

子どもの思考と表現の育成に寄与する
理科授業デザインと
パフォーマンス評価に関する研究

東京学芸大学大学院
連合学校教育学研究科

横浜国立大学

博士論文

学校教育学専攻自然系教育講座

鈴木 一成

目次

序章 研究の視点と各章の概要	1
第 I 部 構成主義的理科教授・学習論と理科教育の現代的課題	5
第 1 章 構成主義的理科教授・学習論	6
第 1 節 構成主義的学習論	6
第 1 項 構成主義学習論の意味内容	6
第 2 項 教授主義に基づいた伝統的学習観	6
第 3 項 構成主義に基づいた新しい学習観	8
第 2 節 ピアジェの認知発達論	9
第 1 項 ピアジェの発達段階説	9
第 2 項 心的構造を示す概念モデル	10
第 3 項 感覚運動期(sensory motor stage).....	12
第 4 項 前操作期(preoperational stage).....	13
第 5 項 具体的操作期(concrete operational stage).....	16
第 6 項 形式的操作期(formal operational stage)	16
第 3 節 ヴィゴツキーの社会構成主義的学習論	18
第 1 項 発達の最近接領域	18
第 2 項 認識の三角形と言語の果たす役割について	20
第 3 項 生活的概念と科学的概念	24
第 4 節 ブルーナーの知的飛躍理論	25
第 1 項 ブルーナーの知的飛躍理論の意味内容	25

第2項	子どもの知識の表象形式	26
第3項	活動的表象(enactive representation)	27
第4項	映像的表象(iconic representation)	27
第5項	記号的表象(symbolic representation)	28
第6項	ブルナーの発見学習	29
第5節	思考の領域固有性と相対主義的学習観	30
第1項	思考の領域固有性	30
第2項	相対主義的科学観	30
第6節	科学概念を構成する記憶要素	33
第1項	情報処理モデルにおける短期記憶と長期記憶	33
第2項	長期記憶を構成する要素	35
第3項	「～についての知識」と「～の知識」	36
第4項	構成主義的理科学習論における新しい知識観	37
第2章	理科教育の現代的課題	
	—「科学的な思考・表現」に関する学力の育成	40
第1節	国際標準の学力観としてのキー・コンピテンシー	40
第1項	DeSeCoにおけるキー・コンピテンシーの意味内容	40
第2項	カテゴリ1：道具を相互作用的に用いる	42
第3項	カテゴリ2：異質な集団で交流する	43
第4項	カテゴリ3：自律的に活動する	44
第5項	キー・コンピテンシーを援用した理科教育の学習観	46
第2節	PISA2006・2009調査	49
第1項	PISA調査の概要	49
第2項	PISA調査における科学的リテラシーの枠組み	50
第3項	PISA2006調査の結果	51
第4項	PISA2006調査における問題例	53
第5項	PISA2009調査の結果	56

第3節	特定の課題に関する調査（理科）	58
第1項	特定の課題に関する調査（理科）の意味内容	58
第2項	特定の課題に関する調査（理科）の目的と概要	59
第3項	特定の課題に関する調査（理科）の結果	61
第4節	平成24年度全国学力・学習状況調査	63
第1項	平成24年度全国学力・学習状況調査の意味内容	63
第2項	平成24年度全国学力・学習状況調査の目的と概要	63
第3項	平成24年度学力調査の問題例	64
第4項	平成24年度全国学力・学習状況調査の結果	70
第Ⅱ部	「科学的な思考・表現」に関する学力を育成するための 理科授業デザイン	72
第3章	「科学的な思考・表現」に関する学力を 育成する教授・学習活動	73
第1節	「科学的な思考・表現」に関する学力を育成する 教授・学習論の必要性	73
第1項	諸調査における「科学的な思考・表現」に関する学力	73
第2項	現代的な課題としての「科学的な思考・表現」に 関する学力の育成	74
第2節	「科学的な思考・表現」に関する学力を育成する学習活動	75
第1項	思考力・判断力・表現力の育成に必要な学習活動	75
第2項	「科学的な思考・表現」に関する学力を育成するために 必要な問題解決的な学習	76
第4章	マッカーシーの4MATシステムとその理論的背景	80
第1節	学習スタイル	80

第 1 項	学習スタイルの意味内容	80
第 2 項	学習スタイルの種類とその特性	81
第 3 項	学習スタイルの構造	83
第 2 節	デューイの経験主義的教授・学習論	85
第 1 項	経験主義の教育論	85
第 2 項	反省的思考に基づく教授・学習論	86
第 3 節	コルブの「経験学習」論	88
第 1 項	経験主義に基づく学習論	88
第 2 項	経験主義に基づく教授論	89
第 3 項	「経験学習」論の意味	91
第 4 節	ユングのタイプ論	92
第 1 項	ユングのタイプ論の意味内容	92
第 2 項	タイプ論における心理機能と学習スタイルの関係	93
第 3 項	タイプ論における補償作用と個人化の過程	95
第 5 節	4MAT システムの概観	96
第 1 項	4MAT システムの各象限における学習スタイル	96
第 2 項	4MAT システムの各象限の 学習スタイルにおける二つのモード	99
第 3 項	4MAT システムの各象限の学習活動の相互関連性	100
第 6 節	4MAT システムにおける四つの教授・学習活動	100
第 1 項	4MAT システムにおける各象限の学習活動の意味内容	100
第 2 項	4MAT システムにおける四つの象限の学習活動	101
第 3 項	第 1 象限の問題把握的学習における学習活動	102
第 4 項	第 2 象限の分析的学習における学習活動	103
第 5 項	第 3 象限の共通感覚的学習における学習活動	103
第 6 項	第 4 象限の知識活用的学習における学習活動	104
第 7 項	4MAT システムにおける学校の管理者の役割	105

第5章	4MATシステムを援用した理科授業デザイン	105
第1節	ブルーメンフェルドのプロジェクトベース学習	105
第1項	プロジェクトベース学習の意味内容	105
第2項	プロジェクトベース学習の特徴	106
第2節	ホーキンスの「共通感覚」論	108
第1項	「共通感覚」の意味内容	108
第2項	「共通感覚」における実用論的スキーマの役割	110
第3項	「共通感覚」を基礎とした科学概念の構築	111
第3節	ホワイトの科学的態度に関する理論と 子どもの自然認識の関連性	112
第1項	関心・意欲・態度の意味内容	112
第2項	ホワイトの科学的態度と関心・意欲・態度の関連性	113
第4節	4MATシステムを援用した理科授業デザイン	114
第1項	4MATシステムを援用した理科授業デザインの意味内容	114
第2項	第1象限の問題把握的学習において 重要な教授・学習活動	115
第3項	第2象限の分析的学習において重要な教授・学習活動	117
第4項	第3象限の共通感覚的学習において 重要な教授・学習活動	117
第5項	第4象限の知識活用的学習において 重要な教授・学習活動	119
第5節	4MATシステムを援用した授業実践と分析	122
第1項	授業実践の目的	122
第2項	実践の概要	122
第3項	第1象限の問題把握的学習と第2象限の 分析的学習における記述分析	125
第4項	第3象限の共通感覚的学習における記述分析	127

第5項	第3象限の共通感覚的学習における 学級集団全体の概念変遷	131
第6項	第4象限の知識活用的学習における記述分析	132
第7項	授業実践の検証結果と各象限の分析によって 得られた知見	134
第Ⅲ部	理科授業デザインを具現化するためのパフォーマンス評価	136
第6章	パフォーマンス評価	137
第1節	パフォーマンス評価導入の歴史的背景	137
第1項	標準テストにおける評価と教育評価の意味内容	137
第2項	テスト法と標準テストの歴史的背景	138
第3項	標準テストが抱える問題点	139
第2節	理科授業デザインにおける パフォーマンス評価とルーブリック	141
第1項	パフォーマンス評価の意味内容	141
第2項	中央教育審議会におけるパフォーマンス評価の位置づけ	143
第3項	パフォーマンス評価と真正な評価の相違点	144
第4項	パフォーマンス評価を実現するためのルーブリック	145
第5項	理科授業デザインにおけるパフォーマンス評価	147
第3節	パフォーマンス課題	149
第1項	パフォーマンス課題の意味内容	149
第2項	短い評価課題—概念地図法	149
第3項	短い評価課題—オープン・エンドな課題	152
第4項	短い評価課題—発展的な多肢選択式問題	154
第5項	イベント課題—問題解決課題と分析的課題	155
第6項	イベント課題—プロセス評価課題	157

第7章	理科授業デザインの各象限におけるパフォーマンス評価.....	159
第1節	第1象限の問題把握的学習を具現化する	
	パフォーマンス評価.....	159
第2節	第2象限の分析的学習を具現化する	
	パフォーマンス評価.....	160
第3節	第3象限の共通感覚的学習を具現化する	
	パフォーマンス評価.....	161
第4節	第4象限の知識活用学習を具現化する	
	パフォーマンス評価.....	161
第5節	パフォーマンス評価を用いた授業実践とその分析.....	162
第1項	授業実践の目的.....	162
第2項	実践の概要.....	163
第3項	本実践におけるルーブリック.....	164
第4項	第1象限の問題把握的学習における	
	パフォーマンス評価の記述分析.....	167
第5項	第2象限の分析的学習における	
	パフォーマンス評価の記述分析.....	170
第6項	第3象限の共通感覚的学習における	
	パフォーマンス評価の記述分析.....	172
第7項	第4象限の知識活用学習における	
	パフォーマンス評価の記述分析.....	175
第8項	授業実践から得られた知見.....	177
終章	本研究の総括.....	179

引用・参考文献.....	183
謝辞	197

序章 研究の視点と各章の概要

本研究の主題は「理科教育における子どもの思考と表現の育成に関する研究」である。子どもが多様な自然事象にふれ、それらから得られた情報を子どもが自身の既有概念と比較・検討し、適応することによって科学概念を構築する構成主義の視座から、子どもの「科学的な思考・表現」に関する学力を育成する教授・学習論の基礎的研究として、授業実践に基づいた研究を行う。

近年、様々な調査から理科教育における子どもの思考と表現、換言すれば理科における「科学的な思考・表現」に関する学力の育成が課題となっている。例えば、OECD（経済協力開発機構）によって実施された国際学力調査である PISA2006・2009 調査においては、日本の子どもは記述形式に対して課題があり、論述したり表現したりすることが苦手であることが示唆された。さらに、国立政策研究所によって実施された、特定の課題に関する調査（理科）においては、科学的な根拠をもって理由を説明すること、新しい場面に既知の知識を関連付けて思考することに課題があることが示された。そして、国立教育政策研究所によって実施された平成 24 年度全国学力・学習状況調査においては、基礎的・基本的な知識や技能を活用して、観察・実験を計画し、その結果を分析し解釈するとともに、計画や解釈を他者と相互作用的に改善し、その結果を日常生活などに活用するといった活動に課題があることが指摘された。これらの指摘は、いずれも現在の理科教育において「科学的な思考・表現」に関する学力の育成が喫緊の課題であることを示している。

そこで本研究では、中央教育審議会の答申や学校教育法において、こうした「科学的な思考・表現」に関する学力がどのように捉えられているかを検討し、どのような学習活動が重要であるかを論じる。特に「科学的な思考・表現」に関する学力を育成する学習活動として、問題解決的な学習が重要であると推定し、これらの関連性について議論する。さらに、問題解決的な学習を実践するための方策として、構成主義的教授・学習論の諸理論を援用し理科授業デザインの枠組みを構築する。それは、子ども自身の活動によって既有概念が科学概念へと変換していく構成主義的教授・学習論の諸理論を、

授業実践を通して実証的に検証することにより，問題解決的な学習に必要な
仔細な視点を明らかにできるからである。

理科教育において問題解決的な学習を実践するための視点として，理科授
業デザインの枠組みが明示された際には，理科授業デザインの学習活動を具
現化する手法を明示することが必要である。そこで，本研究では構成主義に
基づいた評価論の観点を用いて，理科授業デザインにおける学習活動を具現
化する方策を論じた。構成主義に基づいた評価論の視点を，授業実践を通し
て検討することにより，理科授業デザインにおける学習活動の具現化する視
点を仔細に分析できると考えられるからである。

上述の視点から議論を進めるため，本論文は以下に示す構成となっている。

第Ⅰ部においては，構成主義的理科教授・学習論の背景となる諸理論と，
諸調査によって示された理科教育の現代的な課題について明らかにする。

第1章では，構成主義的学習論の理論的背景を概観することを目的とし，
ピアジェの認知発達論，ヴィゴツキーの社会構成主義的学習論，ブルナー
の知的飛躍理論といった各理論について概観する。また，同時に構成主義的
学習論の基底となる，領域固有性と相対主義的学習観，科学概念を構築す
るための記憶要素といった各理論を理科教育の視点から論じる。

第2章では，理科教育の現代的課題を明らかにするために，OECDによっ
て示された国際的な学力観であるキー・コンピテンシーについて精査する。
さらに，OECDによって実施されたPISA2006・2009調査，国立教育政策研
究所によって実施された特定の課題に関する調査（理科），平成24年度全国
学力・学習状況調査といった諸調査の概要と結果を精査することにより，日
本の子どもの現状と現代的課題について論じる。

第Ⅱ部においては，「科学的な思考・表現」に関する学力を育成するための
理科授業デザインを構築する枠組みを明らかにする。

第3章では，「科学的な思考・表現」に関する学力を育成する視点を中央教
育審議会の答申や学校教育法の視座から論じることにより，「科学的な思考・
表現」に関する学力の育成と問題解決的な学習の関連性について論じる。

第4章では、問題解決的な学習をシステムとして捉え、理科授業で実践するための視点を明らかにするために、教授・学習論であるマッカーシー(McCarthy, B.)の4MATシステムについて詳述する。具体的には4MATシステムの背景であるデューイ(Dewey, J.)、コルブ(Kolb, D.A.)、ユング(Jung, C.G.)の諸理論を概観するとともに、4MATシステムの詳細と四つの学習スタイルに基づく活動について論じる。

第5章では、問題解決的な学習を実践する視点を明らかにするために、ブルーメンフェルド(Blumenfeld, P.)、ホーキンス(Hawkins, D.)、ホワイト(White, R.T.)の諸理論を援用し、4MATシステムを援用した理科授業デザインの枠組みについて明らかにする。さらに、中学校における授業実践を通して理科授業デザインの妥当性を検証する。

第Ⅲ部においては、パフォーマンス評価を用いることにより、理科授業デザインの各象限の学習活動を具現化するための視点を明らかにする。

第6章では、パフォーマンス評価の特性を明らかにするために、パフォーマンス評価の歴史的背景とパフォーマンス評価を用いる際に具備すべき条件や、学習指導要領や中央教育審議会におけるパフォーマンス評価の位置づけについて論じる。さらに、パフォーマンス評価を理科授業で実践するために必要な、概念地図法やプロセス評価課題、問題解決課題などのパフォーマンス課題について論じる。

第7章では、理科授業デザインの四つの学習活動において、それぞれの学習活動を具現化するために有効なパフォーマンス評価の視点を論じる。さらに、中学校における授業実践を通して各学習活動におけるパフォーマンス評価の有効性を検証する。

第 I 部 構成主義的理科教授・学習論と理科教育の現代的課題

第1章 構成主義的理科教授・学習論

第1節 構成主義的学習論

第1項 構成主義学習論の意味内容

構成主義とは、ピアジェ(Piaget, J.)によって提唱された理論が源流となっている。これは、子どもの知識が大人の知識より少ないのではなく、子どもの概念は大人の概念とは質的に異なっており、学習においては子どもの認知構造に注目することが重要だという考え方である。

構成主義的学習論は、今日の理科教育では主要な考え方である。そこで本章では、構成主義的学習論の基盤となるピアジェ、ヴィゴツキー、ブルナーの諸理論について概観するとともに、構成主義的学習論の特徴について詳述し、本研究で用いる構成主義的理科教授・学習論の基礎的な考え方を明らかにする。

また、これらの理論の中には「指導者」、「大人」、「教師」や「学習者」、「子ども」という用語が用いられているが、本研究では、最終的に理科授業の場面において議論をするため、「指導者」、「大人」、「教師」は「教師」、「学習者」、「子ども」は児童・生徒を意味する「子ども」と措定する。したがって、以後、指導者は「教師」、学習者は「子ども」と表記して議論を進める。(ただし、原文を引用する際には括弧を用いて追記する。)

第2項 教授主義に基づいた伝統的学習観

20世紀までに、すべての主要先進国は公教育を整備してきた。しかし、1920年代までは人々がどのように学ぶのかは科学的に立証されず、経験的な教授論に支配されてきた。その結果として、現在の学校教育は、以下にあげるような科学的に実証されていない、経験的な前提に沿った伝統的学習観に基づいてデザインされている(Sawyer, K., 2006)。

(1) 知識は世界に関する事実(facts)と、問題を解くための手続き

(procedures)から成る。

- (2) 学校教育の目的は、これらの事実と手続きを子どもの頭の中に注入することである。
- (3) 教師はこれらの事実と手続きを知っており、それを生徒に伝えることが仕事である。
- (4) 比較的単純な事実と手続きから始め、次第により複雑なものを学んでいく。「単純さ」と「複雑さ」の基準や定義、教材の配列は、教師や教科書の著者、あるいは、数学者や科学者、歴史学者のような専門家によって決定される。
- (5) 学校教育の成功とは、生徒が多くの実事と手続きを身に着けることであり、それはテストによって測定される。

この伝統的な学校教育のビジョンは「教授主義(instructionism)」として知られている(Papert, S., 1993)。教授主義は、子どもを20世紀の初頭の工業化経済へ向けて教育することを意味していた。しかし、技術や知識が複雑化・専門化し、経済競争が激化した今日の世界、すなわち「知識基盤社会(knowledge-based society)」(中央教育審議会, 2005)においては、子どもを新しい社会へ適合させることに課題があることが明らかになっている。

この知識基盤社会における経済は、知識労働(knowledge work)の上に成り立っていると考えられているが(Bereiter, C., 2002; ドラッカー, P.F., 1993), この知識労働を支柱とした経済において成功を収めるには、事実と手続きの記憶だけでは不十分であり、複雑な概念の深い概念的理解や、新しい思考方法や理論を習得し、それらを用いて主体的かつ創造的に活動することが必要である。さらには、批判的に評価ができること、自分自身の思考を明示できること、科学的思考を理解できることが必要とされている。

そこでは、教授主義によって強調される、分類化して脱文脈化した事実の断片的な集合体よりも、統合され、現実に使用可能な知識を学習す

ることが重要であり、自身の生涯に続く学習に取り組むことが必要であると考えられている。これらの能力は経済活動的成功や民主主義の継続的な成功、そしてなによりも有意義な人生をおくるために必要不可欠である。こうした視点から学校教育を俯瞰すると、教授主義に代表されるような従来の学校教育においては、子どもが概念的理解といった深い理解へ到達することが難しく、知識基盤社会へ適応するのに課題があることが明白になってきた。

第3項 構成主義に基づいた新しい学習観

第2項で示したような背景から、1970年代初頭から心理学、科学、哲学、社会学などの学際的な分野において研究がすすめられた。この研究結果は米国学術研究協議会(National Research Council; NRC)の報告書として発表され、次の項目が学校教育において必要であることが指摘された(ブランスフォード, J.D., ブラウン, A.L., & クッキング, R.R., 2002)。

(1) より深い概念的理解の重要性

単に事実として手続きを身に付けるだけでは、知識労働としては能力を発揮するのに不十分である。なぜなら、事実と手続きの知識は、それが適用可能な状況を熟知しており、新しい状況に応じてそれらの知識を修正する方法を知っているときにのみ、役に立つからである。教授主義は、教室外で使用するのが困難な学習を結果としてもたらすことになる。これに対して、子どもが深い概念的理解を得たとき、現実世界の状況に転移可能な、より有用な形で事実や手続きを学んだことになる。

(2) 教授に加えて学習にも焦点を当てること

子どもは、単にうまく教えられることによって深い概念的理解を得るわけではなく、学習に能動的に参加することによって初めて学ぶのである。したがって、新しい学習観においては教授理論だけでなく学習理論にも焦点を当てる。

(3) 学習環境をつくること

学校は、子どもが熟達的なふるまいを身に付けるのに必要な、あらゆる知識を学べるように支援しなければならない。すなわち、事実や手続きはもちろんのこと、現実世界の問題解決を可能にする深い概念的理解を学べるようにすることが必要である。

(4) 学習者の既有概念の重要性

学習者は、精神白紙説のような存在ではなく、既有概念を保持して学習に臨んでいる。したがって、最も効果的なのは、学習者の既有概念に基づいた学習環境を整えることである。

(5) 省察の重要性

子どもは、会話や文章によって自分の思考過程を表現し、自分の知識の状態を省察する機会を与えられるときに、より良く学ぶことができる。

これらの指摘は、いずれも構成主義(constructivism)の考え方が重要であることを示唆しており、現代の理科教育において、構成主義的学習論が基本的な考え方として用いる論拠になると考えられる。

第2節 ピアジェの認知発達論

第1項 ピアジェの発達段階説

構成主義的な学習論の源流としてあげられるのが、ピアジェの認知発達論である。ピアジェの理論は子どもの認知発達を段階的に捉えることで、誕生から成人に至る期間に対して包括的な理論体系を提唱した。特に、子どもが外界を理解し、解釈する方法が大人の手法とは異なるという視点は傾聴に値する。

ピアジェによれば、子どもの認知発達の段階は以下の四つに分けられる(ピアジェ, J., 1972: 20-71; ベンサム, S., 2006: 2-13)。

(1) 感覚運動期(0歳から2歳まで)

- (2) 前操作期 (2歳から7歳まで)
- (3) 具体的操作期 (7歳から11歳まで)
- (4) 形式的操作期 (11, 12歳以上)

上記の各段階の順序は一定であり、どの子どもにおいても、これらの段階を同じ順序でたどることになる。それぞれの段階には年齢が示されているが、これは絶対的な基準ではなく、おおよその目安である。したがって、同じ年齢の集団においても、次の段階に進むのが早い子どもがいれば、遅い子どももいるのである。

認知発達段階において最も重要なことは、それぞれの段階において、前の段階とは質的に異なった複雑な思考法を伴うという点である。ピアジェは、どの段階においても段階の推移は連続的に起こっており、ある段階を飛ばして次の段階に移ってしまうことはないと考えた。これは換言すれば、後の段階における複雑な思考法は、その段階よりも前の段階における比較的簡単な思考法を土台とし、連続的な概念の積み重ねによって構築されていくのである。

ピアジェの認知発達論の細部を検討するために、第2項においては認知発達論の中核を成すシエマについての考え方、第3項から第6項においては認知発達各段階の特徴について詳述する。

第2項 心的構造を示す概念モデル

ピアジェの理論では、子ども個人の成熟レベルと、そのレベルに適切な経験を与える環境との相互作用が重要であると考えられている。子どもは外界の知識を取り入れ、その知識を概念として能動的に構成する存在なのである。このような活動によって概念は、より大きく、より緻密に構築されていくが、概念の構築の最終目標は形式的操作、すなわち、論理的・抽象的な思考を可能にすることである(Wood, D., 1998)。ピアジェの理論は包括的なものであり、誕生から青年期に至るまでの期間における認知発達を、物理量、数、言語、遊び、道徳性の発達など、多岐に

わたる領域において検討した。この結論から、ピアジェはシュエマ等の考え方を導くに至ったのである。

シュエマ(schéma)とは、人間が外界と相互作用したときに、その相互作用から得られた情報を理解するための行動ないしは思考のまとまったパターンやユニットのことであり、心的構造とも呼ばれる。ピアジェは思考を内面化された行動であると考えていた(Piaget, J., 1971)。人間は、自分の周囲の環境と相互作用しながら、その周囲の環境から得られる情報を探索しており、そして、この人間と周囲の環境の身体的な相互作用が内面化されて、思考が生みだされていくのである。

ピアジェはこうした一連の活動、すなわち、人間が周囲の環境に反応した結果、個人に起きる変化を説明するために、適応(adaption)という用語を使っている。適応は同化(assimilation)と調節(accommodation)の二つの状態が考えられる。それぞれの用語を端的に説明すると、同化とは新しい情報を取り入れ、それを既存のシュエマに適合させようとするものである。これは、すでに学習した行動のパターンであるシュエマを用いて環境に反応することであると考えられる。また調節とは、すでに学習した行動パターンであるシュエマが、新しい情報との間に葛藤が起こるような不十分なシュエマであった場合、新しい情報に適合するように、既存のシュエマを変化・修正していくことである。これは新しい方法を用いて、環境に反応していくことであると考えられる。

外界に対する知覚が既存のシュエマに適合するときは、均衡(equilibrium)と呼ばれ、バランスの取れた状態となる。一方で、もし既存のシュエマが新しい環境における経験を処理できなかったときには、不均衡(disequilibrium)と呼ばれる状態が生じる。ピアジェによれば、この不均衡は人間にとって不快に感じられる。そのために人間の中に不均衡が生じた場合、人間はこの不均衡を解消するために、周囲の環境における情報を取得して、外界を理解する活動を開始すると考えられる。こうした相互作用の結果、新しいシュエマを生み出すことにより認知バランス

を獲得することになるのである。

第3項 感覚運動期(sensory motor stage)

感覚運動期は、認知発達段階の嚆矢であり、0歳から2歳までの段階である。この段階でシェマが出現し、対象の永続性(object permanence)と一般的象徴機能(general symbolic function)が発達する。

対象の永続性とは、たとえ物や人が直接見えないときでも、その時、その場所に存在していることを理解する能力である。たとえば、目の前に物体があり、その物体をカーテンのようなもので覆ったとする。大人はその物体が消えてなくなるとは考えない。これが対象の永続性である。ピアジェの実験では、こうして物体が覆われて見えなくなったとき、8ヶ月の乳児は覆いを取り除こうとせず、見えなくなったものを探索する行動は見られない。

しかし、乳児が1歳前後になると覆いを取り除くなどして、見えなくなったものを探索する行動が見られるようになる。このカーテンで覆われた物体を確認するためにカーテンを取り払う行動は「手段と目的の分化」と呼ばれており、乳児はカーテンで覆われた中に物体があるのを認識しているのである。したがって、この探索する行動からは、8ヶ月の乳児には対象の永続性という概念がなく、1歳前後の乳児は対象の永続性の概念を獲得したと考えられるのである。対象の永続性の獲得は、目の前にない事物や現象を頭の中に思い描くことができる能力が出現したということを示唆している。

一般的象徴機能とは、物体や事象を記号で表すことである。この一般的象徴機能の発達によって、言葉やごっこ遊び、延滞模倣などが始まるのである。延滞模倣とは、ある物体や事象がそこに存在していないのに模倣できる能力である。たとえば、ある幼児が保育園で他の幼児が砂遊びをしているのを見て、後日、別の場所でまったく同じように砂遊びをはじめるといったのが延滞模倣である。

第4項 前操作期(preoperational stage)

前操作期は2歳から7歳までの段階である。この段階でもっとも重要なことは、一般的象徴機能の出現によって、言語の使用や模倣、ごっこ遊びが実際に始まり、拡大していくことである。子どもはこの段階にある数年のうちに、色々なことが飛躍的にできるようになるものの、論理的な思考には限界があると考えられる。論理的な思考を十分に行うためには、脱中心化(decentering)と保存(conservation)の概念が成立しておらず、自己中心性(egocentrism)の影響で誤った見方をしてしまうためである。

ピアジェは、自己中心性という用語を、子どもが単に利己的であるという意味ではなく、子どもは他者の視点に立つことができず、自分の見ているものを他人も同じように見ていると単純に信じることだと定義した。子どもが他者の視点から物事を捉えられるようになると、その子どもは脱中心化の能力を獲得したことになる。この脱中心化には、異なる二つの観点を同時に持ち、理解する認知能力が必要である。

自己中心性を評価するテストでは、子どもは図1.1で示された三つの山の立体模型を示される。X~Yの山の高さは、約20~30cm、下の布地は1m四方の正方形である。Xの山は最も低い緑色の山で、頂上に小さな家がある。Bから曲がりくねった小道が見える。Yの山は中間の高さで茶色の山、頂上に赤い十字架がある。Dから見ると流れ落ちる小川が見える。Zの山は最も高い灰色の山で頂上は雪に覆われている。

子どもがテーブルの前に座って、その模型を見ていると、テーブルの反対側で同じように全体を見渡せる場所に人形が置かれる。それから、この山々を描いた絵を子どもに何枚か見せる。初めに子どもは、自分の見えている景色が描いてある絵を選ぶように指示される。そして、次に人形が見ている景色の絵を選ぶように言われる。ピアジェはこの実験によって、子どもは9歳ごろまで、人形が見ている景色に合致した絵をきちんと選ぶことができないことを明らかにした。こうした実験はヒュー

ズの子どもと警官の問題(Hughes, M., 1975), ボルケの回転盤問題(Borke, H., 1975)においても実施され, さらに検討がなされている。

保存とは, 見かけが変化してもその本質は変わらないということを理解する概念である。保存が成立する例としては, 物質量, 長さ, 数, 液量, 面積などがあげられる。

保存問題の例としては, 図 1.2 に示したようなコップの問題がある。これは水を広口のコップから狭いコップへ移し変えた際に, 水の量の変化したのかを問われるものである。大人は液面が高くなったとしても, ただ移し替えただけなので水の量が変わらないことを理解できるが, 子どもは狭いコップの方が水の量が多いと考える。これは, 子どもにとっ

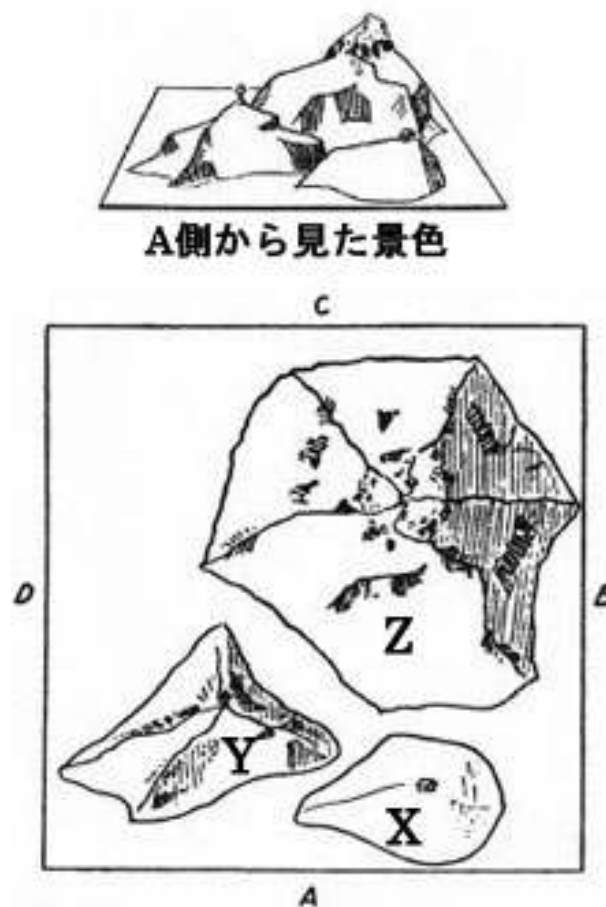


図 1.1 三つの山の問題 (the three-mountains task)

(Piaget, J., & Inhelder, B., 1948)

ては見た目が重要であり、液面が高い方が水の量が多いと考えるからである。

ピアジェは、子どもがこのように保存問題に解答できないのは、その物質の性質、すなわち、コップの形と液面の高さという二つの概念を頭の中にとどめておくことができないからだと考えた。そして、この時期の子どもは、頭の中で行動を逆の順序にたどることができないので、水を元のコップに戻すという可逆的な操作が頭の中でできず、保存の概念が理解できないと考えたのである。

同様に数（非連続な量）について調査する問題においても、子どもは保存ができていない結果を示した。すなわち、おはじきの列において、空間的な配置によって数に変化が見られると子どもは考えるし、一定の長さのひも（連続量）についても、その配置が異なっていたり、まっすぐに伸びていたり、丸まっていたりすることによって、長さが違うと考えるのである。

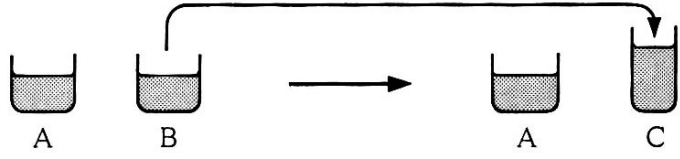
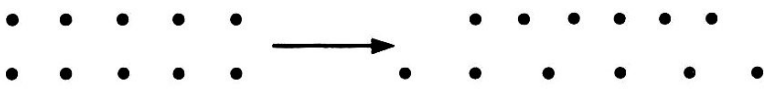
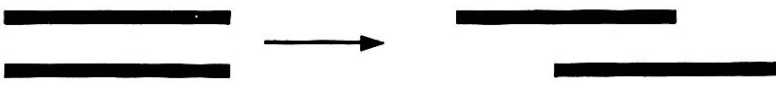
特性	段階1 子どもは、2つの対象の特性に関して同じであることを認める	段階2 対象が並びかえられて、子どもがその特性について同じかどうかを問われる
量 (それぞれの容器における液体の量)		
数 (それぞれの列における数える物の数)		
長さ (それぞれの棒の長さ)		

図 1.2 ピアジェの保存問題 (バターワース, G., & ハリス, M., 1997)

第5項 具体的操作期(concrete operational stage)

具体的操作期は7歳から11歳の段階である。ピアジェによると、この段階において、子どもは前操作期のあらゆる弱点を克服して、これまでになかった能力である心的操作(mental operations)を獲得する。これは、加算や減算、可逆性などに関して論理的法則を得ることであり、前操作期で指摘された脱中心化や保存概念も備えられるようになる。物質量、長さ、数、液量などの保存は6歳から7歳の子どもが大部分が獲得するが、面積についてはそれらよりも遅く9歳から10歳までかかることが知られている(天岩, 1973)。

この時期のシエマは群性体と称される思考構造である(ピアジェ, J., 1972: 44-63)。群性体には $A+A'=C$, すなわち C という全体は A および A' からなるということ, あるいは A は C よりも少ないという理解や, $A \geq B, B \geq C$ であることから $A \geq C$ である, という数的な論理が内包されている。そのため、包含関係や事象を、その程度により並べ替える系列化という操作が可能になるのである。

ピアジェは、この時期の子どもは論理操作において、まだ十分な認知能力を獲得していないと考えた。子どもは、実際にそこに対象の物体が存在する、あるいは存在すると想像できるときにしか、これらの操作を行えないからである。こうした具象的な物体でない抽象的な操作を行えるのは、第6項に示す形式的操作期においてである。

第6項 形式的操作期(formal operational stage)

形式的操作期は11歳以上の段階であり、具体的な事物や現象ではない抽象的な対象に対しても、論理的に考え、仮説を立て、系統的に検証する。つまり、仮説演繹的な思考が可能となる。この背景にあるのは INRC 群という、クラインの四元群(Klein, F., 1884)から生み出された思考構造である。これは簡単に言えば、事象に関わる変数に着目することであり、それらの関連性から事象についての意味内容を獲得することである。し

たがって、変数への着目とその相互変換がこの思考構造獲得の鍵となる。

INRC 群の例としては「天秤の釣り合いの原理の発見」があげられる。たとえば、天秤に関わる変数のうち、「支点からおもりまでの距離」を一定にし、「おもりの重さ」を唯一の変数とした場合の INRC 群のモデルは図 1.3 のように示すことができる。

図 1.3 において、「天秤の右うでにおもりを加える」という論理的操作に無の変換である同一変換(I)を施すと、「天秤の右うでにおもりを加える」という論理操作 I になる。このような論理操作は、同一操作(identity)と呼ばれている。この同一操作に否定変換(N)を施すと、「天秤の右うでのおもりを取り去る」という論理操作 II になる。このようなもとの論理を否定する操作は、反対操作(inversion)と呼ばれている。N ができるといふことは、ひとつの可逆性(つける→とる)が成立していることを意味する。

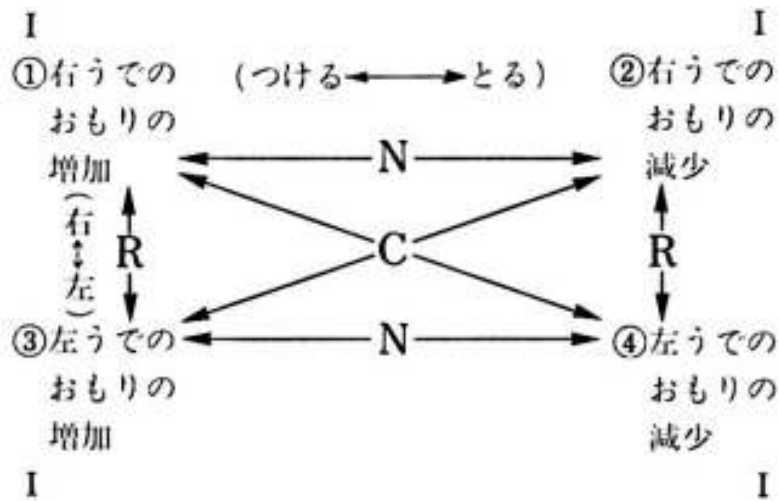


図 1.3 形式的操作期における INRC 群の模式図 (森本, 1992)

先の同一操作 I に相称変換(R)を施すと、「天秤の左うでにおもりを加える」という論理操作 II になる。このような、もとの論理操作を相補する、あるいは無効にする論理操作は、相称操作(reciprocity)と呼ばれている。R ができるといふことは、もう一つの可逆性(右→左)が成立して

いることを意味する。

先の同一操作 I に相関変換(C)を施すと、「天秤の左うでのおもりを取り去る」という論理操作IVになる。このような、もとの論理操作に対する相称操作を否定する操作は、相関操作(correlativity)と呼ばれている。

INRC 群のモデルは、以上のように論理操作 I を出発点とする場合ばかりではなく、他の論理操作 (II ~ IV) を出発点とする場合にも四つの変換 (I, N, R, C) が存在するため、モデル全体としては、図中の矢印が示すように、相互に組織化され、全体としてまとまった構造を持つことになる。すなわち、二つの可逆性である N と R が相互に関連付けられているのである。

したがって、このモデルで説明される認知構造は、上述の四つの論理操作 (I ~ IV) を明確に識別し、それらの操作に I, N, R, C の四種類の変換を施すことができ、しかも、これらの関連性を理解しているということの意味している。これは具体的操作段階において、独立に存在する否定変換 N と相称変換 R の二つの可逆性が一つにまとめられている認知構造を表しているのである。こうした認知構造においては、事実と反する過程や可能性に対しても論理的な思考が可能になる。これは仮説等の操作を操作するという意味で二次的操作と呼ばれる。

第3節 ヴィゴツキーの社会構成主義的学習論

第1項 発達の最近接領域

ヴィゴツキー(Vygotsky, L.S.)はソビエトの心理学者であり、社会文化的アプローチを用いて、子どもが協同的な学習の中で概念を発達させる社会構成主義的学習論を提唱した。ヴィゴツキーによって明らかにされた発達の最近接領域、認識の三角形、生活的概念と科学的概念といった各理論は、構成主義的学習論において非常に重要な位置を占めている。そこで本節においては、ヴィゴツキーの理論、発達の最近接領域、認識

の三角形，生活的概念と科学的概念の理論を概観することにより，構成主義的理科教授・学習論の理論的な基盤を明らかにする。

ヴィゴツキーは，知識とは経験を積んだ大人が未経験の者に与えるものであり，教えて伝えるものであると考えていた。この「子どもは見習いのような存在であるため，教えて伝えることにより発達する」というヴィゴツキーの考え方は，「子どもは小さな科学者であり，自力で知識を生み出し自発的発達をする」とするピアジェの考え方とは対照的で，より教授論という視点に即していると考えられる。

昨今では，知能テストによって子どもの知的発達水準を評価することがごく一般的に行われており，こうしたテストによって子どもの発達の様相が明らかになると考えられている。しかし，ヴィゴツキーは発達過程と教育の可能性との関係を規定するためには，一つの発達水準を明らかにするだけでは不十分で，少なくとも子どもの二つの発達水準を明らかにすることが必要であると主張した。

通常，発達水準の決定の指標になるのは，子どもが自主的に解いた問題であるが，これによって知ることができるのは，現在の子どもの成熟した知識や技能など，いわば「現下の発達水準」だけである。ヴィゴツキーは発達状態というものは成熟した状態だけで決定されるものではなく，これから発達する領域，いわば「明日の発達水準」についても明らかにすることが必要だと考えたのである。この「現下の発達水準」と「明日の発達水準」の差異こそが，発達の最近接領域(**Zone of Proximal Development: ZPD**)という概念である（ヴィゴツキー，L.S.，2001：297-304）。

ヴィゴツキーの発達の最近接領域では，以下のような例があげられている。たとえば，知能年齢が8才の二人の子どもに対して，8歳より上の知能テストを与え，解答の過程で誘導的な質問やヒントを出して支援したとする。その結果，一人の子どもは12歳までの問題を解くことができ，もう一人の子どもは9歳までの問題しか解けなかったとする。この

ように他人の助けを借りて子どもが今日なし得ることは、明日に一人でもできる可能性がある。つまり、子どもが一人で解答する問題によって決定される「現下の発達水準」と、明日の協同的な活動の中で問題を解く場合に到達する水準である「明日の発達水準」との間の差異が、子どもの発達の最近接領域を決定するのである（柴田，2006：25）。

発達の最近接領域は、すでに成熟した機能や発達の完了した機能ではなく、今まさに成熟していく機能を明らかにするものである。そこでヴィゴツキーは、協同学習や模倣の教育的意義を再考した。子どもは、協同学習の中で、自分ひとりで学習するより多くのことを学習することが可能であり、周囲の子どもたちの考え方や取り組み方を模倣することによって、できないことをできるようにすることも可能なのである。

こうした「自分一人ではできる」ことから、「自分一人ではできない」ことを、子どもは協同学習の中で模倣を通じて学習するが、このように周囲の熟達者の模倣によって知識が伝達する過程は足場かけ(scaffolding)と呼ばれており、発達における教授・学習活動の意義は、まさにこの点にあると考えられる。

第2項 認識の三角形と言語の果たす役割について

ヴィゴツキーは「教授は、発達の前を進むときにのみ良い教授である。その教授は、成熟中の段階にあたり、発達の最近接領域にある一連の機能を呼び起こし、活動させる。ここに発達における教授の主要な役割がある。」（ヴィゴツキー，L.S.，2001：304）として、教授活動が追随する発達を支える教育の重要性を主張しており、子どもの精神発達をつねに文化的・社会的環境と教育の深いかかわりの中で捉えようとしている。

このような発達理論は、次の二つの仮説に基づいている。一つの仮説は、人間を他の動物と区別する基本的なものは「道具」を使うということである。人間が道具を使うことにより人間と自然との関係が道具を媒介とする間接的な関係になるように、人間に特有な高次の精神活動は、

自然的・直接的な心理過程が心理的道具，すなわち言語を媒介することによって間接的な過程に転化するのである。もう一つの仮説は，人間の内面的な精神過程は，「精神間機能」から「精神内機能」へ転化することから生まれるということである。

図1.4は，人間の頭脳では主に二つの現実的刺激(A,B)との結合が，Xを媒介として行われるのを示した模式図である。AとX，およびBとXという要素的結合は，心理過程において統合し，ひとつの新しい単位（たとえば言語的思考）を形成する。人間の心理の特性は，この単位によってあらわれるものであり，これ以上の細分化は不可能である。

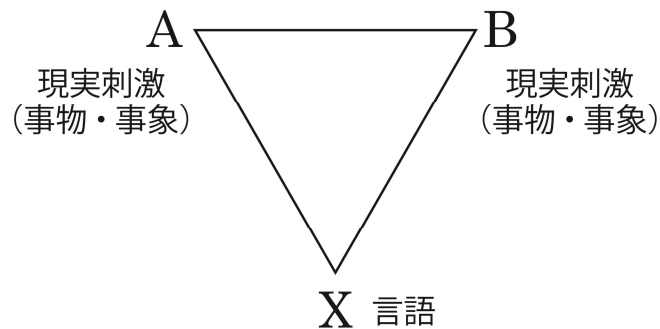


図1.4 言語を媒介とした現実的刺激の結合（柴田，2006：60）

パブロフは，動物の条件反射(A,B)と人間の条件反射の根本的な違いは中間に言語(X)が介入することにあると気づき，第二信号系の理論を提唱した（パブロフ，I.P., 1962：477）。そして，ヴィゴツキーが現実的刺激(A,B)の間に中間媒介物(X)が介入し，その媒介物が意味づけられた記号，すなわち言語であるという指摘は，まさにこれと軌を一にしたものである。

この心理的道具である言語の特性は，それが常に何かを意味するということである。ヴィゴツキーはこのような心理的道具の実例として言語の他に，記数法や計算の諸形式，記憶術のための諸工夫，代数記号，芸術作品，文字，図式，図表，地図，設計図，さらにあらゆる種類の記号

をあげている（柴田，2006：61）。

このような心理機能は生得的なものではなく，協同活動の中で発生するものである。中間刺激 X（主として言語）は，はじめは人間にとって外的刺激の一種であり，コミュニケーションの過程で他人から与えられるものであるが，やがてそれらは人間の精神の中に入り込み，人間の内的精神過程の構成要素となるのである。たとえば，子どもは最初に母親を始めとする周囲の人々のジェスチャー交じりの指示に注意を向けているが，のちに子ども自身が，これと類似の手段を用いて自分の注意を組織することができる（ヴィゴツキー，L.S.，2005）。つまり，すべての高次精神機能は，はじめは精神間的(interpsychical)機能であったものが，精神内的(intrapsychical)機能に転化することにより生まれるのである。

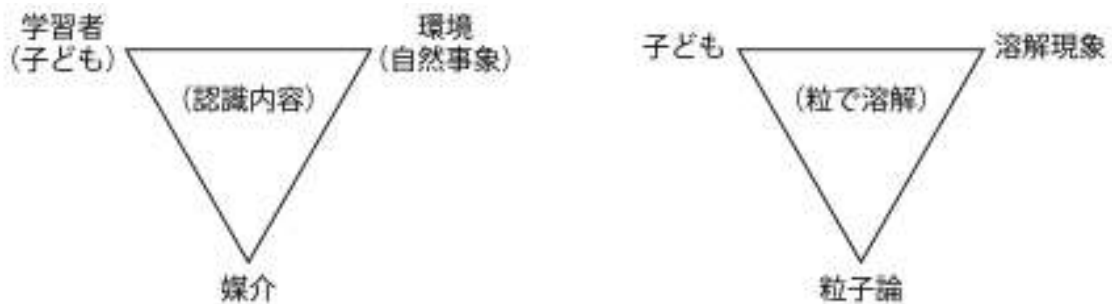


図 1.5 認識の三角形（左）と粒子論を媒介とした溶解の認識（右）

森本は図 1.5 に示された認識の三角形(Cole, M., 2002)，すなわち，現実的刺激(A,B)と中間媒介物(X)によって構成された認識の三角形を，理科授業における子ども固有の学習を説明するモデルとして援用している（森本，1996）。

