

高分子物質の教授プランについての実践的研究

- 人間との関わりを通して学ぶ高分子物質 -

八島 弘典

高分子物質の学習内容を高分子物質の本質から規定し、併せて人間との関わりを通して高分子物質を学べる教授プランを提示した。また、授業実践を通して教授プランを評価・検証し、高等学校における高分子物質の教育内容について新たな提案を試みた。

[キーワード] 高等学校化学 高分子物質 高分子概念 ゴム加硫技術 分子内回転運動

はじめに

ともすれば学習内容の枠組みについてほとんど何も考えずに、教科書をどのように教えるかが教員にとって最大の関心事になってしまう傾向がある。もちろんだのように教えるかということは重要なことではあるが、それに止まらず、学習内容の枠組みについて検討し、生徒が将来、市民としてよりよい社会づくりに参画するために、何をどのように学習すべきかについて考える必要がある。

新学習指導要領では、総合的な学習の時間が加わり、その学習内容を教員自らが考えなければならない。まさに何をどのように学ぶかを生徒とともに考え、ともに授業を創ることが求められている。ここでは、高分子物質を取り上げ、「総合的な学習の時間」「学校設定科目」などでの学習内容についても意識して、市民として必要な物質認識とは何かという視点で教授プランすなわち授業書（指導案・教科書・ノート兼用の印刷物）を作成し、授業実践を通して授業書を評価・検証した。

高分子概念の形成の歴史と高分子の本質的特性

1. 高分子概念形成の歴史

ゴムは加硫技術⁽¹⁾の発見によりはじめて生産材（工業原料）として利用されるようになり、人間はゴムの存在を知るようになったといえる。すなわち、加硫技術により生ゴムを加工するこ

とで、ゴム物質を認識することができたのである。加硫技術の発見により、ゴム靴、防水衣料など無数のゴム製品が市場に現われたが、なかでも産業革命によって生まれた鉄道車両の防振材は大量のゴム需要を生み出した。

ゴムの需要が増加してきた1876年に、大英帝国はブラジルから持ち出しを禁止されていた野生ゴムの種子を盗み出し、これをもとに栽培ゴム農園をイギリスの植民地である東南アジアを中心につくることになる。栽培ゴムはやがて野生ゴムを駆逐してますます生産を伸ばし、大英帝国はゴムの生産を独占するようになった。

このゴムの独占は近代になり戦略物資⁽²⁾の独占という意味をもつようになり、帝国主義の後発国であるドイツ帝国は大英帝国に対抗して新たな植民地を獲得するために、産業界を中心に合成ゴムづくりの研究を始めることになる。この段階での合成ゴムづくりは、理論をもとにしたものでなく、産業界の化学技術者の経験的蓄積をもとにしたものであり、大学などのアカデミックな研究機関にいる化学者からは見向きもされなかった。このような状況の中で、ドイツの大学教授であるシュタウディングーはイソブレンゴム⁽³⁾をつくろうと実験を重ね、ゴムに似た物質ができることを体験したのである。このゴムに似た物質の性質を調べる中で、シュタウディングーは天然ゴムは高分子であるに違いないと直感し、1920年に重合に関する初めての論文を発表し、高分子の存在を唱えた。しかし、

シュタウディンガーの論文は異端の学説として無視され、彼の友人たちからは、ゴムづくりなどの理論の通らないねばっこい汚らしい化学から手を引くように忠告を受けるというような状況であった。アカデミックな研究機関にいる化学者にとっては、高分子の存在は化学者の常識を超えるものであり、想像さえできないというものであった。しかし、シュタウディンガーは溶液の粘度と溶けている物質の分子量の関係を示す⁽⁴⁾論文などを発表し、1930年にはほとんどの化学者が高分子の存在の事実を受け入れるようになった。

シュタウディンガーによって高分子概念が形成されたが、これは彼が当時、化学者の仕事でないとされたゴムづくりに携わっていたことが重要なポイントといえる。ところで、シュタウディンガーはどうして産業界の化学技術者の仕事であるゴムづくりに携わったのか。それは、先に述べた事情により、ドイツの産業界では盛んに合成ゴムづくりの研究が行われていたということと、さらに当時は自動車産業の成長とともに天然ゴムの価格が上昇し、合成ゴムづくりの社会的ニーズがあったからである。このような社会的背景の中で、シュタウディンガーは天然ゴムの成分であるイソプレンに関する研究をしているときにイソプレンを効率よくつくる方法を見つけ、これをきっかけに合成ゴムづくりに携わったのである。

