

子どものパフォーマンスに見る「科学的な思考・表現」

森本信也* ・鈴木一成** ・渡辺理文** ・辻健***

Scientific Thinking and Self-Expression in Children's Performance

Morimoto Shinnya , Suzuki issey ,Watanabe Masafumi,Tsuji Takeshi

1. 「科学的な思考・表現」育成の課題と子どものパフォーマンス

2012年よる全面実施されている小・中学校の学習指導要領において、その主要課題は学校教育法（第30条第2項、第49条）に規定された学力要素の一つである、「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」の育成である。記憶のみにとどめる知識・技能ではなく、これを自ら見出した課題解決に活用させ、知識・技能を子どもの中で生きて働かせることが求められているのである。理科教育に関連させて述べるならば、この課題は目標標準評価のための観点「科学的な思考・表現」の育成である。「考察」と「科学概念」との密接な関わりによる、学習活動の充実である。

ところで、このような新しい評価を進める上で、注目すべき視点がある。それはパフォーマンスである。パフォーマンスを評価として取り入れることについて、これからの学習評価の方向性と視点示した平成22年の中央教育審議会答申「児童生徒の学習評価の在り方について（報告）」（2010：36）は、次のように指摘している。「思考力・判断力・表現力等を評価するに当たって、『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り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。」

上述したように理科教育で「科学的な思考・表現の」の育成は、「考察」とその成果である「科学概念」構築においてなされる。そのため、その活動の充実は、ノートやワークシートを中心とした子ども自身によるレポート作成の中で進められる。パーキンス（Perkins,D.N.,et.al.,1995）は、このような評価を進めるための基本は、子どものその時点での学習成果の総体を表現したものである、と措定する。具体的には、文字表現、描画、数式、グラフ、表、記号等を駆使して表現したものを通して、学習の進捗状況や次の指導に必要な手だてを講じようとするのである。

本研究ではこうした問題意識の下、小学校および中学校理科授業において、具体的に子どものどのようなパフォーマンスが、彼らの「科学的な思考・表現」の育成を果たすのかを実証的に検討する。同時に、目標標準評価の観点「科学的な思考・表現」の内実をより具体的に明らかにする。そして、最終的に「科学的な思考・表現」する能力を育成するための小学校、中学校理科授業デザインの視点についても検討したい。

2. 小学校理科授業に見る「科学的な思考・表現」としてパフォーマンス

2.1 子どものパフォーマンスを評価し、支援する教授行動

第1章において示されているように、パフォーマンスとは、子どものその時点での学習成果の総体を表現したものである(Perkins, D.N., et al., 1995)。具体的には、文字表現・描画・数式・グラフ・表・記号等を駆使して、子どもが表現したものである。第2章では、小学校理科授業において、子どものパフォーマンスを教師が評価し、さらに子どもの表現活動を支援し、科学概念を構築させる教授行動を論じていく。

子どもがポートフォリオに表現した考えやイメージは、その子どもの思考が表出されたものであり、そこにはその子どもの思考が可視化されている。子どもがポートフォリオにおいて、自己の考えやイメージを表出し、それを教室全体に発表し、考えやイメージを共有することは、他者の思考と自分の考えを比較し、咀嚼していく機会となる。また、教師は子どもと対話することによって、子どもの思考・表現を発話として可視化している。教師は、子どもがポートフォリオで表現した考えやイメージを、対話を通して、臨機応変に評価を加えフィードバックを与えながら理科学習を進めている。そこで、子どものパフォーマンスを教師が評価し支援し、子どもと協同的に科学概念を構築していく際における、教師の教授活動を分析していく。また、教師は子どもと共に、いかに科学概念を構築させていくのかについての過程も分析する。その視点として、ブラウン(Brown, A.L.)の相互アプロプリエーション(mutual appropriation)、パリンサー(Palincsar, S.)の対話的な授業における教授行動を取り上げる。

2.2 対話的構築主義アプローチの発展としての相互アプロプリエーション

桜井(2011:28-31)はインタビュー論において、対話的構築主義アプローチの重要性について提案している。語りが、かならずしも語り手があらかじめ保持していたものとしてインタビューの場に持ち出されたものではなく、語り手とインタビュアーとの相互作用を通して、構築されたものであると捉えているのである。つまり、語りがインタビューの場で語り手とインタビュアーの両方の関心から構築された「共同作品」であると考えることができる。

この語り、「共同作品」であるという考えを理科学習で言うならば、科学概念は教室という場において、教師と子ども、時には子どもと子どもが互いに対話を繰り返しながら、協同的に構築した「共同作品」であると考えることができる。こうした対話的構築主義アプローチの視点は、以下に述べるアプロプリエーションの視点として発展が可能である。

ロゴフ(Rogoff, B.)は、ヴィゴツキー(Vygotsky, L.S.)が使った「内化(internalization)」の代わりに「アプロプリエーション(appropriation)」という言葉を用いる。ロゴフは、子どもは教師に与えられた知識を機械的に受容し取り入れる訳ではなく、与えられた知識を自分なりに咀嚼し、取捨選択を繰り返しながら適切に受容していると考えた。ロゴフは、この考えを「アプロプリエーション」と表現したのである。さらにこの「アプロプリエーション」の意味には、個人レベルの知識獲得とは、個人の頭の中に知識や技能が成立していくことではなく、まさにそこに参加している者の間の「相互構築過程」として捉える協同的な学習の視点が含まれている。

このような協同的な学習が行われている理科学習では、子どもは科学概念を構築していく上で、

それぞれの考えの交流を図り、教室というコミュニティの中でコンセンサスを作りながら、自身の考えを精緻化していく。この過程で、子ども一人ひとりが教師や他者（仲間）の考えを咀嚼しながら、自分の考えを振り返り、科学概念を構築していく。このように協同的な学習の中には、アプロプリエーションによる学習を見ることができる。

一方、ブラウン（Brown, A.L.,1993:188-228）は教室の中で教師も科学概念を構築している子どもと同じように、子どもの考えを咀嚼しながら取り入れ、授業の目標へ到達することを目指していると考えた。この教師と子どもの相互作用の過程を「相互アプロプリエーション (mutual appropriation)」と呼んだ。この相互アプロプリエーションは、教室にヴィゴツキーのいう「発達の最近接領域 (ZPD : Zone of Proximal Development)」を具現化する。つまり教師は子どもと対話する過程で、子ども一人では達成することができないが、他者の援助を借りることによって達成することができる潜在的な発達の水準を具体的に彼らに示し、その成果を教授上の視点へと反映させている。この協同的な学習の過程で、教師と子ども共々自らの視点を変化させながら、授業の目標達成を目指しているのである。これが「相互アプロプリエーション」の考え方である。

