

# 子どもの思考や表現を生かした科学的なモデルづくりに関する研究(1)

—小中連携を視野に入れた実態調査を中心に—

山崎 敬人 柴 一実 三田 幸司 風呂 和志

## 1. はじめに

教育課程実施状況調査や OECD の生徒の学習到達度調査 (PISA), TIMSS2003 といった理科に関する幾つかの教育調査の結果を受けて, 理科の学力をめぐる議論が活発に繰り広げられている<sup>1)</sup>。そうした中であって, TIMSS 論述形式問題の回答に関する中山ら (2004) の分析には, 児童・生徒に育成すべき理科の学力について注目すべき指摘がなされている。中山らは, 日本の中学生は自然の事物・現象についての現象的な説明はできるものの, その現象の仕組みにかかわる理論的知識に基づいて説明することが困難であると指摘するとともに。このような実態を踏まえ, モデルを構成し, そのモデルを用いて現象を説明したり予測したりする理科の学びの必要性を主張している<sup>2)</sup>。

中山らの議論は中学校の理科教育に焦点を当てたものではあるものの, そこで主張されている理科の学びのあり方は実質的には小学校理科における学びのあり方とも深く関係しているととらえることができる。誰もが容易に想像できるように, 自然の事物・現象に関するモデルの構成とそのモデルを用いた現象の説明や予測などによる学びは, 生徒が中学校に入った時点から開始して実現できるものではなく, その素地は小学校での理科教育から養われなければならない。

本研究は, 以上のような認識に立ち, 小学校理科と中学校理科の継続的, 系統的な学習指導のあり方の探究を念頭におき, 子どもの思考や表現を生かした科学的なモデルづくりを促す単元の開発や学習指導法の改善を目指すものである。

本研究は3か年計画で実施する予定であり, 本報ではその第1年目の成果について報告する。

## 2. 科学的なモデルづくりと子どもの学びの履歴

自然の事物・現象について子どもが構成し保持する認識の実態の解明は, 構成主義に基づく研究により大

きく前進し, 個々の事物・現象に関する認識の実態やそうした認識の特性などについて数多くの知見が蓄積されてきている。

そうした中で森本 (1999) は, 子どもの比喩的な思考や表現は, 自然事象についての誤解や曖昧さを伴うという問題点を内包しているものの, 子どもなりの, そして子どもどうしのコミュニケーションを通じた思考や表現の構成を容易にするものであり, 構成された思考や表現の修正及びさらなる発展・深化の可能性を併せ持っている主張している<sup>3)</sup>。

一方, 中山 (1998) は, 子どもの科学概念の比喩的な構成について議論する中で, アナロジー, メタファ, モデル, メンタルモデルのいずれにも比喩的な思考や表現の要素が含まれていると指摘している。そして, モデルとは「予測あるいは説明を要する対象 (自然の事物・現象) の振る舞いを, メタファやアナロジーなどの対応関係を利用して記述したもの」であり, メンタルモデルとは「アナロジー・メタファ・モデルを利用して現象を予測あるいは説明する人間の心的過程」であると暫定的に定義づけている<sup>4)</sup>。

モデルやメンタルモデルに関するこのような見解に基づくならば, モデルの構成とそのモデルを用いた現象の説明や予測などによる理科の学びを実現していくということは, すなわち, 描画やコミュニケーション活動などを通して心的なモデルであるメンタルモデルの構成や外化を促すとともに, モデルを用いて現象を説明したり予測したりすることを通して, そのモデルが科学的な妥当性や一貫性を備えた, より洗練されたものへと再構成されていく学びを実現していくことを意味している。

しかし, そうした学びを実現するための単元開発や学習指導法の改善に際し, 子どもたちの学びの履歴を見逃してはならないだろう。例えば, 第4学年の「水の温度とかさ」の授業において子どもが温度の変化によ

る水の体積変化について学ぶ際に、それ以前に実施された単元「水のかさと力」の授業で子どもが獲得した考え方が影響を及ぼす事例が報告されている<sup>5)</sup>。

このように、先行する学びが教師の意図していなかったような子どもによる考えの構成を促したり、その考えがその後の学びに影響を及ぼしたりする可能性がある。つまり、先行する理科の学習経験が新たな疑問や問題意識を生起させたり、その疑問や問題意識が潜在化したままで、後の単元での学びに際して対象とされた事象に関するモデルづくりが進められたりする可能性が考えられる。勿論、先行する単元で子どもたちが構成したモデルがその後の学びを促す有効な基礎となる場合もありうる。いずれの場合においても、関連した後の単元の授業の実施時に子どもたちが保持しているモデルや考えの実態を踏まえ、学びのあり方を検討しておくことが求められる。

上記のような観点での検討は、相互に関連した自然の事物や現象が小学校ないしは中学校のそれぞれの学校段階の中だけで学ばれる場合のみならず、小学校と中学校の両方にまたがって学びが継続・発展していくことが想定される場合にも、重要になってくる。本稿で事例として取り上げる電気と磁気に関する学習内容と大地の変化に関する学習内容は、いずれも後者の場合に該当し、小中の継続的、系統的な学習指導が求められる内容として位置づけることができる。

