

# 気体の圧力に関する大学生の誤概念

## — 基盤教育科目における実態調査と教育実践 —

高原 周一

岡山理科大学教育推進機構基盤教育センター

### 要旨

粒子概念の習得は科学教育の重要な目標であるが、大学生でも十分に達成できていない。そこで、本学の基盤教育科目（共通教育科目）において、既に高校までに繰り返し学習している気体の圧力を題材に、学生の概念修得状況と誤概念の実態調査を行うとともに概念修得を促す教育実践を行った。その結果、多くの学生が様々な誤概念を持っており、それが気体の圧力の粒子論的理解を妨げている実態が明らかになったが、このテーマを扱った授業に対する満足度は高かった。

### 1. はじめに

全ての物質は原子・分子・イオンなどのミクロな粒子で出来ており、その粒子の挙動がマクロな物質の性質を決めているという「粒子概念」を習得することは科学教育のもっとも重要な目標のひとつであり、初等・中等理科教育でも「粒子」が理科の基本的な見方や概念の柱のひとつとして位置づけられている<sup>1,2)</sup>。特に、化学において粒子概念は本質的に重要であり、中学校および高等学校の化学教育において時間を割いて粒子概念とそれに関連する事項を教えている。また、高等学校の物理教育においても、気体分子運動論をはじめとして粒子概念に直結する学習内容がある。しかし、中学生・高校生および大学生に対する調査で粒子概念の修得が不十分であるという状況が明らかになっている<sup>3-8)</sup>。本来、粒子概念は化学変化に関する内容も含むが、初歩的な段階では物理変化のみを扱うことが適当であろう。現行の学習指導要領でも中学校1年生で物理変化を扱う中で初歩的な粒子概念を導入し、中学校2年生以降で原子・分子・イオンおよび化学変化（物質の分解、化合など）といったより発展的な粒子概念に進んでいる<sup>1)</sup>。ここで、初歩的な粒子概念の具体的な内容としては、例えば以下のようなものが考えられる。

- 全ての物質は極めて小さな粒子（原子・分子・イオン）でできている。
- 粒子間の空間は真空である。
- 個々の粒子は（物理変化においては）生成・消滅しない。
- 個々の粒子は温度・圧力等の条件を変えてもほとんど体積変化しない。
- 粒子は熱運動をしている。温度が高いほど粒子の熱運動が激しい。

- ・ 粒子間には主に引力がはたらいているが、粒子間距離が遠いと力のはたらかない。

このような初歩的な粒子概念により、気体の圧縮、物質の三態変化、溶解、拡散などの様々な物理変化を理解することが、化学変化も含めた粒子概念修得の第一歩となるだろう。しかし、例えば大学生であっても上記のリストに含まれる「粒子間の空間は真空」であるという認識がない学生が多数派である<sup>4,5)</sup>などの実態があり、初歩的な粒子概念さえ十分に伝わっていないというのが現状である。

学習者がある科学的な概念を学ぶ際に、それまでの体験や学習の中で培ってきた学習者自身の概念を既にもっていて、科学概念の習得を困難にする場合がある。このような学習者自身の概念は誤概念（もしくは素朴概念）と呼ばれ、盛んに研究されている<sup>3-5,8,9)</sup>。また、「抵抗が強いほど力が必要である」といった日常経験から抽出されたような断片的な知識が科学概念の修得に影響を及ぼすという指摘もある。このような断片的な知識は **p-prims** (phenomenological primitives) と呼ばれる<sup>10,11)</sup>。学習者がもつ誤概念および **p-prims** を教師が把握して授業で活用することは、科学概念の定着にとって不可欠である。粒子概念についても、様々な誤概念や **p-prims** が修得を阻害している可能性がある。

気体の圧力は、空気を圧縮したときの「手ごたえ」として小学校4年生から学習する身近な現象であるが、その本質の理解には初歩的な粒子概念が不可欠である。しかし、著者も参加した熱力学の学習に関する先行研究<sup>8)</sup>により、気体の圧縮に関しても大学生の理解が不十分であり、粒子概念に関係した誤概念も見られることが示されている。そこで、本学の基盤教育科目（共通教育科目）において、気体の圧力の粒子論的理解の状況および学生のもつ誤概念等を調査するとともに、粒子概念修得を促す教育実践を行った。

