

小学校理科学習における粒子モデルとICT活用

—ものの溶け方の単元において—

Effectiveness of the Particle Model and the Use of Technology in Elementary Science Learning: In the Unit of Water Solubility

土佐幸子, 野島優作*, 廣野達也**

Sachiko TOSA, Yusaku NOJIMA*, Tatsuya HIRONO**

This study examines how the use of the particle model helps students' conceptual understanding in elementary science. The particle model refers to the model in which microscopic constituents of matter are represented by circles to indicate atoms, molecules, or ions. The textbooks by two publishers are examined first to find merits and demerits of the use of the particle model in elementary science. Based on the findings, lesson plans for the unit of solubility in the 5th grade science were developed and implemented to overcome the demerits. The use of simulation was included in one of the lessons. The effectiveness of the use of simulation was examined through the analysis of students' writings and drawings. The results indicate that the use of simulation helps students understand the random movement of salt particles in water when salt is dissolved. Furthermore, it is indicated that the use of simulation should be introduced only after students are motivated to find the reason for uniform density of salt water regardless of the depth in the tall container.

Key words: elementary school science, particle model, use of technology, simulation, water solubility

1. 問題の所在

変化の激しい現代社会において、自ら主体的に問題に取り組み、解決する資質・能力の育成が求められている¹⁾。特に小学校理科では、学習指導要領の目標にもあるように、問題解決の過程において、理科の見方・考え方を働かせることが重視されている。学習指導要領解説には、自然の事物・現象をどのような視点で捉えるかという理科の見方について、「粒子」に関する領域においては「質的・実体的な視点で捉えること (p13)」と述べられており、自然現象を深く理解するために、粒子を実体化した粒子モデルによる捉えが推奨されていると考えられる。しかし、原子、分子、イオンという微視的な粒子概念

は中学校理科で学習する内容であり、小学校の学習では巨視的に自然現象を捉えることを基本としている。また、学習指導要領には水の状態変化やものの溶け方の単元において、「図や絵などを用いて表現する」とあるが、どのような図や絵を意味するのかについて記述はない。他方、教科書には、水の状態変化やものの溶け方において、水蒸気や溶けている食塩を丸い粒として表現した図が見られる^{2,3)}。果たして、まだ原子や分子を学習していない小学校理科において、粒子モデルを導入することは妥当なのだろうか。もし、妥当だとしたら、どのように導入することが、子どもの理解を助けることに結びつくのだろうか。

そもそも理科の物質分野の学習において「粒子」という柱が登場したのは平成20年改訂の学習指導要領からである⁴⁾。小学校理科における粒子モデルの取扱いについては、多くの研究者によって議論さ

2020.6.22 受理

* 新潟県三条市立伊栗小学校

** 新潟大学附属長岡小学校

れてきた^{5,6)}。「粒子」を理科の見方の一つとして捉えることは、新学習指導要領においても変わっておらず、小学校理科において粒子モデルを導入することの妥当性は疑問のままであると考えられる。

粒子モデルを導入する際の手立ての1つとしてICT活用が考えられる。学習におけるICT活用の重要性は、以前から唱えられているが⁷⁾、特に理科学習においては、ICT活用によって、実験・観察の効率化が図られるだけでなく、従来の機器では難しい測定が可能になることにより、子どもの概念理解を促す効果が示唆されている⁸⁾。ICT活用の中でも、シミュレーションは「何らかのシステムの挙動を、それとほぼ同じ法則に支配される他のシステムや計算によって模擬すること(広辞苑)」である。粒子モデルのシミュレーションは、系の粒子の動きを視覚的にパソコン画面上などに表現し、条件を変えると粒子の運動がどのように変化するかを示すものである。原子や分子などの見えない粒子を視覚化するシミュレーションは、子どもの理解を助けるのではないかと期待される。

本研究は、小学校理科学習において、粒子モデルを取り入れることが、子どもの概念理解をどのように助けるかを明らかにすることを目的とする。そのために、まず、教科書と文献を調査して、粒子モデルに関する状況を把握する。粒子モデルの導入にはどのような利点・課題点があり、小学校理科において、粒子モデルの導入が妥当なのかどうかを吟味する。次に、もし妥当だと考えられる場合、粒子モデルを導入した単元開発を行い、授業実践を行って、その効果を検証する。粒子モデル導入の手立てとして用いるのは、パソコン画面上で表されたシミュレーションである。シミュレーションを用いることによって、子どもたちがどのように粒子モデルを使って、概念構築を行っていくかを詳しく追っていく。

本研究を導く研究課題は次の2点である。

1. 小学校理科授業において、粒子モデルの導入は妥当なのか。
2. 妥当だと考えられる場合、シミュレーションを用いた粒子モデルの導入は、子どもの概念理解をどのように助けるか。

本研究の重要性は、小学校理科において「理科の見方」、「粒子モデル」、そして「ICT活用」という3つの要素を結びつけて、子どもの正しい概念理解を助けるような単元開発をおこない、実践例を提示するところにある。「実体的な視点で捉える」とい

う理科の見方を育成しようとして、十分な配慮をせずに粒子モデルを使ったところ、子どもたちが誤った描像を描くようになることは避けなければならない。また、小学校授業にICT機器を持ち込み、子どもの概念理解を助けるには、指導方法にも配慮が必要になることが考えられる。実践事例に沿って、細かく考察することにより、小学校理科においてICT機器を有効に活用するヒントが得られることが期待される。

2. 理論的枠組み

2.1 理科教育学における構成主義と「理科の見方」

本研究は、学習の認知面に焦点を絞り、構成主義的なアプローチ⁹⁾を理論的枠組とする。構成主義的なアプローチに則ると、学習とは教師の一方的な情報伝達ではなされない。学習者が能動的に事象に働きかけ、認知的葛藤を経て、新たな情報を学習者のもつスキーマに同化させたり、スキーマの調整を行ったりする行為により、初めて知識として獲得されるものであると考える。その過程で人との関わりが重要な役割を果たす¹⁰⁾。学習者は多くの場合、人と話したり、人に助けってもらったりしながら、概念構築を果たす。また、能動的に構築すればどんな考えでも良いというわけではもちろんなく、構築される概念は、それまでの学問的探究によって社会的に認められてきた概念と整合性が図られたものでなければならない¹¹⁾。すなわち、教師の役割は、学習者が自ら積極的に考えることを促し、考えた結果として正しい概念を構築することを支援することである。

構成主義的なアプローチに従うと、理科における学習とは、自然の事物や現象について、学習者が自ら実験・観察などの働きかけを行い、仕組みや成り立ちを理解することであると考えられる。「理科の見方」とは、この過程において子どもたちが働かせる「物事を捉える視点」である。すなわち、先に述べた社会的に認められた概念と整合性が図られた「正しい概念」を構築することを助ける大枠の捉えである。従って、「エネルギー」を柱とする領域では、エネルギーという目に見えない物理量に関する概念を正しく構築するために、学習指導要領解説にあるようにエネルギーの大小という量的な捉えやその比較を行う視点が助けになると考えられる。また、本研究で扱う「粒子」を柱とする領域では、物質の溶解や圧縮性に関する現象を説明するために、物質の構成要素を粒として表し、その運動を定性的に考え

ることが正しい概念構築を助ける視点になると考えられる。

2.2 モデルの定義と有用性

科学的モデルは「自然現象について、説明したり予想を立てたりすることを可能にする核となる特徴をもち、系を抽象的に簡素化した表現」と定義される¹²⁾。

定義に含まれているように、モデルの第1の役割は自然現象を説明することにある。現実の複雑に入り組んだ事象を、抽象化・簡素化したモデルによって説明することができれば、現象の理解につながる。また、構築されたモデルを新たな現象に用いて、結果を予想することができる、というのもモデルの有用性として大きい。さらに、モデルは図や絵のように視覚化された表現形態を取ることが多く、考えを伝達することを容易にする。自身の考えを明確化したり、構築したりする過程においても、モデルは有用であると考えられる。

