

国際化学オリンピックにおける 放射化学および核化学に関する出題 —第1回から第25回

薬袋佳孝

1. はじめに

国際化学オリンピック International Chemistry Olympiad, IChO は各国(地域)から派遣された高校生を対象としての化学の国際イベントとして、1968 年以来参加国の持ち回りでほぼ毎年開催されて来た。著者は、1998 年に高校化学グランプリ(現在の化学グランプリ ChGp)が全国に展開した頃から 2020 年まで、IChO 代表の国内選抜並びに強化に日本化学会を通じて関与して来た。改めてこの 20 数年の IChO/ChGp の出題状況を通覧すると、放射化学 radiochemistry および核化学 nuclear chemistry、そしてそれらの関連分野に題材をとった出題が相当数に登る印象を受けた。これらの分野は、無機化学または分析化学の中でも放射性物質の化学に特化した領域とされてきた。このため、化学を専門とする研究者のうちこの分野で活躍しているのは全体の 1%にも及ばないとされている [1]。それにも拘らず、IChO での出題頻度は必ずしも稀な訳ではない。また、出題内容自体も、日本の初等中等教育の状況からすると、極めて高度であるとの印象も否めない所である。そこで、IChO で出題された放射化学/核化学に関する個々の出題例を具体的に取り上げ、出題意図と内容の分析から出題の特徴や背景を究明することとした。

本稿では、IChO の前半期 (IChO1 から IChO25) の出題例を対象として、出題意図と内容の分析結果を中心に概況を報告する。それに先立ち、本研究で取り上げる IChO の沿革と日本の化学教育分野への影響について、研究の背景として簡潔に紹介する。

2. 研究の背景

(1) IChO の沿革

高校生を対象としたサイエンスについての国際イベントが様々な科目について実施されている。以前から活発な活動を続けて来た数学オリンピックの他、物理、化学、生物、地学、地理などの科目ごとに国際的な実施体制が生まれ、将来を担う世代に科学技術への関心を深める象徴的なイベントとして各国での認識が高まっている [2]。IChO は化学分野を代表する国際イベントとして位置付けられ、各国の化学および化学教育の関係者の関心も深いものがある。

図 1 にこれまでの IChO の開催年次および参加国数を示す [3]。1968 年の第 1 回 IChO は東欧の 3 カ国（ハンガリー、チェコスロバキア、ポーランド）によるイベントで現代のような国際的な広がりを想像させるものでは全くない。しかし、科学技術の発展を担う若い世代の育成が国の将来に関わるものとする方向性は現代の IChO 参加国にも共通する。また、オリンピックの名称を取り入れ、国際的な学力コンテストの形態を選んだのは、国および社会の指導者へのアピールの要

