

小学校理科において実験計画を立案させる指導方法

—— 実験前後の測定の必要性を考えさせる効果 ——

栗原 淳¹⁾・青木 利憲²⁾・栗原 頌太³⁾・益田 裕充¹⁾

1) 群馬大学教育学部理科教育教室

2) 館林市立第十小学校

3) 邑楽町立長柄小学校

(2019年9月25日受理)

Teaching Method to Let Learners Plan Experiments in Elementary School Science

—— The Effect of Instruction to Make Students Think that the Need to Measure the Dependent Variable Before and After the Experiment ——

Jun-ichi KURIHARA¹⁾, Toshinori AOKI²⁾, Shota KURIBARA³⁾ and Hiromitsu MASUDA

1) Department of Science Education, Faculty of Education, Gunma University

Maebashi, Gunma 371-8510, Japan

2) Dai-ju Elementary School

Tatebayashi, Gunma, 374-0042, Japan

3) Nagae Elementary School

Oura, Gunma, 370-0615, Japan

(Accepted on September 25th, 2019)

1. 問題の所在

平成27年度と平成30年度に行われた全国学力学習状況調査(小学校)において、それぞれ「予想が一致した場合に得られる結果を見通して実験を構想すること」、「予想が確かめられる場合に得られる結果を見通して実験を構想すること」に課題があることが指摘され(文部科学省・国立教育政策研究所, 2015a; 文部科学省・国立教育政策研究所, 2018a)、実験を計画する力に課題があることが明らかとなった。この結果を受け、授業の改善・充実を図る際の参考となるよう、学校や教育委員会などに「授業アイデア例」が配布されている。その中でこの課題の解決に向けて示されている例は、理科授業におけ

る「児童同士で実験計画を検討する場面」、「計画の内容を発表する活動」、「見通しを話し合う活動」を設定することの重要性を示すもので(文部科学省・国立教育政策研究所, 2015b; 文部科学省・国立教育政策研究所, 2018b)、児童が実験を計画することができるようになる具体的な指導方法は示されていない現状にある。一方で、平成29年に公示された小学校学習指導要領解説理科編において、第5学年の目標に「解決の方法を発想する力を養う」ことが示されている(文部科学省, 2018)。以上のことから、実験を計画する力を育成する具体的な指導方法の開発が求められているといえる。

一般的に、理科学習において実験を計画する場面では、仮説を検証するために条件を整理・制御した実

験の操作を思考し決定する。その際、なぜその操作を行うことが求められるのかというメタ知識が必要であるとともに (Kuhn, D., Black, J., Keselman, A., & Kaplan, D., 2000)、不適切な実験であることを指摘できる認知的な理解が求められる (Schwichow, M., Christoph, S., Boone, W.J., & Hartig, H., 2016)。

また、理科授業で行われる実験は、対照実験を設定する実験と主実験のみを設定する実験の大きく二つに大別される (図 1)。この両者において従属変数の値を測定する場面は実験の前後にあるが、それぞれの前半の測定の目的・意味は大きく異なる。安部・松本・松本 (2019) が整理している通り、対照実験を設定する実験においては主実験と対照実験の等質性を調べておくという目的・意味があり、主実験のみを設定する実験においては実験後の測定結果との比較からその変化を調べられるようにしておくという目的・意味がある。特に小学校理科の実験で前半の測定を行う実験は対照実験を設定しないものがほとんどであることが示されている (安部ら, 2019)。このような実験を計画する場面の指導方法について検討した先行研究はほとんどないことから、安部ら (2019) は、小学校第 6 学年の児童を対象に異なる三つの指導方法による実践の分析を行い、そのうち「実験班で実験の計画を話し合わせた後に教師がそれを補完する教示を行う」指導方法が有効であることを明らかにしている。この指導のポイントは、実験計画を立て始めてから、班での話し合いの中で

