


# 指導資料

# 理科 第332号

 鹿児島県総合教育センター  
令和3年10月発行

対象  
校種

高等学校  
特別支援学校



## ICTを活用した高校化学の授業展開例 —中和滴定実験を題材として—

化学の実験には、実験結果を出すまでに時間がかかるものもあり、考察の時間が十分に確保できなかったり、考察の段階において生徒の学習意欲が低下したりすることがある。ここでは、これらの解決の一助とすべく、ICTを活用し、思考力・判断力・表現力を育む授業展開例を紹介する。

### 1 育成を目指す資質・能力とその内容

高等学校学習指導要領(平成30年告示)における「化学基礎」及び「化学」の目標は、高等学校理科の目標を受け、化学的な事物・現象に関わり、理科の見方・考え方を働かせ、見通しをもって観察、実験を行うことなどを通して、化学的な事物・現象を科学的に探究するために必要な資質・能力を育成することである。化学が対象とする事物・現象は、一般的に実験室で取り扱えることが多く、観察、実験を中核とした探究の過程を踏まえた学習活動を行うことが大切である。特に、育成を目指す三つの資質・能力の「思考力、判断力、表現力等」について示している「内容イ」には、「～について、観察、実験などを通して探究し、～における規則性や関係性を見いだして表現すること。」と記されており、さらに、以下に示す項目について実験などを行うことが明示されている。

#### 【化学基礎】

- (1) 化学と人間生活
  - (ア) 化学と物質
    - ①物質の分離・精製
    - ②単体と化合物
- (2) 物質の構成

#### (3) 物質の変化とその利用

- (ア) 物質と化学反応式
  - ①化学反応式
- (イ) 化学反応
  - ⑦酸、塩基と中和

#### 【化学】

- (1) 物質の状態と平衡
  - (イ) 溶液と平衡
    - ①溶液とその性質
- (2) 物質の変化と平衡
  - (ア) 化学反応とエネルギー
    - ⑦化学変化と熱・光
- (3) 無機物質の性質
  - (ア) 無機物質
    - ⑦典型元素
- (4) 有機化合物の性質
  - (ア) 有機化合物
    - ①官能基をもつ化合物

※ 下線は本資料で紹介する題材で筆者による。

### 2 ICTの活用例と期待される効果

高等学校学習指導要領(平成30年告示)には、理科の内容の取扱いの配慮事項として、「各科目の指導に当たっては、観察、実験の過程での情報の収集・検索、計測・制御、結果の集計・処理などにおいて、コンピュータや情報通信ネットワークなどを積極的かつ適切に活用する」ことが明示されている。そこで理科の授業においては、次のようなICTの活用が考えられる。

(1) 専門機関のWebサイトからの情報収集  
最新の情報・最先端の知見が得られる。  
また、生徒の興味・関心の喚起につながる。  
情報の信頼度の検討や引用の明確化に留意  
したい。

(2) センサを用いた計測・制御  
短時間で正確なデータが得られる。一人  
一人がデータを取得し、考察・推論が可能  
である。操作の意味の理解に留意したい。

(3) データ処理ソフトによる表やグラフの  
作成  
データの共有や短時間で考察を深めるこ  
とが可能である。グラフ化等の技能の習得  
機会の確保に留意したい。

(2)や(3)について、データが可視化される  
ことで、データを比較して共通点や相違点を  
確認しながら、そこに見られる規則性や関係  
性を見いだすことが容易になる。そこから新  
たな問いを生み出すことも可能となる。

### 3 中和反応に関する指導上の課題

(1) 鹿児島県公立高等学校入学者選抜学力  
検査(理科)から

令和3年3月実施の鹿児島県公立高等学校  
入学者選抜学力検査において、**図1**の大問**2**の

II ある濃度のうすい塩酸とある濃度のうすい水酸化ナトリウム水溶液を混ぜ合わせたときに、ど  
のような変化が起こるか調べるために、次の実験を行った。

実験 うすい塩酸を10.0 cm<sup>3</sup>はかりとり、ビーカーに入れ、緑  
色のBTB溶液を数滴加えた。次に、**図**のようにこまごめピ  
ペットでうすい水酸化ナトリウム水溶液を3.0 cm<sup>3</sup>ずつ加え  
てよくかき混ぜ、ビーカー内の溶液の色の変化を調べた。

