

1.1 運動の特徴と メカニズム

運動の基礎と四輪車との違い



二輪車の運動って、どんな特徴があるの？

二輪車の運動の特徴

二輪車は四輪車に比べコンパクトで小回りがきく、機動性の高い乗り物です。そのため、今日においても新聞や郵便、食品などの配達に多く用いられているとともに、パーソナルな移動手段として使われています。利便性の高い二輪車ですが、上図に示すように、そ

の操縦や運動は四輪車に比べると特徴的です。低い速度ではフラフラして適切に操作しないと倒れてしまいます。しかし、速度を上げていくとまっすぐ走ります。曲がるときは車体を倒し込まなければならず、強くブレーキをかけると大きく前のめりになります。二輪車がおもしろい乗り物と感ずるのは、これらの特有の運動をライダーが自身の身体で操るという特徴があるからではないでしょうか。

これらの特徴的な二輪車の運動について、これまでにさまざまな学術的研究が行われており、すべての現象が解かれているわけではありませんが、基本的な運動性能は明らかにされています。

二輪車の運動性能を工学的に理解することができれば、感覚的にはわかっていることを理論的に論じることができ、もっと安全に二輪車を楽しむことができます。そこで、本書を通して、二輪車の運動の基礎を楽しく学んでいきましょう。

着目する運動

一般的に車両の運動は、「走る」「止まる」「曲がる」の三つの要素に分けて考えることができます。ここでは、特に「曲がる」について勉強していきます。

工学的に「曲がる」というのはどういうことかを説明します。図 1-1 は、二輪車を上空から見た図になります。二輪車が一定の速度で走っているとします。まず考えなければならないのは、進行方向に対して進路を

変えることで、図 1-1A に示すように横に移動することです。これを「横運動」といいます。しかし、二輪車で「曲がる」ことを想像した場合、この図に違和感を覚える方が多いかと思います。車体が進行方向に対して、平行に横移動しているからです。図 1-1C に示すように、横に移動すると同時に車体の向きを変える動きが加わります。これを「ヨー運動」や「ヨーイング」といいます。車両が「曲がる」とは、横運動とヨー運動を足し合わせることで表現できたことになります。

ここまでの説明は、実は四輪車の「曲がる」でも同じ話です。では、二輪車ならではの「曲がる」とは一体どこにあるのでしょうか。一つ目のポイントは、ハンドルの動きです。ハンドルを切る動作を操舵といいます。四輪車では曲がりたい方向に操舵するのに対し、二輪車ではその操舵に加え、ハンドルが自然に切れるという特徴をもっているからです。

