

知的好奇心を喚起し問題解決能力を養う個別化実験教材の開発

- 新教育課程に対応した金属イオンの定性反応と同定を中心に -

佐賀県立小城高等学校 教諭 森永 順治

要 旨

本研究は、金属イオンの定性反応と同定を中心に、知的好奇心を喚起し問題解決能力を養う個別化実験教材の開発を行ったものである。具体的には、点眼容器と96穴パイオ用プレートを用いた試薬の少量化、少量の試薬でも定性反応が明瞭になるような溶液の濃度調整、未知サンプルの同定を目的とし問題解決の過程を意識した「実験記録用紙」と「実験結果報告書」の作成、金属イオンに関する環境問題等のプリント教材の作成である。開発した教材の有効性を確認するために授業実践を行った結果、これらが知的好奇心を喚起し、問題解決能力を養うことに有効であることが分かった。

<キーワード> 高校化学 金属イオン 知的好奇心 問題解決能力 個別化実験

1 主題設定の理由

新教育課程における理科の改善の基本方針には、「……児童生徒が知的好奇心や探究心をもって、自然に親しみ、目的意識をもった観察、実験を行うことにより……、問題解決能力や多面的・総合的な見方を培う」⁽¹⁾と示されている。これは、観察及び実験教材には、生徒一人一人が生き活きとして目を輝かせ、知りたいと思ったことを調べることができる要素と、その教材を通して「自ら学び、自ら考える」といった問題解決能力を養うことができるような要素が必要であることを示しているのではないかと考える。

新教育課程の「化学」の内容の取扱いには、「無機化合物やイオンは羅列的な取り上げ方はしない」⁽¹⁾と示されている。金属イオンの定性反応の学習では、実験の結果のみではなく、その過程（操作）が重要である。そのためには、生徒一人一人が実験を主体的に行い、その内容を十分に理解し、過程と結果を確実に結び付けていく必要があると言える。個別化実験は、生徒一人一人が自己のペースで理解をしながら主体的に実験を行い、試行錯誤しながら自分の力で解決する方法を見いだしていくため、実験の過程と結果を確実に結び付けることができ、問題解決能力を養うことができると考える。反面、多数の器具や教師による支援などが必要であり、試薬及び廃液の量が増えるなどの問題点も多い。

そこで、本研究においては、個別化実験での問題点を工夫・検討するとともに、知的好奇心を喚起し、生徒一人一人が目的意識をもった実験を行うことで、問題解決能力を養い、試行錯誤する楽しさと発見する喜びを得られるような、金属イオンの同定を扱った個別化実験教材を開発したいと考え、本主題を設定した。

2 研究の目標

知的好奇心を喚起し、生徒一人一人が目的意識をもった実験を行うことで、問題解決能力を養い、試行錯誤する楽しさと発見する喜びを得られるような、金属イオンの同定を扱った個別化実験教材を開発する。

3 研究の内容と方法

本研究に関連する理論研究や先行研究を文献等で調査する。

金属イオンを含む水溶液の調整を行い、定性反応と同定の個別化実験教材を開発する。

開発した教材の有効性を確認するための授業を実践し(3年生)、アンケート結果等の分析を行う。

4 研究の実際 1 (文献等による調査・研究)

(1) 知的好奇心

高等学校学習指導要領解説理科編では、理科の目標に関して、「目的意識をもって実験、観察などを行うことにより、知的好奇心や探究心を喚起」すること、また、化学の目標に関して、「興味・関心を高め、好奇心をもって疑問点を見いだそうとする意欲をもたせる」ことが示されている。(1)

「探究心」を高めていくためには、まず初めに、「知的好奇心」が重要なのではないかと考え、文献調査を行った結果、知的好奇心を図1のように考えた。

既有的知識や概念では理解できない「未知のもの」に出合ったとき、好奇心が生じ、驚きや疑問がそれに向けられる。それを探究する方向性が強くなったものが「知的好奇心」ととらえる。知的好奇心は探究の過程でも継続され、新しい知識や概念が獲得される。これを繰り返す手立てを講じることにより、探究心が高まっていくのではないかと考える。

