

令和 6 年 6 月 24 日現在

機関番号：32678

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2023

課題番号：18K13261

研究課題名(和文) 化学教育における「電子のふるまいを表現した化学変化のモデル」の理論的・実践的研究

研究課題名(英文) Theoretical and practical research on "models of chemical reactions that express the behavior of electrons" in chemical education

研究代表者

渡邊 大輔 (WATANABE, DAISUKE)

東京都市大学・共通教育部・講師

研究者番号：90636193

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,600,000円

研究成果の概要(和文)：高校化学教育を電子で指導するためのモデルを検討した。従来のモデルは材料的な制約から化学変化をダイナミックに表現できない。この限界を乗り越えるためにVR・ARによる表現が考えられる。しかしデバイス・ソフトともに変革期にあり、モデルに実装する要件の定義は困難である。そこで本課題では、近未来の開発を念頭に、教育実践の評価を進めた。(1)溶解では「もし粒が見えたとしたら絵に描いてみよう」といった先行研究の問題点と溶媒の重要性を、(2)酸のはたらきでは金属・金属酸化物・塩の接続を、(3)重さ・体積について擬似閉合性から検討した。(4)体積の指導では、不定形の測定、変換の原理を重視するとの基本方針を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

高校化学教育は多くの見直しを必要としている。現状の高校化学では暗記の対象になりがちな各反応の指導を、電子のレベルで再構成できれば、統一的でわかりやすく理解させられるものと考えられる。そのような教育の実現のため、科学的に正しく、科学教育として有効なモデルのあり方を検討した。今後のVR・AR技術の開発状況を注視しつつ、化学変化の教育に実装可能なモデルの内容・方法を明らかにし、具体化することが期待される。

研究成果の概要(英文)：From the perspective of establishing the foundation of high school chemistry education at the electronic level, we clarify a valid model. Conventional models cannot dynamically express the process of chemical change due to material constraints. To overcome this limitation, we considered VR and AR expression, but both devices and software are in a period of change, and it is difficult to define the requirements for a model. Therefore, we proceeded with evaluating educational practices in a way that contributes to near-future development. (1) In dissolution, we examined problems with previous research such as "draw when you see particles" and the importance of solvents, (2) in the action of acids, we considered the connection between metals, metal oxides, and salts from the perspective of rule revision, and (3) we examined weight and volume, which are the basic elements of matter. (4) In volume, we evaluated previous research and obtained a basic policy of emphasizing "conversion."

研究分野：教育方法学、自然科学教育

キーワード：自然科学教育 化学教育 分子モデル 分子模型 化学変化

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

すべての子どもが楽しく学べる科学教育を実現するには、現代科学の成果から教育内容を構成し、教育内容の確実な習得を保障する教材と、能動的・対話的な教授過程を考慮した「授業プログラム」の開発が必要不可欠である。物理教育では「自然の階層性」に依拠した「現代的視点」の導入によって主要三領域の開発に成功しており、同様の視点を他の科目・領域に応用することが期待される。この立場から申請者は、化学教育における教育内容・教材について知見を積み重ねてきた。高校化学が対象とする物質の運動は複数の階層にまたがった特殊的・微視的な形態であり、現代科学では「フロンティア軌道理論」によって記述されている。ただし、理論創設者である福井が「この理論は実体的な概念ではない」と解説するように、高校化学で具体化するの容易でなく学習者の認識形成に大きな課題を抱えている。

化学において「実体」を求める視点はきわめて重要である。歴史的には、電子の関与が仮定され量子力学が適用されても、複雑な分子や反応系における電子の役割を確定できなかった。ここで登場した有機電子論は、形も大きさも異なる分子にまったく同じ反応が起こることに着目し、反応中心が電子による電氣的偏りであること、電子豊富な部分と電子不足な部分が相互作用することを明らかにした。化学反応における電子の役割を実体的に解明し、現代科学の発展に不可欠の役割を果たしたのである。

このことは「現代科学の最先端の成果」と「教育内容」は必ずしも一致しないことを示唆する。有機電子論は古典論であり最先端の成果とは異なるが、まさに「古典」としての性格を備えるからこそ、最先端の理論へと発展する契機を内包し、未知の化合物にたいして電子論的に働きかけることを可能にすると期待される。

ただし、有機電子論で示されたモデルは、構造・反応の各側面を「限界」まで捨象したものであり、「電子を媒介とする原子の結合と分離の過程」を豊かにイメージできるものではない。一方で、量子力学的に表現すれば「電子がいつどこに存在するか」という問いにさえ答えられない。したがって「現代的視点と学習者の認識形成」という双方の課題を考慮しつつ、電子の表現として何を明示的に指導し、どんなモデルが妥当なのかを明らかにしなければならない。

