

理科教育における「物質の粒子性」の教授・学習に関する一考察 —日本とドイツの比較を通じて—

後藤 みな

地域教育文化学部・地域教育文化学科

(令和2年10月1日受理)

要 旨

物質の性質等を学習する上で、物質の粒子性の理解は必要不可欠である。しかしながら、当該概念の理解は大学生でも十分ではないと指摘されている。そこで本研究では、日本の大学生に物質の粒子性に関する質問紙調査を行い、ドイツの結果と比較して日本の特徴を明らかにするとともに、物質の粒子性の教授・学習について示唆を得ることを目的とした。

その結果、物質の粒子性に関する大学生の認識の特徴を含め、次の3点を導いた。(1)大学生は、空気の膨張に関する粒子の挙動については理解している一方で、固体における粒子の運動性、空気の粒子性、および粒子の色については曖昧な理解を示した。 (2)以上の3つの内容については、関連の学習をする段階で、重点的、かつ明示的に教授する必要があること。(3)大学の授業においてもかかる内容について再度学習する機会が必要であること。

1 はじめに

物質の性質や化学反応などの学習を進める上で、物質の粒子性の概念の理解は必要不可欠である。学習指導要領解説理科編においては、4つの基本的な概念の一つに「粒子」があり、小、中、高等学校を通じた学習で粒子概念の獲得を図っている¹⁾。海外でも物質の粒子性の内容に重きをおいて理科のスタンダードやカリキュラムが編成されており²⁾、国際的に当該概念の獲得が重視されている様相が窺える。

しかし、初等、および中等教育段階における子どもたちは、物質の微視的な性質としての粒子性について十分に理解しているとは言い難い³⁾。当該概念に関する理解については、一部、学年進行によって改善するとされているが、化学専攻の大学生でさえも粒子モデルを用いて日常の現象を説明するのに問題があることが指摘されている⁴⁾。そもそも物質の粒子性に関する研究は、初等、および中等教育が中心であり⁵⁾、高等教育を対象としたものは限定的である⁶⁾。特に教員養成学部の学生を対象にした研究はほとんどないため、そうした学生が物質の粒子性に対して抱いている考え方は明らかにされていない。教員養成学部所属する学生が将来教員になった時、学校現場で間違った粒子概念を子どもに教えるような事態は必ず避けるべきであり、間違った捉え方や曖昧な理解は大学の授業で改

善する必要がある。さらに、物質の粒子性に関しては、子どもの考え方と教師の考え方のズレが初等、および中等教育での研究を中心に明らかにされていることから、大学での教授に際しても大学生の考え方の特徴を予め把握しておく必要がある。そこで本研究では、理科における基本的概念である物質の粒子性に着目して、教員養成学部の大学生への調査を行い、その結果を諸外国の調査結果と比較して特徴を明らかにするとともに、物質の粒子性の教授・学習について示唆を得ることを目的とする。

2 物質の粒子性に関する子どもの考え方

本章では、小学生から大学生を対象にした調査を整理し、物質の粒子性に関する子ども独自の見方や考え方を確認する。その他にも、理解が比較的難しいとされる気体状態における物質の粒子性に対する子どもの考え方についても整理する。

(1) 物質の粒子性について

まずは、物質の粒子性に関する子どもの考え方について、代表的な研究を基に整理する。例えば、イギリスの国家調査のプロジェクトChildren's Learning in Scienceでは、イギリスの15歳の生徒の物質の粒子性に関する考え方が調査され、以下の5つの観点からまとめられた⁷⁾。ここで「粒子」とは、原子や分子やイオンなどの物質の構成要素を指している。なお、本調査の一部に気体状態の粒子に関係したものも含まれている。

①粒子そのものの性質について

- ・粒子の形状や大きさをイメージすることができない
- ・砂の粒を原子や分子に類似したものと捉えている。砂の粒と原子や分子の違いがわからない
- ・粒子と生物細胞との間で混乱がある。例えば、原子核と細胞の核との違いがわからない

②巨視的性質が粒子にあることについて

- ・溶解する、膨張する、収縮する、浮上する、爆発するなどの事象を粒子に当てはめる
- ・動き回る粒子の様子を説明するために、目に見える性質が粒子にあるとする
- ・粒子を動かしたままにするには何かが必要である
- ・粒子は加熱された時に動く
- ・0度になると粒子は動きを止める
- ・空気の粒子はいつも上に向かって動く

③粒子間の結合や力について

- ・物質の結合状態をイメージできない
- ・固体から液体、気体へ変化させる条件や方法を概念化することができない

④粒子間の空気について

- ・粒子と粒子の間は真空であるという考え方を認めない
- ・空気はどこにでもあり、粒子と粒子の間にもある
- ・粒子と粒子の間には、細菌や微生物や他の気体が存在する

