

理科各論（2年次）

国立大学法人 愛知教育大学附属名古屋中学校

理科研究主題

生徒が科学的な知識体系へのコミットメントを形成する理科授業

生徒が科学的な知識体系へのコミットメントを形成する理科授業

I 主題設定の理由

1 深い学びを実現する授業デザイン

松下佳代は、「主体的・対話的な学びは必要であるが、主体的・対話的な学びが深い学びを保証する訳ではない」¹⁾と報告している。理科授業において主体的でなければならないのは、観察や実験を始めとした授業内の行為や具体的操作よりも心的・認知的な意味での主体性においてである。そこで、心的・認知的な意味での主体性を発揮させ、「深い学び」が実現できるよう授業をデザインしていく必要がある。

中教審答申では、「理科においては、課題の把握（発見）、課題の探究（追究）、課題の解決という探究の過程を通じた学習活動を行い、それぞれの過程において、資質・能力が育成されるよう指導の改善を図ることが必要である」²⁾と示され、その資質・能力の一つである科学的に探究する力について、中学校学習指導要領解説では「科学的に探究する力を育成するにあたっては、自然の事物・現象の中に問題を見いだし、見通しをもって観察、実験などを行い、得られた結果を分析して解釈するなどの活動を行うことが重要である」³⁾とされている。しかし、本校の教育研究発表会における情報交換会では、県内、市内の理科教師から、観察や実験までは熱心に行っているが（行為や具体的操作としての主体性は発揮される）、「得られた結果を分析して解釈するなどの活動」を行う場面において、科学的に解釈させることができず（心的・認知的な意味での主体性は発揮されない）、悩んでいるという声が多くある。そこで、「自然の事物・現象の中に問題を見いだし、見通しをもって観察、実験などを行い、得られた結果を分析して解釈するなどの活動を行う」の全ての場面において、心的・認知的な意味での主体性を発揮させながら「深い学び」を実現していく授業をデザインしていきたい。

2 主体性の発揮と科学の文脈

遠西・福田・佐野は「観察や実験が学習者にとって意味あるものとなり、何よりそこから得られる『事実』が科学的に解釈されるには、学習に先立って関連する理論の全体が概観されていなければならない」とし、「科学者の営みは『問題』の発見から観察事実や実験結果の『考察』に至るまで、体系的な理論枠組みの中で行われており、理科授業といえども、この原理的な問題を無視して主体的活動は成立しない。もし、学習者によって観察や実験が認知的な意味で『主体的』に行われることを期待するなら、アプリアリな理論体系の存在は必然である」⁴⁾と述べている。そこで、観察や実験に先行して（アプリアリな）科学理論（仮説）が存在する状況をつくり、科学の文脈に沿って科学的に探究する学習活動を行うことで、心的・認知的な意味での主体性を発揮させていく。

3 コミットメントと深い学び

本校理科部では、理論に対する自信を、理論に対する「コミットメント」とし、理科授業は生徒が科学知識を構成し、そこにコミットメントを形成していく過程であり、科学理論へのコミットメントの形成が「深い学び」であると考えます。なぜなら、「理解の本質は理論へのコミットメントの形成であり、理論に対する傾倒・肩入れである」⁵⁾とされているためである。人は理論にコミットしていれば、その理論の使用に自信をもつため、様々な場面で積極的にその理論を使うと考える。

「説明」できれば「理解」していると言われることもあるが、人は同じ現象を見ても、異なる理論によってその現象を「説明」することができる。例えば、北極星を中心に左回りに回転する星の動きを見たとき、その理由を星が回転している（天動説）と地球が自転している（地動説）との、どちらでも「説明」できてしまう。星の回転を見た人が、地球の自転による説明をするとき、それがその人の理解である。なぜなら、その人が天動説よりも地動説という理論へコミットメントを形成しているためである。