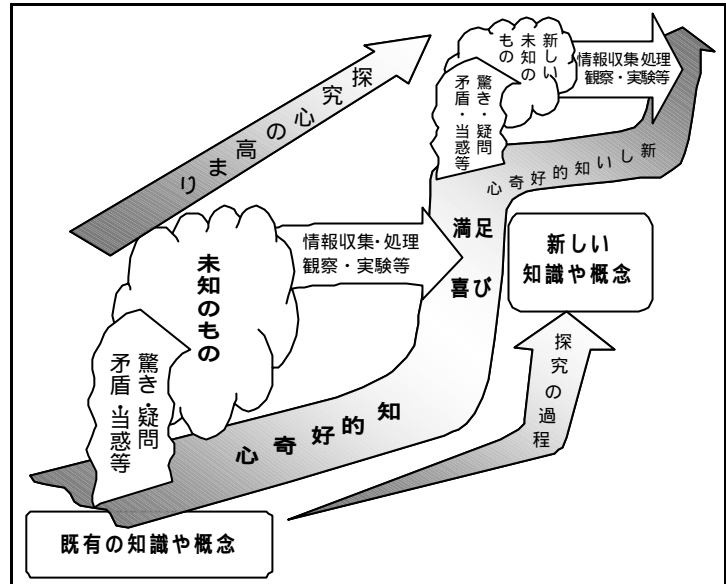


図1 知的好奇心の概念図

(2) 問題解決能力

問題解決能力を育成するためには、図1の探究の過程において科学的な思考力、判断力及び表現力を育成することが重要であると考え。そこで、探究の過程における問題解決のための思考及び判断、つまり考え方に注目した。

高橋誠は、問題解決を行うとき、私たちは2つの考え方をしているとし、次のように述べている。(2)

……まず「発散的思考」とは、試行錯誤的な思考が行われる時には必ず働き、問題に対し多種多様な解決策を生み出す思考といえます。一方、「収束的思考」とは、正しい答えをもたらす働き、つまり解決策へとまとめていく思考です。……問題解決には、この二つの思考方法を次のように分けて用いることが大切です。『発散の時は発散のみ、収束時には収束だけ』

この「発散的思考」と「収束的思考」の考え方を個別化実験に取り入れ、探究の過程において、問題解決能力が育成できるように工夫した教材プリントを作成することとした。

5 研究の実際 2 (教材開発)

(1) 個別化のための実験器具の工夫

試薬の量を最少化するため、試薬ビンとピペットの代用として、高さ6cmの点眼容器(エムアイケミカル株式会社、ノーベル点眼容器(10cc)、100個で2300円)を、また、試験管の代用としてPTP(Press Through Package)シート(写真1)と96穴バイオ用プレート(写真2)を用いた。



写真1 26穴PTPシート



写真2 96穴バイオプレート

PTPシートは粒状チョコレートの包装シート(フルタ製菓株式会社のわなげチョコ、定価60円)を利用したもので、穴の大きさは点眼容器10滴分である。96穴バイオ用プレート(増田理化工業株式会社100枚セット8500円、86×128×7(mm))の穴は直径5mm、深さ6mmで、点眼容器4滴が限度であり、攪拌の際には爪楊枝を逆さにして使うと便利である。このプレートは「実験記録用紙」で用いるマトリックス(行と列)的な情報収集・整理を容易にするものとして有効である。また、96穴バイオ用プレート内に生じた沈殿は穴の底に付着しやすいため、溶液ごと吸引

できるように廃液回収装置を考案し、作製した。
(図2参照)

(2) 金属イオンのサンプルと試料

定性実験及び同定実験で用いる水溶液の調整を行う前に、表1に示す1種類の金属イオンを含有する水溶液10種類と着色水3種類の計13種類の原液を調整する。

着色水を用いる狙いは、色を見ただけで金属イオンを断定できなくし、有色イオンの有無を生徒に実験によって確かめさせることにある。着色物質としては、黄色と緑色の食用色素及びメチレンブルーを用いた。