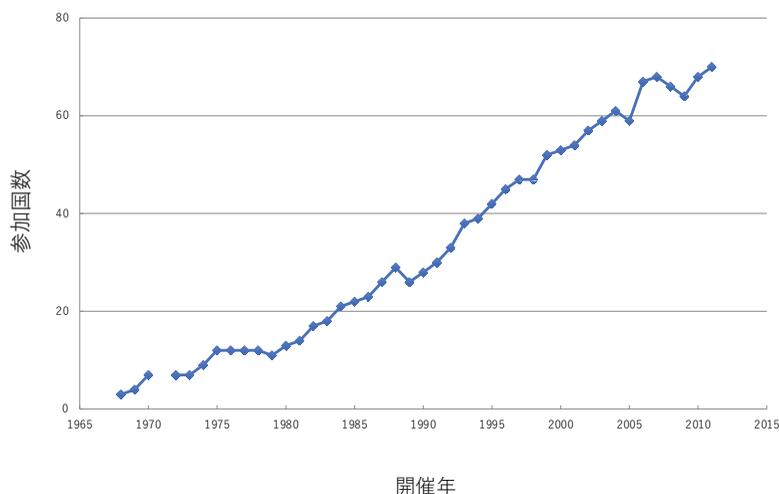


図 1. IChO 参加国数の増加トレンド

素も含んでのこととみられる。国間の競争を伴う国際イベントの持つ社会的波及効果も含めて、周辺国を中心に、この新しい化学教育に関わるムーブメントに関心を持つ国々は徐々に増えて行くこととなった。いわば、化学の分野の次世代育成事業の一つとして、国や社会がサポートし易い新イベントが登場した訳である。科学技術を重視する先進国グループも含めて、参加国数は会を重ねるごとに増えて行った。しかし、当初は、東西冷戦の香りを残す時代背景も反映して、東欧ブロックを中心とした地域性を帯びた国際コンテストという位置付けであった。このため、参加国数もある程度の所で頭打ちの状況ではあった。

しかし、東西冷戦から融和の時代に転換して行く中、西ドイツなどの西欧諸国、そして米国の参加などが続き、IChO は本格的な拡大の時代を迎える。日本の参加は21世紀に入らんとする時期で、西側諸国の中では最も遅い。これは、国内での代表選抜システムの構築などに、さらに時間を要したことなどが主な理由である。また、高校生の学力テストによるコンテストというイベントの性格への抵抗感が、化学教育の関係者に根強かった点も否定できない。

(2) 日本の化学教育への影響

日本のIChO参加への具体的な歩みは、1997年に日本化学会関東支部および東北支部主催による「高校化学グランプリ」HChGPに始まる[2]。西側諸国のIChO参加が相次ぐ中、IChOのイベント運営や出題問題などの情報収集が日本化学会の化学教育関係者を中心に展開された。時期早尚ということで、一旦は見送りとなった。その主な理由の一つが国内での代表選抜が必要な点であった。IChOで日本代表に相応しい成果を挙げるためには、IChOで課せられる問題に準じたレベルが当然に要求される。化学会の検討メンバーには大学入試問題の出題に経験を持つ者が数多い。このため、まず、IChOの問題と大学入試問題を比較することとなった。

改めて認識されたのは、日本の大学入試問題は高校の学習指導要領とそれに則って出版される検定済み教科書の縛りの中で作題されている点である。IChOでは事前に出題範囲を明示するシラバス[3]が用意され、それに則って作題が行

われる。シラバスには、注釈なく出題に含むことの出来る化学についての概念、問題文中に解説を含む必要がある概念、事前に参加国に配布する準備問題に含む必要がある概念などが、明記されている。すなわち、問題文中に適切な解説を含むならば、IChO 参加者に期待される高校化学の知識を超えた内容を出題出来るということになる。さらに難しい概念や知識が問題に含まれる場合には、事前に配布される準備問題集にヒントとなるような出題を含むことで、出題は認められるということでもある。このような IChO の作題体制は、先端的な化学研究成果や化学工業の現場での革新が反映され易い。また、シラバス内容自体を日本の学習指導要領の趣旨と比較することで、日本の高校までの化学教育カリキュラムの国際性を評価することも可能となった。

IChO への参加自体は見送られたが、まず、IChO レベルの出題体制を国内で構築して、代表の選抜が可能となるような出題と運営組織を構築することとなった。IChO の国内版として設計されたのが HChGP (1997 年開始) で、現在の化学グランプリ ChGP の前身である [2]。

国際科学オリンピック事業の一つとして、国の支援の基に IChO 日本代表が派遣されることになってからは、毎年の IChO での代表生徒の成績や他国代表との交歓は化学コミュニティの共通の関心事となっている。いわゆる「高校化学」の枠を超えた出題も散見され、現代における化学や化学工業の動向を反映した出題として注目されて来た。このため、どのような問題が出題されたかは、化学の研究者の間でもしばしば話題となっている。それだけに出題傾向の分析の重要性も増している。