実験前の測定の必要性に気づかせ、それを班からクラス全体へと拡げていき、最終的に教師が実験の前後の測定結果を比較することの重要性を補完・教示するものである。児童が主体的に学び合う学習活動と教師の教示をバランスよく取り入れ、効果の高い指導方法である点で非常に重要な指摘である。しかし、この指導は、実験前後の測定の必要性をすでに理解している児童の存在に依存すると考えられる。したがって、実験前後の測定が必要であることの理解を事前に図っておくとその指導の効果はさらに高くなる。また、今後、第 5 学年において解決の方法を発想する力を養う指導を行う上で、実験前後の測定の必要性に関するメタ知識をどの場面でいかに獲得させるべきかを検討する必要があると考える。

2. 研究の目的

本研究では、実験計画を立てる初発の段階で児童に実験前後の測定の必要性を考えさせ、その整理に基づいて実験の計画を記述させる指導の効果を明らかにし、「主実験のみで実験前後の測定の比較を行う実験」を計画する力を育成する具体的な指導方法の考案に向けての示唆を得ることを目的とした。

3. 研究の方法

3.1 調査対象及び調査時期

群馬県内公立小学校の第 5 学年 2 学級 66 名 (実験群 1 学級 33 名、統制群 1 学級 33 名) を対象とし、検証授業を 2018 年 4 月に実施した。検証授業は、単元「植物の発芽・成長・結実」の A (ア)「植物は、種子の中の養分を基にして発芽すること」に関する学習の実験計画立案場面に設定した。各学級で行った授業は、同一の教員による指導とした。

3.2 本研究における指導と群の設定

本研究では、児童と教師とのやりとりを通して学級全体で児童一人一人の予想・仮説が設定できていることを前提とし、実験の計画を立てさせる場面の指導とした。

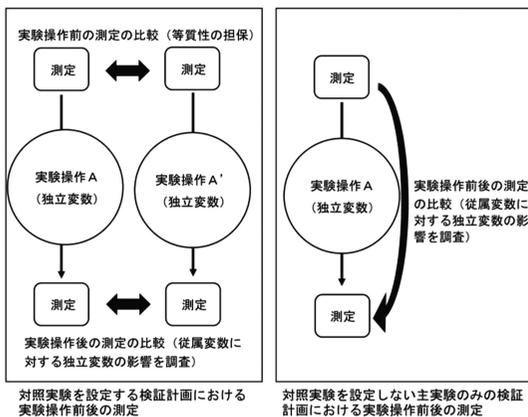


図 1 実験の形態と測定の意味の違い (安部ら, 2019 より引用)

指導は表1の通り、三つの指導過程からなる。過程1では、実験計画を記述する前に実験前後の測定をする必要性を考えさせる。過程2では、過程1での思考に基づいて個人で実験を計画する。過程3では、記述した計画で本当に予想・仮説を確かめることができるかどうかを教師が児童に問いかけた後に、必要があれば計画の修正をさせる。

対象である2学級のうち、一方の学級を、過程1の(a)、過程2、過程3の順で指導を行う群(実験群)とした。他方の学級を、過程1の(a')、過程2、過程3の順で指導を行う群(統制群)とした。

表1 指導過程と教師の働きかけ

指導過程	指導	教師の働きかけ
1	(a) ・ 予想・仮説を確かめるには「実験前後の従属変数の測定とその比較」が必要であることを気づかせ、発表させる。 ・ 児童一人一人に、「実験前後の測定とその比較」が必要であることを文で整理させる。	・ 「予想を確かめるにはどんな実験したら良いか」、「何と何を比べれば予想が確かめられるか」 ・ 「予想を確かめるには、何と何を比べれば良いか、ワークシートに書きましょう」
	(a') ・ 予想・仮説を確かめるには「実験前後の従属変数の測定とその比較」が必要であることを気づかせ、発表させる。	・ 「予想を確かめるにはどんな実験したら良いか」、「何と何を比べれば予想が確かめられるか」
2	・ 個人で実験の計画を立てさせる。	・ 「予想を確かめるための実験の計画をできるだけ詳しく考えて、ワークシートに書きましょう」
3	・ 実験計画の見直しをさせ、必要があれば計画の修正をさせる。	・ 「ワークシートに書いた計画で予想が確かめられるかよく見直して、修正するところがあったら修正しましょう」

