

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 (3)

— 小学校第4学年「電気のはたらき」の単元を事例として —

山崎 敬人 柴 一実 三田 幸司 風呂 和志

1. はじめに

新たな理科授業の創造と開発, それは自然事象に関する子どもの学びの可能性を絶えず探究し具現化していく営みである。本研究と同じ主題で取り組んできた過去2回の研究^{1) 2)}も, 一貫してそれを追求する試みであった。

一方, この一連の研究に取り組む間, PISA2006の調査結果の公表や小学校及び中学校の理科の学習指導要領の改訂などに伴い, 理科教育のあり方に関する様々な議論が展開されてきている。キー・コンピテンシー, 科学的リテラシー, 読解力, 言語活動, 活用, 思考力・判断力・表現力, 等々, いくつものキーワードが, そうした議論でしばしば取り上げられ, 理科授業実践に関する要請や問題提起がなされてきているところである。

確かに, 学校で実践される理科授業は, その時々々の時代や社会の要請や問題提起に真摯に耳を傾けないわけにはいかない。しかし, それらの本質に潜むものも見逃してはならないだろう。例えば, 読解力や言語活動等の充実をめぐる最近の主張に関して, 加藤(2009)³⁾は「読むこと」と「かくこと」⁴⁾の重視の背後にある理科の授業観に, しっかりと目を向けなければならない。すなわち, 「実験・観察という体験によって得た気づきを, 科学用語やきまりに置き換えて理解し記憶する」という授業観から, 「実験・観察によって得た結果を手がかりにして, 事象に対して自分なりの視点から考え説明をすること, そして, それらの説明を通して科学的な解釈のよさに納得していく」ことを目指す授業観への転換である。」と, 論じているように。

この後者の授業観に立つとき, 子どもの思考や表現を生かした科学的なモデルづくりは, これらの要請や問題提起に応えつつ, 新たな理科授業を創造し開発し

ていく取り組みにおいて重要な意味をもってくる。本研究で焦点を当てる小学校第4学年「電気のはたらき」の単元は, こうした科学的なモデルづくりが展開される単元の一つであり, そこでは, 直列つなぎと並列つなぎによる電気のはたらきの違いをめぐり, 子どもたちなりの多様な視点による説明や解釈が, 描画などの表現方法を用いて探究・検証・交流されながら学びが展開していく可能性が想定される。そして, そうした学びを通して子どもたちに養われた科学的リテラシーや獲得された読解力, 思考力, 判断力, 表現力などは, 小学校理科や中学校理科の電気単元はもとより小学校・中学校の理科授業すべてを通してさらに充実されていくものと期待される。

そこで, 本研究では, 小学校第4学年「電気のはたらき」の単元を対象として, 子どもの思考や表現を生かした科学的なモデルづくりの観点から, 子どもの多様な学びや学び合いの可能性を探るとともに, その授業実践を支えるために導入した方略の有効性について検討することを目的とする。

2. 研究の方法と授業構想

本研究では, まず, 小学校と中学校における系統的な学習指導が求められる学習内容について, 単元の学習導入時における子どもの自然事象に対する見方や考え方を事前調査する。次に, 事前調査の結果を踏まえ, 科学的なモデルづくりをベースとした授業方略を開発し実践する。そして, その授業実践において子どもたちの学びの実態を調査し, その調査結果をもとに, 開発・実践した授業方略の有効性について検討する。

(1) 子どもの見方・考え方の事前調査

まず, 小学校と中学校の両方で扱われる学習内容の中から電気を採り上げ, 小学校第4学年「電気のはたらき」の単元において調査を行うこととした。調査対

象児童は広島大学附属三原小学校第4学年の1クラス(40名)である。該当クラスの子どもに対して、「乾電池を増やすと豆電球の明るさはどうなるか」を選択法によって事前調査したところ、「明るくなる」(27名)「分からない」(10名)、「1本のときと変わらない」(3名)という結果であった。この結果から、乾電池2本を並列につないでも豆電球の明るさが乾電池1本の場合と変わらないことに疑問をもつ子どもが多いと考えられる。また、「明るくなる」を選んだ子どもの選択理由からは、直列・並列どちらの回路でも乾電池からは同じ強さの電流が出ていると考えているようであることが分かった。

