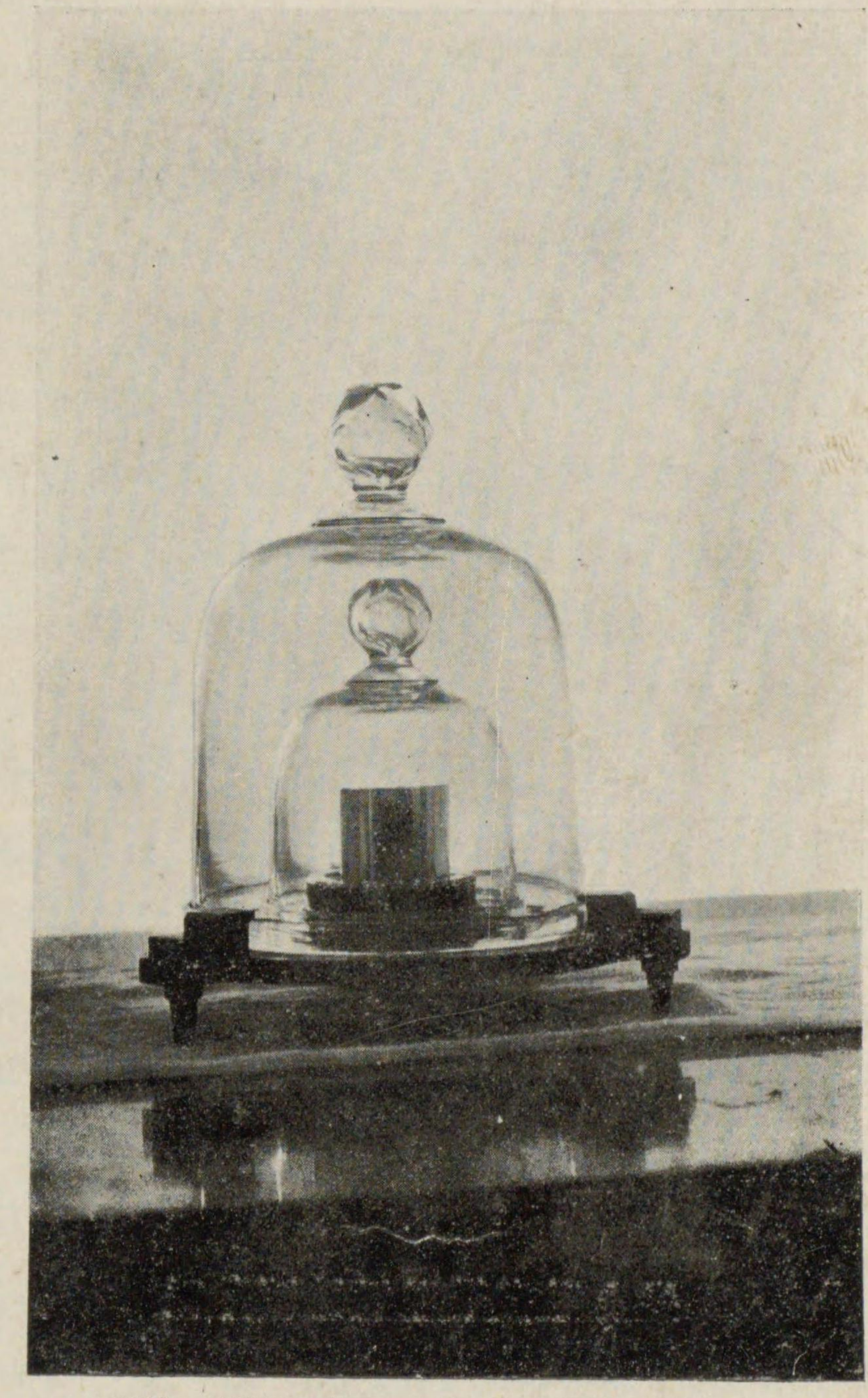
力學及機械學

電機學校編

初等電氣工學叢書第八卷

キログラム原器



三脚附の眞鍮圓板臺の中央部に圓形の仕切りを設け，水晶板を敷いてキログラム原器を載せてある。その上は大小二個の硝子鐘で二重に蔽うてある。そして全體は基礎堅固な石臺上の金庫内に納められてゐる。

はしがき

電氣工學叢書の中に「力學・機械學」を加へたのは可笑しいではないか——といふ人があるかも知れない。

しかし電氣が,機械を運轉することに依つて發生事られ,千變萬化極りない種々の仕事をなしつゝあるせ實を知る人には,此の科目が電氣工學と切つても切り得ぬ,深い深い因緣のあるものであることが頷かれるであらう。

力學や機械學は,電氣工學のみでは無く,一般の工學に共通的なもので,この點に於いて工業の基礎學科であると云つても過言ではあるまい。

特に本書は,電氣工學を修める人に必須な基礎事項と,本叢書中他の科目には述べてない事柄を,調子よく極めて平易に編述したもので,この點に於いて,世の所謂,單なる力學,單なる機械學ではない。大いに其の選を異にし,特色のあるものとしたつもりである。

當然出て來る複雜な數理的説明は,努めて之れををけ,數多くの挿圖と卑近な例とを以つて,事柄の了解避容易ならしめた。又容易に試み得られる實驗は,讀者

自身これを行ひつゝ,事實の理解を助けるやう仕組んだのである。本書に引用した數値は成るべく實例から採り,單位は悉くメートル法を採用し,且つ單位相互の關係を明にするやうに努めた。

本書が初等電氣工學を修める上に於いて女房役を勤め,また,尙進んで本校編纂電氣技術者用力學を勉强せんとする熱心な方にとつて其の階梯とならば幸である。

昭和五年一月

編者しるす

力學・機械學 目次

第一章 總論 .... 1—14頁

1 力の意義—— 2 重力—— 3 力の表はし方 4 仕事—— 5 パワー—— 6 量の測定—— 練習問題 I

第二章 彈性 .... 15—30

7 彈性—— 8 彈性の應用—— 9 壓力及び張力—— 10 彈性の極限—— 11 フックの定律—— 12 自働秤—— 練習問題 II

第三章 力の釣合 .... 31—66

13 力の釣合—— 14 三力の釣合—— 15 力の合成—— 16 力の分解—— 17 ヴェクトル—— 18 力のモーメント—— 19 偶力—— 20 平行力—— 21 重心—— 22 物體の釣合—— 練習問題 III

第四章 摩擦 .... 67—81

23 摩擦力—— 24 極限摩擦力—— 25 極限摩擦係數—— 26 動摩擦力—— 27 軸に於ける摩擦—— 28 轉動摩擦力—— 29 摩擦の利益—— 練習問題 IV

第五章 單機械 其一 .... 82—100

30 單機械—— 31 挺子—— 32 曲挺子—— 33 挺子安全瓣—— 34 輪軸—— 35 カプスタン—— 36 滑車—— 37 組立滑車—— 38 ウェストン差働滑車—— 練習問題 V

第六章 單機械 其二 .... 101—119

39 斜面—— 40 摩擦ある斜面—— 41 楔—— 42 ねぢ—— 43 ねぢの利用—— 44 微動ねぢ—— 45 マイクロメーター・スクルー・ゲージ—— 練習問題 VI

第七章 物體の運動 .... 120—142

46 運動—— 47 運動の合成及び分解—— 48 速度—— 49 不變速度運動—— 50 速度の單位—— 51 變速度運動—— 52 距離時曲線—— 53 加速度—— 54 速度時曲線—— 55 不變加速度直線運動—— 練習問題 VII

第八章　運動と力との關係 ……………… 143—159

56 運動の第一定律―― 57 質量―― 58 運動の第二定律―― 59 力の絶對單位―― 60 質量と重さ―― 61 力の絶對單位と重力單位との關係―― 62 運動量―― 63 運動の第三定律―― 64 衝擊力―― 練習問題 VIII

第九章　圓運動及び振動 ……………… 160—172

65 遠心力―― 66 軌條の高度―― 67 振子型調速機―― 68 振子―― 69 彈性體の振動―― 70 時計―― 練習問題 IX

第十章　廻轉運動 ……………… 173—182

71 廻轉體―― 72 角運動―― 73 廻轉力―― 74 廻轉力のなす仕事―― 75 廻轉に要するパワー―― 76 廻轉體の慣性―― 練習問題 X

第十一章　仕事及び勢力 ……………… 183—202

77 仕事の單位―― 78 仕事の圖示法―― 79 パワーの單位―― 80 勢力―― 81 仕事と勢力―― 82 靜勢力―― 83 動勢力―― 84 蓄勢輪―― 85 勢力の態―― 86 勢力の不滅―― 87 機械と勢力―― 練習問題 XI

第十二章　動力の傳達 ……………… 203—219

88 摩擦輪―― 89 齒車―― 90 齒車の組合せ―― 91 齒車の種類―― 92 ラック―― 93 ウォーム―― 94 調帶―― 95 調帶傳達―― 練習問題 XII

（力學・機械學　目次）

初等電氣工學　第八卷

力學・機械學

電機學校編

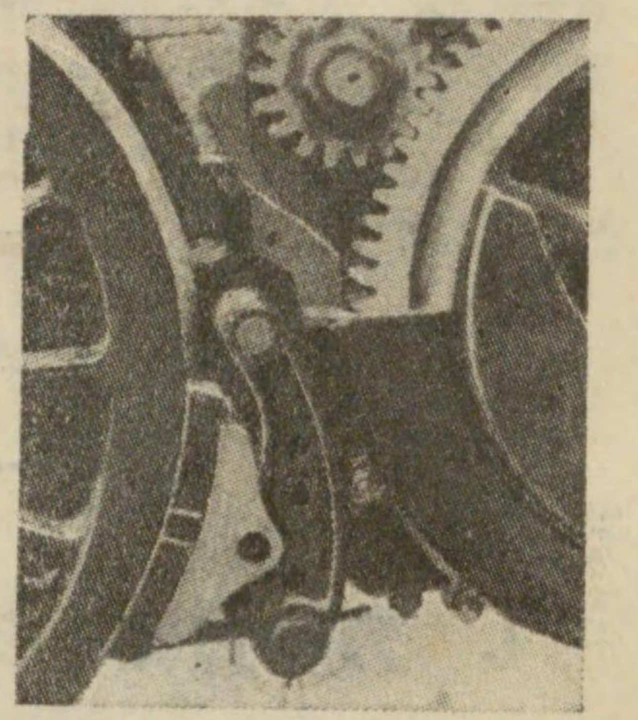
第一章　總論

1.　力の意義　秋の晴々した一日，野球場に立てる投手の投げ出したボールが，一直線に進むと見るや，打者の美事な一擊に，ボールは忽ちその方向を變へて左翼に飛んだ。待ちかまへてゐた左翼手は物の美事に之れを捕へた。かうした光景はお互に經驗のあることである。今之れを少し學理的に說明して見ると投手がボールに**力**を加へたので，止まつてゐたボールは**運動**を初めたのである。又打者がバットで打つた力の爲めに，ボールはその運動の方向も速さも變はり，左翼手の力によつて運動中のボールは**靜止**したのである。かやうに力は物體の靜止或は運動の有樣を變へる原因である。

力そのものは眼には見えないが，ただ物體が運動の有樣を變へた場合，そこに力のはたらいてゐることを認めるのである。例へば電車の動き出すのは電動機から生ずる一種の力が車輪を廻轉させるからである。又運動してゐる電車を全く止めるには，普通第1圖に示すやうな制動靴といふものを車輪に壓しつける。すると

車輪と制動靴との間に摩擦力といふ力がはたらき，次第にその速さを減じ遂に靜止するに至るのである。

第　1　圖



制　動　靴

注意　物體が靜止或は運動の有樣を變へないから，物體に力がはたらいて居ないとはいへない。二人が棒押しをして少しも動かなくとも，力の働いてゐることは確である。これは力の**釣合ふ**場合で，之れ等については第三章で述べる事とする。ここでは，物體の靜止や運動の有樣を變へるときには力が働いてゐるといふだけで止めておく。

2. 重　力

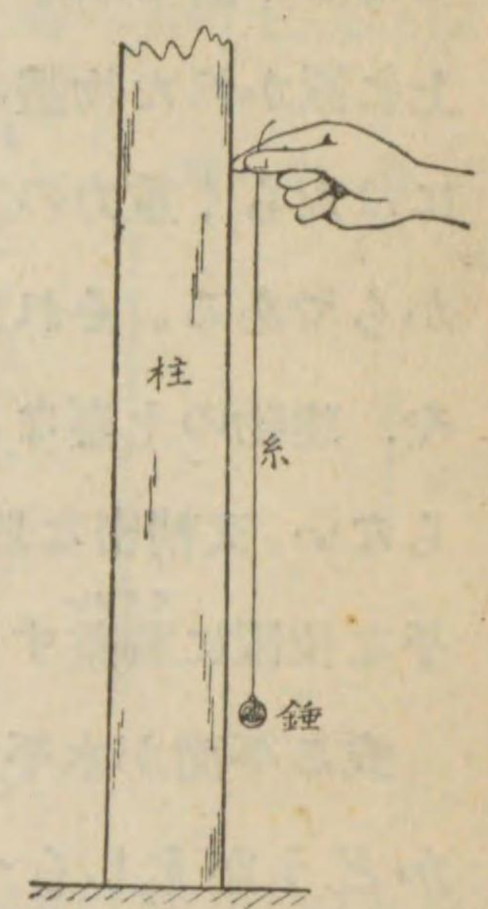
熟した果實が樹から落ちる。天空の水滴は雨となつて降る。何物に限らず支へがなければ落下するのは，吾々の目擊してゐるところである。このやうに地球上にある物體は何れも地球に向つて運動を起す。それ故地球上の物體には何れも或る力が作用しつつあることが知られる。この力は地球が地球上にあるすべての物體に及ぼす引力であると考へ，之れを**重力**と稱へる。卽ち地球上の物體は絕えず重力のはたらきを受けてゐるのである。

重さ　物體を手で支へる時は重力は手を壓し，そのため重みを感ずる。この重みを**重さ**或は**重量**と稱へる。さうして物體の重さは物體によつて大小の別がある。例へばノートは重く鉛筆は輕

い。これノートと鉛筆とに，働く重力の大さが違ふからである。

鉛直　物體の落下する方向卽ち重力の方向を**鉛直**といふ。おもりを絲にて吊すとき，絲の方向は鉛直である。所謂**上下**といふのはこの鉛直の方向なので，地球の中心に向く方を下と稱へ，その反對を上と稱へる。家屋を建てるのに，柱は鉛直でなければならないので，大工は第2圖のやうに，柱にそうて錘をつるして柱の傾きをなほすのである。電柱を建てるにも鉛直にしなければ倒れ易いのである。

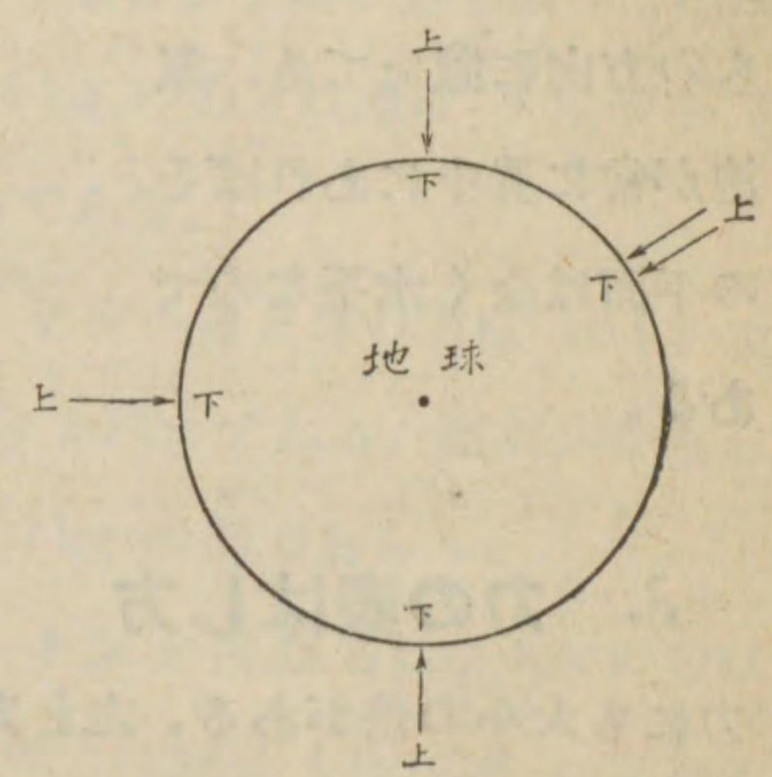
第　2　圖



柱の鉛直を檢す

重力の方向は何處に於いても地球の中心に向つてゐる。それ故或る一地點に於ける鉛直の方向といへば互に平行である。しかしかなり離れた地點，例へば東京と鹿兒島とに於いては，東京の鉛直と鹿兒島の鉛直とは，もはや平行してゐるとはいへない。ましてや東京とロンドンとに於ける鉛直はかなりな角度をなしてゐる。第3圖は地球上二三の地點に於ける鉛直を示したのである。

第　3　圖

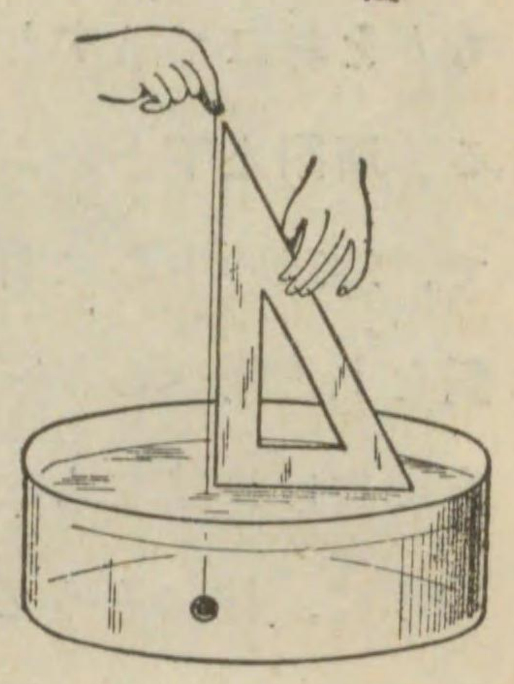


重力の方向

水平　靜かな水面は鉛直の方向と直角になつてゐる。これは

第 4 圖のやうに，錘をつるした絲と直角定規とを用ひて知ることが出來る。水面のやうに，鉛直と直角になつてゐる平面は**水平**であるといふ。水平な面上に置かれた物體の落着きよいのは，物體にはたらく重力の方向に直角な面で支へるからである。それ故發電機を据附ける基礎や，建物の土臺など皆水平にしなければならない。又精密な器械を取扱ふには，まづ水平な位置に調整することが大切である。

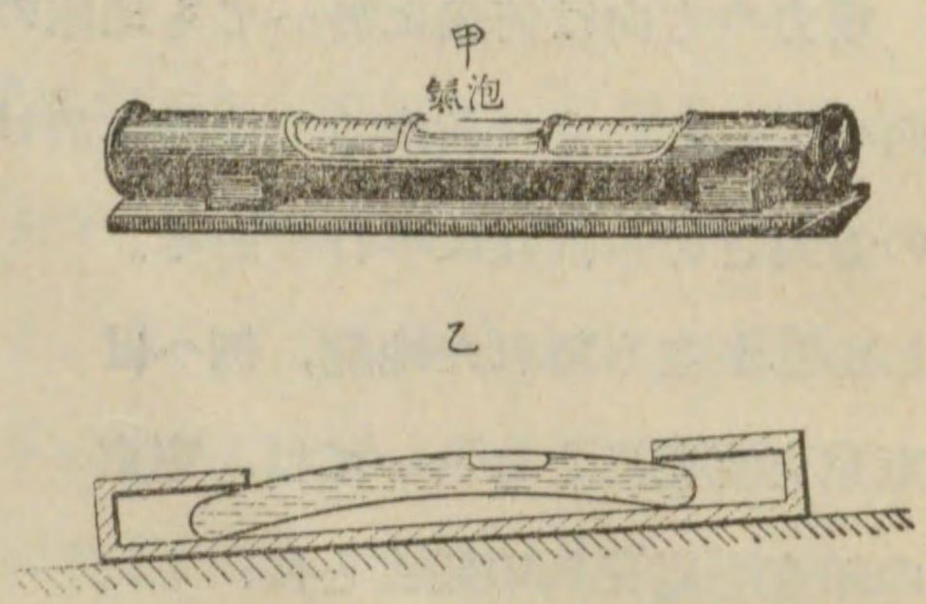
第 4 圖



水面の水平を檢す

或る平面が水平であるかどうかをしらべるには，**水平器**を用ひる。水平器をその平面上にどちらの方向に置いても，氣泡が常に眞中にあればその平面は全く水平なのである。

第 5 圖



水平器

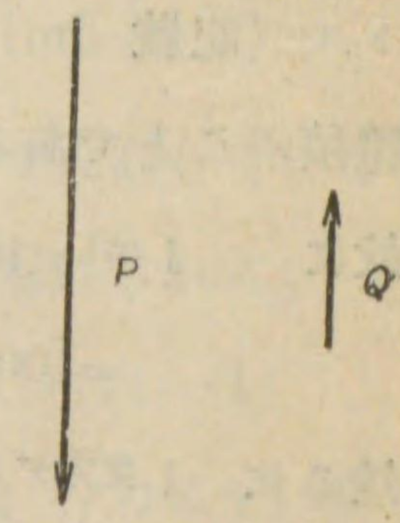
3. 力の表はし方

長さや廣さに大小のあるやうに，力にも大小の差がある。之を**力の大さ**といふ語にてあらはす。ただ力の場合には，此の大さと同時に**方向**といふことを考へる必要がある。例へば或る物體を持上げる場合は，之を引きずる場合に

比べると，その力の大さも又方向も違ふのである。

力の圖示　眼に見えない力であるが，之れを或る約束のもとに圖に示すことができる。力には大さと方向とを考へるので，第6圖のやうに矢印を附けた直線にて之れを示す。直線の長短はその力の大小を表はす。圖に於いて下向きの力は上向きの力の 3 倍なることを表はしてゐる。上向きの力とか下向きの力とかいふのは，わづらはしいから，何にか記號を以つて表はす。甲の力，乙の力といふてもよいが，普通は力 P とか，力 Q とか，A, B, C .... の一字を用ひて表はすのである。第 6 圖は下向きの力 P の大さが，上向きの力 Q の大さの 3 倍なることを示したのである。

第 6 圖



力の圖示

力の單位　力の大小を測るには**キログラム**の力を以つて標準とし，記號として kg を用ひる。1 kg の力とは溫度 4 度の水 1 リットル（記號 l）の重さだけの力である。

それ故水 18 リットル（約 1 斗）を支へるときの力は 18 kg であり，四斗俵を支へるときの力は約 60 kg である。諸君がお互を抱上げるときの力は 40 kg から 60 kg の間であらう。

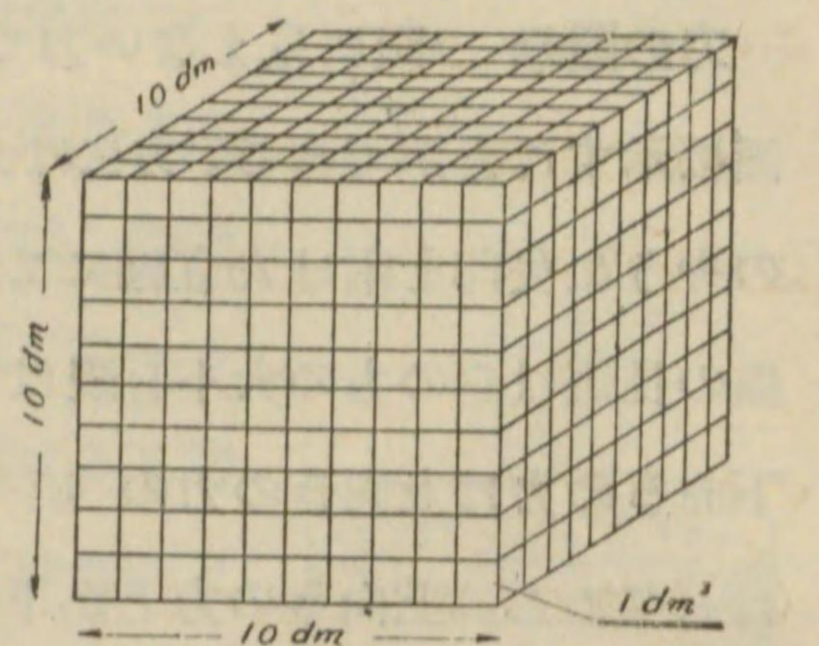
又非常に大きな力を表はすには **トン** を用ひる。1 トンの力は 1000 kg である。さうして 1 トンの力は溫度 4 度の水 1 立方メートル（記號 m^3）の重さだけの力である。

例題 1.　溫度 4 度の水 1 m^3 の重さが 1 トンの力に等しいこ

とを證明せよ。

解　まづ $1\,\mathrm{m}^3$ といふのは第7圖のやうに，縱，横，高さがそれぞれ 1 m 卽ち 10 デシメートル（記號 dm）なる立方體の體積のことである。

第 7 圖



千立方デシメートルの説明

故に　$1\,\mathrm{m}^3 = 10 \times 10 \times 10$

$= 1000$ 立方デシメートル

然るに 1立方デシメートル 卽ち 1リットル の 4°C.* の水の重さが 1 kg であるから，

4°C. の水 $1\,\mathrm{m}^3$ の重さは 1000 kg, 卽ち 1 トンである。

4. 仕事

井戸の水を釣瓶で一杯二杯と汲上げるとき吾々は仕事をなしたといふ。勿論ポンプを用ひて水を汲んでも仕事をなしたことには變はりがない。或は荷物を手車で運ぶとき仕事をなしたといふ。汽車で荷物を運んでも仕事をなしたことには變はりがない。これ等の場合，人或は機械が絶えず力を作用しながら，その力の方向に，水或は荷物を移動せしめて仕事をなしたのである。一般に物體に力を作用しながら，その力の方向に物體を移動する場合，力は仕事をなしたといふ。なした仕事の分量はその力の大きいほど，又力の方向に移動した距離の大きいほど，その仕事は大きい。

註　溫度4度を攝氏4度ともいひ，記號として 4°C. を用ひる。C は攝氏 (Celsius) の頭字である。華氏 (Fahrenheit) の度には必ず華氏何度と呼び，F. を附記する。

仕事の計算　今釣瓶に一杯の水の重さが 10 kg であるとし，之れを徐々に 8 m だけ引上げたとすれば，この場合

$10 \times 8 = 80$ キログラムメートル

の仕事をなしたといふ。引上げるものは水に限つたわけではなく，何物でも同じであるから，一般に次のやうに表はされる。

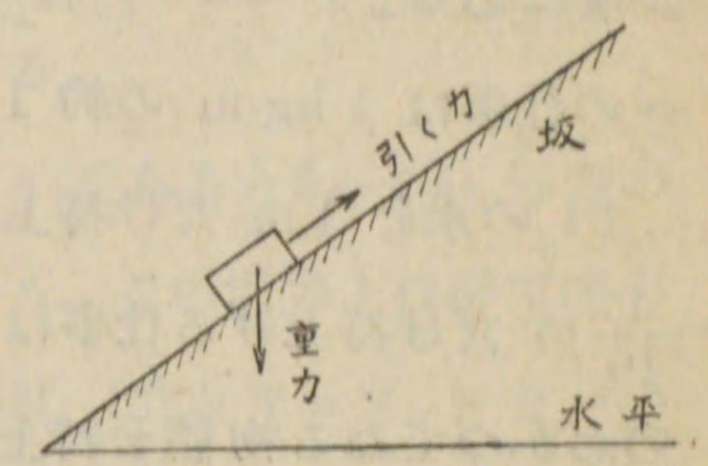
〔引上げる仕事〕＝〔重さ〕×〔高さ〕.........(1)

又水平な路面で手車をひくのに，絶えず 10 kg の力にて，眞直に 8 m だけ引いたとすれば，その仕事はやはり 80 キログラムメートルである。それ故一般に

〔水平面上の仕事〕＝〔引く力〕×〔移動距離〕

坂道で物體を引上げる場合は第8圖に示すやうに，物體の重さ卽ち重力の方向と，物體の移動する方向とは一致してゐないから，重力に對する仕事は複雜になる。又力の方向に直角に移動する物體があつたなら，

第 8 圖



坂道に物體を引上げる力の方向

その物體は力の方向にちつとも動かないから，其の力に對しての仕事は零である。

仕事といふ語は物體を引上げたり引きずる場合に限つたわけではない。磁石と磁石とが引き合ふときでも，電動機が調帶を引い

て機械を廻はす場合でも，蒸汽機關に於いて蒸汽がピストンを押して之れを運動せしめる場合でも，力が物體に作用しながら，その方向に物體を移動する場合には，皆力が仕事をなしたといふ。（併しこれ等の仕事に就ては本叢書電氣磁氣や，電氣機械，或は火力發電に於いて述べてあるから參照せよ。）それ故一般に仕事の量は次のやうにして計算される。

$$\text{〔仕事〕}=\text{〔力の大さ〕}\times\text{〔力の方向への移動距離〕}\quad\ldots\ldots(2)$$

仕事の單位　仕事の量を測るには上に述べたやうに，**キログラムメートル**を用ひる。1 キログラムメートルといふのは 1 kg の力を作用しながら 1 m の長さだけ物體を移動するとき，なす仕事である。記號として kg-m を用ひる。

又**ジュール** (joule) といふ單位を用ひて仕事の量を表はすことが屢ばある。1 ジュールは $\frac{1}{9.8}$ kg-m に相當する。即ち 1 ジュールの仕事は 1 kg-m の約 1 割にしか當らない。

1 l の水を 1 m だけ持上げる仕事は 1 kg-m で，1 l の水を約 $\frac{1}{10}$ m だけ持上げる仕事は 1 ジュールである。諸君は何か重さのわかつてゐる物體を持上げてその仕事の量が幾 kg-m なるか，幾ジュールなるかを體驗するのは望ましい事である。

5. パワー

同じだけの仕事をするに，甲は 20 分，乙は 40 分かかつたとすれば，仕事の量は甲，乙同じであるが，仕事をなす速さは違ふ。甲の方は乙の 2 倍である。かやうに仕事を

なす速さを表はすに**パワー** (power) といふ語を用ひる。又同じ人でも 40 分かかる仕事を，精一杯出して 20 分でなしとげるならば，後の場合は最初の場合に比べてパワーが 2 倍である。機械が仕事をなすのも之と同じ關係である。一般に機械が仕事をなす速さをパワーと稱へ，1 秒或は 1 分間になす仕事にて之を測る。例へば一定な割合で 40 分間に 20 000 kg-m の仕事をなすとき，そのパワーは 1 分間に $\frac{20\,000}{40}=500$ kg-m である。即ちパワーは一般に次のやうにして求める。

$$\text{〔パワー〕}=\frac{\text{〔仕事〕}}{\text{〔時間〕}}\quad\ldots\ldots\ldots\ldots(3)$$

電力　電氣的のパワーをば**電力**といふ。諸君は 40 ワットの電球や 500 ワットの電氣焜爐などを實際に使用して居るであらう。これは規定の燭力を出すのに 40 ワットのパワー即ち電力を消費する電球であり，又規定の熱を出すのに 500 ワットの電力を消費する電氣焜爐であるといふことである。

又或る發電機の出力 3 000 キロワットであるとか，400 馬力の電動機とかいふことも屢ば使ふ語である。この出力とは發電機の出し得るパワーのことで，この發電機は 3000 キロワットまでのパワーは故障もなく出せるのである。又此の電動機は 400 馬力までのパワーを安全に出して，仕事をなし得るといふことである。

パワーの單位　上に述べたるワット，キロワット，馬力等はパワーの量を測る標準である。**ワット** (watt) とは 1 秒間に 1 ジュールの仕事をなすパワーで，記號 W を用ひる。そして 1 000 W

を 1 **キロワット**(**kilowatt**)といひ，記號として kW を用ひる。

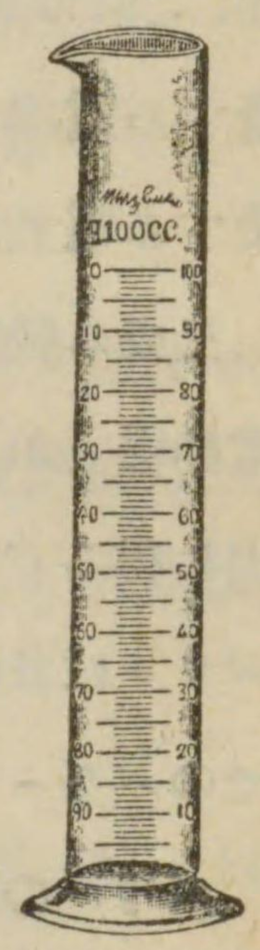
前節に於いて仕事 1 ジュールは $\frac{1}{9.8}$ kg-m に相當すると述べた。それ故 1 kW は 1 秒間に 1000 ジュール即ち $\frac{1000}{9.8}$ kg-m のパワーに當る。之れを $1\,\mathrm{kW}=\frac{1000}{9.8}$ kg-m/sec と書き，1 キロワットは $\frac{1000}{9.8}$ **キログラムメートル毎秒** に等しと讀む。

馬力は英語で Horse Power といひ，その頭字だけを取り略字として H.P. を用ひる。1 馬力は 0.746 kW に相當する。それ故 1 H.P. は大略 $\frac{3}{4}$ kW と見て差支ない場合が多い。即ち 400 H.P. と 300 kW とは大體似よつてゐる。

6. 量の測定

物體の長さを測るには尺度を用ひ，液體の容積を測るには第 9 圖に示す樣な刻度圓筒などを用ひるとよい。重さ若しくは力を測るには第 12 節で述べる自働秤などによるがよい。これ等の計器は目盛を讀むことに依り，何人も容易に長さなり，力なりを測れるのである。さうして之等の目盛は各國政府に於いて，保管する原器に比べてその正否を檢定し，正しきものには合格の印を附して販賣せしめる。我が國にては檢定の印に 定 或は 正 なる刻印を捺してゐる。

第 9 圖



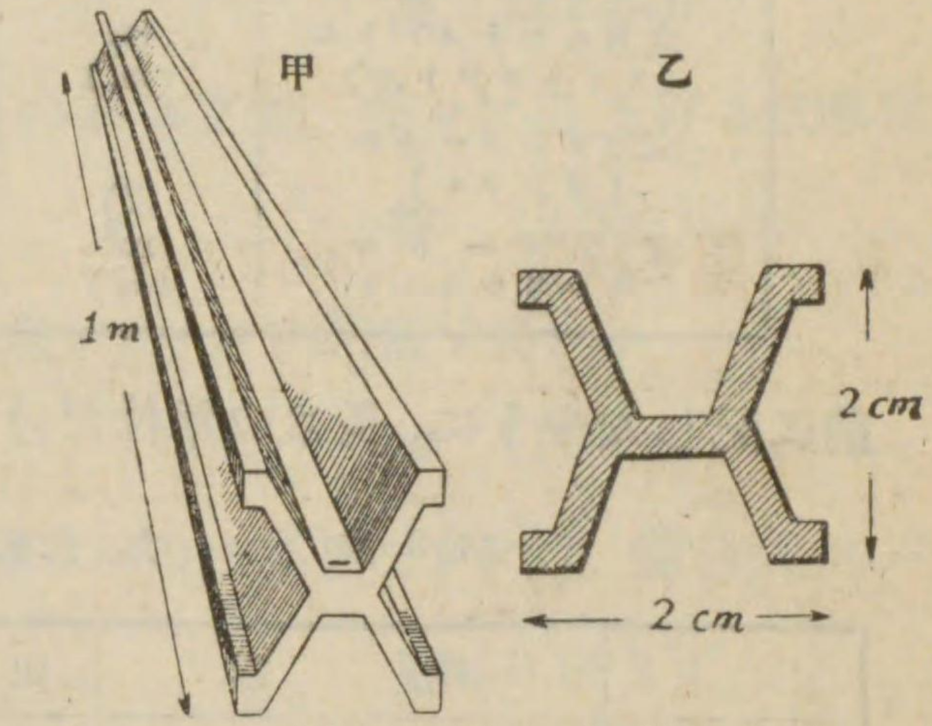
刻度圓筒

長さであらうが，體積であらうが，或は仕事であらうがその量を測るのに，標準とする同じ種類の一定量を定め，之れを**單位**といふ。故に長さには長さの單位があり仕事には仕事の單位がある。しかもこれ等諸種の量の單位の間には密接の關係があるから，長さの如く，電氣抵抗の如く基本となるものには原器を定め，政府に於いてそれぞれ保管してゐる。

註 時間の單位なる秒は英語で second といひ，記號として sec を用ひる。

長さの單位 長さの單位は**メートル**を以つて基本とする。メートルとは 0°C. に於ける國際メートル原器の示す長さである。第 10 圖はメートル原器で，その兩端に近く標線がある。この二標線間の長さが 1 メートルである。その他センチメートル，キロメートル等の單位を用ひるが，相互の關係及び記號は第 1 表に掲げる通りである。

第 10 圖



メートル原器　同横斷面（實物大）

第 1 表　長さの單位

名稱	記號	相互の關係
ミリメートル	mm	$\frac{1}{1000}$ メートル
センチメートル	cm	$\frac{1}{100}$ 〃
デシメートル	dm	$\frac{1}{10}$ 〃
メートル	m	
キロメートル	km	1000 〃

體積の單位　**體積**は又**容積***ともいふ。其の單位は**立方メートル**を以つて基本とし，立方デシメートル，立方センチメートル等をも用ひる。しかし液體又は粉狀物等を測る場合の單位には**リットル**を用ひる。1 リットルとは 1 立方デシメートルの體積をいふのである。その他通常用ひる體積の單位を示せば第 2 表の通りである。

第 2 表　體積の單位

名稱	記號	相互の關係
立方センチメートル（ミリリツトル）	cc (*ml*)	$\frac{1}{1000}$ リツトル
立方デシメートル（リツトル）	(*l*)	
立方メートル（キロリツトル）	m^3 (*kl*)	1000 リツトル

前に記したやうに，長さの單位だけでも數種あつて互に相關聯

第 3 表　力，仕事，パワーの單位

	名稱	記號	相互の關係
力	キログラムの力	kg	
	トンの力	—	1000 kg
仕事	キログラムメートル	kg-m	
	ジュール	—	$\frac{1}{9.8}$ kg-m
パワー	ワット	W	1 ジュール/秒
	キロワット	kW	1000 W, $\frac{1000}{9.8}$ kg-m/sec
	馬力	H. P.	0.746 kW

註 容積は體積と同じ意味であるが，習慣上液體のやうに容器に容れるもの或は容器の大さ等には多く容積を用ひる。從つてリットルは容積をはかるに多く用ひられる。

してゐる。かやうに力にも，仕事にも，或はパワーにもそれぞれ大小數種の單位がある。これらは後章にゆづり，既に述べたる二三のものを今一度第 3 表に示さう。

練習問題 I

1. 容積 20 リットル　重さ 2 kg の手桶に水を充たし，之を持上げるに幾 kg の力がいるか，　　答　22 kg

2. 水を入れたる手桶を 22 kg の力にて，徐々に 0.5 m だけ持上げる仕事は幾何なるか。　　答　11 kg-m

3. 2 トンの石炭を 6 m の高さまで，徐々に引上げる仕事は幾 kg-m なるか。　　答　12 000 kg-m

4. 12 000 kg-m の仕事は幾ジュールに相當するか。　　答　117 600 ジュール

5. 2 分間に 117 600 ジュールの仕事をなすには，幾 kW のパワーがいるか。　　答　0.98 kW

6. 0.98 kW は幾馬力に相當するか。　　答　1.31 H.P.

