

ミトコンドリアの形態モデル

(理化学研究所) 立川 正志

【はじめに】

ミトコンドリアは真核細胞の内部にあって、細胞で使われるエネルギーの原料となるATPを作り出す大切な働きをする細胞内小器官（オルガネラ）である。その起源は、もともと別の生物であった細菌の一種が真核細胞の祖先に入り込んで共生することにより生まれたと考えられており、そのため、真核細胞の細胞膜由来の外膜と細菌由来の内膜、さらに内膜が折り畳まれたクリステ構造を持つ。

また、細菌様の粒状の構造として描かれることが多い（図1A）。

しかし、近年の詳細な観察により明らかになりつつあるミトコンドリアの実際の形態は、この一般的な理解とは異なる部分がある。まず、多くの細胞では、ミトコンドリアは長軸方向に伸びたチューブ状の形態を持つ。さらに、融合・分裂をアクティブに繰り返すことによりその長さは変化し、細胞全体で一つの動的なネットワークを構成していると考えられている。また内膜は、外膜にピッタリ張り付いた境界膜(inner boundary membrane)とクリステ膜(cristae membrane)に分かれていることも示唆されている。

では、このミトコンドリアの形態はどのように作られ維持されているのだろうか。これまで、有効な物理モデルによる説明はなされてこなかった。

【結果と考察】

本研究ではミトコンドリアの形態を生み出すメカニズムについて、新しいモデルを提唱したい。そのモデルでは、クリステ構造について従来の内膜が内側に押し出される描像ではなく、境界膜から物理的な力で引っ張り出されて形成されることを仮定する。この仮定から、クリステ形成力が外膜と境界膜の面積差を生み出す力となり、結果として、ミトコンドリア外形に自発曲率を与えることが示される。この自発曲率に基づくミトコンドリア形態のエネルギーモデルを作ることによって、ミトコンドリアの『長さによらない一定の太さのチューブ』形態を説明できることがわかった。さらに、このエネルギーモデルから、ミトコンドリアの分裂のきっかけとなるチューブの動径方向の収縮による“くびれ”が、形態の熱ゆらぎとして形成されることを示した。

これらの結果は、ミトコンドリア形態が物理メカニズムによって包括的に制御されていることを示唆している。このモデルに基づき実験検証可能な予測を立てることを通して、ミトコンドリア形態の制御とその機能の関係について理解を目指したい。