3.3 授業の概要と実験群・統制群の指導の差

教師は、インゲンマメの種子と発芽して子葉が残っている苗の両方を提示し、児童とのやりとりを通して、問題「発芽して種子だった部分Aがしわしわになったのは、どうしてだろうか」を設定した。そして、児童とのやりとりを通して、問題に対する予想・仮説を「発芽すると種子の中のデンプンがなくなってしまうから、しわしわになる」、「発芽すると種子の中の水がなくなってしまうから、しわしわになる」に整理した。ここまでの指導と授業の流れは両群ともに同じであり、本研究の実験計画立案の指導前に仮説が設定され児童に共有されている状態にした。

次に、教師は指導過程1の働きかけを行い、児童の考えを発表させた。その後、教師はその発表を復唱し、実験群では、ワークシートに教師の働きかけと同様の問いかけが示されている部分(図2)に児童の考えを記述させた。統制群では、教師は指導過程1の働きかけを行い、児童の考えを発表させ、その発表を復唱するにとどめた。統制群では、図2のスペースを設けないワークシートを使用した。

続いて教師は、両群とも指導過程2の働きかけを行い、児童一人一人に予想・仮説を確かめるための実験を考えさせ、ワークシートの実験計画を記述するスペース(図3)に計画を記述させた。

児童一人一人の実験計画の記述がある程度完成したところで、両群とも、教師は指導過程3の働きかけを行い、実験の計画を修正させた。

以上が実験群と統制群の授業の概要である。両群の違いは、実験前後の測定を行う必要があることを一人一人がワークシートに記述したか否かである。

なお、実験を通してこの問題が解決された後、教師はAが「子葉」であることを教授した。

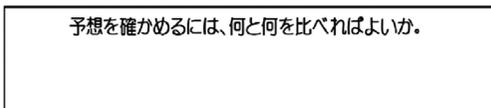


図2 実験の前後の比較を考えさせるスペース(ワークシート左下に配置)

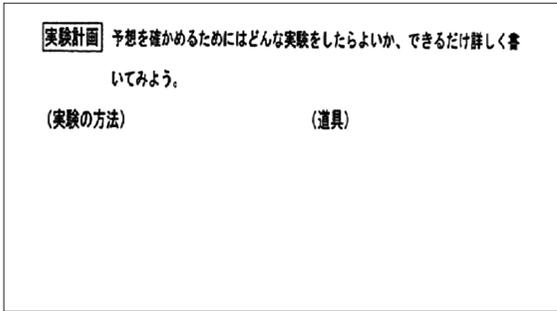


図3 実験計画を記述するスペース
(ワークシート右上に配置)

3.4 分析の方法

3.4.1 実験計画の記述

指導過程3で児童が見直しを行ったあとの実験計画の記述を、表2の評価基準により評価し集計した。

観点①を満足する記述は、従属変数であるデンプンや水分の有無（または、デンプン量や水分量）を測定する（調べる）ことに言及している記述である。また、観点②を満足する記述は、発芽前と発芽後の従属変数を測定する（調べる）ことに言及している記述である。観点①と観点②の両方の記述がある場合、実験の計画を立案できたものとして評価した。なお、デンプンの有無をどのようにして調べるか（ヨウ素液の使用）を発想できたか否かについては、教師が教示したため観点から除外した。

表2 実験計画の記述の評価基準

評価	観点①	観点②
	予想や仮説を踏まえた「測定する従属変数」に関する記述	「実験の前後の測定を行うこと」に関する記述
実験の計画を立案できた	有	有
実験の計画を立案できない	有	無
	無	有
	無	無

