

琉球大学学術リポジトリ

粒子概念の形成を促す授業実践

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 琉球大学大学院教育学研究科 公開日: 2022-05-30 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 平, 葵恵 メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.24564/0002017990

粒子概念の形成を促す授業実践

Teaching Practice to Promote the Formation of Particle Concepts

平 葵恵

Kie TAIRA

琉球大学大学院教育学研究科高度教職実践専攻

1. テーマ設定理由及び目的

高等学校学習指導要領解説理科編には、高等学校理科「化学基礎」の履修によって、観察や実験を通して「物質とその変化に関する基本的な概念や原理・法則の理解を図る」ことが重要であるとされている。その化学の基本となる概念や原理・法則は、単に覚えるのではなく「幾つかの事象を同一の概念によって説明したり、概念や原理・法則を新しい事象の解釈に応用したりする活動」を行い、物質概念を生徒が自ら活用する力を身につけることが求められている（文部科学省 2019）。

森下（1982）は、物質概念について「多種の物体の類似性や異差性を統一的に認識できるようにするためには、分子や原子の立場から、物体を微視的に見ていかせる態度を養うことが大切である」と述べて、粒子観を形成させる過程の重要性を指摘している。しかし、菊池ら（2008）が行った中学生・高校生を対象とする調査によると、小学校で学習する物質の基本的な現象に関して粒子概念を用いて説明する問題の正答率は、中学生・高校生共に低く、粒子概念が化学的事象の説明に使えるものとしては定着していないと報告している。そのため、「化学基礎」の学習においても粒子概念の形成を促し、物質概念を生徒が自ら活用する力を身につけることができる授業方略についての検討が必要である。

これまで、「物質の状態変化の実験を通して粒子と結びつけて概念形成を図る実践」（武藤ら 2017）や、「粒子が観察しにくいことに配慮した粒子モデルのアニメーション教材」（漆畑・吉田 2015）、「物質量は数を定義した単位であるとのイメージを掴むためのビー玉教材」（小畑ら 2018）などの開発および実践が報告されている。しかし、具体物や図を用いて粒子を説明することは、モデルと粒子との形状や性質の違いにより、かえって誤ったイメージを抱かせるといった課題もある。

そこで本研究では、高校化学基礎の単元において、粒子の構造及び性質の見直しを行うための問題や粒子と物質を関連付ける問いを取り入れた授業実践を行い、粒子概念の形成を目指した。

2. 課題発見実習について

（1）単元内容と粒子概念

化学基礎「物質量」の単元において、2時間授業を行った。物質量は粒子数に基づいた量の表し方であり、「高等学校化学の導入段階における最も重要な概念の一つ」（杉本 2017）とされているが、化学が苦手だという生徒の多くがそのきっかけとして挙げる単元でもある。その理由として、原子の粒構造の認識不足や物質量のイメージの掴みにくさが挙げられるが、物質量がどのように定められた量であるかを理解出来れば、物質を構成している粒子の性質やどのような状態で存在しているか（粒子が大変小さく軽いこと、物質は大量の粒子の集合体であること等）を理解していると判断出来るといえる。

（2）生徒の実態を踏まえた手立て

生徒の実態としては、複数人で相談しながら問題に取り組む協働学習が授業に多く取り入れられているため、能動的な活動を好んでいる様子が見られた。事前アンケートによると、化学の苦手なところとしては、「計算問題が難しい」「覚えることが苦手」という意見が多く見られた。

これらの実態を踏まえ、初めに物質質量に関する最低限の説明を行った後、物質質量と粒子数・質量・体積の数量的な関係を全体で確認した。その後生徒が粒子に関する誤概念に気付くための正誤問題を、生徒がお互いで相談しながら進めていくような展開にした。正誤問題は物質質量の定義を確認すること、粒子の性質を理解すること、物質の種類による粒子の違いに気付くこと、物質を構成する粒子の種類について意識すること等を目的として作成した（表1）。

