

スポットライト

第4回「高校生・高専学生ポスター発表」優秀賞～

教科書のイオン化傾向から考えられる 起電力の逆転現象

兵庫県立宝塚北高等学校3年(2021年3月卒業)

山本史佳(大阪大学薬学部; 学生)

柚谷篤紀(大阪大学工学部; 学生)

宝塚市は大阪と神戸の中間にあるベッドタウンで、手塚治虫記念館や宝塚歌劇団、その養成校である宝塚音楽学校などがある。この街の高台に私たちの通う宝塚北高校があります。本校は普通科・演劇科・グローバルサイエンス科(理数科に相当)の3科からなり、私たちグローバルサイエンス科の生徒は全員がグループでそれぞれの興味のあることに関して課題研究を行います。今回発表した私たちの研究は1年生の夏に行った探究基礎実習の中の一つの課題「3種の金属を見分ける」から始まりました。この課題は、Al, Zn, Cuのいずれからなる3枚の異なる金属板をそれぞれ同定するというものです。私たちが使っている教科書にはイオン化傾向が紹介されており、「AlはZnよりもイオンになりやすい」と記載されています。つまり、この2つの金属で電池を作ると正極になるのはZn、負極になるのはAlとなるはずですが。私たちも含めて多くの班は2つの金属のイオン化傾向を利用して電池を作りました。電解液は、 $2.0\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{ Cu}(\text{NO}_3)_2$ 水溶液および $2.0\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{ KNO}_3$ 水溶液を用いました。そして、電流の向きから金属を同定しようと試みました。実験では、AlからZnの向きに電流が流れました。このことから、Alが正極、Znが負極になり起電力の逆転現象が生じたと判断しました。また、Zn電極は黒く変色しました。そこで実習後、希望者を中心として夏休みなどを活用してさらに深く研究することになりました。

まずはこの現象(以下、起電力の逆転と呼称する)が起こる条件を調べました。水溶液の濃度や電解質水溶液につける表面積などを変化させることで起電力が逆転する要因を調べていく中で、水溶液の種類が起電力の逆転に深く関係しているということが分かりました。また、 $0.1\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 塩酸、あるいは $1.0\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 塩化カリウム水溶液を利用して電池を作製したところ、起電力の逆転が確認されました。しかし、 $1.0\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 水酸化ナトリウム水溶液に変えて実験を行ったところ起電力の逆転が起きないことが分かりました。

そこで、pHが起電力の逆転に関係していると考えて、 $0.10\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 塩酸にビュレットやマイクロピペットを用いて $0.10\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 水酸化ナトリウム水溶液を加え、pHメーターで測定しながらpHを調整してAlとZnとの間で生じ

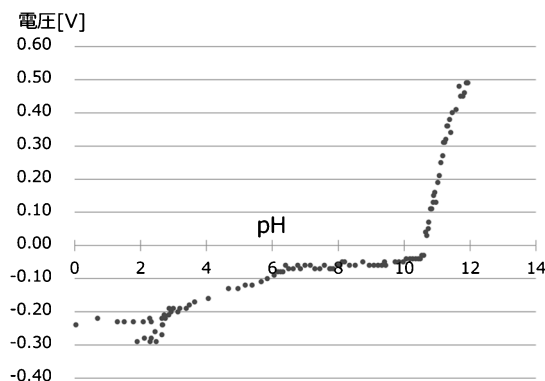


図1 電圧計の+端子にZn板、-端子にAl板を接続し、水溶液のpHを変化させたときの起電力。

表1 一方の電極をCuやMgで固定し、もう一方の電極をAlとZnを用いた電池の起電力。電解質水溶液は塩酸(pH=0.33)のものを使用。

No.	電圧計の+側	電圧計の-側	pH	起電力(V)
1	Cu	Al	0.33	0.24
2	Cu	Zn	0.33	0.63
3	Al	Mg	0.33	0.99
4	Zn	Mg	0.33	0.66

る電圧を測定する実験を行いました(図1)。また、AlとZnのどちらが起電力の逆転に影響を与えているか確かめるために、標準電極⁽¹⁾を用いて測定しようとしたしましたが、標準電極を準備できなかったため、常温で一方の電極をCuやMgで固定し、もう一方の電極をAlとZnを用いた電池の電圧を測定する実験を行ったり(表1)、電解質水溶液を塩酸と水酸化ナトリウム以外の水溶液を用いた電池の電圧を測定する実験を行ったりしました。塩酸に水酸化ナトリウム水溶液を加える実験では、pH 10~11で起電力が逆転することがわかりました。CuやMgを電極に固定した実験では、金属の組み合わせによらず起電力の逆転が起こることがわかりました。塩酸と水酸化ナトリウム以外の水溶液を使った実験では、酸性条件下では常に起電力の逆転が起こることがわかりました。これらの結果から私たちは起電力の逆転はpH 11以下で起こることを明らかにしました。

