

「博物館資源を活用した小学校教員養成プログラムの成果と課題」 —学生が作成した児童・一般向け展示解説の比較分析を通して—

Achievements and Challenges of an Elementary School Teacher Training Program
Utilizing Museum Resources : Through a Comparative Analysis of
Student-Created Exhibit Guides for Children and General Public

教育学科 長島 康雄

要約

本研究は、教員養成課程における博物館活用の一環として、学生に「一般向け」と「児童向け」の2種類の展示解説を作成させる実践を行い、その教育的意義と課題を検討したものである。教員には、教科内容知を児童の理解可能な形式である教授学的知識へ変換する能力が求められる。学生73名が作成した解説文を、認知心理学的知見に基づく6つの指標で分析した結果、専門用語の平易化（言葉の置き換え）は概ね達成されていたが、児童の素朴概念に働きかけ、科学的概念への変容を促す記述には課題が残ることが明らかになった。領域別の分析では、物理領域は実験的検証の記述には優れるが抽象概念の可視化に課題があり、生物領域は擬人化からの脱却は優れるが科学的リテラシーの記述に課題があるなど、科学領域によって異なる傾向が確認された。以上の結果から、教員養成においては、単に正しい知識を注入する記述にとどまらず、物理の「抽象性の具体化」や生物の「共感から観察へ」など、科学の各領域の特性に応じたきめ細かな指導方略が、学生の実践的指導力の育成に必要であることが示唆された。

Abstract

This study examines the educational significance and challenges of a practice implemented within elementary school teacher training curriculum utilizing museum resources. Specifically, students were tasked with creating two distinct types of museum exhibit guides: one aimed at the general public and another designed for children. Teacher education requires the ability to transform Content Knowledge into Pedagogical Content Knowledge form comprehensible to children. An analysis of the guides created by 73 students, utilizing six indicators based on cognitive psychology, revealed that while the simplification of technical terminology was generally achieved, challenges remained in crafting descriptions that effectively address children's naive concepts and facilitate a shift toward scientific

conceptual understanding. Domain-specific analysis confirmed distinct trends: the physics domain demonstrated proficiency in describing experimental verification but struggled with the visualization of abstract concepts, whereas the biology domain excelled in moving away from anthropomorphism but faced challenges in incorporating descriptions related to scientific literacy. These results suggest that in teacher training, instruction focused merely on the transmission of correct knowledge is insufficient. Instead, meticulous instructional strategies tailored to the characteristics of each scientific domain—such as the "concretization of abstraction" in physics and the transition "from empathy to observation" in biology—are essential for cultivating students' practical teaching competencies.

キーワード：教員養成・博物館活用・教科内容知から教授学的知への変換・素朴理論・適応的熟達化

Keywords：Teacher Training・Museum Utilization・Transformation of Content Knowledge into Pedagogical Content Knowledge・Naive Theory・Adaptive Expertise

1. 問題の所在

文部科学省（2017）によれば、理科教育の目標は、「自然の事物・現象に関わり、理科の見方・考え方を働かせ、見通しをもって観察、実験などを行うことを通して、自然を愛する心情や実感を伴った理解、そして問題解決の能力を育成する」ことにあるとされる。現行の学習指導要領では、児童が受動的に知識を得るのではなく、主体的に問いを見出し、検証し、解決していく「探究的な学習」の充実が強く求められている（後藤，2014，後藤・白水，2014）。こうした質の高い探究活動を実現するための重要な鍵の1つが、同解説の「第3章 各学年の内容」における「3 内容の取扱い」に記載のある「博物館や科学学習センターなどとの連携」である（文部科学省，2017）。「指導に当たっては、博物館や科学学習センターなどと積極的に連携し、観察、実験などで、学校の施設・設備のみでは十分な効果を上げにくいものなどについて、それらの機能を活用するようにすること」と記されており、学校教育と社会教育施設の有機的な連携は、もはや付加的なものではない。教育の内容を改善するためにカリキュラム・マネジメント（田村，2005）の一環として位置づけていく必要がある。博物館が有する実物標本や専門的な展示は、教科書上の知識を立体的かつ実感を伴う理解へと変容させ、児童の知的好奇心を揺さぶり、主体的に取り組ませることが可能になる。それが自発的な「問い」を生成

させる有力な機会となり得るからである。

しかしながら、博物館等の施設を「探究の場」として機能させることは容易なことではない(筒井・廣瀬, 2007; 長島・攝待, 2019)。単なる見学行事に終わらせず、展示物から得られた驚きや疑問を科学的な探究プロセスへと展開するためには、指導者による適切な教育的な手立てが不可欠である(斎藤, 2006; 長島ほか, 2011; 長島・攝待, 2014; 攝待・長島, 2018)。展示物に付随する既存の解説文は、往々にして学術的な正確性を優先するため専門用語が多く、児童が自力で読み解くには障壁が高い。そのため、教員には、展示物が内包する高度な科学的知見を正確に把握した上で、それを児童の既有知識や発達段階、そして「今、児童が何を問いとしているか」という文脈に合わせて再構成し、翻訳して提示する能力が求められる。これは、単に易しい言葉に言い換えるだけの作業ではなく、児童の思考を触発し、次の観察や考察へと誘うための高度な科学コミュニケーション力であり、理科教員として不可欠な教材研究能力である。

このことは教員養成課程にかかわる大学教員にも大きな課題を突き付けている(川上, 2010; 鈴木, 1982)。学生が理科の教科内容知を習得するだけでなく、それを教授知へと変換する実践的指導力の育成を、教職科目の中で進めていかなければならないからである。

