

小学校第4学年「金属の温度と体積変化」における 素朴概念と教材開発 — 線膨張試験器への注目 —

内 藤 慎
小野瀬 倫也

小学校第4学年「金属の温度と体積変化」における子どもの理解の状況は、金属を加熱した時の体積変化については概ね理解できている。その一方で冷却した時の体積変化については理解の度合いは低い。その理由は、教科書に記載されている実験内容が金属の膨張に重点を置いていること、また金属の冷却について、よく観察できる教具が無いためであると考えられる。そこで、本研究では、まず理科における子どもの素朴概念と科学概念について定義した。その後、教具と教材の使い分けについて定義し、教材開発の視点について論じた。また、教科書の内容から改善点を明らかにし、その上で、金属を冷却した時の体積変化もよく観察できる教具の開発の視点を明らかにした。

【キーワード】 金属の温度と体積変化, 素朴概念, 教材開発, 線膨張試験器

1. はじめに

本研究では、現行の小学校学習指導要領における、第4学年単元「ものの温度と体積変化」の小単元「金属の温度と体積変化」を取り上げた。本小単元で理解すべき内容は、金属を温めると体積は膨張し、冷やすと収縮することである。しかし、大原（1993）は、金属の体積が膨張することに関しては子どもの理解度が高く、収縮に関しては理解度が低いことを明らかにしている。

また、後述する調査（5.1）で明らかにしているように、上述の理解の状況に関して、小学校教員養成課程に在籍する大学生における理解度も低いことから、教師も誤った概念を保持しながら指導している可能性も考えられる。子どもや大学生のこうした認識の実態を踏まえ、理科授業を改善する必要がある。

子どもが生活経験などから保持している根強い認識は、構成主義の視点から、素朴概念研究として明らかにされてきた。本研究の基本的な視点として、構成主義的な視点から素朴概念を科学概念に変換するためのアプローチを行うこととする。

2. 研究の目的

前章で述べた、小学校第4学年小単元「金属の温度と体積変化」で扱う内容に関する問題点を踏まえて、本研究では、以下に示す(1)～(3)を研究の目的とする。

- (1) 金属の温度と体積変化についての子どもの理解の実態をアンケート調査によって明らかにする。
- (2) 現行の教科書の内容を精査し、問題点を明らかにする。
- (3) 子どもの理解の実態や現行の教科書の内容の問題点から、どのような教具を開発する必要があるのかについて明らかにする。

また、第3章において、本研究の基本的な視座である、構成主義的な視点から素朴概念、および科学概念変換について論ずることとし、教具の開発の視点を明らかにする。

3. 理科における子どもの素朴概念と科学概念

3.1 理科授業における子どもの素朴概念の位置づけ

本節では、理科における構成主義的な視点から、理科における子どもの素朴概念について論述し、本研究における子どもの学習の捉え方について述べる。森本(2013)は、理科における構成主義の捉え方について以下のように述べている。「自然事象について子ども一人ひとりには彼らなりに自らの経験や既存の考えに基づき、理科授業において多様な考えを構成している。構成主義の基本的な意味である。子どもは常に固有の考えを構成していること、そして、その意味を分析し、授業実践の基本とすること、それが理科授業における構成主義の捉えと考えることができる」。

また、大高(1992)は「子どもたちにおける科学の概念の形成や学習することに関する最近の一連の研究は理科の授業や科学の概念を学習する以前に、子どもたちが自然界やそのさまざまなトピックについて、科学のそれらとは相容れないいろいろな考えや強力な信念のシステム等を持っていることを明らかにしてきた」と述べている。

森本が指摘した子ども一人ひとりを持っている、彼らなりの経験や既存の考え、また、大高のいう「子どもたちが自然界やそのさまざまなトピックについて、いろいろな考えや強力な信念のシステム等を持っている」こと、これらが理科における素朴概念であると考えられる。本研究では、森本、大高らの考えに基づき、理科における素朴概念を以下のように措定した。

