

思考を操作に依存させる

－児童に自己の思考の自覚を促すための仮説検証型理科問題解決学習の構成－

楠瀬弘哲¹⁾・国沢亜矢²⁾・中城 満³⁾・蒲生啓司³⁾

1) 高知大学大学院教職実践高度化専攻 ・ 2) 高知大学大学院総合人間自然科学研究科 ・
3) 高知大学教育学部

Substantiating an Individual's Thinking Through an Experimental Operation; A class composition of "hypothesis verification-oriented", and "problem-solving based", science learning to encourage in primary students awareness of their own thinking

KUSUNOSE Hiroaki¹⁾, KUNISAWA Aya²⁾, NAKAJO Mitsuru³⁾, GAMOH Keiji³⁾

1) *Professional School for Teacher Education, Graduate School of Integrated Arts and Sciences, Kochi University*, 2) *Graduate School of Integrated Arts and Sciences, Kochi University*, 3) *Faculty of Education, Kochi University*

Abstract: Our strategy for composing classes is based on conventionalism and the present practical methods to make primary students aware of their own thinking are as follows: They discuss the experimental method; they then consider the experimental operation; finally they look back on their own thinking based on the resulting experimental facts. The purpose of this research is to support primary students so that they can process complex facts and interpretations in problems solving-based science learning, leading to consideration and conclusion from the results of both experiments and observations. The intention is to develop practical methods to nurture primary students who are aware of their own thinking. In the present study, we focus on the effective method based on the hypothesis verification-oriented class composition by conventionalism as described in our previous report. In problems solving-based science learning, we examined the effectiveness of “the method to make thinking depend on an experimental operation” when primary students consider their experimental methods and attempted to develop a practical method for science learning instruction.

【キーワード】 仮説検証型授業構成，理科問題解決学習，規約主義，事実と解釈の区別，メタ認知能力

Keywords: Hypothesis verification-oriented class composition, Problems solving based-science learning, Conventionalism, Distinction between facts and interpretation, Meta-recognition competency

はじめに

理科の学習において児童が発表する意見には、観察された事実とそれに基づく思考・判断が区別されないことがよくある。とくに「予想を発表する場面」および「考察から結論に至る場面」では、問題解決学習での事実と解釈（思考・判断）の混在が顕著に見られる。加えて、授業展開において教師が事実と解釈の区別の重要性に明確に意識を向けてないと推測される状況も多々観察される。それは、授業時に教師が記録する黒板上の記録（板書）に顕著である。典型的な事例としては、「それは観察された事実かどうか」それとも「あなたの考えたことなのかどうか」を児童に確認しないまま、実験の結果として黒板に記録することなどを挙げることができる¹⁾。

はじめに、事実と解釈の区別に対する教師の無自覚が引き起こす理科問題解決学習上の混乱について、具体的な事例を挙げて整理しておく。

（１）事実と解釈の混在と混同

典型的な例として、結果の表現に見られる混乱がある。小学校第４学年「金属、水、空気と温度」の学習において「試験管の口に石鹼水の膜をはり、試験管を温めるとどうなるかを調べる」という実験が行われることがある。この実験の結果の記述において、児童は次のような表現をすることがある。

A：石鹼の膜が膨らんだ。

B：空気が膨らんだ。

石鹼の膜が膨らんだのは、観察された事実である。したがって実験結果の表現としては、「A：石鹼の膜が膨らんだ」が正しいと言える。これに対して、「B：空気が膨らんだ」という表現は、石鹼の膜が膨らんだことから観察者である児童の判断による解釈を表している。この表現は、解釈がなされているという意味で結果の表現としては飛躍しすぎている。とはいえ、もともとの課題が「空気の体積は温めるとどのように変化するか」を明らかにしようとするものであるから、最終的には必要な判断であり、解釈であるといえる。Aという事実からBという判断を導く過程が考察の過程ということになるのだが、このAとBの区別を意識的にできないままに学習を進める教師が児童の学習上の混乱を引き起こしてしまうのである。その結果、児童は事実と解釈を同次元においてしまう。国沢（2016）は、「規約主義に基づく授業展開と仮説検証的な授業構成」にこの問題を具体的に解消する可能性を見出している²⁾。

