



人間はどこまで速く走れるか？-四足走行の挑戦-

宇佐見 義之*

衣笠 竜太**

How fast human can run? a possibility of quadrupedal running

Yoshiyuki USAMI*

Ryuta KINUGASA**

1. はじめに

- 人間や動物は最高どのくらいまで速く走ることができるだろうか？ 現在最速のスプリンターはウサイン・ボルトであり、その速さは 8.91m/s である (20.15.8.30 現在)。一方、最速の動物はチーターであって、30m/s もの速さで陸上を疾走する。尚、本研究では陸上動物の最高走行速度を議論する。水中における最速の動物は 30m/s もの速さで海中を泳ぐことのできるカマスである。陸上と水中の最高速度が一致するのは、おそらくは偶然の一致であろう。
- 動物が出す最高速度と体重の関係を図1に掲げる。最高速度を出すチーターは、この図で見ると体重としては真ん中ほどに位置している。筆者の一人 (宇佐見) が行っている大型恐竜の走行の研究では、大きくて体重が重い動物の運動性能を調べている。その領域では、体重が重くなると走行速度が遅くなる。これは体重が身長³で増えるのに対し、筋肉の力はその断面積に比例し、身長²に比例するからと説明される。しかし、この関係が平易に説明されている場合はほとんど見られないので、この稿ではこの点についての説明からはじめることにする。

2. 現生動物の最大走行速度は？

動物が出す最高速度と体重の関係を図1に掲げる(1)。最高速度を出すチーターは、この図で見ると体重としては真ん中ほどに位置している。

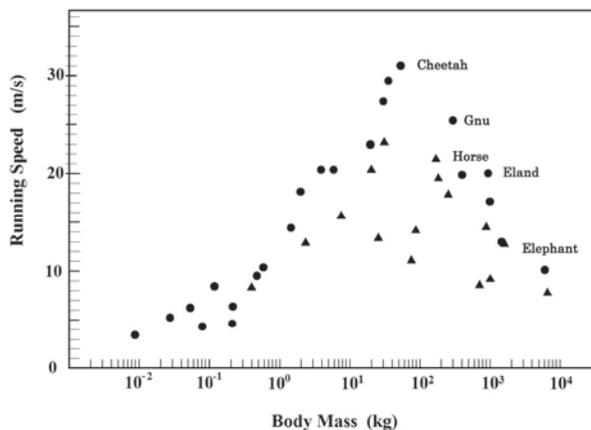


図1 哺乳類の最高走行速度と体重の関係。最速の動物はチーターで秒速30mもの速度で走ることができる。体重が重くなるに従い、最高速度は小さくなる。

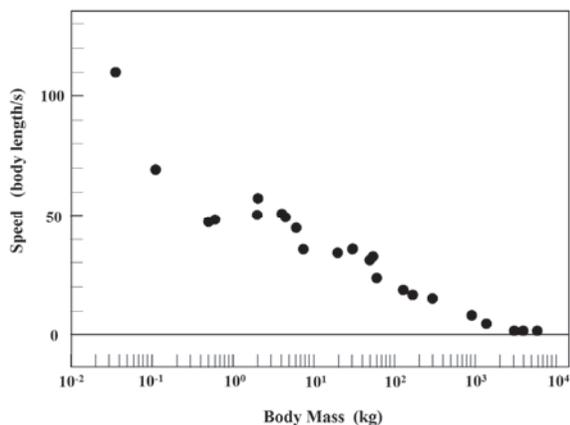


図2 動物の最高走行速度 (body length/s) v.s. 対数 (体重)

*准教授 物理学教室

Assistant Professor, Inst. of Physics

**准教授 人間科学部

Assistant Professor, Faculty of Human Science

ここで、最高速度と体重には、何かの数式関係が存在するだろうか？試みに最高速度 (body length/s) v.s.対数 (体重) というグラフを描いてみる (図2)。このグラフを見ると、なだらかな曲線を描き、明白な直線関係は無いと言える。再び試みに、対数 (最高速度) .v.s.対数 (体重) というグラフを描いてみたのが図3である。

