

理科教育におけるデータ解釈の機能とその阻害要因

宮本 直樹

【要約】

本研究では、データ解釈指導法の基礎的・実践的知見を得るため、科学論におけるデータ解釈の機能を踏まえ、理科教育におけるデータ解釈の機能とその阻害要因を明らかにした。その結果、理科教育におけるデータ解釈の機能とは、図表やグラフのデータから知識を創出し、科学的探究を繰り返す源となること、さらに、ミスコンセプション、科学的探究の前段階の軽視、帰納的推論の飛躍といったことがデータ解釈の阻害要因となることが明らかとなった。

【キーワード】 データ解釈、機能、阻害要因

1 序

科学的探究において、データ解釈は主要な位置を占める。それは、科学的探究の成功の鍵を握り、科学的探究を価値付けるからである（例えば、Kuhn & Pearsall, 2000）。また、Harlen (1999) は、生涯学習の視点から「証拠の発見や評価、解釈のスキルをとりわけ、必要とし、学習は学校教育 (formal education) で終わるのではなく、生きている間中、続く。」と述べ、生涯、データ解釈は重要な学習スキルの1つであるとしている。PISA 2015 DRAFT SCIENCE FRAMEWORKでは、科学的リテラシーに要求される能力の1つとして「データと証拠の解釈を科学的に行う能力」を掲げ、(OECD, 2013a : 9) 「データの分析と解釈、そして適切な結論を書く。」(OECD, 2013a : 16) と明示している。PISA 2012でも同様である (OECD, 2013b)。一方、TIMSS 2011のScience Frameworkの認知領域・応用において「情報の解釈：科学概念や原理を踏まえて関連のある文章、表やグラフの情報を解釈する。」、認知領域・推論において「結論を書く：データのパターンを見つけ、データの傾向を述べ、要約する、データや与えられた情報（データ）を付け加え、推定する。」と示されている (Mullis, Martin, Ruddock, O'Sullivan, & Preuschoff, 2009 : 82-87)。さらに、科学的探究では、生徒に期待する5つの側面の1つとして、「データの分析、解釈」が明記されている (Mullis, et al., 2009 : 88-90)。このように、データ解釈は、理科教育において重視されているにもかかわらず、日本の児童・生徒のデータ解釈能力は十分とは言えない（例えば、文部科学省・国立教育政策研究所, 2012a, 2012b）。況してや、データ解釈能力を育成する指導法も十分に確立されているわけではない。

このような状況下では、日本の児童・生徒のデータ解釈能力の育成にとって困難にな

ることは自明である。従って、データ解釈に関して基礎的・実践的知見を得ることは、日本の児童・生徒のデータ解釈能力育成するために必要不可欠である。

そのデータ解釈に関する基礎的・実践的研究は僅かに存在するだけである。例えば、宮本・大高（2012）は現代版プロセス・スキルの指導資料を分析し、データ解釈指導法の基礎的知見を述べている。さらに、宮本（2014a）、宮本（2014b）では、仮説とデータ解釈の関連についての実践的知見を述べている。

ところが、上述した研究は、プロセス・スキルのデータ解釈からデータ解釈指導法の基礎的知見や仮説とデータ解釈の関連についての実践的知見を論じているものの、理科教育におけるデータ解釈の機能とその阻害要因からデータ解釈指導法の基礎的・実践的知見を論じているわけではない。

そこで、本研究では、データ解釈指導法の基礎的・実践的知見を得るため、科学論におけるデータ解釈の機能を踏まえ、理科教育におけるデータ解釈の機能とその阻害要因を明らかにする。

論の手順は、まず、理科教育に影響を及ぼす科学論におけるデータ解釈の機能について論じ、次に、科学論におけるデータ解釈の機能を踏まえて、理科教育におけるデータ解釈の機能について論じる。さらに、このデータ解釈の機能を阻害する要因について論じる。最後に、まとめとして、データ解釈指導法の基礎的・実践的知見を論じる。