次に、表1の原液を水で薄めて体積比で2倍に希釈し、定性実験で用いる1種類の金属イオンのサンプル10種類と着色水3種類を調整する。(写真3)また、これらと反応させるための10種類の試薬を表2に示す。

同定実験で用いる76種類の未知サンプルを表3に示す。この未知サンプルは、写真3に示すサンプルの濃度と同じにするため、表1の原液から2種類を選び、等量(5mlずつ)混合して調整する。未知サンプルには識別番号を付けるとともに、同定の行いやすさ(沈殿の判別のしやすさ等)と安全性(操作上の有害性等)を考慮して、表4に示すような難易度を設定した。なお、未知サンプル76として、すべての反応を行わず、色もない蒸留水を加えている。

表3 未知サンプルの識別番号と難易度

水L 76	金属イオン										着色水		
	Cu ²⁺	Ag ⁺	Ba ²⁺	Li ⁺	Pb ²⁺	Fe ³⁺	Ni ²⁺	Zn ²⁺	Al ³⁺	K ⁺	黄	緑	青
Cu ²⁺	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Ag ⁺	L 2	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	
Ba ²⁺	L 1	L 2	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	
Li ⁺	L 1	L 4	L 1	33	34	35	36	37	38	39	40	41	
Pb ²⁺	L 2	L 3	L 4	L 4	42	43	44	45	46	47	48	49	
Fe ³⁺	L 2	L 2	L 2	L 1	L 2	50	51	52	53	54	55	56	
Ni ²⁺	L 5	L 2	L 2	L 5	L 2	L 3	56	57	58	59	60	61	
Zn ²⁺	L 5	L 4	L 3	L 4	L 4	L 5	L 5	61	62	63	64	65	
Al ³⁺	L 5	L 3	L 3	L 1	L 4	L 5	L 5	L 5	66	67	68	69	
K ⁺	L 4	L 4	L 4	L 5	L 4	L 5	L 5	L 4	L 1	70	71	72	
着色黄	L 1	L 2	L 1	L 1	L 2	L 3	L 3	L 3	L 1	73	74	75	
着色緑	L 5	L 2	L 1	L 1	L 2	L 3	L 3	L 3	L 1	L 1	75	76	
着色青	L 1	L 2	L 1	L 1	L 2	L 3	L 3	L 3	L 1	L 1	L 1	L 1	

表中の ⊗ は有色の金属(Fe³⁺, Ni²⁺, Cu²⁺)と似た色をもつ着色水なので、混合した際に識別がかなり困難になるためサンプルから除外した。

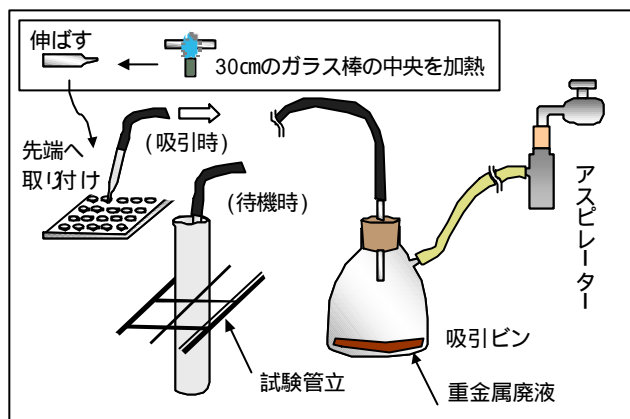


図2 自作した廃液回収装置の概略図

表1 原液の濃度

溶液名と濃度
0.4mol / l 硝酸亜鉛水溶液
0.6mol / l 硝酸アルミニウム水溶液
0.3mol / l 硝酸カリウム水溶液
0.2mol / l 硝酸銀水溶液
0.3mol / l 硝酸鉄()水溶液
0.3mol / l 硝酸銅()水溶液
0.1mol / l 硝酸鉛()水溶液
0.3mol / l 硝酸ニッケル()水溶液
0.03mol / l 硝酸バリウム水溶液
0.6mol / l 硝酸リチウム水溶液
Fe ³⁺ 水溶液の色に似た黄色着色水
Ni ²⁺ 水溶液の色に似た緑色着色水
Cu ²⁺ 水溶液の色に似た青色着色水



