

# 粒子概念の形成につながる体験活動と図を用いた思考・表現活動の工夫 ～第4学年「空気と水の性質」～

太田 智美<sup>1,2</sup>

1: 郡上市立川合小学校

川上 紳一<sup>3</sup>

3: 岐阜大学教育学部

Experience activities and guides for think and expression for development  
on the concept of particles:

“Properties of air and water” in the fourth grade

Tomomi Ohta<sup>1,2</sup>

1: Kawai Elementary School, Gujo-shi, Gifu, 501-4232, Japan

Shin-ichi Kawakami<sup>3</sup>

3: Faculty of Education, Gifu University, Gifu, 501-1193, Japan

## 要 旨

小学校第4学年「空気と水の性質」の学習で、粒子概念で現象を説明する児童の育成を図った。圧縮された空気の押し返す力を実感させるため、体積90リットルのビニール袋を用意した。この体験をもとに空気の押し返す力をイメージ図に描かせた。児童の描いたモデル図のなかに空気を粒（塊）で表したものがああり、クラス全体に示すと、「粒で表すとわかりやすい」という認識が広がった。さらに、粒子の大きさや数をそろえる必要があることに着目させて、授業を進めた。その結果、児童の主体的な学びや思考から自然に粒子概念が形成される授業が成立した。本実践をもとに、小学校第4学年における粒子概念の形成を促す指導の在り方を考察した。

【キーワード】：粒子概念，空気と水の性質，小学校，理科教育

## 1. はじめに

平成20年に発行された学習指導要領－理科編では、エネルギー、粒子、生命、地球という4つの概念をもとに、小学校から高等学校まで学習内容の系統性が図られている（文部科学省、2008）。粒子概念については、第3学年「物と重さ」、第4学年「空気と水の性質」、「金属、水、空気と温度」、第5学年「物の溶け方」、第6学

年「燃焼のしくみ」、「水溶液の性質」といった学習内容で粒子概念について学ぶことになっている。第3学年「物と重さ」、第4学年「空気と水の性質」の学習では、粒子の存在について、実験・観察をもとに気づかせることが重要である。しかし、児童の実態として、空気や水蒸気のように、目に見えないものに対する概念をもてないケースや、粒子を用いた概念で現象を説明できていても、粒子と粒子のすきまや、粒子が熱運動していることにまで考えが及んでいな

2: (旧姓) 佐藤智美, Tomomi Sato

いケースがある（村上ほか，2008）。

一方，中学生にとっても「粒子概念」の獲得には，さまざまな課題がある（守田ほか，2013）。筆者（太田）が，中学校で授業をした時に，原子・分子や質量保存の学習をする際に，モデル図を使用して学習指導をしてきた。しかし，種類によって粒子の大きさをそろえることや，変化の前と後で粒子の数をそろえるといった正しいモデル図の描き方について，小学校段階での習得が十分でない生徒が認められ，小学校段階で獲得しておくべき「粒子概念」を再確認するところから授業を行う必要があった。

本研究では，こうした経験をもとに，「空気や水の性質」について，粒子概念を用いて説明できる児童の育成を目指して，体験を重視した単元導入や，図を用いて表現するスキルの育成に焦点を当てて，指導のあり方を工夫した。

「空気と水の性質」に関しては，これまでに多くの実践報告がある。空気でっぼうを使った体験活動と図による表現による指導の工夫を行った実践例には板木（2012）がある。澤（2010）は，エアーマット，ビニール袋などを活用して学習への動機を高める工夫を報告している。一方，粒子概念を用いた現象の説明に関しては，「つぶつぶシート」と名づけられたワークシートの活用などの実践がある（尾崎ほか，2013）。

さらに，小学校段階から高校までの理科学習を通じて，「粒子概念」をどのように深めていくのかについては，次の学習指導要領の改訂へ向けた議論が進んでおり，2013年の日本理科教育学会全国大会では，「粒子概念をどのように教えるか-小中高を貫く粒子概念の系統的指導のあり方-」というシンポジウムが開催されている。

