

# 「温度による空気の体積変化」の理解に関する一考察

## －粒子概念を用いた授業実践を通して－

源田智子・西村侑子\*

A survey on understanding of ‘the change of the volume of air according to different degrees of temperature’  
－ A case of study on utilizing the particulate concept of matter －

Tomoko GENDA・Yuko NISHIMURA \*

(Received September 26, 2008)

### I はじめに

粒子概念や分子・原子の考え方はすべての物質概念の基礎である。しかし小学校の段階ではあまり積極的に指導に取り入れられていない。大野栄三氏は「‘粒の概念を早い段階で導入し、本質的事実の認識にせまることが大切である’ という意見と ‘授業の到達目標としてではなく、粒子による考え方や説明を何らかの方法で提示するにとどめるべき’ という2つの意見が以前より存在する」また、「ピアジェの認識発達の研究において、物質・重さ・体積の保存の認識が、学校教育の影響がないとしたら、発達段階の第4段階（11、12歳）で、水に溶けた砂糖が目に見えない粒子となるという考えが登場する」と述べている。<sup>1)</sup> この考えからすると本質的な概念を教えるのではなく動機付けとして小学校4年の単元「もののかさと温度」の中に粒子概念を取り入れるのは無理なことだとも思えない。実際江川多喜雄氏は1972年に小学校4年生に授業実践を行っている。<sup>2)</sup> また玉井裕和氏は「重さや体積もとらえどころのない気体の学習でこそ粒子的概念を導入する有効性がある。すなわち粒子間のすきまが大きいゆえに分子間力は無視でき、分子運動だけを問題にして考えていける気体での物質学習のほうがマイクロな世界のイメージと、マクロな世界の現象をつないで学習できる粒子的（分子）概念の導入の授業として可能性があるのではないか」と述べている。<sup>3)</sup> 我々も小学校の授業に粒子概念そのものを取り入れるのは早すぎると考えるが、物質への理解を発展させる手がかりとして、早い段階で授業に取り入れることは可能ではないかと考えた。また、西村は教育実習時に「もののかさと温度」の授業において図1のようなまとめを行なったが、この図が子どもたちに空気の粒あるいはかたまりが膨らむというイメージを与えるのではないかと懸念とともに、子どもたちの持つイメージを知りたいと考えた。そこで本研

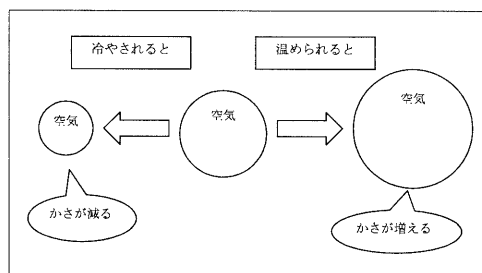


図1 教育実習における板書  
～小学校4年生の授業「もののかさと温度」のまとめ～

\* 大阪府柏原市立玉手小学校

究では子どもたちの本来もつ素朴な概念を知り、同時に「空気の温度による体積変化」の授業に粒子概念を導入することによって、見えない空気を粒子として捉えることができるのか確認するために実態調査および授業実践を行なうことにした。

## II 中学生、大学生に対するアンケート調査

小学校での授業実践を行なう前に、まず、中学生、大学生を対象に、「空気の温度による体積変化」についてどのように理解しているのか、あるいはどの程度粒子概念を用いて捉えられているのかを調べるため、実態調査を行った。

### 1. 調査方法

本調査は文献4)のアンケート調査を引用し、質問紙法により調査を行った。文献では自由記述法と、多肢選択法(予め子どもたちに面接をして、その考えを類型化し、選択肢を作成したもの)を併用した回答方法を使い、同時にその選択肢を選んだ理由について自由に記述させている。<sup>4)</sup> 本研究では、まず中学生の対象者を二分した。そして大学生と中学生の一方に対しては図2そのものを使用した多肢選択法で、もう一方には図2の問題2、5について選択肢を使わず容器のみを示し、自由記述法で回答を求めた。また、引用文献同様に選択理由も自由に記述させた。

### 2. 調査対象

アンケート対象者は附属山口中学校2年生151名、平成19年度教育学部教科教育法理科受講者92名である。

### 3. 調査問題

本調査で質問した内容を図2に示した。ここで、問題1～3は「空気の膨張」、問題4～6は「空気の収縮」について、アンケート対象者がどのように認識しているのかを調べる質問である。また、調査項目を「膨張」と「収縮」に分けてあるので、可逆的な思考がどの程度可能なのか調べることができる。<sup>4)</sup>

### 4. 調査結果

#### (1) 問題1の結果

問題1は対象者が容器内の空気の膨張についてどのように説明するのかを調べる質問で、引用文献ではその説明方法を特徴付け、表1のように分類している。本研究でもこのカテゴリーに基づき分類し、結果を表

表1 問題1における回答者の説明方法による分類

	特	徴
I 群	ビンの内部の空気に着目でき、かつ、その説明が科学的である。 ・空気の粒子の運動性、粒子間力、粒子間距離をその要因として説明する。 ・空気の圧力の増加によって説明。 ・空気の体積の増加(膨張)によって説明。 ・空気の密度の減少によって説明。	
II 群	ビンの内部の空気に着目できるか、空気の「体積」の増加によって説明せず、単に「空気が増える」という言葉で説明する。つまり、量が保存されていないと考える。 ・ビンの中の空気が(温められて)増えたから。 ・温められると空気が増える。	
III 群	ビンの内部の空気に着目できるが、空気の移動(上昇)によって説明する。 ・空気は温められると軽くなり、上昇するから。 ・空気は温められると上昇する性質があるから。 ・空気は上昇するから。	
IV 群	ビンの内部の空気に着目できなかったり、例え着目できたとしても、その説明がきわめて非科学的である。	
V 群	わからない・無答	

【問題1】  
下の図のように、からのピンの口にセッケン水のまくをはり、あつにお湯の中に入れてみました。すると、シャボン玉ができました。なぜ、シャボン玉ができたのでしょうか？ そのわけを、せつめいしてください。

セッケン水のまく  
お湯に入れる前  
お湯に入れた後

シャボン玉ができたわけ

【問題2】  
問題1で、お湯の中に入れる前のピンの中には、右の図のように、小さな空気つぶが入っていることにします。では、問題1で、シャボン玉がふくらんだとき、ピンの中の空気つぶは、どんなふうになっているか？ つぎの①～⑥の中から、えらんでください。また、それをえらんだわけも答えてください。

