

広島大学学術情報リポジトリ

Hiroshima University Institutional Repository

Title	小学校第6学年の理科教科書に見られる「推論すること」に関する研究：単元「水溶液の性質」を事例として
Author(s)	内海, 志典
Citation	初等教育カリキュラム研究, 6 : 1 - 16
Issue Date	2018-03-31
DOI	
Self DOI	10.15027/45475
URL	http://ir.lib.hiroshima-u.ac.jp/00045475
Right	Copyright (c) 2018 初等教育カリキュラム学会
Relation	



小学校第6学年の理科教科書に見られる「推論すること」に関する研究

－ 単元「水溶液の性質」を事例として －

内海 志典¹

要約

小学校理科の教科書で取り扱われている観察、実験において、8段階で構成される問題解決の過程の「予想・仮説の設定」と「考察」において、「推論すること」に焦点をあてて、小学校第6学年の単元「水溶液の性質」を事例として分析をした。観察、実験において、教師が児童に対して望ましい指導をするためには、教科書の構成については、次の4点が示唆された。(1)「問題の把握・設定」における「問い」は、疑問詞を用いると、「問い」の焦点化を図ることができる。(2)「予想・仮説の設定」と「考察」は、それぞれを「問題の把握・設定」と正対させることで、「推論すること」が明確となる。(3)「予想・仮説の設定」では、直前に行われる「観察・実験」が「自然事象への働きかけ」として機能すると、「推論すること」がより可能となる。(4)「考察」は、「観察・実験」及び「結果の整理」との関連がつくられることで、「推論すること」が可能となる。

キーワード：小学校理科，教科書，問題解決の過程，推論すること，水溶液の性質

1. はじめに－問題の所在と研究の目的－

理科における観察、実験は、教科の特徴であるとともに、学習の中心となる重要な活動である（木下，2013）。『小学校学習指導要領』の理科では、自然に親しみ、見通しをもって観察、実験¹⁾などを行い、問題解決の能力を育成することを求めている（文部科学省，2009）。そして、問題解決の能力は、問題解決の過程の中で、育成されるとしている。さらに、問題解決の能力については、中学校との接続においても考慮することを求めている（文部科学省，2008）。小学校第6学年の問題解決の能力としては、推論する能力が示されている（文部科学省，2009）。

しかしながら、後藤（2016）は、「次期学習指導要領に向けた会員向け調査」²⁾の結果から、「推論する」を第6学年に設定すること自体の意義に疑問を呈するものが多かったと指摘している。これは、「推論する」が問題解決の能力の中で、最も取り扱いにくい能力として捉えられているからではないかと考えられる。また、上羽ら（2014）は、科学的な推論を行う能力は、理科学習では必要不可欠なものであるが、理科学習における推論過程についてそれを成立させる要素や手立てについての具体的な研究が少ないことを指摘している。具体的な研究はわずかであるが、それらの研究について概観する。山口ら（2014）は、独立変数の抽出から仮説の設定に至る推論の過程を検討し、パースの提唱したアブダクションによる推論（米盛，2007）や演繹的な推論と、The Four Question Strategy (4QS) を用いて

¹ 岐阜大学

仮説を設定する際の推論の過程を対応させて指導を行うことで、4QSが推論の能力を育成する方略として機能する可能性のあることを指摘している。また、益田・柏木（2013）は、米盛（2007）の考え方を援用し、仮説発見のためのアブダクションに着目し、論理的推論に基づく仮説形成を図り、それが質量保存の科学的な概念の形成につながる過程を実証的に検証している。これらの研究では、仮説の設定に至る推論に着目している。

中山・猿田（2015）は、問題解決の鍵となる「問い」が、問題解決の活動で児童が何に取り組み、教師が何を支援するのかを決定すると述べ、小学校の理科教科書が想定している問題解決活動における「問い」の特徴を「問い」の種類と場面から分析している。そして、中山ら（2014）は、「なぜ」という問いには、2つの種類があり、1つは「問題」場面において自然現象の規則性や仕組みを直接問う「推論（inference）」の問いであり、もう1つは「考察」場面において具体的な自然現象について自然の規則性に関する知識を用いて説明することを求める「理由づけ、説明（reasoning）」の問いであると、「問い」との関係で整理している。

これらの研究では、一連の問題解決の過程の中で、「推論すること」をどのように捉え、どのように指導したらよいかについては明らかにされていない。

小学校第6学年の単元「水溶液の性質」の小単元「金属を変化させる水溶液」では、推論したことを図や絵、文を用いて表現することを通して、元の金属とは違う新しい物ができていることを理解し、中学校第2学年の単元「化学変化」の学習において、化学反応を原子や分子のモデルと関連付けて考えるという粒子概念の形成につながるものである。目に見えない粒子の存在を「推論すること」は、中学校の化学的領域の原子、分子、イオンといった粒子概念の基盤となると考えられる。

他方、授業において推論する能力を育成する前提として、教科書の果たす役割は大きい。教科書は、教室における授業としての「実行されたカリキュラム」のモデルを示すものであると考えることができる（中山ら、2014）。そのため、問題解決の学習活動を行う際に、教科書において、観察、実験がどのように取り扱われているかが重要な問題となる。

本研究は、小学校理科の教科書に掲載されている観察、実験における問題解決の過程の取り扱いについて分析し、教師が児童に対して望ましい指導をするためには、教科書の構成がどのようになっているとよいかについての示唆を得ることを目的とした。

研究の方法は、小学校理科の教科書で取り扱われている観察、実験について、8段階で構成される問題解決の過程（文部科学省、2011）における「問い」³⁾と「答え」の関係について分析する。次に、第6学年では、問題解決の能力として、推論する能力を育成することが求められていることから、「推論すること」に焦点をあてて分析する。前述したように、「推論すること」は、中学校の原子、分子、イオンといった粒子概念につながる単元「水溶液の性質」で、目には見えない粒子の変化を取り扱った小単元「金属を変化させる水溶液」において、その能力を育成することができると考えられるため、その取り扱いを事例として分析する。なお、分析にあたって、発行者5社の小学校の理科教科書を分析の対象とした。

2. 理科における問題解決の過程の捉え方

『小学校学習指導要領解説 理科編』では、問題解決の過程については、以下のように示されている

(文部科学省, 2008)。

児童が自然の事物・現象に親しむ中で興味・関心をもち、そこから問題を見いだし、予想や仮説の基に観察、実験などを行い、結果を整理し、相互に話し合う中から結論として科学的な見方や考え方をもちよくなる過程が問題解決の過程として考えられる。そして、このような過程の中で、問題解決の能力が育成され、小学校では、学年を通して育成する問題解決の能力が示されている。

