

物体の密度の概念形成における生活科を基にした幼小中の接続

Connections between kindergarten education and junior high school education based on life sciences focusing on the concept formation of object density

中村 琢¹ 青島 範明²
Taku NAKAMURA Noriaki AOSHIMA

要旨：小学校の生活科は、平成元年の学習指導要領改訂において、低学年の理科と別教科として、理科の内容を排除して新設された。しかし、平成29年の新学習指導要領では、理科との接続が重視され、理科の「見方・考え方」の基礎の育成が求められるようになり、幼児教育との接続も図られた。早期の理科の導入は、学習者の発達段階による困難が予想され、後学の先取りで対応できるものではない。そこで、本研究では、中学校理科で扱う「物の密度」についての概念の形成が、学習者の発達段階にともなってどのように変容するのかを、幼児・児童を対象に実験を行い検証した。そこから幼児・児童の行動から円滑な幼小接続と小学校教科生活に求められる要素を整理することで、幼児であっても未分化ながら、理科の見方・考え方を理解する展開が可能なことが示唆された。

キーワード：密度，概念調査，幼小接続，生活科

1. 問題の所在

小学校教科の生活科の設置の議論は1967年頃から始まり、当初は低学年の社会と理科の学習が、説明中心の学習から経験を豊富にし、学習者自らが働きかける学習への転換が主要な考え方であった（国立教育政策研究所2005）。1975年の教課審答申では、理科と社会を廃止して新教科とするものの、教科の内容は従前の低学年の理科と社会の内容を中心として検討された。その後、具体的かつ総合的な活動を通して知識・技能の習得や態度・習慣の育成を図るための、合科的な指導体制が検討され、理科と社会の内容を廃した独立な視点が重視された。最終的には、具体的な活動や体験を通して学習することを通して、生活上必要な習慣や技能を身に付けさせ、自立への基礎を養うことを教科の目標に掲げ、1989年の学習指導要領で新教科として生活科が設置された。ここでは低学年の理科で生活科との接続が図られ、日常生活との関連した内容が精選された。一方1998年の改定の生活科と理科では、双方の接続は考慮されなかった（藤井2016など）。

2008年の学習指導要領改訂では、これまで独立の教科・内容であった理科と生活科の接続が再び図られた。生活科に、児童の知的好奇心を高め、「科学的な見方・考え方の基礎を養うための指導の充実を図る観点」が追加された。具体的には、「中学年以降の理科の学習を視野に入れて、児童が自然の不思議さや面白さを実感するよう、遊びを工夫したり遊びに使うものを工夫して作ったりする活動を充実する」とし、理科との接続の必要性が明確化された。つづく2018年改定の学習指導要領では、2008年の改訂の方針が踏襲される一方、更なる充実が期待されることとして、学年および教科等の接続に関する次の3点を挙げている。「幼児期の教育と小学校低学年教育との滑らかな接続」、「幼児期の教育との連携や接続を意識したスタートカリキュラムの取組の整備」、「社会科・理科・総合的な学習の時間をはじめとする中学年の各教科等への接続」の明確化である。特に理科については、小学校中学年の学習内容の前倒し・先取りにならないように留意し、育成を目指す資質・能力や「見方・考え方」のつながりを検討することが必要とし、低学年の理科との円滑な接続の必要性を強調している（文部科学省2009, 2018）。

¹ 岐阜大学教育学部

² 静岡南幼稚園

生活科におけるこれまでの変遷を踏まえると、小学校の生活科はそれ自体が単独で成立する教科ではなく、幼稚園教育から小学校、中学校と連続的に育成していく教育の「縦のつながり」と、他教科との連携の「横のつながり」が重要であると言えよう。

小学校1・2年の生活科の授業で、従前は理科が設置されていたことから、3年次以降の理科の見方・考え方の育成につながる展開は考えられる。しかし、幼児に小学校の生活科や理科につながる展開はできるであろうか。発達段階を考慮した導入は当然必要になる。

発生的構造主義に基づく認知の発達段階論によると、幼児期(4~6歳)から小学校期(7~12歳)は、前操作的知能段階(sensorimotor intelligence)にあたり、特に直感的思考の段階から、具体的操作段階(concrete operational stage)への移行段階にある(Piaget 1970, 中垣 2007, 竹内 2015 など)。幼児の思考は、自己中心的で状況に左右され、客観的に考えることは難しいとされる。理科の知識がほとんどなく生活経験にも乏しいこの幼児期に、理科教育を志向した教育を用いるのは困難であり、教育効果の点からも無意味であると予想される。

そこで本研究では、理科に関連する内容を幼児および小学校低学年児童に導入し、幼児・児童の反応と行動から、これらの年代の学習者に理科の見方や考え方の育成は可能であるかを探ることとした。

導入する理科の内容は「物の密度」とし、物体の水に対する密度を扱うことにする。岩田(2014)は小学校3年から中学校2年までの学習者の密度概念の発達について、体積、重さ、密度など量に関する物理概念の形成過程を調べ、密度の素朴概念が小学校3年までの早い時期に形成されることを示した。松浦ら(2018)は、浮沈子を題材とした中学校理科実践と大学生への調査から、物体の浮力や水圧の考え方に多くの素朴概念があり、大学生にも誤概念として定着していることを指摘している。これらの概念の獲得には、力、重力と浮力および水圧の考え方の理解が必要であるが、今回は理科の知識のない学習者を対象とすることから、物が水に浮くか沈むかについて限定し、遊びの活動として導入する。具体的には、幼児と小学校1年生に質的研究の方法で実施し、子どもの行動と発言から発達段階に応じた導入方法を検討する。そして、幼稚園教育から中学校教育に関わる教員の考えを加味して、円滑な幼小接続を志向した小学校教科生活の授業の在り方を考察する。

