

理科の見方・考え方を働かせた探究「マグマの性質と火山の形」の指導

杉 田 泰 一

日本の理科教育は、今まで探究の過程に基づいた学習を大切にしてきた。平成29年告示学習指導要領においても探究の過程に基づいた学習の充実が示され、併せて理科の見方・考え方等のキーワードも示されている。充実とは具体的に何を意味するのか、理科の見方・考え方を働かせるとは何か、理科の見方・考え方をなぜ評価対象としないのか。これらの問いを踏まえながら、中学校理科第1学年「マグマの性質と火山の形」を一例に取り上げ、生徒が理科の見方・考え方を働かせながら問題を見いだして課題・仮説を設定する場面に焦点を当てた指導計画を検討し、授業実践を行った。

1. はじめに

平成29年告示中学校学習指導要領¹⁾(以下、新学習指導要領)の理科では、探究の過程に基づいた学習を進め、科学的に探究するための資質・能力を育成することが求められている。しかし、日本の理科教育においては、従前から探究の過程をベースにした学習を大切にしてきた。新学習指導要領に基づく授業を行うにあたり、従前との違いは何だろうか。

本稿では、新学習指導要領が示す探究の過程に基づいた学習の進め方について、中学校理科地球領域の「マグマの性質と火山の形」の学習を一例に挙げて検討した。

2. 新学習指導要領における中学校理科の探究

(1) 中学校理科の学び

新学習指導要領は、新しい時代に求められる資質・能力を子供たちに育むことを目指して「何ができるようになるのか」、「何を学ぶのか」、「どのように学ぶのか」等の枠組みのなかで整理された。「何ができるようになるのか」とは、生きて働く知識・技能、未知の状況にも対応できる思考力・判断力・表現力等、学びを人生や社会に生かそうとする学びに向かう力や人間性等といった3つの資質・能力の育成である。「何を学ぶのか」とは、学習対象・内容である。「どのように学ぶのか」とは、主体的・対話的で深い学びを促す学習方法である。これらの枠組みを中学校理科に適用・整理したものが表1である。

表1 新学習指導要領における中学校理科の学び

何ができるようになるのか	科学的に探究するために必要な資質・能力(以下①・②・③)を育成 ①自然の事物・現象についての理解、科学的に探究するために必要な観察、実験などに関する基本的な技能 ②科学的に探究する力 ③自然の事物・現象に進んで関わり、科学的に探究しようとする態度
何を学ぶのか	自然の事物・現象
どのように学ぶのか	探究の過程

新学習指導要領では「どのように学ぶのか」の視点が明示され、理科では探究の過程を踏まえた生徒の主体的な学習が強調された。文部科学省(2010)²⁾は、探究的な学習とは「問題解決的な活動が発展的に繰り返されていく一連の学習活動」として説明している。理科で言う探究の過程に基づく学習とは、「課題の把握(発見)」、「課題の追究(探究)」、「課題の解決」から構成される問題解決的な学習が繰り返されることである。

しかし、日本の理科教育においては、従前から探究の過程をベースにした学習を大切にしてきた。では、新学習指導要領では何が変わるのだろうか。結論としては、今までにない新しいことを取り入れて始めるということではなく、従前の授業を踏まえながら、教師が主に次の2点を強く意識して探究の過程に基づいた学習を指導することだと考えられる。

1点目は生徒が理科の見方・考え方を働かせながら学ぶことができるようにするということ、2点目は科学的に探究するために必要な資質・能力を内容、生徒の発達段階に応じて計画的に育成するということである。

(2) 理科の見方・考え方

中央教育審議会総則・評価特別部会(2016)³⁾は、見方・考え方を「様々な事象を捉える各教科等ならではの視点」、「各教科等ならではの思考の枠組み」とし、中学校学習指導要領(平成29年告示)解説理科編⁴⁾(以下、新学習指導要領解説理科編)では、中学校理科における「理科の見方・考え方」を「自然の事物・現象を、質的・量的な関係や時間的・空間的な関係などの科学的な視点で捉え、比較したり、関係付けたりするなどの科学的に探究する方法を用いて考えること」として示した。

理科の見方については、理科を構成する領域ごとに特徴が見いだされることから、エネルギー領域、粒子領域、生命領域、地球領域ごとに細分して示された。例えば、地球領域における見方は、「地球や宇宙に関する自然の事物・現象を主として時間的・空間的な視点で捉える」である。ただし、各領域の見方は領域固有・限定的なものではなく、理科全体の中で適宜適用されるものである。

理科の考え方については、探究の過程に基づいた学習活動の中で、科学的に探究する方法を用いて考えることとして整理され、さらに育成する資質・能力としての思考力や態度とは区別することが示された。区別とは、どういう意味だろうか。理科の考え方の具体としては、比較、関係付け、条件制御、多面的思考等があるが、いずれも生徒が思考したり、判断したり、表現したりするためのツールである。例えば、野球における投球場面と対比してみる。投手は今までの経験や知識等を活かし、投球場面(文脈)に応じて直球のほか、カーブ、スライダー、シュート等の様々な球種の中から選択して投げる。また、その投球で評価されることは、球種そのものではなく、何の球種を選択してどのような状況になったのかという結果や一連のプロセスである。つまり、球種は結果を導くためのツールである。球種が理科の考え方に相当し、結果や一連のプロセスが資質・能力としての思考力・判断力・表現力や態度である。

このように捉えると、理科の見方・考え方が育成すべき資質・能力と区別されることのほか、理科の見方・考え方は生徒が働かせるものであること(選択して使用すること)、理科の見方・考え方が評価対象とされない理由も理解できる。

しかし、理科の見方・考え方で示されていること

は、従前の理科教育でも科学的な見方・考え方、態度として大切にされてきたことと重なる。新学習指導要領に基づく学習が従前と違っている点は、理科の見方・考え方を教師だけでなく、生徒が積極的に選択・使用することによって科学的に探究するために必要な資質・能力を身につけることだと言える。教師には、そのための意図的な指導計画の作成・授業展開が求められている。

