

現代的な教育課題にそくした理科学習指導と評価の視点

森本信也* ・鈴木一成** ・渡辺理文** ・松本朱実**

Updated Viewpoints on the Teaching and Evaluation for Science Class

Morimoto Shinnya , Suzuki Issey , Watanabe Masafumi, Matsumoto Akemi

1. 理科学習指導と評価の現代的な課題

2012年文部科学省により実施された学力・学習状況調査において、理科は「科学的な思考・表現」に関する評価を重視した。小学校では7割、中学校では6割の問題がこの評価に充てられていた。その平均正答率は小学校57.8%、中学校48.9%であった。「科学的な思考・表現」に関わる学力が十分定着されていない状況が明らかになった。こうした傾向は子ども質問紙においても反映されていた。すなわち、「理科授業では自分の考え（や考察）をまわりの人に説明したり発表したりしている」という問いに対して、肯定的な反応を示した者は小学校46.8%、中学校27.0%に過ぎなかった（文部科学省，2012）。

一方、この問いに対して肯定的な反応を示した者の上述の平均正答率は、小学校65.2%、中学校58.2%と比較的高い傾向を示していた。理科授業で身につけてきた学習に対する態度と成績との間に相関性があることが明らかにされたのである。学校質問紙においてもこのことは実証された。すなわち、理科授業において仮説を基に観察、実験をさせる、観察、実験結果を整理し、考察する活動などを行っている学校では、平均正答率は小学校62.2%、中学校54.3%と比較的高い割合を示したのである。

ところで、学習指導要領の目標の基本的な枠組みを示した中央教育審議会による答申『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導要領等の改善について』は、理数教育の充実を主要課題の一つとして取り上げ、そのための方策として次の提言を行った。「思考力や表現力等の育成のための観察・実験やレポートの作成、論述（中略）また、関心意欲を高める上では（中略）例えば、博物館等との連携による体験的な学習や、科学的な知識を活用したものづくりや探究的な活動を行うことも効果的である」（中央教育審議会，2010:56）。理数教育の充実を上述した課題を中心に図っていくとともに、その実現を学校だけではなく社会教育施設との連携も視野に入れながら進めることが唱われたのである。また、理科の学習指導要領においてもこのことは反映された。

上述した小学生や中学生における学習状況を見ると、こうした課題解決は未だ十分なされていないと考えることができる。そこで、本研究においては、子どもの「科学的な思考・表現」に関わる学習の充実を小学校、中学校及び社会教育施設と学校との連携教育により実践する視点を分析するとともに、その検証を実践を通して行った。

*理科教育講座 **東京学芸大学大学院連合学校教育学研究科自然系教育

2. 小学校理科授業に見る理科学習指導と評価の視点

2.1 「科学的な思考・表現」に関わる学力の形成

第1章において示されているように、「科学的な思考・表現」に関わる学習を充実させるためには、仮説を基に観察、実験をさせる、観察、実験結果を整理し、考察する活動などを行うような問題解決を通じた学習を実現することが必須である。その問題解決の過程において、子どもが自ら新たな科学概念を構築していく学習が強化されなければならないと考えられる。

こうした視点を実現するために、教授・学習論として論じられている「自己調整学習 (self-regulated learning)」は有用である。本章では、自己調整学習の考えを取り入れた授業を構想することにより、「科学的な思考・表現」に関わる学力の形成を志向する。

2.2 自己調整学習

Hadwin et al.は自己調整の研究を整理し、その特徴として以下の三点を挙げている (Hadwin et al., 2011:66)。

- ・自己調整学習は意図的な学習である。したがって、子どもにおいて学習目標は明確に自覚化される。
- ・自己調整学習は子どもによるメタ認知を伴う。
- ・自己調整学習は、子ども自身が学習への動機、認知、行動を調整することにより進められる。

これら三点の特徴は、理科教育のみの視点ではなく、全ての教科教育への視点である。三点の特徴を見ていくと、自己調整学習では、子どもが学習目標を明確に自覚しているために、子どもが見通しをもった学習をしていく。また、メタ認知を行っていくため、子どもは自分の考えや学習の進捗状況を自己評価しながら、必要である情報を取捨選択しながら取り入れていく。さらに、子どもが活動へ動機づけられながら、自身で調整しながら知識を構築していく。

このような自己調整学習の実現には、教師による適切な指導とアセスメントは必要である。教師は子どもの考えを常に可視化し、把握していく。子どもの思考と表現を表出させるために、表現させることを促し、そこから自己評価をさせていく。

また、Hadwin et al.は、この自己調整学習に、学習の社会化の視点を導入している。具体的には、個人での自己調整学習から、協同的な調整学習 (co-regulated learning) が行われ、さらに、共有された調整学習 (shared regulation of learning) へと発展していく。

自己調整学習とは、上述したように、子どもが見通しをもって学習をし、学習状況を自己評価することで、必要な情報を取捨選択しながら取り入れていき、それによって個々の活動が動機づけられていく学習である。

協同的な調整学習では、個人の自己調整学習をもとに、「創発的な学習 (emergent interaction)」が行われる。子ども一人ひとりが、個々の自己調整学習において、共通の学習目標のもとで構築していった考えを持ちより、さらに新たな考えを「創発 (emergence)」していく。この創発的な学習は、個々の自己調整学習が円滑に進められていなければ実現され得ない。

共有された調整学習では、創発的な学習のもとに構築された考えや、それによる成果をクラス全体で共有していく。クラス全体で共有されていくことによって、次の学習課題を見出す基礎になっ

ていく。

このように、子どもが自己調整学習を進める上で、自身の学習の深化を図るために、クラスの仲間や教師と相互に関わりを持って、新しい考えを構築していく。これが創発であり、自己調整学習を行っていく上で、創発し、その考えをクラス全体で共有させていく。

