

# 物質の状態変化の概念形成を志向した理科授業の実践 — ICT による子どものイメージの可視化を通して —

小野瀬 倫也  
鈴木 一成

本研究では、中学生に物質の状態変化のイメージをコンピュータを使って動画で表現させ、状態変化の概念形成を志向する授業の可能性について、子どもの活動、及び授業実践後のアンケートをもとに考察した。その結果、①コンピュータを使って動画表現させる授業は実施可能である。②教師による子どもの考えの適切な評価により、粒子の数の保存についての子どもの考えは子どもに意識化できる。③子どもが水の体積変化を説明することは困難な課題である。④「水の状態変化」と「一般的な物質の状態変化」のどちらをテーマに掲げて授業をデザインするかは検討が必要である。⑤教師による子どもの考えの適切な評価によって粒子の密度の考えは、子どもに意識化できる、といった知見が得られた。

【キーワード】状態変化, ICT, イメージの可視化, 動画モデル, 粒子モデル

## 1. はじめに

平成 24 年度から全面実施されている学習指導要領において、理科の内容構成の柱の一つに「粒子」が位置づけられた。ここでは、子どもが小学校の学習を基礎として、中学校においてモデルや化学反応式を用いて問題解決を行えるようになることが目標の一つと捉えられる。

本研究では、中学校第 1 分野の状態変化の単元を取り上げた。本単元は小学校の学習とのつながりが強く、中学校における粒子モデルや化学反応式の導入の基礎に位置づくと考えたからである。後述する「質量保存」を理解する上においても「粒子モデルで考える」といった点で連続する内容である。

2006 年に行われた「特定の課題に関する調査（理科）」では、小学校 5 年生と中学校 2 年生の質量保存に関する理解において、学年の進行によって理解が深まっているとは言い難い状況が明らかにされた（国立教育政策研, 2007:63-70）。理科学習において、子どもが粒子概念を構築し、課題解決に活用できるモデルを獲得することは容易ではないことが示されたのである。その原因の一つに物質を構成する原子や分子といった粒子、即ち目に

は見えないマイクロレベルの事象をモデルという形で理解することにあつたのである。

上述の調査結果への対応として、「生徒が溶解，状態変化，化学変化などの現象について具体的なイメージ等をもてるように，粒子モデルやコンピュータグラフィックを使ったアニメーション等を用いて，共通点と相違点を明確にするなどの指導の工夫が考えられる（国立教育政策研，2007:70）」ことが指摘された。

こうした指摘がなされる背景には，学校教育において，様々なテクノロジーが導入されるようになったことが挙げられる。いわゆる ICT（情報通信機器）の導入やデジタルコンテンツの開発等である。

この分野の研究では，プログラミング教育の一環として行われるもの<sup>(1)</sup>，コンピュータソフトの開発に重きを置くもの<sup>(2)</sup>，ネットワーク環境に依存するもの<sup>(3)</sup>などが存在するが，技術的な問題から中学校の教師が授業実践の中で工夫や改良を施すことは難しかった。

また，コンピュータグラフィックを使ったアニメーションにおいては，インターネット上に数多く存在する既製のコンテンツの利用も考えられる<sup>(4)</sup>。しかし，子どもの学習の文脈にどのように位置づくのか，また内容的な変更など教師による変更ができないなどの問題がある。少なくとも，コンテンツにあるモデルを見ることで全員が納得するという考え方では，前述の調査を受けた指摘に応えることは難しいと考えられる。

一方，ICTの利活用によってこれまで学校現場で培われてきた理科の授業スタイルの根本的な変更を迫るには議論が必要であり，現状では導入すべきテクノロジーも決定的なものがない試行錯誤の段階が続いている。また，教師のICT活用指導力についても途上である<sup>(5)</sup>。そうした状況を鑑みると，これまでの理科授業の基本的なスタイルを大幅に変更することなく導入できる，ICTの利活用が当面の課題であると考えられる。

そこで，本研究では多くの学校現場において既に導入されているプレゼンテーションソフトウェア Microsoft Office Power Point のアニメーション機能を利用することにした。このソフトウェアは，子ども，教師ともに教科・領域を問わず活用場面がある<sup>(6)</sup>。また，理科を起点として他の教科・領域での活用も考えられる。

## 2. 研究の目的

本研究では，水の状態変化のイメージをコンピュータを使って動くモデルで表現させ，状態変化の概念形成を促すことを目的に授業実践を行う。そして，授業実践の可能性と効果について，子どもの活動及び授業実践後のアンケートをもとに考察する。

### 3. 授業の構想と実践

#### 3.1 理科授業における動くモデル作成の位置づけ

図1は、子どもが自然事象に対する自分の考え（表象）を描画などにより外化し、それをもとに話し合いなどを通して考えを精緻化する、更にそれをより納得できる考えとして内化するという一連の過程を表している。子どもの学習論<sup>(7)</sup>を基にした構成主義的な授業の例である。

