

講演「実験から得られる智慧」

北原和夫（国際基督教大学理学科長）

北原 国際基督教大学の北原です。今日のテーマである文系学生向けの実験教育ということですので、そういうことを中心に紹介しますが、僕も理学科長になってまだ1年ぐらいで、まだ大学全体がよく分からないところがあります。僕なりに考えている教養教育とは何かということも含めて、お話ししたいと思います。

今日のお話を聞いていて主専攻、副専攻の話が出ましたが、うちの大学でも、いま、実は教育改革を考えていて、メジャー、マイナーということを数年これでやろうということになっております。実はすでに形はあまりはつきりしないのですが、創立以来の科目選択は自由でありまして、結構、学生は勝手に理系・文系の授業を取れるようにはなっております。ですから逆に制度的に言った場合、きちんとするのがいいのかどうかということを含めて、かなり学内ではいろいろ議論があるところです。

さて、まずは僕自身の自己紹介から始めたいと思います。僕は静岡大学の教養部にいたことがあり、最初に教鞭を執ったのが静岡大学の教養部でした。そこでもいろいろな試みをやっています、総合科目で時間論の企画をしました。これには哲学の先生とか経済の先生とかいろいろな先生も参加しました。しかし、結局授業にするには至りませんでした。

それから東工大に移りまして、周りに大田区の町工場

が多かったので、そこで何か町と大学がうまくつながらないかということを考えて、そういう市民の人たちと交わりの場をつくったりもし、その後、ICUに移りました。ICUに移った当初、一般教育の物理の授業を担当しました。物理の学生と一般学生が混在している授業で、非常に面白い経験をさせていただき、そのときに感じたのは、万民のための物理学っていったい何だろうかということでありまして、最初に少しその話をしたいと思います。

ICUにおけるリベラルアーツ教育

先ほど教養教育と専門教育との関係に関する問題点の指摘もありましたが、ICUでは4年間全体をリベラル

実験で得られる智慧

（国際基督教大学における試み）

理学科長
北原和夫

1



ICUにおけるリベラルアーツ教育

- 構造：一般教育科目、英語教育プログラム
question-oriented 学問とは何か？
English for academic purposes: Critical reading, Critical thinking
- 専門教育科目：学科基礎科目 (foundation)、
専門科目 (area major) skill-oriented 専門性を磨く

2

アーツと考えています。ICUにおけるリベラルアーツ教育というのは、一般教育科目というのと専門教育科目というふたつの構造を持っています（図2）。これがある意味で非常に面白い関係になっていると思っていました。それなりのミッションを非常に明確にしていると思います。

ひとつは一般教育科目というところは、別にこれは1年生とか2年生のときに受けるのではなくて、4年間いつ取ってもよいというわけです。そこでは人文科目、社会科目、自然科目とありますが、そこでやることというのは、これは question-oriented という言い方をしますが、学問とは何ぞやというところを話すようにと言われ、それなりにそういう努力をしているわけです。

それと大学初年度にやるのがもうひとつは、大学1年生から2年生にかけての英語教育プログラムです。これが非常に大きなものでありまして、これはいわゆる英語の授業とは少し性格が違っていて、English for academic purposes というのを強く言っております。そこでは長文を読んで、クリティカルに読んだり、それからクリティカルシンキングということが最も強く言われ、英語を使って、いわば考えるとは何かとか、「I think」の「I」とは何かということを徹底的にしごかれるわけです。

それで2年の後半から3年になると専門に分かれるわけですが、そのときに初めて専門教育を行います。2年生の初めにも学科別科目というのがあり、それは理学科だったら物理をやろうとしても化学とか生物とか数学も、もちろんやらなくては行けないので、それを我々は foundation と呼んでいます。そういう科目と、area major、専攻分野に分かれてその専攻に必要な科目を履修させます。ここを我々は skill-oriented、いわば専門性を磨くということで、ふたつの構造になっていますが、それぞれ question-oriented と skill-oriented、これは一応ミッションを分けているということでございます。

学科編成はいまのところ人文科学、社会科学、理学科、語学科、教育学科、国際関係学科の6つあります（図3）。それぞれが基礎科目の授業でやると同時に、それは1年生からやりますが、全学の共通科目をやっているということになります。理学科は実験・実習は必修ですが、ほかのところはそれはないというのが特徴です。

それで一般教育とは何かということに対して、先ほど僕は question-oriented と言いましたが、学内ではいろいろな考えが相変わらずあるわけで、先生によっては一般教育の物理学というのは、「文系学生に対するやさしい物理学である」というふうに考えている人もいますし、「文

系・理系で共有すべき科学の常識」と考えている人もいます。あるいは「科学とは何ぞやということと話さなければいけない」というふうに考えている人もいます。そこら辺は何となく分かっているようで分からないというのも、ICUでもそういう問題は常にあります。