2.3 ICT活用の有用性

ICT活用の重要性は、GIGAスクール構想の進展などとともますます高まっている¹³⁾。児童生徒が1人1台の端末をもち、高速通信ネットワークを通して、授業時間内に自由に情報を収集したり、共有・活用したりすることが可能になりつつある。また、AIを利用したドリルや動画・アニメーションなどのデジタル教材、バーチャルな体験などを用いることによって、パソコン画面を通して、より一人ひとりの個性に沿った新しい学習の実現が目指されている。

そのような状況の中、理科学習においてはコミュニケーションツールとしてのICT活用だけではなく、学習者の科学的概念を促すツールとしてICT活用が目目されてきた。センサーとデータロガーによる測定や、シミュレーションの活用による現象の理解、肉眼では見えない世界を可視化するようなアプリなど、多くのデジタル理科学習教材が開発されてきた。特に、センサーとデータロガーを用いた理科実験は、リアルタイムのグラフ作成により、子どもがその場でデータを解釈することを可能にし、科学概念の構築を助けることが示唆されている⁸⁾。また、ICT機器を単に用いるだけで概念構築が促されるわけではなく、概念獲得を可能にするには、既有知識の外在化や概念の協働構築、現象の的確な把握を促す手立てなど、効果的な授業がもつ通常の要素が含まれていなければならないことも指摘されている。

本研究では、コンピュータソフトウェアによるシ

ミュレーションを理科授業に取り入れる。シミュレーションとは「何らかのシステムの挙動を、それとほぼ同じ法則に支配される他のシステムや計算によって模擬すること」であるから、例えば、紙製の建物の模型に強い振動を与えることによって、地震に対する建物の強度について法則性を見出すことが挙げられる。このようにシミュレーションを用いることによって、自然現象が可視化され、現象の把握が可能になると考えられる。

3. 教科書と文献調査

3.1 教科書調査の対象と方法

本研究ではまず、粒子モデルの導入が妥当なのかどうかを吟味するために、教科書を調査し、粒子モデルの利点と課題点を特定する。

調査対象としたのは小学校3年から6年までの2社の教科書8冊(2014年版)^{2,3)}である。それらの教科書において、粒子概念が各学年のどの単元のどの学習課題について用いられているのかを調査した。また、その粒子概念が出てくる単元において粒子モデル図がどのように表現されているのかを調査し、粒子モデルの利点と課題点を特定した。これらの情報を基に、粒子概念を小学校で導入することの妥当性について考察する。

3.2 教科書調査の結果

表1に学校図書と東京書籍の小学校理科教科書において粒子モデルが取り上げられている単元と学習課題を示す。2社ともに、粒子モデル図は4年生の「空気と水の性質」、「水のすがたとゆくえ」、5年生の「ものの溶け方」、6年生の「ものの燃え方と空気」の単元で用いられており、6年生の「水溶液の性質」の単元は学校図書の教科書でのみ粒子モデル図が掲載されていた。

また、表2に平成29年3月公示の小学校学習指導要領解説理科編¹⁾から「粒子」を柱とした内容の構成の表を示し、学校図書の教科書に粒子モデルが

表1 2社の小学校理科教科書において粒子モデルが取り上げられている単元と学習課題

学年	単元	学習課題	
		学校図書	東京書籍
第4学年	空気と水の性質	・閉じ込めた空気を調べよう ・空気と水の性質を比べよう	・空気や水をおすと体積はどうなるか
	水のすがたとゆくえ	・水のゆくえを調べよう ・空気中の水蒸気	・水を熱するとどうなるか

第5学年	ものの溶け方	<ul style="list-style-type: none"> ・水溶液の重さ ・水に溶けるものの量 ・水にたくさん溶かすには？ ・溶かしたものを取り出す 	<ul style="list-style-type: none"> ・食塩の溶け方を調べよう ・水に溶けた食塩を取り出すことはできるか
第6学年	水溶液の性質 ものの燃え方と空気	<ul style="list-style-type: none"> ・金属を溶かす水溶液 ・ろうそくが燃える前と後の空気を調べよう ・物を燃やすはたらきのある気体は何だろう 	<ul style="list-style-type: none"> ・ものが燃えると空気はどうなるか

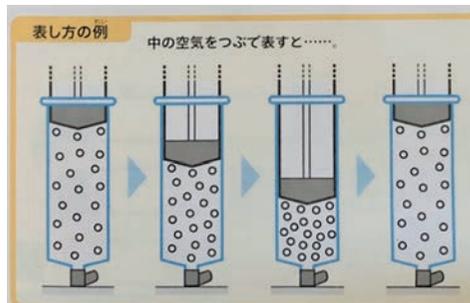


図1 (上), 図2 (下) 空気の圧縮を表す図 (上) 学校図書, (下) 東京書籍, 2014年)

取り上げられている単元を赤枠で囲んだ。4年生以上の「粒子」分野において、すべての単元で粒子モデルが取り上げられていることがわかる。

「空気と水の性質」の単元において、学校図書、東京書籍の教科書ともに、「筒の中に閉じ込めた空気に力を加えると空気はおしちぢめられ、体積が小さくなる。」と説明が述べられ、空気が押し縮められたときの筒の中の様子を表すために、空気を丸い粒で表した粒子モデル図が取り上げられている(図1, 2)。ピストンを圧すとだんだん粒同士のすき間が狭くなることを表す。しかし、水を粒で表した粒子モデル図は2社ともに取り上げられていない。また、図の中にしか粒という言葉は出てきておらず、

空気を丸い粒で表すことに関する説明はない。

「水のすがたとゆくえ」の単元においては、学校図書の教科書では、水が蒸発して目に見えなくなっ

表2 小学校理科における「粒子」を柱とした内容の構成 (学習指導要領解説, 2017年より)

	粒 子			
	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3学年			物と重さ ・形と重さ ・体積と重さ	
第4学年	空気と水の性質 ・空気の圧縮 ・水の圧縮			金属, 水, 空気と温度 ・温度と体積の変化 ・温まり方の違い ・水の三態変化
第5学年			物の溶け方 物が水に溶ける量の限度 物が水に溶ける量の変化 重さの保存	
第6学年	燃焼の仕組み ・燃焼の仕組み	水溶液の性質 ・酸性, アルカリ性, 中性 ・気体が溶けている水溶液 ・金属を変化させる水溶液		

た水蒸気を丸い粒で表した粒子モデル図が掲載されている(図3)。本文中の「ゆげは水蒸気が冷えて集まった細かい水のつぶである。」という記述において、「つぶ」という言葉が用いられている。水蒸気の説明には「つぶ」という言葉は用いられていない。また、目に見えない水蒸気の存在を確かめるために、水を入れたビーカーに水滴がつくかどうかを調べる実験や、日常生活の洗濯物が乾く理由、結露に関する資料が取り上げられていたが、図3以外の粒子モデル図は掲載されていない。



図3 水蒸気を表す図(学校図書, 2014年)

東京書籍の教科書では、目に見えるゆげは青い粒、目に見えない水蒸気は点線の粒で表した粒子モデル図が掲載されている(図4)。本文中の説明には、学校図書と同様に、湯気は小さな水の粒であり、水蒸気ではないと記述されていた。東京書籍においても、粒子モデル図は図4のみである。

「ものの溶け方」の単元においては、学校図書の教科書では本文中に、「ものが溶けるということは、ものをつくっているつぶがばらばらになって液全体

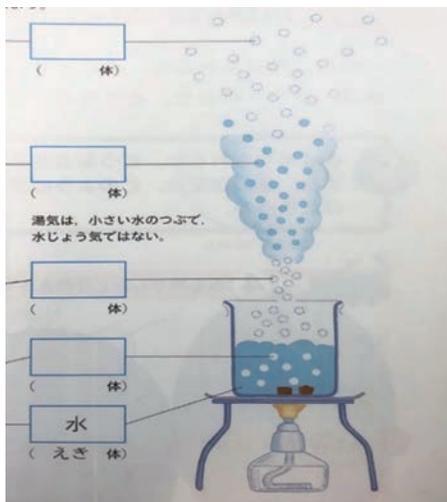


図4 湯気と水蒸気を表す図(東京書籍, 2014年)