3. 方法

IChO-International Information Centre (IChO-IIC) 公式 web [3] 上の 2019 年までの出題と解答に基づいて、内容並びに出題意図の分析に当たった。ホスト国は毎年交代する。出題原案の作成はホスト国の責任であり、使用言語は英語と定められている。しかし、参加者の英語への熟達度は出身国によってまちまちであるため、出題の直前に各国代表に随行する大学教員などの専門家が IChO の現

場で母国語への翻訳に当たる。参加者は翻訳された問題を解くこととなる。

今回の問題内容や出題意図の解析に当たっては、ホスト国が準備して、IChOに各国から派遣された学識経験者等の代表による jury meeting で認証された英語表記の問題を対象とした。実際には、随行の大学教員らにより日本語に翻訳された問題を日本の代表は解いている。しかし、各国語に翻訳された問題は IChO の場での作業用に作成された一時的な性格を帯びているため、原則として非公開である。特に、出題内容等の解析を目的とした本稿では必ずしも向いていない。このため、公式の出題内容を反映した英語版の問題を本研究では解析の対象とした。

また、事前に配布される準備問題集についても同様の分析を試みているが、全ての年次の準備問題が公開されている訳ではない。本稿で問題分析の詳細を述べる年次については、執筆の時点では準備問題は公開されていない。このため、準備問題集と実際に出題された内容との比較については、本稿では割愛した。

4. 結果と考察

既に述べたように、IChO 半世紀の展開で、参加国数の増加だけではなく、参加国の政治体制、社会構造、科学技術への依存度が多様なものとなった。IChO のこうした沿革を踏まえて、本稿では第25回 IChO までの前半の時期に集中する。この時期の放射化学に関する出題例の数件を例示して、その内容を分析することとする。

まず、最も特徴的なことは、IChO で放射化学関連テーマとして放射能や放射性核種に関する問題が出題されたのが、第16回（1984年、フランクフルト、西ドイツ）以降であったことである。第1回から第15回までの IChO には放射能、放射線、放射性同位体についての出題は皆無であった。

IChO では出題範囲をシラバスとして事前に公開して来た。最近のシラバス [5] でも、第16回 IChO で登場した放射壊変、壊変則、壊変様式などの概念に関わる出題には、問題文中での説明や事前に配布される準備問題集に類題を含むなどの措置が求められている。当時のシラバスでも、同様の措置が出題には求められたと推察される。すなわち、放射化学に関する出題は多くの参加国にとっては、高

校カリキュラムの範囲を越えた領域である。これは過去も現在も変わりはない。しかし、少なくとも、1984年の第16回 IChO でホスト国として問題案を作成した当時の西ドイツでは、放射化学や核化学に関する知識、概念、手法は科学技術を支える基礎の一つと位置付けていた。しかも、高校段階の数学、物理学、化学の概念を組み合わせることで、高校生が十分に放射能、放射線、同位体などについての概念を理解できると考えていたとみられる。

西ドイツをはじめとする西側諸国の参加がもたらした IChO の国際化の進行を象徴するのが、従来、高校化学の範囲外に置かれていた放射化学/核化学領域の問題の出現ということになるのかもしれない。

以上の IChO の初期の動向を踏まえると、まず、最初に解析すべきは、第16回 IChO の出題ということとなる。

(1) 第16回 IChO 筆記問題第1問 (1984) -放射年代測定に関する出題

問題文は以下の通り [3]。

1 A) The element carbon consists of the stable isotopes ^{12}C (98.90 percent of
2 atoms) and ^{13}C (1.10 percent of atoms). In addition, carbon contains a small
3 fraction of the radioisotope ^{14}C ($t_{1/2} = 5730$ years), which is continuously
4 formed in the atmosphere by cosmic rays as CO_2 . ^{14}C mixes with the
5 isotopes ^{12}C and ^{13}C via the natural CO_2 cycle. The decay rate of ^{14}C is
6 described by (N = number of ^{14}C atoms; t = time; λ = decay constant):

$$7 \quad \text{decay rate} = -dN/dt = \lambda N \quad (1)$$

8 Integration of (1) leads to the well-known rate law (2) for the radioactive
9 decay:

$$10 \quad N = N_0 e^{-\lambda t} \quad (2)$$

11 N_0 = number of ^{14}C at $t=0$

12 **1.1** What is the mathematical relationship between the parameters α and
13 $t_{1/2}$ (=half-life)?

