

<論文題目>

クリティカル・シンキングを誘発する理科実験  
授業モデルの開発

東京学芸大学大学院 連合学校教育学研究科  
学校教育学専攻 自然系教育講座  
配置大学 東京学芸大学  
R19-6002 後藤 勝洋

# 目次

論文の概要 .....	7
<b>第1章 研究の背景 .....</b>	<b>9</b>
第1節 研究の背景と問題提起 .....	9
第1項 CT教育の広がり .....	9
第2項 CTの定義 .....	10
第3項 CTが求められている社会的意義と科学的意義 .....	12
第4項 科学的探究過程とCTを関連させる必要性 .....	14
第5項 CTと関連させた科学教育の現状と課題 .....	16
第2節 CT教育研究の動向・先行研究から見る課題と研究への示唆 .....	18
第1項 CTの4つのアプローチから見るCT研究の動向 .....	18
第2項 CTと問題解決学習(PBL: Problem-Based learning)を関連させた研究 .....	20
第3項 国内のCT研究の動向 .....	22
第3節 背景の整理と問題の所在および研究の方針 .....	25
第1項 科学プロセスにCTを導入する際の課題と解決策の提案 .....	25
第2項 イマージョンアプローチの有効性の議論 .....	26
第4節 第1章のまとめ .....	26
参考文献 .....	27
<b>第2章 研究の目的と研究指導モデルの開発・研究方法 .....</b>	<b>33</b>
第1節 本研究の目的 .....	33
第2節 指導モデルの開発と指導方略 .....	33
第1項 CTを育む理科教育への示唆 .....	33
第2項 Generative CT (GCT) モデルの提案 .....	35
第3項 GCTモデルを理科の問題解決学習に適用する指導方略 .....	37
第4項 CT態度面を育成する学習環境の構築 .....	40
第3節 検証方法と本研究の構成 .....	41
第1項 検証方法 .....	41
第2項 研究対象校の実態 .....	42
第3項 本論文の構成 .....	43
参考文献 .....	43
<b>第3章 錯視により物の量の判断を考え直す3年生理科「物と重さ」の授業 .....</b>	<b>46</b>
第1節 研究の背景と目的 .....	46

第1項	物の重さにおける先入観の存在と認知的葛藤による修正.....	46
第2項	錯視を用いた学習と CT.....	47
第3項	研究の目的.....	48
第2節	研究方法.....	48
第1項	錯視に対する児童の思考を調査する質問紙調査.....	48
第2項	CTを感覚に適応するための指導方略.....	49
第3項	授業実践.....	51
第3節	結果と考察.....	53
第1項	錯視に対する児童の思考を調査する質問紙調査の結果.....	53
第2項	実験群の各授業時の様子.....	55
第3項	評価テストの結果と考察.....	57
第4節	本章のまとめ.....	59
参考文献	.....	60
付録資料	ものの重さに関する問題.....	61
<b>第4章</b>	<b>理科の同時双方向型オンライン授業での図を用いた意見交換による CT 育成の効果の検証.....</b>	<b>63</b>
第1節	研究の背景と目的.....	63
第1項	オンライン授業と CT への問題提起.....	63
第2項	双方向オンライン学習と現状の課題.....	64
第3項	オンライン双方向授業において図を用いることによる CT 育成への期待.....	65
第4項	研究の目的.....	65
第2節	研究方法.....	66
第1項	図の映写による意見交換.....	66
第2項	授業実践の方法.....	67
第3項	本授業法の下での CT 能力・態度の検証方法.....	69
第3節	結果および考察.....	71
第1項	授業実践の様子とチャットの記述分析.....	71
第2項	電流の図の結果.....	74
第3項	質問紙の分析.....	75
第4節	本章のまとめ.....	78
参考文献	.....	79
<b>第5章</b>	<b>児童の CT を誘発し、主体的な学びを促進するアンビシャスターゲットツリーの活用.....</b>	<b>81</b>
第1節	研究の背景と目的.....	81

第1項	主体的な学びを促進する CT の活性化 .....	81
第2項	教育のための TOC 思考ツールを用いた主体的学びの促進の可能性 .....	82
第4項	研究の目的 .....	84
第2節	研究方法 .....	84
第1項	理科実験での ATT の活用手法 .....	84
第2項	ATT を用いた授業の特徴 .....	86
第3項	授業実践の方法 .....	87
第4項	指導法の効果測定方法 .....	89
第3節	結果および考察 .....	91
第1項	ATT の有効性の評価 .....	91
第2項	振り返りの記述の評価 .....	95
第3項	質問紙の分析 .....	97
第4節	本章のまとめ .....	100
	参考文献 .....	101

## **第6章 フローチャート型実験計画表によりクリティカル・シンキングを引き出す理科実験授業モデルの提案.....103**

第1節	研究の背景と目的 .....	103
第1項	他者とのかかわりの中で育まれる CT 能力 .....	103
第2項	実験計画段階における CT .....	104
第3項	研究の目的 .....	105
第2節	研究方法 .....	105
第1項	FC 型実験計画表の開発 .....	105
第2項	実験計画の妥当性の相互評価活動 .....	106
第3項	実験計画後の振り返り活動 .....	107
第4項	指導法の効果測定方法 .....	107
第5項	授業実践 .....	109
第3節	結果および考察 .....	111
第1項	FC 型実験計画表の作成 .....	111
第2項	第 9, 10 授業時における意見交換の様子 .....	112
第3項	第 11, 12 授業時における実験 .....	113
第4項	実験群の議論の特徴 .....	114
第5項	実験計画及び実験の質的評価 .....	115
第6項	実験計画検討場面での批判的な記述の変化 .....	117
第7項	質問紙の分析 .....	118
第4節	本章のまとめ .....	119

参考文献	120
<b>第7章 児童が作成した情報の信頼度表を基に相互評価する活動を通してCT能力を育成する指導法に関する研究</b>	<b>121</b>
第1節 研究の背景と目的	121
第1項 理科におけるCT	122
第2項 メディア・リテラシーとCT	122
第3項 研究の目的	123
第2節 研究の方法	123
第1項 授業法の開発	123
第2項 指導法の効果測定方法	125
第3節 結果および考察	127
第1項 授業実践の質的検証	127
第2項 記述分析による授業効果の検証	131
第3項 質問紙の分析による授業効果の量的測定	134
第4節 本章のまとめ	136
参考文献	137
<b>第8章 個別学習を促進するアンビシャスターゲットツリーの活用</b>	<b>139</b>
第1節 研究の背景と目的	139
第1項 個別最適な学びへの問題提起	139
第2項 教育のためのTOCとアンビシャスターゲットツリー	140
第3項 研究の目的	141
第2節 研究方法	141
第1項 ATTを活用して学びを個別化する授業の開発	141
第2項 第4学年理科「物の温まり方」における具体的なATTの活用方法	142
第3項 検証授業の方法	144
第4項 指導法の効果測定方法	145
第3節 結果および考察	146
第1項 ATTリスト分析及び感想の記述分析	146
第2項 理解度テストの結果分析	150
第4節 本章のまとめ	152
参考文献	153
<b>第9章 研究の成果と課題</b>	<b>155</b>
第1節 研究の成果と課題	155
第1項 各章における研究成果のまとめ	155

第2項 汎用的スキルとしての転移の可能性と本研究の限界.....	162
第3項 本研究の課題.....	164
第2節 結論と本研究の発展.....	164
第1項 総合結論.....	164
第2項 本研究の発展.....	165
参考文献.....	166
付録資料 他单元における GCT モデルの活用案.....	167
<b>謝辞.....</b>	<b>168</b>

# 論文の概要

## <背景と目的>

クリティカル・シンキング(CT)は、変動の著しい社会を生きるための汎用的思考方法の一つである。実験や理論に基づき探究する理科教育では、CT を活用した効果的問題解決が期待できる。しかし理科教育での CT の先行研究は、実験後の考察に集中し、仮説推論、検証方法の検討、実験などの各段階での CT 活用の検証が少ない。

本研究は、科学的探究プロセス、即ち、問題の発見、仮説推論、検証方法の立案、実験・観測の実施、考察、結論の導出の各段階について、現行の授業時数などを逸脱せず CT を働かせ、問題解決を促進し、なおかつ CT の能力を高める理科授業が可能かどうかを実践的に明らかにする。そのために、小学校理科実験授業の問題解決に CT を効果的に活用する理科授業モデルを開発する。

## <方法>

本研究では理科教育に適用する CT の定義を、教育研究で広く採用されてきた Ennis (1989)による定義「何を信じ何を行うかの決定に焦点を当てた合理的で反省的な思考」とした。

授業形態として、CT 自体についての授業を明示的には行わず、学習者には教科内容に深く没入させたまま CT を働かせるイマージョンアプローチ(Ennis, 1989)を採用した。そして以下に述べる生成的 CT(Generative CT, GCT)モデルを提案し導入することでこのアプローチの実現を図った。

GCT モデルでは、検討の前提となる命題から CT を経て意思決定する過程で、学習者の自己検討と、他者との対話による相互検討を反復し、学習者が判断を自己修正する。この自己及び相互検討を駆動するために、考えを表出する為の、問題に適合した表現ツール(フォーカス・ツール)を導入する。このツールは教科内容への学習者の没入を促す作用も想定される。

CT 態度面の能力測定については、木下・山中・中山(2013)による小学生の質問紙尺度などに基づき行った。質問紙回答の因子を確認して、因子ごとに児童の CT 態度面の事前事後変容を検討した。理科の問題解決の評価は、フォーカス・ツールに表現された内容や、討論内容の分析及び記述統計によった。

## <結果と考察>

本論文では、科学的探究の流れに沿う 6 実践を報告する。第 1 に、仮説推論の前提となる観察・観測の態度を養うため、第 3 学年「物の重さ」において観察行動への GCT の適用を試みた。物の大きさ等の視覚的判断を批判的に見直すため、フォーカス・ツールとして錯視現象を採用した。

第2に、仮説推論におけるGCTの効果検討のため、第4学年「電気の働き」において、乾電池と豆電球の回路で明るく点灯する回路を予想させ、電流のイメージ図をフォーカス・ツールとして描かせ、明るくなる理由を討論させた。

第3に、仮説と検証の反復過程でのGCTの効果検討のため、第5学年「電流の生み出す力」において、電磁石を作り、所定重量の重りを吊り上げることを目標とするものづくり授業を行った。フォーカス・ツールには制約の理論（Goldratt, 1990）のアンビシャス・ターゲット・ツリー（ATT）を導入した。ATTは大目標を中目標に分割し、中目標毎の実現の制約と解決策を挙げ、制約を解消する手順を決める手法である。

第4に、最適な実験計画を検討するGCTの検証のため、第6学年「水溶液の性質と働き」においてフォーカス・ツールとしてフローチャート（FC）型実験計画表を導入した。FC型実験計画表では、全体目的のための複数実験を構成し、各実験を手順と道具と安全注意、及び判別方法と結果のグラフを付加した。

第5に、考察の論拠に対してGCTの効果を検証するため、第6学年「ものの燃え方と空気」において、情報の5段階信頼度表を作成し、相互検討する授業モデルを実践した。実験結果や考察に信頼度を付記するワークシート（WS）を作成させ、WSをフォーカス・ツールとして燃焼と空気に関する3つの実験の予想と考察について討論した。

第6に、児童自らの理解に対するGCTの効果検証のため、第4学年「物のあたたまり方」において、ATTを自らの課題と対処法を可視化するフォーカス・ツールとして用い、学習の自己最適化を試みた。

第1及び第6実践は学習者自身の観測観や理解に対してのCTである。理解度テストによる評価を行い、実験群は対照群を有意に上回る成績、また事前事後での有意な向上が見られた。第2~5実践は現象や実験計画などに対してのCTである。児童のATT、発話、記述の分析から、実験群では表現と意見交換の両面の活動で、各々の問題解決活動が活発であることが知られた。さらに事前事後の質問紙調査により、いずれの実践の実験群も授業を経てCT態度面に有意な向上を示した。

<結論>

以上の実践研究を通じ、フォーカス・ツールと、反復的な自己及び相互評価を組み合わせたGCTモデルによる、理科授業へのイメージョンアプローチでのGCT導入は、現行時数配分で理科の問題解決の増進に寄与し、なおかつCT態度面の向上をもたらすことが明らかとなった。理科の典型的な観測、仮説推論、実験方法の検討、実験結果の考察などの各ステップでCTは問題解決と学習に有効と見られた。



# 第1章 研究の背景

本章では、クリティカル・シンキング（以下 CT と略記、CT と批判的思考は同義）教育の先行研究から科学教育における CT 育成の意義を述べる。次に、CT 教育における現状の教育課題を明らかにする。

## 第1節 研究の背景と問題提起

小学校学習指導要領解説理科編（文部科学省、2008）では、「理科の学習では、問題解決はこれまでも重視されてきたことであるが、その過程だけが形式化され、教師の指示に従うだけの活動になり、本来の意味での主体的な問題解決の活動にならない場合もあった」と述べられている。理科教育において問題解決能力の育成は重要視されているにもかかわらず、実験は形だけやらされているという指摘から、未だ、実験学習は児童主体で行われているとは言えない状況である。この課題を解決するために、本研究では、問題解決の過程に、CT を働かせることが重要であると考えた。CT の定義「何を信じ何を行うかの決定に焦点を当てた合理的で反省的な思考（Ennis, 1989）」は、本当に正しいかを常に考えながら合理的に意思や行動決定をする思考であり、真の問題解決の過程には本質的に働かなければならない思考であると考えられるためである。

この節では、先行研究を基に CT が求められている背景や CT の定義、科学教育における CT の意義、そして、CT を科学教育に導入する際の課題について述べる。

### 第1項 CT 教育の広がり

CT は、近年著しく発達している知識基盤社会や情報化社会において、必要視されている能力と言われており、教育界をはじめ、様々な分野で注目を浴びている能力である。

一般的な意味での批判的思考という概念は昔から存在しているが、明確な教育プログラムとしてはアメリカで大学初年次むけに論理学教育として広まった。1980 年代にカリフォルニア州立大学で CT が必修化されたのが CT の広まりのきっかけと言われており、現在ではアメリカの多くの大学で授業科目として定着している（伊勢田, 2007）。

諸外国にもその広がりを見せ、多くの国や研究者が CT を育成しようと試みている。

諸外国が CT 教育に力を入れるきっかけになった代表的なものが 21 世紀型スキル（ATC21s）である。4つのカテゴリのスキル中の一つ、思考法（Ways of Thinking）の中に、創造力と革新性（Creativity and innovation）、批判的思考・問題解決力・意思決定（Critical thinking, problem-solving, decision-making）、学びの学習、メタ認知（認知プロセスにつ

いての知識) (Learning to learn/metacognition) があり, CT は重要な要素と位置付けられている。

また, OECD (経済協力開発機構) が実施する学習到達度調査である PISA テストでは, 科学における議論や批評をより重視した出題形式で CT が含まれている (Osborne, 2014)。この動きに合わせて, イングランドのナショナルカリキュラムやアメリカの中等レベルのカリキュラムなど, 世界中で CT を重要視する教育システムが構築されている。

PISA テストにおいて重視された影響や 21 世紀型スキルの影響もあり, 日本の教育においても CT の育成に向けた動きが活発化してきている。

文部科学省 (2011) は, 「我が国の子どもたちの思考力・判断力・表現力等には依然課題がある」とし, 「課題発見・解決能力, コミュニケーション能力や多様な観点から考察する能力 (クリティカル・シンキング) などの育成・習得が求められているところである」としている。その後, 現行の学習指導要領改訂に向けた, 教育課程企画特別部会論点整理 (文部科学省, 2016) において, 「物事を多角的・多面的に吟味し見定めていく力としてのクリティカルシンキング (批判的思考)」は, 特にこれからの時代に求められる資質・能力の一つとして挙げられている。

国立教育政策研究所 (2015) が提唱する 21 世紀型能力の思考力の項目にも, 問題解決・発見力・創造力・論理的・メタ認知・適応的学習力とともに批判的思考力が位置付けられている。

CT は, 日常生活から職業生活, 学問にわたって応用可能なジェネリックスキルである (楠見・子安・道田, 2011)。CT が世界の教育で重視されている理由は, CT の思考法は, 汎用的なスキルとして様々な場面で活用できると期待されており, さらに, 知識基盤社会, 情報化社会等の変化の激しい時代を生き抜くために必要な能力であると期待されているからである。

CT が具体的にはどのような力であるのか, 次項において CT の定義を基に説明する。

## 第 2 項 CT の定義

この項では CT の定義, CT のスキル面と態度面を明らかにし, その上で, CT 教育の指導方略を練るための示唆を得る。

CT の定義としては, 「何を信じ何を行うかの決定に焦点を当てた合理的で反省的な思考 (Ennis, 1989)」が CT の研究論文に多く引用されている。

しかし, CT の定義については, これまで, いくつかの研究者や教育者が, それぞれの見解で定義していた。以下にいくつかの研究者による定義を記載する。

Brookfield (1987) :

「自分や他者の思考や行動を支えている仮定を省察し, 別の思考方法を熟考する」

Facione(1990) :

「解釈, 分析, 評価, 推論, および論理的判断に基づくさまざまなタイプの議論の説明に至る, 目的にかなった自己統制的判断」

Scriven & Paul (2007) :

「信念と行動の指針として, 観察, 経験, 考察, 推論, コミュニケーションから集めた, またはそれらによって生じた情報を, 積極的かつ巧みに概念化, 応用, 分析, 合成, または評価する知的な規律プロセス」

このように, 研究者によって CT の定義は異なるが, 共通の特徴がある。Piette (1996) によると, すべての定義が CT を反省的で, 評価と問題解決を中心としたものとして構成されている。

Ennis (1989) の定義では, 論証の展開と評価に加えて, 情報源の信頼性の判断, 行動の決定といった能力も重要視している。

Ennis が行動の決定を重視した点は興味深い。Halpern(2003)も, CT の結果または実用性の側面に強く焦点を当てており, CT は意思決定や問題解決を促進するためのツールとして捉えている。CT は, 単なる思考法にとどまらず, 行動を決定するという一連の解決を伴った思考であると言える。CT が現実における様々な問題に対して発揮されることが期待されている点は, 解決法を考えだし, 実際に行動することができる思考であるからである。Ennis の定義が教育研究で広く取り入れられている理由も行動決定や意思決定を重視しているからであろう。

本研究においても, 行動決定もしくは意思決定は, CT の中核を担うスキルであると捉える。道田(2001a)も, CT について, 「日常で出会うさまざまな問題を評価し解決する思考である」と述べるように, 問題を解決するためには, 行動決定や意思決定は必要不可欠である。また, 問題解決に向けて最終的に自己または, グループの行動や意思を決定するということは, 責任を伴うことである。責任を伴うがゆえに, 得られた情報, 自分の考え, 他者の考えは, 本当に正しいのかを何度も問い直し, 繰り返し分析, 評価, 推論, 解釈, 説明を行う必要が生まれるのである。CT を教育活動の中で育むのであれば, 学習の中で行動決定の場面を作るべきである。本研究で実践する理科学習においても, 行動もしくは意思決定を行う場面を意図的に授業に取り組んでいくことを重視したい。

さらに CT は, 認知的側面である能力 (スキル), 情意的側面である態度といった 2 つの側面があると言われている (Ennis, 1987 ; 平山・楠見, 2004)。

CT のスキル面について, Facione & Facione (1994) は, 解釈, 分析, 評価, 推論, 説明, 自己規制が CT の核となる認知能力であることを明らかにした。Ennis (1989) の「何を信じ何を行うかの決定に焦点を当てた合理的で反省的な思考」の「何を信じ何を行うか」の部分, 情報の信頼性を判断するスキルや行動や意思を決定するスキルであり, 「合理的で反省的な思考」の部分, 分析, 評価, 推論, 解釈, 説明を行うスキルであると捉える。

一方, CT の態度面について, Lai (2011) は, 「オープンかつフェアな心, 探究心, 柔軟

性、理由を求める傾向、十分な情報を得たいという願望、多様な視点を尊重し受け入れる意欲を含む態度または心の習慣」と捉えている。また、道田(2001b)は、「態度とは、情報を集めようとする事、オープンマインドでいる事、批判的思考能力を使おうとする事」と述べている。これらに共通することは、オープンな心の在りようである。平山・楠見(2004)では、批判的思考態度には、(a)論理的思考過程の自覚(自分の論理的な思考のステップに注意を向け実行しようとする)、(b)探究心(さまざまな情報や知識を求め、多様な考え方に興味をもつ)、(c)客観性(主観にとらわれず偏りのない判断をしようとする)、(d)証拠の重視(信頼できる事実や証拠に基づいて判断しようとする)が挙げられている。

CTは、自他の考えや意見に対して、本当に正しいのか、他により良い考えはないのか、繰り返し問い直す思考である。一度出した自分の考えを批判することは、想像以上に難しい。スキルがあろうとも、行おうとする態度がなければ、スキルは発揮されない。また、他者の考えを批判する場合も、遠慮しすぎたり、逆に攻撃的になりすぎたりすることは往々にしてあり得る。CTには、principle of charityという原則がある。それは、できる限り相手の言うことを解釈して議論せよ、というものである。伊勢田(2013)は、思いやりの原理(principle of charity)に基づき、相手の言いたいことをよく解釈することが大切である、と述べている。CTは相手を論駁する方便ではなく、合理的な問題解決の一つの方法である。互いに心を開いて、相手の言いたいことをよく理解し、その上で、より良い解決方法を見つける態度の育成も、重要であると言える。

ここまで、CTの定義、そして能力面と態度面に述べた。本論文では、行動決定や意思決定を重視するため、Ennis(1989)の「何を信じ何を行うかの決定に焦点を当てた合理的で反省的な思考」をCTの定義として使用する。

### 第3項 CTが求められている社会的意義と科学的意義

ここで改めて、CT教育が求められている意義について社会的な意義と、科学的な意義を論ずる。

CTは、将来の予測が困難な複雑で変化の激しい社会や、グローバル化が進展する社会において様々な問題を解決するために必要な能力とされている。教育課程企画特別部会論点整理(文部科学省, 2016)においても、複雑で変化の激しい社会の中では、固有の組織のこれまでの在り方を前提としてどのように生きるかだけでなく、様々な情報や出来事を受け止め、主体的に判断しながら、自分を社会の中でどのように位置付け、社会をどう描くかを考え、他者と一緒に生き、課題を解決していくための力が必要とあるとし、その力の一つとして、物事を多角的・多面的に吟味し見定めていく力(いわゆる「クリティカル・シンキング」)を挙げている。

Sahin et al.(2016)は、核戦争の脅威、サイバー犯罪、文化の衰退、詐欺や腐敗、過剰な

個人化、(技術や科学の使用における)無責任など、科学の発展やグローバル化に関連した社会問題は、これらの問題を解決する必要性をかき立てており、教育機関は道徳、倫理観、CTの促進を通じて重要な役割を担っている、と述べる。CTは汎用的な能力として、様々な問題を解決するための能力として期待されているのである。

変化の激しい社会において問題解決や行動決定をするには、情報の信頼度を判断する能力が求められる。日常生活における情報には、通信技術の革新による相互コミュニケーションの情報や、科学的な情報やデータが挙げられる。

昨今、インターネットの普及により、一般市民が簡単に多くの情報を集めることが可能になった。かつては、各分野の専門家が発信するメディア情報や書籍情報が情報源を占めていたが、今では誰もが情報を発信することが可能である。しかし、誰もが情報を発信できるということは、当然、真偽が定かでない情報もある。

道田(2001b)は大学生に対する調査結果から、多くの学生が、情報の持つ論理よりも内容のもっともらしさや自己の信念の観点から文章を読んでいると指摘し、批判的思考を育成すべき、と述べている。

教育を受ける側の学生も、将来的には社会的に複雑な問題において、情報の真偽を確かめる必要性や、問題の解決、意思決定の必要性が求められる。情報の信頼性を判断する能力が情報の受け手に必要となってくるのである。

SNS(ソーシャル・ネットワーク・サービス)上では、世界中の人々が、政治・経済問題から芸能人のゴシップ記事まで、盛んに意見を交流している。自分の意見を自由に発信することができる反面、その発言内容によって、自身や他者が批判にさらされるということも往々にしてある。SNS上で交わされる意見の中には、根拠が明示しているものもあれば、根拠もなく批判しているもの、また、無批判に同調しているものもある。しかし、最もCTが発揮されていないと感じるものは、批判はするが、改善案の提案もなく、自分が何を支持するか明示されない、意思決定が見られないパターンである。

世界中から情報を得て、さらに誰しもが情報を世界中に発信し得る時代だからこそ、合理的で反省的に思考し、自らが明確な意思をもって行動決定する必要がある。それを可能にする能力がCTであり、今まさに必要とされている能力である。

次に科学的な視点から情報について考える。Halim & Mohktar(2015)は、一般的に、科学的な知識というものは、科学者がCTスキルを用いて、情報が真実であるか、有効であるか、信頼できるかを検証することによって開発され、構築されるが、将来の市民として、生徒たちは、日常生活に影響を与える社会科学的な問題や疑問を批判的に検討できるよう、CTプロセスを持つ必要がある、と述べる。

科学者が自身の研究に対して、CTを発揮することはもちろん大事であるが、一般的な市民にとっても、昨今の情報が氾濫している状態で、その真偽を確かめず鵜呑みにしてはいけないということであり、CTを発揮し、自らが科学的な情報を判断する力を養うことが重要であるということである。

昨今の情報は根拠を明確にするために、科学的なデータやグラフ等が示されたうえで説明されることが多い。現代の技術革新の勢いは凄まじく、日々、新商品が開発されているが、制作者や販売者は、消費者に商品の価値を理解させるために表やグラフを用いて説得力を高めようとしている。また、昨今のコロナウイルス感染症関連のニュースでは毎日のように感染者の数値や推移のグラフがメディアによって発信されている。しかし、一般市民にとってデータやグラフ等の情報の源になる実験がどのように行われているかはブラックボックスとなっていると考えられる。データの元となる実験は正しく行われているはずという暗黙の前提があるとも言える。そのため、信頼できる情報か否かを判断せずに鵜呑みにしてしまう傾向がある。例えば、実験の対象や被験者数、実験が行われた環境などについて知ったうえで判断することが大切ではないか。

現代では、誰もが簡単に科学論文を閲覧することができる。しかし、その見方を身に付けるには、科学への理解を深める必要がある。科学的な実験の過程を知り、そして、その過程を批判的に見る力を養うことができれば、情報を判断する能力はより一層高まる。情報の受け手である一般市民にとっては実験や実験方法までをもクリティカルに見て情報源の信頼度を評価する能力を身に着けることも大切であり、また、情報の発信者である科学者も実験方法を明確にし、本当に実験は正しかったのかを分かりやすく示して一般に公開することも必要である。

このように現代社会の問題は科学技術や科学の探究方法との関わりを無視して考えることは難しい。科学は事実知であるが、社会的な問題解決は、人工システムがどうあるべきかについての決意・選択である。社会的な問題解決における決定は、事実に基づきながら適切・合理的な判断としての結論を導くべきである。そして、科学的事実に基づきながら、人類にとっての善のために、適切な判断を可能にするCT能力が求められる。

#### 第4項 科学的探究過程とCTを関連させる必要性

前項で述べたような科学的判断ができるようになるためには、科学とCTを関連させた教育が必要となる。

Santos, L. F. (2017)が、科学、科学教育、そして教育全般の文脈におけるCTの役割は、ここ数年、さまざまな教育システムにおいて重要であり、ますます存在感を増している、と述べているように、実際、科学とCTを関連させた教育が重要であると考えられる研究者が増えてきた。

例えば、Harlen (2010)は、「多元的で科学的かつ技術的に進歩した民主主義社会において、積極的な市民として、また社会の担い手として参加するには、外部から与えられた課題をこなすだけでは不十分である。科学教育は、すべての市民に、急速に変化する世界で生き、働くために必要なスキルを身につけさせるべきであり、CTと科学的推論を身につ

ける機会を与え、自分の幸福や社会・環境の福祉に影響を与える情報に基づいた意思決定や行動に参加できるようにすべきである」と述べる。

また、Demir (2015) は、CT のスキルを身につけることは、科学的に事象を見て、考え、調査し、疑問を持ち、解決する能力を得るために非常に重要であると指摘している。

Harlen や Demir の考えからは、科学教育において、科学の知識を身に付けることだけでなく、科学的に推論する力や科学的に探究する力を身に付けることを重視していることが読み取れる。

ここで、科学的探究や科学的推論について、アメリカの論理学者 Peirce の考えを用いて説明する(米盛, 2007 参照)。Peirce は、科学的探究の過程に、アブダクション、演繹的推論、帰納的推論の三つの推論を位置付けている。第一段階のアブダクションでは、探究者は「驚くべき事実」に遭遇し、まずは、その事実をもっともらしく説明できる仮説を設定する。このアブダクションという推論は新しいアイデア(観念)を導く論理的操作であり、発見の論理である。そして、アブダクションによって生成された仮説を演繹的に検証する。最後にその仮説が経験的事実に適合するかどうかを帰納的に検証することになる。

アブダクションにおける仮説の生成について米盛(2007)は、『われわれが直接観察したものとは違う種類の何ものか、そしてわれわれにとってしばしば直接には観察不可能な何ものかを仮定する』、いわば創造的想像力による推測の飛躍です。」と述べる。

この飛躍した仮説というものは根拠がないものではない。問題を解決するために、仮説が妥当であるか合理的反省的に判断する必要がある、その際に CT が発揮される必要がある。また、飛躍した仮説を検証するための、演繹的推論あるいは帰納的推論にも CT は適用されると考える。

すなわち、CT は、説明の論理であり、より良いアブダクション・演繹推論・帰納的推論のための客観的合理的反省的な判断をする働きがあると考ええる。

真に科学的な推論や探究過程においては、妥当性や客観性が求められる。CT は、情報や前提となる命題や自分が立てた仮説・結論等が、本当に正しいのか吟味し、行動を決定する能力である。CT が発揮されることで、推論や探究過程が繰り返し見直され、より妥当で信頼性のある結論が生み出されると考える。ゆえに、科学的探究や推論には本質的に CT が伴わなければならないのである。

本研究における自然科学を学ぶ上での CT の必要性は、観測から仮説推論する、仮説から演繹的に検証すべき命題を導出する、実験観測結果から一般的結論を帰納的に導出する、再度、より望ましい仮説推論をする、というスパイラルを自己改善的に継続することにあると考える。

そして、その自己改善的な科学的探究によって身に付けた能力は現代社会の様々な問題を解決する力になりうるのである。

## 第5項 CTと関連させた科学教育の現状と課題

前項において、科学教育におけるCTの重要性について述べた。その影響は、諸外国のカリキュラムにも影響しており、CTを科学カリキュラムに組み込む努力がなされている。

Vieira & Tenreiro-Vieira (2016) は、諸外国のカリキュラムへの取り組みをまとめており、その一部を以下に引用する。

米国では、リテラシーの観点から科学教育を行うためのカリキュラム案として、「Project 2061: Science for All Americans and Benchmarks for Science Literacy」(American Association for the Advancement of Science, 1990, 1993), 「National Science Education Standards」(National Research Council, 1996), 「A Framework for K-12 Science Education, Practices and Crosscutting Concepts and Core Ideas」(National Research Council, 2012)などがあり、このフレームワークでは、すべての生徒が12年生末までに身につけておくべき主要な科学・工学の実践、横断的な概念、分野別の中核的な考え方が示されており、科学に関連する問題について公の場で議論し、日常生活に関連する科学情報を批判的に考えることを目指している。

欧州連合 2000年以降のプロジェクト：Science Education for the Future (Millar & Osborne, 1998) は、ヨーロッパにおける科学教育の新しいビジョンを支持することを主張し、初等科学教育(5~16歳)の推奨事項で科学教育とCTの育成を提案した。

上記のように、様々な国の科学教育カリキュラムにCTが取り入れられており、また、小学校低学年という比較的早い段階からCTを育成しようと試みている。

小学生の段階からCTを育成する適時性について、心理的発達の側面から述べる。

小学生の学齢期は、ピアジェ (Jean Piaget; スイスの心理学者) 理論でいうと、前操作期から具体的操作期への移行期(7歳前後)と具体的操作期から形式的操作期への移行期(11歳前後)として説明でき、具体的操作期は、他者の視点を視覚的、認知的、感情的にとれるようになり、形式的操作期は、具体的な現実から離れて、仮説演繹的思考、抽象的思考が可能になると言われている(杉能, 2016)。楠見・子安・道田(2011)は、CTの基盤としてメタ認知力を挙げており、子供は、ピアジェ理論の前操作期から具体的操作期への移行(7歳前後)において表れる表象操作能力の発達により、認知を意識的に吟味する内省的思考、すなわちメタ認知ができるようになる、と述べる。

子供のCTの発達について研究しているKuhn(1999)は、8歳から13歳でのメタ認知、メタ方略、知識観における発達がCTを可能とすることを論じている。

これらの研究から小学校の理科学習が始まる年齢においては、CTを育成することは十分可能であり、むしろ、思考が著しく発達するこの時期にこそ、積極的にCT育成を試みることが重要である。



一方、科学教育と CT を関連させた教育を推進しようとしているにも関わらず、実際はうまく行われていないという問題がある。

Bailin(2002)は、実際の教育現場では、仮説設定、実験計画の立案、観察、データ収集・分析・解釈、実験結果の解釈時に無批判であるため、CT が十分に機能せず、科学プロセスが表面的で、かつ効果のないものになっていると指摘している。また、Brown (2009)は、科学知識の急速な発展と並行して、科学を行うために必要な能力を開発するよりも、内容に焦点を当てる傾向があるとし、内容を教えることを重視するのに対して CT が軽視されていることを指摘している。さらに、Brown は、学生が、自分で問題を考えるのではなく、「答え」を覚えようとする傾向があることを指摘し、その傾向が CT を摘要するのを妨げているとも述べる。

Girault et al. (2012)は、実験を計画する思考の困難から、児童に実験を計画させることをためらう教師の存在を指摘しており、ヨーロッパ・アメリカ・オーストラリアでは、教師の指示通りに実験を行わせる授業が大半を占めていると述べている。

上記の研究者の指摘から、理科教育においては実験で得られる知識を重視し、科学的な推論の過程を重視しないため、CT を働かせる機会が得られない傾向が見られる。日本の理科教育においても同様な傾向は示唆されている。

小学校学習指導要領解説理科編（文部科学省、2008）では、「理科の学習では、問題解決はこれまでも重視されてきたことであるが、その過程だけが形式化され、教師の指示に従うだけの活動になり、本来の意味での主体的な問題解決の活動にならない場合もあった」と述べられている。実験は形だけやらされているという指摘から、未だ、実験学習は児童主体で行われているとは言えない状況である。

前項でも述べたが、自然科学を学ぶ上での CT の必要性は、観測、仮説推論、仮説から演繹的に検証すべき命題を導出する、実験観測結果から一般的結論を帰納的に導出する、再度より望ましい仮説推論をする、というスパイラルを自己改善的に継続することにある。

しかし、現状、理科教育で行われている実験は、自ら考え、本当に正しいのかを批判的に考える思考が働かない傾向にあり、このままでは、将来的にも実験やデータを批判的に考える力は育たない。教科書になぞらえた実験には意思決定がない。科学的な探究方法を学ぶためには、本質的に CT を伴うものでなければならない。

このことから、理科教育として、実験は受け身なものでなく、自らが問題を解決する意思を持って実験に取り組む必要がある。そうすることで、実験は正確か、データに間違いや都合の良い部分はないかをといった実験プロセスを批判的に吟味するという CT が発揮されると考える。

## 第2節 CT教育研究の動向・先行研究から見る課題と研究への示

### 唆

本節では、CT教育の動向や先行研究を基に、理科教育の中でCTを育むための方略について議論する。

#### 第1項 CTの4つのアプローチから見るCT研究の動向

CTを学校教育に導入する方法としては、大きく分けて4つのアプローチがある(Ennis, 1989)。

第1のジェネラル(general)アプローチは、既存の教科の内容の提示とは別に、CTを教えることを目的とした科目を設定し、CTのスキルや態度を教えようとするアプローチを指す。

第2のインフュージョン(infusion:導入)アプローチは、既存の教科の教育において単元の導入時にCTのスキルなどを明示的に教える方法である。

第3のイマージョン(immersion:没入)アプローチは、CTスキルを明示的に教えなくても、学習者が教科・専門内容に深く没入することを通して、獲得することを目指す教え方である。

そして、上記のジェネラルアプローチとインフュージョンアプローチ、もしくはジェネラルアプローチとイマージョンアプローチを組み合わせるのが第4の混合(mixed)アプローチである。

ジェネラルアプローチは、CTを教えるための特別な科目が用意されているが、インフュージョンアプローチとイマージョンアプローチでは、教科を教える際にCTを育成する。インフュージョンアプローチとイマージョンアプローチの大きな違いは、前者がCTの原則を教えることを明示しているのに対し、後者では明示しないことである。つまり、イマージョンアプローチで教えられた学生は、批判的に考える訓練を受けていることを意識していないことになる。

これらの方法は、教科や校種によって使い分けられ、実践されてきたが、これらの4つのアプローチのうち、どれが有効なのかについては多くの研究者によって議論されてきた。その議論の中心になるのは、CTの転移の問題についてである。CT教育は主に、教科の領域から独立した、日常生活場面や将来のキャリアにおいて適用できるようにするという指導目標がある(Halpern, 1998)。この目標を達成するために、CTは独立したコースとして教えるのが最善か、それとも学問分野に組み込むのが最善かという問題が議論されてきた。

Ennis(1989)は、教科の領域に没入（イマージョンアプローチ）することは、CTの一般原則への明確な注意を伴わないため、おそらく日常生活におけるCTにはつながらず、CTの一般原則に明示的に注意を払うことが、日常生活におけるCTの転移に焦点を当てる方法である、と仮定している。

Facione (1990) や、Paul (1992) は、CTの基本的なスキルのコースと、教科別のコースにCTを含めることで、CTの日常への転移が可能であるとし、混合アプローチを支持している。

日常生活の問題を解決するようなCTを育むのであれば、CTの一般原則を明示し、日常生活の問題を解決する訓練を学校教育で行うべきであるというのである。

また、Abrami et al. (2008)は、学生のCTスキルと態度に対する教育的介入の効果に関する117件の実証的研究のメタ分析において、混合アプローチが最も効果が大きく、イマージョンアプローチが最も小さかったことを導いている。

一方、インフュージョンアプローチやイマージョンアプローチの支持者には、CTは領域固有性の高いものであると支持するMcPeck (1990) や Bailin et al. (1999) がいる。彼らは、CTはそもそも領域固有のものであり、転移しないという考えをもつ。例えば、看護に必要なCTスキルは工学で実践されるものとは大きく異なるだろう (Tucker, 1996)、という考え方である。領域固有であるならば、教科の中で教えるのは必然となる。

CTが領域固有のものであるのか、CTは領域普遍のものであるのかについては、先行研究では意見が分かれている。しかし、理科教育でイマージョンアプローチを取り入れることにより獲得されたCT能力は、本当に転移不可能なことであろうか。本研究では、理科教育におけるCTの発揮は、単によりよく科学的探究ができるようになるだけでなく、日常や社会についての問題解決においても、養われたCT能力と科学的探究能力を活用できるようになると捉えるため、CTは領域固有のものではなく、転移可能であるという考えを支持する。その理由は、現代社会の発展が科学技術と関連が深いことや、科学の問題解決の過程は、日常の問題や社会的な問題を解決する過程と類似していると考えからである。しかし、そのためには、形だけなぞらえた問題解決の過程ではなく、学習者にとって真正な問題解決の中でCTが誘発される必要がある。特に、自分や他者の考えが本当に正しいのかを考えた上で、自分の意思を決定するという訓練が大切であり、また、自分の力で問題を解決できるという経験が大切である。

これまでの先行研究から、イマージョンアプローチはCT教育において利点がないように思えるが、イマージョンアプローチやインフュージョンアプローチの支持者の中には、CTは教科の学習を促進する役割があると考えている者もいる。Case (2005) は、CTはカリキュラムに組み込まれたコンテンツやスキルを教えるための方法であると主張し、Lipman (1988) や Silva (2008) は、CTの教育において、教科の知識と思考は同時に教えられなければならないと主張している。

これらの主張は、CTをあらゆる領域における教育を促進する学習方法として捉えるも

のである。CT を育成するためだけであれば、ジェネラルアプローチや混合アプローチを用いるのは妥当であるが、CT が教科の内容理解を促進する役割があるのであれば、イメージョンアプローチのような教科に内包した指導方法には価値があると考ええる。

理科の実験プロセスの中で、CT と理科の資質能力を育成するためには、現実的には、イメージョンアプローチが妥当であろう。イメージョンアプローチは CT 育成の効果が少ないとされているが、それは、まだ、方法が確立されていないためではないか。イメージョンアプローチで CT を育成可能であれば、特別な時間を設定する必要がないため、理科教育の中に導入しやすくなり、その価値は高いと考える。

## 第 2 項 CT と問題解決学習（PBL：Problem-Based learning）を関連させた研究

イメージョンアプローチは CT 育成の効果が低いと言われているが、教科学習に取り入れやすいため、多くの実践が行われ、その中には CT 育成の効果があるのものも報告されている。

例えば、Yang, Newby & Bill (2008) は、獣医学の学生による構造化された Web-Based Bulletin Board (WBB) ディスカッションが、学習者の CT スキルおよび WBB を通じた学習に対する姿勢を有意に改善することを示した。

Chen et al. (2011) は、看護学科の 1 年生を対象に、小グループで話し合い、自分たちの考えを図式化して整理するコンセプトマップを用いた授業を行い、対照群には講義方式で授業を行った。その結果、コンセプトマップを用いたグループは、講義を用いたグループの CT を有意に上回ったことを報告している。

効果的とされる実践事例の代表的なものとして、問題解決学習(Problem-Based Learning, PBL) が挙げられる。Liu, Frankel, & Roohr (2014) は、CT は高次の思考スキルの一つであり、問題解決において中心的な役割を果たすと考えられている、と述べる。

実際、諸外国の先行研究において、問題解決学習と関連させて CT を育成しようとする研究が多く見られる。

Nadeak & Naibaho (2020) は、PBL (Problem-Based learning) は、学生が問題を特定し、解釈を探り、解決策としての代替案を決定し、結論を伝え、統合し、監視し、問題を解決するための戦略を練り直すことを促す教育方法であり、PBL を用いて教育を行えば、学生は優れた CT を持つようになると述べる。

Sendag & Odabasi (2009) は、構造化されていない問題シナリオを含むオンライン PBL 環境が学生の CT スキルに及ぼす影響について調査し、オンライン PBL グループの学生が、オンライン講師主導グループの学生よりも有意に優れていることを発見した。

Tiwari et al. (2006) は、香港の大学の看護学部の学生を対象に、問題解決型学習 (PBL) アプローチと講義アプローチが学生の CT の発達に与える影響を比較する研究を行った。結果、PBL 学生は、コース修了時の CT 態度の総合得点が講義学生に比べ有意に高くなった、と結論付けている。

本研究で重視する CT のスキルは、最終的に自分の行動や意思を決定するスキルである。問題を解決するという明確な目標があるからこそ、CT の意思を決定するというスキルは発揮される。ただし、机上の空論のような現実味のない問題に対しての推論過程では、思考の練習にはなろうとも、責任をもった意思決定にはならない。学習の中とはいえ、自分が何をすべきかを判断し決定する経験が CT を高めるのである。

日本の理科教育においても、問題解決学習への期待値は高い。小学校学習指導要領 (平成 29 年告示) 解説編理科 (文部科学省, 2018) に示されている理科の目標について以下に示す。

自然に親しみ、理科の見方・考え方を働かせ、見通しをもって観察、実験を行うことなどを通して、自然の事物・現象についての問題を科学的に解決するために必要な資質・能力を次のとおり育成することを目指す。

- (1) 自然の事物・現象についての理解を図り、観察、実験などに関する基本的な技能を身に付けるようにする。
- (2) 観察、実験などを行い、問題解決の力を養う。
- (3) 自然を愛する心情や主体的に問題解決しようとする態度を養う。

問題を科学的に解決する、または、問題解決という言葉が複数記述されている。このことから、小学校の理科学習において、理科特有の観察実験を通して、問題解決の力や問題を解決しようとする態度を養うことを目的としていることがわかる。

しかし、問題解決学習はその重要性に反して、実際には望ましい程度には授業で行われていない (Capps, Crawford & Epstein, 2010)。この行われていないという中には、一見問題解決学習の形をとってはいるが、学習者が主体となっていない形だけなぞらえた問題解決学習も含まれる。真正の問題解決や実験の過程になるためには、本質的に CT が発揮されることが重要ではないか。CT の行動を決定するために本当に正しい考えなのかを繰り返し吟味するという思考が、問題への深い思考と、最善な解決法の導出という意思決定がなされるのである。よって本研究では、理科教育における問題解決を促進するために CT の発揮は重要であると考えられる。

### 第3項 国内のCT研究の動向

国内においてもCTの教育実践が数多く行われてきている。その形態は様々であるが、国内では、教科にCTを内包したイメージジョンアプローチもしくはインフュージョンアプローチによる実践が多く見られる。教科教育を中心とした日本の学校教育では、CT教育は教科教育と関連させることが多いためと考えられる。

国内のCT教育の傾向を調査した研究がいくつか見られる。

まず、道田の研究の例を挙げる。道田(2018)は教科学習で批判的思考教育を構想する助けになるとの考えのもと、小・中・高等学校で行われたCT教育に関する実践論文をカテゴリー化する試みをしている。その結果6つの上位カテゴリーと25の下位カテゴリーを見出している(表1)。

表1 道田(2018)による国内の研究の傾向

上位カテゴリー	下位カテゴリー	学習内容
スキル系	思考ツール(三角ロジックなど)、異なる立場に反論、スキル学習、系統的資料提示	思考ツールなどを用いて、情報を整理して可視化したり、考えをガイドしたりする学習
評価・判断系	結論導出、不適切さの指摘、不足の指摘、情報・意見の評価、自己思考の評価、根拠の問い返し	情報の不適切さや信頼度などの評価を行わせたり、資料に基づいて結論を導き出すなど判断を行わせたりする学習
複数視点系	価値対立、他面着目、ズレ着目	価値対立のような判断が両立しない問題を扱ったり、異なる観点から問題を眺めることを促したりする学習
練り直し系	良い点の取り入れ、視点提示、アドバイス、視点獲得、役割分担、討論後の練り直し、他者の文章のリライト	最初の自分の考えを何らかの方法によって見直し、よりよいものに高める学習
質問生成系	質問生成、質問生成-検討	質問を出す、または、質問作成から質問の答えの検討をする学習
基準検討系	共通論題で基準検討、意思決定後の基準検討、試行錯誤後のめあて検討	単に判断などを行うのではなく、判断の基準そのものを再検討する時間を含んだ学習

この表1から、様々な方略を用いてCTを育成しようとしていることが分かる。CTは、分析、評価、推論、解釈、説明、自己規制、情報源の信頼性の判断、行動の決定といった多くの要素を含む汎用的なスキルである。そのため、自分の考えを説明したり、整理した

りする能力の育成や、情報の分析能力や情報の信頼性の判断能力の育成といった、CT 能力を一つ一つ分解して考え、それぞれの能力に焦点を当てた様々な実践が行われているのも一定の理解はできる。

しかし、このように能力を細分化した上で、様々な手法を取り入れることが学校現場で可能だろうか。CT は複雑という印象を与え、実際の教育現場では取り組みづらいのではないか。また、細分化して能力を育成することが本質的な CT 能力の向上につながるのだろうか。

道田・土屋 (2017) は、批判的思考という観点から教材の特徴を把握し、前後の学年や他領域とのつながりを意識する必要がある、その点は今後の課題である、と述べる。

本研究では、細分化して CT を育成するのではなく、能力を統合してカリキュラムに組み込み、系統的に育成する必要があると考える。そのためには、他学年他領域にも転移可能な CT を育成する枠組みが必要であると考え。本研究では、CT を統合する枠組みの鍵となるのは、行動決定や意思決定であると考え。CT は最終的な意思決定に向かってより良い方法を追い求める思考である。分析するにしても、推論や解釈をするにしても、そこに意思決定や行動決定がなければ、深い思考はなされない。最終的な行動決定や意思決定を重視した上で、分析、評価、推論、解釈、説明、自己規制、情報源の信頼性の判断を行うことで、細分化された CT 教育を統合できるのではないか。

次に、理科教育の中で CT 育成を試みている先行研究の傾向を考察する。

雲財ら (2019) は国内の理科教育と CT を関連させた研究の中で、授業の中で量的に育成の効果を検証した論文を抽出しまとめている (表 2, 3)。いずれも小中高の学校教育の中で単元と関連させた研究がされている。すなわち、インフュージョンアプローチもしくはイマージョンアプローチで行われている。

表 2 国内の CT と関連させた理科研究の動向 (雲財ら, 2019 を基に筆者書き起こし)

