

【連 載】

私の染色学 (第5回)

— 染色現象 —

佐々木 博 昭

1 はじめに

染色に関する解説シリーズも5回目になりました。第1回は、繊維や染料の分類、染色用語について説明しました。次に、染料部族ごとの特徴と主な繊維の染色機構について述べました。第3回は、布に模様をつける方法を紹介し、第4回では、染色物の丈夫さについて解説しました。第2回からは、必要に応じてモデル図を示しながら、染色理論の一端にも触れながら執筆してきました¹⁾。

実用的には、浸染の場合、染料や必要に応じて薬剤を加えた水溶液(染浴)中に、染めたい糸や布を浸すことで染色が行われます。したがって、一般に染色の過程は次の三つに分けて考えられています²⁾。

- ① 染料が染浴中を繊維表面に向かって拡散する
- ② 染料が繊維の外表面に吸着する
- ③ 染料が繊維内を表面から中心に向かって拡散する

今回は、このような染色現象を理解することを目的にしたいと思います。

2 染色現象

拡散とは、濃度分布の一様でない物質が、時間とともに一様な濃度分布に近づく現象とされています³⁾。すなわち、ある物質が不規則な分子運動の結果として、糸のある部分から他の部分へ輸送される工程です⁴⁾。同じ染料でも液体中と固体中の拡散を比較すると、液体中の方がはるかに大きいので、①と③を比べると①が大きく、②の段階も瞬間的吸着平衡が起こるとされることから、③の段階が染色を支配することになります。言い換えれば、繊維が染色されるということは、速度論的には、繊維の表面に吸着された染料が、繊維内部に拡散する過程であるといわれています²⁾。染色においては、染浴中の染料濃度と染められる繊維中の染料に濃度差があるため、拡散理論を適用するということとなります⁵⁾。

拡散の様子はフィックの拡散式で表されます。

$$J = -D \frac{\partial C}{\partial x} \quad (1)$$

ここで、Jは拡散流束、Dは拡散係数、Cは濃度、xは距離を表すことにします。Jは、単位面積、単位時間当たりの物質の拡散量で mol/cm²s、濃度として mol/cm³、距離を cm とすれば、拡散係数は cm²/s となります。Dは拡散の難易を示す量で、Dが大きいほど拡散速度が大きいこととなります。

実際の染色では、濃度勾配が変化するため(1)式を適用できないので、(2)式で表されるフィックの第2の法則を用い、初期条件、境界条件を与えて微分方程式を解くことにより拡散係数を算出するための解析解が得られています。

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left\{ D \left(\frac{\partial C}{\partial x} \right) \right\} \quad (2)$$

ここで、tは時間です。本来、3次元x、y、z方向で考えるべきですが、複雑になりますので、(1)、(2)式は、濃度勾配がx軸方向のみである場合を取り扱っています。実際の染色系で拡散係数を決定するには、染まった染料量と染色時間の関係から求める場合や繊維内の染料の濃度分布から求める場合が一般的です⁶⁾。

熱を扱う分野でも、一つの物体の内部に温度差があるとき、熱はその物体内部を高温側から低温側へ移動するとされ、このような伝熱形式を熱伝導と呼んでいます。熱伝導の基本式は、フーリエの法則といわれています⁷⁾。温度をθ、λを熱伝導率とすると、熱流束qは次の(3)式で表されます。

$$q = - \lambda \frac{\partial \theta}{\partial x} \quad (3)$$

フィックは、フーリエの熱伝導式を類推したので形式的には、(1)式と同じであることがわかります。熱伝導率の値については、空気が0.0237 W/mK、水が0.597 W/mKであり、空気は水に比べ25倍も熱を伝えにくいこと

ささきひろあき
新潟県立大学

になります。したがって、定性的ですが衣服材料である布は、多量の空気を含みますので、重ね着をすれば保温効果が増すことになり、汗をかけば熱が逃げやすく風邪を引きやすくなることが理解できます⁸⁾。ただし、風がふいている場合は、話は別になります。