写真3 金属イオンと着色水

表2 試薬の濃度

溶液名と濃度
1 mol / l 塩酸
1 mol / l 水酸化ナトリウム水溶液
1 mol / l アンモニア水
1 mol / l 硫酸
0.6mol / l 炭酸アンモニウム水溶液
1%チオシアン酸カリウム水溶液
1%クロム酸カリウム水溶液
1%ヘキサシアノ鉄()酸カリウム水溶液
1%ヘキサシアノ鉄()酸カリウム水溶液
硫化水素水(飽和)

表4 未知サンプルの難易度設定表

標記	難易度	分類上の特徴
L 1	易	試薬と炎色反応で同定できる。
L 2	やや易	試薬のみで同定できる。炎色反応を行ってはいけない。
L 3	中程度	L 2より同定が困難。炎色反応を行ってはいけない。
L 4	やや難	炎色反応を行わないと同定できない。直接炎色反応を行う場合は、十分な換気を行うか、硫化物の沈殿を生じさせた後の上澄み液を綿棒に染み込ませて燃焼させる。
L 5	難	分離操作を行わないと同定はできない。教師による支援が必要である。分離操作は通常行う方法で、点眼容器から試験管に約10滴滴下し、水で2~3倍に薄めて行う。

(3) 問題解決能力を養うための教材

図3に実験記録用紙と実験結果報告書を示す。問題把握と情報収集・整理の要素が強い定性実験に使用する実験記録用紙は、問題解決の手法としてよく用いられるマトリックス(行と列)を利用し、横列に金属イオン等を、縦列にこれと反応させる試薬を配列しており、発散的思考を助けるものとして作成した。また、問題解決と情報処理・分析の要素が強い同定実験の際に使用する実験結果報告書は、事実やアイデアをまとめ、金属イオンの同定のために必要な情報処理の流れが分かるように配列しており、主に収束的思考を助けるものとして作成した。

実験記録用紙(金属イオンの定性反応)											
【記入例】											
1 変化の無いときは空欄のままにする(有色の試薬を加えた着色も無視する)											
2 「××色沈殿」、「××色溶液」、「溶解し××色」などと記入する。炎色反応は色を記入する。											
	Cu ²⁺	Ag ⁺	Ba ²⁺	Li ⁺	Pb ²⁺	Fe ³⁺	Ni ²⁺	Zn ²⁺	Al ³⁺	K ⁺	着色水
											青 緑 黄
塩酸											
硫酸											
炭酸アンモニウム											
チオシア酸											
ヘキサシアノ鉄酸カリウム											
ヘキサシアノ鉄酸カリウム											
水酸化ナトリウム											
1滴											
水酸化ナトリウム											
3滴											
アンモニア水											
1滴											
アンモニア水											
3滴											
硫化水素(弱酸性)											
クロム酸											
炎色反応											

実験結果報告書	
未知サンプル() 実験者()年()月()日 氏名()	
【予想】可能性のあるものを で囲み、可能性がなくなったものには×を付けよ。 Cu ²⁺ Ag ⁺ Ba ²⁺ Li ⁺ Pb ²⁺ Fe ³⁺ Ni ²⁺ Zn ²⁺ Al ³⁺ K ⁺ 蒸留水 着色水	【予想の根拠】 又は×を付けた理由を書け。
【推理, 推論, 検討】可能性が, あるものを で囲み, なくなったものには×を付けよ。 Cu ²⁺ Ag ⁺ Ba ²⁺ Li ⁺ Pb ²⁺ Fe ³⁺ Ni ²⁺ Zn ²⁺ Al ³⁺ K ⁺ 蒸留水 着色水	金属イオン が含まれ ない ならば 操作(A)と予測される結果(A)を記入 ……を加えて×色の沈殿が生じる・ない) だろう
	が含まれ ならば だろう
【仮説の確定の条件】検討の結果, 仮説が成立する条件を で囲め(2つ以内である) Cu ²⁺ Ag ⁺ Ba ²⁺ Li ⁺ Pb ²⁺ Fe ³⁺ Ni ²⁺ Zn ²⁺ Al ³⁺ K ⁺ 蒸留水 着色水	【検証実験】確定した仮説を確認(証明)するためにどんな操作(B)を行うか。
	【結果】 操作(B)を行ったら, 結果(B)になった。(例: 炎色反応を行ったら炎の色が黄色になった)
	【結論】事実から導いた自分の意見。(例: ナトリウムイオンが含まれると考えた)
	【考察】(例: 結果(B)から, 【結論】と考えた。その理由(根拠)は-だからである)

