

「化学プロジェクト」のモデル授業

小笠原 正明 (大学教育センター)

A Report on the Model Course for Project “Chemistry”

Masaaki Ogasawara (Center for Higher Educational Development)

The purpose of this project is to develop a model course of chemistry for freshmen in Tokyo University of Agriculture and Technology. We organized a research group in the Center for Higher Educational Development and carried out the project via the following steps: (1) listed keywords for each class of the course representing the content, (2) selected suitable quizzes and exercises, and (3) introduced teaching assistants and ICT to the class. The plan is practiced in the 1st semester and the 2nd semester in the 2007 fiscal year for the undergraduate students of the Faculty of Agriculture. This report summarizes the results obtained in the course of the 1st semester. It is concluded that by the aid of teaching assistants and ICT, the size of the course could be as large as 150-170 without losing the quality of learning.

[キーワード：基礎化学、基礎教育、アクティブラーニング、ティーチングアシスタント、初年次教育、ICT、演習実験、グループ討論、成績評価法]

0 はじめに：「化学プロジェクト」とは

「化学プロジェクト」とは、大学初年次における新しい化学の授業の開発を目的として、東京農工大学大学教育センターの教育プログラム部門が2006年9月から開始した研究プロジェクトの名称である。

教育プログラム部門のミッションは全学的視野に立ったカリキュラムの立案と支援を行うことである。具体的には(1)新しい教養教育のプログラムを開発すること、(2)学士課程前半における物理学、化学、生物学などの基礎的教育を改善することなどが期待されている。この設置目的に基づいて、2006年度に農学部および工学部で化学、物理、生物の各分野を担当する教員からなる研究グループが組織され、大学初年次におけるカリキュラムと授業のあり方について議論が行われた。特に化学分野については重点的な学習項目などをリストアップし、速報の形で昨年度の本ジャーナルに報告した(小笠原 2007a)。

2007年度においては、試行的に農学部で教養科目の「化学」を開設し、新しい学習方略に基づいた授業を実施した。その特徴は、ティーチングアシスタント(TA)による支援を前提とした演習実験、演習、クイズ、討論などの導入、および記述式の試験による達成度評価などである。本報告ではそのモデル授業の概要を紹介した上で、問題点を分析し形式的な自己評価を試みたい。

1 問題の背景

学士課程の教育は、基礎から専門へと向かう積

み上げ式のカリキュラムから成っている。専門性の高いレベルでは専門分化の結果としてクラスサイズは小さくなるが、基礎的なレベルでは内容において共通する部分が多いため、結果としてクラスサイズは大きくなる。この関係を図式化して図1に示した。この図におけるレベル1及びレベル2の教育において、次の2つの問題が存在する。

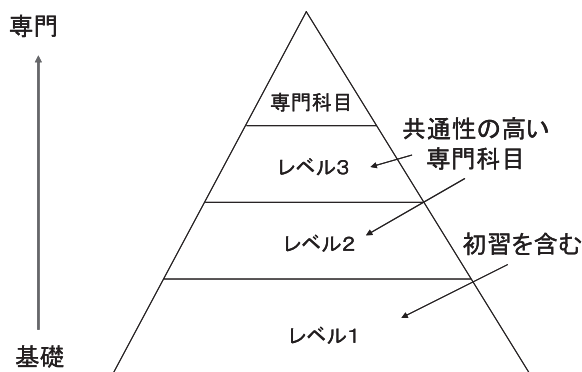


図1 学士課程におけるカリキュラムのレベルとクラスサイズの関係

1つは教員の教育負担の問題である。国立大学法人には少人数教育の伝統があり、レベル1やレベル2の教育においてもクラスサイズの大きい、いわゆるマンモス授業を避ける傾向があるが、大衆化段階を迎えて大学入学者の学力分布が広くなり、履修歴も多様化してこれをさらにレベル別にせざるを得ない状況になっている。しかし近年の競争的環境のもとでアカデミックスタッフは時間的にぎりぎりの生活をしており、これ以上の教育負担には耐えられそうもない。このレベルの教育を組織化して効果と効率を飛躍的に上げることが問題解決の鍵である。

もう1つは国際的なトレンドとして、高等教育においても教育方略の転換を迫られていること

である。教師中心から学生中心へ、知識中心型から問題解決型へ、専門分化型から統合型へ、教え込み型から双方向型への転換は必然的であり、わが国においてもこの転換が進んでいる(細川・小野寺彰 2007, 鈴木久男ら 2006)。しかしこのような教育は、少なくとも過渡的に膨大な時間とエネルギーを必要とするので、組織的な教育支援なしには進めることは難しい。

高等教育における教育支援の日米比較については、小笠原による詳細な調査と分析の結果が報告されている(小笠原 2004, 2007b, c)。例えば北海道大学(以下「北大」と略)とカリフォルニア大学バークレー校(以下「バークレー」と略)のレベル1の化学の授業を比較すると、年間のべ履修者約5000人に対して、北海道大学は常勤・非常勤合わせて40人の教員が投入されているのに対して、バークレーではわずか2名の常勤のアカデミックスタッフが担当しているにすぎない。それとは対照的に、バークレーでは実験指導も含めて90名のTAと、常勤・非常勤合わせて66名の非アカデミックスタッフが教育支援にあっているのに対し、北大では実験指導に30名のTA、実験準備・事務などに非常勤職員4名が配置されているにすぎない(小笠原 2007c)。

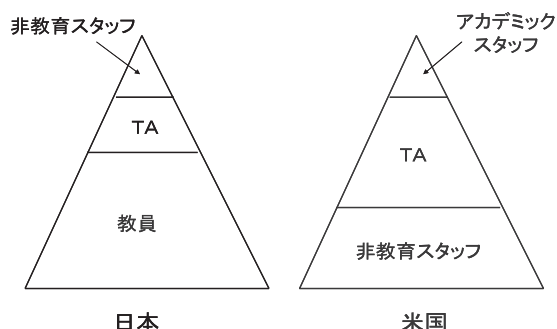


図2 大学における教育支援システムの日米比較

北大は国立大学法人の総合大学であり、バークレーは大規模な州立大学であることから、それぞれ日米の総合大学の典型とみなして良い。この前提で教育支援の仕組みを図式化してみると、日米でピラミッド構造が逆転した形になっていることがわかる。

