

〈化学〉

物質とその変化を微視的にとらえる見方や考え方を養う指導の工夫

―「酸・塩基」の分野で粒子を具体的にとらえさせる教材・教具の製作を通して―

沖縄県立美来工科高等学校教諭 下 地 正 敏

I テーマ設定の理由

21世紀は、「知識基盤社会」の時代といわれ、現行学習指導要領においても、「生きる力」を育むことがますます重要であるとしている。また、中央教育審議会教育課程特別企画部会の論点整理（2016）では、これからの時代で育成すべき資質・能力の三つの柱として「何を知っているか・何ができか」、「知っていること・できることをどう使うか」、「どのように社会・世界と関わり、よりよい人生を送るか」、を挙げている。これら三つの柱を育成するためには、「アクティブ・ラーニングの視点からの授業改善」、「学習評価の充実」が必要であるとしている。

高等学校学習指導要領で「化学基礎」の目標は、「日常生活や社会との関連を図りながら物質とその変化への関心を高め、目的意識をもって観察、実験などを行い、化学的に探究する能力と態度を育てるとともに、化学の基本的な概念や原理・法則を理解させ、科学的な見方や考え方を養う」としている。高等学校学習指導要領解説理科編理数編では、「科学的な見方や考え方を養う」とあるのは、「身近な物質とその変化への関心を高めること」、「生徒自らが見通しをもって主体的に観察、実験などに取り組む」ことで「物質に関する原理・法則の基礎を理解」させ、「物質とその変化を微視的にとらえる見方や考え方を養うこと」としている。

本校では、「化学基礎」を2学年全学科対象「選択A群」（2単位）の選択科目の1つとして設定している。生徒は、進学に必要な化学に興味・関心があるなどの理由から化学基礎を選択している。しかし授業を受ける生徒の実態として、学習内容や観察・実験に関心があり意欲的に取り組んでいるが、授業が進むにつれ学習意欲が低下したり、観察・実験は行うが、予想したり、結果をもとに考察することを苦手とする者が多い。私は、これら生徒を指導するにあたり内容を細かく教えられるように、モデル図を用いて説明したりしたが、すべての生徒に関心を持続させ、理科の観察・実験において重要な、「予想すること、結果をもとに「考察すること」をうまく指導することができなかった。その原因を考えてみるとまず、化学基礎での内容理解において、生徒が物質の化学変化を原子、分子、イオンの構成が変化するという“微視的”な見方や考え方ができていないためではないかと考える。また、意欲・関心が低下することについては、授業内容を生徒に、日常生活や社会との関わりを意識させ学習内容をどう活かすか考える場を設定できなかったこと、そして授業において生徒が観察・実験の予想や考察を、内容との関わりから考え、見通すなど、生徒の主体的な学びの場をうまく設定できてなかったためではないかと考える。

これらを踏まえ、日常生活と化学の学習を関連付ける観察・実験を取り入れることで、化学への関心を高めたい。また、粒子を具体的にとらえる模型を製作し、問題解決に向け、生徒自らが、粒子の動きや観察・実験の流れを、具体的に見通すことができる実験シミュレーションや実験動画など教材・教具を製作、活用していきたいと考える。

そこで本研究では、「酸・塩基の反応」の学習において、身近な物質を扱う観察・実験を行うことで化学への関心を高め、見えない粒子を具体的にとらえさせる模型や資料を活用することで、物質とその変化を微視的にとらえる見方や考え方を養い、粒子の動きを具体的にイメージできる実験シミュレーションの教具と実験動画を活用することで、予想、考察において見通しをもった学びを行い、化学の基本的な概念の定着につなげたいと考え、本テーマを設定した。

〈研究仮説〉

単元「酸・塩基の反応」の学習において、身近な物質を活用した観察・実験を行うことで化学への関心を高められるだろう。また、粒子を具体的にとらえさせる模型や資料を活用すること、観察・実験に対し、生徒自らが見通しを立てられる教材・教具を活用することで、化学の基本的な概念の定着を図り物質とその変化を微視的にとらえる見方や考え方を養うことができるであろう。

Ⅱ 研究内容

1 実態調査

(1) 目的

- ① アンケート、レディネステストによる調査により生徒の実態を把握し、授業設計をするうえでの基礎資料とする。
- ② 研究仮説を検証する資料とする。

(2) 対象及び実施期日

- ① 対象：県立美来工科高等学校2学年全学科「化学基礎」選択者39名
- ② 実施：平成28年6月下旬、10月下旬

(3) 結果及び考察

これまでの化学基礎の授業において「見通しをもって学習に取り組んでいるか」の質問に対し、「とてもできる」、「できる」との肯定的な回答は、46%であった。また、「粘り強く、工夫や改善をしながら学習に取り組んでいるか」の質問に対し、肯定的な回答は22%であった（図1）。これらより、生徒の多くは「見通しを持って」「粘り強く、工夫・改善して」取り組む主体的な学びとなっていないことが分かった。

「話し合いで考えを深めたり、広げたりできるか」、「自分の考えを他者に伝えることができるか」の質問に対し、肯定的な回答は、それぞれ40%であった（図2）。このことから、60%の生徒は話し合いで考えを深めたり、自分の意見を伝えることが苦手であることが分かった。

「既習事項を活かして、学習に取り組むことができるか」の質問に対し、肯定的な回答は32%であった。「生活の場面と学習を関連づけて考えることはできるか」の質問に対し、肯定的な回答は16%であった。また、「これから学習する酸と塩基の反応に関心があるか」の質問に対し、肯定的な回答は38%であった（図3）。これらのことより、生徒は既習事項を活かしたり、学習の場面を生活と関連付けられておらず、生活と身近な「酸・塩基」について、あまり関心を示せていないことが分かった。

「粒子の動きについて、イメージできるか」の質問に対し、肯定的な回答は27%であった。また、「粒子の動きを、モデル図を用いて説明できるか」の質問に対して、肯定的な回答は8%であった（図4）。これらのことより、生徒は粒子の動きをイメージできず、物質が水に溶けてイオンになるモデル図を用いて説明することが苦手であることが分かった。

また、塩化ナトリウム NaCl 、塩化水素 HCl や水酸化ナトリウム NaOH が水にとけたときの電離しているようすを書かせたところ、正答率は11%、18%、21%であった。また、どの問題も無回答の割合が50%以上であった（図

