

# 視覚障がいをもつ児童生徒への 酸素/二酸化炭素センサを用いた学習

－ 音声出力機能，グラフ表示機能の有効性 －

高橋 晋司・千葉 秀輝

高橋三男教授（東京工業高等専門学校）が開発した酸素/二酸化炭素センサを含む装置<sup>1)</sup>は、濃度測定機能とともに音声出力機能，グラフ表示機能等を兼ね備えており，視覚障がい（盲，弱視）をもつ児童生徒が通学する，盲学校の理科の学習において極めて有効な装置となる<sup>2)</sup>。そこで，この装置を盲学校での理科学習において活用し，視覚障がいをもつ児童生徒への学習効果の検証を行うとともに，装置の使用が効果的である学習場面と活用方法について，北海道内の全盲学校が連携して研究した。

[キーワード] 酸素/二酸化炭素センサ 視覚障がい 盲学校 連携

## はじめに

酸素と二酸化炭素は小学6年生で学習する気体であり，児童生徒にとってはたいへん身近な気体である。しかし，視覚障がいをもつ児童生徒にとっては，存在や化学変化について，断片的なものになりやすい。そこで，このことを解決するために，北海道内の全盲学校が連携し，酸素/二酸化炭素センサを用いた理科の学習について研究したので報告する。

## 1 気体検知管を用いる，これまでの実験における課題

空気中の酸素と二酸化炭素の濃度を調べるための器具として，小学校第6学年理科の教科書には気体検知管が取り上げられている。気体検知管は，簡便な操作で気体の濃度を測定することができる，たいへん優れた実験器具である。視覚障がいのある児童生徒に対してもこれまでの国内の盲学校における実践研究の成果をもとに，点字教科書に「酸素用気体検知管は，変色した先を感光器で調べることができる。目盛りは読んでもらう。二酸化炭素用気体検知管は，感光器で変色が確かめにくいので，変色した先の部分を読んでもらう。」と，感光器を用いたり，指導者が目盛りを代読したりすることで気体検知管を活用できるように，晴眼者用の一般の教科書から修正されて示されている。しかし，視覚障がいのある児童生徒には，気体検知管の

変色する部分の大きさが変化したことは調べられるが，濃度の値を読み取ることはできない。弱視児童生徒には，視覚を補助する器具を用いることにより目盛りを読み取ることはできるが，変色した先端が斜めになるようなときや発色が薄いときなどには，値の読み取りは困難となる。さらに，気体検知管はあくまでも気体の濃度を確認する際に用いられるものなので，気体を発生させる実験もする場合には視覚障がいのある児童生徒にとっては，気体の発生と確認を一連のつながりとしてとらえることが，特に難しいということもある。

また，児童生徒の科学的思考力を育てるためには，客観性を満たしつつ，実験の結果を解釈することが必要であり，集団での問題解決が重要となる。しかし，感光器を用いて気体検知管の反応部分を調べることは個人の活動となるため，「(呼吸や燃焼により,) 酸素，二酸化炭素の濃度が変化した」という結果の共有や，その結果をもたらした要因を集団で解決する問題とすることをに行いづらい。また，指導者に目盛りを代読してもらった後まで，自ら学び，自分たちで問題を解決しようとする意欲や態度を維持することも難しい。

## 2 酸素/二酸化炭素センサを用いることによる，児童生徒の学びや育ちに対する可能性 音声出力機能，大型ディスプレイ等へのグラ

フ表示機能を備えた酸素/二酸化炭素センサを用いることにより、空気中の酸素と二酸化炭素の濃度の値を、視覚障がいのある児童生徒も仲間と同時に得ることができる。実験の結果が個人の体験の結果ではなく、学習集団の共通した体験の結果となる。このことで、一つの問題に対して互いに考えを発表し合い、問題を集団で解決しようとする学習が時間と意欲の両面から行いやすくなる。このことは、言語活動の充実や「科学的な思考・表現」を育てる指導の充実につながるものである。

また、酸素/二酸化炭素センサは、視覚障がいのある児童生徒にも操作することが可能である。自分で操作し、実験経過や実験結果を確認しながら学習を進めることができるので、「観察・実験の技能」を高め、積極的に学習しようとする態度や自分たちで問題を解決しようとする意欲を育むためにも効果的である。