⑤粒子に擬人化された性質を付与することについて

- ・粒子は生きている

Children's Learning in Scienceによると、物質の粒子性に関する問題について、生徒の約10分の1は粒子について正しく説明しており、約5分の1はある程度正しい説明をしている一方で、全体の3分の1は科学的な説明とは異なる説明をしており、全体の4分の1から3分の1は粒子的な考えに全く触れていないと分析している。

日本においては、片平（2016）が小学校1年生から高等学校3年生までを対象にして物質の粒子性に関する質問紙調査をしている⁸⁾。その結果、例えば食塩の溶解に関する設問については、食塩が水に溶ける際に、その塊がバラバラになり、より一層小さな粒子になり、水中に存在するという粒子的な捉え方をしている小学校1年生から6年生までの児童は、20～30%存在していることが明らかになった。また、小学校2年生から6年生までの児童の50～70%は、食塩を完全に溶かした溶液でも下の方が濃いと考えていることも明らかになった⁹⁾。この考え方は、中学校1年生から2年生にかけて、約50%から約30%へと急激に減少し、高校生になっても大きな変動がないとされる¹⁰⁾。以上から、粒子の拡散と溶液の均一性に関する認識は、中学校2年生以降に形成され、大人まで引き継がれていることが考察されている。

(2) 気体状態における物質の粒子性について

次に、気体状態における物質の粒子性に関する子どもの考え方について代表的な研究を基に整理する。気体に関しては、多くの子どもがその概念をとらえるのに難しさを感じている。例えばNovic & Nusbaum（1978）は、イスラエルの14～15歳の生徒を対象にして、フラスコの中にある空気を真空ポンプで一部抜いたときの空気の様子を生徒に描画させて調査した¹¹⁾。その結果、生徒の60%が気体を含む現象を説明するために粒子モデルを使っていること、46%が粒子の間からの空間（真空）があると信じていることと同時に、気体の粒子モデルを理解することに難しさを感じていることも解明された。

Novic & Nusbaum（1981）は、様々な年齢の生徒に対して物質の粒子性への理解について調べた。特に高校生への調査を通して、次の5点を明らかにした¹²⁾。

- ・気体の粒子は一様に配置されていると高校生の70%が理解している
- ・気体の粒子は運動していると高校生の30%が理解している
- ・加熱や冷却は粒子の運動に変化を生じさせると高校生の50%が理解している
- ・溶解は粒子密度の変化を含むと高校生の50%が理解している
- ・気体の粒子の間からの空間があると高校生の50%が理解している

Novic & Nusbaum（1981）の研究により、粒子概念について学習済みの高校生の多くが、気体の粒子の運動性について理解していないことが解明された。特に、温度変化と粒子の運動性、溶解と粒子密度の変化、そして粒子間にはからの空間があることについては、半数程度の高校生しか理解していないことが明らかにされた。

気体の粒子性に関する日本の子どもの認識は、片平（2016）によって調査されている。三

角フラスコから注射器で空気を抜いたときの状態に関する設問（絵を選択）については、粒子的な見方が学年や学校段階が上がるにつれて増えていくことが解明されている。具体的には、小学校段階では、粒子的な絵を選択している児童が20～30%の間で推移し、小学校6年生から中学校にかけては30～40%、高校生では40%を超える。このように、気体を連続的な見方で捉えている子どもは学年進行で減少しているものの、小学校6年生以降では著しい変化が見られないとされている¹³⁾。

空気の膨張・収縮に関しては、空気の膨張と収縮、気体の拡散、気体の質量等について学習済みの中学校3年生に焦点化して調査され、正しく認識できている生徒の他にも、密度の概念が曖昧な生徒がいることも確認された。高野ら（1991）は、空気が粒子からできていると考えた場合、膨張したときに粒がどのような状態にあるかを、小学校4年生から大学生を対象にして調査した¹⁴⁾。その結果、「空気の粒と粒の間隔が広がっている」というように科学的な説明ができない子どもが多く、大学生も含めて、非常に皮相な見方をしていることが明らかになった。

