

「科学的な考え方」についての一考察

伊藤 稔 明*

1. はじめに

「科学的な考え方」を身に付けるということは理科教育における重要な目的として位置づけられてきた。素朴に「科学的な考え方」は好ましい考え方とされているであろう。「君の考え方は科学的だ」と言われるのと、「君の考え方は非科学的だ」と言われるのでは、誰しも前者のほうがよいと思うであろう。

筆者は大学院生の頃、中学生向けの進学塾で講師のアルバイトをしていた。数学の授業で問題を解かせていたとき、ある子どもが「先生、この問題が分かりません」と手を挙げた。その子どもに「何が分からないの」と聞くと、「答えが分かりません」と応じた。筆者が、「どういう風に考えて、どこまで分かって、どこから分からなくなったの」と訪ねても、何を聞かれているのか理解できていない様子であった。ちなみにこの子どもの成績は比較的上位であった。そうであったが故に多くの問題はすぐに解けていたようである。彼にとっては、答えはこれまでの知識のなかから取り出すもので、考えて導き出すものではなかったであろう。「考える」ということ自体がよく分からない様子であった。いわゆる“ゆとり教育”の時代とはいえ、由々しい現象であった。

上の例は、「科学的な考え方」というよりは「考える」ということ自体に関するものである。しかし、「考える」ということ自体を育むことができなければ、「科学的な考え方」など到底身に付けさせることはできないであろう。

さて、では、「科学的な考え方」とは、どのようなものなのか。どんな風に考えたら「科学的な考え方」と言われるのであろうか。また、そうした考え方はど

のようにしたら育まれるのであろうか。小学校における理科教育は本当に「科学的な考え方」を育てているのであろうか。また、「科学的な考え方」と自然科学はどんな関係性があるのか。

本論の目的は、上述のようなことを考察することである。本論は以下のように構成される。次節では、「科学的な考え方」そのものについて、『小学校学習指導要領』における理科の目標の変遷を確認しつつ、同時に、自然科学の立場から考察する。第3節では、小学校の理科の領域のひとつである「物質・エネルギー」領域について、第4節では、もうひとつの「生命・地球」について論じる。まとめは第5節で与えられる。

2. 理科の目標のなかでの“科学的な考え方”

現行の『小学校学習指導要領』¹⁾は、2008年に改訂されたものであり、そこで示されている理科の目標は、

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。

というものである²⁾。最後の部分に「科学的な見方や考え方を養う」という文言をみることができる。それでは、過去の『小学校学習指導要領』は、どのような理科の目標が掲げられていたのであろうか。1998年改訂の『小学校学習指導要領』では、

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・現象についての理解を図

り、科学的な見方や考え方を養う。

となっている。「科学的な見方や考え方を養う」は同じである。1989年改訂のものでは、

自然に親しみ、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・現象についての理解を図り、科学的な見方や考え方を養う。

であって、ここでも「科学的な見方や考え方を養う」は同じであった。1977年改訂の『小学校学習指導要領』における理科の目標は、

観察、実験などを通して、自然を調べる能力と態度を育てるとともに自然の事物・現象についての理解を図り、自然を愛する豊かな心情を培う。

であり、ここには「科学的な見方や考え方を養う」といった文言はなかった。

さらに遡ってみよう。1968年改訂の『小学校学習指導要領』では、

自然に親しみ、自然の事物・現象を観察、実験などによって、論理的、客観的にとらえ、自然の認識を深めるとともに、科学的な能力と態度を育てる。このため、

- 1 生物と生命現象の理解を深め、生命を尊重する態度を養う。
- 2 自然の事物・現象を互に関連づけて考察し、物質の性質とその変化に伴う現象やはたらきを理解させる。
- 3 自然の事物・現象についての原因・結果の関係的な見方、考え方や定性的、定量的な処理の能力を育てるとともに、自然を一体として考察する態度を養う。

となっている。ここでは、「自然の事物・現象についての原因・結果の関係的な見方、考え力」という文言が現れている。1958年改訂のものでは、

- 1 自然に親しみ、その事物・現象について興味をもち、事実を尊重し、自然から直接学ぼうとする態度を養う。
- 2 自然の環境から問題を見だし、事実に基き、筋道を立てて考えたりくふう・処理したりする態度と技能を養う。
- 3 生活に関係の深い自然科学的な事実や基礎的原理を理解し、これをもとにして生活を合理化しようとする態度を養う。
- 4 自然と人間の生活との関係について理解を深め、自然を愛護しようとする態度を養う。

となっている。このときの目標には、「見方」とか「考え方」といった言葉は登場しない。1951年の『小学校学習指導要領（試案）』での理科の目標は、

- (1) 自然の環境についての興味を拓げる。
- (2) 科学的合理的なしかたで、日常生活の責任や仕事を処理することができる。
- (3) 生命を尊重し、健康で安全な生活を行う。
- (4) 自然科学の近代生活に対する貢献や使命を理解する。
- (5) 自然の美しさ、調和や恩恵を知る。
- (6) 科学的方法を会得して、それを自然の環境に起る問題を解決するのに役立たせる。
- (7) 基礎になる科学の理法を見だし、これをわきまえて、新しく当面したことを理解したり、新しいものを作り出したりすることができる。