研究	校種	領域	単元等	指導法・指導ツール
1 山中・木下 (2011)	高校	物理	電界と電位	因果関係マップ
2 木下・山中・山下・小茂田・岡本 (2011)	中学校	その他	科学技術と人間	因果関係マップ
3 山中・木下 (2012)	高等学校	物理	物体の運動	因果関係マップ
4 清水・高信・長嶋 (2013)	小学校	化学	水のすがたとゆくえ	話し合い、役割分担
5 山中・木下 (2014)	高等学校	物理	力と運動の法則	因果関係マップ、信頼度判断・確信度判断
6 木下・中山・山中 (2014)	小学校	物理	ふりこのきまり	クエスチョン・バーガーシート
7 山中・木下・前原 (2015)	高等学校	化学	無機化学	論証カード
8 清水・大澤 (2015)	中学校	物理	身近な物理現象・光と音	話し合い、役割分担
9 中山・木下・山中 (2017)	小学校	生物	発芽条件の空気の成分	クエスチョン・バーガーシート、多様な質問
10 高見・木下 (2017)	中学校	化学	化学変化	クリティカル・ファシリテーション
11 山中・木下 (2018)	高等学校	物理	仕事とエネルギー	論証カード

表3 理科研究に取り入れられている指導法指導ツールの動向  
(雲財ら, 2019 を基に筆者書き起こし)

指導法・指導ツール	説明
因果関係マップ	原因と結果を矢印で結び、現象の因果関係を可視化し、吟味する
信頼度・確信度判断	他者が作成した因果関係マップが、どの程度信頼できるかを判断する
クエスチョン・バーガーシート	論証の構造を可視化し、証拠と結論の関係を吟味させる
論証カード	根拠から主張への飛躍を補う論拠を推定する
クリティカル・ファシリテーション	話し合い活動で、1人に批判的思考を促すファシリテーターの役割を与える

対象となる校種に着目すると、小学校の実践は3例であり、それぞれ、第4学年の研究が1つと第5学年の研究が2つとなっている。小学校段階においては十分な研究が行われているとは言えない状況である。

雲財らは指導法と指導ツールにも着目している。表3から因果関係や論証の構造を可視化している例が多くある。山中・木下・前原(2015)、山中・木下(2011)に代表される因果関係マップ(実験や現象の結果と、その背景にある原因との因果関係を図で表したものは、実験結果に対する自分の推論過程を可視化し、それを吟味していく活動を行うことで、CTを育成しようという試みである。これらは実験結果から結論に至る論証を批判的に考察する力を養うことができる。

因果関係マップや論証カードはToulmin(1958)のアーギュメントモデルを基にした論証の研究である。理科研究の動向に対して坂本(2015)は、Toulminのアーギュメントモデルを基にした論証の研究が多い、と述べる。国内の理科のCT教育は現状、実験から得られたデータや考察を批判的に議論する部分に焦点を当てた研究が多いと言える。

この現状について豊見山・比嘉・森(2019)は、理科の学習過程では、仮説や課題解決方法の立案、観察・実験を行い、その結果を根拠に基づく結論を導き出す、他者の結論を多面的・総合的に吟味する、自分が導き出した結論を別の枠組みから見直し、結論の再検討を行う、等においてもCTを発揮する場面はあるのではないかと述べている。涌井(2017)も、実験計画から検証・考察までの段階を検証するCT研究は多くないと指摘している。

山中・木下(2012)では、高等学校の実践において因果関係マップに加えて、重力加速度の実験方法立案時に誤差をなくす方法を批判的に考えている。木下・中山・山中(2014)も自らの思考を可視化させ、実験方法を改善させている。少数ながら、実験計画と関連させてCTを育成しようという、試みは見られている。しかし、総合的に見ると、国内の理科とCTを関連させた研究は、問題解決学習の過程の一つである、実験結果から結論を導出する推論過程において多く行われており、問題解決の一連の流れの中でCTを育成しようとする試みは見られない。

理科の問題解決の場面では、仮説生成、実験方法の決定、結論の導出等、推論し、意思を決定しなければならない場面が複数あり、それぞれの場面でCTを育成することが可能なのではないか。



また、国内の実践においては、道田・土屋（2017）が指摘する、他学年や他領域とのつながりへの課題に対応するような研究は見られていない。問題解決の様々な場面、さらには、他学年や他領域で応用可能な、汎用的な CT 育成モデルが必要なのではないか。

### 第3節 背景の整理と問題の所在および研究の方針

これまで、CT の背景、定義、研究の状況などを述べてきた。この節では、課題を整理し、課題を解決するための方針を述べる。

#### 第1項 科学プロセスに CT を導入する際の課題と解決策の提案

第1節第3項では、科学教育において CT が重視される理由として、科学技術の進歩に伴う急速に変化する世界に積極的に参加し、自分の意思で行動するために CT スキルと科学的な推論を身に付ける必要があることを説明した。

しかし、科学教育において、実際には、科学のプロセスを形式的になぞった実験が多く、学習者が実験に対して受け身であり、CT が発揮されていないという課題や、理科教育が未だに内容重視の傾向が見られるという課題が見出された。第2節第2項では、問題解決学習と CT を関連させることの重要性を述べたが、その過程だけが形式化され、主体的な問題解決になっていない傾向がある。

第2節第3項の国内の理科と関連させた CT の実践では、問題解決の過程に CT を取り組んだ実践が見られるが、結果から考察の論証場面の実践に偏っている傾向が見出された。実験計画作成時においての実践が少ない点からも、実験は与えられるものになっている傾向は否定できない。問題発見から解決に至る問題解決の一連の流れの中で CT を育成しようとする試みが見られないのは大きな問題である。

CT は合理的で反省的な思考であるとともに、行動や意思を決定する能力である。自らの意思を決定しようとする思考は決して受け身では発生しない。

これらの課題を解決するために、本研究では、理科の実験過程の様々な場面で、意思決定を伴う CT を誘発させる、汎用的な CT モデルを開発する必要があると考える。意思決定を伴う CT を誘発することにより、科学的なプロセスを自己改善的に継続する力が養われ、主体的な実験及び、科学プロセスに昇華すると考える。

また、国内においては、小学生から CT 育成を目指した理科の実践が少ない現状がある。小学校理科学習において CT 育成効果を検証することには価値があると考えられる。

## 第2項 イメージョンアプローチの有効性の議論

第2節第1項では、CTを学校教育に導入する方法として、ジェネラルアプローチ、インフュージョンアプローチ、イメージョンアプローチ、混合アプローチの4つのアプローチについて説明した。CTは汎用的なスキルであり、最終的には教科の領域から独立し、日常生活場面や将来のキャリアにおいて適切に適用できるようになることが期待される。そのため、日常の問題解決により特化した科目を設定したジェネラルアプローチや混合アプローチが有効とされており、教科に内包したイメージョンアプローチはCT育成の効果が薄いとされている。

しかし、一方では、イメージョンアプローチには、理科の問題解決や、教科の学習を促進する働きがあるという見方もある。CTスキルを高めるという目的だけでなく、CTと科学的探究スキルがともに高まるのであれば、イメージョンアプローチのような教科に内包した指導方法には、価値があると考えられる。また、科学的探究スキルとCTの同時育成は、科学技術の発展による様々な社会問題を解決する力になると考える。

現行の小学校学習指導要領（平成29年告示）解説編理科（文部科学省、2018）においては、CTおよび、批判的思考を育む指導は明記されていないため、CTをいつどのように育成すればよいのかが不明確である。新たなカリキュラムを組むにも、日本の教育は指導要領に示された内容を扱う時間で精一杯である。

教科に没入するイメージョンアプローチならば、特別な時間を設定せずとも、CTの育成が可能である。本研究では、イメージョンアプローチを用いるとともに、理科の問題解決学習に自然に没入できるような指導方法を提案することが大切であると考えられる。

また、表1に示した国内の研究のように、CTのスキルを細分化して指導するのではなく、理科教育の実験学習を通して系統的に様々なスキルを身に付けられるような指導法を開発する必要がある。現状、前後の学年や他領域とのつながりを意識し、系統的にCTの育成を試みた実践はほとんど見られない。1単元で完結するような指導法ではなく、教科の学習と関連させながら、複数学年にわたってCTを育む指導法を開発することには価値があると考えられる。

## 第4節 第1章のまとめ

本章では、先行研究から、主に、科学教育とCTを関連させる重要性を述べてきた。科学教育にCTを関連させるために、本研究で重視する点を以下に示す。

第1に、本研究では、理科の探究プロセス、即ち、問題の発見、仮説推論、検証方法の

立案，実験・観測の実施，考察，結論の導出の各段階において，意思決定を伴う CT を誘発させる方法を開発することが問題解決能力の育成に有効なのではないかと考える。

CT は合理的で反省的な思考であるとともに，行動や意思を決定する能力である。意思決定を伴う CT を発揮することにより，科学的なプロセスを自己改善的に継続する力が養われ，主体的な実験及び，科学プロセスに昇華すると考える。

第 2 に，本研究では，特別な時間を設定せず，教科に内包した形で CT を育成することを重視する。かつ，複数学年にわたって系統的に CT を育む指導法を開発する。

イメージョンアプローチには，教科学習を促進する働きがある。さらに，現行の小学校学習指導要領解説理科編（文部科学省，2018）において，CT を育む指導は明記されていないが，教科に没入するイメージョンアプローチならば，特別な時間を設定せずとも，CT の育成が可能である。教科の学習と関連させながら，複数学年にわたって系統的に CT を育む指導法を開発することには価値があると考ええる。

本研究では，上記 2 点を重視した指導モデルを開発する。指導モデルの対象は小学生とする。小学校児童に CT 育成を試みた国内の実践例は少ないため，理科導入期から CT 育成が可能であることを示すことには価値があると考ええる。具体的な方法については次章で提案する。

## 参考文献

- Abrami, P. C., Bernard, R. M., Borokhovski, E., Wade, A., Surkes, M. A., Tamim R., & Zhang, D. (2008). Instructional interventions affecting critical thinking skills and dispositions: A stage 1 meta-analysis. *Review of Educational Research*, 78, 1102–1134.
- American Association for the Advancement of Science (1990). *Science for all Americans: Project 2061*. New York, NY: Oxford University Press.
- American Association for the Advancement of Science (1993). *Benchmarks for science literacy: Project 2061*. New York, NY: Oxford University Press.
- ATC21s : 21st Century Skills. <http://www.atc21s.org> accessed 2022.1.10.
- Bailin, S. (2002) Critical Thinking and Science Education, *Science & Education*, 11(4), 361-375.
- Bailin, S., Case, R., Coombs, J. R., & Daniels, L. B. (1999). Conceptualizing critical thinking. *Journal of Curriculum Studies*, 31(3), 285–302.
- Brookfield, S. D. (1987). *Developing critical thinkers: Challenging adults to explore alternative ways of thinking and acting*. San Francisco: Jossey-Bass.
- Brown, S. (2009). “On the other side of the barrier is thinking”, *Acta Didactica Napocensia*,

2(3), 1-8.

- Case, R. (2005). Moving critical thinking to the main stage. *Education Canada*, 45(2), 45–49.
- Capps, D. K., Crawford, B. A., & Epstein, J. A. (2010). *Teachers translating inquiry-based curriculum to the classroom following a professional development: A pilot study*. In The National Association of Research in Science Teaching Annual Conference, Philadelphia, PA.
- Chen, S.-L., Liang, T., Lee, M.-L., & Liao, I.-C. (2011). Effects of concept map teaching on students' critical thinking and approach to learning and studying. *Journal of Nursing Education*, 50(8), 466-469.
- Demir, S. (2015). Evaluation of Critical Thinking and Reflective Thinking Skills among Science Teacher Candidates. *Journal of Education and Practice*, 6(18),17-22.
- Ennis, R. H. (1987). A taxonomy of critical thinking dispositions and abilities. In J. B. Baron & R. J. Sternberg (Eds.), *Teaching thinking skills: Theory and practice*, 9–26. New York: W. H. Freeman and Company.
- Ennis, R. H. (1989) Critical Thinking and Subject Specificity: Clarification and Needed Research. *Educational Researcher* 18(3), 4-10.
- Facione, P. A. (1990). *Critical thinking: A statement of expert consensus for purposes of educational assessment and instruction*. Millbrae, CA: The California Academic Press.
- Facione, N. C., & Facione, P. A. (1994). *The “california critical thinking skills test” and the national league for nursing accreditation requirement in critical thinking*. Millbrae, CA: California Academic Press.
- Girault, I., d’Ham, C., Ney, M., Sanchez, E., & Wajeman, C. (2012) Characterizing the experimental procedure in science laboratories: a preliminary step towards students experimental design. *Int J Sci Educ*, 34(6):825–854.
- Halim, L. & Mokhtar, L. E. (2015), Critical Thinking Process in Science Learning. *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan Sains (SNPS) 2015*, 1–4.
- Halpern, D. F.(1998) Teaching Critical Thinking for Transfer Across Domains: Disposition, Skills, Structure Training, and Metacognitive Monitoring. *American Psychologist*, 53, 449–455.
- Halpern, D. F. (2003). *Thought and knowledge: An introduction to critical thinking*. Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Harlen, W. (Ed.). (2010). *Principles and big ideas of science education*. Hatfield, England: Association for Science Education.
- 平山るみ・楠見孝 (2004). 批判的思考態度が結論 導出プロセスに及ぼす影響：証拠評価と結論生成課題を用いての検討. 『教育心理学研究』, 第 52 巻, 186–198.

- 伊勢田哲治 (2007) 「哲学系一般教育のモデルとしてのクリティカルシンキング」『中部哲学会年報』, 第 39 卷, 54-65.
- 伊勢田哲司 (2013) 「ユニット 1 遺伝子組換え作物」伊勢田哲司・戸田山和久・調麻佐志・村上裕子編著『科学技術をよく考える』名古屋大学出版会, 1-26.
- 木下博義・中山貴司・山中真悟(2014) 「小学生の批判的思考を育成するための理科学習指導に関する研究—クエスチョン・バーガーシートを用いた実践を例にして—」『理科教育学研究』第 55 卷, 第 3 号, 289-298.
- 木下博義・山中真悟・山下雅文・小茂田聖士・岡本英治(2011) 「中学校理科における批判的思考力育成に関する事例的研究」『広島大学大学院教育学研究科紀要 第二部 文化教育開発関連領域』第 60 卷, 7-13.
- 国立教育政策研究所 (2015) 「資質・能力を育成する教育課程の在り方に関する研究報告書 1～使って育てて 21 世紀を生きぬくための資質・能力～」国立教育政策研究所
- Kuhn,D.(1999) A Developmental Model of Critical Thinking, *Educational Researcher*, 28(2), 16-25.
- 楠見孝・子安増生・道田泰司 (2011) 『批判的思考力を育む：学士力と社会人基礎力の基盤形成』有斐閣.
- Lai, E. R. (2011). Critical thinking: a literature review. *Pearson's Research Reports*, 6, 40-41.
- Lipman, M. (1988). Critical thinking—What can it be? *Educational Leadership*, 46(1), 38-43.
- Liu, O. L., Frankel, L., & Roohr, K. C. (2014). Assessing critical thinking in higher education: Current state and directions for next-generation assessment. *ETS Research Report Series*, 2014(1), 1-23.
- McPeck, J. E. (1990). Critical thinking and subject specificity: A reply to Ennis. *Educational Researcher*, 19(4), 10-12.
- Millar,R.&Osborne, J. (1998).*Beyond 2000: Science education for the future*. London, England: King'sCollege School of Education.
- 道田泰司 (2001a) 「批判的思考の諸概念—人はそれを何だと考えているか?—」『琉球大学教育学部紀要』第 59 卷, 109-127.
- 道田泰司 (2001b). 日常的題材に対する大学生の批判的思考—態度と能力の学年差と専攻差. 『教育心理学研究』第 49 卷, 41-49.
- 道田泰司 (2018) 「叡智としての批判的思考—その概念と育成—」『心理学評論』第 61 卷 第 3 号, 231-250.
- 道田泰司・土屋善和 (2017). 「中学校国語科における現行学習指導要領下での批判的思考教育の可能性」 『琉球大学教育学部紀要』第 91 卷, 207-218.
- 文部科学省 (2008) 『小学校学習指導要領解説理科編』大日本図書.

- 文部科学省 (2011) 『言語活動の充実に関する指導事例集【小学校版】』教育出版株式会社。
- 文部科学省 (2016) 「教育課程企画特別部会論点整理」 Retrieved from [https://www.mext.go.jp/component/b\\_menu/shingi/toushin/\\_icsFiles/afieldfile/2015/12/11/1361110.pdf](https://www.mext.go.jp/component/b_menu/shingi/toushin/_icsFiles/afieldfile/2015/12/11/1361110.pdf) (accessed 2022.1.10) .
- 文部科学省 (2018) 『小学校学習指導要領 (平成 29 年告示) 解説理科編』 東洋館出版社。
- Nadeak, B., & Naibaho, L. (2020). The Effectiveness of Problem-Based Learning on Students Critical Thinking. *Jurnal Dinamika Pendidikan*, 13(1), 1-7.
- 中山貴司・木下博義・山中真悟(2017) 「小学生の批判的思考を育成する理科学習指導法の開発:ツールミン・モデルの導入と多様な質問経験を通して」 『理科教育学研究』 第 57 巻, 第 3 号, 245-259.
- National Research Council (1996). *National science education standards*. Washington, DC: NationalAcademies Press.
- National Research Council (2012). *A framework for K-12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas*. Washington, DC: National Academies Press.
- Osborne, J. (2014). Teaching critical thinking? New directions in science education. *School Science Review*, 352, 53-62.
- Paul, R. W. (1992). Critical thinking: What, why, and how? *New Directions for Community Colleges*, 1992(77), 3-24.
- Piette, J. (1996). *Éducation aux médias et fonction critique*. Paris: L' Harmattan.
- Sahin, S.A, Tunca, N., Altinkurt,Y., Yilmaz, K.(2016), Relationship between professional values and critical thinking disposition of science technology and mathmatics teachers, *Eurasia Journal of Mathematics, Science, & Technology Education*, 12, 25-40.
- 坂本美紀 (2015) 「理科教育」 『批判的思考』 新曜社, 134-139.
- Santos, L. F. (2017). The Role of Critical Thinking in Science Education. *Journal of Education and Practice*, 8(20), 160-173.
- Scriven, M. & Paul, R. (2007). Defining critical thinking. The Critical Thinking Community: Foundation for Critical Thinking. Retrieved from [http://www.criticalthinking.org/aboutCT/define\\_critical\\_thinking.cfm](http://www.criticalthinking.org/aboutCT/define_critical_thinking.cfm). (accessed 2022.1.10) .
- Sendag, S. & Odabasi, H. F. (2009). Effects of an online problem based learning course on content knowledge acquisition and critical thinking skills. *Computers & Education*, 53, 132-141.
- 清水誠・大澤正樹(2015) 「批判的思考力を育成する指導方法の開発—批判的思考の構成要素を役割分担して話し合いをさせることの効果—」 『埼玉大学紀要教育学部』 第 64 巻, 第 1 号, 103-116.
- 清水誠・高信志穂・長島雄介(2013) 「批判的思考力の育成に関する研究:役割分担を促し話

- し合いをさせる効果」『日本理科教育学会全国大会要項』第 63 回, 233.
- Silva, E. (2008). *Measuring Skills for the 21st Century [Report]*. Washington, DC: Education Sector.
- 杉能道明(2016) 「批判的思考力を育成する算数の授業デザイン」『岡山大学算数・数学教育学会誌パピルス』第 23 号, 61-68.
- 豊見山純平・比嘉俊・森力 (2019) 「批判的思考の育成を目指した理科授業の試み : より強い電流を取り出せる電池改良を通して」『琉球大学教育学部紀要』第 94 巻, 137-145.
- 高見健太・木下博義(2017) 「他者との関わりを通じて批判的思考を働かせるための理科学習指導法の開発と評価」『理科教育学研究』第 58 巻, 第 1 号, 27-40.
- Tucker, R. W. (1996). Less than critical thinking. *Assessment and Accountability Forum*, 6(3/4), 1-6.
- Tiwari,A.,Lai,P., So,M.&Yuen.K. (2006) A comparison of the effects of problem - based learning and lecturing on the development of students' critical thinking, *Medical education*, 40, 547-554.
- Toulmin, S. (1958). *The uses of argument*. UK: Cambridge University Press.
- 雲財寛・山根悠平・西内舞・中村大輝 (2019) 「理科教育における批判的思考力の育成を目的とした授業実践の効果—国内誌を対象にしたメタ分析の結果を中心として—」『科学教育研究』第 43 巻, 第 4 号, 353-361.
- Vieira, R., & Tenreiro-Vieira, C. (2016). Fostering scientific literacy and critical thinking in elementary science education. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 14(4), 659-680.
- 涌井学 (2017) 「理科 児童が主体的に問題解決学習に取り組むための指導の工夫 : 「探究の技能」を育成できる自作ワークシートを用いた実験計画作成から考察までの活動を通して」『教育実践研究』第 27 巻, 85-90.
- Yang, Y., Newby, T., & Bill, R. (2008). Facilitating interactions through structured web-based bulletin boards: A quasi-experimental study on promoting learners' critical thinking skills. *Computers & Education*, 50(4), 1572-1585.
- 山中真悟・木下博義(2011) 「批判的思考力育成のための理科学習指導に関する研究:高等学校物理における授業実践を通して」『日本教育工学会論文誌』第 35 巻,第 1 号, 25-33.
- 山中真悟・木下博義 (2012) 「高等学校物理における批判的思考力育成のための指導法に関する研究—物理 I 「物体の運動」の単元を通して—」『理科教育学研究』第 53 巻, 第 2 号, 329-341.
- 山中真悟・木下博義(2014) 「高等学校物理における批判的思考の「反省的側面」育成に関する研究:物理基礎「力と運動の法則」の単元を通して」『日本教科教育学会誌』第 37 巻,第 3 号, 13-22.
- 山中真悟・木下博義・前原俊信 (2015) 「高等学校化学における批判的思考態度の育成に関

する研究」『日本教育工学会論文誌』, 第 39 卷, 第 1 号, 13-19.

山中真悟・木下博義(2018)「論証の枠組みに基づく合理的に思考する態度の育成に関する研究:物理基礎「仕事とエネルギー」の単元を通して」『日本教科教育学会誌』第 41 卷, 第 1 号, 1-10.

米盛裕二(2007)『アブダクションー仮説と発見の論理ー』勁草書房.



## 第2章 研究の目的と研究指導モデルの開発・研究方法

本章では、研究の目的と目的を達成するための研究指導モデル、研究の方法について説明する。モデル開発のために先行研究からCT育成のために重要な要素を抽出し、理科の問題解決学習の各場面に適用可能なCTモデルであるGenerative CTモデルを提案する。そして、モデルの有効性を検証するための研究デザインを示す。

### 第1節 本研究の目的

本研究は、科学的探究プロセス、即ち、問題の発見、仮説推論、検証方法の立案、実験・観測の実施、考察、結論の導出の各段階について、現行の授業時数などを逸脱せずCTを働かせ、問題解決を促進し、なおかつCTの能力を高める理科授業が可能かどうかを実践的に明らかにする。そのために、小学校理科実験授業の問題解決にCTを効果的に活用する理科授業モデルを開発する（小学校を対象とした理由は第1章第1節第5項参照）。

### 第2節 指導モデルの開発と指導方略

この節では、CT育成のための指導モデルの提案をする。モデルを開発するに至った背景とモデルの説明、授業にモデルを摘要するための具体的な指導方略を示す。

#### 第1項 CTを育む理科教育への示唆

ここでは、指導モデルを開発するために先行研究から必要な要素を抽出する。

Dam & Volman (2004) は査読誌に載せられたCTの実践研究55本を検討しており、CTを高める教育の特徴として、学生の能動的学習を促進すること、問題解決中心のカリキュラムを組むこと、学生同士の相互作用を刺激することなどを挙げている。

PBLを含む問題解決学習の有効性は前章でも述べたが、より主体的な問題解決が行われることによってCT育成に効果があると言える。

学生同士の相互作用、すなわち相互評価や対話、議論がCT能力を高めるために有効であるという研究はいくつも報告されている(例えば、Abrami et al.,2015;Tsui,2002;Santos,2017)。

相互評価について伊勢田(2011)は、質問や説明に関わる批判的思考スキルを身につけるだけでなく、他者の異なる考え方に耳を傾け、その考えを取り入れながら問題解決するような、協力的な営みとしての批判的思考力の育成につながる、と述べる。

相互評価活動を実施することで自己評価力が高まるという積極的な利点も主張されている。NICOL & Breslin (2014) は、相手のパフォーマンスを評価する際に、評価基準の理解の深まりや、自分のパフォーマンスとの比較が促され、これが自己評価力の向上につながる、と述べる。

Broadbear (2003)は、CTの活動には4つの重要な要素が含まれるべきだと主張している。それは(1)「構造化されていない問題」、(2)「思考を評価するための基準」、(3)「学生による思考の評価」、(4)「思考の改善」である。

学生が思考を評価するには基準が必要であり、それが思考の改善につながらなければならない、ということである。

思考は目に見えないものであり、思考を評価するためには、思考を他者に分かる形で表出することが有効である。

汎用的なモデル作成には、自分の考えを表出し、議論することが有効であると考えますが、同じようなモデルを用いた実践では、必ずしもCT育成に効果的でないこともある。例えば、思考を可視化し、議論する代表例として、コンセプトマップを用いた実践例が多く報告されているが、CT育成に効果的であったもの(例えば、Chen et al., 2011; Aein & Aliakbari, 2017)と効果が少なかったもの(例えば、Nirmala & Shakuntala, 2011; Samawi, 2006)が報告されている。これらの効果の違いは、議論後に、自分の考えを批判的に見て、妥当な考えに修正できるか否かに関係があるのではないかと考える。

出口・添谷・小川(2016)は、コンセプトマップ使用時の、多様な意見をまとめることの困難さや、誰の意見を取り入れるのかを決定する困難さを指摘している。コンセプトマップは自分の思考を整理し、可視化するものであるが、自由度が高く、他者の考えとの違いが大きすぎるため、比較することが容易ではなく、自身の思考を修正するために働きづらいと考える。CTを発揮する効果を高めるには、問題や議論の目的を焦点化した共通の枠組みが必要であると考えます。焦点化することにより、思考が拡散せずに深化する。深化された互いの思考を比較することにより、議論も活発化し、自己修正できるのではないかと考える。

また、他者の有用な意見に触れたとしても、必ずしも自己修正は生まれるわけではない。

Facione (2006) は、意思決定をする際には、複数の選択肢を慎重に検討し、十分に考慮した上で、どの選択肢を採用するかを決定することが大切にもかかわらず、結局人は、自分の決断は他人が出すどのような反論よりも優れているように見える傾向があり、自分の考えを修正することは難しい、と述べる。学習者が自らの思考に批判的な検討を加えることが難しいという実態は、木下・山中(2014)、木下(2015)からも報告されている。

同様に安藤・池田(2012)は、中学生への調査から、コミュニケーション活動(話し合

いや共同作業)がCTを促進するために効果的に働いていないことを見いだしている。一方、同じく安藤・池田の同じ調査から、学習意欲や探究心が高い場合においては、コミュニケーション活動が効果的になることが見いだされている。

すなわち、自分自身がより良い思考を追い求める意欲や探究心をもつことが、他者からの評価を受け入れ自分の考えの修正につながるのである。

そのためには、問題解決各場面における、集団による意思決定・行動決定の共有も重要な要素だと考える。自己評価や相互評価を通して、自分の意見を決定するだけの思考と、集団の意思や行動を決定する思考では、責任は後者のほうが断然重い。この責任が探究心や学習意欲を高め、深い自省や批判的な議論を誘発すると考える。CTは日常の問題を解決する思考であることが期待されている。他者の考えを評価する際にも、自らの責任を負い、その責任をもって問題解決、ひいては、グループの行動決定を支えるものになることを期待したい。

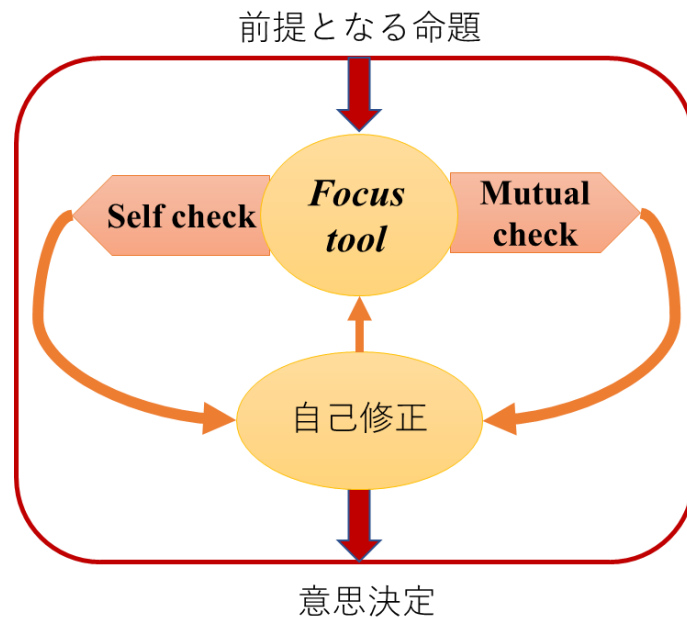
整理すると、汎用的なCT育成モデルを考案するためには、思考を表現することや他者との議論が有効であるが、加えて問題や議論の目的を焦点化した話し合いや、集団の意思決定を重視した問題解決学習も重要であると考ええる。

これらの考えを基に、次項にて、汎用的なCTモデルを提案する。

## 第2項 Generative CT (GCT) モデルの提案

本研究では、理科の問題解決の各過程に適用可能な、図1に示すGenerative CTモデルを用いる学習方法を提案する。このGenerativeは生成するという意味がある。考えを自己修正し、意思決定の論理を生み出すためのCTを促すモデルであり、Generative Critical Thinkingモデル(以下GCTモデル)と呼ぶ。

前提となる命題(推論の出発点)に対する自分の考えをツール(フォーカス・ツール)を媒介として表現する。表現された思考は、Self-check(自己評価)とMutual-check(他者評価・相互評価)を行う中で、自己修正(自己の考えの練り直し)が行われ、より精錬された考えが生成される。精錬された考えは、意思決定として実際に意思の決定や行動として表出される。理科における意思決定や行動とは、問題の設定・仮説の生成・実験計画の決定・結論の導出などである。このモデルはCTを促す活動モデルであり、CTは問題解決の各過程において最善の意思決定をするために発揮される。



**前提となる命題**：学級集団の共通の命題

**Focus tool**：フォーカス・ツール。命題の焦点化・議論の焦点化・評価基準の焦点化。Text, 作図, そのほか任意のメディア, 実体によって, 前提命題, 意思決定したいことについて焦点化し, 問題を明示したり, 表出された考えをリストしたりする, 共通の枠組みを用いたツール。

**Self check**：自己評価。思考の矛盾や論理性のチェック, 自分の思考を繰り返し問い直す。

**Mutual check**：相互評価。合理的な思考を伴った指摘, 助言。

**自己修正**：自己評価や相互評価を反復し, その後考えを自己修正する。意思決定に至る妥当な論理が導かれるまで, 自己評価や相互評価を反復する。

**意思決定**：前提の命題に対する方略（解釈, 行動, 結論）を決定。

図1 Generative CT モデル

ここで用いる Focus tool（フォーカス・ツール）は、GCT モデルの核となる。

このフォーカス・ツールは、意思決定への方略（より良い解釈, 方法, より良い行動, 妥当な結論）を練るために、Text, 作図, そのほか任意のメディア, 実体などを媒介にして、前提命題の問題点および解決法にフォーカスし、問題を明示したり、表出された考えをリストしたりするツールである。フォーカス・ツールは命題の特性に応じて様々に形を変えて用いられる。

フォーカス・ツールは共通の型で表現されることで、自分の知覚, 認知, 考え方, 着眼

を外部とつなげることができる。さらに、他者との差異や同質性に着目しやすくなる。

フォーカス・ツール使用により、問題点の整理、再分析がなされ、解決へ向けた思考の矛盾や論理性がチェックされる。表出された考えは他者に説明する役割もあるため、より分かりやすく考えをまとめる必要があり、また、他者に説明することは、責任も伴う行為である。このフォーカス・ツール使用による自己評価の場面で CT が誘発され、解決へ向けた考えが練り直される。

また、相互評価における、他者の考えに指摘、助言をする過程でも CT の発揮が期待される。この場合の指摘、助言は、最終的な意思決定につながるため、単なる批判にとどまらず、合理的な思考を伴った助言となりうる。他者を評価する中で、自分の考えも整理され、自己修正を促すことにつながる。

自己評価や相互評価を経て自己修正した考えを基に意思決定が行われる。しかし、自己評価や相互評価、自己修正する中で、新たな問題が追加されることもある。その場合、再びフォーカス・ツールの段階に戻り、自己修正に至るまでの過程を繰り返す。最終的に自分が納得いく意思決定が生み出される。

この GCT モデルの一連の過程において、自己の考えや他者の評価を選択し、または統合した上で、「何を信じ、何をを行うか」を自己で決定する CT 能力が育成される。

GCT モデルは意思決定に至るまでの自分の考えを導くことが目的であり、単なる論証のチェック機能ではない。問題を焦点化し、問題を解決するための新たな可能性を生み出すモデルである。未知のものを特定する、未知のものを生み出す、知らない自分を知る、などの問題に対して自らの姿勢を生み出すことを可能にするモデルである。理科の問題解決学習においては、未知なる物への仮説生成、可視化できない現象への解釈、解決方法の提案等の様々な場面で応用可能な汎用的なモデルとなる。

GCT を理科の学習に適応することで、実験を中心とした問題解決は受け身ではなく、自分で考えを生み出し、表現し、説明するという能動的な活動になりえる。

次項では、GCT モデルを理科の実験にどのように取り入れるかについて、理科の問題解決過程と関連させる方略を示す。

### 第3項 GCT モデルを理科の問題解決学習に適用する指導方略

GCT モデルを問題解決の各場面に摘要することにより、CT を誘発し、さらには問題解決能力が養われると考える。この項では、開発した GCT モデルを問題解決過程の各場面で適用する方法について示す。

小学校学習指導要領解説（平成 29 年告示）理科編（文部科学省，2018）では、問題解決の過程として、「自然の事物・現象に対する気付き、問題の設定、予想や仮説の設定、検証計画の立案、観察・実験の実施、結果の処理、考察・結論」という過程が例示されている。

さらに、問題解決の過程と関連させた、各学年で中心に育成する問題解決能力も示している。

第3学年では、主に差異点や共通点を基に、問題を見いだす力、第4学年では、主に既習の内容や生活経験を基に、根拠のある予想や仮説を発想する力、第5学年では、主に予想や仮説を基に、解決の方法を発想する力、第6学年では、主により妥当な考えをつくりだす力、が、問題解決能力として示されている。

これらの問題解決能力は、その学年で中心的に育成するものであるが、該当学年で示した問題解決の力を該当学年のみで育成を目指すものではなく、4年間を通して、これらの問題解決の力を意図的・計画的に育成することを目指すものである。

意思決定を伴う GCT モデルは、予想・仮説の設定、検証計画の立案、結果・考察、結論導出の各過程において、適用可能であると考えられる。本研究では、GCT モデルの効果を検証するために、各学年で重点が示されている問題解決の過程に、GCT の適用を試みる。

本研究で注目した問題解決の過程と、発揮される CT を想定したものが表 1 である。

表 1 理科の重点項目と実践において働かせたい CT 能力

問題解決能力 【重点学年】	問題解決の過程	働かせたい CT
問題を見いだす力 (問題発見能力) 【3年】	自然現象に対する気付き 問題発見	【自身の現象への捉え方の批判・ 自身と外部(現実・他者)の比較】 ・自身の見方や感じ方と実測の比較 ・自身と他者の観察結果の比較
根拠のある予想や仮説を 発想する力(仮説生成能力) 【4年】	予想・仮説の設定	【現象への解釈の妥当性判断】 ・予想や仮説の信頼性判断・選択 ・予想や仮説の導出(仮説推論)
解決の方法を発想する力 (実験計画能力) 【5年】	検証計画の立案 観察・実験の実施	【実験計画の妥当性判断】 ・実験計画や実験の信頼性判断 ・実験結果の想定(演繹的推論) ・実験の優先順位の決定
より妥当な考えをつくりだ す力 (考察・結論を導出する力) 【6年】	結果・考察	【他者の主張を評価】 ・他者の主張(考察)の信頼性判断 ・日常の情報の信頼性判断
	結論の導出	【根拠のある主張】 ・実験観察結果の信頼性判断 ・証拠に基づく結論の導出(帰納的推論) ・問題解決の評価

表1の「働かせたいCT」項目は、GCTモデルを問題解決の各過程に適用した時に、発揮、育成されると想定したCT能力を示している。以下に、「働かせたいCT」を想定した理由を説明する。

### 第3 学年実践で働かせたいCT

問題発見能力を養う場面では、正確な観察・観測が重要となる。正確な観察・観測が多くの気づきを促すからである。正確な観察・観測のためには、現象を正しく捉えられているかを問い直すCTが求められる。また、観察・観測から発見した考えを表出する際には他者との視点の違いや考え方の違いに気づき、自分の考えを問い直すCTが求められる。

Kuhn (1999) は、8歳児には他者と自分との考えの違いが曖昧であると指摘している。他者との考え方との違いに気づくことは自分の考えを改善することにもつながる。GCTモデルを用いた他者との交流により、自分と他者の考え方の違いに目を向けさせたい。

### 第4 学年実践で働かせたいCT

仮説生成場面では、現象を解釈してより良い仮説を追い求めるCTの発揮が求められる。GCTモデルを用いた、他者の仮説との比較を通して、自らの仮説をより良く練り直すことを期待する。また、他者の仮説の妥当性を判断するCTも発揮することを期待する。

### 第5 学年実践で働かせたいCT

実験計画能力を養う場面では、他に良い実験方法はないかと問い直す、実験計画の妥当性を判断するCTの発揮が求められる。この実験計画場面では、計画が実際に正しいかが、実験を通して明らかになるため、自身の考えの妥当性を判断できる。また、理科における実験は、繰り返し試行することにより、自身が納得する結果が出るまで批判的に追究できる。GCTモデルを用いた、実験の要因の焦点化や他者との議論により、他に良い実験方法はないかを批判的に考えながら追究する力を育成したい。

### 第6 学年実践ではたらかせたいCTの詳細

妥当な考察を導く力を養う場面では、自身と他者の考察を交流することがあるが、その際には、他者の考察の妥当性を判断するCTの発揮が求められる。また、仮説の生成場面では、これまでの学習経験や日常の情報が論拠となる。それらの情報の妥当性を判断するCTを発揮することが求められる。結論を導く場面では、実験データを基にした根拠のある主張をするCTや、本当に妥当な結論が得られたかを判断するCTを発揮することが求められる。本研究では、第6学年での育成を試みるが、この年齢は、ピアジェの発達段階で言うと形式的操作期になり、抽象的概念が発達する段階である(第1章第1節第5項)。この時期に、他者や社会からの情報という抽象を批判的に検討し、自分の意思を決定することは重要であり、また、その経験が、日常生活の問題を解決するCTにつながると考え

る。さらには、他者の主張の論理の矛盾を指摘するだけでなく、他者の主張をより良くするための改善案を提案する力も育成したい。

本研究では、理科の各学年の重点とする問題解決の過程に GCT モデルを摘要することによる、問題解決能力及び CT 能力の育成効果を、授業実践を通して検証する。検証するために学年を設定してはいるものの、本来、問題解決能力は、第 3 学年から第 6 学年まで問題解決の過程を繰り返す中で育まれるものと考え。CT も同様に、学年に関わらず、問題解決の過程を繰り返す中で育成されるものと考え。

理科で育成すべき問題解決能力と CT を関連させて育成することの利点は、CT 育成のために余分な時間を取る必要がない点と、児童が第 3 学年から系統的に繰り返し実践しやすい点であり、そこに新規性があると考えている。

GCT モデルという共通の枠組みの中で、問題解決の様々な場面で CT を育成することができれば、CT 教育を義務教育段階から広めることを可能にし、幅広く CT 教育が実践されていくと考える。

#### 第 4 項 CT 態度面を育成する学習環境の構築

CT の態度面を育成するためには、学級風土や学習環境について考えなければならない。

Marques, Tenreiro, Matins (2011) は、生徒の CT を促進するためには、生徒が自分の考えを表現し、探究し、リスクを取り、成功や失敗を共有し、互いに問いかけることを奨励する学習環境を作り、維持する必要があることを示唆している。

Brown (2009) は、科学学習に関連した CT を育成するためには、言われるべき正しい答え、そして教師の指示を好む段階から、答えが分かっている問題とまだ答えが得られていない問題を区別し、教師に頼らない段階へと学生を移行させることが重要であり、この段階に移行すると、学生は次第に議論と立証の重要性を理解し、自分で判断する必要性を感じるようになる、と述べる。

CT を発揮しようとする態度は、学生同士が互いに考えを表現し、ともに探究する仲間として学習に臨む環境が必要である。また、教師に正しい答えを求める段階から自分たちで議論しながら答えを追求する段階へと変容させる学習環境が必要である。この学習環境の構築も重要であると言える。

その為に、GCT モデルを使った実験を行う際には、主体的に学習に臨むことが必要である。そのためには、学習者が興味を持つことができる問題設定や、探究できる実験を設定する必要がある。また、お互いにオープンに考えを交流するためにも、相互の話し合いの時間を十分に確保する必要がある。



### 第3節 検証方法と本研究の構成

#### 第1項 検証方法

本研究の目的を達成するために、GCTモデルを問題解決の学習過程で使用し、その効果を授業実践により明らかにする。研究対象は小学校児童に設定する。

GCTモデルに使用するフォーカス・ツールは、各学年で重点的に育成する問題解決能力や授業の内容に応じて、その特性に見合ったものを実践ごとに設定した。

検証方法としては、基本的にフォーカス・ツールの記述内容の変容を質的・量的に分析することで児童の問題解決能力やCT能力を測定する。ツールに児童の変容が見られない場合には、理科の能力を測定するテストを使用し、能力の変化を量的に測定する。また、CT態度面の変容を、質問紙調査を用いて量的に測定する。表2の各実践での実験デザインは、本研究における実践授業の学年と単元、GCTフォーカス・ツールとフォーカスの対象、分析方法をまとめたものである。なお、検証のため、実験群と対照群を設定している実践があるが、対照群児童には検証終了後に実験群と同様の授業を行うことにしている。

具体的な授業実践と効果の検証については、第3～8章で説明する。

表2 各実践での実験デザイン

実践	GCTと 【フォーカスの対象】	分析	質問紙	理解度テスト
第3学年「物の重さ」 5学級、計155名 実験群-対照群	錯視体験+全体討論 【視覚、体感と実測の違い】	行動+感想文 (pick up)		重さに関する理解度テスト (pre-post, 実験群-対照群)
第4学年「電気の働き」 3学級、計73名 実験群-対照群	電流イメージ図(webカメラ像)+意見交換(chat) 【直列並列の明るさの違いと電流の関係】	イメージ図+Chatテキスト	CT質問紙(pre-post, 実験群-対照群)	
第5学年「電流の生み出す力」 3学級、計90名 実験群のみ	Ambitious Target Tree (ATT)+他班と相互検討 【変える条件、効果の大きさ、実験の実現性】	ATT+討論会話	CT+理科学習の主体性(pre-post, 実験群のみ)	
第6学年「水溶液の性質と働き」	フローチャート(FC)型実験計画表+相互評価	FC+討論会話・記述	CT質問紙(pre-post, 実験群-対	

4 学級, 計 96 名 実験群-対照群	【実験の効率, 手順, 安全性】		照群)	
第 6 学年「ものの燃え方と空気」 1 学級, 計 30 名 実験群のみ	情報信頼度表+相互評価 【日常の情報の信頼性, 他者の主張の信頼性】	討論会話・記述・ワークシート検討記述	CT 質問紙(pre-post, 実験群のみ)	
第 4 学年理科「物のあたためり方」 3 学級, 計 84 名 実験群-対照群	ATT 【自身の理解状況, 自身の弱点】	ATT+感想文分析		理解度テスト (実験群-対照群)

## 第 2 項 研究対象校の実態

本研究の授業実践を行う対象校について説明する。第 3～8 章はすべて同じ小学校を実践対象校としている（第 3 章のみ，他の対象校も参加）。

本研究の実践対象校は東京都内の公立小学校である。実践校では，学習において，下記の三つの特徴ある取り組みをしている。

一つ目の特徴として，授業の最後に学習の振り返りを重視しており，自分が学んだ内容や身に付けた力について書くことを繰り返し行っている。そのため，自分の力を客観的に見る力をつけている。また，文章を書くことにも慣れていると言える。

二つ目の特徴は，学習時に話し合いを重視している点である。低学年ではペア，中学年では 3 人，高学年では，4～5 人からなるグループで話し合いができるよう，系統的に指導してきている。話し合いの仕方や話型を示し，繰り返し練習することで，自分の意見を明確にして話すことや，相手の意見を聞く土台ができている。

三つ目の特徴は，児童の主体性を重視している点である。4～6 学年では，運動会や学芸会，宿泊学習と言った学校行事の際に，企画運営をする実行委員を設置している。全員がいずれかの行事の実行委員に属しており，運動会や学芸会であれば，目標の決定や練習スケジュールの計画，実行を行う。宿泊行事であれば，行程や所要時間などについて決定する。自分たちで学習や行事を作り上げようとする態度が育まれている。

本研究で提案する GCT モデルは，自分の考えをツールに記述したり，話し合ったり，振り返ったりすることが重要である。研究対象校は，それらの活動に慣れており，GCT モデルを適用しやすい土台があると言える。

様々な取り組みをして児童の力を育もうとしている学校ではあるが，全国学力学習状況調査の結果は全国平均並みであり，基礎学力は一般的な学校であると言える。

### 第3項 本論文の構成

図2に、本論文の構成を示す。

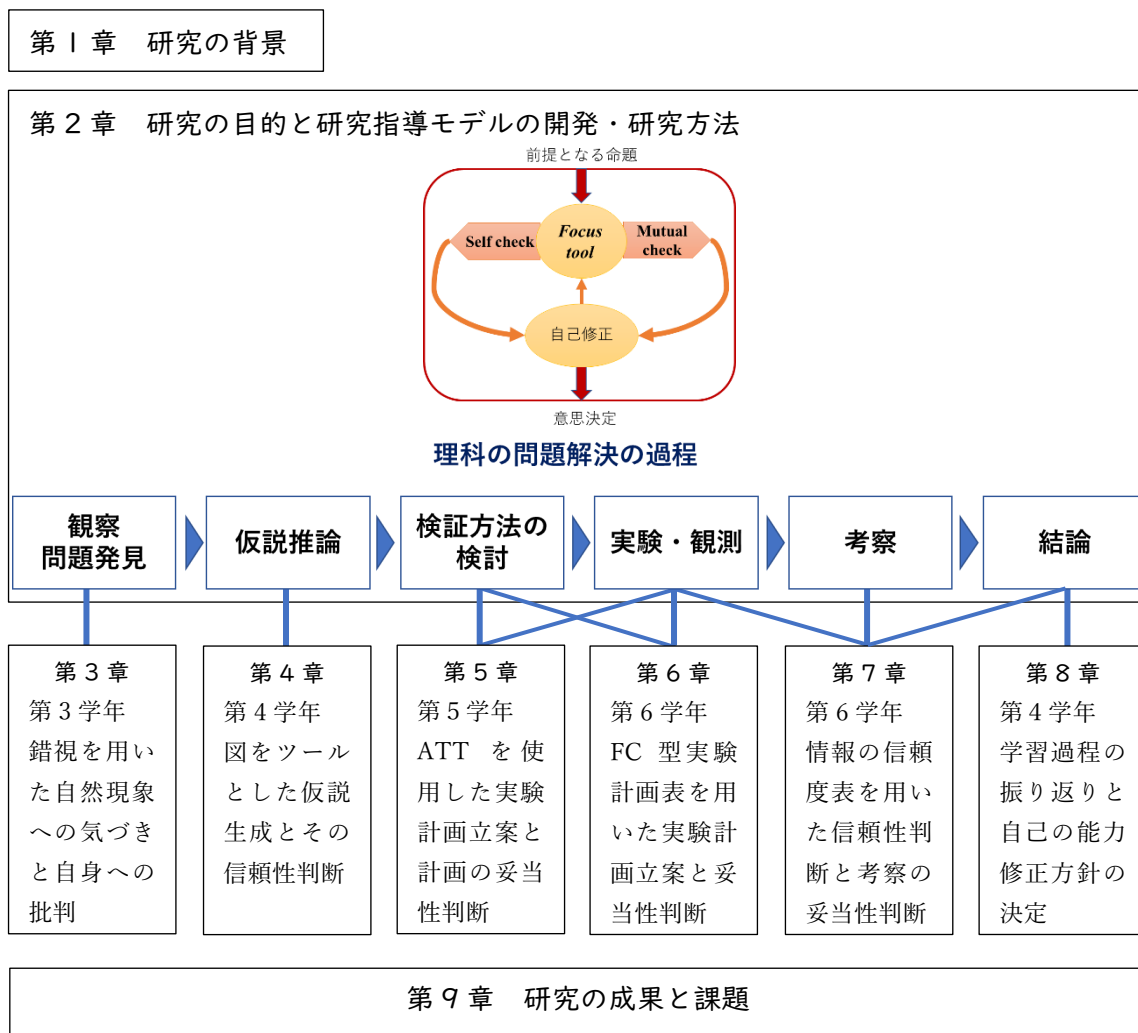


図2 本論文の構成

### 参考文献

- Abrami, P. C., Bernard, R. M., Borokhovski, E., Waddington, D. I., Wade, C. A., & Persson, T. (2015). Strategies for teaching students to think critically: A meta-analysis. *Review of Educational Research*, 85, 275–314.
- Aein, F., & Aliakbari, F. (2017). Effectiveness of concept mapping and traditional linear nursing care plans on critical thinking skills in clinical pediatric nursing course. *Journal of Education and Health Promotion*.