## 2. 実践の概要

気体の圧力に関する教育実践は、2022年度の春学期に Zoom を用いたオンライン・ライブ形式で開講された「基盤化学1」で行った。気体の圧力に関する内容は1回目授業の後半および2回目授業の前半の2回に分けて実施した。受講生は112名で主に生命系、物理系などの理系学生で、その82%は高校で化学基礎と化学を、52%は高校で物理基礎と物理を両方とも履修していた。授業では Zoom のチャットの書き込みを用いて実態を把握するとともに、授業の双方向性を確保した。他の学生の書き込みはリアルタイムで他の受講生に見えるので、最初の方に書かれた意見に記述内容が影響される可能性がある。また、授業後のレポートから学生の理解状況や満足度を確認した。

これに加え、2022年度秋学期に開講された「現代人の化学A」でも教育実践を行った。この授業は受講生3名（教育系、情報系、理学系）のみで対面形式であったので、問題の回答について理由をヒアリングすることができた。また、関連する実践を2019年度秋学期の「化学基礎論II」（対面形式、受講生32名、主に物理系学生）でも行っていた。この科目では、選択肢式の問題の意見分布をクリッカーで調べ、数人の学生に対して選択理由を口頭で述べてもらった。

## 3. 実践の内容と結果

### 3-1 2022年度「基盤化学1」での実践

## (1) 1回目授業での実践

2022年度の「基盤化学1」では、すべての物質は原子でできていること、気体の分子間の空間が真空であること（これ自身を知らない学生も多い）を説明したうえで、以下の問題を提示し、チャットで回答するように求めた。

問題1 分子間は真空なのに体積を保っているのはなぜか？

その際、「分子間が真空だと気体の体積が保持できずに縮んでしまうような気もするが、そうならないのはなぜか」というのが問題の趣旨であることを説明した。ちなみに、この問題は過去に学生から受けた質問を授業に取り入れたものである。また、この問題では暗黙のうちに外圧がかかっていることを想定しているが、そのことは明示しなかった。この問題について、以下のような内容の回答があった。

## 分子運動による説明

- ・ 分子は動き続けているから
- ・ 分子が熱運動して箱にぶつかって体積を保っているから
- ・ 分子どうしがぶつかりあっているから

## 分子間力による説明

- ・ 分子間力がはたらいているから
- ・ 分子どうしがお互いに反発し合っているから
- ・ 分子間力で引きあっているから
- ・ 分子に体積があるため分子間力がはたらくから  
(分子間にほとんど隙間のないイメージ?)

## その他

- ・ 圧力で考えれば真空だが実際は電子が存在しているため（真空の否定）

回答を上記のように3分類すると、「分子運動」が23%、「分子間力」が60%、「その他」が17%であった。正答である「分子運動」に分類される回答の中にも、分子どうしの衝突を原因として挙げている場合もあった。気体の圧力の原因は分子と壁との衝突であり、分子どうしの衝突は関係ないので、これは不適切な回答である。「分子運動」と書いた23%の中にはこれが含まれているので、正しいイメージ（「分子が熱運動して箱にぶつかって体積を保っている」という考え）をしっかりと持っている学生はもっと少ないことになる。「分子間力」については、分子間の斥力だけでなく、分子間の引力を理由に挙げる学生がいた。また、「分子間力」に分類される回答の中には以下のようなものもあった。

- ・ 真空によって生じる圧力よりも分子間の反発力の方が大きい

これは真空が「負の圧力」をもっているという誤概念に基づくものと考えられる。

次に、注射器に空気を閉じ込めてピストンを押すと、空気が圧縮されるが押し込めば反発力が働くこと、ピストンを押すのをやめるともとに戻る現象を演示実験で見せた。これは小

学校 4 年生理科の教科書にも載っており、学生にはなじみ深い実験である。その上で、以下の問題を提示した。

問題 2 空気を圧縮しようとするとき反発力がはたらくのはなぜか？

その際に、この問いは「気体を圧縮すると気体の圧力が高くなるのはなぜか」という問いと本質的には同じであることを補足説明した。問題 2 については、以下のような内容の回答があった。

