高分子教育—現状と展望—

カリキュラムを中心に

中 條 利一郎*

1. 高分子科学の位置づけ

高分子科学教育の特集に際して、井本、松本両先生に加えて、筆者にも執筆するようにというのが編集委員会からの依頼であるが、その意図は両先生よりは筆者の方が若いので、将来への模索を分担せよということらしい。したがって、責めを果すには、まず高分子科学という学問のキャラクターゼーションから稿を起こすのが順当であろう。

1974年度のノーベル化学賞が Flory 教授に与えられることになったという最近のニュースを出発点に考えてみよう。同教授の高分子科学への数々の貢献が授賞の理由であることはいうまでもないが、その中で忘れてならないのは「排除体積効果」である。因果律の支配する系では、一定の刺激に対する応答の大きさを l とし、これを n 回繰り返せば、応答の大きさの和 r は $r=nl$ で与えられる。一方、ストカスチックな系では、 $\langle r^2 \rangle^{1/2} = n^{1/2}l$ となる。いずれも、物理学から制御工学を経て社会科学に至るまで、その例にこと欠かない系である。ところが、ここで l をセグメントの長さ、 n をセグメント数と読み替えると、 (n, l) で記述される高分子鎖の両端間距離 r の 2 次モーメントが

$$\langle r^2 \rangle^{1/2} = n^{1/2}l [1 + Cn + \dots]$$

(C : 定数) で与えられるのが、排除体積効果に対する一つの表現であり、高分子鎖以外にこのような系を筆者は知らない。

しかも、この効果が導入された動機は高分子の分子量の評価にあり、ここでも、高分子がその名の通り高分子量であるために、気体状態が存在しないという、まさに高分子固有の事情と深くかかわりあっている。すなわち、気体に替わって「希薄溶液状態」で分子量が評価されるため、溶質であるセグメントと溶媒との

相互作用を避けて通るわけには行かない。事実、定数 C は第 2 ビリアル係数と密接な関係がある。

さらに、分子量に関して忘れてならないのは「分子量分布」である。われわれはリビング重合によって単分散に近い高分子を得ることはできても、厳密に単分散の高分子を得ることはできない。したがって、合成化学的な意味での精製ということはありません、替わって登場するのが分子量分布と「平均分子量」ということになる。

このように糸をたぐり寄せて行くと、つぎつぎに高分子科学に固有の概念にでくわすことは、排除体積効果にとどまらない。高分子物性や高分子構造の中にはいくらかでも例がある。したがって、高分子科学が物理学、化学、生物学などの自然科学を培地として育ててきたことは間違いないが、すでにその培地からテーク・オフしたことも事実である。これに反して、高分子合成や高分子反応の分野では、最近に至るまで、独立の学問であるという意識に欠けていたきらいがある。最近に至って、ようやく、隣接基の協同効果が反応性をたかめることを、あえて「高分子効果」と命名したところに、そのことが顕著に現われている。その意味では、今までは片肺飛行だったといえよう。いうまでもなく、高分子科学は物性、構造、合成、反応をシステム・コンポネントとする科学のシステムであるから、やっと完全にテーク・オフしたというべきかもしれない。

2. 高分子科学教育の問題点

およそ、すべての学問がそうであるように、高分子科学もその歴史の産物であり、学問の発達過程と無関係な教育というのはありえない。すでに述べたように、高分子科学が物理学、化学、生物学の培地の上に育ててきた以上、「高分子」を冠する学科のカリキュラムから、これらの講義を落すわけにはいかない。もちろん、それらは理科系学生に対する一般教養科目よりも、ずっと高度のものでなければならない。また、「高分子」を冠する以上、高分子科学に対する講義もかなりの数が必要とする。一方、在学年限は他の学科