3.4.2 各過程における児童の様子

固定ビデオカメラを教室後方に設置し、教師の発話、板書、学級全体の児童の様子を記録した。また、

実験の計画を記述している児童を抽出し、手持ちのビデオカメラ1台で児童が記述する様子を記録した。そして、授業記録者2名が協議の上、映像記録から各過程における児童の活動の様子を判断した。

4. 結果とその分析

4.1 実験計画の記述

評価基準に基づいて、各群の指導過程3終了時における、実験の計画を立案できた児童と立案できなかった児童の人数と割合を求めた（表3）。

図4に、指導過程3終了時において実験の計画を立案できた児童の記述例を示す。記述に対する取り消し線は、児童が過程2で記述した計画を修正した部分である。

表3 各群における実験計画の記述

群	実験計画の立案	
	できた	できなかった
実験群	19 (58%)	14 (42%)
統制群	2 (6%)	31 (94%)

表3の2×2のクロス集計から、両群の立案できた児童数とできなかった児童数についてフィッシャーの直接確率計算（両側検定）を用いて検定したところ、有意であった（ $p = 0.0000, p < .01$ ）。本研究の実験群の指導は、実験計画を立案させることに有効であることが示された。

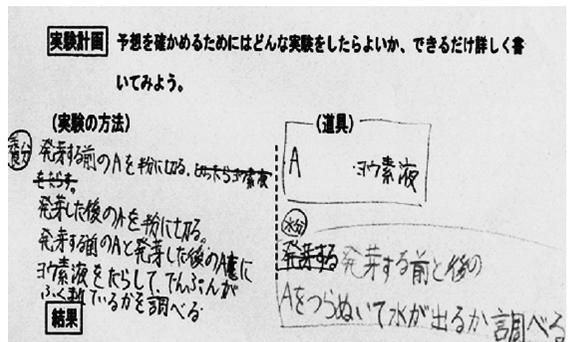


図4 実験の計画を立案できた児童の記述例

4.2 各過程における児童の様子

4.2.1 実験群

指導過程1では、教師の働きかけを受け「発芽前と発芽後」と発する児童が存在した。教師はその発言を復唱し、児童はワークシート（図2）に「発芽前と発芽後の種子の様子（従属変数の状況）を比べる」という内容（実験前後の比較の必要性）の記述を行った。

指導過程2では、児童は誰とも相談することなく実験の計画を記述した。5割ほどの児童が、実験計画を書き始める前にワークシート（図2）に記述した「実験前後の比較の必要性」を何度も確認しながら実験の計画を記述していった。その時の児童の様子を図5に示す。こうした動きを示した児童の中には、独り言で「そう、そう」と呟きながら、実験計画を記述する児童もいた。書き進めるにしたがって、「実験前後の比較の必要性」には立ち返らなくなっていったことがうかがえた。3割ほどの児童は、特に「実験前後の比較の必要性」を何度も確認する様子は見られず、スラスラと計画を書いていた。2割ほどの児童は、なかなか計画を書き進めることができなかった。

指導過程3では、ワークシート（図2）に記述した「実験前後の比較の必要性」を見直す児童が存在した。数名の児童が計画に修正を加えている様子が確認できた。

4.2.2 統制群

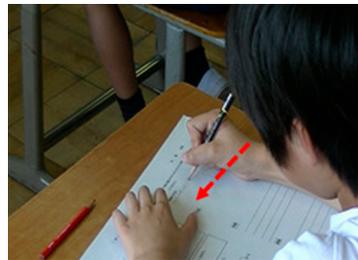
指導過程1では、教師の働きかけを受け「発芽前と発芽後」と発する児童が存在した。教師はその発言を復唱した。

指導過程2では、児童が誰とも相談することなく実験の計画を記述した。ほとんどの児童は、スラスラと自分で考えた計画をワークシート（図3）に書いていた。なかなか計画を書き進めることができなかった児童1名は、教師にどのように書いたら良いか質問した。教師は、それに対して指導過程1で復唱したことを再度児童に伝え、記述の仕方のヒントを与えた。