二輪車の「曲がる」を上空から見た平面で考える場合、横運動、ヨー運動に加え、操舵も合わせて考えていかなければなりません。

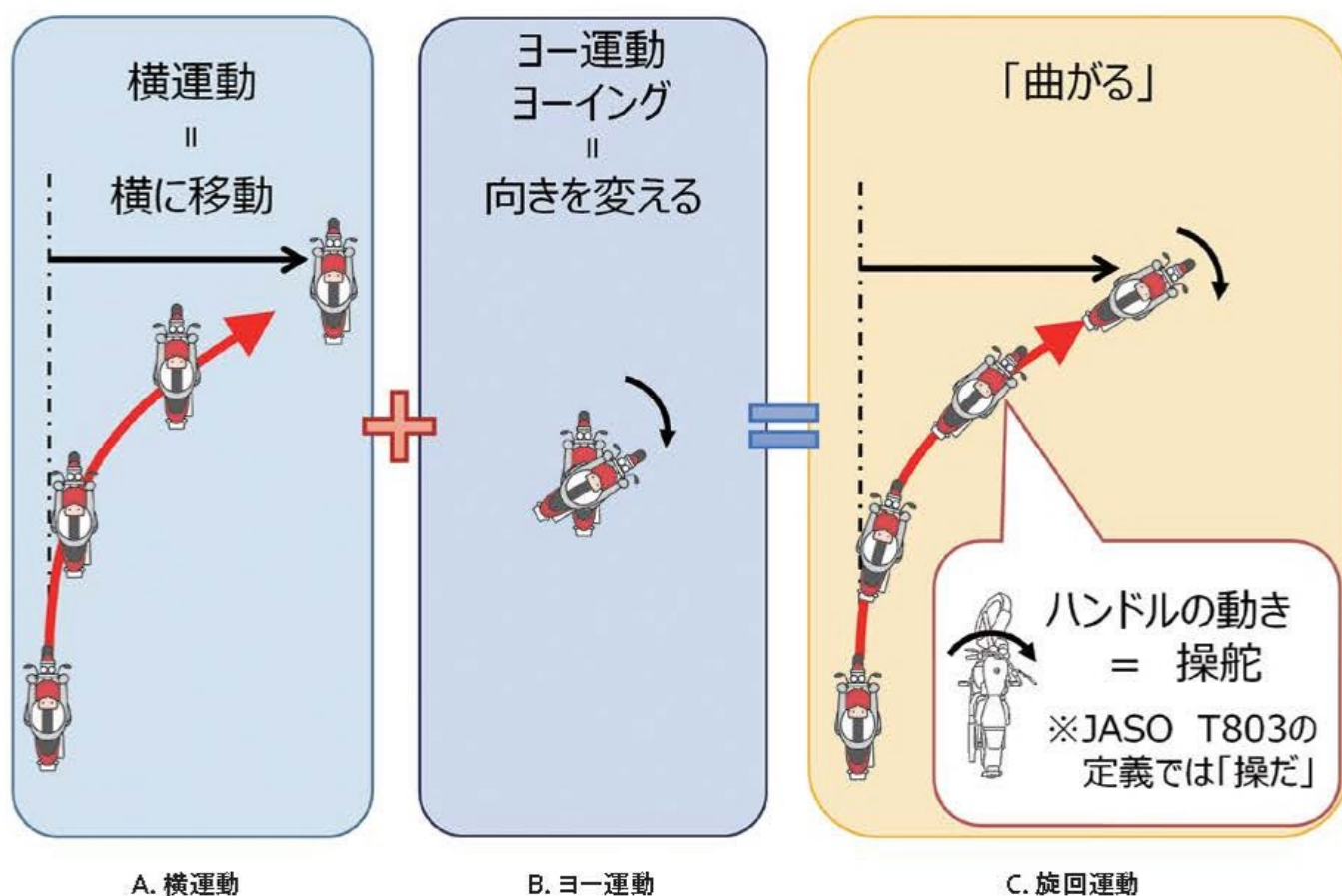


図 1-1 着目する運動

2.2 タイヤの力学

タイヤの仕事と
そのメカニズム



グリップって何？！

皆さんは、タイヤの性能について書かれた雑誌やインターネットの記事などで、「タイヤのグリップがいい」「タイヤのグリップ力が高い」という表現を見たり聞いたりしたことはありませんか？ 実は、グリップという言葉に学術的な定義はありません。一般的には、タイヤが路面をつかむ状態のことをいい、グリップ力とはタイヤと路面の間に生じる摩擦などによる力であるといわれています。では、ライダーは何を感じ取って「グリップがいい」「グリップが高い」と言っているのか、どのような現象を指しているのでしょうか。

ライダーが二輪車を操縦している中で感じ取れるものは、主にタイヤが発生する力とその力によって生じる車体挙動です。ですから、二輪車の運動特性やタイヤ性能を議論するには、タイヤが力を発生するメカニズムを知ることは必要不可欠です。

車両の方向を維持・転換するための力を発生するには、摩擦と弾性が必要と説明しました。タイヤを路面に押し付ける力を「接地荷重」といい、得られる摩擦力の大きさを決定する要素の一つです。この接地荷重がかかった状態で、タイヤを弾性変形させることで力が得られるのです。

では、タイヤが摩擦力と弾性で、どのように力を発生しているのか説明していきます。

接地面とは？

タイヤと路面は点で接触するのではなく、タイヤがたわんで変形するため、面で接触しています。この面を「接地面」といいます。接地荷重は接地面全体に分布しており、接地面の 1m^2 あたりにかかる力を「接地圧」といいます。摩擦力は接地面で発生しますから、その大きさや形状、接地圧分布も摩擦力を決める重要な要素となります。

タイヤ接地面の面積は、四輪車用ではタイヤ 1 本あたりハガキ 1 枚程度、二輪車用では名刺 1 枚程度と言われています。実際の接地面は図 2-14 に示す圧力分布計測装置で測定することができ、二輪車用タイヤを測定すると図 2-15 のような圧力分布図が得られます。これをフットプリントといいます。なお、面積は $0.003 \sim 0.005\text{m}^2$ と、実際に名刺 1 枚程度であることが分ります。