【解答】

1. 1 リットル の水の重さは 1 kg であるから

20 リットル の水の重さは 20 kg，又手桶だけの重さは 2 kg

依つて　引上げるに必要な力は　$20+2=22$ kg

2. 〔引上げる仕事〕＝〔重さ〕×〔高さ〕　であるから

$$=22\times0.5=11 \text{ kg-m}$$

3. 1 トン $=1000$ kg であるから，前問と同樣に

$$〔仕事〕=2\times1000\times6$$
$$=12\,000 \text{ kg-m}$$

4. 1 ジュールは $\dfrac{1}{9.8}$ kg-m であるから，1 kg-m $=9.8$ ジュール

故に $$〔仕事〕=9.8\times12\,000=117\,600 \text{ ジュール}$$

5. まづ 2 分 $=60\times2=120$ 秒，故に公式 (3) に依り

$$〔パワー〕=\frac{〔仕事〕}{〔時間〕}=\frac{117\,600}{120}=980 \text{ W}$$
$$=0.98 \text{ kW}$$

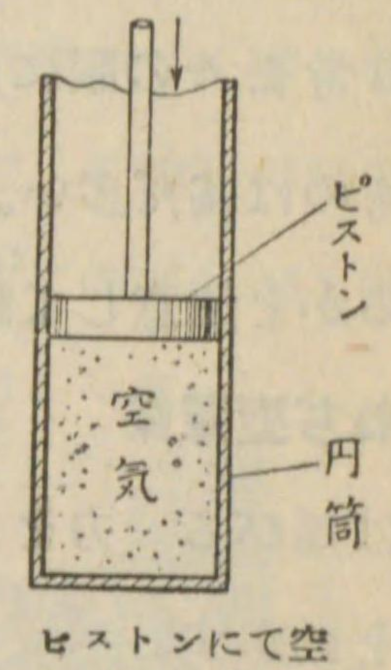
6. 1 H.P. は 0.746 kW であるから

$$0.98\div0.746=1.31 \text{ H.P.}$$

第二章 彈性

7. 彈性 **彈條**※を引張れば延び，延びた彈條は原形に戻らうとし，手を放すと縮みて遂に原形にかへる。竹をたわめると竹は眞直にならうとし，手を放すと原形に戻る。又第 11 圖のやうに圓筒に丁度はまるピストンにて空氣を壓縮すれば，空氣は一旦收縮するが，ピストンをゆるめると原の體積に復さうとして膨脹する。かやうに，力に依つて形や體積を變へるが，力を取去れば原の有樣に復する物體を**彈性體**といひ，この性質を**彈性**といふ。ゴム，鋼，銅，眞鍮，竹，空氣等は彈性體である。

第 11 圖



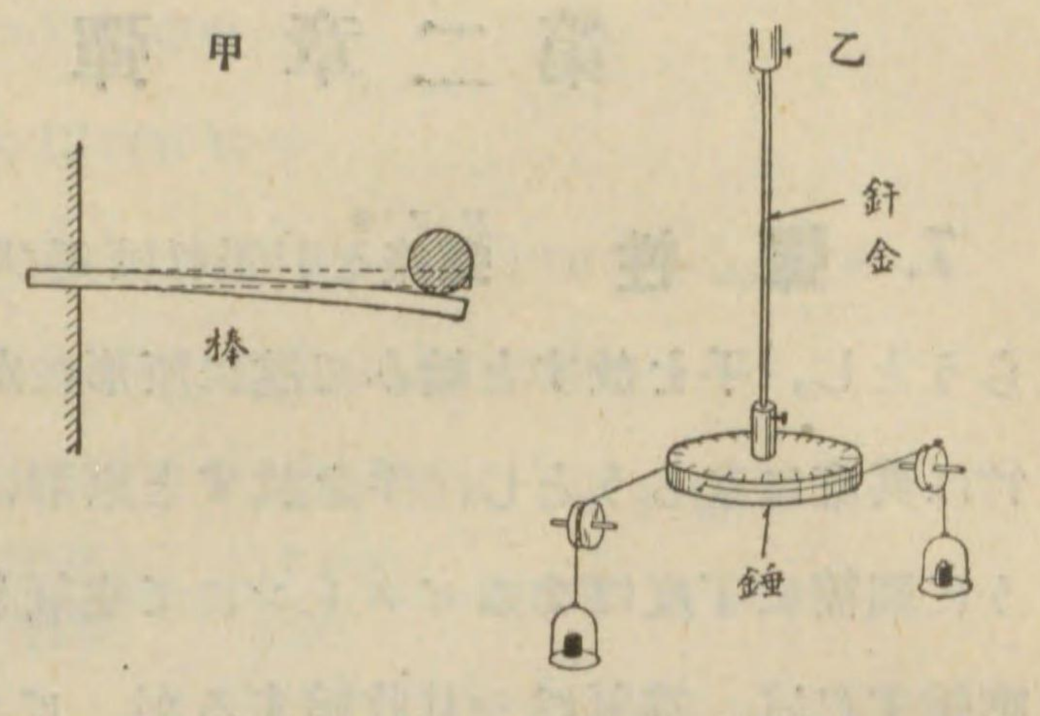
ピストンにて空氣の壓縮を示す

歪の種類 上の例に於いて，竹の如く形の變はり，空氣の如く體積の變はるやうに，物體の外力によつて生ずる形若しくは體積の變化を**歪**といふ，**體積の歪**は壓縮か或は膨脹で，氣體，液體，固體の何れにも起り得るのである。しかし固體は體積の歪の外，**形の歪**をも生ずる。形の歪にも**延**，**ちぢみ**，**たわみ**，**ねぢれ** 等色々の種類がある。第 12 圖甲は一端を支へた棒の他端に力を作用して，多少たわんだ有樣を示したものである。又乙圖は一端固定

註 彈條はスプリング，ぜんまい或はばねともいふ。

した針金の他端におもりを附け，そのおもりをねぢることによつて針金のねぢれを示す。

第 12 圖



棒のたわみ　針金のねぢれ

8. 彈性の應用

彈性を利用したもので日常吾々の眼にふれるものは甚だ多い。周圍の物につき，どの部分に彈性を利用してゐるかを注意して觀察するがよい。次にその二三を掲げよう。

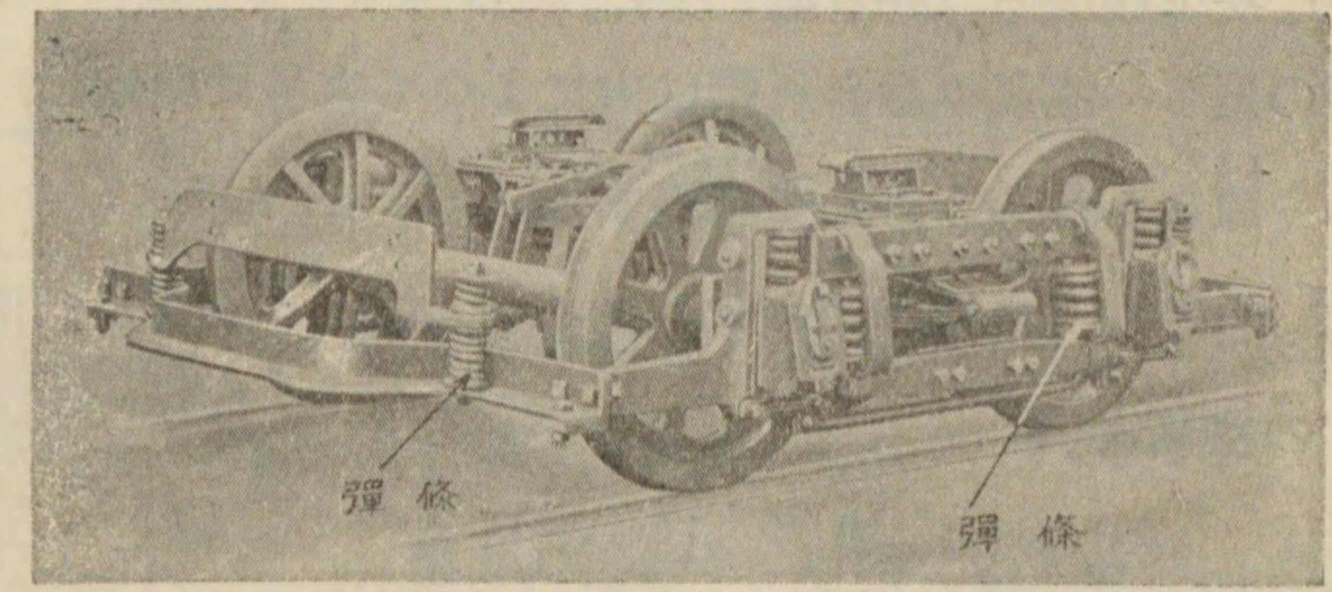
ねぢ型彈條　ねぢ型彈條はこれに力を加へて壓せば縮み，引けば延びる。力を去ると原形に戻らうとして，之れに附屬せる部分を動かす。

〔例〕 玩具の空氣銃，散髪用バリカン，電車のトロリー臺やパンタグラフ臺等。

第 13 圖は電動車のボギー車臺の一種を示したものである。各部に取附けたねぢ型彈條はそれぞれ任務があるので，その名稱も違ふが（本叢書電氣鐵道參照），これ等の彈條は車臺の激しい動搖を，その彈性によつて緩和する目的に用ひられる。

うづまき型彈條　うづまき型彈條は外側の一端を固定し，他端を軸に取附け，その軸をねぢる事によつて彈條はまかれる。力の減ずるに從ひまかれたる彈條は徐々にとけ軸を廻轉せしめる。

第 13 圖

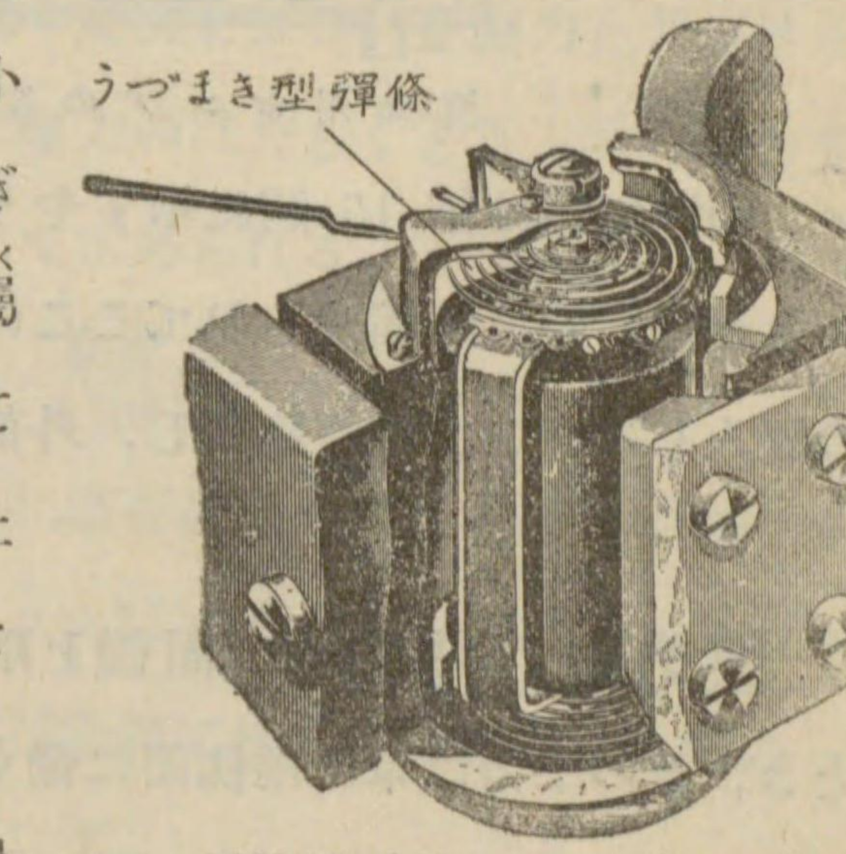


ボギー車臺に使用した彈條

〔例〕 時計のぜんまい，玩具の電車や自動車等のぜんまい等。

第 14 圖は可動線輪型電流計を示したもので，この種の計器にはうづまき型彈條を可動部分に取附ける。もしこの彈條がなければ，その軸を廻はさうとする力が働くとき，力の大小に拘はらず軸が廻はり過ぎる。それ故軸に彈條を附屬し，廻轉力の大小に應じて適度に軸の廻轉を喰ひ止め，以つて廻轉力の大小を知り得るのである。

第 14 圖



可動線輪型電流計に使用した彈條

ばねのたわみ　板狀體の一端を固定し他端に力を加へてたわめ，のち力を去ると原形に戻らうとする。

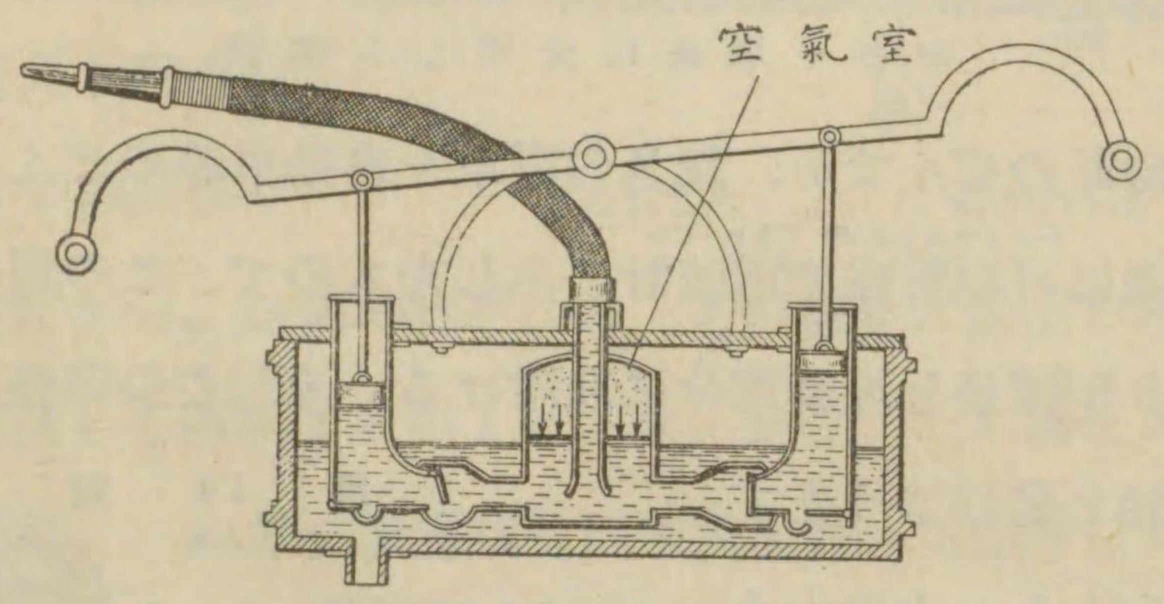
〔例〕 錠，裁縫用鋏，押釦のばね，電鈴の槌，電燈のソケット內

のばね，双形開閉器の双受，プラッグの挿込まれるジャック等

體積の歪　空氣の如き氣體は力によつて容易に壓縮し，力の減ずるや原にかへらうとして膨脹する。

〔例〕自動車，自轉車等のゴムタイヤ，押上ポンプ及び消火用ポンプの空氣室 等

第 15 圖



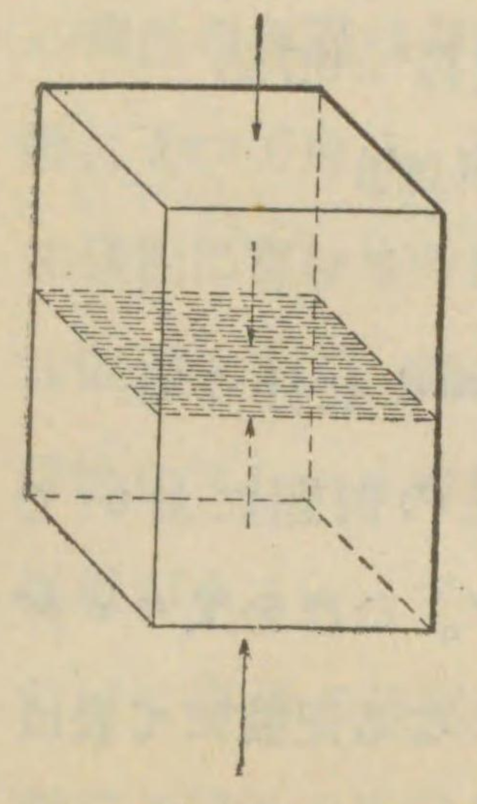
消火用ポンプの空氣室

ポンプの空氣室は第 15 圖に示すやうに，圓筒から入込む水の激しいときは，空氣壓縮せられてここに水を貯へる。次に圓筒より水の流入しないとき空氣膨脹し，外部へ一様に水を流出せしむる。

9. 壓力及び張力

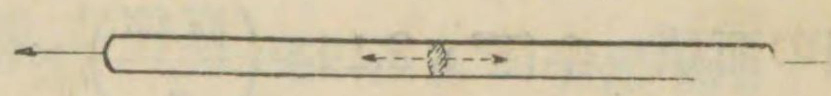
固體を兩側より同じ大さの力で壓合ふとき，この二力は單に兩側面に働くばかりでなく，第 16 圖に示すやうに固體の内部のどこでも，互に壓合つて歪を起してゐる。かやうに物體の表面のみならず内部のどの部分を取つても，そこで壓合つてゐる力を**壓力**といふ。又針金の兩端を引張れば針金のどの部分でも兩方から引張られて延びる（第 17 圖）。

第 16 圖



壓力を示す

第 17 圖



張力を示す

かやうに物體のどの部分にも引合つてゐる力を**張力**といふ。

壓力の强さ　物體に働く壓力が一定であつても，その壓力を受ける面積が廣いと壓力の割合が弱いこととなる。この强弱の割合を表はすため，通常1平方センチメートル（記號 cm^2）の面積に及ぼす壓力を取り，之を**壓力の强さ**と稱へ，さうしてその面積全體に働く壓力をば特に**全壓力**と名づける。

今或る面積全體に一様に壓力のはたらくとき，其の面の受ける壓力の强さは次のやうにして求められる。

$$〔壓力の强さ〕=\frac{〔全壓力〕}{〔面積〕} \cdots\cdots (4)$$

張力の强さ　電線のやうに斷面積の小なるものの張力の割合は1平方ミリメートル（記號 mm^2）の面積に及ぼす張力を取り，之を**張力の强さ**と稱へ，斷面積全體に働く張力を特に**全張力**と名づける。壓力の場合と同樣にして

$$〔張力の强さ〕=\frac{〔全張力〕}{〔面積〕} \cdots\cdots (4')$$

例題 2.　直徑 3.2 mm の電線（B. S. 8 番相當）を 56.3 kg の力にて引張るとき，その張力の强さ幾何なるか。

解　全張力 $=56.3\,\mathrm{kg}$，又電線の斷面は圓であるが，

$$\text{圓の面積}=\text{半徑}^2\times 3.14=\left(\frac{\text{直徑}}{2}\right)^2\times 3.14=\text{直徑}^2\times 0.785$$

故に　$\text{斷面積}=3.2^2\times 0.785=8.0384\,\mathrm{mm}^2=8.04\,(\text{約})$

依つて　$\text{張力の强さ}=\dfrac{56.3}{8.04}=7.0$

答　$1\mathrm{mm}^2$ に付 $7\,\mathrm{kg}$

壓力の强さの單位，張力の强さの單位　上の例題に於いて $1\,\mathrm{mm}^2$ に付 7 kg は針金の張力の强さを表はす。これを又キログラム每平方ミリメートルとも呼び，7 kg／mm² なる記號にて表はすこととする。同樣にして $1\,\mathrm{cm}^2$ に付 700 kg の壓力の强さをば，700 kg/cm² なる記號にて表はす。卽ち通常用ひられる壓力の强さの單位或は張力の强さの單位は，

キログラム每平方ミリメートル (kg／mm²)

キログラム每平方センチメートル (kg／cm²)

等である。

10. 彈性の極限

彈條を僅か引張つて力を除(の)けると，全く原形に復するが，少し大きい力を加へるならばもはや全く原形にかへらない。針金を引張るときも之と同樣である。鋼のやうに彈性に富むものでさへ，之に働く力が或る程度を超えて大きくなれば，遂には原形にかへらなくなる。かく彈性には限りがある。彈性體が外力*に依つて歪(ひずみ)を起し，その外力を去るとき，原形に復し得るか，全く復し得ぬかの境を**彈性の極限**(きよくげん)といふ。

註　彈性體の内部にあらはれる力に對して，彈性體に働く力をば特に外力と呼ぶこともある。

彈性の極限は彈性體の種類によつて違ふ。鋼のやうに彈性に富むものは彈性の極限が大きく，鉛のやうに彈性に乏しいものは彈性の極限が小さい。ゴムは飛びぬけて彈性の極限が大きい。第 4 表は二三の彈性體につき延(のび)に對する彈性の極限を示したものである。消しゴムをナイフにて切らうとしてもなかなか切れない。ナイフをあてるとゴムは非常に切り込まれたやうで，之を除けるとすぐ原形に戻る。これゴムは彈性の極限があまり大きいため細工がしにくいのである。

第 4 表　彈性の極限

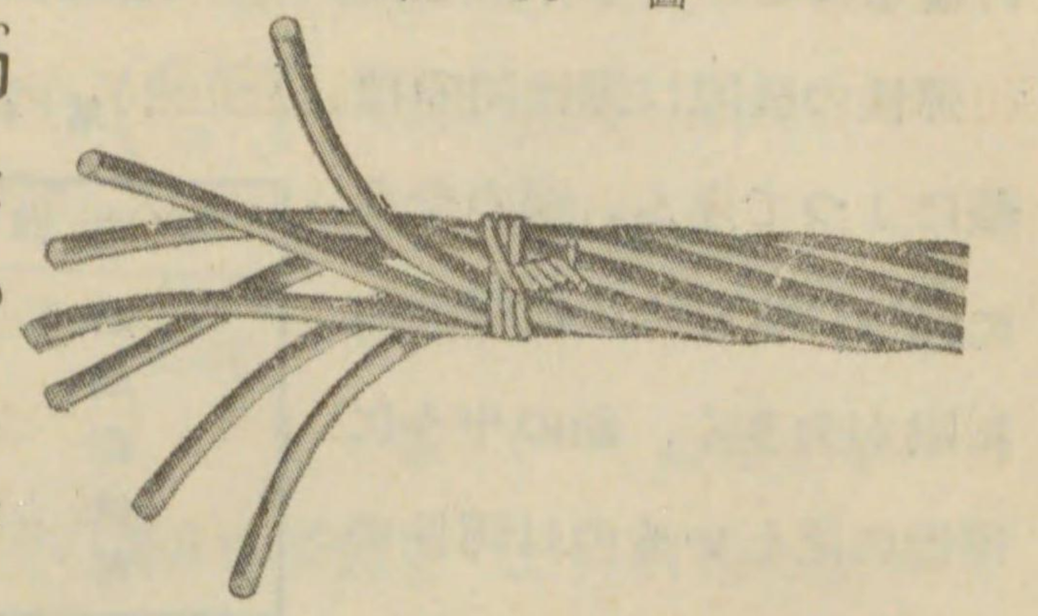
彈性體	彈性の極限 (kg/mm²)
鋼	50
鐵	32
銅	12
銀	11
鉛	0.25

永久の歪　彈性體にその極限を超えて十分大なる力を加へると，彈性體は歪(ひず)んだままの形を取つてしまふ。これを永久の歪と名づけよう。金屬などの細工はつまりこの永久の歪を利用したのである。電線は銅や軟鋼(なんかう)を引延ばしたものである。これ銅或は軟鋼は之に加はる外力に依り，その延に對する彈性の極限を超え，永久の歪を受けたからである。又第 18 圖に示したものは，數本の針金をより合はせて作つた撚線(よりせん)と稱へるものである。かやうに針金をより合はせ得るのは，强大なる力に依り，針金はねぢれに對する彈性の極限を超え，永久の歪を受けたからである。

針金を引張る力を次第に增し，その極限を超えなほも强大なる

力を加へるときは，歪は一層急激に增加し遂に切斷してしまふ。しかしながら硝子，硫黃，陶器の如き物質は少しく歪むと破壞してしまふ。これ等の物質をば脆いといふ。

第 18 圖



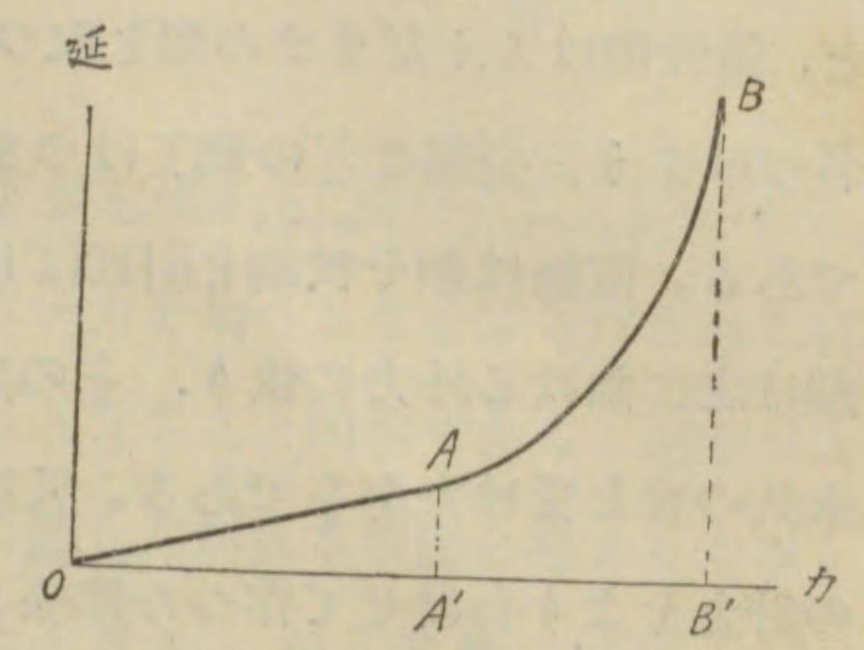
撚線

これは彈性の極限が非常に小さく且つ極限と切斷とが殆んど一致したのである。

グラフ　以上述べたる針金に働く力と延との關係を，圖に示す時は一層わかりよくなる。卽ち一點 O より互に直角をなす二直線を畫き(第19圖)，之を橫軸及び縱軸といひ，O を原點と稱へる。

今力を橫軸に，延を縱軸に取る。そして橫軸に沿うて O より遠ざかるほど力の大なることを示し，縱軸に沿うて O より遠ざかるほど延の大なることを示す。彈性の極限內に於いては力を增すに從ひ延もその割合に增加する。之を OA にて示す。卽ち A 點は彈性の極限點で，OA' は極限の場合の力の大さを表はす。次に極限を超えると力の增す割合よりも延

第 19 圖



力と延とのグラフ

の增加する方が著しいから，之をば AB のやうに上向きの曲線にて示される。AB の間は針金が永久の歪を受ける。卽ちこの間では，延ばすこともねぢれさせることも出來るのである。さうして力の大さが B' 點に達したとき遂に針金は切斷したとすれば，B は切斷點で，OB' はその切斷力を表はすのである。

この例に於ける，力と延との様に二つの量の關係を示す曲線を**グラフ** (graph) と稱する。

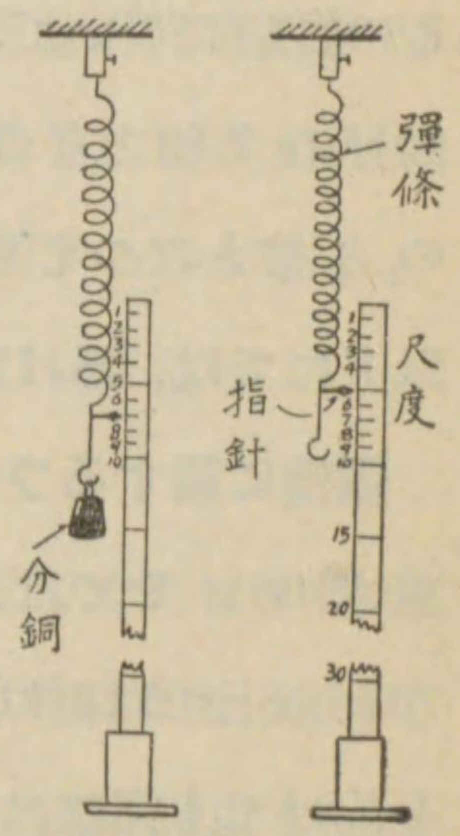
11. フックの定律

彈條を強く引けば引くほど，その延も增すことは既に述べたが，しかしその彈條に働く外力と延との關係は第 20 圖のやうな實驗にて確められる。

實驗　今圖のやうに彈條の一端を固定し他端に種々の重さの分銅を別々にかける。そして尺度に沿うて動く指針に依つてその延をはかるのである。

最初分銅をかけない時の指針の位置は尺度の 5.0 cm の點である（右圖）とする。次に順に分銅をかけ，その都度指針の位置を尺度にて讀み，第 5 表のやうに記入する。例へば第 VI 回目に於いて，50 g の分銅をかけ指針が 7.0 cm の點を指した（左圖）とすれば，6 行目のやうに記入する。この場合延は 7.0−5.0=2.0 cm で，之を最後の欄に記入する。

第 20 圖



彈條の延と分銅の重さとの關係

第 5 表　彈條の延と外力との關係

	分銅の重さ(g)	指針の位置(cm)	延(cm)
I	0	5.0	—
II	10	5.4	0.4
III	20	5.8	0.8
IV	30	6.2	1.2
V	40	6.6	1.6
VI	50	7.0	2.0
VII	60	7.4	2.4
VIII	70	7.9	2.9
IX	80	8.55	3.55
X	90	9.4	4.4

比例　第 20 圖の實驗に於いて初の間は，分銅の重さを 2 倍，3 倍，4 倍....とするに從つて，延も 2 倍，3 倍，4 倍....となつてゐる。この範圍內にては延は重さに**比例する**といふ。しかしこの實驗に於いて，重さが 70 g 以上となつた場合は，重さが II 回目の 7 倍となつても，延は丁度 7 倍ではない。重さが II 回目の 8 倍となつても，延は丁度 8 倍とはならない，この場合 70 g 以上にては，延は重さに**比例しない**といふ。

彈性に關するフックの定律　第 20 圖の實驗に於いて分銅の重さ 60 g までは，彈條の延は分銅の重さに比例してゐる。併し 70 g 以上では延は分銅の重さに比例しない。そしてこの場合分銅を除けても彈條は全く原形に戻らずに多少延び過ぎたのを見る。卽ち彈條は彈性の極限を超えてゐる。

このやうな事柄はこの彈條に限つたことではなく，どんな彈性體についても，又たわみやねぢれ等，何れの歪についても同樣な

關係がある。それ故

彈性の極限內に於いて，彈性體の生ずる歪は之に働く外力に比例する。

この事柄は種々の彈性體について，綿密な觀察と周到な注意とを以つて實驗を行ふときは誰にも知られることである。1678 年英人フック氏 (Hooke) が始めて此の關係を發表したので，この事柄を**フックの定律**といふ。

定律　彈性の極限內に於いて，歪の度合は常に外力に比例するといふことは，あらゆる彈性體にいきわたつた事柄である。かやうに自然界の多くの事物について，普遍的な事柄を簡單に表はしたものを定律或は法則といふ。力學によらず，電磁氣學にせよ，水力學にせよ，或は化學にせよ，かうした自然界を研究する學問は，まづ多くの實驗或は經驗を基礎として，それらにいきわたつた事柄卽ち定律を見出し，更に之を人生に利用するのである。次にフックの定律の利用の一例として自働秤について述べよう。

12.　自働秤

自働秤は物體の重さ一般に力をはかる秤である。昔から用ひ來つた桿秤のやうに分銅を用ひる面倒がなく，且つ力は目盛で直ちに讀める便利があるので，近頃廣く用ひられるやうになつて來た。その使ひ途によつて自働手秤，自働鍵秤，自働上皿秤，自働臺秤等の種類がある。

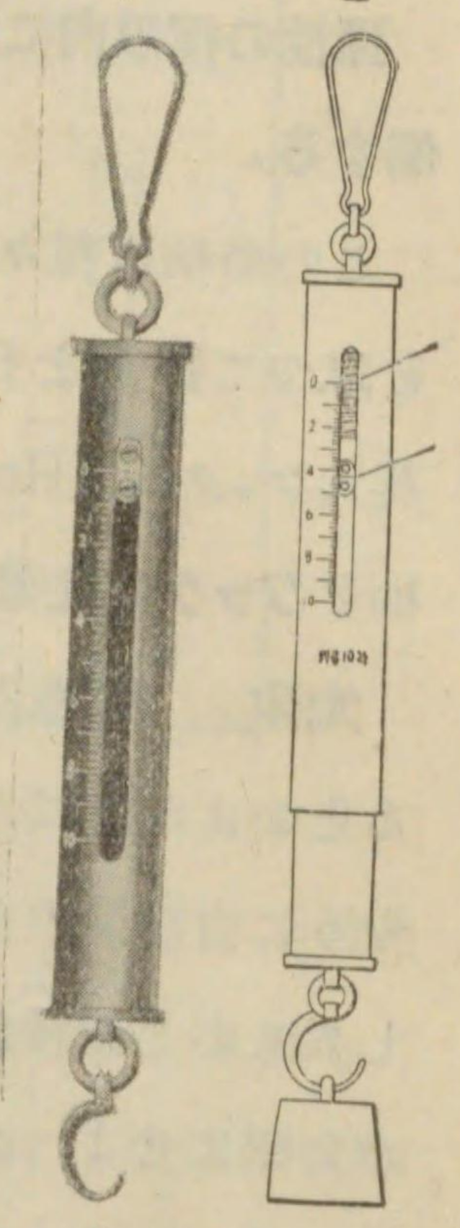
自働手秤　自働手秤は單にゼンマイ秤ともいひ，第 21 圖は之

を示す。内部は第 20 圖の實驗裝置と同樣である。それ故彈條の延によつて，鈎にかけたる物體の重さを知ることが出來る。

その目盛法はまづ物體をかけない場合の秤の指針の位置に 0 と記し，次に重さの精密に知れたる分銅をかけ，その指針の靜止する位置に標を附ける。例へば 10 kg の分銅をかけたるときの指針の靜止位置に 10 と記す。さうして 0 と 10 との間を 10 等分して目盛すれば，その一目盛は 1 kg づつである。その一目盛を更らに 10 等分すれば $\frac{1}{10}$ kg 卽ち 100 g づつの目盛が得られる。しかしそれ以上細かく目盛をすると，眼では讀みにくくなるので，目盛にはおのづから制限がある。

第 21 圖

甲 乙



自働手秤

次に重さを知らうとする物體を鈎にかけると，指針は一時上下に振れるが暫くして止まる。その指針の指す目盛を讀めば其のまま物體の重さである。乙圖に於ける物體の重さはその指針により 4.2 kg なることを知られる。

秤量及び感量　上の例にあげたる秤では，10 kg の重さの物體まではかり得られるので，10 kg を此の秤の**秤量**といふ。又 100 g たらずの端數は明かにはかり得ないので，この 100 g を此の秤の**感量**といふ。卽ち秤量 10 kg，感量 100 g の秤といへば，

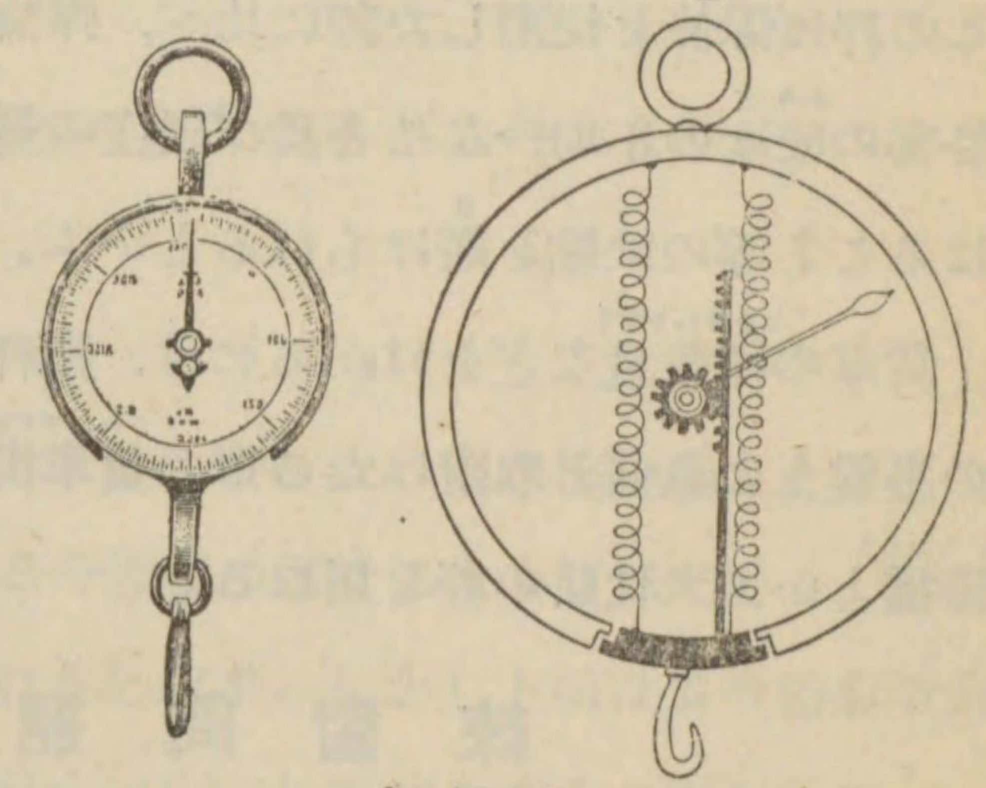
上に述べたるやうな目盛の秤のことである。もし秤量が 1.5 kg の秤ならば，感量も從つて小さく 20 g のものもある。感量が秤量の何分の一に當るかは秤の種類によつて異なる。自働手秤にては以上のやうな割合のものが多い。

何れの秤にても其の秤量と感量とを，見易き位置に彫附けておく。それ故秤を使用するには其のはからうとする物體に應じ適當なものを選ばねばならない。

自働鍵秤　人の力や馬が車をひく力をはからうとするには第22圖に示す自働鍵秤を用ひるとよい。この鍵秤は通常一俵米や屠殺牛等の重さをはかるに使用されてゐる。乙圖は自働鍵秤の内部を示す。二個の强きねぢ型彈條にて鍵ある鐵片をつりあげてゐる。この鐵片に力の加はるとき，彈條は力に比例して延び鐵片は下がる。從つて之に附屬せる鋸の歯の形したラックによつて，之と嚙合ふ小歯車を廻はす。依つて歯車の軸に取附けたる指針は，加はる力に比例して廻はるので，自働手秤の目盛法と同じ仕方で，歯車の軸を中心とする圓周上に目盛を施す。

第 22 圖

甲 乙

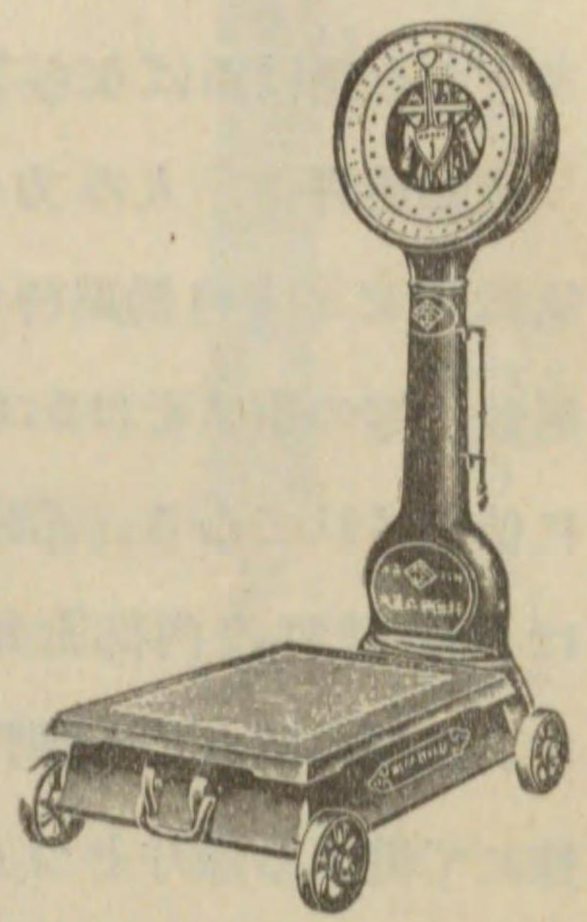


自働鍵秤

今はからうとする力にて秤の兩鍵を引くか，或は一方の鍵を支へて他方に物體をつるす時，その力に應じて指針廻はり暫くして止まる。その靜止點の讀みは力を表はす。大型のものは秤量 100 kg，感量 0.5 kg など使用されてゐる。

自働臺秤　鐵道の荷物取扱所等に於いて第23圖のやうな秤を多く使用してゐる。これは彈條を用ひないが，力をはかる自働臺秤の一種である。はからうとする荷物を臺盤上にのせるだけで，鍵秤と同樣に指針の靜止位置の目盛を讀み直ちに荷物の重さが知れる。この秤は彈條を使用した秤に比べ，彈條各部の硬度の不均一なこと及び硬度の變はること等の缺點を避けられるといふ。

第 23 圖



大正自働式臺秤

貨車の積載量などをはかるには，臺秤の臺盤上に軌條を取附けたる形の**貨車掛衡橋**といふ大仕掛の秤を用ひる。

練 習 問 題 II

1. 捲いてある太き鐵線を解かうとしても，すぐ捲かれてしまふ。何故なるか。

註　從來廣く用ひられたる秤は分銅を使用したもので，天秤，上皿秤，臺秤等の種類がある。しかし之等は第57節で述べる質量といふものをはかる秤で，本節にては力をはかる秤だけにつき記したのである。

2. 舟と岸との間に板をかけ，その上を渡るとき板の歪は何といふか。

3. 前問の板を二人で渡るときは，一人で渡るときよりも歪が大きい，何故なるか。

4. 一邊 5 cm の正方形の面積に，30 kg の壓力を加へるとき，その壓力の强さ幾何なるか。　　**答**　1.2 kg/cm²

5. 直徑 1.4 mm の電線を，77 kg の力にて引張るとき，其の張力の强さ幾何なるか。　　**答**　50 kg/mm²

6. 長さ 1 m，直徑 1.4 mm の銅線を 77 kg の力にて引きしに，5 mm 延びたといふ。もし $\frac{77}{2}$ の力にて引張るならば，幾 mm 延びるか。　　**答**　2.5 mm

7. 第 5 表の數値を用ひて，彈條の延と外力とのグラフを畫け。

【解答】

1. 鐵線は略ぼ圓形に曲げられてゐる。それ故解かうとして之に力を加へても，力を去るや鐵線の彈性により原形に戻る。

2. 板は全體としてたわみを起す。しかし上面は多少縮み下面は多少延びる。たわみの場合は同時に延びちぢみの歪をも伴ふ。

3. 板に二人乘るときは，板をたわませる外力は，一人の場合よりも大きい。從つて其のたわみも大きい。しかし此の場合二人であるから歪は 2 倍であるとはいへない。何んとなれば同じ點に加はる外力は，必ずしも 2 倍とならないのが普通である。

4. 正方形の面積は $5\times5=25$ cm², 故に公式 (4) に依り

$$〔壓力の强さ〕=\frac{30}{25}=1.2\ \mathrm{kg/cm^2}$$

5. 電線の斷面積は $1.4^2\times0.785=1.5386=1.539$ mm²(約)

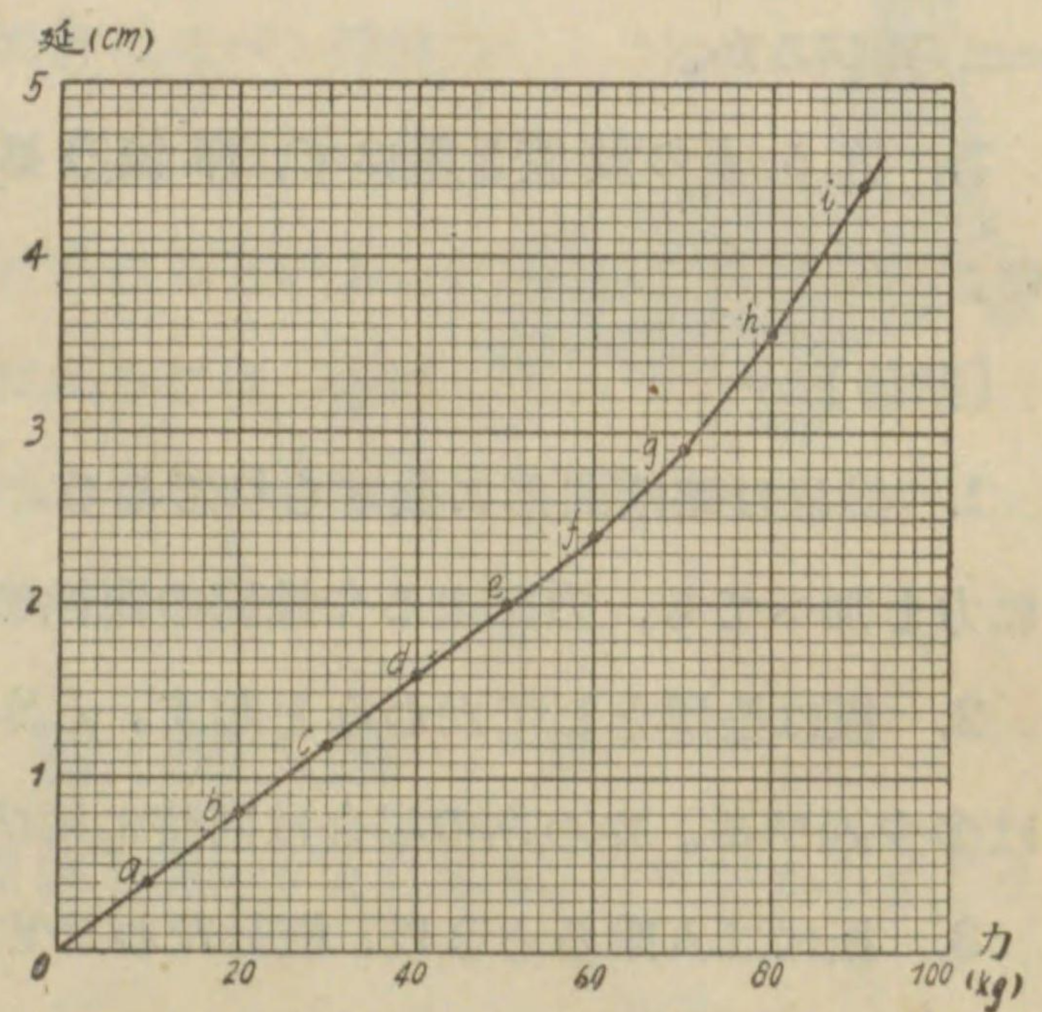
公式 (4′) に依り $〔張力の强さ〕=\dfrac{77}{1.539}=50\ \mathrm{kg/mm^2}$

6. 77 kg の外力を加へて 5 mm 延びる銅線に, $\dfrac{77}{2}$ kg の力を加へるときは, 力は $\dfrac{1}{2}$ となる。

故にフックの定律に依り延は $\dfrac{1}{2}$ となる。卽ち $5\times\dfrac{1}{2}=2.5$ mm

7. 方眼紙といふごばんの目になつてゐる紙に横軸及び縦軸を定め, 横軸に力(單位は kg), 縦軸に延(單位は cm)を取ること第 24 圖のやうにする。一目を幾 kg にするか或は一目を幾 mm にするかは全く自由であるが, 玆には圖の如く 10 kg を 5目, 1 cm を 10 目に取ることとする。卽ち外力 10kg の延 0.4cm は a 點となる。同様に點 b, c....を定め, これ等の點を結ぶ曲線 $O\,ab....hi$ を作れば, これ求むるグラフである。(普通 a, b, c....の文字は記入しない。説明のため記入した。)

第 24 圖

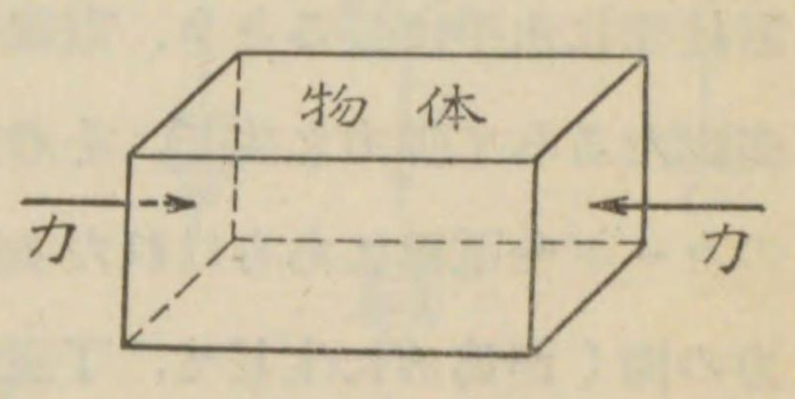


彈條の延と外力とのグラフ

第三章 力の釣合

13. 力の釣合 第25圖に示すやうに二力で物體を壓し合ふとき, 物體は動かないことがある。この場合二力は互に釣合ふといふ。又多人數で綱引をなし, 綱のちつとも動かぬとき, 綱に加はる多くの力は互に釣合ふといふ。

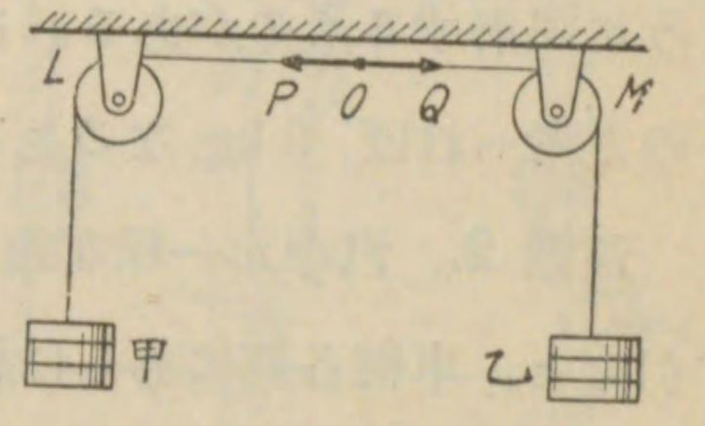
第 25 圖



釣合ふ二力

二力釣合の條件 第 26 圖のやうに, 滑らかに廻はる滑車 L, M を越えて絲を渡し, その兩端に分銅甲, 乙を下げる。分銅の重さが兩方相等しいならば, それは何キログラムでも絲は常に動かない。若し, 分銅甲が乙よりも重ければ, 忽ち左方へ動き出してしまふ。今分銅甲, 乙の重さを共に 3kg であるとすれば, 絲の兩端は 3kg の力で下方へ引かれる。しかし LM 間の絲の張力は滑車のおかげで水平に働く。LM 間の任意の一點 O について考へよう。分銅甲によつて左方へ向く張力を P と名づけ, 分銅乙によつて右方へ向く張力を Q とすれば, 力 P と Q とは大さ相等しく 3kg で,

