

「科学的に探究する力」を育てる中学校理科指導の在り方（第一年次）

－論理的な思考に基づいて判断する活動を通して－

長期研究員 安部 賢

《研究の要旨》

本研究は、中学校理科において、論理的な思考に基づいて判断する活動を通して「科学的に探究する力」を高めることを目指した。論理的な思考に基づいて判断するための手立てとして、生徒の思考の流れがつながる自作のチャートを活用したり、生徒と共に共有したルーブリックを用いて考察の相互評価を行ったりした。これらの手立てを講じたことで、「科学的に探究する力」が高まった。

I 研究の趣旨

中学校学習指導要領解説理科編（以下、指導要領）の教科の目標に、科学的に探究する力の育成が示されている。その力を育成するための配慮事項として、見通しをもって観察、実験を行うこと、得られたデータを分析して解釈し適切な判断を行う経験をさせることの2点が明記されている。その判断に当たっては、科学的な根拠を踏まえ、論理的な思考に基づいて行うことが必要であると述べられている。

しかし、令和4年度全国学力・学習状況調査中学校理科における本県の結果は、データを分析して解釈する設問で、8問中6問が全国平均を下回った。その中で、最も正答率が下回った問題は、複数のデータを関連付けながら分析して解釈する問題であり、全国平均より3.3ポイント下回った。このことから、一つの実験データだけでなく、複数の実験データを関係付け、分析して解釈していく授業を行う必要があると言える。

私自身のこれまでの授業を振り返ると、観察、実験の目的を明確にし、生徒に見通しをもたせる機会が少なかった。また、分析して解釈する場面においては、得られた複数のデータを関係付けるための手立てや、科学的な根拠を踏まえ、論理的な思考に基づいて判断するための手立てを講じていなかった。

そこで、本研究では、「科学的に探究する力」を「見通しをもって観察、実験を行い、科学的な根拠^{※1}を踏まえながら分析して解釈する力」と定義し、その力を高めていくことを目指す。そのための手立てとして、「科学的な根拠を踏まえ、筋道を立てる考え方」（以下、論理的な思考）に基づいて判断する活動を、指導要領に例示されている探究の過程に取り入れていく（図1）。具体的には、考察・推論する場面に取り入れ、適切に分析して解釈できるようにする。さらに、観察、実験への見通しをもたせる場面（仮説の設定、検証計画の立案）にも取り入れていく。そうすることで、より目的をもって観察、実験

を行うことができるようにし、得られたデータをどのように分析して解釈すればよいのか明確にしていく。

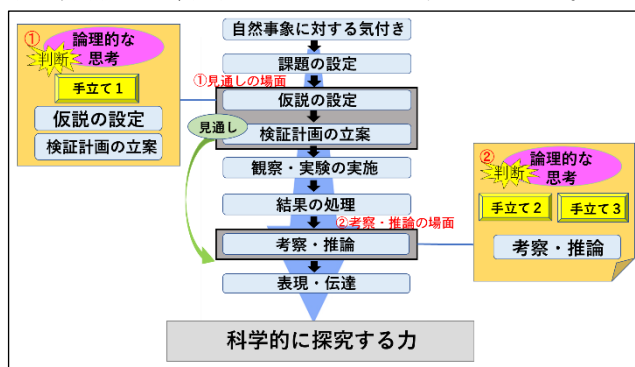


図1 研究構想図

※1 本研究では、仮説を設定するための根拠、検証計画を立てるための根拠、複数の実験結果を関係付けた根拠、を科学的な根拠とする。

II 研究の概要

1 研究仮説

中学校理科の授業において、生徒が論理的な思考に基づいて判断できるように以下の手立てを講じれば、「科学的に探究する力」が高まるだろう。

【手立て1】科学的な根拠を明確にし、実験への見通しをもつ工夫

- ① 論理的な思考を促すロジカルチャートの活用
- ② 対話による検証計画の検討・改善と、見通しをもつための実験結果の予想

【手立て2】複数の実験結果を関係付け、科学的な根拠を導き出すための意見交換

【手立て3】論理的な思考を基に考察できていたかを確認するための相互評価

2 研究の内容

(1) 【手立て1】科学的な根拠を明確にし、実験への見通しをもつ工夫

- ① 論理的な思考を促すロジカルチャートの活用
仮説の設定、検証計画の立案の場面で、論理的な思考を促すためのツールとして、ロジカルチャートを活用す

る。ロジカルチャートの、仮説の設定と検証計画の立案の部分には、コネクトゾーンという科学的な根拠を記入できる欄を設ける。そうすることで、各個人の生活経験や既習事項を科学的な根拠にしながら、各個人が仮説の設定と検証計画の立案を行えるようにする。このように、生徒がロジカルチャートを活用することで、論理的な思考を基に判断して学習を進められるようにする（図2）。