2. 理科教育における物の密度

「密度」という言葉の定義を考える場合、広義には対象とするものの混み具合の程度を表すものである。理科においては、より具体的に「単位体積あたりの質量」を意味する。この理科における密度の概念を理解するためには「体積」や「重さ」、「質量」といった物理的知識を理解しなければならず、段階的に学習して知識を積み上げていく必要がある。小中学校の理科では、物の密度に関連する内容は、表1に示すように小学3年から中学3年まで多岐にわたり、時間をかけて少しずつ学習する。これらは物質の「密度」そのものの概念の他に、「重さや質量の概念」、「物を動かす力の概念」、「気圧や雲など水の状態変化の概念」があり、それぞれが互いに関係づけられている。個体の密度の内容は、中学1年の理科でようやく学習し、実際に個体の質量や体積を測定して密度を求める。特に本研究で行う水中に物体を入れたときに物体が浮かぶ、沈むといった浮力と重力の合成の内容については、新学習指導要領では中学3年に移行した。

しかし、学習者はこれらの内容を学習する以前に、様々な機会に関連する内容に触れる機会があり、生活経験から多様な知識を身につけている。例えば、机の上から物をはじけば床に落下すること、滑り台から手を離せば下に滑り降り、斜面が急なほど速く滑ること、シーソーで遊ぶとき、重い方が下がり軽い方が上がることなど、物を使った遊びを通して試行と観察を繰り返すことにより、多くの物理的知識や論理的な関係を理解している。また、プールや風呂で玩具を用いた遊びを経験し、玩具には水に浮くものや沈むものがあることも経験している。

本研究では幼児であっても、物を使った遊びを通して理科の「見方や考え方」の基礎となる思考ができるのではと考え、実験により検証することにする。

表1 理科教育における物の密度に関係する内容と展開例（学習指導要領を基に筆者作成）

学年	単元	内容および取扱い	具体的展開例
小学3年	物と重さ	物は形が変わっても重さは変わらない。 物は体積が同じでも重さは違うことがある。	粘土やアルミニウム箔を広げたり丸めたりして変形させ、手ごたえ、上皿はかりによる重さの違いを比較する。
小学4年	金属、水、空気と温度	金属、水及び空気は、温めたり冷やしたりすると体積が変わるが程度に違いがある。	金属、水及び空気を温めたり冷やしたりしたときの体積変化を観察し温度変化と関連付けて性質の違いを見いだす。
小学5年	物の溶け方	物が水に溶けても、水と物とを合わせた重さは変わらない。	物が水に溶ける量や全体の量に着目し溶かす前後の重さの変化を定量的に調べる。
	振り子の運動	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。（重りの重力が振り子を動かす。）	条件制御の考え方をを用いて実験し、振り子の周期におもりの重さは関係しないことを発見する。
小学6年	てこの規則性	てこのつり合いに規則性がある。（重りの重力がてこを傾ける働きの大さき[モーメント]に影響する。）	てこのつり合いの条件を制御し、力を加える位置や力の大さきに着目して調べる。
中学1年	身の回りの物質	物質には固有の密度があり、他の性質等を考慮して分類できる。 気体の発生において、空気に対する密度の大小により気体の捕集法が異なる。	物質の体積や質量に着目し、物質の密度を測定する実験を行い、求めた密度から物質を区別する。 水槽に物を入れ浮き沈みを調べる。
	力の働き	物体に力が働くと変形したり動き始めたり、運動の様子が変わったりする。	静止している物体に力を働かせる実験を行い、物体が動き出すことを観察させる。その中で、力の大さき、物体の質量によって動き出し方に違いがあることを見いだす。
中学2年	気象観測	気圧は大気の圧力であり、圧力は力の大さきと面積に関係がある。 気温が下がると飽和水蒸気量が小さくなるため湿度が上がる。気温の低下に伴って大気中の水蒸気が凝結して霧が発生する。 高度による大気圧の変化と、大気の上昇に伴う気温の低下により雲が発生する。 昼夜の温度変化、夏冬の温度変化に伴い気圧が変化し風向が変わる。	継続的な気象観測とそのデータを用いて気象要素間の関係を見いだす。霧・雲の発生を実験により再現しメカニズムを見いだす。
中学3年	地球と宇宙 惑星と恒星	惑星の特徴として大きさ、密度、大気組成、表面温度、衛星の存在を扱う。	惑星の特徴をデータで示し大きさと密度等によって、地球を代表とするグループと木星を代表とするグループに分けられることを見いだす。
	運動とエネルギー	水中の物体に働く力のつり合いと合成・分解を扱う。	物を水中に沈めた際の水圧についての実験を行い、その結果を水の重さと関連付けて理解する。水中にある物体には浮力が働くことを見いだす。
		物体に力が働く運動では運動の向きや時間の経過に伴って物体の速さが変わること及び力が働かない運動では物体は等速直線運動する。	力学台車やボールなどに力を加えたときの物体の速度変化から力と運動の関係を見いだす。