第 26 圖

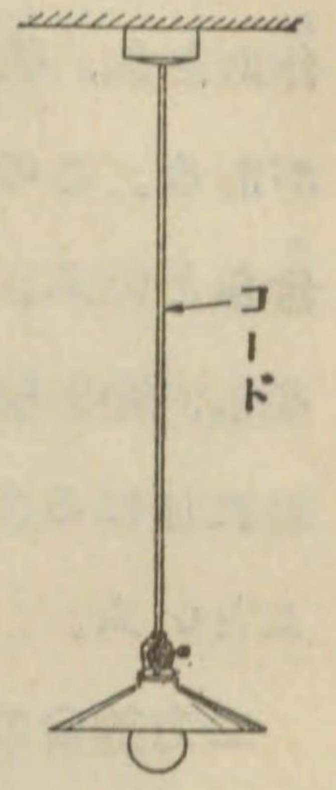


二力の釣合を示す實驗

方向正反對である。即ち二力の互に釣合ふときの條件は，その二力は大さ相等しく方向正反對なる事である。

抵抗力　第 27 圖はコードでつるした電燈を示す。最初電燈の重さによつて，コードは延び從つて縮まらうとする張力を生じ，電燈の重さと釣合ふ。又電線を電柱間に水平に張るとき，電線はその重さのため多少たるみて張力を生じ，その重さと釣合ふ。このコードや電線にあらはれたる張力の如く，或る力の働くが爲めに生じて，丁度之れと釣合をなす力を抵抗力といふ。

第 27 圖



電燈の重さに依つてコードに抵抗力の生ずるを示す

注意 1.　一本のコードの兩端を，3kg づつの力にて兩手で引くとき，コードのどの點の張力もやはり 3kg である。之れを 6kg であるかのやうに誤解するものがある。これは片手を固定し，他の手で引くものと考へれば，3kg なることを容易に理解し得るであらう。

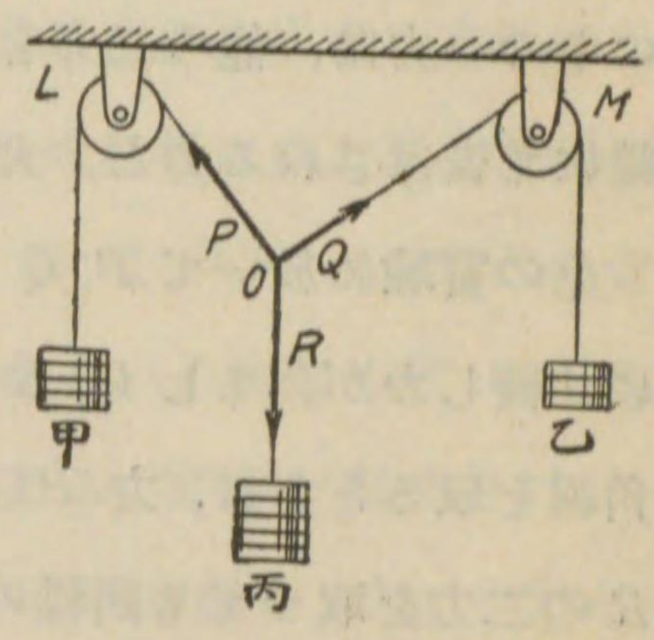
注意 2.　汽車が一樣な速さで進行してゐるとき，車輛に働く牽引力と，車輛各部にあらはれる抵抗力とが作用してゐる。かやうに運動してゐる物體に幾つかの力が働き，その運動の有樣の變はらぬことがある。この場合それらの力は互に釣合ふといふ。物體に働く力が釣合ふときは，物體は靜止すると思ふものがある。これは靜止體に働く力の釣合ふときは物體は靜止の狀態にあるが，運動體に働く力が釣合ふときは物體の運動の有樣はそのまま繼續

するものである。

14.　三力の釣合

三本の絲の一端を第 28 圖のやうに一所に結び，他端に甲，乙，丙三つの分銅をつるす。さうすると三本の絲は分銅の大小によつて適當な方向を取つて止まる。この場合絲には分銅甲，乙，丙各の重さに等しい張力があらはれる。これ等の張力をそれぞれ P, Q, R と名づければ，P, Q, R の三力は交點 O に於いて，絲の方向に働き互に釣合ふのである。

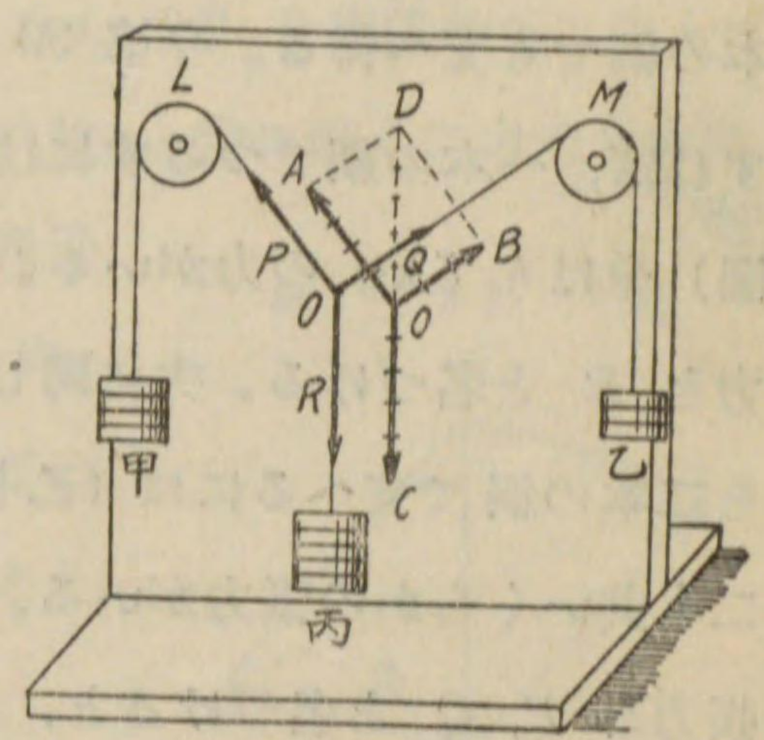
第 28 圖*



三力の釣合を示す實驗

三力釣合の條件　上の實驗に於いて，力 P が 4kg，力 Q が 3kg，力 R が 5kg であるとする。今絲の裏に鉛直に板を立て之れに，OA の方向に 4cm の長さを，OB の方向に 3cm の長さを取ること第 29 圖のやうに行ふ。次に力 P, Q を表はす二直線 OA,

第 29 圖*



三力の釣合に於ける力の關係を示す實驗

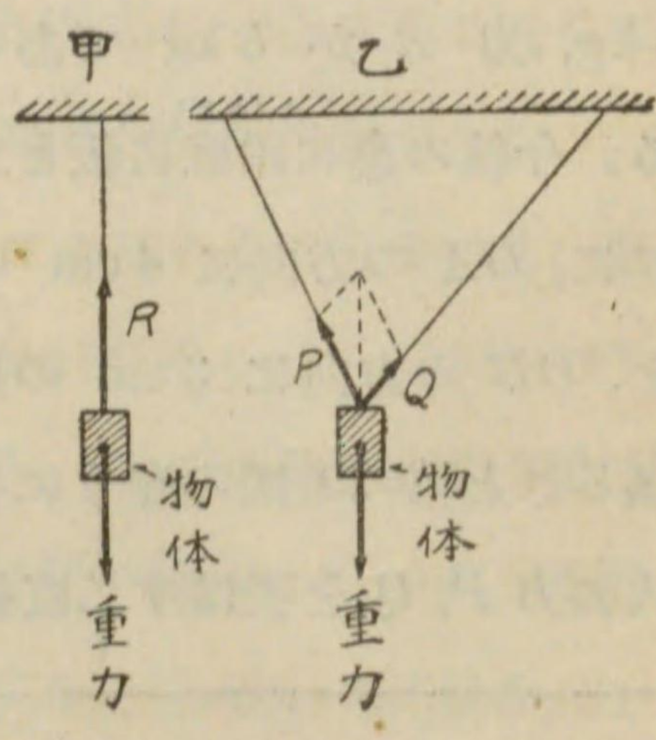
註　第 26 圖第 28 圖及び第 29 圖等に於いて，O, A, B, C, D, E, 及び L, M は點の位置を示す記號で，P, Q, R は力を表はす記號である。前後の關係よりその區別を明かにして欲しい。

OB のなす平行四邊形 $OADB$ を作り，對角線 OD を求めるときは，その長さ 5cm ありて，丁度 5kg の力 R と大さ等しく方向正反對である。依つて一點に働く三力の互に釣合ふときは，その中の一力は，他の二力を表はす二直線で作る平行四邊形の對角線にて表はされる力と，大さ等しく方向正反對である。

上の實驗に於いて P, Q 二力の作る平行四邊形の對角線を力 R に比較したが，もし Q, R 二力のなす平行四邊形を作り，その對角線を取るときは，力 P と大さ等しく方向正反對となる。又 P, R の二力を取つても同樣の關係がある。

15. 力の合成　物體をつるすのに一本の綱でも或は數本の綱でも支へ得る。今第 30 圖に於いて物體の重さを 5kg とすれば，一本の綱でつるすには（甲圖）やはり 5kg の力がいる。この力を R と名づける。次に同じ物體を二本の綱で支へるには（乙圖），二本共いくらかの張力がいる。この張力を P, Q と名づけると，P, Q 二力で一力と等しい效果がある。もし四本の綱で支へるならば，同じ物體を吊すのであるから，其の四力は一力 R と等しい效果がある。かやうに一力が數力と等しい效果

第 30 圖



二力と效果の等しい一力

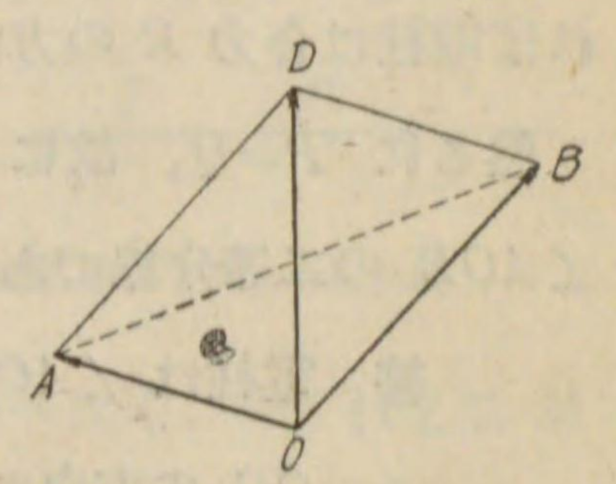
あるとき，その一力を，これ等の數力の**合力**と稱へる。

さうして數力を與へて，これ等の合力を求めることを力の**合成**といふ。

一點に働く二力の合成　一點に働く二力を合成する方法は二三種あるが，平行四邊形の法が廣く用ひられてゐる。第 29 圖について今一度考へよう。O 點に働く力 R は P, Q の二力と釣合ひ，又 R は OD にて表はす力とも釣合ふ。それ故 OD にて表はす力は P, Q の二力と等しい效果がある。即ち一力 OD は P, Q 二力の合力である。言ひ換へれば OA の方向の 4kg の力と，OB の方向の 3kg の力とを合成すれば，OD の方向の 5kg の力となるのである。

前節にて述べたやうに，OD は OA, OB を相隣れる二邊とする平行四邊形の對角線である。それ故，一點に働く二力の合力は，二力を表はす二直線にて作る平行四邊形の對角線にて表はされる（第 31 圖）。かやうに平行四邊形によつて二力を合成し，その合力を求めることを**力の平行四邊形の法**といふ。

第 31 圖

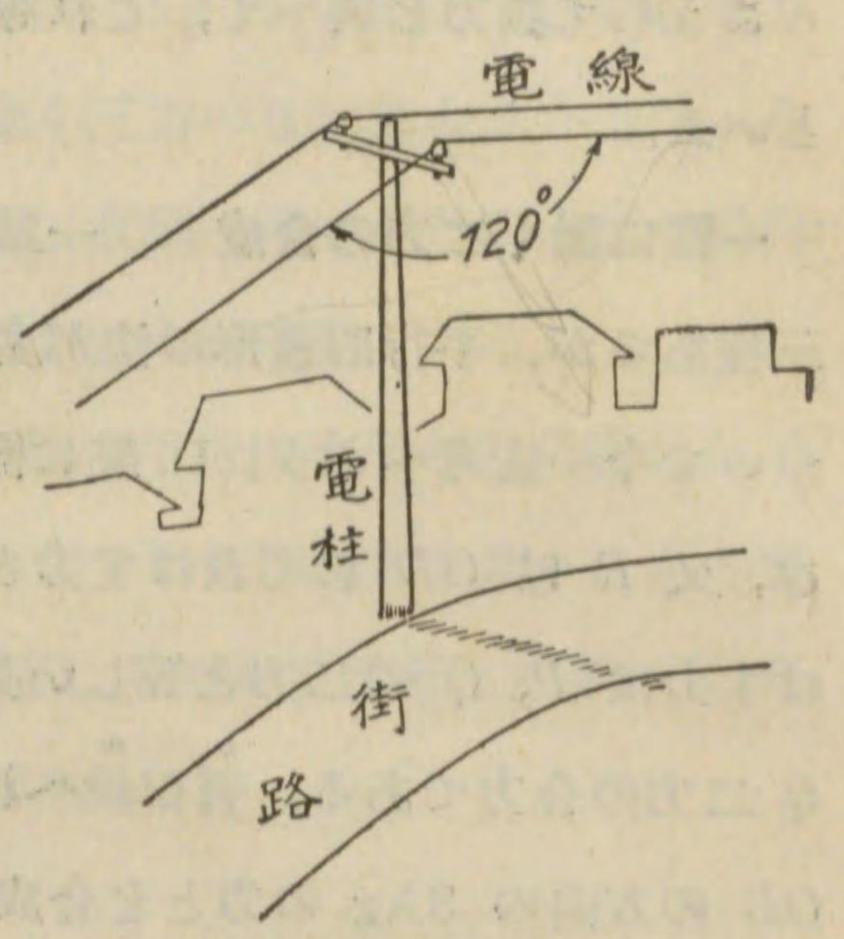


二力の合成

注意　合力は單に，平行四邊形の對角線で表はされると記憶してはいけない。第 31 圖に於いて對角線 AB では合力を表はせない。合力は二力の働く點 O を通る對角線 OD で表はされる。

例題 3. 120 度に曲つてゐる街路に沿うて，電線を水平に張るとき，その角に建ててある電柱はどちらの方向に引かれるか。但し電線の張力は等しいものとする。

第 32 圖 甲



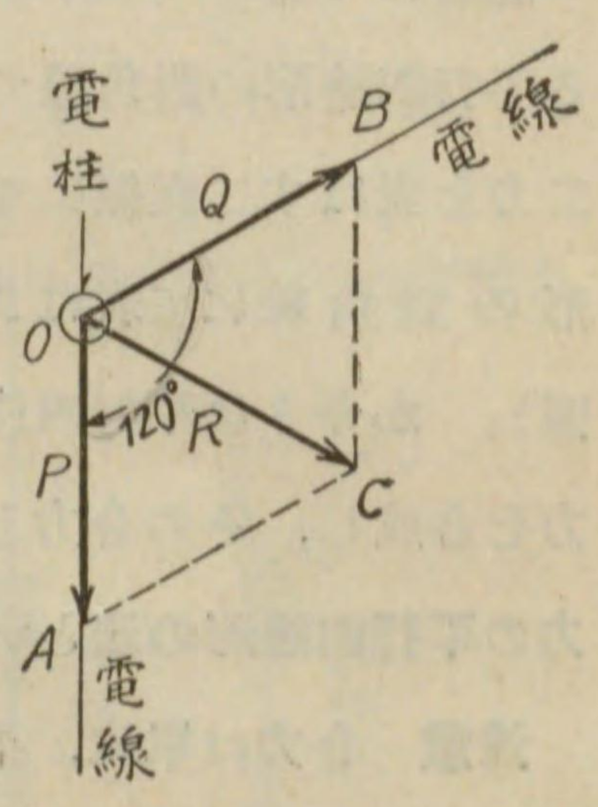
街路に沿ふ電線

解　第 32 圖乙に於いて，O を電柱の斷面，AOB を電線とする。O 點に働く電線の張力 P, Q をそれぞれ OA, OB で表はし，これ等を合成する爲め平行四邊形 $OACB$ を作り對角線 OC を求める。卽ち OC にて表はされる力は合力で，之れを R とすれば電柱は合力 R の方向に引かれる。

然るに $P=Q$，故に R の方向は $\angle AOB$ の二等分線である。

答　電柱は $\angle AOB$ の二等分線 OC の方向に引かれる。

第 32 圖 乙

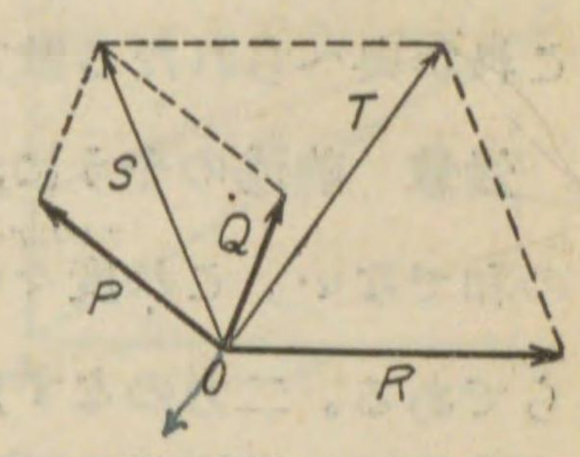


電線の張力の合成

一點に働く數力の合成　一點に働く多くの力を合成する方法も色々あるが，上に述べた力の平行四邊形の法を幾度も繰返へすことによつて，それらの合力を求めら

れる。今第 33 圖の様に一點 O に働く P, Q, R の三力ありとする。これ等三力の合力を求めるには，先づ何れか二力 P, Q の合力を平行四邊形の法によつて求め，之れを S と名づける。次にこの S と R との合力を同様な方法で求め，之れを T とすれば，T は P, Q, R 三力の合力である。

第 33 圖



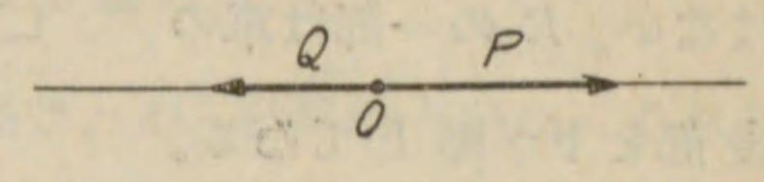
一點に働く三力の合成

四力の場合は今一度平行四邊形の法を繰返へすといふ風に，五力，六力‥‥の場合も同様の方法を行へば　最後の合力はその與へられたる**數力の合力**である。

一直線上にある力の合成　一端を固定した綱を二人で同じ方向に引くときのやうに，二力 P, Q が一直線上にある場合，その合力は二力 P, Q の大さの和 $P+Q$ に等しい。

又一本の綱の兩端を二人で反對の方向へ引くときのやうに，P, Q 二力が一直線上にあつて反對に向くときは，其の合力は P, Q の大さの差で，大なる力の方へ向く。今これを第 34 圖のやうに右向きの力 P を正とし，左向きの力 Q を負とすれば，代數學で學んだ通り和の形でも表はすことが出來る。卽ち合力は $P+(-Q)$ 卽ち $P-Q$ である。

第 34 圖



方向正反對なる二力の合成

一直線上に數個の力作用するときは，右向きの力を正とし，左

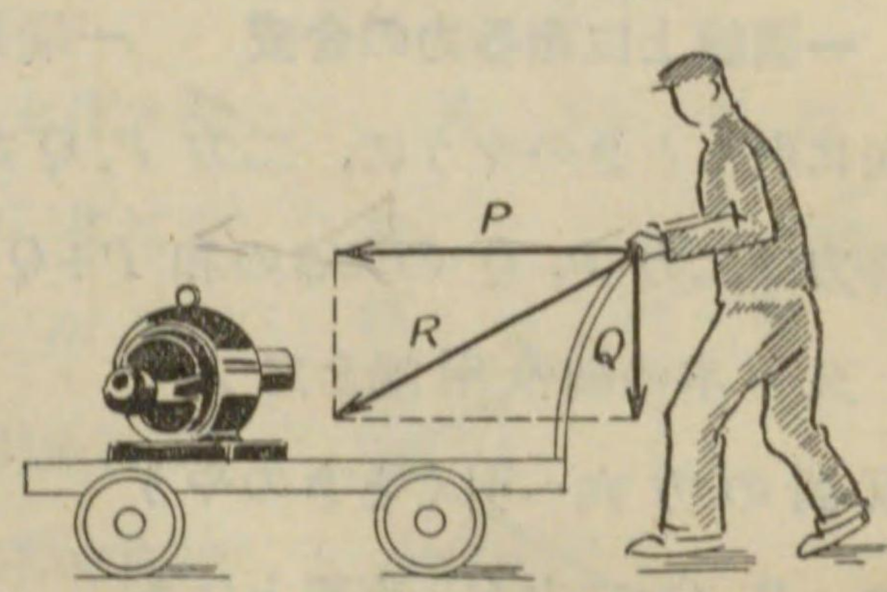
向きの力を負として，それらの力の大さの代數的の和を求めると，これが與へられたる數力の合力である。

注意 前述のやうに，合力は一般に，與へられたる力の算術的の和でない。これ度々いふやうに力には大さの外に方向があるからである。二力のなす角の大きいときは，合力の方が却つて，與へられたる力の何れよりも小さいことがある。與へられたる力が一直線上にあつて同じ方向のときだけ，それらの合力は算術的の和である。

16. 力の分解

第 35 圖は荷物を運ぶ手押車に働く力の有樣を示す。今人が車に加へた力を R と名づけよう。R は斜に下向になつてゐるが，車を前進せしむる力は R 全體ではない。R の一部は車の後部を下へ壓してゐる。

第 35 圖



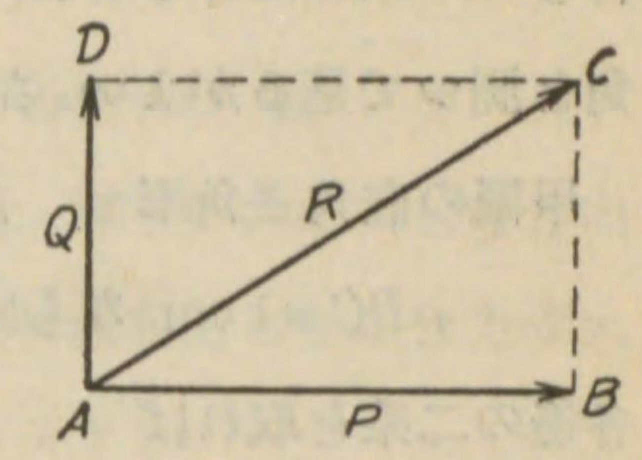
手押車に働く力

今前進せしむる力を P, 下へ壓す力を Q とし，P と Q との合力が R に等しくなるやうにすれば，この場合，力 P や Q を力 R の**分力**といふ。力 R を與へて分力を求めることを**力の分解**と稱へる。

分力の求め方 第 36 圖のやうに與へられた一力 R を，互に直角なる二力 P, Q に分解する必要が屢ば起るのである。しか

も水平と鉛直とに分解する場合が最も多い。水平の方向の分力をば特に**水平分力**といひ，鉛直の方向の分力を**鉛直分力**といふ。圖に於いて P は力 R の水平分力で，Q は力 R の鉛直分力である。そしてこの場合，分力 P, Q の大さの値は，直角三角形の性質を知れば容易に求められる。

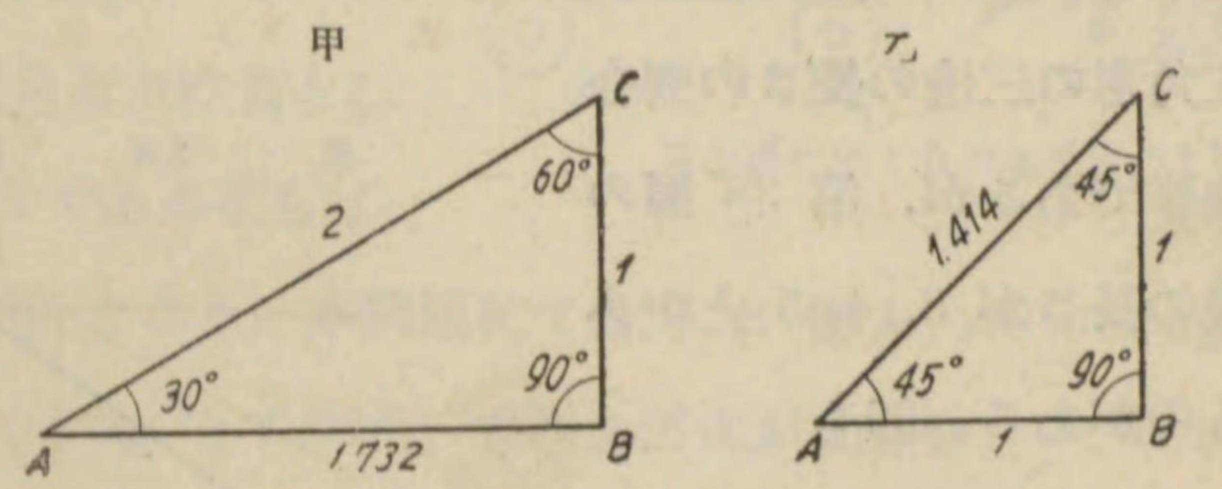
第 36 圖



直角なる二方向への力の分解

直角三角形 直角三角形といへばすぐ三角定規を思ひ出すであらう。三角定規には普通第 37 圖の形をなした二種類がある。

第 37 圖



直角三角形の二種を示す

圖に於いて AB を底邊，BC を高さ，AC を斜邊といひ，これ等の間に次の關係がある。

$$[高さ]^2+[底邊]^2=[斜邊]^2$$

即ち $\overline{BC}^2+\overline{AB}^2=\overline{AC}^2$ …………………(5)

この關係は數學に於いて證明するが，圖の形に限らず一般の直角三角形に成立つのである。試みにボール紙で直角三角形を作るか或は三角定規について，その三邊の長さを測つて見るがよい。

自ら (5) 式の關係を會得(えとく)するであらう。又分度器(ぶんどき)を用ひて三つの角を測つて見るがよい。さうすると次の結果が知られるであらう。

甲圖の直角三角形　$\angle A=30°$，$\angle B=90°$，$\angle C=60°$

$BC=1$ cm ならば，$AC=2$ cm，$AB=1.732$ cm で，

各邊の二乘を取れば　$1^2+1.732^2=2^2$

もし又 $BC=10$ cm ならば，$AC=20$ cm，$AB=17.32$ cm で，

$$10^2+17.32^2=20^2$$

乙圖の直角三角形　$\angle A=45°$，$\angle B=90°$，$\angle C=45°$

$BC=1$ cm ならば，$AB=1$ cm，$AC=1.414$ cm で，

各邊の二乘を取れば　$1^2+1^2=1.414^2$　（脚註參照）

直角三角形の三邊の長さの割合は大概複雜(ふくざつ)であるが，第 38 圖の如く三邊の長さが 3, 4, 5 といふ特別のものがある。卽ち

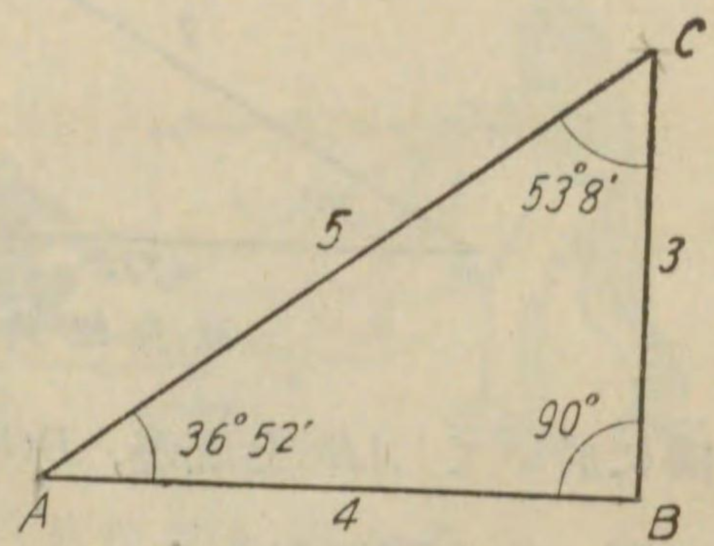
$BC=3$ cm，$AB=4$ cm，とすれば

$AC=5$ cm となり，

各邊の二乘を取れば　$3^2+4^2=5^2$

なる關係がある。その代り角の方は簡單な數とはならない。分度器で測つて見ると次の結果が知ら

第　38　圖



直角三角形の一種を示す

註　第 37 圖に示した形の直角三角形は屢ば用ひられるから，角及び各邊の長さの割合を記憶し置くのが便利である。その中 1.732 を"人なみに(ひとなみに)" 1.414 を"一夜一夜(ひとよひとよ)"として暗記するのも一方法である。

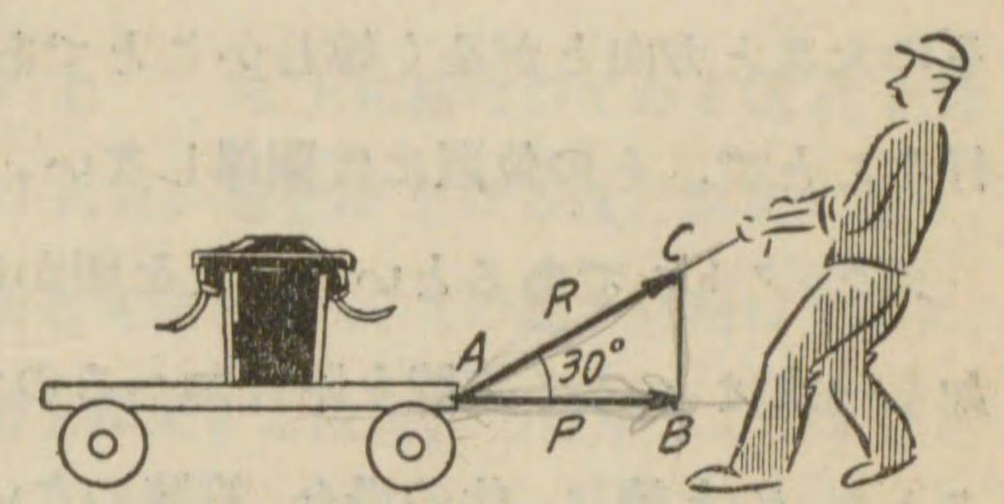
れるであらう。

$\angle A=37°$ 弱，$\angle B=90°$，$\angle C=53°$ 强

例題 4.　第 39 圖に示すやうに水平と 30° の角をなした方向に，60 kg の力にて車を引くとき，水平に進行せしむる分力の大さ幾何なるか。

解　圖に於いて，車を引く力 60 kg を R にて表はせば，水平に進行せしむる力はその水平分力 P である。

第　39　圖



車を斜に引く力の水平分力

直角三角形の性質として $AC=2$ であるならば，$AB=1.732$ となる。本例題にては力 R 卽ち $AC=60$ kg，力 P 卽ち $AB=x$ kg とすれば，次の比例式が成立つ。

$$2:1.732=60:x$$

故に
$$x=\frac{1.732\times60}{2}=51.96$$

答　51.96 kg，約 52 kg

17.　ヴェクトル

力にはその大小の外に方向がつきものである。併し面積，體積或は時間などいふ量には方向といふことがない。力のやうに大さと方向とを有する量を**ヴェクトル量**或は單に**ヴェクトル** (Vector) と稱へる。後に述べる速度，加速度(かそくど)，運

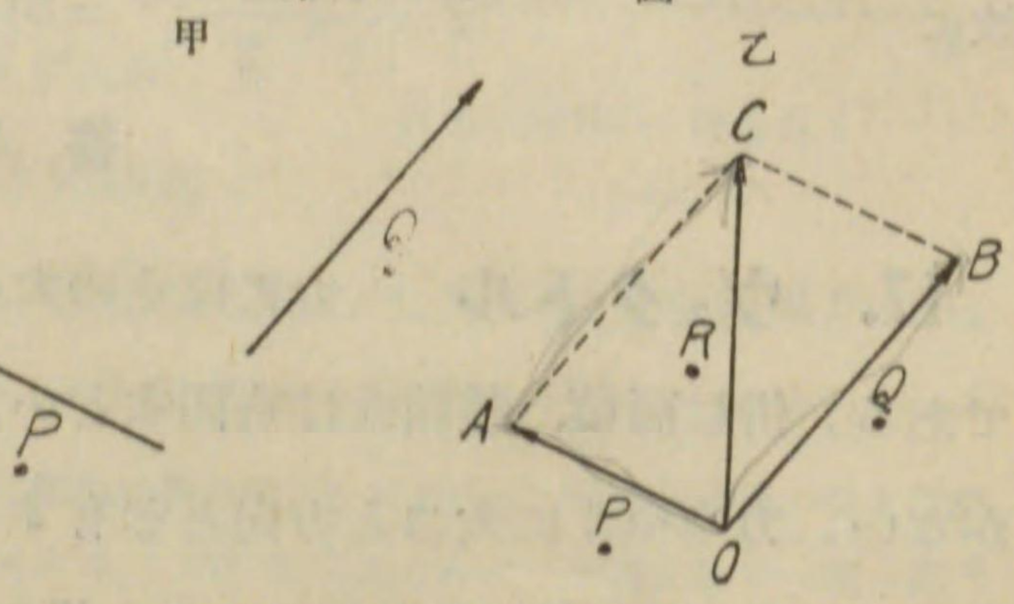
動量等も大さと方向とを有する量で，何れもヴェクトルである。又電流及び起電力などもヴェクトルとして取扱へば，その意義明かになり都合がよい。

ヴェクトルの表はし方　ヴェクトルの書き表はし方は力について述べたやうに，矢印を附けた直線にて表はす。第40圖はヴェクトル圖である。從つて二つのヴェクトルが相等しいといふことは，その大さと方向とが全く等しいことである。同じ方向とは互に平行なことで，その位置には關係しない。

又ヴェクトルであるといふことを明かに示すには，$\vec{P}$ 或は $\underset{\cdot}{P}$ の如く→或は・なる符號を附け加へるのである。$\vec{P}$ 或は $\underset{\cdot}{P}$ をヴェクトル P と讀む。此の場合，符號のない P は $\vec{P}$ の大さだけを示すものとする。

二つのヴェクトルの合成　ヴェクトルの加減乘除は方向を含まぬ量の加減乘除とは異なる。ヴェクトルの**加法**はまた**合成**ともいひ，力の場合と同樣に平行四邊形の法などに依るのである。

第40圖



二つのヴェクトルの合成

第40圖に於いて甲圖に示す二つのヴェクトル $\underset{\cdot}{P}, \underset{\cdot}{Q}$ を合成するには，乙圖のやうに一點 O よりヴェクトル $\underset{\cdot}{P}$ に平行に且つ長さ等しく

$\overrightarrow{OA}$ を書く。OA は $\underset{\cdot}{P}$ と大さ及び方向が等しいから，ヴェクトルとして全く同じである。同樣に $\underset{\cdot}{Q}$ に平行に且つ長さ等しく $\overrightarrow{OB}$ を書く。さうして平行四邊形 $OACB$ を作り，O を通る對角線 OC を引けば，$\overrightarrow{OC}$ は P, Q 二つのヴェクトルと同じ效果がある。$\overrightarrow{OC}$ を $\underset{\cdot}{P},\underset{\cdot}{Q}$ の**合成ヴェクトル**或は**ヴェクトル和**と稱へる。合成ヴェクトルは恰も力の場合の合力に相當すること明かである。

能率

18. 力のモーメント

地上に横はつてゐる電柱を起すのに，根元を押へて末口に近い點を持上げるほど容易である。これは電柱をその根元の所を支點として，其の周りに廻はすのに，支點より遠ざかつた點に力を作用するほど，力は小さくてすむといふことを意味する。電柱に限らず如何なる物體でも，之れを支點の周りに廻轉するには，力の大さの他に，支點から力の方向へ垂直なる距離にも關係するものである。それ故

[力の大さ]×[支點より力の方向へ垂直な距離]

を考へ，之れを支點に對する其の**力のモーメント**と稱へる。支點より力の方向へ垂直な距離を，その力の支點に對する**腕**といふ。それ故

[力のモーメント]=[力の大さ]×[腕] ....(6)

第41圖は電柱を起さんとする有樣を示す。O を支點とし，他端 A に於いて電柱に垂直に働く力を F とすれば，

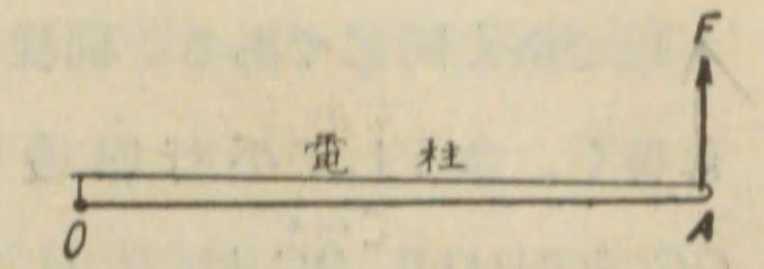
$$F \times OA$$

は力 F の O 點に對するモーメントである。さうして OA はそ

の力のモーメントの腕である。

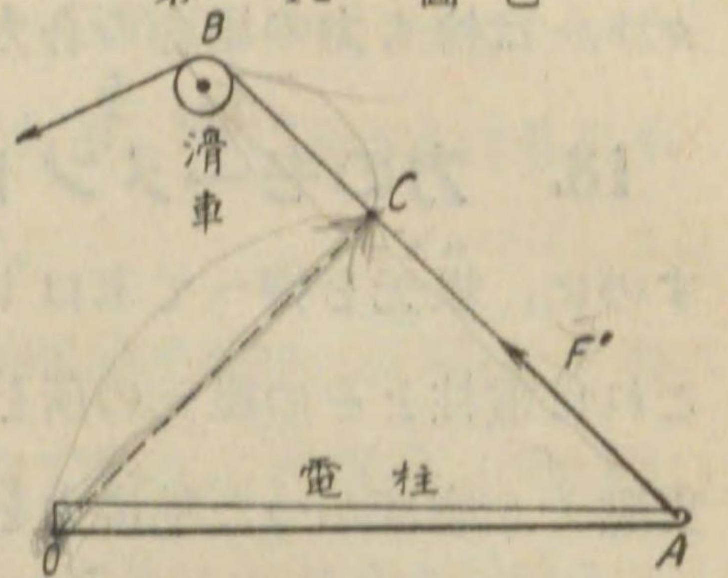
若し電柱に綱をつけ，乙圖の如く之れを引起すときは，綱の張力 F' の方向は OA に垂直ではなく，AB の方向なること明かである。依つて O 點より AB に垂線 OC を下せば，OC は力 F' の O 點に對する腕である。故に $F'\times OC$ は力 F' の O 點に對するモーメントである。

第 41 圖甲



電柱を之れに垂直な力で起す場合

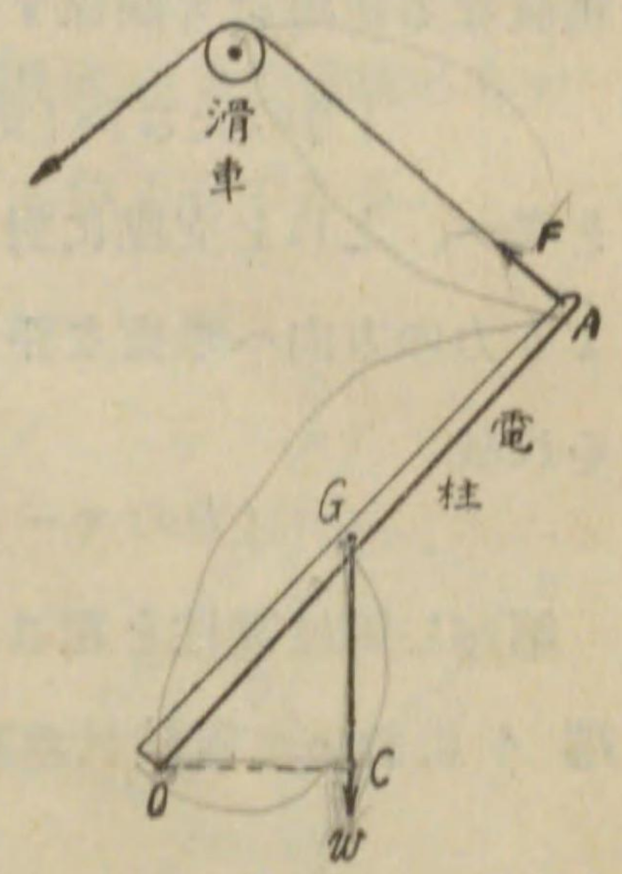
第 41 圖乙



電柱を綱で引起す場合

力のモーメントの釣合　第42圖は電柱を半ば起しかけ，綱の張力に依つて支へてゐる有様を示す。そして，張力 F の方向が電柱 OA に垂直な場合であるとす。この際電柱全體の重さは一點 G に働くものと見做され（第21節參照），全體の重さ卽ち電柱に働く重力を w とする。

第 42 圖



電柱を起しかけたときの力の釣合

支點 O に對して，力 F は電柱を左廻り――時計の針の廻轉と反對の方向――に廻さうとし，又重力 w は電柱を右廻り――時計の針の廻轉の方向――に廻さうとする。そして電柱の釣合つてゐるのは，支點に關して

$$[\text{左廻りの力のモーメント}]=[\text{右廻りの力のモーメント}] \quad \cdots(7)$$

なる關係が成立つからである。

圖に於いて O 點より重力 w の方向へ垂線 OC を下すときは，

$$[\text{右廻りの力のモーメント}]=w\times OC$$

又

$$[\text{左廻りの力のモーメント}]=F\times OA$$

故に

$$F\times OA=w\times OC$$

なる關係の成立つ時，張力及び重力のモーメントが釣合ひ，電柱は靜止の有様にある。若しも OC が OA の $\frac{1}{4}$ なる位置に於いては，張力 F は重さ w の $\frac{1}{4}$ の値で支へられるのである。

力のモーメントの單位　第 42 圖に於いて腕 $OA=5$ m，力 $F=80$ kg であるとすれば，O 點に對する力のモーメントは

$$F\times OA=80\times 5=400 \text{ m-kg}$$

である。それ故，力のモーメントの單位は，

メートルキログラム（記號 m-kg）

メートルトン（記號 m-t）

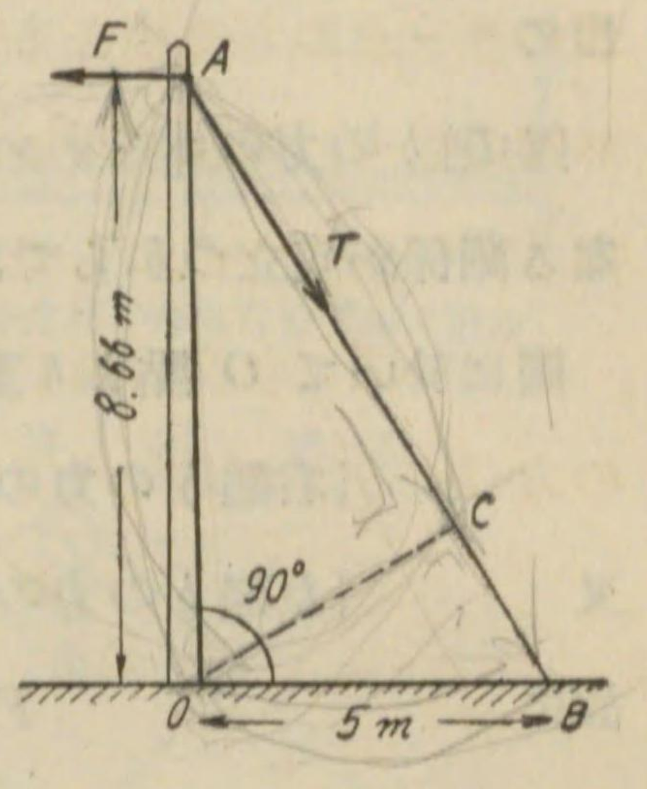
等の如く，長さの單位と力の單位とを組立てたるものである*。

例題 5.　地表上 8.66 m の電柱の一點 A に水平張力 1 500 kg の力 F が作用してゐる。今支線 AB を第 43 圖のやうに取附け

註　力のモーメントの單位 m-kg は，仕事の單位 kg-m とまぎらはしいから，混同せぬやうに注意するがよい。

て之れと釣合はせようとす。支線の張力を幾何とすべきか。但し OB は 5 m なりとする。

第 43 圖



支線の張力の求め方

解　電柱の地表上の點を O とすれば，外力 F は電柱を O 點の周りに左廻りに，支線の張力 T は之を右廻りに廻はさうとする。

O 點より支線 AB へ垂線 OC を下せば，OC は張力 T の腕であるから，

　　[右廻りの力のモーメント]$=T\times OC$

又　[左廻りの力のモーメント]$=F\times OA$

故に　　$F\times OA=T\times OC$ …………………(i)