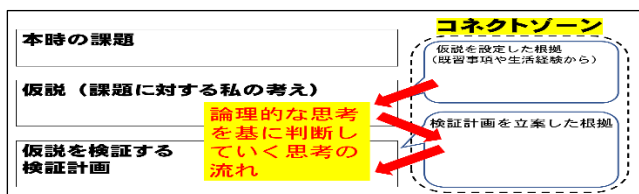


図2 ロジカルチャートのコネクトゾーンと思考の流れ

② 対話による検証計画の検討・改善と、見通しをもった実験結果の予想

検証計画の立案の場面では、【手立て1①】で各個人が考えた仮説と検証計画を基に、班でどのような実験を行うのか検討する時間を設ける。検討には対話を用い、班員それぞれの検証計画を基に検討できるようにする。また、生徒が筋道を立てて考えられるようにするために、仮説を検証する検証計画になっているかという視点を示す。生徒が、改善が必要だと判断した場合にはロジカルチャートへ追記させる。改善後には、仮説通りの場合の実験結果を予想させ、そこから何が言えるのかを事前に判断できるようにする。これらの活動を通して、生徒が見通しをもった状態で実験が実施できるようにする。

(2)【手立て2】複数の実験結果を関係付け、科学的な根拠を導き出すための意見交換

考察・推論の場面で、各班から得られた複数の実験結果を、生徒が関係付けられるようにする。その際、より多くの意見を参考にできるよう、班の中での意見交換を取り入れる。この活動を通して、生徒が複数の実験結果を関係付け、科学的な根拠を導き出せるようにする。

(3)【手立て3】論理的な思考を基に考察できていたかを確認するための相互評価

考察・推論の場面で、各自で作成した考察の相互評価を行う。相互評価をする際には、教師と生徒で共有したルーブリックを用い、生徒は、他者と考察を評価することで得られたアドバイスから自分の考察を改善する。この活動を通して、生徒が論理的な思考を基に考察できていたか確認できるようにする。

3 研究の実際

対象生徒 第2学年71名（2学級）
授業実践Ⅰ 「化学変化と物質の質量」（7時間）
授業実践Ⅱ 「電流の性質」（12時間）

本稿では、授業実践Ⅰ、授業実践Ⅱの中で行った二つの授業について述べる。

〈授業1〉「金属に化合する酸素には限界があるか」
〈授業2〉「つなぎ方で合成抵抗はどう変わるのか」

授業実践Ⅰの最初の授業で、分析して解釈することの大切さを共有するために、どのような考察がよりよい考察なのかを考えさせた。そして、よい考察は多くの人を納得させられるものであり、納得させるためには「仮説、実験方法、実験結果」、「考えた根拠」、「繰り返し実験した結果や、他の条件で行った実験との比較」、「解釈（結果から言えること）」が筋道を立ててつながっている必要があることを共有した。それを基にルーブリックを作成し、生徒の判断材料として活用しながら授業実践を進めていった（図3）。

A 評価	「仮説」と「事実（方法＋結果）」と「解釈（本時の課題に対する答え）」を記入している。 - 仮説の根拠、方法の根拠を記入している。 - 理科の見方・考え方（他者との比較、量的な関係、規則性など）に基づいた根拠を記入している。
B 評価	「仮説」と「事実（方法＋結果）」と「解釈（本時の課題に対する答え）」を記入している。 - 仮説の根拠、方法の根拠を記入している。
C 評価	「仮説」と「事実（方法＋結果）」と「解釈（本時の課題に対する答え）」を記入している。
D 評価	- 考察を記入していない。 「仮説」と「事実（方法＋結果）」を記入しているが、「解釈（本時の課題に対する答え）」を記入していない。