上記の課題を解決するために、小学校教員を目指す学生を対象に、博物館の同一展示物を用いて「児童向け」と「一般(成人)向け」という二種類の解説文を作成する課題を試みた。一般向け解説の作成を通して対象の科学的背景を深く探究させると同時に、児童向け解説の作成を通して、いかにして児童の興味を惹きつけ、観察の視点を与えるかを検討させた。本稿では、この意図的な「書き分け」の実践を通して明らかになった成果と課題を、学生の科学コミュニケーション力の到達点と課題、ならびに社会教育施設を活用した教員養成のための教育の有効性に関連付けて論じたい。

研究を遂行するにあたり、学修支援課嘱託職員の阿子島充氏には、国内各地の博物館資料の収集、特に地学関係の資料の分析でお力添えをいただいた。また教育学科学生の沼倉さん、残間さんには作成した展示解説リーフレットの転載を許可していただいた。記して感謝申し上げます。

2. 研究の方法

2.1 分析の理論的枠組みとしての素朴理論と適応的熟達化

本研究では、展示解説の記述内容を検討するための理論的枠組みとして、稲垣・波多野(1989)による認知心理学的アプローチを採用する。稲垣らは、ピアジェの発達段階論を批判的に継承し、知識獲得と修正(概念変容)のプロセスを「素朴理論」と「適応的熟達化」とい

う2つの視点から体系的に整理している。

第一の視点である「素朴理論」とは、学習者が生活経験を通じて獲得した、自分なりの首尾一貫した知識体系を指す。子どもは知識の欠如した受動的な存在ではなく、例えば「生き物は自ら動く・成長する」といった直感的かつ機能的な理解に基づき、未知の事象に対しても推論を行う能動的な存在である。本研究では、博物館における学習を、この素朴理論を否定して科学的知識を注入する過程ではなく、学習者の持つ素朴理論を土台としつつ、より整合的な科学的理論へと組み替えていく概念変容の過程として捉える。

第二の視点である「適応的熟達化」は、手続き的知識の効率化を目指す「ルーチンの熟達化」と対比される概念であり、背景にある意味や原理の理解を伴う熟達化を指す。適応的熟達者は、新しい状況や未知の問題に直面した際にも、知識を柔軟に応用して解決策を見出すことができる。科学系博物館の展示解説においては、単なる知識の伝達にとどまらず、学習者が展示物との対話を通じて「なぜ」を問い続け、自身の認識枠組みを更新していくような適応的熟達化を促す記述が求められる。科学的な記述の面では、Reiserほか(2012)による「説明」と「論証」を区別し、証拠に基づいて記述が組み立てられているかに着目した。

本研究では、上記の枠組みに基づき、児童向けおよび一般向け展示解説がいかにして学習者の素朴理論に働きかけ、科学的な適応的熟達化を志向しているかという観点から分析を行う。

2.2 専門家としての学芸員による展示解説の分析

学生の記述を評価・分析するための客観的な指標を策定することを目的として、筆者が注目している日本国内の科学系博物館相当施設15館の展示解説資料（北海道博物館・東北大学総合学術博物館・富山市科学博物館・群馬県立自然史博物館・埼玉県立自然の博物館・千葉県立中央博物館分館-海の博物館・板橋区立教育科学館・国立科学博物館・日本科学未来館・名古屋市科学館・京都市青少年科学センター・大阪市立科学館・大阪市立自然史博物館・宮崎県総合博物館・沖縄県立博物館）の展示解説資料を分析の対象にした。展示資料について「児童向け」と「一般（成人）向け」に異なる解説文を用意している科学系博物館は少数であるが、児童向けの展示資料が満たすべき条件、一般向けの展示資料が満たすべき条件について、稲垣・波多野(1989)による「既有知識の構造」や「素朴概念からの概念変換」に関する理論的枠組みを援用し、記述内容の比較検討を行った。

具体的には、専門用語の扱い、問いかけの有無、比喩の適切さ、生活経験との結びつけ等の観点から、専門家がいかにして科学的知識を児童の認識レベルに合わせて翻訳しているかに着目した。この分析結果を基に、展示解説の書き分けに求められる要素を体系化した「6つの視点による展示解説の分析指標」（以下、分析指標と呼称する）を作成し、学生が作成した展示

資料解説リーフレットの分析指標とした。

2.3 対象およびデータ収集の手順

教育学科の学生を対象とした実践的課題を設定し、データの収集を行った。調査対象は、小学校教員養成のための理科に関する教科内容知を扱う科目を履修する学生である。受講生には、社会教育施設、具体的には仙台市科学館、仙台市天文台、仙台市地底の森ミュージアムといった科学系博物館から任意の展示資料を一つ選択させ、中学生以上を想定した一般向けの解説と、小学生を対象とした児童向け解説の2種類の解説文を作成する課題を課した。一般向け解説とは展示物の科学的原理や法則について、正確かつ専門的な記述を行うものであり、教員として必要な教科内容に関する知識を深める意図があることを説明した。児童向け解説とは各学生が対象学年を任意に設定した上で、児童の興味・関心を喚起し、探究的な学習の端緒となるような記述を行うものであり、教科内容知を児童に理解可能な形式へ変換する教授学的知識の活用力を高める意図があることを説明した。さらに展示解説リーフレットの具体的なイメージを持たせるために、授業中に大阪自然史博物館と千葉県立中央博物館-海の博物館の展示解説資料を紹介した。

今回は履修学生76名のうち、仙台市科学館の展示資料を選んだ73名分の展示解説資料を分析の対象とした。

2.4 分析の方法

収集した学生による展示解説資料については、上述した分析指標に基づき、以下の手順で数値化した。分析指標を用いた達成度の評定で、一般向け解説と児童向け解説の比較において、その書き分けがどの程度適切になされているかを、分類指標毎に次の4段階で評価した。優れて書き分けられている(4点)、概ね書き分けられている(3点)、あまり書き分けられていない(2点)、書き分けられていない(1点)とした。質的判断に基づく順序尺度による数値化であるが、本研究では学生全体の傾向や特徴を可視化するため、便宜的に連続量として取り扱った。