なるとき電柱は釣合ふ。

今 OC の長さを求めるため，先づ $\angle OAB$ を見出さう。直角三角形 OAB に於いて，邊の比 $OB:OA=5:8.66=1:1.732$
故に第 37 圖甲の直角三角形の性質に依り，$\angle OAB=30°$

次に直角三角形 OCA に於いて，$\angle OCA=90°$, $\angle OAC=30°$
故に邊の比 $OC:OA=1:2$ の割合である。

さて (i) 式に於いて $F=1\,500$ kg,　$OA:OC=2:1$　であるから

$$1\,500\times 2=T\times 1 \quad \therefore\ T=3\,000$$

答　支線の張力 3 000 kg

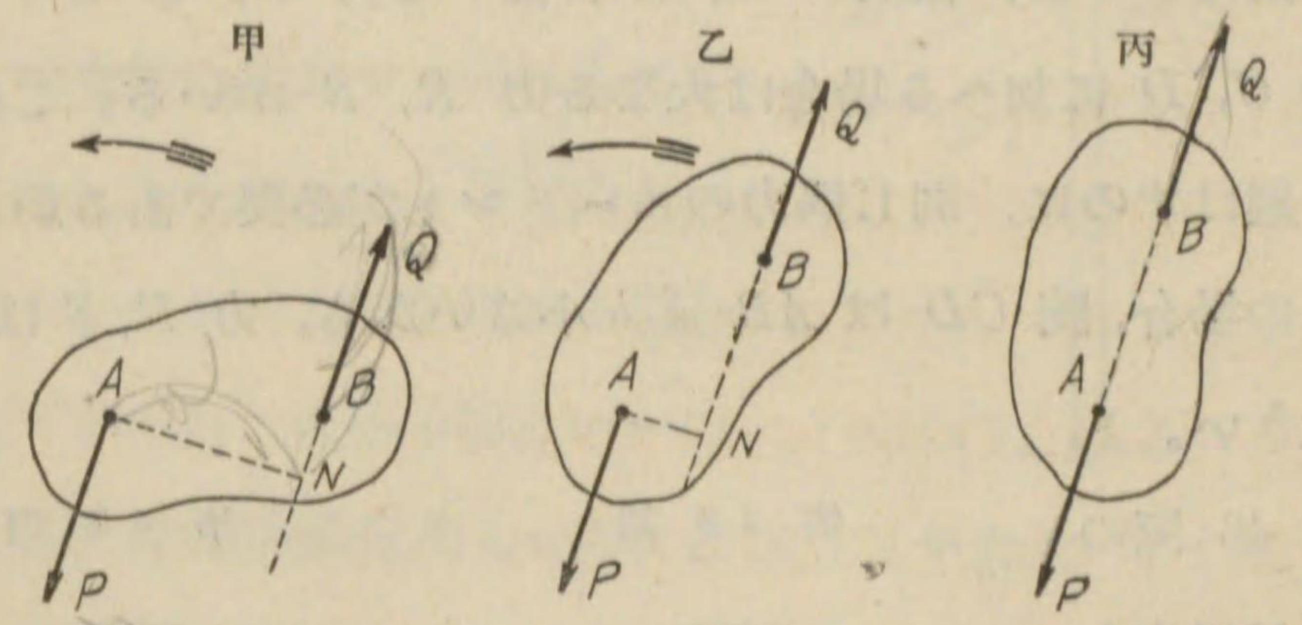
19. 偶　力

自動車の方向を變へるときはハンドルに

働く力は，兩手を反對の向きに作用せしめる。又時計のネヂや電燈のキーをねぢる場合も二本の指で力を反對の向きに加へる。これ等の場合，物體に働いた力は**偶力**といふて，大さ等しく平行で向きが反對な一組の力である。

第 44 圖は物體に働く偶力を示す。方向反對な大さ等しい一組の力 P, Q が甲圖のやうに作用するとき，物體は左廻りに次第に

第 44 圖



物體に働く偶力

廻轉し，乙圖の有様を經て，遂に丙圖の如く P, Q が一直線になつて物體の廻轉は止む。

偶力のモーメント　偶力をなす二力の作用線間の距離を**偶力の腕**といふ。圖に於いて A より力 Q の方向へ垂線 AN を作れば，AN は P, Q 間の距離で，卽ち偶力 P, Q の腕である。一力の大さと偶力の腕との相乘積を**偶力のモーメント**と稱へる。圖について AN を a にて表はせば，

　[偶力のモーメント]=[一力の大さ]×[偶力の腕]

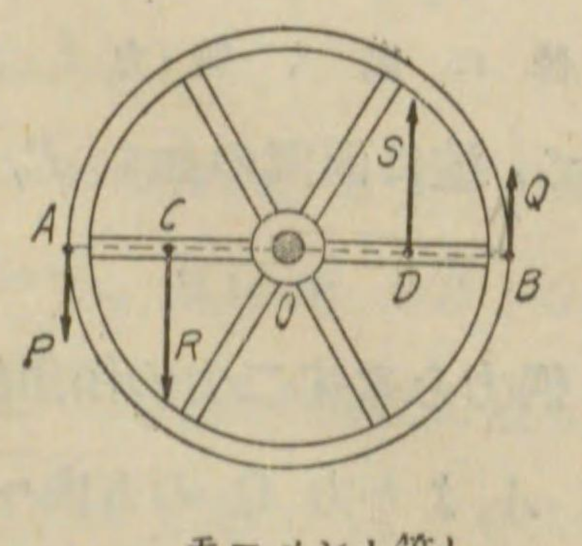
　　$=P\times a$ ………………… **(8)**

乙圖の狀態に於いては甲圖の場合に比べ偶力のモーメントは小さく，丙圖の場合それが零である。偶力が物體に作用して之れを廻轉せしむる效果は，偶力のモーメントの大小に關係する。さうして力の方向によつて右廻りと左廻りとの別を生ずる。第 44 圖に於ける偶力は物體を左廻りに廻轉させるのである。

偶力の性質　第45圖は軸 O の周りに廻轉する手廻車を示す。これを廻はすのに，輪周の A, B に加へる力 P, Q よりも，アームの C, D に加へる場合は大なる力 R, S がいる。これ同じものを廻はすのに，同じ偶力のモーメントが必要であるからである。この場合，腕 CD は AB より小さいから，力 R, S は P, Q より大きい。

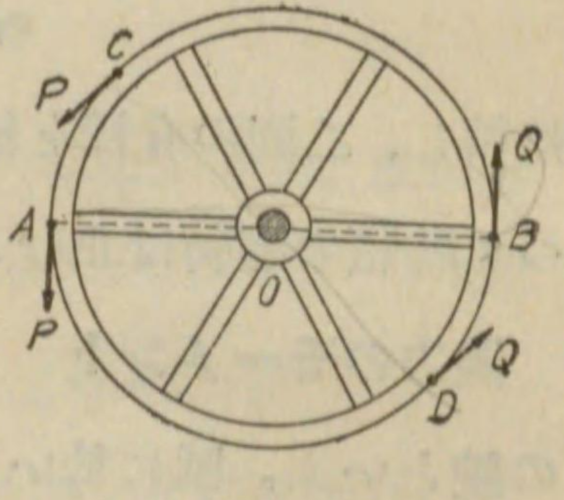
又第 46 圖の如く同じ偶力を A, B の位置に作用せしむるも，C, D の位置に作用せしむるも，手廻車を廻はさうとする偶力の效果には變りがない。

第 45 圖



モーメント等しい偶力を示す

第 46 圖



働く位置の異なる偶力を示す

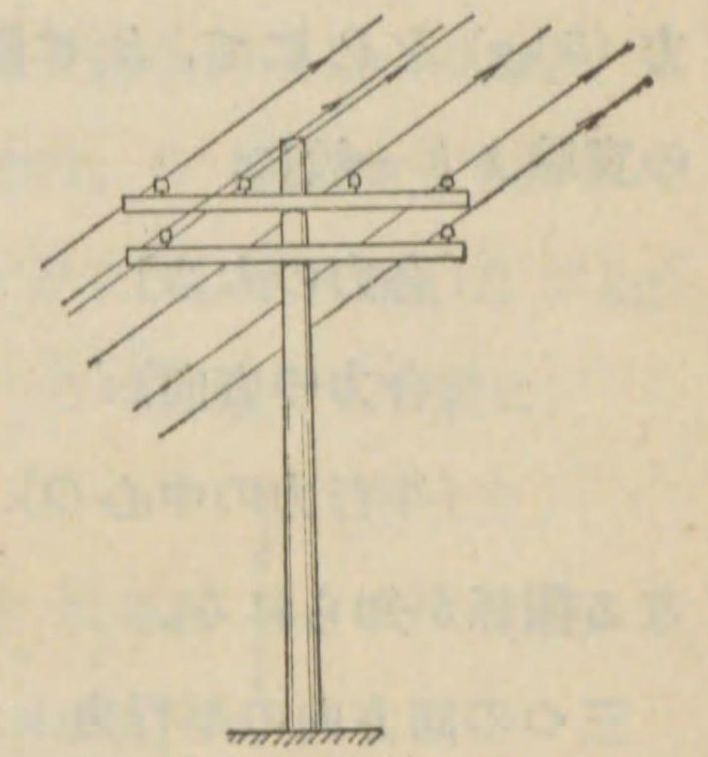
若し同じ物體に働く偶力が幾組もあるときは，左廻りの偶力のモーメントの合成と，右廻りの偶力のモートントの合成との差で，大なるモーメントの方に廻はるものである。

注意　物體に働く一力のモーメントは，力の位置が一定しても支點の位置によつて違ふ。併しながら物體に作用する偶力は力の位置が一定すれば，その腕は確定するから，支點をどこに選んでも偶力のモーメントは一定である。

20. 平行力

數本の電話線が平行にピンと張られてゐるとき，その各線の張力の方向は互に平行である。かやうな力を**平行力**といふ。幾つかの平行力の作用する場合これ等の平行力と效果の等しい一力を，これらの**平行力の合力**といひ，合力の作用すると見做される點を**平行力の中心**といふ。

第 47 圖

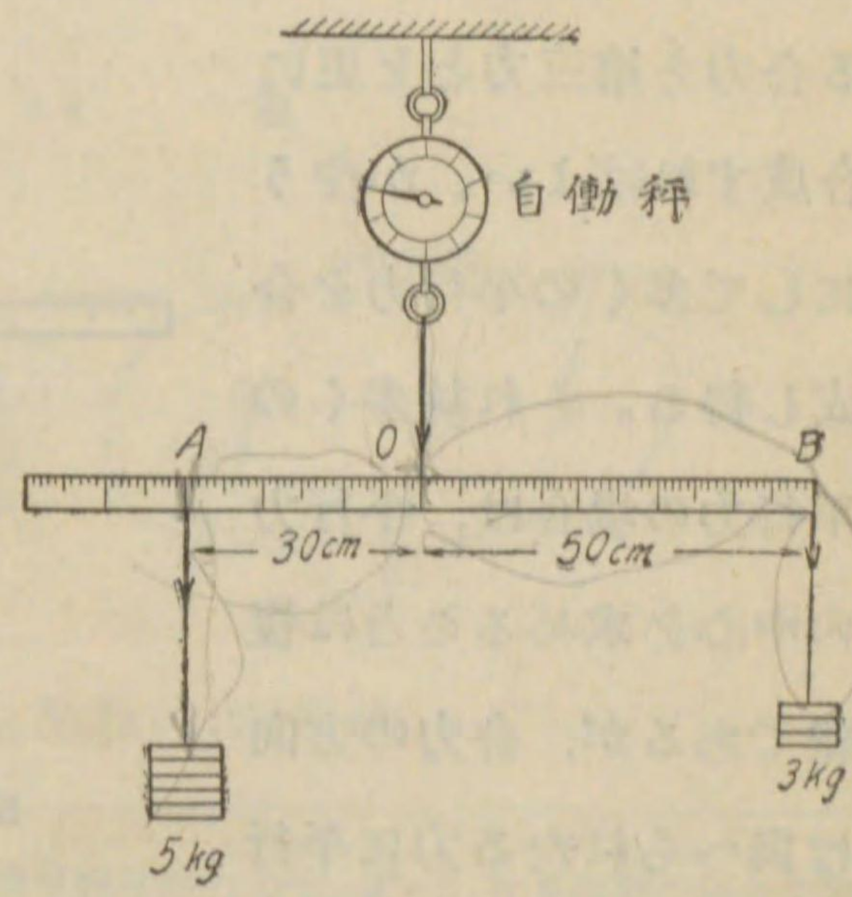


平行力の一例

同方向の平行力の合成

第 48 圖の如く目盛した一樣な棒の中點 O を自働秤にて吊し，棒を水平に保たしめる。次に O より左方 30 cm の點 A に 5 kg，O の右方へ 3 kg の分銅をかけ，棒の再び水平となる

第 48 圖



同方向の平行力を合成する實驗

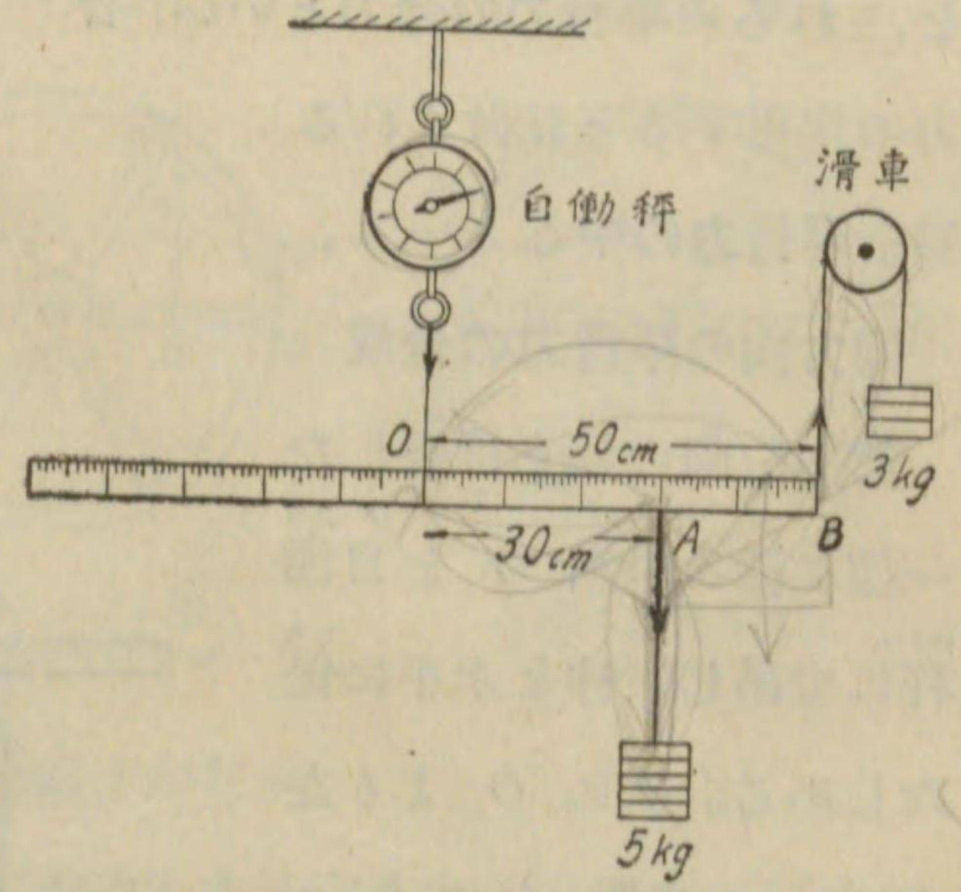
點 B を定める。此の際 OB が 50 cm で，秤の指針は 8 kg の増加を示すのである。即ち A と B とに働く二力は O に働く 8 kg の一力と等しい。この 8 kg の力は合力である。又 5×30 cm-kg と 3×50 cm-kg とは相等しい。今合力を R にて表はし，A に働く力 (5 kg) を P にて，B に働く力 (3 kg) を Q にて表はせば，上の實驗より一般に，

〔合力の大さ〕　$R=P+Q$
〔合力の方向〕　P, Q に平行
〔平行力の中心 O〕　$P\times OA=Q\times OB$　……(9)

なる關係が知られる。

三つの同方向の平行力の場合は，まづ二力につき上と同樣にして求めたる合力と第三力とを更に合成すればよい。かやうにして多くの平行力を合成し得る。それ故多くの平行力の場合は，平行力の中心を求めることは複雜であるが，合力の方向は與へられたる力に平行で，合力の大さはこれ等の與へられたる力の和に等しい。

第 49 圖



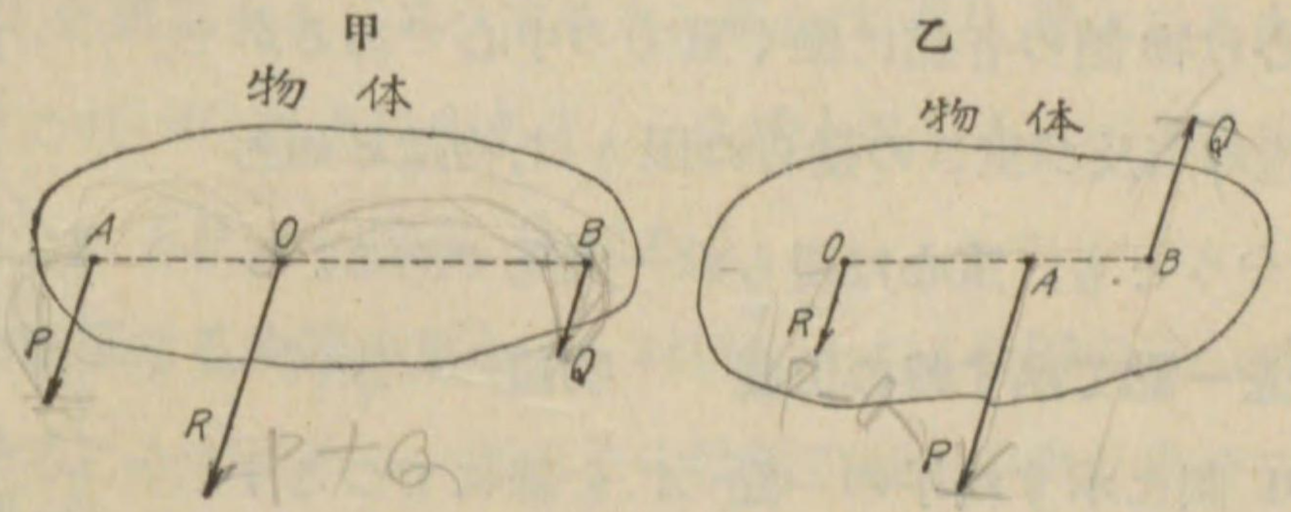
反對方向の平行力を合成する實驗

反對方向の平行力の合成　第 49 圖のやうに棒の中點 O を自働秤にて水平につるし，先づ O より右へ 50 cm の點 B に，3 kg の分銅を滑車を超えてかける。次に 5 kg の分銅をかけて棒の水平となる點 A を定める。此の際 OA が 30 cm，秤の指針は 2 kg の増加を示す。即ち A に於いて下向きの 5 kg の力と，B に於いて上向きの 3 kg の力との合力は，O 點に働く下向きの 2 kg となる。今 A に働く力 (5 kg) を P にて，B に働く力 (3 kg) を Q にて，合力を R にて表はせば，この實驗より一般に，

〔合力の大さ〕　$R=P-Q$
〔合力の方向〕　大なる力 P に平行
〔平行の中心 O〕　$P\times OA=Q\times OB$　……(10)

注意　第 48 圖及び第 49 圖に揭げたる實驗は，便宜上の距離 OA, OB は，力の方向に垂直な場合を示したが，垂直なると斜な

第 50 圖



物體に働く平行力の合成

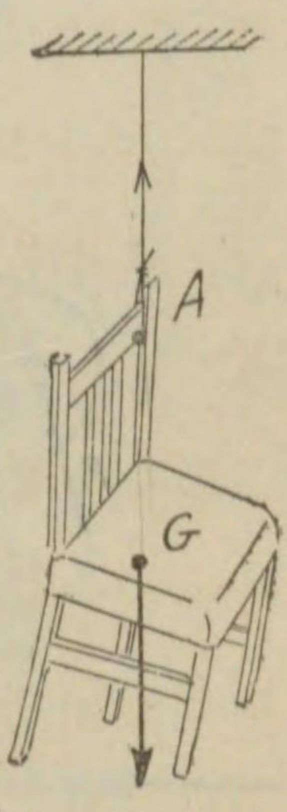
註　前節で述べた偶力といふのは，方向反對な平行力で，$P=Q$ なる特別の場合に過ぎない。

るとに無關係である。それ故一般に第 50 圖のやうに物體に平行力の作用する場合，(9) 式或は (10) 式の關係が成立つ。又上の實驗で求めたる平行力の中心は，支點 O に對して二力 P, Q の力のモーメントの釣合〔(7)式〕に依つて説明することも出來る。

21. 重心

地球上の物體は常に重力の作用を受けつつあることは，既に述べたのであるが，その重力は物體のどの點に働くであらうか。重力は物體の各點に働くけれども，或る一點に働くものと考へることが出來る。卽ち物體の各點に働く重力は互に平行であるから，合成すればこれ等の平行力の中心に働く一の合力となる。この平行力の中心を**重心**と稱へる。又その合力の大さは物體の各點に働く重力卽ち物體全體の重さに等しい。それ故結局,物體の各點に働く重力は，物體の重心に働く全體の重さに等しい一力であると見做される。

第 51 圖



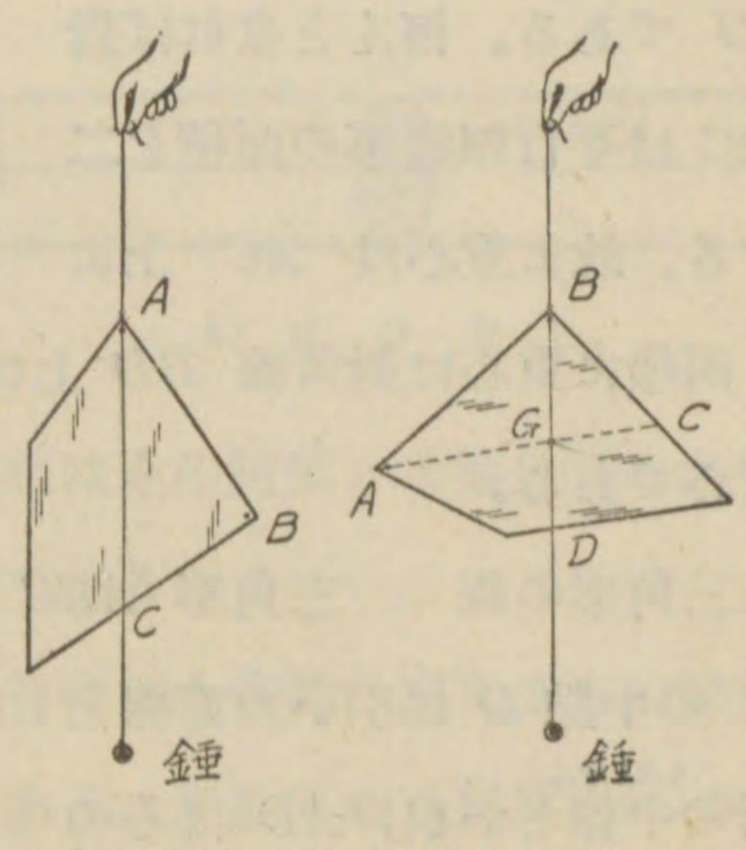
物體を吊すときの重心の位置を示す

重心は物體の各點に働く重力の中心であるから，物體の形及び重さの變らぬ限りは,物體を如何に傾けやうとも，重心は變らぬ一定點である。

物體を一點で吊す時の位置　物體の一點例へば第 51 圖に示す椅子の一點 A を絲にてつるす時は，椅子はしばらくゆれて遂に圖のやうな位置をとつて止まる。これ椅子に作用する重力は重心 G に働き，A に働く絲の張力と一直線をなす位置に至つて釣合ひ，G は A の眞下に來るのである。

重心を求むる實驗　上に述べた理に依り物體の一點 A をつるすときは，絲の方向は重心を通る。それ故第 52 圖甲のやうに A 點に二本の絲を結び，その一本を支へ，他の絲の端に錘を附け自然にたれる。そして重力の方向 AC を確定すれば，重心は AC 線上のどこかにある。

第 52 圖



物體の重心を求める實驗

次に乙圖のやうに他の一點 B に二本の絲を結び，前と同樣の實驗をなし，重力の方向 BD を確定する。さうすると，重心は BD 線上にもある。よつて重心は AC 線上にもあり，BD 線上にもあるべき點であるから，AC と BD との交點 G である。

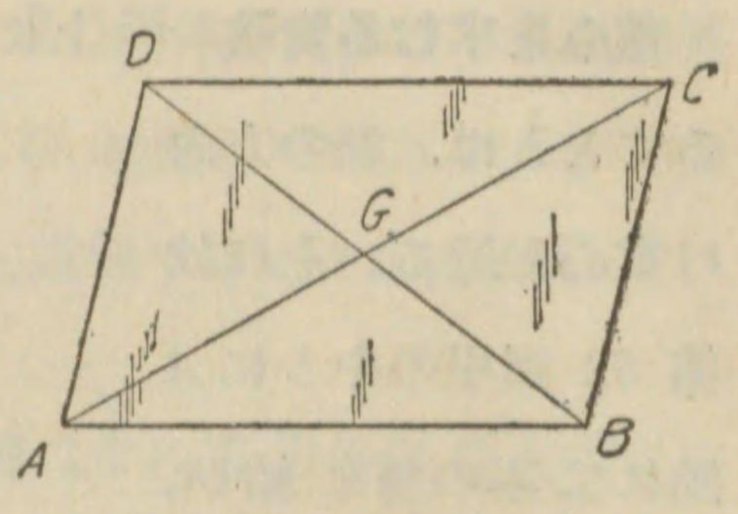
形の簡單なる物體の重心　材料均一なる物體の重心は數學的に求めることが出來る。卽ちその物體の眞中の點を求めさへすればその點は重心である。それ故次に掲げるやうな單一な形體の重心は容易に知られる。

1.　直線狀の棒　太さ一樣なる細長き棒の重心はその中點で

ある。

2. 平行四邊形の板　第 53 圖 $ABCD$ のやうな平行四邊形板の重心は二つの對角線 AC, BD の交點 G である。何んとなれば對角線 AC は平行四邊形の面積を二等分する。故に重心は AC 上にある。同様に重心は對角線 BD 上にもある。故に AC, BD の交點が重心である。

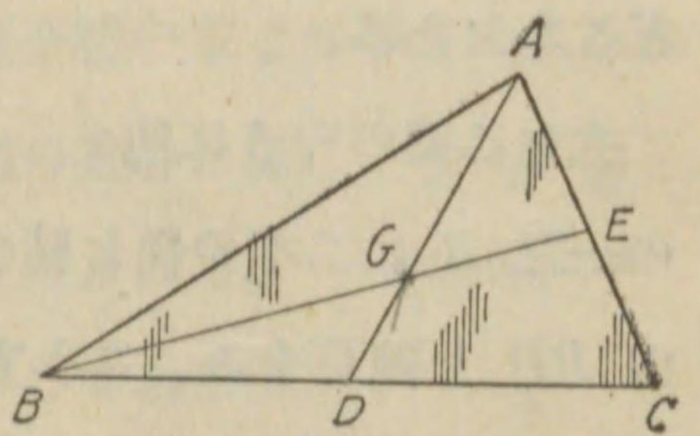
第 53 圖



平行四邊形板の重心

3. 三角形の板　三角形 ABC (第 54 圖) の頂點 A より對邊 BC の中點 D に引いた直線を三角形の中線といひ, AD はその面積を二等分する。故に三角形板の重心は AD 上にある。同様にその重心は他の中線 BE 上にもある。依つてこの二つの中線の交點 G が三角形板の重心である。又 $DG=\frac{1}{3}AD$ なる關係があるから, 重心は一の中線 AD の, D よりその $\frac{1}{3}$ の點であるともいへる。この事は幾何學にて證明されるが, 三角形を書きコンパスにて測つて見ても知られる。

第 54 圖



三角形板の重心

4. 圓輪　細き針金の圓き輪のやうなもの

圓板　圓き鐵板のやうに厚さを考へぬ圓き薄板

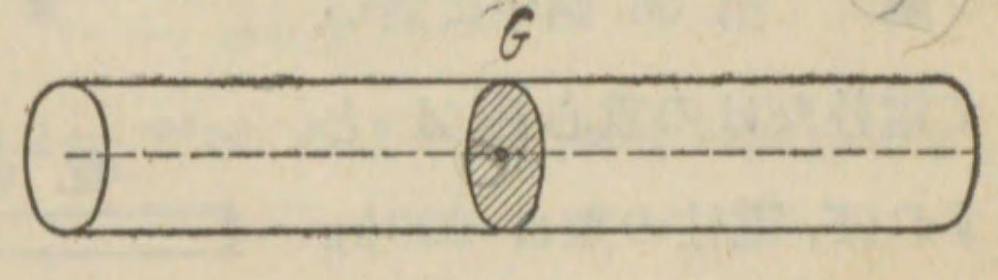
球殼　ゴム毬の如く厚さを考へぬ薄き球形のもの

球　鐵球或は木球等の如く實質あるもの

これ等の重心は各その中心である。

5. 圓柱　第 55 圖に於いて點線にて示した中心線を圓柱の軸といふ。軸の中點 G は圓柱の重心である。卽ち圓柱の長さを二等分する斷面はその體積を二等分するから, 斷面なる圓の中心は圓柱の重心である。

第 55 圖



圓柱の重心

6. 管　瓦斯や水道の鐵管の如く内部の空なるもの卽ち管の重心は, その中心線の中點である。無論重心は實質内にはなくて空間にある。

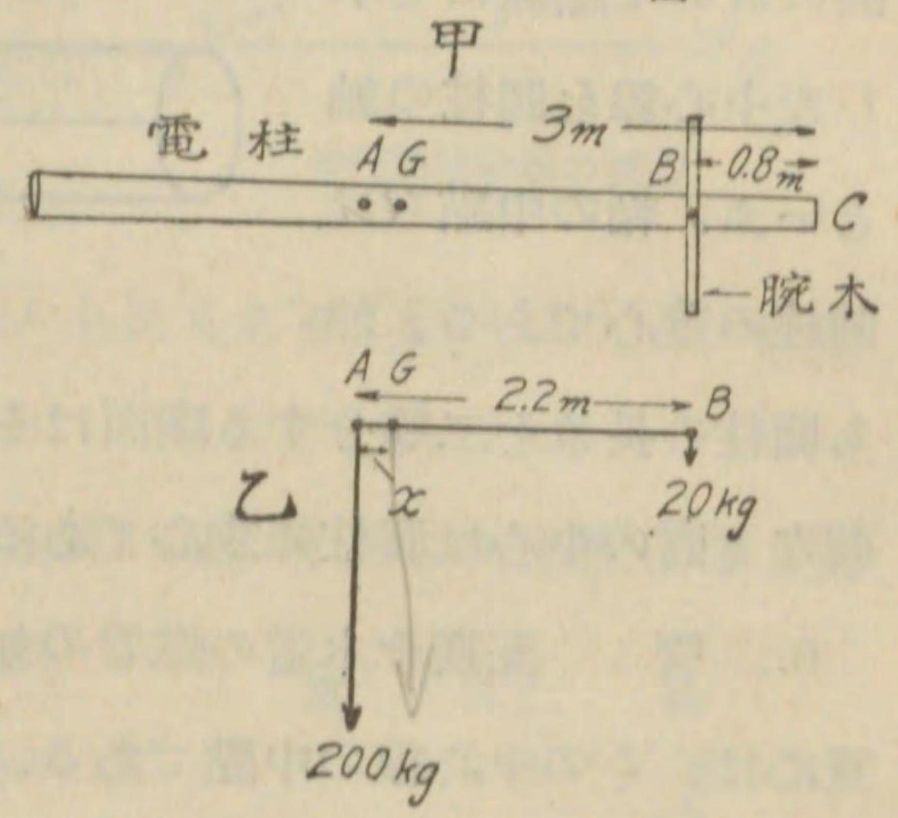
7. 角柱　角柱の長さを稜に直角に二等分する斷面はその體積を二等分するから, その斷面の重心は角柱の重心である。從つて斷面が不規則な角柱では, 簡單に重心を求めることは困難である。

組立體の重心　簡單なる形體の組立てと見做される物體にては, 各部分の重さはそれぞれ其の部分の重心に働くものと見做される。そしてこの各部分の重心に働く重力は平行であるから, その平行力の中心が組立體の重心である。卽ち組立體の重心を求めるには, 平行力の中心を見出す方法を行へばよいのである。

例題 6. 重さ 200 kg 長さ 5 m の電柱がある。その重心は末口より 3 m であるとす。今末口より 0.8 m の點に，重さ 20 kg ある鐵製の腕木の中央を取附けるときは，その重心はどれだけ變はるか。

解　第 56 圖甲に於いて電柱だけの重心を A とすれば，電柱の重さ 200 kg は A 點に働くものと見做される。又腕木の重心を B とすれば，B 點に 20 kg の重力が働くものと見做される。

第 56 圖



電柱に腕木を取附けるときの重心の移動

依つて問題は乙圖の如く二つの平行力の中心を求めることに歸する。その平行力の中心卽ち全體の重心を G とすれば，公式 (9) に依り

$$200\times AG=20\times GB \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\text{(i)}$$

然るに電柱の末口を C とすれば，$AC=3^{\text{m}}$, $BC=0.8^{\text{m}}$ であるから

$$AB=3-0.8=2.2^{\text{m}}$$

今 AG の長さを x^{m} にて表はせば，$GB=(2.2-x)^{\text{m}}$

故に (i) 式は　$200x=20(2.2-x)\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\text{(ii)}$

(ii) 式より x を求めるには代數學の一次方程式の解法に依る。

卽ち括弧を去り　$200x=20\times 2.2-20x$

移項して　$200x+20x=20\times 2.2$

卽ち　$220x=44$

故に　$x=\dfrac{44}{220}$

$=0.2$

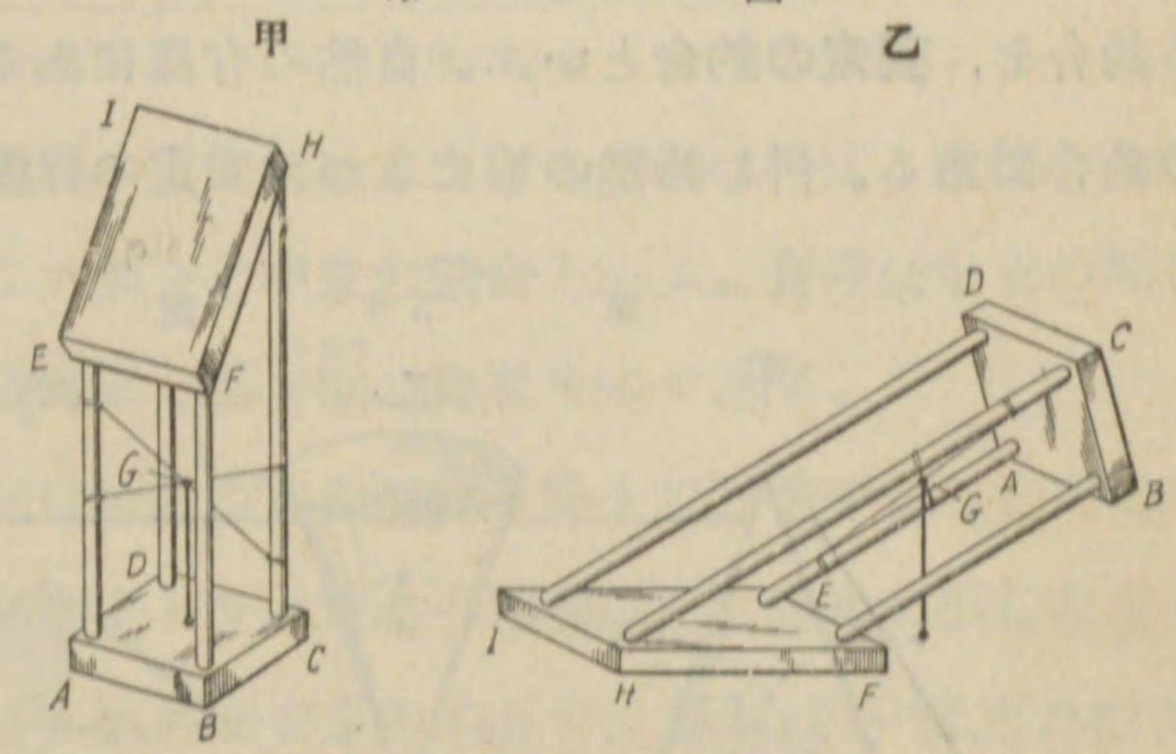
答　重心は 0.2 m だけ A より末口の方へかたよる。

22. 物體の釣合

或る面で支へられる物體の釣合について述べよう。物體の釣合は，之れを支へる面に於ける物體の周圍卽ち**基底**(きてい)と，物體の**重心の位置**とに關係する。

物體の釣合と顚倒　物體に作用する重力は重心だけに働くものと見做されるから，物體の重心を通る鉛直線が基底內にあるときは，物體は釣合の位置にある。併しながら重心を通る鉛直線が基底を脫(だつ)するときは重力を支へる面がないから，物體は顚倒(てんたう)してしまふ。

第 57 圖



物體の釣合　　物體の顚倒

第 57 圖に示す形の物體は，甲圖の位置に於いては釣合ふ。この

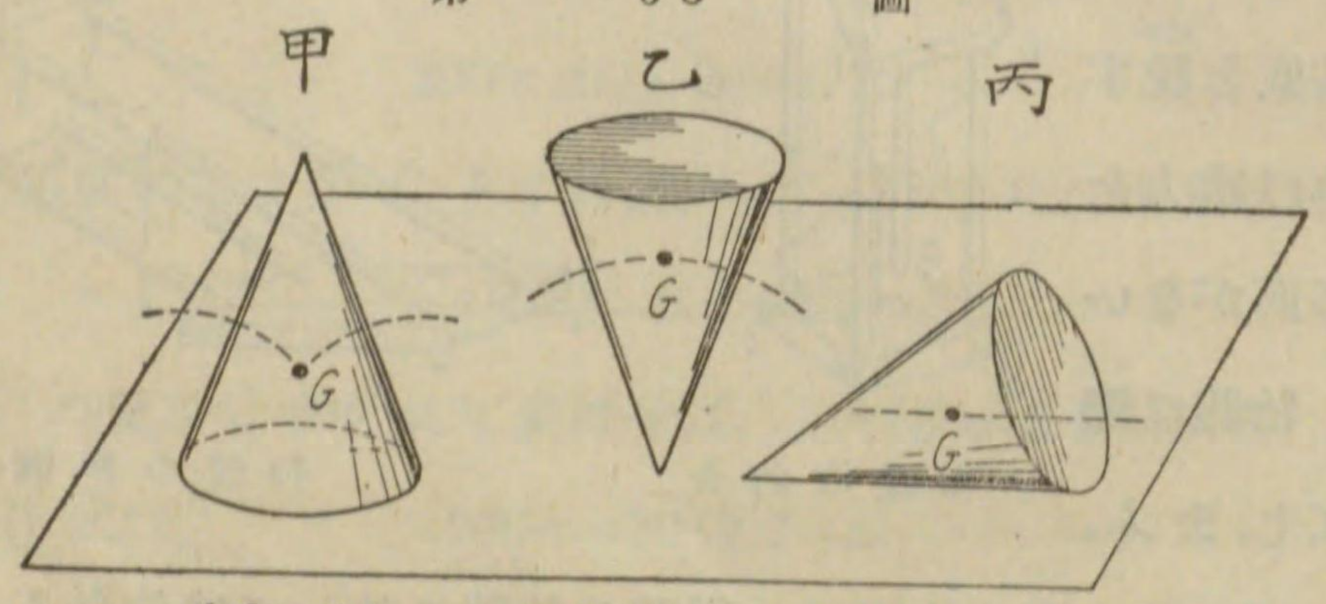
場合 *ABCD* が基底で，その重心 *G* を通る鉛直線は *ABCD* 內を通る。又乙圖の位置に置かうとすれば顚倒してしまふ。この場合*EFHI* が基底で，重心を通る鉛直線は基底外に脫してしまふのである。

重い物を背負ふ人は前方へ傾き，右手に重い物をさげる人は左方へ傾くのは何故なるか。これは人と物とを一體として考へたる全體の重心を通る鉛直線が，足卽ち基底を脫しないやうにする爲めである。

安定の釣合　物體の釣合にもその位置によつて，安定，不安定，中立と區別することが出來る。

第 58 圖甲は圓錐をその底を下にして立て，第 59 圖甲は球を丼のやうなものの中に置いた場合で，共に落着がよい。このやうに其の釣合の位置から少し傾けて放すと，自然に最初の位置に戻る釣合を，**安定の釣合**といふ。自然の有樣にある物體は多く安定の釣合にある。併し物體の形によつて安定の程度に差がある。

第　58　圖

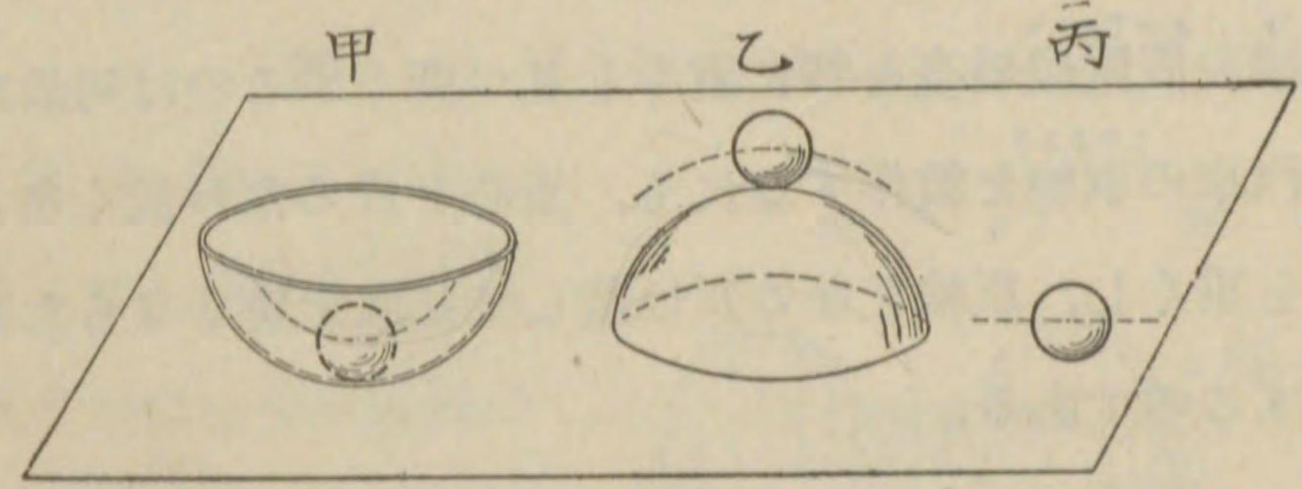


安定の釣合　不安定の釣合　中立の釣合

不安定の釣合　第 58 圖乙は圓錐をその尖端で立てたるもの，第 59 圖乙は鍋のやうな器を伏せて，その上に球を載せた場合である。このやうに釣合の位置から少しでも傾けて放すと，ひつくり返つて益々最初の位置から遠ざかる場合を**不安定の釣合**といふ。物體を不安定の釣合に置くことはなかなか困難で，自然には殆んど存在しない。

中立の釣合　水平板上に圓錐を橫に置くか或は球を置いた場合（丙圖）のやうに，物體を釣合の位置から少し動かすと，その新位

第　59　圖



安定の釣合　不安定の釣合　中立の釣合

置で再び釣合を保ち，舊位に戻らうともしなければ，舊位から遠ざからうともしない釣合を**中立の釣合**といふ。實際は中立の釣合も圓柱や圓筒を橫に置く場合位で稀なものである。

以上三種の區別は物體の重心の昇り降りで說明することが出來る。物體を僅か動かすとき，重心の移動は圖に點線で示したやうに，最初の位置より昇れば安定の釣合で，降れば不安定の釣合，昇降しなければ中立の釣合である。何となれば重心が昇るならば手を去ると同時に重力に依り物體は舊位に戻り，重心が降る位な

ら手を去ると同時に益々降り舊位に戻れない。重心が昇降しなければ動かした新位置に於いて物體は常に釣合ふ。

坐りの善惡 自然の有様にある物體は多く安定であるが，置きやうに依つてその安定の程度が違ふ。例へば書籍を立てて置くのは倒れやすく，横に置くのは落着がよい。かやうに，物體の倒れやすい場合その**坐りが惡い**といひ，物體の落着よい釣合を**坐りが善い**といふ。坐りの善惡は物體の重さによつても違ふが，重心の位置の高さと基底の廣さとに關係する。一般に重心の位置の低いほど，基底の廣いほど物體の坐りは善い。

扇風機や置電燈の臺を特に重くし且つ廣くするのは何故か。又電車や汽車の車輛を製作するにも，重心を成るだけ低くなるやうに車臺を重くし，車輪をなるだけ離して基底を廣くならしめるやう設計するのである。