- ・第3学年では身近な自然の事物・現象を比較しながら調べること。
- ・第4学年では自然の事物・現象を働きや時間などと関係付けながら調べること。
- ・第5学年では自然の事物・現象の変化や働きをそれらにかかわる条件に目を向けながら調べること。
- ・第6学年では、自然の事物・現象についての要因や規則性、関係を推論しながら調べること。

これらの問題解決の能力は、その学年で中心的に育成するものであるが、下の学年の問題解決の能力は、上の学年の問題解決の能力の基盤となるものである(文部科学省, 2008)。本研究が対象とした第6学年では、第3学年から学んできた問題解決の能力を基盤として、自然の事物・現象についての要因や規則性、関係を推論しながら調べることで、問題解決の過程を踏まえた授業を行っていくことが求められている。

それでは、小学校理科において、観察、実験をどのように捉えたらよいのだろうか。問題解決の過程において、「観察・実験」は、問題解決の中核として位置付けられており、児童による意図的・目的的な活動であるとされ、「観察・実験」の実施前の「予想や仮説をもつ場面」と、「観察・実験」の実施後の「観察、実験の結果から何が言えるのかを考察しまとめていく場面」の学習活動が、観察、実験の位置付けを明確にすることになると述べられ、問題解決の過程は、次の8段階の過程を経て、展開されることが提示されている(文部科学省, 2011)。

自然事象への働きかけ → 問題の把握・設定 → 予想・仮説の設定 → 検証計画の立案 → 観察・実験 → 結果の整理 → 考察 → 結論の導出

第6学年で、問題解決の能力として求められている問題解決の能力の「推論すること」をどのように捉えたらよいのだろうか。

推論とは、『大辞林 第三版』(2006)によると、ある事実をもとにして、他の事をおしはかることとされている。村山(2007)は、推論とは、いくつかの前提から結論を導き出すことである。また、事物・現象から見いだした問題に対し、今までの自分の経験や知識を基に推し量り考えること、予想や仮説をつくり出す思考のことであると指摘している。また、白岩(2011)は、理科における推論とは、自然の事物・現象から見いだした問題に対し、これまでの自分の経験や知識をもとにして推し量り、考えることであると述べ、理科の学習において推論する能力が特に発揮される場面は、自分の仮説を設定する場面(予想)と、「観察・実験」の結果をもとに考察する場面といえようと指摘している。

以上のことから、「観察・実験」の実施前の「予想や仮説をもつ場面」と「観察・実験」の実施後の「観察、実験の結果から何が言えるのかを考察しまとめていく場面」において、「推論する能力」を育成することができると考えられる。「予想や仮説をもつ場面」と「観察、実験の結果から何が言えるのかを考察しまとめていく場面」は、8段階で構成される問題解決の過程(文部科学省, 2011)では、それぞれ「予想・仮説の設定」と「考察」であると捉えることができる。

3. 問題解決の過程の枠組みの一貫性

Tiberghien (2000) は、観察、実験について、図1で示されるように、観察、実験は、「観察できる領域 (o)」と「考えの領域 (i)」の間に生徒が関連をつくることを助ける試みであると指摘している。

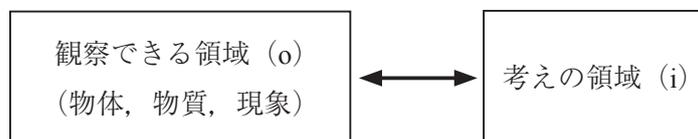


図1 実際的な活動⁴⁾：2つの領域の関連
(Tiberghien, 2000)

図1における「観察できる領域 (o)」は、8段階で構成される問題解決の過程では、対象をよく見ることを伴う「自然事象への働きかけ」⁵⁾と「観察・実験」に該当し、「考えの領域 (i)」は、考えることを伴う「問題の把握・設定」、「予想・仮説の設定」、「検証計画の立案」、「結果の整理」、「考察」及び「結論の導出」に該当する。つまり、8段階で構成される問題解決の過程は、その配置が「観察できる領域 (o)」(「自然事象への働きかけ」)、「考えの領域 (i)」(「問題の把握・設定」、「予想・仮説の設定」及び「検証計画の立案」)、「観察できる領域 (o)」(「観察・実験」)及び「考えの領域 (i)」(「結果の整理」、「考察」及び「結論の導出」)の順となっており、「観察できる領域 (o)」と「考えの領域 (i)」が交互に配置されている。8段階で構成される問題解決の過程に沿った授業展開を行っていくためには、「観察できる領域 (o)」と「考えの領域 (i)」の間に適切に関連がつくられ、問題解決の過程の枠組みに一貫性を持たせる必要がある。

「推論」が行われる段階を、観察、実験における「予想・仮説の設定」と「考察」と捉えれば、「推論」は観察、実験における「考えの領域 (i)」に該当する。Tiberghienの考え方を援用すると、問題解決の過程の枠組みにおいて、「観察できる領域 (o)」と「考えの領域 (i)」の間に適切に関連がつくられ、前述したように問題解決の過程の枠組みに一貫性があるものとする必要がある。そのため、本研究では、8段階の問題解決の過程において、「推論すること」について、Tiberghienの考え方を援用して、問題解決の過程の枠組みの一貫性について検討していく。

4. 「金属を変化させる水溶液」の取り扱い

小単元「金属を変化させる水溶液」において、「推論すること」について検討する前提として、学習指導要領における取り扱い及び、教科書における取り扱い内容について確認する。

4.1. 学習指導要領における取り扱い

『小学校学習指導要領解説 理科編』において、項目「金属を変化させる水溶液」については、以下の事項について理解を図り、水溶液の性質や働きについての見方や考え方をもつことができるようにすることがねらいであることが示されている(文部科学省, 2008)。

- ・水溶液には、金属を入れると金属が溶けて気体を発生したり、金属の表面の様子を変化させたりするものがあることをとらえるようにする。
- ・金属が溶けた水溶液から溶けている物を取り出して調べると、元の金属とは違う新しい物ができていることがある。

