

ヨウ素時計反応の誘導時間の公式化

Formulation of Induction Time for Iodine Clock Reaction

千葉県立船橋高等学校理数科 3 年
高橋勇樹

はじめに

本校の「科学英語講座」において題材となったヨウ素時計反応の実験の際、反応条件の違いによる反応速度の変化が目視で確かめられるというこの反応の特性に興味を持ち、より深く研究したいと感じた。

ヨウ素時計反応とは、一種類の酸化剤と二種類の還元剤(一つは I^- 、一方は I^- より強い還元剤)を用いて、ヨウ素デンプン反応での呈色により、 I^- より強い還元剤の酸化の反応時間を可視化できる反応である。また、この反応時間は一般に誘導時間と呼ばれている。

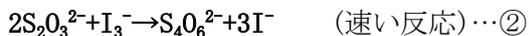
各々の反応条件を変数と置けば誘導時間を公式として導き出すことができ、誘導時間を実験せずとも予測することが出来るのではないかと思い、誘導時間と反応条件の関係を実験することとした。

本実験では、酸化剤として H_2O_2 、強い還元剤として $S_2O_3^{2-}$ を用いた。化学反応の体系は以下の説明の通りである。

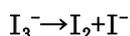
まず I^- の酸化が起こり、 I_3^- に変化する。



$S_2O_3^{2-}$ が反応液中にあると、反応①で生じた I_3^- は反応②により、 I^- に戻ってしまう。



数分後、 $S_2O_3^{2-}$ が完全に消費されると反応②が終了するため、 I_3^- が溶液中に現れデンプンと配位し、溶液の色が透明から青紫色へと変わる。



$S_2O_3^{2-}$ が完全に消費されるまでの時間が誘導時間である。

目的

ヨウ素時計反応の反応条件を定量的に検証し、誘導時間を公式として一般化する。

方法

A 液: 0.10mol/L KI 水溶液

B 液: 2.4×10^{-3} mol/L $Na_2S_2O_3$ + 2.0g/L 可溶デンプン水溶液

C 液: 0.18mol/L H_2O_2 + 0.10mol/L H_2SO_4 水溶液

①上記の溶液を調製し、コニカルビーカーに A 液 4mL、B 液 10mL、水 16mL を混合

②スターラーで攪拌 (計測中も)

③①の混合溶液に C 液 10mL を入れる: 計測開始

溶液の色が青紫色に変わる: 計測終了

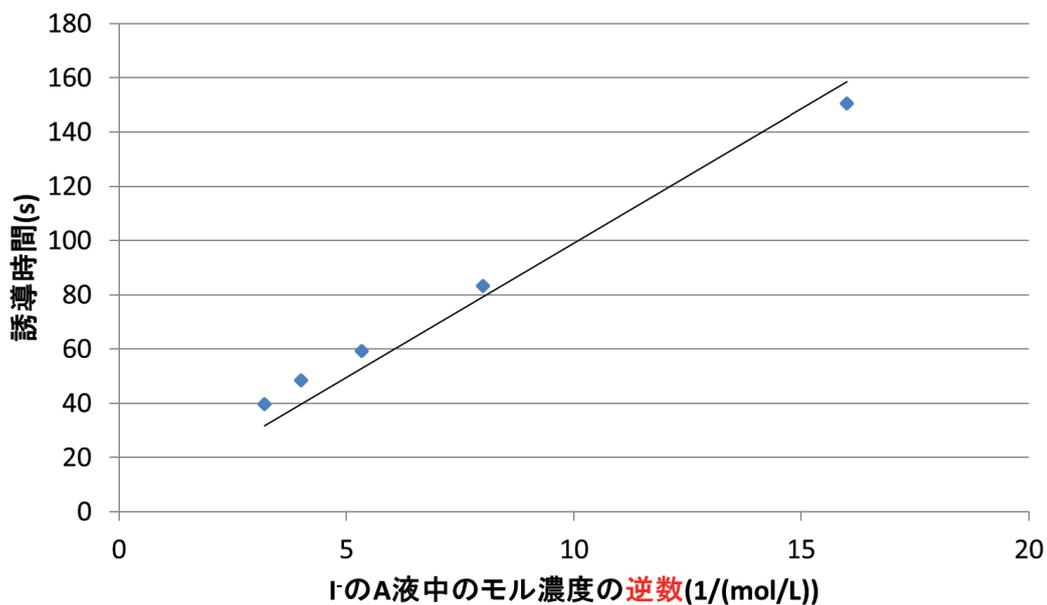
とし、誘導時間をストップウォッチで計測

結果

<実験1>

～誘導時間とI⁻のモル濃度の関係～

- 加えるA液の体積を変えて誘導時間を計る。
- ただし、A液の体積の変化に関わらず、混合溶液の体積は固定する。
- グラフより、誘導時間はI⁻のモル濃度に反比例するといえる。

