

自然科学教育における 科学的認識の成立過程について

～武谷三男の「三段階論」と児童生徒の認識について～

栗田克弘*

A Study of the Process of Student's Understanding Science in School ～Taketani
Mitsuo's Three-Stage Theory and the Cognition of Children and Students～

KURITA Katsuhiko

(Received September 27, 2024)

物理学者の武谷三男は、自然科学の認識過程は弁証法的に発展するという「三段階論」を提唱した。本研究ではこれが自然科学教育における児童生徒の認識の過程にも適応できるかどうかを理科の授業と関連づけて考察した。特に弁証法的唯物論の立場で科学の授業を提唱している「仮説実験授業」の授業書（授業プラン）から、「三段階論」に関わる要因が抽出できるかどうか試みた。その結果、弁証法的唯物論の立場で作成された理科の授業の指導計画（授業プラン）から、「三段階論」につながる要因を確認することができた。さらに弁証法的唯物論の立場に立つ自然科学教育の内容と方法の創造につながる「概念形成図」の役割についても指摘した。

1. はじめに

理科の授業において科学的概念形成の授業を行うことは、児童生徒が自然科学の基礎的で本質的な内容を理解することにつながる。ところが、これまで児童生徒の科学的概念形成の授業とはどういうものを理論的かつ実践的に明らかにしようとした教育実践研究は多くない。それは科学的概念形成の授業を、理科教育の研究者は文字面だけでとらえ、現場の理科の教員は体感だけでとらえてしまう傾向が強いからである。

本研究では、理科の授業における児童生徒の科学的概念形成の授業とはどういうものであるのかを、自然科学の認識について弁証法的唯物論の立場にたつ二つの先行研究から明らかにしようとしている。一つは自然科学の認識の過程を理論化した武谷三男の「三段階論」（武谷、1968）であり、もう一つは科学教育において弁証法的な

発想法で新しい科学の授業を提案した板倉聖宣の「仮説実験授業」の授業書（板倉、1963）である。

武谷三男は物理学の研究者であり、最先端の素粒子研究の分野における自然科学の認識の研究から「三段階論」を提案した。板倉聖宣は科学史の研究者の立場で科学教育について「仮説実験授業」を提唱し、弁証法的唯物論の立場で児童生徒の科学的認識を育てようとした。

本研究は、科学的概念形成の授業を武谷三男の自然科学の認識の理論である「三段階論」と、科学教育における「仮説実験授業」の授業書に見られる授業実践論で明らかにしようとしたものである。

2. 自然科学教育における弁証法的唯物論について

弁証法的唯物論でものごとをとらえるということは、どのような世界を対象にしているかでその意味に微妙な違いがある。本研究では自然科学教育に特に関連のある

* 山口大学教育学部, 〒753-0841 山口県山口市吉田1677-1, kuritak@yamaguchi-u.ac.jp

三浦つとむの哲学研究（三浦、1975）や板倉聖宣の発想法としての弁証法（板倉、1992）をもとに、自然科学教育において弁証法的唯物論を新しく以下のようにとらえることとした。

自然科学教育において弁証法的唯物論でとらえるとは、次の通りである。

- ・児童生徒にある「これまでの常識的な考え」と新しくとらえた「常識的な考えとは異なる考え」を対立させることで矛盾を生じさせる。
- ・児童生徒の矛盾を解決するために、「固定化された常識された考え」とらわれすぎず、そもそもその課題について根底から考え直すことである。
- ・児童生徒の矛盾から仮説を立て、実験や観察等によって仮説の真偽を検証することで科学的認識を確かなものにする。

さらに自然科学教育において児童生徒が受け止めてほしい具体的な観点を以下のように新しくとらえた。

【自然科学教育における弁証法的唯物論の観点】

自然科学教育における弁証法的唯物論を授業に取り入れるために、以下の5つの観点を挙げる。

- ①自然への認識を根底から考え直す。
- ②物質を相対的に独立したものとして捉える。
- ③未知の現象について仮説を立てて検証する。
- ④科学的概念は社会において形成される。
- ⑤矛盾を経て科学的概念となる。

自然科学教育における弁証法的唯物論の立場での理科の授業の観点は上記の5つである。このような観点を持つ弁証法的唯物論の科学的概念形成の授業を本研究では対象としている。

3. 武谷三男の「三段階論」について

武谷三男の自然科学の認識論である「三段階論」は図1のように表される。「三段階論」には以下の3つの認識の段階がある。

- I 現象論的段階
- II 実体論的段階
- III 本質論的段階

I「現象論的段階」は現象の記述の段階、II「実体論的段階」は現象に関わる対象がどのような構造になっているかを知る段階、III「本質論的段階」は自然の中で対象がどのような相互作用の中で現象を起こすか明らかにする段階である。

武谷三男はこれらを素粒子論の最先端の研究を背景に明らかにした。特に「実体論的段階」における「実体」の必要性を力説している。当時の量子力学の問題が次々と新しい「実体」の導入（中性子や陽電子の発見）によって解決されたことから「実体」が研究を進める上で重要であると考えた。