① 空気つぶとつぶの間のすきまが広がっている  
② 空気つぶがふえている  
③ 空気つぶが外から入ってきてふえている

④ 空気つぶがあたためられて上にあがっている  
⑤ 空気つぶが大きくなっている  
⑥ わからない

答え わけ

【問題3】  
問題1の図を、もう一度見てください。空気にも重さがあるのですが、ピンの中の空気は、お湯に入れる前と、入れた後では、どちらの方が重いでしょうか？ つぎの①～④の中から、えらんでください。また、それをえらんだわけも答えてください。

① お湯に入れる前の方が重  
② お湯に入れた後の方が重  
③ どちらも同じ重さ  
④ わからない

答え わけ

【問題4】  
下の図のように、空気の入った注射器の先をゴムでふさいで、つめたい水の中へ入れました。すると、注射器のピストンが、下にさがりました。なぜ、ピストンが下にさがったのでしょうか？ そのわけをせつめいしてください。

ピストン  
入れる前  
入れた後  
つめたい水

ピストンがさがったわけ

【問題5】  
問題4で、つめたい水の中に入れる前の注射器の中には、右の図のように、小さな空気つぶが入っていることにします。では、問題4で、注射器のピストンが下にさがった時、注射器の中の空気つぶは、どんなふうになっているか？ つぎの①～⑥の中から、えらんでください。また、それをえらんだわけも答えてください。

① 空気つぶとつぶの間のすきまがせまくなっている  
② 空気つぶがへっている  
③ 空気つぶが外に逃げてへっている

④ 空気つぶが冷やされて下にさがっている  
⑤ 空気つぶが小さくなっている  
⑥ わからない

答え わけ

【問題6】  
問題4の図をもう一度見てください。問題4で、注射器の中の空気は、つめたい水の中に入れる前と、入れた後では、どちらの方が重いでしょうか？ つぎの①～④の中からえらんでください。また、それをえらんだわけも答えてください。

① つめたい水に入れる前の方が重  
② つめたい水に入れた後の方が重  
③ どちらも同じ重さ  
④ わからない

答え わけ

・上記の問題を解答するのにどのようなことを参考にしましたか。

1. 小学校のときに習った 2. テレビ番組 3. 本・雑誌 4. その他( )

図2 中学生、大学生に対するアンケート用紙

2および図3に示した。I群に分類される回答が大学生で76名(83%)、中学生で111名(72%)存在し、そのほとんどが「空気が膨張したから」と説明している。

表2 問題1の群別回答数 人数(%)

	中学生	大学生
I群	111 (72)	76 (83)
II群	2 (1)	1 (1)
III群	22 (14)	9 (10)
IV群	16 (13)	5 (5)
V群	0 (0)	1 (1)

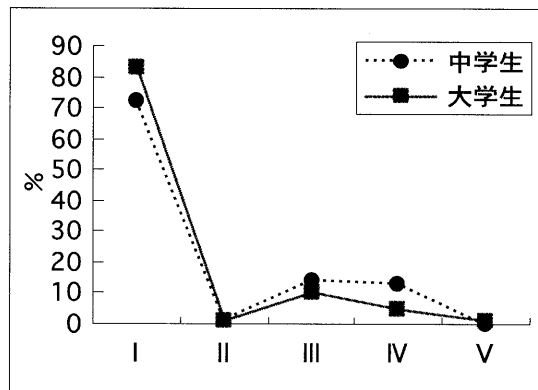


図3 問題1の群別回答割合

(2) 問題2の結果

問題2は問題1の現象の捉え方を調べたもので、具体的に容器内に粒子を記したものを用い、多肢選択法と選択理由を自由に記述する方法を併用した。結果は表3および図4に示した。また、中学生の半数に行った、容器のみを示し、空気の様子を自由に描かせた回答については、その分類と回答数を表4に示し、結果を表3、図4の中に反映させた。

表3 問題2の選択肢別回答数 人数(%)

	中学生	大学生
①空気の粒と粒の間のすき間が広がっている	12 (8)	37 (40)
②空気の粒が増えている	6 (4)	6 (7)
③空気の粒が外から入ってきてふえている	0 (0)	0 (0)
④空気の粒があたためられて上にあがっている	49 (32)	18 (20)
⑤空気の粒が大きくなっている	80 (53)	31 (33)
⑥わからない	4 (3)	0 (0)

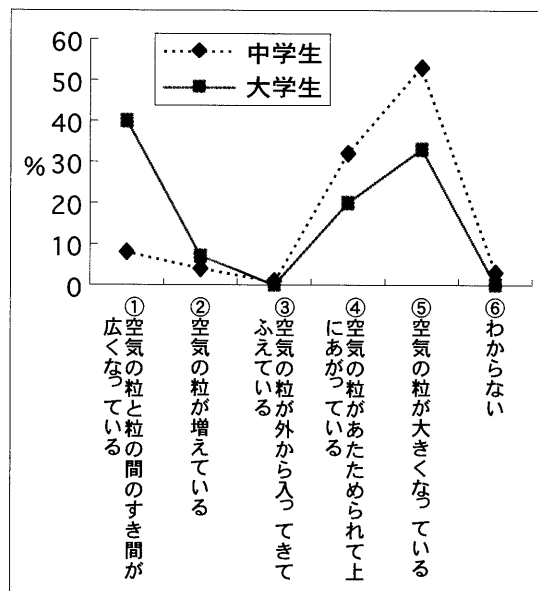


図4 問題2の選択肢別回答割合

①「空気の粒と粒の間のすき間が広がっている(選択肢の中で一番科学的と思われる)」を選択した者は大学生で37名(40%)、中学生で12名(8%)と、対象間で総数に対する割合(%)に差がみられた。また①と回答した大学生のうち選択理由を消去法(他の選択肢の可能性を排

表4 問題2自由記述による回答数

	人数(名)
空気の粒の運動が活発になる	6
粒が増える	1
温められた空気が上へ行く	26
空気の粒が膨張する	40
わからない	2
《その他》	
空気の粒がまん中に集まる	1

※上記の内容をそれぞれ、問題2の①～⑥の選択肢に対応させ、結果(表3、図4)に反映している。

- 「空気の粒の運動が活発になる」 →①  
「粒が増える」 →②  
「温められた空気が上へ行く」 →④  
「空気の粒が膨張する」 →⑤  
「空気の粒がまん中に集まる」「わからない」 →⑥  
その他にあてはまるものは⑥に入れた。