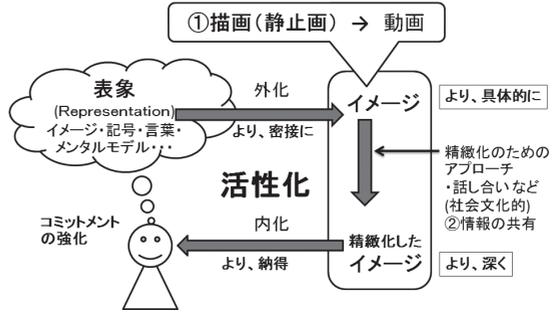


図1 構成主義的な理科授業の例 (小野瀬, 2012)

このように、子どもが考えを外化させる教授法は、清水ら (2005) によって子どもの概念変化を促す効果が見られることが明らかにされている。

そこで本研究では、これまで子どもが表現したり議論する為に使っていた描画 (図1の中の①) をコンピュータを使って動くモデルとして表現させることを構想した。こうした手法の先駆けとして、大黒ら (2007) は「テクノロジーを利用した思考の外化」がジョンソンら (1998) によって提唱された対面的-積極的相互作用の活性化に有効であることを実証している。本研究は、こうした背景から授業を構想し、授業構築の可能性を探った。

#### 3.2 授業実践の概要

授業実践の概要を以下に示す。

実施時期：平成22年11月～12月

対象：東京都内の国立大学附属中学校第2学年，4クラス

機器等：ノートパソコン10台，Microsoft Office Power Point 2010（以下，Power Pointと記す），記録用USBフラッシュメモリ，記録用ノート

#### 3.3 単元計画と授業展開

中学校第1分野「状態変化」の学習の最終場面において、小単元「物質の状態変化とミクロのようす (5時限)」を表1のように計画した。これに基づき、授業場面 (導入、

展開, 発表) について説明する。

**表 1 小単元「水の状態変化とミクロのようす」の授業計画**

	内容	配当時間
導入	ミクロの世界における物質の状態のイメージを表現しよう (1) 主旨の説明 (2) 学習目標の提示 STEP1: 水の三態それぞれについて表現する。 STEP2: 水が状態変化していくようすを表現する。 (3) 学習の進め方についての説明 ①水の状態変化をモデルで表現する。 ・まずは, 描画(ホワイトボード)でイメージを確認し合う。 ②モデルはコンピュータを使って動画表現する。 ・表現方法の紹介 PowerPoint, パラパラ漫画風などが考えられる。 ③自分たちのモデルについて分かりやすく伝える。 ・分かりやすい発表の仕方を考え, 実施する。 ・班ごとに課題(STEP1, STEP2 どちらを目標にするか), 分担を決める。	1
展開	絵コンテの作成～動画モデルの制作 班ごとに動画モデル制作	3
発表	相互評価 ・他班の動画の良いところ, 同意できるところ ・ここはおかしくないか? という部分についての議論	2

### 3.3.1 導入

#### (1) 主旨の説明

ここでは, 各自が持っている「水の状態変化」の考えを動くモデルによって表現することがねらいであることを伝える。ただし, 水についての説明が難しいと判断した場合は一般的な物質(体積が固体, 液体, 気体の順に大きくなる物質)についての考えでも良しとした。

#### (2) 学習目標の提示

水の三態変化を動くモデルで表現するにあたり, 学習課題のレベルを以下の2段階で示した。

STEP1: 水の三態それぞれについて動くモデルで表現できる。

STEP2: 水が三態に変化していく様子(次の状態に変化していく途中まで)を動くモデルで表現できる。

#### (3) 学習の進め方についての説明

以下の3つの段階(①～③)を示した。

① 各自, 絵コンテを使って, 3つの状態それぞれについての考えを描く(図2)。その上で ホワイトボードを使って話し合い, グループとしての考えを作る。そして表現

(STEP1)につなげる。次に3つの状態が、それぞれどのように状態を変えていくのか、途中の様子まで表現(STEP2)できたらいいことを伝える。

- ② 表現方法は、Power Point を使って、スライド上の粒を少しずつ動かしたスライドをコマ送りする方法(図3:バラバラ漫画風)とPower Point のアニメーション機能を使う方法(図4)を紹介した。
- ③ 最終的に自分たちのモデルについて、分かりやすく説明することが目標であることを伝え、班の目標や分担を決めさせた(導入)。分担は作業的な内容のみとし、モデルの検討については常に班全体で話し合わせた。