日本のシステムは同一レベルの同一科目を多数の教員に分割して自己完結的に運営させていることから「私塾モデル」、米国のシステムはアカデミックスタッフを頂点に教育内容を要素化して多数のTAや教育支援スタッフに分担させて組織化することから「エンタープライズモデル」と呼ぶことができる。それぞれ一長一短があるが、上に述べた学習方略の転換を行うためにはエンタープライズモデルかそれに近いものに転換せざるを得ない。「化学プロジェクト」はこのことを意識して、授業の試行を行った。

2 モデル授業の企画

このモデル授業の第1の目的は、図1におけるレベル1の化学の授業内容、方法、評価法を明らかにすることである。第2はサイズの比較的大きなクラスにTAおよびICTなどの教育支援を投入することにより、教育の効果を高めることができるかどうかを確かめることである。これによって、個人から組織へという「教育の組織化」の可能性をさぐり、あわせて授業のノウハウの蓄積と共有化を目指した。

本プロジェクトは当面化学分野に限られているが、展望としては広く自然科学系の基礎分野に適用可能なモデルとなることを期待している。ただし農学部や工学部における化学系学科の直接の基礎となる科目に関係することは考えていない。このような「専門基礎科目」の具体的な内容は、各学科の伝統や都合に合わせて設計されるべきで、実際にそのように行われている。本プロジェクトは、化学以外の専門分野、例えば農学部の生物生産系や工学部の機械系など、化学を直接の基礎としない理系分野における化学関係の授業の改善を念頭に置いている。

このプロジェクトでは、農学部の協力により正規の教養科目「化学」の授業の一つをモデル化することにした。生物生産学部および獣医学部の1年生を対象としたもので、クラスのサイズは約100人であった。講義は報告者が担当し、教育プログラム部門の吉永契一郎准教授が支援にまわった。大学院農学研究科の修士課程1年の浅沼正太郎君と柏村翔君を「試験的なTA」に採用し、このプロジェクトに参加してもらった。

農学部の教育課程は教養科目、基礎・専門教養科目及び専門科目の3つの「別表」から成り立っている。教養科目を示す別表(1)では、「化学」は分野別科目として数学、物理学、生物学、地学と並んで開講されており、すべての学科の学生がこの中から2科目4単位を選択するようになっていた。つまり「化学」は選択必修科目である。専門・教養科目を示す別表(2)で化学は「基礎科学」の区分の一つであり、「無機化学」「物理化学A」「物理化学B」「有機化学」「化学実験」の5授業科目からなる。「化学実験」を除いていずれも半期2単位の科目である。生物生産学科はこの中で「有機化学」と「化学実験」が必修に、獣医学科は「有機化学」が選択必修に指定されている。学科専門科目を示す別表(3)では、生物生産学科では選択科目として「生化学」「分析化学」が開講されているが、獣医学部では明示的な化学の科目が存在しない。

以上をまとめると、次のようなフローチャートになる。なお括弧書きがないものはすべて選択必修である。

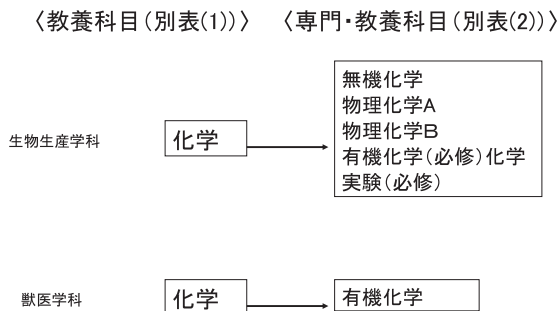


図3 農学部生物生産学科と獣医学科における化学分野のカリキュラムのフローチャート

このフローチャートから判断する限り、生産生物学科では別表(2)で物理化学や有機化学等への専門分化がはかられているので、別表(1)の「化学」は旧教養課程の一般化学あるいは入門化学に相当すると推定される。一方、獣医学科では別表(2)で有機化学のみが開講されているので、別表(1)の「化学」は物理化学に力点を置いた一般化学と見なされる。つまりこの科目は学科により「入門化学」、「一般化学」、あるいは「物理化学に力点を置いた一般化学」の3つの側面を持っていることがわかる。

授業の最初の日に行ったアンケート調査によれば、受講者の高校における理科の履修歴は図4-1-3に示す通りである。化学Iは100%履修しており、化学IIも83%履修している。選択あるいは必修選択の場合、学生は高校で履修経験の無い科目を大学では選択しないという経験則がこの場合にもあてはまる。従ってこの授業は実効的には入門化学ではあり得ず、論理的に高等学校レベルの化学の知識を前提にした物理化学に重点を置いた「大学の一般化学」と位置づけられる。

