

静電気がもたらす力学的作用に関する認識状態 ー我が国の高等学校段階の学習者を対象とした事例評価ー

仲野純章

奈良県立奈良高等学校

京都大学大学院理学研究科附属サイエンス連携探索センター nakano.sumiaki.i24@kyoto-u.jp

キーワード：理科教育，静電気，科学的認識，メタ認知

(受付：2019年10月15日)

I. はじめに

科学技術を基盤とする社会構造のより良い維持発展のためには，社会構成員一人一人に科学的リテラシーの涵養が求められるという国際的学力観の下，我が国では，理科教育がこれを担う中心的存在であると認識されている（和田，2011；川上ほか，2015）。本来的に，理科教育で扱われる項目はいずれも我々の社会生活と何らかの関わりを持っているが，その中でも特に大きな関わりを持っているものの一つに静電気がある。日常生活の中における静電気は，誰もがその存在を体感的に認識しているところであろうが，時に，爆発や火災といった甚大な事故や災害の引き金ともなることから，決して無視のできない存在である。

このように，社会生活と密接な関わりを有している静電気であるが，我が国の理科教育では，比較的早期から関連概念の学習が始まり，系統的に学習がなされる。具体的には，小学校第3学年で電気概念について初めて触れ，中学校第2学年で静電気の概要を学んだ後，高等学校でその学びを発展的に深める。2030年，あるいはそれ以降の社会において必要となる資質・能力を見据え（清原，2017），小・中学校，そして高等学校の学習指導要領が2017年と2018年にそれぞれ相次いで改訂告示されたが，静電気に関連する部分に関しては，学習の系統性やその内容に変化はない（清原，2018；遠山，2018）。

小・中・高等学校を通して学習される静電気については，これまで，その系統性を意識した理科教育学研究が種々なされてきた。例えば，石原（2015）は，小学校から高等学校までの電磁気学に関する教育内容を俯瞰した時，中学校と高等学校では静電気と電流の関わりについての学習内容に大差がないことを問題視し，高等学校における発展的学習に適した教具の提案をしている。澁谷ほか（2014）は，中学校と高等学校での静電気学習を比較した時，共に定性的学習に留まっていると指摘し，高等学校ではより発展的に定量的学習ができるよう，新たな学習法の提案を行っている。その他，小学校の学習内容を踏まえて中学校での静電気関連単元のあるべき授業展開を検討する研究（松村ほか，2007）など，学習の発展性や接続性に焦点をあてた研究が多くなされてきた。

その一方で，学習者の認識状態に焦点をあてた研究は乏しい。特に，高等学校での静電気学習に臨む学習者が，どのような初期認識を持ち合わせて当該学習に向か

い、学習を通じてどのように認識を変容させ得るのかを確認することは、高等学校、あるいはその前学校段階での静電気学習を吟味する一つの重要な糸口となるが、これを具体的に評価した事例は見られない。そこで、本研究では、我が国の小・中・高等学校を通した静電気学習の総和的位置づけともなる高等学校において、静電気学習に臨む学習者の静電気概念、とりわけ静電気がもたらす力学的作用という静電気概念の最も基本的な側面に関する認識状態について、学習前の様相と学習に伴う変容を評価することを目的とした。

II. 対象

対象集団は、奈良県立奈良高等学校第3学年122人(3学級合計)とした。当該集団は、前時までに波動分野の学習を終え、新たな電気・磁気分野の学習に差し掛かる段階にあり、当該分野の最初に登場する静電気についても学習を開始していない状態にあった。

