

平成 30 年 5 月 30 日現在

機関番号：17101

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2017

課題番号：15K12390

研究課題名(和文) 粒子概念育成のための三次元教材の開発と実践研究

研究課題名(英文) Development and Practical Study of 3D Teaching Materials to Cultivate a Concept of Particles

研究代表者

伊藤 克治 (Ito, Katsuji)

福岡教育大学・教育学部・教授

研究者番号：10284449

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、児童生徒の物質概念育成を図るため、物質を微視的に捉えてイメージ化するために有効な三次元教材の開発を行った。そのための基礎研究として、低分子の分子触媒を用いた有機合成、および金属錯体の合成を行い、三次元教材の開発につながる成果を得た。これと並行して、不斉炭素を有する身近な有機化合物に焦点を当て、3Dプリンターによる分子模型の製作を行った。分子模型の種類としては、熱溶解造形法(FDM)タイプによる空間充填モデルに加えて、これまでに注目されていなかった光造形法(SLA)タイプによる球棒モデルの二種類について検討した。それぞれを各種条件下で製作し、その加工精度について検証した。

研究成果の概要(英文)：This study involved the development of effective 3D teaching materials to facilitate comprehension and visualization of microscopic phenomena in matter in order to cultivate the students' concept of matter. For the study, organic synthesis using low-molecular catalysts and synthesis of metal complexes were conducted as basic research, yielding results that could help to develop 3D teaching materials. In conjunction with this, molecular models were fabricated using 3D printers with a focus on familiar organic compounds possessing asymmetric carbon atoms. The study covered two types of molecular models: space-filling models fabricated according to fused deposition modeling (FDM), and ball-and-stick models fabricated according to stereolithography (SLA), which has attracted little attention to date. Each type of model was fabricated under various conditions while verifying the precision of fabrication.

研究分野：科学教育・有機化学

キーワード：粒子概念 実験 新学習指導要領 教材開発 教育実践 3Dプリンター

1. 研究開始当初の背景

平成 20 年 3 月に告示された新学習指導要領理科(化学領域)では、「粒子」を柱として、小・中・高等学校を通じた理科の内容の構造化が図られた。本領域では巨視的な現象(目に見える現象)を微視的な観点(粒子レベル)で理解した上で説明することが重要である。しかし、生活スケールよりも遥かに小さな微視的な物質観は抽象的概念であることから児童生徒にとって実感を伴った理解は容易ではなく、以前からも内外の研究者からその困難さが指摘されている。これまでも粒子概念形成に関する研究については多くの先行事例があり、小学校段階で粒子モデルを取り入れる研究や小・中・高等学校を通じた粒子概念の段階的教育の提案もされている。

これまでに本研究チームでは、児童生徒の発達段階を踏まえ、物質を微視的に捉えてイメージ化し、巨視的現象として理解するための教材開発と実践を行ってきた。この中で、原子・分子のデジタルコンテンツを取り入れた教材が微視的現象をイメージ化して理解するために有用であることを示すことができた。その一方で、記憶に頼った一時的な知識の習得に留まりがちであり、実感を伴った理解や他の現象への応用が弱いという課題も明らかになった。これは、デジタルコンテンツを用いた学習は理解を促すためには有効であるものの、実物を手に取ったり他者と交流したりすることができないため、個人の受動的学習になっているためだと考えられる。

2. 研究の目的

本研究は、児童生徒の物質概念育成を図るため、物質を微視的に捉えてイメージ化するために有効な三次元教材の開発を行うものである。教材開発につながる基礎研究として、香料など身近な有機化合物の単離や合成、機能性化合物の合成などを行う。また、これと並行して 3D プリンターを用いて分子模型の製作を行い、実際に作成した分子模型を用いて授業、研修、公開講座等で活用することを目的とした。

3. 研究の方法

教材開発は、大きく分けて以下の(1)～(3)の3つの柱で構成した。(1),(2)のそれぞれの分野に応じた一連の教材開発を行う中で、3D プリンター用の分子モデル(空間充填モデルと球棒モデル)を設計した。その後、(3)で実際に3D プリンターによる三次元教材の作成と評価を行った。

(1) 有機化学分野の教材開発(中学校・高等学校向け)【伊藤分担】

身近な有機化合物に焦点を当て、様々な香料を合成し、その匂いの違い(巨視的現象)を構造の違い(微視的現象)と関連づけて確

認できるような教材を開発した。

(2) 無機化学・錯体化学分野の教材開発(中学校・高等学校向け)【長澤分担】

(a) 水和によって色が変わる化学物質を使って、粒のイメージで捉える(微視的)溶解現象を視覚的に(巨視的に)理解できる教材を開発した。

(b) 氷やグラファイト・ダイヤモンドなど、結晶構造中の原子・分子配置を理解するための教材や、通常分子模型では作成が困難な金属錯体の一次元鎖や二次構造など、金属錯体の会合状態を直感的に理解できる教材開発を行った。

