

特別支援を必要とする小学生のための 分子模型型ものづくり学習キットの開発とその活用[#]

浅原雅浩^{1§}, 小越咲子², 青山絹代¹, 藤井 豊³

¹教育地域科学部, ²金沢大学理工研究域, ³生命情報医科学講座分子生命化学領域

Practical and Developmental Uses of the Molecular Model Kit for Schoolchildren in Need of Special Support

ASAHARA Masahiro^{1§}, OGOSHI Sakiko², AOYAMA Kinuyo¹, and FUJII Yutaka³

¹ Faculty of Education and Regional Studies, University of Fukui,

² Faculty of Electrical and Computer Engineering, Institute of Science and Engineering, Kanazawa University,

³ Department of Chemistry, School of Medicine, Faculty of Medical Sciences, University of Fukui

概要：ソケットを予め仕込んだ発泡スチロール球とプラスチック性接続棒を用いる分子模型教材は、見方を変え
ると、特別支援を必要とする小学生のための学習支援教材となり得る。そこで、これまでの利用方法を基本とし
つつも、子どもたちが楽しく遊びながら学べることを目的とした学習キットの開発に取り組んだ。今回、ソケッ
トの位置を工夫した 2 種のカラフル発泡スチロール球と従来の接続棒を組み合わせキット化し、事例研究を行
った。その結果、いくつかの改善点の指摘もあったが、当初の目的は達成できた。また、テキストを見ながら作
製体験することでテキスト通りの作製物ができた達成感や、さらに即興的なアイデアを創造的に作製できた喜
びを感じるなど、自己肯定感を向上させる効果もあることがわかった。

Abstract:

The molecular model kit comprising the styrene foam ball that has a socket and a plastic stick for connection can become effective teaching materials for schoolchildren who need special support. In this study, we redeveloped the molecular model kit by combining two types of the colorful styrene foam balls with the conventional connection stick, and performed a case study that utilized this kit. There were considerable signs of improvement. We have recognized this kit to be a potential model comprising both a measure of creative activity and a sense of accomplishment, wherein children who need special support are able to create the same molecule as that drawn in the text.

キーワード：発泡スチロール球, 小学生, 分子模型, 創造性, ものづくり, 特別支援教育

Key Words: Styrene Foam Ball, Schoolchild, Molecule Model, Creativity, Work(Monodukuri), Special Needs Education

[#] この論文は、科学研究費 H25-26 基盤研究 C (No. 25350194) の助成を受け実施した。

[§] 問い合わせ・論文請求先

(Received 27 October, 2014 ; accepted 28 November, 2014)

背景

それぞれの元素の特徴とその結合様式に基づいて化学構造を認識することは、化学分野の理解において最も重要な要素である。

そこで、この化学物質の構造理解を促す教材として、古くから分子模型教材が開発され発展してきた⁽¹⁻⁶⁾。国内でも、複数の分子模型教材が市販⁽⁷⁾されており、大学等での授業では、副教材として購入を促す場合もある。しかしながら、このような市販の模型は、高価のものも多く、また、手ごろな価格のものは、炭素原子数6個程度に限定されたセットであり、様々な有機化合物の模型を作製し、模型作製を通じて、複雑な分子まで理解するには、相当数の模型教材を購入することが必要となる。

これら、市販の分子模型教材の難点を克服するため、これまで、発泡スチロール球を原子に見立て、これを化学結合に見立てた爪楊枝の木棒結合手を差し込むことで分子模型を完成させる「ポインター方式分子模型教材」⁽⁸⁻¹⁰⁾を開発し、医学部の基礎化学教育をはじめ、中高の正規の理科・化学の授業⁽¹¹⁾にも応用できるキット化に成功してきた。この過程で、例えば、メタン(CH_4)分子と酸素分子の反応により水分子と二酸化炭素分子が生成するような燃焼反応を学ぶ「中学校化学反応学習キット」⁽¹²⁾が誕生した。これは、発泡スチロール球を原子に見立て化学反応前の台紙上に置き、化学反応後の台紙に移し換えて、その化学反応全体を確認するというものである。