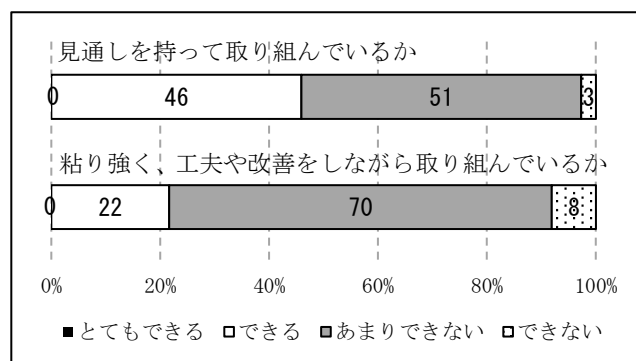


図1 主体的な取り組みに関する自己評価

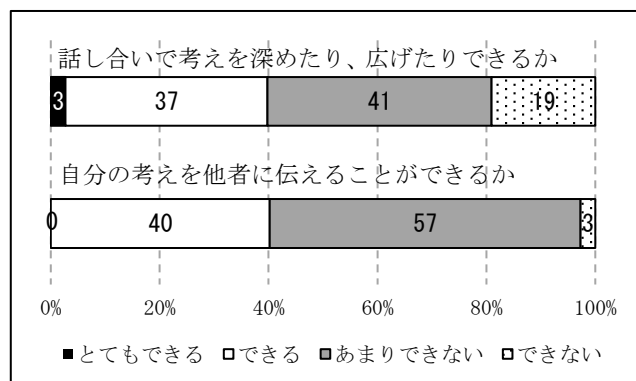


図2 協働的な取り組みに関する自己評価

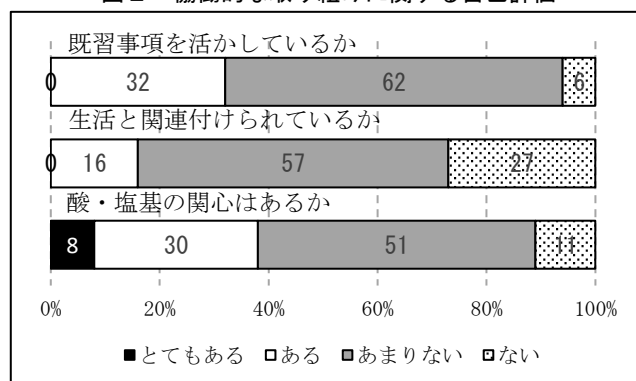


図3 授業の取り組み方と酸・塩基に対する関心

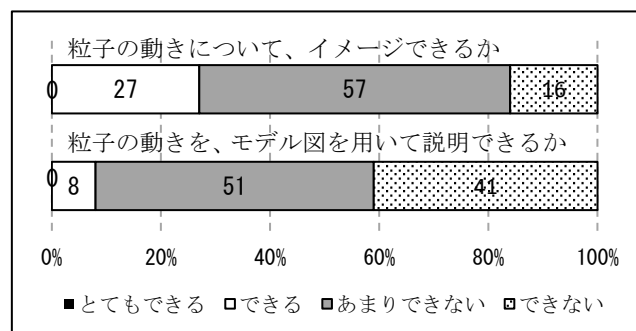


図4 粒子をイメージできる力に関する自己評価

5)。誤答の中には、それぞれの物質の構成粒子がイオンに分かれておらず、原子のまま分かれている様子を書く生徒がいた。これらのことより、過半数の生徒が既習事項である電離について基本的な知識が定着していないことが分かった。

「酸・塩基」の学習を行うにあたり、中学校で学習した塩酸や硝酸、硫酸などの酸に共通して含まれているイオン、水酸化ナトリウムやアンモニア水などの塩基に共通して含まれているイオンを質問したところ、正答率は25%と21%となり、中学校で学習している酸に共通する水素イオンや塩基に共通する水酸化物イオンが知識として定着していないことが分かった(図6)。

塩酸と水酸化ナトリウム水溶液の中和を化学反応式で書かせたところ、正答率は23%で、無回答が67%であった。また、モデル図を用いて完全に中和する様子を書かせたところ、正答率は5%、誤答の割合は62%であった(図7)。誤答の中には、中和反応で生じるのは水であることは分かるが、同時に生じる塩化ナトリウムは書けない生徒がいた。酸・塩基の物質が水に溶解電離のようすをモデル図でも示せるよう指導していき、中和で水と同時に生じる物質について理解させていきたいと考える。

2 仮説検証の手だて

(1) 検証の観点

- ① 酸・塩基の分野への関心を高められたか。
- ② 教材・教具の活用を通して、酸・塩基の分野において微視的にとらえる見方や考え方を養うことができたか。
- ③ 酸・塩基の分野において基本的な知識の定着が図られたか。

(2) 検証の場面・方法

- ① 事前・事後アンケート、生徒の行動分析
- ② ワークシートの分析、生徒の行動分析
- ③ レディネステストの実施と分析、章末テスト・小テストの実施と分析

3 理論研究

(1) 微視的にとらえる見方や考え方について

「岩波科学百科」によると、微視的とは「分子、原子、素粒子など微小な粒子のふるまいに注目したといった意味をしめす言葉である」としている。また、文科省(教育課程部会理科ワーキンググループにおける審議の取りまとめについて)による「見方・考え方」とは、「どのような視点で物事を捉え、どのように思考していくのか」という、物事を捉える視点や考え方であると説明している。

そこで本研究では、「微視的にとらえる見方や考え方」を次のようにとらえた。

「酸・塩基の性質や中和反応におけるこれらの量的関係について、微小な粒子のふるまいをもとに、物質の構成や物質の変化について推論したり考察したりできること」とする。

(2) 主体的・対話的で深い学び(アクティブ・ラーニング)について

アクティブ・ラーニングとは、中央教育審議会教育課程特別企画部会の論点整理(2016)より、「課題の発見・解決に向けた主体的・協働的な学び」とし、次期学習指導要領改訂が学習・指導方法について目指すものとして下記の視点にたって、「学び全体を改善し、子供の学びへの積極的関与と

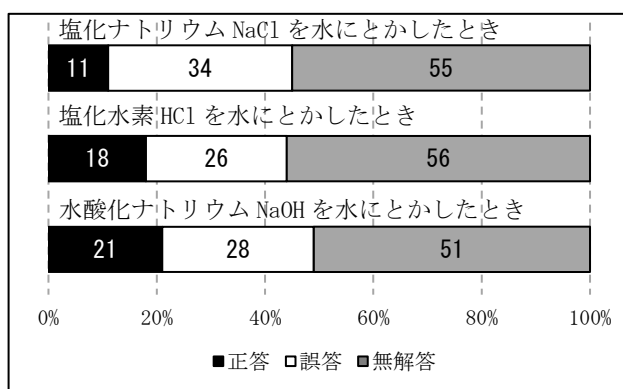


図5 電離のようすの正答率

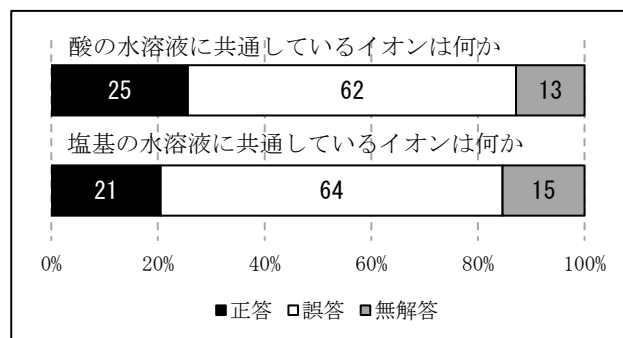


図6 酸・塩基に共通しているイオンの正答率

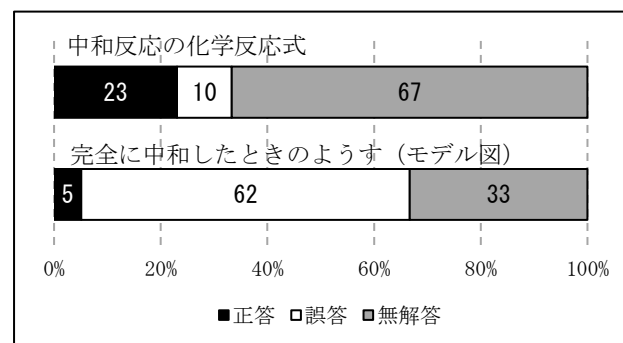


図7 中和反応の正答率

深い理解を促すような指導や学習環境を設定することが重要である」としている。

- ① 習得・活用・探究という学習プロセスの中で、問題発見・解決を念頭に置いた深い学びの過程が実現できているかどうか。
- ② 他者との協働や外界との相互作用を通じて、自らの考えを広げ深める、対話的な学びの過程が実現できているかどうか。
- ③ 子供たちが見通しをもって粘り強く取り組み、自らの学習活動を振り返って次につなげる、主体的な学びの過程が実現できているかどうか。

