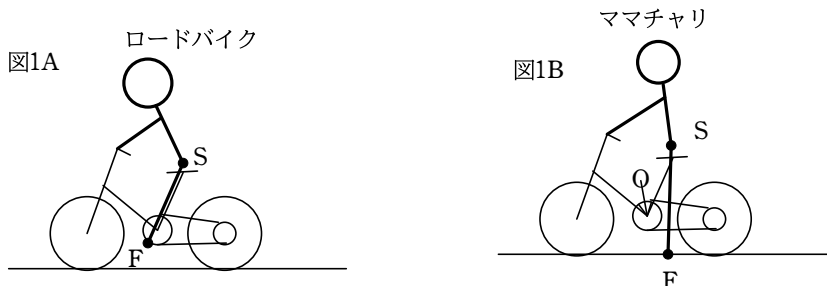


G057ロードバイクとママチャリ

1

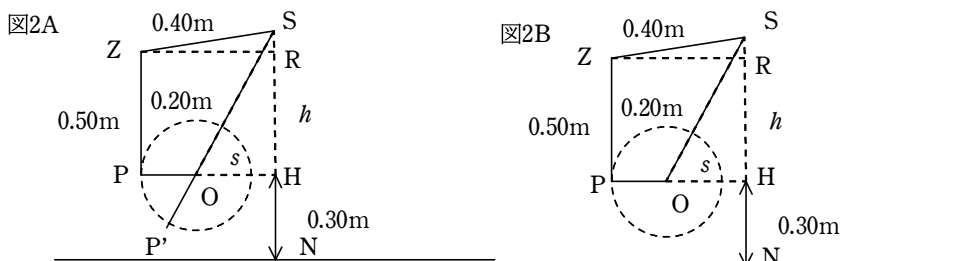
ロードバイクとママチャリは乗り方も速さもかなり違う。その違いを述べた以下の文章の(①)～(⑫)の[]内に文字が指定されている場合、その文字を用いた式を、[数値]とある場合は当てはまる数値を入れ、[大きい,小さい]とある場合はどちらかを選択せよ。



<サドルの位置の計算>

ロードバイクとママチャリはサドルの高さの設定が異なる。ママチャリはサドルにまたがった状態で両足がつく高さで、ロードバイクはサドルにまたがった状態でペダルを踏み、足がほぼまっすぐになった時が、ペダルの一番下になっている高さが理想とされている。足先をF、膝をZ、腰をS、ペダルPの回転軸(クランク軸)をOとする。足が最も伸びた状態を図示したのが図1ABである。

自転車でペダルを最も前方にしたとき、ZPがほぼ鉛直になるのが楽にこげる状態である。この状態を図示したのが図2ABである。乗っている人の大腿部の長さSZ=0.40m、膝から先の長さPZ=0.50m、ペダルの回転半径を0.20mとし、クランク軸の高さを0.30mとする。



Sの真下の地表の点をN、Nの真上Oと同じ高さの点をHとする。NH=0.30mである。ペダルが最も前に来た位置をPとする。Sは腰の位置で、サドルの上面より0.10m上であるとする。OH=s、SH=hとする。

図2Aのロードバイクの場合 Sから最も距離のあるペダルの位置をP'とする。P'は最も足が伸びた位置なので、SP'=ZP+ZS=0.90mとなり、ペダルの回転半径が0.20mなので、SO=(①[数値])m。よって、

$$s^2 + h^2 = \text{(①)}^2$$

SR=h-0.50なので、△ZSRで三平方の定理より

$$(s+0.20)^2 + (h-0.50)^2 = \text{(①)}^2$$

これらを連立させて解くと s=0.16m、h=0.68mとなる。

図2Bのママチャリの場合、SN=ZS+ZP=0.90mとなるので、h=0.60mとなる。ZR=s+0.20、SR=(②[数値])mとなるので、三平方の定理より

$$(s+0.20)^2 + \text{(②)}^2 = 0.40^2 \text{ となる。これを解くと } s=0.19\text{m、} h=0.60\text{mとなる。}$$

G057ロードバイクとママチャリ

ロードバイクの方がママチャリよりサドルの位置が高く前方にあることがわかる。この結果ロードバイクの場合、サドルの位置に腰掛けた状態では地面に足がつかないことになり、静止するときはサドルからおりる必要がある。

