

## 小3から中2にかけての密度概念の発達

Long-term conceptual change in the density: How do concepts change in the same children from third to eighth grades?

岩田 眞樹子

Makiko Iwata

<sup>†</sup>みどり市立笠懸南中学校, <sup>‡</sup>放送大学大学院文化科学研究科

Midori City Kasagake Minami Junior High School,

Graduate School of Arts and Science (MD Program), The Open University of Japan

iwata@otv.ne.jp

### Abstract

This paper presents a study of 23 children's concept of size, weight density and material from third to eighth grades.

Children's ideas in verbal tasks show that many third grades children did not distinct density from weight. This kind of undifferentiated concept also find in shape and size. It could be explained by the aim of our perception and the definition of density.

Density is one feature of material that can be used for distinct material kind. It is also defined as the weight per size. Because of that daily use of the word 'weight' contained the meaning of density. And it is very important for children to survive that they can distinct one material kind from others.

Then the early concept of density must be one feature of the material kind. Actually I found the evidences in the descriptions. I call this concept as naive density. Naive density is distinguished from scientific meaning of density, because it lacks in the concept of the weight per size. Probably the development of material concept has the close relations to the development of the density concept.

This Study attempts to describe the concepts change made out of the interaction between perception, daily experience and the school study.

**Keywords —conceptual change ,density, Japanese school education**

### 1. はじめに

子どもの物質概念の発達は、古くはPiagetらのジュネーブ学派によって研究されてきた。Piagetらは、「量の保存」、「重さの保存」、「体積の保存」に関する学習実験を行い、学習過程における子どもの質的研究から、保存概念が、量→重さ→体積の順に獲得されるとした。武田(1974)は、日本の小学生から大学生について、Elkind(1961)の方法を参考に横断的、統計的な追試研究を行い、保存概念の成立について、時期はElkindと同様の11歳以降に、成立の順序については、Piagetの研究を裏付ける結果を得ている。武田(1974)は、Piagetの思考の形態面についての見解を、量比較における成功の段階が、「心的操作」と呼ぶ内面化された活動の発達に匹敵すると捉え、量比較におけるなまの量から内包量への段階は、「論理的乗法」が可能になり始めたことを示すものであり、論理的数学的思考への大きな前身と捉えることができる

として、抽象的・数学的な枠組みから概念発達を検討している。そういった理論をもとに、Inhelderらも保存実験を行っているとの記載も武田(1974)にみられるので、物質概念の発達は、量の保存概念の確立を前提として、抽象的・数学的な枠組みから捉えられてきたと思われる。

ところで、自然科学の観点からすると、物質量のうち、直接的に測定可能なものは「質量」と「体積」であり、さらに単位体積あたりの質量から「密度」の深い量である。

ピアジェらは、物質量の保存課題において、「粘土は同じだけあるか。」と質問しているが、この場合に「体積」と「質量」のいずれを問題としているのが判断しにくい。

また、「重さの保存課題」では、最初にてんびんで釣り合うことを確認した後に、子どもの目の前で粘土を変形させて、再び釣り合うかを予想させている。天秤で釣り合うかを聞くことで、一見すると測定可能な質量が問題とされていることが明白であるかの印象を与える。しかし、子どもたちは、粘土の重さを日常的には、手に持ったときに感覚で判断しているはずである。また、実際に天秤を粘土遊びの場面で使用することは希であると考えられる。以上から、子どもたちの予想の根拠は、日常における粘土遊びでの経験であると推察できる。だとすれば、子どもたちが予想の根拠としているのは、測定可能な「質量」としての「重さ」ではなく、手に持ったときの感覚としての「重さ」である。手に持ったときに感じる「重さ」は、必ずしも測定した「質量」と同じではない。手に持ったときの重さを問題にするのであれば、人の知覚の

あり方を考慮する必要が出てくるだろう。

このことを考えると、物質概念の発達を「量」「重さ」「体積」についての保存概念の確立の問題であると仮定して実験を行い、抽象的・数学的な枠組みから検討したのでは、その全容を捉えることにはならないと思われる。

本研究では、23人の子どもについて、小学校3年生から中学2年生までを縦断的に追って、物質の大きさ、体積、重さ、密度など量に関する物質概念がどのように形成されていくかについて、人の知覚、日常経験、学校での学習内容の影響などを加味して、子どもの目線から検討することから、これまでの抽象的・数学的な枠組みでは捉えることができなかった、具体的・知覚的な外界との相互作用を通じた概念変化の過程を明らかにする。

