

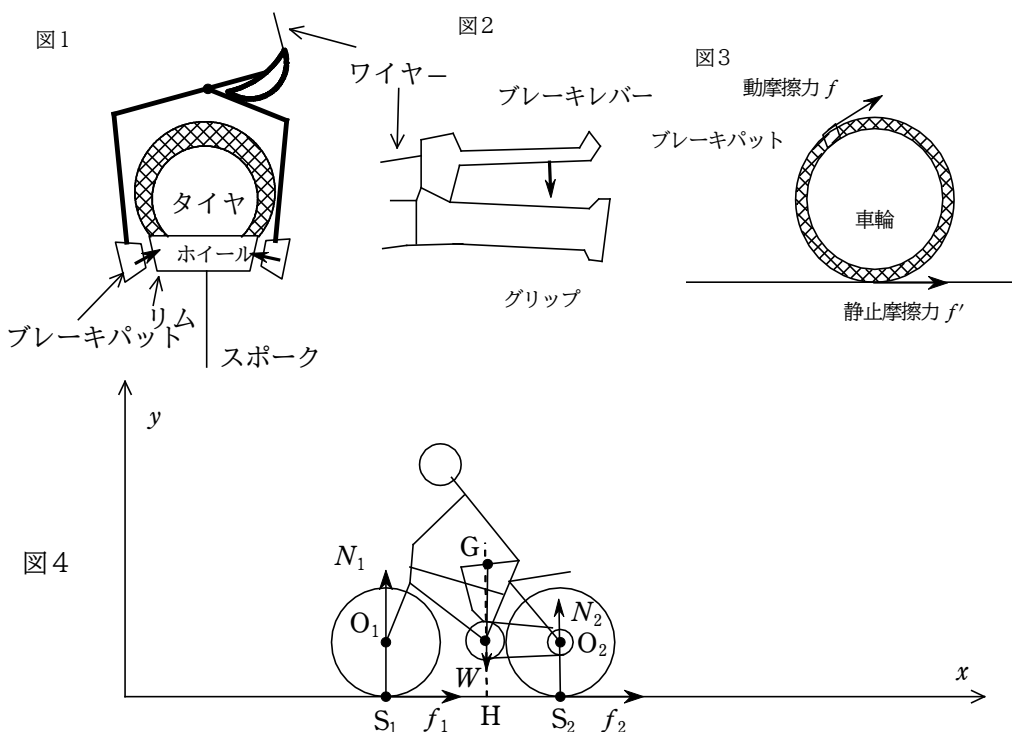
自転車のブレーキのかけ方

1

自転車には前後2つのブレーキがある。自転車で走行中危険を感じてブレーキをかけるとき、前後どのようにブレーキをかけるのが理想であろうか。前後の強さの比で1 : 1とか6 : 4とかいろいろと言われているが、真実を物理的に追及した以下の文章の(①)～(⑫)で[]に文字が指定されている場合はその文字を用いた式を、[数値]とある場合は数値を答えよ。また、(⑬)は「体重」, 「ブレーキ」の用語を用いた文章を入れよ。

自転車のブレーキ(リムブレーキ)は図1のようにブレーキワイヤーを引くことにより、ブレーキパッドでホイールのリムを挟む仕組みである。そして、図2のように、ブレーキパッドでリムを挟み込むことによって動摩擦力 f が生じる。この f が車輪と路面との間の静止摩擦力 f' とほぼつり合い関係になっている。 $f=f'$ とする。ブレーキレバーを強く握ればワイヤーの張力が強くなり、ブレーキパッドがリムから受ける垂直抗力が大きくなり動摩擦力 f も大きくなる。

図2においてブレーキレバーを握る力を K [N]とし、レバーを距離0.050m引くと握る力がした仕事は(①[K]) [J]である。この力はワイヤーによって、ブレーキパッドに伝えられ、ブレーキパッドがリムを挟んで動摩擦力が生じるという仕組みである。ブレーキパッドが0.0050m動いたとすると、仕事の原理より、ブレーキパッドがリムを押さえつける力(垂直抗力)のした仕事は握る力がした仕事と等しいので、(②[K]) [N]となる。動摩擦係数を0.80とすると、(③[K]) [N]の動摩擦力が働くことになる。これは、レバーを握る力の約8倍である。