2 科学論におけるデータ解釈の機能

理科教育に影響を及ぼす科学論に依拠し、データ解釈の機能について論じる。科学論論者であるZiman, Popper, Schwabの3人はそれぞれ解釈、換言すれば、データ解釈について次のように論じている。まず、Ziman（1985）は、「科学は、基本的に人間の知覚能力、認識能力、識別能力、解釈力に依存している。」「科学的知識というものは、もともと法則、モデル、論理学、公式、仮説、解釈などという要素からなる多次元のネットワークである。」と論じている。このように、データ解釈は、科学の主軸をなし、

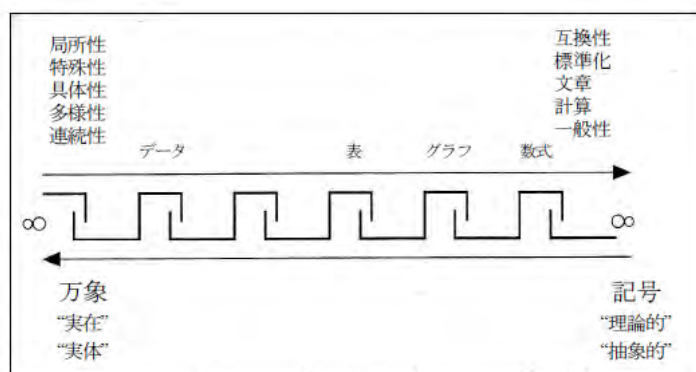


図1 データ解釈までの過程

(出典：Bowen, G. M., Roth, W., M. (2005). Data and graph interpretation practices among preservice science teachers, *Journal of Research in Science Teaching*, 42(10), 1063-1088より転記。)

知識の創出に必要な機能を有している。次に、Popper (2001) は、「観察およびそれ以上に観察言明と実験結果の言明は、つねに観察された諸事実の解釈であり、理論の光に照らされた解釈である。」と論じている。このように、データ解釈は、観察・実験結果の言明と関連し、機能している。さらに、Schwab (1962: 14) は、「探究を通じて得られた知識は、単に事実の知識ではなくて、解釈された事実の知識である。」とし、科学的探究で生成された知識は解釈が関与したものとしている。また、Schwab (1962: 74) は、「得られたデータはなぜ問題に対して適切であったのか、実際に得られたデータがなぜ求めたデータとちがったのか、データの解釈が正当であるのはなぜか。」と科学論文作成上でも、問題、データ、解釈間の関係を述べている。加えて、Bowen and Roth はLatourの科学論¹⁾に依拠してデータ、表、グラフ、データ解釈までの過程を図1のように捉え、「物理現象は連続的な図表・グラフ等 (inscription) を通じて変換される。この図表・グラフ等 (inscription) とは、地図、一覧表、表、合計、平均、グラフ、方程式のように再表現されたものの複雑さが順序立って増加することを含んでいる。」と論じている。図1より、科学において、データ解釈は、狭義的に図表やグラフのデータを読み取り、数式を表現する機能を有していると言える。小・中学校理科において等式を表現する機会は少ないが、等式を表現するまでの過程がデータ解釈と言えよう。

これらを踏まえると、科学論におけるデータ解釈は、科学にとって、主要な位置を占めることは無論、異議を唱える余地はないが、データ（観察・実験結果の言明）と関連し、知識の創出には必要不可欠な機能を有していると言える。換言すれば、観察・実験結果としてのデータを図表やグラフに変換し、この図表やグラフから数式といった知識を創出する機能を有している。