つまり、アルミニウムや鉄が薄い塩酸に溶けて、別な物質になることを、観察、実験における問題解決の過程を通して理解を図り、児童が水溶液の性質について、科学的な見方や考え方をもちことが求められている。

4. 2. 教科書における取り扱い内容

教科書において、小单元「金属を変化させる水溶液」は、どのように取り扱われているだろうか。教科書の小单元「水溶液と金属」における問題解決の過程の取り扱いを表1に示す。小单元「金属を変化させる水溶液」の取り扱い内容を、教科書に掲載されている観察、実験に着目して分析する。

A社の教科書では、水溶液（塩酸や炭酸水）には金属を変化させるはたらきがあるかについて調べ、次に、塩酸に金属が溶けた液を蒸発させると、溶けた金属を取り出すことができるかについて調べる内容となっている。そして、金属が溶けた液から出てきた固体は、もとの金属と同じ物かについて調べる内容となっている。B社の教科書では、うすい塩酸には金属を変化させるはたらきがあるかについて調べ、次に、見えなくなった金属（鉄やアルミニウム）は、どうなったかについて調べる内容となっている。そして、塩酸のほかにも金属を変化させる水溶液があるかについて調べる内容となっている。C社の教科書では、アルミニウムに塩酸を注いだ様子を調べた結果から、アルミニウムが塩酸に溶けた液から水を蒸発させると、塩酸に溶かした元の金属がでてくるかどうかについて調べ、次に、それが元の金属かどうかについて調べる内容となっている。D社の教科書では、4つの水溶液（塩酸、食塩水、アンモニア水、炭酸水）が金属を溶かすことができるかについて調べ、塩酸に金属が溶けた水溶液から溶けているものを調べる内容となっている。E社の教科書では、塩酸にアルミニウムや鉄を入れ、それぞれの金属がどうなるかについて調べ、次に、塩酸にアルミニウムが溶けた液の中に、アルミニウムがあるかについて調べる内容となっている。

5. 小单元「金属を変化させる水溶液」における「問い」と「答え」

5. 1. 問題解決の過程における「問い」と「答え」

中山・猿田（2015）は、問題解決では、まず、「問い」がどのように設定されているかが、その後の活動の方向性を決める鍵となると指摘している。そして、日本の理科の教科書には、児童の活動の手がかりとなる「問い」が示されており、それが問題解決活動のモデルを示唆している。そのため、教科書に書かれている「問い」は、教室で行われている問題解決の基本的なあり方を示すものとなっていると指摘している。

他方、益田（2014）は、理科授業における課題と考察は正対すると指摘し、「考察は課題（問題）に正対した答えである。」という授業のデザインを提示している。

それでは、小学校理科の教科書において、「問い」と「答え」はどのように取り扱われているだろうか。教科書の小单元「金属を変化させる水溶液」で取り扱われている実験における「問い」と「答え」

表1 教科書の小単元「水溶液と金属」における問題解決の過程の取り扱い

	A社	B社
自然事象への働きかけ	<写真を提示> ・酸性の雨が降ること、金属でできた像の表面に白い筋ができることは、どのような関係があるか、考えよう。	<写真を提示> ・塩酸を含む洗剤には、金属製品に使っていけないという注意がきがある。
問題の把握・設定	・水溶液（塩酸や炭酸水）には、金属を変化させるはたらきがあるだろうか。	・うすい塩酸には、金属を変化させるはたらきがあるだろうか。
予想・仮説の設定	<予想しよう>金属に酸性の水溶液を注ぐと、金属はどうなるか考えて、話し合おう。	-
検証計画の立案	-	-
観察・実験	【実験4】金属にうすい塩酸や炭酸水を注ぐとどうなるか、調べる	【実験3】金属にうすい塩酸を加えると（どうなるか調べる）
結果の整理	<結果を写真と文で提示> ・炭酸水は、アルミニウムや鉄を溶かさなかった。 ・塩酸は、アルミニウムや鉄を溶かした。	・うすい塩酸を加えると、鉄やアルミニウムはあわを出して小さくなり、見えなくなった。 ・水を加えたほうの金属は、変化しなくなった。
考察	-	<考察しよう>うすい塩酸には、どのようなはたらきがあるといえるか。
結論の導出	・水溶液には、金属を溶かすものがある。	・うすい塩酸には、金属を変化させるはたらきがある。
自然事象への働きかけ	・溶けた金属は、とり出すことができるか。	・溶けた鉄やアルミニウムは、どこに行ったのかな。
問題の把握・設定	・塩酸に金属が溶けた液を蒸発させると、溶けた金属をとり出すことができるのだろうか。	・見えなくなった金属は、どうなったのだろうか。
予想・仮説の設定	-	-
検証計画の立案	-	-
観察・実験	【実験5】液を蒸発させて、溶けた金属をとり出すことができるか調べる	【実験4】見えなくなった金属のゆくえ（見えなくなった金属はどうなったか調べる）
結果の整理	<結果を写真と文で提示> ・塩酸に金属が溶けた液を蒸発させると、固体が出てきた。	<結果を表に整理> ・それぞれの色や性質を、表に記録する。
考察	-	<考察しよう>見えなくなった金属は、どうなったといえるか。
結論の導出	-	・鉄やアルミニウムは、塩酸によって別なものに変化した。
自然事象への働きかけ	<吹き出し> ・出てきた固体は、もとの金属と見た目がちがうね。	<吹き出し> ・ほかの水溶液を加えても溶けるかな。
問題の把握・設定	・金属が溶けた液から出てきた固体は、もとの金属と同じ物だろうか。	・塩酸のほかにも、金属を変化させる水溶液は、あるだろうか。
予想・仮説の設定	-	-
検証計画の立案	<計画しよう>金属が溶けた液を蒸発させて出てきた固体が、もとの金属と同じ物かどうかを調べる方法を考え、実験の計画を立てよう。	-
観察・実験	【実験6】（塩酸に金属が溶けた）液を蒸発させて出てきた固体の性質を調べる	【実験5】金属を変化させる水溶液（があるか調べる）
結果の整理	<結果を表に整理（省略）>	<結果を表に整理> ・それぞれの水溶液で、金属は、どのようになったか。
考察	<考えよう>液から出てきた固体は、もとの金属と同じといえるのか、実験6の結果をもとに考えよう。	<考察しよう>結果から、それぞれの水溶液の性質を考える。
結論の導出	・塩酸に金属が溶けた液から出てきた固体は、もとの金属とは違うものです。 ・水溶液には、金属を別な物に変化させるものがある。	・うすい水酸化ナトリウム水溶液のように、金属を変化させる水溶液がある。

