

基礎代謝量

最近、過去に購入した本の読み直しをやって楽しんでいます。その中に「地球の哲学」:副題が「46億年の歴史が語る新しい人間観」(梅原猛、松井孝典共著)があります。出版されてすぐ購入し、一気に読んで、そのまま5年間本棚で眠っていました。

読み直した理由は、疑問を感じた箇所が二、三あったからです。疑問点には付箋紙を貼り付けていますので、付箋紙の付いた本を探せばよいわけです。中には「こんなことを疑問に思っていたのか」など解決済みのものもありますが、そうでないものはペンディングのままです。疑問に感じたのは上記の本の、以下の部分ですが、文章の一部を拝借しましょう。



人間が生態系の頂点にいる意味・・・松井

「・・・要するに、地球システムに起きた乱れが人間圏にフィードバックされ、かつての恐竜のようにいまの地球環境にいちばん適応した位置を占めている人間も、崩壊に向かう恐れがあるということです。

この問題を考えるとき、アナロジーとして一つの参考になるのは基礎代謝量、つまりわれわれが生きていく上で必要なエネルギー量です。人間は生物としては一日 2000 キロカロリーあれば十分だといわれていますが、もちろん現代の人間はそれだけでは生きられません。生活をしていく環境をつくり出すためのエネルギー、つまり、寒ければ暖房をつけたり、日常生活で電車や車に乗ったりするわけですから、それを動かすエネルギーも必要です。これらを基礎代謝量に含めて考えると、全部の基礎代謝量は 10 倍の 2 万キロカロリー一位になってしまうでしょう。これは今の哺乳類のなかではゾウと同じくらいの量になると思います。

一般に生物が必要とする基礎代謝量というのは、その体重に比例します。そうしますと、60 億人の人間が地球上に生きているということは、実際にはゾウのような体重をし、過大なエネルギーを消費する生物が地球上に約 60 億体も生きていることになる。これがアナロジーとして最もわかりやすい表現ではないでしょうか。・・・」。

この文章の中で疑問に思った箇所は

- ①「これらを基礎代謝量に含めて考えると、全部の基礎代謝量は 10 倍の 2 万キロカロリー一位になってしまうでしょう」
- ②「これは今の哺乳類のなかではゾウと同じくらいの量になる」
- ③「生物が必要とする基礎代謝量というのは、その体重に比例します。」

の三箇所です。

順番に考えていきましょう。まず、①についてはどうでしょうか。およそ一万年ほど前に人間圏が成立したわけですが、その時点では人間も狩猟を主に生きていましたか

ら、その当時はトラやライオンと変わりがないわけですから、いわば今流行の言葉で言えば「人間は地球に優しい生き方をしていた」わけです。しかし、その後人間は農耕・牧畜を始め、今までとは全く異なる生き方をするようになります。つまり、われわれ人類が農耕・牧畜を始めた時点が地球環境問題の始まりだったわけです。

ところで、現在私達が生きている世界で1日1人あたりどのくらいのエネルギーを消費していると思いますか。

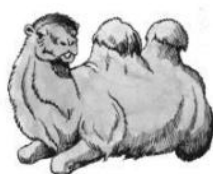
文献によって少しずつ異なりますが、一人一日あたりのエネルギー消費量の過去の例を調べてみると、おおよそ以下ようになります。すなわち、

1. 中世に石炭を燃やし、風車や水車を回した時代には 26,000 kcal/日/人
2. 産業革命以降、熱機関を使い始めると一気に 77,000 kcal/日/人
3. 現代のアメリカ人は 230,000 kcal/日/人のエネルギー消費(日本 120,000kcal/日/人、中国 30,000kcal/日/人など)

といわれています。

まず、基礎代謝量の10倍といっていますから、これは一日あたりのキロカロリーですね。この例からすると、松井氏の2万キロカロリーは、ちょうど1.の中世のエネルギー事情に相当します。これは一桁間違っているように思うのですが、どうでしょうか。

この場合、人間の基礎代謝量は1~2桁小さいので無視してもいいでしょう。そうすると、現代のアメリカ人が 230,000kcal/日/人、日本人が 120,000kcal/日/人のエネルギー消費ですから、少なくとも先進諸国では10万~20万 kcal/日/人のオーダーにすべきではないかと思われる。