* Riichirō CHŪJŌ 東京工業大学工学部 (高分子工学科・152 東京都目黒区大岡山 2-12-1) 助教授・理博

Education of Polymer Science and Technology, Especially Curriculum in It

と同じである。したがって、時間に関する制限のもとで条件つき変分を行なって、最良のカリキュラムを作らねばならない。ここで、最良というのは、上記諸科目への単位数の配分が最適であり、総花的になって個々の教科の内容が表面的に流れないことであり、しかも、内容が盛りだくさんすぎて学生が消化不良をおこさないことである。この変分は非常に微妙で、事実、ある大学には物理学も化学も修得した知識が不十分であるという焦燥感に駆られる学生が大勢おり、また、他の大学ではあまりカリキュラムが輻輳しすぎているため、悲鳴をあげているということである。

歴史といえば、学科の歴史も重要な因子である。現在わが国には10ばかりの「高分子」を冠する学科があるが、これには紡織工学科など既設の学科の改組によるものと、新設のものがある。しかし、新設のものといえども、既設の学科から分離するなど、程度の差こそあれ、いずれも過去のきずなと無縁ではありえない。実験設備一つを考えてもわかるように、過去を離れて理想案だけを考えても、それは絵にかいた餅に終わってしまう。

3. 高分子科学教育のあり方

2.で述べてきたことの必然的な結果として、高分子を冠する学科の理想的なカリキュラムの表を掲げることにはしないで、もう少し地道に話を進めよう。

まず、物理学、化学など培地となった諸科学については、既存の学問体系と高分子科学との調和のとれた講義を進めることが必要であろう。より具体的には、高分子科学の中に例を求めながら、講義を進めるということである。いま、統計熱力学におけるエントロピーを例にとれば、ある容積の中に閉じこめられている気体が、それより大きい容積の中に移されると、構成分子がとりうる微視的状態の数(W)が容積(V)のベキに比例するから、 $\ln V \propto \ln W$ が大きくなり、エントロピーが増大するというのが伝統的な教授法である。今日では常磁性体のスピンの例にとられる。しかし、高分子を専攻しようとする学生に、気体や磁性体を例にしないで、ゴム弾性という格好の例がある。すなわち、統計熱力学を通じて、高分子物性的一端を教授することができる。海外にも同様な試みがあるが¹⁾、この場合は高分子を通じて、既存の学問体系を教授するのが目的のようである。それはさておき、このような教育は偏向教育であるという意見がある。しかし、日教組の教育を偏向教育ときめつける自民党がねらっている教育に、自民党よりの偏向がはなはだしいように、偏向のない教育などありえない。統計熱力学の講義でいえば、物理系の学科では固体物性の側に、化学系の学

科では電気化学の側に偏向しているのが普通である。ただ、これらの教育が長い歴史を持っているために、偏向がないように見えるだけである。

残り枚数が少なくなってきた。有機化学その他の講義も、これを通じて高分子化学を教授することができるのはもちろんであるが、その例をあげるのはやめる。また、高分子物性、高分子化学など高分子専門の講義についても詳述するゆとりはない。ただ、これらの講義では修士課程の講義との境界のおき方が最も重要と思われるので、この点についてだけ述べよう。専門の進展にともなう、新しい研究成果に基づいたものとして修士課程の講義の比重が大きくなって行くのは高分子科学に限った話ではない。これに加えて、高分子では培地となった科学の幅が広いから、高分子専門の講義が上の学年に追上げられてしまう。そのこと自体はやむをえないが、しかし、看板に「高分子」という字がついている以上、学部を卒業して実社会に出て行く学生に、高分子専門の講義をしなくてよいということにはならない。上で述べた培地となる科学の講義を改善すれば、高分子専門の講義では、いきなり、高分子固有の概念からはいれるから、そのことにより、学部でもかなり程度の高い内容を、消化不良をおこすことなく、学生に理解させることができる。また例をエントロピーにとれば、高分子物性の講義ではすぐ排除体積効果の概念について講義できる。そうして、具体的な理論的導出は修士課程でやればよい。さらに、学部と修士課程との境界を固定してしまわないことも重要である。時代とともに、学生の知識も理解力も増えて行くはずであるから、境界もだんだん上に移行する。例えば、Watson-Crick 模型は今日中学生でも知っている。したがって、DNA の融解は十分学部レベルで講義できる。これを10年前にはなかったという理由で、修士課程で講義しようというのは誤りである。

