

粒子概念を柱とした小中学校の物質学習

菊地洋一・武井隆明*, 黄川田健・高室敬・菅原純也**,

小室孝典・平澤傑・佐々木聡也***, 尾崎尚子****, 坂本有希*****

* 岩手大学教育学部, ** 岩手大学教育学部附属小学校, *** 岩手大学教育学部附属中学校

**** 滝沢市立滝沢第二小学校, ***** 岩手県教育委員会

(平成30年3月2日受理)

1 研究の背景

小中学校理科の学習において、これまで「問題解決学習」、「科学的思考力・表現力の育成」、「系統的学習」、「確かな理解」等がキーワードとなってきた。近年はさらに「アクティブ・ラーニング」、「深い学び」、「メタ認知」、「キー・コンピテンシーの育成」等が話題になっている。2017年に新たな学習指導要領が公示された。新学習指導要領は、これまでに積み上げてきた教育実践の蓄積の上に、さらに知識基盤社会に生きる資質・能力の育成に力を入れた学習の高度化を目指している。先の見えない社会に向けてどのような教育を行うべきか?の問に対し、1996年に「生きる力」の概念が提示されたことは比較的早い動きだったと思うが、今回の新学習指導要領ではさらに文部科学省の本気度を感じる。その代表的な標語となる「主体的・対話的で深い学び」は、コンテンツとコンピテンシーの統合を目指す標語として重要である。

理科ではこれまでも、実験・観察等の活動場面やその前後の思考場面などにおいて、子どもの主体的な学びや対話的学びを重視してきた。またその過程で、科学的思考力の育成を念頭にした探究的で高度な授業も追及されてきた。ややもすれば行き過ぎ（問題解決の形式主義化。無謀なまでに教えない授業。系統的積み重ねができない授業。一部の子ども依存の授業。など）になっているとの批判も出ていた。そんな中に「アクティブ・ラーニング」が降ってきた。大学教育改善で提唱されたアクティブ・ラーニングを、一定の基礎基本を身につけている高校・大学で実施する場合と小中学校段階に持ち込む場合では、前提となる／獲得すべき知識の確保にどれだけ留意するべきかが異なる。深い学びを達成するためのアクティブ・ラーニングは、教育内容の系統性とうまくマッチ

ングしなければ実現が難しいと考えられる。

このような状況の中で、「基礎基本となる知識の習得と活用」は前述の種々のキーワードの基盤としてますます重要であると考えられる。またそれらの計画的な配置を念頭にして、単元計画や学年を越えたカリキュラムなどの系統的な全体構想がますます重要になると考えられる。

2 本研究の目的と概要

本研究は小中学校における物質学習を対象とした教育内容論的アプローチである。教育内容の俯瞰的考察から、「基礎基本となる知識の習得と活用」に留意して、系統的学習の全体構想を構築することを目指して研究を行っている。それぞれの教育内容分野には特徴があり、本研究はその特徴を生かすことを重視している。物質学習分野の大きな特徴は、物質の諸現象を科学的に思考するものが、粒子概念に集約されるという単純な構造をしていることである。すなわち粒子概念の限られた知識が物質学習を通しての基本となり、これを活用して諸現象を統一的・系統的に説明できる構造になっている。よって粒子概念を一貫した基本にすることで、科学的思考力・表現力を育成する授業を作りやすく、個々の学習（単元）を積極的に結びつけた理解に導きやすく、これらを積み重ねることで自然のしくみをより広い枠組みで感じる学習が期待できる。この実現が「確かな理解」「深い学び」の1つの在り様であると考え、本研究はこの具体化を目指している。

物質学習の特徴の1つとして、目に見えない粒子を思考の基に置くことからイメージが持ちにくい困難さがある。しかし幸いなことに物質学習では粒子の単純なモデルを一貫して使える。またモデルを操作的に扱いながら思考できる。イメージ