III. 方法

本研究では、静電気がもたらす力学的作用に関する認識状態について、学習前の様相と学習に伴う変容を調査した。学習前の学習者には、他の物理概念の場合同様、様々な既有概念が存在すると予想された。こうした既有概念の内、正しい科学的概念と異なる誤概念を修正するには、通常の知識伝達型授業では困難で(徐ほか, 2015)、学習者に自己の考え方を意識化させる必要があるということは既に知られており(Hashweh, 1986)、これを促すメタ認知的活動に取り組み、正しい科学的概念の構築を図る研究・実践が盛んになされてきた(仲島・吉野, 2006; 吉野・小山, 2007; 沖野ほか, 2016など)。そこで、本研究においても、知識伝達型の一斉指導(1時限目)を行うに留まらず、メタ認知的活動の展開を狙った協働学習(2時限目)にも取り組み、正しい科学的概念の確実な獲得を促した。そして、一連の指導過程の中で、静電気がもたらす力学的作用に関する認識状態の調査を1時限目前(初期認識調査)、2時限目冒頭(中間認識調査)、及び2時限目後(最終認識調査)の3回実施し、認識状態の変容を追跡した。

1. 静電気概念の指導

1時限目は、静電気に関する基本的事項(1)～(4)の指導を一般的な方法(講義と演習)、すなわち知識伝達型の一斉指導形態で実施した。

- (1) 電気の正負と帯電、電気量保存
- (2) 導体と不導体の区別
- (3) 導体で見られる静電誘導
- (4) 不導体で見られる誘電分極

ここでは、電気の正負と帯電、導体と不導体の区別といった中学校までの既習事項に対し、電気量保存や静電誘導、誘電分極といった未習事項に力点を置いた指導を実施した。特に、概念的に難しさを感じられる静電誘導や誘電分極については、図1, 2に示す電氣的モデルを板書し、これらを各自のノートにも描画させな

がら理解を促した。図 1, 2 は、帯電していない導体や不導体に帯電体を接近させることで、それぞれ静電誘導、誘電分極を起こすことを視覚的にイメージ化させるものであり、図 1 では導体を負電荷（自由電子）と正電荷が入り混じったものと考え、図 2 では不導体を電気双極子の集合体と考えた。

2 時限目は、メタ認知的活動の展開を狙った指導を協働学習形態で実施した。メタ認知的活動を展開させる手法としては様々なものが考えられるが、本研究では、協働学習を想定した平澤（2018）の手法を参考にした。当該手法は、課題把握、予想、討論、検証といった構成要素からなり、課題に対する個人予想とこれに基づく討論を通じて自己の考え方を高次の視点から意識化させた上で、事実確認実験による検証を行わせることで正しい科学的概念を練り上げていくというものである。

今回、中間認識調査を課題把握と予想に位置づけ、それに続く討論（10 分）と検証（20 分）に 3 人（または 4 人）1 班体制で取り組ませた。討論では、限られた時間枠の中で効率的に言語活動が進められるよう、各班に司会進行役を置くよう指示をした。検証では、ストロー（ポリプロピレン製）、はさみ、糸、ティッシュ、つまようじ、金属棒（ステンレス鋼製）を実験用部材として用意した。そして、糸で吊るして回転可能にしたストローをティッシュとの間の摩擦帯電で負に帯電させ、その一端に各種物体を接近させることで（図 3）、次節に詳述する認識調査資料の内容を順次検証させ、結果について考察させた。検証過程では、正しい科学的概念が主体的に形成されることを期待して、教科書の適宜参照を奨励した。こうした協働学習によりメタ認知的活動が展開された様子を具体的に確認するため、一連の活動後に振り返り記述を記入させ、これを分析した。

