

高分子物質をどのように捉えるか

八島 弘典

高等学校における高分子物質についての従来からの指導は、幾種類かの高分子の組成と合成の紹介を中心としたもので、低分子と高分子の本質的違い、またゴム・プラスチック・繊維の関係についても理解しやすい展開内容にはなっていない。本稿では、分子鎖の「からみあい」と「分子内回転運動（ミクロブラウン運動）」という高分子特性をもつゴム物質を指導展開の中心に置き、高分子物質の本質的理解を目指した指導プランを紹介する。

[キーワード] 低分子と高分子の本質的違い、分子内回転運動（ミクロブラウン運動）、ゴム・プラスチック・繊維の関係

はじめに

図1のように、一般に分子量の大きさが10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、異質な物性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。これは分子量が10のオーダーに達すると、図2のように、長い糸のような高分子が互いに「からみあい」、粘性が大きくなるからである。

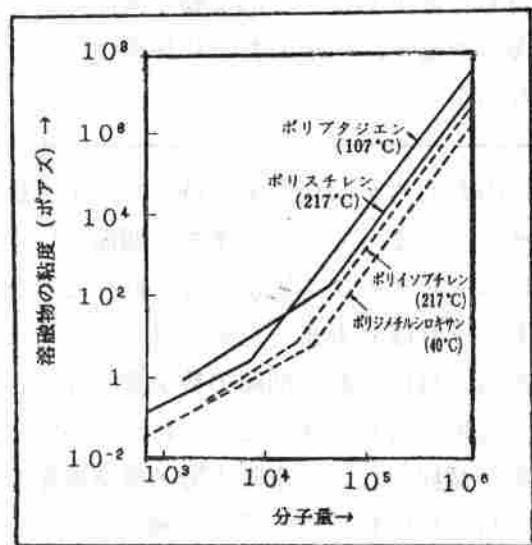


図1 溶融粘度と分子量の関係

分子どうしの「からみあい」は、高分子だけにみられるものである。このように室温で高分

子が互いに「からみあい」、「分子内回転運動」が盛んな物質がゴムである。これに対して室温で「分子内回転運動」がほとんど凍結されているのがプラスチック・繊維である。

ここでは、「分子内回転運動」をキー概念として、ゴム・プラスチック・繊維の関係を学習する指導プランを紹介する。

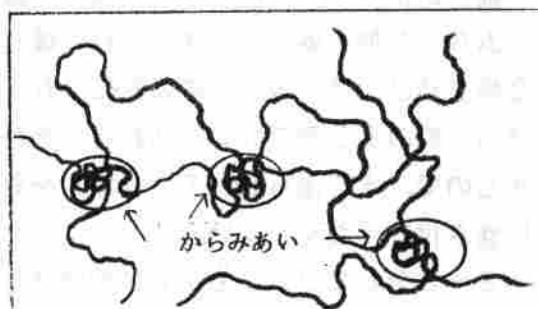


図2 高分子のからみあいの様子

1 分子内回転運動とは？

図2のように、ゴムを構成している高分子は互いに「からみあい」ながらゴムをつくっている。したがって、室温では分子全体の移動運動も回転運動もできない。しかし、図3に示してあるように、XYのC-C軸を回転軸にして隣のYZのC-C軸が回転するという運動が行われている。この運動が「分子内回転運動」である。このことは、市販の分子構造模型を使ってやってみると、容易に理解できる。

