

理論依存型理科授業の実践研究

－ (3) 中学校理科における「酸・アルカリとイオン」－

松永 武*・池田 幸夫**

A Practical Study of Science Teaching Based on the Theory-Dependent Teaching and Learning Methods
(3)“The Concepts of Acid, Alkali and Ion” in Junior High School Science

MATSUNAGA Takeshi*, IKEDA Yukio**

(Received January 8, 2013)

キーワード：理論依存型授業、矛盾の自覚、酸・アルカリとイオン

はじめに

1990年代から普及した「子ども中心主義教育」では、生徒自身が「自ら学び、自ら考える」ことが目標である。この理念が学校教育に普及するにつれて、現場の教師の間には、「教師の仕事は、教えることではなく、子どもが自ら考える活動を支援することである」という考えが広がっていった。学習課題を子ども自身が見だし、課題解決の方法を考え、得られた結果から帰納的にきまりを発見する授業が理想的な授業と考えられるようになった。このような授業を参観した池田は、この授業では多くの生徒が、「何をどう考えればいいのか分からないままに、一部のできる生徒の意見で授業が進められ、学習しているように見えても、実際には何も分からないまま終わっている」と、疑問を提起している(池田, 2003)。市川(2004, 2008)は、このような授業を「教えないで考えさせる授業」とよび、「新しいタイプの分からない授業」と批判し、「教えて考えさせる授業」を提唱している。さらに、進藤を中心にした研究グループも同様の問題意識を持ち、「知識伝達一事例化モデル」という授業方法を提唱し、授業実践を展開している(進藤, 2010, 2011)。

池田の理論依存型授業は、「自ら学び、自ら考える」ことを目指した子ども中心主義教育の閉塞感を打開する方法として提唱された授業方法である。大きな特徴は、教師が理論や法則および基礎的な知識や考え方を先に教え、それらを活用して問題解決学習を行うことである。考えるために必要な知識や考え方を教師が与えることによって、ほとんどの生徒が授業の課題を理解して授業に参加することができ、活発な意見交換ができるのである。これまでに、「金星の見え方(池田, 2004)」、「水のふっとう(池田, 2009)」、「被子植物の分類と浮力のはたらき(松永・池田, 2011a)」、「銅の酸化(松永・池田, 2011b, 2012a)」、「恐竜の分類と進化(松永・池田, 2012b, 2012c)」などの授業実践によって、このことは確かめられている。

これらの研究に続いて、本研究では、第3学年「酸・アルカリとイオン」について授業方法とその成果について報告する。授業は、平成24年10月に山口大学教育学部附属山口中学校3年生(全4クラス)を対象に松永が行った。

1. 授業の型

授業の中に観察・実験をどのように位置づけるかによって、池田(2004)は理科授業を「理論追求型」と「理論依存型」に分けた(表1)。

*山口大学教育学部附属山口中学校 **広島修道大学人文学部

表 1 理論追求型授業と理論依存型授業の比較

授業の型	理論追求型授業	理論依存型授業
授業の流れ	観察・実験 ↓ 情報を整理して きまりを見つける	きまりを学習 ↓ きまりを用いて 自然事象を理解する
科学的思考	きまりを見つけることができる	きまりを活用することができる

理論追求型授業は、観察・実験の結果から「きまり（理論や法則）」を見いだすことを目標に展開する授業である。この授業では、「生徒自身がきまりを見つける」ことが科学的思考力の評価観点として重要である。現在の理科教科書はこの授業を想定した記述が多く、「生徒が自ら学ぶ」という子ども中心主義教育の考え方によく合っているように見えるため、理想的な授業であるように考えられているが、池田（2011）はこの授業の問題点を次のように指摘している。

- ① 帰納法の限界：授業で行われる観察・実験では「きまり」を見つけることができない場合が多い。
- ② 教科書の軽視：教科書を使わない授業が良い授業と考えられることがある。
- ③ 分からない授業：教師が教えることを避ける傾向があって、学力が中以下の生徒は「何が分かったのか分からない」中途半端な理解のまま授業を終えることが多い。

これに対して理論依存型の授業は、教科書に書かれているような「きまり」は基本的に教師が教え、与えられたきまりや方法を活用する活動を重視した授業である。新しい課題について観察や実験を行う場合に、その課題に対するイメージや既有的知識がまったくない生徒は、「何をどのように考えればいいのか」が分からず、授業に主体的に関わることは難しいはずである。理論依存型授業では、必要な最小限の知識や方法は教師から教えられるために、このような難点避けることが可能である。したがって、学力が中～下位の生徒にとっても、授業に主体的に参加でき、自分の力で課題に取り組む可能性が広がるはずである。