つまり、自然現象を見たとき、その現象を説明できることは、理解の半分でしかないとと言える。これは、理解が言語による説明という認知的な活動と、理論を使うことへの自信という非言語的な情意という二面をもつことを意味している⁵⁾。科学理論からの予測が実験結果と一致することで、科学理論へのコミットメントは形成されていく。それは、自分の予測と実験結果が一致する経験を重ねていくと、科学理論の正当性を強く感じるためである。そのため、理科授業においては、実験によって確かめられた科学理論が既知の理論や関連する理論と矛盾のない関係にあれば、この科学理論にますますコミットしていくとともに、実験によって確かめられた科学理論を含む科学的な知識体系全体へのコミットメントを形成していくと考える。

生徒は授業において、構成した科学的な知識体系と観察や実験の結果に矛盾がなく、科学的な知識体系の調和性や有用性を実感することで、科学的な知識体系へのコミットメントを形成させていくことができると考える。そして、科学的な知識体系へのコミットメントが高いほど、様々な自然現象を説明する場面において、自信をもって積極的に科学知識（科学理論）を使い、科学的な思考をすることができるだろうと考えた。このことから、科学理論へのコミットメントの形成が「深い学び」であると結論し、「生徒が科学的な知識体系へのコミットメントを形成する理科授業」という研究主題を設定した。

II 研究の概要

1 理科授業における言語活動の重要性

本校理科部では、理科授業の本質は言語活動にあると考えている。そもそも、科学（Science）の語源であるラテン語のScientiaは「知識」であり、自然（nature）は本質や本性を意味することより、自然科学（Natural Science）は「世界の本質の知識」である。つまり、自然科学は世界の本質に関する壮大な文章であり、意味ある文（命題）のネットワークであるとも言える。

理科の主たる目的は自然の科学的理解であるため、それ自体が言語活動であると言える。観察や実験は科学の文章の一部であり、世界の本質について記述した文と、現実にかかる出来事を比較し、文の意味を確かなものにするためにある。観察や実験は科学の文脈の中でのみ、適切な意味をもつ、科学の文章の重要な一部であり、言語活動を補助している。

2 理科が目指す生徒像

本校理科部では、目指す生徒像を次のように設定し、研究に取り組むこととした。

科学知識をひとまとまりの有意味な知識の体系として捉え、コミットメントを形成することができる生徒

中学校で学習する、科学的な知識体系をつくる文には、原子や分子のように観察や実験によって確かめることが困難だったり、確かめられなかったりするものが多い。また、観察や実験によって確かめられる事実ですら、観察の理論負荷性⁶⁾や、それを説明する理論への事実による理論決定不全性⁷⁾などの問題を抱えている。

このような問題に対し、個々の理論がそれぞれ正しいのか、真偽を確かめようとするのではなく、理論体系内部の論理性や調和性を実感させることで、理論体系全体をひとまとまりの有意味な知識の体系として捉えさせ、そこへコミットメントを形成させることで解決を図っていく^{8) 9)}。このようにし、科学的な知識体系全体へのコミットメントを形成した生徒は、そこで習得した科学知識を用い、自然事象を科学的に思考することができる。思考は文を構成することであり、習得した科学知識を用いて文を書くことが科学的な思考であるため、理科学習を「言語活動」として見直すことで、目指す生徒像を実現でき、「深い学び」の実現につながると考えている。

3 育みたい資質・能力

理科が目指す生徒像に近付けるために、次のような資質・能力を育てていくことが必要であると考えた。

科学の文脈における問題や課題を科学的に思考して解決する力

(1) 科学の科学的探究とパラダイム

主体的な探究者としての科学者の研究は、次のように考えられている。クーン¹⁰⁾は科学をパラダイムという概念で定義しており、科学者の科学的研究のほとんどが、通常科学とよばれるパラダイムをよりどころとした活動であった。

これは今日の科学においても同じである。例えば、科学者の研究は、パラダイムが理論的に予言しているが、まだ確認されていない事実を観察したり、観察事実に矛盾しないように理論を微調整したりするなど、研究すべき「問題」をパラダイムに求め、パラダイムを精緻にしていくことを目的としているため、そこに「答え」があることを意識しながら活動している。つまり、科学者の「問題」はパラダイムのほころびなのである。そのため、科学者はこのパラダイムの中で、問題を発見し、結果を見据え、解決の方法すらもそこに求めており、「科学の文脈」から外れて研究を進めることはないのである。

