

ラミネートシートを用いた簡単な酸化還元実験

～半反応式を可視化し理解する～

飯嶋 めぐみ

酸化還元反応において、過マンガン酸カリウムや過酸化水素は、液性や反応相手等の条件によって異なるはたらきをする。溶液の色の変化や気体の発生等の観察・実験を通して、生徒が実感をもって酸化剤、還元剤のはたらきが条件によって変わることを理解するとともに、それを活用する力を身に付ける取組について報告する。

〔キーワード〕 酸化剤 還元剤 半反応式 酸化還元反応

はじめに

鉄さびなどの酸化還元反応は身近で捉えやすい現象であるため、小・中・高校を通して学習するとともに、高校入試や大学入試センター試験等にも頻繁に出題される分野である。

小学校理科では燃焼という現象を児童に捉えさせ、中学校理科では酸素のやりとりを中心とした酸化還元反応について学ばせ、酸化と還元は同時に起こるという基礎的な内容を生徒に理解させる。高校化学では酸素に加え、水素、電子のやりとり、酸化数の増減といった複数の側面から酸化還元反応を理解させ、さらに反応式で表して量的関係が成り立つことを学ばせる。また、高校で「化学」を履修した生徒については、既習事項の応用として電池や電気分解の仕組みを理解させることになる。

このように、小中学校理科、高校化学を通して酸化還元反応を学んできた生徒の高校入試、大学入試センター試験や北海道高等学校学力向上実践事業で作成された演習問題の結果を見ると、正答率が低い。特に無回答が目立ち、はじめから酸化還元反応について避ける傾向が見られるとともに、多くの生徒が苦手分野としていることがわかった。

この原因として、基礎的な知識の定着率が低いこと、問題演習が不足していることはもちろんのこと、一番の原因は実感を伴った理解とし

て身に付いていないことであると考察した。この問題点を解決するために、気体の発生や色の変化といった具体的な物質の変化から、酸化還元反応を簡単に実感、イメージできる実験教材の開発を手がけることにした。

そこで、北海道立教育研究所附属理科教育センターの「ラミネートシートを用いたマイクロスケール実験教材の開発」※¹⁾をヒントに実験を考案するとともに※²⁾、実験と問題演習による相乗効果を検討することにした。

1 北海道高等学校学力向上実践事業について

北海道教育委員会では、全ての生徒に対し、学力の三要素をはじめとした、これからの時代に求められる力を育成するとともに、高等学校教育の質の確保・向上を図るために、能力・進路等に応じて、対象や目的を明確にした3つのモデル（コアアビリティ、ベーシック、アドバンスモデル）を設定し、各モデルに応じて、授業や家庭学習等で活用できる実用的な教材の開発や、生徒の学習内容の定着状況を把握するための学力テスト等を実施し、もって、本道の高校生の学力向上を図っている。

この事業における、選抜性のある大学への進学を希望する生徒を対象とした「ベーシックモデル（Bモデル）」化学において、北海道千歳高等学校は平成28年度から協力校の指定を受け、

筆者は授業等で活用できる教材の開発、作成に携わっている。

2 実施概要

(1) 実施科目及び対象生徒

① 科目 学校設定科目「自然科学入門」

② 対象生徒

北海道千歳高等学校

普通科2年 文系 計120名

③ 生徒の状況

普通科文系は、国公立・私立大学、短期大学及び専門学校と、進学希望が多岐にわたり、学力層も幅広い。また、授業や講習に意欲的であるものの、学習したことを十分に活用しきれていない生徒が多い。

④ 実施期間

平成29年6月27日、9月27日～9月29日

(2) 実施方法

次のi～vの手順で実施した。

i 酸化剤、還元剤の半反応式の指導

ii 問題演習

iii 本実験

iv 実験レポート提出

v 実験前後における理解度の分析

3 実験

(1) 目的

溶液の色の変化や気体の発生等の観察・実験を通して、条件によつて酸化剤、還元剤のはたらきが変わることを実感を伴って理解する。

(2) 概要

ワークシートをラミネーターでフィルムに封入し、実験操作用のラミネートシートを作成する(図1)。指示通りシート上に点眼ボトルの試薬を滴下し、その過程で起きる色の変化や気体発生の有無等を観察し、ラミネートシートと同じ様式のワークシートに記録させる(図2)。

