【研究論文】

パフォーマンス評価とICTを用いた理科の授業設計に関する一考察

――単元「もののとけ方」の事例に着目して――

大貫　守

1．はじめに

本稿では、小学校理科におけるICT(Information and Communications technology：以下、ICTと記す)活用とパフォーマンス評価を結合する授業実践の在り方について、京都市立錦林小学校(以下、錦林小と記す)の長野健吉教諭と筆者との取り組みを中心に論じる。

近年、中央教育審議会の答申や国立教育政策研究所の報告等においてパフォーマンス評価を授業に取り入れることが推奨されている[1]。そこには、単に知識を蓄えるだけでなく、教科内容を深く理解し、その知識を使ってできることを目標に設定する流れが伺える。その中で、理科の授業デザインでもパフォーマンス評価を取り入れた実践が数多く行われている[2]。

また、文部科学省が『教育の情報化ビジョン』[3]の中で、2020年に向けて、教育現場に1人1台のタブレットPCを導入し、教育のIT化を進める方針を提案している。その一環で、ICTが教育現場に導入され、それらを活用するための研究が進められている[4]。しかし、理科教育の文脈でパフォーマンス評価とタブレットなどのICTとどのように組み合わせていくのかということについて論じられているものは、管見の限りない。そこで本稿では、長野先生との共同研究に焦点を合せて、児童の科学的な観念を育成するためにICTとパフォーマンス評価をいかに結合し、活用していくのかということについて明らかにすることを目的とする。

本稿で取り上げる錦林小は、文化財や自然が数多く残る岡崎地区の公立小学校である。錦林小は、量子電子力学でノーベル賞を受賞した朝永振一郎氏やフランス文学の研究者である桑原武夫氏を卒業生にもち、豊かな歴史を有している。錦林小ではこれまで国語教育において、同地区の小学校の研究を牽引する役割を担ってきたが、2013年度の京都市立新洞小学校との統合以降、国語教育に加え、ICTや理科教育にも力を注いでいる。特に、同年からは、京都市教育委員会の「21世紀型ICT教育の創造モデル事業」の研究開発指定を得て、タブレット型PCを36台配備し、これらをもちいた授業づくりに取り組んでいる。加えて、筑波大学の前学長であった朝永振一郎氏に因んで同大学が実施している「科学の芽コンクール」にも積極的に参加し、2年連続で大賞を受賞している。

筆者は、錦林小で昨年度から理科の授業づくりや夏休みの自由研究指導を支援する活動を行っている。その一環として、長野先生の授業や教材開発に関わり、科学的な観念を児童が深く理解する理科の授業のあり方について共同研究を進めてきた。特に、本年度は小学校5年生の単元である「もののとけ方」について、筆者の研究するパフォーマンス評価や溶解についての教材解釈、長野先生のICTを取り入れた授業づくりの技を活かす形で共同研究を行ってきた。

本稿では実践検討の前に、パフォーマンス評価の理論について概観する。その後、単元「もののとけ方」において到達すべき目標を科学的な観念と探究の方法の両者の視点から明らかにする。その上で、長野先生の実践に即して、パフォーマンス評価とICTをどのように結合するのかということについて検討を行う。

2．パフォーマンス評価の理論的枠組み

パフォーマンス評価とは、知識やスキルを活用・応用・総合する力をみるために、学習の成果物やそれに関わる活動を評価する方法である。広義には、実技テストや活動の断片的な評価がパフォーマンス評価に含まれるが、狭義には「リアルな文脈(あるいはシミュレーションの文脈)において、知識やスキルを総合して使いこなすことを求めるような課題」[5]、すなわち、パフ

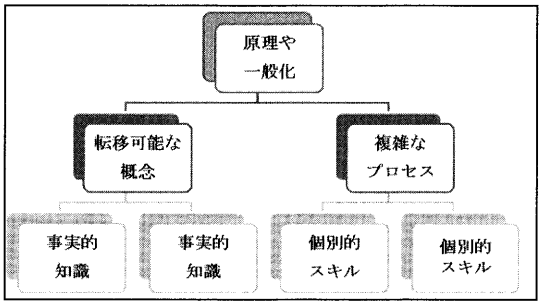

図1 知の構造図[6]

ォーマンス課題に対してその取り組みや成果を評価するものがパフォーマンス評価(以下、本稿で述べるパフォーマンス評価は狭義のものとする)とされる。

このパフォーマンス評価の中核を担うものがパフォーマンス課題のデザインである。一般に、パフォーマンス課題を設計する際には、①単元の中核部分に検討をつけ、②本質的な問いと永続的理解を明文化し、③パフォーマンス課題のシナリオを考える必要がある。