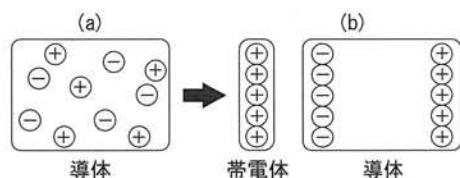


図 1 導体の電気的モデル；

(a) 帯電体接近前、(b) 帯電体接近後

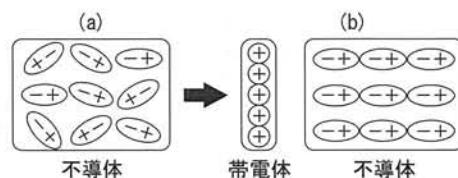


図 2 不導体の電気的モデル；

(a) 帯電体接近前、(b) 帯電体接近後



図 3 検証作業概略図

2. 認識調査

認識調査では、図 4 に示す認識調査資料を毎回配布し、問いに対する回答を選択肢から選ばせると共に、その回答根拠を記述するよう指示をした。認識調査資料は、

帯電体同士という関係性だけでなく、帯電体と帯電していない不導体や導体との関係性についても問う内容となっており、静電気がもたらす基本的な力学的作用に関する認識を網羅的に調査する構成とした。回答選択と回答根拠記述のための時間枠は10分とし、その間、教科書の参照や学習者同士の相談は認めず、あくまで自己の素直な認識を記すよう指示をした。なお、認識調査を繰り返す中で学習者が正答やその根拠を記憶することを防ぐため、正答とその根拠は最終認識調査後に提示した。

問い
 ストローをティッシュでこすると負に帯電することが知られている。このようにして負に帯電させたストロー（これを「ストロー-A」とよぶ）の中心に、図のような回転軸を設けて滑らかに回転できるようにした。ストロー-Aの一端に別の物体を接近させたとき、ストロー-Aはア～ウのうちどのような動きをするか。物体が下表①～③である場合について、回答をア～ウから選び、その回答根拠も書いて下さい。

(※上から見た様子)

ストロー-A

回転軸

接近させる物体

ア: 遠ざかる
 イ: 動かない
 ウ: 近づく

回答と回答根拠

接近させる物体	回答（○で囲む）	回答根拠
① 帯電していないつまようじ	ア・イ・ウ	
② 負に帯電したストロー	ア・イ・ウ	
③ 帯電していない金属棒	ア・イ・ウ	

図4 認識調査資料

IV. 結果と考察

1. 静電気概念の指導

知識伝達型の一斉指導は、欠席者を除く121人が受講した。静電誘導や誘電分極を表現する図1, 2の電気的モデルは、共に極めて単純化したモデルにしたこともあり、いずれの者においても迅速かつ適切に描画がなされていた。また、その際、当該電気的モデルに対する意見・質問が挙がらなかったことから、受容性も良いものと見受けられた。

協働学習には、欠席者を除く121人が参加した。課題把握と予想に続く討論では、司会進行役の設置を指示したことに加え、積極的な討論が展開されるよう教員側の机間指導を実施したこともあり、いずれの班においても予想表明と意見交換が活発に展開された。その際、予想内容が対立して概念的葛藤が引き起こされている場面や討論相手の指摘により自己の考え方が科学的な説得力を伴ったものであるかの吟味を迫られる場面など、メタ認知的活動の展開が各所で見られた。更に、検証では、

作業そのものが平易であったこともあり、各班で表 1 に示す各現象が大きな滞りもなく確認された。そして、直面した現象に対して、教科書の参照や学習者同士の相談を交えながら考察することで、自己の考え方に対する内省と概念の再構成、あるいは考え方の深化が促されたものと思われる。

協働学習に取り組んだ学習者の様子は、振り返り記述の分析結果（表 2）からも窺え、概念見直しを迫られた旨が記されたものは 39.7%存在し、概念見直しを迫られた旨の明記はないが、自己の考え方を更に深めたことが記されたものも 13.2%存在した。その他の記述については表 2 に示す通りであり、全体的な記述特徴としては、メタ認知的活動が展開されたことを示唆する記述が目立つ結果となった。

表 1 検証で確認される現象

接近させる物体	確認される現象
① 帯電していないつまようじ	引きつけ合う
② 負に帯電したストロー	反発し合う
③ 帯電していない金属棒	引きつけ合う

表 2 振り返り記述の分析結果 (n=121)

記述内容の分類	内訳	記述例
概念見直しを迫られた旨が記されたもの	対象現象：誘電分極のみ 24.8%	・ 不導体のつまようじは動かないと思っていたので、予想とは異なる結果に驚いた
	対象現象：静電誘導のみ 0%	—
	対象現象：指定なし 14.9%	・ 予想と反したものが多く、とても驚いた ・ 帯電していない物体でも動くことに驚いた
概念見直しを迫られた旨の明記はないが、自己の考え方を更に深めたことが記されたもの	13.2%	・ 授業で習った理論が実際の実験と結びつき、静電気に対する理解が深まった ・ 帯電していない不導体が帯電した物体と引き合うイメージを持てた ・ 今回の実験で電子の動きについて深く考えることができた
単なる感想、及びそれに準ずるもの	28.9%	・ 楽しかった ・ 不思議で面白い
事実を書くに留まっているもの	14.9%	・ 帯電した物体を接近させると電子の移動や偏りが生じる
未記入	3.3%	—