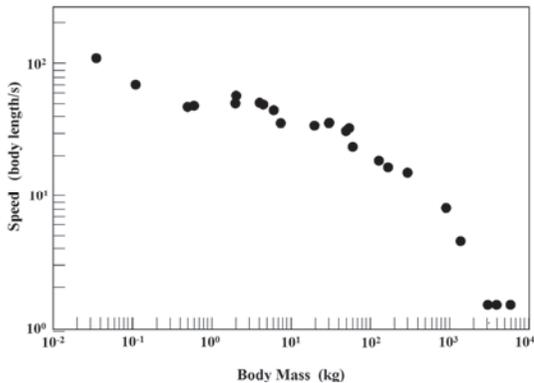


図3 動物の最高走行速度 v.s.対数 (体重)

この図を見ると、体重が200kgくらいまでの領域では直線関係が成り立っているように見えるが、それを超えると、その直線関係は破れる。Garlandによれば (式1) のような関係があるとされている (2)。

$$\log_{10} v_{\max} = a + b \log_{10} M - c (\log_{10} M)^2 \quad (\text{式1})$$

ここで M は体重、 v_{\max} は最高速度であり、係数はそれぞれ $a=1.47832$, $b=0.25892$, $c=0.06237$ だそうである。

総じてみて、体重の全領域に渡って、簡単な数式で表せる関係は残念ながら無いと言える。一方で、体重が300kgまでくらいまでの領域ではべきの関係があると言えよう。このことは何を物語っているのだろうか？図1のグラフをみると、かなり非一様な関係があると言える。この関係において、300kgのところまでべきの関係があるということは、ある種、驚くべきことのように思える。他方で300kgを超えると、このべきの関係は崩れる。この辺の係数性を理論的に考察した研究は存在しないように筆者には思える。また、(式1)の関係が生理的・数理的にどのような意味を持つのかも、判然としていないと思える。

筆者の一人 (宇佐見) は重い恐竜の走行能力について研究を行ってきた。それを、このような動物の走行能力

の全体像の中にあてはめて考えたのが図4である。

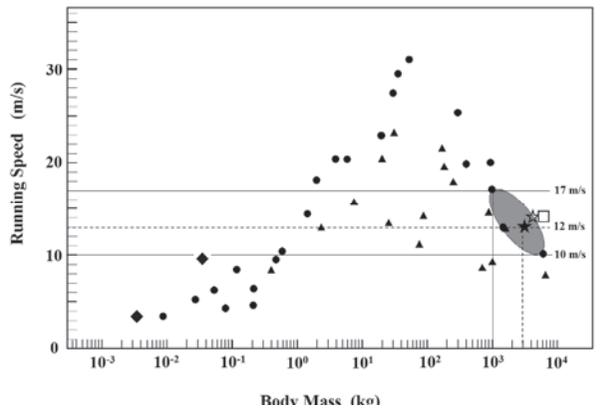


図4 宇佐見が研究している *T.Rex* の体重と速度の領域

この図をみると、体重1000kgの恐竜であれば、秒速17mという人間に比べて速い速度で走ることも可能であることがわかる。他方で体重が成体の *T.Rex* の体重である6000kgほどになると秒速10mくらいが限界のようにも思えてくる。とは言え、秒速10mという走行速度は人間に比べて言えばかなり速い。人間の最高走行速度は秒速10mほどであり、一般の人間の最高走行速度はこれよりかなり遅い。よって、このデータからは、一概には重い *T.Rex* は速くは走れないと簡単には言えない、ということがわかる。図4中で黒星印は3000kgの体重で12m/sの速度を想定している。ティラノサウルス科のダズプレトサウルスはこの程度の質量であり、人間より速く走れたと考えるのも不可能ではない。白星印は4000kgで13m/sを想定している。現生動物のデータからの推測では、この程度までは許容されるのではないかとこのところである。白い四角は6000kgの *T.Rex* を想定し、走行速度が14m/sとした場合である。現生動物のデータからの類推として言えることは、この速度領域は苦しいと言えるかも知れない。

