

小学校理科とアクティブ・ラーニング

伊藤 稔 明*

1. はじめに

本論は、小学校における理科学習指導とその教材を論じるものである。次節においては、科学そのものに関する『小学校学習指導要領』の立脚点を分析する。3節では、理科の領域を考察し、以下、1節ずつを用いて、第3学年から第6学年までの理科の学習内容を検討する。第8節では小学校理科におけるアクティブ・ラーニングについて考察する。

2. 『小学校学習指導要領』と科学

現在、2008年に改訂された『小学校学習指導要領』に基づいて、小学校教育が展開されている。理科もそのなかの教科のひとつである。小学校3年生から始まる理科の授業は、子どもにとってはじめて学ぶ科学の授業となる（本論では特に断らない限り「科学」とは「自然科学」を指すものとする）。いわゆる「脱ゆとり教育」とされる現在の『小学校学習指導要領』では、理数系の教科に力点が置かれているとされている。たしかに、算数と理科の時間数は前『小学校学習指導要領』に比較して増加している。しかし、量とともに質が向上しなければ子どもたちに豊かな科学概念を構築することは難しいであろう。

現行の『小学校学習指導要領』では小学校理科の目標が、「自然に親しみ、見通しをもって観察、実験などを行い、問題解決の能力と自然を愛する心情を育てるとともに、自然の事物・現象についての実感を伴った理解を図り、科学的な見方や考え方を養う」と規定されている。理科教育学の見地からすれば、様々な検討課題を有する目標となっているものの、ここでは、まず「科学的な見方や考え方を養う」に着目しよう。

『小学校学習指導要領解説理科編』では、この“科学的な見方や考え方を養う”に関して、以下のように解説している。

ここでは、「科学」というものの考え方と「見方や考え方を養う」ことの二つの部分に分けて考えることにする。

科学とは、人間が長い時間をかけて構築してきたものであり、一つの文化として考えることができる。科学は、その扱う対象や方法論などの違いにより、専門的に分化して存在し、それぞれ体系として緻密で一貫した構造をもっている。また、最近では専門的な科学の分野が融合して、新たな科学の分野が生まれたりしている。

科学が、それ以外の文化と区別される基本的な条件としては、実証性、再現性、客観性などが考えられる。「科学的」ということは、これらの条件を検討する手続きを重視するという側面からとらえることができる。

実証性とは、考えられた仮説が観察、実験などによって検討することができるという条件である。再現性とは、仮説を観察、実験などを通して実証するとき、時間や場所を変えて複数回行っても同一の実験条件下では同一の結果が得られるという条件である。客観性とは、実証性や再現性という条件を満足することにより、多くの人々によって承認され、公認されるという条件である。

見方や考え方とは、問題解決の活動によって児童が身に付ける方法や手続きと、その方法や手続きによって得られた結果及び概念を包含する。すなわち、これまで述べてきた問題解決の能力や自

然を愛する心情，自然の事物・現象についての理解を基にして，見方や考え方が構築される。見方や考え方には，短い時間で習得されるものや長い時間をかけて形成されるものなど，様々なものがある。

見方や考え方は，「A 物質・エネルギー」，「B 生命・地球」のそれぞれの内容区分によっても異なっている。いずれにしても，理科の学習は，児童の既にもっている自然についての素朴な見方や考え方を，観察，実験などの問題解決の活動を通して，少しずつ科学的なものに変容させていく営みであると考えられる。pp. 14-15

ここでは，まず「科学とは」という解説から始まっている。しかし，残念ながら，ここには「科学とは……一つの文化」ということしか記載されていない。科学に対する様々な“学説”を意識してのことであろうけれども，文部科学省には堂々と科学を論じてほしいものである。ちなみに，文部科学省は前回の『小学校学習指導要領解説理科編』において，科学についての解説を，

現在の科学の理論や法則についての考え方が，次に述べるように変化してきているといわれている。それは，科学の理論や法則は科学者という人間と無関係に成立する，絶対的・普遍的なものであるという考え方から，科学の理論や法則は科学者という人間が創造したものであるという考え方に転換してきているということである。この考えによれば，科学はその時代に生きた科学者という人間が公認し共有したものであるということになる。

と，昔ながらの典型的不可知論に基づいておこなっていた。このときの『小学校学習指導要領解説理科編』と比較すれば，現行のものは「まだまし」というべきかもしれない。

科学とは，自然の事物に関する法則性を明らかにする営みである。もっとも体系だった科学理論では，前提となる原理を仮定し，そこから数学を用いて論理展開し，導いた結論を実験・観測で検証する。追実験を重ね，何の矛盾も生じなければ，確立した理論と認識される。

こうした体系的な確立をもった典型が Einstein による相対性理論である。相対性理論には，1905年に Einstein によって提唱された特殊相対性理論と，1916年に同じく Einstein によって提唱された一般相対性理

論という2つの理論があるけれども，ここでは主に特殊相対性理論についてみることにする。

特殊相対性理論には，この理論の前提となる2つの原理が設定されている。すなわち，特殊相対性原理と光速不変の原理である。特殊相対性原理とは，互いに等速度で運動する慣性系において，すべての物理法則は同じ形式で表現されるというものであり，光速不変の原理とは，慣性系における真空中の光の速度は一定というものである。

Einstein は，この2つの原理を満たすように，それまでの物理法則を書き改めた。この書き改められた理論体系を特殊相対性理論と呼んでいる。特殊相対性理論の結論として，同時刻の相対性，時間の遅れ，Lorentz 短縮，質量とエネルギーの等価性 ($E=mc^2$) などが得られ，そのすべてが実験的に検証されている。

ただ，理論もそれを検証する実験も時代の制約からは逃れられない。特に実験は技術の程度で，その有効範囲が制限される。時代が進めば，やがてその理論では説明不可能な現象が現れてくることもある。そうしたときにおいて，それまで確立した理論とされていたものが，まったく間違っていたものとして捨て去られてしまうことは，まずあり得ない。新しい理論は，これまでの理論をその内側に含む理論として建設されるのである。こうしたことを，古典力学から量子力学への発展において典型的にみることができる。