4. 自然認識の「子どもの三段階論」について

武谷三男の「三段階論」は自然科学の認識について述べており、人類が発明や発見から獲得してきた自然科学全体の認識に「三段階論」が見出されるというものである。素粒子論研究のみならず自然科学に広く拡張された理論でもある。「三段階論」の対象となった科学史における自然科学の認識の過程は、まさに学校等で児童生徒が生まれて初めて学ぶ自然科学の内容にも反映されているはずである。このように武谷三男の「三段階論」は、自然科学教育における児童生徒の自然認識にも適応できる可能性があると考えられる。

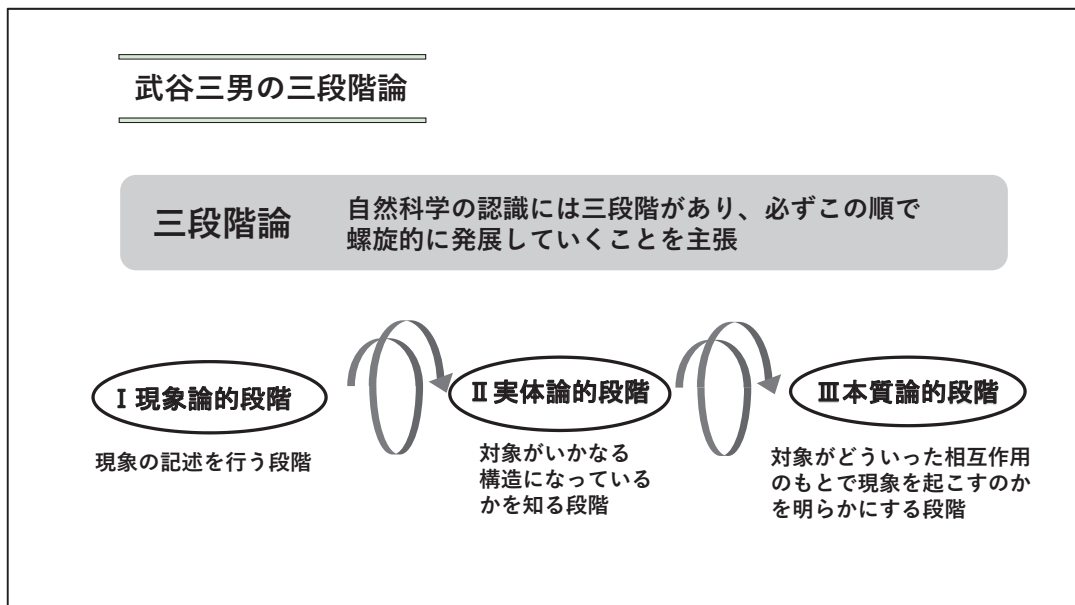


図1 武谷三男の「三段階論」について

しかし、学校教育で児童生徒が学習する自然科学の基本的で本質的な学習内容は、武谷三男が「三段階論」で対象としている自然科学の内容や程度とは全く同じではない。小学校の理科の学習内容については、武谷三男の「三段階論」のⅠ「現象論的段階」にすべて包括されてしまうかもしれない。中学校や高等学校においてもⅢ「本質論的段階」まできちんと到達できるかどうかは疑わしい。このように武谷三男の「三段階論」をそのまま自然科学教育に持ち込むことには難しさがある。

そこで、本研究では自然科学教育における児童生徒の認識過程については、新しく「子どもの三段階論」ととらえ直すことにした。子ども達が自然科学を学ぶ過程においては、科学史において科学者が行ってきたのと同様に、子どもたちには未知の現象や法則が対象となる。そしてこれを認識する過程には、武谷三男の「三段階論」のような認識の段階が存在し、それは「実体」の存在や理解によって発展する。すなわち、自然科学教育における子ども達の認識にも同様に以下の三段階があるのとらえるのである(図2)。

- Ⅰ 「子どもの現象論的段階」
- Ⅱ 「子どもの実体論的段階」
- Ⅲ 「子どもの本質論的段階」

Ⅰ「子どもの現象論的段階」とは、身の回りの自然現象に児童生徒が自分の手で働きかける段階である。科学の法則や概念を学ぶ段階ではなく、自然現象のありのままをとらえ認識する段階である。自然科学の一般性や法則性を追究するのではなく、個々の現象についての個別理解の段階である。

Ⅱ「子どもの実体論的段階」とは、武谷三男の「実体」を対象の中に見出し、低次の法則として認識を定着させる段階である。個々の現象の共通性を見出し、対象の持つ法則性や概念として認識する段階である。例えば、水に食塩を溶解させる、という現象は、「水に食塩が溶けると透明になる」「全体の重さは保存される」「濃さはどこでも同じになる」というようなマクロで定性的なとらえ方をすることにより科学的なものとなる。

Ⅲ「本質論的段階」とは、Ⅱの「実体」をさらに広く回りの自然と関連づけてとらえることにより、より一般性のある自然科学の法則や概念になる段階である。前述の水の食塩の溶解においては、「目に見えないくらい小さい粒子」のふるまいで溶解の現象をとらえることにより、マクロな考えはミクロな認識となり、より一般的な自然科学の法則や概念の認識に変容していく。