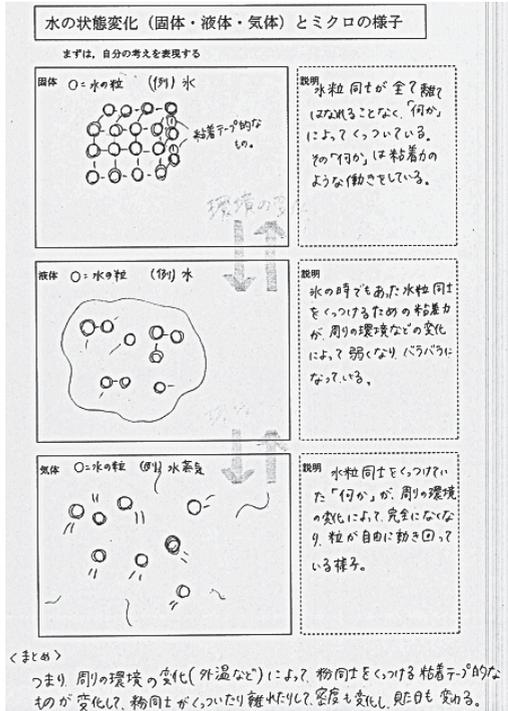


図2 子どもの絵コンテ

### 3.3.2 展開と発表

展開では、1班を4人として学習を進めた。図5は、モデルの製作・検討を行っている様子である。また、単元の最後に発表の時間を設定し、各班から動画モデルの発表を行わせ(図6)、相互に評価させた。

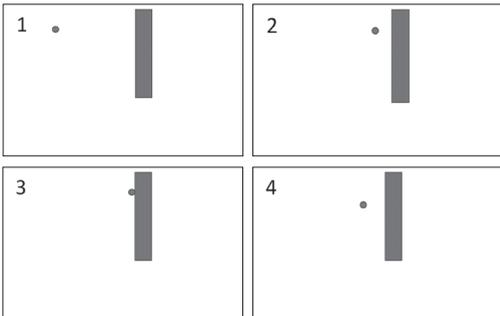


図3 表現方法の紹介1  
(バラバラ漫画風)

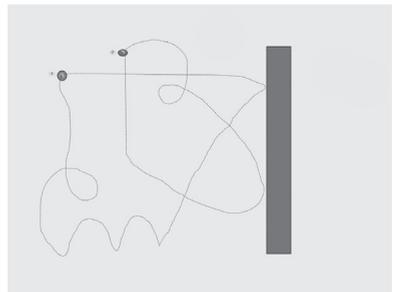


図4 表現方法の紹介2  
(アニメーション機能の使用)



図5 モデルの製作・検討

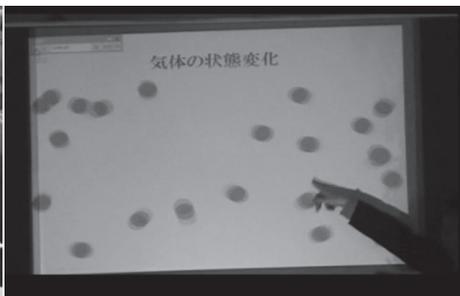


図6 動画モデルの説明

### 3.4 結果の分析

#### 3.4.1 動画モデルの分析

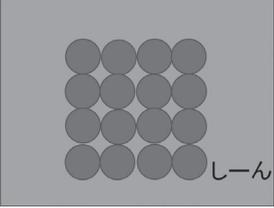
動画モデルは、子どもが作成した記録用ノートに記述された発表内容をもとに Power Point のスライドと共に絵コンテ (図2) の様式で書き起こした (図7, 図8はその一部である)。さらに、動画モデルを視聴しながら、KJ法を用いて表2に示す指標とカテゴリーを作成し、判定した。判定は2名の独立した評価者が行った。その結果、96%が一致した。判定が不一致の部分は評価者による合議の上修正した。

表2 動画モデル分析の指標・カテゴリー

指標	カテゴリー	説明
1 モデルのタイプ 1	a: 粒子モデル	水を粒子など1つの物体に見立てて表現している。
	b: その他	上記以外の表現
2 モデルのタイプ 2	c: 水モデル	三態変化における体積の大きさが (液体<固体<気体) で表現されている。
	d: 一般物質モデル	三態変化における体積の大きさが (固体<液体<気体) で表現されている。
3 粒子の数が保存されている	e: 保存されている	モデルに表現された粒子の数が保存されている。または、説明されている。
	f: 蒸発で減っている	モデルに表現された粒子の数は保存されていないが、保存されると説明されている。
	g: 保存されていない	モデルに表現された粒子の数は保存されておらず、説明もされていない。
4 モデルに表現された粒子の結びつき・動き (複数選択)	h: 結合手あり	モデルに粒子の結合の手が表現されている。または、糸、ひも、棒などに例えて説明している。
	i: 結合手なし	モデルに粒子の結合の手が表現されていない。
	j: 液体は粒子が複数結合	液体モデルは、水の粒子が複数 (例えば2~3個) 結びついたものとして表現されている。
	k: 液体は粒子1個	液体モデルは、水の粒子は1個で表現されている。
	l: 動きに変化あり	三態によって粒子の動きや速さを変えている。または、説明している。
	m: 動きに変化なし	三態によって粒子の動きや速さを変えている

