

特集・教育実践論文

温度変化による空気の体積変化を捉えるイメージ図に関する考察

- 小学校第4学年「ものの温度と体積」の単元を通して -

峰 福太郎* ・ 岡島俊哉**

Consideration on the image diagram that captures the volume change of air due to temperature change:

Through the unit of "Temperature and Volume of Things" in the 4th grade of elementary school
Fukutaro MINE, Toshiya OKAJIMA

【要約】

小学校第4学年「ものの温度と体積」の単元で、温度変化による体積変化に関する学習支援として、イメージ図を取り入れた表現活動を行った。本実践の結論として次のことが明らかとなった。

- ・ 実験方法の意識が十分でないと、児童は身近な生活経験等をもとに上昇説を支持しやすい。
- ・ 膨張説や上昇説などの視点を明確にして問題解決を行うことで、科学的な粒子概念につながる上で有効に働く膨張説が生まれやすくなる。

【キーワード】 実体的な見方 粒子モデル イメージ図 膨張説 上昇説

1. 問題提起

平成29年告示の小学校学習指導要領では、資質・能力育成の鍵となる「見方・考え方」が各教科等を学ぶ本質的な意義や中核をなすものとして示されている¹⁾。「理科の見方・考え方」は、例えば「エネルギー」を柱とする領域では主として、量的・関係的な視点で捉えるなど、領域ごとの特徴的な視点が「見方」に該当し、「比較する」「関係付ける」など問題解決の過程で用いる考え方が「考え方」に該当する。粒子領域に関する「理科の見方」に着目すると、主として「質的・実体的」な見方を働かせる必要性が示されている。理科学習場面において実体的な見方を働かせる内容は、空気の圧縮、温度と体積の変化などがあり、目に見えない事物・現象を可視化して捉えることで、より科学的な理解につなげていくものである。

粒子領域の内容では、「粒子のもつエネルギー」の初発として、第4学年「(2)空気、水、金属」があり、「ここでの指導に当たっては、水の温度の変化を捉える際に、実験の結果をグラフで表現し読み取ったり、状態が変化すると体積も変化することを図や絵を用いて表現したりするなど、金属、水及び空気の性質について考えたり、説明したり

する活動の充実を図るようにする。」と示されている。このように、学習指導要領で図や絵を用いて表現することに言及されており、何らかの形で粒子に関するモデルやイメージ図を導入する必要があると考える。

小学校理科におけるモデルやイメージ図などの比喩的表現に関しては、以下のような研究がある。峰・岡島(2020)はホワイト(White,R.T)の記憶要素に関する所論を援用し、第3学年での電気概念形成を促す比喩的表現について分析を行った。概念形成の初期においては、児童の記憶に定着させる上では実験中に児童が感じる感情と結果を結びつけることに留意することを指摘している²⁾。

粒子モデル導入の効果について検証した石井・岡本・柿沼(2020)は、第4学年「ものの温度と体積」で検証を行い、発泡スチロール球と電子レンジを用いる指導によって、多くの児童に熱膨張を粒の熱運動で捉えさせることが有効であることを示している³⁾。また、同単元において、アナロジーによる物質概念の構成に着目した安藤・賀来・森藤(2013)は、空気の塊を人間で表し、「人は温かくなると手足を伸ばして活発に動き、寒くなると縮こまる」というようなアナロジーを活用させ

*佐賀大学教育学部附属小学校

**佐賀大学教育学部

ながら、温度変化に伴う空気の体積変化を表現していくことの必要性を指摘している⁴⁾。

以上を踏まえ、粒子領域においては実体的な見方を働かせた問題解決が肝要であり、モデルやイメージ図などの表現活動を学習に取り入れることは児童の科学的な資質・能力育成の一助となると考えた。

2. 実践目的

小学校第4学年「ものの温度と体積」の単元で、モデルやイメージ図を取り入れた学習活動を行うことで、粒子に対する科学的な考えを深めていく児童の姿を目指す。その中で、本実践の目的は、粒子概念の導入として、児童が比喩的表現（イメージ図等）をどの程度活用して問題解決を行うことができるのか知見を得ることとする。

