

高等学校化学における「学び」の過程に関する理論的検討

—理科教師が行う教材化や教材開発の視座を中心として—

野添 生・水田 勉・磯崎 哲夫

本稿は、専門領域の研究論文を専門科学者の「学び」の過程に読み替え、さらに学習者の「学び」の過程に再構成することを通して、理科教師が教材化や教材開発を行う視座に関する示唆を得ることを目的とした。*Journal of Organometallic Chemistry* 誌に掲載された論文を構造的に読解し、執筆者に対する論文（研究）の作成過程に関するインタビュー調査結果を基に、専門科学者の「学び」の過程への読み替えを行い、教材化や教材開発を行う上で求められる視座について分析・検討を行った。その結果、専門科学（研究）者の「学び」の過程とは、専門科学者が数多くの実験を試行する中で新しい発見や次に繋がる研究テーマを見いだしていく研究スタイル（学習過程）であり、経験したことを基に試行錯誤や条件制御をしながら、実験プランや次の研究テーマを考えていくことになるという発見的な実験を主流としたものであった。この専門科学者の「学び」の過程を、理科教師が行う教材化や教材開発の文脈に置き換えた場合、高等学校化学の実験は、どちらかといえば、与えられた実験で結果は決まっているが、とはいえ、実験を行う本人としては初めての体験である。従って、そこには多かれ少なかれ、実験を行った本人にとって何かしらの新しい発見があり、予想外のことが起きる要素はあるという視点が重要である。また、本研究により、理科教師が「科学者による知的生産の知 (scholarly knowledge)」の創成プロセスとその転置メカニズムについて知ること、教材研究を行う上では重要な位置付けとなることが見出された。

キーワード：高等学校化学、「学び」の課程、教材化・教材開発

Theoretical Examination of the Process of “Learning” in High School Chemistry:

Perspectives for Teaching Material Development by Science Teachers

Susumu Nozoe, Tsutomu Mizuta and Tetsuo Isozaki

The current study aimed to attain implications for teaching material development by a science teacher, through a reframing of a specialized research paper into a “learning” process of a specialized scientist, followed by a further reconstruction into a learner’s “learning” process. We analyzed and investigated the perspectives necessary for

teaching material development, through understanding the structure of a paper published in the *Journal of Organometallic Chemistry*, as well as interviewing with the author of the paper regarding the paper writing process. The result indicated that the process of learning of this specialized scientist was characterized by finding a research topic that led to new discoveries through conducting numerous experiments. The results indicated that the scientist focused on heuristic experiments from which he developed experiment plans and the next research topic by trial-and-error and condition control. If we were to place this “learning” process in the context of teaching material development of a science teacher, it is important to have a point of view that something new would be discovered by a student and something unexpected might occur. Although experiments in high school chemistry usually have prescribed results, experiments are new for the students. In addition, the current study elucidated the importance of a science teacher’s understanding of the creation process of “scholarly knowledge by a scientist” and its mechanism of transposition in his or her teaching material studies.

Key Words: High School Chemistry, A “Learning” Process, Teaching Material Development

1 はじめに

本プロジェクトは、学校教師が専門科学(研究)者の研究内容を消費活用するだけではなく、一個人としての学習とその過程を読み解き、活用することをねらい、その教師が進める学習に専門科学(研究)者の側から支援する方法を見いだすことを趣旨としている。具体的には、専門科学者が行う研究を学校教師が教材研究として読み解き、その読み解きから一人の研究者の「学習」過程を読み解く変換システムを開発することである。

本研究では、専門科学者が進める学問領域の「学び」の過程を解明し、学校教師や初任教師が活用できるようにすることを試みている。ここでは、専門科学者の研究論文の読解を通して、学習者の「学び」の過程を再構成し、理科教師が行う教材化や教材開発の視座に関して理論的に検討していく。

2 研究の目的と方法

本研究では上述したプロジェクトの趣旨に則り、専門領域の研究論文を専門科学者の「学び」の過程に読み替え、さらに学習者の「学び」の過程に再構成することを通して、理科教師が教材化や教材開発を行う視座に関する示唆を得ることを目的とする。