表1 粒子概念形成のための正誤問題

物質質量	標準状態で 22.4 L の窒素の質量は 28.0 g である。	【正】
	酸素 16.0 g の体積は、標準状態で 22.4 L である。	【誤】
粒子の性質	鉄 1 mol は標準状態で 22.4 L である。	【誤】
	二酸化炭素 88 g 中に含まれる二酸化炭素分子は 2 個である。	【誤】
物質の差異	水素 12 g と炭素 12 g の物質質量は、等しくない。	【正】
粒子の種類	水素分子 1 mol の中には、水素原子が 6.0×10^{23} 個含まれる。	【誤】

(3) 結果と考察

授業の前後における生徒の認知内容の変容を、堀（2004）の OPP シートによって確認した。

概念形成のための問題の中で、生徒の反応が最も大きかった問題は、「二酸化炭素 88 g 中に含まれる二酸化炭素分子は 2 個である。」という問題であった。この問いは、「88 g の気体にはたくさんの分子が含まれるはずだ」という予想と、「88 を二酸化炭素の分子量（44）で割ると 2 である」という数との間に矛盾が生まれることを意図して作成した。この問題が mol 概念を見直すために有効だった背景として、化学的事象について考える際に「物質は多くの粒子の集まり」という概念を十分に活用出来ていない状況があると考えられる。

授業後では「粒子の大きさはとても小さいということを頭に入れて考える」「(粒子の) 形をイメージする必要がある」といった記述もあり、生徒は授業を通して粒子概念を理解する必要性を実感していることが伺える。しかし、物質質量がどのようなものかという問いについては、物質が多数の粒子の集まりであることを踏まえた上で、「自分なりの表現で正しく物質質量を定義出来ている生徒」がいる一方で、授業前・授業後共に「物質を巨視的にしか捉えられていない生徒」もいた。そのため、粒子そのものの概念を見直すだけでなく、粒子と物質の関係性を理解させ、既に生徒が持っている物質概念（巨視的な見方）と粒子概念（微視的な見方）を結び付けることが重要であると考えた。

3. 課題解決実習について

(1) 研究の対象と方法

沖縄県内の県立高等学校 1 年生 3 学級（123 名）を対象に、物性とその物質を構成する粒子との関連を意識させる問いを取り入れた授業実践を行い、粒子概念形成および活用するものとしての定着を目指した。その成果を生徒のワークシートや OPP シート、アンケート調査の結果、授業記録より考察した。

(2) 生徒の実態

大学入試等で化学を必要とする生徒はほとんどおらず、授業での様子等からも化学を学ぶ意義をあまり感じられていないように思われる。1 年生 3 学級（123 名中有効回答 88 名）を対象に行った事前アンケートの結果では、「化学の授業が好きだ」という項目について、「当てはまる」「やや当てはまる」と回答した生徒が 88 名中 58 名の 66% に上る一方で、「化学の知識は自分の役に立つと思う」の項目で「当てはまる」「やや当てはまる」と回答した生徒は 88 名中 43 名の 49% であった（図 1、2）。この結果は、授

業で学習する原子の構造や性質に関する知識を身の回りの物質の性質に結びつけることが出来ておらず、化学の知識が教科書の中だけのものと感じていることが原因の一つであると考えられる。そのため、粒子と物質の関連付けが出来れば、化学の知識の有用性に気付くことにも繋がると思われる。

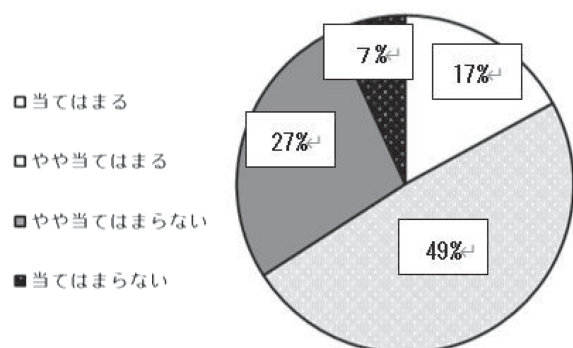


図1「化学の授業が好きだ」に対する生徒の回答(3クラス 88名)