3. 筋肉は最大どのくらいの力を出すことができるか？

個体としての動物の運動能力は図1-3に示すように、ある程度の規則性があることが知られている (いまの場合のデータは哺乳類であるが)。それでは、その運動を生じさせる筋肉の最大に出せる力はどの程度なのだろうか？

この疑問の近代的な問いかけは 1846 年に Weber が唱えたことに遡る(1,3)。

共通なので、筋力の最大値は共通で一定であろう、という考えである。そこで、その値 σ (最大筋力ストレス)

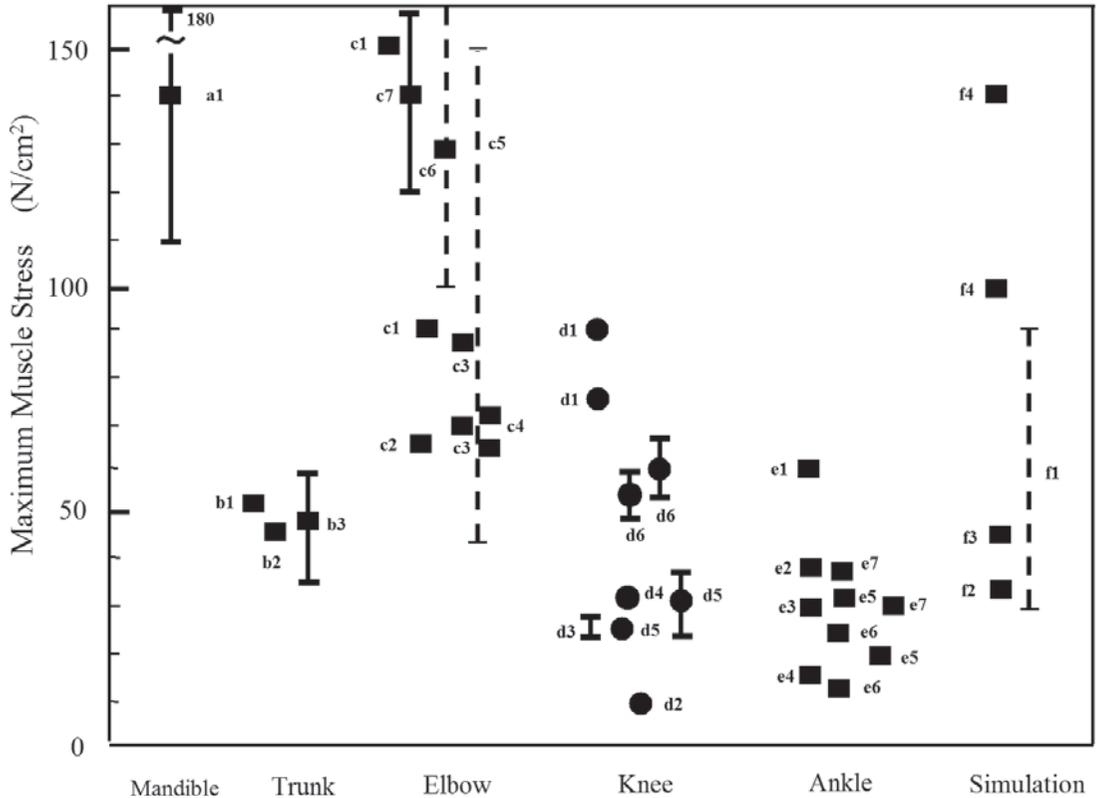


図5 人間の各部位で測定された最大筋力ストレス σ [N/cm²]。各データは文献(1)にある。

筋肉を構成するのはサルコメアと呼ばれる小さな単位からなる。ここに含まれるアクチンとミオシンというタンパク質分子のスライディング収縮運動により筋力が発生する。ここで、サルコメアが並列につながると筋力は強くなっていく。しかし、直列につながっても力は増さない。このことにより、筋力は、その断面積が大きくなるにつれて増大することになる。このことは、現代の分子生物学の知見によりわかっていることだが、少し驚くことには Weber の頃より筋力が断面積に比例して増大することが提唱されていた。もう一つの考え方は、筋力が体積に依存するとする考え方であるが、この考え方は約 150 年前より支持されていない。そこで、筋肉が出す最大の力を最大筋力ストレス(Maximum Muscle Stress)と呼び、その値を測定しようとする試みがなされてきた。