研究方法は、*Journal of Organometallic Chemistry* 誌に 2011 年に掲載された論文 PhP - PPh group bound to 1,8-positions of naphthalene: Preparation of cis isomer and synthesis of binuclear complex を構造的に読解し、執筆者に対して、この論文(研究)の作成過程についてインタビューを行った。そして、そのインタビュー調査結果を基に、専門科学者の「学び」の過程への読み替えを行い、最終的に、これらの研究論文の主題・構成・構造の読解を通じた学習過程の読み替えに基づき、教材化や教材開発を行う上で求められる視座について分析・検討を行った。

3 研究論文の主題・構成・構造の読解

対象の研究論文の主題は、1,2-diphenyl-1,2-dihydronaphtho[1,8-cd][1,2]diphosphole

(以下、この化合物を「1」と表記する)のシス型異性体(図1)の合成、並びに、この化合物を架橋配

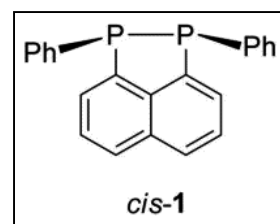


図 1

位子とした金属錯体の合成である。本研究論文は、「はじめに」と「結論」を除き、①化合物1のシス型異性体(図1)の製法、②光化学的異性化、③金属錯体の合成から構成されている。

ジホスフィン(ジホスフィン)は二核錯体の合成のための有用な架橋配位子であり、二核錯体の2つの中心金属は架橋しているジホスフィンのそれぞれのリンに配位され、直接のP-P結合により非常に近接に結合されている。しかしながら、

実際には2つの中心金属間の距離は、図2で示すようなM-P-P-Mの結合配列のねじれ角により、さまざまであ

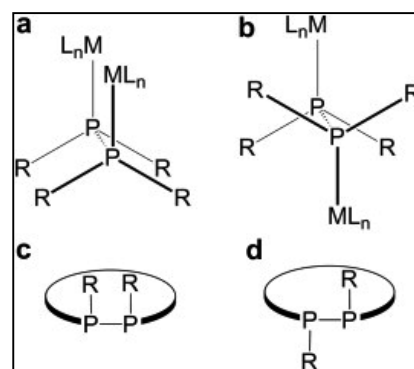


図 2

る。図2のaに示すようなシンペリプラナーの立体配座では、2つの中心金属は一番近接した状態になるが、P-P結合を中心としたR₂PML_nグループの回転により、図2のbに示すように2つの中心金属は遠ざかる。しかしながら、もしP-P結合が環式のジホスフィンの一部であれば、R₂PML_nグループの回転は制限される。環式のジホスフィン(ジホスフィン)は、図2のcやdにそれぞれ示すようなシス型とトランス型の異性体の構造をもつ。ジホスフィン部の2つの非共有電子対はシンペリプラナー

の配置をとらせたいため、トランス型の異性体よりシス型の異性体の方がより有用である。

しかしながら、隣接した2つのリン上の置換基間の立体反発により、図2のcやdに示した1,2-ジホスフィンの環式化合物におけるシス型の異性体は、トランス型の異性体ほど安定ではない。それゆえ、多くの4, 5, 6員環の1,2-ジホスフィンの環式化合物が報告されているが、それらの多くはトランス型の異性体である。比較的僅かではあるが、中心のリン上の置換基間の反発を避けるため二環性の中に取り入れられたシス型異性体の生成が言及されてきた。また、金属カルボニルの $W(CO)_5$ フラグメントはトランス型異性体の優先傾向を逆転するために使用されている。

上記の化合物1のP-P結合が、5員環のジホスフィンの縮合環式化合物を構成するために、ナフタレン群と結合することは先行研究として報告

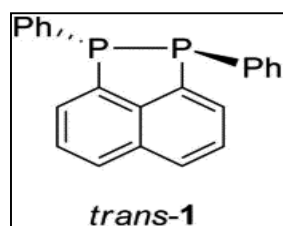


図3

されている。この化合物のシス型異性体は、2つのフェニル基がナフタレン面に関して同じ側にあり、シンペリプラナーの配置をとった2つのリンの非共有電子対がある。一方、図3に示すトランス型異性体は、面に対して相互に反対側にフェニル基が位置している。トランス型異性体は適度な収率で単離されるが、シス型異性体に関しては、2つのフェニル基が立体構造的に混雑し、熱力学的に不安定な状態で収率が低いため、単離させることが難しい。この単離されたトランス型異性体は、タングステン二核錯体の製法として使用されていた。タングステン間の距離が近いシス型のタングステン二核錯体は、図4に示した流れで、トランス型異性体から合成され、この段階的の反応を通して、トランス型配位子の一部はシス型へ異性化される。この方法により、ジホスフィンの環式化合物を架橋とし

