

## 問題 1 2 : 炭素年代測定

解答

a) 試料の年代を  $t$  [年] とすると、

$$\frac{{}^{14}\text{C}(\text{sample})}{{}^{14}\text{C}(\text{現在})} = 2^{-\frac{t}{t_{1/2}}} = 0.25 \quad (1)$$

$$\therefore \frac{t}{t_{1/2}} = -\log_2(0.25) = 2 \quad (2)$$

$$t = 2 \cdot t_{1/2} = \mathbf{11400 \text{ 年}} \text{ (答)} \quad (3)$$

となる。

b)  ${}^{14}\text{C}$  原子の原子核は  ${}^{14}\text{N}$  に変化し、原子核から電子が放出される。(答)

c) 有機分子中の  ${}^{14}\text{C}$  原子が壊変すると、その原子は  ${}^{14}\text{N}$  に変化し、化学結合の仕方でも炭素原子のものから窒素原子のものに変わる。分子中の原子の種類が変化し、その原子が関わっていた化学結合も変化するので、その分子は別の分子に変化することになる。特に、生体中の有機分子の場合、別の分子に変化することで往々にして生体における機能を失うことになると考えられる。(答)

d) 人体内の全炭素量は

$$75 \text{ kg} \times (18.5 \times 10^{-2}) = 13.88 \text{ kg} \quad (4)$$

であるので、 ${}^{14}\text{C}$  の放射能は

$$0.277 \text{ Bq/g} \times (13.88 \times 10^3) \text{ g} = 3.844 \times 10^3 \text{ Bq} \quad (5)$$

となる。

(答)  $3.84 \times 10^3 \text{ Bq}$ ... ヒト中の  ${}^{14}\text{C}$  による放射能

${}^{14}\text{C}$  原子の数  $N$  は、定数  $N_0$  を用いて

$$N = N_0 2^{-\frac{t}{t_{1/2}}} \quad (6)$$

と表せ、単位時間あたりの壊変する  ${}^{14}\text{C}$  の数は

$$-\frac{dN}{dt} = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{t_{1/2}}} \quad (7)$$

となる。従って、単位時間あたりの壊変する  $^{14}\text{C}$  原子の、 $^{14}\text{C}$  原子 1 個あたりの割合 (壊変定数)  $\lambda$  は

$$\lambda = \frac{(-\frac{dN}{dt})}{N} = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} \quad (8)$$

である ((7) で指数関数の微分の公式  $\frac{d}{dx} a^x = \ln a \cdot a^x$  を用いた。  $\ln x$  は自然対数  $\log_e x$  を表す)。

従って、体内の  $^{14}\text{C}$  原子の総数は

$$\begin{aligned} \frac{3.844 \times 10^3 \text{ Bq}}{\lambda} &= \frac{3.844 \times 10^3 \text{ Bq}}{\left(\frac{0.693}{5700 \times 365.2 \times 24 \times 60^2}\right)} \\ &= 0.997 \times 10^{15} \end{aligned} \quad (9)$$

より、 $1.0 \times 10^{15}$  個(答)となる ((9) 式において  $t_{1/2}$  の単位を年から秒になおしたことに注意)。

## 解説

放射性壊変 原子には、原子番号 (=陽子数) が同じ、つまり同じ元素に属していても、質量数が異なるものがある。このように、同じ元素で質量数が異なる原子のことを互いに同位体の関係にあるという。同位体の中には、原子核から放射線を放出するものがあり、このようなものを放射性同位体と呼び、そうでないものは安定同位体と呼ぶ。元素によっては、安定同位体がなく、放射性同位体しかないものもある。原子核から放射線が放出されることを放射性壊変、放射性崩壊、あるいは単に壊変、崩壊などと呼ぶ。原子核から放出される放射線には  $\alpha$  線、 $\beta$  線、 $\gamma$  線の 3 種があり、各種の放射線を放出する壊変のことをそれぞれ  $\alpha$  壊変、 $\beta$  壊変、 $\gamma$  壊変と呼ぶ。

$\beta$  線の正体は高速で飛び出してきた電子である。 $\beta$  壊変 ( $\beta^-$  壊変) の際、原子核は電子  $e^-$  を放出して質量数が同じで原子番号が一つ大きい原子核に変化する (正確には、電子と一緒に反電子ニュートリノ  $\bar{\nu}_e$  も放出されるが、これはとりあえず無視してよい)。 $^{14}\text{C}$  原子の場合は、



