

# 児童の気体認識における深い学びを実現するための センサー活用の実践研究

興治文子\*1・大滝亮子\*2・小林昭三\*3

Email: okiharu@rs.tus.ac.jp

\*1: 東京理科大学教育支援機構教職教育センター

\*2: 上越市立稲田小学校

\*3: 新潟大学教育学部

◎Key Words 気体認識, 深い学び, 酸素センサー・二酸化炭素センサー

## 1. はじめに

児童にとって抽象的概念である気体は目に見えないため捉えにくくその概念形成は容易ではない<sup>(1)</sup>。もちろん、身の回りに空気があるということは、日常生活の中で身につけていくものではあるが、空気を構成している気体にはどのようなものがあり、どのような性質を持っているのかを理解していくには発達段階に応じて、スパイラル構造で次第に理解を深めていく必要がある。

学習指導要領では、科学の基本的な見方や概念の柱の1つとして粒子を挙げている<sup>(2,3)</sup>。小学校段階では、児童は小学4年生で空気や水の圧縮性や温まり方を学び、小学校6年生で燃焼の仕組みといった現象論を基に気体概念の理解を深めるが、中学生になると物質の三態変化の原理を学ぶときに粒子概念で現象を捉えることが多い。ここでは、物質の三態変化に伴う体積変化についても扱うため、固体のときには粒子がぎゅっと詰まった状態にあるが、液体、気体になるにしたがって1つの粒子が占める空間的割合が広くなり、飛び回っているようなイメージ図が教科書には描かれている。義務教育段階で養う科学概念の柱の1つとして学習指導要領で粒子が示されるようになり、小学校6年生の燃焼の単元でも、ろうそくの燃焼によって酸素が減り、二酸化炭素が増えることを粒子で表わすといった教え方も一般的になりつつある。ここでは、空気中に占める酸素や二酸化炭素の割合を粒の数で表現することで、粒子という概念につなげる布石としている。中学校への接続を密にするためには、割合を数で表すことだけでなく、児童に時間変化をしっかりと捉えさせ、それが中学校で学習する分子の概念や化学変化というにつながっていくという方向目標をもって扱う方が良いのではないだろうか。

そこで本研究では、酸素センサーと二酸化炭素センサーを用いて、小学校6年生がどれだけ酸素や二酸化炭素を粒子として捉えて現象を理解することができたのか、その認識の変容を明らかにすることを目的とする<sup>(4)</sup>。小学生が気体を粒子として捉える試みはいくつかあるが、本研究では以下に述べるICTの長所を活かすことで、小学生でも十分に思考を深めることが可能なのかを検証する。

センサーの利点は、実験結果を自動計測し、さらに瞬時にグラフ化することができる。さらに、酸素や二酸化炭素の測定という点でいえば、現在の学校現場では気体検知管を用いた測定が一般的であるが、消耗品でありコストの維持費はかかるうえ、気体検知管のガラス器具を折る際のケガや、読み取り部のにじみによる不正確な実験結果しか得られないことがあるという課題もある。一方で、センサーであればデータは正確であり、数値で表示することも、保存して実験結果を再現したり、別の解析に再利用したりすることも容易である。もちろん、センサーの単価は高く、一般的な学校で購入することは現時点では容易ではないが、その有効性が認められ、普及するようになってくれば単価は落ち、さらに普及の速度が速まることが期待される。また、学習者の能動学習を促すという点においても、複数人でセンサーを用いて実験を行い、その結果をコンピュータ画面で共有し、他者と協働しながら考えを深める課程は重要であると考えられる。

以上をまとめると、理科学習におけるセンサー活用の長所は以下の通りである。

- ① 実験結果を自動計測し、グラフ化することで実験の時間変化を視覚的に理解しやすい
- ② 現象を見ながら、リアルタイムに実験結果を見ることができるため、現象と結果を結び付けて考えやすい
- ③ 正確な測定ができる
- ④ 実験結果がデジタルデータとして保存されるため、再現したり再解析したりすることが可能
- ⑤ 複数人で実験する場合は、実験結果をモニターを介して一緒に見ることができるため、他者と関わりながら自分の考えを深めることができる
- ⑥ 繰り返し使用することができる

