

「金属イオンの定性分析」における「21世紀に求められる資質・能力」の「思考力」の捉え方

下 村 博 志*

(平成28年11月14日受付；平成28年12月12日受理)

要 旨

金属イオンの定性分析実験の授業において、思考力の育成も行うことが可能かどうか検討した。小林と後藤により提案された、理科における「21世紀に求められる資質・能力」の「思考力」の評価基準の設定の仕方⁽¹⁾，を金属イオンの定性分析実験にあてはめた。実験において分析計画の立案，実験結果の考察などを促すことで，生徒の思考力の育成も可能であると考えられた。

KEY WORDS

思考力，分析化学，金属イオンの定性分析，化学実験

1 はじめに

金属イオンの定性分析は高校化学において金属イオンの反応と関連して扱われるほか，大学などでの初学者向けの化学実験の題材とされ，金属イオンの定性分析実験として広く実施されているものである。その実験においては数種類の金属イオンが混合された試験溶液を教科書のフローチャートに従って分離し，特異的な呈色反応や沈殿生成反応を利用して金属元素の分離と確認を行うのが一般的である。学習者は様々な金属イオンの反応とともに，ろ過操作などの基本的な化学実験手法を学ぶ。特に遷移金属イオンは，（１）着色していることがあり反応を目視で確認できる，（２）多くの反応は常温で速やかに進行する，（３）特殊な試薬を使わなくても実験を行うことができる，（４）微量で実験でき，特別な器具などを必要とすることが少ない，という学生実験にふさわしい特性がある。このため金属イオンの定性分析実験は古くから化学教育に取り入れられ，古典としてほぼ完成の域に達している。

多くの化学実験の教科書には各金属の個別反応や，系統的な分離方法を示す洗練されたフローチャートが掲載されており，学習者はそれに従って実験を進めることができる。しかし教科書に載っていない試薬を用いて分離と確認を行う場合には，各自が分離と確認の方法を考え，実施し，検証し，構築してゆかなければならない。そのため金属イオンの定性分析実験は，思考力の育成も目指した授業を実施するための基盤として活用することが可能であると考えられる。そこで，金属イオンの定性分析を基礎とする，生徒の思考力の育成も兼ねることを目指した実験を含む授業の開発について基礎的な検討を行うこととした。

本稿では金属イオンの定性分析と思考力との関係について，小林らの論考，理科における「21世紀に求められる資質・能力」の「思考力」の評価基準の設定の仕方にそって考察し⁽¹⁾，金属イオンの定性分析について実験を含む授業を思考力育成の観点から再構築することが可能かどうかについて検討を試みた。

2 金属イオンの定性分析における思考力の捉え方

「金属イオンの定性分析」について未知試料の定性分析実験を行う場合を想定し，小林らの「21世紀に求められる資質・能力」の「思考力」の評価基準に当てはめた（表1）。この実験は何が溶けているのか不明な試験溶液（未知試料）があり，そこに溶けている金属イオンの種類を推定するものである。各金属イオンは固有の化学反応性を示し，その性質を活用して分離や同定を行う。

一つ目の「問題解決・発見」については，小林らは下位項目として，「1 自然の事象を観察して問題を見つけ，問いを立てる。」，「2 問題解決のための仮説を立てる。」，「3 問題解決のための観察・実験の計画を立てる。」，