たシス型立体配座の二核錯体を得ることができ、シス型の単離配位

子の合成は、さまざまな二核錯体を製法するにあたり、非常に重要であり、このことが、本研究論文の背景である。

ここから、本研究論文の1つ目の構成である「化合物1のシス型異性体(図1)の製法」から詳細に読解していく。化合物1のトランス型異性体とシス型異性体の混合物は、1,8-ジリチオナフタレンとジクロロフェニルホスフィンとの反応により適度な収率で生成される。この混合物のプロトン照射リン31NMRスペクトルは、-9ppmと-19ppmの2つのシングレットを示し、それぞれ化合物1のトランス型異性体とシス型異性体に帰属したスペクトル線で、その強度比は10:1である。少量のシス型異性体は、酸化アルミニウムのカラムを使用したクロマトグラフィーにより分離

され、シス型異性体の全体の収率は僅か1~2%ではあるが、図5に示すようなシス型異性体の分子構造がX線分析により確認される。中心のリン上にある双方のフェニル基は、ナフタレンの面に対してそれぞれ同じ側にある。このシス型異性体のP-P間の結合の長さは2.2710Åで、トランス型異性体の結合の長さ(2.2240Å)より僅かに長い。

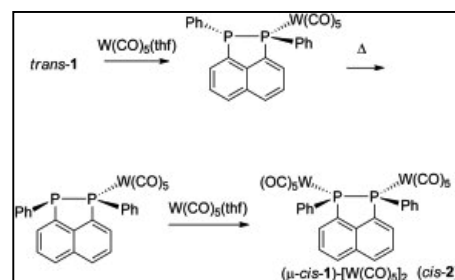


図4

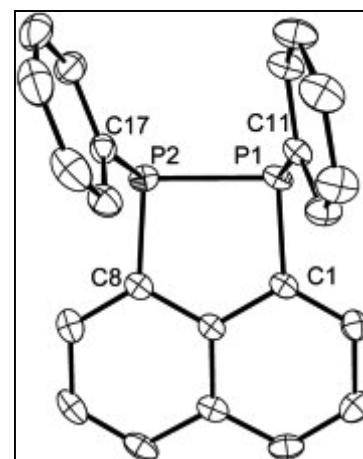


図5

このことは、シンペリプラナー立体配座におけるシス型異性体の非共有電子対間の大きな静電的反発が P-P 間の結合を長くさせたと推測される。シス型異性体のプロトン NMR スペクトルにおいて、ナフタレン基に帰属する 3 つのシグナルは 7.59ppm, 7.72ppm, 7.93ppm が測定され、トランス型異性体のそれら (7.63ppm, 7.84ppm, 7.97ppm) と近似値である。対照的に、シス型異性体のフェニル基に帰属したシグナルは 6.59ppm, 6.80ppm, 6.95ppm を示し、トランス型異性体では 7.10~7.15ppm 間を示すそれらに比べると、かなり低い化学シフトの値である。シス型異性体の 2 つのフェニル基は、図 5 に示すように平行の配置であるため、トランス型異性体に比べるとプロトンが遮蔽されている。