## 2. 物質概念の発達についての理論的考察

### 2.1 自然科学の知見からの考察

物質は、固体・液体・気体の3態をとるが、いずれの状態でも、実際に測定できる物質量は、質量と体積である。一定量の物質を外部との出入りができない系の中に閉じこめると、体積は温度や圧力によって変化するが、質量は一定である。また、化学変化が起こる場合でも、反応に関与した物質の質量の総量は変化しない。「質量保存の法則」は外部からの物質の出入りがなければ成立するが、体積の保存が成り立つためには、さらに同温・同圧といった条件が必要とされる。

また、質量と体積の関係を表した量が「密度」である。密度は単位体積あたりの質量で定義され、同温・同圧の条件下では、物質の種類に固有のものである。「圧力」は、重力の存在下で、固体の物質が接する面に対して及ぼす力で、単位面積あたりの質量で示されることから、これも物質量と関係の深い量であることがわかる。

上記のことから、科学的な物質概念とは、次のようなことを相互に関連づけて、理解することと言えるだろう。

1) 外部からの出入りがなければ、物質の質量は保存される。これは、物質が原子の組み合わせででき

ており、その構成は物質の種類によって決まっ  
ていて、物質を構成する原子一つ一つの質量も決ま  
っているからである。

2) 物質の体積は、圧力や温度によって変化するが、  
同温・同圧のときには、外部からの物質の出入りや  
化学変化などがなければ、体積は保存される。

3) 物質の質量と体積は、互いに関係しており、同  
温・同圧で外部との物質の出入りがなければ、物  
質の状態にかかわらず、質量は体積に比例する。ま  
た、単位体積あたりの質量を密度といい、この値は、  
同温・同圧の条件下では、物質に固有の値をとる。

4) 物質はその質量により、加速度が加わると外部  
に力を及ぼすことが可能となる。地球上で日常的  
に私たちが「重さ」としてとらえているのは、物  
質の質量に比例して、地球が下向きに引く力であ  
る。このため、「重さ」は地球上では、下向きにか  
かる。物体をおいたときに下向きにかかる力は、  
同じ質量の物体であっても、その接する面積の広  
さによって変化し、これを圧力という。

5) 物質は、固体・液体・気体の3つの状態をと  
るが、これは温度や圧力の変化により、分子の運  
動状態が変わり、分子間の距離が変化することが  
原因である。分子間の距離が変化しただけなので、  
外部との出入りがなければ、質量は保存され、温度  
と圧力の条件を変えて、体積が変化しても、同一  
条件にすれば、もとの体積にもどる。

6) 固体は、その形を変えることができ、同温・同  
圧で物質の出入りがなければ、形が変化しても、  
体積は変化しない。また、液体は容器の形状に合  
わせて、その形を変化させるが、固体と同様に、  
同温・同圧で物質の出入りがなければ、形が変化  
しても体積は変化しない。目に見えない気体につ  
いても、同様に考えられる。

7) 私たちは、外界の情報を感覚器官で受け取り、  
脳の特定の領域で処理して、知覚している。その  
ため、私たちの認知は、感覚器官や脳の知覚によ  
る影響を受けるので、必ずしも外界の状態を正  
確に反映していない。物質量を判断するのに用  
いる知覚は、主に視覚と触覚である。体積は、形  
や大きさから視覚で判断するが、私たちの視覚  
は、周囲の状態や

みる方向で、しばしば大きさなどに関する判断を変えることが知られている。このため、視覚から判断した「体積」は、器具や計算で求めたものと一致しない。また、「質量」は触覚で判断するが、実はこのときに感じている「重さ」は、手に対する「圧力」であり、さらに持ち方による重心の変化も、重さの感覚に影響する。よって、天秤等で測定できる「質量」が同じ物質でも、手に持ったときには、同じ「重さ」と感じるとは限らない。

以上のように詳細に物質量の構成要素である「質量」や「体積」を理科教育で学ぶ内容と比較して整理していくと、物質概念が形成されるとは、質量保存概念の確立ではなく、むしろ物質のもつ様々な側面を、相互に関連づけて理解し、条件に応じて、適切な関係性を見いだせることであると思われる。

## 2.2 「重さ」についての考察

ところで、質量の定義は、中学1年で初めて学習する。日常生活で使用するのは、「重さ」ということばである。理科教育において、「重さ」とは、物体に働く重力の大きさ、または慣性力の大きさを言うが、これも中学1年で初めて学習する内容である。

私たちは、測定器具を利用しないときには、手に持った感覚で重さを判断する。私たちは皮膚に分布する「圧点」への刺激の大きさや、刺激に反応する「圧点」の量や分布で重さを感じるために、その接する面積が重さの判断に影響を与える。このことから、「重さ」には「圧力」の概念が含まれる可能性が考えられる。また、私たちは物質のちがいを手に持ったときの「重さ」で区別することもある。小さくてもずっしりと重く感じる物質と、大きくても軽い物質があり、その素材が異なっていることを経験的に知っている。それは、日常的に使用される次のような言い方でも判断できる。