量子力学への扉を開ける現象は，黒体放射と呼ばれる現象であった。簡単にいえば，熱をもった物体が光を放つ現象である。物体は，1000度ほどの温度になると赤い光を放ち始め，さらに，温度が上昇するとオレンジ色になり，5000度ほどになると黄色の光になっていき，10000度を超えるころになると青白い光を放つようになる。そして，不思議なことに，これは物体の種類によらない現象なのである。

この黒体放射の現象は，それまでの Newton 力学でも Maxwell 電磁気学でも説明ができなかったものの，多くの科学者は“難しい応用問題”と認識していて，ここから新しい物理学が誕生するとは考えていなかったであろう。しかし，黒体放射を解き明かすために導入された1900年の Planck によるエネルギー量子化仮説，1905年の Einstein による光量子仮説を経て，1923年の de Broglie による物質波の提唱と1927年のその実験的検証を通じて，ミクロの粒子が「粒子」としての性質と「波」としての性質を併せ持つことが明らかとなり，「粒子」と「波」の両方を併せ持つ「量子」を

数学的に矛盾なく記述できる量子力学が構築されるのである。

この量子力学と古典力学の関係はどのようなものだろうか。量子力学に現れる Planck 定数を 0 とみなし得る極限においては、その理論は古典力学と一致する。すなわち、古典力学は量子力学の極限として含まれているのである。科学をよく理解していない人のなかには、「古典力学から量子力学へのパラダイム転換」という表現を用いる人がいるけれども、こうした表現は正確ではなく、古典力学の拡張が量子力学なのである。同じようなことは上述した相対性理論にもいえる。特殊相対性理論において光速度を無限大とすると、古典力学に一致する。また、一般相対性理論もその物体の重力が十分に小さければ古典力学に一致する。相対性理論も古典力学を極限として含んでいるのである。

本節の最後に、前『小学校学習指導要領解説理科編』で展開された不可知論的科学論に関して一言しておきたい。“科学は科学者という人間集団の合意事項に過ぎない”といった考えは古くから存在するし、いまも存在しているものである。この考えは、“別の人間集団であれば別の合意事項が存在し得る”のであるから、“科学者のみの考えに過ぎない科学を真剣に学ぶ必要などない”という結論を導く。しかし、本当に科学の法則は人間に依存した非客観的なものなのである。

この問いには、上述した相対性理論における相対性原理が答えを与えるであろう。ここでは、一般相対性原理の方が分かりやすく論じることができるので、こちらを用いることにする。一般相対性原理とは、互いに任意に運動する座標系において、すべての物理法則は同じ形式で表現されるというものである。特殊相対性原理では慣性系に限定されていたものを一般の任意の運動に拡張したものである。ちなみに、一般相対性理論は、この一般相対性原理と等価原理を前提とする重力の理論である。

さて、この一般相対性原理とは如何なる科学的な意味を有しているのだろうか。座標系とは、人がその物理現象を記述しやすいように張るものである。例えば、自由落下現象を記述するのであれば、落下の起点に原点をおき、鉛直下向きに一次元の軸を張ればよい。しかし、もし別の座標系、たとえば自由落下する直線をその平面に含むような xy 座標系を設定しても、記述が複雑になるだけで、物理現象としては何も変わ

ることはない。Einstein はこのことを拡張したのである。つまり、物理の法則は人間の存在とは無関係の宇宙の客観的真理であるから、それは人間が勝手に設定する座標系に依存するわけがない。だから、どのように相対運動する座標系であっても物理法則の形式は変化しない、ということである。現在、相対性原理はゲージ原理¹⁾のひとつとされており、ゲージ原理に基づく総ての理論は物理法則の客観性を証明する理論として位置付くことになる。

何度も記載しているように、前『小学校学習指導要領解説理科編』で展開された不可知論的科学観は古くから存在するものである。これに対して、科学は様々な反証を行ってきた。上記の相対性原理のことも、そのひとつである。では、科学には不可知論的科学論が唱えるような要素はどこにもないのであるか。

実は、科学にも信仰のように「信じている」ものが少なくとも2つある。その第一は、この世界（宇宙）が秩序だった法則に支配されており、そして、その第二は、我々はその法則を理解することができる、というものである。この2つが成り立たなければ、科学は成立し得ない。

しかし、この2つのことが「真」であることが証明されている訳ではない。いま、我々が自然の法則として認識していることは、我々に身近なごく限られた世界のなかで偶然成り立っているものに過ぎず、宇宙全体には法則性などないのかもしれない。また、例え、宇宙にはそれを支配する秩序だった法則があるとしても、我々の頭脳の能力では到底理解できないのかもしれない。いま、我々が自然の法則と呼んでいるものは、宇宙の法則のなかでもの凄く簡単なものだけではないのかもしれない。

ただ、人類の科学の歴史は、宇宙が秩序だった法則に支配されていることを十分に示唆しているし、我々の頭脳もそこそこ頑張っているように思わせてくれる。上記の2つのことは、いつになっても証明することは不可能であろう。しかし、科学はこの2つが成立していると信じ、人類とともに発展していくであろう。

3. 領域構成の変化と科学的世界観

現行の『小学校学習指導要領』から、理科の領域が3領域から2領域に変化した。3領域とは、「生物とその環境」、「物質とエネルギー」、「地球と宇宙」であり、新たな2領域とは、「物質・エネルギー」、「生命・

地球」となっている。この変化に関して『小学校学習指導要領解説理科編』では、

現行学習指導要領の三つの領域構成は、昭和43年告示の学習指導要領で初めて採用されたものである。これは、小学校の児童の発達の段階やものの見方や考え方の特性に沿ったものである。今回、さらに、児童が自ら条件を制御して実験を行い、規則性を帰納したり、一定の視点を意識しながら自然を全体と部分で観察して、特徴を整理したりする児童の学び方の特性とともに、中学校の「第1分野」、「第2分野」との整合性も加味して、新たに「物質・エネルギー」、「生命・地球」の二つの領域構成とするものである。p.6

と説明している。従前の3領域が「小学校の児童の発達の段階やものの見方や考え方の特性に沿ったものである」としていながら、2領域にする説得的理由としては、中学校理科との整合性が最も大きな要素であると読み取れる。中学校理科の「第1分野」は高等学校では「物理」と「化学」へ、「第2分野」は「生物」と「地学」になるのであるから、領域としては、小学校から高校までを通じて系統的になったといえる。