まず、①を行なうために、西岡加名恵氏がウィギンズ(G. Wiggins)とマクタイ(J. McTighe)の理論にもとづいて作成した図1の「知の構造図」にそって単元の目標の整理を行う。ここでは、授業で扱う内容について、最も表層にあり、知っておく価値のある「事実的知識」と「個別的スキル」とその奥にあり、様々な文脈で活用できる「転移可能な概念」と「複雑なプロセス」、そしてこれらの概念とプロセスを使いこなすことで得られる「原理と一般化」(永続的理解)に分類を行う。例えば、3年生の理科を例に取ると、乾電池やモーターといった知識や検流計の使い方が「事実的知識」や「個別的スキル」に当たる。次に、電流や電圧、実験計画の立案などが「転移可能な概念」や「複雑なプロセス」に該当する。最後に、これらを組み合わせて得られる永続的理解が、「電流は、モーターの回る向きや検流計の針の振れで確かめることができる」と記述される[7]。

次に、これらの永続的理解をもとに単元ごとの「本質的な問い」を設定する。「本質的な問い」は、カリキュラムや教科の中心にあり、探究を促したり、本質的な内容を看破することを促進したりするような問いである。先の例では、電気の性質とは何か、電気の働きとは何かといったものが「本質的な問い」に当たる[8]。これらの問いは、学年が進んでも繰り返し問い直され、概念理解の発達に沿って、問いに対する回答(永続的理解)がより深められるものである。

表2 シナリオに織り込むべき6要素[9]

①パフォーマンスの**目的**(地震や火山の仕組みを伝える)
②子どもたちの担う**役割**(防災研究所の職員)
③パフォーマンスをする**対象**(6年生の児童)
④想定される**状況**(防災教育の一環で研究所を訪れた児童に地震や火山の仕組みを伝えるパネルを作成する)
⑤生み出すべき**作品**(6年の児童に理解できるよう、用語を自分の言葉でわかりやすく説明したり、現象をモデル化したりした火山や地震の仕組みを伝えるパネル)
⑥評価の**観点**(現象を根拠や用語を用いて説明する力、複雑な現象をモデルを用いて単純化する力)

最後に、パフォーマンス課題のシナリオ作りである。これは、子どもが本質的に取り組む文脈を作り、課題の真正性(authenticity)を高めるものである。シナリオには、表2のように6つの要素を盛り込むことが推奨されている。これらを取り入れることで、学習に取り組む意義。パフォーマンスの対象、到達すべき姿が明確化され、よりリアルな文脈が設定される。

このように、目標を整理・構造化し、中核の目標と対応するパフォーマンス課題を設定することで、パフォーマンス評価が実施される。では具体的に「もののとけ方」単元ではどのような学力の獲得が目指されているのだろうか。次節では、「もののとけ方」で児童が身につける科学的な観念とプロセスを明らかにする。

3．単元「もののとけ方」における目標と課題

(1)科学的な観念に関する目標

単元「もののとけ方」で児童が習得すべき科学的な観念は、大概すると以下の3つに分けることができる。

① 粒子概念の基礎の形成
② 物質の多様性の認識
③ 化学の方法(分離の方法)の習得

これらは、現行の学習指導要領、戦後の理科教育の民間教育研究団体からなされた提案を参考にしている。

まず、①を主張するのが仮説実験授業研究会(以下、仮実研と記す)を設立した板倉聖宣や現行の学習指導要領である。例えば2008年『小学校学習指導要領解説理科編』では、本単元を3年生の「物と重さ」の学習と同様に、「粒子の保存性」に関わるものであり、6年生の「水溶液の性質」に繋がるものと位置づけている[10]。

また仮実研は、溶解の単元を近代科学の物質不滅の考え方、すなわち原子・分子論的な考え方を児童が理

解する場と位置づけている。特に仮実研では、単に物質が溶けて見えなくなったことを推論するのではなく、溶解後も小さな粒になり、物質として存在していることを教えることに重点が置かれていた[11]。このように溶解をミクロの視点から捉えて理解を促すことで粒子概念の基礎を築くことを目標として設定していた。

一方で、このミクロな視点でなく、よりマクロな視点を重視し「もののとけ方」の目標を設定したのが科学教育研究協議会の玉田泰太郎であった。玉田は、「もののとけ方」の前に学習する「物の重さ」、「物の密度」、「物の温度と体積」は、基礎的な物質概念を育てるものであり、それらを基盤としつつ「もののとけ方」の学習ではものの多様性への認識を深めることが目標であると述べる。溶解という日常生活で当たり前の経験を通して、ものへ働きかけ、ものそのものの認識を深め、溶質と溶媒の関係に着目させながら、ものの多様性を認識していくことを玉田は指導の中心に据えていた[12]。例えば、玉田の授業では、パラフィンやナフタレンを水やアルコール、ベンジンに溶かすことで溶質と溶媒の関係に着目させる授業を展開していた[13]。

