{Na}]\text{Na}_2\text{SO}_4$
- D $[^{106}\text{Ru}]\text{RuO}_4$
- E $[^{131}\text{I}]\text{I}_2$

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

問18 放射性気体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 トリチウムを含む希硫酸に亜鉛板を浸すと、放射性の水素が発生する。
- B トリチウムを含む食塩水を白金電極で電気分解すると、放射性の塩化水素が発生する。
- C ^{14}C で標識された炭酸カルシウムに濃アンモニア水を加えると、放射性の二酸化炭素が発生する。
- D カーバイド（炭化カルシウム）をトリチウム水に浸すと、放射性のメタンが発生する。
- E 硫化鉄(II)に塩酸酸性のトリチウム水を加えると、放射性の硫化水素が発生する。

- 1 AとB 2 AとE 3 BとD 4 CとD 5 CとE

問19 放射性同位体の分離に用いられるイオン交換樹脂の種類とイオン吸着能の順番の組合せのうち、正しいものは次のうちどれか。ただし、括弧内はイオン交換を担う官能基を表している。

イオン交換樹脂の種類

イオン吸着能の順番

- | | |
|---|--|
| A 強酸性陽イオン交換樹脂 ($-\text{SO}_3^-$) | $\text{H}^+ < \text{K}^+ < \text{Ca}^{2+}$ |
| B 弱酸性陽イオン交換樹脂 ($-\text{COO}^-$) | $\text{Na}^+ < \text{H}^+ < \text{Mg}^{2+}$ |
| C 強塩基性陰イオン交換樹脂 ($-\text{N}(\text{CH}_3)_3^+$) | $\text{OH}^- < \text{Cl}^- < \text{PO}_4^{3-}$ |
| D 弱塩基性陰イオン交換樹脂 ($-\text{NH}_3^+$) | $\text{NO}_3^- < \text{SO}_4^{2-} < \text{OH}^-$ |

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

問20 溶媒抽出による ^{59}Fe の放射化学分離に関する次の記述のうち、正しいものはどれか。

- 1 有機溶媒により Fe の酸化数が変化することを利用している。
- 2 自己放射線分解による Fe(III) の還元を利用している。
- 3 イソプロピルエーテルを抽出溶媒とすることで、中性の水溶液から $^{59}\text{Fe(III)}$ をクロリド錯体（クロロ錯体）として抽出できる。
- 4 β -ジケトンと Fe(III) と安定な錯体を生成しないので、抽出には利用できない。
- 5 キレート抽出およびイオン対抽出のいずれも利用されている。

問21 放射性核種A（壊変定数 λ ）とその壊変により生成した安定核種Bの原子数をそれぞれ N_A と N_B とする。核種Aと核種Bの原子数比(N_B/N_A)の時間 t に対する変化を表す式として正しいものは、次のうちどれか。ただし、 $t=0$ における安定核種Bの原子数は0とする。

- 1 $e^{-\lambda t}$ 2 $e^{\lambda t}$ 3 $1 - e^{-\lambda t}$ 4 $e^{-\lambda t} - 1$ 5 $e^{\lambda t} - 1$

問22 試料S中の成分X(非放射性)を同位体希釈法で定量するために、標識した成分Xを2.0 mg含む試料(Aとする)を2つ準備した。一方のAを試料Sに添加し、十分に混合した(Bとする)。Bともう一つのAそれぞれから、成分Xの一部を同じ質量だけ分離し放射能を定量したところ、それぞれ300 Bqと600 Bqであった。試料S中の成分Xの質量[mg]として最も近い値は、次のうちどれか。

- 1 1.0 2 2.0 3 3.0 4 4.0 5 5.0

問23 荷電粒子とその性質を利用する分析手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 $^3\text{He}^{2+}$ を半導体に照射して生成する ^{18}F を分離、測定することで、半導体中の酸素の定量を行うことができる。
- B 陽子を薄膜試料に照射して、発生する特性X線を検出することで多元素分析を行うことができる。
- C α 粒子を半導体に照射して、後方に散乱された α 粒子のエネルギースペクトルを測定することで、表面近傍にある元素の深さ分布を求めることができる。
- D 電子を金属試料に照射し、発生する中性子を検出することで金属試料の組成分析を行うことができる。