- 安藤玲子・池田まさみ (2012) 「批判的思考力の獲得プロセスの検討:中学生の4波パネルにおける因果分析から」『認知科学』第19巻, 83-99.
- Broadbear, J. T. (2003). Essential elements of lessons designed to promote critical thinking. *Journal of Scholarship of Teaching and Learning*, 3(3), 1-8.
- Brown, S. (2009). "On the other side of the barrier is thinking", *Acta Didactica Napocensia*, 2(3), 1-8.
- Chen, S.-L., Liang, T., Lee, M.-L., & Liao, I.-C. (2011). Effects of concept map teaching on students' critical thinking and approach to learning and studying. *Journal of Nursing Education*, 50(8), 466-469.
- Dam, G., & Volman, M. (2004). Critical thinking as a citizenship competence: Teaching strategies. *Learning and Instruction*, 14, 359-379.
- 出口明子・添谷信行・小川陽子 (2016) 「知識の構造化を目指した中学校理科授業：地学分野におけるコンセプトマップの活用」『宇都宮大学教育学部教育実践紀要』第2号, 83-90.
- Facione, P. A. (2006). *Critical Thinking: What it is and why it counts*. Insight Assessment, California Academic Press.
- 伊勢田哲治 (2011). 科学技術と社会を結ぶ哲学的思考法. 楠見孝・子安増生・道田泰司 (編) 『批判的思考力を育む：学士力と社会人基礎力の基盤形成』, 169-177. 東京：有斐閣.
- 木下博義(2015)「高等学校理科における生徒の批判的思考に関する実態調査研究」『広島大学大学院教育学研究科紀要.第二部,文化教育開発関連領域』第64号,1-8.
- 木下博義・山中真悟(2014)「理科学習における中学生の批判的思考に関する調査研究」『広島大学大学院教育学研究科紀要.第二部,文化教育開発関連領域』第63号,15-21.
- Kuhn,D.(1999) A Developmental Model of Critical Thinking, *Educational Researcher*, 28(2), 16-25.
- Marques,R., Tenreiro,C., Matins,I.m. (2011). Critical thinking: Conceptual clarification and its importance in science education. *Science Education International*, 22, 43-45.
- 文部科学省 (2018) 『小学校学習指導要領 (平成 29 年告示) 解説理科編』 東洋館出版社
- Nicol, D., Thomson, A., & Breslin, C. (2014). Rethinking feedback practices in higher education: A peer review perspective. *Assessment & Evaluation in Higher Education*, 39(1), 102-122.
- Nirmala.T & Shakuntala.B.S (2011)Concept mapping – an effective tool to promote critical thinking skills among nurses. *Nitte University Journal of Health and Allied Sciences*, 1 (4) , 21-26.
- Samawi, Z. (2006). The effect of concept mapping on critical thinking skills and dispositions of junior and senior baccalaureate nursing students. *Concept Maps: Theory*,

*Methodology, Technology Proc. of the Second International Conference on Concept Mapping : San José, Costa Rica, 2006.*

Santos, L. F. (2017). The Role of Critical Thinking in Science Education. *Journal of Education and Practice*, 8(20), 160–173.

Tsui, L. (2002). Fostering critical thinking through effective pedagogy: Evidence from four institutional case studies. *Journal of Higher Education*, 73, 740–763.

# 第3章 錯視により物の量の判断を考え直す3年生理科「物と重さ」の授業

本章では、第3学年で重視する自然現象への気づきや問題発見能力、および正確な実験を行う態度と、自身の現象への捉え方を批判的に見るCT能力を育成するためにGCTモデルのフォーカス・ツールとして、錯視を用いた授業法を提案する。錯視は、ものの量は視覚的に判断できるという前提に対して、問題点を明確にする効果がある。

重さ、特に質量保存の概念は、児童の素朴概念により理解されにくいとされている。CTを発揮し、自分の観察している現象や自分が持っている概念は正しいのかを判断することは、理科における正確な実験を可能とする。理科導入期である第3学年時に効果的な方法であると考ええる。

授業実践を基にその効果について検証する。

## 第1節 研究の背景と目的

### 第1項 物の重さにおける先入観の存在と認知的葛藤による修正

第3学年で重視される問題解決の過程は、観察から問題を発見する過程である。理科導入期の第3学年児童にとって、正確な観察をする力を身に付けることが必要である。しかし、児童は、観察した事実よりも、これまでの生活経験により得た概念を重視する傾向があると言われている。特に、小学校理科「物と重さ」の分野は先入観によって理解が難しい傾向があることが知られており、ものの形を変えると重さも変わると考える児童が多くいることが課題とされている（工藤，2011）。

小学5年生を対象とした学力調査においても、「砂糖が溶ける前と後で重さが変わる」と答えた児童が多くおり、水に溶けても重さが変わらないという事実の理解が難しいことを示している（国立教育政策研究所，2012）。

本来、物の重さを量るには、測定が必要であるが、見た目で見えなくなると重さもなくなるという先入観をもつ児童が多くいるため、測定して判断していないのではないかと考える。

Pine, Messer & John (2010) は、先入観による誤った理解を形成する元は、子どもたちが以前に何らかの形で日常生活で経験した概念に由来すると述べる。

麻柄(1996)によると、ある学習内容に関して体系的な教育を受ける以前であっても、学習者は日常生活から様々なことを学習しており、そのような学習者が自生的に作り

上げた誤った知識は様々な概念化がなされ、教育によって必要な知識が意識化されても、誤った考えは制御されにくいと述べている。

Kuhn (1989) は、児童が経験から生み出した概念は強力であり、教育に対して非常に抵抗性があるとし、修正の難しさについて示している。

この課題に対して、Piaget (1977) は、認知的葛藤が不均衡を生み出すことで誤解が改善されると主張した。認識の誤りを経験させることは、認知的葛藤を生み出す一つの方法である。人がそれぞれに見てきたものには人によって違いがあることや、認識に間違いがあることを経験させることは、認知的葛藤を生むための一つの手段である。そのような経験は、児童に物事を見る際に自分の経験を疑い、本当に何が正しいのかを考えるきっかけとなる。

これらの研究をもとに考えると、児童が経験から得た認識の誤りを修正する、または、認識の誤りを産まないようにするためには、視覚的なツールを使い、認知的葛藤を生むことが有効であると考えられる。

## 第2項 錯視を用いた学習と CT

人の見方を欺くことを目的とした目の錯覚がある。池田 (2009) は、錯視とは現実世界と主観的な視覚世界との間のずれであり、錯視には知覚、認知、行動に影響を与えるものがあると述べている。Hoefler (1994) は、視覚は人が最も依存する感覚の一つであるが、目は騙されやすいので、「視覚」と「現実」はかなり異なる場合があると断言している。また、情報を正確に処理するためには、CTが必要であることを確認している。

錯視の体験を通して、最初に感じた見え方が間違っている可能性があること、複数の見え方があることを発見することができる。また、錯視を用いた学習は、形が変わることによる質量保存など、その後の学習においてCTを誘発することが期待される。

CTの研究では、暗黙の前提を明確にすることが重要だと考えられている。つまり、先入観や自分の経験、知っている情報を明確にし、何が議論の土台として正しいのか判断した上で議論することが大切である。児童に重さを正しく認識させる上では、「ものの重さには先入観による間違いが見られやすい」ことに気付かせたい。

このように、錯視を用いることにより、児童は、最初に感じた見え方が、明らかに誤りである場合があることに気づき、何かを見る方法が複数あることや、人によって感じ方が違うことに気づくだろう。

3年生の学習は、植物や動物等の生き物を観察し、正しくスケッチする学習から始まる。その後物理実験が始まる。その際に、観察しているものが、正しく見えていない場合があることを理解し、正確に測定する意識を高めることは、理科学習の導入期において科学的

思考を育むのに有効であろう。

### 第3項 研究の目的

本研究では、児童にももの形や体積と重さの関係を正しく理解させるために、錯視を用いて児童のCTを養うことを目的とした授業法を提案する。そして、考案した授業法により、児童に正しい重さの概念が身についたかを検証することを目的とする。

## 第2節 研究方法

### 本実践におけるGCTの構成

前提命題：ものの量は視覚的に判断できる。

フォーカス・ツール：錯視・錯覚現象（目で見た判断の特徴を明瞭にする）

フォーカス・ツールの役割：目で見得る確信は誤りの場合があることを認識する。

### 第1項 錯視に対する児童の思考を調査する質問紙調査

始めに、児童が錯視を生じるような図を見た際、物の形や大きさを判断するためにどのような思考を働かせているかを調査した。

図1はジャストロー錯視と呼ばれる錯視である。2つの形は同じ形、大きさであるが、内側の弧と外側の弧の端を合わせることで、下の方が大きく見える。

この図を用いて、以下の2つの質問をした。

質問1：絵のようなバームクーヘンがあります。大きいものを選ぶとき、どちらを選びますか。下の選択肢から選び、選んだ理由も書きましょう。

①上 ②下 ③どちらとも言えない（同じ）

質問2：大きい方を選ぶにはどのような方法で確かめればいいでしょうか。

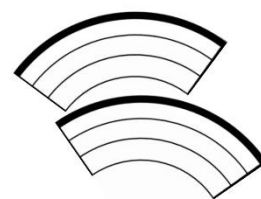


図1 ジャストロー錯視

このアンケートを東京都の小学生、3年：25名、4年：96名、5年：88名、6年：74名に対して実施した。

この調査から(1)見た目に無批判にだまされている児童の数、(2)児童が2つの大きさを比較するために用いた測定方法、および(3)2つ大きさを重量で比較することを思いついた児童の数を確認する。なお、質問に答える際に定規やコンパス等の測定器具を使うか



どうかは児童の判断に任せた。

## 第2項 CTを感覚に適応するための指導方略

小学校3年生理科「物の重さ」の単元において、下の1-4の指導法を用いた錯視や触覚による見かけと測定とを比較して考える活動を通して、ものの形や、体積と重さの関係を児童に理解させる指導法を提案する。

### 1 測定の必要性を感じさせる錯視を用いた指導法

授業の導入時にいくつかの錯視を見せることで、認知的葛藤を生み出し、正しく測定しなければ、事実はわからないことに気づかせる。以下は、授業で見せる錯視である。

図2は、ドイツの心理学者エビングハウスが発表したエビングハウス錯視と呼ばれる錯視である。同じ大きさの二つの円の周囲を、それぞれ大きな円で囲んだ場合と小さな円で囲んだ場合、前者の円は後者の円よりも小さく見える。この図に、多くの児童は騙されるであろう。そして、測定したときに驚きをもつであろう。また、図3はエビングハウス錯視を改変した図であり、中心円の大きさは違う。この2つの絵をみせることにより、児童に、見た目では大きさは分からないこと、正しく大きさを判断するためには測定をする必要があることを感じさせる。図4~6も錯視であり、児童に見せた後、測定することで見た目と違うことを確認させる。

図4~6は <http://www.kecl.ntt.co.jp/IllusionForum/>の画像を引用した。

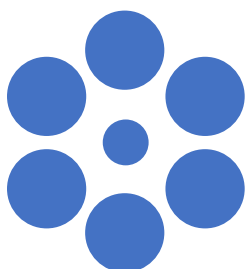


図2 エビングハウス錯視



図3 中心の円の大きさが違う図

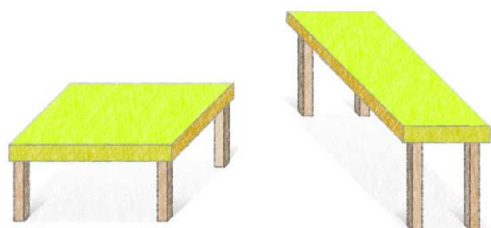


図4 シェパードの卓上錯視

図4は、Shepard (1990)による錯視である。この二つの天板は形も大きさも同じである。錯視が生じる原因は、テーブルの脚がもたらす三次元的な奥行き感にある。左右で奥行き感が異なるため、それにつられて天板の形状が全く違って見える。

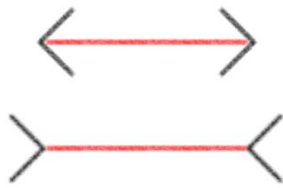


図5 ミュラーリヤー錯視

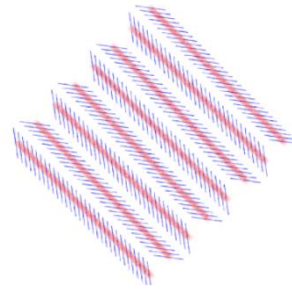


図6 ツェルナー錯視

図5は、ミュラーリヤー図形錯視である。上下の水平線の長さを比べると、下の方が長く見える (Judd, 1905)。

図6はツェルナー錯視である。水平方向と垂直方向が交互になっている短い繰り返し線と交差する一連の平行な対角線は、非平行な配置のように見える (Wallace, Crampin, 1969)。

これらの錯視を通して、自分の感覚による判断を疑い、客観的で正確な測定をする意義を見出せると考える。

## 2 重さを量る必要性を感じさせる指導法

図7に示すような、容量の異なるペットボトル (ポリエチレンテレフタレートボトル、略して PET ボトル) 500mL と 1000mL を用意し、どちらの水の量が多いかを判断させる。この場合、ペットボトルの形が違うため、児童は見た目で判断することが難しいことに気づくが、定規を用いた測定では、水の量は量れないことにも気づく。その際、重さを量るという概念を導入する。

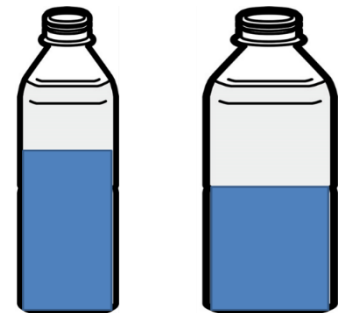


図7 容量の違う二つのペットボトル

ここで児童に重さの測定をさせ、物の量の判断には重さを測定するのが有効であることを理解させる。

## 3 目に見えないものにも重さがあることを感じさせる指導法

中に油が入った太い試験管を電子天秤の上において提示する。ガラス管を見せ、児童に「このガラス管を試験管の中に入れると、試験管の重さはどうなるか。」と尋ねて、予想させる。試験管内にガラス管を実際に入れると、ガラスと油の屈折率が殆ど同じのためにガラス管は全く見えなくなる。そして、ガラス管を入れた試験管の重さを測定する。

児童は、目には見えなくなっても重さは変わらず存在することへの理解が深まると考える。

#### 4 見た目によって重さの感じ方は違うことに気づかせる指導法



図8 同じ重さで違う体積のおもり

図8は、すべて100gの分銅であるが、材質は銅・鉄・アルミであり、密度はそれぞれ異なる。重さは全て同じだが、実際手に持ってその重さを調べると、人によって重さが違うように感じることもある。

この体験を通して、重さの感じ方は人によって様々であり、正しく測定することの必要性をより実感させられる。

### 第3項 授業実践

2019年10月から11月にかけて、都内の小学校3年生87名(5学級)を対象に、提案した指導法に沿って授業を行った。単元は「物の重さ」で第1時から第8時まで全8時間授業(1授業時間は45分)である。開発した指導法で授業を行う実験群クラスをA・B・Cの3クラス設定し、対照群クラスをD・E組の2クラス設定した。授業に参加した人数はそれぞれ、A組29名、B組29名、C組35名、D組29名、E組33名である。指導過程を表1に示す。

表1 指導過程

授業時	指導内容(実験群)	指導内容(対照群)
1	<ul style="list-style-type: none"> <li>○エビングハウス錯視を見て、錯視について知り、定規を使って測定する。</li> <li>○PET ボトルに入っている水の量を量るために重さを測定する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○身の回りにあるいろいろな物を手に持って、重さを比べる。</li> <li>○はかりを使って、身の回りの物の重さを調べる。</li> </ul>
2	<ul style="list-style-type: none"> <li>○身の回りにあるいろいろな物を手に持って、重さを比べる。</li> <li>○はかりを使って、身の回りの物の重さを調べる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○形を変えると物の重さは変わるか、予想する。</li> <li>○物の置き方や形を変えると、重さが変わるかどうか調べる。</li> </ul>
3	<ul style="list-style-type: none"> <li>○油が入った太い試験管内にガラス管を入れ、試験管の重さを測定する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○実験結果を基に、物の置き方や形を変えたときの、物の重さについてまとめる。</li> </ul>
4	<ul style="list-style-type: none"> <li>○形を変えると物の重さは変わるか、予想する。</li> <li>○物の置き方や形を変えると、重さが変わるかどうか調べる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○同じ体積でも物の種類が違っていると重さは違うのか、予想する。</li> </ul>
5	<ul style="list-style-type: none"> <li>○実験結果を基に、物の置き方や形を変えたときの、物の重さについてまとめる。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○いろいろな物の重さを比べ、塩と砂糖を同じ体積にして、重さが違うか調べる。</li> </ul>
6	<ul style="list-style-type: none"> <li>○同じ重さで体積の違うおもりを手で持った感覚を確かめ、実際の重さを測定する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○体積が同じでも、物によって重さが違うことをまとめる。</li> </ul>

		○物の重さについて、分かったことをまとめる。 ★評価テスト
7	○同じ体積でも物の種類が違っていると重さは違うのか、予想する。	○エビングハウス錯視を見て、錯視について知り、定規を使って測定する。 ○PET ボトルに入っている水の量を量るために重さを測定する。
8	○いろいろな物の重さを比べ、塩と砂糖を同じ体積にして、重さが違うか調べる。	○油が入った太い試験管内にガラス管を入れ、試験管の重さを測定する。
9	○体積が同じでも、物によって重さが違うことをまとめる。 ○物の重さについて、分かったことをまとめる。 ★評価テスト	○同じ重さで体積の違うおもりを手で持った感覚を確かめ、実際の重さを測定する。

授業の効果測定方法として、実験群と対照群に重さの問題の評価テストを行う。テストは、森（1973）と工藤（2011）を参考に作成した。実施した評価テストは付録に示す。この評価テストを実験群と対照群に以下の表 2 のように行う。

表 2 実験群と対照群のプレテスト・ポストテストの実施有無

クラス	実験群 A 組	実験群 B 組	実験群 C 組	対照群 D 組	対照群 E 組
プレテスト	実施	なし	実施	なし	実施
錯視・錯覚	実施	実施	実施	なし	なし
ポストテスト	実施	実施	実施	実施	実施

プレテストによる児童の能力への影響があるか調べるために、プレテストを実施するクラスと実施しないクラスを設定した。授業実践後、実験群対照群のポストテストの比較、プレテストを行ったクラスのプレテストとポストテストの比較から、授業の効果を検証する。

実験群は、第 1 時、3 時、6 時に錯視や錯覚を取り入れた授業を行い、第 9 時終了後、評価テストを行った。対照群では、教科書（東京書籍）の流れに沿った計画で授業を行い、第 6 時終了後、評価テストを行った後、錯視や錯覚を取り入れた授業を行った。

### 第3節 結果と考察

#### 第1項 錯視に対する児童の思考を調査する質問紙調査の結果

図9～11は、第2節第2項で示したジャストロー錯視に関する質問1および2に対する児童の回答を示している。

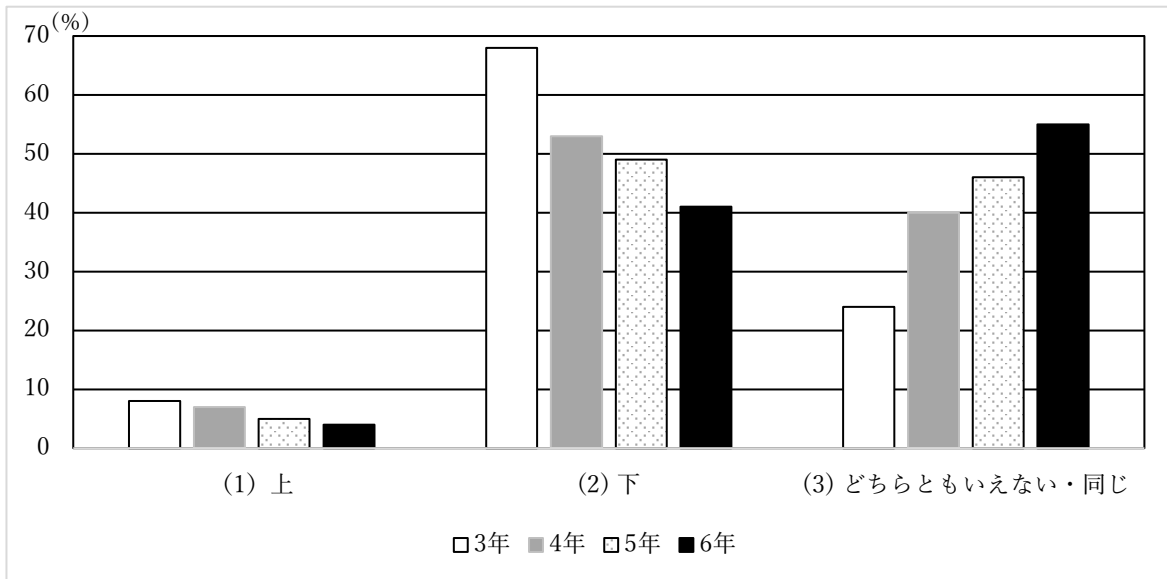


図9 質問1の回答割合の学年比較

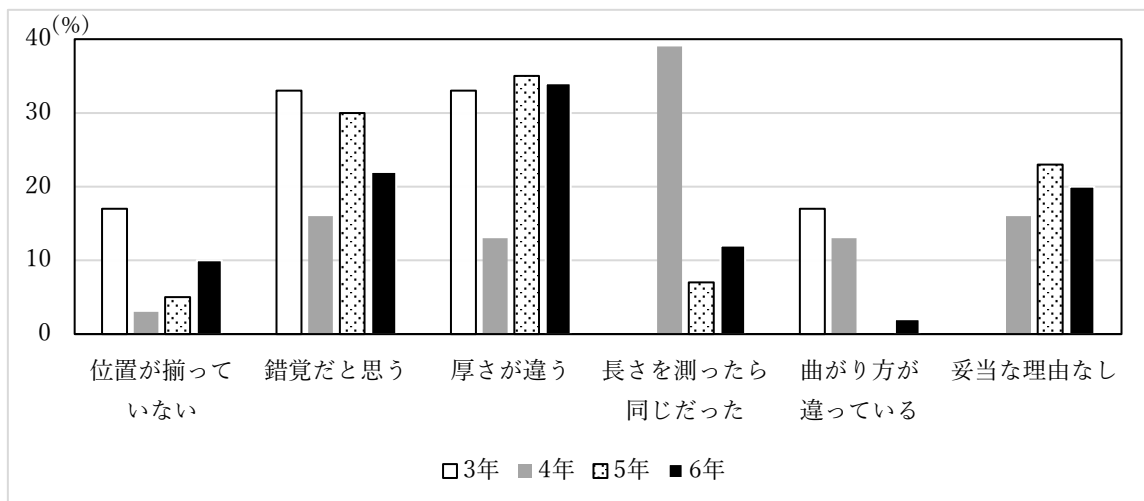


図10 質問1で「どちらとも言えない」、もしくは「同じ」を選んだ理由の学年比較

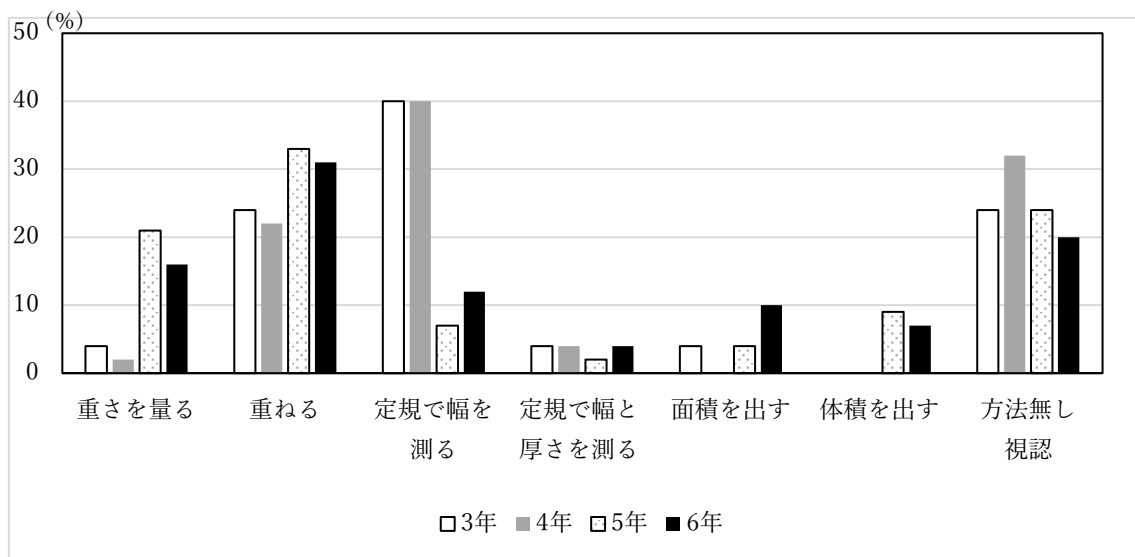


図 11 質問 2 の確認方法の人数割合の学年比較

図 9 から、錯視により「②下」の選択肢を選んだ児童が 3～5 年では一番多かったことがわかる。6 年でも 41% いることから、錯視による見た目に惑わされて、思い込みにより判断する傾向があると言える。学年が上がるごとに、同じ大きさもしくは判断できないと答える児童が増えてきたが、全体としてほぼ半数が錯視による絵を疑わず、下が大きいと判断してしまっていることは、科学的な見方が育っていないと考えられる。また、選択肢に同じもしくは判断できないがあるにもかかわらず、下を選んでいるため、下が大きいと思っ込んでいると言える。

図 10 は質問 1 で「どちらとも言えない」、もしくは「同じ」を選んだ児童の理由を分類したものである。3 年は 6 名と少ないので参考とし、主に 4 年生～6 年生の結果を比較して考察する。図 9 の結果から 5 年生以上になると、この絵が錯視であることを疑う児童が増加した。しかし、図 10 の結果からは錯視である根拠を示すことができた児童は少ない。錯視であると疑うのであれば、定規を用いて測定するなどの根拠を示してほしいところである。5 年生になると、厚さが分からないから判断できないという意見も増えてきた。アンケートの図は厚さがわからないため、この判断は妥当であると考えられる。これは、前提を明確にしなければならないという意識の表れであると捉える。このアンケートから 5 年生以上になると見方に対する CT が芽生えてくると考える。しかし、形が同じだと判断したうえで厚さを考える児童はいなかった。

実際に定規などを用いて長さを測定したうえで判断している児童は、4 年生に多く、3 年生にはいない。5・6 年生にはいるが割合としては少ない。

図 11 は、質問 2 で調査した、実際に大きさを調べる方法についての児童の自由記述を分類し割合を示したものである。「重ねる」と回答した児童の割合はどの学年においても比較的多い。この絵のような形の場合、長さを測るのは難しいため、図形が合同であれば重

ねることは合理的な方法である。

「面積を出す」や「体積を出す」という回答もあるが、図の形は体積や面積を量るのは困難である。したがって最も合理的に判断できるのは重さを量る方法である。4年生は長さの測定が多く、重さに目を向ける児童が少なかった。(2%)。重さを量る方法で判断すると回答したのは5年生で21%、6年生で16%と多かったが、全体的には少ない。これは大きさと重さの関係を把握している児童が少ないことを示す。3年時に重さの学習をしているにもかかわらず、この低さは、物の形と重さの概念が定着していないことを表している。

以上の結果より、児童は見た目で判断しやすく、重さで量を判断する意識は高くないことが分かる。3年生の時から、見た目で判断することを批判する実体験をもち、正しい測定方法で重さや長さ等を判断する学習経験が必要と言えよう。単元に錯視や錯覚を感じさせる体験を意図的に取り入れることで、先入観に対するCTが養われ、物事を正しく測定して判断しようとする姿勢が身につくと考える。

## 第2項 実験群の各授業時の様子

### 第1時の授業の様子

第1時では、授業の前半に図2～6の錯視の図を印刷したものを児童に渡し、最初に見た目でどのように見えるか考え、次に定規を用いて測定して確認する活動を行った。

多くの児童が、実際に定規で測ると見た目と違うことに驚いていた。特に、図4の卓上錯視には多くの驚きがあった。活動後の感想の記述からは、「目で見ているものには、騙されているものがあるかもしれない」「正しく測定しなければ、本当の大きさはわからない」という記述が見られた。

授業の後半では、図7に示した二つのペットボトルの重さを比べる活動を行った。二つのペットボトルは、高さは同じで、容量は1000mlと500mlである。1000mlのペットボトルに400gの水をいれ、500mlのペットボトルに350gの水を入れた。

多くの児童は、初めに高さに着目していたが、底面積の違いから、それでは判断できないということに気づいていった。そのうち、手で重さを比べる児童が表れてきた。徐々に重さを比べればよいことに気づいた児童が増えてきたが、手で比べているので、どちらが重いか意見が分かれ、判断できなかった。そこで、児童からはかりを使ったらよいのではないかという提案がなされたため、はかりを用いて二つのペットボトルを測定した。

測定の結果、1000mlのペットボトルに入っている水の量が500mlのペットボトルに入っている水の量よりも多いと判断することができた。

児童の感想からは、「重いか軽いかを見ただけで判断することがあったけど、それではわからないこともある」「水の量は物の重さで判断できることが分かった」という記述が見られた。

この時間の活動により、児童は、見た目で判断するのではなく、正しく測定しようとする意識を高めることができたと考える。

### 第3時の授業の様子

第3時では、油の入った試験管にガラス管を入れると、ガラス管が見えなくなる現象を見せた。その後、油の入った試験管とガラス管の重さをそれぞれ測定し、重さの合計を記録した。次に試験管の中にガラス管を入れて重さを測定した。

児童は、ガラス管が見えなくなったことに驚いていたが、見えなくなったのは、見かけによるものであると考え、重さはなくなると予想した児童が多かった。この活動により、見えなくなっても重さはあることを当たり前であると感じさせることができた。そして、見た目へのCTも芽生えてきたと考える。

### 第4時の授業の様子

第4時では、粘土の形を変えたり、粘土をいくつかに切ったり、粘土の置き方を変えたりして、重さを測定した。実験前の予想では、多くの児童が、前時の活動でガラスが見えなくても重さが変わらなかったことを例に挙げながら、粘土の形を変えようが、また、置く向きを変えようが、重さは変わらないという判断をしていた。実験後の振り返りからも、粘土がどのように変わっても重さは変わらないという質量保存の考え方が身についていた。

### 第6時の授業の様子

第6時では、図8に示した、すべて重さは100gであるが、体積や材質の違うおもりを、手の感覚で重いと感じる順に並べる活動を行った。その際、目を閉じて感じた重さの通りに並べる活動と目を開けておもりを見ながらおもりを並べる活動を行った。目を開けて測定した場合、小さいおもりの方が大きいおもりよりも重いと感じる児童が多かった。すべて100gであることを知ると、驚きの声が上がった。実験後の振り返りでは、「手の感覚では重さがわからない。」「大きいものが意外と軽く感じたため騙された。」という記述が見られた。

この活動から、100gという重さをはかりで測らないと正確に分からないことや、100gという重さは、感覚や見た目、その物の大きさに関わらず、100gという重さであるという見方が養われたと考える。

### 第7・8時の授業の様子

第7・8時では、食塩と砂糖の同体積での重さを測定する活動を行った。第6時の経験から、児童は、物質が違っていると、体積が同じでも重さは違うということ、また、体積が違う場合でも、重さが同じである場合があるということに気づいていた。児童は、食塩と砂糖の重さを正確に測定しながら、材質による重さの違いについて理解を深めていった。



### 第3項 評価テストの結果と考察

授業実施前後に行った評価テストについて分析する。表3はプレテストを行ったクラスの正答率である。

問題によって正答率に偏りはあるが、概ねクラスによる能力差はないと判断できる。問題別にみると、表の太い枠で示されているように、問題4、問題6、および問題8の正答率が低い。問題4の正答率は3クラスとも50%未満と低い。この設問は、氷が解けても質量は変わらないことへの理解を問うものであるが、多くの児童が、氷が溶けると軽くなると感じている。問題8の正答率も低い。この問題は砂糖が溶けて見えなくなった場合の重さを問うものであるが同様に正しく理解できていない。見えなくなると重さもなくなると感じている児童が多いと言える。このあたりに生活経験から得た、見えないものは重さはないという概念が存在すると考えられる。問題6の正答率も低い。この問題は水に木を浮かべたら重くなるかを問う問題である。木は浮かんでいるのだから重さはなくなるとい意識があると考えられる。重さはたとえ浮かんでいたとしてもその質量は保存されるということが理解されていないことが分かる。

表3 プレテストの各クラスの正答率

問題	問題1	問題2	問題3	問題4	問題5	問題6	問題7	問題8
A組(29名) の正答率%	86.2	86.2	86.2	41.3	89.6	68.9	72.4	62.1
C組(35名) の正答率%	82.9	57.1	74.3	22.9	91.4	68.6	74.3	31.4
E組(29名) の正答率%	75.8	89.6	72.4	44.8	79.3	55.2	79.3	44.8
合計	81.7	76.3	77.4	35.5	87.1	64.5	75.3	45.2

表4は実験群のポストテストの正答率である。プレテストを実施していない実験群B組の正答率とポストテストを実施した実験群A・C組の正答率に有意差はなかった。有意差は有意水準 $\alpha=0.05$ のt検定によって決定した。

表5は、対照群D組とE組のポストテストの正答率を比較したものである。プレテストをしていないD組は、プレテストを実施したE組よりも問題7で有意に低いスコアを示したが、問題1と問題3では高いスコアを示した。したがって、対照群に実施したプレテストは、事後テストの得点を上げるのに完全に有意ではないと判断した。したがって、この研究で使用された事前テストは、事後テストの得点を上げる効果を引き起こさなかつ

たと結論付ける。

表 4 実験群のポストテストの正答率[%]比較

問題	問題 1	問題 2	問題 3	問題 4	問題 5	問題 6	問題 7	問題 8
実験群 A・B 組 (64 名) プレテスト実施	85.9	92.2	87.5	65.6	93.8	84.4	93.8	75.0
実験群 B 組 (29 名) プレテストなし	100	93.1	82.8	72.4	96.6	79.3	89.6	72.4
P 値 ( $\alpha = 0.05$ )	0.547	0.878	0.502	0.209	0.666	0.554	0.065	0.794

表 5 対照群 D 組と E 組のポストテスト正答率[%]比較

問題	問題 1	問題 2	問題 3	問題 4	問題 5	問題 6	問題 7	問題 8
対照群 D 組 (33 名) プレテスト実施	100	94.0	94.0	33.3	94.0	61.0	66.7	42.4
対照群 E 組 (29 名) プレテストなし	86.2	79.3	65.5	44.8	96.5	68.9	89.6	62.1
P 値 ( $\alpha = 0.05$ )	0.027	0.089	0.004	0.362	0.639	0.500	0.031	0.127

実験群、対照群それぞれの問題 4, 6, 8 のプレテストとポストテストの平均正答率の差を検定したものが表 6 である。問題 4, 6, 8 に絞って検定を行った理由は、プレテストにおいて点数が特に低かった問題であること、そして全 10 問の比較検定を行うと、多重比較により、有意水準が妥当とは言えなくなるためである。

表 6 の結果から、プレテストで特に正答率の低かった問題 4, 6, 8 において、実験群の正答率は大きく向上したが、対照群の正答率は有意に向上していない。このことから、通常行われている重さの授業では、物が見えなくなった場合の重さや、浮かんでいるものの重さを正しく理解させることができていると言えない。一方、実験群では、錯視やガラス管が消える現象、及び材質や大きさの違う同じ重りを比べる学習を取り入れたことにより、今まで見た目で感じてきた重さの概念を再考する機会ができた。重さの学習において

より測定を重視したため、物が見えなくなった場合の重さや、浮かんでいるものの重さを正しく理解できたと考える。

表 6 実験群・対照群のプレテスト・ポストテストの正答率比較

問題	問題 4	問題 6	問題 8
実験群 A・C 組 (64 名) プレテスト 正答率%	31.2	68.7	45.3
実験群 A・C 組 (64 名) ポストテスト 正答率%	65.6	84.4	75.0
正答率の比較 (p 値)	<0.001	0.011	<0.001
対照群 E 組 (29 名) プレテスト 正答率%	44.8	55.2	44.8
対照群 E 組 (29 名) ポストテスト 正答率%	44.8	68.9	62.1
正答率の比較 (p 値)	1.000	0.161	0.096

今回の授業では、錯視を取り入れたことにより、見た目で判断せずに測定をする意識を高められたこと、また、一見、見えなくなったり、軽くなったように感じたりしても、物の重さは変わらないという、質量保存の考えを身につけることができたと考え。この結果から、考案した指導法は、児童に重さの認識を正しく理解させるのに有効であったと考える。

#### 第 4 節 本章のまとめ

本研究では、初めに錯視の影響で大きさが違って見える物体の形状を、小学生児童が判断する能力について明らかにするために、アンケート調査を実施した。児童は錯視に惑わされる傾向があり、すでに学んだ重さの概念を適用できたのは少数であった

次に錯視を用いて児童の CT を養うことにより、児童にももの形や体積と重さの関係を正しく理解させる授業法を考案した。

その後、考案した授業法により、児童に正しい重さの概念が身についたかを検証した。

授業後の評価テストでは、実験群の正答率は、対照群の正答率よりも高くなった。特に、物が溶けて見えなくなった場合の重さや、浮遊している物体の重さについての理解に大きな差が生まれた。

授業の中に錯視を用いることにより、人の目や感覚は正確ではないことに気づき、見た目に対する CT が芽生えてきた。そして、正しく測定する意識が高まった。結果として、重さの概念が正しく理解された。考案した錯視を取り入れた授業法は、重さの概念を正し

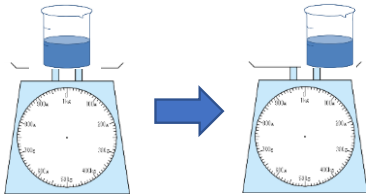
く理解させるために有効であることが明らかになった。

## 参考文献

- Hoefler, J.M. (1994) Critical thinking and the use of visual illusions, *Political Science & Politics Access*, **27**(3), 538–545.
- 池田文人 (2009) 「錯視とその情報処理モデル」『情報処理』 第 50 巻, 第 1 号, 29–36
- Judd, C. H. (1905) The Muller–Lyer illusion, *The Psychological Review: Monograph Supplements*, **7**(1), 55–81.
- 国立教育政策研究所 (2012) 『平成 24 年度全国学力・学習状況調査【小学校】報告書』  
[https://www.nier.go.jp/12chousakekkahoukou/03shou-gaiyou/24\\_shou\\_houkokusyo-2\\_kyoukanikansuru.pdf](https://www.nier.go.jp/12chousakekkahoukou/03shou-gaiyou/24_shou_houkokusyo-2_kyoukanikansuru.pdf) (accessed 2020/5/16).
- 工藤与志文 (2011) 「学習者のもつ「素朴概念」と概念変化をうながす教授方略—ル・バーと組みかえ型ストラテジー—」『心理学評論』, 第 54 巻, 312–327.
- Kuhn, D. (1989) Children and adults as intuitive scientists, *Psychological Review*, **96**(4), 674–689.
- 麻柄 啓一 (1996) 「学習者の誤った知識はなぜ修正されにくいのか」『教育心理学研究』 第 44 巻, 第 4 号, 379–388.
- 森一夫 (1973) 「子どもにおける保存概念の形成について」『教育心理学研究』 第 21 巻, 第 1 号, 32–42.
- PIAGET, J. (1977) *The Development of Thought, Equilibration of cognitive structures* (New York, Viking Penguin).
- Pine, K., Messer, D., John, K. S. (2001) Children's Misconceptions in Primary Science, *A Survey of teachers' views, Research in Science & Technological Education*, **19**(1), 79–96.
- Roberts, B., Harris, M. G., Yates, T. A. (2005) The roles of inducer size and distance in the Ebbinghaus illusion (Titchener circles), *Perception*, **34**(7), 847–856.
- Shepard, R. N. (1990) *Mind Sights: Original Visual Illusions, Ambiguities, and other Anomalies* (New York: W.H. Freeman and Company).
- Wallace, G. K., Crampin, D. J. (1969) The effect of background density on the zöllner illusion, *Vision Research*, **9**(1), 167–177.

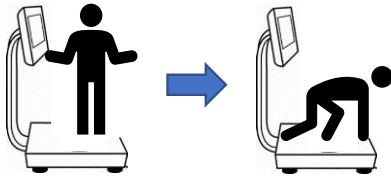
## 付録資料 ものの重さに関する問題

〔問題①〕 はかりのまん中に、水の入ったコップがあります。はかりの上でコップの位置を右はしに変えたとき、重さはどうなりますか。番号を○でかこんでください。



1. 重くなる
2. 軽くなる
3. 変わらない

〔問題②〕 体重そくていで立って体重をはかりました。しゃがんだときの体重はどうなるでしょう。番号を○でかこんでください。



1. 重くなる
2. 軽くなる
3. 変わらない

〔問題③〕 ある人がおにぎりを1こ食べた後、体重はどうなるでしょう。番号を○でかこんでください。

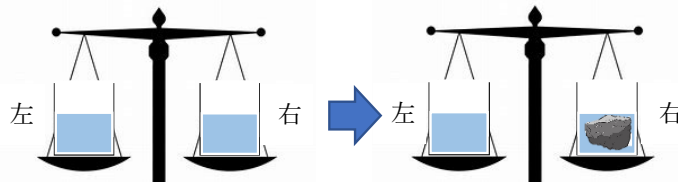
1. 重くなる
2. 軽くなる
3. 変わらない

〔問題④〕 右の水と氷の入ったコップと左の水の入ったコップはつり合っています（同じ重さ）。しばらくして氷がとけるとどうなるでしょう。番号を○でかこんでください。



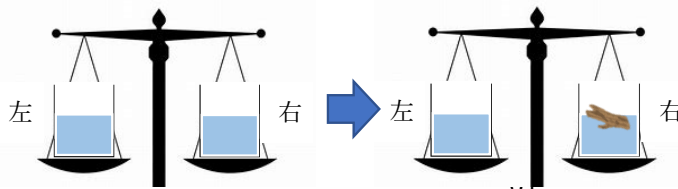
1. 右が下になる（氷の入っていたコップの方が重くなる）
2. 左が下になる（元々水だけのコップの方が重くなる）
3. どちらにもかたむかない

〔問題⑤〕 右の水の入ったコップと左の水の入ったコップはつり合っています（同じ重さ）。右のコップに石を入れるとどうなるでしょう。番号を○でかこんでください。



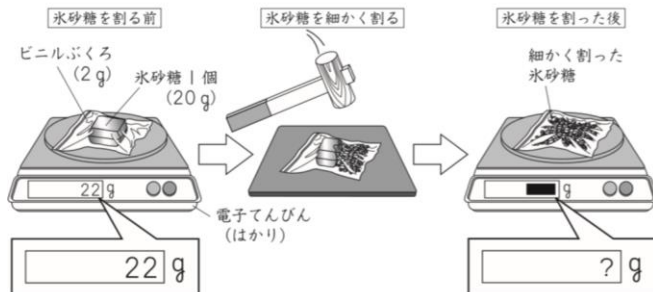
1. 右が下になる（石の入ったコップの方が重い）
2. 左が下になる（元々水だけのコップの方が重い）
3. どちらにもかたむかない

〔問題⑥〕 右の水の入ったコップと左の水の入ったコップはつり合っています（同じ重さ）。右のコップに木を浮かべるとどうなるでしょう。番号を○でかこんでください。



1. 右が下になる（木の入ったコップの方が重い）
2. 左が下になる（元々水だけのコップの方が重い）
3. どちらにもかたむかない

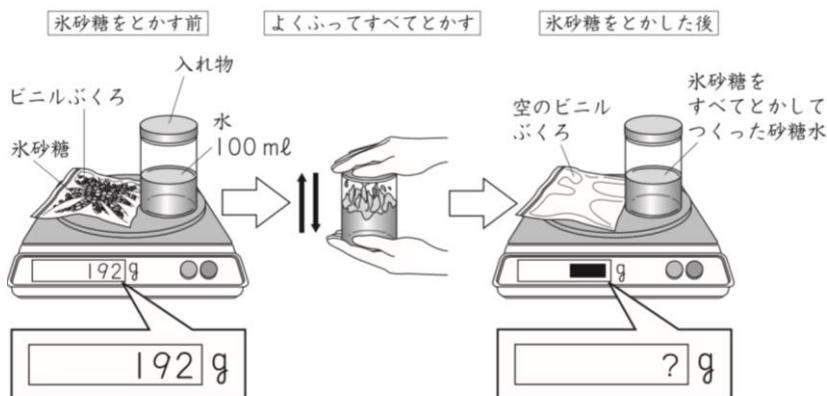
〔問題⑦〕下の図のように、氷ざとう 1 個とビニルぶくろの重さをはかると、22g でした。次に、水にとかすやすくするため、氷ざとうをビニルぶくろに入れて細かくわりました。そして、もう一度全体の重さをはかりました。



? の重さはどうなっているでしょう。下の 1 から 4 までのの中から 1 つ選んで、その番号を書きましょう。

1. 22g より軽くなっていました
2. 22g と変わっていませんでした
3. 22g より重くなっていました
4. ビニルぶくろの重さだけになっていました

〔問題⑧〕下の図のように、(1)で細かく割った氷ざとうと水 100ml の入った入れ物の重さをはかると、192g でした。次に、細かく割った氷ざとうを水に入れて、よくふってすべてとかしました。そして、もう一度全体の重さをはかりました。



? の重さはどうなっているでしょう。下の 1 から 4 までのの中から 1 つ選んで、その番号を書きましょう。

1. 192g より軽くなっていました
2. 192g と変わっていませんでした
3. 192g より重くなっていました
4. ビニルぶくろと入れ物と水 100ml の重さだけになっていました

# 第4章 理科の同時双方向型オンライン授業での図を用いた意見交換によるCT育成の効果の検証

本章では、第4学年で重視する仮説生成能力と、仮説の妥当性を判断するCT能力を育成するために、GCTモデルのフォーカス・ツールとして、イメージ図を用いた授業法を開発する。また、GCTの要素の一つである、相互評価を促すために、オンラインツールを授業法に取り入れる。

視認することができない電流向きや大きさについて考えを交流する際には、考えを図を用いて視覚化することが有効であると考え。乾電池の直列、並列回路それぞれの回路で電流に特徴がある、という前提命題に対して、電流図を用いて、その流れ方にフォーカスすることで、交流の際にも視点が焦点化され、妥当な解釈をするためのCTが生成されることが考えられる。

考案した授業法を用いた授業実践とその効果について検証する。

## 第1節 研究の背景と目的

### 第1項 オンライン授業とCTへの問題提起

新型コロナウイルス感染症の影響の中、2020年3月からの一斉休校を受け、自宅で学習する児童生徒のための、オンライン学習がますます重要になっている。かつて、遠隔教育は遠隔での教授を実現するものの、Bullen (1998) が「遠隔教育の規模と受け入れの拡大にもかかわらず、学生間および学生と指導者の間の相互作用を提供できないことが多いため、この形式の教育提供に対する批判が根強く残っている」と指摘したように、学習における双方向的コミュニケーションの課題が指摘されてきた。遠隔授業においては、児童が教師側から指示された課題に対し、受け身になりがちな状況にあったとも言える。

このような受け身の状態でのオンライン授業では育むことが困難であろうと思われる能力のうちの一つに、CTが挙げられる (Bullen, 1998)。

文部科学省 (2011) では、CTを「他者の考えを認識しつつ自分の考えについて前提条件やその適用範囲などを振り返るとともに、他者の考えと比較、分類、関連付けなどを行うことで、多様な観点からその妥当性や信頼性を吟味し、考えを深めること」としている。初等教育でのCTの育成においては、学習の場で他者との意見交流が活発に行われるこ

とが望ましいと考えられる。本研究では、同時双方向型オンライン授業において、図を用いた表現を相互に行うことによる意見交流を取り入れ、CT能力および態度を育成する方法を検討する。

## 第2項 双方向オンライン学習と現状の課題

オンライン授業で他者と効果的に交流するにはどのような方法があるか。対面授業時には見られる学生間および学生と指導者間の重要な対話が、遠隔教育ではそれを再現することが困難であるという問題がある。Laurillard (1993)はこの問題を双方向通信技術により対処できると指摘した。むしろ双方向通信は、相互作用の機会を増進し、リフレクションと、より深い理解をもたらす場合があることが明らかにされた。

