

「仮死」とは何か—クマムシの体内で起きていること—

Comparative proteome analysis of *Milnesium tardigradum* in early embryonic state versus adults in active and anhydrobiotic state.

Schokraie et al., 2012.

Plos one, 7(9).

クマムシってこんなの

クマムシという生き物をご存知だろうか。

名前くらいは、聞いたことがあるだろうか。この本を買っているくらいだから、当然だ、よく知っているよ、という方も多いと思う。

クマムシは緩歩動物門に属する動物である。というよりも、緩歩動物門に属する生物は全てクマムシ類である（「門って何」と思った方は、過去の斜論を読むか、“生物の分類”を wikipedia で調べてみてください）。生息地は様々で、そこらへんの苔から採れる種もいれば、海中にいる種もいる。南極にもいるらしいし、深海底に生息すると思いきやヒマラヤにもいるのだとか。とにかく、様々である。

そして見た目だが、その様態は（パッと見は）どっしりしていて、団体の割に短い足でのしのし歩くので、見た目もあいまってクマ（っぽい）ムシという名がつけられた様である¹。とはいっても大きさは（大きくとも）1mm 程度で、ちょっとがんばらないと肉眼では見えにくいサイズである。

まあ、こういった背景は話すと長くなるので、このへんで割愛する。気になる方は、「クマムシ？！小さな怪物（岩波書店 鈴木 忠著）」などに詳しく載っているので、買うのもよし、借りるのもよし。

なお、今回はクマムシがもつ「仮死」に関わる能力について話していくので、どうぞよろしく。

* ちなみに、沼氏が実際に採取したものをがんばって、本当にがんばって、写真を撮ってく

¹ なお英語では water bear と呼ばれる。

ださった(図 1.)。心から感謝申しあげます。



図 1. 実際に沼氏が撮影したクマムシの写真。

これだけだと同定できないが、そもそも小さい上にトコトコ歩き回るので
うまく写真が撮れないのだとか。本当にありがとうございました。

クマムシの“能力”

クマムシは、一部の種において(ここ大事)、極限状態²に対する強い耐久性をもつことで知られる。Wikipedia(2013年7月30日現在)によると、一部のクマムシは

- 乾燥: 通常は体重の85%をしめる水分を0.05%まで減らし、極度の乾燥状態にも耐える。
- 温度: 151°Cの高温から、ほぼ絶対零度(0.0075ケルビン)の極低温まで耐える。
- 圧力: 真空から75,000気圧の高圧まで耐える。^[1]
- 放射線: 高線量の紫外線、X線等の放射線に耐える。X線の致死線量は57万レントゲン(ヒトの致死線量は500レントゲン)。

という能力をもっているという(原文まま)。いやはや、どこまで本当なのか、と文献を漁ってみると、細かい数字はさておき、これらの要素に対し耐久性を示すのは事実なようだ³。他にも、pH環境への耐久や、高/低塩濃度への耐久も報告されている。

クマムシがこの“能力”を発揮するには条件がある。それは”休眠すること”である。このと

² ここでいう極限状態は、南極や海底、熱水噴出域などで生息している状態ではなく、通常とはかけ離れた環境に置かれている状態を指す。例えば渋谷区在住のヒトがサハラ砂漠に投げ込まれるようなイメージである。元々南極などに住んでいる生物にとっては、南極は“通常状態”である。もともと”極限”とはそういう意味である。

³ ただし、先ほども申しあげたとおり、これは一部の種が持っている能力である。それも、その“一部”に属するそれぞれの種が、この能力もしくはその一部を持っているのである。更に言えば、クリプトビオシスを持っていなくとも極限状態に耐久性を示すクマムシもいる。

き、クマムシ(を始めこの能力をもつ生物)は身体を収縮させ、樽のような形態⁴をとる(図2.)。”休眠“とは、少し難しく言えば”無代謝状態になる“、ということだ。いわば冬眠に近いのだが、冬眠は代謝(=生命活動)を極めて不活発にするのに対し、無代謝状態の場合は文字通り代謝が(見かけ上)無くなる⁵。この状態をクリプトビオシス(cryptobiosis)⁶という。当然、あくまで”休眠”なので、水をかけるなど適切な措置(=環境の変化)が起これば通常の活動状態に戻る。スイッチがOFFからONに切り替わるもんだから、かつては「死から蘇生した」「そもそも死んでない」と議論があったそうな。まあともかく、この能力のおかげで、例えば苔の下に住むようなクマムシは、晴れの日が続いてカラッカラになっても雨が降れば復活、なんてことができるわけである。

