

博士論文

理科学習指導における「動的平衡」概念の
導入に関する研究

2021年12月

日本体育大学大学院

教育学研究科

19QDA06 森 健一郎

博士論文

理科学習指導における「動的平衡」概念の
導入に関する研究

2021年12月

日本体育大学大学院

教育学研究科

19QDA06 森 健一郎

目 次

論文の概要	1
序章 研究の背景	3
第1節 科学技術の発展により生じた概念.....	3
第2節 動的平衡の定義	5
第1章 問題の所在と研究の目的・方法	7
第1節 問題の所在	7
第2節 研究の目的	9
第3節 研究の方法	10
第2章 理科学習指導における「動的平衡」の活用の可能性	11
第1節 理科カリキュラム研究の動向と課題.....	11
第1項 理科カリキュラム研究の動向	11
第2項 理科カリキュラムの構造	12
第2節 理科教育における科学概念の重要性.....	15
第1項 理科教育における科学概念の位置づけ	15
第2項 領域横断的な科学概念の教育的意義	16
第3節 領域横断的な科学概念としての「動的平衡」	18
第1項 領域を横断する科学概念の絞り込み	18
第2項 「動的平衡」を導入するための示唆を得ることの必要性.....	18
第4節 理科学習に活用可能な「動的平衡」に関わる現象の抽出方法.....	20
第1項 「動的平衡」の構成概念.....	20
第2項 「動的平衡」に関わる現象を検討するための手続き	21
第5節 「動的平衡」の構成概念による学習内容の検討	23
第1項 論文検索によって抽出された自然現象.....	23
第2項 キーワードによる自然科学系の論文の絞り込み.....	24
第3項 理科学習指導における「動的平衡」の活用.....	27
第4項 「動的平衡」を内在した学習内容の具体	28
第6節 小中学校理科における汎用性と教科横断性をもった「動的平衡」	32
第1項 学習内容と「動的平衡」との関連.....	32

第2項 新たな理科学習指導の視点としての「動的平衡」	32
第3章 「動的平衡」に関わる学習者の思考の実態.....	34
第1節 「動的平衡」に関わる思考の段階	34
第1項 「動的平衡」の段階的な理解についての仮説.....	34
第2項 本章の目的.....	35
第2節 調査方法.....	37
第3節 結果.....	41
第4節 学習者の思考の実態と学習指導への示唆.....	43
第1項 学習者の思考の実態	43
第2項 学習指導のための示唆.....	43
終章 研究の総括と今後の課題	45
第1節 研究の総括	45
第1項 「動的平衡」を導入する意義.....	45
第2項 「動的平衡」導入のための示唆	46
第3項 研究の成果.....	46
第2節 今後の課題	48
引用・参考文献.....	50
謝 辞	57

図表目次

図 1	図による動的平衡の表現例	4
図 2	「問題解決のためのスキル」と「科学の基本的な概念」との関係	13
図 3	「7つの横断的な概念」	16
図 4	中学校理科教科書に見られる「水の状態変化」の記載例	29
図 5	中学校理科教科書に見られる「呼吸と光合成」記載例.....	30
表 1	学習指導要領（2018年改訂）における領域横断の状況	14
表 2	キーワード検索によって抽出された自然科学系の論文と属する領域.....	25
表 3	「動的平衡」との関連が考えられる学習内容	28
表 4	調査問題の内容	37
表 5	評価基準と解答の例	39
表 6	調査問題の解答を評価した結果	41
資料 1	実際に使用した調査問題	56

論文の概要

人の認識は、運動変化する感覚的事物に着目することが基本であるという指摘がある。実際、大半の子供は「見かけ上は何も起こっていないように見える現象」について、何も変化が起きていないものとして認識する。ここで、「動的平衡」を意識することで、変化する現象だけではなく、「変化しない現象」または「変化していないように見える現象」にも着目することができる。ここで、「動的平衡」とは、「変数として認識される要素の変化」について、「逆向きで大きさの同じ反応や運動が同時に起こっているために、見かけ上は何も起こっていないように見える」状態を指す。「動的平衡」を意識した認識によって、「変化していないように見える現象」を解決可能な要素に分解して考察することができ、このことは、自然科学が備えるべき要件に通じるものでもある。

そこで、本研究では、「動的平衡」の概念に着目し、「科学概念としての『動的平衡』を、理科学習指導に導入することの意義を明らかにし、その導入のための示唆を得ること」を本研究の目的とした。この概念を理科学習指導に導入することで、現象の捉え方がより多様になり、科学概念としての意義を明らかにできると考えた。そして、本研究の目的を達成するための2つの目標を設定した。

- 1) 理科学習指導において、「動的平衡」を「変化が起きていないように見える現象」の捉え方の一つとして導入することの意義を明らかにする。
- 2) 学習者が「動的平衡」に関わる現象について思考するときの実態を明らかにする。

目標1)については、文献調査によって「動的平衡」が理科学習指導に活用可能な科学概念であるかどうかを検討し、同時に、「動的平衡」が領域横断的な概念であることを指摘した。まず、「動的平衡」の概念によって解釈できる自然科学で扱う現象には、どのようなものがあるのかを自然科学分野の論文も参考にしつつ検討した。検討にあたっては、国内外の先行研究の内容を検討し、「バランス」「安定」「システム」が「動的平衡」に関する現象を見いだすためのキーワードになり得ると判断し、これら3つの語句と「動的平衡」を合せた4つをキーワードとして自然科学系の論文の全文検索をおこなった。次に、検索された論文で扱っている現象と、理科学習指導

で扱われている学習内容とを比較した。その結果、選択された学習内容は複数あり、かつ、複数の領域にまたがっていた。これを踏まえ、複数の学習内容を対象として、事例的に考察を試みたところ、それらの学習内容は、すべて「動的平衡」を意味する表現によって説明が可能であった。結論として、「動的平衡」が理科学習指導に導入できること、および、「動的平衡」が領域横断的な概念であることを指摘した。

目標 2) については、中学校の生徒を対象に「動的平衡」に関わる現象について思考するときの実態を明らかにするための調査問題を作成し、実施した。まず、生徒が「動的平衡」に関わる現象について思考するとき、3つの段階があるのではないかという仮説を設定した。3つの段階とは、(I) 現象を要素に分けることに気づく、(II) 「2つの逆向きの作用」の存在に気づく、(III) 「2つの逆向きの作用」が「均衡」していることに気づく、である。次に、仮説を検証するために、3つの段階が明確になるような調査問題とその評価基準を作成し、実施した。調査問題は、「動的平衡」の概念によって説明が可能な現象3種で構成され、生徒がそれぞれの現象が生じる理由を記述するという形式であった。調査後、得られた生徒の記述を評価基準によって分類した。その結果、3種の設問に対する(I)～(III)の人数分布が異なった。このことから、学習者の思考に段階があることが確認でき、さらに、3つの段階のうち、(I) 現象を要素に分けることに気づく、という段階がもっとも困難であることが推察できた。

以上、目標 1), 2) についての成果により、本研究の目的である「科学概念としての『動的平衡』概念を理科学習指導に導入することの意義を明らかにし、その導入のための示唆を得ること」を達成できたと判断した。そして、学習目標や学習内容が「動的平衡」概念の導入によってどのような影響を受けるのかを検討することの必要性を、今後の課題として指摘した。

今まで述べてきた本研究の特徴は、以下の2点に整理できる。

1. 「動的平衡」が、「変化が起こっていないように見える現象」の捉え方の一つとして、理科学習指導に導入できることを指摘したこと。
2. 学習者が「動的平衡」に関わる現象について思考するときの3つの段階を指摘したこと。

序章 研究の背景

第1節 科学技術の発展により生じた概念

20世紀以降は科学技術の発展が目覚ましく、その基盤である科学についても「19世紀までの科学とは質的に異なる新しい学問」(柴田, 2000)としての様相を呈している。江上(2003)は、生物学が1950年頃から「物理学や化学と共通の認識と用語で説明し、理解してゆくことが可能」となったと述べている。これは、1950年代のDNAモデルの提案が端緒になっており(川喜田, 1969)、大森(1969)は、こういった状況を「今世紀の自然科学において初めて、世界の一枚岩的な科学的描写の緒が具体的に開かれた」と表現している。

同時に、20世紀以降の科学技術は、領域化・細分化も進行し、そのことが「知識の膨張」を生じさせ、科学の全体像が見えなくなっていることが指摘されている(小宮山, 2005)。例えば、高等学校の生物領域では、「生物科学、生命科学はさらに格段の進歩を遂げ、高等学校の生物教育で教えられる内容も膨らみ続けている」こと、「盛り込まれる内容が大きく増え、現場の高等学校教員が教えきれない」ことが日本学術会議(2017)によって指摘されている。この指摘により、重要用語の選定がなされることになり、選定の方針として「各教科の本質に根ざした見方や考え方につながる重要な概念を中心に、用語の重点化や構造化を図ること」(日本学術会議, 2017)が示された。用語の重点化や構造化のためには、教科内の複数単元で共通に用いられる用語や、複数の現象を統合的に説明することができる用語を重視し、個別事例的な用語については取捨選択していくことが求められる。用語の重点化や構造化は、生物領域だけではなく、その他の領域についても起こりうると考えられることから、複数の領域を共通の認識で説明できる概念を明らかにしていくことは、今後さらに重要になってくるといえる。

複数の領域でみられる現象を、共通の認識で説明する概念の例としては、「サイバネティックス」(Reinberg & Ghata, 1957)、そして、サイバネティックスの方法による生物、物理、化学領域の研究から生じた「自己組織化」や、生命現象を解釈するための「動的平衡」などが挙げられる。「サイバネティックス」とは「動物と機械における通信 (communication) と制御 (control) の理論」(巖佐・倉谷・斎藤・塚谷, 2013)

である。この用語は「情報工学・システム工学の発展の基礎」となる概念になっている（八杉・可知，2011）。「自己組織化」とは「一見，複雑で無秩序な系において，自律的に形成される秩序だったパターン」（松村，2001）を説明するために用いられる。この用語は「パターン形成の仕組みを理解するために，物理学，化学，生物学，情報科学などに広く用いられる概念」（加藤，2001）となっている。そして，「動的平衡」とは「正方向と逆方向の反応速度が等しくなったため，見かけ上は反応が停止したように見えること」（ブリタニカ・ジャパン，2019）である。この「動的平衡」の説明は，「正方向」「逆方向」「等しくなった」といった簡潔な表現によって構成されており（図1），その簡潔さ故に，さまざまな現象の説明に活用できる可能性がある。

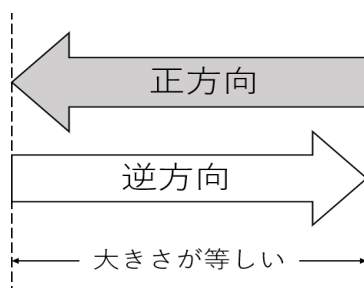


図 1 図による動的平衡の表現例

第2節 動的平衡の定義

「動的平衡」について、国立情報学研究所が運営する検索データベース・サービス（以下 CiNii と記載）によって、国内で発表された自然科学系の論文を調査した。その結果、1950年代以降、医学、生態学、土壌学、化学などの領域で幅広く使用されていることが確認できた。

さらに「動的平衡」の定義について、物理・化学・生物などの学問領域から確認すると、『理化学英和辞典』（小田・野田・上村・山口，1998）では、物理学の観点から「動力的平衡：平衡状態について、複数の要因が同時に系にはたらき、その拮抗関係関連によって系の平衡が保たれていることを強調した表現」および「力学的平衡：束縛運動をする質点系で慣性力と外力とが釣り合っていること」と定義されていた。なお、「動的平衡」の英語での表現は **dynamic equilibrium** である。

生物学の観点においては、「生体の形態・成分が外見上一定に保たれている状態」「化学でいう平衡と異なる」といった説明が『岩波 生物学辞典 第5版』（巖佐・倉谷・斎藤・塚谷，2013）に見られる。

他方、化学の観点では、「物質の状態変化や、可逆的な反応における動的平衡を特に化学平衡という」といった説明が『旺文社 化学事典』（齊藤，2010）に見られ、生物学とは異なる見解を示している。

さらに、生物学と化学の境界領域ともいえる生化学の観点では、「生体の中で合成と分解を繰り返している反応で、合成と分解が同じ速度で進んでいるため、一見変化が起きていないようにみえる状態」といった説明が『栄養・生化学辞典』（野村，2012）に見られる。例えば、脂肪組織についての「需要と供給のバランスが取れている時でも、（中略）脂肪組織は驚くべき速さで、その中身を入れ替えながら、見かけ上、ためている風を装っている」（福岡，2007）という説明がこれに当たる。

以上のように、「動的平衡」は、物理・化学・生物・地学といった自然科学の各領域を横断的に説明できる科学概念であることが確認できた。各領域を横断的に説明できる科学概念であれば、領域化・細分化した自然科学の全体像を捉える一助となる。「動的平衡」は、その意味を具体的にイメージすることが比較的容易であることから、自然科学研究だけではなく、理科教育においても活用可能であると考えられる。柴田（2000）が述べるように「個々の科学的概念が生徒に学習可能であるということと、学習の必要性があるということとは、区別されなければならない」が、科学技術の発

展によって新しく生じた概念は、「教育内容は科学の進歩や発展により常に見直されなければならない」（土井，2005）ことを踏まえると，その活用については検討する余地がある。

なお，自然科学の分野以外では、『ブリタニカ国際大百科事典 小項目版』（ブリタニカ・ジャパン，2019）に「正方向と逆方向の反応速度が等しくなったため，見かけ上は反応が停止したように見えること」といった記述が見られたが，その他、『日本大百科全書』『広辞苑』『日本国語大辞典』など，自然科学に特化していない辞書類に「動的平衡」は独立した項目としては掲載されていなかった。つまり，一般的な語彙として「動的平衡」は未だ定着していないものの，現象の新しい解釈として，自然科学の発展に伴って生じた新しい概念であるといえる。