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

問24 中性子放射化分析に関する次の記述のうち、正しいものはどれか。

- 1 高エネルギーの中性子を利用することで高感度の分析が可能となる。
- 2 核破砕反応で発生する中性子を利用するので高エネルギー加速器が必要となる。
- 3 熱中性子フルエンスを評価するためには、金箔などを試料と同時に照射する。
- 4 中性子放射化で生成した核種は中性子過剰なので β 線測定が主に用いられる。
- 5 化学分離は放射化後に実施できない。

問25 熱中性子を100 mgのヒ素を含むヒ酸塩に照射して、 1.0×10^6 Bqの ^{76}As を得た。 ^{76}As の酸化数別の割合は、As(III)が80%、As(V)が20%であった。また、照射前の試料中のヒ素全体に対するAs(III)の割合は0.10%であった。3価の ^{76}As の濃縮係数に最も近いものは、次のうちどれか。ただし、As(III)の比放射能をA[Bq $\cdot$ g $^{-1}$]、試料中のヒ素全体での比放射能をB[Bq $\cdot$ g $^{-1}$]として、濃縮係数はA/Bで与えられる。

- 1 1.0×10^2 2 8.0×10^2 3 1.0×10^3 4 2.0×10^3 5 8.0×10^3

問26 次のホットアトム効果に関する記述のうち、正しいものの組合せはどれか。

- A 核反応に付随するものであり、放射壊変由来の反跳原子では生じない。
B クロム(VI)酸カリウムを熱中性子照射すると、生成した ^{51}Cr の一部が3価に還元される。
C 光子が誘起する(γ , n)反応では生じない。
D N_2 と H_2 を混合したガスに陽子を照射して ^{11}C を製造するとき、 $^{11}\text{CH}_4$ が生じる。

- 1 AとB 2 AとC 3 AとD 4 BとD 5 CとD

問27 放射性核種を利用する機器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 ^{241}Am -Be水分計は、速中性子の吸収を利用している。
B ^{241}Am 硫黄計は、 α 線による励起を利用している。
C ^{85}Kr 厚さ計は、 β^- 線の吸収や散乱を利用している。
D ^{63}Ni ガスクロマトグラフ用検出器(ECD)は、 β^- 線の電離作用を利用している。
E ^{57}Co メスバウア分光装置は、 γ 線の共鳴吸収を利用している。

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

問28 放射線重合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 放射線重合は、常温、常圧でも起こる。
- B 放射線重合には、重合開始剤あるいは触媒が必要である。
- C 放射線照射により直鎖状不飽和炭化水素同士が重合して樹脂状物質が生成する。
- D 単量体の溶液に放射線を照射すると重合が起こる。

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

問29 水の放射線照射により生成する以下の化学種のうち、不対電子をもつものの組合せは、次のうちどれか。ただし、化学式からラジカルを表すドットは除いている。

- A H_2O_2
- B OH
- C H_3O^+
- D OH^-
- E H_2O^+

- 1 AとD 2 AとE 3 BとC 4 BとE 5 CとD

問30 フリッケ線量計に ^{60}Co からの γ 線を30分照射すると、 Fe^{3+} が溶液1 gあたり 1.50×10^{-7} mol生じた。この時の γ 線の吸収線量率 $[\text{Gy} \cdot \text{h}^{-1}]$ として最も近い値は、次のうちどれか。ただし、 Fe^{3+} 生成のG値を15.6とし、 $1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$ とする。

- 1 0.2 2 5 3 48 4 94 5 185

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 地球には誕生時から存在する放射性核種として、壊変系列を作らず単独で存在する核種と壊変系列を作る核種がある。壊変系列を作る核種からは壊変によって二次的に放射性核種が生成する。また、宇宙線などによって現在でも生成されている誘導放射性核種や、人為的な活動によって生成される放射性核種もある。