さらに、気体検知管では検出することが困難な、刻々と変化する燃焼中や一呼吸ずつの酸素と二酸化炭素の濃度の変化も調べることができる。このことは、視覚障がいのある児童生徒に限らず、晴眼の児童生徒にとっても、変化とその要因について考察し、「自然事象についての知識・理解」を深めるために有効である。また、酸素、二酸化炭素に関わる学習内容から自分たちの体や自然との共生についての推論も進めやすくなり、生命や環境を尊重する態度を育てることに効果的である。

### 3 北海道内の4つの盲学校が連携した研究組織

酸素/二酸化炭素センサを含む装置が、視覚障がい（盲、弱視）をもつ児童生徒が通学する、盲学校の理科の学習において極めて有効な装置となることを検証するためには、本装置を盲学校での理科学習において活用し、視覚障がいをもつ児童生徒への学習効果を調べる必要がある。そこで、北海道内に4校ある盲学校の理科担当教諭と研究組織を立ち上げることにした。また、本研究を通して、盲学校の理科学習への、本装置の活用を促進するとともに、視覚障がい教育における理科の専門性の維持、継承など、盲学

校共通の課題を克服する方策としたいと考えた。ともに研究にあたった教諭は以下の通りである。

|       |            |
|-------|------------|
| 高橋 晋司 | 北海道函館盲学校教諭 |
| 内山 由貴 | 北海道札幌盲学校教諭 |
| 水沼 直美 | 北海道札幌盲学校教諭 |
| 千葉 秀輝 | 北海道札幌盲学校教諭 |
| 小倉 健太 | 北海道旭川盲学校教諭 |
| 秋山 卓也 | 北海道帯広盲学校教諭 |

### 4 活用方法を検討した学習場面<sup>3)</sup>

酸素/二酸化炭素センサを大型ディスプレイ等に接続し、音声を出力しながら、グラフを表示した。

#### (1) 小学6年「ものの燃え方」

2本の2Lペットボトルを連結し、一方のペットボトル内に酸素/二酸化炭素センサを入れた後、もう一方のペットボトル内でろうそくを燃焼させ、感光器が発する音の高さで明るさを調べた。ろうそくの火が小さくなり、明るさが暗くなるにつれ、感光器が発する音の高さは低くなる。全盲生は音声出力される数値、弱視生は大型ディスプレイに表示されるグラフから、ものの燃焼により、酸素が消費され、二酸化炭素が発生することを見出していた。

#### (2) 小学6年、中学1年「呼吸」(図1)

今回の実践では、「呼吸で出た空気の中には酸素はない」という生徒の考えから、その検証を行うために図2のような装置を作成して実験を行った。生徒たちはフリーザーバッグ内に入れた空気で呼吸し、呼吸によってそれぞれの気体の濃度がどのように変化するかを音声出力される数値より見出していた。



図1 フリーザーバッグを利用した実験装置  
(左の紙筒から息を吹き込み、右のフリーザーバッグ内にセンサを入れる)

(3) 中学1年「二酸化炭素と酸素の区別」



図2 センサとトラップ

図2のように、2枚のフリーザーバッグをパイプで連結し、一方のフリーザーバッグ内には酸素/二酸化炭素センサを入れ、もう一方のフリーザーバッグ

内には気体の発生に伴う水をトラップするためのティッシュを入れた。図3～5のように、底に穴を開けたペットボトル内とビーカーに試薬等を入れ、ペットボトルをビーカーに入れることで気体を発生させた。表1のように指導したところ、全盲生は音声出力される数値、弱視生は大型ディスプレイに表示されるグラフにより、発生した気体は何であるのかを見出していた。(図6～11)