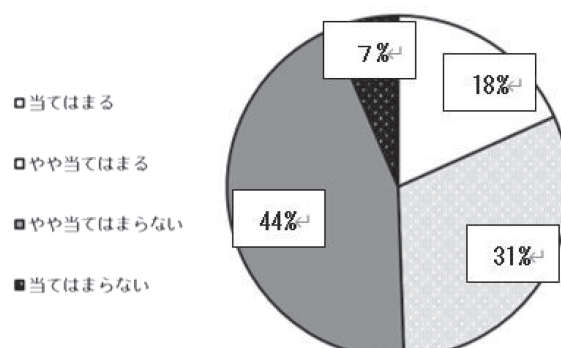


図2「化学の知識は自分の役に立つと思う」に対する生徒の回答(3クラス 88名)

また、化学の難しいと感じるところや苦手なところについて、「覚えることが多くて難しい」「覚えるのが大変」といった回答が非常に多かった。このことから、多くの生徒が化学を暗記中心に学習していることが伺える。

(3) 単元内容と粒子概念

化学基礎「化学結合」の単元について、5時間授業を行った。

物質は種類や状態に関わらず原子間、分子間に結合(相互作用)があり、それによって各物質の物性が決まってくることから、物質を扱う上で化学結合に関する基本的な知識は必須である。しかし、この分野に関する生徒の理解は教師の予想以上に希薄であることが多く、その原因としては、実際に物質を見たり触ったりした経験がないこと、普段の生活の中で扱っている物質との関連が出来ていないこと等が挙げられる(遠藤, 2013)。そのため、この単元の学習を通して結合から物性を判断するだけでなく、物質の性質からその物質を構成する粒子の状態や性質を予測することが出来れば、粒子概念が活用できるレベルで定着している可能性が高いと考えられる。

4. 実践の具体的内容と実態を踏まえた手立て

粒子の性質や構造と物性の関連に気付かせること、粒子概念を説明に活用するものとして定着させることを目的として、「ダイヤモンドの結晶では炭素原子がどのように配列しているか」という問いを設定した。この問いに対して生徒が炭素の性質に関する知識を活用すること、自分の知っているダイヤモンドの性質と化学結合を関連させて考えることが出来るようになることを目指して授業デザインを行った。

留意した点としては、まず、生徒は今までに学習した知識を使ったり組み合わせたりして答えを導いたり、自分の考えを記述したりするということに慣れていないため、自分で考えるような問題を積極的に取り入れた。そして、初めは考える上でどのように道筋を立てていくかを提示しながら生徒が自分の考えを持てるよう指導した。また、内容の理解が浅くなってしまうのは、化学的な事象を理解しようとする意識が薄く、暗記で終わらせようとしてしまっていることが要因であると考え、化学史を交えて昔の研究が今に繋がっていることを伝えた。さらに、電子式や構造式は結合の様子を表すためによりわかりやすく、簡単に書くために必要であると説明するなど、学ぶ意義を感じてもらえるような工夫をした。