除した結果)と答えた者は15名(41%)おり、必ずしも科学的な思考のもと①を選択しているとは限らない。②「空気の粒がふえている」を選択した理由は「大きさは変わらないので粒が増える」「分裂した」「自由運動的なものが活発になって粒が増えた」など様々であるが、回答数は大学生7%、中学生4%とどちらも低い。④「空気の粒が温められて上にあがっている」を選択した者は各々20%、32%で、中学生については二番目に多い回答である。またその選択理由で多く見られたのが、「温められた空気は軽くなって上に行く」「空気が押し上げられたから」であり、中学生の中には「上昇気流」と回答している者もいた。⑤「空気の粒が大きくなっている」を選択した者は大学生で31名(33%)、中学生で80名(53%)であった。その理由として「空気の粒は温められると大きくなる」「粒は増えることはないから」「体積が増えたのだから粒が大きくなった」など、かさが増えたのは空気の粒子自体が膨らんだからだと考えている者がいるようである。

### (3) 問題3の結果

問題3は空気の膨張に伴う質量保存に関する質問で、結果を表5および図5に示した。①「お湯に入れる前の方が重い」を選択した者は大学生で11名(12%)、中学生で40名(26%)。その選択理由は「空気は軽くなって上にいったから」が多かった。中には「シャボン玉になった時、空気がいくら外に出ていってしまったから」と、閉鎖系で考えていない者もいた。②「お湯に入れた後の方が重い」の選択理由は「膨らんだから」が最も多く、「大きくなった＝重くなった」と結び付けていると考えられる。他に「シャボン玉ができた分重くなった」という回答もあった。③「どちらも同じ」を選択した者は大学生で71名(77%)、中学生で76名(50%)とどちらも回答者は最も多かった。

表5 問題3の選択肢別回答数 人数 (%)

	中学生	大学生
①お湯に入れる前の方が重い	40 (26)	11 (12)
②お湯に入れた後の方が重い	27 (18)	6 (7)
③どちらも同じ重さ	76 (50)	71 (77)
④わからない	8 (5)	4 (4)

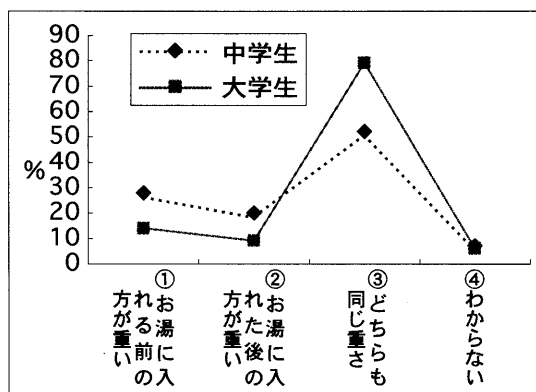


図5 問題3の選択肢別回答割合

表6 問題4の群別回答数 人数 (%)

	中学生	大学生
I 群	122 (80)	72 (78)
II 群	4 (3)	0 (0)
III 群	9 (6)	4 (4)
IV 群	15 (10)	11 (12)
V 群	1 (1)	5 (6)

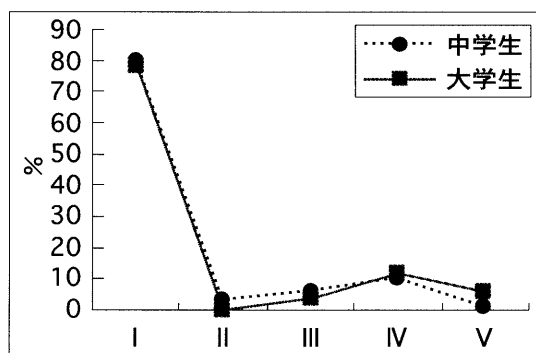


図6 問題4の群別回答割合

#### (4) 問題4～6の結果

問題4～6は「空気の収縮」について、問題1～3と同様に回答を求めたもので、膨張の場合とほぼ同じような傾向が見られた。回答の分類カテゴリーは表1の「増加、上昇、膨張」などの表現を「減少、下降、収縮」などに変えただけで同じものである。問題4の結果を表6および図6に示した。I群（最も科学的と思われる回答）に含まれる回答の中には「空気は収縮する」「体積が減った」などが多かったが、「空気の粒と粒の間が狭くなった」「空気の運動が弱くなった」など粒子に着目して回答している者は大学生、中学生ともに1%に満たなかった。

問題5の多肢選択法の結果（図7）では、①「空気の粒と粒のすき間がせまくなっている」と回答した大学生が46名（50%）と多いのに対し、中学生は19名（11%）で、膨張の時に比べ、

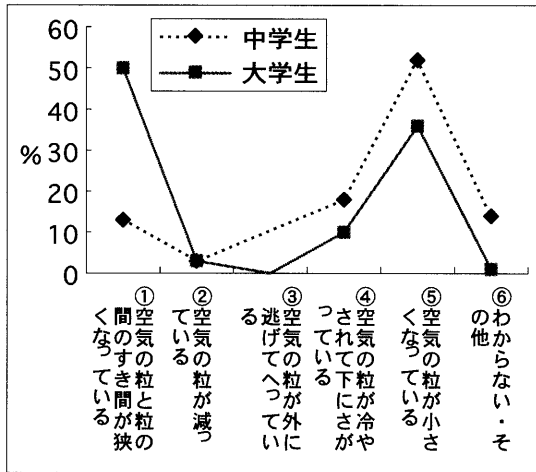


図7 問題5の選択肢別回答割合

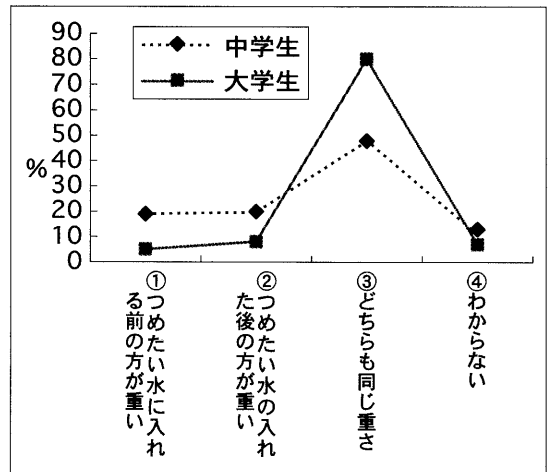


図8 問題6の結果

対象間の回答割合の差が大きくなっている。選択理由としては「粒の運動が低下した」「縮こまったイメージ」などがあつた。問題2でもみられた「消去法」や「なんとなく」と回答した者は回答した中の37%を示した。⑤「空気の粒が小さくなっている」と回答した大学生は33名(36%)なのに対し、中学生では78名(52%)と半数以上の者は粒自体が小さくなったと考えている。回答理由としては「冷えると粒は小さくなる」「温められたときと逆になる」などがあり、中学生の中には「空気同士の間にはすき間はない」という回答も見られた。