図 1.5 に示したモデルは，人がある事象を認識するときには，何らかの手段・道具を媒介するということを示している。子どもにとって媒介されるものは，顕微鏡を用いた微小世界の映像，原子のイメージ，記号，文字，教師の話，コミュニケーションを通して現れるクラスの仲間の考え方など，子どもの思考に影響を与え，かつそこで利用されるあらゆる

情報を指している。言い換えれば、子どもの認識の内容は媒介されるものの質により規定されるのである。

たとえば、食塩が水に溶ける溶解の授業においては、図 1.5 右に示したように「食塩は水に溶けて目に見えないくらい小さな粒になっているのだ」という粒子論を媒介にした概念の他に、「食塩は煙みたいになって溶けていった」という、食塩の溶解におけるシュリーレン現象の観察経験を媒介にした概念や、「食塩では底の方が上の方に比べて濃い」という物体は支えがなければ落下するという日常的な論理を媒介にした概念を見ることができる。これらの考え方は、子どもの多様な情報が媒介となっており、概念がそれぞれの媒介を経て成立していることが明らかである。

当然のことながら、粒子論や日常的論理を媒介とした考え方には溶媒の概念が、煙をイメージしたシュリーレン現象の観察経験を媒介とした概念では粒子論的視点が曖昧になっている。これは、子どもの学びの欠陥を示すものではなく、子どもの思考が媒介とした情報の意味する状況に限定されることを意味している。このような思考の変容は、子どもの思考を規定している状況を変えることによって実現する。換言すれば、子どもの現在の思考を規定している媒介に依拠しながら、これを拡大できるように、媒介する情報を拡大していくことによって、子どもの概念は変換されていくのである。

たとえば、煙をイメージした子どもがコミュニケーションを通して粒子論に触れ、「煙の中にはもっと細かい粒があるのかな?」といった粒子論へと概念を拡大していったり、あるいは、水溶液中の濃度が不均一であると考えている子どもが、他の子どもの濃度均一説に触れることにより、「バラバラになった食塩はどうして水に浮いていられるのだろう」と溶媒概念へ拡大したりするように、思考を媒介するものの変更を伴いながら、新しい状況を説明する状態へと推移していくのである。

第3項 生活的概念と科学的概念

生活的概念・自然発生的概念（以後、生活的概念と記す）とは、子どもが対象についての概念を持っていても、その概念そのもの、あるいはその対象を思い浮かべるときの自分の思考活動を自覚化していないことを指している。たとえば、アルキメデスの法則といった自然事象を十全に説明することができる子どもであっても、「兄弟とは何か」と尋ねられると良く説明できないことがある。これは兄弟という概念について熟知していないのではなく、子どもが経験から自然に習得した概念であるため、自覚的な使用をしていないのである（柴田，2006：94-100）。

ヴィゴツキーは「概念は体系の中でのみ自覚性と随意性を獲得することができる。自覚性と体系性は概念に関する限りまったくの同義語である。それは、ちょうど自然発生性、非自覚性、非体系性が、子どもの概念の本性のなかの同一のものを呼ぶ三つの異なる言葉であるのと、まったく同じである（ヴィゴツキー，L.S.，2001：267-268）。」と述べており、概念の心理学的特性を規定する上で基本となるものは体系性であると考えた。そして、この体系性のもと、自覚性と随意性を保持した概念を科学的概念として規定している。

生活的概念の発生は、子どもが様々な事物や現象に直接触れることと密接に結びついている。子どもはこうした自己の経験を積み重ねる長い発達の過程でのみ、対象を正確に意識し、その概念を操作する抽象的思考を習得することができるのである。

科学的概念の習得はこれに反して、事物や現象との直接的な関係ではなく、対象に対する間接的な関係からはじまる。たとえば、子どもは授業を通じて概念間の論理的な関係を学習する。そして、その概念の発達は、内部への成長、対象への接近、子どもの生活経験との融合へと進むのである。

生活的概念においては、帰納的な過程である、物から概念へという道を進むと考えられるが、科学的概念においては、子どもはこの逆、すな

わち演繹的な過程である，概念から物への道を進むと考えられる。このように，科学的概念と生活的概念の発達に反対の道筋をもつことから，両者の間には密接な相互関係が生じるのである。

子どもが科学的概念を習得し，それを自覚するためには，生活的概念の発達が一定の水準にまで達していることが必要である。換言すれば，多くの経験を基にし，帰納的な情報を豊富に蓄積した生活的概念は，科学的概念を具体的な事象と結び付けることを可能にするのである。同様に，抽象的思考を具象化する機会を豊富に得た科学的概念は，生活的概念を帰納的に集約することを可能にし，概念の高次の特性，すなわち自覚性と随意性を獲得するのである。

つまり，科学的概念は自覚性と随意性の領域においてはじまり，その後，個人的経験や具体的な領域へと向かって発達する。他方で，生活的概念は具体性と経験の領域においてはじまり，概念の高次の特性へと向かって発達するのである。これら二つの対立的な発達の関連こそ，「現下の発達水準」と「発達の最近接領域」の関連であるとヴィゴツキーは指摘したのである（ヴィゴツキー，L.S.，2001：317-318）。

ヴィゴツキーによって規定された科学的概念は全人的なものであり，学校教育全体を通して計画的に形成を目指す知識の総体を示している。理科教育において科学的概念の一部が育成されることから，森本は理科教育に限定した科学的概念を「科学概念」と定義しており，理科授業において子どもの科学概念の構築を目的とした指導上方略の重要性を指摘している（森本，2013：8-10）。本研究もこの考え方を援用して，「科学概念」という語を用いる場合には，この森本の定義を用いるものとする。

第4節 ブルーナーの知的飛躍理論

第1項 ブルーナーの知的飛躍理論の意味内容

第1章第2節では構成主義の源流としてのピアジェの認知発達論，第

1章第3節ではヴィゴツキーの社会文化的アプローチを用いた社会構成主義的学習論について論考し、それぞれの理論の概要が明らかになった。

本節では、これら二つの理論と同様に構成主義的の立場から、学校教育における教授・学習論について言及したブルーナーの知的飛躍理論について概観し、理科教授・学習論の理論的基盤について明らかにする。

第2項 子どもの知識の表象形式

ブルーナー(Bruner, J.S.)の考え方は、ピアジェとヴィゴツキーの中間に位置すると言われている。ブルーナーはピアジェと同じく、認知発達における生物学的要素の役割を認めていた。特に、子どもは環境を理解することのできる生得的なシステムを持っており、これらのシステムが次第に成熟し、より複雑になっていくという考えはピアジェの理論と軌を一にしている。さらに、子どもは発達において能動的でなくてはならず、自分なりに外界の理解を構築していかなければならない点においてもピアジェと同じ考え方である。

一方、ブルーナーの考え方においてヴィゴツキーに近いのは言語に対する捉え方である。ブルーナーは言語の役割を強調しており、言語は経験の反映だけではなく、経験を変容させることができると考えていた。ブルーナーは教授・学習場面における言語に対して強い興味を持っており、ヴィゴツキーの足場かけの理論を発展させた。これはブルーナーによる「どの教科でも、知的性格をそのままに保って、発達のどの段階の子どもにも効果的に教えることができる」(ブルーナー, J.S., 1976: 42)という言葉において的確に表現されている。

ブルーナーは子どもの認識方法を記述する際に、固有のモデルを提起している。このモデルにおいて、子どもの知識の表象形式は、活動的表象、映像的表象、記号的表象の三つのタイプで表現される(ブルーナー, J.S., 1977: 22-28)。そこで、次項以降では表象形式のタイプごとについて詳述し、それぞれの表象形式の特徴を明らかにする。

第3項 活動的表象(enactive representation)

この段階においては、子どもは身体的な方法で環境と相互作用し、諸事象を学習する。子どもは体のコントロールを学習し、体を使ってどのように環境に働きかけていくのかを学ぶのである。この知識の形態は、筋肉の記憶に例えられる。乳児においては、はじめはハイハイを覚え、次に歩き出し、やがて走れるようになるが、これらの知識は筋肉の中に符号化され、記憶として蓄積されていくのである。このタイプの学習は生涯を通じて行われ、新しい知識や技能を学習する場面で現れると考えられる。

この思考様式では、刺激と反応が直接結合している。子どもは新しい刺激に対して関心を向けるが、別の刺激があるとその刺激に対して関心を向ける。そのため粘土などの保存問題においては、形を変えた場合、前の粘土の形状ではなく眼前の粘土の形状へ関心が向くので、保存概念が成立しないことも活動的表象の特徴のひとつである。

第4項 映像的表象(iconic representation)

この段階は1歳ごろから発達し、新たに入ってくる情報を知覚的イメージで表象する。そのため、保存問題においてもユニークな解答が見られる。

たとえば、子どもに体積の大きく異なるふたつのビーカーを示し、それぞれに水を半分ずつ満たし、水の量の多少や空の割合を質問したとする。すると、子どもは体積の大きいビーカーには水がいっぱい入っており、同時に体積の大きいビーカーは小さいビーカーに比べてより空であると答えるのである。この答えは、二つのビーカーの水の部分と空の部分を同時に比較した結果として出されたものである。この段階の子どもは、このような知覚的イメージにしたがって事象の把握を試みるため、この事例にあるように「大きなビーカーの方に水がいっぱい入っている。同時に、大きなビーカーの方に空の部分（の割合）が大きい」という論

理的な矛盾に気が付くことなく、また、関心も持たないのである。

第 5 項 記号的表象(symbolic representation)

この段階は 7 歳ごろから発達し、知覚情報から解放されたことばや記号による事象把握が可能となる。動物、植物、物質、あるいは数式などの抽象的レベルで世界を記述することができるのである。ブルーナーは、この能力が身に付く時期を、認知発達における重要な転換期であると考えている。象徴的な物体や事象を記号化し、思考のルールがわかるようになって初めて、子どもは保存問題に正しく答えられるようになるのである。

これらのタイプには、背景となる考え方は異なるがピアジェ理論に類似した点が見受けられる。すなわち、行動的表象は前操作期、映像的表象は具体的操作期、記号的表象は形式的操作期の段階にそれぞれ対応している。

しかし、子どもの発達過程がこのように記述されたとしても、ブルーナーはピアジェのようにこれらを静的に体制化されたものとしては捉えていない。ブルーナーは、適切な教授内容を準備することにより、子どもにこれらの知的段階をより早く「飛躍」させることができると考えたのである。

つまり、子どもの科学概念を構築するためには、常に教材を、活動的表象→映像的表象→記号的表象という形で提示し、さらに、この活動を学年ごとに繰り返す螺旋型カリキュラム(spiral curriculum)を実行することが必要なのである。こうした螺旋型カリキュラムにおける活動を通じて、子どもの認識の内容は以前よりも豊かで知的に洗練されたものに変容していくのである。

たとえば小学校において、電気回路の概念を構築するための教授・学習活動をデザインするためには、「電池、豆電球、導線を与え自由に点灯させる(活動的表象)」→「実態配線図にしたがって回路を組み立てる(映

像的表象)」→「配線記号を用いて回路図を書く（記号的表象）」という順序の教材配列が考えられる。そして、電気回路に続く直列，並列回路の学習單元においても，この原則が守られなければならないのである。

第6項 ブルーナーの発見学習

ブルーナーは子どもの知的能力の飛躍的な促進のために，螺旋型カリキュラムを実施することの重要性を示唆した。そして，このような教育を的確に運用するために必要な概念として，発見学習(the discovery method), 直観的思考(intuitive thinking), 論理的(分析的)思考(analytic thinking)という考え方を明らかにした(ブルーナー, J.S., 1976: 70-88)。子どもの科学概念を構築するためには，活動的表象→映像的表象→記号的表象という一連の内容を単に教示的に与えるだけでは，子どもの学習意欲は高まらず不十分である。こうした場面においては，子どもの学習の内的動機を高め，子ども自身が学習へ「主体的に参加」することが必要なのである。

そこでブルーナーは，論理的かつ帰納的に諸事実を概念としてまとめるだけでなく，子どもの直観的な思考を重視して，これらを仮説として子どもに検証させる学習を提唱した。もちろん，仮説は当てずっぽうに出すものではなく，種々の情報を操作，変容させる中で累積的に構成されるのである。概念や法則は，学習者がこのように主体的に情報を変容させる中で，まさに「発見」できるとブルーナーは考えたのである。

このような学習過程を，ブルーナーは比喩的に右手と左手の学習方法として表現した。右手は利き手で何かをなす手であり，論理的な側面をつかさどる。一方，左手は不器用であるが絵描きの初歩的訓練として使われるような創造的な手であり，直観的な側面をつかさどる。つまり，人間の文化に科学と芸術があるように，二つの手の間での相互作用がなければ，本質的に学習者の意欲の根ざした，均整のとれた認識活動は成立しないと考えたのである。

第5節 思考の領域固有性と相対主義的学習観

第1項 思考の領域固有性

構成主義的学習論の特徴として考えられているのが、思考の領域固有性と相対主義的科學観である。そこで、本節では、これら二つの理論について概観し、構成主義的学習論の特徴について考察する。

ピアジェやブルナーの理論には異なる部分も存在するが、どのような内容においても適合することのできる「定型の学習スタイル」が想定されていた。このような学習の斉一性に対して、思考の領域固有性（特殊性）（domain specific）とは「学習者の示す固有の能力は、領域によって異なっている」ということを示すものである。

つまり、人は身の回りの事象を同じ方法で学習していくのではなく、ある領域については暗記を中心にして学習を行い、別の領域においては膨大な知識を整理し精緻化する学習を行うなど、いわば文化の内容に応じて学習スタイルを変えるのである。したがって、大人であれば能力が優れているのではなく、子どもでも大人でも領域に応じて固有の能力を発揮して学習を行っているのである。

このような考え方は、コールとスクリブナー（コール，M.，& スクリブナー，S.，1985）の「思考は背景とする文化状況に依存する」という考えに由来している。たとえば、ある民族がわれわれの理解する数学の計算手法を理解できないからと言って、彼らが能力的に劣っていると結論付けることはできない。なぜなら、彼らは彼らなりの方法にしたがって数的に物事を処理する技術を持ち合わせているからである。つまり、思考というものは、一つの尺度ではその程度を測ることができないのである。

第2項 相対主義的科學観

現在、一般的に流布している科學観に「科學は客観的な観察と帰納法

的な論理を基礎とする」という考え方がある。この考え方によれば、科学的知識は、観察・実験データを帰納的に収集し、これを一般化することによって形成されるのである。

しかし、この「精神白紙説」に類似した考え方には疑念が残る。たとえば、われわれは二次元的に書かれた立体図形を見たとき、そこから三次元的なイメージを持つことができるが、ある民族においてはこれを単なる線の集合体としてしか見ることができなかったという報告がある。われわれが精神的に白紙の状態で物体や事象を観察し、そこから帰納的に考えを組み立てるといふ原理が働いているのであれば、このような認識の差異は生じないはずである。

このような認識の差異が生じる理由を、ハンソン(Hanson, N.R.)は「観察の理論負荷性(theory ladenness)」という概念によって説明する。これは「人は未知の事象に出会ったとき、その事象をまるごと取り入れるのではなく、一人ひとりに固有の考え方の枠組みに従って物を見る」ということであり、これは従前の精神白紙説に類似した科学観を変換させる重要な概念であると考えられる(Hanson, N.R., 1958)。

これらは心理学の領域における議論であるが、客観性が必要とされている自然科学においても、この理論は援用できると考えられる。たとえば、ケプラーが提唱した太陽系のモデルは「惑星が 6 個存在するのは、各惑星（水星、金星、地球、火星、木星、土星）の軌道と軌道間に存在できる正多面体が 5 種類だからである」という発想に立脚した太陽中心の地動説であった。さらに、火星の衛星の数を予想したときも「地球の衛星は 1 個（月）、木星の衛星の数は 4 個（ガリレオ衛星：イオ、エウロパ、ガニメデ、カリスト）であることから、火星の衛星は 2 個である」と説明した(Kepler, J., 1596; Koestler, A., & Butterfield, H., 1990; Rabkin, E.S., 2005)。結果的に、火星の衛星の個数はケプラーの指摘した通り 2 個（フォボス、ダイモス）であったが、これらの予想は「数学的關係が

宇宙を支配している」というケプラー固有の考え方に基づいていることの証左であり、いずれも帰納的な精神白紙説では説明することができない。

これらの事実から、経験から抽象化された科学の諸理論の内容と質は、観察者の持っている概念体系によって決定されることが明らかとなった。つまり、科学理論は客観性を重視するといえども、個人の自然探求に関する意思と無関係に実証的に形成されることはありえないのである。むしろ、科学は極めて個人的に、あるいは個人間において、温められ発展させられてきた理念の一つの発露として捉えることが必要である。こうした考え方は相対的なものであり、永遠の市民権を持つことはありえず、以前の考えとは全く無関係の別の観点から考案されたビッグ・アイデアによって覆されることがある。

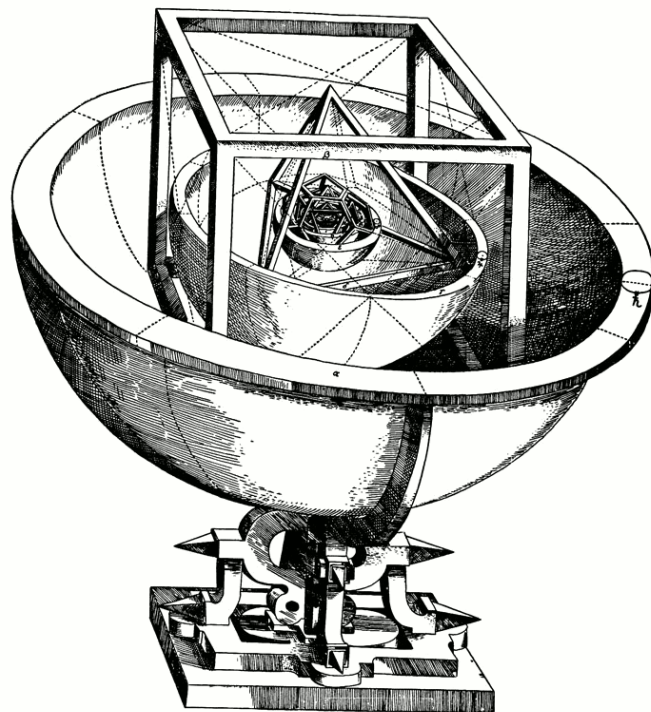


図 1.6 ケプラーの考えた太陽系の模式図(Kepler, J., 1596)

惑星軌道間にはそれぞれ異なる正多面体が存在している

このような考え方は、一般的に「**相対主義的科学観**」とよばれるものである。この理論は、科学の歴史を「**科学的研究プログラム(scientific research program)**」の競合だととらえるラカトシュ(Lakatos, I., 1970)、研究者が依拠する集団における概念の自然淘汰と捉えるトゥールミン(Toulmin, S., 1977)、**パラダイム・シフト(paradigm shift)**の過程と捉えるクーン(Kuhn, T., 1962)などの、現代における科学哲学を反映したものであると考えられる。

このようにして理科教育においては、**斉一性認識論**を拒否した思考の領域固有性と**相対主義的科学観**を融合させることにより、学習者一人ひとりが構成する世界(**personal construct**)の承認と、その存在の積極的な意味づけを行おうとする運動(**Alternative Conception Movement: ACM**)を結実させるに至ったのである(第5章第2節第1項参照)。このACMの一人ひとりの概念構築過程を承認するという点は、まさに**構成主義的アプローチ**による**教授・学習論**である。すなわち、思考の領域固有性と**相対主義的科学観**は、**構成主義的学習観**の重要な要素であると考えられるのである。

第6節 科学概念を構成する記憶要素

第1項 情報処理モデルにおける短期記憶と長期記憶

構成主義的アプローチにおいては、ピアジェなどの理論に代表されるように、子どもは変容する過程を経ることにより個々の概念を構築すると措定している。そこで本節においては、科学概念を構成する記憶要素についての諸理論を概観し、構成主義的学習論における概念の捉え方を明らかにする。

記憶には、経験を言語やイメージ等の表象の形に変換して貯蔵し、後で何らかの形で検索して再現する機能がある。

図1.7は、ガニエ(Ganié, R.M.)によって提唱された、記憶を短期記憶

と長期記憶の二元構造として捉え、人の学習における情報処理活動を表したモデルである（ガニエ， R.M., 1988；ガニエ， E.D., 1989）。

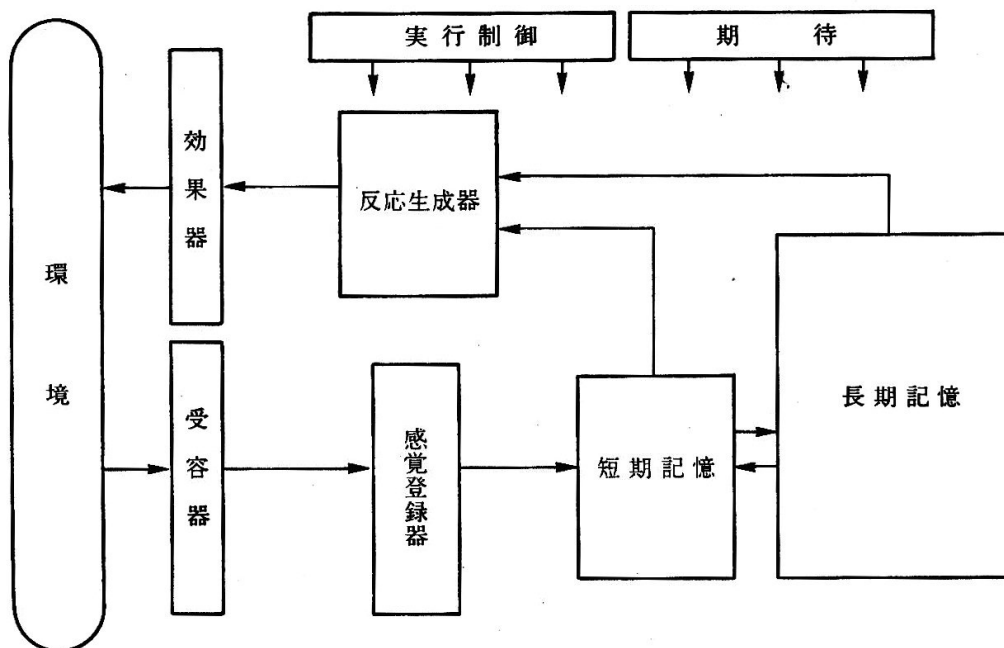


図 1.7 学習における短期記憶と長期記憶

(ガニエ， R.M., 1982: 14-18)

図 1.7 には、大きく分けて五つの要素、「環境(environment)」、「受容器(receptor)・感覚登録器(sensory register)」、「短期記憶(short-term memory)」、「長期記憶(long-term memory)」、「反応生成器(response generator)・効果器(effectors)」によって構成されている。このうち「環境」は情報処理の対象となるべき外界における様々な情報群である。「受容器・感覚登録器」は知覚を示しており、五感を用いた感覚情報の受容と再認を行う。

「短期記憶」は、現在注意を向けている情報に関する記憶を意味している。たとえば、化学変化を観察しようとするとき、われわれは物質の変化前の色や形状等の情報を多角的に記憶して、変化後の情報との比較

に備えようとする。このように、当面の判断や行為を行う際に一時的な情報の貯蔵がなされることが短期記憶の特徴である。短期記憶の情報は頻繁な入出力を繰り返すため乱雑な状態にあると考えられる。この情報を加工することによって精緻化し、高度に構造化した状態で貯蔵させたものが「長期記憶」である。こうして作られた各人固有の「長期記憶」は情報処理の中核となり、新たな「短期記憶」にある内容を意味づけるのである。

第2項 長期記憶を構成する要素

長期記憶を構成する要素は、宣言的知識(declarative knowledge)と手続き的知識(procedural knowledge)の二つに分けて考えることができる(武村・秋山, 2000)。

宣言的知識とは「～は～だ」という定義式の知識のことであり、正確には命題ネットワークという知識群から構成されている。命題とは「単子葉植物の葉は平行脈で、根はひげ根である」という形の知識であり、単子葉植物、平行脈、ひげ根という、いくつかの概念を組み合わせで構成されたものである。したがって、宣言的知識はこのような多数の命題が集合し、構造化された知識を指すと考えることができる。このような概念のネットワークを授業実践の場面で活用した例が概念地図法である(第6章第3節第2項参照)。

一方、手続き的知識とは「もし平行脈とひげ根を持つ植物があるとするならば、それは単子葉植物である」というように、「もし～ならば、そのときは～だ(if, then)」という判断形式を持つ知識のことである。この種の知識は、定義式の宣言的知識との獲得と同時に形成されるのではなく、繰り返して使用することにより自動的に使用することが可能となる。このような習熟による知識の自動化は「知識の手続き化」と呼ばれている。一般に子どもの既存概念が強固であるのは、子どもの知識が「当たり前のこと」として手続き化されているため、既存概念の矛盾に気づけ

ないことに起因している。

こうして二つの知識は、前者が情報を生産する能力として、後者は情報を操作する能力として表裏一体となり機能することになるのである（ガニエ，E.D.，1989：7）。これら二つの知識表象は、まとめてスキーマ（schema）と呼ばれている。ピアジェのシエマ（schéma）もこれと同類の知識表象の一形態として捉えることができるが、ピアジェの場合は一連の論理操作に意味を限定している部分が異なっている。

第3項 「～についての知識」と「～の知識」

ベライター（Bereiter）は、語用論的な観点から、宣言的知識と手続き的知識の代替として、長期的な記憶の構成要素として「～について知識（knowledge about）」と「～の知識（knowledge of）」を用いている（Scardamalia, M., & Bereiter, C., 2006）。

「～についての知識（knowledge about）」とは、物体や事象について知っていることを話すよう促されたときに、思い出すといった宣言的知識である。一方「～の知識（knowledge of）」とは、その物体や事象について実際に経験するのに必要な知識である。たとえば「スカイダイビングの知識」といった場合、スカイダイビングを実際にやったり、その活動に参加したりするために必要な知識である。これには、パラシュートの開き方や降下の仕方などの手続き的知識と、装備の特徴やメンテナンスの方法、実際にスカイダイビングをするときのルールといった、スカイダイビングに必要な宣言的知識の両方が含まれている。明確に言語化したり、やって見せたりすることができるような知識だけではなく、直接的には表現されずに推察しなければならないような、暗黙的かつ直感的な知識も含んでいる（Bransford, J.D. et al., 2006）。

すなわち、「～の知識（knowledge of）」は、それが必要な行為に直面した時に起動するのに対して、「～についての知識（knowledge about）」は宣言的知識と同じだと考えてよい。つまり、「～の知識（knowledge of）」

は手続き的知識に宣言的知識を付与した豊かな概念なのである。

伝統的な教育実践では、教科書や教科ごとのテストなど「～についての知識(knowledge about)」が主として扱われてきており、「～の知識(knowledge of)」についての指導はあっても、知識としては消極的に捉えられてきたのである。

様々な理論的な立場から、授業デザインに取り組む研究においては「～の知識(knowledge of)」を獲得する最良の方法が問題解決であるということが明らかになっている。たとえば、プロジェクト学習（第5章第1節参照）における駆動質問(driving question: Krajcik, J.S., & Blumenfeld, P.C., 2006)などがこれにあたりと考えられる。

第4項 構成主義的理科学習論における新しい知識観

宣言的知識における命題ネットワークという知識群、そしてベライターの提唱した宣言的知識と手続き的知識が連関を持った「～の知識(knowledge about)」という概念から、知識はそれぞれ孤立した存在ではなく、ネットワークを形成していることが明らかとなった。この巨大なネットワークは、相互に結び付けられて存在することにより、多様な問題に対して判断を下す機能、つまり学習方略として作用していくと考えられる。このように考えると、従来の理科授業で形成を目標とされてきた科学概念も、狭義の名辞的な側面に限定するだけでは十分ではなく、より広い知識観として拡大することが必要である。

このような観点の下で理科における知識を考えるときには、ホワイト(White, R.T.)の記憶要素に関する議論が有益であると考えられる。表1.1は、ホワイトが理科授業において子どもが記憶（長期記憶）する知識を七つのタイプに分類したものである。これらの知識は図1.8に示したような関連性を持っており、こうしたネットワークの下に問題解決が行われるのである。

表 1.1 ホワイトの記憶要素（森本，1992：87）

要素	簡単な定義	例
ストリング	一つひとつが分離されず，全体としてまとまりをもった形で記憶されているひとつながり「ことば」あるいは「記号」	<ul style="list-style-type: none"> •すべての作用はこれと同等で向きが反対の作用が存在する •$f=ma, E=IR$
命題	ラベルの意味，あるいはラベル間の関連性についての記述 ストリングの言い換え等	イースト菌は単細胞である
イメージ	感覚についての心的表象	あざみのじょうご形，塩素の臭い
エピソード	経験あるいは目撃した事実についての記憶	実験室での事故，顕微鏡の組み立て
知的技能	心的な課題遂行能力	化学反応式の両辺の収支を図る
運動技能	肉体的な課題遂行能力	ある線まで液体を注ぐ

↓ これらのことを統合して…

認知的方略	思考をコントロールする際の概括的，一般的技能	別の解釈を受け入れる，学習目標を決める，学習が成功しそうかどうか判断する
-------	------------------------	--------------------------------------

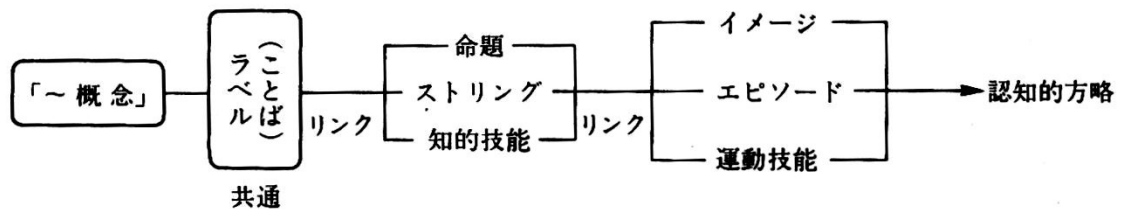


図 1.8 記憶要素の関連性（森本，1992：87）

図 1.8 において，概念にことばがラベル付けされており，そのラベルから命題，ストリング，知的技能がリンクしている。これらはいずれも言葉による定義，いわゆる狭義の概念である。そして，このラベルは，言葉によらないイメージ，エピソード，運動技能にリンクし，その内包性を多様な形で展開していると考えられる。

ホワイトは，命題やストリングがこのようなリンクを形成させたもの

を「～概念」と呼び、従来のような名辞的側面に限定させていた概念の意味内容拡大を提言している。このように、科学概念をことばだけの制約から解放することにより、ラベルを含む命題からイメージやエピソードなどを想起することができたり、逆にイメージが命題やストリングに含まれるラベルを喚起させたりすることができるという可逆的な連関が可能となる。これは子どもの多様な認識活動を的確に表現していると考えられる。

こうした可逆的な構成要素が問題解決的な活動において積極的に用いられるとき、表 1.1 に示されたような認知的方略(cognitive strategy)が形成される(ホワイト, R.T., 1990: 120-142)。これは問題解決的な活動においてスキーマに相当するものである。

結局ホワイトは、ラベルを付けた記憶要素の集合、あるいはそのリンクの構造様式を「～概念」として捉えている。このように考えると科学概念の保持は、命題やストリングといったことばによる狭義の概念のように「ある」、「なし」の二分法で議論されるべきではなく、記憶要素ごとに保持されているかを議論することが必要なのである。当然のことながら、二人の子どもが同じラベルを持っていたとしても、共通の記憶要素を持っているとは限らないのである。

第2章 理科教育の現代的課題—「科学的な思考・表現」に関する学力の育成

第1節 国際標準の学力観としてのキー・コンピテンシー

第1項 DeSeCo におけるキー・コンピテンシーの意味内容

旧来の学校教育においては、読み・書き・そろばん（計算）の各能力を育成することが重要であると考えられてきた。理科教育においても、知識と手続きを習得し、それらを再生する能力が重要であると考えられてきたのである（第1章第1節第1項参照）。しかしながら、国際化と情報化、多様化と自由化が進む現代においては、これらの能力を習得するだけでは不十分である。

たとえば、読解力の国際調査の結果によれば、読書への関心の有無が、読解力の成績に関係していることが明らかとなっている。これは、何かに取り組もうとする意欲や、生きる意欲の有無が、学習の成績に寄与していることの証左である。学習ができるかできないか、あるいは仕事ができるかできないかは、単なる知識や技能の問題ではなく、その人の根源的な考え方や行動の仕方につながるのである（ライチェン, D.S., & サルガニク, L.H., 2006 : 8）。そこで本節においては、DeSeCoによって国際標準の学力として示されたキー・コンピテンシーを概観することにより、理科教育に求められている学力観を明らかにする。

OECD(Organisation for Economic Co-operation and Development : 経済協力開発機構)では、どのような能力がこれからの社会において重要で、必要で、望ましいものであるかを検討するために DeSeCo (Definition and Selection of Competencies : コンピテンシーの定義と選択)プロジェクトにおいてキー・コンピテンシー(key competencies)の検討を行った(ライチェン, D.S., & サルガニク, L.H., 2006 : 9-10)。

キー・コンピテンシーは、需要志向アプローチや機能的アプローチとして捉えられており、「固有の文脈に対してその複雑な需要に対してうま

く対応する能力」として定義されている。これは、固有の文脈を措定した際にコンピテンシーが内的構造をもち、多様に文脈に対応できることを意味しており、子どもが学校や日常生活で直面するような様々な状況においても活用可能な能力であることを示している(ライチェン, D.S., & サルガニク, L.H., 2006 : 65-69)。

DeSeCo による検討の結果、キー・コンピテンシーは三つの広域カテゴリーにより分類されることが明らかになった。これは図 2.1 に示された、「1. 道具を相互作用的に用いる (Using Tools Interactively)」、「2. 社会的に異質な集団で交流する (Interacting in Heterogeneous Groups)」、「3. 自律的に活動する (Acting Autonomously)」の 3 カテゴリーである (OECD, 2005: 10-17)。

現行の学習指導要領の目的は「生きる力」の育成であるが、キー・コンピテンシーは「生きる力」と強い関連を持っている。中央教育審議会の答申「幼稚園、小学校、中学校、高等学校及び特別支援学校の学習指

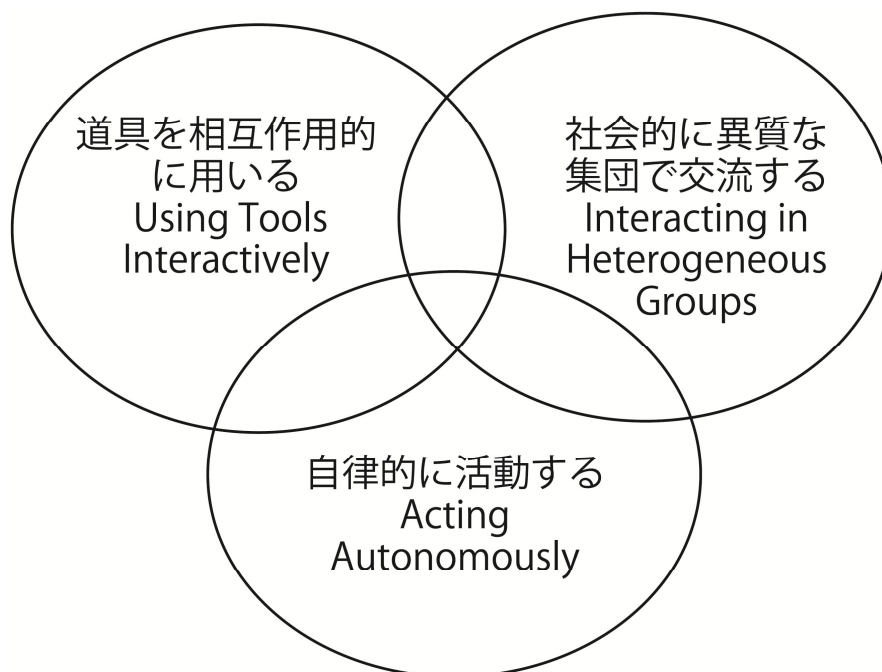


図 2.1 キー・コンピテンシーの三つの広域カテゴリー

導要領等の改善について」によれば、『生きる力』は、その内容のみならず、社会において子どもたちに必要となる力をまず明確にし、そこから教育の在り方を改善するという考え方において、この主要能力（キー・コンピテンシー）という考え方を先取りしていたと言ってもよい。」と記述されており、現行の学習指導要領における「生きる力」とキー・コンピテンシーが同義であることを示している（中央教育審議会，2008：9-10）。

生きる力の育成が理科教育の重要な目的であることは論を待たず、キー・コンピテンシーの視点を分析することにより、新しい理科教育の学力観の基礎を構築することが可能になると考えられる。そこで第2項以降においては、キー・コンピテンシーにおける三つの広域カテゴリーの視点について精査し、さらに詳細な視点について明らかにする。

第2項 カテゴリー1：道具を相互作用的に用いる

国際的な情報化社会の現代においては、情報端末のような物理的な道具の他に、言語、情報、知識といった相互作用的な道具の熟達が必要であると考えられる。

このカテゴリーが必要な理由としては「技術を最新のものにし続ける (The need to keep up to date with technologies)」、 「自分の目的のために道具を合わせる (The need to adapt tools to own purposes)」、 「世界と活発な対話をする (The need to conduct active dialogue with the world)」の三項目があげられている。これは知識・技能を常に最新のものに更新するとともに、目的を達成するためには、どの道具をどのように活用するかを理解し、さらに、これらを能動的に活用することが求められているのである。

このカテゴリーのキー・コンピテンシーは「1A.言語、シンボル、テキストを相互作用的に用いる能力 (Use language, symbols and texts interactively)」、 「1B.知識や情報を相互作用的に用いる能力 (Use knowledge and information interactively)」、 「1C.技術を相互作用的に

用いる能力(Use technology interactively)」の三つである。

「1A.言語、シンボル、テキストを相互作用的に用いる能力」は、言語スキル（話し言葉、書き言葉の両方）や計算その他の数学的スキル（たとえば、グラフ、表、さまざまな形のシンボルなど）をさまざまな状況（たとえば、家族、職場、市民生活）などにおいて効果的に活用することに焦点が置かれる。社会や職場でうまく機能し、個人的・社会的な対話に効果的に参加するためには欠かせない道具であると考えられる。

「1B.知識や情報を相互作用的に用いる能力」は、知識や情報に関する能力を重視している。人生のあらゆる場面において十全に活動していくためには、知識や情報を保持しているだけではなく、その知識や情報を効果的に思慮深く、責任を持って活用することを想定している。これは、未知の知識や情報を認識して明らかにすることに始まり、適切な情報源を特定し、それを活用することに至る一連の行動を含んでいる。

「1C.技術を相互作用的に用いる能力」は、インターネット等の最新技術を用いると同時に、その潜在的な可能性を発見し、活用していく能力である。この潜在的な可能性とは、すでに存在する技術を新しい状況へと適合させていくこと、そして新しい技術の目的や機能を全般的に理解し、その可能性を構想することを含んでいる。

第3項 カテゴリー2：異質な集団で交流する

人間は物質的・心理的に生きていくためにも、また、社会的なアイデンティティを得るためにも、多くの人々のつながりに依存している。

このカテゴリーが必要な理由としては、「多元的社会の多様性に対応する(The need to deal with diversity in pluralistic societies)」、「思いやりの重要性(The importance of empathy)」、「社会的資本の重要性(The importance of social capital)」の三項目があげられている。これは、個人間の人間関係をうまく管理することにより、個人の利益や新しい協力関係をつくる上でも重要であり、それを自ら作り出すことが求められて

いると考えられる。

このカテゴリーのキー・コンピテンシーは「2A.他人と良い関係を作る能力(Relate well to others)」、「2B.協力する能力(Co-operate, work in teams)」、「2C.争いを処理し、解決する能力(Manage and resolve conflicts)」の三つである。

「2A.他人と良い関係を作る能力」は、個人が家族や友人、あるいは隣人との人間関係を開始し、維持することを可能にする能力である。相手が周囲から大事にされていると感じるような環境を作り出すためには、その人の価値観、信念、文化、歴史を尊重し、大切にすることが前提となる(Steins, S., 2000)。

「2B.協力する能力」は、共通の目的に向かって他者と協力し、一緒に仕事をする能力である。これは集団全体に必要とされる能力ではなく、集団の個々の成員が必要とする能力である。協力には、集団とその規範へのコミットメントと自律的な活動の間でバランスをとること、さらに集団に能動的に参加する責任とリーダーの役割を共有し、他者を支援する必要の間でバランスを取ることが含まれている。

「2C.争いを処理し、解決する能力」は、対立関係を処理し、利害を調整することにより、最適な解決策を見つける能力である。この能力は個人が他者のニーズや利害を考慮し、ある問題の当事者が他者を犠牲にすることにより、そのすべてを達成しようとするのではなく、すべての紛争関係当事者がある程度利益を得て、誰にとっても有利な解決をはかることが望ましいと考えることを前提としている。

第4項 カテゴリー3：自律的に活動する

自律的に活動するということは、社会的に孤立して活動することではなく、個々人が社会的な関係や自分の果たしている立場や、果たしたい役割といった自分のおかれている環境について認識し、自分の生活を有意義なものにしていくことを意味している。

このカテゴリーが必要な理由としては「複雑な社会で自分のアイデンティティを実現し、目標を設定する(The need to realize one's identity and set goals, in complex world)」、「権利を行使して責任を取る(The need to exercise rights and take responsibility)」、「自分の環境を理解してその働きを知る(The need to understand one's environment and its functioning)」の三項目があげられている。

現代においては、封建的で伝統的な社会のように、個々の立場が明確に決められていない。そこで、自分の果たしている立場や果たしたい役割を明確に定め、自分のおかれている環境の中で責任を持った決定や選択を行う能力が求められているのである。

このカテゴリーのキー・コンピテンシーは「3A.大きな展望の中で活動する能力(Act within the big picture)」、「3B.人生計画や個人的プロジェクトを設計し実行する能力(Form and conduct life plans and personal projects)」、「3C.自らの権利、利害、限界やニーズを表明する能力(Defend and assert rights, interests, limits and needs)」の三つである。

「3A.大きな展望の中で活動する能力」とは、「大きな展望」、すなわち行動や決定を行う際に考慮する大きな規範的、社会経済的、歴史的文脈を明らかにし、その文脈がいかに機能するのかを認識した上で、これらの文脈における自らの立場、問題となっている事柄、自らの行動が導く長期的で間接的な影響、さらにこれらの要因を理解し、検討することができる能力である。この考え方はペレナウドの「グローバルに考え、ローカルに行動する」というスローガンにある程度表現されている(Perrenoud, P., 2001)。

「3B.人生計画や個人的プロジェクトを設計し実行する能力」は、特定のプロジェクトや計画に焦点を当て、周囲の環境の中から、時間やお金といった利用可能な資源を見つけ出し、それらを評価し、プロジェクトを実現するために適切な手段を選択する能力である。これは目標に優先順位をつけて、その意味をさらに明確にしたり、効率的、効果的なやり

方で自らの資源を使ったりすることを含意する。特定のプロジェクトや計画に焦点を当てる際に重要なのは、他と無関係に存在しているのではないと認識することである。例えば、私たちのアイデンティティやセルフ・エスティーム（自尊感情）の意識は、生活の中で経験し、作り出す継続性に基づいている。さらに、プロジェクトや計画においても、それは単なる責務としてではなく、常に自らの人生にどのように寄与するかを考慮しなければならないのである。

「3C.自らの権利，利害，限界やニーズを表明する能力」は、同一労働同一賃金といった自己決定的な権利や適切な健康管理を保証するといった要望，および集合体の成員としての政治等への参加といった個人の権利の両方に関係した能力である。この能力は高度に構造化された法的問題からアサーティブネス（上手な自己主張）を必要とする日常的な事柄にいたるまでのさまざまな状況に関連している。人々はこの能力を、家族や友人，職場の同僚や政府などとの対応にあたり、公的にも私的にも活用することが必要なのである。

第5項 キー・コンピテンシーを援用した理科教育の学習観

キー・コンピテンシーに求められているのは、三つの広域カテゴリーが相互に関連しながら全体的に機能し、個人的活動と協同的活動において実現されることである。

OECD はキー・コンピテンシーを「固有の文脈においてその複雑な需要に対してうまく対応する能力」として定義しており、それぞれの相互関連性や文脈特性から対応すべき枠組みの再編成を、コンスタレーション(constellation)という概念によって提案している(ライチェン, D.S., & サルガニク, L.H., 2006 : 121-124)。これは局地的な状況の中で与えられた固有の文脈において、三つの広域カテゴリーとそれぞれの下位カテゴリーを布置することにより、キー・コンピテンシーを具体化することを意味している。

表 2.1 理科の教授・学習活動に即したキー・コンピテンシー①

(和田・森本, 2007 を基に作成)

キー・コンピテンシーの広域カテゴリー	コンピテンシーの内容	コンスタレーションに基づいた理科に即した解釈
1. 道具を相互作用的に用いる	1A. 言語, シンボル, テキストを相互作用的に用いる能力	自然事象や観察・実験から, 情報を取り出し, 推論して何かを解釈するとともに, これを自分の持っている知識や経験に位置づける能力
	1B. 知識や情報を相互作用的に用いる能力	問題を認識し, 適切な情報や知識を自律的に見出し, その意味を理解するまでに至る一連の行動や傾向が含意されている
	1C. 技術を相互作用的に用いる能力	インターネットやコンピュータのシミュレーションなどを利用し, 自己の考え方を深め, 表現するための効果的な活用方法を模索する能力

表 2.2 理科の教授・学習活動に即したキー・コンピテンシー②

キー・コンピテンシーの広域カテゴリー	コンピテンシーの内容	コンスタレーションに基づいた理科に即した解釈
2.異質な集団で交流する	2A.他人といい関係を作る能力	他者と良い関係を気付き，他者の価値観，信念などを尊重し，受け入れ，それを自己の成長に生かすこと
	2B.協力する能力	グループで目標を共有し，他者と協力してそれを達成するために必要な能力
	2C.争いを処理し，解決する能力	他者の多様な価値観や考えを認め，争追いの原因を特定し，妥協点や改善策を見出す能力
3.自律的に活動する	3A.大きな展望の中で活動する能力	ある未知の事象に対して自己の知識や経験と照合して，瞬時にその構造や枠組みを認識したり，見抜いたりする能力
	3B.人生計画や個人的プロジェクトを設計し実行する能力	予想や仮説に基づき，検証のための実験計画を立案し，規則性を発見したり課題を解決したりすること，すなわち科学的探究能力
	3C.自らの権利，利害，限界やニーズを表明する能力	観察，実験の結果に対して既存の原理，法則を適用して解釈しようとするとき，その限界を見極め，代替となる考えを自ら表現できる能力

