

教育実践論文

児童の電気概念形成を促すイメージ図に関する考察 — 小学校第3学年「電気の通り道」の単元を通して —

峰 福太郎* ・ 岡島 俊哉**

Consideration on Image Diagrams that Encourage Children to Form
Electrical Concepts
through the Unit of "Electricity Path" in the 3rd Grade of Elementary School

Fukutaro MINE*, Toshiya OKAZIMA**

【要約】

小学校第3学年「電気の通り道」の単元において、電気概念形成を促す学習支援として、イメージ図などを用いて自分の考えを説明する活動を仕組み、電気の回路に対する見方を深めていく児童の姿をめざした。実践の結果、つなぎ方は確証（点灯する）より反証（点灯しない）が多いため、すべて体験させて、つなぎ方（回路）を強直的に記憶に留めさせること等の重要性を確認できた。

【キーワード】

理科の見方、電気概念形成、比喩的表現、イメージ図

1. 問題提起

平成29年に改訂された小学校学習指導要領では、育成すべき資質・能力について、「見方・考え方を学習の過程で働かせることで、資質・能力が育まれることが示されている¹⁾。「理科の見方・考え方は、例えば「エネルギー」を柱とする領域では主として、量的・関係的な視点で捉えるなど、領域ごとの特徴的な視点が「見方」に該当し、「比較する」「関係付ける」など問題解決の過程で用いる考え方が「考え方」に該当する。

鳴川は、「理科の見方」について、領域ごとの特徴的な視点に基づき表1のように整理している²⁾。主として粒子領域に関する「理科の見方」に着目すると、「質的・実体的」な見方を働かせる必要性が示されている。理科学習場面において「質的・実体的」な見方を働かせる内容は、回路を流れる電流の様子、空気の圧縮、水溶液などがあり、粒子レベルで事物・現象を捉えることで、より科学的な理解につなげていくものである。このように、目に見えない粒子の存在を実体として捉えること

は、より豊かな資質・能力の育成に欠かすことができないと考えられる。

表1 理科の見方

領域		特徴的な視点
エネルギー	「量的・関係的」	・一方の量が増えることに伴い、もう一方の量も減るのか ・どのように変化するのかなど
粒子	「質的・実体的」	・物によって異なる性質があるのではないか ・見えない物でも実体として存在しているのではないか ・形が変わっても同じ量が存在しているのではないかなど
生命	「共通性・多様性」	・共通した働きをする部分や共通した成長の仕方などがあるのではないか ・生物には様々な形態や生態があるのではないかなど
地球	「時間的・空間的」	・時間が経過すると、地形や天体はどのように変化するのか ・もっと広い範囲で考えるとどうか など

目に見えない粒子や電気を可視化する表現手段としてメタファやアナロジーなどの比喩的表現が用いられることがある。メタファについては、「電池」「電流」という言葉に見られるように、科学概念はメタファから成立しているものもあり、事象

*佐賀大学教育学部附属小学校

**佐賀大学教育学部

の一つの特徴を際立たせる役割がある。点对応で一つの特徴を関係付ける思考のメタファに対して、面対応で複数の特徴を構造化して関係性を見いだす思考はアナロジーである。オームが熱流のアナロジーから電気概念を導き出したことから、電気概念を形成する上で、メタファやアナロジーなどの比喩的表現の果たす役割は大きいと言える。

中山は、学習者の電気概念の理解を見取る上で、学習者のメタファ表現の分析が回路に関する学びの様態を探る役割を果たすことを示している³⁾。さらに、中山は、中学校電気単元の事例的研究で、論理的矛盾を解決する際にメタファやアナロジーが生成されることや、学習者の考えを変化させる上でメタファやアナロジー的表現が有効に働くことを報告している⁴⁾。

比喩的表現などを用いた事物・現象に対するイメージが、概念形成にどのように関わっているのかを示す認知面の機能については、次のような研究がある。ホワイト (White, R.T) は、理科授業において児童が記憶している知識を表2,3に示すようなタイプに分類し、これらの知識を図1のような関連性のもとで実際に運用されていくことを示した⁵⁾。普遍的な意味の記憶要素であるストリング、命題、知的技能が結び付きを形成させたものを「～概念」と呼び、従来のように言語的な側面だけに限定させていた「～概念」の意味内容を拡大させている。このことは、理科における児童達の多様な認識活動を保証していると言える。