森本は、このような自己調整学習の考え方を理科教育において援用し、授業を構想するときに必要な活動について表1のように分析をしている（森本，2013:128）。

表1 理科授業における自己調整学習の視点

理科授業における自己調整学習
明確な学習への見通しのもと、協同的な学習を通して子ども一人ひとりが科学概念の構築を図り、その過程で問題解決の方法、観察、実験の技能を向上させる。
↓
理科授業における自己調整学習で必要とされる活動
予想や仮説を協同的に立て、その検証のために問題解決の方法を考慮して、観察、実験を計画する。
予想や仮説を意識しながら観察、実験を行う。その結果について、クラス全体で共有する。
観察、実験結果と予想や仮説との照合を協同的に行い、構築された科学概念について咀嚼した表現を行い、クラス全体でコンセンサスを得る。
科学概念の構築過程を振り返り、既習概念との結びつきや次の学習課題を見いださせる。

表1では、理科授業が、予想や仮説を立てることから始められ、それを検証するために実験を行い、結果に基づいて考察をし、結論を導出する問題解決の過程を子どもが進めていくことが重視されている。この問題解決の過程において、自己調整学習の視点として、子どもが明確な見通しをもって学習を行うために予想や仮説を設定し、それをクラス全体で共有し、考察においてクラスで創発、コンセンサス作りと意味の共有をしていくことなどが含まれている。

つまり、自己調整学習の視点を具現化するために、子どもに問題解決の過程を踏ませ、学習を進めさせる授業を構想することによって、それが「科学的な思考・表現」に関わる学力の形成に寄与すると考えることができる。

2.3 小学校における授業実践

授業実践の目的とは、上述した自己調整学習の考え方に従い、理科授業の計画・実践を行い、授業の展開に伴う子どもの「科学的な思考・表現」に関わる学力の形成過程を授業での発話や授業中に作成されたワークシートの記述から抽出して明らかにすることである。

実践した時期は、2010年2月、対象は横浜市立の小学校第3学年35名であり、単元は「物と重さ」である。

分析は、授業のビデオ記録による発話の分析と、授業中に作成された子どものワークシートの記述を分析した。授業におけるプロトコル分析は本単元の「同じ量の粒では重さは違うのか」を対象とした。

本時の学習の流れとして計画した授業の概要を表2に示す。表2に示すように、「食塩と砂糖を同体積の入れ物に一杯になるまで入れた場合、重さはどうなるのか」を問題とし、進めることとした。まず、子どもは予想をし、自分の考えをワークシートに描画やことばによって記述する。そして、それをクラス全体で共有する場面を設定する。自分の考えを検証するために、実験を行い、結果を記述させる。その結果から、予想時の自分の考えと比較しながら考察し、考察をクラス全体で共有することで、コンセンサスを作っていくこととした。このように、予想を基に観察、実験をさせる、観察、実験結果を整理し、考察する活動などを行うような問題解決の過程を重視し、授業を計画した。

表2 授業の計画

「同じ量の粒では重さは違うのか」	
1.	粒である食塩と砂糖を扱い、同体積の入れ物に一杯に入れた場合、重さは同じか異なるのかを予想する。
2.	自分の予想の根拠を、描画やことばによって表現し、発表する。
3.	同体積の入れ物に入っている食塩と砂糖の重さを、電子てんびんで計測し、比較する。
4.	実験結果を踏まえ、予想時の考えに基づいて考察する。
5.	考察をクラス全体で共有し、結論を導出する。

2.4 結果

分析対象とした授業のプロトコルを表3に示す。表3には、予想の発表場面、結果の共有場面、考察の発表場面を示す。また、プロトコルにおいて、教師の発言をTとし、子どもの発言はCとして示した。さらに、図1から図4に子どもワークシートの記述から、典型的な表現を抽出し示す。

表3 授業のプロトコル

発話番号	プロトコル
【予想の発表場面】	
T1	食塩と砂糖は重さは違うよってという人と同じだよってという人がいたと思います。自分なりの根拠がお話できる人はいませんか？C1さん。
C1	同じだと思います。砂糖と塩は同じ粒だから。ケースに満杯に入れたら同じになるんじゃないかな。
T2	同じ粒だからね。粒としては同じ粒だから、同じ量、かさを入れるとってことね。
C2	粒の大きさが違うから、違うと思う。
T3	粒の大きさが違うから違うと思う。なるほどね。粒の大きさが違うんじゃないか。ということは、同じ粒だから重さ同じですよってという人もいれば、粒の大きさが違うから重さも違うよってという人もいるんだね。はい。じゃあC3さんは？
C3	C2さんと一緒に、違う。食塩は砂糖より粒が大きいから、大きすぎて粒の数がケースに少ししか入らないから、隙間がたくさん出ちゃう。
【結果の共有場面】	
T4	このデータを見て、今日の結果、違うと同じどっちって言えば良いかな？
C4	違う。

T5	食塩や砂糖みたいに粒のものも、「も」だよ。この「も」っていうのは鉄やアルミと同じように違ったんだという意味だね。
【考察の発表場面】	
T6	予想では同じと考えている人がいっぱいいました。ちょっと聞きたいのは、同じ人は今どうやって考えているのかっていうことを聞きたい。何で違うのだろうね。C5さん。
C5	さっきは、同じだと思ったけど、食塩の方が少しだけ粒が大きいから。1個1個が大きいから、1個の粒の大きさが食塩の方が大きいから、重さが重くなる。
T7	なるほど。食塩の方が粒が大きいから。重さの違いは粒の大きさで決まるというのがC5さんの考えね。ちょっとみんな聞くよ？鉄やアルミのとくと、この砂糖や食塩のときは似ていると言えますか？違うと言えますか？
C6	ちょっと似ている。
T8	どこが似ているの？
C7	すかさすとぎっしりで、さらさらとぎっしりっていうか。
T9	なるほどね。食塩の方が何かぎっしり。砂糖の方が何かちょっとすかさつかつぽい。だから食塩より砂糖の方が軽いつて言っている。だから、ちょっと似ているって。だけど、今日C3さんとC5さんが言ってくれたのは、食塩の方がたぶん粒が大きいだろうと。その分、重いだろうと。粒から考えている人が多かったです。はい。じゃあ、ちょっとみんな考えてください。今日の授業で見つけたみんなの考えは何かな？
C8	粒にしても、重さは違った。

