原著論文

小学校理科教具の視点からの学習環境に関する一考察

—酸素センサ導入の試行授業における評価分析を通して—

後藤 顕一¹
 高橋 三男²
 飯田 寛志³

【要 約】

児童・生徒にとって求められる資質・能力の育成の必要性が示されている。資質・能力を育成するためには学習環境の充実が不可欠であり、理科においては、教材と教具のそれぞれの充実、さらには教材と教具の適切な結びつきと利用が求められる。学習環境の視点から、教具には実験や測定がしやすい計測装置、結果の明瞭性、安全性、実験の準備の簡便性等の充実が要素として挙げられる。学習環境の整備によって、学びが深まり、学習意欲を育成することが望まれる。そこで、本研究では、小学校理科において光合成で酸素を測定する授業を扱い、学習環境の違いによって学習者の学びがどのような違いがあるのか、用いる教材の評価とともに、比較・分析をすることを目的とする。研究方法として、教材を同一の内容にし、二種類の異なる教具を用意し、教具の違いにより学習環境の違いをデザインして実践する。異なる教具を用いたことによる学習環境の違いにより、子供たちの学びがどのように変容するのか、学習環境の視点から教材に必要な要素について、比較・分析した。比較・分析に用いる二種類の教具とは、平成20年度版の学習指導要領で用いられている気体検知管と理科教育用に開発した空気亜鉛電池による酸素センサ（高橋式酸素センサ）である。小学校の児童による試行実践を行ったところ、顕著な違いが見いだせたので報告する。

【キーワード】 学習環境、酸素センサ、気体検知管、計測

1. はじめに

平成30年度に向けた教育課程の議論では、時代に求められる資質・能力を育む観点から、学習方法や学習評価を一層充実させ、内容、学習方法と学習評価を一体的に進めていく方向性が明らかとなった（文部科学省，2015）。後藤（2014）は、理科で求められる資質・能力を育成するためには、内容と学習方法の結びつきが重要であることを指摘している。内容と学習方法を結びつけ、求められる資質・能力を育成するためには、学習環境の充実が不可欠である。三浦（2014）は、学習環境とは、「幼児児童生徒の学習に影響を与える場面的・背景的な要因。」とし、多様な観点による分類の中で、物的要因

を一つとしてあげ、教材・教具あるいは施設整備など学習に直接影響するものとして整理している。中内（1988）は、「教材は、目標の内容を子どもに学習させてゆくときの媒介物である。これを媒介に使うことによって指導目標をそれ無しには達成することのできない深さまで、より多くの子どもに、より楽しく習得させるべく特別に加工された文化財」とし、「教具は教材の物化され、直感化させた形である」としている。棚橋（1907）は、理科において教具が「教授の進行上に貢献する」こととして、「豊富にして明確なる直観」、「想像を活発ならしめて、明確なる理解」を与えること、現象の細密な吟味を得るために教具の準備さらには、保全改善の必要性を示している。また、渡辺、森本、小湊（2016）は、理科授業における資質・能力の育成を促す学習環境デザインの心理的・社会的な側面から論じ、教材の提示などの物理的な学習環境のデザインの基礎になるこ

¹ 国立教育政策研究所（現 東洋大学）

² 東京工業高等専門学校

³ 静岡県総合教育センター

とについて触れている。本研究では、物理的な側面からの学習環境の整備によって、学びが深まり、学習意欲を育成することについて触れていく。二つの側面から、理科にとって学習環境の充実、普遍的な課題であるとも言える。

そこで、本研究では、学習環境の一層の充実を目指し、教材を同一の内容にして、教具の違いにより学習環境の違いをデザインして実践する。教具の違いによる学習環境によって子供の学びにどのような違いがあるのかについて、比較・分析することを試みる。まずは、教具の違いにより、学習者の学びに向けての感じ方の違いについて明らかにし、子供の学びに与える影響について分析・検討し、さらには、用いた教具を評価することとした。

2. 研究の目的

理科の学習環境をデザインするための要因として、酸素濃度測定のための教具である酸素センサと気体検知管を捉え、授業実践における試行を通して、これらの教具の使用が理科学習に与える影響について比較検討することを目的とする。

3. 理科で育成すべき資質・能力の整理

文部科学省は、理科で育成すべき資質・能力を示している（文部科学省、2016）。理科で育成すべき資質能力について、知識・理解、思考力・判断力・表現力、学びに向かう力や人間性の視点で、学校種ごとに示され、さらに、資質・能力の育成のために重視すべき学習過程として、問題解決の過程を重視することが示されている。例として、本研究で対象とする小学校で育成すべき資質・能力を表1に示す。

さらに小学校の評価の観点として表2のように示している。

これらの資質・能力を身に付け、「観察、実験などを行い、器具や機器を目的に応じて扱うとともに、それらの過程や結果を的確に記録している。」ことを評価するためには、学習環境を支える教具の一層の充実が求められる。

4. 本研究で扱う教材と教具

本研究では、平成20年度版小学校学習指導要領の第6学年「人の体のつくりと働き」における呼吸と、「生物と環境」における光合成を教材として扱う。この教材について学習指導要領解説では、「人や他の動物の吸気と呼気の成分などを調べ、肺を通して血液中に酸素を取り入れ、血液中の二酸化炭素などを体外に排出するという呼吸の働きをとらえるようにす