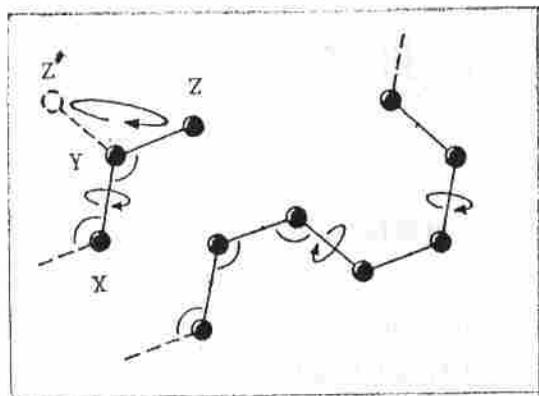


図3 分子内回転運動の模式図

2 ゴムひもに熱湯をかけると・・・！

実験（演示）プリントNo 1

〔質問〕ゴムひもに煉瓦をつり下げ、そこに熱湯をかけるとゴムはどうなるか。

予 想

- ア ゴムは縮む。
- イ ゴムは伸びる。
- ウ ゴムは変化しない。

〔操作〕

- 1 幅5mmから15mm前後の大型の輪ゴム3～5個を縦につなぎ、これに煉瓦2個を結びつけ、板の上端の釘につり下げる。釘のところでゴムが切れがあるので、水で湿らせたティッシュを釘に巻き付けておくとよい。
- 2 2～3分してゴムひもが充分伸びきた後、熱湯をかける。また、冷水をかけてゴムひもの伸び縮みも観察する。

〔結果と考察〕

- 1 実験結果を整理せよ。
- 2 热湯をかけるとゴムを構成している高分子は丸まった形になるか、それとも伸びた形になるかを予想しなさい。

<指導解説内容>

〔質問〕正解はア。

〔結果と考察〕

- 1 热湯をかけるとゴムひもは縮んで煉瓦を持

ち上げる。また、冷水をかけるとゴムひもは伸びて煉瓦が下がる。

- 2 热湯をかけるとゴムひもが縮むのは、ゴムひもを構成している高分子にどのような変化が起こっているのでしょうか。高分子鎖は非常に多くの炭素原子が共有結合したもので、この結合距離は変化することはない。したがって、高分子を長い糸と考えると、糸の長さは変化しないから、熱湯をかけると糸が丸まった形になり、その結果ゴムひもが縮むと予想される。

〔質問〕熱湯をかけると、ゴムを構成している高分子は、なぜ丸まった形になるのか？

熱湯をかけると、分子内回転運動をするC-C軸の数は増加する。これが、ゴムの温度の上昇である。それでは、分子内回転運動をするC-C軸の数が多くなると、なぜゴムひもが縮むのでしょうか。このことを、次の質問をとおして考察させる。

〔質問〕関節が平面的に自由に動くヘビのおもちゃがある。自由に動く関節の数が多くなると、ヘビの丸まり具合はどうなるか。

ヘビのおもちゃの尾を手に持って、手を振り動かすと、丸まってくる。また、関節のいくつかをピニールテープで固定して、同じことをやっても、それほど丸まった形にならない。このことから、自由に動く関節の数が多くなると、丸まった形になりやすいことがわかる。さらに、炭素を7個程つないだ市販の分子構造模型を使って、自由に回転できるC-C軸の数が多くなると分子は丸まった形になることを説明すると、生徒の理解が深まる。

高温になると分子内回転運動をするC-C軸が多くなり、その結果ゴム分子は丸まって小さ

くなり、ゴムひもは縮む。ここで重要なことは、ある一定温度では、回転できるC-C軸だけでなく、回転できないC-C軸も存在することである。つまり、C-C軸の回転に与えられているエネルギーは平等ではなく、バラツキがみられる。もし、回転エネルギーが平等に与えられるとすると、一定温度以上ではすべてのC-C軸が回転運動し、さらに高温になってもC-C軸の回転速度が単に速くなるだけである。したがって、ゴム分子の形に変化はなく、ゴムひもの長さも変化しない。

3 ゴムボールを冷やすと・・・！

実験（演示）プリントNo.2

[質問] ゴムボールをどんどん冷却するとゴムの弾力はどうなっていくと予想されるか。

予想

- ア ゴムの弾力は小さくなり、やがてほとんどなくなりゴム弾性を示さなくなる。
- イ ゴムの弾力は小さくなるが、どんなに冷却してもゴムの弾力は一定以下にはならず、ゴムの弾力は失われない。
- ウ ゴムの弾力は小さくなるが、一定温度以下になるとゴムの弾力は大きくなる。

【操作】

- 1 ゴムボールを液体窒素で冷却し、冷却していないゴムボールといっしょに机上に落としてゴムボールの弾力の変化を比較する。これをゴムボールの冷却時間を変えてやってみる。ゴムボールを液体窒素から取り出すには割箸を使うと便利である。
- 2 ゴムボールを1分ほど冷却して床に落としてみる。