理論依存型授業にはいろいろな方法が考えられるが、池田（2009）は具体的な方法として次の3つを提示している。

- 方法1：授業の過程で「あれっ、おかしいぞ？」という感じをもたせる（矛盾の自覚）
- 方法2：科学モデルに基づいて思考させる（思考実験）
- 方法3：目に見えない現象を、生徒がイメージできることにたとえて思考させる（比喩モデル）

本研究で報告する実践事例は、「矛盾の自覚」を取り入れることで生徒の学習意欲が高まり、思考活動が活性化した事例である。

2. 授業実践

「酸・アルカリとイオン」では、酸とアルカリの性質を調べる実験や中和反応の実験を行い、結果を分析して解釈し、酸とアルカリの特性や中和反応をイオンのモデルと関連付けて理解させることが主なねらいである（文部科学省、2008）。

一般的な理論追求型授業は次のように展開される。酸性、アルカリ性の水溶液の性質を実験で確かめた後に、電気泳動等の実験によって、酸とアルカリのそれぞれの特性が水素イオン、水酸化物イオンによるものであることを生徒自身に見いださせる。その後、「酸とアルカリを混ぜるとどのようになるだろう」などと発問し、塩酸と水酸化ナトリウム水溶液を中和させる実験を行い、水溶液が中性になること、蒸発乾固させると塩化ナトリウムの結晶が生じることを生徒に見いださせる。実験のまとめとして、水と塩化ナトリウムができたことを電離式によって確認する。

理論依存型授業では、イオンの存在や性質など、生徒実験で生徒自身に見いださせることが困難な事象に

については、教科書を使って教員が教え、習得した知識を活用して問題解決に取り組むことになる。
理論追求型授業と理論依存型授業の展開例を比較すると、表2のようになる。

表2 理論追求型授業と理論依存型授業の展開例

	理論追求型授業	理論依存型授業
酸・アルカリ	<ul style="list-style-type: none"> ・電気泳動の実験結果を基に酸・アルカリの特性が水素イオンと水酸化物イオンによることを生徒が見いだす。 	<ul style="list-style-type: none"> ・酸・アルカリの特性が水素イオンと水酸化物イオンによることを教える。
中和と塩	<ul style="list-style-type: none"> ・塩酸と水酸化ナトリウム水溶液を中和させる実験を行い、水と塩化ナトリウムができたことを生徒が見いだす。 ・中和反応によって水と塩ができることを教える。 	<ul style="list-style-type: none"> ・中和反応によって水と塩ができることを教える。 ・塩酸と水酸化ナトリウム水溶液を中和させる実験による問題解決学習を行う。

2-1 塩酸と水酸化ナトリウム水溶液の中和

中学校で行う中和の代表的な実験が、塩酸と水酸化ナトリウム水溶液の中和実験である。生徒は、これまで有毒で危険な薬品として扱っていた薬品同士を過不足なく反応させると、水溶液が無害で身近な塩化ナトリウム水溶液になるということに意外性を感じる実験である。しかし、過不足なく反応をさせ、水溶液を中性にするためには、それぞれの水溶液の濃度や体積の調整が必要である。指示薬には、BTB液やフェノールフタレイン液が使用されるが、本実践では、pH6.0~7.6のときに緑色を示すBTB液を使用した。BTB液は鋭敏に反応するため、この実験を行う場合、それぞれの水溶液は、0.1mol/L程度まで希釈して行うのが一般的である。しかし、通常使用している1mol/L程度の水溶液でこの実験を行うと、1滴あたりのpHの変化が大きく、緑色になることはほとんどないのである。

2-1-1 BTB液の色の変化の予想

導入時、中和反応では、水素イオンと水酸化物イオンから水が生じることにより、酸とアルカリが互いの性質を打ち消しあうことや、塩ができることを復習した。この授業を理論依存型授業で行うために、問題解決学習の導入時に「きまり」となる知識の確認を行った。

次に、「塩酸に緑色BTB液を入れ、水酸化ナトリウム水溶液を徐々に加えていくとBTB液の色はどのように変化するだろうか」と発問した。

塩酸は酸性なので水溶液は最初、黄色になる。水酸化ナトリウム水溶液を加えていくと、中性になるので緑色になるだろう。さらに加え続けると、アルカリ性になり青色になるだろう。

この予想は、導入で確認した知識から容易に導かれる予想である。予想を出させた後、予想を確かめるために次のような実験を行った。

ビーカーに5%塩酸を10mlと緑色BTB液を入れた後、通常使用している比較的大きめのピペットで5%水酸化ナトリウム水溶液を徐々に加え、振り混ぜながら色の変化を確かめる(図1)