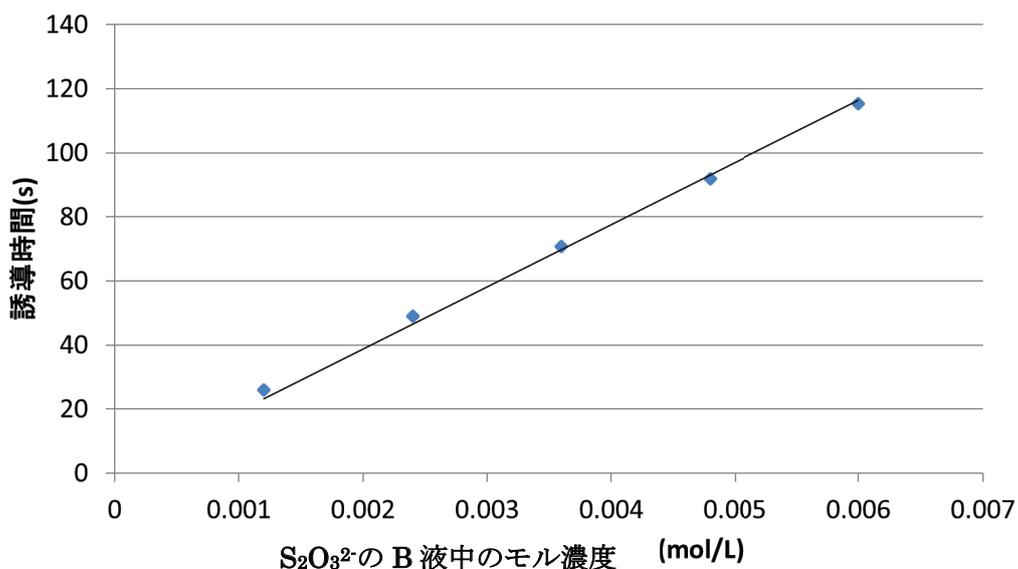


- よって、反応速度式は $v = k[I^-]$ と表される。

<実験2>

～誘導時間とS₂O₃²⁻のモル濃度の関係～

- 加えるB液の体積を変えて実験を行う。
- ただし、B液の体積の変化に関わらず、混合溶液の体積とデンプンの物質量は固定する。

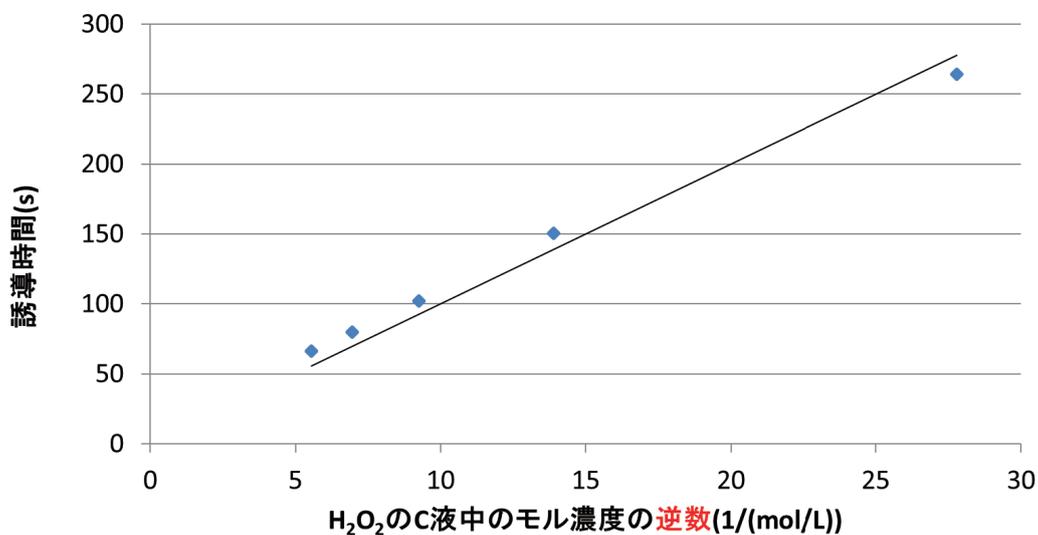


- グラフより、誘導時間はS₂O₃²⁻のモル濃度に比例するといえる。

〈実験3〉

～誘導時間と H_2O_2 のモル濃度の関係～

- ▶ 加えるC液の体積を変えて実験を行う。
- ▶ ただし、C液の体積の変化に関わらず、混合溶液の体積や硫酸の物質量は固定する。

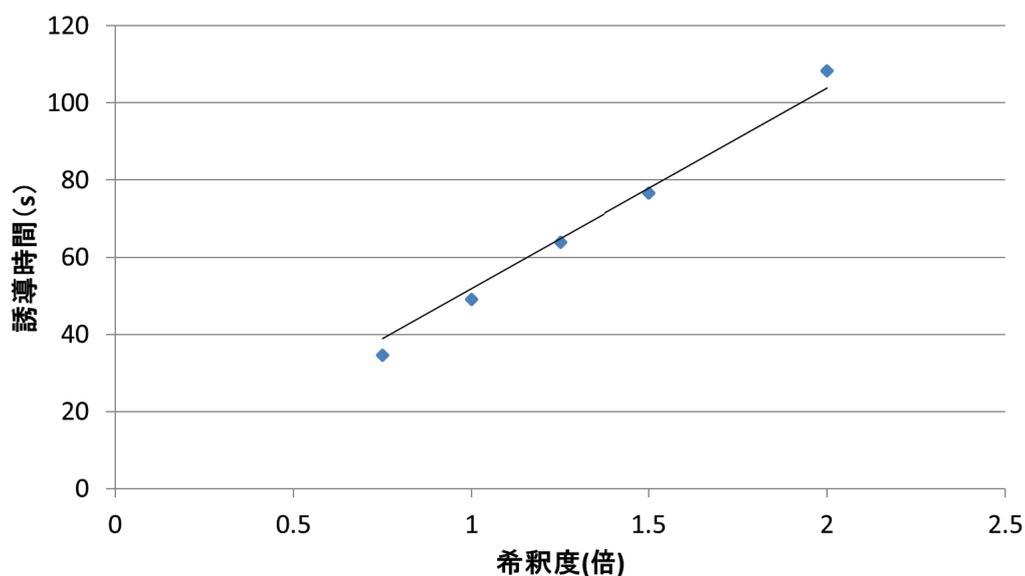


- ▶ グラフより、誘導時間は H_2O_2 のモル濃度に反比例するといえる。
- ▶ よって、反応速度式は $v=k[\text{H}_2\text{O}_2]$ と表せる。

〈実験4〉

～希釈度と誘導時間の関係～

- ▶ 加える水の体積を変えて実験を行う。
- ▶ 希釈度とは、溶媒の体積を基準の体積(40mL)の何倍にしたかという変数である。



- ▶ グラフより、誘導時間は希釈度に比例するといえる。

考察

・実験1と実験3で表された反応速度式の次数 ($I^-:1, H_2O_2:1$) と反応①の係数 ($I^-:3, H_2O_2:1$) は一致していない。よって、反応②は多段階反応であり、律速段階の反応の I^-, H_2O_2 の係数が1であることが示唆される。しかしその場合、誘導時間は希釈度の二乗以上に比例すると考えられるが、実験結果とは異なる。したがって、この反応条件はさらなる検証が必要とされる。