に広がること」と述べられ、「食塩などのものはとても小さいつぶとなって水の中に広がっていき、やがて見えなくなる。」と記述されている。また、コーヒーシュガーを水に入れたとき、だんだんと水の中に粒が広がっていく様子を表した粒子モデル図が取り上げられている(図5)。また、食塩水を熱して水を蒸発させると、食塩を取り出すことができることを学習するところでは、溶けて目に見えない食塩を点線の丸、析出した食塩を実線の丸で表した粒子モデル図が取り上げられている(図6)。

東京書籍の教科書においても、食塩が溶ける前後を表す図において、溶けてない食塩を実線の丸、溶けた食塩を点線の丸で表している(図7左)。図7右では、食塩が全て溶けた後の図を児童が考えて表現する設定となっている。

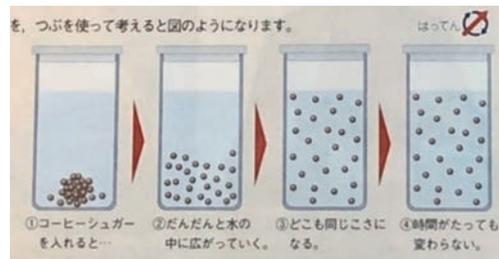


図5 コーヒーシュガーが溶ける様子を表す図(学校図書, 2014年)



図6 食塩水から食塩を取り出す図(学校図書, 2014年)

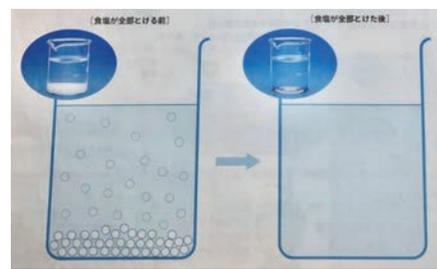


図7 食塩が水に溶ける前後の様子を表す図(東京書籍, 2014年)

「燃焼の仕組み」の単元においては、学校図書の教科書では、ろうそくの火が消えた後の集気びんの中の空気について、気体の割合がどうなっているかを表すために、窒素、酸素、二酸化炭素をそれぞれ同じ大きさで違う色の丸で表した粒子モデル図を取り上げている(図8)。「つぶ」という言葉は図の中だけで使われている。

東京書籍の教科書では、ろうそくが燃えた後の集気びんの中の空気の様子を表すために、3種類の気体をそれぞれ違う色と形で表した粒子モデル図を取り上げている(図9)。「つぶ」という言葉は出てきていない。

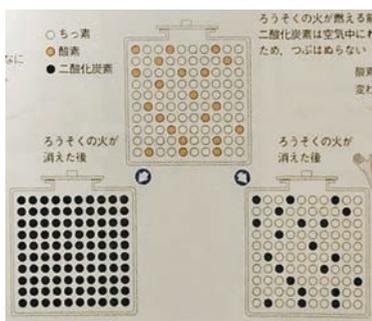


図8 ろうそくが燃える前後の空気を表す図
(学校図書, 2014年)

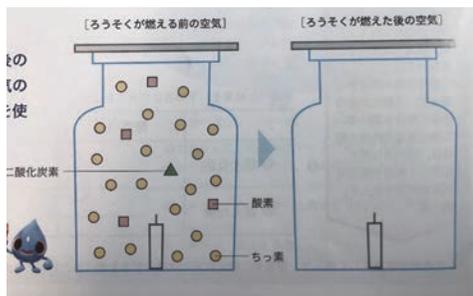


図9 ろうそくが燃える前の空気を表す図
(東京書籍, 2014年)

最後に、「水溶液の性質」の単元における扱いを見る。学校図書の教科書では、塩酸に溶けて見えなくなったアルミニウムや鉄などの金属はどうなったのかという予想をするところで金属を粒で表した粒子モデル図を取り上げている(図10)。「つぶ」という言葉は粒子モデル図の中でのみ使われている。また、東京書籍の教科書においては、「水溶液の性質」の単元において、粒子モデル図も「つぶ」という言葉も取り上げられていない。

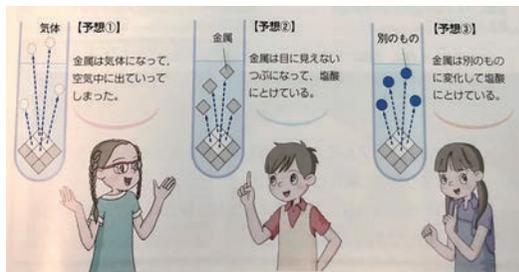


図10 塩酸に溶けた金属を表す図
(学校図書, 2014年)

3.3 教科書調査から唆される粒子モデル導入の利点と課題点

以上の2社の教科書調査の結果を基に、小学校理科における粒子モデル導入の利点と課題点を考察する。

まず、粒子モデルの利点について考える。図1～10を見るとわかるように、粒子モデル図を用いることによって、目に見えずイメージしにくい現象を可視化することができる。例えば、図1や図2から、「閉じ込めた空気を圧することができる理由」を推測することができる。また、図4から「湯気と水蒸気の違い」を理解することが容易になると期待される。また、新たな実験について結果を予想する際には、粒子モデル図を使って考えることができ、予想を立てやすくなると考えられる。

さらに、表2で見たように、粒子モデルは複数年の異なる単元で扱われている。粒子モデルを用いることによって、学年や単元の異なる学習内容を、粒子という統一された見方で捉えることが可能になる。粒子モデルは、異なる学習内容をつなげて理解することを助けると考えられる。

これら2つの利点は、文献に挙げられている粒子モデルの利点⁶⁾と整合するものである。

次に、粒子モデル導入に関する課題点について考える。教科書に取り上げられた粒子モデル図における課題点を3つ挙げる。1つ目は、粒子モデル図では空気や溶けた食塩などを「つぶ」と呼ぶ丸で表していたが、その粒の数は数十個のオーダーであり、実際のアボガドロ数的オーダーに比べて著しく少ない。粒子数について、説明もないまま表現されているのは、子どもに誤概念を与えることにつながることを懸念される。

2つ目は目に見える巨視的な視点と目に見えない微視的な視点が混在して表現されている点である。図5の粒子モデル図では、溶ける前の目に見えてい

るコーヒーシュガーと、溶けて目に見えなくなったコーヒーシュガーがどちらも同じ丸で表されている。巨視的な物質の「つぶ」が粒子モデルの「つぶ」（水和物やイオン）と混同される懸念がある。なお、この図は2020年版の教科書では削除されている。

3つ目は粒子モデル図そのものが静的である点である。学校図書の教科書には「ものの溶け方」の単元において、水に溶けた食塩の粒が液全体に広がっていくという記述があるが、その粒が運動しているという記述はない。他の単元でも、粒子が運動しているという記述はなく、小学校理科において粒子の運動は扱われていない。このことから粒子は動きのないものであるという子どもの誤概念が生じてしまう恐れがある。

表3 小学校理科において粒子モデル図を導入する利点と課題点

利点	課題点
1) 目に見えずイメージしにくい現象を可視化し、理由を考えたり、現象を理解したりすることを容易にする。 2) 学年や単元が異なる学習内容を粒子モデルという見方でつなげて理解することを助ける。	1) 粒子の数が著しく簡素化されて表されている。 2) 巨視的な視点と微視的な視点が混在している。 3) 図が静的である。(粒子が動いていない)

表3に示したように、粒子モデルを小学校理科に取り入れることには利点がある一方、課題点があり、それによって子どもに誤概念が生じる可能性がある。よって小学校理科の授業に粒子モデル図を導入する場合、その妥当性は一概に判断できず、前述の課題点を解決する工夫を取り入れることが求められると考える。

