

考察時に考えを外化し議論することが科学的な概念の形成に与える効果

—肺の働きの学習を事例に—

The Effects of Conceptual Change Influenced by Discussing and Externalizing the Idea : A Case Study of the Science Lesson on the 'Function of lungs'

清水 誠*
Makoto SHIMIZU

阿佐見 祐子**
Yuko ASAMI

紺野 雅弘***
Masahiro KONNO

1 はじめに

国立教育政策研究所が行った「平成15年度小・中学校教育課程実施状況調査結果の概要及び教科別分析—小学校・理科—」によると、呼気と吸気に含まれる酸素と二酸化炭素の量、肺の血管の血中に含まれる酸素と二酸化炭素の量の違いから肺の働きを推論する問題では、正答率が26.7%と低い結果となっており、子どもたちがつまずきやすいところであることが報告されている。また、「新しい理科6上教師用指導書研究編」(東京書籍)によると、「はき出した空気については、子どもはほとんど酸素が含まれていないと考えがちだが、実際には16~18%程度の酸素が含まれている。」とある。そこで、肺の働きを学習済みの大学生に対し質問紙調査を試みた(調査対象:理系の大学生;124名,文系の大学生;89名の計213名,調査時期は2007年)。呼気と吸気に含まれる気体名とその割合を記入させた結果は、正答16名(7.5%),誤答197名(92.5%)となり、正答率が極めて低い結果となった。呼吸という二酸化炭素がはき出されるイメージを持っているため、学習済みの大学生でも呼気・吸気中の気体の割合についての理解がなされていないと考えることができる。小学校で学習している酸素、二酸化炭素の量的なデータの結果と、肺の働きを結びつける有効な教授方法の検討が必要であると考えた。

こうした教授方法の一つとしてChiら(1994)は、説明生成は理解を促進する中心的な役目を果たすことを明らかにしてきた。清水・佐國(2002)は、協同的な話し合い活動を取り入れることにより強い社会的相互作用が生まれ、子どもの見方・考え方を科学的な概念に構成していくことができると述べている。清水・石井・海津・島田(2005)も、小グループで話し合いをさせることは従来困難とされていた水の状態変化の学習において、児童

の概念変化を促し、科学的な概念の形成に効果があると結論している。また、清水・山浦(2006)は、予想時に単に口頭により議論させることに比べ、自分の書いた物を示しながら議論することは、概念的知識の一般化に有効であることを明らかにしている。三宅は、協調的な問題解決では参加者各自が考えていることや、やろうとしていることが「見え」たほうがよく、そのうえで互いに自由に様々なやり方が試せることが大切であるとする。また、協調的な過程で理解が深化するためには、他人の視点があることに気がつくこと、互いの考え方が「見える」形で外の世界に表現されていることも相互作用が起きるためには大切な要素であるとする。白水は、外化によって我々が頭の中に持つイメージを見直せるとし、客観的な見直しには外的な働きかけや見直しに足る情報の存在が必要だとする。しかしながら、予想をもとに、考察する段階で自らの考えを外化し、議論することが科学的な概念の形成に有効に働くのかを調べた研究は十分になされていない。

そこで、本研究では、考察時に図を用いて自分の考えを外化し、議論することが肺の働きについての科学的な概念形成を促す有効な教授方法かどうかを検証する。

II. 調査の方法

1. 調査対象及び時期

埼玉県内の公立小学校6年生、3クラス97人(実験群:1・2組計61人,統制群:3組36人)に対し調査を行った。両群の等質性を調べる調査及び検証のための授業を2007年6月に、学習により形成された概念の保持の状況を調べる調査を2007年12月に実施した。

* 埼玉大学教育学部理科教育講座

** さいたま市立鈴谷小学校

*** さいたま市立教育研究所

2. 調査の方法

(1) 実験群と統制群の設定

研究の目的を達成するため、考察時に、個人の考えをホワイトボードに図を使って記述し、それを他者によく見えるように提示しながら小グループで議論する群（以下、実験群と呼ぶ）とホワイトボードも小グループでの議論も行わない群（以下、統制群と呼ぶ）とを用意した。それ以外の条件は同じにした。