14 **1.2** The decay rate of carbon, which is a part of the natural CO_2 cycle, is

15 found to be 13.6 disintegrations per minute and gram of carbon. When a
16 plant (e. g. a tree) dies, it no longer takes part in the CO₂ cycle. As a
17 consequence, the decay rate of carbon decreases.

18 In 1983, a decay rate of 12.0 disintegrations per minute and gram of
19 carbon was measured for a piece of wood which belongs to a ship of the
20 Vikings. In which year was cut the tree from which this piece of wood
21 originated?

22 **1.3** Assume that the error of the decay rate of 12.0 disintegrations per
23 minute and gram of carbon is 0.2 disintegrations per minute and gram of
24 carbon. What is the corresponding error in the age of the wood in question
25 1.2?

26 **1.4** What is the isotope ¹²C/¹⁴C ratio of carbon, which takes part in the
27 natural CO₂ cycle (1 year = 365 days)?

28 B) The elements strontium and rubidium have the following isotope
29 composition:

30 Strontium: 0.56 % ⁸⁴Sr ; 9.86 % ⁸⁶Sr ; 7.00 % ⁸⁷Sr ; 82.58 % ⁸⁸Sr (these isotopes
31 are all stable).

32 Rubidium: 72.17 % ⁸⁵Rb (stable) ; 27.83 % ⁸⁷Rb (radioactive; $t_{1/2} = 4.7 \times 10^{10}$
33 years).

34 The radioactive decay of ⁸⁷Rb leads to ⁸⁷Sr.

35 In Greenland one finds a gneiss (= silicate mineral) containing both
36 strontium and rubidium.

37 **1.5** What is the equation rate law describing the formation of ⁸⁷Sr from ⁸⁷Rb
38 as a function of time?

39 **1.6** Assume that the isotope ratio ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr (as determined by mass
40 spectrometry) and the isotope ratio ⁸⁷Rb:⁸⁶Sr are known for the gneiss.
41 What is the mathematical relationship with which one can calculate the age
42 of the gneiss?

全8大問の中で基礎化学ないしは総合化学を扱う第1問として出題された。A、Bの2パートに分割し、Aには環境での炭素循環を中心に¹⁴C年代測定法に関する4小問、Bには⁸⁷Rb-⁸⁷Sr年代測定法に関する2小問が出題された。両パートともに、小問群の前に、同位体存在度や半減期などの数値を含むかなり詳しい導入部が置かれている。

表1. 第16回 IChO 筆記問題第1問 (1984) についてのコメント

行番号	注目箇所	コメント
1から17	パート A の導入部	炭素 14 年代測定法の原理についての説明 炭素の環境挙動の一つとして C-14 の時間の経過に伴う減衰を捉えるという論法となっている。 総合問題としての位置付けを意図したものとみられる。放射化学は文理融合領域を含めた広い範囲で応用されることを意識した出題である。
1から2	The element .. atoms).	炭素の安定同位体比を明示しているが、本問題を解く上では、必要ではない。しかし、実際の環境で進行しているプロセスを考えると、必要なデータとみられる。 安定同位体比の概念自体は高校化学の守備範囲である。
3	the radioisotope ¹⁴ C (t _{1/2} = 5730 years).	放射性同位体の概念は日本の化学教育の水準からすると、高校レベルでは必須。これに伴い、放射線の発生、放射壊変、半減期などの放射能関連の概念も必要となる。IChO では準備問題や導入部で説明が必要となる。 準備問題などでこれらの概念の出題の可能性が提示されていたものと推察される。
3から4	continuously formed in the atmosphere by cosmic rays as CO ₂ .	C-14 の環境での生成プロセスについての記述である。日本も含めて高校カリキュラムの内容を超えている。大学では理学部化学科、地学科などの専門科目で扱われる。
4から5	¹⁴ C mixes with the isotopes ¹² C and ¹³ C via the natural CO ₂ cycle.	自然界で起こっている現象を簡潔に説明している。純然たる放射化学についての設問というよりも、地球化学や環境化学の視点が入り入れられた論述である。この設問の総合性を感じさせる。
5から7	The decay rate, ..decay rate= -dN/dt= λ N (1)	放射化学の基礎概念である壊変則の提示。大学専門教育レベルである。 式を理解するためには微分積分の概念が必要だが、IChO では高校で学んでいるはずの数学概念として扱われている。
8から11	Integration of (1)N ₀ = number of ¹⁴ C at t=0	壊変則の積分形での表現。9行目の well-known の表現から判断すると、IChO では当然の知識という主張がある。 前項の壊変則の微分表現とは異なり、式自体は通常の代数式として取り扱うことが出来るためかもしれない。