ロードバイクは速く走るための自転車である。足がつかないという欠点がありながら、なぜ、サドルの位置が高いのであろうか、以下では、その点を考えてみよう。

<股関節にかかるモーメント>

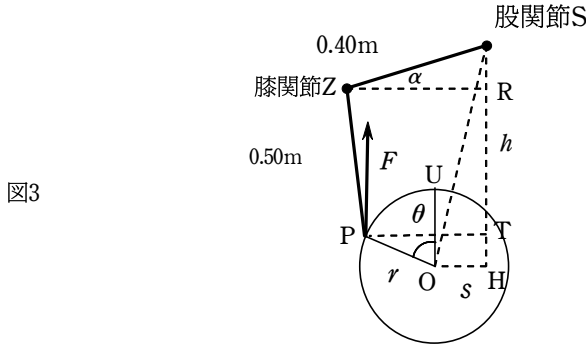


図3

図3は、ペダルPの回転半径を r とし、ペダルPが最上端Uにあるときからの回転角度 $\angle UOP = \theta$ とした時のペダルPとクランク軸Oと足の位置関係を示した図である。Sは股関節の回転中心、Zは膝関節の回転中心を示す。Sから鉛直真下で、Oと同じ高さの点をHとする。線分SH上でZと同じ高さの点をR、Pと同じ高さの点をTとする。 $ZS = 0.40\text{m}$ 、 $ZP = 0.50\text{m}$ とし、ペダルを踏み込むことによりペダルから鉛直上向きに大きさ F の力を受けているとする。大腿部の傾き角 $\angle SZR = \alpha$ とし、 $SH = h$ 、 $OH = s$ とする。

股関節Sを回転中心とする F によるモーメント M_s は、 $M_s = (3[F, r, \theta, s])$ で表される。 $r = 0.20\text{m}$ 、 $F = 600\text{N}$ としてロードバイクとママチャリのSにかかるモーメントを色々な θ に関してグラフに表すと、図5のようになる。

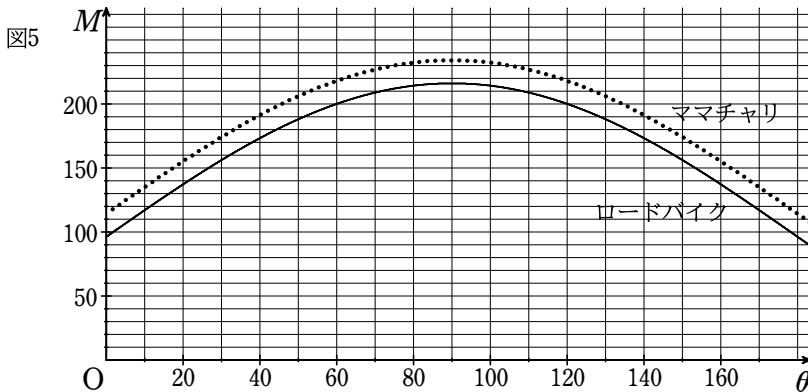


図5を見てわかるように、ペダルに同じ荷重をかけるときでもママチャリの方がロードバイクよりも大きなモーメントを必要とすることになる。このモーメントは太もも裏の筋肉（ハムストリングス）を使って得られるために、ママチャリの方が足の筋肉への負担が大きいことがわかる。ハムストリングスに最も大きな負担がかかるのは $\theta = (4[\text{数値}])^\circ$ のときである。

<膝関節にかかるモーメント>

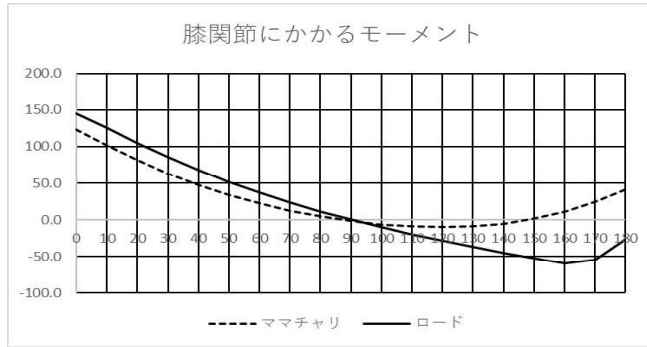
次に膝関節にかかるモーメントを計算してみよう。膝関節にかかる F によるモーメント M_z は、