3 理科教育におけるデータ解釈の機能

科学論におけるデータ解釈の機能を踏まえ、理科教育におけるデータ解釈の機能について論じる。

降旗 (1976) は、「探究学習では、具体的事象からデータを集めることがねらいではなく、データをこえてその背後に横たわっている法則や抽象概念を認識させることをめざす。観察した事象やそこから収集されたデータなどの情報をどう解釈し、どう説明するのかに指導の究極のねらいがある。」と述べている。つまり、広義的には自然現象の解釈、換言すれば科学的探究、そのものである。この科学的探究におけるデータ解釈を端的に表現した Schwab を紹介しておこう²⁾。Schwab (1964: 38-39) は、科学の方法を次の7つの段階(① 問題の形成、② 可能な解決のためのデータの収集、③ 問題の再形成、④ 問題解決に必要なデータの決定、⑤ データを得るための実験計画、⑥ 実験の遂行とそこからデータの獲得、⑦ データ解釈)に分けている。これは、探究におけるデータ解釈を探究過程の終着地点と位置付けているように見える。しかし、Schwab (1964: 32-34) は、「問題の感受、仮説の形成、仮説の検証計画の作成、計画の実施、データからの結論の記述の5段階のうち、誤解を招き易いのは、最後のデータからの結論の記述に関わる段階であって、あたかも『探究の営みが終わった』とか『真理を得た』という

印象を与えやすいというのである。探究の観点からみれば、真理を得て営みは終了したのではなく、一時的な停滞状態にすぎない。結論を得たというのは、単に、データ解釈にすぎない。つまり、再び異なったデータを選び、異なった解釈を加えるならば、つぎの新たな問題や探究に突入する。」とし、探究におけるデータ解釈は探究の最終過程ではなく、新たな疑問や解決できなかったことに対する指針となるとしている。つまり、データ解釈は、次の新たな科学的探究を遂行する機能を有している。これに相応するかのよう、Roth・Roychoudhury (1993) は、12歳の生徒を対象とし、14ヶ月もの期間にもおよぶ探究授業(open-inquiry laboratory)を行った。その結果、データ分析と解釈するスキルは促進したと報告している。換言すれば、データ解釈は、次の新たな科学的探究の遂行源となる機能を有する。その結果、データ解釈が再構成され、データ解釈が促進したと言えるのではないだろうか。

先述した科学論におけるデータ解釈の機能を踏まえれば、理科教育におけるデータ解釈の機能とは、図表やグラフのデータから知識を創出し、科学的探究を繰り返す源となると言えるであろう。

ところが、このデータ解釈の機能を阻害する要因が論じられている。

4 データ解釈の阻害要因

Champagne・Gunstone・Klopfer (1985) は、「物理学の授業を正式に受ける以前から、生徒は現実世界の出来事に関する知識をもち合わせており、それらが彼らを独自の解釈へと導いている。」、Strike・Posner (1985) は、「人があるコンセプションにコミットするのは、それが経験を解釈し、問題を解くのに役立つ、場合によっては、精神的あるいは情緒的欲求を満たすのを助けるからである」、Johansson・Marton・Svensson (1985) は、「コンセプションとは、何かを見るときの一つの見方であり、個人とある現象との間の一つの質的な関係である。そして、コンセプションは目に見えるものではなくて、反省によって主題化されないかぎり口に出されず、暗示されたり、あるいは仮定されたりするに留まるものである。この意味において、コンセプションは単に解釈のカテゴリーであり、私たちはそれによって私たちの身の回りの世界を理解するのである。」と述べるように児童・生徒の既有知識やミスコンセプションと解釈の関係を示している。この児童・生徒が授業で表出する既有の知識やミスコンセプションは、誤った思考に児童・生徒を導く場合があり、また、児童が日常生活の中で獲得したコンセプションが、正規の科学的概念の理解を困難にすることがあると指摘されている(米国学術研究推進会議, 2004: 248)。さらに、児童・生徒のコンセプションは系統的ではなく断片的であり、教師や科学者が望んでいるような首尾一貫した理論を形成できない。そして、児童は統合された理論をもっている訳ではなく、「ミニ理論」の集まりをもっているだけであり(Hodoson, 1998)、児童・生徒の自然科学についての知識の多くが、教師が苦勞して教えた内容よりも、児童自身の思考により導かれることが多く(Freyberg・Osborne, 1985)、子どもなりの理論や自然科学について、児童・生徒にとって都合よく解釈されることが多い。また、「ミスコンセプションが問題解決を阻害する重要な要