以下では、これら2つの学習内容に関する子どもの実態を、学びの履歴を考慮しながら検討することとする。

### 3. 「電気」と「磁気」に対する子どもの見方や考え方

#### (1) 問題の所在

小学校理科では、第3学年に電気を扱う単元と永久磁石を扱う単元とがある。これらの単元では、子どもたちは電気や磁気を用いて物の性質を探っていくとともに、電気と磁気の性質について学ぶ<sup>6)</sup>。これら2つの単元は連続して関係付けながら扱うことが多く、授業の中で3年生の子どもたちは、たとえば「磁石のN極とS極にソケットの導線をそれぞれつなげば豆電球に明かりがつく」といったような発言や試行活動を行うことが稀にある。また、第6学年には電磁石を扱う単元があるが、この単元の授業においては、子どもたちから「電流を流したコイルの中にある鉄釘には電気が流れている」といったような考えが出されることが多い。どちらの学年の事例でも、電気エネルギーと磁気エネルギーの関係についての子どもたちなりの見方や考え方が存在しているのではないかと考えられる。

こうした事例は3年生よりも6年生に多く見られる

が、その理由としては、第3学年においては電気と磁石について学ぶ場面が区別されているが、第6学年では電磁石に電流を流すと磁石の力が発生するというように、電磁石が見せる現象の中に電気エネルギーと磁気エネルギーの両方が関係していることが考えられる。また、第5学年までには乾電池の力と永久磁石の力の区別が必要となる内容の単元がないために、二つの力の違いについての認識が曖昧なままであり、また、違いを明らかにする必要性も感じることがないままの状態第6学年の電磁石の単元を学び始めることになると考えられる。そして、電磁石の働きを見たことによって電気エネルギーと磁気エネルギーの区別や関係についての認識がさらに曖昧になるのではないだろうか。このような可能性を前提とするならば、電気エネルギーと磁気エネルギーが関係する事象に関する科学的なモデルづくりを小中の理科授業を通して実現していくためには、電気エネルギーと磁気エネルギーについてどのような考えを子どもがもっているのかを把握しておく必要があると考える。

#### (2) 調査の目的と方法

小学校6年生の子どもたちが、電気エネルギーと磁気エネルギーの区別や関係についてどのような考えをもっているかを調査した。調査方法は、広島大学附属三原小学校の6年生二クラスの子ども(計74名)を対象として質問紙法を用いた。調査の時期は、電磁石の単元の初期において乾電池に電磁石をつなぐと磁石の働きをもつことを子どもたちが知った段階である。質問内容は次の通りであった。

- ・問1 - 1) 永久磁石に豆電球をつなぐと明かりはつくか
- 2) そのように考えた理由
- ・問2 - 1) 乾電池に方位磁針を近づけると針は引き付けられるか
- 2) そのように考えた理由
- 3) 針が引きつけられるとすれば乾電池のそれぞれの極はN極S極のどちらになると思うか

質問内容については、6年生の子どもたちに対して電気エネルギーや磁気エネルギーという言葉が授業において用いることがないため、エネルギーの源として永久磁石と乾電池という具体物の名称を示した。そして、それぞれのエネルギーによる働きを確かめるためのモノとして豆電球と方位磁針を挙げた。

調査の際には、一方のクラスでは3年生のときに学習した電気や磁石の単元での活動を想起させたり、質問内容を調査者が問いかけたりしながら回答させ(a群)、もう一方のクラスには質問紙を配布してそのまま

回答させる（b群）こととした。これは、小学校6年生の子どもたちはそれまでの学習や生活経験によって電気エネルギーと磁気エネルギーの区別や関係について何らかの考えをもっている、普段はその考えが意識されていないか、あるいは「永久磁石と乾電池は別物だから」といった考えによって押し隠されたりしているだけなのではないかということが予想されるためである。

### (3) 調査の結果と考察

#### ①問1について

a群については、問1-1)「永久磁石に豆電球をつくと明かりはつくか」に対して、37名中15名が「つく」と回答した。一方、b群については、「つく」と答えた者は37名中3名だけであった。このa群とb群の回答数の差から、6年生の中には電気エネルギーと磁気エネルギーの区別や関係について何らかの考えをもっている子どもも存在するが、多くの場合そのような考えはあまり意識されていないか、押し隠されているものと思われる。また、問1-2)への回答のうち「つく」と考える理由についての記述を分類したところ、表1および表2のような結果となった。

a群b群ともに回答が見られたのは、分類(ア)、(ウ)、(オ)であった。分類(ア)の回答内容からは、6年生の中には『永久磁石にも電気がある』というタイプの考えをもっている子どもがいることが分かる。また、分類(オ)の回答内容からは、「極」という言葉が乾電池にも磁石にも使われることによって磁気エネルギーと電気エネルギーの区別が曖昧になっている子どもが存在することが分かる。そして、分類(ウ)の記述をした子どもたちは、電気を流すと光や熱などを出す電気製品が身近にあることから、『磁石の働きも電気によって作り出されている』というタイプの考えをもっているようである。さらに、C28とC38の回答には電磁石という言葉が含まれており、分類(ウ)のような見方や考え方は電磁石の単元を学習したことで生まれたものと考えられる。特に、C28の子どもはその後の電磁石の学習においても、「コイルの中の鉄心には電気が流れているから、電気がよく流れる物をコイルの中に入れて電磁石の力が強くなるのではないか」という発言を行っていた。

a群にしか見られなかった回答としては、分類(イ)、(エ)、(カ)、(キ)があった。まず、分類(イ)にあたる子どもたちは、小学校3年生が電気を通す物を調べる際に、豆電球のついたソケットの導線を乾電池なしで金属にあてて明かりがつくはずだと考える子どもと共通する見方や考え方をもっているものと思われる。このような子どもたちは、『電気を通す物と電気エネ

ギー自体を混同した』考えをもっていると思われる。次に、分類(エ)についてであるが、この分類にあたる子どもたちは『N極とS極から出ている引き合う力によって豆電球に明かりがつく』とする考えをもっていると考えられる。分類(エ)は分類(ア)と類似しているが、分類(ア)よりも磁石の極性を意識した考え方であると思われる。

