

<研究報告>

化学反応式の学習における「物質モデルカード」の働き —対話と行為の分析による事例検討—

植原俊晴 信州大学学術研究院教育学系

キーワード：化学反応式 物質モデルカード 対話と行為 事例検討 中学生

1. 問題と目的

1.1 問題の所在

大野（1963）は、化学反応式の学習において中学生が丸暗記を強いられていることを問題視し、中学3年生を対象として化学反応式に対する疑問調査を行っている。その結果、中学生が化学反応式を学習する際に、主として表1に示す3つの困難があることを指摘している。これらの内、困難1は化学反応式を学習する前提となる化学式の学習における内容である。したがって、化学反応式の学習では、化学変化を化学反応式で表すことを通して、主として困難2や3の内容を理解することが目指される。また、佐藤・伊藤（2003）は、大学生が化学の学習を嫌う理由について調査したところ、その理由として、大学生は「暗記が多かった」や「分子や原子といってもイメージしにくいこと」などをあげたと指摘している。

表1 化学反応式を学習する際の困難

困難	内容
1	化学式の意味を理解すること
2	原子の数の数え方を理解すること
3	3つの化学反応式の規則を理解すること
	ア 化学式でかくこと
	イ 分子の数は整数であること
	ウ 反応前後の原子の数が等しいこと

ところで、Wu and Krajcik（2001）は化学変化のような巨視的なレベルでの事象把握と化学反応式のような記号的なレベルでの事象把握を関連づけるためには、視覚的要素を媒介させることが有効であると指摘しており、これまでも、化学反応式の学習において、目に見えない原子や分子を捉えやすくするための工夫がなされている。

例えば、亀澤（2018）は、発泡スチロール球で作成した原子モデルを用いて、化学反応式に関する授業を高等学校で実践している。しかし、この方法では、まず、化学変化に関係する物質のモデルを、原子モデルを組み合わせる必要がある。これについて、大野（1963）は、中学生が水は H_2O で表され、それ以外の化学式にはならないことを十分に理解していないと指摘している。つまり、化学式に関する理解が不十分な状況下では、原子モデルを正しく組み合わせることで、化学反応式を完成させるため

に必要となる物質のモデルを作成するところに難しさがあると思われ、この過程における認知的負荷が大きくなると考えられる。したがって、中学生を対象にした原子モデルを用いた化学反応式の学習では、十分な学習効果を得ることが難しいと想像される。

また、藤盛・菊地（1999）は、原子・分子モデルの組み合わせをシミュレートできる学習ソフトウェアを開発し、中学生を対象にこれを用いた授業を行っている。このソフトウェアは、化学変化に関係する物質名を選択すると、その物質のモデルが表示され、化学式を正しく入力できると化学反応式を完成させる段階へ進むようになっていく。化学反応式を完成させる段階では、化学変化に関係する物質名が表示されおり、その下に描かれている物質のモデルを増やしたり減らしたりする操作で、化学変化の前後における原子の種類と数を等しくするように設計されている。その他にも、物質のモデルを操作することにより、自動的に化学反応式の係数や化学変化の前後の原子の種類と数が表示されるようになっていたり、このソフトウェアの操作について、多くの中学生が難しさを感じなかったことを報告したりしていることから、当該のソフトウェアは、中学生が物質のモデルを操作することに集中できるようにするため、意図的に認知的負荷が小さくなるようプログラムされていると思われる。しかしながら、McNamara, Kintsch, Songer and Kintsch（1996）によると、過度の認知的負荷の低減は、学習者が学習内容を浅い範囲のみで処理してしまい、ほとんど学習の効果が認められなくなるとされている。つまり、藤盛・菊地（1999）のソフトウェアは、化学変化の前後で原子の種類ごとに数が等しいことを確かめたり、物質のモデルを化学反応式に表し直したりする必要がないので、学習者の受ける認知的負荷が軽減されすぎ、事後の調査で中学生の多くが内容を理解できたとで回答しているものの、その場限りの理解に留まっている可能性が考えられる。

