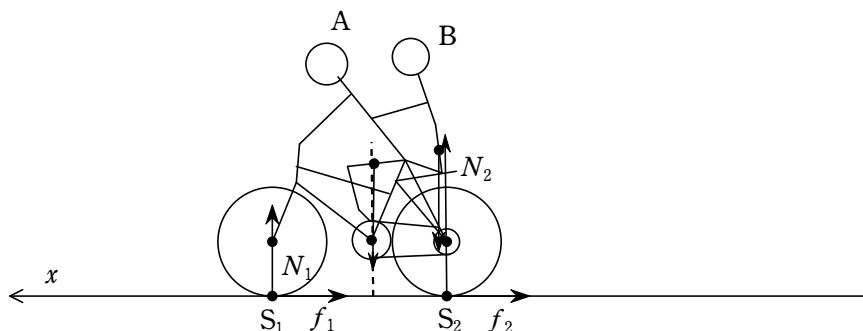


G046自転車二人乗りの危険性

自転車を二人乗りすると危険であるといわれている。危険である理由を物理的に考えた以下の文章の(①)～(⑫)の[]内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]とある場合は当てはまる数値を入れよ。

図1



質量 m の運転手Aが乗った質量 m_0 の自転車がある。この後ろにAと同じ質量の人Bが乗った様子を示したのが図1である。この人が乗った自転車の総質量 M は $M =$ (①[m_0, m]) である。以下は重力加速度の大きさを g として考えるものとする。

この運転手がブレーキをしっかりと掛けた場合の前輪の摩擦力の大きさを f_1 、後輪の摩擦力の大きさを f_2 とする。自転車の進行方向を正とすると、この自転車にかかる路面からの摩擦力の大きさ F は、 $F =$ (②[f_1, f_2]) である。

前後輪共に静止摩擦係数を μ とする。A、Bともに重力の大きさは mg であり、自転車の重力の大きさは m_0g である。A及び自転車は前後輪に均等に荷重が配分され、Bの荷重はすべて後輪にかかるかと仮定すると、前輪にかかる垂直抗力 N_1 の大きさは $N_1 =$

$\frac{m + m_0}{2}g$ 、後輪にかかる垂直抗力 N_2 の大きさは $N_2 =$ (③[m_0, m, g]) となる。前輪に

働く最大摩擦力の大きさは μN_1 、後輪に働く最大摩擦力の大きさは μN_2 となるので、前後輪共に最大摩擦力が働いた場合、ブレーキによる摩擦力の大きさは (④[μ, m_0, m, g]) となる。この自転車が最大摩擦力のブレーキをかけた時の加速度の大きさを a とし、運動方程式を立てて解くと、加速度の大きさは (⑤[μ, g]) となる。この加速度は質量が関係しないので二人乗りしてもしなくても同じ加速度であり止まるまでの距離は同じである。

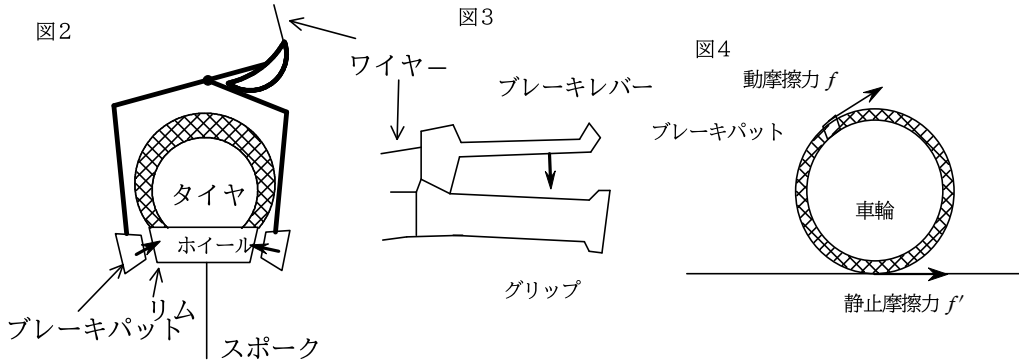
次にブレーキの仕組みから考えてみることにする。

自転車のブレーキ(リムブレーキ)は図2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3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' とほぼ釣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 (⑥[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

G046自転車二人乗りの危険性

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しえつづける力（垂直抗力）のした仕事は握る力がした仕事と等しいので、(7)[K] [N]となる。動摩擦係数を0.80とすると、(8)[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。



運転手Aの握力を K としたときの加速度の大きさを計算してみよう。この握力による路面からの摩擦力は最大摩擦力に達していないものとする。加速度の大きさを a_2 とすると、運動方程式は $(2m + m_0)a_2 = 8K$ となり、 $a_2 = \frac{8K}{2m + m_0}$ となる。一人乗りのときの加速度を a_1 とすると、 $a_1 = (9)[m_0, m, K]$ となる。

ここで、この自転車が静止するまでの距離を求めてみよう。初速度を v_0 とすると、静止するまでの平均の速さは $\frac{v_0}{2}$ であり、加速度の大きさを a とすると、静止するまでの時間は $\frac{v_0}{a}$ となるので、静止するまでの距離は $(10)[v_0, a]$ となる。この式をもとに一人乗りのときの静止距離 L_1 と二人乗りのときの静止距離 L_2 を求めると、

$$L_1 = \frac{(m + m_0)v_0^2}{16K} \quad L_2 = \frac{(2m + m_0)v_0^2}{16K}$$

ここで、 $m = 60\text{kg}$ 、 $m_0 = 20\text{kg}$ とし、 $v_0 [\text{m/s}]$ を $V [\text{km/h}]$ に変換すると、

$$v_0 = \frac{V}{3.6} \text{ となるので、}$$

$$L_1 = 0.386 \frac{V^2}{K} \quad L_2 = 0.675 \frac{V^2}{K}$$

$V = 5\text{km/h}$ 、 10km/h 、 15km/h 、 20km/h の各速さにおける握力と静止するまでの距離を一人乗りの場合と二人乗りの場合の関係を示したのが図5、図6である。

