

理科学習の転移における文脈と気づき

—中学生を対象とした量的評価—

堀田 晃 毅

(2021年10月5日受理)

Context and Awareness in the Transfer of Science Learning:
A Quantitative Assessment of Junior High School Students

Koki Horita

Abstract: The transfer of learning means that people apply knowledge and skills they have learned to new contexts. In this study, I investigated the importance of awareness of common principles and/or structures between previously learned content and transfer tasks in junior secondary school students. To conduct the research, I categorized the contexts for transfer into three different types based on the framework of Simons (1990, 1999): *within a unit*, *new learning*, and *daily life*. The results showed that generally, the transfer of previously learned content was difficult, and many students struggled to transfer the content to *new learning* and *daily life* in particular. Additionally, students who found a common principle between the previously learned contents and transfer tasks tended to correctly answer the transfer tasks. However, it became clear that even when students correctly understood the content they had previously learned, the content of the transfer task had an impact on whether or not they were aware that their knowledge could be used for the transfer task.

Key words: transfer of science learning, context, commonality of principle and structure

キーワード：学習の転移、文脈、共通の原理・構造

1. 研究の背景及び目的

学習の転移は教育において重要であり (Perkins & Salomon, 1994), 往々にして引き起こすべき教育目標として使われる (白水, 2012)。このため, 生徒が学習した内容を, 他の学習場面や家庭, 将来の職場といったところで応用できるような教育が求められている (National Research Council, 2000)。学習の転移が教育目標として使われる理由について, 白水 (2012)

は, 転移が教育と密接に関連する概念であり, 学校で学んだことを学校から離れた後で使わなければ学校教育の存在意義が問われることになる」と述べている。

しかし, これまでの認知研究において, 学習の転移は生じにくいことが指摘されており (例えば, Bransford & Schwartz, 1999; 白水, 2012), 理科教育においても同様の課題が報告されている。例えば, 萩原・西川 (1999) は, 理科の学習において公式, 法則, 解法を一度教わっただけで解けるような問題は限られており, 学習場面と異なる状況の場合は解決不能となることが多いと述べている。また, 藤田 (2012) は, 大学生を対象に気圧を題材にした調査を行った結果, 科学的概念自体の基本的な理解が形成された (記憶として保持された) としても, その知識の転移が成立す

本論文は, 課程博士候補論文を構成する論文の一部として, 以下の審査委員により審査を受けた。

審査委員：松浦拓也 (主任指導教員), 磯崎哲夫,
山崎博史, 古賀信吉, 木下博義

ることは容易ではないことを明らかにしている。

一方、理科に関する学習内容を他の場面へ転移させることが困難であるという現状を踏まえ、学習の転移が生じる条件や学習の転移を促すための実態調査・授業実践をしている研究も報告されている（例えば、萩原・西川, 1999; Ucar, 2014）。このうち、学習の転移が促進される条件の1つとして、学習内容と転移課題間にある共通の原理・構造への気づきが挙げられる（例えば、石井・橋本, 2013; Malkiewich and Chase, 2019）。Malkiewich and Chase (2019) は、高校生を対象に工学の授業で扱った重心の知識を理科の文脈に転移させるための条件を検討するために、授業中の学生のペアでの活動を観察し、転移が成功した学生の特徴として、学習内容と転移課題間の共通の原理・構造を見出していることを明らかにしている。このため、共通の原理・構造を見出すための活動を授業中に設けることが重要であるとしている。

また、理科が関わる学習の転移に関する研究をレビューした堀田・松浦 (2021) は、これまでの研究には大きく2つの問題があるとしている。1点目は、転移の定義の曖昧さである。多くの研究において、学習の転移は「学習内容を他の文脈へ適用すること」と説明されているものの、「他の文脈」が「学習した文脈」とどの程度異なるのかについての説明が不足しており、指導法に関する効果検証に際して、研究間での比較を適切に行うことが困難になる可能性がある。例えば、石井・橋本 (2013) は、解決方法が共通しているという理由から、理科で学習する「物体からの光を鏡が反射するときの光の通り道」と数学で学習する「最短距離の求め方」の転移について双方向の文脈から検討している。また、Malkiewich and Chase (2019) は、工学の授業で学習した重心に関する内容を工学以外の文脈へ転移させることを意図して理科が関わる内容を設定している。これらの研究は、学習の転移を促す条件について検討しているという点で共通しているものの、学習した文脈と転移させる文脈がどの程度異なるのかについて明確な言及がなされていない。

2点目は、学習の転移を評価する調査方法である。堀田・松浦 (2021) によると、多くの研究は転移の基盤となる学習を扱う授業の実施後、短期間のうちに学習の転移を評価する調査を行っている。しかし、Detterman (1993) が指摘しているように、このような転移研究における実践では転移課題の解答に際し、直前の授業で学んだことの使用を生徒に暗に示していることになるため、転移の評価としては課題が残る。このため、学習者の転移を適切に評価するためには、評価の時期と転移課題で扱う題材について、丁寧に検