例1. 持ち方を変えると軽くなる。

例2. 鉄は綿よりも重い。

例3. 接地面積を広げることで、圧を軽くする。

例1は、重さを「重心」による体感としてとらえていることを示す表現である。例2は、重さを物質の特性を表す性質としての「密度」としてとらえている表現である。例3は、「重い」「軽い」といった言葉が、「圧力」の大きさにも用いられていることを示している。

つまり、日常的に使用される日本語の、「重い」「軽い」といった表現や、その名詞形である「重さ」には、「質量」「圧力」「密度」「重心のかかり方」などが包含されていることがわかる。大人であっても、その違いを状況に応じて使い分けられていることは、あまり意識されていない。以上から、「重さ」の概念には、「質量」「圧力」「密度」「重心のかかり方」などが、当初は未分化なままに含まれていると考えられる。「重さ」に含まれる多様な概念が、日常的な経験や、学校をはじめとした理科教育を通して、徐々に区別され、状況によって使い分けられるようになり、さらにそれぞれの概念同士の関係への理解が深まり再統合されていくことが、物質概念の発達であるにとらえるほうが、自然であろう。

## 2.3 「体積」についての考察

物質量のもう一つの構成要素である「体積」についてはどうだろうか。体積は、日常的には視覚的な「大きさ」または「空間にしめる場所＝かさ」としてとらえられている。同様に視覚的にとらえられている物質の状態として「形」がある。形と大きさは、明確に区別されているのだろうか。

大きい物は場所をとり、小さい物は場所をとらないことに異存はないだろう。服をきちんとたたむと、適当に丸めたときと比べて、ダンスにもゆとりが生じる。服はきちんとたたんでしまうと場所をとらないのである。また、子どもたちが日常的に扱う折り紙なども、のばしたまま重ねてあるときや、丁寧にたたんだときよりも、くしゃくしゃに丸めたときの方がかさばって場所をとる。さらに、私たちが視覚的にとらえた大きさが、みる方向によって変わることはよく知られている。すると、「形が変化することは、大きさや体積が変わることである。」ととらえる子どももいるのではないか。

そもそも、形と大きさと体積のちがいは教育を受けた大人が思うほど自明ではなく、それを異なるものとして扱う日常言語の使用場面、形が変わってももとに戻したら同じであったという日常経験、形を変えてもはかりで量ったら同じになったという理科の実験での経験等により、徐々に区別されていくのではないだろうか。

#### 2.4 物質概念の発達についての全体的な考察

以上の 2. 1~2. 3 を考慮に入れて、物質概念の発達について考えてみたい。

小さい子どもは、外界を全身で感じ取っている。手に持った物の特性は、手に持ったときの重さや、手触り、におい、形や大きさを、全体的にとらえているだろう。物質の種類が識別ができることは、小さい子どもにとって、生存に不可欠な能力である。食べられるものと食べられないものとの違いや、触れても安全な物と危険な物、落とすと危険な物とそうでない物、持ちやすい物と持ちにくい物などの区別ができることで、危険を回避し、無事に生き抜くことができるからだ。

成長とともに、周囲の大人によって、物質の持つさまざまな側面が言葉によって名付けられ、そのことで子ども自身の中に区別してみる視点が生まれるのではないだろうか。そして、さらに成長すると、より詳細な区別がおきるとともに、測定器具などによる認識対象の拡大、相互の関係性についてなどが、学校教育や日常経験の積み重ねで起こり、物質に対する科学的な概念として統合されていくと考えられそうである。

すると、物質量は、当初から物質の性質と区別されるのではなく、最初は全体的な「物質のちがい」の認識として、物質の性質と量が密度を媒介として、一体のものとして捉えられるのではないだろうか。具体的には、「鉄は表面はピカピカしていて、持つとひんやりとして、小さくてもずっしりとした感じがある。少し大きめの鉄を足の上に落とすと痛い。小さくても重すぎてもてないことがある。」といったものだろう。また、「発泡スチロールは白いけど、光があたってもまぶしく感じない。表面が滑らないので持ちやすいし、抱えきれない

ほど大きくても簡単にもてる。だから、床に落としても、他のものを壊したりしないし、足の上に落としたり人にぶついたりしても、全然痛くない。」といったものもある。

そして、上記のように極端に異なる物を対比させて、「鉄は重くて、発泡スチロールは軽い。重い物は、大きくするとどんどん重くなるけど、軽い物は大きくしてもほとんど重くならない。」といった概念が形成されていくと思われる。

初期に形成されるこのような物質概念において「重さ」は、質量と言うよりは物質に固有の量である「密度」に近いが、単位体積あたりの質量で定義される「密度」とは異なり、質量が体積に比例するといった概念を含むとは考えにくい。そこで、これを「素朴密度概念」と名付ける。