これまでの粒や物質概念の形成でなく、即物的に物を取り出す手段を目標として重視したのが、高橋金三郎が主宰した極地方式研究会であった。彼は化学を「分離術」、すなわち環境を悪化させることで無用なものから有用なものを作り出し、分離する技術であると捉えていた[14]。そのために、高橋が重視したのは、物質を取り出す手段としての「化学の方法」であった。彼は、「化学の方法」として「水攻め」・「火攻め」・「薬攻め」・「電気攻め」という方法を提起している。化学の授業では、これらの方法を使って子どもが物質を取り出して、その性質を探求することに重きをおいていた。

そのため、同研究会のテキスト『とけるもの・とかすもの』では哲学的な「粒」概念の形成ではなく、「科学学習・物質探求の実践的知識・手段の獲得が目的である」と記述されている。そして、単元「溶解」の学習成果として「物質の溶解度に着目することで、混合物を分離し、それを単一物質に分けることができる」ことが児童の目標と設定されている。

このように「もののとけ方」の目標は、粒子というミクロな側面、溶媒と溶質の関係からとらえるマクロな側面、そして分離術という化学の方法に着目させる側面の3つの側面から構成されているといえるだろう。

(2)科学的なプロセスに関する目標

2008年版『学習指導要領解説理科編』では、系統的に科学的な問題解決の思考を育むために、「比較」や「関係づけ」などの問題解決の思考を学年段階に応じて設定している。科学的な観念だけでなく、問題解決の思考をも育むという考え方は、米国の科学教育カリキュラム改革の影響を色濃く反映した1969年版『学習指導要領』以降、盛り込まれてきたものである。

科学的に問題解決する方法は、日本での研究[15]に加え、諸外国でも多くの研究がなされてきた。筆者と長野先生は、溶解で扱われるろ過や蒸発乾固のような個別的スキルの上位にある理科における「複雑なプロセス」を仮説的に設定するため、2011年に全米研究評議会(National Research Council)が新しいスタンダードの開発に向けて発表した『K-12の科学教育のためのフレームワーク(*Framework for K-12 Science Education:*以下、*Framework* と記す)』の科学的な手法(Scientific Practice)[16]の考え方に学んできた。

Framework では、科学的な手法として①問いを見出すこと、②モデルを創り、使うこと、③調査を計画し、実行すること、④データの分析と解釈をすること、⑤数学やコンピュータ的思考を使うこと、⑥説明を創ること、⑦証拠にもとづいた論証に参加すること、⑧情報を得て、評価し、話し合うことの8つを挙げている[17]。そして、*Framework* では、これらの手法を相互に関連付けて、科学的な観念と組み合わせて目的的に用いることを規定している[18]。

例えば、科学者は、もっともよい説明を構成するために、推論を通した理由づけだけでなく、繰り返し観察することでパターンを見つけたり、一般化をしたり、分類したりする。また、問いを見出し、実験の計画を立てる前にモデルを用いて仮説をたてたり、実験結果に応じてモデルを構成したり、修正したりする。加えて、これまでの学習から情報を分類し評価したり、実験結果を解釈するためにグラフ化したりする。

このように科学的に問題解決する段階は、問題－予想－実験－考察のように線にそった単一の過程でなく、より豊かで複雑で多様な過程であることが *Framework* では示されている。加えて、そこで用いられる方法も「分類する」ことや「グラフ化する」ことのような個々

のスキルや科学的な観念を目的に応じて結びつけ、活用することを志向していることを示している。目的や知識に応じて必要な手法を選び取るとともに、手法同士を相互に結びつける複雑な過程で問題解決を求めることが*Framework*における手法の考えの中核であった。

この複雑なプロセスとしての手法の考え方や前項で取り上げた科学的な観念を踏まえ、長野先生がどう指導案を作成されたのだろうか。以下の節で概説する。

4．単元「もののとけ方」の単元構想と実践

(1) 単元構想

まず、本単元の目標に着目する。単元実施に先立ち、溶解の中核目標について長野先生が児童に行った素朴概念の調査で、①溶解の意味、②食塩の飽和、③溶解による質量保存の法則、④水溶液の均一性についての児童の理解の度合いを確認した。その結果として、②と③については半数の児童が適切な観念を有しているものの、①に関しては溶解を融解と混合している児童の姿が多く見られた。加えて④に関して、容器に入った砂糖水の濃さを問う問題では約8割の児童が容器の底面付近の砂糖水が一番濃いと考えており、均一性の考え方について誤概念を有していることが確認された。

これらの診断的評価と先の教材研究を踏まえて、この単元で児童が「粒子モデルなどを用いて溶解や水溶液についてミクロな側面から説明できるようになること、そして、溶解の性質やろ過や蒸発乾固などの考えも粒子モデルで説明し、混合物から純物質を取り出す実験計画書を作成できること」を長野先生はゴールとしてのパフォーマンスとして特定した[19]。

