東京工業大学における講義の工夫

Endeavors for Better Lectures at Tokyo Institute of Technology

鈴木 啓 介
Keisuke SUZUKI

永 田 和 宏
Kazuhiro NAGATA

大 熊 政 明
Masaaki OKUMA

阿 部 正 紀
Masanori ABE

広 瀬 茂 久
Shigehisa HIROSE

理工学に関する科目の講義では教科書だけではなく、学生諸君に実物に触れさせるか、あるいは概念を理解するための教材を示すなど、様々な工夫が必要である。このため東京工業大学では各学科で教育効果を高める各種の試みがなされており、その一端が大学の広報誌(東京工大クロニクル: No.318(1998))に報告された。ここでは編集を担当している東京工業大学広報委員会の許可を得て、その一部を各著者による加筆修正を加え事例報告とするものである。本報告では、分野の異なる5人の著者により、講義に対する工夫や新しい試みについて、その具体的事例が述べられる。

Demonstrations and teaching materials to show the realistic image and phenomena introduce marvelous effects in lectures on science and technology. A number of endeavors to establish high quality lectures have been made in Tokyo Institute of Technology. Some of the examples were appeared in the periodical: "Tokyo Institute of Technology Chronicle", No.318(1998). With permission of the committee of public relation in the institute, we revised the article to describe more details and report here.

1. 授業における私の工夫

(理工学研究科化学専攻 鈴木啓介)

上述の題で寄稿するよう仰せつかった。最も気になりつつ、多忙を言い訳に工夫できていない小生にとっては皮肉かつ痛烈な題名である。悩んだ末、かつて留学先で約一年間聴講した恩師の魅力的な講義の様子を紹介することにしたい。

今から8年前のことで、当時所属していた慶応義塾大学からのsabbatical的な派遣で、スイス連邦工科大学(Eidgenössische Technische Hochschule, ETH)に約1年間にわたって滞在する機会に恵まれた。ホストは有機合成化学における世界的な巨人の一人、Seebach教授であった。ある意味で気楽な滞在であったこともあり、同教授による学部向けの有機化学の講義にできる限り出席することにした。

大きな階段状の講義室で行われる同教授の授業は大変魅力に富んだもので、毎週食い入るように聞き、ノートを取ったことがなつかしく思われる。ドイツ語での授業にも拘わらず、毎回楽しく聞くことができたのは以下のような同先生一流の工夫によるものか、と思われる。

1. 1 プレゼンテーション

まず板書がとてもきれいで、色分けされており、ポイントが把握しやすいことが挙げられる。しかも、授業中

一切ノートを見ないことは驚異的であった。細かい物性値等が次々と議論に登場し、また相当複雑な化合物の化学構造式もスラスラと実にきれいに色分けして描いてみせる。一種手品を見ているような気分で、思わず惹き込まれるものがあつた。なお、このパフォーマンスの用意のためか、10時から講義のある曜日の朝は"一切面会謝絶"であったのが思い出される。

1. 2 講義の内容

各項目について重複を厭わず、基本原理からはじめ、その概念的、技術的な進歩をごく最近のものまで述べる点も特徴であった。最近の進歩についてはともすれば散漫になりがちであるが、その背景や意義を噛んで含めるように説明されるので、複雑さや難しさが全く気にならないのであつた。4面の大きな黒板をフルに使って、きれいに順序だてて板書して行くのに加え、教室の横に用意されている小さな黒板に補足事項を書かれるので、1年間ノートを取れば、フットノートまで完備した1冊の本にそのまま出来上がりそうな構成であつた。

1. 3 プライドの刺激

講義でヨーロッパ屈指の大学に学ぶスイス人学生のプライドと使命感に訴えかける場面がたびたび見受けられた。ETHからはこれまでも幾多のノーベル賞受賞者が輩出しており、そのことがしばしば話題となった。大変面白いことに、ETHでは定年退官した先生の身分は

ポスドク扱いとなる。Seebach先生の前任者のPrelog先生(1975年ノーベル化学賞、残念ながら本年1月に逝去された)は当時80代半ばと言う高齢であったが、Eschenmoser研究室の”ポスドク”として毎日来ておられた。Seebach先生は講義の中で、「君らはノーベル賞をもらったPrelogという人を知っているかい？」と尋ねる。聴講している学生達が一様に首を横に振ると、「その辺の廊下を歩いているツルツル頭のおじいさんがその人だよ。分らなければ3時にカフェで必ず会えるよ。」と言われる。わが国ほどノーベル賞が特別視されていないお国柄もあって、Prelog先生も実に気さくに学生や私達とも接してくれるのであった。授業を通じてその学科の大先達を暖かく紹介し、学生を鼓舞している様子が、ほほえましく、またうらやましくもあった。また、「スイスという資源の乏しい小国が生き残って行くためには、化学工業は観光と並んで重要産業の一つであり、君達は世界に有名なMade in Swissの化学製品に与えられた称号であるSwiss Qualityの名を維持するとともに、ますます高めてゆく責務があるのだ。」と、学生に向かって語りかける場面もあった。この言葉に、まじめなスイスの学生達は頷いている様子であった。有名な観光を除くと、食品、医療品等の化学製品に関わる化学工業が、精密機械産業と並んで彼の国の科学技術立国の基盤となっていることは紛れもない事実であり、大学教育の現場でも目に見えぬ形で繰り返し強調されるのは印象的であった。