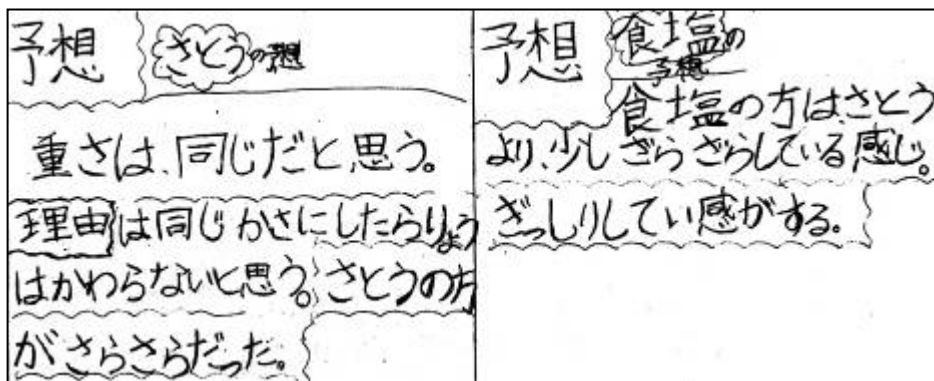


図1 ワークシートの記述1 (予想)

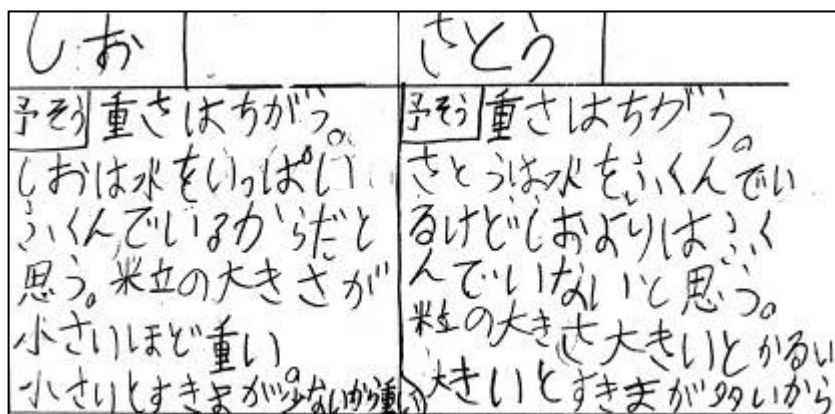


図2 ワークシートの記述2 (予想)



図3 ワークシートの記述3 (考察)

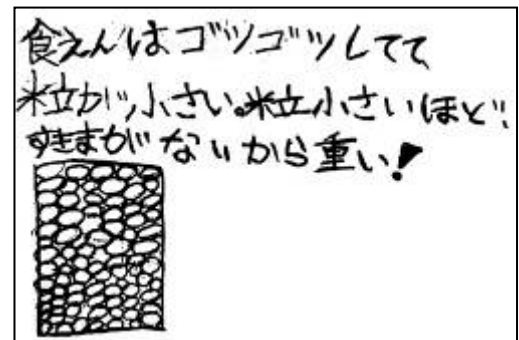


図4 ワークシートの記述4 (考察)

2.5 考察

2.5.1 予想の発表場面

予想の発表場面では、「食塩と砂糖を同じケースに一杯に入れた場合、重さは同じか、違うか。」に対する予想として、C1を発言した子どもは、砂糖も食塩も同じ粒であるため、ケースに入れ、同体積にすれば同じ重さになると予想を発表した。また、食塩と砂糖は重さが異なると予想したC2を発言した子どもは、食塩は砂糖を手に取り観察し、粒の大きさの違いに気づき、粒の大きさが違うために重さが異なると説明をした。さらにC3を発言した子どもは、食塩の粒が砂糖の粒よりも大きいため、ケースに入れた場合、粒の数が少ししか入らずに隙間が出来てしまうため、重さは異なると説明をした。

図1、図2は子どもがワークシートに自分の予想を記述したものである。図1を記述した子どもは、食塩と砂糖の重さは同じであると予想していた。C1を発言した子ども同様に、同じかさになれば、同じ重さになると説明をした。また、図2を記述した子どもは食塩と砂糖は重さが異なると予想していた。食塩と砂糖の重さの違いが何によって生じるかについて、食塩は砂糖よりも水分を多く含んでいるためであると説明していた。さらに、C3を発言した子ども同様に、粒が大きいとケースに少ししか入らずに隙間が出来てしまうと説明をしていた。

この場面では、自己調整学習で必要とされる活動として、子どもが明確な見通しをもって学習を行うための予想の設定の活動が見られた。設定した予想を共有し、その検証のために問題解決の方法を考慮し、見通しをもって実験を行っていかこうとする活動が見られた。このように、予想をクラス全体で共有することによって、予想を意識しながら実験を行っていった。

2.5.2 結果の共有場面

結果の発表場面では、食塩と砂糖の重さを電子てんびんで測り、黒板にそれぞれのデータを書き、データを見て、結果について話合った。データを見て、C4の子どもが食塩と砂糖は同体積の場合、重さが違うと発言し、既習の学習内容(同体積の鉄とアルミは重さが異なる)と同様であることが、クラス全体に共有されていった。

この場面では、自己調整学習で必要とされる活動として、予想を意識して実験を行い、その結果について、クラス全体で共有する活動が見られた。教師はT5において、予想に基づいて考察を行い、コンセンサスを作っていく素地として、実験結果を共有させ、既に共有している予想と結果をクラス全体で照らし合わせられるようにした。

2.5.3 考察の発表場面

考察の発表場面では、まず、教師は T6 で予想に基づいて考察をしていくような指導を行った。それを受けて、C5 のように予想では同じだと思ったけどという発言に、予想に基づいて考察をしている様子が見られた。C5 を発言した児童は、1 個 1 個の食塩の粒が砂糖の粒よりも大きいことから、食塩の方が重かったのではないかと説明をした。

教師は T7 において、既習の内容である同体積の鉄とアルミの重さが異なったことと、今回の問題である食塩と砂糖の場合は、似ているのか似ていないのかについて発問した。それを受けて、C6 を発言した子どもは、似ていると発言し、続く C7 において、砂糖はすかさず、さらさらで食塩はぎっしりであるというイメージを発言した。このイメージは既習の内容（同体積の鉄とアルミの重さ）の考察時に、クラス全体でコンセンサスが作られたイメージである。