また、分類(キ)にあたる子どもたちについてであるが、C31とC36の記述に「なんとなく」という言葉が見られることやC33の記述に具体的な考えが書かれていないことから、これまでは考えたことがなかったが、今回の問いによって「そう言われてみればつくかもし

表1 問1-2)「つく」と考える理由 (a群)

分類	No.	理由
(ア)	C19	磁石には豆電球がつくような力があると思ったから。
	C24	なんとなくそう思ったから。電気が通っていると思うから。
	C30	磁石にも電気があると思うから少しはつくのではないのかなと思う。
	C35	電気が来ると思うから。
(イ)	C02	鉄だから。
	C20	磁石は電気を通すと思ったから。
(ウ)	C22	磁石どうしが反発し合うのは電気の力で動いているのではないかなと思う。
	C28	電磁石があるから豆電球の電気がつくと思う。
(エ)	C12	N極とS極でひつつくから明かりもつくと思う。
	C27	N極とS極はくつつくから明かりをつける力が強くなるから。
(オ)	C21	磁石はS極とN極があって電池は+極と-極があって、同じ「極」がついているので同じ働きがあるのかな?と思った。
(カ)	C03	一度やってみたことがあるかなと思うから。
(キ)	C31	なんとなくつくと思ったから。
	C33	磁石も、電気もつくと思ったから。
	C36	磁石でもなんとなくつくと思うから。

表2 問1-2)「つく」と考える理由 (b群)

分類	No.	理由
(ア)	C42	電気が通っていると思うから。
(ウ)	C38	電磁石は電気が通っている間しか磁石の働きをしないから、磁石には初めから電気が通っている。
(オ)	C40	電池には+極と-極の二つの極があり、磁石にもN極とS極の二つの極があるから。

れない」と意識するようになったのではないかと思われる。そして、表1では別の分類とした(カ)についても、分類(キ)と同様であると考えられる。なぜなら、実際にやってみたことがあるのであれば、明かりがつかないという事実を認識できているはずであると思われるからである。

一方、b群では分類(キ)に該当する回答をした子どもは見られなかったものの、電磁石の単元での学習が進むにつれてb群の中にも分類(キ)に該当する見方や考え方もつ子どもが出現するであろうし、分類(キ)にあたる子どもたちは分類(ウ)のような見方や考え方もつようになっていくものと思われる。実際、調査後のb群の授業においては、電気エネルギーと磁気エネルギーの区別や関係が曖昧であると思われる発言や試行がa群と同程度確認された。

## ②問2について

問2-1)「乾電池に方位磁針を近づけると針は引きつけられるか」という問いに対する回答を整理すると、表3のようになる。

表3 問2-1)への回答数

回答内容	a群	b群
両極ともに引き付けられる	16名	11名
+極にだけ引き付けられる	0名	3名
-極にだけ引き付けられる	1名	1名
両極ともに引き付けられない	20名	22名

問2-1)への回答では、a群b群ともに40%以上の子どもが乾電池に方位磁針を近づけると針は引きつけられると考えていた。しかも、それらの子どもたちの多くが「両極ともに引きつけられる」と回答していた。また、問2-1)への回答では先の問1-1)の結果ほどには、a群とb群の差が見られなくなっている。これは、問1-2)に対する回答の分類(キ)にあたる子どもと同様に、b群の子どもたちも問いについて考える中で「そう言われてみればつくかもしれない」と意識するようになったのではないかと思われる。

次に、問2-1)のように考えた理由を尋ねた問2-2)への回答について整理する。この項目については、a群とb群で回答の傾向が似ていたため、二つの群を合わせて整理する。まず、表4には問2-1)において「両極ともに引き付けられる」と回答した子どもたちの記述を分類した。

分類(あ)にあたる6名の子どもたちは、『乾電池が磁力も出している』というタイプの考えをもっているようである。この6名のうち、C12、C19、C28の3名は問1-1)において永久磁石に豆電球をつなぐと明かりは

表4 「両極ともに引き付けられる」と考える理由

分類	No.	理由
(あ)	C04	多分磁力を出していると思ったから。
	C12	乾電池も方位磁針に近づければ磁石と同じだと思う。
	C19	乾電池には磁石と同じような事があると思ったから。
	C28	電池は多分磁石と同じ働きををすると思うから。
	C44	磁石には電気が通っていないけど乾電池には磁石の働きも入っていると思うから。
	C68	乾電池は電気を作り出す時に多分磁力が発生すると思うから。
(い)	C23	電磁石もつくつぽいから電池も一緒だと思う。
	C40	電磁石の電源を切っても引き付けさせることができたから電池でもできると思った。
	C51	乾電池から電気が流れているから。電磁石の電気は乾電池から流れている。
	C57	電磁石でも方位磁針は反応したから電池でも反応する。
	C71	電磁石での実験の時、乾電池を抜いたら方位磁針は動かなかったから。
(う)	C29	磁石ではなくて電気力だと思うから。
	C41	電池には電気が流れているから。
	C59	両方とも電気が似たように流れているから同じ。流れなくても中に電気があるのは同じ。
	C70	両方ともに電気が通っているから。
(え)	C01	極は極なのだから引き付けられると思う。
	C21	電池にも方位磁針にも『極』があるから引き付けられると思う。同じ働きがあると思ったから。
	C22	+と-も方向(南と北)を表しているのだと思う。
	C32	方位磁針は、両方に引き付けられるのは両方にあたるから。
(お)	C02	どちらかだけ引き付けられたら変だから。
	C58	NとS両方が鉄にくっつくように片方だけがくっつくのはおかしいから。
	C72	両方とも引っつかないとおかしい。
(か)	C15	針にはもしかして何でもくっつける物が混ざっているのかも。
(き)	C08	なんとなく。
(く)	C35	多分+は力が強いからだと思う。あと、-でもできると思う。
(け)	C33	方位磁針は磁石だからつくと思う。
(こ)	C37	一応引き付けられるけど、乾電池は鉄で方位磁針は磁石だから引き付けられる。