(3) 準備

過マンガン酸カリウム水溶液、過酸化水素水、ヨウ化カリウム水溶液、硫酸、塩酸、硝酸、水酸化カリウム水溶液(いずれも0.10mol/Lに調整し、点眼ボトルに入れる)、実験操作ラミネートシート、爪楊枝

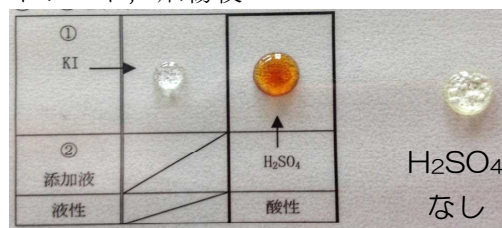


図1 実験操作ラミネートシート(抜粋)

実験II「硫酸酸性ニクロム酸カリウムと過酸化水素の反応」

①	$K_2Cr_2O_7$	→	オレンジ色	→	緑色	(酸化剤) $Cr_2O_7^{2-}$
②	添加液	→	液性	→	酸性	(還元剤) H_2O_2

実験III「中性・塩基性における過マンガン酸カリウムと過酸化水素の反応」

①	$KMnO_4$	→	紫色	→	茶色	→	茶色	(酸化剤) MnO_4^-
②	添加液	→	液性	→	中性	→	塩基性	(還元剤) H_2O_2

実験IV「異なる酸性溶液における過マンガン酸カリウムと過酸化水素の反応」

①	$KMnO_4$	→	紫色	→	茶色	→	茶色	(酸化剤) MnO_4^-
②	添加液	→	液性	→	酸性	→	酸性	(還元剤) H_2O_2

HClからは()する、 HNO_3 は(酸化剤)のため、酸性にするのに用いることはできない。また濃硫酸も(酸化剤)であるため、酸性にするのに用いる硫酸は(酸化剤)である。

Handwritten notes and chemical equations are present on the right side of the sheet, including:

- $Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ + 6e^- \rightarrow 2Cr^{3+} + 7H_2O$
- $H_2O_2 \rightarrow O_2 + 2H^+ + 2e^-$
- $MnO_4^- + 2H_2O + 3e^- \rightarrow MnO_2 + 4OH^-$
- $H_2O_2 \rightarrow O_2 + 2H^+ + 2e^-$

図2 ワークシートのまとめ(抜粋)

(4) 方法

実験Ⅰ 「硫酸酸性条件下による過酸化水素水とヨウ化カリウム水溶液の反応」

- ① ヨウ化カリウム水溶液を1滴おく。
- ② ①に硫酸を1滴加え、爪楊枝で軽く混ぜ合わせる。
- ③ ②に過酸化水素水を数滴加え、それぞれの色の变化や気体発生の有無等を観察、記録する。

実験Ⅱ 「硫酸酸性下による過マンガン酸カリウム水溶液と過酸化水素水の反応」

実験Ⅲ 「中性・塩基性下による過マンガン酸カリウム水溶液と過酸化水素水の反応」

実験Ⅳ 「異なる酸性下による過マンガン酸カリウム水溶液と過酸化水素水の反応」

実験Ⅱ～Ⅳについても実験Ⅰの①～③を同様に行う。

(5) 結果

実験Ⅰでは、硫酸酸性下でヨウ化カリウムが褐色に変化したことと、ヨウ素デンプン反応の色の变化から、 $2\text{I}^-(-1) \rightarrow \text{I}_2(0)$ の反応が起こり、ヨウ化カリウムは還元剤としてはたらいだ。また、過酸化水素から酸素の発生が確認できなかったことから、過酸化水素は酸化剤としてはたらいだ。なお、硫酸を加えない場合反応が進みにくいので、反応には酸性条件が必須である。

実験Ⅱでは、硫酸酸性下で過マンガン酸イオンが赤紫色からほぼ無色に変化し、 $\text{MnO}_4^- (+7) \rightarrow \text{Mn}^{2+} (+2)$ になった。

実験Ⅲでは、中性・塩基性下で過マンガン酸イオンは黒褐色に変化し、 $\text{MnO}_4^- (+7) \rightarrow \text{MnO}_2 (+4)$ になった。