以上の研究動向をふまえると、電気概念とは共通の名称のもとに集められた記憶要素の集合であり、これらの要素のいろいろな結び付きのパターンと据えることができる。そこで、電気概念形成を促す上では、観察・実験で得られたエピソードに加え、比喩的表現などを用いてイメージとして思考することで、記憶要素を充実させ、多様な認識構造から理解を深めることができると考えた。

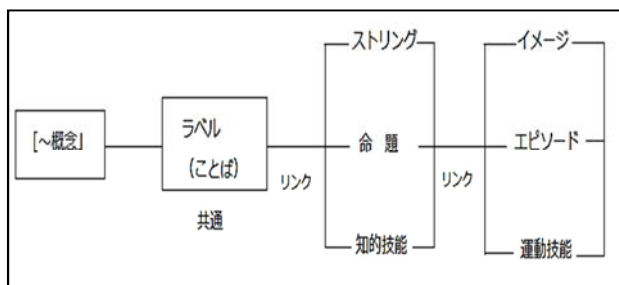


図1 「～概念」を構成する記憶要素

表2 記憶要素の種類 (普遍的な意味の記憶)

種類	簡単な定義	例. てこ
ストリング	分離されずまとまった形で記憶されている記号やことば	支点, 力点, 作用点
命題	ことばの定義, ことばの間の関連性の記述	左右のうでについて (支点からのきより) × (力の大きさ) は等しい。
知的技能	論理を用いた課題の遂行	てこのつりあい実験器などを用いて, つりあいの決まりを見つけることができる。てこの計算問題を解ける。

表3 記憶要素の種類 (特殊的・体験的意味の記憶)

種類	簡単な定義	例. てこ
エピソード	特定の経験あるいは目撃した事実についての記憶	はさみ, 栓ぬき, カッター等の道具でこの決まりを調べた。
イメージ	視覚情報に対する心的な表象	てこは力を得する。
運動技能 (パフォーマンス)	パフォーマンスによる課題の遂行	長い棒を使って手で動かすことができない物を動かさせた。

2. 実践目的

本実践の目的は、以下の2点である。

- ① 電気の回路に対する理解を深めるために、イメージ図などを用いて自分の考えを説明する活動を仕組み、電気の回路に対する見方を深めていく児童の姿をめざす。
- ② 電気概念形成を促す上で、児童が比喩的表現 (イメージ図等) をどの程度活用することができるのか知見を得る。

3. 実践内容

小学校第3学年「電気の通り道」で、全9時間の単元計画で実践を行った。

(1) 対象

佐賀大学教育学部附属小学校第3学年

(1学級, 男子17名, 女子18名, 計35名)

(2) 期間

令和2 (2020) 年11月

4. 実践結果

①児童の学びの姿

《1時目》

【問題意識】 豆電球の明かりのみが見える回路を提示する(図2)。ブラックボックス化することで、「どうやって明かりが付いているのか?」「明かり



図2 事象提示

が付く仕組みはどうなっているのか?」という問題意識が高まるような事象提示の工夫を行う。

【教材との出会い】 まず、豆電球のみを児童に一つずつ渡す。初発の実験器具である豆電球との「出会い」が重要だと考える。教材キットから出すのではなく、現物を一人一つ渡すことで、豆電球の見た目や手触りなどの素材感が得られるようにする。次に、ブラックボックスにある「明かりを付けるために必要な道具」に焦点を当て、どのような物が必要か児童に問いかける。児童の発言をもとに、乾電池、導線を提示して、教師主導で全ての実験器具を確認しないように配慮する。1時目で、児童は「ワイヤー」が必要だと発言する場面があった。「ワイヤーはどうして必要な?」と問い返し、「豆電球と乾電池をつなぐ線みたいなものがあるから。」と児童が発言した。「乾電池をつなぐ線には、導線があります。」と伝え、児童がまだ知らない実験器具については、児童の言葉から引き出していくことで、導線や導線つきソケットの提示を行った。

【自由試行を促す活動場面の設定】 豆電球、乾電池、導線付きソケットをばらばらに配布し、自由につなげ方を試していけるようにする。1人1実験で、じっくりと自由試行できる場を設定することに留意する。1時目では、乾電池の表面に2箇所導線を付いたり、+のでっばりに2箇所導線をつなげたり、様々なつなぎ方を試す児童の姿が見られた。自由試行の活動場面であるため、様々なつなぎ方を試す中で豆電球に明かりが付くつなぎ方を体験的に理解できるようにする。また、次時以降も豆電球、乾電池、導線付きソケットを扱う場面が出てくるため、操作に慣

