

理科教育における実践の継承とこれからの理科教育に関する一考察

野瀬 薫
NOSE Kaoru

抄録：

本研究は、先人の残した理科学習に関する実践の内、高橋金三郎・細谷純等の「極地方式」、板倉聖宣「仮説実験授業」を取り上げ、伏見陽児・麻柄啓一らの発達心理学を基にした理科学習への提言をふまえ、それらの教育思想・哲学や方法論等について整理し、先人の取り組んだ実践を継承・発展させることの意味について考えることを目的とした。また、今後の理科学習の創造に向けた就学前教育と小学校理科教育の連携のあり方について考察した。

【キーワード】

小学校 理科教育 実践史 極地方式 発達心理学 仮説実験授業 伏見陽児 就学前教育
幼児期の終わりまでに育ってほしい姿（10の姿） 小学校理科教育との連携

I 研究の目的及び方法

授業を構想する段階で先人の残した実践から学び、その位置づけや意義、課題等を把握しておくことは、授業づくりにおいて重要である。本研究は、先人の残した膨大な理科学習に関する実践の内、高橋金三郎・細谷純等の「極地方式」、板倉聖宣「仮説実験授業」を取り上げ、伏見陽児・麻柄啓一の発達心理学を踏まえた理科学習の考え方を参照しつつ、これらの方式・方法が大切にしている理科教育の理論・教育方法・教育課程等について考察することを目的とする。

今回取り上げた「極地方式」は、1970年3月科学教育研究協議会東北地区協議会10年間の実践の積み上げの上に創設された極地方式研究会により、「すべての子どもに高いレベルの科学をやさしく教える」という目的をもって実践された方式・教育方法である。「生兵法実践主義」「ジグズデンーザグズデン（Zigzden-Zagzden）方式」、学習者がもつ誤ルール「ル・バー（ $\bar{r}\bar{u}$ ）」の改変、工作的発問・操作的発問等を実践の特色としている方式・教育方法である。

「仮説実験授業」は、板倉聖宣が『未来の科学教育』¹、『はじめての仮説実験授業』を著したことからスタートした研究会を母体とし、仮説実験授業研究会で作成した「授業書」と称する一種の指導案・教科書・ノート兼用の印刷物を中心に展開される学習方法・授業方法である。授業は、授業書の指定通りに展開することを特徴としている教育方法である。

理科教育実践史・教育方法論史を取り扱った研究には、板倉聖宣『日本理科教育史』²をはじめ、須田勝彦・大野栄三「民間教育運動における授業研究 第2節 科学と教育」³や、森枝美「理科教育の変遷—科学教育としての理科教育へ—」⁴等に詳しい。しかし、大学等に所属する研究者がまとめたものであり、明日の授業に活かす実践者の視点を加味する必要がある。

そこで本拙文では、小学校教諭等38年間の経験を通してこれから教師になろうとする学生、理科教育実践史に興味のある若い先生方の参考となるように、具体的に授業の様子を紹介するよう心掛けた。また、

今後の理科学習の創造に向けた就学前教育と小学校理科教育の連携のあり方について考察した。

II 高橋金三郎・細谷純らによる「極地方式」にみる理科学習

(1) 「極地方式」の名前の由来やめざすものについて

「極地方式」とは、1970年3月科学教育研究協議会東北地区協議会10年間の実践の積み上げの上に創設された「極地方式研究会」によるものである。高橋金三郎は「極地方式」を、「未知で広大な学習領域、自然科学の基本観念を子どもに教えるための、集団である『学習書づくり』といってもよい」と述べている⁵。また、「高い山に登れば登るほど、下界が開けてくる。登ることは苦しいが、そこから眺め渡す光景はすばらしい。科学を学ぶ楽しみもそこにある」とし、極地方式の名称は登山のイメージをもとに、登山の方法の「極地登高法とか、極地法」から来ているとしている⁶。

細谷純は、「仲間の教師たちと一緒に、『すべての子どもに高いレベルの科学をやさしく教える』という目的を達成するための集団研究を進めてきた。というよりもむしろ、この目的に同意する教師たちと仲間づくりをし、その集団の中の相互批判によって私自身が少しでも高いレベルへ到達すべく生きてきた」と述べている。この仲間が「極地方式研究会」であり、高橋金三郎・細谷純編により『極地方式入門』という本がまとめられている。

「極地方式」のめざすものとして、以下の三点を示し、

- ①「すべての子どもに高いレベルの科学をやさしく教える」という目的を達成するには、個人の授業努力だけでは限界がある。
 - ②私たちの開発した授業方式をすべての教師のものにするには、どうしてもテキストは必要であるが、その作製も個人では極めて困難である。
 - ③教師の学習する内容・学習形態が同時に子どもの学習内容・学習形態である。
- という信念に基づいた取り組みを展開している⁷。

(2) 指導方法としての「生兵法実践主義」と「ジグズデンーザグズデン (Zigzden-Zagzden) 方式」について

「極地方式」の指導方法として、第一に「『応用から原理へ』『原理から応用へ』の教授原理はわたしたちには無縁である」とし、「生兵法実践主義」を掲げている。「生兵法実践主義」は、「法則を使うことによって身につける」主義であるとし、「半わかりでよいから、自分の考えを大胆に大自然に適用し、失敗しながら法則をつくりあげる」ことを大切にしている考え方である⁸。