ウィットに富んだ講義は、基礎の基礎から本当に最先端の内容まで網羅し、説得力のある形で進められるものであった。彼地の学生、研究者が優れて高く、また広い見識を持っていることがこうした授業に裏打ちされたものであることを思うと、我々の日常的な講義というものの重要性をあらためて考え直してみること、さらにどのような工夫をすれば日本の実状にマッチしたものとなるのかを同僚と話すこの頃であり、常に考えて行きたいと考える。

2. 身近な熱力学の試行

(理工学研究科物質科学専攻 永田和宏)

2. 1 熱力学は実学

私の担当する講義の一つに「高温反応の熱力学」がある。2年次学生に後学期開講する。熱力学は、原理的に3つの法則しかない。すなわち、エネルギー保存則である第1法則、エントロピーの生成の第2法則、および絶対零度でエントロピーが零になる第3法則である。熱力学はこのようにわずかな法則から成り立っており、しかも対象とする系をブラックボックスとして扱い、外部から測定できる僅か4つの変数、温度、圧力、体積、および組成でその状態を決定することができる。中の構造は問わ

ないのである。したがって、何にでも適用でき、それだけパワフルである。そのため使う対象によってその展開の方法が異なり、物理の熱力学、化学熱力学、機械の熱力学などいろいろなものがある。私の講義は金属の精錬反応を対象にしているので、化学熱力学に属するものである。

銑鉄を造る溶鉱炉や鋼を精錬する転炉にこの熱力学を適用すると、実際の操業方法を知る必要がある。溶鉱炉が止まらないで10年以上も動き続けるのは驚異的である、なぜなのか。どのような場合に止めるのか。現場の技術者はそのコツを体験で知っているが、熱力学は鉄鉱石から鉄ができる反応が自然に起こる条件を示してくれる。このように熱力学は実際の現象に即して学ぶことが重要である。そこで、私は「身近な熱力学」ということで、さまざまな小道具を用意し、手品を行っている。

2. 2 「たたら」で鉄を造る

まず、実際に鉄を造ってみようということで、たたら製鉄をやっている(図1)。これは川や海で採れる砂鉄を木炭で還元する。レンガを積んだ小さな炉で、砂鉄20kgから約5kgの鋼が直接でき、時間は4時間ほどである。

図1 「たたら」製鉄の実験風景

熱電対と酸素センサーを用いて、温度と酸素分圧を炉の底、空気を吹き込む羽口の前、羽口から20cm上の3個所で測定し、状態図と比較してどの場所で砂鉄が還元して鉄となり、炭素を吸収して融けた鉄になるのかを考える。また、羽口には色ガラスの窓を設けて木炭が燃烧している様子を直接観察できるようになっている。窓からは還元した砂鉄が、燃烧している木炭の上で炭素を吸収し液体となって丸くなり転がり落ちる様子が良く分かる。金属工学科の建物の前でほぼ2ヶ月に一度行っている。学生の参加は数人であるが、常連が多い。このたたら製鉄は要請があれば小中学校や高校へ出張して実習と講義を行っている。いわゆる「出前たたら」である。また、「黒鉄会」という市民グループもできている。さらに毎年「包丁造りツアー」と称して夏休みに1週間の合宿を行い、鍛冶屋さんの指導を受けて、自分でこの鉄塊からナイフや

包丁を造る研修会を行っている(図2)。この時、鍛造や熱処理によって鋼の性質や組織がどのように変化するかを夜の学習会で検討する。自前の刃物は鍛造工程で思うような形にならず、あるいは焼きが入らなかったりと教科書通りにはゆかず悪戦苦闘する。そして、

図2 “たたら”の鉄塊からナイフや包丁を造る

出来上がった自前の包丁は女子学生にとっては宝物になる。

2. 3 「もののけ姫」と製鉄の謎

簡単な鉄造りの話は歴史の話に脱線し、では昔の人はどのように鉄を造っていたのかと問いかける。昨年夏に封切りとなった「もののけ姫」には自然破壊の産業の象徴としての「たたら製鉄」が登場する。我が国古来の製鉄法であるたたら製鉄技術を現代製鋼技術と比較検討する。現在でも日本刀の原料にはたたら製鉄で造った鋼しか使うことができないし、その鋼は錆び難く、古い寺社の解体により千年を経た釘がまだ使うことができる。溶鉱炉が背の高い炉に発展したのに対し、たたら炉は高さ1m程度の箱型の横に長い形に発展したこと、そして両者とも溶けた鉄鉄を造っていた。そして、そもそも人類はいかにして製鉄法を発見したのかなど、「製鉄の謎」へと話は進む。これは人文社会と各専門領域を組み合わせた授業「総合科目B」で、さらに話を発展させている。