本ポインター方式分子模型教材の大きな特徴は、発泡スチロール球原子にポインターを用いて正確に他の原子と結合する位置を求め、そこにボンドを用いて木棒結合手を固定し、さらに他の発泡スチロール球原子を接着していくことで、分子模型を完成させるところにある。このため、一度分子模型を作製すると、一般的に市販されている分子模型教材とは異なり、一旦バラバラに戻して、再度別の分子に作り替えるという操作は、不可能な教材となっている。このことは、市販の分子模型とポインター方式分子模型の両方を使用した経験のある一般ユーザーの満足度を下げる一因となっていた。

そこで、2010年にポインター方式分子模型と市販の分子模型の特徴の両方を併せもつ新しいソケット・デ

ィンプル方式分子模型の開発に取り組んだ⁽¹³⁾。この新方式教材の場合、ポインターを用いて発泡スチロール球原子にソケットを埋め込む作業から実験を始めると、 sp 、 sp^2 、 sp^3 混成軌道の特徴を学習することも可能である。更に、ソケットを埋め込んだ原子同士を、柔軟なプラスチックパイプで連結脱着することにより、化学結合の学習に繰り返し使用することができる。

今回、この分子模型教材を活用して、特別支援を必要とする小学生のための新しい教材開発とその実践研究を行ったので報告する。

教材開発

①ものづくり型学習へのソケット・ディンプル方式分子模型の活用展開

分子模型教材は、単に化学分野における化学結合や分子のかたちを理解するための教材として使用することのみならず、子どもたちの手先の訓練や創造性を育む教材としての展開も可能であると考えられる。そこで、学習に困難さをもつ子も含まれる発達障害児と定型発達児を対象とした「分子模型型ものづくり学習キット」の開発を行うこととした。本キットでは、次の条件(1)～(4)を満たすことを要件とし開発を進めた。すなわち、(1)手先を使う活動を楽しむこと、(2)想像力やイメージネーションを育むこと、(3)対象物の写真を見て認知、推論、模倣できる能力を育むこと、そして、(4)分子や理科、ものづくりや学習への興味につなげることである。

②開発したキットの構成

開発したキットの構成は次の通りである。5方向で結合させることのできる白球・オレンジ球・ピンク球・空色球各6個、4方向で結合させることのできる灰色球・黄球・赤球・青球各6個、そして、球と球をつなぐためのプラスチックパイプ30本である。5方向で接続できる球は、 sp および sp^2 混成軌道に対応しており、直線構造の分子や平面三角形分子の作製、更には、三方両錐体構造の作製に使用できる。また、4方向に接続できる球は、 sp^3 混成軌道に対応しており、四面体形の分子の作製に使用できる(図1)。

このキットを用いて、分子模型を作製すると原子数6個に対応した分子までの作製しか期待できないが、ものづくりという観点で想像上の分子を作製するとすれ



図1 キットの内容と作製可能な分子等

ば、どの原子をどの色として扱うなどの制約がなくなるため、このような構成を考えた。

また、分子概念のない小学生や特別支援を必要とする子どもたちが、楽しく遊びながらものづくりを体験しつつも、分子構造の学習も可能なテキストを作成した。テキストは、表紙とあとがき（注釈）を含み10ページで構成した。作製可能なモデルは25個あり、1ページあたり2～4個掲載されている（図2）。なお、このキットは、化合物を作製するためだけのモデルではないことを示すため、作製できる事例の1つに「北斗七星・北極星・カシオペア座」を加えた。

テキストに関しては、後述する「活動事例1」における保護者からの意見（要望）を受け作成したものであり、「活動事例2」以降の研究から使用を開始した。



図2 テキストの一部抜粋

分子模型型ものづくり学習キットを用いた活動事例

本研究では、園児から中学生までの幅広い年齢層の学習者を対象として、4つのものづくり教室型体験活動を実施し、その中で、今回開発した「分子模型型ものづくり学習キット」のポテンシャルとその問題点を

ついて検討した。なお、今回の学習者には、発達障害児（ASD, ADHD, LD等）と定型発達児の両方を含み、その保護者も寄り添っている環境にて実施した。実施した4つの活動のねらいは、次の（1）～（6）の達成である。