そこで本研究では、原子モデルを学習者が適切に組み合わせて分子モデルにする必要はないものの、一定の作業を学習者に課すことで適切な認知的負荷をかけることを企図した物質のモデル（以下、「物質モデルカード」と記す）を作成し、化学反応式の学習活動に導入することにした。物質モデルカードの例を図1に示す。

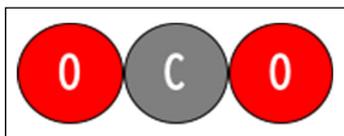


図 1 物質モデルカードの例

1.2 目的

本研究の目的は、化学反応式の学習中にグループ内で生じた対話と行為に焦点を合わせて分析を行い、化学反応式を協働で学習する過程における物質モデルカードの

化学反応式の学習における「物質モデルカード」の働き

働きを検討することである。

2. 方法

2.1 分析対象者

理科の授業において、後述する手続きで化学反応式の学習を行った学級の1グループを分析対象とした。なお、このグループは4名で構成されており、理科のテストにおいてAとBは平均点以上であり、CとDは平均点以下であった。また、性別も異なるなど多様なメンバーで構成されていた。参考までに、4名の座席配置を図2に示す。

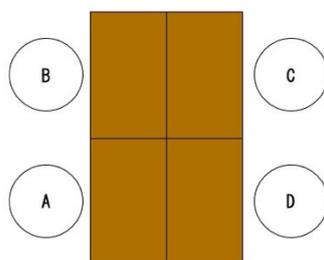


図2 座席配置

2.2 手続き

エタノールや酸素などの物質モデルカードを作成し、中学2年生を対象に1単位時間の授業を著者が行った。授業の概要を以下に述べる。

まず、3~4名のグループを9つ編成し、学習活動に必要な物質モデルカード（水、酸素、水素、銀、酸化銀、鉄、硫黄、硫化鉄、炭素、二酸化炭素、炭酸水素ナトリウム、炭酸ナトリウム、エタノール）を各グループに配布した。そして、化学反応式とは「化学変化を化学式を組み合わせることで表した式のこと」であり、化学反応式は「矢印の左側（化学変化前）と矢印の右側（化学変化後）で、原子の種類と数が同じになるように表す」ことなど、化学反応式の表し方を水素と酸素が結びついて水ができる化学変化

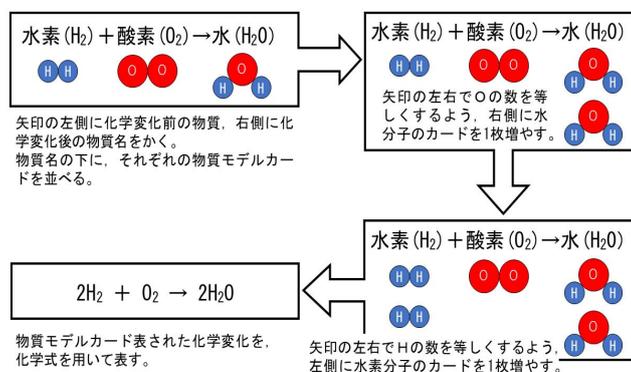


図3 化学反応式の表し方に関する教示過程

を例に、物質モデルカードを用いて作業させながら、全体に説明した。その過程を図 3 に示す。

その後、グループごとに化学変化を化学反応式で表す 5 つの問題に取り組ませた。問題の概要を表 2 に示す。なお、すべてのグループが問題 3 を終えたことを確認した時点で、問題 1 から問題 3 に示した化学変化を化学反応式で正しく表せているかどうかを確認した。誤っていたグループについては、誤っていた部分を確認させた上で、引き続き問題 4 と問題 5 に取り組ませるようにした。すべてのグループが問題 4 と問題 5 を終えたことを確認し、それぞれの問題に示されている化学変化を化学反応式で正しく表せているかどうかを確認した。

