▷基礎講座◁ 「自転車の知識と技術」〈1〉

小崎信夫

まえがき

一般の人に自転車のことを聞くと，大方の場合ただなんとなく簡単なもの，安いもの（安くて当たり前）との返事がはね返ってくることが多い。高い安いは別として，果たして自転車は簡単な乗り物であろうか。確かに自転車は自動車や他の乗り物に比べて，幼児から年寄りまで簡単に乗れる乗り物ではあるが，簡単に乗れるということは，簡単に造れることを指しているのではない。自転車の場合，自転車に詳しいと思われる学者，技術者たちはむずかしいといい，自転車の技術や知識についてあまり関係のない人ほど，自転車は簡単だと決めてかかる傾向がある。確かに乗り手にとって自転車は非常に取っ付きやすい乗り物であろうが，これが自転車を造るのに手間がかからず，簡単で安価な乗り物であると考えるのは当たらない。一般に機械的ないわゆるメカニックな商品では，取扱いが簡単なものは製作も容易で，比較的単純なものとして受け取られることが多く，これがイコール安価でなければならない理由の一つにもなっているようである。

ところが，実際の自転車の各部をまた表面に表われない寸法，諸元と機能，品質，材料面から追求したとき，果たして簡単だといい切れるであろうか。科学の進歩によって無人のロケットが，月だけにとどまらず，火星までコンピュータの操縦で飛んでいく時代に，いまだに自転車がコンピュータでは走らすことができないと，ある先生の話にもあったが，自転車の持つ要素には非常にむずかしく理論的にも究明されていないものが多くある。

ところで，今までにも沢山の書籍や雑誌が発行されてきているが，専門家であるべき人が読まず，むしろ若い愛好者の方がよく読み，知識を持っている場合が少なくない。本講では，カタログや説明書に載っている事柄で，知っているつもりでもあまり深く突っ込んで考えてみなかった，また簡単に見落としていたような基本的なものを重点的に取り上げることによって，専門書や説明書を読むときの一助にしたいと思う。

1　人間と自転車

ひとくちに人類と動物の違いといってもそう簡単に答えられるものではないが，特に重要なもの，また比較的考え付きやすいものに直立性がある。わかりやすくいえば，常に二本足で立ったり歩行することである。他の動物と違ってどうして二本足で立つようになったかは，専門の学者，先生方に任せるとして，二本足で直立することができるようになった結果，他の動物に比べて手が自由に使えるようになり，それがいろいろな武器や道具を作り出していくとともに，脳の発達に伴ってますます複雑な動きができるようになった。もちろん，直立することが脳の発達に大きな影響を与えたことはよく知られている。

以前バイコロジーブームのときに，自転車は一番人間的な，いいかえれば人間にとって一番ふさわしい乗り物だと宣伝されたことがあるが，どこが，何が一番ふさわしいのか。むずかしい議論は別にして，この細い車輪を縦に一列に並べた横に

注）筆者はマエダ工業株式会社開発部長

倒れやすい自転車に，人間以外で乗れるのにどのような動物があるか。サーカスなどを思い出すとわかるが，猿を筆頭に熊などがあげられる。

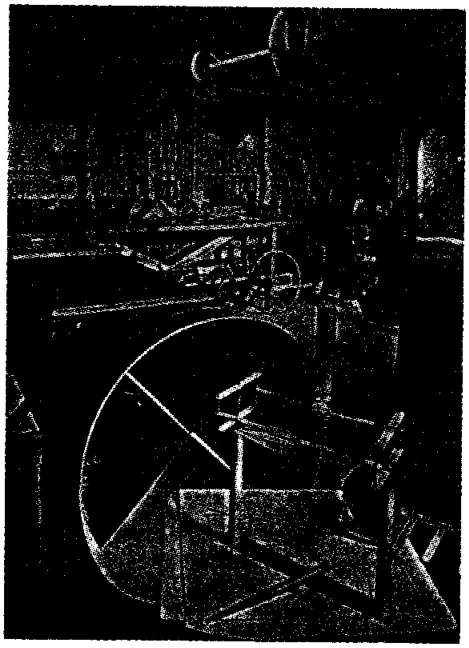
それらの共通した条件を考えると，どちらも後肢（し）だけで立って歩くことができるだけでなく，前肢（手）が他の動物に比べて非常に器用に動く点にある。これらを総合すると，自転車は人間の一番基本的な特性を生かして発明された乗り物といって差し支えないのではなかろうか。もし人間が他の動物と同じように四本足で駆け回っていたとしたら，恐らく三輪車か四輪車に見られるごとく，それほど平衡感覚の要求されない乗り物しか発明できなかったとも思える。

日本では一般の科学書や技術書に，自転車が参考資料として引合いに出されることは少ないが，欧米のそれらには比較的多く散見できるし，なかには直接関係がないのに，好んで自転車を引例として掲載しているのを見ることがある。