更に、もう一つの信仰に近い考えがこの分野には散見される。それは、筋力発生分子機構が全ての生物種で

を測定する試みが 19 世紀後半より百数十年に渡ってなされてきた。その結果は測定によって σ が 15[N/cm²]程度から 100[N/cm²]程度まで非常に大きなばらつきを持った値として報告されてしまうということになった。そのような中で、ごく僅かな研究者が σ は果たして一定なのだろうか? という疑問を呈してきた(4)。最近の一つの考えによれば、力断面積を指標とするのではなく、トルク/体積を指標としようとする提案がある。確かに、現代では筋肉の形は MRI で三次元の立体のオブジェクトとして直接測定できてしまうので、筋肉を円筒形と仮定し、断面積と力を考えようという平均化の考えに無理があるという論にはかなりの合理性がある。そのように、新しい一つの考えでは体積とトルクを考えるものがあるが、ここでは百数十年に渡って行ってきた σ の測定がどのようにまとめられるかを示したい。その結果が図5である。

一般に最大筋力ストレス σ は 20~70[N/cm²]の範囲にあるとされる文献が多い。しかるに図5をみると、Elbow

ろうか？それらを説明する宇佐見による仮説が図7である。まず、サルコメアを単位として構成される筋肉の力

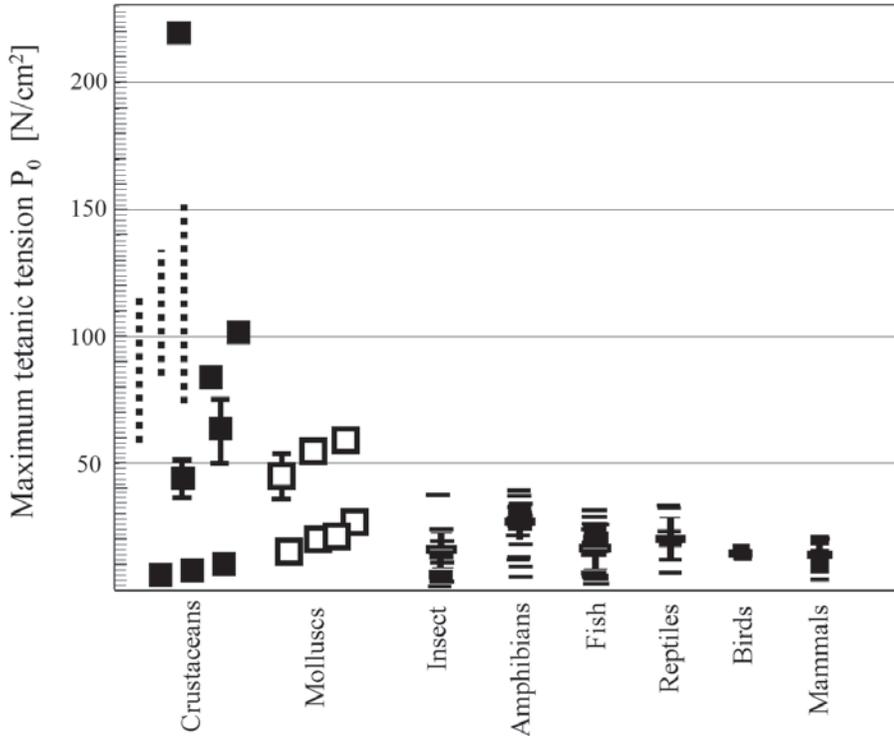


図6 各生物グループの Tetanic Tention P_0 [N/cm²].