自転車のブレーキのかけ方

自転車に乗っている人と自転車を合わせた質量を m とし、その重心を G とする。重力加速度の大きさを g とすれば、重力の大きさ W は $W=mg$ となる。前輪の中心を O_1 、後輪の中心を O_2 とし、共に半径は R とする。前輪と路面の接点を S_1 、後輪と路面の接点を S_2 とし、 G の真下の路面上の点を H とする。車軸距離 $S_1S_2=L$ 、 $HS_2=d$ 、 $GH=h$ とする。車輪に働く垂直抗力の大きさを前後それぞれ N_1, N_2 、摩擦力の大きさを前後それぞれ f_1, f_2 とし、静止摩擦係数を μ とする。

路面後方を x 軸正方向、路面と垂直上向きを y 軸正方向とすると、 y 方向のつり合いにより

$$④[N_1, N_2, m, g] = 0 \quad (i)$$

x 方向は運動方程式が成立し、加速度を a とすると、

$$ma = ⑤[f_1, f_2] \quad (ii)$$

この場合は加速度運動なので、回転中心を重心と考え、反時計回りを正とすると、 f_1, f_2 による力のモーメントはそれぞれ、 f_1h, f_2h となり、垂直抗力 N_1, N_2 による力のモーメントはそれぞれ、 $⑥[N_1, L, d]$ 、 $⑦[N_2, d]$ となるので、回転のつり合いの式は

$$f_1h + f_2h + ⑥ + ⑦ = 0 \quad (iii)$$

(i), (ii), (iii) を連立させて解くと

$$N_1 = \frac{m(ah + gd)}{L} \quad N_2 = \frac{mg(L-d) - mah}{L} \quad f_1 + f_2 = ma$$

となる。

次に角度 θ の傾斜がある場合を考えてみよう。この場合図2のように x 軸、 y 軸と設定する。重力 mg の x 成分は $⑧[m, g, \theta]$ 、 y 成分は $⑨[m, g, \theta]$ となる。

この場合水平面における鉛直方向が、路面に垂直な方向に変わり(i)式は

$$N_1 + N_2 - ⑨ = 0 \quad (i)'$$

となり、(ii)式は

$$ma = f_1 + f_2 - ⑧ \quad (ii)'$$

と変更すればよい。

(i)', (ii)', (iii) を連立させて解くと

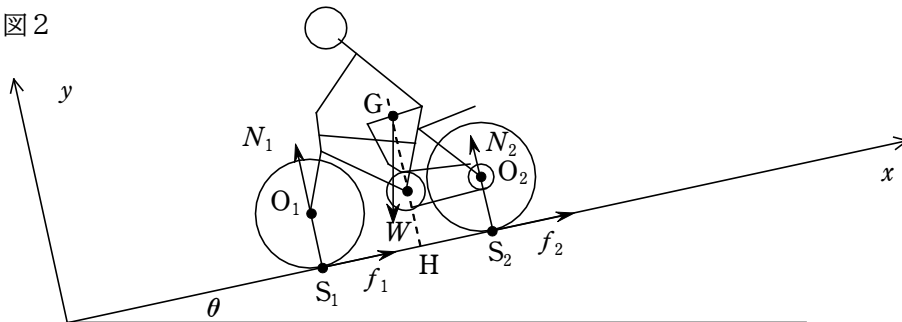
$$N_1 = \frac{mah + mgh\sin\theta + mgd\cos\theta}{L} \quad N_2 = \frac{mg\cos\theta(L-d) - mah - mgh\sin\theta}{L}$$