八杉（1972）は，研究の第一線で新たに登場してきた概念については，「それがときに不明確であり，研究者によって定義がちがったりするのは，やむをえない」としている。これを受け，本研究では，前述の多様な辞典や事典に基づき，どの研究領域においても，ほぼ共通している意味内容として，「動的平衡」を「ある反応や運動について，逆向きの反応や運動が同時に起こっているために，見かけ上は何も起こっていないように見える現象」と定義することとした。以降，この定義に基づき論を進めていく。

第1章 問題の所在と研究の目的・方法

第1節 問題の所在

Fortus, Adams, Krajcik, & Reiser (2015) は、概念を導入した学習をおこなう場合、単独の単元でおこなうことは適切ではなく、年単位で繰り返し学習することが必要であると述べている。同時に、繰り返し学習することで、一つの単元で構築された概念が、次の単元を学習する際に活用されることも指摘している (Fortus et al., 2015)。このことは、ある概念を複数の領域で繰り返し学習することや、繰り返し学習ができるようなカリキュラム構成にすることの必要性を示している。カリキュラムに概念を導入するためには、意図的かつ計画的な内容の配列が必要となる。日本では、教育課程における学習内容は、十分な検討がなされた上で配列されているが、「動的平衡」という特定の概念の導入について検討している研究は管見の限りなかった。自然科学の研究の発展と共に近年注目されるようになっていく「動的平衡」という概念は、これまでの小・中学校理科のカリキュラムでは扱われてこなかった。そのため、本章で「動的平衡」の導入について検討することとした。本章の研究は、「動的平衡」の理科学習における活用について検討するものであり、特定年度の学習指導要領のみに言及するものではない。ただし、日本におけるカリキュラム研究を概観する際は、教育課程行政の関連を意識する必要がある。

日本では、学習指導要領によって学習の目標や内容が規定されていることから、「教科内容やカリキュラムというものは文部省が与えてくれるもの」(東・蛭名・佐島, 1990) といった考え方が根強くあることが指摘されている。日本カリキュラム学会もこのような現状についての考察をおこなっており、教科教育研究の傾向として、研究の関心が「カリキュラムよりもむしろ具体的な授業のほうに向けられ (中略) カリキュラム開発、カリキュラム研究は行われにくい土壌」(日本カリキュラム学会, 2001) があると総括している。前出の「各領域を共通の認識で説明できる概念をカリキュラムに導入すること」や「繰り返し学習ができるようなカリキュラム構成にすること」の必要性に鑑みると、「動的平衡」についてカリキュラム開発をおこなうことは、今後のカリキュラム研究に寄与すると考える。

カリキュラム開発に関する研究では、Lanning (2013) が「カリキュラムに概念を

導入して構成することが、事実と概念の思考レベルの間での相乗作用を生じさせるためにも重要であること」を指摘している。このことを理科学習指導の立場から解釈すると、「事実」とは「科学的な現象」、「概念」とは「科学的な概念」であるといえる。また、「相乗作用」とは、この文脈においては「関連性がもたらされ、生徒の思考と学習の保持を促進すること」(Lanning, 2013)である。ここで「科学的な概念」として「動的平衡」を想定してみると、先のLanning (2013)の指摘は、「複数領域や単元の『科学的な現象』相互の『関連付け』を図ることができ、それによって『生徒の思考と学習の保持』につながる」ことを意味すると考えられる。

その一方で、「ほとんどのカリキュラム教材ではこの知的相乗作用が起こるような体系的設計がなされていない」(Erickson, 2017)現状があることも指摘されている。草原 (2020)は、「個々の教科は、中核的な学びにつながる見方・考え方を提供する方向で目標や内容の見直しが迫られるだろう」と述べている。ここで「見方・考え方」とは、本研究における「動的平衡」、つまり「複数領域を共通の認識で説明できる概念」と同時に、「個別具体的な対象にアプローチする」(奈須, 2017)ための手段でもあると考えられる。こういった現状を踏まえると、複数領域を共通の認識で統合できる概念について検討することは重要であるといえる。

本研究では、科学技術の発展によって新しく生じた概念の一つである「動的平衡」に着目した。この概念を理科学習指導に導入することの意義を明らかにすること、および、導入するための示唆を得ることで、この概念を扱う必要性があること、そして、学習者に指導可能であることを示すことができると考えた。指導をより効果的にするためには、「指導に先だって、児童・生徒が学習内容についてどの程度の知識をもっているかの実態を知っておく必要がある」(河合ら, 2003)ことから、学習者が「動的平衡」に関わる現象について思考するときの実態についても把握しようと考えた。

第2節 研究の目的

前節で示された科学的概念の現状を踏まえ、研究の目的を「科学概念としての『動的平衡』概念を理科学習指導に導入することの意義を明らかにし、その導入のための示唆を得る」と設定した。そして、この目的を達成するために、次の2つの目標を設定した。

- 1) 理科学習指導において、「動的平衡」を「変化が起こっていないように見える現象」の捉え方の一つとして導入することの意義を明らかにする。
- 2) 学習者が「動的平衡」に関わる現象について思考するときの実態を明らかにする。

第3節 研究の方法

前述の2つの目標を達成するために、第2章、第3章で次の手続きをとる。

第2章では、1)の「理科学習指導において、『動的平衡』が『変化が起こっていないように見える現象』の捉え方の一つとして導入できることの意義を明らかにする」ため、文献調査によって、「動的平衡」に関わる現象が自然科学の研究や理科教育研究でどのように取り扱われてきたかを明らかにする。そして、その結果を受け、「動的平衡」が、学習内容の解釈にどのような視点をもたらす概念であるかを検討する。まず、「自然科学で扱う現象のうち、『動的平衡』によって解釈可能なものは何か」を検討するために、自然科学系の論文をキーワードによって検索する。次に、検索にヒットした論文で扱っている現象と、理科学習指導で扱われている学習内容を比較し、事例的な考察をおこない、学習内容が『動的平衡』によって説明ができかどうかを確認する。これらの手続きを経ることで、理科学習指導に「動的平衡」が導入できるかどうかを議論できると考えた。

第3章では、2)の「学習者が『動的平衡』に関わる現象について思考するときの実態を明らかにする」ために、学習者の思考についての仮説を設定し、調査問題を作成した。まず、学習者が「動的平衡」に関わる現象について思考するときには段階があるであろうという仮説を設定する。次に、この仮説を検証するために、調査問題とその評価基準を作成し、中学校の生徒を対象に調査を実施する。最後に、得られた生徒の記述を評価基準によって分類する。これによって、学習者の思考の実態を明らかにできると考える。

第2章 理科学習指導における「動的平衡」の活用の可能性

本章では、「動的平衡」の理科学習指導における意義を明らかにすることを目的とした。なお、本章の目的は、研究全体の目的を達成するために設定した目標1)に対応している。まず、国内外の研究動向を概観しつつ、日本の理科カリキュラムの構造を整理し、さらに、理科カリキュラムにおける科学的な概念の役割を指摘した。次に、「動的平衡」が領域横断的な概念であることを示し、その必要性について指摘した。加えて、日本の理科カリキュラムにおける学習内容と「動的平衡」との関連について事例的な検討をおこなった。

第1節 理科カリキュラム研究の動向と課題

第1項 理科カリキュラム研究の動向

本章では、「動的平衡」の理科学習指導における意義を明らかにするために、まず、国内の理科カリキュラム研究の動向を捉えることとした。『日本教科教育学会誌』『科学教育研究』『理科教育学研究』の3誌に掲載された全論文を対象に調査をおこなった。調査に際しては、「科学的な概念と教育課程の関係」、または「20世紀以降の自然科学の動向と教育課程との関係」について述べた論文に着目することとした。

その結果、小山(1976)、平(1983)、角屋・松浦(2001)の3編が確認された。小山(1976)は、「理科のカリキュラム構成の方向性についての検討」を研究目的とし論を進めている。ここでは、まず、教育全体を俯瞰的に捉え、教育とは「文化の内容を素材として取り込んでいる」とし、その中でも「自然を対象とした文化内容をもとに組み込まれたのが理科である」との見解を示している。さらに理科を「物を対象にするもの」と「生物を対象にするもの」に分け、相互の関連について整理している。そして、生物学を教育の観点から見るときの特徴について、「不可逆的で、常に全体と部分を意識した機能的な認識方法を特徴とし、科学概念の形成によって、教育的な意味を拡大していくことができる」と述べている。

平(1983)は、「小学校理科教育の視点と方策を提示すること」を研究目的としている。ここでは、初等理科教育に求められる視点として、「新しい自然観の確立」を挙げ、

この自然観確立のために、フィードバックシステムのイメージによって自然現象の説明を試みている。さらに「新しい理科教育の構図」として「自然の相補性」というイメージを提示し、「単元も“バランス”“サイクル”“系列”“空間”といった概念で部分的にまとめなければならない」と述べている。

角屋・松浦（2001）は、新しい科学論に基づいた科学教育のあり方として、「科学的に妥当な知を創造していく資質や能力を学習者が獲得していくこと」を挙げると共に、そのような教育課程を開発していく具体的な方略として、中等理科教育に関しては、「既存の教科内容の見直しによるカリキュラムの編成」「既存の教科の目標と内容の再編成」などを提案している。

以上のように、理科カリキュラム研究のこれまでの成果として、科学概念の形成による教育的な意味の拡大、科学概念による単元の再構成、教科内容の見直しが求められていることが分かる。

このような国内の研究・開発の動向は、日本の理科カリキュラム編成にも影響を与えている。小原（2017）は、1980年代以降の教科教育学と教育課程行政との関係について「教科教育学の研究者が文部科学省の学習指導要領の作成に直接・間接的に関わる教科調査官あるいは研究協力者となり、研究成果が教育課程の改訂に取り入れられるようになった」と指摘している。例えば、学習指導要領解説理科編（文部科学省、2018a, 2018b）においては、「物理」「化学」「生物」「地学」の各領域と、「エネルギー」「粒子」「生命」「地球」といった「科学の基本的な概念」を対応させることで、領域ごとの特徴が整理され、さらに、部分と全体、定性と定量などといった視点があることも言及されている。

2008～2009年（平成20～21年；以後、西暦表記のみ）改訂の学習指導要領以降、改訂を経ても領域を横断する視点は意識されている。しかし、現時点では、平（1983）が指摘したような「バランス」や「サイクル」といった「科学的な概念」による横断ではなく、「比較」や「関連付け」といった「問題解決のためのスキル」による横断となっている。

第2項 理科カリキュラムの構造

ここで、前項で述べた「科学の基本的な概念」「問題解決のためのスキル」「横断的なカリキュラム構成」が、日本の理科カリキュラムでどのような関係になっているのか

を整理してみる。2008～2009年改訂の学習指導要領（文部科学省，2008a，2008b）からは、「物理」「化学」「生物」「地学」の各領域が「比較」「関連付け」など、学年毎の対応を意識した「問題解決のためのスキル」によって横断されている。2017～2018年改訂の学習指導要領においても、各領域が、「比較」「関連付け」「条件制御」「多面的思考」といった「問題解決のためのスキル」によって横断されている。ただし、中学校については、学年毎の対応はなされておらず、小学校で獲得した各種スキルを探究活動の中で総合的に活用していくことが指向されている。

一方、「物理」「化学」「生物」「地学」の各領域と「エネルギー」「粒子」「生命」「地球」といった「科学の基本的な概念」は明確に特徴づけられている。これら「科学の基本的な概念」と「問題解決のためのスキル」との関係を表したものが図2である。

図2のように、「エネルギー」「粒子」「生命」「地球」といった「科学の基本的な概念」と、「物理」「化学」「生物」「地学」の各領域は対応している。しかし、このことで「科学の基本的な概念」以外の「バランス」や「サイクル」といった「科学的な概念」によって領域を横断するという視点、いわば科学としての共通性が見えにくくなっている面がある。

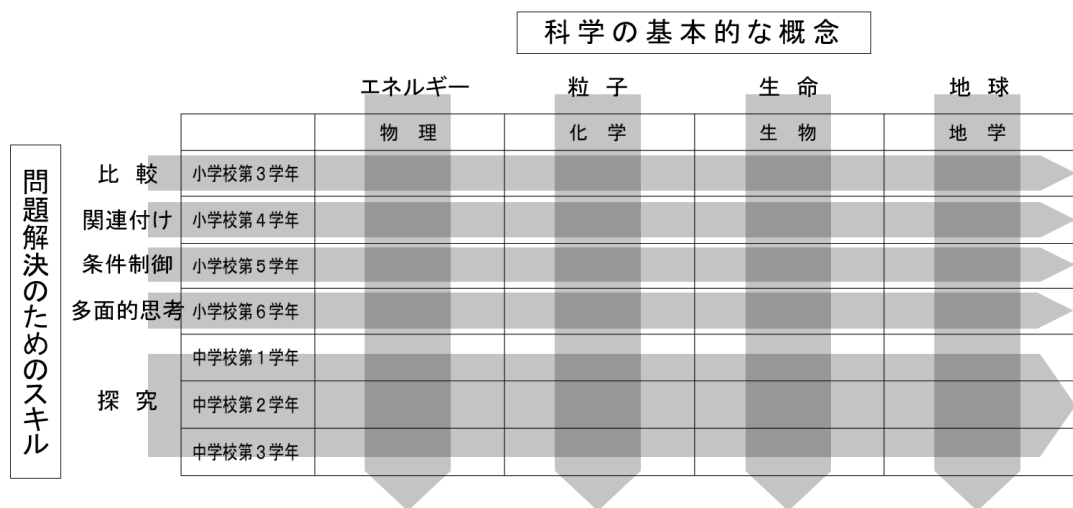


図2 「問題解決のためのスキル」と「科学の基本的な概念」との関係

この状況を整理すると表1のようになる。「問題解決のスキル」は、そもそも領域に依存しないため、領域固有の箇所は「-」としている。一方、「科学的な概念」については、「物理」「化学」「生物」「地学」の各領域と、「エネルギー（量的・関係的）」「粒