(3) 3D プリンターによる三次元教材の作成【大内分担】

上記(1),(2)で導出した三次元教材を実際に3D プリンターで作成した。3D プリンターの種類としては、熱溶融造形法(FDM)タイプと光造形法(SLA)タイプの二種類について検討した。

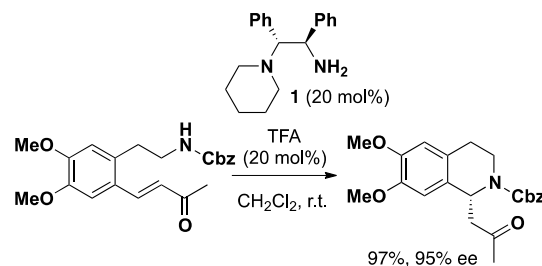
4. 研究成果

(1) 有機化学分野の教材開発

本分野では、不斉炭素原子をもつ身近な有機化合物に焦点を当て、低分子の触媒を用いて天然有機化合物の合成に取り組んだ。このために、入手容易なジアミンから誘導される有機分子触媒を用いる分子内不斉 aza-Michael 反応による 1-置換テトラヒドロイソキノリンの不斉合成について検討した。

市販の(1*R*,2*R*)-1,2-ジフェニルエチレンジアミンを用いて、片方の窒素原子上の置換基として様々な置換基を検討したところ、環状アルキル置換基をもつ **1** を用いた際に、化学収率 97%、不斉収率 95% の最も高い化学収率と選択性が得られた。なお、この際に添加剤として加える酸の種類についても種々検討したところ、ペンタフルオロプロピオン酸(PFP)が最も良いことが分かった(Scheme 1)。

今後、この触媒を用いた身近な天然有機化合物の合成や、反応の遷移状態を考察するための分子模型の製作とその教育的活用が期待される。



Scheme 1 分子内不斉 aza-Michael 反応

(2) 無機化学・錯体化学分野の教材開発

無機化学分野では、特異な立体化学の3次元教材モデルとして考えられる、一次元鎖状構造を有する金属錯体の化学合成を目的と

し、混合原子価一次元白金及びパラジウム錯体の合成を試みた。窒素系配位子である cyclam を有する四配位平面型パラジウム(II)錯体と、パラジウム(II)錯体を塩素による酸化付加反応で合成した、六配位八面体型パラジウム(IV)錯体を混合することで、塩素架橋の、混合原子価一次元パラジウム錯体の結晶構造を、単結晶 X 線構造解析により特定した。(図1)

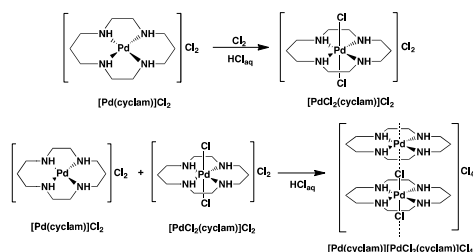


図1 一次元パラジウム錯体の合成

また、初等・中等教育現場での活用を念頭に、特徴的な立体構造を有するエメラルドの結晶構造を3次元教材モデルとして活用し、効果的な教育プログラムの実施が可能かどうかを検証した。まず、大学現場での教育活用を計画し、初等教員養成課程の学生に対し、エメラルドの3次元モデルを用いた、細孔構造の理解を試みた。学生は結晶構造に見られる特異な構造が、ガス吸収剤としての利用などの工業的応用に繋がることを実感できたことを感想に示した。この教材は、様々な化学物質が生活に利用されていることを、小中学生に効果的に理解させるために効果的なものとして期待できる。(図2)

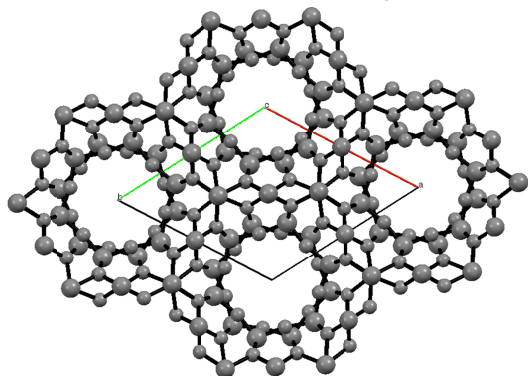


図2 エメラルドの結晶構造

(3) 3Dプリンターによる三次元教材の作成
現在、熱溶融造形法(FDM)タイプの3Dプリンターによる空間充填モデルの製作が主流であり、球棒モデルの作成は簡単ではない。そこで本研究では、3Dデータのより簡単な作成と熱溶融造形法(FDM)タイプと光造形法(SLA)タイプによる分子模型の製作を行った。

