

溶解の概念変容をめざした理科指導に関する研究

—中学校1学年における粒子概念の導入を通して—

杉本良一^{*}・河原裕司^{**}

A Study on Science Teaching by Conceptual Change of Solutions
—Introducing the Particle Concept in Lower Secondary Science—

SUGIMOTO Ryoichi, KAWAHARA Yuji

キーワード：理科授業，概念変容，溶解概念，粒子概念，中学校理科

Keyword：Science Teaching, Conceptual Change, Concept of Solution, Particle

I はじめに

理科教育では正しい科学概念を身に付けることを目的としている。しかし、学習させた後に必ずしも正しい科学概念が身に付いているとは限らない。なぜ、正しい科学概念が身に付かないと考えられるか。その原因の一つとして、知識を獲得する過程で、学習者の既有的な考えやイメージが深く根付いていることがあげられている。大人や子どもを対象とした科学概念調査に関する研究から、学習前に子どもは自然に対する既有概念を持っている。小学校や中学校、さらには高等学校において理科学習を習得した大人でさえ、科学概念とは異なった誤概念を保有していることがある例が報告されている¹⁾。生徒が学習前にあらかじめ持っている概念は、素朴概念やプリコンセプションなどと呼ばれている。すなわち、教師が時間をかけて詳細に説明したとしても、学習が終われば時間の経過とともに記憶から次第に忘れて、最初に持っていた誤った概念へ後戻りしてしまうことさえあるといわれている。

そこで、本研究では、学習者がその認知構造の中で概念変換を行うことが、なかなか困難で変容しにくいという考え方に立ち、学習者の素朴概念に焦点を当て、それらを学習者たちの意識の中で正しい科学概念へと変容させていくような理科授業を設計していくことを目的とする。さらに、正しい科学概念へと変容させるためには、科学的な思考の営みの中で科学的な思考力を発揮することにより促されると考え、科学的な思考の一つの様式である「論理的な思考」や広義の科学的な思考力である「科学の方法」にも着目して研究を進めた。

実践対象単元である「溶解」において、単位粒子概念を導入し、論理的な思考の営みの中で、推論やモデルの形成等の科学的な思考力を発揮させる場面を通して学習者の概念変容を目指した。また、学習の前後に生徒にアンケート調査を行い、学習者の概念変容などの側面から考察した。

* 鳥取大学地域学部地域教育学科

** 東伯郡北栄町立北条中学校

Ⅱ 素朴概念から科学的概念への変容

Ⅱ-1 目的意識をもった観察・実験

学習者に問題解決に向けた明確な目的意識がなければ、いくら形式的に予想や仮説を立て、実験結果等を整理してまとめ、考察させても、科学概念を生徒に身に付けさせることは難しい。理科における問題解決は自然の事物・現象を対象にしての未知を既知にする思考活動であると考えられる²⁾。つまり、問題解決の始まりは、学習者自身に自然の事象と出会う中で疑問や矛盾などを持たせて未知の事象を自覚させる過程で問題を発見させ、解決したいという意識まで高めることが重要である。その問題を意識化したものが問題意識であり、その問題意識に基づいて課題設定を行い、解決のための見通し(仮説、追求方法など)を持たせ、問題解決に向けた目的意識を持たせることが肝要である。我々はこの授業の導入部分の重要性を再確認しなければならない。

「今から○○を学習しよう」というのは、課題提示であって、問題ではない。学習者が解決しようとする意欲にまで高められたとき初めて、問題は意識化されるからである。これまでも学習者に問題意識を持たせるために、事象の中から違いを見い出させたり、既有知識や生活経験ではよく理解していない、新奇な事象を提示したり、「わかっているつもりだったが、知らない」等の“半分かり(はんわりかり)”を自覚させる事象を提示するなど、多くの実践がされてきている。

本研究では、認知的葛藤を生起させ、疑問や矛盾を誘発する授業の導入について考える。認知的葛藤は内発的動機を与えるものとなり、問題解決活動の契機と考えられている。また、科学概念形成の研究の立場からも認知的葛藤は、学習者が持っている素朴概念を科学的概念へと転換していくうえで、不可欠な事柄であると考えられている³⁾。教師側は、実際にはすべての単元で行うことは時間的に難しいが、教師はアンケートや描画法等の手法で得た学習者の既有概念を事前に把握していることが望ましい。そして、学習者の既有概念と矛盾する事象を具体的に提示するなどして、認知的葛藤を生起させ、「なぜだろう?」「何だろう?」「どうなるのだろうか?」「どうすればよいのだろうか?」といった疑問や矛盾を誘発させることが重要である。この際、既習事項や生活経験と関連させたり、既習事項の発展として問題を把握させたりすることも効果的である。また、多くの問題点を発見させるための方法として、事象を比較観察させることも有効な手段である。

このように生徒自ら問題を発見し、解決してみたいという意欲が高まり、見通しを持つ一連の過程(図1)の中で、「解決してみたい」「確かめてみたい」「見てみたい」などの目的意識が高まってこそ、その後の既有概念の変容や既有知識の再構成に大きな影響を与えると考える。



図1 目的意識を持つまでの一連のプロセス

Ⅱ-2 学習者の既有的考えの活用

素朴概念を克服し、正しい科学概念へと変容させるために、学習者の既有知識（表1）や考え（素朴概念）を活用することは有効である⁴⁾。理科の学習過程においては、問題を見出す場面や根拠に基づいた仮説を立てる場面、観察・実験の結果等を吟味したり、関係付けをしたりして結論を出す場面など、多くの場合が考えられる。

学習者の既有知識や考えを活用し、それによって事象を矛盾なく関連付けることができれば問題はないが、理科教育では抽象的、あるいは巨視的・微視的な教材、規則性や総合性などを持った教材といった直接目に見えない事象を扱うことが多い。学習者が持っている既有知識や考えだけでは説明がむずかしく、結論が出にくいことも多くある。しかし、最初から教師が新しい知識や概念を説明して教えたなら、それが身に付くというものでもない。

教師が留意すべき点は、学習者が新しい知識や概念を受容する基礎を学ばせることである。生徒自らの既有知識や考えの限界に気付かせることがその土台作りの有効な方法として考えられる⁴⁾。具体的には、ある事象を考察する際に、学習者の既有知識や考えを引き出し、最大限活用させることである。多くの場合、生徒はその不適切性や不十分さ、つまり限界に気付くようになる。「もういい加減教えてほしい」という欲求で満たされた状態になったときに適切な科学概念を教師が教えるのである⁴⁾。

II-3 論理的な思考の必要性

科学的な思考とは、「自然の事物・現象の中に問題を見だし、目的意識をもって観察、実験などを行うとともに、事象を実証的、論理的に考えたり、分析的、総合的に考察したりして問題を解決する⁵⁾。」と中学校理科における評価の観点として示されている。科学的な思考は「問題を見だし」「目的意識をもって観察・実験を行う」「考察して問題を解決する」という学習過程で行われる思考活動であるといえる。ここで注目すべきは、PISAやTIMSSなどの国際調査の結果・分析から、科学的な思考を養うこの学習過程において、改善・充実していかなければならない視点が明確になったことである。

1点目は、PISA調査の分析の中の「読解力」に関する問題において、「テキストの解釈」、「熟考・評価」、とりわけ記述式の問題に課題⁶⁾があることが示されたことである。PISA調査の「読解力」に関する出題について設定された次の3つの観点を科学的な思考を養う学習過程に対応させると表1のようになる。

表1 PISA型「読解力」と科学的な思考を養う学習過程との対応

PISA型「読解力」	科学的な思考を養う学習過程
テキストの中の情報の取り出し	問題を見だし
テキストの解釈 →書かれた情報から推論して意味を理解する	目的意識をもって観察・実験を行う →仮説を立てる、観察・実験の計画、実行など
熟考・評価 →書かれた情報を自らの知識や経験に位置づける	考察して問題を解決する

読解力は、国語だけではなく、各教科、総合的な学習の時間など学校の教育活動全体で身に付けていくべきものであり、教科等の枠を超えた共通理解と取り組みの推進が重要である。理科では、「科学的に解釈する力や表現する力の育成を目指した指導の充実」を求められているが、そのためには、「観察・実験において、結果を整理して科学的に解釈し、考察するとともに図やモデルなどを使って別の角度から考えることも大切である。また、観察・実験を探究的に行う中で、自分の予想や仮説、その検証方法や結果、考察等をまとめたり、観察・実験の結果についての自分の考えをまとめたりする表現活動も有効である。」ことが示されている⁶⁾。