2. 認識調査

初期、中間、最終認識調査の参加者は、欠席者を除き、それぞれ 121, 121, 118 人であった。帯電体と帯電していない不導体、帯電体同士、帯電体と帯電していない導体といった関係性ごとに、初期、中間、最終認識調査の回答状況を表 3～5 に示す。回答根拠を確認したところ、認識調査の正答者には、正しい根拠に基づいて回答している者に加え、誤った根拠に基づいて回答している者や根拠を記載していない者も混在していた。そこで、表 3～5 には、根拠の如何に関わらず、正答を回答した者全員を正答者と見なした時の正答率（以下、形式的正答率と呼ぶ）と共に、正しい根拠に基づき正答を回答した者だけを正答者と見なした時の正答率（以下、実質的正答率と呼ぶ）を併記した。以下、正答率の議論をする際、正しい認識状態を持っている者の割合がより正確に表現された実質的正答率を用いることとする。

表 3 認識調査の回答状況；帯電体と帯電していない不導体との関係性

		初期 (n=121)	中間 (n=121)	最終 (n=118)
形式的正答率		11.6%	25.6%	90.7%
実質的正答率		3.3%	18.2%	83.9%
各回答選択者数	ア：遠ざかる	7	1	3
	イ：動かない	99	89	8
	ウ：近づく	14	31	107
	未回答	1	0	0

表 4 認識調査の回答状況；帯電体同士の関係性

		初期 (n=121)	中間 (n=121)	最終 (n=118)
形式的正答率		98.3%	99.2%	100.0%
実質的正答率		97.5%	97.5%	98.3%
各回答選択者数	ア：遠ざかる	119	120	118
	イ：動かない	0	0	0
	ウ：近づく	2	1	0
	未回答	0	0	0

表 5 認識調査の回答状況；帯電体と帯電していない導体との関係性

		初期 (n=121)	中間 (n=121)	最終 (n=118)
形式的正答率		61.2%	87.6%	98.3%
実質的正答率		26.4%	66.1%	94.1%
各回答選択者数	ア：遠ざかる	13	6	1
	イ：動かない	30	8	1
	ウ：近づく	74	106	116
	未回答	4	1	0

1) 帯電体と帯電していない不導体との関係性

表 3 は、認識調査において、「負に帯電したストロー（ストローA）」の一端に「帯電していないつまようじ」を接近させた時のストローAの動きを問うた結果であり、帯電体と帯電していない不導体との関係性についての認識状態を示す。表 3 に示す通り、学習前は実質的正答率が 3.3%と非常に低く、大部分の者が「動かない」と誤答した。そして、誤答者の回答根拠には、「一方が帯電していないので力が働かない」、「帯電していない物体に対しては、静電気による力は働かない」といった内容が並び、非常に多くの者が帯電体と帯電していない不導体の間で力学的作用が生じないと誤って認識していることが確認された。

小・中学校学習指導要領には、静電気に関連した単元として、小学校理科第 3 学年「電気の通り道」（文部科学省，2008a），中学校理科第 1 分野「静電気と電流」（文部科学省，2008b）が規定され、必要な学習事項が記されている（表 6）。表 6 に示すように、小学校では静電気の前提知識となる電流概念のみ扱うが、中学校では、静電気がもたらす力学的作用を具体的に扱うようになり、そこでは、帯電体同士の力学的作用についてのみ取り上げられる。このように、帯電体と帯電していない不導体の関係性は、小学校では勿論のこと、中学校でも扱われないため、上記の回答状況は妥当な結果であると理解できる。こうした状況の中、静電気に関する基本的事項について知識伝達型の一斉指導を行ったところ、実質的正答率は 18.2%に増加し、同一母集団に対する McNemar 検定から、その増加度合いに統計的有意差が確認されるものの（ $p < 0.001$ ），依然として実質的正答率は低い水準に留まる。そして、学習前同様の回答根拠に基づいて「動かない」と回答する者が多く残り、知識伝達型の一斉指導を経た後でも、帯電体と帯電していない不導体の間で力学的作用が生じないという認識が根強く残存する状況が確認された。このことから、学習前の学習者には、単に帯電体と帯電していない不導体の関係性についての知識が欠如していたということだけではなく、これら 2 者間で力学的作用が生じないという認識が誤概念として形成・保有されている可能性が推察された。