れておくことで集中して学習に取り組むことができるという意図もある。

《2・3時目》

【問題意識】 前時の学びをもとに、様々なつなぎ方を予想してから明かりが付くつなぎ方を確かめることで、見通しをもって実験に取り組む。

【イメージ図による表現活動】 予想や実験結果をまとめる場面で、明かりが付く・付かない理由について文章で説明したりイメージ図で表したりする活動を行う。「乾電池」「+極・-極」「導線」などの言葉を使用して、友達に分かるように説明を行うことに留意する。イメージ図については、「質的・実体的な見方」を働かせて、電気の通り道や目に見えない電気について考えることで、回路は電気が流れていることを意識できるようにする。2・3時目では、図3.4のようなイメージ図が表現できた。ここでは、どれが正解・不正解を言及せず、回路の中を目に見えない電気がどのように流れているか想像することを大切にしたい。友達のイメージの良さやおもしろさに気付くことができた。

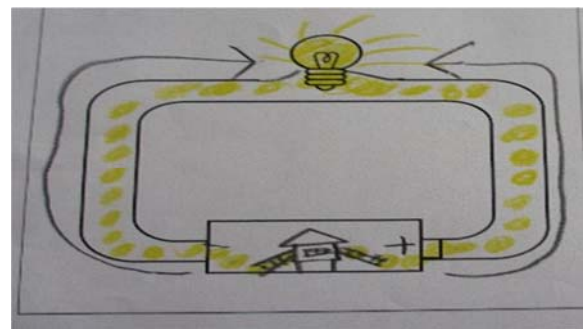


図3 電気が流れるイメージ①

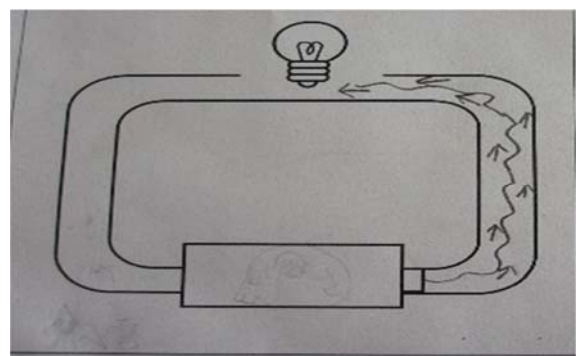


図4 電気が流れるイメージ②

【つなぎ方の比較】 全体で結果を交流する場面では、明かりが付く・付かないつなぎ方を比較して、共通点や差異点に注目できるようにする(図5~8)。3時目では、「+極・-極」「豆電球」の言葉に加えて、新たに「回路」という言葉を使用し、説明することができた。

《4時目》

【問題意識】 回路ができていると豆電球に明かりがつくことを振り返る。豆電球を少し緩めると、明かりが消える事象を提示して、少しでも電気の通り道が切れると明かりがつかないことに注目できるようにする。児童の気づきを交流し、ソケットに焦点化して問いにつなげる。

【試行錯誤を通して問題解決を促す場面設定】

一人一実験にすることで、じっくり事象と向き合い、試行錯誤しながら確かめてみる場を設定する。実験結果をまとめる場面では、明かりが付くつなぎ方について、児童はソケットのどこどこに導線をつなげばよいか発表することができた。図9は、4時目の板書を示す。