Ge 検出器で環境放射線の γ 線スペクトルを測定したとき、数多くの γ 線のピークが検出される。たとえば、2.62 MeVに観測される γ 線は ^{208}Tl によるもので、□A□系列の核種である。この γ 線はエネルギーが高いことから、そのエスケープピークも観測される。また、0.352 MeVの ^{214}Pb 、0.609 MeVの ^{214}Bi のように□B□系列の核種も検出される。□C□ MeVの γ 線は壊変系列を作らない ^{40}K によるものである。

大気中にはラドンの放射性核種としてトリウム系列の□D□やウラン系列の□E□が浮遊している。□E□の半減期は□F□であり、降雨の際には、その子孫核種が雨水とともに、地表面に降下してくるため、地表付近の線量率上昇に寄与することが知られている。

< A、Bの解答群 >

- | | | | |
|-------|--------|----------|----------|
| 1 ウラン | 2 トリウム | 3 アクチニウム | 4 ネプツニウム |
|-------|--------|----------|----------|

< Cの解答群 >

- | | | | |
|---------|---------|---------|---------|
| 1 0.185 | 2 0.295 | 3 0.835 | 4 0.911 |
| 5 1.12 | 6 1.33 | 7 1.46 | 8 1.51 |

< D、Eの解答群 >

- | | | | |
|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 1 ^{218}Rn | 2 ^{219}Rn | 3 ^{220}Rn | 4 ^{222}Rn |
| 5 ^{223}Rn | 6 ^{224}Rn | 7 ^{226}Rn | 8 ^{228}Rn |

< Fの解答群 >

- | | | | |
|--------|--------|-------|-------|
| 1 56秒 | 2 3.1分 | 3 20分 | 4 61分 |
| 5 11時間 | 6 3.8日 | 7 24日 | 8 22年 |

Ⅱ 大気中の放射性物質をエアサンプラーで石英繊維フィルターに捕集した後、そのフィルターをGe検出器で測定すると、ラドンの子孫核種とともに、半減期 日で0.478 MeVの γ 線を放出する核種 ^7Be が検出される。これは、大気上層で、大気成分に宇宙線があたり、核破砕反応によって生成したものである。同様に、Beの同位体である も生成するが、 は半減期が100万年を超え、堆積物の堆積年代を調べるトレーサーとして利用されている。

大気中では半減期12.3年 (3.9×10^8 秒) のトリチウム(T)も生成することが知られている。Tの年間生成量は72 と推定されており、自然起源としてその20倍が平衡存在量として存在することになる。さらに過去の大気圏内核実験や原子力施設で生成した人為起源のTもある。水1 L中に1 BqのTが含まれているとき、この水の中での水素の原子数に対するTの原子数の比はおおよそ となる。

< Gの解答群 >

- | | | | |
|--------|--------|--------|--------|
| 1 3.3 | 2 14.2 | 3 27.7 | 4 44.5 |
| 5 53.2 | 6 87.4 | 7 271 | 8 312 |

< Hの解答群 >

- | | | |
|--------------------|--------------------|--------------------|
| 1 ^8Be | 2 ^9Be | 3 ^{10}Be |
| 4 ^{11}Be | 5 ^{12}Be | |

< Iの解答群 >

- | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 MBq | 2 GBq | 3 TBq | 4 PBq | 5 EBq |
| 6 ZBq | | | | |

< Jの解答群 >

- | | | |
|--------------|--------------|--------------|
| 1 10^{-15} | 2 10^{-16} | 3 10^{-17} |
| 4 10^{-18} | 5 10^{-19} | 6 10^{-20} |

Ⅲ 天然の放射性核種の壊変が年代測定に利用されることがある。その一例を以下に示す。

^{40}K は半減期 12.48 億年で、10.7% が主に K 壊変により ^{40}Ar となり、 ^{40}Ar への壊変の部分半減期は L 年となる。マグマが固化し岩石生成する際に、取り込まれた K から生成した ^{40}Ar が現在まで保存されたとすると、その岩石中の K の量と ^{40}Ar の生成量を測定することで、生成年代を推定することができる。

1 Bq の ^{40}K から 25 億年経過するまでに生成する ^{40}Ar の原子数は M 個となる。

実際の年代測定では、 ^{40}Ar の生成量は N 分析法により定量される。

< K の解答群 >

- | | | | |
|------|-------------|-------------|------------|
| 1 EC | 2 β^- | 3 β^+ | 4 α |
|------|-------------|-------------|------------|