小林昭文（2015）によると、グループで話し合うのは、メンバーの各々が自分の理解や考えを「外化」しあい、異質な他者の持つ多様性に触れながら、自らの学びを深めることにあり、さらにグループで書いたり、話したり、発表することが、理解のプロセスを外化することになるとしている。また、話し合うという活動の〈外的な能動性〉だけに着目するのではなく、その過程で生じる深い学びという〈内的な能動性〉にこそ留意する必要であり、たとえ理解が不十分なところがあっても「どこが分からないのかをわかる」ことが、次の学びへとつながる重要な契機になり、そうした学びのプロセスは、自分の学びを振り返り、学び方を学ぶという「メタ認知」能力の育成にもつながっているとしている。

(3) 思考ツールについて

田村学・黒上晴夫（2013）によると、思考は手順（①視点を設定する、②視点ごとに言えることを意識させる、③意識したことをつなげて文章にする）を意識させることによって、考えを深められ表したりできるようになるとしている。また、手順を意識させるには、その手順のどこかで考えを書き表す作業を入れるとよいとしており、それによって、とらえどころのない考えを操作する対象として見やすくなるともしている。思考ツールは次のようなことに役立つといわれている（表1）。

表1 思考ツールを活用する利点

①アイデアや問題を視覚化するため
②考えや情報を整理するため
③考えをすぐにフィードバックするため
④学んだこと同士のつながりを明確にするため
⑤意見を友達同士で共有するため
⑥知識を新しくつくりあげるため
⑦考えを評価するため

4 素材研究

(1) 「酸と塩基の反応」に関する教材・教具の製作

① 「酸・塩基」の単元で扱う分子模型

目的：酸・塩基が水に溶け、電離するようすを実感してもらうため。

場面：酸・塩基の価数と電離式

工夫：物質が水に溶け、 H^+ と酸の陰イオン（または OH^- と塩基の陽イオン）に電離するようすをイメージしやすくするために、竹ひごやシール（+、-）を用いた（図8）。原子の種類に合わせ、発泡スチロール球の直径や色は以下の通りに設定した（表2）

材料：発泡スチロール球、竹ひご、シール、ペンキ

表2 発泡スチロール球の直径と色

元素・イオン	H	O	C	Na^+	Cl^-
模型の直径	25	30	35	25	35
色	白	赤	黒	青	緑

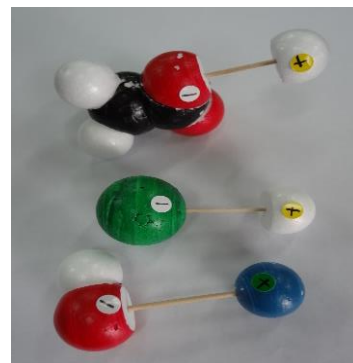


図8 分子模型

② ビュレット模型

目的：中和滴定をシミュレーションし、水素イオン H^+ と水酸化物イオン OH^- の量的関係を認識させ、生徒自らが見通しをもって、実験に取り組むようにするため。

場面：中和滴定実験（見通し）

工夫：実際のビュレットを模したビュレット模型を製作し、黄色のBB弾を水素イオン H^+ 、緑のBB弾を水酸化物イオン OH^- とみたと、量的関係を意識させた（図9）。

材料：プラスチック板、プラスチックコップ、ペットボトル、BB弾、木材



図9 ビュレット模型

③ 電気伝導テストの製作

目的：酸・塩基の強弱（電離度の大小）の違いについて、確認するため。

場面：酸・塩基の強弱

工夫：電子回路の基盤を活用し、豆電球と微弱な電流を感知するLED、電子オルゴールを同じ板に設置し、同じモル濃度の酸・塩基の強弱を、光や音で確認しやすいようにした（図10）。

材料：豆電球、LED、電子オルゴール、乾電池、ソケット、ステンレス針金、電子回路の基盤、SWボタン、ワニ口導線

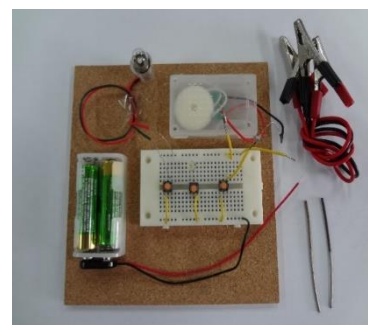


図10 電気伝導テスト

④ 実験説明動画の作成

目的：生徒に実験で注目すべき点を簡潔に分かりやすく説明するため。

場面：酸・塩基の性質、酸・塩基の強弱、pHと指示薬、中和滴定

工夫：実験の流れや実験器具の扱い方を簡潔にまとめた。また、実験で扱う試薬や器具の名称を示し、近くに試薬や器具をおいた。

⑤ 酸・塩基指示薬に関心を持たせる観察・実験の工夫「酸・塩基指示薬を用いて中和反応で虹をつくろう（生徒実験）」

目的：酸・塩基の反応に対する関心を引き出し、pHと指示薬の変色域の関係の理解を深めるため（図11）。

場面：pHと指示薬

手順：ア 試験管にクエン酸を小さじ2杯入れ、魔法の液体を2～3滴入れる。

イ 蒸留水を試験管の2/3程度入れる。

ウ アンモニア水を数滴入れ、色の境界面を静かにガラス棒でかき混ぜる。

試薬：魔法の液体（メチルレッド、チモールブルー、プロモチモールブルー、フェノールフタレインを混合）、クエン酸、アンモニア水

材料：試験管、ガラス棒、薬さじ、ピペット

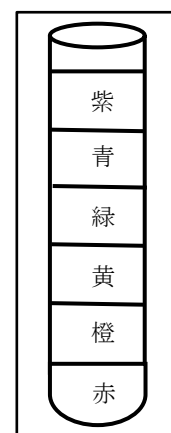


図11 虹の再現図

⑥ 中和反応に関する観察・実験の工夫

目的：身近な酸と塩基の物質を扱って観察・実験を行い、生徒に予想させながら、中和反応を目に見えるようにし、酸と塩基の反応に対する関心を引き出すため。

場面：中和反応

実験ア クエン酸と重曹の反応

手順と工夫：「酸であるクエン酸と塩基である重曹を混ぜるとどうなるか？」という実験を行った。粉末だけでは反応は起こらず、水を加えることによって酸と塩基の性質が現れ、さらにお互いの性質を打ち消しあい、中和反応が起こることを理解する。また、この反応をフィルムケースの中で行うと、数秒で二酸化炭素が充満し爆発する現象を観察させ、気体発生危険性を認識させた。