そして、2) 創造的な工作、大自然での全身的な活動が科学の基礎として奨励され、3) 「帰納主義」「演繹主義」の一方交通的認識論はわたしたちには無縁である。4) 教授原理は、「ジグズデンーザグズデン (Zigzden-Zagzden) 方式」であるとしている⁹。「ジグズデンーザグズデン方式」とは、「ズデンとは、大地に全身がひっくりかえる際に発する、あの音を模している。つまり、法則を使って考えようとするが、限界を持たない法則はないのであり、まして子どもにとって、あるいは学習をしいはじめの人間にとって、おおよその内容の見当がつけられる、やさしく表現された法則を半わかりでもよいから使わせたとすれば、そこでズデンと、大地に転倒するのは当然であろう。そこで七ころび八起きの精神で“何を！”と立ち上がって、前とは違う方向に、すなわち、以前に使用した法則を作りかえて、ザグと進むのであるが、新し

い法則が使いこなせるようになれば、またまたズデンと転ぶのである」¹⁰と述べ、仮に定めた法則を元に問題解決を行い、ズデンと転びながら、ジグザグしつつ高みを目指して学んでいく方法であると説明している。

(3) 「極地方式」の指導・学習過程、教材構成について

細谷純は、どう教えるかの順序に関係することとして、1) 入口取り組みしだい 2) 初め大ざっぱ 3) 「ジグズデンーザグズデン (Zigzden-zagzden)」の「教え方の三つの原則」を示している¹¹。

細谷は、教える順序に関して「先に教えておいたものだけが『基礎』だったのではなくて、別種の生活経験からの既有知識もまた、『基礎』の役割を果たしていた可能性も強い」「人間が何かをわかる道筋には、効率や効果のよし悪しはあるにしても、いろいろなものがありそうだなあ、とはぜひ考えてみたいものである」と述べている¹²。

また、教材構成について考える教師の選択は、「前後の教授系列」という文脈が一つの条件となっている。この「前後の教授系列」という条件は、「ある意味でこれは間接的な条件に過ぎない。教えておいたから、とって、子どもたちが学習しえたとは（不幸にして）限らない。だからより直接的な条件としては、事前の、子どもたちが持っていてしまっているだろう知識—信念体系のあり方である、というべきであろう」と述べている¹³。

この教材構成の考え方が、誤ルールの改変、ル・バーの考え方に結びついていると思われる。

学習は、問題解決のために必要な法則（概念）の理解によって初めて可能となし¹⁴、「はじめはほんのわずかな『事例』からでもよい、はじめは、ほんの半わかりでよい、自分の考えを大胆に大自然に適応し、失敗しながらその『法則』を作り上げていく」とし、この原理を「生兵法実践主義」あるいは「分析総合主義」と名付けている¹⁵。

(4) 誤概念という意味の「ル・バー」

細谷は、「過去の狭い、偏った範囲の経験の自成的一般化の結果として作られ、ルール命題における前提項ないし帰結項の選び間違え、選びすぎ、選び不足などや、適応範囲の拡大過剰（誤れる一般化）や縮小過剰（誤れるの特殊化）」から誤ルールは形成されるとし、学習者をもつこのような誤ルールを「ル・バー (rū)」と名付けた。永野重史、新田倫義、細谷純により初めて概念化されたという。

誤概念という意味の「ル・バー」は、世界に先駆け1960年代前半に提案されたが、日本では教育心理学の分野はもとより、教育学の分野にもほとんど広まらなかったという。しかし、アメリカの認知心理学の台頭により1980年代になって、「ル・バー」と類似した概念が生まれ日本に輸入され、その重要性が認識され出した¹⁶。

細谷は、子どもの考えには、すべてなんらかの心理が含まれているという一例として、また、「ジグズデン・ザグズデン方式」の一例として、「花が咲くのと、実がなるのとは、どちらが先か」の学習において、「花が咲くのが先」という法則を作り上げていこうとした時に、ある子どもが、「違うよ、実が先のももあるよ」とキュウリの例をあげた例を示している。確かに、「ウリ科のような子房下位の植物では、ある程度まで実の前身たる子房が大きくなってから、花卉がひらくのである。実が厳密に定義されていないこの段階で、このように言い張る子どもがいても不思議はないのである」だから、「半わかりでもよい。ズデン・ズデンところんでもよい。（法則を）大胆に使うことを、奨励するのである」としている。

そして、細谷は、教えたい・学んでほしい内容について、学習者が前もって「ル・バー」を持っているか否に着目した学習援助のストラテジーを「積み重ね型ストラテジー」と「組み替え型ストラテジー」とした。