討する必要がある。

以上の内容をまとめると、学習の転移が生じる条件の1つとして、学習内容と転移課題間の共通の原理・構造への気づきの重要性が示唆されていると考えられる。しかし、これらの先行研究では、学習した文脈と転移させる文脈がどの程度異なるか十分な検討がなされていないため、転移させる文脈と転移が生じる条件の関連について十分に調査できているとは言い難い。そこで、本研究では、学習した文脈と転移させる文脈の違いを明確にした調査方法を考案し、調査を行った。調査結果を基にして、学習の転移における共通の原理・構造への気づきの有効性について検討する。

2. 研究の方法

本研究は次の手順で展開した。まず、本研究で扱う転移の文脈を明確にするために、先行研究に基づいて学習の転移の捉え方を具体化した。次に、具体化した学習の転移の捉え方を基に、転移の文脈の違いや、学習内容と転移課題間の共通の原理・構造への気づきの影響について分析する問題及び調査方法を検討し、予備調査を実施した。そして、予備調査の結果を踏まえて調査問題の改善を行い、本調査を実施した。

3. 学習の転移の捉え方

3.1 学習の転移に関する理論的検討

学習の転移の定義については、「学習者の習得した知識や技能、解決方法を他の文脈に活かすこと」という規定が多くの研究において支持されている、（例えば、Cormier & Hagman, 1987; 服部, 2016; 犬塚, 2018）。しかし、先述の通り、「他の文脈」が「学習した文脈」とどの程度異なるかについての説明が不足しているという課題が残る。そこで、文脈について具体的に説明をしている研究を整理し、本研究で扱う文脈の種類を明確化する。

Barnett and Ceci (2002) は、区別が曖昧とされる近い転移と遠い転移の違いを明確にするために、「何が転移するのか」及び「文脈」の2つを考慮する必要性を述べており、特に文脈については以下の6つの視点があるとしている。

- ① 知識領域…知識が適用される領域はどこか。
- ② 物理的文脈…転移させる場所が学習したときの場所と同じか、あるいは異なる場所か。
- ③ 時間的文脈…学習内容を転移させる時期が授業内かあるいは、授業終了後から時間が経ってからか。
- ④ 機能的文脈…学習や転移が学術活動の一環である

か、あるいは、日常生活における活動の一環であるか。

- ⑤ 社会的文脈…個人学習の後、個人で学習内容を転移させるか、あるいは複数人と協力して学習内容を転移させるか。
- ⑥ 調査形式…学習時や転移させる際、課題がどのような形式で出題されるか（例えば、筆記形式か口述形式か）。

Barnett and Ceciによると、指導者側は生徒に教えた内容が、異なる知識の領域、学校外の物理的な文脈、数年後の一般的な文脈に転移することを望んでいることを踏まえ、教育においては①、②、③が重要であることを述べている。

Dori and Sasson (2013) も近い転移と遠い転移の違いを明確にするために、3次元転移スキルの枠組みを考案している(図1)。Dori and Sassonは、学習の転移を学習内容の類似性、知識や技能の熟練度、学際性(課題を考える際に必要となる内容領域の幅広さ)の3つの属性に分けて分類を行っている。単一の領域で学習した内容と類似度が高く、低次の知識・技能で解決できる問題は近い転移、複数の領域がかかわり、学習した内容と類似度が低く、高次の知識・技能を必要とするものは遠い転移ということになる。

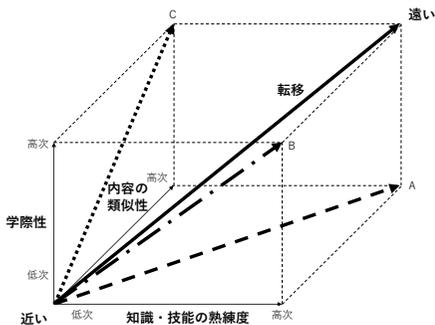


図1 3次元転移スキルの枠組み
※ Dori & Sasson (2013) を基に著者が翻訳

一方、Simons (1990, 1999) は、学習の転移を、近い、遠いではなく、学習者の学習展開に基づき、次の3つに分類している。

- ① 事前の知識とスキルから新しい学習への転移：
(例) 英語で書かれた文章の読み方を学習するとき、自分が普段使用している言語に関する知識を使用する。
- ② 学習した知識とスキルから新しい学習への転移：
(例) WordPerfect というテキスト処理プログラムの使用法を学んでおり、後に Microsoft Word の使用法を学ぶこととなっている。可能な限り簡

単に Word の使用法を学習できるように、Word Perfect の使用法を学習する。

- ③ 新しい知識とスキルから仕事や日常生活への転移：
(例) 授業でフランス語での会話を学習し、フランス語を話すゲスト招いたときに、実際にフランス語で話してみる。

①と②は、先行学習で習得した知識やスキルを後続学習へ転移させるという点では共通であるが、先行学習が後続学習の内容を加味して行われているかどうかで異なる。③は、学習を通して習得した知識やスキルを日常生活の場面へ転移させるものとなっている。

Barnett and Ceci (2002) や Dori and Sasson (2013) は、学習時の文脈と転移させる際の文脈間の差異点に着目し、その差異の大きさによって近い転移と遠い転移を明確にすることを提案しているのに対し、Simons (1990, 1999) は、学習展開に着目して学習の転移を捉えることを提案している。