高等教育の例として浮田・加堂 (2021) は、双方向型オンライン授業において学生間のコミュニケーションを促進させるために、Zoomのアンケート機能やチャット機能を使った実践を行い、学生-教師間や学生間のコミュニケーションの促進に一定の効果があったと述べている。他にもオンライン双方向授業を用いてコミュニケーションを行う研究はあり (例えば、吉田, 2018; 早瀬, 2021), コミュニケーションの課題解決に一定の成果を上げている。一方、黒山・八ツ塚・浦野 (2021) は、オンライン双方向授業の課題として、安定的な通信インフラの整備や情報セキュリティに対する安心の確保、教員・学生の双方がオンラインコミュニケーションに慣れるプロセスの必要性について述べている。

一方、文部科学省 (2020) が一斉休校中の学習状況について発表したデータでは、2020年7月の時点で、同時双方向型オンライン授業 (文部科学省告示, 2007; 文部科学省, 2018a) を実施している小学校は、全国の小学校のうち約8%であった。また、児童生徒に対して、個々の学習状況の違いに対応した学習の支援に課題があると感じている指導者は73%と大勢を占めた。

本研究の対象校である都内区立A小学校においても通信の安定への課題や、個々の児童に対する学習支援の課題が見られた。A小学校は、全児童にタブレットPC (以下PCと略記) を貸与している。2020年3月からの新型コロナウイルス感染症対策による一斉休校中には、PCでのオンライン学習を行った (B&G財団, 2020, うち後藤)。3月~5月中旬では、教師が児童のPCに課題を送信し、PC上で課題を完成した児童は課題ファイルを教師のPCのフォルダに提出する、という非同期オンデマンド形式が主であった。

さらに、5月末~6月末では、Microsoft Teams の遠隔会議を用いて、教師と児童の同時双方向型オンライン授業が導入された。授業では、プレゼンテーションソフトやワープロソフトで作成したファイルを、教師と児童の間で画面共有して活用した。しかし、画面共有を用いて授業を行った全てのクラスで、児童側のパソコンがネットワーク不安定で停止する事象が見られ、その度に授業の進度が遅くなった。また、児童が自由に発言できるよ



うにすると、音声のハウリング、児童 PC のネットワーク不安定、停止などの障害が頻発した。児童側の端末に障害が発生した場合に、教師側が十分に援助することが難しく、障害に遭遇した児童はその授業に参加できずに終わることもあった。そのため校内の申し合わせでは、同時双方向型オンライン授業を円滑に進めるには、児童に自由に発言させたり、ビデオオンにさせずに、ネットワークの安定を優先したルールを設けたりすることで対処した。

上記に示した全国の実施状況や研究対象校の実態から、今後、同時双方向型オンライン授業を円滑に進めていくためには、教師や児童が容易にデバイスを活用できるような、簡便かつ効果的な授業法を開発していくことが求められる。

### 第3項 オンライン双方向授業において図を用いることによる CT 育成への期待

児童間、児童-教師間で、軽便に双方向の意見交換をするために、本研究では、児童が自らの考えを図に表現して、web カメラを用いて図を見せて説明し合う、という方法を導入した。

CT を育成するためには、児童が互いの考えを吟味する活動を取り入れることが有効である。さらに、批判的な議論をする際には、自分の考えを図や表を媒介として伝えることにより、議論が深まることが報告されている（村田・栗原，2020）。また、図や文字を媒介とした意見交換は、同時双方向型オンライン授業における音声通信上の障害を回避または低減する手段ともなり得るので、この手法を取り入れることとした。

対面授業での理科学習においても、図を用いて説明し合うことは学習効果が高く、特に、実験の予想をする場面や実験結果を考察する場面で有効であることが知られている（例えば、和田・宮村・澤田・森本，2015；佐藤・松尾・小野瀬，2019）。

以上のことから、本研究では、図を媒介にして凝縮された意見交換を可能にすることで、その議論の場においてCT能力の育成を促進する可能性を検討する。

### 第4項 研究の目的

本研究は、同時双方向型オンライン授業において、図を媒介とした意見交換を導入した授業法を開発し、その授業法のもとでの CT 能力および態度の育成を検証することが目的である。

## 第2節 研究方法

### 本実践における GCT の構成

前提命題：乾電池の直列，並列回路で電球を点灯する。それぞれの回路での電流に特徴がある。

フォーカス・ツール：電気回路の電流図

フォーカス・ツールの役割：目に見えないもの（電流）をイメージする。乾電池の直列・並列で電球の明るさが違うことの仕組みを電流の違いとして考える。

### 第1項 図の映写による意見交換

本研究では，児童が十分に思考を深められつつ，思考の情報をネットワーク負荷がなるべく高くないように交換するため，児童自身が考えを図に表現し，その図を映写しての意見交換手法を導入した。

#### 図を用いた意見交換手法：

- (1) 全児童が自分の考えをノートに図として表現する。
- (2) 1学級を5～6人ずつのグループに分ける。研究対象学級では，A～Dの4グループを編成した。
- (3) 初めのグループ(Aグループとおく)の児童はノートの図をwebカメラに直接映し，互いの図についてマイクを通じて自由に話し合う。
- (4) Aグループの話し合いを，他のグループ(B～Dグループ)はカメラとマイクをオフにして視聴する。話し合いには直接参加しない。
- (5) Aグループの児童は，話し合い後に，話しきれなかったことをチャットに記入する。B～Dグループの児童もAグループの図や意見交換において気づいたことや良い点，疑問点をチャットに書き込む。
- (6) 次のグループ(Bグループとおく)の児童がカメラに図を映し，話し合う。その他のグループはBグループの話し合いを視聴する。
- (7) すべてのグループが話し合いを終えるまで(1)～(6)を繰り返す。

上述の意見交換手順の利点は次のア)，イ)の2点である。

- ア) 図を用いることにより短時間で自分の考えを伝えやすい。相手の図をよく見ることで，言葉による説明を図から読み取れる情報で補うことができる。
- イ) カメラとマイクを同時にオンにするのは1グループ5～6人の児童に限るので，通信負荷は低く抑えられ通信支障は生じにくい。

さらに，同じ内容について描かれた図を同時に5～6人で比較するので，共通点や相違点

に気付きやすい。これは、比較により合理的に判断するという CT 能力の育成につながると言えよう。

本研究では、乾電池と豆電球の回路での電流について実験前の予想と、実験後の考察の場面において、児童に自分の考えを電流イメージ図に表現させ、互いに説明しあって議論させた。

## 第2項 授業実践の方法

2020年5月に、都内の小学校4年生計73名(3学級)を対象に理科の「電気の働き」の授業実践を行った。各学級の人数はそれぞれA組22名、B組22名、C組29名である。A、B組を実験群、C組を対照群と設定した。A、B組の合計44名はオンライン授業のすべての時間に参加した児童である。リアルタイムの意見交換に参加していない児童は研究対象から除いた。一方、対照群C組の29名には、同時双方向型オンライン授業に授業当日には参加せず、後日に教師との同時双方向型オンライン指導を受けた児童が含まれる。その際の指導は、表1の指導計画に基づいてリアルタイムで対照群児童が受けた授業と同等の内容で行われた。

オンライン授業に用いたソフトウェアはMicrosoft Teamsである。児童のPCは、富士通ARROWS Tab Q507/PEである。WebカメラにはPCのビルトインカメラを用いている。

学習単元は第4学年理科「電流の働き」で、表1に示す第1時から第5時までの全5時間授業(1授業時間は45分)を行った。この単元では、回路の電流の大きさによってモーターや豆電球の働きが変わることを調べる。その中で、電池2個を直列や並列につないだ時の電流の流れ方を回路図に重ねて表現した電流イメージ図を描かせた。この図を用いた意見交換手法により話し合い活動を行った。表1に示す実験群での授業手順が、本研究で提案する授業手法である。

表1 図を用いて同時双方向型オンラインで意見交換する小学校4年生理科「電流の働き」の授業提案

校時	学習内容(実験群及び対照群の両群で共通の内容)	実験群のみで行われる、図やチャットを用いた意見交換
1	(CT調査質問紙記入) 電池の+極、-極を学び、電池とモーターまたは豆電球の回路を作成する。 回路を流れる電流及びその向きを学び、「電流のイメージ」を回路図に表現する。	

2	電池 2 個と豆電球 1 個のつなぎ方を考える。豆電球が明るくなるつなぎ方を予想し、電流の流れ方を図に表現する。	【図を用いた意見交換 - ①実験の予想】 Web カメラで予想の図を映写しての説明と意見交換。チャットによる各自の予想の意見交換。意見交換後、図を改善し、フォルダに提出。
3	実験をして、豆電球が点灯するつなぎ方や明るくなるつなぎ方の予想を検証する。	チャットによる実験結果の交流。
4	電池の直列と並列接続、及び豆電球が点灯しないつなぎ方について、それぞれの電流の流れ方を図に表す。	【図を用いた意見交換②実験結果の考察】 考察の図を映写して説明及び意見交換。考察についてチャットにより意見交換。意見交換後、個人別に図を改善し教師の提出用フォルダに提出。
5	単元の学習のまとめ。 (CT 調査質問紙記入)	

このオンライン授業を家庭で行うにあたり、必要な実験器具である、豆電球、モーター、導線、電池等は、あらかじめ児童宅に郵送した。第 1 時には、児童が電池 1 個で豆電球を点灯できたことを教師がリアルタイムに確認した。さらに、回路図の描き方や+から-へ電流が流れていることを図で解説することにより、第 2 時以降に児童が個人で電流のイメージ図を描く際の参考となるようにした。第 3 時の電池 2 個の並列および直列回路の実験の際も、教師は、児童の回路の適切性を教師がリアルタイムで確認し、適宜助言を与えた。実験後、数人の児童の実験結果を発表させ、その後教師が、電池を直列つなぎにすると豆電球が明るく光り、並列つなぎにすると明るさは変わらないこと、さらに豆電球が点灯しないつなぎ方もあることを全体に確認した。これらは、実験群・対照群とも共通の指導事項である。

実験群では、第 2 時の予想の場面と第 4 時の考察の場面に、各自の電流図について第 2 節第 1 項に示した意見交換手法を実施する。1 校時 45 分のうち、1 グループの図の映写時間は 5 分とした。映写時間中の質問は最小限にとどめ、質問や感想をチャットに書かせた。その間、実験群クラスの教師は話し合いの進行役を担うが、児童の図に対して、評価や意見を加えないようにした。なお、第 5 時に質問紙を回答させた後、個々の児童に正しい電流図について解説を加え、学習の理解が確実になるようにした。

一方、対照群においては、この指導計画の第 2・4 時に、個別に電流イメージ図を描かせた。児童が作成した図を提出用フォルダに提出させた後、教師は、改善点を全体指導した。第 4 時に改善点を指導する際には、直列と並列のつなぎ方に着目させ、なぜ豆電球が明るくなったり、つかなくなったりするのかを自分なりの解釈で説明してみるように指導した。図が描けない児童には、電流を矢印で表すことや、電流は回路を電池の+極から-極へ流

れること等を、個別に助言した。対照群では、教師は児童の質問に適宜答えるが、児童の描いた電流の図について児童間の意見交換は行わなかった。

なお、本研究を行うにあたり、研究対象となる児童と保護者に対し、個人情報を表示しない条件の下で、写真やノートの内容を研究に使用することの許諾を文書で確認した。また、対照群では、学習機会の保証をするために、表1の第5時の質問紙記入後に、対照群の児童の描いた電流図を教師が見せ、それぞれの図に助言することにより、対照群児童全員が正しい図を描けるように指導した。

### 第3項 本授業法の下でのCT能力・態度の検証方法

本研究では、以下の三つの方法で、提案授業法のCT能力・態度に対する効果を検証する。

#### 1 チャットでの意見交換の分析

平山・楠見（2004）は、人には信念と矛盾する証拠を低く評価するというバイアスがあるが、それは批判的思考態度によって回避することが可能になるとした。そして、その態度はさまざまな情報や幅広い知識を希求する「探究心」という態度であると述べた。

本研究で提案する図の交流は、自分の考えと相手の考えを比較することを可能とする。批判的思考態度が発揮されたならば、相手の考えを受け入れた上で自分の考えを見直すような議論が表れるのではないかと考える。

上記の観点で、第2および第4時での電流の図についてのチャットテキストを分析し、本授業法の効果を検討する。

#### 2 電流イメージ図の分析

本研究では、電流イメージ図を用いて、電池を2個つないだ時の豆電球の明るさを電流と関連付けて考えさせる。小学校第4学年時には、並列や直列つなぎ時の電流の流れ方についての理解は求めているが、小学校学習指導要領（平成29年告示）解説理科編（文部科学省、2018b）において、「ここでの指導に当たっては、電流の大きさや向きと乾電池につないだ物の様子について考えたことを、図を用いて表現したり、「電流」、「直列つなぎ」、「並列つなぎ」という言葉を使用して説明したりする」とあり、図で表現して検討することも有意義といえよう。

道田（2001）は、アイデアの省察や批判が奨励されるようなグループ活動は、批判的思考を効果的に生じさせることが可能であると、また、知的相互作用が起きよう計画されたグループでは、子どもたちは自然に自分の説明や解釈を作るのに直感を用い、自分たちでそれについて省察し、よりきちんとしたものにすることができると述べた。

長沼ら（2011）は、高校生が未知の課題を解決するために、理科で学習した内容や既知の

学問を活用して、CT の手法を使いながら、もっとも確からしい答えに辿り着けるようにする授業実践を行っている。このようにCT は、未知のものに対しても、自分なりの解釈をもち、議論することによりそれを修正し深める思考であると捉えられる。

本研究では、「①自分なりになぜ明るくなるのか、なぜ点灯しないのかを図を用いて表現できるか」ということを基にしつつ、「②意見交換によって他者の考えを受容し、自分の考えを改善する態度が発揮されるか」という観点でCT 能力が発揮できているかを判断する。

そこでまず、表1の第2および第4時に児童が描いた電流の図を表2に示すような基準で分類を行った。

実験群では、第2時において実験結果の予想について意見交換した際に描いた図と、第4時において、実験後の考察の図についての意見交換後に、再度書き直して再提出させた図を分類した。一方、対照群では、第2時において予想の図を提出させた後、教師が全体指導し、書き直して提出した図と、第4時の考察時に描いた図を一度提出させ、教師が全体指導した後、書き直して再提出させた図を分類した。

表2 電流イメージ図の分類基準

分類記号	分類基準
A	電流を適切に表現し、豆電球の点灯、非点灯を説明している。さらに、電池の直列、並列接続での豆電球の明るさの違いを電流イメージ図で説明しようとしている。
B	電流の向きを正しく描き、豆電球が点灯するつなぎ方、点灯しないつなぎ方を判別している。
C	電流を適切に図に表せていない。

### 3 質問紙調査

同時双方向型オンライン授業の事前事後に質問紙調査を行い、CT 態度面の変容を分析する。質問紙を作成する際には、木下・山中・中山(2013)が作成した小学生の批判的思考態度を測定する尺度を参考(表3の1~13の13項目を利用)にし、筆者の考えた項目(表3の14~18)も付け加えた。実際の質問を表3に示す。回答は、「よくあてはまる」5点、「あてはまる」4点、「どちらでもない」3点、「あまりあてはまらない」2点、「あてはまらない」1点、の5件法で記入を求めた。得られた回答を基に、因子を特定した上で、因子ごとの実験群と対照群の事前事後得点を比較し、児童のCT 態度面の変容を検証する。

表3 質問紙の質問項目

1	自分の意見には,理由をつける。
2	自分になっとくできるまで考えぬく。
3	一つのやり方で問題が解決しないときは,ほかのやり方をためしてみる。
4	わからないことがあると質問したくなる。
5	「なぜだろう」と考えることが好きである。
6	一つのことだけでなく,ほかのことも思い出して予想を立てる。
7	自分の予想におかしい部分はないか確かめる。
8	できるだけ多くのデータを集める。
9	インターネットで調べたことは,まちがいないと思う。
10	自分の考察におかしいところはないか確かめる。
11	調べ方や実験のやり方にまちがいはなかったか考える。
12	データがまちがっているかもしれないとうたがってみる。
13	できるだけ多くの事実やしょうこを調べる。
14	考えをまとめることが得意だ。
15	みんなになっとくできるような説明ができる。
16	むずかしい問題を考えるとこんらんしてしまう。
17	問題に取り組むときはしっかりと集中することができる。
18	むずかしい問題にも取り組み続けることができる。
※項目 9, 16 は反転項目	

### 第3節 結果および考察

#### 第1項 授業実践の様子とチャットの記述分析

##### 1 実験群の第2時におけるチャットによる意見交換の様子

第2時では,電池を2個つなぐ場合に豆電球が明るくなるつなぎ方と,明るさが変わらないつなぎ方,そして豆電球がつかないつなぎ方を予想し,その理由を電流の流れ方を図に表して説明する活動を行った。電池2個と豆電球1個の回路として,図1に示す5種類の回路が,児童から出された。このうち⑤は,ショート回路であることを教え,実験から除外するように指示した。

表 4 に実験の予想図についてのグループ討論時のチャットの記述例を示す。記述は児童のチャットテキストのままであるが、番号と下線は著者記入である。また児童名は記入順アルファベット表記である(表 5 も同様)。図 2, 3 はチャットの中で触れられる Z 児と I 児の電流イメージ図である。

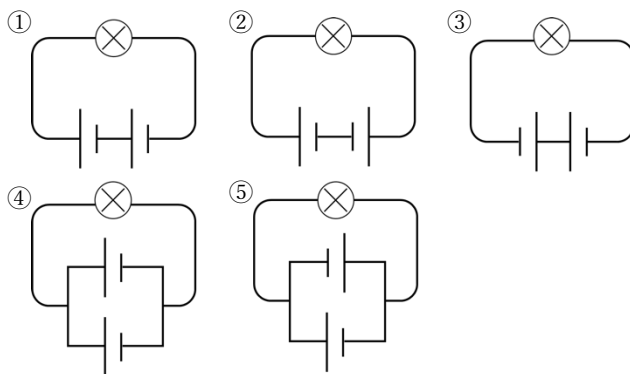


図 1 実験前に児童が提案した電池 2 個のつなぎ方

表 4 実験群の第 2 授業時における予想を交流した際のチャットの記述 (A 組)

児童	チャットの記述 (一部抜粋)
A 児	Z さんの意見が自分と同じ考えだった。
B 児	<u>①私は最初 3 番と 4 番が付くと思っていたけれど 0 君の意見を聞いて 4 番だけが付くと思いました。</u>
C 児	I 君の図がわかりやすくて良かった。
D 児	<u>②私は最初は 2 番と 4 番がつくと思ったけどみんなの意見を聞いていくうちに 1 番と 4 番になりました。</u>
E 児	<u>③最初は 1 だけだと思っていたが、みんなの意見を聞いているうちに 1 と 4 になった</u>
F 児	I くんのでいけんがわかりました。

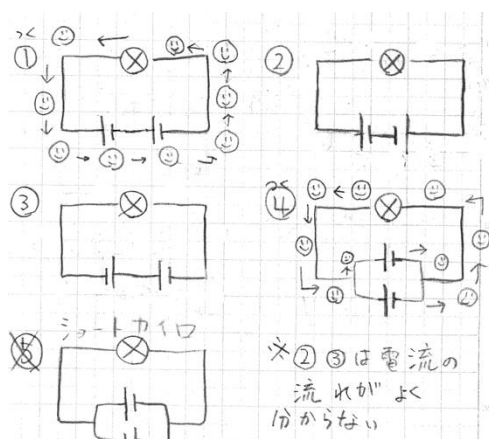


図 2 Z 児の予想時の電流イメージ図

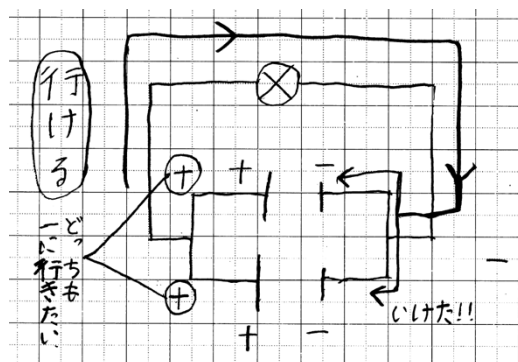


図 3 I 児の電流イメージ図



表4の①②③の記述に見られるように、他者の予想を受容して、自分の考えを再考している。意見交換の中で、他者の考えを評価するだけでなく、自分の考えを反省的に思考し、他者と自分の考えを比較して、より合理的な答えを出そうとしている。これはCT能力の反省的思考が発揮されているものと評価できる。

## 2 実験群の第4時における考察場面での意見交換の様子

第3時に電池2個と豆電球を使って実験を行い、豆電球が明るく点灯するつなぎ方はどれか、電球が点灯しないつなぎ方はどれかについて結果を報告しあった。第4時には、実験結果を基に、電流の流れ方を再度図化した。表5は、考察の際の電流イメージ図についてチャットで意見交換した際の記述の一部である。

abcの下線の記述に見られるように、結果をもとにして自分自身で電流イメージ図を描く際には分からないことがあった児童が、他者の図や説明を見聞きすることにより、理解が深まったという内容の感想を述べている。図4は、表5内の下線①で示されるA児が参考にしたK児の図であり、図5は、下線②で示されるD児が参考にしたG児の図である。これらの図にはテキストで説明を加えることで、図だけで表現しきれない自分なりの文脈を伝えようとする態度が見られる。自分一人では解釈できないことも、複数の電流図を比較する中で、より納得可能な図を選択し、理解を進めることができた児童の例が見られた。

表5 実験群の第4授業時における考察を交流した際のチャットの記述（B組）

児童	チャットの記述（一部抜粋）
A児	①Kさんの説明がわかりやすくてちゃんと理解できました！私は、乾電池が1このときと、2このときは、2このほうが豆電球が明るくなるとおもっていたけど変わらないつなぎ方があることが分かりました。
B児	a <u>自分が分からなくて、考察してみてもあまり納得できなかったところも、友達の意見や発表、図を見たら納得できました。図を描くことにより、電流の流れ方が分かりやすくなりました。</u>
C児	b <u>みんなの図が見れてさんこうになりました。自分のわからなかったところなどが知れてよかったです。</u> 電池のつなぎ方を変えることで明るさは変わると知りました。
D児	c <u>友達の意見を見たことによって自分の考えがよりふかまったと思います。</u> ②並列つなぎの電流の動きが分からなかったけど、Gくんの電流の動きは、 <u>並列つなぎがあまり光らない理由をかいていてすごいなと思いました。</u>

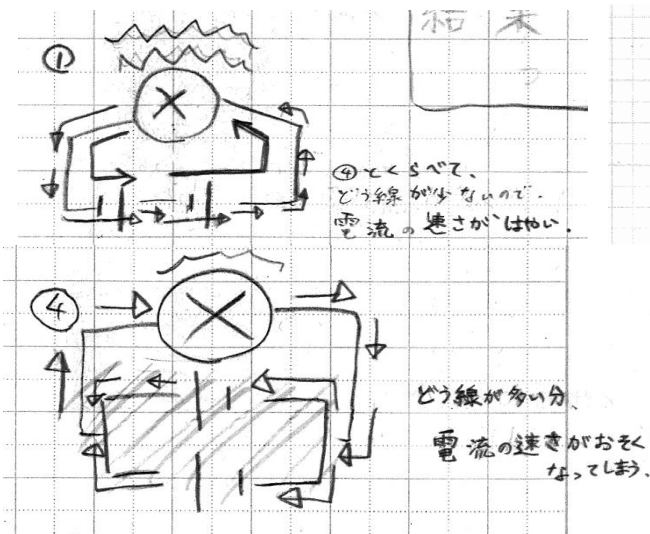


図4 K児の電流図

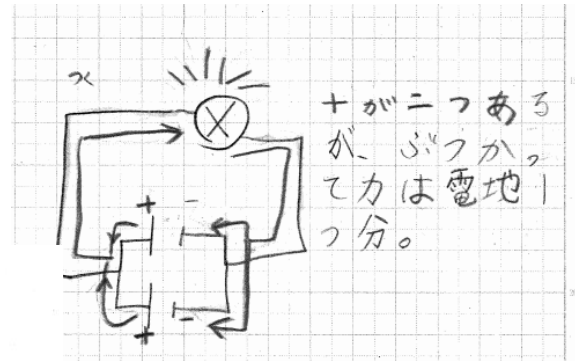


図5 G児の電流図

## 第2項 電流の図の結果

図2, 3, 4, 5, 8に例示される児童の電流イメージ図を、表2の基準ABCに従って分類した。図4, 5の児童の図は、豆電球が点灯しない理由や、乾電池の並列つなぎでの豆電球の明るさが変わらない理由を自分なりに説明しているため分類Aと判断した。図6の棒グラフは実験群の第2時と第4時のABC分類の割合の比較であり、図7は対照群の第2時と第4時のABC分類の割合の比較を示す。

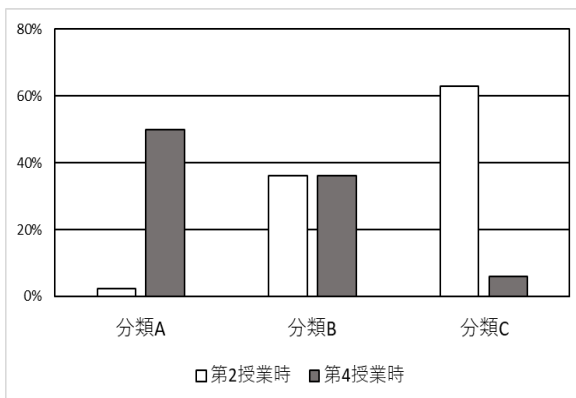


図6 実験群の第2時と第4時のABC分類の割合比較

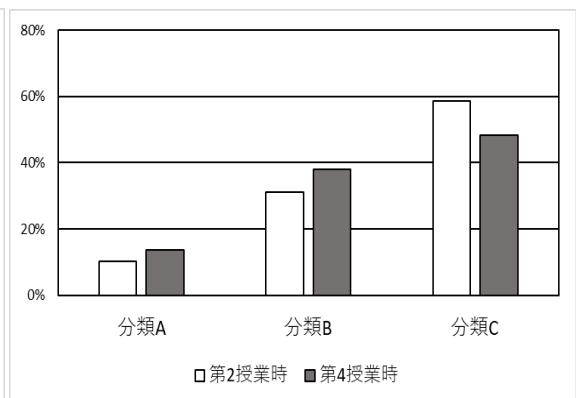


図7 対照群の第2時と第4時のABC分類の割合比較

第2時では、実験群、対照群ともに分類Aの割合は少ない。予想の段階であるため、児童の理解としては、電流がどのように流れるかイメージするのはまだ難しく、前提知識も図を詳しく書くには不十分だったと想像される。

実験終了後、第4時に再び電流を図に表現したものを分類し、図6, 7にグレーの棒グラフで割合を示した。図6に示される実験群の分類Aの割合は50%と大幅に増加し、反対に分類Cの割合は大幅に減少した。実験群は第4時において図を描く際に児童が意見交換を行っているので、何人かの電流イメージ図を比較検討できたことが、図や説明を詳しく書けたことの直接的理由の一つではあろう。しかし、意見交換の際にどの図がより良く理解できるかを判断し、選択決定するというCT態度の発現の側面がある。

一方、図7に示される対照群の評価の割合は、分類Aが微増、分類Cが微減であり、大きな変化は見られなかった。図8は分類Cと判断された図の例である。この図では豆電球の点灯の状態に対応した電流の流れ方や、理由の説明を書き込むに至っていない。なお、図8の児童は電流が強くなると表している。2017年に告示された小学校学習指導要領では、電流量を「大きい(小さい)」と表現することが示された。授業者は、その事実を認識していたが、授業では、「電流が強い(弱い)」と表現した場面があった。図8の「強くなる」という表現は、その表現を使用したものと考えられる。対照群には、図8と同様な、説明に欠ける図が多く見られた。豆電球の点灯という目に見える実験結果は表現しているが、その背景となる不可視の電流の現象は推測が必要となる。多くの児童にとってこれを個人で自発的に行うことが難しいことが分かる。対照群は、教師が解説を加えたにもかかわらず電流イメージ図の分類分布は変化が見られなかった。児童同士の対話的な比較検討の機会がないことにより、課題を一人で抱えて、自分の認知を拡張する機会が得られなかったのではないか。

実験群でも結果を解釈するのが困難な子は多くいたであろうが、図を互いに見合ったことにより、解決の糸口を見つけられたことが推測される。さらに、他者に説明する、他者の説明を聞くという意識的態度が、より批判的に現象を考え、正しく判断しようとするCT能力を誘導し、結果として図の内容を豊かにしたものと推測される。

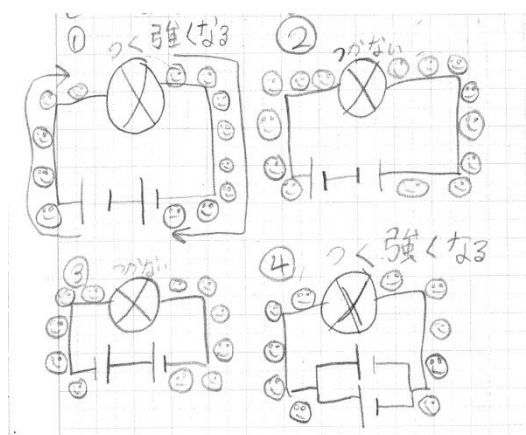


図8 対照群の分類Cに属すると判断された電流図

### 第3項 質問紙の分析

質問紙の事前事後の調査結果をもとに、児童のCT態度についての変容を分析する。

事前の質問紙の項目ごとの回答から天井効果(平均+標準偏差>5)と床効果(平均-標準偏差<1)は見られなかった。

質問紙の因子を特定するために、事前の回答をもとに、因子分析(最尤法, 統計ソフト

Rを使用)を行った。因子を決定する際は、固有値の減衰状況と解釈可能性から4因子と判断した。再度因子分析(最尤法・プロマックス回転)を行い、因子負荷量3.5に満たない項目(4, 15, 16)を削除する等、因子分析を繰り返した。最終的な因子分析の結果を表6に示す。

因子1は、「できるだけ多くの事実やしょうこを調べる。」「一つのことだけでなく、ほかのことも思い出して予想を立てる。」「調べ方や実験のやり方にまちがいはなかったか考える。」など様々な角度から考えようとする態度であるため、因子1を「根拠を求める思考態度」とした。

因子2は、「自分の意見には、理由をつける。」「自分の予想におかしい部分はないか確かめる。」など、自分の思考を振り返る態度であるため、因子2を「反省的な思考態度」とした。

因子3は、「むずかしい問題にも取り組み続けることができる。」「自分がなっ得できるまで考えぬく。」など、継続的に目標に向かって思考しようとする態度であるため、因子3を「探究的な思考態度」とした。

因子4は、「データがまちがっているかもしれないとうたがってみる」「インターネットで調べたことは、まちがいないと思う。」など、データや情報を鵜呑みにせず、確認しようとする態度であると解釈した。このため、因子4を「納得できることを求める態度」とした。

表 6 因子分析の結果

因子	項目	アンケート項目	因子 1	因子 2	因子 3	因子 4
根拠を 求める 思考	13	できるだけ多くの事実やしょうこを調べる。	1.197	-0.271	-0.095	0.003
	6	一つのことだけでなく、ほかのことも思い出して予想を立てる。	0.525	0.302	0.037	-0.243
	11	調べ方や実験のやり方にまちがいはなかったか考える。	0.439	0.336	-0.082	0.214
	3	一つのやり方で問題が解決しないときは、ほかのやり方をためし てみる。	0.355	0.162	0.122	0.156
反省的 な 思考	1	自分の意見には、理由をつける。	-0.046	0.923	-0.317	0.294
	7	自分の予想におかしい部分はないか確かめる。	-0.31	0.795	0.334	-0.022
	10	自分の考察におかしいところはないか確かめる。	-0.049	0.352	0.212	0.018
探究的 な 思考	18	むずかしい問題にも取り組み続けることができる。	-0.119	-0.188	0.974	0.016
	2	自分がなっ得できるまで考えぬく。	0.182	0.091	0.539	-0.075
	17	問題に取り組むときはしっかりと集中することができる。	0.001	0.001	0.518	0.336
	8	できるだけ多くのデータを集める。	0.138	-0.022	0.416	0.29

求める態度 納得できることを	12	データがまちがっているかもしれないとうたがってみる。	-0.152	0.29	0.044	0.534
	9	インターネットで調べたことは、まちがいないと思う。	0.205	-0.029	0.124	0.486
	5	「なぜだろう」と考えることが好きである。	-0.093	0.139	0.108	0.445
	14	考えをまとめることが得意だ。	-0.013	-0.127	-0.174	0.443

次に、質問項目の信頼性を検討するために、各因子の信頼性係数(Cronbach  $\alpha$ )を算出した。その結果を表7に示す。 $\alpha$ の値は、 $0.66 \leq \alpha \leq 0.82$  であることから、各因子の内部一貫性が保証されたと判断した。

表7 因子ごとの信頼性係数

次に、質問紙の事前事後の調査結果をもとに、4つの因子ごとに平均値を算出した。このデータはKolmogorov-Smimov検定において正規性が確認できたため、平均の差の検定としてt検定を行った(有意水準0.05)。

因子	Cronbach $\alpha$
根拠を求める思考	0.82
反省的な思考	0.71
探究的な思考	0.77
納得できることを求める態度	0.66

実験群の事前事後の平均値比較を表8に、対照群の事前事後の平均値比較を表9に示す。

表8 実験群の質問紙の因子ごとの事前事後平均値比較

因子	平均：事前	平均：事後	p値	t値
根拠を求める思考	3.63 (0.75)	3.96 (0.75)	0.01	2.43
反省的な思考	3.41 (0.68)	3.98 (0.89)	0.001	4.85
探究的な思考	3.44 (0.95)	3.79 (0.78)	0.01	2.61
納得できることを求める態度	3.39 (0.70)	3.57 (0.58)	0.04	2.08

自由度  $n = 43$ , ( )は標準偏差

表9 対照群の質問紙の因子ごとの事前事後平均値比較

因子	平均：事前	平均：事後	p値	t値
根拠を求める思考	3.37 (0.94)	3.58 (0.64)	0.33	1.03
反省的な思考	3.57 (0.74)	3.37 (0.80)	0.34	0.97
探究的な思考	3.31 (0.79)	3.68 (0.59)	0.04	2.18
納得できることを求める態度	3.23 (0.70)	3.57 (0.88)	0.07	1.99

自由度  $n = 28$ , ( )は標準偏差

実験群，対照群ともに，「探究的な思考」のCT態度の得点が有意に向上した。2020年からの休校中においてオンデマンド学習期には一人で課題に取り組むことが多かった児童にとって，同時双方向型オンライン授業において，実験群では児童の意見交換，対照群では教師の指導や支援があったことが，結果として学習への集中をもたらし，継続的に探究する態度が向上したのではないか。

「根拠を求める思考」「反省的な思考」「納得できることを求める態度」の3つの因子は，実験群のみ有意に向上した。本研究で提案する授業法は，広く他者へ説明することがキーポイントである。自分の考えをより妥当なものにしようとする態度や反省的に自分の考えを見直そうとする態度が本授業の過程で発揮され，表8のような因子の活性化が生じていたものと推察される。この結果により，本研究で提案する図を用いて相互に説明する学習は，双方向型オンライン授業において，CT態度面の向上に効果があったと言える。

#### 第4節 本章のまとめ

本研究では，同時双方向型オンライン授業において，図を用いた意見交換手法を開発し，それを導入した授業法のもとで，CT能力および態度の育成を検討した。

提案した授業手法では，児童は自らの考えを図に表現し，webカメラを用いて図を見せ合ってグループ単位で意見交換した。グループでの意見交換をクラスで視聴し，チャットを用いて発言できるようにした。提案手法を用いて授業実践を行い，児童のチャットと描いた電流図の分析および質問紙の結果の数量分析を行った。

チャットの分析では，2回の活動の過程で，他者の考えを受容するだけでなく，自らの図を反省的に検討し，他者の図と比較検討してより納得のできる説明を選択する態度が現れた。電流イメージ図の分析では，児童同士の意見交換を行った実験群は，意見交換を行わない対照群に比べ，2回の活動の過程で，並列と直列の違いを説明した電流イメージ図を描く児童の増加が見られた。この結果の要因は，児童同士が電流イメージ図について意見交換する中で，比較検討するCT能力を発揮し，図を吟味し選択したことによると考えられる。

授業前後の質問紙調査の比較からは，実験群はすべての因子においてCT態度面の向上が見られた。一方，意見交換を行っていない対照群においては，探究的な学習態度に有意な向上が見られたが，その他の因子に有意な向上は見られなかった。

同時双方向型オンライン授業において，本研究での意見交換手法では，ネットワーク負荷による障害も引き起こすことなく，より妥当な図を描いて説明しようとするCT能力および態度を育成することが見出された。

## 参考文献

- B&G 財団(2020)「第 17 回 B&G 全国教育長会議『ポスト・コロナ期の教育を考える～オンライン時代に良質な実体験を～』」, [https://www.bgf.or.jp/activity/report/2020/2020\\_kyoikuchokaigi.html](https://www.bgf.or.jp/activity/report/2020/2020_kyoikuchokaigi.html) (参照日 2021.1.10) .
- Bullen, M. (1998). Participation and critical thinking in online university distance education. *Journal of Distance Education*, 13(2), 1-32.
- 早瀬博範 (2021)「Webex を使ったブレンディッド型オンライン英語授業—コミュニケーション能力育成のための試み—」『佐賀大学全学教育機構紀要』第 9 号, 49-64.
- 平山るみ・楠見孝 (2004)「批判的思考態度が結論導出プロセスに及ぼす影響—証拠評価と結論生成課題を用いての検討—」『教育心理学研究』第 52 巻, 第 2 号, 186-198.
- 石川奈保子・向後千春(2018)「オンライン大学で学ぶ学生の自己調整学習方略およびつまづき対処方略」『日本教育工学会論文誌』第 41 巻, 第 4 号, 329-343.
- 木下博義・山中真悟・中山貴司 (2013)「理科における学生の批判的思考とその要因構造に関する研究」『理科教育学研究』第 54 巻, 第 2 号, 181-188.
- 黒山竜太・ハツ塚一郎・浦野エイミ (2001)「コロナ禍におけるオンラインによるコミュニケーション授業の検討」『熊本大学教育実践研究』第 38 号, 75-82.
- Laurillard, D. (1993). *Rethinking university teaching*. London : Routledge.
- 道田泰司 (2001)「批判的思考の諸概念:人はそれを何だと考えているか?」『琉球大学教育学部紀要』第 54 巻, 109-127.
- 文部科学省告示第百十四号(2007) [https://www.mext.go.jp/b\\_menu/hakusho/nc/07091103/002.htm](https://www.mext.go.jp/b_menu/hakusho/nc/07091103/002.htm) (参照日 2021.1.10) .
- 文部科学省 (2011)『言語活動の充実に関する指導事例集【小学校版】』教育出版株式会社.
- 文部科学省(2018a)「小・中学校等における病気療養児に対する同時双方向型授業配信を行った場合の指導要録上の出欠の取扱い等について (通知)」[https://www.mext.go.jp/a\\_menu/shotou/tokubetu/material/1410027.htm](https://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/tokubetu/material/1410027.htm) (参照日 2021.1.10) .
- 文部科学省 (2018b)『小学校学習指導要領 (平成 29 年告示) 解説理科編』東洋館出版社
- 文部科学省 (2020)「新型コロナウイルス感染症の影響を踏まえた公立学校における学習指導等に関する状況について」  
[https://www.mext.go.jp/content/20200717-mxt\\_kouhou01-000004520\\_1.pdf](https://www.mext.go.jp/content/20200717-mxt_kouhou01-000004520_1.pdf)  
(参照日 2021.1.10) .
- 文部科学省(2021)「GIGA スクール構想の実現について」  
[https://www.mext.go.jp/a\\_menu/other/index\\_00001.htm](https://www.mext.go.jp/a_menu/other/index_00001.htm) (参照日 2021.1.10) .
- 村田稜輝・栗原淳一(2020)「理科授業において実験計画を記述させる指導に関する研究」『日本科学教育学会研究会研究報告』第 34 巻, 第 7 号, 1-4.
- 長沼毅・山崎敬人・平賀博之・丸本浩・沓脱侑記・岡本英治・小茂田聖士・山下雅文・柏

- 原林造・田中伸也・林靖弘（2010）「科学者の思考展開の教材化に関する研究（1）「地球外生命探査」をテーマに」『学部・附属学校共同研究紀要』第 39 巻，291-296.
- 佐藤寛之・松尾健一・小野瀬倫也（2019）「理科学習で子どもが受容すべきと考えた情報とその選択の根拠に関する研究—メタ認知的活動の顕在化と気づきの自覚化を促す理科学習プロセスシートの開発とその活用—」『理科教育学研究』第 60 巻，第 2 号，361-374.
- 浮田尚哉・加堂大輔（2021）「双方向型オンライン授業の実現に向けて—インタラクティブな環境構築とその実践—」『埼玉工業大学教養紀要』第 38 巻，5-17.
- 和田一郎・宮村連理・澤田大明・森本信也（2015）「理科学習におけるメタ視覚化の概念とその社会的相互作用を通じた変容過程の分析—中学校理科「物質の成り立ち」の単元を事例として—」『理科教育学研究』第 56 巻，第 1 号，75-92.
- 吉田壘（2018）「アクティブラーニング型 Web システムの開発と FD における活用と評価」『日本教育工学会論文誌』第 42 巻，第 1 号，89-104.



# 第5章 児童のCTを誘発し、主体的な学びを促進するアンビシャスターゲットツリーの活用

本章では、第5学年で重視する実験計画能力と解決法の妥当性を判断するCT能力を育成するためにGCTモデルのフォーカス・ツールとして、アンビシャスターゲットツリーを用いた授業法を開発する。

実験は与えられるものでは、実験の妥当性を判断する必要性がないため、CTが発揮されない。実験を計画する際に、目標が明確であるほど、CTは発揮され、より妥当な実験計画が生み出されると考える。電磁石の磁気力を増加させれば重量の大きい重りを吊り上げられる、という前提命題に対して、アンビシャスターゲットツリーを用いて電磁石の効果を高める要因にフォーカスすることで、実験計画の妥当性を判断するCTが生み出されると考える。

考案した授業法を用いた授業実践とその効果について検証する。

## 第1節 研究の背景と目的

### 第1項 主体的な学びを促進するCTの活性化

第5学年の理科では、実験計画能力の育成が求められている。しかし、現状の理科教育では、実験は与えられるものとする児童も多く、自ら実験を計画することに苦手意識がある傾向がある。この課題を解決するためには、児童が自ら進んで問題解決を行う、すなわち、主体的な学びが行われる必要があると考える。

文部科学省(2018a)は、TIMSS2015の結果から、児童・生徒の理科を学ぶことに対する関心・意欲や意義・有用性に対する認識に、諸外国と比べ肯定的回答の割合が低いことを指摘している。

小学校学習指導要領(平成29年告示)解説理科編(文部科学省, 2018a)では、「主体的・対話的で深い学び」の視点に立ち、探究の過程を児童・生徒が主体的に遂行できるようにすることや、児童・生徒が常に知的好奇心をもって身の回りの自然の事物・現象に接するようになることを重視することにより、この課題の改善を図ろうとしている。近年の教育では、改めて、学習者主体の教育が求められているということである。

教育課程企画特別部会論点整理（文部科学省，2016）では、「主体的な学び」を「見通しをもって粘り強く取り組み，自己の学習活動を振り返って次につなげる」としている。

小学校学習指導要領（平成29年告示）解説理科編（文部科学省，2018a）では，理科における主体的な学びを「自然の事物・現象から問題を見だし，見通しをもって観察，実験などを行っているか，観察，実験の結果を基に考察を行い，より妥当な考えをつくりだしているか，自らの学習活動を振り返って意味付けたり，得られた知識や技能を基に，次の問題を発見したり，新たな視点で自然の事物・現象を捉えようとしたりしているか」という問題解決の視点から整理している。

主体的な学びの実現に向けた理科学習の研究には，主体的な学びの促進に教師の発話による働きかけが重要であることを示唆した藤本・佐藤・益田・小倉（2017）の研究や，探究の過程を重視した，山田・浅倉・小林（2018）の研究等がある。

さらに，主体的な学びの促進のために，CTを関連付ける研究が見られる。

楠見・子安・道田（2011）は，CTは学生の主体的な学びに必要なアカデミック・スキルである，と述べる。

山田・松本（2020）は，学生に対する質問紙調査を基に，主体的・対話的で深い学びの実現に向けて，CTを活性化させる指導が必要であると示唆している。

これらの研究は大学生を中心に述べられており，小学生を対象にした研究は見られない。しかし，CTは，大学生特有のものではなく，小学生段階から育成が可能である。ならば，小学生においても，CTを働かせることにより，主体的な学びを促進できるのではないかと考える。

同様に若林（2012）は，theory of constraints（制約の理論と訳される，以下，TOCと略す）という批判的思考を促進する思考ツールを使った学習が幼児から大学生までの子どもたちが自らの問題を自ら理解して解決する，主体的態度を産み出すことに大きく貢献することが明らかとなった，と述べている。若林（2012）からは，主体的態度を生み出すためのTOCを使用した具体的な方法は明らかにされていない。しかし，思考ツールを用いる学習が主体的な学びを促進するというのは非常に興味深く，その方法を明らかにすることには価値があると考えられる。

## 第2項 教育のための TOC 思考ツールを用いた主体的学びの促進の可能性

児童の CT を活性化し，主体的な学びを促進するための学習ツールとして，本研究では TOC に着目する。

TOC は，企業システムのパフォーマンスを向上させるために，システム内の最も弱い部

分を改善することに焦点を当てた、Goldratt(1990)による全体最適化の管理哲学である。

TOCによれば、全ての目的を持つシステムは1つ以上の制約をもち、それが全体のパフォーマンスを制限している。その制約を改善することでシステムの成果は向上し得る。制約に変化をもたらすことを積極的に捉えることがTOCの特徴である(Goldratt, 1990)。

TOCの理論は企業研修や学校教育にも生かされるようになり、「教育のためのTOC」が提唱されている。小学生を対象としたTOCの教育的効果を検証した学術的論文は筆者の知り限りまだ見られていない。しかし Suerken(2010)は、初中等教育の幅広い年齢層を対象とした各国の学校現場でのTOCの活用の口頭発表を報告している。

TOCの思考ツールはCTを育成するツールとして教育の中で使われている。「教育のためのTOC」には、TOC思考プロセスを教育向けにアレンジした表1に示す3つの思考ツールがある。

表1 教育のためのTOCの思考ツール

ブランチ	現状を理解するために、因果関係の図に基づいて、いかにして今の行動がネガティブな結果をもたらすか推測する。
クラウド	直面する対立、あるいは「するか、しないか」という二者択一の意思決定問題を解決する。
アンビシャスタargetツリー	挑戦的な目標を設定し、それをいかにして達成するか、そのための戦略を練る。

若林 (2012) ,Marques and Castro (2018) を基に作成

3つの思考ツールの中で、特にアンビシャスタargetツリー (Ambitious Target Tree, 以下, ATT と略す) の「目標を設定し、それを達成するための戦略を練る過程」は、見いだした問題を実験を通して解決するという、理科の学習過程に応用できるのではないかと考える。表2に、このATTの作成手順を示す。

表2 ATTの作成手順

ステップの順序	詳細
1. 目標の設定	何をしたいのか、またそれを個人で行うのかグループで行うのかを決定する。
2. 障害リストの作成	目標を達成するために障害となりうるものを考えリストを作る。
3. 中間目標と行動の設定	障害を克服するための中間目標と具体的な行動を考える。
4. 中間目標の優先順位づけ	中間目標を分析する順序を決める。
5. 中間目標に向けた「行動」の連携	中間目標を分析し、関連する行動を接続する。
6. 中間目標のクラスタ	どちらが先で、どちらが後か、行動を実行する順番を決める。
7. 中間目標をツリーに変換	ツリーはグループや個人が使用する戦略計画になる。

Marques and Castro (2018) を筆者が翻訳・改変

ATT は、まず、目標を達成するための障害は何かを考える。次に、その障害を乗り越えるための中間目標と行動を考え、類似される中間目標や行動を接続する。そして優先順位を決定し、ツリーへと変換する。すなわち、目標達成へのプロセスを決定する思考ツールである。

Marques and Castro (2018) は、ATT を使用した中学生の英語コースで、学習意欲が向上した例を挙げ、学習者が ATT を作成することにより、学習プロセスがより効果的になり、学習者が主体的に問題を解決し始めることが容易になる、と述べる。

Suerken(2010)は、ATT の使用により、児童・生徒が自分自身の学習や行動に責任を持つようになることを報告している。小学生が、教師に叱られる原因が自らの行動にあることを見出し、それをどのように変えるかを考える例などを挙げている。

理科の問題解決のプロセスに ATT を使用することにより、目標に対する制約条件を見出し、何をどのように変えるべきか検討することを通じて、CT が活性化されることが期待される。そして、制約条件を変化させてパフォーマンスが改善することを経験する過程で、主体的な学びの促進が期待される。