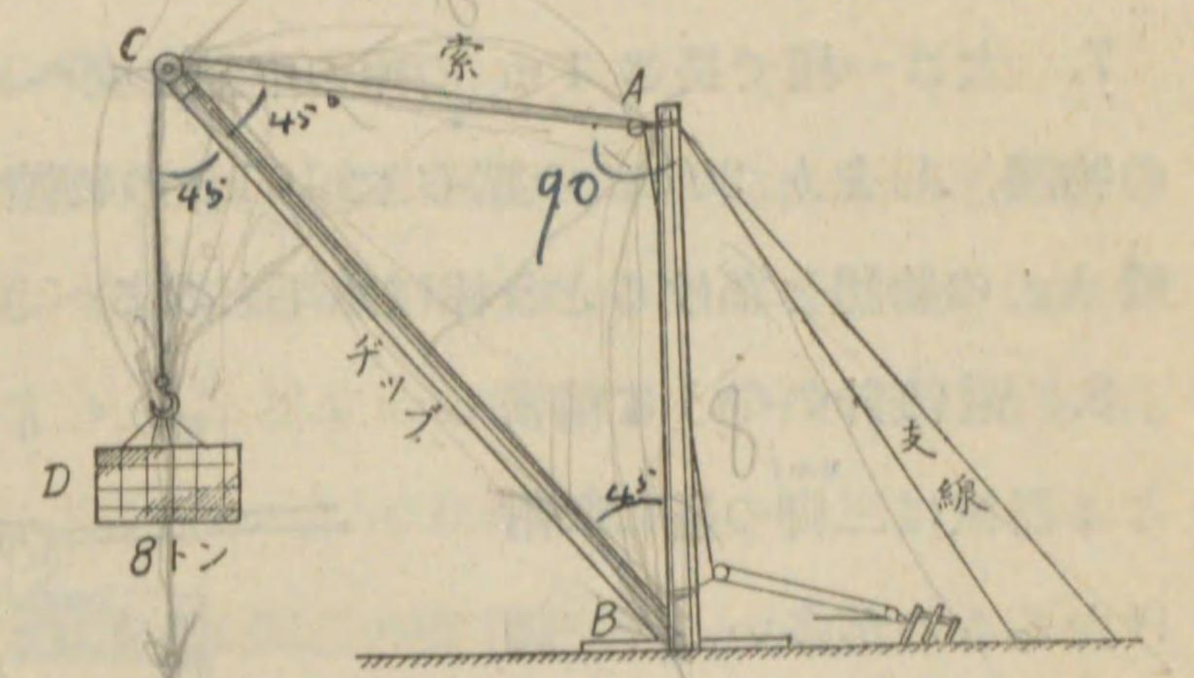
練習問題 III

1. 電線を一方だけに張つてある引止電柱に，支線を取附ける場合につき力の釣合を述べよ。

2. 第 60 圖に示すやうな簡單なる起重機 (jib crane) がある。ヂップ BC の一端 B を柱の根元に支へ，他端を引張り (tie) で柱の上方に支へ置く。今圖の如く滑車を超えてかけたる索の一端 D に 8 トンの荷物を吊すとき，ヂップに新たに増加する壓力を見出せ。但し $\angle ACB=45°$, $\angle BCD=45°$ であるとす。 答 11.3 トン

3. 重さ 200 g の電燈を吊すコードの一點を絲で釣つたものがある。今コードの鉛直となす角を 60°，絲の鉛直となす角を 30° とすれば，コード及び絲の張力各幾何なるか。但しコード及び絲の重さを考へない。 答 コードの張力 100 g, 絲の張力 173.2 g

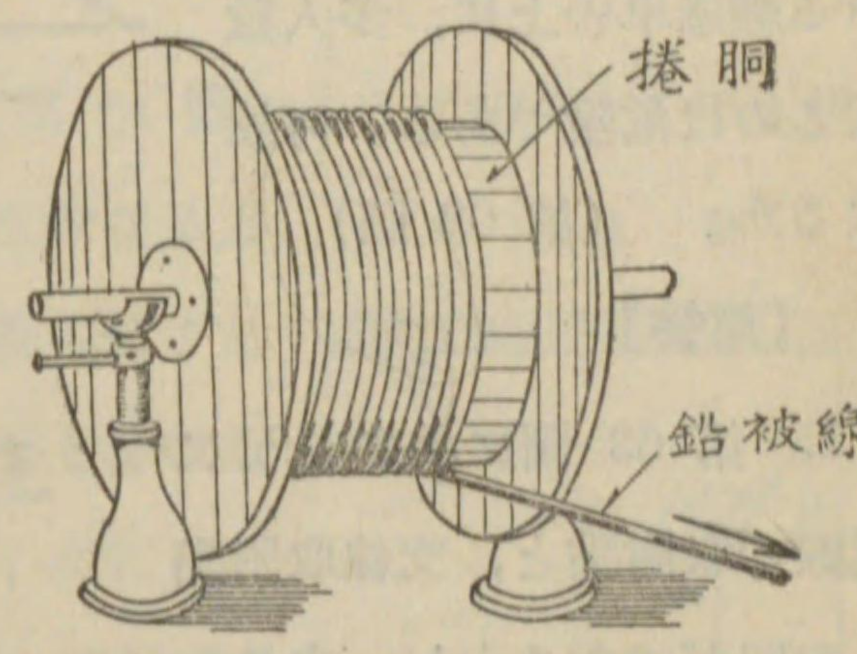
第 60 圖



ヂップ・クレイン

4. 第 61 圖に示すやうなドラムに，捲ける鉛被線を引戻すのに，その捲胴の大きいほど容易なるは何故なるか。

第 61 圖



ドラム

5. 支線の電柱となす角の大きいほど，同じ外力と釣合ふ支線の張力の，小さい理由を述べよ。

6. 幅 80 cm の棚の一方を蝶番にて支へ，他方を針金にて棚と 30° の角をなすやうに釣つたものがある。棚の中央に重さ 9 kg の物體を載せるとき針金の張力幾何なるか。但し棚は水平で，そ

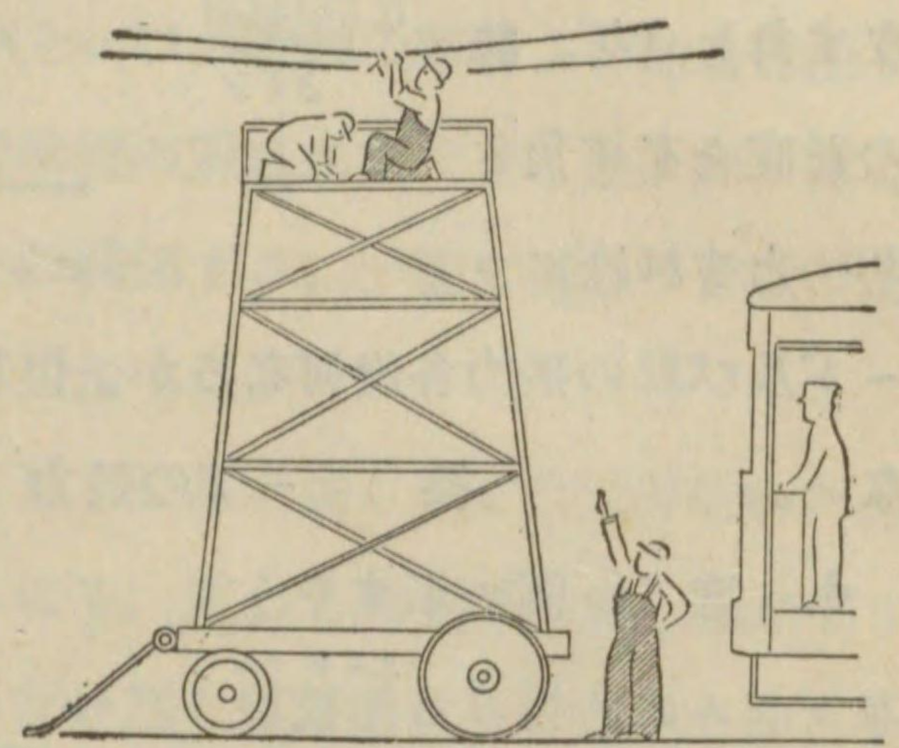
の重さ 1kg である。　**答** 10kg

7. 太さ一様で長さ 1m の棒の中點を支へ，一端 A に 2kg の物體，A より 30cm の點 C に 10kg の物體をかけ，他端 B に幾 kg の物體をかけるとき棒は水平となるべきか。　**答** 6kg

8. 電流計のやうな精密なる器械は三脚(きやく)の臺に取附けたるものが多い。今三脚の各に加はる力を等しくするには，器械を三脚臺のどこに取附ければよいか。

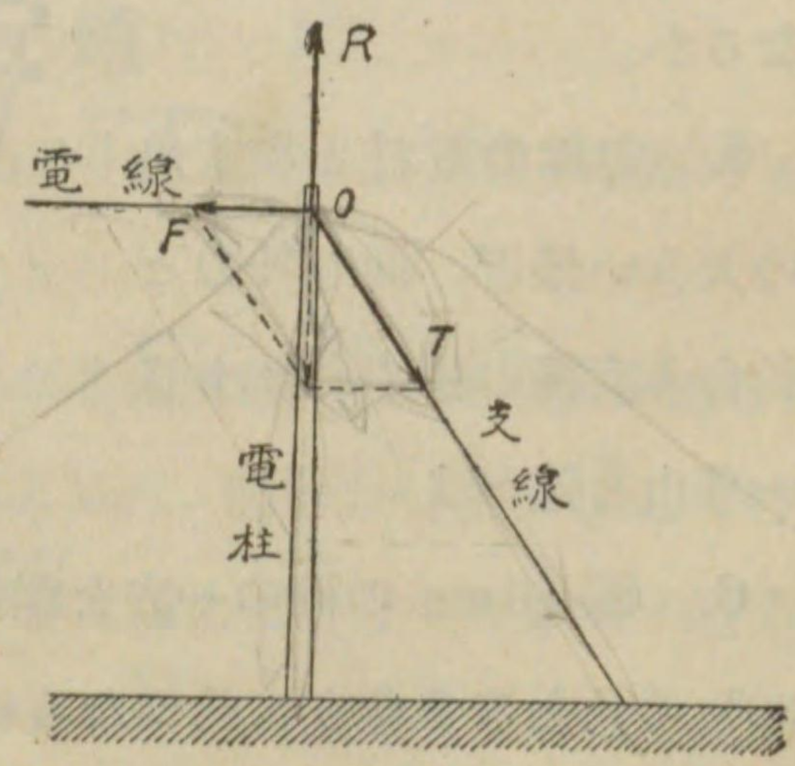
9. 電車線の修繕等に用ひる應急車(おうきふしや)の上に，多人數乘るのは危險である。何故なるか。（第 62 圖）

第 62 圖



應急車

第 63 圖



電線及び支線の張力

【解答】

1. 第 63 圖に示すやうに電線の取附點と，支線取附點とが同じであるとし，之れを O とする。電線に働く張力を F，支線に働く張力を T とすれば，F，T の合力と大さ等しく方向正反對なる抵抗力が

電柱にあらはれる。之れを R とすれば，F, T, R の三力は O 點に於いて釣合つてゐる。

2. 滑車に摩擦がなければ，索の張力はどの點に於いても相等しく 8 トンである。それ故荷物のためヂップに新たに加はる壓力は，CD の方向の 8 トンと CA の方向の 8 トンの合力である。

然るに　　$\angle ACB = \angle BCD = 45°$，

故に三角形 ABC は第 37 圖乙の直角三角形と相似で，合力は CB で表はされる。依つて次の比例式が成立つ。

$$1:1.414 = CA:CB$$

合力を x トンとすれば　　$= 8:x$

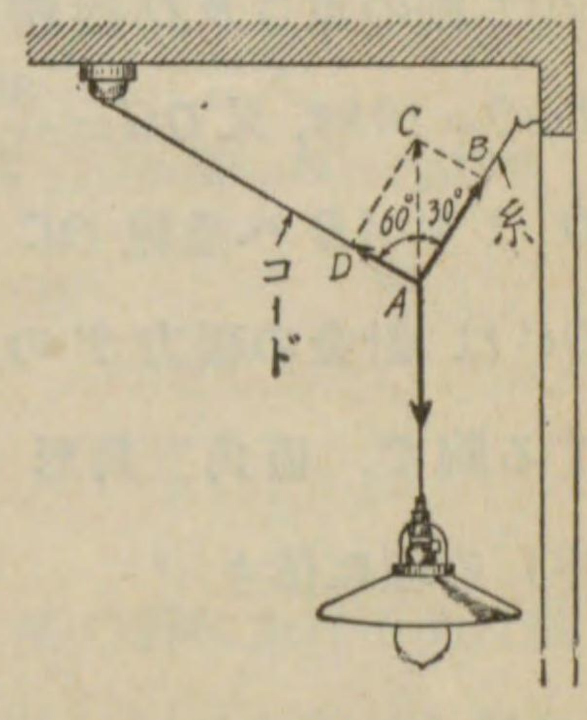
故に　　$x = \frac{1.414 \times 8}{1} = 11.3$ トン

3. コードの一點 A を絲で第 64 圖のやうに釣つたものとす。今 200g と大さ等しく方向正反對なる力を AC で表はせば，AC は電燈の重さと釣合ふ力である。AC をコードと絲の方向とに分解し，それぞれ AD, AB とする。そして AD=BC，三角形 ABC は第 37 圖甲の直角三角形と相似である。それ故各邊の長さの割合は

$$BC:AC:AB = 1:2:1.732$$

本問題にては $AC = 200$g であるから，

第 64 圖



電燈のコードを引張るときの力の釣合

$BC:200=1:2 \quad \therefore \quad BC=\dfrac{200\times1}{2}=100^{\text{g}}$ （コードの張力）

$AB:200=1.732:2 \quad \therefore \quad AB=\dfrac{200\times1.732}{2}=173.2^{\text{g}}$ （絲の張力）

4. 鉛被線を引戻すには，軸に對して，捲胴の半徑を腕とする力のモーメントに關係する。それ故半徑の大きい捲胴ほど，力は小さくてよい。

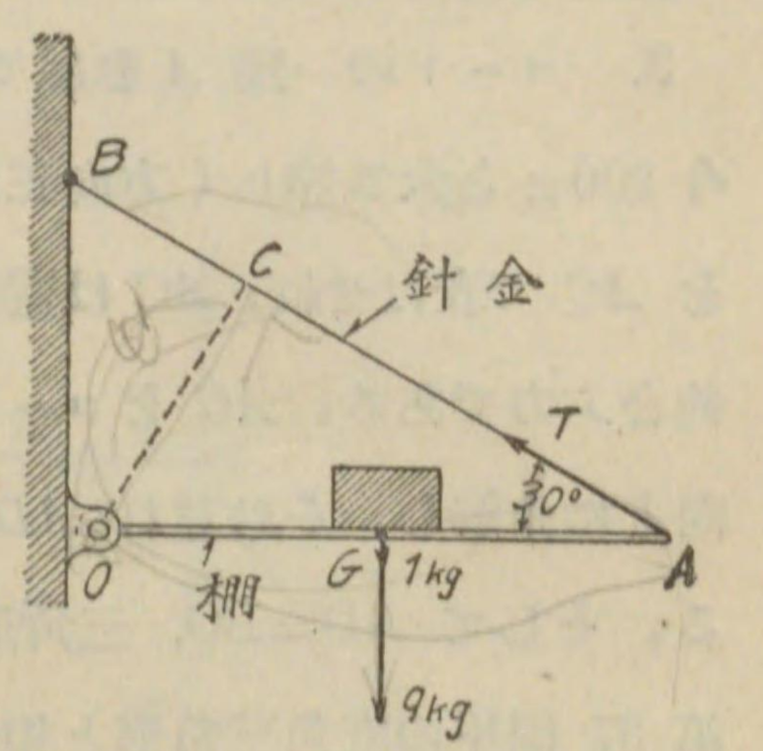
5. 例題 5 に於いて，O 點に對する張力のモーメント

$$F\times OA=T\times OC$$

なるとき電柱は釣合ふ。さうして外力 $F\times OA$ は一定であるから，$T\times OC$ も一定である。然るに支線が電柱となす角の大きいほど，OC は大きく，從つて張力 T は小さくてよい。

6. 第 65 圖 OA は棚の橫斷面，O は蝶番，AB は針金を示す。OA の中點を G とすれば，G 點に働く力は棚の重さ及び物體の重さで，$1+9=10^{\text{kg}}$，又 $OG=\dfrac{80}{2}=40^{\text{cm}}$

第 65 圖



棚に働く力の釣合

O より AB へ垂線 OC を下せば，OC は針金の張力 T の O 點に對する腕で，直角三角形（第 37 圖甲）の理に依り

$$OC:OA=1:2$$

故に $\quad OC=OA\times\dfrac{1}{2}=80\times\dfrac{1}{2}=40^{\text{cm}}$

依つて O 點に對して，力のモーメントを取れば

〔左廻りの力のモーメント〕=〔右廻りの力のモーメント〕

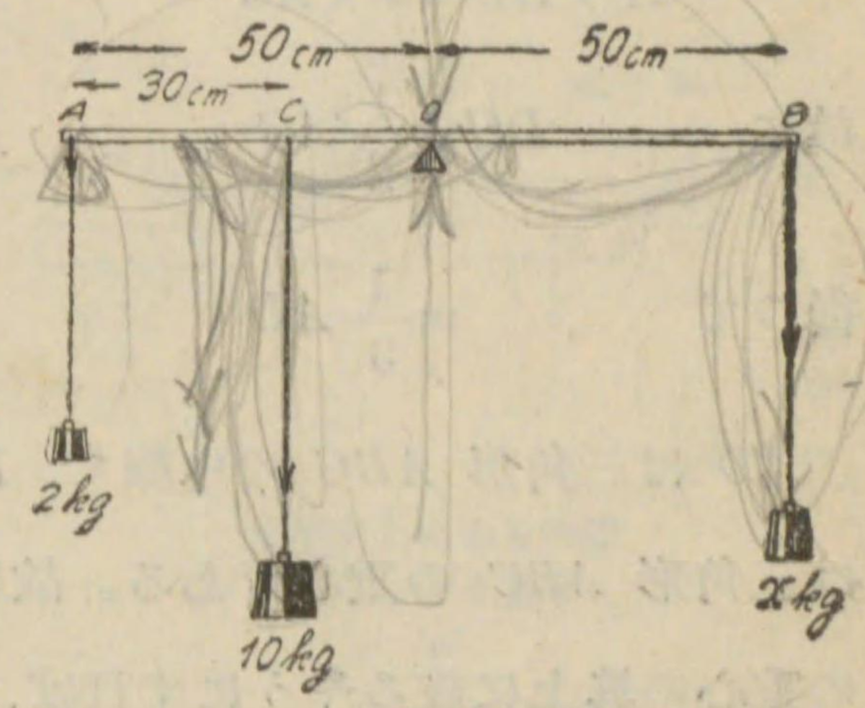
$$T\times OC=10\times OG$$

$$T\times40=10\times40$$

故に $\quad T=10^{\text{kg}}$

7. 太さ一様なる棒の重心はその中點 O である。そして，O を支へるときは棒の重さを考へる必要がない。

第 66 圖



棒に働く平行力の釣合

依つて B 端にかけたる物體の重さを x^{kg} とし，O 點に對して三力のモーメントを取れば，

〔左廻りの力のモーメント〕=〔右廻りの力のモーメント〕

$$2\times OA+10\times OC=x\times OB \quad \cdots\cdots\cdots\text{(i)}$$

今 $\quad OA=\dfrac{100}{2}=50^{\text{cm}},\quad OB=50^{\text{cm}},\quad OC=50-30=20^{\text{cm}},$

故に (i) 式は $\quad 2\times50+10\times20=x\times50$

卽ち $\quad 300=50x$

$$x=6^{\text{kg}}$$

8. 三脚を A, B, C（第 67 圖）とし，各の脚に加はる力は相等しく之を F とする。この三つの平行力の中心 G に器械を載せればよい。依つて G を求めよう。

此の指紋は 十三年三月十五日三時半 A.I.

まづ B 及び C に働く二力の合力は BC の中點 D に働く $2F$ である。

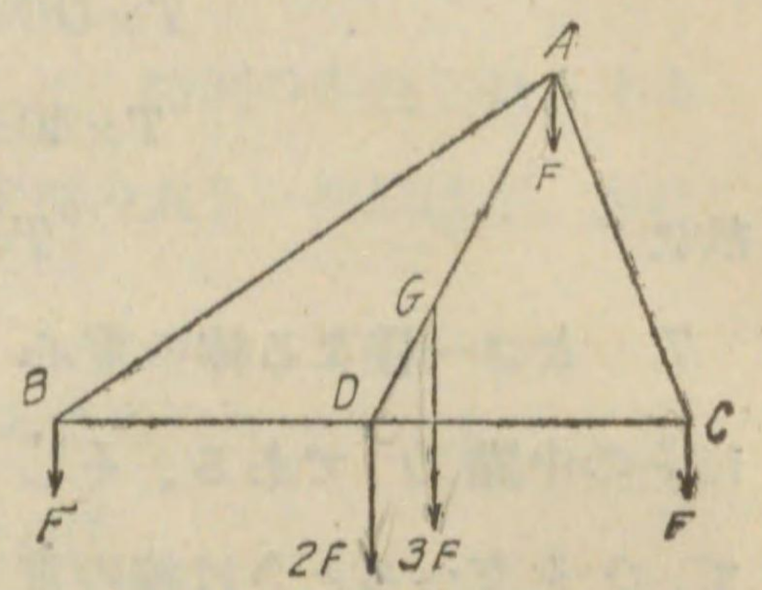
次に D に働く $2F$ と A に働く F との平行力の中心を G とすれば，公式 (9) に依り

$$2F\times DG=F\times AG$$

故に $\qquad DG=\frac{1}{2}AG$

從つて $\qquad =\frac{1}{3}AD$

第 67 圖



三脚に働く力の合成

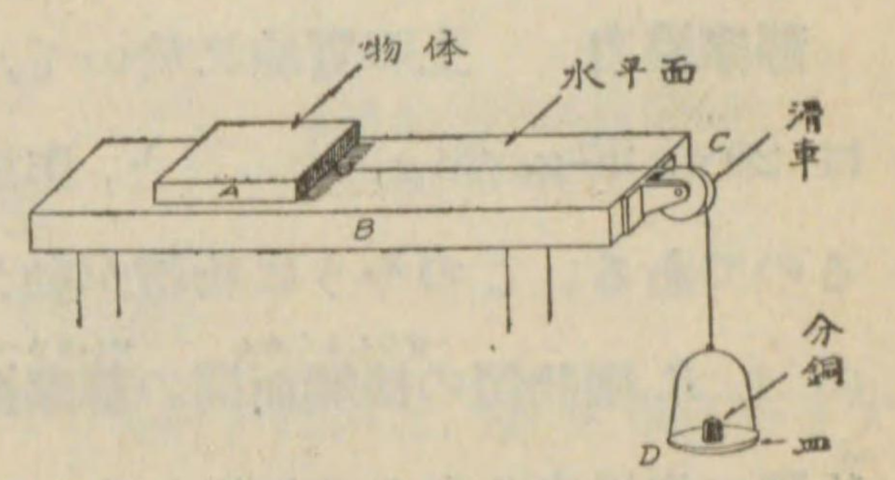
AD は三角形 ABC の中線で，DG が其の $\frac{1}{3}$ であるから，G は三角形 ABC の重心である。故に器械の重心を，三角形 ABC の重心の眞上に載るやうにすれば，三脚の各に加はる力は相等しい。（三脚 ABC は正三角形になつてゐるものが多い。）

9. 應急車のやうに底の廣さの割合に，高さの高いものの頂に，多人數乘るときは，全體の重心の位置高まり，坐りが惡しくなり或は顚倒のおそれがある。

第四章 摩 擦

23. 摩擦力 重い物を押し或は引張るとき，少しぐらゐの力では動かない場合がある。これは力を物體に加へると同時に，**摩擦力**といふ一種の抵抗力があらはれた爲めである。今この加へた力を**働力**と稱へると，或る平面上に置かれた物體に，その面に平行に働力を作用しても，尙ほ物體の動かぬ場合は，働力と摩擦力とが釣合ふからである。そして，その摩擦力は働力と大さ等しく方向正反對で，物體と平面との間にあらはれたのである。

第 68 圖



水平面上にある物體の摩擦を測る實驗

摩擦力を測る實驗 摩擦力の大さを測るには上の理に基き，第 68 圖のやうに物體を引張る力の大さを測ればよい。圖に於いて A は物體，B は物體を載せた水平面である。B には滑かに廻はる滑車 C を圖のやうに取附ける。物體 A に延びない絲を結び附け，絲の他端に皿 D をつるす。皿にはいろいろの分銅を載せ變へるのである。

今物體 A は 100 g で，皿及び分銅の重さを 20 g とした時，A が動かぬならば，A, B 間の摩擦力は 20 g である。次に皿及び分

銅の重さを 25 g としても尙ほ A が動かなければ，此の場合摩擦力は 25 g である。かやうにして次第に分銅の重さを增し皿及び分銅の重さを，26 g，27 g，.... とし，遂に 30 g となした時初めて A が動き出したとすれば，摩擦力もそれぞれ 26 g，27 g，.... 30 g である。さうして 30 g 以上の働力にては，物體 A は常に運動を起すから，此の場合摩擦力は 30 g 以上にはなれないのである。

靜摩擦力　上の實驗に於いて，物體が動き出すまでは摩擦力は 20 g，25 g，26 g，......と，作用する力と共に次第に增してくるのである。このやうに物體が動き出すまでの間の摩擦力を，その A，B 兩物體の接觸面(せつしよくめん)間の**靜摩擦力**(せいまさつりよく)と稱へる。卽ち靜摩擦力は物體に作用する力と共に增加するものである。

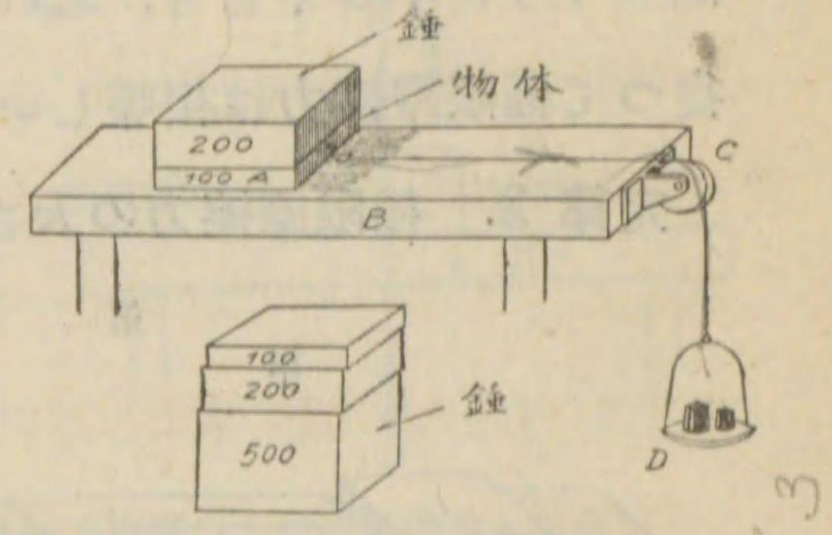
24. 極限摩擦力

或る平面の上に置かれた物體の，動き出す迄の靜摩擦力は一定しないが，將に動き出さうとするときの摩擦力はその接觸面によつて一定し，しかもその値は最大である。前節の實驗にては 30 g である。一般に物體の動き出さうとするときの摩擦力を，その兩接觸面間の**極限摩擦力**(きよくげんまさつりよく)といふ。それ故極限摩擦力の大さを知るには，物體の動き初めの働力を測ればよい。

極限摩擦力に關する定律　前節の實驗に於いて，物體 A の重さ 100 g の場合極限摩擦力は 30 g である。次に第 69 圖に示すやうに，A の上におもりを載せると，もはや 30 g の働力では

動かない。卽ち極限摩擦力が增したのである。B は水平面であるから，物體及び錘(おもり)の重さは B 面を垂直(すゐちよく)の方向に壓し，B は又 A を同じ大さの力にて壓し返へしてゐる。この接觸面に垂直なる壓力を特にその面の**直壓力**(ちよくあつりよく)と稱へる。卽ち直壓力の增すに從ひ，極限摩擦力も增加するのである。

第 69 圖



直壓力の增加に從ひ極限摩擦力の增加を示す實驗

今 A の上の錘を種々に變へて實驗を行ふと，第 6 表に示すやうな結果を得る。依つて極限摩擦力の直壓力に對する割合は一定なることがわかる。依つて次の定律が得られる。

定律 1. 極限摩擦力の大さは接觸面に働く直壓力に正比例す。

次に第 70 圖甲，乙の如く，接觸面積に大小ある物體 A を取り，

第 6 表　直壓力と極限摩擦力

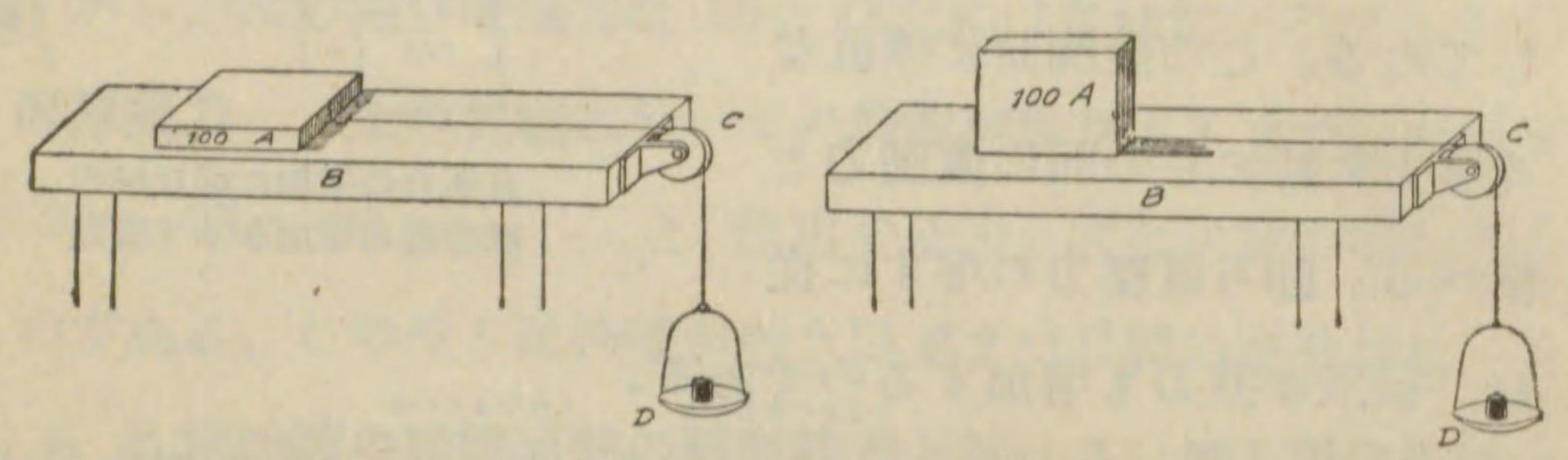
直壓力 (g)	極限摩擦力 (g)	極限摩擦力 / 直壓力
100	30	0.3
200	60	0.3
300	90	0.3
400	120	0.3
500	150	0.3
700	210	0.3
900	270	0.3

前節と同様の實驗を行ふ。甲圖のやうに接觸面が大きくとも，乙圖のやうに小さくとも，之れを引く働力は相等しくて動き出す。從つて極限摩擦力は相等しいわけである。故に

定律 2. 極限摩擦力の大さは接觸面の大小に關係しない。

第 70 圖

甲　　乙



接觸面大なる場合の極限摩擦力の實驗　　接觸面小なる場合の極限摩擦力の實驗

又物體 A と平面 B との間の極限摩擦力は，A，B が木と木であるか，或は木と鐵とであるか，相接觸する兩物體の材料に關係するのである。また同じ材料にても接觸面が滑らかに磨いてあるか或は粗雜になつてゐるかに依つても違ふのである。故に

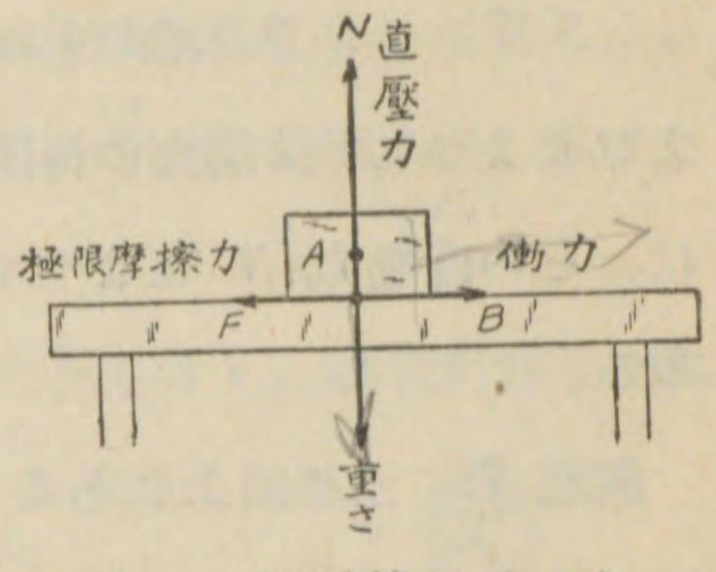
定律 3. 極限摩擦力の大さは接觸面の種類及び性質によつて異なる。

25. 極限摩擦係數

極限摩擦力は接觸兩面の種類や性質によつて異なるが，きまつた接觸面では，直壓力が大なれば從つて極限摩擦力も大となり，極限摩擦力と直壓力との割合は一定な値となる。第 6 表の場合はこの割合が常に 0.3 といふ定數となる。此の極限摩擦力の直壓力に對する比を**極限摩擦係數**といひ，接觸兩面について一定した値である。即ち

$$[\text{極限摩擦係數}]=\frac{[\text{極限摩擦力}]}{[\text{直壓力}]}$$

第 71 圖



直壓力と極限摩擦力とを示す

今直壓力を N，極限摩擦力を F（第 71 圖），極限摩擦係數を K にて表はせば，上の關係は

$$K=\frac{F}{N} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (11)$$

極限摩擦係數は接觸兩面が違ふに從つて異なるから，種々の材料に就き，前節で述べた實驗を行へば之れを求め得る。即ち直壓力 N に對する極限摩擦力 F を測定すれば，公式 (11) に依つて K の値を求められる。かやうにして得た結果は第 7 表に掲げる通りである。

第 7 表　極限摩擦係數

接 觸 體	極限摩擦係數
木 と 木	0.3 乃至 0.7
木 と 金 屬	0.2 〃 0.6
金屬と金屬	0.15 〃 0.24
木 と 石	0.4 〃 0.6
鐵 と 石	0.3 〃 0.7
革 と 木	0.62
革 と 金 屬	0.62

又同じ材料にても接觸面を磨く程度や，油などを注ぐ具合等によつて極限摩擦係數は違ふ。

前節で述べた定律 1 は同一の接觸面間の極限摩擦係數は一定なることを示し，定律 3 は種々異なる接觸面間の極限摩擦係數はそれぞれ異なることを示してゐる。

次に公式 (11) を變形すれば，

$$F=K\times N \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (12)$$

之れによつて，接觸面の極限摩擦係數 K が知られてゐる場合には，その直壓力 N によつて極限摩擦力 F を計算することが出來る。

例題 7. 水平面上にある 20 kg の物體に幾何の力を作用すれば，物體は動き出すか。但し物體と平面との極限摩擦係數は 0.4 である。

解 水平面上に置かれた物體であるから，物體に働く直壓力 N はその重さ 20 kg に等しい。又 $K=0.4$ であるから，

$$[\text{極限摩擦力}]\ F=K\times N$$
$$=0.4\times 20$$
$$=8\,\mathrm{kg}$$

然るに物體を動き出させようとする力は，極限摩擦力と大さ等しく，方向正反對であるから，水平に 8 kg である。 **答** 8 kg

26. 動摩擦力

摩擦力は物體が滑りつゝある間にも，その接觸面にあらはれるものである。押されて机上を滑り出した物體が次第にその速さを減じ，遂に止まるに至るはこれが爲めである。かやうに物體が滑りつゝある間，接觸面間にあらはれる摩擦力を**動摩擦力**といふ。

實驗によると，動摩擦力も極限摩擦力と同様に次の關係がある。

定律 1. 動摩擦力の大さは接觸面に働く直壓力に正比例し，接觸面の大小に關係なく，接觸面の種類及び性質によつて異なる。

定律 2. 動摩擦力の大さは，接觸面の滑り動く速さの，あまり變らぬ範圍では，殆んど一定である。

速さが非常に小さいと動摩擦力は大きくなり，速さがあまり大きいときは動摩擦力は減少する。

定律 3. 動摩擦力は極限摩擦力より小さい。

水平面上に物體を滑り動かす場合，動摩擦力と等しい大さの力を絶えず加へるならば，物體はその速さを繼續していく。併し一旦運動した物體に，動摩擦力より小さな力を加へるか或は全く力を作用しなかつたら，物體は次第にその速さを減じ遂に止まつてしまふ。然るに或る一様な表面を有する水平面上に物體を載せ，やうやく動き出し得るだけの力，即ち極限摩擦力に等しい力を絶えず物體に作用するときは，物體の速さは次第に増していく。

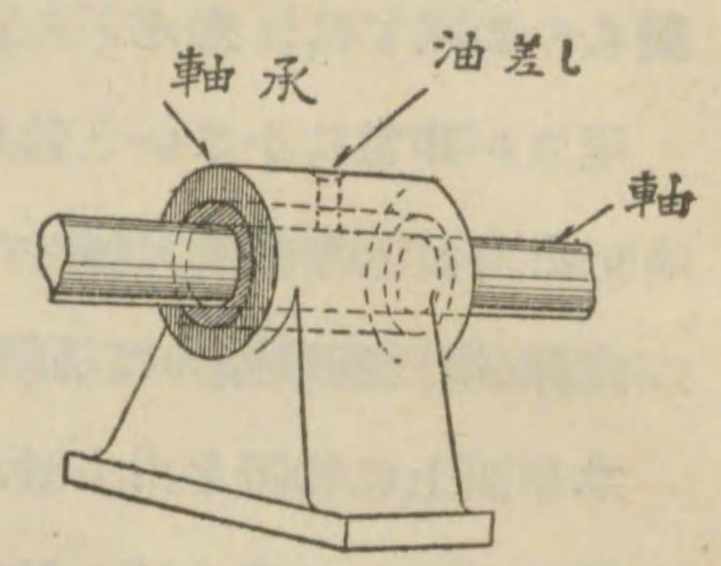
27. 軸に於ける摩擦

これまでは主に平面上に於ける摩擦について述べたのであるが，本節にては軸のやうに廻轉する圓柱形の表面に起る摩擦に關して述べよう。

催滑劑 發電機や電動機の電機子のやうに軸と共に廻はるものや，車輪のやうに軸の周りに廻轉するものには軸承が必要である。さうして軸と軸承とは強く接觸するから (第 72 圖)，その間の摩擦もなかなか大きい。それ故實際運轉するには其の摩擦を

減殺するため，適當な油類を注ぐのである。非常に重い重さのかかる軸承には，黒鉛といふて鉛筆の芯の粉末のやうなものを用ひることもある。かやうに摩擦を減ずる爲めに用ひるものを一般に催滑劑と稱へる。

第 72 圖



軸と軸承

軸に於ける摩擦の定律　軸にかかる荷重のため軸と軸承との間に強大なる直壓力を生じ，同時に軸の廻轉によつて軸承との間に一種の摩擦力を生ずる。この場合直壓力に對する其の摩擦力の割合を**軸に於ける摩擦係數**と名づけることとする。この摩擦係數は給油の程度によつて異なるは明かである。十分給油したる軸に於ける摩擦については，實驗上より大體次のやうにいへる。

定律 1.　軸に於ける摩擦係數は直壓力の大小によつて一定ではない。直壓力の大なるほど摩擦係數は小さい。

定律 2.　軸に於ける摩擦係數はその廻轉の速さの大小によつて一定ではない。廻轉の速いほど概して摩擦係數は大きい。

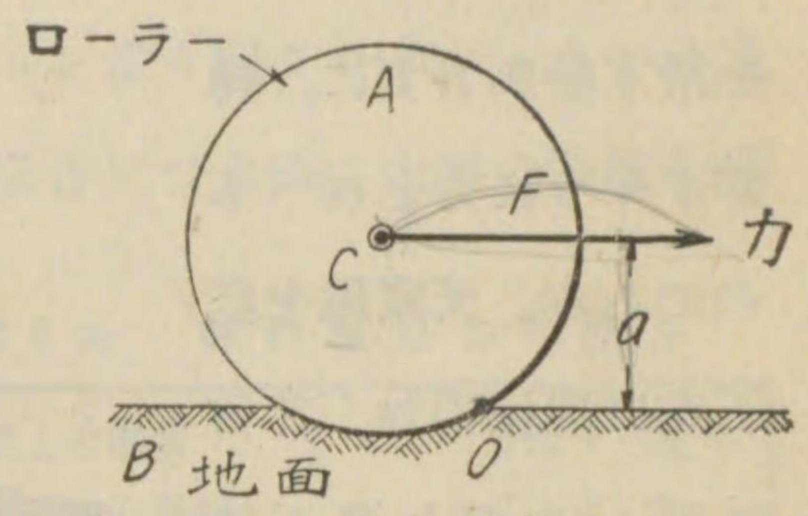
定律 3.　軸に於ける摩擦係數は，軸の太さと給油の溫度及び粘度に關係する。

以上の如く軸に於ける摩擦係數は，平面間の極限摩擦係數に比べて一層複雜であるから，その數値は個々の場合につき實驗的に定めるのである。

28. 轉動摩擦力

ローラーや球を轉がすときにも多少の摩擦が起る。この場合は物體の滑り動く場合とは大分樣子が違ふ。第 73 圖に於いて A は重きローラー，B は地面を示す。ローラーはその重さのため多少地面に入り込む。——圖には極端に書いたが——今ローラーの一點に力を水平に作用すれば，ローラーは O 點の周りに轉がらうとして抵抗力をあらはす。この抵抗力を**轉動摩擦力**と稱へる。

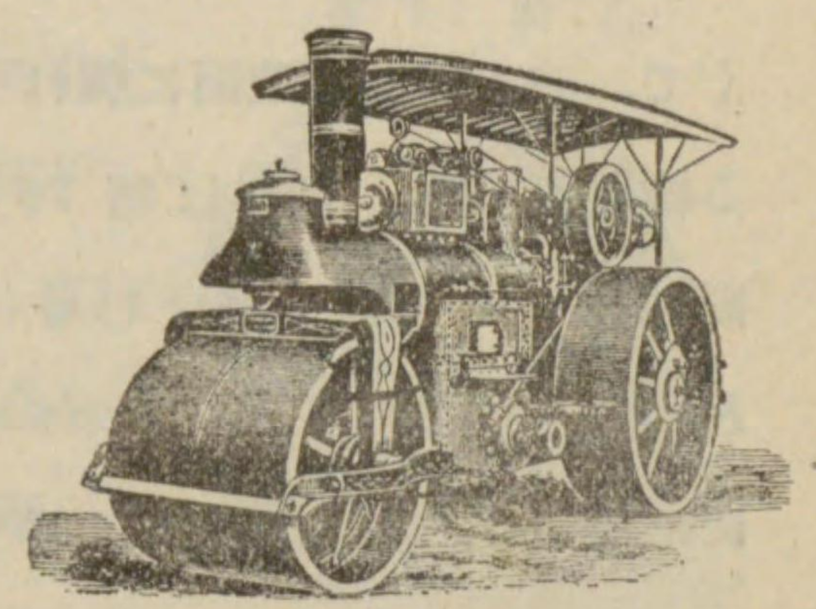
第 73 圖



ローラーの轉動

物體を轉がす場合の作用は，力の大さだけではなく，地面からの距離にも關係するのである。今地面より a の高さの點 C に水平な力を加へ，將に轉がり出すときの力を F とすれば，$F\times a$ は O 點に關する力 F のモーメントで，之れにて轉動摩擦力のモーメントを測る。クーロン (Coulomb) 氏は實驗の結果次の定律を見出した。