次に、展示解説資料を物理、化学、生物、地学の4領域に分類し、各領域の特性が解説文の書き分けにどのように反映されているかを統計的に検討した。統計処理は、化学領域のサンプル数が4件で少数であったため、統計的な検出力の低下およびバイアスの混入を防ぐ観点から分析対象より除外し、3領域間での比較を行った。分析指標の数値を用いて正規性を仮定しないノンパラメトリック検定であるクラスカル・ウォリス検定を実施した。また、サンプルサイズへの依存を考慮し、実質的な差の大きさを示す効果量として ε^2 を算出した。事後検定には、ボンフェローニの補正を用いたマン・ホイットニーのU検定を採用した。

一般向け解説から児童向け解説への書き分け作業において、前述の数値化の結果を参照しつつ、十分に達成されている視点と課題が残る視点を抽出することに主眼を置いた。これにより、領域毎の書き分けの記述の難易度や、本実践の有効性および教員養成における課題を明らかにした。

3 結果

3.1 6つの分析指標について

表1は、筆者らが実際に科学系博物館で収集した学芸員あるいは該当する博物館友の会有志が作成した展示解説資料の記述を、稲垣・波多野（1989）が提唱する「既有知識の構造」や「素朴概念からの概念変換」に関する理論的枠組みと、Reiserほか（2012）による科学的な論証の枠組みを援用して作成した分析指標である。

この分析指標を用いて、書き分けに成功していると筆者が判断した2つの事例を添付した。事例1が物理領域の「雷」、事例2が地学領域の「パレオパラドキシア」である。

表1 6つの分析指標

No	分析指標	児童向け 前・具体的操作期の解説特性	一般向け 形式的操作期の解説特性
1	言葉と概念	【感覚的言語による表現】 オノマトペや「きれい・すごい」という情動的言語で、対象と身体的に結合させる記述。	【一般概念化した表現】 身体的感覚を科学用語で再定義し、論理的な概念として操作可能にする記述。
2	検証の手法	【試行錯誤による表現】 「こうしたらどうなる？」という問いと、直接的な結果の確認を実感させる記述。	【演繹的な表現】 証拠に基づいて仮説を検証し、結論の妥当性を論理的に評価する記述。
3	尺度と抽象化	【身体的表現】 「見た目」の変化や、自分・身近な物体との比較・類推で科学的事象をとらえる記述。	【数学的・抽象化による表現】 SI単位や指数などの数値操作で対象を捉える記述。
4	主観から客観へ	【主観的な表現】 目的論的記述。科学的事象を擬人化してとらえる記述。	【客観的表現】 機能・構造・因果律という論理的な記述。
5	科学的リテラシー	【現象の記述】 目の前で起きた「事実・現象」を正確に捉える記述。	【理論的推論による表現】 観察事実から、原子や電子などの「見えないモデル」を用いた記述。
6	概念の変容	【規則性の萌芽】 「意外性」や「繰り返し」から、規則性に気づかせる記述。	【概念変容】 直感の誤りに着目させ、科学的に妥当な概念へ導く記述。

表2 学生が選んだ展示資料の領域区分

領域	件数	学生が選んだ展示資料
物理	16	エネルギー、滑車、コアンダ効果、錯覚、磁性流体、自由落下、てこ (3)、電磁誘導、光の三原色 (2)、光の反射、浮力 (2)、偏光板
化学	4	炎色反応 (2件)、シャボン玉 (界面活性剤)、中和反応
生物	25	アオバト、アザラシ、オオルリ、海藻、カボチャ (2)、キノコ (3)、サメ (2)、種子散布 (3)、スナメリ、ゾウと人間、チゴガニ、ツヤハナバチ、鳥の巣 (3)、花の対称性、ハマヒルガオ、ハマボウフウ、冬越し
地学	28	アケボノゾウ、アメジスト、アロサウルス (2)、隕石、河岸段丘、火星、雷 (2)、岩石・鉱物 (5)、気象、古生物、桜石、始祖鳥、資源探査、石器、センダイゾウ、ゾウの骨格展示、天気予報、菱マンガン鉱、星の光、マンモス、ミエゾウ、メガロドン

3.2 学生が選択した科学系博物館展示

表2は、学生が選んだ展示資料を領域別にまとめたものである。最も多く選ばれたのは地学領域で28件、次いで生物領域の25件、物理領域が16件となった。化学領域は4件であった。地学領域では、岩石・鉱物が展示解説資料として最も多く選ばれたほか、仙台市科学館の代表的な展示資料でもある古代ゾウの復元を選んだ学生も複数いた。生物領域では「種子散布」を取り上げた学生が3名、「キノコ」が3名、「鳥の巣」が3名と特定の展示資料が選ばれる傾向があった。物理領域では、小学校理科の単元の1つである「てこ」が3件、次いで光の3原色と浮力とがそれぞれ2件ずつとなった。

3.3 展示解説資料の書き分けの評価

図1は、生物、地学、物理の3つの展示領域における評価スコアを、6つの視点から比較したものである。箱ひげ図の分布形状から、領域毎の特性および評価得点の差異と共通性が示された。まず、展示資料の領域間で差異が比較的小さい視点は「1. 言葉と概念」および「6. 概念の変容」であった。「1. 言葉と概念」においては、3領域ともに中央値が3.0を示し、第1四分位数から第3四分位数の範囲（箱の高さ）も概ね2.0から3.5の間に収まっていた。領域によらず「児童向けの解説と一般向けの解説の書き分けが容易であった」ことが示唆された。一方で、「6. 概念の変容」は、3領域すべてで中央値が2.0と低位に留まっており、かつ第3四分位数が4.0に達しているものの、全体として下位スコアへの偏りが見られた。これは、「児童向けの解説と一般向けの解説の書き分けが困難であった」ことが示唆された。「3. 尺度と抽象化」も、全体的に得点が伸び悩む傾向があった。特に生物領域では中央値が1.0と最低値を示しており、四分位範囲も狭く低得点域に集中していた。物理領域においても中央値は1.5と低かった。このことから、対象の抽象化や尺度の操作といった数理的・形式的な処理に関し