## 第4項 研究の目的

本研究では、児童の主体的な学びを促進するために、CT を促進するツールである ATT を理科学習用に応用して使用する。この ATT を用いた授業の、児童の CT の活性化および、主体的な学びの促進を検証することが目的である。本研究における「主体的な学び」とは、「見通しを持って粘り強く取り組み、自己の学習活動を振り返って次につなげる学び（文部科学省（2016）第1節.第1項）」とする。

## 第2節 研究方法

### 本実践における GCT の構成

前提命題：電磁石の磁気力を増加させれば重量の大きい重りを吊り上げられる。

フォーカス・ツール：重量の大きい重りを吊り上げる ATT

フォーカス・ツールの役割：どのようなパラメータがあるか、それがどのような効果があるか体系的に考察し、実験手順を検討できる。

### 第1項 理科実験での ATT の活用手法

本節では実例を用いて ATT の理科実験活用の特徴を述べる。表3、図1は、東京都内小学校の第3学年「風やゴムの働き」の学習において試験的に ATT を作成した例である。本研

究では、第1節第2項で説明した一般的なATTでの「行動」に実際の実験を対応させた。

最初に表3の目標のように全体の共通目標を定める。この目標は児童が理科学習の中で達成したいと思え、直ちには達成できないレベルであり、達成できたかどうかを児童が明瞭に判定できる目標であることが望ましい。例示の活動では、目標を「風で動く車を15mまで動かしたい」としている。風の働きの学習を終えて、さらに遠くへ車を動かす挑戦をするものづくりの授業時間に、児童が設定したものである。目標を達成するためには、いくつかの実験で得られた成果を組み合わせる必要が出てくる。

次に児童一人一人が表3のように目標達成のための制約とそれを乗り越えるための行動をリストする。まず、目標を達成する上で乗り越えねばならないと想定される「うまくいかない原因」をリストする。

「中間目標」には、これらの「うまくいかない原因」を克服するポジティブな文言を目標として記入する。

これらの中間目標の達成によって全体目標の実現を目指す。

最後に、各中間目標を達成するための「行動」をリストする。リスト作成後は、図1に例示されるように、行動を適切な順序に並び替える。順序性の低いものや複数の可能性を比較検証する場合には並列に並べることもある。また図1内の4つの二重線の方形は、児童が実験を実施し始めてから気づき、新たに追加した中間目標に対する行動に相当する。

順序づけられた行動のリストであるツリーが、ATTであり、児童の個別の実験計画になる。

表3 ATT作成のためのリスト

目標 風で動く車を15mまで動かしたい		
うまくいかない原因	中間目標	行動
車がまっすぐ走らない	車をまっすぐ走らせる	帆を左右対象に作る 風をまっすぐ当てる
風がうまく当たらない	風がうまく当たるようにする	帆を大きくする 帆の形を変える
送風機の風が弱い	送風機を2つにする	送風機を2つにする
帆が曲がってしまう	曲がらない帆を作る	画用紙で帆を作る
※良い帆の形が分からない	※一番いい帆の形を探す	※ひし形にする ※十字にする
※画用紙にしても曲がってしまう	※画用紙にしても曲がってしまう	※上を折り曲げる ※裏から補強する

※は、実験中に気づいて追記したもの

### 行動の順序

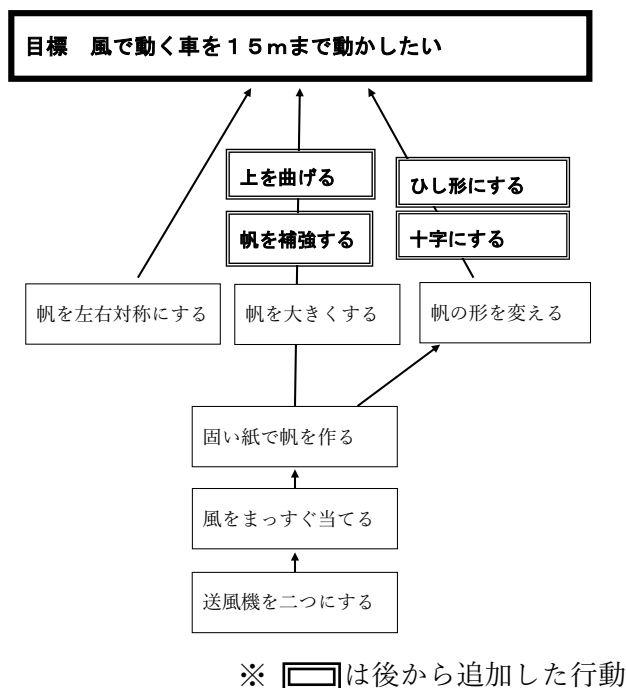


図1 ATTで行動を実施順に配列したもの

## 第2項 ATTを用いた授業の特徴

中学校学習指導要領（平成29年告示）解説理科編（文部科学省，2018b）「資質・能力を育むために重視すべき学習過程のイメージ（高等学校基礎科目の例）」では、「探究の過程は必ずしも一方向の流れではなく、必要に応じて戻ったり、繰り返したりする場合があること」、「意見交換や議論など対話的な学びを適宜取り入れていく際には、あらかじめ個人で考えることが重要であること」、「他者とのかかわりの中で自分の考えをより妥当なものにする力が求められていること」が記されている。

ATTを用いた授業は目的達成指向的である。児童は目標達成のために何度も実験を繰り返す、制約を克服することにより目標に近づく。その過程で、主体的な学びが促進されることが期待される。

実験は個人でATTリストおよびツリーを作成し、目標を達成するための実験を考える。個人で考えた実験は、4～5人からなる班で吟味する時間を設ける。班で議論をすることにより、CTが活性化される。個人で考えた後、他者とATTを用いて意見交換し、CTを活性化してよりよい実験方法を検討する。

実験の際には、班で吟味した実験を一人一人が実行する。全員の実験技能を高める時間

を確保するとともに、各人のデータを持ち寄り、班で吟味することにより、実験データの妥当性を確保する。それぞれの班に自由度があるため、行う実験は班ごとに異なる。実験を自ら振り返り、次の実験を考えなければならず、主体的な学びの促進が期待される。

ATT は、うまくいかない原因を細分化して実験する。いくつかの実験をするため、一つ一つの実験の効果を明らかにするためには、条件制御が行われなければならない。教師は、条件制御が適切に行われるよう、安全性確認と共に適宜支援する。

### 第3項 授業実践の方法

本研究では、2020年2月に、東京都内の小学校第5学年計90名(3学級)を対象に実施した授業実践を分析する。この90名は、単元のすべての時間に参加した人数である。各学級の人数はそれぞれA組30名、B組30名、C組30名である。単元は「電流の生み出す力」で第1時から第10時まで全10時間授業(1授業時間は45分)である。

この単元では電磁石を扱うが、多くの児童は電磁石を強くしたいという思いをもつ。電磁石を強くする要因は複数あるため、その一つ一つの要因を検証した上で、最適な組み合わせを考えなければならない。この要因多重性により、本単元はATTの効果を検証するために有効な学習内容と判断される。本実践における学習過程を表4に示す。

実験に十分な時間をとっているが、教科書(東京書籍, 2015)標準の授業時数の11時間よりも短い設定である。

第1時では、児童が電磁石の学習を通して達成すべき目標を決める。ここでは、重い大きな紙で作った魚(大間のマグロと命名)を用意することにより、児童がその魚を釣り上げたいという共通の目標を設定できるようにする。その魚は約90gで、児童に用意したコイルで200回巻き、電池2個では、あと少しのところを持ち上がらない重さである。重さが具体的な点、持ち上げることにより目標達成が明確な点、持ち上げるためには要因を検討し仮説を再設定する必要がある点が、本研究の目標として適切であると考えられる。

第2~9時は、児童に自由に実験を行わせた。第5時と第9時に目標とする魚を釣り上げるチャレンジタイムを設けた。目標にチャレンジして、達成できなければ、更に原因を考え、ATTを修正するという、学習計画となっている。

この学習過程の特徴は、電磁石を強くするためのものづくり的活動を単元の最初から取り入れ、多くの時間をかけたことである。この単元で児童が身に付ける主な知識・技能は、「電流の流れているコイルは、鉄心を磁化する働きがあり、電流の向きが変わると、電磁石の極も変わること」「電磁石の磁力の大きさは、電流の大きさや導線の巻数によって変わること」の2つであり、主な思考力・判断力・表現力は「電流がつくる磁力について追究する中で、電流がつくる磁力の強さに関係する条件についての予想や仮説を基

に、解決の方法を発想し、表現すること」である（文部科学省，2018a:p66-67）。

本研究の単元計画では、第10時に電流の向きと電磁石の極の関係について学ぶが、磁力の大きさを変える要因については第9時までのものづくりの中で体験的に学ぶ。

ものづくりも含めた探究的な学習では、児童・生徒に十分な試行錯誤の時間を与えることが難しいという、時間的制約の問題がある（仲野，2018；太田・内之倉，2019）。しかし、本研究で提案するATTを使用したものづくり的活動は、予想や仮説を基に、多くの解決方法を発想し、電流の大きさや巻き数にも着目して実験に取り組むであろうと考える。このような活動は、すべての理科の単元で行うのは不可能であるが、本単元のように、基本となるものを変えながら実験する単元では可能であると考えられる。

なお、電磁石の実験を行う際には、基本的には児童の考えを尊重するが、電流が流れすぎて高熱が発生する危険のある電池3個以上の実験は行わないように児童に指示した。児童も第4学年時までの学習において電池の数が増えると熱が発生することは理解しており、指示に従って実験を行っていた。

表4 学習過程

授業時	指導内容【ATTの段階】(時間配分)
1	<b>【ATT：目標の設定】</b> ① 基本の電磁石：「導線 7m 長・0.2 mm 径，100 回巻き，電池 1 個」を作り，通電して様々なものに近づけてみる。(25 分) ② 教師の用意した重い魚を電磁石につけて，持ち上がらないことを確認する。(10 分) ③ 魚を釣るという目標を決める。(10 分)
2	<b>【ATT：リストとツリーの作成】</b> ① 個人で目標を達成するために「うまくいかない原因」を考え，「中間目標」と「行動」の項目を考える。(20 分) ② 付箋を使って原因を班で話し合い，行動を並べる。(25 分)
3 . 4	<b>【ATT：行動の検証】</b> ① 班ごとに実験する。(35 分) ② 振り返りを書く。(10 分)
5	<b>【ATT：目標のチャレンジタイム①】</b> ① 実験で効果のあったものを複合して，目標の魚の釣り上げに挑戦する。(30 分) ② 全体での班ごとの結果を発表し合い交流する。(15 分)
6	<b>【ATT：リストとツリーの改善】</b> ① 個人で追加の「うまくいかない原因」を考え，中間目標と中間目標を達成するための行動を考える。(20 分) ② 原因を班で話し合い，付箋を使って新たな「行動」を並べる。(25 分)
7 . 8	<b>【ATT：行動の検証】</b> ① 班ごとに新たな実験を実施する。(35 分) ② 振り返りを書く。(10 分)



9	<b>【ATT：目標のチャレンジタイム②】</b> ① 実験で効果のあったものを複合して目標の魚の釣り上げに挑戦する。(30分) ② 全体での交流を行う。(15分)
10	① 電磁石のN極、S極について、電池向きを変えて実験する。(25分) ② 電磁石の性質についてまとめる。(20分)

#### 第4項 指導法の効果測定方法

本研究では、次の3つの方法により、考案した指導法の効果を検証する。検証する際には、授業を行う担任3名と筆者の計4名が交互に授業を参観・筆記記録し、議論を基に分析・検証する。なお、授業実践を行った小学校は、2018年に全国小学校理科研究協議会で授業発表しており、その前後で継続して理科の研究に取り組んでいる。今回の分析者4名も教職歴10年以上でかつ、複数年にわたって理科の研究に携わってきた教員（大学院で理科教育学を専攻する現職教員1名を含む）である。

##### 1 ATTの有効性の評価

理科実験におけるATTの有効性を評価する。まず、個人で書いたATTを用いて班で実験計画を検討している際の発話から、CTを発揮していたか、主体的な学びの様子が見られたかについて分析する。次に、ATTを使うことにより、児童がどのような種類の実験を行ったかを分析する。

##### 2 振り返りの記述の評価

表4のチャレンジタイム前の2回の検証実験後（第4時、第8時）に、1)行った実験、2)明らかになったこと、3)学習感想、の3つの観点で振り返りを行い、記述から、CTの活性化や、主体的な学びの促進を検証する。1)、2)の観点からは、実験結果を合理的・反省的に判断しているか（CTの定義）を評価する。合理とは、「道理や論理にかなっていること（道田，2003）」、反省とは、「ある考えをじっくりと吟味（熟考）すること（道田，2005）」であり、本研究では、実験データを吟味して、結果を論理的に考察しているものを、合理的・反省的に判断した記述とする。また、3)の観点からは、自己の学習活動を振り返って次につなげようとしているか（主体的な学びの定義）を評価する。振り返りの記述を表5に示す評価基準を基にA,B,Cの3段階で評価する。

表 5 振り返りの記述の評価基準

評価	評価基準
A 評価	実験結果を合理的・反省的に判断し、判断したことを次の学習に生かそうとしている記述
B 評価	実験結果を合理的・反省的に判断している記述
C 評価	実験結果を合理的・反省的に判断しているとは言えない記述

### 3 質問紙調査による児童の主体的な学びへの意識および CT の評価

授業実践の前後に質問紙調査を行い、その得点から児童の主体的な学びへの意識や CT の変容を量的に分析する。実際の質問を表 6 に示す。

質問紙を作成する際には、児童の主体的な学びを測定する尺度として、原田・三浦・鈴木 (2018) が作成した主体的な学び尺度を参考にした (一部、小学生に分かりやすい文に変更)。この尺度は 3 項目 (表 6 の 1~3) と、項目数が少ないため、表 6 の 5~9 を筆者が考案した。項目 4 は、うまくいかない原因を考えるという ATT の有用性を測る項目である。5~8 の項目は、理科では問題解決の視点で主体的な学びが整理されていることから (第 1 節第 1 項)、問題解決過程に即した項目として設定した。さらに理科の有用性を測る項目 9 を設定した。また、小学生の CT を測定する尺度として、木下ら (2013) が作成した尺度を参考にした。この際、一部文言を変更している。例えば、本来の「実験データがまちがっているかもしれないと疑ってみる」という質問項目を、項目 18 と 20 のように「自分」と「友達」を分けて設定した (項目 19 と 21 も同様)。本研究では、個人で実験を考えて実行する場面と班で考えを吟味する場面、それぞれで CT を発揮するため、自分と他者の違いを明確にして質問項目を設定した方が良いと考えたからである。

なお、問題発見・実験方法の考案・解決の場面について問う項目 (3・6・7・8) は、意図的に「自分たち」という表現にした。本研究では、共通の目標を達成するために、ATT で議論し、協力して解決することを重視しているためである。

授業実践を行う児童に、全試行授業の事前および事後調査を行った。回答は、「よくあてはまる」5 点、「あてはまる」4 点、「どちらでもない」3 点、「あまりあてはまらない」2 点、「あてはまらない」1 点、の 5 件法で求めた。この質問紙は、先行研究の質問紙を組み合わせていることや、一部改変していること、筆者が考案した項目を追加していることから、改めて、因子を特定し、因子ごとの事前事後の比較を行う。

表 6 質問紙の設問

No	アンケート項目
1	理科の学習に積極的に取り組んでいる。
2	自分の学習活動を振り返り、次の学びにつなげようとしている。
3	実験・観察の場面では、自分たちで実験方法を考えている。
4	実験がうまくいかない場合、なぜうまくいかないのか考えている。
5	※ 何のために実験をしているのか、わからなくなることがある。
6	理科の授業では、自分たちで問題を見つけて授業を進めている。
7	理科の授業では、自分たちで問題を解決している。
8	理科の授業では、自分たちで考えた実験ができている。
9	理科の学習の進め方は将来に役に立つと思う。
10	自分の意見には、理由をつけている。
11	自分が納得できるまで考えぬいている。
12	一つのやり方で問題が解決しないときは、他のやり方を試してみる。
13	分からないことがあると質問したくなる。
14	よい考えを思いついても、もっとよい考えはないか探してみる。
15	「なぜだろう」と考えることが好きである。
16	友達の意見にまちがいはないか考える。
17	自分の実験のやり方にまちがいはなかったか考える。
18	自分の実験データがまちがっているかもしれないと疑ってみる。
19	友達の実験のやり方にまちがいはなかったか考える。
20	友達の実験データがまちがっているかもしれないと疑ってみる。
21	都合が悪い実験データだからと言って無視しない。

※は反転項目

### 第3節 結果および考察

#### 第1項 ATTの有効性の評価

##### 1 第2時における意見交換の発話分析

第2時では、ATTを作成した。児童は個人で実験を考えた後、班で話し合い、具体的に実験する行動を決めた。表7は、ATTを作成する際の班の話し合いの様子の一部である。この発話記録は、授業を行った担任を含む、4人の教員が特定のグループの様子を観察し、発話を記述により記録したものである。一部、語尾の言い方や、繰り返しの言葉を削除して掲載している（後述の表8も同様）。

表7の①の発言から、磁力を強くする要因の一つ一つについて条件を制御して実験を行おうとしている様子が見られる。ATT使用による、要因のリスト化が、実験をより明確にする意識を高めたと考える。他クラスも同様に条件制御の考えが生まれていた班があったが、ATT使用だけでは条件制御ができていない児童や班も見られたため、教師の支援も

必要であった。ATT リスト作成時の指導の工夫や、実験前の教師の支援がどの程度必要であるかの点については今後の課題である。

この時間では、電磁石の巻き数や電池の数に目を向ける班が多く（全 18 班中：電池 15 班，巻き数 17 班）見られたが，②③に見られるように，導線の太さや鉄心の長さ等の要因にも目を向けた班（全 18 班中：7 班）もあった。ATT でリスト化することにより，様々な要因を考えようとした結果であると捉える。

また，④に見られるように，どの実験から行うかをも決定していた。ATT は，取り組みやすく，効果の高いものから順序を決めるため，効果を予想しながら実験順を決定したうえで，実験に取り組んでいることがうかがえる。

一方，0 児の発言のように，他者の考えに依存している児童も見られた。ATT は書いたものの，まだ実験をしていないため，自分の予想に自信がないためではないか。

## 2 第 6 時における意見交換の発話分析

表 7 第 2 時における実験計画時の班の話し合い（B 組 1 班）

児童	発話内容（一部）
K 児	電池を増やすのはそんなに効果がないのでは。電池よりも巻き数が効果があるのでは。
S 児	<u>①電池を増やすのもコイルの巻き数を増やすのも要因かもしれないが，どちらの要因か分からないから，一つ一つ調べなくちゃだめだね。</u>
O 児	強くなったかどうか調べる方法はどうするの。
D 児	ついたクリップの数で調べたらいいのでは。
O 児	巻く回数は何回にする？
M 児	100 回の倍の 200 回で巻いてみて，どのくらい強くなるか調べてみよう。他に何変えたらいいと思う？
K 児	<u>②クリップにあたる部分が多くなるので鉄心を太くするというのはどうだろう。</u>
D 児	<u>う。クリップが付きやすくなったり，強くなったりするかも。</u>
K 児	<u>③だったら導線の太さも変えたらいいかも。</u>
O 児	<u>④今の電磁石から変えるのは大変だから，まずは電池と巻き数から調べよう。</u>

※児童名は，名字のイニシャル

第 5 時のチャレンジタイムで目標を達成できなかったため，児童は，更なる要因を発見しようと ATT を改善した。表 8 は，ATT を使用した班での話し合いの様子の一部を表して

いる。

表 8①②に見られるように、巻き数やつなぎ方という実験の精度について、批判的に議論が行われている。これは、ATT リストでうまくいかない原因を考えたことによるものであると捉える。表 8③④の議論では、釣り上げる重さや、電磁石にクリップが着いた時間について議論していた。電磁石を強くする要因を発見するという考え方から、目標の魚を釣るために実験をするという、より目標を明確に持った実験計画になってきたことが分かる。表 8⑤⑥⑦では、巻き数を増やすために新たな要因である導線の長さを変える必要性について議論していた。導線の長さを変えた時の条件制御についても考えるなどの批判的な議論が見られるようになった。

表 8 第 6 時における実験計画時の話し合い (A 組 1~3 班)

班	児童	発話内容 (一部)
1 班	W 児	巻き数 200 の電池 2 個で魚が釣りあがりそうな班があった。
	E 児	<u>①僕らがうまくいかない原因は巻き数を正確に 200 にできていないんじゃないか。</u>
	W 児	<u>②乾電池のつなぎ方がうまくいってないんじゃない。正しい直列つなぎになっていないんだよ。</u>
	E 児	並列なら強くなれないというのも確かめた方がいいんじゃない。
	G 児	巻き数やつなぎ方を確認しなくてはいけないね。
2 班	F 児	100 巻きから 200 巻きで強くなったなら 300 巻きならもっと強くなるかも。
	A 児	強くなったのかを正確に確かめる方法を検討しない？確実に強くなるものを見つけないから。
	H 児	<u>③90 g の魚を上げるにはクリップの数ではなく、重さを考えるといいと思う。重さで比べると魚が釣りあがるのかわかるのでは？</u>
	I 児	<u>④だったら 10 秒キープできたやつをもちあがったとする。じゃないと魚はつれない。</u>
3 班	S 児	300 回巻きにしたいけど、きれいに巻くには導線の長さが足りない。
	I 児	<u>⑤導線を変えて長くすればいいんじゃない。</u>
	T 児	<u>⑥導線の長さを変えると条件が変わるよ。</u>
	N 児	磁力が強くなればいいんじゃない。
	E 児	<u>⑦導線の長さが違うと磁力が変わるか調べよう。</u>

※児童名は、名字のイニシャル

### 3 ATT を用いた実験の評価

図2, 図3は児童が第2時に書き, 第6時に追記したATTリスト及びATTである。

これらの図は, 児童が目標に向かって実験を行い, 通常の学習内容である電流を強くすることや, 巻き数を増やすことだけにとどまらず, 多様な実験を行い, 磁力を高める可能性を検証していることを示す。

目標 大間のマグロをつらう!!		
うまくいかない原因	中間目標	行動
石磁力が弱い	石磁力を強くする	電池を2コにする
"	"	コイルの巻き数をふやす
電池2コでも電流が強くない	電流を強くする	電池2コを直列につなぐ
電池2コにして200回まきにしてはつれない	巻き数をもっとふやす	300回まき, 400回まきにする
"	電流を強くする 石磁力をあげる	導線を太くする
400回まきには導線がみじかい	導線を長くして400回まき	導線を長くしても大丈夫かしらべる

図2 児童が書いたATTリスト

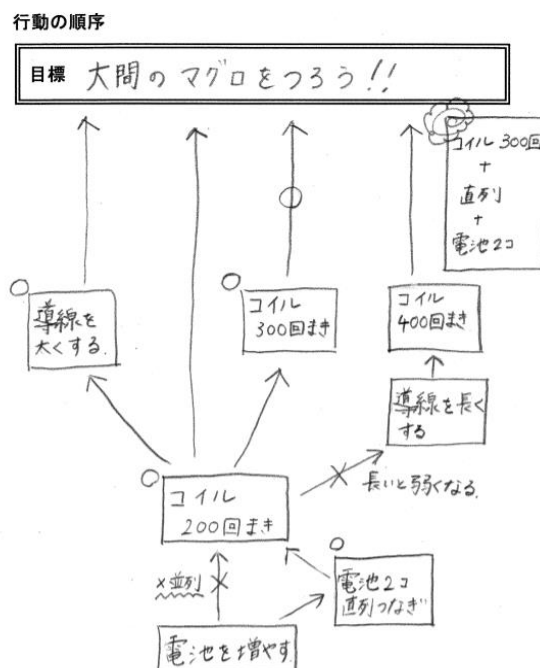


図3 児童が書いたATT

表9は, 3クラス計18班が行った実験の種類と数である。表9中の「児童の実験の意図」は, 児童のATTリストの記述を基にしている。

実験の種類は11種になった。すべての班が電池2個, 巻き数200の実験を行い, さらにその他の実験も企画し, 検証している。一つの班の平均実験数は $4.61 \pm 0.70$  (誤差範囲は標準偏差) になった。教科書では実験数が主に2つであることと比較すると, 標準よりも多様な活動にアプローチしたと言える。

表9の実験は自分達なりに磁力を上げる効果があるかどうか判断できたものである。児童は, ただ, 思いつくままに要因を考えたのではなく, 自分達で検証可能か判断した上で実験を行ったと言える。実験数が増えたのは, 簡単には持ち上がらない目標の魚を釣るために, ATTで要因を細かく吟味し, 一つ一つの効果を確かめた結果であると考えられる。表9中の, コイルを並列や直列につなぐ実験は, 磁力を発生するものを集めると強くなるという発想から考えられたものである。これらの実験に取り組んだ班はいずれも, 実験した上で電磁石を強める効果について判断していた。しかし, この段階の児童に磁極の考えはない。そのため, 正しい実験が行われていない可能性も否定できない。

表 9 本実践で実施した実験の種類と取り組んだ班の数

行った実験	班の数	主な児童の実験の意図
導線を 200 回巻き	18	巻くことによって磁力が発生するのであれば、さらに巻くと磁力が高まる。
電池の直列	18	電流を強くする。
電池の並列	2	電磁石では並列にする方が効果があるのでは。
導線の太さを変更	7	電流を強くする効果があるのではないか。
導線を長さの変更	6	巻き数を増やすために長くするが、長さの要因を確かめなければならない。
鉄心を他の金属に変更	2	鉄以外の電気を通すものでも効果があるのでは。
鉄心の長さを変更	4	コイルをきれいに巻くために鉄心の面積を広くする。
鉄心の太さを変更	4	より多くの磁力を鉄心に集めることができるのでは。
導線を 300 回巻き以上	14	200 回巻きで強くなったなら、さらに巻き数を増やすとよいのでは。
コイルを 2 個直列	6	二つのコイルをつなげることで巻き数が増えるのではないか。
コイルを 2 個並列	2	コイルの力が集まることで磁力が強くなる可能性があるのではないか。

## 第 2 項 振り返りの記述の評価

児童の振り返りの記述から、CT の活性化や、主体的な学びの促進を評価する。表 10 は、表 5 (第 2 節第 4 項) の評価基準において、第 4 時の記述で B 評価と判断され、後の第 8 時の記述で A 評価と判断された児童の事例である。

3 名とも、第 4 時の記述から、行った実験を量的に分析して電磁石の磁力の大きさを変える要因を合理的・反省的に判断していると言える。しかし、実験結果を報告するにとどまっており、結果を次の学習に生かす意思を示す記述はない。

一方、第 8 時では、魚 (マグロ) を釣るために重さに着目して実験を行っている。H 児は表 8 の 2 班の児童であるが、話し合いにおいて、90 g の魚を釣るために、魚の重さに着目し、魚よりも重い筆箱を釣ることにより効果を事前検証しようとしていた。E 児は、表 8

の1班の児童であるが、電池2個で磁力が強くない原因を班の話し合いで検討したことを基に、電池を直列につなぐことで電磁石の磁力が強くなることを確かめていた。さらに、一番良い結果を用いて90gの魚を釣るのに十分であると記述していた。

これらの例では第4時よりも、第8時の記述の方が、実験結果を踏まえて改善しようとする粘りと、次につなげる意思を読み取ることができ、より主体的な学びが実現されていると判断される。この理由から3名の第8時の記述はA評価とした。

なお、表10の0児は平均を用いているが、平均の考えは、算数で既習であり、また、第5学年「てこのはたらき」において5回測定して、中央の3回の平均をとるという学習をしているため、多くの児童が同様に測定値の平均を用いて検証していた。

表10 B評価からA評価へ変容した児童の記述

児童	第4時 (B評価)	第8時 (A評価)
H児 (表8・2班)	基本(電池1コ・コイル100回)→8コ、コイル200回(A)→21コ、乾電池直列2コ(B)→25コ、A+B→38コになった。乾電池2コ200回巻でかなり強くなった。僕の班はクリップの数で比べたが、他の班は重さで比べていたのでいい考えだと思った。	鉄心を長くする→8コ、電池1コの時、コイル300回→33コ、350回40コ。マグロがかなり重かったので、他の方法で鉄心を長くしたけど、あまり変わらなかった。たくさん巻くとどんどん強くなった。 <u>①電池2コ350回でマグロより重いふでばこをつれた(10秒数えておちなかった)今度こそマグロをつるぞ。</u>
E児 (表8・1班)	電池を2個にしたら上がると思ったけど釘10gと前よりも下がった。コイル200回巻きにすると42gとすぐ上がった。ほかの班は電池2個で2倍くらい上がったと言っていた。なぜ減ったか調べてみたい。	電池2個直列にしたら18gもちあがった。並列だとかわらなかった。やはり、この前は並列つなぎであった。コイルを390回にしたら最高134gもてた。しかし、前回考えた2つの電磁石を一つにつなぐのはうまくいかなかった。 <u>②134gもてたのはとてもいい結果だった。マグロもつれると思う。</u>
O児	電池1個100回巻で平均約15g、電池2個直列100回で約20gになった。はじめ、電池を並列にできてしまっていたのを友達が教えてくれて、20gつれることを証明してくれた。電池1個200回巻では、18gくらいだった。電池2個のほうが強くなった。	大間のマグロが90gで、今日やった電池2個、200回で、65gまでつれるので、まだつれないことが分かった。 <u>③けど、電池2個+200回でこの前より3倍くらい増えたので、巻き数をもっと増やせばつれるかもしれない。300回以上で挑戦したい。</u>

授業に参加した90名の2回の検証実験後(第4時と第8時)の振り返りを表5の評価基準に基づき評価し、A・B・Cの人数を比較したものが、表11である。

第4時の振り返りでの記述は、36%の児童がA評価に、39%の児童がB評価に分類された。A、Bを合わせると75%になる。この割合は、実験結果を合理的・反省的に判断す



ることができていると評価した割合である。第8時の振り返りでは、A評価は67%へ増加し、C評価であった児童もA評価、B評価への記述へ変化した。A評価が増えたことは、実験結果をもとに次の学習、すなわち、目標の魚を釣りあげるために必要な磁気力を得るための記述が増えたことを意味している。

第4時終了時点の記述では、目標を達成するという明確な意思を持ってている児童はまだ少ないと言える。しかし、第5時のチャレンジタイム後、更なる要因を検証しなければ魚は釣ることができないと感じ、表8の話し合いに示されるように、ATT作成時にうまくいかない原因、すなわち魚が釣りあがらない原因は何かを強く意識するようになった。そのため、後の検証実験では、表10①②③で例示されるように、次回の挑戦でやりたいことが読み取れるAの割合が増加した。

本研究において、簡単に達成できないレベルの目標を設定し、ATTを用いて繰り返し磁力を高める要因を批判的に吟味したことは、児童の主體的な学びを促進する効果があったと言える。ただし、第8時の記述において、8名の児童が、実験を合理的・反省的に判断できていなかった。ATT使用による自由度の高い実験においても、一部の児童には正確な実験や思考の方法について教師の支援が必要であり、その支援方法は今後の課題である。

表 11 第4・8時の振り返りの評価人数比較

時	A 評価	B 評価	C 評価
4	32名 (36%)	35名 (39%)	23名 (25%)
8	60名 (67%)	22名 (24%)	8名 (9%)

### 第3項 質問紙の分析

授業前後に実施した質問紙の回答結果を分析する。質問紙の事前事後の各問に選ばれた値の平均値と標準偏差を表12に示す（項目5は反転処理）。

以下の因子分析では、事前の質問紙の回答から天井効果（平均+標準偏差>5）が見られた項目5・8・10の三つの項目を削除した。なお、床効果（平均-標準偏差<1）は見られなかった。

質問紙の因子を特定するために、事前の回答をもとに、因子分析（最尤法、統計ソフトRを使用）を行った。因子を決定する際は、固有値の減衰状況（第1因子7.09、第2因子1.92、第3因子1.48、4因子1.01、第5因子0.90、第6因子0.85、以降略）と解釈可能性から3因子と判断した。最尤法を用いて因子分析を行い、初期解の累積寄与率が第3因子までで51%であったため、3因子は妥当であると判断した。その後、再度因子分析（最尤法・プロ

マックス回転)を行い、因子負荷量 0.35 に満たない項目を削除する等、因子分析を繰り返した。最終的な因子分析の結果を表 13 に示す。

因子1は、「理科の授業では、自分たちで問題を見つけて授業を進めている」「理科の授業では、自分たちで問題を解決している」「自分の学習活動を振り返り、次の学びにつなげようとしている」など主体的な学びの定義に基づいているため、因子1を「主体的な学び」とした。

因子2は、「分からないことがあると質問したくなる」「「なぜだろう」と考えることが好きである」など、木下ら(2013)のCT尺度に共通する項目が多く、自分の思考や行った実験について批判的に思考する態度であると解釈した。このため、因子2を「自己へのCT」とした。

因子3は、「友達の意見にまちがいはないか考える」「友達の実験データがまちがっているかもしれないと疑ってみる」など、他者の意見を鵜呑みにせず、確認しようとする態度であると解釈した。このため、因子3を「他者へのCT」とした。

次に、質問項目の信頼性を検討するために、各因子の信頼性係数(Cronbach  $\alpha$ )を算出した。その結果を表13内に示す。 $\alpha$ の値は、 $0.78 \leq \alpha \leq 0.86$  であることから、各因子の内部一貫性が保証されたと判断した。

次に、質問紙の事前事後の調査結果をもとに、4つの因子ごとに平均値を算出した。このデータはKolmogorov-Smimov検定において正規性が確認できたため、平均の差の検定として t 検定を行った (有意水準 0.05)。事前事後の平均値比較を表14に示す。

表12 質問紙の各項目の平均値事前事後比較

No	事前		事後	
	平均	標準偏差	平均	標準偏差
1	3.62	0.99	3.87	0.89
2	3.41	1.06	3.69	0.94
3	4.12	0.78	4.37	0.91
4	3.63	0.93	3.98	0.95
5	3.84	1.17	3.82	1.21
6	3.76	0.99	4.07	0.92
7	3.93	0.93	4.11	0.92
8	4.08	0.94	4.31	0.91
9	3.59	0.98	3.61	1.11
10	4.06	0.94	4.10	0.92
11	3.41	1.07	3.53	1.07
12	3.61	0.99	3.92	1.01
13	3.24	1.29	3.38	1.20
14	3.27	1.01	3.52	1.03
15	3.31	1.23	3.50	1.23
16	3.58	0.96	3.69	0.94
17	3.36	1.16	3.62	1.01
18	3.53	0.97	3.54	1.03
19	3.27	1.01	3.66	0.85
20	3.19	1.10	3.41	0.95
21	3.73	1.08	3.89	0.94

表 13 質問紙の因子分析結果と因子負荷量・因子間相関・因子ごとの信頼性係数

因子	No	アンケート項目	因子 1	因子 2	因子 3		
主体的な学び	6	理科の授業では、自分たちで問題を見つけて授業を進めている。	<b>0.81</b>	-0.23	0.06		
	7	理科の授業では、自分たちで問題を解決している。	<b>0.71</b>	0.02	0.01		
	2	自分の学習活動を振り返り、次の学びにつなげようとしている。	<b>0.56</b>	0.30	-0.16		
	3	実験・観察の場面では、自分たちで実験方法を考えている。	<b>0.51</b>	0.20	0.12		
	1	理科の学習に積極的に取り組んでいる。	<b>0.46</b>	0.33	-0.06		
	4	実験がうまくいかない場合、なぜうまくいかないのか考えている。	<b>0.41</b>	0.24	-0.02		
	11	自分が納得できるまで考えぬいている。	<b>0.38</b>	0.24	0.27		
自己へのCT	13	分からないことがあると質問したくなる。	-0.04	<b>0.75</b>	-0.07		
	15	「なぜだろう」と考えることが好きである。	0.11	<b>0.70</b>	-0.06		
	9	理科の学習の進め方は将来に役に立つと思う。	0.15	<b>0.66</b>	-0.11		
	21	都合が悪い実験データだからと言って無視しない。	-0.08	<b>0.63</b>	-0.01		
	14	よい考えを思いついても、もっとよい考えはないか探してみる。	0.11	<b>0.59</b>	0.15		
	18	自分の実験データがまちがっているかもしれないと疑ってみる。	-0.26	<b>0.56</b>	0.16		
	12	一つのやり方で問題が解決しないときは、他のやり方を試してみる。	0.22	<b>0.46</b>	0.12		
他者へのCT	16	友達の意見にまちがいはないか考える。	0.21	-0.19	<b>0.85</b>		
	20	友達の実験データがまちがっているかもしれないと疑ってみる。	-0.19	0.09	<b>0.82</b>		
	19	友達の実験のやり方にまちがいはなかったか考える。	0.02	0.04	<b>0.82</b>		
Cronbach $\alpha$	因子 1	0.85	因子間相関	因子 1	1.00	-0.37	-0.62
	因子 2	0.78		因子 2	-0.37	1.00	0.45
	因子 3	0.86		因子 3	-0.62	0.45	1.00

表 14 質問紙の因子ごとの事前事後平均値比較

因子	平均：事前	平均：事後	p 値	t 値
主体的な学び	3.71 (0.69)	3.94 (0.67)	0.01	3.84
自己へのCT	3.46 (0.79)	3.62 (0.78)	0.02	2.37
他者へのCT	3.34 (0.91)	3.59 (0.76)	0.02	2.30

自由度 n=89, ( ) は標準偏差

結果から、すべての因子に有意な向上が見られた。児童はATTを作成して、自ら実験計画を立てながら繰り返し議論してきた。この過程で、児童の思考に表14のような因子の活性化が生じていたものと推察される。

実験は事実を明らかにし、児童が考える客観的なよりどころとなる結果をもたらす。ATTというツールを用いて、目標に向かって児童自らが様々な実験計画を再構成していく本研究の提案手法は、内面的にも、児童の主体的な学びやCTを高める効果があったと推察される。

ただし、本研究では、学習機会均等の観点から対照群は設定していないため、これらの事前事後の変容は本研究で提案する指導法以外の要因が関係している可能性は否定できないことが課題としてあげられる。また、今回用いた尺度は本研究用に作成したオリジナルのものである。尺度の信頼性については限界がある。今後より信頼度の高い尺度を作成する必要がある。

## 第4節 本章のまとめ

本研究では、児童の主体的な学びを促進するために、CTツールであるATTを理科実験学習用に応用した指導法を開発した。

この指導法を用いた授業実践を行い、ATTを用いた実験計画の分析や学習の振り返りの記述分析、および質問紙の結果の数量分析を行った。

ATTを用いた実験計画の分析からは、児童は複数の実験を自ら計画して行い、それらの実験を合理的・反省的に判断していることが見出された。

振り返りの記述分析からは、実験を重ねるたびに学習目標への意識が高まり、実験で明らかになったことを次の学習に生かそうとする主体的な学びの促進が見出された。

授業前後の質問紙調査の比較では、児童の内面の主体的な学びへの意識やCTの向上が検出された。

本研究で用いたATTを用いた授業法は、CTを引き出し、学習者の主体的な学びを促進することが見出された。

児童が主体的に実験を検討、実行していく学習が実現したことは、主体的な学びを実現する理科実験授業のためにATTが有効であることを示すものと言えるのではないか。

最後に、本研究の課題としては、文部科学省(2018a:p66-67)に示されている学習内容がどの程度定着しているのかを量的に分析していないことである。今後、知識や技能、思考力・判断力・表現力の育成効果の有無も明らかにしていく必要がある。

## 参考文献

- 藤本義博・佐藤友梨・益田裕充・小倉恭彦 (2017) 「主体的・対話的で深い学びを促進する教師の発話による働きかけに関する実証的研究—小学校第5学年「川の働き」の授業において—」『理科教育学研究』第58巻, 第2号, 159-173.
- Goldratt, E. M. (1990) What is this thing called Theory of Constraints and how should it be implemented? *North River Press*, 9-24.
- 原田勇希・三浦雅美・鈴木誠 (2018) 「高い制度的利用価値の認知は理科における「主体的・対話的で深い学び」に貢献しうるか」『科学教育研究』第42巻, 第3号, 164-176.
- 木下博義・山中真悟・中山貴司 (2013) 「理科における学生の批判的思考とその要因構造に関する研究」『理科教育学研究』第54巻, 第2号, 181-188.
- 楠見孝・子安増生・道田 泰司 (2011) 『批判的思考力を育む：学士力と社会人基礎力の基盤形成』有斐閣, 187-192.
- Marques, S., Castro, R (2018) Analysis of the Theory of Constraints for Education and its impact on educational systems. *EDUCATION AND CONTEMPORARY CULTURE MAGAZINE*, 15(40), 452-474.
- 道田泰司 (2003) 「批判的思考概念の多様性と根底イメージ」『心理学評論』第46巻, 第4号, 617-639.
- 道田泰司 (2005) 「批判的思考から研究を考える」『日本化学会情報化学部会誌』第23巻, 第2号, 54-60.
- 文部科学省 (2016) 「教育課程企画特別部会論点整理」Retrieved from [https://www.mext.go.jp/component/b\\_menu/shingi/toushin/\\_icsFiles/afieldfile/2015/12/11/1361110.pdf](https://www.mext.go.jp/component/b_menu/shingi/toushin/_icsFiles/afieldfile/2015/12/11/1361110.pdf) (accessed 2020.12.10) .
- 文部科学省 (2018a) 『小学校学習指導要領 (平成29年告示) 解説理科編』東洋館出版社, 5-8, 66-67, 95.
- 文部科学省 (2018b) 『中学校学習指導要領 (平成29年告示) 解説理科編』学校図書.
- 仲野純章 (2018) 「理科探究活動を見据えた数式に基づかない解研究プロセスの指導—切り紙構造の力学応答を一例として—」『理科教育学研究』第58巻, 第3号, 271-278.
- 太田和希・内之倉慎吾 (2019) 「中学校理科におけるエンジニアリングデザインの学習過程を導入した授業の開発と実践—単元「化学変化とイオン」を事例として—」『日本科学教育学会研究報告』第34巻, 第2号, 41-44.
- Suerken, K. (2010) TOC for Education, in *Theory of Constraints*, eds. Cox, J. F.・Schleier, Jr. J.G., *McGraw-Hill Education*. 787-812.
- 東京書籍 (2015) 『平成27年度版 新しい理科 教師用指導書』東京書籍, 144-159.
- 若林靖永 (2012) 「『教育のためのTOC』にもとづくクリティカル・シンキング演習」

『2012 PC Conference』, 65-66.

山田貴之・浅倉健輔・小林辰至 (2018) 「中学校理科授業における主体的・協働的な学びを促す指導方法に関する研究－「探究の過程の8の字型モデル」と「探究アイテム」に着目して－」『兵庫教育大学教育実践学論集』第19号, 219-229.

山田貴之・松本隆行 (2020) 「理科に対する興味が主体的・対話的で深い学びに及ぼす影響－初等教員養成課程学生を対象として－」『理科教育学研究』第60巻, 第3号, 663-673.

