

教育学部理科における自然科学教育改善の試み

—講義「科学セミナー」にみる学生の学習上の問題点—

照井啓介*・梶原昌五*・重松公司*・武井隆明*・村上 祐*・八木下晃司*

(1994年6月27日受理)

要旨

自然科学の諸分野の関連を強調する総合科目として、1992年度に初めて講義「科学セミナー」を開講した(「科学セミナーⅠ—水—」)。その反省を踏まえて、1993年度には「科学セミナーⅡ—光と物の色—」を開講した。講義終了後のアンケート調査によると、講義方法と講義内容に対する批判的な意見はかなり減少していた。また、講義方法の改善が評価されているものの、試験の成績は1992年度と同様に悪かった。さらに、昨年度と同様に学生が専門用語に対して違和感を持っていることが分かった。そこで今回は、学生の学習上の問題点を、試験の答案と学生の質問に見られる専門用語の使い方を中心に、具体的に分析してみた。その結果、専門用語の理解の程度にも、日本語の表現力にも、講義を的確に理解し得ていないことが懸念される事例を多数見つけた。その対策として、学生にレポートを提出させ、これについて個々の学生を指導すること等を検討した。

Ⅰ 「科学セミナーⅡ」における改善

我々は、岩手大学教育学部理科に所属する学生に対する自然科学教育の改善を目的として、自然科学の諸分野の関連を強調した講義「科学セミナーⅠ—水—」を1992年度に開講し、一定の教育効果を達成できたことを既に報告した(照井ら、1993；以下「科学セミナーⅠ」に関しては、本引用文献を参照されたい)。その効果をより高めるために、1993年度にはその反省点を踏まえ、いくつかの点を改善して「科学セミナーⅡ—光と物の色—」を開講した(《資料》参照)。

《資料》

科学セミナーⅡ 『光と物の色』

予定目次

'93.9.13.

Ⅰ. 初めに—————第1回 10/6 全員

講義内容の紹介など

II. 光と色に関わる身近なこと——第2回 10/13 村上

1. 可視光

(1) 物が見えるのはなぜか?

(2) 分光とスペクトル

(3) カラー・サークル

2. 物に色がついて見えるのはなぜか?——錯イオンについて

3. 身近な化合物の色

(1) pH 指示薬の色

(2) ブルーシリカゲル

(3) 身近な物質の色——いろいろ

III. 光と分子の相互作用——第3・4回 10/20, 27 武井

1. 光とは?

2. 光と分子の性質

(1) 光の性質

(2) 分子の電子状態

(3) 光と分子の相互作用 (物に色がつく仕組み)

3. 太陽の光 (いろいろな現象の光源としての太陽光)

4. 光化学反応

(1) オゾン

(2) 生体内で光を感じる物質

IV. 動物と光——第5・6回 11/10, 17 梶原

1. 光の利用

2. 脊椎動物の視覚

(1) 眼の構造

(2) 光の入射・受容とエネルギー変換

(3) 色覚

3. 無脊椎動物の視覚

(1) 眼の構造

(2) 視細胞の分化

(3) 色覚

4. 環境への適応戦略

V. 光の物理——第7・8回 11/24, 12/1 重松

1. 幾何光学: 虹、プリズム、凸レンズ、虫めがねと顕微鏡

2. 物質 (結晶) 中の光伝搬

3. レーザーとは何か?——いろいろな話

レーザーディスク・CD・レーザーとホログラフィー・光通信・光ファイバー・長さの標準・太陽電池と光エネルギー・エネルギーの形とその変換。
発光ダイオード・レーザーダイオード

VI. 植物と光——第9・10回 12/8, 15 照井

1. 植物による光利用：エネルギーとしての利用と信号としての利用	
2. 光に対する植物の反応	
(1) 光合成：細菌の光合成と高等植物の光合成	
(2) 光形態形成：光屈曲（屈光性）・もやしと正常植物	
VII. 原始地球と光	第 11 回 1/26 八木下
1. 生命の誕生と光	
2. 光合成による地球始原大気組成の大変化	
(1) Ca^{2+} , Mg^{2+} イオンによる CO_2 の無機的沈澱	
(2) 光合成による O_2 の海中への放出から酸化鉄の沈澱まで	
(3) O_2 の増加、 CO_2 の炭酸塩の蓄積	
3. オゾン層の形成と生命の陸上化	
VIII. 試験	第 12 回 2/2

「科学セミナーⅠ」で多くの学生が歓迎した点はそのまま継続した。その主な点は、次の通りである。(1)一つのテーマ（光と物の色）について、物理、化学、生物、地学の分野に関わる事象を取り上げて説明した。この際、諸分野間の関連が分かるように、予め担当者が相互の講義内容について協議した；(2)学生の聴講を継続させるために、2回目の講義では学生になじみ易い内容を講義した（《資料》参照）；(3)講義終了後、学生に質問を文書で提出させ、講義の範囲にとらわれずにできるだけ回答し、回答集（『科学セミナー Q&A』、以下『Q&A』と記す）を配布した。