僕自身が考えているのは、おそらく一般教育とすればデフィニッションをしなければいけないというのは、文系と理系の学者が来ても、意味のある授業をやらなくては行けないかと思っているわけです。たとえば、僕がやった授業のことを少し紹介しますと、僕が発見したのは、理系学生と文系学生が共に参加する物理学授業があり得るということなのです。

たとえば、最初にてこの原理でアルキメデスの論理を紹介し、これは右と左が同じだから、後ろから見ても前から見ても片寄ってはいないということで釣り合うよね、という話をするわけです。力学的な考え方を使わないでです。その次にこういうことをやると、実は2対1を証明することができます。これはアルキメデスの論理を少し僕なりにモディファイしたのですが、たとえば色の着いたふたつの円筒があって、これは対称的だから釣り合うということ。これを仮想的に釣り合いを保ちながらゆっくり延ばしてやる。今度は皿などをひとつ小さくしてやって、円筒がちょうど上に来るようにしてやれば、これは支点の上だから少し右だろう。そうすると、ここに2つあって、これだけ残りますから2対1で釣り合うというような話を、クイズみたいなことをやるわけです。そうすると、このアルキメデスもそうですが、てこの原理を力学を使わないで論理と対称性だけで議論することができます。これを通して文系学生、理系学生、両方に実は共通であって普遍的であるということが分かりました。つまりこういう授業をやると、数学的機能も知らない文系学生も1対2が証明できたら、1対3も証明できるというのをレポートして持ってくるわけです。

学科編成

- 人文科学科、社会科学科、理学科、語学科、教育学科、国際関係学科
- 理学科は実験実習が必修

ほかにもいろいろな証明を考えてきてくれて、こういうのは物理学科の学生も普通でこの原理で習うやり方と違うわけですから面白いと思うわけです。そういうことを話しているうちに、物理学と数学はどういう関係にあるかという話をします。

ここでは数学の話の同値関係に入っているわけですし、つまりもともとりんごと石というのは違うものなのだが、てんびんで釣り合わせることによって、リンゴも石もレモンも同値なもの、とにかくそういうものはAとBが釣り合って、BとCが釣り合って、そしたら必ずAとCも釣り合うということがチェックされれば、これは数学で言うところの同値関係になって、いったん同値関係ができると、これは数学で言えば集合論の中の◇……◇みたいなものができて、それで類型化ができると、そういうふうにして、そういう経験を積み上げていって共通の性質を取り出すということが、実は数学になるのであり、物理になっていくんだよという話をしていくわけです。つまり、逆に言えば数学と物理はどこが違うかという、物理はあくまで経験学であって、すべてリンゴと石が釣り合って、石と何か釣り合ったときに、全然別のものがさらに釣り合うということは、これは経験でしかなし得ない。その経験を整理してやっていった結果が数学になっていくという話をします。

こういうことで、何を学生たちに伝えるかという、たとえば一般教育の物理学で対称性という考え方の重要性というのは、同値関係を見出していくという、同値関係さえ見出していけば、それは細かな個性を捨象して論理ができ理論ができる。数学的に論理を乗せることができる。いったん数学に乗れば、あとは機械的にやっているとということです。

科学というのは、そういうものなのだという話をします。ですから逆に言えば、そういうものの個性を捨象していったのが科学であるとすれば、それにも実はいろいろな問題があるのだということを最後に述べて、授業が終わるわけです。

実験の一般教育科目

そのような授業は教室でやってきたわけですが、理学科以外の学生には、実験をやりたいというニーズが前から強くありまして、それでどう対応するかということで苦慮していたわけです。

実は我々教職科目というのがあって、理科教育法という授業があります。そこでは将来、理科の先生になる学

生たちが、実験の授業のデモというか、実験をやる授業の準備をし、それをみんなの前でやってみるという授業をやっているのですが、その授業に理学科以外の学生が時々来ます。2～3年前には国際関係学科の学生が来て一番いい成績でした。その学生は、高校時代は理科が好きだったが、自分は国際的な舞台で働きたい、分野で働きたいということで国際関係学科にした、ということでした。そういう面白い学生が、理科教育法の授業に時々来ていました。

そこで、むしろ一般教育の授業の中に、本当に体験的な授業をやるべきではないか、それは理学科の学生だけではなくて、一般の学生にもそういうことを体験させるべきではないかということがあり、数年前から始めたところです。ただ、慶應のように非常にシステマチックに設備を整えてやるというわけにいかず、我々教員の数も少数ですから大規模にはできません。しかし、一応20名を限度にして先着順で登録できるようになりました。

たとえば、どんな学生が集まってきたかという、今年では人文の学生が7名、社会科学が6名、教育が1名、語学2名、国際関係5名といった具合です(図5)。ICUは女子学生が60%以上ぐらいいるのですが、来た学生の性別を見ると男が7名で女が13名。学年も1年