表 2.1, 表 2.2 は, キー・コンピテンシーを理科に即して解釈したものである (和田・森本, 2007)。

これらの表を概観すると, 観察・実験を通じて, 自ら知識や情報を活用して自然事象に対する解釈を深め, さらに協同的な学習を通して解釈を吟味し, 科学概念を構築するという子どもの学習像が示されている。こうした問題解決的な過程を経て概念を構築していく活動は, 構成主義的学習観と軌を一にしていることは明らかである。これは換言すれば, これからの社会で希求されているキー・コンピテンシーの学力観から, 理科教育における構成主義的学習観の重要性が示唆されたのである。

第 2 節 PISA2006・2009 調査

第 1 項 PISA 調査の概要

第 2 章第 1 節において, キー・コンピテンシーの視点から理科教育における構成主義的学習観の重要性が示唆された。OECD はこうしたキー・コンピテンシーの視点を用いて子どもの現状を調査にするために, 国際的な学力調査である PISA 調査 (Programme for International Student Assessment: 生徒の学習到達度調査) を行っている。そこで本節では, PISA2006・2009 調査の概要と結果を概観することにより, 構成主義的学習観から見た日本の子どもの実情を明らかにする。

PISA 調査は, 世界各国の教育を共通の枠組みに基づいて比較するための指標を開発する INES (Indicators of Education System: 国際教育インジケータ事業) 事業の一環であり, OECD 及びその加盟国をはじめ非加盟国の参加も得て世界的に実施している調査である (国立教育政策研究所, 2007; 2-13)。

PISA 調査の目的は, 各国の子どもが将来生活していく上で必要とされる知識や技能が, 義務教育修了段階において, どの程度身に付いているかを測定することである。国際教育到達度評価学会 (IEA) が行っている国

際学力比較調査では、それぞれの国において学校のカリキュラムをどの程度習得しているのかを調査しているのに対し、PISA 調査では、学校の教科で扱われているような、ある一定範囲の知識や経験を基に、自らの将来の生活に関連する課題に積極的に考え、知識や技能を活用する能力があるかを測定している。これは、常に変化する世界にうまく適応するために必要とされる新たな知識や技能は、生涯にわたって継続的に習得することが必要だからである。こうした調査は、PIAAC (Programme for International Assessment of Adult Competencies: 国際成人力調査) (国立教育政策研究所, 2011) や AHELO (Assessment of Higher Education Outcomes : 高等教育における学習成果の評価) といった成人レベルの学習成果を測定する調査へと拡大している (文部科学省, 2009)。

PISA 調査は義務教育修了段階の 15 歳児における学習到達度を測定するため、その尺度として「読解力(reading literacy)」、 「数学的リテラシー(mathematical literacy)」、 「科学的リテラシー(scientific literacy)」という概念を用いている。「リテラシー」という用語は、評価しようとする分野の知識や技能、能力が幅広い概念であることを表すために用いられている。本研究では理科教育に焦点を当てるため、以後、科学的リテラシーに関する調査を中心に精査する。

第 2 項 PISA 調査における科学的リテラシーの枠組み

PISA 調査においては、子どもが現代社会に十全に参加するために、現代社会の重要な役割を果たしている科学とテクノロジーについて身に付けることが必要であると考えている。そこで PISA 調査では科学的リテラシーを以下のように定義している(国立教育政策研究所, 2007; 14-16)。

- (1) 疑問を認識し、新しい知識を獲得し、科学的な事象を説明し、科学が関連する諸問題について証拠に基づいた結論を導き出すための科学的知識とその活用
- (2) 科学の特徴的な諸側面を人間の知識と探究の一形態として理解す

ること

(3) 科学とテクノロジーが我々の物質的、知的、文化的環境をいかに形作っているかを認識すること

(4) 思慮深い一市民として、科学的な考えを持ち、科学を関連する諸問題に、自ら進んで関わること

PISA 調査では、「科学的リテラシー」という用語を用いることで、伝統的学習観で求められていたような、単純に知識を再生することではなく、様々な生活場面の状況に合わせて科学的知識を適用することに重点を置いている。

知識を有効に活用するためには、対象となる問題に対して科学的な思考を行うことが必要であり、それは、科学的な事柄に関する個々人の認識や興味・関心、価値観などに左右される。また、子どもが科学的な思考を行うためには、科学の知識と、科学を獲得する方法としての科学の特徴の理解、すなわち科学についての知識の両方が必要であると考えられる。PISA 調査では、こうした視点を基にして科学的リテラシーの調査を行っている。

第3項 PISA2006 調査の結果

PISA2006 調査の科学的リテラシーの問題における平均得点の上位 11 か国は、フィンランド、香港、カナダ、台湾、エストニア、日本、ニュージーランド、オーストラリア、オランダ、リヒテンシュタイン、韓国である。日本の得点は 531 点であり、6 番目に高い。

OECD 平均より得点が統計的に優位に高い国は、上記の 11 か国に加えて、スロベニア、ドイツ、イギリス、チェコ、スイス、マカオ、オーストリア、ベルギー、アイルランドを含めた計 20 か国である。一方、OECD 平均より得点が統計的に優位に低い国は 32 か国である（国立教育政策研究所，2007：51）。

PISA2006 調査で出題された科学的リテラシーの問題は、37 ユニット

140 題である。ここでは、平均正答率と無答率に焦点を当てて分析する。

科学的リテラシー問題の平均正答率を求めると、日本の平均正答率は 60%、OECD 平均正答率は 54%であり、日本の平均正答率は OECD 平均正答率を 6 ポイント上回っている。一方で、科学的リテラシーの問題の平均無答率を求めると、日本の平均無答率は 8%、OECD 平均の平均無答率は 7%であり、大きな差はないものと考えられる。しかし、この無答率を出題形式別に精査すると、選択肢形式や複合的選択肢形式の問題では無答率が低いが、記述形式の問題では無答率が高くなる傾向が見受けられた。

**表 2.3 PISA2006 調査の科学的リテラシー問題における記述形式の
正答率・無答率（国立教育政策研究所，2007：82－83 より抜粋）**

ユニットの名称	正答率(%)		無答率(%)	
	日本	OECD 平均	日本	OECD 平均
日焼け止め	43.7	27.1	28.1	21.8
メアリー・モンタギュー	84.4	61.7	6.4	6.0
運動	50.3	45.1	8.4	4.7
役に立つ振動	49.9	46.2	26.8	15.3
藻類	49.3	36.2	25.9	25.1
酸性雨	54.4	57.7	26.2	16.1
温室効果	17.6	18.9	41.1	35.5
カラスムギ	15.7	30.5	24.0	15.3

※数値が大きい方を**太字**で示している

表 2.3 は、PISA2006 調査の科学的リテラシー問題における記述形式に対する、正答率と無答率の抜粋である。なお、表 2.3 において太字で示している箇所は、日本と OECD 平均を比較して数値が大きい方を表している。

正答率において、日本と OECD 平均と比較すると、正答率が高い項目（日焼け止め、メアリー・モンタギュー、運動、役に立つ振動、藻類）から低い項目（酸性雨、温室効果、カラスムギ）まで、それぞれの問題によって異なっている。

一方で、無答率においては記述形式の無答率は全体的に高い。選択肢形式や複合的選択肢形式の問題の日本の無答率は 1%程度であるのに対し、記述形式の問題ではメアリー・モンタギューの 6.4%から温室効果の 41.1%まで、いずれも OECD 平均よりも大きい値を含んでおり、さらに酸性雨のように無答率が OECD 平均と 10 ポイント以上離れている問題も存在する。これは日本の子どもが記述形式に対して課題を持っていること、すなわち、子どもが論述したり表現したりするのが苦手であることを示唆している。

第 4 項 PISA2006 調査における問題例

前節では PISA2006 調査の結果について概観したが、本項では、PISA 調査における科学的リテラシーの問題例と解答結果についてさらに精査し、日本の子どもの特徴を明らかにする。

図 2.2、図 2.3 は PISA2006 調査において用いられた科学的リテラシーの問題例である。この問題の内容は酸性雨に関するものであり、問 2 は選択肢形式、問 1 と問 3 は記述形式の設問で構成されている。

図 2.2 の問 1 は、科学的知識を活用して、大気中の硫黄酸化物と窒素酸化物の起源について説明することができるかを問う記述形式の設問である。正答するためには、硫黄酸化物と窒素酸化物は車の排気ガスや工場排出物や化石燃料の燃焼、または火山活動によっても生じる化学物質であることを理解していることが必要である。なお採点においては、汚染に関連付けた内容も部分正答としている。

この問題の日本の正答率は 54%であり、OECD 平均の正答率 57%に比べて 3 ポイント低い。また、日本の無答率は 26%であり、OECD 平均の

無答率 16%に比べて 10 ポイントも高い。つまり、この問題においては、日本は正答率、無答率ともに OECD 平均を下回っており、記述形式の問題に課題がある具体例の一つであると考えられる。

図 2.3 の問 2 は、大理石への酸性雨の影響を調査するために、大理石のかけらを酢につけたときの反応を問う選択肢形式の設問である。正答するためには、酸性の溶液である酢が、炭酸カルシウムを主成分とする大理石と化学反応することにより気体が発生し、この反応に伴って質量が減少することを推論できることが必要である。

この問題の日本の正答率は 83%であり、OECD 平均の 67%と比べると 16 ポイント高い。また、日本の無答率は 1%であり、OECD 平均の 2%と比べると 1 ポイント低い。これは選択肢形式の問題において、日本は正答率、無答率ともに OECD 平均を上回っており、満足できる結果にあることを示唆している。

図 2.3 の問 3 は、大理石が酢だけに反応することを示すために、大理石と水との反応を調査し、科学的調査における対照実験の意味を問う記述形式の設問である。この問題の完全解答である「反応を起こしているのは酸（酢）であることを示すためであることを述べた解答」は、科学的リテラシー問題の中では最も難しいとされる習熟度レベル 6 に分類されている。

この問題の日本の正答率は 35%であり、OECD 平均と同じである。また、日本の無答率は 30%であり、OECD 平均の 17%と比べると 13 ポイント高い。つまり、この問題においては、日本の正答率は OECD 平均と同程度であるが、無答率では OECD 平均を大きく下回っており、記述形式の問題に課題がある具体例の一つであると考えられる。

まとめると、酸性雨の問題の正答率と無答率の分析から、日本の子どもは、選択肢形式の問題においては OECD 平均に比べて満足する結果を示していた。一方で、記述形式の問題においては、正答率は OECD 平均に比べて同程度か下回っており、無答率は OECD 平均に比べて大きく下

酸性雨

下は 2500 年以上前に、アテネのアクロポリスに建てられた女人像柱の彫刻の写真です。彫刻は大理石といわれる種類の岩石からできています。大理石は炭酸カルシウムでできています。

1980 年に本物の彫刻はアクロポリス博物館に移され、代わりに複製が置かれました。本物の彫刻は酸性雨に浸食されつつあったのです。



酸性雨に関する問 1 (記述形式)

通常雨は、大気中の二酸化炭素をいくらか溶かしているために弱い酸性となっています。酸性雨は、同様に硫黄酸化物や窒素酸化物の気体を溶かしているため、通常雨よりも酸性度が強くなっています。

大気中の硫黄酸化物や窒素酸化物はどのようにして生じたものですか。

図 2.2 PISA2006 調査における科学リテラシーの問題例①

(国立教育政策研究所, 2007: 116)

酸性雨が大理石に与える影響は、大理石のかけらを一晚、酢につけることによって確かめることができます。酢と酸性雨はほぼ同じ酸性度を持っています。大理石のかけらを酢に入れると、気泡が発生します。実験の前後で、乾いた大理石のかけらの質量を調べることができます。

酸性雨に関する問 2（選択肢形式）

酢に一晚中つける前の大理石のかけらの質量は、2.0 グラムでした。翌日、そのかけらを取り出して、乾かしました。乾いた大理石のかけらの質量はどうなっていますか。次のうちあてはまるものに一つ○をつけてください。

- A 2.0 グラムより小さい
- B ちょうど 2.0 グラム
- C 2.0 グラムから 2.4 グラムの間
- D 2.4 グラムより大きい

酸性雨に関する問 3（記述形式）

この実験を行った生徒たちは、大理石のかけらを、蒸留水にも一晚中つけてみました。

実験にこの手順を含めるのはなぜですか。説明してください。

図 2.3 PISA2006 調査における科学リテラシーの問題例②

(国立教育政策研究所, 2007 : 118-119)

回っていることが明らかとなった。これは、日本の子どもが記述形式に課題があることを示唆していると考えられる。

第 5 項 PISA2009 調査の結果

PISA2009 調査の科学的リテラシーの問題における平均得点の上位 7 か国は、上海、フィンランド、香港、シンガポール、日本、韓国、ニュ

ーギーランドである。日本の得点は 539 点であり 5 番目に高い。

OECD 平均より得点が統計的に優位に高い国は、上記の 7 か国に加えて、カナダ、エストニア、オーストラリア、オランダ、台湾、ドイツ、リヒテンシュタイン、スイス、イギリス、スロベニア、マカオ、ポーランド、アイルランド、ベルギーの計 21 か国である。一方、OECD 平均より得点が統計的に優位に低い国は、38 か国である(国立教育政策研究所、2010 : 156)。

PISA2009 調査で出題された科学的リテラシーの問題は、18 ユニット 53 題であり、全て非公開である。そこで、ここでは平均正答率と無答率に焦点を当てて分析する。

科学的リテラシー問題の平均正答率を求めると、日本の平均正答率は 62%、OECD 平均正答率は 54%であり、日本の平均正答率は OECD 平均正答率を 8 ポイント上回っている。この結果を PISA2006 調査と比較すると、PISA2009 調査の方が高いポイントで平均を上回っていることになり、科学的リテラシーが上昇傾向にあることが示されている。

一方で、科学的リテラシーの問題の平均無答率を見ると、日本と OECD 平均はどちらも 6%であり、両者に差は見られない。しかし、この無答率を出題形式別に精査すると、選択肢形式や複合的選択肢形式の問題では低いですが、求答形式や記述形式の問題では高くなる傾向がある。

表 2.4 は、PISA2009 調査の科学的リテラシー問題における記述形式に対する、正答率と無答率の抜粋である。なお、表 2.4 において太字で示している箇所は、日本と OECD 平均を比較して数値が大きいものを表している。

正答率においては、日本は OECD 平均と比べて高い項目(乳、消化実験、ペンギン島 1・2)から低い項目(開発と災害、気候の違い、カラスムギ)まで問題によって異なっている。一方、無答率においては記述形式の全ての項目について OECD 平均より高い。選択肢形式や複合的選択肢形式の問題において、日本の無答率は最も高く 5%であるのに対し、

記述形式の問題では、消化実験の 4.4%からカラスムギの 23.3%まで大きな幅を持っている。これは PISA2006 調査と同様に、日本の子どもが記述形式に対して課題を持っていること、すなわち、論述したり表現したりするのが苦手であることを示唆している。

表 2.4 PISA2009 調査の科学的リテラシー問題における記述形式の
正答率・無答率（国立教育政策研究所，2010：165 より抜粋）

ユニットの名称	正答率(%)		無答率(%)	
	日本	OECD 平均	日本	OECD 平均
乳	69.9	63.9	19.4	16.8
消化実験	69.0	64.7	4.4	3.1
ペンギン島 1	48.8	43.8	10.5	10.1
ペンギン島 2	30.4	29.4	16.4	12.2
開発と災害	81.7	84.9	11.2	6.7
気候の違い	45.7	46.8	11.1	10.8
カラスムギ	14.9	30.7	23.3	14.5

※数値が大きい方を**太字**で示している

第 3 節 特定の課題に関する調査（理科）

第 1 項 特定の課題に関する調査（理科）の意味内容

特定の課題に関する調査（理科）は、平成 18 年に国立教育政策研究所によって、小学校第 5 学年・中学校第 2 学年を対象として行われた。これは従来から実施してきた「教育課程実施状況調査」の枠組では把握が難しい内容、すなわち観察・実験や自然事象に対する解釈についての調査研究であり、今後の教育課程や学校における指導の改善の方向性を明らかにするものである。そこで本節においては、特定の課題に関する調査（理科）の調査結果を概観することにより、観察・実験や自然事象に

対する解釈といった、日本における子どもの問題解決的な能力の現状を明らかにする。

第2項 特定の課題に関する調査（理科）の目的と概要

特定の課題に関する調査（理科）は、子どもの観察、実験に関する学習の実現状況に焦点を当て、特に次の三点の把握をねらいとした。またこれらの調査を通して、観察、実験に関する子どもの問題解決の能力を把握することも目指した。

- (1) 問題を見だし、その問題を解決するための観察・実験の方法を考案する能力
- (2) 観察・実験の結果やデータに基づいて考察する能力
- (3) 観察・実験に関する技能・表現の能力

理科のこれらの能力や技能を把握するためには、本来、観察、実験などを子どもに直接実施させる実技形式の調査が望ましい。しかし、観察、実験を実施するには長時間を要すること、各学校で揃えている測定機器がまちまちであること、同品質の教材を多数確保する必要があることなどを考慮すると、実施には困難が予想される。

一方、通常のペーパーテストのように、文章を用いて観察、実験の場面を再現するのにも困難が伴うと考えられる。なぜなら、観察や実験の状況を詳細に示そうとすればするほど、文章量は増え、子どもにとっては読むだけでも大きな負担になるからである。反対に文章を簡潔にすれば、観察や実験の十分な描写がなされていないために誤解が生じやすくなり、本来の子どもの観察、実験に関する能力をみることに支障をきたすためである。

そこで、この調査においては、両者の困難点を回避するために、クラスの友人とともに自らが観察、実験しているような状況を見せることにより、設問に対する興味を高めるとともに、実際に行っている観察や実験の様子を的確に伝えることができるよう、図2.4左のように、ビデオ

表 2.5 特定の課題に関する調査（理科）の問題の構成

	調査の種類	出題内容
小学校 第5学年	ビデオを用いた観察・実験に関するペーパーテスト調査（調査 A）	A 1 : ものの溶け方 A 2 : 植物の発芽と成長 A 3 : 流れる水の動き
	観察・実験の技能，結果やデータの処理に関する調査（調査 B）	B1 1 : 物の溶け方 B2 1 : 植物の発芽と成長
中学校 第2学年	ビデオを用いた観察・実験に関するペーパーテスト調査（調査 A）	A 1 : 植物の生活と種類 A 2 : 身の回りの物質 A 3 : 電流とその利用 A 4 : 天気とその変化
	観察・実験の技能，結果やデータの処理に関する調査（調査 B）	B1 1 : 電流とその利用 B2 1 2 : 植物の生活と種類 B2 3 : 動物の生活と種類

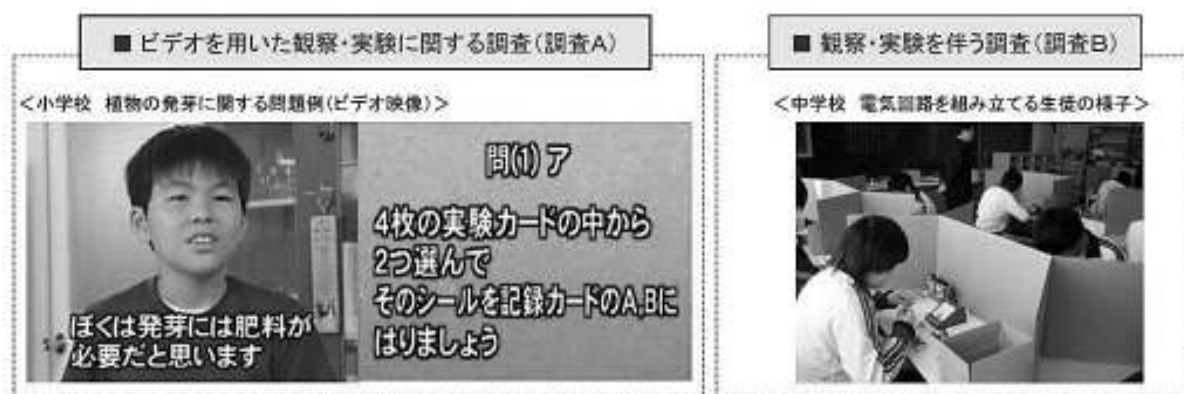


図 2.4 特定の課題に関する調査の概要（国立教育政策研究所，2007：9）

映像を使つての出題を行った（調査 A：小学校は A [1]～A [3]，中学校は A [1]～A [4]）。

さらに，対象の子どもの人数を限定して，子どもが実際に，実験器具の操作や電流回路の組み立て，測定やデータ処理などの実技を行うことにより，観察，実験の基本的な技能や，結果やデータの処理に関する能力の分析を補完した（調査 B）。

そして，ペーパーテスト調査（調査 A）や実技調査（調査 B）に加えて，子ども及び教師に対する質問紙調査を実施し，実際の観察，実験における子どもの理科の学習に対する意識や，教師の指導方法や指導形態などについての調査を行った。

第 3 項 特定の課題に関する調査（理科）の結果

これらの調査結果を概観すると，小学校の植物の発芽と成長（A2）の出題においては，発芽実験の考案については 86.6%，実験結果の予想については 68.4%，実験結果の読み取りについては 69.2%の子どもが正答している。これより，発芽の条件を調べるために，条件に着目した実験の計画，それに基づいた実験結果の予想，実験結果の読み取りはできることが明らかとなった。一方で，実験結果から結論を考える場面においては 39.0%の子どもが正答しており，予想や仮説と実験結果を照らし合わせながら考察することに課題があることが明らかとなった。

中学校の電流とその利用（A3）の出題においては，電流の読み取りについては 85.3%が正答しており，器具の読み取りはおおよそ身についていることが明らかとなった。配線からの電流の予想については 60.0%，電球が切れた原因の推測については 56.2%，電球を長く輝かせる工夫については 40.3%が正答しており，科学的な根拠をもって理由を説明することや，新しい場面に既知の知識を関連付けて思考することに課題があることが明らかになった。

これらの結果を基にして，特定の課題に関する調査（理科）において

は、小学校・中学校の指導の改善に向けて、小学校・中学校における課題として表 2.6 で示した点を指摘している（国立教育政策研究所，2007）。

これらの指摘を端的に言えば、小学校・中学校の理科授業において、観察・実験結果の考察や省察活動が必要であること、さらに考察するために必要なことを気付かせたり、判断の根拠を明らかにして論理的に考察しているかどうかを確かめさせたりする活動が重要であることが示されたのである。

表 2.6 特定の課題に関する調査（理科）における課題
（国立教育政策研究所，2007）

	理科における課題
小学校	<ul style="list-style-type: none"> (1) 自然の事物・現象について観察の視点や実験における条件について考える指導の改善 (2) 観察・実験の結果を基に、考察、結論を考える指導の改善 (3) 理科における用語の意味や実験技能の習得を図る指導の改善
中学校	<ul style="list-style-type: none"> (1) 生徒自身が実験の方法を考え、結果を予想するための機会の確保 (2) 観察・実験のねらいと結果を対比させた考察と、考察の見直しをさせる指導の工夫 (3) 実験器具の使用目的を明確にし、正しい使い方を身に付けさせる指導の工夫 (4) 既習事項との関連を踏まえた計画的な指導の工夫

第4節 平成24年度全国学力・学習状況調査

第1項 平成24年度全国学力・学習状況調査の意味内容

平成24年度全国学力・学習状況調査は、平成24年(2012年)4月に国立教育政策研究所によって、全国の国公私立の小学校第6学年、中学校第3学年を対象として実施された。この調査は、それまで国語と算数・数学についての調査のみが実施されていたのに対し、初めて理科についての調査が実施されたことから理科教育において重要な意味を持つ調査であると考えられる。そこで本節では、平成24年度全国学力・学習状況調査を概観することにより、日本における子どもの理科に対する現状を明らかにする。

第2項 平成24年度全国学力・学習状況調査の目的と概要

平成24年度全国学力・学習状況調査の目的は「義務教育の機会均等とその水準の維持向上の観点から、全国的な児童生徒の学力や学習状況を把握・分析し、教育施策の成果と課題を検証し、その改善を図る」、「そのような取組を通じて、教育に関する継続的な検証改善サイクルを確立する」、「学校における児童生徒への教育指導の充実や学習状況の改善等に役立てる」の三つである。

理科の調査は、国語や算数・数学と同じく「知識」と「活用」の二つの問題で構成されている。主として「知識」に関する問題では、理科に関する「基礎的・基本的な知識・技能」を、主として「活用」に関する問題では、理科に関する「知識・技能を活用して、課題を解決するために必要な思考力・判断力・表現力等」を調査した。

さらに、理科に関する「基礎的・基本的な知識・技能」は、単に身に付けているだけでなく、観察・実験など科学的に探究する学習活動や日常生活などにおいて課題を解決する場面で実際に活用できることで、一層意義が増すと考えられている。そのため、理科の出題の構成は、国語

や算数・数学のように「知識」(A 問題)と「活用」(B 問題)には区分せず、両者を一体的に問う形式で出題した。また、学習状況については、学習意欲、学習方法、学習環境、生活の諸側面等に関する質問紙調査を実施した。

第 3 項 平成 24 年度学力調査の問題例

図 2.5, 図 2.6 は平成 24 年度全国学力・学習状況調査の理科の問題例である。この問題は、地層観察を行う場面を通して、地層観察に関する技能と地層や化石などに関する知識、そして、地層の成因や広がり方について推論し、科学的な知識や概念に基づいて観察した結果などを根拠に、過去の事象について考えることができるかを見ている。

さらに、地層観察では、地層が長大な時間の中で変化したり生起したりしていることを理解するとともに、地層の広がりを広大な空間の中で認識する上で有効であるため、この問題では、地層観察に関する技能、地層や化石などに関する知識、地層の成因や広がり方について推論する問題が出題されている。問 1 と問 2 は選択肢形式、問 3 は記述形式の設問となっている。

図 2.5 の問 1 は、地層の連続性や成因を調べるために、断層の有無や地層に含まれている粒に着目するという地層観察の基礎技能を身に付けているかどうかをみる選択肢形式の設問である。この問題の正答率は 87.3%であった。これは地層観察の技能に関する知識は相当数の子どもが習得しており、観察・実験の技能に関しては、概ね満足できる結果であったと考えられる。

図 2.6 の問 2 は、観察地における地層の広がり方について、設問における指導者の説明と図 1 (観察する 5 つの露頭の場所を表した図)、図 2 (観察地のようすを表した図)、図 3 (それぞれの露頭のようすを表した図) から分析して解釈を行い、地層の傾きの方向を認識できるかを見る選択肢形式の問題である。この問題の正答率は 31.5%であった。設問の

情報を分析し解釈することにより、断層やしゅう曲がなく、露頭 a, b, c, d, eに見られる地層の情報から空間を認識し、地層の傾きの方向を指摘することに課題があると考えられる。

問 2 の誤答について分析すると、解答をエ（西から東）とした子どもが 32.0%であった。この中には、地層の傾きについて、東西の方向であるという認識はできているものの、傾きの方向を正しく認識できていない子どもがいる。これは、東西の方位を理解していなかったり、東と西の方位を逆に理解したりしていること、または、五つの露頭で囲まれた地面が水平であることを問題文の説明から読み取れていないため、地層が水平で、地面が西より東が低くなっていると誤って認識したことが要因であると考えられる。

さらに、解答をア、イとした子どもは合わせて 35.3%であり、傾きの方向を認識することに課題があると考えられる。これらの中には、図 2.7 中の図 A から図 B における視点の移動ができずに、地層の傾きについて南北の方向と考えてしまう子どもがいるものと考えられる。

図 2.6 の問 3 は、火山や地層、堆積岩の知識を活用し、過去の火山活動が活発だった時期の回数に関する他者の考察を検討し、根拠を示して改善した考察を説明することが求められる記述形式の問題である。この問題の正答の条件は「イ 2 回」を選び、その理由として(a)観察できるローム層は一つであること、(b)凝灰岩層が一つの地層であることの両方を説明できることである。この問題の正答率は 11.3%であった。これは地層のつながりについて認識することと、他者の考察を検討し改善することに課題があると考えられる。

問 3 の誤答について分析すると、解答をイとして(a), (b)の理由を記述した子ども（正答）と、解答をイとして(b)の理由を記述した子ども（誤答）は合わせて 14.3%であった。これらを解答した子どもは、過去の火山活動が活発だった時期の回数を 2 回と考えている。ただし、解答をイとして(b)について記述した（反応率 3.0%）子どもは、理由において、

3 地学部の彩さんと賢さんは、中学校の近くで見られる地層に関心をもったので、博物館の地層観察会に参加しました。次の(1)から(6)の各問いに答えなさい。



露頭：地層が地表に現れているところ

観察1 博物館の先生から、地層を観察するときの留意点について、次のような説明がありました。

はじめに、地層のつながりや広がり方など露頭全体のようすを観察します。その際、地層がずれてくいちがった **A** があるかないかなどに注意します。

次に、安全に注意しながら露頭に近づいて、地層を構成しているれきや砂などの粒の大きさや **B** などを調べます。その際、化石の有無を確認します。さらに、地層の厚さや重なり方などを詳しく観察します。



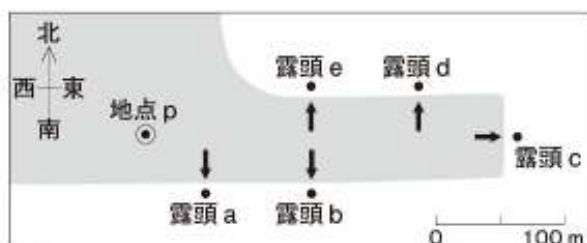
先生

(1) 上の説明の中の **A**、**B** に入る適切なものを、それぞれ下のア、イから1つ選びなさい。

A	ア しゅう曲	イ 断層
B	ア 形	イ 数

観察2 図1は、観察する5つの露頭aからeの場所を表した模式図です。

はじめに地点pに行き、全体の様子を観察しました。図2は、地点pから東の方向を見たようすを表したものです。この観察地の特徴について、先生から次のことを教えてもらいました。



※ 矢印は、それぞれの露頭の前で観察した向きを示している。

図1

この観察地の地層は同じ向きに傾いていて、断層やしゅう曲はありません。また、5つの露頭で囲まれた地面は水平です。

露頭aの一番上に見える地層はローム層です。この観察地のローム層は、火山灰などが風化したものです。



図2

図2.5 平成24年度全国学力調査における理科の調査問題例①

(国立教育政策研究所, 2012)

その後、露頭の観察を行いました。図3は、図1の矢印で示した向きに観察したそれぞれの露頭の様子を表したものです。

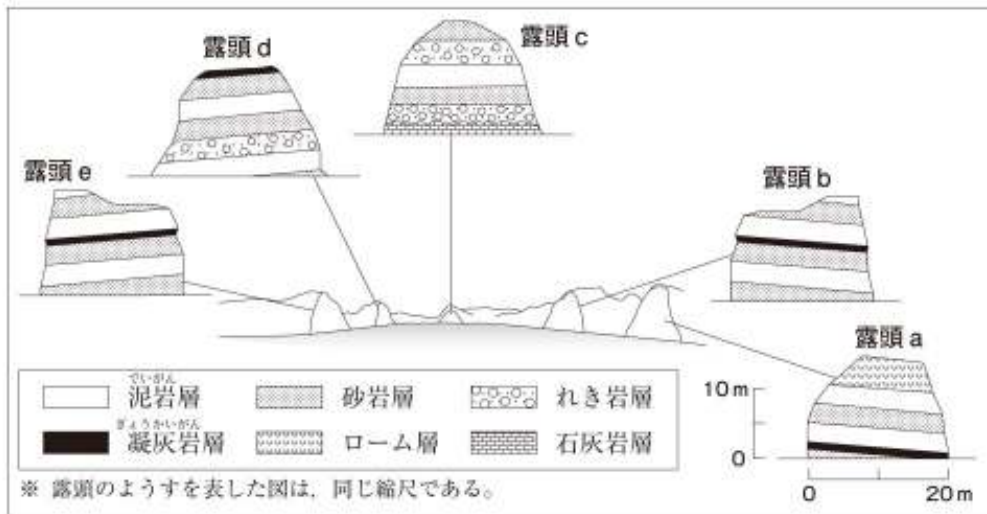


図3

二人は観察した結果をもとに、次のように考察しました。

考察1

観察した露頭の様子から、これらの地層は の方が低くなっています。



(2) 上の彩さんの考察の に入る正しいものを、下のアからエまでの中から1つ選びなさい。

- ア 北より南 イ 南より北 ウ 東より西 エ 西より東

考察2



この観察地の露頭には、1つのローム層と4つの凝灰岩層が見られるので、これらの地層が堆積した期間には、火山活動が活発だった時期が少なくとも5回あったと考えられます。

「少なくとも5回」と考えるのは誤りです。もう一度、地層のつながりから考えてみましょう。



(3) 火山活動が活発だった時期の回数は、少なくとも何回と考えられますか。最も適切なものを下のアからオまでの中から1つ選びなさい。また、回数をそのように考えた理由を書きなさい。

- ア 1回 イ 2回 ウ 3回 エ 4回 オ 6回

図2.6 平成24年度全国学力調査における理科の調査問題例②

(国立教育政策研究所, 2012)

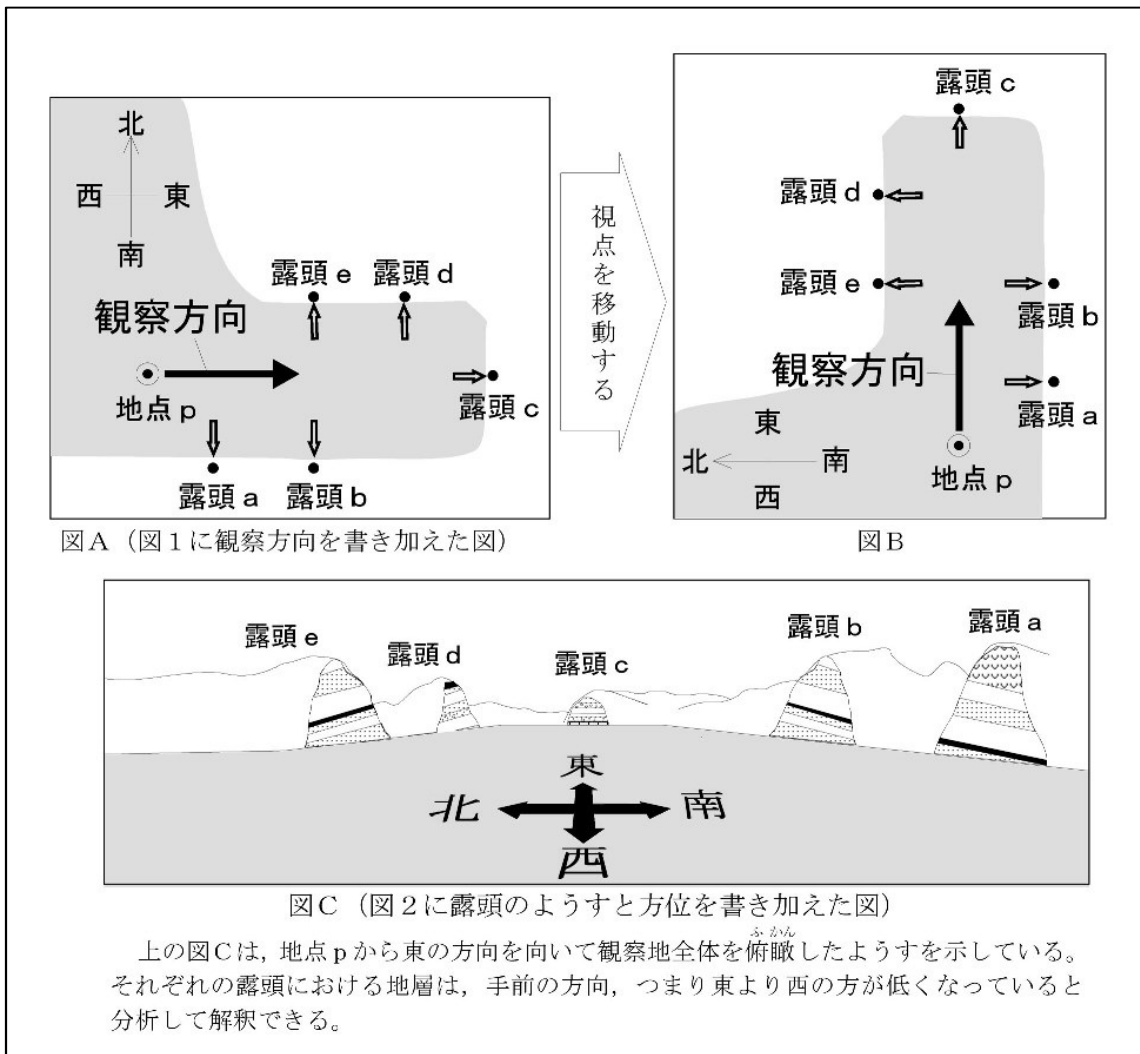


図2.7 平成24年度全国学力調査における理科の誤答分析

(国立教育政策研究所, 2012)

凝灰岩層については適切に記述しているが、ローム層に関する記述がない。設問において男子生徒が述べているローム層に関する説明は正しいので、そのことを省略してしまったと予想される。

解答はイを選び、ローム層に関する記述がなかった子どもは、地層のつながりを考え、四つの露頭に見られる凝灰岩層はつながった同一の地層であることを見出していると考えられる。

解答をイとして(a), (b)の理由を記述した子ども、あるいは、解答をイ

として(b)について記述した子どもを除いた誤答は 85.7%である。このうち、解答をイとしながら説明が不十分である子どもは 13.6%である。また、ア（1回）を選んだ子どもは 13.4%，ウ（3回）を選んだ子どもは 17.7%，エ（4回）を選んだ子どもは 19.8%，オ（5回）を選んだ子どもは 15.4%であり、どの選択肢も誤答率は正解と同程度である。これは、ローム層が火山活動によるものであることを認識していないことや、凝灰岩層が2種類であると認識していることなどが理由として予想される。

この問題の分析結果より、子どもの観察・実験の技能に関しては概ね満足できる結果であるものの、情報を分析し解釈すること、そして、他者の考察を検討し改善することに課題があることは明らかである。

表 2.7 平成 24 年度全国学力・学習状況調査における理科の課題

	理科における課題
小学校	<ul style="list-style-type: none"> ◇ 観察・実験の結果を整理し考察することに課題がある。 ◇ 科学的な言葉や概念を使用して考えたり説明したりすることに課題がある。
中学校	<ul style="list-style-type: none"> ◆ 観察・実験などにおいて、定量的な取り扱いをすることに課題がある。 ◆ 日常生活や社会の特定の場面において、理科に関する基礎的・基本的な知識や技能を活用することに課題がある。 ◆ 基礎的・基本的な知識や技能を活用して、観察・実験の結果などを分析し解釈することに課題がある。 ◆ 基礎的・基本的な知識や技能を活用して、仮説を検証するための観察・実験を計画することに課題がある。 ◆ 基礎的・基本的な知識を活用して、根拠を基に、他者の計画や考察を検討し改善することに課題がある。

第4項 平成24年度全国学力・学習状況調査の結果

平成24年度全国学力・学習状況調査の結果，小学校理科の正答率は61.1%，中学校理科の正答率は52.1%であった。（参考：小学校国語A…81.7%，中学校国語A…76.1%）。「活用」に区分された問題（B問題）だけを抽出して分析すると，小学校理科の正答率は57.8%，中学校理科の正答率は48.9%であった（参考：小学校国語B…55.8%，中学校国語B…64.2%）。この調査の分析結果より，小学校理科・中学校理科においては表2.7の課題があることが指摘された。これらの課題を概観すると，自然事象を定量的に取り扱うこと，そして基礎的・基本的な知識や技能を活用して，観察・実験を計画し，その結果を分析し解釈するとともに，計画や解釈を他者と相互作用的に改善し，その結果を日常生活などに活用していくという問題解決的な活動を行うことに課題があることは明らかである。

表2.8 問題解決的な活動を実施している学校の正答率

	正答率(%)	
	小学校	中学校
理科A（主として「知識」に関する問題）	69.2	57.3
理科B（主として「活用」に関する問題）	57.8	48.9
全体	61.1	52.1
自ら考えた仮説をもとに観察，実験の計画を立てさせる指導をしている学校	62.2	54.3
観察や実験の結果を整理し考察（分析・解釈）する指導をしている学校	62.4	53.8
観察や実験に関する記述方法についての指導をしている学校	62.1	53.5

表 2.8 は、問題解決的な活動を実践していると回答した学校の平均正答率を示したものである。学校質問紙において、「自ら考えた仮説をもとに観察、実験の計画を立てさせる指導をしている」と回答した学校では、小学校 62.2%、中学校 54.3%、「観察や実験の結果を整理し考察（分析・解釈）する指導をしている」と回答した学校では、小学校 62.4%、中学校 53.8%、「観察や実験に関する記述方法についての指導をしている」と回答している学校では、小学校 62.1%、中学校 53.5%という平均正答率を示している。これらは、いずれも理科全体の平均正答率（小学校 61.1%、中学校 52.1%）に比べて高い値を示しており、表 2.7 で示されているような問題解決的な活動が、現代の理科教育の課題に対して有効であることの証左であると考えられる。

第Ⅱ部 「科学的な思考・表現」に関する学力を育成するための
理科授業デザイン

第3章 「科学的な思考・表現」に関する学力を育成する教授・学習活動

第1節 「科学的な思考・表現」に関する学力を育成する教授・学習論の 必要性

第1項 諸調査における「科学的な思考・表現」に関する学力

まず、第2章第2節において概観した PISA2006 調査の科学的リテラシーにおいては、日本の子どもは、自然事象を科学的に考え、論述したり表現したりするのが苦手であることが指摘された(国立教育政策研究所, 2007)。さらに、この3年後に実施された PISA2009 調査では、PISA2006 調査に比べて全体的に科学的リテラシーに関する調査結果は改善傾向にあるものの、依然として記述形式の問題への正答率が低いこと、無答率が OECD の平均よりも高いことが課題として指摘された(国立教育政策研究所, 2010)。

また、第2章第3節において概観した、国立教育政策研究所によって行われた、特定の課題に関する調査(理科)においては、小学校では観察・実験に関する用語の理解や技能の習得、問題を解決するための観察・実験の方法を考え、観察・実験の結果やデータを基にして考察して結論を導くこと、中学校では実験器具の使い方や、問題を解決するための実験方法を考えるとともにデータに基づいて考察し、概念の理解を深めることに課題があることが指摘された。そして、これらの課題を改善するためには、観察・実験結果の考察や省察活動が必要であるとともに、考察するために必要なことを気付かせたり、判断の根拠を明らかにして論理的に考察しているかどうかを確かめさせたりすることが重要であることが示されたのである(国立教育政策研究所, 2007)。

そして、第2章第4節で概観した平成24年度全国学力・学習状況調査においては、小学校理科の正答率は61.1%、中学校理科の正答率は52.1%であり、分析結果から小学校においては、観察・実験の結果を整理し考

察すること、科学的な言葉や概念を使用して考えたり説明したりすること、中学校においては、自然事象を定量的に取り扱うこと、そして基礎的な知識や技能を活用して、観察・実験を計画し、その結果を分析し解釈するとともに、計画や解釈を協同的に検討・改善し、その結果を日常生活などに活用することに課題があることが明らかになった（国立教育政策研究所，2012）。

PISA2006・2009 調査，特定の課題に関する調査（理科），平成 24 年度全国学力・学習状況調査（以後，これらの調査を「諸調査」と記す）は，いずれの調査においても，子どもが観察・実験を計画しその結果を基に考察したり説明したりすることに課題があることが示された。これらの課題は理科における現代的課題であり，この課題を解決するためには，理科授業における「科学的な思考・表現」に関する学力の育成が必要であると考えられる。

第 2 項 現代的な課題としての「科学的な思考・表現」に関する学力の育成

「科学的な思考・表現」に関する学力について論じるためには、「科学的な思考・表現」に関する学力が現在の学校教育法や中央教育審議会の答申において，どのように捉えられているかを明確にする必要がある。

現在，学校教育法においては以下の三つが学力要素として規定されている（学校教育法，第 30 条第 2 項，第 49 条，第 62 条）。

- （1）基礎的・基本的な知識及び技能を習得
- （2）知識・技能を活用して課題を解決するために必要な思考力，判断力，表現力
- （3）主体的に学習に取り組む態度（学習意欲）

これらの学力要素は，中央教育審議会の「児童生徒の学習評価の在り方」（中央教育審議会，2010）で規定された評価の四観点，「知識・理解」，「技能」，「思考・判断・表現」，「関心・意欲・態度」と対応関係を持っている（森本・齋藤・黒田，2011）。具体的な対応関係は以下に示す通り

である。

(1) 基礎的・基本的な知識及び技能→「知識・理解」, 「技能」

(2) 知識・技能を活用して課題を解決するために必要な思考力, 判断力, 表現力→「思考・判断・表現」

(3) 主体的に学習に取り組む態度(学習意欲)→「関心・意欲・態度」

諸調査においては, 子どもが観察・実験を計画しその結果を基に考察したり説明したりすることに課題があることが明らかになったが, これは学力要素においては「(2) 知識・技能を活用して課題を解決するために必要な思考力, 判断力, 表現力」, 観点においては「思考・判断・表現」に関する学力を育成する必要性があることを示唆している。この「思考・判断・表現」は, 理科という教科においては, 観点として「科学的な思考・表現」と記述されていることから(中央教育審議会, 2010), 本研究では, これらの現代的な課題を「科学的な思考・表現」に関する学力の育成と位置付け, 議論を進める。

第2節 「科学的な思考・表現」に関する学力を育成する学習活動

第1項 思考力・判断力・表現力の育成に必要な学習活動

諸調査において課題となったのは, 子どもが観察・実験を計画し, その結果を基に考察したり説明したりすることであった。これは評価の観点においては「知識・技能を活用して課題を解決するために必要な思考力・判断力・表現力」の育成に他ならず, 理科教育においては「科学的な思考・表現」に関する学力の育成が希求されていることが明らかになった。こうした「科学的な思考・表現」に関する学力を育成するための学習活動を実践するためには, 「科学的な思考・表現」に関する学力の育成に有効な学習活動を具体的に検討し, 明らかにすることが必要である。