2. 4 火打ち石と熱力学第1法則

さて、熱力学は最初、第1法則を学ぶ。この時の手品は“火打ち石”である。メノウや黒曜石など硬い鋭い破面ができる石に金ノコの刃の様な比較的硬い鋼を打付けると、火花が飛び、それを着火性の良い火口(ほくち)に着ける。この火を、硫黄を先端に塗布した紙、つけ木に移すとぽっと燃え上がる。なぜ、火が着くほどの高温の火花が飛ぶのであろうか。適度な堅さの鋼は硬いメノウで削られて細かい鉄粉が飛び散る。この時鉄粉は摩擦熱で酸化反応が起こり、その反応熱で鉄粉が加熱される。その温度を断熱条件で計算させると1000℃以上にもなる。学生はなるほどと納得する。ところで、火口にはどのような材料が良いであろうか。よもぎの葉裏の細かい毛や

がまの穂を灰汁で煮て乾燥させる。この処理によって硝酸カリウムや硝酸ナトリウムが染み込み、着火性が良くなるのである。

そこで授業は脱線し、人類が火をいかに作ったかその方法へと話が進む。小学校の生徒が良くやっている木の棒と板を擦って摩擦熱で火を起こす操作は、機械的エネルギーを熱エネルギーに変換する事である。いわゆるジュールの実験である。細かい木の削り屑は炭化し加熱すると火が着く。摩擦係数、荷重、回転数を仮定してその機械的エネルギーを計算し、削り屑に全てそのエネルギーが伝わるとして、削り屑の温度を想定する。当たらずとも遠からずである。

2. 5 埋め火で火種を保つ

私の子供の頃、田舎にはまだプロパンガスも普及していなかった。そこで、冬の早朝、火を起こすのは私の役目であった。この時、前夜に灰の中に埋めておいた炭火が役に立った。埋め火である。わずかな空気の流入により木炭が燃焼して熱を発生し、灰の良好な断熱性によって保温され、燃焼を継続するのである。空気の流入量はどのくらいあれば良いだろうか。しかし、この話は、現代の学生には実感が伝わらない。今時、火鉢がある家庭は皆無だからである。そこで、マッチの話になり、黄燐と赤燐の違いへと話は発展する。牛の骨とコークスを混ぜ密封して加熱し、発生したガスを水中に通すと黄色い蠟の様な個体が析出する。これが黄燐である。発火しやすく西部劇で壁に擦り付けるだけで着火する。しかしこれは毒性が強く危険である。そこで、高温高压で処理して安定な物質に変えた赤燐がマッチとして使われている。ここでマッチを擦り、煙草を一服すれば良いのだが、私は煙草を吸わない。

2. 6 火着けポンプ

次の手品は学生に受けが良い。アクリル製の管でポンプを作り、中にティッシュペーパーを一切れ入れて中の空気を急に圧縮するとポッと点火する。断熱圧縮の実験である。空気の温度が何度になるか計算させる。気体の熱容量はいくらだったか、気体分子運動論の講義で習ったはずである。空気を40分の1に圧縮すると1000℃にもなる。この原理はジゼルエンジンの点火原理であり、この逆の断熱膨張は雲が湧く原理である。

2. 7 水飲み鳥と熱力学第2法則

さて、第2法則に入ると学生は途端にちんぷんかんぷんになり、ここで大抵は落ちこぼれる。ここで私の手品は“水飲み鳥”で、これは随分昔からあるおもちゃである。日本人の発明で、アインシュタインも感心したというアイデア商品である。鳥のお腹に当たるガラスのボールに赤い液体が入っており、ボールに差し込んだガラス管の端にスポンジで覆った頭がある。ガラス管の中ほどに

支点があるので、頭のスポンジの嘴を水に浸すと中の液体が頭へ上り、重心が上がって頭が下がる。頭が下がるとガラス管にガスが入って液体が流れ落ち、水飲み鳥は頭を上げる。そして同じ操作が繰り返される。これは永久機関ではないかと学生に問いかけるが、返事はない。そこで大きなビーカーを被せて密閉すると次第に運動は遅くなり終には止まってしまう。原理は、頭が蒸発する水で冷やされ、アルコール蒸気が凝縮するために下のアルコールが引き上げられることにある。これはガラスボールが高熱源、頭が低熱源となって熱が流れ、アルコールが重力に対し仕事をするという熱機関である。