# 第6章 フローチャート型実験計画表 によりクリティカル・シンキングを引 き出す理科実験授業モデルの提案

本章では、実験計画能力と解決法の妥当性を判断するCT能力を育成するためにGCTモデルのフォーカス・ツールとして、フローチャート型実験計画表を用いた授業法を開発する。

実験を自らの手で行うには、道具の準備や安全性も考えて実験計画を考えなければならない。学習した様々な方法で水溶液を判別・判定できる、という前提命題に対して、フローチャート型実験計画表を用いて実験の効率化にフォーカスすることにより、議論が活性化し、実験計画の妥当性を判断するCTが生み出されると考える。そして、より安全で詳細な実験計画が立案されると考える。

考案した授業法を用いた授業実践とその効果について検証する。

## 第1節 研究の背景と目的

### 第1項 他者とのかかわりの中で育まれるCT能力

Brookfield (1987) は、CTを身につけるためには、他者の協力が重要である、と述べる。それは教員や職場の同僚、或いはCTを共に学ぶ仲間であってもよく、そのような人たちの共感的な支えが必要であると主張する。Paul (1995) は、CTを弱い意味でのCTと強い意味でのCTとに分けている。弱い意味でのCTとは、自分の立場からの批判であり、批判は時に利己的なものであると述べている。それに対して強い意味でのCTとは、自他の立場を相対化し、異なる立場に共感することができる能力であり、個人の能力を超えて他者と協力しながら問題を解決するために必要な能力であると述べている。

本研究では、これらの主張に基づき、CTを、異なる立場に共感し、他者との協力や共感の中で形成され発揮される能力として捉える。このCTの能力は、授業の中では意図的に他者と議論することにより形成されるであろう。このとき、他者との協力のもとで問題解決する姿勢が示されたときをもって、強い意味でのCTが育成されたものと捉える。

## 第2項 実験計画段階におけるCT

CTの研究では、暗黙の前提を明確にすることが重要だと考えられている(Brookfield,1987;Ennis,1987)。田中・楠見(2012)は、暗黙の前提を明確化することは非常に重要な能力ではあるが、日常生活において、「いまの議論の暗黙の前提はなにか」と直接問われる機会はほとんどないことを課題としている。

暗黙の前提の明確化について印南(1997)は「それぞれの考え方の前提を意識的に問いかける」ことであると述べている。考え方の前提とは、理科においては、仮説の前提となる理論や生活経験、考察の基となる実験方法や実験データであると言える。木下・山中・中山(2013)の小学校5,6年生を対象とした理科の実態調査の分析では、自分が一度考えた仮説や実験方法、考察を反省的に振り返ろうとする思考が働かないことが課題として指摘されている。

さらに、小学校理科の現場では実験方法は教師から指示され、児童はそれに従うに止まることが多い。すると、実験方法の妥当性については、実験結果に比べて反省されにくく、暗黙の前提となりやすいのではないかと、実験結果や結論の前提となる、実験そのものの妥当性についての児童自身による議論が不十分になる傾向があるのではないかと考える。

これまでの理科におけるCTの研究の多くは、仮説や考察を批判的に議論するものが多く、実験方法や実験が適切かを批判することに焦点を置いた研究は筆者の知る限りでは少ない。仮説や考察を議論する前に、実験データが妥当な実験計画の下で得られたかどうかを議論することは、理科におけるCT能力を育成する上で重要である。

加えて、小学校学習指導要領(平成29年告示)解説理科編(文部科学省,2018)においては、主体的・対話的で深い学びが求められる中、理科では、児童が自ら問題解決のための実験を構想することが求められているが、全国学力・学習状況調査理科報告書(国立教育政策研究所,2015)は、実験を構想する力に課題があると報告している。これらの課題を解決するためには、実験を計画する際に、CT能力を発揮し、本当に妥当な実験計画かを判断し、改善する力を高める必要があると考える。

実験計画の可視化手法として、フローチャート(flow chart, FCと略記)を用いることが考えられる。FCは手順や処理の流れを説明するために用いられ、情報処理教育において、アルゴリズムを分かっている教員側が分かっている学生に対して説明する場合に多用されている(相知・青木・古川・高山,2006)。また、FCは、アルゴリズムの学習だけでなく、数学における証明問題や化学における実験計画などの学習支援ツールとしても用いられている(藤井・石橋,2018)。

実験計画の際にFCを用いて実験手順を可視化することは批判的な議論をするために有効と考えられるが、FCの標準形式よりも児童が詳細な実験計画を描きやすい形式を検討



する必要がある。

### 第3項 研究の目的

本研究では、理科実験学習において、児童による実験計画を可視化し、児童相互に実験を批判的に検討するためのFC型実験計画表を導入する。この「FC型実験計画表導入による児童相互の協議の効果」をCT能力の見地から測定し、実験計画時のCTを誘導する効果を明らかにすることが本研究の目的である。

本研究ではCTの定義として、Ennis(1987)の定義「何を信じ何を行うかの決定に焦点を当てた合理的で反省的な思考」を採用している。

実験学習では、「何を信じ」は仮説を検証するための実験としての適切性評価に対応し、「何を行うか」は現実の実験計画の決定に対応するものと捉える。したがって本実践におけるCTを「(定義 $\alpha$ )実験計画の妥当性を判断し、実際の実験を決定する能力」と定義する。

## 第2節 研究方法

### 本実践におけるGCTの構成

前提命題：学習した様々な方法で未知の水溶液を判別・判定できる。

フォーカス・ツール：実験手順のフローチャート

フォーカス・ツールの役割：水溶液の判定と判定手順を考え、実験の準備から安全実行までを自ら検討する。

### 第1項 FC型実験計画表の開発

本研究では、図1に概略を示すFC型実験計画表を考案した。

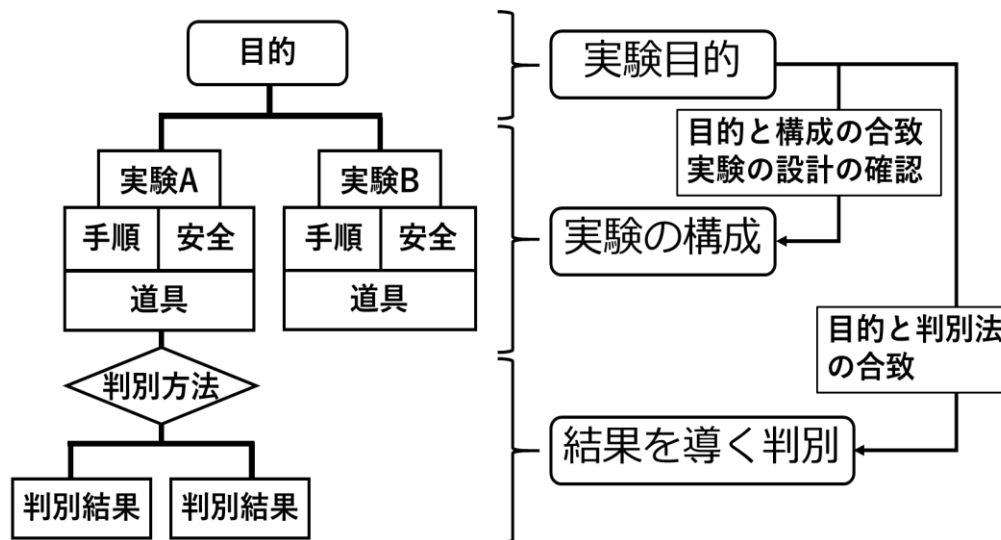


図1 フローチャート（FC）型実験計画表の例

本FC型実験計画表は実験の目的ブロック、実験の構成ブロック、結果を導く判別法ブロックの3部からなる。実験の構成ブロックは、手順、安全配慮点、必要な道具の3サブ・ブロックで構成され、これらは箇条書きで内容記入される。

判別法ブロックは構成ブロック中の実験手順とは分離して可視化し、目的に沿う検証の論理を端的に意識させる。特に、図1に示すように、実験目的と実験構成、実験目的と判別法の2つの組み合わせが合致しているかを確認させる。

## 第2項 実験計画の妥当性の相互評価活動

各班の実験計画の妥当性を高めるために、実験時に、図2に示す手順で、自他の実験方法を検討する活動を行う。実験群は、各自にFC型実験計画表を用いて実験方法を考えさせる。解決方法の類似する者同士で班を作り、FC型実験計画表を共有する。1班の人数は3～4人である。その後、自分と異なる実験方法の班と互いの実験方法を批判的に検討する活動を行う。他の班の実験計画について、疑問点や改善点が見つかった児童は、その内容を具体的にメモに記述してその班に渡す。メモを受け取った班は、そのメモに基づいて、自分たちの実験方法の改善を試みる。

一方、対照群は、FC型実験計画表を使用せずに、各自に実験方法を考えさせ、ノートに記述させる。その後、既定の自班でのみ実験計画を検討させる。

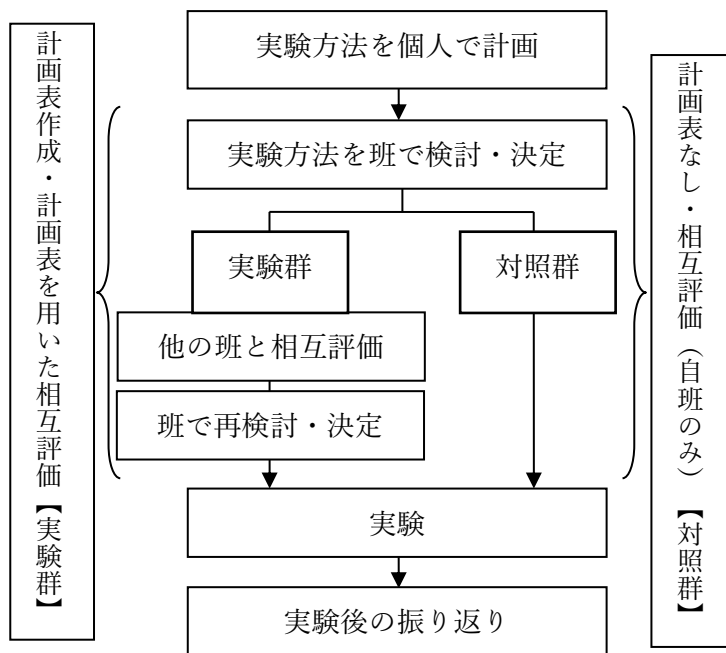


図2 本研究における実験計画から実験の流れ

### 第3項 実験計画後の振り返り活動

実験後に、実際に実験が計画通りに行われたかを班で振り返る活動を取り入れる。振り返りの項目は、1) 安全にできたか、2) 手順に間違いはなかったか、3) 道具はそろっていたか、4) 問題を解決する実験になっていたか、の4項目である。

### 第4項 指導法の効果測定方法

児童のCT能力を以下の1-3の方法で測定する。

#### 1 FC型実験計画表の評価及び、実験の評価

実験計画時にCT能力が発揮された場合、結果として、詳細で妥当な実験計画が立てられる。そのため、CT能力を実験計画の内容から評価する。実験計画の評価の指標としては、安全性、実験の手順、実験道具が正確に書かれているか、また、実際に実験が正確に行われたかについて評価し、点数化した。安全性、手順、道具の観点において、計画表に明らかな不備がある場合を0点、計画表が正しい実験をするために妥当であると判断した場合に1点、加えて、計画に基づき実際に正しく実験できた場合に2点と設定した。

実験群はFC型実験計画表の内容を、対照群はノートに記述した実験計画の内容を、授業者で協議して評価する。

## 2 他者の実験計画に対する記述の評価

実験計画を他の班と議論する際に書いた批判的な記述を評価する。本研究では実験計画の討議におけるCT能力として具体的に2節の定義αに基づいて検討する。そこで実験計画討議におけるCT能力の評価基準として、A:具体的な改善方法を提案している、B:改善点を指摘している、C:改善点を指摘することができていない、の3段階で特徴付けることとした。この評価基準に従って児童の記述を分類・整理する。

## 3 質問紙調査によるCT態度面の評価

CTでは、能力とともにそれを働かせようとする態度が重要とされる(楠見・田中・平山, 2012)。本実践前後の児童のCT態度面の変容を質問紙により測定する。小学生の批判的思考態度を測定する尺度として、木下・山中・中山(2013)が、小学生5・6年生429名を対象に作成した20項目からなる尺度がある。この尺度は「反省的な思考」「探究的・合理的な思考」「証拠の重視」「健全な懐疑心」の4因子で構成された尺度である。本研究では、CT態度の尺度としてこの尺度を用いることにした。この尺度はまた、Ennis(1987)の定義をもとに作られたものである。実際の質問紙を表1に示す。

授業実践を行う児童に、全試行授業の事前及び事後調査を行った。回答は「とても思う」5点、「思う」4点、「どちらとも言えない」3点、「あまり思わない」2点、「全く思わない」1点、の5件法で求めた。反省的な思考の質問には「おかしいところ」という表記がある。これが、「間違っているところ」と解釈する場合、正解や明確な根拠がないといけなさと感じる児童がいることが予想される。反省的思考の態度面では、一度出した自分の考えや他者の考えに対し、「本当に正しいのか」を問いかける態度を養いたいため、疑問や説明のあいまいな点、矛盾点を「おかしいところ」とし、児童にその旨を説明した。

表1 質問紙の質問項目と分類

因子	No	アンケート項目
反省的な思考	1	自分の予想におかしいところはないか確かめる。
	2	友達予想におかしいところはないか考える。
	3	実験をする前、他の実験方法はないか考える。
	4	友達考察におかしいところはないか考える。
	5	実験の結果が出た時、おかしいところはないか考える。
	6	実験のやり方に間違いはなかったか考える。

	7	実験データが間違っているかもしれないと疑ってみる。
	8	自分の考察におかしいところはないか確かめる。
探 究 的 ・ 合 理 的 な 思 考	9	自分の意見には、理由をつける。
	10	自分が納得できるまで考えぬく。
	11	一つのやり方で問題が解決しないときは、他のやり方を試してみる。
	12	分からないことがあると質問したくなる。
	13	一つのことだけでなく、他のことも思い出して予想を立てる。
	14	「なぜだろう」と考えることが好きである。
	15	できるだけ多くの実験データを集める。
証 拠 の 重 視	16	1回目の実験結果だけを見て、2回目の実験結果を決めつけない。
	17	必要な実験データがそろっていない時は、結論を出さない。
	18	1回の実験だけでは結果を信用しない。
健 全 な 懐 疑 心	19	くり返しやってみなくても、実験の結果はいつも同じだと思う。
	20	インターネットで調べたことは、間違いがないと思う。

※ (19, 20 は反転項目)

## 第5項 授業実践

2019年1月～2月に、都内の小学校6年生計96名(4学級)を対象に授業実践を行った。この96名は、単元のすべての時間に参加した人数である。各学級の人数はそれぞれA組25名、B組25名、C組21名、D組25名である。単元は「水溶液の性質と働き」で第1時から第12時まで全12時間授業(1授業時間は45分)である。指導過程を表2に示す。

表2 指導過程

授業時	指導内容	児童の観察, 仮説
1, 2	いくつかの水溶液について、においや蒸発した時の様子を調べる。	蒸発後の固体残留の有無を観察

3, 4	いくつかの水溶液を、リトマス試験紙を使い、酸性・中性・アルカリ性に分ける。	水溶液は液性によるグループ分けが可能であることに気づく。
5, 6	二酸化炭素を水に溶かした時の現象を観察する。	液体の蒸発後固体が残留しないとき、気体は溶けていたという仮説を立てる。
7, 8	塩酸が金属を溶かすかどうかについて調べる。	アルミと鉄の溶解を観察
9, 10	塩酸に溶けた金属を蒸発させて出てきた固体は、元の金属と同じかどうか調べる。 <b>※実験群：FC型実験計画表使用及び、他の班と実験計画の相互評価。</b>	蒸発乾固させた固体は元の鉄、アルミであるという仮説を立て、検証実験を行う。
11, 12	5種の水溶液を判別。 <b>※実験群：FC型実験計画表使用及び、他の班と実験計画の相互評価。</b>	これまで観察した現象をもとに、水溶液の判別法を検討し実行。

授業の際には、A・B組を実験群、C・D組を対照群に分けた。班の数は、実験群が15班、対照群は18班であった。第1～8時は同じ活動である。実験群は、第9～12時において、FC型実験計画表作成及び、実験計画時に他の班と相互評価を行った（図2参照）。対照群は、安全、道具をよく考えて実験を計画するように指示した後、班で実験方法を考えた上で実験を行った。

第9,10授業時に行った1回目のFC計画表作成では、練習のため定型のワークシートを用いた。これに児童が記入した例を図3に示す。図3は、児童の手書き図（一部省略）を文言は変えずに印字、作図したものである。液体を蒸発させる実験は共通であるが、析出した固体の判別方法は班により多岐にわたった。

実験後の振り返りでは、「蒸発皿の重さが全部同じだと思っていた。一つ一つの皿の重さをはかるべきであった」「ガラス棒が1本足りなかった」「道具で薬包紙が必要であった」等、実験計画を十分議論していても、足りない要素があることに気付いた児童が多く現れた。

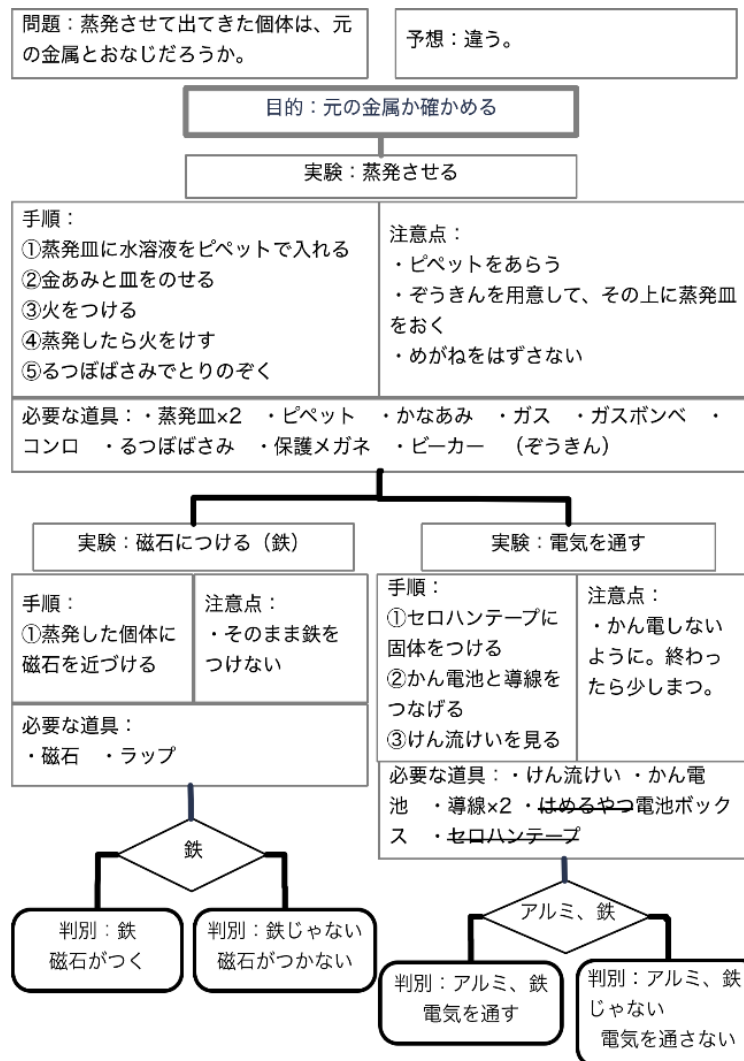


図3 第9,10 授業時のFC 型実験計画表の例

### 第3節 結果および考察

#### 第1項 FC 型実験計画表の作成

図4は、5種の水溶液を判別する実験についての、児童が実際に作成したFC型実験計画表の例である。

さらに、図4中のリトマス紙を使って液性を判断する実験の構成部と判別部を拡大したものが図5である。児童は構成部に、その手順と必要な道具を記入している。また、液性を正しく判断するための注意点として、ガラス棒を洗うことまで記述していた。複数の道具を正しく用いることに気を配っていることが推察される。

判別部分では、色の変化で判別すること、どの色が何を示すかが明記されており、他者にも判断法が理解できるものになっていた。

このような具体的記述により、実際に実験可能か批判的に判断できる。他者にも実験の詳細が伝わりやすいため、「道具が足りない」「その道具は使う必要がない」「安全性への配慮が欠けている」「その手順から得られた結果では正しいか判別できない」などの批判的な指摘をしやすくなることが推察される。

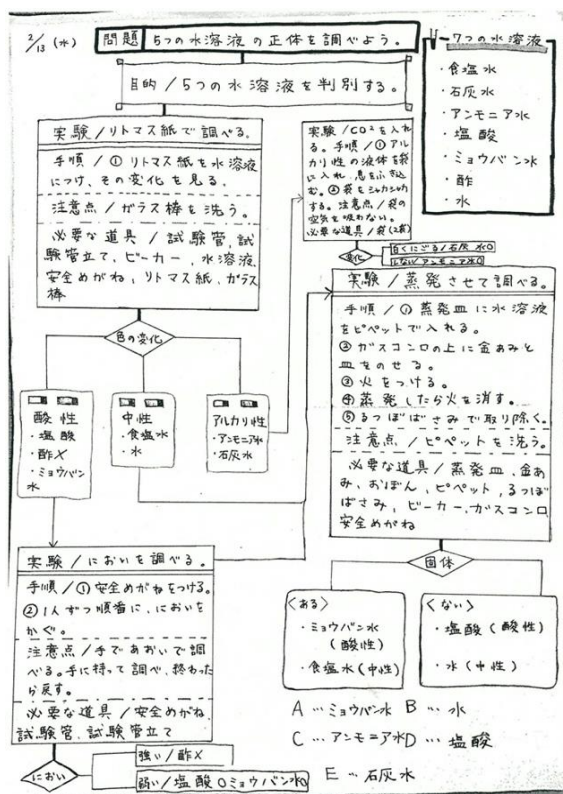


図4 児童によるFC型実験計画表の例

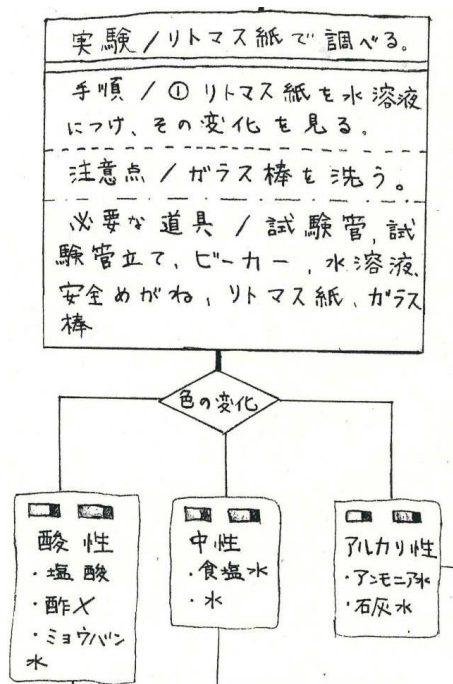


図5 図4のリトマス紙の実験部分の拡大表示

## 第2項 第9, 10 授業時における意見交換の様子

表2に示す第9, 10 授業時には、塩酸にアルミと鉄を溶かし、それぞれの溶液を蒸発乾燥させた固体が元の金属物質と同じであることを調べた。児童のFC型実験計画表は定型ワークシートに印刷したものを用いた(図3に例を示した)。

計画表記入後の班どうしの意見交換の一部の例を表3に示した。ここでは、「磁石を使って固体が鉄かどうかを確かめる際に、磁石に固体が着いてしまったとしたらその後どのように取るのか」、「粉の状態のアルミや鉄は電気が通るのか」といった点が議論され、



磁石の使い方を改善する案や粉を固定する案などの改善点が話し合われた。

表3 実験群の第9,10授業時における実験計画時の班の話し合い

(実験群A組1,2班)

児童	発話内容(一部)
2班A児	磁石を使うときに注意が必要なんじゃない。
1班B児	注意って何がある？
1班A児	蒸発皿に直接つけると危険とか？
2班A児	それもあるけど、もし磁石についたら取れなくなるよ。
2班C児	ビニール袋に入れたらいいんじゃない？砂鉄の時みたいに。
1班A児	なるほど。
2班C児	ビニール袋を道具に加えてね。
2班B児	電気を通すって書いてあるけどどうするの？
1班B児	豆電球を使う。
2班B児	そしたら電池が必要なんじゃない。
1班B児	あっ、そっかあ。
2班A児	だったら電池ホルダーや導線は？
1班B児	たくさん道具が必要だった。
2班C児	あと、粉だけど電気が通るの？
2班A児	集めればいいんじゃない？
2班B児	セロハンテープを使って集めればいいんじゃない？
2班C児	そもそも粉の時って通るのかな？
1班A児	アルミや鉄が粉の状態を通るか試さなくちゃいけないね。

### 第3項 第11,12授業時における実験

第11,12授業時では、用意した5つの水溶液を判別する実験を行った。児童には、この5つの水溶液が水、塩酸、アンモニア水、ミョウバン水、酢、食塩水、石灰水の7つの水溶液のいずれかであることをヒントとして与えた。また、実験群、対照群ともに児童には、安全で、効率の良い判別実験をすることを課題とした。効率の良いとは、少ない実験回数、少ない道具で完了するという意味である。

実験群はFC型実験計画表を作成し、別の班との議論を行い、対照群は、自分の班でのみ実験方法を議論する活動を行った。図6は第11,12授業時実験での、実験群の児童が作成したFC型実験計画表の例である。この回では定型図は与えず、児童に自由に書かせ

た。この実験は分岐が多く手順や器具が複雑になるが、児童はこれに FC 型実験計画表をよく応用して作成することが見出された。

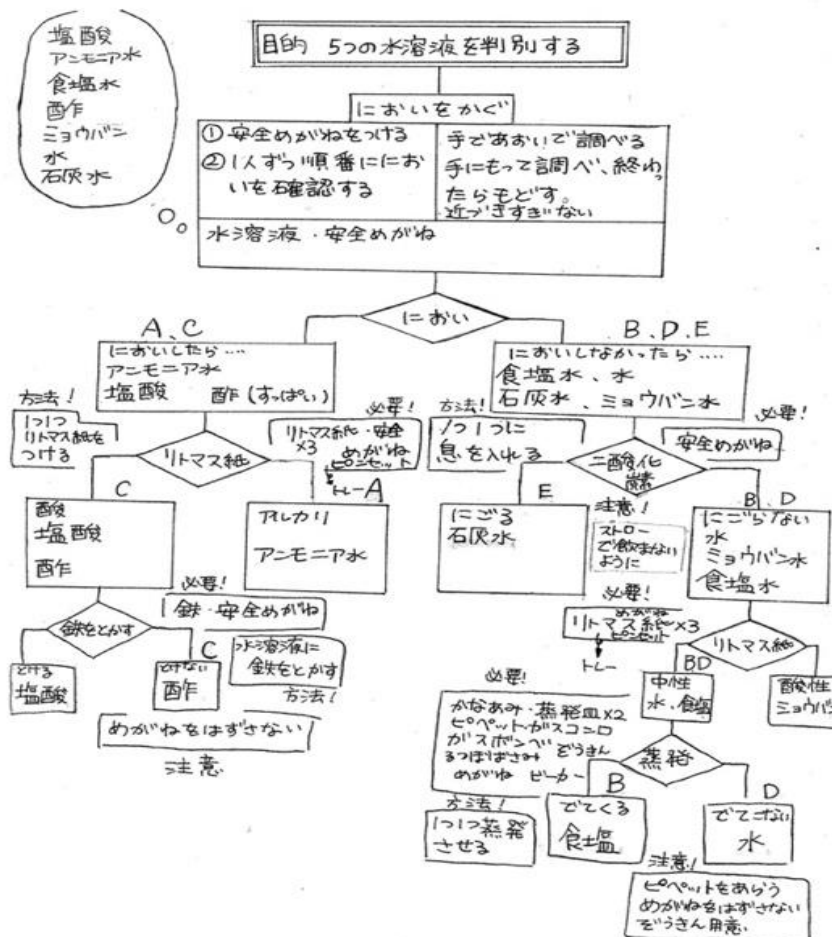


図 6 第 11, 12 授業時の FC 型実験計画表の児童による作成例

#### 第 4 項 実験群の議論の特徴

FC 型実験計画表を用いる実験群では、他班と議論する際に「二酸化炭素を入れるときにストローを使うと液体を吸う可能性があるので注意」「リトマス紙を先に使って判別の方が効率的」「蒸発の実験は最後にする方が実験数が少なくて済む」等、実験の手順や効率、正しい道具の使い方や安全性という観点で批判的に議論されていた。議論の様子の一部を表 4 に示す。第 9, 10 授業時より具体的な指摘や改善点の助言が増えていた。

実験後の振り返りでは、「ピペットを 1 回 1 回洗うのを忘れてしまった」「結晶を出す際に氷が必要なのを忘れていた」「途中で最後の実験をやらなくても水溶液の判別ができることが分かった」等の具体的改善点の記述が見られることが特徴的であった。

表 4 実験群の第 11, 12 授業時における実験計画時の話し合い（実験群 A 組 3, 4 班）

児童	発話内容（一部）
4 班 A 児	蒸発させるときに蒸発皿に入れる液の量が書いていないんだけど。どのくらい？
3 班 A 児	判別できればいいから適当でいいと思って。
4 班 A 児	判別できればいいんだったら少しでいいんじゃない。
4 班 B 児	でも、あまりに少ないと空で温めることになるよ。
4 班 A 児	皿に少な目にしておいて、固体が出てきたらすぐに火を消せばいいよ。
3 班 B 児	わかった。そうしてみる。
4 班 C 児	リトマス紙のときにピンセットを使わないと、判別が怪しくなるよ。
3 班 C 児	アッ忘れてた。書き加えます。
4 班 D 児	において判別した後、水とミョウバンと食塩水と石灰水になったとき、次に全部リトマス紙で判別するのは効率悪いよ。
3 班 A 児	何で？
4 班 D 児	先に息を吹きこめば、石灰水が分かるでしょ。
3 班 A 児	そっかあ。
3 班 C 児	でも全部に息を入れたら中の性質が変わるんじゃない？
3 班 B 児	やっぱりリトマス紙が先がいいね。

## 第 5 項 実験計画及び実験の質的評価

第 11, 12 時の、5 つの水溶液の判別実験において、班で検討した実験計画および、実験時の評価を行った。実験計画の評価は、実験群では FC 型実験計画表の内容を評価し、対照群では児童のノートの記述内容を評価した。点数評価の基準を表 5 に示す。安全性の基準を例に挙げると、実験計画に安全への配慮が書かれた上で、実際に安全にできた場合に 2 点などとした。児童の実験計画の評価は、授業に携わった授業者 4 人で協議して行った。

また、実際に実験が適切に行われたかどうかについては、各授業者が授業時の観察結果を報告し、また児童自身の振り返りの記述も併せて、授業者 4 人で協議して評価した。その他の項目についても同様に協議して評価した。実験群の安全性については、授業者の観察から問題がないと判断し、児童の計画のまま実験を行った。一方、対照群の計画においては、安全性が確保されていない班には授業者が助言した上で実験を行った。

表 5 実験計画及び実験の評価基準

観点	改善点未指摘 0 点	改善点指摘 1 点	改善方法提案 2 点
安全性	安全へ記述に欠けている部分がある	安全への配慮が十分に記述されている	実際に安全にできた
実験手順	水溶液を判別する実験の手順が正しく書けていない	水溶液を判別するための手順が正しく書けている	手順通りに実験をして矛盾が生じなかった
実験道具	計画の際に必要な道具が細かく設定されていない	実験に必要な道具やその数を詳細に記述している	実験時に足りない道具がなかった
問題解決	判別できた水溶液が 3 つ以下	判別できた水溶液が 4 つ	5 つすべての水溶液を判別できた

表 6 は、実験群、対照群それぞれの平均得点である。実験群と対照群の平均の差に t 検定（有意水準 0.05）を行った結果、実験群の得点は対照群よりも有意に高かった。特に、「問題解決」において実際に水溶液が判別できたかどうかにより大きな差が生まれた。この結果は、実験群の実験計画の妥当性と実験の精度が高いことを示している。

表 6 実験群・対照群の実験計画及び実験の評価基準に基づく平均得点の比較

観点	実験群	対照群	p 値	t 値
安全性	1.60	1.10	0.035	2.04
手順	1.86	1.30	0.026	2.47
実験道具	1.73	1.16	0.047	2.17
問題解決	1.67	1.00	0.004	3.38
合計	6.86	4.61	0.003	3.51

実験群 15 班，対照群 18 班

本研究で用いた FC 型実験計画表は実験全体を詳細に検討せねば完成できない。さらに、他者に説明する目的があるため、FC 型計画表をできるだけ詳細に考えることが動機づけられている。児童はその作成過程で、実験計画について繰り返し批判的に思考したと推察される。FC 型実験計画表は、実験の流れや安全性、道具が可視化される。さらに議論する相互が自分自身で全体を作成している。その記憶が新鮮なうちに意見交換を行う。それゆえ相互評価時により批判的な議論を誘発できたと解釈される。

実験計画についての相互検討は、実験の精度を高めることにつながり、その結果、実験

群は水溶液を正しく判別することができたと推測される。このことから、開発した FC 型実験計画表を用いて批判的活動を取り入れた指導法は、実験計画能力や実験を正確に行う能力の育成に効果があったと推測される。

## 第 6 項 実験計画検討場面での批判的な記述の変化

実験群において、第 9, 10 時, 第 11, 12 時の実験計画を他の班と検討した際の、他の班に書いた批判的な記述を評価する。評価基準を表 7 に示す。

表 8 は、第 9, 10 時, 第 11, 12 時の 2 回の話し合いにおける A・B・C の人数の比較である。第 9, 10 時よりも第 11, 12 時の方が A・B の人数が増えた。第 9, 10 時の実験後、実験を振り返った時に、実験の妥当性を検討したにもかかわらず、計画に不備があることに気付き、より細かく計画しなければ正確な実験にならないと考えたのであろう。その上で、第 11, 12 時の実験計画の検討時には、より批判的に話し合い、それに伴って助言の記述も具体的な改善案を示すことができるようになったと考える。このことから、実験計画時の相互評価や実験後の自己評価を繰り返し行う過程で、自他の実験計画が正しいかどうか批判的に見る能力も高められる可能性が示唆される。

表 7 他者の実験計画に対しての批判的記述の評価基準と実際の児童の記述

評価	評価基準	実際の児童の記述（一部抜粋）
A	具体的な改善方法を提案している。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・セロハンテープに出てきた個体をくっつけて電気を通すとよい。</li> <li>・熱したものをすぐに洗うと割れるので注意が必要。</li> <li>・袋を手で閉じると液体がこぼれる危険性がある。モールで閉じるかビーカーにした方がいい。</li> <li>・固体が出るか確認するだけなら蒸発する水溶液はもっと少なくてもいい。</li> <li>・リトマス紙を取るときにピンセットがないと判別に間違いが出る。</li> </ul>
B	改善点を指摘している。	<ul style="list-style-type: none"> <li>・磁石をどのように直接接触させないかがあいまいだから少し工夫したりしてはつきりするようにしよう。</li> <li>・どのように息を吹き込むかを書くといい。</li> <li>・ストローを使うときに液体を吸ったらどうするのですか。</li> <li>・結晶を作ったときに、食塩とミョウバンを判別する方法を詳しく書いてほしい。</li> </ul>

C	改善点を指摘することができていない	<ul style="list-style-type: none"> <li>・説明にあいまいなところがある</li> <li>・もっと詳しく必要なものを書いたほうがいい</li> <li>・注意をしっかりとこう</li> <li>・とても良い ・記述なし</li> </ul>
---	-------------------	---

表 8 2 回の話し合い時の記述評価の人数比較

評価	第 9・10 時	第 11・12 時
A	12 人 (24%)	24 人 (48%)
B	19 人 (38%)	21 人 (42%)
C	19 人 (38%)	5 人 (10%)

自由度 n = 49, ( )は割合

## 第 7 項 質問紙の分析

表 1 に示した質問紙の事前事後の調査結果をもとに、CT 態度面の「反省的な思考」「探究的・合理的な思考」「証拠の重視」「健全な懐疑心」の 4 つの因子ごとに平均値を算出した。このデータは Kolmogorov-Smirnov 検定において正規性が確認できたため、平均の差の検定として t 検定を行った (有意水準 0.05)。実験群の事前事後の平均値比較が表 9、対照群の事前事後の平均値比較が表 10 である。

結果から、実験群、対照群ともに「探究的・合理的な思考」には有意な向上が見られた。このことから、FC 型実験計画表の導入に関わらず、本単元の授業は理科的な探究力の向上を促していると言えよう。一方、「反省的な思考」「証拠の重視」の向上は実験群においてのみ見られた。この結果は、FC 型実験計画表を用いて実験計画をクリティカルに検討し、実験後にその妥当性を振り返る活動の効果を示すものと考えられる。

表 9 実験群の質問紙の因子ごとの事前事後平均値比較

因子	平均 (事前)	平均 (事後)	p 値	t 値
反省的な思考	3.48 (0.76)	3.67 (0.89)	0.02	2.32
探究的・合理的な思考	3.71 (0.66)	3.83 (0.74)	0.04	2.10
証拠の重視	3.72 (0.80)	4.02 (0.82)	0.02	2.45
健全な懐疑心	4.07 (0.81)	3.91 (0.68)	0.20	1.29

自由度 n = 49, ( )は標準偏差

表 10 対照群の質問紙の因子ごとの事前事後平均値比較事前事後平均値比較

因子	平均 (事前)	平均 (事後)	p 値	t 値
反省的な思考	3.23 (0.73)	3.36 (0.52)	0.54	0.60
探究的・合理的な思考	3.25 (0.67)	3.77 (0.66)	0.01	5.06
証拠の重視	3.63 (0.70)	3.71 (0.73)	0.87	0.16
健全な懐疑心	3.90 (0.76)	3.21 (0.83)	0.01	3.86

自由度  $n = 45$ , ( ) は標準偏差

#### 第4節 本章のまとめ

本研究では、小生理科実験において、実験計画時に CT 能力を引き出すことを目的とした FC 型実験計画表を提案し、それを相互評価する指導法を開発した。

この指導法を用いた授業実践を行い、実験計画や批判的指摘の記述分析および質問紙の結果の数量分析を行った。

実験計画や実験の正確さを数値評価した分析では、実験群の点数は対照群の点数よりも有意に高く評価された。実験群の実験計画検討場面での批判的な記述の分析では、連続した2回の実験において段階的に批判的記述の質が高まることが見られた。また授業前後の質問紙調査の比較では、実験群の CT 態度面の向上が見られた。これらの分析から、提案する FC 型実験計画表を用いた指導法は、実験計画能力や精度の高い実験を行う能力、そして実験計画の妥当性を批判する能力の発現に効果があることが見出された。

児童は FC 型実験計画表を作成することで、実験の安全性や信頼性を意識するようになった。また、計画表を用いて他者に説明するという活動が、より実験計画力を高めることにつながった。また、他者の実験方法を批判するという活動は、自他の実験への深い理解につながり、実験方法を批判する記述も回を重ねるごとに具体的になった。結果として、実験の精度も高まった。CT 能力を発揮することにより、実験計画力の向上が見られることは、理科学習の一層の深化のためにも CT 能力の活用が有益であることを示唆する。

## 参考文献

- Brookfield, D. A. (1987) *Developing Critical Thinkers : Challenging Adults to Explore Alternative ways of Thinking and Acting*. Open University Press.
- Ennis, R.H. (1987) A taxonomy of critical thinking dispositions and abilities. In J.B. Baron & R.J. Sternberg (Eds.), *Teaching thinking skills : Theory and practices*, 9-26. New York: W.H. Freeman and company.
- 藤井厚紀・石橋慶一 (2018) 「診療報酬算定フローチャートの制作による医療事務の学習効果の検証」『教育システム情報学会誌』第 35 巻, 第 1 号, 38-47.
- Halpern, D. F. (1998) Teaching critical skills for transfer across domains, *American Psychologist*, 53 (4) , 449-455.
- 印南一路 (1997) 『すぐれた意思決定—判断と選択の心理学—』中央公論新社.
- 木下博義・山中真悟・中山貴司 (2013) 「理科における学生の批判的思考とその要因構造に関する研究」『理科教育学研究』第 54 巻, 第 2 号, 181-188.
- 楠見孝・田中優子・平山るみ (2012) 「批判的思考を育成する大学初年次教育の実践と評価」『認知科学』第 19 巻, 第 1 号, 69-82.
- 文部科学省 (2011) 『言語活動の充実に関する指導事例集【小学校版】』教育出版株式会社.
- 文部科学省 (2015) 『平成 27 年度全国学力・学習状況調査報告書小学校理科』  
<http://www.nier.go.jp/15chousakekkahoukoku/report/data/psci.pdf> (accessed 2019.07.25) .
- 文部科学省 (2016) 『次期学習指導要領等に向けたこれまでの審議のまとめ (第 1 部)』  
[http://www.mext.go.jp/b\\_menu/shingi/chukyo/chukyo3/004/gaiyou/1377051.htm](http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo3/004/gaiyou/1377051.htm)  
(accessed 2019.07.25) .
- 文部科学省 (2018) 『小学校学習指導要領 (平成29年告示) 解説理科編』東洋館出版社.
- 相知政司・青木規至・古川達也・高山堪太 (2006) 「フローチャートを利用したアルゴリズム学習支援システムの開発」『電気学会論文誌A』第126巻, 第12号, 1199-1204.
- Paul, R. W. (1995). *Critical thinking: How to prepare students for a rapidly changing world*, Santa Rosa, CA, Foundation for Critical Thinking.
- 田中優子・楠見孝 (2012) 「批判的思考パフォーマンスに及ぼす目標, 暗黙の前提に対する信念および能力の影響」『認知科学』第 19 巻, 第 1 号, 56-68.



# 第7章 児童が作成した情報の信頼度表を基に相互評価する活動を通してCT能力を育成する指導法に関する研究

本章では、第6学年で重視する考察する力や結論を導出する力と、他者の主張を評価するCT能力や根拠のある主張をするCT能力を育成するためにGCTモデルのフォーカス・ツールとして、情報信頼度表および相互評価表を用いた授業法を開発する。信頼度の高い根拠により仮説や結論は導かれるという前提に対して、情報の信頼度表を作成する過程で、自分たちが用いてきた情報源は信頼に値するかという問題に焦点を当てることで、情報の信頼度を判断するCTが生み出されると考える。

他者の主張を批判的に考えるためには、他者の主張の根拠となる情報源が信頼できるものか判断しなければならない。情報信頼度表を作成する過程で、身の回りの情報の信頼度を考えることは、様々な情報を批判的に判断するCT能力が芽生えたと考える。また、他者の考察を評価する際にも、CTは発揮され、結果としてより妥当な考察や結論が生み出されると考える。

授業実践を基にその効果について検証する。

## 第1節 研究の背景と目的

現在、インターネット上では盛んに意見が交流され、批判的意見を戦わす例も多く見られる。道田（2001）は大学生に対する調査結果から、多くの学生が、情報の持つ論理よりも内容のもっともらしさや自己の信念の観点から文章を読んでいると指摘し、批判的思考を育成するべきと述べている。また、伊勢田（2013）は、CTは相手を論駁する方便ではなく、合理的な問題解決の一つの方法であること、思いやりの原理（principle of charity）に基づき、相手の言いたいことをよく解釈することが大切であると述べている。

すなわち、学習の過程でCT能力を育成するためには、「目標をもち、合理的に物事を解決するための方法を、情報のもっともらしさや自分の信念に振り回されずに判断する」

という観点が必要である。

## 第1項 理科におけるCT

小学校学習指導要領（平成29年告示）解説理科編（文部科学省，2018）では，問題解決の過程の例を，自然の事物・現象に対する気付き，問題の設定，予想や仮説の設定，検証計画の立案，観察・実験の実施，結果の処理，考察・結論としている。その過程で，児童が自らの考えを大切にしながらも，他者の考えや意見を受け入れ，様々な視点から自らの考えを柔軟に見直し，妥当性を検討する態度を身に付ける必要性が示されている。

しかし，Bailin(2002)は，子供がデータを集めて実験の結果を解釈するときには無批判に思考しがちであり，反省的な思考が十分に機能していないと指摘している。また，木下・山中・中山（2013）は，小学校5，6年生を対象とした実態調査の分析から，探究心をもって実験に取り組んだり，筋道を立てて実験の結果を予想したりする思考に比べて，自分が一度考えた仮説や実験方法，考察などを反省的に振り返ろうとする思考が働かないことや，実験の妥当性について重要視していないことを見出している。これらの課題に関して木下・中山・山中（2014）は，クエスチョン・バーガーシートという振り返りシートを用いて，実験の不備を発見し，その不備を補う授業方法を開発し，反省的思考を高める一つの手立てを示した。

しかし，樋口（2012）は，日本のCTの研究状況を調査する中で，根拠となる情報源の信頼性の確認や，論理性の吟味についての指導の欠如を指摘している。

すなわち，理科の実験結果や考察を検証する際にCT能力が発揮されていないということであり，情報の信頼性や論理性を吟味する力を養うためにも，理科学習とCT能力育成を関連させた指導法を開発することが求められている。

## 第2項 メディア・リテラシーとCT

情報化社会において，児童には情報を正確に判断する力や選択する力の育成が求められている。楠見（2013）は，メディアから伝えられるリスクに関する情報を正しく理解し，適切な行動をするために批判的思考のスキルと態度を身につける必要があると述べた。村上（2009）は，学校教育において，児童・生徒が依拠する情報・コンテンツの信頼性について説明できることを目標に置くことの大切さを示している。CTとメディア・リテラシー教育を関連させた実践では，実際にあったメディアの報道の内容を複数比較し，その違いを考える実践（例えば後藤・丸山，2009）や，教科書などのテキストを読み比べて考える実践（例えば，光野，2002）等がある。しかし理科における実践（特に

授業の中に組み込まれたもの)はあまり見られない。樋口(2012)は、メディア・リテラシー教育から、いかにして、通常の学習や生活場面において批判的思考を展開していくかという課題を挙げている。近年、原発関連問題や温暖化等、児童も耳にする科学的問題が多くあるが、それらの情報をクリティカルに考察して、より正確に判断することが求められる。こうしたメディア・リテラシーの面からも、理科学習におけるCT能力の育成は急務である。

### 第3項 研究の目的

本研究では、理科学習におけるCT能力の育成のために、特に、予想の根拠となる情報と、自分や他者の実験結果および考察をクリティカルに検討する活動を取り入れた指導法を提案する。そして、この指導法による小学生のCT能力の向上を実践的に検証する。

本研究でのCT能力は、Ennis(1987)のCT能力の定義「何を信じ何を行うかの決定に焦点を当てた合理的で反省的な思考」を基に、情報の信頼度を判断し、より信頼度の高い情報を選択する能力と、自他の実験結果や考察を合理的・反省的に思考し、妥当な結論を導く能力と定義する。

## 第2節 研究の方法

### 本実践におけるGCTの構成

前提命題：信頼度の高い根拠により仮説や結論は導かれる。

ものの燃え方の特徴は空気の動きと関係づけられる。

フォーカス・ツール：情報の信頼度表、結果考察の相互評価表

フォーカス・ツールの役割：観測した現象の理由として考えたことの根拠の信頼度を分類する。理由の論拠の確かさを認識する。

### 第1項 授業法の開発

#### 1 単元導入時での情報の信頼度表の作成と予想の根拠を振り返る活動

単元の導入時にメディア・リテラシー教育と関連して、「自分が考える際の根拠として  
いる情報」を見直す活動を取り入れる。森本(2014)は、メディア・リテラシー教育における「批判」では、「なぜ」「誰が」「誰に向けて」テキストが作られているかという、複数観点からの問いかけを行うことや、自己の価値判断について問い直す(内省する)ことが大切であると述べている。

上記の観点を児童に投げかけながら、児童の生活体験をもとに、情報の信頼度の基準を作成する。本研究における情報信頼度とは、児童が予想の根拠にする、本、ニュース、インターネット（報道や個人のページを含む）、人から伝え聞いた話等の情報の信頼性を低い側から順にLv1から5までの5段階で評価するものである。信頼度は児童に話し合わせて決めさせる（後述の表3参照）。信頼度表を基に、表1の例に示すように、自分の予想と理由に参考にした情報の信頼度を付記させた。情報信頼度表を用いて自分の予想の理由を判断する活動を繰り返すことにより、信頼度表の上位の理由を用いるようになり、情報を判断・選択する能力が高まると考える。

表1 信頼度を付記した児童の予想の例

予想	理由	信頼度
①2本の高さの違うろうそくでは、高い方が早く消えるのではないか。	避難訓練では姿勢を低くするという指導があった。酸素が下にあると考える。	Lv4
②下の方が早く消えるのではないか。	二酸化炭素は重いから下に行くことを本で読んだ。	Lv3

## 2 実験結果や考察の妥当性の相互評価活動

実験時、図1に示す手順で、自他の実験方法や結果の妥当性、結果から結論に至る論証の妥当性をクリティカルに見る活動をグループおよび全体で行う。

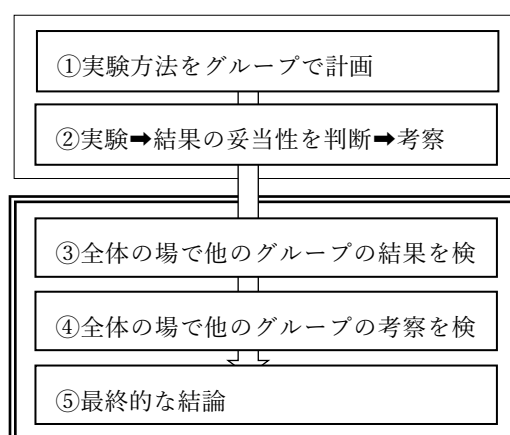


図1 本研究における実験から結論までの流れ

他の班の実験結果や考察は、◎（充分信頼できる）、○（妥当である）、△（再考が必要）の三段階で妥当性を評価し、後述の表4に例示される評価理由を記述するワークシー

トを開発した。(図1の③④の場面で使用)後の議論の際、批判の対象が、実験の結果なのか結果から導き出される考察なのかを明確にすることで、議論がより焦点化すると考える。

このワークシートを用いて、情報信頼度表の観点を基に他者の実験結果および考察を繰り返しクリティカルに検討することで、実験結果や考察を合理的・反省的に思考し、妥当な結論を導く能力が育つと考える。

## 第2項 指導法の効果測定方法

### 1 予想の根拠の評価

予想の根拠となる情報をクリティカルに見る能力を評価するために、授業実践後、表1に示すワークシートの「理由」の記述を分析する。児童が、情報信頼度表に照らし合わせて自分のもっている情報が正しいかを判断し、予想をする際に信頼度の高い根拠を用いるようになったかを検証する。本研究における信頼度の高い根拠とは、情報源を明らかにし、複数の情報と自分の体験を比較したものである(表3参照)。検証の際には、児童の予想の理由の記述を、表3に示した情報信頼度表のLv4~5のように自らが体験したものや複数の情報を合わせたものを予想の根拠に挙げている記述、Lv2~3のように、ニュースや本等の情報源を明らかにして根拠を示している記述、根拠を明確に示すことのできない記述、に分類することにより児童の変容を分析する。

### 2 他者の実験結果や考察に対する記述の評価

後述の表4のワークシートの記述から児童のCT能力を評価する。議論の際に児童が焦点化しやすいように、ワークシートに結果と考察に分けて記述させたが、分析の際には二つの記述を合わせて、「実験結果や考察を合理的・反省的に思考し、妥当な結論を導くCT能力」として評価する。

無根拠な批判や、自分や他者と違うから、という記述だけでは、本研究で求めるCT能力とは言えない。CT能力が発揮された記述には、情報の信頼度表の上位観点に基づき、複数の情報(この場合は複数の班の実験結果や考察)を基にした根拠や、生活体験や学習体験を基にした根拠が必要であり、さらに、本授業実践(後述の第3節第1項において説明)においては、空気の成分や燃焼の仕方、量的変化、具体的な数値等の科学的な言葉を用いて記述する必要がある。

上記の理由から、ワークシートの記述の評価基準を、「科学的な根拠を示し、具体的に何が納得できなくて、何が納得できるのかを記述している」とした。

また、児童の変容を分析するためには、基準を達成したものや、していないものを細かく分類する必要があると考える。記述を後述の表9で示す8つに分類する。

分類1~4は批判の根拠が具体的に示されておらず、評価基準に満たない記述である。

分類1～3は「分からない」や「自分と違う」、「他の班と違う」という、単純に結果や考えが自分や他の班と違うから間違っているという、本質を考えずに判断しているものである。分類4は実験方法や結果に疑問をもちつつも、批判の根拠を明示することができていない記述である。

分類5～8は批判の根拠が具体的に示された記述であり、空気の性質や成分の量的変化に目を向けて、結果や考察が正しいか判断している記述である。分類5は、複数の班を比較することにより違いに気付いている記述、分類6は、具体的に何が違うのかを生活情報や学習体験を基に指摘している記述、分類7は、指摘に加えて改善点を考えている記述、分類8は、無条件に納得するのではなく、納得できる根拠を示している記述である。

この分類を基に、児童の記述の変容を分析する。

### 3 質問紙調査による量的評価

批判的思考態度を測定する尺度として、廣岡・元吉・小川・斎藤（2001）は、二つの尺度を作成している。一つ目は、他者の存在を想定した場面の批判的思考性尺度として、「人間多様性理解」「他者に対する真正性」「論理的な理解」「柔軟性」「脱直感」「脱軽信」の6因子で構成された尺度である。二つ目は、必ずしも他者の存在を必要としない場面における批判的思考志向性尺度として、「探究心」「証拠の重視」「不変性」「決断力」「脱軽信」の5因子で構成された尺度である。

それに対して平山・楠見（2004）は、批判を行う際には必ず対象が存在し、社会的関係性が存在しない批判的思考が必要とされる状況は考えにくいと、このような区別は特に必要ではないと述べたうえで、さまざまな先行研究で別々に検討された態度尺度を統合することで、批判的思考の態度の構造を明らかにしようと試みた。そして、先行研究を基に65項目の質問紙を作成し、教養および教員養成のための心理学を受講している大学生426名に調査を行い、4つの因子を構成した。その後、全因子に対して共通性の低い項目および各因子に対する負荷量が低い項目を除外し、33項目の尺度を作成した。さらに、この因子構造が妥当であるものかを調べるために、検証的因子分析を行い、その結果、批判的思考の態度は、「論理的思考への自覚（自分自身がどの程度論理的に考えようとしているか）」、「探究心（様々な多面的な情報や考え方を求めているか）」、「客観性（主観にとらわれず客観的に様々な立場から物事を考えようとしているか）」、「証拠の重視（判断の根拠として証拠を重視しようとしているか）」、という4つの因子構造をもつことが確認され、批判的思考態度を測定するための妥当性および信頼性のある尺度が作成されたとしている。

また、楠見・田中・平山（2012）は、討論などを取り入れた協調的学習によって、批判的思考のスキルとともに協力的な批判的思考態度も身につけることを目指した研究を行い、その際に、平山・楠見（2004）で作成された批判的思考態度尺度を使用し、効果を測定している。

本研究では実験結果を他者とクリティカルに議論することを大切にしており、平山・楠見（2004）の批判的思考態度尺度は、本研究におけるCT態度の育成を測定するために妥当だと考える。

