

理科における体験の四角錐モデルを用いた「問題解決的な学習」の研究

ープロセス・スキルズの向上を目指してー

教職実践基礎領域
松井 優也

I はじめに

1 研究の目的

本研究の目的は、体験の四角錐モデルを基にした問題解決的な学習が科学の問題解決能力にあたるプロセス・スキルズの向上に効果的であるかどうかを検証することにある。具体的には、4年生の理科「ものの温度と体積」で体験の四角錐モデルを基にした「問題解決的な学習」を実践する。また、実践の前段階には、児童の原体験を確認し、補填する活動を取り入れた。さらに、この実践が児童の科学的思考やプロセス・スキルにどのような影響与えたかについて、質的・量的に実証し、科学的思考やプロセス・スキルズの向上に影響を与えたかを明らかにする。

本研究の Research Question

- ・理科において、「体験の四角錐モデル」を基にした問題解決的な学習が、科学的思考やプロセス・スキルズにどのような効果を与えることができるかを明らかにする。
- ・科学的思考とプロセス・スキルズの間を再定義する。

理科教育について湯澤（1998）は、子どもが日常知（日常体験によって形成される知識）に基づいて自ら課題を定義し、その課題を解決する中で、科学知を学んでいくことを提言している。また、山田（2009）は「子どもの取り巻く状況がどのように変わっても、予想を立て、それを確かめる具体的な方策を考え、実施し、さらに検討を重ねて、より考えを深める。それが理科教育に求められている大切な要素である。」と提言している。ここから、児童の日常体験での疑問や問題を基に、仮説を立て、検証し、考察し、一般化していくという問題解決的な過程を理科教育の中に入れていく必要があると言えるだろう。子どもたちの日常体験を把握したり、補填したりした上で、児童の学校知に変容させていかなければならないと考えた。そこで、Dale,E.の「経験の三角錐」を基に小林（2009）が考案した、「科学的な問題解決能力の育成に関わる体験・活動の積み上げを示す四角錐モデル」（以後「体験の四角錐モデル」）を基に「理科学習における問題解決的な学習」の実践を行った。本研究はその実践を、実証し、考察を行ったものである。

2 科学的思考について

現代では理科教育をする上で、科学的思考力は育成すべき重要な能力の1つとなっている。武村（2000）

によれば、科学的思考力とは「科学的思考を可能にする能力を意味する。では、科学的思考とは何かというと、科学者が新しい事実や法則を見つけ出すまでに払った一連の思考過程であるというべきであろう」と述べられている。また、平成22年5月に示された『小学校、中学校、高等学校及び特別支援学校等における児童生徒の学習評価及び指導要録の改善について』で示された「科学的な思考・表現」とは「自然の事物・現象から問題を見出し、見通しをもって事象を比較したり、関係付けたり、条件に注目したり、推論したりして調べることによって得られた結果を考察し表現して、問題を解決している。」と述べられている。

さらに、湯澤（1998）は「証拠からいえることだけを厳密に考えるのが「科学的思考」と述べている。「証拠からいえることだけ」という意味は、誰がどう見ても妥当だといえる「客観性」を示唆していると捉えることができるだろう。「厳密に考える」という意味は、何度観察・実験を行っても同じという「再現性」、考えた結論の事実性を検証する「実証性」を示唆していると捉えることができるだろう。

「科学的思考」とは科学における問題解決をしていくにあたって「客観性」「再現性」「実証性」を持った思考の過程であると定義づける。

3 プロセス・スキルズについて

科学における問題解決の過程には、さまざまな能力が必要である。科学における問題解決の過程での様々な活動のことを「プロセス・スキルズ」と小林（2010）は定義し、「技能と同様に知識を活用して訓練を重ねることで思考パターンを習得することができます。」と述べ、プロセス・スキルズを活用していくことで、思考過程を身につけることができると解釈できよう。つまり、科学的な問題解決の思考過程が科学的思考であるため、「プロセス・スキルズ」は科学的思考の因子と考えることができる。プロセス・スキルズのそれぞれの項目を向上させたり、項目同士を繋げたりすることが、科学的思考の向上と言えるだろう。

加藤は（2012）は、小学校に身につけさせたいプロセス・スキルズを Padilla（1991）が示している12項目のプロセス・スキルズと Ostlund（1992）が示している15項目のプロセス・スキルズと、昭和44年度中学校学習指導要領の理科（文部科学省、1970）の中で取り上げられている13項目のプロセス・スキルズを比較、検討し、11項目に選定した。選定した11項目

は、「観察」「予想」「観察・実験の計画」「分類」「測定」「伝達・データの収集」「推論」「条件のコントロール」「仮説の設定」「データの解釈」「モデルの作成」である。一方で、吉山・小林（2012）は”Science-a process approach commentary for teachers”の掲載されている13項目のプロセス・スキルの定義を基に中学校理科教科書に掲載されている観察・実験に必要なプロセス・スキルズを分析した。この研究によると、「観察する」、「時空の関係をを用いる」、「分類する」、「数を使う」、「測定する」「伝達する」「予測する」、「推論する」「変数を制御する」「データを解釈する」「仮説を設定する」「操作的に定義する」「実験する」の13項目である。

本研究におけるプロセス・スキルズは、科学的思考の因子であり、因子は加藤の検証した11項目のプロセス・スキルズと定義する。加藤の検証した11項目のプロセス・スキルズを向上させたり、プロセス・スキルズの間を強くさせたりすることが、科学的思考の向上と言えるだろう。

4 問題解決的な学習

問題解決的な学習の理論的背景として、『問題解決学習』のデューイ（J.Dewey）の経験主義が理論的根拠である。依田（2004）によると、「①現状への適応主義的教育観②科学、学問の系統性の軽視③「はいまわる経験主義」による基礎学力低下の招来④過度の自発性尊重ゆえの教師の指導性の後退、などの諸問題が指摘され、（中略）、しだいに衰退していった。」と述べ、問題解決学習が実践されなくなった。しかし、「知識の一方的な教え込みから自ら考え自ら学ぶ教育」への転換のための鍵となる教育方法として、問題解決学習の意義が再認識されるようになり、各教科で「問題解決的な学習」を行うことが重視されている。