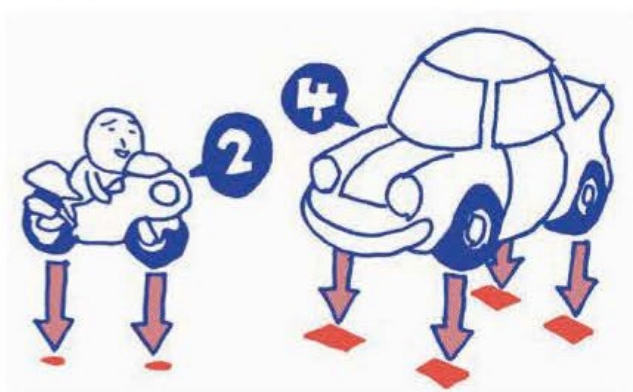


図 2-13 タイヤの接地面積

空気圧と接地荷重を変化させた測定結果から、まず、接地荷重を 1000N とした場合で、空気圧の違いについて見ていきます。空気圧 250kPa (適正な状態) に比べ 15kPa (低下した状態) では、接地面積は増加しています。しかし、 250kPa では接地面中央部の接地圧が上昇していますが、 150kPa では全体的に接地圧は低下しています。オフロード車などでは、低い空気圧が適正值に設定されています。これは、砂や土といった軟弱な不整地の上を、タイヤの接地圧を下げて、路面を崩さずに力を伝えるようにするためなのです。

次に、接地荷重を 1500N にした場合を見ていきます。それぞれタイヤの接地面積は大きくなります。 250kPa では接地圧が高い部分も増加していますが、 150kPa では接地荷重を増加させたにもかかわらず、接地圧が低下する部分が見られます。このように空気圧が適正でない場合、接地荷重に対して接地圧が上昇しない為、タイヤの力が路面に伝えられない場合があります。



