

理科で学ぶ現象を疑似体験によって理解につなげる 擬人化体感学習利用の提案

吉川 直志

The Physical Feeling Study by the Personification to Learn in Science with Understanding by Simulated Experience

Tadashi YOSHIKAWA

要 旨

理科を教えることに不安を持つ学生は多い。見えない現象を教える不安を和らげる方法として擬人化体感学習利用を提案する。一人ひとりが目に見えない小さな粒子となって全体の振る舞いをみんなで表現する擬人化体感学習の実践により、小学校理科の内容が主体的・系統的に実感の伴った理解へつながる。小学校4年生で学ぶ空気や水の性質を例として、理解を系統的に進め、そして主体的に学ぶ方法の検討の中で、教員養成の方法としての可能性が見えてきた。擬人化体感学習の利用により、学生が見えない所での現象の理解に向けて、主体的・系統的な取り組みによって教えるポイントを理解し、実感のある教え方を考えるようになる。本研究では、擬人化体感学習の教員養成での利用による効果とその方法の可能性について検討する。

キーワード：理科、現象理解、擬人化 系統的な学び

はじめに

著者が教員養成の授業で担当してきた小学校教員を目指す学生の多くは、理科を教えることに不安を持つ。実験や観察への不安もあるが、その多くは教える内容について正しく理解できていないのではないかという不安からくる。特に、物理、化学への苦手意識が強く⁽¹⁾、自分の理解不足への不安が教える不安へとつながっている。教員養成としては、この不安をできる限り和らげたい。実験などの技術への不安もあるが、不安の根本は自然現象の自分の理解に自信が持てないところにあると考え、その不安を取り除くための方法を検討する。

なぜ、多くの学生が物理や化学への苦手意識を持つのだろうか。女子大学の学生だからとステレオタイプに言われてしまうが、そういう問題ではないと考えている。大学入試で課される計算問題ではなく、小学校で学ぶ自然現象の理解についてである。実際に、学生を持つ理科を教えることへの不安は、身のまわりに起こるよく知っている現象であっても目に見えない現象であることへの不安からくる。物理・化学分野への不安が多いのはそのためであり、電気や小さな見えない粒子の集まりの現象を扱う内容の理解に不安を持っている。つまり、理科で学ぶ現象を、自信を持って理解できるためには、目に見えて、実感が伴うことが必要となる。そこ

で、目に見えない現象や見に行くことができない現象を、自分たちがその小さな粒子や現象の要素となって、みんなで一緒に動いて現象をやってみる活動を通して理解する擬人化体感学習の利用を提案する。

これまで、擬人化体感学習として、いくつかの現象について目に見えない小さな粒子や要素による現象の理解方法を研究してきた。新学習指導要領⁽²⁾⁽³⁾では主体的な学びが奨められており、それに伴って、主体的な学びの方法としての擬人化体感学習の利用方法⁽¹⁾を研究してきた。学生がそれぞれの現象を自分たちが粒子や構成要素になってやってみることで、自分たちが主体的に理解を進めることができることを研究で確認したが、同時に、教える立場としてそれぞれの現象の理解が進むことも分かってきた。そこで、この研究では、理科を教える教員養成という目線で、擬人化体感学習の利用を検討していく。

擬人化体感学習による疑似体験

様々な自然現象を理科で学ぶ上で、実態を捉えられず見えない小さな物の動きを理解することは難しく、そのために現象の理由の根本から理解することが妨げられている。目に見えない小さい粒子のミクロの世界と理科で学ぶ様々な自然現象のマクロな現象とを結びつけることができる考え方や理解方法が必要となっている。そこで、名古屋女子大学において、擬人化体感学習（図1）として目に見えない小さな世界の現象をイメージで捉えることが容易になるように、自分でコントロールできるスケールの世界、つまり、自分の体の大きさのスケールで粒子の振る舞いを考え、粒子の世界で起こっている現象を自分たちで表現し、そして実際の全体での振る舞いとつながりを想像できる学習方法を検討してきた。この方法は、自分が小さな粒子になることで、小さな世界の存在と、そこから全体の動きを想像して、現象を根本から理解するための道具となる。つまり、この方法で自分たちが考えて動き、全体の現象を表現する活動において、仮想的な思考実験が行えるようになり、自分たちで主体的に学びを進めることができるようになる。また、自分たちが小さな世界に入って、その見えない真の現象を疑似体験できることで、系統的に別の現象も動きを想像して考えることができる。主体的にかつ、系統的に学びを進めることができる。

