

小学校理科教科書における条件制御の取扱いに関する一考察 —学習の転移の視点を踏まえて—

堀田晃毅*

Koki HORITA

A Report on Variable Control in Elementary School Science Textbooks
—From the Perspective of Transfer of Learning—

ABSTRACT

本研究は、小学校理科における条件制御の転移を促す指導法への示唆の導出を目指し、東京書籍版小学校理科教科書（第5・6学年）を分析した。分析対象は、実験計画を考える「計画しよう」の項目で、条件制御が関わる10件の活動である。分析の結果、条件制御に関する具体的な説明が見られたのは「種子の発芽の条件」のみであり、他は考え方の使用を促す文言や変数の提示にとどまっていた。このことから、「種子の発芽の条件」の授業が条件制御の理解と転移の起点として重要であることが示唆された。さらに、誤った実験計画例を提示し、その不適切さを考えさせる活動や、既習内容との関連付けを促す指導が有効であると考えられる。今後は、これらの指導法の有効性を授業実践で検証するとともに、他社や中学校の教科書における条件制御の取扱いを調査する必要がある。

【キーワード：小学校理科、条件制御、学習の転移、教科書分析】

I. 研究の背景および目的

1. 条件制御について

理科の問題解決における「検証計画の立案」や「観察・実験」の過程では、変化させる条件と変化させない条件を区別し、条件（変数）を制御することが重要である（中村・松浦, 2019）。このため、国内外では条件制御を適切に行うことができる学習者の育成が求められている。日本では、小学校学習指導要領（文部科学省, 2018a）の理科において、第5学年で育成すべき考え方として、「条件を制御する」を明示している。また、海外においてもアメリカのカリキュラム（Next Generation Science Standards）では、第3学年以降から条件制御に関する指導を行うことが示されている（NGSS Lead States, 2013）。

条件制御に関する先行研究を概観すると、教科書から条件制御を抽出した研究（長谷川ら, 2013；井上・柏野・中山・森, 2015）や条件制御に影響を及ぼす要因の検討（中村・松浦, 2019），そして条件制御の育成を目指した授業実践（匹田・土井・林, 2012；水石・庭瀬, 2019）が見られ、多様な視点から研究が展開されていることが分かる。

2. 学習の転移と条件制御

学習の転移とは、以前に学習した知識やスキルが、新しい知識やスキルの学習およびそれらを実践することに影響を与えることであり（Cormier & Hagman, 1987），経験したことがある問題の解決方法を次の問題解決に適用、促進することである（服部, 2016；犬塚, 2018）。学習の転移は教育においても重要とされており（Perkins

& Salomon, 1994），教育者は生徒が学習した内容を他の学習場面や異なる学年、そして家庭、職場へと転移させることを望んでいる（National Research Council, 2000）。このような学習の転移は、条件制御¹⁾も対象となる。Siler and Klahr (2016) は、太陽光が植物の成長に及ぼす影響を学習する生徒から、薬効研究の報告を評価する消費者に至るまで、幅広い文脈で実験を実施し、理解するために条件制御が不可欠であると述べている。

海外では、条件制御¹⁾の転移を促す指導法に関する研究が進められている。例えば、発見学習を通して学習者が能動的に条件制御を獲得する方法と、明示的な指導を行った後に探究的活動を開拓する方法の比較（例えば、Chen & Klahr, 1999；Matlen & Klahr, 2013），また、テキストに記載されている内容を、特定の質問に答える形式で思い出す練習（想起練習）方法がテキストを繰り返し読んで学習する方法（再学習）等より効果があるか検証する研究（例えば、Tempel et al., 2020；Kranz et al., 2024）が挙げられる。一方、国内では条件制御と転移を結びつけた研究は管見の限り見当たらず、研究の蓄積が求められる。

3. 問題の所在

上記に示した通り、条件制御の転移を促す有効な指導法の研究が進められているが、研究ごとにその見解が異なるようである。Chen and Klahr (1999) や Matlen and Klahr (2013) は、明示的な指導の後に探究的活動を行うことが効果的であると報告している。一方で、最小限の指導による発見学習でも転移に効果があるとする報告（Schalk et al., 2019）や、遠い転移においては指

* 島根大学学術研究院教育学系

導方法よりも条件制御の理解度が重要であるとする報告 (Strand-Cary & Klahr, 2008) もある。

この見解の相違について, Chase and Klahr (2017) は, 指導時の教育的文脈の違いを要因の1つとして挙げており, 条件制御とともに指導する知識の種類や学習者の特徴などを考慮しながら, 指導法を検討する必要があると指摘している。