(2) 理科授業における問題解決

理科授業において、科学的な問題解決を図るとき、解決すべき「問題」が科学の文脈にあり、自然やその仕組みを理解することにある。

科学者の問題解決にパラダイムが必要なように、生徒の問題解決にも、科学者のパラダイムに準じるものが必要になる。しかし、理科学習は、学習者をパラダイムの世界に誘うことを目指しているが、学習前の生徒は科学者のパラダイムの外側にいるため、生徒の学習は今日のパラダイムの一部を理解することから始めなければならない。教科書は「パラダイムの一部を切り取って、やさしく記述した」テキスト（文・文章）であるため、教科書の記述を理解することは、科学の一部を理解することでもある。そこで、本校の理科授業では、教科書を読むことで生徒を科学者のパラダイム（科学の文脈）に連れてくることを目指していく。生徒は教科書のテキスト中に「分からない文」や「納得できない文」を科学の「問題」として発見し、その問題を解決したり（主に個別最適な学び）、教師によって与えられる課題を解決したりする（主に協働的な学び）過程で、用語とその意味としての科学知識とそれらの関係が作り出す知識の体系を理解していくことを期待している。

このとき、そこで発見される問題も、その問題の解き方も、期待される「答え」も、教師や教科書から与えられる課題も、全てが「科学の文脈」の中にあるため、常に「科学的」に解決を進められることにより、本校の目指す理科における資質・能力を育むことができると考える。

(3) 理科の見方・考え方の落とし穴

中学校学習指導要領解説では、理科における「見方・考え方」を「自然の事物・現象を、質的・量的な関係や時間的・空間的な関係などの科学的な視点で捉え、比較したり、関係付けたりするなどの科学的に探究する方法を用いて考えること」¹¹⁾と示しているが、操作や行為、それ自体が科学的であることはない。「質的・量的な関係や時間的・空間的な関係」で捉えたり、「比較したり、関係付けたり」することは、日常生活スキルでもあるため、これらの行為自体が「科学的」なのではない。これらが科学の文脈において使われるとき「科学的」なのである。

「理科の見方や考え方」といえども、科学的でなければならぬため、「科学的な見方や考え方」である。このことは、学習が終了した生徒は、現在のパラダイムの中で活動する科学者たちと同じように見たり考えたりすることができるようになることであると考える。すなわち、科学知識を背負って見たり（観察の理論負荷性）¹²⁾、当該の知識を関連する知識のネットワークの中でまわりの知識と矛盾しないように見たり¹³⁾できることを期待する。

科学知識の正当性は、パラダイムを創造し、維持している科学者共同体における合意であり、合意の根拠は、理論の「正確さ・無矛盾性・視野の広さ・単純性・豊穡性」¹⁴⁾であることより、ある文章が科学的であるかどうかは、他の文章に比べてこの5つの観点において優れているかどうかをよりどころとすると考える。

4 資質・能力を育むための手立て

本校理科部では、資質・能力を育むために、次の二つの手立てを設定した。

(1) 「中核となる知識」を柱とした単元構成

まず、単元構成をする上で、観察や実験の役割を明確にしておきたい。観察も実験も、新しい理論や概念を生成させたり、他の理論や概念に切り換えさせたりする機能をもたず、実験が成功しても失敗しても実験を成立させ、実験が審判しようとする理論に対するコミットメントが変化するだけであることが分かっている(遠西・久保田¹⁵⁾、福田・遠西¹⁶⁾)。そのため、生徒の中に科学的な知識体系に基づく仮説と、それを審判する適切な方法が存在していれば、観察や実験の結果を適切に予測させることができる。そして、予測が観察や実験の結果に一致することを実感できれば、その観察や実験の結果を予測した理論に対してコミットしていくため、観察や実験は生徒を理解に導く方法として重要であると考えられる。なお、予測が理論と一致しない生徒は、自分の理論へのコミットメントを下げたのち、観察や実験の結果と一致した科学理論を受け入れ(概念転換)、その科学理論へのコミットメントを形成する。このように観察や実験を授業において機能させるために、観察や実験を行う前に科学的な知識体系に矛盾しない理論(仮説)が存在するように単元を構成したい。