表1 小学校理科で育成を目指す資質・能力

知識や技能	思考力・判断力・表現力等	学びに向かう力、人間性等	資質・能力の育成のために重視すべき学習過程等の例
■自然事象に対する基本的な概念や性質・規則性の理解	6年：自然事象の変化や働きについてその要因や規則性、関係を多面的に分析し考察して、より適切な考えをつくりだす力	■自然に親しみ、生命を尊重する態度	自然事象に対する気づき
■理科を学ぶ意義の理解	5年：予想や仮説などをもとに質的変化や量的変化、時間的変化に着目して解決の方法を発想する力	■失敗してもくじけずに挑戦する態度	問題の見だし
■科学的に問題解決を行うために必要な観察・実験等の基礎的な技能（安全への配慮、器具などの操作、測定の方法、データの記録等）	4年：見いだした問題について既習事項や生活経験をもとに根拠のある予想や仮説を発想する力	■科学することの面白さ	予想・仮説の設定
	3年：自然事象の差異点や共通点に気づき問題を見いだす力	■根拠に基づき判断する態度	検証計画の立案
		■問題解決の過程に関してその妥当性を検討する態度	観察・実験の実施
		■知識・技能を実際の自然事象や日常生活などに適用する態度	結果の整理
		■多面的、総合的な視点から自分の考えを改善する態度	考察や結論の導出

表2 小学校理科の評価の観点

知識・技能	思考・判断・表現	主体的に学習に取り組む態度
・自然の事物・現象に対する基本的な概念や性質・規則性について理解し、知識を身に付けている。	・自然の事物・現象の中に問題を見だし、見通しをもって観察、実験などを行い、得られた結果を考察し、適切な考えを表現している。	・自然に親しみ、積極的に自然の事物・現象を調べようとするとともに、問題解決の過程などを通して獲得した知識・技能や思考力・判断力・表現力を日常生活などに生かそうとしている。

る。」「生物は酸素を吸って二酸化炭素をはき出しているが、植物は光が当たると二酸化炭素を取り入れて酸素を出すことなど、生物が空気を通して周囲の環境とかかわって生きていることをとらえるように

する。」とし、「人や他の動物の呼吸を調べる活動では、指示薬または気体検知管などによる酸素や二酸化炭素などの測定が考えられる。」「呼気に何が含まれているかを調べるために、石灰水に息を通したり気体検知管を活用したりして、酸素や二酸化炭素の検出を行うことが考えられる。」としている（文部科学省，2008）。

学習環境の視点から、教具には、酸素の検出に気体検知管を活用することが示されている。そこで、酸素の検出に用いる教具として、気体検知管と酸素センサを用いた場合とで学習環境の違いによる違いを比較・検討することとした。まずは、気体検知管がどのようにして測定に用いられるようになったのか経緯とともに教科書記載について、さらには実践の先行研究について明らかにする。

4.1.1 教科書での気体検知管の扱い

気体検知管は、古くは、第二次大戦中に戦闘機や戦車などの内燃機関より排出する一酸化炭素を検知管に類する器具によって測定したとされている（光明理化学工業（株），2012）。戦後間もなく、主に有害気体を扱う際の工程管理、品質管理などに用いられ、多くの種類の気体検知管が使われるようになった。小学校の教科書で気体検知管が取り入れられるようになったのは、平成元年度版以降の学習指導要領からである。7社の当時の教科書について、時代を追って調査してみたところ、昭和時代の教科書には記載がなかったが、平成3年検定済教科書では、いくつかの教科書に記載され、平成11年検定済教科書では調査したほとんどの教科書に記載が見られるようになった¹⁾。

指導書、学習指導要領解説における気体検知管の扱いに関しては、平成元年版では第6学年「A生物とその環境」の動物の体、人の体における計測場面で、「指示薬または気体検知管などによる酸素や二酸化炭素の測定」とあり、2カ所に記述されている（文部省，1989）。また、平成11年版はこれらに加えて「B物質とエネルギー」の物質の燃焼における計測場面で「気体の中で物を燃やしたり、石灰水と反応させたり、気体検知管を用いたりすることによって調べる」とあり、3カ所にわたり記述がされている（文部省，1999）。さらに、平成20年版では、酸素を測定する内容は、第6学年の燃焼、呼気、光合成を扱う単元に含まれ（文部科学省，2008）、これらの実験で気体検知管を用いることが明記されている。そして、平成23年検定済教科書の全てに気体検知管による燃焼、呼気、光合成についての測定が示され²⁾、

現在でも多くの小学校で気体検知管が使用されている。

4.1.2 気体検知管についての先行研究

気体検知管による研究は、いくつかの方向性で進んでいるようである。一つは、気体検知管の出現によってこれまで定性的にしか扱えなかった内容を定量的に扱うことができるようになり、それを深める実践研究もいくつか見られる（例えば、横須賀，1994）。これに対し、平山ら（2014）は、気体検知管では測定の過程を示せないことを示した上で、ICTを活用したデータロガーによる酸素センサの有効性について述べている。また、大黒ら（2014）は、気体検知管の操作方法について、マンガを用いた反転授業の結果から気体検知管の操作の困難性を示している。また、気体検知管の実験指導の困難性についての研究も報告されている。科学技術振興機構（2011）では、調査した約4割の教員が、気体検知管を用いた実験指導に自信が持てないとの報告がある。

4.2 酸素センサ（高橋式酸素センサ）の概要

学習環境の充実を考えるにあたり、これら先行研究を踏まえて、小学校理科において、教具として気体検知管と比較するために、理科教育用に開発した空気亜鉛電池式酸素センサ（高橋式酸素センサ）を用いて試行授業を行うとともに結果について検討した。