以上、諸外国の小学生から大学生までの物質の粒子性に関する考え方やその特徴について述べた。次章では、上述の内容を踏まえて作成した質問紙の概要について述べる。

3 質問紙の概要

本研究では、前章において論じた粒子概念に対する子どもの考え方の特徴を踏まえて、5つの観点から質問紙を作成することとした。第一に、粒子モデルについてである。冒頭でも述べたように、高等教育を対象として粒子モデルの使用や適用について調査をしている研究は限られている。諸外国の調査では、粒子モデルを使わない子どももいるとされていたことから、本研究において大学生がどのようにモデルを使うのか調べようと考えた。第二に、粒子の運動性についてである。前章で取り上げた複数の研究において、子どもは粒子の運動性に関して正しく理解しているとは限らないことが確認された。しかし、粒子の運動性については、固体、液体、気体など物質の三態変化を学習する上で重要であるため、正確に理解していることが求められる。そこで、この点について大学生の考え方を調査することとする。第三に、物質の溶解と粒子の拡散についてである。片平（2016）によると、高校生でも約3割の生徒が間違った説明をしているとされた。この点について、大学での調査はなされていないため、調査項目の一つとした。第四に、気体の粒子と粒子の間に焦点化した質問である。諸外国の研究から、高校生でも、粒子と粒子の間からの空間はなく、何かしら存在していると間違っ捉えていることが指摘されていた。そこで、大学生が粒子と粒子の間に何がある／ないと考えているかについて調査を行うこととした。そして第五に、気体の膨張についてである。空気の膨張に関する研究は、初等、および中等教育を対象としてしばしば調査され、その結果、子どもは曖昧な理解を示したことが明らかにされていた。この点について、大学生を対象にした調査は見られないため、本研究において検討することとした。

以上の5つの観点から、質問紙調査を作成することとしたが、問題の妥当性を担保するためにドイツでの質問紙調査を参考にして¹⁵⁾、一部文章表現を変えて、以下の5問を作成することとした。またドイツでの質問紙を参考にすることにより、ドイツと日本の結果を

比較して日本の特徴を導くことができると考えた。なお、質問紙の詳細については、本稿末尾を参照されたい。

- 問1：空気の粒子性について（選択式）
- 問2：粒子モデルについて（描画式+記述式）
- 問3：空気の膨張について（選択式）
- 問4：物質の溶解と粒子について（選択式）
- 問5：粒子の運動性について（選択式）

調査対象はA大学における教員養成学部の第2学年の学生とした。粒子モデルに関する質問紙調査への協力を依頼し、72名から回答を得た。回答時間は15分程度とし、回答が終了した者から提出してもらうようにした。以下、調査結果と考察を述べる。

4 結果と考察

(1) 粒子モデルについて（質問紙の問2に対応）

まず、粒子モデルに関して述べる。質問紙には、「○」を使って氷の粒子モデルを描画し、その説明を文章で記述するよう求める問いを設定した。氷の粒子モデルを正確に描くならば六角の配置とするのが妥当であろうが、本調査では回答者の負担を考慮し、厳密な配置は問わないこととした。したがって、正確に六角の配置で描けなくても、粒子モデル、粒子の運動性、粒子と粒子の間隔のいずれかの観点から回答していれば分析の対象とした。なお、粒子の運動性については記述内容から検討した。

結果、90%以上の学生が粒子モデルを使って回答していたことが明らかになった。粒子の並び方については、50%の学生が「規則的に並んでいる」と記述しているか、あるいは絵で説明していた。粒子同士の間隔については、70%の学生が触れているが、学生Bのように「隙間なく密集している」という考えを記述したものがほとんどであった（図1）。粒子の運動について述べている者は25%おり、その中の半数以上が、学生Aのように「粒子は動かない」と回答していた。また、学生CやDのように、密度に言及している回答もしばしばみられた。学生Dは、粒子が隙間を作らず整列している図を描き、体積が小さいことと、密度が大きいことを記述しているが、実際には、氷は水よりも体積が大きく、密度は小さいため、間違った理解をしていると言える。

ドイツでは、約75%が「粒子モデルを適切に使っている（○）」であり、約21%が「粒子モデルを適切に使っていない（△）」、約4%が「粒子モデルを全く使っていない（×）」であったが、分析方法や評価基準については詳述されていない。ドイツで行われた調査には、粒子モデルの使用を促すような文言はなかったが、本調査では、「「○」を使って」と粒子モデルの使用を促すリード文を入れたことから、多くの学生が粒子モデルを使って氷を捉えることができたと思われる。大学生のほとんどが粒子モデルを使うことができていたが、粒子同士の間隔、および粒子の運動性についても正確に回答できていた者は非常に少なかった。物質の粒子に関しては、中学校第一学年の理科の教科書に、ロウを例にして、固体の状態における粒子の挙動の様子が説明されている。液体のロウが固体になると粒子

の運動が穏やかになり、粒子同士が規則正しく並ぶため（粒子間の距離が小さいため）、体積が減少すること、またこの時、液体のような流動性がなくなること、粒子そのものの数は変わらないので質量は変化しないことが書かれている。学生CやDのように、氷は水よりも体積が小さくなる、密度が大きくなると捉えていたのは、ロウの性質をそのまま氷に置き換えたためであると考えられる。したがって、中学校で当該内容を教授する際、ロウと水の性質の違いに留意すると同時に、粒子は固体的場合でも運動していること（熱振動）を重点的に説明することが重要であると思われる。大学生については、その多くが氷の粒子の挙動について曖昧な理解を示していることから、大学の授業では、かかる内容について再度学習する機会を設けることが必要であると思われる。


