

〈化学〉

科学的に探究する能力を育てる学習指導の工夫

―「無機物質の性質と利用」における「金属イオンの分離と確認」実験を通して―

沖縄県立那覇西高等学校教諭 久 山 伸

I テーマ設定の理由

高等学校学習指導要領解説理科編（以下、解説理科編とする）において、理科の目標は、「自然の事物・現象の中から問題を見出し、観察や実験などを通して、科学的に探究する能力と態度を育てること」とされ、「これらの能力や態度を身に付けることは、変化の激しい社会の中で生涯にわたって主体的、創造的に生きていくために大切であり、『生きる力』の育成につながるものである」と示されている。

化学（4単位）の単元「無機物質の性質と利用」では、「無機物質の性質や反応を観察・実験を通して探究」し、「それらを日常生活や社会と関連付けて考察させる」ことをねらいとしている。しかし、これまでの授業実践では、物質の性質や反応についての知識事項が多く、ともすれば知識習得中心の授業になりがちで実験を取り入れにくい場合があり、科学的に探究する能力と態度を育てることが課題の一つであった。また、本校生徒の実態として、計算や実験の考察、まとめなどに際して、自分の考えを導き出すことが苦手で、他人の答えを待つ傾向がみられた。そのため、自分の考えを導き出せるような指導の工夫が課題といえる。

本研究では、化学の授業が2時間連続で設定されていることを生かし、2時間を1次とした各次に生徒実験を組み入れた指導計画を立てることとした。実験は、各次（小単元）の内容に加えて、10次の「金属イオンの分離と確認」実験に必要な基本操作を繰り返すことで、「観察・実験の技能」を定着させることができる。また、各次の生徒実験や演示実験において考察を重視し、特に7～9次にかけては、10次の実験に必要な分離操作等の実験計画を立てさせることで、「思考・判断・表現」する力を育成できると考える。単元のまとめとして10次の実験では、3種類の金属イオンを含む未知試料を分析させ、レポートにまとめさせることで、単元全体を通して探究の方法が身に付き、科学的に探究する能力を育てることができる。本研究のテーマとした。

〈研究仮説〉

単元「無機物質の性質と利用」において、各次に生徒実験及び演示実験を取り入れた探究的な学習活動により、最終的に「金属イオンの分離と確認」実験を行うことができ、探究の方法及び科学的に探究する能力が育成できるであろう。

II 研究内容

1 実態調査

(1) 目的

- ① レディネステストにより生徒の学習の習熟度を把握し、研究計画の基礎資料とする。
- ② 生徒への学習への意識付けと、その後の指導に生かす資料とする。

(2) 対象および実施期日

沖縄県立那覇西高等学校2学年 選択A群「化学」1クラス 38名 平成25年10月24日（木）

(3) 結果と考察

レディネステストは、生徒の学習の習熟度を把握するとともに、単元に入る前の生徒への意識付けとして、また、その後の指導に生かす位置付けとして実施した。内容は、原子番号1～20の元素（配点20点）、原子番号1～20以外の元素（配点20点）、教科書で頻出度の高い元素の性質・用途（配点40点）、族の名称（配点8点）、金属のイオン化列（配点12点）についてである。その結果、原子番号1～20の元素

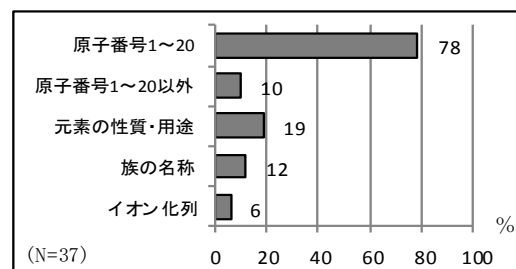


図1 レディネステストの正答率

は78%の正答率であることから知識として比較的定着しているのに対し、原子番号1～20以外の元素は10%と定着度が低く、元素記号や周期表での位置を把握するまでに至っていない。また、元素の性質・用途、族の名称、イオン化傾向の定着率も低い現状である（図1）。授業の中で元素の周期表に触れる機会を増やすことや日常生活や社会との関連を図りながら、探究の方法を身に付けさせる授業を行う必要がある。

2 仮説検証の手立て

(1) 検証の観点

- ① 実験ワークシートの結果や考察、まとめの記述の変容を分析し、「実験データの分析・解釈」が育成されたかを検証する。
- ② 単元のまとめである「金属イオンの分離と確認」実験の実験レポートを分析し、科学的に探究する能力が育っているかを検証する。

(2) 検証の場面・方法

- ① 実験ワークシートの分析（1～9次）
- ② 「金属イオンの分離と確認」実験における実験レポートの分析（10次）

3 理論研究

(1) 科学的に探究する能力

解説理科編の化学の目標において、探究の過程を学ばせる上で必要な探究の方法として、「情報の収集、仮説の設定、実験の計画、実験による検証、実験データの分析・解釈、報告書の作成、発表等の体験を積み重ねていくこと」が示されている。また、各単元の内容の取扱いでは、「これらの探究の方法を課題の特質に応じて適切に取り上げ、具体的な課題の解決の場面でこれらの方法を用いることができるように扱う必要がある」と示されている。図2に探究の過程における探究の方法と評価の観点の位置付けを示した。本研究では探究の方法2～6を指導計画に位置付け、科学的に探究する能力を育成することとした。2の「仮説の設定」については、結果の予想を含むものとした。これらの方法においては、特に思考・判断・表現及び観察・実験の技能の2つの観点が対応していると捉え、この2観点の評価を通して、探究の方法が身に付き、科学的に探究する能力がどの程度育成できたかを推し量ることとした。

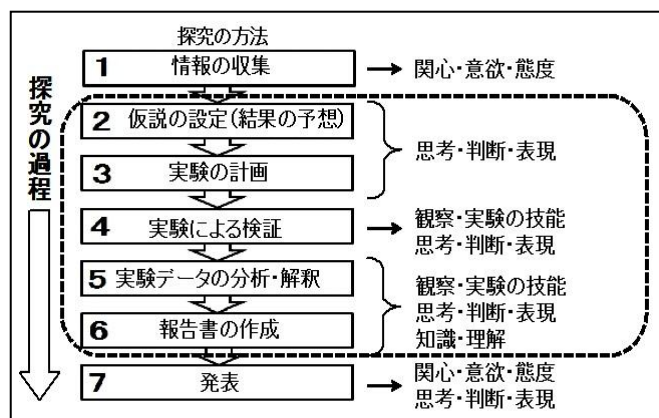


図2 探究の過程における探究の方法と評価の観点の位置付け（本研究で扱うのは点線範囲内）

2の「仮説の設定」については、結果の予想を含むものとした。これらの方法においては、特に思考・判断・表現及び観察・実験の技能の2つの観点が対応していると捉え、この2観点の評価を通して、探究の方法が身に付き、科学的に探究する能力がどの程度育成できたかを推し量ることとした。