4. 粒子モデルを取り入れた単元開発と実践

4.1 単元構想

前節における小学校理科教科書の調査から、粒子モデルの導入は視覚化によって子どもの概念理解を促す利点がある一方で、粒子数や表現方法による制限によって、誤概念を生じてしまうかもしれないという懸念があることが明らかになった。そこで、本節では小学校5年「ものの溶け方」の単元に焦点を当て、前節で明らかになった課題点を解決するような工夫を取り入れた単元を開発し、授業実践によって、その効果を検証する¹⁴⁾。

4.1.1 単元全体の工夫

単元全体の工夫として、現職の小学校理科教員と大学教員を含む研究者チームで「ものの溶け方」の単元全体の検討を行い、全11時間の単元計画を作成した(表4)。中心に据えたのは、単元全体を通して粒子モデル図を導入することである。

表4 「ものの溶け方」の単元計画(粒子モデルに関する部分を下線で表示)

小単元と授業回	学習内容
1. 溶けるってどういうことだろう	溶けるとはということなのかを考える。 食塩を紙パックに入れたものを水に浸して、食塩が水に溶ける様子を観察する。
2. 食塩を水に溶かすときできた水溶液の重さはどうなるだろう。	食塩を水に溶かす前と後の水溶液全体の重さの変化について予想をし、実験を行う。 <u>食塩が水に溶けている様子を粒子モデル図で表す。</u>
3, 4. 食塩は水に限りなく溶けるだろうか。	決まった水の量に溶けるものの量には、限りがあるのかを予想し、実験を行う。
5, 6, 7. どうすれば食塩をたくさん溶かすことができるだろうか。	どんな条件の時、たくさん溶けるのかを予想する。 水の量を増やして食塩を水に溶かす。 水温を上げて食塩を水に溶かす。
8, 9. どうすれば水溶液に溶けている食塩を取り出せるだろうか。	水を蒸発させて食塩を取り出す実験を行う。 水溶液を氷水で冷やし、食塩を取り出す実験を行う。
10. <u>ものが溶けるとはということだろうか。</u> 【ICT活用】	<u>シミュレーションを使い、ものが溶けるとはということなのかを考える。</u> (2組は10, 11時間目の順番を逆にして授業を行う) 食塩水を長い筒に入れた時、上中下のどこが一番濃くなるのかを予想する。
11. 水溶液を長い筒に入れたらどこが一番濃くなるだろうか。 【応用課題】	上中下それぞれの部分の食塩を取り出し、水に溶けている食塩の量を比べる。

計画では、2回目授業の「食塩を水に溶かしたときの水溶液の重さ」について議論するにあたり、食塩が水に溶けている様子を粒子モデル図で表すことにした。その際、粒子モデル図の課題点を改善できるように、指導に工夫を加えることにした。例えば、「粒子の数のオーダーの不正確さ」に関して、多数の粒を表現することはできないものの、溶ける前と後で粒子の数が変わっていないことを強調することにした。また、「巨視的な現象と微視的な現象の混在」については、図6や図7の粒子モデル図にあるように、目に見える粒を実線、目に見えない粒を点線で描き、巨視的な見える粒と微視的な溶けて見えない粒を区別して表現することを指導に含めることにした。

さらに、粒子モデル図を用いて考えを表出することを促す工夫として、10回目と11回目の授業では子どもの考えを言葉と粒子モデル図の両方で表すことを指示し、ワークシートに言葉と図で表す欄を設けた。シミュレーションを取り入れた10回目の授業では、食塩の粒子がどのように動いているかについて、気付いたことを言葉と粒子モデル図で表してもらった。11回目の応用実験の授業では、実験前の予想と実験後の確認においても、言葉と粒子モデル図で表してもらったことにした。

4.1.2 ICT活用

教科書に掲載されている粒子モデル図のもう1つ課題点として、図が静的であることが挙げられていた。この課題点を改善する1つの方法として、ICTを活用することを考える。本研究において、授業に導入したのは「PhET」というコロラド大学ボルダー校が開発した物理、化学、生物、地球科学、数学のシミュレーション教材である¹⁵⁾。オープンソースとして公開されており、世界的に信頼度が高い¹⁶⁾。本研究では、その中の「塩と溶解度」というシミュレーション(図11)を用いて1時間の授業を計画した。このシミュレーションでは、食塩が水に溶けているときの Na^+ と Cl^- の粒の運動を動画で見ることができ、食塩の量と水の量を操作して変えることができる。また、食塩が水に溶けきらなくなると、食塩の粒子が集まり、動かない固まりとなって下に溜まるようになっており、実際の溶解現象における溶け残りの様子を見ることができる。本研究では、PhETの「塩と溶解度」のシミュレーションを取り入れた実践を行うことにより、「ものが溶けるということなのか」について、子どもの理解を促すことができるのかどうかを探る。

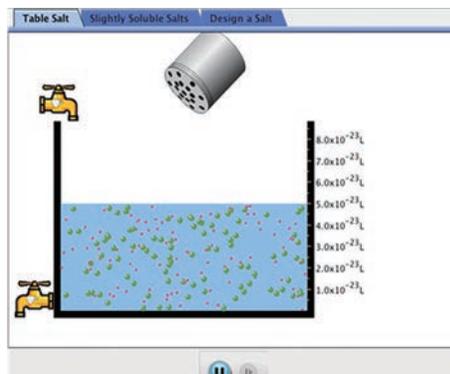


図11 PhET「塩と溶解度」：食塩が水に溶けたときの様子

4.1.3 子どもの誤概念を引き出す工夫

単元最後の授業では応用問題を取り上げる。水溶液の濃度に関する理解として、「重いものは下に沈む」という理由で「下の方が濃い」と考える子どもが多いことが報告されている¹⁷⁾。そこで、応用問題として長い筒状の容器に飽和食塩水を入れたとき、上、中、下のどの部分が一番濃いのかを予想してもらうことによって、誤概念を引き出すことができると考えた。

単元を通して子どもたちは、「ものが水に溶けるということは、ものをつくっているつぶがばらばらになって液全体に広がること」であると学習し、そのことを粒子モデル図を積極的に用いて理解している。その子どもたちが、単元最後の応用問題について、どのような予想をするかを調べることは興味深い。もし子どものもつ誤概念が強ければ、ここまでの学習にもかかわらず、「下が一番濃い」と予想する子どもが多いことが推測される。

授業では、上、中、下の3つの部分の食塩水を加熱して食塩を取り出し、食塩の重さを比べる実験および考察を通して、子どもの誤概念がどのように変化するかを調査する。また、シミュレーションを取り入れた授業によって、長い筒に入れた食塩水の濃さに関する子どもの誤概念がどのように変化するかを調査する。

4.1.4 シミュレーションを取り入れるタイミングについての工夫

「ものが溶けるということなのか」について理解を深めるには、シミュレーションをどのタイミングで導入するのが効果的なのだろうか。その疑問について示唆を得るために、1組と2組でシミュレーションを取り入れた授業と応用問題の授

業の順番を入れ替えて実践を行うことにする。研究仮説としては、シミュレーションを取り入れた授業を先に行う1組の方が、溶けることに関する子どもの理解を助けるのではないかと考えられる。そのように考える理由は、シミュレーションを取り入れた授業を先に実践することによって、子どもたちは粒子モデルについて、粒が動き回っているというより正しく視覚的な理解を得ることが可能となり、応用問題について予想するときその正しい理解を用いることができると考えられるからである。シミュレーションの活動を通して食塩の粒が動き回っていることを認識した子どもたちは、長い筒に入った食塩水について、どの部分でも同じ濃さになると予想できることが期待される。

4.2 授業実践の様子

授業実践は、ある小学校の5年生2クラス計67名（1組33名、2組34名）を対象に、2019年11月から12月に行われた。各回の授業時間は45分である。単元の中でも、本研究の中心となる10回目と11回目の授業について詳しく述べる。