気体分子運動論的な説明

- ・ 注射器にあたる分子の数が増え、反発力が高まる

巨視的な復元力による説明

- ・ 元の形に戻ろうとするから
- ・ 元の体積に戻ろうとするから

圧縮時の温度上昇による説明

- ・ 圧縮して中の温度が高くなって、より熱運動が活発になるから

分子間力による説明

- ・ 分子間に働く反発力は互いに近づくにつれ大きくなるため、巨視的に弾性力は生じているように見えている

その他

- ・ 気圧を注射器と外で保とうとするから（圧力のつりあいによる説明）
- ・ 作用反作用の法則がはたらく
- ・ ボイルの法則が成立しているから
- ・ 分子どうしがぶつかって戻るから（分子どうしの衝突による説明）
- ・ 運動できる範囲が制限されたのを戻そうとするから（擬人的なイメージ？）
- ・ 隙間から圧縮された分を補う空気が入るから

気体分子運動論的な説明は全回答者 96 名のうち 3 名のみで、「もとに戻ろうとする」といった粒子論的なイメージを伴わない巨視的な「復元力」による説明が全体の 56% を占め最多であった。

圧縮時の温度上昇による説明を行った学生もいた。この実験では等温といった条件を示していないので、この回答は全くの間違いというわけではない。ただ、演示で見せた注射器に閉じ込めた気体を手で押すような場合は、完全に断熱条件が成り立っていたとしても温度上昇による圧力上昇は体積変化による圧力上昇に比べて寄与が小さい。例えば、断熱圧縮によって 2 原子分子からなる気体（空気もほぼそうである）の体積を圧縮前の半分にする場合を考えよう。このとき、ポアソンの法則  $PV^\gamma = \text{一定}$  ( $P$  は圧力、 $V$  は体積、 $\gamma$  は定圧熱容量と定積熱容量の比) から圧縮前の圧力の  $P_1$  に対する圧縮後の圧力  $P_2$  の比  $P_2/P_1$  を求めると 2.64 となる。定温条件下で同じ体積変化が起こったときの  $P_2/P_1$  は 2 であるので、断

熱圧縮時の温度上昇による  $P_2/P_1$  への寄与は 0.64 となり主要因でないことがわかる。

「分子間の反発力」など、分子間力をつかった説明をする学生も見られた。気体においては多くの場合に分子間力が無視できるほど小さいということは高等学校の化学および物理で学習する内容であるが、それが定着していないことを意味する。

「圧力のつり合い」（ピストンにかかる圧力がピストンの上下で等しい）により説明できるとした学生も見られた。確かにピストン静止時には圧力がつり合っているが、シリンダー内の気体の圧力がなぜ増加したのか説明する必要がある。力（圧力）のつり合いの原因として作用・反作用の法則を持ち出す学生もいた。これは、作用・反作用の法則により、ピストンを外から押す力がシリンダー内部の気体の圧力による力と必ず同じになるという主張になる。しかし、これは力のつり合いと作用・反作用の法則の混同による間違った主張である。作用・反作用の法則は、二つの物体が互いに力を及ぼす場合、両者は向きが反対で大きさが等しいというものである。図1に示すように、ピストンに手で外力  $F_1$  を加える場合、この反作用はピストンが手を押す力  $F_2$  である。シリンダー内の気体の圧力がピストンに及ぼす力  $F_3$  の反作用はピストンがシリンダー内の気体を押す力  $F_4$  である。 $F_1=F_2$  および  $F_3=F_4$  は常に成り立つが、 $F_1=F_4$  が成り立つのはピストンが静止しているときのみである。