行番号	注目箇所	コメント
12から13	問 1.1	導入部の壊変則の意味を理解していれば、正解に至る。
14から21	問 1.2	本問題 A パートの中核となる問題。実際の分析対象を想定して、その資料（木材）の放射年代測定を行う際のデータ解析プロセスを追体験する内容となっている。解法は色々だが、実分析の際の数的取り扱いを意識した内容である。大学院レベルかもしれない。
22から25	問 1.3	前問が解けないと正解には到達しない。部分点の付与などに工夫が必要なので、出題としては未完成かもしれない。しかし、誤差評価は数値的なデータの扱いでは必須である。EChO では、実験データに付随する誤差をどう見積もるか重要と考えられている。この角度からの問題分析は今後の課題である。
26から27	問 1.4	問題自体は問 1.2 とリンクしており、問 1.2 が解けた場合は正解に至る可能性が高い。 興味深いのは、..which takes part in the natural CO ₂ cycle.. という表現である。地球温暖化で注目される二酸化炭素の環境挙動とのつながりを示す表現が採用されている。総合問題としての出題を強調した表現とみられる。
28から36	パート B の 導入部	放射年代測定法の一つとして岩石や隕石などの年代測定に用いられる Rb-Sr 法に関する出題である。導入部の大部分は、Rb-Sr 法の実験データの取得とデータ解析の際に必要な同位体存在比などの値の提示に充てられている。必要不可欠な内容である。
37から38	問 1.5	放射年代測定は壊変則に関する式を利用して、年代を求める。Rb-Sr 法の根拠についての設問である訳で、パート A の設問も参考にして正解に至ることが望まれている。
39から42	問 1.6	初生値を測定出来た場合の Rb-Sr 法のデータ解析の方法を問う内容となっている。IChO の問題としては十分な内容である。ただし、実試料では初生値がはっきりしないのが普通である。その際も Rb/Sr 比が異なる分析検体を得て、等時線（アイソクロン）を描くことが出来れば、年代も初生値も求めることが出来る。本法も含めた放射年代測定の特徴でもある。

問題文に付した行番号で注目箇所を示すこととして、内容や出題意図に関する分析結果をコメントとして示す（表 1）。

パート A の題材である ¹⁴C 年代測定法（放射性炭素年代測定法）は考古資料をはじめとする歴史資料の年代測定法として広く利用されている。炭素中に含まれる ¹⁴C の炭素中の濃度に基づいて年代を測定する手法で、米国の Libby により開発された。この業績は高く評価され、Libby はノーベル賞を受賞することとなる。炭素を多く含む資料の年代測定では標準的な手法の一つとされており、文理融合領域の一つである文化財科学分野を支える代表的な手法である。

