

理科教育における擬人化による体感学習の可能性

吉川 直志

Possibility of the Physical Feeling Study by the Personification in Science Education

Tadashi Yoshikawa

要旨

小学校、中学校の理科教育の柱の中に、「エネルギー」と「粒子」という見方・考え方が入っている。理科教育においては、見えない「粒子」の存在は、それまでの知識を基にした体験や体感によってしか理解できない。この研究では、ある現象を起こす基本因子としての「粒子」を一人一人が演じることで全体のふるまいを再現する擬人化による体感学習の方法と、その可能性を考察する。その擬人化による学習の一つの例として、糸電話を導入とした、波を伝えるものの擬人化による波の伝わり方の理解の方法を紹介する。

はじめに

小学校、中学校の理科学習指導要領⁽¹⁾⁽²⁾において、理科教育は「エネルギー」「粒子」「生命」「地球」の4つの柱で構成されている。現代科学の基本的な考え方として「エネルギー」と「粒子」の概念は、素粒子物理において全ての物質は素粒子でできており物質はエネルギーと等価であるという考え方からすれば当然であると言える。この中で、特に「粒子」の存在という考え方、概念は現代科学の中心となっており、多くの現象は、分子、原子、電子の集団としての振る舞いにより起こると解釈できる。こうした考え方を小学校、中学校の段階で身につけておくことは、科学を正しく理解するための強力な武器となる。

「粒子」を柱の一つとする小学校の理科教育において、見えない「粒子」の存在を理解させるにはやはり体験、体感が必要であると考えられる。その手法の一つとして、一人一人が「粒子」を演じて全体の振る舞いを再現する擬人化の方法の可能性を考える。小学校、中学校の理科の教科書にある単元で、この手法の活用によりその現象における粒子の振る舞いの理解を助けることが可能であると考えられる内容は多々ある。また、手法に遊びの要素を取り入れ、楽しく演じる中で、実際の現象を知らずに体感できることもこの手法の利点であると考えている。まず、この論文では、擬人化した人間の粒子が個々に動くことで全体の動きとなり反応となっていくことを実際にみんなで演じて体験、体感できる事例の一つを紹介し、その有用性を考察する。

この論文では「音を伝えるもの」として振動を伝えていく因子を一人一人の人間が演じることで、波、音の伝わり方を体感して理解できることを紹介する。小学校の理科には、「音」に

ついて学ぶ単元は無いが、最も身近な現象を例にすることで、遊びや日頃の体験を通じて全ての現象に通じる波の科学を体感できる良い教材となる。

声を伝えているものの理解

私たちの声や周りの音を伝えているのは空気である。音が伝搬するのは、その音を伝える荷がその間に存在しているということである。そのことをすぐに実感させることは難しい。まず、第一段階として、子どもの遊びの中にある、糸電話で話をするものの体験から始める。糸電話の制作は簡単であり、短時間で誰でも作れるため、導入として良い教材である。糸電話では、「糸」が声を伝えていることが実感でき、「物」が声を伝えているという実感からいろいろな応用が可能となる。ここで、声や音を伝えたい先までの間に何か音を伝えるものが存在することで伝わるということを感じさせる導入実験として糸電話を使う。

1) 糸電話の制作

子どものころに誰もが糸電話を作って遊んだ経験がある。また、手順も少なく、すぐに制作に取り組める。

準備： 紙コップ 2個、糸、ビーズ 2個 または セロハンテープ

- 手順： 1. 紙コップの底の中心に穴をあけ、糸を通す。
2. コップの内側へ通した糸の先にビーズを付ける。
または、糸をテープで紙コップの底に固定する。
3. 同様に、適当な長さの糸の両側に紙コップを取りつければ完成。

自分たちで制作した糸電話で話をし、実際に声が伝わっている様子を体験する。この時、糸をピンと張らなければ声が伝わらないことを確認する。



図1：糸電話

2) 応用糸電話の作成

「糸」の部分針金を代えた「針金電話」を作成する。針金であっても声を伝えること、また、針金では糸電話と違って、張らなくても声は伝わることを体験してもらう。湾曲していても、ぐにゃぐにゃになっていても、声が聞こえることを不思議に感じてもらえればよい。また、針金の太さを変えると伝わる音の大きさも変わる。