3.2 本研究で扱う理科における学習の転移の文脈

転移の文脈について説明している研究を概観すると、Barnett and Ceci (2002) や Dori and Sasson (2013) は、転移研究で捉え方が曖昧とされていた「近い転移」「遠い転移」を判断するための観点を設けることで、転移させる文脈を明確にしたものである。しかし、各次元における「近い」「遠い」を判断する基準は明確になっていないという課題がある。一方、Simons (1990, 1999) は、学習展開に着目した分類方法であるため、転移課題においても具体的な違いを明確に設定できるため、文脈の違いを比較可能な枠組みであると考えられる。そこで、本研究の理科における学習の転移は Simons の捉え方を採用し、以下の3つの文脈に分けて設定した。

- 1. 単元内の転移
ある単元で学習した内容を用いて、同一単元の次の学習内容を考える。先行学習が後続学習の内容へ繋がる内容となっているため、Simons の枠組みでは、②に相当する。
- 2. 新しい学習への転移
ある単元で学習した内容を用いて、未習の異なる単元の学習内容を考える。1. と異なり、先行学習が後続学習の内容と繋がっていないため、Simons の枠組みでは、①に相当する。
- 3. 日常生活への転移
ある単元で学習した内容を用いて、日常生活で観察される現象を考える。Simons の枠組みでは③に相当する。

4. 予備調査

4.1 予備調査の調査デザイン

調査問題の作成に際し、まず、調査対象者を検討した。本研究で扱う学習の転移の特性上、転移させる知識等を学習済であること、その知識等を前述した3つの文脈に展開できること、という2つの条件をクリアする必要がある。理科の学習指導要領や教科書に基づいて考えると、調査対象を小学生とした場合、転移させる学習内容の設定が難しく、高校生以上とした場合、理科の科目選択の影響を考慮する必要が生じるとともに、新しい学習への転移に関する課題が難しくなる可能性がある。以上を踏まえ、中学生を調査対象とすることが望ましいと判断した。

また、調査問題の形式について、先行研究においては、被験者にある事象を提示し、その事象が生じる仕組みや原因を既習の内容を用いて考えさせる問題（転移課題）を用意し、調査用紙を一齐配布して実施しているものが多い（例えば、石井・橋本, 2013; Penuel et al., 2019）。本研究も、多くの生徒を対象に転移の実態を把握することが可能である調査用紙を用いた方法で学習の転移を評価することにした。また、複数の異なる文脈への転移において、学習内容と共通の原理・構造への気づきを把握する必要があることから、転移課題に加え、学習内容と転移課題間の共通の原理・構造に気づいていたか振り返る設問、転移させる知識等を理解しているか確認する設問を加えることにした。

4.2 予備調査の問題作成と実施

学習の転移を評価する調査問題を開発することを目的とした Penuel et al. (2019) の研究において、問題の内容や出題順が転移課題の正答率に影響を与えるこ

とが示されている。そこで、問題冊子の作成に際し、異なる題材を2つ選定し、出題順が異なる2種類の問題冊子を作成した。作成した転移課題の概要を表1に示す。

1つ目の題材は、小学校第6学年で学習する物の燃え方に着目したものであり、「酸素には物を燃やすはたらきがある」「二酸化炭素には物を燃やすはたらきがない」という知識を転移させる。単元内の転移の文脈では、小学校第6学年で学習する「集気びんの中でろうそくを燃やしたときの反応」、新しい学習への転移の文脈では、中学校第2学年で学習する「鉄の酸化反応」、日常生活への転移の文脈では、「二酸化炭素を用いた消火器」を取り上げた。

2つ目の題材は、中学校第1学年で学習する圧力に着目したものであり、「圧力は、力の大きさ(N)÷面積(m²)で求めることができる」という知識を転移させる。単元内の転移の文脈では、中学校第1学年で学習する「標高の違いによる大気圧の違い」、新しい学習への転移では、中学校第3学年で学習する「水深による水圧の違い」、日常生活への転移では「雪の上を歩くために用いるかんじき」を扱っている。

転移課題の評価基準は、各文脈の問題において、観察される現象、及びその現象が生じる理由を正しく記述しているものを1点、そうでないものを0点として評価することにした。なお、各問題の1点の評価基準を表2に示す。

振り返り問題は3問設けた。1問目は、物の燃え方、圧力についての知識を自由記述式で列挙させるものである。転移させる知識を被験者が理解しているか確認するために設けている。2問目は、1問目で挙げた知識を使えることに気づいたか、「はい」「いいえ」の二択で答えさせるものである。既習内容と転移課題間の共通の原理・構造への気づきが、転移課題の正誤に影

表1 予備調査問題の概要

扱う題材	物の燃え方	圧力
	(小学校第6学年で学習)	(中学校第1学年で学習)
転移させる知識	酸素には物を燃やすはたらきがある。二酸化炭素には物を燃やすはたらきがない。	圧力は、力の大きさ(N)÷面積(m ²)で求めることができる。
単元内の転移	集気びんの中に火をつけたろうそくを入れ、しばらくした後に観察される現象とその現象が生じる理由(ろうそく問題)。	大気圧が大きいのは、標高が高いところか、低いところか。また、そのように考えた理由(大気圧問題)。
新しい学習への転移	集気びんの中に火をつけたスチールウールを入れ、しばらくした後に観察される現象とその現象が生じる理由(スチールウール問題)。	水を入れたペットボトルの側面に穴を開けたとき、一番水が勢いよく出るのはどの部分か。また、そのように考えた理由(水圧問題)。
日常生活への転移	二酸化炭素を用いた消火器が火を消すことができる理由(消火器問題)。	かんじきを用いることで雪の上を歩くことができる理由(かんじき問題)。