(2) 探究の過程における実験の位置付け

県立学校教育課が実施した、実験・実習実施状況調査（図3）によれば、無機物質の性質と利用の単元において、「アルカリ金属と炎色反応」は、比較的多くの学校で実施されている。しかし、それ以外の実験については、各学校の状況に応じて一部の実験しか行われていないことがわかる。本研究では、本校の化学（4単位）の授業が2時間連続の授業設定であることを生かし、各次の1時間目に生徒実験と演示実験、2時間目に結果の確認や考察、結論の導出等を重視した探究的な学習活動を行わせることとした。併せて、実験以外の学習項目についても、この時間で授業を行う。また、生徒一人一人が積極的に実験に参加することを目的として、実験は一般的な4人グループではなく、ペア実験とした。本単元で実施した実験における探究の方法と探究のねらいを一覧表にまとめた（表1）。

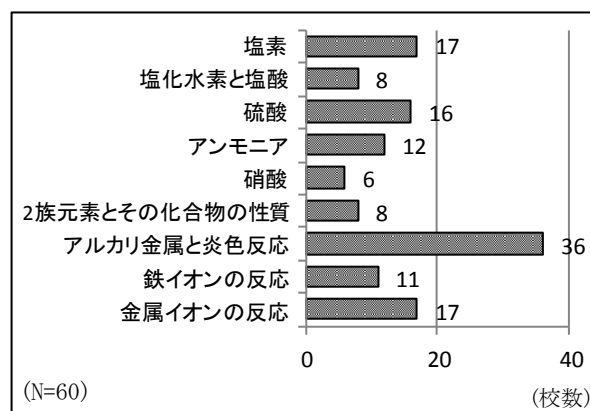


図3 実験・実習実施状況調査(2011)

表1 実施した生徒実験と演示実験における探究の方法と探究のねらい（各次2時間連続授業）

次	学習内容	生徒実験	演示実験	探究の方法	探究のねらい【評価の観点】
1	周期表と元素の性質、水素と希ガス	水素の発生と確認	キップの装置を用いた水素の発生	結果の予想、実験による検証、実験データの分析・解釈	観察・実験の結果を吟味し、物質の性質と確認方法の見方や考え方を養う 【思考・判断・表現】 【観察・実験の技能】
2	ハロゲンとその化合物	塩素の発生と確認 塩化物イオンと銀イオンの反応	塩化水素の発生と確認		
3	酸素・硫黄とその化合物	金属硫化物の沈殿	硫酸の反応と性質		
4	窒素・リンとその化合物	硝酸と銅の反応	アンモニアの発生と確認		
5	炭素・ケイ素とその化合物	二酸化炭素の発生と炭酸塩の沈殿	金属塩によるケミカルガーデン		
6	アルカリ金属、2 族元素とその化合物	アンモニアソーダ法	金属の炎色反応		
7	アルミニウム、亜鉛などとその化合物	アルミニウムの反応と性質	亜鉛の反応と性質	仮説の設定、実験の計画、実験による検証、実験データの分析・解釈	問題に対する生徒の考えを持たせ、検証するための手段を養う 【思考・判断・表現】 【観察・実験の技能】
8	遷移元素の特徴（鉄、銅）	鉄の反応と確認	銅のワンポット反応 Cu^{2+} と Fe^{3+} の分離		
9	遷移元素の特徴（銀）	Ag^+ 、 Cu^{2+} 、 Fe^{3+} の分離と確認	銀の反応と確認		
10	金属イオンの分離と確認	3 種類の未知金属イオンの分離と確認	（なし）	仮説の設定、実験の計画、実験による検証、実験データの分析・解釈、報告書の作成	探究の方法を自ら考え、課題の解決を導く 【知識・理解】 【思考・判断・表現】 【観察・実験の技能】

(3) 金属イオンの分離と確認

10次「金属イオンの分離と確認」実験は、数種類の金属イオンを含む混合水溶液に含まれる金属イオンを推測し（仮説の設定）、試薬を加えたときの沈殿の有無や色などから金属イオンを分離・確認していく（実験の計画、実験による検証、実験データの分析・解釈）など、いくつかの探究の方法が必要とされるため、探究的な活動として有効な実験である。また、この実験では単元全体を通して扱われる多くの無機物質の性質や実験技能を修得しなければならないため、「無機物質の性質と利用」の単元のまとめに位置付けられる内容である。

本研究で扱うのは、硫化水素による6属系統分析法で、金属硫化物の沈殿の有無は液性（酸性・中性・塩基性）の違いに関係することを利用した一般的な分析法であり、第1属から第6属に分類した金属イオンを操作①から操作⑥の順に分離、確認していく実験である（図4、5）。

試薬を加えて沈殿が生成する原理は、溶解度積（沈殿をつくるイオン濃度の積）が関係している。溶解度積が小さい化合物ほど沈殿を生じやすく、系統分析では金属硫化物を溶解度積が小さい順に分離と確認実験を含め、無機物質の単