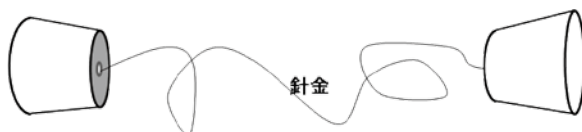


図2：針金電話

糸以外の物でも、声は伝わることを確認してもらうために、図3のように、糸と糸の間に何かを結びつけ、声が聞こえるか確認する。例えば、焼き網を結びつけて行ったが、しっかりと聞こえ、不思議な音質となった。このように色んな物を試して、音が伝わることを確認すると楽しく、かつ、興味を引く実験が出来る。ここでは、物があれば、音を伝えるこ

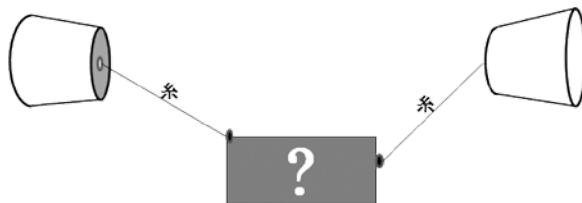


図3：物が音を伝えることを知る実験

とができることの確認ができればよい。

3) ゴム電話と風船糸電話の作成

これまでの実験で、物が音を伝えることが分かったので、空気が音を伝えていることを確認するための実験に移る。まず、糸電話の糸をゴムに変えたゴム電話を作る。ゴムに力をかけない状態では、声は聞こえるが、ゴムを引っ張った状態では、声が届かなくなる(図4)。ゴム電話自体、声は小さく聞こえ、引き伸ばしたゴム電話では、さらに音は伝わり難いことを確認した後、ゴム風船電話の場合の実験を行う。長細いゴム風船を膨らませ、その両端を紙コップの底に差し込めば、風船電話として声を伝えることが出来る。この風船電話は、とてもよく声を伝える。何が声を伝えているのか。風船のゴムは伸びきっており、ゴム電話の経験から、ゴムは声を伝えていないと考える。また、風船の途中を握って空気が入って膨らんだ部分を分けてやると聞こえなくなることから、声を伝えているのは空気であるという結論となる。

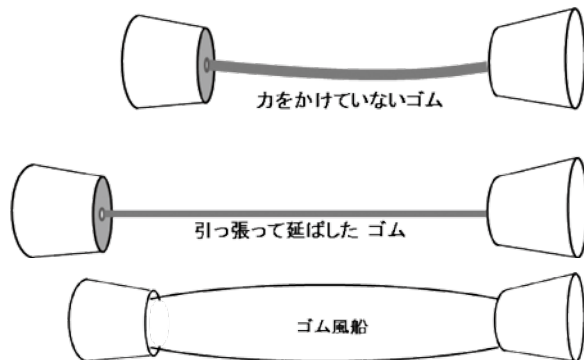


図4：ゴム電話と風船電話

4) 糸電話における声の伝わり方の誤解

糸電話遊びを通じて、多くの人は、音はギターのように振動して伝わると誤解している(図5)。糸電話のコップの底の面が声を感じ、糸と平行な方向に振動することを考えると、図5のタイプの波で伝わっている訳ではないことが理解できる。また、針金や間に物を入れた糸電話でも音が伝わること、風船電話の中の空気が音を伝えているということからも、ギターの弦の振動のような伝わり方でないことが理解できる。

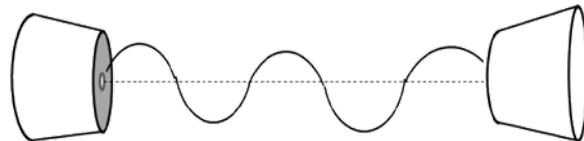


図5：糸電話の誤ったイメージ

こうした糸電話実験(遊び)を通して、声や音は、その間にある物によって伝えられ、私たちの声は空気によって伝えられることが理解できる。では、どの様に、伝わっていているかを、次に考える。

縦波と横波の理解

糸電話を伝わる波の正体を考える前に、波には、縦波と横波の二つの種類があることに触れる。横波とは、図5のような波の進行方向に垂直な変位が伝わる波であり、縦波とは、密度波ともいわれる通り、疎と密の位置が交互に現れて伝わる波である。縦波を理解することは難しいので、ばねなどを使って縦波と横波を例示するとイメージしやすくなる。縦波の伝わり方を理解させるには、その波を伝える物の構成因子を使って説明することになる。音(波)を伝え