表2 各問題における1点の評価基準

得点	物の燃え方 (全問共通)	圧力 (全問共通)
1	物を燃やすはたらきがある酸素の割合に着目して解答することができている。	面積、あるいは力の大きさの増減によって圧力が変わることに着目して解答することができている。
0	上記以外の解答。	上記以外の解答。

表3 各問題が1点の被験者の人数及び割合 (%)

扱う題材	物の燃え方 (N=157)		圧力 (N=79)	
単元内の転移	ろうそく	87 (55.4)	大気圧	19 (24.1)
新しい学習への転移	スチールウール	48 (30.6)	水圧	45 (57.0)
日常生活への転移	消火器	42 (26.8)	かんじき	52 (65.8)

響するか検討するために設けている。3問目は、2問目の質問への回答結果によって問いを変えた。「はい」と回答した場合、1問目に挙げた知識が使えると気づいた理由、「いいえ」と回答した場合、どのような知識を用いて考えたかを自由記述式で回答させるものである。

予備調査は、令和2年7月に広島県のA大学附属中学校第1学年78名、第2学年79名を対象に実施した。なお、学習進度の関係上、第1学年の生徒に圧力の問題は出題していない。調査時間は、第1学年で20分から25分、第2学年で35分から40分程度であった。

4.3 予備調査の結果

予備調査の分析にあたっては、調査問題が転移課題として適切に機能しているか、被験者自身の気づきを把握することができているか確認する。

表3に、表2に示した評価基準に基づいて評価した予備調査の結果を示す。物の燃え方に関する転移課題が1点(正答)であった被験者の割合は、単元内の転移においては半数以上、新しい学習への転移及び日常生活への転移においては約3割であった。一方、圧力に関する転移課題では、新しい学習への転移及び日常生活への転移において5割以上であるのに対し、単元内の転移においては約2割という結果になり、物の燃え方の問題とは対照的な結果となった。

表4 大気圧問題の解答類型 (N=79)

点数	類型	人数	割合 (%)
1点	圧力の知識、日常生活の経験を用いて	19	24.1
	標高が高くなると大気圧が大きくなるから	29	36.7
	標高が高いと空気が薄くなる	19	24.1
0点	日常生活の経験を用いて	6	7.6
	その他	5	6.3

このため、単元内の転移として出題した大気圧問題の正答率が低い原因を検討するために誤答理由について分析した。表4に大気圧問題の解答類型を示す。

表4に示すように、0点で多く見られた解答は、大気圧に関する誤った知識(例えば、標高が高くなるほど大気圧が大きくなる)を用いたものであり、既習内容である大気圧に関する理解が不十分のまま大気圧問題を考えていた可能性がある。大気圧問題は圧力の知識を転移させることを想定した問題であったが、(誤った)大気圧に関する知識を直接適用して解答しているケースが多く見られたことから、圧力の転移課題としては適しておらず、別の題材を検討する必要があることが明らかになった。

また、振り返り問題は、1つ目の質問で、物の燃え方や圧力とは関係ない知識、単語のみの列挙といった回答が多く見られ、被験者が正しい知識を持っているかどうかの判断が困難であった。このため、1つ目の質問の回答が影響する2つ目、3つ目の質問の分析を適切に行うことは難しい。したがって、振り返り問題については、問い方を全体的に見直す必要があると判断した。

5. 本調査の調査デザイン

5.1 調査問題の改良

予備調査の結果を踏まえ、本調査のデザインを検討した。予備調査では、物の燃え方、圧力に関する転移課題を作成して実施した結果、圧力の問題、特に大気圧問題は学習の転移を評価する題材として適していないことが明らかになった。また、調査問題の改良に際して公立中学校の理科担当教諭2名に改善点について意見を求め、主に振り返り問題についてアドバイスを得た。以下、具体的な改良点を述べる。

まず、転移課題については、題材を圧力から水の状態変化に変更することにした。また、予備調査問題で

は、単元内・新しい学習への転移課題においては観察される現象と理由を解答させるのに対し、日常生活への転移問題では理由のみを解答させるという問題構造であった。前者は、観察される現象も考える必要があり、問題の難易度が後者と比べて高くなっている可能性があったため、全ての設問で問題構造を統一した。表5に、上記の2点を踏まえて改良した調査問題の概要を示す。

1つ目の題材は、予備調査と同じ小学校第6学年で学習する物の燃え方に着目したもので、問題も同じものを使用している。ただし、観察される現象は問題文中に提示し、その現象が観察される理由を解答させる形式に変更した。

2つ目の題材は、小学校第4学年で学習する水の状態変化に着目したもので、「水は温められると水蒸気になり、冷やされると固体になる」という知識を転移させる。単元内の転移の文脈では、小学校第4学年の水のゆくえで学習する、「逆さまにしたコップを湿った地面にしばらく置いたときに見られる様子」、新しい学習への転移では、中学校第2学年の天気で学習する「霧ができる仕組み」、日常生活への転移では「結露」を扱っている。