今回の講義の主要な改善点は、次の通りである。(1)第1回目の講義には担当者が全員出席し、講義全体の構成と内容の概略、担当者間の講義内容の関連性などについて説明した。この際、より具体的に理解させるために、小中学校の教科書や、虹などの自然現象をスライドで示した。(2)配布資料を豊富にし、充実させて、学生が板書をノートに書き写す時間をできるだけ少なくした。これによって、学生が教官の説明を聞くことに集中できることを狙った。また、資料の規格をA4版に統一し、学生が整理しやすいよう配慮した。(3)何名かの教官は演示実験を行い、また更にスライド、ビデオ等を多く取り入れる教官がいた。講義に集中させ、理解を容易にすることを狙ったものである。(4)講義時間を有効に使うために、出欠は確認しなかった。(5)教官相互が講義内容の関連を確認する等のために、他の担当者の講義を必要に応じて聴講することとした。

II 「科学セミナーⅡ」に関するアンケート調査と試験結果

1. アンケート調査

A. 選択肢による回答

「科学セミナーⅠ」と同様の質問項目について調査した（照井ら、1993）。その結果、「科学セミナーⅡ」では、「科学セミナーⅠ」に比べて、複数の教官の講義が、内容の理解に相互に役だった（図1）とどの学年の学生も感じていることは、上述の改善点(1)が有効であったことを示している。講義内容に関連する疑問を生じたと答えた学生が前回より多かったこと（図2）は、講義が分かりやすいために疑問点がより明確になったのか、学生にとって日頃から疑問を

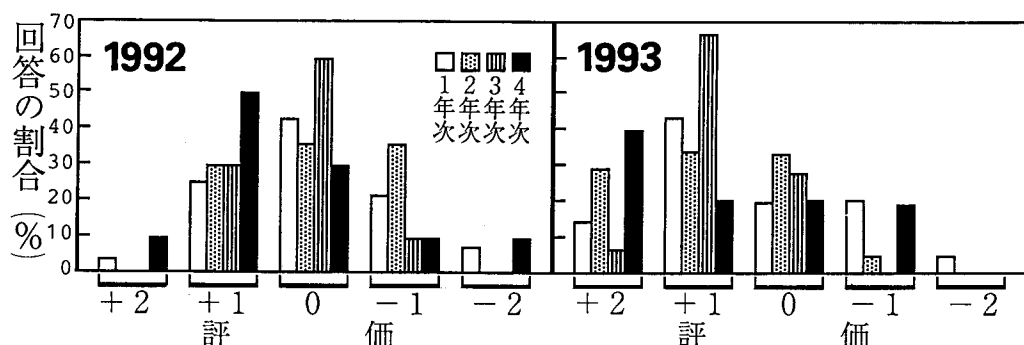


図1. 期末試験時に行ったアンケート調査で「各担当教官が扱ったいろいろな内容は、相互の関連を理解するのに役立ったか」の質問に対する回答の割合を学年毎にまとめた。+2は相当役立ったことを、-2はほとんど何の役にも立たなかったことを示し、+1,0,-1は中間の程度を示す。比較のために1992年度と1993年度の結果を示した。左側の図中に示したハッチングは、右図にも共通である。

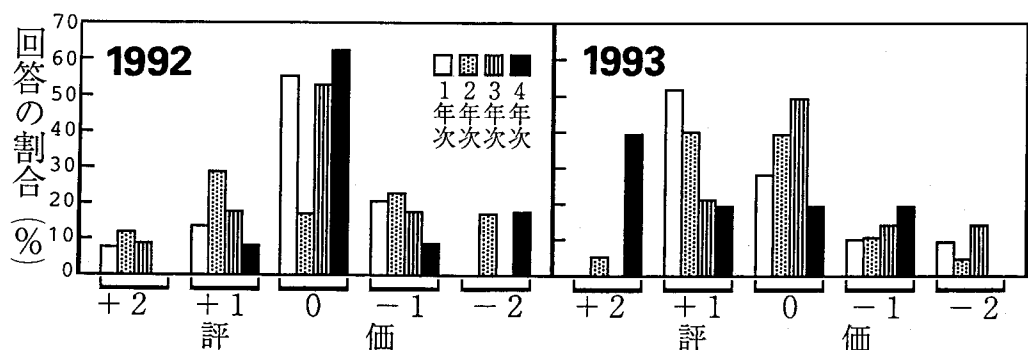


図2. 期末試験時に行ったアンケート調査で「講義内容に関連する疑問を生じたかどうか」の質問に対する回答の割合を学年毎にまとめた。+2はたくさんある、あるいは強く疑問を感じたことを、-2はほとんど何も感じなかったことを示し、+1,0,-1は中間の程度を示す。比較のために1992年度と1993年度の結果を示した。左側の図中に示したハッチングは、右図にも共通である。