2. 8 コーヒーブレイク

さらに、時にはサイフォンでコーヒーを入れて前列の学生にご馳走する。下部のガラスボールをアルコールランプで加熱すると、中のお湯が次第に上部の器に上がりコーヒー豆を煮る。ランプを遠ざけると上部の器の底に設けられたフィルターでコーヒーが濾されて下部のボールに落ちてくる仕掛けである。なぜお湯が重力に逆らって上の容器に汲み上げられるのか。これはニューコメンの蒸気機関と同じ原理である。コーヒーを味わう余裕はないのかもしれない。

2. 9 たこ焼き屋のガスボンベ

大学祭で学生達はクラブの資金稼ぎにたこ焼き屋や焼きそば屋などを開く。コンロにプロパンガスを使うと、その内にボンベ自体が冷えてきてガスの勢いが少し弱まってくる。これはガスの気化により熱が取りさられるからである。さらに使っているとバルブ辺りが冷却され水滴が着いたり、時には結水する。断熱膨張で気体が仕事をするためである。そこで仕事とは何かと問う。系が膨張の仕事をするためには外界の気体が抵抗する事が必要である。「のれんに腕押し、糠に釘」では仕事をしたことにはならない。講義で学生に質問しても「分かりません」という返事しか返ってこないのも困りものである。

2. 10 おとなしい学生

今の学生は一般的におとなしい。仲間内では張り切っていたのに、知り合いのいない集団に入れられると途端におとなしくなる。これは別に学生に限ったことではない。学会でも日本人研究者の発言は少なく討論は低調である。さて、どのくらいおとなしくなったかで状態を定義することができる。このようにして溶液論の話は始まる。

2. 11 されど受講生に逃げられる

使える熱力学を学ぶには、やはり事例に当たって訓練する以外にない。そこで、毎回の授業に事例問題を2問英語で出題し、次の講義までに提出させる。さらに、講義の始めに、復習の有無を調べるために小テストを行う。宿題と小テストで学生の理解度を確かめた上で、その日の講義内容を即座に組み直す。事例問題は実際の数

値、実験データなどを与えて熱力学的関数や平衡濃度などを計算させるものが多い。英語で出題するのは、卒業研究や卒業後の研究で英語の論文を読む必要があるからである。しかし、この2年ほど講義の受講者数の減少率が大きくなっている。14回の講義で4、5回目に出席者は半分になってしまう。必須単位では無いためでもあるが、学生の質が変わったように思えて気になる。特に英語が理解できていないと同時に、数学の能力低下が目立つ。東京工業大学の難解な入試問題による学生の選抜は、大学の数学や英語の能力とあまり関係ないようである。

3. 総合的学習を目指す「独創機械設計」

(工学部機械科学科 大熊政明)

3. 1 まえがき

東工大「機械科学」科では、平成5年度の機械系5学科の改組にあわせ、それまでの学部専門科目カリキュラム体系全体を見直し、3年次後期に4単位(毎週月曜と火曜の午後1:20~4:30の時間帯開講)の「独創機械設計」と名付けた総合学習型の設計演習科目を新設した⁽¹⁾。ここでその概略を紹介する。

3. 2 開設動機と科目理念

機械工学は、現在では機械そのもののみにとどまらず関連する幅広い分野までも研究対象としているが、そもそものは文字通り機械を創るための設計工学である。そこで、理想的機械設計者とは機械創造のためにボーダレスに関連するあらゆる分野の知識および知恵を有して機械設計に応用できる人と考えられるが、そのような神業的能力を有した人は望めない。そこで、技術の高度化への必然として設計支援のために解析や分析に分類される多岐の細目的専門分野が歴史的に派生し、それに対応するように大学の専門科目も構成されてきたわけである。いつの間にか専門科目の大半が解析的な科目となり、直接設計や生産技術の科目と呼べるものが少なくなってしまう感がある。そのためか、学生たちは、専門科目として学ぶそれらの理論や技術が機械を創造設計していく上でどのように有効利用できるのか認識できずに勉強することになり、勉強意欲がいまひとつつわかない心境に陥ってしまうことが懸念される。「経験無き学問は、学問無き経験に劣る」とのことわざが意味するところに陥ってしまう恐れがあるわけである。個別専門分野の学習も大切であるが、それに加えて今はまさに総合化することの学習が、大学教育として大切であるように感じられる。本科目は、この根本的問題点を改善すべく、

(1) 機械の設計製作のおもしろさ、難しさ、さらに完成の感動の体験。

(2) 多くの個別専門科目の知識が機械設計にどのように総合化できるかの理解。

- (3) 独創的発想に始まり、堅実な機械設計による本格的な機械の具現化。
- (4) グループによる共同活動の重要さと難しさの認識と対処法の学習。

を目的に総合的な体験学習を行わせようとするものである。

3. 3 基本的な科目計画

本科目⁽²⁾は具体的には次のように進められている。まず10月の開講時に授業のガイダンスがなされ、引き続き、すばやい演習活動立ち上げを実現するために、学生たちのやる気を喚起する目的で企業の基礎研究、設計開発および経営人事の分野から3、4名の講師を招いての講演会を開催する。この講演会は、本科履修に対する観点のみでなく、社会全体や学生たちの将来に関する大きな観点からの講話と意見交換がなされる。この講演会は実に熱気にあふれ効果的で、学生たちからも絶賛されている。

