

第1章 力と運動

いろいろな自然現象のなかで最も身近なものは、力によって起こる現象である。日常生活のなかに、あるいは作業のなかに力に関係しているものは多い。

力について考えないで機械を取り扱うことはできない。私たちが機械を取り扱うのに、力について正しい知識をもち、力学の法則を理解することは作業能率の上からも、安全の上からも大切なことである。

ポイント

- (1) 力の図示法、力の合成分解および力のつりあいなどについて理解する。
- (2) 物体の運動における速度、加速度の関係そして力と運動についての基礎的な法則を学ぶ。

われわれが地球上で生活できるのは地球の引力のはたらきであり、地面の反力があるからである。また静止している物体を動かしたり、運動している物を停止させるのも力のはたらきであり、棒を曲げる、ばねを伸ばすなどもすべて力のはたらきである。



このように人間と力とは密接な結びつきがあるにもかかわらず、真に力の本質が理解され、力と運動の関係が実証されたのは17世紀の後半である。それは力そのものが目で見て確かめることができないところに原因していたのである。

しかし、力がはたらいたために起こる現象、たとえば物体に力がはたらいたために生じた運動の状態は観察できるから、その結果からそのときはたらいた力の大きさ、方向などを知ることができる。

このような観察・実験をつみかさね、法則としてまとめ、体系づけたのが力学である。機械は外部から力を与えられて動き、外部に力をはたらかせて有用なはたらきをするものである。したがって、機械に関するいろいろな事柄を学ぶには力の作用について十分知っておかなくてはならない。力学では力を受けている物

体のつりあい、物体の運動、力と運動との関係、運動を妨げる摩擦、仕事と動力などを学ぶ。

この章で取り扱う物体はすべて**剛体**である。剛体とは力を受けても伸び縮み(変形)しない物体のことである。したがって、剛体に力が作用しても変形は起こさないから、運動の変化だけが起こる。物体が力によって変形する場合については、第2章材料の強さで学習する。

1. 力の三要素

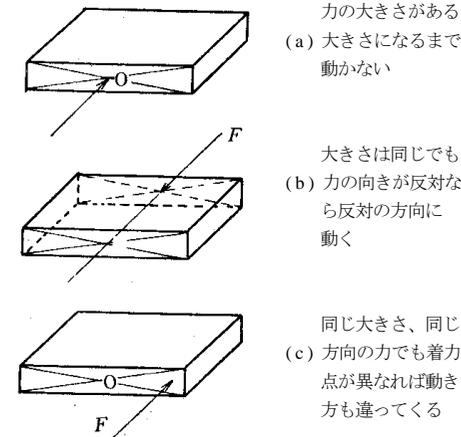


図1-1 力の三要素

物体に外部から力がはたらいている場合、その力の大きさによって、その物体に与える効果が異なってくる。たとえば、図1-1(a)で机の上に置かれた物体の点Oに力Fが水平に矢印の向きにはたらくとする。力Fがある大きくなるまでは物体は動かないが、ある大きさ以上になると力と同じ向きに動き始める。さらに力を大きくすると動く速さは大きくなる。しかし同じ大きさの力でも同図(b)のよ

うに反対の向きにはたらくときは、物体の動く向きも反対になる。

また、同じ大きさ、同じ向きの力でも力のはたらく場所(着力点という)によって運動の様子が変わってくる。たとえば同図(c)のように、着力点が物体の右端であれば物体はすべりながら回転する。

以上のことから力の効果を表すためには、**力の大きさ、方向、着力点**の三つをはっきりさせなければならない。これを**力の三要素**という。

2. 力の単位

力の大きさを表すのに、感覚的に筋肉が感じる強さの度合、運動の変化の大小

だけでは正確とは言えない。感覚は人によって異なるし、同じ人でもそのときそのときで感じ方は違ってくるであろう。そこで、力の大きさを表す基準となる力の単位をきめる必要がある。

力を正しく理解するには、質量と力の違いを理解する必要がある。重さや重量という言葉があり、一般的には質量と力を区別せず、両方の意味を含んで使われることが多いが、これらは力であり、物体に作用する重力の大きさを表している。一方、質量は物体が持つ動きにくさの度合いのことである。60kgの質量をもつ人は、地球上でも月面上でも無重力空間でも60kgの質量をもっており、不変である。それに対して、重量は場所によって変化する。たとえば、60kgの質量をもつ人は、地球上では地球の重力により60kgfの力を受ける。質量の単位「kg」と区別するため、その後ろに「f」をつけ、「kgf (kilogram-force)」という力の単位を使用する。キログラム重、または、重量キログラムと読む。「kgw (kilogram-weight)」を使用することもある。月の重力は地球の1/6であるため、60kgの質量をもつ人は、月面上では10kgfの重力を月から受ける。つまり月面上では、60kgという質量は変わらないが、重量は10kgfとなる。これが無重力状態では、重量は0kgfとなる。