< L の解答群 >

- | | | | | |
|---------------------|---------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 1 1.2×10^8 | 2 1.4×10^9 | 3 1.2×10^{10} | 4 1.4×10^{10} | 5 1.2×10^{11} |
|---------------------|---------------------|------------------------|------------------------|------------------------|

< M の解答群 >

- | | | | | |
|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 1 8.2×10^{12} | 2 4.5×10^{13} | 3 1.2×10^{14} | 4 4.5×10^{15} | 5 2.4×10^{16} |
|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|

< N の解答群 >

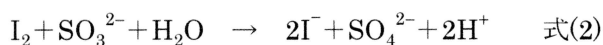
- | | | | | |
|--------|--------|--------|------|------|
| 1 発光分光 | 2 紫外分光 | 3 赤外分光 | 4 質量 | 5 容量 |
| 6 示差熱 | 7 原子吸光 | | | |

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 ^{131}I を含む酸性水溶液から ^{131}I を分離・精製するために、溶媒抽出法を用いることにした。 ^{131}I を含む酸性水溶液に担体としてKIを加え、四塩化炭素を有機相として溶媒抽出しても、ヨウ素は有機相にほとんど抽出されない。そこで水相に NaNO_2 を加えると式(1)の化学反応が起こる。

ア □ 式(1)

I_2 の四塩化炭素への溶解度は大きく、水への溶解度は小さいため、ヨウ素は有機相に抽出される。一方、すべての I^- を I_2 に変える量以上の NaNO_2 を加えないとヨウ素が□イとしても水相に留まるため注意が必要である。溶媒抽出により I_2 が抽出された有機相を取り出し、ここに新たに Na_2SO_3 を十分に加え、再度、溶媒抽出を行うと式(2)の化学反応が起こる。この化学反応により、 I_2 は I^- になるため、ヨウ素は水相に逆抽出される。この場合、 SO_3^{2-} は□ウとしてはたらく。



安定同位体からなる ICl (塩化ヨウ素) に $^{131}\text{I}^-$ を加えると、同位体交換を起し ^{131}ICl が生成する。 ICl において、塩素の電気陰性度はヨウ素の電気陰性度と比べて□エので、 ICl 分子内で分極が起こり、ヨウ素は□オいる。 ^{131}ICl は、放射性ヨウ素標識化合物の標識試薬として用いられる。

<アの解答群>

- 1 $2\text{I}^- + \text{NO}_2^- + 2\text{H}^+ \rightarrow \text{I}_2 + \text{NO} + \text{H}_2\text{O}$
- 2 $2\text{I}^- + \text{NO}_2^- + 4\text{H}^+ \rightarrow \text{I}_2 + \text{NO} + 2\text{H}_2\text{O}$
- 3 $2\text{I}^- + 2\text{NO}_2^- + 4\text{H}^+ \rightarrow \text{I}_2 + 2\text{NO} + 2\text{H}_2\text{O}$
- 4 $2\text{I}^- + \text{NO}_2^- + 6\text{H}^+ \rightarrow \text{I}_2 + 2\text{NO} + 3\text{H}_2\text{O}$
- 5 $2\text{I}^- + 2\text{NO}_2^- + 6\text{H}^+ \rightarrow \text{I}_2 + 2\text{NO} + 3\text{H}_2\text{O}$

<イの解答群>

- | | | | |
|--------------------------|-------------------|--------------------------|-------------------|
| 1 I^{2+} | 2 I^{3+} | 3 IO_3^- | 4 IO_4^- |
| 5 I_2O_5 | 6 I_3^- | 7 I_4O_9 | |

<ウの解答群>

- | | | | |
|---------|-----------|-----------|-------|
| 1 界面活性剤 | 2 プロトン付加剤 | 3 脱プロトン化剤 | 4 還元剤 |
| 5 希釈剤 | 6 酸化剤 | 7 異性化剤 | 8 触媒 |

<エの解答群>

- | | | |
|-------|-------|-------------|
| 1 大きい | 2 小さい | 3 ほとんど変わらない |
|-------|-------|-------------|