(3) 科学的に探究するために必要な資質・能力の計画的な育成

新学習指導要領解説理科編において、中学校3年間を通じて科学的に探究するために必要な資質・能力を計画的に育成するために、各学年で主に重視する探究の学習過程が例示されている。具体的には、第1学年「自然の事物・現象に進んで関わり、その中から問題を見いだす」、第2学年「解決する方法を立案し、その結果を分析して解釈する」、第3学年「探究の過程を振り返る」である。

中学校学習指導要領(平成20年告示)解説理科編⁵⁾では、科学的な思考力・表現力の育成を図る観点から言語活動を充実させ、「問題を見だし観察、実験を計画する学習活動」、「観察実験の結果を分析し解釈する学習活動」、「科学的な概念を使用して考えたり説明したりするなどの学習活動」を充実することが例示された。また、どの学習場面でどの学習活動を扱うのかについては教師に一任された。しかし、言語活動の充実を図った授業が約10年間続けられてきたものの、探究の過程で育成する理科の資質・能力「仮説を確かめるための観察・実験の計画を立案する力」、「学んだことを次の課題や、日常生活や社会に活用しようとする態度」等が十分に身に付いていない生徒実態が、全国学力・学習状況調査(国立教育政策研究所, 2018)⁶⁾等によって明らかにされている。

探究の過程に基づく学習が重視されるといつも問題になることがある。授業時数との兼ね合いである。授業時数が限られていることから、全ての学習内容において全ての探究の過程を経て学習することは困難である。したがって、新学習指導要領解説理科編では、「問題の内容や性質、あるいは生徒の発達の段階に応じて、ある部分を重点的に扱ったり、適宜省略したりするといった工夫が必要」とされている。

このように新学習指導要領においては、各学年で主に重視する探究の学習過程が示され、その例示を参考にしながら科学的に探究するために必要な資質・能力を計画的かつ重点的に育成すること、教師にはそのための意図的な指導計画の作成・授業展開が求められている。

(4) 各学年で主に重視する探究の学習過程において
「何を学ぶのか」

新学習指導要領には、各学年で主に重視する探究の学習過程をどの学習内容において扱うのか具体的に例示されている(表2)。例示されている学習内容の多くは今まで教科書に掲載されている観察実験等であるが、一工夫を加えて充実を図って指導する内容も示されている。このことから、新学習指導要

領では、探究の過程に基づいた学習を進めることを重視するものの、今までにない全く新しい観察実験を取り入れて指導しなければならないということではないことが分かる。ただし、あくまでも例示であることから、内容、生徒の発達の段階等に応じて教師が適宜創意工夫して開発した観察実験等を行ってもよいと考えられる。

表2 新学習指導要領解説理科編に記された各学年で主に重視する探究の学習過程を扱う学習内容例

	エネルギー領域	粒子領域	生命領域	地球領域
第1学年	<p>身近な物理現象 光源から出た光を複数の鏡を使って反射させ設置した的に当てるなど、鏡に入射する光と反射する光との関係について、問題を見いだす活動などが考えられる。</p> <p>身近な事象として虹や水面に映った景色、日常生活や社会で活用されているものとして光ファイバーケーブルなどを示し、問題を見いださせるようにすることも考えられる。</p> <p>音の大きさと振幅の関係や音の高さと振動数の関係について問題を見だし、弦を用いて実験を行い、弦の振動では弦をはじく強さ、弦の長さや太さなどを変えて音を発生させ、音の大きさや高さを決める条件を見いだして理解させる。</p>	<p>身の回りの物質 食塩や砂糖などの視覚的に区別しにくい身近な白い粉末をどのようにしたら区別できるかという問題を見いださせ、性質の違いに着目し課題を設定させる。</p>	<p>いろいろな生物とその共通点 親しみのある20種類程度の生物を挙げさせて、これらの生物が生息している場所や、活動的な季節、色、形、大きさなどの姿、殖え方、栄養分のとり方などの特徴に基づいた観点で分類の基準を考えさせる。生息している場所を観点とした場合には、水中や陸上などを基準として設定することが考えられる。その後、別の生物を当てはめ、用いた観点や基準で分類できるかどうかを考えさせたり、他の観点や基準を検討させたりすることなどが考えられる。その際、分類の結果を分かりやすく表現させるようにする。</p>	<p>大地の成り立ちと変化 地域の地形や露頭の観察を行ったり、ボーリングコアや博物館の標本などを活用したりするなどして、地層の構成物の違いなどに気付かせ、地層の広がりなどについての問題を見いだし、学校内外の土地の成り立ちや広がり、構成物などについて理解させる。</p> <p>溶岩がドーム状に盛り上がっている火山と、広く平らに広がっている火山とを比較し、岩石や火山灰などの観察をもとに、火山の形の違いをマグマの性質と関連付けて、火山の形が異なる理由が粘性と関係があるという問題を見いださせる。</p>
第2学年	<p>電流とその利用 豆電球に流入する電流と流出する電流の大きさの関係を予想させ、それを調べる実験を計画して実行させ、その結果から規則性を見いだして表現させる活動などが考えられる。</p>	<p>化学変化と原子・分子 一定の質量の銅やマグネシウムなどの金属に反応する酸素の質量には限度があることから、金属の質量と結びつく酸素の質量との関係を調べる実験について、見通しをもって解決する方法を立案して、実験を行い、得られた結果をグラフ化することを通して分析して解釈し規則性を見いだして、表現させるようにする。</p>	<p>生物の体のつくりと働き 光合成に必要な物質や環境条件について、小学校での植物に関する学習を基に、見通しをもつて実験の条件を検討し、実験の計画を立案させることが考えられる。</p>	<p>気象とその変化 時間の変化に伴う気温や湿度などの気象要素間の関係を見いだす課題を設定し、それを検証するために、観測の場所や器具、期間、間隔について観測の計画を立てさせ、観測記録から分析して解釈させ、各気象要素間に関係があることを見いだして理解させる。</p>
第3学年	<p>運動とエネルギー 落下運動については、斜面上に沿った台車の運動を中心に調べ、斜面上の台車の運動と斜面上を動く台車に働く力の大きさについて、実験を計画して行い、その結果を分析して解釈する活動が考えられる。その際、一定の力を加え続けた場合の水平面上の物体の運動と比較するなど探究の過程を振り返らせることも考えられる。</p>	<p>化学変化とイオン 3種類程度の金属とその金属の塩の水溶液を用いてイオンへのなりやすさを比較する実験を計画し、見通しをもって観察、実験を行うことが考えられる。これまでの化学変化に関する学習の過程を踏まえて、イオンのモデルと関連付けて考えたり、得られた結果を表にまとめて分析したりして、金属のイオンへのなりやすさが異なることについて根拠を示して表現するとともに、探究の過程を振り返ることが考えられる。</p>	<p>生命の連続性 メンデルの交配実験の結果を分析して解釈し、子や孫の形質の表れ方には規則性があることに気付かせる。その際、染色体に関する図やモデルなどを活用して、その規則性は対になっている遺伝子が分かれて別々の生殖細胞に入ることによってもたらされることを取り上げる。その後、コインやカードなどを用いて交配のモデル実験を行わせて、規則性をもたらす仕組みを確認させることが考えられる。その際、交配のモデル実験における試行回数と得られる結果との関係に気付かせたり、モデル実験の操作や結果が何を意味するかなどを考えさせたりして、探究の過程を振り返らせることが考えられる。</p>	<p>地球と宇宙 地球から見える金星の形がどのように変化するかという課題を解決するため、太陽と金星の位置関係に着目してモデル実験の計画を立てて調べさせる。その後、課題に対して実験方法や考察が妥当であるか探究の過程を振り返らせることが考えられる。</p>