*自然・生活教育学系

表1 理科における「21世紀に求められる資質・能力」の「思考力」の評価基準の設定の仕方－「金属イオンの定性分析」の場合－

「問題解決・発見」の下位項目	「問題解決・発見」の評価基準
1 自然の事象を観察して問題を見つけ、問いを立てる。	1 未知試料にどのような金属イオンが溶けているかについて、明らかにすることが可能な問いを立てる。
2 問題解決のための仮説を立てる。	2 未知試料にどのような金属イオンが溶けているかどうかについて実証が可能な仮説を立てる。
3 問題解決のための観察・実験の計画を立てる。	3 未知試料にどのような金属イオンが溶けているかについて、立てた仮説を検証するための実験の計画を立てることができる。
4 問題解決のための観察・実験を行い、分析・解釈する。	4 個別反応を行いその結果を整理する。さらに未知試料について分析実験を実施し、結果を整理し解釈する。
「理論的・批判的・創造的思考」の下位項目	「理論的・批判的・創造的思考」の評価基準
5 見つけた問題の問いが、観察・実験で解決できるものになっているかどうかについて説明する。	5 実施した実験や得られた結果から、未知試料にどのような金属イオンが溶けているかを明らかにすることができるかを説明することができる。
6 仮説が観察・実験で検証できる表現になっているかどうかについて説明する。	6 未知試料中にどのような金属イオンが溶けているかどうかについて、どのような実験を行えばどのような結果が得られると期待されるか、また金属イオンが溶けていない場合は、どのような結果になるはずか、説明することができる。
7 観察・実験における条件の制御の仕方や方法等が適切かどうかについて説明する。	7 未知試料中にどのような金属イオンが溶けているかどうかについて、実験条件や実験方法が適切かどうかについて説明することができる。
8 観察・実験で得られた結果にもとづいた考察や結論が適切かどうかについて説明する。	8 未知試料中にどのような金属イオンが溶けているかどうかについて、実験を行った結果にもとづいた考察や結論が、適切かどうかについて説明することができる。
「メタ認知・学び方の学び」の下位項目	「メタ認知・学び方の学び」の評価基準
9 観察・実験で問題を解決する過程及び終えた後において、仮説の設定、観察・実験の計画・実施・進捗状況・結論を振り返って説明する。	9 未知試料の分析を行うために行った一連の実験と情報収集・検討について、仮説の設定、観察・実験の計画・実施・進捗状況・結論を振り返って説明することができる。また結論の確かさや、考察や検討の欠点・課題についても説明することができる。
10 新たな問題に対して、仮説の設定の仕方、観察・実験の計画・実施等、既習の問題解決のための考え方や適用の仕方について説明する。	10 未知試料の定性分析に関する新たな問題に対して、仮説の設定の仕方、観察・実験の計画・実施等、既習の問題解決のための考え方や適用の仕方について説明することができる。

「4 問題解決のための観察・実験を行い、分析・解釈する。」を設定している。これらを金属イオンの定性分析の実験に対応させると、「1 未知試料にどのような金属イオンが溶けているかについて、明らかにすることが可能な問いを立てる。」、「2 未知試料にどのような金属イオンが溶けているかどうかについて実証が可能な仮説を立てる。」、「3 未知試料にどのような金属イオンが溶けているかについて、立てた仮説を検証するための実験の計画を立てることができる。」、「4 個別反応を行いその結果を整理する。さらに未知試料について分析実験を実施し、結果を整理し解釈する。」を設定することができる。

「1 未知試料にどのような金属イオンが溶けているかについて、明らかにすることが可能な問いを立てる。」については、ここでは具体的には「試験管に入った液体にどんな金属イオンが溶けているのか調べる」という問題となると考えられる。ところで、人が液体の入っている試験管を目にした場合、それに対しては様々な問題設定があり得る。例えばそれは水溶液なのか、純物質なのか、混合物なのか。また味はどうか、有毒か否か等々の疑問もあり得る。これらの問題も個々に追究されるべき興味深い課題ではあり、生徒から提案されることもあり得ると考えられる。しかしここでは、水溶液であり、それにどのような元素（金属イオン）が溶けているかどうか調べる、という問

題に設定する必要がある。一般的に授業として実施する場合、問題・課題の設定に条件を設ける必要がある場合は少なくないと考えられる。具体的な授業場面においては、必ずしも生徒や学生が自由に発想し、問題設定を行うわけではない、ということは意識してこの評価基準を扱う必要があると考えられる。

「2 未知試料にどのような金属イオンが溶けているかどうかについて実証が可能な仮説を立てる。」については、「各金属イオンに特異的な化学反応が存在すると仮定し、さらにそれを活用して金属イオンを検出することが可能であると仮定する。」となると考えられる。ここで実証可能な仮説をたてる場合でも、本来は様々な方法が考えられる。クロマトグラフィーなどを利用する分離と分析や様々な機器を用いる方法などが現実に行われている。しかしここでも授業として実施する場合には、条件として特異的な化学反応を利用して分離と分析を行うと設定する必要がある。項目「1」と項目「2」の課題の設定と検討方法については特に、授業としての制限条件の設定が必要となる場合があると考えられる。