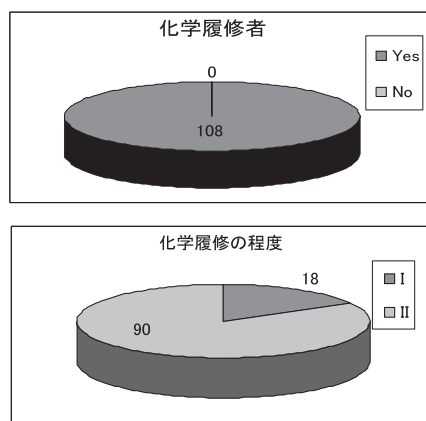


図4-1 受講者の高校における化学の履修歴

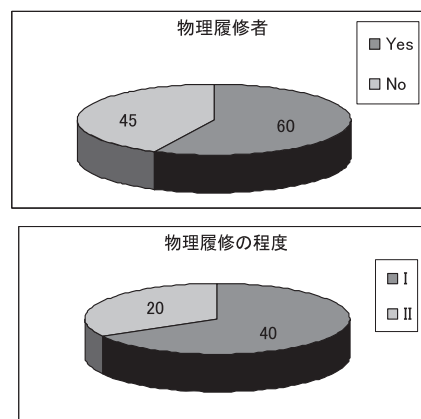


図4-2 受講者の高校における物理学の履修歴

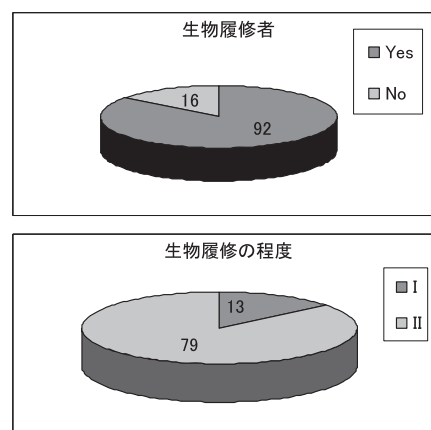


図4-3 受講者の高校における生物学の履修歴

2006年度の「化学プロジェクト」の議論では、高校で化学を履修してきた学生に対しては、物質の状態と変化を学ぶ科目(化学1)と物質の構造を学ぶ科目(化学2)の2つの異なる化学を履修させるべきだという結論が得られている。しかしこの方針を採用しようとするれば上の2つの学科のフローチャート上で矛盾が生じる。生産生物学科ではこのような専門分化は別表(2)の基礎・専門教養科目のレベルでなされることになっているのに対し、獣医学部では教養科目の「化学」だけで化学1および化学2をカバーせざるを得ない。

そこで担当者の判断により、カリキュラム上の欠落を防ぐ意味で、やや無理を承知の上で、以下の4つの概念の理解に力点を置いた授業を計画した。

- 1) 分子の集合体としての水の性質
- 2) 原子の価数と周期性
- 3) 分子の構造はどのようにして決まるか?
- 4) 反応はなぜ進むか?
- 5) 化学物質としての遺伝子

1) はイントロダクションで、身近な存在である水の化学から次第に原子・分子の世界に導くことをねらったものである。2) と3) は原子・分子の構造にかかわるもので、上の化学2に相当する。4) は化学1の主要な部分で、5) は農学部

の授業であることを意識した応用的な部分である。シラバスは途中で受講生の理解を得ながら何度か変更したが、末尾に付した資料1にその最終版を示した。資料2に後期において地域生態システム学科の学生を対象に開講した授業のシラバスを示した。

授業の特徴として、演示実験、クイズ、コメント、グループ討論を積極的に導入するとともに、科学分野における表現力すなわち「科学コミュニケーション」スキルの向上を目指した。この科目が教養の化学であることを意識したものである。

化学はモノにかかわる学問であり、実際に目に見えるモノも多くあるので、授業ではなるべく実物を見せ目に見える変化を観察させるようにした。

毎回の授業で小さな演習問題を「クイズ」と称して与え、終わりの10～15分程度の時間を利用してその解答を記述式で書かせた。後期の授業ではリモコン式学生応答システム「クリッカー」が使えるようになったので、文字通りクイズ形式で問題を解かせた。

グループ討論は教室が階段教室であったため物理的に難しかったが、ブロックごとに学生を集める方法で2回行った。グループ討論のテーマの例を資料4に示した。

「自分自身で考え、その結果を自分の言葉で語ることができるようになって欲しい」とシラバスに明記し、その成果を評価することを強調して伝えた。事前に示した成績評価の方法は以下の通りである。

- 1) 5つの章について区切りごとに記述式の試験を行う。自分の言葉で必要な概念に基づいてきちんと文章が書けるように準備すること。(50%)
- 2) 出欠の点検を兼ねて毎回のクイズの用紙を回収し点検する。(20%)
- 3) 最終試験は最後の授業の残り30分を使って行う。(30%)

この中で1)は文章による表現力を高める工夫である。進捗の関係ですべてのセクションで実施することはできなかったが、最終試験を含めて全部で3回の記述式試験を行った。2)は授業へのフィードバックを行うための工夫で、学生がどの問題で行き詰まっているかを知るのに役だった

3 モデル授業の実施と学生の反応

実際の授業は週1回90分の授業を講義と演習の2つに分割した。演示実験を含めた講義は60分から75分で終わり、残りの15分から30分を演習または中間・最終試験にあてた。典型的な授業の様子を写真1～3に、そのシナリオの例を資料3に示した。

このシナリオでは、まず前回の演習問題として

出されたエントロピー計算について補足的な説明を行った後、「なぜ、元素には周期性があるか?」というテーマに沿って、星間物質の話から光とエネルギー、水素のボーア模型、電子の波動説などに移った。板書による普通の授業に合わせて液晶プロジェクターを用いて発光スペクトルやギターの共鳴板の振動の図を示した。さらに授業開始から約30分後に各自の手のひらを蛍光灯にかざして指の隙間に生じる干渉縞を観測させ、2人のTAによるロープの定在波のデモンストレーションを行った。なお、毎回A41枚のハンドアウト(配布資料)を配った。

この日は最初の中間試験の日にあっていたので、授業開始50分後には全員退席させ、座席を再指定して試験を行った。座席の指定は主として試験における不正行為の機会を防ぐためと説明したが、実際は受講生の名前と顔をできるだけ一致させる目的もあった。



写真1 モデル実験に使用した定員200名の階段教室における授業風景



写真2 浸透圧の演示実験を行うTA。手前の携帯用のビデオカメラで撮影し、スクリーンに投影する



写真3 分子軌道の野菜モデルをTAがビデオカメラで撮影し、担当者がスクリーンで説明する

このモデル授業で、TAは重要な役割を果たした。その仕事の内容は以下のようにまとめられる。

- 1) 授業の準備：演示実験の準備，機器のセットアップ，室内環境の準備，資料の準備。写真3のスクリーン上にTAが作った教材の傑作である野菜で作った酸素分子の分子軌道モデルの一つが示されている。
- 2) 授業に関する意見交換：準備の過程で毎回時間を決めて授業内容の妥当性，学生の立場から見た印象などを議論してもらった。また演示実験のアイデアを出してもらった。
- 3) 授業のパフォーマンス：デモンストレーション実験等で実際に演じてもらった。
- 4) グループ討論の指導：グループ討論の間にグループ間を巡回して学生の相談相手になってもらった。学生はTAと年齢的に近く，話しやすそうだった。
- 5) 出席票の整理：毎回の出欠調査がわりのコメント用紙（A4判半分）を回収し，学生番号順に並べて出欠簿に記入してもらった。
- 6) 学生の相談相手：授業の前後，特に講義が終わったすぐ後に数人の学生が質問に来るが，後半においては受講生は進んでTAに相談するようになった。

