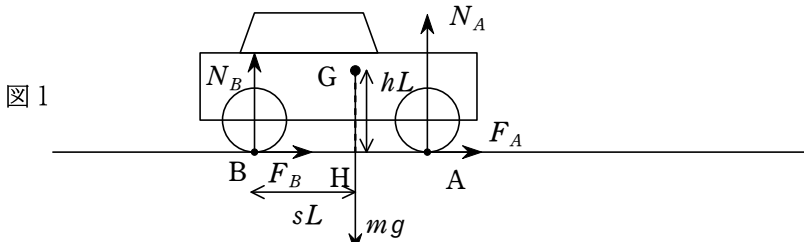


G041前輪駆動と後輪駆動の比較

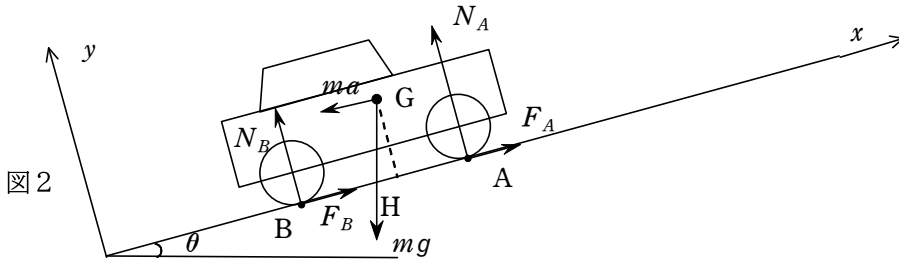
1

自動車には前輪駆動車，後輪駆動車，4輪駆動車が存在するが，それぞれのメリット・デメリットを物理的に考えた以下の文章の(①)～(⑬)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を，[前後]とある場合は前か後を選択して入れよ。

自動車の前輪の接点をA，後輪の接点をB，重心をGとする。Gから地面に下した垂線の足をHとする。AB=L，BH=sL，GH=hLとし，車の質量をmとする。前輪2つ，後輪2つ存在しているが，それぞれに働く力は常に2輪の合計で考えるものとする。sは重心の水平位置，hは重心の高さを示している。



前輪・後輪に働く垂直抗力の大きさをそれぞれ N_A ， N_B とし，摩擦力の大きさを F_A ， F_B とする。また，静止摩擦係数は μ_A ， μ_B とする。最大摩擦力の大きさはそれぞれ $\mu_A N_A$ ， $\mu_B N_B$ となる。前輪駆動車の場合は $\mu_B = 0$ で後輪駆動車の場合は $\mu_A = 0$ となる。



角度 θ で上昇している場面では図のようになる。路面に沿う方向を x ，路面と直角な方向を y とする。自動車が加速度 a で前方に最大加速している場合を考えると，慣性力 ma が x 軸負の方向に働いている。

$$y \text{ 方向のつり合いの式は } N_A + N_B = \text{(①[} m, g, \theta \text{])} \quad (\text{i})$$

$$x \text{ 方向のつり合いの式は } \mu_A N_A + \mu_B N_B = \text{(②[} m, a, g, \theta \text{])} \quad (\text{ii})$$

$$\text{回転中心をBとした回転のつり合いの式は} \\ \text{(③[} m, a, h, L \text{])} + N_A L + mghL \sin \theta = \text{(④[} m, g, s, L, \theta \text{])} \quad (\text{iii})$$

(i)(ii)(iii)を連立して解くと

$$N_A = \frac{mg(h\mu_B - s)\cos\theta}{1 + h(\mu_A - \mu_B)} \quad (\text{iv}) \quad N_B = \frac{mg(h\mu_A - s + 1)\cos\theta}{1 + h(\mu_A - \mu_B)} \quad (\text{v})$$

G041前輪駆動と後輪駆動の比較

$$a = \frac{g}{1+h(\mu_A-\mu_B)}\{(\mu_A s + \mu_B(1-s))\cos\theta - (h\mu_A - h\mu_B + 1)\sin\theta\}$$