## 2. 児童の実態と指導の工夫

本研究は，郡上市立川合小学校4年生を対象に，2013年10月に行った。児童数は19人である。

児童は理科の授業で目を輝かせて観察，実験を行っている。単元学習前のアンケートでは，児童の約81%は「理科が好き」と答えている。その理由として，多くの児童が「観察・実験が楽しい」，「予想をたて交流するのが楽しい」と答えている。実際に，少しでも発見をすると，

その事実をととても嬉しそうに話している姿をよく目にする。理科の授業に対して非常に意欲的に取り組み，光るつぶやきも多いクラスだが，いざ，観察・実験からわかったことをノートに文章で書く段階になると手が止まってしまう児童が多い。

「電気のはたらき」の単元では，「理科の授業が好き」と答えた児童は約75%まで減ってしまった。アンケートから，目に見えない物に対して結果を予想したり，性質を推測したりすることが難しいと感じていることが分かった。そこで，目に見えない事象を考えるにあたり，図で表すこと，粒子概念をもたせることが児童の思考の手助けとなり，事象を表現したり，科学的な見方や考え方を高めたりすることができるようになると考え，次のような指導の工夫を試みた。

### (1) 単元導入時における体験活動の位置づけ

第1時の授業では90リットルのビニール袋いっぱい空気を入れ，そのビニール袋を触ったり，押したりすることでどのような感触がするのかを調べる学習を行った。より沢山体験できるように，3～4人の理科班をつくり，各班に2つの袋を用意した。

### (2) 図を用いた表現方法の指導

児童は，これまで自分の考えを図で表現することをほとんどやってきていない。しかし，空気という目に見えない物を学習する上で，図で表現し可視化することにより，さらに理解が深まると考え，本単元では図で表現する場面を意図的に組み込んだ（表1）。

### (3) 粒子概念に導く助言

中学校で授業をした時に，原子・分子や質量保存の学習をする際に，モデル図を使用して学習してきたが，種類によって粒子の大きさをそろえることや，変化の前と後で粒子の数をそろえるといった正しいモデル図の描き方をなかなか習得できない生徒が多かった。そのため，小学校の段階から粒子に対してより妥当性の高い概念をつけていきたいと考え，図の表現方法について，授業中に児童に問いかけを行って，粒

表1. 授業計画

時数	内容(ねらい)	図で表現する場
1	袋に閉じ込めた空気を、触ったり押したりする体験を通して、空気の性質に興味をもつことができる。	【終末】袋に閉じこめた空気を図で表現する。
2	空気でっぼうで玉を飛ばす体験を通して、空気をおすことで玉が飛ぶことに気づき、玉が飛ぶ理由を空気の性質と結びつけて考えることができる。	【終末】空気でっぼうの玉が飛ぶ様子を図で表現する。
3	注射器に閉じ込めた空気を押しその体積の変化を調べる実験を通して、空気の体積は押しと小さくなり、離すと元の体積にもどること、また、押しさえ押しただけ手ごたえも大きくなることに気づくことができる。	【考察】押し前と押しした後の注射器内の空気の様子を図で表現する。
4	学習した空気の性質とともに、空気でっぼうで玉が飛ぶ理由を図で説明することができる。	班ごとに図で書いて説明をする。
5	注射器に閉じ込めた水を押す、その体積の変化を調べる実験を通して、水の体積は空気と違い、押すことができず、体積は変化しないことに気づくことができる。	【予想】【考察】押し前と押しした後の注射器内の水の様子を図で表現する。
6	これまでの学習をふり返り、外から力を受けた時の空気と水の性質についてまとめることができる。	空気と水の違いを図で表現してみる。

子の性質について意識してモデル図を描くように指導した。

### 3. 授業実践

#### (1) 単元導入での体験活動

理科の授業で予想をたてたり、自分の考えを書いたりする時、その考える材料となるのが「生活体験」や「既習内容」といった「自分が体験した事実」である。生活体験には偏りがあるので、どの児童にも自分の考えをもたせるため、授業中できるだけ多くの体験活動を取り入れた。第1時の授業では90リットルのビニール袋いっ