2点目は、「科学的リテラシー」に関する問題において科学的な解釈や論述形式の設問に課題があ

ることが示された。ここでは「科学的に解釈する力や表現する力を育成することが重要であり、観察、実験の結果を整理してまとめ、考察する。さらに図やモデルを使って別の角度からも考える。これらの活動について自分の考えをまとめ表現するといった学習活動が大切である」ことが示されている⁷⁾。

両者の指摘には共通する部分が多くあるが、「考察して問題を解決する」活動に関連する内容が多い。これらの日本の子供たちの課題を解決するためには、科学的な思考の様式にも様々なものがあり、単元の設定の仕方もあるが、論理的な思考に注目すべきであると考え。ここでの論理とは思考の組み立てである。科学的に解釈したり、考察したり、それらをまとめたりという活動の中で、考えを進めていく道筋を意図的に明確にすることが有効であると考え。

「自分の考え」には、「なぜ、そう考えたのか」「何をもとにそう言えるのか」というこれまで学習者がもっていた既存の知識や生活経験から得られた知識、考えから導かれる「根拠」と観察・実験の結果や条件から導かれる「事実」がある。論理的な思考を促す立場からいえば、まず、仮説を立てる場面で、この「根拠」を意識させることが重要である。そして、考察して結論を出す際に、その「根拠」をもとに立てた仮説と観察・実験の結果や条件から導かれる「事実」とを比べて、その関係がどうであるかを考えさせることが重要であると考え。

Ⅱ-4 科学的な思考力の育成

科学的な思考力とは、科学的な思考を可能にする能力を意味する。広義の意味ではSAPAの13個のプロセススキルズも科学的な思考力と見なすことができる。すなわち、観察、時間-空間関係の利用、分類、数の利用、測定、伝達、予測、推論、条件制御、データの解釈、仮説の設定、操作的定義、実験である⁸⁾。このSAPAのプロセススキルズは昭和44、45年改訂の中学校・高等学校学習指導要領に見られる「科学の方法」に影響を与えている。そこでは、「科学の方法」を具体的に習得させるためとして、問題の発見、予測、観察、実験、条件制御、測定、記録、数値処理、データの解釈、分類、グラフ化、推論、規則性の発見、モデルの形成、仮説の設定、検証などのプロセススキルズが示された。

つまり、科学的な思考力とは、「自然の事物・現象の中に問題を見だし、目的意識をもって観察、実験などを行うとともに、事象を実証的、論理的に考えたり、分析的、総合的に考察したりして問題を解決する能力」であるといえる。中学校では抽象的、巨視的な教材、規則性や総合性などを持った目に見えない事象を扱うなかで、科学的な思考力を高めることが求められている。その中で、科学的な思考力を育てるためには、観察によって規則性を発見したり、実験による仮説の検証をしたり、イメージのモデル化を図ったりすることが有効な手段と考える。しかし、科学的な思考力は測定困難な「見えない学力」であり、理科に関する知識・理解のように、内容や配列等の系統性が示されていない。その分、科学的な思考力を高める具体的な学習活動として、意図した指導及び評価によらなければ、その向上を図ることがむずかしい。当然、単元や学習者の発達段階によって習得すべき科学的な思考力は異なる。また、あらゆる観察・実験に盛り込むのではなく、単元の目的や内容、学習者の実態に応じて取り扱うことが必要である。例えば、観察によって規則性を発見するには、規則性が見つけやすい現象が適している。実験による検証をするには、要因を制御した実験が繰り返し可能な現象が適しているなどである。

平成20年度に出された中央教育審議会の答申⁹⁾において、「科学概念を使用して考えたり説明したりする学習活動」が科学的な思考力の育成を図る一つの観点として示された。また、平成20年3

月に告示された中学校学習指導要領において、「エネルギー」「粒子」「生命」「地球」という4つの柱が示された。これらの科学の基本的な見方や概念を柱として理科の内容を構成し、科学に関する基本概念の一層の定着を図り、科学的な見方や考え方、総合的なものの見方を育成することが我々に課せられている。

Ⅱ-5 学習指導法について

学習指導法として問題解決的な学習が有効であると考え。問題解決的な学習の中では、自らが疑問、問題を意識し、目的意識をもって問題解決の過程を経ながら授業を展開する構成がとられる。そこでは、既有知識や考えと結びつけながら仮説を形成し、その仮説を検証する活動が行われる。論理的な思考過程に注目する場合、「～だから ～こうなる」といった「自分の考え」を順序立てて整理していかなければならない。当然、先行オーガナイザーとして与えた概念も「根拠」となる。そこでは、学習者の思考の過程を見取りやすくするために、ワークシートを「仮説」「仮説を立てた根拠」「観察・実験結果」「結論」を分けて記述できるようにすることが重要である。さらに、「定型文(表2)」を提示することによって、共通する表現方法を用いて考えを示すことが可能になり、それを持ち寄ることによって他者の意見も理解できるようになったり、話し合いが活発になったりすることが期待できる。また、文章記述の苦手な学習者にも有効に機能するものと考え。そのような学び合い活動を通すことでさらに論理的な思考を促すことにつながると考える。全単元においてこのワークシートの様式が適合するわけではないが、ワークシートや定型文の様式を工夫することで、学習者は思考の過程に沿った記述ができるようになり、教師は学習者の思考の過程を把握できるようになり、評価も焦点化され有効に機能するものと考え。

多少準備が面倒でも、以上のような地道な取り組みが、子どもの肯定的エピソードにつながっていくと思われる。子どもに肯定的エピソードを与えることにより、記憶が定着し、将来の理科の選択やイメージの改善、実験の意味の解釈、認知的方略や概念形成への手助け、学習意欲の向上等のメリットが与えられると考える¹⁰⁾。

表2 定型文による支援

場面	定型文の例
仮説	(観察・実験操作)したとき、(結果)なれば(推論)だろう。
仮説を立てた根拠	(根拠)なので(仮説)こう考えた。
方法	(観察・実験操作)した。
結果	(観察・実験操作)したとき、(結果)なった。
結論	仮説と比べて、(結果)なったので[ならなかったので]、(結論)だろう[ではないだろう]。

Ⅲ 科学概念への変容を図る授業プログラムの実践

Ⅲ-1 粒子概念について

本実践は、「溶解」において、単位粒子を導入し、論理的な思考の営みの中で、推論やモデルの形成等の科学的な思考力を発揮させる場面を通して学習者の概念変容を目指している。

粒子概念は、微視的に自然の事象を説明するためには不可欠な基本的な概念である。しかし、現行の小学校理科の学習指導要領では具体的に取り扱われておらず、中学校第2学年の化学変化の単元で導入される。そこでは原子・分子としての粒子概念について、分解等の化学変化の実験を行ったのちに、物質の成り立ちということで導入され、既習の状態変化や化学変化を原子・分子としての粒子概念で捉えるというのが一般的である。しかし、粒子概念が導入されてからのわずか数時間の授業で、これまで学習者が学んだ概念を捉え直し、この新しい概念に変容させることはむずかしく、なかなか概念が定着しない単元であるといえる。

しかし、学習者は物質に関する「粒子」という存在を知っている。科学者が考える「粒子」とは当然異なっているが、大きく捉えれば両者は同じであると考えられる。中学校に入ってからいきなり原子・分子という概念が導入されるのは遅いと思われる。もっと早い段階において学習者に粒子概念が段階的に導入できるようなカリキュラムの工夫が必要であると考えられる。本実践では中学校第1学年の初期の段階において、原子・分子・イオンなどの区別はせず、物質をつくっている最小単位としての「単位粒子」を粒子概念の基礎として導入する。

平成20年度の学習指導要領の改訂により、「粒子」を科学の基本的な見方や概念の一つの柱とすることになった。そこでは、「水溶液」における物質の溶解や「状態変化」において、粒子モデルと関連付けて扱うこととしている。そこで、粒子概念と結びつけやすい状態変化と水溶液の単元において、基本となる粒子概念を先行オーガナイザーとして導入する授業プログラムの実践を行う。粒子概念は、状態変化や水溶液をいくらしっかり観察したとしても、実験結果等からは粒子概念を学習者から導き出すことはむずかしいと考えたからである。

