

# 物質と人との相互作用から創発的に構築される科学的知識

小学3年「磁石の性質」の実験場面における物質と子どもの相互作用に着目して  
Scientific Knowledge Emergently Constructed through Interactions between Matter and  
Human: Focusing on the Interaction between Matter and Children in the Experiment of  
“Properties of Magnets” in the 3rd Grade of Elementary School

庄野俊平

Shumpei Shono

横浜市立もえぎ野小学校

Yokohama City Moegino Elementary School

shumpei.s@ga3.so-net.ne.jp

## 概要

本研究では、実験における物質との相互作用から科学的知識が構築される過程を明らかにすることを目的とした。Pickering (1995) の「Mangle of Practice」の視点を援用し小学3年理科「磁石の性質」の実験場面の子どもと物質（磁石や缶）との相互作用を分析した。その結果、自らの科学的知識に反する「物質の抵抗」に対し、現象を再現しようという「子どもの適応」の中で、創発的に科学的知識が構築されることが明らかとなった。

キーワード：理科の実験、創発性、Mangle of

Practice、物質と人の相互作用

## 1. 背景

従来の学校の理科教育は、普遍的な科学法則や理論といった脱文脈的な知識の習得が主な目的であり、学習の効果は脱文脈的な知識を授業の前後で比較することで測定されてきた。しかし、学習科学や科学論の「実験室研究」(e.g. Latour and Woolgar 1979)の知見から、子どもたちが科学的知識を現実の実験の中でいかに適用していくかの知見が必要とされるようになってきた(Duschl 2008)。さらに、実験での物質との相互作用から子どもがその場に則して創発的に科学的知識を構築する過程についての知見の必要性も指摘されている (Manz 2015)。しかし、

実験後のクラス全体での議論における子どもの発話、ノート等への記述や授業後のテストから、論証スキルや科学概念の変容を分析する研究は積み重ねられても、子どもが物質との相互作用の中で科学的知識を構築しているまさに実験そのものを主な分析の対象とした知見は蓄積されていない。実験中にどのように科学的知識が構築されているかが明らかでないのである。

## 2. 目的

実験における子どもと物質との相互作用に着目し、そこで科学的知識が構築されるプロセスを明らかにすることを本研究の目的とする。

## 3. 方法

物質と子どもの相互作用を捉えるため、従来の教室談話分析を拡張して非言語的の行為も含めた分析を行った。具体的には、首都圏の公立K小学校の3年理科「磁石の性質」の計6時間の実験場面をICレコーダーで録音し、ビデオでの撮影を行った。録音したデータから発話プロトコルを作成し、撮影した映像から子どもの操作や磁石などの物質の動きを静止画像で切り取り分析した。さらに必要に応じて子どもが作成したワークシートや実験前後の話し合いの

場面の発話プロトコルも参照しながら子どもと物質との相互作用を分析した。

分析する上で、科学社会学者の Pickering の「Mangle of Practice」の概念を分析の視点として援用した。Pickering は、科学の実践を「物質の抵抗とそれに対する人々の適応の絶え間ない弁証法的な相互作用」として捉える (Pickering 1995)。彼によると、実験室においては、科学者の想定に反する物質の動きが「物質の抵抗」として現れ、それに対して科学者が「適応」という相互作用が安定化するまで繰り返される (Pickering 1995)。Mangle (衣服を絞る機械) の中で衣服が絡まり合っているように、物質と人の適応という相互作用の各々の要素は不可分の関係にある。この視点では、従来の見方であった科学的知識と世界との普遍的な対応関係に終始するのではなく、科学の実践において科学的知識がその都度創発される点が強調されている。理科教育でも、子どものもつ科学的知識が物質の動きによって揺らぐような出来事 (discrepant events) が科学的知識の再構築を促すことが指摘されている (Clement 2013)。

そこで本研究は、Mangle of Practice の視点を導入した先行研究 (e. g. Manz 2015) を参照しながら「驚き」、「混乱」、「困難さ」を子どもの発話から抽出し、その前の物質の動きを「物質の抵抗」として抽出した。それに対する子どもの操作や発話といった行為を「子どもの適応」として抽出した。

抽出された「物質の抵抗」や「子どもの適応」を、どの事例にも当てはまるかを吟味しながらカテゴリーにわけて解釈的に分析した (藤江 2001)。

#### 4. 結果

「物質の抵抗」として、2種類のカテゴリーを抽出した (表1)。一つ目は、子どもの仮説に反する物質の動きである。例えば、全ての金属に磁石はつくという仮説に反して、アルミ缶はつかないという物質の動きがそれにあたる。二つ目は、子どもが予期

していない物質の動きである。例えば、偶然机の上に置いた二つの棒磁石の一つが磁極間の斥力によって回転するという物質の動きである。さらに、「物質の抵抗」に対する「子どもの適応」として2種類のカテゴリーを子どもの発話と操作から抽出した (表2)。一つ目は、現象を再現しようとする行為である。磁石につかないアルミ缶の動きに対してもう一度その現象が起きるかを確かめる行為がそれにあたる。二つ目は、仮説を形成して検証するという動きである。机上の棒磁石が回転したことに対して子どもが磁極間に働く斥力という仮説を形成して検証する行為がそれにあたる。以下で、ある一つの事例 (表3・4) における科学的知識が創発的に構築される過程を詳細に記述する。