評価基準は、物の燃え方の転移課題については予備調査と同じとした。新たに作成した水の状態変化においては、水の状態変化に関する知識（水蒸気は冷やされると水に変化する）を用いて解答できていれば1点

とし、それ以外は0点とした。

振り返り問題は、予備調査の結果を踏まえて問い方を大幅に修正し、図2に示すような形式にした。具体的には、まず(1)において、各問題でどのような知識を用いて考えたか、そしてその知識を使おうと判断したのは、問題文のどの部分を見たときか尋ねることにした。これらの記述を基に、既習内容と転移課題間の共通の原理・構造に気づいているか判断する。評価基準は、転移課題を解決する際に必要な知識を明記することができていれば1点、そうでないものを0点とした。

次に(2)において、転移させる知識を理解しているか尋ねることにした。予備調査では、関係のない内容や単語のみを挙げたケースが多く見られたことを踏まえ、本調査では問題文に具体的な内容を提示し、その内容をどのように理解しているか記述させる形式にした。物の燃え方の場合、図2に示したように、物の

- 次の(1)および(2)の項目について答えてください。
- (1) 各問題について、①その問題に解答するとき、理科に関するどのような知識を使って考えたか、②①で書いた知識は問題文のどの部分を見たとき使えると考えたか、それぞれくわしく説明してください。
- (2) 「ものが燃えることと、次に示す気体（酸素・二酸化炭素）の関係」について、説明してください。

図2 質問事項の概要（物の燃え方）

表5 改良した調査問題の概要

扱う題材	物の燃え方 (小学校第6学年で学習)	水の状態変化 (小学校第4学年で学習)
転移させる知識	酸素には物を燃やすはたらきがある。二酸化炭素には物を燃やすはたらきがない。	水（液体）は温められると水蒸気（気体）になり、冷やされると氷（固体）になる。
単元内の転移	集気びんの中に火をつけたろうそくを入れ、しばらくした後に火が消える理由（ろうそく問題）。	湿った地面の上にプラスチックのコップを逆さまに置き、放置すると内側に水滴ができる理由（コップ問題）。
新しい学習への転移	集気びんの中に火をつけたスチールウールを入れ、しばらくした後に火が消える理由（スチールウール問題）。	夜や朝方に霧ができる理由（霧問題）。
日常生活への転移	二酸化炭素を用いた消火器が火を消すことができる理由（消火器問題）。	寒い日の朝、窓ガラスに水滴がつく理由（結露問題）。

表6 (2) 知識問題の評価基準

得点	物の燃え方（酸素・二酸化炭素）	水の状態変化
2	物の燃え方における各気体の性質を正しく書いている。	水の三態を、温度変化を踏まえながら正しく書いている。
1	各気体の性質を正しく書いているが、転移課題の解決には関係のない内容を書いている。	正しいが、転移課題の解決には関係のない内容を書いている。
0	上記以外の解答。	上記以外の解答。

表7 各問題が1点の被験者の人数及び割合 (%) (N=221)

扱う題材	物の燃え方	水の状態変化
単元内の転移	ろうそく 74 (33.5)	コップ 86 (38.9)
新しい学習への転移	スチールウール 57 (25.8)	霧 49 (22.2)
日常生活への転移	消火器 44 (19.9)	結露 69 (31.2)

燃え方と各気体（酸素・二酸化炭素）の関係について説明を求めた。また、水の状態変化の場合は、その現象を具体的に説明するよう求めた。評価基準は、転移課題の解決に必要な理解ができていれば2点、正しい理解はできているものの転移課題の解決には関係ないものを挙げていれば1点、理解が不十分であれば0点とした。各問題の評価基準を表6に示す。

なお、問題冊子は予備調査と同様、2種類用意した。また、時間的制約や生徒の認知負荷を考慮し、転移課題6間は全員に課すものの、振り返り問題については一方の題材に関する問題のみを出題した。水の状態変化の振り返り問題を掲載したものをA冊子、物の燃え方の振り返り問題を掲載したものをB冊子としている。

5.2 調査対象と調査時期

本調査の対象は、転移課題で扱う題材の特性上、中学校第2学年で学習する化学変化、気象に関する内容を未習であることが条件である。この条件を踏まえ、広島県のA大学附属中学校第1学年75名、公立B中学校第2学年152名の計227名(A冊子:111名,B冊子:116名)を対象として、前者は令和3年3月中旬、後者は5月上旬に実施した。

6. 本調査の結果と考察

6.1 文脈の違いによる学習の転移の実態

まず、作成した評価基準を基に被験者の解答を評価し、文脈の違いによる学習の転移の差異を明らかにする。なお、分析にあたっては統計ソフトR (ver3.6.3)を用い、追加のパッケージとしてはrstan (ver2.19.2)を使用した。分析は解答に不備のあった6名を除く221名(A冊子:107名、B冊子:114名)で行った。

転移課題が1点(正答)であった生徒の人数・割合を表7に示す。表7に示したように、正答率は2割から4割と全体的に低い傾向であった。問題の特性上、転移課題は学習した知識を単に当てはめるだけでは解決できない問題であるため、中学生にとって難易度が高かったことが窺える。