このように、質量と重量は異なる量であり、質量と力はきちんと区別する必要がある。質量 m と力 F は、ニュートンの運動の第2法則にしたがって、

$$F = ma \quad (1-1)$$

という関係を持つ。 a は、加速度(単位時間当たりの速度の増加量)である。質量1kgの物質を 1m/s^2 で加速するときの力が、 $1\text{kg} \cdot \text{m/s}^2 = 1\text{N}$ (ニュートン)の力である。ニュートンの運動方程式で使われる質量は、慣性質量と呼ばれる。

万有引力を引き起こす質量は重力質量と呼ばれる。慣性質量と重力質量の定義は違うが、その2つは同一である(等価の原理)。物体に作用する重力は、その場所での重力加速度により、 $F = mg$ となり、地球の重力加速度は場所によっても異なるが約 9.8m/s^2 である。質量1kgの物体は、地球上では1kgfの重力を受けるが、 $F = mg$ と $g = 9.8\text{m/s}^2$ を使い重力を計算すると、 $F = mg = 1\text{kg} \cdot 9.8\text{m/s}^2 = 9.8\text{N}$ となる。1kgf = 9.8Nであり、両辺を9.8で割ると $0.102\text{kgf} \approx 1\text{N}$ 、つまり $1\text{N} \approx 102\text{gf}$ となる。1Nという力は、地球上で102gの質量のものを持ち上げるときに必要な力である。

1Nという力を日常的な体験と結びつけることで、力の大きさを理解することができる。単1乾電池は1個約100g、単3乾電池は1個約25gである。単1乾電池1個、単3乾電池なら4個を持ち上げるために必要な力が1Nである。スマートホン

160g~180gであり、1個持ち上げるためには1.6~1.8Nの力が必要である。500mLのペットボトルは約500g、1Lの牛乳パックは約1kgの質量をもつ。10Nは500mLのペットボトル2本または、1Lの牛乳パックを持ち上げるのに必要な力である。

体積 1m^3 の水の質量は $1000\text{kg} = 1\text{t}$ (トン)である。トンは質量の単位である。力を表すときは、「tf(トン・フォース)」とする。 $1\text{tf} = 1000\text{kgf} = 9.8\text{kN} \approx 10\text{kN}$ であり、 $1000\text{tf} \approx 10\text{MN}$ である。

例題 1-1

図1-2において、質量1kgの物体をつるしたとき、ばねばかりの目盛が2であった。質量2kgの物体をつると目盛はいくらをさすか。またこのばねばかりを同じ目盛まで引っ張るにはいくらの力が必要か。

解答 ばねばかりのばねは物体目盛が受ける重力に正確に比例して伸びるから、質量が2kgのときは、質量が1kgのときの2倍、4のところまで伸びる。

また重力加速度が 9.8m/s^2 であるから質量2kgの物体にはたらく重力は19.6Nである。したがって、ばねは19.6Nの力で引っ張られたことになる。(答 目盛は4、力は19.6N)

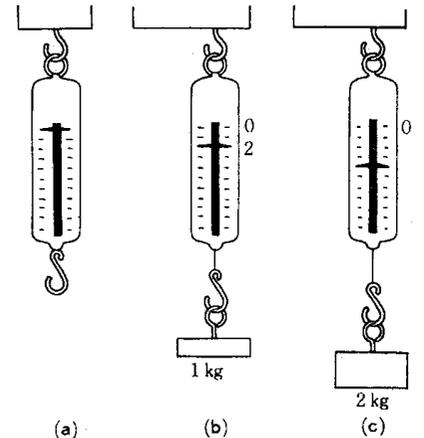
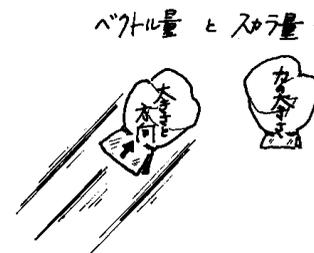


図1-2 物体の質量と力

3. 力の図示

力を正確に表すには、力の三要素を同時に示す必要があるから、語句で表すより、図示の方が便利である。図1-3は力の図示の1例で点Aは着力点を、線分ABの長さは、縮尺(たとえば図のように1Nの大きさを1cmで表す)を用いて表した力の大きさを、そして力のはたらく方向と向きは、線分ABを含む直線PQ(作用線という)と矢印で示す。