図1 生徒実験

実験を始め、しばらくすると、「あっ！」という声が聞こえ始めた。黄色を示していたBTB液が、一気に青色に変化したためである。生徒の予想では、緑色になるはずであるが、予想とは違って、青色になってしまったのである。多くの班が、「もう一度やり直してもいいですか」と言ってきたため、再実験を行わせることにした。

2回目の実験は1回目よりも慎重に行ったが、結果は同じであった。そのため、ほとんどの班から「あれっ！どうして？」という声が上がった。「なぜ緑色にならないのか」というこの疑問、これがこの授業における「矛盾の自覚」の場面である。

2-1-2 再実験の計画とその結果

生徒の「どうして予想通りにならないのだろうか」という疑問が高まったところで、「どのような工夫すればBTB液を緑色にすることができるのだろうか」と課題を提起し、班別話し合いを行った。

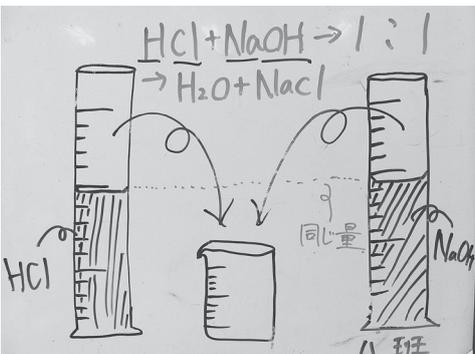
A

1. まぎれビレットを体積が小さい滴か
出せる物に変える。
→変化がわかりやすくなる
2. 水酸化ナトリウムの濃度を下げる。
→変化がわかりやすくなる
3. 溶液の量をどちらか
多くする。→中性のpHがわかる。

B

○ 濃度を低くする
→ 濃度が高いと
一滴に含まれるHCl, NaOH
が多くなる

C



D

塩酸と水酸化ナトリウム水溶液
を中和させるためには

水素の原子量: 1) 塩酸: 36	⇒ 9:10
塩素の原子量: 35		
酸素の原子量: 16) 水酸化ナトリウム: 40	
水素の原子量: 1		
ナトリウムの原子量: 23		

図2 生徒が記入したホワイトボード

図2は、この班別の話し合いによって出された生徒の考えをホワイトボードに書いたものである。図2のA～Dは、生徒の考えを代表する4つの方法である。それぞれの考えをまとめると次のようになる。

- A：3通りの方法を考えている。方法としては妥当なものであるが、そのように考えた理由としては、「変化がゆるやかになる」「中性の範囲が広がる」など、感覚的なものであると言える。
- B：「水溶液の濃度を低くすればよい」と考えている。理由としては、ピペット1滴分に含まれる溶質の量に着目している。
- C：化学反応式を基に、 HCl と NaOH が1：1で反応することから「体積を同じにすればよい」と考えている。ただし、この時点では、濃度については言及していない。
- D：当初、Cの班と同様に同じ体積を混ぜ合わせる方法を考えていた。しかし、どちらも濃度が5%であるが、塩酸と水酸化ナトリウム水溶液では水溶液中に存在する原子の数（水素イオンと水酸化物イオンの数）が同じとは言えないのではないかと考えたのである。2年時には、発展的な内容として原子量を扱ったが、その知識を活用して考えている。このことは、教員と生徒の間で行われた表3のような対話から推測することができる。

表3 教員と生徒の対話

<p>S：「先生、実験で使った薬品はどのようにして作ったのですか。」</p> <p>T：「塩酸は、35%の濃塩酸を水で5%になるように希釈し、水酸化ナトリウム水溶液は、粒状の水酸化ナトリウムを5%になるように水に溶かして作ったものだけど、なぜそれが気になるの？」</p> <p>S：「95gの水に5gの塩化水素と5gの水酸化ナトリウムをそれぞれ溶かすと両方とも5%の水溶液になります。しかし、両者の原子量は違うので、5g中に同じ数の塩化水素と水酸化ナトリウムが入っていることにはならないと思います。そうすると、同じ濃度で、同じ体積で混ぜ合わせても水素イオンと水酸化物イオンの数が同じにはならないと思います。計算すると、塩酸と水酸化ナトリウムを9：10になるように水溶液を作ればよいことは分かっていたのですが、実際に作るの難しいと思います。」</p>
--

このように、「BTB液を緑色にする」つまり、「過不足なく反応させる」ことに思考が集中したために、様々な視点から様々な考えが出されたが、大別すると表4に示すようにまとめることができる。

