

海洋系と生命系の類似性について ある熱力学的考察

On analogy between ocean system and living system &#8211; A thermodynamic investigation -

下川 信也 [1]; 小澤 久 [2]

Shinya Shimokawa[1]; Hisashi Ozawa[2]

[1] 防災科研; [2] 広島大・総合科学

[1] NIED; [2] Dept. Natural Env. Sci., Hiroshima Univ.

本発表では、海洋系と生命系の類似性とその進化について議論する。特に、海洋系と生命系は、循環構造の発達という共通の性質を持っており、この点を中心に、両者の類似性について熱力学的視点から考察する。

我々は、これまで、海洋系の循環構造の時間的発達はエントロピー生成率の増加を伴っていること、すなわち、海洋系においてエントロピー生成率最大の仮説 (The Principle of Maximum Entropy Production: MEP, Sawada, 1981) が成立することを示してきた (Shimokawa & Ozawa, 2001, 2002)。このことは、海洋系が、高度に組織化された循環構造を作り出すことによって、より高いエントロピー生成率を生み出す方向に発達する傾向をもつことを示している (Fig.1a)。同じことが、生命体の発達にとっても成立する可能性があると考えられる。すなわち、生命系は、受精卵から成人への発達を通して、体内の流体 (すなわち、血液) の十分に組織化された循環を形成し、この循環する血液を作業物質として使うことによって、その外系 (すなわち、外部の環境) と熱と物質 (すなわち、酸素と食物) の高い交換率を達成する。そして、そのエントロピー生成率は、生命系の最も成熟した状態 (すなわち、成人) で最大となると考えられる。

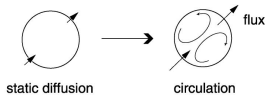
しかし、海洋系と生命系には異なった点も存在する。海洋循環は、外系に温度差という非平衡が存在する限り、永遠に存在することができるが、生命体の活動度とそのエントロピー生成は、外系に変化がなくても、年齢とともに減少し、生命体は最終的には死を迎える。死の存在は、明らかに MEP に反しているように見える。従って、個々の生命体の成長過程に MEP が適用できるかどうかはより慎重に検討すべき問題であろう。

そのような短い時間しか存在しない個々の生命体ではなく、より長い時間存在しうる生物種の内部構造の発達について考えてみよう。子孫の擬似再生産 (生殖) によって地質学的時間スケールで起きる種の個体の構造の発達は、Darwin (1859) の研究にちなんで“進化”として知られている。Darwin の理論に従うと、現存するすべての種は、より単純な種 - 究極的には、地球の生命の初期の段階の単細胞生物 - から進化してきたはずである。すなわち、その段階においては、すべての生命系は単細胞であったはずである。単細胞生物においては、生命活動に必要な熱と物質を輸送するための手段としては拡散しかないため、外部の環境との熱と物質の交換率、すなわち、エントロピー生成率は低いものとなる (Fig.1c 左図)。この拡散のみが起こりうる状態は、そのエントロピー生成率が、循環構造をもつ状態のエントロピー生成率より低いという意味において、不安定である (Fig.1a, b)。単細胞生物が、お互いに集積し擬似再生産により流体の循環構造を作り出すようになると、すなわち、多細胞生物に進化すると、その結果として、より高いエントロピー生成率を生み出すことができるようになる。この単細胞から多細胞への種の発達は“カンブリア紀の生物爆発”と呼ばれ、約5億年前に起こったと考えられている (Zhuravlev & Riding, 2001)。しかも、この進化の驚くべき結果は、以上の説明からわかるように、MEP と整合的である (Fig.1c)。

さらには、地球上の多くの種の進化によって、全生物種によるエントロピー生成の総計が大きくなるように、地球上の種の分布が選ばれているように見える。生命系と海洋系によって生成されたエントロピーは、最終的には、長波放射を通して宇宙に放出される。それゆえ、すべての生命系と海洋系のような惑星における循環系の進化は、宇宙におけるエントロピー生成の統一的な要請 (必要条件) によってコントロールされている可能性がある。

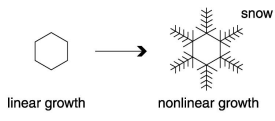
参考文献: Darwin C (1859) *The Origin of Species*, J Murray, London. Sawada, Y (1981) *Prog Theor Phys* 66, 68-78. Shimokawa S, Ozawa H (2001) *Tellus A53*, 266-277. Shimokawa S, Ozawa H (2002) *Q J Roy Meteorol Soc* 128, 2115-2128. Zhuravlev AY, Riding R (eds.) (2001) *The Ecology of the Cambrian radiation*, Columbia Univ. Press, New York.

a Fluid circulation



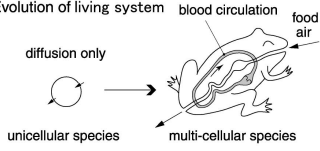
$$\dot{S}_{\text{static}} \ll \dot{S}_{\text{circ}}$$

b Dissipative structure



$$\dot{S}_{\text{lin}} \ll \dot{S}_{\text{NL}}$$

c Evolution of living system



$$\dot{S}_{\text{uni}} \ll \dot{S}_{\text{multi}}$$