「問題解決的な学習」は「問題解決過程を含む学習」のことである。湯澤（1998）は、クーン（1988）とスロフスキー（1996）が子どもの科学的思考を調べるために利用した課題を考察することにより、「子どもが日常知に立脚しながら思考し、解決方法を探索できるようにしたとき、子どもの思考や活動は、より効果的で、科学的なものとなる。」と述べ、日常知から児童に問題解決をさせることが重要であることがわかる。

さらに、問題解決過程にも様々な形が存在する。角屋（2011）は問題解決過程を「問題設定→予想計画→観察実験→結果のまとめと考察」と定義している。村上（2013）は問題解決過程には8つの段階があると述べ、「自然事象への働きかけ→問題の把握→予想・仮説の設定→検証計画の立案→観察、実験の実施→結果の処理→考察の展開→結論の導出」としている。2つの問題解決過程の比較してみると、角屋の問題解決過程の1つ1つを細かく分類したものが、村上の問題解決過程となると捉えることができる。しかし、森本

（1993）は、こういった問題解決の定式化は子どもが精神的に白紙の状態の問題の処理に当たることが大前提であるとし、児童の持っている日常知の重要性を指摘している。つまり、児童の学習前の状態を知った上で、授業を行うことが重要であるといえよう。

本研究における問題解決的な学習は、児童の日常知や既習内容をある程度把握した上で、児童と教材とのギャップを意識した問題を設定しながら、「問題提示→予想→実験→考察→概念化→振り返り（児童の問題把握・既習事項）」という問題解決過程で学習していくものと定義する。（問題解決過程の再考察は後述する。）

5 体験の四角錐モデル

体験の四角錐モデルとは、小林（2009）が経験の諸活動をモデル化したDale,E.の「経験の三角錐」を参考に体験の積み上げをイメージ化したものである。「経験の三角錐」とは、依田（1979）によると、デール（Dale,E.）が「学習指導における視聴覚的方法」（1946）の中で、各種学習経験を比喩的分類図、または模式図にまとめて示したものである。（中略）意図するところは、（1）およそ3種に分類される具体性の高いものから抽象性の高くなる学習経験の相互関係性を強調し、（2）具体的・抽象的学習経験に対応する教授メディアの選択、または学習経験配分の基準の模式図を使って提示したものである。」と定義している。ここで述べられている3種とは、児童の直接的感覚によって学ぶ層、視覚象徴に至る層、言語象徴の層である。つまり、3種の層を積み上げていくことによって、抽象的な言語概念を形成することができるということである。小林はこの「経験の三角錐」を用いて「体験の四角錐モデル」という理科学習モデルを完成させた。

本研究の体験の四角錐モデルは、小林の提唱する「体験の四角錐モデル」のことである。「体験の四角錐モデル」についての理論的な考察については、後述する。

II プロセス・スキルズに関する理論的考察

本章では、研究の主となる「プロセス・スキルズ」について論じ、本実践で向上させるべきプロセス・スキルズについて考察していく。

加藤（2012）は小学校に身につけさせたいプロセス・スキルズをPadilla（1991）が示している12項目のプロセス・スキルズとOstlund（1992）が示している15項目のプロセス・スキルズと、昭和44年度中学校学習指導要領の理科（文部科学省、1970）の中で取り上げられている13項目のプロセス・スキルズを比較、検討した。加藤は、「プロセス・スキルズは、学習者レベルで使用する場合には、下位プロセス・スキルズ（以後下位プロセス）が存在するが、ここで検討しているプロセス・スキルズはそうした学習者レベルで

使用されるプロセス・スキルの上位概念である。」と述べ、11項目を選定している。下位プロセスは、それぞれのプロセス・スキルズを具体的な行動で示したものである。

一方で吉山・小林（2011）は、”Science-a process approach commentary for teachers”を基に、プロセス・スキルの定義を分析している。吉山らによると、プロセス・スキルズは、13項目と定義づけている。

加藤と吉山らのプロセス・スキルズを比較検討することで、本研究のプロセス・スキルズを定義づける。

【表1「観察」特徴と下位プロセスの比較 筆者作成】

加藤の「観察」の特徴	五感を多く用いて情報を収集すること。
吉山・小林の「観察する」下位プロセス	五感の少なくとも4つ以上を用いて物や状況の性質を見分けたり名付けたりできる。
	定量的な用語で観察文を作成することができる。
	ある物の特徴の変化の観察文を作成することができる。
	観察と推論の違いを明らかにすることができる。

表1は比較検討をした際の「観察」を取り出したものである。加藤の「観察」には、「特徴」しか書かれておらず、学習者の行動で捉えにくい。一方で、吉山らは、下位プロセスを設定し、具体的な学習者の行動で判断することができる。本研究においては、発達段階を考慮すると、加藤の小学生に身につけたいプロセス・スキルズであるが、吉山らのように、下位プロセスを設定しなければ、児童の行動から判断すること困難である。そのため、加藤の小学生に身につけさせたいプロセス・スキルズに、吉山らの下位プロセスを参考にしながら、11項目のプロセス・スキルズに下位プロセスを37項目定義した。

【表2 本研究におけるプロセス・スキルズ 筆者作成】

	項目	特徴	下位プロセス
1	観察	五感を多く用いて情報を収集すること。	自分が感じたことを文章にすることができる。
			変化しているものを見つけることができる。
			観察したものを記録することができる。
2	予想	既知の知識や経験などをもとに未知の現象の結果を予想すること。	既習したことや経験したことから、事象や現象の結果を予想することができる。
			予想の根拠を述べることができる。
			いろいろな予想を自分の確信の程度によって順位づけることができる。
3	観察・実験の計画	観察や実験の方法を考えること。	実験の手順を説明できる。
			安全に実験器具を使うことができる。
			事象・現象が起こる要因を考えることができる。
4	分類	事物・現象を特性や基準をもとにいくつかの範疇にグル	事物の特徴を把握し、特徴を命名することができる。
			既習事項や今までの経験から、一定の基準を持って事物や現象を見ることができる。