表4 生徒が考えた方法

<p>方法Ⅰ) 小さなこまごめピペットを使い、1滴の量(体積)を小さくする。</p> <p>方法Ⅱ) 水溶液の濃度を下げる。</p> <p>方法Ⅲ) 水溶液の量を多くする。</p> <p>方法Ⅳ) (濃度が同じなので) 塩酸と水酸化ナトリウム水溶液の体積が同量になるように正確に量って混ぜる。</p>
--

この時点では、「イオンと関連付ける」という点ではまだ十分ではない。そこで教員から「それぞれの工夫点を『イオン』を使えばどのように説明できるだろうか」と、新たな課題を提起すると、さらに思考が進んで、表5に示されているようにイオン概念を用いた考察に進む生徒が現れた。

表5 意見の一例

〈小さなピペットを使うことについて〉

S 1 : 教室の左側を酸性、右側をアルカリ性とする、中性はちょうど真ん中と言え。左側から中央に向かって大きな歩幅で進むと、ちょうど真ん中で止まることは難しい、しかし、小さな歩幅で少しずつ進んでいくと真ん中で止まりやすくなる。イオンで考えると、1滴の中に含まれるイオンが多いということは、最初の H^+ と入れた OH^- の数がちょうど同じにはなりにくい。1滴の量を少なくすれば、含まれるイオンの数が減るので、 H^+ と OH^- の数をちょうど同じにしやすくなる。

〈濃度を下げることについて〉

S 2 : 濃度を半分にすると1滴に入っている水酸化ナトリウムの量が半分になる。つまり、 OH^- の数が半分になり、一度に多くのイオンを入れすぎてしまうことはなくなる。

〈塩酸と水酸化ナトリウム水溶液の体積を正確に量って混ぜることについて〉

S 3 : 同じ濃度なので、同じ体積中に含まれる H^+ と OH^- の数が同じである。それぞれの体積を同じにすれば、 H^+ と OH^- の数は同じになり、中性になるはずである。

S 1 の生徒は、イオンの数が変化の様子と人が歩いて移動する様子に対応させて考えている。ピペット1滴中に含まれるイオンの数を人の歩幅の大きさに置き換え、イオンの数が急激に変化させないようにすればよいと説明している。これは一種の比喩モデルによる思考である。

S 2 の生徒は、水溶液の濃度とイオンの数に着目している。イオンの数を急激に変化させないように、ピペット1滴中に含まれるイオンの数を少なくすればよいと説明している。S 1、S 2 に共通していることは、BTB液が緑色にならなかった原因を、水溶液が酸性からアルカリ性へと変化したためと考えると、体積や濃度を変化させることでイオンの急激な変化を防ごうと考えていることである。

S 3 の生徒は、あらかじめ水素イオンと水酸化物イオンの数を同数にしておき、それらを混ぜれば、理論上は中性になるはずであると考えている。

全体で意見交換を行った後、各班で再実験の計画を考えさせると、いろいろな方法が提案された。それらをまとめると、表6のように、3通りの方法に大別できる。

表6 実験方法の例

- 方法Ⅰ) 水溶液の濃度は最初の実験と同じものを使い、ピペットを小さなものに変える。
- 方法Ⅱ) 5%の塩酸 10cm^3 に2.5%の水酸化ナトリウム水溶液を加えていく。最初は大きなピペットを使うが、塩酸の2倍の体積である 20cm^3 に近づくと小さなピペットで1滴ずつ慎重に入れる。
- 方法Ⅲ) 2.5%の塩酸 10cm^3 と2.5%の水酸化ナトリウム水溶液 10cm^3 を正確に量り取り、一度に混ぜる。BTB液の色が緑色にならなければ、足りない方を小さなピペットで1滴ずつ加える。

生徒が考えた実験計画によって再実験を行ったところ、すべての班がBTB液を緑色にすることに成功した。成功したことによって、この授業は「分かった!」という達成感と充実感を多くの生徒に与えた授業となった。理解をより深く確認するために、授業の最後には、水溶液の濃度と中和に必要な体積の関係をイオンのモデル図による説明を行って、理解の定着をはかった。

3. 成果

中和反応において、理論的には水素イオンと水酸化物イオンの数を同じにすれば中性の水溶液になるはずであるが、実際の実験では過不足なく反応させることはたいへん難しい。今回の授業のように、生徒実験においては希塩酸に薄い水酸化ナトリウム水溶液を加えると、BTB液は緑色を示すことなく黄色から一気に青色へと変化することがよくあるのである。これを矛盾として自覚させて、「BTB液を緑色にする（過不足なく反応させる）」ことを新たな課題として提起したために、活発な話し合いが行われたと考えることができる。