ては、展示の領域を問わず、解説記事の書き分けが難しい現状が推察された。

3領域毎の特性が強く表れていたのは、「2. 検証の手法」、「4. 主観から客観へ」、および「5. 科学的リテラシー」の3点であった。物理領域の展示解説では「2. 検証の手法」において、物理は中央値が3.0でありながら、四分位範囲が極めて狭く、データの大半が一点に集中している様子が観察される。これは、物理領域の検証手法について、児童向けの解説と一般向けの解説の書き分けが特に容易であったことが推察された。また「5. 科学的リテラシー」においても物理領域の展示解説は、中央値が4.0と最も高い値を示し、箱の位置も全体的に高得点側にシフトしていた。

生物領域の特徴は「4. 主観から客観へ」という視点で、生物が中央値4.0を示し、他2科目（中央値2.5）を大きく上回っていた。これは、生物領域の展示は観察事実に基づいた記述と、客観的な事実の記述との書き分けが学生にとって容易であったこと、書き分けの達成度が高いことを示していた。しかしながら、「5. 科学的リテラシー」では生物の中央値は2.0と3科目中で最も低く、分布も低得点側に広がっている点が対照的であった。

地学領域の特徴は、多くの観点で生物領域と物理領域の中間的な挙動を示したが、「3. 尺度と抽象化」においては、箱の長さ（四分位範囲）が1.0から4.0までと極めて大きく、児童向けの解説記事と一般向けの解説記事の書き分けの達成度に大きなばらつきがあったことを示していた。表3が統計的に分析した結果を示している。

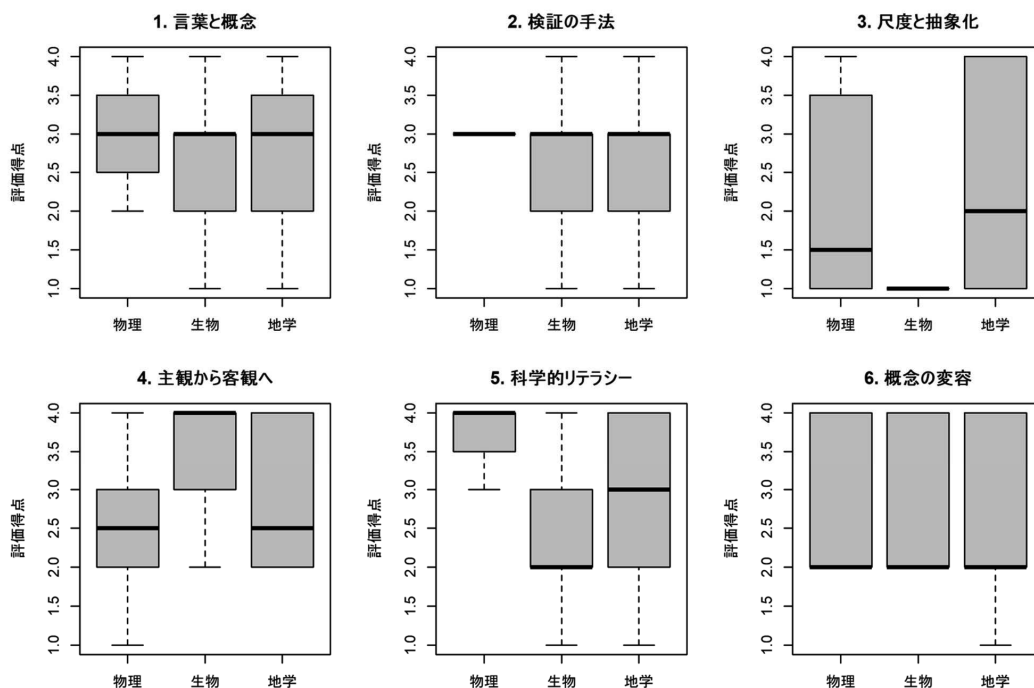


図1 3領域毎にみた6つの分析指標の評価得点分布

表3 3領域毎にみた6つの分析指標の関係

視点	p値	有意差	効果量(ϵ^2)	効果の大きさ	有意な領域の組み合わせ (p<.05)
1 言葉と概念	0.015	有	0.285	大	物理と地学の間に有意
2 検証の手法	0.082	無	0.161	大	
3 尺度と抽象化	0.018	有	0.273	大	全体差あり、領域間の差なし
4 主観から客観的へ	0.063	無	0.183	大	
5 科学的なりテラシー	0.004	有	0.380	大	物理と生物の間に有意
6 概念の変容	0.224	無	0.081	中	

検定の結果、「言葉と概念」「尺度と抽象化」「科学的なりテラシー」の3項目において、領域間で5%水準の有意差が認められた(表3)。「言葉と概念」は、領域間で有意な差が認められ($H(2) = 8.38, p < .05$)、効果量は「大」を示した($\epsilon^2 = .29$)。事後検定の結果、物理領域のスコアは地学領域よりも有意に高かった。科学的なりテラシーは、最も顕著な差が確認された項目であり($H(2) = 11.08, p < .01$)、効果量は極めて大きい($\epsilon^2 = .38$)。事後検定の結果、物理領域が生物領域に対して有意に高いスコアを示した。「尺度と抽象化」においても有意差が認められた($H(2) = 8.09, p < .05, \epsilon^2 = .27$)。事後検定において特定のペア間に有意差は検出されなかったものの、平均順位は地学が最も高く、物理と生物が共に低い傾向を示した。