次に、いよいよ各学生毎の独創的機械構想の提案会を開催する。50名強の履修学生一人一人が、製作してみたい独創的な機械の構想案を1枚のOHP資料を用意して1分間のプレゼンテーションにより提案する。質疑応答は1、2件の質問までを受け付ける。そして、審査により数件の案が採択される。その採択案に対応して学生全員がグループ化し、知恵と知識を出し合って機械設計活動に取り組むのである。

投入予算は毎年50万円。したがって、1件あたりへの投入予算上限は約10万円となる。この予算は実際にその年に新たに購入される材料や各種部品などの支払いにあてられるものである。旧年の作品をバラしてリサイクルされる部品や、学科構成の適当な研究室から無償提供されるものは問題無く利用できる。製作費についても、原則的には学内設置の機械工場ですべて学生自らが加工するので、支出無しとみなされる。

さて、いよいよ設計活動の開始である。まず各グループとも効率的に成果をだすための組織運営方法について検討する。基本構想された機械の性質やグループ構成人数などの条件に依存するが、基本設計の段階では、分担化組織または複数案並列構想組織となるようである。強度・剛性設計計算を始めとして本格的な設計解析を行い、軸受などの規格機械要素についてはカタログ等により適切な考察選定が行われ、本格的な機械創造を目指す。強度計算に必要なデータを得るために実験計測班がグループ内に組織されて活動する場合もある。駆動・制御系については、備品化されパソコンやポケコン制御に基づく電気・電子回路の設計製作となる。

11月の下旬までには設計説明会を開催する。グループ毎にその設計全体について約30分間で説明を行い、説明後約15分間、参加している多数の教官や他のグループ学

生さらには研究室所属している先輩学生の参加者との質疑応答や意見交換を行う。その結果が設計のさらなる完成度を高めるために活される。こうして設計発表会後再びしばらく設計活動が続く。

製作は12月中旬頃には始まり、本学機械工場において一級の腕前の技官による指導下で各種工作機械を操作して本格的な機械精度の加工が行われる。部品製作は必ずその部品図製図者でなかった人が担当することとし、設計図の重要性と役割を十分に実感してもらう。こうして最終的に機械を完成させ、テストを行うとともに不具合対策を施す。

最後に完成した作品の発表会が催される。発表会では、まず機械の製作趣旨と目標性能設定根拠、完成した機械の特徴・独創点、設計上の苦労点や工夫点などについて説明がなされ、引き続き実際にデモンストレーションが行われる。

原則的に各グループは、作品の機械そのもの、設計書と設計図一式、予算書と決算書、部品加工時間報告書および作品説明用のパネルを提出することが科せられている。

本科目は、上述から推察いただけるように、期待できる学習成果はかなり大きいと考えられるが、それに伴って活動負荷もたいへん大きく、かつ、3年次後期の選択科目のひとつに過ぎない。しかし、幸いにして過去5年間の開講において、学科3年生の大半(約8割)が積極的に履修している。

3. 4 あとがき

東工大機械科学科で開講している「独創機械設計」の概要を紹介した。このいわば総合型演習と呼べる科目は、学科の全講座の一致協力体制によって実現化されている。そして、教官側は現在も、さらなる学習効果達成と、よりスムーズな運営方法の改善を模索し続けている。拙稿ではあるが、本稿が工学教育の発展に多少でも参考となれば幸甚である。最後に、本科目実施の設備環境整備のために、本学の教育研究学内特別経費の予算配慮を2度にわたり頂いたことを申し添える。

4. 量子化学をデモ実験と小道具で

(工学部電子物理工学科 阿部正紀)

かつて、私が東工大の教官になりたてのころ、某・大先生が次のようなことを言われたのを思い出す。「近ごろ、大学の先生は教え過ぎるから、学生が勉強しなくなった。難しい講義を必死になって理解しようと自分で勉強するように仕向けなければいかん。先生が丁寧に教えると、学生は自分で考えようとしなくなり、独創性が失われる……云々」。

たしかに、私の学生時代には、難しい(教え方が丁寧でないために分かりにくいのを含む?)講義を必死に理解

しようとして、友人同士で教えあったり、図書館の本を読んだりしたものである。それは貴重な体験であった。しかし、これも古き良き時代のエピソードともなりかねないほど、日進月歩の学問に追従するために大学で教えないといけない内容が膨大に増え続けている昨今である。何を教えるかの選択とともに、授業でいかに効率よく——かつ学生が興味をもって自ら考えるように——教えるかが重要な課題であると私は思う。このような観点から取り組んだ私のささやかな工夫を紹介したい。