図3 生徒との共通認識から生まれたルーブリック
(1)【手立て1】①について

ここでは、〈授業1〉での実際を述べる。学習課題を導出するために、初めに教師が1.0gの銅の粉末を熱して酸化させる演示実験を行った。演示実験後、熱し続けたら質量は大きくなり続けるのかという問いを生徒に投げかけたところ、「無限に増加する」、「限界がある」という二つの意見が出た。そこで、「金属に化合する酸素の質量には、限界があるか」を学習課題とした。生徒はこの学習課題に対し、既習事項や生徒自身の生活経験を科学的な根拠にして仮説を考えた。その際、コネクトゾーンに科学的な根拠が書けずに悩む生徒がいたため、教師から、「日常で酸化の例がないか、反応に限界があるかどうかを実験で調べた経験がないかを話し合ってみよう」と助言した。すると、生徒は生活経験から、硬貨の錆は空気中の酸素が化合したものであると気付いたり、限界というキーワードと既習事項の飽和を結び付け、溶解度の内容を思い出したりした（図4）。

C1：（調べるのは）燃やせば燃やすほど、質量は大きくなる？ってことでしょ？
C2：それに限界があるか。
C1：あると思う。・・・だって何kgみたいになるわけじゃないじゃん。
C2：液体に物質を溶かした時があったよね、水に砂糖を溶かしたみたいに。それって溶けない時の量があったよね。多く入れすぎると溶けない時があったから、気体と金属も金属に化合しきれない質量の酸素があると思う。

図4 既習事項から仮説の根拠を見いだした場面

立案した仮説を見ると、溶解度に限界があったことを科学的な根拠とし、金属の場合も化合する酸素には限界

があると仮説を設定できるようになった（図5）。

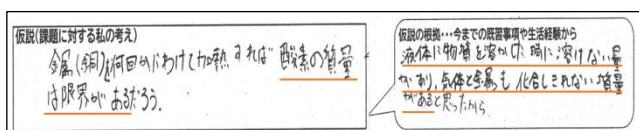


図5 科学的な根拠を基に設定した仮説

検証計画立案の場面では、生徒Aは最初に用いる銅を何gにするかについて、科学的な根拠がもてずにいた。教師が「どうして悩んでいるのか」と聞くと、「限界を調べるためには何gの銅を用いるのが適切なのか分からない」とのことだった。そこで、最初の演示実験を想起するよう助言した。すると、生徒Aは、「演示実験では銅の質量は1.0gだったが、これ以上増やすと形が盛り上がり、中まで火が通らないから正しい実験結果にならない」と考えた。その一方で生徒Bは、「変化量を調べるには、元の数字（最初の銅の質量）が大きい方が、変化が分かりやすいと思うから、質量を大きくする」と考えた。その考えを基に、生徒Aは、全てが酸化するように最初の銅の質量はなるべく小さくすると計画し、生徒Bは、変化が分かりやすいように最初の銅の質量はなるべく大きくすると計画した。このようなやり取りから、ロジカルチャートへ科学的な根拠を記載できるようになり、それを踏まえて検証計画を立案することができた。この姿は、ロジカルチャートを活用して、論理的な思考を基に判断しながら学習を進めることができた姿と読み取れる。

(2)【手立て1】②について

検証計画の検討・改善の実際については〈授業1〉での實際を述べる。【手立て1】①で、個人で立案した検証計画を基に、班でどのような実験を行うかを対話を通して検討した。個人の検証計画で、多くの生徒が、「限界があるのかを調べるためには、複数回の測定が必要である」と考えていた。しかし、最初に用いる銅の質量は、各自の根拠が違うため、数値を決定できずにいた。そこで、教師から「仮説が正しいか証明できる実験かという視点で考えてみよう」と提案した。すると、ある班では「最初の銅の質量が少ない時と、多い時の二つの実験結果を集めた方が、より仮説の証明につながるのでは」という対話が生まれた。その意見を教師が学級全体に紹介し、全体で検討したところ、「たくさんの班があるので、各班で最初の銅の質量を変え、学級全体でデータを集めていくほうがよいのでは」という意見にまとまった。このことから、最初の銅の質量は各班0.1gずつ変えて実験を行い、仮説を検証していくこととなった。このように、仮説が正しいか証明できる実験かという視点で対話したことが、検証計画に改善が必要かを判断することにつながった。