しかし、設問の導入部としてはかなり長い説明が必要であり、IChO でそれまで放射線や放射能が扱われていないことを考えると、かなり冒険的な出題ではある。しかし、放射壊変を数式の形で表現した壊変則の提示は IChO の場で問題を解く立場に置かれた各国代表にとっては、むしろ問題に対する親近感を増すことになったかもしれない。というのは、これらの式は、化学反応の速度を解析する際にしばしば登場する反応速度式概念と数学的には全く同じためである。

逆に、放射年代測定の基盤となる概念である放射壊変による放射能の減衰や娘核種の生成に関する出題は、反応速度論についての理解を深めることにも役立つはずである。現在の日本の高校化学カリキュラムの状況では、反応速度論は理科学向けのコースの最後の方に置かれている。逆に、放射線や放射能に関する知識や概念（反応速度論に関わる重要な概念は半減期）は、中学理科教育でも扱われている。日本の現況を考えると、IChO の出題例などを参考にして、放射壊変を化学反応の速度論的理解のための教材とすることも、一つの可能性である。

パート B の Rb-Sr 法は一般性の高い放射年代測定の手法である。 ^{14}C 法は宇宙線による放射性核種 ^{14}C の生成から始まるユニークな手法であり、放射年代測定法としては特殊な方法論ではある。放射能の性質という意味では一般性が高いので、放射化学の応用としての年代測定法を理解する上では価値のある出題である。しかし、応用領域という意味では、地球上の岩石や隕石といった宇宙地球科学の分野に限定される。年代測定法としては特殊な ^{14}C 法が人文科学や環境科学の分野に広い応用領域を持つことは対照的である。西ドイツが初めてのホスト国を務める中で、まず、最初に一般にポピュラーな ^{14}C 法を取り上げ、続いて、方法論としての一般性が高い Rb-Sr 法を持って来たのは、初の放射能に関わる問題の一般へのインパクトを高める意味でも貢献したと思われる。

(2) 第21回 IChO 筆記問題第4問 (1989) -化学反応の機構解明についての放射能利用

問題文は以下の通り [3]。

- 1 ^{32}P labelled phosphorus pentachloride (half-life $t_{1/2} = 14.3$ days) is used to
 2 study the electrophilic attack of a PCl_4^+ cation on nitrogen or on oxygen.



- 4 The reaction is carried out in CCl_4 and the solvent and product **IV** distilled
 5 off. Samples of **III** (remaining in the distillation flask), of **IV** (in the distillate)
 6 and samples of the starting material **II** are hydrolyzed by heating with a
 7 strong sodium hydroxide solution. The phosphate ions formed are
 8 precipitated as ammonium magnesium phosphate. Purified samples of the
 9 three precipitates are then dissolved by known volumes of water and the
 10 radioactivity measured.

11 **4.1** Write the balanced equations for the reaction of red phosphorus
 12 forming PCl_5 .

13 **4.2** Write the reaction equations for complete hydrolysis of the compounds
 14 **II** and **III** using sodium hydroxide.

15 **4.3** How long does it take in order to lower the initial radioactivity to 10^{-3} of
 16 the initial value?

17 **4.4** Write two alternative mechanisms for the reaction of labelled PCl_4^+
 18 with the anion of **I**.

19 **4.5** After hydrolysis the precipitated ammonium magnesium phosphates
 20 show the following values for radioactivity:

21 **II.** 2380 Bq for 128 mg of $\text{Mg}(\text{NH}_4)\text{PO}_4$

22 **III.** 28 Bq for 153 mg of $\text{Mg}(\text{NH}_4)\text{PO}_4$

23 **IV.** 2627 Bq for 142 mg of $\text{Mg}(\text{NH}_4)\text{PO}_4$

- 24 Using these data, what can you say about the nucleophilic center attacked
25 by PCl_4 ?
26 Data: For H_3PO_4 : $pK_1 = 2.2$; $pK_2 = 7.2$; $pK_3 = 12.4$
27 Solubility product of $\text{Mg}(\text{NH}_4)\text{PO}_4$: $pK_s = 12.6$
28 Equilibrium concentration of $\text{NH}_4^+ = 0.1 \text{ mol dm}^{-3}$
29 **4.6** Calculate the solubility for $\text{Mg}(\text{NH}_4)\text{PO}_4$ at pH equal to 10 under
30 idealized conditions (activity coefficients can be neglected).