が持ちにくい困難さをむしろ積極的に科学的思考力・表現力の育成に結び付け、前述の全体構想の具体に組み入れていく発想ができる。実際の授業開発の際にはこの点が重要になってくる。

本研究は上述の考えから物質学習のキュラム構想と具体的な授業提案を行っている。はじめに上記の構想が小学校段階から可能か？が問題になる。そこではじめに小学校における実践的研究を行った。さらに中学校における実践的研究へと進めてきた。

本研究は、これまで継続的に研究を進め、近年では岩手大学教育学部プロジェクト推進支援事業（教育学部G P）の「小中学校理科における物質学習の実践的研究（平成27-29年度）」の一環として実施してきた。今年度で教育学部G P研究の一旦の区切りとなり、また本論文誌は教育学部G P研究の報告書の意味合いがある。そこで本稿では、これまでの研究の中間まとめを行う形で我々の研究成果を報告したい。

3 小学校における物質学習

<全体構想>

現学習指導要領（2008年版）では、「粒子」を理科の柱の1つとして明示したことから、教育現場では小学校で粒子概念を取り入れる授業研究が盛んに行われた。小学校では物質の現象を実験・観察を通して学習していく。ここに粒子概念を導入すれば物質の現象の解釈ができるようになる。この関係から粒子概念を取り入れる授業では、主題となる現象について「なぜ〇〇なるのだろうか？」との課題設定を行い科学的思考力の育成を目指す授業が多い。ここで教師が子どもにどれだけの知識を与えた状態で思考場面に入るかによって授業は大きく変わってくる。小学校段階に粒子概念を取り入れる授業の是非は、この点で区別を行いながら議論すべきである。

我々のプロジェクトでは、「物質はすべて目に見えない小さな粒でできている。」ことと、その粒の基本的な性質の内、本時の課題を思考する上で予め教えた方が良くと思われるものは教えるスタンスに立っている。これは子どもの思考場面を奪うことではなく、(1) 思考範囲を限定し、粒子概念を「活用」して課題内容を解き明かすことに集中させるためである。また (2) 粒子概念を扱う授業は高度な

内容に踏み込むため、できるだけ授業ストーリーを単純にして、何をやっているかを分かりやすくするためである。また (3) 「なぜ〇〇なるのだろうか？」との課題設定で子どもの興味を引きつけているので、授業終了時にはその答えが明らかになり、子どもの達成感が得られるようにするためである。

小学校で粒子概念を取り入れる授業の中には上記 (3) が確保されない授業も多くみられるが、我々は一つの授業が (3) のように終わることにより、その内容がその後の学習にも活用できることを重視している。これらの積み重ねにより子ども達が、粒子概念が物質学習の基本として位置づいていること、それを活用することの有効感、多様な現象のつながりを感じるようになることを期待している。自然に対するこのような感じ方が本来の理科学習の楽しさを誘発する。さらに理科に限らず、基本となる概念が一見別々の事象の根本に位置づいていると感じ、それに基づいてものを考えるということは1つの有力な思考法として重要である。これまで述べてきたように物質学習分野の内容構造は、このような能力の育成に大変適しており、この学習内容の特徴を生かさないのはもったいないことである。

我々ははじめに粒子概念の構造化を行い、図1のようにまとめた。この詳細については既報を参照されたい¹⁾。

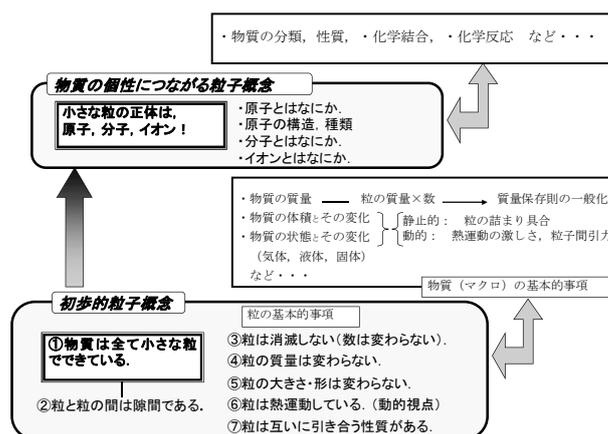


図1 粒子概念の構造化

小学校段階に取り扱うのは初歩的粒子概念のレベルである。図1の①～⑦は物質の諸現象を解釈する上で基本となる要素である。ただし、いつでも①～⑦をすべて使いこなすという意味ではない。