表 2 問題の概要

問題	内容
1	酸化銀の熱分解
2	鉄と硫黄が結びつく変化
3	炭素と酸素が結びつく変化
4	炭酸水素ナトリウムの熱分解
5	エタノールと酸素が結びつく変化

最後に、例えば、水の電気分解を表す化学反応式を $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}_2 + \text{O}_2$ と示し、「2 つの水分子が分解して、2 つの水素分子と 1 つの酸素分子ができる」のように、化学反応式で表されている化学変化を原子や分子という語句を用いて説明する活動を行った。これは、化学反応式が示している化学変化を言語化することを通して、化学反応式に関する規則などの理解を促そうと企図したものである。

なお、分析の対象とした場面は、表 2 の問題 5 に取り組む場面であり、前述のグループに焦点を合わせ、マイクロジェネティック的なアプローチで生じた対話や行為を分析するために、物質モデルカードを用いて、エタノールと酸素が結びつく化学変化の化学反応式を完成させる過程をビデオ撮影した。

ここで、分析対象として、上述のグループが問題 5 に取り組む場面を取り上げた理由を 2 つ説明する。1 つめは、この化学変化を表す化学反応式はよく知られた元素で表されるものの、化学反応式は $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH} + 3\text{O}_2 \rightarrow 3\text{H}_2\text{O} + 2\text{CO}_2$ と中学生にとっては複雑であり、化学反応式を完成させる過程で物質モデルカードを媒介として、誤りを含めた様々な考えが表出されると予想されたからである。2 つめは、特に分析対象者の C と D にとっては、難しい問題であると思われ、C や D の発話や行為に焦点を合わせることで、化学反応式の学習における物質モデルカードの働きをより探索できると考えたからである。

3. 結果と考察

分析対象としたグループが問題 5 に取り組む過程を分析したところ、当該グループ

化学反応式の学習における「物質モデルカード」の働き

が問題を解決するプロセスとして、「必要なモデルを確かめる局面（以下、「局面 1」と記す）」、「問題解決に対する意見が対立する局面（以下、「局面 2」と記す）」、「意見の対立が解消し問題が解決に向かう局面（以下、「局面 3」と記す）」という 3 つの局面に分けられると考えた。以下では、それぞれの局面における化学反応式を完成させるまでのプロセスを通して、物質モデルカードの働きについて分析する。

3.1 必要なモデルを確かめる局面

局面 1 で生じた対話と観察された行為を図 4 に示す。問題が記されているプリントに、「(エタノールが燃える化学変化) エタノール ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$) + 酸素 (O_2) \rightarrow 水 (H_2O) + 二酸化炭素 (CO_2)」のように化学変化前後の物質名と化学式がそれぞれ示されていたので、机上にエタノール、酸素、水、二酸化炭素の物質モデルカードがそれぞれ並べられていた。しかし、並べられている物質モデルカードで化学反応式を完成させられるのかどうかについて、B は疑問を持っている (発話 2)。そこで、A は B にプリントを見ることを促すことで、B の疑問に答えている (発話 3)。また、A は化学反応式を完成させるために必要な物質モデルカードを選んでいるのかや、物質モデルカードの並び順を確かめていると思われる。そして、B の疑問 (発話 2) をきっかけにプリントを見直し (行為④)、何かに納得したとき手を叩くことがあるように、A は軽く机を叩いていることから (行為⑥)、A は机には描かれていない化学反応式の「+」や「 \rightarrow 」の位置に気がついたと思われる。その後、B が化学変化の前後における物質モデルカードを確認し (発話 7, 8)、この化学変化を化学反応式で表すために必要な 4 種類の物質モデルカードと化学変化前後の物質に関する理解がグループ内で共有されたと窺われる (行為⑩)。