第 21 回 IChO (1989 年、ハレ、東ドイツ) では、全 6 大問のうちの第 4 問無機化学/分析化学系の問題として放射化学関連のテーマが取り上げられた。 ^{32}P 標識化合物 (五酸化リン) を利用した非水溶媒 (四塩化炭素) 中での反応機構 (求電子反応) の解明に関する小問 6 題で構成されている。人工放射性核種の利用についての初期の出題例である。比放射能の測定データから反応機構の解明に至る筋書きなど、過去の研究例をモチーフとしての高度な内容を含む出題であった。

問題文に付した行番号で注目箇所を示すこととして、内容や出題意図に関する分析結果をコメントとして示す (表 2)。

第 16 回 (1984) 以来の放射化学関連の出題であった。天然放射性核種に着目した第 16 回に対して、人工放射性核種が問題中に登場した最初の例である。半減期の概念および壊変則についての理解が問 4.3 および問 4.5 を解く上で必要である。無機反応機構の解明に P-32 を放射性トレーサーとして利用した研究例に即しての出題である。化学固有のテーマへの放射化学的手法の応用が取り上げた訳で、他分野への応用を題材とした第 16 回とは対照的な出題であった。

高校化学の水準を遥かに超えた内容を扱っているが、こうした出題を主役に据えるのが IChO である。化学の魅力である研究現場の息吹きが聞こえるような大胆な出題であった。

第 16 回 (1984 年) とこの第 21 回 (1989 年) の間にはチェルノブイリ原子力発電所過酷事故 (1986 年) が発生している。原子力発電などの核エネルギー利用では放射化学や核化学は技術の基盤を構成する重要な要素である。IChO は原発事

表 2. 第 21 回 IChO 筆記問題第 4 問 (1989) についてのコメント

行番号	注目箇所	コメント
1 から 10	導入部	非水溶媒系での反応機構の解明に P-32 をトレーサーとして利用した研究例の紹介となっている。反応自体は高校化学の範囲を明らかに超えており、反応についての詳しい記述を含む導入部となっている。
1 行目	³² P labelled phosphorus pentachloride (half-life $t_{1/2} = 14.3$ days)	人工放射性核種 P-32 の使用と核的性質としての半減期についての記述。 人工放射性核種が IChO で初めて出題された。
2 から 10	導入部の残り	実験操作についての記述である。放射化学に関する記述は特に見受けられない。 沈殿生成を伴う操作であり、P-32 の使用が実験操作を簡略で実施しやすい内容としている。こうした実験上のアドバンテージを P-32 の使用はもちらしているのだが、問題を解く上で必須という訳ではないので、詳述されている訳ではない。
11 から 12	問 4.1	放射化学に関する内容は含まない。
13 から 14	問 4.2	放射化学に関する内容は含まない。
15 から 16	問 4.3	P-32 の半減期を壊変則の一般式に当てはめることで、正解を得ることが出来る。半減期の意味合いと壊変則の一般式は知っている必要がある。
17 から 18	問 4.4	放射化学に関する内容は含まない。
19 から 28	問 4.5	22 から 24 行目に II、III、IV の加水分解で生成したリン酸塩沈殿中の P-32 の放射能が実験データとして表れる。 壊変則から得られた放射能は P-32 の原子数に対応するので、どのような化学反応が起こったかを推察することが出来る。 P-32 の使用は分離された II、III、IV 中の P の物質量を知る上で、実験操作を簡潔なものとしている。
29 から 30	問 4.6	放射化学に関する内容は含まない。