2008年に中央教育審議会によって示された「幼稚園, 小学校, 中学校, 高等学校及び特別支援学校の学習指導要領等の改善について(答申)」に

においては、改正教育基本法で示された教育の基本理念を踏まえるとともに、思考力・判断力・表現力等を問う読解力や記述式の問題への課題に対応する視点から、以下の六つが要点として示された（中央教育審議会，2008：24-25）。

- （１）「生きる力」という理念の共有
- （２）基礎的・基本的な知識・技能の習得
- （３）思考力・判断力・表現力等の育成
- （４）確かな学力を確立するために必要な授業時間の確保
- （５）学習意欲の向上や学習習慣の確立
- （６）豊かな心や健やかな体の育成のための指導の充実

これらの要点のうち、「（２）基礎的・基本的な知識・技能の習得」を基盤とした「（３）思考力・判断力・表現力等の育成」は重要なポイントのひとつであることが明示されており、思考力・判断力・表現力を育成するために必要な六つの活動が示された。これらの活動は、前述した学力要素である「思考力・判断力・表現力」と「科学的な思考・表現」に関する学力の関連性から、「科学的な思考・表現」に関する学力を育成する具体的な活動であると考えることができる。すなわち、中央教育審議会によって提唱された六つの具体的な活動を理科教育の場面へ援用することにより、「科学的な思考・表現」に関する学力を育成する指針を見出すことが可能となるのである。

第２項 「科学的な思考・表現」に関する学力を育成するために必要な問題解決的な学習

表 3.1 は、「科学的な思考・表現」に関する学力を育成するために必要な六つの学習活動と、その具体的な事例を示したものである。

左列は、中央教育審議会によって示された思考力・判断力・表現力の育成のために必要な六つの学習活動である（中央教育審議会，2008）。中央列は、六つの学習活動に対応した理科授業の主な学習活動であり、右

列は学習活動の具体的事例として、塩化銅の電気分解における具体的な学習活動を示している。これら六つの学習活動を分析することによって、「科学的な思考・表現」を育成するための教授・学習活動の指針が明らかになると考えられる。

表 3.1 「科学的な思考・表現」に関する学力を育成するために重要な学習活動

思考力・判断力・表現力を育成するために重要な学習活動 (中央教育審議会, 2008)	理科における学習活動	具体的事例 (塩化銅の電気分解)
①体験から感じ取ったことを表現する	諸感覚を活用することにより自然事象を体験的に表現する	・陽極から泡が発生することやプールの臭いがすることを記録する
②事実を正確に理解し伝達する	自然事象に関わる事実を分析する	・気体が発生してプールの臭いがすることから塩素が発生したと結論付ける
③概念・法則・意図などを解釈し、説明したり活用したりする	体験や事実をことばでまとめられることを理解する	・水溶液中の塩素が帯電しているから電極に引き寄せられることを説明する(『イオン』ということばによる理解)
④情報を分析・評価し、論述する	子ども自身の理解によって科学概念を記述する	・イオンが電気分解により電気の受け渡しを行い、塩素や銅として発生したことをモデルを用いて説明する
⑤課題について、構想を立て実践し、評価・改善する	学習活動を省察して、その成果を他の学習へ活用する(例:ものづくり, 他の問題解決への活用)	・イオンの概念を酸・アルカリの実験に活用する ・電池をつくる
⑥互いの考えを伝え合い、自らの考えや集団の考えを発展させる	習得している科学概念の適用範囲を拡大する	・イオンの概念や実験に関する技能を①～⑤の視点から様々な学習の場面で他者へ表現する

表 3.1 における①～⑥の六つの学習活動をそれぞれ仔細に分析すると、以下のように解釈することができる。

「①体験から感じ取ったことを表現する」とは、諸感覚を活用することによって、自然事象の情報を「泡が発生する(視覚)」や「プールの臭いがする(嗅覚)」など様々な形で収集して表現することである。また、

「②事実を正確に理解し伝達する」とは、子どもが「気体が発生してプールの臭いがすることから塩素が発生した」と考えるように、自然事象から得られた情報を分析し整理することである。これら①②の学習活動は、理科の観点においては「基礎的・基本的な知識・技能」と位置づけられるが、「科学的な思考・表現」が「基礎的・基本的な知識・技能」の習得の上に成り立っていると考えれば、これらの学習活動が「科学的な思考・表現」に関する学力を育成するために必要であることは明らかである。言い換えれば、①②の学習活動は、自然事象の観察結果をまとめて科学的な思考を行い、表現するための基盤づくりであると考えることができる。

「③概念・法則・意図などを解釈し、説明したり活用したりする」とは、「水溶液中の塩素が帯電しているので電極に引き寄せられる。この帯電した粒子がイオンである」というように、自然事象を子どもの自身のことばによって記述し、まとめられることである。「④情報を分析・評価し、論述する」とは、その概念を文章やモデルを用いて説明していくことである。これら③④の学習活動は、子どもが持っている既有概念に①②で収集した自然事象からの情報を融合させ、概念を変換して科学概念を構築する過程であると考えることができる。

「⑤課題について、構想を立て実践し、評価・改善する」とは、学習活動を省察して、その成果を他の学習へ活用する（ものづくりをする）ことを念頭に置いている。たとえば、イオンの概念を活用して関連する電池や酸・アルカリの実験を解釈する活動等を行うことである。「⑥互いの考えを伝え合い、自らの考えや集団の考えを発展させる」とは、目的をもった協同的な学習活動の中で、①～⑤の思考と表現方法を状況に応じて適宜使い分け、その結果、習得した科学概念や学習方略を活用する場面をさらに拡大していくことである。⑤⑥の学習活動は、それまでの学習を省察し、構築した概念を他の問題解決の場面へ適用できる状態にして、将来の学習につなげることが最も重要であると考えることができる。

る。

六つの学習活動を概観すると、「科学的な思考・表現」に関する学力を育成するために必要な学習活動とは、まず、自然事象の観察・実験結果を分析してまとめることで、科学的な思考とそれを表現するための基盤をつくり、さらに、概念を記述・説明することによって科学概念を構築し、学習内容を省察して構築した概念を他の場面へ活用できる状態へ昇華させるという一連の学習過程を表していることが明らかである（森本・齋藤・黒田，2010）。森本はこれらの学習活動の中で思考力・判断力・表現力の育成が連続的かつ階層的、あるいは系統立てて行われるという視点を強調しており、これらの学習活動を思考と表現の充実に関する入れ子構造として整理している（森本，2013：71-77）。つまり、これらの学習活動はそれぞれ単独で考えるのではなく、六つの学習活動をまとめて一連の問題解決的な学習と捉えることが適切なのである。

これら六つの学習活動は、学校教育法に示されている三つの学力要素と対応関係にあり、「①体験から感じ取ったことを表現する」と「②事実を正確に理解し伝達する」が「基礎的・基本的な知識・技能の習得」，「③概念・法則・意図などを解釈し，説明したり活用したりする」と「④情報を分析・評価し，論述する」が「知識・技能を活用して課題を解決するために必要な思考力・判断力・表現力等」，「⑤課題について，構想を立て実践し，評価・改善する」と「⑥互いの考えを伝え合い，自らの考えや集団の考えを発展させる」が「主体的に学習に取り組む態度」とそれぞれ対応している。

学校教育法の学力要素が単独ではなく連続的な問題解決的な学習を想定していることから、「科学的な思考・表現」に関する学力を育成するために必要な六つの学習活動は、一連の問題解決的な学習として捉えることが適切であると考えられる。

第4章 マッカーシーの4MATシステムとその理論的背景

第1節 学習スタイル

第1項 学習スタイルの意味内容

第3章の議論より「科学的な思考・表現」に関する学力を育成するためには一連の問題解決的な学習が必要であることが明らかとなった。

理科授業において問題解決学習を実践する必要性は、従前の学習指導要領においても指摘されていた。たとえば、昭和27年（1952年）の学習指導要領においては、次のような五段階の問題解決的な学習が提案された（文部科学省，1952；森本，1992：223-230）。

- （1）学習すべき問題をはっきりとつかむ（導きの段階）
- （2）問題を解決するために計画を立てる（計画の段階）
- （3）研究に基づいて、研究や作業を続ける（研究の段階）
- （4）研究や作業の結果をまとめる（整理の段階）
- （5）まとめた結果を活用し応用してみる（活用の段階）

この五段階で構成された問題解決的な学習を、理科教育において端的に表現すれば、「自然事象から問題を見出す」→「解決に必要なデータを収集する」→「データを一般化することにより法則性を見出す」→「法則をデータに対して検証する」といった帰納的な思考法に基づいた活動であると考えられる（森本，1993：63-64）。

昭和30年（1955年）の日本理科教育学会の紙上シンポジウム「理科における問題解決学習の是非」においても、「理科教育の目的が、自然に対する対処の仕方、その基礎としての科学や技術を発展させ、利用することにあるとすれば、問題解決学習がその重要な位置を占めることには議論の余地がない」として、問題解決的な学習の有効性が指摘されており、理科授業において、問題解決的な学習を実践する重要性は理解されていたと考えられる（宇井，1955）。

しかしながら、理科授業における問題解決的な学習は様々な課題が障壁となり、多くの学校では十分に実践がなされていない。その理由としては、子どもが問題を自分のものとして捉えられないこと、子どもが持った興味や疑問に対する仮説の設定や予想をすることが難しいこと、興味を過度に重視することにより科学の系統性が欠如すること、観察・実験などの基礎的な知識・技能を全てのこどもに等しい機会を持って指導することが難しいこと、教師自身が問題解決的な学習の指導方法を理解していないこと、学校内の観察・実験機器の不足していることなどがあげられている（竹林，1955；鈴木，2012）。これらは、理科授業における問題解決的な学習の視点が十分に明らかになっていないことの証左であり、問題解決的な学習を実践する新しい視点が必要であることは明らかである。

さらに、この問題解決的な学習には、第3章第1節第1項で示された「科学的な思考・表現」に関する学力の育成という現代的な教育課題を加味することが必要不可欠である。そこで本研究では、この問題解決的な学習をシステムとして捉え、その具現化を図るために、マッカーシーの4MATシステム(McCarthy, B., 1990)を援用して、問題解決的な学習を実践するための理科授業をデザインする。

4MATシステムは、デューイ(Dewey, J.)、コルブ(Kolb, D.A.)、ユング(Jung, C.G.)などの諸理論を背景として構築された構成主義的教授・学習論である。4MATシステムは問題解決過程を、四つの学習スタイルに基づく活動を用いて説明することができる。そこで本節においては、様々な学習スタイルに関する基礎的な理論を概観し、学習スタイルの特性について明らかにする。

第2項 学習スタイルの種類とその特性

理科教育においては、すべての子ども一人ひとりに対して、それぞれ固有の学習スタイルを持っていると措定することができる。ベネット

(Bennett, S.I. 1990)によれば、学習スタイルは次のように定義される。

「(学習スタイルとは)人の行動や思考の一定のパターンを指す。これらは、個々人に特徴的な認知的・情動的・生理的な行動から構成される。学習者(子ども)がどのように学習環境を受け止め、環境と相互作用し、応答するかについての指標となる。」

ライディングとチーマ(Riding, R., & Cheema, I., 1991)はこうした子どもの学習スタイルに立脚し、学習スタイルを次の3種類に分類し、その内実について説明している。

(1) 構造

学習スタイルは想定された安定的な構造を反映しており、それは時間が経過しても一貫して変わらない。それゆえ、教師はその環境で個人の学習スタイルを見極め、その学習スタイルに指導の方法を適合させていかなければならない。

(2) 過程

学習スタイルを常に変化し続ける状態であると考え、それがどう変化するか、そして教師はどのようにその変化を促進できるかに焦点を当てる。

(3) 構造と過程

学習スタイルは比較的安定しているものの、学習経験によって変化、修正されるものである。

ライディングとチーマの学習スタイルの捉え方は、「(1) 構造」として捉える際には比較的安定であるが、一方で、「(2) 過程」として捉える際には非常に流動的であると考えている。さらに、この両方の考え方を融合させたのが「(3) 構造と過程」である。つまり、この学習スタイルは比較的安定しているが、環境と相互作用することにより、変化・修正される可能性があることを示唆している。これは学習スタイルが一義的ではなく、安定的であるが、同時に変化し得る複雑な要素を持つものであると考えられる。

第3項 学習スタイルの構造

このような学習スタイルの多様な捉え方，すなわち学習スタイルが比較的不変であると同時に，修正されうる概念であることをわかりやすく整理したモデルのひとつが，カリーのオニオン（玉ねぎ）モデルである（Curry, L., 1983）。図4.1に示すように，カリーは学習スタイルの諸概念を，オニオンの皮に似た層をモチーフとして以下のように分類している。

学習スタイルのオニオンモデル

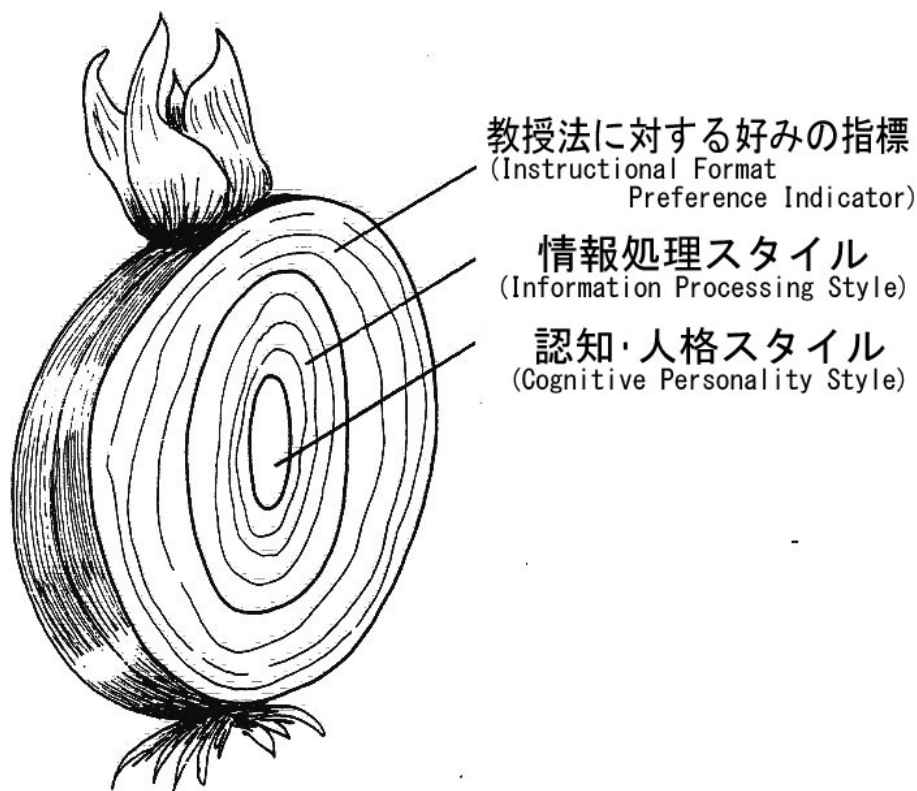


図4.1 カリーのオニオンモデル (Curry, L., 1983)

(1) 玉ねぎの一番外側の層

この層は「教授法に対する好みの指標 (instructional format preference indicator)」と呼ばれており，この層にある学習スタ

イルは、実際の学習場面で観察しやすいものである。しかし、学習環境、子ども・教師の期待など周辺的环境から影響を受けやすく変化しやすい。この層にある代表的な学習スタイル理論はDunn & Dunnの学習スタイル理論(Dunn, R., & Dunn, K., 1992), レズラーとレズモービック(Rezler, A.G., & Rezmovic, V., 1981)の「学習選好目録」などがあげられる。

(2) 玉ねぎの皮の中間層

この層は「情報処理スタイル(information processing style)」と呼ばれている。これは、子どもの情報処理様式を説明するものである。子どもが、どのように情報を受容し、処理するかの様式により、学習スタイルが決定されると捉えるのである。子どもの情報処理様式に基づき、教授法を精査する必要性を示唆する。この層に属する学習スタイルは前述の層と比べると安定的であり、外からの影響により変化しにくい。子どもの学習方略によって影響を受ける。この中間層にある代表的な学習スタイル理論はコルブの「学習スタイル目録(Learning Style Index: LSI)」(Kolb, D.A., 1976b)がある。

(3) 玉ねぎの一番内側の層

この層は「認知・人格スタイル(cognitive personality style)」と呼ばれており、子どもが情報にどのように対応するかを説明するものである。すべての学習活動は根本的にこの部分で制御されており、外からの影響を最も受けず、生来の性格・気質・能力によるものとみなされている。この層にある代表的な学習スタイル理論はユングのタイプ論を基礎としたマイヤー・ブリッグス・タイプ・インジケーター(Myers-Briggs Type Indicator: MBTI)などがある(Reinhold, R., 2004)。

オニオンモデルで興味深いのは、様々な学習スタイルが生得的で安定

的であるという理論から、学習スタイルが周辺環境と相互作用して変化しやすいという理論までを、一連の集合として捉え、説明していることである。つまり、このオニオンモデルを用いると、複数の学習スタイルに関する理論を用いたとしても、それらが共存するように位置づけることが可能となるのである。

第2節 デューイの経験主義的教授・学習論

第1項 経験主義の教育論

4MAT システムは、四つの学習スタイルに基づく活動を通して問題解決過程を説明するが、子どもが環境に働きかけ、その環境から情報を得ることにより学習が深まるという 4MAT システムが指定する学習過程は、デューイによって提唱されたものである (McCarthy, B. et al., 2002)。そこで本節では、デューイの経験主義的教授・学習論を概観し、4MAT システムの教授・学習過程を明らかにする。

デューイ (Dewey, J.) に代表される経験主義的教授・学習論は、「教育とは経験を絶えず再組織化または再構成することである」(デューイ, J., 1964: 79) として、人間主体と環境の間に行われる経験を基にして展開される。デューイは、再構成されるべき経験の本質を、能動的要素を受動的要素との結合にあると考える。すなわち、経験は、一方では環境にはたらきかける人間の試みであり、他方では環境からその結果を享受するということである。こうした二方面の結合の仕方が、経験の効果や価値を測る尺度になるのである。デューイの言葉を借りれば「われわれの活動が継続してその結果を我々が受けるようになり、われわれの活動によって生じた外界の変化が跳ね返って、われわれの内部に変化を引き起こす時、単なる活動の流れが重要な意味を持つことになる。こうしてわれわれは何かを学ぶのである。」(デューイ, J., 1964: 141)

そもそも経験そのものは元来認識の問題ではないが、経験が教育的価

値をもつ、あるいは「経験から学ぶ(learn from experience)」(デューイ, J., 1964 : 142) には、認識が伴うことが必要である。それは、働きかけとその結果の前後関係・因果関係の認識である。そして、この認識が次の経験に生かされ、経験が順次連続的に発展することが重要であるということである。

第2項 反省的思考に基づく教授・学習論

人が経験から学び、経験を一層深く再構成していくためには、反省的思考が不可欠である。この反省的思考の育成こそ、デューイにとって、中心的な教授目的であった。なぜなら、反省的思考には、以下の三点の価値があるからである。(デューイ, J., 1955 : 18-22)

- (1) 思考は、たんに衝動的で決まりきった行動から解放して、自覚的目的を持った行動を可能にする。
- (2) 思考は、結果の予想を確保したり、回避したりするための準備と工夫とを可能にする。
- (3) 思考は、事物を意味ある対象として、そこから豊かな意味を読み取ることを可能にする。

これらは、真に人間的かつ理性的な生活を保証するものであると考えられる。だが、これらは放置して「自動的に」実現されるものではなく「綿密かつ慎重な教育的指導」を必要とする。また思考が間違った方向に進んで、誤った有害な概念を形成することがあるため、「組織的な訓練」が不可欠である。これは理科教育における教師の指導の重要性を示唆しているものと考えられる。

さて、反省的思考の働く過程、すなわち反省的经验の過程とは問題解決の過程に他ならないが、これはどのように展開するのかについては、仔細に検討されなければならない。

デューイは「反省的思考の機能は、ある種の曖昧さ、疑念、葛藤、動揺が経験される状態で、一貫し、安定した、調和のある状況へと転換す

ることである。」と述べている。この過程は、以下の五つの局面として説明されている。

- (1) 可能な解決へと精神が飛躍するような「暗示」を得る。
- (2) 感じられた困難や当惑を「知性化」して、解決されるべき「問題」として整理する。
- (3) 次々に暗示を指導的観念、すなわち「仮説」として使い、事実収集のための観察その他の諸操作を導く。
- (4) 観念すなわち仮説を推敲する、すなわち「推理」する。
- (5) 仮説をあらわな行動または想像による行動で「検証」する。

なお、以上は「思考の方法(How we think?)」(デューイ, J., 1955: 100)によったものであるが、「民主主義と教育(Democracy and Education)」においても、類似した指摘がなされ、次のように概括されている。

- (1) 問題の獲得
- (2) 諸条件の観察
- (3) 暗示的結論の形成
- (4) その合理的推敲
- (5) 積極的な行動による実験

これら五つの局面は、常に一定の序列をもって継起するものではないし、均等の比重を持つとは限らない。しかし、これらの過程は、その論理構造において科学的実験的方法と一致している(デューイ, J., 1955: 153)。

このようにデューイの経験主義的教授・学習論を概観すると、いずれも子どもが環境に働きかけ、環境からの応答を受け取ることによって個々が概念を構築していくという、構成主義的な学習活動として捉えることができる。この過程こそが、4MAT システムの指定する学習過程であり、それぞれの学習スタイルに基づく活動を構成する一つの基礎であると考えられる。また同時に、4MAT システムの基本理念の一つである、子どもの成長に寄与するという教師の役割が示唆されているのである。

第3節 コルブの「経験学習」論

第1項 経験主義に基づく学習論

デューイの理論により、子どもが環境に働きかけ、環境からの応答を受け取ることで、個々人が概念を形成していくという学習サイクルを措定することが可能となった。これは、4MAT システムの根底を成す理論である。この学習サイクルは、四つの学習スタイルを用いたコルブの「経験学習」論(Kolb, D.A., 1984; Kolb, D.A., et al.,1999)を援用すること

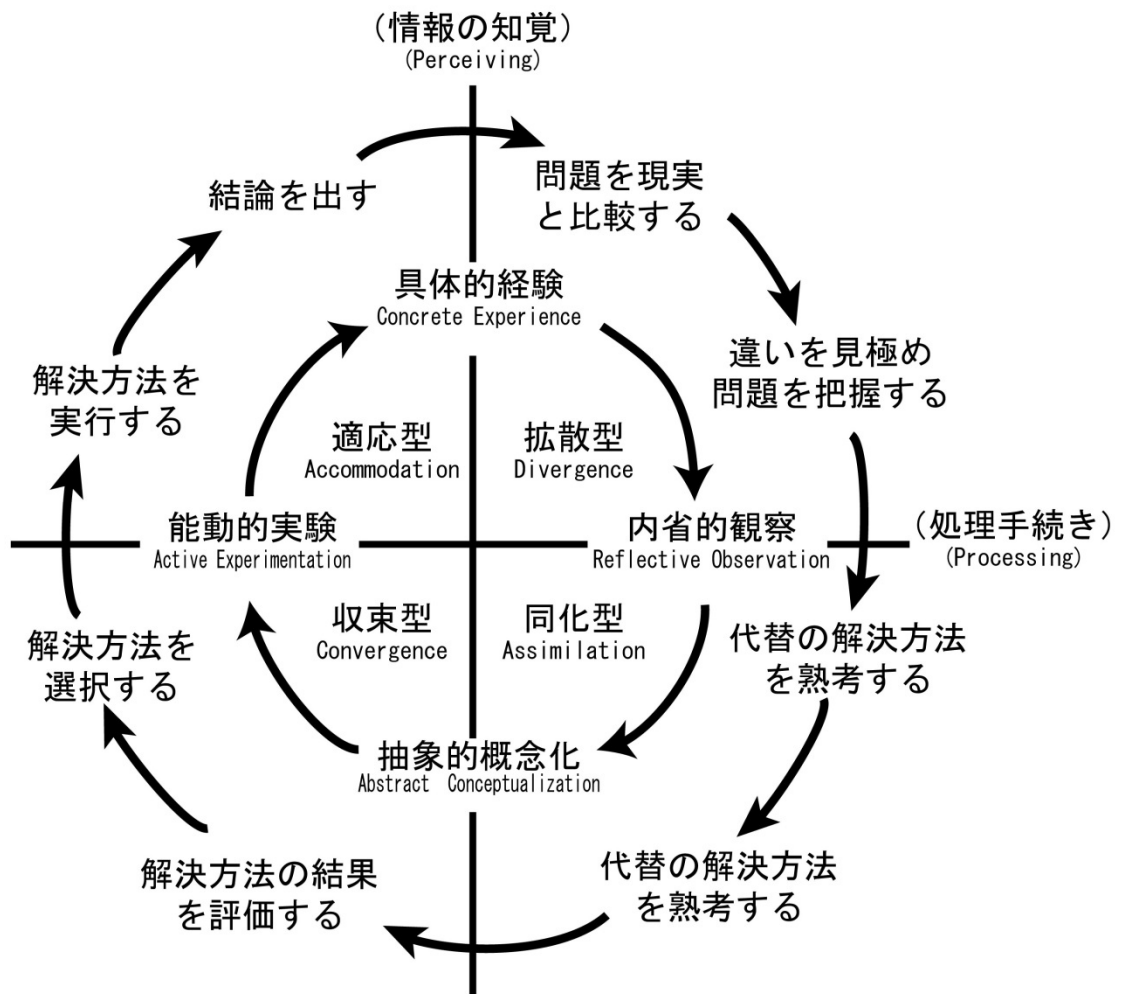


図4.2 経験学習論における4つの学習スタイル(中央部: Kolb, 1976)と問題解決過程(外周: Pounds, W., 1965)

よって、さらに具体的な教授・学習論の描像を得ることが可能となる。そこで本節では、コルブの「経験学習」論を概観することにより、四つの異なる学習スタイルの果たす役割とその過程を明らかにする。

コルブによって提唱された「経験学習」論(Experiential Learning Theory: ELT)とは、経験に基づいて人間が学習する過程を示した学習論である。デューイの経験主義的教授・学習論と同様に、「経験学習」論においても、学習過程において経験が中心的な役割を果たしている。

「経験学習」論の特徴は以下の六つである。

- (1) 学習はプロセスであり結果ではない。
- (2) 学習は経験に基づく絶え間ないプロセスである。
- (3) 学習は社会に適応する過程で、図4.2に示されるように、弁証法的に相反するモードを融合することによって生まれるものである。
- (4) 学習は社会に適応するための全体論的なプロセスである。
- (5) 学習は個人と環境との取引を含む。
- (6) 学習は知識を創造するプロセスである。

次節以降において、この「経験学習」論の詳細について紹介する。

第2項 経験主義に基づく教授論

経験主義に基づくコルブの理論(Kolb, D.A., 1984)は、学習スタイルは比較的安定であるが、長期間変化するものではなく、同時に状況によって変化すると捉えている。これはカリーのオニオンモデルの中間層「情報処理スタイル」で説明されている学習スタイルの捉え方と同様である。

図4.2は、経験学習の過程と問題解決過程を図示したものである。図の縦軸は「情報の知覚」、横軸は「処理手続き」を示しており、内円には縦軸・横軸によって分類された四つの学習スタイル、外円はポウンズによって提唱された問題解決過程(Pounds, W., 1965)を示している。

中央で上下を貫く縦軸は「情報の知覚(perceiving)」であり、子どもが情報をどのように取り入れるかを示している。「情報の知覚」は、ある特

定の状況に参加したり、感情を大切にしながら他の人と関わったりする具体的経験(Concrete Experience: CE)と、感情よりも分析、思考、計画などを重視する抽象的概念化(Abstract Conceptualization: AC)の二つに分かれている。一方で、中央を左右に貫く横軸は「処理手続き(processing)」であり、子どもがどのように情報を咀嚼するのかを示している。「処理手続き」は、情報を得て実際に何かを行うことを好んだり、リスクを冒して、人に影響を与える実践的な事柄に参加することを重視したりする能動的実験(Active Experimentation: AE)と、実際に経験するよりも、ある情報を基に考えを深めることを好んだり、対象を理解し意味を見出して、別の視点から状況を判断することを重視する内省的観察(Reflective Observation: RO)の二つに分かれている。

この「情報の知覚」は、具体的経験と抽象的概念化、「処理手続き」は内省的観察と能動的実験に分けられる。したがって、その組み合わせにより学習スタイルは以下に示される、拡散型、同化型、収束型、適応型の四つのタイプに分類できる。

タイプⅠ：図4.2右上の拡散型(divergence)は、具体的経験(CE)に始まり内省的観察(RO)に至る学習スタイルである。想像力旺盛で、価値や意義について考えることが多い。状況を様々な角度から見て、行動よりも観察により適応する。人との関わりを好み、感情を重視する。

タイプⅡ：図4.2右下の同化型(assimilation)は、内省的観察(RO)に始まり抽象的概念化(AC)に至る学習スタイルである。帰納的に考え、理論的モデルを構築する傾向にある。人より抽象概念や理論に興味があり、実践的よりも理論的な考えを重視する。

タイプⅢ：図4.2左下の収束型(convergence)は、抽象的概念化(AC)に始まり能動的実験(AE)の組み合わせによる学習スタイルである。問題解決、意思決定、アイデアの実践に優れ、感情表現は

少なく、対人的問題よりも技術的問題に取り組むことを好む。
タイプⅣ：図4.2左上の適応型(accommodation)は、能動的実験(AE)に始まり具体的経験(CE)に至る学習スタイルである。計画を実行したり、新しいことに着手したりすることが好きである。環境に対する適応力が強く、直感的な試行錯誤によって問題解決をする場合が多い。気楽に人と付き合うが、忍耐に欠け、出しゃばりな側面も持つ。

第3項 「経験学習」論の意味

前節第2項においては、四つの学習スタイルについて紹介したが、これらの学習スタイルの具体例として、コルブは実際の会社において、どのような職種がどの学習スタイルと相関関係を持つのかについての調査を行っている。その結果、周囲との関係と自分の考えを大切にする会社員は拡散型、基礎的・応用的な研究に従事している研究職は同化型、生産の携わる技術職は収束型、顧客の要請を応える実践的な販売職は適応型の学習スタイルに分類され、仕事の業種ごとに得意としている学習スタイルが存在していることが明らかになった(Kolb, D.A., 1976)。

「経験学習」論によれば、子どもは対立した要素間の弁証法的過程を経て、周囲の環境に適応すると考えられている。「経験学習」の過程は、子どもの既存経験に対して吟味する段階から開始する(タイプⅠ：拡散型)。ここでの評価は観察や省察を通じて情報の知覚のための準備をすることを可能にする。これらの観察は子どもを次の段階、すなわち個人の経験とは相対した、感情的ではなく抽象概念的な段階へと進み、子ども自身が有効な理論を構築する(タイプⅡ：同化型)。このような情報の同化と構築を経て、子どもは環境に対する自らの姿勢を明確にして試行段階への準備を整える(タイプⅢ：収束型)。試行段階は抽象的概念化とは対極にあるものであり、実際の試行過程を通じて概念の検証を行うのである(タイプⅣ：適応型)。「経験学習」の循環サイクルは、それぞれの

段階における活動を経験し、統合していくことが重要である。こうした一連の活動を通じて、子どもは最初に抽象的概念化を通して新しい概念を作り上げ、その概念を実際に試行するによって検証を行い、学習を完遂すると考えられる。

「経験学習」の循環サイクルは、子どもが環境に適応する諸理論と関連性を持っていると考えられる。図4.2の外周円は、ポウンズ(Pounds, W., 1965)の問題解決過程であり、各項目はそれぞれ、問題と現実との比較、違いを見極めた問題の把握、代替の解決方法の思案、代替の解決方法の思案、解決方法の評価、解決方法の選択、解決方法の実行、結論といった一連の活動を示している。これらの項目は「経験学習」の循環サイクルにおける各学習スタイルと対応していることが示されている。さらに、「経験学習」の循環サイクルは、シモン(Simon, H.A., 1947)によって提唱された意思決定過程、ワラス(Wallas, G., 1926)によって提唱された創造的過程と対応関係にあることがコルブによって示唆されている(Kolb, D.A., 1984 : 32-33)。

つまり、「経験学習」論においては、子どもは対立した要素を含む四タイプの学習スタイルに基づく活動を連続的に行い、こうした一連の問題解決的な活動を通じて、得意な学習スタイルを他の学習スタイルへ拡張していくことが可能となる。その結果、「経験学習」で措定された循環サイクルが実現されるのである。この循環サイクルは、問題解決や意思決定といった活動を可能にすると考えられる。

第4節 ユングのタイプ論

第1項 ユングのタイプ論の意味内容

コルブの「経験学習」論においては、「情報の知覚」や「処理手続き」といった要素を包含した四タイプの学習スタイルに基づく活動を行い、その結果、問題解決的な活動を可能にすることができることが理論的に明らか

になった。こうした異なる学習スタイルに基づく活動を行い、それぞれの活動を充実させていくことは、4MATシステムの重要な視点である。

ユング（Jung, C.G.）のタイプ論は、人の心理機能をいくつかのタイプに分類し、それらすべての心理機能を育成することを目的にしている点で、コルブの理論と類似しており、4MATシステムの理論的な根拠のひとつとなっている。そこで、本節ではユングのタイプ論を概観し、補償作用(compensation)や個性化の過程(individuation process)という視点を示すことによって、4MATシステムの四つの学習スタイルに基づく活動をバランスよく育成する必要性を明らかにする。

ユングのタイプ論(Jung, 1923)は、コルブの「経験学習」論と同様に、人間の発達に関する包括的理論である。この理論は、個々人が世界を知覚するときには最も得意な方法を使用しており、その方法は測定可能であるという前提に基づいている。

ユングは人間の多様な振る舞いは、実際には整然とした一貫性のあるものであり、一人ひとりの得意な知覚と判断のタイプによるものであると考えた（河合，1967）。このタイプ分けは、ある個人の人格を理解するための指針であり、個人を分類するための枠組みではない。また、このタイプ分けはいくつかの座標軸を設定して行われるが、その軸上に存在したり、ずっと静止していたりすることはまれである。むしろ、軸からのずれや、軸を一つの基点として、その動きを追跡することによって個人の特性を見ようとするものであると考えられる。このようなタイプ分けは、ユングだけではなくクレッチマー(Kretschmer, E.)などによって少しずつ異なる形で提唱されているが（クレッチマー，E., 1960）、それぞれ注目している側面が違っているため座標軸の設定は少しずつ異なっている。

第2項 タイプ論における心理機能と学習スタイルの関係

ユングによれば、個々人はおのおの最も得意とする心理機能を持って

いる。これらの心理機能は、様々な条件においても、原則的には不変な心の活動様式である。この心理機能は思考(thinking)、感情(feeling)、感覚(sensation)、直観(intuition)の四つに分類される。思考は対象に対して、それが何かを判断する際に論理的に意思を決定する機能であり、感情は主観的、個人的な価値観により対象を評価する機能である。また、感覚は五感を活用して対象の存在を的確に把握する機能であり、直観は様々な関係性、洞察、ひらめきによって、対象の属性を超えた理解をもたらす機能である。これら四つは独立の機能であり、個人がこれらのどれかに頼ることが多い場合、それぞれ思考型、感情型、感覚型、直観型であると考えられる。

これら四つの機能のうち、思考と感情、感覚と直観は対立関係にある。つまり思考機能の発達している人は感情機能が未発達であり、逆に感情機能が発達している人は思考機能が発達していないという関係にある。これは感覚と直観についても同様である。さらに感覚と直観は、まず何かを自分のうちに取り入れる機能であるのに対し、思考と感情はそれらを基にして何らかの判断を下す機能である。この思考と感情は、対象に対して概念規定を与えたり、良し悪しを判定したりすることから合理機能(rational function)と呼ばれており、反対に対象をそのまま認識する感覚と直観は非合理機能(irrational function)と呼ばれている。この四つの機能のうち、個人が主として依存している心理機能を主機能(main function)、その対立機能を劣等機能(inferior function)という。

ユングは環境に対する基本的な態度を、個人が外界の事象へ関心に向けている外向的(extroversion)な態度と、反対に内界へ向けている内向的(introversion)な態度の二つに分類した。これらの態度はコルブによって、外向的は能動的実験(Active Experimentation: AE)、内向的は内省的観察(Reflective Observation: RO)と対応していることが示されている(McCarthy, 2002)。

心理機能と環境に対する基本的な態度を組み合わせることにより、外

向的思考，内向的感情等の八つの基本類型ができあがる。一般的には，これらの基本類型の中間に属する人も存在する。マイヤーズ(Myers, I.)とブリックス(Briggs, K.)は，上記の内向—外向，感覚—直観，思考—感情の三つの座標軸に，判断的態度—知覚的態度という座標軸を追加することにより，計16個の基本類型で性格をとらえる，マイヤー・ブリックス・タイプ・インジケータ(Myers-Briggs Type Indicator: MBTI)という自己理解手法を提唱している。これは，カリーのオニオンモデルにおいては，玉ねぎの一番内側の層である「認知・人格スタイル」として考えられており，ユングのタイプ論は外因の影響を受けない学習スタイルに属していると考えられることができる。

マッカーシーは，ユングのタイプ論における心理機能とコルブの「経験学習」論における学習スタイルが，4MATシステムにおける学習スタイルに基づく活動と対応関係を持つことを示している(McCarthy, 1981, 1987)。つまり，これらの心理機能に関する論考は，学習スタイルにも援用できるのである。

第3項 タイプ論における補償作用と個人化の過程

意識的態度である主機能に対する無意識の補償作用(compensation)，つまり内向性態度と外向性態度，主機能と劣等機能の相補性についてはユングが最も重要視した部分のひとつである。

たとえば外向性直感型の人には，直観によって得たものを適切に獲得していくためには，必ず補助機能として思考機能か感情機能による判断の助けを必要とする。ここで，もし思考が第二次機能であるとすると，感情は第三次機能で多分に未分化なものになり，感覚は劣等機能とし最も未分化なものとなる。このように，個人はその主機能をまず頼りとして，補助機能を助けとしつつ，その成長を通じて劣等機能をも徐々に発展させていくのである。ユングは，この過程を個性化の過程(individuation process)として捉えており，成熟した個人はこのような過程を経て，主機

能から劣等機能までの四つの心理機能を成長させると考えている。つまり、座標軸上で対立している要素が共に成長することによって、個性化の過程、すなわち、成熟した個人への成長が実現できるのである。

このユングのタイプ論を援用すれば、4MAT システムの教授・学習活動において、得意な学習スタイルに基づく活動だけではなく、対立した要素を含んでいる不得意な学習スタイルに基づく活動を補償作用的にバランス良く成長させることにより、個性化の過程が実現し、問題解決的な能力を育成することにつながるのである。

第5節 4MAT システムの概観

第1項 4MAT システムの各象限における学習スタイル

4MAT システムはマッカーシー(McCarthy)によって提唱された、伝統的な発達理論を背景とした教授・学習論である(McCarthy, 1981,1987; McCarthy, 1990; McCarthy et al., 2002)。

4MAT システムは問題解決的な学習過程を第1象限から第4象限の四つの学習スタイルに基づく活動を用いて説明している。そのため、各象限における学習スタイルに基づく活動の視点を仔細に検討し、理科授業において実践することにより、「科学的な思考・表現」に関する学力を育成する問題解決的な学習を実践することが可能となると考えられる。

そこで本節では、4MAT システムにおける各象限の学習スタイルに基づく活動について概観し、問題解決的な学習を支える4MAT システムの全体像を明らかにする。

4MAT システムでは、子どもが環境に働きかけ、環境からの応答によって個々人が概念を構築していくという構成主義的な学習観には、第4章第2節で述べたデューイの経験主義的な教授・学習理論を、具体的な学習スタイルとその配列には、第4章第3節で述べたコルブの「経験学習」論を、熟達のためには得意な学習スタイルと同時に苦手な学習スタ

イルもバランス良く育成する必要があることは、第4章第4節で述べたユングのタイプ論を、それぞれ理論的背景として用いている。

こうした理論的背景から、マッカーシーは4MATシステムの特徴を以下の二点であるとしている。

- (1) 子ども一人ひとりそれぞれに得意な学習スタイルと脳の使い方（ライトモード：右脳様式、もしくはレフトモード：左脳様式）を保持している。
- (2) 得意な学習スタイルを活用できる体系的な枠組みの中で、（それぞれの学習スタイルに基づく活動を具現化するような）複数の教授

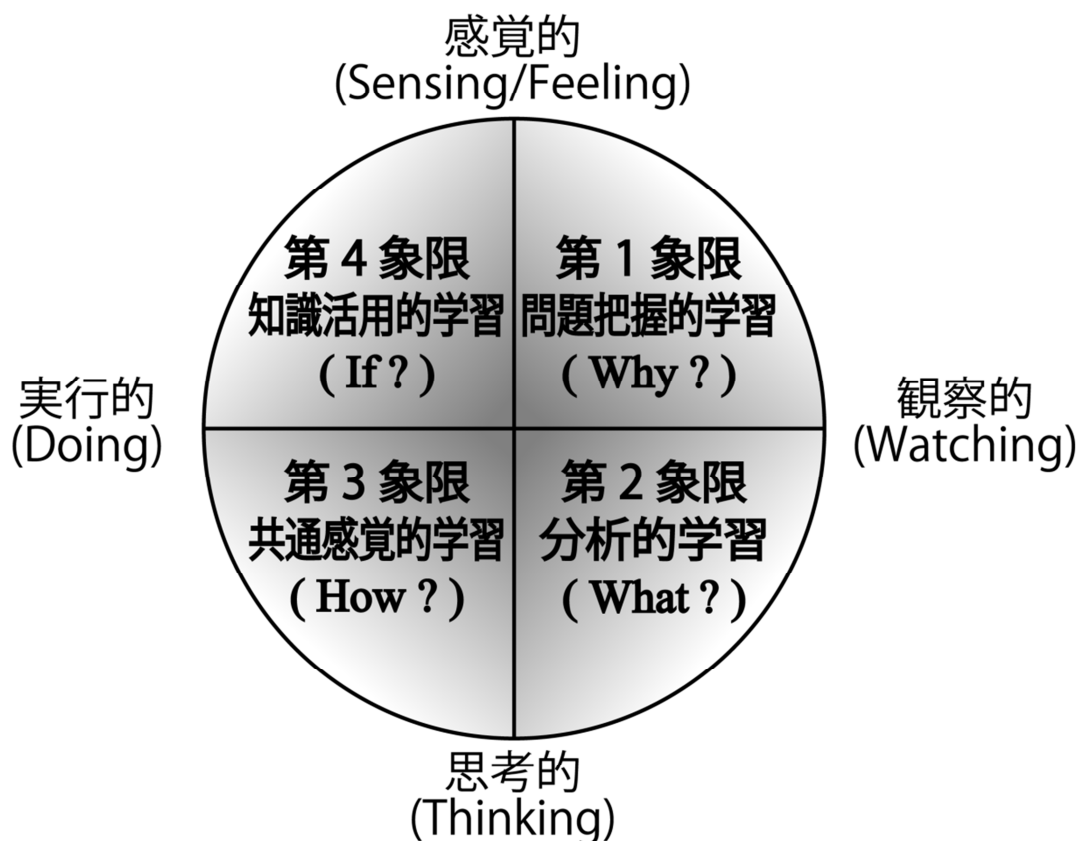


図4.3 マッカーシー(McCarthy, B.)の4MATシステム。縦軸は情報の知覚（感覚的/思考的）横軸は処理手続き（実行的/観察的）を表している。これらの組み合わせによって学習スタイルが第1象限から第4象限の四つに分類される。

方略を用いて授業デザインを行うことにより、教授・学習スタイルを改善することができる。

4MAT システムではコルブの「経験学習」論と同様に、子どもがどのように「情報の知覚(perceiving)」を行い、それをどのような「処理手続き(processing)」を経て学習を行うのかに注目し、「情報の知覚」と「処理手続き」をそれぞれ座標軸として、子どもの学習スタイルを4タイプに分類した。「情報の知覚」における要素は感覚的(sensing/ feeling)と思考的(thinking)の二つであり、「処理手続き」における要素は実行的(doing)と観察的(watching)の二つである。これらの要素は、排他的な性質を持つものではなく、どちらの要素も等しい価値を持つと考えられる。これらの座標軸はコルブの「経験学習」論を背景としており、4MAT システムと「経験学習」論を比較すると、各象限において以下の対応関係が示される。

(1) 情報の知覚

感覚的(sensing/ feeling) ⇔ 具体的経験(Concrete Experiential: CE)

思考的(thinking) ⇔ 抽象的概念化(Abstract Conceptual: AC)

(2) 処理手続き

実行的(doing) ⇔ 能動的実験(Active Experimentation: AE)

観察的(watching) ⇔ 内省的観察(Reflective Observation: RO)

「情報の知覚」の要素は「感覚的」もしくは「思考的」のいずれかであり、「処理手続き」の要素は「実行的」もしくは「観察的」のいずれかである。この二つの要素の組み合わせによって、子どもの学習スタイルは第1象限から第4象限の四つに分類される(図4.3)。第1象限は感覚的+観察的で特徴づけられる「問題把握的学習(imaginative learners)」, 第2象限は思考的+観察的で特徴づけられる「分析的学習(analytic learners)」, 第3象限は思考的+実行的で特徴づけられる「共通感覚的学習(common sense learners)」, 第4象限は感覚的+実行的で特徴づけられる「知識活用的学習(dynamic learners)」と呼ばれている (McCarthy,

1990; 鈴木・森本, 2012)。

第2項 4MATシステムの各象限の学習スタイルにおける二つのモード

マッカーシーは4MATシステムの各象限の学習スタイルにおいて、さらに右脳半球と左脳半球それぞれの特徴的な機能を基にして、ライトモード（右脳様式）とレフトモード（左脳様式）という視点を用いることを提唱した(McCarthy, 1990; McCarthy et al., 2002)。

ボーゲン(Bogen, J.E., 1969)によれば、脳研究において以下の3点が明らかになっている。

- (1) 右脳と左脳の処理過程はそれぞれ異なっている。
- (2) 脳の機能において、右脳、左脳どちらも同じように重要である。
- (3) 新しい学習に着手するときには、脳は一つの情報処理モードに頼っている。