(2) 授業構想

事前調査の結果をもとに、乾電池2本を並列につないだ回路では、直列につないだ回路のように豆電球の明かりが強くなる理由を追究する学習を採り入れた。他方、電流は直接目視することができず、子どもにとっては考えが曖昧になりやすい。そこで、回路を流れる電流の様子に対する個々の考えや実験方法を明確にするために、それぞれの考えをキーワード化するという方策を用いることにした。授業は平成21年5、6月に行い、単元計画は次のとおりであった。

第1次 乾電池の直列つなぎと並列つなぎ(1時間)

第2次 並列つなぎが暗い理由(5時間)

- ・グループ作りと実験の計画、準備(2時間)
- ・実験と結果交流(3時間)

第3次 確かめの実験(3時間)

第4次 扇風機作りと光電池の実験(3時間)

(3) 授業実践の概要と方略

ここでは、調査対象とした第1次と第2次の授業について述べる。第1次では、初めに乾電池2本を直列と並列につないで豆電球へ接続した2つの回路図を提示し、直列つなぎ・並列つなぎという名称を伝え、乾電池の向きや配線の方法を確認させた。次に、二つの回路の実物を提示し、直列つなぎ→並列つなぎの順に乾電池を1本ずつ乾電池ホルダに入れていき、どの時点で明かりがつくかと豆電球の明るさを確認させた。子どもは、直列つなぎでは乾電池を2本入れないと豆電球に明かりがつかないが、並列つなぎでは1本入れると点灯することに関心を示す発言を行っていた。また、並列つなぎも乾電池2本であるのに、乾電池1本のときと豆電球の明るさが同じであることに驚きの声を上げた。そこで、2つの回路で豆電球の明るさに違いが起こる理由を考えさせ、教室全体で発言させた。このとき、それぞれの考えを短く整理して「○○説」と呼ぶように提案しておいた。第2次では、まず前時に発言された理由(説)を提示し、子ども一人ひとり

に自分の考えを確認させて、ワークシート①に記述させておいた。実験にあたっては、ワークシート①を机の上に置かせて全員で見回らせ、同じ考えの子どもを集めた実験グループを作らせた。そして、グループごとに自分たちの説と、その説を確かめるための実験方法を考えさせ、ワークシート②に記述させた。このとき、各グループが考えた実験方法を短くまとめて「○○方式」と呼ぶように提案しておいた。実験後はグループごとに実験結果と分かったことを整理させるとともに、教室全体での交流へ向けて発表原稿を作らせた。このとき用いた発表原稿の形式を図1に示す。

① 自分(たち)は、かん電池を2本にしてもへい列つなぎが明るくならない理由を

と考えました。
この考えは()説といいます。

② この考えをたしかめるために、()方式という実験方法を考えました。これが実験そうちです。見てください。くわしく説明をします。

③ この実験をしてみると

という結果が出ました。
これらのことから、

ということがわかりました。

図1 発表原稿の形式

教室全体の交流では、まず、各テーブルの子どもを他グループの発表を見て回る役割とテーブルに残って発表原稿を読んで説明する役割に分け、時間を区切って交代させた。その後、教室全体でのお互いの実験結果や考えについての意見交流をとおして、乾電池から出る電流の強さや各導線を通る電流の強さに着目させ、第3次の確かめの実験へ発展させた。

3. 結果と考察

本稿では第2次の授業実践に焦点を当て、第2次の実験前と実験後に子どもがワークシートや発表原稿へ記述した内容をもとに、子どもたちの科学的なモデルづくりをベースとした学びの実態を分析・考察し、授業方略の有効性について検討する。

(1) 実験前の子どもの記述

各実験グループが考えた、直列つなぎと並列つなぎの回路で豆電球の明るさに違いが起こる理由(説)と

実験方法（方式）は表1のとおりである。なお、実験グループ1から3については、同じ理由を考えた子どもが多かったため、再度互いの考えを確認させて、より考えが近い者同士が集まって3つのテーブルに分かれるように指示した。また、実験グループ8と9については、同じ理由を考えた子どもがいなかったため、それぞれ1名ずつであった。

