

韋駄天の条件



工学博士 **西尾 宣明**

元・東京ガス(株) 基礎技術研究所

脚がついて行けない

与太郎 大家さん。こないだこの地区の自治会対抗の運動会で走らされたんですがね。危うく転んで恥をかくところでしたよ。大家さんは見てなかったでしょうね。

大家 実はこっそり見に行っていましたよ。与太郎さん、トップを切って走ってましたが、あそこで転びそうになって、一人に抜かれちゃいましたね。残念ながら……。

与太郎 やっぱ見られてたのか。あれってどうしてなんですかね。

何だか、上体のほうが前に行こうとしてるのに脚がついて行けないって感じですよ。

大家 私も経験がありますよ。初めのうちは脚が上体をしっかり押して加速しているけれども、脚が疲れてくるとその速さが維持できなくなるからだと思います。ところが上体のほうはそのままの速さで行こうとしているから、そういうことになるんでしょうね。

与太郎 確かにそんな感じですね。ウサイン・ボルトのような短距離の選手でもそんなことがあるんでしょうかね。

大家 それはないですね。脚の鍛え方が違いますから。

それから、彼らはトップスピードになったら上体を真っ直ぐ立てて走りますよね。私なんかはスタートの

時と同じように上体を前傾させて走るのがいいと誤解していましたよ。つまり、脚が最後まで加速を続けるんだとね。ところが、トップスピードになった後は、脚は空気抵抗と自分のエネルギーの無駄を補うために働くということを比較的最近になって気がついたわけです。

与太郎 ああ。こないだ聞いた脚がエネルギーを無駄遣いしてるっていう話ですね。でも、野球で一塁から二塁を盗塁する選手を見てると、ずっと前傾姿勢のままみただけど、あれはどうなんですか？

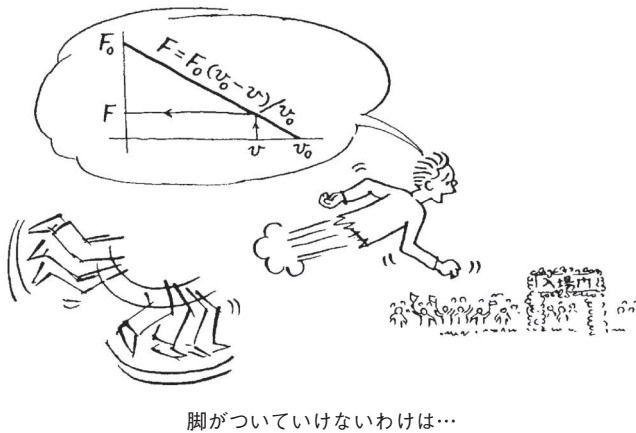
大家 一塁ベースと二塁ベースの縁から縁までの距離は27メートル弱です。そして、盗塁を始める位置はベースから2、3メートル二塁に寄っています。いわゆるリードです。それから、最後に滑り込みを始めるのがベースの2、3メートル手前です。そうすると、実際に全力で走る距離は20メートルちょっとということになりますね。

与太郎 ああ、そうか。100メートル競走なら、20メートルっていうのはスタートダッシュの距離ですよ。盗塁もおんなじなんだ。それで前傾姿勢のままなんだ。

大家 私もそう思います。

ところで、ちょっと難しくなるけれども、脚が地面を蹴って加速するための力はスタート直後のまだ速さ

(v) がゼロのときに一番強いと思います。これを F_0 とします。そして、自分が出せる最高の速さ v_0 に達してしまうと、それ以上は加速ができない。つまり、脚自身もそれ以上速く動けない状態になると思います。
与太郎 それがさっき言った「脚が上体についていけない」ってということなんですね。



大家 そういうことなんです。脚が体を加速する力 (F) が今どれだけの速さで走っているかによって変わるわけです。それをこのような直線の式で近似してみました (上のカットの中に書かれた式を示す)。

与太郎 なんか難しそうだけど、これから何が分かるんですか？

大家 これを使ってスタートダッシュのときの加速の速さなどを計算することができます。脚が持っている力 F_0 が強いほど、また、体重は軽いほどトップスピードに持って行くのが早いことなどが分かります。