前輪駆動車の最大加速度を a_A ，後輪駆動者の最大加速度を a_B ，4輪駆動車の最大加速度を a_{AB} とする。静止摩擦係数を前後同じで μ とする。前輪駆動車では $\mu_A = \mu$ ， $\mu_B = 0$ ，後輪駆動者では $\mu_A = 0$ ， $\mu_B = \mu$ ，4輪駆動車では $\mu_A = \mu_B = \mu$ と置けばよい。それぞれを代入すると，

$$a_A = \frac{g}{1+h\mu}\{\mu s \cos\theta - (h\mu + 1)\sin\theta\} \quad (\text{vi})$$

$$a_B = \frac{g}{1-h\mu}\{\mu(1-s)\cos\theta - (1-h\mu)\sin\theta\} \quad (\text{vii})$$

$$a_{AB} = g\{\mu \cos\theta - \sin\theta\} \quad (\text{viii})$$

前輪駆動車と後輪駆動者の加速度はどちらが大きいかを比較するために最大加速度の差を求めてみると，

$$a_A - a_B = \frac{g \cos\theta (2s - 1 - h\mu)}{1 - h^2 \mu^2}$$

前輪駆動車のほうが加速度が大きくなる条件は

$$\frac{g \cos\theta (2s - 1 - h\mu)}{1 - h^2 \mu^2} > 0$$

分母が正なので，これを解くと $s > \frac{1+h\mu}{2}$ (ix)

通常道路では $\mu = 0.80$ ，雪道のスタッドレスタイヤでは $\mu = 0.17$ である。それぞれで (ix) のグラフを書いてみると図3のようになる。

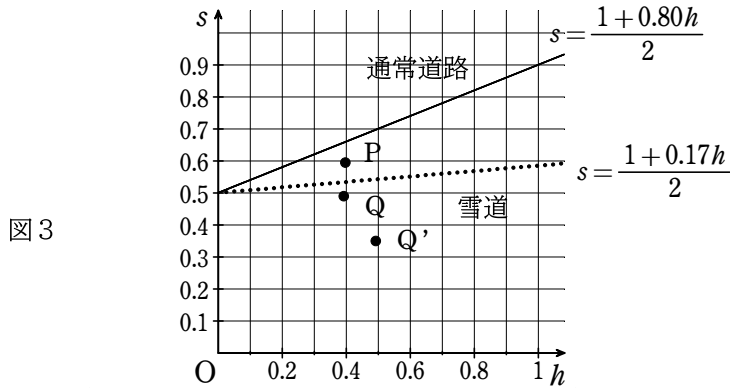


図3

通常道路・雪道共にグラフの上が前輪駆動車の有利な領域で，グラフの下が後輪駆動者が有利な状況となる。通常の自動車は $s = 0.6$ ， $h = 0.4$ 前後なので，雪道に強いのは (ⓐ [前後]) 輪駆動車ということになる。

次に自動車の登坂能力を考えてみよう。加速度が0になる角度 θ まで，登坂できるので，それぞれの登坂可能な最大角度を計算してみると，

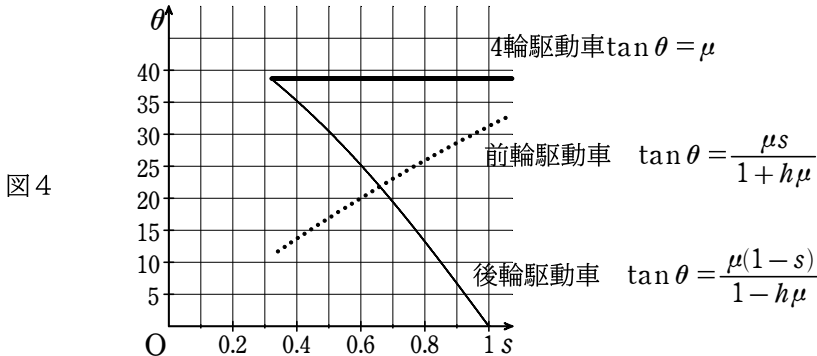
$$\text{前輪駆動車の場合，(vi)に } a_A = 0 \text{ を代入して } \tan\theta = \frac{\mu s}{1+h\mu}$$

$$\text{後輪駆動者の場合，(vii)に } a_B = 0 \text{ を代入して } \tan\theta = \frac{\mu(1-s)}{1-h\mu}$$

G041前輪駆動と後輪駆動の比較

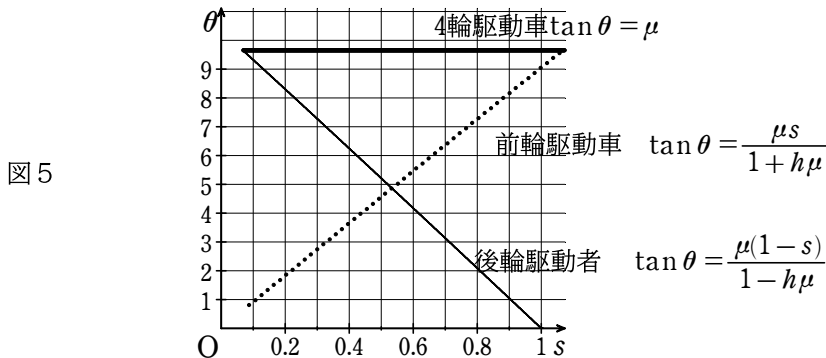
4輪駆動車の場合 (viii)に $a_{AB} = 0$ を代入して $\tan \theta = \mu$