(注) a群：C01～37, b群：C38～74

つくと回答していた。また、分類(い)の子どもたちは5名とも「電磁石」というキーワードを記述していることから、電磁石の学習を行ったことで電気エネルギーと磁気エネルギーの区別が曖昧な考えをもつようになったか、または、この考えに対する自信を深めたものと考えられる。さらに、分類(あ)と(い)以外の回答にも、電気エネルギーと磁気エネルギーの区別が曖昧な考えをもっていると思われる子どもの記述が多数見られる。分類(う)は、表1の(ウ)と同様に『磁石の働きも電気によって作り出されている』というタイプの考えをもっているようである。そして、分類(え)についても、表1の(オ)と同様に「極」という言葉が乾電池にも磁石にも使われることによって、磁気エネルギーと電気エネルギーの区別が曖昧になっているものと考えられる。

分類(け)のC33と分類(こ)のC37の回答からは、どちらの子どもも乾電池のケースは鉄だから方位磁針の針が引き付けられると考えていると思われる。しかし、問2-3)「針が引きつけられるとすれば乾電池のそれぞれの極はN極S極のどちらになると思うか」への回答を見ると、C37は+極側にも-極側にも「鉄」と書いていたが、C33は+極側に「南(S)」、-極側に「北(N)」と書いていた。このことから、C37については乾電池は磁力を出していないという考えであると判断できるが、C33は分類(あ)にあたる子どもたちと同様に『乾電池が磁力も出している』というタイプの考えをもっていると考えられる。

次に、問2-1)へ「+極のみに引き付けられる」「-極のみに引き付けられる」と回答した子どもの記述の分類を表5に示す。

表5 一方の極にだけ引き付けられると考える理由

分類	No.	理由
+極にだけ	C50	+極の方が威力が強い。(－は40%、＋は60%)
	C54	＋の方が－より電力が強くて付くと思うから。
	C63	＋の方が電気が強そうだから。
-極にだけ	C07	なんとなく、－に引き付けられるような気がしたから。
	C76	(無記入)

(注) a群：C01～37, b群：C38～74

+極にだけ引き付けられると回答したのはC50、C54、C63の3名であったが、先の表4で分類(く)としたC35も、回答内容からすれば同様の見方や考え方をもっているものと思われる。これらの子どもたちの記述からすれば、C50、C54、C63とC35は分類(あ)にあたる子どもたちと同様に『乾電池が磁力も出している』

というタイプの考えをもっているものと考えられる。また、C54の記述にある「電力」という言葉についてであるが、6年生での電磁石の学習においてはこの言葉を磁気など電気エネルギー以外のエネルギーを含めた意味で子どもたちが多用するようになる。これは、社会科などの学習や生活の中で電力という言葉にふれる機会があったことで、磁気などのエネルギーを電気の一部として関係付けながら電磁石の働きについて説明しようとしているのではないと思われる。

C50、C54、C63は、+極にだけ方位磁針の針が引き付けられると回答していたが、その理由についての記述を見ると、-極は+極よりも力が弱い、同様の力をもっていると考えていることも分かる。このことは問2-3)「針が引きつけられるとすれば乾電池のそれぞれの極はN極S極のどちらになると思うか」への回答にも表れており、3名ともに+極がN極、-極がS極であるとしていた。また、-極にだけ方位磁針の針が引き付けられると回答していたC07、C73についても、表5に示した理由からは読み取れなかったものの、問2-3)へは2名とも+極がN極、-極がS極であると答えていた。この2名については、上の3名と同じ見方や考え方をもっているのか、または、3年生で学習した一つの磁石には必ずN極とS極があることを想起したのかは不明である。

問2-1)への回答が「両極ともに引き付けられる」「+極にだけ引き付けられる」「-極にだけ引き付けられる」であった子どもたちに対して行った問2-3)の回答結果を集計すると表6のようになる。

表6 乾電池の極はN極S極のどちらになるか

回 答	a 群	b 群
+極がN極、-極がS極	9名	13名
+極がS極、-極がN極	6名	2名
(無回答)	1名	0名

(注) a群の他1名は+極・-極ともに「鉄」と記入。

この項目への回答内容の傾向はa群とb群で若干の差があるものの、+極とN極、-極とS極をセットとする見方や考え方をもっている子どもの割合が多いようである。このことについては、一般的に子どもが目にする乾電池の極は+極側が凸型で目立つことと、永久磁石は方位磁針を含めてN極側に目立つ色が付けられていることが多いために起こった関係付けによると思われる。

#### (4) まとめ

今回の調査結果から、電気エネルギーと磁気エネルギーの区別が曖昧なまま両者を関係づけたいくつかの

考え方が認められ、その主な考え方を次のようなタイプに整理することができた。

- I) 『永久磁石にも電気がある』というタイプ
- II) 『乾電池が磁力も出している』というタイプ
- III) 『磁石の働きも電気によって作り出されている』というタイプ
- IV) 『N極とS極から出ている引き合う力によって豆電球に明かりがつく』というタイプ

その他にも、電気を通す物と電気エネルギー自体を混同した考えをもっている子どもがいることや、乾電池と磁石の極については+極とN極、-極とS極をセットとした考えをもっている子どもが多いようであることも分かった。また、自分をもつ考えに対して、自信ともいえる強い思い込みをもっている子どもがいることも分かった。