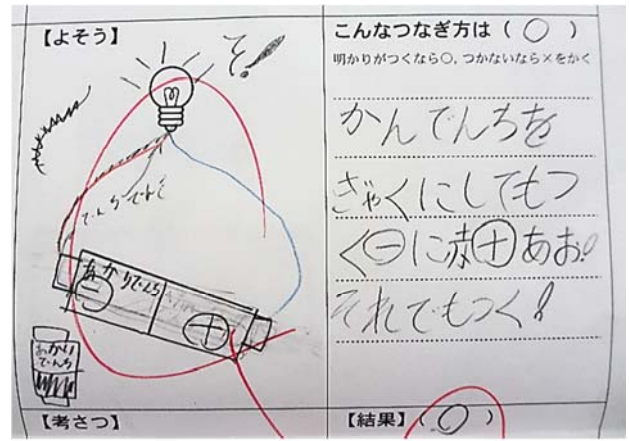


図5 導線を電池の端(+, -)につなぐと明かりが付く。

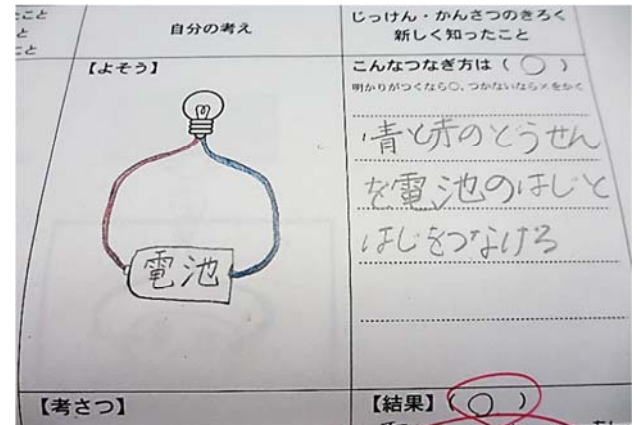


図6 +, -を逆にしても明かりが付く。

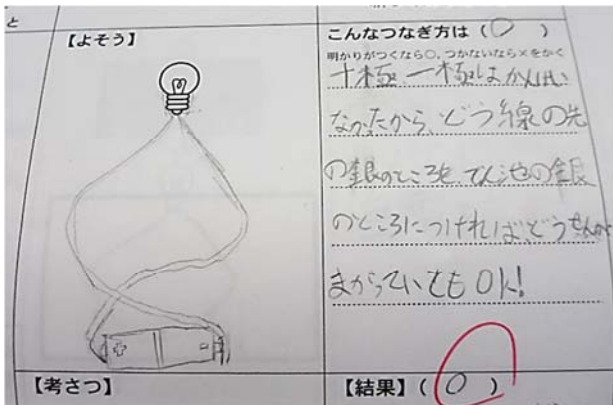


図7 +, -につなげば、曲がっていても明かりが付く。

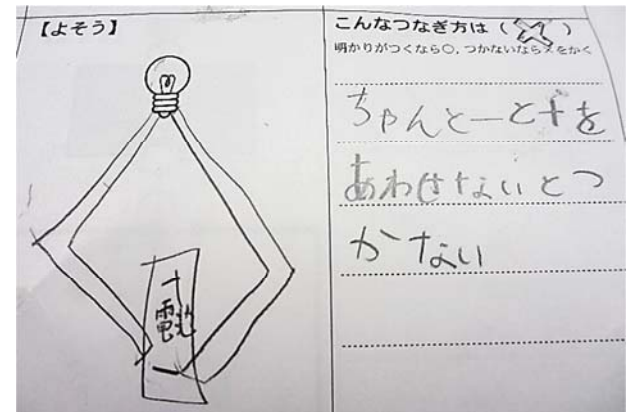


図8 ちゃんと+, -につながないと明かりは付かない。

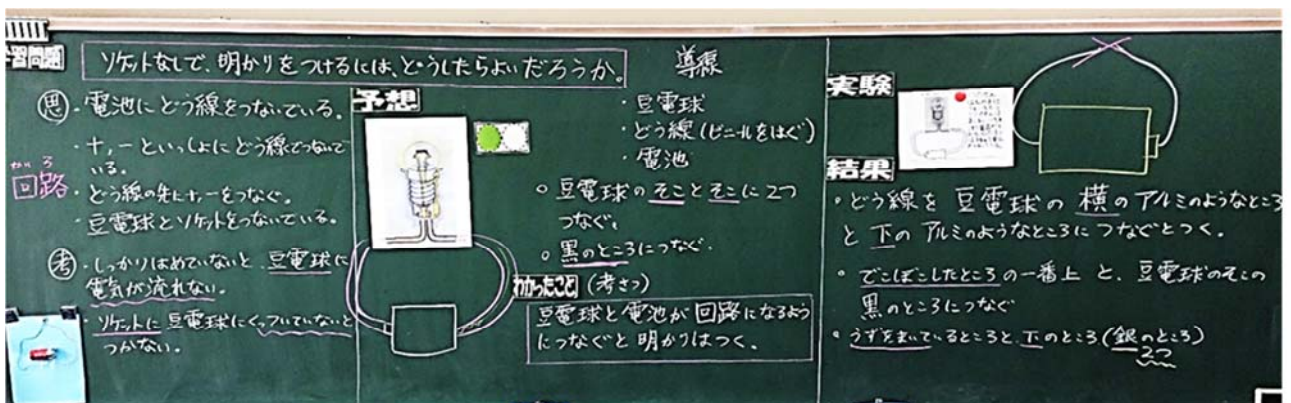


図9 4時目の板書

《5・6時目》

【問題意識】 まず、豆電球と乾電池、導線を輪のようにつないで明かりが付く回路を提示する。次に、その回路の導線をハサミで切断し、明かりが消える事象を提示し、どうすれば再び明かりを付けることができるか尋ねる。5時目では、「導線を剥いて、切れた導線を結んでつなぐ。」「切れた回路の途中で電気が通る物をつなぐ。」等の児童の発言から、学習問題「回路の途中でどのような物をつなぐと明かりは付くだろうか」を引き出した。