上記の理由により、質問紙は、批判的思考態度尺度項目（平山・楠見，2004）の中から今回の研究で変容を調査したい 24 項目を選択して作成した（児童に分かりやすい文に変更して使用）。作成した質問紙は表 11 に示す。

CT 態度面のうち、設問 1～8 は「論理的思考への自覚」、設問 9～15 は「探究心」、設問 16～21 は「客観性」、設問 22～24 は「証拠の重視」を測定する。4 件法で行い、とても思う 4 点、思う 3 点、あまり思わない 2 点、全く思わない 1 点で平均をとった（5、21 は反転項目）。

研究の目的で示した CT 能力と、態度面の「探究心」、「客観性」、「証拠の重視」は特に関連がある。「探究心」は、予想や結果・考察の議論の中で様々な考えに触れることに価値を見出している態度であり、様々な情報を追求する能力と関連がある。「客観性」は、自分の考え方に捕らわれず、情報を客観的に判断しようとする態度であり、複数の結果・考察を合理的・反省的に思考する能力と関連がある。「証拠の重視」は、判断を下す際に根拠を重視しようとする態度であり、情報の信頼度を判断する能力や根拠を基に結論を導く能力と関連がある。

授業の実施前後で「論理的思考への自覚」、「探究心」、「客観性」、「証拠の重視」ごとの平均を比較し、児童の CT 態度面の変容を見る。

### 第 3 節 結果および考察

#### 第 1 項 授業実践の質的検証

2015 年 10 月、11 月に、都内の小学校 6 年生 30 名を対象に授業実践を行った。単元は「ものの燃え方と空気」で第 1 時から第 9 時まで全 9 時間授業（1 授業時間は 45 分）である。指導過程を表 2 に示す。本単元において行った表 2 の 3 回の実験において、情報の信頼度表を基に自分の予想の根拠の確かさを評価する活動、考案したワークシートを基に自分や他者の実験結果や考察をクリティカルに見る活動を取り入れた。

表 2 指導過程

授業時	指導内容
1	情報の信頼度表を作成する。
2, 3	ペットボトルに穴を自由に開けて、ろうそくを燃やし

	続ける条件を見つける。【実験①】
4, 5	空気中の窒素, 酸素, 二酸化炭素の割合を知る。
6, 7	密閉された中でろうそくが燃えた後の空気の割合について調べる。【実験②】
8, 9	2本の長さの違うろうそくを密閉空間で燃やすとどちらが早く消えるかについて調べる。【実験③】

## 1 第1授業時 情報の信頼度表作成

情報信頼度表を作成する活動では、表3の信頼度表が作成された。

表3 学級全体の議論による情報信頼度表

信頼度レベル	情報の特徴
Lv. 5 (最上位)	複数の人と一緒に確かめたもの
Lv. 4	複数の専門家の話 複数の本やネットの情報を組み合わせたもの 自分の目で確かめたもの
Lv. 3	新聞 本 (書いている人が明らかで新しいもの)
Lv. 2	人のうわさ 雑誌 テレビ
Lv. 1 (最下位)	誰が書いたか分からないもの

初めは、インターネットは怪しい、新聞や本は正しいと考える児童が多かったが、話し合いを進める中で、複数の情報を合わせて考える必要があることに気付いた。さらに、情報の真偽を確かめるには自分が試す必要があり、また、一つの結果や経験のみに惑わされず、複数の人との共通体験を基に判断することが情報を信頼する上で大切であるという話し合いの基に決定されていった。この表は、情報のもっともらしさから判断しないこと、複数の情報を統合することや、自分で確かめることが大切であることが上位に示されており、情報の信頼度の基準として妥当なものであると考える。また児童は、「複数の専門家の話」よりも、「複数の人と一緒に確かめたもの」を上位と考えたが、理科の学習において実証する大切さを実感させる意味でも、妥当であると捉える。

## 2 第2.3授業時 実験①

実験①では、空気を密閉した状態のペットボトルのどこに穴をあけるかが論点となる。予想の場面では、表3の信頼度表を基に、自分の生活経験と照らし合わせながら、予想をしていた。検証実験でもボトルの様々な場所に穴をあけて試していた。表4に例示される



ように、ワークシートに各班の実験結果や考察を批判的に評価した。

また、表5に見られるように、実験後の全体の交流では、開ける穴の大きさやふさぎ方に目を向けたり（下線①③）、七輪の例をあげたりする（下線②）等、他者の実験方法を批判的に捉えて、実験方法を考え直したり、生活経験を基に考察を批判したりする指摘も見られた。

表4 実験①で結果の違いについての指摘の例

	1班	2班	3班
実験の正確さについて	△	◎	△
	自分の結果と違う下を開けると消える。		キャップだけ開けた時、私の班は燃え続けた。
考えたことに対しての納得度	△	△	△
	空気の通り道はどこなのか説明した方が良い。	他の班は下の方が良いと言っているけどこの班は違う。	穴の場所じゃなくて空気の通る場所によって違うのでは？

表5 実験①において同じ実験での結果の違いを批判的に検討する全体での話し合い

発言児童の班	発話内容（一部）
3班	2班の結果は穴の数にしか触れていないけど、穴の場所については関係ないのか。①
4班	3班に質問だけど、ペットボトルのふただけ開けるのはついている。空気の通り道ができているとつくという説明ができないのではないか。
3班	通り道があると安定してついたが、上だけでもついた。
4班	6班の説明だけど、温かい空気が上に行くというのは、温度計で測っていないから説明できないのではないか。
6班	でもペットボトルのふたが熱くなっていたから、上が熱いのではないか。
2班	ふただけ開けたらついている班とついていない班があるから考えがまとまらないのではないか。
1班	温かい空気が上に行くのであれば、上に穴を開けるのは有効である。七輪は下の部分に穴が開いている。上の部分もちろん開いているでしょ。下の部分を開けると燃えやすくなるよね。②
5班	穴の大きさがどのくらいかを決めていないので、穴の位置だけでこうだとは言えない。③

### 3 第 6,7 授業時 実験②

児童は予想の段階で、二酸化炭素が増えることや、酸素が減るということを書いていた。表 6 に示すように予想の理由についてより深く考え、「避難訓練で酸素が少なくなってしまうことを学んだ」(下線④)や「二酸化炭素が増えることが地球温暖化につながっていることを学んだ」(下線⑤)等、学習体験の事例をあげる児童が増え、予想の信頼度を高めていこうとする態度が見られた。また、実験結果や考察を交流する時には、「酸素が二酸化炭素に変化したといえるのか」について議論していた。その際、酸素が減った数値と二酸化炭素の増えた数値を比べるには、小数点以下の数値が必要であることに気づき、「酸素の割合で小数点以下を切ると比較できない」や、「微妙な数値の差を誤差と見ていいのか」等、実験で得た数値について合理的・反省的に考えることができていた。

表 6 実験②の予想時の班の話し合い

児童	発話内容 (一部)
A 児	酸素が少なくなり、二酸化炭素が増える。
B 児	どういう理由で？
A 児	<u>火事の時に煙を吸ったらダメと言われた。避難訓練でよく言ってるんじゃない？</u>
C 児	<u>酸素ではないよね。人から聞いたことだから 3 くらいだね。④</u>
D 児	先生から聞いたから 4
C 児	微妙だから 3.5。
B 児	酸素が増えて二酸化炭素が減るは？
A 児	<u>それはないよね。地球温暖化の問題がなくなっていいよね。</u>
D 児	<u>火を使えば使うほど、地球にいいことになるね。それはないな。⑤</u>
A 児	やっぱり二酸化炭素が増えて酸素が減るんだね。

### 4 第 8,9 授業時 実験③

表 7 に示すように予想の際には、短いほうが早く消える可能性と同時に、長いほうが早く消える可能性についても考える児童も複数出てきた(下線⑥)。これは、自分の考えが正しいかクリティカルに見るようになり、常に他の可能性がないかを探究する姿勢が表れてきたことを意味する。また、二酸化炭素と酸素のどちらが下にあるのかについて、学習経験や生活経験を基に吟味していた(下線⑦⑧)。

結果・考察を交流する際には、「長いほうが早く消える理由は、温められた空気が上に行くから」という考察について、「空気が上に行けば酸素も上に行くはず」、「上と下の二

酸化炭素や酸素の割合を調べる必要がある」といった、科学的な言葉を使い、納得できない理由を具体的に記述する児童が増えてきた。そして、密閉した容器内の上下の CO<sub>2</sub> と O<sub>2</sub> の割合を調べた上で議論を重ね、「温められた二酸化炭素が上の方にたまることにより、長いろそくが早く消える」という結論を導いていた。

表 7 実験③の予想時の班の話し合い

児童	発話内容（一部）
A 児	<u>予想なんだけど、長い方と短い方どっちも可能性があると思う。⑥</u>
B 児	わたしも迷っているんだけど、A くんは何で？
A 児	<u>二酸化炭素が増えると消えると思うから。二酸化炭素は重いつて聞いたことがある。だから下にたまるんだと思う。だけど、避難訓練では下に酸素があるから<u>屈めって言われなかった？⑦</u></u>
C 児	<u>二酸化炭素が重いのは人から聞いたから 3 だね。</u> <u>避難訓練は先生だから 4 かな。ただ、僕も二酸化炭素は重いつていうのは聞いたことがある。4 かもしれない。⑧</u>
D 児	確かに知ってる。かなり信頼できる情報ではないかな？どっちが正しいの？
C 児	どちらも同時ってことはない。わたしはそう考えたよ。だって前の実験で空気の割合調べた時、上と下で違ったっけ？信頼度は高くないけど。

## 第 2 項 記述分析による授業効果の検証

### 1 3回の実験での予想の場面における根拠の変化(ワークシート分析 1)

3 回の実験における、予想の理由の記述を、第 2 節第 2 項 1 で示した方法で分類した。表 8 に示すように、実験①の段階では、根拠を明確に示すことのできない児童が 11 名（全体の 3 割以上）いたが、実験③では全体の半分以上（16 名）が情報信頼度表の上位(Lv4~5)の情報を用いて説明ができるようになった。信頼度上位の自らが体験したものは、「証拠として前の実験で下の穴だけ開けても火が消えた」「七輪で下から空気を送った時よく燃えた」「火事の際に体を低くするのは下に酸素があるから短いろそくの方が酸素にふれる」等の記述である。このことから、信頼度表を作成する過程や信頼度表を用いて繰り返し自分の予想の情報源を見直すことにより、情報をクリティカルに見る能力を育成することができたと考える。

表 8 予想の場面における理由の分類

理由の分類	実験①	実験②	実験③
体験したものや複数の情報を合わせたもの	9名	12名	16名
情報源を明らかにし、根拠を示しているもの	10名	11名	12名
根拠を示すことができていない	11名	7名	2名

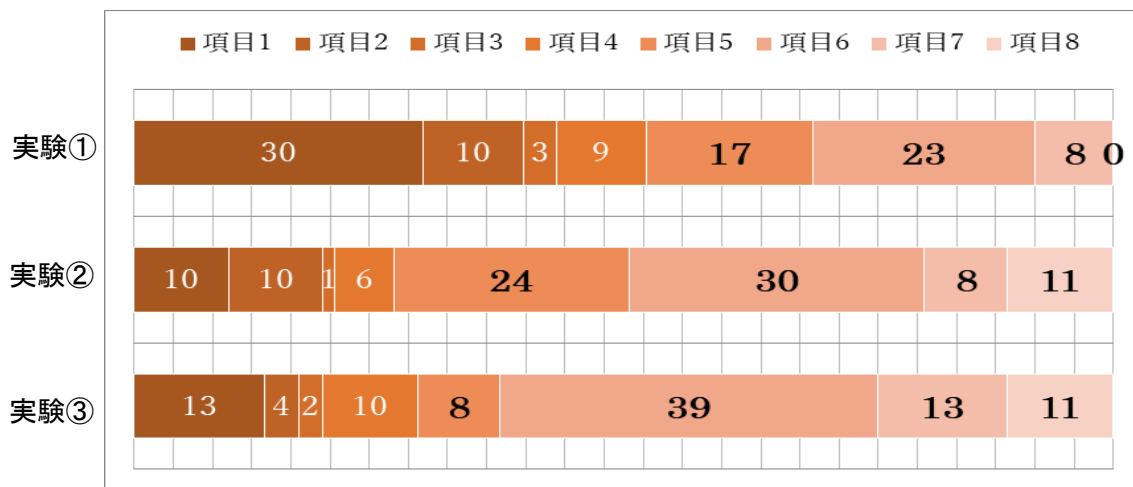
## 2 実験結果・考察の検証場面での批判的な記述の変化(ワークシート分析2)

第2節第2項2で示した評価基準の8つの分類と実際の児童の記述の一部を表9に示す。

図2に、実験①～③でのワークシートの記述を表9の8分類に分けたときの各分類の比率を示す。

表 9 児童のワークシート記述の分類表

分類		児童の記述(抜粋)
1	分からない・疑問	少し意味が分からなかった。理由不足。
2	自分たちと違うのみ	自分の班と結果が違う。 自分の班の平均ととても近い。
3	他の班と比較のみ	結果が他の班と異なっている。 他の班とやり方が違った。
4	方法についての疑問	条件が変わる可能性がある。 複数の実験をしていない。数値がバラバラ。平均を求める意味がない。
5	自分の班と他の班の違いを具体的に記述	2回目のCO <sub>2</sub> 、O <sub>2</sub> の値が高い。 自分と違いCO <sub>2</sub> が100倍になっていない。 酸素の数値が他の班と違っている。
6	理解できないところを具体的に指摘している	空気が上に行けば酸素も上に行くはず。 酸素を入れなければ火は燃えないので少しおかしい。 O <sub>2</sub> がCO <sub>2</sub> に変わるとは言い切れない。
7	自分の考えや改善点を述べたもの	CO <sub>2</sub> の小数点以下を記述した方が良い。 酸素は下に行ったのではなく結びついたと考えた方が良い。 長い方の6秒は早いかもしれないからもう1回実験した方が良い。
8	納得できる点を具体的に挙げている	酸素を二酸化炭素に変えるというのは思いつかなかったけど納得。 位置について深く考えている。 他の気体のことまで考えている。



\* 白文字は項目 1~4, 黒文字は項目 5~8 の百分率

図 2 表 9 の分類ごとの割合の変化

実験①では、基準を満たしている分類 5~8 の記述の割合は全体の記述の 50%に満たなかったが、実験③では、分類 5~8 の割合が全体の記述の約 70%を占めるようになった。

実験①では分類 8 が 0%であった。これは、◎（十分納得できる）に対してその理由を記述できていないということである。もっともらしい情報に対して根拠がなく鵜呑みにしている状態と言える。実験②③では 11%に増え、納得できる場合にも根拠をもつことができるようになった。

これらのことから児童の実験結果や考察を合理的・反省的に思考する CT 能力が高められたと言える。

1 回目の実験で具体的な指摘のある記述が 1 つだけ、もしくは全くなかった児童は 9 人（30 人中）いたが、2, 3 回目には 9 人とも記述の数が増え（1 回の実験当たり平均記述数 5.4）、記述の内容にも深まりがあった。表 10 は 1 回目の実験で記述がなかった 3 人の記述である。

実験①での考察には記述ができなかった児童も、まずは「分からない、自分たちの結果と違う」という分類 1~4 に類別される考察を書いていた。さらに実験③に進むと、他の複数の班との比較を行い、分類 5~8 に類別されるような、具体的に何が違うかを述べることが見出された。さらに U 児のように改善点を述べられる児童も見られた。このことから、段階的に合理的・反省的に思考する CT 能力が本指導法のもとで高まったと言える。

表 10 実験①時に記述がない児童のワークシートの記述

児童	実験①	実験②	実験③
T 児	記述なし	結果が自分と少し違う (2) 1%ずれていたから穴が 開いていたと思う (6) 考えが違う (2)	O <sub>2</sub> の数値がかなり変わっているので実 験の条件がそろってないのでは (6) 平均をとる必要があるだろうか (4)
U 児	◎ 完璧の み	私たちの結果と CO <sub>2</sub> が違う (2) CO <sub>2</sub> が一ケタになるところが良く分か らない (6) 他の班に比べて酸素が高い (5) 酸素を二酸化炭素に変えるというの は思いつかなかったけど納得 (8)	自分たちと同じ結果だった (2) 時間を比べると少し自分たちのより 早く消えている (5) たくさん実験をしていたが、それぞれ の回の数値があると納得できる。(7)
K 児	記述なし	自分達もやっている。(2) 2回じゃあまい (4) やけどは関係ない (4)	自分達と一緒に (2) 酸素は下に行くのは違う (6) 位置は関係ない (4) 二酸化炭素は上 に行くのは違う (6)

\* ( ) の数字は表 9 の分類表の項目

### 第 3 項 質問紙の分析による授業効果の量的測定

表11に事前事後の質問紙調査の結果比較を示す。

また、表 11 の結果を CT 態度面の項目「論理的思考への自覚」「探究心」「客観性」「証拠の重視」に分類 (第 2 節第 2 項 3) して平均値の変化を見たものが表 12 である。このデータは Kolmogorov-Smirnov 検定において正規性が確認できたため、平均の差の検定として t 検定を行った (有意水準 0.05)。結果から、本実践において「論理的思考への自覚」, 「探究心」, 「客観性」の向上が見られた。第 2 節第 2 項 3 で説明した本研究の CT 能力と関連が深い、「探究心」, 「客観性」, 「証拠の重視」について考察する。

「探究心」においては、本研究で繰り返し、クリティカルに議論したことにより、様々な考えに触れ、考えが深まっていくことが面白いと感じた児童が増えたと考える。

「客観性」においては、本研究で、情報の信頼度表を用いて情報を客観的に判断したことにより、自分の考えが正しいか振り返る意識が高まったことや多くの立場から考えることが重要であると感じた児童が増えたと考える。

一方、本研究で重視する「証拠の重視」に有意な差が出なかった。これは、表 8 に見られる 3 回目の実験において、予想の根拠となる情報に Lv4~5 を選択できなかった児童が 14 名いたことから、自分は多くの証拠を集められなかったという意識が働いたのではないかと考える。今回の指導法では、予想の根拠は個々の生活経験や学習経験から導いていた。本単元に関係する生活経験が少ない、または関連する学習が定着していない児童には証拠と呼べるものが見つけづらかったであろう。学習計画の中に、信頼度を高めるための証拠を集める時間を設けると共に、証拠の集め方の指導を行う必要がある。

表 11 質問紙調査の事前事後平均値比較

	No	アンケート項目	事前	事後
論理的思考への自覚	1	どんな問題にも自分なりの考えをもつことができる。	2.92	3.04
	2	難しい問題に対しても取り組み続けることができる	3.00	3.04
	3	考えを理由を明らかにして説明することができる。	3.00	3.17
	4	友達の考えをよりよくするためのアイデアを考えることができる。	2.88	3.09
	5	自分の考えの間違えを指摘されるのは嫌だ。	2.25	2.54
	6	間違いを指摘されたとしても、意見をもらえるとうれしい	3.17	3.38
	7	友達の考えをよりよくするためのアイデアを伝えることができる。	2.75	3.08
	8	間違った考え方をしている人には、それを指摘することができる	2.67	2.83
探究心	9	新しいものにチャレンジするのが好きである。	3.54	3.38
	10	わからないことがあると質問したくなる。	2.88	3.29
	11	自分とは違う考えの人に興味を持つ。	3.29	3.13
	12	自分とはちがう考えの人と話し合うのは面白い。	3.21	3.38
	13	友達と話し合うと自分の考えが深まると感じる。	3.21	3.38
	14	色々な人と接して多くのことを学びたい。	3.52	3.54
	15	様々な文化について学びたい。	3.08	3.42
客観性	16	自分の考えが正しいかいつも振り返るようにしている。	2.54	3.17
	17	できるだけ多くの立場から考えようとする。	2.83	3.04
	18	友達の考えを取り入れて自分の考えを見直すことができる。	3.13	3.39
	19	自分とは意見の違う人の考え方も受け入れて聞くことができる。	3.29	3.38
	20	自分の間違いを認めることができる。	3.21	3.33
	21	友達と意見が違う時に自分の考えを言うことができない。	2.33	2.30

証拠の重視	22	できるだけ多くの事実をもとに判断している。	3.17	3.29
	23	情報を、少しも疑わずに信じ込んだりしない。	2.88	3.17
	24	判断をくだすときにはできるだけ多くの事実や証拠を調べる。	3.29	3.25

表 12 CT 態度面「論理的思考への自覚」、「探究心」、「客観性」、「証拠の重視」の事前事後平均値比較

CT 態度面項目	平均（前）	平均（後）	p 値	t 値
論理的思考への自覚	2.88 (0.47)	3.02 (0.45)	0.03	2.23
探究心	3.23(0.59)	3.41(0.45)	0.01	2.74
客観性	2.99(0.43)	3.15(0.43)	0.02	2.48
証拠の重視	3.11 (0.59)	3.24 (0.57)	0.31	1.03

自由度 n = 29 ( ) は標準偏差

#### 第 4 節 本章のまとめ

本研究では、小学生の理科での CT 能力を育成することを目的として、情報信頼度表の事前作成と、実験結果や考察をクリティカルに行うためのワークシートを導入し、さらにこれらを基にして協働的に考察する活動を行った。

この指導法を用いた授業実践を行い、ワークシートの記述分析および質問紙の結果の数量分析を行った。その結果、考案した指導法は、児童が自分や他者の実験結果や考察を批判する能力の育成に寄与したことが明らかになった。

児童は情報信頼度表を作成することで、身近な情報源についてもその信頼性を意識するようになり、ワークシートの記述も回を重ねるごとに自他の結果について客観的で具体的な記述が増加した。その後の議論の際にも実験結果の正しさを納得するまで追求するようになっている。CT 能力を誘発することによる予想の根拠や実験結果・考察をクリティカルに見る能力の向上は、理科学習の一層の深化のためにも有益と考えられる。



## 参考文献

- Bailin,S.(2002)Critical Thinking and Science Education, *Science & Education*,11(4),361-375.
- Ennis, R.H. (1987) A taxonomy of critical thinking dispositions and abilities.In J.B.Baron & R.J.Sternberg (Eds.), *Teaching thinking skills : Theory and practices*, 9-26.New York: W.H.Freeman and company.
- 後藤康志・丸山祐輔 (2009)「メディアに対する批判的思考を育成する教材パッケージの開発」『日本教育工学会論文誌』第 33 卷, 89-92.
- 樋口直宏 (2012)「日本における批判的思考研究の動向と課題：教育学を中心に」『教育方法学研究』第 17 号, 199-225.
- 平山るみ・楠見孝(2004)「批判的思考態度が結論導出プロセスに及ぼす影響－証拠評価と結論生成課題を用いての検討－」『教育心理学研究』第 52 卷, 186-198.
- 廣岡秀一・元吉忠寛・小川一美・斎藤和志 (2001)「クリティカルシンキングに対する志向性の測定に関する探索的研究(2)」『三重大学教育実践総合センター紀要』第 21 号, 93-102.
- 伊勢田哲司 (2013)「ユニット 1 遺伝子組換え作物」伊勢田哲司・戸田山和久・調麻佐志・村上裕子編著『科学技術をよく考える』名古屋大学出版会, 1-26.
- 木下博義・山中真悟・中山貴司 (2013)「理科における学生の批判的思考とその要因構造に関する研究」『理科教育学研究』第 54 卷, 第 2 号, 181-188.
- 木下博義・中山貴司・山中真悟 (2014)「小学生の批判的思考を育成するための理科学習指導に関する研究－クエスチョン・バーガーシートを用いた実践を例にして－」『理科教育学研究』第 55 卷, 第 3 号, 289-298.
- 光野公司郎 (2002)「国語科教育におけるメディア・リテラシー教育－説明的文章指導(中学校第二学年)においての批判的思考力育成の実践を中心に」『国語科教育』第 52 卷, 56-63.
- 楠見孝・田中優子・平山るみ (2012)「批判的思考を育成する大学初年次教育の実践と評価」『認知科学』第 19 卷, 第 1 号, 69-82.
- 楠見孝(2013)「科学リテラシーとリスクリテラシー」『日本リスク研究学会誌』第 23 卷, 第 1 号, 29-36.
- 道田泰司 (2001)「日常的題材に対する大学生の批判的思考力－態度と能力の学年差と専攻差」『教育心理学研究』第 49 卷, 41-49.
- 文部科学省 (2011) 『言語活動の充実に関する指導事例集【小学校版】』教育出版株式会社.
- 文部科学省 (2016) 『次期学習指導要領等に向けたこれまでの審議のまとめ』  
[http://www.mext.go.jp/b\\_menu/shingi/chukyo/chukyo3/004/gaiyou/1377051.htm](http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo3/004/gaiyou/1377051.htm)

文部科学省（2018）『小学校学習指導要領（平成 29 年告示）解説理科編』東洋館出版社.  
森本洋介（2014）『メディア・リテラシー教育における「批判的」な思考力の育成』東信堂.  
村上郷子（2009）「メディア・リテラシー教育と批判的思考」『埼玉学園大学紀要，人間学  
部編』第 9 巻，257－266.

# 第8章 個別学習を促進するアンビシャスターゲットツリーの活用

本章では、問題解決の過程を振り返る能力と、自身の学習状況を分析・評価する CT 能力を育成するために、GCT モデルのフォーカス・ツールとして、アンビシャスターゲットツリーを用いた授業法を開発する。

実験を中心とした問題解決学習の中で、実験の意味や実験結果を正しく理解しきれていない児童にとって、次の問題解決に主体的に向かうことは難しい。アンビシャスターゲットツリーを用いて自己の学習状況にフォーカスし、自己の課題を見つけて学習をやり直す活動は、自己改善的な CT 能力を生み出すと考える。さらには、理科学習の理解度を深めるとともに、次の問題解決への意欲を高めると考える。

授業実践を基にその効果について検証する。

## 第1節 研究の背景と目的

### 第1項 個別最適な学びへの問題提起

令和3年度より文部科学省が推進するGIGAスクール構想の下、児童一人に一台のタブレット端末を用いた学習が始められている。また、文部科学省（2021a）では、タブレット端末を有効活用した「個別最適な学び」の重要性が提案された。個別最適な学びとは、新たに学校における基盤的なツールとなる ICT も最大限活用しながら、多様な子供たちを誰一人取り残すことなく育成する学び（文部科学省，2021b）である。タブレット端末を用いた学習履歴のデータ化に伴い、学習者の習熟度を客観的に把握し、長所や短所を伸ばすために個別に最適化された学習支援が行えるというものである。

文部科学省（2021b）では、個別最適な学びを実現するには、教師が子供一人一人の特性や学習進度、学習到達度等に応じ、指導方法・教材や学習時間等の柔軟な提供・設定を行うことや、教師が子供一人一人に応じた学習活動や学習課題に取り組む機会を提供し、子供自身が、学習が最適となるよう調整することが大切である、としている。子供自身が学習を調整するには、学習課題を自ら見出し、自ら解決法を導き出す必要があるのではないだろうか。

GIGAスクール構想が充実すれば、学習履歴のデータから、児童の学習到達度の把握は容易になるであろう。しかし、学習到達度が明らかになれば自ずと主体的な学習が開始さ

れるのだろうか。小学生児童が自ら意識的に学習課題を見出し、解決するために適した学習内容や学習方法を選択することが、目指すべき自己調整的学習の起点になるのではないか。

本研究では、個別最適な学びを促進するためには、児童自らが課題を見出すとともに、学習を選択して解決することを重視する。それを可能にする一つの方法として、「Theory of constraints」（制約理論、以下、TOCと略記）の思考ツールを取り上げて検討する。

## 第2項 教育のための TOC とアンビシャスターゲットツリー

TOC は、企業システムのパフォーマンスを向上させるために、システム内の最も弱い部分を改善することに焦点を当てた、Goldratt(1990, 2001)による全体最適化の管理哲学である。この理論は実践者や学術研究者から広く注目を集めている。さらに TOC の理論は学校教育にも生かされるようになり、「教育のための TOC」として発展してきている。

「教育のための TOC」には、TOC 思考プロセスを教育向けにアレンジした表1に示す3つの思考ツールが知られている。

表1 教育のためのTOCの思考ツール

ブランチ	現状を理解するために、因果関係の図に基づいて、いかにして今の行動がネガティブな結果をもたらすか推測する。
クラウド	直面する対立、あるいは「するか、しないか」という二者択一の意味決定問題を解決する。
アンビシャスターゲットツリー	挑戦的な目標を設定し、それをいかにして達成するか、そのための戦略を練る。

Marques and Castro (2018) ,若林 (2012) を基に作成

3つの思考ツールの中で、アンビシャスターゲットツリー (Ambitious Target Tree, 以下、ATT と略す) は「目標を設定し、それを達成するための戦略を練る過程」であり、学習者が課題を見出し、解決法を導き出すことを可能にする汎用的ツールと考えられる。表2に ATT の作成手順を示す。

目標の達成のための、「障害 (うまくいかない原因)」をリストする過程では、自身の学習状況の振り返りが促進され、課題が明確になる。その上で、中間目標や行動 (本研究での行動は学習となる) を明示することは、課題解決への意識を明確にする。

Marques and Castro (2018) は、学習者が ATT を作成することにより、学習プロセスがより効果的になり、学習者が主体的に問題を解決し始めることが容易になる、と述べる。ATT を用いることにより、学習者は、より主体的で、学習プロセスが明確な個別学習を実現することが可能であると考えられる。

表 2 ATT の作成方法

ステップの順序	詳細
1. 目標の設定	何をしたいのか、それを個人で行うのかグループで行うのかを決定する。
2. 障害リストの作成	目標を達成するために障害（うまくいかない原因）となりうるものを考えリストを作る。
3. 中間目標と行動の設定	障害を克服するための中間目標と具体的な行動を考える。
4. 「行動」の連携	行動を分析し、関連する行動を接続する。
5. 中間目標のクラスタ化	どちらが先で、どちらが後か、行動を実行する順番を決める。
6. 中間目標をツリー化	ツリーはグループや個人が使用する戦略計画になる。

Marques and Castro (2018) を筆者が翻訳・改変

### 第 3 項 研究の目的

本研究では、児童が自身の学習状況から課題を見出し、解決法を考えるために、ATT を用いての個別学習への誘導手法を提案する。授業実践をもとに、ATT を用いた個別学習の、児童の学習課題解決における有効性を検証する。

## 第 2 節 研究方法

### 本実践における GCT の構成

前提命題：うまくいかないことを振り返る。それにふさわしい学習を自ら選ぶ。

フォーカス・ツール：理解の不十分を克服するための ATT

フォーカス・ツールの役割：自分自身の弱点と、それに適合すると思える学習法を認識する。

### 第 1 項 ATT を活用して学びを個別化する授業の開発

ATT を使用した学習では、自分の学びを振り返り、「うまくいかない原因（どうしてうまくいかないのか）」を考え、「中間目標（何ができるようにになりたいのか）」を決め、「行動（何をすれば達成できるのか）」を決定し、リスト化する。しかし、自分で学習を決定し

た経験の少ない児童にとっては、「うまくいかない原因」や「行動」を自分で考えてリスト化するの容易ではないことが予想される。そこで本研究では、教師が普通の授業での見取りの経験と授業内容とに基づき、児童の課題となりうる「うまくいかない原因」や、学習方法としての「行動」を想定して選択肢とする。その選択肢を組み合わせ、児童は ATT を完成し、個別に自らの課題を設定し、解決法を決定する。実際に作成した選択肢を第 2 項で説明する。

## 第 2 項 第 4 学年理科「物の温まり方」における具体的な ATT の活用方法

本研究では、ATT のリストを第 4 学年理科「物の温まり方」の学習に使用した。本研究で期待する ATT の教育上の有効性は次の 2 点である。

第 1 はグループ実験での個別学習の誘発である。観察・実験を中心に進められる授業では、学級を複数のグループに分け、グループ毎に実験をする場合が多くある。しかし、グループ実験において、積極的に実験に参加できない児童がいる問題が報告されている（例えば、相原・西川，2000；金子，2011）。これに対する手立ての一つは、児童に自覚的な個別学習を誘発することである。ATT を導入することにより、実験に積極的に参加できず、意欲の低下している児童にも、自身の課題と、解決する方法を意識させることで、個別学習が誘発されることが期待される。

第 2 は単元途中での学習のメタ認知を促すことである。「物の温まり方」の単元では、「金属は熱せられた部分から順に温まるが、水や空気は熱せられた部分が移動して全体が温まること」（文部科学省，2018）を学習する。水や空気の対流する動きと、水や空気の温度が上部から上昇する現象とを関連付けることが、児童には難しい内容となっている。また、空気や水のような流体と、固体の金属とでは、温まり方が違うことも児童の理解を困難にしている。これらの困難性を児童自身は自覚しにくい。本研究では、単元の途中で ATT を用いることにより、自分の理解度を把握し、ICT を含め自分に合った学習法や学習教材、学習コンテンツを活用することで、理解を深める機会を選択させることが狙いである。

ATT の目標は、全児童共通に「物の温まり方について理解を深める」こととした。その目標を達成するために、児童自身が ATT 各項目に対して表 3 に示す選択肢の中から自分に適したものを選択した。多くの児童が、複数の「うまくいかない原因」を選択していた。そこで、一つのうまくいかない原因に対して、中間目標、行動をそれぞれ一つずつ選択させた（後述の表 7，8 に例示）。単元途中までの学習を児童自身に振り返らせ、教師も児童の学習状況をもとに児童に助言した上で ATT リストを完成させた。リスト完成後は児童が設定した個別学習を実施する時間を設定した。

表 3 の選択肢は、授業を担当する教師 3 名が、児童の学習状況を検討して作成した。「行動」項目にあるドリル学習の「ドリルパーク」は、株式会社ベネッセホールディングスが提

供する、タブレット端末用のドリルアプリである。“NHK for school”は NHK が配信する教育動画サイトである。行動には、ICT を活用したものだけでなく、教科書を活用した予習復習や友達との教え合いの活動も選択できるようにした。

表 3 ATT の選択肢

ATT の項目	選択肢の分類	選択肢
うまくいかない原因	現象の理解	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 空気の温まり方が分からない</li> <li>・ 水の温まり方が分からない</li> </ul>
	仮説推論	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 予想の理由を考える方法が分からない</li> </ul>
	実験方法の習得	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 実験方法が分からない</li> <li>・ 実験器具の名前が分からない</li> <li>・ 実験器具の使い方が分からない</li> <li>・ 実験結果を覚えていない</li> <li>・ 正しい実験結果が分からない</li> <li>・ 考察の書き方が分からない</li> </ul>
	知識理解	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ テストでどういう問題が出るか分からない</li> </ul>
中間目標	現象の理解	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 水や空気の温まり方を図に表せるようになる</li> </ul>
	現象と実験	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 空気の実験方法を考えられるようにする</li> <li>・ 水の実験方法を考えられるようにする</li> </ul>
	仮説推論	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 予想の理由を考えられるようにする</li> </ul>
	実験方法の習得	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 実験道具の名前を覚える</li> <li>・ 実験器具の正しい使い方を覚える</li> <li>・ 安全に実験する方法を知る</li> <li>・ 正しい実験方法を知る</li> <li>・ 正しい実験結果を知る</li> </ul>
	学習の拡張	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 生活の中で学習が生かされていることを見つける</li> </ul>
	知識理解	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ いろいろな問題を解く</li> <li>・ テストの問題が解けるようになる</li> </ul>
行動	教科書学習	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 教科書で予習をする</li> <li>・ 今までの学習を教科書で振り返る</li> </ul>
	ドリル学習	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ ドリルパークで実験器具の問題を解く</li> <li>・ ドリルパークでいろいろな問題を解く</li> </ul>
	協力	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 友達に教えてもらう</li> <li>・ 友達のノートを見る</li> <li>・ 友達に教える</li> </ul>
	自己学習	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 自分で問題を作る</li> <li>・ 実験結果を考察する力をつける</li> </ul>
	ICT	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ インターネットの解説を見る</li> <li>・ NHK for school を見る</li> </ul>

### 第3項 検証授業の方法

2021年1月～2月に東京都内の小学校4年生児童計84名を対象に授業実践を行った。この小学校には全児童に1台のタブレット端末が配布されており、学校での使用だけでなく、家に持ち帰って家庭学習に使用することも可能となっている。

各学級の人数はそれぞれA組28名、B組28名、C組28名の3クラス編成である。A、B組を実験群、C組を対照群と設定した。単元は4年生理科「物の温まり方」で全9時間（1授業時間は45分）である。学習過程を表4に示す。

表4 学習過程

授業時	学習過程	
1	事前質問紙調査	
	金属のスプーンを熱い湯につけて、スプーンの方の端の方に触れたときに、気づいたことや疑問に思ったことを話し合い、金属のあたたまり方についての問題を見いだす。	
2	金属はどのように温まっていくのか予想し、実験をして調べる。 金属の温まり方をまとめる。	
3	水はどのように温まっていくのかについて、これまでに学んだことや経験したことを基に予想する。水の温まり方や温まった水が動くかどうかを調べる方法を考える。	
4	水の一部を熱して、水の温まり方と水の動き方を調べる。	
5	水の温まり方をまとめる。	
6	【授業時間における個別学習】 これまでの学習を振り返り、理解していない部分の復習や、次の空気の学習に向けての予習を行う。実験群はATT使用、対照群はATTなし。	
	【実験群の個別学習】 自分の目標を基にATTリストを作成。 リストの「行動」に書かれた学習を個別に行う。	【対照群の個別学習】 ATTリスト作成なし。学習の復習や、次の時間の予習をする。ICTを活用したドリルや動画サイトなど、個別学習に使える教材を紹介する。
7	空気はどのように温まっていくのか予想し、実験をして調べる。 空気の温まり方をまとめる。	
8	教科書の資料を読んで、冷やされた空気や水の動き方を捉える。 物の温まり方について、学んだことをまとめる。	
家庭学習	【家庭での個別学習】 テスト前に家庭で復習を行う。実験群はATT使用、対照群はATTなし。	
	【実験群の家庭での個別学習（タブレット端末持ち帰り）】 自身の学習課題を振り返り、ATTリストに追記。追記した行動を家庭で行う。	【対照群の家庭での個別学習（タブレット端末持ち帰り）】 理解度テストに向けて、自由に学習する。 ATTリストは作成しない。
9	理解度テスト・事後質問紙調査・本単元の学習感想	



学習過程の第6時と家庭学習時において、実験群と対照群共通に個別学習の時間を設けた。実験群ではATTを使用し、対照群はATTを使用せず自主的な判断で学習させた。その他の時間の実験群と対照群の学習活動は同等である。

この單元では、「金属の温まり方」、「水の温まり方」、「空気の温まり方」の3つについて学習する。金属の温まり方と水の温まり方について実験を通して学習した後の第6時に個別に学習する時間を取り入れた。次の学習から空気の温まり方について実験することを予告し、復習や、次の学習に向けての予習をしてよいと伝えた。その際、実験群はATTを使用し、自分の中間目標を設定し、目標を達成するためにうまくいかない原因を考え、中間目標を達成するための学習行動を決定した。通常ATTはリスト化後に行動フローを表現するツリーに変換するが、本研究ではツリー化はせず、学習行動の優先順位をつけさせた。

対照群においても、学習機会の保障のために、個別学習の機会を与えた。対照群クラスの教師は、NHK for school やドリルパークなどの学習コンテンツを紹介し、それらに取り組んでもよいと伝えた。

第8時終了後の翌日に第9時の確認テストを行った。第8時には、次のように家庭学習を指示した。実験群児童には自身の学習を振り返り、ATTリストに加筆した上で家庭学習に取り組みさせた。対照群児童には、確認テストがあることを伝え、宿題としてテスト対策の家庭学習に取り組みさせた。

#### 第4項 指導法の効果測定方法

本研究では、以下の2つの方法により、考案した指導法の効果を検証した。

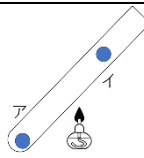
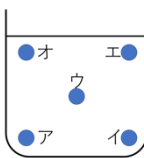
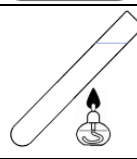
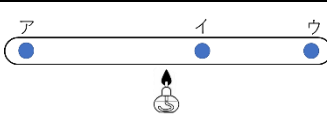
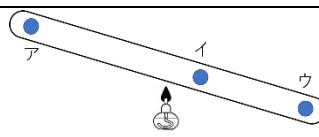
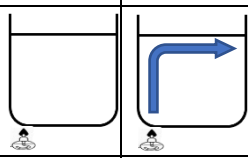
##### 1 児童が作成したATTの分析

児童がATTを用いて、どのような課題を見いだし、どのような学習教材やコンテンツを使って学習を行ったか、そして、どのような感想を持つに至ったかをATTリスト項目の連結分布図及び感想の記述から考察した。

##### 2 学習理解度テストの評価

單元学習の終了後、表5に示す、理解度テストを行った。このテスト問題は、第4学年理科の教科書（東京書籍，2020）やベネッセのドリルパーク、柿沼・高垣・清水（2017）を参考に、筆者が構成した。教科書に準拠した標準的な問題であるが、問5～10は記述で説明する必要がある、実験内容や実験結果を正しく理解していなければ解答できない。テスト実施後、実験群と対照群の得点を比較し、ATT使用の効果を学習理解度面から分析した。

表5 理解度テスト問題

問	問題	正答例
1	右の図のように水を入れたしけんかんを、アルコールランプであたため、水のあたたまり方を調べました。ア・イの場所で先にあたたまるのはどちらですか。 	イ
2	右図のように、ビーカーに水を入れて端アをゆっくりあたためました。ア～オの場所について、水があたたまる順番の早い順に並べましょう。 	ア→オ→エ→ウ→イ
3	しけんかんの3分の2くらいまで水を入れて、右の図のようにしけんかんの真ん中を熱しました。2～3分後、下のほうの水の温度はどんな様子でしたか。 	温度は変わらない
4	図のようにして、ろうをぬった金ぞくのぼうを熱したとき、一番早く、ろうがとけるのはどこですか。ア・イ・ウの中から1つ選びましょう。 	イ
5	図のようにして、ろうをぬった金ぞくのぼうをななめにして熱したとき、一番早く、ろうがとけるのはどこですか。ア・イ・ウの中から1つ選びましょう。 	イ
6	下の図のようにビーカーのはしを火であたためました。ビーカーの中の水の温まり方を絵と文章で書きましょう。 	上部から温まる。
7	問6のような温まり方をするのはどうしてでしょう。理由を書きましょう。	温められた水は上昇する性質があるから
8	空気のアたたまり方を調べるにはどのような実験をしたらよいでしょうか。方法をくわしく書いてください。	教室で暖房をつけて、いろいろな場所の温度を測る。
9	部屋に暖房をつけるとしたら上と下どちらにあるとよいですか。理由も書きましょう。	下：温められた空気は上昇するから
10	部屋に冷房をつけるとしたら上と下どちらにあるとよいですか。理由も書きましょう。	上：冷やされた空気は下降するから

### 第3節 結果および考察

#### 第1項 ATT リスト分析及び感想の記述分析

表7, 表8に, 児童が作成したATTリストの例を示す。各表のA, B児には, 第6時に

ATT リストを作成した理由を授業者が口頭でインタビューした。以下、ATT の項目別の選択肢名称を記述する際には、「(ATT 項目名称)：(選択肢)」の記法を用いる。ATT 項目名称とは“原因”“目標”“行動”である。

表 7 の A 児は、「原因：正しい実験結果が分からない」を優先順位 1 位とした。実験が成功せず、他グループの実験結果を聞いただけでは正しい実験結果は分からないと述べた。正しい実験結果を「行動：NHK for school の動画を見る」により理解しようとした。

表 8 の B 児は、「原因：水の温まり方が分からない」を優先順位の 1 位とした。水の温まり方を「行動：友達のノートの図を見る」ことにより理解を深めようとした。B 児は、第 5 時までの実験では、水の動きと温まり方の関係が理解できず、水の温まり方を図示できずにいた。第 6 時で ATT リストを用いて、自分の課題を意識化した。そして解決方法である「行動：友達のノートを見る」では、前授業時に水の温まり方を発表した児童からノートを借りて見ていた。B 児は「授業で発表を聞き取ることができなかったので、ゆっくりとノートを見たいと思っていた」と述べていた。

表 7 A 児の ATT リスト

目標 物の温まり方の学習の理解を深める			
うまくいかない原因	中間目標	行動	順位
正しい実験結果が分からない	正しい実験結果を知る	NHK for school を見る	1
予想の理由を考える方法が分からない	予想の理由を考えられるようにする	友達のノートを見る	2
実験器具の名前が分からない	実験器具の正しい使い方を覚える	今までの学習を教科書で振り返る	3

表 8 B 児の ATT リスト

目標 物の温まり方の学習の理解を深める			
うまくいかない原因	中間目標	行動	順位
水の温まり方が分からない	水や空気の温まり方を図に表せるようになる	友達のノートを見る	1
考察の書き方が分からない	実験結果を考察する力をつけたい	インターネットで調べる	3
テストでどういう問題が出るか分からない	テストの問題が解けるようになる	ドリルパークでいろいろな問題を解く	2

上記 2 児童の例では、表 7・8 のリストおよびインタビュー結果は、ATT 記入を契機に自分の学習をメタ認知し、各々の状況に適した行動による課題解決に及んだことを示す。

表 9 は、第 9 時の理解度テスト終了後の感想の例である。

表9 単元終了時の児童の感想（抜粋）

②予想や結論を書くのに自信が持てました。
②予習で知ったせんこうの実験をやって空気の動きがよく分かったので良かったと思いました。
これまで空気の温まり方について実験方法がなかなかわからなくてこまっていたけど、②いまは実験方法について調べてすこしアレンジしてわかりやすくするなど自分で考える力がついた
③自分が見たいところ考えて動画を見ると、すごくよくわかりました。実験も楽しくできました。
③自分の苦手なところをゆっくり教えてもらったり、勉強できたので、この学習がよくわかりました。
③私は予想をするために友達にノートを見させてもらってよかったと思います
③自分の直さなきやいけないところを直せたので、①自信ができました。
③友達のノートをゆっくり見ることができたので、②空気の実験の考察はよく書けたと思います。
③煙の動きがよくわかりました。③動画を先に見ていたからだと思います。

表9中の波線①～③は感想を3つに分類したものである。①は「学習への自信」（感想分類①）、②は「学習の成果や理解の向上」（感想分類②）、③はATTを使った「学習方法への手ごたえ」（感想分類③）である。実験群56名中、52名において、感想の分類①②③に分類される学習への肯定的な感想が見られた。残り4名中、3名は無記入、1名は「テストの出来が良くなかった」という感想であった。図1は、これらの感想分類①～③の、全児童の感想文中の出現割合を示す。

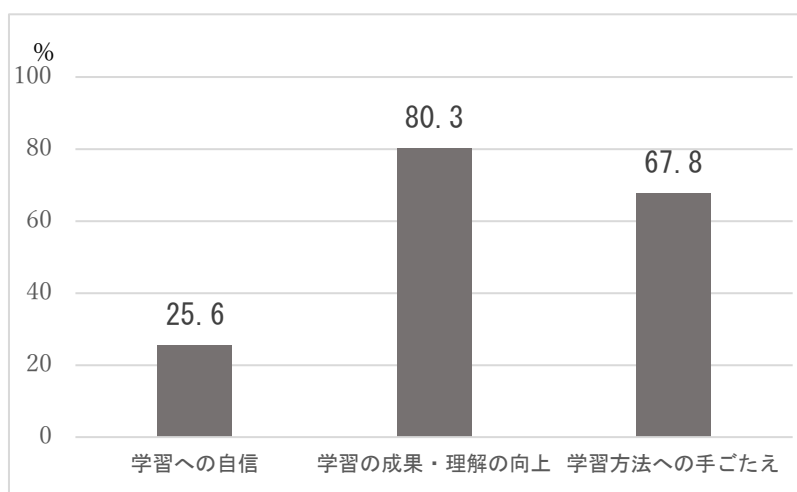


図1 学習感想中の3つの感想分類の出現割合

全児童の感想中で、感想分類②「学習の成果や理解の向上」を記述した児童の割合は80%に上った。また、ATTを使うことで、感想分類③の「学習方法への手ごたえ」を表明した

児童の割合が68%であった。多くの児童が、個別の課題と行動を識別することで、学習への自信や理解度を高められたことが示唆される。

ATT リストの原因と中間目標と行動の各選択肢を連結したものを1つの連結と数えると、実験群の全児童56名のATTリストからは全256組の連結が確認された。ATT各項目の選択肢間の連結を、表3に示した選択肢分類ごとにまとめて、さらに行動と分類した感想との連結まで加えて表示したものを図2に示す。図2中の連結線の幅は選択人数に比例する。ただし連結線の幅の比例性は50人を上限とし、50人を超える場合は一定幅の黒の連結線で示した。