因となっている。」と大高（1992）が指摘するように、問題解決や探究過程においてミスコンセプションは探究的な学習におけるデータ解釈の阻害要因となり、児童・生徒が見通しや目的意識をもって観察・実験を行っても、教師が望むような理解（正規の科学概念の形成）を得ることができない状況をつくり出している。これに関して、宮本（2011）は、小学校第5学年の児童を対象とした振り子実験において、データ解釈時にミスコンセプションが表出し、正規のデータ解釈が阻害されたことを報告している。また、Shepardson（1999）は、小学校4年生を対象とし、電気回路の接続による電球点灯に関する子どもの実験予測、検証過程を調査した。その結果、「知識の再構築、概念変容の重要な側面は、子どもたちの理解の特性と、データ解釈のための枠組み（Framework）の理解との結びつき方による。」「挑戦する子どもの理解の程度は、データ解釈に対する枠組み（Framework）の特異性、一貫性、統一性に依存している。」と述べている。つまり、データ解釈は子どもたちがもつ一貫性や統一性のある枠組みに依存するため、この枠組みが科学的に正規な見方（aspect）でなければ、誤ったデータ解釈をしてしまう。さらに、Schwab（1962：49，70）は「主題に関するデータやデータ解釈は個々の概念化によって異なっている」「データに関しては解釈の上で選択可能の余地がある」というように科学の研究内容によって解釈の仕方が変化し、多様な解釈がなされることも指摘している。同様に児童・生徒が行う科学的探究においても多様なデータ解釈がされ、教師のねらいとするデータ解釈にそぐわない場合も生じる。また、「既有知識に基づいて新しい知識の獲得がなされることを仮定する『構成主義学習論』では、教師は新しい知識を直接的に教えるべきではなく、生徒たち自身で知識を構成させるべきであるという誤概念」（米国学術研究推進会議，2004：11）を教師に生じさせるため、科学的でないデータ解釈を引き起こす可能性がある。このように構成主義学習論の立場からすると、児童・生徒任せになり、多様で科学的でない解釈がなされる場合があり、多様な解釈が正規の科学的な解釈を阻害する側面をもち合わせている。よって、児童・生徒のミスコンセプション、ミニ理論、解釈の枠組み、解釈の多様性を意識させ、これらを取り除くことがデータ解釈指導には必要であろう。

一方で、小学校学習指導要領（文部科学省，2008a）では、「見通しをもって」、中学校学習指導要領（文部科学省，2008b）では、「目的意識をもって」という文言が明記され、観察・実験を遂行するため、探究可能な問い、仮説設定、観察・実験の検証法の考案、結果の予想といった前段階を重視している。この前段階を重視することによって、観察・実験が理論負荷的になり、観察・実験後のデータ解釈を促進する効果がある。このことについてHanson（2000a）は、「解釈と呼ばれているもの、すなわち〈として見る〉ことと〈ことを見る〉ことが、〈見る〉という概念そのものの中に組み込まれているからである。そうでない場合、例えば、研究活動においては、解釈とはわれわれが視覚状況にもちこまねばならぬ何ものなのかである。」と理論負荷的な解釈について述べている。このことから、「解釈」は観察・実験と密接な関係がある。それにもかかわらず、多くの授業は、理論負荷的な観察・実験ではないことが多い。その一因は、教科書に見られるレシピ的な観察・実験手順の記述によるためである。岩間（2000）は「高