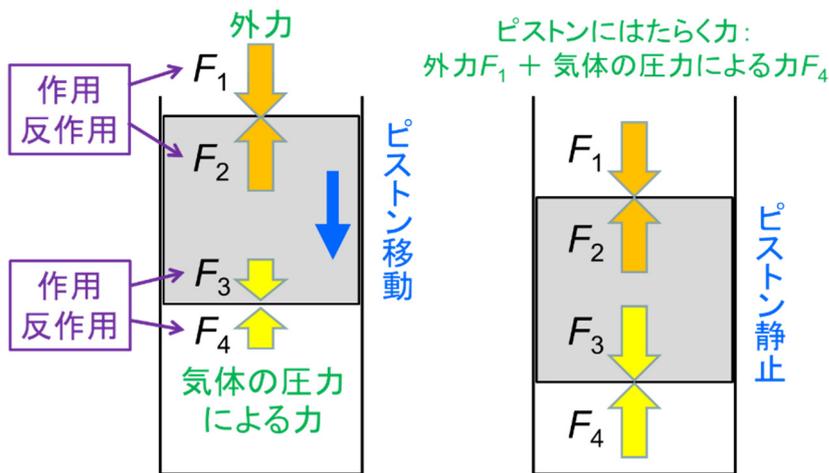


図1 注射器の中の気体を圧縮する際のピストンに及ぼされる力とその反作用

問題2については、「ボイルの法則」により説明できるとした学生も見られた。これは正解であるが、ボイルの法則がなぜ成り立つのかを理解しているかは不明である。これ以外にも分子同士の衝突、擬人的イメージなどによる多様な説明が記入されていた。

問題1・2のチャット記入では、誤答も多いもの学生なりに考えた意見が活発に書き込まれた。問題2のチャット記入が終わった後、気体の分子運動についての動画「シミュレーション版〈もしも原子がみえたなら〉」<sup>12)</sup>を見せて、分子が熱運動をしていることを説明した。

(2) 1回目授業後の課題

1回目授業では問題1・2の正答の発表・解説は行わず、1回目の授業とこれまで中学校・高等学校で学んだことを思い出して、問題1・2の解答を次回の授業までに改めてオンラインで回答するという宿題を課した。気体分子運動論的な回答は15名に増えたが、依然とし

て誤答（論理の中に誤概念が含まれている回答も含む）も多かった。以下にその例を示す。

#### 問題 1 についての回答

- ・ 分子どうしに引力がはたらき、その力が全方向からはたらくから分子がその場で固定されて体積を保つ
- ・ 気体の分子間で引力や斥力が働き、近づいたり離れたりすることができないため体積を保っている

問題 1 についての回答から、学習者がこの問題について分子間力を使ってどのように理解したのか具体的なイメージを知ることができた。

#### 問題 2 についての回答

- ・ 気体を圧縮すると、気体分子どうしがぶつかる回数が増加するため、気体の圧力が高まる
- ・ 圧縮するとより多くの分子と衝突して温度が上昇する
- ・ 分子どうしがぶつかる頻度が多くなり、ぶつかった瞬間にエネルギーが生じたりして反発力になる
- ・ 圧力が大きくなると分子の動きが速くなる

問題 2 については上記のような分子運動についての誤概念に基づく回答が目立った。「分子どうしが衝突するとエネルギーが生じる」および「圧力が大きくなると分子の動きが速くなる（温度が高くなる）」という誤概念は、熱力学を題材にした先行研究<sup>9)</sup>でも見られたものであり、かなり一般的な誤概念だと考えられる。また、「100℃の水蒸気を圧縮すると水になるが、圧力から開放すると水蒸気に戻る。よって、物質は力を加えても元に戻ろうとする性質があり、気体を圧縮しても元に戻ろうとして反発している」という回答もあった。この回答は、物質には「元に戻ろうとする」一般的な性質があるという学習者自身の素朴概念がいかに形成されたかが示されていて興味深い。

この課題については、全員分の回答とそれに対するフィードバック（誤答に対する問題点の指摘など）を提出者名を伏せて本学の LMS（システム名 Mylog）にアップロードし、受講生全員が閲覧できるようにした。

### （3） 2 回目授業での実践

2 回目の授業では、1 回目の授業で出した問題 1・2 について解説した。問題 1 については、分子が熱運動して壁を押していることが主要因であること、気体の場合、分子どうしの間にはほとんど力のはたらいていないことを説明した。問題 2 については、温度が一定と考えるとボイルの法則（ $PV=一定$ ）より導くことができることを説明した。さらに、図 2 を示しながら、気体を圧縮すると分子が壁にあたる頻度（単位面積当たり）が増えて圧力が増大することを説明した。