問題6の収縮による質量保存に対する調査結果を図8に示した。中学生で①と回答した者は28名(19%)で回答理由には「体積が減るから」「粒が小さくなったから」などがあり、「減る、小さくなる」＝「重さが軽くなる」と結び付けて考えていると思われる。③と回答した大学生は73名(80%)で、そのほとんどが選択理由を「質量保存」としている。中学生は74名(48%)が③を選択し、その理由として「体積が変わっただけで重さは変わらない」と記述している者が多かった。

#### (5) 調査結果の考察

アンケート調査結果から、「空気は温められると膨張する」「冷やされると収縮する」と一見理論的に回答しているようにみえるが、その選択理由には「消去法」や「なんとなく」といった回答が目立った。また中学生については、空気の膨張や収縮を粒の大きさの変化すなわち「粒子自体の膨張、収縮」として考えている者が多いことがわかった。このことは対象の中学生半数に問題2、5の回答を自由記述法で求めた結果と、多肢選択法から得られた残り半数の回答結果および総数に対する回答割合が同様な傾向を示したことから考えられる。また、大学生の中にも粒自体の膨張・収縮と捉えている者が3割程度見られる。これは引用文献の結果とは異なり今回の調査の特徴である。さらに大学生、中学生双方に「空気は温められると上に行く(冷やされると下に行く)」といった概念を持っている者が10~30%存在する。特に空気の膨張に関してはその割合が高くなっている。これは、小学校の単元「もののかさと温度」で温度による空気の膨張・収縮について、その現象を観察するが、その時の容器内の空気の様子については触れていない。この後に単元「もののかさと温度」で熱による空気の循環について学習し、この時「温められた空気は上に行く」ことを知る。また気象単位では上昇気流について

学び、これらの学習後にはその印象が強く残ることが考えられる。それ以外にも生活の中で気球の上昇などを見た経験から、「温められた空気は上に行く」という考えに結びつくものと思われる。収縮については温められる、冷やされるという対立する言葉のイメージから結果的に導きだしたとも考えられる。

問題2と5の回答において、それぞれ同じ番号を選択した者は大学生で78名(85%)、中学生で110名(73%)存在する。そのうち大学生で29名(38%)、中学生6名(6%)の者が、問2で「粒の間が広がった」、問5で「粒の間が狭まった」を選択しており、彼らは空気の膨張・収縮を可逆的に捉えていると考えられる。

温度変化による質量の保存については半数以上が「変わらない」と答えているが、中学生で「空気は温められると軽くなる」と回答した者や「空気の粒が膨張して重くなった」など、質量が保存されていないと考えている者も多くいることがわかった。後者の回答は「かさ(体積)が増える＝空気の量が増える」→「質量が増える」という一連の流れによる独自の解釈により出てきたものと考えられる。すなわち、彼らは空気の膨張・収縮に関して自分にとって都合のよい解釈をし、その後もそのイメージが根強く残り、粒子概念を学習した後にもそのような考え方に引きずられることがアンケート調査の結果、特に粒子概念を既習している大学生の結果から推測することができる。

ただ、大学生に関しては多肢選択法のみで質問しており、それには粒子間のすき間の広さで空気の体積変化を表わしている。これを中学生のように自由記述法にすると粒子の熱運動を考えて回答した者がより多くなることも考えられる。

### Ⅲ 小学校における授業実践

アンケート調査結果を踏まえて、中学生・大学生に見られた自分たちに都合のよい解釈は小学生の段階で形成されるのか、またそれは新しい粒子概念を取り入れた授業によって変化するものかどうか検討することにした。そこで小学校4年の単元「もののかさと温度」の授業を対象に、子どもたちが空気の温度による体積変化をどのように捉えているのか、粒子を用いた授業が可能なのか、また子どもたちが本来持っている空気に対する考え方が授業によって変わるのかを確かめるために授業実践を行なった。

#### 1. 授業対象と対象時期

平成19年11月、附属山口小学校4年1組(39名、以後「4-1」とする)、4年2組(38名、以後「4-2」とする)に2時間ずつの授業を行った。なお、彼らは今回の授業で初めて「もののかさと温度」の関係を習うことになる。

#### 2. 授業の流れ

授業の流れを以下に示した。

〈1時分〉

- 1 授業前アンケート(空気の膨張に対するイメージ調査)
- 2 空気の膨張をみる演示実験(石けん水膜をはった試験管使用)
- 3 膨張現象に対する児童の予想
- 4 確認実験(ゼリーおよびへこんだボールを使った実験)
- 5 まとめ



6 中間アンケート（授業によるイメージ変化の調査）

〈2時分〉

7 前時の確認

8 空気の収縮をみる確認実験（石けん水膜をはった試験管使用）

9 空気の膨張実験（へこんだボールを

使用した演示実験）

10 話し合い（温められた空気の様子）、意見発表（板書）

11 アニメーション提示（温められた空気の様子）

12 まとめ

3. 授業実践の結果

(1) 授業前アンケート

図9のアンケート用紙のように、「石けん水膜をはった試験管をお湯につけると膜はどうなるのか」を選択肢から選ばせ、その時の試験管内の空気の様子を自由に絵で描かせた。選択肢による回答結果を表7に示した。（4-1）では全員「①膨らむ」と

表7 授業前アンケートの結果

人数（名）

	4-1	4-2
①を回答した者	39	30
a 空気は上に行く	31	26
b 空気がふくらむ	2	0
c 空気の量が増える	3	0
d 粒がふくらむ	1	1
e 空気が回っている	2	3
②を回答した者	0	4
f ぬりつぶし	0	1
g その他	0	3
③を回答した者	0	4
e 空気が回転している	0	4