(5) 「積み重ね型ストラテジー」と「組み替え型ストラテジー」

「積み重ね型ストラテジー」は、当該学習内容に関して、学習者がル・バーを持っていない、あるいはル・バーを無視できると予想できる場合のストラテジーを指し、「組み替え型ストラテジー」は、当該学習内容に関して学習者がル・バーを持っており、それを無視できない場合のストラテジーを指す。学習者の持つル・バーに着目して、それを活用しつつ、ル・バーをいかに適切なルールへと組み替えるかが課題となるとしている。

なお、その後、東北大学大学院において細谷の指導を受けた伏見陽児・麻柄啓一が、『授業づくりの心理学』¹⁷や『教育学部教授の講義日記』^{18,19}の中で、組み換え型ストラテジーを「ドヒャー型学習援助ストラテジー」として、積み重ね型ストラテジーを「じわじわ型学習ストラテジー」として改めて紹介している。

Ⅲ 板倉聖宣「仮説実験授業」における理科学習の考え方と方法

(1) 板倉聖宣「仮説実験授業」について

仮説実験授業は、板倉聖宣が『未来の科学教育』、『はじめての仮説実験授業』を表したことからスタートする。『未来の科学教育』は、「ものとその重さ」に関する仮定の授業記録を中心に仮説実験授業を論じた著作であり、仮説実験授業の方法が示されている。

仮説実験授業は、授業に関する理論と授業運営方法をさし、「『授業書』と称する一種の指導案・教科書・ノート兼用の印刷物を中心に展開されるものであるとされ、授業書は授業（教師と生徒集団）そのものに課題を与えてその授業の進行について具体的な指示を与え、『授業書』の指定通りに授業を展開することを要求するもの」²⁰としている。

仮説実験授業研究会による授業書は多数作られ、例えば、小学校低学年でもできる授業書として「足は何本?」「背骨のある動物たち」「似ている親子・似ていない親子」「空気と水」「影と光」等があり、自然界の多様性を取り上げた授業書としては、「磁石」「電池と回路」「光と虫めがね」「宇宙への道」「月と太陽と地球」「花と実」などが用意されている。

また、物性に関する授業書として「ものとその重さ」「空気の重さ」「温度と沸騰」「溶解」「結晶」「三態変化」「もしも原子が見えたなら」「いろいろな気体」等がある。さらに、力学関係の授業書として「はねと力」「磁石と力」「まさつ力と仕事量」「滑車と仕事量」「てこと輪軸」「重心と物体のつりあい」「天秤とさおばかり」「重さと力」「浮力と密度」等が準備されている。物理学・化学・生物学・地学関係の授業書、公害・道徳・数学などの授業書もあり、広い分野にわたって、開発が進められてきている。

鹿毛雅治は、「つまずきを活かす授業」²¹の中で、仮説実験授業を取り上げ「(仮説実験授業では) 素朴概念と科学概念のズレを利用して知的好奇心を喚起し、予想や仮説を確かめるための討論、実験といった検証活動を通じた科学的認識の形成が図られている。教材開発による一連の成果は、子どもがもつ素朴概念と食いちがう選択肢の提示によって探究的な学習活動が生起するように工夫された授業書としてまとめ

られている」と評している。

(2) 仮説実験授業の教師の指導過程について

仮説実験授業は、仮説実験授業研究会で作成した授業書を用いて進めることを原則としている。

教師の指導過程としては、まず、授業書を子どもたちに配って読むことからスタートし、その授業書に基づいて教師は問題を出し、子どもたちは選択肢から予想を選ぶ。そして、教師は予想分布を黒板に集計し、予想分布表に人数の漏れがないことを確かめた後、「どうしてその予想を立てたのか」の理由を発表し討論を行う。発表する順序は通常少数派からとし、「なんとなく」というのも、歴とした理由として受け入れつつ、意見交流を行う。いいたい子どもたちが言い易い雰囲気を作り、無理に言う必要のない雰囲気を醸し出しつつ、発言した友達に対して質問等をしていく。予想変更を受け入れたあと、いよいよ実験を行いその結果を記録する。このような一連の過程を通じ、次の問題に進み、予想・討論・実験と繰り返していく。その際、「提出された対立意見のどちらが正しいかさえ明瞭であればよく、実験終了後、教師が『この実験の結果からこれこれのことがわかる』などと長々としゃべってはいけない」ともされている。

(3) 仮説実験授業の一例と児童の学習過程について

仮説実験授業の授業書の例、授業の実際を見てみよう。

小学校学習指導要領第5学年理科では、「(2) 振り子の運動」として「振り子の運動の規則性について、振り子が1往復する時間に着目して、おもりの重さや振り子の長さなどの条件を制御しながら調べる活動を通して、次の事項を身に付けることができるよう指導する」とあり、「(ア) 振り子が1往復する時間は、おもりの重さなどによっては変わらないが、振り子の長さによって変わることを学習する。

仮説実験授業の授業書では、【問題1】として、「2本の同じ長さの糸に、同じ重さのおもりをつりさげてふりこを作りました。この2つのふりこを横にひっばって静かにはなすとき、振りにはばが大きい方と小さい方とでは、1回往復するのにかかる時間は、どちらが長いと思いますか。(1回往復する時間は短かくて見分けずらいから、実験をするときは、10回往復する時間でくらべることにしましょう)