3. 子どもの認知行動実験の方法

(1) 調査の対象

被験者は具体的操作段階の発達段階にある次の2名である。A児（5歳3か月，男児，幼稚園年中），B児（6歳9か月，男児，小学校1年，9月間小学校教育を受けている）で両者に血縁関係はない。実験は同一環境で，個別に実施された。

(2) 準備物と環境

次の物を机の上に用意しておき，調査者と被験者がテーブルに向かい合って座る。素材：水を8分目まで溜めた水槽（容量約10L），ミカン3個（2つはそのまま，1つは凍らせたもの），ピンポン玉（中空），小石，リンゴ，トマト，キュウリ。水槽を子どもの目の前に設置しておき，その他の素材は子ども手の届かない位置に置く。調査者の後方から三脚に固定したビデオカメラで子どもの行動を撮影する。

(3) 調査方法と留意事項

加藤・カミイ(2008)の「物と関わる指導上の原則」を参考にし，特に次の点に留意した。

- 1) 調査者が被験者である子どもに直接語りかけ，対話しながら実験を進めていく。その際は，子どもにわかる言葉で話す。
- 2) 子どもが自分で考えてより高いレベルの知的関係づけを作れるようにするため，子どもに実験のやり方の詳細を教えず，最低限の説明で試行できるような内容にする。
- 3) 子ども自身の思考を妨げず，他者の行動が子どもの思考に影響しないようにする。保護者が近くにいると，保護者の反応を確認しながら思考したり，保護者を喜ばせるように行動したりする可能性があるため，保護者を含む第三者を子どもの視界から離す。
- 4) 子どもに対して，子ども自身が考えた予想が正しいとか間違っているとかを言わない。また，調査者の表情や態度で正しいか間違っているかを悟られないようにする。
- 5) 子どもが何を考えているかを理解することに努め，子どもの言動を遮らず尊重する。子どもが思考せずに行動するときも，子どもの行動をできる限り遮らない。
- 6) 子どもにより深い思考を促すため，調査者は子どもの発言をよく聞き，発言を価値づけて励ます。
- 7) 調査が終了しても，子どもが実験を繰り返したり，他の視点で行動したりする場合も，子どもの行動を遮らない。

(4) 実験手順

- 1) 水を溜めた水槽と物を見せながら，物を水の中に入れる実験を説明し，それが水に浮くか沈むかを予想させる。発言例「～は水に浮くかな，それとも沈むかな？どっちだと思う？」
- 2) 子どもが予想を答えたら，その根拠を聞く。発言例「なんで浮く（沈む）と思ったの？」
- 3) 子ども自身が，物が水に浮くか沈むかの根拠を明確にできるように，共感するなどして支援しながら発言を促す。
- 4) 物を手渡して試行させる。予想したり，根拠を考えたりすることが十分にできない場合も，子どもが物に手を出したら渡す。
- 5) 石，ピンポン玉，ミカン（皮付き，皮なし，冷凍），リンゴ，キュウリなどを順に繰り返す。
- 6) 実験結果を確かめ，その都度，結果の解釈を促す。発言例としては，「どうなった？」「なんで浮く（沈む）のかな？」「浮くものと沈むものは，何が違うのかな？」という問いかけをする。

(5) 実験テーマ設定の意図

この実験は扱う物体の水に対する比重の大小により，水に浮くか沈むかを判断させるものである。物体を水中に投げ入れると，初速度と物体に働く正味の力に応じた運動を行う。物体に働く下向きの重力と水中で受ける上向きの浮力の合力が正味の力となり，重力が大きければ物体は沈み重力と浮力が釣り合うときは釣り合いの位置で静止する。

子どもはプールや風呂などで，実際に物を使った遊びを経験している。これらの生活経験を踏まえ実験

結果をどのように予想するかの行動を読み取る。子どもは物が水に浮くか沈むかを、「質量の大小」や「体積の大小」で思考することが予想されるため、物の質量の大小が容易にわかる物を用いた。また、ミカンやピンポン玉は似たような大きさのものを使用し、それらと大きさや形状の異なるリングとキュウリも用意した。

ミカンは皮のある、なしにより、水中での浮き沈みの結果が異なる。皮付きのものは水に浮き、皮をむいたものは水に沈む。あらかじめ皮付きのミカンで実験し、水に浮くことを確認した後に、子どもの前で同一のミカンの皮をむいて見せ、皮なしの実験に用いる。皮付きで水に浮いたことや、皮なしの方が皮の分だけ質量が軽くなることから、皮なしミカンも水に浮くと考えると容易に予想される。しかし、実際は皮なしの方が水に沈む。これはミカンの果実と皮の隙間にある空気が浮袋の役目となっていることにより、皮付きのミカンは浮き、空気層のない皮なしミカンは、水よりもわずかに比重が大きいいため沈む。その比重の差はわずかであり、皮なしミカンを水中に投入した直後は水槽の底面でバウンドするかのよう跳ね上がって一瞬水面まで浮き上がり、その後静かに底面に沈む。ミカンを水中に投げ入れてからのこの挙動は、結果がすぐにわからないという点や、動きがあることから子どもの興味を引きつける。さらに、実験に用いた同じミカンでありながら結果が異なることが面白い点である。同様に冷凍した皮付きミカンは水に浮く。一方、皮をむいた冷凍ミカンも水に浮く。これはミカンの主成分の液体の水が個体の氷になると、体積が大きくなり、密度が小さくなるためである。コップの中で氷が水に浮く現象と同じである。