これを踏まえ、単元構成を行う上で、特に重要となる科学知識を「中核となる知識」として、単元の始めに設定する。そして、「中核となる知識」を中心とした科学的な知識体系を形成させ、この科学的な知識体系の調和性や有用性を実感させることで、「中核となる知識」が理論体系全体に対するコミットメントの形成に必要であることが分かるように単元を構成していく。また、単元の最後には、形成した科学的な知識体系を活用し、科学的な知識体系へのさらなるコミットメントの形成をねらいとした「発展的な課題」も設定する。

単元の学習の中で、「中核となる知識」が観察や実験などによって直接確かめることができなくても、その存在が理論体系の成立の要であり、かつ理論体系に対するコミットメントが形成されているとき、理論体系に対するコミットメントは、その内部構造を構成する理論群にも及ぶため、必然的に「中核となる知識」に対してもコミットすることになる¹⁷⁾。

「中核となる知識」や「中核となる知識」から生成される科学概念や科学理論が、観察や実験の結果を調和的に「うまく説明」しており、説明するための「道具」として便利で有用性があるという理解や、科学的な知識体系全体へのコミットメントを形成することによって、観察や実験で確かめることのできない理論も含めた理論体系を構成する個々の知識も確かなものとする理解を実現できるように、単元を構成していきたい。

(2) 科学の文脈における学びづくり

塚本正明¹⁸⁾は、「授業において生徒が教科書に書かれた科学の文章を読み、実験結果と照らし合わせながら解釈し、科学的な知識体系を構成していくとき、解釈学的循環が生じる」問題について指摘している。また、「部分の理解は全体に依存し、全体の理解は部分に依存する」という循環構造はテキスト解釈の基本テーゼである。つまり、各授業における観察や実験の理解は単元全体の理解に依存しており、単元全体の

理解は、個々の授業における観察や実験の理解に依存しているという、循環構造の中にあるという問題が存在するのである。

そこで、遠西・福田・佐野¹⁹⁾は国語教育における解釈的読みの指導法である「三読法」を理科のテキスト解釈に準用することを提案した。「三読法」は、通読・精読・味読の三回の読みによるテキスト解釈の指導法である²⁰⁾。通読では、全体を概観して文章を分節化し、精読では、分節された個々の文章を全体の文脈の中で解釈していく。そして味読では、精読によって解釈した文章を再構成していくことで文章全体を理解していく手法である。

これを理科授業に当てはめると、次のようになる。

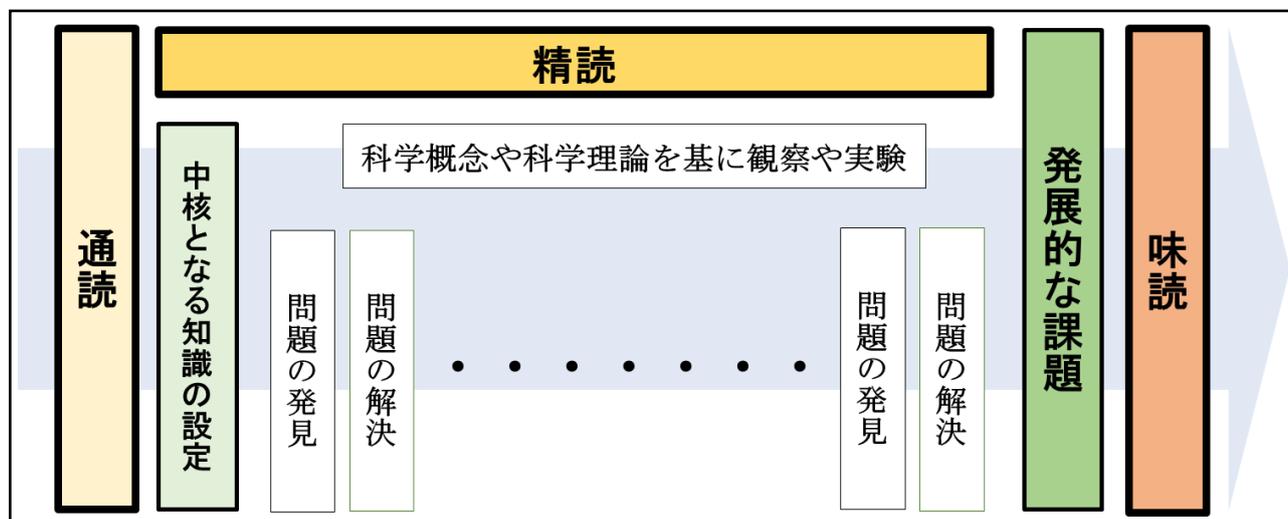
通読では、単元もしくは小単元の「全体」を通して教科書を読み、生徒はここでの学習内容を概観しておおよそ把握し、学習目標を知る。