4.2.1 シミュレーションの授業内容

10回目のシミュレーションの授業内容を表5に示す。

表5 シミュレーションの授業内容

過程	学習内容
導入	T: 今までの学習から、ものが水に溶けるとはどんな状態のことですか。 ●課題を提示する ◎ものが水に溶けるとはということだろうか。
展開	●溶けている食塩は水溶液中でどうなっているのか言葉と粒子モデル図で描く。 ●自分の考えを発表する。 T: このモデル図の粒は止まっているのかな。それとも動いていますか。 ●シミュレーションの説明をする。 ○班ごとにシミュレーションを使った活動を行い、気付いたことやわかったことをワークシートに書く。 T: では今度は食塩の量をもっと増やしてみよう。 S: 動かない粒が出てきた。 T: この動かない粒の塊ってどんな状態のことかな。 S: 食塩が溶け残った状態 T: そうですね、ではこの溶け残った食塩を全て溶かすにはどうすればいいのかな。 S: 水の量を増やす。 T: では水の量を増やしてみよう、また観察してみよう。

	T: 固まっていた食塩の粒はどうなりましたか。 S: また動き出した。 ●シミュレーションを使った活動を通して、ものが水に溶けるとはということなのかを考える。 ●班で考えたことを発表する。 S: ものが溶けている時は粒がいろんな方向に動いている。 S: 食塩の粒は溶けると水溶液中で動きながらバラバラに散らばっている。
終末	●本時のまとめを行う。 ◎ものが水に溶けるとは食塩の粒が水溶液の中で動き回りながらバラバラに散らばっていることである。

表5に示したように、この授業では、まず「ものが水に溶けるとはということなのか」をもう一度問い、学習課題として設定して言葉とモデル図を用いて表現してもらった。

展開場面では、モデル図で表した粒が止まっているのか、動いているのかを問い、パソコン上で動画を見ることによって、その問いを解決することにした。パソコンは班に1台用意し、PhETのシミュレーションを用いて粒の動きを観察した。はじめは食塩の容器を3回振って、溶けたときの粒の動きを観察した。次に10回振って、溶け残りが出たときの粒の動きを観察した。最後に、水を加えて、溶け残った食塩が溶ける様子を観察した。

終末場面では、シミュレーション操作を通してわかったことを言葉とモデル図で表し、全体共有してまとめとした。

4.2.2 応用問題の授業内容

11回目の応用問題の授業内容を表6に示す。

表6 応用問題の授業内容

過程	学習内容
導入	●長い筒に入った食塩水を提示する。 ●課題を提示する ◎水溶液を長い筒に入れた時、どの部分が一番濃くなるだろうか。
展開	●長い筒に入った食塩水のどの部分が一番濃いかを予想し、ワークシートに言葉や絵で自分の予想を記入する。 ●何人かに予想を発表させる。 T: 今日は長い筒の食塩水を上、真ん中、下の3つの部分に分けて調べよう。 ●実験方法の説明を行う。 ○班ごとに筒の上、真ん中、下の部分から取った食塩水の水を蒸発させ食塩を取り出し、重さを比べる実験を行う。 ●実験結果からどんなことが言えるかを考える。

	S: 食塩水は長い筒に入れても、濃さは全部同じになる。 S: 食塩の粒が水に溶けてバラバラに散らばっているから濃さが同じになる
まとめ	● 本時のまとめを行う。 ◎ 水溶液はどの部分でも濃さは同じである。 ○ 振り返りシートを記入する。

表6に示したように、この授業では1週間放置した飽和食塩水の入った長い筒(約1.5m)を示して、「どの部分の食塩水が一番濃いか」という学習課題を設定した。児童は自分の予想と理由を言葉とモデル図によって示した。

次に、班ごとに筒の上、中、下の部分の食塩水をアルミカップに1gずつ取り、加熱して食塩を取り出し、その重さを電子天秤で測った。測定はそれぞれの部分について2回行い、その平均値を求めた。表7に2組の実験結果を示す。

表7 応用問題に対する2組の実験結果 (g)

	上	中	下
1班	0.4	0.4	0.3
2班	0.5	0.5	0.5
3班	0.3	0.3	0.3
5班	0.3	0.3	0.3
6班	0.3	0.4	0.4
7班	0.4	0.4	0.4
8班	0.3	0.4	0.3

実験結果から、誤差はありながらも、上、中、下の食塩の重さはだいたい同じだったことがわかった。まとめとして「食塩水はどこでも同じ濃さ」という合意が得られた。

授業実践においては、シミュレーションの効果を見るために、1組と2組で10回目のシミュレーションの授業と11回目の応用問題の授業の順番を入れ替えて行った。

5. 授業の効果の分析とその結果

5.1. 授業の効果の分析方法

本研究では、10回目と11回目の授業について分析を行った。分析は、授業で児童に記入してもらったワークシートの記述と実践後に記入してもらった振り返りシートの記述をもとに行う。長い筒に飽和食塩水を入れたときにどの部分が一番濃くなるかという応用問題についての正答率を指標の一つとした。その問題について、シミュレーションの活動が影響を与えているかを明らかにするために、2クラスの児童の実験前の予想および予想の理由について

比較した。図12にワークシート中の予想と理由を記入する部分を示す。

図12 長い筒に飽和食塩水を入れたときの食塩水の濃さの予想を記入するワークシートの部分

振り返りシートでは、シミュレーションの授業後に、溶けることについてよくわかったかどうかを質問した。また、「シミュレーションを使った活動は楽しかったか」、「シミュレーションを使った活動は考えを助けたか」、及び「粒子モデルは考えを助けたか」について質問した。応用問題の授業後には、水溶液の濃さについてよくわかったかどうかを質問した。質問は図13のように1～5の選択肢から選んでもらい、理由を記述してもらった。分析では、選択肢ごとの人数と理由について、2クラスの比較を行った。

図13 振り返りシートにおいて溶けることについて理解度を問う設問

授業で学習したことが視覚的にどのように理解されているのかを明らかにするために、振り返りシートに設問を含めた。設問は「食塩が水に溶けている時、食塩は水の中でどうなっていますか」という問いと、「長い筒に溶け残りが無い食塩水を入れて一週間理科室に置いておきました。食塩水の濃さはどうなっていますか」という問いについて、言葉と粒

子モデル図で解答することである(図14)。これらの設問の分析においては、シミュレーションを取り入れた授業を行うことで、食塩が水に溶けている時に食塩の粒が動き回っている様子など、粒子の運動についての記述がなされるのかを調べ、2クラスで結果を比較する。

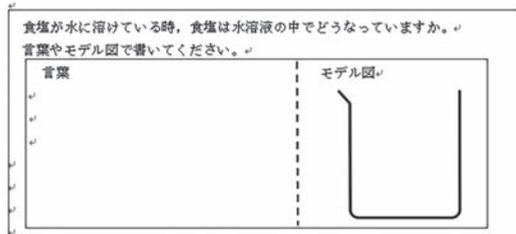


図14 児童の視覚的な理解を問う設問

5.2 分析結果

5.2.1 長い筒中の食塩水の濃さについて

まず、応用問題の授業において、長い筒に飽和食塩水を入れた時にどの部分が一番濃いかという問いについての予想と人数を表8に示す。

表8 長い筒中の食塩水の濃度についての予想についての人数と割合

	下が濃い	同じ濃さ	その他	合計
1組 (N=33)	25人 75.8%	5 15.2%	3 9.0%	33
2組 (N=34)	25人 73.5%	5 14.7%	4 11.8%	34

1組はシミュレーションを取り入れた授業を行った後であり、2組はその活動前の授業であったが、「下が濃い」と予想した人数と、「同じ濃さ」と予想した人数が両方のクラスで同じだった。

次に、「下が濃い」と予想した児童の挙げた理由について、項目に分けてまとめた(表9)。

表9 下が濃いと予想した理由(人数)