重要なことはそれぞれの学習ステージや具体的な授業場面において、どの要素が重要になるのか授業者は十分に留意して学習内容や授業を計画する必要があるということである。ここで⑥の熱運動は物質の理解をする上で大変重要な要素で、熱運動を扱うことで解釈できる事項が大きく広がる。しかし小学校における子どもの発達段階を考慮した場合、粒子概念を用いて現象を解釈する内容を単純にした方が良いとの意図で、我々は小学校段階では粒子の熱運動を予め計画的に盛り込む構想はしないこととした。

小学校での物質学習では、物質の三態（気体、液体、固体）と溶液に関わる内容が多い。これらは初歩的粒子概念の範囲で一定のことが解釈できる内容である。この中でも物質の三態が基本となる。溶液は溶媒と溶質の混合物なので、少なくとも二成分系であり応用的な内容である。そこで我々のプロジェクトでは、粒子モデルに基づいた物質の三態の基本的内容を、多くの場面で活用できるように1枚の学習シートにまとめたものを作った。作成したシートを図2に示す。これを「つぶつぶシート」と呼ぶ。このシートにまとめた要素を単元や学年を越えて活用できるようにしておき、種々の学習場面で子ども達が主体的に科学的思考を働かせて問題解決していく構想である²⁾。

ただし初めから出来たシートを子ども達に渡しても子ども達は内容を理解していないのでシートを活用することはできない。そこではじめは、粒子概念を導入するとともにシートの内容を対象とした授業を行い、その成果をまとめる形でシートを作成した。その後、種々の場面でシートの内容を活用する授業を行い、我々の構想の妥当性を実践的に検討してきた。

<つぶつぶシート> 基本シート

	気体	液体	固体
例	水じょう気、空気	水、アルコール	氷、金属球
小さな粒で表現してみよう。			
目に見えるか？	見えない	見える	見える
なぜ目に見えるのか？／なぜ目に見えないのか？ 小さな粒で説明しよう。	小さな粒がばらばらに広がっているから	小さな粒がたくさん集まっているから	小さな粒がたくさん集まっているから
自由に形を変えることができるか？	できる。	できる。	できない。
なぜ形を変えることができるのか？／なぜ形を変えることができないのか？ 小さな粒で説明しよう。	粒が自由に動くことができるから	粒が自由に動くことができるから	粒と粒が強く結びついて、粒が自由に動くことができないから

図2 つぶつぶシート

<具体的授業実践>

先の構想に従ってこれまで行った授業実践を図3にまとめた。それぞれの場面について簡単に説明する。なお3年「ものと重さ」では粒子概念につながる授業を行っているが、粒子概念は導入していない³⁾。また6年「水溶液の性質」での授業はまだ未実施である。