精読では、教科書から問題を生徒が発見し、観察や実験を通して問題を解決していく。ここでの問題発見は教科書のテキスト中に「分からない文」や「納得できない文」を発見することである。科学のテキストにおける文は自然がどのようなになっているのか、どのように振る舞うのかを説明する文であり、概念や理論である。これらの文は観察や実験によって確かめられることで意味あるものになる。通読やここでのテキストの読みによって、「分からない文」や「納得できない文」として審判されるべき理論はすでに「発見」されているので、これを仮説として観察や実験を演繹的に行うことで、問題は解決されていく。

味読では、単元や小単元におけるまとめであり、精読によって解決された個々の問題と、各章の観察や実験で解釈してきた「部分」のテキストを教科書の文章で確認させることで、科学的なテキストの「全体」を理解させていく。この時、必要に応じてコンセプトマップ（後掲資料1）を用いて習得した知識を断片化しないように、文のつながりとして知識体系を効果的に示すことで、その科学的な合理性から知識体系全体に対するコミットメントを形成させることができると考える^{21) 22)}。

以上のように、「三読法」の活用を始めとし、学習が科学の文脈において行われ、観察や実験に先行して科学概念や科学理論が提示される状況をつくり出すことで科学的理解を目指す学びを実現していきたい。

以上の二つの資質・能力を育むための手立てに沿った単元の展開を模式図で表すと、次のようになる（図1）。



【図1 資質・能力を育むための手立てに沿った単元の展開】

5 資質・能力が育まれたかの評価について

学級全体の活動の様子や学習プリント、通読・精読プリント（後掲資料2）、コンセプトマップなどから見取り、資質・能力が生徒たちにどの程度育まれたかを評価するとともに、授業アンケート（後掲資料3）の記述から手立ての有効性を探る。

なお、学級全体の活動の様子や学習プリントにおいては、科学的な知識体系を基にした発言や記述が見られたかを見取る。通読・精読プリントにおいては、「中核となる知識」へのコミットメント（自信度の数値）とその理由を見取る。コンセプトマップにおいては、「中核となる知識」を中心とした科学的な知識体系を形成できているかを見取る^{注1)}。

6 研究の経緯

1年次では、資質・能力を育む手立てとして、単元構成を工夫すること、科学の文脈における学びづくりが適切に機能したかを探り、教科理論の構築を図った。

「中核となる知識」を柱とした単元構成で学習を進めたことは、生徒が各課題で仮説を立て、それを確かめるために観察や実験を行い、考察を書くことができ、科学知識（科学理論）を理解するとともに「中核となる知識」を中心とした科学的な知識体系へのコミットメントを形成することに有効であった。

また、三読法をはじめとした、科学の文脈における学びづくりは、観察や実験に先行して科学概念や科学理論が提示される状況をつくり出すことができ、生徒の科学的な理解を促すことに有効であった。

これらのことから、単元構成を工夫すること、科学の文脈における学びづくりは、資質・能力を育む手立てとして一定の成果が見られ、教科理論の確立を図ることができたと考える。しかし、「中核となる知識」へのコミットメントの形成が十分ではない生徒もいたため、様々な自然現象を説明する場面において、自信をもって積極的に科学知識（科学理論）を使い、科学的に思考できるようにするためには、さらなるコミットメントの形成を図る必要があると考える。