A と B から見て左からエタノール、酸素、水、二酸化炭素のカードが 1 つずつ机に並べられている。
A がプリントに目をやる (①)。
1 A 「これが。」
B が酸素のカードに手を伸ばす (②)。
2 B 「これいる？」
A は酸素のカードに手を伸ばしながら、もう一方の手でプリントを指差す (③)。A はプリントじっと見る (④)。
3 A 「オーツ。オーツ。」
4 B 「あっそうか。」
B は酸素のカードから手を引く (⑤)。
5 A 「プラス。」
A が机を軽くたたく (⑥)。
6 A 「プラス、オーツで。」
C がカードの置いてある場所から水素のカードを 1 つ手に取る (⑦)。
7 B 「じゃあ、これとこれだ。」
B はエタノールと酸素のカードを指差す (⑧)。
8 B 「これで、これになればいい。」
B は水と二酸化炭素のカードを指差す (⑨)。
9 A 「水素、水、二酸化炭素。」
A も水と二酸化炭素のカードを指差す (⑩)。
10 B 「ここだ、矢印。」
B はエタノールと酸素のカード、水と二酸化炭素のカードの間を指差し、矢印のジェスチャーをする (⑪)。

図 4 必要なモデルを確かめる局面

局面 1 においては、A と B のグループ内での役割が大きく、相互作用しながら化学反応式を完成させるために必要な物質モデルカードを確認するなど問題に対する取り組みが進んでいる。一方、C と D は物質モデルカードを媒介として進む A と B のやり取りを観察することで、グループへの関与を高めたり、化学反応式に対する理解を深めたりしていると推察される。

3.2 問題解決に対する意見が対立する局面

局面 2 で生じた対話と観察された行為を図 5 に示す。この局面では、物質モデルカードをやり取りする様子が観察され、「足りない」という言葉が多く発せられていた。これらから、当該グループの問題に関する論点が化学変化の前後で原子の種類と数を等しくすることへ変化していると思われる。A のシーが足りないという主張(発話 11, 14)に B が同意(発話 12)し、C はそれに応えるように増やさなければならない物質モデルカードがどれであるのかを考えている(行為⑫, ⑬)。A は C から受け取った物

11 A 「シーが足りない。」
12 B 「ああ。」
13 C 「これを。」
C が水のカード 1 枚と水素のカード 2 枚を A に渡す (⑫)。
14 A 「シーを。」
C はさらにカードが置いてある場所の中から何かのカードを探している (⑬)。A は受け取ったカードの内、水のカード 1 枚を机に置き、水素のカード 2 枚はそのまま持っている (⑭)。
15 B 「エイチ。」
16 C 「え。」
17 A 「でも。」
18 A 「オーが足りない。」
19 B 「5 個だよ。」
20 C 「6 個。」
C は A が持っている 2 枚の水素のカードを受け取りかけるが止める (⑮)。
21 C 「だから、1 個。」
C はカードが置いてある場所の中から何かのカードを探す (⑯)。A は持っている 2 枚の水素のカードを、カードが置いてある場所に戻そうと手を伸ばすが止める (⑰)。
22 A 「でも、オーが足りない。」
D はカードが置いてある場所に手を伸ばす (⑱)。A はオーが何個あるのかを数える (⑲)。
23 C 「オーあるよ。」
C が酸素のカード 1 枚を渡そうとするが、手を引っ込める (⑳)。
24 A 「こっちのオーみたいに。」
A はエタノールと酸素のカードを指差し、プリントに目をやる (㉑)。D はカードが置いてある場所の二酸化炭素のカードに手を伸ばす (㉒)。
25 B 「色違い。少ない。でも、シー 1 個だけ。」
B が二酸化炭素のカードを指差す (㉓)。
26 C 「え。わからん。」
A は手に持っていた水素のカード 2 枚を置いてある場所に戻す (㉔)。
27 A 「シー 1 個足りないから。だから、シーオーツーもう 1 個。」
A はカードが置いてある場所を指差す (㉕)。B はカードが置いてある場所の中から二酸化炭素のカード 1 枚を探し出して A に渡す (㉖)。
28 B 「はい。」
29 A 「もう 1 個、オーツーを。」
A はカードを置いてある場所を指差す (㉗)。
30 A 「たぶん、これでいける。あ、でも。」
31 B 「エイチ、エイチ、エイチ。」
C がモデルを置いてある場所から酸素のカード 1 枚を取り A に渡す (㉘)。A は受け取ったカードを机に置く (㉙)。
32 B 「エイチが 1 個。」