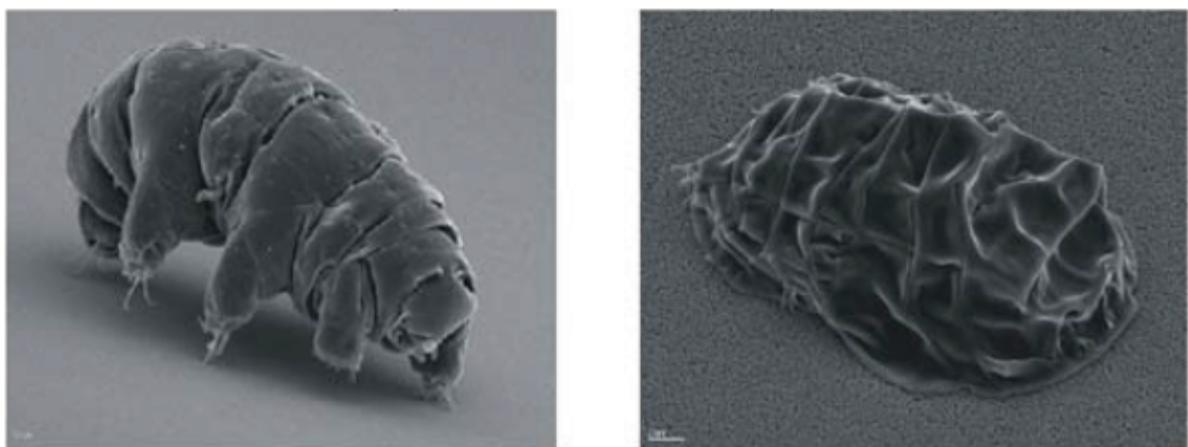


図2. 電子顕微鏡で撮影されたクマムシ(Figure.1より抜粋)
左:通常状態 右:樽状態

この“無代謝状態”的能力により、クマムシは「長生き」で、「宇宙線にも強い」体を持っていて、「高温にも圧力にも耐えられる」のだという。それがどうしてなのか、その機構を明らかにするため、様々な研究⁷が行われてきたのだが、今のところ、ハッキリ言って、**ほとんどわか**

⁴周りに硬い殻を持つて、極限状態への耐久性を獲得する他の例として、納豆菌をはじめとする桿菌がある。彼らは、芽胞を形成することによって、高温、紫外光、高圧などに対する高い耐久性を獲得する。

⁵ “見かけ上”とは、現在の分析技術では、乾眠状態にあるクマムシの体内で代謝/生命活動が観察・検出できない、もしくはそれらが検出可能なレベルにない、という意味である。ただし、この「無代謝」という表現は、なんとも疑わしい表現であるように思えてくる。詳しくは追々。

⁶ これらクリプトビオシスの能力をもつ生物を *cryptobiont* という。クマムシの他に、ネムリュスリカ、アルテミア(所謂シーモンキー)、ワムシ、線虫(一部)など。

⁷ 研究結果からはクマムシには樽状態でなくともある程度の耐性があることがわかっている。これらが何に由来しているかは不明であるが、今回紹介するクリプトビオシスに関わる重要因子と無関係ではないとされている。なお、日本人はクマムシの研究においては世界でもトップクラスなのだと。

っていない。正確に言えば、現象の観察しかされていない、というのが現状である。

今回私が紹介する論文は、その「どうしてなのか」を理解しようとした1つの論文である。その内容はひらたく言えば「樽状態のクマムシの中身を普段のクマムシのと比べました」といった内容である。中身を比べただけなので、これもまた「現象の観察」でしかないと言えはうなのだが、この論文ではタンパク質の発現を網羅的に解析することで、クマムシの乾燥に対する耐久性に重要な因子をかなり絞り込んでいる。この“網羅的な解析”が実は今生物の研究では流行り⁸みたいなところもあるので、網羅的解析って何さ、というところも触れながら、研究内容を紹介していきたい。そして、クマムシについてどこまでわかっているのかを、私の勝手な(それこそ妄想と考察の間のような)アイデアを交えながら述べていこうと思う。