となる ( b) の答)。

$\alpha$  壊変、 $\beta$  壊変では、壊変により原子核は原子番号が異なる、つまり別の元素のものに変化する (詳しくは問題 13 の解説を参照)。すると、壊変を起こした原子は別の元素に変化し、その元素が関わっていた化学結合も変化する。従って、その分子は別のものに変化することになる。生体内の分子は原子が特定の結合をすることによって特定の機能を果たすようになっている。放射性壊変によってこの

特定の結合がでたらめなものに変化してしまうので、生体内での機能を失う(生体分子が壊れる)ことになる(c)の答。

なお、放射性壊変の際に放出される放射線が別の分子に当たると、その分子の化学結合は切断される。このことによっても生体内の分子は機能を失ってしまう。これは $\alpha$ 壊変、 $\beta$ 壊変だけでなく、 $\gamma$ 壊変でも見られる現象である。

生体内の分子にはDNA、蛋白質などがある。蛋白質などはふつう、細胞内に複数の分子が存在するので、一部が放射性壊変の影響で壊れたとしてもすぐに死につながることはない。遺伝情報を保持しているDNAは細胞内に1セットしかないが、一部が壊れても修復する仕組みがあるのでやはりすぐに死ぬことはない。しかし、DNAの損傷の程度が激しくなると修復が追いつかず遺伝情報が変化してしまい、細胞の癌化などにつながるようになるし、損傷があまりに激しいと細胞は死んでしまう。また、蛋白質などもあまり多くの割合が壊れてしまうと細胞は死んでしまう。

炭素年代測定 放射性同位体の壊変は、その原子がどのような化学結合をしているか、どのような温度であるか、といった周囲の状況によらず、純粹に確率的に起きる現象であり、ある放射性同位体について、一定時間に壊変する原子数の、原子の総数に対する割合は常に一定であることが知られている。このことから、短い時間 $\Delta t$ の間に壊変する原子数 $\Delta D$ は、放射性同位体の原子数を $N$ とし、定数 $\lambda$ を用いて

$$\Delta D = \lambda N \Delta t \quad (11)$$

と表されることになる。ここで、 $\lambda$ は「単位時間あたりの壊変する原子核の、原子核1個あたりの割合(単位時間あたりの原子核1個が壊変する確率)」を表し、壊変定数と呼ばれる。

外界との間で放射性同位体の出入りがない場合、

$$\Delta D = -(N(t + \Delta t) - N(t)) = -\Delta N \quad (12)$$

となる(ただし、 $N = N(t)$ は時間 $t$ における放射性同位体の数を表す)ので、

$$\frac{\Delta N}{\Delta t} = -\lambda N \quad (13)$$

という関係が成り立つことになる。ここで、 $\Delta t \rightarrow 0$ とすると、

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N \quad (14)$$

となる。この方程式を満たす $N(t)$ は、 $t = 0$ における放射性同位体の数を $N(t = 0) = N_0$ として、

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} \quad (15)$$

と表せることが知られている( $e$ は自然対数の底)。

このように、外界と出入りがない場合の放射性同位体の数は指数関数的に減少する。指数関数の底の変換公式

$$a^x = b^{(\log_b a)x} \quad (16)$$

を用いると、

$$\begin{aligned} N(t) &= N_0 2^{-(\log_2 e)\lambda t} \\ &= N_0 2^{-\frac{t}{t_{1/2}}} \end{aligned} \quad (17)$$

と表すことができる。ただし、

$$\frac{1}{t_{1/2}} = (\log_2 e)\lambda = \frac{\lambda}{\ln 2} \quad (18)$$

つまり

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} \quad (19)$$

である(対数関数の公式  $\log_b a = \frac{1}{\log_a b}$  を用いた)。

(17) 式より、 $t = t_{1/2}$  のとき  $N(t) = \frac{N_0}{2}$ 、 $t = 2t_{1/2}$  のとき  $N(t) = \frac{N_0}{2^2}$  というように、 $t_{1/2}$  だけ時間が経過するごとに、放射性同位体の数  $N$  は  $1/2$  倍になっていくことがわかる。このことから、 $t_{1/2}$  は半減期と呼ばれる。半減期が放射性同位体の数に依らない定数であることは放射性壊変の特徴である。

(17) 式より、

$$\log_2 \frac{N(t)}{N_0} = -\frac{t}{t_{1/2}} \quad (20)$$

$$t = -\log_2 \frac{N(t)}{N_0} \cdot t_{1/2} \quad (21)$$

となるので、もともとあった放射性同位体の数  $N_0$  が分かっている場合、現在の数  $N = N(t)$  を測定することで現在までに経過した時間  $t$  を求めることができる。