子（質的・実体的）」「生命（共通性・多様性）」「地球（時間的・空間的）」といった「科学の基本的な概念」が対応していることから、領域に固有である傾向が強い。そのため、領域を横断する「科学的な概念」の具体を示すことが必要なのではないかと考えた。

表 1 学習指導要領（2018年改訂）における領域横断の状況

	領域横断	領域固有
問題解決のためのスキル	○	—
科学的な概念		○

註)「○」は領域との関係性（横断しているか、固有であるか）を示している。「—」は、「問題解決のスキル」がそもそも領域に依存しないため、検討の対象にならないことを示す。

第2節 理科教育における科学概念の重要性

第1項 理科教育における科学概念の位置づけ

理科教育の研究では、「基本的科学概念とは何か」についての議論が繰り返しなされている（皆川，1997；猿田，2008；磯崎，2019）。理科教育における科学概念の位置づけの変化を把握するためには，1960年代以降の米国の理数教育が参考となる。1960年代の米国では，理数教育の現代化が議論されるようになり，他の単元で応用することを指向した「新しい概念」（松原，1994）が，主に高等学校のカリキュラムを中心に提唱された。例えば，物理領域では，Physical Science Study Committee（PSSC）によって作成された物理テキストにおいて，それまで扱われてきた古典物理の内容よりも，「波の伝播」「電荷」「エネルギー」といった概念から構成された教材を重点としていた（山内・平田・富山，1967；Daeschner, 1965）。化学領域では，Chemical Education Material Study Committee（CHEMS）による化学テキストにおいて，「平衡」「乱雑さ」「エネルギー準位」といった概念が取り上げられた（柴田・島村・吉岡，1965）。なお，このときの「新しい概念」については，「他の単元で応用するまでに至らず，単に知識を与えることになった」（松原，1994）との指摘がなされており，物理，生物，化学，その他の領域での扱いについて検討する余地が残された。現代化以降の米国では，1983年の連邦教育省による報告書，いわゆる「危機に立つ国家」を契機として，1980年代の後半から横断的な概念によるカリキュラム作成の機運が高まった。横断的な概念によって記憶が体制化され，処理・検索が容易になることは，認知心理学の立場からも指摘されていた（Gagne, 1989）。また，従来から，科学概念は事例と共に提示されることが一般的であったが，複数の提示事例や例題を通して学習することで一般化される可能性が高まることも指摘されるようになってきた（Sweller & Cooper, 1985）。こういった動きを受け，1993年には全米科学振興協会（American Association for the Advancement of Science；AAAS）が理数教育についての指標を示し，以降，この指標は全米研究評議会（National Research Council；本文中NRCと記載）によって2012年に公開されたフレームワーク（A Framework for K-12 Science Education: Practices, Cross-cutting Concepts, and Core Idea；以後フレームワークと記載）（NRC, 2012），および，2013年に公開された次世代科学スタンダード（Next Generation Science Standards；以後NGSSと記載）（NRC, 2013a）へとつながった。

このNGSSは，以下の3つの側面から構成されている（国立教育政策研究所，2013）。

- 1) 科学的・工学的な実践 (scientific and engineering practices),
 - 2) 領域横断的な概念 (cross-cutting concepts),
 - 3) 領域の核となる概念 (内容) (disciplinary core ideas (content)),
- である。

1) の科学的・工学的な実践とは、科学者およびエンジニアがおこなうことを整理したものであり、「データの分析と解釈」「調査の計画と実施」などが示されている (National Science Teachers Association, 2014)。2) の領域横断的な概念とは、科学領域のすべて、またはいくつかを結びつける「7つの横断的な概念」(NRC, 2012) として図3のように示され、2013年には、NRCによって、7つの概念のそれぞれに簡潔な説明が付加された (NRC, 2013b)。なお、「領域横断的な概念」の英語文献における表記は crosscutting concepts, または cross-cutting concepts となっており、著者や文献による相違がみられる。本研究においては、NRC (2012) に依拠し cross-cutting concepts の表記に統一した。3) の領域の核となる概念 (内容) (disciplinary core ideas (content)) とは、ある特定の領域、あるいは複数の領域の中心となる概念 (内容) であり、「エネルギー」「生態系」などが例示されている (NRC, 2012)。なお、ここで言うところの領域とは、「物理科学」「生命科学」「地球および宇宙科学」「工学、技術、科学の応用」を指す。

- | |
|---|
| <ol style="list-style-type: none">1. パターン2. 原因と結果：メカニズムと説明3. スケール・比・量4. システムとシステムモデル5. エネルギーと物質：流れ・循環・保存6. 構造と機能7. 安定性と変化 <p>(NRC, 2012 p. 3 より筆者訳)</p> |
|---|

図3 「7つの横断的な概念」

第2項 領域横断的な科学概念の教育的意義

NGSSは、教師やカリキュラムの開発者による活用を想定しており、これによって、「理工学の中核となる幅広い多様な考え方を結びつけること」や「フレームワークの明確で首尾一貫したビジョンを実現すること」が期待されている (NRC, 2013b)。そ

して、これを契機として、領域を横断して潜在化している科学概念を、学習者に意識的に理解させるための支援の重要性が指摘されるようになってきた (Day & Goldstone, 2012; Schwartz & Goldstone, 2016)。例えば、図 3 中の「7. 安定性と変化」は、4つの内容によって構成されており、その中の一つに「フィードバックメカニズムのバランスにより、動的平衡状態のシステムは安定する」と説明されている。この記述からは、「バランス」「安定」に着目することで「動的平衡」に関わる現象を扱えることが示唆される。なお、「安定」している状態について、柳瀬 (1984) は「変化のちょうど反対の問題である『変化しないものは何か』『変化しないとはどういうことか』という問題」と表現している。自然科学において、現象とは変化として捉えられており (八杉, 2007)、現象を構成する変数を認識することで、現象の因果関係の理解につながるものが指摘されている (山田ら, 2014)。この指摘を踏まえると、変数に増減が見られれば、「現象」が動的な状態として捉えられる。増減がなければ、「現象」が見られないために静的な状態となる。大半の学習者は「見かけ上は何も起こっていないように見える現象」について、何も変化が起きていないものとして認識している (NRC, 2012)。前述の Day & Goldstone (2012) や Schwartz & Goldstone (2016) を踏まえると、この「何も変化が起きていないように見える現象」を学習者に意識的に理解させることが支援の重点となり得る。

Bransford & Schwartz (1999) や Bransford ら (2000) は、「領域を越えた学習が教育の中心的な目標であること」を指摘している。白井 (2020) は、このような学習が「ある知識を他の分野へと転移させることが可能になる」という点で重要であると指摘している。例えば、清原 (2014) は、「フレームワーク」や「NGSS」の「横断的な概念」が、日本の理科教育にも活用できると述べており、こういった指摘からも、領域横断的な概念について検討することは、教育的にも意義があると考えられる。

第3節 領域横断的な科学概念としての「動的平衡」

第1項 領域を横断する科学概念の絞り込み

領域横断的な概念について、具体的にはどのような概念が理科の教育内容と関連しているのかを絞り込むために、次の2つを視点とした。すなわち、① 1950年代以降、領域を横断して使用されている「物理学や化学と共通の認識と用語」（江上，2003）、② 日本の理科教育に活用できるものとして指摘されている「NGSS」の「横断的な概念」、の2つである。これらの視点から、領域を横断する「科学的な概念」を絞り込むこととした。その結果、①については、江上（2003）によって、「動的平衡」が生物学・物理学・化学における「共通の認識と用語」であることが指摘されている。②についても「7つの横断的な概念（NRC，2012）」中の「7. 安定性と変化」が「動的平衡状態のシステムは安定する」といった表現で説明されていることから、「動的平衡」が理科の教育内容に関連していることが確認できた。これにより、領域を横断する「科学的な概念」の具体の候補として、「動的平衡」を取り上げることとした。しかし、領域横断的な科学概念が必要とされる一方で、学習者が領域横断的な科学概念に関わる現象について思考するときの実態については、まとまった知見がほとんど存在しない現状があることも指摘されている（Sarah, Jeffrey & Kevin, 2019）。

第2項 「動的平衡」を導入するための示唆を得ることの必要性

こういった実態を受け、領域横断的な科学概念の必要性や、学習者が領域横断的な科学概念に関わる現象について思考するときの実態についての先行研究を調査した。

調査対象とした学術誌は、国内外の理科教育に関係するものである。具体的には、『理科教育学研究』の1999年 Vol.40 No.1～2020年 Vol.60 No.3、『日本教科教育学会誌』の1976年 Vol.1 No.1～2020年 Vol.42 No.4、『科学教育研究』の1977年 Vol.1～2020年 Vol.44 No.1の目次および抄録を直接確認した。その他の国内の学術誌についても CiNii（NII 学術情報ナビゲータ）および J-STAGE（JST 科学技術情報発信・流通総合システム）によって「理科，授業，概念，横断」などのキーワードを組み合わせた検索をおこなった。加えて、海外学術誌“*Journal of Research in Science Teaching*”の1997年 Vol.34 Issue 1～2020年 Vol.57 Issue 5，および“*Science Education*”の1997年 Vol.81 Issue 1～2020年 Vol.104 Issue 3，“*International Journal of Science Education*”の1987年 Vol.1～2020年 Vol.42 Issue 4についても

調査をおこなった。その他の海外学術誌についても Scopus, Science Direct (共に Elsevier が提供する論文抄録・引用文献データベース), Wiley Online Library (Wiley が提供する論文抄録・引用文献データベース) によって 'cross cutting, cross-cutting, cross cutting concepts, cross-cutting concepts' などのキーワードを組み合わせた検索をおこなった。

調査の結果、領域横断的な科学概念一般と学習について扱った先行研究は、国内の学術誌には見られなかった。海外の学術誌では、例えば、Jacobson & Wilensky (2006), Hmelo-Silver & Pfeffer (2004), Brandstädter et al. (2012), Sarah et al. (2019) などが見られた。それぞれが領域横断的な科学概念と学習について扱っているが、テーマは異なっており、Jacobson & Wilensky (2006) は「領域横断的な概念の学習目標としての活用」、Hmelo-Silver & Pfeffer (2004) は「初学者と専門家の領域横断的な概念の理解の比較」、Brandstädter et al. (2012) は「領域横断的な概念の理解を評価するための方法」、Sarah et al. (2019) は「科学的概念を構成する要素」であった。

一方、「動的平衡」と学習について扱った先行研究としては、Maskill & Cachapuz (1989) が挙げられる。ここでは、高等学校の化学領域に限定されてはいるが、「動的平衡」についての言及が見られた。すなわち、「動的平衡」を「静的な均衡」、「物理的な動きとしての反転」、「すべてのものが等しいときの平衡」といった構成概念に分けて扱うことが学習内容の理解に効果的であると指摘されている。ただし、この研究では「効果的である」との指摘がなされているのみであり、学習者の概念理解の質的な分析や、この概念を領域横断的な科学概念として指導に活用するための示唆などについての言及はなされていなかった。

これらのことから、科学概念としての「動的平衡」について、理科学習指導への導入のための示唆を得ることが必要であると考えた。理科学習指導において、領域を横断する概念である「動的平衡」が「変化が起こっていないように見える現象」の捉え方の一つとして導入できることが示されれば、領域を分断するのではなく、横断したり統合したりできる新たな理科カリキュラムの開発の視点が得られる。そして、学習者が「動的平衡」に関わる現象について思考するときの実態を明らかにすることができれば、「見かけ上は何も起こっていないように見える現象」についての理解を支援することに貢献することができる。

第4節 理科学習に活用可能な「動的平衡」に関わる現象の抽出方法

第1項 「動的平衡」の構成概念

本研究における「動的平衡」の定義は「ある反応や運動について、逆向きの反応や運動が同時に起こっているために、見かけ上は何も起こっていないように見える現象」である。この定義は「2つの逆向きの作用が均衡していること」を表しており、「2つの逆向きの作用」と「均衡」は「動的平衡」の構成概念となっている。つまり、「動的平衡」は「2つの逆向きの作用」と「均衡」によって示される。また、「2つの逆向きの作用」と「均衡」は、特定の具体的な現象を表していないことから、さまざまな事例に応用することができる。このことは、領域を横断したり統合したりできる新たな理科カリキュラムの開発につながる可能性がある。

Wiggins & McTighe (2005) は、カリキュラム研究の立場から、「バラバラな事実とスキルに意味を与え、関連付けるような概念やテーマ」として「重大な観念」を提唱している。この「重大な観念」とは、「幅広く抽象的で、1つか2つの用語で示され、普遍的に応用され、共通の属性を有する様々な例によって表される」(Ericsson, 2017) といった条件を満たす概念とされている。「動的平衡」が「2つの逆向きの作用」と「均衡」によって示されることから、理科学習指導において、個々の事実を関連付けるような概念として活用できるのではないかと考えた。

理科学習指導で扱われる具体的な学習内容を、「動的平衡」の構成概念によって説明するためには、「動的平衡」と関連する「理科学習指導で扱われる具体的な学習内容」を選択する必要がある。選択に当たっては、1) 理科の4領域(物理, 化学, 生物, 地学)のそれぞれについて、「動的平衡」と関連する学習内容を選択する方法、2) 自然科学の研究における「動的平衡」の具体例を抽出し、そこから「動的平衡」と関連する学習内容を選択する方法、の2つが考えられる。「動的平衡」が領域を横断する「科学的な概念」であることを踏まえると、「動的平衡」の具体例の中には、理科の4領域(物理, 化学, 生物, 地学)のうちのいくつかの領域を横断する例があると考えられる。理科の4領域のそれぞれの視点から学習内容を選択する方法をとった場合、領域相互の関連が見えにくくなるのではないかと考えたため、2) の「自然科学の研究における『動的平衡』の具体例を抽出し、そこから『動的平衡』と関連する学習内容を選択する方法」をとることとした。抽出された「動的平衡」の具体例から、「理科学習指導で扱われる具体的な学習内容」を選択することで、理科学習指導における「動的平