そうではないとして、エネルギー資源などほとんどないに等しい国もあるので、世界平均でいえば2万キロカロリー/日/人と、そのまま解釈することにしてみましょう。もしそうだとすれば、象と同じくらいのエネルギーという、②の疑問点で矛盾してしまいます。つまり、2万キロカロリーの order という、ちょっと計算すればわかりますが、体重 5t の象ではなくて、体重 500kg くらいの駱駝(らくだ)程度の大きさに相当します。「60億体の駱駝」ではあまりインパクトがありませんね。

では②はどうでしょうか。象の必要総カロリーは「[温血動物は昆虫のように小さくなるか](#)」でも計算したように、

- ・体温維持に必要なカロリーは 25,800kcal/日/頭
- ・活動に必要なカロリーは 120,000kcal/日/頭

でした。そうすると、象の1日の必要総カロリーは $25,800 + 120,000 = 145,800 = 14$ 万 5 千 kcal/日/頭 になります。つまり、象一頭が生きていくために一日に必要とされるエネルギーは 14 万 5 千 kcal というわけです。

これは、現在の先進国の一人当たりのエネルギー消費量 10 万~20 万 kcal/日/人

の値とほぼ一致します。つまり、松井氏の文章で、10 倍の 2 万キロカロリーの部分は、100 倍の 20 万カロリーに直すべきではないかという議論です。ただ、現在のエネルギー消費量が象のそれと同じオーダーであるというところはそのままで良いと考えられます。

最後の③はどうでしょうか。「生物が必要とする基礎代謝量というのは、その体重に比例します」ということになると、小型の動物達ほど基礎代謝量が少なくすみ、もっと小型でも楽に効率よく生活できるということになりますが、実際には、昆虫大の動物がほとんどいないところをみても判りますが、小さい動物達は体温維持に過大な負担を強いられ、極端な小型化は無理であるということは「温血動物は昆虫のように小さくなれるか」でも述べました。活動に対する基礎代謝量は体重に比例するという意味では正しい(図1.)と思うのですが、動物には体の表面から逃げていく体温を維持する為のエネルギーが別途必要で、小型の動物ではその量が極端に大きくなります。

もっとも、象の場合は、体温維持には食べる量の $1/5.65$ (18%) がまわされ、 $4.65/5.65$ (82%) が活動に必要なエネルギーになるわけですから、象より大きい大型の動物の場合は体温維持のためのエネルギーは省略してもいい(図2.)わけですが、現在、陸上の動物で象より大きい動物はいませんから、この文章には、この項目に対する配慮が欠けているように思われます。

つまり、「象のような体重をし、過大なエネルギーを消費する生物が地球上に約 60 億体も生きていることになる」というところはそのままで良いのですが、「生物が必要とする基礎代謝量というのは、その体重に比例する」という部分と「全部の基礎代謝量は 10 倍の 2 万キロカロリー位になってしまうでしょう」という部分は少し補足する必要があるのではないかと思います。

自分の能力も省みず、大学教授の文章のごく一部ではありますが「少しおかしいのでは」といってしまいました。重箱の隅を突付いてばかりいないで、「全体を見て話をしろ」とお叱りを受けそうですが、私が、間違っている可能性も大ですけれども、疑問に思ったことを素直に書いてみました。本を読む時に何時もこんな態度では疲れてしまいますが、本の内容を鵜呑みにしない姿勢は大切だと思っています。

かつて私が会社勤めをしていた頃の直属の上司が何時も言っていた言葉に、「何でや」、つまり、「どうして、そうなるのか」がありました。毎日そういう環境にいたために、「何でや人間」になってしまいました。そのお陰で少しですが、ものを考える人間になったわけですから、かつての上司には心から感謝しています。

なお、②、③に関連して、象の必要総カロリーについては、その算出法をもう一度復習しておきましょう。体重 50kg の人間がかなりの肉体労働をする場合、1 日に 2400kcal のカロリーが必要です。1 日中寝て暮らすのであれば、1200kcal、つまり基礎代謝量は半分ですみます。すなわち、活動に必要なカロリーは 1200kcal、体温維持に必要なカロリーは 1200kcal というわけです。

簡単のために、象の体重を 5 トン、人間の体重を 50kg とします。象の体の表面積は人間と比較すると $100^{2/3}=21.5$ 倍になります。なぜなら、象は 5 トンで、人間は 50kg ですから、 $5 \text{ トン}/50\text{kg}=5000\text{kg}/50\text{kg}=100$ 、つまり象の体重は人間の 100 倍になります。体重は質量密度×体積ですから、質量密度が人も象も同じであれば、 $100^{1/3}$ は長さになります。その2乗は面積ですね。つまり $(100^{1/3})^2=100^{2/3}=21.5$ で表面積となるわけです。