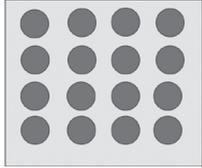
5	温度・熱	n: 言葉あり	スライドや説明に温度・熱という言葉を使って説明している。
		o: 表現有り	モデルに温度や熱が表現されている (例, 低温は青, 高温は赤, など)。言葉による説明も含む。
6	体積	p: 言葉あり	スライドや説明に体積という言葉を使って説明している。
		q: 表現有り	モデルに体積が表現されている (例, 枠を設けている, など)。言葉の使用も含む。
7	密度	r: 言葉あり	スライドや説明に密度という言葉を使って説明している。
		s: 表現有り	モデルに密度が表現されている (例, 粒子が同じ数で体積を小さくしている, など)。言葉による説明も含む。

個体

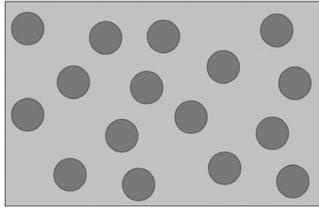


しーん・・・

液体



気体

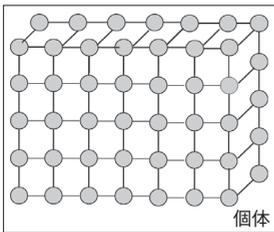


これは固体の状態であり、水なので水です。質量は水の場合液体の次に大きく、密度は一番高いです。

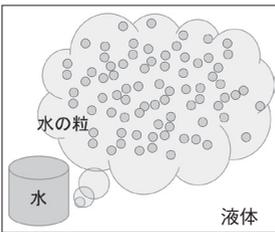
液体のモデルです。質量は一番小さく、密度は固体の次に低いです

これをさらに加熱したものが気体です。これが気体のモデルで、水蒸気です。質量は最も大きく、密度は一番低いです。

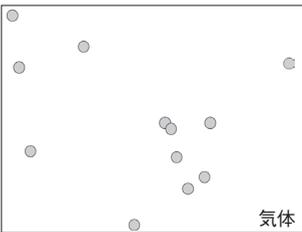
図7 説明プロトコルの例1 (D5)



個体



液体



気体

固体のモデルです。水色の丸が水の粒を表しています。固体は水の粒が冷やされておしくらまんじゅうのようなイメージ。液体の水より体積が大きいのは水の粒同士をつなげるものが頑丈だから。

液体のモデルです。常温で水の液体の状態なのである程度のつながりを持っているイメージ。このつながり目は固体のつながり目より小さい。粒は少し動いている。

気体は水の粒が温められて飛びまわっているイメージ。動ける範囲が広いので密度が薄い。つないでいる紐は、常温で、最も短い。温度が上がるとつながり目が消え、温度を下げると短くなる。これがあることで目に見えるようになる。水の粒の数について、同じ体積で考えたとき、密度は液体が一番大きく、次が固体、一番小さいものが気体なので中に含まれる水の粒で 密度をあらわした。

図8 水モデルの事例 (A7) と説明プロトコル

## (1) 指標 1 (モデルのタイプ 1) の分析

「水を粒子などの1つの物体に見立てているか」を基準とした分析である。全ての班(n=34)が粒子モデルを採用していた。しかし、粒子を何に見立てるか(メタファー表現)の内容は、擬人化して結合や動きの様子を説明する(図9:D8)、四角形や六角形の組み合わせや緩みによって体積変化を説明する(図9:D4)、熱エネルギーの出入りを飛行機の燃料に見立てて粒子の動きを説明する(図9:C2)等の工夫が見られた。また、こうした表現ができなかった班は無かった。