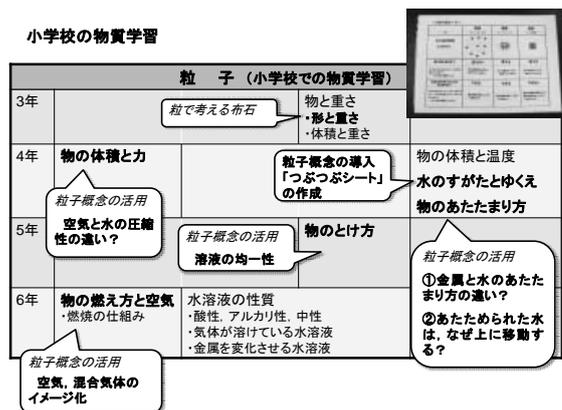


図3 小学校の物質学習における授業実践まとめ

(A) 4年「水の姿とゆくえ」、「つぶつぶシート」の作成場面^{2), 4)}：小学校で粒子概念を取り扱う場合、粒子概念を初めて導入する場面をどうするかはとても重要である。子ども達の唐突感をやわらげ、子どもの興味関心を引き付け、粒子概念を活用する必要感が生じる場面設定をする必要がある。我々はこの場面として4年「水の姿とゆくえ」を選んだ。その理由については既報を参照されたい⁴⁾。

教科書の内容を終えた後、2時間分の発展的な授業として、1時間目：「水は目に見えて、水蒸気が目に見えないのはなぜだろうか？」、および2時間目：「水は自由に形が変わるのに、氷は形を変えられないのはなぜだろうか？」の課題を解決する授業を行った。これらの課題を解決するヒントとして、教師から図1の①「物質はすべて小さな粒でできている。」および⑤「その粒の大きさ・形は変わらない。」を説明している。1時間目の思考場面では、ホワイトボード上で○形のカラーマグネットを自由に操作しながら考えさせた。カラーマグネットは大きさ・形の変わらない粒子モデルであり、子どもが課題解決に集中する教材として良い。2時間目の思考場面では、粒子の結合を想起させるために立体のプラスチックブロックを粒子モデルに用いた。どちら

の授業も子ども達は設定した課題に強い興味を示し、主体的・対話的活動を通して、課題を見事に解決していく姿が見られた。これらの結論をクラス全体で共有し、「つぶつぶシート」の作成を行った。

(B) 4年「物の体積と力」、空気と水の圧縮性の場面⁶⁾：注射器に閉じ込めた空気は押し縮めることができるが、水は押し縮めることができない。このことは (A) 4年「水の姿とゆくえ」の前にすでに学習していた。その際には現象だけを扱うに止めたが、子ども達からは「なぜ？」の疑問が多く挙げられていた。そこで「つぶつぶシート」作成後に、この問題に取り組んだ。もともと子ども達の疑問に答える授業なので、興味関心が高い。(A)の授業を受けた成果として、予想段階の作図から全員が水(液体)と空気(気体)の違いを粒子モデルで表現できており、問の答えとしてはほぼ正解に近かった。ただし圧縮後の空気の表現は粒が密集しており液体や固体のようにになっている子どもが多かった。そこで班毎、およびクラス全体での討論を行った。話し合いの様子を図4に示す。「つぶつぶシート」を活用しながら問題点に気がつき、クラス全体で修正していくことができた。その際、シートは対話的学習を進める上でクラス全体の共通知識として使われ、それぞれの発言の趣旨が良く伝わり話し合いが深まっていく様子が見られた。

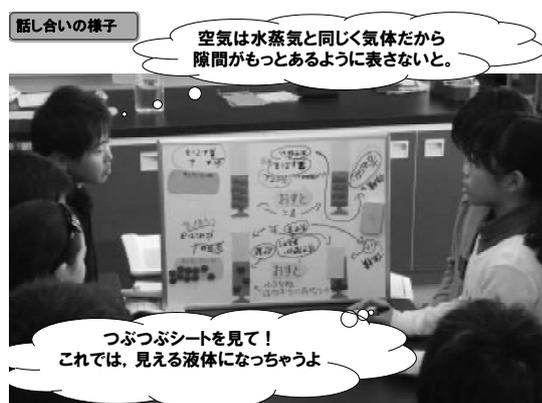


図4 圧縮した空気について話し合う様子

(C) 4年「物のあたたまり方」、水のあたたまり方の場面^{6), 7)}：金属(固体)は熱伝導であたたまり、水(液体)と空気(気体)は対流であたたまることを学習する場面である。水のあたたまり方を取り上げ、あたたまり方の順番と水の動きを学習したところで、子どもから次の2つの疑問が出てきた。「なぜ水と金属ではあたたまり方が異なるのか？」、