となっていた。ここでは「科学的方法を会得」という表現になっていた。そして最初の学習指導要領である1947年の『小学校学習指導要領（試案）』の理科の目標では、

すべての人が合理的な生活を営み、いっそうよい生活ができるように、児童・生徒の環境にある問題について次の三点を身につけるようにすること、

1. 物ごとを科学的に見たり考えたり取り扱ったりする能力。
2. 科学の原理と応用に関する知識。
3. 眞理を見出し進んで新しいものを作り出す態度。

とされて、「物ごとを科学的に見たり考えたり取り扱ったりする能力」と表現されてきた。

このようにみると、「科学的な見方や考え方を養う」という理科の目標は、その表現を変えることがあったとしても、ほぼ一貫して学習指導要領で掲げ続けられてきたとみてよいであろう。

ちなみに、昨年改訂され、来年度から実施される新しい『小学校学習指導要領』では、理科の目標が、

自然に親しみ、理科の見方・考え方を働かせ、見通しをもって観察、実験を行うことなどを通して、自然の事物・現象についての問題を科学的に解決するために必要な資質・能力を次のとおり育成することを目指す。

- (1) 自然の事物・現象についての理解を図り、観察、実験などに関する基本的な技能を身に付けるようにする。

(2) 観察, 実験などを行い, 問題解決の力を養う。

(3) 自然を愛する心情や主体的に問題解決しようとする態度を養う。

となっていて、「科学的な見方や考え方を養う」に相当するものが、「理科の見方・考え方を働かせ(る)」と変化している³⁾。これについては、稿を改めて論じてみたい。

さて、現行の『小学校学習指導要領解説理科編』では、理科の目標のなかの「科学的な見方や考え方を養う」について、次のような解説を行っている⁴⁾。

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ことができる。

ここでは、科学というものがもっている特質を述べている。科学が人類の文化のひとつであることはだれも否定し得ないことである。『小学校学習指導要領解説理科編』では、それは「緻密で一貫した構造をもっている」としている。科学の諸分野のなかでもとくに「緻密で一貫した構造をもっている」のは、おそらく物理学であろう。

相対性理論(ここでは、特殊相対性理論)を例に説明してみたい。特殊相対性理論では、特殊相対性原理と光速不変の原理を前提に理論が展開される。原理とは、理論をもって証明することはできないものの、数多の実験によって経験的に間違いのない事実として認められ得るものである。特殊相対性原理とは、互いに等速直線運動する慣性系では物理法則は同じ形で表現される、というものである。また、光速不変の原理では、あらゆる慣性系で真空中の光の速さは一定、というものである。

特殊相対性原理については、Galileiがその萌芽に気が付いている。彼は、すべての慣性系において力学法則は不変であると述べている。Galileiは静止している状態と等速直線運動している状態に何ら異なることがないことを理解していた。つまり、慣性系の上でいかなる力学実験を試みても、その系が静止しているのか、等速直線運動をしているのかを見分けることは不可能なのである。Einsteinは、Galileiにおいては力学法則に限定されていたものを物理学の法則全体に拡張した。ちなみに、一般相対性理論においてEinsteinは、特殊相対性理論では慣性系に限定されていた座標系を「すべての座標系」と拡張している(これを、一般相対性原理と呼んでいる)。

相対性原理はEinsteinの物理法則に関するある考え方が反映していると考えられている。それは、物理法則の客観性である。

座標系は人が勝手に設定するものである。通常、人はその現象をもっとも簡単に表すことのできる座標系を選ぶ。例えば、自由落下現象を表現するときには、落ち始める点を原点として、鉛直下向きに座標軸をとる。その軸をx軸であるとすると、落下時間tと間に

は、

$$x=1/2gt^2$$

という簡単な関係が成り立つ。自由落下運動は一次元の運動である。したがって、空間軸をその運動の方向にとることが最も簡単にこの運動を表現できる。しかし、 xy 平面からなる二次元座標を用いても、あるいは、 xyz 軸からなる三次元座標を用いても、表現が複雑になるだけで、自由落下運動そのものが変化することはない。

つまり、人が勝手に設定する座標系に物理法則が依存するはずがないのである。物理法則は人の存在とは無関係な客観的存在だからである。物理法則が座標系に依らないのは、その客観性に支えられていると考えられるのである。相対性原理はそのことを主張している。

特殊相対性理論において、相対性原理と並んでその理論の前提となっている原理が、光速不変の原理である。真空中の光の速さはどんな運動状態にある慣性系においても同じだということである。これは大変奇妙に思われるものである。いわゆる“相対性理論の不思議な世界”はこの原理に起因している。

我々の一般的な常識では、相対速度は単純な足し算(引き算)で求められる。例えば、時速200kmで走る列車と時速80kmで走る車がすれ違うとき、車からみた列車の速さは、 $200+80$ の280km/hとなる。また、同じ列車と車で、列車が車を追い越すとき、車からみた列車の速さは、 $200-80$ の120km/hとなる。これが、常識的な相対速度の導出である。