詳しい内容を表2に示す。

表2 課題解決実習での授業計画

第1時	分子の形成・原子の電子式
	<ul style="list-style-type: none"> ・共有結合について、前時に学習しているイオン結合との違い(非金属元素同士の結合であること等)や共通しているところ(希ガスと同じ電子配置になろうとしていること等)を踏まえて説明した。 ・原子を簡単に表すために電子式があると説明した。 <div> <ul style="list-style-type: none"> ・既に学習している知識が新たな化学的事象について理解する際に役立つという意識を持たせる。 ・学ぶことの意義を感じてもらう。 </div>
第2時	原子の電子式・分子の電子式・構造式
	<ul style="list-style-type: none"> ・原子の電子式を周期表と照らし合わせて考えるようにした。 ・単結合の分子の電子式を全体で確認した後、二酸化炭素の電子式がどうなるかを考えてもらった。 ・構造式は結合の様子をさらに簡単に表すためのものだと説明した。 <div> <ul style="list-style-type: none"> ・同族原子では不対電子の数が同じであるということに気付かせ、暗記ではなく原子の性質から理解する重要性を感じさせる。 ・習得した知識を活用して考えさせる、学ぶことの意義を感じてもらう。 </div>
第3時	構造式、分子の形、配位結合
	<ul style="list-style-type: none"> ・分子の構造式を生徒同士で相談しながら考えてもらった。 ・メタンがどのような形か生徒に予想させた。 ・単結合の分子については、分子の形は規則的になっていることを伝えた。 ・「アンモニアと水素イオンの結合は共有結合かどうか」という問いについて考えてもらった。 <div> <ul style="list-style-type: none"> ・見えない粒子をイメージすることに慣れてもらう。 ・習得した知識を活用して考えさせる。 </div>
第4時	電気陰性度と分子の極性
	<ul style="list-style-type: none"> ・結合の極性と分子全体の極性の違いは混乱しやすいため、時間をかけて確認した。
第5時	分子結晶・共有結合の結晶
	<ul style="list-style-type: none"> ・分子結晶の性質を踏まえた上で「ダイヤモンドでは炭素原子はどのように配列しているか」という問いについて考えてもらった。 ・ダイヤモンドと黒鉛の違いと結合の違いの関係を説明し、粒子を学ぶことが物質を知ることに繋がることを伝えた。 <div> <ul style="list-style-type: none"> ・習得した知識を活用させる。 ・粒子の性質や状態と物質の性質や状態の関係について考えさせ、粒子概念が形成を目指す。 </div>

新型コロナウイルス感染予防対策のため、実習時は学級内での分散登校が行われており、授業形態は対面授業とリモート授業を同時進行するハイブリッド型授業で行った。そのため対面の生徒とリモートの生徒の間で、学習内容の理解に差が出ないように留意して授業を実施した。

5. 結果と考察

(1) 巨視的な見方と粒子概念を結び付ける問いについて

「ダイヤモンドの結晶では炭素原子がどのように配列しているか」という問いの答えは右図のようになる。

ダイヤモンドは炭素から構成されており、配列を考える際には一つの炭素原子は最大四つの原子と結合出来るという性質に留意する必要があること(物質と粒子の関連付け)、ダイヤモンドが大変硬い鉱物であることから強い非金属元素同士である共有結合によって結合していること(物質の性質と構造の関連付け)に気付くことが出来れば正解に近づける。

炭素原子の性質や共有結合については既習内容である。生徒の記述例を分類し、図4に示す。

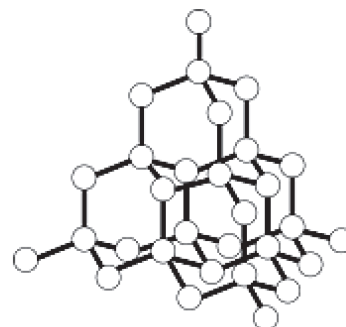


図3 ダイヤモンドの結晶構造

a. 物質と粒子の関連付けが出来ていない	
①	②
b. 物質の性質と構造の関連付けが出来ていない	
③	④
c. 物質と粒子の関連付けが出来ている	
⑤	⑥
d. 性質と構造の関連付けが出来ている	
⑦	⑧

