

■研究テーマ

- 統計力学
- 異方性ゲル化の理論、結晶成長理論

■キーワード

ゲル、高分子溶液、結晶成長

■産業界の相談に対応できる技術分野

物理学に基づく理論構築、数理モデル構築



山本隆夫 教授

連絡先
理工学府理工学基盤部門 山本隆夫 TEL:0277-30-1920 FAX:0277-30-1927 e-mail:tyam@gunma-u.ac.jp

研究概要

工学は理学の都市鉱山

本研究室は、物理学、それも理論物理学の一分野である統計力学を研究テーマとする研究室です。物理学を含む理学の目的は真理の探求で、工学は、理学を応用して有用な事物の構築が目的です。理学で真理を探索する際、通常、応用に直接関わることを研究対象とすることは希で、それに適した自然現象を研究対象とします。しかし、本研究室では、このような、いわゆるアカデミックな課題を研究対象とするだけでなく、工学上の技術的な問題をも研究対象とし、それを真理探求のための糧とすることを試みています。稀少金属資源に例えれば、鉱石を採掘し稀少金属を求めるのが従来の理学であるとする、廃棄された電気製品から稀少金属の回収を試みているのが本研究室といったところでしょう。

特徴と強み

物理学の豊富な資産と普遍性を活用

研究を行うには、まずは素材としての工学的な課題が必要です。こういった題材は、工

学系、実験系の研究室との共同研究を通じて探し出しています。研究に使用する道具は、時として計算機をシミュレーションや数値計算で用いることもあります。主力は思考です。まずは、研究対象を物理分野でストックされているモデルの要素に分解することを試みます。提供されるデータの物理条件が不明確な場合、分解が不可能となりますので、次のステップとして、提供元と検討することでこの物理条件を明確にしていきます。最後に、分解し個別化したモデルを再度連結し、測定可能な量の間の関係を数式で表現します。この数式は、フィティング関数(または関数群)で表現される普遍構造と系の多様性を記述するフィティングパラメータで構成されます。

結局、具体的な課題の解決策とはいえ、理論を作ることとなります。理論の強みはその汎用性、普遍性にあります。現在実験可能な特殊な条件下における結果からより一般的な状況下における出来事が予測可能になります。この予測により、現状の問題点の解決策の作成指針を求めることができます。

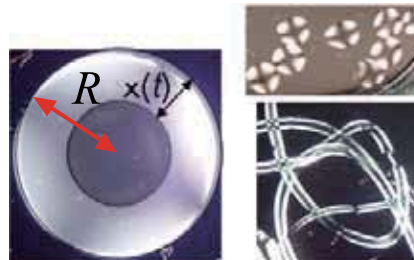


図1 クロスニコル下でみたDNAゲル:左が円盤状ゲル(周辺の明るい部分がゲル、中央の暗くなっている部分がDNA溶液)。そのほか、ビーズ状ゲル(右上)や繊維状ゲル(右下)も作成可能

例を一つご紹介します。発がん物質吸着除去のためDNA分子をゲル化するというテーマについてです。濃厚DNA溶液を金属イオン水溶液に浸漬すればゲルが生成することはわかったのですが、その詳細がわかりません。それで、円盤状のガラス板で溶液を挟み、ゲルが複屈折性をもつことを利用してクロスニコル下の観察(図1)でゲル層の厚さ x と浸漬時間 t の関係を測定しました。この関係を記述する理論を結晶成長のモデルを改良することで作成すると、関係式は、 x をガラス板の半径 R でスケールした変数 $\tilde{x} \equiv x/R$ と浸漬時間 t をスケールした変数 $\tilde{t} = t/R^2$ を用いて、

$$\frac{d\tilde{x}}{d\tilde{t}} = -K \frac{1}{(1-\tilde{x}) \ln(1-\tilde{x})} \quad (1)$$

と表記できることがわかりました。 K は多様性を表すフィティングパラメータです。(1)式を解いて、 \tilde{x} のある関数 \tilde{y} が、 K を傾きとする \tilde{t} の一次関数となることが示せます。この関係式を用いて測定データを整理したものが図2です。異なった R についてのデータ(プロット記号を変えています)が見事にマスターカーブに乗っています。マスターカーブは折れ線となっており、この折れ曲がる時刻で傾き K が変化することがわかります。この変化はガラス板間のDNA溶液のpH変化によるものと考えられ、この時刻の前後で生成ゲルの構造に変化があることが予想されます。

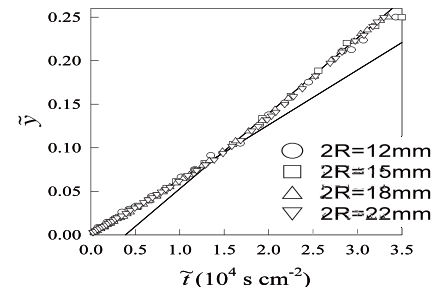


図2 DNAゲル成長ダイナミクス

表式(1)の普遍性から、ゲル生成の様子が直接測定できないビーズ状ゲルや繊維状ゲルの生成過程も推測できます。そして、浸漬する溶液をどのようなタイミングで変化させるとどのようなゲルになりそうか予想をたてることができます。さらには、DNA以外のゲル化の方法についても立案できます。また溶液を使わないゲル化(気相ゲル化)も考えられます。こうしたステップを積み上げていくことで新しいタイプのゲル生成技術が確立できると考えています。

今後の展開

工学→理学→工学のリサイクル

(1)式を気相中でのゲル生成まで拡張しようとする、 K を定数とはできなくなり、ゲルと高分子溶液の境界面の状況を記述する熱関数との関連付けが必要になります。こうなると、統計力学で広く研究されている「相転移のダイナミクス」の仲間入りです。ただし、相転移の駆動力が高分子溶液を浸漬する「環境の存在」であることが従来のものとは決定的に異なります。「自然現象」を追い続けているだけでは思いつかなかった新しいタイプの「相転移のダイナミクス」の誕生です。工学の問題が物理学の新しい研究対象を引き出したこととなります。さらに、この研究成果は工学に応用されるようになるでしょう。このように、テーマを工→理→工とリサイクルさせながら、工学と理学、双方の発展に寄与していきたいと思っています。