器具・試薬：クエン酸、重曹、蒸留水、フィルムケース、プラスチックコップ

実験イ 紅芋の色素（アントシアニン）とドライアイスの反応

手順と工夫：「重曹の水溶液にドライアイスを入れると、どんな変化が起こるか？」という実験。紅芋や紫キャベツの色素であるアントシアニンは、酸と塩基の指示薬として利用できる。強酸（赤）から弱酸（ピンク）、中性（紫）、弱塩基性（青や緑）、強塩基性（黄）にかけて色の変化を見ることができる。この実験では、大きめのメスシリンダーに重曹を入れ、アントシアニンの色素を少量加えた後、蒸留水をメスシリンダーの2/3程度まで入れる。そこにドライアイスを入れると、溶液にドライアイスが溶け、溶液の中で中和反応が起こり、塩基性（青）、中性（紫）、酸性（ピンク）へと瞬時に変化していくようすを観察させる。

器具・試薬：重曹、紅芋パウダー、蒸留水、ドライアイス

⑦ 「思考ツール」を用いたワークシート作成

思考ツールの中心核にテーマを書き、それに関連して思い浮かんだことをまわりのマスに書き出すものを取り入れた。今回の研究では、思考ツールの中心核には授業や観察・実験のめあてを書き、そのまわりのマスに、微視的な見方や考え方ができる視点を与え、観察・実験の中でどこ

に意識を向ける必要があるか考えさせながら問題解決させた（図12）。

Ⅲ 指導の実際

1 単元名 「酸と塩基」

2 単元設定の理由

(1) 教材観

本単元は、酸、塩基と中和反応について観察・実験を行い、「酸、塩基の性質」や「中和反応におけるこれらの量的関係」に関する基本的な概念や法則を理解させることが主なねらいである。

中学校では、「酸・アルカリとイオン」で、酸とアルカリの性質や中和により水と塩が生成することと、pHは7を中性として酸性やアルカリ性の強さを表していることについて学習している。

身近な食酢やレモンなどの酸の物質、身近な洗剤や虫刺されに含まれるアンモニアなどの塩基の物質を扱いながら、日常生活や社会との関連を図りながら物質とその変化への関心を高められる教材である。

(2) 生徒観

本時対象2学年全学科「化学基礎」選択者クラスは、おとなしいクラスであるが、観察・実験に対しては意欲的に取り組んでいる姿が見える。アンケートから、これから学習する酸・塩基の分野に関心をもっている生徒は約4割と少ない。

レディネステストより、酸・塩基に共通して含まれるイオンや塩化水素や水酸化ナトリウムが水にとけたときの電離のようすをモデル図や電離式で表せる生徒が3割もいない。酸と塩基の反応を中和と答えられる生徒も3割もいない。これらのことより、既習事項が定着していないことや分子やイオンを具体的にとらえる力が不足しているため学習内容や観察・実験において見通しをもてない生徒が多く、微視的な見方や考え方を養うことが課題である。

(3) 指導観

本単元の指導においては、まず中学校での既習事項を含めて基礎的な内容の定着を図っていきたい。指導にあたっては、①関心を持たせる観察・実験を行うこと、②粒子を具体的にとらえる分子模型の活用、③ビュレット模型を活用し、中和滴定実験に対し見通しをもって主体的に取り組ませながら、微視的な見方や考え方を養っていききたい。これらの手立てを通して、酸・塩基の定義と性質、価数や電離式、電離度やpH、pH指示薬、塩の性質の理解にもつなげていきたい。

3 単元の指導目標

酸と塩基の性質や中和反応におけるこれらの量的関係について、観察、実験などを通して基本的な概念や原理・法則を理解させ、科学的な見方や考え方を養う。

4 単元の評価規準

関心・意欲・態度	思考・判断・表現	観察・実験の技能	知識・理解
・酸と塩基の性質及び中和反応に関する基本的な概念について関心を持ち、意欲的に探究しようとしている。	・酸と塩基の性質や中和反応におけるこれらの量的関係について考察し、導き出した考えを表現している。	・酸と塩基の性質や中和反応におけるこれらの量的関係について観察、実験などを行い、基本操作を習得し、それらの過程や結果を的確に記録、整理している。	・酸と塩基の性質及び中和反応に関する物質の量的関係を理解し、知識を身に付けている。

5 単元の指導計画と評価計画（全11時間）

【関】関心・意欲・態度 【思】思考・判断・表現 【技】観察・実験の技能 【知】知識・理解
（◎指導に生かすとともに総括に用いる評価、○指導に生かす評価）

時	学習内容	学習のねらい	学習活動	評価の観点				評価規準	評価方法
				関	思	技	知		
1	酸と塩基の性質（生徒実験）	・酸が共通に示す性質、塩基が共通に示す性質について、関心を持ち、意欲的に探究しようとする。	・指示薬や金属との反応を通して酸と塩基に分類し、それらの定義と基本的概念について学ぶ。	◎				・酸と塩基の定義と基本的概念について関心を持ち、意欲的に探究しようとしている。	ワークシートの記述内容の分析