以上のことから、いずれの条件下においても過マンガン酸カリウムは酸化剤としてはたらくが、液性の違いによって、電子を含むイオン反応式(半反応式)が異なった。また、実験Ⅰ～実験Ⅲの結果から、過酸化水素は反応する相手によって、酸化剤にも還元剤にもなった。

なお、実験Ⅳでは、いずれの酸性条件下にお

いて明確な違いを見いだすには至らず、硫酸を酸性下にするために一般的に用いることの妥当性について、本実験で明示することができなかった。

5 実験前後における生徒の理解度の変化

(1) 実験レポートより

実験レポートの自由記述において、「コロコロ変わる色変化や気体の発生が楽しかった」「教科書に書かれていることが再現できて酸化還元イメージが掴めた」という感想が多くあった。また、量的関係に言及する記述や練習問題で確認したいという積極的な感想もあり、本実験の目的が十分に生徒に伝わったと考えられる。

本実験の生徒の感想(自由記述抜粋)

- ・実際に実験をして、なぜ H^+ が入るのかなどがわかりやすかった。
- ・過マンガン酸カリウムが酸性と中性・塩基性で反応が異なるということがわかった。
- ・頭で理解していても仕組みがよくわからなかったもので、この実験ができてよかったです。
- ・覚えるだけでなく、実際に実験することで酸化還元反応がよくわかった。
- ・目で見て気体等が発生する様子がわかって仕組みを理解できた。
- ・実験することで結果の印象が強く残ったので、これからも覚えていられそうです。
- ・まだ反応式を書くのはたまに間違えるけど実験でなんとなく「こうなるのかなー」みたいな感覚はつかめた。
- ・謎だった部分が理解できました。なんとなく進めていた半反応式も原理を理解してからはずらすると作ることができてうれしかったです。
- ・片方を極端に少なく、片方を極端に多くしたらどうなるだろうか。
- ・実際の反応はわかったけど、問題を解くにはもうちょっと練習したいです。

(2) 演習問題の分析結果より

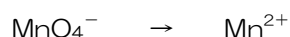
本実験によって酸化還元分野の理解の深まりと定着を確認するために、定期考査の抜粋及び北海道高等学校学力向上実践事業で作成した問題を用い、実験前後における同一問題の正答率の推移を比較した(表1)。

定期考査の抜粋

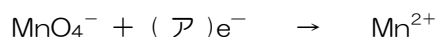
問 電子を含むイオン反応式(半反応式)について、以下の問いに答えよ。

(1) 次の手順に従って、空欄に適する数を答えよ。

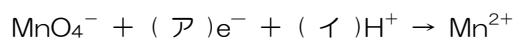
① 酸化数が変化した原子の数を、左辺と右辺で同じにする。



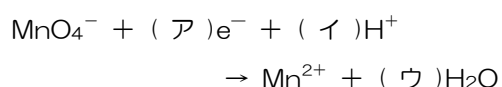
② 酸化数が変化した原子の酸化数の和が左辺と右辺で同じになるように、 e^- を加える。



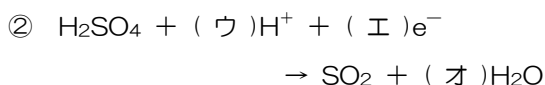
③ 電荷の和が、左辺と右辺で同じになるように、 H^+ を加える。



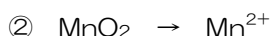
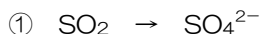
④ 酸素の数が、左辺と右辺で同じになるように、 H_2O を加える。



(2) 次の半反応式の空欄に適する数を答えよ。



(3) 次の反応の半反応式を書け。



③ 塩化スズ(Ⅱ) SnCl_2 水溶液は還元剤の働きをして、スズ(Ⅳ)イオン Sn^{4+} になる。

は生徒の理解を助けるとともに、他に応用できる力が身に付くことが明らかになり、全問正解する生徒が実験後で15%以上も増加した。また、実験前に見られた無回答は実験後でほとんどなくなり、前向きに問題に取り組む姿勢が見られた。さらに、実験後の自由記述で量的関係にふれるものや、問題演習で学んだことを確認してみたいという主体的な感想が複数見られるなど、実験が生徒の興味・関心を引き出し、学習意欲を高めるきっかけになったといえる。