次に、本研究論文の 2 つ目の構成である「光化学的異性化」を詳細に読解していく。化合物 1 のシス型異性体は、前述の通り、反応混合物から直接得ることができるが、収率は非常に低い。このシス型異性体のような架橋化合物を使った二核錯体の製法のためには、より実践的な手法が望ましく、トランス型異性体は適度な収率で得られることから、トランス型からシス型への転換が有効であろう。はじめに、トルエン中の純粋な化合物 1 のトランス型異性体の溶液を加熱し、トランス型異性体からシス型異性体への熱変換を行った。この溶液のプロトン照射リン 31NMR スペクトルでは、生成されたシス型異性体は 1% 未満の微量であり、このことはトランス型異性体の非常に高い熱力学安定性を示している。この単離しているシス型異性体をトランス型異性体に完全に転換するのに 80°C で 3 時間を要することから、熱力学的に安定的な傾向も再確認された。その一方、化合物 1 のトランス型異性体に紫外線・可視光線を照射することは有効であった。テトラヒドロフラン中のトランス型異性体の溶液に中圧水銀灯を使って紫外線・可視光線を 1 時間照射したとき、

トランス型とシス型の割合が 1 : 2 の平衡に達するまで、かなりの量のトランス型異性体がシス型異性体に転換された。さらに、ヘキサンを溶媒として使った同様の光化学反応では、全てのトランス型異性体が溶液中に残る一方で、シス型異性体は沈殿物として得られた。これは、おそらくシス型異性体の方がトランス型異性体より双極子モーメントが大きいため、無極性溶媒における溶解度は、トランス型異性体に比べると非常に低くなるためである。最終的に、図 6 のように、トランス型異性体で飽和したヘキサン溶液に 6 時間照射することにより、ほとんどのシス型異性体 (収率 94%) が得られた。回収されたトランス型異性体の溶液を濃縮後に照射を再度行えば、よりシス型異性体を得ることができると考えられる。

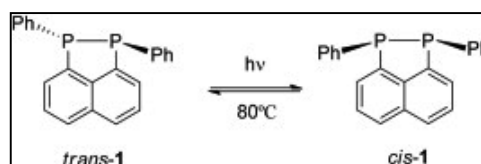


図 6

最後に、本研究論文の 3 つ目の構成である「金属錯体の合成」を詳細に読解していく。図 4 で示した方法により、化合物 1 のシス型異性体により架橋されたタングステン二核錯体は生成されるが、化合物 1 のシス型異性体と少し多めの金属カルボニルの $W(CO)_5(thf)$ との直接的な反応を通して、これと同じシス型のタングステン二核錯体を良い収率で得ることができる。しかしながら、シス型異性体で架橋されたタングステン二核錯体の $W...W$ 間距離 (5.1661 Å) は、トランス型異性体で架橋されたタングステン二核錯体の $W...W$ 間距離 (5.8317 Å) より小さいが、その差は僅か 0.6652 Å であり、これは予想よりも小さい。その理由は、シス型異性体で架橋されたタングステン二核錯体において、かさばった金属カルボニルの $W(CO)_5$ フラグメント間の立体密集にあると考えられる。そのような立体

要因を取り除くために、本研究論文では、小さな金属フラグメントとして、塩化金(I)を選んでいる。さらに、金(I)錯体は、固体の状態で金(I)錯体の分子集団を形成するのに重要な役割を行う“*aurophilicity*” (金-金相互作用)により、最近では非常に注目されている。化合物1のシス型異性体のようなジホスフィンのシス型配位子は、中心の2つの金原子が非常に近接している金の二核錯体が形成されることが期待される。それゆえ、中心の2つの金原子が、分子内の Au-Au 結合や共同分子間の Au-Au 相互作用により金の二核錯体の集団を形成するかが注目される。金の二核錯体は、化合物1のシス型、またはトランス型