図3 実験記録用紙(奥)と実験結果報告書(手前)

(4) 開発教材と授業計画

開発した教材は全4時間の授業で実施するようにした。(表5参照)

第1時は、生徒一人一人に実験器具や薬品等を与え、自らの力で情報収集・整理及び処理を行うことや器具や薬品の取扱い等を理解させる。実験を個別化し、一人一人に未知サンプルを与えることなどで、知的好奇心を喚起するとともに、生徒が目的意識をもって実験に取り組めるようにした。

第2時と第3時は、「考え方」を重視した問題解決能力の育成を目指しており、その内容を表6に示す。第2時は、写真3の金属イオン等と表2の試薬の各組合せについて、各金属イオンの特有な反応を調べる定性実験を行う。ここでは実験の結果のみではなく、その過程(どのような操作を行ったか)を重視し、問題に対し多種多様な解決策を生み出す発散的思考を意識させるようにした。第3時は、第2時の各金属イオンの特有な反応に基づいて、未知サンプル中の金属イオンの同定を行う。ここでは、様々な情報(実験結果など)を十分に考慮し、解決(同定)へと役立てる収束的思考を意識させるようにした。

なお、第4時の内容と使用した教材プリント等については紙面の都合上割愛する。

表5 授業計画の概要(全4時間)

時数	主な学習内容
1	金属イオンの定性反応に関する個別化実験教材の取扱
2	定性実験(各金属イオンの特有な反応を調べる)
3	同定実験(未知サンプル中の金属イオンを同定する)
4	実験のまとめを行い、環境問題等への応用を学習

思考	問題解決の過程	実験	生徒の主な作業・操作
発散的思考	【問題提起, 問題発見】	定性実験	未知サンプル2つと未知サンプルの難易度表を受け取り、「実験結果報告書」に未知サンプル中に含まれる金属イオンの予想を行う。 各金属イオンの特有な反応を調べる。情報整理のための「実験記録用紙」に記入する。まず、銀イオンで指示通りの練習を行い、次にバリウムイオンを使って個別に練習した後、残りのすべての金属イオンについての定性実験を行う。 未知サンプル中の金属イオンを推理(推論)し、絞り込む方法を考える。
	【予想】 【情報収集】		
収束的思考	【情報処理, 分析】 【推理, 推論】	同定実験	推理や推論に基づいて推定されるイオンの候補を絞り込むため、幾つかの実験を試みる。 仮説を確定し、検証計画を考える。 各自、未知サンプルの同定実験を行う。 「実験結果報告書」を提出する 早く済んだら、次の未知サンプルに取り組む。
	【検討】 【仮説の確定, 検証計画】 【実践, 情報収集】 【結果】 【情報処理, 分析, 考察】 【結論】 【まとめ】		

6 事前及び事後アンケートの結果と考察

(1) 知的好奇心を喚起することができたか

図4に示す29の質問項目について、事前では「期待がもてる」「楽しそうだな」「興味・関心をもった」という「好奇心の高まり」を、事後では「期待通りだった」「予想した通りだった」「好奇心が満たされた」といった「満足感」を感じたかどうかを生徒に聞いた。その結果について「とてもよく当てはまる」を「好奇心の高まり」又は「満足感」の100%として、以下「どちらかというと当てはまる」を67%、「どちらかといえば当てはまらない」を33%、「まったく当てはまらない」を0%として数値化し、各項目について全生徒の平均値を計算した。図4は各質問項目を授業展開の順に横列に並べて時間の経過を示し、縦列に「好奇心の高まり」又は「満足感」の平均値を示したものである。