表 6 小・中学校学習指導要領の関連単元内に記された学習事項
（文部科学省，2008a；文部科学省，2008b）

小学校学習指導要領	〔単元：理科第 3 学年「電気の通り道」〕
	・ 電気を通すつなぎ方と通さないつなぎ方があること ・ 電気を通すものと通さないものがあること
中学校学習指導要領	〔単元：理科第 1 分野「静電気と電流」〕
	・ 異なる物質同士をこすり合わせると静電気が起こること ・ 帯電した物体間では空間を隔てて力が働くこと ・ 静電気と電流は関係があること

誤概念については、経験事実に由来する一般的な誤概念に加え、学習の過程で構成される誤概念、すなわち「授業で学習した内容が原因として構成される、正しい科学的概念に反する考え方」が存在することも報告されている（鈴木，2008；長谷

川, 2009 など)。今回存在が推察される誤概念の場合, 物体の帯電状態を外観上識別することは一般的に困難であることから, 経験事実によるものとは考え難く, 学習経験によるものと考えられる。具体的には, 中学校では静電気がもたらす力学的作用として帯電体同士の関係性についてのみ取り上げられ, その関係性が強調されがちであることから, 帯電体と帯電していない不導体の間で力学的作用が生じないという誤概念の形成に至る, という可能性は十分考えられる。

このように大規模な誤概念の存在が疑われる中, 協働学習を経ることで状況は大きく改善し, 実質的正答率は 18.2%から 83.9%へと大きく増加する。先程同様の McNemar 検定からも, その増加度合いに統計的有意差が確認され ($p < 0.001$), メタ認知的活動を展開させる協働学習は, 知識伝達型の一斉指導の後も根強く残存する誤った認識の改善へ有効に機能することが確認できる。

2) 帯電体同士の関係性

表 4 は, 認識調査において, 「負に帯電したストロー (ストローA)」の一端に「負に帯電したストロー」を接近させた時のストローA の動きを問うた結果であり, 帯電体同士の関係性についての認識状態を示す。当該関係性は中学校での既習事項であるため, 学習者は帯電体同士の力学的作用については概ね正しい認識を持っており, 学習前の実質的正答率は 97.5%と非常に高い。この状況から知識伝達型の一斉指導, そしてメタ認知的活動を展開させる協働学習を経た時, 実質的正答率は微増するよう見受けられるが, 学習前から実質的正答率が高いため, 先程同様の McNemar 検定では, その増加度合いに統計的有意差は現れない ($p > 0.05$)。

3) 帯電体と帯電していない導体との関係性

表 5 は, 認識調査において, 「負に帯電したストロー (ストローA)」の一端に「帯電していない金属棒」を接近させた時のストローA の動きを問うた結果であり, 帯電体と帯電していない導体との関係性についての認識状態を示す。学習前の実質的正答率は 26.4%と低く, 「動かない」と回答する者, すなわち帯電体と帯電していない導体の間で力学的作用が生じないと誤って認識している者が多く存在するなど, 表 3 に示した結果との類似性が見られる。これは, 表 3 に関する考察同様, 誤概念の存在が影響している可能性が否めない。ただし, 表 3 に示した結果と比べて, 実質的正答率は比較的高いといえる。中学校学習指導要領解説理科編では, 静電気学習において電子の流れを扱うことが指定されており (文部科学省, 2008c), これを受けて, 各教育現場では電子の流れを効果的に伝えるために箔検電器を用いた演示や実験が多用される。そうした学習経験を通じ, 「金属中では自由電子が移動することで局所的な電荷状態が変化する」ということを理解するだけでなく, 帯電体との間で力学的作用を生ずることを発展的に思考できるようになる者が一定数いると思われ, 実際, 実質的正答率に算入される正答者はいずれもこの考え方を根拠として挙げていた。