小学校4年生、5年生で空気と水の性質を学ぶ。身近な空気や水であっても、無数の小さな粒子の集まりである。これを実感する一つの方法として、一人ひとりが空気や水などの「粒子」となって、それが多く集まることでマクロな存在となり、性質を表す現象となっていく。そこで、空気と水の性質の思考実験による系統的な学びを考えてみた。小学校4年生では、「とじこめた空気や水」「ものの温度と体積」「すがたを変える水」「もののあたたまり方」「自然の中の水」「天気の様子」とそれぞれが関係した学びが続く。最初に、「粒子」イメージが持てればそのイメージを系統的に活用して、他の現象理解につなげていけると考えら

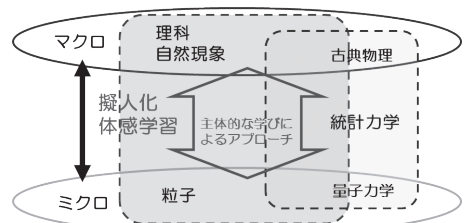


図1：擬人化体感学習の位置付け

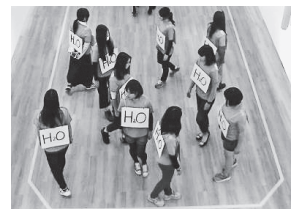


図2：水の粒子の集まり

れる。その手順は、

- 1) 自分が空気または水の粒子となる。(図2)
- 2) 何人か集まって囲いなどで閉じ込める。
- 3) 空気は押し縮められるが水は押し縮められないことから、集まり方の違いを考える。
- 4) 空気鉄砲や水鉄砲の中で何が起きているのかを、思考し実践して表現してみる。
- 5) 温められたときの空気と水の粒子の動きを想像し、体積の変化を考える。
- 6) 水や空気のあたたまり方を粒子として想像し実践してみる。
- 7) 水の気化でも、沸騰と蒸発の違いを考えてみる。
- 8) すがたを変える水の三態変化を実践してみる。
- 9) 雲のでき方を水の粒子となって考えてみる。
- 10) 空気への水の溶け方(湿度)を表してみる。

となる。その出発点となる一つの粒子のイメージを基本として積み上げていく過程で、実験と、イメージを伝えるための図やみんなでの活動とを複合的に利用しながら進めていくことで、更なる応用や発展を自分で考えていける力になると考えている。

主体的、系統的な学びへの利用例

小学校4年生で学ぶ空気と水の性質を理解するために、全員で話し合いながら目に見えない空気や水のつぶになって現象を考えることにした。理解の手順1) 2) 3) において、

- ①実際の現象を見て、何が起きているかを考える。ここで小さな粒子の存在を想定して考える。
- ②絵で、実際には見えない小さなつぶを書いて、全体の動きを想像する。
- ③そのイメージを基に、みんなで話し合いながら、現象をやってみる。
- ④客観的に見たり、動きを振り返ったりし、実験と対比させて再度話し合って考える。

とした^{(11) (12)}。

手順4) 閉じ込めた空気は押し縮められるが、水は押し縮められない。この現象を、小さな世界から理解を図る。

- ①空気鉄砲、水鉄砲の実験を行う。(図3)
- ②イメージ図を書く。(図4)
- ③みんなで、空気や水になって閉じ込められてみる。(図5、6)
- ④実際の空気鉄砲、水鉄砲と対比して再検討し、再度、みんなで閉じ込められ、空気鉄砲や水鉄砲の中をやってみる。

この実践では、イメージ図で閉じ込められた状態を書いているが、実際の中の様子や個々の動きまではイメージできていない。ピストンで自分たちが押されることで、空気と水の違いを疑似体験でき、また、空気鉄砲と水鉄砲の飛び出す勢いの違いの理由を感じられた。閉じ込められた見えない空気や水の状態をイメージし、