学年	粒子の存在	粒子の結合	粒子の保存性	粒子のもつエネルギー
第1学年	<p>物資のすがた</p> <ul style="list-style-type: none"> ・身の回りの物質とその性質 ・気体の発生と性質 		<p>水溶液</p> <ul style="list-style-type: none"> ・物質の溶解 ・溶解度と再結晶 	<p>状態変化</p> <ul style="list-style-type: none"> ・状態変化と熱 ・物質の融点と沸点
第2学年	<p>物質の成り立ち</p> <ul style="list-style-type: none"> ・物質の分解 ・原子・分子 	<p>化学変化</p> <ul style="list-style-type: none"> ・化合 ・酸化と還元 ・化学変化と熱子 <p>化学変化と物質の質量</p> <ul style="list-style-type: none"> ・化学変化と質量の保存 ・質量変化の規則性 		
第3学年	<p>水溶液とイオン</p> <ul style="list-style-type: none"> ・水溶液の電気伝導性 ・原子の成り立ちとイオン ・化学変化と電池 	<p>酸・アルカリとイオン</p> <ul style="list-style-type: none"> ・酸・アルカリ ・中和と塩 		

図2 中学校理科の「粒子」を柱とした内容の構成

Ⅲ－２ 学習者の概念調査の結果と分析

①調査方法・時期

事前調査で「溶解」「水溶液」に関する問題を解いてもらい、学習者の素朴概念を分析し、授業設計に役立てた。事後調査では、学習前と同一の問題を使用し、「溶解」「水溶液」に関する内容の定着度合いや学習者の考え方の変容を分析した。

事前調査は2008年11月、授業は2008年1月の最終週に2クラスで行った。事後調査は単元が終了した2008年2月に行った。調査は、質問紙法で行い、すべてに同じ調査用紙を配布した。

②事前調査対象

倉吉市立N中学校の1年生を対象に調査を行った。対象生徒を示す。

表3 対象生徒数（人）

1組	2組	3組	4組	合計
29	30	30	31	120

③事後調査対象

今回の授業プログラムを実施した同校の2クラスを対象に調査を行った。対象生徒を以下に示す。

表4 対象生徒数（人）

1組	3組	合計
29	29	58

④調査内容

学習者がもっている「溶解」「水溶液」に関する概念を調べるものを中心に、質問選択式と描画法を用いて調査した。それぞれの項目については、杉本、神林の先行研究¹¹⁾を参考にし、以下の項目に基づいて作成した。

設問1 水に食塩を溶かしたときの状態

- (1) 溶質の質量保存 (2) 水溶液の濃さの均一性
 (3) 水溶液のろ過 (4) 溶け残りのある飽和食塩水
 ①食塩水に溶け残ったもの ②溶け残りのある飽和食塩水の濃さの均一性
 ③水溶液の飽和

設問2 食塩水の様子（モデル化）

⑤事前アンケート調査結果と考察

設問1－(1)「溶質の質量保存」についての結果と考察

「水100gに食塩10gを入れてよくかき混ぜ、食塩をときました。このときの食塩水の質量は何gになっていると思いますか」という質問に対して以下の(ア)～(ウ)の選択肢を設定し、選択式で回答を求め、その理由を記述形式で行った。その結果を次に示す(表5)

選択肢

- (ア) 110gより小さい (イ) 110g (ウ) 110gより大きい

表5 水に食塩を溶かしたときの「質量保存」の結果

	ア	イ	ウ	無回答
人数(人)	34	80	4	2
割合(%)	28.3	66.7	3.3	1.7

正解である「(イ) 110 g」という回答は、最も多く80人(67%)であった。2番目に多かったのは「(ア) 110 gより小さい」という回答で、34人(28%)であった。

回答結果と生徒の理由付けから、水溶液の質量保存に関して考察する。

正解の(イ)を選んだ理由として、「食塩を水の中に入れてとかしてもそれぞれの重さは変わらないから(食塩は消えることはないから)」が25人で、食塩が目に見えない状態であってもきちんと水溶液の中に存在しているという考え方をしていることがうかがえる。「食塩を加えた分だけ重くなるから」が37人で最も多く、単純に足し算をしている生徒も多く見られた。

(ア)を選んだ理由として、「食塩かとけたからなくなってしまふ」が14人、「食塩がとけたから質量が小さくなる」が5人おり、溶質が消えて目に見えなくなることから「質量が減る」と考えている生徒が多く見られた。このことから、水にとけて目に見えなくなった食塩をどうとらえるかが「水溶液の質量保存」に大きく影響することがうかがえる。

設問1-(2)「水溶液の濃さの均一性」についての結果と考察

「水100 gに食塩10 gを入れてよくかき混ぜ、食塩をときました。このときの食塩水の濃さはどうなっていると思いますか」という質問に対して以下の(ア)～(キ)の選択肢を設定し、選択式で回答を求め、その理由を記述形式で行った。その結果を次に示す(表6)

選択肢

- (ア) 食塩水は下に行くほどだんだん濃くなっている。
- (イ) 上の方は水で、下に行くほど食塩水は濃くなっている。
- (ウ) 食塩水は一番上が濃く、下に行くほどうすくなっている。
- (エ) 一番下が濃くて、あとは同じ濃さである
- (オ) 一番下だけ濃い食塩水で、あとの部分は水である。
- (カ) 食塩水は全部同じ濃さになっている。
- (キ) その他

表6 水溶液の濃さと均一性の結果

	ア	イ	ウ	エ	オ	カ	キ
人数(人)	45	22	2	8	15	23	5
割合(%)	37.5	18.3	1.7	6.7	12.5	19.2	4.2

正解である「(カ) 食塩水は全部同じ濃さになっている」という回答は、2番目に多いものの23人(19%)にとどまっている。最も多いのは「(ア) 食塩水は下にいくほどだんだん濃くなっている」という回答で45人(37%)であった。「食塩を溶かしたときに下の方が濃くなる」という選択肢(ア)(イ)(エ)(オ)の考えを持つ生徒が90人(75%)を占める結果となった。

回答結果と生徒の理由付けから、水溶液の濃さの均一性の概念に関して考察する。「食塩を溶かしたときに下の方が濃くなる」という選択肢(ア)(イ)(エ)(オ)の考えを持つ生徒90人(75%)の回答理由を見ていくと、「食塩は下に沈む(いく)」「食塩が下にたまる」というものがそれぞれの回答人数に対して62.2%、63.6%、50.0%、50.0%を占めた。日常生活の中で、水に食塩を入れた瞬間、実際に底に沈んでいくという経験が大きく影響していることがうかがえる。加えて、「食塩が重いから」というように「重さ」を意識した理由も多く見られ、「食塩は水より重い=食塩は沈む=下の方が濃い」という考えを持っている。水溶液の濃さの均一性の概念は形成されておらず、「重さ」の概念にとらわれていることが分かる。

しかし、「とけた食塩が下に沈む(いく)」と考えた生徒は「下の方が濃い」と考え、「とけた食塩は全体に広がる」と考えた生徒は「全部濃さが同じになる」と考えていることから、水の中での食塩の所在が食塩水の濃度の考え方に関係していることが明らかになった。

設問1-(3)「水溶液のろ過」についての結果と考察

「水100gに食塩10gを入れてよくかき混ぜ、食塩をときました。このときの食塩水をろ過すると、ピーカーの中には何がたまると思いますか。」という質問に対して以下の(ア)～(カ)の選択肢を設定し、選択式で回答を求め、その理由を記述形式で行った。その結果を次に示す(表7)

選択肢

- (ア) 食塩だけがたまる (イ) 水だけがたまる (ウ) もともと濃さの食塩水だけがたまる
 (エ) 前よりも濃い食塩水がたまる (オ) 前よりも薄い食塩水がたまる
 (カ) その他：()

表7 水に食塩を溶かしたときの「水溶液のろ過」の結果

	ア	イ	ウ	エ	オ	カ
人数(人)	16	24	21	2	50	7
割合(%)	13.3	20.0	17.5	1.7	41.7	5.8

正解である「(ウ) もともと濃さの食塩水だけがたまる」と回答した生徒は21人(17%)であった。全体では、「(オ) 前より薄い食塩水がたまる」と回答した生徒が最も多く50人(42%)で、2番目に多かったのは「(イ) 水だけがたまる」の24人(20%)であった。「ろ過すると濃度が小さくなる」という選択肢(イ)(オ)の考えを持つ生徒が74人(62%)を占める結果となった。