表1 定期考査の抜粋の正答率推移

問題番号	正答率[%]	
	実験前	実験後
(1)	41.9	84.0 (+42.1)
(2)	35.9	80.1 (+44.2)
(3)	① 22.4	53.8 (+31.4)
	② 30.8	68.0 (+37.2)
	③ 0.9	18.6 (+17.7)
全問正解	0.9	18.6 (+17.7)

定期考査の問題に続き、北海道高等学校学力向上実践事業で作成した問題を、

① 電子を含むイオン反応式(半反応式)を理解しているか。

② 電子を含むイオン反応式(半反応式)から化学反応式への変換と量的関係を扱えるか。

③ 酸性条件にするのに適当な酸は何か。

の3つの視点で定着を図ることにし、酸化還元滴定法に軽くふれ、本実験から約3週間後に実施した。なお、酸化還元滴定実験は行っていないが、中和滴定実験は1年時の2月に実施済である。

表1から、わずか50分間の実験ですべての問いで正答率が大きく向上し、特に(1)は42.1%も向上した。このことから、実感を伴った経験

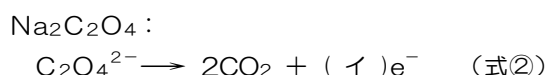
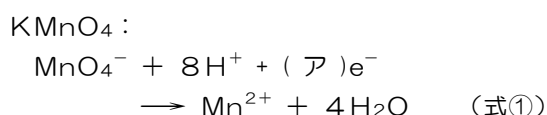
北海道高等学校学力向上実践事業で作成した問題

問 過マンガン酸カリウム水溶液Aの濃度はシュウ酸ナトリウム水溶液Bを標準溶液として酸化還元滴定法で決定することができる。滴定実験に関する次の記述において、次の問いに答えなさい。

この滴定原理は酸化還元反応に基づき、過マンガン酸カリウム2molとシュウ酸ナトリウム（ウ）molとがちょうど反応することにある。

そこで、シュウ酸ナトリウム結晶0.0200molをはかりとり、水に溶解した後、①メスシリンダーを用いて正確に200mLまで希釈し、シュウ酸ナトリウム標準溶液Bを作成した。この標準溶液Bを②ビュレットに入れて準備し、コニカルビーカーには25mL用の③ホールピペットを用いて水溶液Aをはかりとり、さらに酸性溶液とするために適当量の④希硝酸を加えた。コニカルビーカー内に標準溶液Bを少しずつ加えたところ、20.0mLで過不足なく反応が終了した。この反応の完了点は過マンガン酸カリウム水溶液Aの⑤赤紫色が消えることから判断した。

(1) 以下の過マンガン酸カリウムとシュウ酸ナトリウムの半反応式中の（ア）（イ）に適する数字を入れよ。



(2) 本文中の（ウ）に適する数字を①～⑥より選べ。

- ① 0.25 ② 0.5 ③ 1 ④ 2
⑤ 2.5 ⑥ 5

(3) 本文中の下線部①～⑤のうちから不適切なものを二つ選べ。（エ）（オ）

(4) この実験に用いた過マンガン酸カリウム水溶液Aの濃度を①～⑥から選べ。（カ）

- ① 0.016 ② 0.032 ③ 0.064
④ 0.16 ⑤ 0.32 ⑥ 0.64

表2に、今年度の結果と、参考として平成28年11月に本校普通科3年理系18名の生徒に実施した結果をまとめた。

理論の説明と問題演習のみの指導であった場合、半反応式の定着がよくないので、その後に

続く量的関係に関連する計算に至らず、正答率が伸びなかった。単純な比較にならないが、平成29年度の生徒は半反応式をつくる問いで、実験後しばらく時間が経っているにも関わらず、依然として高い正答率であった。このことより、実験によって酸化還元のイメージがしっかりと定着していると考えられる。

半反応式が正しく書けるということは大きな進歩で、酸化還元滴定実験のテクニカルな部分や量的関係等は、今後の反復演習で更なる正答率の伸びが期待できる。

今後、平成29年度の生徒が平成28年度の生徒と同時期にどのぐらいの正答率になるのか推移を見ていきたい。

表2 北海道高等学校学力向上実践事業で作成した問題の正答率

問題番号	正答率[%]	
	(参考) H28	H29
ア	38.9	84.4
イ	66.7	83.2
ウ	33.3	5.1
エ・オ	72.2	24.2
カ	0.0	3.8