表1 各グループが考えた理由と実験方法

| No. (人数) | 理由 (説) | 実験方法 (方式) |
|----------|-----------|-----------|
| 1 (5名) | 渋滞 | バイパス |
| 2 (6名) | 渋滞 | バイパス |
| 3 (6名) | 渋滞 | バイパス |
| 4 (7名) | 極の問題 | 入れかえ |
| 5 (7名) | 重なり | バイパス |
| 6 (5名) | 円が1つ | 導線増やす |
| 7 (2名) | 重さ説 | 逆さま |
| 8 (1名) | 乾電池が片方不良品 | みんなのを使う |
| 9 (1名) | 乾電池1本お休み | 同時に入れる |

各グループが考えた説と方式については、ワークシートに次のような説明が記述されていた。

○ 渋滞説・バイパス方式

実験グループ1から3が考えた「渋滞説」とは、2本の乾電池を並列につないでソケットの導線と接続した箇所で電気が混雑を起こすために、豆電球の明かりが直列つなぎのように明るくならないというモデルである。この説の子どもは、「1本道で渋滞になって事故になったりするから」といった記述が見られたことから、Y字路の合流点での自動車の混雑をイメージしたものと考えられる。

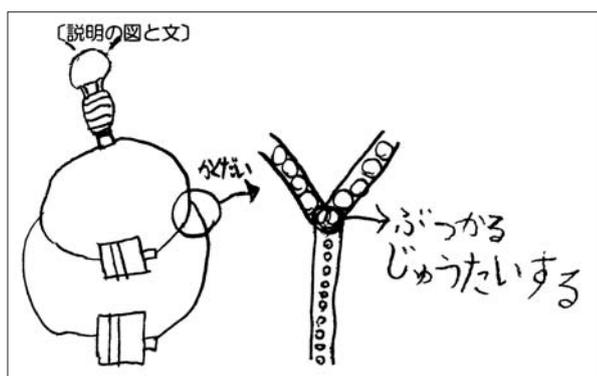


図2 渋滞説

実験グループ2には、一人ひとりの考えを書いたワークシート①に「つなぎめたたかい説」(1名)や「渋滞して僕が行く俺が行くとってちょっとずつ出るから電気が弱い」(1名)と文字による記述を行っていた子どもがいた。これら2名の子どもは、合流点で電気が先を争っているというイメージであると考えられ

る。また、実験グループ2では、グループでの話し合い活動後に記入したワークシート②において、3名の子どもが図3の例のように先の2名と同様の文章表現を用いていた。

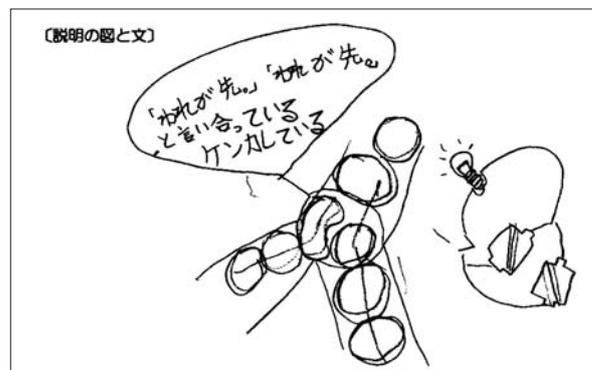


図3 実験グループ2の子どもの記述例

この3名の子どもは、ワークシート①では図だけを書いていた。また、先の2名は文字による表現のみを記述していたが、ワークシート②ではY字路の図を加えていた。これらは、他者との交流をとおして、自分のモデルをより明確にすることができる表現法として他者の記述を採り入れたと考えられる。さらに、ワークシート②において実験グループ2の2名の表現を用いていた子どもが実験グループ3にも2名いた。先に述べたとおり、実験グループ1から3については、渋滞説の子どもが多かったために3つのグループに分ける際にお互いの考えを聞き合っていたことから、このときに実験グループ2の2名の表現を採り入れていたと推察される。

