

小学校理科における濃度概念形成の試み

—宮古小学校での実践を通して—

Trial of the density concept formation in the elementary school science

— Through practice in Miyako Elementary School —

Ichimasa YAGI, Souya SASAKI, Mari SATOU

八 木 一 正 * ・ 佐々木 聡 也 * ・ 佐 藤 真 里 ****

(2012年1月12日受理)

【キーワード】 濃度、素朴概念、概念形成、内包量、理科嫌い、つまずき

はじめに

水に食塩を混ぜると食塩の質量が消えて無くなると思っている子どもは多い。子どもが学習に向かう時、このように頭が白紙ではなく、様々な思い込みや先入観でもある「素朴概念」で強く染まっていると考えねばならない。その思い込みは、日常体験に根差しているがゆえに、頑強で、簡単に変えられない。そのために、様々な理解を妨げ、「つまずき」の原因にもなっている。本論では、水に食塩を混ぜ濃度を求める問題を通して、その素朴概念を改善する試みを小学校で実施した。その結果、かなりの改善がみられたので報告する。学問的には理科教育の概念構成の研究で、特にイメージし難い「内包量」としての「濃度」の考え方を習熟させ、子ども達に確固たる「思考の枠組み」を構築させるという試みである。

1. 研究の問題意識と目的

理科教育において、素朴概念はとても注目されている^{1)～2)}。素朴概念とは、コペルニクスの天動説に始まり、学習者が授業を受ける以前から形成された概念であり、重さの違うものを同時に落とすと重い方が先に落ちると考えたり、溶媒に溶質を溶かすと、溶質が消えてなくなると考えてしまう等、いわゆる間違っただけの思い込みや先入観のことである。この素朴概念は、正しい科学概念の理解を妨げて、それがキッカケで「落ちこぼれ」になってしまう可能性が高い。単に勉強不足では済まされない重大な問題を含んでいる。

中でも、溶媒に溶質を溶かすと、溶質が消えてなくなってしまうということに関係性の強い、

* 八木一正・佐々木聡也 岩手大学教育学部

** 佐藤真里 盛岡・白百合学園高校

濃度に関しては、溶液全体にどの程度の割合で溶質が溶けているかという百分率の考え方も必要となってくる。そのため、内部が目に見えにくい量である「内包量」に着目した研究が乏しく、もっとやらねばならない必然性があった。

そもそも濃度とは内包量に分類される。数学教育でよく知られる遠山啓ら^{3~4)}により考案された分類概念によると、量は分離量と連続量に分類され、連続量は外延量 (extensive quantity) と内包量 (intensive quantity) に分類される。外延量には、長さ・重さ・時間等があり、目に見えやすく、例えば長さに関しては、 $1\text{ (cm)} + 2\text{ (cm)} = 3\text{ (cm)}$ 足し合わせることができ、加法性が成立し、学習者にとっては理解しやすい量である。一方、内包量は、濃度・速度・密度のように、中身が見えにくく、濃度に関して言えば、同量の溶液の場合、 $10\text{ (\%)} + 30\text{ (\%)} = 40\text{ (\%)}$ と足し合わせることができないため、加法性が成立せず、学習者にとって理解しにくい量である。したがって、内包量に分類される濃度について、計算問題等で難しいと感じる生徒が多いのはこのためである。ただし、この2つの量は、熱力学の示量変数・示強変数も含みそうだが、英訳は同じでも一般的に異なるものとされている。

ある小学5・6年生29人に、「10%の濃度の食塩水100gと30%の濃度の食塩水100gを足すと何%の濃度の食塩水になりますか」という問題を解いてもらった結果、40%と答えた児童が最も多かった。誤答の例としては、上記のように、そのまま足し算をしてしまう記述が多かった。しかし、薄い濃度の水溶液と濃い濃度の水溶液を混ぜて、さらに、濃くなるはずがない。この結果からわかるように、濃度を理解することは難しく、学年が上がるにつれて内容も複雑化し（主な濃度分野の位置付けは表1参照）、特に、高校では、計算問題が苦手な生徒も多いことから、早い時期の小学校での理解が重要であると考えた。