教師は T9 で、C7 のイメージを価値づけ、そのイメージと C3, C5 で発言された内容と比較し、説明は異なっているが、共通して粒で考えていることを説明した。ここでは、教師は子どもの粒子概念の萌芽をアセスメントしていったと考えられる。そして、今日の結論は何かを発問した。それを受けて、C8 で粒でも重さは違うということが結論づけられ、クラス全体でコンセンサスが作られていった。

図 3、図 4 は子どもがワークシートに、コンセンサスが作られていった後に、個人の考察を記述したものである。図 3 を記述した子どもは、食塩の方がぎゅうぎゅうに詰まっていて、砂糖はすかさずであるというイメージを表現している。この違いによって、重さの違いが生じていると説明をした。図 4 を記述した子どもは、食塩は粒が小さいから、隙間なくケースに入れることができるために、食塩の方が重かったと説明をした。この図 3、図 4 は共に、考察の共有場面で見られた粒子概念を咀嚼した表現として考えられる。

この場面では、自己調整学習で必要とされる活動として、実験結果と予想の照合を協同的に行い、クラス全体でコンセンサスを作っていく活動が見られた。コンセンサスを作っていく中で、子どもはイメージや考えを創発していった。その創発された考えは、クラス全体に共有されていった。その活動によって、子どもは自分の考えをメタ認知し、考察の共有場面で協同的に構築していった考えを咀嚼しながら、個人の考察を記述していった。このようにして、科学概念が構築されていった。

2.6 小学校理科授業における授業実践のまとめ

本章では、「科学的な思考・表現」に関する学力の形成のために、自己調整学習の考えを援用し、問題解決の過程を重視した授業を構想した。

授業は、子どもが問題に対する予想を設定することから始められ、それを検証するために実験を行い、実験結果に基づいて考察を行い、結論を導出していった。この問題解決の過程において、子どもはクラスの仲間や教師とイメージや考えを創発していった。それを共有していくことによって、自分の考えをメタ認知し、科学概念として意味を構築していった。

このような、問題解決の過程の中で、子どもは自己調整学習を行い、「科学的な思考・表現」に関わる学力を形成し、その結果として、科学概念を構築していったと考えられる。

3. 中学校理科授業に見る理科学習指導と評価の視点とパフォーマンス

3.1 「科学的な思考・表現」に関する学力を形成するための学習活動

中学校理科授業において「科学的な思考・表現」に関する学力を形成するためには、どのような学習活動が必要であるのかを具体的に検討し、明らかにする必要がある。

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）』においては、思考力・判断力・表現力等を形成するために重要な六つの学習活動が示された（中央教育審議会，2008：24-25）。この思考力・判断力・表現力等の形成は、理科教育における「科学的な思考・表現」に関する学力の形成に他ならない。表4はこれらの六つの学習活動を理科授業の具体的な場面で解釈したものである。左列は前述の思考力・判断力・表現力等の形成のために重要な六つの学習活動，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，右列は塩化銅の電気分解の授業実践における学習活動の実例である。

表4 「科学的な思考・表現」に関する学力を形成するために重要な学習活動

思考力・判断力・表現力を形成するために重要な学習活動 【中央教育審議会答申】	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

「科学的な思考・表現」に関する学力を形成するために必要な学習活動を概観すると、①②では自然事象の観察・実験結果を分析してまとめることで、科学的な思考・表現するための基盤をつくり、③④では概念を記述・説明することによって科学概念を構築し、⑤⑥では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問題解決的な学習活動を表していることが明らかである。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、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必要なのである。

学校教育法においても、学力要素が単独ではなく「基礎的・基本的な知識・技能の習得」、「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」, 「主体的に学習に取り組む態度」という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」に関する学力を形成するために重要な学習活動は, 一連の問題解決的な学習として捉える必要性が示されている。

2012年度の学力・学習状況調査においては「理科授業では自分の考え(や考察)をまわりの人に説明したり発表したりしている」という問いに対して, 肯定的な反応を示した子どもの正答率が高いことが示されているが, 自分の考えを説明したり発表したりする学習活動は, 問題解決的な学習において平常的に実践されている活動である。つまり, 一連の問題解決的な学習活動が「科学的な思考・表現」に関する学力の形成に寄与していることが, この調査によって明示されたのである。

3.2 4MATシステムを援用した理科授業デザイン

問題解決的な学習を実践するためには, その背景となる教授・学習論を明らかにする必要がある。本研究では鈴木・森本によって示された4MATシステムを援用した理科授業デザインを問題解決的な学習を実践する枠組みとして用いた(鈴木・森本, 2012)。

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, 1990)。4MATシステムは問題解決的な学習を第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によって説明している。そのため, 各象限における学習活動を理科授業において実践することにより, 問題解決的な学習を実践することが可能となるのである。

表5は, 4MATシステムを援用した理科授業デザインの枠組みである。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」が示されている。各象限において, これらの教授・学習活動を具現化できれば, 問題解決的な学習を実践することが可能になるのである。

表5 4MATシステムを援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

3.3 パフォーマンス評価

理科授業デザインの各象限における教授・学習活動が明らかになったが, これらの教授・学習活

動を具現化するためにはパフォーマンス評価(performance assessment)が有用であると考えられる。

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。

学習において子どもがパフォーマンスをする目的は、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、最終的な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、学習目標を明確し、子どもの概念を価値付けながら、学習を動機づけることが必要なのである。これは、パフォーマンス評価を行うことにより、子どもの学習が促進することが可能となり、理科授業デザインの各象限における学習活動の具現化に寄与することができるということである。

3.4 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。また、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、そこで本研究においては、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ルーブリックを用いている。

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針(評価指標)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、および、尺度の中身を説明する記述語から構成される。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。

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、多次的、多段階的である。理科授業における一般的な評価の観点は「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。

また、パフォーマンス評価は複数の評価者がモデレーション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信頼性を確保するために行う調整作業のことである。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。さらにこうして作成されたルーブリックは理科授業において教師と子どもが共有すること