表1. 物質の抵抗

カテゴリーの概要	例
子どもの仮説に反する物質の動き	磁石につくと子どもが予想したアルミ缶が、磁石につかないという現象を起こす。
予期していない物質の動き	机に置いた棒磁石が、回転して近くの別の棒磁石にくっつく。

表2. 子どもの適応



カテゴリーの概要	例
現象を再現しようとする	アルミ缶のいろいろなところに磁石を近づけて、アルミ缶が磁石につかないという現象を再現する。
仮説を形成して検証する	二つの棒磁石の同極同士を近づけて、回転させてくっつけようとする。

この事例における「物質の抵抗」は、電気の学習での導電性や絶縁体についての知識を基に形成した仮説に反する磁石や缶の動きである。

はじめに、R3はスチール缶に磁石を近づける (表3 Line 37)。スチール缶の側面に近づけると磁石が

くっついた。すると、R3は「あれ？絵（缶のコーティング）がかいてあってもくっつく！」と発話している（Line 38）。この行為と発話の背景には、電気の学習がある。缶の表面を覆うコーティングが絶縁体となり電気を通さなかったという学習経験である。それゆえ電気が通らないはずの「絵」の部分に磁石がついたことに驚いたのである。

表3 仮説に反する物質の動きと子どもの適応(1)

	R3の動きと発話	物質の動き
37	《かごの中のスチール缶をとる》 《これやってみる》	 スチール缶がR3によって移動する
38	あれ？これ、絵がかいてあってもできる！	 スチール缶に磁石が引き付けられる

導電性の学習から形成した仮説に反する「物質の抵抗」に対して、R3はいずれの場所でも磁石がアルミ缶につかないことを確かめるという「適応」を見せる。どこにも磁石がつかないことを確かめた後、アルミ缶は磁石につかないという実験結果を記入する。実験後のクラスでの話し合いでも、R3はアルミ缶のように電気は通すが磁石にはつかない物質もあることに対し驚いたと発言していた。

このように、金属の導電性や絶縁体についての科学的知識を基にした仮説、それに抵抗するような物質（缶・磁石）の動き、その物質の動きに対して缶の様々な場所に磁石を近づけて現象を再現できるのか確かめる子どもの行為、という物質と人との弁証法的な相互作用が、物質の磁性についての科学的知識の構築に関与している。

表4 仮説に反する物質の動きと子どもの適応(2)

	R3の動きと発話	物質の動き
42	《アルミ缶に磁石が引き寄せられるか試す》	 アルミ缶の側面に磁石が近づく
43	《アルミ缶に磁石をつけようとする》	 アルミ缶の底面に磁石が近づく
44		 アルミ缶の中に磁石が入られる

## 5. 考察

本研究では、Mangle of Practiceの視点を援用し、実験中の子どもと物質との相互作用を分析することで科学的知識の構築過程を明らかにした。

上の事例から明らかになったことは、子どもは物質の磁性を確かめる実験で、導電性についての学習を基に仮説をたて実験している。しかし、磁石がつかないはずのところにづく（表3）、つくはずのところにつかない（表4）という「物質の抵抗」に出合うことで、自らの仮説が揺らいでいく。「物質の抵抗」に対する「適応」として現象を再現しようとする中で、物質の導電性とは類似しているが異なる新しい知識としての物質の磁性についての知識が構築されていく。

このように実験で子どもが新たに構築する科学的知識は、既存の科学的知識がその場の物質と子どもとの相互作用のプロセスの中に取り込まれながら、創発的に構築されたものと言える。

従来の研究では十分検討されなかった実験中の科学的知識の構築過程を焦点化することで、子どもの

もつ科学的知識が実験での子どもの行為の枠組みとしてどのように働くかや枠組みが物質の動きによってどのように緩和されるかを明確にできた。その際に、Mangle of Practice の視点は、創発的な科学的知識の構築過程に関与する物質や人の相互作用を「物質の抵抗」と「人の適応」として分け、その相互作用を精緻に分析する足がかりを提供する。本研究では、一つの事例しか扱うことができなかった。今後、本研究で扱った磁石以外の実験においても、実験と関連づけられた子どものもつ科学的知識が、実験中の物質との相互作用によって揺らぎ、科学的知識が創発的に構築される過程が明確になると期待できる。

Pickering, A. (1995). *The mangle of practice: Time, agency, and science*. Chicago: University of Chicago Press.

鈴木 宏昭 (2022). 私たちはどう学んでいるのか 創発から見る認知の変化 筑摩書房.

## 6. 文献

Clement, J. J. (2013). Roles for explanatory models and analogies in conceptual change. In S. Vosniadou (Ed.), *International handbook of research on conceptual change* (pp. 412-446). NY: Routledge.

Duschl, R. (2008). Science education in three-part harmony: Balancing conceptual, epistemic, and social learning goals. *Review of Research in Education*, 32(1), 268-291.  
[https://doi:10.3102/0091732X07309371](https://doi.org/10.3102/0091732X07309371)

藤江 康彦 (2001). 教室談話の成立機制：行為-ローカルな文化-制度的装置の相互関連に着目して. *教育方法学研究*, 26, 73-85.

Latour, B. and Woolgar, S. (1979). *Laboratory life: the construction of scientific facts*; Princeton University Press

Manz, E. (2015). Resistance and the development of scientific practice: Designing the mangle into science instruction. *Cognition and Instruction*, 33(2), 89-124.  
[https://doi:10.1080/07370008.2014.1000490](https://doi.org/10.1080/07370008.2014.1000490)