一般的には、ライトモードは全体的、視覚的、総体的な機能であり、パターンやつながりを理解することが可能である。ライトモードは様式を探ることにより、俯瞰的に対象の全体図を見ることにより、問題解決を行う。この時に重要な戦略は、ひらめきや信念、自分の意見を持つことである。一方でレフトモードは連続的、分析的、理性的、言語的な機能である。レフトモードは部分的な個所を見ることにより、その順序やまとまりを考えて問題解決を行う。この時に重要な戦略は、対象を分析することと計画を立てることである。

4MATシステムでは、各象限の学習スタイルにはそれぞれ得意とするべき場面があり、それぞれライトモードとレフトモードが存在すると措定される。つまり、各象限の学習スタイルにおいて、ライトモードとレフトモードの二つの視点が提供され、これら二つの視点を満たすことによって、脳を全球的に活用した学習が可能となるのである。これは4MATシステムの各象限の学習活動の枠組みにおいて、注目する視点が二つ以上になることの理論的根拠となっている。

第3項 4MATシステムの各象限の学習活動の相互関連性

情報の知覚，処理手続き，そしてライトモード・レフトモードに基づいて論考することにより，4MATシステムの各象限における学習スタイルの位置づけが明確となった。これらの学習スタイルは連続的に捉えることが必要である。

4MATシステムにおいては，第1象限から4象限の学習スタイルをまで連続的に行うということにより，諸感覚を用いて経験したことから観察，実験などの分析を通して理論を構築し，実際に使いこなす中で検証・省察を行い，次の類似の現象へと活用する準備を進めるといふ，問題解決的な学習が可能となると考えられている。

そこで4MATシステムでは，子どもはそれぞれ得意な学習スタイルを保持していることを推定し，それぞれが得意とする学習スタイルの方略を異なる学習スタイルにおいて使用するような活動を通じて，それまで苦手であった学習スタイルを習得していくと考えている。これはユングのタイプ論における補償作用と同じ考え方である。

つまり，4MATシステムの各象限における学習活動は相互作用しており，得意な学習活動だけではなく，全ての学習スタイルを身に付けていくことが，問題解決的な学習を具現化する上で重要なのである。

第6節 4MATシステムにおける四つの教授・学習活動

第1項 4MATシステムにおける各象限の学習活動の意味内容

前節までにおいては，4MATシステムの各象限における学習スタイルの構成原理と，各象限の学習スタイルに基づく活動どうしの関連性を概観し，4MATシステムの全体像が明らかとなった。そこで本節では，4MATシステムの各象限における学習スタイルに基づく活動を具体的に分析することにより，問題解決的な学習を行う微視的な視点を明らかににする。

4MATシステムは，情報の知覚や処理手続き，そしてライトモード・

レフトモードといった様々な学習スタイルの特性を認証し、四つの学習スタイルに基づく活動を組み合わせることによって、子どもの多様な活動を保証するモデルとして機能している。この4MATシステムを学校教育の文脈において活用するとき、教師は4MATシステムを教授・学習論の枠組みとして援用することが可能となる。その結果、教師は第1象限から第4象限までの学習において、子どもそれぞれの学習スタイルに基づいた活動をデザインすることができると考えられる。

本研究では、これまで子ども個人に焦点を当てた学習論的立場から、子ども個人が得意とする学習方略を「学習スタイル」という言葉で論考してきたが、以後、理科授業における教師と子ども、子どもと子どもの協同的な学習に焦点を当てて論考するため、各象限における子どもの学習スタイルに基づく活動を「各象限の学習活動」と定義して用いることとする。このような立場から議論することにより、理科授業における教師と子どもの役割が一層明確になると考えられるからである。

第2項 4MATシステムにおける四つの象限の学習活動

図4.4は4MATシステムの概略図である。学習スタイルに基づいた学習活動は第1象限から第4象限の四つに分類されている。第1象限では学習の意味付け、教材と既存の知識や経験と結びつける「問題把握的学習」を設定する。次いで、第2象限では様々な手法によって学習内容を分析して統合する「分析的学習」、第3象限では学習した内容を子ども自身の手によって活用する「共通感覚的学習」を設定する。そして、第4象限では学習した内容を次の新しい場面へと活用する「知識活用的学習」によって一連の学習過程が達成される。これら四つの象限の学習活動を連続的に実践することによって、子どもは、学習内容を主観的な理解から客観的な理解へと概念を転換させ、最終的には統合された理解、すなわち科学概念を構築することができると考えられる。この学習過程はコルブも指摘している通り問題解決的な学習であり、その能力の育成に寄

与できることが明らかである。以下において、各象限の活動を詳述する。

第3項 第1象限の問題把握的学習における学習活動

第1象限は「問題把握的学習」である（図4.4右上）。この学習活動は、諸感覚を使って体験した事象について、その事象が起きる理由を、自分の中で問題意識として把握していくことを意味している。この学習活動で重要なことは、子ども一人ひとりが持っている既有概念の違いを論点として明確にし、対話的な活動を通じて子どもの多様性を肯定的にとらえる既有概念を自覚すること、学習の対象に対して興味を喚起させ見通しを持たせることである。ライトモード・レフトモードの分類によれば、この既有概念を自覚することはライトモード、学習の対象に対して興味を持ち見通しを持つことはレフトモードであると考えられる。

この象限における教師の役割は、子どもの既有概念や学習の見通しを通じて教材と結びつける(Hook)ことである。具体的に経験した事象の理由が「なぜ」なのかを考える学習活動が主となるため、第1象限の学習活動を端的に表すキーワードは“Why?”となる。

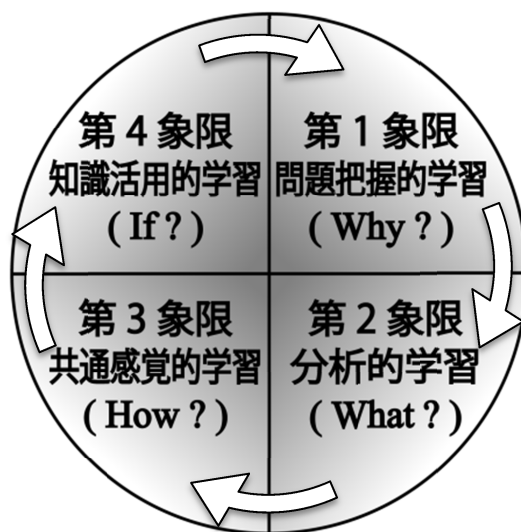


図4.4 4MAT システムの概略

第4項 第2象限の分析的学習における学習活動

第2象限は「分析的学習」である（図4.4右下）。この学習活動では、子どもが第1象限で把握した問題について得た様々な情報を既存の概念を用いて分析を図る学習である。この学習活動で重要なことは、数値やグラフ、表などを用いたデジタル表現と、文章や理論、スケッチやモデルを用いたアナログ表現の両方を用いて、与えられた素材を詳細に分析することである。ライトモード・レフトモードの分類によれば、図表などを用いるようなアナログ表現による分析はライトモード、数値を主として用いるようなデジタル表現による分析はレフトモードであると考えられる。

この象限における教師の役割は、カリキュラムを細分化して要点を明確化すること、そして単元全体を深く理解することである。取り組むべき問題が何か明確であるため、第2象限の学習活動を端的に表すキーワードは“What?”となる。

第5項 第3象限の共通感覚的学習における学習活動

第3象限は「共通感覚的学習」である（図4.4左下）。「共通感覚」という言葉の検討は第5章の第2節で詳述するが、ここでは端的に、子ども固有の考え方と捉えるものとする。この学習活動では、子ども固有の考え方を観察・実験を通して検証していく過程である。この学習活動で重要なことは、事実を概念として表現して、その概念を論理的に説明すること、そして、それらの概念を活用して科学概念を構築することである。

事実を概念として表現して、その概念を論理的に説明することは、ライトモード・レフトモードの分類においてはレフトモード、概念を活用する活動はライトモードであると考えられる。

この象限における教師の役割は、共通感覚的な意見の妥当性を確認したり、議論を焦点化したり、その性質を明らかにしたりするなどして、

子どもの考え方を価値づけ、修繕する(Tinkerer)ことである。教師はこれらの概念構築を支援するために、曖昧なものに対して考察し、教材の詳細な部分まで理解し、さまざまな疑問に答えられるような科学概念を構築しなければならない。このような共通感覚をつくる過程を通して、理論が「どのように」構築されているかを検証するのが重要であることから、第3象限の学習活動を端的に表すキーワードは“How?”となる。

第6項 第4象限の知識活用的学習における学習活動

第4象限は「知識活用的学習」である(図4.4左上)。この学習活動では、第1象限から第3象限までの学習活動を経て構築された知識を積極的に活用することによって理解を深める学習である。この学習活動で重要なことは、共通感覚から常識を作る過程で構築された概念を省察するとともに活用し、次の問題に対しても、試行錯誤ではあるが創造性を発揮して、問題解決を図ろうとすることが重要となる。ライトモード・レフトモードの分類によれば、第1象限から第3象限までの学習活動と構築された概念を省察する活動はライトモード、新しい問題へ取り組む活動はレフトモードであると考えられる。

この象限における教師の役割は、学習活動を十全に機能させるために、評価の方法を工夫することが求められる。現在の紙媒体の評価、いわゆるペーパーテスト等の評価では、各象限の学習活動を効果的に判定することは難しいからである。各象限の学習活動においてどのような活動が優れたものであるかを、授業研究などの検討を通じて構築していくことが必要である。

しかし4MATシステムでは、最終的には子どもによる自己評価が評価の中心となることが求められる。なぜなら、4MATシステムにおいては学習の責務は教師(第1象限、第2象限)から子ども(第3象限、第4象限)へと推移していくため、最終的には第4象限で子ども自身が学習を統合しなければならないからである。

この活動においては、「もし」このようなことをしたらどのような結果になるのかというように、知識を活用して試行錯誤することが求められるため、第4象限の学習活動を端的に表すキーワードは“If?”となる。

本節では4MATシステムにおける各象限の学習活動について分析し、各象限において重要な学習活動の視点を明確にした。これらの視点は、理科授業を問題解決的な学習としてデザインする際に、各象限の学習活動の場面で念頭に置く必要のある、とても重要な視点であると考えられる。

第7項 4MATシステムにおける学校の管理者の役割

本節では、4MATシステムの各象限における学習活動の特徴について論考したが、4MATシステムの学習活動を具現化するためには、子どもと教師だけではなく、通常は校長などの学校の管理者が、この学習活動に参加することが必要である。学校の管理者の各象限における役割は、第1象限では学校の教育の指針を明確にすること、第2象限ではカリキュラムや指導要領等の調整を行うこと、第3象限では教師と共に子どもの支援を行うこと、第4象限では教師の活動を価値づけ、それらを評価することにより学校の教育の指針を捉えなおすことである。これは端的に言えば、学校の管理者は、教師と共に子どもの活動を支援し価値づけるとともに、学校全体のカリキュラム等を調整し、教育の基盤を保全することが示唆されているのである。

第5章 4MATシステムを援用した理科授業デザイン

第1節 ブルーメンフェルドのプロジェクトベース学習

第1項 プロジェクトベース学習の意味内容

4MATシステムについての全体像と各象限の学習活動が明らかになり、

問題解決的な学習をデザインする視点が明確になったが、これらを理科授業に援用する際には、さらにいくつかの理論的な支援が必要であると考えられる。そこで本節では、ブルーメンフェルド(Blumenfeld, P.)らの教授・学習論であるプロジェクトベース学習(Blumenfeld, P. et al., 1991)を概観することによって、子どもの学習において、主体的な探究活動を行うことが概念構築に有効であることを明らかにする。

プロジェクトベース学習はブルーメンフェルドらによって提唱された教授・学習論である。プロジェクトベース学習の背景には構成主義的な学習理論があり、子どもは既存概念を総動員して新たな概念を主体的に構成していくことによって、学習内容を深く学ぶことができるという考えに依拠している。プロジェクトベース学習では、取り扱われる学習単元における問題の選択がきわめて重要な要素となる。何よりもまず、問題は子どもたちにとって価値があるものでなければならない。また、科学者、数学者、作家、音楽家といった専門家が実際に取り組んでいるような、学問的文脈に沿った問題であることも必要である。

こうした問題に取り組むことを通して、子どもたちは仮説を提案し、自分の考えについて他者と討論し、多面的に考え、これまでにないアイデアを産出するといった一連の知識構築プロセスに主体的に取り組むことになる。こうしたプロジェクトベース学習を体験した子どもたちは、従来の伝統的な学習形態で学ぶよりも効果が高いという結果が、マルクスらによって報告されている。(Marx, R.W. et al., 2004)

第2項 プロジェクトベース学習の特徴

プロジェクトベース学習は以下の五つの項目によって特徴づけられる。

(1) プロジェクトベース学習は、子どもたちに誘発問題(driving question)を投げかけることから始まる。

(2) 子どもたちは誘発問題を状況に埋め込まれた探究活動、つまり、専門家と同じ調査方法で解決する。そうすることで子どもたちは、

各専門分野の重要な概念を深く理解し、応用することができるようになる。

(3) 子どもと教師、および彼らを取り巻くコミュニティの成員は誘発問題を協同して解決しなければならない。これにより、子どもたちは専門家が問題を解決する際の複雑な社会的状況と同じプロセスを体験することになる。

(4) 子どもたちは、探究活動の足場かけとなる学習支援テクノロジーを自由に使うことができる。

(5) 最終的に、子どもたちが誘発問題の具体的な解決結果を何らかの形として表現することで、学びの成果を誰もが共有できるようにする。

子どもが探究プロセスを独力で遂行する場合、そのプロセスや状況に埋め込まれた知識を発見・獲得し、より深く探究テーマについて学ぶことができると考えられている。なお、この一連の探究活動は、科学者が革新的発見を得るために用いている研究手法を模したものである。

子どもがこのような探究活動を主体的に行うことは、伝統的な授業のように教科書に細かく示された手順通りに観察や実験を行う場合と比較することで、いくつかの利点を見ることができる。

一つ目は、子どもが自らの手で探究活動を進めることによって、手順通りの観察・実験では得られない新たな気づきを得ることができることである。こうした活動を行うことにより、子どもはその活動に価値や意義を見出すことが可能になる。二つ目は、こうした探究活動における状況に埋め込まれた学習を通して子どもが構成した概念は、教室外の実生活などにおける文脈にも応用することができることである。従来の理科授業のように教科書の手順にしたがって実験を進めるだけでは、身につけた研究手法が教室外で生かされることはほとんどない。そして、実社会と剥離した知識を記憶するだけでは、子どもたちはその知識について表面的な理解だけを得ることになり、獲得した概念を他の文脈や場面に

応用することは困難であると考えられる。

プロジェクトベース学習においては、主体的に探究活動を行う事により、子どもたちは状況に埋め込まれた有意味な概念を獲得することが可能となる。さらに、このようにして得られた概念を、科学的な妥当性の高い手法を用いて検討し、自らの既存概念と統合していく体験を通して、深く広範囲で強固な科学概念を得ることができるようになるのである。

第2節 ホーキンスの「共通感覚」論

第1項 「共通感覚」の意味内容

4MAT システムの第3象限の共通感覚的学習において「共通感覚」という言葉を用いたが、理科授業をデザインするためには、「共通感覚」の意味内容を検討し、その具現化としての学習活動を明らかにすることが必要であると考えられる。そこで本節では、ホーキンスの「共通感覚」論を概観し、子どもの表現の多様性が保証され、子どもの共通感覚的な考えを基にして、科学概念が構築される過程を明らかにする。

ホーキンス(Hawkins, D.)は、子どもたちが構成する知識を「共通感覚による概念の枠組み(common sense conceptual framework)」によって捉えることを提案している。これは子どもたちが、科学の体系のような外的な評価基準を設定しないで抽出した、彼ら自身の用語によって探索、分析した概念の世界を記述しようとするものである。

コモンセンス(common sense)は、一般的に「常識」と和訳されている。辞書的な意味からすると、常識とは、特定の集団である時期に広く承認されている意見や行動様式であり、当該社会の人々によって積み重ねられた多様な経験の中から、好ましさの尺度として抽出された共通の感覚を基盤として成り立ったものである。

子どもたちの構成する知識を日常知として捉える視点は、これまでに理科教育にも存在したが、これは科学的知識に対して、子どもたちが日常経

験のなかで培ってきた知識は誤概念的(Misconception)なものであるとして捉えられており、軽視の対象であったと考えられる。ホーキンスは、このように子どもたちが日常経験の中で知識を構成することに焦点を当て、それを理科授業の中で適切に評価していくために、コモンセンスの意味内容を「常識」としてではなく、「共通感覚」として捉えている。この「共通感覚」は知識が構成される過程において重要な役割を果たすからである。

共通感覚とは、古くはアリストテレスによって説明されている。私たちが色や音を知覚するには、視覚や聴覚のようにそれぞれ固有の感覚が必要となる。しかし、リンゴが赤くて、質量を持ち、食べると甘い果物であることを知覚するためには、視覚、触覚、味覚などの二つ以上にわたる感覚を一つの対象に融合して、これを同時に意識する「すべての感覚器官に共通な、ある部分」が働かなければならない。運動、静止、数、形、大きさなどが知覚されるのは、固有な能力の他に、関係する随伴的な能力がそれぞれの感覚に備わっているためだと考えて、これを共通感覚（五感の統合体）と名付け、一義的な感覚能力としたのである。

デカルトの理論における共通感覚は、心身の相関、つまり異なる原理に基づくものとして峻別された心と身体の結びつきの問題として扱われている。すなわち、心あるいは精神は、身体のすべての部分からではなく、脳の奥まった一つの部分、共通感覚があると言われる部分から、直接に働きかけを受けている。そしてこの部分は、それが同じ様式で配置されるときはいつでも、たとえそのとき身体の他の部分が異なって配置されるようなことがあっても、精神に同一のものを感じさせるのである。

すなわち、共通感覚とは、諸感覚を統合し、私たちが世界と思っている何かを知覚させる働きを持っている。そして、この統合の仕方の同型性が、私たちに共通な感覚をもたらすのだということができる。

ホーキンスは、高度科学技術社会の現代において、個々にとっての科学の意味を問い直し、科学を一人ひとりのものへと還元しようと考えた。これは言い換えると、科学の意味を、科学者集団が研究を深めて、それを教

えるという図式から，市民一人ひとりがそれに関わり，作り出すという図式へと変換しなければならないと考えたのである。

第2項 「共通感覚」における実用論的スキーマの役割

子どもたちの「共通感覚」による概念の枠組みは，どのようなものとして捉えられるのであろうか。一般的に，科学的な推論過程のひとつの指標としては論理的な思考があげられる。理科教育においても，このような思考過程はひとつの目標として強調されてきた。しかし，チェングとホリオーク(Cheng & Holyoak)の提唱した実用論的スキーマという概念によれば，人は論理的に導出できるはずの命題であっても，それを認識するものにとって自明でない場合，その論理は無視されてしまうと考えられている(Cheng, P.W., & Holyoak, K.J., 1985; 湯沢, 1988)。

実用論的スキーマは，子どもたちの生活経験や既存の知識に端を発し，子どもたちの固有の考え方の構成を説明する際の基本的な原理として機能する。これはコモンセンスが生成される起源になると考えられる。すなわち，子どもたちの自然事象に対する「共通感覚」は，こうして実用論的スキーマを背景として構成されていくのである。

ホーキンスは，このような子どもたちの共通感覚を，真理に対する誤りや知識に対する無知である誤概念としては捉えていない。むしろ，共通感覚は子どもたちの保持している考え方，すなわち日常知において正しいと考えられる。さらに，この捉え方は，子どもの考えが科学概念への発達途上であるという点を強調している点において，理科教育における既存概念(preconception)の考え方と同一であると考えられる(森本・横浜国立大学理科教育学研究会，2009)。子どもが共通感覚を誤りと判断するのは，子どもたちの考え方が，彼らの獲得してきた経験の範囲を超えて広げられていく時なのである。

子どもたちは，理科授業において，科学的な見方や考え方を理解するように求められたとき，彼らは共通感覚によって，諸感覚を組み替え，新た

な知覚のあり方へ移行しながら自らの知識を常識として構成していくが、これはまさに、科学概念を構築する過程と同一であると考えられる。すなわち、子どもが科学概念の構築するための基盤として、共通感覚的な考えが必要なのである。

第3項 「共通感覚」を基礎とした科学概念の構築

ホーキンスの「子どもの科学概念形成における共通感覚」の働きへの着目は、子どもたちの日常知を保証しつつ、それを常識として固定的に捉えるのではなく、現代科学という新しい学校知に出会ったときに、それを取り込み、融合させ、新たな世界を構築することが可能であるような動的、可塑的な知としてとらえようという提案である。これは、理科教育において構成主義的アプローチを用いた研究運動である ACM(Alternative Conception Movement)の主要な関心事のひとつである、「個人により意味付与された科学の世界(personal construct)」に帰着すると考えられる。子どもたちの一人ひとりが知識を構成することを保証しようとするならば、まず、このような子どもたちが作る恣意的な認識を保証しなければならないのである。

ホーキンスが主張するように、理科教育において子どもの恣意性を保証するとき、それは旧来の「科学は客観的で価値的に中立である」という科学観を「科学理論の内容は、観察者の保持する概念体系によって決定される」という科学観へと変換することを意味する。これは換言すれば、旧来の一元主義から多元的あるいは相対主義的な科学観への返還を意味している。

科学哲学者チャーチランドは、カロリック(熱素)理論の変遷を概観する中で後者の立場の有効性を示唆している。一般的に、科学者は新しい事象に遭遇したとき、何らかの同一性を措定することによって、それを理解しようとしていると考えられる。これは子どもたちが実用論的スキーマという同一性を措定して、新たな事象に関する知識を構成しようとする過程

と一致する。すなわち、知識の構成過程においては、事象を説明するために何らかの恣意的な同一性を措定することが重要なのである。

ホーキンスの提唱する子どもの科学概念構築における共通感覚の枠組みは、「科学とは合意的にまとめられた知識である」という事実を調和させながら、子どもたちの考え方を命題や概念と体系的な枠組みというよりも、個々に固有な知識の共同体として理解するモデルであり、子どもたちの表現の多様性を保証し、意味のある学習を保証するものなのである。

第3節 ホワイトの科学的態度に関する理論と子どもの自然認識の関連性

第1項 関心・意欲・態度の意味内容

4MAT システムの第1象限の問題把握的学習においては、子どもは既有概念を自覚化し、学習を自らの問題として位置付ける活動が重要であった。また、第4象限の知識活用的学習においては、構築された概念を活用して子どもは次の問題へと臨む活動が重要であった。これらはどちらも自然事象に対する関心、および学習意欲の喚起という態度の形成、端的に言えば、子どもの関心・意欲・態度の育成と捉えることができる。

そこで本節においては、ホワイト(White, R.T.)の科学的な態度と子どもの自然認識に関する理論を概観することにより、関心・意欲・態度の育成の視点を認知的な問題として明らかにし、関心・意欲・態度が子どもたちの知識構成と密接な関連のもとで捉えられることを明らかにする。

関心・意欲・態度の育成が、理科授業において、子どもたちの学習の牽引者として極めて重要な役割をなしていることは論を待たない。しかしながら、中央教育審議会の答申においては、「『関心・意欲・態度』については小学校で約40%、中学校で約30%の教師が学習評価を円滑に実施できているとは感じていないなどの課題も見られる」(中央教育審議会, 2010)と示されており、実際には関心・意欲・態度を育成する視点が十分に共通理解されていない現状がうかがえる。

この原因のひとつとしては、関心・意欲・態度を育成する視点を学習意欲という情意的な視点で捉えていることにあると考えられる。そこで、関心・意欲・態度の育成する視点を情意的な視点で限定的に捉えるのではなく、ホワイトの科学的態度と子どもの認識の関連を手がかりとする認知的な視点を付与することで、関心・意欲・態度を育成する視点を詳述することが可能となるのである。

第2項 ホワイトの科学的態度と関心・意欲・態度の関連性

図5.1はホワイトが示した科学的態度と子どもの自然認識の関連を示したものである（ホワイト，1990：36；森本，1993：93）。ホワイトによれば、科学的態度は子どものもつ知識体系の反映として捉えられている。

子ども（学習者）が保持している既存の知識体系とは、子どもの生活における経験や既存の概念を示しており、理科授業・教科書の知識体系とは、これから学習する新しい知識を示している。この二つの知識体系が結合することにより、子どもは新しい未知の知識体系を自らの知識と結び付け、自然事象に対する共通感覚的な考え方を構築し、この自然事象に対する考えが関心・意欲・態度を醸成するのである。すなわち、自然事象に対してどのような態度をとるか、あるいは関心・意欲を示すかは子どもたちの既存の知識体系、および共通感覚的な考え方に左右されるということである。

このように立場に立つとき、子どもたちの表わす関心・意欲・態度について次のような見方が可能になる。たとえば、理科授業において「自然事象に対して疑問を持ち、これを積極的に解決しようとする」という目標が掲げられたとする。この時、子どもたちが既存概念を基にして様々な説やモデルを表現し、発表や議論をすとしたならば、大掴みではあるが、この目標は達成されているとみることができる。

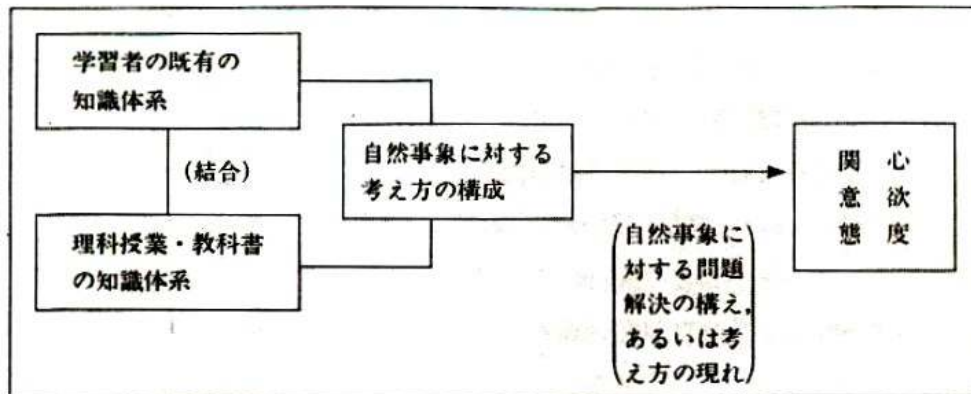


図 5.1 ホワイトによる関心・意欲・態度と知識構成の関連

(ホワイト, R.T., 1990 ; 森本, 1993: 93)

しかしながら、ここで重要なことは、この目標の達成がどのような知識体系を背景にしてなされたかを適切に評価することである。つまり、子どもたちが自ら積極的に問題解決の構えや、考え方を表現していかうとする姿勢を確実に価値づけると同時に、そのような彼らの判断の根拠を明らかにしなければならないのである。

こうして、関心・意欲・態度は、子どもたちの知識構成と独立してとらえるのではなく、これら両者の密接な関連のもとでとらえ、また、そのような場面を子どもたちに保証することにより、彼らの学習に対する積極的な取り組みの姿勢を喚起するための重要な役割を担うことになる。これは換言すれば、理科授業において生活経験や既存概念を明らかにするような学習活動を保証することにより、関心・意欲を喚起できるということである。

第 4 節 4MAT システムを援用した理科授業デザイン

第 1 項 4MAT システムを援用した理科授業デザインの意味内容

第 4 章においては、4MAT システムの基本的な視点と各象限における学習活動の視点が明らかとなった。本章の第 1 節においては、ブルーメ

ンフェルドのプロジェクト学習の理論より主体的に探究活動を行うことが概念構築に有効であること、第2節においては、ホーキンスの「共通感覚」論より、子どもの多様な表現、すなわち共通感覚的な考えを基にして、科学概念が構築されること、そして、第3節においては、ホワイトの理論より関心・意欲・態度は子どもたちの知識構成と密接な関連のもとで捉えられることが明らかになった。本節においてはこれらの理論を基にして、問題解決的な学習の枠組みとなる、4MAT システムを採用した理科授業デザインについて説明する。

具体的には、表5.1に示した通り、4MAT システムの各象限における学習活動を「4MAT システムの基本的な視点」として捉え、理科授業においてその基本的な視点がどのような活動となるのかを論考し、各象限の具体的な教授・学習活動を「理科授業における教授・学習活動」として示すことにより、理科授業デザインの枠組みを明らかにする。

表5.1 4MAT システムを採用した理科授業デザイン

	4MATシステムの基本的な視点	理科授業における教授・学習活動
第1象限 問題把握的学習 “Why?”	<ul style="list-style-type: none"> ・既有概念について自覚する ・学びへの見通しを持つ 	<ul style="list-style-type: none"> ・生活経験や既有概念から、学習についての問題を見出す ・自然事象への疑問や自分の考えを持ち、予想や仮説を立てる
第2象限 分析的学習 “What?”	<ul style="list-style-type: none"> ・与えられた素材について、アナログ表現やデジタル表現を用いて分析する ・分析結果をわかりやすい表現を用いて整理する 	<ul style="list-style-type: none"> ・観察・実験結果についてスケッチや文章、グラフや表など様々な形態の情報を収集して整理する
第3象限 共通感覚的学習 “How?”	<ul style="list-style-type: none"> ・事実を概念として表現する ・概念を用いて論理的に説明する ・概念を活用できるようにする 	<ul style="list-style-type: none"> ・自然事象に対する自分の概念を解釈を通じて明らかにする ・話し合いや発表を行って「共通感覚」から「常識」を作る過程を通して科学概念を構築する
第4象限 知識活用的学習 “If?”	<ul style="list-style-type: none"> ・共通感覚から常識をつくる過程で構築された概念を活用して次の問題を構想する 	<ul style="list-style-type: none"> ・第1～第3象限の学習を振り返る ・構築された概念を活用して、新しい問題解決へ臨む

第2項 第1象限の問題把握的学習において重要な教授・学習活動

表5.1は、4MAT システムの第1象限から第4象限の学習活動における「4MAT システムの基本的な視点」と、それに対応した「理科授業における教授・学習活動」を示したものである。

第 1 象限の問題把握的学習における基本的な視点は「既有概念について自覚する」, 「学びへの見通しを持つ」の二つである。

子どもが「既有概念を自覚する」という視点は, 問題の対象としている自然事象に関連する生活経験と既習事項を想起することであると捉えることができる。この生活経験と既習事項は, いわゆる日常知と学校知と言い換えることができる。第 3 節のホワイトの論で示したように, 子ども既有の知識体系は関心・意欲・態度の構成要素である。子どもは学習の対象としている自然事象に関連する日常知と学校知を想起することによって, 自然事象に対する関心・意欲を高め, 子ども自身の問題として把握することが可能となるのである。換言すれば, この学習活動は「生活経験や既有概念から, 学習についての課題を見出す」ことであると考えられる。

このような活動を行うためには, 教師は対象としている自然事象がどのように日常生活と結びついているか, また, それまでに理科授業を通して学習した既習事項とどのように結びつけられているかを価値付けすることが必要である。

一方で, 「学びへの見通しを持つ」という視点は, 観察・実験計画の立案という形で捉えることができる。ブルーメンフェルトらはプロジェクトベース学習の視点から, 子ども自身が学習を計画して進めることによって, 学習で得た知識を活用可能な概念という形で習得できることを示唆している。このことから, 子どもが見出した問題に対して子どもが自然事象に対して予想や仮説を持ち, 観察・実験を通じて検証する方法を考えることにより, 自然事象の問題に対して主体的に学習することが可能となり, 科学概念の構築に寄与することが可能となると考えられる。

つまり, 第 1 象限の問題把握的学習の視点を理科授業へ援用すると, 「生活経験や既有概念から, 学習についての課題を見出す」, 「自然事象への疑問や自分の考えを持ち, 予想や仮説を立てる」の二つの教授・学習活動が必要であることが示される。

第3項 第2象限の分析的学習において重要な教授・学習活動

第2象限の分析的学習における基本的な視点は「与えられた素材について、アナログ表現やデジタル表現を用いて分析する」、「分析結果を同じ表現を用いて整理する」の二つである。

子どもが観察・実験等を通して自然事象から得られる情報は、自然事象をイメージとしてスケッチしたものに代表されるアナログ情報から、長さや電流や体積といったデジタル情報まで多様な形態を有しており、その情報量は膨大である。これらの観察・実験から得られる情報は、第3象限で共通感覚を作る際に話し合いなどの根拠となる重要な事実であり、この膨大かつ多様な情報は、スケッチやモデル、表やグラフなどの使いやすい形で整備されることが求められる。

子どもにとって、安全に観察・実験を実行し、さらに膨大かつ多様な情報の収集・整理を行うことは、決して容易な活動ではない。そこで、教師は観察・実験の実施を支援すると同時に、グラフや表、モデルや文章表現などの情報を、どのようなわかりやすい形で収集・整理するかの要点を明らかにすることが必要である。このように情報の収集や整理を子どもがわかりやすく行うことは、第3象限の共通感覚的学習において、同じ質の情報を扱うことを可能にすると考えられる。

つまり、第2象限の基本的な視点を理科授業に援用すると、分析的学習においては「観察・実験結果についてスケッチや文章、グラフや表など様々な形態の情報を収集して整理する」という教授・学習活動が必要であることが示される。

第4項 第3象限の共通感覚的学習において重要な教授・学習活動

第3象限の共通感覚的学習における基本的な視点は「事実を概念として表現する」、「概念を用いて説明する」、「概念を活用できるようにする」の三つである。

理科授業デザインの教授・学習活動が十全に行われたと仮定すると、

子どもは、第 1 象限においては日常知、学校知といった既存概念を想起するとともに、予想や仮説を作成することを通して、解決すべき問題を把握することができており、第 2 象限においては観察・実験結果から明らかになった様々な事実を、スケッチや文章、グラフや表といったわかりやすい形で整理している。第 3 象限においては、これらの観察・実験結果を基にして、予想や仮説の検証という形で子ども自身の中で概念が構築されていく。その結果、子どもの中では既存概念に対する検討が起こり、観察・実験の結果という事実即した概念を構築することが可能となる。構築された概念は、グループや学級内での話し合いや発表、質疑応答といった対話的な活動の下で比較・検討が行われ、共通感覚 (common sense) として概念が精緻化される。そして、グループや学級内で精緻化された概念は学級という集団内で承認され、共通感覚が常識 (common sense)、すなわち学級内でコンセンサスを得た科学概念が子どもの中に構築されるのである。

このように、子どもは対話的な活動を通じて共通感覚を常識、すなわち科学的な概念へと精緻化していく過程は、4MAT システムでも核となる要素である。この過程を支援するためには、教師は子どもの考えに対して即時的に価値付けを行い、授業をコーディネートしていく必要がある。黒田・森本は、このような教師と子どもによる学級内の対話活動が効果的に機能しているかを調べる指標として、パリンサー (Palincsar, S.) の対話的な授業における六つの教授行動を挙げている (黒田・森本, 2010 : 54; Palincsar, S., 2003)。

(1) 目立たせる (marking)

子どもの考え方の表現において、特に大事だと思われるところに子どもの注意を向けたり、強調したりする。

(2) もどす (turning back)

子どもに関得たり説明したりさせたいところに、もどしていく。

(3) 復唱する (revoicing)

子どもが表現しようとしていることを解釈して言い換えたり、もう一度子どもの表現を繰り返したりして言う。

(4) 表現する(modeling)

子どもに考えを声に出させて言わせたり、考えをうまくまとめられないところを言わせたりする。

(5) 付け加える(annotating)

教師がテキストにない考えを述べたり、適切と思われる情報を付け加えたりする。

(6) まとめる(recapping)

子どもの考えの表現を要約する。

これらの教授行動を概観すると、対話的な活動において、教師は大切な部分に注意を向けたり強調したりして、重要な発話を目立たせること(marking)、子どもの表現を解釈して繰り返すこと(revoicing)、議論が拡散しそうな場合には対話の重要な部分へ戻すこと(turning back)を行って対話を支援するのである。また、授業において子どもが傍観者とならないように考えを表現させること(modeling)、子ども同士の対話においては構成できない科学的な言語や法則を付け加えること(annotating)を行いながら、最終的には分散している子どもの考えを価値付けして法則や理論としてまとめること(recapping)が求められているのである。こうした教師の支援により、子どもは科学概念を構築できると考えられる。

つまり、第3象限の基本的な視点を理科授業へ援用すると、共通感覚的学習においては「自然事象に対する自分の概念を考察や解釈を通して明らかにする」、「話し合いや発表を行って概念を比較・検討し、『共通感覚』から『常識』をつくる過程を通して科学概念を構築する」という教授・学習活動が必要であることが示される。

第5項 第4象限の知識活用的学習において重要な教授・学習活動

第4象限の知識活用的学習の基本的な視点は「共通感覚から常識をつ

くる過程の中で構築された概念を活用して次の課題を構想する」である。

第 1 象限から第 3 象限までの学習活動から、子どもの中に科学概念が常識という形で構築される。子どもは、この科学概念を様々な場面で活用可能な知識として保持することが必要である。科学概念を活用可能にするためには、学習に対する自己評価などを通して、子どもが自分の活動を省察(reflection)することが有効である。省察を行うことによって、自らの学習活動を意識化して学習状況や学習方略をメタ認知することが可能となり、構築された概念を活用可能な形にすることができるのである。

一般に科学概念を活用する範囲は極めて広い範囲にわたるが、子どもは構築した概念を積極的に活用することで、適用範囲の拡大を図ることができると考えられる。

教師が、このような子どもの省察活動を支援するためには、彼らにおける自己評価を十全に実施することが必要である。子どもが第 1 象限から第 3 象限までの活動を自己評価するためには、ただ漫然と自己評価を行うのではなく、子ども自身が学習活動の流れを把握し、その中で焦点化することが重要である。

たとえば小野瀬らは、自己調整学習の具現化を支援するために理科学習ガイドを開発しており、その中で、子どもの活動を俯瞰しやすい（メタ認知しやすい）ポートフォリオを用いることによって、①実験方法・予想・実験結果・結果の解釈、②結論、③新しい疑問、の各項目を自己評価することの有用性を示した（小野瀬・村澤・森本，2008）。また、佐藤らも観察・実験場面での活用に焦点化した認識論的 Vee 地図を踏まえた理科学習ガイドの開発の中で、「学習の流れを子ども自身がつかみ、頭の中を整理するのに役立つ」ということを明らかにした（佐藤・小野瀬，2010）。これらの研究は、どちらも学習活動の流れを俯瞰的に把握し、焦点を定めて自己評価を行っている実践例であると考えられる。すなわち、自己評価を十全に実践するためには、子どもが学習を俯瞰的に捉えるた

めのポートフォリオ等を用いることが必要なのである。

こうした観点を踏まえた上で、小野瀬らは子どもに学習を通じて芽生えた「新たな疑問」を分析し、その結果を論考する中で、「新たな疑問」はそれまでに構築した科学概念を活用する格好の機会であり、子どもが自分のこだわりのある部分を投影したものであると指摘した（小野瀬・佐藤，2012）。したがって、教師はこれらの表現に適切な評価を与え、新しい学習の契機とすることが求められているのである。

つまり、第4象限の基本的な視点を理科授業に援用すると、知識活用的学習においては「第1～第3象限の学習を振り返る」、「構築された概念を活用して、新しい問題解決へ臨む」という二つの教授・学習活動が必要であることが示される。

4MAT システムの第1象限から第4象限の視点を援用した理科授業では、第1象限において問題を明確に把握し、第2象限において自然事象の情報を収集して整理を行い、第3象限において共通感覚をつくるとともに共同主観的(intersubjectivity)に科学概念を構築し、第4象限において活用可能な概念として次の学習へつなげられる。

4MAT システムの視点を援用した理科授業デザインは、「科学的な思考・表現」に関する学力を育成するのに必要な、問題解決的学習の六つの学習活動と符合する。すなわち、理科授業デザインの第1象限・第2象限は表3.1に示された「科学的な思考・表現」に関する学力を育成するために必要な①②の学習活動、第3象限は③④の学習活動、第4象限は⑤⑥の学習活動と対応する。以上の考察により、4MAT システムの基本的な視点を援用することで、「科学的な思考・表現」に関する学力を育成するための問題解決的な学習を実現できることが示され、これらの基本的な視点から導かれた教授・学習活動を実践することによって「科学的な思考・表現」に関する学力を育成する理科授業をデザインすることが可能となるのである。

第5節 4MATシステムを援用した授業実践と分析

第1項 授業実践の目的

理科教育において、子どもに思考と表現の充実を図ることは科学概念を構築させるために重要であり、その研究の枢要は「科学的な思考・表現」に関わる学力の育成である。本研究では理科教育における思考と表現の充実をこの視点として措定し、その検証を行う。

これまでの考察から、「科学的な思考・表現」に関する学力を育成するためには問題解決的な学習が必要であり、この問題解決的な学習を実践するためには、4MATシステムを援用して第1象限から第4象限の教授・学習活動の枠組みを示した、理科授業デザインが有用であることが明らかになった。理科授業デザインの妥当性を示すためには、授業実践を通して実証的な検証を行うことが必要である。そのため、理科授業デザインの枠組みの下で実践された理科授業において、子どもが各象限の学習活動の中で作成したポートフォリオの記述を分析した。

本研究では以下の三点で検証を行った。まず、第1象限から第2象限の学習活動においては、生活経験や既有概念を用いて問題をとらえ、見通しを持った目的的な活動を通して、自然事象から多様な情報を収集して整理することができるかを検証した。次に、第3象限の学習活動においては、第1象限と第2象限の学習活動を基にして、自然事象に対する自分の概念を表し、さらに概念の比較・検討を行い、「共通感覚」から「常識」をつくる過程を通して科学概念を構築できているかを検証した。最後に第4象限においては、第1象限から第3象限で学習した内容を省察して、構築された概念を活用できているかを検証した。

第2項 実践の概要

実践期間は2010年4月から5月、実践対象は国立大学附属中学校の第3学年39名、実践は「化学変化とイオン」単元内の「水溶液の電気伝導

性」である。

図 5.2 は学習単元である「化学変化とイオン」の単元構造図である。この単元は、ものの溶け方や水溶液の性質、物質の構成要素としての原子、電気と関連する荷電粒子といった小学校第 5 学年から中学校 2 学年までの既習事項を基礎としている。そして「水溶液とイオン」においては、イオンという粒子についての理解を深め、さらに「酸・アルカリとイオン」においては、ミクロなイオンとマクロな酸・アルカリの関連性について考察することにより、イオンという粒子を活用な可能な概念として構築することである。

表 5.2 は「水溶液の電気伝導性」の単元指導計画である。第 1 象限の問題把握的学習における重要な教授・学習活動は「生活経験や既有概念から、学習についての問題を見出す」「自然事象への疑問や自分の考えを持ち、予想や仮説を立てる」である。そこで 1 時間目においては、教師は日常生活における電解質水溶液について触れ、原子や分子や電気についての既習事項の復習を行い、水の電気分解でどのように電流が流れて結果がどのようになったのかという既習事項を通してイオンについての

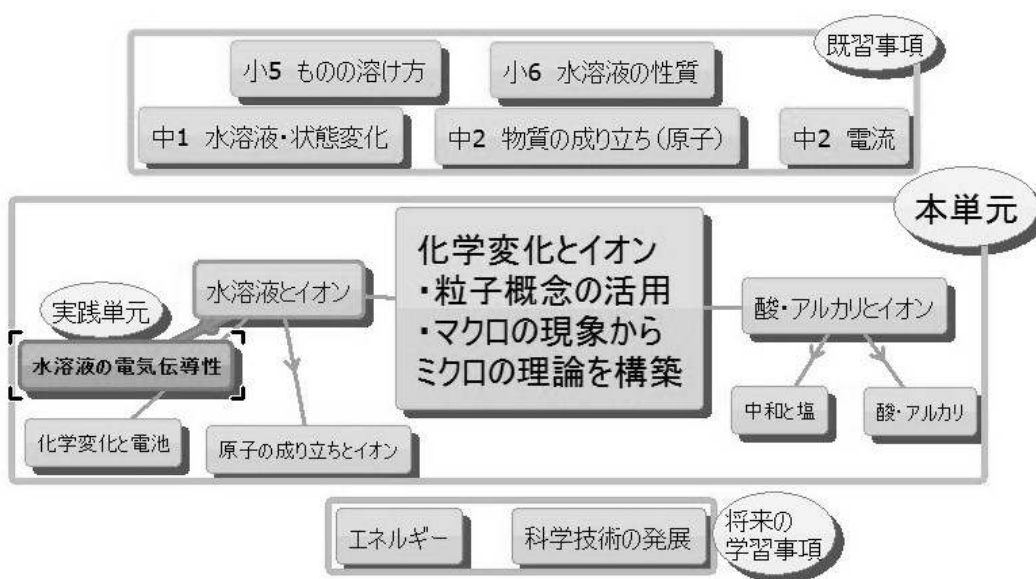


図 5.2 化学変化とイオンの単元構造図

表 5.2 単元計画 水溶液の電気伝導性（全 6 時間）

4MATシステム	理科授業における 教授・学習活動	時間	学習内容
第1象限 問題把握的学習	・生活経験や既有概念から、学習についての問題を見出す ・自然事象への疑問や自分の考えを持ち、予想や仮説を立てる	1	導入
		2	実験計画を作成
第2象限 分析的学習	・観察・実験結果についてスケッチや文章、グラフなど様々な形態の情報を収集する	3	実験・結果の記録
第3象限 共通感覚的学習	・自然事象に対する自分の概念を考察や解釈を通して明らかにする ・話し合いや発表を行い概念の比較・検討を行い科学概念を構築する	4	結果の解釈・話し合いと結果①
		5	結果の解釈・話し合いと結果②
第4象限 知識活用的学習	・第1～第3象限の学習を振り返る ・構築された概念を活用して、新しい問題解決へ臨む	6	まとめ・自己評価 新たな疑問

の単元の導入を行った。続く 2 時間目においては、教師の「電流の流れる水溶液と流れない水溶液はどこが違うのか」という発問を基にして、子どもは実験計画の作成と結果の予想を行い、水溶液の電気伝導性についての既有概念を外化すると同時に、学習の見通しを立てる活動を行った。

第 2 象限の分析的学習における重要な教授・学習活動は、「観察・実験結果についてスケッチや文章、グラフなど様々な形態の情報を収集する」である。そこで、3 時間目においては、2 時間目に作成された実験計画を基にして、教師が安全を考慮した最終的な実験方法の概要を作成した。子どもはこの最終的な実験方法を基にして、塩酸、食塩水、エタノール、砂糖水、水酸化ナトリウム、塩化銅の水溶液を電気分解する実験を行った。この時、子どもは水溶液内の陽極・陰極での泡の発生や金属の付着といったアナログ情報や、電流の強さといったデジタル情報を記録し様々な形で情報を収集する活動を行っていた。