そこで、本研究は、岩手県宮古市立宮古小学校で濃度概念形成の発展授業を行い、児童に意識調査をした結果から、濃度を理解するために必要な要素を出すことを目的とした。

【表1】主な濃度分野の位置付け

小 学 校		中 学 校	高 校
理 科	算 数	理科1分野上	化学Ⅰ
〈物質とエネルギー〉 ・もののとけ方(5年生)	〈数量関係〉 ・百分率 (5年生)	〈身の回りの物質〉 ・物質のすがた・水溶液	〈物質の構成〉 ・物質質量・濃度
・水溶液の性質とはたらき(6年生)		理科1分野下 〈化学変化と分子・原子〉	・質量パーセント濃度 化学Ⅱ ・溶解度

2. 授業実践の概要と調査方法

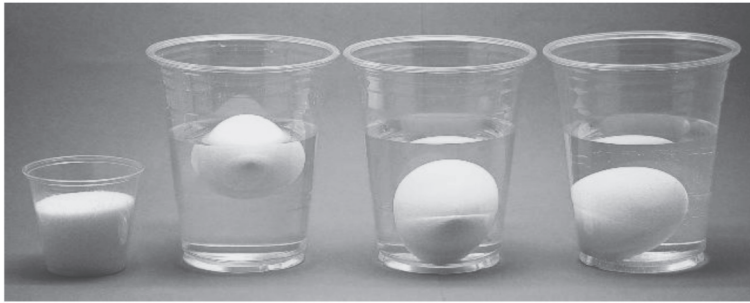
小学生に濃度概念形成の授業を行った。以下に、その概要と授業の指導方法の手順を示す。

〈調査日時〉平成22年1月31日(土) 午前中2時間半

〈場 所〉岩手県宮古市立宮古小学校

〈授業対象〉小学校5・6年生 29人

〈授業内容〉①塩水実験 ②色水実験 ③濃度に強くなる問題 ④アンケート



【図1】「どの塩分濃度で卵が浮くか」の比較確認実験・・・左から順に死海の水（塩分濃度30%）海水（3%）、水道水（0%）、左端は右隣のコップの混入食塩の相当量

①塩水ビックリ実験・・・まず、塩水のビックリする程の不思議な性質を、実験を通して、体感させる。

まず、理科実験室の水道水（食塩水濃度0%）、宮古の海水（3%）、アラビア半島北西部の死海の海水（30%、八木が2000年に採取）の3種類の水溶液を児童に舐めてもらい、食塩水の濃度が濃いと塩辛いということを味覚を通して体験してもらう。

次にこの3種類の水溶液に市販の卵を入れる。水道水で卵は全く浮かないが、海水ではほんの少し浮き、死海の海水では完全に浮くことから（図1）、食塩水の濃度が濃いと卵が浮くことを、視覚を通して、体験してもらう。

次に、子ども達に味覚と視覚を通じて濃度について理解してもらった後、実際に水に食塩を溶かして、様々な濃度の食塩水を作ってもらい、何パーセントの濃度の食塩水だと卵が浮くか実験してもらう。図2が塩水実験の様子である。

この実験では、沿岸地域にある宮古の特色を生かし、実際に宮古の海水を使って実験を行うことと、死海の海水を舐めさせることで、より実感を伴った理解を得ることと、身近にある卵が浮くという意外性を体感させることを目的とした。