「3 未知試料にどのような金属イオンが溶けているかについて、立てた仮説を検証するための実験の計画を立てることができる。」については、いくつかの検出方法、何通りかの分離方法が考えられ、それらが組み合わせられることになる。例えばあらかじめ候補となる金属イオンについて個別反応を網羅し、その結果をまとめ、ある金属イオンに特異的な反応や分離する方法を見つけるなどの方法が考えられる。個別反応は必ずしも全ての候補となる金属イオンと反応試薬との組み合わせを検討する必要のない場合があるし、分離を行わないで分析する方法もあり得る。反応条件や分離の順序も何種類もあり得る。自分たちで金属イオンを積極的に混合し、その溶液を用いて分離が可能かどうか検討することも考えられる。系統的である必要はなく、複数の分離・分析結果を照らし合わせることもある。また参考資料の参照も認め、文献情報を活用する場合もある。その文献情報や学習者の既有的知識などを活用するかどうか、それらを実験で確かめてみるかどうかとも学習者は判断する必要がある。

「4 個別反応を行いその結果を整理する。さらに未知試料について分析実験を実施し、結果を整理し解釈する。」については項目「3」で計画した実験を実施してゆくことになる。この項目「4」の段階で実験を実施して初めて特異的な反応が見い出されたり、分離の方法が見い出されることがある。それに伴って項目「3」の未知試料の分析計画が修正されることがある。項目「3」の計画を立てるためには基礎的な情報や基礎的な実験的検討（個別反応の結果や、反応条件の違いによる結果の違いなど）が必要になる場合があり、そのような場合には生徒は項目「3」と項目「4」を往復する、あるいは項目「3」と項目「4」が不可分の関係になることがあると考えられる。

二つ目の「理論的・批判的・創造的思考」については下位項目として「5 見つけた問題の問いが、観察・実験で解決できるものになっているかどうかについて説明する。」「6 仮説が観察・実験で検証できる表現になっているかどうかについて説明する。」「7 観察・実験における条件の制御の仕方や方法等が適切かどうかについて説明する。」「8 観察・実験で得られた結果にもとづいた考察や結論が適切かどうかについて説明する。」が設定されている。これらの下位項目に金属イオンの定性分析実験を対応させると、「理論的・批判的・創造的思考」を評価する基準としてそれぞれ、「5 実施した実験や得られた結果から、未知試料にどのような金属イオンが溶けているかを明らかにすることができるかを説明することができる。」「6 未知試料中にどのような金属イオンが溶けているかどうかについて、どのような実験を行えばどのような結果が得られると期待されるか、また金属イオンが溶けていない場合は、どのような結果になるはずか、説明することができる。」「7 未知試料中にどのような金属イオンが溶けているかどうかについて、実験条件や実験方法が適切かどうかについて説明することができる。」「8 未知試料中にどのような金属イオンが溶けているかどうかについて、実験を行った結果にもとづいた考察や結論が、適切かどうかについて説明することができる。」を設定することができる。

これらはある金属イオンに特異的な反応を見い出したり、ある金属イオンが分離される方法を見い出し、それらを未知試料に当てはめ、未知試料にどのような金属イオンが溶けているか、溶けていないかをデータに基づいて合理的に判断し、その説明を行う活動であると考えられる。なおその説明は、溶液が呈色したり、沈殿が生成した等の、現象の外見の観察結果をデータとして組み合わせることが基本となる。そのためこの実験は反応式などについて必ずしも知識や理解が必要でなく、中学生が実施することも可能である。しかし化学反応の中身について理解している、あるいは推測することができれば、より合理的な判断を下すことができるのはもちろんであるし、高校生や大学生は反応について理解している必要がある。この授業では教員が分析化学反応について説明すると、分離・分析方法の一つの答えを説明することになることがあり、このような場合には、化学反応の知識はレポートでの調査や別の授業で補完する必要があると考えられる。

三つ目の「メタ認知・学び方の学び」については、下位項目として「9 観察・実験で問題を解決する過程及び終えた後において、仮説の設定、観察・実験の計画・実施・進捗状況・結論を振り返って説明する。」「10 新たな問題に対して、仮説の設定の仕方、観察・実験の計画・実施等、既習の問題解決のための考え方や適用の仕方について

説明する。」を設定している。これらの下位項目に金属イオンの定性分析を対応させると、「メタ認知・学び方の学び」を評価する基準としてそれぞれ、「9 未知試料の分析を行うために行った一連の実験と情報収集・検討について、仮説の設定、観察・実験の計画・実施・進捗状況・結論を振り返って説明することができる。また結論の確かさや、考察や検討の欠点・課題についても説明することができる。」、「10 未知試料の定性分析に関する新たな問題に対して、仮説の設定の仕方、観察・実験の計画・実施等、既習の問題解決のための考え方や適用の仕方について説明することができる。」を設定することができる。