このように社会的背景と科学・技術が結びついてはじめて高分子概念が形成されたのである。すなわち高分子概念は科学・技術・社会の相互作用により形成されたのであり、今、高分子概念の形成の歴史にかかわる高分子化学も「化学」の一領域と考えるなら、「化学」とは本来、科学・技術・社会の相互作用による自然認識、つまり人間の自然認識における様々な活動の総体であるとも言える。したがって、高分子概念の形成の歴史を学ぶということは、単に高分子物質の科学について学ぶだけでなく、人間との関わりの中で高分子物質をトータルに捉える認識

を形成し、科学・技術・社会と人間との関わり方を考える材料の基礎を提供することができる」と期待できる。

2. 高分子の本質的特性

分子量が 10^4 のオーダーに達して分子が非常にひよろ長くなると、糸がからみあうような状態になって分子間相互作用が非常に大きくなるため、図1のように熔融物の粘度は急に大きくなる。すなわち、分子量が 10^4 のオーダーに達するとき、それは分子量の単なる増大という連続した量のものから、新たな質をもつ物質へと質的に変化する。この物質こそが高分子物質である。

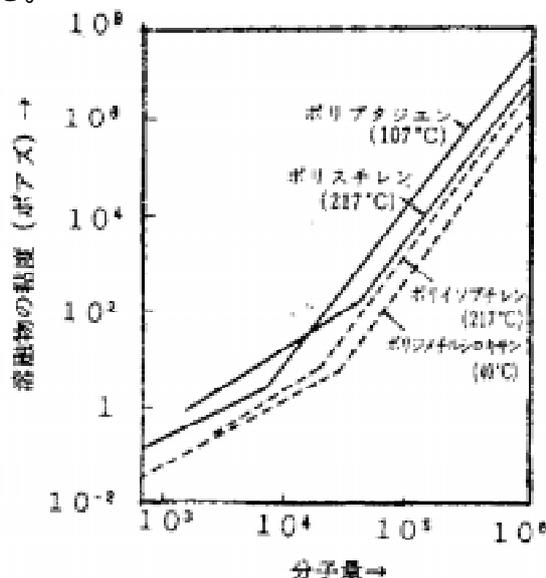


図1 熔融粘度と分子量の関係

(牧廣『高分子の本質』, 地人書館, 1971, 78頁)

表1は分子の長さや分子間相互作用の関係を示したものである。 $-(CH_2-CH_2)_n-$ の重合度であるnの数が1, 2では気体状態、3~5では液体状態で、nが60を超えたらろう状の固体状態を示すようになり、nが100を超えたら脆い固体になり、さらにnが1,000を超えたら分子が非常にひよろ長くなるとついにからみあい⁽⁵⁾が生じるようになって硬い固体であるポリエチレンになる。このように、分子間相互作用(分子間力)は原子間相互作用(共有結合)に比べてはるかに弱い相互作用であるが、分子間相互作用は分子が非常にひよろ長くなる

とその長さにしたがって総和になるために非常に大きくなる。

表1 分子の長さと分子間相互作用の大きさ
(藤重昇永『身のまわりの高分子』, 東京化学同人, 1992, 42頁)

| n | 分子量 | 融点(°C) | 沸点(°C) | 室温での状態 |
|-------|--------|--------|--------------|--------|
| 1 | 30 | -183 | -88.6 | 気体 |
| 2 | 58 | -126 | -9.5 | 気体 |
| 3 | 86 | -94 | 69 | 液体 |
| 4 | 114 | -57 | 126 | 液体 |
| 5 | 143 | -39 | 174 | 液体 |
| 10 | 286 | 38 | 265 | ろう状 |
| 15 | 429 | 66 | 235/1 mmHg | 液体 |
| 20 | 572 | 81 | 241/0.3 mmHg | 液体 |
| 30 | 843 | 79 | 分解 | 液体 |
| 60 | 1,686 | 104 | 〃 | ろう状固体 |
| 100 | 2,802 | 106 | 〃 | もろい固体 |
| 1,000 | 28,002 | 110 | 〃 | 硬い固体 |