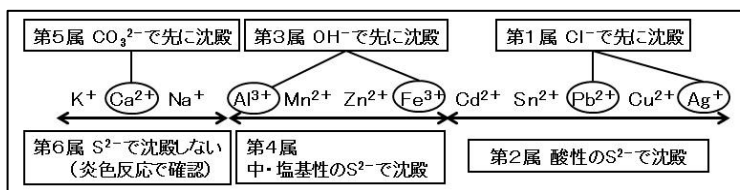


図4 硫化水素による6属系統分析法

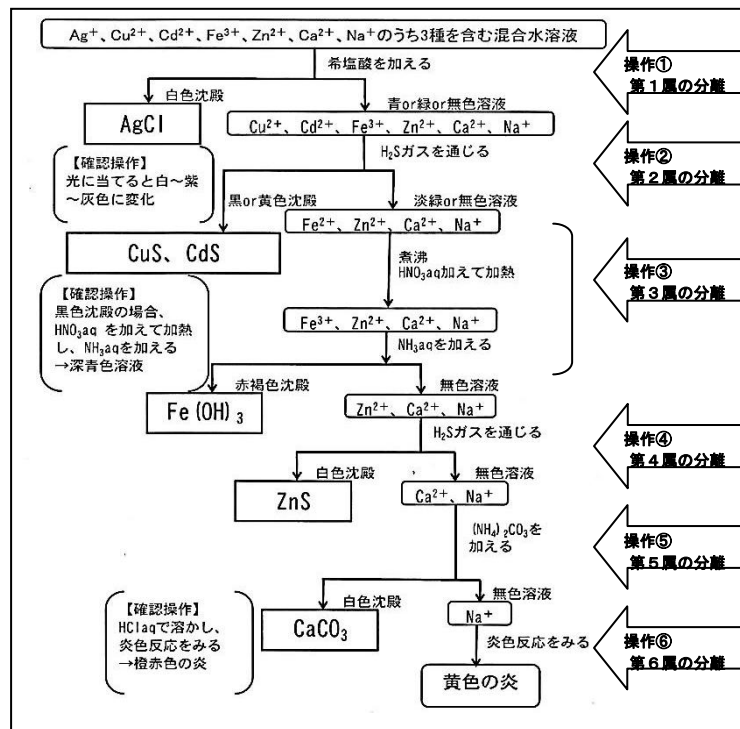


図5 10次「金属イオンの分離と確認」実験

た。現在、多くの教科書で「溶解度積」の後で「無機物質」を取り上げているので、今後は溶解度積を踏まえた沈殿生成の有無など、ある程度、定量的な実験としての取り扱いも必至になってくるであろう。

(4) 10次「金属イオンの分離と確認」実験に向けた実験操作の指導計画

10次における「金属イオンの分離と確認」実験を行う上で必要となる知識や技能の要素を各次に組み込んだ指導計画を作成した(表2)。特に定着が必要な要素については、繰り返し実験できるように意図的に組み込んだ。具体的には、1次～6次でキップの装置やろ過操作などの基本的操作の繰り返しで技能の向上と定着を図り、7～9次で分離操作の繰り返しを行うことで技能を定着させるとともに、分離手順を考えさせ、思考力・判断力・表現力等を向上させることが目的である。●、▲、■の基準については、●は、実験操作で必要な知識や技能の習得に関する内容、▲は、扱う物質の性質を理解する内容、■は、実施することが可能な操作(本研究では実施していない)とした。

表2 10次「金属イオンの分離と確認」に向けた実験操作の指導計画

次	実験項目	実験方法		キップの装置	ろ過	金属硫化物の沈殿	化合物の沈殿と溶解	炎色反応
		生徒	演示					
1	キップの装置を用いた水素の発生		○	●				
2	塩素の発生と確認、塩化水素の反応	○			●		●	
3	金属硫化物の沈殿	○		●		●		
4	硝酸と銅の反応	○					●	
	アンモニアの発生と確認		○				▲	
5	二酸化炭素の発生と炭酸塩の沈殿	○		■			●	
6	アンモニアソーダ法	○			●		▲	
	金属の炎色反応		○					●
7	アルミニウムの反応と性質	○			■		▲	
	亜鉛の反応と性質		○		■		●	
8	鉄の反応と確認	○			■		▲	
	銅のワンポット反応、 Cu^{2+} と Fe^{3+} の分離		○		●	▲	●	
9	Ag^+ 、 Cu^{2+} 、 Fe^{3+} の分離と確認	○		●	●	●	●	
10	金属イオンの分離と確認	○		●	●	●	●	●

●：実験操作で必要な知識や技能の習得 ▲：扱う物質の性質の理解 ■：実施することが可能な操作

(5) 実験考察・まとめにおける思考力・判断力・表現力等の向上

本研究では、実験における探究を伴う考察指導の繰り返しを行うことで思考力・判断力・表現力等の向上を図ることができると考え、まとめプリントを活用することとした。まとめプリントとは、生徒の実験ワークシートから、考察やまとめの記述を複数抽出したものに、教師から生徒の記述を発展させる指摘等を記載したプリントである(図6)。

解説理科編における各科目の指導に当たっての配慮事項に、「観察、実験などの結果を分析し解釈して自らの考えを導き出し、それらを表現するなどの学習活動を充実させること」と示されていることから、実験のまとめや考察は、実験内容を理解するのに重要である。そこで、まとめプリントを全員に配布し、他の生徒の実験結果や考察の記述と比較・検討し、実験結果や考察の視点を考え、改善することができるため、思考力・判断力・表現力等の向上の効果が得られるであろうと考える。

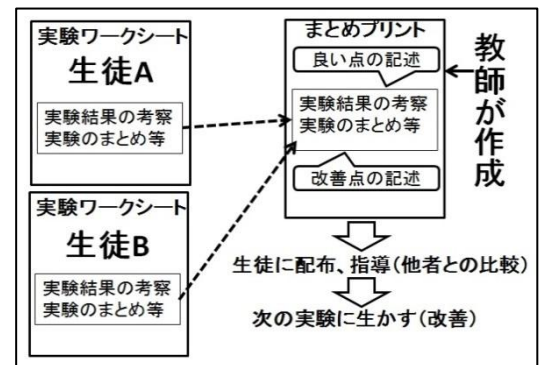


図6 まとめプリントを活用した考察指導

4 素材研究

(1) 沈殿反応カードの活用

「金属イオンの分離と確認」実験を行う際、沈殿を生じさせるための試薬や沈殿の色など、実験をしながら教科書などで何ページにもわたる内容を振り返っていると、実験をスムーズに進められなくなる。そこで、実験で得た沈殿が何であることを確認することができる沈殿反応カードを各自に作成させた。表に金属イオンが含まれる溶液の画像とイオン名、イオン式、その溶液に試薬を

鉄(Ⅲ)イオン 作成者	
	イオン式 ()
	色 ()
	塩基(NaOHaq または NH3aq)を加えたときのイオン反応式と沈殿物の色は?