私は、自分の所属する電気・情報系(5類)の1年生に共通科目(昔の一般教育科目)「化学第一, 第二」を教えている。電気・情報系の教官がどうして化学を?と思われるかもしれない。実は、4年前に東工大の化学の先生方が編纂された大学一年生の化学の教科書⁽³⁾の第1章は、「量子力学」なのである。5類の化学第一, 第二では、量子力学の基礎とその量子化学への応用を学ぶので、電気・情報系の教官も担当している。量子力学を第一原理として電子の挙動から化学を理解することが最も重要となっている時勢を反映してのことであるかと思う。

さて、私が一年生の化学を教えるようになったとき、ただでさえ難解とされている量子力学を、入学したての新入生に教えるにはどうしたらよいかと思案した。そして、思いきって、講義内容をすべて高校教科書風にチャート付きで説明したプリントを配り(後に教科書⁽⁴⁾として出版)、毎回90分の授業のうち、講義は15~30分だけとし、あとは演習を行うことにした。

さらに“演習付きデモンストレーション”を適宜行うことにした。すなわち、講義内容に関連した簡単な「デモ実験」を教壇で行い、演習の時間に、学生に交代で簡単な測定をさせ、このデモに関連した演習問題に答えさせるようにした。そのほか、説明に小道具を用いたり、ビデオを見せることによって、何とか量子力学と量子化学を興味深く学べるように工夫した。以下にその概要を記す。

〔演習つきデモ実験〕

- ・[黒体放射] 炭火およびハロゲンランプのフィラメントの温度を、古式ゆかしい「線条消失型光温計」と最新

の「デジタル式・光放射温度計」で測定させ、前者の測定原理を考えさせる。

- ・[原子スペクトル] ガイスラー管と、高級おもちゃ「サンダーボール」、さらに検電ドライバーをこわごわさわらせ、原子発光の原理と放電のメカニズムを考えさせる(図3)。
- ・[光の波動性と粒子性] He-Neレーザー光のピンホールによる回折リング径からピンホールの径を計算させる。また回折現象の不確定性原理による説明について考えさせる。
- ・[電子線回折] 電子線の代わりにHe-Neレーザー光を用いた“特製・電子線回折シュミレーター”の模擬結晶を回転してできるリングの直径から模擬結晶の格子面間隔を計算させる。

〔小道具デモンストレーション〕

- ・[シュレーディンガー方程式] 末武国弘先生(本学名誉教授)直伝の“しかけOHPシート”を用いてスクリーン上に平面波の動きを見せて驚かせてから、物質波に対する波動方程式を説明する。
- ・[原子模型] 赤鉛筆(スピン)をつきさした野球ボール(電子)を透明アクリル円盤にあけた穴にはめこんで円盤をグルグル回す。外側の穴にはめこべば励起状態。回転軸を傾けて角運動量の方向量子化を説明(図4)。
- ・[量子力学的共鳴] 高校の教科書でもおなじみの二重振り子で古典力学の共鳴現象を示してから、量子力学的共鳴を説明する。
- ・[サッカーボール状分子C₆₀] 本物のサッカーボールを回覧する。C₆₀の炭素原子は何種類あるかな? シグマ結合は何本あるかな?

〔ビデオ映写〕

- ・超豪華な衛星通信遠隔教育システム講義室で、責任者の教授からこの最先端システムについての説明を受けた後、量子と光に関するビデオを見る。その後の演習で、「ビデオの内容に関する問題も出るぞ」といわれているので学生は眠るわけにはいかない。

図3 サンダーボールと検電ドライバー

図4 ぐるぐる原子模型

5. 生命理工学分野における講義

(生命理工学部生体機構学科 広瀬茂久)

5. 1 ライバルはハリソンフォードと久米宏

朝の授業が8:30から始まっていた頃に一コマ目を担当していたことがある。最終回を終え黒板のまわりを片付けていた時に一人の学生がやって来て、「先生の授業のある前の晩は早く寝るようにしているんですよ」という。私の授業に備えて見たいテレビを我慢したというのである。そう言われるとうれしくなる。以来、おかげに言えば、私のライバルはハリソンフォードと久米宏である。とは言っても、教育にのみ専念するわけにはいかず、なかなか満足のいく授業ができない。9:00始まりになっても最初からそろっているのは残念ながら半数弱である。それでも同じプロならば負けるわけにはいかない。娯楽性の強いテレビやビデオと自然を理解したときに得られる充実感を比べれば、こちらに分があると闘志を燃やし続けている。戦略は以下のとおり。