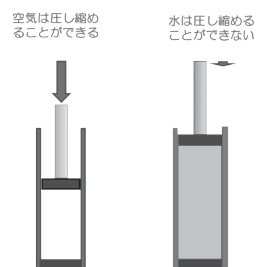


図3：閉じ込めた空気と水

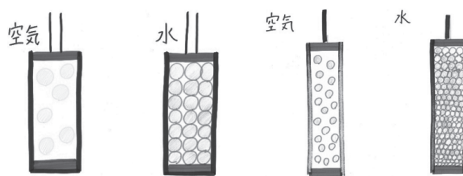


図4：閉じ込めた空気と水のイメージ図

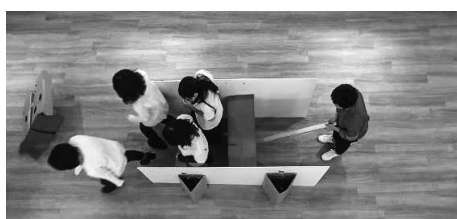


図5：閉じ込めた空気・空気鉄砲

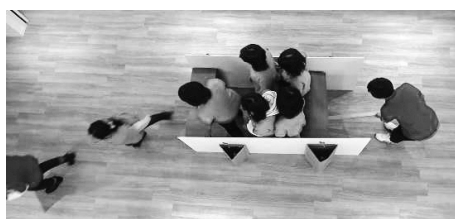
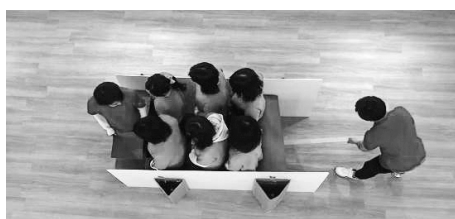


図6：閉じ込めた水・水鉄砲

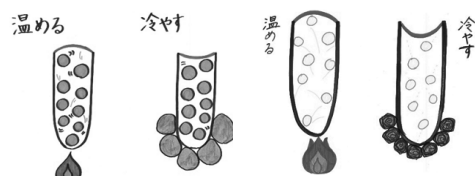


図7：空気を温める・冷やすイメージ図

自分たちの動きと合わせることで、より理解を進めることができていた。また、栓や水の飛び出し方の表し方は、栓が抜けるタイミングと水の飛び出す勢いなどの意見を中で押される水の役と圧す役が互いに出し合い、対話的に実践を進めることで、自らの動きを通しての現象の理由を考えることができていた。

手順5) 閉じ込められた空気のイメージを基に、空気を温めたり冷やしたりするときの体積変化を考える。空気は温められると体積が大きくなり、冷やすと体積が小さくなる。シリンダーの中での空気の粒子として動いたイメージを持ったところで次の現象として考える。

①閉じ込めた空気を温めたり、冷やしたりする実験を行う。

②イメージ図で、何が起きているのかを書く。

(図7)

③みんなで、空気になって温められた時と冷やされたときの動きを実践してみる。(図8)

④実際の実験と対比して考えてみる。

空気を粒子として考えられれば、図8のように管の中の空気の粒子として振る舞う。図8の写真では分かりにくい、動画で見ること、違いが分かる。ふたを圧して広げるのは、空気の粒子が動き回ることによって押し出すことで起こる。つまり、温められた空気は激しく動き回り、冷やされるとおとなしくなるというイメージにつながる。自分たちが動くことで、温度と粒

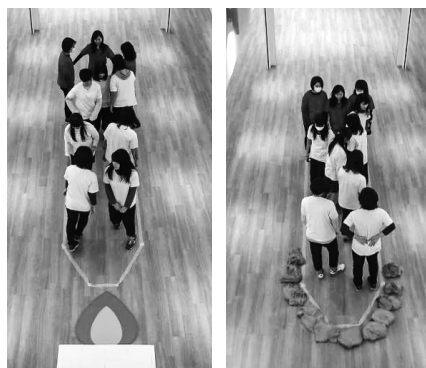


図8：空気を温める（左）冷やす（右）

子の動きの関係を考えることができた。

手順6) 7) 水を温め続けることを考えたとき、沸騰という現象を考えることになる。熱すると水は水蒸気になることを小学校第4学年で学ぶが、学生は沸騰と自然蒸発の違いを理解できなかった。そこで、沸騰と自然蒸発について水の粒子になって考えてみることにした。

- ①沸騰と自然蒸発の実験を行う。
- ②イメージ図で、沸騰と自然蒸発のイメージを表す。(図9)
- ③みんなで、水になって沸騰と蒸発を表現してみる。(図10)
- ④実際の沸騰と蒸発の違いを比較して再検討する。

