

細胞内部の混み合いガラス状態と非熱的な力学駆動

(九大物理) 西澤賢治 水野大介

【はじめに】

細胞内は、様々なタンパク質、RNA 等からなる高濃度の高分子コロイドで満たされており、その上モータータンパク質の非熱的な力により駆動されて、原形質流動や巨大な揺らぎが生成されている。多くの高分子コロイドは凝縮させることでガラス化すること、また力学外場に対して非線形に応答することが知られている。生きた細胞内では、多成分の高分子コロイドの複雑な混み合い状態と自発的な力駆動が混在するが、こうした非平衡凝縮系の力学環境が決定される物理メカニズムは殆ど分かっていない。そこで本研究では、生細胞内部の力学特性に対する高分子混み合い効果の影響を、物理的に理解することを目的とした実験的研究を遂行した。具体的には、代謝活性が除去された平衡状態の細胞抽出液を用いてマイクロレオロジー計測を行い、高分子混み合いに伴う力学特性の変化を定量的に計測した。さらにその結果を生細胞内部のマイクロレオロジー計測（培養液の浸透圧を変化させることで細胞内部濃度を変化させながら）と比較することで、力学的非平衡下での高分子混み合い効果が細胞内部の力学特性へ与える影響の究明を試みた。

【結果と考察】

まず、3種類の細胞抽出液（原核細胞である大腸菌、真核細胞である HeLa 細胞とカエルの卵）の粘性率を、高分子濃度を変化させながらマイクロレオロジー計測した。結果、全ての試料において、濃度増加に伴う粘性率の上昇が観察され、またその濃度依存性はガラス転移点近傍の振る舞いを表す経験式に従った。細胞抽出液の粘性率は細胞内部の生理的な濃度（ ~ 0.3 g/mL）で実質的に発散していることがわかった。

次に、力学的非平衡な生きた細胞内部の混み合いガラス的挙動を明らかにすることを試みた。しかしながら従来のマイクロレオロジー計測手法は、細胞内部等の揺らぎが大きな試料中に適用できない。そこで本研究では、プローブ粒子の細胞内運動に対して、3次元のフィードバックにより追従する、細胞内部のマイクロレオロジー計測を実現した（図1）。生細胞内部（HeLa 細胞）の粘性率を測定すると、細胞内部もガラス的な挙動を示すことが分かったが、粘性率は細胞抽出液よりも低いこと、濃度増加に伴う粘性率増加挙動が細胞抽出液とは異なることも分かった。その違いを生み出す要因が細胞内部の非熱的な力学駆動にあるのではないかと示唆された。

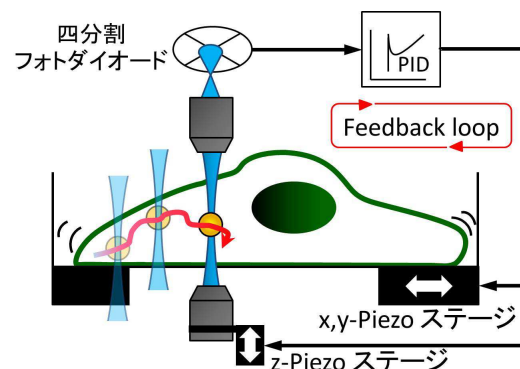


図1：細胞内部3次元フィードバック計