図4-1 生徒の考えたダイヤモンドの結晶構造

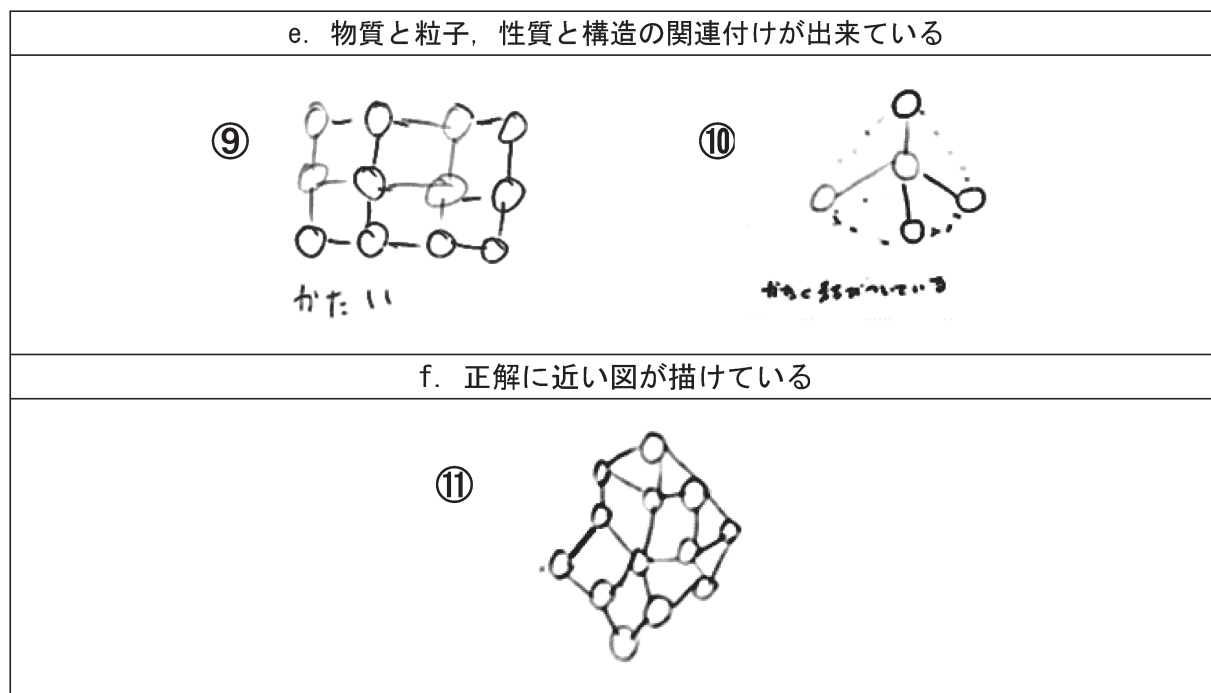


図 4-2 生徒の考えたダイヤモンドの結晶構造

a に分類される図では一つの炭素原子が5つ以上の炭素原子と結合しており、炭素原子の性質について考慮されていない。既習内容である炭素を含む分子の電子式や構造式を書く際にも同様の知識を活用するが、その場合にはこのように記述する生徒は見られなかった。このことから、炭素原子の性質や電子式、構造式についての知識が繋がっておらず、「こう問われたらこう答える」というように一問一答式で覚えてしまっていることが推察される。一方で「ダイヤモンドは硬いからたくさん原子がくっついていと思う」「強く結びついている」という発言もあり、図を描くことが出来なかった生徒に関しても、炭素原子同士の結合の力は強いのか弱いのかを質問したところ、「ダイヤモンドは硬いから結合も強い」と答えられていた。そのため粒子の構造や性質、状態とそれらの粒子で構成される物質が深く関わっているということはなんとなく感じているものの、粒子概念が説明に使えるものとしては定着していないことが伺える。このような生徒に対して、この場合の電子配置がどのようなになっているかを考えさせる等、粒子について見直す問題を取り入れていくことが効果的であると考えられる。

b に分類される図は、直前に学習した分子結晶の構造に倣って記述している。分子結晶は分子同士が弱い分子間力によって結びついているため、軟らかく昇華しやすいという性質を持っている。これはダイヤモンドが非常に硬いという性質と一致しておらず、物質の性質と構造の関連付けが出来ていないことが伺える。ダイヤモンドだけではなく、イオン結晶や分子結晶等、この後に学ぶ金属結晶と比較しながら考えるようにすれば、結晶の性質と構造の関係性について理解が深まると考えられる。