本研究で用いる酸素センサは、補聴器用の電池の特性を精緻に分析し、理科教育用の酸素センサとして使用しているものである。また、テストを利用した数値表示で小学生にもわかりやすいようにしている。この酸素センサは、瞬時の計測が可能であり、かつ、数値で表示がされ、経時的な変化を捉えることができ、しかもセンサのサイズがペットボトルの口から挿入できるコンパクトなサイズに設計されている。操作性や安全性の面でも理科教育用に考慮されているのが特徴である。以下に高橋式酸素センサの概略図を図1に示す。

これまでも、高橋らは、高橋式酸素センサを用い

図1 高橋式酸素センサの概略図
(左図は上から見た図、右図は横から見た図)

た実験例とその有効性について論文等で示してきた。例えば、使い捨てカイロの実験、呼気の実験、ろうそくの消炎実験等において、学校現場で簡単な実験が可能なることを報告している。また、キノコの呼吸実験、赤、青ピーマンの呼吸実験、バナナの呼吸実験など、酸素に関わる実験において、工学的な分析において2倍以上の検出能力を有することを報告している。

これらの報告は、学習指導要領に沿った学習そのものを示したのではなく、研究段階のものである。

これらの詳しい報告に関しては、高橋らの一連の論文（例えば、高橋、2014等）を参照にされたい。

5. 比較分析の視点と分析方法

5.1 質問紙調査項目の設定

試行授業の分析を行うため、実践後に質問紙調査を実施した。質問紙調査項目については、中嶋(1993)の「小学校における理科教具の見直しと開発に示されている見直しの視点」を参考にして必要事項を抽出した。質問項目としては、実験の操作性、結果の明瞭性、安全性、実験結果の判読困難性、実験準備・片付けの容易性、簡便性、個別性の観点から調査することとし、表3に示す質問項目で実施することとした。

質問項目①～⑧は、「とてもそう思う」「まあまあそう思う」「あまりそう思わない」「まったくそう思わない」の四件法で回答を求めることとした。また、それぞれ選択した理由を自由記述で求めた。さらに試行実践全体を通じての感想を自由記述で求めることとした。

5.2 授業の状況と分析結果・考察

気体検知管と酸素センサのそれぞれを酸素濃度測定の実験として用いる場合を比較するため、授業の状況に関する分析を行うとともに、質問紙調査の質問項目と自由記述の回答結果とその関連性について

表3 質問項目

①測定はしやすかった
②実験の結果は分かり易かった
③安全に実験できた
④数値が読みにくかった
⑤実験の準備はしやすかった
⑥実験の片付けはしやすかった
⑦すぐに測定結果が得られた
⑧一人で実験してみたいと思った

分析を行うこととした。質問項目の回答を分析した上で、自由記述の形態素解析を行い、その結果から頻出語の関係性を検討した上で記述の分類を試み、質問項目の回答分析と記述の分類分析との関連を検討することによって、酸素センサと気体検知管の使用が理科学習に与える影響について比較検討することを試みる。なお、形態素解析は、KH Coder Ver. 2 beta, 32fを用い、統計的検定はSPSS22, R ver3.2.1及びパッケージCVST ver. 0.2.1を用いて行うこととした。

6. 試行授業実践の概要と結果

6.1 試行授業実践の概要

酸素センサを用いる試行授業の実践の概要を示す。気体検知管を用いた実践との比較を行うため、特別な実験を行うのではなく、通常授業で行われてきた授業における児童による実験を計測器のみ置き換えた形で実践をした。

対象：6年生（男子12人、女子11人、計23人）

場所：公立A小学校理科室

アンケート等分析対象：本論文で扱っている試行授業受講児童とともに、別の日に試行授業を受けた計60名

「生物と環境」における植物の光合成について教材を同一にするため、教科書で示されている学習内容をおこない、授業では「生物と環境」光合成に伴う酸素濃度変化の測定について気体検知管を用いて行った。試行実践は、同じ学習内容を、酸素センサを活用した同じ6年生で行った。試行実践の流れと概要を表4に示した。

6.2 授業の状況の分析

表4の内容2「呼気とコマツナの光合成による酸素濃度変化の測定」におけるコマツナの光合成による酸素濃度変化の測定結果例を表5に、実験時の様子を図2に示した。

6年生「生物と環境」では、植物の光合成による酸素濃度の増加を測定するための実験を行う。教科書では、一般に酸素濃度の測定実験に酸素用気体検知管を用い、植物に日光を当てる前後の酸素濃度を測定する。日光の照射時間は1時間程度またはそれ以上であるとされている。気体検知管を用いる場合に1時間では終わることのできない同様の実験が、酸素センサを用いると、5分程度の測定で結果が得られることが分かった。これは、高い感度と応答性により、微小な酸素濃度の時間変化も捉えることができるためである。実験実施後、測定値を全員で確認・