つぎに、「情報」、「環境」など今日の要請の強い講義について述べよう。これらの教科はあまり性急に取入れると、学問的体系をとらないまま講義することになり、軽佻のそしりを免れない。反面、いつまでも拱手傍観していると、学生の鋭敏な感受性に同期しない。この相克はここで取上げるにはあまりにも大きいので、ここでは高分子系学科固有の問題だけに話を絞ることにしよう。まず、情報については、情報の流れの一次元性と高分子の一次元性という類縁性がある。これを前面に出せば、情報を通じて高分子を、あるいは高分子を通じて情報を理解することができる。その意味では「高分子」を冠する学科の学生は恵まれているといえよう。より具体的なことは、自著であること

がはばかれるが、拙著²⁾を参照されたい。環境についても同様である。三たびエントロピーを例にとれば、この概念は蒸気機関その他の熱機関の効率とともに歩んできた。そのため、まず現象論的記述からはじまるのが普通であり、数学で完全微分についての講義をしていない段階で、完全微分という言葉を用いて学生を混乱におとし入れたあとで、登場してくる。しかし、いきなり分子論的記述からはいれば、学生にとって未知の概念は何も使わずに説明できる。しかも、今はデジタル時代である。容積というアナログ量を用いて気体のエントロピーを説明するよりは、酔歩の理論を用いて鎖状高分子のエントロピーを説明した方がどれだけわかりやすいかしのれない。加えて、この説明からであれば、不可逆過程ではエントロピーが増大するという熱力学の第2法則も容易に理解できる。思えば、われわれが受けてきた教育は、エネルギー保存則にみられる「保存」、自然界における窒素の循環にみられる「循環」などを基底としたものであった。何事によらず保存し循環するという自然感が、汚染をしてもやがてはもと通りに浄化されるという安易な考え方に結びつかなかったとはいえまい。だとすれば、エントロピーの増大を通じて没落型の自然観を教授することが、環境教育の出発点であるといえよう。

現在、わが国にある「高分子」を冠する学科のうち、理学部に設置されているのは2学科で、あとはすべて工学部に設置されている。その意味では、高分子科学についてだけ述べてきたのは片手落ちで、工学ないし工業についても述べねばならない。これについて、具体的な案を持ち合わせてはいない。いうまでもなく、今日技術革新のテンポは急速であり、しかも技

術革新の渦中にある人は、その守秘義務のゆえに、大学人に対して実体を伝えようとしない。教育の重要性はいまさらいうまでもない。高分子学会を母体に高分子工学ないし工業について、情報の交換ができる場をつくることを提案したい。

以上の記述は、科学にせよ工学にせよ、ともかく学生が卒業後も高分子の専門的な職業につくという暗黙の了解のうちに、議論を進めてきた。しかし、実際には、進路は多様化しており、行政官庁や商社に就職するものも出はじめている。このような進路の多様化に対して、カリキュラムも多様化すべしという意見もあれば、卒業後には無関係に「高分子」を冠する学科に所属している以上は、高分子科学を履修させればよいという意見もある。筆者自身の意見をと問われれば、まだデータが少なく、適確な判断はしかねるとしか答えようがない。もう少し、時日を藉していただきたい。ただ、アラカルト型のカリキュラムを実施している大学もすでにあるということを付言しておこう³⁾。

最後に、医学、生物学、薬学などを専攻する学生への高分子科学の教育も忘れてはならない問題である。しかし、これは編集委員会からの依頼のわくをはみだしていると考えられるので、備忘録として記すにとどめよう。

文 献

- 1) B. Wunderlich: *J. Chem. Educ.*, **50**, 736(1973)
- 2) 中條利一郎: 高分子科学者のための情報科学, 共立出版(1973)
- 3) 藤村敏一, 岩倉賢次: 第23回高分子討論会講演要旨集(1974) p.285

高分子の講義