しかし、もしも200km/hというのが光の速さだったら(本当の光の速さは秒速30万km)、どちらの場合も200km/hで変化しないというのが光速不変の原理である。これは、まったく我々の常識と反しているため、“相対性理論の不思議な世界”が作り出されるのである。ちなみに厳密に言えば、さきほどの車と列車の相対速度(280km/hや120km/h)は間違っている。しかし、その間違いの値は極めて小さく無視できるものである。それは、列車や車の速さが光に比べて非常に遅いことに依る。もし、列車や車の速さが光の速さに近いものであったら、さきほどのような足し算や引き算は全く通用しない。

光の速さが座標系に依存しないことは、1887年に Michelson-Morley の実験によって確認された。この実験は、エーテルのなかを運動する地球の絶対速度を測定しようという野心的な実験であった。19世紀の終

わりに Maxwell によって電磁気学が確立して、光が電磁波であることが証明されると、宇宙空間という真空中を伝わる光の波は何が振動しているのかという疑問を引き起こした。このとき、科学者が思いついたのが、かつて「空間はエーテルによって満たされている」とした Aristotelēs の言葉である。つまり、宇宙空間を伝わってくる光はエーテルが振動しているものであるという理解である。

もし、これが本当であれば、さらに疑問がわいてくる。エーテルとはどんな物質なのか、である。エーテルは横波である光を伝える。とすれば、エーテルは固体であると考えられる。しかし、地球はその固体のエーテルのなかを何の摩擦も感じることなく公転している。光は我々の住む地球表面も伝わるのだから、我々の目の前にもエーテルが存在しているはずである。けれども、そのようなものがあるとは到底思えない。

また、別の疑問もあり得る。エーテルは何に対して止まっているのだろうか。エーテル静止系とはどんな座標系であろうか。これに対する一番自然な答えは“宇宙の中心(あるいは重心)”の座標系であろう。そうであれば、地球上で様々な方向に走る光の速さの違いを正確に測定すれば、地球の宇宙の中心に対する速度、すなわち、地球の絶対速度を知ることができるはずである。

これは大変野心的な試みである。そもそも、宇宙には“止まっている”ところというのが見受けられない。地球は1日に1度自転し、1年で太陽の周りを公転している。太陽も銀河系のなかで固有運動をしながら、全体としては2億年以上の時間を費やして銀河の中心の周りをまわっている。その銀河系も他の銀河に引き寄せられている。普通に宇宙をみるだけでは“宇宙の中心”のようなものはみえてこない。したがって、地球上の光の速さの測定で、地球の絶対速度を導くことができるのであれば、科学上それは大変魅力的な研究となる。

しかし、これは大変難しい実験である。だが、その難しい実験を Michelson と Morley は成し遂げることができた。そして、その結果に驚愕した。なんと、どの方向からくる光の速さにも違いはなかったのである。つまり、素直にこの実験事実を受け入れるならば、“地球は宇宙の中心”ということになる。このような結果を、20世紀を目前とした科学が受け入れるはずがない。多くの科学者がなぜ光の速さに違いが生

しないのかを説明しようとした。

そうした努力のなかで画期的なアイデアも提出されるようになる。そのなかのひとつが Lorentz 短縮である。Lorentz は地球の進行方向に空間が縮むと主張した。もし、そうであれば光の速さに違いは出ないことを示した。これは画期的なアイデアであったけれども、Lorentz は空間が縮むメカニズムを説明することはできなかった。Einstein による特殊相対性理論が完成することで、まったく自然に Lorentz 短縮は証明された。Lorentz 自身はそのメカニズムを説明できなかったけれども、この短縮は Lorentz 短縮と呼ばれている。

多くの物理学者が、Michelson-Morley の奇妙な実験結果を説明しようと努力した。しかし、誰もそれを成し遂げることはできなかった。そうしたなか、まったく異なる“アプローチ”をしたのが Einstein である。彼は「それが自然の原理なのだ」としたのだ。奇妙な結果と考えられる Michelson-Morley の実験は、単純に言えば“座標系によって光の速さに違いはない”という事実を主張している。これは、我々の常識に沿えば非常に不思議で奇妙なことであるけれども、実に単純な事実でもある。だから、これを説明しようとするのではなく、あるがままの事実として「宇宙はそうなっているのだ」と受け入れようというのである。そして、Einstein はこれを光速不変の原理として、理論の大前提に据えた。

ただ、Einstein は特殊相対性理論の発表直前まで Michelson-Morley の実験について知らなかったという見解も存在している。Einstein がよく語っていた話として“16歳の夢の話”がある。その夢のなかで Einstein は光を追っていた。彼はどんどん加速してついに光の速さに到達した。そのとき、光は止まって見えた。しかし、彼は“光が止まることなんてあり得ないはずだ”と自分の夢を否定したというものである。この有名なエピソードは、Einstein が Newton 力学と Maxwell 電磁気学が矛盾していることを天才的に感覚したものであるとされている。