【図2】塩水実験の様子



【図3】3種類の色水・・左から順に薄い赤色水、中間色の赤色水、濃い赤色水

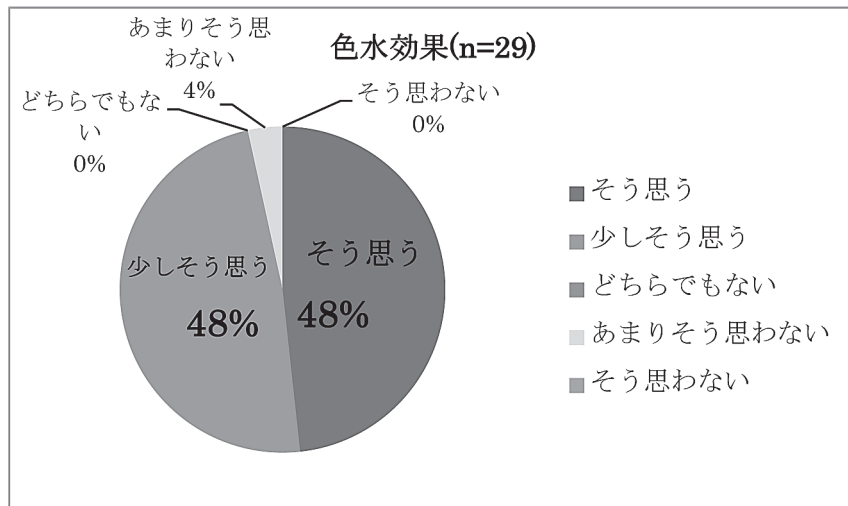
②色水実験・・見えない塩分濃度を模擬的に色水の色の濃さで体感させる実験

薄い赤色水と濃い赤色水を混ぜ合わせると、中間色になることを実験してもらう（図3）。ここでは、目的で述べたように、10%の食塩水100gと30%の食塩水100gを足すと40%の食塩水になると答えた児童が多かったことから、薄い赤色水を食塩水濃度10%、濃い赤色水を食塩水濃度30%に置き換えて考えると、足し合わせてさらに濃くなることはないということを、視覚を通して模擬実験で確認してもらう（図4）。



【図4】色水実験の様子

小学校理科における濃度概念形成の試み



【図5】色水の濃さと濃度の関係性の理解度調査結果

授業後、色水の濃さと濃度の関係性がわかりましたか、というアンケート調査を行った。その結果を図5のグラフに示した。それによって、「そう思う、少しそう思う」と答えた児童が90%以上いたため、色水実験の効果はあったと考えられる。

③濃度に強くなる演習問題・・・濃度の理解を深めるためのプリント演習

①、②の実験を踏まえた上で、水溶液全体に何gの食塩が溶けているかという割合の計算を考えてもらう。同量の食塩水が2種類ある場合、溶けている溶質の質量の違いで、どちらの食塩水が濃いかということを考えるのは容易である。また、質量の違う2種類の食塩水の場合でも、溶けている溶質の重さが同じであれば、濃度の濃さの判断はしやすい。

一方、水溶液の質量も溶質の質量も違う2種類の食塩水があった場合、どちらが濃い食塩水かを判断するのは、児童にとって難しい。よって、百分率の計算を用いて、食塩水100gあたりに溶けている食塩の量を考えることにより、どんな食塩水でも何%の濃度か判断することができるということを、児童に教える。また、濃度の計算について説明後、実際に、「食塩水100gに20gの食塩が溶けています。この食塩水は何%ですか」という様々な内容の計算問題を解いてもらう。

④アンケート・・・濃度理解を確認するための調査

授業終了後に児童29人にアンケートを実施した。アンケートの内容は表2である。

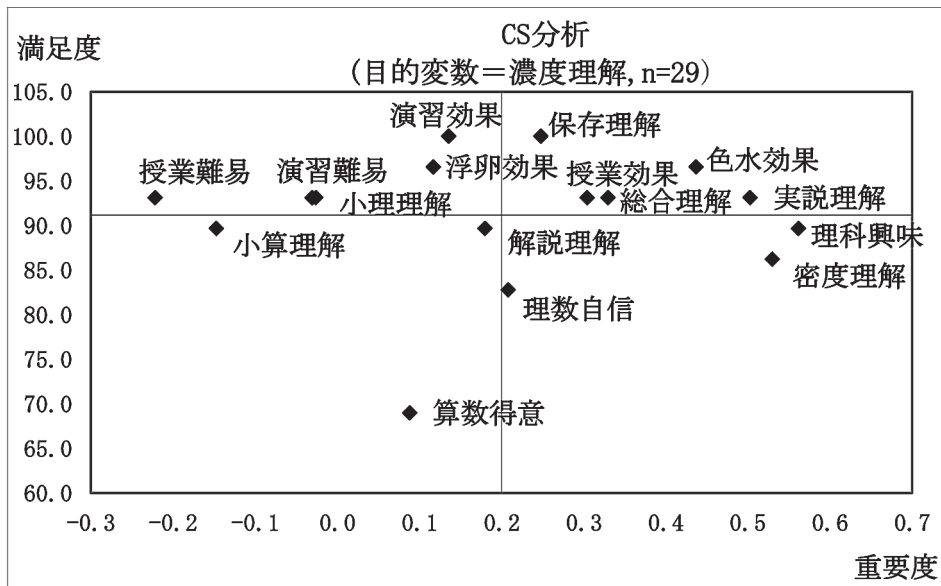
【表 2】アンケート内容 (n=29)

