

ガリレオ爺さんの竹馬談義



工学博士 西尾 宣明

元・東京ガス(株) 基礎技術研究所

今日は与太郎さんが珍しく自転車に乗ってやってきました。大家さんの家まで自転車に乗るような距離でもないのに――。

自転車の安定性とは？

大 家 あれ？与太郎さん、今日は自転車に乗ってきましたね。これからどこかへ行かれるんですか？

与太郎 いや、そうじゃないんです。

自転車のことで新聞に気になる記事があったものですからね。大家さんに聞いてみようと思って。じゃあついでに自転車も持って行ったほうがいいかな、と思ったもんですから。

大 家 そういうことですか。もしかしたら、その新聞の記事っていうのは科学欄で子供の質問に先生が答えている、あれですか？私も読みましたがだいおかしなことが書いてありましたね。

与太郎 やっぱりそうだったか。大家さんもおかしいと思ってたんじゃ、私の頭もまんざら捨てたものじゃないですね。

大 家 どうしてどうして、与太郎さんはとても頭の良い人だと思いますよ。本当の頭の良さは学校を出て

るかどうかなんか関係ないですからね。

与太郎 そんなこと言われると、なんだか嬉しくなっちゃうな。

ところで、その変だと思ったところを写してきたので、読んでみますね。

「倒れにくい自転車ってあるの？」という質問に対して、「重心が低いとか、前輪と後輪の間が広いと倒れにくいけど・・・」と答えているんだけど、これがどうもわからないんですよ。前輪と後輪の間が広くたって、倒れにくさはおんなじでしょう？重心の高さがおんなじだったら――。

大 家 その通りです。むしろ間が広いほうが不安定かもしれませんね。倒れそうになったとき、ハンドルで前輪を動かすでしょう？その効き目は広いほうが少なくなりますよ。それに、重心は高いほうが安定です。もっとも、重心には自転車の重心と人が乗ったときの全体としての重心と二通りの重心がありますが、どちらの場合も高いほうが安定です。

子供の自転車に乗ったときと、大人の自転車に乗ったとき、どちらが運転しやすいですか？

与太郎 そりゃあ大人の自転車に決ってますよ。やっぱり思った通りだ。

新聞の記事はどこかの学者さんに聞いて作ってるん

でしょう？その学者さんはきっと自転車に乗ったことがないんですね。

大 家 そうかも知れませんね。机だの四輪車だのを倒そうとする力に対しては確かに幅が広くて重心が低いほうが安定です。

しかし、二輪車の安定というのはそれと意味が違います。不安定の中の安定とでも言えがいいのかな。四輪車の安定と一緒にするとは、言うなれば馬鹿の一つ覚えですね。

与太郎 いやあ。厳しいけど痛快ですね。大家さんがよく言うように、学者が言うから正しいと思っちゃだめだってことです。

ハンドルの軸が斜めなのは

大 家 質問はそれだけですか？せっかく自転車まで持ってきたんだから、もう少し「不安定の中の安定」のことでもお話ししましょうか？

与太郎 そうそう。もう一つこんなことが書いてありました。

「自転車が倒れないしくみ」の説明図の中で、「ハンドルの軸がななめになり、その先が前に曲がっていると、ハンドルが正面を向いているときに重心が一番低くなり、安定する」って書いてあるんですけど、ハンドルがちょっとやそっと曲がっていたって、重心の高さが変わるとは思えないんですがね。