学生が授業にどのように反応しているかを知るため，最後の公式の授業アンケートも含めて2回のアンケート調査を行った。第1回目の調査は授業開始から8回目の6月4日に行った。これまで行った演示実験のうち以下の6項目について，印象に残っているか否かを聞いた。

風船実験：糸で一点につないだ4個の風船の中心を結ぶと，正四面体（テトラヘドロン）になる。これを sp^3 混成軌道のモデルとした。風船を一個づつ破壊していくと sp^2 および sp 混成軌道のモデルへと変化して行く。

卵の白身の加熱実験：卵白を水に溶かすとほぼ透明であるが，加熱するとタンパク質の水素結合が破壊されて糸玉状になって白く沈殿する。

ハッブルのビデオ：ハッブルの望遠鏡で撮影した星雲や超新星爆発の映像を見せて，宇宙における原子の進化を説明。

定常波実験：ヒモの両端を2人のTAがにぎり上下にうまく振ると定常波ができる。その節と腹の位置を示す。2倍波，3倍波となるとヒモの動かし方も2の自乗，3の自乗と激しくなることがわかる。

干渉縞の観察：手の指をまっすぐ揃えて天井の蛍光灯を透かしてみると，指の隙間に干渉縞ができていることがわかる。

ミカンとトマト：ヒュッケル法で計算された酸素分子の分子軌道の形をレンコン，トマト，みかん，ナスなどの野菜を組み合わせて作った。結合性と反結合性の節面の違いが良くわかる。

図5に示すように，デモンストレーション実験は，意味の理解は別としてそれなりに記憶されている。特に定常波のように動きが伴うもの，ミカンとトマトなど新奇性のあるものが印象に残っている。一方，ハッブルのように完成度の高いビデオは余り記憶されていないことがうかがわれる。

この時点で講義の内容を流れとして理解できたかどうか質問した。図6に示すように前の章で示した5つのテーマのうち，水に関するものはそれなりに理解されているが，分子と原子については10～20%の受講者しかついてこれなかったことが分かった。第1回目のアンケートの時期は，大学の初年次化学でいつも問題になるシュレディンガー方程式を導入した直後であったので，ある程度は仕方がないと考えていたが，結局，この落差は最後まで埋まらなかったようである。

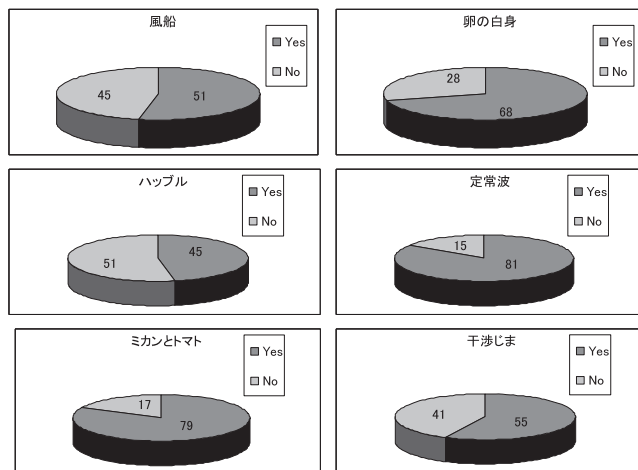


図5 演示実験の記憶：中間調査における次のような質問に対する回答「これまで以下のような演示実験やDVDの上映を行いました，それぞれ印象に残っているかどうかお答え下さい。」

このことに関して，授業終了後の公式の授業アンケート調査では「授業内容は良く理解できたか」という質問に対する評価は5段階評価の平均で2.1にすぎず，全学平均の3.51を大きく下回った。「教員との交流」や「教員の意欲」「適切な態度・言葉遣い」に対する評価が全学平均かそれをやや上回っていたにもかかわらず，「総合的評価」が2.63と全学平均の3.69を大きく下回ったのは，授業内容のむずかしさによると思われる。

授業内容の理解に関して特に問題なのは，高校レベルの物理の知識が無い受講生が多いことである。履修歴調査によれば受講生の約40%もが高校で物理を学んで来ていない。アンケート調査の自由記述欄にも「物理化学の内容について行けなかった」「高校のとき物理を勉強していないと理解しにくいと思う」「物理を取っていなかった為なのか難しかった」というコメントが多かった。担当者としてはずいぶん丁寧に説明したつもり

だが、「いきなり難しい言葉を使ったりしないでほしい」「意味がわからない」などのコメントがあった。高校レベルの物理学で学ぶはずの速度、加速度、エネルギー、位置のエネルギー、運動エネルギーなどの概念になじみがなければ、原子や分子のエネルギー準位についてどんなに詳しく説明されても易しいと感じることはないだろう(注1)。

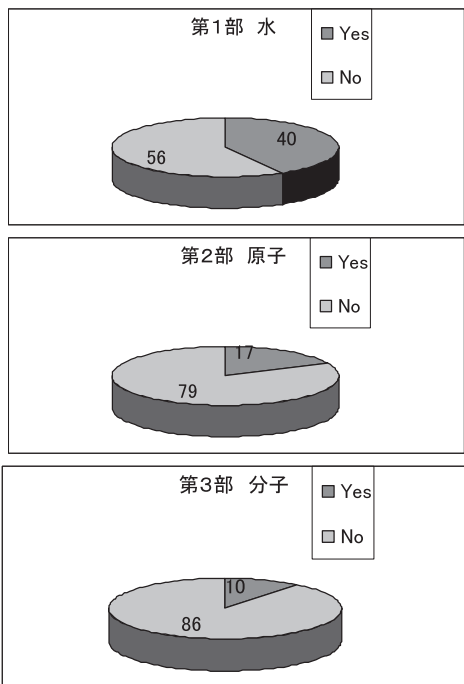


図6 中間調査における授業の流れの理解度：「これまで以下の3つの話題をとりあげました。それぞれの内容を流れとして把握できたかどうかお答え下さい」という質問に対する回答の集計結果：第1部「自然の驚異“水”」、第2部「原子になぜ価数があるか(元素の起源)」、第3部「分子の構造はどのようにして決まるか？」