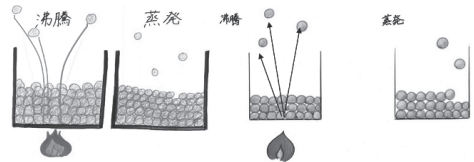


図9：沸騰と蒸発のイメージ図

これも図10では分かりにくい動きとして動画とすれば、温められて気化して出て行く様子と表面から抜け出して気化する蒸発との違いを感じることができる。みんなで沸騰を表す時には、温まり方とそのときの水の粒子の動き方を話し合いながら考えられた。ここでの出発点も閉じ込められた水のイメージからとなり、系統的に考え方をつなげている。

個々の持つ現象のイメージを図にし、そのイメージを基に話し合いながらみんなで現象を動いて表現し、そこから実際の粒子の動きが現象につながっていることを感じる事ができた。



図10：沸騰（左）と自然蒸発（右）

手順8) 水は温め続けると膨張して体積が大きくなり、さらに蒸発して水蒸気となって気体となり、さらに、体積が大きくなる。水を冷やし続けると収縮して体積が小さくなる。しかし、氷となって固体になると体積が大きくなる。ここまで小さな水の粒子になってみた経験があれば、自分たちでやってみようとするであろう。(図11) 膨張と収縮についてはすぐに実践できる。氷になると体積が大きくなることは、結晶が六角形の雪印であることをヒントに、六角形になるようにつながっていくと空間ができて体積が大きくなる(図11右図)ことが分かる。自分たちでつながってみてはじめてと広がることを実感できる。つまり、水になってみて氷る疑似体験をすることによって、三態変化についての理解が進む⁽⁵⁾⁽⁷⁾⁽⁸⁾。



図11：水の三態変化 気体：水蒸気（左） 液体：水（中） 固体：氷（右）

手順9)10)ここまでの実践を基に、水が起す現象として雲と雨を自分たちで考えることができるようになる。三態変化と自然蒸発で水蒸気となってみた。冷やされると集まって水になることも行った。これらを踏まえて水の循環を自分たちで表すことが可能となる。図12のように、雲や雨になってみることで、雲の種類や雨の量と水蒸気の量の関わりについても考えることができる。

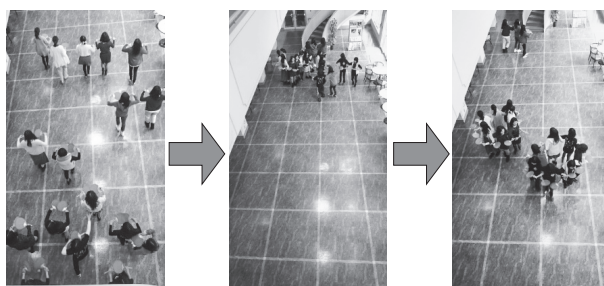


図12：蒸発（左）、上空で雲に（中）、雨（右）

閉じ込めた空気と水の粒子によるイメージから、系統的に考え、話し合いを進めていくことで主体的に学びを進めることができ、水や空気に関する現象について系統立てて自分たちで考えながら学ぶことができる。図13のように、水の三態変化から、雲や水の循環にまで、自分たちが動いて現象を表現することで考えをつなげることが可能となった。見えない小さな粒子の存在と動きの理解を系統的につなげていくことで、現象の根本の理解へとつなげられると期待する。