また、こうした考えを子どもがもつようになった理由として、次のことが考えられた。

- i) 「極」という言葉が乾電池にも磁石にも使われること。
- ii) 乾電池の極は+極側が凸型で目立つことと、永久磁石は方位磁針を含めてN極側に目立つ色が付けられていることが多いこと。
- iii) 電磁石に電流を流すと磁石の働きが起こることを学習したこと。
- iv) 他教科の学習や生活の中で「電力」という言葉にふれる機会があったこと。
- v) 今回の調査の問いによって「そう言われてみれば」と考える機会ができたこと。

#### 4. 大地の変化に関する子どもの見方・考え方

##### (1) 問題の所在

理科授業において子どもの思考や表現を生かした科学的なモデルづくりを目指すとき、指導者自身が科学的に正しいモデルを持つのはもちろんのこと、それが子どもたちにどのように理解され、どのようなモデルが構成され保持されているのかを把握しておくことが重要である。

そこで、小中連携を念頭に2005年度に開発・実践された小学校理科「大地の創造」(2005年度広島大学附属三原小学校第6学年対象)において指導者が示した説明モデルや、その単元を通して集約された子どもたちの結論(子どもたちの説明モデル)がどのように定着したのかを調査・分析し、「大地の変化」に関する中学校理科での学習指導のあり方について検討することとした。

##### (2) 小学校理科「大地の創造」の構想と実践の概要

第5学年の「流れる水のはたらき」と第6学年の「大

地づくりと変化」を融合した大単元「大地の創造」の単元開発のねらいは、次の通りであった<sup>7)</sup>。

壮大な時間をかけて大地が形成されていくダイナミズムを感じさせたり、地形形成にかかわる因果関係や大地を構成しているものについて習得させたりすることに加えて、さらに時間、空間、因果にかかわる思考力の育成をはかるためには、単元間の関連性・系統性を教師が指導に際して十分に意識することが不可欠である。

ここで示されている地形形成に関わる因果関係や、時間・空間・因果に関わる思考力の育成は、2003年度から2005年度にかけて開発した小中一貫の理科カリキュラム<sup>8)</sup>の中に示されている科学的な見方・考え方の育成に則ったねらいであり、このねらいに即して全25時間の指導計画が作成され、実践が行われた。その際、単元構成と指導上の留意点については、以下のよう  
に考えられていた<sup>9)</sup>。

- ・身近な地形から疑問や探究心を抱かせる。
- ・それらの疑問から生じた探究活動をもとに次第に多種多様な地形へと広がりを持たせる。
- ・流水の三作用と地形形成の因果関係を学習した上で、河食輪廻に結びつけることにより大地の起源について関心を持たせる。
- ・輪廻のもととなる大地の起源として、火山による大地の生成および地層の形成に触れ、それらについて関心を持って追究できるようにする。

このようにして実践された「大地の創造」の成果と課題は、以下のよう  
に要約される<sup>10)</sup>。

- ・地形の形成に対する子どもたちのイメージの向上が学習の展開に伴って認められたことは、開発した単元の構成や学習の流れの有効性を示すものである。
- ・子どもたちの探究意欲が「水のはたらき」に関するものだけにとどまらず、「大地の形成過程」に関するものにも数多く向けられていたことは、子どもたちの探究意欲の高揚を示すものである。

##### (3) 調査のねらい

上述したように小学校理科の単元「大地の創造」では、身近な地形を通して中学校理科で学習する火成岩やその成因に触れるとともに、大地を形成する過程を、水のはたらきを中心に考察してきている。

そこで本調査では、身近な地形についての指導者の説明モデルと、話し合い活動を通して集約された子ど

もたちの説明モデルに注目し、彼らが中学校に入学した後の時点で、これらのモデルが彼らにどのように理解され、どのようなモデルが保持されているのかを明らかにする。それによって、中学校理科の「大地の変化」に関する授業において子どもの見方や考え方にに基づく学習指導が可能になると考えられる。

ところで、小学校理科の単元「大地の創造」では、身近な地形として附属三原学園の後ろにある桜山が教材に選定され、堆積岩や火成岩をあわせて9種類の岩石について学習したのち、地下数kmで形成された花崗岩がなぜ桜山に見られるのかが考察されている。その際、指導者は桜山に見られる2種類の火成岩（流紋岩と花崗岩）の生成過程には詳しく触れず、アニメーションを使って深成岩が現在地表に露出していることを伝えている。この自然事象に対する指導者の説明モデルは、時系列に沿って配列すると「花崗岩マグマの貫入→ゆっくり冷却→地殻変動による岩体の上昇や一部の破壊→流水による侵食・風化→現在」であると考えられる。指導者の用いた桜山の断面図<sup>11)</sup>（図1）から読み取ることができる地学的な情報を整理すると、表7のようになる。

一方、話し合い活動を通して集約された子どもたちの説明モデルは、「大昔、割れ目（谷間）ができ雨で削れて、そのまま山になった。海のほうで低くなったところはそのまま海に沈んで、高いところは陸になった。」<sup>12)</sup>であった。両者のモデルを対比すると、指導

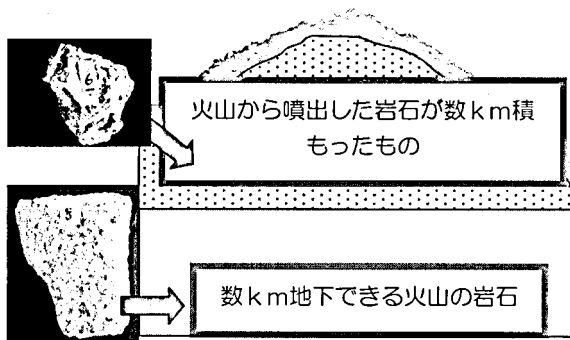


図1 指導者の説明モデル

表7 図1から読み取れる地学的な情報

地学的な情報	
文字	火山、噴出、積もる、地下、火山の岩石
イメージ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・2つの地層があり、それらは水平に重なっている。</li> <li>・2つの地層のうち上の地層は削られている。</li> <li>・2つの地層のうち下の地層は地下に広がっている。</li> </ul>