表4 授業の流れと概要

内容 (経過時間)	概要	児童の動き	授業の様子
1 時間目 1 気体検知管と 酸素センサ (0～11分)	気体検知管を用いた代表児童による呼気中の酸素濃度の測定と教師による酸素センサの操作説明	実験方法の共有	児童全員が気体検知管の使用方法を振り返るとともに、気体検知管を扱う際の注意点についての再確認が促されていた。
2 呼気とコマツナ の光合成による酸素濃度 変化の測定 (11～41分)	酸素センサを用いた・呼気測定体験・コマツナをビニル袋に入れ、呼気を吹き込んだ後、光を照射し1分ごとの変化を測定・全体共有	・全員が体験測定値を共有 ・各班実験、測定値を読み上げて記録 ・班で発表	・全員が測定値を共有できていた。 ・全班記録できていた。 ・共有できていた。
3 他の葉物野菜 の光合成による酸素濃度変化についての 仮説 (41～45分)	切った葉物野菜を袋に入れ光を当てると、酸素の割合は増えるのか？	仮説「増えると思う（同じ葉物野菜だから）」後、用意された他の野菜を各班で選択	・仮説にいたる思考過程について質問され、児童は「類推」と一斉に回答していた。
2時間目 4 光を当てては かってみよう (0～21分)	実験結果の予想をするとともに、実験開始前にノート整理	個人で考えた後、班での話し合い	まとめる時間が確保され、思考の整理が促されていた。
5 実験 (21～45分)	酸素センサを用いた測定実験開始	・各班での実験の工夫 ・分担を決め、ローテーションし、意見交換しながら実験を遂行	・センサを自由に使用していた。 ・技術的な困難は全くない様子であった。 ・経時的な変化を無理なく測定していた。

共有し、その場で測定したデータを基に思考し、分かったことを児童の言葉で説明するなどの時間を授業時間内で十分に確保することが可能であるなど、気体検知管の代わりに酸素センサを用いることによって、表1の資質・能力の育成のために重視すべき学習過程等の例に示す「観察・実験の実施」「結果の整理」「考察や結論の導出」により多くの時間をかけることができると考えた。また、酸素センサを用いる実験の場合、気体検知管と比較して酸素センサの高い精度と応答性から、卓上用ライトを用いて市販の葉物野菜を活用することにより、天候や季節を

表5 コマツナへの光照射と酸素濃度の変化の例

光照射時間(分)	0	1	2	3	4	5
酸素濃度(%)	16.8	16.9	17.2	17.3	18.1	18.5

図2 光合成による酸素濃度変化の測定

上段：1時間目「呼気とコマツナの光合成による酸素濃度変化の測定」

下段：2時間目「光を当ててはかってみよう」

問わず、微小な酸素濃度の変化を捉える実験や、酸素濃度の経時変化の測定実験が可能であるといえる。

6.3 質問項目の分析

異なる教具を用いた実践でそれぞれ同じ項目からなるアンケートを行い、比較分析した。分析には、四件法で用いた「とてもそう思う」「まあまあそう思う」を肯定的回答、「あまりそう思わない」「まったくそう思わない」を否定的回答として、気体検知管を用いる場合と酸素センサを用いる場合に対する肯定的回答と否定的回答の回答数を表6に示した。また、各質問項目について、気体検知管に対して否定的回答をし、かつ、酸素センサに対して肯定的回答をした人数と、逆に気体検知管に対して肯定的回答をし、かつ、酸素センサに対して否定的回答をした人数、それ以外の回答人数を表7に示した。

まず、気体検知管に対して否定的回答をし、かつ、酸素センサに対して肯定的回答をした人数と、気体検知管に対して肯定的回答をし、かつ、酸素センサ

表 6 気体検知管と酸素センサに対する回答

質問項目	気体検知管			酸素センサ		
	肯定	否定	N	肯定	否定	N
①測定はしやすかった	36**	15	51	57**	3	60
②実験の結果は分かり易かった	31	22	53	58**	1	59
③安全に実験できた	37**	15	52	59**	1	60
④数値が読みにくかった	29	24	53	9	50**	59
⑤実験の準備はしやすかった	35*	18	53	56**	3	59
⑥実験の片付けはしやすかった	34*	18	52	51**	3	54
⑦すぐに測定結果が得られた	23	28	51	50**	9	59
⑧一人で実験してみたいと思った	19	32 [†]	51	37 [†]	23	60

Nは調査人数 60 人のうちの無回答を除いた人数

**p < .01 *p < .05 †p < .10

表 7 気体検知管と酸素センサの比較結果

質問項目	酸素センサ		それ以外	N
	肯定 気体検知管	否定 気体検知管		
①測定はしやすかった	15**	3	33	51
②実験の結果は分かり易かった	22**	1	29	52
③安全に実験できた	15**	1	36	52
④数値が読みにくかった	4	25**	23	52
⑤実験の準備はしやすかった	16**	1	35	52
⑥実験の片付けはしやすかった	16**	2	30	48
⑦すぐに測定結果が得られた	22**	2	27	51
⑧一人で実験してみたいと思った	17**	3	31	51

Nは調査人数 60 人のうちの無回答を除いた人数

**p < .01

に対して否定的回答をした人数を比較したところ、すべての質問項目の視点で、気体検知管に対して否定的な回答をし、かつ、酸素センサに対して肯定的な回答をした人数が有意に多いことが分かった（直接確率計算，両側検定）。このことから、児童は酸素センサを活用した実験において、質問項目①～⑧の視点で気体検知管と比較して酸素センサをより肯定的に捉えていると推察した。また、酸素センサのみ

について肯定的な回答と否定的な回答を比較したところ、すべての質問項目で肯定的な回答が有意に多いことが分かった（直接確率計算，両側検定）。このことから、1 節で示した酸素センサの高い精度と応答性を前提とした、実験の操作性、結果の明瞭性、安全性、実験結果判別の困難性、実験準備・片付けの容易性、簡便性、個別性が、気体検知管よりも酸素センサの方がより受け入れられていると推察した。気体検知管では測定が困難な酸素濃度 0.1% の変化を、児童にとって特別な操作を要せずに繰り返し測定できる点が、小学校理科における酸素濃度の測定教具としての酸素センサの優れた特徴であるといえる。