（２）予想、考察、結論の同一表現

予想、考察、結論の同一表現という混乱もしばしば見られる。次に、小学校第６学年「燃焼の仕組み」の学習での事例を示す。この時間のねらいは、「ものが燃える前と後の空気の違いを調べる」である。黒板に記録された記述は次のようになっている。

問題：ろうそくが燃えた後の集気びんの中の空気では、気体の体積の割合は、どのようにかわるのだろうか。

予想：・二酸化炭素が増えて酸素と窒素が減る。

・二酸化炭素、窒素が増え、酸素が減る。

・二酸化炭素が増え、酸素が減る。酸素がなくなる。

結果：酸素が約４％減った。

二酸化炭素が約３％増えた。

分かったこと：酸素が減って、二酸化炭素が増える。

まとめ：物が燃えるときは、酸素が減って二酸化炭素が増える。

この事例の「分かったこと」は考察に当たる。「まとめ」はいわゆる結論に当たる表現である。この事例では、予想、結果、分かったこと、まとめがほとんど同じ文言になっている。これも事実と解釈の区別に対する教師の無

自覚が引き起こした混乱の一つといえる。この混乱の大きな原因は課題設定にある。例えば、教科書 3) の課題は「ものが燃える前と後の空気には、どのような違いがあるだろうか」に対して、この授業者は、課題を「ろうそくが燃えた後の集気びんの中の空気では、気体の体積の割合は、どのようにかわるのだろうか」と設定した。この課題には「割合はどのように変わるか」という文言が含まれており、このことによって、実験方法が暗に示されるということが起きていると同時に、空気の組成が変わるということも暗示している。従って、それぞれの過程で記述される表現が似通ってくるという事態が誘発されるのである。さらに、課題（本事例では「問題」と記述）に対する予想即ち仮説と実験結果に対する予想が明確に区別されていないことにも起因する。この混乱は、児童に仮説を持たせるという意識が、課題設定の段階から教師にあれば解消できる可能性が大きい。

このように、事実と解釈の区別に対して無自覚な教師が引き起こす、児童の問題解決学習上の混乱は実は教師の混乱である。本来、教師が事実と解釈の区別を自覚して指導に臨めば、このような混乱は解消できるはずである。

1. 本研究の目的

本研究の目的は、理科の問題解決学習において、実験や観察の結果から考察・結論に至る過程で、児童が事実と解釈の混在を整理できるように支援し、自己の思考を自覚する児童を育成するための具体的手法を開発することである。児童が教師の支援を受けながら実験方法を考える場面では、国沢ら（2016）は、小学校 4 年生児童を対象に「ものの温度と体積」の授業実践を例に、教師自身が個別と普遍の区別を自覚することにより、「児童が理科の学習において帰納的に見出してきた普遍的な結論を、他の個別的な学習の中で演繹的に活用することで、児童は自分自身の理解の状況を自ら仮説検証的に検証し、この検証において理解の深まりを実感することができる」ことを報告している。これをより効果的にするためには、「判断の仕方を約束する」といった規約主義的な授業展開による仮説検証的な授業構成が効果的であることも合わせて報告されている。

本研究では、特に先の報告の中の「規約主義的な授業展開による仮説検証的な授業構成が効果的である」ことに焦点を当てる。具体的には、理科問題解決学習において、児童に実験方法を考えさせる場面での「思考を操作に依存させる」手法の有効性について検討し、理科学習指導における具体的手法の開発を試みるものである。

2. 研究の方法

（1）仮説検証型理科問題解決学習の構成

本研究での実践では、仮説検証型理科問題解決学習を 5 つの過程で構成した。

<課題把握から仮説設定の過程>

一般的な理科問題解決学習と同様に、本実践においても、まず課題を設定する。この課題設定は、児童の発見する問題による場合もあれば、必要に応じて教師が提示する場合もある。重要なのは、児童がいかに問題意識をもって課題を把握するかである。この段階での問題意識は、問題解決学習の第 1 段階である問題に対する予想、つまり仮説の設定が児童によってなされることで醸成される。このとき仮説は抽象的な解釈であり、この解釈は既存の知識に基づいていると区分できる。