また、実験グループ1から3の子どもが考えた実験方法である「バイパス方式」とは、図4のように双方の乾電池の導線を直接豆電球へつなぐ方法である。図の説明に「けんかをせずバイパスのように1つ1つが通るようにする」と記述していた子どもがいたことから、自動車の通行をイメージしたモデルであると考えられる。

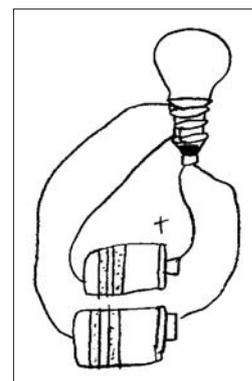


図4 バイパス方式

○ 極の問題説・入れかえ方式

実験グループ4の子どもが考えた「極の問題説」とは、乾電池の電極を磁石の磁極に見立てたモデルである(図5)。磁石は同じ極同士は退け合うことから、並列つなぎでは乾電池の同じ極から出ている導線同士をつなぎ合わせるために、つなぎ目で+同士、-同士の電気が退け合い、その結果豆電球へは少ししか電流

が行かないというものである。

また、「入れかえ方式」とは、乾電池2本のうち1本を逆向きにするという実験方法である。これも磁石をイメージしたも

ので、磁石では異なる極同士が引き合うことから、電極も+と-を合わせれば合流点を通り抜けやすくなるというモデルであると考えられる。このグループの記述から、電気と磁気を同一視したモデルをもつ子どもがいることが明らかになった。

○ 重なり説・バイパス方式

実験グループ5の「重なり説」は、並列回路では電気が導線内で重なるために直列回路のように明かりが強くなるというモデルであるが、さらに分類すると、このグループの中には3つの考え方があった。1つめは、2本の乾電池から出ている導線の結合部で電気が重なっているという考え(図6)であり、2つめは、結合部から豆電球までの導線内で重なっているという考え(図7)であった。

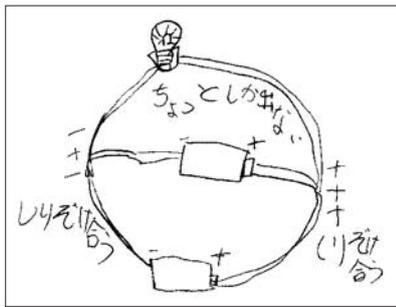


図5 極の問題説

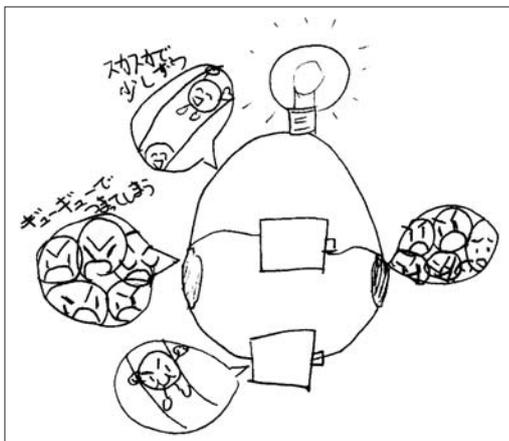


図6 重なり説①

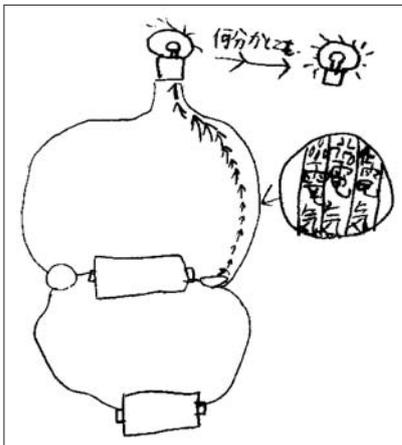


図7 重なり説②

2つめの考えの子どもは、ワークシート①では「長持ち重なり説」として、「重なって電気の威力は落ちてしまうけど長持ちする」と記述していた。この考えは、並列につないだ場合には乾電池から出る電気が少なくなるというモデルであった。また、3つめの考えは、「重なってゆっくり一つになると思うから」という記述を行った子どもの、豆電球に電気が届くまでに時間がかかるから直列つなぎのように豆電球の明かりが強くなるという考えである。このように、説としての表現は同じであっても、子どもによって考えの細部が異なっている場合があることが分かった。