下線は、各学年で主に重視する探究の学習過程の部分を筆者が引いた。

3. 「マグマの性質と火山の形」の探究

(1) 学習指導要領における位置付け

平成20年告示学習指導要領、新学習指導要領のいずれも中学校第1学年「大地の成り立ちと変化」の火山に関する内容において、「マグマの性質と火山の形」を学習する。この学習内容について、中学校学習指導要領（平成20年告示）解説理科編では「火山の形や噴火活動の様子がマグマの粘性と密接な関係があることを考察させる」と示されていたものが、新学習指導要領解説理科編では「火山の形が異なる理由が粘性と関係があるという問題を見いださせる」に変更して示された。平成20年告示学習指導要領では必ずしも生徒実験を行う必要はなく、また考察することに重点が置かれていた。新学習指導要領では生徒自らが問題を見いだすことに重点が置かれた。

(2) 先行研究

「マグマの性質と火山の形」の学習において、生徒に火山全体の写真を提示することによって火山の形を認識させることはできても、中学校・高等学校理科ではマグマのねばりけを定量的に示す指標（粘度）を提示したり、調べさせたりすることはできない。したがって、多くの場合、日常生活で使用する物質（材料）をマグマに見立て、その物質のねばりけを変化させたモデル実験によってマグマのねばりけの違いと火山の形の関係を捉えさせる指導が一般的である。

今まで、マグマのねばりけと火山の形の関係に関するモデル実験で使用するさまざまな物質（材料）が検討されてきた。例えば、池本（1998）⁷⁾は、粘性の違うスライムを斜面に流してマグマのねばりけと溶岩流の関係を扱い、さらに溶岩流と火山の形を関係付けるモデル実験を開発した。境（2004）⁸⁾は、積み重ねや切断が可能という性質を有する歯科用印象材を用いてマグマのねばりけと火山の形の関係等について考察するモデル実験を開発した。スライム、歯科用印象材のほかに、小麦粉、石膏等を用いたモデル実験も広く普及している。

これらのモデル実験における課題は、火山が形作られる現象とモデル実験の対応が不十分なことである。火山はメルト状の溶岩が冷却されて固まる等の過程を経て形成され、火山の形に反映される。しかし、モデル実験で使用する物質（材料）は、流動性をもったままであったり、流動性をもった状態から固体になったとしても火山が実際に形成されるときに見られる現象（冷却によってメルト状から固まること）と対応していなかったりしている。また、火

山は複数回の噴火によって形作られることが多い。したがって、火山が形作られる現象とモデル実験を対応させるのであれば、モデル実験において物質（材料）を何回か流す操作を行うことが必要である。この操作は火山に関する時間・空間的な見方を働かせる上で有効であり、この操作を取り入れたモデル実験を境（2003）や日向ほか（2017）⁹⁾が開発した。

このように「マグマの性質と火山の形」を学習するためのモデル実験の開発・改良が行われてきた一方で、モデル実験を行うまでの思考、モデル実験を行う必然性を導く指導の検討は十分に行われてきていない。新学習指導要領第1学年で重視する探究の学習過程「自然の事物・現象に進んで関わり、その中から問題を見いだす」ための指導法を検討することが必要である。

(3) 教科書に見る展開の現状

平成20年告示学習指導要領に基づいて編集された中学校理科教科書（A社～E社発行）^{10)~14)}における本学習に関する展開を表3に整理した。表中の「演示」は「教師による演示実験」、「生徒簡易実験」は「通常の観察実験よりも軽い扱いの生徒実験」である。