<ねらい>

- （1）教材（模型作製）で楽しむこと
- （2）手先を使い、自分自身で取り組むこと^{（14,15）}
- （3）想像力を育み、表現（あるいは表出）すること
- （4）形を認知、分析し、模倣する力を育むこと
- （5）複数人の活動の場合、協働し楽しむこと
- （6）最終的には、（遠い未来を含めて）分子のかたちに興味を持つこと

活動事例1 福井大学教育地域科学部「たんぽぽ教室」での親子活動

①参加学習者

10名（内訳、小6：男児3名、小5：男児1名、小4：男児2名、小2男児1名、小1：女児1名、年長児：女児1名、年中児：男児1名）。本活動の参加者は園児から小学生と幅広く、学習者には、発達障害児、学習障害児が多く、楽しんで活動することを主目的とし、ねらい（1）と（2）「手先を使った教材を楽しむこと」に重点を置いて実施した。

②活動内容

活動では、初めに親子でお菓子づくりや運動遊びを行った。次に、開発したキットを見せ、続いて、指導担当者が分子模型型教材を作製する（組み立てる）過程をみせた。この過程を踏まえて、学習者にキットを配布し、その場で自由に作製してもらった。または、家に持ち帰ってから作製する（あるいは、組み立てる）ことを体験学習してもらった（図3）。



図3 指導担当者によるキット内容や作製方法の紹介

③活動中の様子

当該活動時間中には、見るだけで実際に模型づくりまで体験する子どもは少なく、帰宅後模型づくりを親子で体験するケースが多かった。

④模型や活動に対する評価（感想）と課題

家庭での実施後、保護者へのアンケートの結果、「集中の持続が難しいケースが多かった」、「原子としての発泡スチロール球を接続する棒（チューブ）を穴（ソケット）に差し込むのが難しいので、もう少し太い棒（チューブ）のほうがよかった」、「模範例のテキストがあると分かりやすい」などの感想があった。

活動事例2 適応指導教室における実践

①参加学習者

2名（内訳、中学生：女子2名）。「適応指導教室」とは学校に行きたくても行けない子どもたちのために、自主学习や集団活動およびスポーツ等、個人に応じた学習活動を進めながら心の安定を図り、早い時期の学校復帰の援助を行う教室である。従って、この回の活動目的は、ねらい（1）に対応する「楽しんで理科に親しむこと」、および、ねらい（3）に対応する「イマジネーションや想像力を働かせ、楽しんで表現すること」とした。

②活動内容

初めに、キットの使用法等を説明するため、指導スタッフが、二人の目の前でキットを使い、酸素（ O_2 ）、オゾン（ O_3 ）、水（ H_2O ）のモデルを作製し、その完成品を子どもたちに手渡した。その後、子どもたちはキットを自由に使って、様々な仮想的分子群を思い思いに作製した（図4）。



図4 指導スタッフとともに分子模型型キットの体験中の様子と作製された5角形分子

③活動中の様子

二人とも「作製した分子モデルが倒れないように、バランスを取るにはどうしたらよいか」について、考えながら集中して、発泡スチロール球を繋いでいった。うち一人は、倒れてしまわない分子モデルとして、青の発泡スチロール球で五角形の分子モデルを作製した。

④模型や活動に対する評価（感想）と課題

中学生からは、「汗で滑って棒がとりにくい」、「もう少し綺麗な球だとうれしい」等の感想があった。

また、通常指導される現場のスタッフの方は、「分子が、分子モデルとして手で触れること」に興味を示していた。

活動事例3 地域での創作活動教室における実践

①参加学習者

5名（内訳、小4男児1名 小5男児3名 小6男児1名、うち3名は定型発達児）に2回実施し、ねらい（1）～（6）全てを対象とした。初回のみあるいは2回目だけの参加者もいれば、中には2回とも出席した子どももいた。



図5 子どもたちの達成感を促す工夫。全て作製したページの完了を評価する「合格」の印

②活動内容

毎回、自由に「分子模型型ものづくり学習キット」を用いた作品づくりを行った後に、テキストを用いて分子を作製してもらった。

テキストに掲載された全25の事例を黙々と作製していく道のりは、子どもたちにとってかなり辛い道のりと感じられたので、スモールステップ達成評価システムを採用した。すなわち、1ページ当たり2～4個の作製事例が掲載されているので、1ページ全ての事