<実験方法を考える過程①>

仮説が設定されると、仮説を検証するためにはどうすればよいかを考えさせる。即ち、実験方法を考える過程である。この過程では、既存の知識に基づく具体的な操作と、操作に基づく思考（解釈）が往還する。従って、この段階の思考は必然的に、児童に問題解決の見通しを持たせると同時に、先に設定した「仮説」が児童自らに具体的にになり明確になっていく過程と位置づけることができる。

<実験方法を考える過程②>

この過程は、規約主義的な問題解決場面として構成する 4)。児童は、仮説に従って考察場面での判断を児童間で

約束する。つまり、どのような結果になったら（どのような事実が観察されたら）どのように考えたらよいか、また別の結果（観察される事実）が出たらどのように判断（解釈）すればよいかを児童間で相談させるのである。もちろん、話し合いへの教師の介入も可能である。

＜実験結果の整理から考察の過程＞

実験結果を整理する場面では、児童は事実と解釈を区別して記録する。そして、先ほどの判断材料をもとに考察に臨む。このとき児童は、具体的な事実に基づいて抽象的思考を展開する。このときの思考は、自らが操作した実験の結果という「操作の結果」に依存しているために、児童は解釈を容易に行うことができる。ここに展開される考察の過程は、いわば、具体と抽象の往還の局面と言えるものである。このとき考察は「抽象を指向した具体」といった位置づけになる。

＜考察から結論の過程＞

自らが解釈した考察を、課題に照らして判断するとき、児童は結論を導出することが可能となる。具体と抽象の往還から得た「抽象を指向した具体」には、結論という抽象の世界へと判断を飛躍させることのできる可能性が見出せる。ここに科学概念が児童自らの問題解決の成果として獲得されるのである。

これら5つのそれぞれの過程での指導を、児童が仮説を明確にしていく過程として関連させる授業構成、即ち仮説検証型理科問題解決学習による授業構成が、具体と抽象を往還させる局面において重要な役割を果たすのである。本研究において用いた手法「思考を操作に依存させる」は、いわば仮説検証のための実験方法について児童と話し合う過程で、実験に対する児童の理解や見通しを確かなものにしていく手法である。以下に、「思考を操作に依存させる」手法に基づく仮説検証型理科問題解決学習の実際を述べる。

（２）思考を操作に依存させる

本研究では、「思考を操作に依存させる」手法に基づき、実験方法を考える場面を丁寧に構成する。これまでの問題解決型の理科の授業でも、児童に実験方法を考えさせることはあったが、それほど多く実践されているとはいえない。その要因の一つは指導に時間がかかるという事情がある。また、児童に実験方法を考えさせるという思考・表現そのものが児童にとって難しいことに加え、児童の考えた実験方法が多岐に渡った場合の個々の実験方法への対応が煩雑になるという指導上の問題が挙げられる。

しかし、児童が問題を解決するための実験方法を考えるという活動は、問題解決のための仮説を設定していく過程として位置づけることにより、児童に自己の思考を自覚させる上でも重要な局面となる。また、近年重要視されている問題解決の見通しをもつことに直接的に関連する活動としても有効性を発揮するものである。

思考を操作に依存させる過程については、以下の手順に従い実践した。

① 実験方法を話し合う

課題が把握され、仮説が設定されると、教師の指導の下に、児童らが協同の話し合い活動を通して、自ら実験方法を工夫・理解できるようにする。実験方法を児童と話し合いながら考えさせる過程は、仮説設定の局面となる。実験方法を考えることで、児童は必然的に自らの思考を実験における操作に依存させるのである。

② 実験方法を仮説と連動させる

実験方法について話し合う過程は、本時の問題解決における仮説が鮮明に意識されていく過程として位置づく。実験方法を話し合うことで、児童は実験の意味を理解することができる。さらに児童は、この過程を通して、仮説を具体的にイメージできるようになる。

実験方法を児童が考えるといっても、一から十まで児童に考えさせるという意味ではない。あくまで、児童といっしょに、教師の指導を介入させながら児童が課題を解決するための実験の方法について話し合うことで、児童の問題解決に対するイメージが具体的にすることが期待できる。一人ひとりの児童が、話し合いに参加し、自ら思考・判断する過程を通して、実験の意味を理解するのである。この理解は、児童の問題解決の見通しにつながるものである。