ぱいに空気を入れ、そのビニール袋を触ったり、押したりすることでどのような感触がするのかを調べる学習を行った。より沢山体験できるように、3～4人の理科班をつくり、各班に2つの袋を用意した。



図1. ビニール袋を押し合う児童。

児童は熱心に袋を触り、気付いたことを沢山ノートに記録することができた(図1)。

「押ししたらはね返ってきた。」  
 「やわらかいのに、ぎゅっとするとかたくなる！」  
 「すごい、押し返される！」  
 「どれだけ押ししてもつぶれない。」  
 「わかった！空気はつかまされたくなくて逃げるんやけど、袋の中は逃げる場所がないで集まってかたくなるんや。」

児童は楽しみながら、体験の中からこの単元で重要となってくる空気の性質を実感することができた。また、第2時の「空気でっぼうのスポンジはなぜとんだのか」を考える時も、多くの児童がこの体験を根拠に自分の考えを書くことができた。

#### (2) モデル図による概念構築

中学校で授業をした時に、原子・分子や質量保存の学習をする際に、モデル図を使用して学習してきたが、種類によって粒子の大きさをそろえることや、変化の前と後で粒子の数をそろえるといった正しいモデル図の描き方をなかなか習得できない生徒が多かった。そのため、小学校の段階から粒子に対してより妥当性の高い概念をつけていきたいと考え、図の表現方法について、授業中に適宜児童に問いかけを行った。



表1のように毎時間図で表現する時間を確保した。その結果、2時間目あたりから約30%の児童が、主体的に図で自分の考えを表現できるようになり、第3時には約60%、第4時のグループでの説明の時には、全員が図を使って表現することができた。その結果、児童の描くモデル図には、次のような変容がみられた。

最初に、袋に閉じ込めた空気を自由に表現させたところ、大きく3つのパターンが出てきた。色で塗りつぶしたもの、粒で表したもの、矢印で表したものである(図2)。

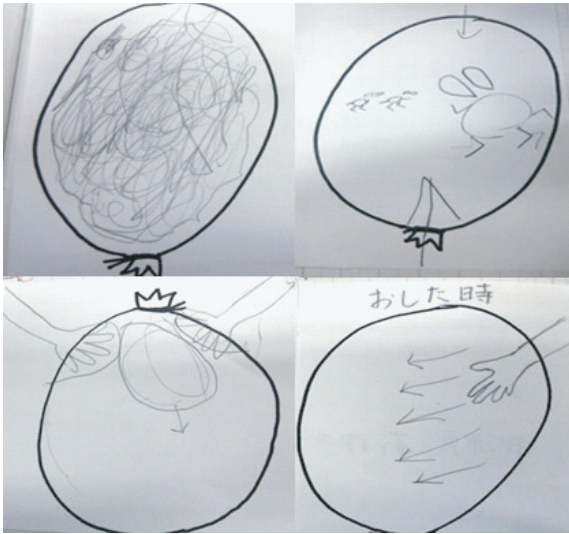


図2. 袋に閉じ込められた空気に対する児童のイメージ図。A:色で示したもの。B, C:粒で示したものの, D:矢印で示したもの。

児童たちの描いた図の例をクラスで紹介したところ、児童の中から「丸で描くのがわかりやすい!」という意見が出た。教師が「なるほど、わかりやすいね」と肯定したところ、第2時から約80%の児童が粒で描くようになった。