		一歩分けをしたり、順序づけたりすること。	同じ性質のものと違う性質のものを区別することができる。
			自分自身の基準を持って程度の違いで順位づけすることができる。
5	測定	温度や質量などを測定したり、要因・条件の測定のしかたを考えたりすること。	長さ、質量、時間などを測る簡単な装置を使用することができる。
			測定したい要因を考え、結果との因果関係を考えることができる。
			長さ、面積、質量、温度などの量を簡単に見積もることができる。
6	伝達	事物・現象を言葉、グラフや図を用いたりして表現すること。	友だちにわかるように自分の考えを発表することができる。
			変化しているものを説明することができる。
			グラフや観察記録にある目立っていることを説明することができる。
			事物・現象を言葉を用いて表現できる。
7	推論	収集したデータや情報をもとに、事物・現象の原因や結果を推測すること。	観察したことを基に、自分の考えを持つことができる。
			自分の考えの根拠を持っている。
			観察・実験したことをもとに、新しい考えを導きだせる。
			推論が正しいか間違っているかを新しい観察をもとに判断することができる。
8	条件のコントロール	実験結果に影響する要因・条件を発見し、原因となる要因だけを操作し、他のすべての条件を一定にすること。	事物・現象の変化が起きている原因を見つけることができる。
			実験結果に影響する要因や条件を見つけることができる。
			要因や条件を理解して操作することができる。
			実験に影響する要因や条件だけを変化させ、適切な実験を行うことができる。
			実験に影響する要因や条件以外を一定にする意味を理解している。
9	仮説の設定	根拠を基に仮説を設定することができ、検証方法を考えること。	仮説を設定した根拠を述べることができる。
			仮説の検証方法を考えることができる。
			仮説を検証するために行った観察・実験に基づいて仮説を改修することができる。
10	データの解釈	データを整理することとそれから予想や結論、推論を導くこと。	観察・実験した結果を整理することができる。
			グラフや表が示す情報から、推論や予想、仮説を形成することができる。
			観察・実験した結果から結論を表現することができる。
11	モデルの作成	事物・現象を、モデルを使って説明すること。	直接確認できないものを、既知の具体物を用いて表現することができる。
			観察・実験した事実から、心的イメージとしてとらえて表現することができる。

以上の下位プロセスを満たすような活動を設定し、プロセス・スキルズを向上させる。

Ⅲ 「体験の四角錐モデル」に関する理論的研究

本章では、問題解決的な学習と「体験の四角錐モデル」の理論的考察を行う。

1 『理科における問題解決的な学習』の理論的考察

本研究における問題解決的な学習は、児童の日常知や既習内容をある程度把握した上で、児童と教材とのギャップを意識した問題を設定しながら、「問題設定→予想・仮説→観察・実験→考察→概念化→振り返り（児童の問題把握・既習事項）」という問題解決過程で学習していくものと定義した。重要となる部分は問題解決の柱となる「問題」と問題を解決するための過程である「問題解決」のをどのように設定するかである。そこで、「問題」と「問題解決」を考察し、児童にとって望ましい「問題」、「問題解決」を明らかにする。

「問題」について、R.M.ガニエ（1982）は、問題解決学習の中の「問題」とは、児童にとって説明不可能な事物・現象を意味していると述べている。問題を設定する際の教師の留意点として、子どもの習得している概念や法則が適用できない問題場面を設定すると、子どもは問題に対して解決不可能となる。したがって、子どもが問題に対して解決可能となるには、提示される問題が子どもの既習概念や法則と接近関係にあることを必要であると述べている。さらに、湯澤（1998）は、子どもが日常的な体験から習得した概念のことを「素朴概念」と定義し、素朴概念を踏まえて、「日常知による問題解決」の授業を行っていくことで、素朴概念を科学概念に変容させていくことが重要であると述べている。つまり、児童の既習事項や素朴概念を把握した上で、「問題」設定をする際には、児童にとって説明不可能であり、学習が進むにつれて、既習概念や素朴概念と関係性を見いだしていけるような「問題」を設定していくことが重要である。さらに、村上（2013）は、子ども主体の問題解決ができていない実態の背景として、教師自身が問題解決を理解していないことと子どもが問題を設定したり解決したりすることができないことが要因であると述べている。さらに、理科における「問題」は、「教師が一方向的に提示するものではなく、子どもが何らかの事象に働きかけたり、経験や既習事項を想起したりしながら見いだすもの」と定義している。つまり、教師自身が問題解決を理解した上で、児童とともに問題解決に当たっていくことが重要である。

- ①児童にとって説明不可能な事物・現象であること
- ②子どもの既習概念や素朴概念と接近関係にあること
- ③児童とともに「問題」を設定していくこと

以上のことから、児童にとって望ましい「問題」には、三つの条件があると捉えた。三つの条件を意識した「問題」を設定していける授業展開を行っていく。

次に「問題解決」の過程について、理論的考察を行う。理科教育では、様々な問題解決の過程を踏んだ学習が行われているため、角谷（2011）、村上（2013）、森本（1993）、松本（2009）の4つの「問題解決」の過程を比較検討した。



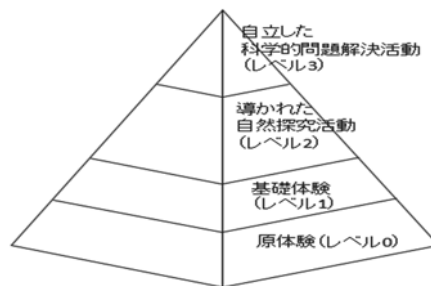
【図1 比較検討した問題解決過程 筆者加工】

4つのグループのように観察・実験の後にすぐに結論となると、個人で観察・実験結果を考察することができず、話し合うことができない。つまり、個人思考の時間を確保することができないため、小集団思考や全体思考に移行することができなくなってしまう。そのため、結論の部分を考察と概念化（結論）に分ける。また、学習に繋がりをを持たせるために、振り返りを設定した。以上より、本研究における理科における『問題解決的な学習』を定義した。

本研究による問題解決過程：問題設定→予想・仮説→観察・実験→考察→概念化→振り返り

2 「体験の四角錐モデル」の理論的考察

小林（2009）の提唱する「体験の四角錐モデル」のそれぞれの段階の役割を明らかにする。（図2）



【図2 「体験の四角錐モデル」（小林，2009）】

【原体験段階（レベル0）】

小林（2009）は、原体験を「生物やその他の自然物、あるいはそれらにより醸成される自然現象を触覚・嗅覚・味覚をはじめとする五官（感）を用いて知覚したもので、その後の事物・現象の認識に影響を及ぼす体験のこと」と定義している。つまり、五官（感）ということは直接、事物や現象に児童が働きかける直接体験が重要であり、今後の概念形成に影響を与える体験のことを原体験と定義づけている。