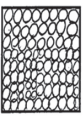

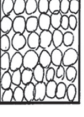
学生 A の回答	学生 B の回答
	
<p>水の粒子は、きちんと整列して動かない。</p> <p>い。</p>	<p>隙間をひきぎり粒子が密集している。</p>
学生 C の回答	学生 D の回答
	
<p>密度が大きい、粒子が動きにくくも動いている。</p>	<p>氷は体積が小さい密度が大きい状態がある。</p>

図 1：粒子モデルに対する日本の学生の回答例

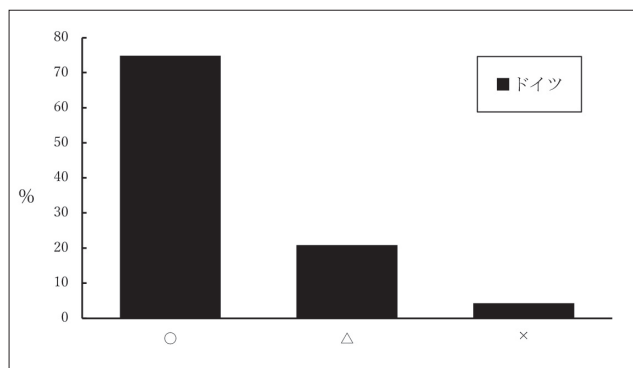


図 2：粒子モデルに関するドイツの調査結果

(○：粒子モデルを適切に使っている、△：粒子モデルを適切に使っていない、
×：粒子モデルを全く使っていない)

(2) 粒子の運動性について（質問紙の問5に対応）

次に、粒子の運動性に関して述べる。本問題は選択式とし、正しいもの全てを選ぶように求めた。粒子の運動性の他に、粒子の色に関する内容も選択肢に含めた。正解の選択肢は、「d. 水の粒子は運動しており、粒子の運動は水蒸気の状態では速く、水の状態ではゆっくり、氷の状態ではさらにゆっくりである」、および「c. 水の粒子はまったく色が無い」の二つである。

調査の結果、「d」を選んだ者が最も多く、全体の65%を占めた（図3）。次いで、「c」を選んだ者が57%いた。正答を選ぶ者が半数を超える一方で、全体の53%の学生は、「a. 氷の状態では水の粒子は固体、水の状態では水の粒子は液体、水蒸気の状態では水の粒子は気体である」を選択した。「a」を選択した学生は、問題文を誤って読んだ可能性もあるが、ドイツの調査では物質の状態変化の際に粒子そのものが変化していると捉えたものがいたため、日本の学生もそのように間違えて捉えた可能性がある。他にも、「e. 水蒸気の状態と水の状態では、粒子は運動しているが、氷の状態では粒子は運動していない」を選択した者は、全体の32%であった。これを選択した学生は、物質が固体の時、粒子は全く運動していないと捉えており、粒子の運動性について曖昧な理解をしていると思われる。その他、「b. 水の状態では水の粒子は青色で、水蒸気の状態では水の粒子は見えない」を選んだものは1%であった。選択肢としては用意していなかったが、「当てはまるものなし」と回答したものが1%いた。

以上、粒子の運動性について、前項の(1)では、不十分な説明が多く見られたが、本問では、正答を選ぶ割合が比較的多かった。その一方で、53%の学生が誤答である「a」を選んでいたことは注目に値する。粒子そのものが状態変化しないことについては、中学校理科の教科書に明記してあるが、この点について理解が十分ではない現状が確認された。当該内容について、中学校以降、折に触れて重点的に教授することが必要と考えられる。

ドイツと日本の結果をみると、両国とも正答の「c」（ドイツ：91%、日本：57%）と「d」（ドイツ：69%、日本：65%）を選択する者、および誤答である「a」（ドイツ：47%、日本：53%）を選択する者が比較的多い点で似たような傾向を示した。しかし、「c」の選択率については、ドイツと日本で違いがみられた。ドイツでは9割以上の生徒が「c」を選択していたのに対し、日本では6割程度の学生しか選択していなかったのである。このことについて、両国の教科書の内容を確認すると、ドイツの中学校教科書においては、粒子モデルが初めて示される際に、教科書で図示される粒子の色や大きさは便宜的なものであり、粒子そのものの性質ではないことが明記されている（図4）¹⁶⁾。さらに、原子モデルを説明する章においては、炭素原子は黒い丸、酸素原子は赤い丸、硫黄原子は黄色の丸、窒素原子は水色の丸で示されているが、「実際のところは、原子には色はついていない」と明記されおり¹⁷⁾、モデルの色はあくまで便宜的なものであると記載されている。一方、日本の教科書には、物質ごとに色を分けて粒子の挙動が説明されているが¹⁸⁾、特段、色についての説明や断り書きのような記述は見られない。その他、原子や分子について学習するページにも、原子モデルの色に関する記述は見られない。「c」の選択率の差について、教科書の記述以外の要因についても検討する余地はあるが、明示的に教授することで粒子の色についての理解が深まる可能性はありと考えられる。