	質 問 項 目	略 語
1	授業はおもしろかったですか	授業効果
2	授業の内容は難しかったですか	授業難易
3	濃度(のうど)の意味がわかりましたか	濃度理解
4	濃い塩水に卵が浮くのは面白かったですか	浮卵効果
5	混ぜる前と後では、重さが同じになるということがわかりましたか	保存理解
6	色水の濃さと濃度の関係性がわかりましたか	色水効果
7	実験の説明はわかりやすかったですか	実説効果
8	トレーニング問題は「濃度」の勉強に役立ちましたか	演習効果
9	トレーニング問題は難しかったですか	演習難易
10	最初に食塩水 100g あたりの量を考えると後の計算がわかりやすかったですか	密度理解
11	いろいろな種類の「濃度」問題が、ほぼ同じ考え方で解けることに気づきましたか	総合理解
12	トレーニング問題の答えあわせの説明はわかりやすかったですか	解説理解
13	以前よりも理科や算数に自信が持てそうですか	理数自信
14	以前よりも理科に興味を持てそうですか	理科興味
15	算数は得意な方ですか	算数得意
16	小学校のとき理科の授業はわかりやすかったですか	小理理解
17	小学校のとき算数の授業はわかりやすかったですか	小算理解

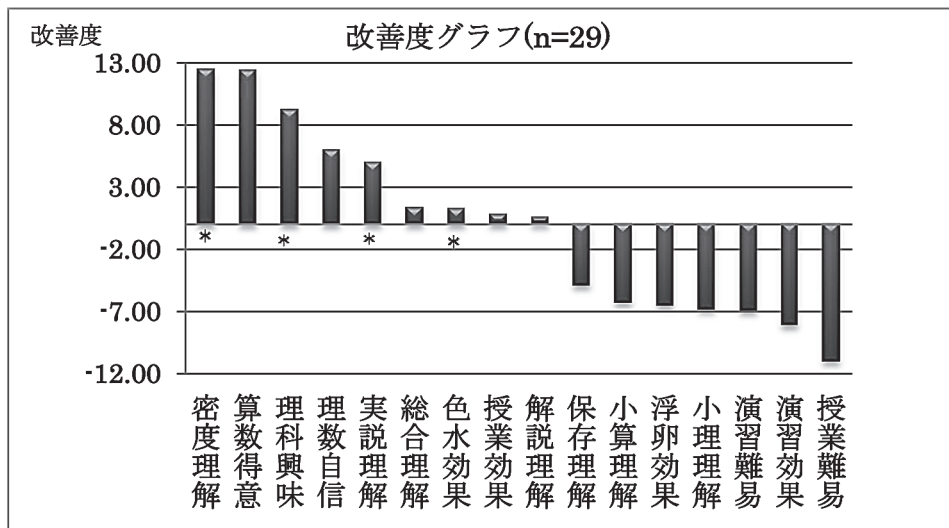
〈調査方法〉アンケート調査後に CS (顧客満足度) 分析⁵⁾ による統計処理を行う。CS 分析とは、多変量解析の一種で、ある1つの目標 (目的変数) を向上させるには、どの項目を改善すればよいかを調べる学問的に確立した分析法である。今回、目的変数は「濃度理解」が上手くいったかどうかである。