【基礎体験（レベル1）】

基礎体験段階は、科学・技術に対する今日意味・関心を高めたり科学的な探究の基盤となる知識や技能を修得したりする段階である。小林（2009）によると「原

理や法則は理解できなくてもよいものととらえ、その過程で科学・技術に対する興味・関心を高めたり工夫したりするものである。その過程で科学・技術に対する興味・関心を高めたり工夫したりすることを体得すれば目的達成できたと考えたい。」と述べている。つまり、児童の興味・関心を科学・技術に向けさせ、何かしらの工夫をさせる段階である。この段階を問題解決の視点で考えると、問題設定の段階であると捉えることができる。

【導かれた自然探究活動（レベル2）】

小林（2009）によると導かれた自然探究活動は、「教科書的な内容を取り上げ、観察を行ったり、因果関係を独立変数と従属変数との関係としてとらえ、定量的なデータを収集して考察したりする学習に重点をおく段階である。また、観察・実験を通して知識や概念の形成に主たる目的を置く学習もここに含めるとする。」と定義している。つまり、問題解決を行って、知識や概念を形成することが目的の活動である。1時間の活動を問題解決の過程で行い、繰り返していくことで、知識や概念が形成し、問題解決の過程も経験することができる。さらに、「導かれた」という表現は、教師主導で問題解決の過程を進めていくことである。教師主導で問題解決の過程を進めていくうちに、児童は問題解決の過程を経験し、自らも問題解決の過程で物事を考えられるようになっていくことであろう。

【自立した科学的問題解決活動（レベル3）】

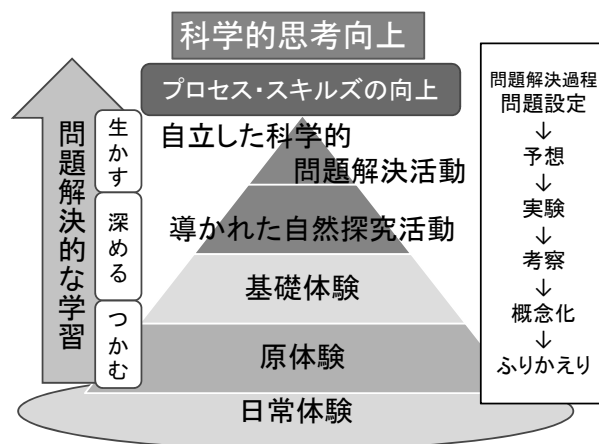
小林（2009）によると、自立した科学的問題解決活動は、「子ども自身が自然の事物・現象から問題を見出し、仮説に基づいた観察・実験の計画を立案し、自らが観察・実験を行い、データ収集を行ったり考察したりしてレポートの作成まで行う段階である。」と述べている。つまり、子どもたち自らが問題解決を行っていくということである。

以上がそれぞれの段階の役割である。しかし、「導かれた自然探究活動」と「自立した科学的な問題解決活動」は、小学校、中学校で行う活動であるが、扱う内容の程度は異なるとも述べている。その背景にあるものは、ピアジェの思考の発達段階によるものである。依田（1972）によると、ピアジェの思考の発達段階は、感覚運動期（0歳～2歳）、前操作期（2歳～6,7歳）、具体的操作期（6,7歳～11,12歳）、形式的操作期（11,12歳～14,15歳）の4つの段階に分かれている。その中で、問題に直面して、これに必要な仮説を立て、これらの仮説を検証して結論に達するという科学的思考が可能になるのは、形式的操作期であると述べている。つまり、学年に応じて、思考の発達が異なるため、発達段階に応じた「導かれた自然探究活動」や「自立した科学的な問題解決活動」を行っていく必要があるということである。発達段階的に考えた際、4年生の児童には、科学的思考をすることが難しい傾向がある。そのため、

「自立した科学的問題解決活動」では、教師が補助しながら、「導かれた自然探究活動」よりも子ども主導の問題解決を行っていく必要がある。

3 研究構想図

以上の理論研究を総括し、研究構想図を示す。



【図3 本研究の研究構想図 筆者作成】

IV 実践概要

対象児童：S市立S小学校第4学年

月組（28名）雪組（29名）で実践

実施期間：平成27年10月5日～10月30日

学習内容：第4学年理科「ものの温度と体積」

「体験の四角錐モデル」，「身につけさせたいプロセス・スキルズ」を加えた単元計画を表3に示す。

【表3 授業実践とプロセス・スキルズとの関わり 筆者作成】

時	段階	課題	身につけさせたい プロセス・スキルズ
1	原体験	飯田線の「ガタンゴトン」の秘密	「観察」音を聞き分ける，写真から要因を見つける 「伝達」小集団での話し合い活動をする
	基礎体験	飯田線の「ガタンゴトン」の秘密～パート2～	「観察」写真の違いを見つける 「伝達」小集団での話し合い活動をする 「仮説の設定」既習事項や自身の概念を根拠として仮説を形成する
3		電車の重さによって金属がのびる？	「予想」自身の経験から予想を形成する 「測定」定規を用いて長さを測定する 「データの解釈」実験結果から結論を考える 「伝達」小集団や全体の話し合い活動をする 「推論」実験結果から，電車の重みで線路が延びたかどうか判断する 「仮説の設定」実験に基づいて，仮説を改修することができる
4		温度によって	「観察」変化を見つける 「観察・実験の計画」安全に実験