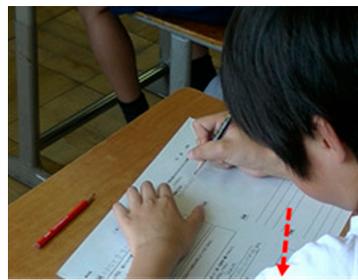
指導過程3では、実験計画を修正する様子はほとんど確認できなかった¹⁾。



実験計画を書き始める前にワークシートに記述した「実験前後の比較の必要性」を確認している



自分で考えた実験の計画を書き出し始める



「実験前後の比較の必要性」を確認しながら、実験の計画を書き進める

図5 実験計画を記述する際の児童の様子（過程2）

5. 考察

本研究の目的の一つは、実験計画を立てる初発の段階で児童に実験前後の測定の必要性を考えさせ、その整理に基づいて実験の計画を記述させる指導の効果を明らかにすることであった。結果で示されたように、本指導により児童自らが実験計画を立案できることが明らかとなった。

どのようにして実験計画を立案できるようになったのかを、児童の様子から考察する。実験群において、実験計画を記述する際に顕著に現れた児童の様子は、「実験前後の比較の必要性」を確認しながら実験計画を書き進めることを循環的に行う様子で

あった。このことから、5割ほどの児童にとって、実験計画を書き始める前に整理・記述した「実験前後の比較の必要性」が、児童にとって実験計画を記述する際の方略に関する知識となっていた可能性が高いと考える。この方略に関する知識を基に、児童は自分の記述の遂行状況を点検し、うまく遂行できていないとき、記述を修正していったと考えられる。この一連の児童の活動は、三宮（2008）が整理しているメタ認知的活動と合致する。メタ認知的活動は、メタ認知的モニタリングとメタ認知的コントロールからなり（図6）、これらは循環的に働くと考えられている。

実験計画を書き始める前に、予想・仮説を確かめるための「実験前後の測定の必要性」を考えさせ、かつ一人一人に記述させるという実験群の指導過程1は、実験計画を記述する際の方略に関する知識を一時的にワークシートに固定させることであった。統制群の指導過程1では、実験計画を記述する際の方略に関する知識は学級内に存在しその共有は行われたが、固定が行われなかった。実験群の指導過程2と3では、この固定された知識が起点となって作用し児童のメタ認知的活動が促された。これにより、実験の計画を児童自ら記述することができたと考えられる。また、徐々に「実験前後の測定の必要性」の記述に立ち返らなくなっていく様子から、メタ認知的モニタリングとメタ認知的コントロールの循環により、方略に関する知識の一時的な固定から定着へと図られていくと考えられる。

一方、統制群の指導過程2と3では、方略に関する知識が意識されることなく、その知識がないまま児童の考えが優先されて計画が記述されたことで、「実験前後の測定」を計画に盛り込めなかったと考えられる。

本研究のもう一つの目的については、上記を踏まえると、次のようにまとめられる。第5学年のうちに「主実験のみで実験前後の測定の比較を行う実験」を計画する力を育成する指導としては、メタ認知的活動を促す本実験群の指導過程による授業を学年の初めに実施し、実験計画を記述する際の方略に関する知識を定着させ、それを活用させて実験計画