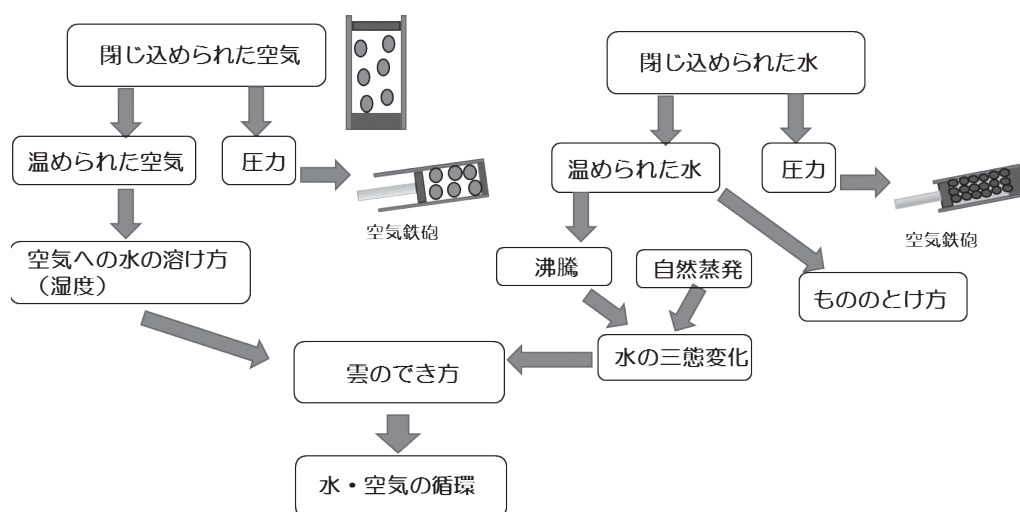


図13：空気と水の性質を学ぶ系統フロー

小中学校での理科は系統的に学ぶ必要がある。水や空気以外の単位についても同様である。電気回路についても、基本的な電気回路の中を動く電気のイメージを持てれば、その考えを基に、直列・並列や電熱線の理解へとつなげることが可能となる。一人ひとりが回路を流れる電流となり、輪となって回することで、電気の流れ方のイメージが持て、様々な電気回路の中での電気の動きを考えながら、学びを進めることが可能となる。（図14、15）^{(9) (10) (13)}

また、生物や地学の分野の理解についても、見えない小さな物の動きを自分たちで考えながら演じて表現する活動による主体的な学びに利用できると考えている。動植物の体の中での

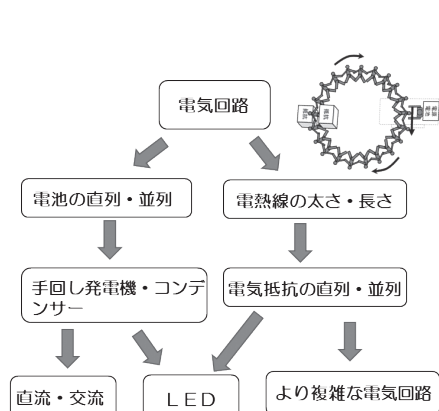


図14：電気を学ぶ系統フロー

様々な動きや、地面にしみ込んだ水のゆくえ、また、地球内部での動きなどにも利用できるのではないかと考える。

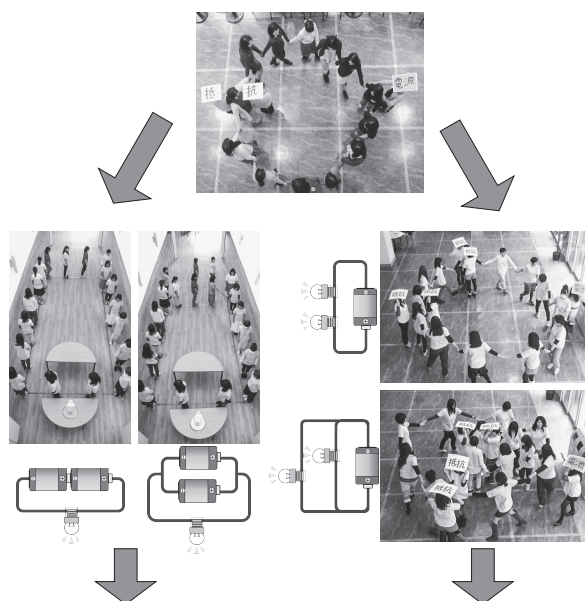


図15：電気回路 左（電池の直列・並列）
右（豆電球の直列・並列）

教員養成としての擬人化体感学習の可能性

擬人化体感学習として、基本の現象を基に系統立てて順に考えながら現象の理解を進めていくことができた。実際の学習において基本的な粒子や小さな要素の動きを自分たちで疑似体験できれば、その後は自分の疑問と興味を基に考え、思考実験を駆使しながら、主体的、系統的に学んでいくことができる。この実践において、学生がその現象の理解を深めながら実践を進めていく姿を見た。自分たちの動きを基に、様々な現象を説明しようと試みることも可能になっていた。論文（吉川、磯村、尾崎、沖、向井、2018）⁽¹⁾ における擬人化体感学習の実践では、基本的な現象の実践から「手回し発電機やコンデンサーでは電気はどのように動いているのだろうか？」「水にものが溶けて水溶液になるとどのような動きなのだろうか？」という学生からの疑問から研究が始まった。論文では主体的な学びの方法として考察したが、主体的に学ぶことで自分の理解が深まり、学生の苦手としていた「電気」と「水溶液」の内容の理解が進むこととなった。また、自分たちで動きを基にした説明ができるようになっていた。塩酸が鉄を溶かすイメージは難しい。しかし、実践においては水素が鉄の小さな粒子（原子）を引きはがして連れて行き、その代わりに水素同士がくっついて泡となって出ていく。鉄粒子（原子）は水溶液の中に塩素と留まり、その後、塩素と一緒に別物として出てくるところまで表現できていた⁽¹⁾。このように、見えない世界で起こっている現象を想像して理解に必要なポイントを知って、そこから理解に結び付けられた。つまり、現象を理解すると同時に、教えるポイントを自分たちで気づき、実感のある説明ができるようになっていた。これは、理科で現象を教えるために、また、実験や観察から気付いてもらいたいことを理解しておくために必要な力となる。学生での実践を通して、見えない現象を自分のイメージを基に教えらるる教員の力を育成できる実践になると感じた。