なお、「検証の手法」および「主観から客観的へ」については、統計的な有意差($p < .05$)には至らなかったものの、効果量はそれぞれ $\epsilon^2 = .16, .18$ といずれも「大」の水準を示しており、領域間に質的な差異が存在することが強く示唆される結果となった。

4 考察

4.1 展示解説資料の用語の平易化と概念の変容

学生の記述分析から明らかになったことは、多くの学生が「言葉と概念」の指標において高いスコアを得ている一方で、「概念の変容」のスコアが低位に留まっているという点である。児童向けの解説資料を作成する際に、多くの学生は専門用語を日常語に置き換える作業として捉えていた。例えば、「光合成」を「植物が光を浴びて栄養を作ること」と言い換えたり、「万有引力」を「引き合う力」と表現したりすることは、確かに言葉としては平易な言葉になっているものの、あくまで表層的な言い換えに過ぎない。専門用語を噛み砕くことは、科学コミュニケーションの第一歩ではあるが、それだけでは児童の科学的な理解を深めることにはならない。科学的概念の習得とは、単に新しい言葉を覚えることではなく、科学的な事象を理解する

ための枠組みを更新することだからである。

「言葉と概念」のスコアが高かったことは、学生が大学での学習を通じて一定の科学的知識を習得しており、かつそれを平易な日本語で表現する言語能力を有していることを示している。しかし、「概念の変容」のスコアが低いということは、その科学的原理を知らない子どもが、科学的な事象をどう見ているかという視点、児童の科学的なとらえ方への想像力を欠いていることを示唆している。結果として、作成された解説文は易しい言葉で書かれてはいるものの科学的な事象の説明の域を十分に超えたところまでには至っていない。

稲垣・波多野(1989)の「素朴理論」と「概念変容」の枠組みは、児童は何も知らない白紙の状態での学習に臨むわけではなく、児童の日常生活の中で経験的に獲得した、その児童なりの一貫性のある知識体系＝「素朴理論」を既に保持していることを指摘したものである。例えば、天体の運動であれば「地球は止まっていて、太陽が動いている」という天動説的な直感や、力学であれば重いものほど速く落ちるといった運動に対する理解をしている。科学的には誤りであっても、日常生活を送る上では十分に機能する有用な知識である。したがって、科学的な理解(概念変容を引き起こす)のためには、単に「正しい科学的知識」を一方向的に提示するだけでは不十分で、児童が持つ素朴理論では説明がつかない現象に直面させ、認知的な葛藤を引き起こし、既存の理論を修正・拡張する必要性を自覚させるプロセスが必要になる。しかしながら学生が作成した展示解説資料は、最初から科学的な正解を提示し、それを覚え込ませようとする「注入主義」的な記述の段階にとどまっている例が多かった。

まさに、Shulman(1987)による「教授学的知識(Pedagogical Content Knowledge)」(以下PCKと呼称する)の欠如の指摘が、科学系博物館の展示資料の書き分けに対してもあてはまることを意味している。教員には、科学そのものの知識である「教科内容知(Content Knowledge)」(以下:CKと呼称する)だけでなく、それを学習者の理解可能な形式に変換し、教えるための知識であるPCKが求められる。本研究の対象である学生たちは、大学の自然科学系の専門科目などの学修を通して、CKはある程度蓄積していたが、それを特定の文脈の中で児童の実態に合わせて再構成するPCKの面で、十分ではないことが示唆された。特に、物理の抽象度の高い領域や、地学の時間的・空間的な広がり領域で、その傾向は顕著であった。学生自身がかつて児童として躰いた経験を生かし切れていない可能性がある。「なぜ雷が落ちるのか」「なぜ化石がここにあるのか」といった問いに対し、物理学や地質学の用語を用いて論理的に説明することではなく、児童が有する素朴な科学的知識を想定し、その素朴概念に寄り添いつつ、科学的な因果関係へと橋渡ししが、教員養成の視点からも重要である。

4.2 科学の領域固有性をもたらす解説作成の特性と課題

学生の展示解説作成の結果から、科学というくくり方の中にも、領域毎に異なる特性を有していることも明らかになった。それが学生の解説作成における得意・不得意の傾向として顕著に表れている。特に物理領域と生物領域におけるスコアの差異は、教員養成における学修の在り方に重要な示唆を与えている。

まず、物理領域において「2. 検証の手法」の評価が高かった点に注目したい。物理学は、現象の背後にある法則性を、実験や観察といった実証的な手続きによって明らかにする学問である。学生たちは、この「仮説を立て、実験によって確かめる」という科学的探究の手続きを、一般向け解説のみならず児童向け解説においても適切に組み込むことができていた。理科教育において、物理法則と実験手続きがセットで指導されてきた経験が、学生自身の知識構造として定着していることを反映しているものと思われる。高校教育では、むしろ物理は人気のない教科とされているが、展示解説資料の作成では「どうすればその法則を説明できるか」を取り入れることに成功していた。

一方で、「3. 尺度と抽象化」のスコアが他の領域に比べて低迷し、書き分けに困難を抱えている様子が浮き彫りとなった。特に、物理学が扱う「力」「エネルギー」「電流」「磁界」といった概念は、目に見えず、直接触れることもできない抽象的な構成概念であり、また、原子・分子といったミクロなスケールや、宇宙規模のマクロなスケールなど、日常的な感覚からはかけ離れた尺度を扱うことが多い。学生は、これらを数式や専門用語（ベクトル、ジュール、ボルトなど）を用いて定義することには慣れているため、一般向けの解説は問題なく成功していたが、それらをまだ抽象的思考の段階に至っていない児童の「実感可能なレベル」にまで落とし込んで説明することはできなかったようである。例えば、「電磁誘導」に関連する展示において、学生は「電子の流れ」として説明を試みるが、そもそも児童にとって「電子」という粒子のイメージを持っていないため、「目に見えないもの」を「目に見えないまま」言葉だけで説明しようとせざるを得ず、児童の直感的な理解（素朴物理学）との接続に成功しなかった事例があげられる。物理領域における最大の課題は、この「高度に抽象化された概念」を、いかにして比喻、アナロジー、あるいは可視化モデルを用いて、児童の身体的感覚や日常経験と結びつけるかという具体化のプロセスにあることが、今回の分析から明らかとなった。