ここでは、教科としての系統性とは少し異なった視点を提供したい。それは、世界観の視点である。世界観というと難解な表現に思えるかもしれないけれども、簡単にいえば“身の回りがどうなっているのかについての考え”である。人間は自分の身の回りがどうなっているのか把握しようとする。そうしなければ怖いからである。人類の黎明期の頃であれば、どういふところに食べ物があるのか、どういふところに肉食獣が潜んでいるのか、そうしたことが分からなければ生きていけない。現代人であっても、どこで食事がとれるのか、どこで安心して眠ることができるのか、把握していなければならず、これは人類の黎明期と本質的に変わってはいない。

科学とは、こうした“身の回りがどうなっているのかについての考え”の延長であるといえる。小高い丘に登り地平線を見れば「あの向こうには何があるのだろう」と疑問に思ったり、たくさんの動物を見て「なぜ、こんなに多くの種類の動物がいるのだろう」と思ったり、夜星を眺めて「あれはなんだろう」と考えたり、そうした様々な疑問に対して、その答えを見出そうとしても何の不思議でもない。もともと、哺乳類や鳥類は好奇心旺盛である。おそらく、それは自然淘汰の結果なのであろう。そうした哺乳類のなかにあっ

て、ホモ・サピエンスは最高度の知能を有する種であることは間違いない。その我々が生きていくのに必要な最低限の知識以上のものを求めるのは当然のことといえる。科学の萌芽はそうしたものから出発したのであろう。つまり、科学とは“世界観を豊かにする営み”であるとも表現できる。

現在の科学を支える世界観とは、原子論的物質観・相対論的時空観・進化論的生命観の3つに集約できであろう。物質観は、この世界にある物質が何からどのようにできているのかについての世界観であり、これは原子論に基づかなくては科学的な世界観とはなり得ない。時空観は、時間と空間の広がりに関する世界観で、相対性理論に基づく必要がある。生命観は、生物・生命とは何かに関わる世界観であり、進化論の助けが必要となる。

こうした3つの世界観と従前の小学校理科の3領域は偶然にもほぼ合致していた。この合致が「小学校の児童の発達の段階やものの見方や考え方の特性に沿ったものである」ことを保障していたのであろう。つまり、従前の3領域は科学との親和性をもっていた領域区分であったのである。

4. 第3学年の内容

この節からは、第3学年から第6学年までの学年ごとの教育内容を検討する。まず、第3学年における「物質・エネルギー」領域の目標について、『小学校学習指導要領』は、

物の重さ、風やゴムの力並びに光、磁石及び電気を働かせたときの現象を比較しながら調べ、見いだした問題を興味・関心をもって追究したりものづくりをしたりする活動を通して、それらの性質や働きについての見方や考え方を養う。p.49

と定めており、「生命・地球」については、

身近に見られる動物や植物、日なたと日陰の地面を比較しながら調べ、見いだした問題を興味・関心をもって追究する活動を通して、生物を愛護する態度を育てるとともに、生物の成長のきまりや体のつくり、生物と環境とのかかわり、太陽と地面の様子との関係についての見方や考え方を養う。p.49

と定めている。第3学年理科の教育内容について、ここでは、主に「物質・エネルギー」領域の内容を中心に検討したい。それは、科学的に極めて重要な内容が含有されているからである。

第3学年の「物質・エネルギー」領域について、『小学校学習指導要領解説理科編』では、

本区分では、物の重さ、風やゴムの力を比較したり、光、磁石及び電気を働かせたときの現象を比較したりしながら調べ、見いだした問題を興味・関心をもって追究したりものづくりをしたりして、それらの性質や働きについての見方や考え方を養うことが目標である。

ここでは、「粒子」についての基本的な見方や概念を柱とした内容として、「A(1)物と重さ」を設定する。「A(1)物と重さ」については、粘土などを使い、物の重さや体積を比較しながら調べ、物の形や体積と重さの関係をとらえるようにする。また、「エネルギー」についての基本的な見方や概念を柱とした内容として、「A(2)風やゴムの働き」、「A(3)光の性質」、「A(4)磁石の性質」及び「A(5)電気の通り道」を設定する。「A(2)風やゴムの働き」については、風やゴムで物が動く様子を比較しながら調べ、風やゴムの働きをとらえるようにする。「A(3)光の性質」については、鏡などを使い、光の進み方や物に光が当たったときの明るさや暖かさを比較しながら調べ、光の性質をとらえるようにする。「A(4)磁石の性質」については、磁石に付く物や磁石の働きを比較しながら調べ、磁石の性質をとらえるようにする。「A(5)電気の通り道」については、乾電池に豆電球などをつなぎ、電気を通すつなぎ方や電気を通す物を比較しながら調べ、電気の回路をとらえるようにする。pp. 24-25

と解説している。ここで大切なことは、粒子概念に関わる学びである。言うまでもなく、この粒子概念の学習は原子論への予備的学習になる。

第3学年の「物質・エネルギー」領域では、「物と重さ」、「風やゴムの働き」、「光の性質」、「磁石の性質」、「電気の通り道」と5つの内容が学ばれる。ここでは、まず、「物と重さ」について検討したい。『小学校学習指導要領』では、この「物と重さ」の内容について、

粘土などを使い、物の重さや体積を調べ、物の性質についての考えをもつことができるようにする。

ア 物は、形が変わっても重さは変わらないこと。

イ 物は、体積が同じでも重さは違うことがある

こと。p. 49

と規定している。まず、日本語が不十分であることが目立つ。アの内容は、“同じ物”である場合であり、イの内容は“異なる物”の場合である。

特に重要なのが、「ア 物は、形が変わっても重さは変わらないこと」であることは議論の余地がない。これについて『小学校学習指導要領解説理科編』は、

物の形と重さの関係について、粘土などの身の回りにある物を広げたり、丸めたりするなどして形を変え、手ごたえなどの体感を基にしながら重さの違いを比較する。また、てんびんを用いたり、自動上皿はかりを用いたりして重さを数値化することで、物は形が変わっても重さが変わらないことをとらえるようにする。p. 26

と、その具体的な指導法を指示している。具体物については、別の個所で、アルミニウム箔もあげている。ある物体について、形状が変化してもその重さに変化がないことを確かめるには、粘土やアルミニウム箔のような子どもでも簡単に形を変化させられるものを用いるのがよいであろう。ただ、粘土やアルミニウム箔だけに限定してしまうと、子どもにとってこの2種類の物質のみが「形が変わっても重さは変わらない」もののように映ってしまうかもしれない。できる限り多くの物で授業を行いたい。

