

# 「無機化学演習」における授業改善の取り組み

■ 松本 健司 (高知大学理工学部)

キーワード: 無機化学演習、小テスト、アクティブラーニング、予復習

## 1. はじめに

本稿は筆者が高知大学に赴任した平成22年度から授業担当をしている「無機化学演習」について、平成22年度から平成30年度までの授業改善の取り組みとその成果をまとめたものである。

まず、筆者が担当している「無機化学演習」がどのような授業であるかを説明する。「無機化学演習」は、理学部理学科化学コースならびに応用理学科応用化学コースの主専攻用プライマリ科目であり、3年次から履修可能となる選択必修科目(4つの演習から2科目選択)となっている。なお、着任時の平成22年度のみ、化学コースは「無機・分析化学演習」、応用化学コースは「応用無機・分析化学演習」という題目で分析化学演習と半々で開講され、平成23年度より「無機化学演習」として単独開講している。

主な受講生は前述の通り、理学科化学コースならびに応用理学科応用化学コースであるが、本授業は応用理学科海洋生命・分子工学コースの副専攻用アドバンス科目にもなっているため、同コースの学生もごく少数ではあるが受講したことがある。化学・応用化学コースの学生にとっては3年次第1学期に開講される

選択必修科目ということもあり、例年、再履修生を含めて60名程度の学生が「無機化学演習」を受講する(図1)。成績評価は毎授業ごとの課題(小テストやレポート)が30%、期末試験が70%となっている。

次に、本授業で取り扱う無機化学という分野と授業の目的について説明する。無機化学はその字面からすると、金属や鉱物、セラミックスなどのいわゆる無機固体に関する化学を取り扱うイメージを受ける。しかしながら、実際の範囲はかなり広く、そうした無機固体の化学に加え、原子の性質や原子構造、原子間の結合や分子構造、対称性、エネルギー、反応(酸塩基や酸化還元)、金属-有機物複合体(配位化合物や有機金属化合物)など、化学の基礎から応用まで多岐に渡る。このため、「無機化学演習」の位置付けは、1~3年次にかけて開講される無機化学系の講義である「基礎無機化学」、「無機化学I」、「錯体化学」(前者2科目は化

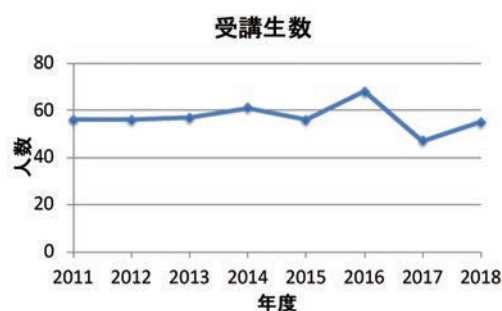


図1. 受講生数の推移

学・応用化学コース選択必修科目、「錯体化学」は選択科目)で学習した内容を、演習問題の解答を通じて、しっかりと修得させることを目的としている。

## 2. 授業改善の変遷

では、具体的にどのような形で授業改善に取り組んできたかについて、年度を追って説明したいと思う。

### 【平成22、23年度】

担当1年目である平成22年度および2年目の平成23年度は、前任者から渡された演習問題を用いて授業を行った。授業の流れは、次のようなものである。

- ・演習問題(1授業あたり10題で12, 3回分)を事前に学生に配布し、毎授業5, 6名の学生(前週に事前指定)に黒板に解答させ、それを元に解答解説を行う。

- ・残りの問題のうち2題はレポート用問題とし、授業の冒頭で回収(レポート提出を以て出席とする)。

まず、担当1年目である平成22年度は、化学コースと応用化学コースとでコース別に授業を行う必要があり、また、分析化学演習と半々で行っていたため、演習問題の半分しか実施できないという問題点があった。ただ、この点に関しては、2年目より「無機化学演習」として単独開講となったため解消された。

また、配布する解答例は学生があとで復習できるように図や数式などを交えて、できるだけ分かりやすくなるようなものを作成した(図2)。

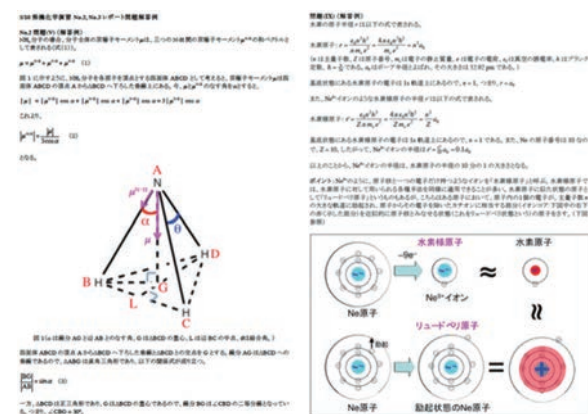


図2. 配布解答例1

次に2年間同じスタイルで授業を行って見えてきた問題点を以下に示す。

(1) 3面(前・後・横)に黒板がある共通講義室2の黒板を全て用いていたため、後ろや横の黒板を用いた説明が見つづらい。

(2) 解答例の配布は授業で説明しなかった問題とレポート用問題のみ。結果、学生が解答した間違った答えをそのままノートに書き写したり、答えの訂正などで板書が汚くなり、正しい解答が分かりづらくなる。