図3, 4, 5 ペットボトルをビーカーに出し入れることで、気体が発生するタイミングと量を調節する

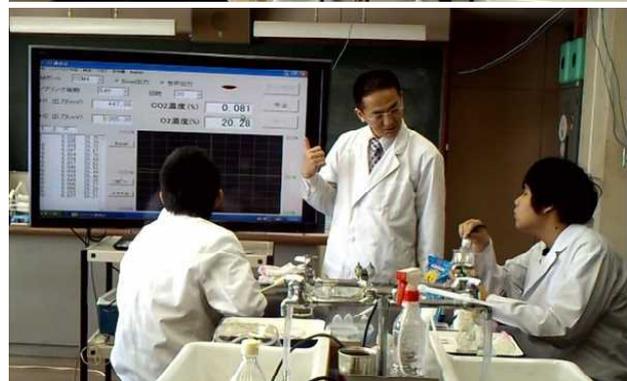


図6, 7 音声とグラフ表示から、発生した気体を見出す生徒の様子

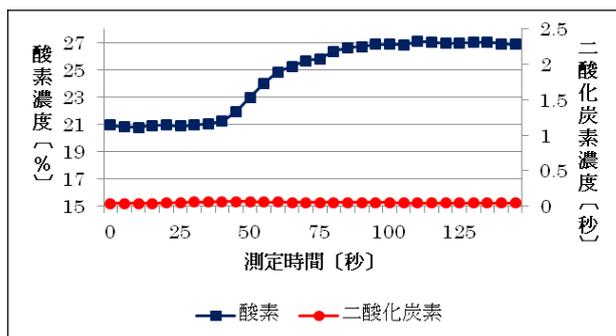


図8 二酸化マンガンと過酸化水素水 (酸素発生)

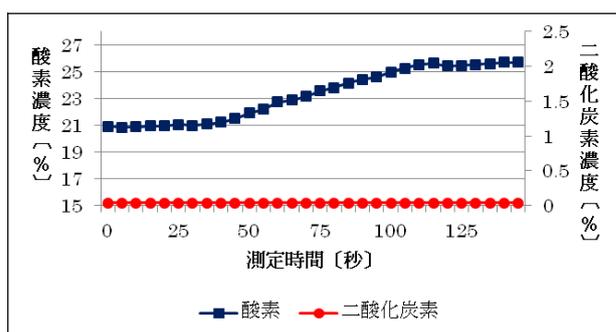


図9 レバーと過酸化水素水 (酸素発生)

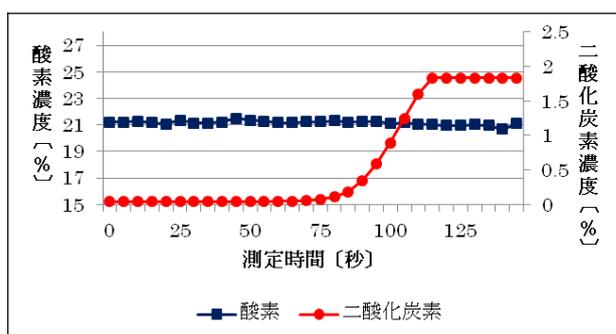


図10 石灰石と塩酸 (二酸化炭素発生)

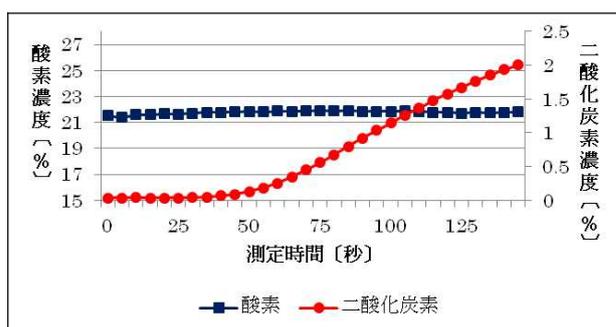


図11 重曹と食酢 (二酸化炭素発生)

[表1 指導案の概要]