感じ易い分野であったためかは分からない。その他の点即ち、期待した内容であったか、講義内容に初めて知った考え方があったか、などの質問に対する答は、両アンケートでほぼ同様であった。

B. 自由記述による回答

(1)「改めて欲しい点(全体あるいは誰の講義のどのような点)を、できれば、どのように改めてほしいかも書いて下さい。」に対する回答者の割合は、期末試験受験者のうち、1年次学生52%、2年次51%、3年次60%、4年次60%であった。その回答は下記の通りである。回答文に続く数字は回答者の学年を、それに続く“*”1個は、その回答をした者が一人であったことを示す。

内容(レベル?)を低くしてほしい。1*

プリントの図を大きくしてほしい。1*

- 専門用語が多かった。もっと噛み砕いてほしい。1*
- 基礎知識がないのに専門用語が多すぎた。1**
- 専門的すぎてむずかしい。3*
- 一般知識でも理解できる内容にしてほしい。2*
- 内容が多すぎて消化しきれなかった。1**
- もっと資料の説明をしてほしい。2*
- 内容は少なくともいいから、もっと丁寧に解説してほしい。1*
- たくさんの範囲をさっと進むより、狭い範囲をじっくりやってほしい。3*
- 内容が多すぎて時間に追われる感じだった。もっとじっくり勉強したい。1*3*
- 内容が盛りだくさんで、途中で飽きてしまうことがあった。3*
- 1年生にはむずかしすぎると思う。もっと易しい内容にしてほしい。1**
- 実験のようなものをもっと増やしてほしい。1**
- 資料を見せるだけではなく、実験などをして、学生がもっと講義に参加できるようにしてほしい。2*
- OHPがよく見えなかった。1*
- OHPの使い方が下手だと思う。4*
- 英語の多い資料を改めてほしい。1*
- プリントが足りず、もらえないことがあった。1*
- もう少し興味のある身近なもの(テーマ?)にしてほしかった。1*
- 受講している人の苦手な分野(特に物理・化学)でも理解できるようにプリントを準備してほしい。1*
- 高校で習ったものは良かったが、習っていない分野ではレベルが高くむずかしかった。1*
- 開講前に「光と物の色」に関する内容だと分かっていたら、もう少し自主学習ができたと思う。1*
- もっと内容の濃いものにするか、全体をさっとやってほしい。2*
- 出欠をとってほしい。2*
- 全学年を通して聞ける講義はむずかしいと思うが、その点を改めてほしい。2*
- 去年より分かりやすくなった。来年も新しいテーマで開講してほしい。3*
- 他学科の学生でも予習、復習できるように、参考図書を紹介してほしい。3*
- もっと学生に質問して答えさせてほしい。4*
- 前もって配布される資料の量が多すぎる。3*
- 「××先生の所で説明します」、というのはやめてほしい。4*
- 今年はあまり興味のない分野だったので、あまり出席しなかった。2*
- 講義室が寒い。1*2****3***
- 講義室の照明が暗く、目が疲れる。3*
- (2)「講義でよかった点(全体あるいは誰の講義のどのような点)が、なぜ良いと思ったか、を書いて下さい。」に対する回答者の割合は、期末試験受験者のうち、1年次学生52%、2年次62%、3年次100%、4年次90%であり、その回答は下記の通りである。
- 実験(演示実験)を目の前で見ることができてよかった。1**2*****3*****4**
- トマトジュースの実験(演示実験)は良かった。飽きないし印象に残るから。1***2*3***

- 夕焼けの実験（演示実験）が良かった。印象に残るから。1***3*
- うちとけた感じで講義を進められたのは良かった。1*
- 動物の目の付き方による視野の違いを説明したビデオは良かった。1*3*
- 視覚的な講義で良かった。4*
- 一つのテーマについて、いろいろな視点で聞けることが良かった。1*
- OHP やビデオを使って良かった。実験も面白かった。飽きないから。1***3*
- 講義内容は全体として興味深かった。1*
- 身近な事象を取り上げたので良かった。2*3*
- 講義の内容は幅広かったが、教官の間にある程度関連があったので理解が深まり、分かりやすかった。2*3*
- 資料に図やグラフがたくさんあって見やすかった。1*
- 全体として資料に沿った説明だったので、聞きながら読んで確かめられ、良かった。3*
- いろいろな先生の話聞く良い機会だった。2*
- 今まで知らなかった現象をたくさん知ることができて良かった。3*
- プリントがたくさんあるなど、去年より分かり易かった。3***
- 別の先生のプリントを他の先生も使ったので、関連がはっきりした。3*
- 事前にプリントが配布されたので、話の内容が確認できた。他の教官との関連など。3**
- 押し付けがましくない点が良かった。3*
- 講義内容が濃くて良かった。3*
- (3)「どのような講義のあり方を望みますか、どのような観点から書いてもかまいません。できればそのように希望する理由も書いて下さい。」に対する回答者の割合は、期末試験受験者のうち、1年次学生48%、2年次48%、3年次67%、4年次90%であり、その回答は下記の通りである。
- 長時間集中するために、先生は学生に問題を出してほしい。1*3*
- 例題を使って説明してほしい。1*
- 小中学生が興味を持つような題材を取り上げてほしい。1*
- もっと身近な題材を取り上げてほしい。2*4*
- 実験を多く取り入れてほしい。1*****3**4*
- 我々に関係深い事象に関する講義。2*
- テーマが「光と色」ですから、もっと視覚的授業にしてほしかった。3*
- 視覚的な講義が良い。3*
- 講義の一コマ（講義1回？）だけでよいから、私達が「知りたい」ことを特集してほしい。1*
- 何か論理が持ち上がったら、その都度証明してほしい。1*（意味不明）
- 専門用語を減らしてほしい。1*
- 講義の量を減らして、詳しく説明してほしい。2*3*
- 学生が（実物に）触れることができるような講義。2*
- 教科書や講義では絶対やらないような自然の不思議について触れて下さい。「一回やったことがある」ようなことではなく、自分で調べる手がかりやきっかけになればいいだろうな、と思います。2*