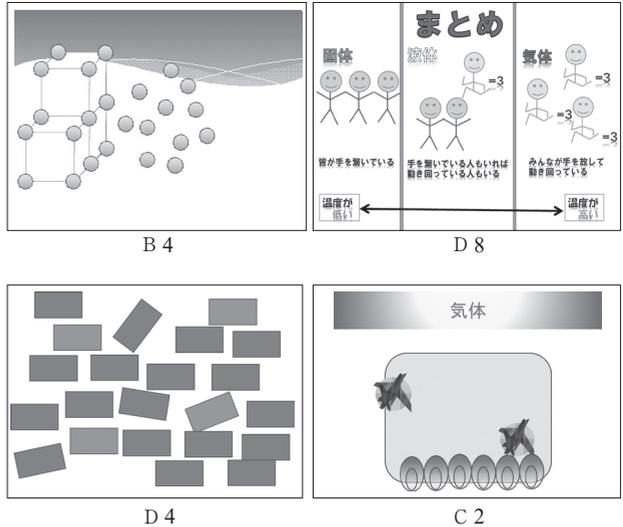


図9 粒子モデルの多様性

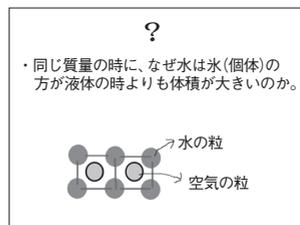
## (2) 指標 2 (モデルのタイプ 2) の分析

ここでは、三態変化における体積の大きさが(体積:液体<固体<気体)で表現されたものを水モデル(カテゴリー:c)、(体積:固体<液体<気体で表現されたものを一般物質モデル(カテゴリー:d)として分析した。表3に示すように水モデルは7事例であり、一般物質モデルで表現したのは27事例であった。しかし、一般物質モデルを採用しつつも、「水の場合は異なる」とコメントのみを付け加えていたのが4事例あった。

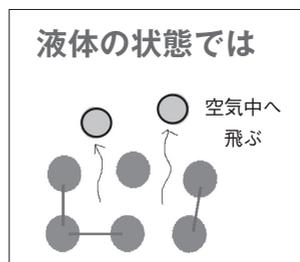
図7, 図8は、水モデルを使った表現の例である。図7では、体積を棒として

表3 表現されたモデルの内訳

	班	割合(%)
c: 水モデル	7	20.6
d: 一般物質モデル	27	79.4
n=34 (班)	合計	34



私たちの理論上、固体と液体では液体のほうが体積は大きいはずけど、実際は(水の場合)そうではないらしい。その理由はさっぱりわかりません。



考えるとすれば、氷には空気の粒が入る隙間あり体積は大きく、液体では粒が離れて中の空気の粒が飛んでいってしまい体積は小さくなる。

図10 水の体積変化についての説明プロトコル (A9)

示している。図8では、粒子の接合部の伸縮によって水の三態変化における体積変化の特異性を説明しようとしていた。しかし、7つの事例とも水の体積変化について説明しているが、一般物質モデルで表現される物質との比較は行っていなかった。

一般物質モデルでは、図7, 図8の表現と同様な表現の中で体積が(固体<液体<気体)で表現されていた。また、一般物質モデルを採用しながら、水の体積変化の特異性に言及していたものが4事例であった。図10はその例であり、固体の状態では水の粒子に空気の粒が取り込まれているとしている。

### (3) 指標3(粒子の保存)の分析

モデルに現れた粒子の数が三態変化によって変化しているかについて、表4に示すe~gに分類した。その結果、29の事例(85.3%)で状態が変化しても粒

子の数は同じであると表現されていた。また、「加熱の途中でも蒸発が起こる」等の理由から、モデル上の粒子の数を変化させた班が4事例あった。この場合、粒子の総数が保存されると考えられることから、粒子の保存については多くの班において合意されていたと考えられる。

表4 モデルに表現された粒子の数

	班	割合(%)
e: 保存されている	29	85.3
f: 蒸発で減っている	24	11.8
g: 保存されていない	1	2.9
n=34(班)	合計	34 100.0

### (4) 指標4(粒子の結合・動き)の分析

ここでは、モデルに表現された粒子の結びつき・動きについて表5におけるh~mのカテゴリーを設定し、分析した。

粒子の結合の手が表現されている(カテゴリー:h)のは22事例であった。モデルにおける結合の手は、

中学校においてはイオンの学習における電気的な力などを見立てて表現する場面がある。半数以上の班が説明に使用していたことは、今後の学習への足場かけとし

表5 モデルに表現された粒子の結びつき・動き

	班	割合(%)
h: 結合手あり	22	64.7
i: 結合手なし	12	35.3
j: 液体は粒子が複数結合	12	35.3
k: 液体は粒子1個	22	64.7
l: 動きに変化あり	30	88.2
m: 動きに変化なし	4	11.8
n=34(班)		

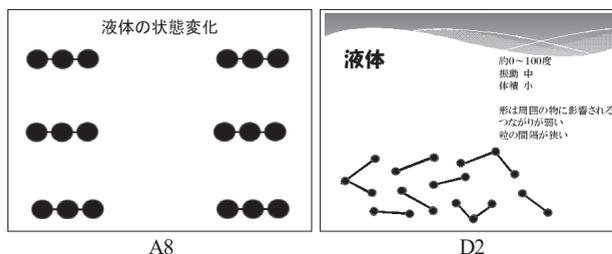


図11 液体の粒子を複数の結びつきとした事例

て有効であると考えられる。

液体の粒子を複数の結びつきとした事例（カテゴリー：j, k）が12事例あった。図11はその例である。「固体のしっかりした結合の一部が切れたもの」「そもそも液体は固体（複数つながったもの）とばらばらが混ざったもの」など解釈が混在していた。