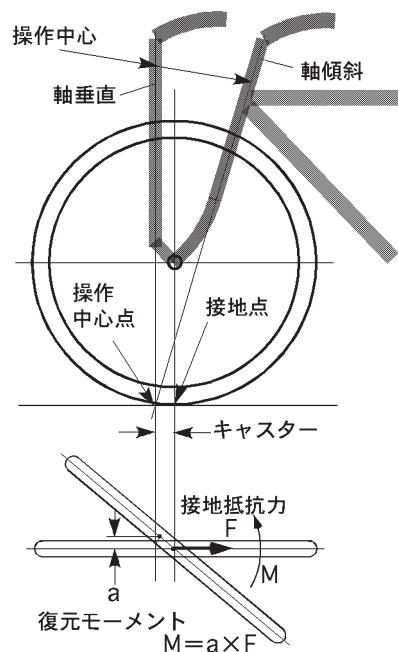
大 家 確かにハンドルを曲げても重心は高くも低くもなりませんね。与太郎さんのほうが正しいです。それに、重心が低くなるから安定っていうのはさっき言ったように大嘘です。

ところで、「ハンドルの軸がななめになり、その先が前に曲がっている」のはなぜだかわかりますか？

与太郎 うーん。斜めになってるのは、真っ直ぐ走りやすいためとか聞いたような気がしますけど。

大 家 必ずしも斜めになっている必要はないんですがね。ハンドルの軸が車輪の中心より前に行っていれば、キャストの効果で左右にずれた車輪の向きを自然に真っ直ぐに戻す力が働きます。

家具やピアノなどについているキャストの軸は垂直ですよ。でも、自転車の場合、垂直にするとハンドルがうんと前に行ってしまうととても運転しづらくなります。ハンドルの軸を斜めにした最初の理由はそ



自転車のキャストの働き

れだったと思います。

絵を描くとうこうですね。ハンドルの軸の中心線を操作中心と呼びます。それを真っ直ぐのばした線が地面と交わる点をかりに操作中心点ということにしましょう。それと実際に車輪が地面に接している点——接地点と呼びますか——この二つの点の間の距離が大きいほど曲がった車輪を元に戻そうとする復元モーメントが大きいわけです。これがキャスト効果ですね。

ところがキャストが利き過ぎるとハンドルを回して曲がろうとするときにも復元モーメントが強くて、ハンドルが重くなってしまいます。

そこでハンドルの軸を前に曲げて、操作中心点が接地点より少しだけ前になるようにしているのです。つまり、復元力とハンドル操作のしやすさを釣り合わせているわけです。

与太郎 その説明なら納得できますね。新聞に書いてあったのは全くのでたらめじゃないですか。子供のための科学なんて言っても、全然ためにならないですよ。

大 家 全くその通りですね。ところで、ハンドルの軸が斜めになって、しかも前のほうに曲がっていることによって、もう一つの効果が生れます。

例えば、ハンドルを右に切ったとしますね。そうすると接地点を中心に右に回転して、しかも車輪自体が

右に傾きます。操作中心線が傾いているんですから、車輪も傾くのはわかりますね。そうすると車輪の重心は右側にずれます。その反作用で、乗っている人も含めた自転車全体の重心は左にずれます。右に倒れそうになってずれた重心の移動量とハンドルを切ったことによってずれた重心の移動量が同じなら、倒れそうになったことによる重心の移動は実質的にはなかったこととなります。つまり、倒れそうになったら、その方向にハンドルを回せばいいんです。

与太郎 ちょっと話が込み入って難しかったけど、最後のところはよくわかりますね。自転車遅乗り競争のときなんか、ハンドルをクックッと細かく回して倒れないようにしますよね。あれはハンドルの軸が斜めになってるからできるんだ。