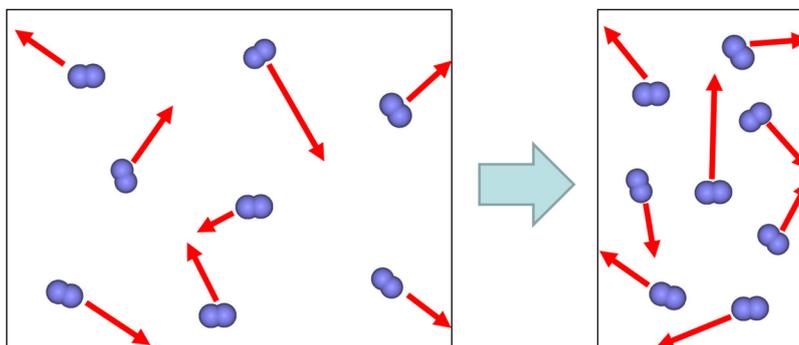


図2 気体の圧縮による圧力上昇の分子論的イメージ

#### (4) 受講生の感想

1回目の授業の後にとった満足度調査(5段階評価)の結果は、満足 67%、ほぼ満足 20%、普通 13%、やや不満・不満 0%であり、上位2段階が 87%を占めており、受講生は概ねこの授業に満足していたことがわかった。自由記述欄には以下のような感想が書かれていた。

- ・ とても身近な現象に対して、何故こうなるのかと考える機会は無かったので、見える世界が広がった。
- ・ なぜ公式(例えばボイル・シャルルの法則)が成り立つのかなど、受験やテストの問題を解くときに考えてこなかったことを考えることが重要だと思いました。
- ・ 出される問題一つ一つがじっくりと考えてみないと答えが出せないような問題で、実際授業でも意見がかなり割れていた問題がありとても面白かったです。
- ・ 論理的でいろいろな視点から考え話し合っていくので面白い。

このように、受講生は「考える」ことを「面白い」と感じており、このことが満足度を向上させる要因になったと考えられる。

#### 3-2 2022年度「現代人の科学A」での実践

「基盤化学1」と同様の内容を1回分の授業の中で実施した。ただし、問題1は出題せずに問題2についてのみ出題した。以下は受講生とのやり取りである。

- 教師： 空気を圧縮しようとする反発力がはたらくのはなぜか？
- 学生1： 分子がスーパーボールみたいな感じでちょっと縮む。力が加わったら気体全体が縮む。
- 学生2： 圧縮すると空気中を飛び回っている分子の壁への衝突が激しくなるから。動きまわられる範囲が狭くなったら壁にぶつかる力が大きくなる。
- 学生3： 空気がいっぱいいっぱいになるから。もとにもどりたくて怒って反発する。
- 教師： 空気君が「苦しいよー」みたいな感じ？
- 学生3： そうです。

出題の直前に気体分子間には隙間があって、そこが真空であることは説明したが、学生1は

問題2を考える際には気体分子どうしが接触するイメージに戻ってしまっているようだ。学生2は分子運動で説明できているが、「動きまわれる範囲が狭くなったら壁にぶつかる力が大きくなる」という誤概念を抱えている。学生3は分子（もしくは空気という物質）を擬人化して理解しようとしているが、分子に意思はないので擬人化するのは適当でないという粒子概念の（もしくは自然科学全体に関わる）基本的な観点が持っていないと考えられる。これらのやり取りによって、学生がもっている粒子のイメージがより鮮明に把握できた。

### 3-3 2019年度「化学基礎論Ⅱ」での実践

「化学基礎論Ⅱ」では化学熱力学を教えているが、内部エネルギーについて考えを深めてもらうために以下のような問題を提示した。

問題3 分子Aと分子Bは質量は同じで、力がはたらかない空間で動いている。分子Aは分子Bより狭い空間に閉じ込められている。壁との衝突は弾性衝突とする。分子Aと分子Bでどちらのエネルギーが大きいか。