カテゴリーlとmは、固体、液体、気体への変化に伴って粒子の速さが変化して（速くなって）いるか、によって分類した。その結果、30（88.2%）の事例で粒子の速さが変化するように表現されていた。動きに変化が無かった4事例は、パラパラ漫画風の方法をとった1事例と、考慮されていない3事例であった。

### (5) 指標5「温度・熱」、指標6「体積」、 7「密度」に関する表現の分析

説明プロトコルに「温度・熱」「密度」「体積」それぞれの言葉が含まれているか、また、言葉による説明を含め、これらがモデルに表現されていたかを判定した結果が表6である。

表6 「温度・熱」「密度」「体積」に関する表現

		班	割合(%)
温度・熱	n: 言葉あり	31	85.3
	o: 表現あり	34	100.0
体積	p: 言葉あり	22	64.7
	q: 表現あり	29	85.3
密度	r: 言葉あり	8	23.5
	s: 表現あり	22	64.7
n=34 (班)			

説明プロトコルに「温度・熱」という言葉があったのは31事例（85.3%）であった。言葉は無いが動画の中で表現されていると解釈できる事例が34事例（100.0%）であった。三態変化の原因としての「温度・熱」が意識されていると判断できる。

説明プロトコルに「体積」という言葉があったのは22事例（64.7%）であり、言葉は無いが表現されていると解釈できる事例は29事例（85.3%）であった。三態変化の結果としての「体積」変化が意識されていると判断できる。

説明プロトコルに「密度」という言葉があったのは8事例（23.5%）であった。言葉は無いが表現されていると解釈できる事例は22事例（64.7%）あった。本單元における密度の概念の定着率が低いことはかねてより指摘されている<sup>(8)</sup>が、こうしたモデルの表現や解釈を通して子どもに密度の考え方を意識化する足場かけにする等の指導が考えられる。

### 3.4.2 事後アンケートの分析

表1による授業の実施後に事後アンケートを実施した。事後アンケートの設問「モデル

作り、発表を通して自分の考えの中で明確になった点は何ですか」に対する子どもの回答のカテゴリーを KJ 法を用いて作成し、判定は、独立した 2 名の評価者が行った。その結果、98% の判定が一致した。不一致の判定は評価者による合議の上、修正した。表 7 はその結果である。

表 7 事後アンケートの結果

n = 122 (人)

設問 回答の カテゴリー	モデル作り、発表を通して自分の 考えの中で明確になった点は何で すか。	回答例 (子どもの表現)	結果 (%) (重複あり)
カテゴリー 1	粒子の数が保存されること	・粒の数はどの状態でも同数	10.7%
カテゴリー 2	体積の変化(例のように、「体積」という言葉を含まなくても空間的な広がりを表現している)	・水、氷、水蒸気は元々全て同じ水の粒でできている。その水の粒の広がり具合で水、氷、水蒸気が決まる。	40.2%
カテゴリー 3	粒子の結合のようす	・粒子がくっついたり離れたりするようす	30.3%
カテゴリー 4	粒子の動きのようす	・粒の動くスピードが固体から気体になるにつれて速くなる。	41.8%
カテゴリー 5	温度(熱エネルギー)と三態変化の関係	・熱を加えられることで水の粒同士をつなぐものの力が弱くなる。	40.2%
カテゴリー 6	三態変化における粒子の密度(言葉として「密度」を含む)	氷より水の方が密度が高いこと	6.6%
カテゴリー 7	その他	感想など	8.2%

### (1) カテゴリー 1 (粒子の数が保存されること) の分析

粒子の数が保存されることを挙げた子どもは 10.7% であった。前節における分析(表 4)では、モデルにある表現の中で、粒子の数が保存されていると読み取れる事例が 85.3% である。よって、粒子の数が保存されていることは、了解事項であり、新たに明確になった事として意識化して、これを回答した子どもは少なかったものと考えられる。

### (2) カテゴリー 2(体積の変化)、3(粒子の結合)、4(粒子の動き)、5(温度・熱エネルギー)の分析

状態変化の過程を熱エネルギーが加わり(カテゴリー 5)、粒子の動きが活発(カテゴリー 4)になることで粒子のつながりが切れて(カテゴリー 3)状態、体積が変化(カテゴリー 2)する。と捉えるならば、カテゴリー 2 (40.2%)、カテゴリー 4 (41.8%)、カテゴリー 5 (40.2%) について意識化されていたと考えられる。