7 2年次のねらい

1年次の成果と課題を踏まえ、2年次は、科学的な知識体系へのさらなるコミットメントの形成を図るため、手立ての「中核となる知識」を柱とした単元構成にある発展的な課題について見直す。具体的には、1年次の成果を継続し、精読の場面において、観察や実験を演繹的に行うことで、「中核となる知識」を中心とした科学的な知識体系へのコミットメントの形成をさらに図る。そして、発展的な課題の解決策を思考する過程において、「中核となる知識」を中心とした知識体系の有用性を実感できるような課題を設定する。単元全体を通し、「中核となる知識」への自信度の数値の変容とその理由を見取ることで、理科における資質・能力を育むことに有効であったかを検証する。

注1) 「中核となる知識」へのコミットメント（自信度の数値）とコンセプトマップの内容は、学習の評価には活用せず、研究の評価にのみ活用している。

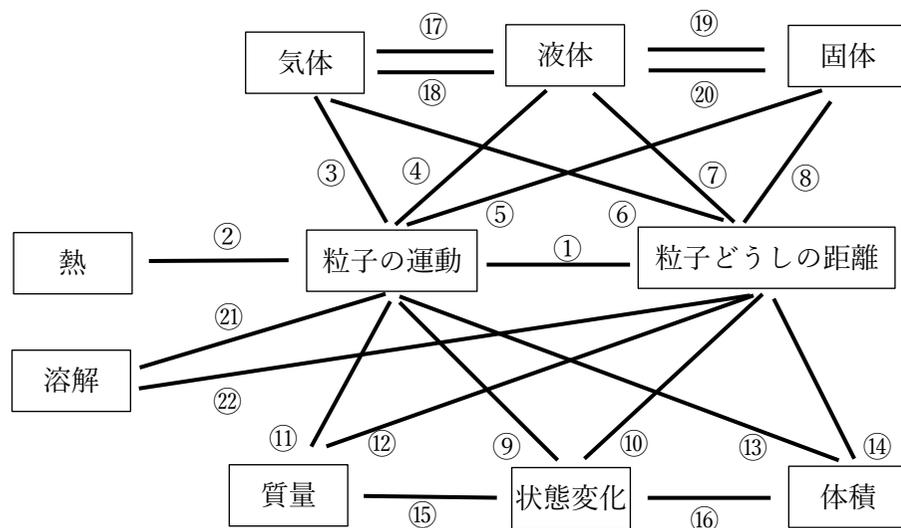
引用文献

- 1) 松下佳代「科学教育におけるディープ・アクティブラーニング—概念変化の実践と研究に焦点を当てて—」『科学教育研究』第41巻、第2号、2017年、77-84ページ
- 2)、3)、11) 文部科学省『中学校学習指導要領（平成29年7月）解説—理科編—』文部科学省、2017年
- 4)、19) 遠西昭寿・福田恒康・佐野嘉昭「観察・実験に対する理論の優先性と解釈学的循環」『理科教育学研究』第59巻、第1号、2018年、79-86ページ
- 5) ヘッド、J. O.・サットン、C. R.（野上智行訳）「言語・理解・コミットメント」『認知構造と概念転換』（ウエスト・パインズ編著、進藤公夫監訳）東洋館出版社、1994年、116-128ページ
- 6)、12) ハンソン、N. R.（村上陽一郎訳）『科学的発見のパターン』講談社学術文庫、1986年
- 7)、13) クロイン、W. V. O.（飯田隆訳）『論理的観点から—論理と哲学をめぐる九章』勁草書房、1992年
- 8) 遠西昭寿・福田恒康・佐野嘉昭「ホーリズムに基づく理科授業デザインの理論と方法の提案」『理科教育学研究』第57巻、第4号、2017年、351-358ページ
- 9)、22) 佐野嘉昭・福田恒康・遠西昭寿「光合成と呼吸：理解のための知識の枠組み」『理科教育学研究』第59巻、第3号、2019年、393-400ページ
- 10)、14) クーン、T.（中山茂訳）『科学革命の構造』みすず書房、1978年
- 15) 遠西昭寿・久保田英慈「臨床研究ツールとしての運勢ライン法」『日本科学教育学会研究会』報告、第18巻、第5号、2004年、37-42ページ
- 16) 福田恒康・遠西昭寿「概念転換のパターンと構造—社会的相互過程として見る概念転換—」『理科教育学研究』第57巻、第1号、2016年、45-52ページ
- 17)、21) 福田恒康・遠西昭寿「科学理論の内部構造の理解に留意したイオン概念の指導」『理科教育学研究』第55巻、第3号、2014年、333-340ページ
- 18) 塚本正明『現代の解釈学的哲学』世界思想社、1995年
- 20) 石山修平『教育的解釈学／国語教育論』国語教育 名著選集、明治図書、1991年

