

ソフトマターから眺める物理学 生命現象の起源と本質に迫る

貞包 浩一朗 医情報学科 助教

45億年の時間を遡り 自己組織化のメカニズムを解明

生体物質をはじめ、液晶やコロイド、高分子など、柔らかい物質を総称して「ソフトマター」と呼んでいます。こうした物質はエネルギーの流れにたいへん敏感で、外側からの力によって相互作用が様々なに変化します。例えば、ソフトマターを代表する細胞は、タンパク質やイオンなどの外的刺激に常にさらされています。旧来の物理学では、エネルギーが最も安定した平衡状態を主な研究対象にしてきましたが、「エネルギーが移動して不安定になっている状態、つまり非平衡状態でソフトマターがどんな働きをするか、どんな運動するかを解明することで、生命現象の本質に近づけるのではないのでしょうか」と貞包浩一朗助教は話します。

貞包助教が関心を持っているのが、自己組織化の研究です。例えば、細胞膜は、水を好む親水基と油を好む疎水基からなるリン脂質の分子（両親媒性分子）が集まって、複雑な形を構成しています。実は、世の中に存在する物質は、エネルギーが最も安定する条件で、自身に都合の良い形を自然にかたちづいています。人間がデザインしたわけでは

ありません。つまり、細胞膜も長い年月を経て自己組織化によって進化してきたのです。しかし…と貞包助教は問いかけます。地球が誕生して間もない頃、細胞膜はどんな形をしていたのでしょうか？ 原始の世界ではもっと単純な構造だったに違いありません。「リン脂質以外のもので、細胞膜と似た特徴を持ったモデルが作成できれば、それが初期の細胞の成り立ちを解明する糸口になります」。45億年の時間を遡る、わくわくするような研究の始まりです。

生体分子以外の異質の物質で 細胞膜の初期の形と機能を再現

例えば、エタノールは親水性が高く、水と完全に混ざり合ってしまいます。一方、デカンなどは疎水溶媒であるため、水に混ぜると二相に分かれてしまいます。そこで貞包助教は、3メチルピリジン(3MP)という有機物に注目。これはエタノールやデカンの中間の特徴、つまり見た目は水と混ざり合って透明になりますが、ナノスケールで見ると水分子が存在している部分と有機溶媒が存在している部分がムラを作って混合しない性質を持っています。「この不安定な状態が、



教員の横顔 Koichiro Sadakane

研究テーマは、柔らかな物質の物理学。特に、生体物質やコロイドに対するイオンの効果の研究、レーザー光を用いた非線形・非平衡現象の研究など。様々なソフトマターに外部刺激を与えて、リミットサイクル振動や非平衡相転移など時空間挙動の仕組みを解明する。学生時代はボクシング部のキャプテンを務め、中・四国の大学選手権大会で/シタム級優勝を果たした実力者。ハードな研究活動も、鍛えた肉体と精神力で難なく乗り越える！

自己組織化にとって必要条件なのです」。

もちろん、土壌を整えるだけでは自己組織化は起こりません。貞包助教はその混合液に魔法の妙薬、テトラフェルニトリウムイオン塩（親水性の陽イオンと疎水性の陰イオンからなる）を加えて相互作用の反応を確かめたところ、3メチルピリジンが平面状に凝縮して膜のように振る舞い、液晶のように積層していきました。一体、どういうわけでしょうか？ プラス電荷とマイナス電荷は互いに引き合いますが、イオンはそれぞれ自分が馴染みややすい溶媒に別々に分かれて溶けようとします。このジレンマを解決するのに最も適した条件、それは3メチルピリジン混合溶媒の薄い膜を境界として、プラスイオンとマイナスイオンがつかず離れず、拮抗して存在することだったのです。中性子散乱法を用いて検証した結果、膜の厚みは約1ナノメートル、硬さもリン脂質と同程度で、私たちの体が持っている細胞と同じスケールのものがまったく異なる物質の自己組織化によって生まれたことが確認されました。もちろん、これは今までの常識を覆す世界で初めての成果です。「原理は確立できたので、今後は自然界に存在する物質で自己組織化を再現できれば」と笑みをこぼします。

非平衡から生まれるリズムが 生命の躍動を奏でる礎に！

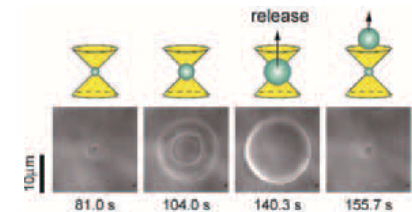
私たちは外から食べ物を摂取してエネルギーを消費しています。また、血液や酸素は絶え間なく体内を循環して止まることはありません。つまり、非平衡の環境の中で私たちは生きているのです。「この非平衡特有の揺らぎ現象から、生物に似たものを作り出せないかと考えています」と貞包助教。その一つが、レーザー光を使った微小相分離液滴のパター



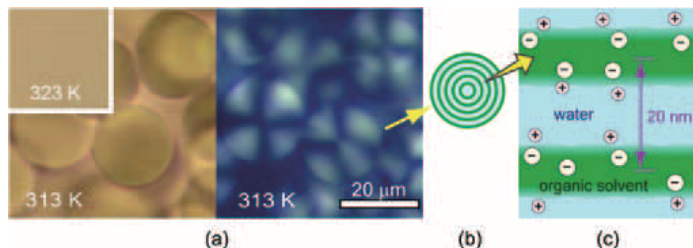
レーザー光を用いて物質を局所的に制御する装置

ン研究です。レーザー光を一点に集めると、温度が上昇したり方向性を持ったモノの流れが生まれることが知られています。例えば、先述の3メチルピリジンと水の混合液のようにナノスケールで混ざり合わない溶媒をレーザー光で照射すると、液滴が消滅してまた生成されるという繰り返しの挙動（リミットサイクル振動）が起こることが確認されました。「私たちの心臓がどきどきと鼓動を刻むように、一見安定しない非平衡の流れの中で、ある種のリズムができています」。

鳥はなぜ空を飛べるのでしょうか？ ある人は鳥の羽根の構造を調べてその謎を解き明かそうとします。あるいは、鳥に似た模型を作ってどんな飛び方をするのか研究する人もいます。「私は後者の方。細胞とは異なる視点で、はるか生命の起源にアプローチしていきたいですね」。さあ、タイムマシンの扉は開かれました！



レーザー光の周りで観測された、有機溶媒の生成・消滅振動



(a)水と3-メチルピリジンの混合溶媒に拮抗的な塩であるNaBPh₄ (Na⁺は親水性、BPh₄⁻は疎水性)を加えた系での顕微鏡像。左は通常の透過光、右は同じ場所をクロスニコルの条件で撮影している (b)顕微鏡像から示唆された多重ベシクル構造の模式図(c)有機溶媒(3-メチルピリジン)が作るベシクル膜の描像