	導かれた自然探究活動	金属がのびる？ ちぢむ？	を行う 「データの解釈」実験結果から結論を表現できる。 「伝達」小集団や全体の話し合い活動をする
5		金属はどんな風に大きくなるかな？	「分類」友だちのモデルと自分のモデルの違いを分類する 「モデルの作成」目に見えないものを、既知のイメージとして捉える 「伝達」小集団での話し合いや全体での話し合い活動をする
6		温度によって水は体積が変化するのかな？	「観察」実験の変化を観察する 「予想」金属の変化の仕方と関連付けて考える 「データの解釈」実験結果をまとめ、結論を導く 「伝達」小集団での話し合いや全体での話し合い活動をする 「推論」実験結果から、温度と水の体積の関係を結論づける
7		温度によって空気は体積が変化するのかな？	「観察」実験の変化を観察できる 「予想」金属の変化の仕方と関連付けて考えることができる 「データの解釈」実験結果をまとめ、結論を導く 「伝達」小集団での話し合いや全体での話し合い活動をする 「推論」実験結果から、温度と水の体積の関係を結論づける
8		水と空気はどちらが温めると大きくなる？	「観察」比較実験から何が違うのかを観察する 「分類」金属、水、空気の違いと共通点を分類する 「推論」金属の粒子モデルから、水、空気の粒子モデルを推論する 「モデルの作成」水、空気のモデルを作成する 「伝達」イメージしたことやモデル化したことを伝える
9	自立した科学的な問題解決活動	車に忘れ去られた飲み物	「観察」原因を見るけることができる。 「伝達」小集団や全体での話し合い活動をする 「推論」観察した内容を基に結果を推測する 「仮説の設定」仮説を設定した根拠を述べる
10		車に忘れ去られた飲み物～Part2～	「観察」実験の様子を比べて違いを見つける 「伝達」小集団での話し合いや全体での話し合い活動をする 「予想」既習した内容から、実験結果を予想する 「データの解釈」実験結果から、結論を表現する

V 研究の実証

本研究の実証・考察は、量的研究と質的研究の両方を実践し、実証・考察をした。量的研究では、実践前

と実践後にアンケートを実施し、 α 係数、実習前と実習後の対応のある t 検定、パス解析を用いた。一方で、質的研究では、授業ごとと児童の学力別の変容の2つの視点で実証・考察を行った。授業ごとでは、授業実践後の子どものふりかえりを **Triangulation** し、筆者の主観でプロセス・スキルズの分析を行っている第2時、第5時、第9時の授業については **text mining** を行い、実証・総合考察を行った。また、児童の学力別の変容では、**Triangulation** に抽出児一人一人の総合考察を加え、筆者の主観で児童をプロセス・スキルズ高、プロセス・スキルズ中、プロセス・スキルズ低（以後学力高、学力中、学力低）の3つのグループに分類し、それぞれのグループの児童のふりかえりを **text mining** につけ、実証・考察を行った。

1 量的研究による実証・考察

量的研究では、実践前（2015年10月5日）と実践後（2015年10月30日）にアンケート調査を実施し、プロセス・スキルズに関わる内容について子どもたちに意識調査を行った。アンケート項目は、加藤（2012）のプロセス・スキルズの項目と吉山・小林（2009）の下位プロセスを参考に、小学4年生の児童が理解できるように作成した。質問項目は以下の通りである。

【表4 アンケート項目 筆者作成】

プロセス・スキルズ	質問項目
観察	自分が感じたことを文章にすることができる。
	変化しているものを見つけることができる。
	観察したものを記録することができる。
伝達	友だちにわかるように自分の考えを発表することができる。
	変化しているものを説明することができる。
	グラフや観察記録にある目立っていることを説明することができる。
推論	観察したことを基に、自分の考えを持つことができる。
	自分の考えの根拠を持っている。
	特徴からきまりやルールを見つけることができる。
データを解釈する	目立っていることを言葉で説明することができる。
	記録を比べることができる。
	記録から「たぶん」を話すことができる。
実態把握	いいだ線に乗ったことがある。
	電車に乗ったときの音を言葉で書いてみよう。
	線路を書いてみよう。

本実践で扱う10項目のプロセス・スキルズのうち、「観察」「伝達」「推論」「データ解釈」の4つを選定した。選定した理由を述べていく。「観察」は、本単元において、「変化」を見つけることが重視される実験が多いためである。「伝達」は、問題設定や予想、考察、

概念化をなどほとんどの活動の中で小集団思考を取り入れ、他者に説明する場面を重視して単元を構想したからである。「推論」は、「自立した科学的問題解決活動」の際には、教師の支援なしに、結論に辿り着く姿が望ましい。そのためには、実験や既習事項と事象を結びつけて考えることが必要とされる。「自立した科学的問題解決活動」の前に、児童の「推論」する力を身につけさせたいと考え選定した。「データの解釈」は、「推論」と同様に、「自立した科学的問題解決活動」を行う上で、欠かすことのできないプロセス・スキルのため、選定した。

本アンケート調査は、S 市立 S 小学校 4 年月組 (28 名)、4 年雪組 (29 名) を対象に調査を行った。サンプル数は欠席があり、実践前は 56 名、実践後は 53 名となっている。上記のアンケート調査による量的実証・考察は、SPSS・ α 係数、平均値の比較、Amos によるパス解析を用いる。

(1) SPSS・ α 係数

SPSS (ver.22) による因子分析・ α 係数を用いた因子の生成について述べる。

先行研究にあった因子を使用し、アンケート項目を作成したが、プロセス・スキルズと質問項目に相関関係があるのかは不明である。そこで、内的一貫性を実証する。内的一貫性とは平井 (2012) によると、「内的整合性ともよばれ、同じ概念を測定する尺度内で、受験者の個々の項目の得点がどの程度一貫しているかを見ます。」と述べている。つまり、本研究においては、プロセス・スキルズと質問項目の整合性を実証することである。そのために、 α 係数を用いて、本研究におけるプロセス・スキルズと質問項目の整合性を実証した。実証した結果は、以下の通りである。

【表 5 信頼性係数 (α 係数) の結果】

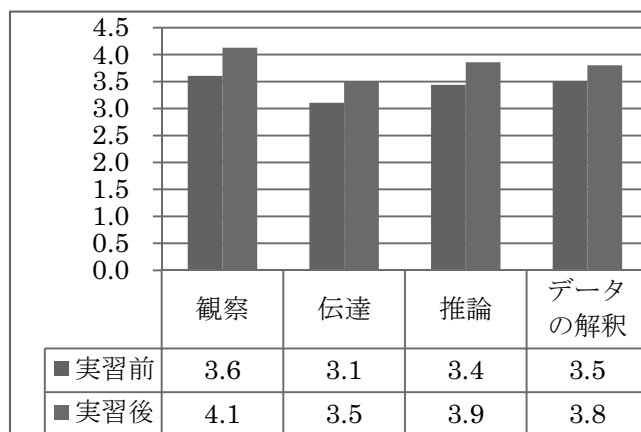
観察	伝達	推論	データの解釈
0.722	0.825	0.724	0.816

「伝達」「データの解釈」の α 係数は、基準値 ($\alpha > 0.8$) を満たしているが、「観察」「推論」については基準値を満たしていない。しかし、 α 係数の基準値を満たしていないが、本実践においては、これらを尺度として量的研究について述べていく。