また、a・b に分類される図を描いた生徒については、原子模型や結晶構造を表示出来るソフト等を用いて実際に分子や結晶を作る活動を行うと、結合している原子がどのような状態で存在するかに気付けるため、効果的であると考えられる。

c に分類される図は構造式の考え方をもとにしたものであり、このような図が最も多く見られた。一見、原子が単結合する際の立体的な形に関する知識が生かされていないようにも思われるが、正四面体を取ることはわかっているがどのように描けばいいのかわからないためにこのような表現になっている生徒がいると思われる。その一方でただ単に「炭素の構造式がこうだから」と考えている生徒もいた。このように、ダイヤモンドが炭素によって構成されていることを意識出来ているものの、理解や考え方

にかなり差が見られるため、電子配置や分子の形等を思い出せていない生徒に対しては a・b の生徒と同様の手立てが必要であると思われる。

d に分類される図ではダイヤモンドが非常に硬いということをもとに考えられているが、既習内容の活用が見られないため、図を見ただけでは炭素原子の性質や構造を考慮しているか、共有結合をどのように理解しているかは見取ることが出来ない。しかし、⑥の図を描いた生徒にどのように考えたのか尋ねたところ、「ダイヤモンドはとても硬いから、共有結合するよりもっと強く密着していると思った」という回答が得られた。このことから、生徒が既習内容を踏まえられていないのではなく、共有結合が強い結合であるという教師側の印象付けが足りていなかったことが、正解に近い図を描くことが出来なかった原因の一つであると考えられる。しかし、この図は金属における粒子の様子と似ているため、今後は金属結合を学んだ時に改めて深い理解に繋がる可能性がある。

e に分類される図からは炭素原子に関する既習内容の活用とダイヤモンドの性質への言及が確認出来、また f では正解に近い図を描けているため、物質と粒子、性質と構造とを関連付けて考えられていると判断できる。

この問いについて、OPP シートから「原子の構造によって性質が変わることがわかった」「(結合の)引力の強さで結晶がどんな形になるか知りたい」「見たことがない物質でも原子の構造で性質がわかる」といった記述が見られたことから、生徒に粒子と物性の関連を意識させるために有効だったと考えられる。しかし、単元内容の理解度によって表現にかなり差が出てしまうため、内容理解の徹底と自分のイメージを記述するという活動を継続することが重要であると感じた。また、今回は図のみを記述させたが、より生徒の考え方や理解度を見取るために、⑧を描いた生徒のように図の説明やこのように考えた理由も書いてもらうべきであったと反省している。

(2) 生徒の変容

授業前後での生徒の変容としては、アンケートの「化学の知識は自分の役に立つと思う」という項目について、「当てはまる」「やや当てはまる」と回答する生徒は、88 名中 43 名 (49%) から 107 名中 87 名 (81%) と大幅に増加していた(図 5)。

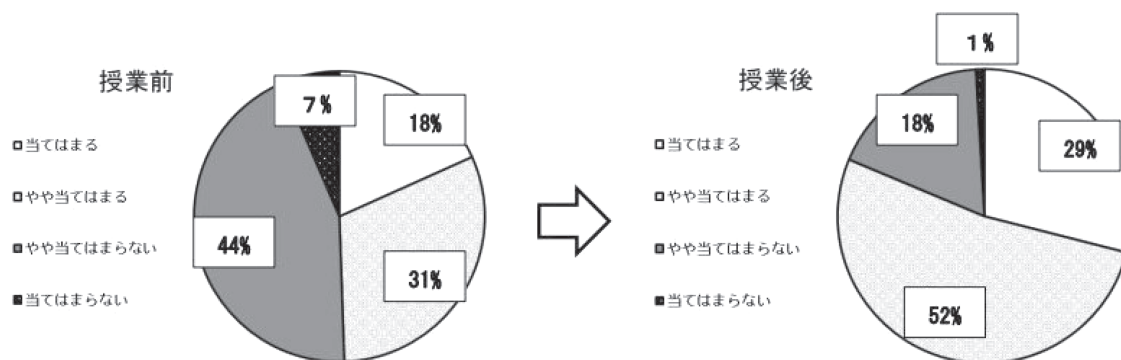


図5 「化学の知識は自分の役に立つと思う」という質問に対する生徒の回答の変容

また、OPP シートの記述内容からは、授業前の物質に関する認識が「身の回りにあるもの」「触れるもの」「質量があるもの」といった巨視的な見方をしている記述ばかりだったものが、授業後では「原子によって出来ている」「分子から出来ている」「原子によって細かくルールがある」といった粒子に注目した記述に変わっている様子が伺えた。