理由	1組 (N=25)	2組 (N=25)
食塩が沈む/ 下に行くから	16	20
実際の経験から	1	2
その他	8	3
合計	25	25

下が濃いと予想した理由について、どちらのクラスにおいても食塩が「沈む」や「下に行く」という食塩の「重さ」が関係するものが多かった。

また、「同じ濃さ」と予想した児童の理由については表10, 11のような結果になった。

表10 1組の同じ濃さと予想した理由 (N=5)

理由	人数
シミュレーションで塩は動いていたから	1
水より軽くなって一定の濃さになるから	1
広がるから	1
溶けきった状態であれば濃さは同じだから	1
記述無し	1
合計	5

表11 2組の同じ濃さと予想した理由 (N=5)

理由	人数
全体に広がるから	3
生活経験から	2
合計	5

1組では1人がシミュレーションを取り入れた授業で食塩の粒が動いていたことを理由に挙げていた。他は、「重さが軽くなるから」や、「広がるから」という考えを挙げた。2組では「全体に広がるから」という考えと「味噌汁の味は全体で同じだから」といった生活経験からの考えが示された。

長い筒の問題について、授業実践後において質問した回答と予想を比較する。「すべて同じ濃さ」であることを正答として正答率を比較したところ、それぞれのクラスにおいて表12の結果となった。1組は正答率が15.2%から72.7%に上がり、2組は正答率が14.7%から82.4%まで上がった。2クラスの授業実践後の正答率を比較すると、2組の方が1組よりも正答率が高かった。

表12 長い筒中の食塩水の濃さについて正答率

	予想	実践後
1組	15.2%	72.7%
2組	14.7%	82.4%

5.2.2 児童の理解度について

振り返りシートの「溶ける」と「水溶液の濃さ」についての理解度に関する5件法の設問について、結果を表13, 14に示す。選択肢は「1=とてもよくわかった」、「2=少しわかった」、「3=どちらでもない」、「4=あまりわからなかった」、「5=まったくわからなかった」の5つである。1組はシミュレーションを取り入れた授業を1時間目に、長い筒の授業を2時間目に行っており、2組はその順番を交替して実施した。1組では「溶けるということがよくわかったか」の設問に対する回答はシミュレーションの授業後、「水溶液の濃さについてよくわかったか」については長い筒の授業後に回答してもらった。2組ではその逆である。「とてもよくわかった」

あるいは「少しわかった」と答えた児童は、両クラスでどちらの設問にも90%以上あり、ほとんどの児童が「溶ける」ということと「水溶液の濃さ」について理解できたと感じていたことがわかる。

表13 「溶ける」についての理解度(人数)

	1	2	3	4	5
1組(N=33)	21	10	1	1	0
2組(N=34)	22	9	1	2	0

表14 「水溶液の濃さ」についての理解度(人数)

	1	2	3	4	5
1組(N=33)	22	10	0	1	0
2組(N=34)	18	13	2	1	0

「溶ける」と「水溶液の濃さ」についての理解度に関して、「とてもよくわかった」と「少しわかった」と回答した児童の理由を分析したところ、どちらの設問についても、「シミュレーションがわかりやすかったから」、「実験がわかりやすかったから」、「教師の説明がわかりやすかったから」、「みんなの意見を聞いたから」の4つに大別された。結果を表15に示す。

表15 「よくわかった」理由(人数)

	溶ける		水溶液の濃さ	
	1組 N=31	2組 N=31	1組 N=32	2組 N=31
シミュレーションがわかりやすかったから	18	19	8	—
実験がわかりやすかったから	4	3	12	9
教師の説明がわかりやすかった	0	5	1	6
みんなの意見を聞いたから	0	0	0	2
その他	9	4	11	14

両クラスともに、シミュレーションを取り入れた授業後に回答してもらった「溶けるということがよくわかったか」という設問の理由については、「シミュレーションがわかりやすかったから」と記述した児童が50%を超えた。長い筒の授業後に回答してもらった「水溶液の濃さについてよくわかったか」という設問の理由については、「実験がわかりやすかったから」と記述した児童が一番多いという結果になった。2組はシミュレーション導入の前に長い筒の実験を行ったため、「水溶液の濃さ」について、シミュレーションに関する理由は挙がっていない。1組では、シミュレーションは前時に行った活動であるが、「シミュレーションがわかりやすかったか

ら」と8人の児童が記述していた。

「シミュレーションを使った活動は楽しかったか」、「シミュレーションを使った活動は考えを助けたか」、及び「粒子モデルは考えを助けたか」という設問に対する回答について、「1. とても楽しかった/助けた」あるいは「2. 楽しかった/少し助けた」と答えた児童の割合を表16に示す。

表16 設問に対して好意的に回答した児童の割合(カッコ内は人数)

	1組 (N=33)	2組 (N=34)
シミュレーションは楽しかったか	93.9% (31人)	97.0% (33人)
シミュレーションは考えを助けたか	84.8% (28人)	88.2% (30人)
粒子モデル図は考えを助けたか	72.7% (24人)	79.4% (27人)

表16から、どちらのクラスにおいても「シミュレーションは楽しい」と大多数の児童が捉えたことがわかる。また、「シミュレーションは考えを助けた」と多くの児童が認識しており、その割合は「粒子モデル図は考えを助けた」と認識した児童の割合よりも高かった。さらに、「シミュレーションは考えを助けた」と答えた児童が挙げた理由について、記述された内容を表17に分類して示す。

表17 シミュレーションが考えを助けた理由(人数)

	1組 (N=20)	2組 (N=29)
目に見えないもの/食塩の粒の動きがどうなっているかわかった/見れたから	7	15
溶けるとはどういうことかわかったから	6	2
今までわからなかったことがわかったから	7	7
考えを明確にしてくれた、理由を言やすくなったから	0	5

1組の回答では理由が分散しているのに比べ、2組では「目に見えない食塩の粒の動きが見れた/わかった」という視覚的な動きに着目した回答が多かったことがわかる。

シミュレーションを取り入れた授業後に、食塩が水に溶けている時にどうなっているかを言葉とモデル図を用いて記述してもらった。表18にその回答を分類した結果を示す。

表18 食塩が溶けているときの様子を表す記述
(人数)

	1組 (N=33)	2組 (N=34)
動いている	4	11
全体に広がっている/上下左右に広がっている	8	5
はねている/踊っている/飛び回っている	2	9
バラバラになる/散らばっている	4	3
合計	18人 (54.5%)	28人 (82.4%)

表18からわかるように、1組ではクラスの54.5% (18名)、2組ではクラスの82.4% (28名)の児童が粒子の運動に関して記述していた。また、1組は「全体の広がり」について気づく児童が多かった。他方、2組の児童は「動いている」や「はねている」など動きに着目した児童が多かった。児童の描いた図の例2つを図14に示す。

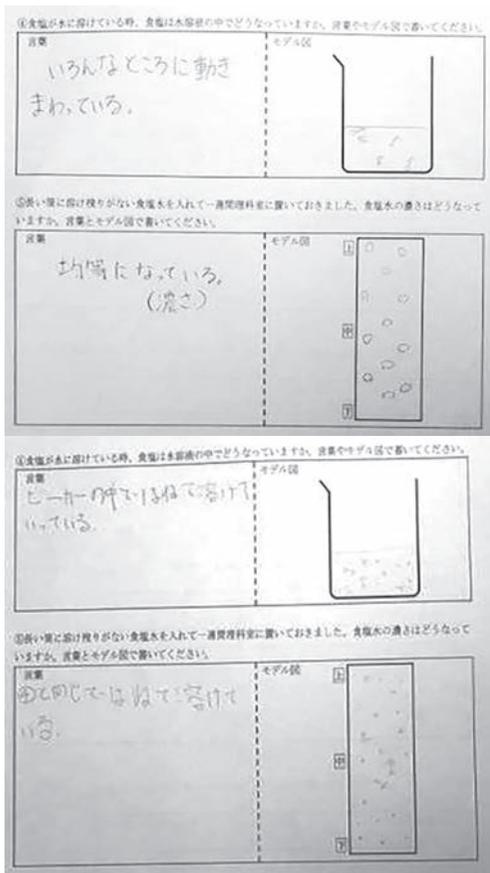


図15 児童が言葉とモデル図で表した食塩の粒の様子

図15の上の図では、食塩が溶けたとき「いろんなところに動き回っている」、長い筒中の食塩水では食塩の粒は「均等になっている(濃さ)」と表現されている。下の図では、児童は「溶ける」ことについて、「ビーカーの中ではねて溶けていっている」と動きを伴った表現をしている。