「なぜあたためられた水は上に移動するのか？」である。それぞれ1時間ずつの主体的問題解決の授業を試みた。水と金属の違いの授業では、「つぶつぶシート」にヒントとなる箇所があるので、それはどこか探す問いかけから始めた。子ども達は、水の粒は自由に動くことができ、金属の粒は動けないことを見つけた後、それぞれのあたたまり方の様子を粒子モデルで説明することができた。

次に「なぜあたためられた水は上に移動するのか？」であるが、これは密度概念を必要とする高度な内容である。したがって我々にとっても挑戦的な授業と位置づけて授業実践を行った。前単元で、あたためられた水は膨張することを学習している。「つぶつぶシート」には粒子モデルによる液体のイメージ図が載っているが、液体が膨張したときにこのイメージ図はどのように変化するのか？を思考させ、膨張する前と膨張後の水を粒子モデルで表現させた。これを手がかりとして、子ども達はあたためられた水がまわりの水より軽くなる理由(プラスチック容器を一定体積とした。)を解明していった。前述のように高度な内容なので心配した授業であるが、授業後のアンケートの結果では、子ども達はこの内容をそれほど難しいとは感じていなかった。また、楽しく、よくわかったと回答している。事後テストの結果も良好であった。

(D) 5年「物のとけ方」、溶けたものは均一に分散していることを理解する場面⁶⁾：溶けたものは目に見えなくなるが、どのように分布しているのだろうかの問は、小学生のみならず中学生においても間違いが多い問題である。下部に多く分布するという素朴概念が知られている。我々の実践でも予想段階において半数の班が下部に多く分布すると予想していた。その一方、残りの半数の班は予想段階から全体に分布すると主張した。その根拠は、上記(A)で学習した「水が目に見えるのは粒が集まっているから、水蒸気が見えないのは粒がバラバラに散らばっているから」を応用したものであった。異なる現象について、子ども達が自主的に科学の根本となる共通事項を活用した一幕であった。実践では、実験結果と水蒸気による説明が一致したことから、溶けたものがバラバラに分布していることについてよく理解することができた。事後テストでは、ここでの学習内容に加えて溶解による質量保存の問題も好成績であった。子ども達が溶質粒子の存在を認め、他の事象に応用した結果である。

(E) 6年「物の燃え方」、混合気体中でろうそくを燃やす場面⁹⁾：ここでは空気中でろうそくを燃やすための条件、燃やした前後の気体の組成変化等を学習する。空気を混合気体という視点で扱い、気体の組成についても学習する場面であるが、そもそも混合気体というもののイメージが持ちにくい。そこで粒子モデルを用いて混合気体を表現しながら、ろうそくの燃焼について確かな理解を図る授業実践を行った。実践では、予想→実験結果→考察の過程で、粒子モデルで可視化しながら考えることが有効に作用していた。

<小学校における物質学習のまとめ>

以上のように物質学習の全体構想に沿って、粒子概念を活用する一連の授業実践を行ってきた。授業後のアンケート調査やテストから、いずれの授業も子ども達の興味・関心が高い、難易度の感じ方は内容や個人差によって異なる、理解度は良好であるとの結果が得られている。我々の物質学習構想は十分に小学校段階で実現可能と考えられる。

我々の実践において、目に見えない粒を子ども達がどのように捉えているかはわからないが、与えられたツールとして活用することには抵抗が無いようであった。むしろ現象の仕組みを解き明かすために積極的に活用する姿が見られた。本プロジェクトでは図3のように小学校全体での粒子概念の活用を考えている。(現実の学校現場では常に4年(A)場面で粒子概念を導入してから他の場面で実践を行うのが難しい場合もある。その場合には実践場面の直前でも(A)場面の授業を行えば粒子概念やシートを活用ができる。)粒子概念の活用は、1つの場面に限らずにできるだけ重ねていくのが望ましい。その度に子ども達は粒子モデルを扱うことに慣れていき、粒子概念を活用することの有用感を得ていく。また種々の学習内容のつながりを自分達で気付いていくことができる。