このように, 表 5 における初期認識調査時の実質的正答率が表 3 におけるそれよりも比較的高かった要因として, 帯電体と帯電していない導体との関係性について

は、中学校での学習範囲内で発展的な知識的アドバンテージの獲得が起り得るということが考えられる。なお、知識伝達型の一斉指導を経ることで、実質的正答率は 26.4%から 66.1%に増加し、先程同様の McNemar 検定により、統計的有意差のある実質的正答率の増加が確認されるが ($p < 0.001$)、表 3 で示した場合同様、その増加度合いは限定的である。しかしながら、続く協働学習に取り組ませたところ、更に統計的有意差のある実質的正答率の増加が見られ ($p < 0.001$)、実質的正答率が 90%を超えることから、当該関係性についてもメタ認知的活動を展開させる協働学習の効果が確認される。

V. まとめ

今回、我々の社会生活とも大きな関係性を持つ静電気概念を取り上げ、我が国の小・中・高等学校を通した静電気学習の総和的位置づけともなる高等学校において、静電気学習に臨む学習者の静電気概念、とりわけ静電気がもたらす力学的作用に関する認識状態について、学習前の様相と学習に伴う変容を調査した。

その結果、帯電体と帯電していない不導体、帯電体同士、帯電体と帯電していない導体といった関係性それぞれについて、学習前の学習者が様々な認識状態にあることが分かった。まず、未習事項である帯電体と帯電していない不導体の力学的作用に関しては、作用なしという誤った認識の者が非常に多く、その背景に学習経験に由来する誤概念として当該認識が形成・保有されている可能性が推察された。一方、帯電体同士の力学的作用に関しては、既習事項であるということから概ね正しい認識を持っていることが分かった。更に、帯電体と帯電していない導体の力学的作用に関しては、帯電体と帯電していない不導体の力学的作用の場合と同様に未習事項であることもあり、作用なしという誤った認識の者が多数いる一方で、既習事項に関する学習経験を通じ、力学的作用を生ずることを発展的に思考できる者が一定数いる様相が窺われた。そして、上記のような誤った認識を持つ学習者に正しい認識を形成させるには、知識伝達型の一斉指導だけでは効果が限定的であり、メタ認知的活動を展開させる協働学習が有効であることが示された。

本研究により明らかとなった学習者の認識状態を踏まえて各学校段階での静電気学習を吟味した時、特に中学校では、帯電体同士の関係性について指導する際に、帯電体同士という関係性以外、すなわち学習範囲外である帯電体と帯電していない不導体や導体との関係性についての誤概念が形成され得ることに留意することが望まれる。また、高等学校では、学習者の中に帯電体と帯電していない不導体や導体との関係性についての誤概念が形成されている可能性を想定して指導することが望ましく、その際、メタ認知的活動を展開させる協働学習は正しい認識形成に有効に機能する一手段になるといえる。ただし、協働学習を構成する予想や討論、検証結果についての考察を効果的に展開させるには中学までの学習事項では不十分であり、未習事項を中心とした知識伝達型授業も不可欠であると考えられる。すなわち、今回実施したような、一通りの知識伝達型授業を経た上でメタ認知的活動を展開させる協働学習に取り組ませるといった流れが望ましい授業展開の一つとして提示できる。