平成30年度の研究⁽¹⁴⁾では、小学校5年生で学ぶ「流れる水のはたらき」の水の浸食、運搬、堆積のはたらきと、さらに川の決壊による災害について、水の擬人化を使って考えてみるようになった。川の流れは見ることはできるが、増水中の流れになることはできない。そこで、思考実験と共に、自分たちでやってみることで理解を進める方法を考えるようになった。この単元では、曲がっている川の外側は削れ、内側は堆積していくことを、小さな川のモデル実験を通して理解していく。水を流してみると確かにそうなるのであるが、その理由を理解できたかは不明であった。そこで学生が中心に、擬人化体感学習を行った。水になってみるということは、これまでの実践経験があるから考えられる発想である。曲がった川を流れる水のはたらきを実践によって理解する手順は、

- ①曲がった川の例を考え、単元内で行われる実験を基に、流れる水を考える。
- ②曲がった川の流れイメージで図、絵に表す。
- ③イメージを基に話し合いながら、水になって流れる疑似体験を実践してみる。
- ④客観的に見て、再度、現象の検討を行う。

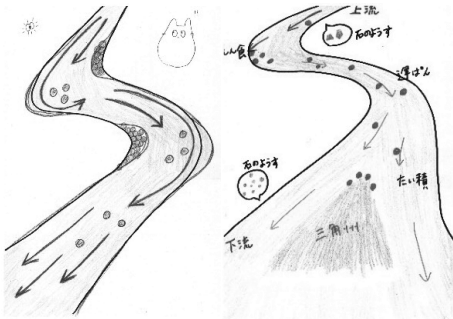


図16：川の流れイメージ図

とした。図16のようなイメージ図で川の流れを表したが、流れは矢印となってしまう、どこまでの理解があるのかが分かりにくい。しかし、そのイメージを基に川の流れをやってみると、図17のように、曲がった枠（川）の中を進む（流れる）

中で、走ると膨らみ、ゆっくりであると曲がりに従って進めることが実感でき、速い流れは曲がった部分では膨らんでまっすぐ進み、壁（土手）を削っていくことを実感できる。さらにみんなで速く走って行くと曲がり切れずぶつかって堤防を壊す。一方、内側を通るにはゆっくりと進む必要があることを流れになって見れば分かる。この実践で堆積についてはゆっくりした流れでは持っていた石を落としていくということにしていた。実践後の検討での意見では、「自分で走ってみることで水の流れを感じられた。」「曲がった川で速く走ると外側へふくらんでぶつかってしまうことが実感できた。」というものがあつた。実際にやってみることで気付くことがあり、やってみるからこそ、流れが実感できると言える。実際の水の流れに対しても、このイメージを基にして説明できるようになっていた。

小学校6年生の「食べもののゆくえ」において、「毎日食べて、排泄するが、体の中で何が起きているのか想像できない」という疑問に対しても、食べ物になって口から入ってみる疑似体験



図17：曲がった川の流れ 速い流れは曲がれず外側へ、右中、右下：曲がり切れず堤防の決壊

を行うことにした。図18のように口から胃、(十二指腸)、小腸、大腸、肛門と通っていく間にばらけて消化、吸収されて、最後に排泄されるところまで行った。どこで吸収されるかは勉強する必要があるが、口から長い道のりの後、出て行くことが実感できた。口から消化管を通して出て行くことで、私たちの体にはつながった食べものの通る道があり、長い道のりの中で上手く消化・吸収が行なわれていることが分かる。さらに、体の中というよりは、外とつながっており、吸収で体内に取り込まれるというイメージも持てる。このように実践することで分かってることがあり、見えない所を教えるためのイメージづくりができると感じた。