まず、高等学校化学での教材化を目的として、D-グルコースに着目した。3Dプリンターで製作(印刷)するためには、STLファイルが必要となる。そこで、化学構造式の描画ソ

フトとして知られている ChemDraw を用いて、D-グルコースの構造式を描いた後、Chem3Dで読み込んで空間充填モデルあるいは球棒モデルの STL ファイルを作成した(図3)。

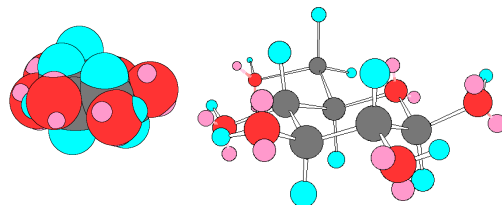


図3 Chem3Dによる空間充填モデル図と球棒モデル図

得られた STL ファイルを用いて、熱溶融造形法(FDM)タイプと光造形法(SLA)タイプの3Dプリンターを用いて、各種加工条件下でグルコースの空間充填モデルと球棒モデルを製作し、その加工精度を検証した。

その結果、FDMタイプでは直径1.75mmのABS樹脂を用いた場合、内部充填密度10%、レイヤ高さ0.2の条件下であれば、空間充填モデルの製作が可能であることが明らかとなった(図4左)。しかし、球棒モデルはうまく積層されないために製作できなかった。

一方、SLAタイプでは、球棒モデルがいずれの条件においても、ほぼ製作可能であることが明らかとなった(図4右)。

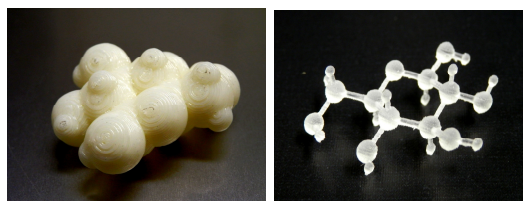


図4 FDMタイプによる空間充填モデル(左)、SLAタイプによる球棒モデル(右)

分子模型製作の方法が確立したので、次に、マツタケの香気成分である1-オクテン-3-オール(マツタケオール)の分子模型を合成することにした。1-オクテン-3-オールには不斉炭素が存在し、天然にはR体とS体が約9:1の割合で含まれている(図5)。

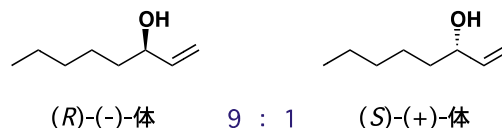


図5 1-ブテン-3-オールの両鏡像体の構造

我々は、以前の研究で、酒石酸-チタン錯体を用いた速度論的分割により、マツタケの香気成分である1-オクテン-3-オールを天然比と同じ割合で得ている。

高等学校化学では鏡像異性体を学習するため、鏡像異性体を直感的に理解するモデルとして有効であると考えられる。また、大学で不斉炭素の絶対配置について学習する上での教材としても有効である。

先と同様に STL ファイルを作成し, FDM タイプと SLA タイプの 3D プリンターを用いて, 各種加工条件下で両鏡像体の空間充填モデルと球棒モデルを製作し, その加工精度を検証した。

空間充填モデルでは, FDM タイプを用いた場合, 直径 1.75mm の ABS 樹脂, 内部充填密度 10%, レイヤ高さ 0.3 において製作が可能であった(図 6 左)。球棒モデルでは, FDM タイプでの製作は困難であったが, SLA タイプでは, レイヤ高さ 0.1, 印刷速度を高速, 自動補正モードにおいて製作が可能であった(図 6 右)。また, 分子模型 1 個の製作時間は, FDM タイプで約 37 分(幅 55, 高さ 25, 奥行き 34mm), SLA タイプで約 2 時間 5 分(幅 63, 高さ 26, 奥行き 42mm)であった。

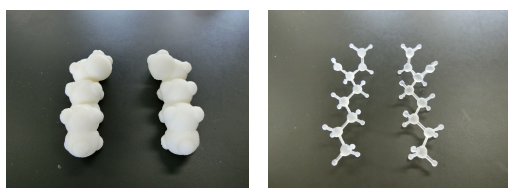


図 6 FDM タイプによる空間充填モデル(左), SLA タイプによる球棒モデル(右)の両鏡像異性体

以上のように, 本研究では 3D プリンターを用いた有機分子模型の製作方法を確立することができた。実際に手に取り, 三次元構造を直感的に理解できる有用性は, 他の教材にも活かせるものと期待される。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 4 件)

伊藤克治, 大内 毅, 長澤五十六, “3D プリンターを用いた有機分子模型の製作”, 福岡教育大学紀要 第六分冊, 査読あり, 第 67 号, 2018, pp.1-4.