一方、気体検知管のみについても、肯定的な回答と否定的な回答を比較したところ、気体検知管においても質問項目「測定はしやすかった」「安全に実験できた」「実験の準備はしやすかった」「実験の片づけはしやすかった」については有意に肯定的な回答が多いことが分かった（直接確率計算，両側検定）。このことから、児童は、実験の操作性、安全性、実験準備・片付けの容易性については気体検知管についても肯定的に捉えていると推察した。酸素だけでなく、二酸化炭素などの様々な種類の気体についても同様な操作で測定できること、気体によっては測定濃度範囲の選択が可能であること、ガラス製検知管の両端を安全に開封するための器具があること、測定に用いる器具が気体採取器と検知管だけであることなどが、質問項目「測定はしやすかった」「安全に実験できた」「実験の準備はしやすかった」「実験の片づけはしやすかった」についての肯定的な回答につながったと考えられる。酸素センサとの比較においては否定的に捉えられたものの、従前から授業で用いられている気体検知管が、測定のしやすさ、準備・片付けのしやすさ、安全面については児童に受け入れられていると考えた。しかし、実験結果の明瞭性、実験結果の判読困難性については酸素センサとは異なり肯定的回答が多いとはいえない結果となったことは、気体検知管の濃度目盛りの変色部分の読み取りがはっきりしない場合がある（ガステック，2016）ことが要因の一つであると考えた。

6.4 自由記述の分類・分析

次に、質問紙調査の試行授業全体を通じての感想について分析を行った。

まず、児童の感想を概観すると、記述中には主に授業に対する印象的な感想や内容理解に関する感想に加えて、酸素センサに関する記述が多数見られる

ことが分かった。そこで、感想中に表れる酸素センサに対する言及が、どのような視点を持つのか確かめるために、感想記述文の形態素解析の結果を活用することとした。なぜならば、形態素解析の結果として得られる、感想記述中に出現する頻出語の用いられ方を検討することによって、感想記述文の持つ視点を明らかにし、記述文の分類ができると考えたからである。

記述文の形態素解析を行う場合、KHCoder による形態素解析では、記述文中の「酸素」と「センサ」はそれぞれ異なる語として抽出されるが、「酸素センサ」として多くの記述中に出現していることから、これらの語が同時に用いられている場合は「酸素センサ」として抽出することとした。また、「気体」と「検知管」についても同様に「気体検知管」として抽出した。児童 60 人のうちの無回答を除いた 55 人の記述文について形態素解析を行った結果の一部を表 8 に示し、抽出した語が感想自由記述中でどのような使われ方をしているのか分析し、児童の記述文とともに以下に示した。

まず「酸素センサ」は 55 人中 25 人の記述文に出現し、「気体検知管」は 55 人中 8 人の記述文に出現していた。

「やすい」については 55 人中 24 人の記述文に出現し、「する」「実験」「やる」などとともに、酸素センサに対する「実験操作の容易性」の視点で用いられていた。

- ・実験しやすかったです
- ・酸素センサは気体検知管より簡単なのでやりやすかった
- ・簡単に使いやすかった
- ・酸素センサが測定しやすく、

表 8 感想自由記述に出現する形態素の例

抽出語	品 詞	記述数
酸素センサ	(強制抽出語)	25
やすい	形容詞	24
する	動詞 B	19
実験	サ変名詞	19
思う	動詞	18
できる	動詞 B	15
やる	動詞 B	12
分かる	動詞	10
気体検知管	(強制抽出語)	8
分析対象記述総数		55

品詞は KH Coder によるもの。ただし、形容詞は自立と非自立の別に抽出されたものを合計した記述数としている。

- ・酸素センサはものすごく扱いやすい

また「やすい」は「分かる」などとともに、酸素センサに対する「実験操作の容易性」「実験結果の明瞭性」「実験結果の判読容易性」の視点で用いられていた。

- ・実験器具の使い方が分かりやすくて良かった（実験操作の容易性）
- ・結果が分かりやすかった（実験結果の明瞭性）
- ・酸素センサの数値が数字で出るので読みやすかった（実験結果の判読容易性）

「できる」は 55 人中 15 人の記述文に出現し、その他の抽出語とともに酸素センサに対する「実験操作の容易性」「測定の即時応答性」の視点で用いられていた。

- ・簡単に実験することができる（実験操作の容易性）
- ・酸素センサの方がすぐにできると分かった（測定の即時応答性）

その他、これらの抽出語が酸素センサに対する「実験の安全性」「実験準備の容易性」「酸素センサへの期待」「酸素センサの機能や仕組み」「測定の発展性」の視点で用いられていることを確認した。

- ・酸素センサは安全だし準備も簡単でした（実験の安全性、実験準備の容易性）
- ・また酸素センサを使って実験したい（酸素センサへの期待）
- ・なんで、電気をつなぐと酸素の割合が分かるのか疑問に思った（酸素センサの機能や仕組み）
- ・酸素センサは二酸化炭素も調べることができるんですか（測定の発展性）

なお、「思う」については語の用いられ方に明確な規則性がなかった。

以上の「実験操作の容易性」「実験結果の明瞭性」「実験結果の判読容易性」「測定の即時応答性」「実験の安全性」「実験準備の容易性」「酸素センサへの期待」「酸素センサの機能や仕組み」「測定の発展性」の視点は、酸素センサを活用した測定に関係するものであるが、これらの視点を持たない記述文は「内容理解」「授業や酸素センサに対する抽象的な印象」などの視点で記述されていた。

- ・あらためて植物のはたらきが分かった（内容理解）
- ・楽しく理科の実験をできて良かった（授業の抽象的な印象）
- ・酸素センサという機器はすごいと思った（酸素センサの抽象的な印象）

