

中等教育研究開発室年報 第36号 (2023年3月31日発行) 別冊電子版
2022年度 授業実践事例

理科 高等学校第I学年

電導度滴定による中和点の決定

授業者 平松 敦史

(教育研究大会 公開授業)

広島大学附属中・高等学校

高等学校 理科（化学基礎） 学習指導案

指導者 平松 敦史

- 日時** 令和4年11月26日（土） 第2限 10:35～11:25
- 場所** 第1化学教室
- 学年・組** 高等学校I年2組40人
- 単元** 酸・塩基と中和
- 目標**
1. 酸と塩基の性質及び中和反応に関与する物質の量的関係を理解するとともに酸と塩基の性質及び中和反応に関与する実験で使用する器具の扱い方や溶液の調製方法などの基本的な技能を身に付けている。（知識・技能）
 2. 酸と塩基の性質及び中和反応に関与する観察・実験を見通しをもって行い、得られた結果を分析・解釈し、科学的に考察して表現している。（思考・判断・表現）
 3. 酸と塩基の性質及び中和反応に関与する事物・現象に主体的に関わり、科学的に探究しようとしている。（主体的に学習に取り組む態度）

指導計画（全14時間）

- 第一次 酸と塩基 2時間
- 第二次 水素イオン濃度 3時間
- 第三次 中和と塩 2時間
- 第四次 中和滴定 7時間（本時7/7）

授業について

本校の理科では、2016年度から「アクティブ・ラーニング型の授業開発と実践」に取り組み、生徒が「主体的・対話的に学ぶ」カリキュラムの構築に努めてきた。担当科目である「化学基礎」と「化学」では、生徒が「主体的・対話的な学び」に取り組めるよう「協調学習テキスト」という自作の補助教材を作成し、実践してきた。

「協調学習テキスト」は、たとえば「化学基礎」では「1 物質の成分と構成元素」「2 原子の構造と元素の周期表」「3 物質と化学結合」「4 物質と化学反応式」「5 酸と塩基の反応」「6 酸化還元反応」の6冊を作成している。「協調学習テキスト」は基本的な知識を学び取らせた後、学習した知識を活用する課題や実験を行わせる構成にしている。「化学」においても「協調学習テキスト」を作成している。この「協調学習テキスト」への生徒の記載内容からは、授業者の期待を上回る考察や授業者とは異なる解法で計算していることなど、主体的に学習に取り組んでいることが確認できている。「協調学習テキスト」は、課題の修正や内容の精選などを適宜行い、生徒がより主体的・対話的に取り組めるよう改善に努めている。

2020年度からは、2022年度から実施されている高等学校理科の学習指導要領の目標である「科学的に探究するために必要な資質・能力の育成」を目指すとともに、第4期SSH事業において第2学年から生徒全員が実施している課題研究を進める上で必要な資質・能力の育成の一助となる探究的な学習内容を模索してきた。第1学年で履修する「化学基礎」では「協調学習テキスト」のまとめとして、課題を提示し、生徒に実験計画を立案させ、いくつかの課題については班ごとに実験に取り組ませている。たとえば、単元「酸・塩基と中和」（協調学習テキストでは「5 酸と塩基の反応」）では、「指示薬や中和滴定曲線を用いる以外の方法で中和点を求める方法を提案せよ」という課題を提示し、班ごとに話し合わせ、班ごとの意見を発表させている。一般に、生徒たちは教科書や副教材に記載されている電流値による中和点の求め方を提案するため、電導度滴定を行わせている。なお、実験プリントは授業者が作成し、生徒に配付している。生徒自らが提案した方法で

あるため、なぜこの方法で中和点を求めることができるのかについては主体的に理解して実験に取り組んでいると捉えている。

単元「酸・塩基と中和」では、電導度滴定の他に中和点を求める学習内容として、食酢の濃度決定のための中和滴定と中和滴定曲線を用いた中和点の決定を取り入れている。中和点の決定という 1 つの課題に対して複数の解決方法が存在することを実験を通して学ぶことで、課題解決においてはさまざまなアプローチが可能であることを実感させたい。また、教科書や副教材では中和点では電流値が最小になると記載されているが、弱酸である酢酸では異なる結果が得られる（中和点までは電流値が徐々に大きくなり、中和点以降からさらに大きくなるため、電流値の傾きが変わる点が中和点となる）ため、なぜ異なる結果が得られるのかという課題解決を通して、酸・塩基についての理解を深めさせたい。