前輪が浮き上がってはいけないので、(iv)式において、 $N_A > 0$ より、 $h\mu - s > 0$
 通常道路として $h = 0.4$ 、 $\mu = 0.8$ の場合でグラフにしてみた。前輪が浮き上がらないため
 には $s > (\textcircled{6}[\text{数値}])$ となる。



4輪駆動車は圧倒的に強いが、それ以外では $s = 0.60$ 前後において登坂能力が高いのは
 (⑦[前後]) 輪駆動車といえる。

次に雪道で考えてみよう。 $h = 0.4$ 、 $\mu = 0.17$ とする。(iv)式において、 $N_A > 0$ より、
 $s > 0.068$ である。



4輪駆動車が圧倒的に強いのは通常路面と同じであるが、一般的乗用車の $s = 0.60$ 前後
 で見てみると、(⑧[前後]) 輪駆動車のほうが強くなる。

以上の分析により、前輪駆動車と後輪駆動車では通常の路面では (⑦) 輪駆動車のほう
 が走りやすいが、雪道では (⑧) 輪駆動車のほうが強いことが分かった。

<軽トラについて>

トラック (軽トラ) について考えてみよう。軽トラックは重量が750kg程度で最大積載
 量が350kgである。重心の位置は $s = 0.5$ 、 $h = 0.4$ 程度とされている。図3のQ点が荷物を
 積んでいない状態の軽トラの位置である。雪道でも通常道路でも (⑨[前後]) 輪駆動が強い
 領域にある。後輪タイヤの真上に350kgの荷物を載せた場合 $s = 0.35$ 、 $h = 0.5$ 程度とな
 る。図3のQ'の位置になり、ますます (⑨) 輪駆動領域にある。というわけでトラック
 は (⑨) 輪駆動である。

<バスについて>

G041前輪駆動と後輪駆動の比較

バスは、その昔、前輪駆動のエンジンが前についたボンネットバスが流行っていたが、乗客を乗せるスペースを多くとるために、エンジンを後ろに移動させたバスとなった。後輪駆動は雪道に弱い、エンジンを後ろにあるので、重心が後ろ ($s=0.4$) に移動した。図5によると、 $s=0.4$ では (10[前後]) 輪駆動のほうが雪道に強いのである。そのために、現在バスは (10) 輪駆動である。

<レーシングカーについて>

レーシングカーは大きな加速度を得ることが必要である。どのような性質の車がレーシングカーに向いているか考えてみよう。

大きな加速度を得るためには質量が小さいほど良いので、重量が大きくなりやすい4輪駆動車は不適となる。水平面で加速するので、 $\theta=0$ と置くことにする。

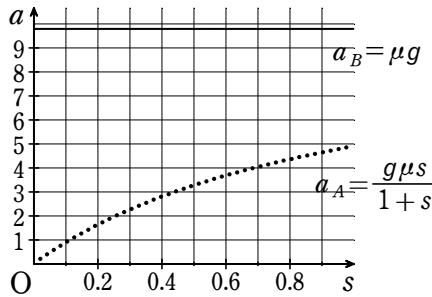
$\theta=0$ として、前輪駆動車と後輪駆動車の最大加速度を計算しなおすと、

$$a_A = \frac{g\mu s}{1+h\mu} \quad a_B = \frac{g\mu(1-s)}{1-h\mu}$$

急加速すると、前輪が浮くので前輪が浮きギリギリの状態が最大加速度である。(iv)で $N_A=0$ の条件を加えると、後輪駆動車で $h\mu = (11[s])$ となる。これを代入すると、