例を作製することのできたページ毎に「合格」の印を押すシステムである。このシステムは、適度に子どもたちの達成感を与えることができ、集中力の短い子どもの集中する時間を延長することに寄与した（図5）。

③活動中の様子

以下、学習者個人に焦点を当て、その取組状況について詳しく分析する。

・A君（小5）

彼は2回とも参加した。1回目の前半自由作製の部では、「楽しい。面白い。」と話しながら、自由に作品を作っていた。作製順は次の通りである。①「四角形」（題名は自身で命名）、②「五角形」、③「六角形」、④「七角形」（立体的なボールのようなもの）、⑤「ひし形」、⑥「M」（本人のイニシャルから）、⑦「三角形」、⑧「Y」と作品を展開した。

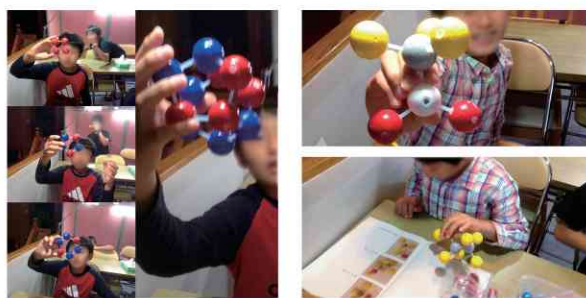


図6 A君（小5）の活動の様子（左）1回目の自由作製（右）2回目のテキストの模倣

後半のテキスト模倣の部は、全体としては難しかったようだが、最初の簡単なものは作り上げ、テキストの写真の上に載せていた。彼は、2回目の活動にも参加し、テキストの模倣を全部こなし、楽しいと何度も語っていた（図6）。

・B君（小5）

自由作製の部では、①「ライダーキック」、②「ミッキーマウス」、③「マッチョ」、④「椅子」と作品を展開した（図7左）。

・C君（小5）

前半の自由作製の部では、自由に作品を創造していくことは苦手なのか、ゆっくりと作っていた。一方、後半のテキスト模倣部では、非常に早く模型づくりを完成させていった。彼は、普段から「プラモデル作製が好き」と話していた。特徴としては、テキストを見て模倣した完成品は、全てテキストと比較できるよう

に横に並べていた（図7右）。



図7（左）B君（小5）の活動の様子：上図はイス（右）C君（小5）の活動の様子：テキストの模倣

・D君（小4）

前半の自由作製の部では、①「スーパーハンド」、②「ピエロ」、③「カエル」、④「ムキムキマン」、⑤「スーパーロボットマン」、⑥「バイキンマン」、⑦「シト」、⑧「エヴァンゲリオン」⑨「クモ」と作品を展開した。



図8 D君（小4）の活動の様子

彼も「プラモデル作りが好き」と話しており、後半のテキスト模倣の部では、分子模型作製を簡単にこなしていた（図8）。

・E君（小6）

彼は、2回目の活動のみに参加し、テキストの模倣を25種類すべて行った。その結果、発泡スチロール球の種類を理解して、物質が何の原子によってできているかをイメージできるようになった。例えば、作製したナフタレンの分子模型に関連し、パラジクロロベンゼンの成分表示のある防虫剤の袋を見せると、瞬時に反応し「臭い」ともだえ苦しむリアクションを示した（図9）。



図9 E君(小6)の活動の様子 (左)作製したナフタレン分子モデル (右)ナフタレンのテキストのページと市販の衣料用防虫剤の袋(成分にパラジクロルベンゼンの記載あり)

④模型や活動に対する評価(感想)と課題

2回の活動を通じて、A君が最も楽しみながら学んでいた。例えば、本キットを目の前にして即興的に表現しなければならない場面に直面したとき、「自分が直観的に選択したり判断したり試行錯誤を行うことが得意であること」を本人が認識したため、自信にも繋がったようであった。