カテゴリー 3「粒子の結合のようす」は、32.0% とやや低かった。これは、前節における分析(表 5)において、結合手を表現していない事例が 35.3% あることから、粒子の動きや体積変化、状態変化の原因としての熱エネルギーなどに比べて意識化されていないかつ

たと考えられる。

### (3) カテゴリー 6 (密度) の分析

カテゴリー 6 において、言葉として「密度」を挙げた子どもは 6.6% と少なかった。しかし、実際に表現されたモデルに表現されている事例は 64.7% (表 6) であった。

「密度」の概念を理解することが困難であることは、体積と質量という 2 つの変量を組み合わせて創り出すことの難しさにある。小倉 (1999) は、中学生を対象とした面接調査の結果から、「密度」などの「比例的変量関係」を理解させようとする前に、変量自体の定性的な理解を重視すべきことを結論づけている。

このことから、粒子の数と質量の関係づけ、粒子の保存と空間的広がり (カテゴリー 2) などモデルの解釈を通して定性的なイメージを持てるよう、適切に学習することによって、その効果を見込む事ができると考えられる。

## 4. 研究のまとめ

本研究の目的は、水の状態変化のイメージをコンピュータを使った動画によりモデルで表現させ、状態変化の概念の精緻化に対する教授-学習過程について考察することであった。具体的には、授業実践の可能性と効果について子どもの活動、及び授業実践後のアンケートをもとに考察することであった。以下に、これらの視点について考察する。

授業実施の可能性について、3.4.1 (1) の分析に見られるように、全ての班が Power Point を使って三態変化の表現を行うことが出来たことから、表 1 による授業実践が無理なく導入できることが明らかになった。また、3.4.2 (2) の分析において状態変化の過程についての意識化の状況もこのことを裏付けると考えられる。

Power Point を使い、表現方法を紹介することにより、子どもの表現に制約を加えることも危惧されたが、図 9 に示されたように、モデルの多様性が担保されていたと考えられる。このことは、「非常にオープンであって、生徒がどう回答するかに関してはほとんど限定をしない」(R. ホワイトラ, 1995) といった、描画法の特徴を維持しながら、授業に導入できる可能性を示唆すると考えられる。

よって、授業の効果について、以下のように結論づけられる。全ての班が粒子モデルを採用した (指標 1)。そして、表現されたモデルにおいて粒子の数が保存されていると読み取れる班が 85.3% (表 4) であった。このことから、子どもの相互評価や教師による適切な評価によって粒子の数の保存についての考えは、子どもに意識化できることが示唆さ

れたと考えられる。

表現されたモデルのタイプ（指標2）については、一般物質モデルの採用が79.4%であった。授業の導入における指示は「水の状態変化のイメージを動画で表現する（ただし、水についての説明が難しいと判断した場合は一般的な物質についてのイメージでも良しとした）」であった。モデルの採用結果から判断すると、子どもにとって水の体積変化の特異性を説明することは困難な課題であったと思われる。

授業の導入から、「一般物質の状態変化」に絞って授業を進めることも考えられる。しかし、水をテーマにすることで、一般物質モデルについての考えが深められたり、水の体積変化の特異性について疑問をもつ子どもが多かった印象がある。図10による子どもの説明は、教師による価値付け（すきまの存在をテーマに学習を深化させるなど）によって学習の発展が見込まれる。授業展開の仕方（課題の設定など）について、今後の検討課題として残された。

粒子の結びつきについて結合手を使って表現していたのは64.7%（表5）であった。本実践においては、特に結合手を用いるように指導はしなかった。粒子の結合について結合手を用いて表現するように指導すべきかどうかは議論が必要である。初めから結合手を導入しまうと表現方法がかなり限定されてしまうおそれがあるからである。したがって、結合手を表現したか否かは問題でなく、64.7%の班が結合手を使って表現していたことに注目すべきである。そして、この結合手が意味するものの解釈を班やクラスにおいて共有することが、次の学習（中学校においてはイオンの学習）につながると考えられる。

3.4.2 (3) の分析にあるように、表現されたモデルにおいて密度が表現されていると解釈される班が64.7%（表6）であることから、子どもの相互評価や教師による適切な評価によって粒子の密度の考えは、子どもに意識化できることを示唆する。

以上をまとめると、以下の①～⑤に整理できる。

- ①表1による授業実践は可能である。子どもの表現の多様性も維持されていた。
- ②子どもの相互評価や教師による適切な評価によって粒子の数の保存についての考えは、子どもに意識化できる。
- ③子どもにとって水の体積変化を説明することは困難な課題であった。
- ④「水の状態変化」と「一般物質の状態変化」のどちらをテーマに掲げて授業をデザインするかは検討が必要である。
- ⑤子どもの相互評価や教師による適切な評価によって粒子の密度の考えは、子どもに意識化できる。