2.3 対話的な授業における教授行動

相互アプロプリエーションの視点を取り入れた授業を実践する上において、パリンサー (Palincsar, S.) の指摘する対話的な教授活動の分析は有用である。それは、対話を通して教師が子どもの概念を捉えることによって、子どもに対して自らの思考を焦点化させるための視点が分析されているからである。また、子どもの概念を捉え、評価しながら対話的な授業を行うためには、パリンサーの指摘する教授行動による指導が必要である。

パリンサーは対話的な授業における教授行動として①目立たせる、②もどす、③復唱する、④表現させる、⑤付け加える、⑥まとめるの6つを措定している。本研究では、表1に示す黒田・森本（2010:51-62）が教室内において、教師が科学概念の構築を図る教授行動を、パリンサーの考えを基にして、表にまとめたものを分析の視点として用いる。

表1. パリンサー (Palincsar, S.) の対話的な授業における教授行動

①目立たせる (marking)	子どもによる考えの表現において、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)	子どもに考え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表現させる (modeling)	子どもの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)	教師がテキストには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)	子どもの思考の表現を要約する

2.4 調査概要

調査時期は2012年7月、調査対象は横浜市立の小学校の第6学年34名、調査単元は「水溶液の性質」である。

調査方法は、授業のビデオ記録による発話の分析と、授業の中で作成された子どものワークシートの記述分析を行った。授業におけるプロトコル分析は、「炭酸水の中に何が溶けているのか」が課題とされている授業を対象とした。

学習の流れは、クラスで「水溶液を見分ける達人になろう」という単元の目標から、教師は食塩水・ミョウバン水・炭酸水・塩酸を用意した。この4種類の水溶液を見分けるために前時では、それぞれの水溶液を蒸発させた。そして、その実験の結果を振り返り、蒸発皿に残った物質や、蒸発していく様子から、それぞれの水溶液が何であるのかを話し合った。その話し合いの中で、蒸発させただけでは、4種類の水溶液ははっきり見分けをつけることができないため、さらに実験が必要であるという結論に達した。そのため、実験方法を子どもと教師が協同して考えていった。実験方法を考える上で、子どもの興味が炭酸水に向いていたために、「炭酸水の中に何が溶けているのか」という学習目標となった。本時は、炭酸水には何が溶けているのかについて、子どもが予想を発表し、その予想を共有し、その後実験を行った。予想では、子どもは気体（泡）が溶けているという考えや、何も溶けていないという考えが出された。気体（泡）が溶けているという考えでは、どのように水に気体が溶けているのかについてのイメージが出され、そのイメージが教室全体で共有された。それを確かめるために、炭酸水を振り、出てくる泡（気体）を集めて、その気体の性質を調べるために気体検知管を用いて実験を行った。

分析対象とした授業において、「炭酸水の中には何が溶けているのか」についての予想を発表し、共有する場面に関するプロトコルを表2に示す。プロトコルにおいて、教師の発言をT、子どもの発言をCとして表した。番号は、対象とした授業での通しの番号である。また、子どもの考え方を「～説」とし、それに合致する名称をつけ、それぞれ分けて表した。ワークシートは子どもの考えた「～説」のイメージを示す代表的なものを抽出して記載した。

表2. 授業のプロトコル

説	プロトコル
炭酸水には二酸化炭素が溶けているという説	<p>T10:Iさん。その図を見せてください。これね。不思議な図が書いてあるから、みなさん大注目です。じゃねえ。ああ。じゃあねえって言っている。二酸化炭素が入っている。溶けているって言っているけど、Iさんは直接、二酸化炭素だって言いたいよね。</p> <p>C10:炭酸は二酸化炭素なんだよ。</p> <p>T11:なるほど。だってさ、昨日確かに、Aさんも酸がつく物が入っているんじゃないかって言ってたもんね。酸がついてる。で。これを解説して。</p> <p>C11:それで、振らないと水にずっとくっ付いている。</p> <p>T12:あー。振らないと水の中に、この二酸化炭素やらは、Iさんの言う二酸化炭素やらは、こう、くっついていて？</p> <p>C12:で、振ると、水が離れていって、</p> <p>T13:これね。この「振ると」っていうのと共通する。振るとこれが、水が？</p> <p>C13:水と二酸化炭素が離れる。</p> <p>T14:離れちゃう。</p>

	<p>C14:それが泡。 T15:これが離れるんだ。離れて出て？ C15:それで見えるようになる。 T16:水と同化している時は、見えないけれど、振ったら、それが繋がりが切れちゃうのか。ってこと？ C16:そう。 T17:で、Iさんは、これは二酸化炭素だって断固として言いたいわけですね。 C17:イエス。</p>
<p>炭酸水は水がガスを隠し持っているという説</p>	<p>T36:Sさん。これを最後に。これもすごいぞ。これも。水、ガ。水、ガ？ C36:水という人がガスを持ちあげているの。 T37:水っていう人がガを持ち上げてるの。ガっていうのはガスって書いてある。 C37:水がガスを隠している。 T38:あ。水がガスを隠している？それで、手を離しちゃう？ C37:最初、作る時、ガスをその時に持つて。 T38:ああ。そう。作るときを考えているんだ。ガスがすうーって入って行くときに、水がキャッチできる。え？ガスって何？ぶくぶくってやったら、溶けるの？そこをまた今度、調べよう。水が隠しているような感じか。</p>

2.5 考察

対象とした授業において、教師と子どもの相互アプロプリエーションが行われている様子が結果として得られ、また、相互アプロプリエーションの過程で、教師がパリンサーの指摘する6つの教授行動を実践している様子が結果として得られた。さらに、教師が発達の最近接領域を、具体的に子どもに示している様子も見ることができた。表3に相互アプロプリエーションの進行とパリンサーの教授行動についての関係を示す。次項から具体的に、それぞれの説の構築場面の相互アプロプリエーションの進行と、その際の教授行動について説明する。

