

Poisson 方程式による雷のシミュレーションとそのエントロピー論的考察 Lightning simulation by Poisson equations and its implication for entropic theories

芹沢 浩^{1*}, 雨宮隆¹, 伊藤公紀¹

Hiroshi Serizawa^{1*}, Takashi Amemiya¹, Kiminori Itoh¹

¹ 横浜国立大学環境情報研究院

¹ Graduate School of Environment and Information Sciences, Yokohama National University

Poisson 方程式による雷のシミュレーションはこれまでも数多く試みられており、その原理もよく知られているが、膨大なメモリを消費し、長大な計算時間を要するという欠点がある [1]。本発表ではノートパソコンでも利用可能な有限差分法 (FDM) を用いた実用的シミュレーション・モデルを紹介した後、稲妻のフラクタル的樹状構造の成り立ちについて、エントロピー論的考察を加える。Kleidon のエントロピー生成率最大化 (MEP) の原理によれば、熱平衡から遠く離れた開放系はエントロピー生成率が最大の状態で安定化し、散逸構造と呼ばれる低エントロピー状態を実現する [2]。一方、Bejan のコンストラクタル (Constructal) 理論によれば、一点と一定量の面積または体積を結ぶ流れの構造はその抵抗が最小になるように、すなわち一点から面積または体積へのアクセスが最も容易になるように形成される [3],[4]。MEP 原理と Constructal 理論は同種の最適化理論であるが、どちらがより本質的かを巡って、2010 年ごろ、活発な論争が交わされた [5],[6],[7]。しかし、両者の論争はかみ合ったとは言い難く、これまでのところ、実り多い成果を生んでいない。本発表では稲妻に代表される樹状ネットワークを低エントロピーの散逸構造と捉え、その成り立ちを熱力学的に考察することによって両理論の和解を試みる。さらに Kleidon の MEP 原理とより古典的な Prigogine のエントロピー生成率最小化の原理との違いについても言及する [8]。

[1] Amarasinghe, D., Sonnadara, U. (2008). Fractal characteristics of simulated electrical discharges. *Journal of the National Science Foundation of Sri Lanka* 36(2):137-143.

[2] Kleidon, A., Lorenz, R.D. (2004). *Non-equilibrium thermodynamics and the production of entropy: life, Earth, and beyond*. Springer Verlag, Heidelberg.

[3] Errera M.R., Bejan, A. (1998). Deterministic tree networks for river drainage basins. *Fractals* 6(3):245-261.

[4] Bejan, A. (2007). Constructal theory of pattern formation. *Hydrology and Earth System Sciences* 11:753-768.

[5] Kleidon, A. (2010). Life, hierarchy, and the thermodynamic machinery of planet Earth. *Physics of Life Reviews* 7:424-460.

[6] Bejan, A. (2010). Design in nature, thermodynamics, and the constructal law. Comment on "Life, hierarchy, and the thermodynamic machinery of planet Earth" by Kleidon. *Physics of Life Reviews* 7:467-470.

[7] Kleidon, A. (2010). Life as the major driver of planetary geochemical disequilibrium. Reply to comments on "Life, hierarchy, and the thermodynamic machinery of planet Earth". *Physics of Life Reviews* 7:473-476.

[8] Prigogine, I. (1962). *Introduction to non-equilibrium thermodynamics*. Wiley Interscience, New York.

キーワード: エントロピー生成率最大化 (MEP) の原理, コンストラクタル理論, 樹状ネットワーク, Poisson 方程式, 有限差分法 (FDM), 雷

Keywords: Principle of Maximum Entropy Production (MEP), Constructal theory, Tree network, Poisson equation, Finite Difference Method (FDM), Lightning