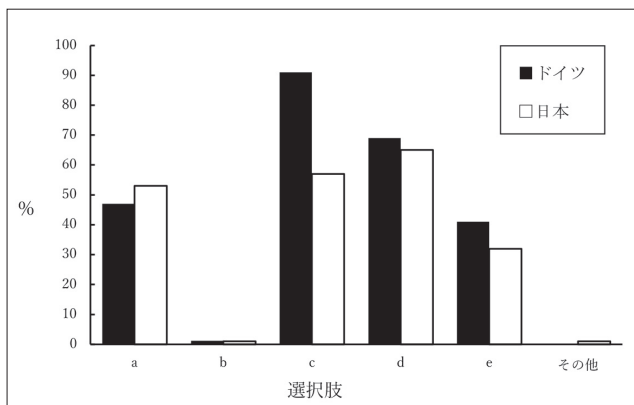
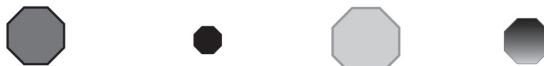


図3：粒子の運動性に関する調査結果の日独比較

粒子モデル：粒子モデルは、物質を任意の倍率で見得るという考えに基づいています。長い間、粒子を可視化するのに適した顕微鏡はありませんでした。

粒子モデルによると、全ての物質は、互いに引き合う小さな粒子で構成されています。ある特定の物質の粒子は全て同じ大きさで、常に動いています。それぞれの異なる物質の粒子は、大きさや重さが違います。本書では、様々な物質の粒子は、様々な色の八角形で示されています。



しかし、(本書に示した：筆者加筆)色、形、大きさといった性質は直接目に見えないため、粒子に帰属され得ないことを考慮しなければなりません。

図4：ドイツの中学校教科書における粒子モデルの説明

(Wolfgang Asselborn, Hrsg. (2016) *Chemie heute Klasse 7 Nordrhein-Westfalen*, Westermann Schroedel, S.31を参考に作成。下線筆者。)

(3) 物質の溶解と粒子の拡散について (質問紙の間4に対応)

続いて、物質の溶解と粒子の拡散に関して述べる。問4は、砂糖が溶解するとき、砂糖の粒子がどのように拡散していくかについての理解を把握するための問題である。選択肢の「a」、「b」、「c」ともに、砂糖の結晶の外側から溶けて、やがて拡散し全体が均一になる様子を示したものであるが、砂糖と水の両方を粒子モデルを使って考えている点で「c」が正しいとした。なお、回答を誘導しないために、質問紙の問題文には粒子モデルを使うように言及していない。本問題は選択式とし、一つだけ妥当なものを選択するよう求めた。その結果、65%の学生が正答の「c. 砂糖の結晶は数えきれない極小の粒子からつくられている。砂糖の結晶は水の中では粒子に分かれ、砂糖の粒子と水の粒子が一律に混ざっている」を選択した(図5)。その一方で、「a. 砂糖の結晶が徐々に溶けて水に混ざる」を選択したものが6%、「b. 砂糖の結晶は数えきれない極小の粒子からつくられている。その粒子が水に混ざる」を選択した者が全体の28%いた。「a」を選んだ者は、砂糖と水を粒子として捉えることができていないと思われる。「b」を選んだ者は、砂糖は粒子として

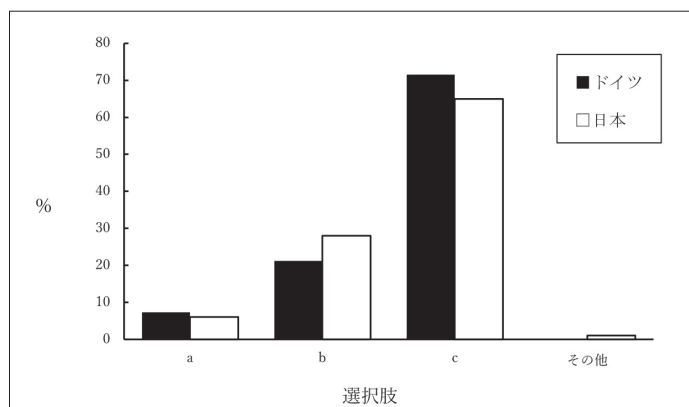


図5：物質の溶解と粒子に関する調査結果の日独比較

捉えているが、水を粒子として捉えていないと考えられる。以上、3割程度の学生は粒子の挙動に関して部分的な理解にとどまっていることが確認されたことから、関連の内容を教授する際は、砂糖だけでなく、水も粒子として捉えるように促すことが重要と思われる。なお、ドイツと日本の結果を比較すると、「c」、「b」、「a」の順に選択が多く、全体的に傾向が似ていると言えよう。