での測定結果はもっと大きく 50 [N/cm²]から 150 [N/cm²]まで分布している。なかでも最大なのは Mandible で 180 [N/cm²]までに達している。

ところで、筋繊維を生体から摘出し、そこにテタス刺激と呼ばれる電気パルス信号を与えて筋収縮の力を測定する、という手法の筋力測定法がある。そのデータは Tetanic Tension と呼ばれる。単位はさきの最大筋力ストレスと同じ N/cm² になる。この方法によれば人間以外の動物の筋力も測定することができる。120 に及ぶ論文のデータを要約した結果が図6である (1)。この図をみると、哺乳類の Tetanic Tension は全動物種の中で一番小さな部類に入ることがわかる。一方、大きい方は甲殻類 (Crustacean) である。一般に動物の筋肉の Tetanic Tention は 10~25 N/cm² である場合が多いが、甲殻類の Tetanic Tension は非常に大きいことが知られている。その値は 100 N/cm² を超え、200 N/cm² に達する場合もある。これら、図5、図6の動物種による Tetanic Tention の違いや部位による最大筋力ストレスの違いは何によるものなのだ

は通常我々が考える力より遥かに大きい (図7左上)。そして、各生物グループが進化を遂げるにあたって、適応が起こり、それぞれの生息環境に合わせて出せる力の適応が起こる。このプロセスは、素材としてのサルコメアが出せる最高の力より下位に位置する (図7中段)。そして、人間の場合はどうかというと、甲殻類 (Crustaceans) よりも遥かに小さい Tetanic Tension のところでの適応が起こった。更に、人間の各部位を構成する筋肉グループのなかでも適応が起こり、最大筋力ストレス σ が大きいグループ Mandible (顎) から Ankle (足首) までの幅広い適応が起こった。このように考えて、最大筋力ストレス σ が一定との考えを捨てることを筆者は提案する。

4. 人間の最高走行速度は最大でどのくらいか？ (四足走行の可能性の探究)