炭素は生物中に含まれる元素であり、年代測定によく用いられる。この場合、 $^{14}\text{C}$  の数  $N$  は直接測定しにくいので、代わりに同位体比  $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$  を測定する。 $^{12}\text{C}$  は安定同位体で量は変化しないので、同位体比にも (17) 式と同様の関係が成り立つ。つまり

$$\frac{^{14}\text{C}}{^{12}\text{C}}(\text{sample}) = \frac{^{14}\text{C}}{^{12}\text{C}}(t=0) \cdot 2^{-\frac{t}{t_{1/2}}} \quad (22)$$

生物が活着している間は同位体比は大気中と同じに保たれるが、生物が死んで外界から隔離されると、その体内の同位体比  $\frac{^{14}\text{C}}{^{12}\text{C}}(\text{sample})$  は (22) 式に従って減少していく。大気中には問題文にあるように年代を通じてほぼ一定の割合で放射性同位体  $^{14}\text{C}$  が含まれているので、

$$\frac{^{14}\text{C}}{^{12}\text{C}}(t=0) = \frac{^{14}\text{C}}{^{12}\text{C}}(\text{現在}) \quad (23)$$

と仮定してよい。これを用いて年代を測定できる ( a ) の答)。

放射能 物質が放射線を放出する能力のことを放射能といい、その強さは単位時間あたりどれだけの放射線を放出するかで測る。放射能の単位は、1秒間に1回の放射線を放出する (=1秒間に1回放射性壊変が起こる, one decay per second(1 dps)) ような放射能を1 Bq とする。

ある物質について、単位質量あたりの放射能を比放射能と呼び、Bq/g, Bq/kg 等の単位で表す (同様に、単位物質質量あたりの放射能をモル比放射能と呼び、Bq/mol の単位で表す)。比放射能と、その物質の質量が分かれば放射能を求めることができる ( d) の答)。逆に、ある物質の比放射能もしくはモル比放射能が分かっている場合、その物質を含む混合物の放射能を測定すれば、混合物中にその物質がどれくらいの量だけ含まれているかが分かる。このように、放射能測定は物質の定量に利用することもできる。

壊変定数  $\lambda$  は「単位時間あたりの壊変する原子核の、原子核1個あたりの割合」であったが、これは「原子核1個あたりの放射能」と考えることができる。従って、ある物質の放射能を壊変定数で割れば、その物質中に含まれる放射性同位体の原子数を求めることができる ( d) の答)。 (22) から、壊変定数  $\lambda$  には半減期との間に

$$\lambda = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} \quad (24)$$

という関係が成立するが、(22) を用いなくても定義に従って解答のようにして計算してもよい。いずれの場合も、半減期の単位を秒に直す必要がある。

### 問題 13 : ウラン

#### 解答

a) 放出される  $\alpha$  粒子の数の和を  $a$ 、 $\beta$  粒子の数の和を  $b$  とする。

$^{238}\text{U}$   $\rightarrow$   $^{206}\text{Pb}$  の場合、

$$\begin{cases} 4a & = & 238 - 206 \\ -2a + b & = & 82 - 92 \end{cases} \quad (1)$$

$$\therefore a = 8, b = 6 \quad (2)$$

より、 $\alpha$  粒子 8 個、 $\beta$  粒子 6 個(答)。

$^{235}\text{U}$   $\rightarrow$   $^{207}\text{Pb}$  の場合、

$$\begin{cases} 4a & = & 235 - 207 \\ -2a + b & = & 82 - 92 \end{cases} \quad (3)$$

$$\therefore a = 7, b = 4 \quad (4)$$

より、 $\alpha$  粒子 7 個、 $\beta$  粒子 4 個(答)。

b)  $\alpha$  壊変では原子番号は 2 減少し、質量数は 4 減少する。これに対し、 $\beta$  壊変では原子番号は 1 増加し、質量数は変化しない。従って、ある原子核が  $\alpha$  壊変 1 回と  $\beta$  壊変 2 回を起こすと、質量数は異なるが、原子番号は同じ、すなわち同じ元素に属する原子核に変化することになるから、壊変系列の中に同じ元素が複数回現れることになる。(答)

c) 原子核合成時の  $^{238}\text{U}$ 、 $^{235}\text{U}$  の数をそれぞれ  $N_{0,238}$ 、 $N_{0,235}$  とし、それから時間  $t$  が経過した後の U の同位体の数をそれぞれ  $N_{238}$ 、 $N_{235}$ 、半減期をそれぞれ  $t_{1/2,238}$ 、 $t_{1/2,235}$  とする。