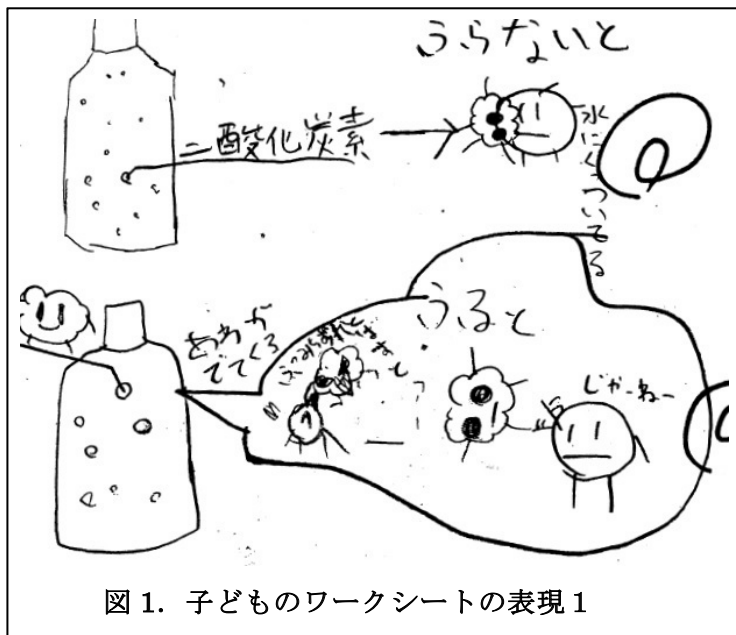
表3. 相互アプロプリエーションについてのプロトコル分析

論	相互アプロプリエーションの進行	Palincsar,S.の教授行動
<p>炭酸水には二酸化炭素が溶けているという説</p>	<p>子どものワークシートを見て、T10で教師は、子どもが一番言いたいことは、炭酸には二酸化炭素が溶けているということなのかを発問した。それを受けて、C10で子どもは、炭酸の中には二酸化炭素が溶けているという考えを出した。そして教師はT11で、その考えに同意し、炭酸には言葉に「酸」のつく物が入っているのではないかという、前時に出された考えと結びつけ、教室全体に共有させた。さらにT11では、教師はワークシートの表現について解説するように促した。</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p>C11からT14において、子どもは教師との対話を通じて、二酸化炭素が炭酸水を振らない限り、水とく</p>	<p>①目立たせる（炭酸水には、二酸化炭素が溶けているという考えに注意を向けさせた。） ④表現させる（子どもにワークシートの考えを表現させようとした。） ⑤付け加える（前時の、炭酸には言葉に「酸」のつく物が入っているのではないかという考えを、付け加えた。）</p> <p>③復唱する（水と二酸化炭素が離れるということを復唱した。）</p>

	<p>っ付いているという考えを出した。その対話の中で、教師は T12 や T14 において、子どもの考えを復唱することで、考えに同意し、教室全体に共有させようとした。また T12 では、子どものイメージを深めるために、水に付いている二酸化炭素のその後の行方について発問を行った。</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p>C14, C15 で、教室で共有されている「泡」が溶けているという考えに、子どもが自分の考えをつなげて、二酸化炭素が泡として見えるようになるという考えを出した。ここでは C14 を受けて、T15 で教師は、二酸化炭素が水と離れてどうなるのかについて発問をしたことで、C15 において二酸化炭素が泡として見えるようになるという考えが出された。</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p>T16 で教師は T10 から C15 までの相互アプロプリエーションを通じて構築した考えを、「二酸化炭素は水とくっついている時には見えないけど、振ると繋がりが切れて、泡として見えるようになる」というまとめを行った。そして、そのまとめで良いのかを発問し、T17 において、子どもの一番言いたかったことを振り返り、まとめを行った。</p>	<p>④表現させる（水に付いている二酸化炭素のその後の行方について発問し、表現させようとした。）</p> <p>④表現させる（二酸化炭素が水と離れてどうなるのかについて発問をし、表現させようとした。）</p> <p>①目立たせる（炭酸水には、二酸化炭素が溶けているという考えに注意を向けさせた。）</p> <p>②もどす（炭酸水には二酸化炭素が溶けているという考えに戻した。）</p> <p>③復唱する（泡が見えるようになると復唱した。）</p> <p>⑥まとめる（二酸化炭素は水とくっついている時には見えないけど、振ると繋がりが切れて、泡として見えるようになるというまとめを行った。）</p>
<p>炭酸水は水がガスを隠し持っているという説</p>	<p>T36 において、教師は子どものワークシートを見て、水とガは何を表しているのかを発問している。それを受けて C36 で、水を人に見立てて、ガスを持ち上げているというイメージが出された。そして、教師はその考えに同意し、教室全体に共有させた。</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p>C37 で、水がガスを隠しながら持っているというイメージを深める考えが出される。T38 で教師はそれを受けて、ガスと水が離れる状況についてのイメージを深めるために、発問をした。</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p>C37 で炭酸を作るときに水がガスを持つというイメージが出された。教師は T38 で、炭酸水を作る時に、水が入ってきたガスをキャッチし、水が隠しているというまとめを行った。そして、ガスを水に入れたら、溶けるのかについてイメージを深めるために発問をした。そして、次時に繋がる問題提起を行った。</p>	<p>① 立たせる（水とガスが表現しているものに、注意を向けさせた。）</p> <p>③復唱する（水がガスを持ち上げていると復唱した。）</p> <p>③復唱する（水がガスを持ち上げていると復唱した。）</p> <p>⑤付け加える（水とガスが離れる時のイメージを付け加えた。）</p> <p>④表現させる（水とガスが離れる時のイメージを表現させようとした。）</p> <p>③復唱する（炭酸を作る時のイメージについて復唱した。）</p> <p>⑥まとめる（水が入ってきたガスをキャッチし、水が隠しているというまとめを行った。）</p> <p>①目立たせる（気体は水に溶けるのかについて注意を向けさせた。）</p>