予想 10回振れる時間は、

- ア、Aの方が時間がかかる。
- イ、Bの方が時間がかかる。
- ウ、AとBとは、ほとんど同じ時間がかかる

討論

どうしてそうなると思いますか。みんなで討論しましょう。

という問題からスタートする²²。

児童の学習過程を見ると、予想と仮説を練り上げる段階での討論と、それを検証する実験が重視されている。

「問題」はすべての児童が一人で予想を立て、自分自身で考えて討論に参加し、実験に訴えてその真否を明らかにすることとし、「問題文・予想・討論・実験」の四段階を繰り返す。

「予想」では、すべての児童が自分自身の予想を決めて、必ず授業書の中にはっきり書き込む。その後、児童の挙手等によりクラス全員の予想が黒板に一覧的に書き留められるので予想の分布状態を知る。

「討論」では、友達の意見の方が正しいと思ったら、自分の意見を変えることが奨励されている。「討論で意見の対立をはっきりさせておかないと、実験の結果を知ってもどの予想が『あたったか』がわかるだけで、それらの予想の根拠になっていたどのような考え方、仮説が正しかって、間違っていたのかがはっきりとわからなく」なるとしている。「実験」が予想に基づく児童の討論を通して、学習者にとって必然性のあるものへと位置付くように仕組まれている。

このように「問題—予想—討論—実験」という一連の流れを繰り返すことにより、児童の中に「一般的にはこうではないのか」という仮説が生まれ、誤概念が改変され、理解を深めていくことになる。

IV 伏見陽児・麻柄啓一の発達心理学を踏まえた教育方法からの示唆

東北大学大学院において、細谷純の指導を受けた伏見陽児は、『授業づくりの心理学』や『教育学部教授の講義日記』中で、「ドヒャー型学習援助ストラテジー」や「じわじわ型学習ストラテジー」を紹介している。

子どもたちだけでなく、多くの大人も持っている誤概念「ル・バー」を想定し、授業に活かすことを提言しているが、これらは、授業者にとって、児童理解の上、また教材を考える上で、有効な知識となると思われる。

(1) 誤ったルール（ル・バー）の例と正しいルールに導くための方策（ストラテジー）

小学校学習指導要領第3学年理科では、「物の性質について、形や体積に着目して、重さを比較しながら調べる活動を通して、次の事項を身につけることができるように指導する」とあり、「(ア) 物は形が変わっても重さは変わらないこと」を学習する。「重さ」についても、子どもたちは「出入りがあれば、重さは変わる。出入りがなければ、重さは変わらない」というルールを学習する前に、「出入りがなくても、形が変われば重さは変わる」という「誤ったルール（ル・バー）」を持っている子どもたちもいる。

伏見は、「幼児に、丸粘土玉を提示して重さを測ってみせる。そして幼児の目の前で縦に長細いノッポ形にする。丸い時との重さの変化の有無を問うと大半が『丸いときより重くなる』と答える」と報告している。

子どもたちがこの「誤ったルール」を持っている場合にも、その誤ったルールを考慮しつつ学習をすすめ、正しいルールに導く必要があり、その誤ったルールを正しいルールに導くための方策として「ドヒャー型ストラテジー」と「じわじわ型ストラテジー」を示している。

伏見は、ドヒャー型ストラテジーが「ル・バー対決型」とすれば、じわじわ型ストラテジーは「ル・バーなくずし型」と説明している。また続けて、「細谷氏はドヒャー型ストラテジーを『おこせ、ゆさぶれ、ぶつつぶせ型』と翻訳し、じわじわ型ストラテジーを『ほれさせ、まねさせ、あきさせ型』と表現している」とも説明している。「新しいルールに従って予想すると当たるので、『すばらしい』と思わせ（ほれさせ）、自分でもそのルールを使ってみせるようにさせ（まねさせ）、『確かにこのルールでいいのだ』と当たり前なものにさせる（あきさせる）」という。このように、細谷ら極地方式研究会は、イメージしやすい言葉を使って、そのストラテジーを表現することにも注力し、ネーミングにこだわっている。

ルールを印象づける例として、他にも「ひとけ、おのれっけの漂う発問」も提案している。学習内容が面白くなかったり、わからなかったりするとき、そこに「ひとけ」を漂わせたり、「おのれっけ」を漂わせたりすると少しは面白くなったり、わかるようになったりするとした上で「別れる時は冷たくなり、くっ

つく時は熱くなる」等の例を挙げている。液体が蒸発して気体になるときは、分子と分子が引き離されて、個々の分子が自由に飛び回る状態になり、そのためにはエネルギーが必要となりまわりからそのエネルギーを奪う。逆に気体が液体になる時は分子同士が近づき、蒸発熱と同じエネルギーを外へ放出することを「人でないものを人になぞらえ」印象に残るようにしている²³。

(2) 極地方式研究会のテキスト「重さ」と、仮説実験授業の授業書「ものとその重さ」の違い

本節では、極地方式研究会のテキスト「重さ」と、仮説実験授業の授業書「ものとその重さ」を取り上げ、問題の提示順の違いと、「ドヒャー型ストラテジー」と「じわじわ型ストラテジー」の違いについて考察したい。

