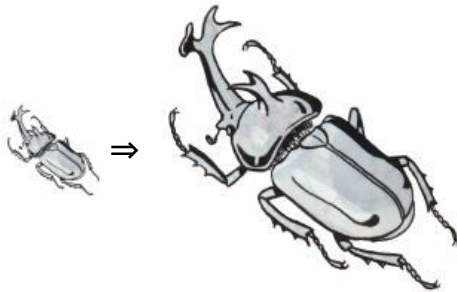


カブトムシはもっと大きくなれるか



何故、象のように大きいカブトムシがないのでしょうか。SF(Science Fiction)などに出てくる巨大な昆虫を見ると思わず「どきどき」しますね。

人間などの脊椎動物は、体の内部に硬い骨を持ち体を支えています。昆虫に代表される節足動物は、外側にある殻(通常クチクラと呼ばれており角皮ともいいます)で体を支えています。前者は「内骨格」、後者は「外骨格」といわれています。

よくテレビの番組などで「世界一の昆虫は何だろう」などと特別番組などを制作しているのを時々見かけますが、出てくるものといえば大きくても、せいぜい 30cm ぐらいのものまでです。

○ヘラクレスオオカブトで体長 20cm 前後

○東南アジアのナナフシで体長 30cm 前後

○沖縄にもいる開張 25cm のヨナクニサン

などで、脊椎動物に比べれば小さなものですね。私達は、つつい派手な、大きな虫に目を奪われがちですが、昆虫の特徴は小さいからこそ僅かな環境の違いにも適応できたということを忘れてはなりません。

しかし、外骨格なら何故大きな昆虫はいないのでしょうか。

昆虫は成長のたびにクチクラで覆われた殻を脱ぎ捨てなければなりません。ところが、昆虫は体の奥まで入り込んでいる気管で呼吸をするわけですが、この気管も外骨格の一部なので、これを脱ぎ捨てるのは大変な作業になります。特に、大型化すると気管の脱皮がさらに難しくなり、これが昆虫の大型化を阻んでいるとも考えられています。

ここでは、そのほかに何が問題かを浮き彫りにするために、普通のカブトムシと全く同じ形(相似)で、ただ大きさ(長さ)だけが n 倍になったカブトムシを考え、普通のカブトムシをカブト、 n 倍のカブトムシをスーパーカブトムシ(以下Sカブト)と名付け、物理量にはサフィックスを付けて考えてみることにしましょう。

ある大きな構造物の挙動を調べる場合、小さな模型でその挙動を調べ、大きな構造物の挙動を予測する場合があります。そのときに使うのが**相似則**です。そこで、カブトムシにも相似則を適用してみましよう。

物 理 量	カブト	Sカブト
長さ	L(Length)	$L_s = nL$
密度	ρ	ρ_s
体の体積	V(Volume)	$V_s = n^3V$
体重	W(Weight)	$W_s = n^3W$
筋肉や足の裏の断面積	S(Size)	$S_s = n^2S$
筋肉が出せる力	F(Force)	$F_s = n^2F$
足の裏にかかる圧力	p_1 (Pressure)	$p_{1s} = np_1$

まず、カブトの体積をV、体重をWとすると、
 体積の無次元量は $V_s/V = L_s^3/L^3 = (L_s/L)^3 = n^3$
 体重の無次元量は $W_s/W = \rho_s \cdot L_s^3 / (\rho \cdot L^3) = n^3$ (材質が同じならば $\rho = \rho_s$) となります。

いま、カブトの筋肉(たとえば足)の断面積をSとすると、

$S_s/S = n^2$ になります。

また、筋肉の出せる力は、その断面積に比例しますから、

カブトの出せる力をFとすれば、 $F_s/F = n^2$ となります。

さて、ここで10倍($n=10$)の大きさのカブトであれば、Sカブトはカブトの100倍($F_s = 10^2F$)の力を出せることとなります。さすがSカブトといたいところですが、この地球上で生きていくためには、その他に、地球の重力のことを考えなければなりません。というのも、Sカブトは大きさは10倍ですが、体重はカブトの1,000倍($W_s = 10^3W$)にもなっているからです。はたして、自分の足で、自分の体重を支えることができるのでしょうか。