$$a_A = \frac{g\mu s}{1+s} \quad a_B = \frac{g\mu(1-s)}{1-s} = \mu g$$

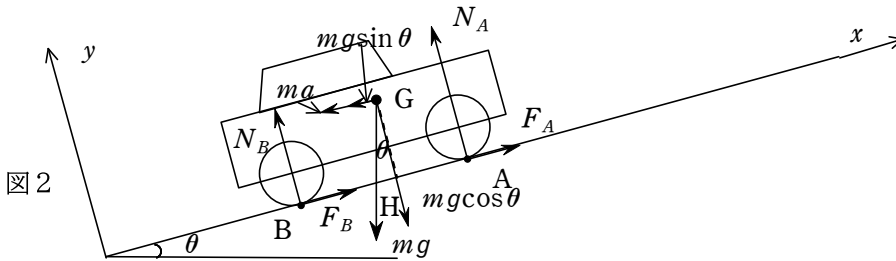
図6



サーキットなので $\mu=1$ としてグラフにすると、図6のようになる。重心の位置に関係なく後輪駆動車のほうが大きな加速度を得ることができる。 $s=0.6$ の場合、前輪駆動車では最大加速度が (12[数値]) m/s^2 程度が限度であるが、後輪駆動車は (13[数値]) m/s^2 ほども出せる。

G041前輪駆動と後輪駆動の比較

解説



- ① y 方向のつり合いの式なので、 $N_A + N_B = mg \cos \theta$
 よって、① = $mg \cos \theta$
 x 方向のつり合いの式は $\mu_A N_A + \mu_B N_B = (2[m, a, g \theta])$ (ii)
 回転中心をBとした回転のつり合いの式は
 (③[m, a, h, L]) + $N_A L + mghL \sin \theta = (4[m, g, s, L, \theta])$
- ② x 方向のつり合いの式は $\mu_A N_A + \mu_B N_B = G$ を作用点とする力
 よって、② = $ma + mg \sin \theta$
- ③ B を回転中心とした慣性力のモーメントなので、慣性力 ma と重心の高さ hL との積となる。よって、③ = $mahL$
- ④ 回転中心をBとした回転のつり合いの式は
 (③[m, a, h, L]) + $N_A L + mghL \sin \theta = (4[m, g, s, L, \theta])$
 のうち、 $mghL \sin \theta$ は重力の x 方向成分のモーメントなので、④は重力の y 方向のモーメントとなる。重力の y 方向成分は $mg \cos \theta$ でGの位置はBより x 方向に sL なので、モーメントは $mgsL \cos \theta$ となる。④ = $mgsL \cos \theta$
- ⑤ 図3のP点が該当の自動車であるが、P点は通常道路では $s < \frac{1+0.80h}{2}$ となり、後輪駆動車のほうが有利な状況にあるが、雪道では、 $s > \frac{1+0.17h}{2}$ であり、前輪駆動車のほうが有利な領域にある。よって、⑤ = 前
- ⑥ $h\mu - s > 0$ において、 $s < h\mu$ となる。 $h = 0.4$ 、 $\mu = 0.8$ を代入すると、 $h\mu = 0.32$
 よって、⑥ = 0.32
- ⑦ $\tan \theta$ は前輪駆動車 $\frac{\mu s}{1 + h\mu}$ 、後輪駆動者 $\frac{\mu(1-s)}{1 - h\mu}$
 であり、図4における登坂できる最大角度を読みとると、 $s = 0.6$ における値は前輪駆動車で $\theta = 20^\circ$ 、後輪駆動車で $\theta = 25^\circ$ であるので、後輪駆動車のほうが急坂を登れる。
 よって、⑦ = 後
- ⑧ 図5で図4と同じようにグラフの値を読み取ると、前輪駆動車が 5.5° 、後輪駆動車が 4° となっており、前輪駆動車のほうが急坂を登れる。よって、⑧ = 前
- ⑨ 図3におけるQの位置では通常道路・雪道共にグラフ下にあるので後輪駆動車のほうが走りやすい。よって、⑧ = 後
- ⑩ バスはエンジンが後ろにあるので重心の位置が後ろに下がり $s = 0.4$ 程度となる。

G041前輪駆動と後輪駆動の比較

図3において $s = 0.4$ の位置では、通常道路・雪道共にグラフ下にあるので後輪駆動車のほうが走りやすい。よって、⑨=後

$$\textcircled{11} \quad N_A = \frac{mg(h\mu_B - s)\cos\theta}{1 + h(\mu_A - \mu_B)} \quad \text{において、} \quad N_A = 0 \text{ とおくと、} \quad h\mu_B - s = 0 \text{ となる。後輪}$$

駆動車の場合 $\mu_B = \mu$ なので、 $h\mu = s$ となる。よって、⑩= s

⑫ 図6の前輪駆動車の $s = 0.4$ のグラフを見ると $a = 3.8$ なので、⑫=3.8

⑬ 図6の後輪駆動車の $s = 0.4$ のグラフを見ると $a = 9.8$ なので、⑬=9.8