1) 極地方式研究会テキスト『重さ』の体重計問題について

極地方式の実践の一例として「極地方式研究会テキスト『重さ』の体重計問題」を見てみると

- ① たったときとしゃがんだときでは、どちらが重いでしょう。
 - ・しゃがんだときの方が重い。
 - ・立ったときの方が重い。
 - ・重さはかわらない。

△なにかがでていっただろうか、入っただろうか。
- ② 両足でふんばったときと、片足で立ったときでは、重さはどうなるだろう。

△それは、どうしてだろう。
- ③ おぶってのはかったときと、二人ならんで立ったときでは、どうだろう。
- ④ ハカリの上で、おにぎりを食べています。食べる前と食べた後では、はりの目もりはどうなるだろう。

と学習は進んでいく。

2) 仮説実験授業の授業書「ものとその重さ」の体重計問題について

一方、仮説実験授業研究会のテキスト『ものとその重さ』の第1問では、

みなさんは、身体けんさで体重をはかったことがありますね。そのとき、はかりの上に両足で立つのと、片足でたつのと、しゃがんでふんばったときとでは、重さはどうなるでしょう。(図略)

- ア、両足で立っているときが一番おもくなる。
- イ、片足で立っているときが一番おもくなる。
- ウ、しゃがんでふんばったときが一番重い。
- エ、どれもみな同じでかわらない。

あなたの予想に○をつけなさい。ア、イ、ウ、エの予想をたてた人はそれぞれ何人いるでしょう。みんなはどうしてそう思うのでしょうか。いろいろな考えをだしあってから、じっさいにたしかめてみることにしましょう。はかりは針がきちんと止まってから目盛をよみます。

実験の結果

となっている²⁴。10時間に及ぶテキストの一番最初に上記の問題を意図的に持ってきている。わかりやすい問題からとりあげ、順に実験をやってみせても、子どもたちにとっては当たり前の世界となる。子どもたちに注目させ、実験に集中させることにより、誤概念（ル・バー）が消えていくという考え方に基づいていると思われる。

極地方式研究会のテキストが、子どもたちに一番わかりやすい問題から順に難しい問題に進んでいき、重さの保存の法則の適用範囲が少しずつ拡大されて誤概念（ル・バー）がなくなっていくという考え方に對して、仮説実験授業の授業書では、子どもに驚きをもって受け入れられる問題から入っていることに特徴が見られる。

伏見は、このちがいについて、「この体重計問題は、（中略）当時国立教育研究所（現独立法人国立教育政策研究所）にいた板倉氏や、心理学者の永野重史、新田倫義、細谷純の三氏らがピアジェ研究をしていく中で創案されたもの」とし、その後板倉氏は仮説実験授業研究会「ものとその重さ」のテキスト作成にあたり、細谷氏は仙台に移り極地方式研究会の主要メンバーとして高橋金三郎氏らとともに「重さ」テキストの作成に加わったとしている。「同じ体重計問題を作った人が、これだけ違った課題配列を組むというのも面白い」と述べている²⁵。

（3）伏見陽児ら発達心理学を踏まえた理科教育への示唆

伏見は、誤概念（ル・バー）を正しいルールに組み替えるのに「ドヒャー型（組み換え型ストラテジー）」と「じわじわ型（積み重ね型ストラテジー）」ではどちらの方が効果的なのかを「ドヒャー型とじわじわ型の有効性」として整理している。

伏見は、当面のまとめとして、

- ① 学習者のル・バーがそれほど強くない場合は、ドヒャー型で一気にル・バーをくつがえして正しいルールに組み替えることができる。
- ② 学習者のル・バーが大変強い場合は、一般的にはじわじわ型の方が有効であるとした上で、実験に先立つ討論等によって「こういう結果が出た場合には、それはこういう理由からだ」という対応がついていれば、ドヒャー型も効果をあげる。
- ③ ドヒャー型を使う場合は、その後で情報を付け加えて、「ル・バーが成立した根拠」と「実験結果（事実）」との間の矛盾をなくす必要がある。

とまとめている²⁶。

これらの「ル・バー」の概念や「ドヒャー型ストラテジー」「じわじわ型ストラテジー」等の知識と授業展開・実験方法は、現場の授業に活かすことができ、教育学と教育心理学・認知心理学等との学問の連携においても、教師が身に付けておく価値と必要があると思われる。

(4) 劇化教材の効果に関する実験について

先の「重さの保存」のルールに関して、伏見陽児と麻柄啓一は、二種類の教材（絵本）を使って幼児に対して教材を劇化することの効果を検討している。

幼稚園年長児をE群とC群に分け、別々の絵本を読み聞かせる前と後、重さの保存のテスト（変形・分割・移動による重さの変化の有無）を出した。絵本Eを読んだE群は、学習されるべきルールとその事例がストーリーの展開や結末を大きく左右するように物語が構成され、C群の絵本Cは、そのようになっていない。その結果、「教材を劇化すると、とりわけ事前の低成績者に効果的なことが示された」ことを報告している。学習内容を、わくわくするような結果を引き起こす文脈の中で提示することにより、理解が深まることを示している²⁷。