すると、象は体の表面積は人間の 21.5 倍、体重は 100 倍となります。体熱は体の表面から逃げるので、体温維持のためのカロリーは人間の 21.5 倍必要になります。

一方、活動のためのカロリーは、歩く速さや行動の時間が同じとすると、体重に比例すると考えられるので、象は人間の 100 倍の活動エネルギーを要することになります。

したがって、

- ・体温維持に必要なカロリーは人間の 21.5 倍、すなわち、 $1,200 \times 21.5=25,800\text{kcal}$ 。
- ・活動に必要なカロリーは人間の 100 倍、すなわち、 $1,200 \times 100=120,000\text{kcal}$ 。

これより、

- ・必要総カロリー= $25,800+120,000$
 $=145,000\text{kcal/日/頭}$

となるわけです。

下図は、体重(kg)と体温維持と活動に必要なカロリー(kcal)を示します。動物の体重から、おおよその必要カロリーが判るようにした両対数グラフです。両対数グラフ上で最小二乗法により直線で近似すれば、うまく直線に乗ってきます。これで、Order Estimate が可能です。

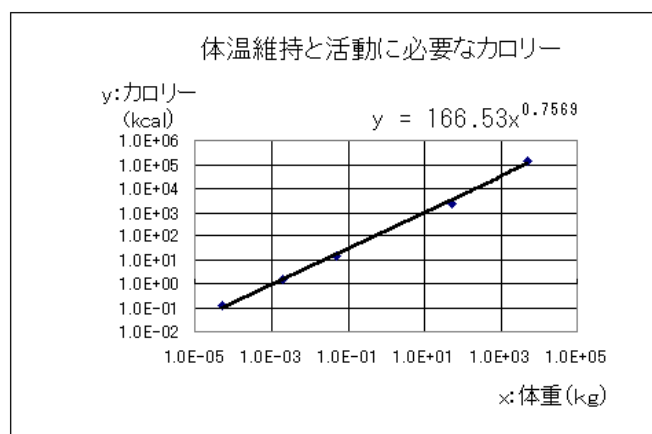


図1. 体温維持と活動に必要なカロリー

図1. だけであれば、体温維持と活動に必要なカロリーは小型の動物ほど小さく、大型の動物ほど大きいということだけしか判りません。ところが、図2. に示すのは、体

体温維持のためのエネルギー/活動のためのエネルギー(以下体温/活動)と体重の関係です。この図を良く見れば、小型の動物ほど体温/活動の値が大きく、活動のためのエネルギーより、体温維持のためのエネルギーの方が遥かに大きくなり、そのことが生存を脅かすまでになっていることを示しています。

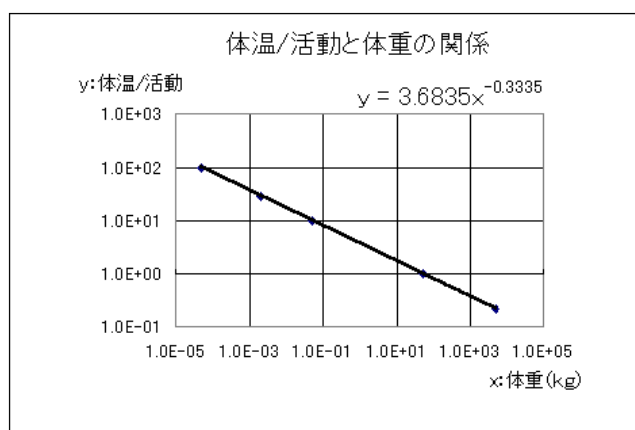


図2. 体温/活動に必要なカロリー

上の例を、数式を使って、簡単に説明しておきましょう。今、10gの小動物がいたとします。図1.の近似式 $y=166.53x^{0.7569}$ のxに0.01kgを代入すると、

$$y=166.53 \times 0.01^{0.7569} = 5.10$$

すなわち、体温維持のためのカロリー+活動のためのカロリー=5.10kcal が得られます。

さらに、図2.の近似式 $y=3.6835x^{-0.3335}$ のxに0.01kgを代入すると、

$$y=3.6835 \times 0.010^{-0.3335}=17.11$$

すなわち、体温維持のためのカロリー/活動のためのカロリー=17.11kcal が得られます。

これより、体温維持のためのカロリー=4.82 kcal

活動のためのカロリー =0.282 kcal が得られます。

これからも判るように、必要とされるカロリーのうちのほとんどが体温維持のために使われるという、この小動物にとっては大変なことが起こるわけです。