図7 沈殿反応カード

加えたらどのような変化が起きるかなどの質問事項を記載した(図7)。裏にはその解答となる沈殿物の画像や色、化学式等の必要事項を記載した。この沈殿反応カードを活用した実験ワークシートを作成し、実験結果の確認と記録、発表をスムーズに進めることができる(図8)。沈殿反応カードを入れる部分には、出し入れができるようにクリアファイルをホルダー代わりに貼り付けている。生徒各自が沈殿反応カードを持っているため、生徒が実験後にも学習に活用することが可能である。

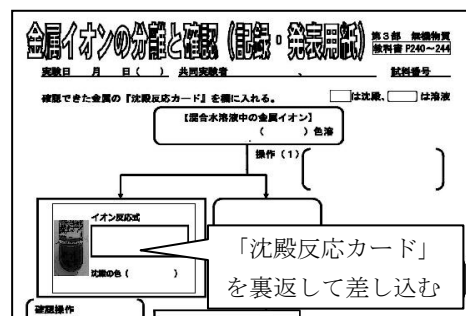


図8 沈殿反応カードを活用した実験ワークシート

(2) 「金属イオンの分離と確認」実験における試料選定

実験で扱う金属イオンの選定条件として、前述した系統分析の操作①～⑥で沈殿または確認できるイオンを各1種類または2種類とした。また、使用する教科書の系統分析で扱っている金属イオンを一部変更し、 Pb^{2+} はその分離が困難なため試料から外し、代わりに硫化物沈殿の色が特徴的な Cd^{2+} を加えた。

生徒実験では、7種類の金属イオンのうち、3種類の金属イオンを入れた混合水溶液を未知試料として生徒に配布し、実験を行わせた。3種類とした理由は、分離、確認の実験過程で、試料の色や実験条件などから、省略可能な操作を生徒に思考・判断させることを意図している。また、1授業時間(50分)は3種類程度が妥当である。7種類の金属イオンの組み合わせは全部で35通りあるが、複数ペアの実験の再現性を確認するため、本研究においてはA～Fの組み合わせで未知試料を用意した(表3)。また、各試料の省略可能な操作も示す。具体的選定の第一条件は、 Cu^{2+} 、 Cd^{2+} 、 Zn^{2+} から1種類(硫化物として沈殿させる)。第二条件は、 Ca^{2+} または Na^{+} のいずれかを含む場合はもう一方を入れない(炎色反応で確認する)。第三条件は、 Ag^{+} 、 Fe^{3+} から1種とした(ただし、試料Aは条件から外れる)。生徒が実験を行う際、第一条件のみ伝えて実験を行わせた。

表3 未知試料の組み合わせと省略可能な操作

未知試料	第一条件			第二条件		第三条件		省略可能な操作
	Cu^{2+}	Cd^{2+}	Zn^{2+}	Ca^{2+}	Na^{+}	Ag^{+}	Fe^{3+}	
A	○					○	○	操作④～⑥
B	○				○	○		操作③、④
C		○			○		○	操作④
D			○	○		○		操作③、⑥
E		○		○			○	操作④、⑥
F			○		○	○		操作③

(3) ワークシートの工夫

単元の各次が2時間連続授業であり、各次の1時間目の実験ワークシート、2時間目に実験のまとめの知識確認ワークシートを作成して指導を行った。単元の性質から、学習量が多いため、各次の学習を各次内で完結させ、その後の単元計画に影響が生じないための工夫とした。単元のまとめである10次までに観察・実験技能、実験ワークシートで思考力・判断力・表現力等の基礎を身に付け、10次では実験レポートで育成された力を評価することとした。

① 実験ワークシートにおける考察内容の工夫

1～6次では、実験結果を確認するだけの考察ではなく、物質の性質や性質の比較、器具の原理などに関する探究を伴う考察を重視した。7～9次では、実験結果を応用し、実験の計画を立てるなど、探究を伴う考察を重視した(表4)。いずれも、10次における「金属イオンの分離と確認」実験を行う上で必要な知識や技能、探究の方法を身に付ける手立てとした。

表4 探究を伴う考察のための質問内容

次	1～6次の質問内容	次	7～9次の質問内容
1	水素発生中にキップの装置の活栓を閉じるとどのような現象が起こるか。	7	Al^{3+} 、 Zn^{2+} を含む水溶液から、 Al^{3+} を分離する操作の実験計画を立てなさい。
3	金属硫化物が生じる条件について、pHの違い(酸性・塩基性)でどのようなグループ分けになっているか。	9	Ag^{+} 、 Cu^{2+} 、 Fe^{3+} を含む水溶液から各金属イオンを分離する操作の実験計画を立てなさい。

② 知識確認ワークシートにおける工夫

実験や考察は基本的に1授業時間(50分)内で終わらせる計画であるが、時には時間がかかってしまい、2時間目の時間を使うことがある。その際、実験のまとめの時間が削減されるため、重要な箇所だけでも説明をする必要はあるが、学習内容の全てを説明することができない。その

ため、作成するワークシートは教科書を使って調べるとまとめられるように、教科書のページ数等を入れ、自学自習もできるような工夫をした。

(4) ワンポット反応

ワンポット反応とは、1つの反応容器に様々な試薬を加え、色の変化、沈殿の生成や溶解などの現象を次々と見せるものである。メリットは、短時間で多くの化学反応を見せることができるため、演示実験として有効であり、生徒の興味関心を持たせることができる。銅のワンポット反応は、銅イオンの性質として、塩基がNaOHaqまたはNH₃aqで反応が一部異なることや、色の変化が分かりやすいことから選定した(図9)。本研究においては、銅を用いたが、今後は他の金属でのワンポット反応を教材研究し、演示実験を行う工夫が必要である。

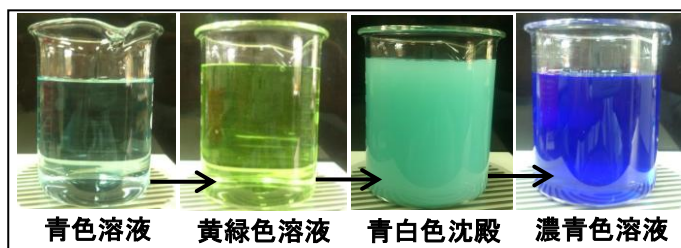


図9 銅のワンポット反応

Ⅲ 指導の実際

1 単元名 「無機物質の性質と利用」

2 単元設定の理由

(1) 教材観

本単元は、無機物質の性質と利用について「日常生活や社会とのかかわりのある代表的な無機物質について観察、実験を行い、その性質及び反応を理解させる」ことをねらいとしている。

単元の性質から、実験を多く取り入れることができる学習内容であり、観察・実験を通して実験技能や物質の性質や反応を理解し、科学的な見方や考え方を育成する。まとめとして行う「金属イオンの分離と確認」実験は、様々な条件や操作、知識を必要とするため実験の過程で思考・判断したりする場面が多い。その前時までに実験や実験のまとめの授業において探究の方法を身に付け、「金属イオンの分離と確認」実験で科学的に探究する能力が育成できるようにする。