我々の授業を公開で行う際に、授業が理屈先行である。小学校では実験・観察を通して現象をしっかり捉えることが重要である等の意見をいただくことがある。我々も小学校では実験・観察を通して現象をしっかり捉えるのが主であることに異論はない。その上で、前述の(A)～(E)の授業はそれぞれの単元中の1～数時間分である。この数時間を工夫して取り入れるだけで小学校の物質学習は大きく変わるという提案である。実践を行う度に、物質

の現象の「なぜ？」を解き明かす授業に対する子ども達の興味は非常に強いと感じた。またそれを理解した時の達成感も大変高いと感じた。小学校段階で粒子概念を取り扱うか否かは、古くからの論点であるが、本プロジェクトのように系統的にしっかりと取り入れることを提案したい。

4 中学校における物質学習

中学校1年の学習内容は、小学校で学習したことを確認しながら、さらにその内容を深める構成となっている。ここで物質の三態と状態変化および溶液・溶解の基本は、初歩的粒子概念で取扱うことができる内容である。我々の研究プロジェクトでは小学校段階で初歩的粒子概念を活用した授業実践を行ってきた。その際に粒子の熱運動については積極的に取り扱うことをしていない。中学校では粒子の熱運動も含めて、さらに物質の現象の理解を深める授業を検討した。

溶液・溶解学習を取り上げ、粒子の熱運動を取り入れて溶液・溶解の理解を深めることをねらいとした授業実践を行った。その結果、ブラウン運動の観察で水分子の熱運動を認識しながら溶解現象を理解することは、有効な手立てであることがわかった^{10)・11)}。また、異なる2つの課題(「砂糖が水に溶けると、目に見えない砂糖の粒が広がっていくのはなぜか? : 動的現象」と「水溶液中の目に見えない砂糖の粒が広がったままではなぜか? : 静的現象」)の授業比較も行った¹⁰⁾。その結果、動的現象を課題として学習した生徒の方が事後テストの結果が良かった。動的現象を学習課題として思考した方が水分子の熱運動がイメージしやすく、種々の問題にも応用できたものと思われる。

中学校2年では、化学変化、原子、分子の概念を学習する。ここで粒子概念が初歩的粒子概念から原子概念・分子概念(図1の上部)へと深化する。それに伴い種々の化学変化とともに物質の個性、記号表記等を扱う段階になる。ここで、この学習の系統性が学習者に把握されているか、疑問である。そこで我々は、中学1年で学習した状態変化と初歩的粒子概念を化学変化の学習の冒頭から並列的に組み込み、状態変化と化学変化を粒子モデルで対比させながら学習する授業を構想し、実践を行った¹²⁾。①状態変化と化学変化の事象の

対比, ②初歩的粒子モデルから原子・分子モデルへの系統的深化, ③立体粒子モデルによる模擬実験を実際の実験と並行的に行いミクロの事象について実感を持たせることの3点を組み合わせ, 学習者が学習内容のつながりと位置づけを理解しやすい授業になったと考えている。

このようなつながりは, 中学3年のイオン単位においても工夫されるべきである。自由電子を扱う電気単位等も含めて, 中学校段階の全体構想の検討を進めるのは我々のプロジェクトの今後の課題である。

5 おわりに

本稿は我々の研究プロジェクトの中間まとめを行った。これまで小学校の物質学習については, 全体構想とそれぞれの場面の授業実践の両面から検討を行い, 一つの具体的な学習モデルを提案することができた。今後, 授業での形成的な評価も取り入れながら, さらに我々の方法の妥当性の確認や改善に向けた検討を行いたい。中学校については, まだ個別の場面での検討を重ねている段階である。今後, 全体構想とそれぞれの学習場面の位置づけを構築しながら, 個々の授業開発を進めたい。本研究プロジェクトによって, 我々は物質学習の内容論的特徴を生かし, 子ども達の資質・能力を伸ばす学習を構成したいと考えている。