4. 認知行動実験の結果

表2～4にA児B児の認知行動実験の結果をまとめ、対話の内容と子どもの行動を分析した。

表2 A児の結果1 (Rは調査者、AはA児を示す)

対話	子どもの行動	分析
<p>【ピンポン玉】 R: ピンポン玉をこの中(水をはった水槽)に入れます。どうなると思う。浮く?沈む? A: (水面とピンポン玉を凝視する。) R: 浮く?沈む?どうなると思う? A: 浮く。 R: 浮く?なんで浮くの? A: 多いから。 R: 多いから?何が多くの?持ってごらん。(ピンポン玉を手渡す) A: (直後に水槽に投げ入れる物を渡されると、考えるのをやめてすぐに行動する) R: 浮いた!</p>	<p>直感によりピンポン玉は浮くと予想。 浮く理由が「多い」と非論理的に思考。 物を手にすると思考よりも行動に興味を勝る。</p>	<p>予想を問われたことによる思考よりも、目の前に物があり、触れるという状況に興味に移り、結果を論理的に思考できなくなっている。「自己中心性」が見られる。</p>
<p>【石, ピンポン玉】 R: (石を見せながら)じゃあこれを入れるとどうなると思う? A: 下に沈む。 R: なんで? A: だって、ちっちゃいから。 R: 小さいから? R: 持ってごらん。(石を手渡す) A: (直後に水槽に投げ入れる)おおー。(ニコニコ) R: 沈んだねえ。(ピンポン玉を触りながら)じゃあこれはなんで沈まないの? A: でっかいから。 R: でっかいから?そうかそうか。</p>	<p>直感により石は沈むと予想。 沈む理由が「小さいから」と非論理的に思考。 「大きい物が浮き、小さい物が沈む」と物の体積から思考。質量については考えない。</p>	<p>ピンポン玉のときと同様に、予想の思考よりも、物に興味に移り、結果を論理的に思考できなくなっている。「自己中心性」が見られる。 対象を客観的にみることができず、ピンポン玉と石の体積の大小をもとに思考している。</p>
<p>【皮付き・皮なしミカン】 R: (ミカンを指し示しながら)ミカンはどうなると思う? A: 真ん中。 R: 真ん中?なんで? A: だって太っているから。 R: (ミカンを手渡す) A: (ミカンを投げ入れる) R: 浮いたね。じゃあ、今度は同じミカンだけど、むいてみます。</p>	<p>沈むか浮くかは、引き続き「物の体積の大小」で判断している。ミカンは「太っているから真ん中」と予想。</p>	<p>直前のピンポン玉と石の結果を踏まえて予想しているように見えるが、非論理的に思考している。水に沈むか浮くかは「体積の大小」で</p>

<p>皮をむくよ。(むいたミカンを示しながら) これどうなると思う？中に入れたら。 A: 沈む。 R: 沈む？なんで？ A: だってさ、皮むいたから。 R: 皮むいたらなんで沈むの？ A:皮むいたから。 R: なんで沈むの？(皮をむいたミカンを手渡す) A: (直後に水に入れる。) R: (直後は、ミカンは浮く。徐々に水に沈んでいく様子。) あ、沈んだ、沈んだ。 A: (注意深く観察する。) R: (凍らせたミカンを見せながら) このミカンはどうでしょうか？沈む？浮く？ A: ちっちゃい。(手を伸ばす) R: どっち？浮く？沈む？ A: 沈む。 R: 沈む？(浮いている皮つきのミカンを指し示しながら) だってこのミカンと一緒にだよ。 A: だってさ、... A: (ミカンを奪い取って、直後に水に投げ入れる) R: 浮いたー。 A: (調査者の言葉によって、注意深く観察する) R: 同じミカンなのに何で浮いたり、沈んだりするの？ A: 皮も入れちゃおう。(皮を入れる) R: 皮は浮いている。すごい。いろんなことわかったね。</p>	<p>皮ありと皮なしの違いの影響を理解しない。皮をむくと水に沈むと予想するが、理由は皮をむいたことと、一面的に思考している。</p> <p>物を手にすると思考よりも行動に興味を勝る。</p> <p>調査者の声かけにより、結果を注意深く観察する。</p> <p>凍らせたミカンを見ても「体積の大小」で思考し、一面的な見方しかできない。</p> <p>皮だけを単独で入れるが、皮のあるなしについて思考しない。</p>	<p>思考しているが、思考に統一性がなく、一面的な見方しかできない。冷凍したミカンの予想でもこれまでの「体積の大小」による一面的に思考する。</p>
---	--	--

ここで A 児は、あらかじめ用意された物以外にも水の中に入れてみたい、遊んでみたいと言い出し、自分で物を集めてきて順番に入れていった。プラスチックの板、ゴム、紙、ガラスのコップとプラスチックのコップ、セロハンテープ、キュウリ、ビニール袋を次々に試した。調査者は A 児の考えを尊重し、自由にやらせた。

同じコップでも、「ガラスは沈みプラスチックは浮くこと(比較)」、「コップに水が入っていないときはどちらも浮く」こと、「コップに水が入りだすと重心が変化することに伴って斜めに傾いて沈み始めることを、『ちょっと沈んだ』と表現する」こと、「時間が経つと『紙がぐちゃぐちゃになる』という観察・表現」、「袋を水に入れると中の空気がどんどん抜けていく」ことなど様々な気づきが見られた。理科の見方である「量的・関係的な視点」、「時間的・空間的な視点」を用いる場面があった。