しかし、この新聞の説明じゃあ子供どころか大人にもわからないですね。しかも説明がインチキと来てるんだから困ったもんだ。

大 家 もう一つ大事な効果がありますよ。車輪が傾くので、曲がるときのハンドル操作や重心の移動がうんと楽になっている筈です。

与太郎 そうか。ハンドルの軸が傾いてるのにはいろんな意味があるんだ。

高い竹馬——不安定の中の安定

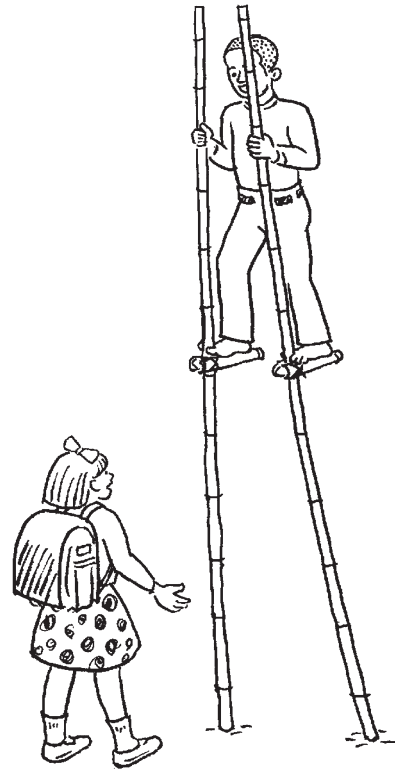
大 家 ところで、与太郎さんは竹馬に乗ったことがありますよね。

与太郎 ありますよ。でも、あれは「竹馬」って言うんですかねえ。木の棒やアルミの棒に足を乗っける板をねじで止めたような奴ですからね。

大家さんの頃はほんとの竹馬なんでしょう？

大 家 もちろんそうです。近くの竹やぶから竹を切ってきては作って遊んだものですよ。足を乗っけるところも二つ割りにした竹で、縄で縛ったり針金を巻き付けたりして止めたものです。そして、初めのうちは低い竹馬だったけれど、だんだん高くして行っただけ。最後は足のところの高さが背より高い——1メートル50センチ以上はあったでしょうね。乗るときは屋根に登って、庇のところに腰掛けて乗ったものです。

小学校5年から6年の頃、太平洋戦争が終わりに近づいた時期ですから、東京から集団疎開の子供たちが



高い竹馬は安定度も高い

近所の旅館に泊まっていて、私たちの授業が終わった後で同じ学校を使って授業をしていたんですね。

東京から来ていますから、皆垢抜けしていて、何となく憧れのようなものを感じていたものです。彼らの授業が終わって帰ってくる頃、我々は遊びの真っ盛りです。その頃合いを見計らって、高い竹馬に乗り、悠然と下を見下ろしながら歩き回るわけです。疎開の子供たちが驚いた表情で見上げるのを見て、鼻が高いような面映いような気持ちでいたものです。

与太郎 へえー。そんな高いのに乗ってたんですか。でも、怖いでしょう？

大 家 確かにちょっと怖い気持ちもありますけど——竹が折れたりしたら高いところからひっくり返りますからね。

でも、慣れてしまうと楽なんですね。低い竹馬みたいにちょこちょこ忙しく歩く必要がないですからね。ゆっくり大股で歩けるのが気持ちいいですよ。

実際、竹馬は高いほうが安定なんですね。

与太郎 そう言えば、何となくわかるような気がしますね。

ほら、こないだテレビで映していた秋田の竿燈。10何メートルもの高い竿に提灯を一杯つけて、肩や額に

乗っけてバランスをとるんですね。あれとおんなじじゃないですか？あれ、低すぎるとかえってバランスが取りにくいんでしょ？

大 家 全くその通りです。与太郎さんも雨が上がった学校の帰り道などでやったことがあると思います。が、畳んだ傘の先端を手の平で支えて立てますよね。あれは長い傘のほうがやりやすいですね。同じ傘でも柄のほうを下にすると重心が低くなりすぎてバランスが取りにくくなります。つまり、重心が低いほうが不安定なんです。

与太郎 ああ、そうか。さっき大家さんが「不安定の中の安定」って言ったのはそのことなんですね。ほっとけば倒れてしまう自転車も傘も竿燈も、重心が高いほうがバランスをとって倒れないようにしやすいってことですね。