対照的な結果を示したのが生物領域である。生物領域では、「4. 主観から客観へ」の評価が他領域に比べて統計的にも有意に高かった。これは、学生が生物展示の解説を作成する際、児童が陥りやすい「主観的な見方」を強く意識し、それを修正しようとする意図的な書き分けが行われていたことを示唆している。児童は生物、特に動物の展示に対して、強い親和性と共感を持つ。「かわいい」といった感情移入や、人間の心理を投影して解釈する「擬人化」は、稲

垣・波多野（1989）も指摘するように、児童が持つ「素朴生物学」の典型的な特徴で、児童向けの展示解説資料では、この擬人化が多用されていた。擬人化は対象への興味関心を喚起する入り口としては有効であるが、科学的な観察へ進むためには、どこかの段階で脱却しなければならない認識の枠組みでもある。分析結果からは、学生は、この生物領域特有の課題をよく理解していたようである。児童向け解説において、単に「かわいいね」と共感するだけでなく、「なぜそのような形をしているのか」「その動きには生きるためにどんな意味があるのか」といった、進化や適応の観点からの客観的な観察を促す記述を意識的に盛り込んでいた。

なぜ物理領域に比べて生物領域では書き分けが成功しやすかったのかは、生物領域の展示資料が「具体的」であり「可視的」である点にあると考えられる。目の前に実体としての標本があり、その形態や動きは直接観察が可能である。物理のように「見えない力」を可視化する難しさが無い。「見えているもの」の見方を変える、つまり主観的視点から客観的視点へ切り替えられるような記述をすることに注力すればよいため、記述の方向性が定まりやすかったのではないかと推察される。

4.3 今後の教員養成のための示唆

以上の議論から導き出される博物館を活用した教育養成上の示唆は、展示活用や教材研究の指導において、各領域が持つ認識論的特性に応じた、きめ細やかな指導戦略（PCKの育成）が求められるということである（越智・磯崎，2018）。物理領域においては、「抽象概念の可視化」に重点を置いた指導が必要である。見えないものを言葉だけで説明するのではなく、展示物が示す現象をどのようなモデルや文脈で表現すれば児童の実感に訴えかけられるのかを検討する必要がある。例えば、電気回路を水の流れに例えることの有効性と限界を検討させたり、力のつり合いを綱引きなどの身体感覚と関連付けて考えさせる指導法を開発させたりすることが有効である。

一方、生物領域においては、過度な擬人化からの脱却と科学的視点の獲得に焦点を当てる必要がある。児童の「生物好き」という素朴な感情を肯定しつつ、それをいかにして「生命の巧みさ」への知的好奇心へと発展させるかが重要である。擬人化を脱却して、科学的な観察、比較、分類、機能と形態の関連付けなどを具体的に提示する技術が求められる。地学領域における「尺度（時間・空間スケール）の雄大さをどう扱うか」という点も領域固有の課題である。

Entwistleほか（2001）は、学生のアプローチは学生の資質以上に、「教え方」や「評価の方法」、「カリキュラムのデザイン」によって成果が大きく左右されることを指摘している。過度な知識量を求めるカリキュラムや、単純な再生を求める学修は、教員養成の点で効果が期待できない。領域毎の違いは、今後の大学における教科専門科目の指導において、単に知識を授け

だけでなく、その知識が、いかにして児童生徒に受容されるかという「学びのプロセス」そのものを領域別にメタ認知させる教育の重要性を強く示唆している。物理には物理の、生物には生物の語り方（文脈）があり、化学や地学も同様である。それを習得させることこそが、実践的指導力を持った教員の養成につながるのである。

田中（2015）は、理科に対する興味の構造について心理学的な見地から分析を行い、次の6つに類型化できることを明らかにした。「自分で実験を実際にできるから」などの項目からなる「実験体験型興味」、「実験の結果に驚くことがあるから」などの項目からなる「驚き発見型興味」、「わかるようになった時うれしいから」などの項目からなる「達成感情型興味」、「色々なことについて知ることができるから」などの項目からなる「知識獲得型興味」、「自分で予測を立てられるから」などの項目からなる「思考活性型興味」、「自分の生活とつながっているから」などの項目からなる「日常関連型興味」以上の6つである。科学への入り口という意味で、児童に興味を持たせることは重要（木谷，1983）であり、次の段階の展示解説リーフレットを作成する課題では、田中の研究成果も取り入れて内容の充実を図りたい。

引用文献

- 1) 稲垣佳世子・波多野諠余夫（1989）「人はいかに学ぶか：日常的認知の世界」, 198pp.
- 2) Entwistle, N. J., McCune, V., & Walker, P. (2001) Conceptions, styles, and approaches within higher education: Analytic abstractions and everyday experience. 「 Perspectives on thinking, learning, and cognitive styles」. pp.103-136.
- 3) 越智拓也・磯崎哲夫（2018）理科教育における pedagogical content knowledge に関する研究の意義, 日本科学教育学会年会論文集, 第42巻, pp249-252
- 4) 川上昭吾（2010）教員養成論 - 理科の教員養成に関連して, 理科教育学研究, 第51巻, 第1号, pp31-38, 日本理科教育学会
- 5) 木谷要治（1983）自然への関心・態度の面からみた小・中・高の理科教育の効果について, 日本理科教育学会研究紀要, 第24巻, 第2号, pp1-8.
- 6) 後藤顕一（2014）理科における問題解決の資質・能力・科学的な探究の能力とは何か, 理科の教育, 第63巻, 第748号, pp5-8.
- 7) 後藤顕一・白水始（2014）二一世紀に求められる能力とは, 教育展望, 第80巻, 第8号, pp12-16.
- 8) 斎藤吉彦（2006）学生・生徒による科学館展示解説「科学の基礎を訪ねる」, 物理教育, 第54巻, 第4号, pp. 371-372.
- 9) Shulman, L.S (1987) Knowledge and teaching, Foundations of the new reform. Harvard Educational Review, vol.57, no.1, pp.1-22.