第 74 圖


地均ローラー

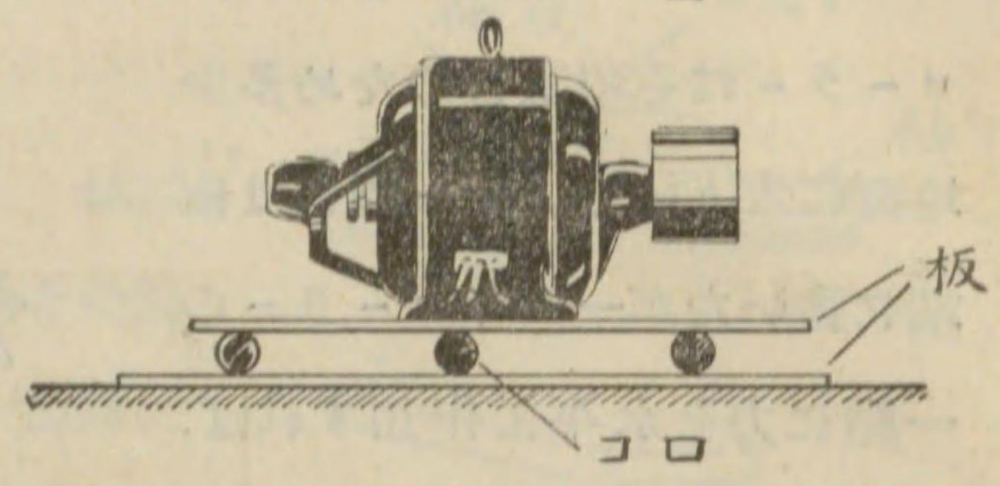
定律　轉動摩擦力のモーメントは，その直壓力に正比例する。

轉動摩擦力のモーメントはその重さに比例するから，重いローラー程之れを轉がすには，大

なる力のモーメントを要するわけである。

轉動摩擦力の利用　轉動摩擦力は動摩擦力に比べ著しく小さい。それ故地均ローラー（第 74 圖）のやうな重いものは，之れを滑り動かさずに，轉がすやうに力を加へるのである。又家屋や庭石或は機械の如く非常に重いものを運ぶには，轉動摩擦力を利用する。卽ちこれ等の物と地上との間に，二枚の鐵板で鋼製のコロを挾んで用ひるか，或は二枚の木板で挾んだ木製のコロ（第 75 圖）を用ひるのである。

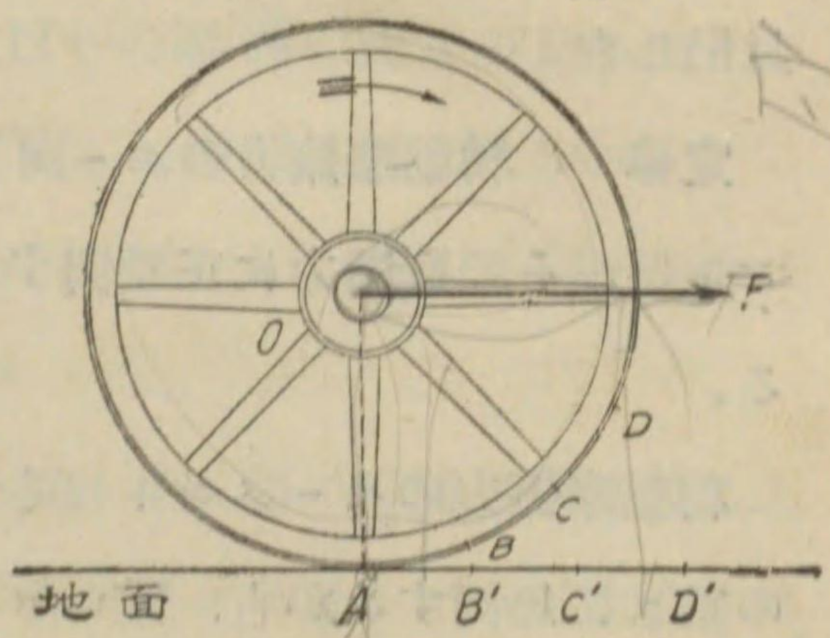
第 75 圖



コロの使用を示す

貨物や人畜の運搬には荷車，電車，汽車，自動車等諸種の車輛を用ひ，なるだけ車輪の轉動摩擦力を利用することはいふまでもない。車輪の廻轉は，輪周が車軸の周りに廻はるのではなくて，或る瞬間に地面に觸れる輪周の一點，例へば第 76 圖に於いて A を軸として，$F \times AO$ なる力のモーメントにて轉がる。そして次々の瞬間には B, C,……を軸として

第 76 圖



車輪の轉動

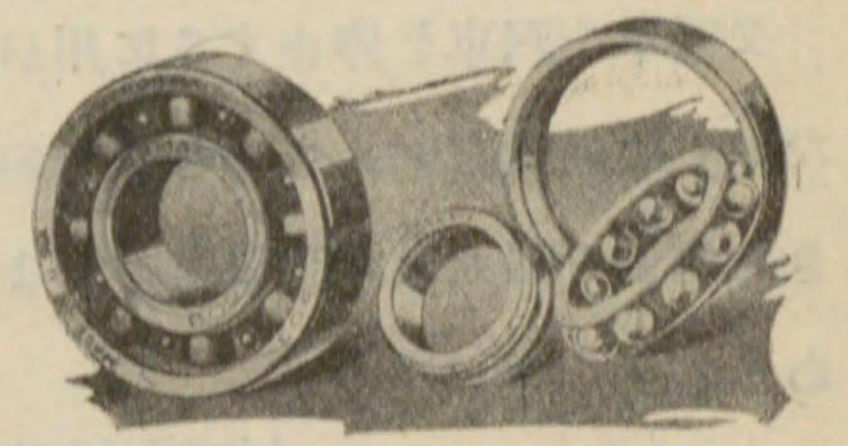
同様の轉動をなすのである。この間，車軸は常に地面に平行に進むだけである。車輛の進行する場合の抵抗全體を考へると，かなり複雜で，單純な轉動摩擦力だけではない。從つてその抵抗全體の割合を表はすには，通常重さ 1 トン當り幾キログラムといふ風に稱へ，kg/t と記す。次に主なる場合につき極く大略の數値を掲げよう。

第 8 表　轉動摩擦力の割合

軌道上の車輛	2 乃至 4 (kg/t)
馬車鐵道の車輛	6 〃 7
小石を敷ける路面上の車	20 〃 30
補裝道路上の車	約　15
砂利を敷ける路面上の車	約　75

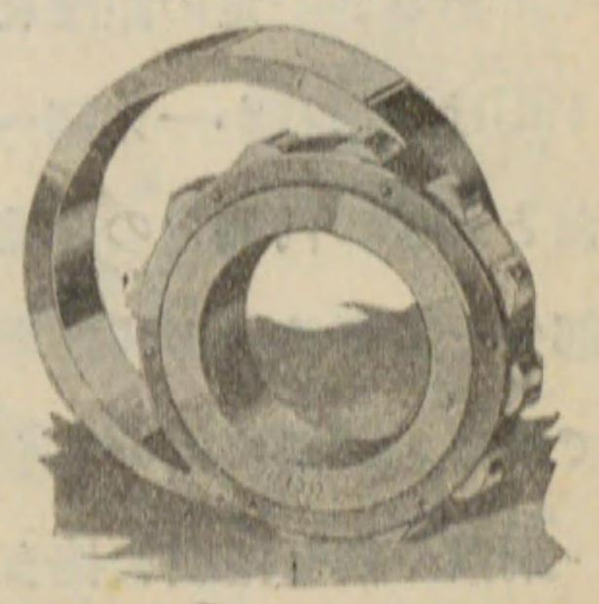
球入軸承と轉子入軸承　自轉車や自動車の車輪の軸承は，鋼の小球を軸の周りに列ぶやうに造つたものが多い。これを**球入軸承** (ball bearing) といふ。又大なる機械の軸承に，直徑の小なる鋼のローラーをその軸の周圍に配列する樣に用ひたものがある。之れを**轉子入軸承** (roller bearing) といふ。球入軸承は第 77 圖甲に示すやうに球と軸とは一點で接觸する。轉子入軸承にては，轉子は縱の方向に軸と直線に沿うて接觸すること乙圖に示す通りである。それ故軸或は軸承の廻轉の際，その接觸部に極めて小なる轉動摩擦力を生

第 77 圖 甲



球入軸承

第 77 圖 乙



轉子入軸承

ずるだけである。從つて普通の軸に比べ，摩擦のために起るパワーの損失を少くし且つ給油の節約が出來るので賞用されてゐる。

29. 摩擦の利益

物を動かすときに摩擦のあらはれる爲め一般に力の損失を來たすが摩擦の必要な場合も少くはない。吾々の歩行の出來るのは履物と地面との間に摩擦のあるがためで，摩擦の少い氷上にては歩行の困難なるはお互に經驗するところである。

車輪が軌道上を轉がり得るのも，車輪と軌道との接觸點に多少の摩擦があるためで，全く摩擦がなければ輪は滑り車輛は進行することが出來ない。

又電車や汽車を停止するに用ひる制動機は，既に第1圖に示した如く制動靴といふものを車輪の輪周に強く壓し附けて，其のときに生ずる強大なる動摩擦力によつて，車輪の轉動を止めるのである。

動力の傳達に用ひる調帶，調繩等の作用も摩擦を利用したるものである。一定の距離にある甲，乙二つの調車に調帶を適度に張りかけ，何れか一方例へば甲を廻轉する。さうすると調車甲の表面と調帶の內側との摩擦のため調帶は廻はり，同時に調帶の他の部分と調車乙との間に摩擦力があらはれて，乙を廻轉せしめるのである。調繩に就いても同樣である。

鋼索や綱を捲胴に捲き附け或は綱を結び合はせるのも，これ等

の各部に摩擦があるためである。もし摩擦がなければ綱は捲胴の周りをグルグル廻はり，或は綱の結びは忽ち解ける。又手にて物をつかみ得るのも，物體の表面と手との間の摩擦によることはいふまでもない。

建築や機械の据附等に用ひるボルト・ナットの如きも摩擦があるため，よく締め附けられるのである。締附に用ひる木ネヂや釘も同樣で，その銹附いた時などは摩擦を増して一層その效果を來たすものである。

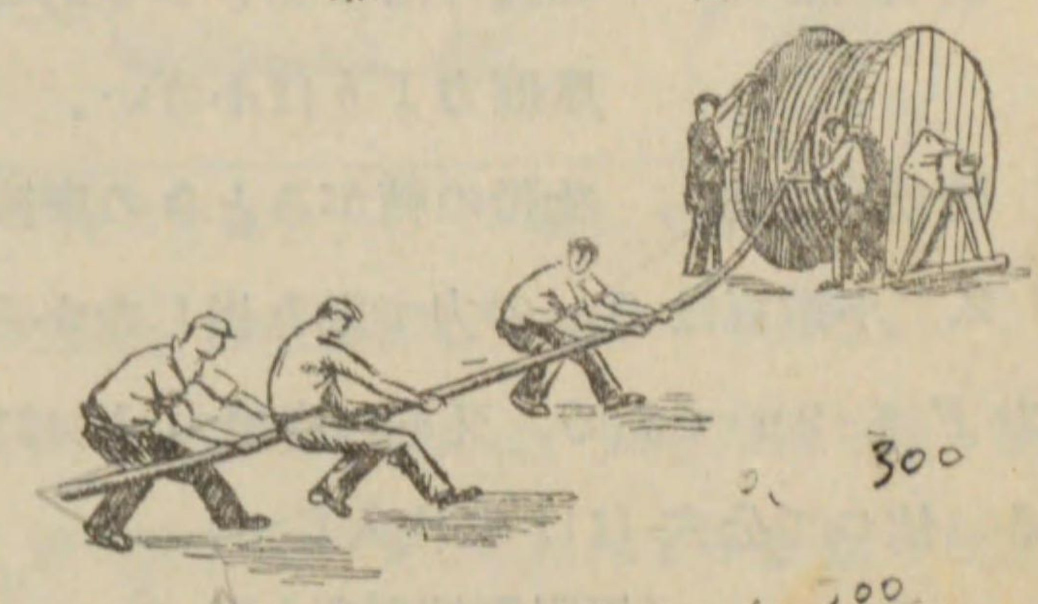
練習問題 IV

1. 摩擦力をどういふ風に區別するか。且つ各種類につき大要を述べよ。

2. 水平なる鐵板上に 50 g の小鐵板を載せ，之れに水平に 9 g の力を作用したるに初めて動き出したといふ。この鐵板間の極限摩擦係數を求めよ。　　答 0.18

3. ケーブルがある。今其の中或る長さだけを切取り 300 kg の力で地上を曳出したといふ。今持上げるには幾何の力を要するか。但しケーブルと地面と

第 78 圖



5000

5000 2000

の極限摩擦係數を 0.6 とする。 答 500 kg

4. 自重 5 トンの空虛な貨車を牽く場合に 12 kg の力がいるといふ。此の貨車に 10 トンの貨物を積むときは幾何の力にて牽けるか。 答 36 kg

5. 電柱を地面上に於いて縱に滑らすよりは，橫に轉がす方が容易なのは何故なるか。

6. 重き物を綱にて曳くとき，輕きものを曳くときよりも緊く綱を握るは何故なるか。

【解答】

1. 摩擦力とは物體に力の働くとき，その物體の他の物體と接觸する面にあらはれる抵抗力のことで，次の樣に區別される。

靜摩擦力	物體が未だ動かざるときの摩擦力で，働く力と共に變はる。
極限摩擦力	物體の將に動き出さうとするときの摩擦力で，最大である。
動摩擦力	物體の滑り動きつつあるときの摩擦力で，極限摩擦力よりは小さい。
轉動摩擦力	物體の轉がるときの摩擦力で，著しく小さい。

2. 小鐵板は 9 g の力で動き出したから，接觸面間の極限摩擦力 F も 9 g である。又その直壓力 N は重さに等しく 50 g である。依つて公式 (11) に代入して，

$$[\text{極限摩擦係數}]\ K=\frac{F}{N}=\frac{9}{50}=0.18$$

3. 300 kg は地面とケーブルとの間の極限摩擦力 F である。ケーブルの重さは，之れに働く地面の直壓力 N に等しいから，公式 (11) を變形して N を求めるとよい。卽ち

$$N=\frac{F}{K}=\frac{300}{0.6}=500\ \text{kg}$$

4. 貨車を牽くにはその動摩擦力だけの力を加へればよい。

今 空虛な場合 貨車の重さ 5 トン， 動摩擦力 12 kg,

貨物を積んだ場合 全體の重さ 15 トン， 動摩擦力 x kg,

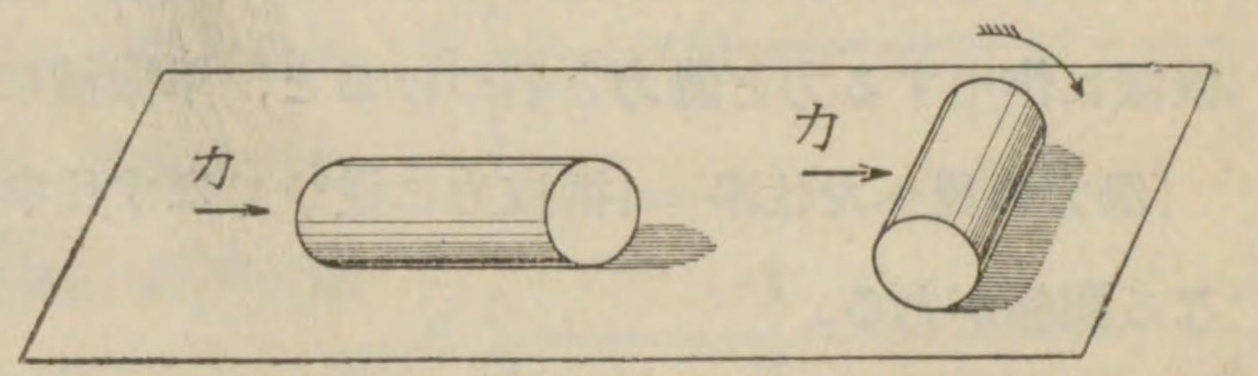
さうして動摩擦力はその直壓力卽ち重さに比例するから，次の比例式が得られる。

$$5:15=12:x$$

$$x=\frac{15\times 12}{5}=36\ \text{kg}$$

5. 電柱を縱に滑らす場合はその接觸面に動摩擦力を生ずる。又電柱を橫に轉がすときは轉動摩擦力があらはれる(第 79 圖)。さうして轉動摩擦力は動摩擦力に比べて著しく小である。故に電柱を摩擦抵抗の少ない方の運動，卽ち轉がして行くのである。

第 79 圖



6. 綱を握る場合手と綱との間の摩擦力は，直壓力卽ち握る强さに比例する。それ故重い物を綱で曳くには大なる摩擦力を要し，從つて綱を緊く握るのである。

第五章　單機械其一

30. 單機械　機械といへばすぐ蒸汽機關や水車或は電動機などを思ひ出すであらうが，これらの機械については本書の姉妹編に讓る。本章にては挺子，輪軸，滑車，斜面，楔，ねぢ並びにこれ等の應用に屬するものを**單機械**と總稱し，これ等のなす仕事の關係について述べることとする。これらの單機械は單獨でそれぞれ用途のあるは勿論，また複雜な機械の素をなしてゐるものも少なくない。

能率　單機械に力を作用し之れに仕事を與へるときは，それぞれ單機械本來の目的の**抵抗力**に逆つて仕事をなすのである。この際，單機械にあらはれる摩擦の如き無益な力に逆ふ仕事をもなさねばならない。この無益な仕事を**損失仕事**と稱へる。そして單機械に作用する力を**働力**と名づけると，單機械について

［働力の與へた仕事］=［抵抗力に逆つてなす仕事］+［損失仕事］

なる關係がある。

それ故，單機械が抵抗力に逆つてなす有效なる仕事の，之れに働力の與へた仕事に對する割合をその單機械の**能率**といふ。即ち

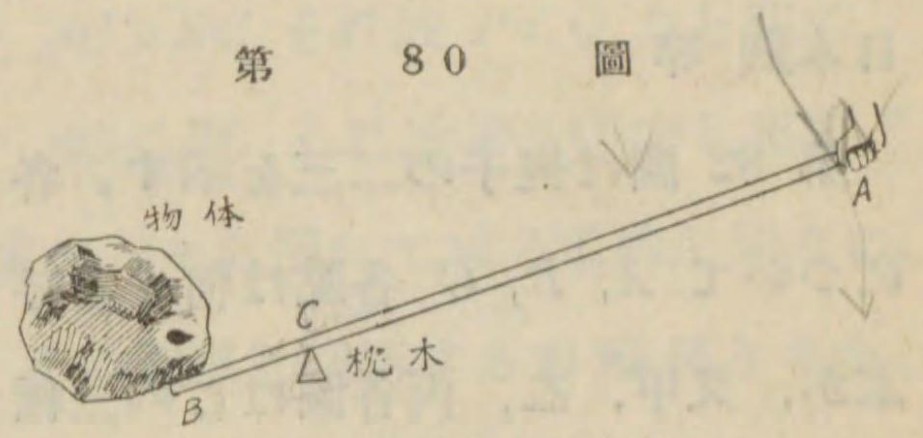
$$[\text{能率}]=\frac{[\text{抵抗力に逆つてなす仕事}]}{[\text{働力の與へた仕事}]} \quad \cdots\cdots\cdots \quad (13)$$

能率は通常何分の一と表はさないで，百に付(per cent)何程と表

はし，記號 % を用ひる。例へば單機械が 100 kg-m の仕事を受入れて，そのうち 85 kg-m だけを目的の抵抗力に逆つて仕事をなし得たとすれば，この場合其の單機械の能率は 85 パーセントである。之れを 85% と書く。

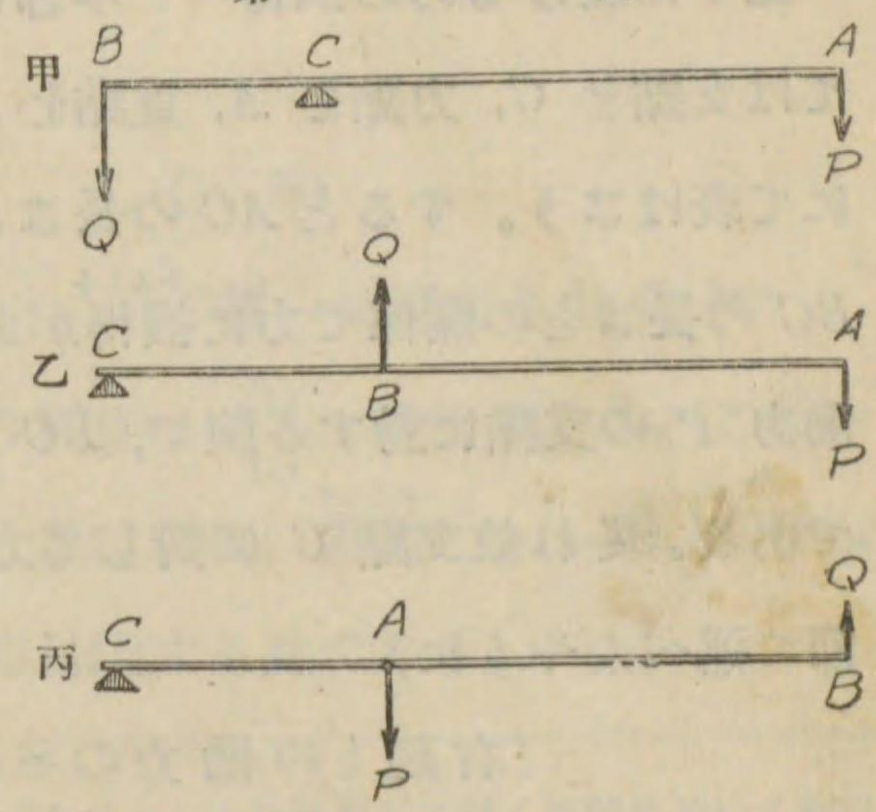
31. 挺子　第80圖は棒 AB で物體を持上げる有樣を示す。棒の一點 C を枕木で支へ，一端 A を壓下げると，棒は C 點の周りに多少廻はり，B 端で物體を持上げ得る。かやうに一點の周りに廻はし得る棒狀の單機械を，その形の如何に拘はらず**挺子**或は**槓桿**といふ。A 端に働力を作用すれば，物體の重さのため B 端に抵抗力を生ずる。挺子に於いて働力の作用する點を**力點**，抵抗力のあらはれる點を**重點**，挺子を支へる點を**支點**と稱へる。

第　80　圖



挺子の作用を示す

第　81　圖



挺子の三種

挺子の種類　日常吾々の取扱ふもので挺子に屬するものは甚だ多い。箸や鉛筆から箒に至るまでその用ひ方は挺

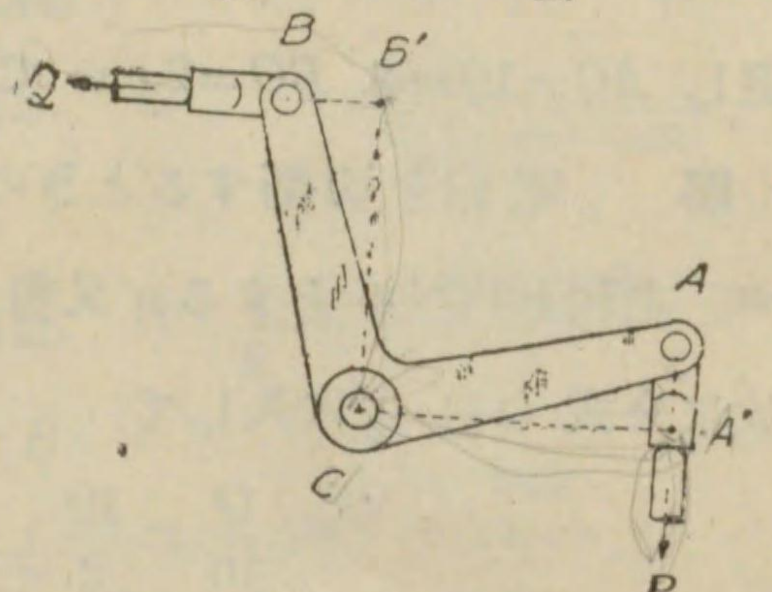
$$[\text{力比}]=\frac{[\text{抵抗力}]}{[\text{働力}]}=\frac{Q}{P}\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(15)$$

挺子の力比　挺子の支點に摩擦があれば，働力の一部はそれが爲め消費される。併し働力の損失なき挺子の力比 $\frac{Q}{P}$ は(14)式より，$\frac{AC}{BC}$ なること明かである。例題8に示したペンチの力比は5で，力を利する種類の挺子の力比は1より大きく，力を損する種類の挺子の力比は1より小さい。

32. 曲挺子

挺子には第83圖及び第84圖に示す例の如く，A, C, B が一直線でないものがある。このやうな挺子を曲挺子(まがりてこ)と名づけよう。第83圖は鐵道線路の轉轍器(てんてつき)に附屬して使用される曲挺子である。これらの曲挺子に於いては支點 C より力 P, Q の方向へ垂線 CA', CB' を下すときは，CA', CB' はそれぞれ力 P, Q への C 點に對する腕である。それ故支點に對して力のモーメントを取れば，第18節で述べたやうに

第　83　圖



曲　挺　子

$$[\text{右廻りの働力のモーメント}]=P\times A'C$$

$$[\text{左廻りの抵抗力のモーメント}]=Q\times B'C$$

それ故支點に摩擦その他働力の損失がなければ，

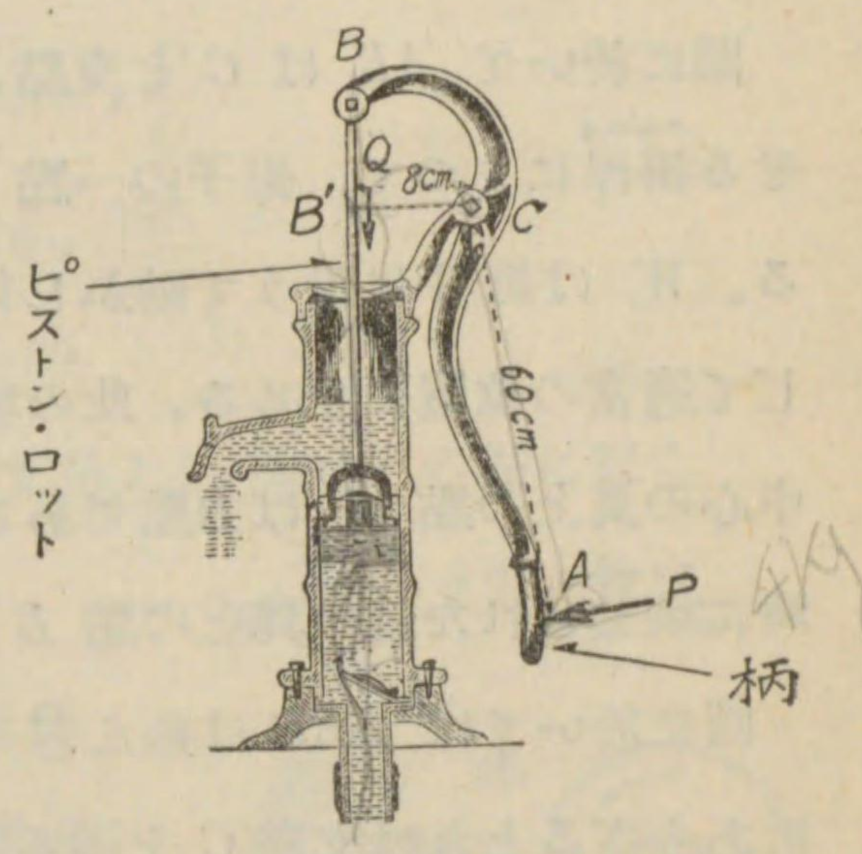
$$P\times A'C=Q\times B'C$$

なるとき，曲挺子は釣合の有樣にある。從つてこのやうな曲挺子の力比は上式より

$$[\text{曲挺子の力比}]=\frac{Q}{P}=\frac{A'C}{B'C}\ \cdots\cdots\cdots\cdots(16)$$

例題 9. 第84圖は押揚ポンプを示す。柄の一端 A に於いて AC に垂直に 4 kg の働力を作用し，圖の有樣にあるとき，ピストン・ロッドにあらはれる抵抗力幾何なるか。但し支點に摩擦なきものとす。

第　84　圖



押揚ポンプの柄の作用を示す

解　ポンプの柄は一種の曲挺子で，C は支點，A は力點，B は重點である。働力 $P=4^{\text{kg}}$，その腕 $AC=60^{\text{cm}}$，今抵抗力を Q^{kg} とすれば，その腕 $B'C=8^{\text{cm}}$ であるから，公式(16)に代入すれば，

$$\frac{Q}{4}=\frac{60}{8}$$

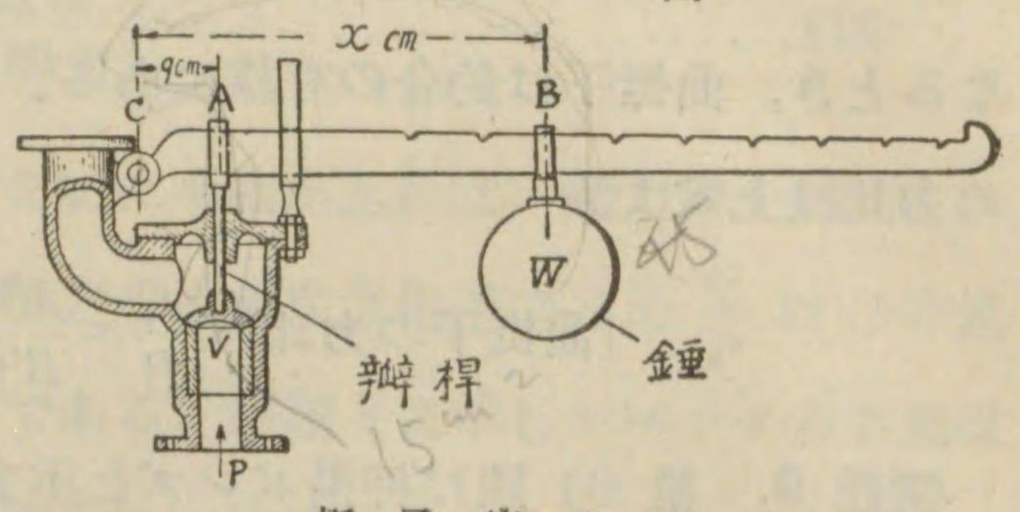
故に　$Q=\frac{60}{8}\times 4=30$　　**答**　30 kg

33. 挺子安全瓣

蒸汽汽罐に於いてその中の蒸汽の壓

力が次第に增すときは，自働的に瓣を開き蒸汽の一部分を噴出して或る一定の壓力よりも增さないやうにする必要がある。此の目的に用ひられるものの一種に第 85 圖に示す**挺子安全瓣**(てこあんぜんべん)がある。

第 85 圖



挺子安全瓣

圖に於いて AB は C を支點とする挺子，V は瓣で之れに連結せる瓣桿(べんかん)によつて，挺子の一點 A を押上げ得るやうになつてゐる。W は挺子に沿うて動かし得る錘(おもり)で，必要な蒸汽の壓力に應じて適當の位置に止める。此の場合蒸汽の全壓力は働力で，V の中心の眞上の點 A は力點である。又蒸汽の將(まさ)に噴出(ふきだ)さうとする時に調整(ちようせい)された錘の眞上の點 B は重點である。

圖に於いては ABC は殆んど一直線上にあるが，若し一直線上にあらざるときは支點 C を通る水平線上に投影し，それぞれ A', B' とすれば，蒸汽の將に噴出さうとするときの全壓力 P 及び錘の重さ Q の間に，前節と同様に $P\times A'C=Q\times B'C$ なる關係がある。

例題 10. 第 85 圖に示した挺子安全瓣に於いて，瓣の斷面積 15 cm², 錘の重さ 45 kg, AC の長さ 9 cm であるといふ。今蒸汽の壓力の强さ 13 kg/cm² なるとき，蒸汽の噴出すやうな錘の位置を定めよ。

解 瓣に働く蒸汽の全壓力 P は，第 19 頁公式 (4) を次の如く變形すれば求められる。

[全壓力]=[壓力の强さ]×[面積]

$$P=13\times 15=195^{\text{kg}}$$

又錘の重さ　$Q=45^{\text{kg}}$,　　$AC=9^{\text{cm}}$

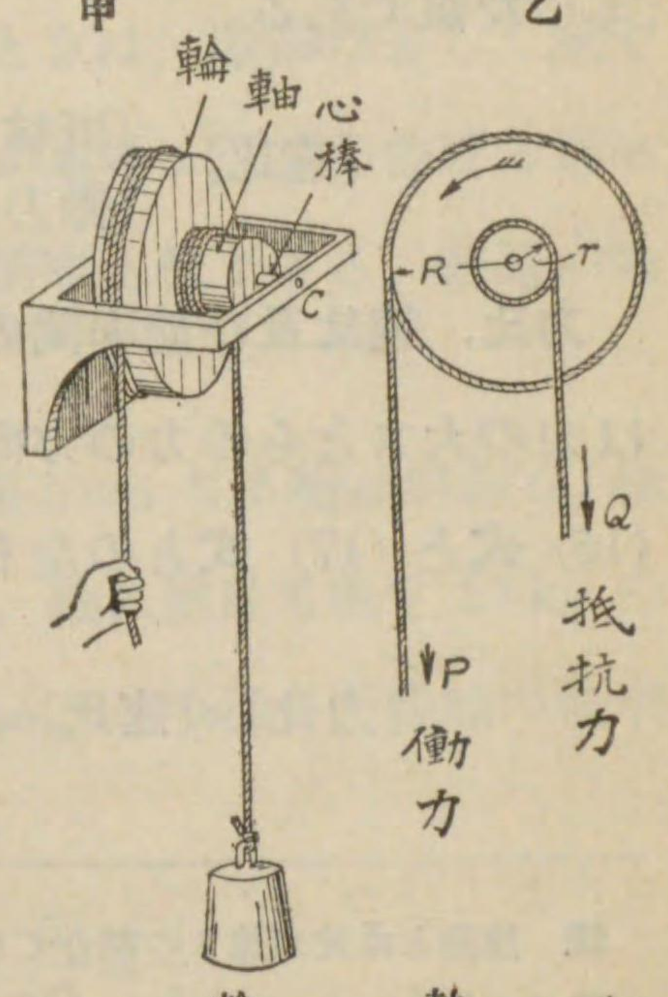
C より錘の位置までの長さを BC^{cm} とすれば，

$P\times AC=Q\times BC$ なるとき，蒸汽は噴出さうとする。

故に
$$BC=AC\times\frac{P}{Q}$$
$$=9\times\frac{195}{45}$$
$$=39$$
5×9

答 錘の中心を支點より 39 cm の點に置く

第 86 圖



輪　　軸

34. 輪軸

輪軸(りんじく)は物體を引上げる時に用ひる一種の單機械である。第 86 圖に示す樣に直徑の大なる輪(わ)と，直徑の小なる軸とが一體になつたもので，心棒の周りに自由に廻轉し得るやうになつてゐる。軸に捲附(まきつ)けた綱の端に引上げようとする物體をかける。輪には之れと捲き方を反對にした綱を捲附け，その

端に働力を作用せしめる。それ故小なる働力で重き物體を引上げ得るので力を利する。

併しながら物體を引上げる距離は損である。今乙圖に於いて輪の半徑 20 cm，軸の半徑 5 cm であるとすれば，これを心棒の周りに一廻轉する毎に，

働力の作用して綱を引下げる距離は，輪の周圍 $2\times20\pi$ で，

抵抗力に逆つて物體を引上げる距離は，軸の周圍 $2\times5\pi$

である。それ故この輪軸に於いて物體を引上げる距離は，綱を引下げる距離の $\dfrac{2\times5\pi}{2\times20\pi}=\dfrac{1}{4}$ となり，距離は損である。

速比　輪軸の場合のやうに，單機械に於いては抵抗力に逆つて移動する距離の，働力のはたらいて移動する距離に對する割合を速比*といふ。それ故速比は單機械の機構によつて，それぞれ一定した値である。

$$[\text{速比}]=\frac{[\text{抵抗力に逆つて移動する距離}]}{[\text{働力の作用して移動する距離}]}\cdots\cdots(\mathbf{17})$$

力比，速比及び能率間の關係　第 4 節で述べたやうに，仕事は力の大さとその力の方向への移動距離との相乘積であるから，(15) 式と (17) 式との左右各邊を乘ずれば，

$$[\text{力比}]\times[\text{速比}]=\frac{[\text{抵抗力}]\times[\text{抵抗力の移動距離}]}{[\text{働力}]\times[\text{働力の移動距離}]}$$

註　速比とは元來速さの割合であるが，一樣な速さの割合は其の運動した距離の割合で表はされる。

$$=\frac{[\text{抵抗力に逆つてなす仕事}]}{[\text{働力の與へた仕事}]}$$

(13) 式に依り　　$=[\text{能率}]$

卽ちこれ等三者の間に次の關係がある。

$$[\text{力比}]\times[\text{速比}]=[\text{能率}]\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(\mathbf{18})$$

輪軸の速比及び能率　輪軸の輪の半徑を R，軸の半徑を r とすれば，その一廻轉する毎に

輪に働力の作用して移動する距離は，輪の周圍 $2\pi R$ で，

軸にかかる抵抗力に逆ひ移動する距離は軸の周圍 $2\pi r$

であるから，その速比は公式 (17) に依り

$$[\text{輪軸の速比}]=\frac{2\pi r}{2\pi R}=\frac{r}{R}\quad\cdots\cdots\cdots\cdots(\mathbf{19})$$

である。

輪軸の軸承として球入軸承を用ひるときは，摩擦は著しく減ずるが普通の軸承にては，かなりの摩擦がある。又綱を曲げる爲めにもかなり働力の損失を來たすから，能率も低下する。普通の輪軸にては 80% 程度のものである。

例題 11.　輪の半徑 20 cm，軸の半徑 5 cm なる輪軸がある。軸に捲ける綱の端に 85 kg の物體をかけ，輪に捲ける綱を 25 kg の力で引くとき，物體を引上げ得たといふ。この場合，輪軸の能率幾パーセントなるか。

解　先づ此の場合の $[\text{速比}]=\dfrac{r}{R}=\dfrac{5}{20}=\dfrac{1}{4}$

又此の場合，〔抵抗力〕$Q=85^{\mathrm{kg}}$，〔働力〕$P=25^{\mathrm{kg}}$

故に公式 (15) に依り

$$[力比]=\frac{Q}{P}=\frac{85}{25}=\frac{17}{5}$$

依つて公式 (18) により

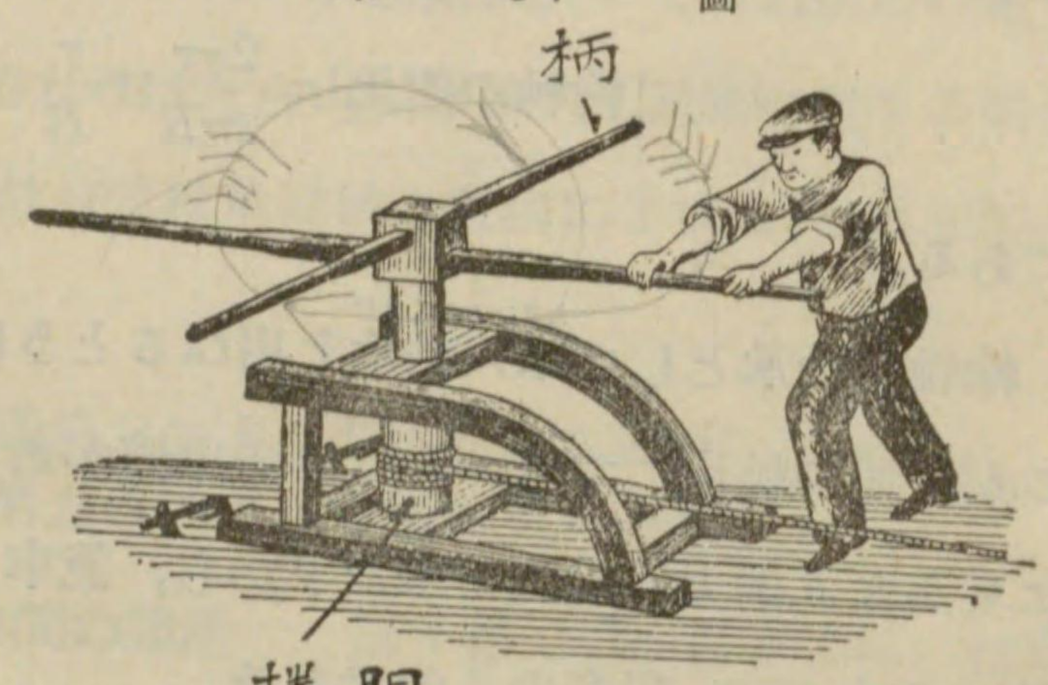
$$[能率]=\frac{17}{5}\times\frac{1}{4}=0.85$$

故に 100 に付ては $=0.85\times100=85$ 答 85%

35. カプスタン

第 87 圖に示したものは**カプスタン** (capstan) といひ，俗に神樂棧ともいふ。路面で重い物を引寄せるに用ひる。普通のものは頭部に 4 個の棒を水平に十字形をなすやうに取附け，その端に働力を作用する。すると捲胴と共に，鉛直なる心棒の周りに廻轉する。

第 87 圖



カプスタン

輪軸との比較 カプスタンの圖に於いて，捲胴に結附けた綱に物體を結び，把手を順々に一廻轉すればその作用は輪軸と同様である。それ故捲胴の半徑を r，心棒から把手の端までの長さを

R とすれば，輪軸と同様に速比は次のやうになる。

$$[カプスタンの速比]=\frac{r}{R}\cdots\cdots\cdots\cdots(20)$$

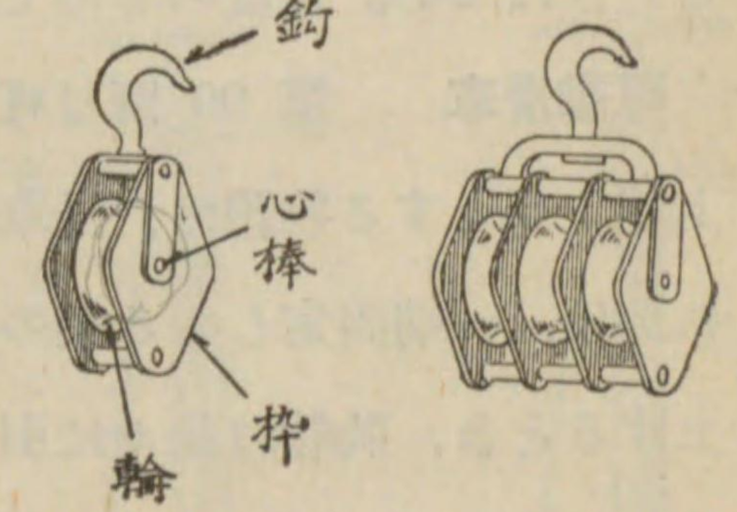
カプスタンの 4 個の把手の各端に，等しい働力を作用する場合は，二力づつ偶力をなして廻はし易すいから，損失仕事は輪軸に比べて遙かに少ない。從つて能率も輪軸よりは大きく大略 90% 程度である。

カプスタンにては綱の一端を捲胴に結附けずに，綱を捲胴に二三回捲きその端を一人が支へながら，把手を廻はす場合が多い。この場合の作用は輪軸の作用とは異なり力の關係が複雑である。

36. 滑車

滑車は力の方向を變へるため屢ば說明した通り，心棒の周りに滑らかに廻り得る輪で，周圍が溝になつてゐる。工業上に用ひるものは輪の 1 個，2 個，或は 3 個などを第 88 圖のやうに枠に納めたもので，通常これを**ブロック** (block) といふ。枠に取附けた鈎は之れを吊すため，或は之れに物體を吊すために用ひる。溝の周りにかけた綱は，溝縁との間に起る摩擦のために，輪と一所に心棒の周りに廻轉するのである。綱の代りに鋼索或は鎖を用ひるものもある。滑車はその使ひ途によつて固定滑車と可動滑車とに分つことが出來る。

第 88 圖

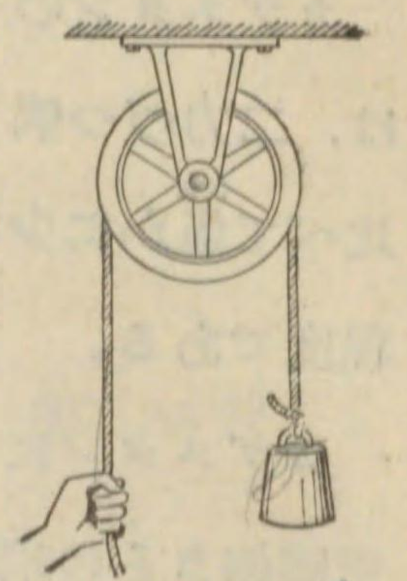


ブロック

$R\times P+R\times P=2RP$

固定滑車　井戸の釣瓶に用ひる滑車のやうに，一定の場所に支へたものを**固定滑車**といふ。固定滑車は主に働力の方向を變へる爲めに用ひる。第 89 圖は働力の方向を正反對に變へ，第 68 圖は直角に變へる場合の一例である。何れの場合に於いても働力が綱に作用して移動する距離だけ，抵抗力に逆つて移動する。卽ちその速比は公式 (17) に依り

第 89 圖



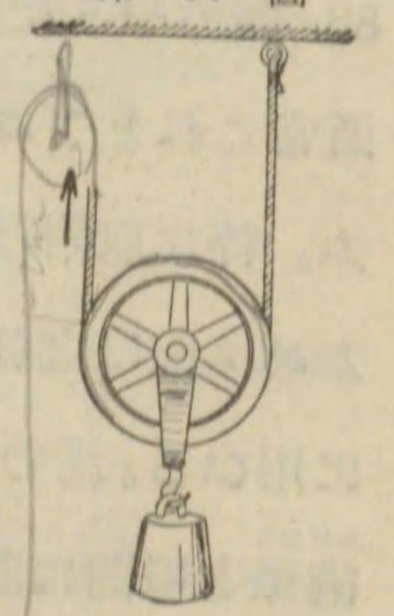
固定滑車

[固定滑車の速比]＝ 1......(**21**)