1つめの考えについては渋滞説と近いものと考えられるが、子どもにとっては渋滞説と重なり説を区別する独自の見方・考え方があるものと推察される。また、実験グループ5が考えた「バイパス方式」は実験グループ1から3のものと同じ方法であったことから、実験グループを実験方法(方式)によって構成すると、個々の子どもがもつモデル(説)の細かな違いが教師には把握し辛くなるのではないかと考えられる。

○ 円が1つ説・導線増やす方式

「円が1つ説」とは、乾電池の+極と-極につながる導線(円弧)が、並列つなぎでは豆電球のソケットの導線1つしかないために、豆電球が直列つなぎの場合のように明るくならないという考えである。実験グループ6の子どもは、直列つなぎの場合にはソケットの導線に加えて2本の乾電池間にも+極と-極につながる導線があることに着目していた。また、「導線増やす方式」とは、乾電池の+極と-極につながる導線を増やす実験方法であるが、並列つなぎの場合、一方の乾電池の+極と他方の乾電池の-極を直接導線でつなぐとショート回路になってしまうため、乾電池と豆電球の間に導線を増やしていた。

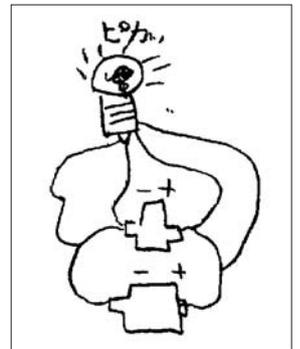


図8 導線増やす方法

○ 重さ説・逆さま方式

実験グループ8の「重さ説」とは、電気には重さがあり、並列につないだ下側の乾電池の電気が豆電球まで上がれないために、直列つなぎのように明るくならないというモデルである。第1次において、直列・並列回路の実物をボードに固定して黒板に立てかけて提示したが、乾電池が直列回路では横並びに、並列回路では縦に並んでいた。

また、「逆さま方式」とは、豆電球の位置を乾電池より下にするすることで、電気が豆電球に行きやすくなるという実験方法であった。このグループの説・方式か

らは、電気に重さがあるという考えをもつ子どもがいることが分かった。

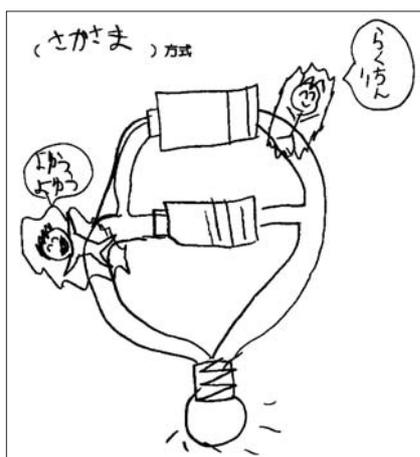


図9 逆さま方式

○ 乾電池が片方不良品説・みんなのを使う方式

「乾電池が片方不良品説」は、並列つなぎでは乾電池を1本入れると豆電球は点灯するが、2本めを入れても明るさが同じであったことからできた考えである。また、「みんなのを使う方式」とは、他の子どもの乾電池を借りて確かめてみるという方法であった。この子どもの説は、第1次の演習実験において、乾電池を1本ずつ入れたことで生起したと考えられる。

○ 乾電池1本お休み説・同時に入れる方式

「乾電池1本お休み説」とは、並列につないだ2本

の乾電池のうち、後から入れた1本が電気を出していないというモデルである。並列つなぎでは、乾電池1本の場合と豆電球の明るさが同じであったことと、乾電池を1本入れた時点で明かりがつくことをもとにした考えである。また、乾電池2本を同時に入れば両方とも働くと考え、実験方法を「同時に入れる方式」としていた。この子どもの説も、演習実験において乾電池を1本ずつ入れたことで生起したと考えられる。