紙で遊んだときには、「紙は水に濡れると破れること」を確かめ、「細かく破いた紙片も、1枚の紙と同様に水に浮くこと」を見出した。



図1 A児の遊びの様子(皮なしの1個のミカンを細かく分割して体積を小さくしたときにミカンが水に浮くかを探究的に調べている)

表3 A児の結果2 (Rは調査者、AはA児を示す)

対話	子どもの行動	分析
<p>【トマト・リンゴ】 (トマトが水に沈んだことを確かめる) R: トマトは何で沈んだの? A: ちっちゃいから。 R: ちっちゃいから沈んだの? さっきミカンは浮いたじゃん。 A: (再度みかんを沈めた) R: ミカンは浮いたけどトマトは沈んだね。すごいね。(リンゴを見せて) じゃあ、リンゴはどうなるかな? A: (リンゴを手に取り水の中に入れる。リンゴが水に浮くを見て) 浮いた! R: なんで大きいリンゴが浮くの? A: ……。</p>	<p>トマトが水に沈んだ理由を「体積が小さいから」と思考した。ほぼ同体積のミカンを再び話題に出すと、ミカンを手に取り再度実験を繰り返して比較した。体積の大きいリンゴが浮くことを見て驚くも、その根拠は考えられない。</p>	<p>既に試した他の物体の結果と関連付けて思考せず「トマトが沈むのは体積が小さいから」と思考する。体積が大きくミカンやトマトよりも重量が重いリンゴが水に浮いたことに驚いたことから、「体積の小さいものは沈み大きいものは浮く」と逆の考えを持つ。一面的な見方ではなくその状況に応じて直感的に思考している。</p>
<p>A: (遊びの中から、大きいものが沈み、小さいものが浮く、という考えを持つ) R: どうすればわかるの? A: (ミカンを半分に割って小さくしてみる。) R: 小さいとどうなるの? A: 浮く。(やってみると沈む) R: なんで? A: (これはまだ) 大きいよ、これ。 R: もっと小さくしたらどうなる? A: (ミカンを1房ずつに分けて水に入れる) やっぱり沈む!</p>	<p>「同じ物体では体積が大きい方が沈み、小さい方が浮く」と考えた。調査者の「どうすればわかるの?」の問いかけに、ミカンを細かく割っていき浮き沈みの様子を自発的に確かめる。ミカンが1房でも沈んでいることから、まだ大きいから沈むと結論付ける。</p>	<p>すべての実験を通して「体積の大きいものが沈み、小さいものが浮く」という考え(仮説)を持つ。仮説が正しいかどうか、「どうすればわかるの?」の問いにミカンを細かく割っていく方法を考案し探究的な視点を持つ。不完全ではあるが具体的操作段階の認知行動である。</p>

A児は物を使って調査者と対話ができている。調査者が問う予想に対して、自分の考えとその根拠を述べる事ができている。調査者が言葉で条件や問いを説明したり、具体的な物を見せたりすることにより、行動の内面化が起り言葉として表現できた。すなわち、「水槽の中にミカンを入れるとどうなるかな?沈むかな?浮くかな?」という問いかけに「浮く」と答えたり、「何で浮くのかな?」という問いかけに、「大きいから」などと問いかけに応じて理由や根拠を述べたりすることができる。また、問いかけた内容に即して物を手に取り、自ら水槽の中に投げ入れるなど、場面に応じて意図的に手を動かして操作する知的行動がされていた。

しかし、物が浮くか沈むかの予想は、最初は「多い小さい」という数量の視点から、物の「体積の大小」の視点に移行するなど、思考に一貫性がなく、場面や状況に左右された思い付きによるものと思われる。「体積の大きい物は沈み、体積の小さい物は浮く」と考えても、質量の大小は考えないなど、一面的な見方しかできない。さらに、違う物体になると「体積の大きいものは浮き、体積の小さいものは沈む」といった逆の考えを述べることもあり、思考が知覚や状況に左右される。場面によっては思考が追い付かず意見述べなかつたりわからないと答えたりすることもある。

ミカンを「太っている」と擬人化して表現したことなど、物にも生命が宿るという考え(ピアジェのアニミズム)があり、自己中心的思考が見られた。

他の物の実験結果を関連付けて論理的に思考することはできない。ピンポン玉の結果とミカンの結果を「比較」して思考することや、皮をむいたミカンの結果をトマトの予想に「関係づける」こと、ミカン、トマト、ピンポン玉の結果から「多面的に思考すること」などの「理科の考え方」は完全にはできない。「大

きいものは沈む」という考えを、「沈む物は大きく浮く物は小さい」と逆思考はしないなど、思考の不可逆性が特徴的である。

あらかじめ用意された物だけでなく、紙やプラスチック、紙筒など身近なものを手当たり次第に水槽に入れて結果を確認していた。興味が高まると自発的に意図的知的行動（遊び）がとれた。さらに、浮いている物の上に別の物を載せるとどうなるかを確かめる、新たな遊びを見つけて遊んでいた。これらの結果は、A児の発達段階が前操作的知能段階の直感的思考の段階の特徴を示すものであった。

表4 B児の結果 (Rは調査者, BはB児を示す)