(2) 実践前後の平均値の比較 (対応のある t 検定)

実践前後のアンケート調査を α 係数によって生成した因子の平均値の比較について述べていく。

因子は内的一貫性を実証した「観察」、「伝達」、「推論」、「データの解釈」の 4 つである。それぞれの因子について、3 つの質問項目が存在するため、3 つの質問項目の得点の平均値の比較をする。さらに、SPSS(ver.22)で実習前と実習後の対応のある t 検定を行い、平均値の比較が有意であるか実証した。



【図 4 実習前後の平均値比較】

【観察】 $t(53) = 3.12, p < .01$

【伝達】 $t(53) = 2.16, p < .05$

【推論】 $t(53) = 2.04, p < .05$

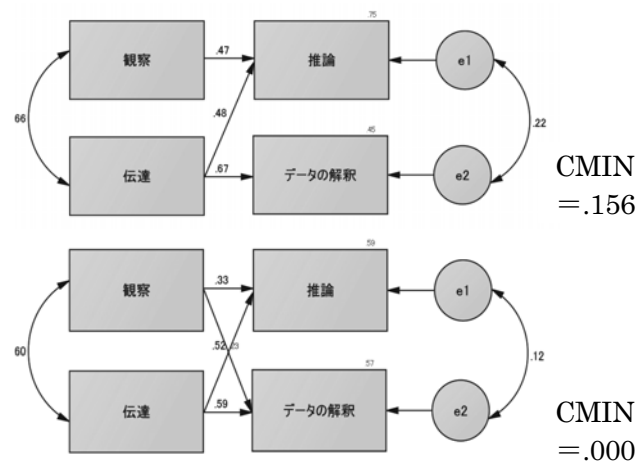
【データの解釈】 $t(53) = 1.45, p > .05, N \cdot S$

以上の結果から、「観察」、「伝達」、「推論」については、 t 検定が有意であった。

(3) パス解析による相関関係

Amos によるパス解析を行い、生成した 4 つの因子の関連性の変化について実証・考察を行う。つまり、実習前と実習後で児童の 4 つの因子に対する因果関係や相関関係がどのように変容したかを実証し、考察していく。

以下の図は、実習前と実習後に行ったアンケート結果を用いたものである。また、本実践のパス解析は、観測変数のみで行った。



【図 5 Amos によるパス解析 (上: 実習前, 下: 実習後)】

以上の結果をまとめると表 6 のようになる。

【表 6 パスの変容のまとめ】

因果関係		
関係性	実習前	実習後
観察→推論	.48	.33
観察→データの解釈	.05	.52
伝達→推論	.47	.23
伝達→データの解釈	.64	.59
相関関係		
観察↔伝達	.66	.60

(4) 量的研究の総合考察

α 係数によって生成した因子「観察」「伝達」「推論」「データの解釈」は、平均値の比較によって、向上したと言える。その妥当性は t 検定で検証した通りである。

また、パス解析をした結果から、「観察」と「伝達」に相関関係が存在する。五感を用いて観察ができることや人に伝える伝達ができることは、それぞれのプロセス・スキルズが関係性を持っていると言えよう。しかし、児童にとって実習前と実習後で、相関関係があまり変化をしなかったということは、本実践を行う前から「観察」と「伝達」については関係性があったのだと言える。つまり、「観察」と「伝達」の相関関係は本実践の成果でないのであろう。

一方で、「観察」と「データの解釈」の項目は実習前と実習後と比較すると因果関係が強くなっている。つまり、観察した情報を解釈できるように児童がなつたと理解できよう。このことは、別々に存在していたプロセス・スキルズが関係性を持ち、一部ではあるが問題解決の思考過程に至ったといえる。つまり、科学的思考が向上したことを意味していると考察する。

しかし、児童の具体的な姿を捉えてきておらず、「体験の四角錐モデル」が有効であったのかどうか不明である。そのため、質的研究によって、その2点を明らかにする。

2 質的研究の実証・考察

量的研究での実証が妥当であるのか、具体的にどんな姿になったのか、体験の四角錐モデルが機能していたのかを児童の毎回のふりかえりを分析することで実証していく。質的研究である各クラス三人の抽出児に注目した Triangulation と text mining を活用し、授業面と児童面の実証・考察を行う。授業面では第2時、第5時、第9時の授業実践を中心に、プロセス・スキルズを活用できた授業になっていたか体験の四角錐モデルを具体化した授業になっていたか実証・考察する。児童面では、単元を通して、児童の思考過程がどのように変容したのかを実証・考察する。

(1)(2)では、本研究で用いた実証方法論を述べ、(3)では授業面の実証(4)では児童面の実証を行い、(5)では質的研究の総合考察を行う。

(1) Triangulation

本研究は、筆者の実践を、研究という形でまとめているため、アクションリサーチ(以下ARとする)と言えるだろう。倉本(2010)は、ARを行うにあたって、「自らの実践を調査対象とする場合、客観性、妥当性等、様々な批判的指摘が出そうである。」と述べ、主観だけでない客観性・妥当性を取り入れることの重要性を指摘している。

客観性・妥当性を取り入れるための方法論として、倉本(2014)は、「主観と主観による「間主観性によ

って可能な限り客観性にアプローチする」ARを検討対象とする。そのARで典型的なものは、「第1人称・第2人称・第3人称論」(First-Person, Second-Person, Third-Person, Triangulation)による複眼/間主観的な行為研究論である。」と提案している。さらに、第1人称、第2人称、第3人称について倉本がまとめたものを筆者なりに解釈したものを表7に示す。