水のような液体を用いるのも一つの手法であろう。同体積の水を様々な形の容器に入れて重さを測る。もちろん、容器の重さが異なれば重さは異なる。次に、水を捨てて容器のみの重さを測り、最初に測った重さから容器の重さを引けば、同体積の水の重さがすべて同じことが示される。単純に重さを測るよりも、子どもにとって楽しみができるであろう。

さて、ここでは、原子論の重要性について強調しておきたい。上述したように、原子論的物質観は科学的な世界観の柱のひとつをなすものである。“原子論的”としているものの、現代の科学は、物質の究極として原子を想定しているわけではない。現在の素粒子標準模型²⁾においては、物質を構成するフェルミオンは6種類のクォークと6種類のレプトンから成り立っている。クォークは、アップ、ダウン、チャーム、ストレンジ、トップ、ボトムの6種、レプトンは、電子、電子・ニュートリノ、ミューオン、ミュー・ニュートリノ、タウオン、タウ・ニュートリノの6種。このうち、アップ・クォーク2つとダウン・クォーク1つで陽子が構成され、アップ・クォーク1つとダウン・

クォーク2つで中性子が構成される。陽子と中性子から原子核が構成され、その周りを電子がまわることによって原子が形作られる。したがって、通常の原子から成り立っている物質は、アップ・クォーク、ダウン・クォークそして電子で作られているといえることができる。

さて、小学校理科でクォークの話をする必要はなかろう。大切なことは、物質は「量の最小単位」である原子から構成されている、ということである。

古代ギリシアのころから、多くの哲学者は「質の構成要素」としての元素の存在を認めていた。Thalesは「万物の根源は水」と主張したし、Aristotelesは「空気、水、火、土」を元素とした。しかし、彼らの多くは元素の存在は認めつつも、Demokritosたちが唱えた原子の存在には否定的であった。原子論に基づけば、世界に存在するものは原子と真空ということになる。もし、原子論が正しいならば、原子は真空を運動することになるからである。しかし、当時の哲学者にとって、真空という「何も存在しない状態」はあり得るには思えなかったのである。とくに、Aristotelesが「自然は真空を嫌う」と主張したことが大きな影響をもち、大半の哲学者が原子論に否定的ないしは懐疑的な態度をとった。

古代ギリシアの話を持ち出したのは歴史の講釈が目的ではない。原子論は素朴な自然観から素直に導出されるものではないということが大切なのである。つまり、心理学でよく言われるように、子どもの素朴概念を科学概念へと高めることが理科教育の課題であるならば、原子論の学習はまさにその典型となるかもしれない。「物をとこまでも細かくしていったら最後に何にたどり着くのか」という疑問に対しての、子どもの素朴な発想を大切しながら、科学へと導かなくてはならない。

さて、現在では宇宙の物質は100あまりの元素から構成されていて、その元素の実態が原子であることが分かっている。大切なことは、要素の実態として粒子が存在していることである。古代において脚光を浴びなかった原子論は近代科学の誕生に伴って復活する。Daltonは近代科学における原子論の提唱者となり、彼の原子論はAvogadroの分子仮説を加えて強固となっていった。そして、1905年にEinsteinがBrown運動の理論を提唱し、それをPerrinが実験的に検証したことによって、科学的な意味において原子論は実証された。ここで“科学的に意味において”としたのは、そ

の後も科学とは無関係なところで「反原子論」は語り継がれていくからである。

原子の存在の確立は現在の我々の暮らしとかかわりがあるのであろうか。結論から言えば、もし原子論がなければ現在のハイテク技術は存在しない。原子の存在が実証され、その構造の解明へと科学の方向が向いたことにより、相対性理論とともに現代物理学の柱のひとつとなっている量子力学が誕生することになる。

原子の化学的性質を決めているのは、原子核の周りをまわっている電子である。量子力学とは電子のようなミクロの粒子を解明する物理学である。つまり、量子力学とは原子の化学的性質解明を初期の目的として構築されたといえる。

現在のハイテク技術はこの量子力学の知見が多く応用されている。もちろん、コンピューターもその例外ではない。現在では、電気・ガス・水道の配給はコンピューターで管理されているし、スーパーなどでの品物の管理もコンピューターが行っている。鉄道、航空機、テレビ、携帯電話、通販など生活のあらゆる箇所がコンピューターの世話になっている。量子力学なしには、現代の快適な暮らしは存在しないといえてよい。「ものづくり大国」日本において、次世代を担う子どもたちのなかには技術者を目指すものもいよう。そうした子どもを含めすべての子どもに原子論の基礎となる粒子概念を育みたいものである。

第3学年の内容でもうひとつ強調しておきたいのが、「磁石の性質」の学習である。『小学校学習指導要領解説理科編』では、この学習について、

ア 身の回りのいろいろな物に磁石を近づけ、磁石に引き付けられる物や引き付けられない物を探したり、集めたりする活動を通して調べ、物には、磁石に引き付けられる物と引き付けられない物があることをとらえるようにする。また、物が引き付けられる力を手ごたえで感じとり、磁石と物との間を開けても引き付ける力が働いていることなどをとらえるようにする。さらに、磁石に引き付けられる物には、磁石に近づけると磁石になる物があることをとらえるようにする。

イ 石を自由に動くようにしておくと、磁石の形や大きさが違っていてもいつも南北の向きに止まるという現象が見られる。その際、北の方向を指している端をN極、南の方向を指している端をS極と名付けている。二つの磁石を近づけ、相

互に引き合ったり退け合ったりする現象を調べ、N極とS極は引き合い、N極とN極、S極とS極は退け合うことをとらえるようにする。p. 30

と、その内容を規定している。ここでは、これらの内容のなかでも特に、「磁石と物との間を開けても引き付ける力が働いていること」と「磁石に引き付けられる物には、磁石に付けると磁石になる物があること」について検討し、最後に地磁気のことに触れたい。

通常、物体Aが物体Bに力を及ぼすときには、物体Aと物体Bは接触していなくてはならない。我々が、何かの物を押すとき、引くときなどはその身近な例である。ところが、磁石は離れていても力が及ぶ。子どもにとっては不思議な現象であろう。実際に、磁石は子どもが好む教材のようである。