以上の分析から、検討すべき課題は残されたものの、子どもの物質の状態変化のイメージをコンピュータを使った動画によるモデルで表現させる、即ち可視化させることで、状態変化の概念の精緻化を志向した授業デザインが可能であると考えられる。

## 附記

本研究の授業実践計画及び実施、授業評価において横浜国立大学教授である森本信也先生の指導・助言をいただいた。ここに感謝の意を表したい。本研究が対象とした授業は、国立大学附属中学校における公開研究会で発表された授業及び単元全体の資料に基づいている。本授業の分析は、齋藤ら（2014）において、デュアルコード・セオリーの理論に基づき、子どもの認識の変容に視点を置いて行われている。取り上げた子どもの表現において、一部重複があるが、本研究は、授業実践者に視点を置いているという点で異なっている。本研究は、科学研究費助成事業、課題番号24531150、15K04513の助成を受けた。

## 註

- (1) 例えば、プログラミング教育の基礎としてフリーソフトである「Squeak」を使った実践がある。授業実践事例として、例えば以下のものが挙げられる。荻田弘樹ら：「子どもが自分の想いを表現する」ための Squeak（スクイーク）活用授業」, 日本科学教育学会研究会研究報告, 20 (6), 61-64, 2006, 日本科学教育学会
- (2) 例えば、中山迅：「思考と表現が一体化した理科の学習活動を志向する ICT の導入：粒子モデル的な思考を促すアニメーションソフト Galop の活用」, 理科の教育, 59 (10), 667-670, 2010, 日本理科教育学会
- (3) 例えば、竹中真希子ら：「Web Knowledge Forum に支援されたアナロジーと概念変化」, 科学教育研究, Vol.29, No.1, pp.25-38, 2005, 日本科学教育学会
- (4) 例えば独立行政法人科学技術振興機構が運営する「理科ねっとわーく」には多数のコンテンツがあり、無料で利用できる。(2016年8月現在停止されている)
- (5) 平成18年に政府の「IT新改革戦略」においては全ての教師のICT活用指導力の向上が掲げられた。平成18年9月に文部科学省は「教員のICT活用指導力の基準の具体化・明確化」に関する検討会を設置し、平成19年3月に報告をまとめ、平成20年にパンフレットとして「ICT活用指導ハンドブック」が製作、配布された。
- (6) 例えば、以下の研究では、この機能を使って核分裂の連鎖反応の視覚化教材を作成している。森本弘一・松本都弥：「中学校における放射線教材を用いた授業実践とその評価」, 『理科教育学研究』, Vol.53, No.1, 2012, 日本理科教育学会
- (7) こうした子どもの意味構成の過程は、例えばR.Osbornらによる「生成的学習モデル (generative learning model)」などがあり、以下の文献が挙げられる。Osborn,R.,Wittrock,M.

C.:The generative learning model and its implication for science education,Studies in Science Education Vol.12,pp.59-87,1985

- (8) 例えば「平成18年度宮城県学習状況調査結果報告書」によると、液体のろうを冷やして固体にして、体積が小さくなったときのろうの密度の変化を問う問題の正答率は26.3%であった。また、「平成23年度埼玉県小・中学校学習状況調査報告書」では、水とろうの液体と固体の密度を実験結果から考察する問題の正答率は16.8%であった。

#### 引用・参考文献

- ・大黒孝文ら (2007) 「協同学習における対面的－積極的相互作用の活性化」, 『理科教育学研究』, Vol.48, No.1, pp.35-49, 日本理科教育学会
- ・小倉康 (1999) 「理科的問題解決における生徒の比例的変量関係認識」, 『科学教育研究』, Vol.23, No.5, pp.309-321, 日本科学教育学会
- ・小野瀬倫也 (2012) 「子どもの学習論に根ざした理科授業構築の視点」, 『理科の教育』, Vol.61, No.724, 721-724, 日本理科教育学会
- ・国立教育政策研究所 (2007) 「特定の課題に関する調査(理科)」調査結果
- ・齋藤裕一郎ら (2014) 「動画モデル作成を通じた科学概念構築に関する一考察」, 『理科教育学研究』, Vol.55, No.3, pp.311-322, 日本理科教育学会
- ・清水誠ら (2005) 「小グループで話し合い、考えを外化することが概念変化に及ぼす効果」, 『理科教育学研究』, Vol.46, No.1, 日本理科教育学会
- ・ジョンソン,D.W.ら (1998) 『学習の輪』杉江修治他訳, pp.27-28, 二瓶社
- ・R. ホワイト, R. ガンストン (1995) 『子どもの学びを探る』中山迅, 稲垣成哲 監訳, p.128, 東洋館出版社