【電気を通す・通さない物の比較】 回路の途中につないで児童の身近にある物を準備して、明かりが付く・付かないを表にすることで、共通点や差異点に注目できるようにする。ここで扱う対象は、鉄くぎ、銅くぎ、鉄のコップ、ガラスコップ、アルミホイル、ダンボール、わりばし、輪ゴムである。小学校学習指導要領（平成29年告示）解説理科編に示された物（鉄やアルミニウム、ガラス、木）に加えて、児童の身近にある物を選定する。また、素材が金属の物が電気を通すことに気付くよう、銅くぎや鉄のコップを入れることに配慮する。図10は、実験する児童の様子である。1人1つ回路を用いて調べることができるようにし、上記以外に、自分の

持ち物や教室にある物は、調べてよいことを伝えることで、主体性を持って実験に取り組むことができた。実験結果をまとめる場面では、児童が結果を比較して気付いたことを発表した。図11.12のように、明かりが付く物や付かない物の素材の特徴について気づき、金属でできている物を途中につなぐと、豆電球に明かりが付くことを自分の言葉で説明することができた。

《7時目》

7時目は、『令和2年度 佐賀大学教育学部附属小学校「児童の姿で語る」対象者限定研修会②』において、令和2年11月26日に授業公開を行った。授業の詳細については、巻末に資料1として学習指導案を示す。

《8・9時目》

【ものづくり活動】 学んだことを生かして、電気の回路を用いたおもちゃづくりの活動を行う。電気を通す物・通さない物に注目してスイッチの仕組みを考えたり、導線の長さを変えてみたりする等、ものづくり活動を通して自分の意図するおもちゃが表現できるようにする。児童全員が、電気を通す物・通さない物に注目して、アルミホイルなどの金属に接触することで、オンとオフを切り替える仕組みのスイッチを作成することができた。



図10 1人1つ回路を用いて実験する児童

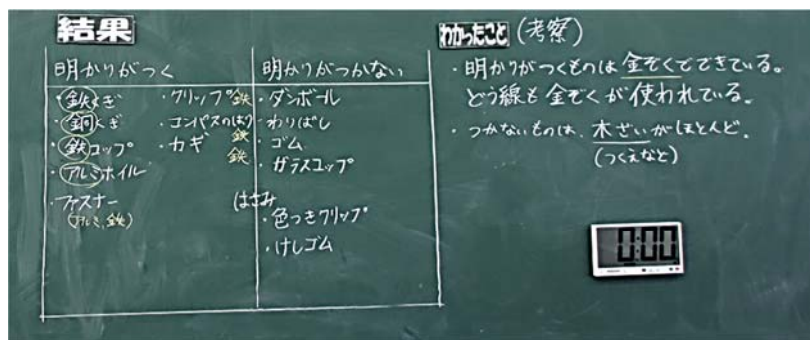


図11 児童の考察(板書)

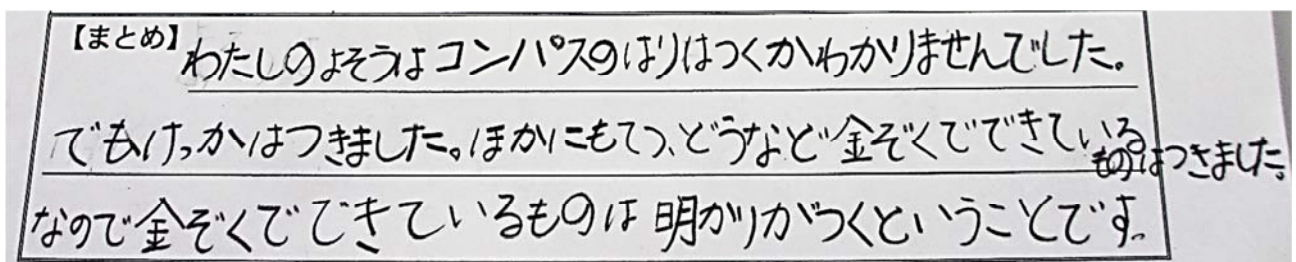


図12 児童の振り返り(ワークシート)