Einstein の登場を待たずとも、物理学者たちは Newton 力学と Maxwell 電磁気学の矛盾には気が付いていた。端的に言えば、Newton の運動方程式には速度は現れないのに、Maxwell の電磁方程式には、光速 c が顔を出す。つまり、Newton の運動方程式は座標系に依らない形式であるのに、Maxwell の電磁方程式は座標系に依存する形式になってしまっている。ここに大き

な矛盾があるわけである。こうした事態に直面した物理学者たちは、Maxwell 理論を修正することで Newton 理論に矛盾しないようにすることを目指した。これは無理からぬことであった。17世紀に成立した Newton 力学に比べ、19世紀末に確立した Maxwell 電磁気学はまったくの新参者だったからである。

ここまでの歴史のなかで Newton 力学は、まさに“盤石”の地位を築いていた。物体の運動に関して Newton 力学で説明のできないものなどなかった。ただひとつ、水星の近日点移動を除いては、こうした Newton 力学を盤石足らしめたのは海王星の発見という出来事だった⁵⁾。

海王星発見の物語は、天王星発見に端を発する。1781年3月13日、Herschel はふたご座に恒星図にはない星を見付ける。天体望遠鏡の倍率をあげると点ではなく円盤状に見えた。Herschel は数日観測を続けて、この星が惑星のように夜空を移動していくことを確認した。当初、彼は彗星を発見したと考えていたけれども、天文学者による軌道計算の結果、この星が土星の外側を公転する惑星であることが分かった。これが人類史上初となる“新惑星”の発見であった。Herschel は研究者ではなく、音楽家であり、趣味で天体観測していた人物であったけど、このことで人類史上不滅の業績を残すことになった。

新たに発見された天王星はすぐに軌道計算がされ、その後の位置が予測された。ところが、ここで大事件が勃発する。予測された天王星の位置と実際の位置がずれてしまったのである。それまで知られていた土星までの惑星は理論的予測と実際の位置がずれることは全くなかった。ところが新発見の天王星では理論的予測が完全ではなかったのである。当然のことながら、天文学者たちはその原因について様々な可能性を考察した。そして、最終的に最も可能性が高いと考えられたのは、天王星の外側にもうひとつ未知の惑星があって、その惑星の重力で天王星の軌道が乱されている、というものであった。

既にこの当時は惑星の軌道計算に摂動が取り入れられていた。惑星運動における摂動とは、惑星が他の惑星から受ける重力の影響である。惑星の運動を決める一番支配的な要素は、太陽から受ける重力である。しかし、惑星が受ける重力は太陽からだけではない。重力は万有引力とも称されるように、質量（エネルギーとしても）を有するすべてのものが重力を及ぼし合う。したがって、惑星は他の惑星からも重力を受けて

いる。もちろん、それは太陽からの重力に比較すれば小さいものとなるけれども、例えば、太陽系最大の惑星である木星は他の惑星の運動にかなり影響を与えている。天体望遠鏡での精密な観測を考えれば、他の惑星からの重力も考慮しなければ、理論的予測と実際の位置はずれていってしまうのである。

天王星の理論的予測と実際の位置がずれた原因として、もっとも可能性が高いとされたのが更なる未知惑星による摂動である。そして、その未知惑星は天王星の外側にあると考えられた。もし、この未知惑星が土星と天王星のあいだを公転していたとしたら、土星にもその影響が及んでいて、これまでも土星の理論的予測と実際の位置がずれてしまっていたと考えられるけれども、これまでの土星の観測ではそのようなことは起こっていないからである。つまり、更なる未知惑星の重力の影響は、天王星には及ぼされるけれども、土星やそれより内側をまわる惑星には無視できるほど小さいということである。

天文学者たちは、更なる未知惑星の発見に向けた努力を始めた。Newton 理論に基づいて未知惑星を発見しようというのである。しかし、これは“言うは易し、行うは難し”の難事業である。Newton 理論によれば、2 物体間に及ぼされる重力は、物体間の距離の 2 乗に反比例し、質量の積に比例する。そのため、未知惑星がどのような軌道を公転しているのか、未知惑星の質量は如何ほどなのかは重要な数値となる。しかし、そのようなものは分かるべきがない。天文学者たちが知り得るのは、未知惑星がないときに理論的に予見される天王星の位置と、それと実測とのずれだけである。それだけを頼りに未知惑星の位置を計算するのである。この当時は、コンピューターはもちろんのこと、電卓すらない時代である。すべてが“手計算”である。数か月にわたる忍耐強い計算の末、Le Verrier は 1846 年 8 月 31 日に結論を得ることができた。彼は、その計算結果を 9 月 18 日に、ベルリン天文台の Galle に送付した。23 日に手紙を受け取った Galle は、その夜、天体望遠鏡を Le Verrier の予見した位置に向け、わずか 30 分で新惑星を発見したのであった。Le Verrier の予測から 1 度と離れていない位置に新惑星は輝いていたのである。この新惑星は、海王星と名付けられた。