このように児童生徒の自然科学の認識には武谷三男の「三段階論」に対応した3つの段階があり、人類が自然科学を発展させてきたのと同じ自然科学の認識の過程があると考えることができる。

自然科学教育においては、児童生徒の自然認識の過程を「子どもの三段階論」ととらえることにより、科学的概念形成を段階的に行っていくことが可能になる。武谷三男が力説したのと同様に「子どもの三段階論」においても、Ⅱ「子どもの実体論的段階」における「実体」の存在を明らかにすることが重要となる。この「実体」は「概念形成図」(栗田、2024)で栗田が重要性を指摘した科学的概念形成における低次の法則や第一次法則にあたる。低次の法則や第一次法則は、その後続く高次の法則(第二次法則や第三次法則・・・)などとの関連の中で決定されるからである。

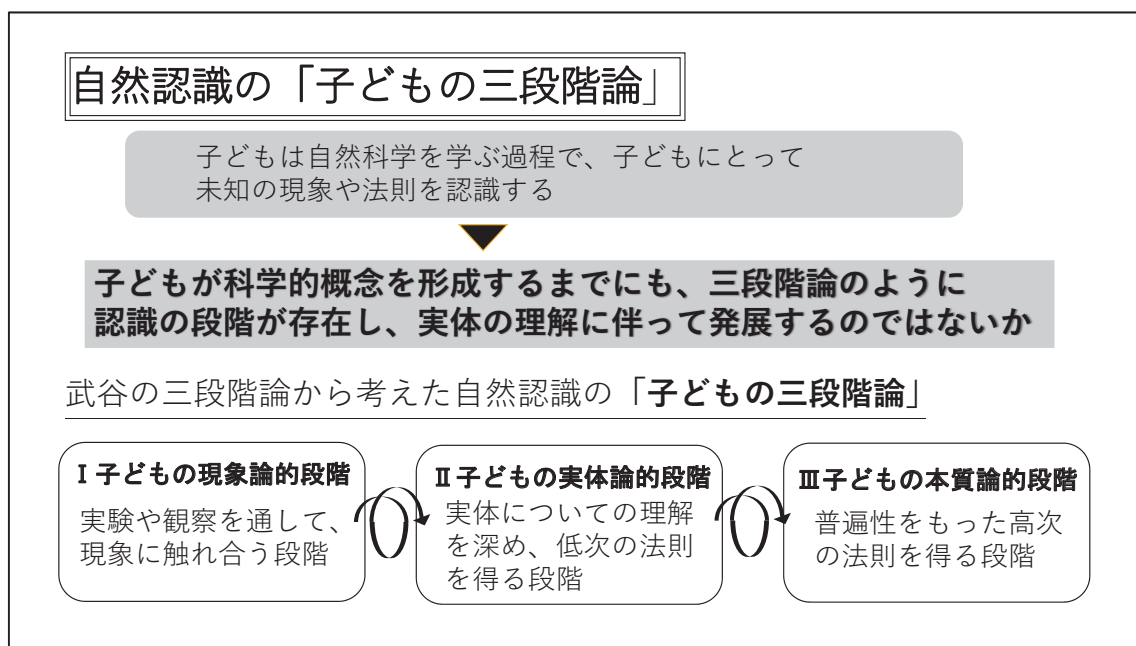


図2 自然認識の「子どもの三段階論」について

5. 仮説実験授業にみられる「子どもの三段階論」

武谷三男の「三段階論」は、自然科学を弁証法的唯物論の立場でとらえた認識論である。自然科学教育では弁証法的唯物論の立場で作成されている指導計画は多くはない。その中で板倉聖宣が提唱した仮説実験授業の授業書（授業プラン）には、弁証法的で唯物論的な科学的概念形成の授業が見出される。

仮説実験授業とは、科学史の研究者である板倉聖宣が自然科学教育の新しい授業として提唱したものである。科学史に見られる科学的認識の過程を参考にして、自然科学の基礎的な概念や法則を子ども達にも理解させることを授業の目的にしている。授業は授業書と呼ばれるテキストをもとに行われ、十分に検討された問題について子ども達が活発に討論を行う。討論が十分されたところで子ども達は自分が考えた予想（仮説）が正しいかどうかを実験で確かめる。このような授業の流れはまさに弁証法的唯物論の立場である。

武谷三男の「三段階論」を「子どもの三段階論」ととらえ直し、仮説実験授業で使用されている授業書に「子どもの三段階論」が見出されるかどうかを検証してみることにした。授業書に「子どもの三段階論」の構造を見出すことができれば、自然科学における認識論が自然科学教育においても同様に適応されていることが明らかになる。

仮説実験授業の授業書はかなり多く開発されている。ここでは、仮説実験授業研究会が最初に作成した自信作の「ふりこと振動」と生物分野で定評のある「花と実」の2つの授業書を取りあげた。

6. 授業書「ふりこと振動」に見られる「子どもの三段階論」

仮説実験授業の授業書「ふりこと振動」（板倉、1963）は、ふりこの運動現象としてのとらえるでなく、ふりこの運動を通して振動という科学的概念を学ぶことを目的とした授業書である。