題 目 電導度滴定による中和点の決定

本時の目標

1. 実験結果から中和点を求めることができる。(思考・判断・表現)
2. 弱酸の電導度滴定で得られたグラフの形状が強酸と異なる理由について科学的に説明することができる。(思考・判断・表現)

本時の評価規準（観点／方法）

1. 実験結果に基づいて作成したグラフを根拠に、中和点を求めることができる。
(思考・判断・表現／実験プリントへの記述)
2. 弱酸でのグラフの形状が強酸とは異なる理由を、電離度が小さいことや塩が完全に電離していること、 OH^- は電気伝導度が大きいことなどの科学的な根拠に基づいて説明することができる。(思考・判断・表現／実験プリントへの記述)

本時の学習指導過程

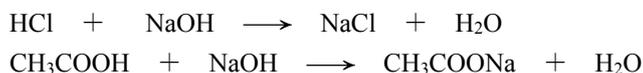
学習内容	学習活動	指導上の留意点・評価 (●)
<p>導入</p> <p>○前時の学習内容の確認</p> <p>○本時の学習内容の確認</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: fit-content; margin: 5px auto;">見通す</div> <p>展開 1</p> <p>○実験：電導度滴定</p> <p>展開 2</p> <p>○問題提起</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: fit-content; margin: 5px auto;">見える</div> <p>終結</p> <p>○課題解決</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; width: fit-content; margin: 5px auto;">追求する</div>	<p>○前時の塩酸（強酸）と水酸化ナトリウム（強塩基）の滴定の結果を確認する。</p> <p>○本時は弱酸である酢酸と水酸化ナトリウムの電導度滴定を行うことを確認し、結果を予想する。</p> <p>○実験プリントの方法に沿って実験を行う。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・0.1 mol/L 酢酸水溶液 10 mL に 0.1 mol/L の水酸化ナトリウム水溶液を滴下し、1 mL ごとに電流値を測定する。 <p>○実験結果をグラフ化する。</p> <p>○グラフから中和点を求める。</p> <p>○グラフの形状が、塩酸と水酸化ナトリウムと異なることに気づき、その理由について考察する。</p> <p>○期待される考察</p> <ul style="list-style-type: none"> ・酢酸は弱酸であり、水溶液中のイオン量が少ないので、電流値が小さい。 ・中和で生じる酢酸ナトリウムは完全に電離しているため、中和するごとに水溶液中のイオン量が増加するから電流値が徐々に大きくなる。 など 	<p>○強酸と強塩基では電流値の値が中和点までは減少し、中和点を超えると増大することを確認させる。</p> <p>○本時は弱酸が対象であることを確認させる。また、どのような結果が得られるかという問いかけを行ってから取り組ませる。</p> <p>○実験時間短縮のため、0.1 mol/L 酢酸水溶液 10 mL は、授業者が事前にはかり取っておく。</p> <p>○次の点に注意させる。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・安全眼鏡の着用。 ・水酸化ナトリウム水溶液の取り扱い。 ・電流値を測定するときのみ、スイッチを入れる。 <p>○中和点の値にはこだわらず、グラフから中和点を求めることができるかどうかを考察させる。</p> <p>●グラフの形状を根拠に、中和点を求めることができる。【思考・判断・表現】</p> <p>○塩酸の結果と比較し、何か異なる点がないかなどと問いかける。</p> <p>●弱酸でのグラフの形状が異なる理由を科学的な根拠に基づいて説明することができる。【思考・判断・表現】</p>
<p>備考</p> <p>使用教科書：高等学校化学基礎（第一学習社）</p> <p>副教材：協調学習 I 「5 酸と塩基の反応」、フォトサイエンス化学図録（数研出版）</p> <p>準備物：0.1 mol/L 酢酸水溶液、0.1 mol/L 水酸化ナトリウム水溶液、ビーカー（50 mL、300 mL：廃液用）、ビュレット、ビュレット台、漏斗、マグネチックスターラー、攪拌子、電源装置、電流計、ステンレス電極（電極には絶縁テープを巻き、水溶液にふれる電極の表面積を一定にしている）、みのむしクリップ付き導線、簡易スイッチ、ピンセット</p>		