によって、子どもの目的的な活動を支援するとともに、その妥当性はさらに高められると考えられる。

3.5 中学校における授業実践

3.5.1 授業実践の目的

「科学的な思考・表現」に関する学力を形成するには問題解決的な学習が必要であること、そして問題解決的な学習を実践する枠組みとして理科授業デザイン、各象限における学習活動の視点を具現化するためにはパフォーマンス評価やルーブリックを用いることの有用性がこれまでの議論によって示唆された。これらの有効性については理科授業の実践を通して検証されることが必要である。そこで本研究では、理科授業デザインの枠組みの下でパフォーマンス評価とルーブリックを用いて、子どもが単元内で期待されているパフォーマンスを行っているかを実証的に検証した。

3.5.2 実践概要

実践期間は2013年4月、実践対象は国立大学附属中学校の第2学年40名、実践単元は「電流」の「回路と電流・電圧」である。

3.5.3 学習単元の構造

「電流」の単元の学習内容を表6に示す。子どもは小学校第3学年、第4学年において豆電球や電池、回路のつなぎ方については学習している。そこで本単元では、直列・並列回路における電流・電圧に関する規則性を実験結果の中から見だし、前時で学習した電子の概念を援用しながら、回路の基本的な性質をモデル図によって表現し、理解すること、さらに日常生活や社会と関連付けて電流や回路についての初歩的な見方や考え方を養うことを目的とした。

表6 「電流」単元計画

○ 静電気と電流 (4 時間)
○ 回路と電流・電圧 (6 時間 : 本時)
○ 電流・電圧と抵抗 (6 時間)
○ 電気とそのエネルギー (8 時間)

表7 「回路と電流・電圧」におけるルーブリック

【観点別学習状況評価】 パフォーマンスを評価する観点	パフォーマンスを評価する基準	
	A基準	B基準
【①自然事象への関心・意欲・態度】 電気に関する身近な現象に主体的に関わり、その意味を理解しようとする	電流・電圧や直列・並列回路に対する既有概念を明らかにし、実験を通して芽生えた新たな問いを記述するとともに、自らの学習活動・概念の変化を省察することができる	電流・電圧や直列・並列回路に対する既有概念や実験を通して芽生えた新たな問いを記述することができる
【②科学的な思考・表現】 直列・並列回路における電流・電圧の規則性を実験結果から読み取り、その意味を図やモデルを使って表すことができる	実験の結果から直列・並列回路における電流・電圧をモデルとして作成し、グループや学級における発表を通して解釈を吟味することができる	観察・実験の結果から直列・並列回路における電流・電圧をモデルとして作成することができる
【③観察・実験の技能】 直列・並列回路を作成し、回路の電流や電圧を測定し、表にすることができる	目的を意識しながら直列・並列回路の実験を行い、回路上の電流・電圧を測定し、表などを用いて結果を整理することができる	直列・並列回路の実験を行い、電流・電圧の値を記録することができる
【④自然事象についての知識・理解】 直列・並列回路における電流・電圧の値を説明することができる	直列・並列回路における電流・電圧の値を計算でき、その理由を説明することができる	直列・並列回路における電流・電圧の値を計算することができる

表7は「電流」内の小单元「回路と電流・電圧」におけるルーブリックである。本実践では仮説を基にした実験計画の作成，直列・並列回路の実験と結果の記録，解釈として回路内の電流・電圧のモデルの作成と発表・まとめ，自己評価と新たな問いの記述という流れで実践を行ったが，ルーブリックには，それぞれの場面における子どもの具体的な活動が記述されている。本実践では，これらのルーブリックを教師と子どもが共有して，学習活動に臨んだ。

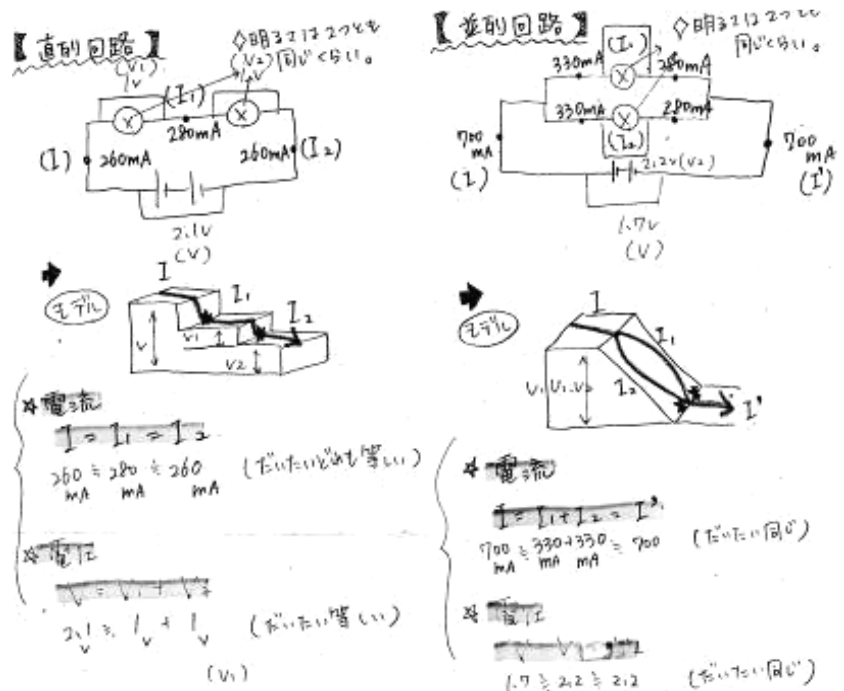


図5 実験直後の直列・並列回路のモデル

3.5.4 授業実践における子どものパフォーマンス

図5は，実験後にA児がポートフォリオに記述した実験結果の解釈である。直列・並列回路の電流・電圧の測定値はそれぞれの回路図の中に示しており，それぞれの回路の電流・電圧の値を説明するモデルを描いている。どちらも電圧を高さ，電流を流体で表しており，直列・並列回路における電流・電圧の測定値を説明することができる。