る物質は全て原子や分子の集まりであり、空気であっても、窒素や酸素の分子の集まりであると考え、そうした構成因子が、波を伝えているという考えに至る。この見方で、縦波、横波を図示すると、図6のようになる。波を伝える構成因子が横一列に並び、右方向へ波が進行しているとすると、横波は、上下（左右）方向の変位であり、縦波は、隣との間隔が狭く（広く）なるところが右へ進んでいく。

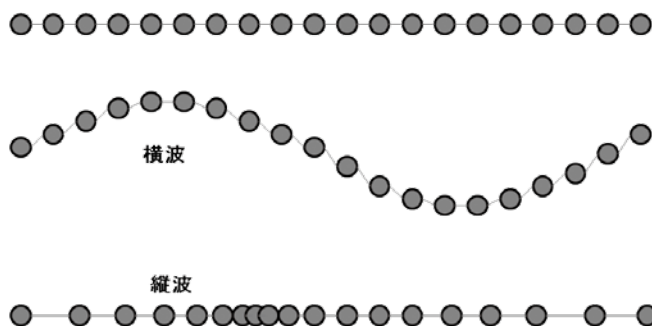


図6：横波と縦波のイメージ

理科において、縦波、横波が登場するのは、地震波として、P波、S波があり、P波が初期微動を伝え、S波が主要動となるというところである。このP波が縦波であり、大きなゆれを伝えるS波が横波である。地震速報ができるのは、縦波のP波がかなり先に到達して、その後遅れて横波の大きなゆれS波がくるので、その時間差が利用できるからである。同じ震源で発生したゆれ（波）でも、縦波が先に到達し、遅れて横波がくるという伝わり方が意味することは、縦波の方が進む速度が大幅に速いということである。

また、音や声を伝える波は、図5のタイプではないということであった。つまり、音は縦波として伝わっていることになる。進行方向に対して同じ平行な方向の変位が、紙コップの底を振動させて音としている。その音も鼓膜を振動させて音と認識していることから、縦波として伝わっていることが理解できる。

しかしながら、こうした説明を、実感して理解することは非常に難しいと思われるため、この研究の主題である擬人化の手法を用いて、その理解をどのようにサポートできるかを考察することにする。

擬人化の手法による体感による波の理解

波を伝える物（媒質）は、固体、気体、液体とあるが、それぞれ、原子や分子といった「粒子」で構成され、それぞれが波を伝える因子として働いている。擬人化の手法では、その因子としての「粒子」を人間が一人一人演じて、その波の伝わり方を体感することを行う。図のように、擬人化実験に参加する人は一列に並んで位置し、自分に伝わった情報を隣（前）に伝達していく。

まず、最初は、構成因子が手をつないで整列している固体をイメージして、みんなで横波を伝える。図7のように一列に並び、前の人の肩に両手を置いてつながる。最後尾の人が、前の

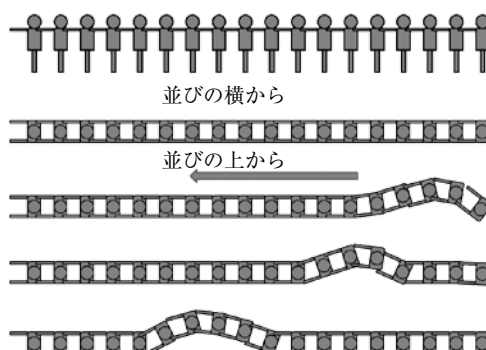


図7：横波の擬人化

人の肩を横方向へ大きく揺らすと、その揺れは、肩においた腕を通じて、前方へと進んでいく。こうして、横波の進行をみんなで再現する。

縦波は、最後尾から、前の人の肩を軽く押して、押された人は前に、前にその押された力を伝えていく。図8のように、人間で縦波の進行を再現することができる。

横波と縦波の伝わり方をみんなで再現すると、どちらの伝わり方が速いのかを体感する事が出来る。やってみると、縦波のほうが、かなり速く前まで到達することが分かる。単純な実感として、縦波が速く伝わることを体感することができる。

横への変位には、前の人を横へずらすための力が必要であることと、その変位が大きいことから速度が遅くなるのだが、原理はどうあれ、やってみると、確かに縦波の方が速いことがすぐに分かる。2列作り、縦波、横波で競争すればその伝わる速さの違いをより強く実感させることも可能である。

この波の擬人化の利点は、波の伝わり方を体感できることに加えて、その伝わり方の特性を自分たちで再現することで実感出来る所にある。地震波でP波が先に到着することも、こうして理解することができる。