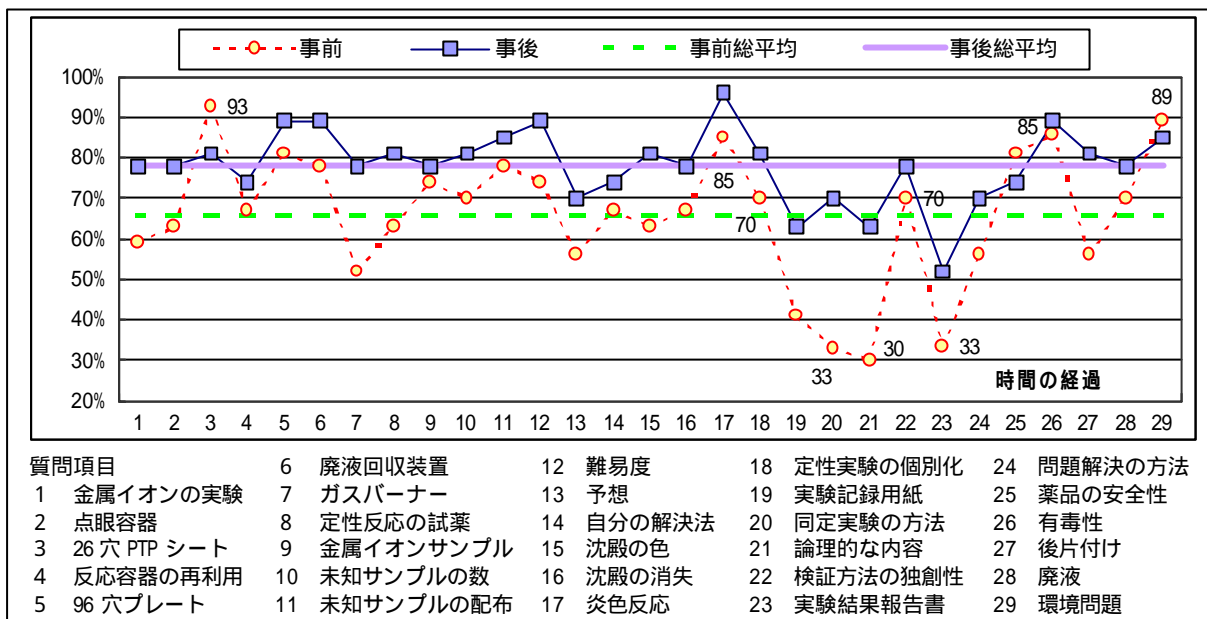


図4 「好奇心の高まり」と「満足感」の平均値の推移

図4に示すように、事前総平均値は65.7%で、「どちらかというと当てはまる」の67%に近い値であった。特に高い値を示した上位4項目は、「3 26穴PTPシート」93%、「17 炎色反応」85%、「26 有毒性」85%、「29 環境問題」89%であり、適度に分散して知的好奇心を喚起し、それを継続することができていると言える。逆に低い値を示した3項目は、「20 同定実験の方法」33%、「21 論理的な内容」30%、「23 実験結果報告書」33%である。これらは、いずれも問題解決の過程で重要な「考え方」の項目であるが、実験の詳細が不明確な事前の段階では好奇心を高められなかったようである。しかし、「18 定性実験の個別化」70%と「22 検証方法の独創性」70%が、いずれも高い数値を示しており、個別化実験が問題解決能力を育成する手立ての一つとして有効に働いていると言える。

事後総平均値は78.1%で、ほとんどの項目で事前より高い値となっている。このことは、期待していた以上の満足感を得たり、関心をもつ程度だったものが興味や知的好奇心を抱くまでに高められたりしたことを示しており、開発した教材が知的好奇心を喚起し、それを継続することに有効であったと考える。