回答結果と生徒の理由付けから、水溶液のろ過に関して考察する。「ろ過すると濃度が小さくなる」という考えの(イ)(オ)についての回答理由を見ると、「食塩がろ過されて、ろ紙に付く」などの理由付けをした生徒が43人(全体の36%)おり、ろ過によって食塩がこし取られるという考え

を多くの生徒が持っていた。また、正解の(ウ)を選んだ21人の回答理由として「何となく」や無回答が最も多く10人、「食塩がなくなったから」が6人いた。正解の(ウ)と回答した生徒でも水にとけた食塩がろ紙を通り抜けるほど小さなものになっているという考え方をしていないことが明らかになった。

設問1-(4)「溶け残りのある飽和食塩水」についての結果と考察

①食塩水に溶け残ったもの

「このビーカーの中にさらに食塩を加えてかき混ぜました。すると、ビーカーの底に方には白いものが、たまってしまいました。底にたまった白いものは何だと思えますか。」という質問に対して、自由記述形式で回答を求めた。「石灰水」「食塩水」などの答えや無回答の生徒も見られたが、112人(93%)の生徒が食塩と答えた。

②溶け残りのある飽和食塩水の濃さの均一性

「溶け残りのある食塩水の上の方(A)と下の方(B)の食塩水をとって濃さを調べました。このときAとBの濃さには違いがあると思えますか。」という質問に対して以下の(ア)～(エ)の選択肢を設定し、選択式で回答を求め、その理由を記述形式で行った。その結果を次に示す(表8)

選択肢

- (ア) 上のAのほうが濃い (イ) 下のBのほうが濃い
(ウ) AもBも同じ濃さ (エ) その他 ()

表8 溶け残りのある食塩水の「飽和水溶液の濃さの均一性」の結果

	ア	イ	ウ	エ	無回答
人数(人)	4	100	12	0	4
割合(%)	3.3	83.3	10.0	0.0	3.3

全体で最も多かったのは「(イ) 下のBのほうが濃い」の100人(84%)であった。正解である「(ウ) AもBも同じ濃さ」と回答した生徒は12人(10%)であった。

「(イ) 下のBのほうが濃い」の回答理由として「Bにちかいところで食塩がたまっているから、その近くは濃い」というものが大半を占めている。さらに、設問1-(2)において「食塩を溶かしたときに下の方が濃くなる」という考えを持つ生徒が90人(75%)であったのに対して、溶け残りがある状態では100人(84%)に増えている。設問1-(2)において「食塩を溶かしたときに下の方が濃くなる」という考えを持つ生徒の90%が設問1-(4)溶け残りのある食塩水について「(イ) 下のほうが濃い」と回答した。さらに、設問1-(2)において正解である「食塩水は全部同じ濃さになる」と回答した生徒の74%の生徒が設問1-(4)溶け残りのある食塩水では「(イ) 下のほうが濃い」と回答したことから、水溶液中に食塩の溶け残りが目に見えて存在することが水溶液の濃さの均一性の概念に影響していることが考えられる。水溶液の均一性の概念、さらに飽和の概念が

形成されていないことが明らかになった。

③水溶液の飽和

「溶け残りのある食塩水をこのままかき混ぜ続けると底にたまった白いものはどうなるでしょうか。」という質問に対して以下の(ア)～(エ)の選択肢を設定し、選択式で回答を求め、その理由を記述形式で行った。その結果を次に示す(表9)

選択肢

(ア) とける (イ) 少しとける (ウ) とけない (エ) 変化はない

表9 「水溶液の飽和」の結果

	ア	イ	ウ	エ	無回答
人数(人)	26	33	35	22	4
割合(%)	21.7	27.5	29.2	18.3	3.3

全体で最も多いのは「(ウ) とけない」の35人(29%)であった。選択肢としての確ではなかったのかもしれないが「(エ) 変化がない」と回答した生徒が22人(18%)おり、その回答理由の大多数が、「もう限界なのでこれ以上溶けない」というものであった。しかし、「(ア) 溶ける」「(イ) 少し溶ける」と回答した生徒が59人(49%)おり、その回答理由には「食塩は水に溶ける」「混ぜたらまだ溶ける」という考えが大多数を占めることから、設問1-(4)②と同様に「飽和」についての概念は形成されていないことが明らかになった。

設問2 食塩水の様子

「もし目に見えたとしたら、食塩のとけた水の中の様子はどのようになっているのだろうか?」という問いに対して、描画法と文章による説明で回答を求めた。すると、生徒の意見は次の(ア)～(キ)に大別できた。その結果を次に示す(表10)

(ア) 水・食塩「粒子」均一モデル (イ) 食塩「粒子」均一モデル
 (ウ) 食塩「粒子」が下部に多いモデル (エ) 連続体(塗りつぶし, 曲線, 直線)均一モデル
 (オ) 連続体(塗りつぶし, 曲線, 直線)が下部に多いモデル
 (カ) その他 (キ) 無回答

表10 「食塩水の様子」の結果

	ア	イ	ウ	エ	オ	カ	キ
人数(人)	2	33	22	12	10	18	23
割合(%)	1.7	27.5	18.3	10.0	8.3	15.0	19.2

35人(30%)の生徒は(ア)(イ)のように、微小な粒子が全体に均一に分散している粒子モデルを採用しており、そのうち2人は溶媒も粒子モデルで表している。22人(18%)の生徒は(ウ)のように、粒子のモデルが均一になっていないものの、微小な粒子として溶質を描いている。12人

(10%)の生徒は(エ)のように、水溶液全体を塗りつぶしたり、斜線で表したりしており、溶質が均一になっているイメージはあるものの、溶質・溶媒を微小な粒子としては捉えていない。

個々の生徒は多様な学習経験や生活経験を持っており、これらのモデルがどのように構成されたかは定かではない。しかし目に見えないものを描くという抽象的な課題について56人(48%)の生徒が微小な粒子モデルを採用したことから、中学校1年生の段階で単位粒子のモデルを導入することは、それほどの抵抗感はないものと考えられる。さらに、観察・実験を通して様々な事象を経験させながら、単位粒子のモデルを用いると事象を合理的に説明できることを実感させることができればその後の学習にも有効に機能すると考える。しかし、目に見えないものを描くという抽象的な課題そのものを理解するのに時間がかかる生徒もあり、個別の支援は必要であると考えられる。

Ⅲ-3 授業プログラムについて

(1) 授業プログラム

授業プログラムは最終的に「溶解という現象について、粒子モデルと関連付けて自分の考えをもち、説明することができる。」ことをねらい、単元「物質の状態の変化」「水溶液の性質」の中から特に粒子概念との関わりが深い小単元を抽出して実践を行う(表11)。

表11 授業プログラム

小単元名	学習活動	粒子概念との関わり
状態変化が起こるときの決まり	状態変化における物質の質量・体積の変化について実験を行い、まとめる。	固体、液体、気体の違いや状態変化における体積変化の理由を粒子の運動状態(粒子の熱運動)や結合状態(粒子が互いに引き合う力)の違いで捉える。(単位粒子の導入)
状態変化が起きるときの温度変化	状態変化をするときの温度は、物質によって異なっていることをまとめる。	沸点、融点を粒子の運動状態(粒子の熱運動)や結合状態(粒子が互いに引き合う力)と関連させて捉える。
物質が水にとけるとはどういうことだろうか① [本時①]	水溶液の濃度の均一性や粒子の大きさに関する素朴概念に対する反例事象の実験を行い、まとめる。	非常に小さな粒子が水溶液中に均一に存在していることを実験を通して捉える。
物質が水にとけるとはどういうことだろうか② [本時②]	水に塩化ナトリウムが溶けると体積が減少する事象を観察する。このときの水溶液のモデルの形成を通して、溶解について考察する。	溶解とは溶質の粒子が水の粒子の隙間に均一に入り込むことをモデルを通して捉える。また、そのモデルを通して濃度の均一性や溶質の質量保存を捉える。