等学校で使用されている教科書の多くは、『探究活動』を掲載しているにもかかわらず、一般に課題の提示だけではなく、目的、準備、方法、結果、考察などの項目がまとめられており、中でも実験の準備や方法は詳細に記されている。生徒にとって、探究活動が制限されるだけでなく、生徒の思考も制限する可能性が高く、創造的な探究活動を保証していない。」と教科書が解説書、料理本のレシピ的な存在になっていることを指摘している。小・中学校の教科書も同様に科学的な探究学習の手順が示されており、児童・生徒主体の探究活動は保証されているとは言い難い。また、探究の前段階について、小林(2007)は「中学生の探究的な学習の前段階の仮説設定能力が低い」ことを、綱川(2006)は「理科教師は実験・観察前に予想を行わせているが、生徒は予想を行うことに困難を感じ、予想を立てることができず、『予想』場面の活動が十分達成されていない。」ことを指摘している。科学的探究の前段階がこのような状態では、観察・実験後のデータ解釈は、前段階から大きな影響を受ける。つまり、「見通し」や「目的意識」をもつことができないまま科学的探究が進み、データ解釈を行ってしまう。換言すれば、科学的な探究学習の前段階の軽視はデータ解釈を低次にしてしまう。これに関して、十分な仮説設定を行わないためか、Kanari・Millar(2004)は、「多くの生徒はデータ解釈にかなり困難をもっていた。その理由は、生徒は証拠に反しても最初に立てた仮説にこだわる傾向を示すからである。」と述べている。

また、吉本(1967:34)は、理科教育の立場から「帰納的方法も非常に多く用いられるが、その場合にも個々のいくつかの事実から一般化するときの段階には必ず飛躍がある。」と指摘し、データから一般的法則やきまりの導出までには飛躍が存在すると述べている。つまり、帰納的推論の飛躍³⁾があると論じている。これについて、例えば、小学校第6学年の梶子の釣り合いの数式表現導出では、梶子が釣り合った状態の時の右と左の腕の長さとおもりの重さを表に記入する。その後、右と左、それぞれ腕の長さとおもりの重さを掛けたものが等しくなる数式を導くが、この過程においてデータ(測定値)と釣り合いの数式表現との間に帰納的な飛躍が生じ、データ解釈を困難にしている現状があると推察できる。吉本(1967:50)は「帰納的思考は最後の一般法則提出の段階において必ず仮説的飛躍を行う。すなわち帰納の基になるのは個々の有限個の事実であり、その有限個の事実に通に成り立つ法則を推定し、見いだして、それまでの経験の範囲をこえた普遍的法則へと変化させるからで、この普遍化された法則は一般には無限個の個々の事実を記述することになるからである。したがって帰納された法則や記述はこの場合仮説的性格をもつ。そしてその仮説が成り立つか否かは、演繹・検証の手続きを経て、必要なら修正されなければならない。」と指摘し、一般化したものが仮説的側面をもっているため、この仮説が帰納的推論の飛躍の一因にもなると言える。科学論において、Hanson(1992)は「帰納とは、理論を出発点として、それがどの程度事実と合うかを調べることである。帰納はいかなる着想をも創造することはあり得ない。それは演繹と同じである。科学上の着想はすべてアブダクションの道をたどって現れる。アブダクションは、事実の検討と、事実を説明する理論の構築とからなる。もしわれわれが事物を理解できると言うなら、それはそんな風でしかありえない、というのがアブダクシ