【実験（エピソード）】電導度滴定による中和点の決定

目的 酸（強酸として塩酸，弱酸として酢酸）に，塩基（水酸化ナトリウム水溶液）を加えたときの電流値から，中和点を求める。

準備 □ホールピペット □ビュレット □ビーカー（50 mL，300 mL：廃液用）
□安全ピペッター □漏斗 □ビュレット台 □攪拌装置 □攪拌子 □電源装置
□電流計 □ステンレス電極 □簡易スイッチ □みのむしクリップ付き導線
□ピンセット
□0.1 mol/L 塩酸 HCl □0.1 mol/L 酢酸 CH₃COOH 水溶液
□0.1 mol/L 水酸化ナトリウム NaOH 水溶液 □蒸留水

原理 水溶液中のイオンの種類や濃度が変化すれば，電気伝導度が変わる。また，H⁺や OH⁻の電気伝導度は，他のイオンに比べて大きい。そのため，酸に塩基を加えていくと，水溶液中の H⁺が減少し，中和点では電気伝導度が最小になる。中和点を過ぎると OH⁻が増加するにつれて電気伝導度が大きくなる。このことを利用して中和点を求めることができる。なお，本実験での中和反応は次の化学反応式で示される。



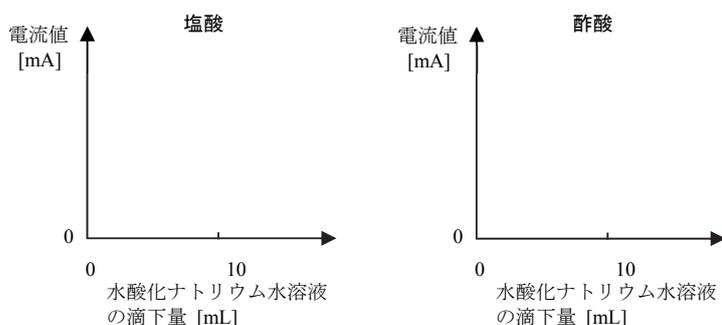
方法

- 1 ホールピペットとビュレットの共洗いを行う。
- 2 0.1 mol/L 塩酸をホールピペットで 10.0 mL はかりとり，ビーカー（50 mL）に入れる。
- 3 ビュレットに，0.1 mol/L 水酸化ナトリウム水溶液を入れ，滴下の準備をする。このとき，通常の使い方には反するが，水酸化ナトリウム水溶液の滴下量を分かりやすくするために，0 mL や 1 mL になるように調整しておくといよい。
- 4 2のビーカーに攪拌子を入れ，電流値が測定できるように装置を組む。電流計は 50 mA につなぐ。
- 5 電圧を 4 V にし，攪拌させながら，簡易スイッチを ON にし，滴下前（滴下量 0 mL）の電流値を測定する。測定後はすみやかに簡易スイッチを OFF にする（電流を通じたままにしておくと電気分解が起こる）。ON と OFF は簡易スイッチで行い，電源装置は ON のままにしておく。
- 6 攪拌させながら，水酸化ナトリウム水溶液を 1 mL ずつ滴下し，そのつど電流値を記録する。電流値をはかるときのみ，簡易スイッチを ON にし，それ以外は OFF にしておく。また，測定前にはステンレス電極を溶液中で揺らすなどして，電極表面に付着した気泡を除去する。なお，滴下量は 16 mL までとする。
- 7 酢酸水溶液についても同様に実験する。ステンレス電極と攪拌子を洗浄し，水気を取り除いてから行う。

注意

- 1 安全眼鏡の着用
- 2 電源装置の取り扱い
- 3 廃液回収

予想 どのような結果が得られると
考えられるか。



結果

1 塩酸

滴下量 [mL]	0.00							
電流値 [mA]								
滴下量 [mL]								
電流値 [mA]								
滴下量 [mL]								
電流値 [mA]								