者の説明モデルの一部が子どもたちのモデルの中に反映されていると認めることができる。

#### (4) 調査方法

単元「大地の創造」での学習を経験した子どもたちが桜山の形成過程について理解し構成している見方や考え方には、上述した教師の説明モデルと子どもたちの説明モデルが影響していると考えられる。そこで、表8に示したように描画法による調査と質問紙法による調査を実施し、それぞれの結果を分析した。その上で、2つの調査結果についてクロス集計を行い、桜山に対する子どもの見方・考え方に2つの説明モデルがどのように影響を及ぼしているかを分析した。

調査対象は広島大学附属三原中学校第1学年84名であった。これらの生徒は中学校から入学したもの（以下、外部生）と附属三原小学校から連絡入学したもの（以下、内部生）から構成されており、外部生は8名、内部生は76名であった。小学校で「大地の創造」の学習を経験したのは内部生であり、2つの説明モデルの影響は内部生の結果に表れると考えられる。以下では内部生を単元「大地の創造」の「既習者」、外部生を「未習者」とし、両者の違いを考慮して分析を行った。

表8 調査の概要

実施時期	調査方法	分析時の留意点
2006年5月	描画法 桜山の輪郭を示したプリントに桜山の地質構造を自由に描画させる。	表7に示す地学的な情報の記述の有無を中心に分析する。
2006年7月	質問紙法 桜山の成因を6つ示し、それぞれの影響度を5段階で評価させる。（図2）	5段階評価の1と2を否定的回答、4と5を肯定的回答とする。

三原学園の後ろには桜山があります。この桜山ができるまでに次の項目がどの程度影響したのでしょうか。影響の大きさを5段階で評価し、横に○を記入してください。

	1(全くない)	2(ほとんどない)	3(どちらともいえない)	4(少しある)	5(かなりある)
a 水が大地をけずるはたらき					
b 水が地層を作るはたらき					
c 火山が火山灰や熔岩を噴出し、地形や地層を作るはたらき					
d 地層が土地を持ち上げたり沈めたりするはたらき					
e 地殻が土地を割ったり、ずらしたりして土地のようすを変えるはたらき					
f 地殻のゆれで土砂崩れなどを起こし土地のようすを変えるはたらき					

図2 桜山の成因に関する質問紙

(5) 調査の結果と考察

①描画（火山に関する情報）×火山要因に対する評価

描画中の「火山」に関する情報は、火成岩・マグマ・火山灰・よう岩の4種類であった。回答された描画から、これら4種類の情報のうち1種類でもそれに関する記述が抽出された生徒と抽出されなかった生徒に分類した。それとともに、質問紙調査の「火山」要因の回答結果についても表8に示した視点により整理し、これらをクロス集計して、表9のようにまとめた。

表9 描画（火山に関する情報）×火山要因

生徒	火山活動の影響に対する評価	描画中の「火山」に関する情報		合計
		抽出された	抽出されなかった	
既習者	肯定的評価	7	40	47
	どちらともいえない	1	12	13
	否定的評価	1	15	16
未習者	肯定的評価	1	2	3
	どちらともいえない	0	1	1
	否定的評価	0	4	4

まず既習者についてみると、描画中に火山に関する情報が抽出されたものが9人に対して、抽出されなかったものは67人であった。この度数分布を1×2の直接確率計算法（両側検定）で検定したところ、 $p=.000$ で有意であった。桜山の成因としての火山要因に対する評価については、肯定的評価をしたものとそれ以外の評価をしたものにまとめると、それぞれ47名と29名であった。これを1×2の直接確率計算法（両側検定）で検定したところ、有意傾向であった（ $.05 < p < .10$ ）。

次に、未習者では、描画中に火山に関する情報が抽出されたものが1人に対して、抽出されなかったものは7人であった。この度数分布を1×2の直接確率計算法（両側検定）で検定したところ、 $p=.070$ で有意傾向であった。また、火山要因に対する評価の度数分布については、肯定的評価をしたものとそれ以外の評価をしたものにまとめると、それぞれ3名と5名であった。これを1×2の直接確率計算法（両側検定）で検定したところ、 $p=.727$ で有意差が認められなかった。

この結果から、「大地の創造」の学習経験のない未習者では、身近な山である桜山について火山活動と関連させるような表現は描画には表れにくく、その成因が火山活動と関係していると考えた子どもの存在も偶然であるといえるだろう。一方、既習者では、桜山の成因を火山活動と関連させて考える表現は描画中にはあまり認められないものの、その成因が火山活動と関連していると考えられる傾向が認められた。このことから、身近にある桜山とは結びつきそうにない「火山」という文字情報が、「大地の創造」の学習を経験した多くの子

どもの見方・考え方に影響を及ぼしている可能性が考えられる。その一因としては、身近な自然を教材化したことと、それによって子どもたちの桜山に対する既有的概念が揺さぶられたことが考えられる。

②描画（地層に関する情報）×侵食要因に対する評価

指導者の用いた説明モデルには2つの地層が水平に重なっている様子が示されていた。また、授業構成では、水で大地が削れて（深成岩が）出てきているという外的な変化がねらいとされていた。したがって、桜山の成因として「侵食」に対する評価が高くなると予想される。