(2) 実験群・統制群の等質性

両群の等質性を調べるため、学習前に質問紙により「空気中の気体の割合について」調査を行った。質問紙は、図1に示す通りである。

質問1. 空気にはどのような気体が、どのくらいの割合でまじりあってできていますか。気体名とその割合を記入してください。

質問2. 人は息をしていますか、この働きを何といいますか。また、この働きが行われている場所を何といいますか。

図1 事前調査問題

3) 児童の考えの変容と概念の形成

ア. 学習により形成された概念の保持の状況

本研究で児童に最終的に身に付けてほしいことは、酸素、二酸化炭素という気体の量的なデータの結果と、肺での働きを結びつけることができることである。そこで、学習を通して、「呼吸によって空気中の酸素の一部を取り入れ、二酸化炭素を多く含んだ空気をはき出している」という概念が形成され、保持できているかどうかを質問紙により調査した。質問紙は、図2に示す通りである。なお、質問1は、事前調査と同じ問題である。

質問1. 人は息をしていますか、この働きを何といいますか。また、この働きが行われている場所を何といいますか。

質問2. 吸う空気とはき出した空気の変化の例（空気中の気体の体積の割合）を帯グラフに表しました。正しいグラフを選び、その番号を書いてください。また、その番号を選んだ理由を書いてください。

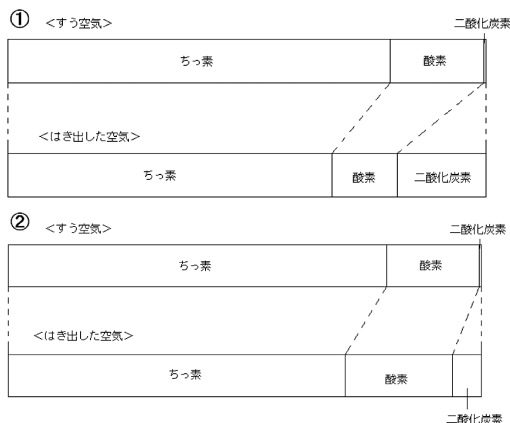


図2 事後調査問題

イ. 発話プロトコルの収集

各自の考えていることが他者にもよく見えるようにして小グループで議論させたことによる児童の変容の様子、及び概念形成の様子を調べるため、発話プロトコルの収集を行った。方法としては、実験群の考察時の話し合いの様子を各グループに設置したステレオマイクのついたMDレコーダーにより記録し、分析のため発話プロトコルを書き起こした。

3. 授業の概要

授業は、平成10年改訂の小学校学習指導要領第6学年のA(1)アの「体内に酸素が取り入れられ、体外に二酸化炭素などが出されていること。」という内容について45分で行った。

授業の流れは、以下のようである。

- ア. 学習問題を知る「肺の働きを調べよう」。
- 問題1「何を吸って、何をはいているのか調べよう」を確認した。
- イ. 個人で問題1に対する自分の予想をワークシートに記入した。
- ウ. 問題1の確認の実験を行った。
- エ. 結果をワークシートにまとめた。
- オ. 問題2「肺の中でどのようなことが起きているのだろう」を確認した。
- カ. <実験群>

実験結果をもとに、個人で考察したことを図や言葉でまとめたホワイトボードを用いて小グループで議論し、議論の結果をもとに個人でワークシートに言葉や図でまとめた。

<統制群>

実験結果をもとに、個人で考えをまとめ、ワークシートに言葉や図でまとめた。

- キ. 教師がクラス全体の考えをもとに、「人は肺で、呼吸によって空気中の酸素の一部を取り入れ、二酸化炭素を多く含んだ空気をはき出している」とまとめを行った。

Ⅲ. 結果とその分析

1. 両群の等質性

図1で示した質問紙に対し、質問1では窒素約80%、酸素約20%、二酸化炭素約0.03%と記述した物を正答とした。質問2では、働きを呼吸、働きが行われている場所を肺、気管、口、鼻と記述した物を正答とし、それ以外を誤答とした。