(2) 生徒観

前年度には化学基礎までの基礎的な事項については学習している。実験の中で、色やにおいなどの変化から化学変化が起こっていることは容易に分かるが、それを基本的な原理・法則等を用いて考察することを苦手としている。また、実験操作をきちんと身に付けていないため、実験の手順に追われ、何の実験をやっているのかを考えきれずに実験を終えている生徒も多い。これらを解決する手段として、実験後にまとめの時間を設け、実験内容の振り返りを行うことで、考察を深く考えることができるようにしたい。

(3) 指導観

性質の似た元素に関する実験の結果などから規則性を見だし、考察させることで、全てを暗記事項として捉えることなく、学習内容の理解を深めさせたい。そこで、単元の各次に生徒実験と演示実験を取り入れた単元計画を行い、観察・実験を中心とした、より探究的な学習活動となる授業形態の工夫をする。単元のまとめである「金属イオンの分離と確認」実験ができ、科学的に探究する能力を育てることを目標に、前時までに基本的実験操作や分離実験などの技能の定着を図る。その過程で、まとめプリントの活用、物質の性質を利用した金属イオンの分離法を考えるなどの探究を伴った考察指導を行い、思考力・判断力・表現力等を育成したい。また、実験結果の記録や発表をスムーズに行わせるため、金属イオンを含む水溶液の色や試薬を加えた際の沈殿の有無、色などの情報を入れた沈殿反応カードを作成させる。実験での補助教材としての活用した後は、学習用として活用させ、知識の定着にもつなげたい。

3 単元の目標

本単元では、単元のまとめで探究的な活動である「金属イオンの分離と確認」実験を行うことができることを目標に、単元の各次に生徒実験や演示実験を取り入れ、必要な実験の技能や思考力・判断力・表現力等を育成し、探究の方法を身に付け、科学的に探究する能力を育てる。

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
・無機物質の性質や反応について関心や探究心をもち、主体的に考察しようとしている。 ・未知の金属イオンの分離・確認実験操作を主体的に行い、探究しようとしている。	・無機物質の性質や反応について考察し、導き出した考えを的確に表現している。 ・金属イオンの分離と確認の実験過程で適切な判断で操作を省略できる。	・無機物質の性質や反応に関する観察・実験の基本操作ができる。 ・無機物質の性質や反応に関する実験の結果を記録、整理できる。	・pHの違いにおける金属硫化物沈殿の知識を身に付けている。 ・金属イオンの反応性を理解し知識を身に付けている。 ・無機物質が日常生活や社会に深く関わっていることについて理解し、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次（22時間））

◎印の付いた評価規準：評価規準に照らして、「十分満足できる」状況（A）か、「おおむね満足できる」状況（B）か、「努力を要する」状況（C）かを把握し、単元の総括の資料とする。 ○印の付いた評価規準：評価規準に照らして、「おおむね満足できる」状況（B）であるかどうかを中心に把握する。「努力を要する」状況（C）になりそうな生徒に対して、適切な働きかけや指導の手立てを行うことを特に重視したもので、単元の総括の資料とはしない。
--

次	学習内容	学習活動	ねらい	評価の観点				評価規準	評価方法
				関	思	技	知		
1	周期表と元素の性質、水素と希ガス	・水素の確認方法について考察する。 ・キップの装置について原理を考察する。	・水素の確認方法を理解する。 ・キップの装置の原理を理解する。	◎				・確認方法について関心や探究心をもち、主体的に考察しようとしている。 ・キップの装置の原理を考察し、導き出した考えを的確に表現している。	ワークシート分析
2	ハロゲンとその化合物	・塩素、塩化水素の製法と反応から、性質を考察する。	・塩素や塩化水素の製法の化学反応式、性質を理解する。	○				・性質や反応について関心や探究心をもち、主体的に考察しようとしている。 ・性質や反応について考察し、導き出した考えを的確に表現している。	ワークシート分析
3	酸素・硫黄とその化合物 【検証授業①】	・金属硫化物の沈殿がpHの違いとどのような関係にあるかを考察する。	・キップの装置を用いて有毒の硫化水素を適切に扱い、実験を行うことができる。		○		◎	・沈殿の有無や液性について考察し、導き出した考えを的確に表現している。 ・キップの装置を適切に操作できる。 ・pHの違いにおける金属硫化物の沈殿の有無を、イオン化傾向と関連させて理解し、知識を身に付けている。	ワークシート分析
4	窒素・リンとその化合物	・一酸化窒素、二酸化窒素、硝酸の反応から、性質を考察する。	・硝酸が他の酸にはない強い酸化力をもつことを理解する。		○			・硝酸の製法や反応から、液性、酸化力の強さを考察し、導き出した考えを的確に表現している。	ワークシート分析
5	炭素・ケイ素とその化合物	・炭酸塩の沈殿をつくる金属が何であるかを元素の周期表と関連付けて考察する。	・アルカリ土類金属が炭酸塩をつくることに気付く。 ・炭酸カルシウムの反応性を理解する。	○			○	・炭酸塩の性質や反応について関心や探究心をもち、主体的に考察しようとしている。 ・炭酸塩をつくる金属について考察し、導き出した考えを的確に表現している。	ワークシート分析
6	アルカリ金属、2族とその化合物 【検証授業②】	・アルカリ金属の水との反応、炎色反応について考察する。	・炎色反応によって、金属の種類を判断できる。		○		○	・炎色反応について考察し、導き出した考えを的確に表現している。 ・炎色反応で金属イオンの種類を理解し知識を身に付けている。	ワークシート分析
7	アルミニウム、亜鉛などとその化合物 【検証授業③】	・アルミニウム、亜鉛の酸・塩基との反応について考察する。	・アルミニウム、亜鉛が両性元素で、酸・塩基（少量・過剰）ともに反応することに気付かせる。		○		○	・塩基に対する沈殿反応を考察し、導き出した考えを的確に表現している。 ・アルミニウム、亜鉛を含む水溶液に、塩基を少量または過剰に加える適切な操作ができる。	ワークシート分析
8	遷移元素の特徴 【検証授業④】	・鉄、銅と塩基の反応について考察する。	・鉄、銅と塩基の反応において沈殿の有無を理解する。	◎				・鉄、銅を含む水溶液と塩基（少量・過剰）の沈殿反応の有無を考察し、導き出した考えを的確に表現している。	ワークシート分析
9	遷移元素の特徴	・鉄、銅、銀を含む水溶液の分離方法について考察する。	・銀と塩基（少量・過剰）の反応において沈殿の有無が異なることを理解する。		○		○	・鉄、銅、銀を含む水溶液の分離方法について考察し、導き出した考えを的確に表現している。 ・鉄、銅、銀を含む水溶液の分離に関する実験の結果を記録、整理できる。	ワークシート分析
10	金属イオンの分離と確認（本時）	・未知の金属イオンを既習の実験操作によって分離、確認を行う。	・3種の金属イオンを既習の実験操作で分離し確認する。	○		◎	◎	・実験操作を主体的に行い、探究しようとする。 ・実験過程で適切に操作を省略できる。 ・実験の結果を記録、整理できる。 ・金属イオンの反応性を理解し知識を身に付けている。	行動観察 レポート分析

