

ゼラチンゲルを用いた金属イオンの電気泳動

5年B組 徳田 悠人

指導教員 松浦 紀之

1. 概要

ゼラチンゲル上で銅(II)イオン Cu^{2+} と鉄(III)イオン Fe^{3+} の電気泳動を行い、移動距離の比較を行った。実験の結果は価数の小さな Cu^{2+} の方が移動距離が長く、イオン価数の大きい方がより大きく移動するという予想に反するものだった。支持体として用いたゼラチンとアガロースで同様の結果が得られたことから、これらの支持体の化学構造中の置換基が金属イオンに配位して、電気泳動による移動に影響を及ぼしているのではないかと考えた。

キーワード 電気泳動 ゼラチン 金属イオン 移動距離

2. 研究の背景と目的

中学校の理科の教科書には、ろ紙上で塩化銅(II)水溶液に電圧をかけて変化の様子を観察する実験が掲載されている¹⁾。また、授業でイオンの電荷について学習した際、ユニバーサル試験紙を用いた水素イオン H^+ と水酸化物イオン OH^- の移動の実験を行った。これらの実験より、イオンの移動について興味を持った。そこで昨年度、有色の金属イオンの電気泳動実験を行った²⁾。ここでは、トリス-酢酸-EDTA バッファー (TAE バッファー)³⁾ を緩衝液として用いて硝酸銅(II)および硝酸鉄(III)水溶液のアガロースゲル電気泳動を行った。その結果、予想に反して金属イオンの価数が小さい硝酸銅(II)の方が大きく移動するという結果が得られた。この原因として、支持体であるアガロース⁴⁾の化学的性質が関与しているのではないかと考えた。他の支持体を用いた場合には、どのような結果になるか興味を持ち、実験により確かめた。

3. 実験

試薬は市販のものをそのまま用いた。電源装置は Nakamura PS-5000N を用いた。ステンレス板は、厚さ 2 mm のものを用いた。

(1) 金属イオン (Cu^{2+} , Fe^{3+}) の電気泳動

200 mL ビーカーに蒸留水 100 mL と硝酸カリウム KNO_3 1.0 g, ゼラチン⁵⁾ 4.0 g を入れた。ガスバーナーで加熱することで溶液を沸騰させて完全に溶かした。これを 40°C まで冷却後、2 個のプラスチック製の容器 (7 cm × 7 cm × 2.7 cm) に流し入れ、冷蔵庫内 (4°C) で一晩冷却することで固化させた (この固化させたシート状のゼラチンを、ゼラチンシートと呼ぶ)。ゼラチンシートを 2 枚準備して、これらのシートにストロー (φ 6 mm) を用いて直線上に 3 つ穴をあけた。それぞれのシートの 3 つ穴には、0.50 mol/L 硝酸銅(II) $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ 水溶液, 0.25 mol/L $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ と 0.25 mol/L 硝酸鉄(III) $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ の混合水溶液, 0.50 mol/L $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$ 水溶液を 1 mL

ずつ入れた。ゼラチンシートの両端にステンレス電極 (17 mm×100mm×2 mm) を 17 mm の辺がシート底辺になるように刺して、シートの容器を氷水 (2°C) に浮かべて 20 V で 20 分間、電流を流し、これらの金属イオンの移動距離を観察した。

(2) 電気泳動中の支持体の pH 変化

蒸留水 100 mL に KNO_3 1.0 g とゼラチン 4.0 g を加え、ガスバーナーで沸騰するまで熱して完全に溶かし、これに BTB 溶液を 2~3 滴加えた。溶液が中性の緑になっていることを確認して、プラスチック製の薄い容器に入れた。冷蔵庫内 (4°C) で一晩冷却することで固化させた。ステンレス電極を用いて、20 V、30 分間電流を流し、ゼラチンシートの色の変化を観察した。

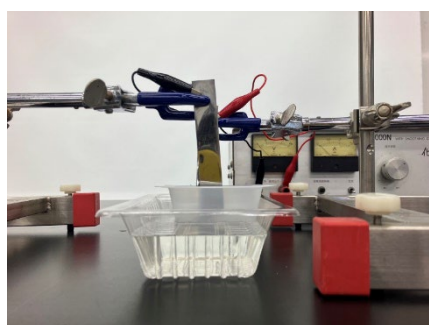


図 1. 電気泳動の実験の様子

4. 結果と考察

金属イオン (Cu^{2+} , Fe^{3+}) の電気泳動実験について Cu^{2+} と Fe^{3+} の移動距離を比較した結果、価数が小さな Cu^{2+} の方が移動距離は長かった (Cu^{2+} : 穴の中心から 8.4 mm, Fe^{3+} : 穴の中心から 6.3 mm) (図 2)。