からみあいの度合は高分子鎖の形によって規定され、糸まり形、折りたたみ形、直線形の順にからみあいの度合は大きくなる。それぞれの形と高分子物質の性質の関係は図2のようになる。高分子鎖が糸まりの形であるゴムはからみあいの度合いが小さいため、製品として使用するためには人工的なからみあいとよめる加硫技術によって補強されている。

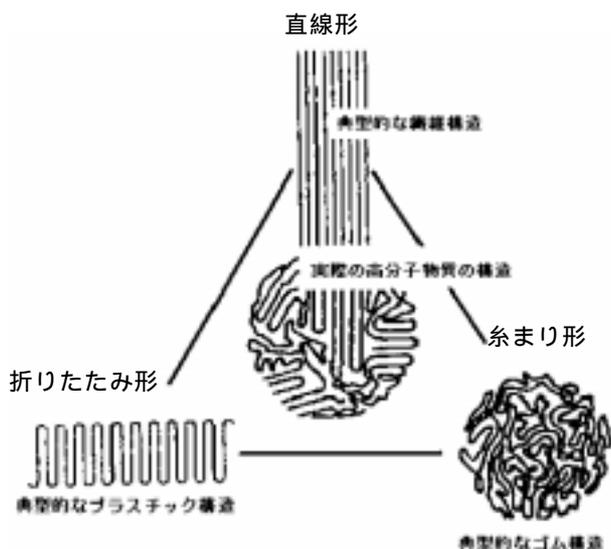


図2 高分子鎖の形と高分子物質の性質

高分子鎖は非常に多くの炭素原子が結合したものであるが、結合を軸として両端の炭素原子は自由回転が可能である。図3に示した炭素原

子の鎖においてC₁, C₂, C₃の位置を固定したとすると、結合軸C₂-C₃の回転によりC₄は図上の円周上を動くことができる。また、C₂, C₃, C₄を固定した場合はC₅が同じように一つの円周上を動くことができるというように、同じことが以下の原子全部にあてはまる。そしてこのような回転の自由度が、多数の炭素原子について積み重なると、高分子鎖はさまざまに曲がりくねって多様な形をとることができる。高分子鎖の形はからみあいを規定する大きな要因となることから、高分子鎖の形の多様性は重要な意味合いをもってくる。

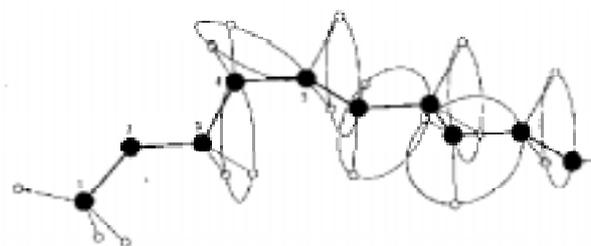


図3 結合の回転と高分子鎖の変形 (牧廣『高分子の本質』, 地人書館, 1971, 106頁)

高分子鎖の形の多様性には「分子内回転運動」による多様性の他にもうひとつ重要な多様性がある。それは構造単位の並べ方による形の多様性である。構造単位の並べ方による多様性には、結合の仕方による多様性や立体規則性などによる多様性がある。図4は結合の仕方による多様性を示している。図4(a)のように重合が進んでいく場合を考えると、炭素を頭、炭素を尾とすると、頭-尾の結合によりモノマーがつながる。モノマーがこれとは逆につながると頭-頭の結合ができる。このように頭と尾の結合の仕方によって多種多様な形の高分子鎖ができる。この結合の仕方による多様性は、ブタジエンなどの重合の場合では、図4(b)のようになる。ブタジエンを重合すると、その重合の条件に応じてこれらの結合がいろいろな割合で生じ、多種多様な形の高分子鎖ができる。