6.5 質問項目と自由記述との関係に関する考察

以上に示した視点により記述文を分類し、それぞれ

れの視点を含む記述数について表9に示した。なお、一つの記述文が複数の視点に分類されることを認め、記述文が各視点を含んでいれば1、含んでいなければ0として集計し、それぞれの視点を含む記述数を合計してまとめた。

表6の視点1～9は、酸素センサを活用した測定に関するものであり、これらの視点を含む記述数と含まない記述数を比較したところ、酸素センサを活用した測定に関する視点を含む記述数の方が多い傾向があることが分かった（直接確率計算、両側検定、 $p=.058$ ）。このことから、児童は感想の自由記述をする際に、酸素センサを活用した測定について意識している傾向があると推察した。酸素センサを活用した測定に関する各視点が、児童の印象に一定程度影響を与えたことが示唆される。続いて、これらの視点について詳しい分析を試みた。

視点1～6は、質問紙調査の項目との間で、「実験操作の容易性」と「測定はしやすかった」、「実験結果の明瞭性」と「実験の結果は分かりやすかった」、「実験の安全性」と「安全に実験できた」、「実験結果の判読容易性」と「数値が読みにくかった」、「実験準備の容易性」と「実験の準備はしやすかった」、「測定の即時応答性」と「すぐに測定結果が得られた」に、それぞれ対応が見られると判断した。質問紙調査にはこれら以外の質問項目もあることから、すべての質問項目について、児童が酸素センサに対して有意に肯定的な見方をする中で、これら6つの視点に対応する質問項目をより意識していることが示唆された。

これらの視点1～6に視点7～9を加えた、酸素セ

ンサを活用した測定に関する分類の視点ごとの記述数について、Cochran Q 検定及び McNemar 検定による Holm 法を用いた多重比較により比較を行い、表10に示した。その結果、視点ごとの記述数の比率には有意な差が認められ、多重比較の結果「実験操作の容易性」がその他のすべての視点に対して有意に記述数の比率が大きいことが分かった。このことから、児童は視点「実験操作の容易性」とそれに対応する質問紙調査の項目「測定はしやすかった」について特に意識していると考えた。酸素センサを活用した測定において、「実験操作の容易性」が主な特徴であるとしたならば、気体検知管と比較した場合、児童が特に意識しているこの視点を生かした観察・実験への活用が望まれる。例えば、予想や仮説を検証するための実験方法を児童に発案させ実施したり、授業中に生じた疑問を確かめるための実験方法を工夫させたりすることが考えられる。なお、感想自由記述の中には酸素センサの改善を指摘する内容の記述文が一つあった。

表 10 分類ごとの比較

分類の視点		1	2	3	4	5	6	7	8	9
多 群 比 較	記述数	23	2	5	2	1	1	5	3	6
	N					55				
	Q					77.8				
	p					**				
分類の視点		1	2	3	4	5	6	7	8	9
多 重 比 較	1	—								
	2	**	—							
	3	**	n.s.	—						
	4	**	n.s.	n.s.	—					
	5	**	n.s.	n.s.	n.s.	—				
	6	**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	—			
	7	**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	—		
	8	**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	—	
	9	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	—

視点1「実験操作の容易性」

視点2「実験結果の明瞭性」

視点3「実験の安全性」

視点4「実験結果の判読容易性」

視点5「実験準備の容易性」

視点6「測定の即時応答性」

視点7「酸素センサへの期待」

視点8「酸素センサの機能や仕組み」

視点9「測定の発展性」

N：分析対象記述総数

Q：自由度8の Cochran Q 検定の Q 統計量

** $p < .01$ * $p < .05$ n.s. $p > .05$ —：分析対象外

表 9 感想自由記述の分類

分類の視点		記述数
1	実験操作の容易性	23
2	実験結果の明瞭性	2
3	実験の安全性	5
4	実験結果の判読容易性	2
5	実験準備の容易性	1
6	測定の即時応答性	1
7	酸素センサへの期待	5
8	酸素センサの機能や仕組み	3
9	測定の発展性	6
10	内容理解	3
11	授業や酸素センサに対する抽象的な印象	35
視点1～9を含む記述数		35
視点1～9を含まない記述数		20
分析対象記述総数		55

- ・安全面的には断然酸素センサ、でも少し見にくいから、そこを改善してほしい

この意見は、デジタルテストの数字を読む際に、酸素センサの応答性の良さから、酸素濃度変化に対して数字が変化する場合の読み取りにくさが要因の一つとして考えられる。これについては、数値を一時的に固定化し、保持する機能を有するデジタルテストを用いることによって、改善が促され则认为られる。児童が変化の大きい酸素濃度を測定する際には、このような配慮をすることも必要であると考えた。

以上、1～4節を総合すると、気体検知管と比較して酸素センサが小学校理科の酸素濃度測定の教具としての優れている点、気体検知管と酸素センサが児童から受け入れられている点、特に酸素センサを活用した実験においては児童が「実験操作の容易性」について意識している点が明らかになった。

7. まとめと今後の課題

評価に関する質問紙の分析から、同じ教材であっても教具の選択による学習環境の違いから、児童の学びも違いが出てくることが明らかになった。学習環境のより一層の充実と改善、その視点を持つこと、さらには、有効な教具の選択を模索し続けることが必要であることが明らかになった。