2.5.1 炭酸水には二酸化炭素が溶けているという説の構築過程における相互アプロプリエーション

この説は、炭酸水には二酸化炭素が溶けていて、水と二酸化炭素である泡がくっ付いているというイメージを表現した説である。また、この論は、炭酸水を振ることによって、二酸化炭素が水から離れ、離れた二酸化炭素が泡として出てくるために、目で見えるようになる」と説明する。炭酸水は振ると、泡がたくさん出てくるということ、また、二酸化炭素は溶けている（炭酸水を振っていない）時には、目で存在を確認することができないという生活経験により、考えられた説であると考えられる。この説の構築過程を以下に示す。また、この説が表現された子どものワークシートを図1に示す。



教師は、子どものワークシートを見て、T10において、子どもの一番言いたいことは、炭酸には二酸化炭素が溶けているということであるかについて発問した。ここで教師は、パリンサーの教授行動である子どもの意見を「目立たせ」、「表現させる」を行っている。それを受けて、C10で、子どもは二酸化炭素が溶けているという考えが出された。そして、教師はT11でそれに同意し、前時の「炭酸には言葉に酸がつく物が入っている」という考えにつなげた。ここで教師は、前時の考えを「付け加える」ことを行っている。

そして、C11からT14までの教師と子どもの相互アプロプリエーションから、二酸化炭素は炭酸水を振らない限り、

水とくっ付いているという考えが構築された。その相互アプロプリエーションの過程で、教師はT12やT14において、子どもの考えを「復唱する」ことで同意し、教室全体に共有させた。また、教師はT12で、水に付いている二酸化炭素の行方についてのイメージを深めるために発問をし、「表現させた」。ここに発達の最近接領域の具現化が見られる。それによって、C12で炭酸水を振ると、水と二酸化炭素が離れるというイメージが出された。

C14とC15では、教室全体に共有されていた「炭酸には泡が溶けている」という考えに、子ども自身が自らの考えを繋げて、二酸化炭素が泡として見えるようになるという考えを出した。C14からC15までの相互アプロプリエーションの進行では、教師はC14の考えを取り入れて、T15において、二酸化炭素が水と離れるとどうなるのかについて発問をして、「表現させ」ようとした。この発問が足場づくりの役割となり、C15で二酸化炭素が泡として見えるようになるという考えが出された。

最後に、T16で教師はT10からC15において構築した説を、「二酸化炭素は、水とくっ付いている時には見えないが、振ると繋がりが切れて、泡として見えるようになる」という「まとめ」を行った。さらに教師は、そのまとめで良いのかを子どもに発問し、T17において子どもの一番言いたかったことに話を「もどし」、その考えを「目立たせる」ことで、まとめを行った。ここで教師は、T10からC15までの相互アプロプリエーションを通じて構築した説のイメージを価値づけ、それをまとめることで、科学概念構築のための支援を行っている。つまり、T16とT17に発達の最近接領域の具現化が見られた。

2.5.2 炭酸水は水がガスを隠し持っているという説の構築過程における相互アプロプリエーション

この説は、炭酸水のイメージとして、水がガス（気体）を手を持って、隠していると説明している。そして、炭酸水を蒸発させたときに、何も残らなかったという前時の実験から、「蒸発したとしても、もとはガスだから水と一緒に消えてしまう」と考えている説である。この説の構築過程を以下に示す。また、この説が表現された子どものワークシートを図2に示す。

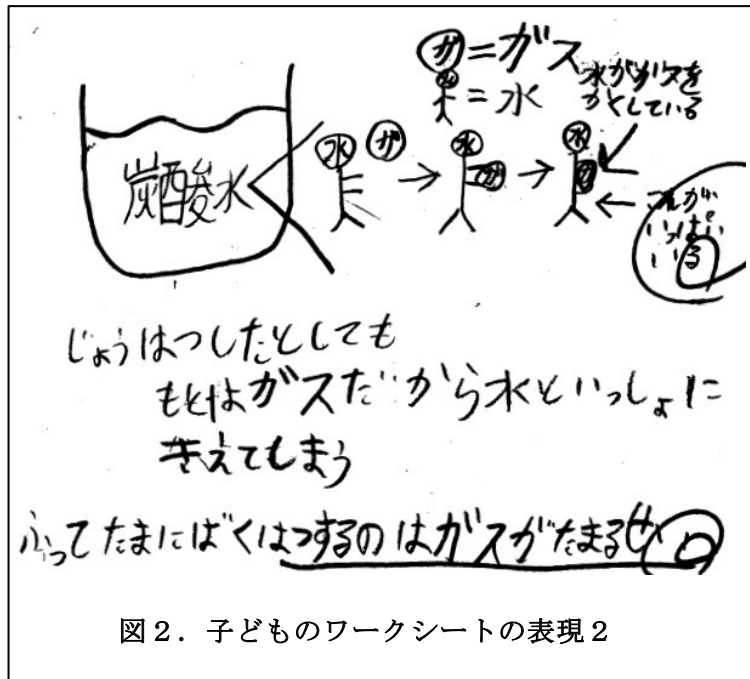


図2. 子どものワークシートの表現2

最後に、C37で炭酸を作る時の水がガスを持つイメージが出された。教師は、T38で、炭酸水を作る時に水がガスをキャッチするという「まとめ」を行った。また、ガスは水に溶けるのかについて発問し、次時につながる問題を提起した。ここで教師は、T36からC37までの相互アプロプリエーションを通じて構築した説のイメージを価値づけ、それをまとめることで、科学概念構築のための支援を行っている。つまり、T38に発達の最近接領域の具現化が見られた。

2.6 小学校理科の授業実践のまとめ

第2章では、子どものパフォーマンスを教師が評価し、それを支援していく教授行動について分析を行った。その視点として、教師と子どもの相互アプロプリエーションに焦点を当てた。

相互アプロプリエーションが実践されている授業では、子どもの考えたイメージの発露が、教師によって協同的な側面から支援され、対話を通して進められてきたことが明らかである。子どもと教師との対話を、協同的な学習の視点である相互アプロプリエーションの視点を用いて分析することによって、教師が子どもに発達の最近接領域の内容を連続して示し、それによって子どもの科学概念に関わるイメージが構築されていく様子を見ることができた。この相互アプロプリエーションを実践することによって、授業をデザインし、その過程が子どもと教師において意識化され、相互作用が行われることによって、さらに子どもの考えやイメージが深まり、科学概念が構築されていくと考えられる。