物理学の理論に基づいて未知惑星の位置が計算され、望遠鏡を向けると、まさにそこに輝いていたというのである。人々は Le Verrier の業績を称賛すると

もに、Newton 理論に畏敬の念を覚え、その盤石さを確信した。

Michelson-Morley の実験結果が公表された 1887 年は、海王星の発見から半世紀と経っていないときであり、多くの科学者にとって、科学のなかで盤石の地位を得ていた Newton 理論と創設されたばかりの Maxwell 電磁気学では、その信頼性において比較の対象でもなかった。

そのような時代状況のなかにあっても Einstein は、より本質的理論は Maxwell 理論であり、修正を受ける必要があるのは Newton 理論であることを見抜いていた。それは、Newton 理論が遠隔作用の理論であるのに対して、Maxwell 理論は近接作用の理論、すなわち、「場の理論」であることによる。

Newton 理論によれば、空間に 2 物体が存在するとき重力が作用する。しかし、空間にひとつしか物体がなければ何も起こらない。これに対して、ベクトル場の微分方程式で表現される Maxwell 理論では、例えば、空間に荷電粒子がひとつしかなくても空間は電場となり、荷電粒子がないときに比べて変化を生じさせる。つまり、電場が生じるのである。

荷電粒子が 2 つあるとき、その間には Coulomb 力と呼ばれる力が作用する。Maxwell 理論が主張するのは、2 つの荷電粒子は距離を隔てて作用を及ぼすのではなく、片方の荷電粒子がつくるもう片方の粒子の位置における電場が、そのもう片方の粒子に作用するのである。距離を隔てても力が及ぶなどというような“超能力”のようなことは自然界では起こらない、これが近接作用の立場であり、Einstein はその立場に完全に立脚していた。

Einstein はこのように Newton 理論より Maxwell 理論を本質的な理論と考えた。しかし、そう考えると上述した光の速さの謎が浮かび上がる。Maxwell の伝次方程式に登場する光速度は何を基準にしているのか。「宇宙の中心」などという非科学的な発想は Einstein にはあり得ない。唯一の解決手法は、この宇宙では光速度は不変である、とすることだけである。彼は、そう考えていたときに、Michelson-Morley の実験を知ることになった。実験事実も Einstein の発想を後押ししたのであった。

Einstein は、特殊相対性原理と光速不変の原理を出発点として、それまでの物理学を書き換えた。この書き換えられた理論を、特殊相対性理論と呼んでいるのである。特殊相対性理論はその結果として、同時刻

の相対性、運動する座標系の時間の遅れ、Lorentz 短縮、質量とエネルギーの等価性などを導いた。

Einstein の理論は“科学的な考え方”の典型であろう。科学的な考え方を論じるとき、常に踏まえらるる必要があると確認されるべきものである。

3. 「物質・エネルギー」領域と科学的な考え方

本節からは、『小学校学習指導要領』に示された理科の内容とそこで育まれるべき科学的な考え方を論じて行こう。もちろん、すべての内容を取り扱うことは不可能なので、いくつかを抽出して論じる。

『小学校学習指導要領』では、

領域構成については、児童の学び方の特性や二つの分野で構成されている中学校との接続などを考慮して、現行の「生物とその環境」、「物質とエネルギー」、「地球と宇宙」を改め、「物質・エネルギー」、「生命・地球」とする。

として、領域構成を改訂した⁶⁾。このことで、中学校での理科第1分野と理科第2分野との接続をはかっている。

さて、本節では、「物質・エネルギー」領域での科学的な考え方を論じたい。『小学校学習指導要領解説理科編』では、その内容について、

「物質・エネルギー」については、児童が物質の性質やはたらき、状態の変化について観察・実験を通して探究したり、物質の性質などを活用してものづくりをしたりすることについての指導に重点を置いて内容を構成する。また、「エネルギー」や「粒子」といった科学の基本的な見方や概念を柱として内容が系統性をもつように留意する。

その際、例えば、風やゴムの働き、物と重さ、電気の利用などを指導する。また、現行で課題選択となっている振り子と衝突については、振り子は引き続き小学校で指導し、衝突は中学校に移行する。

としている⁷⁾。そして、さらに詳しく、

身近な自然の事物・現象の多くは、時間、空間の尺度の小さい範囲内で直接実験を行うことにより、対象の特徴や変化に伴う現象や働きを、何度も人為的に再現させて調べることができやすいという特性をもっているものがある。児童は、このような特性をもった対象に主体的、計画的に操作や制御を通して働きかけ、追究することにより、対象の性質や働き、規則性などの見方や考え方を

構築することができる。主にこのような対象の特性や児童の構築する見方や考え方などに対応した学習の内容区分が「A物質・エネルギー」である。なお、本内容区分は、基本的な考え方において、前回の「B物質とエネルギー」を引き継いでいるものである。