表3 教科書における「マグマの性質と火山の形」に関する展開とモデル実験の概要

発行会社	モデル実験に至るまでの展開とモデル実験の概要 (◎はモデル実験)
A社	①火山の形は噴出物によってできることを説明 ②噴火のしくみを説明 ③火山の形や噴火のようすの違いの原因を問う ◎石こうを用いたモデル実験（演示）
B社	①噴火のしくみを説明 ②火山噴出物の観察・説明（火山灰の色の違いがマグマの成分の違いによることも説明） ③噴火のようすや火山の形の違いの原因を問う ◎ホットケーキミックスを用いたモデル実験（生徒簡易実験）
C社	①マグマの発生や噴火のしくみを説明 ②火山噴出物を説明 ③マグマのねばりけと火山の噴火や火山の形の関係を説明 ◎小麦粉を用いたモデル実験（演示）
D社	①マグマの発生や噴火のしくみを説明 ②火山噴出物を説明（火山によってマグマの性質が異なることも説明） ③マグマのねばりけと火山の形の違いの関係を説明 ◎石こうを用いたモデル実験（生徒簡易実験）
E社	①火山噴出物を説明 ②マグマの性質の違いによって、火山によって火山の形、噴火のようす、火山噴出物の違いがあることを説明 ③マグマのねばりけと火山の形や噴火の関係を説明 ◎スライムを用いたモデル実験（演示）

A社とB社は、モデル実験に至るまでのプロセスが探的に展開されており、モデル実験を行うための問いも設定されている。モデル実験について、A社は演示実験、B社は生徒簡易実験として扱っている。一方で、C社、D社、E社は、マグマのねばりけの違いと火山の形等の関係を説明し、その説明の正しさを確認するためにモデル実験が示されており、C社とE社は演示実験、D社は生徒簡易実験として扱っている。

A社～E社のいずれの展開も中学校学習指導要領（平成20年告示）解説理科編に示された「火山の形や噴火活動の様子がマグマの粘性と密接な関係があることを考察させる」ことに合致した展開になっているものの、生徒が自ら探的に学ぶ展開が準備されているのはB社のみである。新学習指導要領解説理科編に示された「火山の形が異なる理由が粘性と関係があるという問題を見いださせる」に対応するには、B社以外の展開は不十分であると考えられる。しかし、B社の展開は、モデル実験前に火山灰の色の違いがマグマの成分の違いによることを説明しながらも、モデル実験後に火山灰の観察が設定されている。火山灰の観察、マグマの性質と火山の形の学習が独立していて効果的に結びついていない。

(4) 学校における指導の現状

平成20年告示学習指導要領では、マグマのねばりけと火山の形の関係について、生徒が必ず行わなければならない実験ではなく、各社の教科書も教師による演示実験、生徒簡易実験として扱われていた。

では、学校現場では実際にどの程度指導されていたのだろうか。山崎ほか（2019）¹⁵⁾は、佐賀県内の中学校理科教員を対象に行ったアンケートで、マグマのねばりけと火山の形に関するモデル実験は約1/3の中学校でしか実施されていないこと、さらにモデル実験を行わない理由として「生徒が火山を身近に感じたことがないため、形の話をしても関心がない」、「粘りけの実験をしようとしたが、火山の形をうまくつくれなかった（予備実験で断念）」等を報告している。この報告を基に考えると、モデル実験を行う目的を意識させる指導の充実、モデル実験の一層の改良が必要であると言える。

(5) 指導の検討と計画

先行研究、教科書に見る展開の現状、学校における指導の現状に鑑みたとき、新学習指導要領において理科の見方・考え方を働かせながら生徒自らが問題を見いだすことを重視した探究「マグマの性質と火山の形」の学習を行うためには、モデル実験に導くまでの指導を充実することが望まれる。

杉田（2018）¹⁶⁾は、生徒が自ら探究するための問題を見いだすためには学習内容の本質に基づく疑問を引き出す指導の工夫が必要であることを述べた。図1は、単元「大地の成り立ちと変化」の火山に関する学習内容の本質、本質に関連する具体的な学習内容の要点を整理したものである。本学習内容の本質は、マグマの性質の多様性が火山に関するさまざまな違いをもたらすことにありとされ、①～⑩は主な学習内容、「比較」・「関係付け」・「条件制御」は各