このように、学習効果が期待されるICT活用ではあるが、予算が潤沢にあるSSH指定校などにおいて高校における活用とその効果の検証は進みつつあるものの、中学校<sup>(5)</sup>、小学校と対象年齢が下がるにつれ、実践研究はそれほど多くなる。

酸素センサー、二酸化炭素センサーを用いた小学校における実践では、成田、高野、平山らによるものが挙げられる<sup>(6-8)</sup>。成田の実践では、ヒト、虫、植物の呼吸、植物の光合成を扱い、児童の感想が紹介

されているが、どのように理解が深まったのかについてはあまり触れられていない(長所②)。高野による実践ではろうそくの燃焼を扱っており、酸素と二酸化炭素の移り変わりを現象と結び付けてとらえていたり定量的な視点を持った感想が挙げられてはいるが、さらにその奥にひそむ粒子という概念や化学変化といった視点までは到達していない。平山らによる実践でも、光合成において実験結果のグラフから現象を結び付けられてはいる(長所①②)ものの、変化が時間的に連続して起きていることに着目しているのみで、中学校につながるような視点まで到達はしていない。したがって、本研究で主眼をおいた粒子概念を念頭において児童がどこまで深く学べるのかを検討することは、次期学習指導要領で求められる深い学びにつながる効果的な教授法の開発という点で意義があると考えられる。

## 2. 研究方法

### 2.1 調査対象および調査時期

研究対象は新潟県内の公立小学校第6学年28名であり、調査および実践の時期は2017(平成29)年4月から12月である。

### 2.2 実践内容及び評価方法

まず、診断的評価を目的として、センサーを用いた実践前の4月上旬に、児童の気体認識についてのプレ調査を行う。

授業実践は、4月下旬にろうそくの燃焼(2時間)、5月に人間の呼吸(1時間)、12月に光合成(1時間)の各小単元において、大滝が行う。カッコ内は、小単元のうち、大滝が授業を行った時間数である。評価については、小単元の授業中のビデオ及びワークシート、さらに12月には、総合単元として循環の視点で気体を捉えることができるかについて、さらに1時間の授業を行い、4月の時点からの認識の変容をみとる。

## 3. プレテストの結果

小学生の気体に関する典型的な誤概念の1つに、水を蒸発させる際に発生する泡を空気として認識してしまうというものがある<sup>(4)</sup>。児童にとって最も身近な気体は空気であり、酸素や二酸化炭素、水蒸気などは言葉として学習したり知っていても、大人が認識するような科学認識で捉えることは難しい。プレテストでは、このような気体に関する質問と、呼吸等についての質問を計11項目用意した。

図1はそのうち呼吸に関する調査結果である(回答者数28名)。「人間はいつ息をしていますか」という問いに対しては全員が1日中と答えたが、植物と魚に関して誤概念をもった児童が数名いることが分かる。植物の呼吸が「昼のみ」と回答した児童の理由は、「昼間太陽をあびて夜はたんぼぼみたいに夜、ちぢまるから」、「夜は、ねているから」、「昼間は太陽が出ているが、夜間は太陽がでていないから」、「していない」と回答した理由は、「ぞうきがななし、植物は、動いたりしないから、していないと

思う」、「植物だから」、「植物はいきをしていないと思うから」であった。魚の呼吸が「昼のみ」と回答した理由は、「水そうなどを見ていると、たまに、あわが出ているときがあるから」、「なんとなくそう思うから」であった。なんとなくという理由も含めて、呼吸という概念が未発達な児童がいることがわかる。

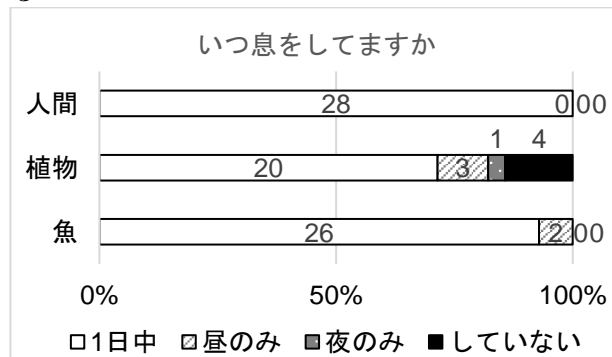


図1 プレテストの回答結果回答 (n=28)