注) - は、問題解決の過程における取り扱いが見られないことを示している。

表1の続き

	C社	D社	E社
自然事象への働きかけ	<p><写真を提示></p> <ul style="list-style-type: none"> ・玉川温泉は、酸性の湯で有名な温泉です。玉川温泉の湯には、金属に対する注意が表示されている。水溶液と金属の関係について調べよう。 ・塩酸をアルミニウムに注いで様子を調べてみよう。 <p>塩酸をアルミニウムなどの金属に注ぐと、気体が発生して、金属が溶ける。</p>	<p><写真を提示></p> <ul style="list-style-type: none"> ・石灰石に塩酸を注ぐと、石灰石がとけて二酸化炭素が出てくる。 	<p><吹き出し></p> <ul style="list-style-type: none"> ・薬品を入れる容器には、金属製のものが使えないか。
問題の把握・設定	<ul style="list-style-type: none"> ・塩酸に溶けた金属は、どうなったのだろうか。 	<ul style="list-style-type: none"> ・塩酸は金属を溶かすこともできるだろうか。 	<ul style="list-style-type: none"> ・塩酸に金属を入れると、どうなるだろうか。
予想・仮説の設定	<p><予想しよう>塩酸を金属に注いだときの変化について話し合おう。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・予想A：塩酸の中に溶けているから、液から水を蒸発させると、もとの金属が出てくると思う。 ・予想B：あわになって出ていったから、液から水を蒸発させても、元の金属は出てこないと思う。 	-	-
検証計画の立案	-	-	-
観察・実験	<p>【実験4】 液から水を蒸発させると、塩酸に溶かした元の金属がでてくるかどうか調べる</p>	<p>【実験3】 4つの水溶液塩酸、食塩水、アンモニア水、炭酸水が金属を溶かすかどうか調べる</p>	<p>【実験3】 塩酸にアルミニウムや鉄を入れ、それぞれの金属がどうなるか調べる</p>
結果の整理	<p><結果を写真で提示></p> <ul style="list-style-type: none"> ・金属が溶けた液から水を蒸発させると、溶けていたものが出てくる。 	<p><結果を写真で提示></p> <p>(・アルミニウムや鉄を塩酸に入れると、アルミニウムは泡を出しながら溶けてなくなる。)</p>	<p><結果を写真と文で提示></p> <ul style="list-style-type: none"> ・塩酸をアルミニウムに入れると、アルミニウムは泡を出しながら溶けてなくなる。 ・塩酸に鉄を入れると、鉄の表面から泡が出る。
考察	<p><結果から考えよう>調べる前の自分の考えと比べながら、実験4の結果について考え、話し合おう。</p>	<p><考察>どの水溶液が金属を溶かしたか。金属が溶けているとき、どのような変化が見られたか。</p>	-
結論の導出	-	<ul style="list-style-type: none"> ・塩酸は、アルミニウムや鉄などの金属を溶かす。 	<ul style="list-style-type: none"> ・塩酸をアルミニウムに入れると、アルミニウムは泡を出しながら溶けてなくなる。 ・塩酸に鉄を入れると、鉄の表面からあわが出る。
自然事象への働きかけ	<p><本文>実験4で出てきたものが元の金属であるかどうかは、見た様子だけではよくわからない。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・塩酸にアルミニウムや鉄を入れると、溶けて透明になってしまいます。 	<ul style="list-style-type: none"> ・塩酸に溶けたアルミニウムはどうなったか話し合おう。
問題の把握・設定	<p><本文> (実験4で出てきたものが元の金属であるかどうかについては、) どのような方法で調べたらよいでしょうか。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・塩酸に溶けたアルミニウムや鉄は、どうなったのでしょうか。 	<ul style="list-style-type: none"> ・塩酸に溶けたアルミニウムは、液の中にあるのだろうか。
予想・仮説の設定	<p><予想の例を提示></p> <ul style="list-style-type: none"> ・予想A：塩酸の中に溶けているから、液から水を蒸発させると、もとの金属が出てくると思う。 ・予想B：あわになって出ていったから、液から水を蒸発させても、元の金属は出てこないと思う。 	<p><予想の例を提示></p> <ul style="list-style-type: none"> ・予想①：金属は気体になって、空気に出ていってしまった。 ・予想②：金属は目に見えない粒になって、塩酸に溶けている。 ・予想③：金属は別なものに変化して塩酸に溶けている。 <p><話し合い>あなたはどのように予想するか。</p>	-

検証計画の立案	<吹き出し> 出てきたものが元のアルミニウムなら、重さは変わらないはずだね。 <吹き出し> 出てきたものが元のアルミニウムなら、塩酸を注ぐとあわが出るはずだね。	<話し合い> どのように調べればよいただろうか。	<計画を立てよう> 塩酸に溶けたアルミニウムが液の中にあるか調べる方法を考えよう。
観察・実験	【実験5】実験4で出てきたものが元の金属かどうかを調べる	【実験4】塩酸に金属が溶けた水溶液から溶けているものを取り出す	【実験4】塩酸にアルミニウムが溶けた液の中に、アルミニウムがあるか調べる
結果の整理	<結果を表に整理（省略）>	<結果を写真で提示> (・塩酸にアルミニウムや鉄が溶けた水溶液を蒸発させると、固体が出てくる。)	<結果を表に整理> ・それぞれの色や性質を、表に記録する。
考察	<結果から考えよう> ・実験5の結果から、実験4で出てくるものが元の金属なのか、別なものなのか話し合おう。	<考えよう> ・出てきたものは、塩酸に溶けたか。 ・出てきたものは、溶かす前の金属と同じか。	<考えよう> ・塩酸にアルミニウムが溶けた液から取り出したものは、アルミニウムだろうか。
結論の導出	・塩酸に溶けた金属は、元の金属とは性質のちがう別なものに変化したと考えられる。	・塩酸に溶けたアルミニウムや鉄などの金属は、溶かす前の金属とは違うものに変化している。	・アルミニウムは、塩酸に溶けて別なものになる。 ・水溶液には、金属を別のものに変えるものがある。