話し合いでは、使用した器具や薬品はこのままでよいのか、操作方法は適切であったかなど、実験方法に対して批判的に考察する班が多かった。さらに、水溶液の濃度や体積と中に含まれるイオンの数を対応させながら再実験を行う班もあって、最終的にはすべての班がBTB液を緑色にすることができた。

予想する場面では、2年生で発展的な内容として学習した原子量を基に思考する場面が見られた。濃度と体積が同じ水溶液（溶けている溶質の質量が同じ）であっても、溶けている溶質の原子の数は違っているという考えである。これまで使ってきた「質量パーセント濃度」は、原子の数を考えなくてはならない場合には不便が生じてしまうことを生徒自らが気付いたのである。ここでは深入りはしなかったが、これは高校化学で扱うモルの概念につながる重要な思考である。

おわりに

理論依存型授業では、先に知識として教え、それらを「きまり」とした問題解決学習を行う。問題解決に必要な知識を先に教えているため、話し合い活動では共通の知識に基づいた活発な思考がなされ、与えられた課題をいろいろな視点から考察させることが容易である。話し合いの場面では、これまでの知識を活用した活発な思考活動がなされた。さらに思考の過程では、教員の予想を超えるような高いレベルの思考が行われることがあった。

中学校学習指導要領（文部科学省, 2008）では、化学領域では主に粒子概念を柱とした授業構成がなされている。しかし、目に見えない原子・分子、イオンなどの存在や性質を生徒実験から自力で見いだすことは困難である。そのため、粒子概念をよりよく理解させるためには、粒子の存在や性質などの知識を先に教え、それらに基づいた思考活動に重点を置いた授業、すなわち理論依存型授業の方がより効果的である。

引用・参考文献

- 有馬朗人ほか（2012）：理科の世界3年，大日本図書株式会社，131－186.
- 池田幸夫（2004）：文化としての科学史とその理科教育への応用，理科の教育，53巻，No. 11，東洋館出版社，4－7.
- 池田幸夫（2009）：矛盾の自覚から始める問題解決学習，楽しい理科授業，No. 513，明治図書，12－15.
- 池田幸夫・松永武（2011a）：理論依存型による理科授業の展開－方法とねらい－，日本理科教育学会全国大会発表論文集，第9号，275.
- 池田幸夫・松永武（2011b）：理論依存型による理科授業の方法と実践－中学校理科「銅の酸化」の授業を例として－，日本教科教育学会第37回全国大会論文集，164－165.
- 池田幸夫・松永武（2012）：理論依存型授業で育成する科学的思考力（1）思考実験の導入，日本教科教育学会第38回全国大会論文集，92－93.
- 市川伸一（2004）：学ぶ意欲とスキルを育てる－いま求められる学力向上策－，小学館.
- 市川伸一（2008）：「教えて考えさせる授業」を創る，図書文化.
- 進藤公夫（2010）：「知識伝達・事例化モデル」の10年－理科授業のモデルとしてのこれまでとこれから－，日本科学教育学会中国支部研究発表会講演論文集，59－62.
- 進藤公夫（2011）：「知識伝達・事例化モデル」から「文化伝承・活用モデル」へ，日本理科教育学会四国支部会報，第30号，47－48.

- 松永武・池田幸夫（2011a）：理論依存型授業による科学的思考力の育成，山口大学教育学部・附属教育実践研究紀要，第10号， 21－33.
- 松永武・池田幸夫（2011b）：理論依存型による理科授業の展開－中学校理科「化学変化と原子・分子」の授業実践－，日本理科教育学会全国大会発表論文集，第9号， 276.
- 松永武・池田幸夫（2012a）：理論依存型による理科授業の実践的研究－（1）中学校理科における「銅の酸化」－，山口大学教育学部附属教育実践総合センター，第33号， 143－152.
- 松永武・池田幸夫（2012b）：理論依存型による理科授業の実践的研究－（2）中学校理科における「恐竜の分類と進化」－，山口大学教育学部附属教育実践総合センター，第34号， 57－66.
- 松永武・池田幸夫（2012c）：理論依存型授業で育つ科学的思考力（2）「矛盾の自覚」から育つ科学的思考，日本教科教育学会第38回全国大会論文集， 92－93.
- 文部科学省（2008）：中学校学習指導要領解説理科編，大日本図書株式会社.
- 山下芳樹・池田幸夫（2003）：文化として学ぶ物理科学，丸善株式会社.