「A物質・エネルギー」の指導に当たっては、実験の結果から得られた性質や働き、規則性などを活用したものづくりを充実させるとともに、「エネルギー」、「粒子」といった科学の基本的な見方や概念を柱として、内容の系統性が図られていることに留意する必要がある。

「エネルギー」といった科学の基本的な見方や概念は、さらに「エネルギーの見方」、「エネルギーの変換と保存」、「エネルギー資源の有効利用」に分けて考えられる。「粒子」といった科学の基本的な見方や概念は、さらに「粒子の存在」、「粒子の結合」、「粒子の保存性」、「粒子のもつエネルギー」に分けて考えられる。

なお、「エネルギー」、「粒子」といった科学の基本的な見方や概念は、基礎的・基本的な知識・技能の確実な定着を図る観点から、子どもたちの発達の段階を踏まえ、小・中・高等学校を通じた理科の内容の構造化を図るために設けられた柱である。

と説明している⁸⁾。このなかにもあるように、この領域は従前の「物質とエネルギー」を引き継いだ内容と成っている。

この領域は原子論へ発展していくものとして重要な内容を含んでいる。例えば、第3学年では、

物は、形が変わっても重さは変わらないことという内容を学ぶ⁹⁾。この内容を支えているのは原子論である。科学的な考え方で重要なことは、論理的な考え方を積み上げるだけで成立するものではない、ということである。科学的な考え方を成り立たせるためには、その論理が科学的な法則や事実に基づいていることが必要である。物質は原子という最小の粒子からできていて、その最小の粒子は生まれたり消えたりしない。この基本的事実に基づいて考えなくては、どんな論理的考察も科学的な考え方にはならない。

では、原子論とはどのような考えなのであろうか。近代科学において最初に原子論を唱えたのは、Dalton であろう。彼は、物質の最小単位は原子であり、同じ元素の原子はすべて全く同一であるとした。前半は原

子論であれば当然のことなるものの、実は後半には日常的な常識からの飛躍が含まれている。我々の現実の世界では、“全く同じもの”というのは、まず存在しない。同じ規格品であったとしても、汚れや傷のつき方がどこかしら異なっているものである。何の違いも存在しない全く同じものなどということは日常的な常識ではありえないのである。そうした日常ではあり得ないことを Dalton は原子論の仮定とした。原子論が原子論として確立するためには、そうした仮定をおくことが必要不可欠であったためである。そして、この考え方は現在の素粒子物理学にも引き継がれている。Dalton は、当時知られていた化学法則、すなわち、質量保存則、定比例の法則、倍数比例の法則を自然に説明できた。

しかし、Dalton がすべて正しかったわけではない。Dalton の原子論の弱点としてよく挙げられるのは、同種の原子からなる分子を想定していないこと、化合物はもっとも単純な結合状態からなるという Dalton が“最単純性原理”と名付けた原理を設定してしまったことなどである。前者は、 O_2 や N_2 のような分子を考えていないことであり、後者は例えば水であれば H_2O ではなく HO と認識されたことであった。これでは事実と異なってしまうので、Dalton は現実と様々な乖離を生むことになってしまう。

この乖離の代表例は、Gay-Lussac によって見出された気体反応の法則である。気体反応の法則とは、「ある反応に 2 種以上の気体に関与する場合、反応に関わった各気体の体積は、簡単な整数比になる」という法則である。Dalton の原子論はこれをうまく再現できない。Dalton の原子論と Gay-Lussac の気体反応の法則との乖離を解決したのは、同種の原子からも分子ができるという Avogadro の分子仮説である。Avogadro の分子仮説を仮定すれば気体反応の法則は自然に理解され得る。しかし、多くの科学者にとって同種原子から分子が構成されるメカニズムが到底想像できなかったために、分子仮説は長い間無視されることになる。

そもそも分子というものは原子の電子軌道を共有する共有結合という結合状態で成り立っている。共有結合は量子力学によってそのメカニズムが解明されたものである。量子力学など影も形もなかった Avogadro の時代には、分子の構成メカニズムが誰にも分からなかったのは無理からぬことである。

ただ、不思議なことに量子力学の誕生以前に分子仮説は科学者たちに受け入れられていく。もはや“そう

なっていると考える以外にはあり得ない”という認識が広がったためであろう。同種原子から分子が構成されるメカニズムの解明は将来の宿題にして、とにかく同種原子からも分子ができていと考えないと化学反応が理解できない、ということであったのだろう。分子仮説を用いれば、多くの化学反応を無理なく理解できるのである。

科学史ではこうした類のことは珍しくなく、例えば、地動説などでも、地球が公転している確かな証拠が確認される前に地動説は受け入れられていった。この場合も、“地動説で考える以外にない、地動説の方が自然な考え”となっていたのであろう。

こうした歴史を経て原子論的物質観は現代科学の柱のひとつとなっていた。小学校における萌芽となる学びを大切にしなければならぬ。

4. 「生命・地球」領域と科学的な考え方

『小学校学習指導要領解説理科編』では、「生命・地球」領域について、

「生命・地球」については、児童が生物の生活や成長、体のつくり及び地表、大気圏、天体に関する諸現象について観察やモデルなどを通して探究したり、自然災害などの視点と関連付けて探究したりすることについての指導に重点を置いて内容を構成する。また、「生命」や「地球」といった科学の基本的な見方や概念を柱として内容が系統性をもつように留意する。