小学校では、さらに物質を天秤やバネばかりで実際にはかる経験を積む。すると、手で持ったときの「重さ」と秤で量ったときの重さは違うのだという認識が生じる。また、粘土などの変形しやすく子どもにとって身近なものをはかる機会に恵まれば、形を変えただけでは、天秤で測る「重さ」は変化しないといった「質量保存概念」も形成されるだろう。小学校では、算数で液体をはかる活動を伴った「体積」の学習も行われるので、形と体積は関係がないといった概念が、ここでも形成されることが期待される。

さらに、6年生の算数で学習する「伴って変わる量」の学習などを通して、「質量は体積に比例する。」ことが次に習得され、中1の理科学習において「密度」を学習することで「科学的な密度概念」の形成に至ると考えられる。

ここで、「科学的密度概念」とは、単位体積あたりの質量として定義される量であることを理解するだけでなく、同温同圧下で、物質に固有なものであり、純物質の種類判断に利用可能であるという表象までが形成された状態を意味する。単に、密度を形式的に計算できるだけでは、科学的密度概念が形成されたとは判断しない。

#### 2.5 物質概念の発達順序に関する仮説

以上から、物質概念の発達を、これまでの抽

象的・数学的な枠組みによる保存概念の確立の過程ではなく、具体的・知覚的な外界との相互作用により、密度概念が次のような順序で確立していく過程であると捉えなおすことができる。

最初に、物質の特性を区別することができるようになる。このときに子どもは、物質の特性の側面としての「素朴密度概念」を持つようになる。「素朴密度概念」は、「密度概念」のうち、物質の種類に固有な量として、物質の特性を示す概念は含むが、体積あたりの質量といった概念は含まない。

次に、知覚で捉えていた「重さ」や「大きさ」と、器具を用いて測定する「質量」や「体積」が学習により、区別されるようになる。この学習経験が、知覚の捉えが測定された量と一致するとは限らないこと、形が変わっても物質の出入りがなければ、全体の質量に変化がないといった「質量保存概念」の形成へとつながる。また、形の変化が必ずしも体積の変化を意味するとは限らず、測定しない限り正確なことはいえないといった捉えも同時に確立するだろう。

その次に、測定可能な質量は、どのような物質でも、体積に比例して増加するといった「比例概念」が確立していく。

その上に、体積あたりの質量である密度が、物質の種類によって決まる物質に固有の値であり、物質の体積によらず一定であるため、物質の種類判断に使えるといった「科学的密度概念」が形成される。

さらに、状態変化によって、同じ物質でも密度変化が起こりうるといったより広範な学習内容の統合が起こっていくのではないだろうか。以上をまとめると下記ようになる。

素朴密度概念	→	(マクロなレベルでの) 質量保存概念	→	体積と質量の比例概念	→	科学的な密度概念	→	物質に固有な密度と状態変化による密度変化の関係など、より広範な領域間の統合的な理解
--------	---	--------------------	---	------------	---	----------	---	---

つまり、物質の特性を一体として捉える素朴密度概念が最初であり、体積と質量といった量

の要素的な見方が学習により形成され、さらに要素間の関係性の捉えから、各要素の再統合による包括的な捉えとしての科学的密度概念となり、さらに広範な領域間の統合的な概念へと変化していくのではないかを仮説としたい。

本研究では、物質概念が上記のような順序で形成されていくのかを、23名の生徒の質問紙による縦断的研究から検討する。

### 3. 研究の方法

#### 3.1 調査対象

群馬県内公立中学校の生徒 23 名

※なお、質問紙調査は、上記の 23 名だけでなく、小 3 では、他県の小学校を含む 141 名について、中学では同学年の 149 名について行った。本研究では、小 3 からの継続データのある 23 名についての分析を行った。調査対象となった生徒は、小 3 時に、「物と重さ」の学習は行っていない。

※小 3 時の調査のうち、本研究の対照生徒 23 名を含まない群馬県公立小 37 名については、「物と重さ」の授業実践とそれともなう概念変容を報告している。岩田 (2009) 岩田・増田・小山 (2009)

#### 3.2 質問項目と調査の時期 (表 1・表 2)

表 1 質問項目

- ① 丸い粘土の玉をつぶして広げると軽くなる。
- ② アルミホイルを丸めると重くなる。
- ③ 紙を細かくちぎって、ふわふわにすると軽くなる。
- ④ 同じ大きさの物でも、それがなにでできているかによって、重さが変わる。
- ⑤ 発泡スチロールは、どんどん大きくしていけば、それより小さい鉄よりも重くなる。
- ⑥ 同じ重さの物でも、それが何でできているかによって、体積が変わる。
- ⑦ 重さが 100g で体積が 200cm<sup>3</sup> のものと、重さが 150g で体積が 300cm<sup>3</sup> のものでは、異なる物質である。
- ⑧ 砂糖を水に溶かすと、溶かす前より質量は軽くなる。
- ⑨ 二酸化炭素を水に溶かすと、溶かす前より質量は軽くなる。