3. 結 果

CS 分析の結果を図 6 に改善度のグラフを図 7 に示した。図 6 は、満足度が低く、重要度が高い方向、つまり右下に行くに従って改善度が高い項目ということになる。図 7 改善度グラフにおいては、左に行くに従って改善度が高く、右に行くに従って改善度が低い項目ということになる。尚、n=29、危険率5%で検定したため、相関係数0.36以上で有意性があると判断し、*を付けた。



【図6】CS分析の結果



【図7】改善度グラフ (* ; $\leq .05$)

【表 3】小・中・高で学習する「密度概念」事例一覧

小学(算数)	中学(理科)	高校(物理)	
<ul style="list-style-type: none"> ・お菓子の単価 [円/個] ・速さ [m/秒] ・人口密度 [人/km²] ・金属の密度 [g/m³] ・林の密度 [本/m²] 	<ul style="list-style-type: none"> ・圧力 [N/m²] ・密度 [g/m³] ・速さ [m/秒] ・仕事率 [J/秒] 	<ul style="list-style-type: none"> ・速度 [m/s] ・圧力 [N/m²] ・仕事率 [J/s] ・電場の強さ [V/m] ・磁場の強さ [A/m] ・電気容量 [C/V] 	<ul style="list-style-type: none"> ・綿密度 [kg/m] ・バネ定数 [N/m] ・熱容量 [J/K] ・電流の強さ [C/s] ・磁束密度 [Wb/m²] ・インダクタンス [Wb/A]

4. 考 察

CS 分析の結果、図 9 の改善度グラフにある上位 3 つの「密度の理解」、「算数得意」、「理科興味」に注目した。それぞれについての考察を以下に示す。

ただし、以下の説明を容易にするために、ここでは単位当たりの量を「密度概念」と呼ぶことにする。密度は単位当たりの量に含まれるが、同じではない。しかし、お菓子の単価や速さなどの単位当たりの量は、一次元の密度と同様の計算をするので、一つのグループとして学習できるからである。

(1) 密度理解

CS 分析の結果より、濃度を理解するために改善すべき項目として、「密度概念」を理解することが必要であるという結果が得られた。理科の分野では様々な領域で出てくる非常に重要な量である。ここで、小・中・高で学習する密度概念をまとめて事例を表 3 に示した^{6~15)}。

表 3 より、密度概念は、小学校では算数で、お菓子の単価 [円 / 個] や速さ [m/ 秒] 等を学習し、中学校では理科で、圧力 [N/ m²]、密度 [g/ m³]、速さ [m/ 秒]、仕事率 [J/ 秒] 等を学習する。また、高校では、主に物理分野で、速度 [m/s]、圧力 [N/ m²]、仕事率 [J/s] 等を学習するカリキュラムになっている。

中学・高校では主に理科で学習する密度概念であるが、小学校では、主に算数で学習をするため、中学・高校での理科の分野は小学校の算数でちゃんと密度概念の理解ができていないと理解しにくい。

特に高校物理では、密度概念が正しく形成されていないと、物理全体が苦手となる可能性が高い。実際、本研究室の卒業生達の過去の研究により、密度概念が理解できないと、物理分野の理解は難しいという結論が出ている。したがって、密度概念は非常に重要であり、本研究における、濃度分野の学習でも重要であるということがわかった。

つまり、化学分野の要素が強い濃度についても、密度概念が重要であるという結論が出たことから、物理や化学を含めた理科全体の理解が、密度概念が不可欠であると言っても過言ではない。また、密度は内包量に含まれるため、濃度同様、内包量の重要さが明らかになったとも言える。それほど密度概念は理科教育にあっては中心的な役割を果たし重要であると考えられる。