授業書「ふりこと振動」の全体の指導計画の最初の小単位について、1時間ごとの学習内容（事実、発問、教材）をまとめたものが図3である。さらに「概念形成図」を用いて新しく表したのが図4である。「概念形成図」は低次の法則や一次法則を明らかにし児童生徒の科学的概念形成の過程を明らかにするために筆者が提唱したものである（栗田、2024）。

図3と図4を比較すると、図3は授業書の内容に沿って書き出したもので、学習内容とその順序のみが示されている。図4ではこの小単位で児童生徒に理解してほしい自然科学の法則や概念、低次の法則を新たに書き出して1時間ごとの授業のつながりを明らかにしたものである。そうすることで授業書「ふりこと振動」のこの小単位で、児童生徒にどのような法則や概念を、どのような順序で学習させたいのかを明らかにすることができる。

図4の概念形成図では、「ふりこの周期」が児童生徒に学習してほしい低次の法則（一次法則）と関連づけて明らかにされている。この低次の法則は1時間ごとの授業目標と関連し、具体的な発問や教材（実験や観察）とも関連する構造となっている。

	1時間目	2時間目	3時間目	4時間目	5時間目
事実	ふりこの振り幅が大きいくても小さくても、ふりが1往復するのにかかる時間は同じ（長さとおもひは同じ）	ふりこの振り幅がだんだん小さくなってきても、1往復する時間は変わらない。	ふりこの長さが同じで、一方のおもりが他方の2倍の重さである2本のふりが1往復	ふりこの長さを2倍にしたふりのほうが周期が長い。（振り幅とおもひは同じ）	異なる長さのふりを周期の長いものから順に並べるとどうなるか
発問	ふりこの長さとおもひの重さが同じで、ふりこの振り幅が大きい方と小さい方とで1往復する時間はどちらが長いのか。	ふりこの振り幅がだんだん小さくなってきた時に、ふりが1往復する時間はどうか。	2本のふりの一方のおもりの重さだけを他方の2倍にすると、1往復するのにはどうなるか。	おもひは同じで、ふりの長さが他方の半分のふりこととふりこの周期はどちらが長いのか。	異なる長さのふりを周期の長いものから順に並べるとどうなるか
教材	2つの同じふりで、振り幅だけを変えた実験。	ふりこの振り幅が小さくても1往復する時間はかわらない、実験はない。	一方のおもりの重さだけをもう一方の2倍にしたふりの実験。	一方のふりの長さをもう一方の2倍にしたふりの実験。	ふりこの周期を調べる実験