なお、図7に示すように「演習は考えるきっかけになった」と答えた学生が多く、演習の有効性は中間点でも確認された。

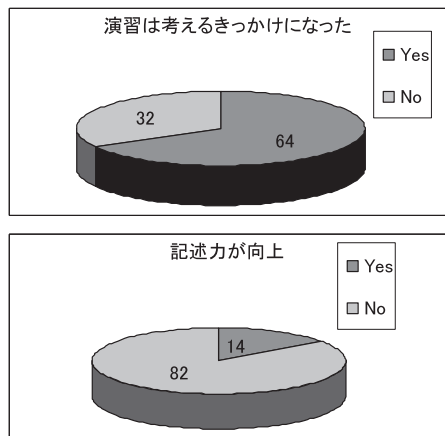


図7 中間アンケート調査における演習と記述式クイズに対する学生の反応

4 達成度評価

成績の評価は記述式で行うことを授業の最初に宣言し、実際に達成度も記述式テストで測定した。しかし大学入学前まで、学生の多くは記述式で化学の問題を扱う方法に慣れていない。化学とえばまず元素記号や化学量論式や化学式、あるいは化学反応式であり、これらの「化学言語」を用いて問題の解答を行うようにしつけられている。

開講直後の履修歴調査や授業の印象から、受講生は記号の学問としての高校の化学に熟達しており、その知識は豊富で正確であると推定された。しかし例えばメチルアルコールのような分子を化学式で表現することはできても、その性質がどのようなものか、マイクロ構造や反応性が何によって決められているか等の基本的な質問に対して、直ちに答えることができる受講生は少ない。このような言語的な方法でコミュニケーションを行うためには、受講生に対する一定の訓練が必要と考え、毎回、小さな質問を出して記述式で答えることを要求した。例えば次のような問題である。

- 水に関する以下の4つの疑問について今考えていることを書きなさい。
 - なぜ室温で液体か？
 - なぜ液体の方が密度が高いか？
 - なぜ気化するのにエネルギーが必要か？
- やかんの口から吹き出す蒸気は、なぜ出口から一定の距離で見えるようになるか、わかりやすい文章で説明しなさい。
- カルボニル基のCとOの周りの電子構造を(文章で)説明し、最終的に図で示しなさい。図だけの解答は解答とみなさない。
- アンモニアは三フッ化ホウ素と反応して配位化合物を作る。実験から反応物および生成物の骨格は以下のように求められている(図8)。各分子の分子軌道の変化を200~300字で説明しなさい。

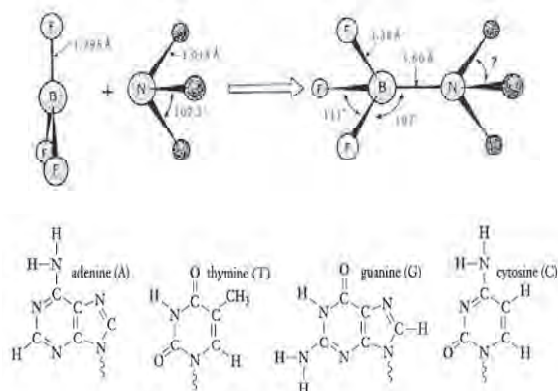


図8 クイズおよび最終試験で使った図。上はアンモニアと三フッ化ホウ素の反応における分子の骨格の変化を示しており、下はDNAを構成する4つの塩基の化学式を示している

受講生の多くはこのような記述式の問題に最初とまどいを見せるが、しだいに文章が書けるようになる。受講生を励ますため毎回全員の解答に目を通して朱を入れ、なるべく早く返すようにした。「分かっているようだが説明が不十分」とコメントするが多かった(注2)。最終試験で課した問題は次のようなものだった。

問題1：水素原子同士が出会えば水素分子ができる。この反応を例として、一般に「化学反応はどのような場合に起こるか」を説明しなさい。

問題2：現在ではDNAのグアニンとシトシンは強固な3本の水素結合で繋がっていることがわかっている(図8)。それぞれの水素結合にかかわる原子の電子構造を波動関数で説明しなさい。

ノートや資料を持ち込んでも良いことにしているが、試験時間がわずか30分しかないので、ゆっくり参照している時間はない。頭の中で理解していることを試験開始から終了まで書き続けるしかない。このような試験スタイルをとるのは、「口頭試問」で達成度を評価したいが、100人のクラスでは不可能なので紙に回答を書いてもらっているのだと説明した。大部分の受講生は4ヶ月間の訓練を経て30分でA41枚を埋め尽くす程度の文章は書けるようになる。

問題1の解答は、次のような基準によって評価した。

- A：ギブズの自由エネルギーの概念を理解している
- B：エントロピーに言及できる
- C：エンタルピーのみで説明しようとする
- D：書いただけ

問題2については次のような基準を設けた。

- A：混成軌道や孤立電子対について理解している
- B：孤立電子対までは分かる
- C：ルイス式、局所的な静電引力だけで説明しようとする
- D：書いただけ

その評価結果を図9と図10に示した。ただし、途中でリタイアした学生は集計に含めていない。両方の問題ともグレードAの学生は10%程度かそれ以下で、グレードBを含めても25%程度に過ぎない。最終的な評価は出席、中間試験、クイズの回答などを考慮して、S、A、B、C、Dのそれぞれのグレードに対して図11のように割り振った。このモデル授業の到達目標は、大学レベルの化

学として、1) 反応におけるギブズ自由エネルギー及び2) 原子・分子の構造の波動力学的理解に重点がおかれている。上のグレードAはそのレベルに到達した者であり、グレードBはそこまでは行かないが高校レベルを超えているクラスである。グレードCは内容においてはっきりと高校レベルを超えているとは言えないが、ルイス式や局所的な静電引力の考えで問題を言語的に問題を説明できるという点で進歩が認められる。グレードDは評価不能のレベルである。このレベルの受講者が自由エネルギーに関して32%、波動関数に関して51%も存在するのが、本モデル授業の根本的な問題である。