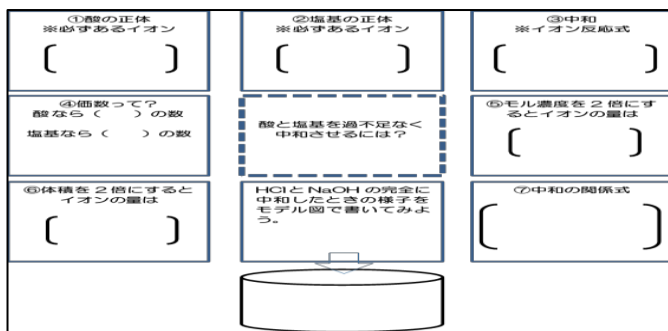


図12 思考ツール

2	酸と塩基の定義・電離式	・酸と塩基の定義と基本的概念について、理解し、知識を身につける。	・酸と塩基の定義と基本的概念について、理解する。			◎	・酸と塩基の定義と基本的概念について理解し、知識を身につけている。	ワークシートの記述内容の分析
3	酸と塩基の価数・強弱 〈生徒実験〉	・酸や塩基は、価数や電離度で分類されていることを理解し、知識を身に付ける。	・酸と塩基に分類された溶液の価数による分類や、電離度について理解する。			◎	・酸と塩基の価数と強弱について理解し、知識を身に付けている。	ワークシートの記述内容の分析
4	水素イオン濃度とpH 〈生徒実験〉	・水素イオンとpHとの関係について、考察し、表現する。	・身近な酸と塩基のpHを測り、水のイオン積とpHの関係を基に、 pH と $[\text{H}^+]$ 、 $[\text{OH}^-]$ の関係を考察する。		◎		・水素イオン濃度とpHの関係を考察し、表現している。	ワークシートの記述内容の分析
5	指示薬とpH測定 〈生徒実験〉	・指示薬とpHの関係に関する観察・実験の過程や結果を的確に記録、整理する。	・水溶液のpHに応じて、色調が変わる物質を指示薬ということや各指示薬の変色域に関する実験に取り組む。			◎	・指示薬とpHとの関係に関する観察、実験の過程や結果を的確に記録、整理している。	ワークシートの記述内容の分析
6	酸と塩基の中和〈演示実験〉	・酸と塩基の性質及び中和反応に関する基本的な概念について、関心をもち、意欲的に探究しようとする。	・身近な酸と塩基の水溶液の中和反応を、前時で学習した指示薬で確認し、同時に塩が生じることを学ぶ。	◎			・酸と塩基の性質及び中和反応に関する基本的な概念について関心をもち、意欲的に探究しようとしている。	ワークシートの記述内容の分析
7	塩の生成 〈生徒実験〉	・塩の水溶液の性質に関する観察、実験の過程や結果を的確に記録、整理する。	・塩の水溶液の性質を、指示薬で確認し、実験に取り組む。			◎	・塩の水溶液の性質に関する観察、実験の過程や結果を的確に記録し、整理している。	ワークシートの記述内容の分析
8	中和における量的関係	・中和において、理解し、知識を身に付ける。	・酸と塩基が過不足なく中和するときの量的関係を理解する。			◎	・中和反応における量的関係について理解し、知識を身に付けている。	ワークシートの記述内容の分析
9	中和滴定〈見通し〉	・微視的な視点から、基本的操作を理解する。中和点の確認方法について理解し、中和滴定の見通しをもつ。	・中和の終点に関して、微視的な視点から根拠のある仮説や見通しをもとに、思考し、表現する。		◎		・中和点に関し、微視的な視点から、見通しをもち、表現している。	ワークシートの記述内容の分析
10 本時	中和滴定 〈生徒実験〉	・実験に意欲的に取り組み、基本的操作を習得するとともに、実験の過程や結果を的確に記録、整理する。	・中和滴定実験に取り組む。			◎	・実験器具の基本的操作を習得するとともに、実験の過程や結果を的確に記録し、整理している。	ワークシートの記述内容の分析 行動観察
11	中和滴定〈振り返り〉と滴定曲線	・酸や塩基の価数、モル濃度の微視的な視点を持ち、中和の関係式について理解し、知識を身に付ける。 ・酸と塩基の組み合わせと中和滴定曲線の形の関係などを理解し、知識を身に付ける。	・酸や塩基の価数などの微視的な視点を持ち、中和の関係式について学ぶ。 ・中和点での水溶液の性質が、中性とは限らないことや酸と塩基の指示薬を利用して、実験的に中和点を求めることができることを理解する。			◎ ○	・中和の関係式について理解し、知識を身に付けている。 ・中和反応における滴定曲線について理解し、知識を身に付けている。	ワークシートの記述内容の分析

6 本時の指導展開（第10時間／全11時間）

(1) 本時の主題 「中和滴定」

(2) 本時の指導目標

中和滴定の実験における基本的操作を習得するとともに、実験の過程や結果を的確に記録、整理させる。また、実験の結果から中和反応における量的関係を考察し、表現させる。

(3) 本時の評価規準

【評価の観点】 評価規準	判定の基準			評価方法
	A 十分満足できる	B おおむね満足できる	C 支援の具体的方法	
【観察・実験の技能】 ・実験器具の取り扱いや実験の基本的操作を習得している。	・標線の合わせ方、滴下の仕方など、正しく操作している。実験の過程や結果を的確に記録、整理している。	・各実験器具が示す値を的確に読み取り、読み取った値をワークシートに記録している。	・中和滴定の基本的な実験操作について振り返り、手順通りに操作できるように支援する。	行動観察 ワークシート
【思考・判断・表現】 ・中和の関係式を用いて、食酢のモル濃度まで導き出す方法を思考し、表現している。	・滴下量の精度に疑問を感じた際、主体的に再度滴定を行って、確認している。中和の関係式を用いて、正確な食酢のモル濃度を求めている。	・中和の関係式を用いて、食酢のモル濃度をもとめている。	・中和反応と指示薬の関係や中和の量的関係について、もう一度見直し、中和の関係式が何を意味しているか分かるように支援する。	行動観察 ワークシートの記述内容の分析

(4) 準備する教材・教具

- ・ホールピペット ・ビュレット ・メスフラスコ ・コニカルビーカー ・ビュレット台
- ・食酢 ・水酸化ナトリウム水溶液 ・フェノールフタレイン溶液

(5) 本時の展開 中和滴定実験

過程	生徒の活動	教師の活動・支援	形態	準備・備考	評価
導入 (5)	○はじめのあいさつ ○前時の復習 中和滴定の見通しを確認する。 (前時の教具を使う)	○出席の確認 ○中和の終点について振り返り、発問する	・一斉	・パソコン ・プロジェクター	
	本時の目標：前時でたてた中和滴定の見通しをもとに、食酢のモル濃度を求める。				
展開 (40)	展開①：中和滴定の実験操作の確認 ○中和滴定の実験動画をみて、実験の流れを把握する。 ○中和滴定の準備をする。 器具を扱う時の注意点を見直す。 展開②：中和滴定を行う。 ○前時の見通しと実験操作をグループで確認し、予備滴定を始める。 (うまくいかなかった場合どうしてか考える) ○予備滴定の数値を参考にして、本滴定を2回行い、正確な実験操作と結果が出たかどうか話し合い、発表する。 ○中和の関係式を用いて、食酢のモル濃度を求める。 ○予備滴定や本滴定のコニカルビーカー中のようすについて指示薬の色の変化も踏まえながら考え、図や文章で表現する。	○ホールピペット(液面と標線の合わせ方)、メスフラスコ(希釈、攪拌)ビュレット(準備、読み取り、滴定) ○器具の取り扱いなど、留意する点を確認しながら机間巡視する。 ○前時の見通しの確認についてグループで話し合っている様子を観察しながら、支援していく。 ○各グループの予備滴定の数値を確認しながら、支援が必要なグループには、改善点はないか話し合わせる。その後、本滴定2回の平均値を各グループ発表してもらう。 ○中和の関係式を用いて、食酢のモル濃度を求めさせる。 ○予備滴定や本滴定の指示薬の色の変化や比較から、分子やイオンのようすを考えさせる。	・一斉 ・グループ ・グループ ・グループ ・グループ ・個人	・ホールピペット、メスフラスコ、ビュレット、コニカルビーカー ・ワークシート ・食酢 ・0.2mol/L-NaOH	〔観察・実験の技能〕 実験器具の取り扱いや実験の基本的操作を習得している。 〔思考・判断・表現〕 中和の関係式を用いて、食酢のモル濃度まで導き出す方法を思考し、表現することができる。
まとめ (5)	振り返り：中和滴定の実験を終え、工夫するところや改善すべきところについてまとめる。				
	○工夫・改善点をワークシートに記入する。 ○ワークシートを提出する。 ○終わりのあいさつ	○工夫・改善点をワークシートに記入するように指示する。 ○ワークシートを回収する。 ○終わりのあいさつ	各自	・ワークシート	