衡」の活用についての検討が可能になると考えた。学習内容の選択に当たっては、学習指導要領解説理科編科編（文部科学省，2018a，2018b）を具体的な資料として活用した。

第2項 「動的平衡」に関わる現象を検討するための手続き

「動的平衡」と関連する「理科学習指導で扱われる具体的な学習内容」を選択し、「動的平衡」の構成概念である「2つの逆向きの作用」と「均衡」との関連を検討するために、以下のような手続きを設定した。

- 1) 自然科学で扱うさまざまな現象のうち、具体的にどのような現象が「動的平衡」と関連しているのかを確認する。
- 2) 1) で確認した「動的平衡」と関連している現象から、理科学習指導で扱うことができる現象のみを選択する。
- 3) 2) で確認された現象のうちのいくつかについて、理科学習指導において、どのように活用されうるのかを事例的に検討する。

これらの手続きの具体は次のようになる。

1) の「自然科学で扱うさまざまな現象のうち、具体的にどのような現象が「動的平衡」と関連しているのかを確認する」ことについては、「動的平衡」に関するキーワードを設定した上で、自然科学系の論文検索をおこない、そこから抽出された論文で扱っている現象を整理の対象とした。検索のためのキーワードは、米国の理科カリキュラム案である「NGSS」の「7つの横断的な概念」(図3)の「7. 安定性と変化」、およびその解説(NRC, 2013b)に記載されている語句から設定した。設定の具体的な手順は次の通りである(下線はすべて筆者による)。

まず、「フィードバックメカニズムのバランスにより、動的平衡状態のシステムは安定する」の記述(NRC, 2013b)に着目し、この記述からは、「バランス」、「安定」がキーワードになり得ると考えた。

次に、「7. 安定性と変化」に記載されている他の3つの記述を確認したところ、次のようであった。

- ・自然または設計されたシステムの安定性と変化の説明は、原子のスケールを含むさまざまなスケールにより、時間と力の変化を調べることで可能となる。
- ・システムの一部の小さな変化が、別の部分の大きな変化を引き起こす可能性がある。

・安定性は、突然の変化や時間の経過と共に蓄積する漸進的な変化によって損なわれることがある。

これらの3つの記述のうちの2つには「システム」の語句（NRC, 2013b）が含まれていること、そして、現象を捉える科学的方法の一つとして「要素とシステム」に言及した濱田（2010）の指摘から、「システム」もキーワードになり得ると判断した。

これらを踏まえ、「システム」「バランス」に着目すれば、「動的平衡」を見いだすことができ、同時に「安定性と変化」における「変化しないもの」を見いだすことができると考えた。

以上から、「バランス」「安定」「システム」の3つをキーワードとして設定した。さらに「動的平衡」もキーワードに加え、これら4つを用いて自然科学系の各種論文の調査をおこなうこととした。

2)の「動的平衡」と関連している現象のうち、どの現象を理科学習指導で扱うことができるのかを確認することについては、検索された自然科学系の論文で扱っている現象と、理科カリキュラムにおける指導内容、具体的には2016年改訂の学習指導要領解説理科編に示されている学習内容（文部科学省, 2018a, 2018b）とを比較することでおこなった。検索された論文で扱っている現象が、学習内容と関連があり、かつ複数の領域にまたがっていることが確認できれば、その学習内容については、学習可能であるかどうかの判断まではできないものの、少なくとも「動的平衡」の概念によって説明可能であることは判断できると考えた。

3)の「確認された現象が、理科学習指導において、どのように活用されうるのかを事例的に検討」については、1), 2)の手順により、「動的平衡」の概念によって説明可能であることが判断された事例と、本研究における「動的平衡」の構成概念との対応について整理することでおこなう。検討の際に取り上げる事例は、中学校の学習指導要領に示されている内容を対象とする。中学校の内容を対象とする際に、小学校の内容との関連も考慮することで、指導の系統性の考察にもつながると考えたためである。なお、研究における「動的平衡」の定義は「ある反応や運動について、逆向きの反応や運動が同時に起こっているために、見かけ上は何も起こっていないように見える現象」である。この定義は「2つの逆向きの作用が均衡していること」を表している。ここで「2つの逆向きの作用」と「均衡」が「動的平衡」の構成概念となっている。

第5節 「動的平衡」の構成概念による学習内容の検討

第1項 論文検索によって抽出された自然現象

設定された「バランス」「安定」「システム」といったキーワード、そして「動的平衡」もキーワードに加え、これら4つを用いて自然科学系の各種論文の調査をおこなった。検索にはCiNiiによる全文検索機能を用いた。その結果は以下の通りである。

「バランス」「安定」「システム」「動的平衡」の4つを同時に含むものとしては85編の論文が抽出された(なお、「動的平衡」のみで全文検索をおこなうと1,390編の論文が抽出された;参照日2020.7.6)。

これらのうち、まず学会発表予稿などを除外し、さらに論文であっても、その内容が経済学や心理学など理科学習指導と関連がないものについては除外した。

その結果、22編の自然科学系論文が対象となった(表2のA群)。そして、これらの論文が、「物理」「化学」「生物」「地学」のどの領域に属するかについて表形式で整理した。

なお、これらの論文が属する学問分野を確認したところ、「医学(例えば表2のA群の22, 24, 31, 32, 33, 35, 36などの論文;以下同様)」「歯学(13, 18, 34)」「物理学(7, 15, 19)」「建築学(30)」「機械工学(2)」「計測工学(50)」「森林科学(20)」「船舶工学(46)」「化学(38)」「海洋学(23)」「生態学(14)」「造園学(3)」であることが確認された。

これらの学問分野名については、学問分野毎に編集されている学術用語集のタイトル(文部科学省,2016)、および文部科学省(2020)の科学研究費助成事業の審査区分に準拠した。これらの分野うち、「化学」「物理学」「地震学」「船舶工学」については、それぞれの学術用語集に「動的平衡」が記載されている。

さらに、「動的平衡」の語句が含まれていなくても、「動的平衡」によって解釈できる現象が見つけられるのではないかと考え、「動的平衡」を除外した「バランス 安定 システム」の3つで全文検索をおこなった。その結果、28,373編の論文が抽出された。また、「バランス システム」、「バランス 安定」、「システム 安定」といった2つずつの組み合わせで全文検索をおこなったところ、それぞれ69,547編、59,837編、209,695編の論文が抽出された(参照日2021.10.10)。これら『「動的平衡」』の語句は含まないが、「バランス」「安定」「システム」のうちのどれか2つを含んだ論文を対象に、次項に示した方法によって絞り込みを進めた。

第2項 キーワードによる自然科学系の論文の絞り込み

前項で抽出した論文から、理科学習指導で扱うことができる現象を含んだ論文を選択するために、さらにキーワードを加えた絞り込みの検索をおこなった。加えたキーワードは、理科学習指導との関連を考慮し、「カリキュラム」「学習指導要領」「理科」のいずれかとした。「カリキュラム」で絞り込みの検索をおこなったところ、「バランス 安定 システム」の3つのキーワードから検索された28,373編は1,329編になった。「バランス システム」によって検索された69,547編は4,271編に、「バランス 安定」によって検索された59,837編は2,042編に、「システム 安定」による209,695編は4,271編になった。次に、「学習指導要領」で絞り込みの検索をおこなったところ、「バランス 安定 システム」の3つのキーワードから検索された28,373編は356編になった。「バランス システム」によって検索された69,547編は1,215編に、「バランス 安定」によって検索された59,837編は745編に、「システム 安定」による209,695編は1,317編になった。「理科」で絞り込みの検索をおこなったところ、「バランス 安定 システム」の3つのキーワードから検索された28,373編は1,220編になった。「バランス システム」によって検索された69,547編は3,431編に、「バランス 安定」によって検索された59,837編は2,239編に、「システム 安定」による209,695編は7,569編になった。(参照日 2021.10.10)。これらの論文のタイトル、概要、内容などを確認した結果、2016年改訂の学習指導要領に示された学習内容(文部科学省, 2018a, 2018b)に関連があると思われる論文として30編が抽出された(表2のB群)。

表2に示された各種論文(AB両群)とそれらの属する領域を整理した結果、物理領域には14編、化学領域には13編、生物領域には21編、地学領域には22編という結果となった(重複あり)。

表 2 キーワード検索によって抽出された自然科学系の論文と属する領域

番号	群	論文タイトル	著者, 発行年	掲載誌	物理	化学	生物	地学
1	B	反応速度および化学平衡に関する実験例(<特集>高校化学指導上の問題点)	松本ら, 1970	化学教育 18(3)		○		
2	A	生体のダイナミクスと制御	岩井, 1970	日本機械学会誌 73(612)			○	
3	A	自然地の構成と回復に関する研究	田畑, 1975	造園雑誌 39(3)				○
4	B	化学を中心とする高校総合科学のカリキュラム研究: 中間報告(<特集>中学・高校における化学教育の問題点を探る)	下沢, 1976	化学教育 24(2)	○	○	○	○
5	B	自然認識の発達と形成(II): 生命観の発達過程と理科指導計画の設計	森, 1977	日本教科教育学会誌 2(1-2)			○	
6	B	農学系大学・学部新入学生の入学動機と農業に関する意識の調査・研究: その2 東日本の場合	山谷, 1977	大学研究ノート(広島大学高等教育開発研究センター紀要) 28		○	○	
7	A	ジェイムズ・ハットンの光・熱・物質理論-2-A Dissertation(1794)を中心として	渡辺, 1980	科学史研究 19(134)	○	○		
8	B	中等教育における理科(化学)指導要領の改訂の必要性とその問題点	竹林, 1981	化学教育 29(1)		○		
9	B	高校総合理科における平衡の取扱い	野沢ら, 1982	科学教育研究 6(3)		○		
10	B	探求の科学学習による地学教育の実践(<特集 2>地域に根ざす地学教育・科学運動)	古橋, 1982	地学教育と科学運動 11(0)				○
11	B	地震の時間的前兆の深究-1911~1978年に発表された論文の注釈つき文献案内-(翻訳)	宮村ら, 1982	防災科学技術研究所 研究資料(68)	○			○
12	B	生体システムの動的機構	藤井ら, 1986	計測と制御 25(2)			○	
13	A	再石灰化による初期齶蝕の治療	寺中, 1986	東日本歯学雑誌 5(1)			○	
14	A	森林生態系における炭素循環	中根, 1986	日本生態学会誌 36(1)			○	
15	A	エントロピー生成と van Hove limit	小嶋, 1988	物性研究 51(2)	○			
16	B	中学生の災害に対する意識の実態と望ましい防災教育のあり方-2-洪水害を例として	加藤ら, 1990	横浜国立大学教育紀要(30)				○
17	B	南の風ほとんど台風	宇井, 1991	沖縄大学地域研究所所報 5				○
18	A	顎口腔系の状態と全身状態との関連に関する研究	島田, 1991	日本補綴歯科学会雑誌 35(3)			○	
19	A	JT-60の実験成果と今後の展望	永見, 1991	日本物理学会誌 46(3)	○			
20	A	雨水流出と土壌浸食からみた流域保全管理	小川, 1991	森林計画学会誌 16(0)				○
21	B	高等学校における環境教育の実践その1	川村, 1993	京都教育大学環境教育研究年報(1)				○
22	A	片麻痺患者の静的身体動揺について	川手, 1993	リハビリテーション医学 30(11)			○	

23	A	GLOBEC (Global Ocean Ecosystem Dynamics)-動物プランクトン研究の視点から	川口, 1993	海の研究 2(4)			○	○
24	A	立位姿勢における体重心の位置(姿勢・歩行3)	原田, 1995	リハビリテーション医学 32(11)	○		○	
25	B	高温流紋岩質溶岩流-水接触型マグマ水蒸気爆発の発生機構	谷口, 1996	地質学論集 46				○
26	B	市民的教養の自然科学: 次期カリキュラムへの提言(近畿支部特集)	岡本ら, 1996	物理教育 44(3)	○			
27	B	第10回大気・海洋の波と安定性に関する研究集会の報告	石岡ら, 1996	天気 43(2)				○
28	B	火山観測による噴火の仕組みの理解	石原, 1997	火山 42(6)				○
29	B	相模湾の気象・海象(その2) [含 相模湾の海洋に関する文献]	渡部ら, 1997	防災科学技術研究所研究資料 (177)				○
30	A	体温調節モデルに基づく人体の季節順化の表現とその数値的検討	岡村, 1997	日本建築学会計画系論文集 62(495)	○		○	○
31	A	脳卒中片麻痺患者の重心動揺計によるバランス評価	高橋, 1998	リハビリテーション医学 35(11)	○		○	
32	A	脳卒中患者の立位保持における代償能力の評価	鄭, 1998	リハビリテーション医学 35(11)			○	
33	A	軌道計画規範のための評価関数を用いた脳卒中片麻痺の運動学習過程の定量的評価	道免, 1998	リハビリテーション医学 35(11)			○	
34	A	噛みしめが重心動揺に及ぼす影響に関する研究	石亀, 1998	日本顎口腔機能学会雑誌 4(2)	○		○	
35	A	体幹装具装着者の動的負荷に対するバランスの検討(重心動揺)	斎藤, 2002	リハビリテーション医学 39(supplement)	○		○	
36	A	脳血管障害の立ち直り反応: 第2報(重心動揺)	大田, 2002	リハビリテーション医学 39(supplement)			○	
37	B	台湾の高校化学教育(諸外国では理科カリキュラムをどう学習につなげているか(その10))	魏, 2004	化学と教育 52(12)			○	
38	A	高速液体クロマトグラフィーと高速向流クロマトグラフィーにおけるカテキン類の溶出挙動の比較	東海林, 2004	分析化学 = Japan analyst 53(9)			○	
39	B	火山に関する知識・情報の伝達と普及: 減災の視点でみた現状と課題(<特集>火山学50年間の発展と将来)	小山, 2005	火山 50(Special)				○
40	B	岩塩形成過程の教材開発--時間と空間の広がり学習するために	山崎ら, 2005	千葉大学教育学部研究紀要 53				○
41	B	「食を通して人間を学ぶ」総合学習カリキュラムの開発: 小学校における人間自然総合単元の実践から	小椋, 2006	カリキュラム研究 15(0)			○	
42	B	記念シンポジウム「水循環環境科学のアプローチ」報告	栗田ら, 2006	天気 53(10)				○
43	B	火山研究への貢献が期待される多様なコンピュータシミュレーション	石峯, 2007	火山 52(4)				○
44	B	生徒の科学的象の説明におけるアナロジー・メタファーの生成: その内容選択と機能に着目して	内ノ倉, 2009	日本教科教育学会誌 32(1)			○	