③ 問題解決学習における見通し

実験方法を考える過程で、より効果的な実験の方法や手順について、児童に指導するようにした。重要なのは、その方法や手順を児童が理解する過程である。児童は、実験方法を結果の予測と関連させて理解する。つまり、「どのようにすればどのような結果になると考えられるか」について、実験における操作を考えると同時に実験の結果を考えることになるのである。その結果「こうすれば、こうなるはずだ」という思考材料のもとに「こうなれば、こう考えればいい」という考察に対する判断が比較的容易に行えるようになる。この判断を「仮説」と「予想」として明確に区別して位置づけた上で連動させることで、児童に自己の思考の意識化を促すことが可能となるのである。

このとき、児童にとって「実験や観察の方法及び結果の推測が容易である」ということも「思考を操作に依存させる」ときの重要な要素となる。実験方法や観察方法をより簡便で、操作も単純なものにすることが効果的である。この意味においても、指導という形での児童の話し合いへの教師の介入は必要かつ有効であると言える。

3. 結果

思考を操作に依存させる手法に基づく仮説検証型理科問題解決学習の構成について、小学校第5学年「流れる水のはたらき」における指導の実際を通して述べる。

授業実践については以下のように実施した。

実施時期 2015年11月中旬 実施対象 高知県内の公立小学校第5学年 実施単元 「流れる水のはたらき」 授業実践の概要

本授業は、「流れる水には、土地を侵食したり、石や土などを運搬したり堆積させたりするはたらきがあること」を理解した上で、「雨の降り方によって、流れる水の速さや水の量が変わり、増水により土地の様子が大きく変化する可能性があること」を理解するために構成した1時間である。

課題は、「流れる水には、どのようなはたらきがあるだろうか。また、水の量が増えると、流れる水のはたらきはどうなるだろうか」と設定した。

今回、児童との話し合いの中で、提示した実験方法は「川底を平らにして、流水実験器のプラスチックの底が見えるようにしておく」というものである（図1）。こうすることで、実験結果が観察しやすくなる。結果が鮮明に出るということは、有る意味、考えた通りになるということである。さらに、考えたことが再現され、事実が鮮明になることで、事実と解釈の区別に対する自覚化が促されるのである。さらに、川底をむき出しにすることで、再現が容易にできる、つまり同様の実験が繰り返し実施できるという利点がこのモデル実験にはある。

本研究の焦点は、「流す水の量によって流れる水のはたらきがどのように変化するのか」である。これについて調べるために、本実践の実験については、次のように実施した。以下に、流れる水のはたらきを調べるための実験方法の概要を示す。

- ① 流水実験器に土砂を入れ、水を流す溝を作る。どのような溝にするか、水をどれくらい流すかについては児童と相談しながら一緒に考える。
- ② 流水実験器の溝の周りの土砂の壁がどのようなになるか考える。
- ③ 土砂が崩れたり削られたりすると考えられる箇所をマークする。このときは、小さな旗を立てるようにした。
- ④ さらに土砂が流れていく（運ばれる）と思われる箇所及び土砂がたまる（積もる）と予測される箇所も同様に予測させる。



図1 流水実験器

次に、実験方法について話し合う際の児童とのやり取りを示す。流水実験器を使って流水実験を行うことを提案する場面でのやり取りである。

T1：じゃあ、ちょっと実際にね、川を作ってみて…

C1：えっ、作るが？

T2：作ってみて、ほんとうにこういうふうに流れていくか見ような？

複数：はい、見てみたいです。

（ここで流水実験器を提示）

C2：おおー！

C3：何それ、金魚すくいの箱みたい。

（児童に、流水実験器が見える位置まで来るように促す）

T3：これ（流水実験器）で、川のようなものが再現できると思う？

C4：思う。

T4：ちょっと待てよ。先生がちょっと川っぽいもの描くな。

C5：ええ、川じゃないき。

T6：いいの。いい？水が流れているでしょ？どうしたときに増水するわけ？

C6：水が流れている。

T7：水が流れているとき。じゃあ、どんなときに流れているの？

C7：上からなんか…

T8：そうだろ？大雨がふったときにな。よし、ちょっとどいて。大雨降るからどいて。

C8：じょうろ。

T9：大雨が降ったときに川ができる？

C9：できん。

T10：どうなるか想像できる人手を挙げて。

C10：はい。ざあ。

T11：ざあと、流れる。

実際の授業において、実験方法について話し合う過程では、結果を予測しながら話し合いが進んだ。この局面では、最終的には、結果を受けてどのように解釈するか、つまり考察するか、という判断材料が形成されることになる。いわば、問題解決の見通しを持った仮説が形成されるのである。以下に、実験方法を児童が考えること、つまり、仮説設定を児童自身の思考に基づいて行う手立てについて述べる。