理科における素朴概念とは、子どもが生活経験などをもとに持っている固有の概念で

ある。子どもが持っている素朴概念は子ども一人ひとりによって異なっている。また、科学的な根拠とは別に、子どもなりの一貫性を持っている。

子どもの素朴概念を上述のように捉えるならば、構成主義的な理科授業では、教師が子どもの素朴概念を把握して、その発展をねらいとする授業構成が求められる。

3.2 理科授業における子どもの科学概念

本節では理科授業における子どもの科学概念について、子どもの素朴概念と関係付けながら述べる。文部科学省（2017）は「理科授業は子どもの素朴な考えを科学的な考えに近づける営みである」と述べている。これは、現在の理科教育の基本的な考え方として、構成主義的な子どもの学習観が根づいていると解釈できる。

また、堀（1992）は、子どもに素朴概念と学校で学ぶ内容とを結合させることは「学習する内容と関連させて学習者がふだんのように考えているのかを認識させたり、考えていることを言葉にして表現させたり、学習者のもっている一連の考え方を教師に気付けさせたりするなどの過程を経て達成できる」と述べている。したがって、科学概念は素朴概念のその先にあるものと捉えることができる。子どもの素朴概念の発展を促す授業は、子どもの素朴概念を科学概念へと発展させるものである。

こうしたことから、本研究では子どもが学習を進める上で、子どもの素朴概念と科学概念の間をつなぐ支援となるような教具の開発を行うことを目指すこととする。

4. 教材開発の視点と教材の評価

4.1 教具と教材

本節では理科の教材、教具に関する研究において、先達である井出、森本の諸論を援用しながら、用語としての教具、教材の定義づけを行う。

井出（1988）は、「教師が教育目的を達成するために、自然の事物・現象の中から適当と思うもの選択し、これを指導に適するように構成した具体的な情報的内容を教材といい、教育に必要な物的資料を教育的用具といい、通常教具といわれる」としている。また、森本（1999）は、「教材とは子どもの視点からの自然事象についての追求を支持、あるいは媒介する素材である」としている。本研究では、教具、教材、また、教具が教材としての意味を持つ条件について、井出の教具と教材の使い分け、森本の子どもの視点に立った時に素材が教材となりうるという論を基に、以下のように定めた。

- (1) 教具とは物的資料である。
- (2) 教材とは子どもの学びを支援するものである
- (3) 教具が教材としての意味を持つ3つの条件は、以下の3つである
 - ①教具が子どもの追及を支持していること
 - ②教具を用いることで子どもが自己効力感をもつことができること
 - ③教具を用いることで子どもに新たな学びを感得させることができること

4.2 教材開発の視点

本節では教材開発における評価を、教具の評価、教材の評価と分けて行い、その視点について明らかにする。その上で教材開発の視点について述べる。井出（1988）の教具の評価における4つの観点は、後述するように（表6）4つの大項目の下に、小項目が設けられている。このように、教具を評価するにあたって詳しく評価の観点が定められていることから、本研究では、これを採用することとした。それは以下の4つである。

- (1) 指導目標に対して適切であるか
- (2) 必要な機能および性能を備えているか
- (3) 使用者に応じた操作性を持つか
- (4) デザインおよび経済性はどうか

また、井出の評価の観点をさらに細分化し、教具についての評価規準を作成する。教材は教具を開発、作成するだけでなく、実際の授業で教具を使用し、授業の中で子どもがどのように考えを変容させていったのかについて追及することで完成する。つまり教材の評価をするにあたっては、授業実践を行い、子どもの記述などから概念が変容する様子などを通して評価するべきである。しかし、本研究においては、教具の開発する視点について明らかにすることに留め、教材の評価は行わないこととする。