<オの解答群>

- | | | |
|-----------|-----------|-------------|
| 1 正電荷を帯びて | 2 負電荷を帯びて | 3 電気的中性になって |
|-----------|-----------|-------------|

II 陽イオン A と陰イオン B からできている水への溶解度が小さい難溶性塩 A_mB_n の沈殿が水溶液中に存在するとき、水溶液中でのイオンと固体は溶解平衡になっている。それぞれのイオンの水溶液中のモル濃度を $[A]$ 、 $[B]$ とすると、

$$K_{sp} = [A]^m[B]^n \quad \text{式(3)}$$

という関係が成立つ。 K_{sp} は カ と呼ばれる定数である。難溶性の塩として知られている AgI の K_{sp} を $1.5 \times 10^{-16} \text{ mol}^2 \cdot \text{L}^{-2}$ とする。今、水に溶解した無担体の $^{131}I^-$ (半減期 8.02 日 $= 6.93 \times 10^5$ 秒) が 1.0 kBq ある。この $^{131}I^-$ の物質量は キ mol である。これにさらに水を加えて 100 mL に調製した。この水溶液に $1.0 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ の $AgNO_3$ 水溶液 100 mL を加えても、 Ag^+ と I^- の濃度の積は ク $\text{mol}^2 \cdot \text{L}^{-2}$ となるため、沈殿の生成は期待できない。

水に溶解した 1.0 kBq の $^{131}I^-$ に担体として 16.6 mg の KI (式量 166.0) を加え、さらに水を加えて 100 mL に調製した。この水溶液に $5.0 \times 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ の濃度の $AgNO_3$ 水溶液 100 mL を加えて十分に攪拌し、沈殿をろ過すると、そのろ液の放射能は ケ kBq になると予想できる。

<カの解答群>

- | | | | |
|--------|-----------|----------|-----------|
| 1 伝導定数 | 2 モル吸光定数 | 3 プランク定数 | 4 溶解度積 |
| 5 拡散定数 | 6 ファラデー定数 | 7 溶解度 | 8 ボルツマン定数 |

<キ、クの解答群>

- | | | | |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1 1.2×10^{-20} | 2 1.7×10^{-19} | 3 4.3×10^{-19} | 4 6.9×10^{-19} |
| 5 3.4×10^{-18} | 6 4.3×10^{-17} | 7 6.9×10^{-17} | 8 1.7×10^{-16} |
| 9 3.4×10^{-16} | 10 1.2×10^{-15} | 11 1.7×10^{-15} | 12 6.9×10^{-15} |
| 13 1.2×10^{-14} | 14 1.2×10^{-13} | 15 4.3×10^{-13} | |

<ケの解答群>

- | | | | |
|----------|----------|----------|----------|
| 1 0.0010 | 2 0.0025 | 3 0.0050 | 4 0.0090 |
| 5 0.010 | 6 0.025 | 7 0.050 | 8 0.090 |
| 9 0.10 | 10 0.25 | 11 0.50 | 12 0.90 |

Ⅲ 同位体希釈分析法は多数の化合物を含む試料中のある特定成分を定量するのに適した方法である。

(1) 非放射性の核種やその化合物を定量に用いる方法は、直接希釈法と呼ばれている。この方法では、試料中の非放射性の化合物の質量 W_x を定量するために、定量しようとする化合物と同じ化学形の標識化合物 (質量 a 、比放射能 S_0) を加えて十分に混合する。その後、混合物から定量すべき化合物の一部を分離し、その質量と放射能を測定して比放射能 S_1 を求める。混合前の標識化合物の放射能と混合後の全放射能は等しいことから、

$$aS_0 = \boxed{\text{コ}}$$

が導き出せ、未知量 W_x は、

$$W_x = \boxed{\text{サ}}$$

で求められる。

(2) 定量すべき化合物が放射性であって、その比放射能が分かれば、逆希釈法でその化合物の質量を知ることができる。定量しようとする放射性化合物の比放射能を S_0 、その質量を W_x とし、これに同じ化学形の非放射性化合物を一定量 (質量 a) 加え、十分に混合する。この混合物から定量すべき化合物を取り出し、質量と放射能を測定して比放射能 S_1 を求める。混合前の放射性化合物の放射能と混合後の全放射能は等しいことから、