45	B	物質科学のリテラシー	藤原, 2009	科学教育研究 33(1)	○	○	○	○
46	A	船舶バラスト水処理システムの性能評価手法構築のための研究	山根, 2009	海上技術安全研究所報告 9(1)	○			
47	B	エネルギー問題を化学の視点から考える(ヘッドライン:身近な環境の化学)	斉藤, 2010	化学と教育 58(1)		○		
48	B	安定と不安定	廣田, 2012	天気 59(2)				○
49	B	近年のアメリカの高校生物教科書の内容と教材構成の特色	渡邊, 2013	理科教育学研究 53(3)			○	
50	A	堆積物-水境界における現場測定技術の最前線	小栗, 2013	地球化学 47(1)		○		○
51	B	英国の中等科学教育: 科学リテラシー, 「学力」, 実験, 探究活動(ヘッドライン: 海外の科学教育)	笠, 2015	化学と教育 63(10)		○		
52	B	感性でとらえる共振現象の科学おもちゃ ゆらゆら	納口, 2016	防災科学技術研究所パンフレット	○			○
領域毎の計					14	13	21	22

註) 表中の A は「自然科学系の論文」、B は「2016 年改定の学習指導要領に示された学習内容に関連があると思われる論文」を示す。

第 3 項 理科学習指導における「動的平衡」の活用

ここで、教育実践において「動的平衡」が活用できるかどうかを検討するために、表 2 の結果と 2016 年改訂の学習指導要領に示されている学習内容(文部科学省, 2018a, 2018b)を比較した。そして、単元および履修学年との対応、および「物理」「化学」「生物」「地学」といった各領域への分布の状況を確認するために、縦軸を履修学年、横軸を領域とした表 3 を作成した。表中の数値は表 2 中の番号に対応している。

抽出された学習内容は、複数学年および複数領域に配置されており、小学校 3 年生以外のすべての学年で学習する内容を部分的に含んでいた。ただし、A 群と B 群に分類された論文の内容は、どれも理科の 4 領域のいずれかに含まれてはいるが、その中には、小学校 4 年生から中学 3 年生で学習する内容ではないものも含まれる。そのため、そのままでは学習の対象とすることは難しい。つまり、表 2 で示した論文が扱っている現象は、「動的平衡」によって説明可能であることは確認できたが、そのことが直ちに学習者にとって学習可能であるとは限らない。例えば、表 2 の 38 「分析化学」に関する内容では、クロマトグラフィーや電気泳動の知識が必要である。このような場合、「動的平衡」の理解ができて、この概念を活用する「現象」の理解が困難である。教育実践において「動的平衡」の活用を考える際は、このことに留意する必要がある。

表 3 「動的平衡」との関連が考えられる学習内容

	物 理	化 学	生 物	地 学
小学校 第3学年				
小学校 第4学年		水の三態変化 (37,45)	骨と筋肉 (24,31,34,35,36)	水の自然蒸発と結露 (42)
小学校 第5学年		物が水に溶ける量の 変化 (51)		流れる水の働き (20,50) 雲と天気の変化 (17,27,29,42)
小学校 第6学年		気体が溶けている水 溶液 (51)	消化・吸収 (12) 生物と環境 (14,21)	
中学校 第1学年	力の働き (24,31,34,35,45,46)	水溶液 (4,8,51) 状態変化と熱 (4,8,37,44,45) 物質の融点と沸点 (4,8,37,45)		地層の重なりと過去の様子 (10,25,40,50) 自然の恵みと火山災害・ 地震災害 (11,16,20,28,39,43,52)
中学校 第2学年		原子・分子 (1,4,8,37,38,45,51)	葉・茎・根のつくりと働き (6,49) 生命を維持する働き (2,12,13,18,22,24,30,31,32,33,34,35,36,49)	霧や雲の発生 (17,27,29,42)
中学校 第3学年	水中の物体に働く力 (46) 仕事とエネルギー (7,15,19)	酸・アルカリ (4,8,9,37,45,51) 中和と塩 (4,8,37,45,51)	細胞分裂と生物の成長 (5,49)	
			自然界のつり合い (3,6,14,21,23,41)	
	自然環境の保全と科学技術の利用 (4,6,20,21,26,37,45,47)			

第4項 「動的平衡」を内在した学習内容の具体

「動的平衡」の概念によって説明可能であることが判断された学習内容（表3参照）のいくつかを対象に、本研究における「動的平衡」の構成概念、すなわち、「2つの逆向きの作用」と「均衡」が、どのように対応しているかについて事例的に検討した。対象とする学習内容は、中学校第1学年の化学領域「水の状態変化」、中学校第2学年の生物領域「呼吸と光合成」、中学校第1学年の地学領域「地震と大地の変化」とした。これらを取り上げた理由は、a) 小学校で学習した「問題解決のためのスキル（図2）」の活用が想定できるため、b) 小学校の学習内容との連続性が確認できるため（表3）、の2つのである。

中学校第1学年「水の状態変化」については、状態変化に伴う温度変化に関する内容（図4）に着目した。図4のグラフ中、温度が0℃であるときの平坦な部分では、固体の氷が加

熱されて液体の水に状態変化しており、温度は0℃となっている。ここでは、「液体から固体（冷却）」と「固体から液体（加熱）」という互いに逆の変化が同時に起こっており、逆方向の反応が同時に起こっている関係にあるときに温度が一定になっているという説明ができる。通常、この内容は、「温度が一定のところは、液体と固体が混ざっている状態である」といった表現で記述され、「なぜ、液体と固体が混ざっているとき、温度が一定であるのか」の理由には触れられない。そのため、この学習内容については、「温度が一定のところは、液体と固体が混ざっている状態である」ことは記憶すべき内容となっている。なお、「水の状態変化」については、内ノ倉（2009）が、生徒（中学生と高校生）によるアナロジー・メタファーの機能を明らかにするための事例として取り上げている。この研究では、質問紙調査の問題として図4と同種のグラフが提示され、生徒には、「加熱を続けているにも関わらず、温度が上がらない理由とこのときに起こっている変化」について、自分なりの考えを説明することが求められている。事例として取り上げられた理由は2つ挙げられており、そのうちの一つは「実験からは直接的に理解できない」というものであった。実際、この内容は実験の結果からは導き出せないものであるため、中学校段階では、「温度が上がらない」という事実を記憶せざるを得ない状況になっている。

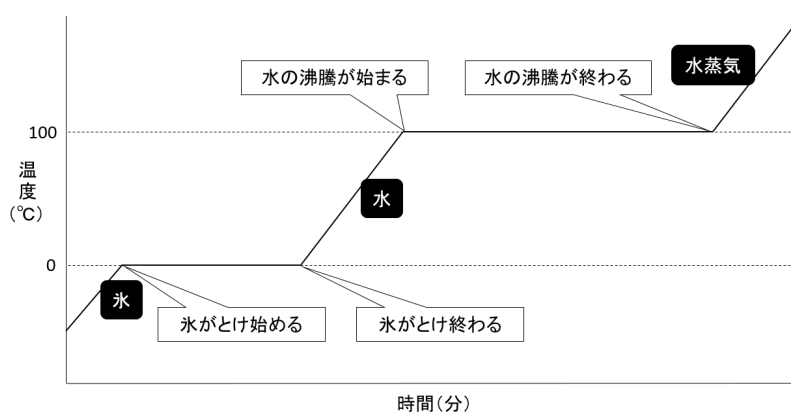


図4 中学校理科教科書に見られる「水の状態変化」の記載例

この「加熱を続けているにも関わらず、温度が上がらない理由とこのときに起こっている変化」は、「逆方向の反応や運動が同時に起こっており、見た目には何も起きていないように見える」ことから、「動的平衡」によって説明できる現象の一つでもある。そして、「動的平衡」の活用によって、簡略化した表現ではあるが、原因と結果に基づいた表現が可能となる。例えば、授業実践では『「冷やそうとするうごき」と「温めようとするうごき」が

同じになっていてバランスがとれている』といった表現が考えられる。

中学校第2学年「呼吸と光合成」については、「見かけ上は何も起こっていないように見える現象」として、光補償点に関する内容に着目した。光補償点という語句そのものは高等学校の生物で学習する。意味としては「植物において、光合成速度と呼吸速度とが等しくなるときの光の強さ」（八杉・可知，2011）を指し、補償点では「光合成および呼吸による酸素または二酸化炭素の出入りする量（体積またはモル比）が等しく、見かけ上ガスの出入りが見られない」（八杉・可知，2011）ことが知られている。このことは、「逆向きの反応や運動が同時に起こっており、見た目には何も起きていないように見える」ため、「動的平衡」によって説明できる現象と捉えられる。

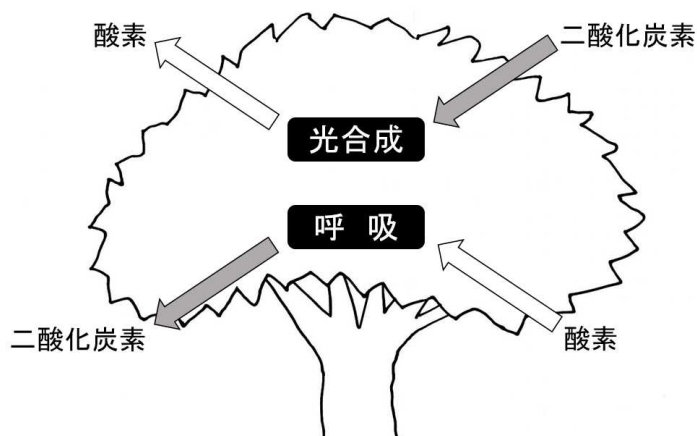


図5 中学校理科教科書に見られる「呼吸と光合成」記載例

中学校第1学年「地震と大地の変化」においては、「見かけ上は何も起こっていないように見える現象」として、防災教育の内容に関わる「制振」に着目した。防災科学の領域では、地震による被害を少なくするために、「免震」「耐震」「制振」といった仕組みが用いられ、日常的な語句になりつつある。しかし、理科カリキュラムに防災教育が導入されているものの、これらの語句の内容について学習する場面は設けられていない。

「制振」とは、地震の際、建物の最上階のパーツや、内部に取り付けられたパーツが建物の振動と逆方向に振れることで本体の揺れを打ち消すものである。「制振」が機能している状態では、「逆向きの反応や運動が同時に起こっており、見た目には何も起きていないように見える」ため、これについても「動的平衡」によって説明できる現象と捉えられる。

なお、「免震」「耐震」は「震」を用いているが、「制振」は「振」または「震」の両方が

用いられ、表記が必ずしも確定していない。ただし、「地震学」「建築学」「土木工学」をはじめとする各種学問分野の学術用語集においては、「制震」は単独の項目として記載されておらず、「制振」が用語として記載されている。

第6節 小中学校理科における汎用性と教科横断性をもった「動的平衡」

第1項 学習内容と「動的平衡」との関連

表3から、物理では3つ、化学では9つ、生物では6つ、地学では6つの学習内容が、抽出された論文で扱っている現象と関連があることが確認された。また、生物と地学との統合単元、および理科の4領域すべてを統合した単元についても同様に「動的平衡」に関わる内容が存在することが確認された。

履修学年に着目すると、これらの学習内容は、小学校第3学年以外のすべての学年に含まれていた。具体的には、小学校第4学年では、化学、生物、地学の領域に「動的平衡」で説明が可能な現象が含まれている。同様に、小学校第5学年では、化学、地学の領域に、小学校第6学年では化学と生物の領域に、中学校第1学年では、物理、化学、地学の領域に、第2学年では化学、生物、地学の領域に、中学校第3学年では物理、化学、地学の領域に「動的平衡」で説明が可能な現象が含まれていた。

領域、履修学年の双方に着目すると、「動的平衡」の概念によって説明可能であると判断された学習内容が複数あり、かつ、それらが複数の領域にまたがっていた。このことは、異なる領域や履修学年で扱われているいくつかの現象が、「動的平衡」によって、共通の属性を有する現象として関連付けることが可能であることを示している。ただし、学習内容と「動的平衡」との関連付けが可能であることが、学習指導で活用できることを直ちに意味するとは限らないため、具体的な教材についての事例的な考察が必要であると考えた。

第2項 新たな理科学習指導の視点としての「動的平衡」

具体的な教材への活用について考察するため、中学校第1学年の化学領域「水の状態変化作用」、中学校第2学年の生物領域「呼吸と光合成」、中学校第1学年の地学領域「地震と大地の変化」を事例として取り上げた。結果として、「動的平衡」の構成概念、すなわち、「2つの逆向きの作用」および「均衡」によって、各事例を説明することができた。

中学校第1学年の化学領域「水の状態変化」については、「水の状態変化における温度変化」、特に「温度が一定の箇所」を考察の対象とした(図4)。ここでは、「液体から固体(冷やす)」と「固体から液体(温める)」の2つの作用が「2つの逆向きの作用」として「均衡」している。

中学校第2学年の生物領域「呼吸と光合成」については、「光補償点に関する内容」を考察の対象とした(図5)。ここでは、「呼吸によって出入りする二酸化炭素と酸素の量(体