最近は中国をはじめ世界の各地で大きな地震がひん発しており，わが国は絶えずどこかがその危険にさらされているといっても過言ではない。

「天災は忘れたころにやってくる。」とはかなりいい古された言葉であるが，この非常災害に備えて日常から非常の際に，すぐに大事なものが持ち出せるように整理しておかなければならない。緊急のときの備品として食糧，医薬品，貴金属，現金などいろいろあげられるが，イギリスではその非常の際の備品に自転車が入っていることである。停電すれば電車を始め主な乗り物は止まってしまうし，自動車は道路の雑踏で走れないし，もちろん燃料がなければどうにもならない。そこで，人間の力で最も速く簡便に走れる自転車が，非常時において一番確実な乗り物として取り上げられたと解釈するとともに，やはりこの道では先進国と自負するだけのことはあると感心した次第である。また，同じイギリスで現在に至るまでの発明品のランキングを作って発表されたことがあるが，第1位がカメラで自転車は第4位にランクされており，自動車は20位以下であったように覚えている。また，アメリカでは飛行機を語るときに忘れてならない人々として有名なライト兄弟がある。1903年世界最初の有人動力飛行機がノースカロライナ州キティホークで初飛行をした話はほとんどの人が知っている。また，かれらは単に飛行機を飛ばすのに成功しただけでなく，航空力学を一つの科学的な大系にまとめた優れた科学者であったが，飛行機造りの前は自転車の製造を職業としていたことは案外知らない人が多い。したがって，ライト兄弟の造った飛行機や，いろいろな

第1図　実験用の自転車
模型翼の性能を評価し観察するため，ライト兄弟は自転車にわん曲した板(右)と平らな向かい合わせに固定した実験装置を用い，平らな板(左)の既知の揚力に比較して，わん曲板(右)の未知の揚力を知った。（ライフサイエンスライブラリー「飛行の話」S. 42-8-23発行）



第2図

実験を行った設備の中には沢山の自転車部品が顔を出している。二つのプロペラを回わすのに自転車のギヤやチェーンが使用されたと文献に記されている。

飛行機との関連を見ると，他の例としては飛行機の離着陸を可能にしたあの大きなふんわりと膨らませたソフトタイヤを発明した，マッセルマン(アメリカ)も自転車店をしていたことがあって，そのときにコースタブレーキの発明をしたことを知る人は非常に少ない。近いところでは，人力飛行機（人間を動力源にしてプロペラを回転させ，人力だけで空中を飛んでいる飛行機）にも多くの自転車部品が使用されているのは，自転車の部品がいかに軽くて丈夫であるかの証拠とも受け取ることができる。今，飛行機を例に自転車と他の乗り物や技術の関連をあげたが，その他についても多くのつながりがあり，手近なものの例については，項を改めて説明する。

2 自転車と機械

ひとくちに機械といえば，旋盤とかプレスのような生産加工を受け持つ金属の塊を思い浮かべる人もあれば，時計のような歯車の沢山組み合わされた構造とか，重いものをつり下げるクレーンの動きを，また，主な動力源となっているエンジンやタービンを考える人など，それぞれ各人各様に装置や構造物を頭の中に描くであろうが，機械といわれて自転車を思い浮かべる人は，業界人の中でも比較的少ないのではないかと思われる。人間と動物の大きな違いに，動物と比べて特に発達した脳と複雑な動きや作業を行うことのできる手を持つことにあるとされているが，この発達した脳と手によって多くの道具（工具）を造り出した，私たちの周囲を眺めてみても，ものを切るための刃物やのこぎり，たたくためのつちや棒とか，やり，針，きりなどの突きさす道具など，あげていくと際限のないほどの様々な道具があり，また，これらの道具を造るだけではなく，器用に使いこなしてきた。

道具がさらに進歩すると，これらをいろいろと組み合わせて初期の原理的な機械を産み出した。

この簡単な機械と道具や，機械と機械の組み合わせによってさらに複雑なむずかしい機械が段々できてきている。今日では人間のために作られた機械が，人工頭脳，電子計算機のように，逆に人間が使われていると思われる時代にさしかかっている。コンピュータによって人間が診断や判定されるのもその一例になるが，いまだに人間に意のままに使われる域にある自転車こそ，ある一面から見た場合，人間的な乗り物といえるのではなかろうか。この最も乗り手に忠実な乗り物としての機械に対し，作用部分や運動部分の機構，作動について分解し，一から基礎を復習することによってばく然とした知識が明らかとなり，自後の理解の手助けになるようあえて単一機械をここで取り上げてみた。

機械とか装置とか呼ばれるものの大部分は，前述のように道具と機械からできている。道具や工具はほとんどは手で使用される用具という意味に解釈するのが比較的便利であるが，「機械」となるとまことにつかみどころがなく，これといった定義がなかなか見当たらない。ある古い本にはフランス，ドイツ，イタリアなどの学者がつくった定義が15種類もあげてある。しかし，ひとつとして同じものがないが，それらのうち代表的な例を幾つかあげてみよう。

ウイリス(1800～1875 イギリス)の言によると，

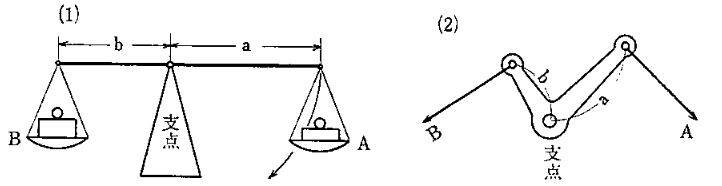
「機械といわれるものは，いろいろな方法で連結された一連の部分からできていることがわかる。それで，もし一部分を動かすと，その部分全体がその運動を受け止めるようになっており，この部分全体の運動と，初めの部分との関係は，連結の性質いかんによって調整されるようになっている。」