図3 授業書「ふりこと振動」の小単元の指導内容について

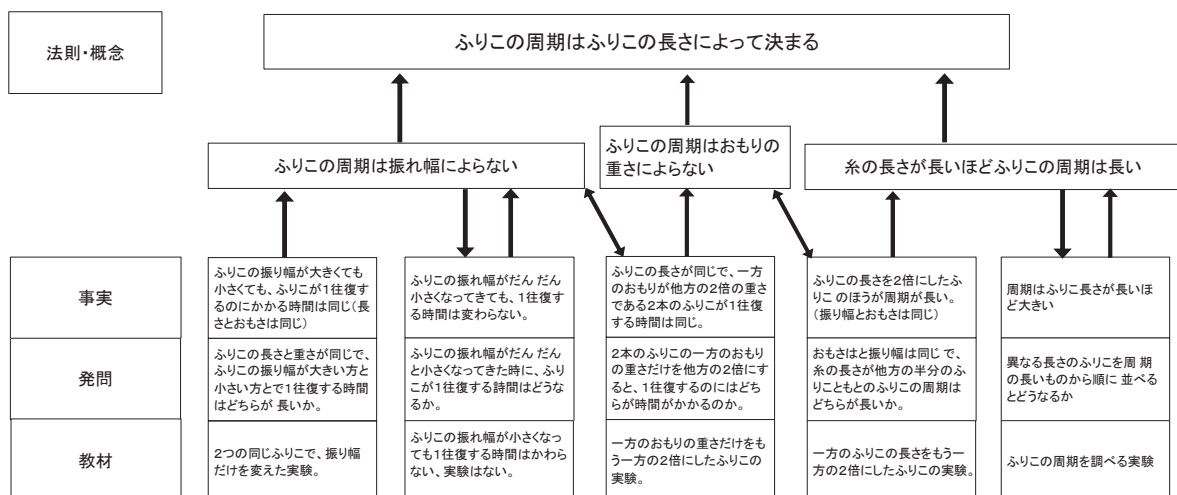


図4 授業書「ふりこと振動」の小単元の概念形成図

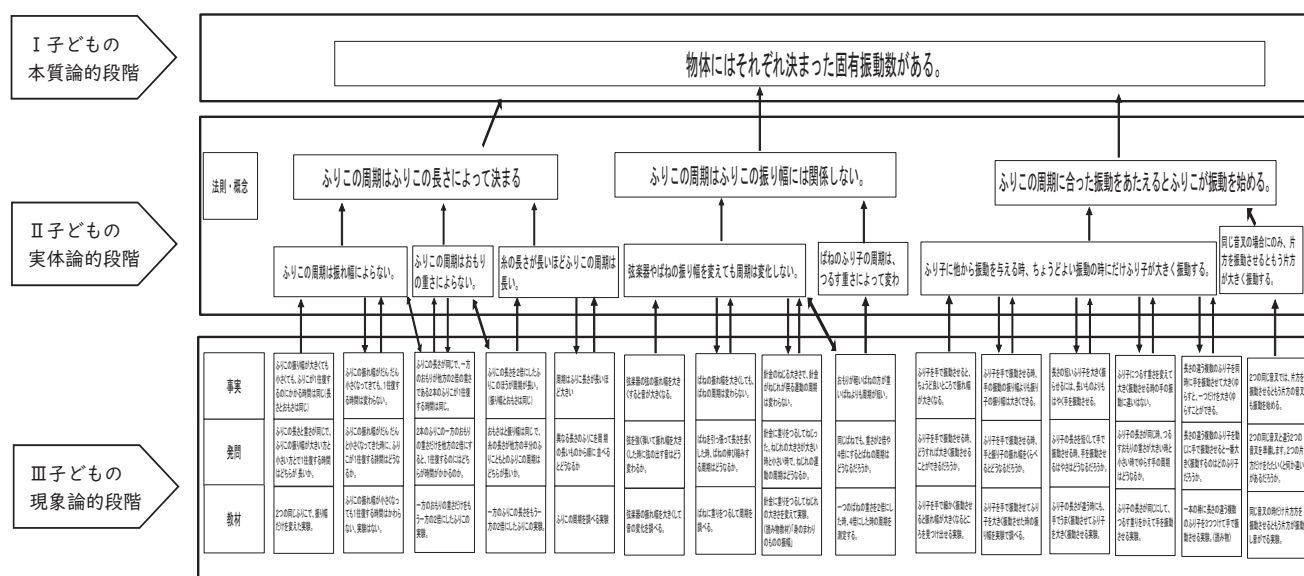


図5 授業書「ふりこと振動」の「子どもの三段階論」

「子どもの三段階論」のⅠ「子どもの現象論的段階」は1時間ごとに扱われるふり子の運動という自然の現象や事実に該当する。そして、Ⅱ「子どもの実体論的段階」は、「ふりこの周期」を実体としてとらえ、それに関わる低次の法則を学習する段階を表している。さらにこのような小単元を3つ行うことでⅢ「子どもの本質論的段階」である「物体は固有振動をもつ」という高次の法則へつながっている。図5は授業書「ふりこと振動」の単元のすべてを「子どもの三段階論」でとらえ「概念形成図」で表したものである。

図5を見るとⅡ「子どもの実体論的段階」の実体として「ふりこの周期」という視点を導入することにより、Ⅰ「子どもの現象論的段階」とⅢ「子どもの本質論的段階」を結びつけることが可能になっていることがわかる。児童生徒は、ふり子の現象だけの学習に終わらず、さらに抽象度の高い固有振動の解説だけを聞く授業からも解放されることになる。このように弁証法的唯物論の立場にたった仮説実験授業の授業書「ふりこと振動」は、武谷三男の「三段階論」と同じ認識の過程をとることを明らかにすることができた。

7. 授業書「花と実」に見られる「子どもの三段階論」

仮説実験授業の授業書「花と実」(板倉、1963)は、仮説実験授業の授業書の中でも多く使用されているものの一つである。自然観察として花や実の観察を行うだけにとどまらず、「花は生殖器官である」という科学的概念を学ぶことを目的とした授業プランである。仮説実験授業の特徴は、自然現象や自然観察を行う学習活動だけではなく、それを通して基本的な科学的な概念や法則を学習することが大きな特徴である。また、その背景に授業書の作成者である板倉聖宣の弁証法的唯物論という自然科学のとらえ方がある。

図6は授業書「花と実」の最初の小単位について、授業書の内容を学習順序に沿って書き出したものである。学習内容とその順序のみが示されていて、どのような基本的な概念や法則を取り上げているのかは読み取らなくてはいけない。図7は「花があれば実がなる。」ということを低次の法則としてとりあげ、小単位における各授業のつながりを新しくまとめた概念形成図である。一つの低次の法則は、いくつかの授業を通して構成されている。低次の法則がいくつか合わさり、さらに高次の法則につながっている。