図 2-14 タイヤ接地面の測定機器

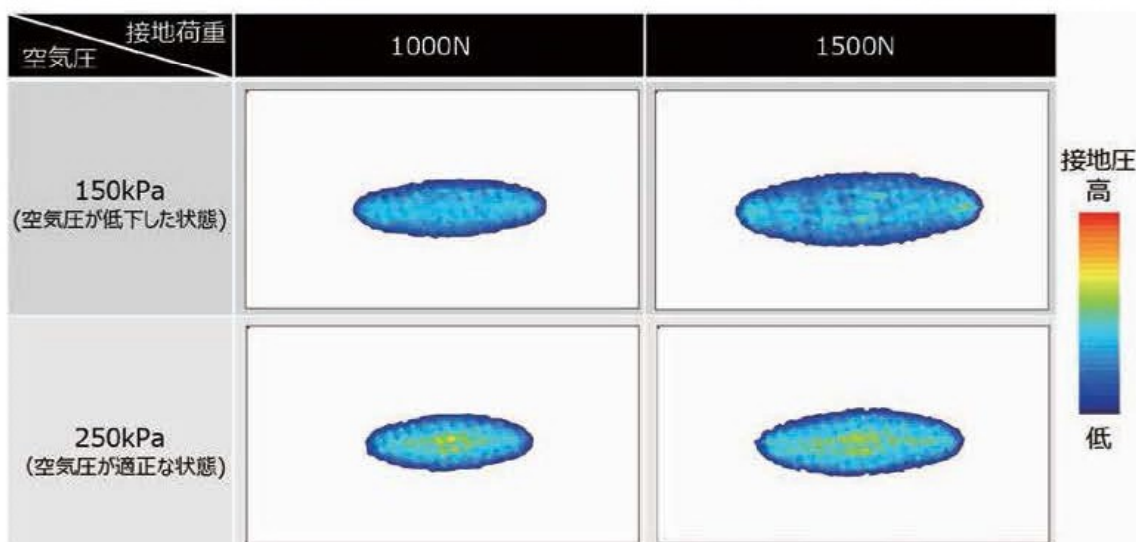
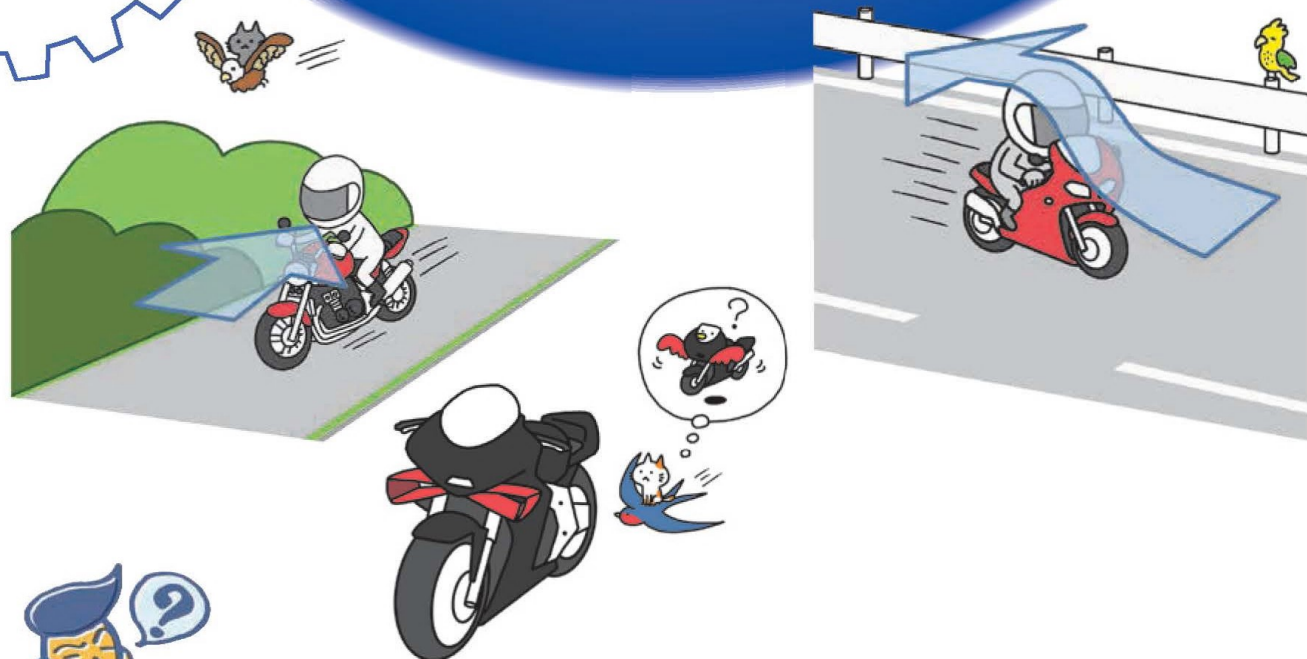


図 2-15 二輪車用タイヤのフットプリント
(タイヤサイズ:120/70-17, リムサイズ:3.50MT, 溝無し)

3.2 二輪車の 空力特性

二輪車に働く風の力と その特徴



二輪車の空力って？

二輪車にとっての空力

ライダーが風を感じて走ることは二輪車の一つの楽しさではないでしょうか。走り出せばライダーは身体に走行風を受けて後方に押されます。特に速度を上げていくと風による力は大きくなり、ライダーが乗車姿勢を維持するためには、下半身や腕などの筋力を使って支える必要があります。ですから、このような風による力は、高速での走行を長時間行う際にライダーの疲労を引き起こす一因となります。

そこで、高速で走行するスポーツモデルや長距離走行を主用途とするツーリングモデル等では、ライダーの

前方にフェアリング(カウリングともいわれる)やスクリーンなどを設けることで、ライダーの疲労を軽減させています。このとき、ライダーが受けていた走行風の力は、フェアリングなど車体が受けてくれることは容易に理解できると思います。走行する車体は主に前方から流れてくる空気の力を常に受けているのです。

扉絵下図に、2010年代中盤以降のレーシングマシンの一例を示します。フェアリングの前部にウイングレットがついていますが、これは車体が受ける空気の力を積極的に使い、車両の運動をコントロールしようという試みなのです。