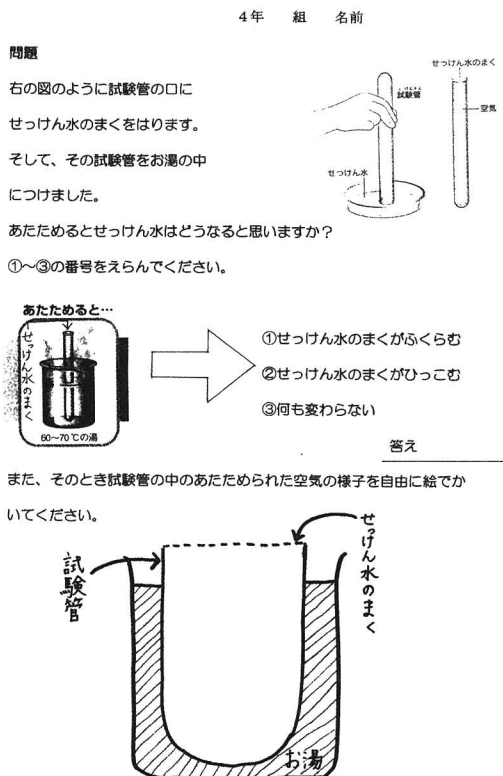


図9 授業前アンケート用紙

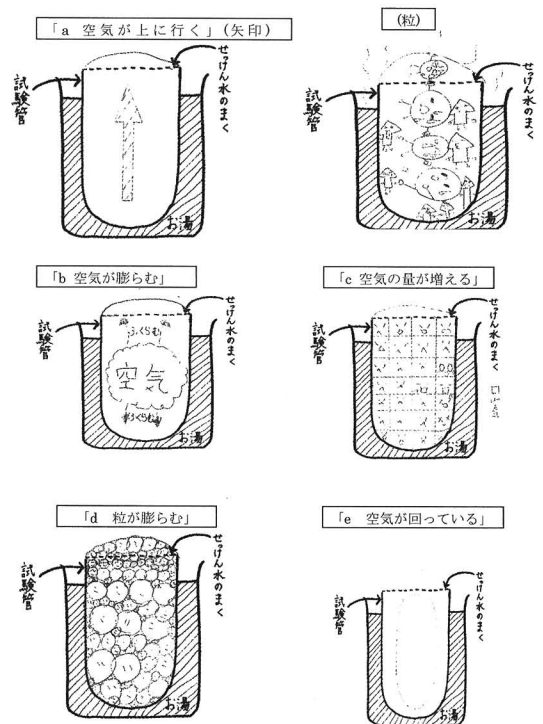


図10 授業前アンケートに対する子どもたちの回答

回答し、(4-2)では①と回答した者が30名、「②ひっこむ」、「③何もかわらない」を各4名が選択した。なお、子どもたちが描いた絵は表現がよく似ているものを集めてa～gに分類し、①～③の回答の内訳数として表中に示した。子どもたちが予想して描いた絵を図10に示した。「a上に行く」の絵では空気を矢印で表している者がほとんどであったが、その中に空気を粒で表し、粒が上がって行く絵を描いている者が(4-1)で7名、(4-2)で5名おり、その中には「熱気球と同じ」「火にかけた鍋のふたがポコポコ動く」などの生活体験から温められると空気が上に行くという回答を導き出している者もいた。また(4-2)では「水蒸気と一緒に上に行く」と回答した者が8名いた。外側の水蒸気が上に上がる様子から、容器の内外で同じ事が起こると捉えたものと思われる。「b空気が膨らむ」絵では容器内の空気を一つの固まりとして表わし、それが温められることで膨らむ様子を描いている。「c空気の量が増える」絵では空気が容器一杯に満たされすき間がなく、温められるとその空気の量が増えさらに詰まった状態になる様子を表わしている。中には容器内を線で区切り、その一つ一つに顔を書き、容器内の位置により泣いたり、怒ったりする表情で容器内の空気の様子を表しているものもある。「d粒がふくらむ」の絵では空気を粒で表し、温められると空気の粒がどんどん膨らんでいく様子を描いている。「e空気が回っている」絵は常温のときは回っていない空気が温められると回りだし、その勢いで石けん水膜が膨らむというものである。

これらの結果から熱せられた時の空気の動きは十分にイメージしているものと思われるが、その動きを直線的に捉える者、回転すると捉える者、空気を粒で捉える者、大きなかたまりと捉える者と捉え方自体は様々であることがわかる。また表情を加えている者も多く存在することからアニミズム的に空気を捉えている者もいるようである。

## (2) 授業の導入、展開、まとめ

アンケートをとった後、導入として実際に石けん水膜をはった試験管をお湯につけ、膜が膨らむ様子を演示して見せ、どうして石けん水膜が膨らんだのかを予想させた。子どもたちからは様々な予想が出てきたが、その中から比較的数の多い「温められた空気が上に行く」、「空気が増える」といった2つの回答を取り上げて、展開においてこの予想を確かめるため次のような実験を行った。

### 〈予想1〉 空気が上に行く……ゼリーを使った実験

各班に、ゼリーを入れたガラス管を差し入れたフラスコを渡し、その底をカイロで温め、ゼリーが上に行く様子、さらにガラス管を横や下に向けた場合のゼリーの動きを観察させ、温められた空気は上だけに行くのではないことを確認させる。

### 〈予想2〉 空気が増える……へこんだボールを使った実験

へこんだボールをお湯につけ元に戻る様子を観察し、温められた空気のかさが増えることを確認させる。

実験を行った後、温められた空気はかさが増えるというまとめを行った。なお、(4-1)では各班に2個ずつへこんだ小さいボールを渡し確かめさせたが、ボールが小さすぎて元にもどる現象が確認しづらかったため、(4-2)ではこの部分を大きなボールを使用した演示実験にした。

表8 中間アンケートの結果

人数 (名)

	4-1	4-2
a 空気は上に行く	20 (▼11)	23 (▼3)
b 空気がふくらむ	2	2 (△2)
c 空気の量が増える	6 (△3)	0
d 粒がふくらむ	4 (△3)	0 (▼1)
e 空気が回っている	0 (▼2)	10 (△7)
f 空気は四方八方へ行く	4 ★	0
g その他	3 (△3)	3 (▼5)

(授業前アンケートと比べて△増 ▼減 ★新規)

### (3) 中間アンケート

1時目の授業の最後に、再度石けん水膜をはった試験管が温められたときの様子を自由に絵で描かせた。似かよった表現の絵を分類した結果を表8に、また、実際に子どもたちが描いた絵を図11に示した。授業前アンケートに比べて「上に行く」という回答は減少したが、「量がふえる」「粒がふくらむ」「空気が回る」の回答が増えている。「a 空気は上に行く」の絵を描いた者の中に熱で温められた空気が真ん中に集まって上に行くという回答がでてきた。「c 空気の量が増える」の絵の中には、粒が増えて行き場がなくなり、石けん水膜が膨らんだという説明を加えている者もいた。「f 空気は四方八方に行く」絵は授業前アンケートの中にはなかったもので、ゼリーが横や下に行く実験やボールの実験を見て出てきた回答であると考えられる。