（１）実験結果の予想と仮説の明確化

まず、課題として「流れる水の量が流れる水の働きにどのように係るのか」を確認する。その上で「流れる水の量を増やすと、その働きは大きくなるのではないか」という予測のもとに「流す水の量を増やして結果を観察する」ことで問題の解決が図られることを確認する。つまり、課題が設定され、その課題解決のための仮説が設定され、その仮説検証のための実験を行うという、いわば典型的な仮説検証型の理科問題解決学習の授業である。

この授業においては、「どのようにすればどのようにになるか」の予測のもとに仮説を設定した。具体的には、「流す水の量を多くすると、より多くの土砂が削られたり、運ばれたり、積もったりするだろう」という仮説である。この仮説は、実験方法に依存した仮説と区分できる。実験方法と実験の目的、つまり「何をどう操作することが、何を明らかにするためなのか」ということが児童に明確になっているので、問題解決の見通しが持てるのである。問題解決学習における「実験方法を考える」活動は、児童の仮説に対する理解を具体化し、問題解決の見通しをもたせるということにつながるのである。

このことは、抽象的な思考を具体的な操作に置き換えることによって可能になる。いわば、思考を抽象的なものから具体的なものに導くのである。こういった実践は、帰納法的な授業の構成で、これまでも試みられてきた。本実践がこれまでの実践と異なるのは、この帰納法的な展開がそこにとどまらず、演繹的展開へとリンクしていくことで、自覚的に事実と解釈を区別することが可能となるという点においてである。ここに、児童の概念形成上の混乱を解消できる可能性を見出すことができる。思考を操作に依存させる手法は、抽象から具体へと導いた思考を、もう一度抽象へと飛躍させるための判断材料を与えるという役割を担うのである。

（２）事象提示の工夫

流水実験器に実験の準備が完了したとき、次のようなやり取りがあった。

教師：じゃあ、席に戻ってください。実験は先生が見ますから。

児童：えっ。

教師：みなさんは、何が起きているか考えていてください。きっと今こうなっているだろうと思うことを、想像しててください。結果は後で観察してもらいますから。



図２ 実験の様子

このやり取りは、児童に結果が出るまでの過程を推測させるためのものである。児童は実験で起きている結果（事実）を見ていない。従って、そのとき児童の頭の中にあるのは考えていること（推測）である。このようにして、児童の思考を目に見える事実から切り離すことで、児童の思考を事実の解釈にのみ向けることができる。ただし、ここでの思考は本来の意味での解釈ではなく推測というべきである。ただし、推測であってもその推測は「仮説」に基づいているため、事実を観察した後に「解釈」に変容させることが容易になる。それは、実験方法を教師や他の児童とやり取りしながら考えたからこそできる思考の変容である。実際の経過については、この話し合いの後、実験を再現して観察させた（図２）。そうすることで、さらに解釈が正しかったことが児童において印象付けられた。

４．考察と今後の課題

本実践では、通常の理科問題解決学習同様、課題は抽象的な表現で設定した。従って、課題に対する見通しである仮説は抽象的な解釈として記述される。この解釈は既存の知識に基づいていると区分できる。次に、この課題を解決するためには、どうすればよいかを考える。この過程が実験方法を考える過程であり、思考を操作に依存させる過程である。この局面は、既存の知識に基づく具体的な操作と、操作に基づく思考（解釈）が往還する。従って、この過程での思考は児童にとって問題解決の見通しになると同時に、問題解決のための「仮説」が児童自身に明確になっていく過程と位置づけることができる。

