

ネムリユスリカ幼虫蘇生の熱力学

休眠（dormancy）は、地球上の生物に広く見られる現象です。変動する環境に適応し、発生のある段階で、一時的に代謝を著しく低下させて活動の困難な時期を乗り切る生存戦略です。中でも、ほとんど無代謝状態にまで活動を停止させる現象を **cryptobiosis** と言います。最も身近な例では、植物の種子がこれに相当します。また、本レポート No.26 でも報告されたアルテミアの耐久卵なども同じです。この休眠状態にある生物は、高温や低温、乾燥、無酸素などの過酷な環境に耐えることができます。この能力は、生命が誕生したころの原始地球の不安定な環境において既に獲得されていたと想像されます。代謝は、地球上の全生物の共通の土台であるので、**cryptobiosis** は休眠しない生活を営む動植物の種の保存技術への応用も期待されます。さらに、遺伝子も活動停止状態にあるので、放射線への強い耐性もあり、**cryptobiosis** は未だ SF の世界である長期間の宇宙旅行も可能にするかもしれません。

Cryptobiosis による休眠状態は、熱力学的にはガラス状態であると見なせます。例えば、イネの種子が実り稲穂が垂れ、茎が枯れると、種子の乾燥が進み、ガラス転移温度が上昇して、種子は休眠状態のモミとなります（馬越淳，熱測定 29(2), 58-61, 2002）。また、アルテミアの乾燥耐久卵には、ガラス転移温度の高い糖トレハロースが多量に蓄積されていることが知られています。ここで単にガラス転移と言ってしまうと、熱測定屋の我々は妙に納得してしまうのですが、注意しなくてはならないのは、**cryptobiosis** は、熱力学的平衡状態にある凝縮相からの転移ではなく、「生きている」非平衡定常状態とガラス状態の間の転移であることです。つまり、2つの非平衡状態間の転移であることが重要です。

ネムリユスリカ *Polypendilum vanderplanki* は、アフリカの乾燥地帯の岩盤にできた水溜りに生息する吸血しない蚊の仲間です（Sleeping Chironomid ネムリユスリカ <http://www.nias.affrc.go.jp/anhydrobiosis/Sleeping%20Chironimid/index.html> 参照）。雨が1滴も降らない乾季が長く続くので、幼虫（赤虫）はカラカラに干上がった土の中で、自分自身も脱水乾燥状態となり、完全に代謝を停止させて休眠します（Photo 1）。水田のホウネンエビも同じ生態なのですが、アルテミアやホウネンエビは卵殻の中で初期発生段階の原腸胚として休眠状態になり、休眠打破と同時に初期発生が再開されます。一方、ネムリユスリカの乾燥幼虫は、水につけると復活し元の赤虫として生活を再開するので、蘇生（休眠打破）を純粋に観測することができます。これは **cryptobiosis** の熱測定にとっては好都合です。

乾燥ネムリユスリカ幼虫蘇生の熱測定は、生物試料のために改良された高精度双子型熱量計（LKB2277-201）で行われました。試料は農業生物資源研究所の

奥田隆さんから提供されました。ネムリユスリカ幼虫が蘇生するときの典型的な熱発生を Fig. 1 に示します。乾燥幼虫 1 個体を熱測定アンプル内の水に落とした直後から、発熱が急速に立ち上がり、すなわちエネルギー代謝が復活・活発化し、発熱は数時間で最大になります。その後、緩やかに発熱は減少し、ピーク時の半分くらいの発熱で定常状態に達します。また、サーモグラムに見られる鋸の歯のような信号は、熱雑音ではなく幼虫が体をくねらせる筋肉運動によるものと思われます。

このようなピークをつくる発熱パターンはウニ、ヒトデの初期発生などでも観測されています。プリゴジンらはこれらを 2 つの時間スケールをもって発展する系におけるエントロピー生成の変化で説明しています (プリゴジン, ニコリス『散逸構造』岩波書店, 1980 年)。すなわち、初期においては、系はその条件下でエントロピー生成を最大にするように振る舞うけれども、時間の進行とともに、系は自ら最適化を繰り返し、エントロピー生成が最小になるように発展してゆくことが期待されます。興味深いのは、これらの発熱パターンが、非平衡状態間の転移における熱力学によって一般的に説明され、ネムリユスリカもその熱力学をうまく利用して、休眠状態から蘇生していると言えることです。

蘇生初期段階の発熱ピークは、初期において最大化しようとする反応速度を遅くすることによって小さくなると考えられます。実際に、低温、重水中、あるいは宇宙空間で放射線を浴びた試料において、顕著な発熱ピークを示さないまま、定常状態に達する例が観測されました。

(長野八久)



Photo 1. A cryptobiotic larva of the sleeping chironomid, *P. vanderplanki*

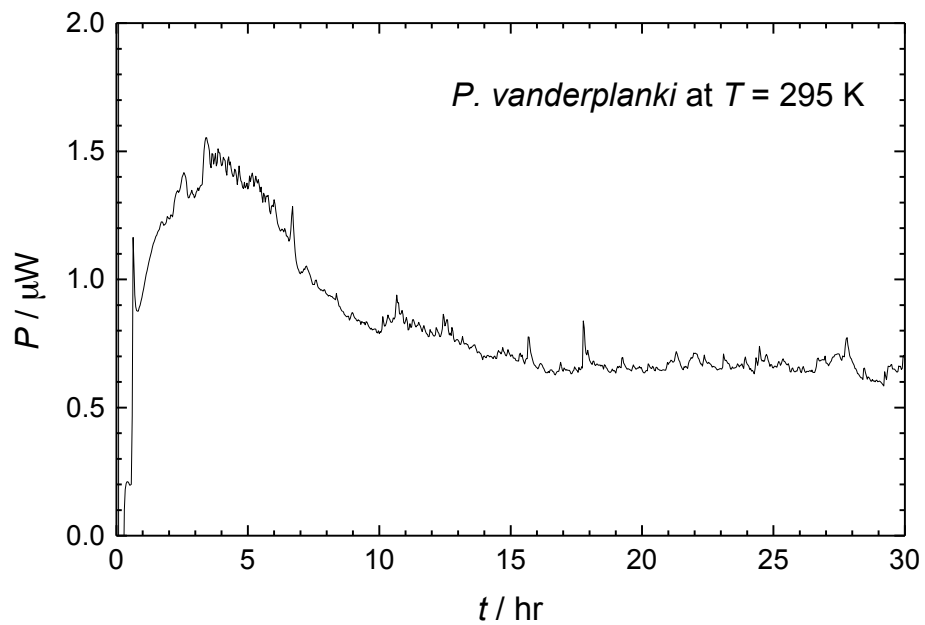


Fig. 1. Thermogenesis of rehydration of a cryptobiotic larva of *P. vanderplanki* (dry weight = 0.1435 mg) at $T = 295$ K.