6. 考察

6.1 食塩水の濃さに関する誤概念の変化

まず、長い筒中の食塩水の濃さについての予想の結果から、食塩水の濃度に関して、食塩は「重さで沈む」や「下に落ちる」という「重さ」に関する経験を基に、「下が濃い」と考える児童が70%以上おり、「同じ濃さ」という正しい解釈をする児童は15%程度であることがわかった(表8, 9)。

そこで、長い筒の食塩水に関する実験を含めた授業実践を行い、その授業の最後に再度、長い筒中の食塩水の濃さについて質問したところ、「同じ濃さ」と正答する児童の割合が70-80%に上昇した(表12)。児童自身も、90%以上が水溶液の濃さについて長い筒の授業の後に「わかった」と答えており(表14)、実際に筒の上、中、下の部分の水溶液から取り出した食塩の重さが等しかったという実験結果が、誤概念を覆す大きな要因となったことが推測される。「水溶液の濃さ」について「わかった」理由に「実験が分かりやすかったから」が最も多く挙げられていることも、この推測を裏付ける(表15)。

6.2 溶けることに関する誤概念の変化

「食塩水の濃さ」に関する誤概念を覆し、「全体が同じ濃さ」であることを理解するには、「溶ける」ことの意味を理解していることが重要となる。本研究では食塩の粒の動きを動画で示すシミュレーションを取り入れた活動を授業に含めることにより、「食塩が溶ける」とは「食塩の粒がばらばらに広がり、動き回ること」であると理解することを促した。シミュレーションの授業後に90%以上の児童が「溶ける」ことについて「わかった」と回答した(表13)。また、「わかった」理由について、「シミュレーションがわかりやすかったから」と答えた児童は18-19人と全体の50%以上にあたる(表15)。食塩が溶けているときにどうなっているかを問う設問に対して、55-80%の児童が粒子が動き回っている像を描いていることから(表18)、シミュレーションによって、多くの児童が「溶ける」ことの意味を正しく理解することができたと考えられる。

6.3 シミュレーションの有効性

シミュレーションは「溶ける」ことや「食塩水の濃さ」を児童が正しく理解することに対して、効果的だったのだろうか。その疑問に答えるために、振り返りシートの分析結果について、2点に分けて考察する。

1点目は、シミュレーションの活動が考えを助けたと感じる児童が80%以上おり(表16)、その理由としては「目に見えない食塩の粒の動きがわかった」、「今までわからなかったことがわかるようになった」などの記述が多かったことが挙げられる(表17)。シミュレーションは、実際の食塩を溶かす実験では見えない食塩の粒の動きを動画で示してくれる。現象をシミュレーションで可視化したことが、食塩が溶ける時「粒が動き回っている」という考えを構築することを助けるのに有効だったことがわかる。シミュレーションの授業後に、食塩の粒の動きに着目した記述が多かったことから(表18)、シミュレーションが「粒が動き回っている」ことの認識を促す効果があったことがわかる。多くの児童が、食塩の粒の動きを実体化した視点で捉えるという理科の見方を獲得することができたと考えられる。

2点目は、シミュレーションの授業後に「溶ける」ことについて「わかった」と回答した児童が、両クラスとも90%以上おり(表13)、理由に「シミュレーションがわかりやすかったから」を挙げている児童が多いことである(表15)。この結果から、シミュレーションは、少なくともその授業時間内においては、児童の理解を助ける働きをしたことが示唆される。

しかし、1組では次の授業で長い筒中の食塩水の濃さについて予想したとき、「シミュレーションで塩は動いていたから」という理由で「同じ濃さ」と回答した児童は1人だけであった。また、長い筒中の食塩水の濃さについて、シミュレーションを取り入れた授業を行った後の1組と、まだ行っていない2組の予想分布はほとんど変わらなかった(表8)。このことから、児童の「重いものは下に沈む」という考えは強固であり、シミュレーションを取り入れた授業を1時間行うだけでは十分ではないことが示唆された。ピーカーではなく、長い筒であったり、溶かしてすぐではなく、1週間後であったりすると、シミュレーションで食塩の粒が動き回っていることを見ている、「重いものは下に沈む」と考えることが多かったことが推測される。

これらのことから、シミュレーションを取り入れ

た活動を授業に含めることは、動画による視覚化によって、食塩の「粒が動き回っている」ことを児童が理解するのを助ける効果があったと考えられる。また、「動き回っている」ことを、「溶ける」ことに結びつけることも、その授業時間内にはほぼできていた。しかし、1週間置いておいた長い筒中の食塩水の濃さについて問われると、「溶ける」ことに関する理解がゆらぎ、「下が濃い」と答える児童が大多数となったと考えられる。「同じ濃さ」という考えを構築するには、実験によってどこも同じ濃さであることを実測し、考え直さなければならなかったと推測される。その意味で、シミュレーションを長い筒の実験の後に行い、シミュレーションを基に長い筒の実験結果を考えることができた2組の方が、長い筒中の食塩水の濃さについて正答率が高い(1組72.7%, 2組82.4%)ことは興味深い。シミュレーションを授業に取り入れるタイミングについて次に考察する。

6.4 シミュレーションを取り入れるタイミングについて

本研究では、シミュレーションをどのタイミングで導入するのが効果的なのかについて調べるために、1組と2組でシミュレーションを取り入れた授業と長い筒の授業の順番を入れ替えて実践を行った。「溶ける」ということと「水溶液の濃さ」について理解度に関する回答結果(表12, 13)や「シミュレーションの活動は考えを助けたか」という設問に対する回答結果(表18)では、1組と2組の間に差は見られなかった。しかし、最後に行った長い筒中の食塩水の濃さに関する質問に対して、正答率が1組は72.7%, 2組は82.4%と2組の方が10%も高い。また、シミュレーションを取り入れた授業後に、児童が記述した食塩が水に溶けている時の様子について、動きに着目した記述をしている児童の割合が、1組は18人(54.5%), 2組は28人(82.4%)と2組の方が圧倒的に高い。

当初の研究仮説としては、シミュレーションを取り入れた授業を先に行う1組の方が、シミュレーションの授業で学んだことを次の授業に活かせるので、「溶ける」ことに関して児童の理解を助けるのではないかと考えていた。しかし、分析結果から示唆されたのは、2組で行ったようにシミュレーションを取り入れた授業を後に行った方が、児童の理解を助けるのに有効であるということである。

前節で、長い筒中の食塩水について「同じ濃さ」という考えを構築するには、シミュレーションを基

に長い筒の実験結果を考え直す時間が必要だったのではないかと述べた。この主張を裏付ける根拠として、2組で行ったシミュレーションの授業の導入と終末の部分の記録を表19, 20に示す。

表19 2組におけるシミュレーションの授業の導入部分

教師	じゃあ、この前の授業でみんなに長い筒の実験でこの長い筒から食塩水を取り出して濃さを比べてもらったよね。結果を先生が黒板に書いておいたんだけど、この結果を見てどうだって言えそう？
児童	大体同じくらい
教師	大体同じくらい。同じところは何班くらいある？
児童	1. 2. 3. 4班くらい
教師	4班、けっこうあるね。違うところも、0.1gずつくらいしか変わらないかな。とりあえず前回のこの結果を見て、長い筒に溶けている食塩水の濃さって大体同じって言ってよさそうかな？
児童	うん
教師	どうして長い筒に入れた時濃さは同じになるんだろ？
児童	全体に広がっている
児童	見えない
教師	うん、見えないけど広がっている。みんな前に予想したときはだんだん下に溜まっていくっていう予想をしたけど、広がっているかもしれない。今日はどうして長い筒に食塩水を入れた時にその濃さが同じになるのか、これを今日の学習課題にしていきましょう。