(2) 本時までの流れ

(2)－① 状態変化

「状態変化が起こるときの決まり」というテーマで、すべての物質は通常、固体・液体・気体のいずれかの状態で存在していることや状態変化における体積変化を学習する。授業のまとめの段階で、教師の説明が中心になるが、物質をつくっている最小単位としての「単位粒子」の概念を導入し、まとめを行う。これは、その後の学習の先行オーガナイザーの役割を果たすものである。しかし、実際に目に見えない粒子をイメージしやすくすることが必要である。そこで、「すべての物質が粒子からできている」ことを伝え、三態の様子を粒子でイメージできるよう具体的なモデルと関連付けながら説明することとする。

固体をイメージさせる具体的なモデルとして発泡スチロールの固まりを提示する(図6)。発泡スチロールの表面をよく観察すると小さな粒がびっしりと詰まっていることが分かる。ここで固体は粒子が規則正しく並んでおり、固有の形をもつことをイメージさせたい。液体をイメージさせる具体的なモデルとして発泡スチロールビーズをビーカーに入れ、マッサージ器で振動させている様子を提示する。(図7)。粒子がばらばらの状態で流動的な動きをすることをイメージさせたい。気体をイメージさせる具体的なモデルとして、事前にビニル袋に発泡スチロールビーズ入れて激しく振り、静電気を帯びた状態のものを提示する。そのビニル袋を振ることで粒子が激しく動き回っていることをイメージさせたい。

このとき、「粒子が互いに引き合う力」と「粒子の熱運動」にまで踏み込んで説明することも有効であると考え。物質を構成している粒子は、絶えず不規則な「熱運動」をしており、互いにばらばらになろうとする傾向をもっている。一方、粒子間には「互いに引き合う力」がはたらいっており、互いに集まろうとする傾向をもっている。この相反する2つの傾向の大小関係によって物質の状態が決まる。温度が低いときは「粒子の熱運動」が活発でないので、「粒子が互いに引き合う力」によって粒子が固定されて固体になっている。温度が上がると、「粒子が互いに引き合う力」より「粒子の熱運動」のほうが強くなって、粒子は空中に飛び出すのが気体であり、中間の微妙な状態が液体であることもモデルを提示して説明すれば、それほどの抵抗感がないものと考えられる。このような説明の中で、粒子のモデルを用いると事象を合理的に説明できることを実感できれば、これからの概念形成に肯定的な影響を与えるものと考え。

(2)－② 状態変化と温度の関係

蒸気圧と大気圧の関係まで触れるのはむずかしいが、「状態変化が起こるときの温度変化」というテーマで、融点や沸点に関しても粒子モデルを取り入れ、次のような説明ができるようになると考える。

『固体を加熱していくと、「粒子の熱運動」が激しくなって温度が上昇するが、ある温度になると固体中の粒子の規則的な配列が崩れはじめる。この現象を融解といい、このときの温度を融点という。液体を加熱していくと、「粒子の熱運動」はしだいに激しくなる。この際、液体表面にあって、比較的大きなエネルギーをもつ粒子は、周囲の「粒子が互いに引き合う力」に打ち勝って空間へ飛び出していく。この現象を蒸発という。さらに温度が上がると、液体の「粒子の熱運動」も活発となり、液体の内部からも気体に状態が変化する現象が起こる。この現象を沸騰といい、このときの温度が沸点という。融解しているときや、沸騰しているときは、熱は、「粒子が互いに引き合う力」を振り切るのに使われるので、加熱してもその物質の温度は上昇しない。』

これまで実験を通しての現象面だけにとどまっていた単元であるが、前時に学習した「粒子が互いに引き合う力」と「粒子の熱運動」を絡めて上記のように関連させて説明することが可能になってくる。

(3) 本時の流れ

「物質が水にとけるとはどういうことなのだろう?」というテーマで、溶解を「単位粒子」の振る舞いから説明することをねらいとした2時間の構成で行う。溶解という現象は、学習者の生活の中で身近なものであるが、同時に、学習前アンケートが示す通り様々な素朴概念を抱いている現象でもある。

そこで、第1時では、反例事象を提示して比較観察を行い、学習者の素朴概念の変容を図るものとする。第2時では、溶解の仕組みについて描画法を用いて、学習者の既習知識や考えを引き出しながら小グループや全体でのコミュニケーションを行い、モデルを発展させていく過程を通して、素朴概念の変容を図るものとする。

(3)-① 水溶液の性質 第1時

第1時は反例事象の提示をする。導入時に、食塩と水を用いたシュリーレン現象を示し、「物質が水にとけるとはどういうことだろうか?」をテーマに学習すすめていくことを確認する。「溶質は水より重いので、下に沈む」という生徒90人(75%)の考えに対して、互いに青い物質である硫酸銅と炭酸カルシウムでできた青チョークを用いて溶解現象の比較観察を行う。水に溶ける硫酸銅では、時間が経過しても一様に青いままであるが、水にとけない炭酸カルシウムの方は、時間とともに物質が底に沈んでいくことを確認させ、水溶液の濃さの均一性に気付かせたい。同時に、「溶質をとかしたら消えてしまう」という素朴概念に対しても、溶質の存在を認識させるのに特有の色を有する水溶液は有効であると考え。さらに、「水溶液をろ過すると、溶質がろ過される」という生徒74人(62%)の考えに対して、同様に硫酸銅と炭酸カルシウムでできた青チョークを用いてろ過の比較観察を行う。炭酸カルシウムの方はろ過すると青い物質がろ紙に残り、水がビーカーにたまるが、硫酸銅水溶液はろ過してもビーカーにたまった水溶液の色と最初の水溶液の色が同じことを確認させ、溶質がろ紙を通り抜けるほど非常に小さ状態になっていることに気付かせたい。授業のまとめでは、目には見えない非常に小さな「粒子」が水溶液中に均一に存在することをイメージさせたい。

(3)–② 第1時の学習展開

生徒の活動	指導上の留意点
1 本時の学習のねらいを確認する。 2 硫酸銅が水に溶けるようすを確認する。	1 食塩と水を用いたシュリーレン現象を提示し、「モヤモヤはどこへいったのだろうか」と疑問を投げかける。 2 写真を提示し、かき混ぜなくてもとけてしだいに広がっていくことにふれる。
物質が水にとけるとはということなのだろうか？	
3 水に硫酸銅を入れたものと水に炭酸カルシウム（青チョーク）を入れたものを比較観察する。	3 事前のアンケートの結果から、既存の誤った概念について反例事象を提示し、比較観察することによって変容を促す。 <u>反例事象1</u> 「溶質は水より重いので、下に沈む」 硫酸銅では、時間が経過しても一様に青いままであるが、炭酸カルシウムの方は、時間とともに物質が底に沈んでいくことを確認させる。また、「溶質をとかしたら消えてしまう」という素朴概念に対しても、溶質の存在を特有の色を有する硫酸銅水溶液から認識させる。 <u>反例事象2</u> 「水溶液をろ過すると、溶質がろ過される」 硫酸銅水溶液はろ過してももとの水溶液の色と変わらないが、炭酸カルシウムの方はろ過され物質がろ紙に残り、水がビーカーにたまることを確認させる
4 本時のまとめを行う。	4 本時の学習内容を振り返らせ、目には見えない非常に小さな「粒子」が水溶液中に均一に存在することのイメージを促しながら用語と水溶液の特徴についてまとめる。

図3 第1時の学習展開

(3)–③ 水溶液の性質 第2時

第2時は水溶液のモデルを形成していく展開を行う。まず、前時と同じく「物質が水にとけるとはということだろうか？」がテーマであることを確認し、前時の反例事象を振り返る。次に、疑問や問題意識を誘発する場の設定を行う。食塩を水に溶かすと体積が減少するという現象は、数学的な計算ではあり得ないことであり、ここに認知的葛藤が生ずるものと思われる。食塩を入れた三角フラスコの口ぎりぎりまで水を入れ、ガラス管の付いたゴム栓でふたをする。そうすることによってガラス管の上部まで水が上昇してくる。この状態のまま三角フラスコを振って食塩を溶かせば、ガラス管の水面は下降する。溶かす前後で総体積が減少する現象（図5）を目の当たりにすることで疑問や問題意識を芽生えさせることができると考える。