第3時で、空気でっぼうの玉が飛ぶ様子を班で図を描いて説明した際に、大きく2つの描き方が出てきた(図3)。

これらの図を児童に示したところ、児童からも「えっ?」という声があがったため、問い返してみた。

T:「6つのグループの中で他の班と違う図の描き方をしている班がありましたね。気づいた?」

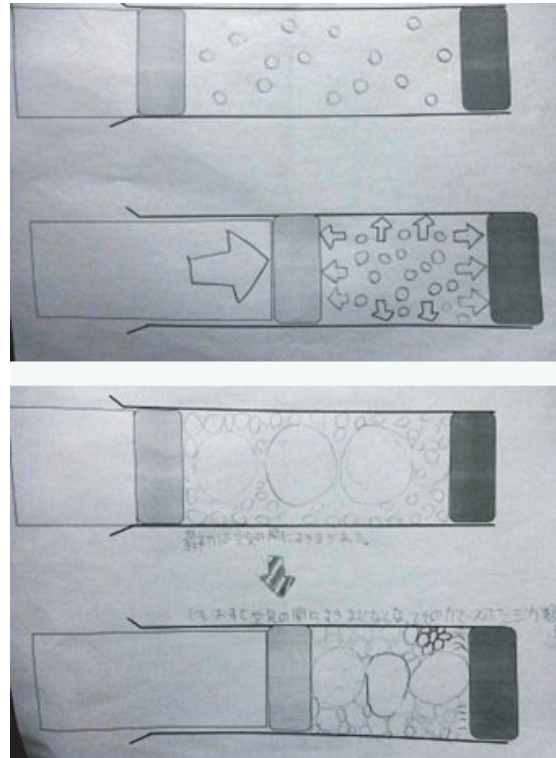


図3. 空気でっぼうの実験における児童が描いたイメージ図。

- S:「6班が違った!」  
 T:「どこが違うか発表できる人。」  
 A:「押す前と、押した後で○の数が違います。」  
 T:「本当やね。他の班は数が同じだけど、数にも意味があるの?違ってもいいんじゃないの?」  
 S:「だめ!」  
 T:「なんでだめなの?理由が言える人。」  
 B:「数が増えると空気が増えたことになっちゃうから、空気は増えてないから数は変えちゃだめです。」  
 T:「なるほど、この粒は空気の量も表しているんだね。」  
 C:「丸の大きさが違うのもだめだと思います。」  
 T:「どうして?」  
 D:「だって、大きさが違うと違う丸だから同じ空気じゃないみたいだもん。」  
 T:「なるほど!確かに大きさが違うと別の物に見えますね。6班さんは何で大きさを変えたのかな?」  
 E:「途中まで描いたけど、描くのが大変だったから大きくしちゃいました。」  
 T:「そうか、描くのは大変やけど、同じ物を」

表したいときは大きさをそろえることが大切なんです。」

児童の中から、粒の大きさをそろえることや、数をそろえることに関して意見がでてきた。その後、児童は図で表現する時に、粒の大きさや数をそろえて描くようになった(図4)。

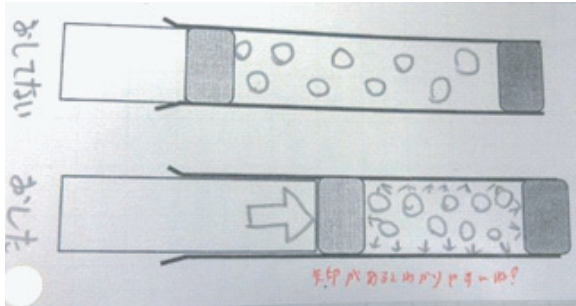


図4. 粒子の大きさや数をそろえて描いたイメージ図の例。

### (3) 水の場合について

水の体積の変化を予想する授業場面では、2種類の予想が出てきた。1つは「空気と同じように体積が小さくなる」で、2つ目は「水は空気と違って液体だからあまり変わらないと思う」というものであった。実際に実験をしてみると、児童たちは「めっちゃ硬い」、「これ以上押しと注射器の方がこわれてしまいそう」、「全然押せない」、「空気とは全然違う」と体積が変化しない事、また、その手ごたえに驚いていた。

水の体積は押しても変化しないことを全員で確認したあと、なぜ水は押せないと思うのか問いかけた。なかなか考えられない児童には空気はなぜ押すことができたのかを考えさせた。