プリントは必要。3*

プリントを読み上げるだけではなく、視覚教材を使った授業。3*

講義内容の予定表を、個人にも渡してほしい。3*

知識を供給するのではなく、関心を引き出す講義にしてほしい。4*

(一般教養にも地学を開講してほしい。1*)

C. 講義の難易

学生がどの講義をむずかしいと感じたかを図3に示した。導入部でいろいろな現象を演示実験を見せながら紹介した講義(村上)、ビデオを使用して視覚にうったえて分かりやすく説明した講義(梶原)、スケールが大きく学生が親しみ易い内容の講義(八木下)は、比較的やさしいと感じている。しかし、ミクロの世界や表現が抽象的になりやすい講義は比較的むずかしいと感じている。

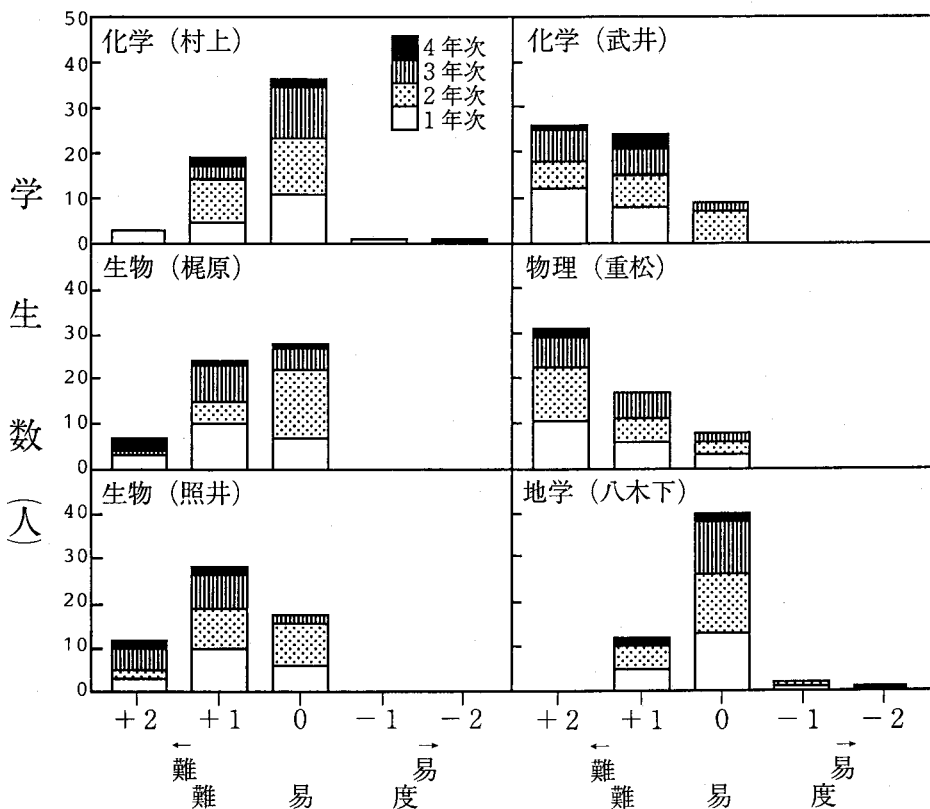


図3. 学生から見た各担当教官の講義の難易。左上の図中に示したハッチングは、全ての図に共通である。

表1 期末試験の成績

	化学 (村上)	化学 (武井)	生物 (梶原)	物理 (重松)	生物 (照井)	地学 (八木下)
1 年次	2.6 ^{*1}	1.9	5.2	1.8	6.2	7.8
2 年次	3.4	5.4	5.4	2.0	8.6	10.1
3 年次	5.6	2.5	4.4	1.4	6.2	8.3
4 年次	2.8	5.2	2.0	3.2	5.0	7.6
平 均	3.5	4.2	4.8	2.0	7.0	8.7