対 話	子どもの行動	分 析
<p>【石・ピンポン玉】 R: (石を見せながら) 石は水の中に入れたらどうなる? B: 沈む。 R: 沈む? やってみて。 B: (無言で投げ入れる) R: 沈んだね。これ、ピンポン玉。持ってみて。(手渡して) これどう? B: 軽い。 R: 入れたらどうなる? B: 浮かぶ。 R: 浮かぶ? なんで浮かぶの? B: 軽いから。 R: やってみて。 B: (無言で投げ入れる) R: 浮かんだね。</p>	<p>石は水に沈み、ピンポン玉は水に浮くと予想する。物に触れると思考をやめ、行動が勝る。 ピンポン玉が浮くのは重量が軽いからと予想する。</p>	<p>石は水に沈むと迷わずに答えていることから、生活経験から思考していると考えられる。ピンポン玉は軽く、石は重いという重量の大小から、重い物は水に沈み軽い物は水に浮くと思考する。問いかけに対応して思考し表現できている。</p>
<p>【皮付き・皮なしミカン】 R: (ミカンを見せながら) これミカンね。ミカンを入れたらどうなると思う? B: ええー? 浮かぶ? 沈む? (判断を明らかにせず投げ入れようとする) R: (動作を制止して) どっちだと思う? B: (最終的に) 沈む。 R: なんで沈むの? B: だって重いから。(投げ入れて、結果を確認して) 浮かんだ! R: ミカンの皮をむいてみた。どうなると思う? B: え、沈む。 R: なんで沈む? B: あ、ミカンはミカンだからただ皮をむいても同じなんじゃないかな? R: じゃあ、同じだから浮かぶよね? B: (ほとんど同時にミカンを入れて) え? R: なんで? B: なんでだろう? R: (凍ったミカンを見せながら) これ、どうなるだろう? B: (直前の皮むきミカンの結果を思い出しながら) 沈む。(すぐ手に取って水に入れる) え? 何で? 何で浮かぶの?</p>	<p>ミカンは水に浮くか沈むか、という問いかけに、すぐに予想できず、手を動かして確かめようとする。再度の問いかけに、沈むと答える。その根拠は前の実験から継続して重量の大小から思考し、ミカンは重いので沈むと答える。(皮付きミカンは水に浮くことを確認) 皮をむいたミカンは沈むと、逆の回答。理由は皮なしミカンも同じミカンで変わらないと考える。論理の矛盾を指摘しても気づかない。凍ったミカンは沈むと予想。浮いたことを不思議に思う。</p>	<p>直前の実験結果を踏まえて予想している。ミカンが水に浮くか沈むかは重量の大小により、「重い物は沈み軽い物は浮く」と一貫した思考を持つ。同じ思考でミカンの皮をむくと沈むと予想するなど非論理的思考である。実験で確かめる前に、調査者の問いかけに思考することができる。</p>
<p>【トマト・リンゴ】 R: (次にトマトを見せながら) トマトは沈むの? 浮くの? B: 浮く? R: なんで浮くと思う? B: だって、(ピンポン玉を指さしながら) これとだいたい同じだから。 R: ああ、大きさが同じくらいだから B: ええ、沈んだ。 R: なんで? 大きさ? B: いや、うーん、形? R: 形? でも同じ形じゃん! なんで? B: 食べ物の種類が違うから! R: なるほど、食べ物の種類が違うと浮いたり沈んだりするのだね? B: これは皮むいているから。 R: (リンゴを見せながら) じゃあ、これはどうなる? B: え、リンゴ? 沈む。 R: なんで沈むの? B: 重いから。(手に取って静かに水の中に入れる) 浮かんだ。</p>	<p>トマトはピンポン玉と同じくらいの大きさであるという考えで、ピンポン玉と同じ結果になると予想し、水に浮くと思考している。予想に反しトマトが沈んだことを、対話において、形状の違い⇒食べ物の種類の違い⇒皮のありなしの別、と順に思考している。</p>	<p>直前にやった実験結果と関連付けて思考できている。物の浮き沈みが、重量の大小によると思うするも、異なる結果になったときに、非論理思考が見られる。論理の矛盾を指摘すると理解する。</p>

<p>R:沈まない、何で? B:ああそうか!ミカンとリンゴは同じフルーツだからか。 R:同じフルーツだから?でもミカンは皮をむいたら沈んだじゃん。B:それは少し軽くなったから! R:沈む方が重いんじゃない? B:重いけど、なんか、軽いよ。 R:不思議だねえ。 B:もうちょっと実験したいな。 R:キュウリはどう? B:(実験しながら)キュウリは浮かんだ!不思議だねえ。(一人で遊んでいる。)</p>	<p>リンゴは重量が重いから沈むと予想。浮いたことに対して、フルーツだから浮く、重量が軽いから沈むといった、非論理思考である。</p>	
---	---	--

B児もA児と同様に物を使って調査者と対話ができ、自分の考えを言葉で表現できている。A児同様に思考よりも手が先に出る傾向が見られるが、調査者の問いかけに行動をやめ、思考することができる。物が水に浮くか沈むかを、質量の大小で思考している。直前の実験結果を基に予想することはあるが、3つ以上の物の重量を比較したり、重量の大きさで系列性の操作や可逆性を思考したりすることはできない。A児と同じく前操作的知能段階の直感的思考の段階にあり、一部で具体的操作段階に移行していると考えられる。A児、B児ともにピアジェの年齢による発達段階論を支持する結果となった。