2 酢酸

滴下量 [mL]	0.00							
電流値 [mA]								
滴下量 [mL]								
電流値 [mA]								
滴下量 [mL]								
電流値 [mA]								

結果の処理

結果をグラフ化せよ。

考察

- 1 グラフから、それぞれの中和点を求めよ。また、その値を中和点とした根拠も示せ。

塩酸 _____ mL 根拠

酢酸 _____ mL 根拠

- 2 塩酸と酢酸のグラフの形状について、なぜそのような形状になるのかについて説明せよ。

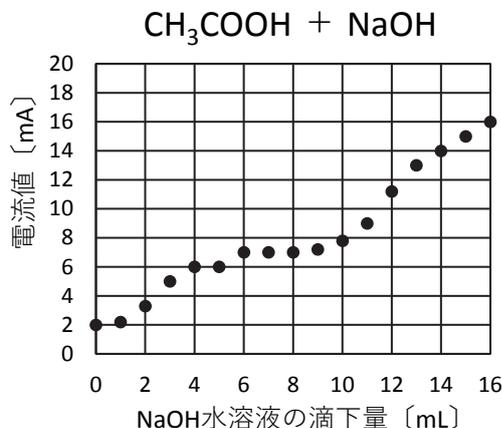
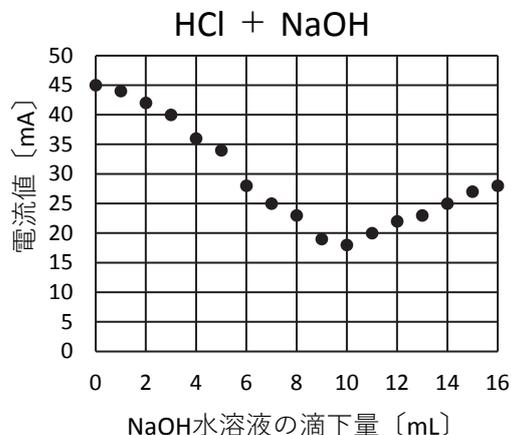
年 組 番 名前	班番号
実験日時 年 月 日 曜日 限	気温 °C 気圧 Pa
共同研究者	

指導上の留意点

1. 授業実践について

1-1. 実験結果について

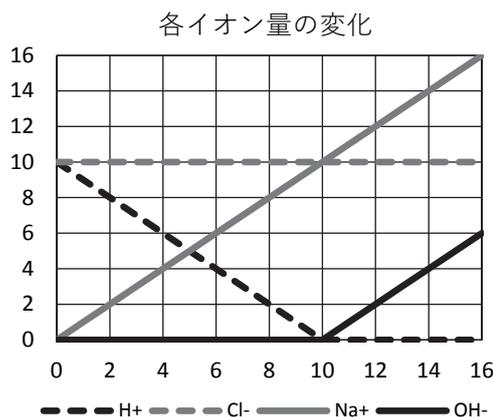
授業者が4Vで実施したところ、下記のような実験結果が得られた。また、ステンレス電極には絶縁テープを巻き、水溶液にふれる電極の表面積が一定になるようにした。



① HCl+NaOH について

塩酸に水酸化ナトリウム水溶液を滴下した場合、電流値は徐々に小さくなる。このことについては、2つの説明ができる。1つは、滴下によって水溶液の全量が増え、水溶液中のイオンのモル濃度が小さくなること。もう1つは、中和点まではイオンの物質量(全量)は変化しない(右図)が、Na⁺よりも電気伝導度が大きいH⁺が中和によって減少すること。

過不足なく中和が起こった後は、水酸化ナトリウム水溶液の滴下による、Na⁺とOH⁻の増加に伴って、電気伝導度の大きいOH⁻が増加するため、電流値が徐々に大きくなる。これらのことから、電流値が最小となる滴下量が中和点であり、中和点を求めることができる。