結果は、表1のようになった。

表1 等質性調査の結果

		実験群 (N=61)	統制群 (N=36)
質問1	正答	26 (42.6)	18 (50.0)
	誤答	35 (57.4)	18 (50.0)
質問2 (働き)	正答	55 (90.2)	30 (82.4)
	誤答	6 (9.8)	6 (9.8)
質問2 (場所)	正答	41 (67.2)	28 (79.4)
	誤答	20 (33.8)	8 (10.6)

注. 単位は、人数。()内の数字は%。

質問1、質問2について、正答である児童数と誤答である児童数について、直接確率計算2×2を行ったところ、両側検定で質問1：p=0.5247、質問2(働き)：p=0.3381、質問2(場所)：p=0.2422となり、それぞれ両群に有意な差は見られなかった。

2. 児童の考えの変容と概念の形成

(1) 学習により形成された概念の保持の状況

図2で示した質問紙に対し、質問1では等質性調査と同様に、働きを呼吸、働きが行われている場所を肺、気管、口、鼻と記述した物を正答とし、それ以外を誤答とした。質問2の番号の選択では、③を選択した児童を正答とし、それ以外を誤答とした。また、理由の記述では③を選択し、かつ「呼吸によって空気中の酸素の部を取り入れ、二酸化炭素を多く含んだ空気をはき出している」といった記述が書けた回答者を正答とし、それ以外を誤答とした。

結果は、表2のようになった。

表2 事後調査の結果

		実験群 (N=61)	統制群 (N=36)
質問1 (働き)	正答	56 (91.8)	36 (100.0)
	誤答	5 (8.2)	0 (0.0)
質問2 (場所)	正答	59 (96.7)	36 (100.0)
	誤答	2 (3.3)	0 (0.0)
質問2 (番号)	正答	38 (62.3)	13 (36.1)
	誤答	23 (37.7)	23 (63.9)
質問2 (理由)	正答	34 (55.7)	12 (33.3)
	誤答	27 (44.3)	24 (66.7)

注. 単位は、人数。()内の数字は%。

質問1については、等質性調査と同様に、正答である児童数と誤答である児童数について直接確率計算2×2を行ったところ、両側検定で働きを問う質問に対してはp=0.1539、場所について問う質問に対してはp=0.5283となり両群に有意な差は見られなかった。方、質問2の番号を選択する問題で、正答である児童数と誤答である児童数について直接確率計算2×2を行ったところ、両側検定でp=0.0200 (p<.05)となり有意な差があることが分かった。また、その理由の記述でも両側検定でp=0.0376 (p<.05)となり有意な差があることが分かった。考察時に、個人の考えをホワイトボードに図を使って記述し、それを他者によく見えるように提示しながら小グループで議論した実験群のほうが学習したことをよく保持しているといえる。

3. 考察時のホワイトボードの記述

実験群は、ホワイトボードに考えをまとめたうえで議論を行った。図1は、1組7班が実験結果をもとに肺の中で起きていることを描いた物である。この図では、児童たちは鼻から入った空気は「酸素の多い空気」で、肺の中で「酸素が吸収され二酸化炭素が出される」としている。また、「酸素が吸収される量の平均が約4.54%、二酸化炭素が出される量の平均が約3.9225%と記述している様子を見ることができる。図2は、2組2班の図である。空気の流れを矢印で、割合が分かるよう酸素と二酸化炭素を丸で描いている。丸の数で酸素・二酸化炭素の割合や量が視覚的に分かりやすく工夫している。