描画による回答を分析したところ、回答された描画には地層について4つのモデルが示されていた。これらのモデルが認められたものと侵食についての評価をクロス集計し、既習者と未習者についてその人数を表10のようにまとめた。

表10 描画（地層に関する情報）×侵食要因

生徒	侵食要因に対する評価	描画中の「地層」に関する情報				合計
		水平層	しゅう曲	岩塊	地層なし	
既習者	肯定的評価	38	5	3	3	49
	どちらともいえない	8	2	0	0	10
	否定的評価	14	3	0	0	17
未習者	肯定的評価	3	1	0	0	4
	どちらともいえない	1	1	1	0	3
	否定的評価	1	0	0	0	1

まず既習者について、描画中に水平層を描いていたものとその他のもの（地層なしのものも含む）に整理すると、それぞれ60名と16名であった。これを1×2の直接確率計算法（両側検定）で検定したところ、水平層を描いたものが有意に多かった（ $p=.000$ ）。また、侵食に対する評価の度数分布については、肯定的評価をしたものとそれ以外の評価をしたものにまとめると、各々49名と27名であった。これを1×2の直接確率計算法（両側検定）で検定したところ、侵食要因を肯定したものが有意に多かった（ $p=.015$ ）。

一方、未習者について描画中に水平層を描いていたものとその他のものに整理すると、それぞれ5名と3名であった。これを1×2の直接確率計算法（両側検定）で検定したところ、有意差は認められなかった（ $p=.727$ ）。また、侵食要因に対する評価の度数分布については、肯定的評価をしたものとそれ以外の評価をしたものがともに4名であった。

以上のことから、指導者が用いた地層のイメージは「大地の創造」の学習を経験した既習者の多数に保持されていることがわかる。また、侵食に対して肯定的に評価するものが多かったことから、「大地の創造」の



学習時に集約された子どもたちの説明モデルも、調査時点での子どもたちの桜山に対する見方や考え方に影響を及ぼしていると考えられる。

### ③桜山の成因に対する評価分布

桜山の成因に対する既習者と未習者の評価の度数と平均値を、表11と表12にまとめた。

表11 既習者の桜山の成因に対する評価分布

		a. 侵食	b. 堆積	c. 火山	d. 隆起沈降	e. 断層	f. 土砂崩れ
肯定的評価	5	26	15	21	13	15	11
	4	23	26	26	20	24	33
どちらともいえない	3	10	19	13	19	18	20
否定的評価	2	12	12	6	21	15	11
	1	5	4	10	3	4	1
Mean		3.70	3.47	3.55	3.25	3.41	3.55
S. D.		1.27	1.13	1.32	1.15	1.16	0.95

表12 未習者の桜山の成因に対する評価分布

		a. 侵食	b. 堆積	c. 火山	d. 隆起沈降	e. 断層	f. 土砂崩れ
肯定的評価	5	2	4	2	0	0	0
	4	2	2	1	2	3	4
どちらともいえない	3	3	1	1	5	4	4
否定的評価	2	1	1	3	1	1	0
	1	0	0	1	0	0	0
Mean		3.63	4.13	3.00	3.13	3.25	3.50
S. D.		0.99	1.05	1.41	0.60	0.66	0.50

既習者の桜山の成因に対する評価の度数分布を、肯定的評価をしたものとそれ以外のものに整理し、1×2の直接確率計算法(両側検定)で検定したところ、先述したように侵食作用については有意差が認められ、火山活動については有意傾向であった。しかし、これら以外の要因では有意差は認められなかった。また、要因に対する評価の平均値にはほとんど差が見られなかった。

一方、未習者の各要因に対する評価の度数分布について同様に検定した結果、いずれの要因についても有意差が認められなかった。また、要因に対する評価の平均値は堆積作用が最も高く、火山活動が最も低かった。こうした結果から、未習者では、桜山の成因として堆積作用が重視されていると考えられる。このことには、小学校の学習で地層は流水の堆積作用の結果として形成されることを学んでいることが影響していると考えられる。

それに対して、小学校で堆積作用について学ぶとともに、桜山の成因について話し合った経験のある既習

者では、その評価の度数分布が侵食作用や火山活動については肯定的に偏っていた。これは、単元「大地の創造」での指導者の説明モデルと、この単元の学習を通して集約された子どもたちの説明モデルが、桜山に対する既習者の見方・考え方に影響を及ぼしていることを示すものであると考えられる。

### ④子どもたちの説明モデルの定着度

桜山の成因に対する既習者の評価の度数をクロス集計し、「大地の創造」の学習時に集約された説明モデルの定着度を調査した。「大昔、割れ目(谷間)ができ雨で削れて、そのまま山になった。海のほうで低くなったところはそのまま海に沈んで、高いところは陸になった。」<sup>13)</sup>という子どもたちのモデルには、断層・侵食・隆起沈降の3つ地学的事象が認められる。そこで、これら3つの成因に対する肯定的評価の人数をクロス集計し、図3にまとめた。

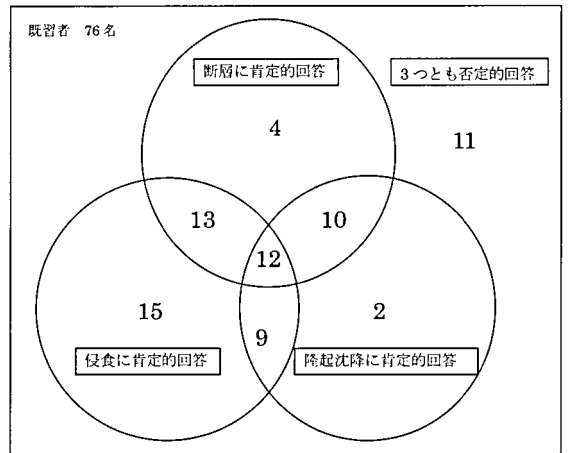


図3 既習者の3つの成因に対する評価

図3をもとにして、3つの地学的事象に対する肯定的回答者の度数分布を読み取ると、次のようになる。

- ・3つに対して肯定的回答をしている生徒は12人
- ・3つのうち、2つに対して肯定的回答は32人
- ・3つのうち、1つに対して肯定的回答は21人
- ・3つに対して否定的回答をしている生徒は11人