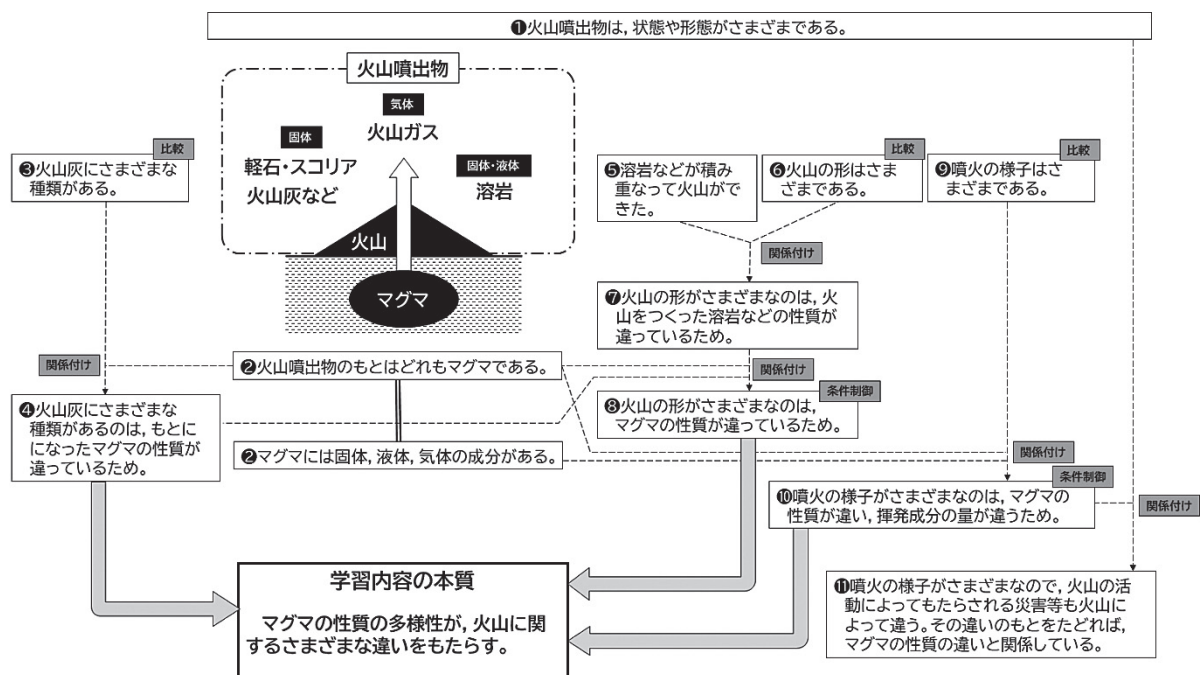


図1 火山に関する学習内容の本質と関連する学習内容の具体及び学習において働かせる理科の考え方

学習内容において働かせる理科の考え方を示している。「比較」を付している学習内容③、⑥、⑨は、さまざまな火山の姿を捉えて疑問をもたせることができる内容である。例えば学習内容③において、いくつかの火山から噴出された火山灰を比較させることで、火山灰にさまざまな種類があることを捉えさせ、「なぜさまざまな種類があるのか。」という疑問をもたせる。「関係付け」によって導かれる学習内容④、⑦、⑧、⑩、⑪は、原因・結果の視点等で疑問を基に問題を見いださせたり、分析・解釈させたりすることができる内容である。例えば学習内容④は、学習内容③でもった疑問を学習内容②と関係付けることで、「火山灰のものはマグマである。したがって、火山灰にさまざまな種類があることから、マグマにもさまざまな種類がある（性質が違う）のではないか。」という問題を見いださせることができる。「条件制御」を付している学習内容⑧、⑩は、見いださせた問題に対して独立変数と従属変数を意識させながら課題・仮説を設定させ、モデル実験で検証することができる内容である。本稿は、学習内容⑧を取り上げている。

「マグマの性質と火山の形」について問題を見いださせて課題・仮説を設定させるためには、事前に4つのことを理解させ、「マグマの性質」を生徒が特に強く意識できるような学習を組み立てておくことが必要だと考える。1点目は溶岩などの火山噴出物のものはマグマであるということ、2点目はマグマの性質は多様であるということ、3点目は溶岩などが積み重なって火山は形作られるということ、4点目は火山の形はさまざまであるということである。以下、これら4点とそれらに続く指導の具体を示す。

指導①「溶岩などの火山噴出物のものはマグマ」

小学校理科において、マグマや火山、溶岩や火山灰といった火山噴出物について学習している。これらと関係付けて、中学校理科では火山噴出物に火山ガス等が加わり、火山噴出物の状態や形態がさまざまであることを理解させる(学習内容①)。その上で、火山噴出物の状態や形態はさまざまであっても、そのものは全てマグマに起因するという共通性を理解させる(学習内容②)。

指導②「マグマの性質は多様」

中学校理科において、マグマを直接調べその性質を明らかにすることは技能的に困難である。そこで、火山噴出物を振り所にしてマグマの性質が多様であることを推論させる。

例えば、いくつかの火山から噴出された火山灰を比較させることでその多様性に気付かせる(学習内容③)。そして、火山灰のものはマグマであること

と関係付けることで、火山灰の多様性がマグマの種類(性質)の違いに起因することを推論させる(学習内容④)。

指導③「溶岩などが積み重なって火山は形作られる」

勝井(1976)¹⁷⁾、岡田ほか(2009)¹⁸⁾によると、火山の形に影響を及ぼす要因には、マグマのねばりけのほか、火山が噴火した場(陸上、海底、水底)や噴火の形式、火道が複数の場合はその間隔や配置等がある。また、土石流や泥流等の溶岩流以外の事象も関係している。しかし、本学習においては、火山は何からできているのかという点に着目することで形作られる要因を単純化して捉えさせ、溶岩などが積み重ねていくことで火山が形作られることを理解させる(学習内容⑤)。

指導④「火山の形はさまざま」

複数の火山の写真と比較し、形に着目して火山を分類させる活動を行うことがある。しかし、この活動は形の違いを見いだすことはできても、多様な形に対して分類する基準を明確に設定する点に困難を伴うことが多い。この活動に代わるものとして、多くの生徒が思い描く火山の形は富士山や桜島のような成層火山であることに着目し、この固定概念を壊すことで火山の形がさまざまなことに気付かせる指導が考えられる。

例えば、山の名称を伏せて火山や火山ではない山の写真を複数提示し、どの山が火山だと思うかを問い、成層火山以外の形の火山が存在することに気付かせることが考えられる(学習活動⑥)。そして、盾状火山とドーム状の火山(鐘状火山)を1例ずつ取り上げて比較させ、水平スケールや鉛直スケールの視点から火山の傾斜、火山の形の違いを捉えさせる。火山を比較するときは、写真だけでなく、地形図を用いて断面図を作成させたり、Google Earthを活用して火山を3Dであらゆる方向から観察したりする等の方法を併用することで多角的に捉えさせる。このような過程を通して「なぜ火山の形に違いがあるのか」という疑問をもたせる。

指導④に続く「マグマの性質と火山の形」の指導

火山の形に影響をもたらす要因を具体的に意識させるために、指導④でもたせた「なぜ火山の形に違いがあるのか」という疑問と指導③「火山は溶岩などが積み重なって形作られる」という概念を関係付けることで、「溶岩などの性質と火山の形の関係はどのようになっているのか」(学習内容⑦)という問題を見いださせ、これに指導①「溶岩などの火山噴出物のものはマグマ」や指導②「マグマの性質は多様」という概念を関係付けることで、「マグマの性質と火山の形の関係はどのようになっているの