G057ロードバイクとママチャリ

$M_z = (5[F, ZR, PT]) = F(0.40\cos\alpha - r\sin\theta + s)$ となる。Sの位置は $\theta = (4)^\circ$ のとき、ZPが鉛直になる位置に設定している。このときの膝関節にかかる M_z は(6[数値])である。図5により $\theta = (4)^\circ$ の時に股関節Sに最大のモーメントがかかるのでこの瞬間は膝関節にかかるモーメントが小さいほど良い。そのためにこのような設計をしているのである。このモーメントを $0 \leq \theta \leq 180^\circ$ で計算したのが図6である。

図6より、ロードバイクよりママチャリの方が膝関節にかかる負担は(7[大きい・小さい])といえる。しかし、実際に強くペダルを踏むのは $60^\circ \leq \theta \leq 120^\circ$ ぐらいの範囲であり、 $120^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$ においては、膝関節よりも足首の関節をよく使うので、その範囲ではほとんど差がないといえる。

図6



<ペダルを踏み込む力>

図7A,Bはロードバイクとママチャリの乗車姿勢をそれぞれ表している。ペダルの位置はともに $\theta = 90^\circ$ の位置を示している。クランク軸を原点とし、水平前方に x 軸、鉛直上向きに y 軸をとる。点G、S、Pはそれぞれ、人体の重心、股関節の回転中心、 $\theta = 90^\circ$ のペダルの位置を表している。各点に付属している座標は各点の xy 座標を示している。

ロードバイクの場合前傾姿勢をとることにより、Pの位置と重心の位置が同一作用線に来るので、乗っている人の質量を m 、重力加速度の大きさを g とすると、ペダルに全荷重(体重) (8[m, g])をかけることが可能である。それに対してママチャリでは重心の位置がPより後方にあるために作用線が一致していない。Pにかかる鉛直上向きの力の大きさを f_p 、Sにかかるサドルからの鉛直上向きの力の大きさを f_s 、ハンドルを引くことにより人体が受ける反作用を f_T とする。

図7A

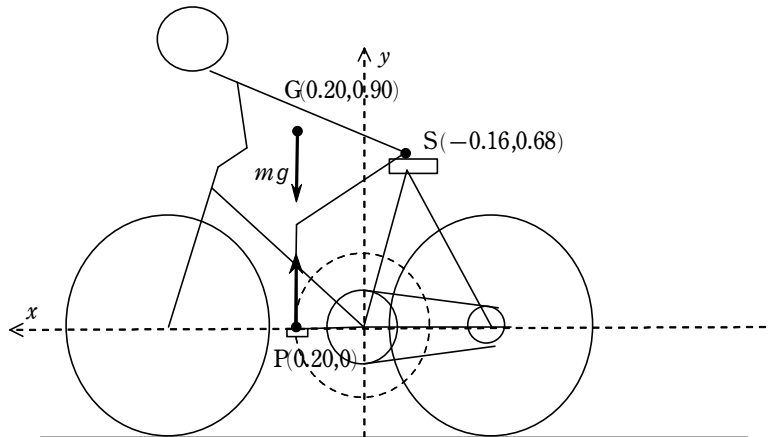
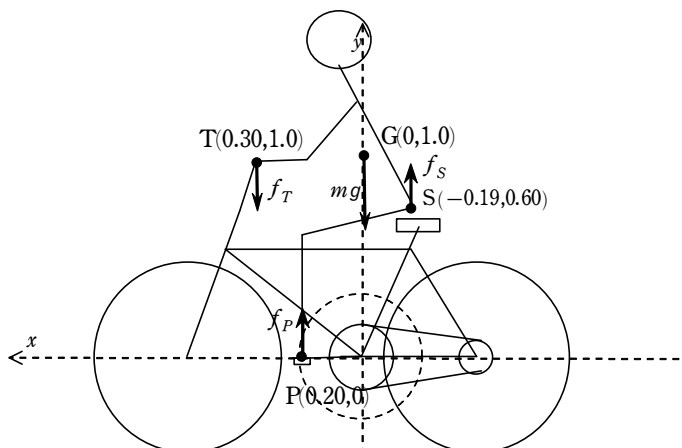