なお入学試験の偏差値において本学でもっとも高いと言われているV科のみを集計するとグレードAが大幅に増えている。特に波動関数の理解に関する到達度においてグレードAの割合が22%にも達していることが目についた。偏差値競争とはこのクラスの学生の奪い合いであることがうかがわれる。ただし、この科目を「棄てた」と思われるグレードDの受講者が、この学科にも少なからずいたことに注意すべきである。

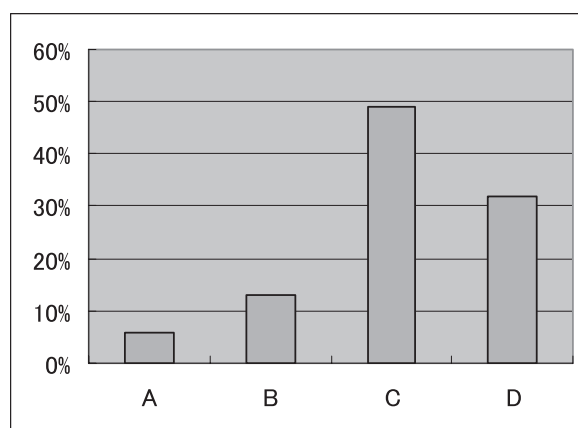


図9 最終試験の問題1で測定した達成度：自由エネルギーの理解の程度

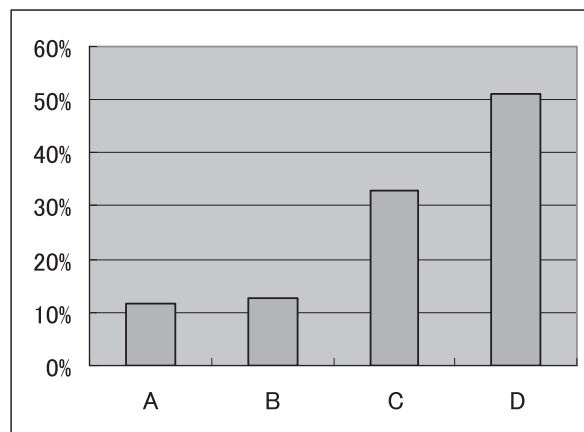


図10 最終試験における問題2で測定した達成度：波動関数の理解の程度

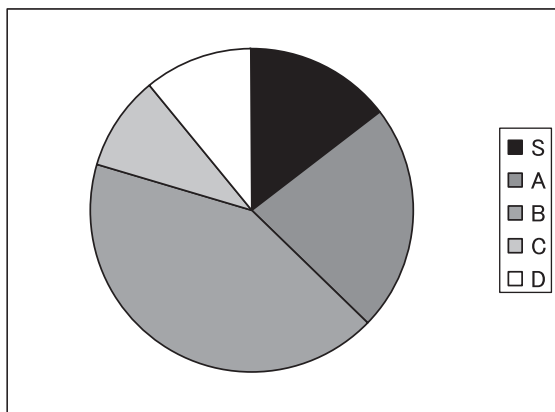


図 11 最終成績の分布 (Sは「スーパーA」のグレードを表す。以下、A, B, Cの順でグレードが高く、Dは不合格)

5 まとめと形成的評価

担当者としては 100 名もの受講者の相当数が、化学という記号と数字だけと誤解されている分野でかなり「書ける」ようになったことに満足している。グレードD以外の学生は、その後の教育が適切であれば、1年以内に設定された目標に到達できるだろう。また記述式の試験で精度良く受講生の到達度が把握できるというのも報告者にとって新しい発見である。ただしこれは報告者のオリジナルな方法ではなく、ケンブリッジ大学で伝統的に採用されている方法である。

しかし、担当者の満足と受講生の満足とは当然ながら同じでない。図 7 に示すように中間的な調査において「記述力が向上した」と考えた学生は少数派にすぎず、最終的調査でもこれはあまり変わらないだろう。公式のアンケート調査で「成績評価の方法は知っていた」という項目の平均評価は 3.33 で、全学の平均 3.84 よりかなり低かった。あれほど繰り返し評価の方法を伝えたにもかかわらず、この程度の認識である。恐らく学生にとっては化学の評価と文章を書くということの関係が理解できないのだろう。実際には、丸暗記した記号や式よりも、手書きの文章の方がはるかに精度良く学生の到達度を計測できるのだが。

評価の方法に限らずこの授業に「文化的違和感」を感じた学生は多く、自由記述欄には露骨にそれが反映されている。

「全体に不愉快」

「他の学科の化学と比べて内容がとても違う」

「教科書が難しく厚くて重い」

「はっきり言って高校・予備校教師の方が上」

この授業そのものは準備不足に加えて詰め込み過ぎで、全体にスムーズに進行したとは言えない。我ながら板書がまずい、話し方が下手など欠点も多かったが、以下のコメントに見られるようにこのモデル授業を「文化的に許容」した学生も少数ながらいたようである。

「毎回の質問が楽しかった」

「一年前学期で最高の授業でした」

「後半になるとどんどん分かりやすくなっていった。勉強の仕方、考え方が身についた」

「先生は頑張っていた」

「自分で勉強しないと全く理解できないレベルであること」

このモデル授業は始まったばかりで発展途上のものであるが、形成的な結論として以下の 5 点をあげることができる。

第 1 は、授業を適切に構成するためには、カリキュラムにおける「科目の位置づけ」がもっとも重要であること。この授業では大学の化学で重要な概念を 5 つも取り上げざるを得なかった。これは半期 2 単位で一般化学を終わらせなければならないというカリキュラム上の制約による。高校の繰り返しを避けた上で、バトンタッチされるべき科目が用意されていない V 学科のカリキュラムでは、こうするしか仕方がなかった。学生には気の毒な話である。また高校における物理未履修者への手当なしに、大学レベルの化学を履修させるのは無茶だと思う。大学の化学は、原子・分子の振る舞いを「荷電粒子の力学」で翻訳しなおすという側面があり、高校程度の力学の知識なしにマスターすることは不可能であろう。これはカリキュラムにおける重大な欠陥である。