図6は，A児が参考にしたと考えられる，グループや学級における話し合い・発表において説明された，直列・並列回路における電流・電圧のモデルである。

図3-2左上(5班)はエレベータモデルである。直列回路の電圧の和をエレベータの昇降によって表現しており，電流・電圧の他に起

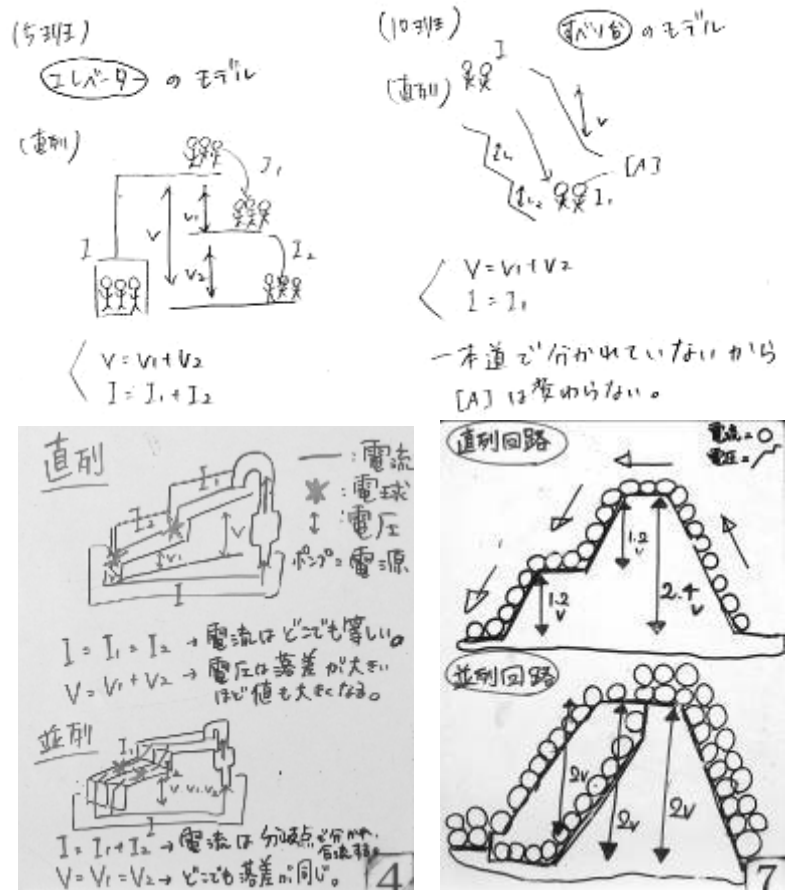


図6 話し合い・発表における様々なモデル

電力も表現することができている。右上（10班）はすべり台モデルである。A児のモデルと類似しているが、流体ではなく電気の流れを人で表現している点が変わっている。左下（4班）はポンプモデルである。電流を流体で表現している点はA児と同じであるが、起電力がポンプという形で追加されており、回路が閉じている様子を表現している。右下（7班）は連続した粒子によって回路を表現したモデルである。

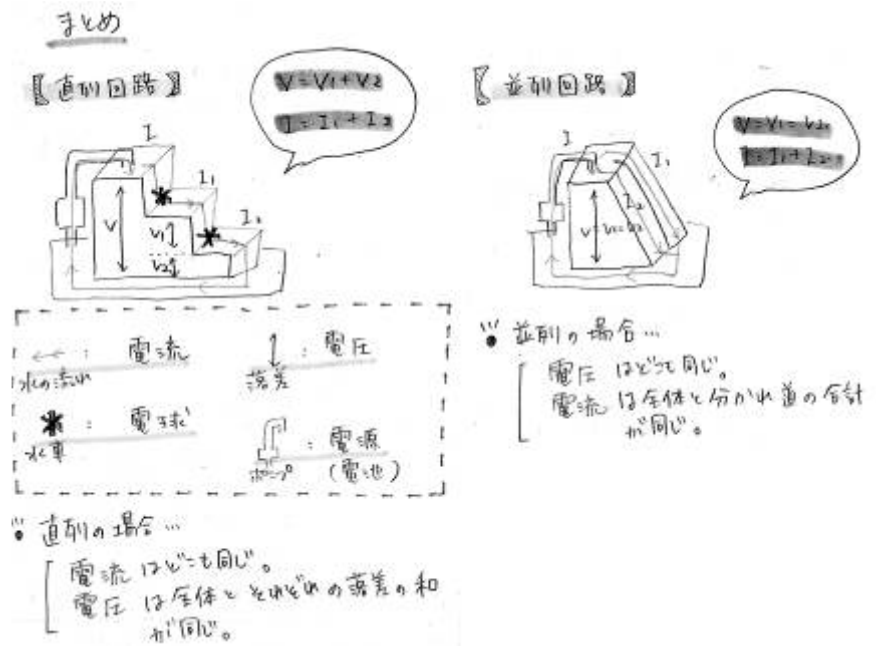


図7 直列・並列回路の最終的なまとめ

このモデルでは、電流がバラ

バラではなく密集した粒子が連続的に流れている点が強調されている。これらのモデルでは人・流体・粒子と様々なメタファーが使われているが、電流は実体を持つもの、電圧は高さ、すなわち位置エネルギー的なものとして表現されていることは明らかである。

これらの直列・並列回路における電流・電圧のモデルは教師によって価値づけられ、教室内においては電流・電圧についての概念が精緻化していった。さらに、この単元ではイオンが未習事項であるため電池のつくりについては十分に議論できないが、電池が回路内において起電力を作り出す役割であり、回路が閉じるという科学概念が構築されたものと考えられる。

図7はこうした話し合いや発表を通じて、A児が最終的にポートフォリオに記述した直列・並列回路のモデルである。実験直後の解釈をベースとして、電流を流体、電圧を高さで表現している点では同じであるが、電池（起電力）をポンプで表現し、回路を閉じた形で表現していることがわかる。これはルーブリックの「科学的な思考・表現」の観点において示された「実験の結果から直列・並列回路における電流・電圧をモデルとして作成し、グループや学級における発表を通して解釈を吟味することができる」という基準を満たしており、子どもは十分にパフォーマンスができたと考えられる。

3.5.5 まとめ

本実践では、理科授業デザインの枠組みの下でパフォーマンス評価とルーブリックを用いて、子どもが単元内で期待されているパフォーマンスを行えることが明らかとなった。これは問題解決的な学習を目的とした理科授業デザインの枠組みと、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」に関する学力が形成できることの証左である。