^{*1} 担当教官ごとの配点を、20点満点に換算した点数を示した。

2. 試験結果

今年度は、一つの試みとして光合成を中心とした出題とし、物理、化学と地学分野からは光合成のメカニズム及びその地球上での意義に関連した問題を配した。問題間には密接な関連があり、その関連が分かるように解答するように求めたにも関わらず、まったく独立した個別の解答が大部分を占めた。物理分野と地学分野に関しては、授業の難易に関する学生の認識(図3)と試験の成績(表1)には対応関係が認められるが、他の分野に関しては関連が明かではなかった。これは、上述のような試験問題の出題の仕方にも関係している。

III 学生の学習上の問題点

「科学セミナーⅠ」と「科学セミナーⅡ」についてそれぞれ行った2度のアンケートの自由記述に表われているように専門用語はむずかしいと考えられており、特に物理、化学の分野でこの感想が多かった。しかし、自分で調べたり、授業中に質問することはほとんどなかった。一方、出欠確認がないにも関わらず、学生は積極的に出席した。この積極性は、本講義に対する何らかの期待の現れと理解したい。学生のこのような講義への積極性を、どのようにして自然科学の学習の消極性の打破に向かわせるか、が重要な課題である。その手がかりを得るために、次に、本講義に臨んだ教官の姿勢を述べた後に、アンケート結果、試験の答案及び『Q & A』の質問文をいくつかの観点から検討した。

1. 本講義に臨んだ教官の姿勢

何故物に色がつくのか、その原因を光と分子との相互作用で説明することが講義全体の基本的な部分であった。光も分子も直接見ることはできないので、言葉つまり専門用語と模式図を用いて講義を行わなければならない。具体的には、物に色がつく原因は、物質分子の中の電子の振る舞いと関係がある。そこでは光の吸収、放射などが関係し、光の持つエネルギーと電子の持つエネルギーとのやり取りを説明しなければならない。従って、光の性質、つまり光の持つエネルギーとは何か、次に電子について、分子の中の電子とはどういう物なのか、またその電子のエネルギーとは何か、ということなどが分かっていると光の吸収、放射についても理解できない。このような専門用語はどれも、見たり触ったりすることのできない物や現象を表わしている。従って、直感的に分かることなく、あくまでも言葉として、またモデルを思い浮かべて了解することが必要である。

マクロな世界の物質を構成しているのはミクロな世界の物質である。教える側も教わる側も分子や電子のようなミクロな物質を直接観察することはできない。しかし、マクロの世界の現象について、“なぜ”と疑問を持つと、マクロの物質を構成するミクロな物質の性質や作用について知識を得、理解しなければ答えられない。得られた知識によって、さしあたり解き明かそうとしている問題を解決できるばかりではなく、それ以外の現象の理解にも役立つ。例えば、物に色がついて見えることと、紫外線による日焼けや皮膚ガンについて考えてみると、マクロの世界では全く違う現象であるが、ミクロの世界での分子と光の相互作用を考えると基本的に同じ現象であることが分かり、結果に到る過程が違うだけであることが理解できることになる。このような体系的な思考訓練は、大学での学習内容として、避けて通れないことであると考えて授業を行った。

2. 用語の使い方と自然現象の認識のし方

アンケートでは、専門用語に対する違和感（なじみにくさ）が数多く述べられていた。そこで、今回は答案及び質問文（『Q&A』の質問）を個々に調べて、専門用語の使われ方を中心に、奇異に感じられる部分を検討した。その結果、専門用語の理解ばかりではなく、次のように性質の異なるいくつかの問題点が明らかになった。

A. 状態量の理解について

学生の質問「明るい光と暗い光では、光の速さが違うのか」をみると、光の何が違ういるために明るくなったり暗くなったりするのか理解できていないことが分かる。もちろん、明暗は光の速さではなく、光量が異なることに起因する。光子1個が10個になっても 10^{10} 個になってもその速度は一定である。しかし、光の明るさは10倍、 10^{10} 倍になる。

このように、状態量の中には「物質の量（体積、質量など）に関係しないもの＝強度因子、示強変数」と「物質の量に比例するもの（加成性が成立する）＝容量因子、示量変数」の2種類あることが理解されていない傾向がある。この点を明確に認識しないと、考えたり表現したりすべき点があいまいになる。

B. 単位に対する不注意

「オゾンホール」の分布状態は、「ドブソンユニット（上空のオゾンの量を地上に集積した場合、その厚さを1/100 mm単位で表わしたもの）」の量で表わされる。講義ではこの単位を用いて説明したが、試験でこの単位の意味をふまえて解答した学生はいなかった。一般向けや青少年向けの科学雑誌ではドブソンユニットは既に頻繁に使用されている。科学的な議論をするには、単位を正しく使い、問題となっている事柄を定量的に議論するという姿勢が必要であるが、このような姿勢は質問や答案にはまったく認められなかった。自然科学の全ての分野において、諸現象をより正確に分析し、検討するためには単位を明確に認識させることが必要である。