5. 「金属の温度と体積変化」についての子どもの認識の実態と教具

5.1 調査の目的と内容

本節では調査の目的と調査で用いるアンケートの内容について述べる。

(1) 調査の目的

「金属の温度と体積変化」における子どもの認識の実態を把握する。

(2) 調査の内容

*このアンケートはテストではありません。下の図を見て、あなたの考えを教えてください。

上の実験は、長さ A の金属の棒の温度を変化させたときの長さの変化を調べる実験の様子を表しています。
 実験 1 では金属の棒を火で温めました。その後、実験 2 では金属の棒を水にいれ、元の温度に戻しました。実験 3 では最初の状態の金属を冷蔵庫に入れて冷やしました。

下の表に記号 (<, >, =) を記入し、金属の長さの関係を示してください。また、その理由を教えてください。

長さの関係 例：C=D	そのように考えた理由
A B	
B C	
A C	
A D	

図1 アンケート調査用紙

図1は実際に調査時に使用した用紙である。

(3) 調査の対象

調査対象は国立Y大学大学生(初等教育教員志望)24名、私立T大学大学生(初等教育教員志望)24名、都内公立T高校第1学年73名、都内公立T中学校第2学年39名、K市公立H小学校第5学年36名(計196名)である。

(4) 調査の手順

表1は、調査用紙の実験の手順とそれぞれの金属棒に名称をつけてまとめたものである。実験前の室温時の金属棒の長さをA、実験1で加熱した金属棒の長さをB、実験2で元の温度まで冷却した金属棒の長さをC、実験3で冷凍庫に入れて冷却した金属棒の長さをDとする。質問内容は表1で定めた金属棒の長さを比較する内容である。AとBの比較を問1、BとCの比較を問2、AとCの比較を問3、AとDの比較を問4とする。

表1 調査用紙の実験の手順

実験の手順	金属棒	説明
実験前	A	室温での金属棒の長さ
実験1	B	金属棒Aをガスバーナーで加熱した後の長さ
実験2	C	金属棒Bを水で元の温度まで冷却した後の長さ
実験3	D	金属棒Aを冷凍庫に入れて十分に冷却した後の長さ

また、図1の下ののように、長さの関係について記号を用いて記述させ、そのように考えた理由について記述させる欄を設けた。

図1は大学生と高校生に対して実際に使用した用紙であり、小学生と中学生に対して

は問題文をより分かりやすくし、長さの関係についても記号で記入させるのではなく、より長いと思う方に丸をつけるといった形式を用いた。

5.2 調査結果と分析

本節では調査の目的の中心である、金属を加熱した時の体積変化と冷却した時の体積変化における子どもの考えを明らかにする。すなわち、問1（AとBの比較）、問4（AとDの比較）について取り上げることとする。問1で「膨張する」と考えていた割合は小学生97%、中学生100%、高校生89%、大学生81%であった（表2）。

問4で金属を冷却すると「収縮する」と考えていた割合は小学生58%、中学生89%、高校生52%、大学生35%であった（表2）。

表2 アンケートの正答率

	問1：「金属は加熱すると膨張する」の正答率	問4：「金属は冷却すると収縮する」の正答率
小学生	97%	58%
中学生	100%	89%
高校生	89%	52%
大学生	81%	35%

表2の結果から、以下の2点が明らかになった。第1に、どの対象年代においても金属を加熱したときに比べて、金属を冷却した時の体積変化についての理解度が低いことである。この結果については、大原（1993）も同様に指摘している。

第2に、小学生や中学生と比べて、大学生における金属を冷却した時の体積変化の理解度が低いことである。また、金属を冷却した時の体積変化に関する記述では以下の記述が見受けられた。以下の冷却に関する記述は、どの調査対象にも現れた。

- ・熱した後でないと縮まない。
- ・元の大きさよりも小さくならない。
- ・もし小さくなるなら冷凍庫にボールを入れても形が変わらないのはおかしい。

これらの考えは授業を行った後に子どもが考えているため、誤概念と判断することができる。教具を開発する上では金属を冷却に関する誤概念を抑制する視点が必要であることが明らかになった。

