

ソフトマテリアルは物質科学と複雑系科学を結ぶかけ橋

先端基礎研究センター、強相関電子系中性子散乱研究グループ

小 泉 智

一般にソフトマテリアルは、その構成単位が大きい
ため微小なエネルギーで非平衡状態を実現でき、非線
形現象を観察しやすいシステム（複雑系）である。生
体は非平衡開放系のなかで非線形現象を上手に利用し
ている実例であろう。その生体が、高分子、ゲル、脂
質膜、液晶といったソフトマテリアルをパーツとして
採用しているのもそのような理由である。複雑系とは
「無数の構成要素からなる集団で、各要素が他の要素
とたえず相互作用を行っている結果、全体としてみる
と各要素の総和以上の何らかの独自の振るまいが期待
できる創発的な系」のことであり¹⁾。ここでいう独自の
振る舞いとはマクロスコピックな空間パターン、時
間パターン（リズム）と表現されることが多い。複雑
系がいきいきとするのは、系が平衡状態から遠く離れた
非平衡状態に置かれたときで、平衡点近傍では埋も
れていた非線形相互作用が重要となった場合である。
たとえば、自己触媒という非線形な過程をもつ化学反
応系（BZ 反応など）では、個々の素反応はピコ秒以
上の速さで進行しているにもかかわらず一連の化学反
応は分オーダーのリズムをもち、また目に見える空間
パターン（濃度分布）を形成する。いわゆる反応拡散
プロセスと自己触媒というフィードバックが共存した
結果である。

これまで私は、中性子散乱を手段としてソフトマテ
リアル（特に高分子系）の物性研究を行ってきた。
上に述べたように、ソフトマテリアルは複雑性を体験
する格好の系であるが、中性子散乱との関わりという
観点からすると物質科学（要素還元的な方法で記述可
能な物質系）の範疇に分類せざるを得ない。つまり既
存の中性子散乱装置は、その空間、時間分解能の限界
から複雑性が重要となるマクロスコピックな領域に到
達できず、ソフトマテリアルの物質科学的側面しか捉
えることができない。たとえば冷中性子小角散乱法

（SANS）は、高分子鎖の内部構造、回転半径、複数
の鎖が作る凝集構造の静的描像を与えてくれる²⁾。つ
まり守備範囲はメソスコピックであり、複雑系の構成
要素がみえる大きさである。ダイナミクスに関して
は、熱中性子を使った3軸型非弾性散乱装置（TAS）
を例とすれば、数十ピコ秒の時間が典型的な守備範囲
である。この時間スケールでは個々の原子の局所的な
振動、原子が集まった官能基の運動が重要であり、こ
れらは与えられた熱エネルギー（ $k_B T$ ）の海のなか
で、与えられた自由度の範囲で淡々と熱運動を行
う³⁾。複雑性とは無縁の領域であり要素還元論が十分
成り立つ。ソフトマテリアルの面白さはより大きな空
間、よりゆっくりとした時間領域にあるにもかかわらず、
中性子散乱の守備範囲がそこに届かないのが中性
子散乱グループに属する私のジレンマである。そこで
複雑性の直接観察は別の実験手段（たとえば光学顕微
鏡による実空間観察など）にまかせ、中性子散乱は複
雑系の構成要素を明らかにすることで相補的な研究を
考える。たとえば構成要素の構造変化が、マクロスコ
ピックな複雑性のフィードバックと成りうるようなシ
ステムと出会えば、中性子散乱がこの分野に大きな
貢献をできる。膜、ゲルといったマイクロ構造を反応場
とする化学反応系には、そのような可能性があると思
え研究を進めている。

ところで原研は、このような複雑系の研究に適した
環境なのであろうか？私の答はイエスである。それは
原研の専門である原子力が非常に裾野の広い分野であ
ることによる。たとえば、原子炉工学と直結した熱対
流の研究は、乱流、ペナール対流等の非線形現象の話
題で事欠かない。また最近では、連鎖反応によって核
分裂が起こる間際の臨界状態と、崩れ落ちる砂山の自
己秩序化臨界とのアナロジーも指摘されている。スケ
ールを大きくして、原子力と地球環境との関係をター

ゲットとする環境物理はまさに開放系での熱力学の問題である。そして中性子散乱によるソフトマテリアルの研究。これまで互いに疎通であった個別の分野を複雑系という視点で横断すれば、そこに潜む普遍性が浮き彫りにできるのではないか。米国ロスアラモス研究所から派生したサンタフェ研究所は、複雑系という視点で幅広い研究分野が結び付いた良い例である。

最後に和んだ話題を。予想外の低迷に苦しむ某名門球団とは裏腹に、胸のすくような打撃で快進撃をつづける球団がある。打線につながりがある。かりにそのチームの平均打率が3割としても、3連打の出る確率は約3%とはかない。このようなシーンは稀にしかお目にかかれなと思えばそうでもなく、勢いのあるチームではこのようなシーンが毎試合のようにおとずれ。ここでいう「つながり」、「勢い」とは何だろうか？それは各人（要素）の打率（個性）だけでは語れ

ない。選手の体調、監督の采配、捕手の配球ミス、投手の動揺、打線の信頼感、観客の声援、天候、等々の複雑な要因がいまってフィードバックがかかり「勢い」が形成される。帰宅後、僕が複雑系を体験したひとこまである。それにしても今年の巨人は...

参考文献

- 1) たとえば 吉永良正「複雑性とはなにか」
(講談社現代新書, 1997) など
- 2) S. Koizumi, H. Hasegawa and T. Hashimoto.
: *Macromolecules*, 27(1994)6532 ;
S. Koizumi and T. Hashimoto : *Physica B*,
213&214(1995)703-706.
- 3) S. Koizumi : *J. Chem. Phys.*, Jul.
1997(in press).