注) - は、問題解決の過程における取り扱いが見られないことを示している。

の関係を表2に示す。

5.2. 疑問詞の「問い」

小単元「金属を変化させる水溶液」における「問い」について見てみる。発行者5社の教科書の中で取り扱われている12の「問い」のうち、疑問詞⁶⁾の「問い」は5つある。

B社の実験4では、「問題の把握・設定」において、「見えなくなった金属（鉄やアルミニウム）は、どうなったのだろうか」という「問い」が設定されており、「問い」に「どうなって」という疑問詞が用いられている。C社の実験4、D社の実験4及びE社の実験3においても、「問い」に「どうなって」という疑問詞が用いられている。また、C社の実験5では、「問題の把握・設定」において、「(実験4で出てきたものが元の金属であるかどうかについては) どのような方法で調べたらよいでしょうか」という「問い」が設定されており、「問い」に「どんな」という疑問詞が用いられている。これらの「問い」では、「問い」に疑問詞を用いることで、「はい・いいえ」で回答可能な問いよりも推論する視点がより明確となり、「推論すること」がより容易なものとなっている。

5.3. 「はい・いいえ」で回答可能な問い

中山・猿田（2015）は、「はい・いいえ」で回答可能な問いは、小学校理科の物理的・化学的領域の問題解決の特徴が顕在化した問いの形式であり、この領域では予想や仮説を含む問いが多いことを指摘している。小単元「金属を変化させる水溶液」においても、発行者5社の教科書で設定されている12の「問い」のうち、7つが「はい・いいえ」で回答可能な「問い」となっている。しかしながら、「問い」に対する「答え」としては、「はい・いいえ」の形や「はい・いいえ」の内容として示されている事例は少ない。それらの事例としては、B社の実験3における「問題の把握・設定」において、「うすい塩酸には、金属を変化させるはたらきがあるのだろうか」という「問い」を設定し、その「答え」として、

表2 小単元「金属を変化させる水溶液」で取り扱われている実験における「問い」と「答え」

発行者	実験	「問い」と「答え」		「問い」の種類	教科書での取り扱い	問題解決の過程
A社	実験4	問い	水溶液（塩酸や炭酸）には、金属を変化させるはたらきがあるだろうか。	はい・いいえ	問題	問題の把握・設定
		答え	水溶液には、金属を溶かすものがある。		まとめ	結論の導出
	実験5	問い	塩酸に金属が溶けた液を蒸発させると、溶けた金属をとり出すことができるのだろうか。	はい・いいえ	問題	問題の把握・設定
		答え	塩酸に金属が溶けた液を蒸発させると、固体が出てきた。		結果	結果の整理
	実験6	問い	金属が溶けた液から出てきた固体は、もとの金属と同じ物なのだろうか。	はい・いいえ	問題	問題の把握・設定
		答え	塩酸に金属が溶けた液から出てきた固体は、もとの金属とは違うものです。		まとめ	結論の導出
B社	実験3	問い	うすい塩酸には、金属を変化させるはたらきがあるのだろうか。	はい・いいえ	問題	問題の把握・設定
		答え	うすい塩酸には、金属を変化させるはたらきがある。		考察	考察
	実験4	問い	見えなくなった金属（鉄やアルミニウム）は、どうなったのだろうか。	どうなって	問題	問題の把握・設定
		答え	鉄やアルミニウムは、塩酸によって別なものに変化した。		考察	考察
	実験5	問い	塩酸のほかにも、金属を変化させる水溶液は、あるのだろうか。	はい・いいえ	問題	問題の把握・設定
		答え	うすい水酸化ナトリウム水溶液のように、金属を変化させる水溶液がある。		考察	考察
C社	実験4	問い	塩酸に溶けた金属は、どうなったのだろうか。	どうなって	問題	問題の把握・設定
		答え	-		-	-
	実験5	問い	（実験4で出てきたものが元の金属であるかどうかについては、）どのような方法で調べたらよいでしょうか。	どんな	問題	問題の把握・設定
		答え	塩酸に溶けた金属は、元の金属とは性質のちがう別なものに変化したと考えられる。		結論	結論の導出
D社	実験3	問い	塩酸は金属を溶かすこともできるだろうか。他の3つの水溶液（食塩水、アンモニア水、炭酸水）はどうか。	はい・いいえ	問題	問題の把握・設定
		答え	塩酸は、アルミニウムや鉄などの金属を溶かす。		まとめ	結論の導出
	実験4	問い	塩酸に溶けたアルミニウムや鉄は、どうなったのでしょうか。	どうなって	問題	問題の把握・設定
		答え	塩酸に溶けたアルミニウムや鉄などの金属は、溶かす前の金属とは違うものに変化している。		まとめ	結論の導出
E社	実験3	問い	塩酸に金属を入れると、どうなるだろうか。	どうなって	問題	問題の把握・設定
		答え	塩酸をアルミニウムに入れると、アルミニウムは泡を出しながら溶けてなくなる。塩酸に鉄を入れると、鉄の表面から泡が出る。		結果	結果の整理
	実験4	問い	塩酸に溶けたアルミニウムは、液の中にあるだろうか。	はい・いいえ	問題	問題の把握・設定
		答え	アルミニウムは、塩酸に溶けて別なものに変わる。		わかったこと	結論の導出

注1) 問いの種類は、中山・猿田（2015）の分類による。

注2) 教科書での扱いは、教科書で用いられるマークから分類したものである。

注3) -は、その取り扱いが見られないことを示している。

「結論の導出」において、「うすい塩酸には、金属を変化させるはたらきがある」となっており、「問い」に対する「答え」が「はい」の内容と一致した形で示されている。同様な事例は、D社の実験3においても見られる。

他方、「はい・いいえ」で回答可能な「問い」の中には、「問い」と「答え」が正対していないものが散見される。A社の実験4では、「問題の把握・設定」において、「水溶液には、金属を変化させるはたらきがあるだろうか」という「問い」を設定し、その「答え」として、「結論の導出」において、「水溶液には、金属を溶かすものがある」としてあり、「問い」に対する「答え」としては、「はい・いいえ」で示されていない。「問い」と「答え」が正対していないのは、「予想・仮説の設定」において、「金属に酸性の水溶液を注ぐと、金属はどうなるか考えて、話し合おう」と「どのように」という疑問詞の「問い」に改めて設定が変更されているからである。このように問いの設定を改めて変更することで、「推論すること」がより可能となる状況を生み出している。このような事例は、「考察」においても見られ、B社の実験3では、「考察」において、「うすい塩酸には、どのようなはたらきがあるといえるか」と「どのように」という疑問詞の「問い」に改めて設定が変更されている。B社の実験5では、「結果の整理」において、「それぞれの水溶液で、金属は、どのようになったか」と「どのように」という疑問詞の「問い」に改めて設定が変更されている。同様に、D社の実験3では、「考察」において、「どの水溶液が金属を溶かしたか」、「金属が溶けているとき、どのような変化が見られたか」と「どの」あるいは「どんな」といった疑問詞の「問い」に改めて設定が変更されている。