(2) 算数得意

次に、改善度が2番目に高かった算数が得意であるということについて考察していきたい。濃度を理解するために必要な百分率の計算は、小学5年生の数量関係で学習する。

ここでは、お金の計算等の内容があり、例えば、「1本100円のだいこんが2割引で売られています。いくらで買えますか」といった問題がある。こういった問題の中に、濃度的な内容が含まれている。濃度の場合、溶媒と溶質を合わせた全体の溶液の中に、溶質がどの程度の割合で溶けているかを計算する際に、百分率の知識が必要になってくる。

そのため、濃度を理解するために、算数が得意であることが、改善度として高い位置に来ていることは、ある意味、必然であると考えられる。そもそも、理科の学習において、数学の計算能力は重要である。

高校でも、物理や化学等を学習する時、様々な計算が必要となってくる。そのため、小学校においても、算数の知識は重要であり、算数が理解できていないと、理科を理解できないのは当然である。

小学生にとっても、理科と算数は切っても切り離せない関係なのである。また、表3の「小・中・高で学習する密度概念」一覧を見てもわかるように、密度は、小学校の理科でなく算数で学習する。

したがって、理科で学習する「ものが溶ける」という化学変化と、算数で学習する濃度に関係する百分率の部分が繋がれば、理科と算数の両方を総合的に理解することができると考えられる。

(3) 理科興味

改善度の3位として、以前よりも理科に興味を持てるようになることが挙げられる。問題で述べたように、濃度は内包量に含まれ、目に見えにくく理解し難い。よって、目に見えないものを見えるようにする工夫、可視性を追求した授業が必要であると考え、色水を使った実験と、卵を使った実験を試みた。

アンケート結果より、「浮卵効果」は改善度が低かったのに対し、「色水効果」がやや改善度が高い傾向があるため、今回の授業での、理科に興味を持たせるための実験方法として、卵の実験は児童の興味・関心を惹くのに十分だったと考えられるが、色水効果は、さら改善の余地があると考えられる。

また、アンケート結果より、色水実験において、色水の濃さと濃度の関係性がわかったと答えた児童が9割を超えたことから、関係性を理解させることはできたが、色水の濃さの違いが顕著に出るようにさらに工夫をしたりする等、色水実験による更なる意外性を感じることができると教材研究を、今後行っていく必要があると感じた。

理科では、実験が好きな子どもが多いため、より、子どもの興味や関心を惹きつける実験を取り入れた授業を行うことが、濃度を理解するためにも必要であるということが言える。

以上によりイメージし難い「内包量」としての「濃度」の考え方を実験・体験・演習によって小学生に習熟させたことによって、一定の「思考の枠組み」を形成させられたと、統計的に考えられる。

5. 今後の課題

考察を踏まえた上で、濃度を理解するためには、主に密度概念の理解、算数を得意にすること、理科に興味を持たせることが改善策として挙げられ、今後の課題として、まず密度の理解では、小学校での正しい密度概念の学習を行う必要がある。

本研究室では、以前から、密度概念育成の出前授業を行ったり、卒業論文で密度を研究テーマとする等、密度概念の重要性を主張し、実践を行ってきた^{16～24)}。密度という目に見えにくいものを、子ども達にわかりやすく、いかに面白く教えるかが子ども達の濃度理解を助けるだけでなく、中学での理科の理解促進、高校での主に物理、化学分野での理解促進に繋がると考えられる。

よって、今後も、本研究室で行っているような出前授業と研究の継続、そして特に、小学校教員に対する密度概念の十分な理解と、児童の興味・関心を惹き付けるような授業実践を考える能力が求められると考える。特に、小学校教員は、全教科全科目を児童に教えるため、今回の濃度のように、理科の分野でもあり、算数の知識も必要である部分を教える際、理科と算数をより系統的に教えることができる環境にいる。

これまで述べたように、学年が上がるにつれて複雑な内容になる理科を理解するためには、数学、特に小学校での算数の理解が重要であるため、授業者である小学校教員に求められる期待は大きいと言えるのである。また、算数を得意にすることでは、理科に必要な計算問題は全て算数で学習するため、算数が得意になることが、濃度を含んだ理科分野に強くなる条件であると考えられる。