これに対応させて、「よい実験計画の立て方はなんだろうか」、「物質に固有の性質と共通の性質はなんだろうか」、「物質の性質はどのように利用できるだろうか」といった本質的な問いやそれに対応する永続的理解を定め、表3のような課題文を設定し、実験計画書や根拠を求めることで、カリキュラムの文脈にパフォーマンス課題を位置づけた。このパフォーマンス課題を解決するには、児童が、①本単元で学習した内容を用いて誰にでも再現可能な形で記述された実験計画書を作成すること、②①の計画書で取り出せることを、粒子モデルやこれまでの学習を根拠に伝達すること、③ろ過や蒸発乾固等の実験操作を適切に行うことが求められる。このように、学習を積み重ね、科学的な概念と手法を結びつけてパフォーマンス課題を達成することを志向している。

表3　課題文

今流行のパンケーキをつくろうとして、小麦粉と砂糖を混ぜるところを、間違えて小麦粉と食塩を混ぜてしまった。食塩だけを取り出すためにはどうしたら良いだろう。

このパフォーマンス課題の解決に向け、長野先生が設定した単元計画が表4である。後述のように、1時限目でパフォーマンス課題を提示する際、長野先生は「これからの学習ではこの問題を解決する根拠を集めることが重要です」と述べており、今後の学習への文脈を作った上で学習を展開している。その根拠を残すため、授業ではタブレット用の授業支援アプリケーションである「ロイロノート・スクール」(以下、ロイロと記す)を使用している(図5は実際のロイロの写真である)。

ロイロでは、画面上のカードに言葉や絵や写真や動画を残すことができ、またそれらを線でつないで関連づけたり、プレゼンテーションを行ったりすることができる。加えて、教師が資料や教材カードを児童に一斉配布したり、児童のカードを教師に集め、全体で共

表4　単元計画

時	学習活動(ゴシックは児童が理解し、ロイロに残す根拠)
1	パフォーマンス課題の提示 身近な物質(塩・砂糖・米・小麦粉)を水に入れ観察する **「溶ける」ことの意味**
2 3 4	食塩水に食塩が存在することを検証する実験を行う **上皿天秤と電子天秤の使い方と互いの長所と短所** **水溶液の重さは溶質と溶媒の和になる(質量保存)** **ものは水に溶けてもなくならないということ** 焦がしたカルメ焼きを水に溶かし、観察する **水溶液の透明性・均一性(粒子モデルを用いる)**
5 6 7	一定量(50mL)の水に食塩を溶かす実験を行う **メスシリンダーの使い方** **一定の量の水に溶ける食塩の量には限りがあること**
8 9 10 11	「水に溶けるものの量は何によって決まるのか？」という問いに、4QS を用いて予想を立て、検証実験を行なう。 **一定の量の水に溶けるミョウバンにも限りがあること** **溶け残ったものを溶かすには、水の量を増やしたり、温度を上げたりすればよいこと(条件統制を用いる)**
12 13 14	再結晶したミョウバンを取り除く実験を行う **ろ過の仕方(粒子モデルを用いる)** ろ液中のミョウバンの有無を確かめる実験を行う **蒸発乾固の仕方(粒子モデルを用いる)** **水溶液の性質と結晶の取り出し方(冷却・溶解度曲線)**
15 16	パフォーマンス課題の実施 これまでの学習成果を組み合わせて問題を解決する。 **異なる純物質を分離する方法**

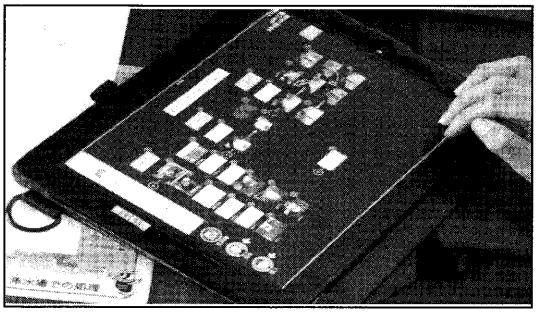

図5 ロイロノート・スクールの実際

有したりすることもできる。ロイロには、実験の結果や結論などが写真・動画や言葉で残され、線に繋がれている (表4の太字の内容は、児童が残す内容である)。

また、表4のように授業展開は、診断的評価を踏まえ、1時限で溶けるという言葉を定義することや、早期の段階で溶けている状態、すなわち水溶液中の粒子の状態について粒子モデルを用いて考える時間を設定している。その後も粒子モデルで考える時間を多く設定している。このように溶けるということを言葉とイメージの両者で理解すること、そしてそれを実際に使いこなすことが単元全体で求められる。