大 家 そういうことです。

与太郎 でも、竹馬はどうやってバランスを取るんですか？

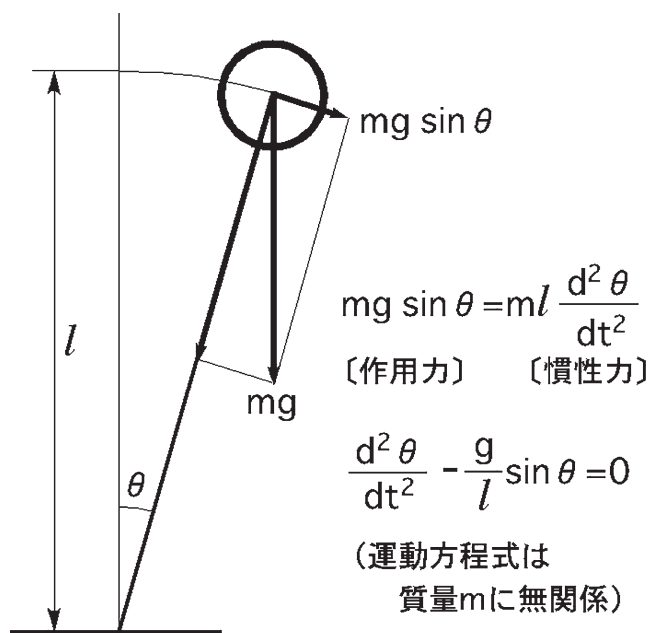
大 家 それは倒れそうになった方向に足を踏み出せばいいんです。

そここのところをもうちょっと理屈っぽく説明しましょうか。

ここに棒の先に錘をつけたものが立ててあります(図)。そのまま放っておくと棒はぱたんと倒れます。その倒れる速さですが、棒が長いほど遅くなります。棒が軽ければ錘の重さには関係ありません。これは錘を下にして振り子のように振らせたときと同じです。揺れる速さは錘の重さには関係なく、棒が長いほど遅くなります。錘の重さに関係がないのは、錘を動かそうとする力はこの場合重力ですから、錘の重さに比例します。それに対して錘が抵抗する力——慣性力といいますが——これも錘の重さに比例します。結局重くても軽くても動かす力と抵抗する力の釣り合いは同じ関係になって、棒の長さだけが影響することになります。

与太郎 早い話が、竹馬が倒れるときは高いほどゆっくり倒れるってことですね？でも、倒れそうになった方向に足を踏み出すときも高いほうが大変なんじゃないですか？

大 家 ところが、踏み出す足の先には錘がついていないからわずかな力で素早く棒を動かすことができます。しかも、踏み出すほうの足を支点にして棒を手前に引けば、足から下のほうは自然に前に動くので、足



棒が長いほどゆっくり倒れる

はほとんど仕事をする必要がありません。

与太郎 ああ、そうか。箸の先に芋かなんか突き刺してそれを振ろうとすると結構抵抗を感じるけど、芋のほうを持って箸を振る分には力はいらないってことですよ。

大 家 それはすばらしい！ぴったりのモデルですね。そういうモデルを使って説明すれば、子供にもわかりやすいでしょうね。慣性、つまり質量や重さのことですが、そのような、物理で一番大事なことがわかるようになりますね。

ところで、低い竹馬だとそうはいきませんね。むしろ手のほうを支点にして、足を大きく踏み出さなければなりません。倒れ始めたらすぐにパタンと行ってしまいますから、忙しく足を動かしてバランスを取る必要があります。

与太郎 いやあ、今日は勉強になったなあ。自転車も竹馬も重心が高いほうが安定だってことですね。ハンドルの軸が傾いてなかったら、自転車がうまく漕げるかどうか確かめてみたいですね。でも、そんな自転車は売ってないからなあ。

それよりも、あの新聞の説明がまるっきりでたらめだったってことは困っちゃいますね。大家さんの今日の話を聞かせてやりたいもんだ。