4. 小学校、中学校理科授業との連携を視野に入れた動物園における理科学習指導と評価の視点

4.1 学校の理科授業と動物園教育との連携による「科学的な思考・表現」に関わる学力の形成

小学校ならびに中学校の学習指導要領解説理科編（文部科学省，1999:73，2008:69，2008:100）では，児童・生徒に実感を伴った理解を図るために，博物館などの社会教育施設と積極的に連携，協力を図り，活用するよう求めている．その一施設である動物園側も，生物学や自然保護に関する教育の社会的役割を重視し，学校教育のカリキュラムと結びつけた教育機能の充実を求めている（世界動物園保全機構，1996:23-26）すなわち，動物園は生物や自然について科学的に学ぶ施設であり，来園者に科学的な視点や知識を与え，科学的思考や態度を形成することが動物園教育の目標とされている（桑原，2005:72-75）．以上から，学校と動物園を連携させれば，子どもの「科学的な思考・表現」に関わる学力形成の効果を高めると考えられる．

しかしながら，全国の動物園を利用する学校数は2002年以降，顕著な増加は見られていない（日本動物園水族館協会，2008:35）．さらに，学校が動物園を利用することによって児童・生徒の科学的思考を養う教育効果を期待する割合が，動物園側よりも学校の教師の方が低い実態がある（松本ら，2002:53-54）．その理由として，教師が動物園を活用する具体的な手立てを見出せていない（松本，2012:23-26）ことや，連携でもたらされる教育効果が具体的に示されていないことが考えられる．そこで，学校と動物園を連携させることによって，「科学的な思考・表現」に関わる学力がいかに形成されるかを，指導と評価方法と共に明らかにすることが求められる．

そこで，連携を促し「科学的な思考・表現」に関わる学力形成の効果を高めるには，学校の理科授業と動物園教育とを関連づけた学習教材の提示の必要性を前提とし，動物園を活用した理科教材「動物たちの食べ方を調べよう！」を開発した．そして授業実践を行い，連携でもたらされる教育効果と，「科学的な思考・表現」に関わる学力形成に寄与する指導と評価の視点を明らかにした．

4.2 教材の開発

学校と動物園を連携させて「科学的な思考・表現」に関わる学力を形成する上で，下記に着眼点において，理科教材を作成した．

4.2.1 見通しをもった観察を行う学習の展開

第1～3章で示した通り，「科学的な思考・表現」に関わる学力の形成には，子どもの問題解決的な学習活動が寄与する．理科の目標にある「見通しをもった観察・実験」も，子どもが予想や仮説をもち，検証して考察するという一連の学習活動を意識しておこなうことにより，問題解決的な学習が成立する（森本，2013:77）．動物園での観察においては，事前に各子どもが予想や仮説を立て，「▽▽なのではないか．この動物の○○を見たい．」と自分の課題をもって観察を行い，事後の考察で思考の修正や発展を図ろうとする活動が重要となる（松本ら，2002）．そこで，学校での事前学習（予想と課題の設定），動物園での学習（観察と記録），学校での事後学習（考察）の展開を想定して開発した．

4.2.2 視点を絞った予想と観察

本教材では、動物の生命維持に不可欠な「食」をテーマにし、理科の学習で関連する小学校 6 年単元の「人の体のつくりと働き」などで活用できるように作成した。そして子どもが明確な目的意識をもてるように、動物の食行動を予想する視点を絞った。食行動は、探索、採食（捕食）、消化、排泄という一連の過程でとらえられ、動物園では動物が食べ物を取り込み咀嚼する採食行動を直に観察できる。動物は食性に応じて歯のつくりや使い方が異なるので、咀嚼の仕方（口の動き）は観察対象として適し、実物がある動物園だから可能な視点である。そこで、食行動について予想・観察する視点を口の動きに絞り、学習を展開することにした。さらに、子どもが自分の経験と関連づけて実感をもって学べるように、煎餅を食べて自分（ヒト）の食べ方を確認する活動を含め、そこから他の動物の食べ方を推論する展開にした。

4.2.3 思考を具現化する表現活動

子どもの科学的思考は、その表現との一体化によって育成される（森本，2013:35）。本教材では、各学習場面で、子どもが自分の思考を身体や記録などで表現し、学びを自覚化する活動を含めた。その内容を表 8 に示す。

表 8 教材における連携授業の展開と表現活動

展開	学習内容	表現活動	教具・資料
事前 学習	自分の歯の使い方を確認 他の動物の食べ方を予想 観察課題を設定	歯のつくりと使い方を言葉で説明する 教具を動かして予想を表現する 予想とその根拠を発表し、話し合う 観察課題を記録紙に書く	動物の歯の写真 顎を動かせる動物のお面 課題&記録シート
動物園 学習	食行動の観察と記録	気づいた事実を課題と同じ記録紙に書く	課題&記録シート
事後 学習	ふりかえりと考察 クラスの仲間との共有化 新たな課題への発展	観察結果を整理し発表し合う 教具を用いて表現する 他者に伝える 新聞などを作成する	顎を動かせる動物のお面

4.3 学校と動物園を連携させた授業実践

4.3.1 連携授業実践の目標と内容

担当教師が本教材を用いて、2004年6月にS市立HT小学校6年3組の児童37名を対象に、静岡市立日本平動物園を利用した連携授業を実践した。6年理科の単元「生き物と養分」に関連させ、「目的意識をもって動物の行動を観察し、科学的な見方や考え方を養う」「動物の体のつくりと働きを多面的に追求する」ことを目標にした。事前学習ではライオン・ゾウ・ヤギの食べ方を予想し合い、動物園では食性の異なる動物を複数種類観察して記録をとった。動物園側の対応は、飼育職員が観察に合わせた給餌や情報提供を行い、教育ボランティアが子どもの観察を支援した。事後学習では、観察結果をクラスで発表し合った後に、気づいた事実を整理して他者に伝えたいことを新聞にまとめた。

4.3.2 調査方法

以下の記録を分析して、教材中のどのような指導や評価が、上記の目標である「体のつくりと働き」についての動物概念を構築し、「科学的思考・表現」の形成に寄与したかを検証した。