まず、Sカブトが静かに4本足で立っている場合を考えましょう。 $S_s = n^2S$ ですから、足の裏の単位面積にかかる力(圧力)はカブトでは $p_{leg} = Wg/S$ 、

Sカブトでは $p_{legs} = W_s g / S_s$

$$= n^3 Wg / n^2 S$$

$$= n Wg / S$$

$$= n p_{leg}$$

となります。

つまり、Sカブトの足の裏にはカブトのn倍の圧力が掛かっているわけです。これは体のどの部分でも同じ圧力がかかっていることを意味します。つまり、体の各部分に10倍の応力(圧力、張力、ずれの力などのこと)がかかってくるわけです。分かり易くいえば、カブトに、同じ体重のカブトを9匹も背負って立っているときと同じ圧力がSカブトの足の裏に掛かっているわけです。

このSカブトとカブトが生理学的に同じ骨格や筋肉を持っている(体を構成する材料が同じということ)とすれば、Sカブトの足はただ立っているだけでも折れてしまうでしょう。

では、どうすれば良いのでしょうか。それには、応力をカブトなみに下げてやればよいわけです。Sカブトでは圧力は $p_s = nWg/S$ ですから、 $p_{1s} = p_1$ (昆虫と同じ圧力)にするためには、

$$p_{legs} = W_s g / S_s = Wg / S = p_{leg} \text{ となるよう、}$$

断面積を $n^2 S$ 倍した上に、さらに n 倍する必要があります。すなわちSカブトの足の面積をカブトの 100 倍ではなく、1000 倍にする必要があるわけです。こうすることによって、応力の問題は解決します。

ところが、足や殻の断面積を増やすと、筋肉や殻の断面積が大きくなりすぎて、内蔵や筋肉系統などが体内に納められなくなり、圧迫されて昆虫としての機能を維持できなくなります。また、脱皮の際には殻の強度が出る前なので、下手をすれば自分自身の体の重みでつぶされてしまう心配があります。

体長 10cm のカブトムシであれば、体重 100g くらいありますから、これが 10 倍の 1 m くらいのカブトムシになると、体重は一気に 100kg にもなり、ちょっとしたお相撲さんなみの体重です。長さ 1m で、100kg と考えただけで、象のような脚をしたカブトムシなど、これはもう動けないだろうということが分かります。

このように、外骨格は昆虫の大型化という戦略に対しては限界があるという訳です。昆虫が小さなサイズへの道を選んだことで重力の問題を簡単にクリア出来ますし、その他色々な利点を獲得します。彼らはいま風に乗れば、ヒマラヤの山頂にも行き着くことさえ出来るのです。だから、小型化で天文学的な数にまで繁殖することが出来たのです。

内骨格のゾウやカバは 2~8 トンの重さですが、その足が大きいのは、体重を支えるためにはそれだけ大きい断面積が必要であるという証拠です。

また、シロナガスクジラなどは、さらに大きく 150 トン近くにもなりますが、海にいて浮力で体を支えているからこそ活動できるわけで、陸に打ち上げられたら陸上で体を支える構造にはなっていませんから、自分の重さで肋骨は折れて、つぶれて死んでしまいます。

その他、日本に生息するタカアシガニは足を含めると 4m にもなります。このカニが

陸揚げされたときの様子を見ると、動きが鈍いように見えますが、これは、陸にあがると浮力がなくなるため重力に耐えられなくなって、ほとんど動けなくなるからです。

つまり、外骨格、内骨格いずれの生物も、重力の影響を考慮することなしに生きていくことは出来ないのです。

外骨格と極小という、我々とは異次元の世界に住む昆虫たちの生活は驚くほど多岐にわたっており、その旺盛な繁殖力と適応力は他に類をみません。