11	金属の利用、セラミックス	・無機物質が日常生活や社会とどのような関わりがあるかを考察する。	・日常生活での用途に応じ、金属が様々な場面で利用されていることを理解する。				○	・無機物質が日常生活や社会に深く関わっていることについて理解し、知識を身に付けている。	ワークシート分析
----	--------------	----------------------------------	---------------------------------------	--	--	--	---	---	----------

6 本時の指導展開

(1) 主題 金属イオンの分離と確認 (10次／全11次)

(2) 指導目標

前次までの学習・実験操作を活用し、系統分析を用いて金属イオンの分離・確認を行うことができる。また、実験結果を記録、整理し、レポート作成を行うことができる。

(3) 準備する教材・教具

実験記録ワークシート、参考プリント (実験上の注意及び操作のポイント、レポートの書き方等)、「金属イオンの分離と確認」実験プリント、レポート用紙、沈殿反応カード (各自8枚)、6通りの未知金属イオンの混合溶液 (予備も準備しておく)、試験管、試験管立て、試験管ばさみ、駒込ピペット、ろう斗、ろ紙、キップの装置、pH試験紙、ピンセット、薬さじ、マッチ、ガスバーナー、6 mol/L 塩酸、硫化水素 (キップの装置で発生させる)、2 mol/L 硝酸、2 mol/L アンモニア水、炭酸アンモニウム、蒸留水、保護メガネ、手袋、マスク、実験記録用カメラ (生徒持参)

(4) 本時の展開

過程	生徒の活動	教師の指導・支援	形態	準備・備考	評価規準
導入 (5)	本時の目標 「金属イオンの分離・確認」実験を行い、金属の種類を同定できる				
	本時の目標を確認する。	○注意事項の説明 ・手袋や保護メガネ、マスクの着用する。 ・火気の扱いに注意する。 ・記録のための写真撮影をする。 ・硫化水素のにおいを直接かいだり、手であおぎよせたりしない。	一斉	プリント	
展開 ① (10)	展開① 「系統分析」に関する知識の確認				
	○沈殿反応カードを用い、実験の流れを確認する。 ○予想される答え (答) 銀イオン、塩化銀 (答) 酸性 (答) Fe^{2+} を酸化するため (答) 塩基性	○沈殿反応カードを用い、実験記録用紙の活用を説明。既習事項について発問する。 (問) 操作①塩酸を加えることで沈殿する金属イオンとその化合物は何ですか。 (問) 操作②はどういう液性条件ですか。 (問) 操作③で硝酸を加える理由は。 (問) 操作④はどういう液性条件で H_2S を通じていますか。	一斉	系統分析 パネル 沈殿反応 カード	【知識・理解】 条件に応じて金属イオンを沈殿させる方法を理解している。
展開 ② (55)	展開② 「金属イオンの分離と確認」実験				
	○実験記録用紙、試料を受け取る。 ○実験を始める。 ○加える試薬と沈殿の色で金属イオンを確認し、記録する。 ○操作①～⑥までを一通り行うが、溶液の色や沈殿の有無などで省略可能な操作の判断をする。 ○試料、器具などを片付ける。	○実験記録用紙、試料を配布する。 ○安全指導、実験手順の指導を机間指導で行う。 ・試料の扱い方を指導する。(失敗も考慮) ・試薬の適切な取り扱いの指導を行う。 ・ろ過の方法の指導を行う。 ・沈殿カードの活用の指導を行う。 ・未反応の沈殿物を確認する指導を行う。 ○試料廃棄の適切な指示を行う。 【支援の具体的方法】 実験手順について具体的な指示を行い、実験が進められるように助言する。	ペア	6種18試料 記録用紙 沈殿反応 カード	【観察・実験の技能】 実験の結果を記録、整理できる。 【関心・意欲・態度】 実験操作を主体的に行い、探究しようとする。 【思考・判断・表現】 実験過程で適切に操作を省略できる。
展開 ③ (20)	展開③ 実験結果の発表				
	○各ペアで、発表する内容について、実験結果を基に話し合い、まとめる。 ○操作方法とその結果より、どの金属が確認できたかを発表する。実験手順を省いた場合、その判断をした理由など	○実験の操作方法と結果を確認し、発表するため、ペアで話し合い、まとめをさせる。 ○実験記録用紙を用いて、各ペアで分離と確認ができた金属を発表させる。 【支援の具体的方法】 行った実験の確認をしながら、助言	ペア		【思考・判断・表現】 観察・実験を通して無機物質の性質や反応を色やにおい、沈殿の有無などについて考察し、導き出した考えを的確に表現している。

まとめ (10)	を发表する。 ○レポート用紙を受け取り、書き方や提出期限等を確認する。 ○各ペアの実験記録用紙を提出し、後にコピーを受け取る。	し、発表が進められるよう支援する。 ○レポート提出の書き方や提出期限などの指示をする。 ○実験記録用紙をコピーし、後に個人に配布する。	レポート 用紙
-------------	---	---	------------

IV 仮説の検証

1次～9次までの実験ワークシートより、思考力・判断力・表現力等の変容から「実験データの分析・解釈」が育成されたかを検証する。10次では、「金属イオンの分離と確認」実験での実験レポートより、観察・実験の技能及び思考・判断・表現を評価し、科学的に探究する能力が育成されたかを検証する。

1 「実験データの分析・解釈」の育成（1～9次）

思考力・判断力・表現力等の向上を図るため、理論研究で前述したまとめプリント（1次～6次）を実験ワークシートの返却時に配布した（図10）。生徒は、他の生徒がどのような視点をもって考察しているのかを確認し、再度実験の見直しをする際、次の実験への参考にする指導も行った。生徒はじっくりとプリントに目を通していている姿がみられ、その後の各実験においても、まとめプリントを振り返らせる指導を行った。