表20 2組におけるシミュレーションの授業の終末部分

教師	最後に、どうして食塩水はどの部分も同じ濃さになるのか、ちょっと聞いていきたいと思います。今考えてもらったのを教えてくれる人？お願いします。
児童	食塩が水の中でまんべんなく動き回っているから
教師	うんうん、今食塩が水の中で動き回っていたって言うってくれたけど、みんなも大体そんな感じになったかな。
児童	動いているから
教師	動いているから、同じ濃さになるから。今日の学習課題は何で同じ濃さになるのかだったけど、今日の結論は食塩が水の中でまんべんなく動き回っているからっていう風にしてよさそうかな？
児童	はい

表19にあるように、導入部分では、まず前時の長い筒の実験で、蒸発させて取り出した上、中、下の食塩の量がすべて同じ結果になったことを確認し、そこから濃さはどこでも同じであることが実験的に分かったという合意を得た。そこで、なぜどこでも同じ濃さになるのかと教師から発問し、それをそのまま学習課題とすることができた。そうしたことで児童は長い筒の濃さがどこでも同じだったことを解明しようという動機づけが得られたと考える。また、本時のシミュレーションの学習を長い筒の食塩水の濃さの問題に結びつけ、積極的な理解につながったのではないかと考えられる。

さらに、表20にあるように、授業の終末部分では、シミュレーションの活動を通して、長い筒の食塩水がどこでも同じ濃さなのは、「食塩が水の中でまんべんなく動き回っているから」と児童が述べている。「食塩水の濃さ」と「食塩の粒が水の中で動き回っていること」が、シミュレーションの活動によって児童の中に納得できる形でつながったことが考えられる。

これらのことから、シミュレーションを取り入れた授業を、長い筒の実験の授業の後に行った方が児童の動機づけにつながり、より効果的であることが示唆された。

7. まとめと今後の展望

7.1 粒子モデル導入の妥当性

本研究の1番目の課題は、小学校理科における粒子モデル導入の妥当性であった。教科書調査によって、粒子モデル図を導入することに関して、可視化を助けることや、異なる学習内容をつなげて理解することを促すという利点がある反面、粒子数や動き、微視的・巨視的視点の混在などの課題点が挙げられた。さらに、それらの利点と課題点を踏まえた単元開発・授業実践においては、食塩が水に溶ける様子を動画で表現するシミュレーションを用いて、「溶ける」ことや「水溶液の濃さ」について児童の理解を助けることができることが示唆された。

表19と20にある2組の授業展開に示されたように、自然現象について「どうして～なんだろう」と問うことは自然である。原子や分子、イオンなどに触れなくても、粒子モデルを用いて現象を説明できるようになることは児童の概念理解を助け、学習意欲を高めることにつながる。従って、小学校理科における粒子モデルの導入は妥当だと考えられる。

7.2 粒子モデルを取り入れた効果的な指導法

本研究では、粒子モデルを取り入れる1つの工夫として、シミュレーションを用いた活動を含めた授業実践を行い、その効果を検証した。分析結果から、シミュレーションは動画を用いた視覚化により、溶けた「食塩の粒が動き回っている」ことを児童が理解することを助けることが示唆された。「溶ける」とは食塩の粒が動き回っていることであり、動き回っているから長い筒でも濃さはどこでも同じという結果が得られた、ということが理解された。シミュレーションは児童が粒子モデルを理解するにあたり、有効であり、かつ「楽しかった」と答えた児童が90%以上を占めたことから、児童の興味を高める手段だと考えられる。

粒子モデルを表現するのに、動きを示すことができるICT機器の活用はシミュレーションに限らず、有効である可能性が高い。他方、動きを示すことができなくても、例えばビーズやマグネットを用いた粒子モデルも考えられる。粒子モデルの導入に関して、今後も手法を開発していくことが重要である。

7.3 本研究の限界と成果

本研究において取り上げたのは、1つの単元の2クラスにおける授業だけであり、結果を一般化することは難しい。粒子モデルを取り上げている他の学年や単元においても、ICT活用を含めた実践と効果検証を行うことが求められる。しかし、本研究では粒子モデルの利点と課題点を明確にした上で、単元開発を行い、実践によって粒子モデルの妥当性について示唆を得ることができた。特に、シミュレーションの有効性について示すことができ、それを取り入れるタイミングの重要性まで明らかにすることができたのは大きな成果である。

7.4 今後の課題と展望

本研究では、小学校理解において粒子モデルを導入する工夫としてシミュレーションを取り入れ、その有効性を示すことができた。ただし、シミュレーションを取り入れさえすればよいというわけではなく、取り入れるタイミングが重要であることがわかった。シミュレーションは、見ればわかると思いがちだが、1組で実践したように、学習者に問題意識がなければ、目にしている意味を捉えられていないことが多いというのは示唆に富む知見である。

今後は、小学校理科において粒子モデルをもっと積極的に取り入れられるように、他の学年や単元も含めて研究を続けていきたい。

引用文献

- 1) 文部科学省:小学校学習指導要領解説【理科編】、2017年。
- 2) 学校図書:小学校理科5年、2014年。
- 3) 東京書籍:新しい理科5年、2014年。
- 4) 文部科学省:小学校学習指導要領、2008年。
- 5) 村上祐:小・中理科における望ましい粒子概念教育の提言—国の調査結果の背景および独自調査の分析から—、岩手大学教育学部研究年報、69、73-87、2010年。
- 6) 菊池洋一、本宮勇希、村上祐、尾崎尚子、高室敬、近藤尚樹:小学校の物質学習を通して粒子概念を有効に活用するための新規学習シート「つぶつぶシート」の提案、岩手大学教育学部附属教育実践総合センター研究紀要、13、33-43、2014年。
- 7) 文部科学省:「教育の情報化に関する手引」検討案、2009年。
https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/shotou/056/shiryu/attach/1249662.htm
- 8) 土佐幸子、末永誠徳、橋田優希:中学校理科授業におけるICT活用がいかに生徒の科学的概念理解を助けるか、新潟大学教育学部研究紀要人文・社会科学編、10(2)、561-568、2018年。
- 9) Fosnot, C. T. (Ed.): Constructivism—Theory perspectives, and practice, Teachers College Press, 2005年。
- 10) Vygotsky, L. S.: Mind in society: The development of higher psychological processes, Harvard University Press, 1978年。
- 11) Driver, R., Asoko, H., Leach, J., Mortimer, E., & Scott, P.: Constructing scientific knowledge in the classroom, Educational Researcher, 23(7), 5-12, 1994年。
- 12) Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Davis, E. A., Kenyon, L., Ache, A., Fortus, D., Shwartz, Y., Hug, B., Krajcik, J.: Developing a learning progression for scientific modeling: Making scientific modeling accessible and meaningful for learners, Journal of Research in Science Teaching, 46(6), 632-654, 2009年。
- 13) 文部科学省:新時代の学びを支える先端技術活用推進方策(最終まとめ)、2019年。
- 14) 野島優作:小学校理科における粒子概念に関する研究—導入の妥当性と活用するための授業開発について—、新潟大学教育学部理科教育学研究室、令和元年度卒業論文集、2020年。

- 15) University of Colorado Boulder: PhET Interactive Simulations, 2002年.
- 16) Lancaster, K., Moor, E. B., Parson, R., Perkins, K.: Insights from using PhET design principles for interactive chemistry simulations, In J. Suits & M. Sanger, M. (Eds.), Pedagogic Roles of Animations and Simulations in Chemistry Courses, 97-126, ACS Symposium Series, 2013年.
- 17) 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-, 鳥取大学地域学論集, 3(2), 203-237, 2016年.



図16 長い筒中の食塩水の濃さに関する実験について説明する様子



図17 パソコンでシミュレーションを用いる児童の様子