一方、両名とも調査者の問いかけには適切に反応し、論理の矛盾点を指摘するとそれに気づく場面も見られた。前に試した他の実験結果を思い出して思考したり、比較したりすることも一人ではできないが、調査者の問いかけがあれば答えられた。このことから、遊びの場面でも大人の適切な問いかけにより、理科の見方や考え方が自発的に育成される機会があると考えられる。A児は直前の複数の結果を用いて試行錯誤の末、「同じ物体では体積が大きい方が沈み、小さい方が浮く」と考えた。調査者による「どうすればわかるの?」という検証方法の問いかけに、ミカンを細かく割っていけばわかるという考えを示し、自発的に検証する姿が見られた。ミカンを半分に割ったものでも沈む。次に4分の1に割ったものでも沈む。最後には1房に割ったものでも沈むことを見つけ、驚くとともに、1房のミカンでもまだ大きいから沈むと結論付けた。これらの行動は、課題に仮説を立て、検証方法を立案し実験によって確かめることであり、理科の見方・考え方を不十分ながらも用いて思考できていた。

5. 認知行動実験の結果の子どもの記録

行動実験を子どもがどのように捉え、知識として定着したかを調べるために、行動実験を振り返り、絵に描かせた。行動実験から2週間後に、物を見せずに「水に物を入れた」という事実のみを伝えて思い出させ、実験に用いた物は教えずに記憶だけを頼りに自由に描かせた。調査者は子どもが絵を描く場に同席せず、子どもの保護者が指示を読み上げた。

A児(図2)は皮付きのミカンは浮いているように上側に描き、皮をむいたミカンは沈んでいるように下側に描いた。ミカン、トマト、キュウリ、石、紙など、それぞれの特徴を捉えた色で描いている。リンゴが沈んでいること、石の1つが浮いているように事実と異なる点も見られる。

B児(図3)は水面を紙面上方に描き、リンゴを水面の上に描いて浮いている様子を示し、「うく」と説明している。3種類のミカン(皮付き、皮なし、冷凍)はすべて下側に描いている。皮をむいたミカンが「うく」、皮付きのミカンを「沈む」と、キュウリは「沈む」と、実験の事実と異なる記述が3か所見られる。行動実験から2週間後の振り返りにもかかわらず、A児B児ともに実験の様子や用いた物を絵や説明文で表現するなど、前操作的知能段階の過程で主観と客観が未分化な状態から、徐々に論理的思考段階に入りつつあることが読み取れる。この実験の内容が、子どもにも十分に理解できるレベルだったといえる。正しい結果を正確に記録するには至らず、異なる結果も描いていることから、一つ一つの結果の関係、系列性が整理できていない。これは幼児期の特徴を示すものであるとともに、調査者が結果を定着させるような発言や思考を深める問いかけをしなかったためであり、妥当な結果と考えられる。

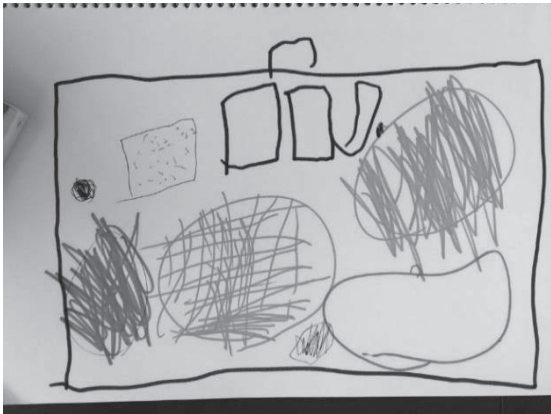


図2 A児が描いた遊びの様子絵 (右上:皮付きミカン, 中央下:皮なしミカン, 右下:トマト, 左下(浮いたはずの)リンゴ, 左上の四角:キュウリ, 小さな丸:小石(一方は沈み, 一方は浮く), 中央上:紙)

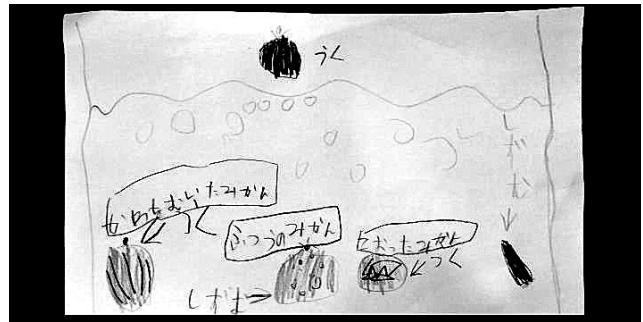


図3 B児が描いた遊びの様子絵 (中央上:リンゴ(浮くと記述), 左下:皮なしミカン(浮くと記述), 中央下:皮付きミカン(沈むと記述), 右寄り下:凍ったミカン(浮くと記述), 右下:キュウリ(沈むと記述))

6. 教員の認識調査から

今回の認知行動実験の内容について、幼児から中学生徒までの各段階で実施するとし、各発達段階の子どもはどのように行動するか、理科的な要素を含む活動が可能かについて教育現場の教員の認識を調査した。具体的には、幼稚園教諭6名、小学校教諭3名、中学校教諭2名に、質問紙およびインタビュー形式で行った。その結果、幼稚園教諭6名、小学校教諭3名、中学校教諭2名から以下のような回答を得た。