$$N_{238} = N_{0,238} 2^{-\frac{t}{t_{1/2,238}}} \quad (5)$$

$$N_{235} = N_{0,235} 2^{-\frac{t}{t_{1/2,235}}} \quad (6)$$

となるので、 $t$  経過後の同位体の存在比は

$$\begin{aligned} \frac{N_{235}}{N_{238}} &= \frac{N_{0,235}}{N_{0,238}} \cdot \frac{2^{-\frac{t}{t_{1/2,235}}}}{2^{-\frac{t}{t_{1/2,238}}}} \\ &= \frac{N_{0,235}}{N_{0,238}} 2^{-\left(\frac{1}{t_{1/2,235}} - \frac{1}{t_{1/2,238}}\right)t} \end{aligned} \quad (7)$$

となる。

問題文より、 $\frac{N_{0,235}}{N_{0,238}} = 1$ 、 $\frac{N_{235}}{N_{238}} = \frac{0.7}{99.3}$ 、 $t_{1/2,238} = 7.04 \times 10^8$  年、 $t_{1/2,235} = 4.47 \times 10^9$  年なので、原子核合成時から現在までに経過した時間  $t$  は

$$\begin{aligned} t &= -\left(\frac{1}{t_{1/2,235}} - \frac{1}{t_{1/2,238}}\right)^{-1} \cdot \log_2\left(\frac{N_{235}}{N_{238}}\right) \\ &= -\left(\frac{1}{t_{1/2,235}} - \frac{1}{t_{1/2,238}}\right)^{-1} \cdot \frac{\ln\left(\frac{N_{235}}{N_{238}}\right)}{\ln 2} \\ &= 5.974 \times 10^9 \end{aligned} \quad (8)$$

より、 $5.97 \times 10^9$  年 (59.7 億年)(答) となる。

d)  $C + O_2 \rightarrow CO_2$  の反応により  $^{235}\text{U}$  原子核 1 個の核分裂と同じエネルギーを放出するのに必要な炭素原子の数は、

$$\frac{200 \times 10^6 \text{ eV}}{4.1 \text{ eV}} \text{ (個)} \quad (9)$$

である。 $^{235}\text{U}$  1g 中には

$$\frac{1}{235} N_A \text{ (個)} \quad (N_A: \text{Avogadro 数}) \quad (10)$$

の  $^{235}\text{U}$  原子核が存在するので、これと同等のエネルギーを放出する炭素は

$$\frac{1}{235} N_A \cdot \frac{200 \times 10^6}{4.1} \text{ (個)} \quad (11)$$

つまり

$$\frac{1}{235} N_A \cdot \frac{200 \times 10^6}{4.1} \cdot \frac{1}{N_A} \cdot 12.01 \text{ g} \quad (12)$$

$$= 2.49 \times 10^6 \text{ g} \quad (13)$$

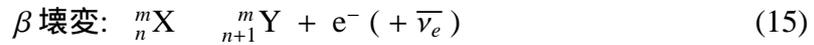
である。

答  $2.5 \times 10^6 \text{ g}$

## 解説

$\alpha$  壊変と  $\beta$  壊変 問題 12 のところで解説したように、 $\beta$  壊変においては原子核は電子を放出して質量数が同じで原子番号 (=陽子数) が 1 つ大きい核に変化する。一方、 $\alpha$  線の正体は  $^4\text{He}^{2+}$  つまり  $^4_2\text{He}$  原子核であり、原子核は  $\alpha$  崩壊すると、 $^4_2\text{He}$  原子核を放出して原子番号が 2 小さく、質量数が 4 小さいものに変化する。これを、

原子番号  $Z = n$ 、質量数  $A = m$  の原子核  $X$  が壊変して原子核  $Y$  に変化したとして模式的に書くと、それぞれ



となる ( $\bar{\nu}_e$  は反電子ニュートリノ。ここでは無視してよい)。

原子番号が大きな原子の場合、放射性壊変によって生成した原子核もまた放射性同位体であることがよくある。この場合、複数回の壊変が起こることになる。このようなときに、 $\alpha$  壊変の回数を  $a$  回、 $\beta$  壊変の回数を  $b$  回とすると、はじめにあった原子核と複数回の壊変の後にできた原子核の質量数、原子番号の差  $\Delta A$ 、 $\Delta Z$  は、上記の事実から

$$\begin{cases} 4a & = \Delta A \\ -2a + b & = \Delta Z \end{cases} \quad (16)$$

$$(17)$$

という関係が成り立つことになる。 $\Delta A$ 、 $\Delta Z$  が分かっている場合、この連立方程式を解くことで  $\alpha$  壊変と  $\beta$  壊変の回数分かる ( a ) の答)。