これらは未知試料の分析結果について、自分たちの立てた計画、行った基礎的検討（金属イオンの個別反応など）の内容、その実験が計画通りに行えたかどうか、また収集した情報、未知試料の分析実験の結果と考察、そして導き出した結論について説明し、その課題などについて振り返る活動であると考えられる。ここで一連の検討から導いた結論については、その「確かさ」に違いが生じる場合が考えられる。またある金属イオンについては未知試料に溶けていたかどうか、最後まで不明であった、という場合もあり得る。そのため、結論の確かさについて意識させる必要があると考えられる。著者は中学生を対象にこのような授業を実施した際は、候補となる金属イオン毎に「確かに存在する」、「存在する」、「不明」、「存在しない」、「確かに存在しない」等の分けを設けて結論を述べられるフォーマットを用意し、ある金属イオンが「確かに存在する」としてそれが真実だった場合は+3ポイント、「存在する」と結論してそれが真実であった場合は+1ポイント、逆に「確かに存在する」と結論しそれが偽であった場合は-3ポイント、「存在する」が偽であった場合は-1ポイントにする（不明は0ポイント）などとし（ポイント数は変更することがある）、結論の確かさと結論を下すという行為の責任感を意識させようと試みたことがある。ここで授業実践の詳細は述べないが、中学生でも大学生でも、この授業の制限時間が近づくと班内で白熱した議論が交わされることが多い。

項目「9」の振り返って説明する内容については、未知試料に対して判断を下した根拠や、判断が誤りだった場合に、どこに原因があったかを検討することも考えられる。このような活動を促すため、必ずしも分析結果が「正解」であったことだけを評価せず、誤った結論を下した原因をレポートなどで分析できているかなども評価する必要があると考えられる。

項目「10」については、得られた経験や知見、あるいは思考力を、新たな試料、新たな方法、新たな課題へ活用することができるかどうか問われることになると考えられる。金属イオンの定性分析実験は、金属イオンの数と組み合わせにより難易度が調整可能であり、学年や経験に応じて最適な実験系を組み立てやすいことも特徴である。また、真実（正解）が明確に存在しており、生徒の検討と思考の結果が正しいか、誤っているかがはっきりと示される。このように実験を実施する金属イオンの定性分析は生徒の思考力を育成するための優れた特性を有していると考えられ、金属イオンの定性分析実験を基礎として改良することで、知識や技術の習得のみならず、生徒一人ひとりの思考力を少しずつ養うこともできる化学の授業を実施できると考えられる。

3 おわりに

金属イオンの定性分析に関する実験に対して、理科における「21世紀に求められる資質・能力」の「思考力」の評価基準を概ね矛盾なく設定することができた。金属イオンの定性分析について実験を中心とする授業を工夫することで、金属イオンの反応に関する知識を得、化学実験の手法を学ぶだけでなく、どのような情報が必要となるか、どのような実験を行ってデータを採取する必要があるか、また実験結果からどのようなことをどの程度の確かさで言えるかなどを、学習者が常に考察する必要がある状況を設定することができ、学生や生徒の思考力の育成に寄与することができると考えられる。

参考文献

- 国立教育政策研究所（2015）「資質・能力を育成する教育課程の在り方に関する研究報告書1」
- 文部科学省（2009）「高等学校学習指導要領解説理科編理数編」
- 丸田銓二郎（1981）「改稿・化学基礎実験」，三共出版
- 浅田誠一・内出 茂・小林基宏（1982）「図解とフローチャートによる定性分析」，技報堂出版
- 高木誠司（1971）「改稿 定性分析化学 上巻・原理編」，南江堂
- 高木誠司（1964）「新訂 定性分析化学 中巻・イオン反応編」，南江堂

高木誠司（1971）「改稿 定性分析化学 下巻・実験編」，南江堂

引用文献

- (1) 小林辰至・後藤顕一（2016）「理科」における「21世紀に求められる資質・能力」の「思考力」の捉え方，上越教育大学研究紀要，35，pp.229-238.

Relevance of “Thinking Power” of the “21st Century’s Ability” on the Qualitative Analysis of Metal Ions

Hiroshi SHIMOMURA *

ABSTRACT

The relevance of “thinking power” on the experiment of qualitative analysis of metal ions in a classroom has been discussed. The evaluation criteria of the “thinking power” of the “21st century’s ability,” proposed by Kobayashi and Goto, has been applied to this experiment. It was considered that the analytical experiments of metal ions provide students with a good opportunity to understand “thinking power” as they were asked to create a plan for the experiment and interpret the results thereof.

* Natural and Living Science