②児童の比喩的表現「通電の様子について」

5・6時目の学びを終えて、回路の途中に電気を通す物・通さない物をつないだ事象について、電気を擬人化したイメージ図で表現する活動を設定した。図13は表現活動に用いたワークシートである。ワークシートは4コマ形式とし、1コマ目は電気がどのように回路を回っていくか、2～4コマ目は通電の事象をどのように表現するか探った。調査の結果、「金属は電気を通す」ことを説明する表現が多く見られた(図14)。ワークシートの②～④コマにおける表現として、図15のように、金属の素材に注目して電気を通す物・通さない物を説明した児童は学級の85%であった。

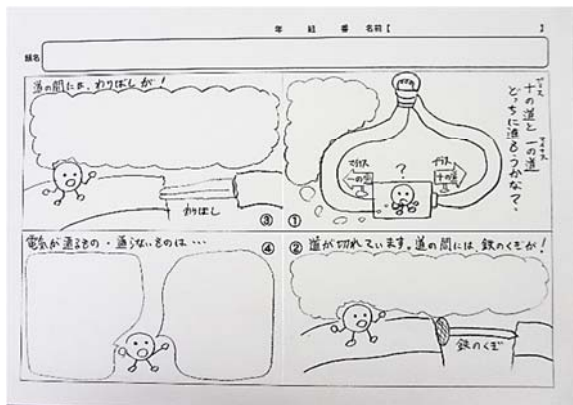


図13 表現活動に用いたワークシート



図14 「金属は電気を通すこと」を表現

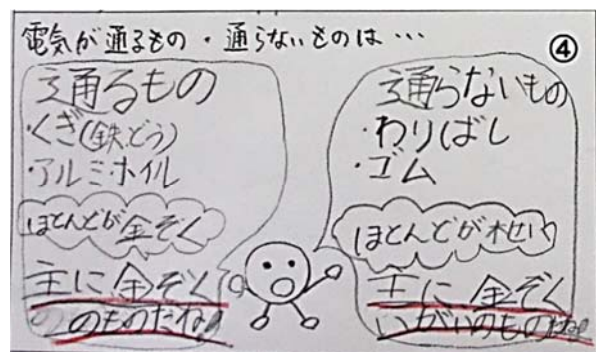


図15 素材に着目して通電の様子を表現

5. 考察

(1) 実践目的①について

学習指導要領では、「乾電池と豆電球などのつなぎ方」、「つないだ物の様子」及び「電気を通すときと通さないときのつなぎ方」に着目することが示されている。また、(ア) 電気を通すつなぎ方と通さないつなぎ方があること。(イ) 電気を通す物と通さない物があること。2点を身に付けることができるように指導する、とされている。これら下線部が意味することをふまえ、本実践目的①の考察として考えてみたい。

A. 「つなぎ方」に関する理解

本実践の2・3時目について、乾電池のどこと豆電球のどこをつないだか(導線で接続したか)、乾電池の円筒形の底の部分、円筒面の部分のつなぎ方として数種類あるだろう。ここで重要なことは、すべての接続のケースをできるだけ体験させることである。人は、問題解決のために仮説を立てて計画、行動するが、多くは仮説を支持する証拠を集めようとする程度に、仮説を支持しない証拠を集めるには消極的である。接続して電気が付くことは、教師にも児童にとっても心地よい見たいことではあろうが、大事なことは、仮説を支持するつなぎ方と仮説を支持しない(付かない)つなぎ方を知り、できれば「なぜ」「何が違うのだろうか?」という疑問を持つことではないだろうか。その感覚が、学びへの意欲を育て、その過程を繰り返すことにより、その習慣が良い意味で自動化され、学び(考察)が楽しいことにつながると考える。

「こうすれば明かりが付く」という仮説を支持する結果を集めても、積極的に学びに向かうだろうか。仮説を支持しない結果ばかりでは、児童は学びが長続きしないだろうが、必要なことである。考え得る学習場面での手立てとしては、仮説を支持する確証を多く集めて体験させて理解を強化するよりも、反証を多めにして、逆に確証を印象付け、豆電球が点灯する事象を理解することである。この手立てを用いることで、児童は豆電球が点灯するつなぎ方は、反証を含めた数あるつなぎ方の中で、少ないつなぎ方なのだと、点灯するつな