2. 研究の目的

本研究は、現代科学の成果・モデル論の考察を通じて「現代的視点と学習者の認識形成」の課題を考慮した「電子のふるまいを表現した化学変化のモデル」を理論的・実践的に明らかにするものである。現代科学では、電子のふるまいは電子雲によって表され、電子の存在確率が示される。様々な場所に点がプロットされることからその運動性を理解できても、刻々と変化する運動の軌跡を描くことは本来的にできない。そのため、教育として妥当なモデルの根拠とともに、学習者の認識形成に課題を抱えている。一方で、化学結合の形成過程で分子の形が変化するの「原子の電子が分子の電子になる」からである。つまり分子の「大きさの変化」に着目すれば「大きさが変化したのは電子が移動したからだ」との理解が可能であり、本研究課題を解決する契機となりうる。

そこで本研究では、現代科学の成果から「教育的なくみかえ」を行って教育内容を構成する段階を重視し、学習者の認識形成の仮説に従って教育内容・教材を構成するアプローチを意図している。そのため、現代科学の成果・モデル論の考察を通じて「現代的視点と学習者の認識形成」の課題を考慮した「電子のふるまいを表現した化学変化のモデル」を理論的・実践的に明らかにする。本研究の意図する教育内容・教材は、現代科学の発展に不可欠の役割を果たした有機電子論の歴史的・認識論的価値を評価し「複雑な炭素化合物であっても反応中心を特定し反応の規則性を予言できる」という課題を考慮した授業プログラムとして具現化する。

3. 研究の方法

化学反応のモデルについて、(1)何をどう表現するのが妥当なのかを検討し、(2)学習者の認識形成に関する仮説に従って教育内容・教材を構成し、(3)高校における実験的授業の実施によって評価を行う。

(1)「適用限界」の分析による「電子のふるまい」を表現した化学変化のモデル」

モデルは「対象の構造・機能を研究するために作られる対象とは別の仮説的類似物…対象の非本質と思われる側面をその都度捨象」(岩崎・宮原 1976)して構成するものである。それゆえどんなモデルにも適用範囲・限界がある。電子を媒介とする原子の結合と分離を再現するには「どんな運動を表現できる(できない)のか」を分析することから始めなければならない。そこで(1)では、化学変化における電子の運動の表現について、現代科学および先行実践の検討を行い、妥当なモデルを理論的に明らかにする。

(2)「適用限界」を克服するための「一連の補足的な“モデル”と“実験”の系列」

既存の知識が適用できない場面(適用限界)に直面したとき、問題解決の契機を含む形で新し

い実践が促される。こうして「より一層正確なモデルへの移行...一連の補足的なモデルの創造」(Groenewold1960)が目指される。この把握によれば、単一のモデルによる指導は不可能であり、適用限界の把握と克服の過程、一連の補足的なモデルと実験の系列をデザインする必要がある。そこで(1)で検討した「モデル」を、学習者が必然性を持って受け入れられるよう、その論理的構造を仮説的に提示する。

(3)アクション・リサーチ:授業プログラムによる実験的授業の実施とモデルの評価

(1)(2)での検討にもとづき「問題 予想 討論 実験」を単位とする十数時間の授業プログラムを構成し、高校における実験的授業の実施によってモデルの評価・改善を行う。本研究で対象とする極性共有結合(イオン性を帯びた共有結合)は“純”共有結合と“純”イオン結合の中間的な性質をもち、自然界の大多数が属する典型的な結合である(飯島 1981;泉 1985)。そこで(1)-(3)での研究成果に基づき、化学教育におけるモデルの研究、化学結合の教育をカリキュラム・授業過程構成のレベルで検討する理論的枠組を得る。

4. 研究成果

(1)教育内容の要素と順序

化学が対象とするのは複数の階層(マクロ物質 分子 原子(およびイオン) 原子核・電子)にまたがる「特殊な微視的運動形態」(岩崎・宮原 1976)であり、「原子のくみかえ」は階層上位下位の運動が原因であり結果でもあるように相互に影響を及ぼしあっている。教育内容の要素と順序としては、原子の電子が分子の電子になり、分子中の電子豊富な部分が別の分子の電子不足な部分と相互作用し、分子中の原子にくみかえがおこると丁寧に指導する必要がある。

(2)分子中の電子の相互作用による原子のくみかえを教えるモデル

よく知られた分子模型(棒球モデル・空間充填モデル)では「化学変化の過程」の表現に限界がある。物理的な分子模型では材料の制約により「固くて不変な原子」を前提とせざるをえない。そのため変化のプロセスを表現するには、変化のあらゆる局面で多くの連結部を切り原子を外したり入れ替えたりしなければならず、もとの分子の炭素骨格を崩してしまう。一方では、この限界性があるために、変化のイメージが科学者コミュニティの「おもしろい話題」(井本 1961)だったことは注目に値する。先鞭をつけたのが「豆と水飴」による豆細工モデル(槌田 1951)、置換反応の動的モデル(長倉 1958)である。新簡易原子価論、電子対反発理論、遷移状態理論の発展を促した歴史的意義(塚原 1974;1976)を考えると「流動性のある分子における、柔らかい原子の動的くみかえ」のイメージが重要だと教える。