以上を踏まえると, 国内で条件制御の転移を促す指導法を開発するためには, まず理科の授業において条件制御がどのような文脈で指導されているかを把握することが重要である。

4. 本研究の目的

本研究では, 国内における条件制御の転移を促す指導法の開発にあたり, 理科の授業で使用される教科書において, 条件制御がどのような文脈で指導されているか明らかにすることを目的とする。教科書は授業設計の基盤であり, そこに示される条件制御の提示方法や学習者に習得させる知識との結びつきは, 実際の授業実践に大きな影響を与える。このため, 教科書分析は, 条件制御の転移を促す指導法を検討する上で不可欠な基礎情報を提供すると考えられる。

II. 研究の方法

1. 研究対象となる教科書

本研究では, 令和6年に発行された東京書籍版小学校理科教科書「新編 新しい理科」第5・6学年版(東京書籍, 2024a ; 2024b) を分析対象とした。東京書籍版を分析対象としたのは, 島根県で東京書籍版が最も多く採択されているからである。また, 第5・6学年を対象としているのは, I .研究の背景および目的で述べたように, 小学校学習指導要領(文部科学省, 2018a) の理科において, 主に第5学年で条件制御能力を育成することが求められており, 第5学年以降で条件制御の取扱いが多く見られると判断したためである。

2. 分析の方法

東京書籍版では, 問題を解決するための観察や実験の方法を考える「計画しよう」という項目がある。児童が実験計画を立案する際に条件制御を考慮する重要な場面であるため, この項目に着目し, 条件制御が関わる内容の記載が見られたものを分析対象とした。分析にあたり次の観点を設定し, それに基づいて整理した。

- ① 領域…「エネルギー」, 「粒子」, 「生命」, 「地球」の4領域のうちどれに該当するか。
- ② 学習内容…「計画しよう」を含めた活動全体を通して, 児童に指導する内容は何か。
- ③ 独立変数の種類…実験を計画する際に操作する変数としてどのようなものが挙げられているか。
- ④ 従属変数の種類…結果として着目する変数としてどのようなものが挙げられているか。
- ⑤ 制御変数の種類…実験時に意図的に一定に保つ変数としてどのようなものが挙げられているか。
- ⑥ 条件制御に関する記載の特徴…条件制御について, 教科書でどのような記載が見られるか。

なお, ⑥については分析を進める過程で帰納的に類型を作成し, 表1のように整理した。詳細については後述する。

表1 記載内容の類型

番号	類型
i	条件制御に関する具体的な説明・方法の紹介
ii	条件制御の考え方の使用を促すヒント
iii	検討すべき変数の提示
iv	変える条件, 変えない条件に該当する変数の提示
v	他の単元の学習内容の振り返り

以上の流れで分析を行い, その結果を基に, 東京書籍版においてどのような文脈で条件制御の考え方が指導されているかを明らかにし, その傾向と特徴を整理することとした。

III. 結果

1. 基礎集計

東京書籍版で条件制御が関わる実験計画立案は, 第5学年で7件, 第6学年で3件, 計10件であった。表2では, 各実験についての領域, 学習内容, 変数, および記載内容の類型を整理している。

2. 領域・学習内容について

条件制御を伴う実験は, 生命領域とエネルギー領域に多く見られ, それぞれ4件であった。粒子領域と地球領域はそれぞれ1件であった。

領域ごとに詳しく見していく。生命領域では4件中3件が第5学年で扱われており, 「種子の発芽の条件」, 「植物の成長の条件」, 「実ができるために受粉が必要か」といった植物について学習するものであった。また, 「種子の発芽の条件」, 「植物の成長の条件」は共通の単元「植物の発芽と成長」の中で扱われていた。残りの1件は第6学年で学習する「だ液によるはたらき」を学習する際に扱われていた。

エネルギー領域では4件中2件が第5学年で確認され, 「電磁石を強くする条件」, 「ふりこの周期に影響を与える条件」を学習する際に扱われていた。残りの2件は, 第6学年で学習する単元「てこのはたらきとしくみ」の中に含まれており, 「小さい力で重いものを持ち上げる方法」や「てこが水平につり合うときの条件」を学習する際に扱われていた。

1件だった粒子, 地球領域では, 前者は「水の量・温度と物が溶ける量の関係」(第5学年), 後者は「水の量の違いによる土地の変化」(第6学年) を学習する際に扱われていた。

3. 変数について

「計画しよう」に記載された変数を独立変数, 従属変数, 制御変数に分類した結果が表2の通りである。記載がないが実験で扱われている変数は括弧書きで補足した。また, 独立変数と制御変数で重複があるのは, 調べる条件