(3) 復習は学生まかせ。

(4) 中間テスト(平成23年度のみ実施)で不合格確定者が続出。

問題点(1)に関しては、演習ということもあり、教室内の黒板が多い利点を活かして、できるだけ多くの学生に解答を板書してもらっていた。しかしながら、解答解説する際には、後ろや横の黒板に書かれている解答に基づいて説明するため、学生にとっては後ろ向きや横向きで説明を聞く必要があり、自分が想像した以上に学生にとっては聞きづらいようであった。

また、解答解説において、学生が板書した解答に対してこちらで追加修正していくため、解答そのものが見づらくなり、問題点(2)のように解答の正誤にかかわらず、学生が解答したままの解答をノートに書き写すだけで精一杯になってしまったり、解答解説を聞いても内容が理解できなかったり、復習する意欲が損なわれてしまったと思われる。そうした結果、授業の目的である「無機化学に関する知識をしっかりと修得させる」ことに繋がらず、中間試験での不本意な成績をもたらしたものと考えられる。

そこで、平成24、25年度では、上記問題点を改善すべく、以下のような授業の流れに変更した。

### 【平成24、25年度】

- ・演習問題(1授業あたり8題で14回分)を事前に学

生に配布し、そのうちの3、4題程度について授業中に解答および解説を行う。解説しなかった問題は解答例を配布。

・隔週で授業の冒頭に10分間の復習小テスト（図3）を行い、小テストのない週は解答解説しなかった演習問題の中から1題選び、レポート課題として提出。

平成23年度 無機化学演習小テスト(10分)

平成25年度 無機化学演習小テスト(10分)

問題1 次のLewisの殻-電子の考え方について書かれた文章中の適切な用語を入れよ。

問題2 次のLewisの殻-電子の考え方について書かれた文章中の適切な用語を入れよ。

(1) 4電子のsとp  
 基底状態  $s = 2 \times 1.0 (1s) + 8 \times 1.0 (2s, 2p) + 16 \times 0.85 (3s, 3p, 3d) + 1 \times 0.35 (4s) = 23.95$   
 (有効核電荷  $Z_{eff} = 23 - 23.95 = -4.05$ )  
 4s軌道のエネルギー準位  $E_{4s} = \frac{(23 - 23.95)^2}{4^2} \times 13.6 \text{ eV} = -13.94 \text{ eV}$

(2) 4電子のsとp  
 基底状態  $s = 2 \times 1.0 (1s) + 8 \times 1.0 (2s, 2p) + 8 \times 1.0 (3s, 3p) + 7 \times 0.35 (4s) = 20.45$   
 (有効核電荷  $Z_{eff} = 23 - 20.45 = 2.55$ )  
 4s軌道のエネルギー準位  $E_{4s} = \frac{(23 - 20.45)^2}{4^2} \times 13.6 \text{ eV} = -86.137 = -86.14 \text{ eV}$

配位子	acac	bpy	gly
日本語名	アセチルアセトナト	ビピリジン	グリシナト
構造図			
オキソ配イオン	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{S}_2\text{O}_8^{2-}$	$\text{H}_2\text{PO}_4^-$
日本語名	硫酸イオン	過硫酸イオン	ヒドロゲンリン酸イオン
構造図			

図3. 小テスト問題と解答例

改善点としては、まず、平成23年度に実施した授業アンケートから、「授業の進捗・量」の項目において、「速すぎる・多い」という傾向があったことから、1授業あたりの演習問題の数を減らしたうえ、内容・構成を見直した。また、解答および解説は教員側で行うようにするとともに、共通講義室2から共通講義室4へ教室変更し、前方の黒板のみを利用することで、解答解説を集中して聴ける環境を整えた。さらに、復習する機会を設けるため、隔週で復習小テストを実施したり、未解説問題の解答をレポートとして提出するようになった。

この結果、平成23年度では平均51.2点であった期末試験の成績が、平成24年度では平均53.2点、25年度では平均56.6点と徐々に上昇し、その効果が確認できた。しかしながら、平均点は60点未満であり、多くの受講生が不可となっていることを考慮すると、より一層の改善が必要であった。また、以下のような新たな問題点も浮かび上がってきた。