与太郎 ふーん。体重が重いとスタートダッシュが不利っていうのはやっぱり本当なんだ。

大家 こないだ (No-Dig Today 73号) の、走りの運動エネルギーと空気抵抗と脚の運動によるエネルギー損失の話で、幾何学的に相似な人体で考えると体が大きいほど速度が大きくなりにくいという話をしましたが、それも関係がありそうですね。

一流走者のBMI

与太郎 それだと、まだウサイン・ボルトが速いことの説明にはならないですね。

大家 そうですね。でも、ちょっとは関係がありそうなデータがありますよ。

歴代の100メートル走の記録10傑に入っている選手の中から私が知っている名前を6人、それにかつてスーパースターだったカール・ルイスとその好敵手ベン・ジョンソンを加えた選手たちのBMIを調べて見たんですよ。

与太郎 BMIってメタボの程度を表すんだっけ？

大家 そんなものですね。Body Mass Index —— ボディ・マス指数と言って、肥満度を示す指数なんですね。体重を身長²で割った数字です。日本の基準ではBMIが25以上を肥満と言っています。

選手名	身長 (m)	体重 (kg)	BMI	記録順位
ウサイン・ボルト	1.96	95	24.7	1
タイソン・ゲイ	1.80	75	23.1	2
アサファ・パウエル	1.90	88	24.4	3
モーリス・グリーン	1.75	80	26.1	5
ドノバン・ベイリー	1.83	83	24.8	6
リロイ・バレル	1.83	82	24.5	8
カール・ルイス	1.88	88	24.9	—
ベン・ジョンソン	1.78	77	24.3	—

与太郎 へえー。面白いじゃないですか。なんか、テニスの選手の時と似てますね。BMIは一人だけ一寸大きくて一人だけ小さいけど、後はみんな24台ですね。

大家 そう。それなんですよ。この前の時に、幾何学的に相似な人体の話をしたでしょう。体重は身長³に比例するとか、脚の太さは身長²に比例するとか。

与太郎 ああ、分かった！BMIっていうのは体重を脚の太さで割ったのと同じことなんですね。

大家 そうです。そうです。つまり、脚の単位断面積が支える体重と考えても良いわけです。

与太郎 そうなのか。そうするとその……BMIは小さいほうが脚にかかる負担が小さいから有利っていうことになるんですか？つまり、肥満じゃ駄目ってことですね。

大家 そういうことですね。タイソン・ゲイのようにBMIが小さいのは有利でしょうね。そして、ウサイン・ボルトのように身長や体重の大きい選手でも、BMIで見るとちゃんと一流選手の枠に入っているということですね。

与太郎 脚の太さもしっかりあるってことですね。

でも、脚にかかる負担っていうことならばもっと痩せてBMIが小さいのが有利っていうことにならない

んですか？

大 家 ほう。なかなか鋭い。いいところに気がつきましたね。

でも、与太郎さん。かりに脚だけで上体のない人間がいたら、余計な体重がないからうんと速く走れると思いますか？

与太郎 うーん。やっぱりそのほうが速いような気がするなあ。

大 家 しかし、その脚にも実はかなりの重さがありますよね。その二本の脚が交互に前に踏み出し、後ろに蹴るという動作を繰り返すわけです。前に言ったように、それはエネルギーを無駄遣いするだけではなく、かなりバランスの悪い動作なんですね。そのバランスを取っているのが上体で、右足が前に出る時には右肩と右腕を後ろに引くというように、上体が両足と逆の動きをするから走り安定するわけです。

与太郎 そうか。両腕を体に縛り付けたままじゃ絶対速く走れないですね。たしかに、短距離選手の上体は凄く筋肉が発達してますよね。上体の筋力トレーニングもずいぶんしっかりやっているんですね。

大 家 そうですね。BMIが25という基準から言ったら皆肥満すれすれなんだけれども、この人たちの体重が大きいのは筋肉の重さのためなんですね。脚だけではなく、胸、肩、腕と、まるでボディビルダーのようですね。

理想的な体型は

与太郎 それで、このBMIを見ると速く走る選手かどうか分かるんですか？

大 家 いやいや、これだけでは分かりません。これは一つの参考データというところですね。たとえば、ウサイン・ボルトですが、あれだけ身長が大きくて体重も重いのに脚の太さがそれに釣り合っているというような見方ですね。