(4) 空気の粒子性について（質問紙の問1に対応）

次に、空気の粒子性に関して述べる。質問紙には、フラスコ内に空気の粒子を点で示した上で、その粒子の間は何で埋められているかについて選択式で問う問題を設定した。その結果、2件の無効な回答を除き、正しい回答である「d. 何もない」を選択したものは、全体の18%であり、低い水準にとどまった（図6）。回答の傾向を見ると、「a. 空気」が最も多く28%であり、次いで「e. 水蒸気」が22%、そして「d. 何もない」と「g. 見えない物質」が18%であった。「f. 塵」は8%、「b. 汚染された何か」と「c. 酸素」はそれぞれ1%であった。

「a. 空気」を選択した者は、気体を粒子モデルを使って捉えることができなかったと思われる。「c. 酸素」や「e. 水蒸気」を選択した者は、空気は何から構成されているのか理解が曖昧であったと考えられる。「b. 汚染された何か」や「g. 見えない物質」を選択した者は、粒子の間には何かしら存在するが、それが何か明確にはわからなかったと思われる。前章において述べた通り、気体の粒子と粒子の間はからであり、何もないことことは、中学生や高校生にとって捉えることが難しいとされていたが、このことは大学生においても同様に理解しにくいことであると明らかになった。

ドイツと日本の結果を比較すると、日本においては約20%の学生が正解の「d」を選んだのに対し、ドイツでは約60%が選択しており、大きな差が認められた。日本の教科書には、粒子間にはからの空間があることについて明確な記述は見られないが、ドイツにおいては、図7の下線部のように明記されていた。日本とドイツにおける教科書の記述の違いが今回の結果に多少なりとも影響があるとすれば、明示的に教授することにより、より多くの学習者が「粒子の間にはからの空間がある」と捉える可能性があると考えられる。

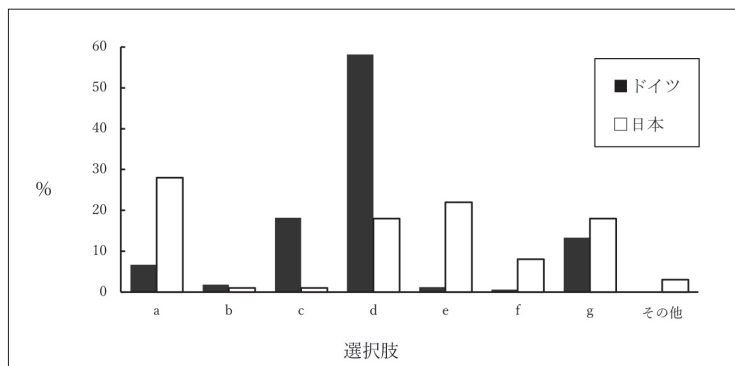


図6：空気の粒子性に関する調査結果の日独比較

粒子モデル

- ・ 粒子の間には完全からの空間があります。
- ・ 様々な粒子は、それぞれ大きさと重さが異なります。
- ・ 粒子は常に動いています。その速度は、その質量と温度に依存しています。粒子の動きによる自主的な混合は、拡散と呼ばれます。
- ・ 粒子間には引力が作用します。固体と液体の場合は、引力が粒子を一緒に保持します。気体の場合は、粒子同士の距離が遠いため、粒子が互いに引き合うことはありません。

図7：ドイツの教科書における粒子モデルのまとめ・復習の記述
(Wolfgang Asselborn, Hrsg. (2016) a. a. O., S.35を参考に作成。下線筆者。)