また、小学校学習指導要領第4学年理科には、「(1) 人の体のつくりと運動」として「人や他の動物について、骨や筋肉のつくりと働きに着目して、それらに関係付けて調べる活動を通して、次の事項を身に付けることができるよう指導する」とあり、「(ア) 人の体には骨と筋肉があること。(イ) 人が体を動かすことができるのは、骨、筋肉の働きによること」を学習する。

立木徹は、「人間の骨格」の特徴について学習する際、人間の骨格を他の動物の骨格と対比して説明することの有効性を報告している。短期大学生をE群とC群に分け、それぞれに「人間のからだ」についての読み物を読ませる。その読み物は、「①人間の皮膚、②人間の骨格、③人間の血液・心臓・肺」からなり、E群とC群は「②人間の骨格」の箇所だけが違う読み物が与えられた。E群には、人間の骨格の特徴を主として猫の骨格と対比させながら説明した文章が与えられた。その結果、有意にE群の方が高成績であったという。このことから対比物が取り上げられることによって、人間の骨格の特徴が際立って、読み手によりよく把握されたことがわかる²⁸。

そのほか、「工作的発問」が紹介されている。工作的発問とは細谷純氏により概念化されたもので、「できるだけ（もっと）～なるようにしてごらん（作ってみよう）」「できるだけ～するにはどうすればよいだろう」という形式をとる発問を指し、「～」の部分には、子どもたち（学習者）が実現したくなるような魅力的な目標を当てはめるとする。例えば、「できるだけ強い電磁石を作ろう」などである。

先の「振り子の動き」の学習に関しては、作間慎一氏の実践を紹介し、実際にふりが10秒間に9回触れることを確認した後で、「10秒間にもっと多く振らすには、どうしたらいいかな」などの発問を試みている

V これからの理科教育について 就学前教育と小学校における理科教育の連携の必要性

(1) ヴィゴツキー「発達の最近接領域」とスキヤフォールディング (scaffolding) について

発達の最近接領域とは、子どもが一人ではできないが、外部からの手助けがあればできる領域を指している。ヴィゴツキーは、発達と教育との関連を考察し、教育は子どもの「現下の発達水準」に基礎をおくのではなく、発達しつつある水準、予測的発達水準に基づいて行われるべきであるとしている。

ヴィゴツキーは、子どもがある年齢では他人の援助を得てすることを、より後の年齢では自主的にできるようになることに対して、次のような例をあげて説明している。

二人の子どもが何らかの問題を解くことができない時、その内の一人は、どう始めたらよいかを密かに助言されると、そのあと続けてその問題を最後まですることができ、もう一人は、密かな助言があっ

でもそれをやり通せないことがある。密かな助言を得ると直ちに問題を解決した最初の子の方が、後の子よりも早く自主的な解決を始める。

科学概念の発達そのものは、子どもが生活的概念において一定の水準に達している時のみ可能となり、子どもには科学的概念の発達がまだ不可能な年齢がある。科学的概念の発生は、自然発生的概念の一定の発達水準においてのみ可能となる。そして、科学的概念の発達が開始される曲線部分が、発達の最近接領域であるとヴィゴツキーは考えている²⁹。

このように子どもの自主的な解決においては不可能であった操作が、教師の指導の下で可能となることがあり、ここに発達の最近接領域があり、保育者・教師等が指導を加える効果があると思われる。

有能な他者が、学習主体の行為を社会に共有された様式へと方向づけていく過程を、スキヤフォールディング (scaffolding：足場づくり) というが、ロゴフ (Rogoff 1990) は、日常生活の中で、大人が子どもに対して行うスキヤフォールディングの過程を、比較文化的研究や乳幼児研究の成果等を交えながら詳細に検討している。

ロゴフは、「大人と子どもが日常的な活動を共同的におこなう過程のすべてが、子どもの行為の方向付けとなるように構造化されている。」とのべている。有能な他者である保育者は、ヴィゴツキーのいう最近接領域への働きかけを行い、保育者の活動すべてが、子どもの行為のよき方向付けとなる (強制しない) 指導となっていると考えられる。

幼稚園等では、子どもたちが自ら育とうとする力を大切に、日々の遊びの中で見られる子どもたちの姿を見逃さないように「指導計画」を作成し、保育者は、園児の興味・関心がどこに向かっているのかを把握して、たっぷり遊べるように教材を選定して、環境を整えている。このことを踏まえた上で、小学校における理科教育を構成していきたいものである。

(2) 就学前教育と小学校における理科教育の連携の必要性

右写真1は、ペットボトルに水を入れて、回すと渦ができることを発見して、友達に伝えているところの様子である。渦ができるという自然の不思議さに触れ、自分が発見したことを友達に伝えたいという気持ちを持ち、「言葉で伝えたい」と友達に伝えている。