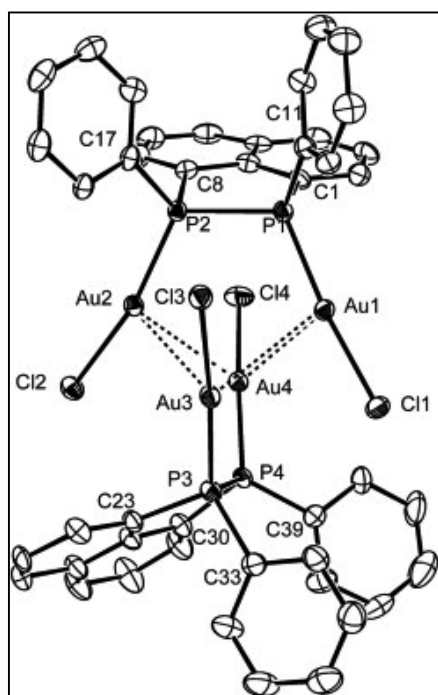


図 7

異性体とその2倍量のテトラヒドロチオフェンの塩化金(I)錯体との反応により生成することができる。この反応はスムーズに進行し、シス型やトランス型の化合物1で架橋された金の二核錯体を得ることができる。この物質のプロトン照射リン31NMRスペクトルは、24.2ppmや33.0ppmで鋭角なシングレットをそれぞれ示し、対応する自由配位子のそれらより約40ppm低磁場へ移動している。これらの錯体のX線構造を図7と図8にそれぞれ示すが、塩化金(I)フラグメントは、それぞれのリンの配位原子

に配位し、複核金属錯体を形成する。シス型の金の二核錯体の結晶では、2つの独立した分子が見られた。この2つのシス型分子の Au-P 結合の平均距離は 2.2274Å であり、トランス型分子の Au-P 結合 (2.211Å) よりも僅かに長い。しかしながら、双方の距離とも一般的な Au-P 結合距離の範囲である。2つのシス型の金の二核錯体分子中の P-P 結合距離は 2.2331Å と 2.2294Å で、シス型化合物1の P-P 結合距離 (2.2710Å) より、それぞれ 0.0379Å, 0.0416Å ほど著しく減少している。対照的に、トランス型化合物1が2つの中心の金に配位した化合物の P-P 結合距離の減少は非常に小さいものになる。トランス型の金の二核錯体分子中の P-P 結合距離 (2.208Å) は、トランス型化合物1の P-P 結合距離 (2.2243Å) より、それぞれ 0.016Å ほど減少している。シス型の

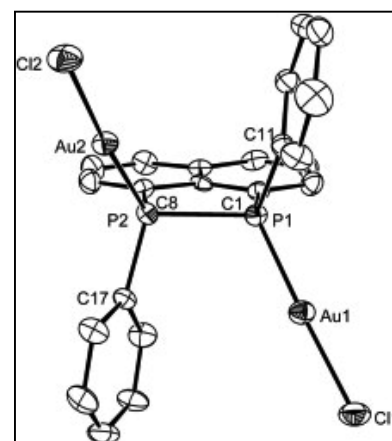


図 8

方の P-P 結合距離がより減少しているのは、シス型化合物1の非共有電子対同士の反発が取り除かれたことが主な理由であると考えられる。シス型、トランス型の金の二核錯体分子における P-Au-Cl の平均の角度は、それぞれ 171.30°と 175.83°であり、シス型の方は直線構造から逸れていることを示しているが、おそらく Au...Au の相互作用によるものである。シス型の金の二核錯体において、それぞれ独立した分子における1対の P-Au-Cl 部分はシンペリプラナーの配置で、Au-P-P-Au のねじれ角が 11.6°と 18.3°でU字構造を形成している。この2つのシス型の金の二核錯体分子内における Au...Au 間距離は 4.1260Å

(Au1⋯Au2), 4.1007 Å (Au3⋯Au4) であり, 分子内 Au⋯Au 間の相互作用の欠如を示している。これらの値は, トランス型の金の二核錯体分子内における Au⋯Au 間距離の 5.2390 Å より明らかに小さく, シス型のタングステン二核錯体の W⋯W 間距離の 5.1661 Å よりも非常に小さい。タングステンの錯体に比べて金の錯体の M-P 間距離の減少も M⋯M 間距離を縮めている要因だが, しかし, 最も主要な要因は金の錯体中の金属フラグメントの立体的体積の減少であろう。結晶中の2つの独立したシス型の金の二核錯体分子は, 図7に示すようにU字構造部分でお互いに連結されており, 二分子集団を形成していることは注目に値する。図7の破線で表された金原子同士の多様な相互作用により, もう1つの分子と相互作用している。分子間の Au-Au 間距離は, 3.1960 Å (Au1-Au3), 3.1934 Å (Au2-Au4), 3.6121 Å (Au1-Au4), 3.4608 Å (Au2-Au3) である。前述した2つの距離は, 典型的な Au-Au 相互作用の一般的な範囲内である。その一方で, 図8に示すようなトランス型分子の結晶構造の中には, 分子間の Au-Au 相互作用は全く見られなかった。この対照的な結果は, シス型分子の2つの近接した金の中心原子が同時に他の金原子との多様な相互作用を通して, 二量体を形成するようにはたらいっていることを示している。その一方で, このような共同的な相互作用は, トランス型分子中の離れた2つの金の中心原子にとっては可能ではなく, その結果として, 固体中では別々の分子で存在する。