積比またはモル比；以下同様のため略)」と「光合成によって出入りする酸素と二酸化炭素の量」の2つの作用が「2つの逆向きの作用」として「均衡」している。

中学校第1学年の地学領域「地震と大地の変化」については、「制振の仕組みの説明」を考察の対象とした。「地震による特定方向への揺れ」と「制振構造による反対方向への揺れ」の2つの作用が「2つの逆向きの作用」として「均衡」している。

以上の考察により、取り上げた3事例に含まれる「作用」は、いずれも「動的平衡」の構成概念、すなわち、「2つの逆向きの作用」および「均衡」によって、共通の属性として説明可能であることが確認できた。このことは、具体としての現象は異なっている、それらが「動的平衡」によって説明が可能であることを意味している。

「動的平衡」によって、従来は異なるものとして扱われていた現象が、共通な現象として表すことができたことから、「動的平衡」は、表3に示した他の事例にも活用することが可能であると考えられ、さらに、複数の領域を関連付けたり統合したりするための新たな理科学習指導の視点になり得ると判断できる。

第3章 「動的平衡」に関わる学習者の思考の実態

第3章では、学習者が「動的平衡」に関わる現象について思考するときの実態を明らかにすることを目的とした。なお、本章の目的は、研究全体の目的を達成するために設定した目標2)に対応している。本章の目的の達成のために、調査問題を作成し、実施することとした。まず、先行研究を根拠に、学習者が「動的平衡」に関わる現象について思考するとき3つの段階があるという仮説を設定した。3つの段階とは、(I)現象を要素に分けることに気づく、(II)「2つの逆向きの作用」の存在に気づく、(III)「2つの逆向きの作用」が「均衡」していることに気づく、であった。次に、この仮説を検証するために、(I)、(II)、(III)の3つの思考の段階を確認し得る調査問題とその評価基準を作成した。調査問題は、「動的平衡」によって説明が可能な現象3種で構成され、学習者がそれぞれの現象が生じる理由を記述するという形式であった。調査後、得られた学習者の記述を評価基準によって分類し、学習者の思考の実態を明らかにした。

第1節 「動的平衡」に関わる思考の段階

第1項 「動的平衡」の段階的な理解についての仮説

Maskill & Cachapuz (1989) は、高等学校化学の学習指導についての研究で、「動的平衡」は、「静的な均衡」、「物理的な動きとしての反転」、「すべてのものが等しいときの平衡」といった構成概念に着目して扱うことが効果的であることを指摘している。ここで、「静的な均衡」とは「作用がつり合っている状態」を指し、「物理的な動きとしての反転」とは「互いに逆向きの2つの作用」を指し、「すべてのものが等しいときの平衡」とは「作用の大きさや向きが等しくなっている均衡」を指す。また、Minstrell (1992) は、大学生の力学の学習分野で、学生の推論を局面 (facet) と名付けて分類し、番号を振り順序性を意識して整理している。文献上、平衡や安定に関連する例示は見られないが、この力学に関する分類には、動的平衡の文脈でなされる推論を含む可能性があることが Canu et al. (2016) によって指摘されている。これらのことから、小学校・中学校の理科カリキュラムにおいても、ある科学概念を構成する複数の要素、あるいは構成概念の理解のされ方については、一度にまとめて理解されるばかりではなく、段階的に理解されることもありうる考えた。

本章においては、「動的平衡」を小学校・中学校の理科カリキュラムで扱うことを考慮し、先行研究によって提示されていた「動的平衡」の構成概念を「2つの逆向きの作用」「均衡」といった2つに整理した。そして、学習者が「動的平衡」に関わる現象について思考する際、(Ⅰ)現象を要素に分けることに気づく、(Ⅱ)「2つの逆向きの作用」の存在に気づく、(Ⅲ)「2つの逆向きの作用」が「均衡」していることに気づく、の3つの段階があるのではないかという仮説を設定した。その理由は、以下の通りである。

「動的平衡」の構成概念として、「2つの逆向きの作用」に気づくためには、まず、「互いに逆向きになっている2つの要素」を見いだすことが求められる。現象をまず要素に分けるというのは、まさに近代科学の方法であり、「動的平衡」を捉える際にも最初の段階といえるであろう。近代の科学の方法とは、個々の自然現象を研究するための手順を示したものであり、八杉(2007)は、「現象をまずその要素に分けて、個々に調べ、その上でそれらを組み合わせる」ことを「近代の科学の方法の原則」としている。この「現象をまずその要素に分けて」、「個々に調べ」、「その上でそれらを組み合わせ」という段階的な記述に則り、「動的平衡」とその構成概念と要素との関係を整理した結果、(Ⅰ)～(Ⅲ)のような3つの段階となった。すなわち、「互いに逆向きになっている2つの要素」を見いだすこと、つまり「現象をまずその要素に分ける」ことが(Ⅰ)に対応し、「個々に調べ」ること、つまり、2つの作用の向きや大きさに着目することが(Ⅱ)に対応し、「その上でそれらを組み合わせ」ること、つまり、「2つの逆向きの作用」と「均衡」という構成概念を構成することが、(Ⅲ)に対応すると判断した。なお、これら(Ⅰ)～(Ⅲ)は、思考の段階を述べたものであるため、順序性がある記述となっている。しかし、このことが直ちに「(Ⅰ)が最も容易で、(Ⅱ)、(Ⅲ)と進むにつれて難易度が上がること」を意味するわけではない。

これらを踏まえ、本章の目的を次のように設定した。

第2項 本章の目的

本章の目的は、学習者が「動的平衡」に関わる現象について思考するとき、次のような思考の段階があることの検証である。ここでの思考の段階とは、

- (Ⅰ) 現象を要素に分けることに気づく、
- (Ⅱ) 「2つの逆向きの作用」の存在に気づく、
- (Ⅲ) 「2つの逆向きの作用」が「均衡」していることに気づく、の3つである。

このような思考の段階があるかを検証するために、調査問題とその評価基準を作成し、実施し、評価した。

第2節 調査方法

本章の目的は「学習者が『動的平衡』に関わる現象について思考するとき、その思考には3つの段階があるかを検証すること」である。この目的を達成するために、中学校の生徒を対象に調査問題を実施し、その解答を評価基準によって分類することで、(I)～(III)の段階の有無を検証することとした。

調査対象は、協力の得られた北海道内の公立中学校1年生2クラス59名である。調査問題は、小学校理科の復習・確認というかたちで、年度当初のオリエンテーションの一部として2020年4月に実施した。調査問題については、実施する2クラスの理科授業を担当する理科教育を専門とする教員(経験年数23年)と筆者で検討をおこない、趣旨や内容の妥当性について合意が得られたものを使用した。

調査問題では、解答そのものよりも、その解答に至るまでの思考に着目する必要があるため、「動的平衡」に関わる現象についての説明を求める自由記述式の問題とした。また、本章で想定している(I)～(III)の思考の段階を検証するために、これら3つの段階に対応する問題①～③(表4)を作成した。問題①～③は、生徒の理科に関する知識の理解が解答にできるだけ影響を及ぼさないように、既習事項である小学校の理科教科書に記載されている現象を取り上げ、その現象を「動的平衡」によって説明させる形式とした。

表4 調査問題の内容

	問題文
問題①	湖の水面の高さは大雨や日照りのとき以外は、年間を通してほとんど <u>変化しません</u> 。その理由を書いてください。(小学校第6学年生命領域)
問題②	空気が <u>しめっている</u> とき、洗たく物が <u>乾きにくい</u> 理由を書いてください。(小学校第4学年地球領域)
問題③	食塩が水に溶ける量には限度があります。その理由を書いてください。(小学校化学第5学年粒子領域)

※ 表中、下線部は、「2つの逆向きの作用」を示唆する箇所、波線部は、「均衡」を示唆する箇所を示す。

問題①は「湖の水面の高さは大雨や日照りのとき以外は、年間を通してほとんど変化しません。その理由を書いてください」とした。この問題文は(III)と対応し、「2つの逆向きの作用」が「均衡」していることを示唆する文章構成であり、「2つの逆向きの作用」と「均衡」という構成概念に気づけたかどうかを問うものになっている。具体的には、表4

に示されるように、「大雨」「日照り」といった「2つの逆向きの作用」を構成する2つの要素を示唆する表現、そして「変化しない」といった「均衡」を示唆する表現が含まれている。問題文に見られる「湖の水面の高さが変化しない」という現象は、小学校6年生の生命領域「生物と環境」の学習内容に含まれる。例えば、教育出版の小学校6年生の理科教科書（養老ら、2019）では、「生き物と食べ物、空気、水」単元中の「生き物と空気、水」という小単元で扱われている。

問題②は「空気がしめっているとき、洗たく物が乾きにくい理由を書いてください」とした。この問題文は（Ⅱ）と対応し、「2つの逆向きの作用」の存在を示唆する文章構成であり、「2つの逆向きの作用」という構成概念に気づけたかどうかを問うものになっている。具体的には、表4に示されるように、「しめっている」「乾き」といった「2つの逆向きの作用」を構成する2つの要素を示唆する表現が含まれているが、「均衡」を示唆する表現は含まれていない。問題文に見られる「空気がしめっているとき、洗たく物が乾きにくい」という現象は、小学校4年生の地球領域「雨水の行方と地面の様子」に含まれる。例えば、教育出版の小学校4年生の理科教科書（養老ら、2019）では、「水のゆくえ」単元中の「水の量がへるわけ」という小単元で扱われている。

問題③は「食塩が水に溶ける量には限度があります。その理由を書いてください」とした。この問題文は（Ⅰ）と対応し、現象を要素に分けることに気づけるかどうかを問うものとなっている。具体的には、表4に示されるように、「逆向き」や「均衡」している2つの要素を示唆する表現が含まれていない。問題文に見られる「食塩が水に溶ける量には限度がある」という現象は、小学校5年生の粒子領域「物の溶け方」に含まれる。例えば、教育出版の小学校5年生の理科教科書（養老ら、2019）では、「もののとけ方」単元中の「食塩のとけ方」という小単元で扱われている。

これら3つの問題で扱った現象は、どれも小学校の理科教科書に掲載されている現象であり、その文章表現も教科書の一般的な記述を踏襲した。なお、実際に生徒に問題として示したときの文章に下線や波線は付していない。また、問題は①、②、③の順番で出題した。また、問題③は、動的平衡の構成概念を問題文に明示していないが、問題①、②と解いていく中で、いずれも「見かけ上は何も起こっていないように見える現象」であることに気づき、問題①、②から類推して、問題③も同様に動的平衡をイメージして解答する可能性があることを期待し、この順で問題を出題した。実際に使用した調査問題の質問紙は資料に示す。

ある生徒が「動的平衡」で説明が可能ないくつかの現象を説明する際、どの現象も「動的平衡」で説明が可能であるから、原則的には、解答の仕方は現象に左右されず同様になると考えられる。ここで、もし現象によって解答の仕方が異なるようであれば、その違いを生じた要因を検討することで、学習者の「動的平衡」による現象の理解には段階があることを示すことができると考えた。そのため、解答の違いを判断するための評価基準が必要となる。そこで、3つの段階に対応する評価基準A～C（表5）を作成した。

表5 評価基準と解答の例

		A	B	C
評価基準		「2つの逆向きの作用」を構成している2つの要素の両方について記述し、さらにそれらが「均衡」していることも記述している。	「2つの逆向きの作用」を構成している2つの要素のどちらかを記述している。または、「2つの逆向きの作用」と「均衡」のどちらかの構成概念について記述している。	「2つの逆向きの作用」を構成している2つの要素についての記述がみられない。または、「2つの逆向きの作用」と「均衡」のどちらについても記述がない。または、記述そのものがなされていない。
見られた解答の例	問題①	<ul style="list-style-type: none"> ・蒸発したとしても、降ってくる水とのバランスがとれているから。 ・水の出ていく量と入ってくる量が同じだから。 ・増水と減水のバランスがとれているから。 ・降る水と蒸発がいっしょ。 	<ul style="list-style-type: none"> ・蒸発してもその分また戻ってくるから。 ・水が蒸発するが、また雨が降ってくるから。 ・蒸発する水と降ってくる水がある。 	<ul style="list-style-type: none"> ・蒸発しても土の中から少しずつ流れてくるから。 ・常に蒸気があるから。 ・水が蒸発しないから。
	問題②	<ul style="list-style-type: none"> ・洗たく物がかわいても、空気中の水がついてしまうから。 ・せんたくものにたくさん水がついているし、空気にも水がたくさんあるから。 	<ul style="list-style-type: none"> ・空気中の水分がもともと多くて、せんたくものの水分が逃げにくいから。 ・まわりの空気がカラカラじゃないから。 ・もう水じょうきがあつて、行くところがないから。 ・水が出てもまた戻ってくるから。 	<ul style="list-style-type: none"> ・人はのどがかわいているときは、水がほしくなるから、空気も同じだと思う。 ・せんたく物は晴れの方がかわきやすい。 ・テレビで雨の日はせんたくものがかわきにくいといていたから。
	問題③	—	—	<ul style="list-style-type: none"> ・水に溶ける量は決まっているから。 ・あたためないで溶けないから。 ・水そうの水がほっといたらなくなるから。

評価基準の A, B, C は、それぞれが 3 つの段階の (Ⅲ), (Ⅱ), (Ⅰ) に対応している。
A は、(Ⅲ) の段階に到達していると判断できる解答であり、B は (Ⅱ) の段階に到達していると判断できる解答であり、C は、(Ⅰ) の段階と判断できる解答である。

第3節 結果

学習者が「動的平衡」に関わる現象について思考するとき、

(I) 現象を要素に分けることに気づく、

(II) 「2つの逆向きの作用」の存在に気づく、

(III) 「2つの逆向きの作用」が「均衡」していることに気づく、の3つの思考の段階があるかを検証するために、中学生を対象に調査問題を実施し、その記述を評価基準(表5)によって分類した。評価基準は、「動的平衡」についての思考の段階を顕在化させるために、「2つの逆向きの作用」と「均衡」に着目し、その有無によって段階的な水準A~Cを設けている。