(2) 問題解決能力を養うことができたか

図5に示すように、「問題解決の方法」についての問いに対して、「とてもよく」又は「どちらかという」とで「当てはまる」と答えた生徒は、42%から89%に増加している。これは、発散的思考や収束的思考といった問題解決の方法が、会社の商品開発や企画立案等で大いに使われていることを、

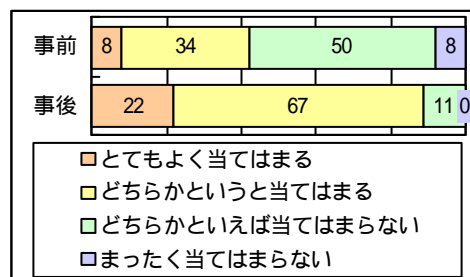


図5 問題解決の方法

具体的な例を挙げながら説明し意識付けたためと思われる。

また、図6に示すように、「実験記録用紙にまとめること」についての問いに対して、「当てはまる」と答えた生徒は、25%から78%に増加している。このことにより、生徒は実験記録用紙による情報収集・整理の大切さを感じ、実験記録用紙が問題解決のために有効に働いていたと言える。

さらに、図7に示すように、「実験結果報告書の論理的内容」についての問いに対して、「当てはまる」と答えた生徒は、事前のわずか17%から67%に増加している。事前は文章表現への苦手意識が強かったようであるが、実験結果報告書に従って文章表現をしていくことで、生徒自身がその時何を考え何を目的として操作を行っているのか明確化でき、探究の過程での問題解決の考え方がつかめたのではないかと考える。

生徒の実験結果報告書の記述から、試行錯誤等の努力の跡が見えるものを以下に示す。

- | | |
|-----|---|
| (ア) | 教科書に記述のない考察を書いた生徒
「チオシアン酸カリウムで緑色沈殿を生じるのは Ni^{2+} である」 |
| (イ) | 独自の確認方法を考えて検証を行った生徒
「 Fe^{3+} と Li^{+} のサンプルを混合して検証を行ったところ、未知サンプルと同じ反応をした」
「塩酸で脱色されたのは着色水である」 |

このように、新たな知識の発見や独自の手法の考案などへと発展させている生徒もあり、実験結果報告書が問題解決能力を養うことに有効であったのではないかと考える。

7 研究のまとめと今後の課題

(1) 研究のまとめ

金属イオンの定性反応と同定を中心に、知的好奇心を喚起し問題解決能力を養う個別化実験教材の開発を行った。具体的には、金属イオンの定性反応と同定に用いる薬品として「1種類の金属イオンのサンプルと着色水」「未知サンプル」等の調整を行い、実験器具として「試験管に代わる反応容器」「廃液回収装置」等の開発や工夫を行った。また、問題解決能力の思考力や判断力を養うための「実験記録用紙」「実験結果報告書」等を作成した。開発した教材の有効性を確認するために授業実践を行った結果、これらが知的好奇心を喚起し、問題解決能力を養うことに有効であることが分かった。

(2) 今後の課題

金属イオンの同定において、理解が不十分で問題解決の過程に沿っていない生徒が見受けられた。このため、実験中に問題解決の過程に沿っているかを確認するとともに、適切な支援ができるチェックリスト等を作成するなど、より実践的な教材としたい。また、開発した教材を使用する際は、新教育課程において中学校で「イオン」が削除されたことを踏まえて、授業展開等の工夫を検討する必要がある。

《引用文献》

- (1) 文部省 『高等学校学習指導要領解説 理科編 理数編』 平成11年 大日本図書株式会社
p.3, p.100, p.9, p.92
- (2) 高橋 誠著 『問題解決手法の知識』 1984年 日本経済新聞社 pp.35-36

《参考文献》

- ・ 松原 静郎 『中等化学教育における個人実験を通しての科学的表現力育成に関する調査研究』
平成9年 国立教育研究所
- ・ 井口 尚之編 『新理科教育用語事典』 昭和61年 初教出版株式会社