今回の実践では、児童にとって酸素センサを用いる学習環境の変化が気体検知管との比較において有効である点があることが示された。特に、児童は「実験操作の容易性」とそれに対応する質問紙調査の項目「測定はしやすかった」に意識があることが分かってきた。操作性に意識が向くということは、児童が主体的に行う実験授業を実施しやすくなることが期待できる。そのことを踏まえて、授業を構成することが可能になり、小学校から平成20年度版の学習指導要領で扱われている燃焼実験、呼気実験、光合成実験について、経時的な変化を扱うことが可能となり、活用型でかつ深い学びにつなげることが可能になると考えられる。酸素センサを用いることは、計測したデータを基に論理的に思考したり、判断したりしながら、根拠をもって説明する力の育成への期待が持てる結果となった。

8. おわりに

本報告は、学習環境について、小学校理科の教具の充実に焦点を当てて示した。資質・能力の育成に向けては、学校種ごとの教具の充実の視点、さらには教材の精緻化の視点も必要であり、さらなる研究が求められる。

謝辞・附記

本研究を行うにあたり、国立第三小学校教諭高木正之氏には、授業実践に際して多大なご協力を頂きました。ここに深く感謝いたします。

なお、本研究は、科研費（基盤研究C、課題番号2635260、研究代表者 後藤顕一）により実施された。

また、高橋式酸素センサは、そのアイデアを利用して、教材会社において濃度%で表示される等の工夫がなされて、製品化され、一般に供給される準備が整いつつある。詳細は各社カタログなどを参照のこと。

註

1) 【平成3年検定済教科書】

水野丈夫・三浦登ほか25名(1991)『新しい理科6上』東京書籍、52-53.

水野丈夫・三浦登ほか25名(1991)『新しい理科6下』東京書籍、51.

霜田光一、沼田真ほか24名(1991)『小学校理科6年下』学校図書、46.

永野重史、宮脇昭ほか18名(1991)『新版理科6下』教育出版、47、63.

大木道則ほか32名(1991)『理科6年上』新興出版社啓林館、49.

大木道則ほか32名(1991)『理科6年下』新興出版社啓林館、55.

内田正男、根本和成ほか55名(1991)『みんなの理科6年下』学習研究社、6、59.

以下の教科書は、記載が見当たらなかった。

戸田盛和ほか41名(1991)『たのしい理科6年上』大日本図書.

戸田盛和ほか41名(1991)『たのしい理科6年下』大日本図書.

霜田光一、沼田真ほか24名(1991)『小学校理科6年上』学校図書.

永野重史、宮脇昭ほか18名(1991)『新版 理科6上』教育出版.

掛川一夫(1991)『新しい理科6年上』信州教育出版社.

掛川一夫(1991)『新しい理科6年下』信州教育出版社.

内田正男、根本和成ほか55名(1991)『みんなの理科6年上』学習研究社.

【平成7年検定済教科書】

三浦登・奥井智久ほか29名(1995)『新編 新しい理科6上』東京書籍、18.

三浦登・奥井智久ほか29名(1995)『新編 新しい理科6下』東京書籍、40.

戸田盛和ほか42名(1995)『新版 たのしい理科6下』大日本図書、20.

日高敏隆ほか28名(1995)『小学校理科 6年下』学校図書, 19, 59.

永野重史, 宮脇昭ほか20名(1995)『理科 6下』教育出版, 5, 62.

大木道則ほか32名(1995)『新訂 理科 6年上』新興出版社啓林館, 7, 32-33.

大木道則ほか32名(1995)『新訂 理科 6年下』新興出版社啓林館, 48.

以下の教科書は, 記載が見当たらなかった。

戸田盛和ほか42名(1995)『新版 たのしい理科 6上』大日本図書.

日高敏隆ほか28名(1995)『小学校理科 6年上』学校図書.

永野重史, 宮脇昭ほか20名(1995)『理科 6上』教育出版.

掛川一夫(1995)『新しい理科 6年上』信州教育出版社.

掛川一夫(1995)『新しい理科 6年下』信州教育出版社.

【平成11年検定済教科書】

三浦登・奥井智久ほか28名(1999)『新訂 新しい理科 6上』東京書籍, 9, 18.

三浦登・奥井智久ほか28名(1999)『新訂 新しい理科 6下』東京書籍, 46.

戸田盛和ほか48名(1999)『新訂 たのしい理科 6下』大日本図書, 20-21.

日高敏隆ほか71名(1999)『みんなと学ぶ 小学校理科 6年上』学校図書, 7.

日高敏隆ほか71名(1999)『みんなと学ぶ 小学校理科 6年下』学校図書, 18-19, 54.

永野重史, 養老孟司ほか22名(1999)『理科 6上』教育出版, 57.

永野重史, 養老孟司ほか22名(1999)『理科 6下』教育出版, 40.

掛川一夫(1999)『新しい理科 6年上』信州教育出版社, 11-12.

掛川一夫(1999)『新しい理科 6年下』信州教育出版社, 39.

竹内敬人, 武村重和, 森一夫ほか32名(1999)『新版 理科 6年上』新興出版社啓林館, 4-5, 32.

竹内敬人, 武村重和, 森一夫ほか32名(1999)『新版 理科 6年下』新興出版社啓林館, 45.

以下の教科書は, 記載が見当たらなかった。

戸田盛和ほか48名(1999)『新訂 たのしい理科 6上』大日本図書.

2) 「燃焼」「呼吸」「光合成」

【平成23年検定済教科書】

大隅良典, 石浦章一, 鎌田正裕ほか43名『わくわく 理科 6』, 振興出版社啓林館,

燃焼 13, 17, 光合成 25-26, 呼吸 39-40

日高敏隆ほか55名『みんなと学ぶ 小学校 理科 6年』学校図書

燃焼 17, 22, 光合成 60, 呼吸 27.