さて、どうして磁石は離れているものを引き付けることができるのであろうか。また、磁石どうしが作用を及ぼし合うときには引力と斥力が存在するのに、磁石と通常物（金属など）が作用するときには引力しかないのであろうか。まず、そうした基本的なことを確認したい。

まず、磁力とは何であろうか。磁石や電磁石が空間に存在すると、その周りには磁場が生じる。その磁場のなかに新たな磁石が入ると、その新たな磁石もとの磁石が作り出した磁界が反応して、新たな磁石に力が及ぶ。一方、もとの磁石には新たな磁石が作る磁場からの力が加わる。新たに磁場に入っているのが磁石ではなく、磁石に引き寄せられる金属であった場合、どうなるのであろうか。このとき、金属内部の電子のスピンの方向が磁場によって強制され、そのことで、金属は一時的に磁石と同じ性質を帯びるようになる。そのことで、金属はあたかも磁石のように引き付けられるのである。磁石に付いたクリップのような金属が、さらにクリップを引き付けるのも同じ現象に依っている。こうしたことから、磁場のなかに入ってきた金属には磁石への引力しか存在しない。

一見、空間を隔てて力が及んでいるように思える磁力も、磁石が作り出す磁場が空間に張り巡らされて、それが他の磁石や金属と作用しているのである。現代物理学は、力（正しくは、「相互作用」と記すべきであるけれども、本論では簡単のために「力」とする）についてこのような近接作用の考えを採用している。この宇宙に存在する力はすべてこうした力の場による近接作用である。

この宇宙には、力の種類は4つしかない。重力、電磁力、強い力、弱い力である。重力と電磁力は大昔から人類がその存在を認識していたものである。一方、強い力と弱い力は20世紀になってミクロの世界の探求が始まってから発見されたものである。この「強い」と「弱い」は、ともに、電磁力との比較であり、「電磁力より強い力」、「電磁力より弱い力」という意味である。それゆえ、「弱い力」といっても重力よりは格段に強い。重力はNewtonがその規則性を見出し、Einsteinによってその原理が解き明かされた。電磁力はMaxwellによって基本方程式³⁾が導かれた。強い力で最初に確認されたのは、原子核のなかで陽子と中性子を強固に結び付けている核力である。この核力は日本の湯川秀樹によって解明された。この核力に関する理論、すなわち中間子理論によって、湯川は日本人初のNobel賞を受賞することとなる。現在、強い力の理論は、量子色力学（Quantum Chromodynamics）として定式化されている。弱い力は単独では理論化できず、電磁力と統一することで、電弱相互作用理論として理論化された。

これらすべての力が、その力の場を有しており、さらに、場の実態としての粒子をもっている。重力場には重力子、電磁場には光子、強い力の場にはグルーオン、弱い力の場にはウィーク・ボゾンである。量子力学と相対性理論を統合した場の量子論では、これらの力の場の粒子が交換されることによって力が伝わるということが明らかにされている。

磁石に戻ろう。上記の4つの力のうち、強い力と弱い力は、小学校において到底触れることのできない力である。重力は片時もその影響下から逃れることのできない身近なものでありながら、重力の源である地球を自在に動かすことなどできない。磁石が作り出す磁力は宇宙に存在する基本的な力のひとつ（磁力は電磁力の一部）でありながら、その源（磁石）を小学生が自由に動かして、様々な観察を行うことのできる極めて重要な教材といえる。『小学校学習指導要領解説理科編』で述べられている「磁石と物との間を開けても引き付ける力が働いていること」と「磁石に引き付けられる物には、磁石に付けると磁石になる物があること」には、宇宙の深遠な構造にもつながる奥行き深い学びとなる可能性がある。そうした可能性を引き出したいものである。

ところで、磁石を自由に動けるようにすると、N極が北を向き、S極が南を向く。もともと、N極のNは

North、S極のSはSouthである。ということは、地球の北極にはS極があり、南極にはN極があることになる。つまり、地球は大きな磁石なのである。この地球の磁石(地磁気)は、宇宙から降り注ぐ危険な粒子から地表面を守ってくれている。地磁気作り出す磁場によって宇宙からの危険な粒子は遮断される。我々はその恩恵を受けて地表で生活しているのである。だから、地磁気のこと「生命・地球」領域でも扱うべき内容を含み得る。総合的な学びをすすめることができるであろう。

5. 第4学年の内容

『小学校学習指導要領』では、第4学年の理科の目標を、「物質・エネルギー」領域では、

空気や水、物の状態の変化、電気による現象を力、熱、電気の働きと関係付けながら調べ、見いだした問題を興味・関心をもって追究したりものづくりをしたりする活動を通して、それらの性質や働きについての見方や考え方を養う。p. 51

と定め、「生命・地球」領域では、

人の体のつくり、動物の活動や植物の成長、天気の様子、月や星の位置の変化を運動、季節、気温、時間などと関係付けながら調べ、見いだした問題を興味・関心をもって追究する活動を通して、生物を愛護する態度を育てるとともに、人の体のつくりと運動、動物の活動や植物の成長と環境とのかかわり、気象現象、月や星の動きについての見方や考え方を養う。p. 51

と定めた。本稿では、このなかで「空気と水」にかかわることを、まずは論じたい。『小学校学習指導要領』では、「空気と水の性質」としてその内容を、

閉じ込めた空気及び水に力を加え、その体積や押し返す力の変化を調べ、空気及び水の性質についての考えをもつことができるようにする。

ア 閉じ込めた空気を圧すと、体積は小さくなるが、押し返す力は大きくなること。

イ 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と。p. 51

と示し、『小学校学習指導要領解説理科編』では、

本内容は、「粒子」についての基本的な見方や概念を柱とした内容のうちの「粒子の存在」にかかわるものである。

ここでは、空気及び水の性質について興味・関心をもって追究する活動を通して、空気及び水の体

積の変化や押し返す力とそれらの性質とを関係付ける能力を育てるとともに、それらについての理解を図り、空気及び水の性質についての見方や考え方もつことができるようにすることがねらいである。p. 40

としたうえで、上記のアとイの内容を、

ア 容器に閉じ込めた空気を押し縮めたときの手ごたえや体積の変化を調べ、空気は圧されると体積が小さくなるが、元に戻ろうとして手ごたえが大きくなる性質があることから、空気の体積変化と押し返す力とを関係付けてとらえるようにする。