児童からは「空気はすき間があったから押しと縮むことができたけど、水は空気と違ってすき間がないから押せないんだと思います」という意見がでた。

児童は、空気のとときに考えた「すき間」に着目し、水はすき間がないほど粒がびっしりならんでいるため体積が小さくならないと考えた。そのため、すき間がないことを表現するために粒ではなく、四角で表現した児童もいた(図5)。

また、「空気の場合は、空気が元に戻ろうとして押し返してくるが、水では、水の粒が圧されても縮まることのできないから無理に圧しようと

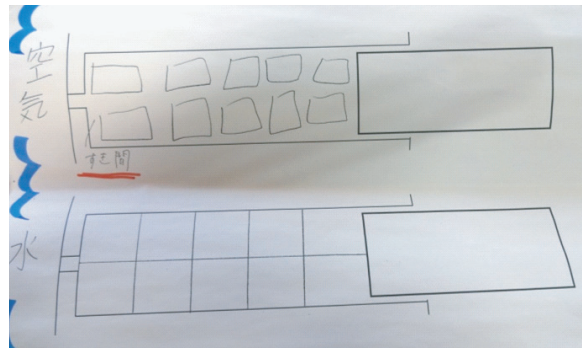


図5. 水を入れた注射器を押し実験における児童のイメージ図の例。

しても水の粒が嫌だといってその場から動こうとしないから、体積を小さくすることができない」という発言もでた。

児童は、水と空気では押しと体積が変化するかどうかは、すき間があるかないかの違いであると考え、押し返す手ごたえは、粒が圧されるのを嫌がりその場にしようとするために起こると考える児童が多かった。

### (4) 粒子概念に関する児童の変容

本単元終了後に、アンケート調査を行った。粒を使って表現できる児童が最初は12%しかいなかったが、学習後100%の児童が粒を使って考え、表現できるようになった。また、そのうちの93%が、大きさや数をそろえて表現することができるようになった。

約81%の児童が、図をもと自分の考察を文章で表現し発表することができた。単元のまとめとして100%の児童が自分で空気と水の性質についてまとめることができた。図6、図7に、単元の学習が終了した時点における二人の児童の振り返りの文章を示す。

なお、単元学習後のアンケートでは、理科が好きと答える児童が100%になった。また、次の単元の学習でも、図を描いて予想を立てる児童が40%いた。このように、「空気と水の性質」の学習で、児童は粒子概念を獲得すると同時に、モデル図を描いて考える態度の育成につながった。



空気は、おされていない時は、  
 すきまがあるから、おさる  
 てもおさばおすほど、にげだそ  
 うとする力が、強くなるから、  
 かたはら  
 空気も外に出たがるから、はめ  
 たスポンジがとぶ。  
 空気はちぢまる  
 水は、空気とちがって、さいし  
 ゃから、ばんばんに入、ている  
 から、どれだけおしてもちぢま  
 らない。  
 水はばんばんに入、ているから  
 少しおすだけでも、さき、ぼか  
 らでる  
 水はいくらおしてもちぢまら  
 ない

図6. Yさんの振り返り.

私は、この実験をして、  
 空気と水のせいしつがよく分か  
 りました。  
 空気では、空気をおすと、ち  
 ぢんで体積が小さくなることを  
 はじめて知りました。あと、お  
 魚の形のスポンジを注し器に  
 入れてやったら、空気がまわり  
 をおして、出ようとするのが  
 よく分かりました。  
 水では、水をおすと、ちぢま  
 らずに、体積が変わらなから、たの  
 で、びっくらしました。それに  
 水の上に空気を入れてやったら、  
 空気がちぢたので、すごいと  
 思いました。

図7. Mさんの振り返り.