表は、実験の結果をまとめたものである。

表

加えたうすい水酸化ナトリウム 水溶液の体積の合計 [cm <sup>3</sup> ]	0	3.0	6.0	9.0	12.0	15.0	18.0	21.0
ビーカー内の溶液の色	黄色	黄色	黄色	黄色	緑色	青色	青色	青色

4 次の文は、実験におけるビーカー内の溶液の中に存在している陽イオンの数について述べた  
ものである。次の文中の **[a]**、**[b]** にあてはまる最も適当なことをとして、「ふえる」  
「減る」、「変わらない」のいずれかを書け。

**正答率 20.1%**

ビーカー内の溶液に存在している陽イオンの数は、うすい塩酸10.0 cm<sup>3</sup>のみのときと  
比べて、加えたうすい水酸化ナトリウム水溶液の体積の合計が6.0 cm<sup>3</sup>のときは **[a]** が、  
加えたうすい水酸化ナトリウム水溶液の体積の合計が18.0 cm<sup>3</sup>のときは **[b]**。

図1 鹿児島県公立高等学校入学者選抜学力検査(理科)より一部転載

II 4の正答率は20.1%と低い数値であった。

大問**2**は粒子領域の問題であり、IIは中和  
反応に関する問いである。4の水溶液中の陽  
イオンの数については、中和反応における量  
的關係を理解することはもちろん、溶液中で  
の粒子の様子(モデル)がイメージできなく  
ては正解に至らない。この粒子概念について  
は、高等学校の化学でも引き続き系統的に学  
習していくことになる。

(2) 大学入試共通テスト(化学)から

令和3年1月31日実施の大学入学共通テ  
ストでは、**図2**のような出題があった。

問2 入浴剤中のコハク酸に関する次の文章を読み、次ページの問い(a~c)に答  
えよ。

図2に水酸化ナトリウムNaOH水溶液によるコハク酸水溶液の滴定曲線の  
例を示す。コハク酸は2価のカルボン酸であるが、1段階目と2段階目の電離  
定数が同程度であるため、滴定曲線は2段階とならず、見かけ上、1段階とな  
る。

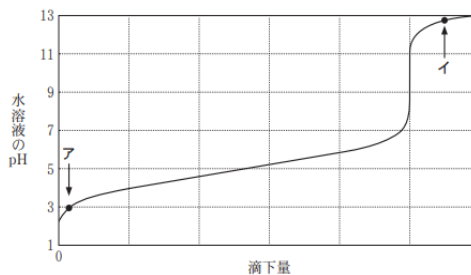


図2 コハク酸水溶液のNaOH水溶液による中和滴定曲線

実験III 10.00 gの試料Xに、**(a)**塩酸を十分に加えて、問1の式(1)・(2)の反応を  
完了させて水溶液を得た。コハク酸が分解しない温度でこの水溶液を加熱  
し、乾燥したのち、**(b)**水を加えてさらに加熱・乾燥することを繰り返して  
塩化水素を除去し、NaClとコハク酸を含む固体を得た。この固体に**(c)**水  
を加えて溶かし、水溶液Yを得た。

次に、**(d)**1.00 mol/LのNaOH水溶液を調製し、これによりフェノールフ  
タレインを指示薬として水溶液Yの中和滴定を行った。

c 実験IIIを何度か行ったとき、コハク酸の質量が正しい値よりも小さく求ま  
ることがあった。そのようになった原因として考えられることを、次の①~  
④のうちから一つ選べ。 **32**

- ① 下線部(a)で、加えた塩酸の量が十分でなく、NaHCO<sub>3</sub>やNa<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>が  
残っていた。
- ② 下線部(b)で、繰り返しの回数が少なく、塩化水素が残っていた。
- ③ 下線部(c)で、加えた水の量が、正しく求めたときよりも多かった。
- ④ 下線部(d)で、実際に用いたNaOH水溶液の濃度が1.00 mol/Lよりも低  
いことに気づかず、滴定した。