(5) 気体の膨張について（質問紙の問3に対応）

最後に、空気の膨張に関して述べる。問3では、フラスコにバルーンをつけて、下から加熱したらバルーンが膨らんだという図を載せ、そこでの空気の膨張の記述として妥当なものを選択するよう求めた。その結果、90%近くの学生が正答の「c. 粒子間の間隔が広くなり、早く運動するようになった」を選択した（図8）。この点は、ドイツの結果（約53%）よりも高かった。その他、「a. 粒子が大きくなった」を選択したものが7%、「b. 粒子の数が増えた」が3%、「d. 粒子がフラスコからバルーンに逃げた」が3%であった。気体の膨張についてドイツと比較した時、日本の学生は、誤答を選ぶ割合が非常に少なく、総じて、多くの者が科学的に正しい認識を持っていたと言えよう。高野ら（1991）が、空気の膨張に関する理解は、学年進行するにつれて正しいものになっていくと述べていることから¹⁹⁾、高校生よりも大学生の方が、科学的に正しい理解をしていたことが考えられよう。

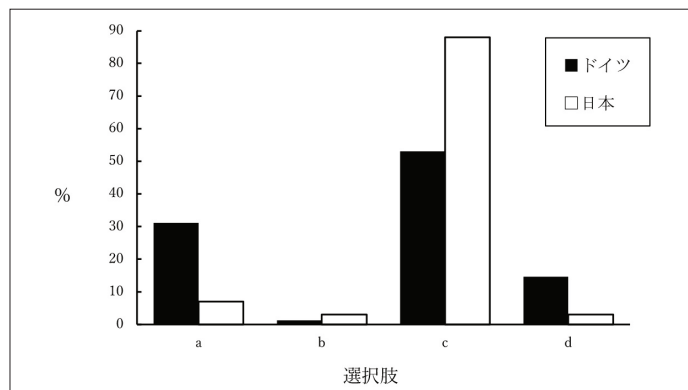


図8：空気の膨張に関する調査結果の日独比較

5 おわりに

以上、本研究では、教員養成学部に所属する大学生に対して、粒子モデル、粒子の運動性、物質の溶解と粒子の拡散、空気の粒子性、空気の膨張についての5つの観点から、質問紙調査を行った。その結果をドイツの結果と比較したところ、特に、粒子の運動性、および空気の粒子性について理解が曖昧であることが分かった。上記の5つの観点としては設定していなかったが、粒子の色についても大学生の認識が低いことが分かった。かかる事項に関しては、関連の学習を行う段階で重点的かつ明示的に教授する必要があると考えられた。大学の授業においては、学生が物質の粒子性に関する理解を一層深められるように、関連する事項について再度学習する機会を設ける必要があると考えられた。

物質の粒子性については、粒子同士を引きつける力、結合等についての観点からも検討する余地があるが、こうした点からの調査と分析については、別稿に譲ることとする。また、物質の粒子性について理解が曖昧な学生に対して、いかなる指導が有効なのかについては、本稿では考察し得なかった。したがって、かかる内容の検討についても稿を改めて論じることにしたい。

引用参考文献

1. 文部科学省(2017)小学校学習指導要領解説理科編. 東洋館出版社、文部科学省(2017)中学校学習指導要領解説理科編. 東洋館出版社、文部科学省(2018)高等学校学習指導要領解説理科編. 東洋館出版社
2. National Research Council (2013) *Next Generation Science Standards Volume 1*. National Academy Press. National Research Council, (2013) *Next Generation Science Standards Volume 2 Appendixes*. National Academy Press
3. 片平克弘(1996) 科学概念に関するミスコンセプションの概念変換を支援する構成主義的教授モデルの開発、平成7年度文部科学省研究費補助金(一般研究(C))研究成果報告書、81

4. Ayas Alipaşa, Özmen Hauluk, Muammer Çalik (2010) Students' conceptions of the particulate nature of matter at secondary and tertiary level. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 8: 165-184
5. Rosalind Driver (1985) *Children's ideas in science*, Open University Press : 内田正男 (監訳) 貫井正納・鶴岡義彦 (訳) (1993) 子どもたちの自然理解と理科授業. 東洋館出版社
6. 山本和久 (1998) 大学生の「無重量状態」に対するミスコンセプション. 物理教育、46(1): 23-25、鈴木哲也 (2018) 小学校教員養成の学生がもつミスコンセプションと克服すべき課題—振り子の実験を通じた大学における実践事例を通して—. 日本科学教育学会年会論文集、42 : 237-1238、小松崎洋史、中本敬子 (2015) 溶解と状態変化における粒子の様子に関する誤概念：中学1年生と大学生を対象にした質問紙調査. 日本教育心理学会総会発表論文集、57 : 375
7. Children's Learning in Science Project (1984) Approaches to Teaching the Particulate Theory of Matter, University of Leeds, 11
8. 片平克弘 (2016) 粒子理論の教授学習過程の構成と転換に関する研究. 風間書房
9. 同上書、95-96
10. 同上書、96
11. Novic Shimshon, Nusbaum Joseph (1978) Junior high school pupils' understanding of the particulate nature of matter: An interview study. *Science Education*, 9(1): 273-281
12. Novic Shimshon, Nusbaum Joseph (1981) Pupils' understanding of the particulate nature of matter: A cross - age study. *Science Education*, 65(2): 187-196
13. 片平克弘 (2016)、前掲書、98
14. 高野圭世、堀哲夫、平田邦男 (1991) 粒子概念の理解に関する研究 —「空気の温度による体積変化」を事例にして—. 日本理科教育学会研究紀要、32 (2) :91-100
15. Hans-Dieter Barke, Al Hazari, Sileshi Yitbarek (2010) *Misconceptions in Chemistry: Addressing Perceptions in Chemical Education*. Springer, 86-93
16. Wolfgang Asselborn. Hrsg. (2016) *Chemie heute Klasse 7 Nordrhein-Westfalen*, Westermann Schroedel, 31
17. Ebenda, 138
18. 有馬朗人、他62名 (2016) 文部科学省検定済教科書 新版 理科の世界1. 大日本図書、103
19. 高野圭世、堀哲夫、平田邦男 (1991)、前掲書、91