右写真2は、4歳児が砂場で「水道屋さん遊び」を楽しんでいる様子である。A君は、友だちと一緒にパイプをつなげて水を流そうとしている。しかし、パイプのつなぎ目で水が漏れていることに気づき、何とかしようと考えている。二人は、その後、もう一方の方からも繰り返し水を流し、継ぎ目を覗き込んで考えていた。これらの姿からは「思考力の芽生え」が見て取れる。その証拠には、別の日にパイプの太さやつなぎ目を変えて再度挑戦し、彼らなりに考え、パイプを砂の中に埋めるなどし、水が流れ出ることを体験した。

子どもたちの「水道工事遊び」は、幼児期の学びを具体的にイメージした「幼児期の終わりまでに育ってほしい姿 (10の姿)」から見れば、「水を流す」という共通の目標に向かって「言葉による伝え合い」をし、お互いの考えを共有し、工夫し、協力している姿である。また、水を流す際には、物 (水) の性質や



写真1 トルネードを見て楽しむ様子



写真2 水道屋さん遊びを楽しむ様子

仕組み（流れる水の働き等）について考えたり、友達の考えに触れたりして、よりよい考えを生み出す「思考の芽生え」の姿も見られ、「協同性」が育まれていくことを見取ることができる。

さらに、右写真3は、砂場で水を流して遊んでいる様子である。これらの遊びは、小学校学習指導要領理科第4学年「(3) 雨水の行方と地面の様子」に関連し、「雨水の行方と地面の様子について、流れ方やしみ込み方に着目して、それらと地面の傾きや土の粒の大きさを関係付けて調べる活動を通して、次の事項を身に付けることができるよう指導する」に繋がる活動であり、「(ア)



写真3 砂場で水遊びを楽しむ様子

水は、高い場所から低い場所へと流れて集まること。(イ) 水のしみ込み方は、土の粒の大きさによって違いがあること」の理解への基礎経験となる可能性が高い。また、第5学年「(3) 流れる水の働きと土地の変化」の「流れる水の働きと土地の変化について、水の速さや量に着目して、それらの条件を制御しながら調べる活動を通して、次の事項を身に付けることができるよう指導する」に関連し「(ア) 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働きがあること。(イ) 川の上流と下流によって、川原の石の大きさや形に違いがあること。(ウ) 雨の降り方によって、流れる水の量や速さは変わり、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」の学習の基礎経験となる。

小学校理科を担当する教師は、これらのことを意識し、これらの経験をしている可能性が高いことを踏まえた上で学習活動を構成することが必要でなる。

右写真4は、4歳児が泡遊びや色水遊びをしている様子である。



写真4 色水遊び・泡遊びを楽しむ様子

色水遊びを例に挙げても、花びらを使って色水を作る過程には「自然との関わり」があり、身近な素材を使って作りたいジュースの色を作る過程には「豊かな感性と表現」や工夫する過程に「思考力の芽生え」の姿が見られる。また、挑戦し成功体験や失敗体験を積み重ねながらやりきる姿には「自立心」の萌芽が見られ、片付け等においては「協同性」が育まれていると考えられる。

これらの活動は、就学前教育の観点からは、上記の通り、「幼児期の終わりまでに育ってほしい姿（10の姿）」の具体的な姿として見取ることができ、一方理科的な視点からは、小学校学習指導要領理科第6学年「(2) 水溶液の性質」に関し、「水溶液について、溶けている物に着目して、それらによる水溶液の性質や働きの違いを多面的に調べる活動を通して、次の事項を身に付けることができるよう指導する」に関連し、子どもたちは意識していなくとも「(ア) 水溶液には、酸性、アルカリ性及び中性のものがあること。」の学習の基礎経験となる可能性もある。このように、遊び込むことから、多くの学びを体験することを大切にするとともに、小学校理科への連携を意識して学習を構成する必要がある。

VI おわりに 先人の残した豊かな理科教育の継承と今後の理科教育の創造

理科授業において、「生命を尊び、自然を大切にし、環境の保全に寄与する態度」を育てる。しかも、できることなら「楽しく」わかる学習・授業でありたい。学習指導要領でも、「なにができるようになったか」が問われている。

そのためにも、授業構想する上で多くの先達が工夫し築き上げてきた授業方法について知ることは重要である。技術のみならず、その教育方法を実践研究しているサークル等に接し、そのサークルに属する教職員の授業に対する考え方・行動様式、教師文化等に触れ、「正統的周辺参加」のごとくその方法を「体験」することを通して、行動様式を身につけていくことが有効である。

しかし、現在も多くの民間の研究サークル等で日々実践を重ねている教職員はいるものの、盛んであった年代に教師として第一線にいた先生方は多くのものが退職し、学校現場では貴重な経験を十分に継承することなく、教職員の入れ替わりが進んできた。また、民間教育運動は一時期に比べ下火となり、身近にそういう研究サークルがあるとは限らない。

よって、書物からその授業・学習方式の考え方、教育のよりどころとする哲学等を知り、自分の引き出しに選択の一つとして入れていくことは、若い先生にとって重要な学びとなると思われる。

本拙文は、理科の教育方法に関して、「極地方式」及び「仮説実験授業」を取り上げ、細谷純や伏見陽見ら発達心理学の知見を参考として学習過程等を比較することを通して、それらの方式の寄るところとする理論や考え方を明らかにしようと試みた。