【表7 倉本による第1人称、第2人称、第3人称 倉本(2010)をもとに筆者作成】

Triangulation の構成視点	対象	役割
第1人称	実践主体者(実践者)	主観によって自己の行為を考察する。
第2人称	実践対象者 実践に関わった関係者(白井)	第2人称の主観を基に、第1人称が行った、行為を再分析する。
第3人称	実践研究者(倉本)	1・2人称との対立関係を前提としながらも、それらの知覚/認識や主観性、および社会現実の文化的意味づけを体系化・構築化する。

これらのことを踏まえて、本実践を間主観によって可能な限り客観性に近づけ実証していく。



【図6 Triangulation のイメージ図 筆者作成】

(2) text mining

Triangulation と併用して text mining も行っていく。text mining とは、藤井(2005)によると Heatst(1999)の考えを基に、「大量の(テキスト)データから規則性や(ルールやパターン)を見だし、データのなかの雑音と取り除くことによって、新たな情報や知識を発見することである。」と述べている。つまり、「自由記述」や「振り返り」などの膨大なデータから、関係性を構築し、データの傾向や規則性を見いだすものが text mining といえよう。また、小杉(2005)は text mining のことを「得られたデータを極力客観的に(分析者の主観が入らないように、誰が分析しても

同じ結果が出るように) 扱いつつ、意味ある情報を引き出そうとする試み」と述べ、text mining が客観性を見いだすことに優れていると指摘している。

本研究では、WordMiner(ver1.1)を用いて授業ごとの児童のふりかえりを授業で見つけないプロセス・スキルズを基に分類し、text mining で構成要素の類型化を行った。そして、各クラスターの特徴とそれぞれの授業ごとに設定したプロセス・スキルズの関係性から、児童の持つプロセス・スキルズの内容を考察する。

最後に、Triangulation の総合考察と text mining で導き出された概念を照らし合わせることによって、客観性をもった実証を行う。また、児童の変容を分析するために、学力別の児童のふりかえりをプロセス・スキルズを基に分類し、WordMiner を用いて、児童のふりかえりを text mining で分析し、構成要素の類型化を行う。授業ごとの分析と同様に Triangulation の総合考察と text mining で導き出された概念を照らし合わせる。

（３）授業面の実証

第 1 時から第 10 時までの授業を Triangulation と text mining を用いて実証を行った。(text mining＝第 2, 5, 9 時) その中でも、第 9 時の総合考察を示す。

【表 8 第 9 時の総合考察（月組）】

時	9 時間の総合考察
9	<p>第 9 時は、雪組と月組で問題提示の仕方を変えてしまったので、どちらの問題設定の仕方が有効であったかを判断する。雪組の問題設定の仕方は、飲み物の中身を見せずに問題（なぜ飲み物はあふれたか）の原因を考えさせた。そのため、4 年生段階で目に見えない事象を捉えるのは困難であったため、自立した科学的問題解決活動を行うことができなかった。この反省を活かし、月組では、飲み物の中身を見せて問題の原因を考えさせた。つまり、雪組と月組の問題設定のさせ方の違いは、「問題提示の簡易化」であるといえよう。</p> <p>雪組は、飲み物の中身を推測して考えたため、Triangulation でも「仮説の設定」が活用され、月組は、飲み物の中身がわかっているため、Triangulation では「推論」が活用されている。text mining では、雪組と月組のふりかえりを同時にかけたため「推測」と「仮説の設定」が現れている。</p> <p>どちらの問題設定のさせ方が良かったのかというと、月組の問題設定のさせ方の方が有効であったと考える。text mining の結果から「現象に直接関係のないものを思考」と述べていたが、どの言葉も雪組で出された言葉であった。つまり、雪組は「観察」段階で事象と直接関係のないものを観察対象にしている。そのため、「水が多い方（あまり飲んでいない方）があふれる」という仮説を立てたと解釈できよう。一方で月組は、飲み物の中身を観察できたため、空気と飲み物の量の違いに気づき、結論と同じ仮説を形成することができた。</p> <p>以上のことから、雪組と月組に行った実践の比較により、児童の実態に合わせた問題設定のさせ方が重要であるといえる。本実践においては、月組の「問題設定の簡易化」が有効な手段であった。しかし、白井の「前時の水と空気の共通点・相違点がまとめられていたり、前時</p>

	を振り返る提示があったりすれば、雪組と同じ展開でも、問題解決ができたのではないかと振り返っている。」と考察しているように、問題設定の前段階に手立てを講じることによって、自力で解決することができた可能性もある。つまり、自立した科学的問題解決活動では、実践者自身が、児童の自力解決の過程を把握し、児童が自力で見つけられるような手立てを講じていくことが重要であることがわかる。そのための手立てとして、「問題設定の簡易化」や「既習事項のまとめ」などが有効であろう。
--	--

（４）児童の変容の実証

二人称と三人称の考察を用いながら、児童一人一人の変容を考察し、抽出児 6 名を（雪組 3 人、月組 3 人）学力高、学力中、学力低に分類し、それぞれの段階で text mining をかけた。6 名すべての考察と、学力別の text mining を分析したが、学力高の児童の考察だけ示す。

【表 9 児童の変容の考察（学力高）】

段階	成果	課題
学力高	<p>○観察が向上（現象を表現することができる）</p> <p>○推論が向上（獲得した概念を基に、事象を推測できる）</p> <p>○データの解釈が向上し（実験結果から事象を結論付ける）</p> <p>○仮説の設定が向上（観察をもとに仮説を設定できる）</p> <p>△伝達が向上（体験をもとに説明できる）</p> <p>○観察・推論・データの解釈の関係性向上（観察を基に推論・データの解釈ができる）</p>	<p>▼データの解釈をする中で、「予想」と「仮定」の区別がついていない。</p> <p>▼身につけさせたいプロセス・スキルズの 10 項目のうち、5 項目しか、ふりかえりに現れていない。</p>

（５）質的研究の総合考察

Triangulation と text mining を用いて、児童のふりかえりを実証・考察を行った。

授業ごと Triangulation と text mining を用いた。ふりかえり実証・考察では、身につけさせたいプロセス・スキルズの 10 項目のうち、8 項目が向上したといえよう。また、それぞれのプロセス・スキルズの関係性を 6 パターン構築できたといえよう。さらに、「体験の四角錐モデル」は、自立した科学的問題解決活動は課題が残されたが、原体験、基礎体験、導かれた自然探究活動は具体的な授業として表現でき、児童も活動することができていた。