3. 実践内容

小学校第4学年「ものの温度と体積」で、全7時間の単元計画で実践を行った。

(1) 対象

佐賀大学教育学部附属小学校第4学年
A学級、B学級（2学級 計69名）

(2) 期間

令和3（2021）年10月下旬～11月下旬

4. 実践結果

児童の学びの概要について

《1時目》

空のペットボトルを湯や氷水の中に入れる実験を行った。ペットボトルの様子について、気付いたことを話し合った。イメージ図の導入としては、「閉じ込めた空気や水」の学習（7月）で空気の圧縮をイメージ図で表現したことを想起しながら内部の空気の状態に着目できるようにした。

《2・3時目》

空気の温度の変化と体積の変化の関係を調べた。空気の体積変化を見やすくするために、試験管やペットボトルに石けん水の膜を張って調べるようにした。空気の体積が変わる様子について、

矢印などで可視化するイメージ図を活用して考えた。図1, 2は児童が表現したイメージ図の代表例である。温度変化に注目して、目に見えない空気がどのように大きくなるかを表現することができた。また、A学級とB学級での児童が表現したイメージ図について、特徴を示す内容の割合を比較したものを表1に示す。

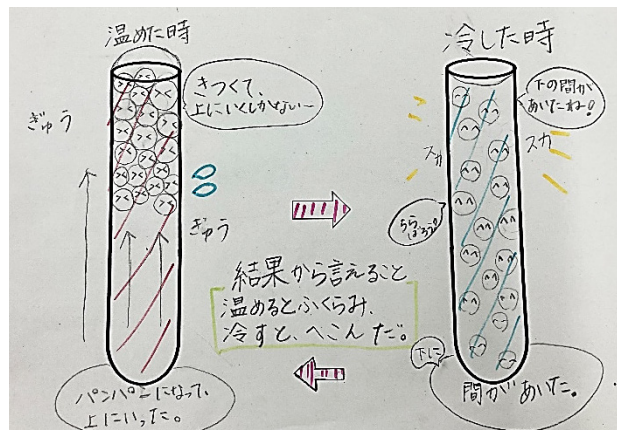


図1 児童のイメージ図（表1の①④に該当）

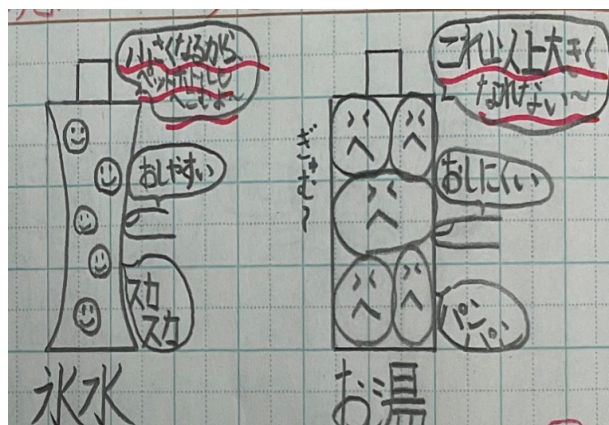


図2 児童のイメージ図（表1の①②③に該当）

表1 2・3時目におけるイメージ図の分類

特徴を示す内容	回答した割合	
	A学級	B学級
①粒子の存在 (粒などを用いて、目に見えない空気が実体としてある)	100%	100%
②粒子の保存性 (温度が変化しても粒の数は変わらない)	14%	2%
③膨張説 (粒と矢印を用いて、広がるように体積変化を表す)	11%	8%
④上昇説 (粒と矢印を用いて、上に向かうように体積変化を表す)	32%	54%

註) 上記の内容項目ごとに複数、該当する児童の回答も集計し、各学級における割合を示している。

《4時目》

4時目は、『令和3年度 佐賀大学教育学部附属小学校・附属中学校 教育研究発表会』において令和3年11月4日に授業公開を行った。授業の詳細について、巻末に資料1として学習指導案を示す。教師が事象提示を行い、児童の発言をもとにして、各学級で図3、4に示すような学習問題を見出した。実験結果をまとめる際に、児童はイメージ図を活用して温められた空気の体積変化の様子に注目して考えをまとめた。表2は、2・3時目と4時目におけるA・B学級での児童が表現したイメージ図の割合を示したものである。

A, B学級共に④上昇説の割合が減少し、③膨張説の割合が増加した。膨張説には、空気の粒自体が大きくなって広がるように表現した「拡大型」だけでなく、空気の粒に矢印を入れて広がっていくように表現した「運動型」も見られた。