		1時間目	2時間目	3時間目	4時間目	5時間目	6時間目	7時間目	8時間目
事実		アサガオの花がしぼんだ後、花が根元に実がなりたねができる。	タンポポの花びらが枯れた後、子房の部分で実(たね)ができる。	チューリップの花の咲いたあとに実ができたねになる。	他のきれいな花を咲かせる植物も実がなりたねができる。	雛花を開かないようにすると、その雌花の子房は大きくならずに枯れる。	雛花を全部つぼみのうちにつみこいても、その株にのびる雌花には実がつく。	雛花にはおしべがあり花粉がある。雌花には子房になるめしべがある。	花には、おしべとめしべが別々の花にあるものと、一つの花の中に両方があるものがある。
発問		アサガオの実はどうよにできるのだろうか。	タンポポの実(たね)はどのようにしてできるのだろうか。	チューリップにも花の咲いた後のとこに実がなり、たねができるのだろうか。	他のきれいな花を咲かせる植物も、花の後に実がなりたねができるのだろうか。	カボチャやキュウリの雛花のつぼみのうちに全部つみこすると、子房は大きくなって実がみえるのだろうか。	カボチャやキュウリの雛花と雌花のうちに全部つみこまるとその株の雛花の実とはどんな違いがあるのだろうか。	カボチャやキュウリの雛花と雌花の花びらの中にはほとんど違いがあるのだろうか。	学校の花壇に咲いている花にも、おしべやめしべがあるだろうか。
教材		〈写真〉〈観察〉アサガオの花と実／〈読み物教材〉ウメやモモの花と実について	〈観察〉タンポポの花と実／〈読み物教材〉タンポポの花や実について	〈観察〉〈図鑑〉チューリップの花と実／〈読み物教材〉チューリップの実(たね)と球根について	〈観察〉〈図鑑〉他のきれいな花と実／〈読み物教材〉八重咲きの花について	〈読み物教材〉雛花と雌花のやくわりについて	〈読み物教材〉雛花と雌花のやくわりについて	〈読み物教材〉めばねとおぼなと花粉について、カボチャの実と「虫の先生」について	〈観察〉学校の花壇の花／〈読み物教材〉雌雄両花、人工受粉について

図6 授業書「花と実」の小単元の指導内容について

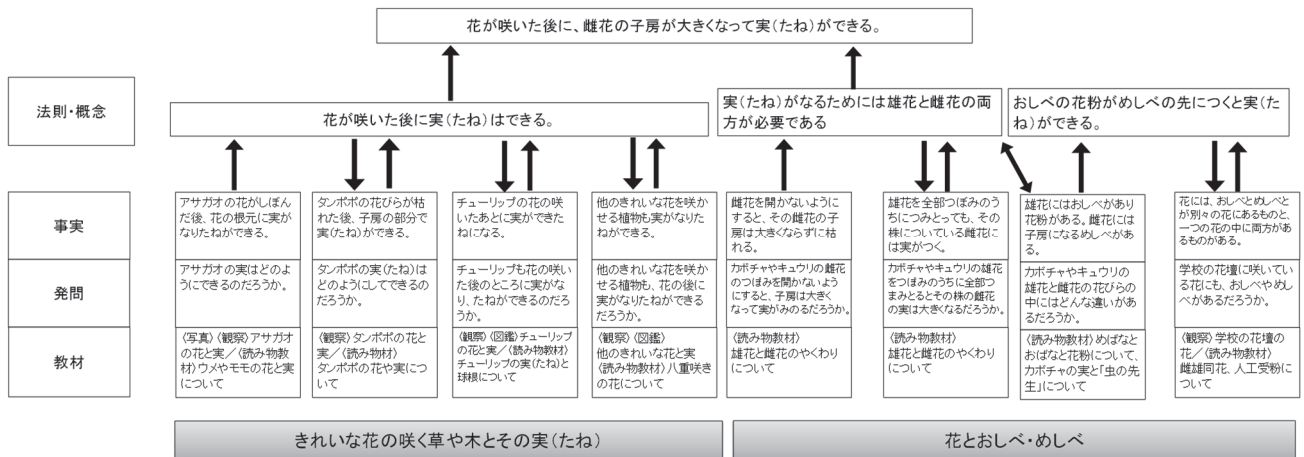


図7 授業書「花と実」の小単元の概念形成図

図6と図7を比較する。授業書「ふりこと振動」と同様に図6では、授業の具体的な内容は書かれているがどのような自然科学の法則や概念を学習するかは書かれていない。図7の概念形成図で、児童生徒に理解してほしい自然の法則や概念と低次の法則を新しく書き出して1時間ごとの授業のつながりを明らかにしている。こうすることで授業書「花と実」の小単元で、児童生徒にどのような法則や概念を、どのような順序で学習させたいのかを明らかにすることができる。

「子どもの三段階論」のⅠ「子どもの現象論的段階」は、各授業で行われる児童生徒の自然の現象や事実の観察(花や実の観察)になる。そして、低次の法則として「花があれば実がある。」を考えることによりⅡ「子どもの実体論的段階」として成立することになる。ここでの実体は「花と実(の関連性)」となる。

Ⅱ「子どもの実体論的段階」の学習過程を通して低次の法則から高次の法則の理解へと発展していく。Ⅲ「子どもの本質論的段階」である「花は植物の生殖器官である。」という高次の法則へつながっていく。図8は授業書「花と実」の単元すべてを「子どもの三段階論」でとらえ概念形成図で表したものである。

図8では、Ⅱ「子どもの実体論的段階」で「花があれば実がある。」「実があれば花がある。」ということが実体に関わる低次の法則としてとりあげられている。このことにより、Ⅰ「子どもの現象論的段階」とⅢ「子どもの本質論的段階」を結びつけることが可能になっている。このように弁証法的唯物論の立場にたった仮説実験授業の授業書「花と実」で、授業書「ふりこと振動」と同様に武谷三男の「三段階論」と同じ認識の過程をとることが明らかにできた。