| 1      | 題材名 「二酸化炭素と酸素の区別」  新しい科学1年 東京書籍 P.86～88   |  |         |           |         |     |   |   |      |         |  |  |        |        |      |     |     |     |      |         |                     |
|--------|---|--|---------|-----------|---------|-----|---|---|------|---------|--|--|--------|--------|------|-----|-----|-----|------|---------|---------------------|
| 2      | <p>題材について</p> <p>二酸化炭素，酸素については，小学校6年生で「ものが燃えるときには，空気中の酸素が使われて二酸化炭素ができること」「酸素はものを燃やすはたらきがある」「二酸化炭素は石灰水を白くにごらせるはたらきがある」「水溶液には，気体が溶けている」などを学習している。そこで本題材では，酸素，二酸化炭素を発生させてその性質を調べる実験を行い，それぞれの気体の特性を見出させるとともに，気体を発生させる方法などの技能を身につけさせることをねらいとする。</p>  |  |         |           |         |     |   |   |      |         |  |  |        |        |      |     |     |     |      |         |                     |
| 3      | <p>題材の目標</p> <p>○二酸化炭素と酸素の性質の調べ方について，その性質と関連づけて考えている。【関心・意欲・態度】</p> <p>○実験の結果をもとに，調べた気体の性質について説明することができる。【科学的な思考・表現】</p> <p>○適切な方法で二酸化炭素と酸素を発生させ，性質を調べることができる。【技能・表現】</p> <p>○二酸化炭素と酸素の性質を理解し，知識を身につけている。【知識・理解】</p>  |  |         |           |         |     |   |   |      |         |  |  |        |        |      |     |     |     |      |         |                     |
| 4      | <p>指導にあたって</p> <p>本題材は中学2年生（弱視生1名），3年生（点字生1名，弱視生1名）にとっては，1年時の復習にあたる。本時では，1年時の学習内容を復習するとともに，酸素/二酸化炭素センサを用いて発生した気体が何であるのかを判別させ，本教材の学習内容をより深められるようにしたい。</p> <p>また，理科の実験方法には教科書に掲載されているもの以外にも多くの実験方法があることや視覚に障がいのある生徒のために，多くの実験装置や学習方法が研究開発されていることを生徒に知らせ，理科への興味関心を高めさせたい。さらに，理科を学ぶ意義や有用性を感じ，今後の理科の授業へ期待感をもてるように指導していきたい。</p>   |  |         |           |         |     |   |   |      |         |  |  |        |        |      |     |     |     |      |         |                     |
| 5      | <p>本時の学習について</p> <p>(1) 本時の目標</p> <p>適切な実験方法で二酸化炭素と酸素を発生させ，1年時に学習したときの実験と今回の実験を比較し，酸素と二酸化炭素の発生方法についての理解を深めることができる。</p> <p>(2) 本時の展開</p>   |  |         |           |         |     |   |   |      |         |  |  |        |        |      |     |     |     |      |         |                     |
|        | <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>学習活動</th> <th>教師の支援・留意点</th> <th>■評価【方法】</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>導入</td> <td> <p>○本時の学習内容を知る。</p> <p>○酸素，二酸化炭素を発生する組合せに必要な物質を思い出し，ワークシート（表2）に記入する。</p> <p>○教師の質問に答えながら，1年時の学習内容を復習する。</p> </td> <td> <p>○酸素・二酸化炭素センサを示しながら，本時の学習内容を説明する。</p> <p>&lt;質問内容&gt;</p> <p>1. 酸素，二酸化炭素の収集方法</p> <p>2. 酸素，二酸化炭素の性質，調べ方</p> </td> <td></td> </tr> <tr> <td>展開</td> <td> <p><b>酸素，二酸化炭素は，どのような組合せのときに発生するのだろうか。～酸素/二酸化炭素センサを活用して見出そう～</b></p> <p>○実験方法を確認する。</p> <p>○実験を行う。</p> </td> <td> <table border="1"> <thead> <tr> <th>A群(個体)</th> <th>B群(液体)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>○レバー</td> <td>○食酢</td> </tr> <tr> <td>○重曹</td> <td>○塩酸</td> </tr> <tr> <td>○石灰石</td> <td>○過酸化水素水</td> </tr> </tbody> </table> <p>○実験方法を，器具を手で触って確認させながら説明する。</p> <p>○実験が円滑に進むように，適宜支</p> </td> <td> <p>■ &lt;技能&gt;</p> </td> </tr> </tbody> </table> |  | 学習活動    | 教師の支援・留意点 | ■評価【方法】 | 導入  | <p>○本時の学習内容を知る。</p> <p>○酸素，二酸化炭素を発生する組合せに必要な物質を思い出し，ワークシート（表2）に記入する。</p> <p>○教師の質問に答えながら，1年時の学習内容を復習する。</p> | <p>○酸素・二酸化炭素センサを示しながら，本時の学習内容を説明する。</p> <p>&lt;質問内容&gt;</p> <p>1. 酸素，二酸化炭素の収集方法</p> <p>2. 酸素，二酸化炭素の性質，調べ方</p> |      | 展開      | <p><b>酸素，二酸化炭素は，どのような組合せのときに発生するのだろうか。～酸素/二酸化炭素センサを活用して見出そう～</b></p> <p>○実験方法を確認する。</p> <p>○実験を行う。</p> | <table border="1"> <thead> <tr> <th>A群(個体)</th> <th>B群(液体)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>○レバー</td> <td>○食酢</td> </tr> <tr> <td>○重曹</td> <td>○塩酸</td> </tr> <tr> <td>○石灰石</td> <td>○過酸化水素水</td> </tr> </tbody> </table> <p>○実験方法を，器具を手で触って確認させながら説明する。</p> <p>○実験が円滑に進むように，適宜支</p> | A群(個体) | B群(液体) | ○レバー | ○食酢 | ○重曹 | ○塩酸 | ○石灰石 | ○過酸化水素水 | <p>■ &lt;技能&gt;</p> |
|        | 学習活動  | 教師の支援・留意点  | ■評価【方法】 |           |         |     |   |   |      |         |  |  |        |        |      |     |     |     |      |         |                     |
| 導入     | <p>○本時の学習内容を知る。</p> <p>○酸素，二酸化炭素を発生する組合せに必要な物質を思い出し，ワークシート（表2）に記入する。</p> <p>○教師の質問に答えながら，1年時の学習内容を復習する。</p>   | <p>○酸素・二酸化炭素センサを示しながら，本時の学習内容を説明する。</p> <p>&lt;質問内容&gt;</p> <p>1. 酸素，二酸化炭素の収集方法</p> <p>2. 酸素，二酸化炭素の性質，調べ方</p>  |         |           |         |     |   |   |      |         |  |  |        |        |      |     |     |     |      |         |                     |
| 展開     | <p><b>酸素，二酸化炭素は，どのような組合せのときに発生するのだろうか。～酸素/二酸化炭素センサを活用して見出そう～</b></p> <p>○実験方法を確認する。</p> <p>○実験を行う。</p>  | <table border="1"> <thead> <tr> <th>A群(個体)</th> <th>B群(液体)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>○レバー</td> <td>○食酢</td> </tr> <tr> <td>○重曹</td> <td>○塩酸</td> </tr> <tr> <td>○石灰石</td> <td>○過酸化水素水</td> </tr> </tbody> </table> <p>○実験方法を，器具を手で触って確認させながら説明する。</p> <p>○実験が円滑に進むように，適宜支</p> | A群(個体)  | B群(液体)    | ○レバー    | ○食酢 | ○重曹   | ○塩酸   | ○石灰石 | ○過酸化水素水 | <p>■ &lt;技能&gt;</p>  |  |        |        |      |     |     |     |      |         |                     |
| A群(個体) | B群(液体)  |  |         |           |         |     |   |   |      |         |  |  |        |        |      |     |     |     |      |         |                     |
| ○レバー   | ○食酢   |  |         |           |         |     |   |   |      |         |  |  |        |        |      |     |     |     |      |         |                     |
| ○重曹    | ○塩酸   |  |         |           |         |     |   |   |      |         |  |  |        |        |      |     |     |     |      |         |                     |
| ○石灰石   | ○過酸化水素水   |  |         |           |         |     |   |   |      |         |  |  |        |        |      |     |     |     |      |         |                     |