教師はT36において、子どものワークシートを見て、水とガスが何を示しているのかを発問し、「表現させた」。ここでは水とガスへ、教室全体に注意を向けさせるために「目立たせて」いる。それを受けてC36で、水を人に見立て、ガスを持ち上げているというイメージが出された。そして教師はT37で、その考えを「復唱して」いる。

そして、C37で水がガスを隠し持っているというイメージを深める考えが出された。その考えを教師は取り入れ、ガスと水が離れる状況についてイメージを深めるために発問をし、「表現させ」ようとした。この発問が足場づくりの役割をしている。

3. 中学校理科授業に見る「科学的な思考・表現」としてのパフォーマンス

3.1 「科学的な思考・表現」の力を育成するための理科授業デザイン

中央教育審議会答申「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」（2008:18）では、「科学的な思考・表現」の力を育成するために、以下の六つの学習活動が必要であることが示された。

- ①体験から感じ取ったことを表現する
- ②事実を正確に理解し伝達する
- 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
- ④情報を分析・評価し、論述する
- ⑤課題について、構想を立て実践し、評価・改善する
- 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

これら六つの学習活動を概観すると、理科において「科学的な思考・表現」の力を育成するためには、自然事象の観察・実験結果を分析してまとめ、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、一連の学習過程が必要であると措定することができる。

また、これら六つの学習活動が学校教育法に示されている三つの学力要素と対応関係を持っていることは明らかである。具体的には、①②の自然事象の観察・実験結果を分析してまとめる活動は学力要素である「基礎的・基本的な知識・技能の習得」、③④の考えを記述・説明することによって科学概念を構築する活動は学力要素である「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」、⑤⑥の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活動は学力要素である「主体的に学習に取り組む態度」とそれぞれ対応しており、これらの視点を生かした教授・学習活動が「科学的な思考・表現」の力を育成するために必要であると考えられる。

森本ら（2011:189）の論を援用すると、これら三つの学力要素は、授業実践の場面において、観点別学習状況評価という形で教授・学習活動に寄与することになる。具体的には、学力要素は次のように観点別学習状況評価へと読み替えて実践される。

- ・ 基礎的・基本的な知識・技能の習得→「知識・理解」「技能」
- ・ 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・表現」
- ・ 主体的に学習に取り組む態度→「関心・意欲・態度」

すなわち、授業実践の場面において「科学的な思考・表現」の力を育成するには、観点別学習状況評価の各観点における子どもの学習活動を十全に実践することが必要であり、その具現化のためにはパフォーマンスを評価することが求められていると考えることができる。

3.2 子どものパフォーマンスを評価するための課題

ハート（Hart, D., 1994:39-42）によれば、パフォーマンスを評価するための課題は、「短い評価課題」「イベント課題」「長期にわたる拡張課題」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長い期間にわたるプロジェクト課題で

あるため、カリキュラムの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る。

「短い評価課題」は、子どもが基本的概念、概念と概念の関連性、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。通常、この課題では子どもの学習を支援するための足場かけが行われるため、学習の導入時、あるいは省察時に用いることが有用であると考えられる。この課題の実践例としては、概念と概念をリンクワードによって関連付ける「概念地図法」、予想や新しい疑問の自由記述に代表される「オープンエンドな課題」がある。

「イベント課題」は問題解決能力をはじめとした幅広い学習活動を評価するための課題である。「イベント課題」は協同的な学習において、教師の観察、子どものポートフォリオの採点、自己評価、相互評価等を組み合わせて評価を行う。そのため、学習活動の中心となる観察・実験場面や考察場面などに用いることが有用であると考えられる。この課題の実践例としては、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、検証を行う「問題解決的課題」、課題を解決する上で必要なプロセスを子どもが習得しているかを評価する「プロセス評価課題」がある。

これらのパフォーマンスを評価するための課題を有効に活用することで、観点別学習状況評価の各観点における教授・学習活動を支援することが可能になると考えられる。

3.3 中学校における授業実践

3.3.1 授業実践の目的

これまでの議論から、理科授業において「科学的な思考・表現」の力を育成するには、観点別学習状況評価の各観点において、子どものパフォーマンスを評価する必要性があることが明らかとなった。

そこで本研究では、授業実践を通して、観点別学習状況評価の各観点において子どものパフォーマンスを評価することにより子どもの科学概念が構築されるかを実証的に検証した。

3.3.2 実践概要

実践期間は2012年6月、実践対象は国立大学附属中学校の第1学年40名、実践単元は「植物の体のつくりと働き」の「葉・茎・根のはたらき」である。

3.3.3 学習単元の構造と単元計画

本単元「葉・茎・根のはたらき」では、いろいろな植物の葉・茎・根のつくりについての観察を行い、その観察記録に基づいて、葉・茎・根のつくりの基本的な特徴を見いだすとともに、それらを光合成、呼吸、蒸散に関する実験結果と関連付けてとらえる

表4. 「葉・茎・根のはたらき」単元計画

- 葉・茎・根の観察・実験 (5時間)
 - ・ 実験計画の作成と予想
 - ・ 実験の実施と結果の記録
 - ・ 実験の解釈と発表
 - ・ 新しい疑問と自己評価
 - ・ まとめ
- 光合成の実験 (7時間)
- 呼吸と蒸散 (3時間)
- 単元のまとめ (1時間)

ことが学習の目的である。

子どもは小学校第6学年において、葉にはデンプンができること、植物の中に水の通り道があることを学習しており、本単元の学習においては観察・実験を通して、植物のつくり、光合成や呼吸といった働きについての理解をさらに深めることが重要となる。

本単元における指導計画は表4に示した通りである。今回は「葉・茎・根のはたらき」の観察・実験場面で授業実践を行った。

3.3.4 実践におけるルーブリック

表5は「葉・茎・根のはたらき」の単元のルーブリック（評価指標）である。単元名と学習目標は前述したものと同一である（3.3.3 参照）。表5左列は観点別学習状況評価の各項目におけるパフォーマンスを評価するための視点、中央列と右列はそれぞれの観点のパフォーマンスを評価する際のA,Bの基準を示している。このルーブリックは教師と子どもの間で学習活動の要点として共有化される。

表5. 「葉・茎・根の体のしくみと働き」におけるルーブリック

単元名:葉・茎・根のはたらき

学習目標:身近な植物などについての観察、実験を通して、生物の調べ方の基礎を身に付けさせるとともに、植物の体のつくりと働きを理解させ、植物の生活と種類についての認識を深める。