NaOH 水溶液の滴下量が 0 mL のときの HCl の量を 10 としてグラフ化している。

② CH₃COOH+NaOH について

酢酸は電離度が小さい弱酸であるため、酢酸水溶液中で生じているイオン(CH₃COO⁻とH⁺)が少ないため、滴下前の酢酸水溶液の電流値は塩酸に比べて非常に小さい。酢酸に水酸化ナトリウム水溶液を滴下すると、電流値は徐々に大きくなる。これは、中和によって生じた塩である酢酸ナトリウムCH₃COONaは、水溶液中では、ほぼ完全にCH₃COO⁻とNa⁺に電離しているため、水酸化ナトリウムを滴下するごとに、水溶液中のイオンの物質量が増加するからである。中和点を超えると電流値の傾きが中和点前より大きくなる。これは、塩酸と同様で、過不足なく中和が起こった後は、水酸化ナトリウム水溶液の滴下による、Na⁺とOH⁻の増加に伴って、電気伝導度の大きいOH⁻が増加するからである。これらのことから、電流値の傾きが変わるところが中和点であり、中和点を求めることができる。

1-2. 実験後の考察より

① 考察1「グラフから、それぞれの中和点を求めよ。また、その値を中和点とした根拠も示せ。」

中和点とした根拠について、塩酸では「電流値が最小になったところ」または「グラフの点を結び、

両傾きの直線の交わる点」を、酢酸では「電流値の傾きが大きく変化するところ」のような期待する解答を記載していた。

② 考察2「塩酸と酢酸のグラフの形状について、なぜそのような形状になるのかについて説明せよ。」

塩酸については、教科書や副教材に電流値による中和点の求め方として同形のグラフが示され説明もされているため「 H^+ と Cl^- に Na^+ と OH^- を加えると $H_2O+Na^++Cl^-$ になる。 H^+ より Na^+ の方が電気伝導度が低いので電流が小さくなる。その後、 $NaOH$ と Na^+ と OH^- が増えるから。 OH^- は電気伝導度が大きいから」のような期待する解答をほとんどの生徒が記載していた。一方で、中和点で電流値が0にならない理由について「 Na^+ と Cl^- が電離しているため」のようなイオンの存在について記載していた生徒は5名しかいなかった。

酢酸では、評価規準で示したように「ア. 酢酸は電離度が小さい弱酸であるため、酢酸水溶液中で生じているイオン(CH_3COO^- と H^+)が少ないため、滴下前の酢酸水溶液の電流値は非常に小さい」、
「イ. 中和で生じる塩である CH_3COONa は水溶液中では電離して Na^+ と CH_3COO^- になるため、 $NaOH$ 水溶液を滴下するたびに Na^+ と CH_3COO^- が生じてイオン量が増加するので、電流値が徐々に大きくなる」、
「ウ. 中和点以降は水酸化ナトリウム水溶液の滴下による Na^+ と OH^- の増加に伴って、電気伝導度の大きい OH^- が増加するため、電流値がより大きくなるので、傾きが大きくなる」が期待する解答であるが、これらア～ウの3点について正しく記載していた生徒は2名のみであった。イとウの2点について正しく記載していた生徒は7名、アについてのみ正しく記載していた生徒が1名、イについてのみ正しく記載していた生徒が5名、ウについてのみ正しく記載していた生徒が6名であった。グラフの形状について既習内容を活用して説明できている生徒は少ない結果であった。

1—3 授業を終えて

昨年度までは、1時間目に塩酸と酢酸の両方について電流値を測定させ、次の1時間でグラフ化と考察を行わせていた。この場合、塩酸と酢酸の両方のグラフを見比べながらの考察になるため、今回の授業よりももう少しスムーズな話し合いが進行した印象がある。今回の授業では、生徒が実際に実験の様子と考察を合わせた授業展開をご覧いただき、ご意見をいただきたいという意図で、酢酸の実験→考察という展開にした。来年度からは昨年度までと同様に、まずは塩酸と酢酸の両方の実験を行わせ、2つの結果を見比べながら考察を行うという展開に戻す予定である。