## 4. 小学校における授業実践

### 4.1 「ろうそくの燃焼」における実践1

小学校担任によって既に気体検知管を用いて、集気びんの中にろうそくを入れ、蓋をすると集気びんの中の酸素と二酸化炭素はどのように変化するかの実験を行った後であった。そこで、既にろうそくの燃焼によって酸素が減り、二酸化炭素が増えることを児童は知っているの、センサーを用いて気体の割合が「どのように」変化するかについて焦点化し、燃焼という現象ではどのようなことが起こっているのかについて考えさせるようにした。

「ろうそくが燃えている間、どのように酸素が減り、二酸化炭素が増えたのだろうか」という発問に対し、28名中25名が「だんだん」と予想した。2名が「最初」、1名が「わからない」であった。予想は選択肢で提示したため、「だんだん」が多いが、センサーで変化のようすを示した実験後の考察では、時間変化のようすを記述できた児童は11名しかいなかった。たとえば、「火がついているとき酸素は21%19%17%と下がっていき二酸化炭素は0.3%0.5%0.7%1%となっていく」等である。予想において「だんだん」という選択肢を選んでも、センサーでグラフを可視化する実験を見せても、文章で記述する際には数値や自分の言葉でその概念をアウトプットできていない児童が多いことがわかる。考察にろうそくの燃焼の前後のみのようすしか記述していなかった児童は、この記述だけから判断すれば気体検知管を用いた実験結果と変わらない。

授業で用いたワークシートは、図3を用意した。まず、ろうそくの燃焼実験における酸素センサー、二酸化炭素センサーの実験結果のグラフと、実験の前後の数値を上段に記述させた。その後、考察の場面で、グラフと現象を結び付けるためにろうそくの火がついているのかどうかを図示し、その下に、そのときの瓶の中に含まれる気体の量を100個としたときの、酸素と二酸化炭素の占める数を色で塗るよ

うにした。考察で「だんだん」という時間変化を記述できなかった15名の児童も、粒子の図では表すことができていた。

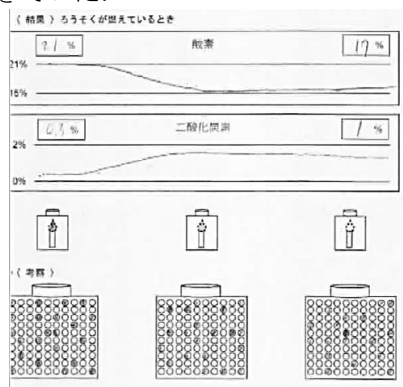


図2 ろうそくの燃焼で用いたワークシート

#### 4.2 「ろうそくの燃焼」における実践2

ろうそくの燃焼の応用的な内容として、実践の2時間目には、1つ目の実験の途中で蓋を開けたときのろうそくの燃焼についてろうそくの火のようすと酸素、二酸化炭素の割合の関係を考えさせた。

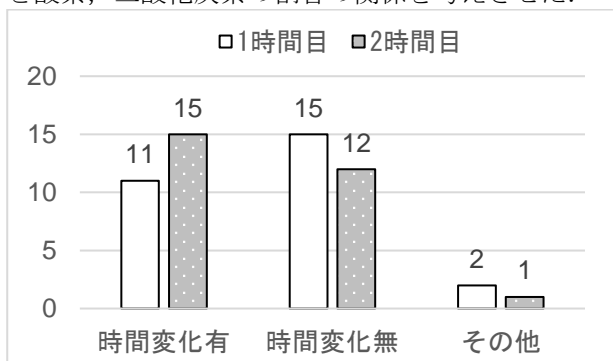


図3 1, 2時間目の考察の観点の違い (n=28)

その結果、図3に示したように、考察で時間変化について記述できた児童は15名へと増えていたが、記述できない児童も計13名おり、文章できちんと表現することには課題が残った。時間変化について記述できた15名のうち、ろうそくの火が消えかけた後に蓋を開けるとまた火が灯り、酸素の割合が増え、二酸化炭素の割合が減る要因を空気の流入と結び付けて考えられたのは4名であった。

これらの実践を通して、児童の振り返りからは

- なぜ、酸素と二酸化炭素は増えたり減ったりするのか。なぜ、酸素と二酸化炭素は関係あるのか。
- 二酸化炭素と酸素の名前の由来を知りたい。
- 空気中にはCO<sub>2</sub>、O<sub>2</sub>以外で火を燃やすのに関係ある気体はあるのか。