複数回の壊変が起こる場合、原子番号は  $\alpha$  壊変では 2 減少し、 $\beta$  壊変では 1 増加するので、原子番号が元に戻る、つまり同じ元素に戻ることがある ( b ) の答)。

さて、(14)、(15) をみても、 $\alpha$  壊変の場合も  $\beta$  壊変の場合も前後で各粒子の電荷の和と、核子 (陽子と中性子) の数の和は変化していない。原子核の電荷は電子の電荷  $e$  の絶対値に陽子数 (=原子番号) を掛けたものに等しく、正なので、電荷の和が変化していないということは、(原子番号の和) - (電子数) が変化していない、と言い換えることができるし、核子の数の和は質量数の和に等しい。このことは、 $\alpha$  壊変・ $\beta$  壊変に限らず、核融合・核分裂などの核反応の場合にも一般に成り立つことである。

なお、 $\gamma$  線の正体は、高エネルギーの、つまり波長がとても短い電磁波 (光子) である。 $\gamma$  壊変によって原子核の種類は変化しない (質量数・原子番号ともに不変) が、放出された  $\gamma$  線の分だけエネルギーの低い、より安定な状態に変化する。また、 $\beta$  壊変には、例は少ないが陽電子 (反電子)  $e^+$  (と電子ニュートリノ  $\nu_e$ ) を放出するものもあり、このような壊変を  $\beta^+$  壊変という。これに対して、通常の電子を放出する  $\beta$  壊変のことを区別して  $\beta^-$  壊変と呼ぶ。 $\beta^+$  壊変を起こした原子核は壊変前に比べて原子番号が 1 つ小さく、質量数は同じ原子核に変化する:



$\gamma$  壊変、 $\beta^+$  壊変においても上記の「電荷の和が不変」と「質量数の和が不変」は確かに成立している。

Uによる年代測定 Uの放射性同位体は壊変によりその数が減少していく。このことを利用して、年代測定を行うことを考える。放射性同位体の数は直接測定することは難しいので、問題12で $^{14}\text{C}$ を用いるときと同じように同位体の存在比を使う。ただし、Uには安定同位体が存在しないので、 $^{14}\text{C}$ のときのように安定同位体との存在比を用いることはできない。代わりに、Uの放射性同位体 $^{235}\text{U}$ と $^{238}\text{U}$ は半減期が異なり、この2つの同位体の存在比 $\frac{^{235}\text{U}}{^{238}\text{U}}$ は時間とともに変化していくことを利用する(c)の答)。ここで、答として出てきた59.7億年という数値は、通常、地球の年代とされる46億年に比べて長い。このことは、「原子核合成時に $^{235}\text{U} : ^{238}\text{U} = 1 : 1$ 」という仮定が正しくない可能性や、原子核合成時から地球ができるまでの間に時間がかかっている(原子核合成は超新星爆発時に起きたと考えられるが、この爆発で放出されたガスが集まって地球を形成するまでに時間が必要である)ことなどによると考えられる。

単位 eV “eV”(電子ボルト)という単位は、「1Vの電圧で電子を加速したときの、電子1個のエネルギー」を1eVとしたものである。電圧Vで電荷qを持つ粒子を加速したとき、その粒子のエネルギーはqVで表される。電子の電荷(の絶対値)は $e = 1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$ であるので、1eVのエネルギーは

$$e \times 1\text{V} = 1.602 \times 10^{-19} \text{ J} \quad (19)$$

に相当する。このように、eVはとても小さいエネルギー、例えば1分子(原子)あたりの反応熱を表すのに都合がよい。1MeVは $10^6 \text{ eV}$ のことである。1分子(原子)あたり1eVのエネルギーは、1molあたりでは