※ 各質問項目に対し、1) そう思う 2) そう思わない 3) わからない 4) 別の考えから、自分の考えに近いと思うものを選ばせ、その理由を記述させた。

※ この方法は、松森氏のコメント法を参考とした。

※ 質問項目は岩田が、平成 20 年度版学習指導要領で定められた内容の指導を想定して考えた。

※ ⑧⑨については、本研究では分析対象としていない。

※ 調査は、定期テストと同様の体制で、50 分間で行った。

表2 調査の時期	学年	質問項目
I 2009年1月末頃	小3	①～⑤
II 2012年8月27日	中1	①～⑦
III 2012年10月16日・17日	中1	①～⑦
IV 2012年12月4・5・6日	中1	①～⑨
V 2013年3月4・5日	中1	①～⑨
VI 2013年7月1・2日	中2	①～⑨

### 3.3 コメント法とは

コメント法とは、松森（2000）が子どもの回答論理に適合した評価方法として考案した調査方法である。この調査方法は、ある特定の見方を示し、それに対して4つの選択肢から自分の考えに近いと思うものに○をつけさせ、さらにそう考えた理由などを記述させるものである。この方法は、○×形式の簡便さを残しながら、子どもの回答論理でも無理なく回答できるように工夫したものである。そのため、○にあたる「そう思う」と×にあたる「そう思わない」のほかに、「わからない」と「別の考え」という選択肢が設けられている。また、回答理由を書かせることで、概念分析をおこなうことが可能となっている。

ただし、調査可能な時間が限られていること、児童の負担感への配慮から、複数の質問を一枚の調査用紙にまとめる必要があったため、松森氏の用いたキャラクターの吹き出しは、用いなかった。

実際にこの調査方法を用いてみると、通常の記述式の問題には白紙で回答する子どもの多くが、提示された文を手がかりにして、その子なりの考えを持ち、回答理由を書くことができることに気づいた。また、その記載内容は、調査者の予想を超えた多様性を示していた。同じ選択肢を選んだ子どもであっても、その理由によって、異なる概念を持っているものもいれば、異なる選択肢を選んでも、同じ概念をもっていると思われるものがあった。よって、分析は回答番号ではなく、その記述内容から分類し直したもので行った。

### 3.4 質問項目について

質問項目は、岩田が、学習指導要領の指導項目をもとに、小学校3年生に理科を教えた経験のある増田・小山らと協議しながら、児童の考えを予想し、2008年12月に作成した。

①から③は、小学校学習指導要領の（1）アの内容についての子どもの概念を調べることを目的としている。「形を変えると重さが変わるか。」について、粘土、アルミホイル、紙の異なる素材について、異なる変形をさせた場合に、どう判断するかをみるものである。

小学校3年生の児童は、一般化をさける慎重さをみせることが多い。日頃の児童との関わりから、粘土は形を変えても重さは変わらないと考えている子どもでも、物の種類や変形のしかたで異なる結果になると考える子供がいることが予想された。そこで、身近にあつて、日頃から手に触れることの多い素材で、異なる反応を引き起こしそうなものを選んだ。

質問④は、学習指導要領の（1）イの内容についての子どもの概念を調べることを目的としている。イの内容を小学校3年生にも理解できる言葉にして表現したものである。これは、「体積あたりの重さ」を問題にしているの、初歩の密度概念と言える。質問⑥は、これと対になる質問だが、中1から新たに導入したため、中学生向きに「体積」という語句を用いた。質問⑤の語句をなおさなかったのは、小3からの継続データを取得したかったためである。

### 3.4 分析方法

各質問項目の考えとその理由を内容ごとに分類し、発達や学習に伴う変化の傾向や、他の質問項目や授業内容との関連などについての分析を行った。また、その記述内容を、授業内容とも照らし合わせながら、詳細に検討することで、児童・生徒の物質概念の形成を探った。

### 3.5 本研究で用いる用語の定義

素朴密度概念；発達の初期に見られる概念で、物質の種類を区別する指標としての密度概念のみを含み、しばしば「重い物、軽い物」と表現され、体積あたりの質量といった捉え方はない状態。