イ 容器に閉じ込めた空気に加えたときの体積や押し返す力の変化と容器に閉じ込めた水に力を加えたときの体積や押し返す力の変化を比較し、閉じ込めた空気は押し縮められるが、水は圧しても体積は変わらないことをとらえるようにする。pp. 40-41

としている。

さて、この「ア」のなかで「空気は圧されると体積が小さくなるが、元に戻ろうとして手ごたえが大きくなる性質がある」は、1662年に見出された Boyle の法則の認識である。Boyle の法則とは、「理想気体は温度が一定ならば、圧力と体積は反比例する」というものである。もちろん、Boyle の頃には“理想気体”などという言葉は存在しない⁴⁾、Boyle 自身は「温度が一定ならば」という条件もほとんど意識していなかったとされている。容器に入れた気体に重りで圧力をかけたとき、重りの重さを2倍にすると体積は1/2になるなどの事実を確認して、この法則を見出したようだ。上述した「ア」の内容は、この Boyle の法則を小学生の発達段階に合わせて教材化したものであろう。したがって、教師はこの内容がいずれ Boyle の法則につながる内容であることを自覚して指導しなくてはならないだろう。

ところで、Boyle の法則は人類が近代科学を構築してはじめて得た「〇〇の法則」というものである。近代科学を構築してはじめて得た「〇〇の法則」というものを想像するとき、多くの人は Newton の法則を思い描くことであろう。周知のように、Newton が運動の法則や重力の法則を見出したのは、彼がケンブリッジ大学に在籍していた1650年ころのことであるけれども、『自然哲学の数学的原理』として著書にまとめたのは1687年のことである。したがって、Boyle の法

則がそれより早く Boyle の法則こそが近代科学最初の「〇〇の法則」となったのである。そうした意味でも、Boyle の法則は人類にとって記念すべき法則である。Boyle の法則は気体の状態方程式の学習へとつながる重要なものであるから、子どもの理解を丁寧に育みたいものである。

次に、「生命・地球」領域を考察しよう。ここにも様々な内容が盛り込まれているけれども、「月と星」を取り上げたい。この単元は、小学校理科において、子どもたちが初めて地球外に目を向けるものとなっているからである。この内容について『小学校学習指導要領解説理科編』では、

月や星を観察し、月の位置と星の明るさや色及び位置を調べ、月や星の特徴や動きについての考えをもつことができるようにする。

ア 月は日によって形が変わって見え、1日のうちでも時刻によって位置が変わること。

イ 空には、明るさや色の違う星があること。

ウ 星の集まりは、1日のうちでも時刻によって、並び方は変わらないが、位置が変わること。

p. 49

と定めており、その内容解説では、

天体について興味・関心をもって追究する活動を通して、月や星の動きと時間の経過とを関係付ける能力を育てるとともに、それらについての理解を図り、月や星に対する豊かな心情を育て、月や星の特徴や動きについての見方や考え方をもつことができるようにすることがねらいである。p. 49

としたうえで、

ア 地球から見た月は、東の方から昇り、南の空を通過して西の方に沈むように見える。また、月は三日月や満月など日によって形が変わって見える。

ここでは、任意の時刻における月の位置を、木や建物など地上の物を目印にして調べたり、方位で表したりする活動を行い、月の位置が時間の経過に伴って変わることをとらえるようにする。

なお、太陽と月の位置や月の形の見え方との関係については、第6学年「B(5)月と太陽」で扱う。

イ 夜空の星を観察することによって、いくつかの明るく輝く星や明るさの違う星が散らばっていること、星には青白い色や赤い色など色の違いがあることをとらえるようにする。また、このような星の特徴について児童が直接観察する

機会を多くもつようにして、夜空に輝く無数の星に対する豊かな心情と天体に対する興味・関心をもつようにする。

ウ 空の星を観察して、明るく輝く星をいくつか結んで何かの形を表すと星の集まりをつくることができ、それらの星の集まりを数時間後に観察すると位置を変えていることをとらえるようにする。ここでは、月の観察と同様に、星の集まりを観察し、木や建物など地上の物を目印にして調べたり、方位で表したりする活動を行い、時間の経過に伴って並び方は変わらないが位置が変化していることをとらえるようにする。pp. 49-50

としている。そして、

ここでの指導に当たっては、実際に月や星を観察する機会を多くもつようにし、天体の美しさを感じとる体験の充実を図る。また、方位磁針による方位の確認や観察の時間の間隔など、定点観察の方法が身に付くようにする。月や星の動きについて、映像や模型などを活用することが考えられる。さらに、移動教室など宿泊を伴う学習の機会を生かすとともに、プラネタリウムなどを積極的に活用することが考えられる。

なお、夜間の観察の際には、安全を第一に考え、事故防止に配慮するように指導する。p. 50

と結んでいる。この最後の部分にある「天体の美しさを感じとる体験の充実を図る」は是非充実させてほしいものである。著者は、小学生のときにみたオリオン座の美しさを、およそ半世紀を超えたいまでも鮮明に記憶している。こうした経験は理科学習への動機づけとなるであろう。しかし、経験や感動だけで学習が進むものでもない。子どもが宇宙に興味をもち、その学習が効率よくすすむためには、適切な教材の配置、教師の働きかけなどが重要となる。そうした視点から、『小学校学習指導要領』を検討したい。

こうした視点で考えると、『小学校学習指導要領解説理科編』で規定されている「イ」の内容が、重要視され得ることが分かる。この内容から、子どもたちは「どうして明るさの違うものがあるのだろうか?」、「星の色にはなぜいろんな色があるのだろうか?」といった疑問をもち、それはさらに、「そもそも星っていったい何だろうか?」というような疑問へと発展するだろう。こうした知的好奇心こそ、理科学習の原動力であり、もちろん、このことは天体の学習に限るものでは

ない。

紙面の関係もあるので、ここでは、星の色について言及したい。星の色は、その星の表面温度によって決まる。赤い星は表面温度が低く、オレンジの星、黄色の星と高くなり、青白い星は最も表面温度の高い星である。赤い星の代表はベテルギウスやアンタレス、オレンジ色の星ではアルクツールス、黄色の星の代表は私たちの太陽であろう。青白い星はシリウスやスピカやリゲルなどがあげられる。