本研究論文の構造は, 上述した3つの構成から成り, 熱力学的に不安定な化合物1のシス型異性体が, 化合物1のトランス型異性体に紫外線・可視光線を照射することで光化学的にシス型へ変換させるという非常に良い収率(94%)の実践的手法の開発である。また, このシス型異性体の2つの非共有電子対が, 2つの塩化金(I)のフラグメントに非常に近

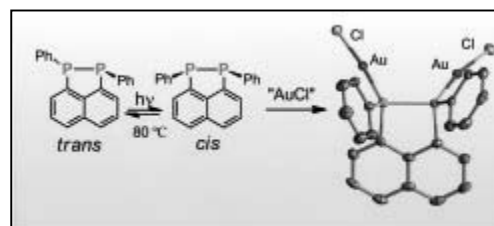


図9

接した状態で直接配位おり, 金の中心原子間の多様な分子間相互作用により連結されたU字構造を伴う二量体の形成を容易にしているという性質を明らかにしている。つまり, 図9に示すような反応を通して 1,2-diphenyl-1,2-dihydronaphtho[1,8-cd][1,2]diphosphole のシス型異性体の単離や架橋配位子としての性質を明らかにした論文である。

4 論文(研究)の作成過程—インタビュー調査の概要—

この論文(研究)の執筆者の1人である水田勉教授(広島大学大学院理学研究科)に対して, 2014年10月22日に論文(研究)の作成過程に関するインタビューを行った。インタビュー調査の概要は以下の通りである。

一般的に論文を作成する(研究を行う)動機としては, 作りたい立体構造や分子(例えば, 2つの金属原子が接近した分子など)があり, そこには期待される(世の中で役立つであろう)機能があるということや, 誰も予想しない(できない)自然科学の秘密を知りたいということがある。今回の論文(研究)には, その両方が入っている。分子自体は目には見えないけれども, その反応プロセスを語るときは, あたかも見てきたように語らなければ, 情報が相手に伝わらない。化学という学問は, そういう意味では「見てきたような化学」である。

この研究は, もともと, トランス型の配位子を使用して別の合成(トランス型の配位子を金属に結合させようという化学反応)を行っていた。いろいろな方法で金属を結合させ

ようとする中に、紫外線を照射するという方法もあった。そこで実験を行っている、トランス型の物質しか使っていないはずなのに、シス型を示すスペクトルが反応物から少し出てきていた。この思いがけない結果の気がつきがきっかけとなり、条件などを調べていき、トランス型の配位子自体に紫外線を当てるとシス型配位子に転換するという発見に繋がっていった。

塩化金(I)のフラグメントについて注目した理由は、他の金属だと金属同士を近接させようとしても、立体構造上、互いの配位子がぶつかり合うため、出来る限り立体構造上大きくないものを考えていた。そこで、金であれば二配位で立体構造的にも大きくはないので、このシス型・トランス型配位子の本来の性質を調べることができるのではないかという見通しはあった。また、金という金属には、相互作用などの面白い性質があり、金属錯体という学問の分野では、かなり注目を集めており、金の化合物の性質に関する発表は学会でも非常に多い。金に紫外線を当てると非常によく光る。発光ダイオードは無機化合物でできた光る素子だが、現在は、光る物質をシートに塗ってそれを光らせるという有機発光ダイオードが主流になると言われている。この有機発光ダイオードは、作成方法も簡易的で、曲げることも可能であるため曲面で使用することも可能である。その為、現在、光る材料を探している研究者は非常に多く、その全体の研究動向の流れの中で、金も注目されている。光る材料としての金において、金同士の相互作用は非常に重要な考え方である。しかし、今回の研究では、そこまで初めからねらっていたのではない。