故とは関わりなく、純正化学および応用化学についての次世代育成に関わる国際イベントとの位置付けから、その後も放射化学や核化学に関連する出題を継続して行く。

(3) 第 25 回 IChO 筆記問題問 1 (1993) -¹³¹I の核種としての性質

ここまで詳述した 2 例は、IChO が東欧を中心とした地域的な国際イベントから西欧/北米を含む世界的な国際イベントに発展して行った時期のものである。天然放射性核種の性質に基づく年代測定は人文科学や宇宙地球科学にイノベーションをもたらした。人工放射性核種の利用は無機反応機構の解明に新しい実験

手法として大きな成果を与えた。第 25 回（1993 年、ペルージア、イタリア）では核エネルギー分野に次ぐ放射化学および核化学の重要な応用領域である医学での応用を念頭に置いての出題となった。核医学利用の盛んな ^{131}I の放射性核種としての性質についての問題が出題されたのである。

問題文は以下の通り [3]。

- 1 ^{131}I is a radioactive isotope of iodine (e^- emitter) used in nuclear medicine for
- 2 analytical procedures to determine thyroid endocrine disorders by
- 3 scintigraphy. The decay rate constant, k_1 of ^{131}I is $9.93 \times 10^{-7} \text{ s}^{-1}$.
- 4 Questions.
- 5 **1.1** Write the decay reaction of ^{131}I .
- 6 **1.2** Calculate the half-life of ^{131}I expressed in days.
- 7 **1.3** Calculate the time necessary (expressed in days) for a sample of
- 8 activity to 30 % of the original value.
- 9 **1.4** Knowing that a Geiger counter detects activities of the order of 10^4
- 10 $\mu \text{ c}$, calculate the minimum amount of ^{131}I (in grams) which could be
- 11 detected by this counter. Curie (c) is the amount of a radioisotope that
- 12 produces 3.7×10^{10} disintegrations s^{-1} .

表 3. 第 25 回 IChO 筆記問題問 1（1993）についてのコメント

行番号	注目箇所	コメント
1 から 4	導入部	短い導入部であるが、人工放射性核種 I-131 の医学利用の内容と出題を解く際に必要となる核的性質（放射線の線質と半減期に対応する壊変定数）が簡潔にまとめられている。
5	問 1.1	線質から壊変様式を推察させる問題。大学専門学部での放射化学で基礎的な例題としてよくとり上げられる。
6	問 1.2	壊変定数から半減期を算出する放射化学の基礎問題。
7 から 8	問 1.3	壊変則についての計算問題。大学専門での放射化学の演習問題レベル。

出題意図や内容についてのコメントは表 3 の通りである。出題された ^{131}I は医学分野での応用が盛んな人工放射性核種で半減期は約 8 日の β 線放出核種である。

環境放射能としても注目される放射性核種で、福島原子力発電所事故 FDNPP で事故直後に東南北部、関東地方などで観測された。

出題内容は大学での放射化学基礎で学ぶ概念に関するもので、出題としては全くオーソドックスな内容である。これ以降、IChO での放射化学および核化学に関する出題には比較的コンパクトな内容のものも見られるようになって行く。放射化学関連の出題の日常化ないしは定着化が進行しているように思う。

5. まとめ

IChO の発展の経過は放射化学関係の出題頻度と傾向にも影響している。また、出題に当たるホスト国の放射化学についての研究環境や社会的重要性も関係しているとも考えられる。ホスト国の放射化学や核化学についての教育および研究活動が化学とその関連領域にどのように影響しているかを示す指標の一つが IChO の出題内容であるともとれる。

本稿では第1回から第25回までの IChO での出題を分析対象とした。次報以降、第26回以降の IChO、国内選抜である ChGP、化学についての類似のコンテストなどを対象に、放射化学および核化学に関連する出題状況の分析結果を報告の予定である。

文献

- [1] 日本化学会会員統計。American Chemical Society, Statistics など。
- [2] 薬袋佳孝、「国際化学オリンピック」、創造性の育成塾にて講演 (2017)
- [3] International Information Centre of the International Chemistry Olympiads (IChO IIC), <https://www.icho.sk/> (2023)