#### 4. 議論

##### (1) 小学校段階での粒子概念の獲得について

現行の学習指導要領では、小学校から高等学  
 校まで、粒子概念による学習内容の系統性が図  
 られている。粒子概念は学習の進行とともに深  
 まっていくので、それぞれの学年において、ど  
 のような概念をもつべきか、議論となっている。  
 菊池(2013)は、(1)物質はすべて目に見えな  
 い小さな粒でできている、(2)粒と粒の間には  
 隙間がある、の2つを初歩的粒子概念と呼び、  
 粒子の基本的性質として、(3)粒は消滅しない、  
 (4)粒の質量は変わらない、(5)粒の大きさは

変わらない、(6)粒は熱運動している、(7)粒  
 子は互いに引き合う性質がある、という4つの  
 項目を挙げている。そして、粒子の性質の(6)  
 と(7)については、小学校段階で扱うかは重要  
 な論点であるとしている。一方、後藤(2013)  
 は、小学校段階では、粒子の存在と粒子の保存  
 性の2つの見方が重要であるとしている。

本実践では、モデル図を用いて現象を説明す  
 る活動を通じて、児童は、粒子で考えること、  
 粒子の数が変わらないこと、粒子の大きさが不  
 変であること、粒子と粒子の隙間が変化するこ  
 とをつかんでいった。このことは菊池(2013)  
 の初歩的粒子概念のうち(1)～(5)について  
 は、小学校第4学年の段階で理解が可能な事象  
 であることを示している。

粒子が熱運動していることに関しては、児童  
 はもとより中学校の生徒でもイメージさせるこ  
 とが困難である。山田ほか(2011)は、物質の  
 状態変化の授業の終末において、分子動力学シ  
 ミュレーションの結果を示し、水分子の熱運動  
 の様子を紹介している。このシミュレーション  
 は、水分子に働く力を計算し、運動方程式を解  
 いて求めた分子の運動を超スローモーションで  
 再生したものであり、物質の温度が高くなると  
 熱運動が激しくなり、ひいては分子の配列が壊  
 れて状態変化が起こることを読み取ることがで  
 きる。粒子の熱運動に関して、こうしたデジタル  
 コンテンツをどのように活用していくかは、  
 今後の研究課題である。

##### (2) 児童の素朴概念と粒子概念の導入

本研究においては、ビニール袋を押したとき  
 に、中の空気がどのようになるのか、図に描か  
 せたところ、(1)色で表す、(2)粒(塊)で表  
 す、(3)矢印で表すという3つのパターンがあった。  
 粒(塊)で表した児童の図を取り上げたところ、  
 粒で表現するとわかりやすいという意見がでて、  
 その後粒子で表現するという授業に向かっていっ  
 た。こうした授業の流れは、学習集団によっ  
 て左右されるので、必ずしもうまくいくとは限  
 らないことが想定される。加茂川ほか(2012)  
 は、粒のイメージで表現するように促しても、  
 描けないケースがあること、教師による粒子の

イメージの提示のあり方に関するいくつかのパターンを考察している。そして、児童の思考を制限しないようなワークシートを工夫する必要性を示唆している。岡崎ほか（2013）の使用した「つぶつぶシート」は粒子的思考を促すワークシートの一例である。

一方、粒子的な思考を促す第一歩として、第3学年「物の重さ」で、粒子の集合である砂糖や塩を使った授業実践があるが、「物の重さ」の学習では形を変えられる粘土を使った授業が一般的であり、あえて粒子の集合体を教材として用いることには異論もある。清水（2011）は、「物の重さ」の授業の導入において、粒子でできた塩を使った事象提示を行ったあと、粘土を用いて形を変えても質量が変わらないことを調べる授業を行って、実験結果を粒子概念で考察する授業を行っている。

本研究の対象となった児童の実態調査では、単元導入の授業において、粒子で現象を説明する割合は13%であり、第3学年において粒子概念を意識した授業が行われていない可能性があった。授業を進めるなかで、児童の中から「粒で考えると、わかりやすい」という発言を受けて、粒で表現する児童が増えていった。澤（2010）でも、教師が粒子のイメージを提示しなくても、児童のなかにはたくさんの粒で表したモデル図を描くものがあることを述べている。