図1 1組7班のホワイトボード

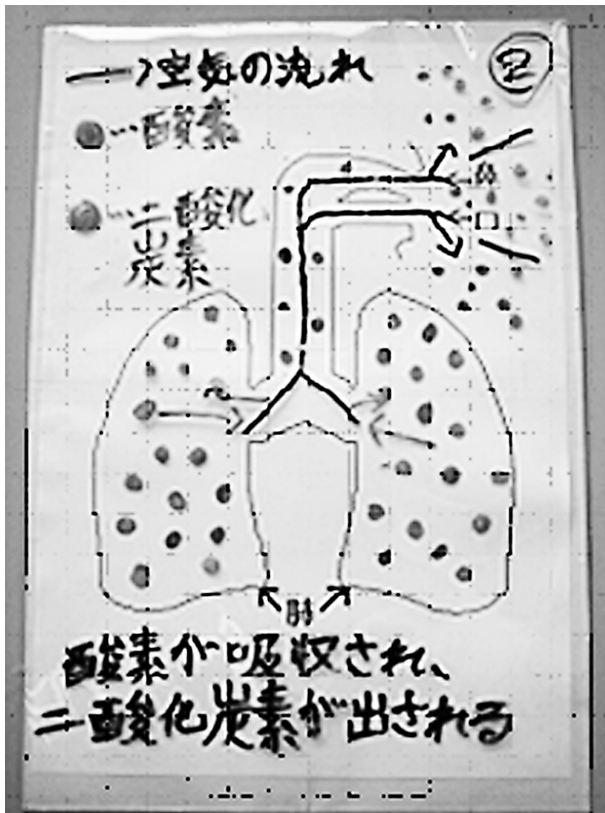


図2 2組2班のホワイトボード

各グループのホワイトボードに記述されていた内容は、表3及び表4のようであった。

表3 1組の各グループの記述内容

班名	記述内容
1班	<ul style="list-style-type: none"> 酸素を青、二酸化炭素を赤とし、矢印で吸気が肺を通して呼吸が出ていくまでの道筋を描く。 二酸化炭素が鼻と口から入り、肺を一周すると酸素に入れかわっており、鼻と口から出ていく。
2班	<ul style="list-style-type: none"> 酸素を赤、その後の二酸化炭素の通り道を黒で描く。 酸素を肺の中へ入れて 回心臓に酸素をおくり出した物が二酸化炭素として出てくる。
3班	<ul style="list-style-type: none"> 吸う空気を青、はく空気を赤で描く。 吸う空気とはく空気の区別をしています。
4班	<ul style="list-style-type: none"> 肺の中にこんな物があつてと、肺胞の絵を描く。
5班	<ul style="list-style-type: none"> 酸素を赤、二酸化炭素を青とし、肺に入るまでを赤、肺を周しているところを黒、肺から鼻と口に出ていくまでを赤で描いている。 酸素の平均16.4%、二酸化炭素の平均4%、二酸化炭素は10倍になった。 鼻や口から酸素を入れ、何かの物質によって二酸化炭素になる。

6班	<ul style="list-style-type: none"> 酸素を青、二酸化炭素を赤とし、鼻と口から入り、肺を通して他の内臓へ行き、再び口から出されるまでの道筋を描く。
7班	<ul style="list-style-type: none"> 鼻から入った空気は酸素の多い空気です、途中で酸素が吸収され二酸化炭素が出され、肺から鼻へと出ていく。 酸素が吸収される量の平均約4.54%、二酸化炭素が出される量の平均約3.9225%
8班	<ul style="list-style-type: none"> 鼻と口から空気が入り、右の肺には酸素、左の肺には二酸化炭素と描く。
9班	<ul style="list-style-type: none"> 酸素を青、二酸化炭素を赤とし、鼻と口から入った酸素は肺を周する道筋を描く。 吸った空気は、酸素だけ使い、二酸化炭素は入らないのでたくさん出す。

表4 2組の各グループの記述内容

班名	記述内容
1班	<ul style="list-style-type: none"> 鼻と口から空気が入り、肺で酸素を取り込み、肺を通っている最中にだんだんと酸素が減った様子を描く。
2班	<ul style="list-style-type: none"> 酸素を青丸、二酸化炭素を赤丸、空気の流れを黒線で描く。 肺の中には酸素と二酸化炭素が7:1の割合で描く。 酸素が吸収され、二酸化炭素が出される。
3班	<ul style="list-style-type: none"> 吸う空気を赤、はく空気を青とし、道筋を描く。 肺全体に空気を取り込み肺全体からいなくなってきた空気をはき出していると思う。
4班	<ul style="list-style-type: none"> 入った空気を赤で、肺の途中から出ていく空気を青で描く。
5班	<ul style="list-style-type: none"> 鼻と口から入っていく空気を青で、出ていく空気を青で描く。 酸素を赤、二酸化炭素を青で描く。
6班	<ul style="list-style-type: none"> 酸素を黒、二酸化炭素を黒とし、道筋を描く。 酸素と二酸化炭素を黒丸と赤丸とし、5:4の割合で描く。
7班	<ul style="list-style-type: none"> 取り入れる物を赤で、はく空気を青とし、肺の中をぐるぐる回って出る道筋を描く。
8班	<ul style="list-style-type: none"> 空気の流れについて、必要な物が入っているときを赤、いらぬ物を出しているときを青とし、肺の中をぐるぐる回って出る道筋を描く。
9班	<ul style="list-style-type: none"> 吸う空気を赤、はき出した空気を青、通り道を黒とし、道筋を描く。 吸った空気は肺へ行く。はき出された空気は肺から地上へ出る。