第 2 は、授業時間数の絶対的な不足。大学の化学をまとまった形で学ぶためには今の 2 倍の時間が必要で、それが無理なら、せめて 90 分を週 2 回に分けて、1 回目で講義をし、2 回目で演習をしたい。

第 3 は、ICT 環境が劣悪で、豊富な教材を適切な形で受講生に示すことができなかったこと。マルチスクリーンは必須の条件で、演示実験の場合は 3 面のスクリーンが必要である。

第 4 は、TA が有効に機能したこと。本モデル授業に参加した 2 名の修士課程の学生は有能で、献身的だった。授業の内容についてよく勉強して、次々に新しいアイディアを出してくれた。授業に役立ったことはもちろんだが、本人の勉強のためにもなったと思う。この種類の授業は教員一人では運営できない。授業をいくつかの要素に分割し、それぞれについて適切な役割分担を行い、全体として一体化して運営しなければならない。今回はたまたま優れた TA に恵まれたが、将来は授業をマニュアル化し、必要な TA 研修を行った上で実施するべきだろう。このような研修は大学院の正規の課程に組み入れた方が良いと思う。

第 5 は、教育支援が適切に行われれば、このレベルの授業のクラスは 150 人から 170 人程度までは大きくすることができること。ただし、授業のプランニングとそれを遅滞なく進行させるマネジメントの能力が必要とされることは言うまでもない。このようにして大型化が実現すれば、アカ

デミックスタッフの負担を軽減しつつ教育の効果と効率を上げることができよう。これが本プロジェクトにおけるもっとも重要な結論である。

この授業で得られた経験を踏まえて、後期においてはリモコン応答システムなど新しいフィードバックの方法を導入し、化学結合論に特化した授業を行った。報告者の場合はそこで時間切れとなったが、冒頭に掲げた問題の解決のために、また本学が世界的に通用する研究大学として発展するために、これを引き継いで完成させてもらいたいと切に望んでいる。

謝辞：このプロジェクトを進めるにあたって、2006年9月から2007年3月まで活動した「化学プロジェクト」研究会における討論は有益であった。以下にその名簿を掲げて感謝したい。とりわけメンバーの一人である農学部の高柳正夫教授には、2007年度の授業科目のアレンジからTAの推薦まで、一方ならないお世話になった。本プロジェクトを進めることができたのは、一重に同教授のご協力のおかげである。

鵜飼 正敏 UKAI Masatoshi (工学部)

荻原 勲 OGIWARA Isao (農学部)

高柳 正夫 TAKAYANAGI Masao (農学部)

松岡 正邦 MATSUOKA Masakuni (工学部)

三沢 和彦 MISAWA Kazuhiko (工学部)

吉永契一郎 YOSHINAGA Keiichiro

(大学教育センター)

小笠原正明 OGASAWARA Masaaki

(大学教育センター)

* 下線は座長 (Underlined person is the chair-person) を示す。

注

1. 学生からの声でやや本質的だと思ったのは、「波動方程式が理解できなくても、(波動関数を) 使えるようにとは意味不明。この授業の位置づけが教員自身で理解されていない」というコメントだった。物理を学んで来ていない学生に波動方程式を理解させるのは不可能だが、大学レベルの化学としてはどうしても原子・分子の軌道の概念を身につけてもらわねばならない。化学の教育がかかえる大きな矛盾である。ちなみにアメリカの入門化学では、波動関数は「フレーバー (香り)」だけにして、後はルイス構造で逃げている。初習の化学であればこれで良いが、高校でルイス構造をしっかりと身につけて大学に入ってくる日本の学生に対してはこれでは済まない。

2. 記述式のクイズや試験を採点することは思ったほど苦痛ではなかった。学生にはそれぞれ固有の語り口があり、機械的な採点よりも知的に刺激

された。ただし毎回のコメントを添削するのはクラスサイズが100名を越えると不可能だから、マニュアル化してティーチングアシスタントに分担させるべきだろう。

文献

小笠原正明 (2007a), 「速報：化学プロジェクト」『東京農工大学 大学教育ジャーナル』, 3号, 27-33.

小笠原正明 (2007b), 『平成16-18年度文部科学省科学研究費補助金(基盤研究(B))研究成果報告書』

小笠原正明 (2007c), 「研究大学における理系の基礎教育とティーチングアシスタントの役割」『名古屋高等教育研究』, 7号, 249-267.

小笠原正明 (2004), 「ユニバーサルアクセス時代の化学教育-カリフォルニア大学バークレー校の入門化学-」, 『現代化学』, 2004年10月, 30-33.

鈴木久男ら (2006), 「初等物理教育における能動的学習システムの構築」, 『高等教育ジャーナル-高等教育と生涯学習-』(北海道大学高等教育機能開発総合センター紀要), 13号, 89-97.

細川敏幸, 小野寺彰 (2007), 「“2006年問題”に対応した大学教育を考える」『化学』, 62, 7月号, 15-18.

資料1：前期開講の農学部教養科目「化学」のシラバス

【開講時期・時間】

1年前期：月曜日2時限

【目的】

持続発展が可能な社会をつくる上で、化学はキーとなる学問である。地球の環境に影響を与える物質の多くを作り出しているのも化学だが、その発生を抑制し、循環可能なものに変えるのも化学である。この授業は「大学の化学」において重要な以下の5つの概念に的を絞って学習し、その概念に基づいて自分自身の力で問題を考え、解決できる力を養うことを目的としている。

- 1) 分子の集合体としての水の性質
- 2) 原子の価数と周期性
- 3) 分子の構造はどのようにして決まるか？
- 4) 反応はなぜ進むか？
- 5) 化学物質としての遺伝子

この授業では、化学にかかわる記号や、構造式や、反応式をたくさん覚えることを目的としてはいない。むしろ上の5つの問題について、自分自身で考え、その結果を自分の言葉で語るができるようになっていただきたい。

