

<実践報告>

ステアリン酸を用いたアボガドロ定数の測定実験の改良

中野英之 獨協埼玉中学高等学校
宮地 彩 東洋大学工学部応用化学科

Improvement on the Measurement of Avogadro Constant
Using Stearic Acid

NAKANO Hideyuki: Dokkyo Saitama Junior and High School

MIYACHI Aya: Department of Applied Chemistry, Faculty of Engineering, Toyo University

研究の目的	高い精度でアボガドロ定数を求められるようにするため、ステアリン酸を用いたアボガドロ定数の測定実験に改良を加えた。教育実践を通して、改良を加えた実験方法の効果を明らかにすることを研究の目的とする。
キーワード	高等学校化学 アボガドロ定数 ステアリン酸 単分子膜法
実践の目的	アボガドロ定数を実験的に求め、アボガドロ定数についての理解を深めること。
実践者名	中野英之 宮地 彩
対象者	獨協埼玉高等学校1年生化学I履修者(1クラス:44名)
実践期間	2008年6月21日(土)2時間
実践研究の方法と経過	化学Iの授業2時間を用い、上記44名を対象として、ステアリン酸を用いたアボガドロ定数の測定実験を行った。これまでの実験方法に、滴下するステアリン酸シクロヘキサン溶液の体積を大幅に減らし、単分子膜の面積を簡単に求められる方法を採用するなどの改良を加え、実験時間を大幅に短縮させつつ高い精度でアボガドロ定数を求められるように工夫を加えた。生徒全員が2時間の授業内で実験結果を用いて、アボガドロ定数を求めることができた。
実践から得られた知見・提言	これまでに行なわれてきたステアリン酸を用いたアボガドロ定数の測定実験では、大きな誤差を生じ、 10^{23} [/mol]のオーダーでアボガドロ定数を求めることができれば成功と考えられてきた。筆者らが改良した実験方法により、生徒がアボガドロ定数の理論値(6.02×10^{23} [/mol])に近い値が安定して得られるようになった。

1. はじめに

ステアリン酸を用いた単分子膜法は、比較的簡単な操作でアボガドロ定数を測定できることから、これまで多く行われてきた実験である（佐野ほか 2007）。実験では、ステアリン酸を溶解したシクロヘキサン溶液を作成する。次に、墨汁膜を張った水面にシクロヘキサン溶液を滴下して単分子膜を形成し、単分子膜の面積を測定することによりアボガドロ定数を測定する。しかし、これまでの方法では、①滴下する溶液の滴下量が多くシクロヘキサンが蒸発するまでかなりの時間を要する。②溶液の滴下量が多いため、形成された単分子膜が重なり合う可能性が高く、大きな誤差を生じやすい。③単分子膜上に方眼紙を置いて単分子膜の面積を測定する方法が煩雑でかなりの時間を要する。といった問題があった。このため、これまでの実験方法では、実験に長時間を要するだけでなく大きな誤差が出ることも多く、実験で得られたアボガドロ定数が 10^{23} のオーダーで得られれば成功とされてきた（第一学習社編集部, 2008）。筆者らは、アボガドロ定数 (6×10^{23}) に近い結果をコンスタントに得られるよう、既存の実験方法に次の3点の改良を加え、検討を重ねてきた。①滴下するシクロヘキサン溶液を大幅に減らし1滴とし、シクロヘキサンの蒸発に要する時間を大幅に短縮した。②シクロヘキサン溶液をピペットに一定体積計り取り、全量をゆっくり滴下して滴数を数える。ピペットに計り取った溶液の体積を滴数で割ることにより、1滴あたりの体積を正確に求められるよう工夫をした（下記実験方法①の下線部分）。③単分子膜の長径と短径を求め、その平均を単分子膜の円相当直径とし、円相当面積を求めた。求めた円相当面積を単分子膜の面積とした。この方法により単分子膜の面積の測定方法を簡略化し、面積の測定に要する時間を大幅に短縮した（下記実験方法②の下線部分）。その結果、予備実験の結果ではアボガドロ定数の±20%以内の値が安定して得られるようになった。本稿では、筆者らが改良を加えた実験方法を用いた教育実践について報告をするものである。

2. 教育実践

2.1 実験

[目的] ステアリン酸の単分子膜をつくり、これを形成する分子の数から 1 mol に含まれる分子の数（アボガドロ定数）を求める。

[実験器具] ステアリン酸シクロヘキサン溶液（※）、墨汁、安全ピペッター、コマゴメピペット、金属バット、定規、電卓 ※ステアリン酸 0.032 g を電子天秤で正確に秤量し、100 ml のメスフラスコに入れ、シクロヘキサンを少量加えよく溶かす。シクロヘキサンをさらに加えて 100 ml とする。

[実験方法]

①安全ピペッターを用いてステアリン酸シクロヘキサン溶液 2.0 ml を計り取り、ゆっくり滴下し、滴下数を求める。溶液 1 滴あたりの体積を求める。

②金属バットに水道水を入れ、墨汁を 1 滴下し、墨汁膜をつくる。

③墨汁膜にステアリン酸シクロヘキサン溶液1滴を滴下し、ステアリン酸単分子膜をつくる(図1).