自己肯定感を確実にするため、指導やサポートの過程において、なるべくほめることが重要であった。また、学習(作製)意欲を高めたり、達成感を与えたりするために、例えば、テキストに記載されたモデル例について、「1つ完成させる度に、その写真を撮ってほしい」という子には、毎回、写真を撮ることで作製への活動意欲を高める支援を行った。また、「合格」の印を押すことによる意欲や集中力の向上あるいは持続に繋がる手立てを取った。

参加者に共通して、まとまりのある複数のモデルを組み立てられるようになると、作製自体にストーリー性を見だし、それを自己陶酔的に楽しんでいるように感じた。また、今回は、互いによく知る複数名(4名)の活動であったことから、お互いに作品を見せ合い楽しんでいた。このため、作製する自由創作物としては、誰もが知っている身近なものや漫画のキャラクターを対象として作製している事例が多数見受けられた。

分子模型作製が展開されていくにつれて、創意工夫も加わり、次の作品が前の作品よりも、より多くの発泡スチロール球を用いた複雑な作品となっていた。しかしながら、4人とも、ある程度大きい作品(使用する発泡スチロール球の数がある程度の使用量を超える作品)が完成すると、その後は、比較的球数の少ない

作品を作製した。

この理由として、①創造が広がるのと同時に作品が複雑になると、認知や推論が難しくなり、一度単純なものへと関心が移る。②単に、発泡スチロール球の数が少ないため、小さな作品しか作れなくなる。③一度作製した模型から、プラスチック製パイプを外すことが難しいということが挙げられる。③に関して、発泡スチロール球のソケット部分から指先の力だけで、テフロン性の滑りやすいパイプを引き抜くことはとても難しく、作品の解体に伴うパイプの取り外し作業に、怒りを表す児童もいた。

創作活動教室のスタッフからは、「もう少し長い棒があったほうがよいのでは」、「発泡スチロール球に直接『水素』などと名前が書かれているとよいのでは」、「ソケットの数は原子の特性にあったものにするとういのでは」という意見があった。

活動事例4 地域での創作活動教室 その2

①参加学習者

2名(内訳、小6女児)

②活動内容

特に、スタッフから指導することもなく、自由に作品をつくるように指示した。ねらい(1)～(5)を対象として実施した。

③活動中の様子

会場では、2名が向かい合って、教材キットを1セットのみ用いて、自由に作品を組み立てていった。非常に速いペースで独創的かつ大きな作品をいくつもつくりあげた。

④模型や活動に対する評価(感想)と課題

教材1セットを2名で利用することで作品をつくるペースが速くなることも考えられ、ねらい(5)複数人の活動の場合、協働し、楽しむことに対応する成果の一端を感じられた。

まとめと今後の展望

今回、特別支援を必要とする小学生を中心に、ディンプル・ソケット方式分子模型の新しい利用方法の可能性について、「分子模型型ものづくり学習キット」開発とその実証的研究を進めた。その成果として、次の4点が挙げられる。

- ① 特別支援を必要とする子どもたちであっても、今回対象とした子どもたちの場合、カラフルな発泡スチロール球を自由に繋げていくことは可能であり、独創性豊かに、そしてものづくり活動を楽しみながら、いわゆる「分子の模型」を作製できることがわかった。
- ② ものづくり型教材であっても、楽しみながらあるいは達成感を得ながらの作製体験でないと、集中力が持続しないことがわかった。この際、スモールステップでの見える化したゴールの設定が重要な手段となることもわかった。
- ③ 本キットを従来の分子模型教材と捉えて使用するとしても、それぞれの子どもたちの特性に応じて、集中力の持続を促す仕掛け、あるいは、達成感を与え続ける仕掛けを用意すれば、十分に教材として機能することがわかった。
- ④ 1つのキットを複数人で使用するような場面を作ると、そこから複数人による協働制作が始まり、一人では達成することのできない巨大で複雑な作製体験も可能となると同時に、チームによる協働性を育む教材としてのポテンシャルを有していることも示唆された。