図2 大学入学共通テスト(化学)の一部転載

この問いは、入浴剤の中に含まれるコハク  
酸の質量を求める実験であるが、定量的な計  
算だけでなく、実験の考察について様々な要  
素を組み合わせた高い思考力、判断力、表現

力等を必要とする出題となっている。共通テストの出題方針では、科学に関する基本的な概念等の理解に基づく科学的リテラシーが、発揮される過程を重視し、日常生活や社会と関連した課題等を科学的に探究する問題を出題する。例えば、日常生活における身近なものを試料として扱う実験に関する問題や初見の資料を読み、別々の単元で学習した内容を統合し考察する問題などが想定されている。

中和反応に関する問いは化学基礎および化学の大問においてほぼ毎年出題されている。化学では、電離平衡や塩の加水分解、緩衝液と関連させた出題もみられる。

授業においては、単に実験を進めるのではなく、探究の過程を踏まえて実験操作の意味や結果の見通しなどの確認をしながら進めていく必要がある。さらに、図やグラフなどのデータを読み取って考察したり、得られた結果を振り返り、思考したりする力を育てるための工夫が必要である。

#### 4 中和滴定における実験例

前項で述べた粒子概念や思考力や判断力、表現力等を育成するために、ここでは水酸化ナトリウム水溶液を用いて、食酢中の酢酸の質量パーセント濃度を求める実験を例として二つの工夫を紹介する。

##### (1) レポート用紙

一般的には、まず結果として始点と終点を記録し、そこから滴定値を算出する。次に考察として食酢中の酢酸のモル濃度を求め、最終的に質量パーセント濃度まで計算するという流れであるが、**図3**のように各班のデータと自分の班のデータ、実際（市販ラベル）の濃度と比較して、数値が高くあるいは低く出ている場合に、その理由を考えさせたい。その際、実験手順を振り返り、試薬調製や測定誤差など、様々な角度から主体的に思考させ、また個人、グループ内、グループ間でもしっかりと考える時間を与えたい。

【考察Ⅱ】

1. 各班のデータ（食酢中の酢酸の質量パーセント濃度）の平均値を自分の班と比較して、数値が高く（あるいは低く）出ている場合、その理由を考察せよ。  
※差がなかった場合は、数値が高く（あるいは低く）出た場合に考えられる理由を推察せよ。

1班	2班	3班	4班
5班	6班	7班	8班
9班	10班	平均値	実際の市販ラベル

(数値が高く出る理由)

(数値が低く出る理由)

[各班の考察のまとめ]

図3 レポートの考察例

##### (2) ICTの活用

通常、中和滴定の実験で滴定曲線を描くには、途中滴下を止め、pHメーターにより繰り返しデータを測定し記録することが必要となるため、多くの時間を要する。また、実験自体が食酢の濃度決定を目標としている場合が多いことから、滴定曲線を描くことはしないケースが多いと思われる。併せてpHメーターの所持数が少ないことも滴定曲線を描かない理由として考えられる。

##### ア 使用した道具

ワイヤレスpHセンサ、ドロップカウンタ、タブレット（Bluetooth機能付き）、データ処理ソフト、滴定器具一式

##### イ 実験内容

ビュレット台にドロップカウンタを設置し、コニカルビーカーの内部にpHセンサをセットし、滴定操作を行った。

##### ウ 実験の様子と結果



写真1 滴定器具

写真2 滴定の様子

水酸化ナトリウム水溶液の滴下に合わせてpHが測定され（写真1, 2）、そのデータがタブレット上で処理されて、リアルタイムで滴定曲線が描かれる（図4）。

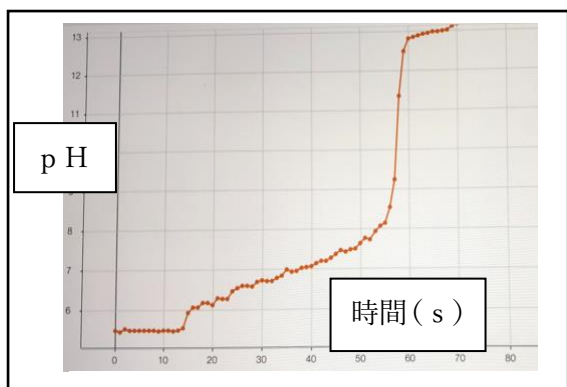


図4 酢酸と水酸化ナトリウムの滴定曲線

#### エ この授業の考察

① 滴定におけるいわゆる「最後の1滴」とpHジャンプが、溶液の色の変化（無色から赤色）と滴定曲線のグラフ化という二つの視覚的情報によってつながり、新たな気付きや納得が生じ、強く印象に残ると思われる。

