

2023 年度
創発的研究支援事業 年次報告書

研究担当者	菊地 謙次
研究機関名	東北大学
所属部署名	大学院工学研究科
役職名	准教授
研究課題名	生物流体と生命現象のクロストークダイナミクスの創成
研究実施期間	2023 年 4 月 1 日～2024 年 3 月 31 日

研究成果の概要

腸内における複雑な環境や腸細胞炎症状態において、物質吸収が劇的に変化する現象について腸壁と流動物との物理・化学的干渉に注目した腸内における輸送現象についての数理モデル構築を行った。腸内細菌が過剰に増加している場合もしくは腸壁近傍に集積している状況において、腸内における大腸菌べん毛由来タンパク質によって腸細胞における炎症が誘発されることが知られている。蠕動運動による輸送増大の生理現象と栄養吸収に関する力学的役割について検討し、実験及び数値シミュレーションによる大腸菌の排出メカニズムについて明らかにした。

蠕動増大によって生じた腸内流動の増強により、腸内におけるせん断速度を増加する。マイクロ流体デバイスをを用いた実験およびべん毛運動をモデル化した数値シミュレーションにより、大腸菌の遊泳能に直接関係するべん毛の束化が阻害されることが明らかとなった。また、遊泳能を逸した大腸菌にさらにべん毛変形効果によって壁面より離れる浮上力が作用し、腸内中央の速度の大きな領域へと移動し、腸内から排出される流体力学的相互作用によるクリアランス効果が発見された。

また、一方せん断速度が比較的穏やかな状況では大腸菌は腸壁の凹凸形状内に停留する対照的な現象が現れる。その物理化学的メカニズムについて調査を行うため、蛍光タンパク発現大腸菌とゼブラフィッシュ稚魚の腸壁の共焦点蛍光ライブイメージングにより腸内における大腸菌の挙動解析を行った。実験結果と数理モデルも用いた数値シミュレーションを用いた解析を行ったところ、腸壁との自己遊泳と腸内流動との相互干渉によって壁面近傍に集積する結果を得た。

腸上皮細胞における栄養吸収に関して、腸表面近傍における糖質の空間分布について調査を行った。栄養吸収における生物モデルとして利用される線虫と蛍光グルコースを用いて腸細胞表面の微絨毛近傍のグルコースの挙動の可視化を行った。その結果、微絨毛膜表面においてグルコースが集積し、かつ膜表面のグルコースの拡散係数が水溶液中に比べて、100 倍近く小さくなっていることが明らかとなった。本研究成果は、腸壁における栄養吸収において腸壁近傍の糖質濃縮に関する物理的に重要な結果を得た。