3 繊維の構造

小林⁹⁾は、高分子の歴史について書いた冒頭で、「木綿や羊毛などの衣、穀類や魚、肉などの食、木材に代表される住、日常生活全般にわたって人類は天然の高分子を利用してきた。そして、それらを加工する技術を開発し、より高度の利用法を手にするにより人類は近代文明を築いてきたといえる。」と述べています。ここでは、高分子とは何かについて触れることにします。高分子には、セルロースやタンパク質などの天然に得られる天然高分子とナイロン、ポリエステルなどといった合成高分子があります。衣料用繊維としては、綿、麻、羊毛、絹といった天然繊維と人間が化学の力で作り出した化学繊維があり、化学繊維には、セルロースを原料としたものと石油などから合成した合成繊維が含まれます¹⁰⁾。

さて、高分子の定義については、一般的に「高分子とは、単量体が多数つながってできた高分子量物質のことである。単量体から高分子を作製する過程を重合と呼ぶ。単量体がつながった数を表すのが重合度であり、重合度が数百程度以上であれば高分子である。」と述べられています¹¹⁾。すなわち、ポリエチレンを例とすれば、エチレンを繰り返しの単位として重合することによりポリエチレンが得られることになり、○を単量体とすれば、高分子は1例として図1のようになります。

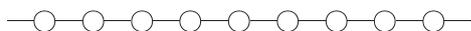


図1 高分子の模式図

もう少し具体的に言及した事例としては、自分の手を見て下さいというのがあります。「そこには手のひら、手の甲に表皮があり、指先には爪があり、皮膚にはところどころうぶ毛が生えていることでしょう。(中略)水分と塩分を除けば、残りのほとんどが巨大高分子、すなわち、皮膚と血管はコラーゲン、爪とうぶ毛はケラチン、筋肉はミオシン、血液はヘモグロビンという巨大分子でつくられています。これらの巨大分子に共通していることは、これらがすべて、多数のアミノ酸が特定の規則にしたがって鎖状に連なっているということです。」と述べられています¹²⁾。

図1で示した模式図からは、長く連なっているようにみえますから、分子のひもというイメージを与える場合

があるかもしれませんが、ここでは本来の高分子鎖ということにします。いずれにせよ、いろいろな繊維やプラスチックは、高分子鎖が集合した状態を考慮することによって、様々な性質との関係が研究されてきました。

繊維は図1で示したような細長い分子でできていますが、木綿や羊毛のような細い1本の繊維が形成されるには、この細長い分子がたくさん集まることになり、繊維の場合、集まったときのマイクロ構造は、図2の(a)で示されるような分子が平行に並んだ密な部分(結晶領域)と規則正しく並んでいない乱れた部分(b)(非結晶領域)が共存します¹³⁾。

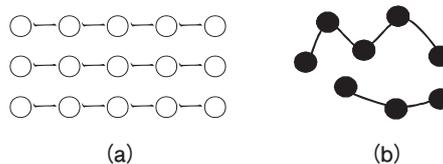


図2 繊維のマイクロ構造

密な部分が多い繊維は力学的に強く、融点が高く、薬品に強いが、乱れた部分が多いと、伸びやすく、吸湿しやすく、染まりやすいといわれています¹⁰⁾。

この「染まりやすい」という理由が今回の関連するテーマであるのですが、その前に熱的性質についても少し述べることにします。私たちの生命を維持するために欠かすことができない水は、冷却すれば氷になり、通常では液体であり、やかんで熱すれば水蒸気が発生します。高分子の場合、加熱していくと、気体になる前に分解してしまいます。つまり、融ける温度(融点)が存在しても沸点は存在しません¹⁴⁾。その代わりに、ガラス転移点が観察されます。藤重¹⁵⁾は、ガラス転移点について、「ガラス状態にある巨大分子が加熱されて、部分的な長さ運動単位になって凍結状態から解放されるとき温度」という説明をしています。これだけではわかりにくいので、チュウインガムを例にして次のように述べています¹⁵⁾。チュウインガムは店頭にあるときはガラス状態にあって適度な固さを保っていますが、口に含んだ途端に軟化してゴム状になり、さらに冷たい水中に移せば粘り気も失って再び硬化(ガラス状態)します。「チュウインガムは、ガラス転移点が人間の体温近くに設定されているから」と説明しています。