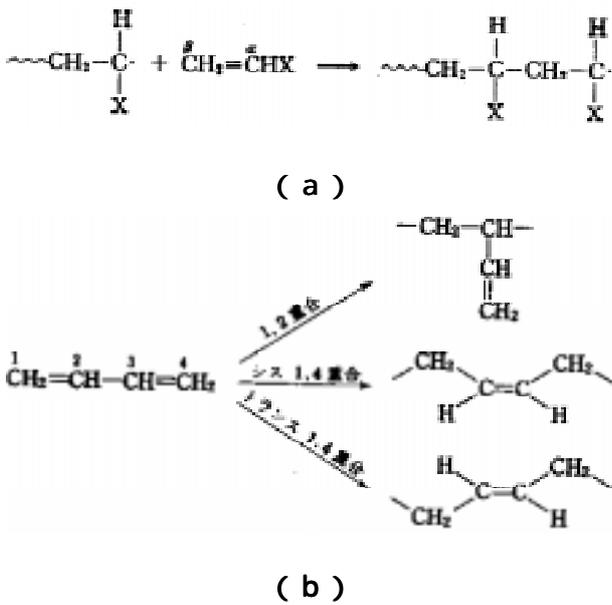


図4 結合の仕方の違いによる多様性（高分子学会編『高分子科学の基礎』，東京化学同人，1978年，128頁，129頁）

結合の仕方が同じでも立体規則性の違いによる高分子鎖の形の多様性がある。図5はビニル

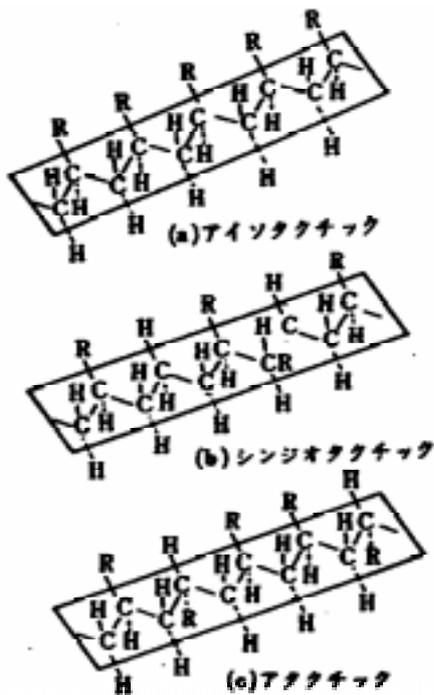


図5 分子鎖を平面ジグザク状に引き伸ばしたと仮定した場合の模式図（日本化学会編『高分子化学の基礎』，大日本図書株式会社，1968年，203頁）

系ポリマーの側鎖（R）の空間配置の違いを示している。この側鎖（R）の空間配置の違いは結合するモノマーの裏表の違いによるもので、その違いによって多種多様な形の高分子鎖ができる。

物質進化の視点，すなわち物質の存在様式の多様性からみると，高分子鎖の形の多様性こそが高分子の本質であるといえる。酵素などの生体高分子は，高分子鎖の形の多様性によるユニークな構造によって他の物質との相互作用が規定され，酵素の基質特異性を示している。例えば，アミラーゼという酵素はデンプンを加水分解するが，セルロースをまったく加水分解しない。デンプン，セルロースはグルコースが次々に結合した構造の高分子であるが，図6のように，デンプンが α -グルコース，セルロースが β -グルコースという違いである。

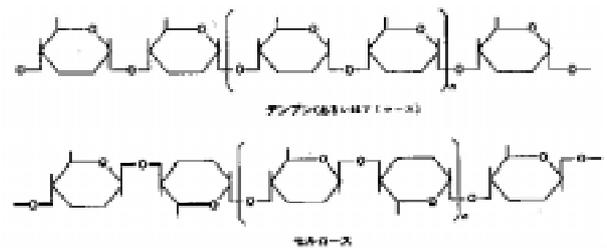
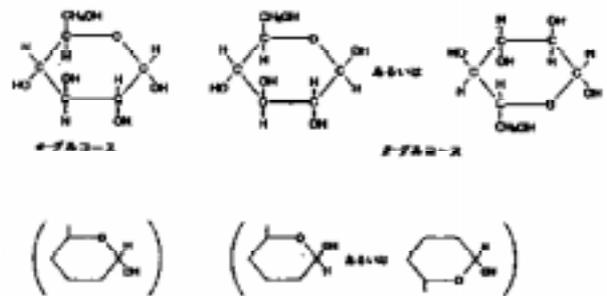


図6 グルコースの種類の違いによるデンプンとセルロース