ホワイトボードに記述された肺の図は、大きく次の3つに分けることができる。

- ① 1組1班や2組1班のように、酸素が取り込まれて減っていく様子や、二酸化炭素が多く含まれた空気が出ていく様子を色の変化を用い、空気の流れを矢印の道筋で描いた物。
- ② 2組の2班や6班のように、酸素や二酸化炭素を丸で、空気の流れを矢印で描いた物。
- ③ 1組の5班や7班、2組の1班、2班、6班のように、実験結果に基づき、酸素や二酸化炭素の割合に着目した物。

しかしながら、ホワイトボードへの記述量にはグループによって差が見られた。記述が少なかったグループでは、ホワイトボードに話し合いの内容を記述する際に、議論が活発になり、記述する時間が無くなってしまったことやどのように記述すればよいか話し合うことに時間が取られてしまったことなどが原因として挙げることができる。

4. 発話プロトコルの分析

実験群が行った考察時の議論の時間は、実験群の1組が681秒、実験群の2組が665秒であった。

図3は、図1のホワイトボードを描いた1組7班で議論されていた発話のプロトコルである。

- | | |
|-----|--|
| 1a | どういふのになつた？ |
| 2c | おれ？ |
| 3a | どういふのになつた？ |
| 4c | おれ、えつと酸素と二酸化炭素。 |
| 5a | 見せて。 |
| 6c | やだ。 |
| 7a | 見えないんだもん。 |
| 8c | おれの字きたないし小さいし。 |
| 9a | 見えるよ。 |
| 10c | 酸素と二酸化炭素を吸うでしょ、で 回ここで酸素と二酸化炭素が分かれて二酸化炭素がこっちにたまって、そう、こっちにたまって、どっちでもいいけど。 |
| 11a | うん。 |
| 12c | それで酸素を身体に取り入れて、さっき酸素だけがぬかれて二酸化炭素になって、その二酸化炭素がこっちの二酸化炭素になってはきだされる、で、そんときに吸った酸素が。 |
| 13a | 見せて。 |
| 14c | いいよ、こっち説明してるから、そんときに吸った酸素が3. なんなんとなかの、ね、だから、3. なんなんが二酸化炭素の0.4にかわれて、3. なんなんになるっていうのをおれは考えた。 |
| 15c | 今から出そう、酸素と二酸化炭素の平均。 |

- | | |
|------|--|
| 16c | だから、D君は酸素と二酸化炭素の平均出して。(中略) |
| 72b | 平均で酸素がどれくらい吸収されたかとか？ |
| 73c | ううん、違う、はき出した酸素が約 16.46, 16.4666666で。 |
| 74d | 二酸化炭素は3.9625。 |
| 75c | だって見て3.9625 これは数字を出すんじゃないの？正解ねえし、正解分かんないし。 |
| 76c | あ一つかれた。 |
| 77c | 酸素の平均。 |
| 78c | やべーもう10分たつんじゃないの？酸素？
【16秒間発話無】 |
| 79d | 二酸化炭素は3.9625。 |
| 80c | あ一つかれた。 |
| 81b | はき出す空気も？ |
| 82c | はき出す空気は3.4625。 |
| 83b | これが出たらどうなるの？ |
| 84c | 知らん。 |
| 85b | これを21から引いて、どれだけ吸収されるかにすればいいじゃん。 |
| 86a | そうだよ。 |
| 87b | それ引いて、21から。 |
| 88c | 3.9625だ。 |
| 89b | 酸素？二酸化炭素？ |
| 90c | え、何？ |
| 91b | 3.9625って何の数字？ |
| 92c | えーだから二酸化炭素をさっき実験した二酸化炭素の出してきた平均。 |
| 93b | はき出した空気の平均？ |
| 94c | そう、あ、違う、はき出した空気の平均は酸素と違う。 |
| 95b | え？ |
| 96c | あ、違う、二酸化炭素のほうのはき出した空気の平均が3.9625。 |
| 97b | じゃあ3.9625引く0.04。 |
| 98c | 0.04？あ、そだ、3.9625。 |
| 99b | 酸素のほうもやっというて。 |
| 100c | え。 |
| 101b | 酸素のほうは吸う空気引くはき出した空気。 |
| 102c | 吸う空気引くはき出した空気。 |