実験器具の使い方 180

癸生川武次ほか『新編 楽しい理科 6年』社団法人信濃教育出版部

燃焼 16-18, 光合成 64, 呼吸 23.

養老孟司, 角屋重樹ほか『地球となかよし 小学 理科 6』教育出版社

燃焼 13-14, 光合成 164-165, 呼吸 31-32.

有馬朗人ほか『たのしい 理科 6年 -1』大日本出版社

燃焼 19-20, 23, 光合成 69, 呼吸 29-30.

毛利衛, 黒田玲子ほか20名『新しい理科 6』東京書籍株式会社

燃焼 17-18, 20, 光合成 59-60, 呼吸 24-26.

引用文献

大黒孝文・舟生日出男・竹中真希子・山本智一・黒田秀子(2014)「実験操作技能を高めるマンガ反転授業用教材の改良: 気体検知管の操作」『日本理科教育学会全国大会要項』第64号, 470.

後藤顕一(2014)「理科における問題解決の資質・能力, 科学的な探究の能力とは何か」『理科の教育』第62巻, 第11号, 5-8.

平山大輔・森川英美・後藤太一郎(2014)「光合成の授業におけるICTの活用とその有効性: 一小学校理科6年小単元「生物と空気のかかわり」に注目して」『理科教育学研究』第54巻, 第3号, 419-426.

科学技術振興機構(2011)理科を教える小学校教員養成課程に関する調査報告書

株式会社ガステック(2016)「気体採取器操作手順」Retrieved from <http://www.gastec.co.jp/reference/frame.php?place=c8.htm>.

光明理化学工業(株)(2012)「検知管法の歴史」『有害ガス測定ハンドブック』, 216.

三浦健治(2014)「学習環境」, 今野喜清, 新井郁男, 児島邦宏編『学校教育学辞典』教育出版, 85.

文部省(1989)『小学校指導書 理科編』, 教育出版, 76, 79.

文部省(1999)『小学校学習指導要領解説 理科編』東洋館出版社, 61, 63, 66.

文部科学省(2008)『小学校学習指導要領解説理科編』大日本図書, 67, 73, 76.

文部科学省(2015)『育成すべき資質・能力を踏まえた教育目標・内容と評価の在り方に関する検討会—論点整理—』文部科学省初等中等教育局教育課程課

文部科学省(2016)「次期学習指導要領等に向けたこれまでの審議のまとめについて(報告)」, 中央教育審議会初等中等教育分科会教育課程部会

中嶋博和(1993)「小学校における理科教具の見直しと開発」日本理科教育学会編『理科教育学講座8 理科の学習環境と教具』, 111.

中内敏夫(1988)『教育学第一步』岩波書店, 55.

棚橋源太郎(1907)「教具の研究」『教育研究』第42号, 20.

高橋三男・藺部幸枝・荒井大輔・柳澤秀樹・飯田寛志・岩

城圭一・大平和之・林誠一・三木勝仁・後藤顕一・野内頼一・深野哲也・掘哲夫・寺谷敏介・松原静郎 (2014)「高橋式酸素センサを用いた重曹とシュウ酸の溶解反応実験」第64回日本理科教育学会全国大会要項, 383.

横須賀篤 (1994)「小学校における気体検知管式測定器の利用」『日本科学教育学会研究会研究報告』第9巻, 第1

号, 21-24.

渡辺理文・森本信也・小湊清隆 (2016)「理科授業における資質・能力の育成を促す学習環境のデザインの分析」『理科教育学研究』, 第56巻, 第4号, 469-480.

(2016年11月30日受付, 2017年3月14日受理)

Study on Learning Environments from the Perspective of Teaching Tools for Primary School Science

—evaluation and analysis in a pilot class introducing an oxygen sensor—

*Kenichi GOTO*¹, *Mitsuo TAKAHASHI*², *Hiroshi IIDA*³

¹ National Institute for Educational Policy Research (Present address: Toyo university)

² National Institute of Technology, Tokyo College

³ The Comprehensive Education Center of Shizuoka Prefecture

SUMMARY

There is an apparent need to help schoolchildren and students develop talents and abilities that are necessary for their future. To foster students' talents and abilities, improvement of their learning environment is indispensable. As for science, it is required to improve both teaching materials and teaching tools and to achieve a suitable combination of such materials and tools for use in class. With regard to teaching tools, factors that need to be improved include measuring devices that are easy to use for experiments and measurement, clarity in the results of science experiments, safety, and simple preparation for experiments. We expect that improving learning environments could help students learn more deeply and cultivate their desire to learn. Therefore, this study involves science classes at the elementary school level in which the amount of oxygen generated through photosynthesis was measured, and is designed to compare and analyze how a difference in learning environments influences students' learning, as well as to evaluate teaching materials and tools used in class. As a study method, we used the same teaching materials but prepared two different types of teaching tools. Adopting different teaching tools leads to the creation of different learning environments for students. Thus, we compared and analyzed how this difference in teaching tools changed students' learning and considered crucial factors of teaching materials from the perspective of the learning environment. Two types of teaching tools used for comparison and analysis were a gas detector tube based on the "Courses of Study for the Elementary and Secondary Schools" revised in 2008 and an oxygen sensor employing an air-zinc battery (Takahashi-style oxygen sensor), which has been developed for science education. This study reports that we observed a remarkable difference in the quality of elementary students' knowledge and skill acquisition, as well as the cultivation of their curiosity, after the students carried out measurement by themselves in the pilot class.

<Key words> learning environments, teaching tools, oxygen sensor, gas detector tube, measurement