比例概念；どんな密度の物質であっても、体積に比例して質量が増えるという概念。

科学的密度概念；体積あたりの質量という定義

から密度を計算でき、その値が物質の種類を見分ける指標であることを理解している状態。

#### 4. 結果と考察

##### 4.1 素朴密度概念はいつごろ形成されるか

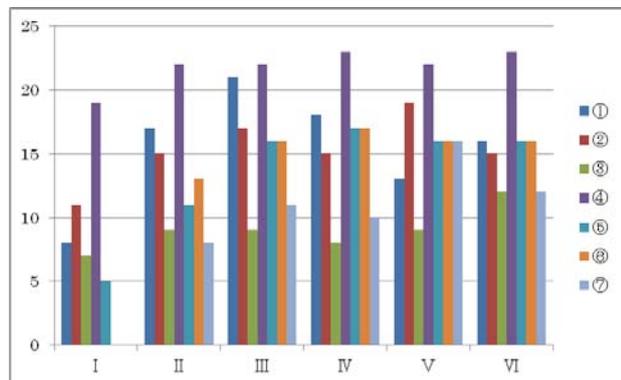


図 1 正解を選択した人数 (N=23 人)

※ I～Ⅶは調査時期、①～⑦は質問番号

もっとも正解する子どもが早い時期に多くなるのは質問④で、小3 (I) ですすでに 8 割強の児童が正解している。質問④は、「同じ大きさの物でもそれが何でできているかによって、重さが変わるか」を問う内容なので、数値による計算を含まない密度概念である。理由の記述において、「紙、鉄、プラスチックは、それぞれ違う重さだから。」「作られているものが違えば、重さが変わると思うからです。」といった記述が見られることから、これは物質の特性の一つとして捉えた「素朴密度概念」である。

質問⑦は、与えられた数値から単位体積あたりの質量である密度を求め、その結果から物質の種類が同じであることを判断できるかを見るもので、これは科学的密度概念と言える。同じ密度に関する内容でも、質問⑦で妥当な判断ができる子どもは中2 (VI) でも半数に満たない。

質問④と質問⑦で正解を選ぶ時期が大きくずれていることから、物質の特性として捉えられる「素朴密度概念」は、単位体積あたりの質量で示される「科学的な密度概念」とは、異なる時期に形成されることが分かる。

以上から、素朴密度概念が少なくとも小3の終わりまでの比較的早い時期に形成されることがわかった。素朴密度概念が、物質概念でもっとも早く確立することは、物質の種類を見分け、持ちや

すさや落としたときに他の物体に与える影響などが判断できることが、生存に有利にはたらくことを考えると合理的に思われる。

##### 4.2 「重さ」に含まれる概念

質問①から③の理由の記述には、「丸い粘土の玉のように重さが集中した方が重くなる」や「下のほうに触れる面積が広がると重くなる」といった記述がみられることから、手で持ったときの感覚を「重さ」と捉えていると判断できる。また、中学生では、「一部に重さが偏るから、重くなったように感じる。だけど、ねんどの量が変わっていないければ、軽くはならない。」といった記述が見られることから、手にもったときの感覚と、測定した値で、「重さ」が同じとは限らないといった区別が生じてくることがわかる。授業中にも、実験課題の予想場面で、「天秤で量った重さですか。手に感じる重さですか。」といった質問が出たことがあったことも、上記を裏付ける。

以上から、発達の初期では、物質の種類による違いを示す性質のひとつとして、手で持ったときの感覚を「重さ」として認識していると推定できる。

4.3 質量保存概念の文脈依存性  
質問①～③の記述内容をみると、一般に正解とされる「そう思わない」を選択した子ども以外にも、質量保存を意識して解答したと思われるものが見られる。一方、「そう思わない」を選んだ子どもにも質量保存以外の考え方が見られる。そこで、記述内容によって、分類しなおしたものを図2～図4に示す。

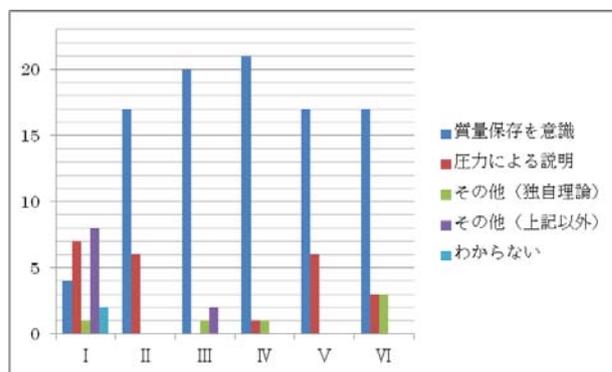


図 2 ①「粘土」記述内容による分類 (n=23)

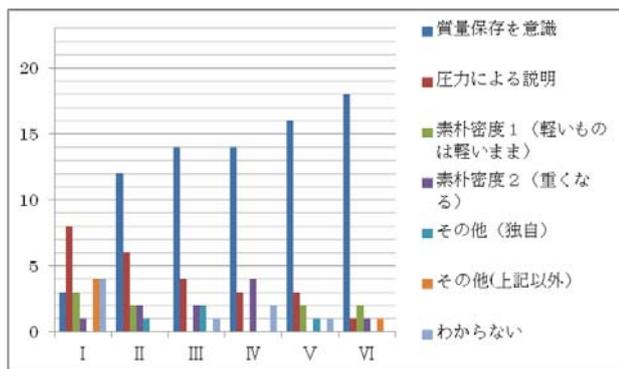


図 3 ②「アルミホイル」記述内容による分類(n=23)