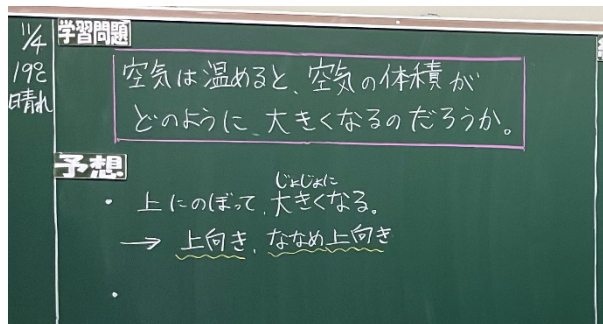


図3 A学級で見出した学習問題の板書

《5時目》

水の温度の変化と体積の変化の関係を調べた。空気のとおり同じ試験管を使うことで、空気の体積変化との差に注目できるようにし、比較する考えを意図的に引き出すようにした。

《6時目》

金属の温度の変化と体積の変化の関係を調べた。金属の体積変化は非常に小さいため、金属球膨張試験器を活用し、常温で輪を通る様子と加熱したら輪を通らなくなる様子を比較して、金属の膨張について考察できるようにした。

《7時目》

金属、水、空気の体積変化の違いを比べた。前時までの金属、水、空気のイメージ図を比較して、金属、水、空気は温度変化によって体積は変わることや、金属の体積変化はとても小さいことを説明できるようにした。

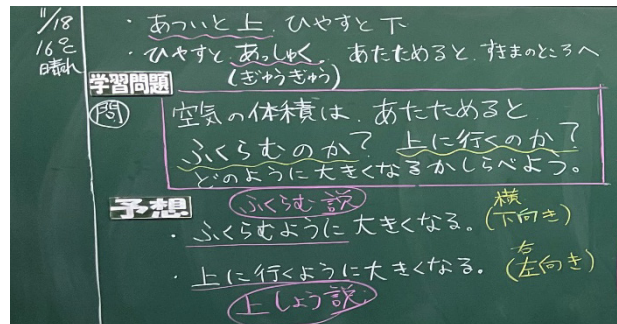


図4 B学級で見出した学習問題の板書

表2 2・3時目と4時目におけるイメージ図の変容

特徴を示す内容	回答した割合								
	A学級		B学級						
	2・3時目	4時目	2・3時目	4時目					
① 粒子の存在 (粒などを用いて、目に見えない空気が実体としてある)	100%	100%	100%	100%					
② 粒子の保存性 (温度が変化しても粒の数は変わらない)	14%	8%	2%	0%					
③ 膨張説	ア 粒子の運動型 (粒を矢印で広がるように表す)	11%	3%	55%	35%	8%	0%	74%	51%
	イ 粒子の拡大型 (粒が大きくなって、広がるように表す)		8%		20%		8%		22%
④ 上昇説 (粒と矢印を用いて、上に向かうように体積変化を表す)	32%	23%	54%	2%					

註) 上記の内容項目ごとに複数、該当する児童の回答も集計し、各学級における割合を示している。

5. 考察

表1より、空気を温めたり冷やしたりするときの体積変化について、A学級では32%、B学級では54%の児童が④上昇説に該当するイメージ図を表現した。一方、③膨張説に該当するイメージ図を表した児童の割合は、A学級では11%、B学級では8%であり、各学級共に上昇説の割合よりも下回った。このことは、実験で用いた試験管やペットボトルの向きへの意識が低いことや児童の生活経験等が要因であると考えられる。

表2では、4時目で比較するとA、B学級共に膨張説が上昇説を上回っているが、膨張説に該当するイメージ図を表した児童の割合はA学級が55%、B学級が74%であった。B学級の割合が高くなった要因としては、図3、4に示した各学級の学習問題の違いが影響していると考えられる。つまり、空気の体積変化について、児童が膨張説か上昇説か視点を明確にして問題解決を行う方が、より科学的な粒子概念につながる膨張説、更には「粒子の運動型」に該当するイメージ図（代表例を図5、6として示す）を表現しやすいことが表2の分析より明らかになった。