(1) 幼稚園教諭

予想される幼児の行動について、「発達段階や経験の違いによって反応が変わる」、「年長児は水に浮く沈むの不思議さがわかり、なぜ、どうしてと興味を持つ」、「年長児は大きい/小さい、重い/軽い、長い/短いなどの理由が挙がる」、「年少児は周囲の反応や子どもの答えを聴きながら予想する」、「年齢だけでなく個々の経験によって反応に違いが出る」と年齢・経験の有無の違いなどを回答した。ミカンの他の物を見せたときの反応では、「不思議さに気づき、今までの経験したことを思い出しながら伝えようとする」、「ミカンを基準にして小さい/大きい、軽い/重いなどを比べながら答える」とし、今回のテーマは幼児にも受け入れられると回答している。また、幼稚園・保育園での展開例では、具体的な遊びの場面を挙げて、身の回りの物を使って遊ぶタイミングや遊びの「必要感」をふまえて試行錯誤できる環境と援助を整えるなど、様々な工夫が挙げられた。幼稚園教諭は理科を意識せず、適切に対話しながら幼児の関心を持たせることができれば、幼児の実態に即した展開が可能と好意的にとらえていた。

(2) 小学校教諭

予想される児童の行動について、「身近な現象を元に実験及び観察を繰り返すため、金属などの重いもの以外は「浮く」と想像するために、「浮く」と回答する生徒が多いとした。理科専門の教諭は、子どもの遊びの中から出る様々な気づきを拾いながら、「仮説を立て、検証していく授業」や「身近なものを集めて、浮くか沈むかを予想しながら帰納法で調べていき、規則性を見つけていく授業」が可能であると回答した。

(3) 中学校教諭

予想される生徒の行動として、「ゆず風呂や野菜の洗浄などの状況を見たことがあるため、それと類似した印象を持ち、80%の生徒が「浮く」と回答すると予想」した。さらに、学年進行とともに「確かさや理由を気にして考える時間が長くなり、ミカンに個体差があるかもしれない」と回答する生徒も出てくる」と指

摘している。物の重さや体積の違いから、「密度」を学習し、その後の状態変化につなげる過程で、物質の粒子モデルを身につける。この授業の展開については、小学校教諭同様、帰納法による授業展開を生徒の主体的な探究活動により実施する案を挙げ、変数制御によって得られた結果をもとに密度を計算するところまで達すると回答した。探究の過程では、形式的操作段階の特徴である形式的・抽象的な操作が可能であり、仮説演繹的操作に基づく思考ができると考えていた。

7. まとめと小学校教科生活への示唆

認知行動実験から、幼児と小学1年生の発達段階の特徴が整理され、ピアジェらの研究を支持する結果が得られた。実験で子どもに結果を意識させる具体的な働きかけをしなくても、体験したことの多くを知識として定着させていた。自ら遊びを継続したいと発言するなど、興味関心を高めるテーマだったといえる。

結果の記憶が不十分であったのは、発達段階によるものに加え、実験時に十分な振り返りの手立てを講じなかったことが考えられる。今回の研究は幼児に理科の教科目標を目指すわけではないので、知識の定着は意識しなかった。つまり、子どもの自然な状態を明らかにしたものである。

多くの教員がアンケートで指摘しているように、発達段階の違いに応じ、身近な物を使った遊びを取り入れ、対話を工夫していくことが幼少期の教育に必要であろうと考える。また、幼児であっても低学年理科につながる内容について、理科の見方・考え方の基礎の育成が可能であることが示唆された。今回は幼児1名、小学生1名のみ結果をもとに検証した。この結果から、小学校の生活科に理科の要素を取り入れた展開ができると結論付ける段階ではないが、生活科を中心とし理科の「見方・考え方」の育成を志向した幼少接続が可能と考えられる。

謝辞：

静岡市立田町こども園の園長先生をはじめとする教員の皆様にはインタビューとアンケート調査に協力していただきました。内田見紀さんには実験に協力していただきました。岐阜大学教育学部附属小中学校の理科部の教員の方々、静岡北中学校の本多安希雄教諭にはインタビューに協力していただきました。関係の皆様には感謝を申し上げます。

参考・引用文献

- 藤井達也, 野田敬敏, 理科と生活科の接続の意義に関する一考察—理科に関する学習および生活科の歴史的背景を視点として—, 愛知教育大学教職キャリアセンター紀要, 2016.
- 岩田眞樹子, 小3から中2にかけての密度概念の発達, 日本認知科学会第31回大会, 2014.
- 加藤泰彦, C. Kamii, ピアジェの構成論と幼児教育 I, 物に関わる遊びを通して, 大学教育出版, 2008.
- 国立教育政策研究所, 教育改訂の改善の方針, 各教科等の目標, 評価の観点等の変遷—教育課程審議会答申, 学習指導要領, 指導要録(昭和22年～平成15年)—, 2005.
- 松浦亮太, 中村琢, パフォーマンス課題により探究能力を育成する理科授業の開発—浮沈氏を用いた圧力と浮力の授業から—, 岐阜大学カリキュラム開発研究, 34, 1, 2018.
- 文部科学省, 小学校学習指導要領(平成29年告示)解説生活編, 2018.
- 文部科学省, 小学校学習指導要領 解説生活編, 2009.
- Piaget, J. "Piaget's Theory" in Mussen ed., Carmichael's Manual of Child Psychology, Wiley, 1970.
- Piaget, J., 中垣啓, ピアジェに学ぶ認知発達の科学, 北大路書房, 2007.
- 竹内通夫, ピアジェの構成主義と教育, ピアジェが私たちに投げかけたもの, あるむ, 2015.