### 〈2時分〉

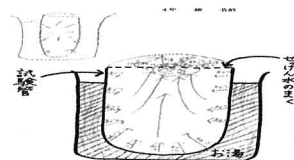
#### (4) 空気の収縮についての確認実験

前時のまとめ(温められた空気のかさが増える)を確認した後、今度は空気が冷やされるとどうなるのかを予想させ、各班で石けん水膜を張った試験管を冷やす実験を行った。実験後、自然に子どもたちから冷やされた空気のかさは減るとい回答がでてきた。

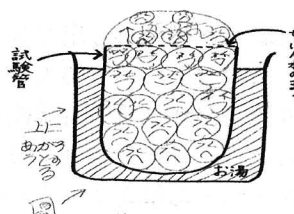
#### (5) 空気の膨張についての確認実験及び意見発表

授業前アンケートや中間アンケートでは温められた空気は上に行くという回答が多かった。

「a 空気は上に行く」



「c 空気の量が増える」



「f 空気は四方八方へ」

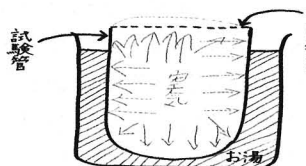


図11 中間アンケートに対する子どもたちの回答

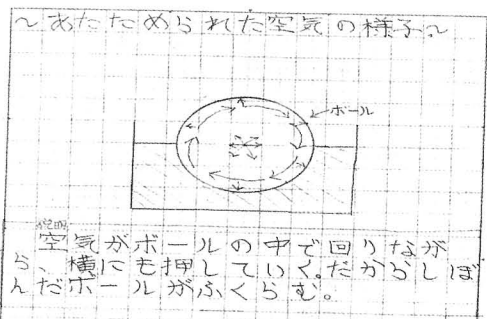
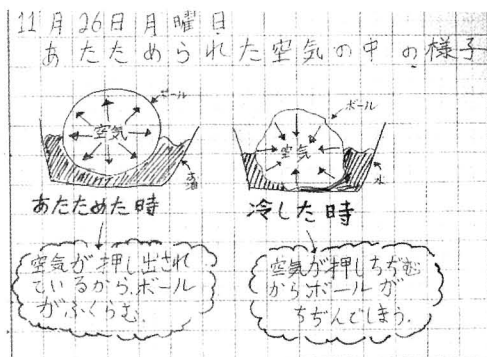


図12 ボールの中の空気の様子を示した子どもたちの絵

そこでへこませたボールを温め膨らむ様子を演示で見せ、ノートにボールの中の空気の様子を描かせた。試験管では口の部分にしか石けん水膜が張られていないため、空気の様子を一方向でしか捉えていない可能性があると考えたからである。結果を図12に示した。空気が上に行くという意見は減り、多くの者が四方八方に空気が広がっていくという意見になった。ボールが球状に膨らむ様子から出てきた意見だと思われるが、このことは空気の入っている容器の外観により思考が変化する可能性を示唆していると考えられる。また、空気を粒で描き温められると粒がどんどん増えていくという意見や、空気を一つのかたまりとして考え、そのかたまりが膨らむと言う意見もあった。中には空気は回転していて冷やされるとその動きが鈍くなるという冷やされた場合の意見も自発的に出てきたことから、膨張・収縮という可逆的な空気の捉え方ができる者もいることがわかる。

その後、各班で話し合い意見を発表させた。その際黒板に絵を描いて説明させた。図13に示しているように意見としては「四方八方説」「空気の粒が増える説」「空気のかたまりが大きくなる説」の大きく3つに分かれた。

#### (6) アニメーション提示

(5)でボールの中の空気の様子を発表させた後、予め power point で作成しておいた、温められた空気の様子のアニメーション（図14）を子どもたちに見せた。アニメーションは3次元ではなく立体的なイメージはつかみにくいが、粒子の動きが表現されているので、子どもたちは目には見えない現象である空気の粒の動きに非常に興味を持った様子で、中には空気の粒を数えてそれらが温められることによって増えないことを確認している者もいた。

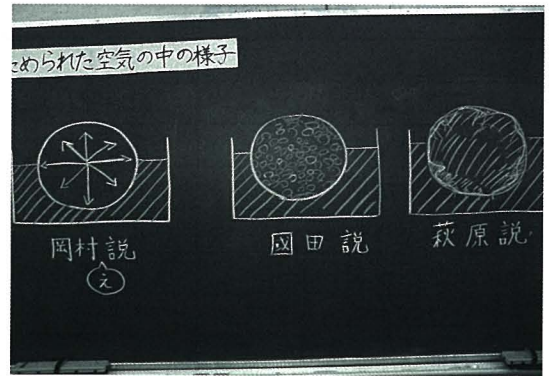


図13 子どもたちの意見

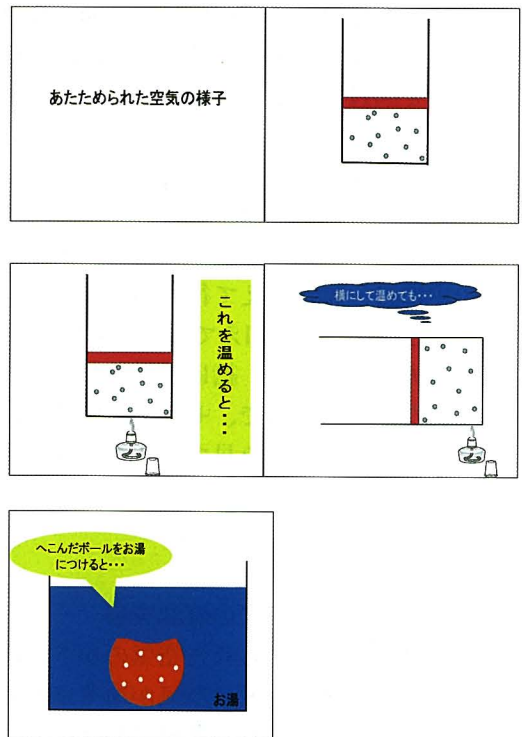


図14 温められた空気の様子のアニメーション

#### (7) 授業後アンケートおよび結果

授業実践を行った日から約2週間後に授業の内容をどれだけ理解しているのか、また提示したアニメーションを見たときにどのような疑問や感想をもったのかを確認するためアンケートを行った（授業後アンケート）。