細谷純は、「研究というもの」として、次のような例を挙げている。

ある教育実践の検討会で、一人の先生が、「いろいろな單元について、方々で様々な実践がなされ、発表もされている。それぞれを参考にして、自分の授業を作りたいのだが、集めるのが大変だ。なんとかならないだろうか」という発言がなされた。それに対して、「それをするのが研究というものだ」と述べている³⁰。このような意識で理科の授業づくりや研究をしていきたいものである。

【注】

- ※ 1 板倉聖宣『未来の科学教育』国土社 1966年
- ※ 2 板倉聖宣『日本理科教育史』第一法規 1968年
- ※ 3 須田勝彦・大野栄三「民間教育運動における授業研究 第2節 科学と教育」日本教育方法学会編『日本の授業研究』上巻 学文社 2009年 pp.53-64
- ※ 4 森枝美「理科教育の変遷—科学教育としての理科教育へ—」田中耕治編著『戦後日本教育方法論史(下)』ミネルヴァ書房 2017年 pp.81-100
- ※ 5 高橋金三郎・細谷純編『極地方式入門 現代の科学教育』国土社 1974年 p.32
- ※ 6 前掲書 pp.24-27
- ※ 7 前掲書 p.38
- ※ 8 前掲書 pp.41-43
- ※ 9 これらの他に、9) 子どもの考えには、すべての何等かの心理が含まれている。「正答主義」はやめよう。10) 子どもが自分で問題を作り出すのは勉強が進んだ証拠である。11) 選択肢の一つ一つにはそれぞれもっともな理由がある。限定付でその正しさを評価しよう。15) 子どもの表現を「キガネ型」と「ハレンチ型」に分類するなど17項目が挙げられている。
- ※ 10 前掲書 p.74
- ※ 11 細谷純「科学をどう教えるか」『岩波講座 教育の方法 6 科学と技術の教育』岩波書店 1987年 p.161
- ※ 12 前掲書 p.155
- ※ 13 前掲書 p.151
- ※ 14 細谷純「授業原理としての『生兵法実践主義』」『極地方式入門』国土社 1974年 p.66

- ※15 前掲書 p.70
- ※16 伏見陽児『ルール学習と提示事例』東北大学出版会 2013年 p.12
- ※17 伏見陽児・麻柄啓一『授業づくりの心理学』国土社 1993年
- ※18 伏見陽児『教育学部教授の講義日記』星の環社 2005年
- ※19 伏見陽児は、1953年山梨県韮崎市大草町に生まれ、東北大学教育学部教育心理学科卒業後、東北大学大学院教育学研究科博士課程単位取得退学、教育学博士。1982年茨城キリスト教大学文学部児童教育学科専任講師、助教授、教授を経て、2000年より千葉大学教育学部附属教育実践センター教授、千葉大学教育学部附属教員養成開発センター教授等を歴任する。伏見陽児は、同じく東北大学大学院で細谷純の指導を受けた麻柄啓一と一緒に実験をしていることも多く、二人は共著で『授業づくりの心理学』（国土社1993年）等の書籍を出版している。
- ※20 庄司和晃『仮説実験授業』国土社 1965年 p.26
- ※21 鹿毛雅治「つまずきを活かす授業」日本教育方法学会編『教育方法学研究ハンドブック』学文社 2014年 p.352
- ※22 仮説実験授業研究会「ふりこと振動」1963年初版、1974年5月改訂版 p.4 仮説実験授業研究会編集『楽しい科学の授業シリーズ 授業書4 力学編』ほるぷ教育開発研究所 1982年収録
- ※23 伏見陽児『続々教育学部教師の講義日記』星の環社 2008年 pp.249-250
- ※24 仮説実験授業研究会「ものとその重さ」1964年初版 1966年改訂版 p.2 仮説実験授業研究会編集『楽しい科学の授業シリーズ 授業書1 化学・物性編』ほるぷ教育開発研究所 1982年収録
- ※25 前掲書（伏見陽児『教育学部教授の講義日記』）pp.168-169
- ※26 前掲書 pp.177 -178
- ※27 前掲書（伏見陽児『続々教育学部教師の講義日記』）pp.80-86
- ※28 仮説実験授業に対しては、伏見陽児たちが心理学実験を通して「問題」の持つ認識転換に二つの方略（ドヒャー型とじわじわ型）を示し、「仮説実験授業」が採用する「ドヒャー型」の意義と限界を指摘した。と、田中耕治が「戦後日本教育方法論の史的展開」コラム2「『たのしい授業』をめぐる論争」の中で指摘している。田中耕治編著「戦後日本教育方法論史 上」ミネルヴァ書房 p.31 コラム
- ※29 ヴィゴツキー『教育心理学講義』新読書社 2005年 p.311
- ※30 前掲書（『極地方式入門』）p.46

【参考文献】

- 伏見陽児『教育学部教師の講義日記』星の環社 2005年
- 板倉聖宣『仮説実験授業のABC』仮説社 1982年

野瀬 薫 日野町立南比都佐幼稚園園長