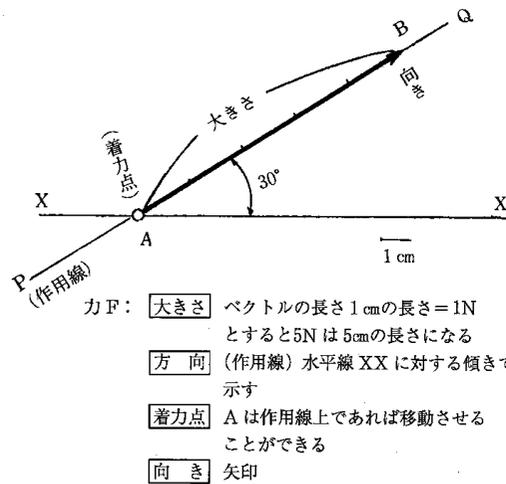


図1-3 力の図示法

ベクトル量を文字で表すには、たとえば図1-3の場合、ベクトル \vec{AB} で表される力の大きさを $AB=5N$ と書き、矢印をつけてベクトル量であることを明らかにする。

例題 1-2 図1-3の \vec{AB} と反対方向で3Nの力を図示せよ。

解答 水平線XXを引き、XX上に任意の点Aをとり、Aを通り、XXと30°をなす直線PAQを作る。図1-3では1Nを仮に1cmの長さで表してあるから、AP上にAC=3cmにとり、Cに図1-4のような矢印をつければよい。

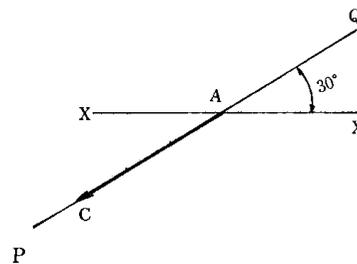


図1-4 例題1-2

4. 力のモーメント

スパナでナットを回してボルトを締める、ウインチのハンドルを回してロープを巻胴に巻きつけるなど、日常の作業に「力を加えて物体を回す」動作はよく経

験上で、着点Aは、作用線PQ上ならどこに移しても、力の効果には変わらないことがわかっている。これを**着点移動の定理**という。

力のように大きさだけでなく、その方向と向きもあわせて考えなくてはならない量を**ベクトル量**といい、長さ、面積、体積のように大きさだけを示せばよい量を**スカラー量**という。

ベクトル量を文字で表す

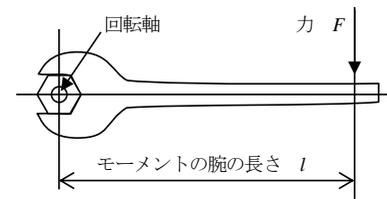


図1-5 力のモーメント

験することである。このような力のはたらきを**力のモーメント**または単に**モーメント**という。ボルトを締めるとき、スパナの柄の長いものを使えば、小さな力で締めることができる。なぜならばモーメントの効果は、作用線と回転軸との距離(これをモーメントの腕という)と加える力の大きさの積として

表されるからである(図1-5)。したがって、大きなモーメントを得るためには、加える力を大きくするか、腕を長くすればよい。大きなボルトを締めるのに、よくスパナの柄に長いパイプをさしこんで使うことがあるが、これは腕を長くすることによって、モーメントを大きくしようとするものである。

普通、人の腕力は100~150N、足で踏む力は500Nといわれている。自動車のタイヤを交換するとき、足を使ってボルトを締めるのもモーメントを大きくして、固く締めるためである。

次に、この関係を式で表すと、
 $[\text{モーメント}(M)]^{\text{注1}} = [\text{モーメントの腕の長さ}(l)] \times [\text{加える力}(F)]$
 すなわち、

$$M=l \times F \tag{1-2}$$

力の単位をN、腕の長さの単位をmとすれば、モーメントの単位は $N \cdot m^{\text{注2}}$ となる。

モーメントはその回転軸の位置と力の着点、向きとの関係で物体を回転させる方向が変わるから、正負の符号をつけて区別する。普通、時計の針と反対方向の回転(左回り)を正、時計の針と同じ方向の回転(右回り)を負と

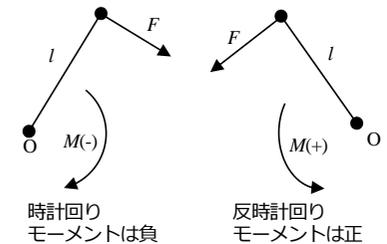


図1-6 モーメントの符号

^{注1} モーメントの記号にはM、トルクというときはTの記号を用いることが多い。
^{注2} モーメントの単位と仕事・エネルギーの単位とを混同しないよう注意されたい。モーメントには[N・m]、仕事・エネルギーにはジュール[J]を用いる。