文脈の違いに着目すると、物の燃え方、水の状態変化の両方において、単元内の転移は、新しい学習、日

常生活への転移より正答率が高い傾向が見られた。そこで、文脈間の難易度を比較するために、豊田(2016)を参考にベイズ統計に基づく3つの2項分布による比率の推測を行った。本分析では、2(正・誤)×3(文脈)のクロス表の推測をするため、データ生成分布として2項分布を用いる。事前分布については、各要素の出現確率の総和が1となる必要があることから、範囲が0から1までの一様分布を利用する。事後分布はStanを用い、ハミルトニアンモテカルロ法によって近似した。具体的には、ソフトウェアR上でrstanを実行し、長さ21000のチェーンを5つ発生させバーン期間を1000とし、MCMC法によって得られた100000個の乱数で事後分布、予測分布を近似した。分析の結果、各母数のRhatはすべて1.1を下回ったので事後分布へ収束していると判断した。表8～表11にそれぞれの母数の事後分布及び予測分布の数値要約(EAP推定)を示す。

表8 EAP推定値(事後分布・物の燃え方)

	EAP	post.sd	2.5%	97.5%
$p_{\#}$	0.336	0.032	0.276	0.399
$p_{\#}$	0.260	0.029	0.205	0.319
$p_{\#}$	0.202	0.027	0.152	0.257

表9 EAP推定値(事後分布・水の状態変化)

	EAP	post.sd	2.5%	97.5%
$p_{\#}$	0.390	0.033	0.327	0.455
$p_{\#}$	0.224	0.028	0.172	0.281
$p_{\#}$	0.314	0.031	0.254	0.376

表10 EAP推定値(予測分布・物の燃え方)

	EAP	sd	2.5%	97.5%
$x_{\#}^*$	74.4	9.9	56	94
$x_{\#}^*$	57.5	9.2	40	76
$x_{\#}^*$	44.6	8.4	29	62

表11 EAP推定値(予測分布・水の状態変化)

	EAP	sd	2.5%	97.5%
$x_{\#}^*$	86.3	10.2	67	107
$x_{\#}^*$	49.6	8.7	33	67
$x_{\#}^*$	69.3	9.7	51	89

要素間の差の検討については、「研究仮説 $U_{p_j < p_i} : p_i$ は p_j よりも大きい」が正しい確率 $p(p_j < p_i)$ を、生

表12 列のカテゴリが行のカテゴリより大きい確率
(物の燃え方)

文脈	$p_{単}$	$p_{新}$	$p_{日}$
$p_{単}$	0.000	0.039	0.000
$p_{新}$	0.961	0.000	0.071
$p_{日}$	1.000	0.929	0.000

表13 列のカテゴリが行のカテゴリより大きい確率
(水の状態変化)

文脈	$p_{単}$	$p_{新}$	$p_{日}$
$p_{単}$	0.000	1.000	0.045
$p_{新}$	1.000	0.261	0.983
$p_{日}$	0.955	0.017	0.000

成量のEAPで評価した。その結果を表12, 表13に示す。そして、各要素が1点の被験者の割合が、「単元内の転移>新しい学習への転移・日常生活への転移」の関係になるという連言命題の確率を算出したところ、物の燃え方は96.1%、水の状態変化は95.5%であった。

$$U_{p_j < p_i}^{(c)} = \begin{cases} 1 & p_j^{(c)} < p_i^{(c)} \\ 0 & \text{それ以外の場合} \end{cases}$$

したがって、本調査で用いた既習内容、文脈の違いで比較した場合、単元内の転移より、新しい学習及び日常生活への転移の方が難易度が高いと解釈できる。

6.2 学習の転移と知識・気付きの関係

振り返り問題の結果に基づき、転移課題と既習内容の理解や、既習内容との共通の原理・構造への気づきの関係を検討する。なお、分析にあたっては統計ソフト R (ver3.6.3) を使い、追加のパッケージとしては polycor (ver0.7.10) を使用した。分析は解答に不備のあった20名を除く207名 (A 冊子: 102名, B 冊子: 105名) で行った。まず、基礎集計として、振り返り問題の (1) が1点、(2) が1点以上であった被験者の人数・割合について、冊子 A (水の状態変化) を表14、冊子 B (物の燃え方) を表15に示す。

水の状態変化においては、表14に示すように、文脈が異なっても5割から7割の生徒は水の状態変化に関する知識を用いて考えられることに気づいており、水の状態変化に関する理解も7割の生徒が正しいものであった。多くの被験者は、水の状態変化について正しく理解した上で転移課題に取り組んでおり、その際、水の状態変化に関する知識を用いれば良いことに気づいていたと考えられる。

物の燃え方においては、表15に示すように、単元内の転移のろうそくに関する問題及び日常生活への転移

表14 冊子 A の振り返り問題で1点以上の生徒の人数及び割合 (N=102)

設問	得点	人数	割合 (%)
(1) コップ	1	71	69.6
(1) 霧	1	52	51.0
(1) 結露	1	57	55.9
(2) 水の状態変化	1	1	1.0
	2	73	71.6

表15 冊子 B の振り返り問題で1点以上の生徒の人数及び割合 (N=105)

設問	得点	人数	割合 (%)
(1) ろうそく	1	63	60.0
(1) スチールウール	1	44	41.9
(1) 消火器	1	63	60.0
(2) 酸素	1	5	4.8
	2	87	82.9
(2) 二酸化炭素	1	19	18.1
	2	38	36.2