図7B



$f_T=0$ の場合、Sを回転中心とするときの回転の釣り合いより $0.19mg = \textcircled{9}[\text{数値}] \times f_P$ となる。これを解くと、 $f_P = 0.49mg$ と体重の半分程度までしかペダルに加重を加えることができない。そこで、ペダルに $f_P = mg$ の力を加えるには、ハンドルを引く力 f_T が必要になる。この場合 f_P と重力 mg は偶力となっているので、そのモーメントの大きさは $\textcircled{10}[m, g]$ となる。回転の釣り合いを考えると、 f_T と f_S が逆回りの偶力のモーメントになれば良い。よって、 $f_T = f_S$ が成立する。また、この2力の偶力のモーメントは $\textcircled{11}[\text{数値}] \times f_T$ となる。両者のモーメントは等しいので、

$\textcircled{11} \times f_T = \textcircled{10}$ となり、 $f_T = 0.41mg$ となる。体重の41%もの力で引く必要がありこれは、かなり大きな力である。

以上の点より、ママチャリより、ロードバイクの方が駆動力は $\textcircled{12}[\text{大きい, 小さい}]$ ことがわかる。しかし、ロードバイクは前傾姿勢がきついので腰に負担がかかり、ママチャリの方が乗車姿勢は楽である。

G057ロードバイクとママチャリ

解説

図2A

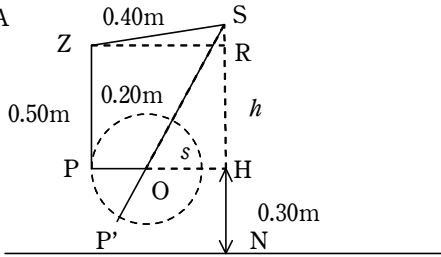
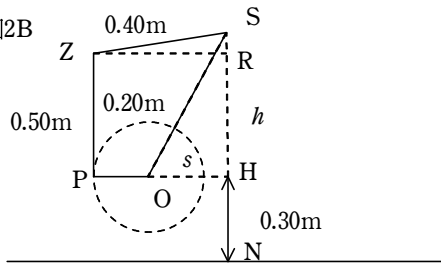


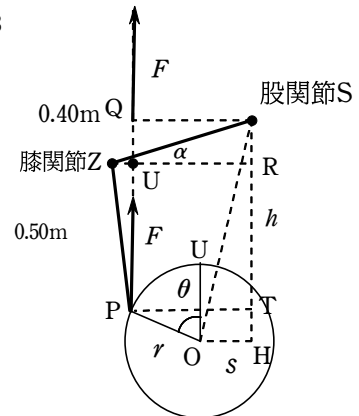
図2B



- ① 図2Aで 足の長さは $SZ+ZP=0.90\text{m}$ この足が伸びている状態が SP' である。
 OP' はペダルの回転半径なので 0.20m よって、 $SO=SP'-OP'=0.70\text{m}$
- ② 図2Bの SN が足が伸びている状態なので、 $SN=0.90\text{m}$ $HN=0.30\text{m}$ で $RH=ZP=0.50\text{m}$ である。
 よって、 $SR=SN-HN-RH=0.10\text{m}$

- ③ 図3において F の作用線上に S から垂線を下ろし
 その足を Q とする。 F のモーメントは $F \times SQ$ となる。
 $SQ=PT=OH+r\sin\theta$ となる。よって、
 $F(r\sin\theta+s)$

図3



- ④ モーメントが最大になるのは SQ が最大となるときで、
 これは P が最も左になったときである。よって、 $\theta=90^\circ$
- ⑤ F の作用線と ZR の交点を U とすると、
 Z を回転中心とするモーメントは $F \times ZU$ となる。
 $ZU=ZR-PT$ なので、モーメントは $F(ZR-PT)$
- ⑥ $\theta=90^\circ$ のときは、 F の作用線上に Z があるので、
 モーメントは 0
- ⑦ 図6を見るとママチャリのほうがモーメントが θ に近いので 「小さい」
- ⑧ 重力と等しいので mg
- ⑨ 図7Bの S と P との水平距離は $0.19+0.20=0.39\text{m}$ となるので、0.39
- ⑩ 2本の mg が作る偶力なので、 $mg \times$ 作用線間距離となる。作用線間距離は 0.20 なので、
 $0.20mg$
- ⑪ f_T と f_s の作用線間距離は $0.19+0.30=0.49\text{m}$ となるので、0.49
- ⑫ ロードバイクは全体重をかけることができるので、ロードバイクのほうが駆動力は大きくなる。
 「大きい」