事後意識調査では「まとめプリントはその後の実験で参考になりましたか」の質問に、「そう思う」「ややそう思う」の回答が94%を占めた（図11）。理由は、「人の意見や考え方を取り入れることによって、自分の意見と比較できて参考になった」等であった。また、その後の実験では、意識して考察やまとめを記述するようになったかの質問に、「そう思う」「ややそう思う」が94%であった。理由に「自分の考えを含めながら結論をまとめ、（…のようなことから…であるとわかった）としっかりまとめられるようになった」「プリントに自分の考察やまとめが載るように書こうと思った」等、生徒の意識の向上に役立てられたことがわかる。

実験結果や考察、まとめの評価について、2次では「結果や操作の理由を正確に詳しく記述している」生徒は0%であったが、8次では54%に増加した（図12）。生徒の考察の記述の一例からも、2次では具体的な記述がほとんどないのに対し、8次には、自分なりの考えを書いた上で、誤りを訂正している様子が見られる（図13）。この結果より、実験考察や結果を再確認することを繰り返すことで思考力、判断力、表現力等を高める手段として有効であり、実験データを分析・解釈する方法を育成できるといえる。しかし、生徒の中には、考察を記述できない生徒も少数いることから、実験ワークシート記入時に助言したり、提出した実験ワークシートに直接コメントを記載するなどの具体的な支援が必要であると考えられる。

2 科学的に探究する能力を育てることができたか（10次）

(1) 実験技能の定着

実験レポートの内容より、実験の操作・結果の記述が

【考察】フェノールフタレインの色の違いから塩基性の強弱の比較があると良いでしょう。
・沈殿物にフェノールフタレインを加えたら、薄い赤色だったから弱塩基生だということがわかった。加熱し、フェノールフタレインを加えると、濃い赤色で塩基性だということがわかった。

↑
教師からのコメント（改善点の指摘等）

↑
複数名の生徒の記述を抽出する

【実験のまとめ】炭酸水素ナトリウムの熱分解による反応に触れてみてはどうでしょう。また、炭酸ナトリウム以外の生成物は何だったのだろうか。
・飽和食塩アンモニア水とドライアイス反応させ、生じた沈殿物は、炭酸水素ナトリウムということが分かった（弱塩基）。沈殿物を加熱させると、強塩基の炭酸ナトリウムが出来たことが分かった。（原文の通り記載）

図10 まとめプリントの記述例（6次）

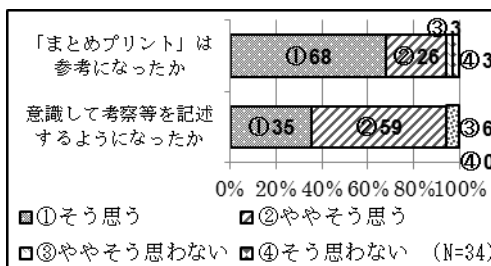


図11 まとめプリントに関する事後意識調査

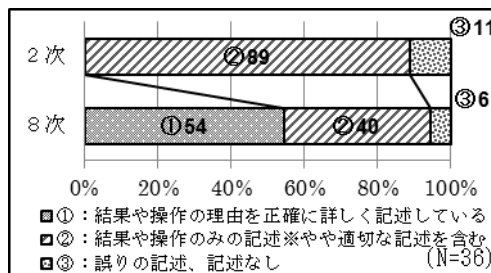


図12 実験結果や考察、まとめの記述の評価

【2次における考察の記述例】
(塩素の性質についての考察)
・脱色作用がある。(漂白)
・うすい黄色(黄緑色)
・刺激臭 ・酸化作用がある。

【8次における考察の記述例】
(金属イオンの分離法を考察)
Cu²⁺とFe³⁺で、NaOHaqを入れて、2つとも反応させる。そこで、HNO₃aq(硝酸)を入れる事により、銅が溶けるから、ここでFeを取り出す。残った銅にNH₃aq(アンモニア水)を加えて、銅を反応させ分離させる。
NH₃aqを入れた後、NH₃aqをさらに加えることで、Cuは反応するが、Feは反応しない(Feは沈殿したまま)。そこで、反応しないFeをろ過で分離する。

↑
自分の考えを詳しく記述。後に訂正している

結果はあるが、どのような結果から導き出された性質かの詳しい記述がない。

図13 考察の記述の変容（2次と8次）

適切である生徒は86%であり、実験内容と目的が分かる内容となっていた(図14)。残り14%は、操作の記述が一部不十分な内容であった。また、3種類すべての金属イオンを分離・確認できた生徒は66%であった(図15)。分離・確認できた金属イオンが2種類であった生徒に関しては、炎色反応における色の区別ができておらず、誤った金属イオンの確認をしたことだけが原因であった。具体的な支援としては、実験の際に比較できる試料を用意し、互いに確認する場をつくる必要があった。

以上のことから、生徒の観察・実験の技能は、「金属イオンの分離と確認」実験に必要な実験操作を各次に取り入れ、複数回行うことで定着したと考えられる。

(2) 思考力・判断力・表現力等の育成

実験レポート内容より、配布された未知試料または実験途中の溶液の色や沈殿の有無などの条件などから、含まれる金属イオンを予想し、結果の見通しを立てている生徒は89%であった(図16)。その中でも、実験過程で得られた結果から、含まれる金属イオンを予想しながら実験を行っている生徒は89%であり、十分に思考している様子が見られる。しかし、予想していない生徒が11%であることから、金属イオンの特徴的な色や、沈殿の有無からその後の実験の見通しを立てることが不十分であるといえる。

次に、省略可能な実験操作に気付き、効率よく実験ができた生徒は81%であった(図17)。しかし、実験中では、省略してもよい操作をしている生徒は多く見られた。このことから、実験レポートをまとめる際に省略してもよい操作に気付いた生徒が多くいたと解釈できる。

実験レポートの最後に、実験での操作とは別の分離方法の考察を発展課題として提示した。含まれる金属イオンの種類が予め分かる場合は、操作の順番や使用する試薬を変えるなどいくつかの方法が考えられる。分離操作、使用する試薬が適切、やや適切である記述は43%であった(図18)。57%の生徒は、操作の手順や使用する試薬が誤っている箇所があるため、予想される結果が出ない実験計画である。しかし、分離操作の順序の工夫や、試薬の性質について既習事項を振り返った様子が見られる記述であることから、思考力・判断力・表現力等の育成に効果があるといえる。具体的な支援方法としては、自分たちが計画した操作を実際に行わせてみて、誤りに気付かせ、改善の工夫まで行うことでより探究的な学習活動が可能である。

実験レポートを通して、観察・実験の技能及び思考・判断・表現について評価を行ったところ、観察・実験の技能は、生徒全員が「おおむね満足できる」以上の評価であった(図19)。「思考・判断・表現」は74%が「おおむね満足できる」以上の評価となった。「金属イオンの分離と確認」実験は、観察・実験の技能や思考力・判断力・表現力等が必要とされるが、生徒全員が実験に意欲的に参加し、実験を終えたことと、レポート作成が行えたことは評価できる。また、1