【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】 植物の観察を通して植物に決まったしくみが存在することを調べ、この単元で得られた結果を他の様々な植物で適用できるか試そうとする。	既有知識を明らかにし、観察・実験を通して芽生えた新しい疑問をわかりやすく記述するとともに、自分の概念がどのように変化したのかを省察することができる。	既有知識や実験を通して芽生えた新しい疑問を記述することができる。
【②科学的な思考・表現】 葉・茎・根のつくりと水の通り道の関係を観察・実験の結果を用いて合理的に説明できる。	観察・実験の結果から葉・茎・根の解釈を行い、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、維管束と気孔のしくみを明らかにするとともに植物内の水の通り道について説明することができる。	観察・実験の結果から解釈を行い、グループや学級における発表を通して、維管束と気孔について記述することができる。
【③観察・実験の技能】 葉・茎・根の観察を通してその中心から決まったしくみが並んでいることを調べる。	目的を意識しながら植物の葉・茎・根を観察する実験を行い、染色を行った上で維管束と気孔のしくみを記録することができる。	観察・実験を行い、維管束と気孔の観察をすることができる。
【④自然事象についての知識・理解】 葉・茎・根の基本的なつくりを理解する。	葉・茎・根のしくみを植物の分類と関連付けられるとともに、光合成や蒸散と結び付けて理解している。	葉・茎・根のしくみについて理解している。

①自然事象への関心・意欲・態度の観点においては、植物の観察を通して植物に決まったしくみが存在することを調べ、この単元で得られた結果を他の様々な植物で適用できるか試そうとするパフォーマンスが期待される。本実践では、このパフォーマンスを評価するために、子どもが既有知識を明らかにし、観察・実験を通して芽生えた新しい疑問をわかりやすく記述する「オープンエンドな課題」と、自分の概念がどのように変化したのかを省察する「概念地図法」を設定した。

②科学的な思考・表現の観点においては、葉・茎・根についてのつくりと水の通り道の関係を観察・実験の結果を用いて合理的に説明できるパフォーマンスが期待される。本実践では、このパフォーマンスを評価するために、観察・実験の結果から葉・茎・根の解釈を行い、グループや学級における発表を通して解釈を吟味する「プロセス評価課題」と、維管束と気孔のしくみを明らかにするとともに植物内の水の通り道について解釈をおこなう「問題解決課題」を設定した。

③観察・実験の技能の観点においては、葉・茎・根の観察を通してその中心から決まったしくみが並んでいることを調べるパフォーマンスが期待される。本実践では、このパフォーマンスを評価するために、目的を意識しながら植物の葉・茎・根を観察する実験を目的的に実行する「問題解決課題」と、染色を行った上で維管束と気孔のしくみを記録（スケッチ）する「プロセス評価課題」を設定した。

④自然事象についての知識・理解の観点においては、葉・茎・根の基本的なつくりを理解し、葉・茎・根のしくみを植物の分類と関連付けられるとともに、光合成や蒸散と結び付けて理解するパフォーマンスが期待される。本実践ではこれら进行评估するために、葉・茎・根の観察、光合成や呼吸の実験活動を行った上で、定期試験によって評価することとした。

本実践では、学力要素として示されている順序で評価を行った。具体的には、③観察・実験の技能の観点→②科学的な思考・表現→①自然事象への関心・意欲・態度の順であり、評価は子どもの実験報告書の記述分析により行った。

3.3.5 観察・実験の技能の観点におけるパフォーマンス評価

図3は、実験報告書に記録されたアスパラガス、ユリ、ヒマワリの観察・実験結果である。これは維管束と気孔を観察し水の通り道を明らかにするという「問題解決課題」と、観察の際にはスケッチの技法を用いるという「プロセス評価課題」を設定した際の教授・学習活動の成果であり、観察・実験の技能の観点におけるパフォーマンスであると考えられる。

図3上部には、アスパラガスを輪切りと縦切りにして観察した維管束の断面と、ユリの気孔が記録されている。この記録は観察した対象をなるべく大きく単線で描くというスケッチの技法が用いられていることから、観察中のスケッチというプロセスを意識して学習活動を行っていることが明らかである。さらに、維管束と気孔の観察だけでなく葉脈の全体像も記録していることから、植物の中で維管束の水の流れがどうなっているのかを明らかにするという目的的な学習活動の表れであると考えられる。

これらの分析から、「問題解決課題」と「プロセス評価課題」のパフォーマンスを評価することにより、子どもは観察・実験に必要な技能を習得できるとともに目的的な観察・実験を行うことができることが明らかになった。これは、観察・実験の技能の観点において重要な、自然事象の観察・実験結果を分析してまとめる学習活動が具現化できたことの証左である。