か」という問題を見いださせる（学習内容⑧）。

さらに、この問題における「マグマの性質」の具体が「マグマのねばりけ」であることを推論させることができれば、追究すべき課題・仮説を設定させることにつながる。課題は「マグマのねばりけと火山の形の関係はどのようにになっているのか」であり、仮説は「マグマのねばりけが小さいと傾斜がなだらかな水平方向に広がった火山になり、マグマのねばりけが大きいと傾斜が急で盛り上がった火山になる。」である。しかし、推論の際に漠然と「マグマの性質とはどのようなことか」と発問すれば、生徒は思いついたことを挙げることに終始してしまい、「マグマのねばりけ」というキーワードは挙がらない可能性がある。したがって、「マグマの性質」を具体的にイメージできるものを提示してから発問することが大切である。提示例としては、盾状火山やドーム状火山における噴火時の動画を見せて溶岩流等の違いを見いださせることに加え、赤色立体地図を用いて固結した溶岩流の様子の違いを見いださせたりすることも考えられる。赤色立体地図は、地表の起伏を立体的かつ直感的に捉えることが可能な地図で、国土地理院の地理院地図（Globe）等において閲覧が可能である（制作手法の特許は、アジア航測株式会社が保有している）。妥当な課題・仮説を導くためには、1つの事例から推論させるのではなく、なるべく多くの事例から推論させることが科学的な手続きとして必要である。なお、谷口（2001）^{19）}は、マグマのねばりけは化学組成、マグマ中の水分量、

結晶量、温度に依存し、特に化学組成（SiO₂量）が重要なパラメータであることを述べている。中学校理科では化学組成等のマグマのねばりけに影響を与える要因は扱わないことになっているが、生徒は「マグマの性質」として化学組成等を挙げる可能性がある。この場合、推論するときの根拠は思いつきではなく、動画や赤色地図等から読み取ったり想像できるものに限ることに留意させる。教師はこのような視点をもって指導したり、「マグマのねばりけと火山の形の関係」と「マグマのねばりけに影響を与える要因」を区別しながらもそれらの関連を意識した指導を行うことで、生徒が挙げる推論をある程度の範囲に絞り込むことができる。

課題・仮説を設定させたら、検証のモデル実験を計画させる。その際、独立変数がマグマのねばりけ、従属変数が火山の形であることを意識させるとともに、モデル実験で用いる器具や物質（材料）が実際の自然事象の何に対応しているのか理解させ、仮説が正しければ計画したモデル実験を行うとどのような結果になるか予想させる。使用する物質（材料）は、生徒に発想させてもよいが、同じ物質（材料）で対照を設定することに留意させる。生徒が発想できない場合は教師から示してもよい。

以上の検討を基に、「マグマの性質と火山の形」において、理科の見方・考え方を働かせながら生徒自らが問題を見いだすことを重視した探究の学習の指導計画概要を作成した（表4）。

表4 「マグマの性質と火山の形」指導計画概要

時	学習内容・学習活動	理科の見方	理科の考え方	備考
1	火山噴出物とマグマ ○小学校で学習したこと等を基に火山のイラストをかき、マグマ、溶岩、火山灰を確認する。 ○火山噴出物標本や写真をもとに、各火山噴出物の特徴を整理する。 ○各火山噴出物のでき方を推論するとともに、火山噴出物と関係付けてマグマとはどのようなものかまとめる。	共通・多様 原因・結果	比較 関係付け	小学校の学習とつなぐ 軽石のでき方を推論させる
2	火山灰の種類とマグマの性質の多様性 ○2種類の火山灰を比較し、共通点・相違点を挙げる。 ・肉眼による観察（観察A）・双眼実体顕微鏡による観察（観察B） ○火山灰にさまざまな種類がある原因を火山噴出物のもとがマグマであることと関係付けて推論する。	共通・多様 全体・部分 原因・結果	比較 関係付け 関係付け 推論	観察A・Bの結果の関係を考察させる。
3	マグマの性質と火山の形に関する探究【課題把握】 ○日本に見られる火山と火山以外の山の写真から火山を選び、火山の形が多様であることを見いだす。 ○火山は溶岩などの火山噴出物が積み重なって形作られることを理解する。 ○盾状火山とドーム状の火山（鐘状火山）を比較し、火山の傾斜や形の違いを見いだす。 ○噴火の様子等から火山の形の違いをもたらす要因を推論してマグマの性質と火山の形の関係についての問題を見だし、課題・仮説を設定する。	共通・多様 原因・結果 共通・多様 原因・結果	比較 比較 関係付け 推論	写真、地形断面図、Google Earth活用 噴火の動画、赤色地図活用
4	マグマの性質と火山の形に関する探究【課題追究・課題解決】 ○マグマのねばりけと火山の形の関係についての仮説を検証するモデル実験を計画する。 ○モデル実験を行い、結果を整理して考察する。 ○探究の過程を振り返り、分かったこと、改善点、新たな疑問を挙げる。	量的・関係的 原因・結果	条件制御 多面的思考	