また，フランツルーロー(ドイツ，フランス)は，

「機械とは抵抗をもつ物体の組合せで，この抵抗ある物体によって自然界の提供する各種の力学的力に一定の決まった運動を伴うように仕事を強制することのできる配置をもったものである。」と記され，我が国では，次の3条件を備えているものを工学上機械と呼んでいる。(小学館，日本百科大事典より)

(1) 抵抗力をもった物体（主として金属製）の組合せであること。外力が加わった場合，それに抗して変形しにくい物体の組合せからつくられていなければならない。

(2) これらの物体は相互に相対運動をし，しかも，それがいつまでも決まった運動であるこ



第3図

と。でたらめな運動をしてはならない。

(3) 与えられたエネルギを有効な機械的仕事にかえるものであること。のこぎりとかつちのようなものは，相対運動をしない。したがって，機械とはいわず道具と呼ぶ。また，計測器類は，知能的官能の補助手段と考えられ直接有用な機械的仕事はしないので，これらは機械と区別して，器械または器具と呼んでいる。ボイラも構成部分の相互運動はないので，これも機械とはいわれないわけであるが，現在では機械の部類に入っている。

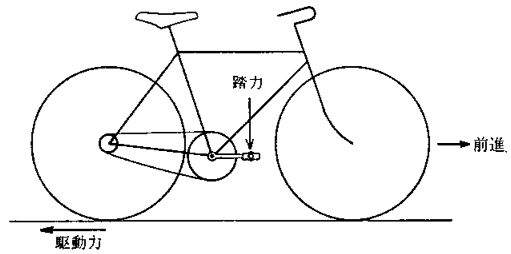
こう述べてくると，機械とは非常に複雑でむずかしいものと受け取られるかも知れない。形のあるものを言葉や文字で表現しようとすると難解であるが，その機械というものを実際に前に置いて，その基本になる事柄によって話を進めていくと，それほどむずかしいものではない。種類の多いまた複雑な機械でも，その要素をひっぱり出してみると，キリストと同時代にギリシャの天才発明家と称された，アレクサンドリアのヘロンのいった，「一定の力によって一定の重量の物を動かすことのできる五つの機械(単一機械ともいう。)」をもとにしている。

その五つとは，「てこ，くさび，車輪と車軸，ねじ，滑車」があげられる。

与えられた力やエネルギが，上記の機械要素や，また機械要素の組合せによる機械装置を使うことによって，その力が何倍にも拡大されたり，重い荷物も楽に動かしたりすることができるのである。一般に機械などというとすぐむずかしいものと考える人が多いが，この機械の作用したり，働いたりする力や動きをよく調べてみると，一見無制限に動いているように見える機械でも，一定の法則や秩序に従って動いているものなのである。また，全然違った機構のものであっても，基本的には共通な要素をもった働きをするものもある。

3 てこ，モーメント，仕事の量

第3図は，物の重さを計るのに用いられているてんびんであるが，この左右のおもりがちょうどつりあっていたとした場合，支点からおもりをつっている位置までの距離aとbが同じであれば，左右のおもりA，Bも当然同じ重さになることは，だれしもよく知っていることであるが，これが第4図のように，ペダルに力をか



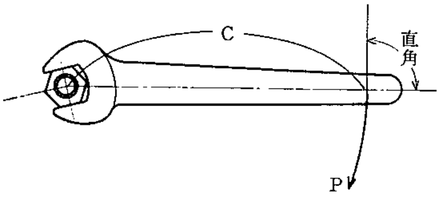
第4図

けた場合，自転車が前進しようとする力(駆動力)はどれくらいになるかと聞かれると，幾分あやしくなってくるのではないかと思われる。もちろん，クランクの長さ，前後ギヤの歯数，車輪の直径などの条件が与えられた上でのことであるが，この少しややっこしく見えるこの計算も，今ここで述べようとしているてこの原理をよく知っていれば，別にむずかしい問題ではない。

さて話を本題に戻そう。第3図で先に説明したことを式に直すと，つりあっているときにおいて，左右の距離 a＝b であれば，当然おもりの重量 A＝B になるが，この支点の片側の力を考えてみる。今，左側Bがなくて，右側の力Aだけが働いたとするとこのてんびんは，第3図の矢印の方向に，支点を中心として回転しようとする。この回転しようとする作用力は，力Aが大きいほど，また，支点からの力の掛かる位置（この力の掛かる点を一般に力点という。）までの距離aが長いほど大きくなる。このような作用力を力のモーメント，略してモーメントまたは回転能ともいう。

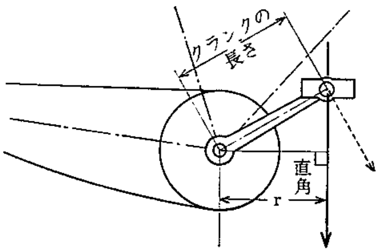
モーメントの大きさは，力Aと支点から力点までの距離bとの積A×aまたはB×bで表わす。

第5図はスパナでナットを締め付けようとしているが，ナットを締める力の大きさは，スパナが



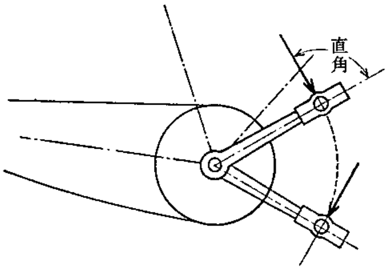
第5図

長いほどまたスパナを回そうとする力が長ければ長いほど，ナットを締める力は大きいといえる。このナットを締める力の大きさP×Cがモーメントの大きさでもあるわけである。しかし，第5図のように力の方向に対して垂直に計った距離でなければならない。したがって，第6図のよう