むしろ、大事なのはさっきの式の F_0 と v_0 ですね。 F_0 は脚で蹴る力の最大値で v_0 はどれだけ速く足を動かすことができるかに関係する能力です。

与太郎 F_0 っていうのは脚が太いほうが大きいんじゃないですか？脚と言うか筋肉の太さって言うほうがいいのかもしいけれど。

大 家 そういうことですね。ただし、太いのは太腿

に限ったほうがいいですね。脚の先まで太いと、この前話した膝から下あたりの重さ m も大きくなります。これが大きいと脚を前後に動かすためのエネルギー損失も大きくなって、 v_0 を小さくする原因になりますからね。

与太郎 ウサイン・ボルトなんかはそうなってるんですか？

大 家 確かにウサイン・ボルトはかなり理想に近い体型をしていると思います。

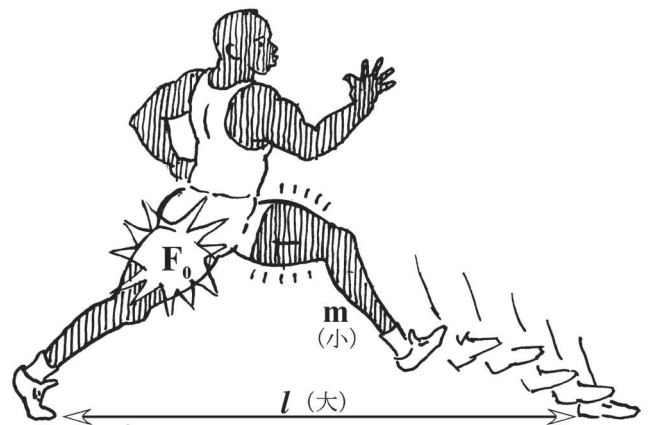
一般には太腿が太くて膝から下が細い理想的な体型というのはなかなかないですね。

古い例ですけど、カール・ルイスは身長がある分体全体が細い感じでしたね。そのため、 m は小さくなるけれども太腿は十分太いというわけにはいかない。反対に好敵手のベン・ジョンソンは身長・体重に対して太腿は十分太いけれども、 m は大きいとか歩幅がやや小さくなるというマイナスがありました。

そのせいでしょうね。スタートダッシュはベン・ジョンソンが勝っていましたが、カールルイスは後半の追い込みで勝っていましたね。

ウサイン・ボルトはどちらかと言えばカール・ルイス型です。でも、あの体を見ると、とてもバランスが取れていると思いますね。

与太郎 そういうことなのか。



B. ジョンソンの太い股とC. ルイスの長い脚が理想

大 家 そうは言っても、一流選手の写真を見ると、どれを取ってもケチのつけようがない立派な体で、理想的な体型がどうのという議論が馬鹿らしく思えるほどですね。

与太郎 そんな弱音を吐くなんて「ガリレオ爺さん」

らしくないですよ。

大家さんが言いたいのは太腿が太いほどスタートダッシュに強くて、膝から先が細いほうが追い込みに強いってことなんでしょう？

大家 いやあ。与太郎さんに私の言いたいことを代弁してもらってしまいましたね。カール・ルイスやウサイン・ボルトがスタートよりも後半に強い理由もそれで説明できるんじゃないかということです。

追い風が記録を伸ばす？

与太郎 でも、こないだ聞いた三つのエネルギー——えーと、走る速さのエネルギー——これ何て言ったっけ。

大家 運動エネルギー。

与太郎 そうそう。次に空気の抵抗のエネルギー、それから足を動かすための無駄なエネルギー——その三つを考えるとどんな体型が有利なのかが分かるっていうのは凄いですね。