今回のような「発見」というのは、あからさまな形で存在していることはあまりなく、何かの陰に隠れて少しだけ見えている形のものが多い。それを見逃すまいと思いつながら、日々、研究をしている。そういうとこ

ろは、化学をどれ位好きなのかという部分と関わっている。

5 専門科学者の「学び」の過程への読み替え

上述したインタビュー調査の結果を踏まえて、専門科学者の「学び」の過程へ読み替えていくことにする。

「化学」という学問の研究スタイル(学習過程)は、人によりさまざまである。関連する文献情報を全て頭に入れ、理想的な研究プランを立て、目的通りに研究を進めていくというスタイルや、何か面白そうなテーマがあった時に、とにかく何かやってみて、そこから見出された小さな発見を足掛かりとして、次の新しいテーマを考えていくというスタイルなどがある。

合成化学の分野で言えば、分子自体を模型のようにつなげていくことはできず、実際には、容器の中で分子同士を衝突させて反応させる為、予想通りにいかない場合が多々ある。また、目的の化合物を作成していくための実験計画や反応プロセスを考えていく過程においての1つ1つは、非常にシンプルな知識(立体構造的な形、原子・分子の大小やその間の距離、電子の相互作用など)を組み合わせながら考えていく。その組み合わせによって、ある程度のことは説明することができ、一見すると複雑な化学反応でも、単純化して1つ1つを考えることができる。

従って、この論文(研究)における「学び」の過程とは、学習者が研究室という「学びの共同体」の中でアイデアを出し合いながら、数多くの実験を試行し(理科教育で言えば *Messing about* と位置づけられる)、その中で新しい発見や次に繋がる研究テーマを見いだしていく研究スタイル(学習過程)である。実際に、インタビュー調査を行った研究室では、「このような実験をしたい」というアイデアを学生が持ってくることで、反対に、指導

者の方から「このような実験をしてみないか」という提案をすることが半々であるということであった。つまり、学習者が実験を行い、経験したことを基に試行錯誤や条件制御をしながら、実験プランや次の研究テーマを考えていくという発見的な実験を中心とした研究が進められている。

6 「学び」の再構成 —教材化や教材開発を行う上で求められる視座の検討—

前述したように、科学者が実際に研究で行う実験は、どちらかと言えば発見的な実験が中心であるが、高校化学の有機化学分野の実験は、検証実験のスタイルが主流である。具体的には、始めに化学反応のプロセスを説明し、実験の原理を説明した上で、目的の物質を実験で合成する。しかしながら、そのような検証実験でも「化学反応は、1つ1つの原子を組み替えている訳ではなく、無数の分子がぶつかり合っている中で、なぜこのような反応が起こるのか」という反応のメカニズムを問いかけ、生徒の「なぜだろう」「不思議だ」という好奇心を擽ることは可能である。また、たとえ結果が見えている検証実験でも、臭いのあるガスが発生したり、反応熱が発生したり、といった教科書には書かれていない体験で生徒たちが不思議に思う。そのようなことが、生徒にとっての「発見」になるのではないかと考える。科学者が実際に研究で行う実験はできないにしても、それに類似した「世界」を見させることは可能であろう。高等学校化学の実験は、どちらかといえば、与えられた実験で結果は決まっているが、とはいえ、実験を行う本人としては初めての体験であるため、たとえ教科書通りの実験であっても、それなりの興味を惹きつけるし、なぜだろうと思わせるようなところもある。実験をやってみると、そこには多かれ少なかれ、実験を行った本人にとって何かしらの新しい発見が