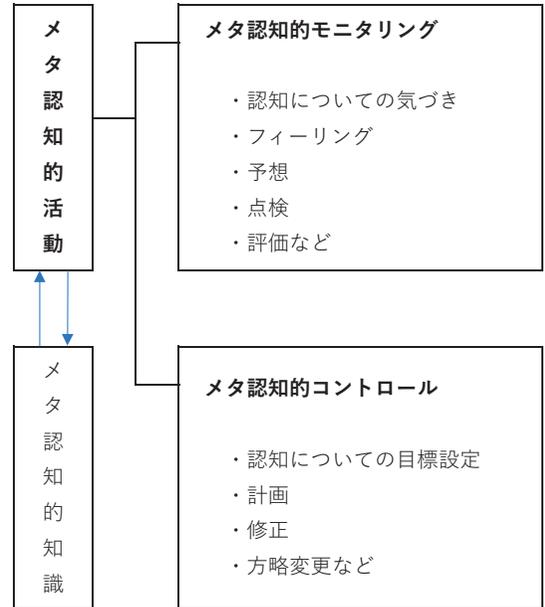


図6 メタ認知的活動
（三宮，2008より引用）

を立案させる授業を繰り返すことが重要であることが示唆された。

6. 今後の課題

本指導方法による授業を行った実験群の児童は、統制群の児童に比べて実験計画を立案できたが、その児童の割合は58%にとどまった。本研究では、この要因について検討できておらず、今後の課題である。

また、本指導方法によって、実験前後の測定の必要性の理解と実験前後の測定について記述することができる方略としての知識の獲得がどの程度可能になったのかについて検討できていない。方略としての知識を獲得させるには、本指導方法による授業がどの程度必要となるのかなど、検討していく必要がある。

さらに、本研究では、指導過程2終了時と指導過程3終了時のそれぞれで、実験計画の立案にどの程度の差が生じるかは検討できていない。安部ら（2019）の指摘を踏まえると、教師の働きかけだけ

でなく、教師による教示も組み入れた方が良いとも考えられる。指導過程2終了時と指導過程3終了時における実験計画の立案状況の分析から、教師による教示の導入の検討など、より効果的な指導方法を考案する必要がある。

謝辞

本研究は、JSPS 科研費 18K02655 の助成を受けたものである。

註

- 1) 統制群では、指導過程3による指導で実験計画を立案できなかった児童が多かった。そこで、調査終了後に、特に「実験の前後の測定を行う」計画を立てる必要性について教師が説明し、児童の実験計画を修正させた。

引用文献

- 安部洋一郎・松本榮次・松本伸示 (2019) 「小学校理科授業における実験手続きの指導方法とその効果：一実験操作の前に測定を行う実験手続きに焦点を当てて一」『理科教育学研究』第59巻, 第3号, 325-334.
- Kuhn, D., Black, J., Keselman, A., & Kaplan, D. (2000) The development of cognitive skills to support inquiry learning. *Cognition and Instruction*, 18(4), 495-523.
- 文部科学省 (2018) 『小学校学習指導要領解説 理科編』, 東洋館出版社
- 文部科学省・国立教育政策研究所 (2015a) 「平成27年度全国学力・学習状況調査の結果について(概要)」 Retrieved from <https://www.nier.go.jp/15chousakekkahoukoku/summary.pdf> (accessed 2019.07.01)
- 文部科学省・国立教育政策研究所 (2015b) 「全国学力・学習状況調査 平成27年度授業アイデア例 小学校版」 Retrieved from <https://www.nier.go.jp/jugyourei/h27/pdf/p.pdf> (accessed 2019.07.01)
- 文部科学省・国立教育政策研究所 (2018a) 「平成30年度全国学力・学習状況調査の結果について(概要)」 Retrieved from <https://www.nier.go.jp/18chousakekkahoukoku/18summary.pdf> (accessed 2019.07.01)
- 文部科学省・国立教育政策研究所 (2018b) 「全国学力・学習状況調査 平成30年度授業アイデア例 小学校版」 Retrieved from <https://www.nier.go.jp/jugyourei/h30/data/18p.pdf> (accessed 2019.07.01)
- 三宮真智子 (2008) 『メタ認知：学習力を支える高次認知機能』, 北大路書房
- Schwichow, M., Christoph, S., Boone, W.J., & Hartig, H. (2016) The impact of sub-skills and item content on students' skills with regard to the control-of-variables strategy. *International Journal of Science Education*, 38(2), 216-237.