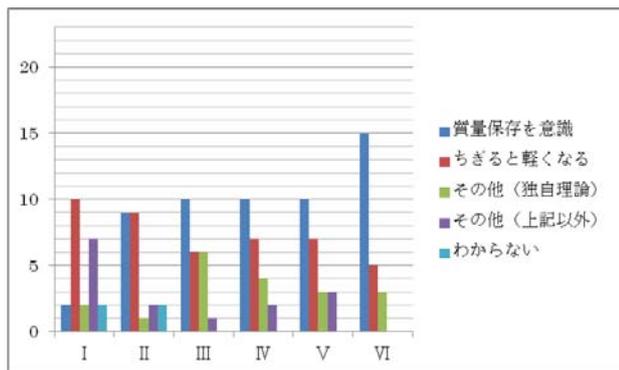


図 4 ③「紙」記述内容による分類 (n=23)

図 2～図 4 から、質量保存概念は、粘土と紙とアルミホイルでは概念形成される時期が異なっていることがわかる。また、紙やアルミホイルで、空気に重さがあることを学習した直後には、「空気が含まれるから重くなる」といった記述がみられ、浮力の学習の直後には、「空気があるから軽くなる」という記述がみられた。このことから、理科の問題を解く場面でも、その前後の学習や物質の種類や状態などの文脈による影響を受けることが示唆された。学習内容を既存の知識と統合しようとする現れとも捉えることができる。

4.4 質問④と質問⑥の難易度 (表 6、表 7、表 8)

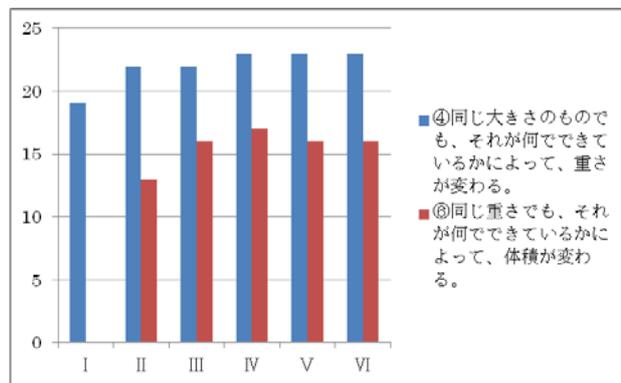


図 5 ④と⑥で正解を選んだ人数 (N=23 人)  
質問④と質問⑥は、大きさ (体積) と重さが

入れ替わっただけで同じ事を聴いている。しかし、図 5 をみると、質問④と質問⑥の難易度が異なることがわかる。また、図 1 から、密度の言語的な理解を、重さを基準として問う質問⑤と質量は体積に伴って増加するという比例概念を示す質問⑥の確立する時期はほぼ同じであると推察できる。

質問⑤において、「発泡スチロールと鉄なら、ふつうに鉄のほうが重い」などの記述内容から、これが体験的に得られた概念であることが分かる。私たちの生活を振り返ってみても、同程度の大きさで素材の異なる物質を手にすることはよくある。一方、質問⑥のように、同程度の重さで異なる素材からできた物質を持つことは、ないとは言えないが意識されにくいだろう。質問⑤などのように極端に密度の異なる物質を同時に手に持って感じる重さが逆転する経験もあまりしないだろう。体験的に実感できる状況は得られにくい質問で、正解率が下がっていることから、子どもたちは、体験から概念を形成していると考えられる。

4.5 比例概念と科学的密度概念の発達の順序

図 6 は、質問⑤と質問⑦の子どもの記述を、その内容から分類して、個人ごとに表にしたものである。

図 6 より、質問⑦で科学的に妥当な内容を 2 回以上連続して記述している生徒 12 人のうち 20 番の生徒 1 人を除いて、質問⑦に妥当な記載をしているときには、質問⑤において質量が体積に比例して増加するという「比例概念」の記述となっている。(図中の緑) 一方で、質問⑤で比例概念の記述が 2 度以上連続してあっても、質問⑦に妥当な記載ができていない生徒が 8 人いる。また、素朴密度概念を中 2 まで保持している生徒 3 人も、質問⑦には妥当な記載ができていない。このことから、科学的密度概念の成立に先立って、「比例概念」が成立することと推定される。

さらに、質問⑤では、素朴密度概念の後に比例概念が出現している生徒が 23 人中 17 人、一度も

比例概念が出現しない生徒が2人,比例概念の出現後にも密度概念がみられる生徒は4人である.以上から,素朴密度概念の後に,比例概念が形成されると考えられる.