第 3 象限の共通感覚的学習における重要な教授・学習活動は「自然事象に対する自分の概念を考察や解釈を通して明らかにする」、「話し合い

や発表を通して概念の比較・検討を行い、科学概念を構築する」である。そこで4・5時間目においては、水溶液の電気分解で記録された実験結果を基にして解釈を行い、子どもは電気伝導性を共通感覚的に理解した。そして、この解釈を四人一組で話し合い、その話し合いの結果を学級内で発表して質疑応答を行うことにより、水溶液に電気が流れる理由についての比較・検討を行った。このように、共通感覚的な理解から常識を作り上げていく過程を通して、イオン概念が構築されることが考えられる。

第4象限の知識活用的学習における重要な教授・学習活動は「第1～第3象限の学習を振り返る」、「構築された概念を活用して、新しい問題解決へ臨む」である。そこで6時間目においては、第1象限から第3象限（1～5時間目）の学習を通して構築された水溶液の電気伝導性についての科学概念をまとめるとともに、子ども自身の学習活動に対する省察を行った。さらに、子どもは本単元を通じた学習から見つけた新たな疑問を記述することにより、将来の学習についての関連付けを行った。

このように、4MATシステムを援用した理科授業デザインの第1象限から第4象限の枠組みを用いて、「水溶液の電気伝導性」の単元で授業実践を行った。

第3項 第1象限の問題把握的学習と第2象限の分析的学習における記述分析

第1象限の問題把握的学習に対応している1～2時間においては、教師は電解質水溶液について触れ、既習事項である原子や分子や電気、水の電気分解について復習し、これから学習する電気と水溶液の関係が、身近にある電池や酸性・アルカリ性の水溶液と関連があることを学級内で共有した。さらに教師と子どもの中で、電流が流れる水溶液と流れない水溶液にはどのような違いがあるかを計画・実験し、その反応をモデルとして表現するという目的を共有した。図5.3は第1象限において、子どもAがポートフォリオに記述した、実験計画と実験結果の予想である。

図5.3 上部においては、子どもは電流計と電源装置、豆電球とスイッ

チを用いて電気回路を組み、水酸化ナトリウムや塩化銅などの水溶液に電流が流れるかどうかを調べる実験を計画している。そして、図5.3下部においては、電気が流れる要因を酸性・アルカリ性と関連付けて予想している。これは水溶液の電気伝導性が酸・アルカリという特殊な溶液によるものだという、子どもの既存概念が表出したものであると考えられる。また、子ども自身の手によって実験計画の作成と実験結果の予想ができていることから、子どもは水溶液の電気伝導性を学習する目的を明確に捉え、自分の考えや実験で注目すべき視点を明らかにしていることが分かる。

第2象限の分析的学習に対応している3時間目においては、2時間目に作成された実験計画を基にして、教師が安全まで考慮した最終的な実験方法の概要を提案した。この実験方法においては、子どもは様々な水溶液に対して電気分解を行ってみたいという考えを持っており、電気分解の量と電流の大きさについての関連性も注目していたことから、教師は、塩酸、食塩水、エタノール、砂糖水、水酸化ナトリウム、塩化銅の

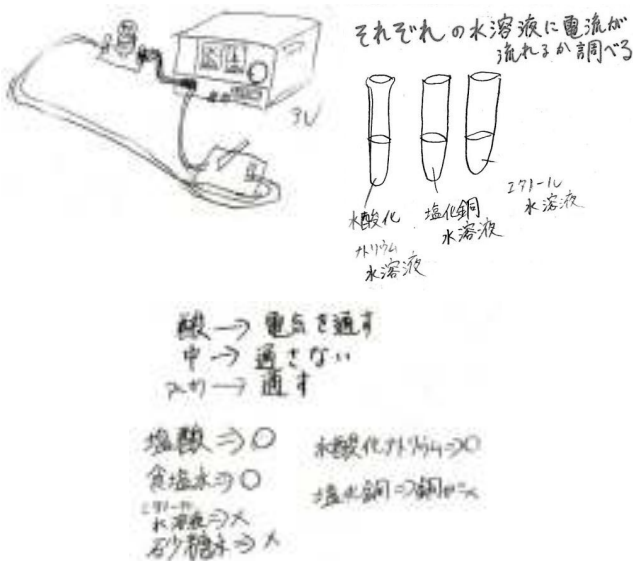


図5.3 実験計画と実験結果の予想

結果

	電流	陽極	陰極	陽極の泡の色
塩酸	○	泡が出た (塩素)	泡が出た (水素)	—
食塩水	○	泡が出た (-の)少ない	泡が出た	—
エタノール水溶液	×	泡がでなかった =反応なし	泡がでなかった =反応なし	—
砂糖水	×	泡が出なかった =反応なし	泡がでなかった =反応なし	—
水酸化ナトリウム	○	泡が出た	泡が出た (水素)	—
塩化銅	○	泡が出た (塩素)	銅が付き	青くなる

図5.4 実験結果の記録

六種類の水溶液を用いて電気分解の実験を行う実験方法を計画した。このとき安全のために、電源装置の電流の大きさは1アンペアを超えないようにし、塩化ナトリウムや塩化銅といった塩素化合物については、塩素が発生するため必要に応じて換気をすることも計画に盛り込んだ。さらに、時間内に実験できるようであれば、希望の班はビールや醤油、石鹼水や牛乳といった、身近な水溶液を用いて電気分解をしても良いことにした。

図5.4は、第2象限において、子どもがポートフォリオに記述した実験結果の記録である。子どもは塩酸、食塩水、エタノール、砂糖水、水酸化ナトリウム、塩化銅の六種類の水溶液に電極を入れて電流が流れたかどうかの数値的なデジタル情報と、陽極・陰極の表面でどのような反応が起こったのかという画像的なアナログ情報を記録している。特に、アナログ情報では泡が出たかどうかだけではなく、塩酸では塩素よりも水素の泡のほうが多いこと、電極の表面へ銅が付着したこと、塩化銅の水溶液の色がうすくなっていったことなど、子どもが気付いた多様な情報が記録されている。この情報は、実験結果として自然に得られたものではなく、子どもが実験計画の作成と実験結果の予想を行い、実験に対する視点を明確にして収集・整理した結果として得られたものであると考えられる。

以上の分析から、理科授業デザインの枠組みを用いることにより、第1象限、第2象限において子どもは生活経験や既有概念を用いて問題をとらえ、見通しを持った目的的な活動を行い、自然事象から多様な情報を収集して整理できることが明らかとなった。これらの活動を基盤として、子どもは次の第3象限において自然事象に対する解釈を行うことが可能になると思われる。

第4項 第3象限の共通感覚的学習における記述分析

第3象限の共通感覚的学習に対応している4~5時間目においては、ま

ず、子どもは水溶液の電気分解で記録された実験結果を基にして、電流の流れる水溶液と流れない水溶液の違いについて、一人ひとりモデルを用いて解釈を行った。解釈の詳細は、すべてポートフォリオに記述されている。ここで表現された一人ひとりのモデルは、四人一組のグループ

最初の解釈

友人の意見

最終的な解釈（まとめ）

塩酸の場合 電源 (+) (-)

陽極 陰極

塩素 水素

塩素 水素

私は水溶液に電圧を加えて陽極に塩素、陰極に水素が集まると考えた。

結果の解釈

電流が通った塩酸、水酸化ナトリウム水溶液、塩化銅水溶液をモデルとして考える。

塩酸 HCl

荷電粒子

H⁺ Cl⁻

まとめ 電源 (+) (-)

荷電粒子 電子の移動

Hは電子を取り入れ、Clは運ぶ。

また、H1つでは不安定なのでH2というものになりたがる。(Cl2同様に)

原子が電気を帯びたものをイオンという。

HとClはイオンだったためくっついていて、電気を流したことによって離れた。

塩素の方が水に溶けやすいため水素より泡の出る量が少なかった。

電子の移動

陰極 陽極

電子の移動

図 5.5 実験結果を基にした子どもの解釈（左：最初の解釈）と検討する際に参考にした友人の意見（中央：友人の意見）、様々なモデルを検討してまとめた解釈（右：最終的な解釈）

の中で検討・精緻化され、そのモデルはホワイトボードを用いて学級全体へ発表された。学級内のすべてのグループからも同様に精緻化されたモデルが発表され、それらのモデルは質疑応答を経て最終的なモデルへと収斂していった。図 5.5 は、子ども A が塩酸を電気分解したときの結果を基にして、ポートフォリオに描いた水溶液のモデルである。

図 5.5 左は、子ども A が記述した実験後の最初の解釈である。水溶液の中には、陽極に発生した塩素と陰極に発生した水素が粒子モデルとして描かれている。陽極の塩素の数が陰極の水素の数よりも少ないことから、発生した塩素の気泡が水素の気泡よりも少ないという実験結果を基にしたことがわかる。また、このモデルから水の電気分解で学習した粒子モデルを活用していること、導線の中には電子の移動が描かれていることから、既習事項である電気の性質も表現の中に取り入れていることは明らかである。ただし、電流が流れていることから電子を用いて表現をしているが、回路が閉じておらず、電子と水溶液を十分に関連付けて考えられていないこともうかがえる。この最初の解釈は、水溶液のモデルが実験結果という共通の事象を根拠としていることから、子どもの中で共通感覚の一要素として出現したと考えることができる。

図 5.5 中央は、子ども A が参考にした友人の意見の代表例である。図 5.5 中央上部は子ども B の記述で、水素と塩素が荷電粒子であると考えた荷電粒子モデルである。塩素が陽極に発生したことから塩素はマイナスの電荷を、水素が陰極に発生したことから水素はプラスの電荷をもっていると考えている。図 5.5 中央下部は子ども C の記述で、電極表面で電子の受け渡しが行われている電子授受モデルである。このモデルでは、電流が流れるときには電子が回路内に存在するという既有概念を用いて、水溶液中でどのような電子の授受が行われているかに注目しており、その結果、陰極から発生した電子が水溶液中のプラスの電荷をもっている物質と結合して、電荷の収支が打ち消しあい、 ± 0 になると考えている。

グループの発表において、すべてのグループが荷電粒子モデルの考え

方を用いており、同時に 90%のグループが電子授受モデルの考え方を
用いていたことから、荷電粒子モデルと電子授受モデルは、子どもの中で
共同主観的につくりあげられ、承認されたモデルであると考えられる。
前者の荷電粒子モデルにおいて、荷電粒子は教師によって「イオン」と
いう名称でラベリングされ、この考え方が学級において承認されるに至
った。

図 5.5 右は、子ども A が比較・検討を行った後の最終的な解釈である。
図の全体像が図 5.5 左に記述された最初の解釈と似ていることから、電
極で発生した水素と塩素の粒子モデルを基礎としたことがわかる。また、
モデル中の水素や塩素に電子が付着している点や、文章中の 1 行目にお
ける「H（水素）が電子を取り入れ Cl（塩素）は（電極へ）運ぶ」（括弧
内は筆者補足）という記述や、5 行目における「原子が電気を帯びたもの
をイオンという」という記述から、子ども A は荷電粒子モデルをクラス
内における常識として取り込み、水溶液中の水素と塩素を荷電粒子、つ
まりイオンとして考えていることは明らかである。さらに、モデル中で
塩素が電子を電極へ運び、電子を電極内部へ受け渡している点や、文章
中の 7 行目における「H（水素）と Cl（塩素）はイオンだったため（電
極に）くっついていたが（電子を放出して）電気を流したことにより離
れた」（括弧内は筆者補足）という記述から、電極表面で電子の受け渡し
が起こる電子授受モデルを常識として取り込み、電子の授受によって電
気が流れると考えていることがわかる。

以上の分析から、第 3 象限においては、子どもは既有概念と実験結果
から共通感覚の一要素を出現させ、話し合いや発表という協同的活動を
通して共同主観的に荷電粒子モデルや電子授受モデルをつくりあげ、そ
れらを常識として取り入れることで、イオンという科学概念が構築され
ることが明らかになった。

第5項 第3象限の共通感覚的学習における学級集団全体の概念変遷

この第3象限における共通感覚を基盤とした科学概念構築は、第4象限における概念の活用の素地を形成するために大変重要である。そこで、上述の子ども一人の概念の変遷に加えて、同じ授業内において集団全体の概念がどのように変遷したのかを検証した。

表5.3 子どもが記述したモデルの分布

	I	II	III	IV	計
最初の解釈	19	1	4	14	38
最終的な解釈	6	0	0	32	38

※数値はモデルを記述した人数(n = 38)

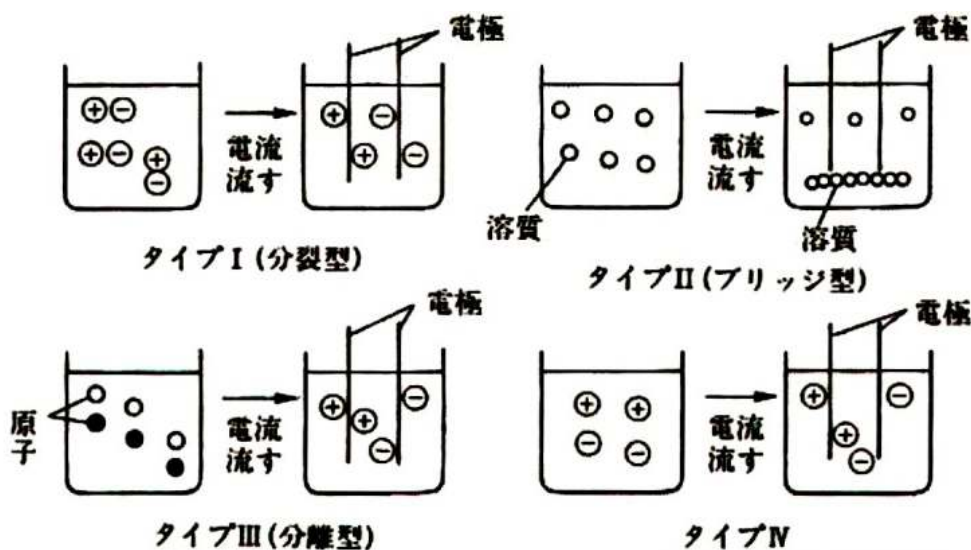


図5.6 子どもが記述した水溶液のモデル (森本, 1993: 119)

表5.3は、集団の中で子どもが記述したモデルの分布を示した表である。「最初の解釈」は、実験直後に子ども個人が電気分解に対する解釈を行った際に記述したモデルの分布であり、「最終的な解釈」は、話し合いや発表を行い、様々な学級内の考え方を取り込んで最終的な解釈の際に記述したモデルの分布である。表の数値は各モデルを記述した人数を表

している(n=38)。Ⅰ～Ⅳは、図5.6に示したように、子どもが記述したモデルを四つに分類したものである。分類は森本の分類を用いた。タイプⅠは電流を流すと物質が正負のイオンに分かれるモデル、タイプⅡは溶質が電極間をつなぐモデル、タイプⅢは通電することによって原子が帯電するモデル、タイプⅣは教科書と同じく正負のイオンが水溶液中に存在するモデルを表している。

子どもたちの最初の解釈において考えられたモデルの数と最終的な解釈において考えられたモデルの数を比較すると、最初の解釈と最終的な解釈に優位な変化があることが確認された ($\chi^2(3)=9.401$, $P<0.05$)。実験直後の最初の解釈においては、集団の中にはⅠとⅣのモデルが比較的多いながらも、Ⅰ～Ⅳのすべてのモデルが混在していた。この集団内のモデルの分布は、話し合いや発表を通じた結果、Ⅱ・Ⅲの水溶液中に原子が存在するモデルの考えは淘汰され、荷電粒子が存在するモデルであるⅠ・Ⅳの考えが支持されていた。これは集団において、原子モデルや荷電粒子モデルといった共通感覚の要素が多数出現し、話し合いや発表を通して共同主観的にそれぞれのモデルが吟味されていった結果、荷電粒子であるイオンモデルが学級全体で承認されて、常識すなわち科学概念として構築されていったことが明らかである。

第6項 第4象限の知識活用的学習における記述分析

第4象限の知識活用的学習に対応している6時間目においては、第1象限から第3象限(1～5時間目)の学習を通して構築された水溶液の電気伝導性についての科学概念をまとめるとともに、子ども自身の学習活動に対する省察を行った。具体的には、実験計画と結果の記録、個人の解釈から話し合いや発表を通じた実験の解釈についての省察である。さらに子どもは、本単元を通じた学習から見つけた新たな疑問を具体的に記述し、将来の学習との関連付けを行った。

図5.7は子どもがポートフォリオに記述した自己評価(左上)と新た

な疑問（右上）である。自己評価は、実験計画と結果の記録を「計画」、個人の解釈から話し合いや発表を通した実験の解釈を「解釈」というラベルで、それぞれ ABC の三段階で評価している（A：十分満足，B：概ね満足，C：努力を要する）。

子ども A は、実験の計画と結果の記録については、教科書を資料としながらも、自分なりの考えを追加することで、満足のいく内容で実験計画が立案・実施できたと考えていることがわかる。また、解釈については、実験直後は水溶液のモデルを考えるのに戸惑っていたが、話し合いや発表といった協同的な活動の中で作成したモデルを通して、水溶液の

評価

A 計画 ... あまり思いうかばず、教科書を
読んてしまいましたか、自分の
考えをいれたいです

A 解釈 ... 今回3年になりはじめて
実験報告書を書き、
正直、実験をやった直後は
全く意味がわからなかったのですが、
他の人と意見を交わすことで、
理解が深められたと思います。

新たな疑問

炭素棒からどのようにして
②は \ominus の電子を受け取ったのか。
↓ 自分の解釈
 \ominus 電子はたまっていくのではなく
追い出される?

イオンの概念 電子の移動

塩酸で溶けた亜鉛の
中に含まれているイオンが
流れてきた \ominus 電子を銅板
この方 (+ 極側) へ運んで

図 5.7 自己評価・新たな疑問と次時の電池の実験

電気伝導性への理解が深まったと考えていることが読み取れる。この自己評価からは、子どもが水溶液の電気伝導性をイオンモデルとしてまとめる学習活動を振り返り、さらに、学習に取り組む姿勢、つまり子ども自身の学習方略に対して省察が行われていることが明らかである。

図 5.7 右上の新たな疑問からは、子ども A が水溶液中にイオンが存在しているモデルを科学概念として構築しているが、電子がどのように電極表面で受け渡され、どのような経緯で水溶液中を移動しているのかについては十分理解できていないことがうかがえる。

図 5.7 下は、次時以降に実践されたボルタ電池の実験において、亜鉛版と銅板を塩酸の中に入れて電流の発生を確認した後の最初の解釈である。子ども A は水溶液中には荷電粒子のイオンが存在しており、そのイオンが電子を運び電流が流れるモデルを考えていた。このモデルは電池の解釈としては不十分であるが、子どもが水溶液の電気伝導性の実験を通して構築したイオンと電子という概念を活用しながらボルタ電池の学習に取り組んでいることから、構築された概念が新しい学習場面において活用されたことを示すものであると考えられる。

つまり、第 4 象限においては、第 1 象限から第 3 象限の学習を省察することによって知識を活用できる概念として構築することができ、その知識が新しい学習場面において十分に活用されたことは明らかである。子どもの既存の考えが自然事象に対する関心・意欲の要素となることは、第 5 章第 3 節のホワイトが示した科学的態度において詳述したが、第 4 象限において知識を活用できる概念として構築することは、新しい学習場面における既存概念を充実させることにつながり、新しい問題解決の場面においても有益に作用すると考えることができる。

第 7 項 授業実践の検証結果と各象限の分析によって得られた知見

第 5 章第 5 節では、「科学的な思考・表現」に関する学力を育成することを目的とした、4MAT システムを援用した理科授業デザインの妥当性

を，授業実践において各象限の教授・学習活動を分析することにより検証し，問題解決的な学習をデザインする理科授業デザインの枠組みを明らかにした。

さらに，理科授業デザインの下で行われた授業実践から以下の項目が明らかになった。

- (1) 4MAT システムの第 1 象限，第 2 象限に関わる活動において，子どもは生活経験や既存概念を用いて問題をとらえることにより，見通しを持った目的的な活動を行い，自然事象から多様な情報を収集して整理することができた。
- (2) 第 3 象限において，集団においては共通感覚の要素が多様に出現した。子どもは既習概念と実験結果から共通感覚の一要素をつくり，話し合いや発表といった活動を通して共同主観的にモデルを構築しながら，それらを徐々に常識化し，最終的には精緻化された科学概念を構築した。
- (3) 第 4 象限において，第 1 象限から第 3 象限の活動を省察することにより子どもは知識を活用できる概念として構築することができ，さらに，その知識は新しい学習場面において十分に活用される。

第Ⅲ部 理科授業デザインを具現化するためのパフォーマンス評価

第6章 パフォーマンス評価

第1節 パフォーマンス評価導入の歴史的背景

第1項 標準テストにおける評価と教育評価の意味内容

第5章までの議論により、「科学的な思考・表現」に関する学力を育成するための、理科授業デザインの枠組みが明らかとなった。そこで第6章においては、理科授業デザインを各象限の学習活動を具現化するための方略として、パフォーマンス評価(performance assessment)に注目して議論を進める。

パフォーマンス評価の特徴を明確にするために、これまでに理科教育において用いられてきた従来の評価方法について考察し、パフォーマンス評価の考え方と比較することが必要である。そこで本節においてはハートの論考に基づいて、これまでに学校教育で用いられてきた標準テスト、具体的には学校教育において実施されている紙媒体のテストの歴史と特徴を概観することにより、標準テストの持つ特徴と問題点を明らかにする(ハート, D., 2012: 1-10)。

まず、標準テストについて議論するために、「評価(assessment)」、「教育評価(evaluation)」について、その言葉の意味内容を吟味する必要がある。これらの言葉は言い換え可能な言葉であるように思われるが、これらの言葉はそれぞれ異なる意味を持つからである。

評価(assessment)とは、子どもが何を知っていて何ができるのかという情報を集めるプロセスである。この情報を集めるためには様々な方法がある。たとえば、子どもの学習の様子を観察したり、ポートフォリオを吟味したり、知識や技能をテストしたりする方法があげられる。この評価において鍵となる問いは「どのようにして、子どもの学習していることを明らかにするのか」ということである。

教育評価(evaluation)は、評価の情報を解釈し判断を下すプロセスであ

る。授業において評価に使われるデータは、授業における子どもの活動を集めただけで、そのままでは良いか悪いかの区別をつけることはできない。これらのデータは、教師によってその活動の価値、たとえば子どもがオームの法則の計算をどれくらい上手にすることができたのか、ということ判断して初めて、意味のある情報となるのである。教育評価において鍵となる問いは、「教師が子どもに学んでほしいと希望していることを、子どもは学んでいるのか」ということである。

以降、本研究において、評価・教育評価という語を用いるときには、これらの定義を用いるものとする。

第2項 テスト法と標準テストの歴史的背景

テスト法(testing)は、旧来から学校教育で実施されてきた評価の一手段であり、子どもの学習を記録するための測定の道具である。たとえば、アメリカで最初の学校ができたときには、子どもは学んだことを系統立てて説明することを求められ、そのために多くの問題と標準化した解答からなる筆記テストを使用していた。

こうしたテスト法において重要とされる視点が、客観性(objectivity)や一貫性(consistency)である。1900年代の研究においては、116名の教師がそれぞれの視点で地学のレポートを100点満点で採点したところ、28点から92点のばらつきが見られることが示され、採点を行う際には教師一人ひとりのバイアスや主観性が影響を与えていることが指摘された。

また、後の研究においては、28人の英語教師が2ヶ月の間隔をあけて同じレポートを採点したところ、最初に合格点をつけていた教師のうち15人が2回目には不合格をつけ、最初に不合格をつけていた教師のうち11人が再度採点をしていた時には合格点をつけていることから、同一の教師によるものであっても、実施時期によって採点に影響を与えることが明らかになった。つまり、レポートを採点する際には、教師一人ひ

とりの主観性や採点の実施時期が評価に影響を与えてしまい、客観性や一貫性を保持するのが難しいことが示されたのである。

20世紀においては、こうした研究の結果から、妥当性(validity)と信頼性(reliability)の高い評価方法が模索された。ここでの妥当性とは、そのテストによって測ろうとしているものをどれだけよく測れているかを示しており、信頼性とは、何回行っても、異なる状況で行っても、採点に客観性や一貫性があるかを示している。こうした歴史的背景から、妥当性と信頼性を備えた、多肢選択式に代表されるような標準テスト(standardized test)が開発されたのである。

標準テストはこのような背景から生まれたが、近代において標準テストの隆盛に拍車をかけることになる二つの要素が存在した。一つは教育観の変化である。それまでは教室内で子どもに対して個別に指導を行うというモデルであったものが、学校教育を学習工場に見立てて、学校での営みを小さなものに分割して、流れ作業によって効率的に学習を進めるといった大量生産モデルに変化させようとしたのである。標準テストはこのような指導モデルを補完することが可能である。なぜなら、多肢選択式のテストは短時間で暗記や簡単な技能といった内容の習得を測ることが可能であり、品質管理のモニターのような役割を担うことができるからである。

標準テストの隆盛を支えたもう一つの要素は、説明責任(accountability)の存在である。当然のことながら、公教育は公的資金によって運営されているものであるが、その学校教育の質が費用に対して十分なものであるかを調査することが求められており、妥当性と信頼性の高い標準テストは、この調査方法に適していたのである。

第3項 標準テストが抱える問題点

妥当性と信頼性を兼ね備えたと考えられていた標準テストであるが、現在は、こうした標準テストに対して、いくつかの批判的な指摘がなさ

れている。

一つ目は、標準テストそのものに欠陥があるという指摘である。これは想定されるすべての科学的客観性を持ってしても、標準テストの結果は、不正確でバイアスのかかったものである可能性があることを意味している。たとえば、多肢選択式の問題においては、採点に関しては一定の客観性は保証できるものの、出題する問題の内容や範囲は標準テストの作成者によるバイアスがかかってしまい、妥当性の高い問題になっているかどうかは保証できない。こうした標準テストの出題領域が妥当であるかという専門的な検討は、多くの場合第三者機関において検証されるが、これは教育委員会などに代表されるテストの専門家ではない集団であることが多く、すべての懸念を払拭することは難しいのである。

二つ目は、標準テストが測定しているものは子どもの能力ではなく「テストを受ける能力(test taking ability)」であるという指摘である。これは社会経済的に類似した集団である場合、給料、職務能力、科学的能力・芸術的能力における達成度、その他の実生活での成果と、標準テストの結果に関係性が見られないという研究結果が論拠となっており(ハート, D.,2012:9),子どもの能力を測るための評価方法が、皮肉にも標準テストに解答する能力しか評価できていないと考えられている。これは大学をはじめとした高等教育において優秀な評価を受けていたとしても、社会において必ずしも優秀な評価をされていないという現代的な課題とも一致している。

三つ目は、標準テストが指導と学習の改善を目指していたにも関わらず、標準テストが学習のプロセスそのものを崩壊させているという指摘である。これは標準テストでよく用いられる多肢選択式のテストに執着してきたことによって、指導と学習は次のような点で被害を受けてきたと考えられている。

(1) 理解や反省を犠牲にして、代わりに再生と暗記に過度の価値を置いている。

- (2) ほとんどの問題には唯一の正答があるという誤った印象を強めている。
- (3) 子どもは解答や解決法を構築するのではなく、ただ受容するだけの受け身の学習を行っている。
- (4) 教師は、子どもにとって学ぶ価値のある内容ではなく、テストに出題されやすい内容のみに注目している。
- (5) 教える内容を多肢選択式にすることによって、そのレベルで学習が終結してしまい、それ以上の内容やスキルの発展を阻害している。

これらの指摘を鑑みると、標準テストは、妥当性と信頼性という要請によって生まれ、学習成果のモニターとして活用されてきたが、実際にはテストを受ける能力のみに焦点を当てる学習状況を作り出してしまい、暗記や受け身の学習を促進させていたと捉えることができる。これは、現代的な課題である思考力・判断力・表現力の育成という観点から考えても適している状況とは言えず、標準テストの代替となる評価方法を模索する必要性が示唆されたと考えられる。

第2節 理科授業デザインにおけるパフォーマンス評価とルーブリック

第1項 パフォーマンス評価の意味内容

第6章第1節においては標準テストの代替となる新しい評価方法が模索されたが、本研究では、その新しい評価方法としてパフォーマンス評価を用いるものとする。本節において詳述するが、端的に言えば、パフォーマンス評価を用いることで、子どもの様々な表現を保証することが可能になり、学習を促進することができるからである。

パフォーマンス評価とは、子どもがその時点で表現した学習活動の総体に対する評価である(Perkins, D.N., et al., 1995: 70-87)。この評価は、標準テストに代表されるような紙媒体のテストだけではなく、実験など

の実技，文字表現，描画，数式，グラフ，表，記号など，子どもが表現したものすべてを評価することができ，さらに問題解決過程等の複雑なプロセスに対しても評価することが可能である。

従来，理科教育においてもパフォーマンス評価という用語は平常的に用いられてきた。観察・実験器具を取り扱う技能の習熟度などを評価する活動，たとえば，メスシリンダーの目盛りの読み取りやガスバーナーの着火などを評価する活動は，まさにパフォーマンス評価の好例である。しかし，上述のパフォーマンス評価の定義は，従来の限定的な使い方ではなく，さらに拡張したものである。

パフォーマンス評価のことばの意味をさらに分析するためには，グレイザー(Glaser, R.)によるパフォーマンスの視点が有用である。グレイザーによれば，パフォーマンスとは子どもにおける知識の成長状況を示すものであり，知識表現において次の四つの要素が現れているものをパフォーマンスとして捉えている(Glaser, R., 1990)。

- (1) 学習目標が子どもに自覚されている。
- (2) 解決する目的が明確化されている。
- (3) 子どもが依拠している論理が明確である。
- (4) 子どもにより知識は咀嚼されていて，活用可能性が高い。

このような視点でパフォーマンスを捉えると，理科授業においては，既存の科学概念や体験に基づく問題の設定，あるいは予想や仮説作り，さらには考察として，収集した多様な情報を読み取り，結論を下すことであると措定することができる。これは従前の観察・実験の手技がパフォーマンスであるという狭義の捉え方から拡張されているのは明らかである。

学習においてパフォーマンスをさせる目的は，子どもに知識を自分なりの表現として記述させる意思を持たせながら，最終的に活用可能な知識へと変換させていくことである。したがって，ここでは成長途上にある知識が常に表現されることになる。この知識の内容は曖昧であったり，

時には誤ったりしていることも考えられる。重要なことは、学習途上にある知識の正誤を吟味することではなく、上記の（１）～（４）の視点に立つ記述を子どもに自覚させ、学習を動機づけることが必要なのである。これは具体的に考えると、パフォーマンス評価を行う際には子どもの表現が保証されることが必要であり、これらの評価を形成的に行うことによって、さらに学習を促進することができるということである。

第２項 中央教育審議会におけるパフォーマンス評価の位置づけ

パフォーマンス評価によって、子どもの様々な表現が保証され、それら进行评估できることが明らかになった。本項においては、このパフォーマンス評価が公的文書でどのように位置づけられているかを調査し、公教育がどのようにパフォーマンス評価をとらえているのかを明らかにする。

2010年に中央教育審議会によって示された「児童生徒の学習評価の在り方」においては、以下のようにパフォーマンス評価について触れている（中央教育審議会，2010）。

「思考力・判断力・表現力等进行评估するに当たって、『パフォーマンス評価』に取り組んでいる例も見られる。パフォーマンス評価とは、様々な学習活動の部分的な評価や実技の評価をするという単純なものから、レポートの作成や口頭発表等による評価するという複雑なものまでを意味している。または、それら筆記と実演を組み合わせたプロジェクトを通じて評価を行うことを指す場合もある。」

ここでは、思考力・判断力・表現力等の評価について、パフォーマンス評価を用いる事例が示されている。本研究では理科教育における思考力・判断力・表現力として「科学的な思考・表現」に関する学力の育成を目的としているが、この2010年の中央教育審議会の指摘によれば、理科教育の「科学的な思考・表現」に関する学力に対して、パフォーマンス評価が有用であることが示唆されたのである。

第3項 パフォーマンス評価と真正な評価の相違点

パフォーマンス評価と類似した概念として、真正な評価(authentic assessment)という評価方法がある。端的に二つの評価を説明すると、パフォーマンス評価は「子どもがその時点で表現した学習活動の総体に対する評価」、真正な評価は「実際に社会や生活など現実世界の課題と類似した、本物らしさ(真正性)を持つ課題に対する子どもの活動の評価」と措定することができる(松下, 2012)。田中はこうした真正性を、真正な文脈という語を用いて以下のように捉えている。「真正な文脈という場合、市民や労働者、生活者の実用的な文脈に即するだけではなく、科学的な法則を発見したり歴史上の真理を追求したりする課題のように、知的な発見や想像の面白さにふれる学者や専門家の学問的文脈も、真正な文脈と呼ぶことができる(田中, 2011: 22-23)。」

これらの両者の区別は概念的な区別であり、どの部分に評価の焦点を置くのかの違いであると考えられる。具体的には、パフォーマンス評価は、子どもの学習の総体に対する評価であるため、子どもの学習そのものと、学習の成果物に焦点が置かれているが、真正な評価では評価の文脈や評価の課題における真正性に焦点が置かれているのである。

実際の評価場面では、パフォーマンス評価と真正な評価は重複する場面が多く見受けられる。たとえば、パフォーマンス評価が上記のような文脈性を持っている場合は、これは真正性を持った課題であると捉えることができるため、真正な評価であると考えることができる。特に理科教育においては、科学的な法則を学習内容の中心に据えることが多く、上記のような「～科学的な法則を発見したり歴史上の真理を追求したりする課題～」を模することが多くなり、真正な課題と重複することが少なくないと考えられる。

また、真正の評価においても子どもは様々な形でパフォーマンスをするため、必然的にパフォーマンス評価の形をとることが多くなる。本研究ではパフォーマンス評価を中心に考えているため、引用文献によって

は、パフォーマンス評価と明確にカテゴライズされていないものも含まれているが、本研究の定義に照らしてパフォーマンス評価と分類できるものについてはパフォーマンス評価として扱うものとする。

第4項 パフォーマンス評価を実現するためのルーブリック

パフォーマンス評価では解答の一意性がないため、標準テストの多肢選択式問題のように単純な採点をすることはできない。そして、レポートではなく標準テストが台頭した経緯から、パフォーマンス評価を用いて教育評価を行うためには、妥当性と信頼性を兼ね備えた採点方法が必須であると考えられる。そこで本項においては、パフォーマンス評価が妥当性と信頼性を具備するために新しく考案されたツールであるルーブリック (rubric) について概観し、その有用性を明らかにする。

ルーブリックとは、パフォーマンスの質を評価するために用いられる評価指標 (評価指針) のことであり、一つ以上の基準 (次元) とそれについての数値的な尺度 (scale), および、尺度の中身を説明する記述語 (descriptors) から構成される。これは基準と尺度の組み合わせによるマトリックスであり、各セルの中に記述語が入るという形式で表現されることが多い。理科教育においては、一般的に基準 (次元) として評価の観点、尺度として A 評価・B 評価の基準、記述語として求められるパフォーマンスの具体的例で表現される。(具体的な理科授業におけるルーブリックの具体例は、第7章第5節第3項における表7.3を参照)

パフォーマンス評価で求められる子どものパフォーマンスは、理科授業においては一連の問題解決的な学習において表現される複合的なものである。したがって、評価の観点を設定する際には学習内容の詳細な分析を行い、評価の観点の妥当性を保証することが必要である。このような観点は、多くの場合、多次元的かつ多段階的である。一般的に理科授業における評価の観点は「知識・理解」、「技能」、「思考・判断・表現」、「関心・意欲・態度」の四つの観点で示される。たとえば、2011年に国

立政策研究所が示した「評価規準の作成，評価方法等の工夫改善のための参考資料（中学校理科）」においても，これらの四つの観点を用いて評価の基準を示している（国立教育政策研究所，2011）。

第6章第1節第2項においては，レポートの採点は教師のバイアスや実施時期が影響を受け妥当性と信頼性が得られないことが示されたが，このレポートの採点の研究が行われた当時においては，観点の刷り合わせは行われていないと予想される。言い換えれば，教師がこうした観点を持ち，学習内容の詳細な分析を行いながら観点を精査していくことは，評価の妥当性を向上させることに寄与できると考えられる。

またパフォーマンス評価は，第6章第1節第2項でも議論したように，評価者の主観が影響するといった懸念が残されている。そこで，評価者はパフォーマンスの質を適切に価値判断するための鑑識眼（*connoisseurship*）が求められることになり，さらに，通常は複数の評価者がモデレーション（*moderation*）を行うことによって，間主観性を構築して信頼性を得る必要がある。ここでいうモデレーションとは，複数の評価者間で評価の一貫性（信頼性）を確保するために行う調整作業のことである。モデレーションは評価過程を統一する方法と評価結果を統一する方法がある（ギップス，C.V., 2001；松下，2007, 2010）。このようにしてルーブリックは教材の分析によって妥当性を，教師の間主観性の構築によって信頼性をパフォーマンス評価に付与することができるのである。

ルーブリックはその視点によっていくつかのタイプに分けられる（松下，2012：83）。

- （1）構造：基準を複数設定して分析的に評価する「分析的ルーブリック（*analytic rubric*）」か，基準を複数に分けずに全体的に評価する「全体的ルーブリック（*holistic rubric*）」
- （2）スコープ：ある領域で一般的に適用できる「一般的ルーブリック（*generic rubric*）」か，当該課題だけに適用される「課題特殊的ル

ーブリック(task-specific rubric)」

(3) スパン：複数年にまたがって使われる「長期的ルーブリック(longitudinal rubric)」か、短期間あるいはスナップショット的に使われる「採点的ルーブリック」

理科授業で用いられるルーブリックは主に四つの観点で行われるため、構造の視点においては「分析的ルーブリック」であると考えられる。さらにスコープの視点においては、学習内容に適した観点を設定するため、学習内容が反映された「課題特殊的ルーブリック」であると考えられる。ただし、理科授業では、基本的には仮説を基にして観察・実験を計画し、その結果の記録から解釈を行い、学習を省察する活動になると考えられるため、学習内容の深化とともに「一般的ルーブリック」に近づいていくと考えられる。最後にスパンの視点においては、原則的には毎時間、あるいは理科の一単元における評価に用いられるため、「採点的ルーブリック」であると考えられる。

このルーブリックにおいて重要なことは、わかりやすい形で教師と子ども間で共有されることである。なぜならば、このルーブリックは何よりも子どもにとって学習活動や自己評価の指針としての役割を持つからである。ルーブリックと照らし合わせた評価は、あくまでもその時点の形成的な評価であり、総括的な評価としてのみ使うわけではない。たとえば、学習の中途の段階において、子どもがルーブリックを用いて自らの評価をABCの三段階評価でBだと判断した場合、どのように学習を改善すればAになるのかを教師と子どもが共通認識していれば、目的的な学習活動が可能となると考えられる、ルーブリックはそのような活動を支援するツールにもなるのである。

第5項 理科授業デザインにおけるパフォーマンス評価

第6章第2節第1項においてはパフォーマンス評価について概観し、子どもの多様な表現を評価し、学習を促進できることが示された。さら

に第6章第2節第4項においてはパフォーマンス評価のツールであるルーブリックについて概観し、妥当性と信頼性をパフォーマンス評価に付与すると同時に、子どもの目的的な活動を支援できることが示された。そこで本節では、理科授業デザインにパフォーマンス評価を用いる理由と、パフォーマンス評価を用いることによって期待される利点について明らかにする。

第5章で議論した理科授業デザインにおいては、第1象限「問題把握的学習」では経験や知識の自覚化と学びの見通し、第2象限「分析的学習」では観察・実験結果の収集と整理、第3象限「共通感覚的学習」では話し合いや発表を通じた科学概念の構築、第4象限「知識活用的学習」では省察や新しい課題の発見と、各象限の学習活動は様々な要素を包含している。この各象限の学習活動を具現化して評価するためには、様々な形態の学習活動について教師が評価していくことが必要である。これは換言すれば、理科授業デザインにおいては、従来の標準テストでは評価することが難しく、パフォーマンス評価を用いることによるのみ、十全に評価することができるのである。

理科授業デザインにパフォーマンス評価を用いる有効性を分析すると、その利点は二つであると考えられる。まず一つ目は、第6章第2節第4項のルーブリックで示した通り、学習の目的を教師と子どもで共有するために、子どもは各象限の学習活動に対して目的的な活動が可能となり、積極的な姿勢になることである。さらには、第6章第2節第1項で示した通り、子どもは学習成果を様々な形で表現する機会を獲得するため、子どもの思考は子どもの記述などの表現において可視化され、新たな教授・学習活動の手掛かりを作ることができるのである。

各象限の学習活動の視点を学習の目的として、教師と子どもが共有し様々な表現から子どもの概念を可視化し、それを手掛かりとして学習を深化していく活動は、各象限の学習活動を教師と子どもが具現化する活動に他ならないと考えられる。

第3節 パフォーマンス課題

第1項 パフォーマンス課題の意味内容

パフォーマンス評価を用いることにより，子どもの多様な表現を捉えることが可能となり，理科授業デザインの各象限の学習活動を具現化できることが，これまでに議論により示唆された。パフォーマンス評価を理科授業で実践するためには，形成的な評価のみならず，教師はパフォーマンス評価のための課題（以下，パフォーマンス課題と記す）を設定することが必要である。そこで本節では，パフォーマンス課題について概観し，パフォーマンス課題を実践の適用する具体的な指針を明らかにする。

ハートはパフォーマンス課題を「期待されている成果を達成する能力を評価するために子どもに与えられる課題」と定義している（ハート，D.,2012: 148）。これは子どもが理科授業において求められているパフォーマンスによって，教師は様々な課題を設定することが可能であるということである。

パフォーマンス課題は，「短い評価課題(short assessment tasks)」，「イベント課題(event tasks)」，「長期にわたる拡張課題(extended tasks)」の三つのカテゴリーに分類される。このうち「長期にわたる拡張課題」は，大学の卒業研究に代表されるような数年単位の長い期間にわたるプロジェクト課題であるため，単元単位で学習活動を進める理科授業では適していない。したがって，本研究では理科授業において有用である「短い評価課題」，「イベント課題」の二つの課題に焦点を当てて，さらに議論を進めることにする。

第2項 短い評価課題—概念地図法

「短い評価課題」は，子どもにおける基本的概念，概念間の関連性，学習に対する方略等をどれほど習得しているかを評価するために使用さ

れ、数分間といった短い時間の中で評価することが可能である。この課題では子どもが考えを記述するのを援助するように足場かけ(scaffolding)が含まれることが多い。「短い評価課題」の実践例としては、「概念地図法(concept mapping)」、「オープン・エンドな課題(open-ended tasks)」、「発展的な多肢選択式問題(enhanced multiple-choice questions)」がある(ハート, D., 2012: 57-68)。

「概念地図法」とは、子どもの持っている概念間の関連性を視覚化したものである。複数の言葉(概念ラベル)とそれらをつなぐ簡単な文章か語句(リンクワード)を記述して概念地図を作成することにより、子

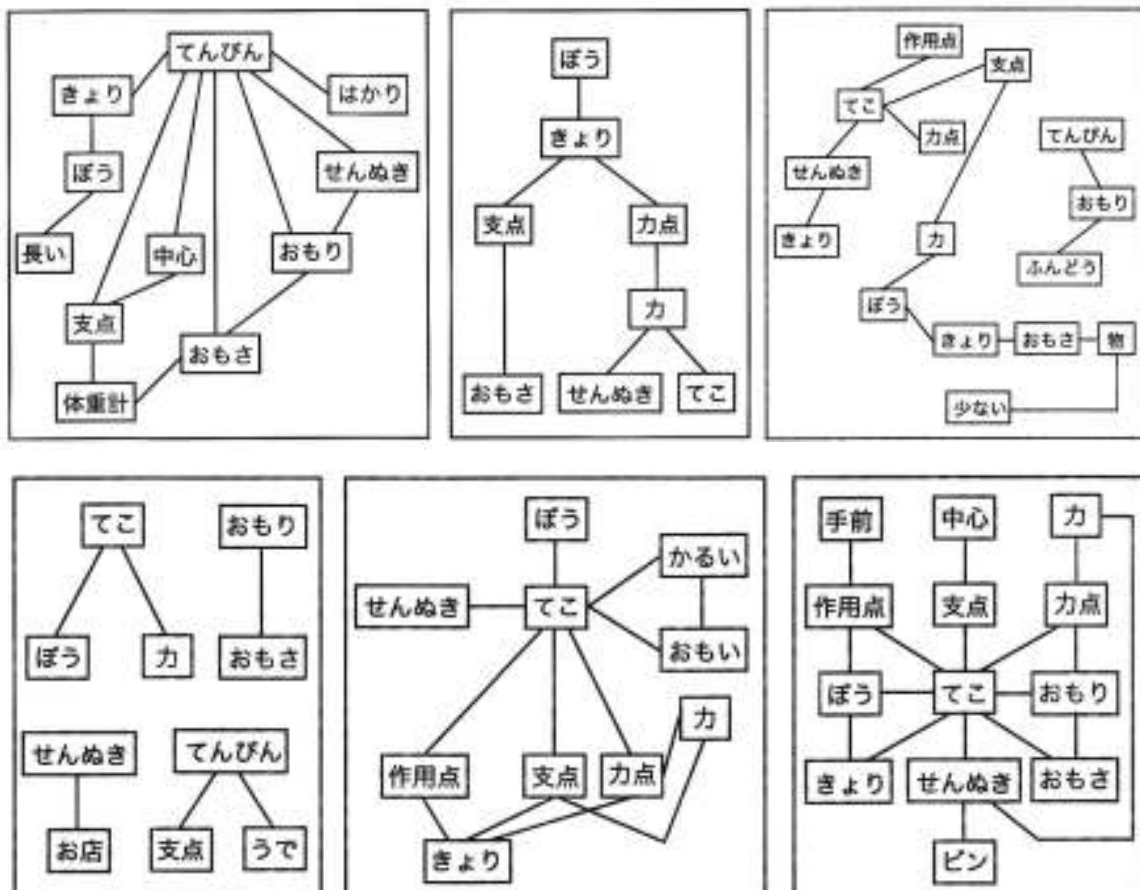


図 6.1 小学校の理科における概念地図のタイプ例(福岡, 2002: 168-169)

それぞれ、扇型(左上) 分岐型(中央上) 直線型(右上)

分離型(左下) 放射型(中央下) ネットワーク型(右下) である

どもの中で鍵となる概念や、概念間の関連性が可視化されるのである。

さらに、観察・実験の前後や対話的な活動の前後において作成した、複数の概念地図を比較することで概念の変化を評価することが可能となる。福岡はこのような概念の変化を有意味学習の理論を基にして説明しており、このような有意味学習が成立するためには、子ども自身に関連する項目があり、外部から項目が関連付けられる可能性を持っており、子ども自身に意味づけようとする構えがあるという三つが必要条件であることを示している（福岡，2002：22-23）。