生徒の記述の分類にあたっては、評価基準を用いたものの、判断に迷う記述も見られたため、授業を実施した教員にも加わってもらい、授業の際の生徒のコメントなども考慮して判断をした。

分類の結果、その分布は表6のようになり、A~C各基準の生徒の人数は問題ごとに顕著な違いが見られた。

表6 調査問題の解答を評価した結果

	問題文	A	B	C
問題①	湖の水面の高さは大雨や日照りのとき以外は、年間を通してほとんど変化しません。その理由を書いてください。	40	5	14
問題②	空気がしめっているとき、洗たく物が乾きにくい理由を書いてください。	2	47	10
問題③	食塩が水に溶ける量には限度があります。その理由を書いてください。	0	0	59

(n = 59)

問題①についての分布では、59名中40名(68%)の生徒がA評価であり、構成概念が2つとも示唆されている状況に対して、思考の段階の(III)「『2つの逆向きの作用』が『均衡』していることに気づく」に分類された。しかし、その一方で、構成概念が2つとも示唆されていても、(II)「『2つの逆向きの作用』の存在に気づく」とどまっている生徒も5名(8%)みられた(B評価)。また、(I)の「現象を要素に分けることに気づく」段階にも至っていない生徒も14名(24%)みられた(C評価)。

問題②についての分布では、47名(80%)の生徒がB評価であり、2つの構成概念の片方しか示唆されていない状況においては、思考の段階の(Ⅱ)『2つの逆向きの作用』の存在に気づく」に分類された。このような状況に対しては、片方の構成概念しか示唆されていなくても、もう片方の構成概念を類推して(Ⅲ)の『2つの逆向きの作用』が『均衡』していることに気づく」に至ることが期待されるが、そのような生徒は2名(3%)であった(A評価)。逆に、2つの構成概念のうちの片方が示されたとしても、全く異なる解答を記述したり、解答そのものが記述できなかつたりする生徒も10名(17%)おり(C評価)、そのような生徒は(Ⅰ)の「現象を要素に分けることに気づく」段階にも至っていないと推察された。

「動的平衡」の理解とは、最終的に問題③のように、ある現象において「2つの逆向きの作用」が示唆されていない場合でも、「動的平衡」の構成概念としての「2つの逆向きの作用」と「均衡」を捉えられるようになることである。問題③についての分布では59名全員がC評価であった。どの問題も「見かけ上は何も起こっていないように見える」という点が共通しているため、2つの要素の存在を類推して(Ⅱ)の『2つの逆向きの作用』の存在に気づく」、または構成概念に着目し、(Ⅲ)の『2つの逆向きの作用』が『均衡』していることに気づく」に至っていると期待されたが、そのような生徒は見られず、全員がC評価であった。このことから、構成概念や要素を示唆する表現が含まれていない状況においては、思考の段階の(Ⅰ)に至っていない、つまり、現象を要素に分けることに気づいていないといえる。

第4節 学習者の思考の実態と学習指導への示唆

第1項 学習者の思考の実態

本章の目的は、学習者が「動的平衡」に関わる現象について思考するとき、思考の段階があることの検証であった。ここでの思考の段階とは、

- (I) 現象を要素に分けることに気づく、
- (II) 「2つの逆向きの作用」の存在に気づく、
- (III) 「2つの逆向きの作用」が「均衡」していることに気づく、の3つである。

調査問題の結果を表6のようにまとめたところ、3種の設問に対する(I)～(III)の人数分布が顕著に異なっていることが確認された。これより、学習者が「動的平衡」に関わる現象について思考するとき、その思考には段階があることが確認できた。そして、調査の結果から、3つの段階のうち、(I)現象を要素に分けることに気づく、という段階が相対的に最も困難であると推察できた。

第2項 学習指導のための示唆

Sweller & Cooper (1985) は、科学概念を教授する際、複数の事例を通して学習することが、その概念の一般化が促進される可能性を高めると指摘している。この指摘と、本章で確認した「動的平衡」に関する思考の3つの段階(I)～(III)、そして、それらのうち(I)の段階が相対的に最も困難であることを踏まえ、次のような指導計画の骨子を考えた。

- ① 「動的平衡」の構成概念である「2つの逆向きの作用」や「均衡」に気づきやすい現象を扱う。
- ② そこから気づきにくい現象に段階的に移行していく。その際、動きのない現象を見たときに、それを「止まったもの」と捉えるのではなく、「『2つの逆向きの作用』が『均衡』しているのではないか」といった気づきが発話や記述に見られたかどうかを評価の観点としておく。
- ③ 要素や構成概念の存在を示唆しないような状況であっても、「現象を要素に分けることに気づく」ことを目標とする。

これに基づいた指導計画を立案することで、教師は、履修学年や領域という枠組みで構成されている学習内容を、「動的平衡」という新しい視点から再構成することができる。こ

のことは、より系統的で組織的な理科学習指導につながることを期待される。

終章 研究の総括と今後の課題

本研究の目的は、「科学概念としての『動的平衡』概念を理科学習指導に導入することの意義を明らかにし、その導入のための示唆を得ること」であった。この目的を達成するために、第1章において、「1) 理科学習指導において、『動的平衡』を『変化が起こっていないように見える現象』の捉え方の一つとして導入することの意義を明らかにする」および「2) 学習者が『動的平衡』に関わる現象について思考するときの実態を明らかにする」の2つの目標を立てた。本節では、これらの目標の成果を順に述べることで本研究の成果をまとめる。

第1節 研究の総括

第1項 「動的平衡」を導入する意義

(1) では、文献調査によって「動的平衡」が自然科学の分野や理科教育でどのように取り扱われてきたかを整理した。そして、「動的平衡」が、学習内容や目標の解釈にどのような視点をもたらす概念であるかを検討した。

文献調査の結果、異なる領域や履修学年で扱われているいくつかの現象が、「動的平衡」の構成概念である「2つの逆向きの作用」および「均衡」によって説明可能であることが確認された。ただし、学習者にとって「学習内容と『動的平衡』との関連付けが可能であること」が、「理科学習指導で活用できること」を直ちに意味するとは限らない。そのため、学習内容への活用について事例的な考察をおこなった。その結果、少なくとも取り上げた事例の範囲において、「動的平衡」は「変化が起こっていないように見える現象」の捉え方の一つとして導入できることが推察された。また、「動的平衡」は、複数の領域を関連付けたり統合したりするための視点になり得ることも確認された。つまり、「動的平衡」を現象の捉え方の一つとして導入することは、その現象の理解だけではなく、物理・化学・生物・地学といった自然科学の各領域の横断的な理解にもつながる可能性があり、このことが「動的平衡」を導入する意義であるといえる。

第2項 「動的平衡」導入のための示唆

(2) では、「学習者が『動的平衡』に関わる現象について思考するときの実態を明らかにする」ために、学習者が思考する際の段階を仮定し、調査問題と評価基準を作成した。ここでの思考の段階とは、(Ⅰ) 現象を要素に分けることに気づく、(Ⅱ) 「2つの逆向きの作用」の存在に気づく、(Ⅲ) 「2つの逆向きの作用」が「均衡」していることに気づく、の3つであった。

調査の結果、学習者が「動的平衡」に関わる現象について思考するとき、その思考には(Ⅰ)～(Ⅲ)の3つの段階があることが確認できた。そして、この段階のうち、(Ⅰ)の「現象を要素に分けることに気づく」が相対的に最も困難であると推察された。これらを「動的平衡」を理科学習指導に導入する際の示唆であると捉え、「動的平衡」を導入するための指導計画を示した。指導計画の骨子は、①「動的平衡」の構成概念である「2つの逆向きの作用」や「均衡」に気づきやすい現象を扱う、②そこから気づきにくい現象に段階的に移行していく、③要素や構成概念の存在を示唆しないような状況であっても、「現象を要素に分けることに気づくこと」を目標とする、とした。

第3項 研究の成果

本研究の目的は、「科学概念としての『動的平衡』概念を理科学習指導に導入することの意義を明らかにし、その導入のための示唆を得ること」であった。本研究の成果をまとめると以下ようになる。

(ア) 「動的平衡」を「変化が起こっていないように見える現象」の捉え方の一つとして導入することは、物理・化学・生物・地学といった自然科学の各領域を横断的に捉える視点となる可能性があり、このことが「動的平衡」を理科学習指導に導入する意義であることを明らかにした。

(イ) 調査の結果、学習者が「動的平衡」に関わる現象について思考するとき、その思考には(Ⅰ)～(Ⅲ)の3つの段階があることが確認できた。そして、この段階のうち、(Ⅰ)の「現象を要素に分けることに気づく」が相対的に最も困難であると推察された。理科学習指導に「動的平衡」を導入し、「現象を要素に分けること」を各領域や単元の目標として設定することで、理科の4領域を横断したり統合したりする発想につながることを示唆される。

(ウ) 「動的平衡」を理科学習に導入するための指導計画の骨子は以下の通りである。①「動

動的平衡」の構成概念である「2つの逆向きの作用」や「均衡」に気づきやすい現象を扱う、② そこから気づきにくい現象に段階的に移行していく、③ 要素や構成概念の存在を示唆しないような状況であっても、「現象を要素に分けることに気づくこと」を目標とする。

以上により本研究の目的である「科学概念としての『動的平衡』概念を理科学習指導に導入することの意義を明らかにし、その導入のための示唆を得ること」を達成できたと考える。

第2節 今後の課題

本研究では、「動的平衡」を理科学習指導に導入することの意義を、事例的な検討によって明らかにし、学習者の実態を調査することで、その導入のための示唆を得た。これらは、理科学習指導に関わる研究であるため、学習目標、学習内容、そしてこれらを含むカリキュラムの構造についての言及も必要となるが、これらについての検討はおこなっていないため、これらについての検討が今後の課題となる。

学習目標については、2008～2009年改訂の学習指導要領以降、小学校では「比較」「関連付け」「条件制御」「多面的思考」といった「問題解決のためのスキル」によって理科の4領域の横断がすでになされ、それらのスキルの獲得が学習目標の一部となっている。また、中学校については、小学校で獲得したこれらの各種スキルを探究活動の中で総合的に活用していくことが指向されているため、「問題解決のためのスキル」によって理科の4領域の横断がなされていることに変わりはない。ここで、4領域の横断は、このようなスキルの側面によるものだけではなく、概念的な側面によるものも考えられることを指摘したい。現時点では、4領域の横断は科学的な概念によるものではないため、「4領域それぞれにおいて共通に用いられるスキル」としての側面が強い。科学的な概念によって4領域を横断する発想をもつことは、教師と学習者の双方において、「科学を統合的に捉える」という新しい目標につながる可能性がある。

学習内容については、科学概念である「動的平衡」によって、学習者が「変化が起こっていないように見える現象」に着目することで新しい解釈が生じる。このことは、学習内容の新しい解釈につながる可能性があり、従来の学習目標との関係を見直す契機となる。日本の学習指導要領に示されている単元名では、「物質とその変化」、「天気とその変化」、「大地とその変化」など、「変化」の語句を含んだ名称がいくつか見られることから、理科学習指導においては「変化」が着眼点であることが示唆される。現象の「変化」に着目することは、自然科学の起源である「自然学」を著わしたアリストテレスが「運動変化する感覚的事物」（加藤，1994）に着目していたことから推察されるように、自然科学における認識方法の基本でもある。さらに、現象を考えると、「変化」に着目しつつも、「動的平衡」を意識することで、「変化する」だけではなく、「現象をあるがままに眺めているのではなく」（小山，1984）、「変化しない」ことにも着目することは、「近代に入ってから確立された自然科学のもつべき要件」（同上，1984）に通じる。学習者が、まず現象の「変化」に着目し、さらに「動的平衡」によって「変化しない」ことも含めて思考する過程は、感

覚的な認識が自然科学の発展と共に変化してきた過程に通じる。

カリキュラム開発は、「学習のデザイン原理を当該の教科内容の独自性と学習の理論に基づいて導出」(秋田, 2013) することで実施される。このことを踏まえると、感覚的な認識から自然科学における認識に至るといふ理科独自の過程に着目することは、理科カリキュラム開発の新たな視点となり得る。さらに研究・実践を重ね、科学技術の進歩や発展に即した理科カリキュラムを構想するための知見を深める必要がある。

引用・参考文献

- 秋田喜代美 (2013) 「カリキュラム」 平凡社編集部 (編) 『最新 心理学事典』 平凡社. <https://kotobank.jp/word/%E3%82%AB%E3%83%AA%E3%82%AD%E3%83%A5%E3%83%A9%E3%83%A0-47391> (2021年12月2日最終閲覧)
- 東洋・蛭名米司・佐島群巳 (編) (1990) 『教科教育学の成立条件—人間形成に果たす教科の役割—』 p.1, 東洋館出版社.
- Brandstädter, K., Harms, U., & Großschedl, J. (2012) Assessing System Thinking Through Different Concept-Mapping Practices, *International Journal of Science Education*, 34(14), pp.2147-2170.
- Bransford, J. D. & Schwartz, D. L. (1999) Rethinking Transfer: A Simple Proposal with Multiple Implications, *Review of Research in Education*, 24, pp.61-100.
- Bransford, J. D., Brown, A. L. & Cocking, R. R. (Ed.) (2000) *How People Learn: Brain, Mind, Experience, and School*, p.236, Washington, DC: National Academy Press.
- ブリタニカ・ジャパン (編) (2019) 『ブリタニカ国際大百科事典 小項目版 (DVD-ROM版)』 ログヴィスタ.
- Canu, M., Hosson, C. D. & Duque, M. (2016) Students' Understanding of Equilibrium and Stability: The Case of Dynamic Systems, *International Journal of Science and Mathematics Education*, 14, pp.101-123.
- Daeschner, Stephen W. (1965) Review of the physical science study committee high school physics course, pp.14-25, Kansas State University. <https://archive.org/details/reviewofphysical00daes/page/9/mode/2up> (2021年11月27日最終閲覧)
- Day, S. B. & Goldstone, R. L. (2012) The Import of Knowledge Export: Connecting Findings and Theories of Transfer of Learning, *Educational Psychologist*, 47(3), pp.153-176.
- 土井捷三 (2005) 「教育と科学の結合」 日本カリキュラム学会 (編) 『現代カリキュラム事典』 pp.6-7, ぎょうせい.
- 江上信雄 (2003) 「生物学」 小学館編集部 (編) 『スーパー・ニッポニカ 2003 日本大百科全書+国語大辞典 (DVD-ROM版)』 小学館.
- Erickson, H. L., Lanning, L. A., French, R. (2017) *Concept-Based Curriculum and*