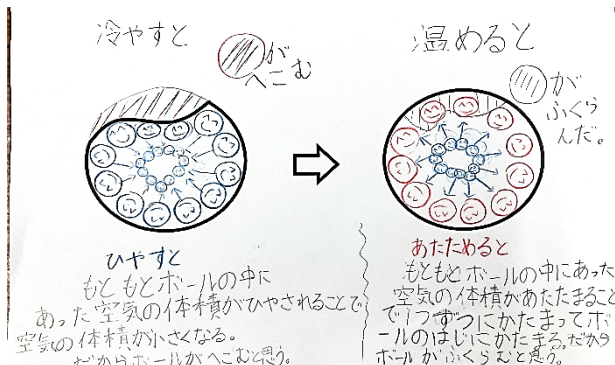


図5 児童のイメージ図（表2の③アに該当）

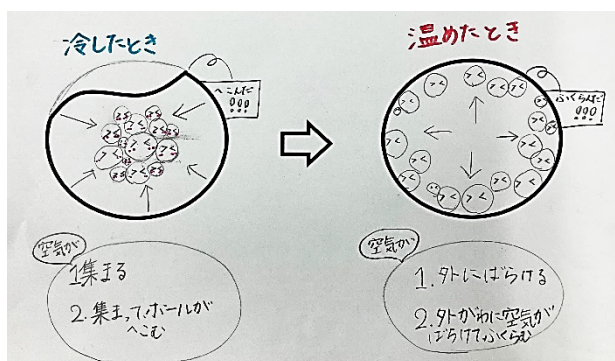


図6 児童のイメージ図（表2の③アに該当）

6. 結論

本実践の結論として次のことが明らかとなった。

- ・試験管やペットボトルの向きに対する意識が十分でないと、児童は膨張説よりも上昇説に該当するイメージ図を表出しやすい。
- ・空気の体積変化については、膨張説や上昇説などの視点を明確にして問題解決を行うことで、膨張説を支持する児童が増加し、「粒子の運動型」に該当するイメージ図を表現する児童もいる。

本実践の時期は、コロナ禍で2年ぶりの開催となった佐賀バルーンフェスタと重なり、多くの熱気球が佐賀の空を舞った。表1のように上昇説の割合が多かったことは、児童が身近な生活経験を予想の手掛かりとしていることが伺えた。

今後、児童は「ものの温まり方の違い」を学習する。その際に本実践で表出した「粒子の運動型」の膨張説が、より科学的な粒子概念を育む上で有効に働くと考える。児童が実体的な見方を働かせたイメージ図について教師が価値付けを行い、児童と共有していくことに留意していきたい。

【謝辞】

本研究を遂行するにあたり、授業実践に関わる助言者としてご指導頂いた唐津市立東唐津小学校の樋口俊久教頭先生に心より感謝申し上げます。

【文献】

- 1) 小学校学習指導要領解説 理科編
- 2) 峰福太朗, 岡島俊哉 (2020) 「児童の電気概念形成を促すイメージ図に関する考察 - 小学校第3学年「電気の通り道」の単元を通して -」 佐賀大学教育実践研究第39号 9-16
- 3) 石井俊行, 岡本智子, 柿沼宏充 (2020) 「小学4年「ものの温度と体積」に粒子モデルを導入することの効果～電子レンジで粒の動きと温度の関係に着目させて～」 科学教育研究 Vol.44No.3,168-179
- 4) 安藤竜也, 賀来弥月, 森藤義孝 (2013) 「アナロジーによる物質概念の構成に関する基礎的研究 - 小学校第4学年「空気の温度と体積の変化」を事例として -」 日本理科教育学会九州支部大会 発表論文集第40巻

資料1

小学校第4学年2組 理科学習指導案

【日時】令和3年11月4日(木) 9:00~9:45 【場所】理科室 【指導者】峰 福太郎

本授業の主張点

児童が目に見えない空気を実体的に捉えるために、イメージ図を活用します。実験結果とイメージ図が結びつくことで、児童が図を用いて自分の考えを説明する姿や、学びを振り返り、今後の粒子に関する学習に活用しようとする姿をめざします。