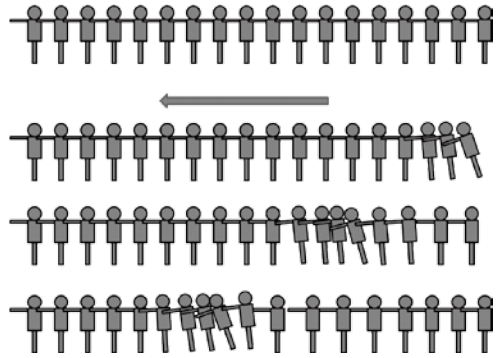


図8：縦波の擬人化

固体、液体、気体を伝わる波の理解

前章では、固体中を伝わる波の擬人化を行った。空気や水中を伝わる声は、気体中、液体中の波である。そこで、固体、液体、気体の構成を思い出すと、図9のように、固体のイメージは、となりの原子・分子と手をつなぎ、つながって規則的に並んでいる。液体のイメージは、詰まっているが、ばらばらで、勝手に動いている。気体は、さらにばらばらで、隣の分子との距離があるが、飛び回りながらぶつかりあっている。こうした、固

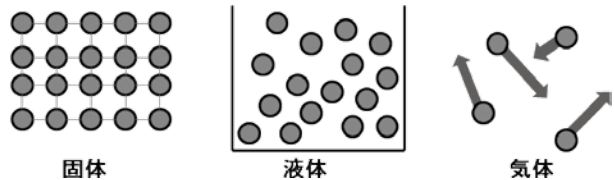


図9：固体、液体、気体のイメージ

体、液体、気体の構造のイメージを基に、波の伝わり方を再現すると、液体、気体では、隣との結びつきが弱いため、横波は伝わることが理解できる。図7で、前の人の肩に手を置いていたが、液体、気体では、図10のように、つながっていないため、最後尾でいくら横に揺れても前には伝わらないことが分かる。横波が、空気中、水中では伝わらないということがこれで理解できる。また、固体中でだけ横波が伝わることも理解でき、地中を伝わる地震波では、S波として横波が伝わることも分かる。

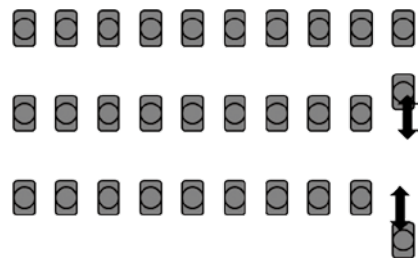


図10：液体、気体中の横波の擬人化

では、縦波はどうなるかも、同様に再現することができる。図8では前とつながっていたが、今回は離れている。しかし、ぶつかることは可能なので、前に体を当てて、すこし前に押しやる。そうすると同じように縦波は伝搬していくことが体感できる。縦波は、液体、気体、そして固体と全てを伝搬できることが分かる。

ここまで理解出来ていれば、固体、液体、気体を伝わる音の速さが異なることもすぐに理解出来る。固体はお互いが結びついているので、すぐに隣に伝わる。液体はばらばらなので、隣にぶつかるまで、すこし移動しないと行けない。気体中では、分子同士の距離が液体より開いているので、音の信号が隣の分子に伝わるまでに、もっと時間がかかる。この簡単な、思考実験でも、固体中の音速が一番早く、次に液体中、そして、気体中を伝わる音速が一番遅いということになる。このことも、一列に並ぶ間隔を広げたり、狭めたりすることで、簡単に体感することが可能となる。

こうして、擬人化の手法によって、体感により、波を伝える物性についても考えることが出来るようになる。

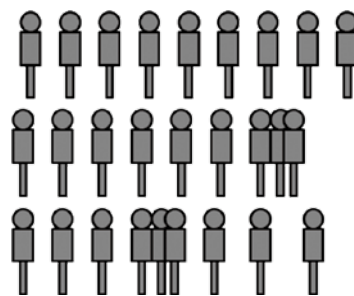


図11：液体、気体中の縦波の擬人化

糸電話にもどって

ここまで理解できたとして、糸電話遊びを振り返ると、改めて疑問に思うことが出てくる。それらの疑問点についても、擬人化の手法を使っての理解を試みる事が可能となる。

疑問点1) 糸電話は、なぜピンと張らないと声が伝わらないのか？

音、声は縦波として糸を伝わっている。それを伝える構成因子が隣に情報を伝えて行かなければ、縦波であっても伝わらない。糸の場合は、繊維質の物を紡いで作られる。からみあっているがしっかりとつながっていない状態であると考えられる。そのような状態では、縦波は繊維から繊維へと伝わりにくいいため、張っていない糸では声が伝わらない。ピンと張ると、繊維どうしが引っ張りあってしっかりとつながる状態となるため、縦波の音が伝わるようになる。