その際、例えば、自然の観察、人の体のつくりと運動、太陽と月などを指導する。また、現行で課題選択となっている、卵の中の成長と母体内の成長、地震と火山はいずれも指導する。

として¹⁰⁾、さらに詳しく、

自然の事物・現象の中には、生物のように環境とのかかわりの中で生命現象を維持していたり、地層や天体などのように時間や空間のスケールが大きいという特性をもったりしているものがある。児童は、このような特性をもった対象に主体的・計画的に諸感覚を通して働きかけ、追究することにより、対象の成長や働き、環境とのかかわりなどの見方や考え方を構築することができる。主にこのような対象の特性や児童の構築する見方や考え方などに対応した学習の内容区分が「B 生命・地球」である。なお、本内容区分は、前回の「A 生物とその環境」、「C 地球と宇宙」を基本的な考

え方において引き継いでいるものである。

「B生命・地球」の指導に当たっては、自然環境の保全に関する態度を養うとともに、「生命」、「地球」といった科学の基本的な見方や概念を柱として、内容の系統性が図られていることに留意する必要がある。

「生命」といった科学の基本的な見方や概念は、さらに「生物の構造と機能」、「生物の多様性と共通性」、「生命の連続性」、「生物と環境のかかわり」に分けて考えられる。「地球」といった科学の基本的な見方や概念は、さらに「地球の内部」、「地球の表面」、「地球の周辺」に分けて考えられる。

なお、「生命」、「地球」といった科学の基本的な見方や概念は、基礎的・基本的な知識・技能の確実な定着を図る観点から、子どもたちの発達の段階を踏まえ、小・中・高等学校を通じた理科の内容の構造化を図るために設けられた柱である。

と説明している¹¹⁾。ここでは、「地球の内部」に関する学びについて論じたい。それは、この学びが地震に対する直接的な学習に結び付くからである。

南海トラフはフィリピン海プレートがユーラシアプレートに沈み込む領域、相模トラフはフィリピン海プレートが北米プレートに沈み込む領域、日本海溝は太平洋プレートが北米プレートに沈み込む領域にある。海のプレートが陸のプレートの下に沈む込む際に、陸のプレートを引きずり込み、それが限界に達した時に、陸のプレートが跳ね返り地震を発生させる。基本的にプレート境界の地震はそのメカニズムで発生する。それが、プレート境界の地震が繰り返して発生する理由である。実際、南海トラフでは90年から150年程度の間隔で地震が発生している。子どもたちには、この地震発生のメカニズムを是非とも理解させたい。

1970年代、日本では東海地震への対策が喫緊の課題となっていた。そのころ既に、東海、東南海、南海の巨大地震が繰り返して起きるといった認識はあった。東南海、南海の地震は終戦を前後して発生しているのに、東海地震だけは長らく発生しておらず、そのことが「近いうちに東海地震が起きる」という考えに至らせた。しかし、いつまで経っても東海地震は起きない。そこで、過去の地震が洗いなおされ、東海地震が単独で起きることはなく、南海トラフの連動地震として発生するという現在の認識に達したのである。

東海地震対策に躍起になっていた頃の日本を記憶し

ている人々が多い。そのなかには、現在の認識をよく知らずに、「東海地震のときも結局地震は起きなかった。南海トラフも騒いでいるだけで、どうせ地震は起きない」と思っている人が少なからずいても不思議ではない。身近にそうした人がいたとしても、子どもたちにはそれに惑わされない力を身に付けてほしいものである。それには、地震のメカニズムを正しく理解するしかない。それは恐怖を感じることもかもしれないけれども、「正しく恐れること」が命を守る第一歩となる。

さて、もうひとつ子どもたちに理解させたいことは、地震は様々な形で襲い掛かってくるということである。東日本大震災の記憶が新しい日本人には、津波さえ来なければ大地震が起こっても大丈夫、と思っている人が少なからずいるようである。実際、筆者の知人にも「私の住んでいるところは海から離れていますので大丈夫です」と言った人がいた。

地震で発生する現象は津波だけではない。また、津波だけが多くの人命を奪う訳ではない。大正期に起こった関東大震災では、死者が10万人とも14万人とも言われており、その9割までもが地震で発生した火災で死亡している。長らく日本の地震防災では、地震が起きたらすぐに台所の火を消すよう指導されてきたのも、関東大震災の記憶が深く刻まれていたためである。1995年に発生した阪神淡路大震災では、多くの人が倒れた家に押しつぶされる形で死亡した。2016年の熊本地震では巨大な山崩れも起こっている。また、熊本地震では阿蘇山の噴火が危惧されたように、活火山が近くにあれば噴火も脅威となる。また、液状化も海の近くだけで起こるものではない。長久手のように以前は湿地帯であった土地では十分注意しなくてはならない。