④シクロヘキサンが完全に蒸発した後に、ステアリン酸単分子膜の長径(a)と短径(b)の長さを定規で0.1 cm 単位まで測定する. 単分子膜の長径と短径の平均値を円相当直径と考え、単分子膜の円相当半径(L)を算出し、単分子膜の面積 (S) を求める (図2).

筆者らは、一定体積のシクロヘキサン溶液を墨汁膜に滴下してステアリン酸単分子膜の面積を測定する実験を10回行い、筆者らが考案した方法と、従来の単分子膜に方眼紙を置いて単分子膜の面積を測定する方法の間で、結果にどのくらいのばらつきが出るのかを検討した。その結果、求めた面積は、筆者らが考案した方法では、 $21 \pm 1 \text{ cm}^2$ 、方眼紙を用いる従来の方法では、 $22 \pm 2 \text{ cm}^2$ となり、両者の結果にほとんど差は無く、ばらつきは筆者らが考案した方法を用いた場合の方が小さくなった。

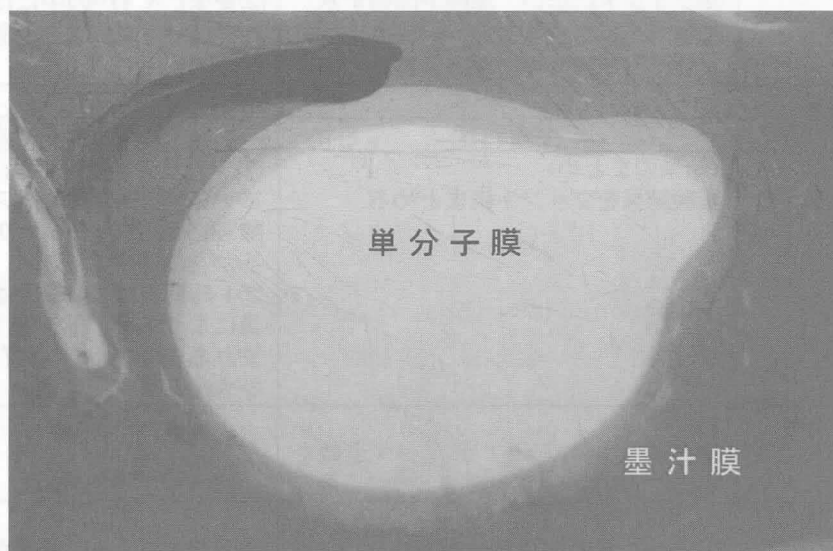


図1 水面に形成されたステアリン酸の単分子膜

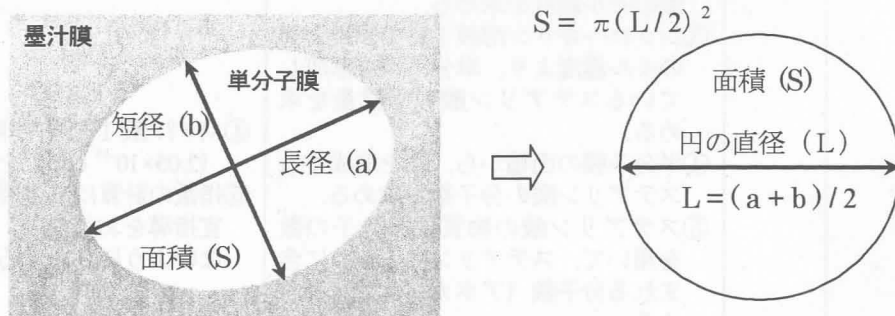


図2 単分子膜の面積の求め方

表1 本時の学習活動、指導展開

(1) 第1時限目

展開	時間	学習内容	指導上の留意点
導入	5分	〈発問〉 学習したアボガドロ定数を実際に求めてみよう。	復習の意味を含めて、アボガドロ定数はいくつであったか答えてもらう。
展開	10分	〈実験原理〉 アボガドロ数のような巨大な数を測定するには、一定質量の物質や一定体積の物質に含まれる粒子の数を数えれば良いことを説明する。 〈実験準備〉 使用器具を説明する。	ステアリン酸の断面積が分かっているの、今回求めるステアリン酸膜の面積からステアリン酸分子の数を算出し、1 mol あたりの分子の数を求める事を伝える。
	35分	〈実験〉 ①シクロヘキサン溶液の1滴あたりの体積を求めさせる。 ②プリントに従い、実験を開始する。 ③ステアリン酸単分子膜の面積の測定する。(膜の円相当直径を求めさせる)	①1滴の体積を正確に測定することが重要であることを強調する。 ②安全ビーカーの中には溶液を入れてはいけないことを強調する。

(2) 第2時限目

展開	時間	学習内容	指導上の留意点
まとめ	10分	〈結果のまとめ〉 実験結果をプリントにまとめる。	①ステアリン酸の質量、滴下したステアリン酸の体積、ステアリン酸膜の面積がしっかり書いてあるかを確認する。 ②4時間目はこの結果を用いて計算によりステアリン酸1 mol に含まれる分子数(アボガドロ定数)を求める事を伝える。
導入	5分	〈発問〉 実験結果をもとにアボガドロ定数を実際に求めてみよう。	