加えて、この単元ではパフォーマンス課題の解決に向けて自分で実験の計画をたてることも1つの目標となっている。そのため、単元を通して徐々に実験計画をたてる際の支援(足場かけ)が減るようにデザインされている。つまり、パフォーマンス課題をカリキュラムの文脈に置き、この粒子の考え方から、溶解の性質と実験計画の立案についての理解を深めるよう単元全体がデザインされている。そこで、これらを中心に取り上げている場面に焦点を合わせて、実践を検討する。

(2) 第1時　ものが溶けるとはどのようなことか

長野先生は、第1時を学習の文脈と土台を形成する時間として設定した。実際に小麦粉と食塩をボウルで混ぜて、解決すべき課題を児童に実際に提示し根拠を集める必要性を示した。加えて、溶けるということの定義を行った。児童の身近にある食塩・砂糖・小麦粉・米を水の入ったビーカーにそれぞれ入れ、比較することで溶けている状態とはどのような状態なのか、「溶ける」ことと「混ざる」ことの違いを明確にした。

児童は、羽根つきの餃子や炊飯、ケーキ作りの例を根拠に仮説をたて、それぞれの物質の水への溶解性の有無を確かめる実験を行った。その中で、食塩と砂糖が水に溶けて透明になる、米は粒が残っており、小麦粉も時間が経つと下に沈んでくることを観察した。そこから、溶けるを「ものを混ぜると透明になり、下に沈んだり、残ったりしない状態になること」と定義した。また、融けることと溶けることの違いも意識されていた。このように溶けるという用語を明確化することでその後の学習において、溶解の有無を判断する規準がはっきりと形成され、適切に判断されていた。

(3) 第4時　水溶液の中の食塩を粒子モデルで描こう

第4時は、前時で食塩水の質量が溶解の前後で変化しないことを学んだ上で、水溶液中での食塩の粒子の状態をモデルで描くことが目標であった。4年生の水の三態変化の学習で粒子モデルが導入されていた児童が多く、モデルという言葉に戸惑うことなく、モデルを描いていた。図6は、児童の粒子モデルを分類し、その類型を示したものである。A のモデルは、4年生の対流の学習をもとに、粒子が循環するモデルを示している。C のモデルは下に沈んでいるだけのモデルであり、B は下に多く食塩が存在し、上にも少量食塩が存在するモデルである。このモデルでは、ものに重さがあるので沈むということやシュリーレン現象を受けて形成されたものである。最後に、D は均一に食塩が存在しているモデルである。これは、食塩自体が軽いので全体にあるということや、少量の食塩水を飲んでも塩辛いこと、海水はどんな深さでも塩辛さが変わらないことが根拠にしている(モデルの・は食塩を表す)。

その後、少量のカルメ焼きを試験官に入った水に溶かし、均一透明の砂糖水ができる様子を観察した。試験管の砂糖水の濃さの均一さや透明さに気づいた児童は、この実験結果にもとづいて粒子モデルを修正した。修正したモデルでは、全てが D のモデルとなり、これらの観察の結果から、水溶液中で「粒子は均一に広が

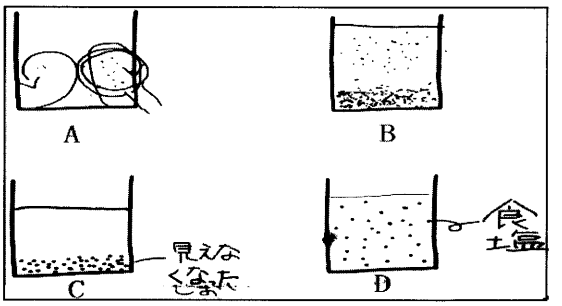

図6　児童の粒子モデル(第4時)

っている」という結論を導き出した。このように、ものが溶けて、水溶液になるという状態を言葉とモデルの両方で理解した。

(4) 第9時　ミョウバンの溶解度

第8時に4QS[20]を用いて、「水に溶けるものの量は何によって違いが出るのか」という問いに対して、実験で変化させる変数についてブレーン・ストーミングを行った。これにより、「溶かすもの」・「水の量」・「水の温度」を変えることでものが水に溶ける量が変化するのかということを確かめる文脈が形成された。第9時は、溶かすものをミョウバンに変えて、水に溶解する量を確かめる実験を行う時間である。

これまでは、長野先生が実験計画を提示し、その際の思考を明らかにしたりしていたが、第9時ではグループで実験計画を立案する時間が設定された。児童は、食塩の溶解する量を確かめる実験をした時のノートを見返しつつ、表7のように実験計画を立てた。