第6図

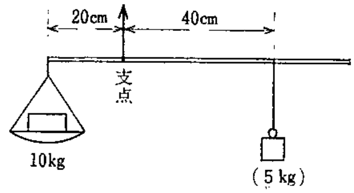
な場合，力点までの距離はクランクの長さではなく，それより短くなってrが正しい距離になるから，クランクに対して直角の方向に（点線の矢印方向，ペダルに荷重を掛けた方が効果的であるといえる。クランクが回転すると刻々クランクの位置，角度が変化していくが，クランクの角度に合わせ，常にクランクに対して直角の方向に力が掛かるように，足首を動かしてペダルを踏むのをアンクリングと呼んでいる（第7図)。



第7図

第3図において，左右両方がつりあっているのは，モーメントが同じであるからで，式にすると，A×a＝B×bとなる。

また，第3図の(2)のように，リンク（またはさお）が曲がった形式のものでも同様に，A×a＝



第8図

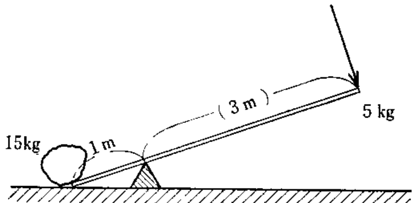
B×bは成立する。

第8図では，右側の力点までの距離が，2倍の40cmになっているので，つりあう重さは半分の5kgですむ。これを計算式で，

$$10\text{kg}\times 20\text{cm}\div 40\text{cm}=\frac{10\text{kg}\times 20\text{cm}}{40\text{cm}}=\frac{200\text{kg}\cdot\text{cm}}{40\text{cm}}$$
$$=5\text{ kg}$$

と表わすことができる。

ただしこの例題は，理解しやすくするために〝てこ〟自体の重さは入れてない。



第9図

次に第9図の問題であるが，15kgのおもりを5kgの力で持ち上げたいといっているのであるが，支点の位置から何m離れたところに，この5kgの力を加えたらよいかといっているのであるが，これも先の場合と同じように解くことができる。これを計算式にすると，

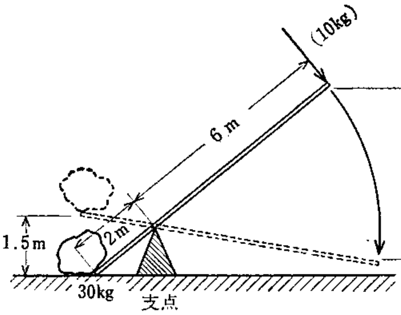
$$15\text{kg}\times 1\text{ m}\div 5\text{ kg}=\frac{15\text{kg}\times 1\text{ m}}{5\text{ kg}}=\frac{15\text{kg}\cdot\text{m}}{5\text{ kg}}$$
$$=3\text{ m}$$

であるから，3m以上離れたところに力を掛けると，この15kgのおもりを持ち上げることができる。

このように考えてくると，〝てこ〟を長くするとそれに比例して大きな力が出せるので，自転車のクランクもできるだけ長くすればよいではないかと考えられるかも知れない。確かに〝てこ〟を長くすれば大きな力が出るが，あまりこれを長くし過ぎると，別の問題が出てくる。

現に自転車のクランクの長さも，一般用では大体165㎜（6½インチ）～177㎜（7インチ）の間にあるのはなぜであろうか。

第10図の左側の30kgの石を持ち上げようとする



第10図

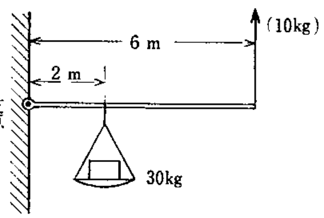
と，〝てこ〟にどれだけの力を加えればよいかという問題に対しては，第8図と同じように計算すると，

$$\frac{30\text{kg}\times 2\text{ m}}{6\text{ m}}=\frac{60\text{kg}\cdot\text{m}}{6\text{ m}}=10\text{kg}$$

となり，距離が3倍になると力は⅓ですむが，これを知っているだけでは十分ではない。

次にいろいろな〝てこ〟の使い方の例をいくつかあげてみよう。

第11図は〝てこ〟の一方の側に二つの力が働い



第11図

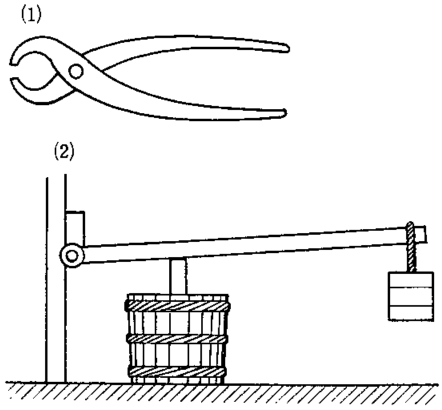
ている状態を描いたものである。この場合の計算も第10図と同じように，

$$\frac{30\text{kg}\times 2\text{ m}}{6\text{ m}}=10\text{kg}$$

になる。第10図と第11図の場合の違いは，細かく説明するよりも，次の第12図の例を比較すればよくわかる。

(1)はくぎ抜きであるが，これと同じような使い方をしているものに，ペンチやプライヤ，西洋ばさみ，遊園地のシーソーなど，周囲をながめるとその他数多くのものが見いだされる。