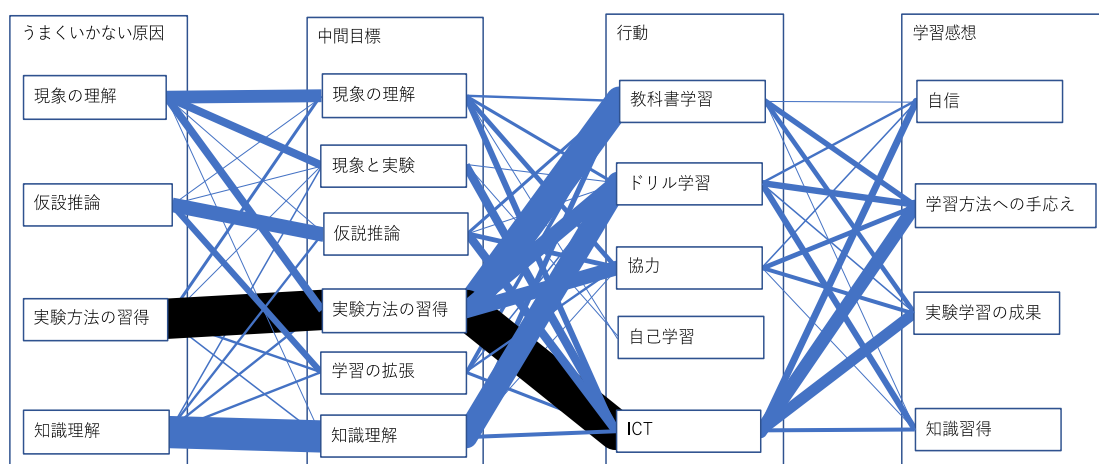


図2 全児童のATTリストの分類項目と感想の連結図

「うまくいかない原因」の選択は、「現象の理解」と「仮説推論」を合わせた「現象についての推論」と、「実験方法の習得」及び「知識理解」の3つに分類できそうである。「現象についての推論」からは中間目標として比較的に多様な選択がされている。これに対して「原因：実験方法の習得」の大多数は「目標：実験方法の習得」に、「原因：知識理解」の大多数は「原因：知識理解」に連結されている。そして、「原因：実験方法の習得」は、行動として「行動：教科書学習、ドリル学習、ICT」の知識学習を大多数が選択したが、「行動：協力」もかなりの選択があった。「原因：知識理解」はほとんどが「行動：ドリル学習」を選択した。こうした大きなトレンドは見られるものの、中間目標から行動には複雑な分岐が見られ、児童の学習の個別性が現れたものと言えるのではないかと。

感想分類②「学習の成果や理解の向上」は、さらに「実験学習の成果」が記述された感想と「知識習得」が記述された感想に分類できる。「実験学習の成果」の感想からは、“予想が深まったこと”、“実験方法の理解”、“実験結果の理解”、“考察の深まり”と、実験検証の各段階での理解に該当する細目が見られた。また「知識習得」の感想は、“テスト知識の準備”と“一般的な知識理解”の細目に分けられた。

感想項目の、「実験学習の成果」は教科書およびICTでの学習に連結し、「知識習得」は

ドリル及び ICT に主に連結することが特徴的であった。

行動として「行動：ICT」を選択する児童は多かったが、自信や学習方法への手応えの感想に連結している場合が多いことが特徴的である。

実験結果や実験方法について理解を深めた児童の多くは、NHK for school の動画を視聴する学習を選択している。授業中の実験は、時間の制約や複数で同時に見る活動であるために、納得いくまで繰り返し見ることは難しいが、動画であれば、自分が理解できるまで繰り返し見ることができる。実験結果や方法の理解を深めるには有効な手段だったと見られる。

「原因：考察の書き方がわからない、予想の理由を考える方法がわからない」を記入していた児童が、感想では「考察の深まり」「予想の深まり」を書いていることが見られた。実験前の予想は、既有知識・体験をもとに考えるので、既習事項の確立や想起がなければ難しい。また、考察では、実験結果を評価・解釈するが、何を書けばよいのかわからない児童もいる。これらの児童は、教科書学習や、友達のノートを参考に課題を克服したことが見られた。

また、テストができたと感想に書いた児童の多くは、テストで何が出るのかわからないことを原因に挙げ、それを、ドリルパークを用いた問題練習で克服している。これも児童が個別に心配する課題を意識的に解決できたものと言えよう。

ATT を使用したことにより、自身にあった学習とは何かを考えて学習を進められており、多種多様な学習が生まれていた。そして、選択した学習に対して児童が自信や理解度の向上や学習方法への手応えを見出したことは、ATT の個別学習への有効性を示すものと言えるのではないか。

## 第2項 理解度テストの結果分析

図3は、第9時に行った理解度テストの問ごとの正答率を示したものである。

全ての問において実験群の正答率が対照群を上回った。表11に全10問の正答率の、平均値の差のt検定(有意水準0.05)の結果を示す。まず、合計点において実験群の平均正答率は対照群よりも有意に上回った。各設問を見ると、2群間の差が特に大きい設問(有意差 $P<0.01$ )は問6,7,8,9である。

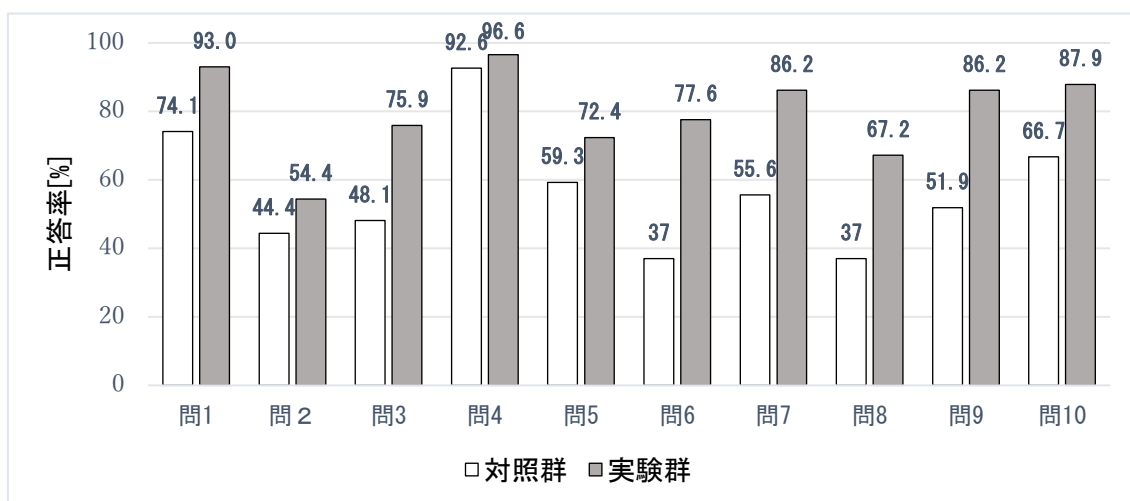


図3 実験群と対照群における理解度テスト正答率の平均

表11 実験群と対照群における理解度テスト正答率の平均値の比較

問	問1	問2	問3	問4	問5	問6	問7	問8	問9	問10	合計
実験群 平均 (%)	93.0	54.4	75.9	96.6	72.4	77.6	86.2	67.2	86.2	87.9	79.5
対照群 平均 (%)	74.1	44.4	48.1	92.6	59.3	37.0	55.6	37.0	51.9	66.7	56.7
P 値	0.04	0.40	0.02	0.49	0.25	P<0.01	P<0.01	P<0.01	P<0.01	0.04	P<0.01
T 値	2.04	0.84	2.45	0.69	1.16	3.70	2.85	2.66	3.18	2.08	3.78

問6は、水は下部を温めても、対流によって上部から温度上昇する現象の理解を問う設問である。問7は、問6の現象の理由を記述する設問である。問6に多く見られた誤答は、水が回りながら最後に中心の温度が高まるような温まり方である。問7の理由においても「熱は回りながら温まっていく」という誤った理解をしている児童が多く見られた。児童は、実験時に水が対流して、下から上、さらに上から下へと巡回する動きを観察しており、温度も対流が見えた周辺部から高まると感じたのではないかと推察される。実験群児童のATTでは、56名中25名が「原因：実験結果が分からない」を挙げていた。対照群にも同様な児童がいると推察される。図2に示すように実験現象の理解への課題を挙げていた実験群児童は、動画サイト等のICTを活用して学習の理解を深めようとしている児童が多く見られている。

単元終了後の感想では、「原因：実験結果が分からない」を挙げた25名中の14名に、「実験理解が深まった」という記述が見られた。さらにその25名の問6および問7の正答数を見ると、問6は22名、問7は20名と高い正答率であった。テストの結果からも理解できていることが示される。ICTを使用して、実験の様子を繰り返し視聴することによ

り、現象への理解を深めることができたと推察される。一方、対照群児童にも、動画サイトを紹介し、復習の時間を設けている。やはり、理解度の違いは、ATT 使用による、自分の課題に向き合って改善しようとする姿勢の違いから現れるものであると考える。学習における動画の有効性も見る者の見方によって変わるといえるだろう。

問 8 は、空気の温まり方を調べる実験方法を問う設問である。空気の実験は実験群、対照群とも、第 6 時の個別学習後の第 7 時に行った。その時に行った実験を記載すればよい設問である。図 2 では、うまくいかない原因において、「実験方法の習得」をあげた児童が、教科書や ICT 使用により、学習への自信や手応えをもてたことが示されている。実際、56 名中 16 名の実験群児童が、第 6 時の個別学習時に、空気の実験について教科書を使った予習や動画による実験方法の確認を行っていた。単元終了後の感想では、この 16 名中の 9 名に、「実験方法を予習して実験をすると、理解できた」という旨の記述が見られた。さらにその 16 名の問 8 の正答数は 12 名であった。約 7 割の児童が正答している。実験は限られた時間の中で行われ、正しい方法で注意深く観察しなければ大事な要素を見落としてしまう。ATT はその経験を想起させ、実験時の重要な観察ポイントを予習により確認することを可能とした。実験に課題を感じている児童にとって、事前に実験方法を理解する時間は、実験を正確に行うことを可能にし、行った実験方法と結果の記憶を定着させる効果があったと言える。

問 9 は、温められた空気が上昇する現象を理解し、生活と関連付けられるかを問う設問である。対照群児童の正答率は 52%にとどまったが、実験群児童は 86%の高い正答率であった。問 8 の考察で触れたような空気のあたたまり方の実験の理解が、生活と関連付けて考えられる深い理解につながったと言える。

物の温まり方の学習は、実験では視認しづらい現象が多く、実体的な理解が難しい。そのため、個別学習における教科書の写真や図、ICT を使った動画視聴の活用は理解を助けるのに有効であろう。しかし、実験群・対照群ともに個別学習の時間を取ったにもかかわらず、実験群と対照群とで得点差が生まれた理由は、実験群が ATT を用いて、自己の不明な点を認知し、その課題に相応しいと判断した行動に取り組んだことによると推察される。この理解度テストによる評価による限り、本研究で提案する ATT を用いた個別学習は有効であると言える。

#### 第 4 節 本章のまとめ

本研究では、Theory of constraints の思考ツールである ATT を用いて、児童が自ら選択した学習を行う個別学習を取り入れた授業法を開発した。第 4 学年理科「物の温まり方」の単元において、授業実践を行い、児童の ATT リストや感想の分析、および学習理解度テストの結果を分析した。



本研究の授業実践では、児童の実態をよく知る教員により作成された ATT の選択肢から、原因、中間目標、行動の3項目を児童が選ぶ方式にした。児童は自身の必要性に応じた学習内容を多様に選択していた。個別学習後の学習感想では、学習を理解できたことを表明する記述が多く見られた。ATT を使用した個別学習への手ごたえの記述も見られた。単元終了後の学習理解度テストの結果では、実験群児童の得点は対照群児童の得点よりも有意に高くなった。

本研究で用いた ATT を用いた授業法は、児童の課題に適した学習方法を選択することを可能とし、児童の学習理解度を高めることが見出された。

対照群児童も、ATT 以外のタブレット端末や教科書等の同等の教材を用いて、個別学習の時間を取っていたにもかかわらず、理解度面に実験群との有意な差が見られた。このことは、実験群児童が ATT を用いることで、自らの課題を明瞭にし、解決手段を意識化できたことによるだろう。この自己決定性が本研究の結果から、個別最適な学びを実現するための個別学習に ATT が有効であることを示すものと言えるのではないか。

## 参考文献

相原豊・西川純(2000)「理科におけるグループ構成と協同的学習の研究:生徒の傍観者傾向に対する効果的方策」『日本教科教育学会誌』第23巻, 第1号, 57-65.

Goldratt, E. M. (1990) What is this thing called Theory of Constraints and how should it be implemented? *North River Press*.

ゴールドラット著 (2001) ,三本木亮訳『ザ・ゴール』ダイヤモンド社.

金子純一 (2011)「言語活動の充実を図るための学習形態の工夫:3人グループ実験と個人実験での取組」『教育実践研究』第21集, 107-112.

柿沼宏充・高垣マユミ・清水誠 (2017)「「水の温まり方」の科学概念形成を促す学習・指導方法に関する研究」『埼玉大学紀要, 教育学部』第66巻, 第2号, 175-184.

Marques.S, Castro.R (2018) Analysis of the Theory of Constraints for Education and its impact on educational systems. *EDUCATION AND CONTEMPORARY CULTURE MAGAZINE*, 15(40),452-474.

文部科学省 (2018) 『小学校学習指導要領 (平成29年告示) 解説理科編』東洋館出版社.

文部科学省 (2021a)「「令和の日本型学校教育」の構築を目指して～全ての子供たちの可能性を引き出す, 個別最適な学びと, 協働的な学びの実現～ (答申)」.

[https://www.mext.go.jp/content/20210126-mxt\\_syoto02-000012321\\_2-4.pdf](https://www.mext.go.jp/content/20210126-mxt_syoto02-000012321_2-4.pdf)

(accessed 2021.04.10) .

文部科学省 (2021b)「学習指導要領の趣旨の実現に向けた個別最適な学びと協働的な学び

の一体的な充実に関する参考資料（令和3年3月版）」。

Retrieved from [https://www.mext.go.jp/content/210330-mxt\\_kyoiku01-000013731\\_09.pdf](https://www.mext.go.jp/content/210330-mxt_kyoiku01-000013731_09.pdf) (accessed 2021.04.10) .

東京書籍（2020）『令和2年度版 新しい理科4年 教師用指導書』東京書籍.

若林靖永（2012）「『教育のためのTOC』にもとづくクリティカル・シンキング演習」  
2012 PC Conference, 65-66.

# 第9章 研究の成果と課題

本章では、第3章から第8章までの研究結果を基に、本研究において提示した理科実験授業モデルの成果を明らかにするとともに、研究の限界や課題についても考察する。最後に、今後の研究の発展の可能性について述べる。

## 第1節 研究の成果と課題

### 第1項 各章における研究成果のまとめ

本研究で重視するCTは、問題の解決に向けて繰り返し批判的に考え、最終的に自分の意思や行動を決定する思考である。そのCTを高めるために、前提の命題にフォーカスして考えを表出し、自己評価、相互評価した上で、最終的な意思や行動を決定するモデルである、GCTモデルを開発した。本研究では、CTは教科の学習を促進する側面もあると考え、小学校の理科教育においてGCTモデルを理科の実験学習に取り入れ、理科の問題解決能力とCT能力の両面の育成を目指した。GCTモデルは、様々な学年や問題解決場面で効果を発揮する汎用的モデルであることを実証するために、各学年の目標とする問題解決場面にGCTモデルを使用した授業実践を行い、CT育成の効果を検証した。表1は、各実践における、GCTモデルの前提命題とフォーカス・ツールの役割をまとめたものである。

表1 各実践でのGCTモデルの前提命題とフォーカス・ツールの役割

実践	前提命題	フォーカス・ツール	フォーカス・ツールの役割
第3学年 「物の重さ」	ものの量は視覚的に判断できる。	錯視・錯覚現象（目で見た判断の特徴を明瞭にする）	目で見て得る確信は誤りの場合があることを認識する。
第4学年 「電気の働き」	乾電池の直列、並列回路で電球を点灯する。 それぞれの回路での電流に特徴がある。	電気回路の電流イメージ図	目に見えないもの（電流）をイメージする。乾電池の直列・並列で電球の明るさが違うことの仕組みを電流の違いとして考える。
第5学年 「電流の生み出す力」	電磁石の磁気力を増加させれば重量の大きい重りを吊り上げられる。	重量の大きい重りを吊り上げるATT (Ambitious Target Tree)	どのようなパラメータがあるか、それがどのような効果があるか体系的に考察し、実験手順を検討できる。

第6学年 「水溶液の性質と働き」	学習した様々な方法で水溶液を判別・判定できる。	実験手順のフローチャート	水溶液の判定と判定手順を考え、実験の準備から安全実行までを自ら検討する。
第6学年 「ものの燃え方と空気」	信頼度の高い根拠により仮説や結論は導かれる。 ものの燃え方の特徴は空気の動きと関係づけられる。	情報の信頼度表  相互評価表	観測した現象の理由として考えたことの根拠の信頼度を分類する。理由の論拠の確かさを認識する。
第4学年理科 「物のあたたまり方」	うまくいかないことを振り返る。それにふさわしい学習を自ら選ぶ。	理解の不十分を克服するためのATT	自分自身の弱点と、それに適合すると思える学習法を認識する。

表1に示すGCTモデルの効果を検証した結果を、以下、第3章～第8章までの授業実践を基にまとめる。

第3章の第3学年の実践では、自然現象への気づき、問題発見の力を育成するために、観察の基本となる、正確な計測による観察を促すツールとして錯視を取り入れた。

第3学年「物の重さ」の授業において、錯視現象などを見て感じたことを討論しながら、重さを学ぶ実践を行った。児童は、錯視を体験することで、自分の見方が実測と違う場合があることに気づいた。そして、正確な測定により物の量の判断をしようとする態度が表れた。授業後に実施した重さの概念を問う評価テストでは、実験群の正答率は、対照群の正答率よりも有意に高くなった。特に、物が溶けて見えなくなった場合の重さや、浮遊している物体の重さについての理解に大きな差が生まれた。

この結果から、錯視を経験した児童は、自身の見方や感じ方にCTを発揮するようになり、視覚に依存する曖昧な量の概念からの離脱が促され、重さの概念理解が深まることが見いだされた。

第4章では、第4学年で重視する仮説生成能力を育成するためにGCTモデルのフォーカス・ツールとして、電流イメージ図を用いた授業法を開発した。また、GCTの要素の一つである、相互評価を促すために、オンラインツールを取り入れた。仮説推論時のGCTの有効性を調べるため、「電気の働き」の授業において、乾電池と豆電球の回路での電流の働きと、乾電池2個で1個の時より電球を明るく点灯する回路の予想を行った。予想時の電流のイメージ図を描いて他者と説明し合い、明るく点灯する理由を検討させた。対照群ではイメージ図の作成は行ったが、イメージ図についての他者との意見交換は行わなかった。すなわち、GCTモデルのフォーカス・ツールは共通としたが、他者との意見交換を行わなかった。本実践はオンライン双方向授業での試行であり、イメージ図はwebカメラを用い

て見せ合った。意見交換チャットのテキスト分析、電流イメージ図の分析、授業の事前事後での質問紙調査による CT 態度の因子分析を行った。

この結果、テキスト分析では、2 回の活動の過程での他者の考えの受容が多くの児童に見出された。自らのイメージ図を反省的に再検討し、他者と自分の図を比較検討しつつ、より納得のいく説明で現象を解釈しようとする態度が多く見られた。イメージ図の分析では、乾電池の並列・直列接続の説明を試みる例が、実験群では対照群より数多く見られた。授業前後の質問紙調査の比較からは、CT 態度面の 4 つの因子「根拠を求める思考」「反省的な思考」「探究的な思考」「納得できることを求める思考」が見出された。実験群ではこれら全ての因子について平均値が有意水準 0.05 で授業前後に有意に増加した。これに対し対照群では、「探究的な思考」のみが有意な増加を示した。

これらの結果から、イメージ図をフォーカス・ツールとした上で、このツールを用いて自己評価と相互評価のサイクルを行うことにより、GCT モデルの CT 態度面の向上に関する有効性が発揮されることが示唆された。

第 5 章の第 5 学年の「電流の生み出す力」（磁力の大きい電磁石のものづくり）実践では、第 5 学年で重視する実験計画能力を育成するために GCT モデルのフォーカス・ツールとして、アンビシャスターゲットツリー (Ambitious Target Tree, ATT) を用いた授業法を開発した。限られた時間で、自らの推論とものづくりで目標に近づく探究的な学習に GCT を適用した。乾電池 2 個とコイル、鉄心を用いて、条件を変えながら電磁石を作り、所定の重量の重りを釣り上げることを目標とした。GCT のフォーカス・ツールに導入した ATT は、大目標を中目標に分け、中目標の実現の制約をリストし、それぞれの解決策を挙げ、制約を解消していく手順を決めていく手法であり、ものづくりの行程を制約に着目して設計するものである。ATT を使用して実験をデザインする行程、班ごとの実験と実験の振り返りする行程、実験結果をもとにした目標の垂の吊り上げのチャレンジタイムと班ごとの結果発表交流会の 3 セッションを 2 回繰り返した。実験の種類は合計 11 種、班あたりの平均実験数は  $4.61 \pm 0.70$  回で、教科書に書かれた実験数に比して多様なアプローチが試みられた。

授業後に、授業観察による分析、ATT の記載内容の分析、2 回の検証実験後の振り返り自由記述の質的分析、並びに質問紙による児童の授業前後の変容の分析を行った。ATT の分析から複数の実験を自ら計画し、合理的・反省的に実験計画の妥当性を判断していることが見出された。振り返りの記述分析からは、実験で明瞭になったことを次の実験計画に生かす主体的な学びの促進が見出された。質問紙因子分析の結果、「主体的な学び」「自己への批判的思考」「他者への批判的思考」の 3 つの因子が認められた。これら全ての因子について、授業前と後の平均値に 5% 有意水準で増加が認められ、ATT を用いた討論が CT の能力を高めるとともに、仮説-実験検証の反復を促進し、効果的に探究プロセスが進められた。

第 6 章の第 6 学年「水溶液の性質と働き」の実践では、水溶液を同定する実験で、効率

的な手順を考案するために GCT 利用の有効性を検討した。GCT のフォーカス・ツールとしてフローチャート (FC) 型実験計画表を提案した。FC 型実験計画表は実験目的のために複数の実験を構成し、実験は手順と道具と安全の注意のグラフで構成し、その実験による判別方法と結果の分岐のグラフを付加する。大目的のもとでの実験の構成と結果を導く判別方法の階層からなっている。実験群、対照群とも個人での実験の検討を行い、対照群では自班で検討した上で実験に入る。これに対し実験群では FC 型実験計画表を班で作成し、他の班と計画表を検討し、再び自班の計画を修正する。この後実際の実験に入る。

評価には、まず結果として適正な実験計画が立てられたかどうか、すなわち理科の問題解決ができたかどうかの観点で次のように点数化した：明瞭な不備がある場合は 0、妥当な計画表ができた場合は 1、計画に基づき正しく実験を完了できた場合は 2 とした。CT 活動の評価として、実験計画についての他班の記述を、A:具体的改善方法の提案、B:改善点の指摘、C:改善点を指摘できていない、の 3 段階で分類した。最後に理科における CT 態度面の評価のために、質問紙調査を授業の事前事後に行い、CT 態度の向上を評価した。

この結果、実験計画の妥当性と正確さでは、実験群の平均得点が対照群を上回った。実験群の FC 実験計画の相互検討場面での記述分析では、2 回の実験において段階的に批判的記述の質の向上が認められ、記述の具体性も高まっていた。解決法の妥当性を判断する能力の向上が認められた。CT 態度面の質問紙調査からは、「反省的な思考」「探究的・合理的な思考」「証拠の重視」「健全な懐疑心」の 4 つの因子が見出された。因子ごとの平均値の事前事後の変化については、対照群では、5%有意水準で第 2 因子のみ有意な増加が見られた。他方、実験群では 5%有意水準で第 1 から第 3 因子まで有意な向上が見られ、第 4 因子は有意な変化は認められなかった。以上から、ツールを用いた上で、班同士で交換して議論することで理科としての問題解決が向上し、CT 態度面も向上を見出すことができた。

第 7 章の第 6 学年「ものの燃え方と空気」の実践では、第 6 学年で重視する妥当な考えを作り出す力を育成するために GCT モデルのフォーカス・ツールとして、情報の信頼度表と互いの考察を評価する相互評価表を取り入れた。

理科実験で仮説や考察を相互討論する際に、根拠としている情報や知識に対して CT を働かせるため、「ものの燃え方と空気」の単元の授業の冒頭に、情報の信頼度レベルを検討する授業を行い、実験結果の考察をグループおよび全体で行う際に、信頼度表を検討する授業モデルを実践した。

情報の信頼度表を学級で検討したところ、最下位の Lv1 は「誰が書いたかわからないもの」、Lv2 は「人の噂、雑誌、テレビ」、Lv3 は「新聞、本 (筆者が明らかで新しい)」、Lv4 は「複数の専門家の話、複数の本やネットの情報を合わせたもの、自分の目で確かめたもの」、最上位の Lv5 は「複数の人と一緒に確かめたもの」と結論された。この区分をもとに、各班の実験結果や考察を、信頼度をつけて検討するワークシートを作成させた。これら信頼度表およびワークシートをフォーカス・ツールとし、ものの燃焼と空気の関係に関する 3 つの実験の予想と考察について相互討論することで、学習内容の理解の深まりと、

CT能力の向上が認められるかどうかを調べた。

評価は、討論の質的分析、ワークシート等の記述の内容についての分類・分析と、平山、CT態度面の質問紙尺度を実施した。ワークシートの記述は、実験の回を重ねるごとに、客観的で具体的な記述が増加していた。議論の内容もこれにつれて、実験結果の正しさが納得できるまで追求する態度が現れていた。質問紙の内容は第1分類「論理的思考への自覚」、第2分類「探究心」、第3分類「客観性」、第4分類「証拠の重視」に分類できるが、これらの分類に含まれる質問の回答に関する平均値をとると、第1～3分類まではいずれも事前より事後の方が5%有意水準で高くなっていた。第4分類は有意な差は生じなかった。以上から、情報の信頼度について意識するツールを作成したことにより、児童に、確かな根拠を用いようとする態度や自分や他者の実験結果や考察を評価する能力が育成されたと考えられる。

第8章の第4学年「物のあたたまり方」の実践では、Theory of constraintsの思考ツールであるアンビシャスターゲットツリー(ATT)を用いて、児童が自ら選択した学習を行う個別学習を取り入れた授業法を開発した。単元の途中で個別学習を行う理由は、これまでの実験の理解度を批判的に自己評価し、理解を補完することにより、次の新たな問題解決の際に主体的に取り組むことができると考えたからである。物のあたたまり方の単元では、固体の金属は熱せられた部分から順に温まるが、水や空気などの流体は熱せられた部分が移動して全体が温まることを学習する。流体の対流する運動と、温度が上部から高くなる現象を関連づけることが、児童には理解しがたい難しさとなっている。

また、与えられた実験手続を正常に踏めたとしても、必ずしも実験者である児童自身が実験を理解し、納得できているとは限らない。むしろ、実験後に自省して自分自身を補う行為を習慣化することが望まれる。実験の方法についてCTするのみならず、自分自身の理解についてもCTを行うことが求められる。

そこで、金属と水の加熱実験を実施した後に個別学習の授業時間を設け、理解不足の部分の復習や、空気の温まり方の予習を行わせた。実験群では児童各自の中間目標をもとにフォーカス・ツールであるATTリストを作成し、中間目標の制約を解決する行動を個別に設定し、実行させた。対照群ではATTリストは作成せず、児童各自の判断で復習、予習、NHK for schoolの閲覧などを行わせた。さらに、空気の温まり方の実験後、最後の理解度テスト前に家庭学習で、実験群にはATTリストを作成して振り返り学習させた。対照群は自由に学習させた。指導法の効果測定には、児童の作成したATTの分析、児童の感想の記述分析、そして理解度テストの結果の分析を行った。

この結果、実験群の児童は個に応じた学習内容を多様に選択していた。実験群の児童の多くが実験方法の習得を制約原因とし、教科書、ドリル、ICT教材、友達との協力を中心に多くの行動を解決方法として実行していた。

個別学習後の学習感想では、児童の80%が、内容の理解が進んだことを表明し、68%が自ら選択した学習方法への手応えを表明していた。

理解度テストでは、水や空気や空気の対流による熱伝達の問題で、実験群が対照群に対して有意水準 0.05 の t 検定で上回ることが見られた。全ての問いの平均正答率についても実験群 79.5 点、対照群 56.7 点で、有意水準 0.05 で前者が後者を上回っていた。実験群・対照群ともに個別学習の時間は等しく配分しており、対照群も実験群と同等の ICT 教材や教科書、ドリル教材などの教材を用いて個別学習をしていた。にもかかわらず実験群の正答率が対照群を上回ったのは、実験群が ATT を用いて自己の課題を認知し、その課題に相応しいと判断した学習行動に取り組んだことによると推測される。ATT の作成に伴う CT により、自覚的に学習の個別調整が行われたものと推測される。問題解決の過程を見直し、自分にとって足りない部分（例えば仮説生成能力、実験計画力、考察力等）に気づき、改善する方策を練ることができたことは、自己改善的に問題解決をする力が養われたと言える。

以上の通り、第 3 章から第 8 章までの授業実践において、理科の問題解決能力と CT 能力を育成することができた。第 4 章では、GCT の構成要素の一つであるフォーカス・ツールとしてイメージ図の作成を実験群・対照群ともに行ったが、GCT 構成要素の一つである他者との検討は実験群のみ行っている。一方、第 6 章では、GCT 構成要素の一つであるグループでの検討を実験群、対照群ともに行っている（但し、実験群は他班との検討も行っているため、対照群と全く同じ条件とは言えない）。実験群と対照群の大きな違いはツールの使用有無である。

この二つの実践から、フォーカス・ツールを用いて焦点化された考えを表出すること、そしてその考えを用いて他者と検討すること、この両面が揃うことにより CT の育成に効果が表れると言える。すなわち、本研究で考案した GCT モデルの有効性が示されたと言えるのではないか。

育成された CT 能力と問題解決能力をまとめたものが表 2 である。表 2 に示すように、本研究で行った GCT モデルは問題解決の各過程において、CT 育成を可能とし同時に問題解決能力も高めた。また、第 2 章の表 4 で設定した「働かせたい CT」が、育成されたことが実践により証明された。

表 2 各章の研究成果のまとめ

問題解決過程	育成された CT 能力	理科の問題解決能力
気づき・問題発見 <b>3年</b> 「物の重さ」	<ul style="list-style-type: none"> <li>・自身の考え（見方・考え方）に対する批判</li> <li>・自身と外部（現実・他者）の比較</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・現象の正しい観察・観測</li> <li>・実験を正確にする意識</li> </ul>
予想・仮説の設定 <b>4年</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・現象への解釈の妥当性判断</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・現象を解釈する仮説生成</li> </ul>



「電気の働き」		
検証計画の立案, 実験・観測 <b>5年</b> 「電流の生み出す力」 <b>6年</b> 「水溶液の性質と働き」	<ul style="list-style-type: none"> <li>・解決法の妥当性判断</li> <li>・自己改善的な探究</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・仮説を検証するための実験計画立案能力</li> <li>・実験計画の修正・再実験の提案</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>・解決法の妥当性判断</li> <li>・最適な解決法の追求</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・実験を正確に行うための詳細な実験計画作成力</li> <li>・精度の高い実験技能</li> </ul>
考察・結論 <b>6年</b> 「ものの燃え方と空気」	<ul style="list-style-type: none"> <li>・他者の主張を評価・改善</li> <li>・根拠のある主張</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・根拠を明確にした仮説生成・結論の導出</li> <li>・実験結果から考察・結論を導く能力</li> </ul>
問題解決の振り返り ～新たな問題解決 <b>4年</b> 「物の温まり方」	<ul style="list-style-type: none"> <li>・自己評価</li> <li>・自己改善</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・問題解決過程の評価</li> <li>・克服するための方法決定</li> </ul>

本実践においては、単元の標準時数と同数の設定時間で授業を行うことを意識した。CTを育成することに特化した、単元の学習に直接関係のない時間は設定していない。いわゆる教科に内包したイメージンアプローチであり、単元の学習の理解を深めるための学習の中で自然とCTを育成することを可能にしている。

なお、GCTモデルは、本実践単元以外にも有効であると考え。筆者が本研究の実践単元以外にもGCTモデルを導入でき、かつ有効であると考える単元については付録資料に記載する。

標準の授業時数かつ、イメージンアプローチによって、CTの育成と問題解決能力の育成効果が同時に得られたことから、本研究における授業モデルは、学校現場において実現可能な授業モデルとなっていることが、本研究の成果である。

本研究の実践を通して、新たな知見も得られた。それは、実験に対する主体性である。

各章の実践では、CT態度面の向上も見られている。さらに、CTの態度面は、実験への意欲や主体性を誘発し、納得いくまで繰り返し実験を行う態度や、妥当な考えが生み出されるまで議論を繰り返そうとする態度が見出されている。

これらの効果が得られた理由には、GCTが最終的には共通の目標を達成するという枠組の中で意思決定を目指していることがあると考え。やらされている実験や、形だけなぞった問題解決では、児童に考える必要性を生み出さず、そしてCTも発揮されない。しかし、最終的な行動を自分の意思で決定することは、自分の発言や行動に責任が生まれる。責任が生まれると、より良い判断・決定をしようとする思考を何度もこれでいいのかと

問い直す CT が生み出される。そして、自己改善的な科学的探究の態度が育つのである。

また、本実践を行った学級は、相互補助の学級風土を高めた。共通の目標に対して、互いに助け合って全員が目標を達成しようとする空気感が、学級に生まれていた。話し合いは、他者の考えを評価もしくは批判しようとするものではなく、本質的により良くしようとする態度として表れていた。結果として他者の考えを受け入れながら、自分の考えを修正、発展させていった。また、ATT や FC 型実験計画表などの細かい分岐や選択のあるワークシートを書くには、時間と労力を費やさなければならないが、友達の良い例を参考に書こうとしたり、相互評価時に認められることで書く意欲が増し、時間をかけてよいものを作り上げることに楽しみを見いだしたりする児童が多く表れていた。結果としてツールの作成を通して深く考えることにつながった。

本研究で用いた GCT は、共通の枠組みの中で相互評価を繰り返し、自己改善していく。自己拡張の意識が高まるとともに、共通のツールを使用することによる他者とつながりから、他者に貢献しようとする意識が表れた可能性もある。結果として、相互補助の学級風土が表れたのではないか。学級風土は学習に欠かせないものである。相互に助け合おうという風土が生まれたことにより、本研究実践において多くの効果を生み出すことにつながったのであろう。

## 第 2 項 汎用的スキルとしての転移の可能性と本研究の限界

本研究では、理科実験学習に GCT モデルを取り入れたが、これは、CT スキルを訓練する時間を設定せず、理科学習の中に CT 育成を組み込んだイメージョンアプローチである。イメージョンアプローチは CT 育成の効果が薄いと言われている。その理由は、CT は汎用的なスキルであり、学習内容に特化した教育で育まれた CT は他教科の問題解決には転移したくないという考えがあるからである。しかし、本研究では、理科の探究過程において身に付けた CT は他教科や実生活においても転移可能な能力であると考えた。

第 7 章では、日常への転移の可能性を高めるために情報の信頼度表を作成した。これまでの従来の理科学習においても仮説生成時の根拠として、日常の情報や生活経験を基にすることは多い。しかし、その根拠の元となる情報が信頼に足るものであるかを吟味することまでは行われない。仮説の質を高めるためにはより信頼性の高い情報を根拠にする必要がある。日常にあふれる情報を吟味し、仮説生成時や考察時にその信頼度を評価することは、日常生活の情報をも見直すきっかけとなるのではないかと考えた。実際、第 7 章において研究対象とした第 6 学年児童は、他教科においても、自分の発言や他者の考えに対して情報源を明らかにする姿勢が見られた。社会科の歴史学習中の「江戸幕府が長く続いた理由を考える」という問題について解決する学習の例を挙げる。児童は、テレビや本・歴史漫画などから歴史のことについて少なからず情報をもっている。児童は、話し合う中で、情報源を確認しながら、それは、本当に正しい情報なのか、解釈は妥当なのかについて考

える姿勢が見られるようになった。少しでも怪しい情報であると感じた場合には、複数の情報を比較検討する様子が見られるようになった。本当に正しい情報を求め、選択しようとする CT 能力が発揮されていた。

上記の例は、数量的に汎用的 CT スキルが育ったと証明されてはいない。本研究において身に付けた CT が転移可能であるかについて、実証する研究を行うことはできなかった。

しかし、実際の児童の観察による筆者の主観または、本研究実践者の私信からは、本研究の理科学習において CT 能力を高めた児童は、研究時のみ CT 能力を発揮したわけではなく、その後の他教科の学習にも CT 能力を発揮していると感じられる場面があった。その事例を紹介する。

第4章では、イメージ図を用いて自他の考えを交流した。研究実践者数名の報告に共通するのは、研究対象の第4学年児童においては、研究実践後のノートの書き方が明らかに変わってきた。教科に関わらず、多くの児童が自分の考えを記述する際に図やイラストを用いて説明するようになった。また、単に黒板を写すようなノートから、教師の発言の中から重要であると判断した情報を書き加える児童が多くなった。これは、教師や友達の発言を鵜呑みにする段階から、自分なりに解釈し、選択する CT 能力を発揮する段階に高まったと言える。CT の転移が起きた可能性があると言えるのではないか。

第5章では、設定した目標を達成するためにうまくいかない原因を考えて、計画を練り直す実践を行った。研究対象の第5学年児童が、第6学年進級後に CT の転移が表れた事例を示す。研究校の第6学年の総合的な学習の時間の単元に、1年生を招いて遊ぶ会を開く学習内容がある。遊びの計画を立てる際には、実践で用いた ATT の考え方を児童自らが用いていた。一度大まかな計画を立てた後、目標を達成するために障害となりうるものを考えながら計画を練り直す姿が見られた。例えば、遊ぶ際の安全性や、1年生児童に本を読み聞かせる際の言葉の解説の仕方等、実際の場面をイメージしながら、もっといい方法はないのかを批判的に考えていた。そして、話し合う中で自分たちが納得する方法を決定することができていた。遊びの後、自分たちの力で遊びの会を成功させたことに達成感を得ていたのが印象的である。

第6章の研究対象の第6学年児童は、他教科において、よりよい方法を模索する姿が見られた。算数科の授業を例に挙げると、実践前までは、一つの解法を考えつくと満足していた児童がほとんどであり、答えがあつていればよいであろうという考えを多くの児童もっていた。しかし、実践後においては、一つの解法を考えた後も、他の解法を複数考え、その中で、より効率的なものを選択しようとする態度が見られるようになった。また、他者の解法を肯定的に評価し、いくつもの解法を考えた児童を称賛する態度を表す児童が明らかに多くなった。総合的な学習の時間に実施したプログラミングの学習においても、求めていた動作ができるようになったとしても、より簡単で分かりやすいプログラムにしようとして試行錯誤する態度が生まれた。

このように、多くの児童が、他教科においても CT が発揮していたことは、GCT モデル

が汎用的なモデルであり、理科学習に限らず、CT を育成する可能性があるとし唆される。

あくまで、筆者の主観であり、研究データにより CT が発揮されたという根拠はないため、イマージョンアプローチで育成された CT が転移可能かについては結論付けることはできない。また、総合的な学習の時間の探究活動や、社会科の調べ学習などの活動が CT を引き出した、すなわち、理科で育てられた CT が転移したのではなく、それぞれの教科の学習により CT が発揮された可能性も否定できない。ただし、可能性の一端は見えたと考える。今後の研究で追究していきたい。

### 第 3 項 本研究の課題

本研究で用いた GCT は自分の考えを表出することから始まる。しかし、一部の児童においては、ツールを用いたとしても、自分の考えを表すことができなかった。研究対象校は書く力を高める指導を繰り返し行っており、書くことに慣れている児童が多いが、それでも一定数、自分の考えを表すことができなかったという事実は、他校においても、同様かそれ以上の困難があると考えられる。GCT の最初の段階である、自分の考えを表現する段階をクリアできない場合を想定していないことが本研究の課題である。

解決案の一つ目は、自分の考えを表現しやすいツールを開発することである。書くことの困難さを抱える児童には、ICT 機器を活用した簡便な図示化による表現ツールも有効ではないかと考える。また、第 8 章の ATT で試みた、選択式のツールも有効ではないかと考える。選択肢を広げることで、自分オリジナルの考えを表現することができる。GCT のフォーカス・ツールを、より児童が思考しやすいものに発展していきたい。

一方、自分の考えを表現できなかった児童も相互評価の段階において、他者の考えに触れることにより、自分の考えを構築したり、実験への興味を高めたりする姿が見られた。このことから、解決法の二つ目として、自分の考えを表現できない児童にとっては、他者評価を先に行い、他者の考えを基に自分の考えを表現するような GCT モデルの順番を変えることも有効ではないかと考える。

したがって GCT モデルはまだ発展可能であり、個々の能力や学習理解度に応じて変形することが有効ではないかと考える。今後の研究において、追及していきたい。

## 第 2 節 結論と本研究の発展

### 第 1 項 総合結論

本研究の目的は、理科の探究プロセス、即ち、問題の発見、仮説推論、検証方法の立案、実験・観測の実施、考察、結論の導出の各段階について、従来の授業時数などを逸脱せず

CT を働かせ、各段階の問題解決を促進し、なおかつ CT の能力を高める理科授業が可能かどうかを実践的に明らかにすることであった。そのために、GCT モデルを開発し、そのモデルを各学年の問題解決学習に使用した。そして授業を行い、児童の能力の変容を測定することで効果を検証した。

授業実践検証の結果、本研究で行った GCT モデルは小学校全学年の理科学習において、CT を育成可能であること、また、問題解決の各場面において、CT を育成可能であることを示すことができた。

本実践は、教科に内包したイマージョンアプローチであり、GCT モデルを導入した授業も単元の標準時数と同程度の設定時間で行うことができた。その中で、CT 能力と理科の問題解決能力の向上が同時に見られた。

単元の学習の理解を深める中で自然と CT 育成を実現したことに、本研究の価値があると考えられる。

すなわち、本研究は、学校現場において、現実的に導入可能な、CT を誘発する理科実験授業モデルを提案することができたと言える。学校現場で、広く、活用されることを願っている。

## 第2項 本研究の発展

最後に本研究の発展と今後の研究の方針を述べる。

本研究では、教科に内包した形で、理科の問題解決の過程に CT を働かせた。ある意味スクールナイズされた学習のための学習と言える。しかし、今後は、理科の知識を活用し、より社会に貢献するために科学を使用するという視点をもつことが大切であると考えられる。

Partnership for 21st Century Learning が提唱する 21 世紀型スキルでは、4C と呼ばれるスキルを重視している。この 4 つの C は、Critical thinking, Creativity, Collaboration, Communication (批判的思考, 創造性, 協働, コミュニケーション) の頭文字を指す。

本研究では、CT はもちろんのこと、協働, コミュニケーションを重視してきた。今後、理科における CT 教育の発展のためには、創造性を重視することが大切ではないか。

授業においては、より探究的な学習に取り組み、理科の知識を用いて社会に役立つものを作り出す、創造性やイノベーションを発揮する授業に CT を活用することが大切であると考えられる。その中には、より効率的で環境に優しいもの、コストパフォーマンスを重視したもの等も含まれる。その一端は、第 6 章における効率を重視した実験計画や、第 5 章におけるより磁力の大きい電磁石を作る目標達成志向の実験に示してきたが、それらを、より現実的な社会や環境に適応させる学習へ発展させることが可能であると考えられる。

2015 年に国連により採択され、近年、世界的な取り組みとして注目されている SDGs (Sustainable Development Goals: 持続可能な開発目標) では、世界の様々な問題を解決す

ることを目標にしている。

学習者は、科学の方法や自然の法則を学ぶだけでなく、世界的な問題を解決する方法を考える力が求められる。そのためには、自然や環境がどのように変化するのかを調べるにとどまらず、自分たちはどのように行動すべきなのか、そして、解決するためにどのような方法やアイデアを創出すべきなのかについて真剣に考える必要がある。小学校の段階から、世界の問題について調べるだけでなく、CT を発揮し、解決するためのアイデアを創出することが必要なのではないか。そして、CT を発揮し、自分の立場や行動について意思決定をすることが重要なのではないか。

CT は変化の激しい時代に対応するために必要な力である (CCR, 2015)。そのために、より社会に貢献できる創造力や実践的な問題解決能力を育成するための方法を考案することが必要であり、今後の研究でその方法を追求していきたい。

## 参考文献

- Center for Curriculum Redesign (2015), *Skills for the 21<sup>st</sup> Century: What Should Students Learn?*, [https://curriculumredesign.org/wp-content/uploads/CCR-Skills\\_FINAL\\_June2015.pdf](https://curriculumredesign.org/wp-content/uploads/CCR-Skills_FINAL_June2015.pdf) (retrieved on Oct. 15).
- 文部科学省 (2018) 『小学校学習指導要領 (平成 29 年告示) 解説理科編』 東洋館出版社.

## 付録資料 他単元における GCT モデルの活用案

フォーカス・ツールと効果	学年	単元・学習活動	学習内容
観察カード 他者との観察結果の違いに気づくことで、自己の概念を修正	3年	植物の成長と体のつくり	においや触った感触等を交流し、他者と比較。
		昆虫の成長と体のつくり	昆虫の体について観察したことを交流し、他者と比較
イメージ図 可視化しづらい現象を図に示し、自己評価・相互評価後、図を修正することでCTの育成が可能	4年	水の三態変化	水が状態を変化する際の粒子状態をイメージ化
		空気と水の圧縮	水や空気が押し縮められたときの粒子状態をイメージ化して比較
		物の温度と体積	熱したときと冷やしたときの内部の粒子状態をイメージ化して比較
ATT 目標達成型の実験に有効。 自己改善的に実験を繰り返す際にCTを発揮。	3年	風とゴムの働き	風で走る車の距離を延ばすための要因を批判的に検討し実験、修正を繰り返す。
	4年	電流の働き	モーターで走る車の速さを上げるための要因を批判的に検討し実験、修正を繰り返す。
F C型実験計画表 より効率的な実験を行う際に有効。より良い方法を追求する議論においてCTを発揮。	5年	動物の誕生	メダカを産卵させる実験において確実に産卵させるために、情報を批判的に考えて、よりよい方法を選択
		振り子の運動	平均や誤差の考えを用いるなど、正確で効果の高い方法を吟味して実験を行う。
	6年	てこの規則性	釣り合うための左右のうでの距離と重さの関係を調べる実験を効率的に行う。
情報の信頼度 日常の情報を見直し、情報は正しいか問い直すCTを育成	全学年 全単元で使用可		仮説や考察の根拠となる情報源について考える。
ATT およびルーブリック表 自己の学習状況の振り返りに有効。	全学年 全単元で使用可		問題解決後、単元の学習の終了後に自身の学習状況を振り返る

# 謝辞

本論文の作成にあたり、多くの方々にご指導とご厚意を賜りましたことをここに記し、心より感謝申し上げます。

主指導教員である東京学芸大学教授の松浦執先生には、理科教育学の研究や理科授業の実践について、様々な視点からご教授いただきました。

クリアに伝わりやすい論文構成の大切さについて繰り返しご助言いただく中で、論文の基礎を学びました。特に、松浦先生のデータの解釈の深さは、研究者として学ぶことが多く、教育研究をする上で大切な示唆をいただきました。また、教育者としても、東京学芸大学附属小学校の校長先生をされていた経験を語っていただき、教育をクラス単位から学校単位で考える大切さを学ぶことができました。先生ご自身が大変ご多用であるにもかかわらず、多くの時間を割いていただき、常に質問等にも快く答えていただき、力不足の私を温かく見守っていただきました。松浦先生の励ましとご助言が、本研究を進めるにあたって大きな後押しとなりました。このように、松浦先生に出会い、ご指導を承ることができたことは、幸せなことであり、深く感謝を申し上げます。

副指導教員である横浜国立大学 有元典文先生および東京学芸大学 前田優先生からは、研究に対して貴重なご示唆と励ましをいただきました。

有元先生からは、研究の利点ばかりを強調するのではなく、課題を考えることが本質的に教育をよくするという視点をいただきました。さらには、学級の風土の観点や、研究が他の場面でどのように転移していくかについて考える大切さも学ばせていただきました。

前田先生からは、科学者の視点からのご助言をいただき、さらには、科学教育の教員教育の研修にも立ち合わせていただき、科学を教育に生かす視点を学ばせていただきました。

博士論文の審査を引き受けていただきました。千葉大学 山下修一先生、東京学芸大学 鎌田正裕先生には、論文を改善するための貴重な助言を頂きました。ご助言のおかげで論文の質が高まったと感じております。感謝申し上げます。

教育実践を快く受け入れてくださり、ご協力いただきました、渋谷区立西原小学校、渋谷区立神南小学校の児童の皆さん、研究にご協力くださいました先生方に心よりお礼申し上げます。渋谷区立西原小学校校長手代木英明先生には、研究を快く受け入れていただき、また、教育者としての立場から多くのご助言をいただきました。五関俊太郎先生には、複数の研究に関して、時には実践者、時には共同研究者として関わっていただきました。

本研究に2019年度より2022年度にわたりご指導、ご協力いただきました多くの先生方に改めて心より感謝申し上げます。

2023年3月

東京学芸大学大学院 連合学校教育学研究科



学校教育学専攻 自然系教育講座  
後藤勝洋