(6) 授業実践

2019年、第1学年の生徒を対象に表4の計画に基づいた授業を行った。

第3時において、盾状火山とドーム状の火山を比較する際、マウナロア（アメリカ、ハワイ）と昭和火山（日本、北海道）を比較させた。表4の計画のうち、地形図から断面図を作成する活動を、各火山の山頂の標高データと火山全体の写真から読み取った傾斜を基に火山のおおよその形を作図させる活動に変更した（図2）。活動時間を短くするための変更であったが、図2を作成することで生徒は火山のスケールの違いを実感し、マウナロアと昭和火山の噴出する溶岩量の違いや噴火回数の違いを想像し、これらの想像と関係付けながらマグマの性質の違いを推論したりもしていた。噴火の様子を撮影した動画として、噴火が活発なキラウエア（アメリカ、ハワイ）と有珠山（日本、北海道）を示した。マウナロア、昭和火山のいずれも噴火活動が落ちついて、適当な動画が入手できなかったためである。キラウエアはマウナロアから山頂間距離約35km離れたところに、有珠山は昭和火山から山頂間距離約2km離れたところに分布する。動画視聴前に、マウナロアと昭和火山の噴火活動ではなく、キラウエアと有珠山の噴火活動を見ることを伝え、さらにマウナロアとキラウエアの噴火活動、昭和火山と有珠山の噴火活動はほぼ同じものとして見なしてよいことを位置関係等の情報とともに伝えた。動画視聴後、第1・2時で学習したことと関係付けながら、多くの生徒は火山の形に影響を及ぼす要因としてマグマの性質に着目し、ねばりけの違いを挙げていた。

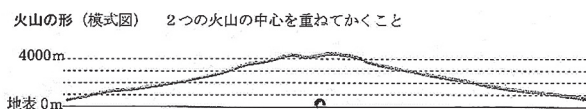


図2 マウナロアと昭和火山の形の比較

第4時において、仮説を検証するモデル実験を計画する際、使用する物質（材料）として歯科用印象材を用いることを教師から提示した。歯科用印象材を用いた理由は、短時間で固まる、カッターナイフで切って断面を見ることができ、準備や片付けを短時間で行うことができ、計画や考察に多くの時間を割くことができるためである。また、使用する物質（材料）を教師から提示した理由は、本学習で重視すべきことは実験計画ではなく課題・仮説を設定することであり、物質（材料）の検討に時間をかけなくなかったからである。一定量の歯科用印象材に

加える水の量を変えることでねばりけを調整させた。課題・仮説が明確であったため、実験計画を容易に行うことができた。

生徒は第3・4時の学習を振り返り、表5に示すことを書いていた。一部の生徒は、実験後、マグマのねばりけの違いの要因について考えを深めていた。要因として水を挙げた生徒は、その根拠としてモデル実験を行うときに歯科用印象材に加える水の量を変えた操作を思い出して述べていた。

表5 「マグマの性質と火山の形」の学習の振り返り

- ・ハワイの火山と昭和火山を比べました。ハワイの火山はとても傾斜がゆるやかでマグマが流れていました。昭和火山はマグマが流れるというより、爆発して火山灰が降り注ぐような感じでした。火山の形がどうしてこんなにも変わってしまうのか、実験をしてよく考えてみたいと思います。
- ・ハワイの火山と北海道の火山の噴火の様子を見て違いを考え、課題を立てた。ハワイの火山の噴火の様子を見ると、溶岩が水のように流れていて、滝のように見えて驚いた。溶岩と言われるのもっとドロドロな状態のものを思う浮かべるが、ハワイの火山のように水のようにサラサラなものもあると知った。ハワイの火山がきれいでもならかなのは溶岩がサラサラで流れやすいからかなと思った。北海道の昭和火山は標高が400mと聞いて思っていたより低くて驚いた。
- ・火山の形の違いはマグマのねばりけのせいかを確かめるために対照実験をしました。粉と水をビニールに入れてもみもみと混ぜて押し出しました。ねばりけの少ない方を押し出すとドロっと出ていって火山が平らな形になりました。ハワイの火山では、どれほどのマグマが出てあのような高さになったのか気になります。
- ・歯科用の印象材を使って火山の噴火のモデル実験をしました。やはり予想通りねばりけの弱い溶岩は広がり逆にねばりけの強い方はあまり広がらずごつごつぼこしたかたまりになりました。溶岩のねばりけは火山によって違っていることがこの実験で分かりました。あと、ねばりけが火山によって変わるのには、溶岩（火山の中であればマグマ）に含まれる成分の種類や成分の量が火山によって違うからなんだと思います。広島に火山はないけど島根の三瓶山はどちらかといえばごつごつとしているから、鐘状火山なんじゃないかなと思いました。
- ・ハワイの火山と北海道の火山の違いはマグマのねばりけの差によるものだということが実験で証明されました。この結果を受けて、なぜマグマのねばりけに差が出るのか私なりに仮説を立ててみました。それは地下の温度が違うからという考えです。ハワイの火山は地下の温度が高く岩石が融けて出てくるからマグマがさらさらだと思いました。桜島と昭和火山でも形が全く違うので、同じ日本の中でも地下の温度に差があると考えます。

(7) まとめ

従前から「マグマの性質と火山の形」の学習は行われており、新学習指導要領でも引き続いて行う。しかし、新学習指導要領では、従前のように「マグマの性質と火山の形」の学問的な側面を学ばせることだけに止まらない。科学的に探究するために必要な資質・能力を育成するために、「課題の把握（発見）」、「課題の追究（探究）」、「課題の解決」という一連の問題解決的な学習の中の「課題の把握（発見）」に焦点を当て、理科の見方・考え方を働かせながら生徒に自ら問題を見いださせることを求めている。

このような背景に照らしながら、「マグマの性質と火山の形」に関する先行研究、教科書の記載の現状、学校における指導の現状を俯瞰して問題点を整理し、「マグマの性質と火山の形」の指導を工夫・充実することの必要性を述べ、指導計画を作成した。指導計画作成の作業においては、生徒が学習内容の本質「マグマの性質の多様性」に着目しながら自ら問題を見いだすことができるようにするために、事前に何をどのように理解させるのか、理科の見方・考え方を働かせることが有効な学習内容はどこか、学習内容をどのように配列すればよいかといったことを具体的に想定しながら検討し、指導計画の構造化を図った。