このうち、ベテルギウスはオリオン座の α 星で、その大きさは直径にして太陽の約1000倍という赤色巨星となっている、ベテルギウスは近い将来に超新星爆発するものと考えられている。我々の銀河系のなかでの超新星爆発は1054年のもので、これは現在かに星雲として観測されている。天体望遠鏡が発明されてからはじめての銀河内での超新星爆発となり、様々な観測が期待されている。

6. 第5学年の内容

『小学校学習指導要領』では、第5学年の理科の目標を、「物質・エネルギー」領域では、

物の溶け方、振り子の運動、電磁石の変化や働きをそれらにかかわる条件に目を向けながら調べ、見いだした問題を計画的に追究したりものづくりをしたりする活動を通して、物の変化の規則性についての見方や考え方を養う。p. 53

と定め、「生命・地球」領域では、

植物の発芽から結実までの過程、動物の発生や成長、流水の様子、天気の変化を条件、時間、水量、自然災害などに目を向けながら調べ、見いだした問題を計画的に追究する活動を通して、生命を尊重する態度を育てるとともに、生命の連続性、流水の働き、気象現象の規則性についての見方や考え方を養う。p. 53

と定めた。ここでは、振り子の運動について考察したい。『小学校学習指導要領』は振り子の運動について、おもりを使い、おもりの重さや糸の長さなどを変えて振り子の動く様子を調べ、振り子の運動の規則性についての考えをもつことができるようにする。

ア 糸につるしたおもりが1往復する時間は、おもりの重さなどによっては変わらないが、糸の長さによって変わる。p. 54

と、その内容を定め、さらに、『小学校学習指導要領

解説理科編』では、より詳細に、

本内容は、第3学年「A(2)風やゴムの働き」の学習を踏まえて、「エネルギー」についての基本的な見方や概念を柱とした内容のうちの「エネルギーの見方」にかかわるものである。

ここでは、振り子の運動の規則性について興味・関心をもって追究する活動を通して、振り子の運動の規則性について条件を制御して調べる能力を育てるとともに、それらについての理解を図り、振り子の運動の規則性についての見方や考え方をもちることができるようにすることがねらいである。

ア 振り子の運動の変化に関係する条件として、児童が想定するものとしては、おもりの重さ、糸の長さ、振れ幅が考えられる。ここでは、糸におもりをつるし、おもりの重さ、または糸の長さを変えながら、おもりの1往復する時間を測定する。おもりの重さを変えて調べる際には、糸の長さやおもりの振れ幅など他の条件は一定にして調べる必要がある。それらの測定結果から、糸につるしたおもりの1往復する時間は、おもりの重さなどによっては変わらないが、糸の長さによって変わることをとらえるようにする。

ここでの指導に当たっては、糸の長さや振れ幅を一定にしておもりの重さを変えるなど、変える条件と変えない条件を制御して実験を行うことにより、実験結果を適切に処理し、考察することができるようにする。その際、適切な振れ幅で実験を行い、振れ幅が極端に大きくならないようにする。また、伸びの少ない糸を用い、糸の長さは糸をつるした位置からおもりの重心までであることに留意する。さらに、実験を複数回行い、その結果を処理する際には、算数科の学習と関連付けて適切に処理するようにする。pp. 54-55

としている。

振り子の基本的な性質は Galilei によって発見されたものとされていて、近代物理学の黎明期を支えた貴重なものである。振り子の重要な性質は等時性である。よく知られたエピソードでは、Galilei は大聖堂のシャンデリアが揺れる周期を自身の脈で時間を測り、振り子の等時性を発見したとされている。しかし、実際には振れ幅が大きくなると等時性は崩れるので、本当に Galilei がこの方法で等時性を発見したのかは甚

だ疑問である。さらに、振り子の重要な性質は『小学校学習指導要領』等で取り上げられているように、その周期がおもりの重さに依存せず、ひもの長さのみで決まることである。

高等学校の物理では単振動を学習する。単振動とは、バネの振動などの運動で、物体が定点からの距離に比例した定点に向けた力で運動するものをいう。この運動を表す運動方程式は、高校生でも解ける単純なものであり、高校物理の教材としても相応しく、初等物理学の学習として貴重なものであろう。振り子が単振動とみなし得るのは、振幅 θ が極小で、 $\sin \theta \approx \theta$ と近似し得る場合に限られる。単振動は、等速直線運動でも等価速度運動でもない運動でありながら、物理的な重要性をもつ運動であり、そうした運動の学習にむすびつく振り子の学習は第5学年の理科教材のなかでも重要なものと言えるであろう。

7. 第6学年の内容

『小学校学習指導要領』では、第6学年の理科の目標を、「物質・エネルギー」領域では、

燃焼、水溶液、てこ及び電気による現象についての要因や規則性を推論しながら調べ、見いだした問題を計画的に追究したりものづくりをしたりする活動を通して、物の性質や規則性についての見方や考え方を養う。p. 55

と定め、「生命・地球」領域では、

生物の体のつくりと働き、生物と環境、土地のつくりと変化の様子、月と太陽の関係を推論しながら調べ、見いだした問題を計画的に追究する活動を通して、生命を尊重する態度を育てるとともに、生物の体の働き、生物と環境とのかかわり、土地のつくりと変化のきまり、月の位置や特徴についての見方や考え方を養う。p. 55

と定めた。ここでは、「月と太陽の関係」を論じたい。これは“月の満ち欠け”を学ぶ単元であり、おそらく、小学校理科のなかでもっとも難解な単元であろう。『小学校学習指導要領』では、さらにその内容を、月の輝いている側に太陽があること。また、月の形の見え方は、太陽と月の位置関係によって変わることを。p. 57

としている。また、『小学校学習指導要領解説理科編』では、この内容の取扱いについて、

月は日によって形が変わって見え、月の輝いている側に太陽があることを月と太陽の位置関係との

関連でとらえるようにする。月に見立てたボールに光を当てるなどのモデル実験をして、太陽と月の位置と月の見え方の関係を調べ、月は日によって形が変わって見え、月の輝いている側に太陽があることをとらえるようにする。ただし、地球から見た太陽と月の位置関係で扱うものとする。

p. 79

と定めている。

よく知られている月の満ち欠けに関する説明図は、地球の周りに5つほどの月が描かれていて、一方から太陽の光がさし、地球も月も太陽側の反面が明るく描かれているものである。通常、こうした図は地球の北極上空から見下ろしたものととして描かれていて、その結果、地球の自転も月の公転も半時計回りに回ることになる。地球の上空から見下ろした場合、太陽系のほとんどの天体はこの方向に回転しているからである。それは、太陽系のもととなったガス雲がその方向に回転していて、角運動量の保存によって約50億年が経過した現在も回転方向が保持されているためである。