本時のテーマに迫る課題を「なぜ、水と塩化ナトリウムを混ぜたとき体積が減ののだろうか?」と設定し、水溶液の中のように着目させることも重要である。事象提示後に仮説を立てさせるわけだが、溶解は目で見ることのできない微視的な現象であり、文章で「(観察・実験操作)したとき、(結果)なれば(推論)だろう。」と考えさせるのは非常に難易度が高いと思われる。さらに、「仮説」の根拠となる既習知識(先行オーガナイザーを含む)なり生活経験から得られた考えが持ち込まれるような手だてが必要である。そこで描画法を取り入れることとした。仮説の設定場面(事象についての予測)など、授業の様々な場面での描画法の利用可能性が試されている¹²⁾。学習者の持っている既習知識や考えを「根拠」として生かされる描画によって仮説を立て、それをコミュニケーションを通して発展させていくことが認知構造の中での概念変換につながっていくものと考ええる。また、このようにして学習者が自分なりの仮説を作成する中で「解決してみたい」「確かめてみたい」などの目的意識が高まっていくものと考ええる。

モデルを形成していく過程では、描画されたモデルの根拠を明確にすることが重要である。その根拠はどのような既有知識や考えをもとにしているのか、さらには論理的であるかどうかを確認していく作業である。間違った知識や先入観をもとに論理展開をされていたり、論理が飛躍したりしている場合も考えられる。そのような場合には、状態変化で学習した粒子概念や関連する生活経験などを振り返らせるような補助的発問や揺さぶり、さらには粒子の正しい概念をも導入しながら小グループや全体でコミュニケーションを行い、モデルを発展させていくことが重要である。

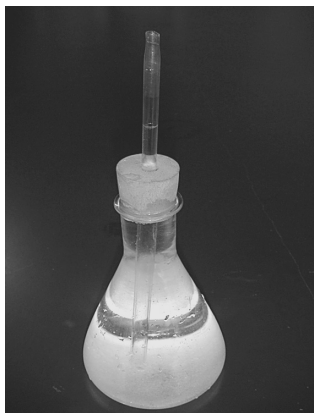


図4 「食塩の溶解による体積の変化」装置

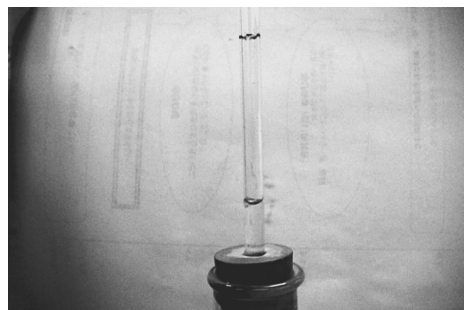


図5 食塩の溶解による体積の変化

しかし、観察・実験や話し合いを通して、矛盾なく関連付けて説明できる一つの粒子モデルに集約されていくことはむずかしいと考える。学習者の既有知識や考えを引き出し最大限活用しながらも、多くの場合、その不適切性や不十分さ、つまり限界に気付いてくると思われる。それぞれの考えを認めつつも、全体でのコンセンサスが得られない場合は、最終的にモデル実験を教師が提示し、新しい概念を導入することが望ましいと考える。水の粒子に見立てた発泡スチロールビーズと食塩の粒子に見立てた大きめの着色した発泡スチロールビーズ（図6）をビーカーに入れ、粒子自身の運動を想起させるために、マッサージ器で振動を与えると、それぞれの発泡スチロールビーズが混ざり合って体積が減っていく（図7）。このモデル実験の結果の「事実」もモデルの形成の過程を論理的に発展させ、考察へつなげる重要な要素である。まとめではモデル実験で使用した水溶液モデルを共通の粒子モデルとして提示し、水溶液の濃度の均一性や溶質の質量保存について粒子の存在をもとに考える場を設定したい。結論については、自分が立てた仮説やコミュニケーションを通して触れた他者の考え、モデル実験から得られた結果などをもとに、「物質が水にとけるとはどういうことか」の視点で十分時間をとって記述させることが重要である。