6 成果と課題

(1) 成果

生徒、教員それぞれにアンケート調査を行い、主な感想をまとめた。

① 生徒

ア 教科書に掲載されている反応で、色の変化や気体の発生を伴い、物質の酸化数の変化と電子の動きをイメージしやすい酸化剤、還元剤を用いることで興味をもち、理解が深まる。

イ 過マンガン酸カリウム、過酸化水素、硫化水素は、反応条件や反応相手によって異なる反応をすることから、理論の説明だけでは理解し難い。複雑な反応は、実際に体験することで印象に残り、理解

しやすい。

ウ 操作が非常に手軽であるため、操作にかかる時間を短縮し、考察や演習に多くの時間を確保できる。

エ 試薬の使用量が少ないので、より安全に実験を行うことができる。

オ ラミネートシート上に結果が残るので、他者との比較がしやすい。また、シートに多めの余白を設けているので、何度でも反応を確認し直すことができる。

② 教員

ア 生徒の操作に時間や手間がかからないので、授業の進度を大きく変えることはしない。

イ 点眼ボトルから1～2滴の滴下で十分に観察できるので、試薬の使用量を大幅に減らせ、廃液処理が簡単である。また、ラミネートシートは何度も繰り返し再利用できる。

ウ 教室への持ち運びも容易である。また、グループ、個別のどちらにも対応可能なため、活用の幅が広がる。

エ 再現性が高く、化学が専門でない教員とも指導方法が共有しやすいので、教員間の指導のバラつきを抑えられる。

(2) 課題

① 本実験において酸として希硫酸を用いることの妥当性を明らかにする。

② 本実験を定量的に行えるように工夫すれば、さらに応用範囲は広がる。

③ 生徒の学習段階のつまずきに早期に気付くために、教員自身が小・中・高校の学習内容のつながりを理解し、校種間の連携を意識する必要がある。

④ “手軽” “簡単” の捉え方を見直し、マイクロスケール実験の良し悪しを理解した上で、計画的に定番実験を決める。そうすることで、教職員間の理解が得られやすくなり、座学と実験の均衡が保たれ、実体実験に基づいた効果的な指導が可能になる。

7 まとめ

酸化還元反応を問題演習だけで定着を図ることは難しいが、実体験を交えることで、生徒の理解が飛躍的に深まった。生徒の感想には「過マンガン酸カリウムは液性によって異なる反応がある」、「過酸化水素は相手によって酸化剤にも還元剤にもなりうる」ことが納得できたというものや、「硫酸酸性下の重要性」を理解できたというものが多く、高評価であった。また、実験前後で演習問題の正答率が大きく向上したことから（表1，2），本実験はその目的を十分に達成できる教材であるといえる。

生徒の興味・関心を引き出し、理解を深めるには、実験等の具体的な体験と反復演習のバランスが大切である。当初懸念していた実験による進度の遅れも、実験をすることで生徒の理解が深まり、結果として考察や演習に多くの時間をかけることができた。また、化学が専門ではない教員にも本教材を使っていたが、使いやすい、わかりやすいなど大変好評であった。

たとえ簡単な実験であっても、実際に経験させることにより、さまざまな教育効果が得られたので、さらなる活用の可能性が示唆される。今後も本教材の普及と、他の分野においても同様に優れた教育効果を発揮する教材の開発を行い、生徒の学力向上のために尽力したい。

謝辞

本紀要に寄稿するにあたりまして、北海道立教育研究所附属理科教育センター研究研修主事の佐藤大先生にご指導を賜りました。この場をお借りしまして、心より感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 佐藤大 ラミネートシートを用いたマイクロスケール実験教材の開発 北海道立教育研究所附属理科教育センター研究紀要第28号 pp34～37, 2016
- 2) 飯嶋めぐみ ラミネートシートを用いた簡単な酸化還元反応 北海道高校当学校理科研究会北海道の理科No. 60 pp31～32, 2017

（いいじま めぐみ 北海道千歳高等学校）