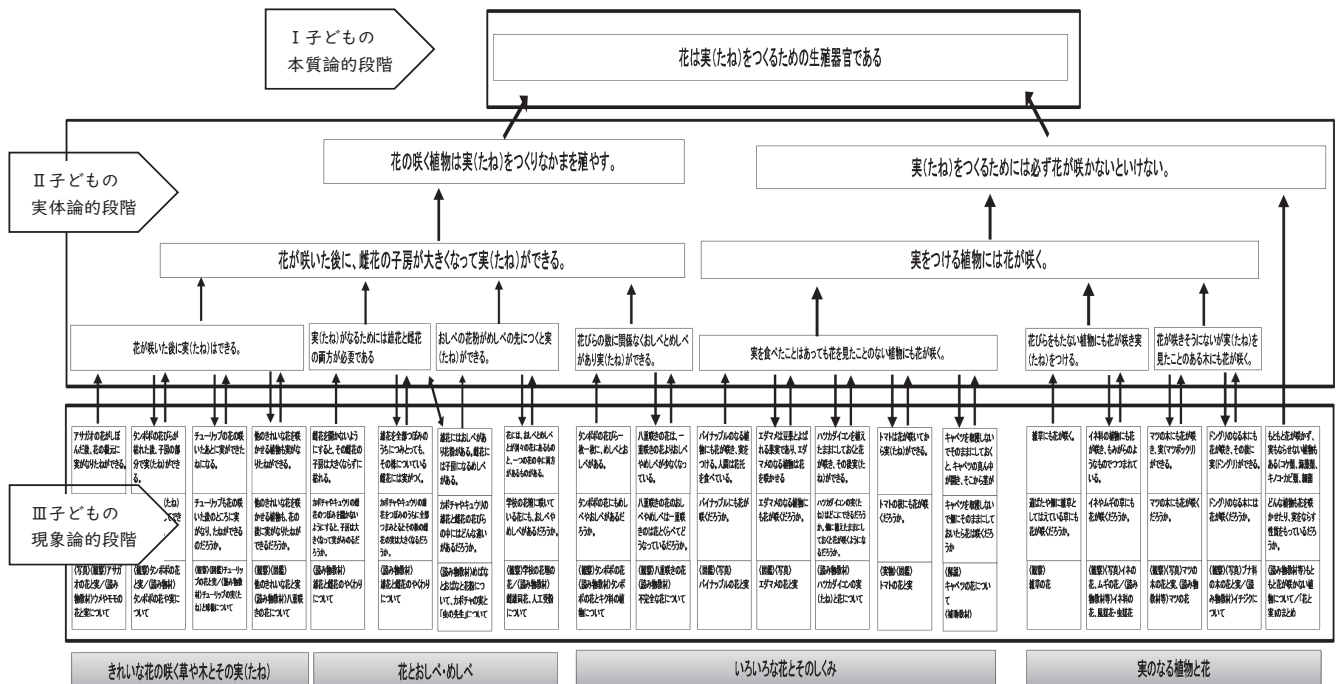


図8 授業書「花と実」と「子どもの三段階論」

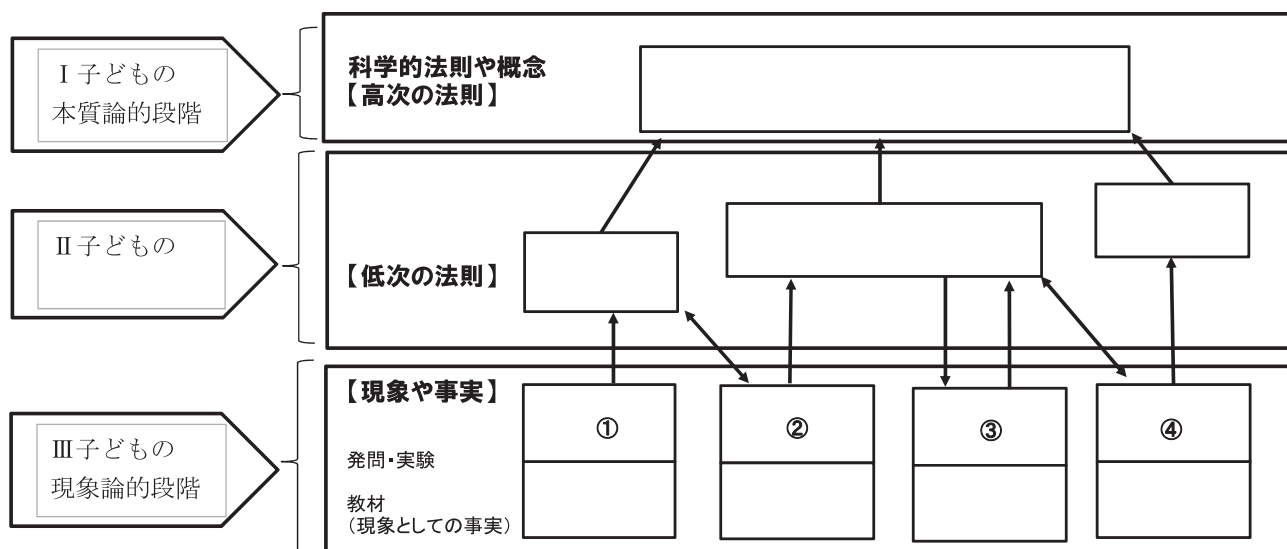


図9 「子どもの三段階論」と「概念形成図」

8. 「子どもの三段階論」と「概念形成図」について

「概念形成図」とは科学的概念形成の授業を、児童生徒の「科学的認識の順次性」に従って実現するために新しく考案されたものである（栗田、2024）。本研究では自然科学の認識の過程を明らかにした武谷三男の「三段階論」を、自然科学教育でも成立するかどうかをこの「概念形成図」によって明らかにしようとした。