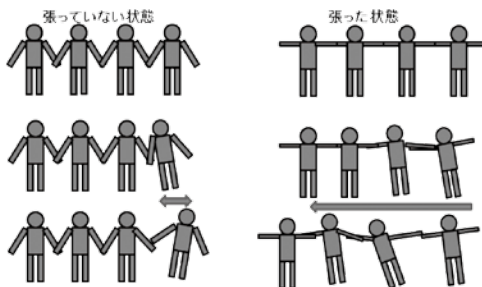


図12：糸電話の擬人化

擬人化の手法でも、図12のように、張っていない状態を、手はつなぐが腕の部分に動く余裕があり、体を動かしても、となりに伝わる前に、腕の部分で吸収してしまうことを再現し理解できる。張った状態の糸では、しっかりとつながっているので、となりに動きが伝わりやすいことが理解できる。

疑問点2) 針金は、ぐにゃぐにゃでも、どうして声がつたわるのか？

針金は細く伸びているが、金属であり、固体であることを思い出すと、その構成因子はしっかりと結びついているため、どんな状態であっても、つながっていれば、音は伝わることになる。また、針金の太さを太くすれば、伝わる音も大きくなる。こうした現象も図8のような伝

わり方であることを思いだせば理解できる。

疑問点3) ゴムはどうして、伸ばすと、声が伝わらなくなるのか？

糸はピンと張ると音が伝わるのに、ゴムはなぜだめなのか？ ゴムをピンと張るということは、かなり力をかけて引き延ばしているという状態である。ゴムの普通の状態ならば、一応、固体であるため、音（縦波）は伝わるが、ゴムが伸びた状態では、もうこれ以上伸びない、または、もっと強い力でないと変位しないという状態であるため、縦波の変位を起こす力は、ゴムの弾性力によって消されてしまうことになる。ただし、強く引っ張り合っているため、横振動（横波）はおこる。このゴムの状況も擬人化により再現可能となる。

注意点：針金電話と実際の電話との違いに注意

針金は音を伝えるが、電話線でつながっている実際の電話機で会話を伝える原理とは異なっていることを注意しなければならない。電気信号の伝達を行っている電話機と違い、針金電話は、糸電話の一種であることを指導において補足する必要がある。

擬人化の手法

この論文で紹介した波の擬人化は、擬人化による体感学習の一例である。現在、理科教育におけるこの擬人化の手法の利用方法とその有効性について研究を続けている。理科教育で扱う様々な自然現象もこの手法を取り入れることで、その現象が起こる原因となる根本の、原子や分子などの小さな「粒子」の動きから全体の動き、振る舞いにつながることを体感として理解できると考えている。不思議に思う自然現象もその原因は、目に見えない「粒子」の世界にあり、その世界で起こる出来事を実感できれば理解が進む。その見方、考え方を基に、さらなる自然現象の理解へと進めることが期待できる。

この論文で紹介した例から解ることは、遊びの中の不思議さを考え、さらに突き詰めれば、その背後には科学があり、そして、見えない世界の物理法則がそこにあることである。その不思議さを理解する手法として、見える大きさと再現すること、つまり擬人化の手法を用いることで、自分でコントロールできる物理の世界において、その現象の本質をとらえることが可能となることである。

自分たちでやってみて理解できた経験は、理科的な見方、考え方を育てると考える。この研究を通して、理科教育における擬人化による体感学習の方法の可能性をさらに突き詰めていく。

謝辞

この研究は、理科教育（物理学）研究室の学生と共に行いました。特に、糸電話から波の擬人化への導入は、ゼミ生の山本莉緒氏との共同研究です。

本研究は、JSPS科研費24501070の助成（日本学術振興会科学研究費補助金（基盤研究C）「みんなで粒子を演じる体感型理科教育の方法」課題番号24501070）を受けたものです。

参考文献

- 1) 文部科学省：小学校学習指導要領解説 理科編，2008，大日本図書
- 2) 文部科学省：中学校学習指導要領解説 理科編，2008，大日本図書