(2)はつけ物をつける際のおもりの使い方を図示



第12図

したものであるが，野球のボールを投げるときの体の動き，拍手をするときの腕の使い方，ホッチキスなどがこれに該当するようである。

以上〝てこ〟を一例にとってモーメントの説明をしてきたが，これと区別してよく理解しておく必要のあるものに，仕事の量がある。

今，第10図の点線のように，〝てこ〟で石を1.5m持ち上げた場合を考えてみよう。支点から石までの距離2mに対して，力をかけている位置までの距離が6mと3倍になると，力が⅓ですむことは先に述べたが，そのかわりに，力をかけた場所を3倍の（1.5m×3＝）4.5m下に押し下げなければならない。これを式に直すと，

$$30\text{kg}\times 1.5\text{m}=45\text{kg}\cdot\text{m}$$

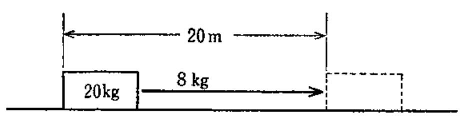
右側は，

$$10\text{kg}\times 4.5\text{m}=45\text{kg}\cdot\text{m}$$

となり，双方が等しくなる。

この石を，持ち上げるのに要する力10kgと下へ押し下げた高さ4.5mとの積10kg×4.5mおよび30kgの重量のものを1.5m持ち上げた場合，30kg×1.5mの積45kg・mを普通「仕事の量」という。

また，第13図のように，平らな床の上を重さ20



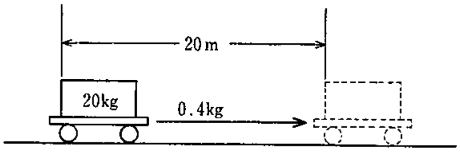
第13図

kgの荷物をひっぱって20m動かしたとする。この荷物を動かすに必要な力を8kgfとすると，

$$8\text{ kg}\times 20\text{m}=160\text{kg}\cdot\text{m}$$

が仕事の量になる。

このように，物を動かすに必要な「力」と「動



第14図

かした距離」との「積」で表わすのであって，この荷物の重量と動かした距離との積，20kg×20m ではない。第13図に対して，荷物を車に載せて引いたとする（第14図）。前述では床の上をひっぱるのに 8 kgf の力が必要であったが，車の構造によっては1/20の0.4kgくらいで動かすことは可能である。この場合は，

0.4kg×20m＝8 kg・m

が仕事の量になる。

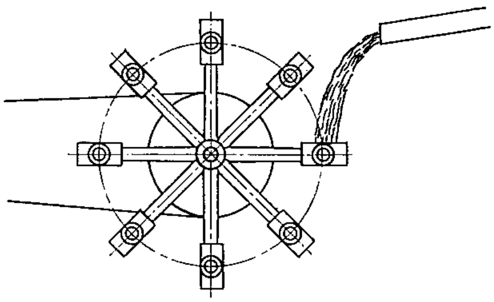
〝てこ〟からモーメント，仕事の量と説明してきたが，後からいろいろな個所で出てるので，よくく理解をしておいてもらいたい。

4　車輪，歯車，駆動力

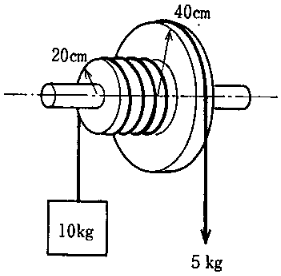
車輪を発明して使用した最古の例としては，今をさかのぼること約6000年，メソポタミアのスメル人があげられる。また，かれらが初めて 3 枚の板を木くぎで止めたほぼ完全に近い形の車輪を製作し，人間や荷物を運搬するのに使用したと伝えられているが，その車は，そりに車輪を取り付けたような荷車であったといわれている。

車輪の発明は人類にとって，最も偉大なものの一つに数えられる。私たちの周囲をながめてみて，もし車輪がなかったら，現在のような生活が存在したかどうか，とても考えられないことなのである。

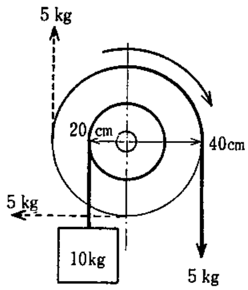
第15図は，第 7 図のクランクとペダルを沢山増やして水車のようにしたものである。これでわか



第15図



第16図



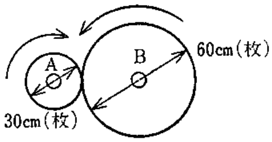
第17図

ってもらえると思うが，輪軸（車輪と車軸）や滑車は回転する〝てこ〟と考えることができる。第16図および第17図は，重い荷物を比較的小さな力で持ち上げるための装置であるが，この二つの力がつりあう関係は，第 8 図の〝てこ〟が円運動をしたと解釈することができる。

したがって，第17図における 5 kg の力の方向が，実線のように下向きだけではなく，点線のごとく横向きや上向きであっても，回転させようとする方向が，いずれも時計回りと同じ右回りになっていればよいわけで，回転させようとする力の向きが同じであれば，力の方向が自由に変えられることが，〝てこ〟と異なるところである。

第16図および第17図は，二つの車輪が同じ軸（心棒）上にある場合のものであったが，次に軸を別々にした（または車輪そのものを別々にしたと考えてよいかとも思うが）例について考えてみよう。しかし理解しやすくするために，この外周面が接触したA，B二つの車輪の接触部分でのスリップや，その他回転のための抵抗はないということにしておく。