ョンの唯一の正当化法である。演繹は、何かがそうあらねばならない、と証明するものであり、帰納は、何ものかが実際にそう機能するというを示すものであり、アブダクションは、何かがそうある可能性がある、ということを示すものであるに過ぎない。」と指摘し、村上（1980）は「帰納主義が、現実の科学の歴史の推移に適用できないばかりでなく、科学の研究に携わる人びとが直面する現場で実際に起こっていることにも適用できないことは、明らかである。」、さらに、村上（2002）は、「一般に、科学の方法論を論ずるとき、科学が『経験』という形容詞付きで、つまり『経験科学』という語で呼ばれることから判るように、経験的現象から帰納された体系である、という前提から出発することが多い。理論が、単なる経験の帰納であると考えるほどナイーブでないにしても、たとえば、仮説演繹のように、仮説を全面に押し出すような考え方であっても、現象の客観性と一般性は前提とされているように思われる。そして、こうした一般的な考え方が、ベーコン以来の『実験哲学』の方法論を、下敷きに行っていることは、明らかである。」というように述べていることから、科学でも帰納は懐疑を含み、問題点を抱えている。そのため科学論の思想を強く受ける理科教育においても、帰納的推論はデータ解釈に影響を及ぼしていると推測できる。まとめると、帰納的推論の飛躍はデータ解釈を困難にしてしまう。加えて、データ導出からデータ解釈する際、つまり、帰納的に一般化する際の条件、統計、確率が考慮されていないことに関しても問題があると言える。Hanson（2000b）はデータから帰納的に法則やきまりを一般化する際、この一般化した法則やきまりがどのぐらいの確率（統計的に）で起こりえるのかという議論をする場がないことを指摘している。小・中学生に統計的意味を含む法則やきまりを導くことは困難であるが、梃子の数式表現やオームの法則が成り立つ際、条件を踏まえることが重要である。例えば、梃子の数式表現では、梃子の腕が均質な棒であること、オームの法則では、熱の影響を受ける際のオームの法則の適用範囲の限界、内部抵抗等である。鷹野・堀（1999）の研究では、太さの不均一な棒を用いた天秤の支点の位置を問う問題を出し、小学校4年生、国立大学工学部及び教育学部1年生に実施した。この結果から、工学部の生徒がモーメントの理解ができていない状況は、条件である「太さの不均一な棒」を踏まえた授業が当時十分に行われていなかったことに起因すると論じている。このことから、帰納的に一般化する際、適用範囲の限界等の条件を考慮させデータを指導することも必要である。これを克服する指導として、太さが不均一な棒を使用した小熊（2005）の実践や2次元でこを開発・使用した小池・小松田・鴨下・永沼・高津戸（2014）の実践が挙げられる。

総括すると、データ解釈の阻害要因として、ミスコンセプション・子どもの理論の存在や多様性がデータ解釈時に表出してしまうこと、科学的探究の前段階の軽視はデータ解釈を低次にしてしまうこと、帰納的推論の飛躍はデータ解釈を困難にしてしまうこと、が明らかとなった。

5 結語

本研究では、データ解釈指導法の基礎的・実践的知見を得るため、科学論におけるデータ解釈の機能を踏まえ、理科教育におけるデータ解釈の機能とその阻害要因を明らかにした。その結果、理科教育におけるデータ解釈の機能とは、図表やグラフのデータから知識を創出し、科学的探究を繰り返す源となること、ミスコンセプション、科学的探究の前段階の軽視、帰納的推論の飛躍といったことがデータ解釈の阻害要因となることが明らかとなった。

以上を踏まえ、データ解釈指導法の基礎的・実践的知見として、科学的探究時に上述したデータ解釈の機能と阻害要因を教師が踏まえて指導を行うことが、日本の児童・生徒のデータ解釈能力育成するために求められる。

さらに、データ解釈指導法を確立するために基礎的・実践的知見を蓄積する必要がある。

附記

本論文は、平成19年度筑波大学大学院修士課程教育研究科提出の修士論文「小学校理科における児童の探究能力の育成に関する研究 ―データ解釈に着目して―」の一部を大幅に加筆、修正したものである。

註

- 1) Latour の科学論は、「ブルーノ、川崎勝・高田紀代志訳（1999）『科学が作られているとき ―人類学的考察―』産業図書。」が詳しい。
- 2) 「石崎 友規（2012）「シュワブの探究学習論における安定的探究(Stable Enquiry)の特質」『日本科学教育学会研究会研究報告』，第 26 卷，5 号，11-14.」を参照した。
- 3) 帰納的推論の飛躍とは、一般に有限個の観察データでわかったと思われることがらを、何の根拠もなく無限個の事例に拡張してあてはめる、その理論的な飛躍のことである。「村上陽一郎（2005）『新しい科学論』講談社，43.」

引用文献

米国学術研究推進会議，森敏昭・秋田喜代美監訳（2004）『授業を変える―認知心理学のさらなる挑戦』北大路書房。

Bowen, G. M., Roth, W., M. (2005). Data and graph interpretation practices among preservice science teachers, *Journal of Research in Science Teaching*, 42(10), 1063-1088.