C. 人間の認識と自然現象の独立性

（1）学生の「光は物を我々に見せてくれるが、光とは明るいものなのか、それとも明るいから光というのか」、「なぜ白は光を反射して、黒は光を吸収するのか」等の質問は、一見本質をついているようであるが、決してそうではない。少し考えればすぐに答が出せるもの、敢えていえば質問にもならないようなものである。例えば、後者に関しては「可視光の多くを反射するものは白っぽく、多く吸収するものは黒っぽく見える」のであって、白・黒の定義に近いこ

とを質問している。このように、「これこれのことを、このように定義しよう、表現しよう」ということと、「それがどうして起こるのか、原因は何か」ということを混同していることが考えられる。

(2)『Q&A』には以下のような質問が見られた。「水の上の油膜はどうしてあのように七色にうつるのだろうか」、「明るい光と暗い光では、その光の速さは同じなのか」、「光というものは吸収、散乱、発光と、いろいろな形でみえる(後略)」、「普段何とはなしに使っている電気(光)はものを我々に見せてくれるが、光とは明るいものなのか、それとも明るいから光というのか」、「何故白い色は光をあまり吸収せず黒い色は光をよく吸収するのか」。これらの質問は、すべて自らの視覚から発生している(下線部)。ところで、自然科学の理解においては、自らの存在や認識とは無関係に、物質とエネルギーとの相互作用が存在することを前提としなければならない。我々はある物が「光を吸収せずほとんど全てを反射する」様子を見て、その物が「白い」というのであるが、最後の質問は、光の反射・吸収などとは関係なく物自体に白いものがあると誤認している。その結果、原因と結果とを逆に捕らえるという事態すら生じる。したがって、学生は専門用語を理解しているかどうかという水準にあるのではなく、現象を客観的に把握できるかどうかという水準に留まっている可能性がある。

「色とは、光の吸収によって補色が見えるとなっているが、では、本来物質はどのような色をしているのか」という質問があった。これも同様である。

(3)「可視光以外の波長領域の光はどうして見るできないのですか」という質問があったが、「可視光(線)」とは、講義で説明したように「ヒトの目に光として感じる波長範囲の電磁波」のことなのである。学生の先入観の強さが、「科学セミナー」のような講義でさえも、それを打ち破ることができないほどであろうか。

人間は経験を通して自然現象を認識するが、自然現象が人間の認識とは独立していることに気付いていないかのような質問や答案が多く見られた。自分の知り得ることのみが自然現象であるということも、ある意味では受け入れられるが、これでは自然科学は成立しない。「光」という言葉は、定義された自然科学の用語として使われるよりは、日常用語として使われる方に、学生はなじんでいるであろう。そのあたりを曖昧のままにせずに、定義された言葉として了解するように明確に指導することも必要である。

D. 用語の理解度について

(1)「吸収」、「励起」、「発光」は、いずれも化学分野の講義で説明された。原子・分子・イオンに束縛されている電子は、離散的エネルギー準位を持つ(このことの理解は、量子力学の基礎の理解を必要とし、むずかしい)。任意の2つのエネルギー準位の差に相当する光が、原子・分子・イオンに吸収されると、電子はより高いエネルギー準位に励起される。電子がより低いエネルギー準位に遷移するとき、エネルギー準位の差に相当する光を放出する。このとき、原子・分子・イオンが発光する。ここで注意しなければならないのは、これらの用語が意味する現象の主体が、光であつたり電子とか原子・分子・イオンあつたりすることである。これらの理解を前提に、物理分野では、レーザー光を出す原子・分子・イオンが、どのような「吸収」「発光」の特性を持つかを講義し、試験に出題したが、正解は皆無であつた。解答としては、相前後して説明したレーザー発振の3条件(誘導放出、反転分布、空洞発振)を書き写していた。このことは、物質と光との相互作用に関わるこれらの基礎的用語の意味する現象の主体が何であるかを理解していないことと深く関わっている。

(2)「我々が『見る』物質の色について、その色覚発生の機構を説明せよ」という試験問題の答として、別の問すなわち、「物質が光を『吸収』することについて、「反射」や「透過」と異なる点が明確になるように「物理」や「化学」の言葉で説明せよ」に対する答を書いた学生が、7名(11%)いた。「吸収」という現象自体の説明がうまくできずに苦労して、色覚発生の機構まで解答する余裕がなかったとも考えられる。

(3)植物の色素による光の吸収が、生命現象に関係しない色素によるのと同じ原理によって起こることを何度か繰り返して講義したが、試験では光合成の機構に関する説明で光化学反応にふれていない答案が多数を占めた。