1 単元名 物の温度と体積

2 単元の構想

(1) 単元について

本単元は、小中理科7カ年の「粒子」に関わる単元である。「粒子」についての基本的な見方や概念を柱とした内容の中の「粒子のもつエネルギー」に関わるものであり、中学校第1分野「(2) ア(ウ) 状態変化」の学習につながっていく。体積や状態の変化、熱の伝わり方に着目して、それらと温度の変化とを関係付けて問題解決を行う。金属、水及び空気の性質を調べる活動を通して、金属、水及び空気は温めたり冷やしたりすると、それらの体積が変わるが、その程度には違いがあることについて理解を深めることをねらいとする単元である。空気は身の回りにありながら、においもなく目に見えず、重さや体積を感じることは少ない。また、身の回りにある金属や水は、温度変化によって冷たさや温かさを感じることはあるが、体積の変化を感じることは少ない。しかし、日常生活では金属、水及び空気の体積変化に関わる性質を利用し、橋にある金属の継ぎ目や鉄道のレール等のものづくり、包装の仕方など、様々な生活場面に役立っている。児童が物の温度と体積について探究する過程で、身近な金属、水及び空気の温まり方の性質を発見し、それらを生活の関わりの中で学んだことを生かそうとする態度が養われることから本単元は意義深いと考える。

(2) 児童について

児童は、学習場面において事象提示から学習問題や予想を立てることができ、これまでの学習や生活経験を理由として自分の考えを説明することができるようになってきている。「A(1) 空気と水の性質」で、児童は、体積や押し返す力の変化に着目して、それらを押し力と関係付けて調べ、性質の異なる空気と水を比較しながら問題解決を行った。目に見えない空気について考える際は、ほとんどの児童が空気の状態を矢印で書き記したり擬人化して表現したりするなど、イメージ図を用いて説明を行うことができた。児童は、実体的な見方を働かせる経験を通して、粒子への意識が向き始めている。結論を導出する過程では、ほとんどの児童が予想と結果を照らし合わせ、予想との相違点に注目することができている。しかし、学習問題に対する結論として、実験結果から自分の考えを創り出すことができる児童は半数程度であり、結論を導出するために手立てを講じる必要がある。

事前アンケートより、児童が何かを温めたり冷やしたりした経験としては、風呂の水や部屋、冷凍食品、フライパンなどが多かった。「空気を温めると体積はどう変わると思うか」尋ねたところ、「体積は大きくなる」と答えた児童は60%、「体積は小さくなる」と答えた児童は25%、「体積は変わらない」と答えた児童は15%であった。「体積は大きくなる」と答えた児童は学級の半数以上であったが、「ボールをお湯につけると大きくなったことがある」など、生活経験を基に理由を書くことができた児童は少なかった。また、空気を粒で表して、「空気が膨らむから体積が大きくなりそう」など空気の状態をイメージしながら理由を説明した児童はさらに少なかった。つまり、知識としては、「体積は大きくなる」と知っているが、空気の粒がどうなっているかを考えている児童は少ないと言える。

(3) 指導について

問題解決の過程で、主に児童が科学的な探究に納得を生む場面として、結論を導出する過程に着目する。「結論の導出」の段階では、観察・実験の結果を基に、予想していた自分の考えと照らし合わせながら考察し、学習問題に対する結論を導出する。

一つ目の手立てとして、目に見えない物を実体的に捉えるためにイメージ図を活用する。本単元での見方は、主に質的・実体的な見方である。イメージ図を活用することで、目に見えない空気や水及び金属について、粒子レベルで実体的に捉えることができる。単元全体を通して、体積変化について調べた実験結果と結びつけて結論にイメージ図を用いる。その際、温度差による体積変化の違いが大きい空気を単元の導入とし、体積変化の違いを観察しやすい水、金属の順番で、温度によって体積が変化することに注目できるように単元計画を行う。単なる知識として、空気、水、金属の体積変化の違いを理解するのではなく、質的・実体的な見方を働かせることで、よりミクロな視点で物の体積変化の違いを理解することができるように留意する。

前時では、ペットボトルや試験管の中の空気を温めたり冷やしたりする実験を行う。空気の体積は温めると大きくなり、冷やすと小さくなることを実験によって確かめた児童が、本時では、実体的な見方を働かせることで、空気の体積は上昇するように大きくなるのか、膨張するように大きくなるのかを意識して体積変化を調べることができるようにする。結論の段階で空気の状態を粒や矢印などで表現することで、予想の段階では漠然と「空気の体積は、温めると大きくなる」と知識として考えていた児童が、実験結果とイメージ図を結びつけて考察することができるように考える。