|   |   |  |   |
|---|---|--|---|
|   | <p>○実験について、ワークシートの2にまとめる。</p> <p>○ワークシートの2に記入した内容を発表する。</p>   | <p>援をする。</p> <p>○実験では必ず、安全メガネをするよう指示する。</p> <p>○1年時に学習したときの実験と今回の実験を比較し、良い点や改善点を考えることができるように適宜、支援する。</p> <p>※次の4つの組合せがあるので、一人1回は実験ができるようにする。</p> <p>○酸素</p> <p>①レバーと過酸化水素水</p> <p>②二酸化マンガンと過酸化水素水</p> <p>○二酸化炭素</p> <p>③石灰石と塩酸</p> <p>④重曹と食酢</p> | <p>実験をやり遂げることができたか。【観察】</p> <p>■〈技能〉</p> <p>ワークシートにまとめることができたか。【ワークシート】</p> |
| <p>まとめ</p>  | <p>○本時を振り返りながら、酸素、二酸化炭素の発生方法について確認する。さらに、教科書にある実験方法以外にも、たくさんの実験方法があることを知る。</p> <p>○ワークシートの3に授業の感想を書く。</p> | <p>○教科書にある実験方法以外にもたくさん方法があることや視覚に障がいのある生徒のために、近年では特にICTを利用して、多くの実験装置や学習方法が研究開発されていることを説明する。</p>  |   |
| <p>(3) 本時の評価</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>適切な実験操作で、二酸化炭素と酸素を発生させることができたか。</li> <li>1年時に学習したときの実験と今回の実験を比較し、酸素や二酸化炭素が発生する組合せについての理解を深めることができたか。</li> </ul> |   |  |   |