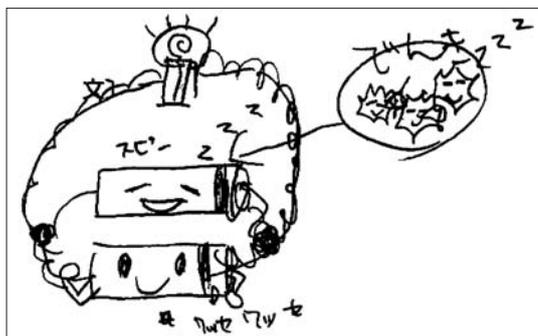


図10 乾電池1本お休み説

(2) 実験後の子どもの記述

教室全体での交流へ向けて各実験グループに作らせた発表原稿の記述をまとめたものが表2である。この発表原稿については、実験グループごとにメンバー一人ひとりの考えを確認して全員が納得できた内容を記入するよう指示してあった。電流は直接目視することができず、子どもにとっては考えが曖昧になりやす

表2 実験グループごとの発表原稿への記述

| | ① | | ② | | ③実験結果 | ④分かったこと |
|---|--|-----------|---------|--|-----------------------------|------------------------|
| | 並列つなぎが明るくならない理由 | 説 | 方式 | 実験装置の説明 | | |
| 1 | 電気が出る所が重なっている | 渋滞 | バイパス | バイパス方式は、電気が出る所を2つの道にしたものです。 | やはり直列つなぎの方が明るかった | バイパス方式をしても電気の明るさは変わらない |
| 2 | 導線のつなぎ目で上の電池と下の電池がケンカをしていて弱くなったまま豆電球に行っているから | 渋滞 | バイパス | こうするとケンカをせずに豆電球に行けるので明るくなると思った。 | 明るくならず逆にすこし暗くなりました | ケンカをしていない |
| 3 | 途中で電気と電気がぶつかり合い、力をオーバーしてしまうから | 渋滞 | バイパス | 本当のバイパスみたいにこれも一つ一つを豆電球につけて重ならないようにする。 | バイパス方式よりも直列の方が明るい | バイパス方式より直列の方が明るい |
| 4 | 磁石の性質と同じ | 極の問題 | 入れかえ | 磁石と同じ性質だと思ったので乾電池を逆にすると力が強くなると思います。 | 熱くなってつかない | 「極の問題説」ではない |
| 5 | 電気が重なり、グューグューになる。そして少しずつしか電気が通らない | 重なり | バイパス | 並列でETC(?)を通るみたいにごちゃになって重なったと思ったので、バイパス方式でこの事件(?)を解きたかった。 | 並列つなぎと変わらない(明るさ) | 重なっていない |
| 6 | 磁石と同じように、同じ極同士ではあまり力が強まらず、違う極同士では力が強まるという事から、乾電池の性質も磁石と似ているのかなと考えて、+と-で交わった方が力が高まる | 円が一つ | 導線増やす | 導線を増やすことで+と-で交わる所が増え、電気が強くなると思います。 | 並列つなぎと同じ明るさで、直列つなぎより明るくなかった | 導線を増やしても明るさは変わらない |
| 7 | 並列つなぎは長いし上に行く道がいっぱいあるから上れない | 重さ | 逆さま | 坂だから重たい→さかさまにして軽くする | 変わらない | 重さは変わらない |
| 8 | 電池が片方不良品 | 乾電池が片方不良品 | みんなのを使う | (無記入) | 不良品じゃない | 不良品じゃない |
| 9 | 乾電池が1本休んでいるから | 乾電池1本お休み | 同時に入れる | 1本休んでいるなら同時に入ればいいと考えました。 | 光は明るくならない | 乾電池は休んでいない |

い。そのため、過去に行った授業では、実験前に子どもがもっていたモデルとそのモデルを検証するための実験方法や分かったことの記述がずれてしまうことがあり、その結果、特に実験後のグループでの話し合い活動では、まとめがうまくいかないグループが見られた。しかし、本研究で行った授業においては、どのグループも短時間で考えがまとまっていた。