大家 まあ大雑把には分かるということですがね。

ところで、その三つのエネルギーですが、それを使って、風があると記録がどのぐらい影響を受けるかも大雑把に知ることができますよ。

与太郎 へえー、そうなんですか。そう言えば、「追い風参考記録」なんていうのを聞いたことがありますね。あれは何メートル以上のときだったっけ。

大家 100メートル走の場合は風速が2メートル以上の時ですね。1メートルの追い風で記録は100分の5秒から6秒短縮されると言われています。

与太郎 2メートルだと10分の1秒か。もし無風の時に10秒で走れる選手がいれば、2メートルの追い風があると9秒9か。結構馬鹿にならないですね。

大家 そうなんです。さっき話した世界10傑の記録は、実は全部追い風の時にしているんです。0.2メートルぐらいから2メートルまで幅がありますがね。

ウサイン・ボルトの記録は追い風が0.9メートルの時だったそうです。

与太郎 大体1メートルですね。そうすると、風がなかったら9秒58が9秒63ぐらいになるってことですか？

大家 そうですね。それでも世界最高には変りない凄い記録ですがね。

与太郎 それで、大家さんの見積もりはどんな風に

やって、追い風がどのぐらい影響すると出たんですか？

大家 こないだこんな式を書いて見せましたね。

$$f_f L = M \frac{v_0^2}{2} + c_D \rho_a s \frac{v_0^2}{2} L + m \frac{v_0^2}{2} \frac{L}{l}$$

f_f は脚が出せる力です。Lは走る距離です。Mは体重、 c_D は抵抗係数、 ρ_a は空気の密度、sは体が風を受ける面積、mは脚の膝あたりから下の重さです。lは1歩の歩幅、 v_0 は走る速さです。もし、 v_0 以外のいろいろな量の数値が分かっていたら、この式から簡単に v_0 の大きさが計算できます。

与太郎 それはこないだ聞いたばかりだから覚えますよ。

大家 この式のうち風の影響を受けるのは右辺第2項の空気抵抗の部分です。もし v_w という追い風が吹いているとすれば、空気抵抗の部分の v_0 の代わりに

$$v_0 - v_w$$

という風速が空気抵抗の元ということになります。上の式にこれを入れて、そこから v_0 を求めれば、それが追い風の影響を受けた時に出せる速度ということになります。

与太郎 ふーん。なんか大分複雑になりそうだなあ。

大家 2次方程式だから、与太郎さんだって高校ではしっかり習っているでしょう。いや、中学校だったかな？

ただ、ちょっと式が込み入ってきますがね。そこで、風がない時に選手が出せる速さ——それは最初に仮定しておくわけですが——それを v_0 の代わりに v_{00} と書いて上の式に入れて、 f_f を v_{00} の関数として求めておくと、割合きれいに答えが出せますよ。ただし、たとえば $A v_w^2 + B f_f$ というような数値が $\sqrt{\quad}$ （ルート）の中に入っていたりすると簡単には答えが計算できないので $A v_w^2$ が $B f_f$ に比べてうんと小さい値になることを確かめた上で省略してしまうというようなことが必要ですね。

そうすると

$$v_0 = v_{00} + a v_w$$

のような答えが得られます。近似的な答えですがね。

無風の時に100メートルを10秒で走る人、つまり $v_{00} = 10$ メートル毎秒の人は追い風が1メートル毎秒のとき、私の計算では $v_0 =$ 約10.1メートル毎秒になります。タイムは100メートルをこれで割って約9.9

秒になります。

与太郎 さっきは追い風1メートルで100分の5秒から6秒って言いましたよね。この計算だとその倍ぐらいですね。

大家 残念ですが、ちょっと大きすぎる見積もりですね。

でも、こんなに簡単な数学モデルでこれだけの答えが出せるというのが面白いと思いますよ。

与太郎 追い風1メートルで100分の5秒から6秒っていうのは経験から分かったものなんですか？それとも……。

大家 たぶん経験値だろうと思います。でも、もしかしたら、スポーツ科学の専門家が実験や計算でちゃんと裏付けているかも知れませんね。

与太郎 それって日本じゃないですよ。

大家 もしやっているとすれば、残念ながら欧米の話ですね。日本ではスポーツ科学はうんとマイナーな分野と思いますからね。

与太郎 大家さんはもっと研究を進めますか？

大家 するとすれば、私の興味本位ですね。何もデータを持ってませんし……。ただ、最初に話したように脚の力が走る速さによって変わるというモデルを使って計算してみたい気持ちはありますね。

かなり複雑な計算になりそうだから、いつになるかわかりませんがね。

与太郎 是非やってくださいよ。いい結果が出るといいですね。

大家 まあ、約束は出来ませんがね。あまり当てにしないで待っていてください。