以上のことから、「はい・いいえ」で回答可能な「問い」においても、疑問詞の「問い」を追加することで、「推論すること」において、「問い」の焦点化が図られているといえるだろう。

つまり、「問い」と「答え」が問題解決の過程の枠組みをつくっており、「問い」に疑問詞を用いることで、何について推論をするか明確にしている。そして、児童が推論をすることを通して思考を深化させることで、「問い」となる問題がより容易に解決できるような構造となっているといえるだろう。

6. 小単元「金属を変化させる水溶液」における推論

6.1. 予想や仮説をもつ場面における推論

第2章で前述したように、「予想や仮説をもつ場面」は、8段階で構成される問題解決の過程（文部科学省、2011）では、「予想・仮説の設定」と捉えることができる。小単元「金属を変化させる水溶液」の中で、「予想・仮説の設定」において、「推論すること」がどのように取り扱われているか分析する。

「予想・仮説の設定」が取り扱われているのは、A社の実験4、C社の実験4と実験5及びD社の実験4においてである。例えば、D社の実験4では、「塩酸に溶けた金属は、どうなったのでしょうか」という「問題の把握・設定」が行われている。そして、「予想①」として「金属は気体になって空気中に出てしまった」、「予想②」として「金属は目に見えない粒になって塩酸に溶けている」、「予想③」として「金属は別なものに変化して塩酸に溶けている」と予想を3つ提示し、あなたはどのように予想するかと「予想・仮説の設定」がされている。また、C社の実験4や実験5においても、同様な「問題の把握・設定」が行われている。これらの実験では、1つ前に行われた実験の結果をもとに、「予想・仮説の設定」が行われている。

他方、教科書において、「問題の把握・設定」は設定されているが、「予想・仮説の設定」が設定さ

れていない実験が散見される。例えば、A社の実験6やE社の実験3などである。これらの実験では、教科書において、「予想・仮説の設定」が設定されていないため、教師が教科書どおりに授業を展開する場合、児童は推論をすることができない可能性がある。

また、教科書において、「問題の把握・設定」と「予想・仮説の設定」は設定されているが、児童が予想したり仮説を立てたりするための推論をするもとなる経験や知識がないと考えられるものがある。例えば、A社の実験4の金属にうすい塩酸や炭酸水を注ぐとどうなるか調べる実験では、「問題の把握・設定」が、「水溶液には、金属を変化させるはたらきがあるだろうか」と設定されているが、「予想・仮説の設定」では、金属に酸性の水溶液を注ぐと、金属はどうなるか考えて、話し合いをすることが設定されている。しかしながら、児童は、酸と金属の反応について、まだ学習をしておらず、日常生活においても同様な経験はないと考えられるため、教師の適切な指導がなければ、児童が推論することができずと考えられる。つまり、この「予想・仮説の設定」では、児童には推論をするもとなる経験や知識がないため、児童は推論することができず、仮説が立てられなかったり、予想したとしても根拠のない予想となっていたりすると考えられる。そのため、教師がこの実験において児童に推論させるためには、教師の発問や教科書で取り扱われていない教材の提示といった別な手立てが必要になると考えられる。

6.2. 観察、実験の結果から何が言えるのかを考察しまとめていく場面

第2章で前述したように、「観察、実験の結果から何が言えるのかを考察しまとめていく場面」は、8段階で構成される問題解決の過程（文部科学省，2011）では、「考察」と捉えることができる。小単元「金属を変化させる水溶液」の中で、「考察」において、「推論すること」がどのように取り扱われているか分析する。

A社の実験6の塩酸に金属が溶けた液を蒸発させて出てきた固体の性質を調べる実験では、吹き出しを用いて、「出てきた固体は、もとの金属と見た目がちがうね。」と「自然事象への働きかけ」が行われ、次に、「金属が溶けた液から出てきた固体は、もとの金属と同じ物だろうか。」という「問題の把握・設定」が行われている。そして、「考察」では、塩酸に金属が溶けた液から出てきた固体が、もとの金属と同じといえるのかについて、実験6の結果をもとに考えさせている。「結論の導出」では、塩酸に金属が溶けた液から出てきた固体は、もとの金属とは違う物であることと、水溶液には金属を別な物に変化させるものがあることの2点を示している。同様に、B社の実験4の鉄にうすい塩酸を加えた液から見えなくなった金属のゆくえを調べる実験では、「考察」において、実験4の結果から、見えなくなった金属は、どうなったといえるのかについて考えさせている。C社の実験4の塩酸に金属が溶けた水溶液から水を蒸発させると塩酸に溶かした元の金属がでてくるかどうか調べる実験では、出てきたものが、溶かす前の金属と同じかどうか考えさせている。D社の実験4の塩酸に金属が溶けた水溶液から溶けているものを取り出す実験では、出てくるものが元の金属なのか、別なものなのかについて考えさせている。E社の実験4の塩酸にアルミニウムが溶けた水溶液の中にアルミニウムがあるか調べる実験では、塩酸にアルミニウムが溶けた液から取り出したものは、アルミニウムであるか考えさせている。

以上のことから、小単元「金属を変化させる水溶液」では、塩酸に溶けた金属がどうなったか考えさせる場面において、「考察」が「観察・実験」及び「結果の整理」との関連がつくられることで、実験の結果から推論できる構造となっている。これは、Tiberghien（2000）が指摘している「観察できる