表2 東京書籍版の分析結果 (N = 10)

No.	学年	ページ	領域	学習内容	独立変数	従属変数	制御変数	記載内容類型
1	5	23, 24	生命	種子の発芽の条件	温度, 空気の有無	(発芽の有無)	水の有無, 温度, 空気の有無, 光の有無	i, ii, iii, iv
2	5	32	生命	植物の成長の条件	日光の有無, 肥料の有無	(成長の様子)	(肥料の有無, 日光の有無), 水の有無, 温度	ii, iii
3	5	58	生命	実ができるために受粉が必要か	受粉の有無	受粉後の様子	虫や風による受粉	ii, iii, iv
4	5	82	地球	水の量の違いによる土地の変化	水の量	(土の削られ方, 運ばれる土の量)	土の量, 斜面の傾き	ii, iii
5	5	104	粒子	水の量・温度と物が溶ける量の関係	水の量, 水の温度, (溶かす物質)	(水に溶ける量)	水の量, 水の温度	ii, iii, iv, v
6	5	130	エネルギー	電磁石を強くする条件	乾電池の数, 導線の巻き数	電磁石にクリップが付く数	乾電池の数, 導線の巻き数	ii, iii, iv
7	5	141, 142	エネルギー	ふりこの周期に影響を与える条件	ふりこの長さ, 重さ, 振れ幅	往復する時間	ふりこの長さ, 重さ, 振れ幅	ii, iii, iv
8	6	28	生命	だ液によるはたらき	だ液の有無	ヨウ素液の反応	(温度)	ii, iii
9	6	123	エネルギー	小さい力で重いものを持ち上げる方法	作用点の位置, 力点の位置	持ち上げたときの手ごたえ	作用点の位置, 力点の位置, 支点の位置	ii, iii
10	6	126	エネルギー	てこが水平につり合うときの条件	おもりの位置, おもりの重さ	(てこの様子)	おもりの位置, おもりの重さ	ii, iii, iv

によって、役割が変わる場合があるためである。表2のNo.1「種子の発芽の条件」を例に挙げると、発芽の条件として水が必要か実験する場合、水の有無が独立変数、温度と空気の有無が制御変数ということになる。

変数の種類が多かった内容は、No.1「種子の発芽の条件」(変数: 水の有無, 温度, 空気の有無, 発芽の有無, 光の有無), No.2「植物の成長の条件」(変数: 日光の有無, 肥料の有無, 成長の様子, 水の有無, 温度), No.4「水の量の違いによる土地の変化」(変数: 水の量, 土の削られ方, 運ばれる土の量, 土の量, 斜面の傾き) でそれぞれ5種類であった。

4. 記載内容について

表1に示した通り、記載内容については5つのパターンを確認した。詳細は次の通りである。

i. 条件制御に関する具体的な説明・方法の紹介

No.1「種子の発芽の条件」のみで確認された。東京書籍版には、次のような記載がある(図1)。

- ・ 1つの条件について調べるときには、調べる条件だけを変えて、それ以外の条件は、変えないようにします。
- ・ 同時に2つの条件を変えてしまったら、どちらの条件が結果に関係しているかがわからなくなってしまうよ。

図1『新編 新しい理科5』における条件制御の説明
(東京書籍, 2024a)

1つの条件について調べたいときの方法や、その方法を用いなければならない理由が明確に示されていた。

ii. 条件制御の考え方の使用を促すヒント

全ての実験で確認された。共通して、変える条件と変えない条件を児童に考えさせる問い合わせが含まれていた。

iii. 検討すべき変数の提示

iiと同様、全てで確認された。しかし、表1に括弧書きで示したように、必要な変数が全て明示されているわけではなかった。

iv. 変える条件、変えない条件に該当する変数の提示

iiiに加え、変える条件と変えない条件に当たるものはどれかまで提示していたものは6件確認された。このうち3件(No.1, 6, 7)は、変える条件、変えない条件を表にして整理していた。No.9も表によって示されていたが、変える条件、変えない条件部分が空欄になっており、児童自身で考え、記入させる形式であったため除外した。

v. 他の单元の学習内容の振り返り

No.5「水の量・温度と物が溶ける量の関係」のみで確認された。東京書籍版には、次のような記載がある(図2)。

「植物の発芽と成長」で、1つの条件について調べるときは、ほかの条件はどうしたかな?