村岡さつき, 藤澤早希, 副島英子, 伊藤克治, “鏡像異性体間の性質の違いを実感させる実験プログラムの開発(2)”, 福岡教育大学紀要 第六分冊, 査読あり, 第 66 号, 2017, pp.1-5.

Katsuji Ito, Yuki Nakayama, “*N, O*-Bis(trimethylsilyl)trifluoroacetamide (BSTFA)” in *E-EROS Encyclopedia of Reagents for Organic Synthesis*, 査読有 2016, 10.1002/047084289X.rn01923. 長澤五十六, “ハロゲン化物イオンとの相互作用を利用した亜硫酸ガス吸着”, 硫酸と工業, 査読あり, 68 巻, 12 号, 197-201 頁 (2015) .

[学会発表](計 10 件)

Yuta Takata, Katsuji Ito, Hideo Nagashima, Copper-catalyzed

Enantioselective Conjugate Addition Using a Phosphinophenol Ligand, IRCCS-JST CREST Joint Symposium, “Chemical sciences facing difficult challenges” 講演番号 P-114, 2018 年 1 月, 九州大学(福岡市)

Isoroku Nagasawa, Takuya Kawamura, Hiroshi Kitagawa, Kazuya Otsubo, Identification of the chemical species to make it proceed the oxidative addition reaction of platinum(II) tertiary arsine complex, 錯体化学会第 67 回討論会, 講演番号 1Ac-01, 2017 年 9 月 16 日, 北海道大学札幌キャンパス(札幌市北区)

伊藤克治, 大学の化学実験における相互評価表の活用, 日本理科教育学会第 67 回全国大会(福岡大会), 講演番号 課題研究 02-04, 2017 年 8 月 6 日, 福岡教育大学(福岡県宗像市)

大内 毅, 長澤五十六, 伊藤克治, 熱溶解造形法および光造形法による分子模型の製作(2), 日本理科教育学会第 67 回全国大会(福岡大会), 講演番号 P026, 2017 年 8 月 6 日, 福岡教育大学(福岡県宗像市)

長澤五十六, 伊藤克治, 大内 毅, 銅化合物を教材に用いた「物の溶け方」の授業実践例 -粒子概念の育成に向けた取り組み-, 日本理科教育学会第 67 回全国大会(福岡大会), 講演番号 P025, 2017 年 8 月 6 日, 福岡教育大学(福岡県宗像市)

Isoroku Nagasawa, Haruka Yoshino, Motoki Tanaka, Takuya Kawamura, Shinya Miyamoto, Hiroshi Kitagawa, Kazuya Otsubo, Elucidation of the chemical species to make the oxidative addition reaction proceed in the platinum(II) complexes, 錯体化学会第 66 回討論会, 講演番号 1Ab-01, 2016 年 9 月 10 日, 福岡大学(福岡市城南区)

大内 毅, 長澤五十六, 伊藤克治, 熱溶解造形法および光造形法による分子模型の製作, 日本理科教育学会第 66 回全国大会(長野大会), 講演番号 P006, 2016 年 8 月 2 日, 信州大学(長野県長野市)

宮城良輔, 村岡さつき, 伊藤克治, 分子内 aza-Michael 反応による I-置換テトラヒドロイソキノリン誘導体の不斉合成, 日本化学会 第 96 春季年会, 講演番号 3PB-169, 2016 年 3 月 26 日, 同志社大学京田辺キャンパス(京都府京田辺市)

Isoroku Nagasawa, Miho Tsuji, Rina Koganemaru, Haruka Yoshino, Motoki Tanaka, Hiroshi Kitagawa, Kazuya Otsubo, The study on the mechanism of halogen oxidative addition reaction of platinum(II) complexes, 錯体化学会第 65 回討論会, 講演番号 3Ab-02, 2015 年 9 月 23 日, 奈良女子大学(奈良市) 石田輝昭, 内村博幸, 藤川哲也, 村岡さつ

き,伊藤克治,大学との連携による小学生の科学自由研究の指導実践,日本理科教育学会第65回全国大会(京都大会),講演番号 P34,2015年8月2日,京都教育大学(京都府京都市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

伊藤 克治 (ITO KATSUJI)
福岡教育大学・教育学部・教授
研究者番号: 10284449

(2) 研究分担者

大内 毅 (OHUCHI TAKESHI)
福岡教育大学・教育学部・教授
研究者番号: 40346838

長澤 五十六 (NAGASAWA ISOROKU)
福岡教育大学・教育学部・教授
研究者番号: 40302351