IV 仮説の検証

1 酸・塩基の分野への関心を高められたか。

(1) 事前・事後アンケートによる分析

事後アンケートで、「身近な物質（酸・塩基）」とその反応への関心はあるか」と質問したところ、「とてもある、ある」と肯定的な回答は92%であった（図13）。理由として、「はじめは、酸と塩基について知識が全然なかったけれど、授業をする度に新しい知識が入ってきて、理解することができたので楽しかったです」「今まで、酸とか塩基は苦手に興味はなかったけど粒子の動きとかをイメージして分かってきたら興味が出てきた」などが挙げられた。「身近な生活と酸・塩基の学習を関連付けて考えることができたか」と質問したところ、「とてもできた、できた」と肯定的な回答は86%であった（図14）。「なんとなくでしか、酸・塩基の関係は分からなかったけど、専門的な薬品だけではなく、身近なもの、食べ物の組み合わせなどにも関係することを知った」「洗剤などは、酸性・塩基性などあるのは知っていたが、食べ物や体の中、薬などにも酸性・塩基性があるのは分らなかった」など日常生活との関連について、具体的に挙げていた。

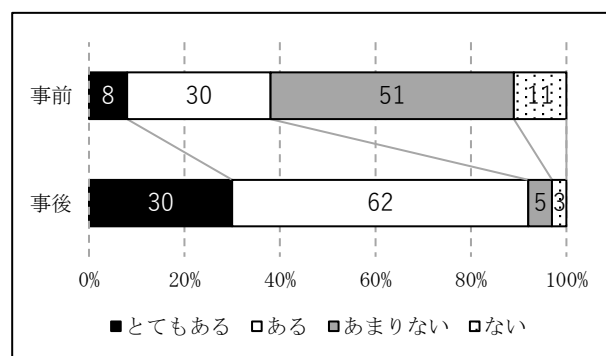


図 13 酸・塩基の関心度について

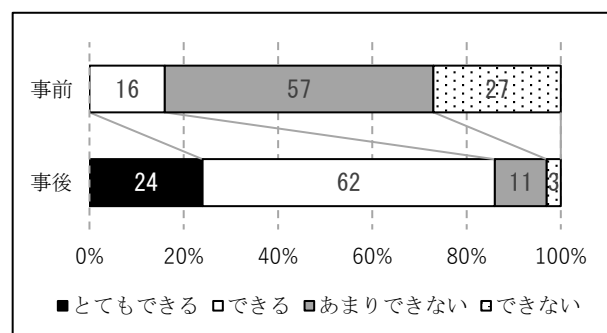


図 14 酸・塩基と生活との関連づけについて

(2) 振り返りシートの分析について

① 授業ごとの振り返りの記述

「身の回りには、たくさんの酸や塩基があって、それにも細かい数値があるのは興味深かった」「水、レモンティ、コーヒー、炭酸水など、すべての pH を計ってみたいと思った」「きれいな水かどうか調べるために指示薬は使えるなと思った」「虹を作るとき、酸・塩基が関わっていて面白いと思った。毎日来てもっと調べたい」（図 15）、「なぜ、風呂場の掃除に重曹を使うのか、学ぶことができた」が挙げられた。また、「授業の中で工夫したことは何か」という質問をしたところ、「できるだけということが起こるか予想した」「めあてを意識して、授業に取り組んだ」「実験の内容や結果についてとことん追求するように頑張った」などが挙げられた。

② 中和滴定の振り返りの記述

中和滴定実験の振り返りより、「ちゃんと標線まで吸い取っているかどうか工夫した」、「ビュレットのcockを開けすぎないように工夫した」、「9 mL まで一気に落として、ゆっくり落とした」、「中性を超えて、塩基性にならないように終わり近くは一滴ずつたらしようにした」、「どれくらい入れれば成功するのかの見通し、 H^+ や OH^- の数など」が挙げられた。また、「器具を洗浄してまだ純水でぬれたままの状態のとき、これから使用する溶液で洗浄（共洗い）が必要、必要でない理由」を質問したところ、必要な理由として、「共洗いをしないと残っている液のせいで濃度が変わるから」や「少しでも水や他の物質で薄くなったりしたらこまるから」が挙げられ、メスフラスコやコニカルビーカーで共洗いが必要でない理由として、「中のイオンの数は変わ

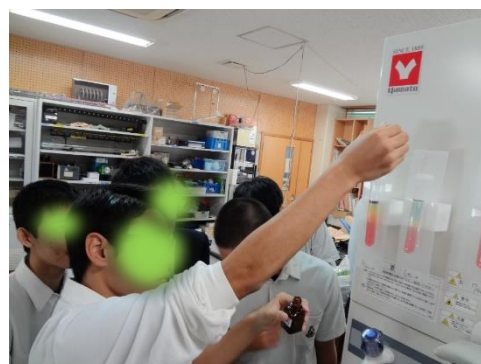


図 15 試験管に虹を作っている様子



図 16 中和滴定している様子

らないから」、「粒子じたいの数は変わらないので必要ない」が挙げられた。さらに、10 班中 6 班が中和点を求められ、中和の関係式を用いて食酢のモル濃度を求めることができていた。これらより、基本的な器具の実験操作を通し、粒子の動きを具体的にとらえながら観察、実験を行っていたことより、酸・塩基の分野への関心を高めることが出来たと考える（図 16）。

2 教材・教具の活用を通して、酸・塩基の分野において微視的な見方や考え方を養うことができたか。

(1) 事後アンケートの分析

授業で活用した教材・教具について「粒子の動きを考え、理解することに役立ったか」の質問をした。分子模型について、「とても役立った」「役立った」と肯定的な回答は100%であった。意見として、「色がちがって、取り外しもできるので、 H^+ と OH^- の区別がしやすかった」「電離する箇所、何価なのか分かりやすかった」などが挙げられた。ビュレット模型による中和滴定シミュレーションについて、「とても役立った」「役立った」と肯定的な回答は97%であった（図17）。生徒の意見として、「イオンが水溶液にどのくらいあるかが、イメージしやすかった」「粒子の数をBB弾でかわりにシミュレーションして、粒子の数をイメージしやすかった」などが挙げられた。また、電気伝導テスターについて生徒は、「イオンの流れが分かった」「どちらの電離度が大きいかわかりやすく調べられた」「光る強さや音の大きさが変化するから、分かりやすかった」「液の種類によって、光や音の強さが変わったので、不思議だった」などが挙げられた。これらより、今回使用した教材・教具は、生徒に微視的な見方や考え方を養うことに役立ったと考えられる。

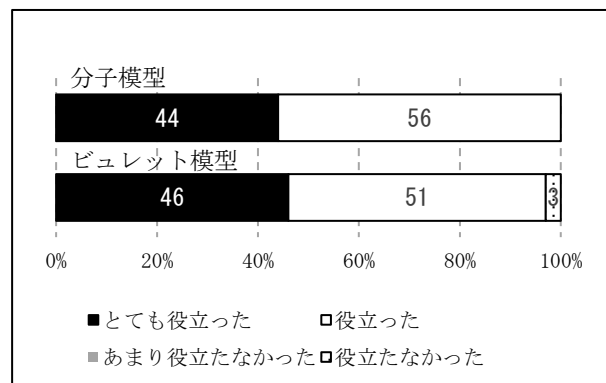


図 17 教材・教具は微視的な考えに役立ったか

(2) 章末テストの分析

問1「塩化水素を水にとかしたときの電離のモデルを書けるか」、問2「水酸化ナトリウムを水にとかしたときの電離のモデルを書けるか」の問題では、事後では塩化水素のとき61ポイント、水酸化ナトリウムのとき55ポイント上昇した。問3「塩酸と水酸化ナトリウム水溶液を混ぜ、完全に中和したときのモデルを書けるか」の問題では、71ポイント上昇した（図18）。電離や中和の様子をモデル図で書けたことは、微視的な見方や考え方ができるようになったと考える。