一方、今後の課題あるいは、改善点もいくつか見つけた。

- ① 子どもたちの手先の器用さを鍛えるという目的には合致しているのではあるが、ソケット部分に一度プラスチックのパイプを押し込むと、脱着可能ではあるが、子供の力で引き抜くことがかなり難しいケースが多々見受けられた。
- ② 今回、分子模型という概念に囚われずキット化したのではあるが、最終的に、利用者となる地域の適応教室等の指導スタッフの方々や学習者の保護者からの意見を参考として、本キットを分子模型作製キットとして捉えたテキストを作成した。そのため、分子模型という概念に囚われ、分子模型らしい色分けや、球の大きさ分け、更には、結合の本数や角度にまで分子模型教材としての要望を頂く場合が多かった。キット開発の当初の目的とは矛盾する状況となったために起こったミスマッチである。しかし、子どもたちの学習が進むにつれて、「創造力を鍛え育むキット」から「化学学習に必要な概念形成を促

すキット」に移行していくべきものであることを再認識させられた。

今後、このような要望に応えられるキット化および学習のための支援テキストの研究を進めていきたい。また、この研究開発が、子供たちの創造力の向上、協調性・協働性の醸成、自己肯定感の向上にも繋がると確信している。

謝辞

本研究に参加していただいた児童生徒、保護者および地域の適応指導教室等の指導スタッフのみなさんに感謝します。

参考文献

- (1) "The Kimball Free-Cloud Model: A Failed Innovation in Chemical Education?", W. B. Jensen, *J. Chem. Educ.*, Vol.91, pp.1106-1124 (2014).
- (2) "An Easily Constructed and Versatile Molecular Model", S. A. Hernandez, O. Quinzani, N. M. Rodriguez, *J. Chem. Educ.*, Vol.73, p.748 (1996).
- (3) "Use of the "cubic snake" as a molecular model", C. Gilon, *J. Chem. Educ.*, Vol.62, p.1074 (1985).
- (4) "An inexpensive molecular model", M. Brickley, R. A. Silva, *J. Chem. Educ.*, Vol.62, pp.1077-1078 (1985).
- (5) "A magnetic molecular model", L. Meszaros, *J. Chem. Educ.*, Vol.41, p.50 (1964).
- (6) "A versatile molecular model of cyclobutane", A. Wilson, *J. Chem. Educ.*, Vol.39, p.649 (1962).
- (7) 例えば, (a)「HGS 分子構造模型」, (株)丸善出版. (b)「MOL-TALOU (モル・タロウ)」. (c)「物質はなにでできている? 分子モデルキット」, アーテック. (d)「分子構造模型セット」, Generique. (e)「発泡スチロール球で分子模型をつくろう」, 平尾二三夫, 板倉聖宣, 仮説社, (1992)など.
- (8)「分子模型作製方法の開発」, 藤井豊, *福井大学医学部研究雑誌*, Vol.4, pp.73-80 (2003).
- (9)「フラーレン C60 の分子模型製作方法」, 藤井豊, *福井大学医学部研究雑誌*, Vol.5, pp.37-41 (2004).
- (10)「分子模型制作方法, 及び分子模型」, 発明者・藤井豊, 出願人・福井大学, 特願 2003-099479, 特許 第 3757283 (2006).
- (11) SPP (サイエンス・パートナーシップ・プログラム)

- を活用した化学教育－単結晶X線構造解析」, 浅原雅浩, 小鍛治優, 青山絹代, 宇野章代, 菅原英淑, 丹松美由紀, *福井大学教育実践研究*, Vol.31, pp.159-165 (2007).
- (12) 「分子模型制作方法及び化学反応学習教材」, 発明者・藤井豊, 浅原雅浩, 出願人・福井大学, 特願 2006-331847, 特許 第 4892681 (2012).
- (13) 「化学教育のためのソケット・ディンブル方式分子模型教材の開発」, 田中幸枝, 浅原雅浩, 川井昌之, 小鍛治優, 上田昌範, 藤井豊, *福井大学医学部研究雑誌*, Vol.11, pp.1-6 (2010).
- (14) 「知的・発達障害児の手先の巧緻性と視覚的手がかりの影響」, 橋本創一, 有井伊織, *日本教育心理学会総会発表論文集*, Vol.52, p.645 (2010).
- (15) 「知的・発達障害児の手先の巧緻性と視覚の手がかりの影響」, 堂山亞希, 有井伊織, 橋本創一, *東京学芸大学教育実践研究支援センター紀要*, Vol.7, pp.1-9 (2011).