図 5 問題解決に対する意見が対立する局面

化学反応式の学習における「物質モデルカード」の働き

質モデルカードの内、水の物質モデルカードが必要であることに同意しているが、水素の物質モデルカードが必要であるかどうかについては迷っている(行為⑭)。その後、並べられた物質モデルカードを見て、エイチやオーの数が化学変化の前後で異なっていることに、AとBが気づき、Cを混じえながら、どの物質モデルカードを加えて原子の種類と数を合わせられるかについて悩んでいる様子が窺える(行為⑮, ⑰, ⑳)。そして、Bの発言(発話25)をきっかけに、Aはこれまで必要かどうかを保留していた2枚の水素の物質モデルカードは必要ないと判断し(行為㉑)、さらに二酸化炭素と酸素の物質モデルカードが1枚ずつ必要であることを指摘している(発話27, 29)。しかし、Aは依然として化学変化の前後で原子の数が等しくなっていないことに気がつき(発話30)、BによりAの気づきが具体的に示されている(発話31, 32)。

局面2では、AとBがたがいに考えを出し合い、そこにCが物質モデルカードを取り出すことによって、化学反応式を完成させるために、どのように物質モデルカードを操作すれば、化学変化の前後で原子の種類や数を合わせられるのかについて、グループ内で認知的葛藤が生じていると思われる。また、Cが化学反応式を完成させるために必要と考えた物質モデルカードをAに渡したり、Aがその一部を保留したりする行為は、具体的な道具があるからこそ起こり得るとと思われる。加えて、「シー1個足りないから。だから、シーオーツもう1個」というAの発話などから、物質には固有の化学式があることを認識しながら、化学変化の前後で原子の種類と数が等しくなるように物質モデルカードを操作していると考えられる。一方、Dはこの局面における発話はまったくみられないが、目的をもって物質モデルカードが置いてある場所に手を伸ばす(行為㉒)など、学習活動に参加していることが窺われる。

3.3 意見の対立が解消し問題が解決に向かう局面

局面3で、生じた対話と観察された行為を図6に示す。Aは化学反応式を完成さ

Aはカードが置いてある場所を指差す(㉓)。
33 A「エイチツオーをまた入れて。」
Aは立ち上がり、カードが置いてある場所に手を伸ばし酸素のカードを1枚取り机に置く(㉔)。Cはカードが置いてある場所から水のカードを1枚取り机に置く(㉕)。
34 B「あー。」
35 A「オーツもまた入れて。」
36 B「え。」
37 A「シー2つ。オー。1, 2, 3, 4, 5, 6, 7。1, 2, 3, 4, 5, 6, 7。」
Aは反応前後の物質モデルカードを指しながらオーが何個あるのかを数える(㉖)。その間、BとDはAの様子に注目し、Aの動きを追っている(㉗)。Cはモデルが置いてある場所を確認している(㉘)。
38 B「やった。」
Bが手をたたく。(㉙)
39 A「1, 2, 3, 4, 5, 6。1, 2, 3, 4, 5, 6。」
Aは反応前の物質モデルカードを指しながらエイチが何個あるかを数える(㉚)。CもAの様子に注目している(㉛)。Dは途中から反応後の物質モデルカードを指し、Aの声に合わせてエイチが何個あるかを数える仕草を見せる(㉜)。
40 全員「オー。」
41 C「やったー。」
それぞれがプリントに化学反応式をかき始める(㉝)。