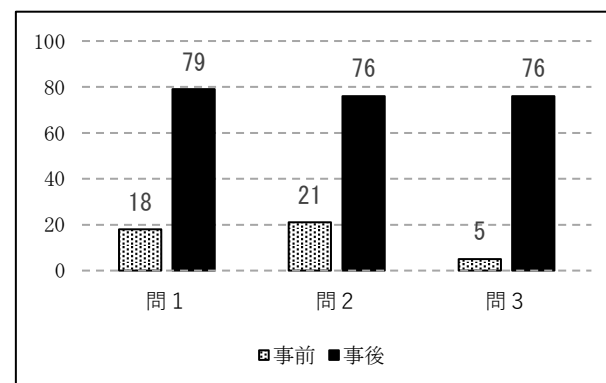


図 18 電離モデルと中和モデルの正答率

(3) ワークシートの分析、行動分析

① 価数と電離式について

分子模型を使う前と後の確認問題（酸では、硝酸、硫酸、リン酸などの6問、塩基では、水酸化カリウム、水酸化カルシウムなど5問）について電離式を書かせる問題を出した（図19）。事後における正答数が増加していることから、分子模型を活用したことにより、微視的な見方や考え方を養うことができたと考える。

② 中和滴定（実験）ワークシートの記述分析単元の10時間目「中和滴定（実験）」における考察の中で、3回の滴定を終えた後のコニカルビーカー中のようなすをそれぞれ図や文章で書かせたところ、指示薬の色の濃淡を比べながら、 H^+ や OH^- の量的関係を考察している様子が伺えた（図20）。この生徒のグループにおいて、3回の

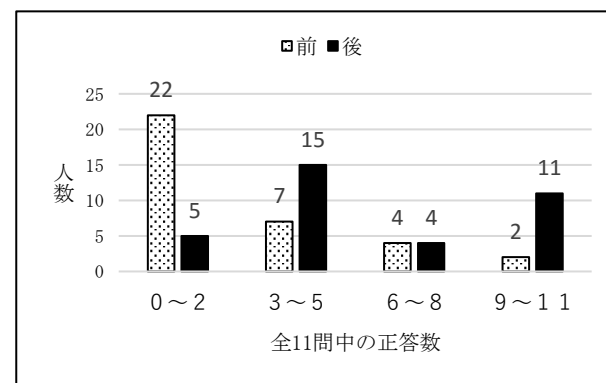


図 19 電離式ワークシートの正答数（全 11 問）

滴定とも中和点を読み取ることができており、3回ともわずかな色の濃淡を見逃さずに考察していた。ア 予備滴定においては、「水酸化物イオンが少し多く、水素イオンが少ない」、イ 本滴定の1回目では「予備滴定より水酸化物イオンが少ない」、ウ 本滴定の2回目では「水酸化物イオンと水素イオンが同じ数」と記述しており、実験結果のフェノールフタレイン溶液の変化のちがいを比較し、記録していた。それと同時に、モデル図を用いてコンカルビーカー中のようすを書くところもOH⁻の数の違いをしっかりと記してあった。

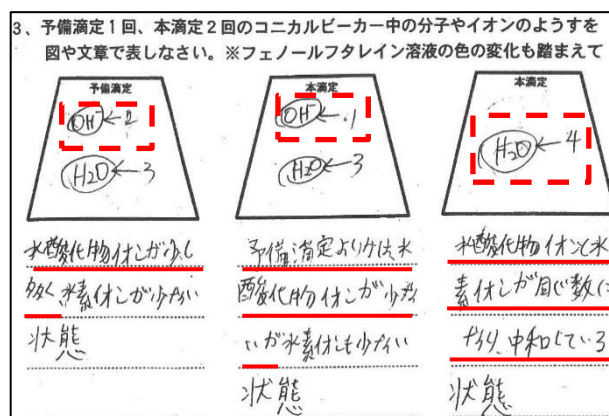


図20 中和滴定（実験）による考察

また、実験の振り返りにおいて、「中和を完全にするには、1滴よりも細かくしないといけない」と記述していた。以上のことより、酸・塩基の分野において微視的な見方や考え方を養うことができたと考える。

3 酸・塩基の分野において基本的な知識の定着が図られたか。

(1) 事後アンケートとワークシートの分析

事後アンケートで、「既習事項を活かし、授業に取り組むことができたか」という質問に対し、「とてもできる、できる」と肯定的な回答は94%であった（図21）。

(2) 章末テストの分析

① 問1「酸に共通しているイオンは何か」と問2「塩基に共通しているイオンは何か」の質問に対し、事後では正答率が問1では92%、問2では92%であった。問3「塩酸HClの電離式」と問4「水酸化ナトリウムNaOH水溶液の電離式」を出題したところ、事後では正答率が問3では89%、問4では92%であった（図22）。これらのことより、酸・塩基における基本的な知識が図れたと考える。

② 「酸と塩基が反応し水ができるときのイオン反応式 ($H^+ + OH^- \rightarrow H_2O$) を書けるか」出題したところ、85%の正答率があった。反応式ア ($HNO_3 + KOH$)、反応式イ ($H_2SO_4 + Ba(OH)_2$) の中和の化学反応式を出題したところ、67%、64%の正答率であった（図23）。これらより、中和反応が水素イオンと水酸化物イオンが個数比1:1の割合で1分子の水ができることが理解できたことにより、反応式アでは1価どうしの中和反応で1分子の水、反応式イでは2価どうしの中和の化学反応式で2分子の水を書くことができ、さらに塩の化学式も書けていた。また、反応式ウ ($H_2SO_4 + NaOH$) の、2価の酸と1価の塩基による中和の化学反応式では、正答率は24%と低い結果となったが、誤答の中には価数の違いに気づき、反応式中で2NaOHや2H₂Oと書いている生徒が多くいた。これらのことより、酸・塩基から電離で生じる水素イオン、水酸化物イオンに着目して、思考さ