二つ目の手立てとして、振り返り場面で、児童が理科の見方・考え方を働かせることの価値に気付くことができるよう視点を示す。事前アンケートにおいて、目に見えない空気などを実体的に捉えるような図を活用する児童が少ない背景には、見方を働かせる良さに気付いていないことが考えられる。振り返る場面で、「何が分かったか」の視点に加え、「どうしてよく分かったのか」の視点を示すことで、目に見えない物を粒で表現するような実体的な見方を働かせたことを意識できるようにする。児童が理解したことや鍵となった学び方を振り返ったり、他者の様々な考えに触れたりすることで、単元全体を通して、自分の考えをより科学的な概念へと再構築することをねらう。

3 単元の目標と評価規準

(1) 単元の目標

金属、水及び空気の体積の変化に関わる事物・現象に進んで関わり、温度変化による体積の変化について、根拠のある予想や仮説を発想し、表現したり調べる技能を身に付けたりすることや、温度変化によって体積が変わるが、その程度には違いがあることを理解することができるようにする。

(2) 評価規準

ア 金属、水及び空気は、温めたり冷やしたりすると、それらの体積が変わるが、その程度には違いがあることを理解したり、観察、実験などに関する技能を身に付けたりしている。 【知・技】

イ 金属、水及び空気と温度について追究する中で、既習の内容や生活経験を基に、根拠のある予想や仮説を発想し、表現するなどして問題解決している。 【思・判・表】

ウ 金属、水及び空気と温度についての事物・現象に進んで関わり、他者と関わりながら問題解決しようとしているとともに学んだことを学習や生活に生かそうとしている。 【主】

4 単元の指導計画（全7時間 本時4／7時間目）

次	時	主な学習活動（○）	指導上の留意点（・）	評価規準（◆）【観点】
一	1	○空のペットボトルを湯や氷水の中に入れた時のペットボトルの様子について、気付いたことを話し合う。	・ペットボトルに閉じ込めた空気を提示することで、空気の圧縮を想起しながら内部の空気の状態に着目できるようにする。	◆空気の性質について、差異点や共通点を基に、問題を見出そうとしている。 【主】
	2 3	○空気の温度の変化と体積の変化の関係を調べる。	・わずかな体積変化を見やすくするために、試験管に石けん水の膜を張って調べるようにする。 ・空気の体積が変わる様子について、矢印などで可視化するイメージ図を活用して考えることができるようにする。	◆空気は温めたり冷やしたりすると、その体積が変わることを理解している。 【知・技】 ◆空気の性質について、既習の内容や生活経験を基に、根拠のある予想や仮説を発想し、表現するなどして問題解決している。 【思・判・表】
	4 本時	○温められた空気の体積変化の様子に注目し、実験結果を基に自分の考えをまとめる。	・イメージ図を活用することで、温められた空気は膨らむようにして体積が大きくなることを考えやすくする。	◆実験結果を基に、空気は温めると膨らむようにして体積が大きくなることをイメージ図で表現し説明している。 【思・判・表】
	二	5	○水の温度の変化と体積の変化の関係を調べる。	・空気のとおり同じ試験管を使うことで、空気の体積変化との差に注目できるようにし、比較する考えを意図的に引き出すようにする。
三		6	○金属の温度の変化と体積の変化の関係を調べる。	・金属の体積変化は非常に小さいため、金属球膨張試験器を活用し、常温で輪を通る様子と加熱したら輪を通らなくなる様子を比較して、金属の膨張について考察できるようにする。
	7	○金属、水、空気の体積変化の違いを比べる。	・前時までの金属、水、空気のイメージ図を比較して、金属、水、空気は温度変化によって体積は変わることや、金属の体積変化はとてもし小さいことを説明できるようにする。	◆金属、水及び空気は、温めたり冷やしたりすると、それらの体積が変わるが、その程度には違いがあることを理解している。 【思・判・表】

5 本時の目標（4／7）

(1) 指導目標

空気を温めたときの体積変化について調べ、実験結果を基に、空気は膨らむようにして体積が大きくなることをイメージ図と結びつけながら自分の考えを表現することができるようにする。