[表2 ワークシートの概要]

酸素・二酸化炭素センサを活用し、酸素と二酸化炭素の発生方法についての理解を深めよう。

1. 酸素と二酸化炭素を発生させるのに必要な物質を思い出そう。

【問題】 次のA群, B群をよくみて, 次の(1), (2)の問いに答えましょう。

|  |   |
|--|---|
| <b>A群 (個体)</b>                                     | <b>B群 (液体)</b>                                |
| <p>○レバー</p> <p>○重曹</p> <p>○石灰石</p> <p>○二酸化マンガン</p> | <p>○食酢</p> <p>○塩酸</p> <p>○オキシドール (過酸化水素水)</p> |

(1) 酸素が発生する物質の組合せを, A群, B群からそれぞれ一つずつ選んで考えてみよう。

(2) 二酸化炭素が発生する物質の組合せを、A群、B群からそれぞれ一つずつ選んで考えてみよう。

2. 中学1年生のときに学習したときの実験方法と今回の実験方法を比較して、今回の実験方法の良い点や改善してほしい点、悪い点を考えてみよう。

【良い点】

【悪い点や改善してほしい点】

3. 今回の授業の感想を書いて下さい。

(4) 中学2年「化学かいろ」



図12 酸素センサ，温度センサ

図12のようにペットボトルを利用した装置に酸素センサ，音声付き温度センサを取り付け，化学かいろを入

れた。実験前は図13のようであった装置が，実験後には図14のようになった。生徒は装置



図13 実験前の装置



図14 実験後の装置

を手に持って振り，化学かいろを反応させな

がら，手に伝わる熱と音声付き温度センサが読み上げる温度と，酸素センサが読み上げる酸素濃度の変化を聞き取ることで，熱の発生に関わる気体は何であるのかを見出していた(図15, 16)。



図15, 16 音声と触感から，化学かいろの熱発生に関わる気体を見出す生徒の様子

## 5 結果と考察

### (1) 授業における酸素/二酸化炭素センサの効果

#### ① 児童生徒の感想

- ・「二酸化炭素と酸素の区別」の授業後、生徒から「画面のグラフ表示から、発生した気体わかる」「気体が発生するときの音とセンサの音声の両方を聞くことができ、わかりやすかった」等の感想があった。
- ・「化学かいろ」の授業後、「温度上昇、ペットボトル変形と、TV画面グラフの酸素濃度の低下を結び付けて考えられ、発熱に酸素が必要なことがよくわかった」等の感想があった。
- ・「二酸化炭素と酸素の区別」、「化学かいろ」のいずれの授業でも、実験を自ら最後まで行い、その結果をダイレクトに音声や画面から得ることができるので、とてもわかりやすい授業である等の感想があった。
- ・画面に表示されるグラフの線については、色や太さをよりわかりやすいものにしてほしいという感想があった。

#### ② 参観した盲学校教員の意見

- ・能力的に低い生徒であっても、視覚（モニター）、聴覚（気体発声音、濃度変化の音声）、触覚（温度の変化）などの情報があり、授業内容がとてもわかりやすい。
- ・聞いてわかる、見てわかる、触ってわかる実験であった。「酸素/二酸化炭素センサ」を活用することで自ら体験的できる授業となっており、盲学校の児童生徒にとってはとてもわかりやすい授業であった。
- ・気体を発生させる実験と発生した気体が何かを調べる実験が一連のつながりになっているので、生徒にとってはとても理解しやすい。
- ・酸素/二酸化炭素センサの準備がもっと簡単な方がよい。どのようなパソコンでも使えるようになってほしい。