この結果は、アガロースゲルを用いたときと同様であった。これより、金属イオンの価数の効果より、金属イオンの配位のしやすさの方が影響が大きいと考え

た。アガロース分子中のヒドロキシ基-OH やゼラチンを構成するアミノ酸の側鎖に含まれるアミノ基- NH_2 やカルボキシ基- COOH などは、いずれも金属イオンに配位結合が可能である⁶⁾。支持体の化学構造中のこれらの置換基が金属イオンに配位することによって、電気泳動によるゲル中の移動のしやすさが異なるのではないかと。

なお、 Cu^{2+} と Fe^{3+} の混合溶液で実験を行うと、移動距離はそれぞれを単独で泳動させた場合に比べて Cu^{2+} はより長く移動し、 Fe^{2+} はより短く移動することが分かった。この現象については、今後、再現性や理由について詳細に検討したい。



図 2. 金属イオンの電気泳動

黒丸：電流を流す前の位置，点線：鉄(III)イオン，実線：銅(II)イオン

ところで、 Cu^{2+} と Fe^{3+} の電気泳動を行うと、電流を流し始めて一定時間経過後、ゼラチンシート上に電極と平行に境目のように見える筋が生じていることに気が付いた。ゼラチンは、調製したときの pH によってゲル強度が変化することが知られている⁷⁾。そこでこの境目は pH の境目になっていることが原因ではないかと考えた。

電気泳動中の支持体の pH 変化を確認

する実験の結果、ゲルにできた筋を境にゼラチンが陰極側では青色に、陽極側では黄色に変色していた(図3)。これより、陰極側が塩基性に、陽極側が酸性となっていることが分かる。電気泳動によって生じるゼラチン上の筋は pH の境界である。ゼラチン状に含まれる水素イオン H^+ 、水酸化物イオン OH^- によって、ゼラチンの構造が変化することにより、光に対する屈折率が僅かに異なり、これより境目が筋となった観察されたと考えられる。

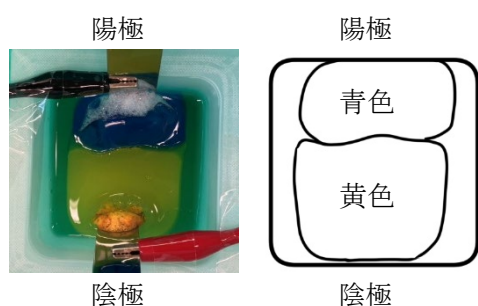


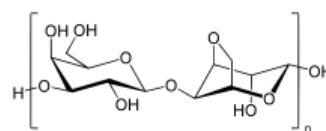
図3. 電気泳動中の支持体の pH 変化

5. まとめ・今後の展望

ゼラチンを支持体として、電気泳動により Cu^{2+} と Fe^{3+} の移動距離を比較する実験を行った。実験の結果、価数の小さな Cu^{2+} の方が移動距離が長く、イオン価数の大きい方がより大きく移動するという予想に反するものだった。構造が異なるゼラチンとアガロースで同様の結果が得られたことから、これらの支持体の化学構造中に含まれる置換基が金属イオンに配位して、電気泳動による移動に影響を及ぼしているのではないかという新しい仮説を立てた。今後、この仮説を検証していくために、移動の大きさの変化の数値化や、支持体に用いた物質と金属イオン配位のしやすさの比較をしていきたい。

参考文献・注釈

- 1) 塚田捷ら, 未来にひろがるサイエンス 3, 啓林館, 2017, pp.89-90. (2015年検定教科書)
- 2) 徳田悠人, 2021年度「基盤探究I」レポート, 2022年2月.
- 3) トリスヒドロキシメチルアミノメタン, 酢酸, エチレンジアミン四酢酸ナトリウムからなる緩衝液であり, アガロースゲル電気泳動に最も一般的に使用される。pH 8.3 ± 0.2 。
- 4) アガロースは, 1→3 結合 β -D-ガラクトースと 1→4 結合 3,6-アンヒドロ- α -L-ガラクトースの交互結合からなる。



- 5) ゼラチンは, 動物の皮膚や骨, 腱などの結合組織の主成分であるコラーゲンに熱を加え抽出したものである。タンパク質が主成分である。
- 6) M.Weller, T. Overton, J.Rourke, F.Armstrong 著, 田中勝久, 高橋雅英, 安部武志, 平尾一之, 北川進訳, シュライバー・アトキンス無機化学 下, 東京科学同人, 2017.
- 7) 伊藤政人, 大川祐輔, 小林裕幸, 大野隆司, 加藤孝世, 日本写真学会誌, 1995, 58, 2.