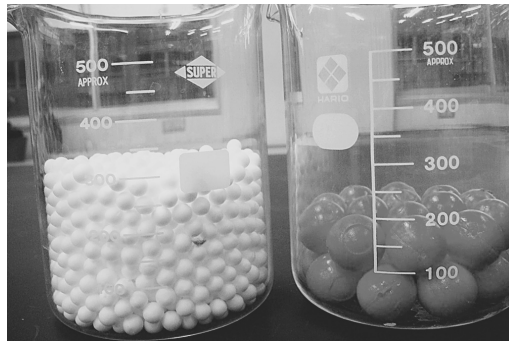


図6 水の粒子に見立てた発泡スチロールビーズと食塩の粒子に見立てた大きめの着色した発泡スチロールビーズ

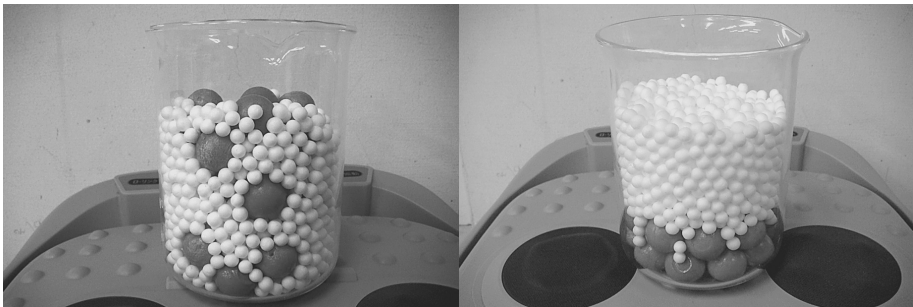


図7 振動を与える装置

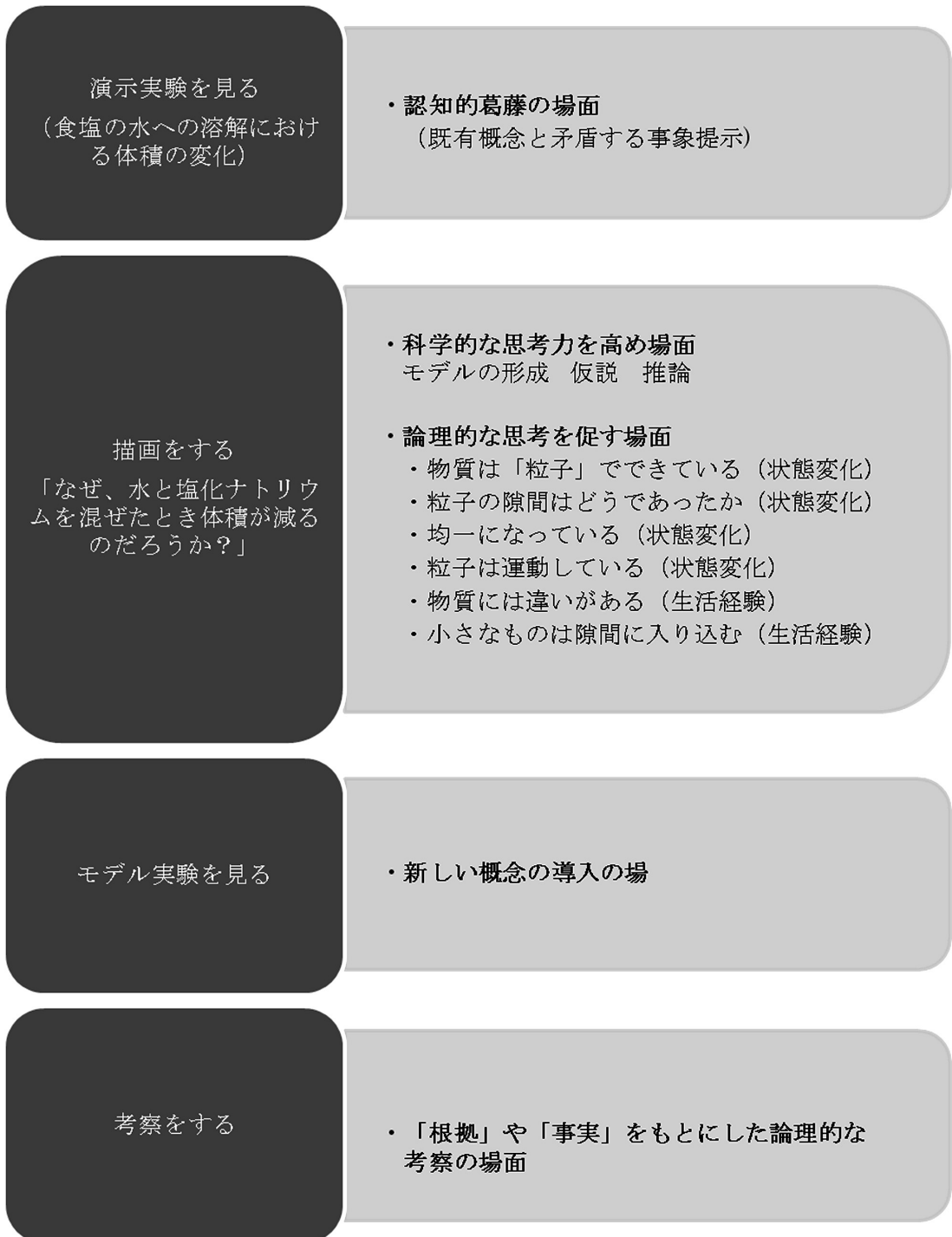


図8 第2時における各活動の位置づけ

(3)－④ 第2時の学習展開

生徒の活動	指導上の留意点
1 本時の学習のねらいを確認する。	1 前時の反例事象を振り返らせ、本時のねらいを確認させる。 <div style="border: 1px solid black; border-radius: 15px; padding: 5px; text-align: center;">物質が水にとけるとはどういうことだろうか？</div>
2 本時の学習の課題を把握する。	2 食塩を入れたメスシリンダーに水を入れ、総体積が減少することを確認させる。 <div style="border: 1px solid black; border-radius: 15px; padding: 5px; text-align: center;">なぜ、水と塩化ナトリウムを混ぜたとき体積が減るのだろうか？</div>
3 仮説を立てる。 4 自分の考えや友達のをもとに本時の課題についてコミュニケーションする。	3 「もし○○ならば、食塩水の体積は減るだろう」を意識させながら描画させる。 4 ・生徒の描画をグループ分けしていき、その特徴を再確認させたり、比較させたりする。その際、根拠となった既習内容や生活経験を明確にさせる。 ・状況によってホワイトボードを使用し、小グループでコミュニケーションさせる。
5 モデル実験を行い、科学者の考え方を知る。 6 本時の学習を振り返り、まとめを行う。	5 ・水の粒子を発泡スチロールビーズ、食塩の粒子を大きめの着色した発泡スチロールビーズに見立て、粒子の運動をマッサージ器の振動で起こし、モデル実験を行う。 ・濃度の均一性や溶質の質量保存に関して、モデル実験における食塩の粒子が水の粒子の隙間に入り込んでいる状態と関連付けて説明する。 ・具体的な粒子モデルを用いると事象を合理的に説明できることを伝える。 6 仮説とモデル実験の結果から「物質が水にとけるとはどういうことだろうか」の視点で結論を考えさせる。

IV 科学概念への変容を図る授業プログラムの検証

今回の授業プログラムは、溶解の仕組みについて、単位粒子を導入し、学習者の既習知識や考えを生かしながらかグループや全体でのコミュニケーションを行い、モデル(図9)を発展させていく過程を通して、素朴概念の変容ができないかという試みである。

そこで、授業プログラム実践後の検証として、事前に行ったアンケート調査と同じ問題を行い、学習者の概念の変容を探ることとする。

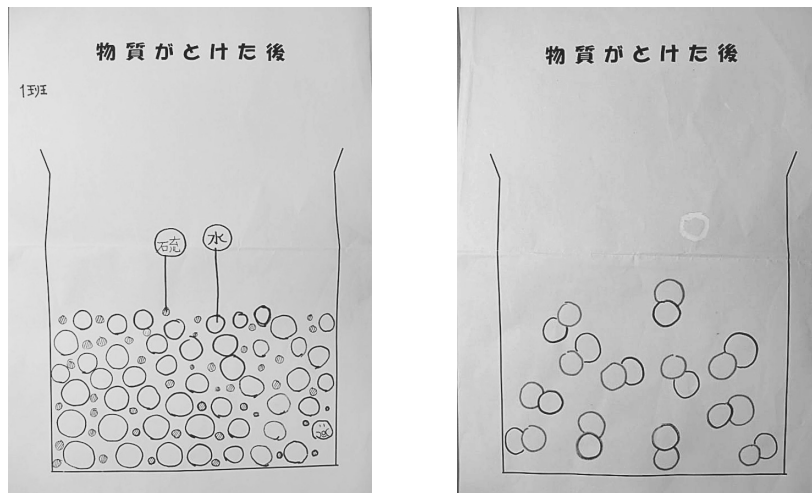


図9 グループで考えた水溶液の様子为例

IV-1 調査結果

調査問題の各解答の配点を1点とし、7点満点で採点を行い、授業プログラムを実施した2クラスの授業前と授業後の対応のあるt検定を行った。問題全体と各設問の結果を表12, 13に示す。検定して有意水準が0.1%, 1%, 及び5%で有意であることを記号***, **, *で表す。標本数は58人である問題全体の授業前と授業後の平均点について、対応のあるt検定を行った結果、有意水準0.1%で有意差が認められ、授業後の正答率が上昇した。また、各設問における対応のあるt検定の結果、設問1-(2)「水溶液の濃さの均一性」、設問1-(4)②「溶け残りのある飽和食塩水の濃さの均一性」、設問2「食塩水の様子(モデル化)」については、有意水準0.1%で有意差が認められ、事後の正答率が上昇した。また、「水溶液の様子」という目に見えないものを描くという抽象的な課題に対して、粒子モデルを採用(ア, イ, ウ)して説明しようとした生徒が全体で82.7%を占め、溶質、溶媒とも粒子モデルを採用(ア)した生徒は60.3%(授業前3.4%)に上昇した(表13)。設問1-(3)「水溶液のろ過」、設問1-(4)③「水溶液の飽和」については、有意水準5%で有意差が認められ、事後の正答率が上昇した。しかし、「水溶液のろ過」に関して、39%の生徒は食塩がろ過されると考えており、「水溶液の飽和」に関しても53.5%の生徒が溶け残りのある食塩でも混ぜればまだ溶けると考えており、それぞれ正答率は39.7%という結果となった。設問1-(4)①「食塩水にとけ残ったもの」については、有意差が認められなかったものの98%という高い正答を得た。しかし、設問1-(1)「溶質の質量保存」については、有意差も認められず、正答率がわずかに下降した。

表12 全体における対応のある t 検定結果

	平均値		標準偏差		有意差検定	
	前	後	前	後	t 値	結果
問題全体	2.55	4.10	1.43	1.69	6.34	***

表13 各設問における対応のある t 検定結果

	平均値		標準偏差		有意差検定	
	前	後	前	後	t 値	結果
1-(1) 溶質の質量保存	0.78	0.74	0.42	0.44	-0.47	
1-(2) 水溶液の濃さの均一性	0.22	0.62	0.42	0.49	5.39	***
1-(3) 水溶液のろ過	0.22	0.40	0.42	0.49	2.10	*
1-(4)① 食塩水に溶け残ったもの	0.97	0.98	0.18	0.13	1.00	
1-(4)② 溶け残りのある飽和食塩水の濃さの均一性	0.09	0.34	0.28	0.48	4.11	***
1-(4)③ 水溶液の飽和	0.24	0.40	0.43	0.49	2.02	*
2 食塩水の様子 (モデル化)	0.03	0.60	0.18	0.49	8.67	***