あり、予想外のことが起きる要素はあるであろう。上記の視座に基づき、理科教師が教材化や教材開発を行うことが非常に重要であると考えられる。

7 おわりに

1980年代以降、英語圏以外の欧米諸国、とりわけスペインやデンマークなどでは、Didactic Transposition Theory (教授学的転置理論) あるいは Anthropological Theory of Didactics (人間学的教授理論) (例えば, Bosch & Gascó, 2006 など) の研究が広がりを見せている。詳細は紙幅の関係で省くとして、概要を述べれば、科学者による知的生産の知 (scholarly knowledge) から、教育の政策に関わる知的集合体における知 (knowledge to be taught) への転置が行われ、それが教師の教育実践の知的集合体 (Noosphere と呼ばれる) における知 (taught knowledge) へ転置、そして学習者の獲得した知 (learned knowledge) への転置のプロセス (両方向) を解明することを通して、学校において教えるあるいは教えられるべき知の正当性について議論されている。そのためには、異なる知の本質や知的集合体における制約や条件、知の転置メカニズムなどを十分に解明する必要がある。本プロジェクトの研究は、Noosphere という教育政策に関わる知的集合体 (日本では、文部科学省など) を意識せず、scholarly knowledge 及びその知的生産過程をいかに教師が解釈し、taught knowledge に転置するか、ということを図示している。このことを考えれば、教師は、knowledge to be taught から learned knowledge に精通しているけれども、scholarly knowledge の知的生産プロセスとその転置メカニズムを知りながらも今後必要になってくるであろう。

ところで、一般的に学術論文は淡々と事実だけを順序立てて、わかりやすく書かなければならない。そのような論文を書いて、世の中に貢献するという役割が科学者には当然あ

るが、研究そのものの本当の醍醐味としては、知的生産活動にはドラマがあるということ、つまり「発見する喜び」が研究者を惹きつける魅力の1つとなっている。研究成果自体(研究論文)は、無機質な事実が書かれており、その論文を通してからは、研究中に起こった思いがけないことや不思議なことを垣間見ることはできない。しかしながら、「化学」という学問の少し深い(大学の理学部の講義レベルの)世界を見た(あるいは経験した)人であれば、日々の高等学校化学の授業においても、その背景には「化学」という学問の幅広く深い世界が広がっているということ、少し匂わせながら化学の授業を展開することは可能である。そのような意味においても、専門科学者による scholarly knowledge の知的生産プロセスとその転置メカニズムは、理科教師が教材研究を行う上で重要な位置付けとなってくるであろう。

引用・参考文献

- Bosch, M. and Gascón, J. (2006) . Twenty-five years of the didactic transposition. *ICMI Bulletin*, 58, 51-63.
- F.A.コットン, G.ウィルキンソン, P.L.ガウス 共著, 中原勝儼訳(1998). 『基礎無機化学 [原書第3版]』, 培風館.
- Harwood, P. (2008) . *A2 Chemistry for AQA*. London: Harper Collins Publishers.
- Hill, G. (2011) . *CHEMISTRY IN CONTEXT 6th Edition*. Cheltenham: Nelson Thornes.
- 磯崎哲夫編著(2014). 『教師教育講座第15巻 中等理科教育』, 協同出版.
- JOHN McMURRY 著, 児玉三明ほか訳(1998). 『マクマリー有機化学(上)第4版』, 東京化学同人.
- JOHN McMURRY 著, 児玉三明ほか訳(1998). 『マクマリー有機化学(中)第4版』, 東京化学同人.
- JOHN McMURRY 著, 児玉三明ほか訳(1998).

- 『マクマリー有機化学(下)第4版』, 東京化学同人.
- 文部科学省(2009). 『高等学校学習指導要領 解説理科編理数編』, 実教出版株式会社.
- 野添生, 磯崎哲夫(2012). 'Socio-scientific issues' を取り入れた高等学校化学における授業実践研究—「バナジウムの酸化状態と色に関する実験」の教材開発を事例として—, 科学教育研究, 36(2), 227-240.
- Teramoto, Y., Kubo, K. and Mizuta, T. (2011) . PhP - PPh group bound to 1,8-positions of naphthalene: Preparation of cis isomer and synthesis of binuclear complex, *Journal of Organometallic Chemistry*, 696, 3402-3407.
- Wellington, J. (2006) . *SECONDARY EDUCATION: The Key Concepts*. Oxfordshire: Routledge.

著者

- 野添 生 広島大学大学院教育学研究科博士
課程後期, 宮崎大学教育文化学部
水田 勉 広島大学大学院理学研究科
磯崎 哲夫 広島大学大学院教育学研究科