実験の一般教育科目

- 希望は以前からあった。
- 教職科目「理科教育法」(実験授業の実習を含む)に理学科以外の学生が参加することがある。
- 一般教育科目「自然」は教室での講義が主体
- 実験付き自然科学

4

実験付き自然科学

- 人文7、社会5、教育1、語学2、国際関係5
- 男7、女13
- 一年生9、二年生4、三年生2、四年生5

5

物理学

- ペットボトルロケット

6



7

フィルムケースロケット

- フィルムケース(フジフィルム提供)に浴槽の発泡剤を入れる

9



10



8



11

生がいて、2年、3年はおそらく専門の授業の方が忙しいので少し少なめですが、4年生になってからこういうのをやりたいというのがいるわけです。

それで物理学と化学と生物の先生にお願いして3人でチームを組んでもらって、1学期10週ぐらいあるのですが、3週間ぐらいずつそれぞれの分野でやってもらっている。たとえば、物理学だとペットボトルロケットを上げて、それがどのくらい飛ぶかとか、どの角度でやったらいいか、水だけではなくてドライアイスと混ぜるとどうかというようなことをやるわけです。図7にあるようなキャンパスですので広々としたところで、み

んなでやります。図8にあるものを先生が作ってあげて、ポンプでやるわけですが、用意どんでやるなど工夫してやっております。

それから、富士フィルムからたくさんフィルムケースをもらって、浴槽の発泡剤を詰めてやってみる(図10)。これは外で準備をやる。発射角度をいろいろ変えてみて、どこまで飛ぶかということです(図11)。

図12は室内に入って今度は角度をもっと精密に測ろうという実験です。分度器で測って、どの角度にしたらずいぶん飛ぶか、ものすごく汚くなってしまおうのですが、学生はわーわー言いながら楽しんでやっています。



生物

- シロアリの行動: 先ず試料をキャンパスで採取

13



蚕蛾の性行動

- フェロモン

17



化学

- pHについて

18



それから生物の先生は、シロアリのフェロモンという蚕蛾の性行動をテーマにして実験を行います。これもみんなでキャンパスを歩こうということで行くわけです。そうすると古い木のところで図14のようにシロアリを捕まえて、これを紙の上にはくします。サインペンがちょうどフェロモンみたいなものがある、セロテープの上に乗っかると外へ出ていく。何か嫌な物質があると、中にとどまってしまうようなことを観察するわけです(図15)。

化学ではいろいろな物質のpHを調べる実験を行います(図19)。そういうことをやって、これも学生は楽しんでやっています。

学生の反応

それで皆さんに言いたいのは、非常に学生の評判がよくて、「先生に質問しているときに、逆に質問されて答えることができたときのうれしさを忘れられない。苦手意識の強かった理系科目の中に、自分が理解できていることがあるということが分かった」(図20)。つまりここで初めて自分で体験をして理系科目が、そんなに別の世界ではないということが分かったということです。

それから、これは各週3コマあって、火曜日に1コマ、木曜日に2コマ連続の時間がありますので、火曜日のときに少し先生がお話をして、だいたいどんなことを習うかという話をして、木曜日の2コマのときに実際の実験をやるというふうにしております。ですから自分も腕を磨かないとうまくいかないということもあるということです。理論なくして推測はなく、技術なくして実証はないということもよく分かるかと思われます。

ですからどういうふうに調べるか、プロセスが大事だということが分かる。それから日常生活では、自分のような非専門家が科学知識と接点がある場合には、いろいろな企業広告を通してしか分からなかったが、こういう実験を通して自分の実際の体験を通してやるということが大事だということがよく分かったというようなことです。これがまさに科学リテラシーにつながるのではないかとこのように思っています。これをまとめますと非常に楽しい。

20名ですので教室での授業と異なって、教員1人対20名で、あとTA(大学院生ならびに理学科の学部生)が2人付いています。それからロケットの場合は、いろいろやってみたらということで、いろいろ考えてドライアイスを使ったり、炭酸水を使ったりします。

学生から出てくるレポートも、理学科生ではないかと

学生の反応

先生に質問しているときに、逆に質問され、答えることができたときのうれしさを忘れられない。苦手意識の強かった理系の科目の中に自分が理解できていることがあると分かった。

理論なくして推測は無く、技術なくして実証はない、ということを実感した。

Whyも大事だが、それをどう調べるかというHowも重要だ。

非専門家と科学的知識との接点の多くには企業広告が介在しているだけであり、これを正しく判断するための科学リテラシーを、実験を通してリアルなものとして獲得したいという人は多いのではないかと。