図2『新編 新しい理科5』における関連付けを促す内容
(東京書籍, 2024a)

図2の記載に加え、インゲンマメの発芽実験の図も示されており、No.1「種子の発芽の条件」で学習した内容との関連付けを促していた。

以上の結果から、条件制御を伴う実験は第5学年に集中し、生命領域とエネルギー領域で多く見られた。東京書籍版の記載は、条件制御の考え方を直接説明するよりも、児童に考えさせるヒントや変数の提示を中心としていた。

IV. 考察

1. 東京書籍版における条件制御の取扱い

本研究の結果で特筆すべき点は、条件制御に関する具体的な説明・方法の紹介がなされていたのは、No.1「種子の発芽の条件」のみであった点である。それ以外は、条件制御の考え方の使用を促す文言や検討すべき変数の提示に留まっていた。教師用指導書指導編（朱書）（東京書籍、2024c）を確認すると、当該活動について、「条件制御に本格的に取り組むのは、この場面が初めてなので、できるだけ丁寧に進めていくようとする。」という記載が見られた。このことから、東京書籍版では、「種子の発芽の条件」を通して、児童に条件制御の考え方を理解させることを重視していると考えられる。

2. 学習の転移の視点から

学習の転移とは、経験したことがある問題の解決方法を次の問題解決に適用、促進することである（服部、2016；犬塚、2018）。この観点から見ると、No.1「種子の発芽の条件」は条件制御の転移において重要な役割を担っていると考えられる。すなわち、①児童は「種子の発芽の条件」で条件制御を初めて経験する、②その経験を基に、「植物の成長の条件」や「電磁石を強くする条件」といった異なる単元や領域に適用することが期待される。したがって、東京書籍版を用いた授業では、「種子の発芽の条件」を起点に、条件制御の転移を促す指導法を工夫することが重要である。

3. 指導法への示唆

本項では、「種子の発芽の条件」で授業を行うことを想定して指導法への示唆を導出する。指導法を検討するにあたり、Lorchら（2014）の知見が参考になる。彼らは、条件制御の考え方を指導する際、誤った実験計画例（複数の変数を同時に操作する計画）を提示し、その不適切さを考えさせる活動が、理解や転移に有効であることを報告している。

「種子の発芽の条件」における東京書籍版の内容を確認すると、発芽に水が必要か調べる場面に着目し、変える条件、変えない条件を明示しながら実験計画の立て方を説明しているものの、複数の変数を操作することが不適切であることについては、図1に示す注意書きに留まっている。したがって、東京書籍版に記載されている内容に加え、誤った実験計画例を示し、それを基に複数の変数を操作することが実験計画時に不適切である理由を考えさせる活動を展開することで児童は理解が深まり、異なる文脈へ転移させることが可能になると考える。

また、堀田（2021）は、学習内容を転移させる際に重要な要素として、「共通の原理・構造への気づき」を挙げている。「種子の発芽の条件」以外に、条件制御の考え方方が必要となる学習内容が9件存在する。そのうち、「植物の発芽と成長」で学習した内容と関係があることに気づかせる記載が見られたものは1件（No.5「水の量・温度と物が溶ける量の関係」）のみであった。残りの8件についても、条件制御の考え方を用いて実験計画を立てる際、教師側から図2に示す声かけをすることで、児童は条件制御の考え方を異なる文脈へ転移させ、実験計画を立てることが可能になると考えられる。

V. おわりに

本研究の結果から、児童が条件制御を理解し、異なる文脈へ転移させるためには、「種子の発芽の条件」に関する内容をどのように指導するかが重要であることが明らかになった。

今後の研究課題として、考察で導出した指導法—誤った実験計画例を示し、その不適切さを考えさせる活動—の有効性を、授業実践を通して検証する必要がある。また、本研究は1社の教科書に限定して分析を行ったため、他の教科書や中学校の教科書における条件制御の取扱いについても調査する必要がある。

註

- 1) 海外の研究では、変数制御戦略（Control of Variables Strategy）という表現が用いられている。Chen and Klahr（1999）の捉え方を踏まえると、変数制御戦略は小学校学習指導要領解説理科編（文部科学省、2018b）で示されている条件制御より広い意味で使用されているものの、「変化させる要因と変化させない要因を区別すること」という点は両用語に共通している。したがって、本研究では同義とみなし、「条件制御」という表現に統一した。

付記・謝辞

本研究は、JSPS科研費JP25K23206の助成を受けたものである。

引用文献

- Chase, C., & Klahr, D. (2017). Invention Versus Direct Instruction: For Some Content, It's a Tie. *Journal of Science Education and Technology*, 26 (6), 582–596.
- Chen, Z., & Klahr, D. (1999). All other things being equal: Acquisition and transfer of the control of variables strategy. *Child Development*, 70 (5), 1098–1120.
- Cormier, S. M., & Hagman, J. D. (Eds.). (1987). *The educational technology series. Transfer of learning: Contemporary research and applications*. Academic Press.