第17図と第18図を見比べると違いが一目でわか



第18図

るように，車輪Aが右回りであるのに対し，Bは反対の左回りになる。これは後で述べる歯車でも同じことがいえる。

先の第16図や第17図では，二つの車輪が同じ軸上にあったので，この二つの車輪の大きさが違っても，回転方向や回転の速さは変わらない。しか

し第18図では，異なった軸を中心に回転するので，接触する二つの車輪の大きさに差があると，回転する速さも違ってくる。この車輪の大きさと回転数との関係を考えてみよう。この車輪が回転した場合，接触する位置は刻々変わっていくが，接触した部分の長さはA，Bともに変わらない。

したがって，このA，Bの車輪の直径と回転数との積は同じで，Aの車輪が1回転した場合を考えると，直径×回転数が同じになることから，

$$30 \times 1 = 60 \times x$$

$$x = \frac{30 \times 1}{60} = 0.5$$

で，Bは0.5回転する。

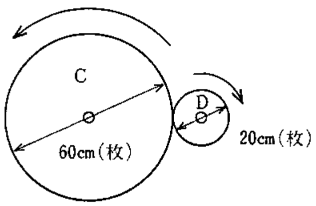
またAが2回転すると，

$$x = \frac{30 \times 2}{60} = 1$$

で，Bは1回転する。

このように，接触する車輪の直径が2倍になると，回転数は反対に半分になる。

なお，第19図の場合Cが1回転した場合を計算



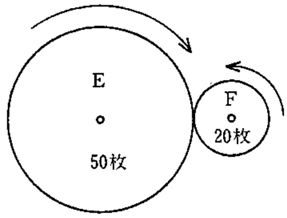
第19図

すると，

$$\frac{60 \times 1}{20} = 3$$

となり，Dは3回転する。

しかし実際には，AとBまたはCとDの接触している部分に油でも入ると，滑ってしまって計算どおりにはならない。そこで，なんとか回転力を正確に伝えたい。スリップしないようにしたいとの考え方から，接触する外周面におうとつをつけて防ぐことにした。それが段々と大きく刻みが一定になってきたのが，今一般に多く使われている歯車である。先に車輪の大きさを表わすのに直径の長さを用いたが，これが円周の長さであってもかまわない。歯車の場合はこの大きさを表わすのに，歯数で表現するのが普通となっている。この場合の計算の仕方も，先の車輪間AとBまたはCとDの直径の比による計算方法と同じで，第18図および第19図の車輪の直径を，歯数におきかえてもよいということである。なお詳しく説明すると，第18図の場合A，Bの歯車の歯数が30枚と60枚で，また，第19図ではそれぞれが60枚と20枚の歯数の歯車のかみあわせと解釈してもよいわけである。第20図では歯車が50枚と20枚の歯車がかみ



第20図

あった状態の図であるが，先の例にならって計算すると，Eが1回転したときに，

$$\frac{50 \times 1}{20} = 2.5$$

で，Fは2.5回転する。

このようにかみあう相手の歯車の歯数が主動側の歯車（第18図ではA，第19図ではC，第20図ではE）の$\frac{20}{50}$略して$\frac{2}{5}$または$\frac{1}{2.5}$のときには，歯数同志の比とは逆に2.5回転する。いいかえるならば，第18図のように，主動の歯車Aに対して，従動の歯車Bの歯数が2倍のときには回転数が½となり，第19図のように主動の歯車Cに対して従動の歯車Dの歯数が⅓の場合は，Cに対してDの回転数は3倍になる。この歯数と回転数との関係を反比例になるまたは反比例するという。

今までのことを整理すると，互いにかみあわされている歯車の間には次の関係がなりたつわけである。

歯数×回転数＝歯数×回転数

これを第20図にあてはめると，

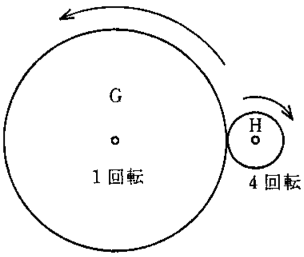
$$50 \times 1 = 20 \times 2.5$$

または，

$$50 \times 2 = 20 \times 5$$

となり，Eの歯車が2回転する間にFの歯車が反対方向に5回転することになる。

今までは，歯数からかみあう歯車の回転数を算出する方法について述べてきたが，反対に回転数から歯数を計算する方法を考えてみよう。前述において歯数と回転数は反比例するといったが，そ

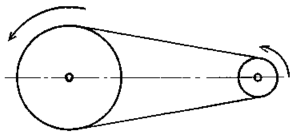


第21図

の関係から第21図を見ると，Ｇの歯車１回転に対してＨを４回転させるためには，歯数を¼にすればよいわけで，かりにＧの歯車が60枚であれば，Ｈの歯数は¼の15枚でよいことになる。

回転力を伝えるのにお互いの車輪が近い場合は，直接かみあわせるのが一番近道であるが，両者の距離が長い場合には，直接かみあわせて回転力を伝達しようとすると，沢山の数の歯車か，大変大きな歯車が必要になってくる。

そのような離れた場所へ回転力を伝えるために考え出されたのがベルトによる伝達方法であるが（第22図），滑るという欠点があるので，この欠点を除いて確実に回転力を伝える手段としてチェーンが考え出された。