これらの感想から、全盲生にとっては音声出力機能、弱視生にとってはグラフ表示機能がとても効果的であることがわかる。多くの生徒、盲学校教員から肯定的な感想が得られ、視覚障がいをもつ児童生徒への理科学習に、

本センサの活用が有効であることが明らかとなった。

しかし、弱視生に対するグラフ表示の仕方には課題が残る。児童生徒一人一人の視機能の状態等により、一つのモニター表示が必ずしも見えやすいとは限らない。一人一人の視機能等の実態にあった表示の方法が必要であり、例えば一人一人に見えやすく調整されたiPad等のディスプレイを個別に配布し、見ることも方策として考えられる。今後の検討事項である。

### (2) 北海道内盲学校連携による研究の推進

北海道立教育研究所附属理科教育センターの支援のもと、北海道内の4校の盲学校の理科担当教員が本センサを活用した授業の研究に連携して取り組んだことにより、個に応じた教育のための研究が進められた。各授業実践における学習指導案の共有、授業を録画したDVDの各校への配布、出前授業、指導後に協議された内容の共有などの取り組みを進められた。この取り組みにより、道内の盲学校に通学する多くの児童生徒が酸素/二酸化炭素センサを活用した授業に参加できたことや道内盲学校の理科教員のネットワークができたことは大きな成果である。

## 6 まとめ

酸素/二酸化炭素センサの活用は、視覚障がいのある児童生徒に対し、授業内容の理解を容易にし、普段身近にある酸素や二酸化炭素についての学習を深める効果がある。酸素/二酸化炭素センサを活用した授業は、視覚障がいのある児童生徒のみならず、視覚認知処理が優位、または、聴覚認知処理が優位と判断される通常学級に在籍している児童生徒にも有効な、ユニバーサルデザインを意識した学習効果が期待できるものと考え<sup>4)</sup>。

こういった視点に立つことで、酸素/二酸化炭素センサの活用に限らず、これまで盲学校の理科教育で培われた学習方法が、通常校に通学する児童生徒や発達障がい等のある児童生徒への理科学習をより効果的なものにできる面が少なからずあるものと考えている。盲学校で特徴的に行われている理科の学習方法をこれまで以上

に他校種の先生方へ発信する取り組みも併せて進めていきたい。

(たかはし しんじ 北海道函館盲学校教諭)

(ちば ひでき 北海道札幌盲学校教諭)

また、広域性のある北海道において盲学校間の理科教員が連携し合う取り組みは、酸素/二酸化炭素センサの盲学校の理科学習への活用を促進するとともに、視覚障がい教育における理科の専門性の維持、継承など、盲学校共通の課題を克服する方策ともなった。現時点では道内での連携に限っているが、盲学校の理科学習に酸素/二酸化炭素センサの活用をさらに促進していくには、全国の盲学校の理科教員や通常校の理科教員等、または、他大学等の関係機関との連携協力していくといった視点も必要になるであろう。さらには、酸素/二酸化炭素センサのみならず、さまざまな取り組みをし、さまざまな学校での理科教育の発展に関わることができればと思っている。

#### 謝辞

酸素/二酸化炭素センサの盲学校における授業への活用について実践研究する機会をくださった松原静郎桐蔭横浜大学教授、本センサを開発なさった高橋三男東京工業高等専門学校教授に深く感謝します。

#### 参考文献

- 1) 高橋三男, 「手作り酸素センサの試作と実験」  
トランジスタ技術2003年12月号
- 2) 松原静郎 (研究代表者), 「科学の有用性を意識させ科学的な態度を育成する持続発展教材の国際協働研究」平成23～25年度日本学術振興会科学研究費補助金基盤研究(B)(課題研究 23300292)研究成果報告書(2012)
- 3) 高橋晋司, 内山由貴, 千葉秀輝, 小倉健太, 秋山卓也, 三木勝仁, 高橋三男, 松原静郎, 「視覚障がい児童生徒への酸素/二酸化炭素センサを用いた学習」日本理科教育学会第63回全国大会(北海道大会)(2013)
- 4) 千葉秀輝, 内山由貴, 水沼直美, 高橋晋司, 小倉健太, 秋山卓也, 三木勝仁, 高橋三男, 松原静郎, 「酸素/二酸化炭素センサを用いた理科学習の可能性」第55回弱視教育研究全国大会(青森大会・日本弱視教育研究会創立50周年記念大会)(2013)