- ・事前学習の動画記録（発話分析）
- ・事前に子どもが設定した観察課題と動物園での観察記録内容
- ・事後学習で作成した新聞内容

4.3.3 調査結果

事前学習では、視点を絞って動物の食べ方を予想した結果、子どもは歯のつくりと働きに着目して思考する効果が示された。表9でC1とC2は、ゾウの歯の形状と使い方を関連づけて推論している。また、顎が可動な動物のお面の教具を用いた表現活動によって、自分やクラスの仲間の考えを具現化・共有し、C2・C4のように多角的な食行動の予想が創出する効果が示された。

表9 事前学習のプロトコル

発話番号	プロトコル
C1	ゾウの歯は洗濯板に似て、前後にこすって食べると思う（教具を動かす）。
C2	鼻で巻いて大きい歯でガツンと一発で粉々にして飲み込む。
T1	「こする」と「ガツンと一発」が出たけど他にどう？
C2	もう1つ考えたのが、足で粉々にして、鼻でとってそれを口で食べる。
T2	口に入る大きさで。なぜそうする？
C3	え？手が使えないから。歯がない。
C4	バナナは柔らかいからガツンとやってもつぶれないから、擦り合わせると思う。

つぎに、事前に各子どもが設定した観察課題を分析した結果、その内容は授業で出された様々な予想説に基づいており、子ども全員が、食に関わる動物の体のつくりと働きを観察したいと記述していた。事前学習で視点を絞り、十分な話し合いを行って創出された食べ方についての予想が、今度は個人の問題意識となって焦点化されたことが示された。そして、動物園での観察記録においても、子ども全員が自分の課題を観察し、事実に基づく詳細な記録をしており、子どもが明確な目的意識をもって観察をおこなったことが明らかになった。

さらに動物園での観察記録では、課題以外の事象を新たに発見して自分の考えと関連づける記述が見られた。飼育職員の専門的な説明や、生きた動物との関わりで得られた情報を子どもが取り入れ、図8では、ライオンが出した音を感知し舌の形状と食べ方の関連を思考している。

そして事後学習で作成した新聞内容では、観察した動物たちの食行動の事実が、どのような要因でもたらされるのか、その根拠や関わりについて、科学的に思考した表現が47%の子どもに認められた（表10）。その表現は多様で、「食性」「歯の形」「体つき」「糞や消化」の他に、「野生ではこのような暮らしだから〇〇ではないか」と、野生の生活に発展させて考えた記述も見られた（図9）。動物園での観察結果をふり返り、他者に伝える目的で文章化したことにより、動物の体のつくりと働きに関する概念を構築し、科学的な思考・表現の深化がもたらされたことが示された。

5. 「科学的な思考・表現」に関わる学力の育成を充実させるための指導と評価の視点

本研究では、理科の「科学的な思考・表現」に関わる学力が子どもに十分に定着していない教育課題にそくして、この学力形成を充実させるための指導と評価の視点を明らかにする目的で、実践を通じた検証を行った。

その結果、小学校、中学校、ならびに動物園との連携授業のいずれの実践においても、子どもの問題解決の過程を重視した学習活動が有効であることが明らかになった。小学校の授業実践では、自己調整学習の考えを援用した授業を進め、子どもが自分の考えをメタ認知することにより、科学概念を構築する効果が示された。中学校の授業実践では、問題解決的な学習を目的とした理科授業デザインの枠組みと、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」に関する学力が形成できることが明らかになった。そして、動物園と連携させた授業実践では、視点を絞り見通しをもった観察を行い、自分の学びを表現して吟味する学習活動によって、子どもの動物についての科学的な思考・表現が深化することが認められた。

以上から、子どもが自分の予想や仮説を基に観察や実験を行い、その結果を吟味・考察して発展させる問題解決型の学習を進め、かつ、子どもがその学びを自覚化できる表現活動を取り入れる指導と評価が、「科学的な思考・表現」に関わる学力形成の充実に寄与することが明らかになった。

(註)

(和文)

- ・中央教育審議会(2008)『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)』
- ・中央教育審議会(2010)『子どもの学習評価の在り方について(報告)』
- ・ジョージ・E・ハイン(2010)『博物館で学ぶ』,同成社
- ・国立教育政策研究所(2011)『評価基準の作成,評価方法等の工夫改善のための参考資料【小学校理科】』,教育出版
- ・桑原一司(2005)『教育内容1.自然教育』,新飼育ハンドブック動物園編4,日本動物園水族館協会
- ・文部科学省(1999)『小学校学習指導要領解説理科編』,東洋館出版
- ・文部科学省(2008)『小学校学習指導要領解説理科編』,大日本図書
- ・文部科学省(2008)『中学校学習指導要領解説理科編』,大日本図書
- ・文部科学省(2012)『平成24年度全国学力・学習状況調査【小学校】報告書』
- ・文部科学省(2012)『平成24年度全国学力・学習状況調査【中学校】報告書』
- ・松本朱実・森一夫(2002)「動物園利用による教育的意義と効果的指導法のあり方」,理科教育学研究, Vol. 42, No. 2, pp. 51-61
- ・松本朱実(2012)「動物園を活用した理科授業」,理科の教育, Vol. 61, No. 720, pp. 23-26
- ・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
- ・日本動物園水族館協会(2008)『日本の動物園水族館総合報告書』
- ・世界動物園保全機構(1996)『世界動物園保全戦略(日本語訳)』,日本動物園水族館協会

- ・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
(欧文)
- ・Hadwin, A. F., Jarvela, S. and Miller, M. (2011) Self-Regulated, Co-regulated, and Socially Shared Regulation of Learning, In Zimmerman, B.J. et al.(Eds.) *Handbook of Self-Regulation of Learning and Performance*, Routledge.
- ・McCarthy, B. (1990) Using the 4MAT system to Bring Learning Styles to Schools, *Educational Leadership*, Vol.48, No.2
- ・Perkins, D.N., Crismond, D., Simmons, R. and Unger, C. (1995) *Inside Understanding software goes to school: Teaching for understanding with new technologies*, Oxford University