### (3) 空気と水の圧しかえす力について

「空気と水の性質」の学習では、閉じ込めた空気と水を圧すと、体積の変化に違いがあることを学習する。空気の場合は、圧す力が強いほど、空気の体積は小さくなり、押し返す力も大きくなる。押し返す力は、空気を圧しているピストンを離すとピストンが押す前の場所にもどろうとする動きで可視化される。

これに対し、水の場合は手で圧した程度の力では、体積変化は認識できないほどわずかであり、児童には体積は変化しないと認識する。この場合は、ピストンを押ししても変化しないため、押すのをやめてもピストンは変化せず、このことから押しかえす力が存在しないという考えをもつことがある。

実際には作用反作用のため、ピストンを押す力と等しい押しかえす力が働いているが、こうした概念は中学校第一学年で学習する内容である。そのため、学習指導要領や教科書では、水については押しかえす力については記述がない。水の押しかえす力については、粒子を用いたモデル図を描き、粒子が密に詰まっていて、圧しても体積が小さくならないことで、実験結果が納得できる。

水には押しかえす力がないという誤った考えにいたる児童を出さないためには、空気の学習において、粒子で考える思考法をきちんと定着させることが重要であると考えられる。本研究では、空気と水の違いを意識させて実験を行ったため、空気との違いで結果を考察させたため、水の押しかえす力については、大きく取り上げることはなかった。

## 5. おわりに

本研究では、小学校から中学校までの理科教育において、粒子概念を柱にした系統的な学習を意識して、小学校第4学年「空気と水の性質」の授業実践を行った。現象を粒子を用いたイメージ図を描いて考察させる活動を通じて、図や文章を用いて表現できる児童が増えていった。しかし、児童の中には、図を描いて満足しているケースもあったため、図を用いて説明ができるような言語活動を位置づけるような指導の工夫が必要である。

**謝辞.** 本研究は、岐阜大学・岐阜県教育委員会の実施するコアサイエンスティーチャー養成プログラム、中級コースの理科教育講座において実施した。岐阜県教育委員会教育研修課課長補佐・山田茂樹先生には貴重な助言をいただいた。ここに記して深謝します。

## 文 献

後藤健（2013）小学校で子どもが獲得する粒子概念とは。日本理科教育学会全国大会要項，63，77-78。  
板木孝悦（2012）小学校理科「A.物質・エネルギー」区分における「粒子」の指導の実際：4年「空気と水の性質」の学習を通して。化学と教育，60，

- 296-297.
- 加茂川恵司・武井隆明・村上祐（2012）粒子イメージの学習における“段差”について，日本理科教育学会全国大会要項，**62**，246.
- 菊池洋一（2013）粒子概念を柱とした小学校の物質学習，日本理科教育学会全国大会要項，**63**，71-72.
- 文部科学省（2008）小学校学習指導要領-理科編，大日本図書.
- 守田裕一・星野由雅・森下浩史・古賀雅夫（2013）粒子概念形成の授業実践課題，長崎大学教育実践総合センター紀要，**12**，261-265.
- 村上祐・高橋治・菊池洋一・武井隆明（2008）児童・生徒の粒子概念の認識に関する調査研究-液体と気体における粒子の「すきま」と「運動」はどのように認識されているか-. 日本科学教育学会年会論文集，**32**，453-454.
- 尾崎尚子・本宮勇希・菊池洋一・村上祐（2013）空気と水の加圧による体積の変化（小学校4年）を「つぶつぶシート」を活用して考える授業実践，日本理科教育学会全国大会要項，**63**，323.
- 澤 勉（2010）子どもが意欲的に取り組む「空気と水の性質」の手立て，理科の教育，**59**，560-563.
- 清水哲弘（2011）粒子概念の基本的な見方を育成する理科授業：小学校第3学年「物の重さ」の学習を通して，日本理科教育学会東海支部大会研究発表要旨集，**57**，B07.
- 山田貴之・川上紳一・赤松直（2012）物質の状態変化を「粒子」のモデルと関連付けて学ぶ理科学習：中学校理科における水の状態変化の分子動力学シミュレーション教材の効果的な活用法，岐阜大学教育学部研究報告（自然科学），**36**，61-66.