$$W_x S_0 = \boxed{\text{シ}}$$

が導き出せ、未知量 W_x は、

$$W_x = \boxed{\text{ス}}$$

で求められる。

(3) 定量しようとする化合物A (質量 W_A) と同じ化学形の標識化合物が用意できない場合、アイソトープ誘導体法が適用できることがある。試料に比放射能 S_R の放射性試薬 R^* を加えて化合物Aをすべて標識化合物 AR^* に変える。この AR^* の質量を W^* 、比放射能を S^* とする。これに AR^* と同じ化学形の非放射性化合物ARを一定量 (質量 W_0) 混合して均一にする。その結果、試料中の $AR+AR^*$ の比放射能が S になったとすると、混合前の AR^* の放射能と混合後の $AR+AR^*$ の放射能は等しいことから、

$$W^* = \boxed{\text{セ}}$$

が導き出せる。

ここで、化合物Aの分子量 M_A 、Rの分子量を M_R 、ARの分子量を M_{AR} とすると、 R^* 及び AR^* の分子量も M_R 及び M_{AR} とみなしてよいので、

$$W_A = \boxed{\text{ソ}}$$

となる。

<コ、サの解答群>

$$1 \quad a\left(\frac{S_0}{S_0 - S_1}\right)$$

$$2 \quad a\left(\frac{S_1}{S_0 - S_1}\right)$$

$$3 \quad a\left(\frac{S_0}{S_0 + S_1}\right)$$

$$4 \quad a\left(\frac{S_1}{S_0 + S_1}\right)$$

$$5 \quad a\left(\frac{S_0}{S_1} - 1\right)$$

$$6 \quad a\left(\frac{S_1}{S_0} - 1\right)$$

$$7 \quad a\left(\frac{S_1}{S_0} + 1\right)$$

$$8 \quad (W_x + a)S_0$$

$$9 \quad (W_x + a)S_1$$

$$10 \quad (W_x - a)S_0$$

$$11 \quad (W_x - a)S_1$$

<シ、スの解答群>

$$1 \quad a\left(\frac{S_0}{S_0 - S_1}\right)$$

$$2 \quad a\left(\frac{S_1}{S_0 - S_1}\right)$$

$$3 \quad a\left(\frac{S_0}{S_0 + S_1}\right)$$

$$4 \quad a\left(\frac{S_1}{S_0 + S_1}\right)$$

$$5 \quad a\left(\frac{S_0}{S_1} - 1\right)$$

$$6 \quad a\left(\frac{S_1}{S_0} - 1\right)$$

$$7 \quad a\left(\frac{S_1}{S_0} + 1\right)$$

$$8 \quad (W_x + a)S_0$$

$$9 \quad (W_x + a)S_1$$

$$10 \quad (W_x - a)S_0$$

$$11 \quad (W_x - a)S_1$$

<セの解答群>

$$1 \quad W_0\left(\frac{S^*}{S^* - S}\right)$$

$$2 \quad W_0\left(\frac{S}{S^* - S}\right)$$

$$3 \quad W_0\left(\frac{S^*}{S^* + S}\right)$$

$$4 \quad W_0\left(\frac{S}{S^* + S}\right)$$

$$5 \quad W_0\left(\frac{S^*}{S} - 1\right)$$

$$6 \quad W_0\left(\frac{S}{S^*} - 1\right)$$

$$7 \quad W_0\left(\frac{S}{S^*} + 1\right)$$

$$8 \quad (W^* + W_0)S^*$$

$$9 \quad (W^* + W_0)S$$

$$10 \quad (W^* - W_0)S^*$$

$$11 \quad (W^* - W_0)S$$

<ソの解答群>

$$1 \quad \frac{M_R}{M_{AR}} W^*$$

$$2 \quad \frac{M_{AR}}{M_R} W^*$$

$$3 \quad \frac{M_A}{M_{AR}} W^*$$

$$4 \quad \frac{M_{AR}}{M_A} W^*$$

$$5 \quad \frac{M_R}{M_A} W^*$$

$$6 \quad \frac{M_A}{M_R} W^*$$