図9は「子どもの三段階論」と「概念形成図」の関係を表したものである。授業は①から順番に左から右へ行われ、児童生徒の自然認識の過程は下から上へ「のぼりおり」しながら深まっていく。実際の授業では①や②などで書かれている一時間の授業での「発問や実験」を指導する。同時に指導者は学習者が認識する【現象や事実】を、【低次の法則】により一般化していくことを意識している。「概念形成図」は、授業実践により形式的に評価され修正され、指導過程は改善されていく。左から右だけに単線で授業は進行するのではなく、「概念形成図」では下から上への「のぼりおり」をしながら単元の指導計画は構造化されている。

「子どもの三段階論」は、「概念形成図」の下から上への児童生徒の自然認識の「のぼりおり」に着目したものである。特に「子どもの実体論的段階」は、「子どもの現象論的段階」と「子どもの本質論的段階」を【低次の法則】により結びつける役割を持っている。この【低次の法則】を明らかにする時に、児童生徒の認識上で「実体」が何であるかを自然科学の内容に従って明らかにすることが必要になる。武谷三男が「三段階論」の「実体論的段階」の重要性を強調したのと同様に、「子どもの三段階論」においても児童生徒の認識上の「実体」というものが重要になっていると言える。

「概念形成図」は、科学的概念形成の授業を目指した授業創りのために新しく考案されたものであるが、本研究で「子どもの三段階論」を考える時に大変有効であることが明らかになった。これまでの優れた理科の授業実践を再評価する時に、また新しい理科の授業の単元を創りだす時に、「子どもの三段階論」を意識した「概念形成図」は大きな役割を果たすことが期待される。

9. 成果と課題

仮説実験授業の二つの授業書「ふりこと振動」と「花と実」を「概念形成図」を使いその授業構造を明らかにした。武谷三男の「実体」は、「概念形成図」の低次の法則（第一次法則）としてとらえることにより、児童生徒の自然認識としての新しい「子どもの三段階論」として定式化できることが明らかになった。

I「子どもの現象論的段階」では、自然の現象や事実を十分学ぶ段階である。また、III「子どもの本質論的段階」では、普遍的な自然科学の法則や概念を学ぶ段階である。この二つの児童生徒の自然認識の段階を結ぶのがII「子どもの実体論的段階」であり、そこには武谷三男の言う「実体」として低次の法則（1次法則）を明らかにすることが重要になってくる。また、この低次の法則で1時間ごとの授業における学習課題の「科学的認識の順次性」（栗田、2024）が明らかになり、児童生徒の科学的概念形成の授業をより具体的なものにすることが可能になっている。

学校教育において児童生徒の科学的概念形成の重要性は多くの理科の教師によって指摘されている。しかし、具体的にどのようなことを行うことが科学的概念形成の授業になるのかを理論的にかつ実践的に明らかにしている事例は少ない。本研究では、武谷三男の自然科学の認識における「三段階論」を児童生徒の科学的概念形成の

授業実践研究と関連づけたものである。このように弁証法的唯物論の立場にたった武谷三男の「三段階論」という自然科学の認識論を、「子どもの三段階論」として新しくとらえ直すことにより児童生徒の科学的概念形成の授業を新しく構想することが可能になる。本研究が未来の新しい自然科学教育の創造の一つの基礎研究として一役を担えればと願っている。

引用文献、参考文献

- ・板倉聖宣 1963 年 理科教室 11 月号 「ふり子と振動 —『仮説・実験授業』のためのテキスト」
- ・板倉聖宣 1979 年 季節社 「科学と教育のために」
- ・板倉聖宣 1982 年 仮説社 「仮説実験授業 花と実」
- ・板倉聖宣 1992 年 仮説社 「新哲学入門 楽しく生きるための考え方」
- ・植松英穂 2003 年 日本物理学会誌 第 58 巻 第 11 号 「一人歩きした武谷三段階論」
- ・栗田克弘 2024 年 山口大学教育学部研究論叢第 73 巻 pp.223-232 「科学的概念形成過程における生徒の認識の順次性について ～授業戦略としての『概念形成図』～」
- ・坂田昌一 1966 年 日本物理学会誌 21 巻 4 号 pp.254-258 「湯川理論の成立をめぐる」、
- ・武谷三男 1968 年 勁草書房 「弁証法の諸問題」
- ・三浦つとむ 1968 年 講談社 「弁証法はどういう科学か」
- ・三浦つとむ 1975 年 仮説社 「哲学入門」