参考資料：質問紙

次の項目の質問に答えてください。

1. 図1のようにフラスコ内の空気の粒子が見えるとしたら、空気の粒子と粒子の間は何で埋められていますか。次の a. ~ g. の中で正しいものを1つ選び○をつけてください。

a. 空気 b. 汚染された何か c. 酸素 d. 何もない e. 水蒸気
f. 塵 g. 見えない物質





図1

2. 氷の結晶は、水の粒子によってつくられています。氷の状態のとき、水の粒子はどのように配置されていますか。四角の中に「○」を使ってモデルを描き、簡単に説明してください。



3. 図2のように空気で満たしたフラスコにバルーンを取り付け、バーナーで加熱したところ、図3のようにバルーンが膨らみました。なぜバルーンが膨らんだのか、空気の粒子を温めた影響について、以下の a. ~ d. の選択肢から正しいものを1つ選び○をつけてください。

a. 粒子が拡張して大きくなった。
b. 粒子の数が増えた。
c. 粒子間の間隔が広くなり、早く運動するようになった。
d. 粒子がフラスコからバルーンに逃げた。






図2 図3

4. 砂糖の結晶を水に溶かしました。このことを示す図はどれか、以下の a. ~ c. の選択肢から正しいものを1つ選び○をつけてください。

a. 砂糖の結晶が徐々に溶けて、水に混ざる。(図4参照)

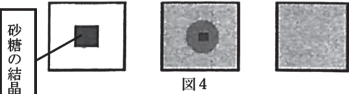


図4

b. 砂糖の結晶は数えきれない極小の粒子からつくられている。その粒子が水に混ざる。(図5参照)

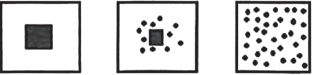


図5

c. 砂糖の結晶は数えきれない極小の粒子からつくられている。砂糖の結晶は水の中では粒子に分かれ、砂糖の粒子と水の粒子が一律に混ざっている。(図6参照)

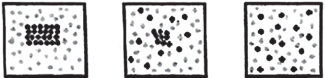


図6

5. 以下の a. ~ e. の文章から正しいものをすべて選び○をつけてください。

a. 水の粒子は、氷の状態では固体、水の状態では液体、水蒸気の状態では気体である。
b. 水の粒子は、水の状態では青色、水蒸気の状態では見えない。
c. 水の粒子はまったく色がない。
d. 水の粒子は運動しており、粒子の運動は水蒸気の状態では速く、水の状態ではゆっくり、氷の状態ではさらにゆっくりである。
e. 水蒸気の状態と水の状態では粒子は運動しているが、氷の状態では粒子は運動していない。

(Hans-Dieter Barke, Al Hazari, Sileshi Yitbarek (2010) *Misconceptions in Chemistry: Addressing Perceptions in Chemical Education*. Springer, 86-93を基に一部表現を変えて作成)

Summary

Teaching and learning particulate nature of matter in science education: Through comparison between Japan and Germany

GOTO Mina

Understanding the particle nature of matter is indispensable to learning the chemical properties of substances. However, it is difficult for learners to understand the particle nature of matter. This study aims to obtain suggestions on the teaching and learning of the particle nature of matter through a survey of university students and compare the responses with those from other countries.

Three points were derived from an analysis of the results, including characteristics of university students' understanding of the particle nature of matter: (i) while university students understood the behavior of particles with respect to the expansion of air, they showed a vague understanding of the motility of particles in solids, the particle nature of air, and the color of particles; (ii) regarding the three concepts that students found difficult to understand, it is necessary to prioritize these and provide explicit teaching at the stage of related learning; and (iii) it is necessary to create the opportunity to revisit content even in university classes.