図6 意見の対立が解消し問題が解決に向かう局面

せるために必要な物質モデルカードの種類と枚数について確信を持っていることが窺われ(行為⑩), A は必要な物質モデルカードを指摘している(発話 33, 35)。また, B は A の指摘をひとつずつ確認している様子である(発話 34, 36)。この場面で, C と D の発話はないが, A の考えを聞いたり(行為⑪), A の様子を観察したりしており(行為⑫), 学習活動に参加していると言えよう。そして, A が並べた物質モデルカードにより, エタノールが燃える化学変化が正しく表されているかどうかを確認し始めると(発話 37, 39), B はすぐに A と歩調を合わせている(発話 38)。一方, C と D は言葉として表出していないが, A に合わせて化学変化が物質モデルカードで正しく表されているかどうかを確かめていると考えられる(行為⑬, ⑭, ⑮)。最終的に 4 人の間で, 並べた物質モデルカードにより当該の化学変化を正しく表すことができていると合意したと思われる(発話 40)。

局面 3 では, 物質モデルカードで表された化学変化について, 化学変化の前後において, 原子の種類と数が等しいことを確かめる A の行為が物質モデルカードに媒介されて B, C, D に共有され, 化学変化の前後で原子の種類と数を合わせるために必要な物質モデルカードの操作に対する認知的葛藤が低下し, 最終的な合意に達して物質モデルカードで化学変化を表すことができたと推察される。

4. 総合考察

本研究の目的は, 化学反応式の学習中にグループ内で生じた対話と行為に焦点を合わせて分析を行い, 化学反応式を協働で学習する過程における物質モデルカードの働きを検討することであった。物質モデルカードの働きについては, 大きく 2 つのことが考えられる。

1 つめは, 化学反応式を学習する際の困難を克服することに関する働きである。局面 1 で化学反応式を完成させるために必要な物質モデルカードを確かめたり, 局面 2 で他者が化学反応式に必要と考えている物質モデルカードを保留したりしていることから, 物質には決まった化学式があるなど, 化学式の意味を理解することを促す働きがあると思われる。また, 局面 2 で物質には固有の化学式があることを踏まえて, 化学変化の前後における原子の種類と数を合わせようとしていたり, 局面 3 でそれを確かめたりしていることから, 化学変化の前後で原子の種類と数が等しいことや化学変化の前後における原子の数え方を理解することを促す働きがあると考えられる。

2 つめには, 学習活動に対する働きを指摘できる。局面 2 で見られるように, 物質モデルカードが具体物であることから, グループ内で意見を表明するときに, 必ずしも考えを言語化する必要がなく, 物質モデルカードをメンバーに提示することで容易に意見を表明することが可能である。そのため, グループ内で化学変化の前後で原子の種類と数を合わせるために, 物質モデルカードをどのように操作すればよいのかについて, 多くの意見が表出され, それらがたがいに対立していたり, 曖昧であったりす

化学反応式の学習における「物質モデルカード」の働き

ることなどにより、メンバー間に認知的葛藤を生じさせたと考えられる。一方、認知的葛藤が生じた状況では、認知的葛藤解消情報により知的好奇心が活性化するとされており（高垣, 2004）、問題解決が進む過程で、化学変化の前後における原子の種類と数が段階的に揃っていくことが物質モデルカードを通して確認でき、それが認知的葛藤を解消させる情報となり、当該グループのメンバーは学習活動に対する関与を維持したり、学習活動に参加したりしたと考えられる。

これらより、物質モデルカードを用いた化学反応式の学習活動では、中学生が化学反応式を完成させるために必要な知識を理解するという認知能力を高める可能性だけでなく、学習活動に進んで関与したり、粘り強く取り組んだりするような非認知能力も高めることができると考えられる。これらは、文部科学省（2018）が理科の目標として示している「自然の事物・現象についての理解を深めること」や「学びに向かう力」に合致しており、化学反応式の学習における物質モデルカードの有効性の一端を示していると言える。また、学習過程において、どのようにすれば化学変化の前後で原子の種類と数を合わせられるのかについて認知的葛藤が生起し、化学反応式の完成が近づくとつれ、それが解消したと思われる。したがって、中学生は適度な認知的負荷を受けたと推察され、物質モデルカードを用いた授業は、化学反応式に関することなどを理解することに対し、効果的な学習活動であると予想される。