ここでは、二輪車の運動性能に影響を及ぼす、走行中の空気の力について考えていきましょう。

空力6分力とは？

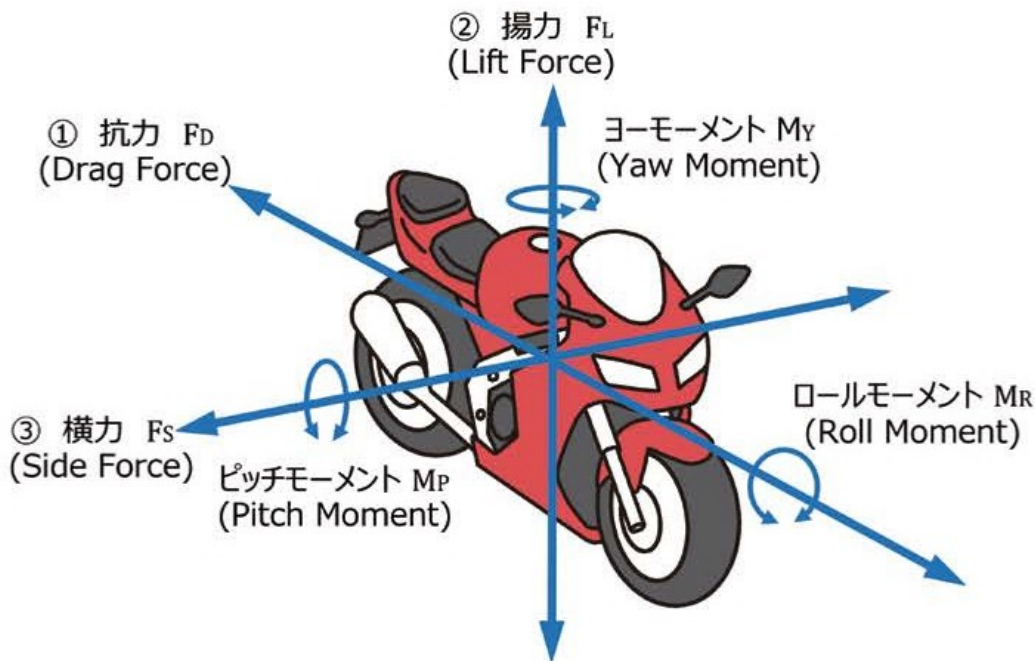
空気は、私たちの周りに当たり前のよう存在しており、普段あまり意識することはないと思います。しかし、強い風の中で傘をさしている状況を思い浮かべてください。風向きによって、手に持った傘が正面から押されたり、横にふられたり、または飛ばされそうになったりするなど、空気による大きな力を体感したことがあるでしょう。

走行中の二輪車とライダーは常に強い風にさらされながら走行していますから、風向きによって、車体やライダーに対してさまざまな方向の力が発生します。では、この空気による力が運動に及ぼす影響はどのように考えればよいのでしょうか。

二輪車に働く空気の力を考える場合、車体を中心とした3つの軸に力を分解して考えます。図3-12のように、①二輪車の進行方向に加わる力(抗力)、②二輪車の上下方向に加わる力(揚力)、③二輪車の側面に加わる力(横力)の3方向の力と、それぞれの軸廻りに発生する回転力であるモーメントで表されます。これらをまとめて空力6分力といいます。

6分力は下に示した数式で示されます。それぞれの式の係数Cは、車体の形などにより決まる値です。風向きによって変化し、風洞実験などから求められます。この空力6分力や各係数の値で空力特性の評価が行えるとともに、これらの項を運動方程式などに加えることにより運動性能への影響が検証できます。

それではこれらの力が二輪車の性能に与える影響について説明していきましょう。



※各軸廻りのモーメントは、それぞれ、ローリングモーメント、ピッチングモーメント、ヨーイングモーメントとも記述されます。

$$F_D = \frac{1}{2} \rho v^2 C_D A$$

$$F_L = \frac{1}{2} \rho v^2 C_L A$$

$$F_S = \frac{1}{2} \rho v^2 C_S A$$

$$M_R = \frac{1}{2} \rho v^2 C_{RM} A \cdot WB$$

$$M_P = \frac{1}{2} \rho v^2 C_{PM} A \cdot WB$$

$$M_Y = \frac{1}{2} \rho v^2 C_{YM} A \cdot WB$$

ρ : 空気密度(kg/m³) v : 車速(m/s) A : 前面投影面積(m²) C_D : 空気抵抗係数 C_L : 揚力係数 C_S : 横力係数

WB : ホイルベース(m) C_{RM} : ロールモーメント係数 C_{PM} : ピッチモーメント係数 C_{YM} : ヨーモーメント係数

図 3-12 二輪車に働く空気力