さて、通常の説明図に描かれる5つの月は、新月、三日月、上弦の半月、満月、下弦の半月であることが多い。ただ、図は北極上空からのものだから、5つの月はすべて「半月」のように、太陽の側が輝いている形になっている。月の満ち欠けを理解するためには、北極上空から描かれた図をみて、それぞれの月を地球からみたらどのようにみえるのかを理解しなくてはならない。つまり、“視点の移動”が必要なのである。小学校理科のなかで一番難解と考えられる理由はここにある。実際には球体である地球や月は平面の円として描かれているので、平面図から立体的な地球や月を想像しなくてはならず、ここにも難しさの理由がある。

しかし、だからこそ、論理的思考力の鍛錬には極めて有効な教材であることも間違いのないことである。『小学校学習指導要領解説理科編』で示されているように、ボールを用いるなど理解の補助をしながら、子どもたちの思考力を高めたいものである。月の満ち欠けのような小学生にとって難解な課題を克服できれば、少々難しいことに出くわしても臆することのない思考回路ができるものである。

8. 小学校理科とアクティブ・ラーニング

次期『小学校学習指導要領』ではアクティブ・ラーニングが強調されると言われている。アクティブ・

ラーニングとはどのような学習形態をいうのかについて、学問的な厳密な定義はなされていないものの、その言葉通り、“能動的な学び”と捉えて大きな誤りはないであろう。

本稿では、直前に論じた月の満ち欠けの学習を例に理科におけるアクティブ・ラーニングを考えていきたい。著者は、所属する学科の小学校教員養成に関わる授業で、月の満ち欠けについて学生どうしのグループ・ディスカッションを通じた授業を展開している。受講生を3,4名のグループに分けて、月の満ち欠けについて考えさせる。その際に、前節で論じた説明図、半球ずつ黄色と紫に色分けされたテニス・ボールと小さな地球儀をグループごとに配布する。『小学校学習指導要領解説理科編』にあるようにボールにライトを当てるようなことは筆者の大学では難しいので、色分けされたテニス・ボールを用いることにしている。地球儀は100円ショップで購入した安価なものである。

この授業では、これらを用いて月の満ち欠けを学生に理解させることが目標である。大学生といえども文科系の学生にとって月の満ち欠けは少々難しい課題となる。学生には、

- ・三日月は夕方西の空に見える
- ・上弦の月は夕方南の空に見える
- ・満月は夕方東の空に見える
- ・下弦の月は真夜中に東の空に見える

の4点を説明するように指示する。あとは、各グループで説明図、テニス・ボール、地球儀を用いて、それらが説明できるよう討論させる。このとき、能動的な学びとしてのアクティブ・ラーニングが展開される。

実際、この授業実践では、半球が黄色で半球が紫に塗られたテニス・ボールを用いていることもあって、月の形については多くの学生にとって比較的簡易に理解できるものとなったようである。とくに、三日月の形について、斜めから月を見たらテニス・ボールの黄色の部分が三日月のような形状となり、解り易いようである。しかし、もちろんこれはあくまで経験による納得のレベルであり、教師としては、本来は、半分が照らされた球体を斜めから見た場合、照らされた部分の淵が大円となっていることから、三日月のような形に見えることを理屈の上で理解する必要がある。ただ、最初の学びとしては上のようなことで良いのではないだろうか。

さて、月の形状については、一定程度理解しやすいものになっているものの、その月がみえる方角につい

て、学生にとってなかなか理解が難しいものとなっているようだ。とくに、東西に比較して南北の把握がより難解であるように思われる。

例として、夕方の空に見える月を考えてみよう。学生は、北極から南極へのライン（正しい理解であれば、天の子午線）を想定し、それより、西側（南を向いて立てば右側）にある三日月は西の空、逆側の満月ならば東の空と認識するようである。ところが、説明図において地球の夕方部分の真正面に描かれている上弦の月は、どの空に見えるのか理解し難いようである。

ここで、地球儀が役に立つ。立体的な地球で北半球に位置する日本にいる人にとって、空の東西南北を如何に把握するのかを考察させる。このことを通じて、「上弦の月は夕方南の空に見える」は北半球の話であり、赤道上ではほぼ真上に月があり、南半球では北の空に上限に月がみえることまで理解がおよぶ。

もちろん、小学校での教育実践が大学でのそれと同じ状況になるとは考えられないけれども、説明図、テニス・ボール、地球儀を用いてグループ討論させながら、理解を育んでいく手法は小学校における実践でも参考になるかもしれない。

9. おわりに

本稿では、現在の『小学校学習指導要領』に基づく小学校理科の学習内容を論じ、次期の指導要領で重視されると言われているアクティブ・ラーニングについて検討した。小学校理科の学習内容のなかには、科学の重要な概念や法則につながる大切な学習が数多く含まれている。理科教育に携わるものとしては、そうした重要な学習内容の理解を、すべての子どもに保障したいものである。また、授業法のひとつであるアクティブ・ラーニングは、子どもたちの知的好奇心を刺激して、科学の学習を高める可能性を秘めている。次期『小学校学習指導要領』については、それが発表されてから、稿を改めて検討したい。

注

* 愛知県立大学教育福祉学部教授

- 1) ゲージとは物差しのことであり、もともとゲージ原理は、物差しの目盛が異なっても物理法則には影響を与えない、とするものである。
- 2) 素粒子標準模型では、本文で記載したクォークとレプトン以外に、近年発見されたヒッグス粒子や4つの相互

作用（重力、電磁力、強い力、弱い力）を伝えるボゾンなどが存在する。

3) 電場や磁場に関する4つの偏微分方程式で、基本的な電磁気現象のすべてを網羅している。この方程式から電

磁波の存在が導出され、光が電磁波であることが分かった。

4) 理想気体とは分子間の相互作用を無視し得る気体のことで、状態方程式に従う。