※ 問題3をスライドで提示する際に図3を用いた。このスライドでは、アニメーション機能を用いて分子Aと分子Bが同じ速度で動いていることがわかるようにした。



図3 問題3を提示する際に使用したスライド

注： 実際のスライドでは、アニメーション機能を用いて分子Aと分子Bが同じ速度で左右の壁の間を一次的に往復運動していることを表現した。

学生の意見分布は、「分子Aの方が大きい」が69%、「分子Bの方が大きい」が12%、「同じ」が19%であった。この条件では分子のエネルギーは運動エネルギーのみからなり、分子の速度が同じなので、正答は「同じ」となる。多数派である「分子Aの方が大きい」を選んだ学生からは「衝突回数が多い」といった理由が出された。これは、既に3-1（2022年度「基盤化学1」での実践）でも述べた「衝突によりエネルギーが発生する」という誤概念がもとになっていると考えられる。「分子Aの方が大きい」の選択率が69%という結果は、かなりの割合の学生がこの誤概念を持っていることを示唆する結果である。「分子Bの方が大きい」を選んだ学生からは「空間が広いので動きやすい」といった理由が出された。分子の運動エネルギーは空間の広さに依存するという誤概念も存在するようである。

## 4. 考察

### 4-1 気体の圧力に関する誤概念

今回の実践の中で明らかになった、気体の圧力に関する学生の誤概念をまとめると以下のようなになる。

- ・ 気体の圧力は分子間力（反発力、引力）によって発生する
- ・ 気体の圧力は分子どうしの衝突によって発生する
- ・ 気体分子間の真空は負の圧力をもっている
- ・ 気体を圧縮すると分子が変形し、元に戻ろうとする
- ・ 固体を変形させたときの弾性力と同じような力が気体にもある

また、これに付随して、分子運動に関する誤概念も抽出できる。以下がそのリストである。

- ・ 分子どうしの衝突もしくは分子と壁との衝突によってエネルギーが発生し、温度が上昇する
- ・ 狭い空間の閉じ込められた分子は壁に大きな力を与える
- ・ 圧力が大きくなると分子の動きが速くなる

巨視的な復元力による説明（元の形に戻ろうとする）は、diSessa の指摘する「平衡化」の **p-prim**<sup>10)</sup> が関与している可能性がある。この **p-prim** は、「平衡の回復は非平衡化の要素が除去された自然の結果で、それ以上の説明は必要ない」というもので、例えば天秤からおもりを除去するというイメージである。この **p-prim** は、平衡が回復する仕組みを詳細に考察することを妨げる。気体の圧縮の問題についてこの **p-prim** が発動すると、「手で圧縮するのをやめたのだから元に戻るのだから当然だ」と捉え、その具体的な仕組みまでは考えないということになる。

これ以外に、自然を擬人化して理解しようとする傾向をもつ学生も存在することがわかった。また、ボイルの法則などのマクロな現象論的法則については認識しているものの、なぜそれが成り立つのかを追求しない学生も存在するようだ。

このような多様な誤概念や思考の弱点等が存在することが、気体の圧力についての粒子論的理解が進まない原因のひとつとなっていると考えられる。高等学校の物理および化学で、気体の圧力の粒子論的説明や気体の分子間力が無視できる程度に小さいことを学習するが、これが誤概念等を克服して正しい粒子概念を獲得することにあまり寄与出来ていないことを今回の結果は示している。

### 4-2 気体の圧力に関係する教科書の記述内容

これまで見てきたように、学生の気体の圧力についての粒子論的な理解は不十分であるが、この背景を探るために小中高の教科書の記述内容について分析してみた。内容の確認は主に東京書籍の教科書で行ったが、他の出版社の教科書の内容も大きな差はない。以下が、各学年における気体の圧力に関係する内容である。