図3 1組7班の発話プロトコル

7班の児童には、15cで「今から出そう、酸素と二酸化炭素の平均。」とあるように平均に着目する発言が見られた。72bで「平均で酸素がどれくらい吸収されたかとか？」。85bで「これを21から引いて、どれだけ吸収されるかにすればいいじゃん。」から、単なる平均だけでなく、その値が何を示しているかを話し合っていた様子が伺える。児童たちが酸素、二酸化炭素という気体の量的なデータの結果と、体内で起こっている肺での働きを結びつけなが

ら議論している様子を見ることができた。

こうした呼吸によって、単に酸素が吸収され、二酸化炭素が出されるというだけでなく、空気中の酸素の一部を取り入れ、二酸化炭素を多く含んだ空気をはき出しているという深い理解につながっていている様子を調べた議論の様子は7班だけでなく他の班にも認めることができる。図4及び図5は、その事例である。

- | | |
|-----|------------------------------------|
| 30a | ずっと肺の中に空気が入ってたら、酸素が二酸化炭素になっちゃうのかな。 |
| 31b | 外から二酸化炭素を入れて、二酸化炭素はいらないので二酸化炭素を出す？ |
| 32b | かな？ |
| 33c | 回書いてみれば？ |
| 34c | 酸素は体中について、二酸化炭素は門前払い |
| 35a | 出ていけ。 |
| 36c | 酸素も出てるんだよね？ |
| 37b | うん。 |
| 38b | 酸素はちょっとだけ、はき出した空気には。 |
| 39a | あ、そっか。 |
| 40b | 酸素もはき出すけどね。 |
| 41a | それに気づかなかった。 |
| 42c | 二酸化炭素は完全にいりません、みたいな。 |
| 43c | 酸素で間に合ってますから、みたいな。 |
| 44c | この中には二酸化炭素もあるんでしょ？ |
| 45c | まずさ、全体にこうピーってあるでしょ。 |
| 46a | 空気中のやつを吸うんだから。 |
| 47b | いったんここで下に書こう。 |
| 48a | こっちも。 |
| 49b | あれ？ |
| 50a | これ動き方？ |
| 51b | 動き方というか。 |
| 52a | この中には二酸化炭素もあるんだっけ？ |
| 53a | 二酸化炭素もちょっとはあるでしょ、だって空気中のなんとかかんとか。 |
| 54c | 書いて。 |
| 55a | 空気中はさあ、酸素も二酸化炭素も窒素があるんだからさあ。 |
| 56c | だから、出せばいい。 |
| 57a | うんうん、たくさんね、たくさん。 |
| 58a | 酸素もちょっとは出るでしょ？ |

図4 1組9班の発話プロトコル

9班の発話プロトコルからは、39aで「あ、そっか。」、41aで「それに気づかなかった。」といった児童が酸素がはき出した空気も存在することに気づいたことが分かる。さらに、38bで「酸素はちょっとだけ、はき出した空気には。」、44cで「この中には二酸化炭素もあるんでしょ？」、58aで「酸素もちょっとは出るでしょ？」といった発話に見られるように、児童たちがはき出した空気には酸素と二