児童が課題に対して持つ予想は、抽象的表現になる。一方、児童が実験結果に対して持つ予想は、ある意味作業仮説であり具体的表現になる。考察から結論を導出する局面では、具体的事実を通した理解から抽象的思考による理解へと飛躍し、科学的概念が形成される。それは、自らが立てた仮説を検証するための実験方法を児童が理解し、実験方法及び実験の結果に対する予想を問題解決の見通しとして自覚することによって可能になるのである。それはとりもなおさず「思考を操作に依存させる」手法の成果であり、本手法は、児童が自己の思考を自覚することにおいて大きく貢献するといえる。

私たちは多くの場合、児童の思考を主に既存の知識に依存させてきた。実験や観察を通して児童が得た事実（知

識) から、帰納的に推測・判断させて抽象的思考を形成させようと努めてきたのである。その根底には、帰納的な手法を用いて得た結果から、抽象的な理解を形成できるとの考えがある。しかし、そこにはある種の壁があることに対する教師の無自覚があるといえる。帰納的な理解はいわば「既有の知識に依存する思考」である。実験方法を理解し、結果に基づいて仮説検証的に思考・判断させる試みは、演繹的な理解を促すことに他ならない。このとき思考は操作に基づいて展開される。操作に依存する思考を通して獲得した解釈は、具体的でありながら抽象的思考を指向した判断である。したがって結論の導出という問題解決の最終段階にある文化依存的要素 5) による概念上の混乱を解消できる可能性が見出されるのである。

教師は、既有の知識に依存する思考と実験操作に依存する思考の区別を自覚することができる。教師が意図的に児童の思考を操作に依存させることで、児童において仮説設定を容易にすることが可能となる。このことはこれまで行われてきたというかもしれない。しかし、それは帰納的な理解を促すための操作である。そのため、普遍的な科学概念を構築するための操作とは位置づけられないのである。

教師には、帰納的な手法による個別の理解と普遍的な理解とが区別されるべきことへの自覚が必要である。帰納的な理解を通して、演繹的な理解へと飛躍するための手法の一つとして「思考を操作に依存させる」ということが考えられる。この手法により、考察という局面における抽象的思考の展開が児童自身によって可能になり、文化依存的要素による概念形成上の混乱を解消する可能性を見出すことができるようになるのである。

操作に依存する思考に基づいて仮説検証的な問題解決学習を構成する試みは、児童の発表に見られる事実と思考の混在を解消し、児童が仮説を設定し検証していく過程を容易にする具体的な試みといえる。これに係る成果として、例えば棟田(2018)が本手法を用いた仮説検証型理科授業実践 6) において、児童に実験の意味を明確に意識づけることが可能となり、学習の見通しを持つための有効な支援となったことを報告している。今後は、教師自身に事実と解釈の区別の自覚を促すことを支援するためのさらなる具体的手法の開発を目指す。

参考文献

- 1) 楠瀬弘哲, 国沢亜矢, 中城満, 蒲生啓司, 川崎謙 (2016), 自己の思考を自覚する児童を育成するための具体的手法の開発 - II - 操作に依存する思考に基づいた仮説検証的な問題解決学習の構成 -, 日本理科教育学会四国支部会報第 4 号 (香川大会), p. 47 - 48
- 2) たのしい理科 5 年 (大日本図書, 2015), p. 94
- 3) 国沢亜矢, 楠瀬弘哲, 中城満, 蒲生啓司, 川崎謙 (2016), 自己の思考を自覚する児童を育成するための具体的手法の開発, 日本科学教育学会年会論文要旨集, 40, p. 299 - 300
- 4) 楠瀬弘哲, 中城満, 北村真一, 国沢亜矢, 若林章, 松下恵美子, 川崎謙 (2003), 「規約主義に基づく小学校理科授業実践 - II - - 友だちの考えを探る」から協同的問題解決による「規約」の成立へ -, 日本科学教育学会年会論文集 27, p. 431-432
- 5) 楠瀬弘哲, 中城満, 北村真一, 国沢亜矢, 川崎謙 (2002), 規約主義に基づく小学校理科授業実践, 日本科学教育学会年会論文集 26, p. 373-374
- 6) 棟田一章 (2018) 「理科の見方・考え方」を働かせることで学習の見通しをもつー実験方法を話し合う場面を局面とした授業実践ー, 理科の教育, 6, p. 020-022

本研究は、JSPS 科研費 (課題番号 17H01981) の助成を受けたものである。