(4)「補色」とは、「2つの光を適当な割合で加法混色したものの色刺激が白色の色刺激と等しくなるような2つの光」である。化学分野の講義資料には、「ある特定の色光だけを吸収する物質は、その色光の補色に見える」こと、また、「2つ以上の色光を吸収する物質の色は、それぞれの色光の補色の混合色となる」ことが明記されている。従って、ヒトの色覚を問題にする場合は、「複数の色光について、補色が見える」という状態を想定して解答すべきなのだが、答案では「ある特定の色光だけを吸収する物質の色」に限定されており、色覚と補色の関係に関する学生の理解が十分深くないことを示している。

E. 現象の共通点・類似性と多様性の認識

人類の生産活動に伴う化石燃料の使用により、大量の二酸化炭素や二酸化硫黄などの大気中への放出が問題となっていることは、受講生の全員が承知していた。「地球の温暖化現象」の概要は認識されていたと考えられる。しかし、人間の呼吸による二酸化炭素の大気中への放出が、意外の多量に達していること(化石燃料による全放出量の約1/12)、このことから近い将来人口問題もまた地球温暖化傾向と深く関わってくるであろうというようなことは驚きであったようだ。つまり温暖化現象の原因が多岐にわたっているという認識は薄かったようだ。もちろん、メタンガスや雲の量なども温暖化現象に関わっているという事実も知らない。すなわち、この用語は一面的にしかとらえられていない。講義の中で学生に質問をして答させるなど、講義方法の検討が必要である。

3. 文章表現に関する問題点

A. 文章構造の曖昧な文の例

「レーザー光線とレーザーメスの利用法以外の異なる主な点とは何なのか」という質問では、「レーザー光線」と「レーザーメスの利用法」の対比は有り得ないから、「レーザー光線の利用法」と「レーザーメスの利用法」の対比であろう。そう読んだ時、質問者は「レーザー光線」と「レーザーメス」を異なったものと見なしていることが分かる。この質問に対しては「光線」と「メス」の意味の違いを説明しなければならないのだろうか。用語の意味をよく考えない質問と言える。

「私たちは可視領域しか見ることはできないが、他の領域ではどのような影響があるのか」という質問では、可視以外の領域について知りたいことが何なのか不明である。「よく買い物をした時、店内と家に帰った時では、買った物の色が違って見えるのは、店内のライトとどんな関係があるのですか」という質問の意味は一応理解できるが、家の中の照明が問題にされないのはなぜだろうか。質問者の家が色を決める基準として無条件に採用されている疑いがある。

B. 質問の焦点がよく分からない文の例

「蛍光色というのは、どのようになっているのですか」、「チョウの羽の色やタマムシ色について知りたい」、「自然光は作れるのですか」のような質問には、回答者がいくつかの仮定を設けなければ回答できない。

「オゾンの穴は、どの様に調べて出来ているのか調べるのですか」と「現在の CO_2 の量を考えると、 CO_2 の吸収で光合成で使われている CO_2 の量は含まれているのでしょうか」という質問は、単純に表現できるはずの内容を、あえて分かりにくくしており、それゆえ、このような表現は、理解できるはずの事柄を理解できにくくする原因にもなりかねない。

C. 複数の文からなる説明に一貫性がない文の例

試験の答案文中には、講義資料（プリント）中の文章がそのまま形でたくさん見られた。例えば、「ある特定の色光だけを吸収する物質は、その色光の補色に見える」、「分子は光のエネルギー $h\nu$ を吸収し、基底状態にある分子はエネルギーが $h\nu$ だけ高い状態に変わる。つまり、分子はエネルギー差に相当する光が当たったときのみその光を吸収して興奮した状態（励起状態）になる。」そして、「吸収される光が可視領域のとき、我々ヒトには色がついて見える」などである。これらの文は、それぞれに意味を持っているが、色覚という現象を説明するときにそのまま書き写すのでは、全体として筋が通った説得力のある文章にすることはむずかしい。答案に限らず、文章を書くときに、学生にはそのような検討を行なう習慣がないと思われる。自分の理解を踏まえて表現するのでなければ、相手に分かってもらうことはむずかしい。このような努力が不足している。

D. 説明が論理的でない文の例

「生物誕生における水と光の関与について、それぞれ簡潔に述べよ」という問題に対して、「地球には創造期すでに海が形成されていた。また、雨により大地の Mg^{2+} 、 Ca^{2+} は海に流れ CO_2 、 CaCO_3 の無機沈殿を作り、またラン藻の光合成により、 CO_2 が少なくなり O_2 が放出されて生物があらわれた」という答があった。生物誕生のときのことを尋ねているのに、生物が放出する酸素を生物誕生の条件として挙げているのである。このような非論理的解答が、これを含めて 11 件もあった。