また、私たちはpHによって変わる金属の性質について文献調査をしたところ、金属水酸化物の溶解度に関する文献⁽²⁾が見つかり、AlとZn溶解度の大きさがpH=8付近でAl<ZnからAl>Znに変わることがわかりました。このことから、起電力の逆転の原因の1つが溶解度であると考え、10 mLの $0.10\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{ ZnSO}_4$ 水溶液に10 mLの $0.50\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{ H}_2\text{SO}_4$ 水溶液を加えた混合液を、メスフラスコを用いて亜鉛イオン濃度 $[\text{Zn}^{2+}]$ が $1.0\times 10^{-2}\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ となるように蒸留水で希釈し、pH=1.27の酸性水溶液を調製しました。その水溶液を $0.50\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}\text{ H}_2\text{SO}_4$ 水溶液を加えながら10倍ずつ希釈し $[\text{Zn}^{2+}]$ を $1.0\times 10^{-2}\sim 1.0\times 10^{-6}\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ とし、pH=1.10~1.40となるように調製しました。その溶液を用い

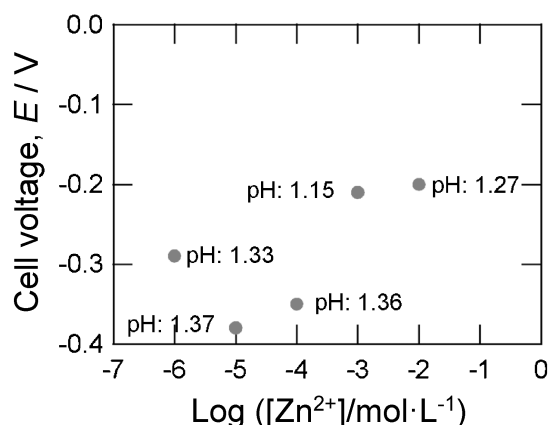


図2 電圧計の+端子にZn板, -端子にAl板を接続し, 水溶液の亜鉛濃度 $[Zn^{2+}]$ を変化させたときの起電力.

て, 電圧計の+端子にZn板, -端子にAl板を接続し, 各濃度における電池の起電力を測定しました. その結果, いずれの Zn^{2+} 濃度においても電圧の値は負でしたが Zn^{2+} 濃度の増加に伴い電圧はゼロに近づき, 仮説を裏付ける結果を得ることができました(図2). しかし新型コロナウイルス感染症拡大の影響で学校が休校となりAlの濃度を変えたときの実験は十分に行えませんでした. さらに実験を行い, 仮説の検証をする必要があると考えています. 今回, 私たちは手持ちのデータだけで最後の論文を提出するため, 起電力が逆転する原因が他にもあるのではないかと考え, 助言を求めて, 金属学会に参加させていただきました. 春の学会は中止となり, 初めての学会参加がリモートという中で上手く私たちの研究を伝え, 議論を行うことができるか不安でしたが, たくさんの方に助言を頂くことができました. 私たちにはなかった視点からの助言が多く, 自分たちの未熟さを痛感すると同時に, まだまだこの研究テーマについて深めることができる

と確信できました.

この2年半, 探究実習や課題研究を通してたくさんの方を学ぶ事ができました. これらの実験をする際, 使用する金属板は毎回紙やすりで擦ったり, 電解質水溶液につける面積も揃えたりするなど, 教科書には載っていない気を付ける部分がたくさんあることに気付くことができました. また, 他の高校ではできなかったであろう本格的な課題研究活動だけでなく, ポスターや発表の指導, 文献の読み方, 現在活躍されている研究者のお話を聞く機会などたくさんの学ぶ機会がありました. さらに, 課題研究活動においては, 5人それぞれが自分の意見や疑問を出し, 意見が衝突することも少なくありませんでしたが, それら全てと丁寧に向き合い, 議論を重ねることで研究を深める事ができました. そして, 今回の発表では割愛しましたが, 自作の光学顕微鏡や近隣の大学での電子顕微鏡で反応前後の金属板の表面を観察するなどいろいろな可能性を検討するために多くの高校・大学の先生方に協力していただきました. 今回, ポスター優秀賞を頂けたのは, 沢山の方々の御協力のおかげだと思います. この研究者へのしっかりとした土台を作る事ができた素晴らしい環境に感謝するとともに, 受賞者として恥じないような社会に貢献できる研究者になることを目指して, それぞれ進学先でも精一杯頑張っていきます.

文 献

- (1) 北村房男: 電気化学, **70**(2002), 295-298.
- (2) 水浄化フォーラム—科学と技術—「pHと金属イオンの溶解度」
http://water-solutions.jp/tech_basic-2/neutralizing/ph_metal-ion-solubility/(2020.7.3閲覧)

(2021年3月29日受理)[doi:10.2320/materia.60.517]

(連絡先: 〒665-0847 宝塚市すみれガ丘4-1-1

(宝塚北高校 担当木村))