アンケートと OPP シートの結果から、単元内容と身の回りの物質を関連付けて考える活動を通して、粒子概念の形成が促されるとともに、化学を学ぶ意義を感じさせることが出来たと考えられる。「自分で

考える力がついた」「原子がわかると物質がわかる」といった記述もあり、化学を暗記するものではなく理解し考える教科として捉えるようになった可能性が示唆される。しかし、原子と分子や分子と結晶を混同する等、内容理解が不十分であると思われるところも多く見られた。

6. 研究のまとめと今後の課題

本研究では粒子概念の形成を目指した授業実践を行った。その結果、生徒の粒子に関する誤概念を見直す活動や粒子の性質や状態を物性と結び付けて考える活動を行うことで、物質を微視的に捉える生徒が増加した。また、単元内容と身の回りの物質を関連付けることは、粒子概念の形成・活用を促すとともに、生徒が化学を学習することへの意欲向上にも繋がることが示唆された。しかし、粒子概念を化学的事象の説明に使えるレベルにまで定着させることに関しては、固体と物質、原子と分子の違い等、前提となる基礎的な知識の理解度によって表現に大きな差が生まれてしまったため、単元間の関連に留意して基礎を振り返る機会を授業の中に設ける必要があると感じた。また、生徒が自由に自分の考えを表現出来るようにするまでの過程として、答え方を限定しない設問等を行っていくことも重要ではないかと思われる。

渡辺ら (2015) の研究では、生徒の科学概念を構築する過程で文字表現や描画等を駆使した子どものパフォーマンスから形成的評価を行う有用性が検証されている。今回の研究の中では生徒の記述の分析に基づいた授業改善は出来なかったが、粒子概念の形成のために見えない粒子を自分なりにイメージし記述する活動は非常に意味があると考え、今後は継続することによる生徒の変容等も見していきたい。

引用文献

- 遠藤忠利, 2013, 「物質を手にすることによる化学結合の学習」『鶴見大学紀要. 第4部, 人文・社会・自然科学編』50:21-24.
- 堀哲夫, 2004, 『子供の学びを育む 一枚ポートフォリオ評価 理科』日本標準.
- 今井泉・濱中正男・下條隆嗣, 2005, 「高等学校化学における物質量(モル)指導の実際」『科学教育研究』29(2): 173-182.
- 菊池洋一・西井栄幸・武井隆明・村上祐, 2010, 「中学校の早い段階に『原子, 分子, イオン』の概念を導入するための実践的研究」『岩手大学教育学研究年報』69: 45-58.
- 文部科学省, 2019, 『高等学校学習指導要領 (平成30年告示) 解説 理科編 理数編』実教出版.
- 森下浩史, 1982, 「理科教育における物質概念の形成について」『長崎大学教育学部教科教育学研究報告』5: 65-74.
- 武藤正典・勝田長貴・川上紳一, 2017, 「物質の状態変化における密度の変化に注目させ粒子概念へと導く指導の工夫」『岐阜大学教育学部研究報告』41: 93-100.
- 小畑直輝・江原弘・永富敬之・大島崇行・小池守, 2018, 「物質量の理解を促進する教材開発と授業実践」『上越教育大学教職大学院研究紀要』6: 71-80.
- 杉本剛, 2017, 「物質量 amount of substance を対象とした理科教育学の研究」『理科教育学研究』58(1): 1-11.
- 漆畑文哉・吉田淳, 2015, 「アニメーション教材を導入した授業における粒子概念の変容的評価—高等学校化学基礎「中和」の実践を例に—」『科学教育研究』39(3): 243-251.
- 渡辺理文・長沼武志・高垣マユミ・森本信也, 2015, 「形成的アセスメントに基づく理科授業を構想するためのモデルとその検証」『日本教科教育学会誌』37(4):11-23.