領域 (o) と「考えの領域 (i)」の間に関連がつくられる構造をとることによって可能となっている。

7. 考察

7.1. 予想や仮説をもつ場面における推論

「予想や仮説をもつ場面」における推論は、問題解決の過程において、児童の経験や知識をもとにして、予想や仮説が設定できるようにする必要がある。

D社の実験3の4つの水溶液（塩酸，食塩水，アンモニア水，炭酸水）が金属（アルミニウム）を溶かすかどうか調べる実験を行い，塩酸にアルミニウムを入れると，溶けて透明になることをもとに，実験4の塩酸に金属が溶けた水溶液から溶けているものを取り出す実験では，「塩酸に溶けたアルミニウムや鉄は，どうなったか」という「問題の把握・設定」が行われ，「予想・仮説の設定」では「予想①」，「予想②」及び「予想③」の3つの予想を提示している。これらの問題解決の過程では，実験3が実験4の「自然事象への働きかけ」となり，実験3で観察したことから実験4の「問題の把握・設定」が行われ，そして実験3で観察したことをもとにして推論し，実験4の「予想・仮説の設定」を行っていく構造となっている。つまり，これは，実験3が実験4の「自然事象への働きかけ」として機能し，図1で示されるTiberghien（2000）が提示している「観察できる領域 (o)」として位置付けられる構造をとることで，推論することが可能となっている。教科書で取り扱われている問題解決の過程における同様な構造は，C社の実験4と実験5及びE社の実験3と実験4においても見られる。

7.2. 観察，実験の結果から何が言えるのかを考察しまとめていく場面における推論

益田ら（2012）は，理科授業における課題と考察は正対すると指摘しているが，これは，8段階の問題解決の過程では，「問題の把握・設定」と「考察」が正対して設定されるということである。そのため，観察，実験において，課題が何であるかを明確にしておかなければ，何について考察するのかが明確にならない。

次に，「はい・いいえ」の問いの割合が高いという小学校理科の化学的領域における問題解決の特徴から考えてみる。表2に示しているように，小単元「金属を変化させる水溶液」では，発行者5社の教科書で設定されている12の「問い」のすべてにおいて「問題の把握・設定」がされているが，「考察」は9つしか設定されていない。例えば，B社の実験3では，「問題の把握・設定」において，「うすい塩酸には，金属を変化させるはたらきがあるのだろうか」といった仮説を含んだ「問い」が設定されている。このように，「はい・いいえ」の問いには予想や仮説が含まれているため，「考察」をさせるまでもなく，実験の結果から「答え」を導くことができるため，「考察」の設定が省略されていると考えられる。

以上のことから，「観察・実験の結果から何が言えるのかを考察しまとめていく場面」において，児童に推論させるためには，「問題の把握・設定」が重要であると考えられる。

7.3. 問題解決の過程において「推論すること」

中山ら（2014）は，「なぜ」という問いには，「推論 (inference)」と「理由づけ，説明 (reasoning)」の2つの種類の問いがあることを指摘しているが，ここでは，「なぜ」という問いに限定するのではなく，「推論」について，“inference”と“reasoning”の意味から考えてみる。『研究社 新英和大辞典 第6版』（2009）

によると、“inference”は、「推論，推理，推定」であり，“reasoning”は、「推理，推論，論究」であるとされ，両者とも「推論」と訳される。次に，両者の差異について，それらの動詞形から考えてみる。『研究社 新英和大辞典 第6版』（2009）によると，“inference”の動詞形“infer”は、「根拠や事実などから…と推論（推定，推理）する」または「暗示する」とされ，他方，“reasoning”の動詞形“reason”は，「…だと推論（論断）する，結論などを論理上から考え出す，論証する」とされている。

以上のことから，“inference”は，現段階では明確になっていないことを推定する「推論」であり，“reasoning”は，結論を導くために，論理的に思考し，判断を行う「推論」と考えることができるだろう。これらの両者は，日本語訳としては「推論すること」と訳することができるが，両者の意味に差異がある。それでは，問題解決の過程において，「推論すること」は，どのように考えたらよいのだろうか。「推論すること」は，第3章で前述したように，Tiberghienの考え方を援用すると，「考えの領域 (i)」である観察，実験における「予想・仮説の設定」と「考察」であると捉えることができる。そのため，「推論すること」は，問題解決の過程において，“inference”は，「観察・実験」の実施前に，自分の持っている知識や自分が経験したことに基づいて行う「予想・仮説の設定」における推論であり，“reasoning”は，「観察・実験」の実施後に，自分の知識や経験と併せて，「観察・実験」の結果に基づいて判断した「考察」における推論であると捉えてよいであろう。

8. 総合的考察

本研究では，小学校理科の教科書における問題解決の過程の取り扱いについて，「推論すること」に焦点をあてて，小学校6年の化学的領域である「水溶液の性質」を事例として分析をした。その結果，白岩（2014）が指摘しているように，「推論する能力」は，「観察・実験」の実施前の「予想・仮説の設定」と，「観察・実験」の実施後の「考察」において育成することができるが，教師が児童に対して望ましい指導をするためには，教科書の構成については，以下の4点が示唆された。

- (1) 「問題の把握・設定」における「問い」は，疑問詞を用いると，「問い」の焦点化を図ることができる。
- (2) 「予想・仮説の設定」と「考察」は，それぞれを「問題の把握・設定」と正対させることで，「推論すること」が明確となる。
- (3) 「予想・仮説の設定」では，直前に行われる「観察・実験」が「自然事象への働きかけ」として機能すると，「推論すること」がより可能となる。
- (4) 「考察」は，「観察・実験」及び「結果の整理」との関連がつくられることで，「推論すること」が可能となる。

教科書で取り扱われる観察，実験における問題解決の過程は，Tiberghien（2000）が指摘しているように「観察できる領域 (o)」と「考えの領域 (i)」との間に関連がつくられていることを前提として，児童の思考の過程に即したもので，児童の思考の連続性が確保される構造でなければならない。これは，観察，実験では，「問題の把握・設定」が，「予想・仮説の設定」及び「考察」とそれぞれが正対した構造をとることで，「予想・仮説の設定」と「考察」が正対することになり，児童の思考に一貫性を持たせた問題解決の過程の枠組みをつくるのが可能となり，8段階で構成される問題解決の過程を通して科学的な概念を獲得させることができるからである。「予想・仮説の設定」と「考察」が正対することについては，角屋（2013）が問題解決の考察の際に，子どもが仮説と実験方法や結果を評価で

きるように、子どもが仮説と実験結果を比較し、両者の一致あるいは不一致が判断できるようにすることの重要性を指摘していることと一致する。

9. おわりに

本研究では、小学校理科の教科書における問題解決の過程の取り扱いから、「推論すること」に焦点をあてて検討することで、教師が児童に対して望ましい指導をするための教科書の構成について示唆を得ることができた。観察、実験を行う際に、問題解決の過程の各段階につながりがあれば、教科書に見られるように、問題解決の過程は、必ずしも8段階で構成される必要はないが、授業展開の基本的な枠組みを検討する際には、「観察できる領域 (o)」と「考えの領域 (i)」の間に関連がつくられているかどうかについて検討する必要があると考える。