Champagne, A. B., Gunstone, R. F., & Klopfer, L. E. (1985): Effecting Changes in Cognitive Structures among Physics Students, 165, West, L. H., Pines, A. L. (Eds.): *Cognitive Structure and Conceptual Change*, Academic Press. シャンペイン・ガンストーン・クロツファ（1994）「認知構造の効果的な転換―物理学専攻学生を事例と

- して」, 進藤公夫監訳『認知構造と概念転換』東洋館出版社, 203.
- 降旗勝信 (1976) 『探究学習の理論と方法』, 明治図書, 164-165.
- Freyberg, P., Osborne, R. (1985): *Learning in Science The Implications of Children's Science*, Heinemann, 149. フライバーグ・オズボーン, 森本信也・堀哲夫訳 (1988) 『子ども達はいかに科学理論を構成するか—理科の学習論—』東洋館出版社, 217.
- Hanson, 村上陽一郎訳 (1992) 『科学的発見のパターン』講談社, 179-180.
- Hanson, 野家啓一・渡辺博訳 (2000a) 『知覚と発見 (上) 科学的探究の理論』紀伊國屋書店, 250.
- Hanson, 野家啓一・渡辺博訳 (2000b) 『知覚と発見 (下) 科学的探究の理論』紀伊國屋書店, 322-323.
- Harlen, W. (1999). Purposes and Procedures for Assessing Science Process Skills, *Assessment in Education*, 6(1), 129-144.
- Hodoson, D. (1998): *Learning in Science The Implications of Children's Science*, Heinemann, 38-39. ホドソン, 小川正賢監訳 (2000) 『新しい理科教授学習論』東洋館出版社, 54-55.
- 岩間尋子 (2000) 「イギリス中等教育における“investigation”についての研究」『筑波大学大学院修士課程修士論文』, 144.
- Johansson, B., Marton, F., & Svensson, L. (1985): An Approach to Describing Learning as Change Between Qualitatively Different Conceptions, 236, West, L. H., Pines, A. L. (Eds.): *Cognitive Structure and Conceptual Change*, Academic Press. ヨハンソン・マートン・スペンソン (1994) 「異質コンセプション間の転換としての学習記述」, 進藤公夫『認知構造と概念転換』東洋館出版社, 289-290.
- Kanari, Z., Millar, R. (2004). Reasoning from Data: How Students Collect and Interpret Data in Science Investigations, *Journal of Research in Science Teaching*, 41(7), 748-769.
- 小林和雄 (2007) 「中学校理科における仮説設定能力の育成に関する研究—推論 (reasoning)を中心として—」『筑波大学大学院修士課程修士論文』, 2.
- 小池守・小松田勇樹・嶋下央・永沼充・高津戸秀 (2014) 「2次元でこの教材化に関する研究—小学校6学年理科発展学習の実践を通して—」『科学教育研究』, 第38巻, 2号, 135-147.
- 小熊隆一 (2005) 「支点からの距離について」『理科の教育』, 第54巻, 5号, 42-43.
- Kuhn, D., & Pearsall, S. (2000): Developmental Origins of Scientific Thinking, *Journal of Cognition and Development*, 1(1), 113-129.
- 宮本直樹 (2011) 「おもりの質量が異なる振り子実験の周期の解釈を阻害するミスコンセプション」『教育実践学研究』, 第15号, 27-37.
- 宮本直樹 (2014a) 「中学校理科における仮説設定がデータ解釈に及ぼす効果—「唾液のはたらき」を事例にして—」, 『日本理科教育学会九州支部大会発表論文集』, 第41巻, 100-101.