展開	30分	〈アボガドロ定数を求める〉 ①実験結果の確認させる。 ②シクロヘキサン溶液の、ステアリン酸のモル濃度を求める。 ③シクロヘキサン溶液1滴の体積と②のモル濃度より、単分子膜を形成しているステアリン酸の物質量を求める。 ④単分子膜の面積から、膜を形成するステアリン酸の分子数を求める。 ⑤ステアリン酸の物質量と分子の数をを用いて、ステアリン酸1 mol に含まれる分子数(アボガドロ数)を求める。	①各自のプリントに結果がきちんと書かれているか確認させる。 ②単位を mL から L に直させる。 ④ステアリン酸1分子の断面積の値 ($2.05 \times 10^{-15} \text{ cm}^2$) を使用する。 ⑤指数の計算は、復習を兼ね、適宜指導をおこない、計算ミスのないように注意する。
まとめ	5分	実験結果を検証する。	アボガドロ定数の理論値とのずれが大きく生じた場合、その理由について考察させる。

[考 察] 実験結果より、アボガドロ定数は次のように求まる。

①ステアリン酸溶液のモル濃度を求める。計り取ったステアリン酸の質量が 0.032 g、滴下した 1 滴のステアリン酸溶液 1 滴の体積を v ml、単分子膜の面積を S cm² とする。ステアリン酸の分子量は 284 であるので、シクロヘキ酸溶液のモル濃度は、 $(0.032/284) \times (1000/100) = 1.13 \times 10^{-3}$ [mol/L] と求まる。

②単分子膜を構成する分子の数を求める。単分子膜を形成するステアリン酸の物質量は、 $(0.032/284) \times (v/1000) = 1.13 \times 10^{-7} v$ [mol] であり、アボガドロ定数を N_A [/mol] とすると、単分子膜を構成する分子の数は、 $1.13 \times 10^{-7} v \times N_A$ [個] となる。

③実験結果からアボガドロ定数を求める。ステアリン酸 1 分子の断面積を s [cm²] とすると ($s = 2.05 \times 10^{-15}$ [cm²])、 $1.13 \times 10^{-7} v \times N_A \times s = S$ なので、 $N_A = S / (s \times 1.13 \times 10^{-7})$ [/mol] と求まる。

2.2 指導展開

表 1 の指導案に従って指導を展開した。対象となる生徒は筆者の一人である中野の勤務校に在籍する高校 1 年生化学 I (4 単位) 履修者 44 名 (1 クラス) を対象に、「物質質量とアボガドロ定数」の単元で、2008 年 6 月 21 日 (土曜日) に授業実践を行った。実験には 2 時間をあてた。生徒 44 名を 11 班に分け、実験方法①については班ごとに、実験方法②～④については各個人で実験を行った。

3. 実践結果

安全ピペッターの使い方を中心に、実験方法を丁寧に説明した後に実験をおこなったため、実験はスムーズに進めることができた。1 時間目の終了までに、生徒全員が溶液 1 滴あたりの体積と、単分子膜の長径と短径を求めることができた。2 時間目のはじめに、単分子膜の円相当面積を算出させ、アボガドロ数を求める作業に入った。2 時間目の終了までに、生徒全員が、実験結果をもとにアボガドロ定数を求めることができた。