E. 因果関係に関する認識について

「光エネルギーというのは、光が他の物に作用した結果生じるエネルギーと考えてよいか、あるいは光エネルギーとは光そのものの存在ということか?」という学生の質問があった。これは、光の本性を確認するための質問であると思われる。光が反応を引き起こすのも、光の当たっている場所で暖かいと感じるのも光が物に当たった後の出来事として経験できる。しかし、このような現象は、光が何らかのエネルギーを持っていなければ、起こり得ない現象でもある。この質問に対する答は、講義の中で何度か説明されているが、この因果関係が正しく理解されていないようである。この学生が「本来、光にはエネルギーが含まれている」と表現しないのはなぜであろうか。「光」は「エネルギー」の概念とは無関係に我々が幼児期に経験する現象であり、後に、光合成やいろいろな形のエネルギーの学習などを通して「エネルギー」の概念を付け加えると考えられる。このように考えると、「光はエネルギーを持っている」とか「光にはエネルギーが含まれている」というのが自然な表現であると思われる。「光エネルギーとは光そのものの存在」という学生の表現には、光に、あえて科学的な意味以上の何かを付加しようとするかのような語気が感じられる。このように、用語の持つ意味を本来の意味以上やそれ以下に解釈してしまうことが、講義の理解の妨げになっている可能性が考えられる。

IV 結論

以上の検討を踏まえて考えると、講義で使う「基本的な」専門用語が理解されていないために、講義の要点自体も理解されていないというよりは、さらにさかのぼって、その専門用語の意味する現象が正しく認識されず、表現されていない事例も多いことが分かる。試験の論述問題などに、文を組み合わせる論理的な説明をする事は学生にとってたいへん厄介なものであるということが分かる。

専門用語に対するなじみにくさを1年生は多く感じている。2年生以上では、専門用語に対する違和感が少なくなることが2度のアンケート調査に共通していた（データは示していない）。しかし、試験の成績では高学年ほど好成績であるわけでない（表1）ので、学年が進むと専門用語になじんでくるというよりは、「むずかしさ」と「求められている学習努力」に対して反応しなくなる可能性も考えられる。従って、多くの専門用語が学生にとって単なる「死語」である可能性がある。

物理、化学分野の専門用語が最もなじみにくく、理解にくいという学生自身の認識の原因は、目で見たり触れたりできない事象を扱っていることに深く関係していると考えられる。（このことは、『Q&A』の質問に、ミクロな分野の物理的事象が極めて多いことにも現われている）。そのような事象は、論理的な思考とそれに基づくある程度の想像でカバーしなければならない。論理的思考には思考のための言葉が必要であるが、頭の中で定義が曖昧にされたままの言葉が使われていたり、定義を承知していながら、それはそれとして省みず、従って、本来それを踏まえるべき現象の説明がうまくできなくなる、などの例が見られた。このことは実は、物理、化学分野だけでなく、どの分野にも認められた。

このような現象の原因としては、試験の答案を書く場合についていえば、学生に次のような問題があると考えられる。①問題文中に記されていたり、示唆されている専門用語を正しく踏まえない。その結果、②どのような解答を求められているのかははっきり理解できないままに書き始める。従って、③何を、どのように書こうとするのか、頭の中ではっきりしていない。④思い付いたままの語順で書いて、後で省みることができない。⑤他人に理解してもらわねばならない、という認識が薄れる。⑥日本語で書いているのに、漢字の意味に注意をはらわないので誤字を書く。

大学入学後に、学生は多くの新たな知識や考え方を学ぶ。これらの学習内容を学生自身が理解しようとするのでなければ、講義の効果は期待できない。そこで本稿中に述べた学生の学習動向を踏まえて、1994年に予定している『科学セミナーⅢ』の取り組み方を検討した。すなわち、

（1）専門用語に違和感を表明している1年生は多く、2年生にも少数いる。そこで、今後は、講義の主な対象を1、2年生にする。これは講義レベルを1、2年生に合わせるだけのことであり、3、4年生の履修も大いに促し、歓迎する。

（2）今回の講義で、演示実験（村上、武井）は現象を明瞭に示すことができ、学生に大いに歓迎されたことが、アンケート調査の結果から分かる。また、視聴覚教材の使用が有効であることは、以前の我々の調査で分かっていたことであり（井上、1992）、ビデオを用いた授業（梶原）は、昨年の「科学セミナーⅠ」と同様に好評でもあった。しかし、このような学生の歓迎

が、試験の成績向上に結びつかなかった点を反省し、これらの教材の使用目的（何を分かってほしいか）や講義での位置づけを、これまで以上に強調して学生に説明する等、新たな工夫が必要である。

（3）学生にテーマを与えてレポートを提出させる。そのレポートについて、学生を個別に指導し、①専門用語（漢字も含む）の意義と使い方を知らせ、また②自然科学分野において論理的な文章を書く力を養成するよう試みる。

引用文献

- 1) 照井啓介, 伊勢國男, 重松公司, 星野善一郎, 村上 祐, 八木下晃司 「『科学セミナー』の目的と成果について－自然科学の諸分野の関連を強調した講義－」『岩手大学教育学部研究年報』第53巻 第1号 213－233 (1993)
- 2) 井上雅夫 (研究代表者) 編「大学における理科教育の改善－視聴覚教材の作成とその効果的利用－」岩手大学教育研究特別経費研究報告書 (1992)