その前に、この論文を読む上での背景を説明する。

クリプトビオシス

まずは、この言葉についてもう少し詳しく述べよう。

一般にクリプトビオシスは、次の4つの条件⁹によって誘起される無代謝状態のことを指す。

- | | |
|----------------|-------|
| ①Anhydrobiosis | 乾燥 |
| ②Cryobiosis | 超低温 |
| ③Anoxybiosis | 無酸素状態 |
| ④Osmobiosis | 高塩濃度 |

このいずれかを持っていれば、“クリプトビオシス”という状態に入ることのできる生物 **Cryptobiont** と呼ぶことができる。現在最も研究が進んでいるのは①と②である。

<つづき>クマムシゲノムプロジェクトなんてものも進行中らしくて。

⁸ 背景には、これまで非常に効果とされてきた機器・技術（DNAマイクロアレイや次世代シークエンサーなど）の（企業競争、ランニングの効率化、機器そのものの低価格化などによる）コスト低下により、比較的容易に参入できるようになったことがある。

⁹ 定義によってはさらに Chemobiosis と呼ばれる、化学物質耐性も含むべきとするものもある。が、クマムシ国際シンポジウムなどの発表や論文によれば、この4条件がコンセンサスである。

Cryptobiont がもつそれぞれの条件に対する耐久力は種によって異なる。例えば、南極や氷山地帯のクマムシは②、海棲のものは④、砂漠や苔に住むものは①について高い耐久性を示すことが多い。これは、それぞれのクマムシは、自分が生息する環境を長いスケール(日照および季節変動)で考え¹⁰、その条件にあった耐久性を獲得したと考えられる。かえせば、これらの能力やその高さというのは、基本的にはその個体がもつ生活環や住環境によってある程度優占的に伸びていくもので、**全てのクマムシがこの4つを全て等しく獲得しているわけではない。**

では、この耐久性はどのような物質がもたらしているのか。その1つとされているのが、トレハロースである。

無代謝状態とトレハロース　・・・二糖の意義

クリプトビオシスを語る上で、トレハロースは外すことのできない物質である。

トレハロースは α -グルコース(要はブドウ糖)が2つくつついてできた二糖の1種である¹¹(図3)。“グルコース”に“糖”ということで予想されるとおり、トレハロースはエネルギー源として微生物からヒトまであらゆる生物に利用されている。ヒトではトレハロースがトレハラーゼによって分解されグルコースとなって吸収される(それが血糖として身体に巡っている¹²)が、一部の生物ではトレハロースをそのまま血糖として利用している。

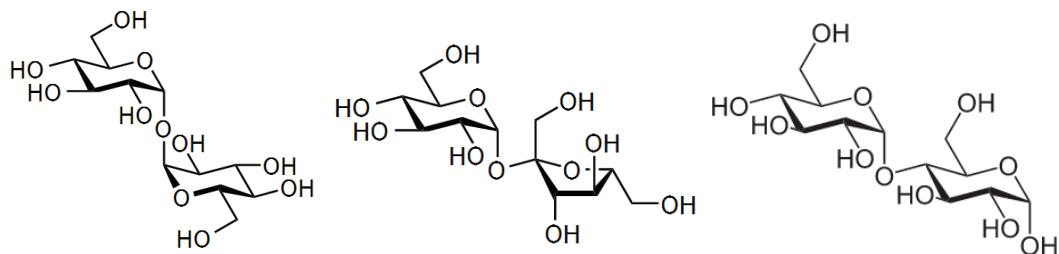


図3.二糖の代表例とのその構造

¹⁰ ここでクマムシが「考え」たと表現したのは、そういう種が現在生き残っていることを考慮すると、「意志をもって」変化していったように見える、という意味であり、彼らがどのように淘汰され生き残って言ったかとは別の問題である。

¹¹ 糖質のうち、グルコースのように糖質の最小構成単位である糖を单糖という。それが2つ組み合わさせてできているから二糖。結合部位によって種類が異なり、性質も変わってくる。具体例だと、2つのグルコースからなる二糖は、マルトース・イソマルトース・セロビオース・コージビオースなど。

¹² ちなみに、摂取した全糖質のうち50%前後は脳によって消費されている。なので、「身体を動かさず頭しか使っていないから痩せない」という言い訳は、「運動もしていないし頭もそんなに使ってない」と解釈することもできる。もちろん、痩せる痩せないは食事や体质にもよるので、それだけで判断はできないのだが。