表7 児童の実験計画

① 水50mL をビーカーにとる。
② 量り取ったミョウバン(5g ずつ)をかき混ぜて溶かす
③ 溶けるか確かめる　⇒　溶けたらまた5g 加える

表7では、何で50mL の水を量るのか、ミョウバンを入れる容器など自明のことの多くが児童の実験計画書に記述されていなかった。長野先生は、実験計画を立てさせた後、それを全体に発表させ、良い実験計画について話し合いを行った。その際に、条件統制のためには、メスシリンダーを用いて正確に測定する必要があり、それを明記する必要が有ることや実験計画は予想と対応する必要があることなどが共有された。また、この次の時間には、誰が読んでも同じように実験できるような実験計画を立てられることがよい実験計画であることも共有された。

(5) 第13・14時　ろ過と蒸発乾固を粒子モデルで示す

第13・14時は、溶け残りのミョウバンを含むミョウバン水溶液を濾過し、ミョウバンを取り出す時間である。児童は、溶け残ったミョウバンは貴重なので取り出してほしいという長野先生の設定した状況の中で濾過や蒸発乾固の方法を学んだ。

児童はこれらの方法を学ぶことに加え、ろ液にミョウバンが含まれているのかについて検証したり、蒸発乾固の実験で見たことを説明したりするために、これらの装置の仕組みを粒子モデルで示すことが求められる。実際に児童が作成したモデルが図7である。図7の①のモデルは、ろ液中でミョウバンの粒子が均一に拡散している様子が描かれている。加えて、このモデルでは、ろ紙の上にあるミョウバンは目に見えるのでろ液に描かれているものよりも大きく描かれている。

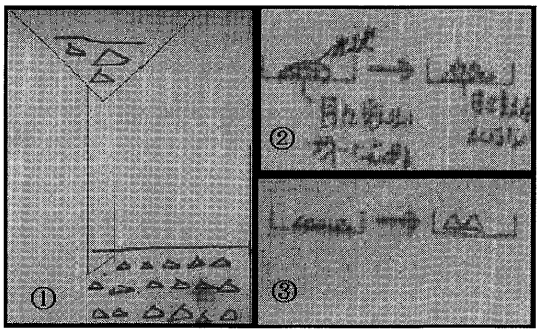

図7　粒子モデル(第13・14時)(△はミョウバンを表す)

図7の②と③のモデルは、蒸発乾固によってろ液中の粒子が析出する様子を描いたものである。ここでは、①のように、目に見えることから粒子を大きく描くのか、蒸発乾固の前後で粒子の個数が変化するのかということが議論になった。②のモデルは実験前後で個数を変化させず、小さく均一に拡散している状態から水が飛んで目に見える形で析出したことを示している。一方で、③のモデルは、実験の前後で目に見えるように粒子の大きさが変化していることを示している。また、両方のモデルでは、ろ液のあった部分にミョウバンが析出することにも意識を向けている。この場では、個数を同じにする必要があることは合意に至ったが、大きさについては決着がつかなかった。しかし、児童は大きさやミョウバンの量や場所に着目し、モデルを形成していることから、マクロとミクロな側面とつなげて理解していることが明らかになった。

(6)第15・16時　パフォーマンス課題

第15時は、実験計画の立案を第16時はその実験計画にもとづいてパフォーマンス課題に取り組む時間であった。特に第15時では、ロイロに蓄えられたカードを参考に、これまでの学習でパフォーマンス課題の解決に使えそうな要素を選び取り、実験の方法を考える。その際に、根拠をもって誰にでも伝わる実験計画を立てることと実験計画を裏付けるために粒子モデルを用いて取り出せることを説明する思考実験を行なうことを児童に求めていた。

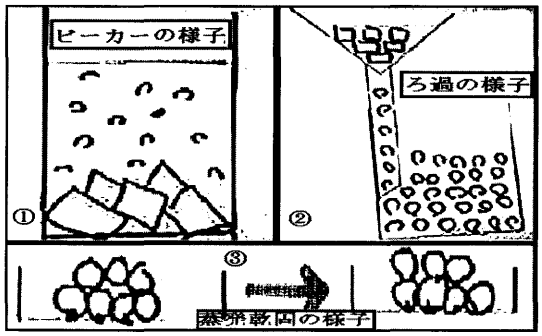

図8 児童の粒子モデル(第15時)(□は小麦粉を表す)

まず、5gの小麦粉と食塩の混合物が渡された。児童はロイロから小麦粉が水に溶けないことや、食塩が一定の水に溶解する量、濾過や蒸発乾固の方法に関するカードを抜き出し、構造化することで方法を考えていた。これらを粒子モデルで具体化したものが図8である。図8は、ビーカーに混合物を溶かした時の様子、濾過している様子、蒸発乾固している様子をそれぞれ粒子モデルで示している。そこでは、小麦粉が溶けないので沈殿していることや、小麦粉は粒子が大きいのでろ紙を通過しないが、食塩は通過し、ろ液中で均一に拡散していることが示されている。図8の粒子モデルには、食塩と小麦粉の大きさの区別や水溶液中での食塩の均一性などが表現されており、これまでの学習で学んだことが全て反映され、構成されている。つまり、ミョウバンや食塩で学んだモデルの考え方を小麦粉と食塩の混合物に適応させて使えていることが伺える。