- 小学校 4 年生 とじこめた空気と水 / 物の体積と温度  
 空気は圧縮できるが、水は圧縮できない。  
 空気を圧縮したとき、空気の体積が小さくなるほど、おし返す力は大きくなる。  
 (理由の説明はなし、児童に自由に想像させるのみ)
- 中学校 1 年生 物質の姿と状態変化  
 粒子モデルの導入、状態変化を粒子モデルで説明  
 (気体の圧縮に関する粒子論的説明はない)
- 中学校 2 年生 化学変化と原子・分子  
 原子・分子の導入 (化学反応に重点、気体の圧縮に関する粒子論的説明はない)  
 天気とその変化 大気圧と圧力 空気の重さが大気圧の原因であると説明  
 (気圧の粒子論的説明はない)
- 高等学校 化学基礎 物質の三態  
 気体の粒子イメージの図、拡散を使って分子の熱運動の説明  
 (気体の圧力の粒子論的説明はない)
- 高等学校 物理基礎 熱 熱と温度 物質の三態と状態変化  
 分子の熱運動をブラウン運動で説明、温度と分子運動の関係を説明  
 (気体の圧力の粒子論的説明はない)
- 高等学校 化学 気体の圧力 / 気体の性質  
気体の圧力の粒子論的説明 (ここで初めて説明がある)  
 ボイルの法則 (粒子論的説明もされている)、気体の状態方程式  
 理想気体と実在気体 (実在気体でも分子間力の寄与が小さいことに言及)
- 高等学校 物理 気体の分子運動と圧力  
気体の状態方程式、気体分子運動論 (気体の圧力の粒子論による定量的説明)

気体の圧縮と「おし返す力」は小学校 4 年生で扱われるが、小学校では粒子論を教えることになっていないので理由は説明されない。ただ、小学校学習指導要領(平成 29 年告示)解説・理科編<sup>13)</sup>に「空気や水の存在や力を加える前後の空気や水の体積変化を図や絵を用いて表現するなど、空気や水の性質について考えたり、説明したりする活動の充実を図るようにする」と書かれているため、教科書も空気の圧縮について児童に自由に想像させるような作りになっている。児童の想像は、空気を圧縮すると「空気君が苦しい」ので反発するといった擬人化されたものになりがちである<sup>13)</sup>。教科書にもそういった擬人化した説明例が掲載されていて、この傾向を助長している<sup>14)</sup>。粒子概念を教えていない小学校 4 年生段階では仕方がない面もあるが、今回の結果でも見られたように、この誤った理解が大学生になっても修正されていない場合がある。その後、中学校 1 年生で粒子モデルの導入があり、中学校 2 年生で原子・分子が導入されても、気体の圧縮に関する粒子論的説明はない。さらに、中学校 2 年生の「天気とその変化」という単元で気圧が導入されるが、空気の重さが大気圧の原因であるという説明があるだけで粒子論的な説明はない。高等学校の化学基礎および物理基礎では分子の熱運動についての説明はあるが、ここでも気体の圧力の粒子論的説明はない。

高等学校の化学および物理で、気体の状態方程式や気体分子運動論の学習時に、初めて気

体の圧力の粒子論的説明が行われる。しかし、本研究で明らかになったように、その内容は定着しているとは言い難い。すなわち、以下のような実態がある。

- ・ 分子の熱運動が圧力と結びついていない。
- ・ 気体分子運動論で出てくる圧力の粒子論的な説明を理解していない。
- ・ 理想気体では分子間力が無視できる、実在気体でも寄与が小さいという知識がない。もしくは、知っていても活用できない。

高等学校の化学では、ボイルの法則、気体の状態方程式を使った定量的な練習問題を解くことに力が入れられていて、粒子論的な理解に関する説明は十分行われていない可能性がある。高等学校の物理については、気体分子運動論がそれまでに学習した力学の理論を使って気体の性質を定量的に導くことに重点が置かれていて難易度が高いので、その粒子論的な本質を理解するのが困難である可能性がある。

結果として、小学校4年生で現象のみを学習し、その解説が高校になってからということになっており、気体の圧力については学習指導要領に構造的弱点があると言える。気体の圧力についての大学生の粒子論的理解が不十分であることは、この状況を踏まえると当然の帰結かもしれない。以上のことから、小学校4年生もしくは中学校において、簡単でもよいので気体の圧力に関する粒子概念による説明を行うことが望ましいと考える。実際に、小学校4年生で気体の圧縮を粒子概念により説明する実践も行われている<sup>15)</sup>。気体の圧力は粒子論の有効性をわかりやすく示している例である。粒子概念の習得が科学教育のもっとも重要な目標のひとつであることを考えると、気体の圧力に関する粒子論的説明はより早い段階で取り扱うのが適当であろう。