単元を通しての児童の変容の実証・考察では、各段階で、プロセス・スキルズを向上させることができた。しかし、ふりかえりに現れていないプロセス・スキルズは実証・考察をすることができず、学力高の児童と学力低の児童に大きな格差が生じてしまったといえるだろう。

VI おわりに

1 成果

(1)「体験の四角錐モデル」の有効性

原体験段階では、児童の現状把握を「聞こえる音」と「線路の絵」を用いて、判断した。ほとんどの児童が「飯田線」に乗ったことがあり、第1時の授業実践で、倉本が「原体験」を具体化する意味で一定の成功と言えよう」と述べていることから、児童の日常体験を原体験へと変容させることができた。

自立した科学的問題解決活動では、児童の日常体験を想起させ、科学的思考やプロセス・スキルズを活かす問題設定をすることができた。白井の第10時の月組の「単元を通して話し合いの形を工夫し、子どもの創る授業、子どもの想いが発言として表れる授業実践であった。」と考察しているように、児童が自力で問題を解決することができたといえよう。

以上のそれぞれの段階における成果により、「体験の四角錐モデル」を具体化した授業を行うことができ、児童もそれぞれの段階の活動を行えたと解釈することができる。また、白井や倉本の考察にあるように、児童の日常体験を学習に意味ある体験「原体験」を想起させ、それぞれの体験活動を積み上げていくことができたと考えられる。

(2) プロセス・スキルズの視点

プロセス・スキルズ	量的	質的	具体的な児童の姿
観察	○	○	自身の学習シートに実験結果を自分なりにまとめ、そこから解釈をする児童や観察・実験から事象を結論づける。
伝達	○	△	象を自分の経験したことを用いながら学習をまとめたり、自身の言葉を使って記録をまとめたりしている。
データの解釈	○	○	自身の学習シートに実験結果を自分なりにまとめ、そこから解釈をする児童や観察・実験から事象を結論づける。
推論	△	△	ヨーグルトの中身から現象を既習事項を用いて推測できる。

(3) 科学的思考の視点

関係性	量的	質的	具体的な児童の姿
観察→データの解釈	○	○	積変化のスピードに注目し、金属、水、空気の体積変化の違いを結論づける。
伝達→データの解釈	○	△	月組10時の話し合い活動である。自分たちの意見を出し合い、考えを深めていった。
観察→推論	×	△	一部の児童しか身につけさせることができなかったが、月組第9時の授業である。観察した事実から、既習事項を基に事象を推定することができた。

2 課題

(1)「体験の四角錐モデル」の課題

2つの課題が示す。第1に「導かれた自然探究活動」では、授業ごとの繋がりをどのように持たせるかに課

題が生じた。第2に「自立した科学的問題解決活動」では、本当の意味で児童だけの力で問題を解決させることができなかったことに課題が生じた。現象の要因を見つけ出すことが困難であったため、児童だけで解決することができず、教師主導となってしまった。

(2) プロセス・スキルズと科学的思考の視点

2つの課題示す。第1に、実践前にもともと身につけているプロセス・スキルズや科学的思考の程度によって、実践中に身につけるプロセス・スキルズや科学的思考が大きく変わってしまう点である。質的研究の児童の変容を学力別（プロセス・スキルズ高、中、低）に検証したが、学力高と学力低の児童では、身につけたプロセス・スキルズや科学的思考が大きく異なる。この差は、実践を行う度に大きくなっていくであろう。どの学力の児童でも同じように身につける手立てが必要である。第2に、本研究は児童のことを把握していない段階から実践を行ったため、もともと児童がどの程度プロセス・スキルズや科学的思考をどの程度習得しているのかが把握していない状態であった。そのため、本実践を通して、身につけたのか、もともと身につけていたのかが曖昧である。分析方法に加え、把握する方法も重要であり、本研究の課題である。

1つの手立てとしては、プロセス・スキルズ1つに対して、3～4程度の下位プロセスが存在していたが、さらに細分化し、児童のプロセス・スキルズチェック表を作成しておくことによって、実態把握に加え、分析も行うことができるのではないかと考える。

《参考文献》

- ・湯澤正通 『認知心理学から理科学習への提言』 北大路書房, 1998
- ・山田卓三・秋吉博之 『理科教育法』 大学教育出版, 2009
- ・小林辰至 『問題解決能力を育てる理科教育—原体験から仮説設定まで—』 梓出版社, 2009
- ・『小学校、中学校、高等学校及び特別支援学校等における児童生徒の学習評価及び指導要録の改善について（通知）』（別紙5各教科等・各学年等の評価の観点等及びその趣旨） 文部科学省中央教育審議会, 2010年
- ・吉山泰樹・小林辰至 『プロセス・スキルズの観点からみた観察・実験等の類型化—中学校理科教科書に掲載されている観察・実験等について—』 理科教育研究 Vol.52, 2011, P107～P119
- ・加藤尚裕 『プロセス・スキルに視点を当てた問題解決能力の指導に関する予備的研究—小学校理科におけるメタ認知ツールの開発をめざして—』 国際経営・文化研究 Vol.16 No.2, 2012, P67～P76
- ・村上哲也 『小学校理科「問題解決」8つのステップ—これからの理科教育と授業論—』 東洋館出版社, 2013
- ・角谷重樹 『楽しい学びを拓く理科授業の理論と実践—小学校編—』 ミネルヴァ書房, 2011
- ・森本信也 『子どもの論理と科学の論理を結ぶ理科授業の条件』 東洋館出版社, 1993
- ・理科教育研究会著 『新学級指導要領に定める理科教育』 東洋館出版社, 2009
- ・日本教育方法学会編 『現代教育方法事典』 図書文化社, 2004
- ・平井明代 『教育・心理系研究のためのデータ分析入門』 東京書籍, 2012
- ・小塩真司 『はじめの共分散構造分析 Amosによるパス解析』 東京図書, 2008
- ・藤井美和、小杉考司、季政元編集 『福祉・心理・看護のテキストマインニング入門』 中央法規出版, 2005
- ・倉本哲男 『学校組織調査方法 デザイン・方法・技法 第12章アクションリサーチの教育実践への活用論』 藤原文雄・露口健司・武井敦史編集, 学事出版, 2010