概念地図を作成する具体的な手法として、福岡は以下のような手順をあげている（福岡，2002：28-29）。

- (1) 教師が言葉（概念ラベル）を子どもに提示する。
- (2) 子どもは提示された言葉（概念ラベル）の間で関係のあるものを結ぶ。
- (3) 範囲の広い言葉（上位概念）を上部に、その中に含まれる言葉（下位概念）を下部に配置する。上下関係がない場合には横に並べる。
- (4) 二つの言葉を線で結ぶ。
- (5) 二つの言葉の関係がわかるように、簡単な文章か語句を書く。
- (6) 教師によって提示された言葉以外で関連する言葉があれば、子どもは自由に言葉を追加して概念地図を拡張する。

上記のような概念地図の作成方法は、実際には子どもが概念地図を作成する際に個々人に使いやすいように改変されることが多く、上記に示した方法以外にも様々な手法が用いられる。たとえば(3)では、概念を上位概念と下位概念というように階層構造を見やすい形で表現できるように説明しているが、実際の概念地図では、子どもの既存概念を反映するため、様々な構造の出現が見受けられる。図6.1は、小学校5年の「てこ」の授業において作成された概念地図を構造別に分類したものである。なお、煩雑さを避けるために、言葉と言葉をつなぐ簡単な文章（リンクワード）は全て省略している（福岡，2002：66-67, 168-169）。

図6.1 上列の概念地図の構造はそれぞれ、左上は「てんびん」という中心的な言葉から下へ広がっていく「扇型」、中央上は「ぼう」、「きょり」から分岐していく「分岐型」、右上はほぼ一本の直線上にラベルが連結している「直線型」である。また下列の概念地図の構造は、左下はいくつかの概念地図が分離した状態の「分離型」、中央下は「てこ」という言葉を中心にして放射状に拡散していく「放射型」、右下は全体が整理されてまとまっている「ネットワーク型」である。

また、(6)においては関連する言葉を追加して拡張しても良いと説明しているが、概念地図を作成する際に子どもが必要ないと感じた言葉は使わなくても良いことも示されている(福岡, 2002: 57)。

第3項 短い評価課題—オープン・エンドな課題

「オープン・エンドな課題(Open-ended tasks)」とは、子どもに課題が提供され、その後、子どもが生活経験や既有概念を基にして課題について回答することである。具体的には、学習課題が示された際に、子どもがその課題に対する自分の解答を文章やイラスト、図表などで表現する活動があげられる。

このようなオープン・エンドな課題は、基本的に「自由」な解答が可能であるが、どれほど多くの指示や制限が含まれるかは教師に依存するために、その自由度は一律ではない。こうした制限や指示は、教師が足場かけをどの程度行うかによって変化すると考えられる。たとえば、子どもが教材に対してあまり慣れていない場合には、足場かけとしての指示や制限を多くして、子どもの考えを限定して解答しやすい状況を作ることが必要である。一方で、子どもが教材に対して十分慣れている場合には、足場かけは少なくとも良いために、制限や指示を少なくして、子どもが自由な発想で解答できる状況を作ることが求められる。

図6.2はオープン・エンドな課題の実践例である(ハート, D., 2012: 60-61)。最初に、子どもは七種類の異なる種類の資材の上に水滴を垂ら

して、それぞれの反応を記述する（設問 1，2）。そしてこれらの反応と資材の表面の様子を基にして（設問 3，4），未知の資料に水滴を垂らした場合に何が起こるかを予想するのである（設問 5，6）。この課題では内容としてはそれほど簡単ではないものの，教師からの丁寧な足場かけが行われており，解答は限定的で考えるべき視点がわかりやすくなっている。そのため，子どもは短い時間の中で解答することが可能であると考えられる。

また，設問 5「この資材の上に水滴を落とすと，何が起こるかを考え記入しなさい」，設問 6「なぜ上記（設問 5 の解答）のように考えたかを，記入しなさい」においては，子どもは資材の上に水滴が落ちたときにどのようなようになるかという問いに対して，子ども自身が仮説を立ててその理由を説明している。オープン・エンドな課題は，自由な解答が可能であ

これらの上に水を置くとどうなるか

<p>実行すべき行動</p> <p>1. 水滴を各資材の上に垂らす。</p>
<p>発見したことを記録する</p>
<p>2. 注意して観察しなさい。何かわかりましたか？ 各資材の上の水に起こったことを記入しなさい。</p> <p>A. プラスチック <u>何も起こらない</u></p> <p>B. ベンキで塗られた木材 <u>何も起こらない</u></p> <p>C. レンガ <u>消えて見えなくなった</u></p> <p>D. 金属 <u>水滴が丸くなった</u></p> <p>E. 屋根板 <u>消えて見えなくなった</u></p> <p>F. ガラス <u>そのまま残っている</u></p>
<p>3. 次に，拡大鏡を使って各資材を詳しく観察しなさい。</p> <p>4. プラスチック袋のなかの資材を詳しく観察しなさい。ただし袋を開けてはいけません。</p> <p>5. この資材の上に水滴を落とすと，何が起こるかを考え記入しなさい。</p>
<p>仮説を立てる</p> <p>浸み込んでいく</p>
<p>仮説の説明</p>
<p>6. なぜ上記のように考えたかを，記入しなさい。</p> <p>水滴がレンガと屋根板に浸み込んだが，これも同じもので作られているため。</p>

図 6.2 小学校の理科におけるオープン・エンドな課題の例

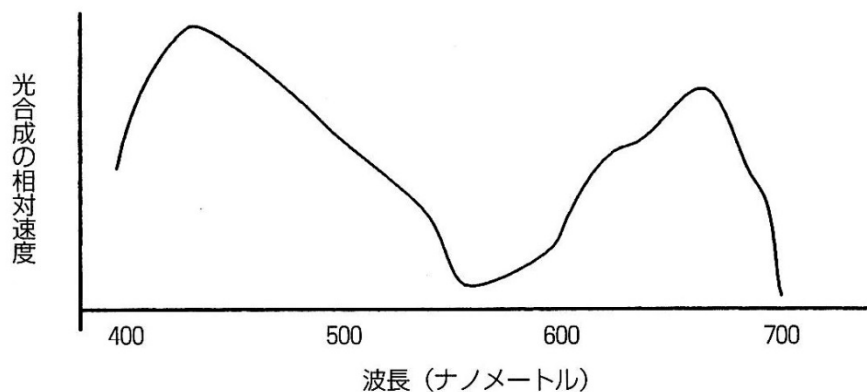
ることが多いため、時として「自由記述課題(free-response questions)」と呼ばれている。

第4項 短い評価課題—発展的な多肢選択式問題

多肢選択式問題は、標準テストで主要な役割を果たす問題形式であり、知識の活用ではなく、子どもの単純な知識の側面を評価する方法である。こうした多肢選択式問題は第6章第1節第2項で議論した通り、ある程度の妥当性と信頼性を保持していると考えられる。そこで、多肢選択式問題を、子どもの概念や高次の思考スキルを評価するために改変したのが「発展的な多肢選択式問題(enhanced multiple-choice questions)」である(ハート, D., 2012: 63-65)。これは解答を選択肢の中から選び解答するという点は同じであるが、選択した根拠や理由を明確にして説明するという点が異なっている。

図6.3は中学校の理科における、発展的な多肢選択式問題の例である。植物に当てる光の波長と光合成の速度の関係をグラフから読み取り、光合成に最も適した光の波長をこたえる問題である。解答をA~Dの選択肢から選ぶという形式は標準テストで用いられている形式と同一であるが、授業において、なぜその光の波長を選ぶに至ったのかという根拠や理由を説明することが必須となるため、当て推量によって解答するだけでは十分な解答にはならないのである。

西岡によるパフォーマンス課題の分類においては「発展的な多肢選択式問題」という表記はなく、「知識を与えて推論させる問題」としてカテゴライズされており、大きな枠組みでは自由記述式の問題の一部として考えられている(西岡, 2010; 田中, 2011: 15)。また、ハートは発展的な多肢選択式問題における根拠や理由の説明がオープン・エンドであるという点を指摘している。これは理科授業においては、「発展的な多肢選択式問題」と「オープン・エンドな課題」を使う場面が類似しており、状況に応じてどちらかの課題を選択することができることを意味している。



植物は光を吸収することにより、光合成のエネルギーを得ます。上記の通り、植物は与えられる光の波長に応じて異なる速度で光合成をします。もし異なる波長の光の下で植物を育てるとすれば、以下に示す光の波長のうち、どれがもっとも成長をもたらす可能性が高いでしょうか？

- A. 450nm B. 500nm C. 550nm D. 700nm

図 6.3 中学校の理科における発展的な多肢選択式問題の例

第 5 項 イベント課題—問題解決課題と分析的課題

「イベント課題」は問題解決能力をはじめとした幅広いコンピテンシーを評価するための課題である。この課題は特定の教科や分野において使用されることが多く、子どもが知識をどれだけ活用できているのかを浮き彫りにできるように作成されている。「イベント課題」の実践例としては「読み書き評価(reading-writing assessment tasks)」、 「問題解決課題と分析的課題(problem-solving and analytical tasks)」、 「プロセス評価課題(process assessment tasks)」がある(ハート, D.,2012: 69-73)。

このうち読み書き評価は、文字通り文章の読解と記述に焦点を当てたパフォーマンス課題である。たとえば中学生が実施した具体例を示すと、子どもが文章を精読して内容を理解し、対話的な活動によって得た多くの情報を整理・分析し、それらを基にして文章や詩、物語、短い劇、ス

ピーチなどを用いて表現するといった課題があげられる（ハート，D.,2012: 70）。これは非常に魅力的な課題であると考えられるが，理科教育ではなく国語教育などの場面で実施されることが想定されるため，本研究では議論しないものとする。

「問題解決課題と分析的課題(problem-solving and analytical tasks)」(以後，問題解決課題と記す)は，イベント課題の主となる課題で，問題解決的スキルや分析的スキルの評価に利用される。問題解決課題は与えられる教材によって多様な形が存在するが，多くの場合，子どもに解決すべき課題を提供し，子ども自身の手で計画，解決，決定することが求められる。これらの過程を理科授業の場面に当てはめて考えると，子どもが観察・実験計画を行い，実際に観察・実験を実施して結果を記録し，結果を解釈し，まとめる等の活動が問題解決課題として考えられるのである。西岡によるパフォーマンス課題の分類においても，この問題解決課題は「実験の計画・実施・報告」，「実験レポート・観察記録」，「研究レポート・研究論文」といった項目で表現されており，本研究と同じ視点であることが示されている（西岡，2010；田中，2011: 15）。

問題解決課題は，その活動の形式だけを見ると，図6.2に示されるオープン・エンドな課題と，自然事象に対する仮説の立案や，観察・実験結果の整理をする点などいくつかの共通点を持っている。この両者のもっとも大きな相違点は，子どもがパフォーマンス課題に取り組む時間の長さである。子どもがオープン・エンドな課題に取り組む時間は数分間程度であるが，問題解決課題に取り組む時間は数時間以上の長い期間である。取り組む時間が長時間になるのは，オープン・エンドな課題に比べて複合的かつ複雑な課題であるために，仮説を基にして多様な情報を収集・整理すること，情報から導かれた解釈をグループなど協同的な活動を通じて比較・検討し，考えを精緻化することが必要だからである。

第6項 イベント課題—プロセス評価課題

「プロセス評価課題」は、子どもが明確なコミュニケーションや効果的なチームワークなど、必要とされているプロセス(process)をどれほど習得しているかを、浮き彫りにするように作成するものである(ハート, D.,2012: 70-72)。

プロセス評価課題の具体例としては、採点対象となる討論(scored discussion)があげられる(Zola, J., 1992)。これはグループにおける子ども一人ひとりの聞き取りスキルや会話スキルの評価のために、討論へどのように参加しているかという、プロセスそのものを評価する課題である。このような討論を行う際には、参加する子どもはお互いに議論しやすいように着席し、採点者や他の子どもがその周囲を取り囲んで観察・採点するという金魚鉢方式(fishbowl format)が用いられる。参加する子どもは議論の内容を事前に調査しておき、議論は予定表通りに進行する。子どもの議論への参加の仕方や貢献度は教師によって表6.1に示したような項目で採点される。

理科教育において、プロセスそのものに注目している例としては「プロセス・スキルズ(process skills)」があげられる。プロセス・スキルズ

表6.1 プロセス評価課題の例：採点対象となる討論における
議論採点用紙

プラス		マイナス	
点数	行為	点数	行為
2	質問に対する見解を示す	-2	注意を全く払わないか、他人の気を散らす
1	適切なコメントをする	-2	邪魔をする
2	見解を支える証拠を利用するか、事実に基づく情報を提供する	-1	不適切なコメントをする
1	他の人を議論に引き込む	-3	会話を独り占めする
1	明確にするような質問をするか、議論を前に進める	-3	個人攻撃をする
2	類推する		
2	矛盾を認識する		
2	不適切なコメントを認識する		

は全米科学振興協会(American Association for the Advancement of Science: AAAS)によって提唱された考え方である。探究の要素的技法であるプロセス・スキルズを習得することが、探究能力の育成において、非常に重要であると考えられている(Commission on Science Education of AAAS, 1963)。

このプロセス・スキルズは全部で十三の項目で構成されており、さらに基礎的プロセス(Basic process)と総合的プロセス(Integrated process)に分かれている。基礎的プロセスには「観察する」、「時空の関係を用いる」、「分類する」、「数を使う」、「測定する」、「伝達する」、「予測する」、「推論する」の八つのプロセスが存在する。一方、総合的プロセスには「変数を制御する」、「データを解釈する」、「仮説を設定する」、「操作的に定義する」、「実験する」の五つが存在する。

それぞれのプロセス・スキルズの下には、それぞれの内容を詳細に示した項目である下位のプロセス・スキルズが存在する(Commission on Science Education of AAAS, 1963; 吉山・小林, 2011)。この「観察する」、「数を使う」、「測定する」などといった基礎的プロセスは、まさに観察・実験においては日常的に使われるプロセスであり、理科授業において必要不可欠なプロセスであると考えられる。つまり理科授業においては、プロセス評価課題は、前述の採点対象となる討論のような対話的活動におけるプロセスと、プロセス・スキルズに代表されるような理科における技能的なプロセスの双方を評価することが可能なのである。

また、パフォーマンス評価では成績づけを行う際に、子どもの自己評価を重視している(Wiggins, 1989; 田中, 2011: 13-14)。これは構成主義的な学習観において、自己調整が何よりも必要であることにも由来しており、課題として明記されてこそいないが、パフォーマンス評価を行う上で「自己評価」は必須の学習活動であると考えられる。そこで、本研究では、この点を強調するために「自己評価」を課題と同列に取り扱うことにした。

第7章 理科授業デザインの各象限におけるパフォーマンス評価

第1節 第1象限の問題把握的学習を具現化するパフォーマンス評価

表7.1は、理科授業デザインに示された第1象限から第4象限における学習活動と基本的な視点、理科授業における教授・学習活動と、各象限を具現化することを目的としたパフォーマンス課題をまとめたものである（鈴木・森本，2012: 96）。左列には、各象限の学習活動の名称と学習活動を端的に表すキーワードが示されている。「4MAT システムの基本的な視点」の列は各象限における学習活動における重要な視点であり、これらを援用して理科授業における教授・学習活動を明らかにしたのが「理科授業における教授・学習活動」の列である。そして、「パフォーマンス課題」の列は、各象限の学習活動を具現化するためのパフォーマンス課題を示している。

第1象限の問題把握的学習における重要な教授・学習活動は「生活経験や既存概念から学習についての問題を見出す」、「自然事象への疑問や自分の考えを持ち予想や仮説を立てる」の二つである。前者のパフォーマンス課題は、学習内容に関連する言葉同士のつながりを記述する「概念地図法」と、学習内容に対して子どもが知っている知識を自由に記述する「オープン・エンドな課題」が有効であり、後者のパフォーマンス課題は、予想や仮説を検証するために観察・実験計画を作成する「問題解決課題」が有効である。

「概念地図法」で概念地図を記述することにより、子どもは学習に関連する言葉（概念ラベル）同士の関連をその理由（リンクワード）とともに自覚することができ、学習内容に対する子どもの既存概念を明らかにすることができる。また、「オープン・エンドな課題」を用いて、子どもが学習内容に関連する自由記述を行うことにより、生活経験や既存概念を学習内容と関連付けて、自らの問題として捉えることが可能となる。そして、学習内容を自らの問題として認識した子どもは、観察・実験計画を作成

して結果を予想する「問題解決課題」を通して、自分の考えをもち、予想や仮説を基にして学びに対して見通すことができると考えられる。

表 7.1 理科授業デザインにおける各象限の学習活動とパフォーマンス課題

	4MATシステムの 基本的な視点	理科授業における 教授・学習活動	パフォーマンス課題
第1象限 問題把握的学習 “Why?”	<ul style="list-style-type: none"> ・既存概念について自覚する ・学びへの見通しを持つ 	<ul style="list-style-type: none"> ・生活経験や既存概念から、学習についての問題を見出す ・自然事象への疑問や自分の考えを持ち、予想や仮説を立てる 	<ul style="list-style-type: none"> ・概念地図法(学習前の概念) ・オープン・エンドな課題(既有知識の自由記述) ・問題解決課題(観察・実験計画の作成と結果の予想)
第2象限 分析的学習 “What?”	<ul style="list-style-type: none"> ・与えられた素材について、アナログ表現やデジタル表現を用いて分析する ・分析結果をわかりやすい表現を用いて整理する 	<ul style="list-style-type: none"> ・観察・実験結果についてスケッチや文章、グラフや表など様々な形態の情報を収集して整理する 	<ul style="list-style-type: none"> ・プロセス評価課題(スケッチやグラフの作成) ・問題解決課題(観察・実験の遂行と結果の整理)
第3象限 共通感覚的学習 “How?”	<ul style="list-style-type: none"> ・事実を概念として表現する ・概念を用いて論理的に説明する ・概念を活用できるようにする 	<ul style="list-style-type: none"> ・自然事象に対する自分の概念を解釈を通じて明らかにする ・話し合いや発表を行って『共通感覚』から『常識』を作る過程を通して科学概念を構築する 	<ul style="list-style-type: none"> ・プロセス評価課題(話し合いと発表) ・問題解決課題(解釈・まとめ)
第4象限 知識活用的学習 “If?”	<ul style="list-style-type: none"> ・共通感覚から常識をつくる過程で構築された概念を活用して次の課題を構想する 	<ul style="list-style-type: none"> ・第1～第3象限の学習を振り返る ・構築された概念を活用して、新しい問題解決へ臨む 	<ul style="list-style-type: none"> ・概念地図法(学習後の概念) ・オープン・エンドな課題(新たな問い) ・自己評価

第 2 節 第 2 象限の分析的学習を具現化するパフォーマンス評価

第 2 象限の分析的学習における重要な教授・学習活動は「観察・実験の結果についてスケッチや文章、グラフや表など様々な形態の情報を収集して整理する」である。この学習活動におけるパフォーマンス課題は、観察・実験から自然事象を解釈するために必要な情報を収集、整理する「問題解決課題」と、スケッチやグラフの作成などの観察・実験に必要な諸技能の習得を評価する「プロセス評価課題」が有効である。

「問題解決課題」として観察・実験の遂行を評価することで、子どもは目的的に学習方略を用いて観察・実験を行い、その結果をわかりやすく整理する問題解決的な活動を行うことが可能となる。さらに、「プロセス評価課題」として、観察・実験の結果をスケッチやグラフにまとめる活動等に焦点を当てることで、観察・実験に必要な諸技能を習得することが可能となる。

第 3 節 第 3 象限の共通感覚的学習を具現化するパフォーマンス評価

第 3 象限の共通感覚的学習における重要な教授・学習活動は、「解釈を通して自然事象に対する自分の考えを明らかにする」、「話し合いや発表を行い『共通感覚』から『常識』をつくる過程を通して科学概念を構築する」の二つである。この学習活動におけるパフォーマンス課題は、観察・実験で得られた結果を基に自然事象に対して解釈を行う「問題解決課題」と、話し合いや発表に注目した「プロセス評価課題」が有効である。

「問題解決課題」として、観察・実験結果の解釈を評価することで、子どもは第 2 象限の分析的学習で取得した観察・実験結果から、自然事象に対する解釈を共通感覚的に生成する。この解釈はグループの話し合いや学級内の発表などの「プロセス評価課題」を通して比較・検討され、学級内で常識として承認され科学概念を構築することになる。

第 4 節 第 4 象限の知識活用学習を具現化するパフォーマンス評価

第 4 象限の知識活用的学習における重要な教授・学習活動は、「第 1～第 3 象限の学習を振り返る」、「構築された概念を活用して、新しい問題解決へ臨む」の二つである。この学習活動におけるパフォーマンス課題は、学習後の概念間の関連性を示す「概念地図法」、新たな問いを記述する「オープン・エンドな課題」、そして、学習活動を子ども自身が省察する「自己評価」が有効である。

「概念地図法」として概念地図を記述することにより、子どもは学習後の言葉のつながりを自覚することができ、学習後の科学概念の構造を明らかにすることができる。また、「オープン・エンドな課題」として新たな問いを記述することにより、子どもはこれまでの学習活動を通して理解した知識を基にして、将来の学習を行う際の足掛かりを構築することが可能となる。そして、最後に「自己評価」を行うことにより、子どもは各象限の学習活動、すなわち、第 1 象限の概念地図や自由記述、観察・実験計画と予想、第 2 象限の観察・実験の遂行やスケッチやグラフの作成、第 3 象

限における観察・実験結果の解釈と話し合いや発表活動について省察することが可能となる。さらに、第4象限の概念地図を第1象限の概念地図と比較することにより、子どもはこの学習を通して構築してきた科学概念を自覚し、新しい問題解決に臨む準備を整えるのである。

第5節 パフォーマンス評価を用いた授業実践とその分析

第1項 授業実践の目的

理科授業デザインの視点を用いることにより、「科学的な思考・表現」に関する学力の育成を目的とした問題解決的な学習が実現できることが明らかにされており、第1象限から第4象限の学習活動を具現化するためには、パフォーマンス評価を実践することが必要であることが導かれた。このパフォーマンス評価の有効性は、授業実践を通して実証的に検証することが必要である。

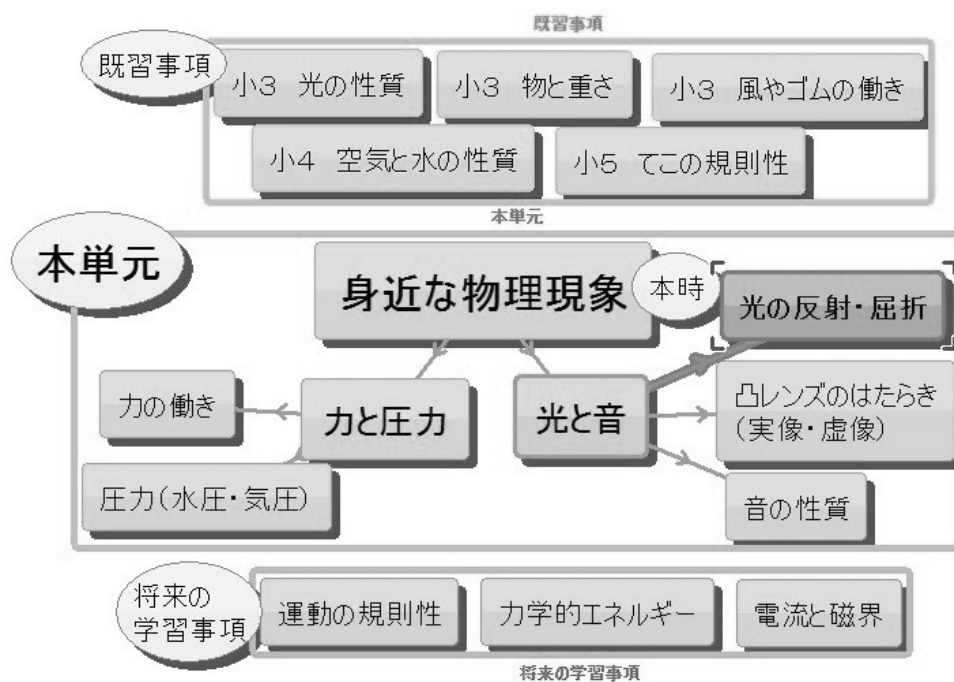


図 7.1 「身近な物理現象」の単元構造図

そこで本研究では、理科授業デザインに示された各象限において、パフォーマンス評価を実際に活用し、パフォーマンス評価が子どもの学習活動に寄与し、各象限の学習活動が具現化されたかについて検証した。分析は子どもの作成したポートフォリオと発表に用いたホワイトボードを対象とした。

第2項 実践の概要

実践期間は2012年6-7月、実践対象は国立大学附属中学校の第1学年153名、実践は「身近な物理現象」の「光の反射・屈折」における「光の反射」の単元である。

図7.1は本単元である「身近な物理現象」の単元構造図である。この単元は光や音、力や圧力など、子どもの五感で知覚できる身近な物理現象を題材にしており、観察・実験活動を通して、その性質を明らかにすることを目的としている。

本実践は「光の反射・屈折」における「光の反射」単元である。子どもは、小学校第3学年の「光の性質」において、光はレンズで一点に集められること、光は鏡で反射することをすでに学習している。したがって、本実践における学習の目的は、観察・実験を通して光の直進性や反射についての規則性を見出し、光の諸性質について理解を深めることである。

表7.2は「光の反射」の単元計画である。単元計画は全4時間で構成されており、1～4時間目がそれぞれ理科授業デザインに示された第1象限から第4象限の学習活動と対応している。

1時間目の問題把握学習では、単元の導入と実験計画の作成を行う。パフォーマンス課題としては、光に関する概念地図を作成する「概念地図法」、光の反射に関して知っていることを自由に記述する「オープン・エンドな課題」、そして光の反射を調べる実験計画を作成する「問題解決課題」を設定した。

表 7.2 単元計画「光の反射」(4時間)

	理科授業における 教授・学習活動*	時間	学習場面	パフォーマンス課題
第1象限 問題把握的学習 Why?	・生活経験や既有概念から、学習 についての問題を見出す ・自然事象への疑問や自分の考え を持ち、予想や仮説を立てる	1	単元の導入 実験計画の作成	・概念地図法(学習前における光に関する概念地図の作成) ・オープン・エンドな課題(光の反射に関する自由記述) ・問題解決課題(光の反射を調べる実験計画作成と予想)
第2象限 分析的学習 What?	・観察・実験結果についてスケッチ や文章、グラフや表など様々な形 態の情報を収集して整理する	2	実験の遂行 実験結果の記録	・プロセス評価課題(光の経路の記録、表の作成) ・問題解決課題(実験の遂行と取得データの整理)
第3象限 共通感覚的学習 How?	・自然事象に対する自分の概念を 解釈を通じて明らかにする ・話し合いや発表を行って『共通感 覚』から『常識』を作る過程を通し て科学概念を構築する	3	結果の解釈・まとめ グループでの話し合い 学級への発表	・プロセス評価課題(グループでの話し合い・学級への発表) ・問題解決課題(光の反射に対するまとめ)
第4象限 知識活用的学習 If?	・第1～第3象限の学習を振り返る ・構築された概念を活用して、新し い問題解決へ臨む	4	学習の省察 新たな問い	・概念地図法(学習後における光に関する概念地図の作成) ・オープン・エンドな課題(実験を通して芽生えた新たな問い) ・自己評価(実験の計画・結果の記録、実験の解釈・まとめ、概念 地図の変化についての省察)

2時間目の分析的学習では、実験の遂行と実験結果の記録を行う。パフォーマンス課題としては、光の経路をわかりやすく記録し表にまとめる「プロセス評価課題」、目的を意識しながら実験を遂行して取得したデータを見やすい形で整理する「問題解決課題」を設定した。

3時間目の共通感覚的学習では、結果の解釈をグループでの話し合いや学級への発表を通して解釈を精緻化してまとめていく。パフォーマンス課題としては、グループでの話し合いや学級へ発表と質疑応答をおこなう「プロセス評価課題」、光の反射に対する様々な解釈を比較・検討してまとめる「問題解決課題」を設定した。

4時間目の知識活用学習では、学習を通して得た新しい知識や学習活動を省察し、新たな問いを見出していく。パフォーマンス課題としては、学習後における光に関する概念地図を作成する「概念地図法」、実験を通して芽生えた新たな問いを記述する「オープン・エンドな課題」、実験の計画・結果の記録、結果の解釈・まとめ、概念地図の変化を子ども自身で評価する「自己評価」を設定した。

第3項 本実践におけるルーブリック

各象限における教授・学習活動とパフォーマンス課題は表7.2のよう

に明らかになっている。これらの教授・学習活動を子どもと教師が共有化するためにはルーブリックを示すことが必要である。

表 7.3 は各象限におけるパフォーマンス評価の観点と A 評価（十分満足できる）・B 評価（概ね満足できる）の基準を示したルーブリックである。ルーブリックでは各象限において複数のパフォーマンス課題が設定されているため、子どもが目的的に各象限の学習活動を具現化していくためには、パフォーマンス評価の観点をわかりやすい形にまとめておくことが必要である。そこで、今回の実践においては、各象限の学習活動ごとに観点を設け、それぞれの観点到 A 評価・B 評価の基準を示した。なお、評価は A・B・C の三段階であり、B 評価の基準を満たしていないものは C 評価（努力を要する）とした。

第 1 象限の問題把握的学習における評価の観点は「光の諸性質についての経験や知識を整理し、光の反射を調べる実験を計画し、結果を予想することができる」であり、日常経験や既有概念を記述する「概念地図法」、「オープン・エンドな課題」と、実験計画の作成と結果の予想をおこなう「問題解決課題」を基に評価の基準を作成した。

表 7.3 光の反射の実践におけるルーブリック

単元名と学習目標	身近な物理現象 身近な事象・現象についての観察、実験を通して、光や音の規則性、力の性質について理解させるとともに、これらの事象・現象を日常生活や社会と関連付けて科学的にみる見方や考え方を養う	
	パフォーマンス評価の観点 【パフォーマンス課題】	パフォーマンス評価の基準 A評価の基準 B評価の基準
第1象限 問題把握的学習	光の諸性質についての経験や知識を整理し、光の反射を調べる実験を計画し、結果を予想することができる 【概念地図法、オープン・エンドな課題、問題解決課題】	概念地図や既有知識を記述するとともに、光の反射についての実験計画や予想を立て、説明することができる
第2象限 分析的学習	光の反射を調べる実験を行い、実験結果から光の様子や入射角・反射角の関係を表や図を用いて記録することができる 【問題解決課題、プロセス評価課題】	目的を意識しながら光の反射を調べる実験を行い、入射角・反射角の実験結果を表や図を用いて角度や光の様子をわかりやすく記録することができる
第3象限 共通感覚的学習	実験の結果から入射角・反射角について解釈するとともに関連事象に対しても調査・考察を行い、グループや学級における発表を通して入射角・反射角が等しいことや身の回りの反射現象について説明することができる 【問題解決課題、プロセス評価課題】	実験結果から光の反射や関連事象に対する解釈を行い、グループや学級における発表を通して解釈を吟味するとともに、入射角・反射角が等しいことを説明するとともに身の回りの光の反射現象と関連付けて説明することができる
第4象限 知識活用的学習	実験計画の立案、実験結果の整理、解釈やまとめを省察することができるとともに、実験を通して構成された概念や新たな問いを明らかにすることができる 【概念地図法、オープン・エンドな課題、自己評価】	概念地図を記述し自分の概念の変化を指摘することができるとともに、実験を通して芽生えた新たな問いを記述し、実験計画の作成と実験結果の記録、解釈やまとめ等の各活動について理由をあげて省察することができる

第 1 象限における B 評価の基準は、光の反射に関する概念地図（概念地図法）、光の反射についての既有知識、実験を通して芽生えた新しい疑問（オープン・エンドな課題）、光の反射を調べる実験計画や予想を記述すること（問題解決課題）である。A 評価の基準は、概念地図や既有知識を記述するとともに、光の反射についての実験計画や予想を立て、説明することができることである。

第 2 象限の分析的学習における評価の観点は「光の反射を調べる実験を行い、実験結果から光の様子や入射角・反射角の関係を表や図を用いて記録することができる」であり、「問題解決課題」、「プロセス評価課題」の二つの課題を基に評価の基準を作成した。

第 2 象限における B 評価の基準は、光の反射の法則を調べるために実験を実施して（問題解決課題）、その実験結果を記録できることである（プロセス評価課題）。A 評価の基準は、光の反射の法則や光の諸性質を調べる実験を目的的に行い、光の反射の経路や角度、光の拡散や明るさといった様子を色や記号を用いて、わかりやすく記録できることである。

第 3 象限の共通感覚的学習における評価の観点は「実験の結果から入射角・反射角について解釈するとともに関連事象に対しても調査・考察を行い、グループや学級における発表を通して入射角・反射角が等しいことや身の回りの反射現象について説明することができる」であり、「問題解決課題」、「プロセス評価課題」のふたつの課題を基に評価の基準を作成した。

第 3 象限における B 評価の基準は、グループや学級における話し合いや発表を行い（プロセス評価課題）、実験結果を基にして光の反射現象について解釈し、入射角・反射角が等しいことを記述できること（問題解決課題）である。A 評価の基準は、グループや学級における話し合いから様々な解釈を吟味して、入射角・反射角が等しいことを説明するとともに、カーブミラーなど身の回りの光の反射現象と関連付けて説明することができることである。

第 4 象限の知識活用的学習における評価の観点は「実験計画の立案，実験結果の整理，解釈やまとめを省察することができるとともに，実験を通して構成された概念や新たな問いを明らかにすることができる」であり，実験やまとめを行った後の「概念地図法」，「オープン・エンドな課題」，省察をおこなうための「自己評価」の課題を基に評価の基準を作成した。

第 4 象限における B 評価の基準は，実験後の概念地図（概念地図法），実験を通して芽生えた新たな問いの記述（オープン・エンドな課題），実験計画の作成と実験結果の記録，解釈やまとめ等の各活動について省察（自己評価）である。A 評価の基準は，実験後の概念地図を記述し，実験前と実験後の概念地図の変化から自分の概念の変化を指摘するとともに，実験を通して芽生えた新たな問いを記述し，実験計画の作成，実験結果の記録，解釈やまとめ等の各活動について，理由をあげて省察することができることである。

本授業実践においては，表 7.3 のルーブリックを教師と子どもが共有し，どのような学習活動を行うかを明確にしながら光の反射についての実験に取り組んだ。

第 4 項 第 1 象限の問題把握的学習におけるパフォーマンス評価の記述分析

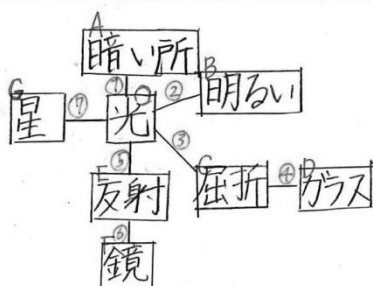
図 7.2 は，第 1 象限の問題把握的学習において，実験前の概念を示す「概念地図法」と既存知識を記述する「オープン・エンドな課題」を設定した際に，子どもが実験報告書に記述した A 評価の事例，図 7.3 は実験計画を作成し結果を予想する「問題解決課題」を設定した際の A 評価の事例である。なお，第 1 象限における評価の内訳は，A 評価 60.8%(93 名/153 名)，B 評価 28.1%(43 名/153 名)，C 評価 11.1%(17 名/153 名)であった。

概念地図の記述から，子どもは光を明るさ（暗さ）という視点でとらえていること，光は星などの光源から発すること，鏡では反射，ガラス

では屈折の現象が観察できると考えていることがわかる。さらに、既知知識の記述から、これらの概念に加えて、光の速さは音の速さよりも速いこと、光は直進することを断片的な知識として保持していることがわかる。

これらの分析から、第1象限の問題把握的学習において重要な教授・学習活動である「生活経験や既知概念から、学習についての問題を見出す」ことは、実験前の概念を示す「概念地図法」、既知知識を記述する「オ

概念地図 ~ コンセプトマップ



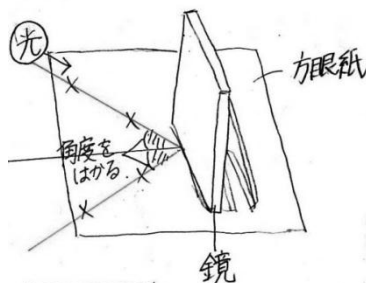
- ① OはAで見える。
- ② OはB。
- ③ OはCする。
- ④ CはDなどで観察できる。
- ⑤ OはEする。
- ⑥ EはFなどで観察できる。
- ⑦ OはGでも発する。

知っていること

- ・ 光は、反射や屈折をする。
- ・ 光は、暗い所で見やすい。
- ・ 光は、明るい。
- ・ 光の進む速さは、音よりも速い。
- ・ 光は直進する。

実験計画

- ① 方眼紙の上に鏡を置いて光源装置に光を当てる。
- ② 光の道筋に印をつける。
- ③ 鏡を外し、印のところに線を引き、角度をはかる。
- ④ いろいろな角度から光を当ててみる。



実験器具

方眼紙・光源装置、
分度器・定規・鏡

予想

光が入った角(入射角)と光が出てくる角(反射角)は等しい!! だろう...

実験計画

- ① 10° 20° 30° 40° 50°
60° 70° 80° 85° の
角度で鏡に光を当て
記録を取る。
- ② 水を入れたビーカー
水を入れなかったビーカー
に光を当て記録を取る

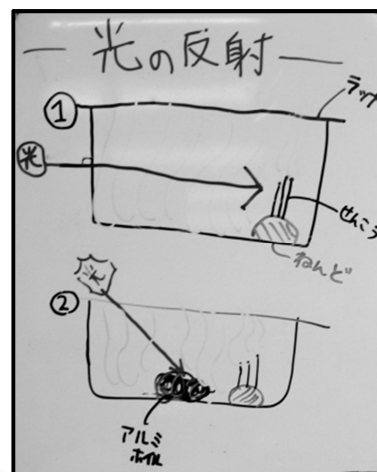


図 7.2 概念地図と既知知識の記述【第1象限】

図 7.3 実験計画と結果の予想(左)および参考にした実験計画(右)【第2象限】

オープン・エンドな課題」のパフォーマンス評価を用いることにより具現化できると考えられる。

図 7.3 左は、子どもが作成した実験計画である。子どもは方眼紙の上に鏡を置いて光の道筋を調べ、入射角・反射角を測定する実験を計画しており、入射角と反射角が等しくなると予想している。

図 7.3 右上・右下の黒枠で囲われた図は、子どもが実験計画を作成した後で、グループの発表および学級全体の発表時に参考としていた実験計画である。

図 7.3 右上では、角度をおおよそ 10 度刻みで細かく変更して記録を取るとともに、ビーカーの中に水を入れて光の道筋について調べようとしていることがわかる。このビーカーの中に水を入れて光の道筋を調べる実験に対しては、学級の発表で興味を持った子どもが多く、実際にビーカーにコーヒーを入れて光の道筋を観察する実験が複数のグループで行われていた。図 7.3 右下では、線香の煙で満たした水槽の中に光を入射させて光の道筋を明らかにするとともに、アルミホイルや鏡といったキラキラした反射する物体を水槽の中に入れて反射の様子を調べようとしていることがわかる。

これらの分析から、実験計画を作成し結果の予想を行う「問題解決課題」のパフォーマンス評価を行うことにより、第 1 象限の問題把握的学習において重要な教授・学習活動である「自然事象への疑問や自分の考えを持ち、予想や仮説を立てる」ことが具現化できると考えられる。

さらに、A 評価（十分満足）・B 評価（概ね満足）であった子どもの合計が 88.9%であることから、第 1 象限の問題把握的学習において、パフォーマンス評価をすることにより、子どもは目的的な学習活動を行うことができたと考えられる。

第5項 第2象限の分析的学習におけるパフォーマンス評価の記述分析

図7.4は、第2象限の分析的学習において、光の反射について調べる実験を行う「問題解決課題」と光の道筋を記録し、入射角・反射角の表を作成する「プロセス評価課題」を設定した際に、子どもが実験報告書に記述したA評価の事例である。なお、第2象限における評価の内訳は、A評価60.8%(93名/153名)、B評価28.1%(43名/153名)、C評価11.1%(17名/153名)であった。A評価・B評価であった子どもの合計が88.9%であることから、第2象限の分析的学習において、子どもは目的的な学習活動を行ったと考えられる。

図7.4右上は鏡に対して光源装置で光を入射させた時の入射角・反射角の道筋をそれぞれ記録したものである。半円の弦の部分に鏡が置いてあり、左が入射光、右が反射光を示している。入射角・反射角がわかりやすいように光の道筋にはそれぞれ角度が書かれており、反射光の部分には光が拡がっていく様子を記録している。さらに、この図の入射角・反射角を表にしたものが図7.4左である。実験計画通りに複数の角度で入射角・反射角を定量的に記録している（左の数値は分度器の目盛り、括弧内の数値は入射角・反射角を示している）。

これらの記述から、光の入射角・反射角の角度、光の明るさや拡がりを知りやすく記録するという「プロセス評価課題」を設定した結果、光の道筋や光の拡がりといったアナログ情報と、光の入射角・反射角という定量的なデジタル情報が記録できたことが明らかである。

図7.4右下は、コーヒーを入れた500mlビーカーにレーザー光を入射させて上から観察した様子と、台形レンズに光源装置の光を入射させ、反射と屈折の様子を記録したものである。コーヒーにレーザー光を入射させた実験では、レーザー光がコーヒーの中を通過する際に光がうすく見え、コーヒーを通り抜けた後の光は通り抜ける前に比べて光がうすくなったことを記録している。また、台形レンズに光源装置の光を入射させた実験では、屈折の代表であるレンズにおいても、反射現象が起きる

と記録している。なお、教師から子どもへ次時以降に屈折について学習することを伝えたため、子どもは台形レンズにおける反射現象に注目して実験を行っていたと考えられる。

これらの記述から、光の反射について調べる実験を行う「問題解決課題」を設定することにより、光の入射角・反射角を測定するだけでなく、光の進み方の特徴や様々な材質における光の反射現象といった光の反射に関する多くの実験結果を収集できたことが明らかである。

これらの分析から、目的的に実験を行う「問題解決課題」と、実験結果から図や表を作成する「プロセス評価課題」のパフォーマンス評価を行うことにより、第2象限の分析的学習において重要な教授・学習活動である「観察・実験の結果についてスケッチや文章、グラフや表など様々な形態の情報を収集して整理する」ことが具現化できると考えられる。

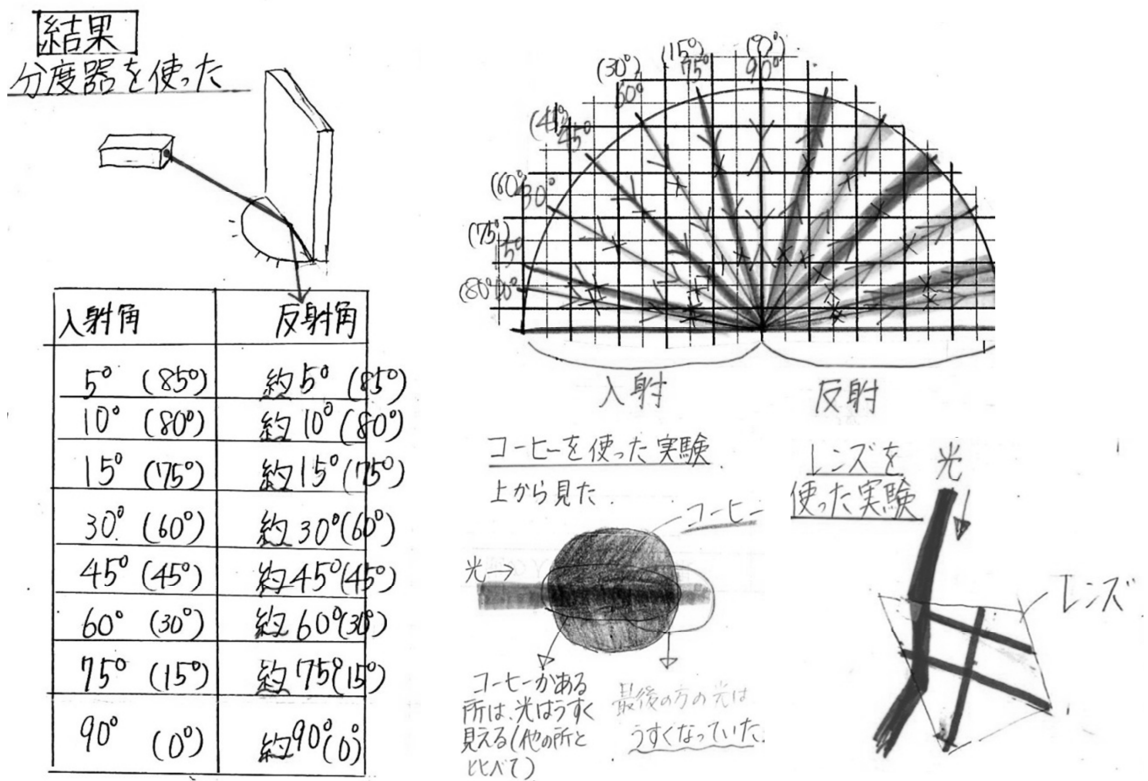


図 7.4 実験結果の記録【第2象限】

さらに、A 評価・B 評価であった子どもの合計が 88.9%であることから、第 2 象限の分析的学習において、パフォーマンス評価をすることにより、子どもは目的的な学習活動を行うことができたと考えられる。

第 6 項 第 3 象限の共通感覚的学習におけるパフォーマンス評価の記述分析

図 7.5 は、第 3 象限の共通感覚的学習において、グループや学級における話し合いや発表を行う「プロセス評価課題」と、光の実験結果や話し合いから様々な解釈を比較・検討してまとめ、入射角と反射角が等しいことや身近な光の反射現象を説明する「問題解決課題」を設定した際に、子どもが実験報告書に記述した、結果の解釈、参考にした他のグループの解釈、最終的なまとめの A 評価の事例である。なお、第 3 象限における評価の内訳は、A 評価 69.3%(106 名/153 名)、B 評価 24.8%(38 名/153 名)、C 評価 5.9%(9 名/153 名)であった。

図 7.5 左列は結果の解釈である。箇条書きにされた三つの項目のうち最初の二つの項目では、子どもは鏡に光を入射させた結果から入射角と反射角が等しくなること、光源装置の光の道筋の観察から光は徐々に拡がりながら暗くなっていくことを記述している。

これらの記述から、子どもは光源装置の光の道筋は完全な線になるわけではなく徐々に拡がるものであり、その光の中央部分を光の進む方向としたとき、光の入射角と反射角はほぼ等しいと考えていたことが明らかである。

図 7.5 左の一番下の項目では、レンズに光を入射させた結果から、光は鏡以外のもので反射する可能性を指摘している。この子どもは実験前の概念地図においては「鏡では反射、ガラス（レンズ）では屈折の現象が観察できる」と考えており、レンズで光の反射が観察されたことから、光の反射は鏡だけでなく、他のあらゆる物質において観察される可能性があることに気付いたと考えることができる。

解釈

●鏡に対して、 10° の所から光を当てると、反射した光も、ほぼ 10° の所を通った。
他の角度の場合でも、ほぼ等しくなる。
このことから...