作成した指導計画に基づいて授業を行い、生徒が自ら「マグマの性質と火山の形」に関する問題を見いだして課題・仮説を設定できたこと、また仮説を検証するためのモデル実験の計画へつなげることができたことを確認した。さらに、学習を振り返る中で、新たな疑問としてマグマのねばりけに影響を与える要因を挙げ、計画された学習内容を超えて学びを深めようとする生徒の姿を確認した。このような結果から、本指導計画は新学習指導要領が求める探究の過程を踏まえた生徒の主体的な学習を十分に展開することができ、理科の見方・考え方を働かせながら科学的に探究するために必要な資質・能力を育成することができる指導計画であると考えられる。

4. おわりに

日本の理科教育は、従前から探究の過程をベースにした学習を大切にしてきた。このような中で、新学習指導要領において改めて求められている探究の過程に基づいた学習について、中学校理科地球領域の「マグマの性質と火山の形」の学習を一例に挙げて考察した。

新学習指導要領が求める学習は、同時に教師にどのように指導していくのかということをおもてい

る。生徒が理科の見方・考え方を働かせながら科学的に探究するために必要な資質・能力を計画的に育成する指導は、今まで使ってきた教材を基にした観察実験等によって行うことができる。しかし、理科の見方・考え方がどのようなものか、科学的に探究するための資質・能力がどのようなものかを理解していても、それらを学習の文脈の中に適切に織り込んで位置付けなければ意味がない。適切に織り込むためには、織り込む指針になるものと指針に応じた内容を明確にしておくことが必要である。つまり、新学習指導要領が求める学習の指導を行うためには、「この学習内容の本質は何か」、「本質に迫るために相応しい内容や観察実験等は何か」を明確にしておくことが欠かせない。その上で指導計画を立てて授業を行い、生徒と学習内容の間の対話や学びの連続性を促していくことが望まれる。

このように整理すると、新学習指導要領を語るときに教科等の見方・考え方、育成すべき資質・能力、主体的・対話的で深い学び等のキーワードが取り上げられて目立っているものの、その学びの基盤である学習内容の本質の理解なしに語ることはできないことに気付く。教師は今一度、まず学習内容の本質を問い直し、教科教育の原点を見つめ直すことが必要なのではないだろうか。

引用文献・参考文献

- 1) 文部科学省, 「中学校学習指導要領 (平成29年告示)」, 2017年, https://www.mext.go.jp/content/1413522_002.pdf (閲覧日: 2019年12月31日)
- 2) 文部科学省, 「今求められる力を高める総合的な学習の時間の展開 (中学校編)」, 2010年, https://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/detail/_icsFiles/afieldfile/2011/02/17/1300464_3.pdf (閲覧日: 2019年12月31日)
- 3) 中央教育審議会総則・評価特別部会, 「アクティブ・ラーニングの視点と資質・能力の育成との関係について - 特に「深い学び」を実現する観点から - 」, 2016年, https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo3/061/siryo/_icsFiles/afieldfile/2016/03/22/1368746_1_1.pdf (閲覧日: 2019年12月31日)
- 4) 文部科学省, 「中学校学習指導要領 (平成29年告示) 解説理科編」 https://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/_icsFiles/afieldfile/2019/03/18/1387018_005.pdf, 2017年, (閲覧日: 2019年12月31日)

- 5) 文部科学省,「中学校学習指導要領解説理科編」,
https://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/__icsFiles/afieldfile/2011/01/05/1234912_006.pdf, 2008年, (閲覧日: 2019年12月31日)
- 6) 国立教育政策研究所,「平成30年度全国学力・学習状況調査の調査結果を踏まえた学習指導の改善・充実に向けた説明会説明資料中学校理科」,
https://www.nier.go.jp/kaihatsu/setsumeikai/30setsumeikai/18emsci_01.pdf, 2018年, (閲覧日: 2019年12月31日)
- 7) 池本博司,「固体のようで液体のような物体ー地球の内部物質の性質を考えるー」, 日本地学教育学会教育実践集編集委員会『地学教育実践集』, トータルメディア出版, 1998年, 57-59.
- 8) 境 智洋,「歯科用印象材を活用した火山モデルの開発と実践」,『北海道立理科教育センター研究紀要』, No.16, 2004年, 65-71.
- 9) 日向宏伸, 佐藤鋭一,「マグマの粘性と火山体の形状に関する教育実践: スライムを用いたかんたん実験とその学習効果」,『地学教育』, 69巻4号, 2017年, 185-198.
- 10) 岡村定矩ほか, 検定中学校理科教科書『新編新しい科学1』, 東京書籍, 2016年, 200-206.
- 11) 有馬朗人ほか, 検定中学校理科教科書『新版理科の世界1』, 大日本図書, 2016年, 204-212.
- 12) 霜田光一ほか, 検定中学校理科教科書『中学校科学1』, 学校図書, 2016年, 226-231.
- 13) 細矢治夫ほか, 検定中学校理科教科書『自然の探究中学校理科1』, 教育出版, 2016年, 192-196.
- 14) 塚田捷ほか, 検定中学校理科教科書『未来へひろがるサイエンス』, 啓林館, 2016年, 72-75.
- 15) 山崎寛己, 角縁進,「マグマの粘りけと火山の形状実験: 教科書におけるマグマと火山の形の取り扱い」,『佐賀大学大学院学校教育学研究科研究紀要』, Vol.3, 2019年, 163-176.
- 16) 杉田泰一,「学習内容の本質に基づく疑問から問題を導く授業ー火成岩観察の指導を例に」,『理科の教育』, Vol.67, 2018年, 28-30.
- 17) 勝井義男, 横山泉編『地震と火山』, 東海大学出版会, 1976年, 71-159.
- 18) 岡田浩一, 渋谷靖弘,「スライムの粘性率の測定と溶岩の粘性と火山の形に関するモデル実験」,『地学教育』, 62巻6号, 2009年, 185-193.
- 19) 谷口宏充,『マグマ科学への招待』, 裳華房, 2001年, 179.