謝辞

本研究プロジェクトの一部は, 岩手大学教育学部プロジェクト推進支援事業(教育学部GP)「小中学校理科における物質学習の実践的研究(平成27-29年度)」およびJSPS 科研費17K00957(平成29-31年度)の助成を受けて行われた。記して感謝の意を表します。

引用文献

- 1) 菊地洋一, 武井隆明, 村上祐, 尾崎尚子, 高室敬, 黄川田泰幸, 橋戸孝行, 坂本有希, 佐々木俊, 小室孝典, 灘山正和, 「粒子」を柱とした系統的な物質学習—小学校理科に粒子概念を導入し活用するための考え方と授業提案—, 『岩手大学教育学部プロジェクト推進支援事業教育実践研究論文集』, 第1巻, (2014)
- 2) 菊地洋一, 高室敬, 尾崎尚子, 本宮勇希, 近藤尚樹, 村上祐, 「小学校の物質学習を通して粒子概念を有効に活用するための新規学習シート「つぶつぶシート」の提案」, 『岩手大学教育学部附属教育実践総合センター研究紀要』, 第13号, 33-43 (2014)
- 3) 尾崎尚子, 菊地洋一, 「思考力や表現力を高め, 科学の本質にもつながる教材の活用」, 『初等理科教育』, 3月号, 22-25 (2013)
- 4) 菊地洋一, 尾崎尚子, 黄川田泰幸, 高室敬, 「小学校理科に粒子概念を初めて導入する場面の授業実践」, 『初等理科教育』, 8月号, 62-65 (2012)
- 5) 尾崎尚子, 本宮勇希, 菊地洋一, 村上祐, 「空気と水の加圧による体積変化(小学校4年)を「つぶつぶシート」を活用して考える授業実践」, 『日本理科教育学会全国大会発表論文集』, 323 (2013)
- 6) 菊地洋一, 岸美瑞保, 尾崎尚子, 菅原純也, 「「小学4年 水のあたたまり方」の授業実践【その1】」, 『日本理科教育学会全国大会発表論文集』, 122 (2016)
- 7) 尾崎尚子, 黄川田健, 菅原純也, 菊地洋一, 「「小学4年 水のあたたまり方」の授業実践【その2】」, 『日本理科教育学会全国大会発表論文集』, 123 (2016)
- 8) 菊地洋一, 高室敬, 尾崎尚子, 黄川田泰幸, 村上祐, 「小学校における系統的物質学習の実践的研究—粒子概念を「状態変化」で導入し「溶解」で活用する授業—」, 『理科教育学研究』, 第54巻, No.3, 335-346 (2014)
- 9) 菊地洋一, 岸美瑞保, 尾崎尚子, 黄川田健, 「粒子モデルを用いた「小学校6年 物の燃え方と空気」の授業実践」, 『日本理科教育学会全国大会発表論文集』, 164 (2017)
- 10) 坂本有希, 菊地洋一, 武井隆明, 村上祐, 「異なる学習課題が中学生の溶解現象の理解に及ぼす影響」, 『岩手大学教育学部附属教育実践総合センター研究紀要』, 第15号, 101-110 (2016)
- 11) 佐々木聡也, 坂本有希, 尾崎尚子, 菊地洋一, 「初歩的粒子概念を柱として小学校と中学校をつなぐ物質学習」, 『岩手大学教育学部プロジェクト推進支援事業 教育実践研究論文集』, 第4巻, 39-43 (2017)
- 12) 遠藤怜美, 滝浦千加良, 加茂川恵司, 菊地洋一, 「状態変化との対比を効果的に用いる「化学変化と原子・分子」の授業」, 『日本理科教育学会全国大会発表論文集』, 187 (2014)