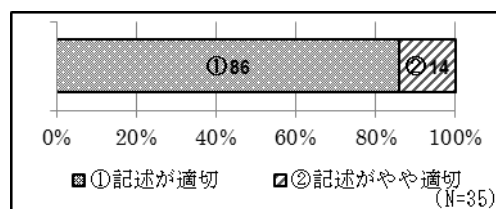


図14 実験の操作・結果が書けている

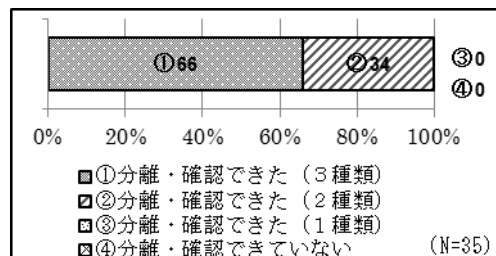


図15 金属イオンを分離・確認できている

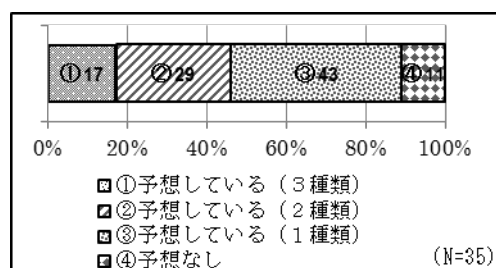


図16 予測をしながら実験ができている

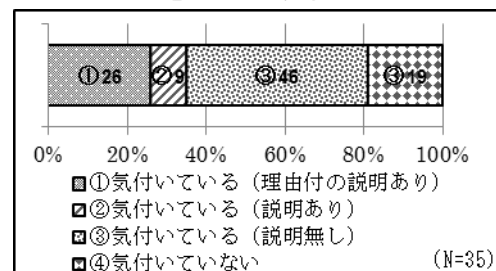


図17 省略可能な操作に気付いている

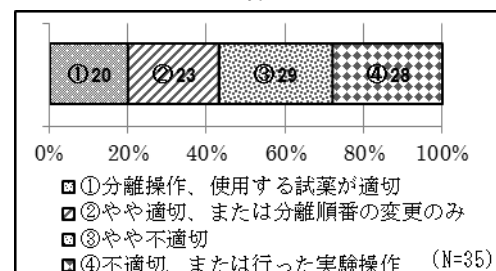


図18 同じ試料で別の分離方法が書けている

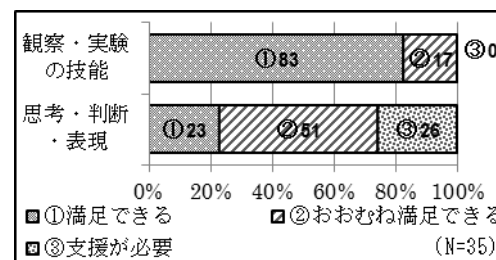


図19 実験レポートにおける観察・実験の技能及び思考・判断・表現の評価

次から9次までの実験と実験のまとめの授業展開により、技能、思考力・判断力・表現力等の育成に効果があり、科学的に探究する能力の育成につながると考える。実験技能は、比較的短期間の繰り返し実験で定着するが、思考力・判断力・表現力等については、短期間で身に付くものではなく、単元を貫いた年間を通しての指導計画が必要である。

V 成果と課題

1 成果

- (1) 探究を伴う考察指導により、「実験データの分析・解釈」の育成ができた。
- (2) 通常の授業を通して探究的な活動を行うため、各次に生徒実験と演示実験を取り入れ、技能、思考力・判断力・表現力等を育成することで、探究の方法が身に付き、科学的に探究する能力を育成する手段となり得た。

2 課題

- (1) 他の単元においても探究的な活動を行うための教材研究を行い、生徒実験と演示実験を中心とした授業展開を取り入れる検討が必要である。
- (2) 本研究で取り組めなかった「探究の過程」における「情報の収集」と「発表」に取り組む方法について検討する必要がある。
- (3) 生徒の興味・関心を高めるきっかけになる、日常生活や社会と関連した教材の工夫が必要である。

本研究をすすめるにあたり、沖縄県総合教育センターの濱川敦研究主事をはじめ、理科研修班の各主事からの指導のもと、沖縄県立那覇西高等学校の盛山啓史教諭他、多くの職員の協力を得て、検証・研究授業を行うことができました。ここに感謝の意を表します。ありがとうございました。

<参考文献>

- ト部吉庸 2013 『化学の新研究』三省堂
- 犬塚壮志 2013 『大学入試によく出た順 化学の分野別ランキング』中経出版
- 岡山県総合教育センター 2013 『一高等学校理科指導資料―「基礎を付した科目」の探究活動』
- 田代直幸 2013 「科学的な思考力・表現力を授業で伸ばす評価」『理科の教育』通巻734号
- 松山修司 2013 「問題解決型学習における評価のポイント」『理科の教育』通巻734号
- 沖縄県高等学校理科教育研究協議会 化学教育研究会 2012 『化学実験ノート』
- 国立教育政策研究所 2012 『評価規準の作成、評価方法等の工夫改善のための参考資料（高等学校 理科）』
- 齋藤烈・藤嶋昭・山本隆一 2012 『化学』新興出版社啓林館
- 県立学校教育課 2011 『実験・実習実施状況調査』
- 日本分析化学会 2011 『分析化学便覧 改訂六版 日本分析化学会編』丸善出版
- 文部科学省 2011 『小学校理科の観察、実験の手引き』
- 河村昌子 2010 『科学的に探究する能力と態度の育成に関する研究』やまぐち総合教育支援センター
- 文部科学省 2009 『高等学校学習指導要領解説 理科編』
- 文部科学省 2008 『小学校学習指導要領解説 理科編』
- 和歌山県教育センター学びの丘 2008 「表現力と思考力の向上を目指した理科学習指導に関する実証的研究」『和歌山県教育センター学びの丘研究紀要』
- 小倉興太郎 2005 『溶液内イオン平衡と分析化学』丸善出版
- 化学教育研究会 1992 『授業に役立つ化学実験のくふう』大日本図書
- 加藤道夫 柴崎匡泰 1989 「ソルベーもびっくり！ドライアイスのおまじない短時間にできるアンモニアソーダ法」『化学と教育』37巻・6号、634-635頁