【内容】

- イントロダクション
- 自然の驚異：「水」
 - 1) 水の三態，分子の集合体としての水
 - 2) 水になぜ溶けるか？
- 原子にはなぜ価数があるか？
 - 3) まずビッグバンから始まった
 - 4) 軽い原子核から重い原子核へ
- 電子の科学としての化学
 - 5) ボーア模型と発光スペクトル．物質と波動
 - 6) なぜ原子の性質には周期性があるか？
 - 7) 分子の形：結合の方向と強さはどのようにして決まるか？
 - 8) 分子構造を予測しよう！
- 化学反応はなぜ起こるか？
 - 9) 分子の運動と圧力の関係—温度はどのようにして決まるか？
 - 10) 増えるか，減るか「エントロピー」
 - 11) 化学平衡とギブズの自由エネルギー
- 遺伝子はDNAである
 - 12) 水素結合による生体の情報伝達：DNAはどのようにして発見されたか？
 - 13) DNAの世紀

【授業の特徴】

- 1) ポイントとなる箇所では，デモンストレーション実験を行う．化学は実際にモノを見ないと実感がわかない学問である．カメラで写してスクリーンに投影する方法を採用する．
- 2) 授業内容について，自分自身で考えるために，小テストというより「クイズ」を多用する．クイズの解答はできるだけ早く採点して返すようにしたい．

【履修の条件・関連科目】

履修の条件は特にない．

高校で化学を履修してきたことを前提としているが、「概念」や「考え方」を中心にした授業なので，化学の知識はそれほどなくても，その気になりさえすればマスターできるはず．ただし，理解を容易にするためこれまで化学を学んだことが無い人には，事前に教科書の必要な部分を読んでくるように指示する．

【教科書】

ブラディー：一般化学（上），東京化学同人

注：教科書に沿って授業をするわけではないが，高校において化学を履修してきた人にも，「教科書のこの部分を読んでくること」と事前に指定することがある．また，事後も参照することで理解を深めることができる．化学の履修には必携．

【参考書】

大野惇吉 (2006), 『137 億年の「もの」がたり ビッグバンから生命誕生へ』, 三共出版
G. C. ピメンテル・R. D. スプラトリー (1977), 『化学結合—その量子論的理解—』, 東京化学同人

G. C. ピメンテル・R. D. スプラトリー (1977), 『化学熱力学—分子の立場からの理解—』, 東京化学同人

【担当者から一言】

- 1) 目的の部分で示した 5 つの項目について，区切りごとに記述式の試験を行う．自分の言葉でこの 5 つの項目についてきちんと文章が書けるように準備して来ること (50%)．
- 2) 出欠の点検を兼ねて，毎回のクイズの用紙を回収し採点する．(20%)
- 3) 最終試験は最後の授業の残り 30 分を使って行う．(30%)

資料 2：後期開講の農学部の教養科目「化学」のシラバス（授業内容のみ抜粋）

【授業内容】

- 自然の驚異：「水」

10月1日	1章：水
10月15日	2章：なぜ液体か？ 水に溶けるといこと
10月22日	3章：反応熱と自由エネルギー
- 原子にはなぜ価数があるか？

10月29日	4章：元素はどのようにして生まれたか？ (グループ討論)
11月5日	5章：核反応と地球の年齢
11月12日	6章：物質は粒子か？ 波動か？
11月19日	7章：シュレディンガー方程式(中間試験)
11月26日	8章：なぜ原子の性質には周期性があるか？
- 分子の形

12月3日	9章：水素分子イオン—なぜ化学結合が生じるか？
12月10日	10章：ルイス構造と分子軌道
12月17日	11章：分子軌道の簡便法 (中間試験)
1月7日	12章：カーボンサイクル
1月21日	13章：酸と塩基の分子論
- 遺伝子はDNAである

1月28日	14章：遺伝の化学 (グループ討論)
2月4日	15章：DNA—水素結合による情報伝達 (最終試験)

資料 3：授業のシナリオの例

「化学」授業計画 (第 5 回：2007 年 5 月 21 日)

【今日のテーマ】なぜ元素に周期性があるか？

【キーワード】エネルギー，発光スペクトル，ボーア模型，エネルギー準位，波動関数，存在確率

【準備】

〈教員〉	〈TA〉
部屋の鍵	コメント用紙
用紙	液晶プロジェクター
チョーク	分子モデル (TA 分)
パソコン	携帯用ビデオカメラ
教科書	三脚
分子モデル (教員分)	テーブルクロス
ポインター	ロープ
電気スタンド	
「化学」資料	
LAN ケーブル	
パソコン用延長ケーブル	

【流れ】

- | | 〈講義〉 | 〈プロジェクター〉 | 〈カメラ・演示実験〉 |
|------|------------------------|----------------|------------|
| 1030 | ○エントロピーの計算（続） | | |
| | ○星間物質 | ◎プリズム | |
| | | ◎発光スペクトル | |
| | | ◎電磁波の種類 | |
| | ○光とエネルギー | | |
| | ○発光スペクトル | | |
| | ○エネルギーとは何か？ | | |
| | ○水素のボーア模型 | | |
| 1050 | | | ●光の干渉 |
| | | | ●ロープの定常波 |
| 1100 | | ◎アルミ箔の電子線回折 | |
| | | ◎ギター の弦 | |
| | | ◎ギター の共鳴板の定常波 | |
| | | ◎ドラム の定常波 | |
| 1110 | ○電子の波動説 | | |
| | | ◎1s の波動関数と存在確率 | |
| | | ◎2s と 2p の波動関数 | |
| 1120 | 一旦外に出てもらおう。入口で座席表と問題用紙 | | |
| 1130 | 中間試験開始 | | |
| 1200 | 試験終了 | | |

（注）上の表の○印は講義の内容，◎印はプロジェクターで示すもの，●印は演示実験の内容を示す。

資料4：グループ討論のテーマの例

1. 地殻（土壌）の構成比は宇宙の構成比と良く似ているが、人体の構成比がそれからかなりずれているのはなぜだろう？
2. 遺伝におけるセントラルドグマが成り立っていると思われる理由をできるだけ多くあげよ。また、成り立たないとしたら起こるかも知れないことをできるだけ多くあげよ。