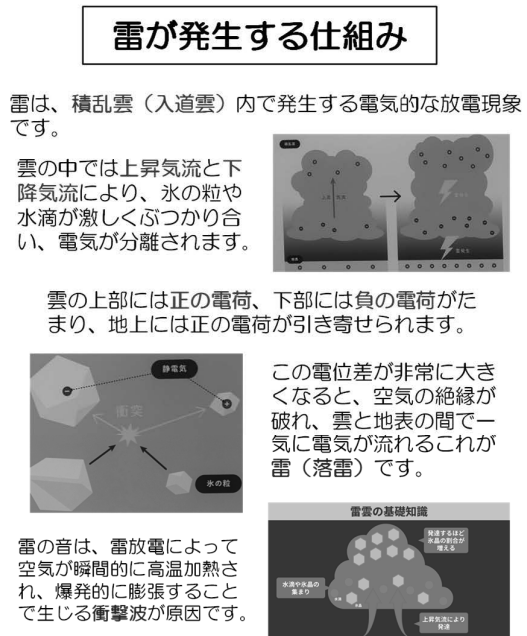
- 10) 鈴木智恵子 (1982) 小学校教科専門「理科」の目標と方法およびその効果, 日本理科教育学会研究紀要, 第22巻, 第3号, pp.33-44
- 11) 攝待尚子・長島康雄 (2018) 博物館の活用による生物多様性教育の展開に関する研究-中学生の自然観に関する実態の把握, 仙台市科学館研究報告, 第27巻, pp36-43.
- 12) 田中瑛津子 (2015) 理科に対する興味の分類—意味理解方略と学習行動との関連に着目して—, 教育心理学研究, 第63巻, 第1号, pp23-36.
- 13) 田村知子 (2005) カリキュラム・マネジメントのモデル開発, 日本教育工学会論文誌, 第29巻, Suppl号, pp.137-140
- 14) 筒井 和幸, 廣瀬 明浩 (2007) 科学館を活用した自律的活動を促進する科学教育の実践, 物理教育, 第55巻, 第4号, p. 353-358
- 15) 長島康雄・攝待尚子 (2019) 東日本大震災後の科学系博物館における展示コンセプトとしてのEco-DRR, 仙台市科学館研究報告, 第28巻, pp40-48.
- 16) 長島康雄・攝待尚子 (2014) 仙台市科学館の自然観察デッキを活用した自然観察, 仙台市科学館研究報告, 第23巻, pp. 21-26.
- 17) 長島康雄・攝待尚子・佐藤幸・大山真実・鈴木直行・相良毅 (2011) 仙台市科学館における参加型身近な生き物分布図作成, 仙台市科学館研究報告, 第20巻, pp. 36-42.
- 18) 文部科学省 (2017) 小学校学習指導要領解説理科編. 167pp.
- 19) Reiser, B. J., Berland, L. K., & Kenyon, L. (2012) Engaging students in the scientific practices of explanation and argumentation. *Science Scope*.vol.35, no.8, pp. 6-11.

事例1 学生による展示解説リーフレット「雷」とその分析（沼倉末希さん提供）

児童向け展示解説リーフレット



一般向け展示解説リーフレット



「雷」の展示解説資料の書き分けの評価

No	視点	児童向け解説（前・具体的操作期）	一般向け解説（形式的操作期）
1	言葉と概念	【オノマトペによる直感化】視覚・聴覚に訴えるオノマトペを多用し、物理現象を感覚的な言語と直接的に結びつけて理解させている。	【物理学的定義の厳密化】「電位差」「絶縁破壊」等の物理学用語を用い、現象を科学的定義に基づいて厳密に記述している。
2	検証の手法	【時系列的な現象追跡】現象の発生プロセスを時系列順のストーリーとして提示し、段階的な変化の追跡を容易にしている。	【原理に基づくメカニズム説明】電荷分離から放電に至るメカニズムを、物理的原理原則（気流による分離等）に基づく因果連鎖として体系的に説明している。
3	尺度と抽象化	【巨視的な身体感覚】「風の強さ」や「空気の押し広げ」など、身体感覚で受容可能なマクロな物理作用として表現している。	【微視的モデルの抽象操作】正負の電荷という肉眼で確認不可能なミクロなモデルを導入し、空間的な配置などの抽象的な概念操作による理解を求めている。
4	主観から客観へ	【情動体験への寄り添い】読者への呼びかけや情動的な表現を用い、恐怖感や驚きといった主観的体験（クオリア）に寄り添う記述を採用している。	【物理的因果律への客観化】雷鳴を衝撃波による物理現象として扱い、主観を排除した物理的因果律のみで構成している。
5	科学的リテラシー	【類推による現象理解】静電気という身近な類似現象を援用し、知覚可能な現象（光と音）の発生順序に焦点を当てている。	【理論モデルによる裏付け】熱力学や電磁気学的な理論モデルに基づき、観測される現象（雷鳴、発光）の背後にある不可視の原理を解説している。
6	概念の変容	【因果性の単純化】粒子の衝突と帯電の因果関係を単純化して提示し、自然現象には規則的な理由が存在するという認識を形成させている。	【微視的視点への概念変容】マクロな放電現象をミクロな粒子挙動や場の性質として再解釈させ、科学的な概念変容を促している。