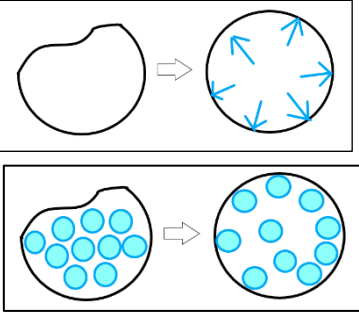
(2) 評価規準

イ 空気を温めると、体積がどのように大きくなるか自分の考えを表現している。 【思・判・表】

(3) 「質的・実体的な見方」を働かせるための手立て

目に見えない空気を実体的に捉えるために、イメージ図を活用する。結論の導出場面にイメージ図を活用し、児童が実験結果とイメージ図を結びつけて思考を整理することができるようにする。

(4) 展開

学習活動と児童の反応 ()	教師の働きかけと形成的評価 (◆)
<p>1 事象提示を見て、学習問題をつかむ。(5分)</p> <p>・お湯に入れると、ボールが膨らんだ。 ・中の空気が温まったから、体積が大きくなったと思う。 ・体積はどのように大きくなるんだろう。</p>	<p>1-(1) へこんだビーチボールをお湯に浸す事象を提示し、空気の体積変化に疑問を向ける。</p> <p>1-(2) ボールが膨らんだ理由を問うことで、空気は温まると体積が大きくなることについて児童の意識が向くようにする。</p>
<p>空気は温めると、体積がどのように大きくなるのだろうか。</p>	
<p>2 学習問題への予想を立てる。(5分)</p> <p>・温められた空気は、上の方へ行くから体積は大きくなると思う。【上昇説】 →試験管の口を下や横に向けて、温めて確かめる。 ・温められた空気は、全体的に膨らむようにして大きくなると思う。【膨張説】 →袋みたいな物に閉じ込めた空気を温めて、形の変わり方を調べる。</p>	<p>2-(1) 予想の手がかりとなるようにバルーンやお菓子の袋の様子を電子黒板に提示することで、日常生活の場面を基にして予想や仮説を発想しやすくする。</p> <p>2-(2) 「上昇」「膨張」の仮説に対する実験方法を構想できるように、試験管やソフトテニスボールなどが児童の目に触れるように配置しておく。</p>
<p>3 実験を行い、結果を記録する。(15分)</p> <p>[用意する実験道具] 試験管、ソフトテニスボール、お湯、氷水</p> <p>・試験管の口を下や横に向けても膜は膨らんだ。 ・ボールをお湯に入れたら、パンパンになった。 ・空気は膨らむようにして体積が大きくなったよ。図で表すとこんな感じ。</p> 	<p>3-(1) 再現性が高まるよう、温めたり冷やしたりを複数回繰り返して、実験結果とすることを確認する。</p> <p>3-(2) 上昇説と膨張説について、一人一実験でどちらも検証できるように実験道具を準備し、事象を比較して実験結果を記録することを伝える。</p> <p>3-(3) 実験結果を基にイメージ図を用いて自分の考えを表すよう促す。その後、グループで交流し、イメージ図を用いて説明することで、空気の体積変化を実体的に捉えて意見交流ができるようにする。</p> <p>◆ 空気を温めると膨らむようにして体積が大きくなることを記述しているか。(イメージ図)【思・判・表】 ○ 温めたときの空気の体積の変わり方をイメージ図で記述している。 →矢印や粒を使って体積の変化を表すよう再度確認する。</p>
<p>4 全体で結果を交流する。(10分)</p> <p>・空気は温めると、上の方だけじゃなくて全体に膨らんだ。このことから、膨らんで体積が大きくなると言えそう。</p>	<p>4 実験結果を基に分かったことについて発表するよう促す。その際、児童のイメージ図を提示し、膨張説と上昇説どちらがより妥当か吟味できるようにする。</p>
<p>空気は温めると、体積がふくらむようにして大きくなる。</p>	
<p>5 本時の学習を振り返る。(10分)</p> <p>・空気の体積が膨らむことは知らなかったけど、実験をしてよく分かった。 ・イメージ図を使うと空気が膨らんで大きくなることを説明しやすかった。</p>	<p>5-(1) 本時の学習で何が分かったかを児童に問いかけ、学ぶ過程で大切だと思ったことに焦点を当てる。</p> <p>5-(2) イメージ図を活用して、自分の考えを説明できたことに触れ、目に見えない物を粒で表現するような実体的な見方を働かせたことを意識できるようにする。</p>