このことから、中学校入学後の調査時において、桜山の成因について単元「大地の創造」で集約された子どもたちの説明モデルが、多くの子どもたちに定着していることがわかる。このことから、子どもたちにモデルづくりを行わせることは、自然に対する見方・考え方の構成と保持の点で一定の成果があったと考えられる。

### (6) まとめ

描画法と質問紙法による調査結果について分析・考察した結果、身近な自然の教材化を踏まえた、子ども

たちの既存の概念を揺さぶるような情報が自然に対する彼らの見方・考え方の形成に影響を及ぼすこと、図や文字を使った指導者の説明モデルが多くの子どもたちに受け入れられ保持されていること、さらに、話し合い活動を通して子どもたち自身に事象を説明するためのモデルづくりを行わせることが自然に対する見方・考え方の構成と保持にとって有効であることなどがわかった。

以上の分析を踏まえると、中学校理科「大地の変化」の学習指導の方針として以下のことを指摘することができる。

・教材の小中連携を踏まえて、身近な自然を考える例として桜山を扱う。

・中学校の学習内容を踏まえ、桜山成因に関する子どもたちのモデルをより因果関係を明らかにしたものにする。留意する点は、プレート運動によって大地は常に変動していることと、流水による侵食作用の基準が海水面の高さにあることの2点である。大地が削られて深成岩が地表に露出するようになったことの説明ができるように指導していく。

・モデルの表現方法は因果関係だけでなく、地学的な時間・空間概念が育成されるように時系列に沿った複数のモデル図を描かせる。

・自然に対する見方・考え方の形成にモデルを通した話し合いが有効であることから、モデルづくりは小グループで行い、その後、グループで作成したモデルの交流会を実施し、相互評価させる。

## 5. おわりに

本稿では、子どもの思考や表現を生かした科学的なモデルづくりを理科の学びにおいて実現するための、小中連携を視野に入れた単元開発と学習指導法の改善に関する研究の1年次として、電気と磁気、及び大地の変化に関する子どもたちの見方や考え方の実態について学びの履歴を考慮しながら検討を行った。

その結果、まず、電気と磁気については、電気エネルギーと磁気エネルギーの区別が曖昧なまま両者を関係づけたいくつかのタイプの考え方が見いだされた。今後は、小学校第3学年の電気を扱う単元と永久磁石を扱う単元を学習した後と、中学校の「電流の利用」を扱う単元においても調査を行い、それぞれの学年の子どもがもつ見方や考え方の実態や変容を明らかにするとともに、それを踏まえた単元構想と学習指導法の改善について検討することが必要である。

また、大地の変化に関する調査結果について検討した結果からは、中学校理科の単元「大地の変化」を指

導・実践していくためのいくつかの方針を見いだすことができた。今後は、それらの方針を踏まえて単元「大地の変化」の授業を構想・実践し、その成果について調査・分析していく予定である。

## 注及び文献

- 1) 例えば、日本理科教育学会「理科の教育」2007年1月号には「検証！理科の学力調査」が特集として組まれており、教育課程実施状況調査、PISA、TIMSS2003の調査結果をもとに理科学力の問題点などが論じられている。また、以下のような報告書も刊行されている。  
国立教育政策研究所（編）（2004）「生きるための知識と技能2 OECD 生徒の学習到達度調査（PISA）2003年調査国際結果報告書」、ぎょうせい。  
国立教育政策研究所（編）（2005）「TIMSS 2003 理科教育の国際比較 国際数学・理科教育動向調査の2003年調査報告書」、ぎょうせい。
- 2) 中山迅、大場裕子、猿田祐嗣（2004）「科学理論と現象を関係づける力を育てる教育課程の必要性-酸化・燃焼に関するTIMSS理科の論述形式課題に対する回答分析から-」、科学教育研究、28(1)、pp. 25-33.
- 3) 森本信也（1997）「理科授業で子どもの学びを広げる表現活動」、楽しい理科授業、6月号、pp. 58-61.
- 4) 中山迅「子どもの科学概念の比喩的な構成」、科学教育研究、22(1)、pp. 12-21.
- 5) 山崎敬人、柴一実、神山貴弥、風呂和志、三田幸司、吉原健太郎、矢形佳吉子、山下由紀（2004）「問題解決に生きてはたらく力を育成する理科学習の創造」、広島大学学部・附属共同研究紀要、第32号、pp. 207-216.
- 6) 文部省「小学校学習指導要領解説理科編」、東洋館出版社、1999.
- 7) 山崎敬人、柴一実、神山貴弥、吉原健太郎、三田幸司、風呂和志、山下由紀（2006）「問題解決に生きてはたらく力を育成する理科学習の創造(3)-小学校理科単元「大地の創造」の開発-」、広島大学学部・附属共同研究紀要、第34号、pp. 335.
- 8) 以下のHPで公開されている。  
<http://home.hiroshima-u.ac.jp/fmiharas/>
- 9) 前掲書7)、p. 335.
- 10) 前掲書7)、pp. 341-342.
- 11) 前掲書7)、p. 337.
- 12) 前掲書7)、p. 337.
- 13) 前掲書7)、p. 337.