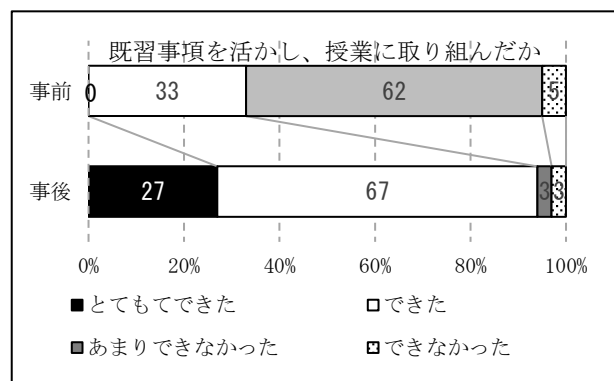


図21 授業に取り組み方について

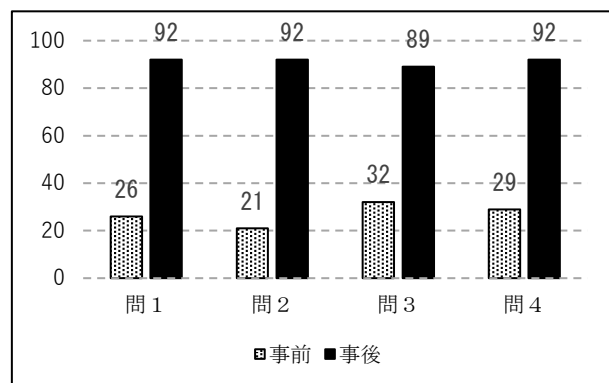


図22 酸・塩基に共通するイオンと電離式の正答率

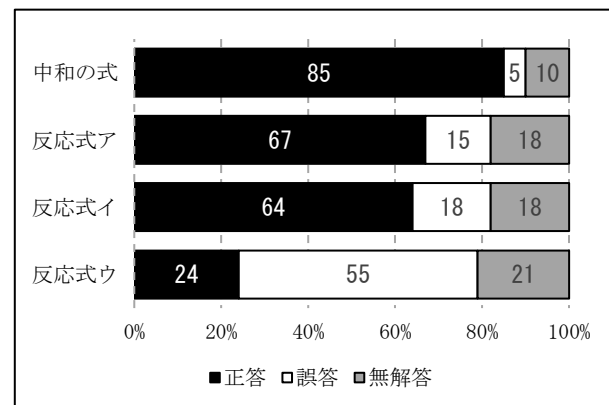


図23 中和の化学反応式の正答率

せることにより、正解に導けると考える。

- ③ 「酢酸の電離式」を出題したところ、事後の正答率は74%であった。また、「酢酸の価数」を出題したところ、事後の正答率は87%であった（図24）。事前において、価数を4と書く生徒が多かったが、事後の正答率から、87%の生徒については「価数」について理解したことが分かる。

- ④ 酸のモル濃度とその酸から電離した水素イオンのモル濃度を与え、電離度を計算で求める問1を出したところ、正答率は54%であった（図25）。また、1価の酸HAという酸の電離度 $\alpha=0.1$ を与え、水にとけているようすをモデルで書く問2を出したところ、正答率は51%であった。これらより、約5割の生徒は、電離度についての理解ができたと考える。残りの5割についてはさらなる手立てが必要であることが分かった。

- (3) 「酸・塩基の量的関係」小テストの分析
第11時間目に中和滴定による計算の演習を行った。問題内容は以下の通りである（表3）。

表3 演習問題について

（演習1）10倍に希釈した食酢10.0mLを、0.2mol/L水酸化ナトリウム水溶液で中和滴定すると10.0mLであった。食酢（原液）のモル濃度は何mol/Lか。

（演習2）濃度の分からない塩酸10mLを中和するのに0.1mol/L水酸化カルシウム水溶液が5.0mL必要であった。塩酸のモル濃度を求めよ。

演習1、2ともに、正答率は92%であった（図26）。生徒の計算過程を分析すると、中和の公式を用いて求めるべき変数を把握し、答えを導くことが出来ていた。これらのことより、既習事項である中和の量的関係や中和の関係式、そして酸・塩基の価数など基本的な知識の定着が図られたと考える。

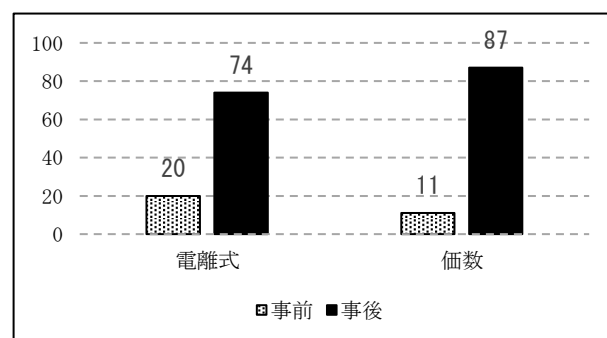


図24 酢酸の電離式と価数の正答率

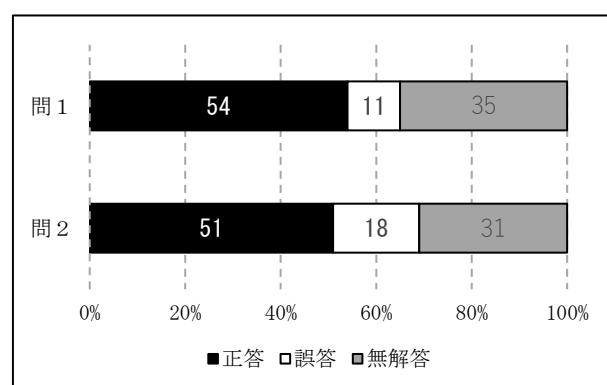


図25 電離度とHAの電離モデルの正答率

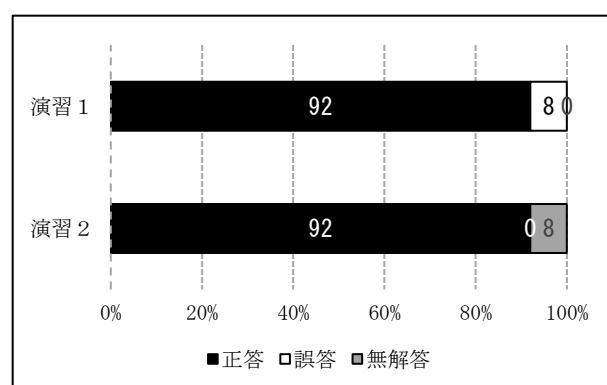


図26 演習問題の正答率

V 成果と課題

1 成果

- (1) 身近な酸・塩基を扱った観察・実験を行うことにより、酸・塩基の分野への関心を高めることができた。
- (2) 見えない粒子を具体的にとらえさせる教材・教具を製作・活用し、中和とその量的関係の理解を深めることができ、観察・実験における見通しや考察、振り返りにおいて、微視的な見方や考え方を養うことができた。
- (3) 酸・塩基の性質や中和反応におけるこれらの量的関係などの基本的な知識の定着を図ることができた。

2 課題

- (1) 身近な酸・塩基への関心を示さない生徒に対して、関心を高める観察・実験の工夫が必要である。
- (2) イオンや分子などの粒子を具体的にとらえさせる観察・実験や教材・教具を工夫することで、基本的な知識の定着を図る必要がある。

〈参考文献〉

小林昭文・成田秀夫 著 2015 「今日から始めるアクティブラーニング」 学事出版
田村学 黒上晴夫 著 2013 「思考ツール」の授業 小学館
文部科学省 2009 「高等学校学習指導要領」
文部科学省 2009 「高等学校学習指導要領解説 理科編 理数編」
全国理科教育センター研究協議会 編著 1990 「化学教材の研究」 東洋館出版社
緑川亨 1989 岩波科学百科 岩波書店

〈参考URL〉

文部科学省 教育課程部会 理科ワーキンググループにおける審議の取りまとめについて 最終閲覧 2017 年 3 月

http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo3/060/index.htm

文部科学省 教育課程企画特別部会 論点整理 最終閲覧 2017 年 3 月

http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo3/053/sonota/1361117.htm

分子模型 最終閲覧 2017 年 3 月

<http://scilla.la.coocan.jp/bunsi/bunsi.html>

試験管に虹をつくろう 最終閲覧 2017 年 3 月

https://www.jst.go.jp/cpse/spp/kan/assets_c/2014/.../ag140319-photo-2014-k2.pdf