事例2 学生による展示解説リーフレット「パレオパラドキシア」とその分析（残間慶治さん提供）

児童向け展示解説リーフレット

昔仙台にいた生き物 パレオパラドキシア



1. どこで見つけたの？

仙台市の太白区にある「茂庭」という場所で、むかしの生きもの歯の歯の骨が見つかりました。その生きもの名前は、パレオパラドキシアです。むかしの浅い海にくらしていた動物です。

2. どんな生きもの？

大きさは今のウシくらい！
海そうや水の中の草を食べていました。
水の底をのっしのっし歩いていました。

パレオパラドキシアの歯



3. どんな歯だったの？

歯をしらべると何を食べていたかわかります。他の動物を食べていたらライオンの葉のように。仙台市科学館には、この動物の「歯」の化石があります。歯はつぶつぶが集まったような形で、海そうをかんですりつぶしていました。

4. むかしの仙台はどんなところ？

1600万年前の茂庭はあたたかい海でした。いまは山や町だけ、むかしは海の中でたくさんの生きものがくらしていました。パレオパラドキシアの化石をしらべると、むかしの仙台の環境がわかります。仙台市科学館の展示で確かめよう！

一般向け展示解説リーフレット

パレオパラドキシア

1. パレオパラドキシア

パレオパラドキシアは、約1600万年前の中新世に生息した海生哺乳類で、絶滅した束柱目に属します。図1がパレオパラドキシアであり、体長は約2～2.5メートル、体重は数トンに達したと推定され、見た目はカバのような現存目をしています。現生のジュゴンやマナティと近縁ですが、独特の臼歯構造を持ち、海藻や水草を主食とする草食性でした。骨格は非常に重く、水中で浮きにくいので、海底を歩くようにして生活していたと考えられます。太平洋を囲むように日本からカリフォルニア付近まで分布していたと考えられています。

2. 臼歯の秘密（仙台市科学館所蔵の化石）

仙台市科学館には、茂庭地域で発見されたパレオパラドキシアの臼歯が展示されています。図2のこの歯は、円柱状の突起が束になった特徴的な形をしており、「束柱目」という名前の由来にもなっています。この臼歯は、砂混じりの水草や海藻をすりつぶすのに適しており、表面には摩耗痕が見られます。こうした特徴から、パレオパラドキシアが浅い沿岸やラグーンで植物を食べていたことが明らかになっています。

3. 茂庭の1600万年前の環境

現在の仙台市太白区茂庭は、1600万年前には温暖な亜熱帯性気候に覆われ、浅い海やラグーン、干潟が広がっていました。図2が当時の環境を表した模型です。地層（茂庭層）からは二枚貝や巻貝の化石が見つかり、高潮にはシイやカシなど亜熱帯性の樹木が茂っていたことが、花粉化石の研究から分かっています。この環境は、パレオパラドキシアの食料となる海藻や海藻が豊富な生息地でした。仙台市科学館に展示されるパレオパラドキシアの臼歯は、1600万年前の仙台が温暖な海辺であったことを示す貴重な証拠です。この化石から、当時の環境や生態系、さらには絶滅哺乳類の進化を読み解くことができます。

4. 臼歯

臼歯の摩耗痕や構造を調べることで、当時の食性や生態が解明されます。仙台市科学館に展示されている臼歯の摩耗痕は、砂や泥が混じった環境で食事をしていた証拠であり、浅瀬での採食行動を示しています。このことは、茂庭地域がかつて浅い海や干潟であったことを裏付けています。

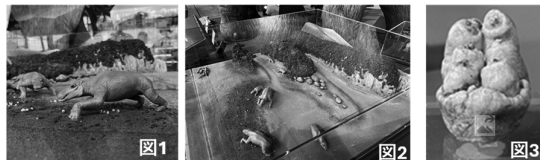


図1.2.3 仙台市科学館より

「パレオパラドキシア」の展示解説資料の書き分けの評価

No	視点	児童向け解説（前・具体的操作期）	一般向け解説（形式的操作期）
1	言葉と概念	【感覚的言語の採用】「のっしのっし」「つぶつぶ」等のオノマトペや、既知の動物との比喩的並置により、対象の身体的イメージの喚起を促している。	【科学的用語の定義と使用】「中新世」「束柱目」等の専門用語を定義と共に使用し、科学的体系内での位置づけを明確化している。
2	検証の手法	【直接経験への動機づけ】博物館展示での実地確認を促す記述を行い、観察体験を通じた事実確認を検証の手段としている。	【証拠に基づく演繹的推論】化石上の痕跡（摩耗痕等）を証拠とし、そこから当時の生態や食性を論理的に導出する推論プロセスを提示している。
3	尺度と抽象化	【身体的尺度による比較】「ウシ程度」等の身近な対象との比較や、感覚的な形容表現を用い、直感的な尺度での理解を図っている。	【定量的・数学的記述】年代、体長、質量等においてSI単位系を用いた具体的な数値を提示し、客観的な尺度による正確な対象把握を求めている。
4	主観から客観へ	【ナラティブな動作記述】生物の動作や生活様式に焦点を当てた物語的な記述により、対象への親近感や感情移入（擬人的理解）を誘発している。	【構造・機能・因果律の明示】形態的特徴（骨密度）と機能（浮力調整）の因果関係を明示し、生物学的適応の観点から客観的に記述している。
5	科学的リテラシー	【現象の情景描写】摂食行動や当時の環境を視覚的な情景として描写し、観察可能な現象のイメージ化を優先している。	【理論モデルによる環境復元】微化石（花粉）等の証拠から古環境全体を再構成する、科学的モデル（古環境復元）に基づく理論的説明を行っている。
6	概念の変容	【規則性の発見と導入】形態（歯）と機能（食性）の対応関係という規則性への気づきを促し、科学的探究への導入（動機づけ）を図っている。	【概念体系への統合】分類学的背景や進化史的意義に言及し、個別事例をより上位の科学的概念体系へと統合・位置づけを行っている。