これらを根拠として、作成した実験計画書が表9である。表9の計画書では表7のものと異なり、使う水の量や器具、器具を操作する方法や注意すべきことまで具体的に記述されている。このように以前より再現性の高い実験が行える計画書が作成されているのである。

また、第16時にはこの計画にもとづいて実際にパフォーマンス課題に取り組んだ。その際には、実験計画書にもとづいて実験を行なうとともに、その結果に応じて実験計画書の修正を行った。これにより、より精度の高く完璧な実験計画を立てるため自分の実験計画について省察するとともに、実際に科学的に物質を分離する方法を活動と理論の両者の側面から獲得した。

表9　実際の児童のパフォーマンス課題の実験計画書

①メスシリンダーで水50mL をはかり、ビーカーに入れ、5g の食塩と小麦粉を混ぜる
②ろうと台にろうとをおき、ろうとにろ紙をせっちし、からのビーカーを下に置く
③混ぜた水をガラス棒に伝わらせて、ろうとに静かに注ぐ＊ポタポタしないように
④ろ過した水を少量とり、ヨウ素液で小麦粉(澱粉)がないか調べる。
＊もし反応したらこまかいろ紙でもう1度ろ過する
⑤蒸発皿に濾過した食塩水を2～3的入れ、ガスコンロで火の大きさを1で熱し蒸発させる
＊水のまわりがブクブクしてきたら火をとめ、余熱でじょう発させる

5．おわりに

本稿では錦林小の長野先生による理科の単元「もののとけ方」の実践を分析してきた。長野先生は本単元を実施する以前からICTを用いたパフォーマンス課題に取り組んできた。それは、長野先生がロイロに単に記録を残すのではなく、目的や規準をもって残すものを選びとり、何を残すことがパフォーマンス課題に役立つのかということを考え実験や観察に取り組んで欲しいと考えていたからである。これは、児童がツールを使用することに夢中になり、無目的に記録を蓄積するのではなく、きちんと学習と結びつけた形でツールを使うべきいう長野先生の信念に由来するものだろう。

パフォーマンス評価は、様々な知識やスキルを総合して使いこなすことを求めるものである。そのため、単元レベルのパフォーマンス課題であっても、単元で学んだ知識を関連づけて課題に取り組む必要がある。実験計画書を立てる中で、児童はロイロを用いて異なった場で学んだ知識を自由な発想で結びつけていた。そこでは、授業で学んだ文脈ごとに整理されていた知識を選びとり、児童の中で改めて構造化し、課題の解決に向け活用していた。また、多くの児童がこのロイロの助けを借りて、妥当な実験計画を立案できていた。

また、パフォーマンス評価に向けて、粒子モデルや実験計画書について足場かけをしていた。特に、実験計画書では、使う水の量やろ紙の目の細かさ、粒子モデルとの関連付けなど様々な知識の理解が手法へと反映されていた。このようにパフォーマンス課題がカリキュラムに文脈化され、これとICTが結びつくことで、お互いの長所がより引き出される形で単元が構成されていた。本稿ではICTとしてロイロを対象としたが、その他のICTとパフォーマンス評価を接合していく方法についても今後検討していく必要があるだろう。

[1] 例えば、中央教育審議会『児童生徒の学習評価の在処について(報告)』(2010年3月24日)や国立教育政策研

究所『教育課程の編成に関する基礎的研究　報告書5 社会の変化に対応する資質や能力を育成する教育課程編成の基本原理』(2013年3月)などにおいてパフォーマンス課題を用いたパフォーマンス評価を行なうことが推奨されている。

[2] 例えば『理科の教育』(東洋館出版、2011年8月)では「思考力を育てる－パフォーマンス評価」という特集が組まれている。「ものの溶け方」に関しては、藤倉憲一がパフォーマンス評価とルーブリックを用いた実践を行っている(藤倉憲一「ルーブリックの開発に基づく理科授業のデザイン－小学校第5学年『物の溶け方』を通して－」日本理科教育学会編『今こそ理科の学力を問う』東洋館出版、2012年、pp.268-275を参照)。

[3] 文部科学省『教育の情報化ビジョン－21世紀にふさわしい学びと学校の創造を目指して－』 (http://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/23/04/__icsFiles/afieldfile/2011/04/28/1305484_01_1.pdf 2015.02.03確認)を参照。