ぎ方への理解を深める。つまり、反証を探して確証を強化する学び方である。そのためには、反証あるいは実験に失敗したことを学級で受け入れる、失敗の理由から学びの材料にできるような学級の雰囲気作り（ラーニングコモンズ）についても、重視する必要がある。教師は、失敗（反証）が深い学びを進めることを意識しておかなければならないと言える。

B. 電気を通す・通さない物に関する理解

ワークシートの記述では、鉄は電気を通る、木は通さないなど正解が多かった。ただし、それは経験に基づくとはいえ、暗記に近い知識であるので、帰納的思考に結び付けていく支援が大事だ。今後、演繹的思考につながるように、概念形成や良い意味での（新しい物事を学ぶための）トップダウン思考（高次思考）に結び付ける必要がある。

(2) 本実践目的②について

図13に示すワークシートでの児童の記述をもとに、電気の回路に関するイメージ図について考察する。1コマ目の表現に着目すると、プラスとマイナスのどちらからも豆電球に行く、と答える児童が多い。さて、現時点（3年生）でこの誤概念を修正すべきだろうか。そうではないと考える。誤概念は常に悪しき知識として語られる。内容としては間違いであろう。しかし、誤概念ということで扱われることで児童のためになっていない、という意識で語られるが、立ち止まってみたい。児童は多くの経験から学ぶ、他に学ぶ機会はいくらでもある。授業は確かにそこから入ってくる誤概念などを取り除く役割を持っているかもしれない。しかし、取り除くのは最終的には児童自身である。児童は授業で新しいことを学ぶ、その際、見えずとも「そうだったのか」というのは学ぶ動機や意欲になる。間違った理解や誤概念があつてこそである。その差が大きいほど、学びは大きい。だから人は誤った仮説を立てて失敗し、自分の立てた仮説が間違っていると気付き修正し、そのことに学びの楽しさを感じる。反証は大事だ。4年間で修正できればいいのではないか。その間に自分自身で修正できる児童もいるだろうし、修正が遅ければ教師の支援が必要となる。

【結論】

本実践を振り返ると、すべてのつなぎ方を調べてみると、豆電球が点灯するつなぎ方は、豆電球が点灯しないつなぎ方よりも数は少ない。「確証（点灯する）より反証（点灯しない）が多い」ということをすべて体験させて、つなぎ方（回路）を強直的に記憶に留めさせる。おそらくその過程で、そしてどの過程で起こるかかわからないが、児童には感情と結びつく部分があると思う。「一と考えたのにそうならなかった」とか、「一と思わなかったがそうになった」とか、そこには感情が動く。児童の記憶に定着させる上で重要なことは、初期においては、実験中に児童が感じる感情と結果を結び付けることだろう。このことにより記憶として定着しやすくなるし、他の自然現象に触れた時に想起もしやすくなる。

第4学年で、つなぎ方を変えると、電流の大きさや向きが変わり、豆電球の明るさやモーターの回り方が変わることを学ぶ。その時まで、回路が意味すること、つながった、つながらないという電気の通り道の方をできるだけ印象付けてあげることでもいいのではないか。これも仮説であるので、第4学年になって、今回、電気の流れ（方向）についてはあえて触れなかった影響がどのように出ているかについて検証していきたい。

【文献】

- 1) 小学校学習指導要領解説 理科編
- 2) 鳴川哲也ら (2019) 「イラスト図解ですっきり分かる理科」東洋館出版社
- 3) 中山迅 (1995) 「自然認識における知の表現法と評価法—電気についての学習におけるメタファの役割—」日本科学教育学会年会論文集 19(0), 79-80
- 4) 中山迅 (1998) 「理科授業に見られるメタファ：中学校電気単元の事例的研究」日本科学教育学会研究会研究報告 13(3), 25-30
- 5) 森本信也 (1993) : 「児童の論理と科学の論理を結ぶ理科授業の条件」東洋館出版社

資料1 対象者限定研修会 学習指導案 (7/9)

(1) 目標

物には電気を通す物と通さない物があることについて、金属が使われている物を回路につないで調べる活動を通して学び、電気が通るときの回路について自分の考えを表現することができるようにする。