- Instruction for the Thinking Classroom (Second Edition)*, Corwin pr inc. (遠藤みゆき, ベアード真理子 (訳) (2020) 『思考する教室をつくる』 pp.16-61, 北大路書房)
- Fick, S. J., Nordine, J. & McElhaney, K. W. (Ed.) (2019) *The Need for a Summit for Examining the Potential for Crosscutting Concepts to Support Three-Dimensional Science Learning, Summit for Examining the Potential for Crosscutting Concepts to Support Three-Dimensional Learning Conference Proceedings*, pp.4-11, The Rector and Visitors of the University of Virginia.
- Fortus, D., Adams, L. M. S., Krajcik, J., & Reiser, B. (2015) Assessing the role of curriculum coherence in student learning about energy, *Journal of Research in Science Teaching*, 52(10), pp.1408-1425.
- 福岡伸一 (2007) 『生物と無生物のあいだ』 pp.162-163, 講談社.
- Gagne, E. D. (1984) *Cognitive Psychology of School Learning*, HarperCollins, Australia.
(赤堀侃司・岸学 (1989) 『学習指導と認知心理学』 pp.124-127, パーソナルメディア)
- Grant Wiggins, & Jay McTighe (2005) *Understanding By Design (Professional Development)*, Assn for Supervision & Curriculum. (西岡加名恵 (編) (2012) 『理解をもたらすカリキュラム設計ー「逆向き設計」の理論と方法』 p.82, 日本標準)
- Hmelo-Silver, C. E., & Pfeffer, M. G. (2004) Comparing Expert and Novice Understanding of a Complex System from the Perspective of Structures, *Behaviors, and Functions*, *Cognitive Science*, 28(1), pp.127-138.
- 磯崎哲夫 (2019) 「理科カリキュラム内容構成論ー誰が決定し, 何を基準とするのかー」 『理科教育学研究』 60 (2), pp.267-278.
- 巖佐庸・倉谷滋・斎藤成也・塚谷裕一 (2013) 『岩波 生物学辞典 第5版』 p.991, 岩波書店.
- Jacobson, M. J. & Wilensky, U. (2006). Complex Systems in Education: Scientific and Educational Importance and Implications for the Learning Sciences, *The Journal of the Learning Sciences*, 15(1), pp.11-34.
- 角屋重樹・松浦拓也 (2001) 「新しい科学論に立つ科学教育課程のあり方」 『科学教育研究』, 25 (5), pp.356-362.
- 加藤信朗 (1994) 「自然学 (アリストテレスの著作)」 小学館編集部 (編) 『日本大百科全書 (ニッポニカ)』 小学館. <https://japanknowledge.com/lib/display/?lid=1001000104050>

(2021年11月26日最終閲覧)

加藤茂生 (2001) 「自己組織化」小学館編集部 (編) 『日本大百科全書 (ニッポニカ)』小学館. <https://japanknowledge.com/lib/display/?lid=1001000305527> (2021年11月26日最終閲覧)

河合伊六・岡東壽隆 (2003) 「教育評価」小学館編集部 (編) 『スーパー・ニッポニカ 2003 日本大百科全書+国語大辞典 (DVD-ROM 版)』小学館.

川喜田愛郎 (1969) 『生命体』の問題」大森荘蔵・沢田允茂・山本信 (編) 『科学の基礎』 p.209, 東京大学出版会.

清原洋一 (2014) 「理科の学習内容の系統性—内容の構造化の経緯と米国STEM教育のフレームとの対比」『理科の教育』63, pp.5-8.

国立教育政策研究所 (2013) 「NGSS 訳」<http://www.nier.go.jp/shirouzu/translation/ngss-first.pdf> (2020年2月18日最終閲覧)

小宮山宏 (2005) 「知の構造化と社会技術：第1回社会技術フォーラム『安寧な社会の実現に向けて』～科学技術が出来ること、すべきこと～基調講演」『社会技術研究論文集』3, pp.iv-viii.

小山慶太 (1994) 「科学」小学館編集部 (編) 『日本大百科全書 (ニッポニカ)』小学館. <https://japanknowledge.com/lib/display/?lid=1001000043513> (2021年11月26日最終閲覧)

小山裕 (1976) 「理科教育の構成についての一考察—特に化学的視座の成立から—」『日本教科教育学会誌』4 (3), p.187.

草原和博 (2020) 「21世紀の教育において教科等はどうのような役割と意義を果たすのか：教科の現代的意義 (1) 日本」日本教科学会 (編) 『教科とその本質』p.43, 教育出版.

Lanning, L. A. (2013) *Designing a Concept-Based Curriculum for English Language Arts: Meeting the Common Core with Intellectual Integrity*, pp.6-13. SAGE Publications.

Maskill, R. & Cachapuz, A. F. C. (1989) Learning about the Chemistry Topic of Equilibrium: The Use of Word Association Tests to Detect Developing Conceptualizations, *International Journal of Science Education*, 11(1), pp.57-69.

松原静郎 (1994) 「現在の教科書ができるまで：現代化カリキュラム以降の変遷 (<特集>教科書に見る化学教育の変遷)」『化学と教育』42 (6), pp.400-405.

- 松村明 (2001) 「自己組織化」小学館編集部 (編) 『デジタル大辞泉』小学館. <https://japan-knowledge.com/lib/display/?lid=2001025995700> (2021年11月26日最終閲覧)
- 皆川順 (1997) 「理科の概念学習における概念地図完成法の効果に関する研究」『教育心理学研究』45 (4), pp.464-473.
- Minstrell, J. (1992) Facets of students' knowledge and relevant instruction. In Duit, R., Goldberg, F. & Niedderer, H. (Ed.) *Research in physics learning: Theoretical issues and empirical studies*, pp. 110-128.
- 文部科学省 (2008a) 『小学校学習指導要領解説理科編』 p.5, 大日本図書.
- 文部科学省 (2008b) 『中学校学習指導要領解説理科編』 pp.4-6, 大日本図書.
- 文部科学省 (2016) 「学術用語の標準化について」 file:///C:/Users/morik/Downloads/1376140_005.pdf (2020年2月29日最終閲覧)
- 文部科学省 (2018a) 『小学校学習指導要領解説理科編』 pp.10-11, 東洋館出版社.
- 文部科学省 (2018b) 『中学校学習指導要領解説理科編』 pp.11-12, 学校図書.
- 文部科学省 (2020) 「令和2 (2020) 年度 科学研究費助成事業 審査区分表 (平成30 (2018) 年度と同一)」 https://www.jsps.go.jp/j-grantsinaid/02_koubo/shinsakubun.html (2021年11月26日最終閲覧)
- 奈須正裕 (2017) 『「資質・能力」と学びのメカニズム』 p.132, 東洋館出版社.
- National Science Teachers Association (2014) *Science and Engineering Practices*. <https://ngss.nsta.org/practicesfull.aspx> (最終確認 2020.2.18)
- National Research Council (2012) *A Framework for K-12 Science Education*, p.12, National Academies Press.
- National Research Council (2013a) *Next Generation Science Standards; NGSS*. <https://www.nextgenscience.org/get-to-know> (2020年2月29日最終閲覧)
- National Research Council (2013b) *NGSS Release*. <https://www.nextgenscience.org/sites/default/files/resource/files/Appendix%20G%20-%20Crosscutting%20Concepts%20FINAL%20edited%204.10.13.pdf> (2020年2月18日最終閲覧)
- 日本カリキュラム学会 (編) (2001) 『現代カリキュラム事典』 pp.137-139, ぎょうせい.
- 日本学術会議 基礎生物学委員会・統合生物学委員会合同生物科学分科会 (2017) 『報告 高等学校の生物教育における重要用語の選定について』 pp.2-3.
- 野村忠 (2012) 『栄養・生化学辞典 第3版』 p.442, 朝倉書店.

- 小田稔・野田春彦・上村洸・山口嘉夫 (編) (1998) 『研究社 理化学英和辞典』 <https://japanknowledge.com/library/> (最終確認 2020.2.29)
- 大森荘蔵 (1969) 「生命と意識」『科学の基礎』 p.153, 東京大学出版会.
- Physical Science Study Committee (1961) *P.S.S.C. physics : teacher's resource book and guide*, Boston: D.C. Heath & Co. (山内恭彦・平田森三・富山小太郎 (1967) 『PSSC 物理 上』 pp. ix-x, 岩波書店)
- Reinberg, A. & Ghata, J. (1957) *Rythmes et cycles biologiques: Que sais-je? No 734*, Presses Universitaires de France. (松岡芳隆・松岡慶子 (1960) 『生命のリズム 文庫クセジュ 280』 p.28, 白水社)
- 齊藤隆夫 (編) (2010) 『旺文社 化学事典』 <https://japanknowledge.com/library/> (最終確認 2020.2.18)
- 猿田祐嗣 (2008) 「わが国の理科の教育課程の特徴と科学的リテラシー」『国立教育政策研究所紀要』 137, pp.27-45.
- Schwartz, D. L., & Goldstone, R. (2016) Learning as Coordination: Cognitive Psychology and Education. In Lyn C., & Eric M. A. (Ed.), *Handbook of Educational Psychology (Third edition)*, pp.61-75. Taylor & Francis Group.
- 柴田義松 (2000) 『教育課程－カリキュラム入門－』 pp.9-44, 有斐閣.
- 柴田雄次・島村修・吉岡甲子郎 (1965) 『ケムス化学－実験の手びき－』 p.41, 共立出版.
- 白井俊 (2020) 『OECD Education2030 プロジェクトが描く教育の未来: エージェンシー, 資質・能力とカリキュラム』 pp.105-107, ミネルヴァ書房.
- Sweller, J. & Cooper, G. A. (1985) The Use of Worked Examples as a Substitute for Problem Solving in Learning Algebra, *Cognition and Instruction*, 2(1), pp.59-89.
- 平一弘 (1983) 「Nature・Study と 1980 年代の理科教育」『日本教科教育学会誌』 8 (3・4), pp.139-140.
- 内ノ倉真吾 (2009) 「生徒の科学的現象の説明におけるアナロジー・メタファーの生成: その内容選択と機能に着目して」『日本教科教育学会誌』 32 (1), pp.1-10.
- 山田貴之・寺田光宏・長谷川敦司・稲田結美・小林辰至 (2014) 「児童自らに変数の同定と仮説設定を行わせる指導が現象を科学的に説明する能力の育成に与える効果－第 6 学年「ものの燃え方と空気」を事例として－」『理科教育学研究』 55 (2), pp.219-229.
- 柳瀬睦男 (1984) 『科学の哲学』 p.4, 岩波書店.

八杉龍一（1972）『人間と環境と教育』 p.107, 明治図書.

八杉龍一（2007）『新版 科学とは何か』 pp.43-45, 東京教学社.

八杉貞雄・可知直毅（編）（2011）『旺文社 生物事典 五訂版』 <https://japanknowledge.com/library/>（最終確認 2020.2.29）

養老孟司・角屋重樹・丸山重徳（編）（2019）『未来を拓く小学理科 6年生用』 pp.98-99, 教育出版.

資料 1 実際に使用した調査問題

理科オリエンテーション(小学校理科の復習・確認)

1年 組 番 名前()

問題① 湖の水面の高さは大雨や日照りのとき以外は、年間を通してほとんど変化しません。その理由を書いてください。

問題② 空気がしめっているとき、洗たく物が乾きにくい理由を書いてください。

問題③ 食塩が水に溶ける量には限度があります。その理由を書いてください。

学習日 月 日

謝 辞

本論文に関わる研究の遂行にあたり、主任審査委員である角屋重樹教授、副審査委員である稲田結美教授、金本良通教授には、貴重なご指導やご助言をいただきました。主指導教員である角屋重樹教授には、教科教育における理科の固有性、および教科教育学研究の意義、方向性について、日々貴重なご指導やご助言、ご示唆をいただき、研究者としての姿勢を学ばせていただきました。稲田結美教授には、本論文の構成はもちろん、表現の細部に至るまで、終始、丁寧なご指導とご助言をいただき、研究方法についての見識を深めることができました。金本良通教授には、教科教育学の幅広い見地から貴重なご助言をいただきました。これらの先生方に心より感謝いたします。

雲財寛助教には、研究についてのご指導はもちろん、遠方在住の社会人院生である筆者のために、さまざまなご配慮をいただきました。国立教育政策研究所の西内舞氏には、研究内容はもちろん、元院生の立場から、数多くのご助言をいただきました。

島根大学の栢野彰秀教授は、筆者が大学教員になるきっかけをつくってくださり、さらに、本学の博士後期課程で角屋教授から学ぶ道筋をつけてくださいました。栢野教授との出会いがなければ、博士後期課程で本研究に取り組むことはなかったと思います。この場を借りて改めて感謝いたします。

そして、本研究における調査にあたっては、北海道内の公立中学校からの多大なご協力をいただきました。本論文は皆さんの協力なくしては完成しませんでした。この場を借りてお礼申し上げます。また、研究活動費においては、JSPS 科研費 JP19K02828 からのご支援を頂戴しました。大変感謝しております。

最後に、私の研究生生活を精神的に支えてくれた家族や同僚、理科教育学研究室で共に学んだ皆さんに重ねて厚く謝意を表し、謝辞といたします。

2021年12月

森 健一郎