図6 質問⑤と⑦にみられる個人ごとの概念変化

個人番号	質問項目	時期I	時期II	時期III	時期IV	時期V	時期VI
1	⑤	白紙	密度	密度	密度	密度	密度
	⑦		x	x	x	x	x
2	⑤	白紙	その他	密度	比例	密度	比例
	⑦		x	x	x	x	x
3	⑤	白紙	密度	密度	比例	比例	比例
	⑦		x	x	x	○	○
4	⑤	密度	比例	比例	比例	比例	比例
	⑦		x	○	○	○	○
5	⑤	白紙	基準不明	比例	比例	基準不明	比例
	⑦		○	○	○	○	○
6	⑤	白紙	その他	比例	比例	比例	白紙
	⑦		x	x	x	x	x
7	⑤	比例	比例	比例	比例	比例	密度
	⑦		○	○	○	○	○
8	⑤	密度	密度	比例	比例	密度	比例
	⑦		x	x	x	x	x
9	⑤	密度	基準不明	比例	比例	比例	比例
	⑦		x	x	○	○	○
10	⑤	未経験	密度	比例	比例	比例	比例
	⑦		x	○	x	x	x
11	⑤	白紙	白紙	比例	比例	比例	比例
	⑦		x	x	x	○	x
12	⑤	比例	比例	比例	密度	比例	比例
	⑦		x	x	○	x	x
13	⑤	密度	比例	比例	比例	比例	比例
	⑦		○	○	x	○	○
14	⑤	白紙	比例	比例	比例	比例	比例
	⑦		○	○	x	○	○
15	⑤	密度	比例	比例	比例	比例	比例
	⑦		x	x	x	x	x
16	⑤	密度	密度	密度	比例	比例	白紙
	⑦		x	x	x	x	x
17	⑤	密度	密度	密度	密度	比例	比例
	⑦		○	x	x	x	x
18	⑤	密度	比例	比例	比例	比例	比例
	⑦		x	x	○	○	○
19	⑤	白紙	密度	密度	比例	比例	比例
	⑦		x	○	○	○	x
20	⑤	未経験	空気	密度	空気	空気	比例
	⑦		○	○	○	○	○
21	⑤	経験	密度	密度	密度	密度	密度
	⑦		x	x	x	○	x
22	⑤	密度	比例	比例	比例	比例	比例
	⑦		○	○	○	○	x
23	⑤	密度	比例	比例	比例	比例	比例
	⑦		○	○	○	○	○

※表中の「密度」は素朴密度概念を「比例」は、質量が体積に比例して増えるという概念を示す。

※質問⑦;科学的に妥当判断できる記述○妥当でない記述x

5. まとめ

本研究により物質概念の発達は,質量保存概念の確立過程ではなく,当初は一体のものとして捉えられていた物質の性質と量が,知覚による外界との相互作用や測定器具などによる知覚の拡大,周囲の大人からの働きかけや学習によって徐々に区別されていき、さらに要素間の関係が、密度を媒介として再統合されていく密度概念獲得の過程を含むことが示唆された。

また,物質概念の発達には,多くの子どもに共通して「素朴密度概念→質量保存概念 →比例概念 →科学的な密度概念」といった順序性がみられ,長期に渡って、徐々に獲得されていく傾向のあることが示唆された。一方で,その発達の時期や具体的な概念は一人一人の子どもによってちがいがみられ,物質概念の発達の多様な姿が明らかになってきた。

6. 謝辞

本研究は,放送大学大学院の修士論文として,取り組んだ内容の一部である。本研究の遂行にあたり,三宅芳雄先生,白水始先生には,数々の指導助言をいただいた。ここに記して感謝の意を表す。

7. 参考文献

[1] Piaget (1970) Piaget's theory ;  
 J. ピアジェ (2007) 中垣啓訳 ピアジェに学ぶ認知発達の科学 北大路書房  
 [2] 武田俊昭 (1974) 量概念に関する発達的研究 人文論究, 24 (1) pp44-59  
 [3] 文部科学省 (平成 20 年 9 月) 小学校学習指導要領解説理科編 平成 20 年版 大日本書籍  
 [4] 松森靖夫 (2000) 子どもの本音を知ろう! 新しい評価法はこれだ 学校図書 pp10-15  
 [5] 岩田眞樹子 (2009) 3 年 “物と重さ” どんな学習 問題ができるか 楽しい理科授業 5 月号 pp28-29  
 [6] 岩田眞樹子・増田和明・小山久仁子 (2009) 「ものと重さ」における小学校 3 年生の既存概念と学習指導 日本理科教育学会第 58 回全国大会 日本理科教育学会全国大会発表論文集第 7 号