内容としては授業前アンケートと同様、試験管内の空気の様子を絵で描くものである。質問①では前回同様石けん水膜をはった試験管内の空気の様子を、一方質問②では石けん水膜のよ

うに伸縮性のあるものが上にある場合には空気が上に行くと言答する可能性があると考え、試験管にゴム栓でふたをした容器内の空気の様子を描かせた。

結果は、授業前、中間アンケートと同様に、似かよった回答を合わせて分類し、回答数を示

表9 授業後アンケートの結果

人数(名)

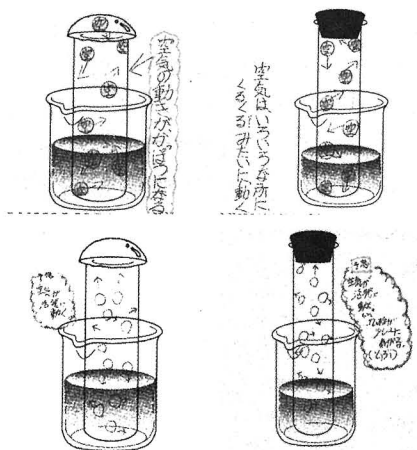
質問①の結果	4-1	4-2
空気を粒で表し、粒子運動を描いている。	25	20
空気を粒で表し、空気は上に行く絵を描いている。	1	7
空気を矢印で表し、上に行く絵を描いている。	5	4
空気をかたまりで表す。	1	0
その他・無回答	4	6
質問②の結果		
空気を粒で表し、粒子運動を描いている。	21	17
空気を粒で表し、空気は上に行く絵を描いている。	5	6
空気を矢印で表し、上に行く絵を描いている。	5	4
空気をかたまりで表す。	1	1
その他・無回答	4	10

表10 中間アンケートから授業後アンケートにかけての考え方の変遷 人数(名)

	4-1	4-2
a 空気は上に行く	6 (▼14)	11 (▼12)
b 空気がふくらむ	1 (▼1)	0 (▼2)
c 空気の量が増える	0 (▼6)	0
d 粒がふくらむ	0 (△4)	0
e 空気が回っている	0	0 (▼10)
f 空気は四方八方へ行く	0 (▼4)	0
g その他	4 (△1)	6 (▼3)
h 空気の粒が動いている	25 ★	20 ★

※なお、授業後アンケートについては質問①の回答を用いている。  
(中間アンケートに比べて△増、▼減、★新規)

「空気の粒が活発になる」



「空気の粒が上に行く」

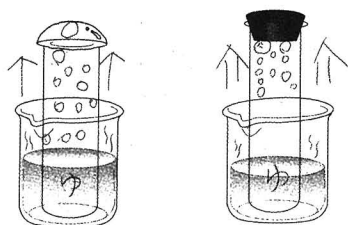
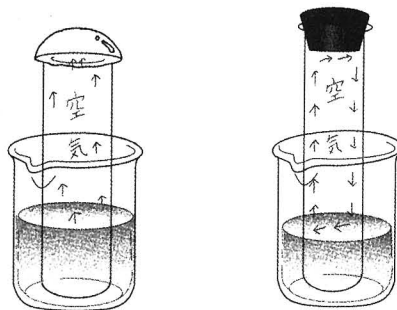


図15 授業後アンケートに対する子どもたちの回答(1)

「空気を矢印で表す」



「空気をかたまりで表す」

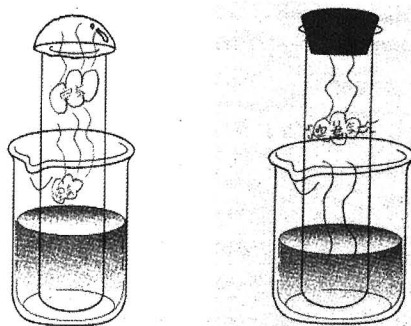


図16 授業後アンケートに対する子どもたちの回答(2)

した(表9)。また、表10には中間アンケートと授業後アンケートを比較して、空気の捉え方の変化を回答人数で示した。子どもたちは絵で表すだけでなく説明文も加えて回答している(図15、16)。一番多い回答は温められた空気は激しく動くというものであった。「空気があばれる」「空気が活発に動きだす」と答えた者が45名おり、アニメーションで見た粒の動きが印象に残っていたのか、同じような絵を描いていた。次に多いのは「空気は上に行く」の17名で、以前の調査と同様、空気を矢印で表したり、粒が上に行ったりする様子を描いていた。また質問②では空気の動きが活発になることでゴム栓が飛んでいくと回答している者もいた。多くの者が質問①と質問②で同じ回答をしているが、11名の者は①と②の回答が違い、また、この内6名の者は上に向かったものがゴム栓にぶつかり回転する絵を描いている。しかしながらその割合は10%程度で、多くのものにとっては密閉系かどうかということは考え方にあまり影響しないと思われる。

授業中での疑問や感想については、「なぜ温められた空気の動きが活発になるのか」「粒の大きさはどれくらいなのか」「空気にも形があるのか」「温度によって空気の動きが変わるのはなぜ」などの疑問や、感想として「冷やした場合のアニメーションもみてみたい」「空気も自分と同じで暖かいと活発になり、寒くなると動きがにぶくなることに驚いた」「本物が見たくなった」など目に見えない空気の様子に興味を持っている様子がうかがわれた。

#### (8) 授業実践のまとめ

本授業実践におけるアンケートを通して、子どもたちが見えない空気をどのように捉えているのか、その捉え方が授業でどのように変化するかを確認することができた。すなわち、1) 空気の様子を矢印で表わすことで空気の熱運動を彼らなりの捉え方で捉えているが、空気の体積変化を容器内の空気全体の動き(空気のかたまりとしての動き)で捉えている者が多い。2) 温められた空気は上に行くという回答した者が多かったのは、生活体験の中で火にかけた鍋のふたが動く様子や熱気球が空へ上がって行く様子を目にしており、子どもたちなりに普段の生活の中で起こっている事と目に見えない空気の動きを結び付けて考えようとしている。3) 授業前アンケートや試験管やフラスコを用いた実験では子どもたちは空気の動きを一方向のみで捉える者が多かったものの、ボールを用いた実験を行うと、ボールの中の空気の動きを四方八方で捉える者が増えた。実験や観察を通して子どもたちの考えに変化が生じたと言える。すなわち子どもたちの空気の捉え方は実験で使用する容器や器具によっても変わってくる。それは、4) 今回使用した粒子を用いたアニメーションのように動画を見せることで、さらに顕著に空気の動きに対して粒の四方八方への動きが加わる。以上のような事が今回の実践により考えられる。

