

免疫細胞に与えるプラズマの影響のモデリング  
**Modeling on the influence of plasma on immune cells**

高澤千尋、川口悟、村上朝之

Chihiro TAKAZAWA, Satoru KAWAGUCHI and Tomoyuki MURAKAMI

成蹊大学  
 Seikei University

1. 背景

低温大気圧プラズマのもたらす創傷治療効果は比較的早い時期から認知されていたもののひとつである[1]。ここでは患部に対しプラズマを照射することで治癒に要される期間が短縮されること、プラズマ照射による殺菌作用が主な要因となっていることなどが示唆されてきた。また最近では、プラズマが免疫細胞（白血球・リンパ球等）に影響を与えることが示唆されている[2]。本研究ではプラズマおよび白血球による殺菌作用を記述する数理モデルを構築し、特に白血球の動的挙動を検討する数値シミュレーションを行う。

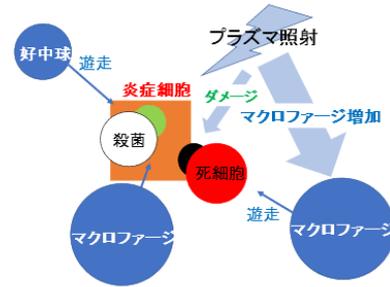


図 1 エージェントの行動ルール概念図

2. モデリング

様々な要素が相互作用する複雑なシステムを表現できるエージェントベースシステムに基づくモデリングを行った。ここでは、細菌および白血球（好中球・マクロファージ）をエージェントとし、その殺菌作用をシミュレートする。また、外部からのプラズマ照射の影響を加味する。図 1 に各エージェントの行動ルールの概念図を示す。細菌に触れた細胞は炎症が起こす。白血球がその炎症個所を認知し、これに向かい移動し（遊走）、炎症の原因となった細菌に接触殺菌（食食）する。また、プラズマ照射は、細菌にダメージを与える（殺菌作用）とともにマクロファージの数的増加に寄与する。

図 2 に細菌を殺菌する白血球の挙動シミュレーションのスナップショットを示す。同図 1 mm×1 mm 計算領域は、一辺 10 μm の正方グリッドと見なした細胞(100×100 個)からなる。細菌および白血球は増殖・遊走・食食等、固有の振る舞いをする。また、プラズマ照射の影響を条件にシミュレーションを行った。

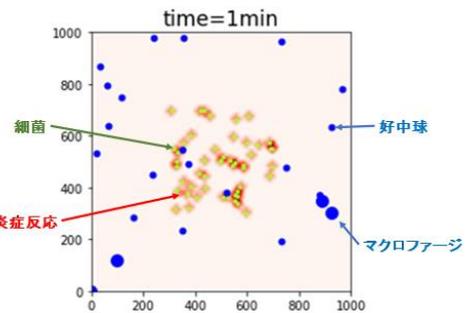


図 2 シミュレーションのスナップショット

3. 結果

図 3 に細菌数の時間変化を示す。同図、プラズマ照射をしない場合、細菌の増殖が顕著であることがわかる。これは白血球の殺菌作用が不十分であることを示唆する。一方、時刻 150 分において 1 分間のプラズマ照射を行った場合には細菌の増殖が抑えられる傾向にあることがわかる。これは直接的にプラズマの殺菌作用が寄与したこと、およびマクロファージの増加作用が寄与したためである。

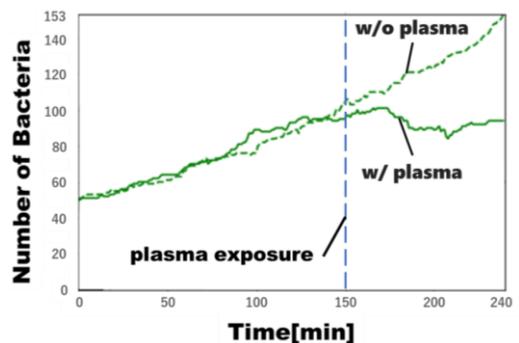


図 3 細菌数の時間変化

4. まとめ

本研究では免疫細胞（白血球）が生体内に侵入した細菌を殺菌する挙動をシミュレートするモデリングを提案した。また、プラズマ照射が白血球の免疫効果に与える影響についての検討を行った

参考文献

[1] 平田孝道, 筒井千尋, 金井孝夫, 工藤美樹, 岩下光利, 森晃 大気圧プラズマによる組織の活性化と医療応用 J. Plasma Fusion Res. Vol.91, No.12 (2015)771-775  
 [2] V. Miller, et al, Plasma Processes and Polymers Volume 11, Issue 12 p. 1193-1197