- 宮本直樹（2014b）「中学校理科における仮説設定とデータ解釈との関連 —因果関係を踏まえた仮説の共有化，洗練化に着目して—」，『理科教育学研究』，第55巻3号，341-350.
- 宮本直樹・大高泉（2012）「理科教育におけるデータ解釈の指導法— *Learning and Assessing Science Process Skills*を中心にして—」，『日本理科教育学会全国大会発表論文集』，第10号，259.
- 文部科学省（2008a）『小学校学習指導要領』，61.
- 文部科学省（2008b）『中学校学習指導要領』東山書房，57.
- 文部科学省・国立教育政策研究所（2012a）『平成24年度 全国学力・学習状況調査【中学校】調査結果概要』，19-21.
- 文部科学省・国立教育政策研究所（2012b）『平成24年度 全国学力・学習状況調査【小学校】調査結果概要』，18-19.
- Mullis, I. V.S., Martin, M. O., Ruddock, G. J., O'Sullivan, C. Y., & Preuschoff, C. (2009): *TIMSS 2011 Assessment Frameworks*, TIMSS & PIRLS International Study Center, Lynch School of Education, Boston College.
<http://timssandpirls.bc.edu/timss2011/downloads/TIMSS2011_Frameworks.pdf>
(2014年6月6日取得)
- 村上陽一郎（1980）『科学のダイナミックス —理論転換の新しいモデル—』講談社，179-180.
- 村上陽一郎（2002）『西欧近代化学』新曜社，206.
- 大高泉（1992）「問題解決学習論」日本理科教育学会編『理科教育学講座 第4巻 理科の学習論（上）』東洋館出版社，258.
- Organisation for Economic Co-operation and Development (2013a): *PISA 2015 DRAFT SCIENCE FRAMEWORK*.
- Organisation for Economic Co-operation and Development (2013b): *PISA 2012 Assessment and Analytical Framework MATHEMATICS, READING, SCIENCE, PROBLEM SOLVING AND FINANCIAL LITERACY*.
<http://www.oecd.org/pisa/pisaproducts/PISA%202012%20framework%20e-book_final.pdf#search='Organisation+for+Economic+Cooperation+and+Development+%282013b%29.+PISA+2012+Assessment+and+Analytical+Framework+MATHEMATICS%2C+READING%2C+SCIENCE%2C+PROBLEM+SOLVING+AND+FINANCIAL+LITERACY'> (2014年6月5日取得)
- <<http://www.oecd.org/pisa/pisaproducts/Draft%20PISA%202015%20Science%20Framework%20.pdf#search='pisa2015'>> (2014年6月4日取得)
- Popper, 大内義一・佐竹久男訳者（2001）『科学的発見の論理（上）』恒星社厚生閣，134.
- Schwab, J. J. (1962): *The Teaching of Science as Enquiry*, Harvard University Press Cambridge. Schwab, 佐藤三郎訳（1970）『探究としての学習』明治図書出版，17,

50-51, 69, 73.

Schwab, J. J. (1964): *The Structure of the Natural Sciences*, Ford, G. W., Pugno, L. (Eds.): *The Structure of Knowledge and the Curriculum*, Rand McNally.

Shepardson, D. P. (1999): *The Role of Anomalous Data in Restructuring Fourth Graders' Frameworks for Understanding Electric Circuits*, *International Journal of Science Education*, 21(1), 77-94.

Strike, K. A., Posner, G. J. (1985): *A Conceptual Change View of Learning and Understanding*, 220, West, L. H., Pines, A. L. (Eds.): *Cognitive Structure and Conceptual Change*, Academic Press. ストライク・ポスナー (1994) 「概念転換として見た学習と理解」, 進藤公夫『認知構造と概念転換』東洋館出版社, 272.

鷹野薫・堀哲夫 (1999) 「小学生の力学概念の形成に関する実証的研究 (1) -太さの不均一な棒のつり合いを事例にして-」, 『日本理科教育学会第49回全国大会発表論文集』, 198.

綱川明芳 (2006) 「中学校理科授業における実験計画に関する研究」『筑波大学大学院修士課程修士論文』, 124-127.

Ziman, 桜井邦朋・大江秀房訳 (1985) 『科学理論の本質』地人書館, 166, 300.

吉本市 (1967) 『理科教育序説』培風館.