$$f_1 + f_2 = ma + ⑧$$

となる。

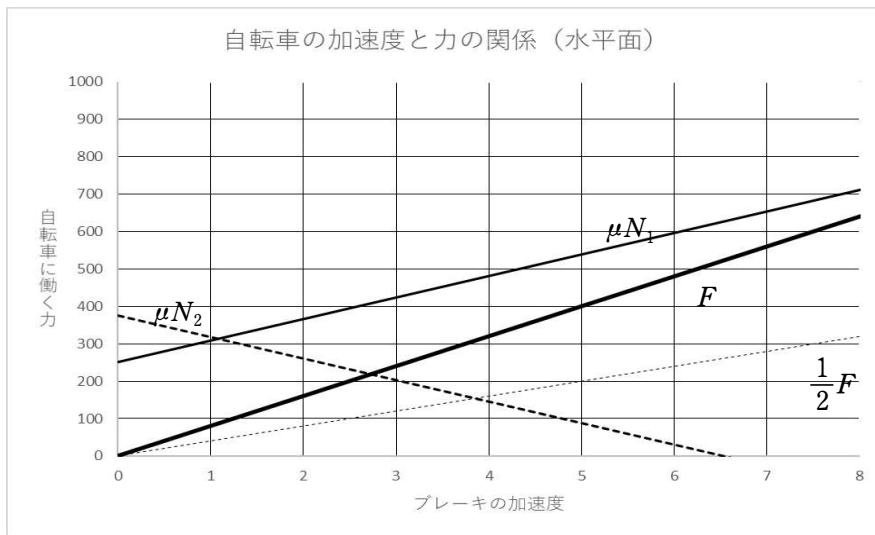
自転車のブレーキのかけ方

図2



ここで、 $m=80\text{kg}$ 、 $h=1.0\text{m}$ 、 $g=10\text{m/s}^2$ 、 $L=1.0\text{m}$ 、 $d=0.40\text{m}$ 、 $\mu=0.80$ 、 $\theta=0^\circ$ として、自転車がブレーキ加速度 a を生じたときの前後輪の摩擦力の大きさ $\mu N_1, \mu N_2$ 、およびその加速度を生じるのに必要なブレーキの摩擦力 $F=f_1+f_2$ 、およびブレーキを前後輪1:1でかけた時を考えるために $\frac{1}{2}F$ の大きさグラフにしたのが図3である。

図3

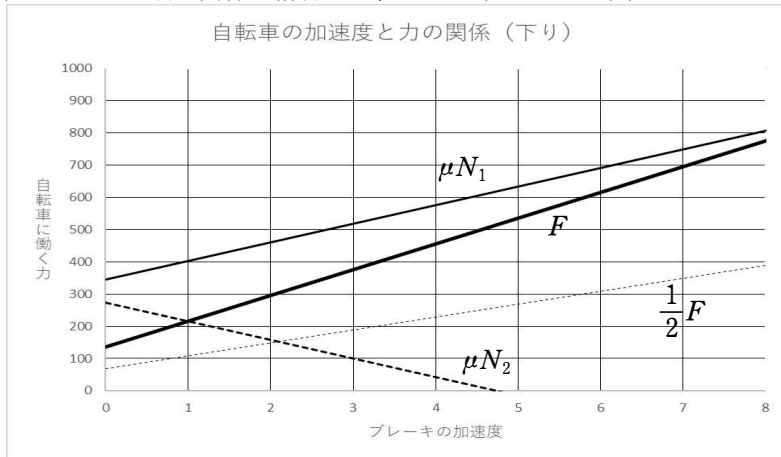


このグラフを見ると μN_2 が $a = \text{⑩[数値]}$ m/s^2 より大きくなると0となっている。これは、この加速度に達すると後輪が浮き上がることを意味している。後輪だけブレーキをかけると ⑩[数値] m/s^2 の加速度以上で $\mu N_2 < F$ となるので、後輪がスリップすることを意味している。前後輪を1:1でブレーキをかけると、 3.8m/s^2 の加速度で $\mu N_2 < F$ となっているので後輪がスリップする。また、前輪だけブレーキをかけてもこのグラフの範囲では前輪のスリップは起こらない。よって、 3.8m/s^2 の加速度までは前後輪1:1の強さでブレーキをかけてもよいがそれを超える場合は前輪に強いブレーキをかけなければならない。