実験結果の予想については〈授業2〉での實際を述べる。ほとんどの生徒は、 10Ω と 30Ω の抵抗を直列につなぐと、合成抵抗は足して 40Ω になる。並列につなぐと枝分かれするので、合成抵抗は足してから2で割って 20Ω になると予想した。ある班では電源の電圧を1Vにして実験すると計画したため、抵抗を直列につなぐと測定値は25mA、並列につなぐと50mAになると予想した。この班が実際に実験すると、直列につないだ場合は予想通りの結果になったが、並列につないだ時の電流計の測定値は予想の2倍以上になった。仮説とは異なる結果になったため、測定値が正しいのか何度も測定し直していた。その後、オームの法則で計算を行ったところ、合成抵抗は約 7Ω となった。 10Ω と 30Ω をつないだ合成抵抗が、 10Ω よりも小さくなってしまふことに疑問をもち、計算後にも再び測定し直していた。このような、仮説とは異なる実験結果に疑問をもち測定を繰り返す姿は、見通しをもって実験を行う姿であると捉えることができる（図6）。

C1：予想は何だっけ？
C3：50mA。
（スイッチを入れて電流計の値を見る）
C2：150？いや130くらいか。
C1：並列強すぎないかー？
（何度か測定をし直すが測定値は変わらない）
C1：とりあえず140mAで計算してみよう。
C2：7Ωぐらいだね。
C1：10Ωと30Ωで7Ωになるっておかしくないか？
C3：電源の電圧が間違っていたとか？
（再度測定を始める）

図6 実験結果に疑問をもつ姿

(3)【手立て2】について

ここでは〈授業2〉での實際について述べる。考察・推論の場面で、生徒が他の班の実験結果と自分の班の実験結果を関係付ける際に、班員と意見交換できるようにした。すると、抵抗を並列につなぐと合成抵抗が 7Ω になるという結果に疑問を抱いていた生徒から、「他の班の結果も同じなので、自分たちの班の実験結果も信頼できる」という考えが出された。しかし、複数の実験結果を関係付ける考え方が、自分の班の結果と同じか違うかという点のみであったため、もう一度ループバックに注目してみるよう教師が助言した。すると、多くの班から、「合成抵抗の数値に量的な関係はあるのか、計算して求めるための規則性はあるのか」という考えが出された。その考えを基に、再度関係付けを行うことで、「直列につなぐと合成抵抗は足し算で求められる。並列につなぐと合成抵抗は各抵抗値よりも小さくなる」という規則を見いだした。その結果、約7割の生徒が、複数の実験結果を関係付けたものを考察に取り入れていた。授業実践前の生徒の考察には、複数の実験結果を関係付けた記載はなかった実態を考えると、生徒は意見交換を通して、複

数の実験結果を関係付け、科学的な根拠を導き出すことができたと考えられる。

(4)【手立て3】について

ここでは〈授業1〉での実際について述べる。考察・推論の場面では、図3に示したループリックを使って生徒同士が相互評価をした。相互評価の前に教師から、「授業実践の最初に全体で共有したループリックを活用して、友達を納得させられるような考察にしていこう」と話をした。すると、相互評価の中で、「仮説とその根拠が書いてあった方がより納得できる」、「学習課題に対し、実験結果からどんなことが言えるのか、明確に書いた方がいい」とアドバイスする記述が見られた（図7）。

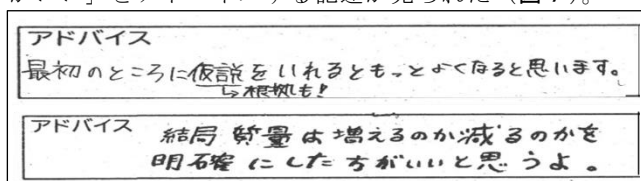


図7 相互評価のアドバイス

その後、得られたアドバイスを基に、再度自分の考察を改善する時間を設けた。生徒は、コネクトゾーンの根拠を見返したり、実験結果から何が言えるのか、学習課題と照らし合わせて考え直したりしていた。このような姿は、根拠を踏まえながら筋道を立てて考える姿である。つまり、相互評価をすることが、論理的な思考を基に考察できていたか確認する姿につながったと推察できる。