20

実験の意義

- 楽しい
- 教室と異なり教員とのコミュニケーション
- リアルな体験: 講義と異なる…智慧
- 自分でいろいろと試みる。ロケットの場合: 水、ドライアイス、バブ、炭酸水など

21

思われるぐらいに、非常に物理的なことをきちんと考察をして書いてきています。

マイクロスケール実験

我々のところで、実は文系ということではないのですが、文科省のサイエンス・パートナーシップ・プログラム、これは高校生を呼んできて、高校の先生と一緒に、高校生に対していろいろな実験の講座をやるということをやっている、今年は面白い企画がありまして、「マイクロスケール」といいます。これはたまたま去年、荻野和子先生という、東北大でご夫婦でいろいろ新しいことをやっている方なのですが、非常に小さなスケールで、普通教室でやる化学実験のキットをいろいろ開発して、これは今までの化学実験というのは、いろいろ試薬の量が多く廃棄物の処理という問題があったわけですが、これをマイクロスケールでやれば普通の教室で実験ができる。それから危険が少ないとかいろいろいいことがあります。

図26~27は電気分解の実験です。これが面白いのは、 H_2O がちゃんと2対1のガスになるというのがよく分かります。目に見える。これは本当に小さいので使って

1. マイクロスケール実験とは？

実験を通して自然を観る／新しい化学教育の方法

中学高校で化学実験を行う上での問題点

授業に実験を取り入れると教育効果があるが、

- 時間がかかり、授業の進度が遅れる
- 費用がかかる
- 準備と後片付けがたいへん
- 廃棄物の処理にもかなりの費用を要する
 - 先生自身の実験(指導)経験が乏しい

参考文献:
荻野 和子、荻野 博『新しい化学教育法～マイクロスケールケミストリー～』 22
(<http://opacu-air.ac.jp/nenpu/no23/009.pdf>), 放送大学, 2006.

SPPの様子: 普通の教室で実験



25

マイクロスケール実験で問題を解決

マイクロスケール実験の利点をあげると、

- 1) 教室で実験できる
- 2) 使用する試薬が少ない
(経費節減, 省資源, 省エネルギー)
- 3) 危険が少なく, 事故が防止できる
- 4) 実験操作が簡略化できる(実験時間がかからない)
- 5) 実験廃棄物の量が少ない

- 1グループの人数が少ないので一人ひとりが積極的に実験に参加する → 教育効果が大きい
- 環境にやさしい実験である。

23

水の電気分解: 発生気体の体積



注射塔(1mL) 2本に入れた水に9Vの電気を通す

▲ 発生する水素と酸素の体積比は2:1

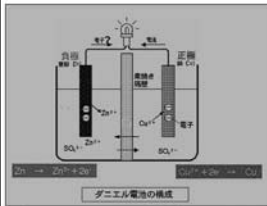
26

2006年度 ICU-SPPの概要
テーマ: マイクロケミストリーで見る化学の世界

- 期日: 8/8(火) 10:00 - 17:00
8/9(水) 10:00 - 17:00
- 場所: 国際基督教大学 (ICU) 教養学部理字館 N332教室
- 参加高校: 自由学園、立教女学院の高校生(23名)と教師(4名)
(内訳: 高1が10、高2が3、高3が10人)
- 指導: ICUから 北原和夫教授、吉野輝雄教授、堀内晶子助教授
講師- 荻野和子教授(東北大名誉教授)、芝原寛泰教授(京都教育大学教授)
高校の教師- 中川亜紀子先生(自由学園)、山縣 基先生(自由学園)
山岸悦子先生(立教女学院)、原口 智先生(立教女学院)
TA(助手) 7名 (ICU化学科の4年生、大学院生)

24

ダニエル電池



▲ 電池の起電力をテスターで測定: 0.963 V

生徒が独自に“塩橋”を考案して実験

▲ 電池の起電力でミニファンが回転する

27

いるものの量は非常にわずかです。

我々のところは中等学校へのアプローチということも考えておまして、僕自身が考えているのは、先ほど大学の改革の問題がありますが、これはおそらく高校と連携しながら本当はやらなくてはいけないのではないかと、いうふうに思っています。我々の大学では、今、文理融合的なものを目指しておりますが、高校の方で受験に合わせて高校の1年生のときから文系・理系に分けられてしまいます。これを何とかしないと、非常に偏った知識と関心しか持たない人々が多くなってしまいます。

ですから逆に言えば、入ってきた学生に対してどんな

分野でもいけるようにしていくというメッセージを、今回出さなくてはいけないのではないかと、いうふうに思っております。(拍手)

下村 どうもありがとうございました。いわゆる科学実験、体系立った既存の実験とは異なる、具体的な大変面白い実験をご紹介いただきました。私も文系の学生と接しておりますが、ああいう実験なら、みんな本当に楽しみながらできるのではないかと感じました。北原先生、ありがとうございました。