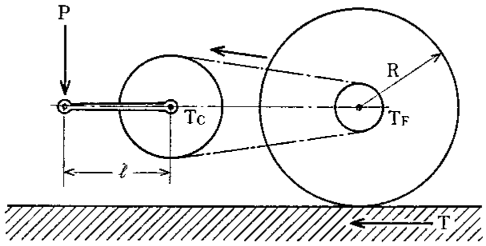
第22図

ベルト掛けやチェーンによる回転力の伝達における直径または歯数と回転数との関係は，歯車の場合と同じ計算方法でよいわけであるが，ただ回転方向は歯車の場合と違って同じ向きになる。

てこに始まって車輪と歯車まで長々と説明してきたが，読者の中には，このようなわかり切ったものを，と思われる人も少なくないであろうが，このわかり切った簡単なことが基本になって，いろいろと組み合わさったややっこしい問題も解けるようになるわけである。

第23図は，自転車実用便覧（第３版）に掲載されているペダル踏力と駆動力との関係を表わす図式の，少しややこしく見えるこの関係式も，前述のてこおよび歯車の項をよく知っておくと，この問題も比較的楽に理解できると思う。

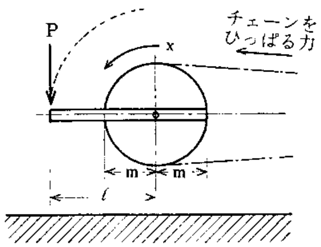
第23図に従ってこれまでの復習をしてみよう。



P ＝ペダル踏力　R ＝後車輪有効半径
ℓ ＝クランク長さ　T ＝後車輪駆動力
T_C＝大ギヤ歯数　k ＝ギヤ比＝$\frac{T_C}{T_F}$
T_F＝小ギヤ歯数　とすると

$$T=\frac{P\cdot\ell}{R}\times\frac{T_F}{T_C}=\frac{P\cdot\ell}{R}\times\frac{1}{k}$$

第23図



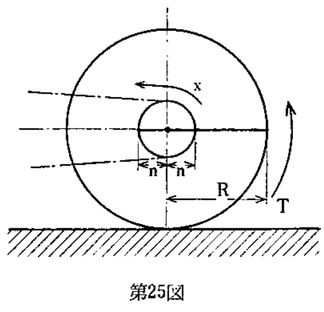
第24図

第24図は第23図の左側半分，すなわち大ギヤの部分を分割した図であるが，この図において，歯数がTc枚なる大ギヤの半径をｍとすると，第８図～第11図のてこと同じような考え方から，ギヤｍの歯の部分までの半径がｍであることから次の式が成り立つ。

すなわち，ギヤの歯の部分の回転しようとする力をｘとすると，〝てこ〟におけるモーメントの大きさ，力と支点（この場合はクランク軸の中心）から力点までの距離（l またはｍ）の積を式に直すと，第24図のモーメントの関係は，

$$P\times l=x\times m$$

$$x=\frac{P\times l}{m}\cdots\cdots\cdots\cdots(1)$$



第25図

となり，このxが第24図および第25図の矢印のように，チェーンをひっぱる力となるわけである。このチェーンをひっぱる力xは，そのまま歯数がT_F枚なる小ギヤ（またはフリーホイール）に伝えられ，それが車輪を回転させようとする力，いいかえれば前進しようとする推進力Tになる。このチェーンをひっぱる力xと駆動力Tとの関係は，前記と同様モーメントの関係から，

$$x \times n = T \times R$$

したがって，

$$T = x \times \frac{n}{R} \quad \cdots\cdots(2)$$

となり，前記(1)式で，

$$x = \frac{P \times l}{m}$$

であることから，

$$T = \frac{P \times l}{m} \times \frac{n}{R} \quad \cdots\cdots(3)$$

と表わすことができる。(3)式でRとmを入れかえると，

$$T = \frac{P \times l}{R} \times \frac{n}{m} \quad \cdots\cdots(4)$$

となる。

mは大ギヤの半径，nは小ギヤ（フリーホイール）の半径を表わしているが，チェーンピッチが同じギヤ同志にあっては，ギヤの歯数と直径または半径とは大体において比例するので，

$$\frac{n}{m} = \frac{\text{小ギヤの半径}}{\text{大ギヤの半径}} = \frac{\text{小ギヤの歯数}}{\text{大ギヤの歯数}} = \frac{T_f}{T_e} = \frac{1}{k}$$

となることから(4)式を，

$$T = \frac{P \cdot l}{R} \times \frac{1}{k} \quad \text{（第23図）}$$

とすることができる。これより判明するように，幾分ややっこしく見える駆動力の計算も，〝てこ〟の原理により簡単に導くことができる。

今，第23図において，各部の仕様，寸法が次のような場合の駆動力Tを計算してみることにする。

クランクの長さ　l =165mm（6½インチ）
大ギヤの歯数　　T_C=48枚
小ギヤ（フリーホイール）の歯数　T_F=16枚
したがって，

$$k = \frac{T_C}{T_F} = \frac{48}{16} = 3$$

または，

$$\frac{1}{k} = \frac{T_F}{T_C} = \frac{16}{48} = \frac{1}{3}$$

後車輪の直径を660mm（26インチ）として，後車輪の有効半径Rをその半分の330mm（実際はタイヤのへこみだけによって実際とは少し異なる。）とする。

ここで，ペダルを踏む力P＝30kgとすると，

$$T = \frac{P \cdot l}{R} \times \frac{1}{k}$$

から，

$$T = \frac{30 \times 165}{330} \times \frac{1}{3} = 5\ \text{kg}$$

駆動力Tは5kgになる。

またこの計算から駆動力は，ペダルを踏む力とクランクの長さが長いほど大きくなり，後車輪の大きさとギヤ比（k）が大きくなればなるほど小さくなることがわかる。特に外装変速装置付きの自転車において，登り坂や砂利道などでチェーンを後ろのフリーホイールの歯数の多いギヤに切り替えて走るのは，これらの理由によるものである。念のためにチェーンを24枚の小ギヤに切り替えて走ったときの駆動力の大きさを計算してみよう。