参考文献

- 野家啓一『科学の解釈学』ちくま学芸文庫、2007年
- 森田邦久『理系人に役立つ科学哲学』化学同人、2010年
- R. オズボーン、P. フライバーグ編（森本信也・堀哲夫訳）『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、1998年
- R. T. ホワイト（堀哲夫・森本信也訳）『子ども達は理科をいかに学習し教師はいかに教えるか—認知論的アプローチによる授業論—』東洋館出版社、1990年
- J. D. ノヴァック、D. B. ゴーウィン（福岡敏行・弓野憲一監訳）『子どもが学ぶ新しい学習法—概念地図法によるメタ学習—』東洋館出版社、1992年
- 福岡敏行編著『コンセプトマップ活用ガイド』東洋館出版社、2002年
- ソシュール、F. de（小林英夫訳）『一般言語学講義』岩波書店、1972年
- 丸山圭三郎『ソシュールを読む』講談社学術文庫、2012年

テーマ	物質の状態変化, 水溶液
キーワード	粒子の運動, 粒子どうしの距離, 気体, 液体, 固体, 体積, 熱, 溶解, 状態変化



1	粒子の運動により，粒子どうしの距離が変わる	16	状態変化すると，体積が変化する。
2	粒子の運動は熱により変化する。	17	気体を加熱すると，液体になる。
3	気体では，粒子の運動は非常に激しい。	18	液体を冷却すると，気体になる。
4	液体では，粒子の運動は（固体より）激しい。	19	液体を加熱すると，気体になる。
5	固体では，粒子の運動は穏やかである。	20	気体を冷却すると，液体になる。
6	気体では，粒子どうしの距離は非常に大きい。	21	粒子の運動で溶解が進む。
7	液体では，粒子どうしの距離は（固体より）大きい。	22	溶解すると，粒子どうしの距離は均一になる。
8	気体では，粒子どうしの距離は小さい。	23	
9	粒子の運動が変化すると状態変化をする。	24	
10	状態変化により，粒子どうしの距離が変わる。	25	
11	粒子の運動により，質量は変化しない。	26	
12	粒子どうしの距離の変化により，質量は変化しない。	27	
13	粒子の運動により，体積が変わる。	28	
14	粒子どうしの距離の変化により，体積が変わる。	29	
15	状態変化により質量は変化しない。	30	

3章 物質の状態変化

4章 水溶液

中核となる知識

中核となる知識への自信度

0% 100% ----- -----
0% 100% ----- -----
0% 100% ----- -----
0% 100% ----- -----
0% 100% ----- -----

理科授業アンケート

理科授業をよりよくするため、アンケートに教えてください。

1 理科の学習を進める上で、「中核となる知識」は役に立ちましたか？

ア 役に立った イ 少し役に立った ウ あまり役に立たなかった エ 役に立たなかった

--

2 理科の学習を進める上で、教科書を読む活動は役に立ちましたか？

ア 役に立った イ 少し役に立った ウ あまり役に立たなかった エ 役に立たなかった

--

3 理科の学習を進める上で、問題の解決（プリント、スプレッドシート）は役に立ちましたか？

ア 役に立った イ 少し役に立った ウ あまり役に立たなかった エ 役に立たなかった

--

4 理科の授業についての感想を教えてください。

--