今後の課題として、本研究で明らかにした教科書の構成についての示唆は、化学的領域である単元「水溶液の性質」の分析をもとにしたものであり、他の単元についての検討を行っていく必要がある。また、本研究で得られた教科書の構成についての示唆は、授業において教師が指導を行う際の重要な視点であると考えられる。今後、授業実践における検証についても行っていきたい。

注

- 1) 本研究では、実験、観察の表記について、文献から引用した場合は、原文のまま引用しているが、問題解決の過程全体の意味として用いる場合は、「観察、実験」と表記し、8段階で構成される問題解決の過程（文部科学省、2011）の5段階目の意味として用いる場合は、「実験・観察」と表記している。
- 2) 調査は、2015年5月に日本理科教育学会の会員を対象に実施された。
- 3) 本研究では、「問い」を解決すべき課題と捉えた。
- 4) 「実際的な活動」とは、観察、実験等の活動を指している。
- 5) 「自然事象への働きかけ」は、関心や意欲をもって、対象となる物体、物質及び現象をよく見ることで、問題の発見につながっていく段階である。
- 6) 中山・猿田（2015）は、「問い」に用いられる「疑問詞」を、「なぜ」、「どの・どちら」、「どこ」、「何」、「いつ」、「どのように」、「どんな」、「どうなって」、「どうしたら」、「これぐらい・いくらか」、「はい・いいえ」、「途切れ文」、「その他」からなる13個のカテゴリーに分類・整理している。本研究においても、「問い」に用いられる「疑問詞」の分類については、中山・猿田（2015）の分類を用いた。

引用文献

有馬朗人ほか（2014）『新版 楽しい理科 6年』大日本出版。

後藤顕一（2015）「現行学習指導要領が示す『育成する問題解決の能力』に対する日本理科教育学会員の意識」『理科の教育』第65巻、第2号、pp. 9-12.

石浦章一・鎌田正裕ほか（2014）『わくわく理科 6』新興出版社啓林館。

- 角屋重樹 (2013) 「理科における問題解決の授業をどうつくるのか」『なぜ、理科を教えるのか－理科教育がわかる教科書－』文溪堂, pp. 49-66.
- 木下博義 (2013) 「理科の観察・実験における小学校教師の考察指導に関する研究」『日本教育工学会論文誌』第36巻, 第4号, pp. 439-449.
- 益田裕充ほか (2012) 『熟達した教師が創る 最新理科授業 中学校2年』学校図書.
- 益田裕充・柏木純 (2013) 「論理的推論に基づく仮説形成を図る教授方略に関する実証的研究」『理科教育学研究』第54巻, 第1号, pp. 83-92.
- 益田裕充 (2014) 「考察とは何か」『教科研究理科』学校図書, 第199号, pp. 2-3.
- 松村明編 (2006) 『大辞林 第三版』三省堂.
- 文部科学省 (2008) 『小学校学習指導要領解説 理科編平成20年8月』大日本図書.
- 文部科学省 (2009) 『小学校学習指導要領 第4版 平成20年3月告示』東京書籍.
- 文部科学省 (2011) 『小学校理科の観察, 実験の手引き』
- 毛利衛・黒田玲子ほか (2014) 『新編新しい理科 6』東京書籍.
- 村山哲哉 (2007) 「問題解決で育つ力」日置光久・矢野英明編著『理科でどんな「力」が育つか－わかりやすい問題解決論』, 東洋館出版社, pp. 19-24.
- 中山迅・猿田祐嗣・森智裕・渡邊俊和 (2014) 「科学的の教育における望ましい「問い」のあり方－日本の中学校理科教科書における「問い」の出現場面と種類－」『理科教育学研究』第55巻, 第1号, pp. 47-57.
- 中山迅・猿田祐嗣 (2015) 「小学校理科教科書における「問い」の現状と理科授業への示唆」『理科教育学研究』第56巻, 第1号, pp. 47-58.
- 霜田光一・森本信也 (2014) 『みんなと学ぶ 小学校理科 6年』学校図書.
- 白岩等 (2011) 「理科の授業における推論」『初等理科教育』第570号, pp. 14-17.
- 竹林滋 (編者代表) (2009) 『研究社 新英和大辞典 第6版』研究社.
- Tiberghien, A. (2000) Designing teaching situations in the secondary school. In R. Millar, J. Leach, & J. Osborne (Eds.), *Improving science education: The contribution of research* (pp. 27-47). Buckingham, UK: Open University Press.
- 上羽貴之・和田一郎・森本信也 (2015) 「科学的な推論の成立過程と表象との関連」『日本科学教育学会研究会研究報告』第29巻, 第5号, pp. 21-24.
- 山口真人・田中保樹・小林辰至 (2014) 「科学的な問題解決において児童・生徒に仮説を設定させる指導の方略－The Four Question Strategy (4QS) における推論の過程に関する－考察－」『理科教育学研究』第55巻, 第4号, pp. 437-443.
- 米盛裕二 (2007) 『アブダクション 仮説と発見の理論』勁草書房.
- 養老孟司・角屋重樹ほか (2014) 『未来をひらく 小学理科 6』教育出版.

Developing Inference and Reasoning Using Science Textbooks for Elementary School: A Case Study Focused on the Unit 'Chemical Properties of Aqueous Solutions' in Sixth Grade Science

Yukinori UTSUMI

Gifu University

Abstract

This study explores the eight-step process of problem solving in elementary school science textbooks, with a focus on inference and reasoning. The results showed that inferential ability can be developed by setting up the assumption or the hypothesis before the observation and experiment, and reasoning ability can be developed in discussion after the observation and experiment.

This study has four implications for textbook development. First, problems can be identified and set up using interrogative words. Second, inference can be developed by setting up the assumption or the hypothesis, and reasoning can be developed through discussion that refers back to the stage of identifying and setting up a problem. Third, observation and experimentation can be used as introductions when they are conducted just before the inference stage. Fourth, reasoning can be developed through discussion by making links with the observation and experiment and by assembling the results.

Keywords : Elementary School, Science Textbooks, Process of Problem Solving, Reasoning and Inferring, Chemical Properties of Aqueous Solution