・それぞれのグラフの端の値はグラフの線から外れる傾向があるため、変数の変域を定める、または変数の範囲により公式を変える必要があることがわかる。

・変数を一つずつ変える実験しか行っていないため、変数を同時に複数個変えた際にも公式が適用できるかどうかは検証が必要とされる。公式より導き出される誘導時間と実験してわかる誘導時間との間に違いがある場合は、公式を場合分けして複数個作らなければならない。

結論

以上の実験より、誘導時間と各変数との関係が判明したため、誘導時間の公式は次のように導出された。

$$t=36.4 \cdot (bd/ac) \quad (22^\circ\text{C} \text{において})$$

a : A 液中の I^- のモル濃度 (mol/L)

b : B 液中の $S_2O_3^{2-}$ のモル濃度 (mol/L)

c : C 液中の H_2O_2 のモル濃度 (mol/L)

d : 混合溶液の純水での希釈度 (~倍希釈)

t : 誘導時間 (s)

感想

研究当初では、反応時間の振れ幅が大きく、正確性を上げる実験方法の確立に苦心し、多大な時間がかかってしまった。それに加え、研究にかけられる時間もそれほど多くはなかったため、公式に用いる変数の数が当初の目的に達しなかったのが残念なところである。しかし、自ら研究テーマを考え、障害を克服し、さらに追及するという過程は、単に理科学的な研究に限らず、今後の多様な課題に対処する上で確実に役立つものとなったと思う。

参考文献

<http://www.aichi-c.ed.jp/contents/rika/koukou/kagaku/kall/yousotokeihannou>