(1) 学生による板書解答をなくしたため、予習がやや不十分に。

(2) 小テストの実施や返却に時間を取られ、解答解説が不十分に。

(3) 復習を促すために小テストを導入したものの、成績悪く、効果薄い。

こうした問題点のうち、まずは授業を通じて、しっかりと知識を身につけてもらうことを重要視し、平成26~28年度では、下記のような方法で授業を行った。

【平成26~28年度】

・演習問題（1授業あたり8題で12回分）を事前に学生に配布し、そのうちの2、3題程度について授業中に解答および解説を行う。解説しなかった問題は解答例を配布。

・隔週で授業の冒頭に復習小テスト（10分間）を行い、小テストのない週は解答解説しなかった演習問題の中から1題選び、レポート課題として提出。（平成24、25年度と同様）

・8回目と15回目の講義回を、それぞれ前半および後半内容の復習の時間とした。

平成26~28年度における取り組みのポイントとしては、まず、演習で取り扱う問題をさらに厳選し、数を減らしたうえ、その中でも基本的かつ重要な問題のみを解説するように留めた。これにより、一つの問題に対して十分な解説のための時間を取ることができるようになった。また、授業の前半（8回目）と後半（15回目）に、それまでの授業の復習や質問をできる機会を設けた。また、解答例についても積極的に改善を行った（図4）。

こうした効果もあってか、期末試験の平均点は平成26年度では67.4点と大きく伸び、平成27年度は59.2点



と落ち込んだものの、平成28年度では74.4点と多くの学生が良好な成績を取めるまでに改善された。しかしながら、年度によってばらつきがあり、その時の学生の質に依存している可能性も否定できない。また、予習の有無を教員が把握する手段がないことや、小テストの成績が振るわないという問題点も引き続きあった。

**問題(V) 補足**  
 $\text{PH}_3$ と $\text{PF}_3$ の場合は、 $\text{PH}_3 < \text{PF}_3$ となる。(結合角は $\text{PH}_3$ が $93.2^\circ$ 、 $\text{PF}_3$ が $97.7^\circ$ )  
 (理由)  
 Pの空のd軌道とFの充填されたp軌道が相互作用することによりP-F結合が二重結合性を持ち、結合電子対の電子密度が大きくなることにより、結合電子対間の反発が大きくなるため。

**問題(V) 補足**  
 $\text{PH}_3$ と $\text{PF}_3$ の場合は、 $\text{PH}_3 < \text{PF}_3$ となる。(結合角は $\text{PH}_3$ が $93.2^\circ$ 、 $\text{PF}_3$ が $97.7^\circ$ )  
 (理由)  
 Pの空のd軌道とFの充填されたp軌道が相互作用することによりP-F結合が二重結合性を持ち、結合電子対の電子密度が大きくなることにより、結合電子対間の反発が大きくなるため。  
 $\text{OCl}_2$ の結合角( $110.5^\circ$ )が $\text{H}_2\text{O}$ の結合角( $104.45^\circ$ )よりも大きい理由  
 VSEPRの考え方からすると、 $\text{OCl}_2$ の結合角はClの比較的大きい電気陰性度のため、本来 $\text{H}_2\text{O}$ よりも結合角が小さくなるはずであるが、そうならないのは、四面体形の配置に対してCl原子が大きく、立体的な反発によりこれ以上結合角を小さくすることができないためである。  
 (一方、平面三角形型分子である $\text{H}_2\text{C}=\text{O}$ 、 $\text{Cl}_2\text{C}=\text{O}$ 、 $\text{F}_2\text{C}=\text{O}$ では、VSEPR則通りとなる。  
 $\text{H}_2\text{C}=\text{O}$ ( $116.5^\circ$ ) >  $\text{Cl}_2\text{C}=\text{O}$ ( $111.8^\circ$ ) >  $\text{F}_2\text{C}=\text{O}$ ( $107.7^\circ$ )

図4. 配布解答例2  
 (上：平成26年度、下：平成27年度)

こうした結果を踏まえて、履修者の平均的な学力を維持しつつ、問題点の解決を図るため、平成29、30年度では、授業のスタイルはこれまでを踏襲しつつ、予復習やアクティブラーニング的な要素を取り入れることにした。

【平成29、30年度】

- ・演習問題（1授業あたり8題で12回分）を事前に学生に配布し、そのうちの2、3題程度について授業中に解答および解説を行う。解説しなかった問題は解答例を配布。(平成26～28年度と同様)