## 5. おわりに

これまで見てきたとおり、気体の圧力についての大学生の粒子論的理解は不十分であり、様々な誤概念をもっていることがわかった。また、その背景には学習指導要領の構造的弱点がある。この現状を踏まえて一教員として出来ることは、学習者の理解状況および誤概念等を認識したうえで、気体の圧力の粒子論的理解を促進する教育を行うこと、そのための有効な教材を開発することであろう。気体の圧力に関しては興味深い教材<sup>7, 16)</sup>も提案されているため、これらも参考にしながら教材開発を進めたい。

同時に、このテーマを扱った授業に対する学生の満足度が高かったという点も重要である。学生は、身近な現象のしくみを考えることを面白いと感じていた。気体の圧力は、高等学校まで一応は学習しているので推論の手がかりが多く、かつ、様々な誤概念が存在するため、「考える」授業の題材として適していると思われる。こういった点がさらに生きるような教材を開発し、授業改善を進めていきたい。

## 参考文献

- 1) 文部科学省：高等学校学習指導要領（平成30年告示）解説 理科編・理数編 平成30年7月（令和3年8月一部改訂）／ 中学校学習指導要領（平成29年告示）解説 理科編 平成29年7月（令和3年8月一部改訂）／ 小学校学習指導要領（平成29年告示）解説 理科編 平成29年7月

- 2) 西 嘉之:小・中学校理科における粒子概念の形成について, 神奈川大学心理・教育研究論集, 47, pp243-253 (2020).
- 3) 小林和也, 後藤志緒莉, 池田宏:工業系学校初年次における科学的概念の修得状況に関する調査と分析, 工学教育, 71, 2, pp77-82 (2023)
- 4) 高原周一・池田宏・小林和也:大学における化学の基礎概念アンケート調査の実施—高専生との比較から見える大学生の粒子概念理解の状況, 日本理科教育学会中国支部大会発表論文集, 71, pp5 (2022)
- 5) 岩間世界・小林和也・池田宏・長尾明美・高原周一:大学教養課程における文系学生と理系学生の科学的概念の比較調査について, 第73回日本理科教育学会全国大会発表論文集, 21, pp316 (2023)
- 6) 後藤みな: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, 山形大学紀要(教育科学), 17, 4, pp119-132 (2021)
- 7) 柿原聖治:気体の分子運動に関するモデル実験と授業展開, 東邦学誌, 43, 2, pp105-116 (2014)
- 8) 板橋克美・高原周一:熱力学の問題に対する学習者の思考過程, 物理教育, 71, 1, pp2-7 (2023)
- 9) 湯澤正通 編著:認知心理学から理科学習への提言, 北大路書房 (1998)
- 10) A. A. diSessa: Towards an epistemology of physics, *Cognition and Instruction*, 10, 2&3, pp105-225 (1993)
- 11) 村山 功:概念変化についての諸理論, Vol. 54, No. 3, pp218-231 (2011)
- 12) 板倉聖宣・宍戸哲広・小林真理子:シミュレーション版〈もしも原子がみえたなら〉Ver.2, 仮説社 (2019)
- 13) 駒井健治, 市村真優:小学生は見えない粒子をどのようにイメージするのか, 化学と教育, 68, 4, pp162-163 (2020)
- 14) 新しい理科4年生, 東京書籍 (2020)
- 15) 土井 徹:粒子像は圧力概念の形成に貢献できるか—小学校理科における事例研究, 富山大学人間発達科学研究実践総合センター紀要 教育実践研究, 11, pp37-43 (2016)
- 16) 竹田美紀子:ただいま研究中!大気圧をイメージする授業書案〈空気と気圧〉, たのしい授業, 仮説社, 492, pp75-78 (2019) / 竹田美紀子:授業書《空気と気圧》, 仮説社 (2019)