5. 2 砂上の楼閣を避ける

私自身の学生時代を振り返って見ると、普通の講義で教わったことはほとんど覚えていない。今になって思えば、講義は学生のためにあるのではなく、先生のためにあると言われるのにも一理あると合点がいく。準備のために何冊もの教科書に目を通し、資料を作る。こうしてはじめて自分が教えるべき分野の全体像が把握でき、その美しさに心打たれる。自分が理解できたことは、誰でもすぐ理解できると考えがちであるが、そうはいかない。私自身、富山の片田舎から東京に出て来て、下宿先の東中野から中央線と山手線と目蒲線乗り継いで大学のある大岡山に通うのは大変であった。駅の順番と名前を体で覚えるのに半年近くもかかったのである。東京の友達は電車の中で週刊誌を読んでいた。私はといえば車掌さんのアナウンスに耳を澄まし、駅が近づけば駅名を表示した看板を必死に読まなければならなかった。この例からも分かるように、先生にとっては当たり前のことでも学生にとっては初めてのことばかり。しかも毎日毎日新しい世界との出会いである。1000頁もあるような教科書をめくりながら次から次へと説明されたのではたまったものではない。その上、私たちの脳は理解し記憶するのに時間がかかり、実際に経験しないことはすぐ忘れるようになっている。そうすると大学でやるべきことは自ずと決まる。実験と演習とレポートが主で、講義は単なる道しるべにすぎない。従って私の授業では細かいことには触れず、時間をかけて基礎をじっくりとやるように心がけている。学生さんに分子模型を組み立ててもらったり、OHP画像中の文字を声に出して読んでもらったり、前に出てきてOHPシートに色を塗ってもらったりという具合に。

5. 3 分子模型の活用

参考までに、私が採用しているタンパク質の二次構造の教授法について概要を示す。50人程度のクラスまでなら学生の一人一人に分子模型を組み立ててもらうことが可能である。まずHGSタンパク質核酸用精密分子構造模型(丸善から入手可)の部品ペプチド結合(水素結合用、側鎖は無し)を一人当たり5~10個用意し、学生に配布する(500個で15万円程度)。結合角を分かり易く示した図5をOHPで提示しながら、 α ヘリックスと β 構造を組み立ててもらう。この模型では、1オングストロームが1cmになっているので、一億倍に拡大した分子の姿を手取るように理解することができる。結合角の合わせ方さえしっかり説明しておけば、45分もあれば組立から分解までを終えることができる。感動のあまり、こわすに忍びないという学生が続出すること請け合いである。タンパク質は生命を支える基本分子であり、その構造の特徴を身をもって理解させることは大切であろう。

図5 ペプチド結合と結合角を示すOHP

糖を教えるときは、グルコースとリン酸の模型を一人一個ずつ配る(一組1200円ゆえ50人分で6万円)。これで糖の基本と代謝過程(解糖系)を手取るように教えることができる。時間不足のときは家に持ち帰ってゆっくりと勉強してもらうこともできる。特に代謝過程は無味乾燥となり易く、何か工夫をしないと学生のやる気までそいでしまうことになる。リン脂質や核酸も分子模型を利用すると印象に残る講義をすることができる。ただし、これらの場合は分子が複雑になる分、経費がかさみ、3

人一組でがまんしてもらわざるを得なくなる。リン脂質や核酸の場合は、あらかじめ組み立てておいた模型をわたし、基本構成ユニットに分解したり元に戻したりしてもらおうとあまり時間をかけずに、効果的な学習ができる。最初の組立は研究室の大学院生に頼むと、彼らもいい勉強になるといって喜んでやってくれるので、一石二鳥である。

教材用の分子模型にかけたお金が300万円を超えた。私費もあるが学長特別経費による援助に負うところ大である。いい講義をしないわけにはいかない。私の努力目標を兼ねた座右の銘を掲げさせていただく：

I hear, and I forget;

I see, and I remember;

I do, and I understand.

聞いただけではすぐ忘れる、

見ても覚えるのがやっと、

体験して初めてわかる。

5. 4 日常生活に結びつける

生物に関連した領域は私たちの日常生活に密接に結びついているので、学生の興味を引き易く、講義にメリハリを付けやすい。息抜きの余談を織りまぜることによって、その日の中心テーマを強く印象づけることができる。この点は話し下手の私には実にありがたい。例えば、1)代謝の項では、“飲み会から救急車で帰った人15000人”というポスターを見せながら、空きっ腹で酒を飲むとなぜ酔いやすいのかという話をしたり、2)代謝のまとめでは「ヒトは考えるグルコースである」ともじってみたり、3)体を構成する元素の由来を説明したあとで「星から生まれて星よりも美しくなったのが生物である」と結んだり、4)必須アミノ酸の項では、米に欠けているものが丁度うまい具合に小豆に含まれているので、おはぎは理想的なおやつだと宣伝してみたり、5)抗体の説明をするときは「抗体は人類が手にした最高の分析試薬でもある」と付け加えたり、6)ステロイドホルモンのところでは、運動選手のドーピングや環境ホルモンの話をしたり、7)ビタミンの項ではバスコダガマの航海と壊血病に触れたり、8)30億文字からなるヒトの遺伝情報の説明では、分厚い百科事典1000冊に相当し、私たちの体の中にあるDNAを全部つなげると太陽を何往復もできる長さになることを計算で確かめて学生とともに感嘆したり、9)神経のところでは、恐ろしい破傷風やフグ毒やコカインの作用機構や万引きの分子論や役者が舞台上に立たずにおれなくなるわけなども話すようにしている。