地震は様々な形で襲い掛かってくる。大切なことは、大地震が起きたら自分の生活圏では何が脅威となるのかを把握しておくことである。これは、子どもたちにとっても大切なことである。よく行われている実践は、小学校の学区のなかにどのような脅威があるのかを子どもたち自らが調べるといったものである。子どもたちが自ら調べることが大切であろう。

こうした地震についての学びを深めるのがこの分野であろう。地球は表面から、地殻、マントル、核と層構造をなしている。核はさらに液体状の外核と固体の内核に分けられている。地球の中心には地球が誕生したときに微惑星や原始惑星の衝突で生じた膨大な熱エ

エネルギーとその後放射線原子の崩壊で生じた熱エネルギーが蓄えられている。中心ではその温度は約6000度と考えられており、この温度は太陽の表面温度に匹敵するものとなっている。地球の46億年の歴史は、その中心にたまった膨大な熱エネルギーを徐々に外部に逃がしていき、つまり、冷えていく歴史に他ならない。

当然のことながら、中心核の熱は直接的に宇宙に熱放射を行えるわけではない。マントルを対流させることで熱を逃がすのである。マントル対流は地球の表面において、マントル上部と地殻と一緒に移動させる。このことで地震や火山といった地殻現象のすべてが引き起こされる。こうした考えはプレートテクトニクスと呼ばれている。上で説明なく使用したプレートとは地殻とマントル上部のことである。

日本は、ユーラシア・プレート、北米プレート、フィリピン海プレート、そして、太平洋プレートといった4枚のプレートがひしめき合う個所にある。4枚ものプレートがひしめき合う個所は、地球上で日本と中米地域の2か所しかない。日本が世界稀なる地震大国であることもうなずける。日本で育っていく子どもたちに対する地球の教育は、命を守る教育につながるようになるので、大切にしていきたい。

5. まとめ

『小学校学習指導要領解説理科編』はその最後の方で、

理科の学習においては、自然に直接かかわることが重要である。こうした直接体験を充実するために、それぞれの地域でも自然の事物・現象を教材化し、それらの積極的な活用を図ることが求められる。中でも、生物、天気、川、土地、天体などの学習においては、学習の対象とする教材に地域差があることを考慮し、その地域の実情に応じて適切に教材を選び、児童が主体的な問題解決の活動ができるように指導の工夫改善を図ることが重要である。

野外での学習活動では、自然の事物・現象を断片的にとらえるのではなく、それらの相互の関係を一体的にとらえるようにすることが大切である。そのことが、自然を愛する心情や態度などを養うことにもつながる。また、野外に出掛け、地域の自然に直接触れることは、学習したことを実際の

生活環境と結び付けて考えるよい機会になるとともに、自分の生活している地域を見直し理解を深め、地域の自然への関心を高めることにもなりうる。

こうした体験は、自然環境を大切にし、その保全に寄与しようとする態度の育成につながるものであり、持続可能な社会で重視される環境教育の基盤になるものといえる。また、野外での活動に限らず、学校に飼育舎やビオトープなどを設置し、その活用の充実を図る工夫が考えられる。

さらに、地域教材を扱う理科の学習では、できるだけ地域の自然と触れ合える野外での学習活動を取り入れるとともに、遠足や野外体験教室、臨海学校などの自然に触れ合う体験活動を積極的に活用することが重要である。

と主張している¹²⁾。自然に直接かかわる重要性である。生活環境の変化で都市部に住む子どものみならず、自然豊かな土地に住む子どもたちでも、自然に触れ合う機会が減っているとされている。科学の学習の出発点において、直に自然に触れ合うことは極めて大切なことである。そうした経験が科学的な探究心の芽生えに役に立つことだろう。そのことが科学的な考え方の成長に寄与するであろう。これまで以上に、子どもたちが自然に触れ合うことに気を配る必要がある。もちろん、安全には十分注意しながら。

注

* 愛知県立大学教育福祉学部教授

- 1) 文部科学省、『小学校学習指導要領』, 2008年。
- 2) 前掲『小学校学習指導要領』, p. 49.
- 3) 文部科学省、『小学校学習指導要領』, 2017年, p. 94.
- 4) 文部科学省、『小学校学習指導要領解説理科編』, 2008年, pp. 14-15.
- 5) 海王星の発見については、M. グロッサー著、高田紀代志訳、『海王星の発見』, 1985年、恒星社厚生閣に詳しい。
- 6) 前掲『小学校学習指導要領解説理科編』, 2008年, p. 5.
- 7) 前掲『小学校学習指導要領解説理科編』, 2008年, p. 6.
- 8) 前掲『小学校学習指導要領解説理科編』, 2008年, pp. 16-17.
- 9) 前掲『小学校学習指導要領』, p. 49.
- 10) 前掲『小学校学習指導要領解説理科編』, 2008年, p. 6.
- 11) 前掲『小学校学習指導要領解説理科編』, 2008年, p. 17.
- 12) 前掲『小学校学習指導要領解説理科編』, 2008年, p. 85.