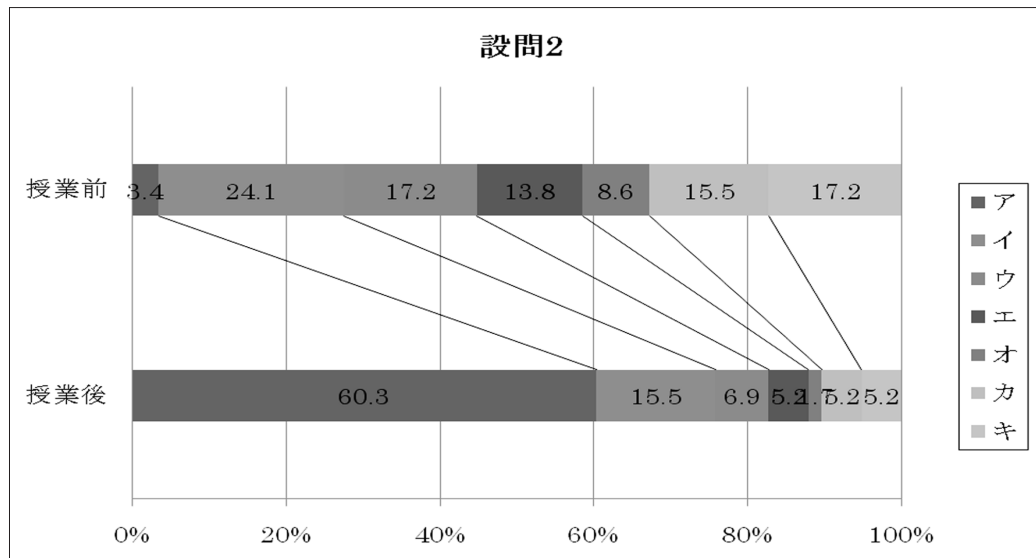


図10 「食塩水の様子（モデル化）」の結果の推移（割合）

Ⅳ-2 考察

有意水準0.1%で有意差が認められ、有効性がみられたのは「水溶液の濃さの均一性」「溶け残りのある飽和食塩水の濃さの均一性」「食塩水の様子（モデル化）」を問う設問である。いずれも状態を問う問題である。目で見て実感することのできない、何の変化も起きていないような状態でも、単位粒子を導入することにより、学習者は溶解の現象をイメージすることができたと考えられる。事前調査では、水溶液の濃さの均一性や食塩水の様子に関して「食塩は水より重い＝食塩は沈む＝下の方が濃い」という「重さ」の概念をもっている生徒が多かったものの、粒子の分子運動をイメージしたモデルやモデル実験を取り入れることにより、多くの生徒の概念の変容につながったものと考えられる。しかし、「溶け残りのある飽和食塩水の濃さの均一性」の問題では、食塩の溶け残りのあるビーカー下部の方が濃いと回答した生徒が依然として多く58.6%を占め、正答率は36.2%にとどまった。「食塩が下にたまっているからビーカーの下の方が濃い」という回答理由が多くみられ、溶液中に食塩の溶け残りが目に見えて存在することが水溶液の濃さの均一性の概念に影響することが考えられる。

有意水準5%で有意差が認められ、有効性がみられたのは「水溶液のろ過」「水溶液の飽和」を問う設問である。いずれも操作を伴う設問である。しかし、両方とも正答率が39.7%と決して高くない。「水溶液のろ過」に関しては、授業プログラムにおいて、硫酸銅と炭酸カルシウムでできた青チョークを用いてろ過の比較観察を行った。回答理由から、青いチョークがろ紙でこしとられた様子が印象に残っていること、硫酸銅水溶液に関しても水溶液が染みて、ろ紙が薄い青色になっていたことが影響したものと考えられる。さらに、小学校第5学年の「もののとけ方」の学習の中で、ミョウバンの結晶を取り出すためなどにろ過の操作を行っている。液中に混ざっている粒を、ろ紙でこして取り除く経験は多くの生徒がしているものと思われる。食塩が小さな粒子となって水の粒子と混ざり、均一になっているという概念をもっている、この考えとろ過の操作が結び付いたとき、食塩の粒子がろ紙にひっかかるという考えになったものと思われる。つまり、「粒子」の捉え方

として、水に溶けた食塩はろ紙の穴を通り抜けるほど小さなものであるという考えにまでには達していないことがうかがえる。「水溶液の飽和」に関しては、溶解を粒子の振る舞いをもとにコミュニケーションを行ったり、モデル実験したことで、溶媒の粒子の隙間に溶質の粒子が入り込むイメージが強く作用し、混ぜればさらに隙間に入り込むと考えている生徒が多かった。水溶液の飽和の概念に関して、本実践のようなモデルの提示による説明だけでは生徒の概念変容につなげることは難しいと考える。

有意差も認められず、正答率がわずかに下降したのは「溶質の質量保存」を問う設問である。授業のまとめの段階で2種類の発泡スチロールビーズが混ざっているモデルを最終的には提示して説明を行った。しかし、授業の導入において食塩を水に溶かすと体積減少する現象の印象が非常に強く残ったようである。「体積減少→質量減少」という考えになってしまったことが生徒の回答理由からうかがうことができる。溶質の質量保存に関しては、モデルなどを通してイメージできる水溶液の濃度の均一性と関連付け、溶質と溶媒は小さな粒子であるが質量をもち、その質量の和が保存されるという実験も加えて理解を促すようにすることが必要であると考える。

Ⅳ-3 成果と課題

学習者の生活の中で身近なものでありながら、同時に様々な素朴概念を抱いている「溶解」という現象に対して、単位粒子を導入し、学習者の既習知識や考えを生かしながらコミュニケーションしていく過程を通し、モデルを発展させていく学習によって変容を促すことができるかという検討をしてきた。

水溶液の濃さの均一性や水溶液の様子（モデル化）に関して、何の変化も起きていないような状態でも、単位粒子を導入することにより、学習者は溶解の現象をイメージすることが容易になり、有効性であることが分かった。このように目で見て実感することにできない身近な現象の考察場面において、意図的に単位粒子から見た視点を導入することは、根拠ある考えをもとに結論を導き出す有効な手立てとなると考える。このように、単位粒子を用いると事象を合理的に説明できることを実感させることは今後の化学変化やイオンの概念の系統的理解につながっていくものと考えられる。さらに、描画法という手法を用いて仮説を立て、コミュニケーションなどの相互作用を通して推論しながら、モデルを形成していくプロセスが、自らの既有概念を再吟味し、概念の変容を促す一つの有効な手段であると考えられる。



図11 改良装置

しかし、課題もいくつか残った。まず、質量保存に関して、水溶液を単位粒子のモデルでイメージできても、溶解による体積減少の演示実験がその後に大きく影響を与えてしまった。図11のように電子天秤を利用しながら溶解前後の質量を精密に確認させることが有効であると考ええる。その後、2種類の発泡スチロールの混ざり合ったモデルと関連させ、溶質と溶媒は小さな粒子であるが質量をもち、その質量の和が保存されることのイメージを持たせることで改善が図れるものと考ええる。さらに、同単元に位置づけられているその他の小単位に関して、プログラムの作成に至れなかった。本実践では高い正答率が得られなかった「飽和」や「ろ過（粒子の微小性）」に関する内容と併せて、学習者の実態に応じた単元構成や概念変容をうながす教材・教具の開発がさらに必要であると考ええる。

〈引用文献〉

- 1) 武村重和監訳, 「理科学習の心理学—子どもの見方と考え方をどう変容させるか—」, pp.13-29, 東洋館出版社(1993)
- 2) 松本勝信, 『問題解決』, 武村重和・秋山幹雄編, 「理科重要用語300の基礎知識」, p.85, 明治図書(2000)
- 3) 日本理科教育学会編, 「キーワードから探るこれからの理科教育」, pp.200-205, 東洋館出版社, (1998)
- 4) 堀 哲夫, 「既有的知識や考えの活用を」, 『楽しい理科学習』NO.463, p.21, 明治図書(2005)
- 5) 文部省, 「中学校理科指導資料 理科における学習指導と評価の工夫・改善」, 大日本図書(1993)
- 6) 「PISA調査(読解力)の結果分析と改善の方向」, 文部科学省(2005)
- 7) 文部科学省, 「小学校理科・中学校理科・高等学校理科指導資料—PISA2003(科学的リテラシー)及びTIMSS2003(理科)結果の分析と指導改善の方向—」(2005)
- 8) 中村重太, 「科学的思考力の育成」, p.36, 明治図書(1987)
- 9) 文部科学省, 「幼稚園, 小学校, 中学校, 高等学校及び特別支援学校の学習指導要領等の改善について(答申)」(2008)
- 10) 杉本良一, 「実験・観察における情報処理能力に関する研究」, 日本理科教育学会研究紀要, 第35巻第3号, pp.23-31, (1995)
- 11) 杉本良一・神林久美子, 「理科学習における子どもの水溶液概念獲得に関する研究—小学校理科「もののとけ方」における学習の検討—」p.203, 鳥取大学地域学部紀要, 第3巻, 第2号, (2006)
- 12) 中山迅・稲垣成哲, 「理科授業で使う思考と表現の道具」, 明治図書(1998)

(2009年10月1日受付, 2009年10月15日受理)