なお、本研究の対象校で実施した他の物理概念に対する先行研究(仲野, 2018; 仲

野, 2019) においても, 今回と類似した「メタ認知的活動を展開させる協働学習」に取り組ませ, 正しい認識状態に変容させる事例を報告している。その際, 一連の指導過程の中で複数回実施した認識調査では, 事実確認実験の内容に即した認識調査資料を毎回使用する(ただし, 正答やその根拠は, 最終的な調査終了まで提示せず)など, 本研究と共通した手法を採っている。これらの先行研究では, 学習直後の認識調査だけでなく, 一定期間経た後の遅延調査も実施しており, 両調査時点での認識状態に統計的有意差は認められず, 正しい科学的概念の定着効果が確認されている。本研究では, 授業進度の制約上から遅延調査を行っていないが, 一連の学習後に見られた認識状態の変容はこうした先行研究同様に相当程度定着しているものと期待される。

今後, 本研究によって得られた示唆の一般化に向け, 対象集団の幅を広げた更なる実践・検証が望まれる。

文献

- 長谷川大和 2009. 学習後に生じる誤概念について. 物理教育, 57, 180.
- Hashweh, M. Z. 1986. Toward an explanation of conceptual change. *European Journal of Science Education*, 8, 229-249.
- 平澤 傑 2018. メタ認知的支援を大切にしたい科学的探究活動 -メタ認知的知識を活用する「主体的・対話的で深い学び」-. 理科の教育, 67, 36-38.
- 石原 論 2015. 静電気と電流の概念接続について. 2015年度日本物理教育学会年会第32回物理教育研究大会発表予稿集, 35-36.
- 川上雅弘・仲矢史雄・片桐昌直・水町衣里・任田康夫 2015. 中学・高校理科教員の理科指導における社会との関連内容を扱う際の意識. 日本科学教育学会第39回年会論文集, 306-307.
- 清原洋一 2017. 学習指導要領の改訂の方向性-理科の各調査との関連を踏まえて-. 理科の教育, 66, 4-7.
- 清原洋一 2018. 高等学校理科の改訂 総論. 理科の教育, 67, 4-12.
- 松村佳子・林真美・井村健 2007. 小学校の学習内容を踏まえた中学校理科「電流単元」の授業展開. 奈良教育大学教育実践総合センター研究紀要, 16, 131-138.
- 文部科学省 2008a. 小学校学習指導要領.
- 文部科学省 2008b. 中学校学習指導要領.
- 文部科学省 2008c. 中学校学習指導要領解説理科編.
- 仲島恵美・吉野巖 2006. 素朴概念の修正におけるメタ認知的支援の有効性 -メタ認知的支援による素朴概念の背景の意識化によって素朴概念は修正されるか-. 第48回日本教育心理学会総会発表論文集, 243.
- 仲野純章 2018. 非弾性衝突に関する誤概念とその修正方略の事例的研究. 理科教育学研究, 59, 423-430.
- 仲野純章 2019. 摩擦角に対する既有概念とその変容の事例分析 -構成主義的学習観に立って-. 理科教育学研究, 60, 143-152.

- 沖野信一・山岡武邦・松本伸示 2016. 「科学的概念の形成をめざした理科授業開発
-作用・反作用の法則に関する指導法に焦点化して-」. 理科教育学研究, 57, 103-114.
- 澁谷 翔・梅原香織・古屋康則・仲澤和馬・中村琢 2014. 静電気学習教材の開発
-身の回りの静電気-. 岐阜大学教育学部研究報告 (自然科学), 38, 15-22.
- 徐丙鉄・安部保海・道上達広 2015. 物理学における誤概念と答案分析. 近畿大学工
学部紀要 人文・社会科学篇, 45, 1-22.
- 鈴木 亨 2008. 物理学習者に見られる誤概念の"case"と"phase". 大学の物理教育,
14, 54-57.
- 遠山一郎 2018. 高等学校理科「物理基礎」「物理」の改善事項. 理科の教育, 67,
18-22.
- 和田一郎 2011. 科学的リテラシー形成を目指した理科授業の開発に関する視点. 釧
路論集—北海道教育大学釧路校研究紀要—, 43, 61-68.
- 吉野 巖・小山道人 2007. 「素朴概念への気づき」が素朴概念の修正に及ぼす影響
-物理分野の直落信念と MIF 素朴概念に関して-. 北海道教育大学紀要 (教育科学
編), 57, 165-175.