また、来年度からは下記のような点に注意して考察を行わせたい。

- ・塩酸の考察では、まず1—1で示した各イオン量の変化を正しく確認させ、全イオン量は滴下前と中和点までの滴下中は同じであり一定であるということを理解させる。
- ・次に、水溶液の体積は滴下によって増えることと全イオン量が一定である(変わらない)ことからイオン濃度は一定の割合で小さくなる。→つまり電流値の傾きは直線になる。→しかし、直線よりもより小さくなる割合で減少している。→なぜか?→イオンの種類によって電気伝導度が異なるからでは?のように科学的に順序だてて考えさせる展開を通して理解を深めさせたい。
- ・また、1—2の②で示したように、塩酸では中和点で電流値が0にならない理由を答えた生徒は5名しかいなかったことや、酢酸ではア～ウに相当する説明を3つとも書いていた生徒は2名しかいなかったことを受けて、「中和点で電流値が0にならないのはなぜか」、「酢酸の電流値は塩酸と比べて小さいのはなぜか」、「 $NaOH$ 水溶液を滴下するたびに電流値が徐々に大きくなったのはなぜか」などのように、グラフの形状ごとの問いかけを行い、考察するポイントを明確する必要があることが分かった。

2. 研究協議より

- ・今回の実験で「電流が流れることで中和点を見極められる」という道のを生徒が提案した、とあ

りましたが、どのくらい生徒の提案を拾っていたのでしょうか。提案はさせたけれど、授業者側でレールを敷いておいて、意図した提案が出るように持っていったのでしょうか、その度合を教えてください。

→電流値によって中和点を求めるという方法は教科書や副教材に記載されているので、生徒がそれを見つけて提案をしてることが多いため、授業者側でレールを敷くということはありません。ただ、実験方法は授業者が実験プリントを準備し、それに沿って実験をさせるので、電流値の測定方法については生徒提案ではありませんので、レールを敷いているとも言えるかもしれません。

・今回、机間指導をされていて、生徒の発言の中で、今日の授業のポイントだと想定されている言葉や内容がありましたか。

→今日の授業で生徒に答えて欲しかったのは、酢酸ナトリウムが完全電離しているという点です。先生方も同じだと思いますが、生徒は思いのほか、塩が完全に電離していることを理解していません。ですので、今回の実験の電流値の大きさや変化から塩の完全電離について言及して欲しかったです。酢酸は弱酸で電離度が小さい→だからイオンが少ない→つまり電流値が小さい。NaOH水溶液を滴下するごとに電流値が大きくなった→イオンが増えたから？→なぜイオンが増えたの？→中和で生じる塩の酢酸ナトリウムが電離して酢酸イオンとナトリウムイオンになっており、NaOH水溶液を滴下するごとにイオンの量が増えるから？のような会話が聞こえてくることを期待していました。

・総合的な探究の時間で、水酸化ナトリウムと塩酸の中和実験は普段フェノールフタレインで行っているが、電気伝導性を用いた実験の方がもっと分かりやすくなるのではないかと、などと生徒といろいろと考えていたという経緯があります。その時の生徒の予想の中に、中和したときに電流がゼロになるというものがあり、今日も生徒の書いていたプリントをみて同じ予想をしている生徒が多かったです。今日の実験の考察で、 H^+ と Na^+ の電気伝導性の違いが気になってくるが、前回の実験の予想と終わりで、 H^+ と Na^+ の電気伝導性について生徒の理解がどのような状況だったのか、どのようなフォローをしたのか気になります。また、今回の考察でもこの点を使って考えてほしかったのか、というのが聞きたいです。

→前時について説明不足でした。前時はグラフ化までしかできておらず、中和点やグラフの形状について考察させることができずに、今日の授業を行っております。したがって、 H^+ と Na^+ の電気伝導性の違いについて理解させるという点では不十分になっており、また、最下点がゼロにならないということについての抑えもできておりません。こうした考察を済ませた上で本時の予定でしたので、前時の考察の不十分さが今日の話合いが上手くいかなかった原因の一つかもしれません。

・電流値が徐々に上がっていくことについて議論していく、とのことですが、今のグループ内で話し合いはされていますが、グループ同士で話し合ったりするのか、今後の展開や広がりについて教えて欲しい。

→今日はホワイトボードを使わせましたが、そのまま次の時間も引き続き使わせて、グループでの考えを整理させ、グループの考えについてお互いに発表して共有する、という流れで進めています。グループ同士での話し合いによる交流は行う予定はございません。

参考文献

野田亮一郎、「電導度滴定の実験と高等学校教育課程との関係」、『化学教育』、第21巻、第3号、pp. 247-250、1973。