特に、濃度での百分率の計算は、分数が出てくるため、加法や減法、乗法や除法等、算数で行う計算の基礎・基本ができていないと、そもそも割り算もできないという児童も出てくる可能性がある。

したがって、児童が学習しやすい算数の授業を教員が考える必要がある。また、今回濃度の授業でいきなり百分率の計算を行ったため、授業前に、簡単な計算問題を児童に解かせてから授業に入れば、児童の思考もスムーズになった可能性が高いと推察できる。

最後に、理科に興味を持たせるためには、新学習指導要領にあるように、実感を伴った理解を得ることができるような、実験を取り入れた授業の考案が必要である。今回の場合、色水を使った実験をさらに顕著に色水の変化がわかるように、色水を作る際、水に溶かす絵の具の量を正確に計量し、きちんと中間色になることを視覚で確かめることができるよう、研究を行うことが課題として挙げられる。また、塩水に卵を浮かせる実験、色水実験以外に、濃度の実験を今後も考えていくことも課題である。そして、この種の実践の普及は、子どもの理科嫌い・落ちこぼれ防止に繋がると確信している。

<引用文献>

- 1) 川村康文；大学生にみる物理分野における素朴概念の実態、物理教育 Vol.48、No.1、2000
- 2) 日本理科教育学会；「これからの理科教育」、東洋館出版社、1998
- 3) 遠山啓；遠山啓著作集数学教育論シリーズ（6）量とはなにか、太郎次郎社、1981

小学校理科における濃度概念形成の試み

- 4) 銀林浩；「量の世界－構造主義的分析－」、むぎ書房、1986
- 5) 菅民郎；『Excel で学ぶ多変量解析入門』オーム社、(2007)
- 6) 内山正；『続受験算数の裏ワザテクニック』文英堂、(2002)
- 7) 文部科学省検定済教科書；「改訂版 高等学校 物理 I B」、数研出版、2003
- 8) 文部科学省 『小学校学習指導要領』 (2008)
- 9) 文部科学省 『中学校学習指導要領』 (2008)
- 10) 文部科学省 『高等学校学習指導要領』 (2008)
- 11) 東京書籍 『新編 新しい科学 1 分野上』 (2008)
- 12) 東京書籍 『新編 新しい科学 1 分野下』 (2008)
- 13) 東京書籍 『小学校教科書 東京書籍版 理科5年』 (2005)
- 14) 東京書籍 『小学校教科書 東京書籍版 理科6年』 (2005)
- 15) 東京書籍 『小学校教科書 東京書籍版 算数5年』 (2005)
- 16) 佐々木麻理衣 『中学校理科における濃度・密度概念形成の研究』 (岩手大学教育学部卒業論文 2003)
- 17) 押切志郎 『中学物理分野における論理的枠組み形成の研究－物理を強くする実践研究を通して－』、(岩手大学教育学部卒業論文2008)
- 18) 加藤由佳 『物理の本質を理解させ理科の苦手意識を克服する試み－高校での教育実践を通して－』 (岩手大学教育学部卒業論文2009)
- 19) 田口朝子、グリバハル・マホムテ、黄川田泰幸、八木一正；「小学生の物理力アップの実践授業 (Ⅱ)」、日本科学教育学会東北支部研究会・研究論文集、2009
- 20) グリバハル・マホムテ、田口朝子、八木一正；「中国ウイグルの物理を強くする教育実践」、日本科学教育学会東北支部研究会・研究論文集、2009
- 21) 佐藤真里『小学校理科における濃度概念形成の試み (Ⅰ)』 日本科学教育学会東北支部研究会・研究論文集 (2010)
- 22) 佐藤真里『小学校理科における濃度概念形成の試み (Ⅱ)』 日本理科教育学会東北支部研究会・研究論文集 (2010)
- 23) 田口朝子；「小学生の物理力 UP を目指した授業研究 ー密度概念形成を中心にー」 岩手大学教育学部卒業論文、2010
- 24) グリバハル・マホムテ；「中国ウイグルにおける物理力アップの実践的研究ー思考の枠組み形成の教育実践を通してー」 岩手大学大学院修士論文、2010