5.3 小学校第4学年「金属の温度と体積変化」における教具の検討

本節では、小学校第4学年「金属の温度と体積変化」における教科書に記載されている教具について検討し、問題点を整理する。現行の小学校理科の教科書（6社）に記載

されている金属球を用いた教具について、前掲した井出の評価の観点（4.2）を用いて評価する。そして、教具の問題点を明らかにし、教材開発の視点について検討する。

教科書6社ではどの教科書においても金属球を使った実験が記載されている。また共通している実験内容は以下の通りである。

実験1：室温の金属球が環に通るか確かめる。

実験2：金属球を熱し、環に通るか確かめる。

実験3：水などで冷やした後、金属球が環に通るか確かめる。

これらの実験内容は金属を加熱した時の体積変化の実験としては適しているが、金属を冷却した時の体積変化の実験としては適していないと考えられる。その理由は、金属を加熱した時の体積変化について学習する時（実験2）に、比較する金属球は室温の金属球と加熱した金属球なのに対して、金属を冷却した時の体積変化の実験（実験3）では、比較する金属球は熱した金属球とそれを冷やした金属球だからである。つまり、同じように実験を行っているが、金属を加熱した時の体積変化と冷却した時の体積変化では、比較の仕方が異なっているのである。前節（5.2）で述べた、金属を冷却した時の体積変化の記述では「熱した後でないと縮まない」や「元の大きさより小さくならない」といった誤概念を子どもが持っていることが明らかになった。これらの誤概念は教科書に記載されている冷却による金属の収縮の実験内容と関係していると考えられる。

同じ単元で扱う「空気と水の温度と体積変化」の実験の内容について、教科書（6社）の内容を見ると、例えば水と空気の体積変化を調べる場合、試験管に室温の時の印を付け、そこから空気や水を加熱した時の体積変化、冷却した時の体積変化の実験を行うことで室温の時の空気と水の体積の様子と比較する内容であった。空気と水の体積変化の