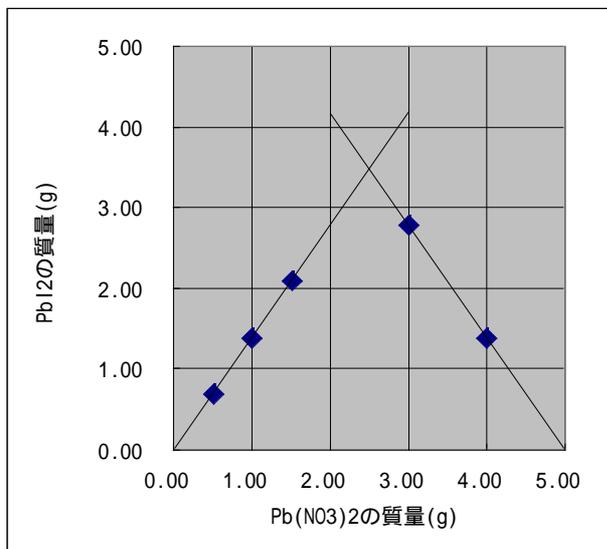
$$\begin{aligned} 1.602 \times 10^{-19} \text{ J} \times N_{\text{A}} &= 1.602 \times 10^{-19} \text{ J} \times 6.022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1} \\ &= 9.647 \times 10^4 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} (= 9.65 \times 10^1 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}) \end{aligned} \quad (20)$$

になる。d)では炭素の燃焼熱がkJ/molとeV/分子の両方の単位で与られているので、単位の換算を行う必要はないが、必要ならば、この関係を用いればよい。

## 問題 14： ヨウ化鉛

<解答>

- 右のように作図することで，  
Pb(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> がおよそ 2.5g のときに，  
PbI<sub>2</sub> がおよそ 3.5g 沈殿することが  
分かる．



PbI<sub>2</sub> の質量の最大値：3.475 g

これに対応する Pb(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> の量：2.497 g

( 解説 )

- 問題文の指示に従って，硝酸鉛( )とヨウ化鉛( )の質量関係をグラフ上にプロットすると，0.50～1.50g では増加傾向の，3.00～4.00g では減少傾向の1次関数が予想できる相関関係が得られる．そこで，原点と前半の三点および後半の二点と(5.00, 0)を結んだ直線を作図して(解答のグラフは，Excel によって近似曲線を作図させている)，その二直線の交点から解答に書いた値が得られる．
- 高校での既習範囲である「鉛( )イオンに塩化物イオンを加えると，塩化鉛( )が沈殿する」(  $\text{Pb}^{2+} + 2\text{Cl}^- \longrightarrow \text{PbCl}_2$  )と同様に考えれば，容易に化学反応式は予想できるものと考えられる．ここで，Pb(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>，KI，PbI<sub>2</sub>の量的関係を考えると，  

$$\text{Pb}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{KI} \longrightarrow \text{PbI}_2 + 2\text{KNO}_3$$
 となり，



Pb(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> と KI の質量の合計が 5.00 g であり，質量比が上記の関係になっているとき(つまり，Pb(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> と KI が過不足無く反応するとき)に生成する沈殿量が最大になることになる．

従って，硝酸鉛( )を x(g)反応させたものとするとき，

$$x : (5.00 - x) = 331.22 : 332, \quad x = 2.497$$

硝酸鉛( )2.497g を反応させたときに生成するヨウ化鉛( )の質量を y(g)とすると，

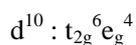
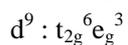
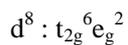
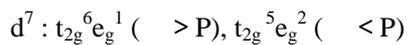
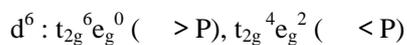
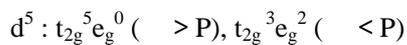
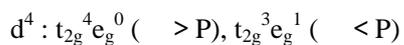
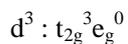
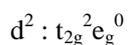
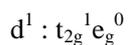
$$331.22 : 461 = 2.497 : y, \quad y = 3.475$$

[ コメント ] ヨウ化鉛( )が高校化学の教科書で扱われていないという点が，Level3 の根拠であると思われる．化学反応の量的関係が理解できていれば，他の無

機化学の問題と比較して特別に難しい問題ではない。ただし、周期表に書かれている平均原子量をどのように扱い、求める有効数字をどのように考えるのかについては、高校生が日頃の問題演習でそれほど厳密にやっていないと考えられるので、この点に関して習熟が必要かもしれない。

### 問題 15 : 八面体錯体

< 解答 >



( \* ) d 軌道 (  $t_{2g}$ ,  $e_g$  ) の電子 , パウリの排他原理 , 対形成エネルギー , 高スピン , 低スピンについては , 高校化学では未学習の範囲 . レベルは大学 1 年程度 .

参考になる URL <http://www.chem-station.com/yukitopics/complex.htm>