の消火器に関する問題については6割の被験者が物の燃え方に関する知識を用いて考えられることに気づいている。一方、新しい学習への転移のスチールウールに関する問題では4割に留まっており、他の課題と比べて低い傾向が見られた。また、物の燃え方について解決に必要な正しい理解をしている2点の被験者は、酸素の場合8割と多いのに対し、二酸化炭素の場合は4割弱に留まった。多くの生徒が、転移課題を考える際に必要となる二酸化炭素に関する理解が不十分であった可能性がある。

次に、転移課題と振り返り問題の相関分析を行い、その結果を冊子 A (水の状態変化) について表16、冊子 B (物の燃え方) について表17に示す。なお、相関係数の大きさの目安については、水本・竹内 (2008) を基に、.10を弱程度、.30を中程度、.50以上を強程度と解釈した。まず、転移課題間 (①~③) に着目すると、水の状態変化、物の燃え方共に強程度の相関 ($r=51-89$) が見られた。ある文脈で学習の転移を成功させた被験者は、他の文脈においても転移を成功させる傾向が強いと考えられる。

また、転移課題 (①~③) と知識 (⑦または⑧) の相関に着目すると、水の状態変化は中~強程度の相関 ($r=.36-80$)、物の燃え方は弱~強程度の相関 ($r=.22-.86$) と課題と知識の組み合わせ次第で幅広い値を示した。当然の前提として、学習の転移を成功させるためには既習内容の正しい理解が必要であるものの、水の状態変化における②霧と⑦知識 ($r=.80$)、物の燃え方における③消火器と⑦知識 (酸素) ($r=.86$) のように強い相関を示すケースは少ないことから、知識以外

表16 冊子Aの転移課題、振り返り問題の相関 (n=94)

	①	②	③	④	⑤	⑥
①コップ	—					
②霧	.57[.41, .69]	—				
③結露	.79[.69, .85]	.59[.44, .71]	—			
④気づき(コップ)	.67[.55, .77]	.85[.78, .90]	.71[.60, .80]	—		
⑤気づき(霧)	.41[.23, .57]	.71[.59, .79]	.45[.27, .59]	.73[.61, .81]	—	
⑥気づき(結露)	.55[.39, .68]	.74[.63, .82]	.54[.38, .67]	.74[.63, .82]	.76[.66, .83]	—
⑦知識(状態変化)	.42[.24, .58]	.80[.72, .87]	.36[.17, .52]	.42[.24, .58]	.27[.07, .45]	.45[.28, .60]

表17 冊子Bの転移課題、振り返り問題の相関 (n=94)

	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
①ろうそく	—						
②スチールウール	.89[.84, .93]	—					
③消火器	.51[.34, .65]	.54[.38, .67]	—				
④気づき(ろうそく)	.37[.18, .53]	.45[.27, .60]	.23[.03, .41]	—			
⑤気づき(スチールウール)	.38[.19, .54]	.62[.47, .73]	.28[.08, .46]	.79[.70, .86]	—		
⑥気づき(消火器)	-.02[-.22, .19]	.28[.08, .46]	.25[.05, .43]	.61[.46, .72]	.55[.39, .68]	—	
⑦知識(酸素)	.28[.08, .46]	.22[.02, .41]	.86[.79, .90]	.28[.08, .46]	.16[-.04, .35]	.05[-.16, .25]	—
⑧知識(二酸化炭素)	.29[.09, .46]	.37[.18, .53]	.22[.02, .41]	.20[-.01, .38]	.20[-.01, .38]	.11[-.10, .30]	.27[.07, .45]

注) 相関係数は polycor パッケージを用いて算出。[]内は 95%CI を示している。

の側面についても考慮する必要がある。

そこで、転移課題(①~③)とその課題に対応する気づき(④~⑥)との相関に着目する。水の状態変化では強程度の相関($r=.54-.71$)、物の燃え方では中~強程度の相関($r=.25-.62$)が見られた。また、知識(⑦または⑧)と気づき(④~⑥)との相関に着目すると、水の状態変化においては、中程度の相関($r=.27-.45$)が見られた。一方、物の燃え方においては、④気づき(ろうそく)と⑦知識(酸素)に中程度の相関($r=.28$)が見られたのみで、それ以外は95%CIに0が含まれていることから無相関と判断した。

これらの結果から、どの文脈における転移においても、既習内容が使えることへの気づきと転移の成功に関連があることが示された。この結果は、気づきの重要性が述べられている石井・橋本(2013)やMalkiewich and Chase(2019)の主張を補強するものである。また、文脈の違いによる差異についての明確な判断は難しいものの、2つの題材に共通するものとしては、新しい学習への転移の文脈において気づきとの相関が大きくなっており($r=.71$ と $r=.62$)、日常生活への転移の文脈では相関が相対的に小さくなる($r=.54$ と $r=.25$)傾向が示されている。

一方、知識と気づきの相関は題材の違いによる差異が大きいことから、既習内容が転移課題の解決に使えることに気づくか否かは、文脈の違いよりも題材の違いの影響の方が大きい可能性がある。