図2 空気の体積変化の実験

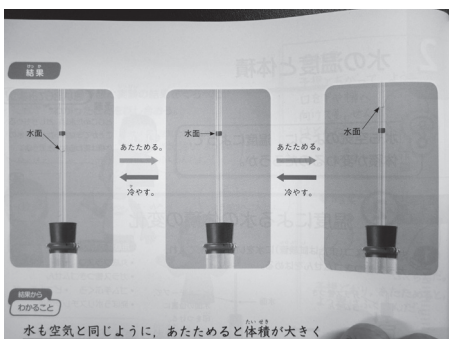


図3 水の体積変化の実験

実験は、金属の体積変化の実験に比べて、子どもがより理解しやすい内容であると考えられる。

また、全ての教科書で取り上げられている図3の教具（金属球を通す環が大小の二つ付いている教具）を使って、以下のような実験を行った。

実験1：室温時の金属球が2つの環に通るか。

実験2：加熱した金属球が2つの環に通るか。

実験3：冷却した金属球が2つの環に通るか。

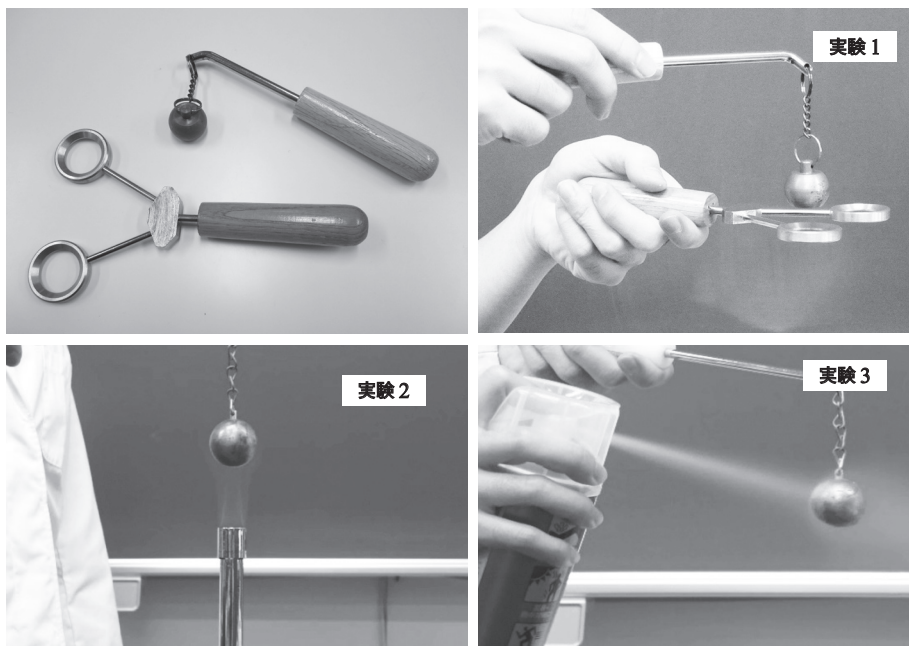


図4 大小の2つの環がある教具

加熱にはガスバーナーを使用し、冷却には冷却スプレー（一般的にスポーツ時のアイシングに使われるPLGを主成分としたもの）を使用した。結果は表3の通りである。また、この実験の金属球の大きさや、環の大きさを表4に示した。

表3 実験の内容と結果

実験の内容	2つの環に通るのか	
	大	小
実験1：室温時の金属球が2つの環に通るか。	○	×
実験2：加熱した金属球が2つの環に通るか。	×	×
実験3：冷却した金属球が2つの環に通るか。	○	×

○：通る ×：通らない

表4 実験器具のデータ

実験	温度	直径の長さ		二つの環の内径
実験1：室温時	24.8℃	23.85mm	環(大)	24.00mm
実験2：加熱時	210℃	24.05mm	環(小)	23.65mm
実験3：冷却時	-25.1℃	23.83mm		

実験3(冷却時)の金属球と環(小)の内径を比べてもわかるように、この実験器具を使った実験では金属球を冷却しても環(小)には通らない。つまり、「冷却すると室温時よりも小さくなる」といった結果は出てこないことがわかる^{注1)}。

1つの教具で様々な視点から実験を行えることは良い点であるが、どちらの使い方も「加熱した時の体積変化」に重点を置いていることがわかる。このことから、冷却した時の体積変化の実験においても、室温の金属と冷却した金属を比べるような実験が必要であるという問題点が明らかとなった。

次に教具の評価を井出の観点を使い、評価していく。表6は井出の評価の観点で教科書に記載されている教具を評価したものである。金属球と書いてあるのは教科書の金属球の教具のことを指している。A～Cの三段階で評価し、優れていると判断できる項目にはAとした。優れているが改善点があると判断できる項目にはB、改善点が目立つ項目はCと評価した。

表6 図3の教具の評価の結果

評価の観点	評価の結果
1. 指導目標に対して適切であるか	
1.1 指導目標を達成するために有効であるか	C
1.2 指導方法に適合しているか	B
2. 必要な機能および性能を備えているか	
2.1 実験・観察に必要な機能を備えているか	A
2.2 実験に必要な精度を持っているか	B
2.3 構造が簡単で分かりやすいか	C
3. 使用者に応じた操作性をもつか	
3.1 使いやすいか	A
3.2 必要な程度に堅牢か	A
3.3 安全性に配慮しているか	A
4. デザイン及び経済性はどうか	
4.1 デザイン、工作上の問題点はないか	B
4.2 部品等の補充が簡単に行えるか	C
4.3 購入、製作、維持、管理等の経費は適当か	C

表6による分析の結果から現行の教科書で採用されている金属球を用いた教具は、特に以下の2つの点について改善する必要があると判断した。第一に空気や水の体積変化(図2、図3)の実験との相違点である。空気