これは、次のような理由によると考えられる。まず、「〇〇説」として子ども一人ひとりのモデルをキーワード化させたことで、子どもが自分の考えを明確に意識でき、また、お互いの考えが理解しやすくなったために同じ考えの子どもが実験グループとして集まり、まとまって追究活動が行えたことが挙げられる。次に、考えが明確になっていたため、子どもは自分たちのモデルを検証するための適切な実験方法を考え出すことができたことも要因として挙げられる。そして、実験方法を「〇〇方式」としてキーワード化させたことで、何を確かめる実験であるかを子どもが明確に意識でき、どの実験グループも表2の③実験結果や④分かったことの記述が、実験前の考え（説）を意識した内容となっていたためであると考えられる。

4. おわりに

森本（1999）は、学びの見通しを支援するための評価の視点、すなわち課題解決のための授業方略を論じるなかで、「問い」の構成と追求の段階に関して下記のア～オの視点を提示している（ア～ウは「問い」の構成の段階、エとオは「問い」の追求の段階⁵⁾）。

ア。「問い」を比喩的な表現を交えて自分のことばで表現させる。

イ。「問い」を検証するための観察・実験方法を子どもに考案させる。

ウ。提案された方法の意味や実行可能性を子どもたちに検討させたり、教師が吟味する。

エ。「問い」の追求過程において、子どもの考え方や思いの表現方法を価値付け、発展させるのに必要な情報を提示する。

オ。子ども間の多様な考え方を子どもたちに提示し、その積極的な結びつきをはかる。

翻って、子どもの思考や表現を生かした科学的なモデルづくりの観点から子どもの多様な学びや学び合いの可能性を探ることを目指した、本研究の「電気のはたらき」の実践を見てみると、ア～オの視点が授業方略として実践され具体化されて、一定の成果を上げていることがわかる。

例えば、乾電池2本を並列につないだ回路について、自動車の通行や道路の合流点を基にしたモデルや電気と磁気を同一視したモデル、電気に重さがあるというモデルなど、様々なモデルを子どもたちが考えることができていたのは、言うまでもなくアの視点の実践の反映である。また、子どもたちの交流を通して、自分のモデルをより明確にするために他者の表現を採り入れる場合が認められたが、これはオの視点による実践の成果の一部と言えよう。さらに、子どもの考えや実験方法をキーワード化させて「〇〇説」「〇〇方式」と表現させることで、自他の考えを明確に捉えることができるようになるとともに、子どもたちが実験の目的を明確に意識できるようになっていたが、これらはイ・ウ・エの視点の具体化の成果であると考えられる。

一方、「〇〇説」としてキーワード化され類型化された同じモデルであっても子どもによって考えの細部が異なっている場合があることや、教師の演示実験の方法が子どものモデルづくりに影響を及ぼしている可能性のあることがわかった。これらは、子どもの思考や表現を生かした科学的なモデルづくりにとってより有効な授業方略を開発していく上で、今後の検討課題としたい。

注及び文献

- 1) 山崎敬人・柴一実・三田幸司・風呂和志（2007）「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—」, 広島大学学部附属共同研究紀要, 第35号, pp.397-406
- 2) 山崎敬人・柴一実・風呂和志・三田幸司（2008）「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（2）—小中連携を視野に入れた「大地の変化」の授業実践を中心に—」, 広島大学学部附属共同研究紀要, 第36号, pp.473-482
- 3) 加藤圭司（2009）「科学的リテラシー向上を目指す理科授業実践開発の視点と課題」, 森本信也・横浜国立大学理科教育学研究会「子どもの科学的リテラシー形成を目指した生活科・理科授業の開発」, 東洋館出版社, pp.23-34
- 4) 加藤（2009）は、ここでは「書く」と「描く」の両方の意味を含めて「かくこと」と表記している。
- 5) 森本信也（1999）「理科授業のデザイン」, 東洋館出版社, p.132