G046自転車二人乗りの危険性

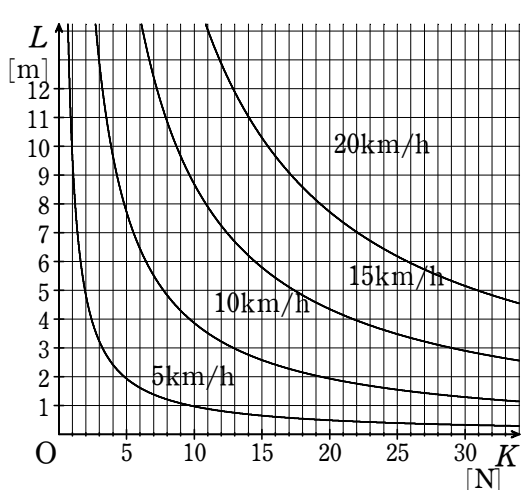


図5 一人乗り

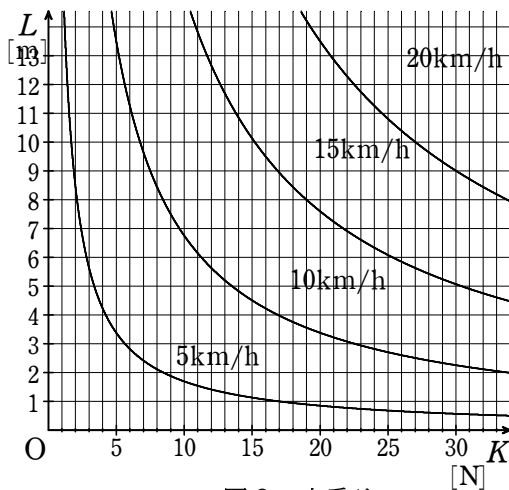


図6 二人乗り

自転車では高速で走っているときは20km/h程度であり、この時、 $L = 10\text{m}$ 以内で泊まろうとすると、一人乗りでは15N、二人乗りでは26Nの握力が必要となる。しっかりと握れば、同じ距離で泊まれるが、一人乗りのつもりでブレーキを握った場合、静止するまでの距離が異なることになる。20km/hで20Nの力で握った場合、一人乗りでは(①[数値])m程度で泊まれるのに対して、二人乗りだと12m程度となり、止まれる距離が1.5倍程度に伸びている。二人乗りではそれだけ止まりにくいことを意味しており、危険である。

次に自転車で加速する場合を考えてみよう。普通の状態自転車のペダルを踏み込む力が F とする。この力がそのままタイヤに伝わるとすれば、質量が M の場合、加速度の大きさが $\frac{F}{M}$ となる。この自転車が安定に走るのに必要な最低速度を u とすると、この自転車が発進してから u に達するまでの時間は(②[M, u, F])となる。 $u = 1.5\text{m/s}$ 程度であり、 $F = 240\text{N}$ としたとき、一人乗りの場合80kg、二人乗りの場合120kgの質量があるので、その速度になるために必要な時間は一人乗りの場合0.5sであり、二人乗りの場合0.75sである。この間がバランスを崩し安いのので、二人乗りの場合の危ない期間が長くなっている。他にも質量が大きいのので片足で自転車を支える力が大きくなるなど、転倒の危険性が高くなっている。

自転車の二人乗りは避けるべきである。

G046自転車二人乗りの危険性

解説

- ① 自転車 m_0 と二人の m なので、 $m_0 + 2m$
- ② 前後輪共に同じ方向に力が加わるので、合計は $f_1 + f_2$
- ③ 自転車と運転手が前後均等に重力が働くとすれば、 $N_1 = N_2 = \frac{m + m_0}{2}g$
- 後輪には後ろの人の全重力が働くので $mg + \frac{m + m_0}{2}g = \frac{3m + m_0}{2}g$
- ④ 前後輪合わせての重力は $(2m + m_0)g$ なので、垂直抗力は $(2m + m_0)g$ となる。よって、 $\mu(2m + m_0)g$
- ⑤ 加速度の大きさを a とすると、運動方程式 $(2m + m_0)a = \mu(2m + m_0)g$ より、
 $a = \mu g$
- ⑥ K の力で0.05m引くので、仕事は、 $0.05K$
- ⑦ ブレーキパッドに働く力の大きさを F とすると、ブレーキパッドの仕事は $0.005F$ となる。同一の道具でのシドとは同じなので、 $0.005F = 0.05K$ よって、 $F = 10K$
- ⑧ $F = 10K$ は加えた力であると同時に垂直抗力と同じ大きさである。動摩擦係数が0.80なので、動摩擦力は $8K$
- ⑨ 一人乗りのときの質量は $m_0 + m$ となるので、加速度の大きさは $\frac{8K}{m + m_0}$
- ⑩ 速度 v_0 が0になるので、平均速度は $\frac{1}{2}v_0$ 、加速度 a としたときの泊まるまでの時間は $\frac{v_0}{a}$ 両者をかけると止まるまでの距離が求められる。 $\frac{v_0^2}{2a}$
- ⑪ 図5のグラフを読み取って、 8.0m
- ⑫ 加速度が $a = \frac{F}{M}$ なので、速度0が速度 u になるまでの時間は $\frac{u}{a} = \frac{Mu}{F}$