一方で、本研究には物質モデルカードを用いた学習活動の一部分を、特定のグループのメンバー間で生起した対話や行為を分析対象としている点に限界がある。つまり、本研究で示唆された物質モデルカードの働きは、過度に一般化されるべきではないと考えられる。しかしながら、diSessa（2014）は特定の理論的枠組から授業を短時間観察することで、雑多な情報の中から児童の概念変化に関する興味深い知見を見出していることから、本研究で得られた知見を鵜呑みにすることは避けられなければならないものの、化学反応式を学習する場面における物質モデルカードの働きについて得られた示唆は、これからの理科の教育活動に対して十分に寄与するものと思われる。

最後に本研究の課題について述べる。本研究では、物質モデルカードを用いた学習活動を通して、中学生が表 1 に示した化学反応式を学習することを困難にさせる内容を理解している可能性が示唆された。しかしながら、物質モデルカードを用いた学習活動を通して、中学生が化学反応式を完成させるために必要な知識を実際に理解しているかどうかは定かではない。したがって、この点を明らかにすることが課題であると言えよう。また、化学反応式では「+」や「→」のような記号を使用するが、本実践では「+」や「→」のカードを用意していなかった。したがって、物質モデルカードを並べたときに、「+」や「→」の位置が机上には示されておらず、本実践においても混乱が見られるなど、物質モデルカードを教材として、より使いやすくするために更なる改善が必要である。

植原

謝 辞

本研究の遂行にご支援をいただいた関係者各位に感謝申し上げます。

文 献

- diSessa (2014) . The Construction of Causal Schemes: Learning Mechanisms at the Knowledge Level, *COGNITIVE SCIENCE*, 38, 795-850.
- 藤盛伸一・菊地一仁 (1999) 「化学変化と原子・分子」の理解を支援する学習ソフトウェアの作成『日本科学教育学会研究会研究報告』第 13 巻, 5-10.
- 亀澤祐 (2018) 「物質量や化学反応式は粒子で考えるとわかる」『科学と教育』第 66 巻, 第 4 号, 178-179.
- McNamara, D. S., Kintsch, E., Songer, N. B., & Kintsch, W. (1996) Are good texts always better? Interaction of text coherence, background knowledge, and levels of understanding in learning from text. *COGNITION AND INSTRUCTION*, 14(1), 1-43.
- 文部科学省 (2018) 『中学校学習指導要領 (平成 29 年告示) 解説理科編』学校図書.
- 大野正雄 (1963) 「化学式・化学反応式」に対する中学生の疑問の診断と治療『化学教育』第 11 巻, 474-475.
- 佐藤康司・伊藤睦美 (2003) 「学習意欲を喚起する教授方略の研究-化学反応式の学習における擬人化・ゲーム化の効果-」『科学教育研究』第 27 巻, 134-142.
- 高垣マユミ (2004) 「大学生はいかに力のプリコンセプションを変容させるか」『発達心理学研究』第 15 巻, 第 2 号, 217-229.
- Wu, H., & Krajcik, J.S. (2001) Promoting Understanding of Chemical Representations: Student' Use of a Visualization Tool in the Classroom. *JOURNAL OF RESEARCH IN SCIENCE TEACHING*, 38(2), 821-842.

付 記

本論文は、日本教育実践学会第 23 回研究大会で発表した内容を再分析し、加筆・修正を加えたものである。また、本研究の一部は JSPS 科研費 JP21H03917 の助成を受けて実施された。

(2021年11月 5日 受付)

(2021年12月28日 受理)