- Kranz, J., Möller, A., Kaufmann, K., & Tempel, T. (2024). Retrieval Practice: A Tool for Teaching the Control-of-Variables Strategy in Science Classrooms? *The Journal of Experimental Education*, 1–26.
- 長谷川直紀・吉田裕・関根幸子・田代直幸・五島政一・稲田結美・小林辰至 (2013) 「小・中学校の理科教科書に掲載されている観察・実験等の類型化とその探究的特徴—プロセス・スキルズを精選・統合して開発した「探究の技能」に基づいて—」『理科教育学研究』第54巻, 第2号, 225–247.
- 服部雅史 (2016) 「第8章 思考」御領謙・江草浩幸 菊地正 (共著)『最新 認知心理学への招待：心の働きとしくみを探る [改訂版]』サイエンス社.
- 匹田篤・土井徹・林武広 (2012) 「条件制御の能力に着目した「植物の発芽と成長」における教育方法の検討」『日本科学教育学会年会論文集』第36巻, 428.
- 堀田晃毅 (2021) 「理科学習の転移における文脈と気づき：中学生を対象とした量的評価」『広島大学大学院人間社会科学研究科紀要（教育学研究）』第2号, 355–364.
- 井上璃咲・栢野彰秀・中山雅茂・森建一郎 (2015) 「小学校第5学年理科教科書に見られる条件制御の変数の特徴」『日本科学教育学会研究会研究報告』第29巻, 第8号, 27–32.
- 犬塚美輪 (2018) 『認知心理学の視点：頭の働きの科学』サイエンス社.
- Lorch, R., Lorch, E., Freer, B., Dunlap, E., Hodell, E., & Calderhead, W. (2014). Using Valid and Invalid Experimental Designs to Teach the Control of Variables Strategy in Higher and Lower Achieving Classrooms. *Journal of Educational Psychology*, 106 (1), 18–35.
- Matlen, B., & Klahr, D. (2013). Sequential effects of high and low instructional guidance on children's acquisition of experimentation skills: Is it all in the timing? *Instructional Science*, 41 (3), 621–634.
- 水石正幸・庭瀬敬右 (2019) 「『流水の働き』において条件制御の学習を実現するための教材開発とその有効性—直線水路型流水実験装置の開発と授業実践を通して—」『理科教育学研究』第59巻, 第3号, 477–488.
- 文部科学省 (2018a) 『小学校学習指導要領（平成29年告示）』東洋館出版社.
- 文部科学省 (2018b) 『小学校学習指導要領（平成29年告示）解説理科編』東洋館出版社.
- 中村大輝・松浦拓也 (2019) 「理科における条件制御能力に影響を及ぼす要因についての一考察」『理科教育学研究』第60巻, 第2号, 385–394.
- National Research Council. (2000). *How people learn: Brain, mind, experience, and school*. National Academies Press.
- NGSS Lead States. (2013). *Next generation science standards: for states, by states*. National Academies Press.
- Perkins, D.N., & Salomon, G. (1994). Transfer of learning. *International Encyclopedia of Education, Second Edition*. Oxford, England: Pergamon Press.
- Schalk, L., Edelsbrunner, P., Deiglmayr, A., Schumacher, R., & Stern, E. (2019). Improved application of the control-of-variables strategy as a collateral benefit of inquiry-based physics education in elementary school. *Learning and Instruction*, 59, 34–45.
- Siler, S., & Klahr, D. (2016). Effects of Terminological Concreteness on Middle-School Students' Learning of Experimental Design. *Journal of Educational Psychology*, 108 (4), 547–562.
- Strand-Cary, M., & Klahr, D. (2008). Developing elementary science skills: Instructional effectiveness and path independence. *Cognitive Development*, 23 (4), 488–511.
- Tempel, T., Kaufmann, K., Kranz, J., & Möller, A. (2020). Retrieval-based skill learning: testing promotes the acquisition of scientific experimentation skills. *Psychological Research-psychologische Forschung*, 84 (3), 660–666.
- 東京書籍 (2024a) 『新編 新しい理科5』東京書籍.
- 東京書籍 (2024b) 『新編 新しい理科6』東京書籍.
- 東京書籍 (2024c) 『新編 新しい理科5 指導編（朱書）』東京書籍.