という感想があった。これこそが、まさに中学校理科で学ぶ粒子概念につながる疑問であり、現象を深くとらえた発言であると考えられる。

#### 4.3 「人間の呼吸」における実践

予想では「地球上の酸素がなくなると困るから、呼吸をしても酸素と二酸化炭素の割合は変わらない」という考えの児童もいた。また、図4に示したように、呼吸をすると「酸素が増えたり減ったりす

る」と考えている児童もいた。

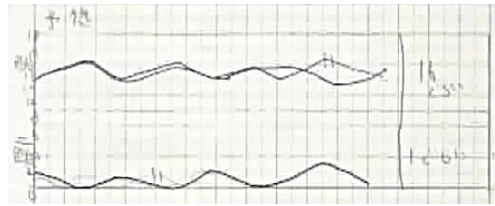


図4 呼吸における児童のO<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>の変化の予想

図4のように、ろうそくの燃焼の小单元での経験を基に予想の段階でグラフで表現することができるようになり、より生徒がどのように考えているのか、生徒自身のメタ認知を促す意味でもセンサー活用の実践効果があったと考えられる。

実践では、センサーを3セット用意し、1人ずつがセンサーをセットした袋の中で呼吸をする実験を行った。1回1回長い呼吸をしてみたり、短い呼吸をしてみたり、途中で息を止めてみたりと、それぞれの児童が思い思いの実験を行っていた。実験中は、生徒が主体的に、能動的に取り組む姿がたくさん見られた。さらに、他の児童の実験のようすも共有することができたため、袋の中で短い呼吸をしても、長い呼吸をしても、酸素と二酸化炭素それぞれの割合の変化の結果がほぼ同じになるという量的な見方も含めて認識を深める様子が見て取れた。

考察では、「酸素のグラフが下がって、二酸化炭素のグラフが上がったということは、呼吸をすると酸素が減って二酸化炭素が増える」など結果と関係づけて記述していたり、定量的な記述も多くみられた。

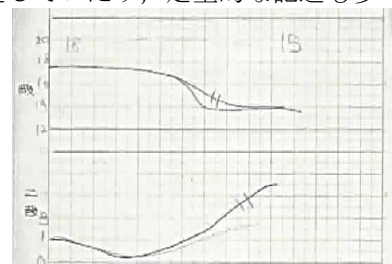


図5 センサー活用による児童の呼吸の実験結果

#### 4.4 「光合成」における実践

光合成の実験には時間がかかるため、あらかじめ準備しておいた実験のようすの画像と、測定結果のグラフを用いて授業を行った。その結果、ろうそくの燃焼、呼吸の実践時よりも多くの児童がグラフを自分の力で読み取り、そのグラフから植物は日光に当たったときに光合成を行えるということに気付くことができていた。

児童の実験結果の考察を、軽量テキスト分析した結果が図6である<sup>(10)</sup>。図右上の方に、「酸素」、「二酸化炭素」、「当てる/当たる」など光合成についての科学概念の記述がある。左上の方には「最初」、「最後」、「上がる」、「下がる」など、ここでは教師による演示実験も、生徒実験もしておらず、実験結果のグラフの低次だけであったが、グラフの結果と関連付けて光合成について記述していることが読み取れる。さらに図下の方の記述からは、「呼吸」、「植物」、「人間」など、既習事項と関連付けて説明をしていることも読み取れた。人間の呼吸については、自分

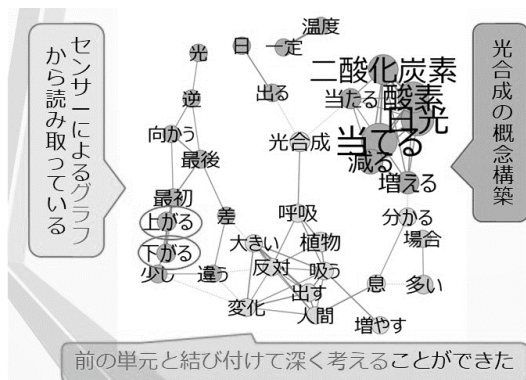


図6 児童28名の光合成の実験結果の考察の分析

たちで納得のいくまで実際に実験を行った為、呼吸したこと、酸素と二酸化炭素がどのように変化したかという因果関係がはっきりと理解できたことから、植物の呼吸については実際に実験のようすを見ることができなくても、グラフから現象を読み取って表現することができるようになったと考えられる。