- ・毎週授業の冒頭に予復習小テスト（10分間）を実施。

- ・8回目と15回目の講義回を、それぞれ前半および後半内容の復習および発展問題（大学院入試レベル）の解答時間とした。

これまで原則、授業で説明を行う演習問題については予習していることを前提に授業を行ってきた。しかしながら、これは学生任せであり、実際、どの程度の学生が予習をしているか不明であった。そこで、平成29年度からは、これまで隔週で行っていた小テストを

毎回行うこととし、その内容も前回の復習だけでなく、当日行う授業内容を含むものに変更した。これにより、受講生は毎回、前回の授業に関する復習と授業当日の演習問題についての予習をする動機付けになったと思われる。また、教員側としても予習部分や復習部分の成績を見ることで、受講生の修得レベルをある程度把握できるようになり、授業ごとに受講生の修得レベルに合わせた柔軟な指導が可能となった。

次に、これまで8回目と15回目の講義回にそれまでの内容の復習の機会を設けていたが、これを単に復習させるのではなく、これまでの習ってきた内容を踏まえた院試レベルの発展的問題（図5）を解答させる形に変更した。さらに、各個人で解答を行って、「分からない」で終わることがないように、「解答を導き出す」ことを目的として、初めの10分間は自力で解答を行ってもらい、その後、「他の人との相談OK、教科書でもネットでも何を見てもOK」というアクティブラーニング形式で解答をしてもらった。

図5. 発展的問題と解答例

興味深いことに、初めの10分以降は「他の人との相談OK、何を見てもOK」という条件であったが、その後も自力で解答を続ける学生が比較的多かった。ただ、ある程度時間が経過し、自力では解答ができないことが分かると、教科書やネットで調べるところを始め、最終的には学生同士で話し合いながら、解答に取り組んでいた。これは出題した問題が調べれば解答があるものもあれば、自分で考えなければ解けない問題も

あったためであると思われる。このため、当初はほぼ全員が満点を取れるものと考えていたが、意外にも平均60~75点程度に留まった。いずれにしても、受講生にとっては、自分の修得レベルを改めて認識できたとともに、現時点の修得レベルでは即答できなくとも、これまでの学習内容を利用することで、難度の高い問題であっても時間をかければ解答することができるということを体験できたものと思われる。

### 3. 授業改善の効果

授業を単独で担当し始めた平成23年度（2011年度）から平成30年度（2018年度）までの期末試験、小テスト、レポート課題の成績の推移を図6に示す。

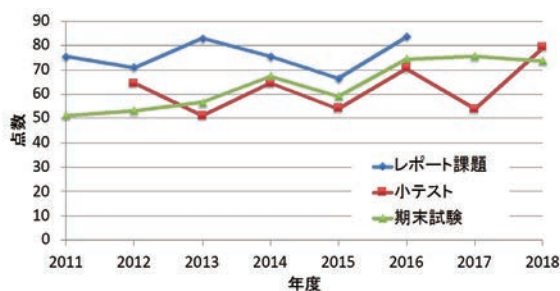


図6. 成績の推移

レポート課題は授業当日の演習問題の1つであり、平成28年度（2016年度）まで実施していたが、解答提出までに少なくとも1週間の時間があることから、平均的な成績はかなり良好であった。一方、小テストの平均点は年度ごとにばらつきはあるものの、徐々に向上傾向にあることがグラフから伺える。それに応じるように、期末試験の成績も平成23年度（2011年度）は平均51点だったものが、平成28年度には74点まで向上し、それ以降も70点台をキープできている。このことは、これまでの授業改善の効果が現れていることを示すものである。

また、このことは授業アンケートの結果からも裏付

けられている（図7）。平成23年度と平成30年度の結果を比較すると、全体的に評価が向上していた。特に、設問4「進度・量」が「速すぎる、多い」（平均3.7点）から「適当」（3.3点）になり、学生の負担が軽減されていることが見て取れる。また、設問9、10、11（「学生予復習」、「学生興味関心」、「学生知識能力」）が4点台になり、設問12「学生満足度」も4.1から4.5へ増加しており、受講生にとって現時点の「無機化学演習」という授業が、満足できる内容であることが分かる。このことから、現在の授業の進め方（予復習小テストや詳細な解答例、発展的問題解答など）が評価されていることが示唆される。



図7. 授業アンケート結果

### 4. さいごに

本稿では筆者が担当している「無機化学演習」におけるこれまでの授業改善の取り組みとその効果について述べた。筆者としては、担当開始から10年近くを経て、「授業を通じて無機化学の知識をしっかりと修得させる」という目的に漸く近づけたのではないかと考えている。しかしながら、毎年、授業を終えるたびに、説明の仕方や内容、授業の流れなど、まだまだ改善の余地はあるように思われる。演習問題の解答とは異なり、指導の仕方には正しい解答というものは無いと思うが、筆者の取り組みが他の先生方の授業改善の参考になれば幸いである。