(3)材料的制約を受けない形で化学反応のイメージを豊かに形成させるためには、VR(仮想現実)空間において分子模型を表示・操作させるという新しいアプローチを積極的に採用し、流動性のある分子における柔らかい原子のダイナミックな結合の再編成の過程をイメージさせる教材の開発が必要不可欠と考える。従来によく知られた物理的模型では材料的・素材的な制約により、複数の階層にまたがった化学変化の過程をダイナミックに表現できない。この限界を乗り越えるためには、材料的な制約を受けないVR・AR技術による視覚的・力覚的な表現が考えられる。そこで、VRで視覚的に、ARで力覚的に提示する方針を採ることで解決することとした。

しかし、コロナ禍の影響は大きく、アクティブラーニング実施の難しさ、接触型デバイス利用の衛生的課題がある。また、デバイス・ソフトいずれの開発も変革期にあり、モデルに実装したいできる妥当な要件を定義することは困難を極める。そこで本研究課題では、ハード・ソフトの開発動向を注視しつつ、新しい化学教育のカリキュラム・教育内容・教材の開発に資する形で、本研究課題との関連で教育実践の評価(到達点と課題の把握)を進めた。

(4)評価を進めた教育内容・教材

溶解:「固体の塩は溶けて見えなくなった。もし粒が見えたら...絵に描いてみよう」といった実践・研究が支配的である。しかし「固体の塩と液体の水がくっついて液体の塩水になる(二相が一相になる/化学変化では相が変化する)」との理解によれば、固体の粒は無くなったのであって、もしモデルを描かせるならば溶質の固体のみ描かせることは妥当でない。溶媒との相互作用が溶解の本質である。- 「酸のはたらき」におけるきまりは、酸が金属を溶かさない例外事例の提示によって「酸は金属よりも金属酸化物をよく溶かす」というルート、「もっと強い酸を使う」という強酸ルートに発展可能である。物質の基礎的・基本的な量としての重さ・体積についてのカリキュラムを擬似閉合性の観点から検討するとき、開発が不十分な体積の教育内容・教材について先行研究の評価(到達点と課題)を進めた。これまでの「場所性・不加入性」の内包的定義・外延事例の提示では「概念所有の状態・利用可能性」に課題がある。「不定形の測定」を「問題の創造」の契機とする「変換の原理」の指導を重視するとの基本方針を得た。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 0件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 渡邊大輔	4. 巻 11
2. 論文標題 極地研テキスト「酸のはたらき」における教育内容の到達点と課題ー水に溶けない金属・金属酸化物の区別と連関に限定してー	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 東京都市大学教職課程研究年報	6. 最初と最後の頁 14-25
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 渡邊大輔	4. 巻 12
2. 論文標題 教科学習と総合学習の共通性と差異	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 東京都市大学共通教育部紀要	6. 最初と最後の頁 21-42
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 渡邊大輔	4. 巻 8
2. 論文標題 教科学習・総合学習の存立基盤としての学問・文化の基礎・基本	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 東京都市大学教職課程年報	6. 最初と最後の頁 50-72
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計8件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 渡邊大輔
2. 発表標題 テキスト「酸のはたらき」におけるruおよびegパーの関係
3. 学会等名 教授学習過程研究会（2023年3月例会）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 渡邊大輔
2. 発表標題 溶解学習における「溶液上部のいびりだし」の価値 化学教育の系統性・擬似閉合性の点から
3. 学会等名 教授学習過程研究会（2022年12月例会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 渡邊大輔
2. 発表標題 極地研 化学テキスト群の系統性を探る
3. 学会等名 極地方式研究会 12月学習会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 渡邊大輔
2. 発表標題 極地研テキスト「とけるもの・とかすもの」における「きまり」について
3. 学会等名 極地方式件研究会 第52回定期研究集会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 渡邊大輔
2. 発表標題 極地研テキスト「とけるもの とかすもの」の構成原理 - 分析視座としての高橋金三郎「相変化の重要性」
3. 学会等名 木曜会（東北大学大学院教育学研究科）2021.7.1
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 渡邊大輔
2. 発表標題 溶解学習における「粒子概念」「粒子モデル」の批判的検討 何を教えたいと願い、何を問い、何を描かせてきたかー
3. 学会等名 教授学習過程研究会（2021年12月例会）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 渡邊大輔
2. 発表標題 J.シュワブの探究学習論
3. 学会等名 教授学習過程研究会（東京例会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 渡邊大輔
2. 発表標題 『IPS物理』の単元構成 適用限界の視点から
3. 学会等名 教授学習過程研究会（仙台例会）
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------