これまでの節で説明したように筋肉の力の最大値は、かなり大きい。これは実は次のような事実にも潜んでいる。

すなわち、我々人間の筋力の最大値は結構大きいのである。自意識がここまでが最大と思って出した力は、実は筋力の最大値よりもかなり小さい。例えば、エイツ、ヤツ

いのに、自分はこんなもんだと思ひ込む。これは自分のせいというより、社会がそのように抑圧をかけて、そのようなことを信じてしまうようになった結果だと筆者に

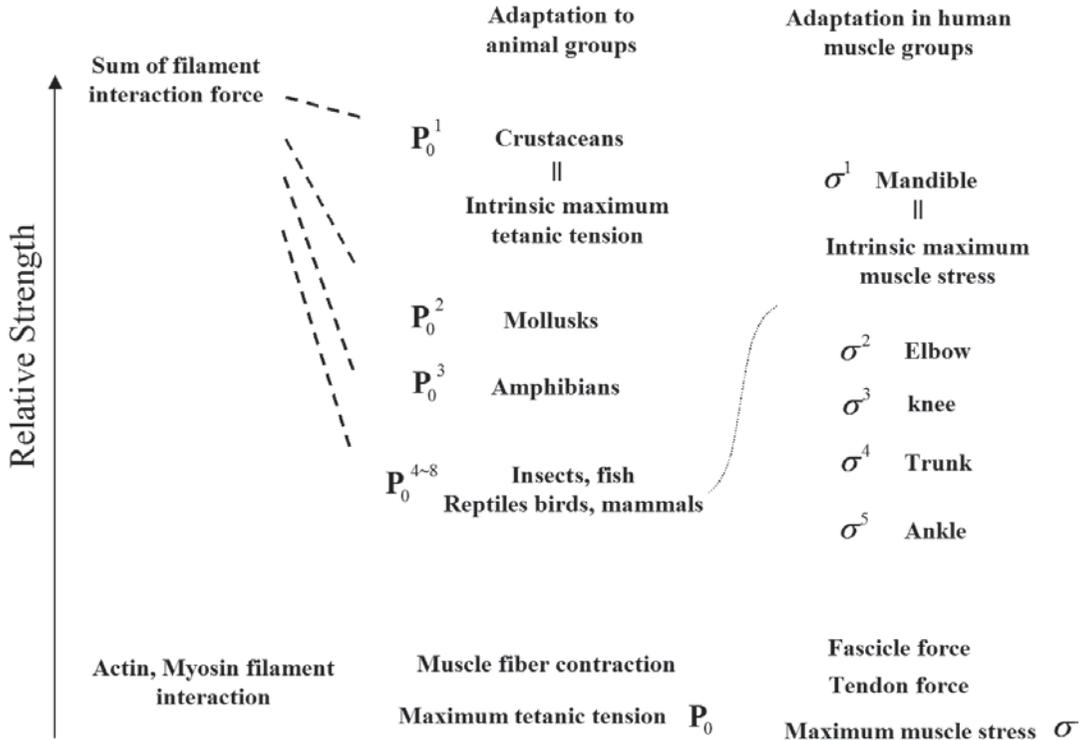


図7 動物の筋力の進化モデル (宇佐見) (1).

ツ等かけ声を掛けると、ここまでが最大と自分が思った力よりも大きな力が出る。これは、火事場の馬鹿力という諺として日本人の間では暗に浸透している考え方であり、また事実でもある。この現象は実は脳が制御をかけて、筋力の最大値が低いように抑制をかけているのである。このことは関連する分野でよく知られている。例えば腕相撲をやった場合、火事場の馬鹿力的なものを出してしまうと、腕の骨が折れてしまうのである。そこで脳がそうならないように抑制をかけて、最大の筋力は実際のそれより小さいとの暗示をかけるのである。

余談的なことを少し書くが、脳が実際の身体の能力よりも抑制をかけてしまう、ということは非常によくあることである。日本人の人間形成や発達という現象の中にも、そのようなことが多々ある。本当の能力は実際は高

は思えてならない。あらん限りの力を込めて、何かに集中すれば人間はすごいことができるのではないか? このことは広く知られ、また伝えて良いことである。更に余談的なことを書くが、終戦を知らずに30年ジャングルで過ごした後に帰還した小野田寛郎少尉は、人間は生きるか死ぬかとなった時には異常な能力を発揮すると述べている(5)。敵が銃を撃った時にその弾痕が見えるようになり、それを実際に避けることができる、と述べている。これが真実かどうかはわからないが、人間が自分が思っているよりも高い能力を持っていることは確かである。

筆者らは、人間が四足で走る能力について研究をはじめた。四足走行の競技は最近では毎年行われるようになり、そのスコアの改善は目覚ましい。筆者らは四足走行の運動のモーションキャプチャを行った。そのデータを使っ

て、四足走行の最高速度がどのくらいになるかの動力学計算をはじめている。現状は、プログラミングの途上であり、来年にはその結果がでるものと思われる。

文献

- (1) Y. Usami, "Biomechanics for Bipedal Dinosaurs: How fast T-Rex run?", CreateSpace 2014.
- (2) T. JR. Garland, "The relation between maximal running speed and body mass in terrestrial mammals", *J. Zool. Lond.* (1983) 199: 157-170.
- (3) E. Weber, "Wagner's Handwörterbuch der physiologie". Braunschweig, Vieweg, 1846.
- (4) T. S. Buchannan, "Evidence that maximum muscle stress is not a constant: differences in specific tension in elbow flexors and extensors", *Medical Engineering & Physics* (1995)17: 529-536.
- (5) 小野田寛郎, "わがバルパン島の30年戦争", 日本図書センター(1999).