実験に参加した 44 名のうち、実験レポートの提出があった 41 名の結果をまとめたものを図 3 に示す。実験結果をもとに算出したアボガドロ定数の平均値は 6.5×10^{23} [/mol] と、理論値 (6.02×10^{23} [/mol]) とかなり近い値が得られた。このことから、ステアリン酸分子が密につまった単分子膜が形成されているものと推測される。著者らが行なった予備実験に比べて結果のばらつきは大きいですが、生徒が求めた結果の約 90% は標準偏差の範囲に収まった。理論値比で大きな値が出た例では、誤って 1 滴以上の溶液を滴下してしまったか、バットやピペットに汚れが付着していて、水面と空気の界面に何らかの影響を与えたことが原因であると考えられる。これまでの実験方法では、 10^{23} [/mol] オーダーの結果が得られれば成功とされてきたが、既存の実験方法に何点かの改良を加えることにより、その測定精度を大幅に向上させ、理論値に近い値を安定的に得ることができた。実験後の生徒の感想には、「理論値と近い実験結果がこのような簡単な実験で求めることができ感動した」といったものが多く見られた。

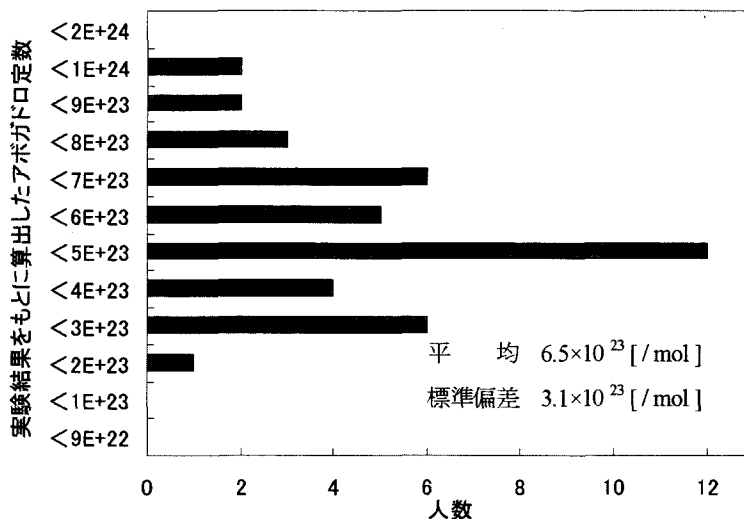


図3 実験結果の度数分布

4. まとめ

本研究では、精度よくアボガドロ定数を求められるようにするために、これまでに行なわれてきたステアリン酸を用いた実験方法に以下の改良を加えた教育実践を行った：①滴下するシクロヘキサン溶液を1滴とし、シクロヘキサンの蒸発に要する時間を大幅に短縮した。②ピペットに計り取った一定体積のシクロヘキサン溶液全量をゆっくり滴下し、体積を滴下数で割ることにより、1滴あたりの体積を正確に求められるよう工夫をした。③単分子膜の長径と短径を求め、その平均を単分子膜の円相当直径として円相当面積を求め、円相当面積を単分子膜の面積とした。この方法により単分子膜の面積の測定方法を簡略化し、面積の測定に要する時間を大幅に短縮した。その結果、これまでの実験方法では 10^{23} [mol] の結果が得られれば成功とされてきたが、実験結果をもとに算出したアボガドロ定数の平均値は $6.5 \times 10^{23} \text{ [mol]}$ と、理論値 ($6.02 \times 10^{23} \text{ [mol]}$) とかなり近い値が得られ、生徒が求めた結果の90%以上は標準偏差の範囲に収まった。実験方法を簡略化しつつも、高い精度でアボガドロ数を測定することに成功した。単分子膜の直径が6 cm程度であれば、ほぼ理論値に近いアボガドロ定数が得られることから、机間巡視で各生徒の実験の成否を見極めることも容易である。実験では、ステアリン酸を0.001 g単位で正確に秤量する必要があることはもちろんのこと、単分子膜形成する際に、円形に広がるよう注意を払う必要がある。特に実験室内で空調が働いている場合、単分子膜に風が当たり、膜の形が大きく崩れることがあるため、実験中は空調設備の電源を一時的に切るなどの配慮が必要である。

文献

- 佐野博敏ほか, 2007, 高等学校 改訂化学 I, 第一学習社, 東京, pp.62-65
 第一学習社編集部, 2008, 高等学校改訂化学 I 指導と研究 (第2分冊), 第一学習社, 東京, pp.8-9
 (2008年6月30日 受付)