ガラス転移点が理解できると、衣服のしわを伸ばし、折り目をつけたり型を整えるためにアイロンがけの話に触れることができます。つまり、しわのよった衣類にガラス転移温度以上に熱を加えることによって繊維を可塑性化し、プレスすることによってしわをとると言われています。さらに、ガラス転移温度は水分によって大きく低

下し、スチームや霧吹きによって高温にしなくても効率的にアイロンがけができるということになります¹⁶⁾。

4 染料の繊維内拡散

非結晶領域が多いほど吸湿しやすく、染まりやすいことを先に述べました。このことは、実は水分や染料は結晶領域には入れず、非結晶領域に入り込むと理解されているからです。つまり、吸湿とは高分子物質の非結晶領域の分子と分子の間に水分子が割り込んだということになり、繊維によっては膨潤することになります¹⁷⁾。セルロースは、親水性が大きく膨潤するので非結晶領域のすき間が大きくなり、染料が拡散していくイメージの(細孔)モデルがあります。その様子を図3に示しました。

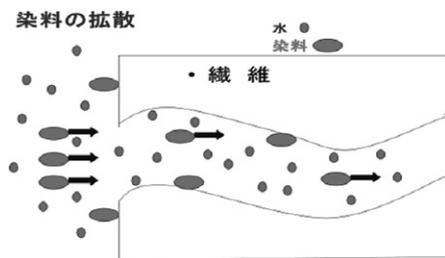


図3 細孔拡散モデル

一方、ポリエステル繊維のように構造が緻密で、吸水性がない繊維の場合は、細孔モデルでは説明できません。ガラス転移温度について、巨大分子が加熱されて、部分的な長さが運動単位になって凍結状態から解放されるとき温度と述べました。通常染色される温度では、この部分的な長さの運動単位の動きが活発になっていると考えられます。非結晶領域の間隙の大きさも変化するでしょうし、ある瞬間には染料分子が収容されるだけのすき間ができると考えます。染料分子自身が現在いる位置から隣へ飛び移れるだけのエネルギーがあれば飛び移っていくというモデルで、自由体積モデルといわれています¹⁷⁾。これらは極端なモデルですから、両方が寄与していると考えられる場合もあります。

5 おわりに

染色とは、染料溶液から染料が繊維表面に吸着し、繊維内部に拡散し、繊維と染料の間に働く力によって繊維表面および内部に止まることです。イメージしにくい方には、大根などを醤油などの調味料で煮て“おでん”をつくるというのはどうでしょうか。(2)式を用いて、チーズや大根などの食材中への食塩の拡散を扱った研究があります¹⁸⁾。

参考文献

- 1) 佐々木博昭、【連載】私の染色学、新潟県生活文化研究会誌、No.19~22
- 2) 関戸實、森田全三、化学繊維の染色と加工、地人書館、p124、p125 (1966)
- 3) 新村出、広辞苑、岩波書店、p383 (1974)
- 4) 黒木宣彦、染色理論化学、槇書店、p103 (1969)
- 5) 文献2) 化学繊維の染色と加工、p125、p126
- 6) 同上、pp131-138
- 7) 北山直方、図解伝熱工学の学び方、オーム社、pp19-21 (1984)
- 8) 原田隆司、着ごちと科学、裳華房、p47、p48 (1996)
- 9) 小林四郎、高分子材料化学、朝倉書店、p1 (2009)
- 10) 芝原寛泰、後藤景子、身の回りから見た 化学の基礎、化学同人、pp24-p26 (2009)
- 11) 池原飛之、高分子化学、オーム社、p10 (2011)
- 12) 藤重昇永、身のまわりの高分子—巨大分子の世界—、東京化学同人、p2 (1992)
- 13) 横田健二、高分子を学ぼう 高分子材料入門、化学同人、p62 (2008)
- 14) 同上、p96
- 15) 文献12) 身のまわりの高分子、p86
- 16) 福田光完、わかりやすい高分子化学、三共出版、p156 (2001)
- 17) 木村光雄、染浴の基礎物理化学、繊維研究社、p70、pp86-p88 (1979)
- 18) 小見山二郎、橋場浩子、牛腸ヒロミ、仲西正、Bull. Soc. Sea Water Sci. **58** 404 (2004)