自転車のブレーキのかけ方

次に傾斜角 10° の下り坂で同様な計算をし、グラフ化したのが図4である。

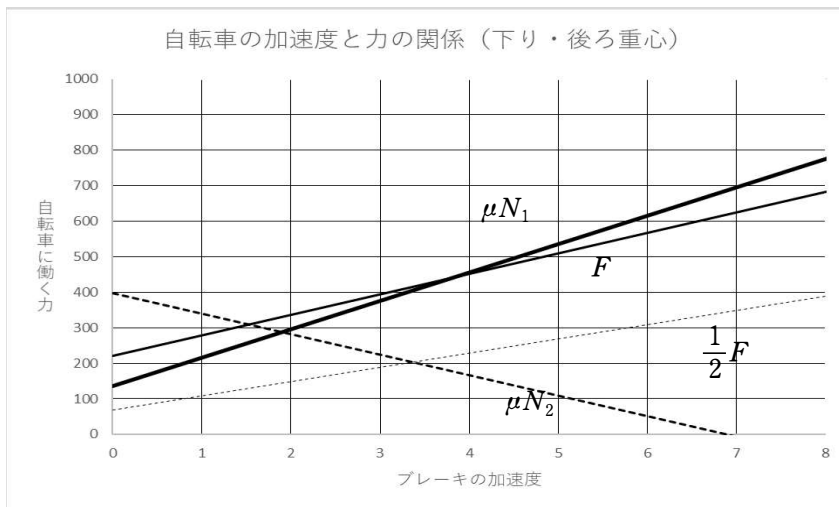
図4



このグラフによると加速度 (⑫[数値]) m/s^2 程度で後輪が浮くことになる。水平面より μN_2 が小さくなっており、後輪のブレーキがかかりにくい状況になっていることが分かる。前輪のブレーキを強くかける必要があることが分かる。

次に下りのときに重心を $0.20m$ 後ろに移動した場合 ($d = 0.20m$) を計算してみた。その結果を示したのが図5である。

図5



この場合、後輪の摩擦力は大きく効くようになるが、 $4.0m/s^2$ を超えると、 $\mu N_1 < F$ となっている。前輪に強いブレーキをかけていると前輪がスリップする危険性が高くなる。前輪がスリップすると転倒の危険性が高くなるので危険である。よって、下り坂では (⑬[文章]) のが安全といえる。

自転車のブレーキのかけ方

解説

- ① $W = Fs$ より $0.05K$
- ② 仕事と同じなので F と s は反比例する s が 0.05 から 0.005 に $\frac{1}{10}$ になっているので力は10倍となる。 $10K$
- ③ ②に摩擦係数の0.8をかけて $8K$
- ④ 鉛直方向のつり合いなので, $N_1 + N_2 = mg$ よって, $N_1 + N_2 - mg$
- ⑤ 水平方向の運動方程式なので, 水平方向の合力となる。 $f_1 + f_2$
- ⑥ モーメントの大きさは $N_1 \times HS_1 = N_1(L-d)$ となる。これは時計回りであり, 反時計回りを正とするので, $-N_1(L-d)$
- ⑦ モーメントの大きさは $N_2 \times HS_2 = N_2d$ これは反時計回りなので, N_2d
- ⑧ W と GH のなす角度が θ である。よって, x 軸成分は $mg \sin \theta$ となるが, x 軸逆向きなので $-mg \sin \theta$
- ⑨ ⑧と同様に $-mg \cos \theta$
- ⑩ 図3のグラフで μN_2 が0になっているのは加速度が6.5のときである。 6.5
- ⑪ 図3のグラフで $\mu N_2 < F$ となっているのは加速度が2.7以上のときである。 2.7
- ⑫ 図4のグラフで μN_2 が0になるということは後輪が浮くということである。 4.7
- ⑬ 図4と図5を比較すると, 図5の方が後輪が浮く加速度が大きいので体重を後ろにかけたほうが後輪が浮きにくい。後輪に強くブレーキをかけることができる。前輪ブレーキだけでは急ブレーキをかけた時に後輪が浮く可能性があるので, 体重を後ろにかけるのが安全。

「体重を後ろにかけて, 後輪ブレーキを強くかける」