前の計算式から，T_F=24とすると，

$$k = \frac{T_C}{T_F} = \frac{48}{24} = 2$$

または，

$$\frac{1}{k} = \frac{T_f}{T_e} = \frac{24}{48} = \frac{1}{2}$$

から，

$$T = \frac{P \cdot l}{R} = \frac{1}{k} = \frac{30 \times 165}{330} \times \frac{1}{2} = 7.5\text{kg}$$

このように，同じ30kgの力でペダルを踏んでも，フリーホイールまたは小ギヤの歯数を大きくすることによって，駆動力を大きくすることができるわけである。しかし，速度は反対に$\frac{16}{24} = \frac{2}{3}$に落ちることになる。

自転車に変速装置を付け，ギヤ比が変えられるようにしているのは，道路条件や向かい風などにおいて駆動力を大きくし，楽に走行するのが主たる目的であって，それによって速く走るように考えられているのは，変速機という名前のせいかも

知れない。

5 滑　　車

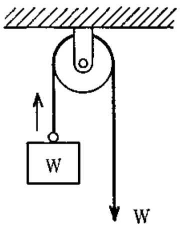
滑車は一見車輪とよく似て，車輪から滑車を考え出すのにあまり苦労がなかったように見えるが，実際には車輪が今から約6000年前に製作，使用されていたが，滑車があったことを示す証拠は一番古いものでも約3000年前くらいであるが，滑車の発明によって建設技術に大きな革命をもたらしたことは事実である。

最も簡単なものとしては，井戸から水を汲み上げるときに使用される定滑車の形式（第26図）があるが，この使われ方は力の方向を変えるだけで，力の大きさやひっぱる距離は同じである。

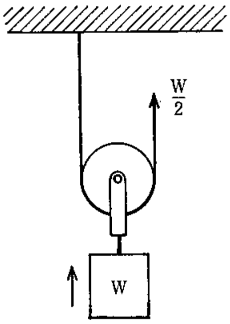
第27図は動滑車と呼ばれるもので，滑車がつり上げられる物体の側についており，物体をつり上げる方向とロープを引く力の方向は変わりがない。ただし，ロープを引く力はつり上げる物体の重さの半分ですむが，このロープを手繰る長さは倍になる。これらは第26図と第28図および第27図と第29図を見比べることによって，車輪，歯車の項で述べた「滑車は回転するてこである。」との考え方がよく理解されるものと思う。もちろん第27図では力が半分になるかわりに，ロープをひっぱる長さが倍になるので，仕事の量としては変わらない。第30図は，定滑車と動滑車の組合せによる複滑車で，比較的よく使われる方法である。

第31図は，丸いものを動かすのに丸いものの上部を押して転がした方が軽く回転させることができるのは，先の動滑車の考え方を横にして作用させたものと解釈することができる。

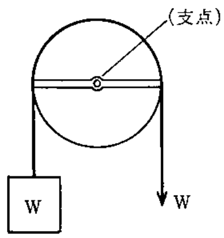
その他二重滑車（第32図）や三重滑車の使い方があるが，この方法は船の帆を上げたりするのに使用される。また，輪軸と同じような使われ方をするものに，差動滑車（第33図）がある。



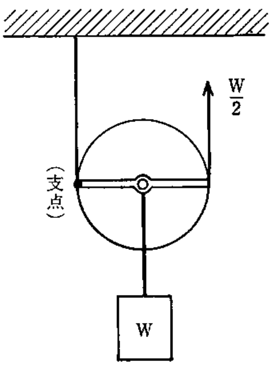
第26図　定滑車



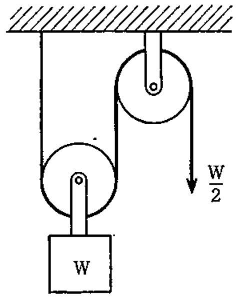
第27図　動滑車



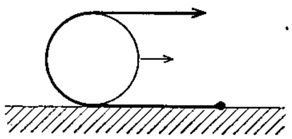
第28図

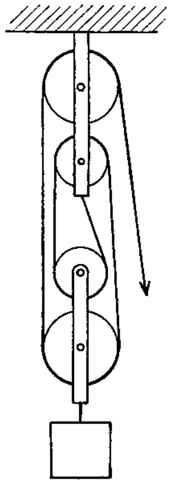


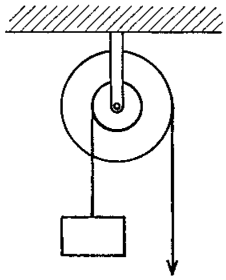
第29図



第30図　複滑車


第31図


第32図　二重滑車


第33図　差動滑車

＜次号へつづく＞