

ソフトマターの破壊力学

—力と形の相互作用—

横浜国立大学環境情報研究院 田中良巳

ソフトマターを特徴づけるのは、まさにその柔らかさであろう。それは、単に、微小変形・線形応答領域における剛性の小ささを指すだけでなく、(その剛性の小ささゆえに容易に突入する) 大変形・非線形応答領域における現象の豊かさ・面白さをも暗に含んだ言葉ではないだろうか。ここでは、形、力、そして破壊をキーワードに、ソフトマターの力学に関して、我々が取り組んでいる研究課題について紹介する。

1. 拘束した空間での紙の破壊

紙を円柱に巻き付けることは容易だが、球体に(皺をつくらずに)ピタッと貼り合わせることは出来ない。理由は以下の通りある: 本来、平面(ガウス曲率 $K=0$)である紙を球面($K>0$)に変形させるには、局所的な面積変化を不可避免的に生じる。しかし、紙の特性からして、このような面積変化は大きなエネルギーコストを伴うので実際には起こらない。この事情は一般によく知られているが、この幾何学的効果がシートの破壊の問題と絡んだ時に何をもたらすか、という点に興味をもち、実験的に検討している。

具体的には、平行に固定された2枚のガラス板の間で、切り目をいれた紙を引き裂くという実験設定である。机の上で、紙の引き裂きを行うと(上述した各部の局所的な面積変化を避けるために)、大きな面外変形を生じる。我々の設定では、2枚のガラス中に拘束することで、この面外変形を制限している。実験の結果、形態的にはき裂(切れ目)の先端を中心とする放射状のしわパターンの形成、力学的には引き裂きに必要な力の著しい増大がみられた。この現象の定量化とその力学的理解の現状について述べる。

2. フェーズフィールドき裂伸展モデルによる粘弾性破壊

固体破壊の定量的理論は Griffith に始まる。Griffith 理論の骨子は、種き裂の成長条件に関するエネルギー論であり、一次相転移における核生成の議論と極めて似ていて物理学徒にとっては身近に感じられる。一方で、Griffith 以降の破壊研究は主として工学的な観点からなされ、計算力学の重要かつ難解な応用問題として極めて特殊性の高い領域となっている。しかし、近年、非線形ダイナミクス手法に基づき、Griffith 流のエネルギー論をベースに、き裂の動力学(必ずしも直進だけでない)を規定する枠組みが提案された。この理論的枠組みをソフトマター破壊に適用する試みについて紹介する。