## 5. 総合単元および児童の気体認識の変容

本研究の総括として、ろうそくの燃焼、呼吸、光合成の授業実践を踏まえて、児童が実践校を中心とした周りの環境に目を向け、自分たちの周りでは酸素や二酸化炭素はどのように出入りしているかを考える授業を行った(図7)。



図7 総合単元における授業実践

教科書では、動物は酸素を吸って二酸化炭素を出すこと、植物は光合成で二酸化炭素を取り入れ、酸素を出すことの図が示されている。この単元を、量的なものの見方をどれだけ児童自身で発展させることができるのかについて検討した。中心課題として、「たくさん人間や動物が呼吸しても酸素がなくなるのはなぜか」を提示し、図7に示したような学校の周りの写真と動物や植物を強調したイラストを基にしたワークシートを基にして、班ごとに話し合い学習を行った。

班での話し合いにおいて、循環の観点で話し合いができた班は7班中6班、定量的な視点は7班中4班であった。児童1人1人の考察では、「木が出した酸素を人が吸って、人が出した二酸化炭素を木が吸う...のように、これが何回もじゅんかんしているので酸素がなくなると思う。」などのように循環の観点がある児童は28名中19名、さらに教師があらかじめ示しておいた数値を用いながら説明で

きた児童は28名中2名であった。

## 6. おわりに

本研究は、酸素センサーと二酸化炭素センサーを用いることで、小学6年生の気体についての概念がどれだけ深まるかについて検討を行ったものである。ろうそくの燃焼、呼吸、光合成の3つの小単元を通して、現象を実験結果のグラフと結び付けてとらえ、時間の経過とともに酸素や二酸化炭素がどのように変化しているのかを考えることができるようになった。このことは、実験結果のみを示した光合成の小単元の実践結果からもよくわかる。さらに、定量的なものも見方も深まった。総合単元では、児童のワークシートの記述に、自分が住む環境と都会の環境を比べて考えたり、光合成により酸素を作り出す植物を大切にしたいという思いがあったりしたことから、児童が自分たちの暮らしと酸素や二酸化炭素を結びつけて考え、授業実践前よりも大きな目で世界の環境について自分の考えを持つことができるようになったこともいえる。

今後は、自分の言葉で説明できる児童を増やす手立てや、量的なものの見方の先にある粒子という概念形成をさらに深める方策の検討が必要である。

## 謝辞

本研究はJSPS 科研費 JP15H02912, JP17K18617 の助成を受けたものです。また、本研究の実践に際し協力いただいた伊丹和哉先生、佐藤東作先生と小学校関係者の皆様に深く御礼申し上げます。

## 参考文献

- (1) R.オズボーン&P.フライバーグ：『子ども達はいかに科学理論を構成するか - 理科の学習論』。東洋館出版社(1990)。
- (2) 文部科学省：中学校学習指導要領解説理科編，(2008)。
- (3) 文部科学省：中学校学習指導要領(平成29年告示)解説理科編，(2017)。
- (4) 本研究では、大学で所有していたアメリカ Vernier 社の酸素センサー、二酸化炭素センサーを用いた。
- (5) 高橋和光，大原ひろみ，“センサーとコンピュータを利用した中学校理科の授業”，物理教育，53，pp.119-124(2005)。
- (6) 成田一之慎：“酸素・二酸化炭素を使った授業実践～可視化し、変化を実感する授業づくり～”，北海道立教育研究所附属理科教育センター研究紀要，24，pp.110-113(2012)。
- (7) 高野和明：“小学校における児童の科学概念形成のための ICT 活用の有効性についての研究”，新潟大学教育学部卒業論文，(2013)。
- (8) 平山大輔，森川英美，後藤太郎：“光合成の授業における ICT 活用とその有効性 - 小学校理科 6 年小単元「生物と空気のかかわり」-に着目して”，理科教育学研究，54，pp.419-426(2014)。
- (9) 平山大輔，森川英美，後藤太郎，“光合成の授業における ICT の活用とその有効性～小学校理科 6 年小単元「生物と空気のかかわり」に着目して”，理科教育学研究，54，pp.419-426(2014)。
- (10) 樋口耕一，『社会調査のための計量テキスト分析』，ナカニシヤ出版，(2014)。