7. まとめ

本研究では、学習した文脈と転移させる文脈の違いを明確にした調査方法を考案、中学生を対象に調査を行い、学習の転移における共通の原理・構造への気づきの影響について検討した。その結果、2点が明らかになった。1点目は、転移させる際に必要となる知識を多くの生徒が正しい理解をしていたにも関わらず、今回3つに分類したどの文脈においても、転移課題の正答率が低く、習得した知識を用いて転移課題を考えることに課題があることが明らかになった。特に新しい学習、日常生活への転移においてはその傾向が強く見られた。この結果自体は驚くべきものではないものの、転移の成否を転移させる文脈と関連づけて示した点が本分析の特徴であると考えられる。

2点目は、石井・橋本(2013)やMalkiewich and Chase(2019)が述べている、学習内容と転移課題間

の共通の原理・構造への気づきの重要性について、単元内、新しい学習及び日常生活という3つの異なる転移の文脈全てにおいて確認された。一方、解決に必要な学習内容の理解が、転移課題との共通の原理・構造への気づきには繋がるとは一概に言えないことが明らかになった。今回の調査では、水の状態変化は、全ての問題で相関が見られたが、物の燃え方は、酸素の知識とろうそく問題以外に相関が見られなかった。このことから、学習内容と転移課題間の共通の原理・構造への気づきやすさは題材に依拠する可能性が示唆された。

8. 今後の課題

本研究では学習内容と課題間の共通の原理・構造に気づくことが単元内、新しい学習及び日常生活といった文脈への転移に重要である一方、知識を持っていたとしても、その知識が転移課題に使えることに気づくとは限らないことが明らかになった。しかし、共通の原理・構造に気づくことができなかつた原因や気づいた際、どのような思考過程を経て結論を導出するかまでは明らかにすることができなかった。今後は、共通の原理・構造に気づくための条件、気づいてから結論を導出するまでにどのような思考をしていたかについても調査を行う必要があると考えられる。

引用文献

- Barnett, S. M., & Ceci, S. J. (2002). When and where do we apply what we learn? A taxonomy for far transfer. *Psychological Bulletin*, 128 (4), 612-637.
- Bransford, J., & Schwartz, D. (1999). Rethinking transfer: A simple proposal with multiple implications. *Review of Research in Education*, 24, 61-100.
- Cormier, S. M., & Hagman, J. D. (Eds.). (1987). *Transfer of learning: Contemporary research and applications*. Academic Press.
- Detterman, D. K. (1993). The case for the prosecution: Transfer as an epiphenomenon. In D. K. Detterman & R. J. Sternberg (Eds.), *Transfer on trial: Intelligence, cognition, and instruction* (pp. 1-24). Ablex Publishing.
- Dori, Y. J., & Sasson, I. (2013). A three-attribute transfer skills framework – part I: Establishing the model and its relation to chemical education. *Chemistry Education Research and Practice*, 14 (4), 363-375.
- 服部雅史 (2016) 「思考」御領謙・江草浩幸・菊地正 (共著) 『最新 認知心理学への招待：心の働きとしくみを探る [改訂版]』サイエンス社.
- 藤田敦 (2012) 「科学的知識の転移可能性と概念操作の関係」『日本教育心理学会総会発表論文集』第54号, 79.
- 堀田晃毅・松浦拓也 (2021) 「理科が関わる学習の転移に関する諸外国を中心とした研究動向」『理科教育学研究』62 (1), 23-35.
- 犬塚美輪 (2018) 『認知心理学の視点：頭の働きの科学』サイエンス社.
- 石井俊行・橋本美彦 (2013) 「教科間における学習の転移を促す条件に関する考察とその提言：理科「光の反射」と数学「最短距離」の作図を通して」『科学教育研究』37 (4), 283-294.
- 萩原浩・西川純 (1999) 「小学校生物（動物）領域における学習転移に関する研究」『理科教育学研究』40 (2), 41-50.
- Malkiewich, L. J., & Chase, C. C. (2019). Focusing processes: Potential pathways for transfer of science concepts from an engineering task. *International Journal of Science Education*, 9 (2), 1-21.
- 水本篤・竹内理 (2008) 「研究論文における効果量の報告のために：基礎的概念と注意点」『英語教育研究』31, 57-66.
- National Research Council. (2000). *How people learn: Brain, mind, experience, and school*. National Academies Press.
- Penuel, W. R., Turner, M. L., Jacobs, J. K., Horne, K., & Sumner, T. (2019). Developing tasks to assess phenomenon - based science learning: Challenges and lessons learned from building proximal transfer tasks. *Science Education*, 103 (6), 1367-1395.
- Perkins, D.N., & Salomon, G. (1994). Transfer of learning. In T. Husén & T. N. Postlethwaite (Eds.), *The international encyclopedia of education* (2nd ed.). Pergamon Press.
- 白水始 (2012) 「認知科学と学習科学における知識の転移」『人工知能学会誌』27 (4), 347-358.
- Simons, P. R. J. (1990). Transfervermogen. [Transferability] *Inaugural lecture*. Nijmegen: Quick Print.
- Simons, P. R. J. (1999). Transfer of learning: Paradoxes for learners. *International Journal of Educational Research*, 31 (7), 577-589.
- 豊田秀樹 (2016) 『はじめての統計データ分析：ベイズ的〈ポストp値時代〉の統計学』朝倉書店.
- Ucar, S. (2014). The effects of simulation-based and model-based education on the transfer of teaching with regard to Moon phases. *Journal of Baltic Science Education*, 13 (3), 327-338.