【結果と考察】

- 1 実験結果を整理せよ。

- 2 操作2の結果から、分子内回転運動とゴム・プラスチックの関わりについて説明せよ。

<指導解説内容>

[質問] 正解はア。

【結果と考察】

- 1 ゴムボールを冷却すると、ゴムの弾性は小さくなる。1分ほど冷却して床に落とすと、ゴムボールは破裂する。破裂したゴムボールの破片をみると、ゴムの弾力は失われていることがわかる。
- 2 ゴムボールの破片に触ると、それはゴムとは言えない物であることが実感される。つまり、分子内回転運動をしているC-C軸がほとんどない状態である。これがプラスチック状物質である。ゴム状物質からプラスチック状物質になる変化は「相転移」といわれ、天然ゴムの場合はこの温度は-73℃である。私達は一般に室温でゴム状物質のものをゴム、プラスチック状物質のものをプラスチックと呼んでいるが、これらは室温での分子内回転運動の状態と密接な関係がある。

4 プラスチックが繊維に・・・！

実験（生徒実験）プリントNo.3

【操作】

半透明のフィルムケースのふたにチャッカマンで火をつけてやわらかくしたところを、ピンセットで引き伸ばして繊維をつくってみる。また、フィルムケースの本体の部分も同様にして、繊維をつくってみる。どの班がもっとも長い繊維をつくることができたか、比べてみよう。

【結果と考察】

- 1 フィルムケースのふたと本体では、どちらが繊維をつくりやすかったか。
- 2 プラスチック（フィルムケース）から繊維をつくるとき、なぜ加熱するかを説

明せよ。

<指導解説内容>

〔結果と考察〕

- 実験結果から、フィルムケースのふたは本体より繊維をつくりやすいことがわかる。
- プラスチックを加熱すると、高分子は分子全体の運動が激しくなり、結晶部分や高分子どうしのからみあいもほぐれ、高分子は流れやすくなる。この状態の時にピンセットで引くと、引いた方向に高分子が伸ばされ、驚くほど伸びる。

ふたは低密度ポリエチレン、本体はポリプロピレンからできている。低密度ポリエチレンはポリプロピレンに比べ低い温度で高分子が流れやすく（融点が低く）、しかも構造が単純で分子が整列しやすく繊維をつくりやすい。

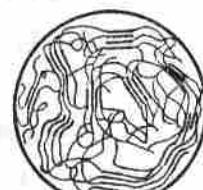
5 ゴム・プラスチック・繊維

高分子の種類により、高分子間に働く分子間力は違ってくる。ポリイソブレン（天然ゴム）などは分子間力が弱く、高分子が丸まった形になりやすく、室温では分子内回転運動が盛んでゴム弾性を示す。ポリ塩化ビニルなどは比較的分子間力が強く、部分的に分子どうしが整列（結晶化）しやすく、室温ではほとんどゴム弾性を示さずプラスチックや繊維になる。

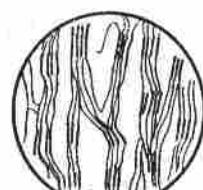
図4のように、繊維はプラスチックに比べて結晶部分が多く、方向性のある結晶をもっている。このため繊維は高分子の集合体としてのまとまりが強い。



ゴム



プラスチック



繊維

図4 ゴム・プラスチック
・繊維の状態模式図

〔質問〕 室温でゴムから繊維をつくれるか？

ゴムを構成している高分子は、分子どうしが接近してもそこに働く分子間力が弱く、ゴムを引き伸ばした後、室温では力を除いてやると元のゴム状態にもどり、繊維になることはない。しかし、室温でも未加硫のゴムを引き伸ばすと高分子どうしが部分的に整列（結晶化）して、高分子鎖の一部の分子内回転運動が凍結する。このためゴムの弾性は小さくなり、プラスチックに近いものになる。

参考文献

- 中川鶴太郎（1984）：ゴム物語、大月書店
- 日本化学会編（1978）：身近な現象の化学、培風館
(やしま ひろみち 化学研究室研究員)