[4] 例えば、『理科の教育』(東洋館出版、2014年10月)では「ICT 機器を用いた理科授業」という特集が組まれている。

[5] 西岡加名恵「パフォーマンス課題の作り方と活かし方」西岡加名恵・田中耕治『「活用する力」を育てる授業と評価　パフォーマンス課題とルーブリックの提案』学事出版、2009年、p.8。

[6] 京都大学 OCW「教育課程論Ⅱ　講義資料」(http://ocw.kyoto-u.ac.jp/ja/03-faculty-of-education-jp/13-9234001/pdf/20131023.pdf　2015.2.3確認)より引用。

[7] 文部科学省『育成すべき資質・能力を踏まえた教育目標・内容と評価の在り方に関する検討会―論点整理―』(2014年、p.23)を参考にした。

[8] 理科における単元ごとの「本質的な問い」や包括的な「本質的な問い」については、中池竜一・大貫守「E.FORUM スタンダード(第1次案): 理科」『京都大学大学院教育学研究科 E.FORUM 共同研究プロジェクト【プロジェクトS】「スタンダード作り」成果報告書』(2014年、pp.26-29)を参照。

[9] 西岡加名恵、前掲書、p.15を参考にした。尚、例は筆者が作成した。

[10] 文部科学省『小学校学習指導要領解説理科編』大日本図書、p.53を参照。

[11] 仮実研の単元「溶解」の構想については、板倉聖宣・細川準三『溶解　－仮説実験授業記録集成１』(国土社、1981年)や林泰樹「授業書　溶解　『1967年版』の復刻」(仮説実験授業研究会、2011年)を、学習指導要領に関しては文部科学省『小学校学習指導要領解説理科編』(大日本図書、2008年、p.45)を参考にした。

[12] 玉田泰太郎「『溶解』の学習－小学校で何を－」『理科教室』1982年12月号や玉田泰太郎『新たのしくわかる理科5年生の授業』(1992年、あゆみ出版)を参考。

[13] 玉田泰太郎、前掲書、1992年、p.148。

[14] 高橋金三郎『お世話になった人たちへ』(未発表)、p.19。

[15] 例えば、長谷川直紀・吉田裕・関根幸子・田代直幸・五島政一・稲田結美・小林辰至「小・中学校の理科教科書に形成されている観察・実験棟の類型化とその探究的特徴－プロセス・スキルズを精選・統合して開発した『探究の技能』に基づいて－」『理科教育学研究』2013年、Vol.54 (2)、pp.225-247や加藤尚裕「プロセス・スキルに視点を当てた問題解決能力の指導に関する予備的研究 : 小学校理科におけるメタ認知ツールの開発をめざして」『国際経営・文化研究』2012年、Vol.16 (2)などは、AAAS の探究の技法にもとづいて学習者が自発的に利用できる探究の技法の指導の在り方や技法に焦点を当てた教科書分析等を行っている。

[16] 白水始はこの practice を「プラクティス(科学するための実践的活動)」、後藤顕一は「プラクシス(理工学分野における習慣的活動)」、熊野善介は「科学と工学の体験的経験的活動」と訳出しているが、本稿では科学者が目的的に用いる技として「手法」と訳出している(白水始「学習の多様性をもとにした理科教育に向けて」日本理科教育学会『理科の教育』(2014年11月号、東洋館出版、pp.10-11)および後藤顕一「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」日本理科教育学会『理科の教育』(2014年11月号、東洋館出版、p.7)、熊野善介「海外科学教育の動向(1)―米国の次世代科学スタンダード(NGSS : Next Generation Science Standards)が発表された―」日本科学教育学会『科学教育研究レター』(2013年、No.213、p.20)を参考にした)。尚、手法という言葉の解釈については大貫守「科学的探究のルーブリック開発に関する一考察――Framework for K-12 Science Education を踏まえて――」『高等学校における探究の指導』(印刷中)を参照。

[17] NRC, *Framework for K-12 Science Education*, National Academy Press; USA; Washington D.C.,2011, p.49.

[18] *Framework* の他の構成要素や NGSS については稚拙「米国における科学教育スタンダードに関する検討－Next Generation Science Standard に着目して－」『京都大学大学院教育学研究科　E.FORUM 共同研究プロジェクト【プロジェクトS】「スタンダード作り」成果報告書』2013年、pp.100-112を参照。

[19] 以下、長野先生の指導案と筆者による授業記録を元に記述する。

[20] 4QS(the four question Strategy)とは、「4段階の問い(調べたいことを簡潔に表現する問い・変化させる要因を見つける問い・変化させる要因を細かく設定する問い・変化させる要因に伴って変化する要因を数量化する問い)について討論しながら独立変数と従属変数を洗い出し、各々の変数をどのように測定するのか等を検討するブレーン・ストーミングの方法」を指す(小林辰至「探究活動の仕組み」理科教育研究会『未来を展望する理科教育』東洋館出版、2006年、p.92を参照)。

(修士課程)