現象を自分たちの動きで表す実践をしてみることで、教えるためのポイントに気づき、実感を持った現象理解ができる。擬人化体感学習は子どもたちに主体的な学びとしてこのような学習の時間が持てることを期待していたが、それ以上に、教師が教科書では理解していたつもりでも、実感として分からないまま教える不安を和らげる方法となるのではないかという考えに至った。理科の学習で実感を伴った理解のためには本物を知ることが大切である。しかし、目に見えない小さな世界や見に行けない場所での出来事を、子どもたちに生き生きと教えることは難しい。そこで疑似体験としてのこの体感学習が良い効果をもたらすのではないかと考えている。実践中の学生の注目するポイントの変化や、誤解のないような動きを提案する姿から、擬人化体感学習の理科を教えられる教員養成としての可能性の高さを感じる。

教員養成に利用するために、一度、基本的な実践を行い、系統的に考えることを練習することが必要になる。目に見えない現象や見に行けない現象を生き生きとした学習とするためには、教える側が実感を持って教えられる準備をするべきである。

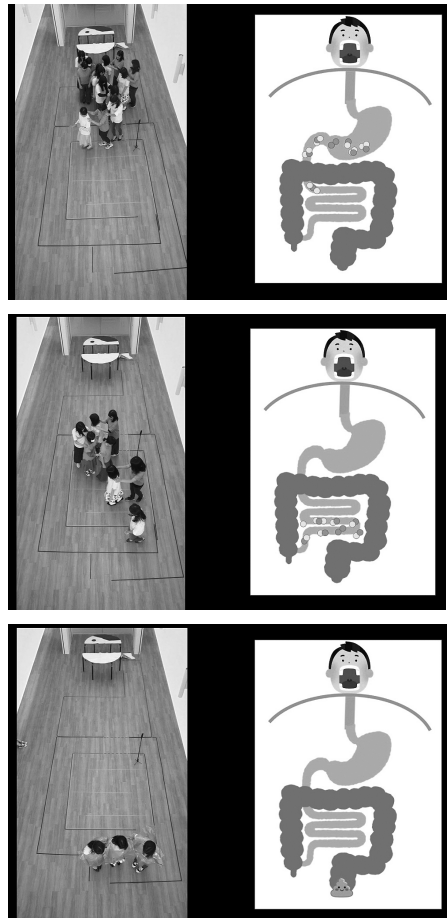


図18：食べたもののゆくえの実践

大学の授業での擬人化体感学習

現在、教員を目指す学生を対象に2年次の子どもの科学実験指導法という授業を担当している。この授業では、理科の苦手意識を和らげることを目標に、3年次の理科教育法へつなげる内容について通年で教えている。この授業の中で、擬人化体感学習を取り入れた模擬授業を学生が行う。教員養成としてこの学習方法を用いている。学生同士で現象を考え、どうすれば理解につながるかを試行錯誤しながら進めている。全てがうまくいくわけではないが、それぞれの班で指導することによる学びと、参加して実践に加わって現象を理解する学びとがあり、そ

れぞれが効果的にはたらいっているように感じている。実際、実践後に、例を使って説明したり、人の動きを使って見せたりと、自分のイメージを基に伝えるという姿が見られるようになった。また、擬人化体感学習においては、映像撮影による客観的な見方での現象の表し方を考え、実際に一人ひとりが動く現象内のミクロな視点での表し方を同時に考えることになる。個々の動きが全体の動きに伝わることを想定した活動となる。つまり、小さなミクロの世界の出来事と、私たちの知るマクロな現象を結び付けて考えていることになり、ミクロとマクロの現象のつながりをイメージできるようになる。教師となって教えることになる内容はマクロな現象であるが、ミクロの世界の見えない部分とのつながりをイメージする練習は、子どもの疑問へ自信をもって答えられる力になる。

授業での実践後のアンケートによると、「体を動かすことで理解が深まり、記憶に残る」、「頭で理解したことをすぐに体をつかって表すことで理解を確認できた」、「見えない動きを想像できた」、「教科書で見た内容以上に考えた」、「上から動きを見ることで自分たちの動きと内容の関係がよく分かった」など、参加した全ての学生が、理解が深まり記憶に残るという回答をした。学んだ内容を基に、考え、自分たちの考えを話し合いながら実践できることで、自分の理解を確認しながら行うことができるところが利点であると言える。一方、残る課題は、場所、人数、時間の確保となる。より効果的に行うには、上から見るができる場所と、実践組と観察組を分けて行うことが必要となる。いつでも、この学習を体感できる実践方法が欲しい。上からはビデオ撮影による映像で見ることができが、動いた中、つまり見えない世界の中から見ただけの様子をどのように見るができるかということである。