② pHセンサを使用する目的が、滴定曲線の概形を確認するというのであれば、濃度の決定は通常どおり行い、ドロップカウンタなしでも可能である。

③ 本実験における滴定は、弱酸と強塩基によるものであり、滴定曲線の形を滴定と同時に確認することができる。強酸と強塩基によるものなども滴定曲線の形の確認が容易にできる。図5は、塩酸（強酸）と水酸化ナトリウム（強塩基）を用いた滴定曲線である。

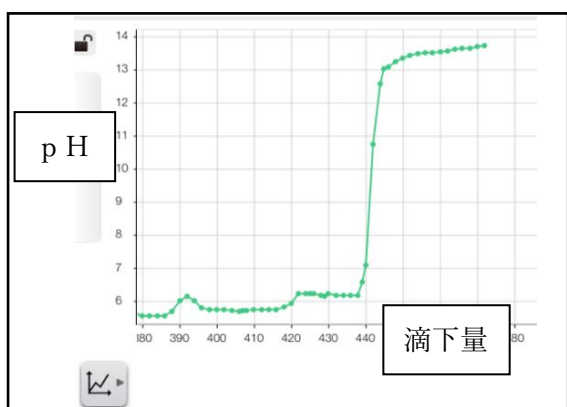


図5 塩酸と水酸化ナトリウムの滴定曲線

生徒が滴定曲線について、気付いたことを発言し考察する中で、教師が図6のように弱酸の電離平衡や緩衝液、塩の加水分解の話題へと展開することが可能である。「化学基礎」の段階で少し触れておき、この実験を「化学」

の化学平衡の授業のタイミングで再実施するのも効果的であると思われる。

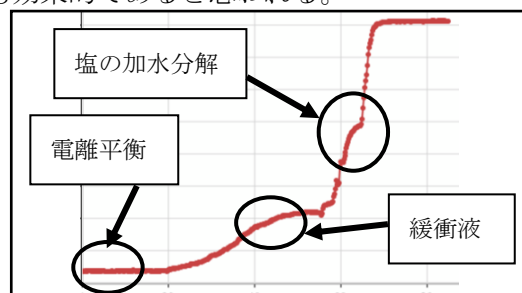


図6 滴定曲線イメージ

#### オ 更なる工夫

① 温度センサを使用すると、温度変化もグラフに重ねられるため、中和反応の進行に合わせて温度が上昇することが視覚的に理解できる。また、温度変化と滴定のデータから中和熱を実際に求めることも可能となる。

② 導電率センサを使用すると、導電率もグラフに重ねられるため、反応の初めから、中和点以降のイオンの数の変化を考えることができる。その際、導電率の変化を踏まえて、溶液に含まれる四つのイオン（水素イオン、水酸化物イオン、ナトリウムイオン、酢酸イオン）が中和反応により、それぞれどのような変化をするのか、併せて考えさせたい。

## 5 終わりに

今回、例示した中和滴定の実験結果も一度は自分で滴定曲線を描くことは大事なことである。ICTの活用によって、操作時間の短縮が図れ、結果から考察への流れがスムーズになる。その分、考察の時間や一つの実験でも様々な手法を扱うための時間の確保が可能となり、生徒の学習意欲の高揚にも効果がある。実験方法や考察の授業展開を一工夫し、思考力、判断力、表現力等を育成したい。

#### —引用・参考文献—

- 独立行政法人大学入試センター『大学入試共通テスト令和3年度』令和3年
- 文部科学省『高等学校学習指導要領解説理科編理数編』平成31年、実教出版
- 文部科学省『理科の指導におけるICTの活用について』令和2年
- 鹿児島県総合教育センター「指導資料理科第327号」令和3年

（教科教育研修課 脇田 健吾）