Ⅲ 研究のまとめ

1 「科学的に探究する力」の高まりの検証と分析

(1) ロジカルチャートによる、論理的な思考に基づいて判断する力の検証と分析

論理的な思考に基づく判断ができていたか検証するために、ロジカルチャートの記述を点数化した。本研究の手立てに即し、点数化には「科学的な根拠を基に仮説の設定と検証計画の立案を行っている」、「検証計画が仮説の検証になっている」、「予想される結果を記入している」、「複数の実験結果を関係付けている」、「相互評価を基に考察を改善している」の五つの視点を用いた。各2点の計10点満点とし、〈授業1〉と〈授業2〉の平均点を比較した。すると、平均点が0.92点向上し、t検定においても、有意差($p < .05$)が認められた。授業実践を通して、生徒が論理的な思考に基づいて判断することができるようになってきたと考えられる。

(2) 「科学的に探究する力」の検証と分析

「科学的に探究する力」の定義にある、見通しをもって観察・実験を行う力の検証のために、令和4年度全国学力・学習状況調査を参考にした評価問題を作成し、実施

した。全5問の5点満点とし、授業実践前後の得点を比較したところ、〈授業1〉前の得点が2.0点、〈授業2〉後の得点が3.1点となり、向上したことが分かった。また、t検定においても有意差($p < .05$)が認められた。

同じく定義にある、科学的な根拠を踏まえながら分析して解釈する力を検証するために、生徒が授業で作成した考察を分析した。授業で用いたループリックを用いて評価し、人数を確認すると、〈授業1〉で評価B、Cだった生徒の評価が向上したことが分かり、t検定においても有意差($p < .05$)が認められた。しかし、評価C、Dの生徒の中には、明確な向上が見られない生徒もあり、全体では評価Aと評価Dが多い二極化が見られた（図8）。

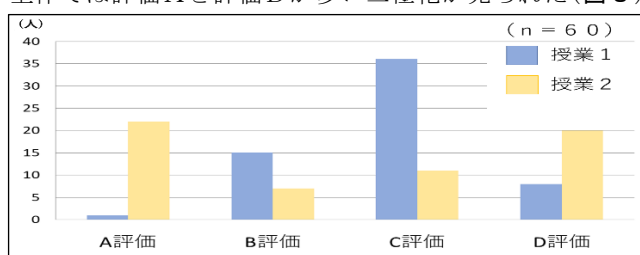


図8 考察する力の変容

評価問題の結果と考察のループリック評価の向上から、「科学的に探究する力」が高まったと考えられる。最後に、「論理的な思考に基づく判断」と「科学的に探究する力」との相関を確認すると、正の相関($r = 0.24$)※2が確認できた。以上のことから、論理的な思考に基づいて判断することは、科学的に探究する力を高めることにつながると考えられる。

※2 相関係数の目安として、 $0.20 \leq r < 0.40$ ：弱い正の相関、 $0.40 \leq r < 0.70$ ：中程度の相関、 $0.70 \leq r < 1.00$ ：強い正の相関とした。

2 成果と課題

(1) 研究の成果

根拠を踏まえ、筋道を立てて考えることができるチャートを活用したり、探究の過程で対話や意見交換、相互評価を行ったりしたことで、論理的な思考に基づいて判断できるようになった。その結果、見通しをもって観察、実験を行い、科学的な根拠を踏まえながら分析して解釈できるようになり、「科学的に探究する力」が高まった。

(2) 今後の課題

授業の考察のループリック評価C、評価Dの生徒の一部は、実験結果と解釈の違いが明確になっておらず、実験結果の記載のみで考察を終えてしまっていた。そのため、〈授業2〉のループリック評価が二極化してしまった。また、評価Aの生徒については、複数の実験結果を関係付ける考え方が、結果が自分と同じか違うかという点のみであることが多かった。今後は、解釈を的確に表現できる手立てや、複数の実験結果を関係付けていく際に、様々な考え方を活用する手立てが必要である。