や水の実験では試験管を使って水面や石鹸膜の動きによって体積の変化を可視化している。また変化の過程も観察できる。しかし、金属球の実験では体積変化の過程が観察で

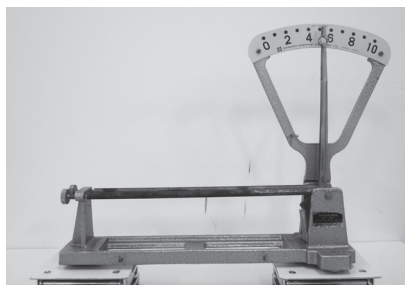


図5 線膨張試験器



図6 室温時の指針



図7 加熱時の指針



図8 冷却時の指針

きない。そのため、加熱の前後での体積変化が可視化できないため、環を通すといった間接的な方法で確認しなければならない。評価の観点2.3の評価結果をCとした理由である。

第二は、冷却後の収縮を観察する実験として不十分であることである。空気や水の実験では、冷却時の体積の収縮を確かめるとき、室温のものと冷やしたものを比較する。しかし、金属の場合、加熱したものとそれを冷やしたものを比較するため、「元に戻っただけ、それ以上冷やしても収縮しない」という誤概念が生じやすい。評価の観点1.1の評価結果をCとした理由である。これらを念頭に教具を作成する必要がある。

5.4 線膨張器への着目

教具を作成するにあたって、金属の体積変化を視覚的に捉えることのできる、線膨張試験器に注目した。「線膨張試験器」は1995年頃に中学校理科で使われていた実験器具である(図5)。

この線膨張試験器は2つ、もしくは3つの金属を同時に熱したり、冷やしたりすることで金属の膨張率の違いを比べることができる。注目したことは、この実験器具が膨張の度合いを目盛りで数値として測定できる点である。この実験器具は金属の体積変化によって針が動く仕組みになっているため、金属の体積変化を視覚的に捉えることできる。

線膨張試験器に比べて金属球の実験器具は、体積変化した後の状態を間接的に観察できた

としても、時間とともに体積変化している様子は観察できない。または、室温から冷やすことで針が動くことも確認できるので、冷却による収縮についての理解度が高くなると推察される。

図6「室温時の指針」、図7は「加熱後の指針」、図8は「冷却後の指針」である。通常であれば二つの指針を金属に付け、膨張率の違いを観察するが、写真（図6、図7、図8）ではひとつを外し、赤色の針が金属の棒の長さによって動く様子のみを視点を置いて実験した。図6と図8を比較するとわかるように金属を冷やすと元の長さに戻るのではなく、短くなっていることがわかる。

線膨張試験器は金属が体積変化する様子を視覚的に捉えることができ、また、室温時を基準とすることで金属を冷却した時の体積変化も可視化されることが明らかになった。

6. 研究のまとめ

本研究の目的は以下の通りであった。

- (1) 金属の温度と体積変化についての理解の実態をアンケート調査によって明らかにする。
- (2) 現行の教材書の内容を精査し、問題点を明らかにする。
- (3) 子どもの理解の実態や現行の教科書の内容の問題点から、どのような教具を開発する必要があるのかについて明らかにする。

(1)については、アンケート調査の結果から金属の加熱による金属の膨張の理解度は高く、冷却による金属の収縮の理解度が低いことが明らかになった。更に、全ての項目において大学生の正答率が低いことも明らかになった。

(2)については、現行の教科書で採用されている金属球を用いた教具は、特に以下の2つの点について改善する必要があることが明らかになった。

第一は、空気と水の体積変化の実験との相違点である。空気と水では試験管を使って水面や石鹸膜の動きによって体積の変化を可視化している。また変化の過程も観察できる。しかし、金属球では体積変化の過程が観察できない。そのため、加熱の前後での体積変化が可視化できないため、環を通すといった間接的な方法で確認しなければならない。

第二は、冷却時の収縮を観察する実験として不十分な点である。空気と水では体積の収縮を確かめるときに、室温のものと冷やしたものを比較する。しかし、金属の場合、

加熱したものとそれを冷やしたものを比較するため、「元に戻っただけで、それ以上冷やしても収縮しない」といった誤概念が生じやすい。

(3)については、教具を開発するにあたって、金属を加熱したときの体積変化と冷却したときの体積変化のどちらも観察できるような教具を開発する必要があることを明らかにした。そこで線膨張試験器のように金属が体積変化する様子を可視化する工夫が必要であることが明らかになった。