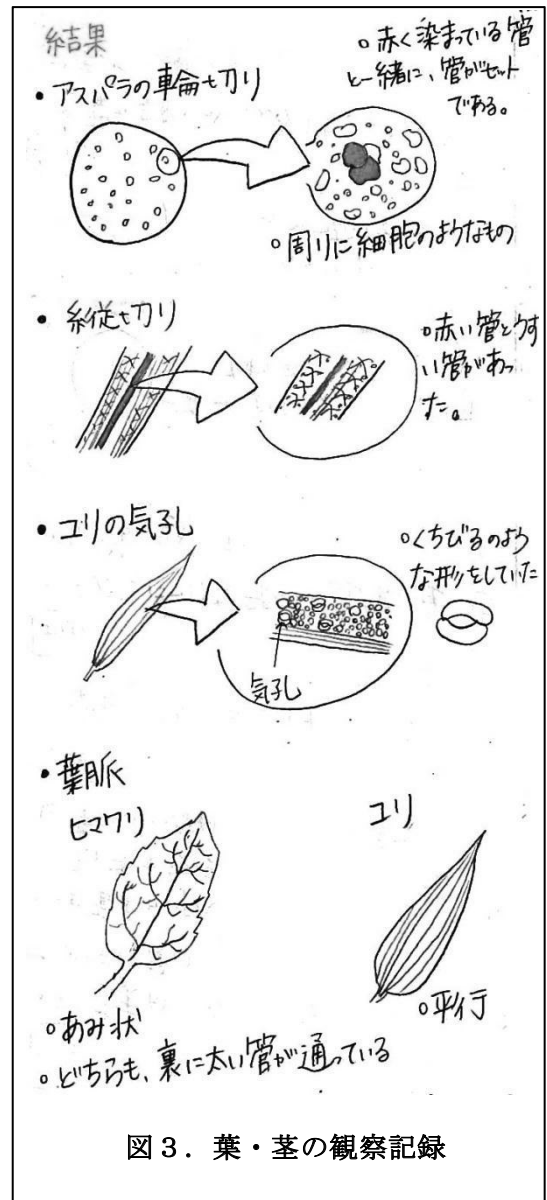


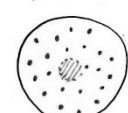
図3. 葉・茎の観察記録

3.3.6 科学的な思考・表現の観点におけるパフォーマンス評価

図4は、実験報告書に記述された、維管束と気孔、そして水の通り道についての最終的なまとめである。このまとめは、子ども自身が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」と、維管束と気孔を観察し水の通り道を明らかにするという「問題解決課題」を設定した際の教授・学習活動の成果であり、科学的な思考・表現の観点におけるパフォーマンスであると考えられる。

★維管束★

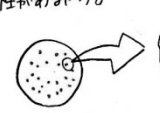
① 輪切り
・ 単葉類



※たぐんの上に維管束がある。
→ 全体に水や養分を届けるため。

※内側(●)には維管束がなくて、固い。(芯のようなもの)
→ 植物の全体を支えるため。

※逆に、外側(○)のところに維管束がない。
→ 茎が傷つたときに維管束も傷つく可能性があるから。




師管は細い
→ 養分を届けるので、おれ太くなくても大丈夫だから

道管のうち、2つは色が違ってない
→ 色が違ってない。

道管の内側にある
→ 師管と道管のちがいが大切だから

★気孔★



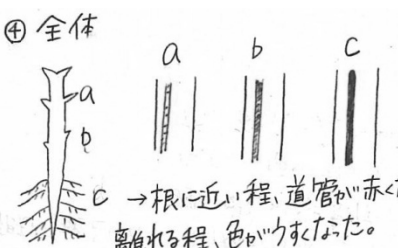
※三日月々の細胞に囲まれたおき間を気孔という。

※気孔では、呼吸、植物内で不要な水分を出す(蒸散)はたらしめる。


水蒸気として

※葉の裏側に多い
→ ①表側は光合成をするための葉緑体が多いから、蒸散が少なくなるから。
②呼吸は光合成のほうに日光が当たらないといふのは、蒸散は少ないので、おれわじ表にいらなければならないから。
※開いたり閉じたりしている。
→ 例え、呼吸などは口を開いて酸素を吸(ためる)するから。

④ 全体



a → 根に近い程、道管が赤くなり、離れる程、色がくすんだ。



管がある。(維管束が通る。)

水分や養分は根から吸収され、茎を通り葉脈を通して植物全体に届く。

図4. 観察・実験のまとめ

図4左部・中央部においては、アスパラガスを輪切りと縦切りにして観察した維管束のつくりについて解釈を進めている。子どもは染色されたアスパラガスの茎の観察結果から、植物には水を運ぶ維管束があって芯と表面には存在してしないこと、水分や養分は根から吸収され茎を通り葉脈を通して植物全体に届くことを記述している。また、図3.2右図においては葉の裏面の観察結果から、気孔は光合成を行わない場所に存在し、蒸散や呼吸を行う役目があると記述している。

これらの解釈は、グループや学級での話し合いや発表活動を行い、学級内で発表された多様な考えを参考にしてまとめていたことから、協同的な学習を通じて概念の比較・検討を行い、概念を精緻化したと考えられる。また、維管束と気孔についての解釈は、維管束と気孔のつくりそのものから、光合成や呼吸、蒸散といった多くの現象を関連付けて行われている。これは植物内の水の通り道について説明するという目的を見据えて解釈を進めることにより生じたと考えられる。

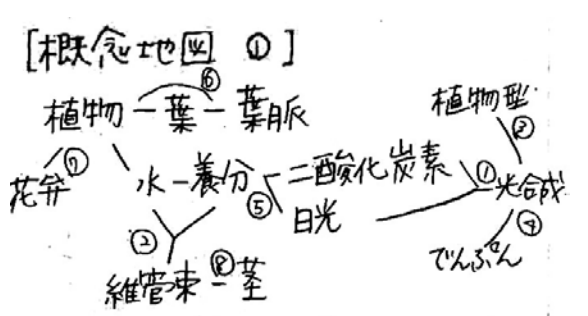
以上の分析から、「問題解決課題」と「プロセス評価課題」を設定することにより、子どもはグループや学級で話し合いや発表をする技能を習得するとともに、自然事象に対する考えを精緻化し

て科学概念を構築できることが明らかになった。これは、科学的な思考・表現の観点において重要な、概念を記述・説明することによって科学概念を構築する活動が具現化できたことの証左である。

3.3.7 自然事象への関心・意欲・態度の観点におけるパフォーマンス評価

図5、図6は①自然事象への関心・意欲・態度の観点における子どものパフォーマンスである。図5は実験前に、図6は実験後に実験報告書に記述されたものである。

図5の「概念地図」の記述には水や養分を中心とした図が描かれている。この図からは小学校で学習した水の通り道を基本として、維管束など新しく学習する植物の各部分を関連付けて考えようとしていることが読みとれる。さらに「知っていること（オープンエンドな課題）」には、光合成や呼吸についての知識が断片的に記述されており、子どもが維管束と気孔を光合成や呼吸などと関連付けて理解しようとしていることが明らかである。



[概念地図 ①]

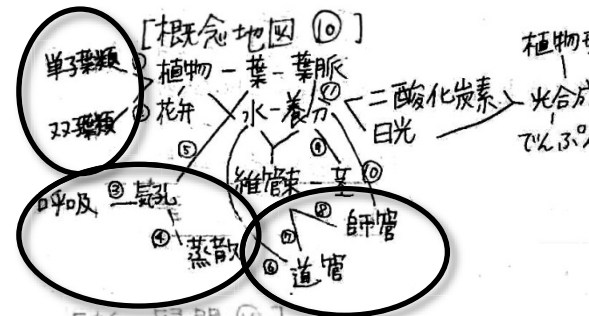
植物-葉-葉脈
 ① ②
 ③ ④
 ⑤
 ⑥
 ⑦
 ⑧
 ⑨
 ⑩
 ⑪
 ⑫
 ⑬
 ⑭
 ⑮
 ⑯
 ⑰
 ⑱
 ⑲
 ⑳