5. 5 研究の歴史にも触れる

神秘的と思われていた生命現象のベールがいつどこでどのように剥がされたのか、それに直接間接に関わった科学者はどのような人たちだったのかなどにも極力触れ

るようにしている。言葉だけでなく写真や記念切手やイラストを集めてOHPで提示しながら話すと臨場感が出ていいようである。特に日本人の業績は力説することにして

5. 6 良薬口に苦し

おもしろくてためになる講義を目指すには、きびしさも大切な要素であろう。私の場合は、2年生の授業では、毎回最初に5分間テストをして前回の基本事項を復習する(問題の概要は予告しておく)。これが遅刻防止にも役立ち、出席率をもよくする。しかし、こちらの気持ちを見透かしたように、5分間テストを出し終えたところで退席する人がいる。そんな日は食事が喉を通らない。3年生の授業では、毎回英文の宿題を課す。どちらの場合も製本した手製の資料集を配る。筆記事項が多いところの話を聞いてもらえないからである(一般的にノートをとっているときは耳が留守になる)。資料集では、重要なところは空白ないしは8ポイント程度の細かい字にしておき、授業中に学生自身が書き込んで完成できるようにしておく。プリントを配って、どこそこを見て下さいといっても学生はなかなかついてこれないので、私の場合は白黒のOHPを用意し、その上にカラーペンでマークしながら説明をするという方式をとっている。これも経験則であるが、スライドの使用は通常の学部の講義には不向きのようなのである。室が暗くなると睡魔が襲ってくる上にメモが取りにくいからである。

いくらおもしろくて役に立つ講義をしても今の学生がかかえる本質的な問題の解決にはいたらない。自分で時間をかけて分かりにくいところを克服するという大切な経験をあまりして来ていないために、すなわち困ったら、いや困る前から、塾だ家庭教師だ予備校だと手取り足取り面倒をみてもらったために多くの学生は“手取り足取り病”にかかっている。困ったことにこの病には自覚症状がない。ほっておくと“手取れ足取れ病”になって自分一人では何もできなくなってしまう。“手取り足取り病”の予防は簡単であるが、過度の受験競争がそれを許さない状況にある。当分の間は、私たち大学教員の最大の任務はこの厄介な“手取り足取り病”の治療にあるのかもしれない。

5. 7 鉄は熱いうちに打て

大学での講義の基本は、事実を網羅的に教えることではなく、知の体系を鳥瞰図(bird's eye view)的に教えることにある。学生が自分の頭の中にコンセプトマップ(concept map)を作り上げていくのを手助けするといってもいいかもしれない。この意味では分析的な理解よりも総合的な理解に重点を置く東洋的な考え方が21世紀の教育には力を発揮すると期待される。勉強よりも勉強の仕方を教えた方が勝ちなのである。しかもそれはなるべく早い

学部で勉強の仕方をしっかり教えておけば、大学院では「Educate Oneself」でいける。学部教育に力を入れないで大学院で何とかしようというのは、「鉄は冷えてから打て」というようなもので、小学生の頃から塾に通ってきた世代に申し訳ないのではなかろうか。

参 考 文 献

- (1) 「学部学習案内及び教授要目」, 東京工業大学
- (2) 「独創機械設計ガイドブック」, 東京工業大学工学部機械科学科
- (3) 阿部光雄, 榎敏明ほか: 「基礎化学」, 1993年(講談社)
- (4) 阿部正紀: 「はじめて学ぶ量子化学」, 1996年(培風館)

著 者 紹 介

鈴木 啓介

1983年 東京大学理学系大学院博士課程修了

現 在 東京工業大学大学院理工学研究科, 化学専攻教授

永田 和宏

1975年 東京工業大学大学院博士課程修了

現 在 東京工業大学大学院理工学研究科, 物質科学専攻教授

大熊 政明

1975年 東京工業大学大学院博士課程中退

現 在 東京工業大学工学部, 機械科学科助教授

阿部 正紀

1972年 東京工業大学大学院博士課程修了

現 在 東京工業大学工学部, 電子物理工学科教授

広瀬 茂久

1975年 東京工業大学大学院博士課程修了

現 在 東京工業大学生命理工学部, 生体機構学科教授