授業前、中間、授業後の3回のアンケート全てに回答している者は64名存在するが、その内授業後に粒子が四方へ動く絵を描いている者は35名(55%)である。このことは、ボールの実験やアニメーションで空気の粒の動きを理解したと思われる者も存在することを示している。しかし、前述3)のように容器が変わることによって見方が変化しただけとも考えられる。また、授業後のアンケートの中に、依然として容器内の空気が上に行く、回転する、膨らむなどの考えを持っている者もいることから、授業に粒子概念を取り入れても時間が過ぎれば元の考えにもどる、すなわち早い段階で獲得した捉え方はなかなか変らないことが本研究では確認できた。さらに時間をかけて追跡していくとより明確な傾向が見られると考えられる。また、授業後の感想などから判断すると授業に粒子概念(粒子の熱運動)を取り入れた事により大きな混乱が生じた様子は見られなかった。多くの子どもたちは熱による空気の運動をイメージできていた



し、中にはすでに空気の様子を粒で表わしていた者、あるいは今回の授業で表わすようになった者もあり、空気を粒として捉えそれが温度により熱運動を起こすイメージを持たせた子どももいると考える。反面、「試験管の中に空気が入っているのにその中にまた空気の粒が入っているの？」や「空気は生きているの？」といった感想も見られたことから、空気を含めあらゆるものが粒子でできていることを受け入れられていない者や、空気を動いているものと捉えることができるためにかえって生物的に捉えてしまっている（アニミズム的な考えを持っている）者もまだ多くいることが推測される。これらのことから考えると小学校4年生で粒子概念そのものを扱うのは時期的に少し早いといえるかもしれない。特に今回のように気体の熱運動を用いることは混乱を招く可能性があることは考えられる。ただ、1単元のみで扱うのではなく、小学校の段階でも、少しずつ機会あるごとに粒子というイメージを持たせるような授業を構成していくことは重要であり、粒子の学習の導入として今回実践で用いた単元から始めるのもいいのではないかと考える。

#### IV まとめ

本研究において中学生、大学生の中に空気の温度による体積変化を「粒子の熱運動」による現象と認識している者が少ないことがわかった。前述したように小学校での「空気の膨張と収縮」、「空気の循環」についての現象の観察や、中学校の気象単元を通して、空気の熱による動きを学ぶ。また中学校では原子・分子について学習しており、教科書には状態変化を粒子で表わしているため、大学生にとっては、物質が粒子で表わされること、温度による状態変化は理解しているものと思われる。一方中学生は状態変化まではまだ未学習である。それ故中学生はともかくも大学生において、温度による体積変化を粒子の運動として捉えられない者もいるという今回のアンケート結果を見ると、子どもが持つ自分なりの理解の仕方での解釈し、それが粒子概念の学習後にも根強く残っていることが考えられる。今回、小学校4年「もののかきと温度」の単元で粒子を用いた授業実践を行い、子どもたちが興味をもって実験を行い、自由な発想で考えている姿を見ると、粒子概念を用いて授業を行うことはそれ程困難なことではないと感じた。しかし、授業後アンケートを見ると、空気の粒が活発に動くと答えている子どもがいる反面、空気を矢印で表したり、空気は温められると上へ行くと回答したり、授業前後で考えが変わらない者もいる。また、授業後の感想の中に「空気の中にある空気の粒」という空気のすき間概念への疑問や、空気は生きているというアニミズム的な思考が見られたことから、粒子概念そのものを小学校4年生に教えたり、小学校の段階で粒子概念を獲得目標として掲げたりすることは難しいと考える。ただ、授業の動機付けや観察、実験を行うときの説明をモデル化するとき用いたり、後々の学習に発展させたりすることはできるのではないだろうか。粒子概念が定着したかどうかは継続的な観察が必要であり、今回の実践だけでは結論は出せないが、子どもたちのもつ素朴概念に何らかの働きかけを与えるきっかけにはなるのではないかと考える。現時点でどの時期にどの単元で粒子概念を扱えばいいのかまでは言及できないが、今後の研究や実践を通して、どのような機会にどのような教材を用いることで授業に導入できるのかを考えていきたい。今回の授業実践では子どもたちに自由に考えさせ、それらを発表しあう活動を行ったが、その活動の中で自然に「粒が運動している」という結論にもっていくことはできなかつた。目に見えない空気の様子を教えるには実体験や本物を見せることが困難である。それ故にもう少し工夫し、よりわかりやすい授業を展開していく必要があると考える。

## V 謝 辞

本研究を行うにあたり、アンケート調査に御協力頂いた附属山口中学校2年生の皆さん、教科教育法理科受講の本学部学生の皆さん、ならびに授業実践に御協力頂いた附属山口小学校4年生の皆さんに感謝いたします。また、調査、実践においていつもご指導を頂いた附属山口中学校田中先生、附属山口小学校田中先生、ならびに教育学部理科教室の先生方や学生の皆さんに深く感謝いたします。

## VI 参考文献

- 1) 答えられない問いかけ—なぜ学習指導要領では軽視されてきたのか—  
大野栄三 (理科教室 50(6)、pp.6-11 (2007.6))
- 2) 物質の存在状態を粒子を使って考える (4年生)  
江川多喜雄 (理科教室 50(6)、pp.12-19 (2007))
- 3) 小学校理科教育 (4年生の物質学習) における粒子的 (分子) 概念形成の有効性について  
玉井裕和 (理科教室 50(6)、pp.20-25 (2007))
- 4) 粒子概念の理解に関する研究 —「空気の温度による体積変化」を事例にして—  
高野圭世 堀哲夫 平田邦夫  
(日本理科教育学会研究紀要 Vol.32 No 2 (1991) pp.91~99)
- 5) 実験活動における反証事例と「空気の膨張」に関する概念  
—小学校4年生「空気のかさと温度」の学習を事例として—  
加藤尚裕  
(理科教育学研究 Vol.47, No 2 (2006) pp.75~82)
- 6) 概念変換を促進するための教師の支援  
—小学校4年「空気の膨張」に関する実践を通して—  
加藤尚裕 本沢智巳 (理科の教育 2001.8 pp. 564-568)
- 7) 日常の中に科学を感じる理科学習—第4学年「ものの温度とかさ」の実践から—  
秋山 哲 (理科の教育 2002.9 pp.604-606)