植物型
 ②
 ③
 ④
 ⑤
 ⑥
 ⑦
 ⑧
 ⑨
 ⑩
 ⑪
 ⑫
 ⑬
 ⑭
 ⑮
 ⑯
 ⑰
 ⑱
 ⑲
 ⑳

① 植物は光合成をして栄養をつくらしている。
 ② 水と養分が流れるところをまとめて維管束という。
 ③ 植物型プラントも光合成をする。
 ④ 養分=デンプン=のこ。光合成でデンプン作る。

[知っていること ②]

- ・植物は、二酸化炭素を日光で養分をつくらしている。これを光合成という。
- ・酸素を出している。たが、光合成がでない日光がでている間は呼吸をする。



[概念地図 ②]

① ②
 ③ ④
 ⑤ ⑥
 ⑦ ⑧
 ⑨ ⑩
 ⑪ ⑫
 ⑬ ⑭
 ⑮ ⑯
 ⑰ ⑱
 ⑲ ⑳

植物型
 ②
 ③
 ④
 ⑤
 ⑥
 ⑦
 ⑧
 ⑨
 ⑩
 ⑪
 ⑫
 ⑬
 ⑭
 ⑮
 ⑯
 ⑰
 ⑱
 ⑲
 ⑳

① なせ、双子葉類と単子葉類では葉脈が違ってくるのか
 → 子葉が2枚... その分栄養が必要になってくるので網状になる全体に届ける。
 子葉が1枚... 双子葉類よりは栄養が不要なので網状になる必要がな
 ○ 双子葉類は茎が太くなるか、単子葉類は太くなるのか？ 太くなるとしたら、どのようなしくみか？

[新しい疑問 ①]

図5. 実験前の概念地図と自由記述

図6. 実験後の概念地図と自由記述

図6の「概念地図」は図5の「概念地図」を基本としながら、道管、師管、気孔、呼吸、蒸散、単子葉類、双子葉類という概念ラベルが追加されている。これは維管束の学習を通じて道管・師管のしくみについての理解が深まり、気孔の学習により、呼吸と蒸散についての理解が深まったと考えることができる。また「新しい疑問（オープンエンドな課題）」においては、維管束と葉脈の学習から網状脈・並行脈に興味を持ったことが記述されており、将来的な学習事項である植物の分類への足掛かりの基礎が見受けられる。

これらの分析から、「概念地図」「オープンエンドな課題」を設定することにより、子どもは学

習の前後において自らの既有知識や概念の構造を可視化し、学習を省察すると同時に、その学習を基にして新しい課題を見出せることが明らかとなった。これは、自然事象への関心・意欲・態度の観点において重要な、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できたことの証左である。

3.3.8 授業実践のまとめ

第3章では、観点別学習状況評価の各観点においてパフォーマンスを評価することにより、子どもの科学概念が構築され「科学的な思考・表現」の力が育成されることが明らかとなった。

また、各観点におけるパフォーマンス評価から次のような知見が得られた。

- ・ 観察・実験の技能の観点において「問題解決課題」と「プロセス評価課題」のパフォーマンスを評価することにより、子どもは観察・実験に必要な技能を習得できるとともに目的的な観察・実験を行うことができる。
- ・ 科学的な思考・表現の観点において「問題解決課題」「プロセス評価課題」を設定することにより、子どもはグループや学級で話し合いや発表をする技能を習得するとともに、自然事象に対する考えを精緻化して科学概念を構築できる。
- ・ 自然事象への関心・意欲・態度の観点において「概念地図」「オープンエンドな課題」を設定することにより、子どもは学習の前後において自らの既有知識や概念の構造を可視化し、学習を省察すると同時にその学習を基にして新しい課題を見出せる。

4. 「科学的な思考・表現」力を育成するための小学校、中学校理科授業デザインの視点

本研究では、観点別学習状況評価の観点においてパフォーマンスを評価することによって、子どもの科学概念が構築され、「科学的な思考・表現」の力が育成されていく実践や、授業内で子どものパフォーマンスを教師が評価し、それを支援していくことで「科学的な思考・表現」が育成されていく実践について考察を行った。これら2つの視点から、授業をデザインし、「科学的思考・表現」力を育成していくことが重要である。

2つの実践で示されたように、パフォーマンスに表出されているものは、子どものその時点での学習成果の総体である。それを教師が適切に評価し、それを次の指導に役立てることが大切である。その実現のためにも、子どもにパフォーマンスをさせる課題に取り組みさせることが求められる。

また、学習者のパフォーマンスを基礎にした評価や、理科授業を実現することによって、学習者の思考が可視化され、自らの学習状況をメタ認知しながら学習を進めることができる。そして、教師や仲間との交流を通して、自らの思考を精緻化させていく。この理科授業において、教師は、学習者のパフォーマンスに常に注視することによって、即自的で実効性のある指導が実現される。「科学的な思考・表現」力を育成するために、パフォーマンスを基礎にした評価と理科授業の実践の実現が期待される。

(附記)

本研究は、平成 24 年度科学研究費補助金・課題番号 90110733「知識再構成型理科授業システムの構築による児童・生徒における自己調整学習の実現」(研究代表者：森本信也)の成果の一部である。

(註)

中央教育審議会(2010)『児童生徒の学習評価の在り方について(報告)』

Perkins,D.N.,Crsimond,D.,Simmons,R.,Unger,C.(1995) *Inside Understanding software goes to school : Teaching for understanding with new technologies*, Oxford University

桜井厚(2011)『インタビューの社会学—ライフストーリーの聞き方』, せりか書房

A.L. Brown. et.al.(1993) *Distributed expertise in the classroom: Distributed cognitions*, Cambridge University Press

黒田篤志・森本信也(2010)『対話的な理科授業を通し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

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)』

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

Hart, D.(1994) *Authentic Assessment –A Handbook for Educators–*, Addison-Wesley Publishing Company