(2) 評価規準

イ 素材のどこどこにつながるか着目し、回路について自分の考えを表現している。【思・判・表】

(3) 展開

学習活動と児童の反応 (□)	教師の働きかけと形成的評価 (◆)
<p>1 事象提示を見て、学習問題をつかむ。(5分)</p> <div style="border: 1px dashed black; padding: 5px;"> <ul style="list-style-type: none"> ・アルミホイルは明かりが付いたけど、アルミ缶は明かりが付かない。 ・アルミホイルはピカピカしているけど、アルミ缶にはペンキがついているよ。 ・アルミ缶に電気を通すには、ピカピカの部分が関係あるんじゃないかな。 </div>	<p>1-(1) アルミ箔を回路につないだ回路とアルミ缶の表面に導線をつないだ回路を提示し、金属のアルミが電気を通さないことに疑問を向ける。</p> <p>1-(2) アルミ缶の識別表示を児童に見せた上で、事象提示を行い、アルミ箔とアルミ缶の違いを考えることを伝え、塗装に児童の意識が向くようにする。</p>
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 0 auto; width: 80%;"> <p>どこどこをつなげば、電気を通すことができるだろうか。</p> </div>	
<p>2 学習問題への予想を立てる。(5分)</p> <div style="border: 1px dashed black; padding: 5px;"> <ul style="list-style-type: none"> ・色が付いている部分が電気を通りにくくしているのかな。 ・プルタブと缶の底は、ピカピカしているから、2つをつないだら電気が通りそう。 ・表面をけずって、導線を2つつなぐと電気が通りそう。 ・けずった部分と底をつなぐとどうなるかな。 </div>	<p>2-(1) 1人1つずつアルミ箔と空き缶を比較することで、金属光沢などの質感に注目できるようにする。</p> <p>2-(2) つなぐ部分が明確になるよう、空き缶に2つ印を入れるよう促す。</p> <p>2-(3) 塗装が原因であるという根拠を持つことができるように、「塗装をはぐ」という考えを引き出す。</p>
<p>3 実験を行い、結果を記録する。(20分)</p> <p>[用意する実験道具]</p> <p>回路、紙やすり、空き缶(アルミ、スチール)</p> <div style="border: 1px dashed black; padding: 5px;"> <ul style="list-style-type: none"> ・表面をけずって導線を2つつなぐと豆電球に明かりが付いた。 ・プルタブと底につないでも明かりが付かない。どちらもけずってみるとどうなるかな。 ・けずった部分とけずった部分を導線でつなぐと、明かりが付いた。 </div>	<p>3-(1) 偶然そうなったという要素を排除するために、実験は複数回繰り返して結果とすることを確認する。(再現性の確保)</p> <p>3-(2) 塗装された中のアルミニウムは電気を通すことに気付くことができるように、つなぐ箇所の塗装をはいだり導線をつなぐ箇所を変えたりしてよいことを伝える。</p>
<div style="display: flex; justify-content: space-around;">   </div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 5px;"> <p>◆塗装をはいだ箇所に導線をつなぐと電気が通ることを記述しているか。(ワークシート)【思考・判断・表現】 Bどこどこにつながると電気を通すかを記述している。 →「つなぐ箇所」「塗装をはぐ」の2つを再度確認する。</p> </div> <p>3-(3) 明かりが付かないつなぎ方も記録して、電気が通る回路のイメージを深められるようにする。</p>
<p>4 全体で結果を交流する。(10分)</p> <div style="border: 1px dashed black; padding: 5px;"> <ul style="list-style-type: none"> ・塗装をはいだら、みんな明かりが付いた。 </div>	<p>4 電気を通す・通さないつなぎ方が比較できるように、実験結果を共有できるような表に整理する。</p>
<p>5 塗装をはぐと電気が通ることを、イメージ図と言葉で表現する。(5分)</p> <div style="border: 1px dashed black; padding: 5px;"> <ul style="list-style-type: none"> ・電気が乾電池から出てくるけど、ペンキのところから先には進めない。だから、金属でできたものでも、表面に何かがぬってあると電気を通さなくなる。 </div>	<p>5-(1) 導線を太くした図を準備することで、塗装が無くなると電気が通ることをイメージできるようにする。</p> <p>5-(2) 図の塗装部分で、吹き出しの中に電気が言っていることを書くことを提案し、本時の学びをスイッチの仕組みにつながるようにする。</p>
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 0 auto; width: 80%;"> <p>塗装をはいだ金属の部分に導線をつなげば、電気を通すことができる。</p> </div>	