酸化炭素が含まれていることに気づいた様子を伺うことができる。

- | | |
|------|---------------------|
| 86a | うそ、どうして、酸素多くするの？ |
| 87b | 二酸化炭素も増やせばいいじゃん。 |
| 88b | こんなもんでいいだろう。おいおいおい。 |
| 89a | 二酸化炭素もつと入れるよ、普通。 |
| 90b | 分かった。 |
| 91a | このへん空けて。 |
| 92a | このへんにもこのへんにも。 |
| 93b | 増えすぎだろ。 |
| 94a | いや、普通これぐらいあるよ。 |
| 95b | 4パー5パーだよ。 |
| 96a | いやあるよ、絶対あるよ。 |
| 97b | ここ酸素でいい？ |
| 98a | 二酸化炭素ないじゃん。 |
| 99b | あるじゃん。 |
| 100b | ありすぎや。 |
| 101a | ありすぎじゃないよ。 |
| 102a | このへんにも。 |
| 103b | かなりあるね。 |
| 104b | そんなにスペースが。 |
| 105b | 言葉書けばいいだろう。 |
| 106b | おっけい。 |
| 107b | じゃあ、二酸化炭素が出ていくイメージ。 |
| 108a | 酸素が出ていくイメージとか。 |
| 109b | はい、酸素。 |
| 110a | 応酸素だって出てくるんだからね。 |

図5 2組2班の発話プロトコル

このグループの発話プロトコルからも、107bで「じゃあ、二酸化炭素が出ていくイメージ。」、108aで「酸素が出ていくイメージとか。」、110aで「応酸素だって出てくるんだからね。」の発話に見られるように、酸素がはき出された空気に含まれていることを強調し、酸素が外呼吸により吸収されるだけでなく、はき出されることも描こうとしている様子を伺うことができる。

IV. 考察

本研究では、肺循環における酸素、二酸化炭素という気体の量的なデータの結果と、体内で起こっている肺での働きを結びつける有効なデータとして、考察時に図を用いて自分の考えを外化し、話し合いをすることが子どもの概念形成に有効であるかを検証した。授業デザインとしては、考察時に、個人の考えをホワイトボードに図を使って記述し、それを他者によく見えるように提示しながら小グループで議論をさせた。事後調査の結果から、呼気・吸気中に含まれる気体の体積の割合を選択する問題において、両群に有意な差が見られた。考察時に、個

人の考えを外化し、それを他者によく見えるように提示しながら小グループで議論すると学習したことをよく保持するといえる。

考察時の発話の分析からは、児童たちが酸素、二酸化炭素という気体の量的なデータの結果と、体内で起こっている肺での働きを結びつけ、ホワイトボードを描きながら議論している様子を見ることができた。肺での呼吸は、酸素が吸収され二酸化炭素が出されるというだけでなく、空気中の酸素の一部を取り入れ、二酸化炭素を多く含んだ空気をはき出しているという深い理解につながっていている様子を多くの班に認めることができた。このことが、考えをホワイトボードに図を使って提示しながら小グループで議論をさせた実験群が事後調査で統制群を上回った原因ではないかと考える。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、授業の実施をご快諾いただいたさいたま市立与野本町小学校の柴崎信光校長先生、第6学年の児童の皆さんに大変お世話になりました。心より感謝申し上げます。

引用文献

- Chi, M.T.H. de Leeuw, N., Chiu, M.H. & La Vancher, C. (1994): Eliciting self-explanations improves understanding, *Cognitive Science*, 18(3), 439-477
- 三宅なほみ(2002):「学習における協調」『波多野誼余夫・永野重史・大浦容子:教授学習過程論 学習の総合科学をめざして』, 101-122, 放送大学教育振興会.
- 清水誠, 石井都, 海津恵子, 島田直也(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 お湯の中から出る泡の正体の学習を事例に, *理科教育学研究*, 46(1), 53-60
- 清水誠, 佐國勝(2003):理科授業におけるスモールグループでの話し合いの効果, *埼玉大学紀要教育学部(教育科学)*, 52(2), 17-25
- 清水誠, 山浦麻紀(2006):考えを外化し,話し合いすることが概念的知識の一般化に及ぼす効果 花の働きの学習を事例に, *理科教育学研究*, 47(1), 35-43
- 白水始(2004):「思考における言語,イメージ,ジェスチャー」『波多野誼余夫・大浦容子・大島純:学習科学』, 107-118, 放送大学教育振興会.