次に，綱の方向によつて心棒に加はる壓力に違ひがあるから，心棒に生ずる摩擦も異なり，又綱の種類や輪の大小に依り綱を曲げる働力の損失も異なる。從つて損失仕事は綱の方向，種類等によつて差を生じ，能率も多少異なる。第 89 圖のやうな場合に，麻綱ならば 90%，鋼索ならば 96%，鎖を用ひるときは 94% 程度のものである。

可動滑車　第 90 圖は可動滑車を示す。引上げようとする物體は，滑車の枠の下にある鈎にかけ，一端固定したる綱の他端を圖の如く引上げるとき，物體は徐々に引上げられる。この場合は綱を 2m 引上げると，物體は 1m だけ引上げられる。それ故圖の場合，速比は次の如くなる。

第 90 圖



可動滑車

$$[\text{可動滑車の速比}]=\frac{1}{2}\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(\mathbf{22})$$

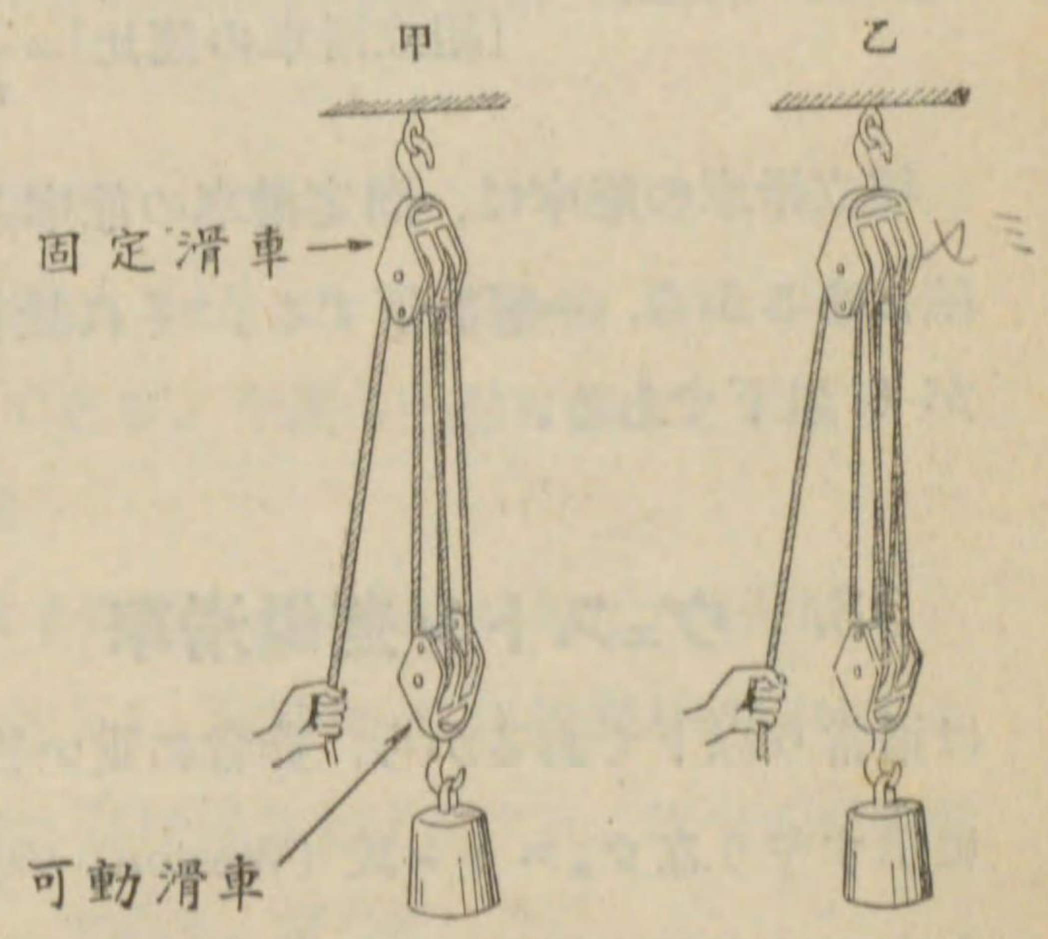
可動滑車に於いては固定滑車の場合に比べて，滑車自身を引上げる損失仕事を伴ふけれど，心棒に於ける摩擦は少ないから，能率は幾分よい。大略麻綱にて 96%，鋼索にて 98%，鎖ならば 97% 程度である。

實際には圖のやうに可動滑車を單獨に用ひることは殆んどなく，固定滑車と組合はせて使用するのである。

37. 組立滑車

重い物體を引上げるには力比を增す必要があるので，2 個或 3 個の輪を有するブロックを用ひる。一方のブロックを固定し，他方のブロックに引上げようとする物體を吊し，第 91 圖のやうに綱をかける。かやうな組合せを**組立滑車**と稱へる。勿論上方のブロックは固定滑車，下方のブロックは可動滑車である。

第 91 圖



組立滑車

組立滑車の速比　甲圖は固定滑車の輪と可動滑車の輪とが同數な場合の一例である。この場合では綱の一端は固定滑車の枠に結び，二回廻つて他端に働力を作用する。この場合は可動滑車從つて物體は 4 本の綱にて支

へられるわけであるから，綱の一端を 4m 引いて，物體は 1m だけ引上げられる。依つてその速比は $\frac{1}{4}$ である。

乙圖は固定滑車の輪が可動滑車の輪より1個多い場合の例である。この種の組立にては綱の一端は可動滑車の枠に結ばねばならない。圖の場合は可動滑車從つて物體は5本の綱で支へられるわけであるから，綱の一端を 5m 引いて物體は 1m しか上がらない。依つてその速比は $\frac{1}{5}$ である。

一般に綱の終端に作用する働力の方向が下向なるやうに，組立てられた組立滑車の速比は，固定滑車及び可動滑車の輪の總數を n —— 或る物の數を幾つと限られないで表はすとき通常 n といふ文字を用ひる——とすれば，可動滑車從つて物體を支へる綱の總數は n となるから，

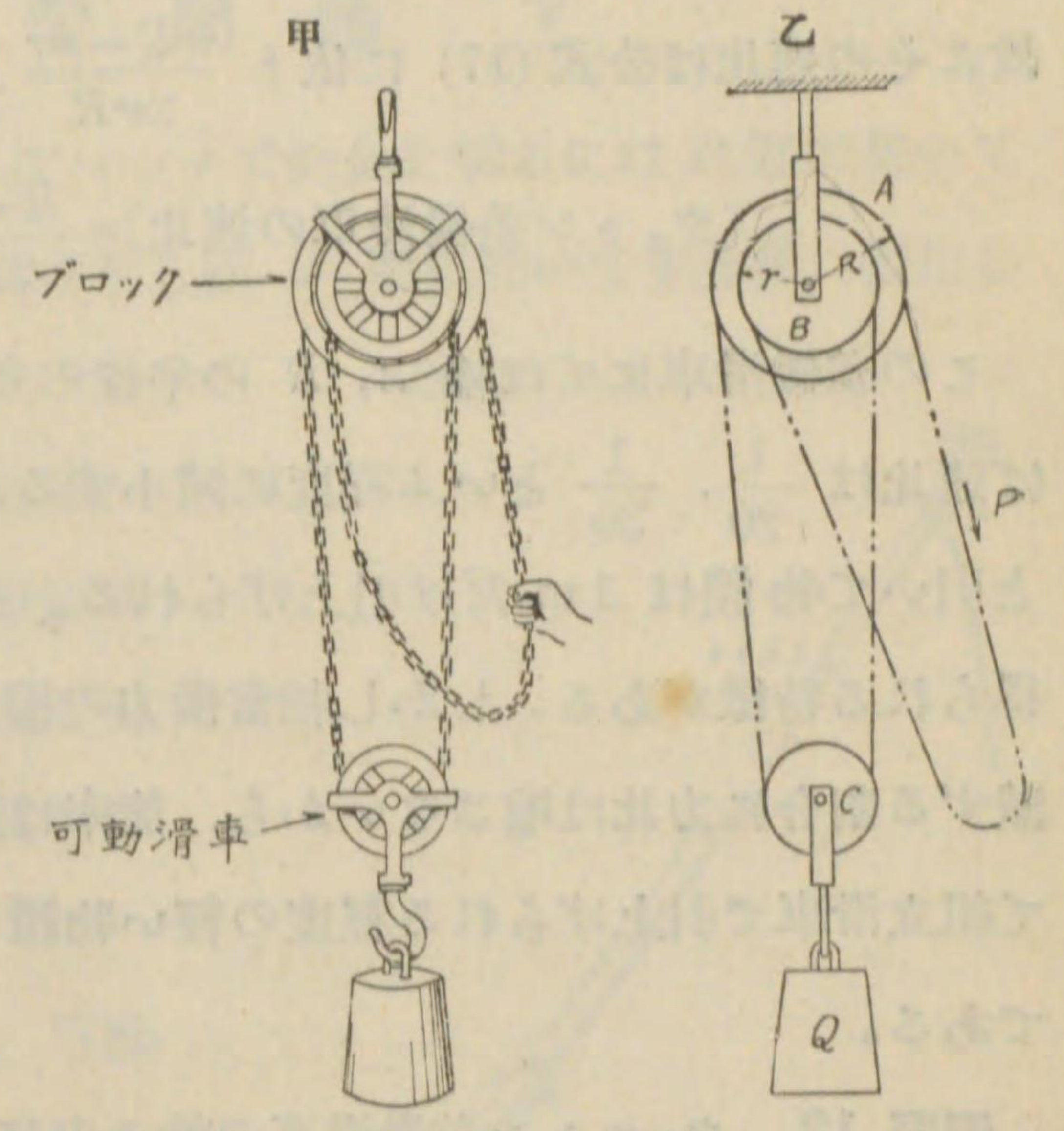
$$[\text{組立滑車の速比}]=\frac{1}{n}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(23)$$

組立滑車の能率は，固定滑車の能率と可動滑車の能率との相乘積になるから，一層低下する。それ故普通用ひられる滑車では n が 6 以下である。

38. ウェストン差働滑車

組立滑車に於いては力比は通常6以下であるから，非常に重い物を引上げるには第 92 圖に示すやうなウェストン氏 (Weston) の差働滑車を用ひるがよい。上方には直徑の僅か違ふ二つの輪 A, B の結合した一種のブロッ

第 92 圖



ウェストン差働滑車

クを用ひ，下方には一個の輪 C より成る可動滑車を用ひる。そしてグルグル廻はれるやうに端なき鎖 (endless chain) をかける。A, B, C の輪は何れも鎖の嚙み合ふ突起を有する溝になつてゐるから，鎖の一點を引くときは滑ることなく運動が傳はる。卽ちウェストン差働滑車は鎖滑車 (chain block) の一種である。

ウェストン差働滑車の速比 上方のブロックの大なる輪 A の半徑を R とすればその周圍は $2\pi R$ で，小なる輪 B の半徑を r とすればその周圍は $2\pi r$ である。今鎖の一點に働力を作用して，之れ等の輪を一廻轉すれば，

働力の作用して移動する距離はその周圍に等しく $2\pi R$ で，鎖は A の周圍だけ捲き上り，同時に B の周圍だけ解け下るから，結局，鎖は $2\pi R-2\pi r$ だけ捲き上げられる。依つて可動滑車 C の上る距離はその $\frac{1}{2}$ である。從つて

物體の重さに逆つて移動する距離は $\dfrac{2\pi R-2\pi r}{2}=\pi R-\pi r$

故にその速比は公式 (17) に依り $\dfrac{\pi R-\pi r}{2\pi R}$，即ち

$$[\text{ウェトン差働滑車の速比}]=\frac{R-r}{2R}\cdots\cdots\cdots\cdots(24)$$

この差働滑車にては輪 A, B の半徑の差 $R-r$ を小さくすれば速比は $\dfrac{1}{20}$, $\dfrac{1}{30}$ といふ程度に減小する。卽ち鎖を 20 m, 30 m と引いて物體は 1 m だけ引上げられる。その代り大なる力比を得られる特徴(とくちよう)がある。しかし相當働力の損失があるので，速比の減ずる割合に力比は増さないから，能率は著しく低下する。依つて組立滑車で引上げられる程度の輕い物體を引上げるには不適當である。

例題 12. ウェストン差働滑車の輪の半徑 15 cm, 14 cm のものがある。之れに 1 トン の物體をかけ，80 kg の力にて引上げ得たとすれば，此の場合その能率幾パーセントなるか。

解　1 トン＝1000 kg であるから，この場合の力比は公式 (15) に依り　$[\text{力比}]=\dfrac{1000}{80}=12.5$

又公式 (24) に代入して　$[\text{速比}]=\dfrac{15-14}{2\times15}=\dfrac{1}{30}$

依つて公式 (18) により　$[\text{能率}]=12.5\times\dfrac{1}{30}$

$=0.417$

故に 100 に付ては　$0.417\times100=41.7$

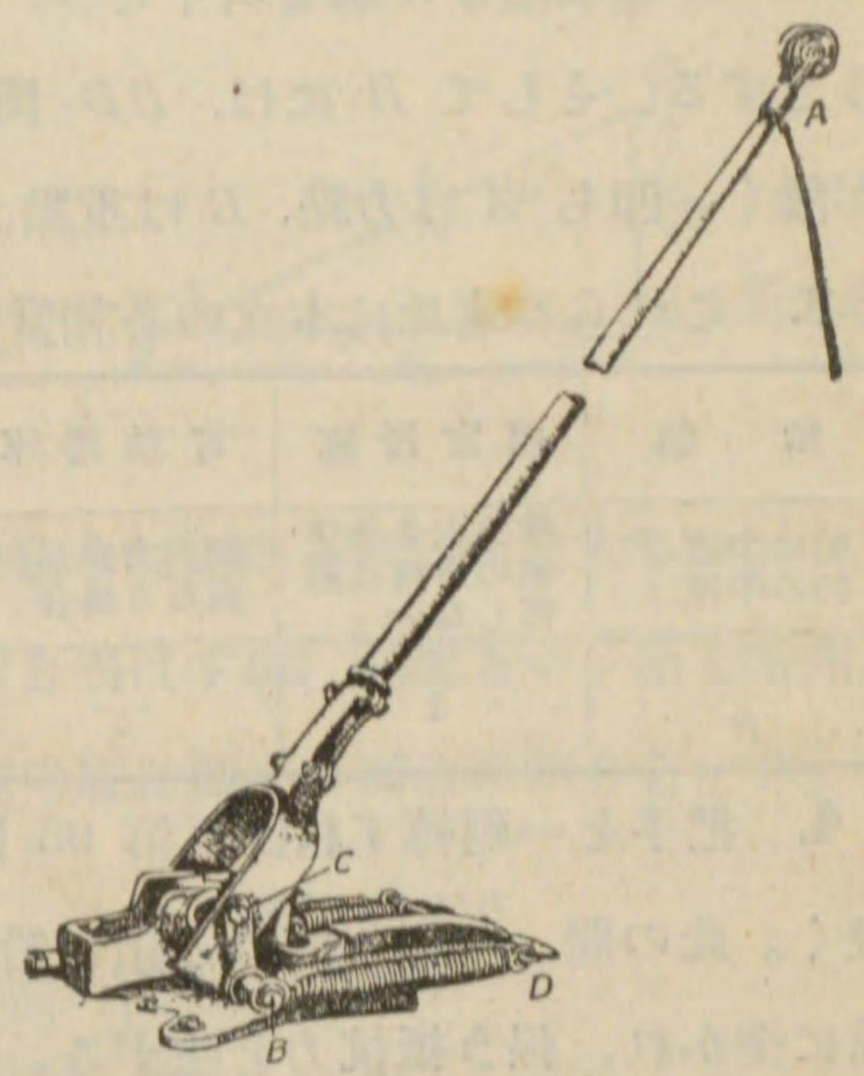
答　41.7 %

練習問題 V

1. 第 82 圖甲に示したペンチで針金を切るには B 點に於いてし，單に針金をつかむだけならば B' 點に於いてする樣，製作しあるは何故なるか。

2. 第 93 圖は電車に用ひるトロリー棒を示す。圖に於いて A に取附けたる綱を引くときの挺子の作用を説明せよ。

第 93 圖

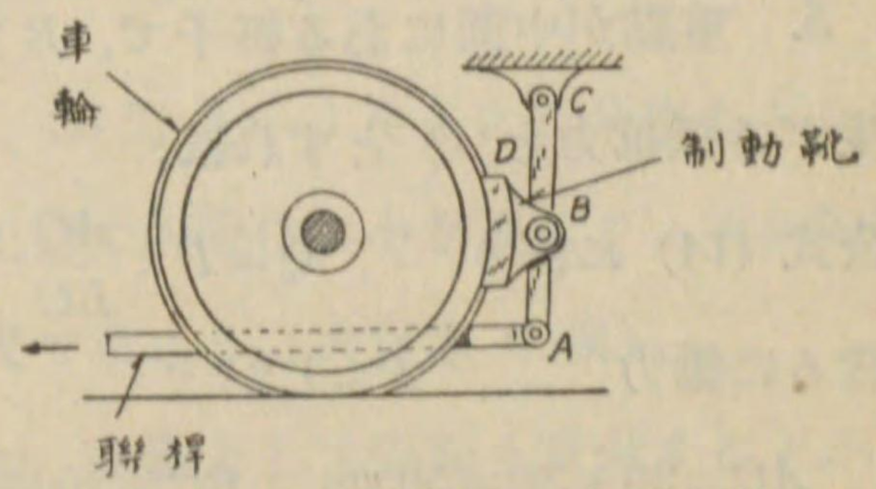


トロリー棒

3. 輪軸，固定滑車，可動滑車，組立滑車及びウェストン差働滑車各の速比を示す式を問ふ。

4. 電車を止めるため手働制動機の把手を廻はす。その作用は輪軸の應用と見做し得るは何故なるか。

第 94 圖



手働制動機制動靴の作用の説明

5. 第 94 圖は手働制動機の制動靴が，車輪を壓し附けようとする作用の説明圖である。今制動靴の中點 B より支點 C までの長さ BC は 20 cm,

AB は 30 cm とし，A 點に 1.2 トンの力が作用すれば，B に於ける全壓力幾何なるか。　　答 3トン

【解答】

1. B の抵抗力の方が，大きいから $BC<B'C$ なる樣製作す。

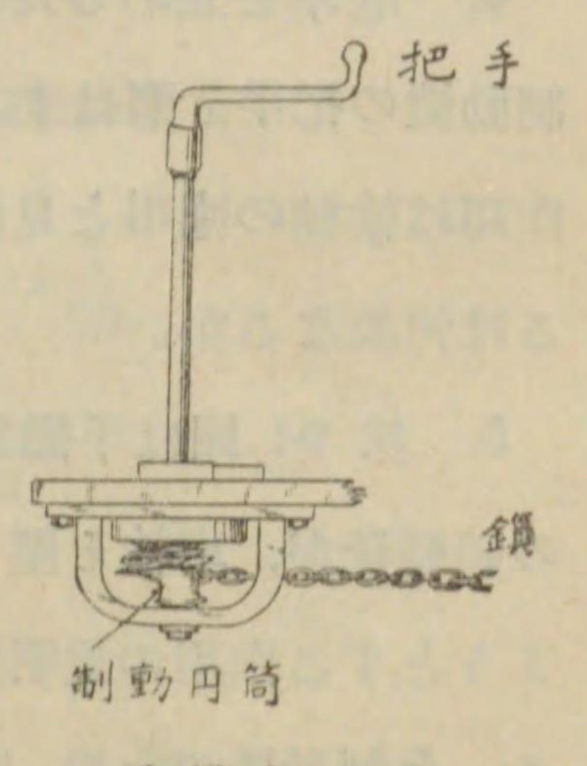
2. A に取附けた綱を引くとき，トロリー棒は C の周りに廻らうとする。そして B には，BD 間の彈條によつて生ずる抵抗力が働く。卽ち A は力點，B は重點，C は支點なる曲挺子である。

3. これらの速比は本文の各相當欄(らん)により次の通りである。

輪　軸	固定滑車	可動滑車	組立滑車	ウェストン差働滑車
輪の半徑 R 軸の半徑 r	輪の大さ及び綱の方向に關係しない	綱の方向が鉛直なる場合	輪の總數を n 第 91 圖のやうた組合せ	大なる輪の半徑 R 小なる輪の半徑 r
$\frac{r}{R}$	1	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{n}$	$\frac{R-r}{2R}$

4. 把手を一廻轉すれば（第 95 圖），鉛直軸を中心とする圓を畫く。此の間，聯桿(れんかん)に連(つらな)れる鎖は鉛直軸の下部に連絡せる制動圓筒に捲かれ，强き抵抗力を生ずる。卽ち把手は輪に，制動圓筒は軸に相當する。

第 95 圖



手働制動機

5. 重點が中間にある挺子で，B 點に生ずる抵抗力を Q とすれば，

公式 (14) に依り　　$Q=P\times\frac{AC}{BC}$

然るに働力　　$P=1.2$ トン

$AC=20+30=50$ cm，　$BC=20$ cm

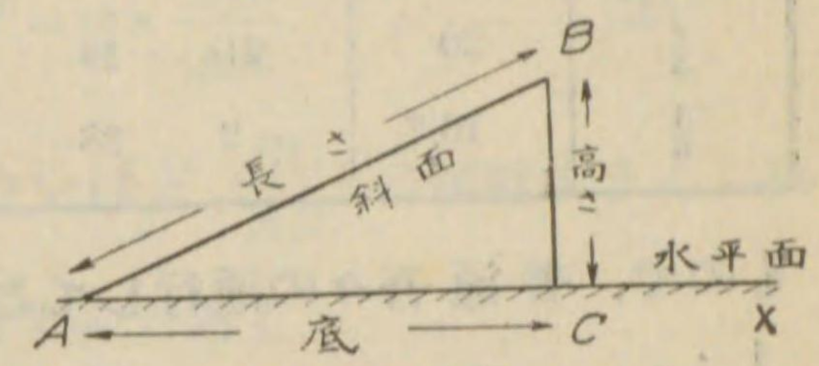
故に　　$Q=1.2\times\frac{50}{20}=3$ トン

第六章　單機械其二

39. 斜　面　傾斜してゐる平面を一般に**斜面**(しやめん)と稱へる。

第 96 圖に於いて AX を水平面，AB を斜面とし，B より鉛直に BC を作れば，AB を斜面の長さ，BC を斜面の高さ，AC を斜面の底，$\angle BAC$ を斜面の**傾斜角**(けいしやかく)といふ。傾斜の急な斜面ほど傾斜角は大きい。

第 96 圖



斜　面

勾配　斜面の傾斜の程度を表はすに，**勾配**(こうばい)といふ語をも用ひることがある。勾配とは斜面の底に對する高さの割合をいふ。卽ち圖に於いて

$$[\text{勾配}]=\frac{[\text{斜面の高さ}]}{[\text{斜面の底}]}=\frac{BC}{AC}$$

勾配を表はすには $\frac{1}{10}$，$\frac{1}{4}$ といふやうに高さが 1 となる分數の形を用ひるか，或は 10 %，25 % といふやうに百分率などを用ひる。三角法では傾斜角の正切で勾配の大小を表はす。次に勾配と傾斜角との關係の二三を表で示さう（次頁第 9 表）。

道路の坂は多少凹凸あるが，全體として斜面と見做すことが出來る。そしてかなり急な坂でも勾配が $\frac{1}{5}$，卽ち傾斜角 11° 位の

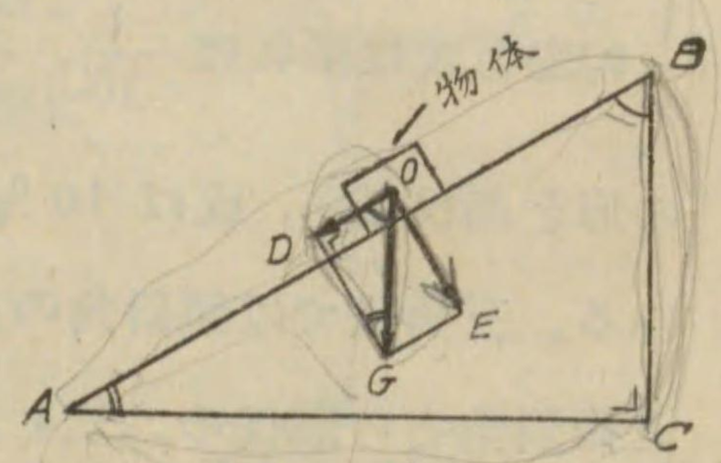
第 9 表　勾配と傾斜角

勾配		傾斜角		勾配		傾斜角	
	%	°	′		%	°	′
$\frac{1}{1}$	100	45	0	$\frac{1}{10}$	10	5	43
$\frac{1}{2}$	50	26	34	$\frac{1}{15}$	6.7	3	49
$\frac{1}{3}$	33.3	18	26	$\frac{1}{20}$	5	2	52
$\frac{1}{4}$	25	14	2	$\frac{1}{30}$	3.3	1	54
$\frac{1}{5}$	20	11	19	$\frac{1}{50}$	2	1	9
$\frac{1}{6}$	16.7	2	28	$\frac{1}{100}$	1	0	4

もので，普通吾々の通行してゐる坂道はそれより緩やかである。$\frac{1}{2}$ といふ程度の勾配では上り下りは困難であるから，かやうな急勾配では階段にするのである。

斜面上の物體に働く重力　物體に働く重力は，物體が水平面上にあると，斜面上にあるとに拘はらず鉛直である。斜面上に置かれた物體は斜面に沿うて滑り下らうとする。その力は重力に基くのである。今第 97 圖に於いて物體に働く重力を OG で表はし，之れを斜面の方向と，これに垂直の方向とに分解すると，斜面の方向の力は物體を滑り下さうとする力で，垂直の方向の力は斜面を壓す力である。かやうな二力に分解するには，第 38 頁で述べたやうに OG を對角線とする平行四邊形 $ODGE$ を作ればよい。幾何學で學んだやうに三角形 GOD と三角形 ABC とは相似であるから，對應

第 97 圖



重力の斜面に沿ふ分力を示す

邊は互に比例する。即ち

$$\frac{OD}{OG}=\frac{BC}{AB} \qquad \text{或は} \qquad OD=OG\times\frac{BC}{AB}$$

今物體の重さを w とし，w の斜面に沿ふ分力を P にて表はせば，$OG=w$, $OD=P$ であるから，上式は次のやうになる。

$$[\text{滑り下らうとする力}]\ P=w\times\frac{BC}{AB}{}^{*} \quad \cdots\cdots\cdots(25)$$

(25) 式に於いて，傾斜角の大きいほど $\frac{BC}{AB}$ の値は大きく，物體の滑り下らうとする力 P は增すのである。

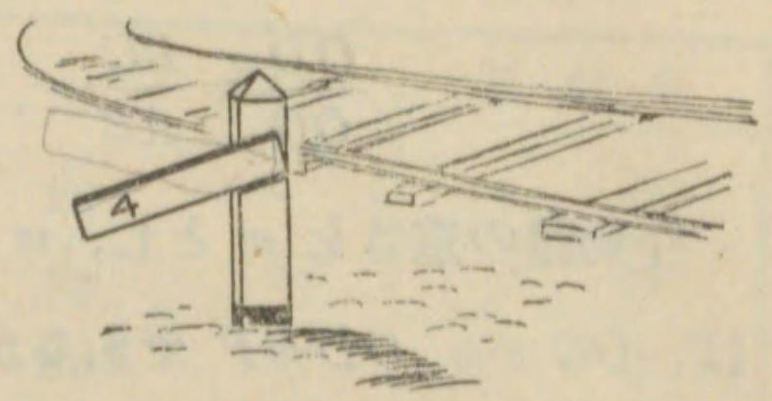
軌道の傾斜　傾斜せる鐵道軌道上にある車輛に働く重力は，上に述べた理に依り傾斜角の大きいときは，軌道上を滑り下らうとする力を增し，列車運轉上大なる支障を來たすから，傾斜角におのづから制限がある。我が國に於ける電氣鐵道の最も急な勾配は $\frac{1}{12.5}$ 即ち 8% であるといふ。

鐵道にては勾配を特に 1000 に付何程といふ具合に表はし，例へば勾配 $\frac{4}{1000}$ を 4 パーミル (per mille) といひ，記號 4‰ を用ひる。軌道の勾配の變はり目に第 98 圖のやうな標木を見ることがあらう。單に 4 と記しあるは 4‰ の意味である。さうして降り勾配には腕木を下向に，昇り勾配には腕木を上向に取附ける。

註　斜面の傾斜角を θ とすれば $\frac{BC}{AB}=\sin\theta$ であるから，公式 (25) は $P=w\times\sin\theta$ と表はすことができる（三角法參照）。

4‰ といふ程度の緩い勾配では，第 96 圖に於いて水平の長さ AC と斜面の長さ AB とは相等しいと見做されるから，實際に於いて勾配は $\frac{BC}{AB}$ として差支ない。

第 98 圖



勾配を示す標木

例題 13. $\frac{1}{40}$ 勾配の軌道上にある 20 トンの電車が，軌道に沿うて滑り下らうとする力幾何なるか。

解 [斜面に沿うて滑り下らうとする力] $P=w\times\frac{BC}{AB}$

然るに [電車の重さ] $w=20$ トン， [勾配]$=\frac{BC}{AC}=\frac{1}{40}$

さうして直角三角形に於いて $\overline{AB}^2=\overline{AC}^2+\overline{BC}^2$ であるから

$$AB=\sqrt{40^2+1^2}\fallingdotseq 40$$

依つて $P=20\times\frac{1}{40}=0.5$ **答** 0.5 トン

40. 摩擦ある斜面

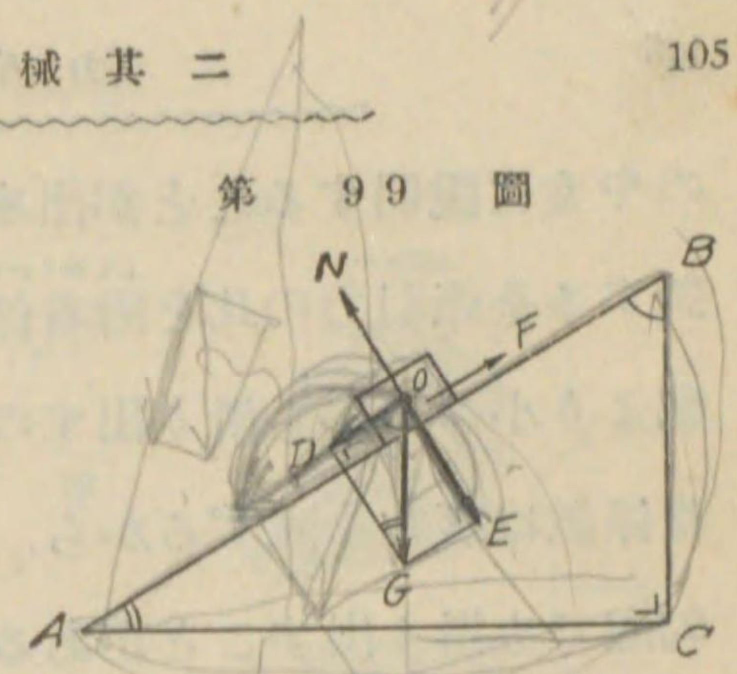
斜面の勾配がゆるく且つ物體と斜面との間に摩擦があるときは，物體は自然に滑り落ちないことが多い。物體の自然に滑り出すのは，接觸面間の極限摩擦係數と勾配とに關係する。今第 99 圖に示すやうに，斜面 AB 上にある物體の重さを OG で表はし，之れを斜面の方向とこれに垂直な方向とに分解し，それぞれ OD, OE とすれば

分力 OD は物體を斜面に沿うて滑り下さうとする力で，極

限摩擦力 F に等しいとき物體は滑り出す。

分力 OE は斜面を垂直に壓す力で，斜面が物體に及ぼす直壓力 N は OE に等しい。

第 99 圖



摩擦ある斜面に於いて物體の滑り出す場合の力の關係

今 K を接觸兩面の極限摩擦係數とすれば，第 71 頁公式 (11) により

$$K=\frac{F}{N}=\frac{OD}{OE}$$

然るに幾何學で學んだ通り $OE=DG$，又三角形 GOD と三角形 ABC とは相似で，對應邊は互に比例するから

$$\frac{OD}{OE}=\frac{OD}{DG}=\frac{BC}{AC}$$

故に
$$K=\frac{BC}{AC}\quad\cdots\cdots\cdots\cdots(26)$$

公式 (26) は斜面と斜面上の物體との極限摩擦係數 K が，丁度斜面の勾配 $\frac{BC}{AC}$ に等しいとき，物體は滑り出さうとすることを表はす。

K が勾配 $\frac{BC}{AC}$ より大きい間は，物體は自然に滑~~り出せない~~。

併し K が $\frac{BC}{AC}$ より小さくなると，物體は~~滑り出す~~。傾斜せる軌道上に車輛を停止せしむるため十分强く制動するときは，車輪は轉がらないが，そのまま軌道を滑り出すことがある。これは大

のやうに說明することが出來る。今水平面にて，車輪上の重さに對する全牽引力の比を附着係數と名づければ，この附着係數が勾配より小さいから滑り出すのである。軌條が雨雪で濡れる時は附着係數は著しく減ずるから，平生乾いてゐる時滑り出さぬ程度の勾配でも滑り出すことがある。かういふ場合には砂を軌條に撒いて附着係數を增すやうにつとめる。

車輪を制動せずに斜面上に置くときは，非常に緩い勾配でも直ちに滑り出してしまふ。これ車輪の轉がる際は，轉動摩擦力が極めて小さいからであつて，假令車軸の周りに摩擦があつたとしても，給油してあるから車輪全體として受ける抵抗力は非常に小さい。それ故勾配 $\frac{BC}{AC}$ が緩くとも滑り出すのである。

例題 14.　傾斜せる軌道上に或る車輪を停止せしめ得る最大の勾配を求めよ。但しこの車輪の受ける全抵抗力を 1トンに付 4 kg であると假定する。

解　車輪の滑り出すときの全抵抗力は，公式 (26) に於ける極限摩擦係數 K に相當する。又力 1トン=1000 kg

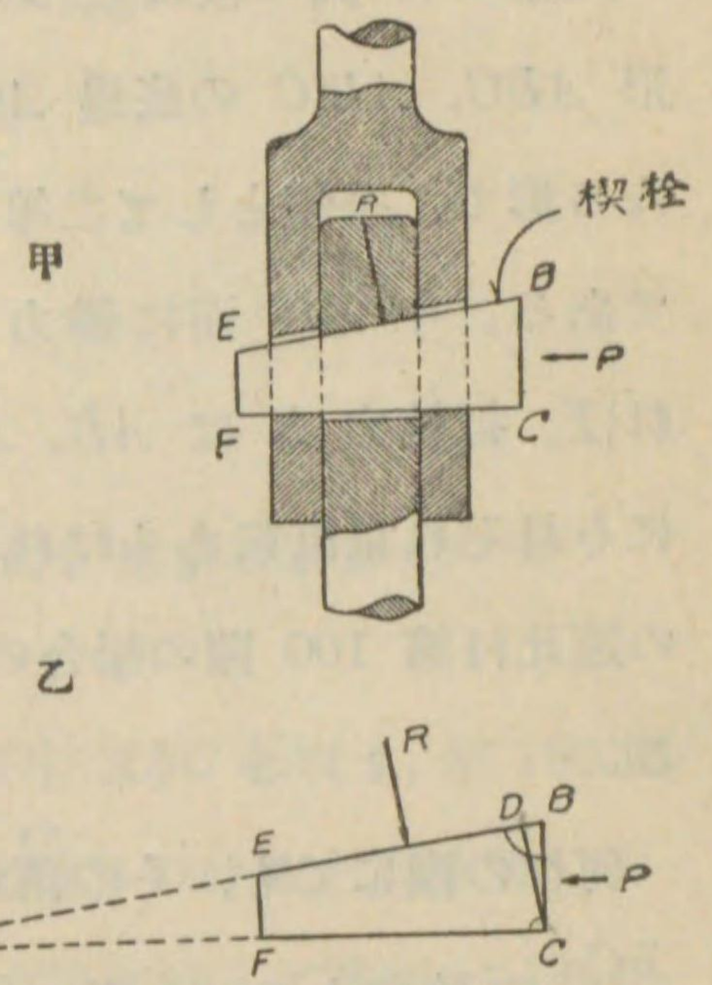
故に　$[\text{勾配}]\ \frac{BC}{AC}=K=\frac{4}{1000}$　　答 4‰

41. 楔

楔は木材を割るとき割目に挿込み，或は家屋の建築に柱と貫との接合部に用ひる。又第 100 圖に示すやうに機械の棒狀部分の接合に使用する。この場合特に楔栓 (cotter) とも

稱へる。楔を用ひる際その尖端部を挿込み頭部を打つとき，その側面に强き壓力を生ずるのでその目的を達し得るのである。

第 100 圖



（甲）楔栓の使用を示す
（乙）楔栓に働く力の關係

楔の速比　楔は斜面の特別な場合とも見做される。第100圖乙の楔 $EBCF$ について，BCF は直角，BE，CF の延長の交點を A とすれば，ABC は直角三角形なる楔と考へられる。依つて BC 面に働力 P を加へる時，抵抗力 R は BE 面に垂直にあらはれる。今 C より BE に垂線 CD を引けば，楔は働力によつて AC だけ進入する間に，抵抗力に逆つて CD だけおし開くこととなる。それ故第 90 頁公式 (17) より

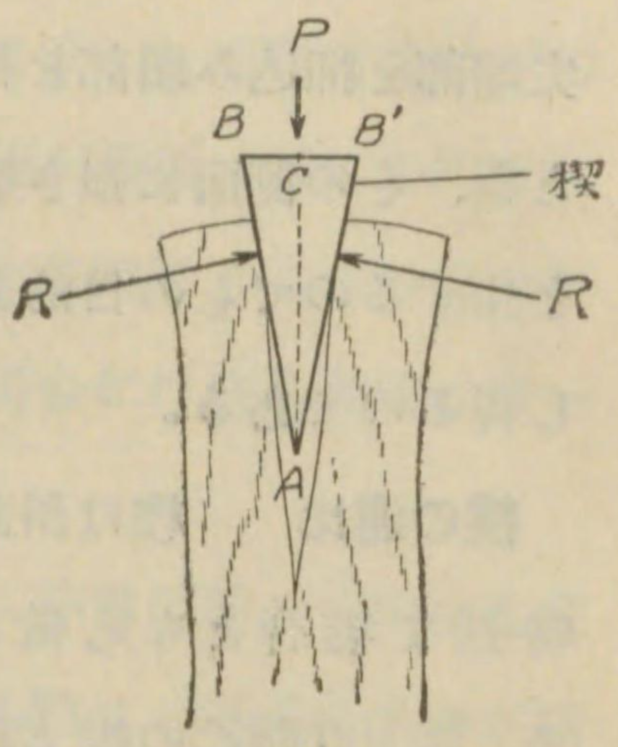
$$[\text{楔の速比}]=\frac{[\text{抵抗力に逆つて移動する距離}]}{[\text{働力の作用して移動する距離}]}=\frac{CD}{AC}$$

然るに三角形 ABC と三角形 ACD とは相似で，對應邊は比例する。即ち $\frac{CD}{AC}=\frac{BC}{AB}$

故に　$$[\text{楔の速比}]=\frac{BC}{AB} \qquad \cdots\cdots(27)$$

又第 101 圖の楔は二つの直角三角形 ABC, $AB'C$ の底邊 AC を共有したる形で，全體として二等邊三角形である。今 BB' 面に働力 P を作用すれば，抵抗力 R は AB, AB' の兩面にそれぞれ垂直にあらはれるから，その速比は第 100 圖の場合の 2 倍である。

第 101 圖



木材を割るときの楔に働く力の關係

何れの楔にても，その薄いものほど $\frac{BC}{AB}$ の値は小さい。從つて力比は大きくその效果は大きい。このことはお互に經驗のあることである。又庖丁，ナイフ，刀劍等刃物の刃は一種の楔と見做される。片刃は第 100 圖，兩刃は第 101 圖の場合に相當するから，薄く研ぎ上げられたものほど切れ味がよいのである。

例題 15. 第 100 圖に示した楔栓の勾配を $\frac{1}{10}$ とし，200 kg の力を加へて楔栓をおし込むとき，幾何の壓力を生ずるか。但し能率 30 % として計算せよ。

解 勾配の小なる場合は第 100 圖に於いて $AC=AB$ と見做されるから，公式 (27) より楔栓の速比は，

$$[速比]=\frac{BC}{AB}=\frac{BC}{AC}=\frac{1}{10}, \qquad 又\ [能率]=\frac{30}{100}=0.3$$

故に第 91 頁公式 (18) を變形することに依り，その力比は

$$[力比]=\frac{[能率]}{[速比]}=\frac{0.3}{\frac{1}{10}}=3$$

次に公式 (15) を變形すれば，

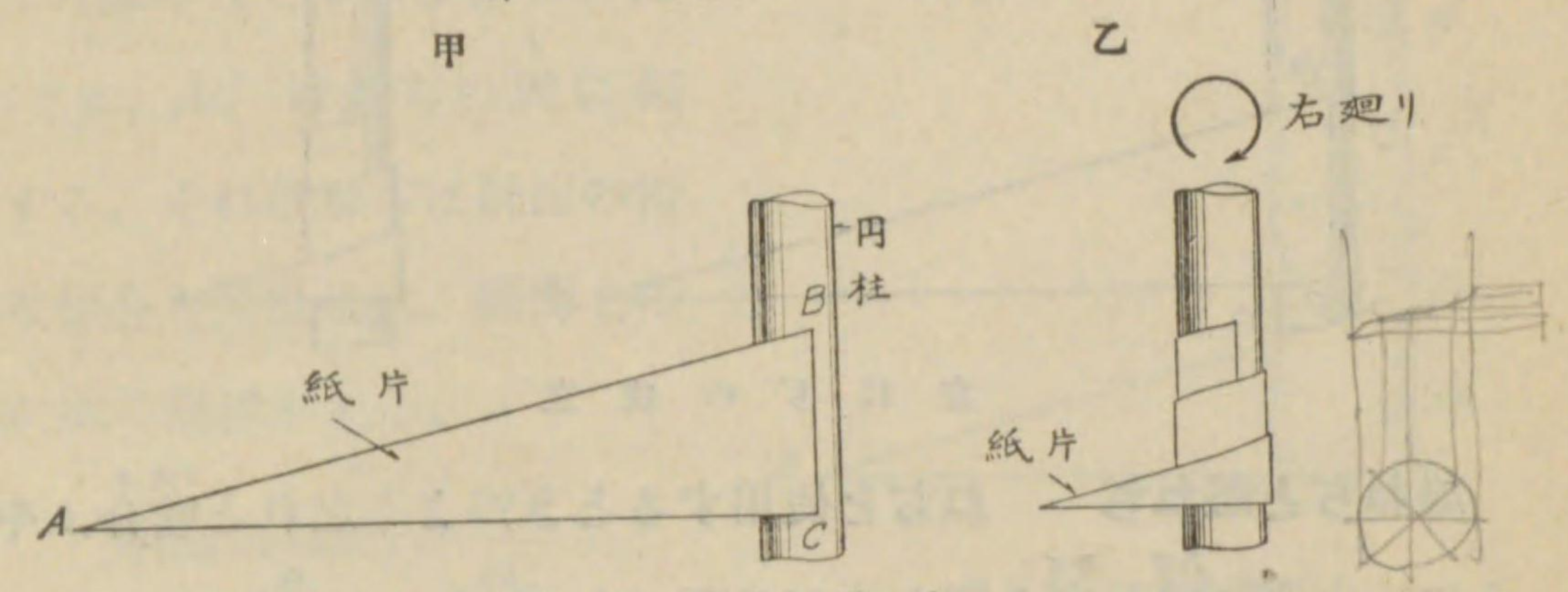
$$[抵抗力]=[働力]\times[力比]$$
$$=200\times3$$
$$=600^{\mathrm{kg}}$$

答 BE 面に生ずる壓力 600^{kg}

42. ねぢ

直角三角形の紙片 ABC を取り，第 102 圖のやうに BC を圓柱の軸に平行させて捲きつけると，斜邊 AB は圓柱上に一種の曲線を生ずる。この曲線に沿うて斷面が三角形，四角形などの凸起を刻み出したものを**ねぢ**といひ，その凸起を山といふ。山の形によつて三角ねぢ (103 圖甲)，四角ねぢ (第 103 圖乙) 等の種類がある。