そこで、現在は、360度カメラやバーチャルリアリティ（VR）の利用が容易になってきたことから、現象の中に入った様子を撮影し、客観視する映像と実践参加者から見た映像とを比較することで、ミクロからマクロに結び付ける考え方ができるのではないかと考えている。360度の写真（図19）や映像は、視点を変えて現象を見ることができることから、注目する部分を変えて比較することでミクロの動きがマクロな現象につながるポイントを知ることができると期待する。



図19：曲がった川の流れ実践での360度映像

擬人化体感学習を利用することで、現象をミクロな視点によるイメージから考えることができる。これは、教える側の理解を深め、他の現象や例についてイメージを持って話せるようになり、見えない現象を理解して教えることができるようになると期待できる。見えないから分らないとしたまま教えるのではなく、イメージを持つ方法を知ること、見えない部分や分らない内容へのアプローチができ、見えない世界にある現象の理由を考えることで分らず教えるということを減らすことができる。つまり、教員養成において理科を教える不安を和らげることに効果があると考えている。今後は、VRや360度映像などの利用により、みんなで実践するだけでなく、できない場合の代わりとして映像使用でミクロとマクロを結び付ける考え方が持てる教材としていくことを課題としたい。

謝 辞

この論文は、名古屋女子大学の理科教育（物理）研究室の磯村梨奈さん、尾崎真帆さん、沖柚希さん、向井風夏さんとの共同研究、秋谷真衣さん、小林亜衣さん、長崎由加里さん、茗荷谷穂さんとの共同研究、立石朋子さん、水野由貴さんとの共同研究を基にして研究を進めたものです。また、本研究に参加、協力して頂いた理科教育（物理）研究室の学生の皆さんに感謝いたします。著者の担当授業で実践しアンケートをお願いしました。アンケートにご協力頂き、論文への使用についてご理解いただきました学生の皆さんにも感謝いたします。この研究の一部は、平成31年度 名古屋女子大学 教育・基盤研究助成費による助成（「VR技術を利用した理科教育の可能性の研究」課題番号3103）を受けたものです。

参考文献

- (1) 吉川, 磯村, 尾崎, 沖, 向井: 名古屋女子大学紀要, 第64号, 9-19, 名古屋女子大学 (2018).
- (2) 小学校学習指導要領(平成29年3月公示) 文部科学省 (2017), 中学校学習指導要領(平成29年3月公示) 文部科学省 (2017).
- (3) 小学校学習指導要領解説 理科編(平成29年6月) 文部科学省 (2017).
- (4) 吉川直志: 名古屋女子大学紀要, 第59号, 13-20名古屋女子大学 (2013).
- (5) 吉川, 石川, 加藤, 竹村: 日本科学教育学会第37回年会論文集 37, P349-350 (2013).
- (6) 吉川, 森石, 香川, 山本: 名古屋女子大学紀要, 第60号, 1-10, 名古屋女子大学 (2014).
- (7) 吉川, 石川, 加藤, 竹村: 日本科学教育学会第38回年会論文集38, P435-436 (2014).
- (8) 吉川, 石川, 加藤, 竹村: 名古屋女子大学紀要, 第61号, 15-25, 名古屋女子大学 (2015).
- (9) 吉川, 大西, 河合: 日本科学教育学会東海支部会 第9回研究会研究報告29, 15-20 (2016).
- (10) 吉川, 大西, 河合: 名古屋女子大学紀要, 第62号, 15-24, 名古屋女子大学 (2016).
- (11) 秋谷, 茗荷谷, 吉川: 日本理科教育学会第62回東海支部大会, 研究発表要旨集, B-19 (2016).
- (12) 吉川, 秋谷, 小林, 長崎, 茗荷谷: 日本科学教育学会東海支部会 第8回研究会研究報告31, 19-24, (2017).
- (13) 吉川, 沖, 尾崎: 日本科学教育学会東海支部会 第10回研究会研究報告32, 1-6, (2018).
- (14) 立石, 水野, 吉川: 日本理科教育学会第64回東海支部大会, 研究発表要旨集, 1B-4, (2018).