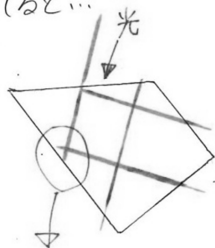
⇒入射角と反射角はつねに等しいことが分かる。

●また、この実験で光は、進むにつれて、太く、うすなっていた。

このことから...

⇒光は、広がり、また、進むにつれて弱まることが分かる。

●光源装置の光をレンズに当てると...



反射した

このことから...

⇒光は、鏡だけでなく、レンズでも反射することが分かる。

他には、どんなもので反射するのが...?

→水のつぶりなど



鏡以外にも、消しゴム、三角定規、ティッシュペーパーの箱も光を反射する。
→どんな物でも反射はする。
? 白い紙に対して消しゴムは反射した光が見えなかった(同じ色のティッシュペーパーの箱は見えてきた)のはなぜ?
表面がでこぼこして、いるので、光を反射するから!

入射角は、反射角とほとんど等しくなる。
a b
±1°の誤差 (44°~46°) (理由) 反射した後の光が面と面にあわなかったために、角度が正確にはなることができないため。
身近な現象
虹...水のつぶに反射して色が分る!(朝雨後ばかりに)
晩時計...ガラスに光が反射して壁にうつる!

- 解釈 -
反射の法則

入射角 = 反射角
月の反射
月は太陽からの光を反射するため、はつきりと見ることが出来る。

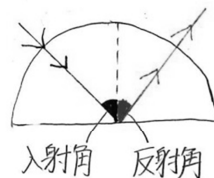
身の回りの現象
○ダイヤモンド

ダイヤモンドは光を反射させて

まとめ

方眼紙に角度をかき、鏡に光を当て、入射角と反射角の関係はどうなるか?

入射角と反射角はほぼ等しくなる!!



入射角 = 反射角

光は、鏡だけでなく、全てのものに反射する。

(例)

- ☆雨が降ったあとに太陽が当たると、虹が見える
⇒水滴に太陽の光が反射しているから。
- ☆夜に月が見える
⇒太陽が反射が月の表面に当たっているから。



⇒光を全て反射する。

図 7.5 結果の解釈 (左列), 参考にした他のグループの解釈 (中央列), 最終的なまとめ (右列)【第 3 象限】

図 7.5 中央列の黒枠で囲われた四つの図は、学級内で発表されたもののうち、子どもが参考にした他のグループの解釈である。最上部のグループは鏡だけでなく、消しゴム、三角定規、ティッシュペーパーなど様々な物質に光を入射させており、その結果から「どんなものでも反射する」、「鏡でないと乱反射する」と結論付けている。二つ目のグループは入射角と反射角は等しく、光の拡がり方による誤差は 1-2 度程度であると結論付けており、身近な反射現象として、水の粒に反射して出現する虹をあげている。最下部の左グループは入射角と反射角の関係と、身近な反射現象として太陽の光で月が光って見えることを説明しており、最下部の右グループはダイヤモンドがキラキラと光り輝く理由を、ダイヤモンドの表面で光が無数に反射しているためであると説明している。

これらグループの発表から、グループや学級において話し合いや発表を行う「プロセス評価課題」を設定することによって、子どもが解釈の場面において、話し合いや発表に積極的に取り組んでいたことは明らかである。さらに、この話し合いや発表活動を通して、子どもは自らの考えを精緻化し、共通感覚的に生じた概念を十全に表現したと考えられる。

図 5 右列は、これらの発表を参考にして記述した実験のまとめである。まとめの上部では、子どもは光の反射現象を「入射角 \equiv 反射角」とまとめており、これは、光は進むにつれて拡がる性質を持つが、同時に入射角と反射角は常に等しくなることを表現していると考えられる。また、まとめの下部では光は鏡だけでなくすべての物質で反射すると結論付けており、その具体的な例として、虹や月、ダイヤモンドを挙げている。これらの具体例は図 7.5 中央列で他のグループが発表したものを参考にしたことは明らかである。

結果の解釈、参考にした他のグループの解釈、最終的なまとめの三つの記述の変遷を概観すると、子どもは実験結果の解釈を、話し合いや発表という協同的学習を通して比較・検討を行い、反射の法則や具体例を通して光の反射についての科学概念を構築したことは明らかである。

これらの分析から、グループでの話し合いや学級へ発表と質疑応答を行う「プロセス評価課題」、光の実験結果や話し合いから様々な解釈を比較・検討してまとめ、入射角と反射角が等しいことや身近な光の反射現象を説明する「問題解決課題」のパフォーマンス評価を行うことにより、第3象限の共通感覚的学習において重要な教授・学習活動である「話し合いや発表を行い概念の比較・検討を行い、科学概念を構築する」、「自然事象に対する自分の概念を考察や解釈を通して明らかにする」ことが具現化できると考えられる。

さらにA評価・B評価であった子どもの合計が94.1%であることから、第3象限の共通感覚的学習において、パフォーマンス評価をすることにより、子どもは目的的な学習活動を行うことができたと考えられる。

第7項 第4象限の知識活用学習におけるパフォーマンス評価の記述分析

図7.6は、第4象限の知識活用的学習において、実験後の概念を示す「概念地図法」と、新たな問いを記述する「オープン・エンドな課題」、自らの学習活動を省察する「自己評価」を設定した際に、子どもが実験報告書に記述したA評価の事例である。なお、第4象限における評価の内訳は、A評価57.5%(88名/153名)、B評価36.6%(56名/153名)、C評価5.9%(9名/153名)であった。

図7.6左の概念地図は実験前のものと比較すると、光は明るい、光はガラスで屈折するというラベルは同じであるが、光の反射には入射角と反射角があり両者は等しい、光は全てのもので光は反射するというラベルが追加されている。

光には入射角と反射角があり、両者は等しいというラベルが追加されたことから、子どもは実験前に知っていた光が鏡に反射するという現象を、実験を通して光の反射の法則を学習することにより、入射角・反射角という視点を得たことを示している。また、全てのもので光は反射するとラベルが追加されていることから、実験前には光の反射現象を鏡固

有の現象として捉えていたが、実験後は全てのものにおいて起こる現象へと拡張されたことを意味している。これらの概念地図の比較から、光の反射現象に関する科学概念が構築されたことは明らかであり、子ども自身も概念の構築を省察することができていると考えられる。

図7.6右上の新しい疑問においては「なぜ光は明るいのか？」という疑問を投げかけている。これは、この学習を通して光の現象や拡散といった諸性質について理解が深まったものの、まだ光の明るさ、すなわちエネルギー的な概念は十分に構築されておらず、新たな課題を見出したと考えられる。

図7.6右下は、計画・結果、解釈・まとめ、コンセプトマップ（概念地図）の3項目についての自己評価である。子どもは第1象限、第2象限の学習活動である「計画・結果」に関しては、鏡のみでなくレンズを用いて実験を行い、表にまとめることができたことから、十分満足でき

<p>実験後のコンセプトマップ</p> <p>全てのもの① aはb 虹⑦ 明るい① a光 c ⑩ ② d 屈折② d ガラス</p> <p>⑤ e 反射 ⑤ f 反射角 ④ g 入射角 ⑥</p> <p><説明> ① aはb ② aはcする ③ cはdなどで行われる。 ④ aはeする ⑤ eはfとgがある ⑥ fとgはほぼ等しい。 ⑦ eによつてhができたりする ⑧ eはiで反射する</p>	<p>新しい疑問</p> <p>なぜ光は明るいのか？</p> <p>自己評価</p> <p>計画・結果 → A レンズの実験も行うことができたから。表にまとめることができたから。</p> <p>解釈 → B まとめ方が下手。読みにくい。</p> <p>コンセプトマップ → B もう少し量が増えると良かった。「反射角-入射角」が増えた。</p>
--	--

図7.6 概念地図と新しい疑問・自己評価【第4象限】

る活動であったと評価している。第 3 象限の学習活動である「解釈」に関しては、自分の考えが十分にまとめられず、見やすい状態で表現できていないと評価している。「コンセプトマップ」に関しては入射角と反射角が追加できたこと、さらに光に関してはまだこれから学習する必要があると評価している。この自己評価の記述から、子どもは各象限の学習活動をそれぞれ省察できたと捉えることができる。

これらの分析から、実験後の概念を記述する「概念地図法」と、新しい疑問を記述する「オープン・エンドな課題」、そして、自らの活動を省察する「自己評価」のパフォーマンス評価を行うことにより、第 4 象限の知識活用的学習において重要な教授・学習活動である「第 1～第 3 象限の学習を振り返る」、「構築された概念を活用して、新しい問題解決へ臨む」ことが具現化できると考えられる。

さらに A 評価・B 評価であった子どもの合計が 94.1%であることから、第 4 象限の知識活用的学習において、パフォーマンス評価をすることにより、子どもは目的的な学習活動を行うことができたと考えられる。

第 8 項 授業実践から得られた知見

本実践では、理科授業デザインに示された各象限において、パフォーマンス評価を実際に活用し、パフォーマンス評価が子どもの学習活動にどのように寄与し、各象限の学習活動が具現化されたかについて検証を行った。

まず、パフォーマンス評価ではルーブリックを用いて評価を行うが、第 1 象限から第 4 象限の全ての象限においてルーブリックを基にしてパフォーマンス評価を行った結果、A 評価（十分満足できる）・B 評価（概ね満足できる）の子どもはおおよそ 9 割であった（第 1 象限：88.9%、第 2 象限：88.9%、第 3 象限：94.1%、第 4 象限：94.1%）。これはパフォーマンス評価を用いることによって、子どもは各象限において目的的な学習活動を行うことができたことを示している。

次に、図 7.2～図 7.6 に示されたとおり、子どもは各象限において、それぞれの考えをポートフォリオに記述することができ、それぞれの思考を表現することができた。これはパフォーマンス評価を用いることより、思考の可視化が可能であることを示している。

そして、各象限におけるポートフォリオとホワイトボードの記述を分析することにより、各象限において重要な教授・学習活動が具現化できていることが明らかとなった。これはパフォーマンス評価を用いることによって、「科学的な思考・表現」に関する学力を育成するために有用である、理科授業デザインで示された各象限の学習活動を具現化できることを示している。さらに、パフォーマンス評価について以下の知見が得られた。

- (1) 既存概念との関連付けや予想や仮説を立てる問題把握的学習は、実験前の既存概念を示す「概念地図法」、既存の命題を記述する「オープン・エンドな課題」、実験計画を作成し結果の予想を行う「問題解決課題」というパフォーマンス評価により具現化できる。
- (2) 観察・実験結果を文章や図表で表現する分析的学習は、目的のために実験を遂行する「問題解決課題」、実験結果から図や表を作成する「プロセス評価課題」のパフォーマンス評価により具現化できる。
- (3) 話し合いや発表を通して共通感覚から常識を構築する共通感覚的学習は、グループや学級において話し合いや発表を行う「プロセス評価課題」、実験結果の解釈を説明して、解釈を比較・検討してまとめる「問題解決課題」のパフォーマンス評価により具現化できる。
- (4) 省察や概念の活用をする知識活用的学習は、実験後の概念の構築状況を示す「概念地図法」と、新たな問いを記述する「オープン・エンドな課題」、自らの学習活動を省察する「自己評価」のパフォーマンス評価により具現化できる。

終章 本研究の総括

本研究は構成主義的な視座から、理科教育における子どもの思考と表現の育成に関する研究を行った。諸調査の結果より、理科教育における現代的な課題として、「科学的な思考・表現」に関する学力の育成が必要であることが明らかにされた。「科学的な思考・表現」に関する学力は、中央教育審議会や学校教育法における議論より、問題解決的な学習の実践によって育成できると考えられる。

そこで本研究においては、構成主義的理科教授・学習論である 4MAT システムを援用することにより、問題解決的な学習を実践する視点を包含した理科授業デザインの枠組みを示した。さらに理科授業デザインを具現化するための方策について議論するとともに、授業実践を通じた実践的な検証を行い、次の 1～7 で示す項目について明らかにした。

1. 学校教育における学力観を精査することにより、学校教育において構成主義的学習観が重要であることを明らかにした。さらにその視点として、ピアジェの認知発達論における心的構造、ヴィゴツキーの社会構成主義的学習論における発達の最近接領域と認識の三角形、ブルナーの知的飛躍理論における表象といった、構成主義的理科学習論の基礎理論について論考した。さらに、領域の固有性や相対主義的科学観、記憶要素や知識観といった構成主義的理科学習論の重要な要素についても明らかにした。

2. 現代の国際標準としての学力観であるキー・コンピテンシーを概観することにより、現代において構成主義的学習論を背景とした学力観が必要とされていることを明らかにした。さらに、OECD によって実施された PISA2006・2009 調査、国立教育政策研究所によって実施された特定の課題に関する調査（理科）、平成 24 年度全国学力・学習状況調査といった諸調査の概要と結果を精査することにより、子どもの論述や表現、基礎的・基本的な知識や技能を活用して観察・実験を行うことに課題があり、理科授業において「科学的な思考・表現」に関する学力を育成する必要性を明らかにした。

3. 「科学的な思考・表現」に関する学力を育成する視点を中央教育審議会答申や学校教育法の視座から論じることにより，現代的な課題である「科学的な思考・表現」に関する学力の育成に必要な学習活動は，一連の問題解決的な学習であることを明らかにした。

4. 問題解決的な学習を理科授業において実践するために，デューイの経験主義的教授・学習論，コルブの「経験学習」論，ユングのタイプ論等を背景とした教授・学習論であるマッカーシーの4MATシステムを精査した。その結果，第1象限の「問題把握的学習」，第2象限の「分析的学習」，第3象限の「共通感覚的学習」，そして第4象限の「知識活用的学習」における四つの学習活動を連続的にデザインすることにより，問題解決的な学習活動が実践できることを明らかにした。

5. 理科授業における問題解決的な学習を実践する視点を明らかにするために，ブルーメンフェルドのプロジェクトベース学習，ホーキンスの「共通感覚」論，ホワイトの科学的態度に関する理論を概観することにより，第1象限から第4象限における4MATシステムの基本的な視点を理科授業における具体的な教授・学習活動として示し，理科授業デザインの枠組みを明らかにした。そして，その具現化として，中学校における授業実践においては理科授業デザインの妥当性を示した。第1象限，第2象限では，生活経験や既存概念を基にした問題把握と見通しを持った目的的な活動，自然事象からの多様な情報を収集・整理することできること，第3象限では，共同主観的に共通感覚から常識を構築する過程を通して精緻化した科学概念を構築できること，第4象限では，省察により知識を活用できる概念として構築し，新しい学習場面において活用されることを明らかにした。

6. パフォーマンス評価の歴史的背景やグレイザーやパーキンスの理論を精査するとともに，学習指導要領や中央教育審議会におけるパフォーマンス

評価の位置づけを論考することによって、パフォーマンス評価の有効性を明らかにした。さらに、信頼性・妥当性を高めるとともに教師と子どもの目的的な活動を支援するルーブリックや、概念地図法やプロセス評価課題、問題解決課題等の具体的なパフォーマンス課題について論考し、パフォーマンス評価を支援するツールについて明らかにした。

7. 理科授業デザインに示された四つの学習活動を具現化するために、各象限において必要なパフォーマンス評価について論考し、各象限の学習活動を具現化するパフォーマンス評価の視点を明らかにした。そして、中学校における授業実践を通して、パフォーマンス評価を用いることにより目的的な学習活動を行うことが可能であり、その思考を可視化できることを示した。さらに、パフォーマンス評価を用いることによって各象限の学習活動を具現化できることを示すとともに、第1象限では「概念地図法」、「オープン・エンドな課題」、「問題解決課題」、第2象限では「問題解決課題」、「プロセス評価課題」、第3象限では「プロセス評価課題」、「問題解決課題」、第4象限では「概念地図法」、「オープン・エンドな課題」、「自己評価」のパフォーマンス評価が有効であることを明らかにした。

引用・参考文献

本文中の文献の引用・参考は、著者名、発行年次を（ ）内に記載した。また、同一著書・論文から複数個所の引用には、年号の次に（：）を付しページ数を示した。ホームページからの引用については、下記の（ ）内にアドレスを記載した。欧文の翻訳書については、原著の著書名を五十音順に配列し、記載した。

引用文献（欧文）

- ・ Bennett, S.I.(1990): Comprehensive Multicultural Education, *Theory and Practice*, Boston: Allyn & Bacon, p.140
- ・ Bereiter, C.(2002): *Education and mind in the knowledge age*, Mahwah, NJ: Erlbaum
- ・ Blumenfeld, P., Soloway, E., Marx, R., Krajcik, J., Guzdial, M., & Palincsar, A.(1991): Motivating project-based learning: Sustaining the doing, supporting the learning, *Educational Psychologist*, 26 (3 & 4), pp.369-398
- ・ Bogen, J.E.(1969): The other side of the brain II. An appositional mind, *Bull. L. A. Neurol*, Sec.34, pp.135-162
- ・ Borke, H.(1975): Piaget's mountain revisited: Changes in the egocentric landscape, *Developmental Psychology*, Vol.11, pp.240-243
- ・ Cole, M.(2002): *Cultural Psychology*, The Belknap Press
- ・ Bransford, J.D. et al.(2006): Foundations and Opportunities for an Interdisciplinary Science of learning, in Sawyer, R.K.(ed.), *The Cambridge Handbook of The Learning Science*, Cambridge University Press, pp.19-34
- ・ Commission on Science Education of American Association for the

- Advancement of Science (eds.)(1963): *Science a process approach commentary for teachers*, AAAS/XEROX Corporation., pp.122-131
- Cheng, P.W., & Holyoak, K.J.(1985): Pragmatic reasoning schemas, *Cognitive Psychology*, Vol.17, pp.391-416
 - Curry, L.(1983): An organization of learning styles theory and constructs, *ERIC Document*, 235, 185, p.19
 - Dewey, J.(1916): *Democracy and Education*, Macmillan
 - Dewey, J.(1933): *How We Think*, D. C. Heath
 - Donaldson, M.(1978): *Children's minds*, Glasgow: Fontana
 - Dunn, R., & Dunn, K.(1992): Teaching Secondary Students through their Individual Learning Styles: Practical Approaches for Grades 3-6, *Needham Heights, MA: Allyn and Bacon.*
 - Glaser, R.(1990): Toward new models for assessment, *International Journal of educational Research*, pp.14-15, pp.475-483
 - Hanson, N.R.(1958): *Patterns of Discovery: An Inquiry into the Conceptual Foundations of Science*, Cambridge University Press, p.11
 - Hawkins, D.(1990): Definding and Bridging the Gap, *Science Education A Minds-On Approach for Elementary Years*, Library of Congress Cataloging-in-Publication Pata., p.112
 - Hills, G.L.C., & McAndrews, B.(1987): David Hawkins critical barriers and the education of elementary school science teachers, *Proceedings of the Second International Seminar Misconception and Educational Strategies in Science and Mathematics*, Vol.2, pp.169
 - Hughes, M.(1975): *Egocentrism in preschool children (Doctoral dissertation)*, Edinburgh University
 - Jung, C.G.(1923): *Psychological types*, New York: Harcourt Brace
 - Kepler, J. (1596): *Mysterium cosmographicum, excudebat Georgius Gruppenbachius*, pp.11-25

- Koestler, A., & Butterfield, H.(1990): *The Sleepwalkers A History of Man's Changing Vision of the Universe*, Penguin Books
- Klein, F.(1884): *Vorlesungen über das Ikosaeder und die Auflösung der Gleichungen vom fünften Grade*, Leipzig B.G. Teubner
- Kolb, D.A.(1976a): Management and the learning process, *California Management Review*, Vol.18, No.3, pp.21-31
- Kolb, D.A.(1976b): *Learning Style Inventory: Technical Manual*, Boston, MA: Hay Group, Hay Resources Direct.
- Kolb, D.A.(1984): *Experiential Learning: Experience as the Source of Learning and Development*, New Jersey, Prentice Hall.
- Kolb, D.A. et al.(1999): Experiential Learning Theory: Previous Research and New Directions, revised paper appears in: R. J. Sternberg and L. F. Zhang (Eds.)(2000): *Perspectives on cognitive, learning, and thinking styles*, NJ: Lawrence Erlbaum
- Krajcik, J.S., & Blumenfeld, P.C.(2006): Project-Based Learning, in Sawyer, R.K.(ed.), *The Cambridge Handbook of The Learning Science*, Cambridge University Press, pp.317-333
- Kuhn, T.S.(1962): *The Structure of scientific revolution*, Chicago University Press
- Lakatos, I.(1970): Falsification and the methodology of scientific research programs, *Criticism and the growth of knowledge*, Cambridge University Press, pp.91-196
- Marx, R.W., Blumenfeld, P.C., Krajcik, J.S., Fishman, B., Soloway, E. Geier, R., & Tal, R.T.(2004): Inquiry-based science in the middle grades: Assessment of learning in urban systemic reform, *Journal of Research in Science Teaching*, Vol.41, pp.1063-1080.
- McCarthy, B.(1990): Using the 4MAT system to Bring Learning Styles to Schools, *Educational Leadership*, Vol.48, no.2, pp.31-37

- McCarthy, B.(1981, 1987): *The 4MATsystem: Teaching to learning styles with right/left mode techniques*. Barrington, IL.: Excel, Inc.
- Papert, S.(1993): *The children's machine: Rethinking school in the age of the computer*, New York: Basic Books
- Palincsar, S.(2003): Collaborative Approaches to Comprehension Instruction, *rethinkinig reading comprehension*, The Guilford Press, P.109
- Perkins, D.N., Crismond, D., Simmons, R., Unger, C.(1995): *Inside Understanding software goes to school: Teaching for understanding with new technologies*, pp.70-84, Oxford University
- Perrenoud, P.(2001): The key to social fields: Competencies of an autonomous actor, in Rychen, D.S., & Salganik, L.H. (Eds.), *Definition and Selection of Competencies*, pp121-149
- Piaget, J., & Inhelder, B. (1956) (F. J. Langdon & J. L. Lunzer, Trans.): *The Child's Conception of Space*. London: Routledge & Kegan Paul.
- Piaget, J.(1971): *Structuralism*, London: Routledge & Kegan Paul.
- Pounds, W.(1965): On problem Finding, *Sloan School Working Paper*, pp.145-65
- Rabkin, E.S.(2005): *Mars. A Tour of the Human Imagination*, Praeger Pub
- Riding, R., & Cheema, I. (1991): Cognitive styles: An overview and integration, *Educational Psychology*, Vol.11, No.3&4, pp.193-215.
- Rezler, A.G., & Rezmovic, V. (1981): The Learning Preference Inventory, *Journal of applied Health*, Vol.10, pp.28-34
- Sawyer, R.K.(2006): *The Cambridge Handbook of The Learning Science*, Cambridge University Press, pp.1-16
- Scardamalia, M., & Bereiter, C.(2006): Knowledge Building, in Sawyer,

R.K.(ed.), *The Cambridge Handbook of The Learning Science*, Cambridge University Press, pp.97-115

- ・ Simon, H.A.(1947): *Administrative Behavior*, NY, Macmillan
- ・ Steins, S.(2000): *What family life demands: A purposeful view of competent performance*, Washington DC: National Institute for Literacy
- ・ Toulmin, S.(1977): *Human understanding, Vol.1 The Collective use and evolution of concepts*, Princeton University Press
- ・ Wallas, G.(1926): *The Art of Thought*, New York: Harcourt Brace
- ・ Wiggins, G.(1989): *Teaching to the (Authentic) Test, Educational Leadership*, Vol.46, P.45
- ・ Wood, D.(1998): *How Children Think and Learn Second edition*, Wiley-Blackwell

引用文献（和文・翻訳書）

- ・ 天岩静子(1973)：「Piaget における保存の概念に関する研究」，教育心理学研究，Vol.21, No.1, pp.1-11
- ・ ヴィゴツキー，L.S.（柴田義松訳）（2001）：『思考と言語』，新読書者
- ・ ヴィゴツキー，L.S.（柴田義松監訳）（2005）：『文化的・一歴史的発達の精神発達の理論』，学文社，pp.276-278
- ・ 宇井芳雄他(1955)：「シンポジウム 理科における問題解決学習の是非」，理科の教育，No.32, pp.12-18
- ・ 小野瀬倫也・村澤千晴・森本信也(2008)：「理科における自己制御的学習支援に関する研究」，理科教育学研究，Vol.48, No.3, pp.25-34
- ・ 小野瀬倫也・佐藤寛之(2012)：「理科授業において子どもが抱く疑問とその特徴に関する研究」，理科教育学研究，Vol.53, No.1, pp.13-23
- ・ ガニエ，E.D.（赤堀侃司・岸学訳）（1989）：『学習指導と認知心理学』，

pp.12-94

- ・ ガニエ, R.M. (北尾倫彦訳) (1988):『教授のための学習心理学』, サイエンス社, pp.14-18
- ・ 河合隼雄(1967):『ユング心理学入門』, 培風館
- ・ ギップス, C.V. (鈴木秀幸訳) (2001).『新しい評価を求めてーテスト教育の終焉ー』, 論創社.
- ・ クレッチマー, E. (相場均訳) (1960)『体格と性格一体質の問題及び気質の学説によせる研究』, 文光堂
- ・ 黒田篤志・森本信也(2010):「対話的な理科授業を通じた子どもの科学概念構築に関する教授論的研究」, 理科教育学研究, Vol.51, No.1, pp.51-62
- ・ コール, M., & スクリブナー, S. (若井邦夫訳) (1985):『文化と思考』, サイエンス社, pp. 248-296
- ・ 国立教育政策研究所編(2007):『PISA2006年調査 評価の枠組み OECD生徒の学習到達度調査』, 明石書店
- ・ 国立教育政策研究所編(2010):『PISA2009年調査 評価の枠組み OECD生徒の学習到達度調査』, 明石書店
- ・ 佐伯胖(1986):『認知科学選書 10ー認知科学の方法』, 東京大学出版会, pp.166-170
- ・ 佐藤寛之・小野瀬倫也(2010):「理科学習場面における認識論的 Vee 地図の有用性の検証に関する研究」, 理科教育学研究, Vol.51, No.2, pp.41-51
- ・ 柴田義松(2006):『ヴィゴツキー入門』, 寺子屋新書
- ・ 鈴木一成・岩瀬三千男・小野瀬倫也・勝岡幸雄・佐川勝史・金田知之(2010):「理科連携カリキュラムを基にした話し合い・発表の実践」, 東京学芸大学附属竹早幼稚園・小学校・中学校研究紀要, pp.144-165
- ・ 鈴木一成(2012):「理科授業における問題解決学習を実践する視点についての研究」, 東京学芸大学附属竹早中学校紀要, pp.26-27
- ・ 鈴木一成・森本信也(2012):「『科学的な思考力・表現力』を育成する理科授業デザインと 4MAT システムによる実践」, 理科教育学研究, Vol.53,

No.1, pp.93-104

- ・ 竹林保次(1955) : 「シンポジウム 理科における問題解決学習の是非, 意見Ⅲ, 理科における問題解決学習は現実に即して大修整すべきである」, 理科の教育, No.32, pp.14-15
- ・ 武村重和・秋山幹雄編集 (2000) : 『理科 重要用語 300 の基礎知識』, 明治図書, p.178
- ・ 田中耕治編著(2011) : 『パフォーマンス評価 思考力・判断力・表現力を育む授業づくり』, ぎょうせい, pp.13-14
- ・ チャーチランド, P. M. (村上陽一郎, 信原幸弘, 小林傳司訳) (1986) : 『心の可塑性と実在論』, 紀伊国屋書店, p.44
- ・ チャルマーズ, A.F. (高田紀代志・佐野正博訳) (1983) : 『科学論の展開』, 恒星社厚生閣, pp.52-53
- ・ デューイ, J. (帆足理一郎訳) (1964) : 『民主主義と教育』, 春秋社
- ・ デューイ, J. (植田清次訳) (1955) : 『思考の方法—いかにしてわれわれは思考するか—』, 春秋社
- ・ ドラッカー, P.F. (上田惇生・佐々木実智男・田代正美訳) (1993) : 『ポスト資本主義社会 : 21 世紀の組織と人間はどう変わるか』, ダイヤモンド社
- ・ 西岡加名恵 (田中耕治編著) (2010) : 「指導要録改訂の方向性と今後の評価の在り方」, 小学校新指導要録改訂のポイント, 日本標準
- ・ ハート, D. (田中耕治監訳) (2012) : 『パフォーマンス評価入門 「真正の評価」論からの提案』, ミネルヴァ書房
- ・ バターワース, G., & ハリス, M. (村井潤一監訳) (1997) : 『発達心理学の基本を学ぶ』, ミネルヴァ書房, p.202
- ・ 波多野完治編(1965) : 『ピアジェの認識心理学』, 国土社, pp.221-250
- ・ パブロフ, I.P., コシトヤンツ, K.S. 編 (東大ソヴェト医学研究会訳) (1962) : 『パブロフ選集 下巻』, 合同出版社, p.477
- ・ ピアジェ, J. (滝沢武久訳) (1972) : 『発生的認識論』, 白水社

- ・ 福岡敏行編著(2002):『コンセプトマップ活用ガイド』, 東洋館出版社, pp.22-23
- ・ ブランスフォード, J.D., ブラウン, A.L., クッキング, R.R.(Eds.) (森敏昭・秋田喜代美監訳, 21世紀の認知心理学を創る会訳) (2002):『授業を変える—認知心理学のさらなる挑戦』, 北大路書房
- ・ ブルーナー, J.S. (鈴木祥蔵・佐藤三郎訳) (1976):『教育の過程』, 岩波書店
- ・ ブルーナー, J.S. (田浦武雄・水越敏行訳) (1977):『改訳版教授理論の建設』, 黎明書房, pp.22-28
- ・ ベンサム, S. (秋田喜代美, 中島由恵訳) (2006):『授業を支える心理学』, 新曜社
- ・ ホワイト, R.T. (堀哲夫・森本信也訳) (1990):『子どもは理科をいかに学習し教師はいかに教えるか』, 東洋館出版社, pp.65-74
- ・ 松下佳代(2007):『パフォーマンス評価』, 日本標準
- ・ 松下佳代(2010):「学びの評価」, 『「学び」の認知科学事典』, 大修館書店, pp.442-458
- ・ 松下佳代(2012):「パフォーマンス評価による学習の質の評価—学習評価の構図の分析にもとづいて—」, 京都大学高等教育研究, No.18, pp.75-114
- ・ 森本信也(1992):「学習論の変遷」, 『理科教育学講座4 理科の学習論(上)』, 東洋館出版社
- ・ 森本信也(1993):『子どもの論理と科学の論理を結ぶ理科授業の条件』, 東洋館出版社
- ・ 森本信也(1999):『子どもの学びにそくした理科授業デザイン』, 東洋館出版社, p.16
- ・ 森本信也・横浜国立大学理科教育学研究会編著(2009):『子どもの科学的リテラシー形成を目指した生活科・理科授業の開発—メタ認知的アプローチによる科学概念形成を目指した授業開発』, 東洋館出版社, pp.10-12
- ・ 森本信也・齋藤裕一郎・黒田篤志(2010):『子どもに科学概念構築を目指

す理科授業デザインの現代的課題』, 横浜国立大学教育人間科学部紀要 I, No.12, pp.163-164

- ・ 森本信也・齋藤裕一郎・黒田篤志(2011):『科学概念構築と「思考力・判断力・表現力」との関連についての考察』, 横浜国立大学教育人間科学部紀要 I, No.13, pp.189
- ・ 森本信也(2013):『考える力が身につく対話的な理科授業』, 東洋館出版社
- ・ 湯沢正道(1988):「問題状況の意味の理解と推論スキーマ」, 教育心理学研究, Vol.36, No.4, pp.297-306
- ・ 吉山泰樹・小林辰至(2011):「プロセス・スキルズの観点から見た観察・実験等の類型化—中学校理科教科書に掲載されている観察・実験等について—」, 理科教育学研究, Vol.52, No.1, pp.107-119
- ・ 山崎正一・市川浩編(1970):『現代哲学辞典』, 講談社, p.330
- ・ ホワイト, R.T. (堀哲夫・森本信也訳) (1990):『子ども達は理科をいかに学習し教師はいかに教えるか』, 東洋館出版, p.36
- ・ 和田一郎・森本信也(2007):『理科教育におけるキー・コンピテンシーの意味とその自己制御的学習による形成』, 教育開発, Vol.3, 東海大学教育開発研究所, pp.21-37

引用文献 (インターネット・ホームページ: 欧文)

- ・ Jung, C.G.(Translation by Baynes, H.G.; development by Christopher D. Green)(1923): Psychological types, Classics in the History of Psychology
(<http://psychclassics.yorku.ca/Jung/types.htm>)
- ・ McCarthy, B., Germain, C., Lippitt, L.(2002): *The 4MAT Research Guide: Reviews of Literature on Individual Differences and Hemispheric Specialization and their Influence on Learning*, About

Learning Inc.

(<http://www.4mat.eu/media/17158/research%20guide%204mat.pdf>)

- ・ Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) (1999): *Measuring student knowledge and skills*, p.12
(<http://www.oecd.org/edu/school/programmeforinternationalstudentsassessmentpisa/33693997.pdf>)
- ・ Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) (2005): *The Definition and Selection of Key competencies: Executive Summary*
(<http://www.oecd.org/pisa/35070367.pdf>)
- ・ Reinhold, R. (2004): *What is Your Myers-Briggs Personality Type?*,
(http://www.personalitypathways.com/type_inventory.html)
- ・ Zola, J.(1992): Scored Discussions, *Social Education*, Vol.56, pp.123-125
(http://www.johnzola.com/JohnZola.com/Teaching_Strategies_files/Scored%20DiscArticle.pdf)

引用文献（インターネット・ホームページ：和文・翻訳書）

- ・ 国立教育政策研究所(2007)：『特定の課題に関する調査（理科）』，pp120-122
(http://www.nier.go.jp/kaihatsu/tokutei_rika/06002040000004000.pdf)
- ・ 国立教育政策研究所(2011)：『評価規準の作成，評価方法等の工夫改善のための参考資料（中学校理科）』，p.21
(http://www.nier.go.jp/kaihatsu/hyoukahouhou/chuu/0204_h_rika.pdf)
- ・ 国立教育政策研究所（2011）：『OECD 国際成人力調査 PIAAC (Programme for the International Assessment of Adult Competencies)』
(http://www.nier.go.jp/04_kenkyu_annai/pdf/piaac_pamph_4.pdf)

- ・ 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 調査結果のポイント』, p.56,
(http://www.nier.go.jp/12chousakekkahoukoku/02point/24_chousakekka_point.pdf)
- ・ 中央教育審議会(2005):『我が国の高等教育の将来像 (答申)』
(http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo0/toushin/05013101.htm)
- ・ 中央教育審議会(2008a):『幼稚園, 小学校, 中学校, 高等学校及び特別支援学校の学習指導要領等の改善について (答申)』, pp.24-25
(http://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/detail/_icsFiles/afieldfile/2010/11/29/20080117.pdf)
- ・ 中央教育審議会(2010):『児童生徒の学習評価の在り方』
(http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo3/004/gaiyou/attach/1292216.htm)
- ・ 中央教育審議会(2010):『児童生徒の学習評価の在り方 表1 各教科の観点 (小学校)』
(http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo3/004/gaiyou/attach/_icsFiles/afieldfile/2010/04/07/1292216_1.pdf)
- ・ 中央教育審議会(2010):『児童生徒の学習評価の在り方 表2 各教科の観点 (中学校)』
(http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo3/004/gaiyou/attach/_icsFiles/afieldfile/2010/04/07/1292216_2.pdf)
- ・ 文部省(1952):『小学校学習指導要領 理科編 昭和27年(1952)改訂版』
(http://www.nier.go.jp/yoshioka/cofs_new/s27en/chap5.htm)
- ・ 文部科学省(2007):『OECD 生徒の学習到達度調査 Programme for International Student Assessment (PISA) - 2006年調査問題例 -』
(http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/gakuryoku-chousa/sonota/071205/002.pdf)

- ・ 文部科学省(2009):『AHELO (OECD 高等教育における学習成果の評価) について』
(http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo4/gijiroku/08120109/002.htm)

参考文献 (欧文)

- ・ Barab, S.(2006): Design-Based Research: A Methodological Toolkit for the Learning Scientist, in Sawyer, R.K.(ed.), *The Cambridge Handbook of The Learning Science*, Cambridge University Press, pp.153-170
- ・ Clement, J.(1993):Using bridging analogies and anchoring intuitions to deal with students' preconceptions in physics, *Journal of Research in Science Teaching*, Vol.30, Issue.10, pp.1241-1257,
- ・ Confrey, J.(2006), The Evolution of Design Studies as Methodology, in Sawyer, R.K.(ed.), *The Cambridge Handbook of The Learning Science*, Cambridge University Press, pp.135-152
- ・ Harb, J.N., Durrant, S.O., Terry, R.E.(1993): Use of the Kolb Learning Cycle and the 4MAT System in Engineering Education, Issue Journal of Engineering Education, *Journal of Engineering Education*, Vol.82, Issue.2, pp.70-77
- ・ McCarthy, B.(1985): What 4Mat Training Teaches Us about Staff Development, *Educational Leadership*, Vol.42, No.7, pp.61-68
- ・ Wiggins, G.(1989): A True Test: Toward More Authentic and Equitable Assessment, *Phi Delta Kappan*, Vol.70, No.9, pp.703-713

参考文献（和文・翻訳書）

- ・ 黒田篤志(2012):『科学概念構築を図る教室談話の教授・学習論的分析』, 東京学芸大学大学院連合学校教育学研究科博士論文
- ・ 齋藤裕一郎(2011):『科学概念構築過程における協同的な意味構成を図るための諸要因分析』, 東京学芸大学大学院連合学校教育学研究科博士論文
- ・ 猿田祐嗣(2012):『論理的思考に基づいた科学的表現力に関する研究 - TIMSS 及び PISA 調査の分析を中心に - 』, 東洋館出版社
- ・ 鈴木一成(2013):『知識活用型学習における子どもの省察と活用に関する研究』, 東京学芸大学附属竹早中学校研究紀要, No 51
- ・ 鈴木一成・森本信也(2013):「『科学的な思考力・表現力』を育成する理科授業を支援するための評価の研究—理科授業デザインを支援するためのパフォーマンス評価—」, 理科教育学研究, No54, Vol.2, pp.201-214
- ・ ドライヴァー, R., ゲスン, E., ティベルギェ, A.編（内田正男監訳, 貫井正納・鶴岡義彦他訳）(1993):『子ども達の自然理解と理科授業』, 東洋館出版社
- ・ 日本理科教育学会編著(2012):『今こそ理科の学力を問う—新しい学力を育成する視点』, 東洋館出版社
- ・ ブルーアー, J.T.（松田文子・森敏昭監訳）(1997):『授業が変わる—認知心理学と教育実践が手を結ぶとき』, 北大路書房
- ・ 森本信也編著(2007):『考え・表現する子どもを育む理科授業』, 東洋館出版社
- ・ 森本信也・磯部頼子編著(2011):『幼児の体験活動に見る「科学の芽」—理数教育へのつながりを考える』, 学校図書

参考文献（インターネット・ホームページ：欧文）

- ・ Craven, S.E.(2000): 4MAT: applying a learning style system to create

interesting and innovative presentations, University of Lethbridge,
p.14

(<https://www.uleth.ca/dspace/handle/10133/794>)

- ・ Kolb, A.Y., & Kolb D.A.(2005): The Kolb Learning Style Inventory
–Version 3.1 2005 Technical Specifications
(<http://www.whitewater-rescue.com/support/pagepics/lstetechmanual.pdf>)
- ・ Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD)
(2012a): Assessment of Higher Education Learning Outcomes
(AHELO) Feasibility Study Report Volume 1 –Design and
Implementation
(<http://www.oecd.org/edu/skills-beyond-school/AHELOFSReportVolume1.pdf>)
- ・ Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD)
(2012b): Assessment of Higher Education Learning Outcomes
(AHELO) Feasibility Study Report Volume 2 – Data Analysis and
National Experiences
(<http://www.oecd.org/edu/skills-beyond-school/AHELOFSReportVolume2.pdf>)

参考文献（インターネット・ホームページ：和文・翻訳書）

- ・ 国立教育政策研究所：『特定の課題に関する調査（理科）結果のポイント』
(http://www.nier.go.jp/kaihatsu/tokutei_rika/06002040000007001.pdf)
- ・ 文部科学省(2008)：『中学校学習指導要領解説 理科編』, p.9
(http://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/_icsFiles/afieldfile/2011/01/05/1234912_006.pdf)

謝辞

本論文を作成するに当たり、本当に多くの方々からご指導、ご厚意を賜りました。皆様のご支援によって博士論文が無事完成することができました。ここに感謝の意を表します。

主指導教員である横浜国立大学教育人間科学部教授の森本信也先生には、東京学芸大学附属竹早中学校の校内授業研究会をはじめとして、その後の博士課程在籍の計五年間にわたり、理科研究についての重要なご示唆を頂きました。また研究の仔細な部分だけではなく、理科教育学研究にどのように携わっていくかという研究者の姿勢も教えていただいたように感じております。研究に行き詰まったときや、迷いが生じたときなど、いつもの確な助言を下さり、温かく見守っていただいたことに改めて拝謝申し上げます。

副指導教員である横浜国立大学教育人間科学部教授の福田幸男先生および、東京学芸大学教育学部教授の二宮修治先生からは、研究に対して貴重なご助言と励ましをいただきました。福田先生からは授業実践におけるパフォーマンス評価の検証についてご教授いただきました。また、二宮先生からは教授・学習活動における子どもの表現の重要性についてご教授いただきました。

千葉大学教育学部教授の鶴岡義彦先生は博士論文審査会において、問題解決的な学習活動の視点についてご教授いただきました。横浜国立大学教育人間科学部教授の加藤圭司先生には研究発表会等において貴重なご助言をいただくとともに、理科教育学会や関東国立大学附属学校連盟など学会の運営などでお世話になりました。横浜国立大学教育人間科学部准教授の和田一郎先生には、理科授業デザインの研究の焦点化についてご助言と励ましをいただきました。

私が博士論文を執筆できたのがこうした大勢の先生方のご指導、ご助言があつてのことだと感じております。改めて感謝申し上げます。しかしながら、皆様のご指導、ご鞭撻の成果をすべて本論文に反映させることができたわけではありません。先生方の貴重なご指導がありながらも、それを咀嚼し十全

に表現することができなかつたのは、私自身の勉強不足、能力不足に他なりません。先生方からいただいた貴重なご指導は、これからの研究の場において生かしていくことが私の課題であると感じております。

現職教員として博士課程に在籍しながら研究を実践するのはできたのは、東京学芸大学附属竹早中学校の皆様のご支援があつてのことだと感じております。いつも温かく見守って下さった東京学芸大学教育学部教授および附属竹早中学校長である渡辺雅之先生，副校長の荒井正剛先生，第六十三期・六十六期学年団の浦山浩史先生，森顕子先生，上園悦史先生，小野田啓子先生，芝田千香子先生，堀内泰先生，山田猛先生には感謝申し上げます。また，理科の連携研究や授業実践について貴重なご助言をいただきました，竹早地区理科部の岩瀬三千雄先生，勝岡幸雄先生，佐川勝史先生，森下準司先生，また，論文執筆に関して様々な示唆を頂きました東村山第一中学校の石川知佳先生，そして，東京学芸大学附属竹早中学校，附属竹早小学校，附属幼稚園竹早園舎のすべての教職員の皆様に感謝申し上げます。

博士課程の先輩であります昭和女子大学の小川哲男氏，佐賀大学の佐藤寛之氏，国士舘大学の小野瀬倫也氏，福岡教育大学の甲斐初美氏，慶應義塾幼稚舎の齋藤裕一郎氏，関東学院大学の黒田篤志氏には，博士課程における研究の楽しさと奥深さを教えていただきました。様々な学会や論文で先輩方の活躍を拝見することも多く，私もそんな先輩方に追いつこうと必死に努力を重ねることができました。ここに感謝申し上げます。

小野瀬倫也氏には，東京学芸大学附属竹早中学校在職中に理科の授業実践の手法について細かく指導していただき，授業実践の基礎をご教示いただきました。また，黒田篤志氏には，論文の執筆の仕方に始まり，研究室の生活について，いつも優しくご指導いただきました。お二人とも現職教員としても博士課程学生としてもとても頼りにしておりました。ここに感謝申し上げます。

博士課程二年の渡辺理文氏は，授業実践の検証において大変お世話になりました。また，研究におきましてもいつも緻密な洞察をされており，後輩で

ありながらも多くのことを教えていただきました。また、博士課程一年の松本朱美氏は、専門的な立場から理科教育を捉える視点を教えていただきました。お二人が、これから立派な博士論文を執筆されることを祈念いたしております。

また、森本研究室、加藤研究室、和田研究室の修士・学士課程の皆様にはとてもお世話になりました。同じ研究を志す仲間として、理科教育研究について色々な議論をできたこと、また学会等で切磋琢磨できたことは今でも良い思い出になっております。ここに感謝を申し上げます。

最後に私事になりますが、博士課程進学を支援していただきました、渡部武雄、渡部チイ子、鈴木玉枝、鈴木正克、菅野ケイ子、菅野正人、そして博士課程在学中に私を支えてくれた妻の和美と、息子である智裕、真寛に感謝いたします。

本研究を通して、理科授業の新しい可能性にふれることができたと感じております。今後もさらに研究を進めていくことによって理科授業の本質を少しでも解明して、ひとりでも多くの教員と子どもに理科授業の楽しさ、素晴らしさを伝えていきたいと考えております。お世話になったすべての人々に感謝の言葉を贈り、謝辞とさせていただきます。本当にありがとうございました。

2014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

(配置大学：横浜国立大学)

鈴木一成