付記

本研究は科学研究費助成事業 課題番号 15K04513 の助成を受けた。

注

(1) 教具に穴が二つ付いている理由について、制作会社である(N社)に問い合わせたところ、二つの環はそれぞれ用途が異なっており、1つは金属球が室温時に通り、金属球を熱した時に通らなくなるものであり、もう一つの環は金属球が室温時には通らず、金属の環を熱すると金属球が通るようになる仕組みとなっているという解答を得た。

参考文献

有馬朗人・他 42 名 (2017) 『たのしい理科 4 年』大日本図書,107.

石浦章一・他 55 名 (2017) 『わくわく理科 4』啓林館,114.

川那部隆司 (2010) 「文系大学生における熱による物質の膨張・収縮の理解」『日本教育心理学界総会発表論文集 (52)』,496.

国立教育政策研究所 (2015) 「OECD 生徒の学習到達度調査 (PISA2015) のポイント」 Retrieved from http://www.nier.go.jp/kokusai/pisa/pdf/2015/01_point.pdf (平成 29 年 12 月 12 日最終閲覧)

国立教育政策研究所 (2015) 『TIMSS2015 算数・数学教育 / 理科教育の国際比較』明石書店

国立教育政策研究所 (2016) 『生きるための知識と技能 6 OECD 生徒の学習到達度調査 (PISA) 2015 年調査国際結果報告書』明石書店

国立教育政策研究所 (2016) 『資質・能力 - 理論編 -』東洋館出版社

国立教育政策研究所 (2016) 「平成 28 年度全国学力・学習状況調査の結果」 Retrieved from <http://www.nier.go.jp/16chousakekkahoukoku/16summary.pdf> (平成 29 年 12 月 12 日最終閲覧)

増田貴司 (2007) 「理科離れ解消」のために何が必要か」『経営センター (95)』,12-25.

文部科学省 (2016) 「幼稚園、小学校、中学校、高等学校及び特別支援学校の学習指導要領等の改善及び必要な方策等について」中央教育審議会編 Retrieved from http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo0/toushin/1380731.htm (平成 29 年 12 月 12 日最終閲覧)

- 森本信也（1992）「学習論の変遷」日本理科教育学会編『理科教育学講座4』東洋館出版社,1-94.
- 森本信也（1993）『子どもの論理と科学の論理を結ぶ理科授業』東洋館出版社
- 森本信也（2017）『理科授業をデザインする理論とその展開』東洋館出版社
- 森本信也（2017）『アクティブに学ぶ子どもを育む理科授業』学校図書 Retrieved from http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/1387014.htm（平成29年12月12日最終閲覧）
- 内藤慎・小野瀬倫也（2016）「金属の温度体積変化における子どもの素朴概念の検討」『日本理科教育学会第66回全国大会論文集』,311.
- 内藤慎・小野瀬倫也（2016）「金属の温度と体積変化における素朴概念と教材の検討」『日本理科教育学会第55回関東支部大会研究発表論文集』,89.
- 大原貞雄（1993）「物質の温度変化による膨張・収縮概念の認識形成に関する研究」『日本理科教育学会全国大会要項（43）』,57.
- ウエスト・パインズ（1994）『認知構造と概念転換』監訳：進藤公夫, 東洋館出版社

引用文献

- 井出耕一郎（1988）『理科教材・教具の理論と実践』東洋館出版社,176-178.
- 堀哲夫（1992）「構成主義学習論」日本理科教育学会編『理科教育学講座5』東洋館出版社,203-204.
- 文部科学省（2017）「小学校学習指導要領解説 理科編」
- 森本信也（1999）『子どもの学びにそくした理科授業のデザイン』東洋館出版社,100-110.
- 森本信也（2013）『みんなと学ぶ小学校理科』研究編 学校図書,234-235.
- 大高泉（1992）「現代的問題解決学習論とその展開」日本理科教育学会編『理科教育学講座4』東洋館出版社,239-273.