第 102 圖



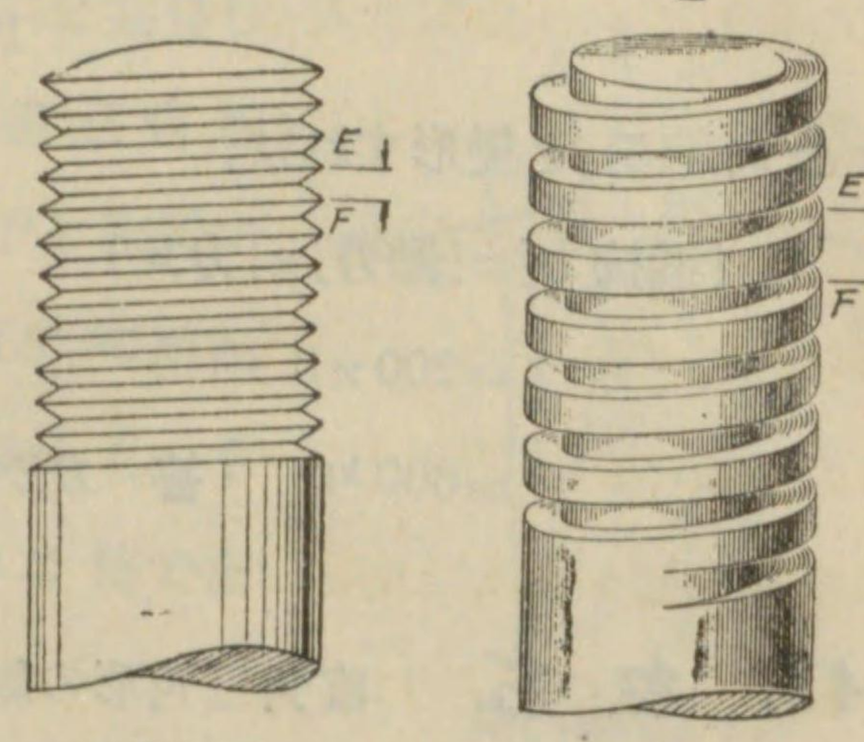
右ねぢの成立

右ねぢと左ねぢ 第 103 圖のねぢは之れを右廻り (時計式の方向と稱へる) に廻はすとき，捻込まれるから，これ等を**右ねぢ**と

稱へ，廣く用ひられてゐる。

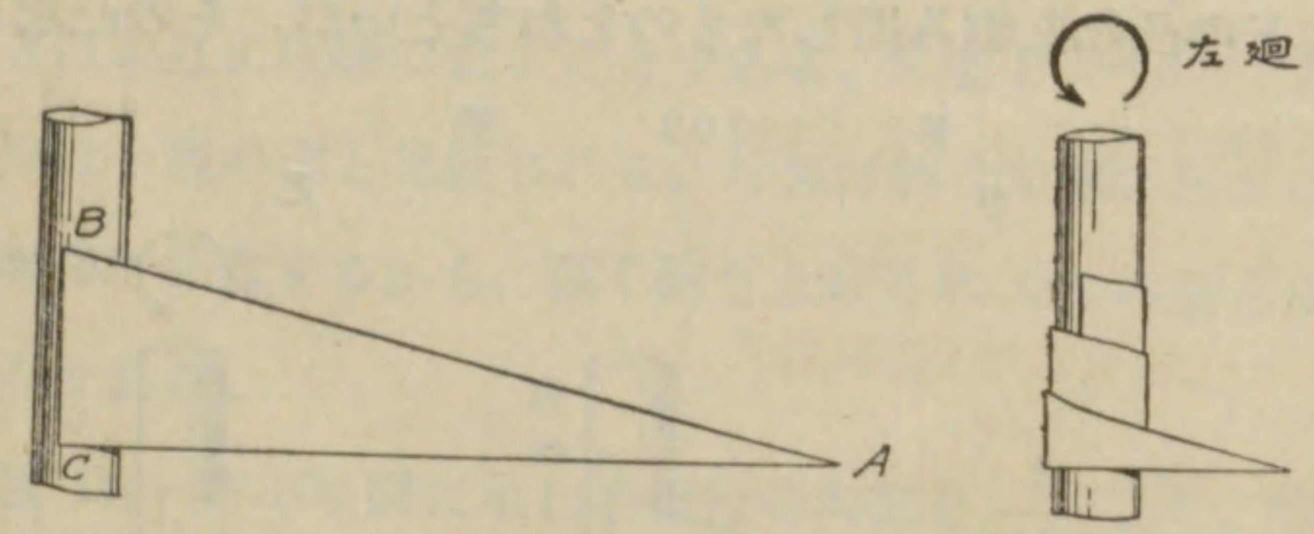
また上の紙片を第104圖のやうに捲きつけるときは，曲線の傾きが反對となる。此の曲線に沿うて刻んだねぢは左廻り（反時計式の方向と稱へる）に廻はすとき，捻込まれるからこれを**左ねぢ**と稱へる。

第 103 圖



三角ねぢ　四角ねぢ

第 104 圖

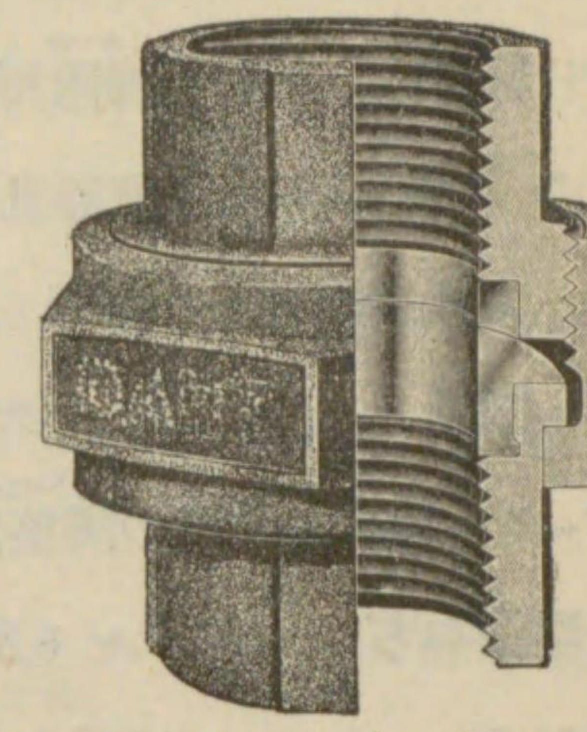


左ねぢの成立

雄ねぢと雌ねぢ　ねぢを使用するとき，よく之れと嚙合ふやうに，內側に溝を刻んだものが必要である。之れを**雌ねぢ**と稱へ，ねぢ棒の方を**雄ねぢ**と稱へる。電燈に於いて，電球のベースといふ眞鍮の金具は雄ねぢで，これがねぢ込まれるところのソケットは雌ねぢになつてゐる。又第105圖に示したものは管接手(union)といふて，一種の雌ねぢである。圖には內部を表はすため縱斷面

を示した。瓦斯管などを接續する際，二個の管の端を雄ねぢになるやうにねぢを切り，管接手の兩方にねぢ込みてこれを接續するのである。

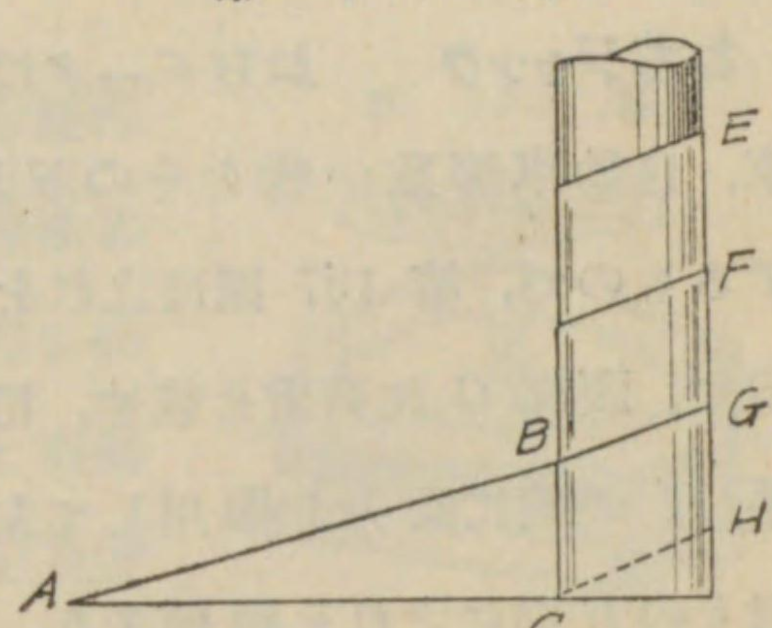
第 105 圖



雌ねぢの一例

ねぢのピッチ　ねぢの軸の方向に測つた，或る山の始めと次の山の始めとの距離を**ピッチ**或は**捻程**といふ。第103圖に於いて EF はピッチで，同じねぢについてはピッチは一定してゐる。第106圖のやうに圓柱に捲いた直角三角形の紙片については，EF, FG.... はピッチに相當する。次に紙片を丁度一捲分だけ擴げたとすれば，BC はピッチに，AC はねぢの周に相當する。それ故ねぢは斜面の特別な場合と見做され，斜面との間に次の關係がある。

第 106 圖



ねぢのピッチと斜面の勾配との關係

$$[\text{斜面の勾配}]=\frac{BC}{AC}$$

$$=\frac{[\text{ねぢのピッチ}]}{[\text{ねぢの周}]}$$

43. ねぢの利用

日常使用する器械器具は如何に廣くねぢを利用してゐるかを見よ。それだけねぢを用ひる目的も異な

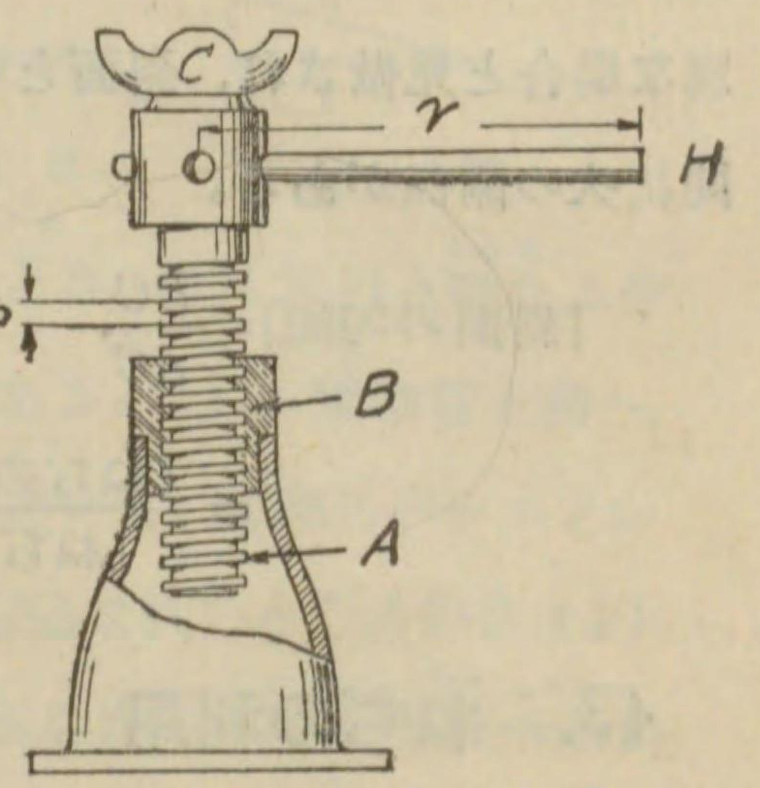
るが，これ等を次のやうに大別して見よう。

1. 締附　[例] 締附用ボールト及びナット，木ねぢ，電球のベースとソケット，電氣器具の端子用ねぢ等
2. 力比の增加　[例] ねぢジャック，ねぢ壓搾機等
3. 微動　[例] マイクロメーター・スクルー・ゲージ，ターンバックル，精密器械の調整部等

締附用ねぢ　ボールト及びナットは材料の接合部を締附けるに用ひる。ボールトは雄ねぢでナットは雌ねぢである。締附用のねぢは主としてピッチの小なる三角ねぢを用ひる。三角ねぢは容易に作られ摩擦も大きく，一旦締附けると弛むことが少ないので此の目的に適する。

ねぢジャック　ねぢジャックはまた**きりん**とも稱へ，家屋，電車，自動車等重い物をその下より僅かづつ上下させる時に使用するもので，第 107 圖は之れを示す。頭部 C に荷重を載せ，把手 H の端に働力を作用して左廻りの方向に之れを廻轉する。さうすると雌ねぢ B は固定してゐるから，雄ねぢ A は拔け出で，荷重をおし上げるのである。把手を右廻りの方向に廻轉すれば荷重を引下すこととなる。

第 107 圖



ねぢジャック

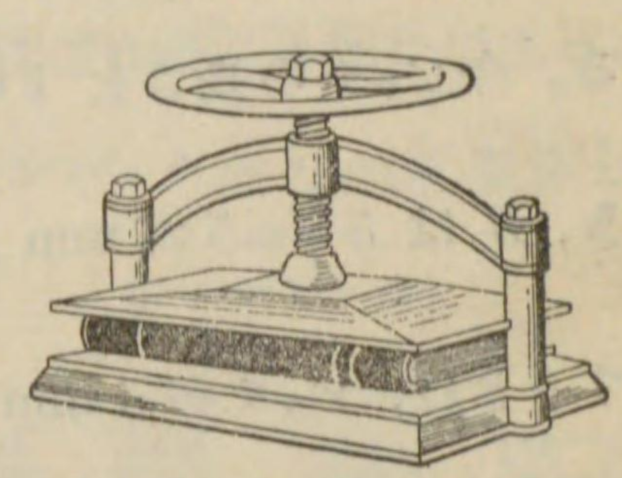
ねぢジャックの速比　把手の端に働力を水平に作用し左廻りに丁度一廻轉すれば，雄ねぢ A は丁度一ピッチだけ引上げられる。今ピッチを p，ねぢの軸より把手の端までの長さを r とすれば，一廻轉するとき半徑 r なる圓周を畫くこととなるから，働力は $2\pi r$ だけの距離を移動する。この間に抵抗力に逆つて p だけ引上げることとなるから，

$$[\text{ねぢジャックの速比}]=\frac{p}{2\pi r} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(28)$$

ねぢジャックは非常に重い物を引上げるに使用するから，なるべく摩擦の少ない四角ねぢを用ひる。且つ適當に油を施すときはかなりの能率を得ることができる。簡單なねぢジャックの能率は 40％ 程度である。

ねぢ壓搾機　第108圖はねぢ壓搾機を示す。ねぢ壓搾機は製本，搾油に用ひ，又蚊帳及び織物などの壓搾に使用する。把手に力を加へてこれを右廻りに廻轉すれば，板に强き壓力を及ぼして壓搾の目的を達する。その速比はねぢジャックと同樣である。

第 108 圖



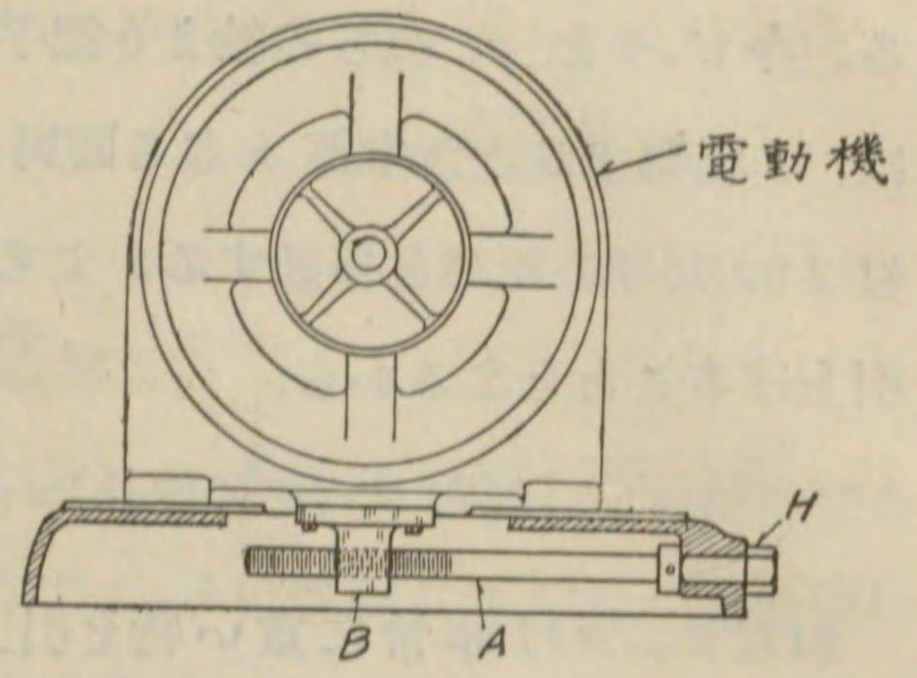
ねぢ壓搾機

44. 微動ねぢ

雄ねぢと雌ねぢとは，互に關係しながら運動する。それ故何れか一方例へば雌ねぢを固定して，雄ねぢを捻ぢ廻はすときは，雄ねぢは進退する。併し雌ねぢを動き得る

やうにして，雄ねぢを同じ位置で廻はすときは，雌ねぢは進退する。第 109 圖は右廻り微動ねぢを用ひた一例を示す。A は雄ねぢ，B は雌ねぢで，之れに小型の電動機が取附いてゐる。A に取つけてある H をねぢ廻しで，右廻りに一廻轉するときは，B は一ピッチだけ右方へ進みよる。若し A を左廻りに一廻轉するときは，B は一ピッチだけ左方へ進み去るのである。

第 109 圖



微動ねぢの一例

微動距離　微動ねぢの進退する距離はピッチの大小に關係する。今ピッチの長さを 1 mm とすれば，$5\frac{1}{4}$ 回だけ廻轉するとき，B は $5\frac{1}{4}=5.25$ mm 進退する。若し 1 廻轉の $\frac{1}{100}$ だけ廻はすときは，ピッチが 1 mm であるから，B は $\frac{1}{100}$ mm だけ進退するのである。

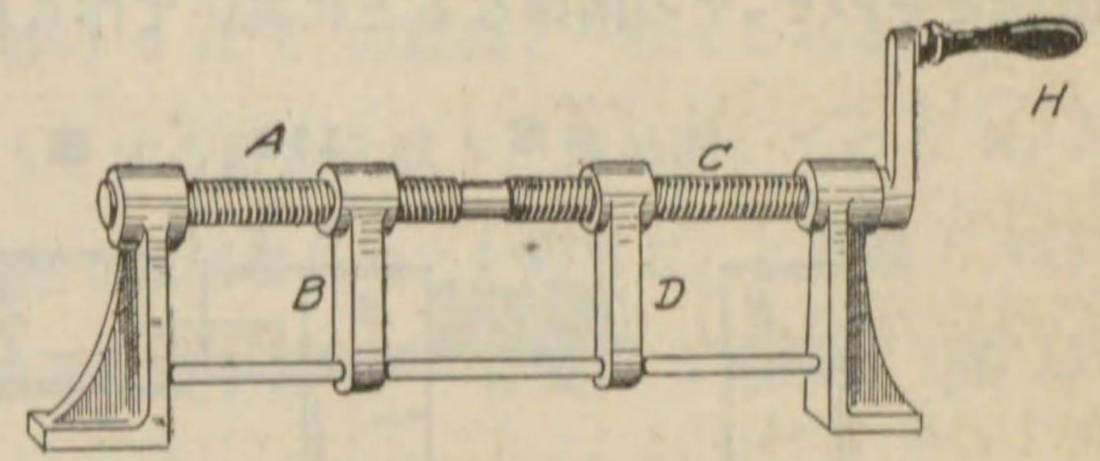
例題 16.　ピッチ 2 mm の雄ねぢを 3 回と $\frac{17}{100}$ だけ捻込むときは，幾 mm 進むか。

解　若しピッチ 1 mm の雄ねぢを $3\frac{17}{100}$ 回だけ廻はせば，雄ねぢは $3\frac{17}{100}$ mm だけ進む。故に 2 mm の雄ねぢでは，

$3\frac{17}{100}\times 2=6.34$ mm だけ進む。　**答**　6.34 mm

寄せねぢ　第 110 圖に示したものは，一本の圓柱の一方は右ねぢ A，他方は左ねぢ C で，B，D はそれぞれ之れ等に適合する雌ねぢである。今把手 H を右に廻はせば，左ねぢ C は右に廻され抜け出さうとし，左雌ねぢ D は左方へ進む。同時に右雌ねぢ B は前述の通り右方へ進み，B，D は近寄るのである。かやうな微動ねぢを寄せねぢと稱へよう。もし把手を左に廻はせば，反對に B，D は互に遠ざかること明かである。

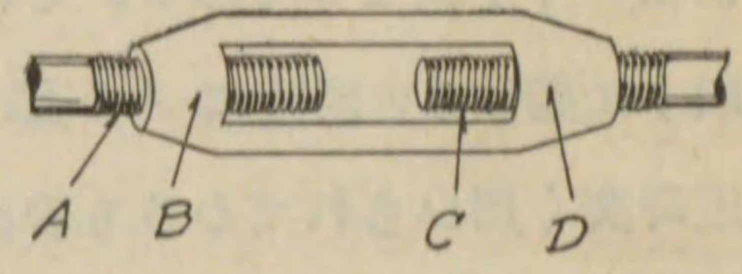
第 110 圖



寄せねぢ

ターンバックル　第 111 圖はターンバックルといひ，繫索（けいさく）を引締め或は吊橋（つりはし）等に用ひる。上の寄せねぢは雄ねぢを廻はして雌ねぢを進退させる場合であつた。ターンバックルは反對に雌ねぢを廻はして雄ねぢを進退させるものの一例である。今雌ねぢ BD を右廻りに廻はせば，A 及び C は互に近寄り繫索は引締められる。逆に左廻りに廻はすときは繫索は緩められること圖について明かであらう。

第 111 圖

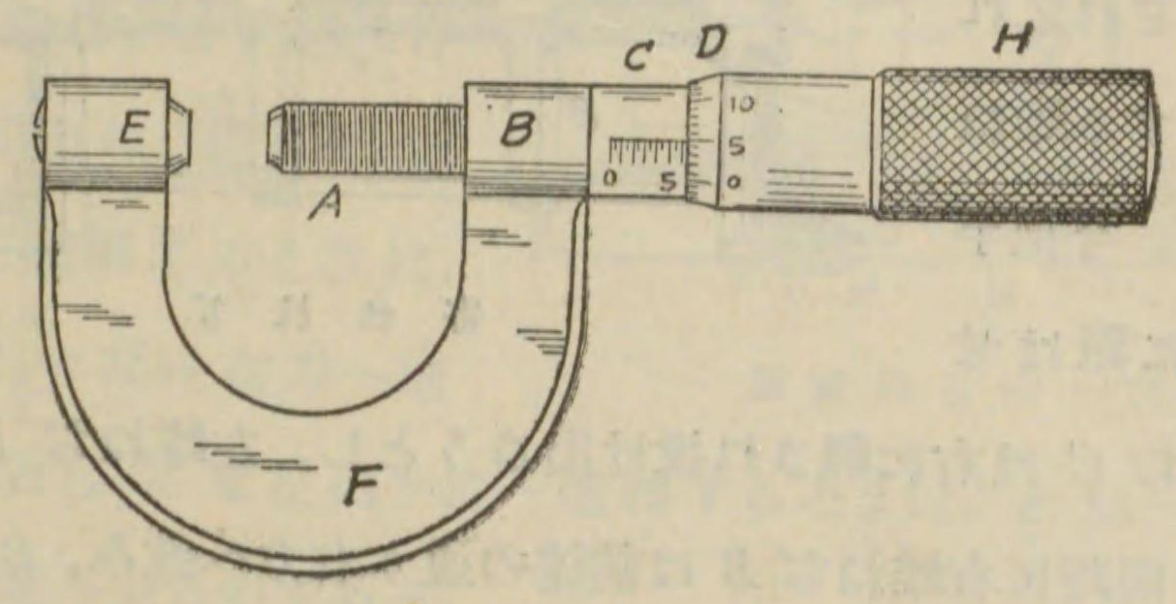


ターンバックル

45. マイクロメーター・スクルー・ゲージ

針金の直徑や銅板鐵板等薄板の厚さを精密に測るにマイクロメーター・スクルー・ゲージを用ひる。第 112 圖はその一種を示す。ねぢの微動とそのピッチの精確なるとに基いて作られたるものである。

第 112 圖



マイクロメーター・スクルー・ゲージ

構造　圖に於いて EFB は U 字形の金物で，B は内部に雌ねぢを切り，之れに雄ねぢ A が捻込まれてゐる。A は H と内部で接續し，H の先は D なる圓筒形となつて，丁度 C の周りに鞘のやうになつてゐる。それ故 H を廻はすときは D は C の周りに廻はり，同時に A が廻はるから，A, E 間の隙間は變はる。近時廣く用ひられてゐるものは，雄ねぢを露出せずに一層精巧に出來てゐる。

目盛　普通のものは，1 ピッチは $\frac{1}{2}$ mm になつてゐる。それ故 A, E が完全に接觸してゐる位置から，A を丁度 2 回拔き戻す毎に A, E 間の開きは 1 mm づつ增し，C も 1 mm づつ

拔出るのである。依つて C には mm 單位で之れを目盛し置く。次に 1 mm 未滿の端數は D の左端に，その一周を 50 等分して目盛する。その 1 目盛は $\frac{1}{2}$ mm の $\frac{1}{50}$ 卽ち $\frac{1}{2}\times\frac{1}{50}=\frac{1}{100}$ mm である。さうして目盛の 0 は C の縦線と一致せしめる。

使用法　今測らうとする針金を取り，豫め開いてゐる A, E 間に挿入し，H を右廻りに廻はして之を締める。この際 C の目盛は 6 で，C の縦線と一致する D の目盛が 5 ならば（第 112 圖の讀み），その針金の直徑は 6.05 mm である。

練習問題 VI

1. （イ）摩擦がないと假定される斜面上にある物體を (1) 支へる力，(2) 引上げようとする力，（ロ）摩擦ある斜面上にある同じ物體を (3) 支へる力，(4) 引上げようとする力の各を式にて示せ。

2. 摩擦ある斜面上に圓柱を横たへ置くとき，滑らずに轉がるは何故なるか。

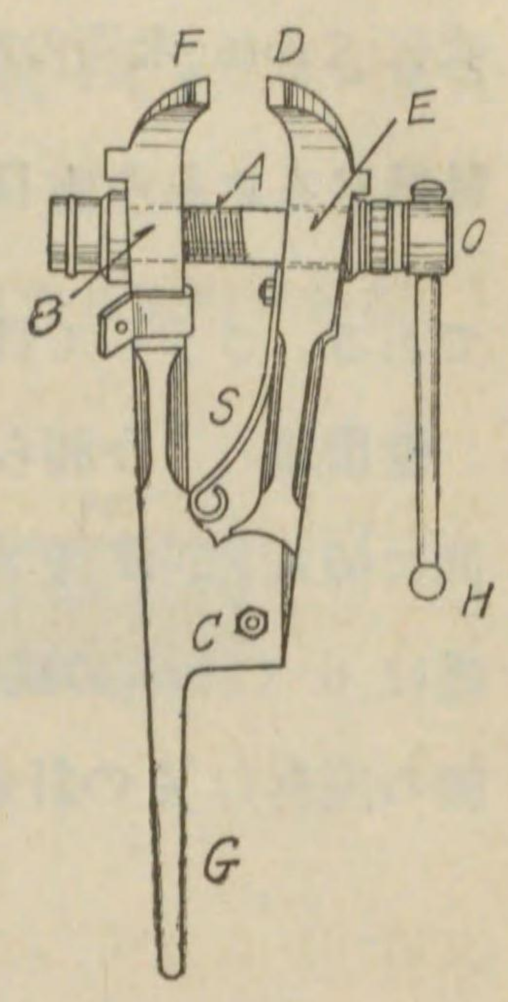
3. 荷車を挽いて坂路をのぼるのに，一直線に進まずにうねりうねり行く方が容易なるは何故なるか。

4. ねぢジャックあり，ピッチ 1 cm，軸の中心から 70 cm ある把手の端に，30 kg の力を作用すれば，幾何の重さの物を持上げ得るか。但しその場合ねぢジャックの能率 40 % とする。

答　5.28 トン

5. 第 113 圖は取附萬力の一種を示す。その作用は如何なる單機械の應用と見做されるか。

第 113 圖



取附萬力

【解答】

1. 物體の重さを w とし，その他の記號を第 97 圖と同樣に用ひると，

(1) 支へる力は物體が斜面を滑り下らうとする力と等しい。故に公式 (25) に依り　[支へる力] $P=w\times\dfrac{BC}{AB}$

(2) 物體を引上げ得る最小の力は，滑り下らうとする力と等しい。(これは吾々の經驗と違ふやうに思はれるが，摩擦なき斜面は實際にないからである。)

$$[\text{引上げ得る最小の力}]\quad P=w\times\frac{BC}{AB}$$

(3) 摩擦あるとき，物體と斜面との極限摩擦係數を K, 擦摩力を F とすれば，

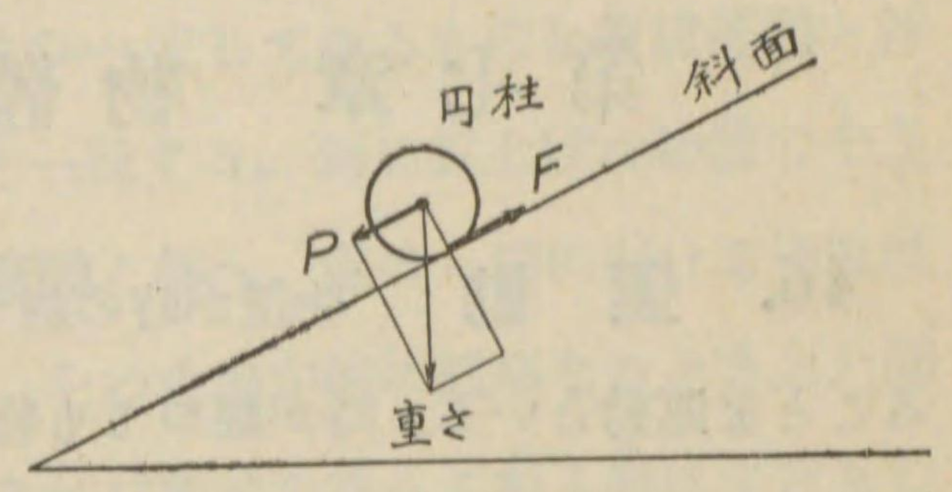
$K>\dfrac{BC}{AC}$ ならば，摩擦のため物體は斜面上に止まる。

$K<\dfrac{BC}{AC}$ ならば，[物體を支へる力]$=P-F$

(4) [物體を引上げる力]$=P+F$

2. 斜面上の圓柱には第 103 頁に述べたやうに，滑り下らうとする力 P と，圓柱と斜面との接觸點にあらはれる摩擦力 F とが，偶力をなし圓柱を轉動せしめる。

第 114 圖



斜面上の圓柱に働く力

3. なるべく勾配を緩やかにし，荷車を滑り下さうとする力を減小せしむるためである。

4. $[\text{ねぢジャックの速比}]=\dfrac{p}{2\pi r}=\dfrac{1}{2\times3.14\times70}=\dfrac{1}{440}$

又第 91 頁公式 (18) より　$[\text{力比}]=\dfrac{[\text{能率}]}{[\text{速比}]}=\dfrac{0.4}{\frac{1}{440}}=176$

然るに第 86 頁公式 (15) より

$$[\text{抵抗力}]=[\text{働力}]\times[\text{力比}]=30\times176=5280^{\text{kg}}$$
$$=5.28^{\text{トン}}$$

5. 第 113 圖に於いて，A は雄ねぢ B は雌ねぢ，CED は C を支點とする挺子，OH は O を心棒とする輪軸と見做される。それ故 G を固定して把手 H を右に廻はすとき，E は押されて進み，締附口 D, F の間に挾んだ物を强き力で支持する。又把手を左に廻はすときは彈條 S の彈力に依つて挺子は原に戻る。

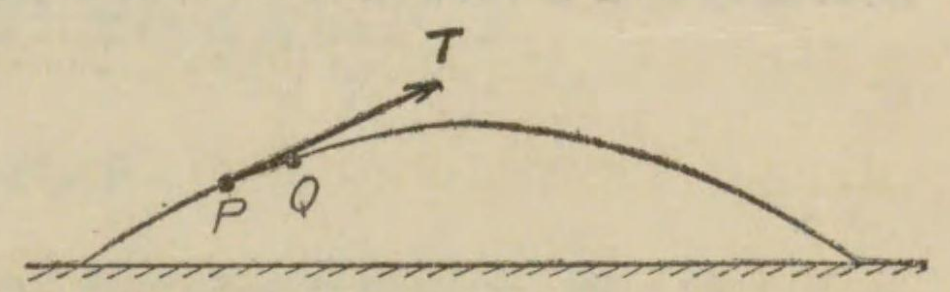
第七章　物體の運動

46. 運　動　物體が時の經つに從つてその位置を變へることを運動といふ。時が經つても物體がその位置を變へなければ**靜止**といふ。この靜止と運動とは何れも他物體に對していふ語である。例へば進行中の電車に坐つてゐる人は電車に對しては靜止であるが，電車外の物體に對しては運動である。それ故運動であるか靜止であるかは標準とするものに依つて違ふわけである。通常吾々の運動或は靜止といふのは，地球に對する運動或は靜止を意味するのである。

進行中の汽車より窓外を眺めると，樹木は進行の方向と反對に疾走するやうに見える。これは常に汽車を標準として樹木を觀察したからで，地球を標準としていへば樹木は靜止で汽車は運動である。

運動の方向　物體の運動にはそれぞれ方向がある。何等の抵抗なく落下する物體の運動の方向は常に鉛直に下向きである。斜に投上げた小石の運動は第 115 圖のやうに曲線の道をなし，その方向は絶えず變はる。この場合，道の一點 P に於ける小石の運動の方向は，P に於いて運動の道

第 115 圖



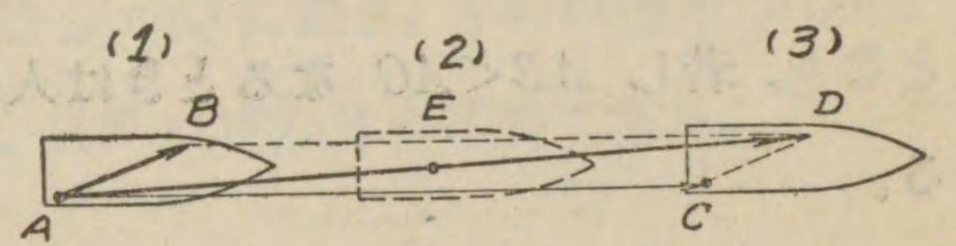
曲線運動の方向を示す

に引ける切線 PT にて示すのである。

落體の運動のやうに方向の一定してゐるものを**直線運動**と稱へ，運動の方向はその直線と一致する。斜に投上げた物體のやうに方向の變はる運動を**曲線運動**と稱へ，道の一點に引ける切線はその點の運動の方向を示す。その曲線が特に圓形なるとき之を**圓運動**といふ。絲の一端に錘を結び他端を支へて振り廻はすときの運動は圓運動である。これらは運動をその方向によつて分類したので，別に速さの大小を考へてはゐない。

47. 運動の合成及び分解　進行中の汽船上を歩行する人の運動について考へよう。第 116 圖について人が甲板上を AB だけ歩行する間に，その汽船は AC だけ進行したとすれば，人の海面に對する實際の運動は AD で表はされる。卽ち最初船の後部 A に居た人が，次に船の中央にあり最後に D 點に居るのである。

第 116 圖



二つの運動の合成

此の場合に於いて AD を AB, AC の**合運動**といひ，AB, AC を AD の**分運動**といふ。さうして合運動 AD は，人の受けたる二運動 AB, AC を示す直線にてなす平行四邊形の對角線で表はされることは圖について明かである。一般に一物體が二つの運動を受けるとき，その合運動はこれ等の平行四邊形の對角線にて表

はされる。

一物體が三つ四つと多くの運動を受けるときは，上の方法を繰返せばよい。かく幾つかの運動の合運動を求めることを**運動の合成**といふ。

又逆に一つの運動 AD は，之れを二つの運動例へば AB, AC より成るものと見做すことが出來る。かやうに一つの運動を分運動に分けることを**運動の分解**といふ。

一直線上の二つの運動 上の例に於いて，人の步行の方向が汽船の進行の方向と一致するときは，

[合運動] $AD=AB+AC$

となる。又步行の方向が汽船の方向と正反對なるときは，

[合運動] $AD=AB-AC$

となり，若し $AB<AC$ なるときは人は却つて後退することとなる。

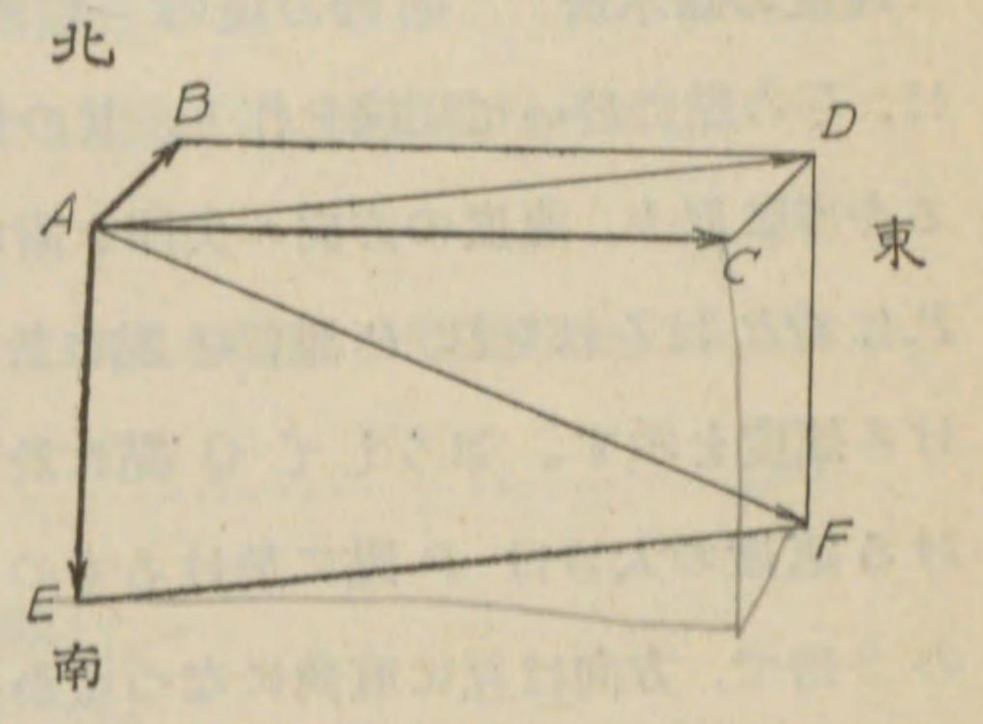
以上述べたる運動の合成或は分解は，既に第三章にて說明したる力の合成或は分解と同樣に行へばよいから，比較して明らかに理解するがよい。

例題 17. 人が汽船の甲板上を東北に 10 m (AB) だけ步行する間に，汽船は東に 50 m (AC) だけ推進され，潮流のため汽船は南へ 30 m (AE) だけ流されたといふ。人の海面に對する運動を圖示せよ。

解 人は自身の步行，汽船の推進，潮流の流れの三つの運動

を同時に受ける。故に人の海面に對する運動はこれ等三つの運動の合運動である。今第 117 圖のやうに，北を紙面の上方に取り，AB を東北の方向へ或る長さ (例へば 1 cm) に畫く。さうすると $\frac{50}{10}=5$ であるから，AC を東へ AB の 5 倍 (5 cm) に畫き，平行四邊形 $ABDC$ を作り，對角線 AD を引く。次に $\frac{30}{10}=3$ であるから，AE を南へ AB の 3 倍 (3 cm) に畫き，平行四邊形 $ADFE$ を作り，對角線 AF を引く。AF は求むる合運動である。

第 117 圖



二つの運動の合成

48. 速度

物體の運動に於いて，その運動中の時間をも考に入れて，速い遲いの度合を表はすに，**速度** (velocity) といふ語を用ひる。物體の單位時間*中に通過すべき距離で，速度の大さを測るのである。速度の大さを又**速さ** (speed) ともいふ。

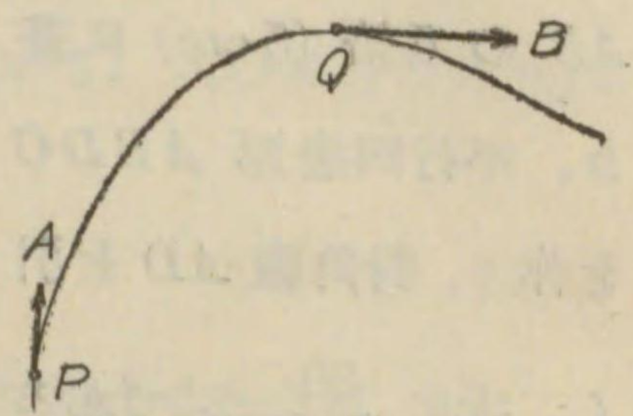
速度は**大さ**の外に**方向**を有し，運動の方向を以つて速度の方向とする。それ故直線運動にては速度の方向はその直線の方向で，

註 1秒, 1分或は 1時間と一々にいふ代りに，單位だけの時間といふ意味で單位時間といふ。

曲線運動にては速度の方向は，運動の道に引ける切線の方向と一致する。卽ち速度は力のやうに，大さと方向とを有する量で一種のヴェクトル量である。

速度の圖示法　運動の道の一點に於ける速度を圖示するには，その點に於いて切線を作り，其の長さを速度の大さに比例するやうに取り，速度の方向へ矢印を附ける。第 118 圖に於いて，PA, QB はそれぞれ P 點，Q 點に於ける速度を示す。さうして Q 點に於ける速度の大さは P 點に於けるものの 2 倍で，方向は互に直角になつてゐることを表はす。

第 118 圖



速度の圖示

49. 不變速度運動

一直線上を一定の速さで進行する運動を不變速度運動(ふへんそくどうんどう)といふ。不變速度運動は速度の大さと方向とが一定不變な運動である。同じ物質中を進む光や音の進行は不變速度である。吾々日常見る多くの運動は，方向が變はるか速さが變はるか，或は方向及び速さの双方共變はつてゐる。汽車が最大速度に達してから一直線に進行する場合の如きは不變速度運動と見做される。

不變速度運動の距離　物體が不變速度で運動を繼續する場合その速度の大さを v にて表はせば，

1 秒間に進む距離 $=v$

2 秒間に進む距離 $=2v$

3 秒間に進む距離 $=3v$

……………………

t 秒間に進む距離 $=t\times v$

卽ち物體が t 秒間に進行する距離を s にて表はせば，

$$s=vt \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(29)$$

從つて不變速度の大さは，この式を變形して次の如く示される。

$$v=\frac{s}{t} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(30)$$

卽ち　$[\text{不變速度}]=\dfrac{[\text{距離}]}{[\text{運動時間}]}$

人の步行や種々の乘物(のりもの)の運動などは嚴密(げんみつ)にいへば多くは不變速度でないが，算術では不變速度であると假定(かてい)して，上の公式に依つて計算を行ふことがある。

50. 速度の單位

速度の大さは單位時間中に，通過すべき距離で測るから，速度の大小を測る單位は，時間の單位と距離卽ち長さの單位とを組合せて表はす。例へば 1 sec 間に 20 m の距離を進行するときの速度を，20 メートル毎秒といひ，20 m/sec と書くこととする。この場合に **メートル毎秒** は速度の單位である。此のほか通常用ひる速度の單位を揭げると第 10 表の通りである。

第10表 速度の單位

名稱	記號	相互の關係
センチメートル毎秒	cm/sec	$\frac{1}{100}$ m/sec
メートル毎秒	m/sec	
メートル毎分	m/min*	$\frac{1}{60}$ m/sec
キロメートル毎時	km/h*	$\frac{1}{3.6}$ m/sec
ノット（海里毎時）	—	約 $\frac{1}{2}$ m/sec

或る速度を表はすに，上の何れの單位を用ひるも差支ないが，汽車や電車の速度には km/h を，汽船にはノットを用ひるのが習慣である。飛行機や自動車には km/h 或は m/sec を用ひてゐる。

單位の換算 同じ自動車の速度を，40 m/sec といふのも 144 km/h といふのも同じであるが，一寸さう思へないこともあらう。次に m/sec と km/h との單位の換算を示さう。

1 m/sec は 1 時間には $1\times60\times60=3600$ m, 即ち 3.6 km/h であるから，m/sec なる單位で表はした數値を a とすれば，

$$a \text{ m/sec} = 3.6\,a \text{ km/h} \qquad \text{(31)}$$

逆に km/h なる單位で表はした速度を m/sec に換算するには，km/h で表はした數値を 3.6 で割ればよい。他の單位間の換算も同様な方法を行へばよい。

次に數種の運動體の速度を m/sec に換算したるものを掲げよう。

註 時間の單位分(minute)の記號として min，時(hour)の記號として h を用ひ，

乗物は操縦の方法により，その速度は或る範圍内に於いて加減し得るから，第 11 表は大略の値に過ぎない。

第11表 運動體の速度

運動體	速度(m/sec)	運動體	速度(m/sec)
人の並歩	1.4	飛行機	50
競馬（最大）	14	燕	67
自轉車 〃	15	音（空氣中）	340
飛行船 〃	42	彈丸（銃口に於いて）	約 600
急行列車 〃	27	光	3×10^8
自動車 〃	50	電波	

例題 18. 18 km/h の不變速度にて進行する電車の一點が，或る隧道を通過するに 1 分 40 秒かかつたといふ。隧道の長さ幾 m あるか。

解 ［速度］$v=18$ km/h $=\frac{18}{3.6}=5$ m/sec

又 ［時間］$t=1$ 分 40 秒 $=100$ sec

故に ［隧道の長さ］$s=v\times t$

$=5\times100$

$=500$ 　　**答** 500 m

51. 變速度運動

電車の停留場間の運動を見れば，その速度は一様でない。かやうに速度の變はる運動を**變速度運動**といふ。

平均速度 變速度運動にては或る時間中の**平均速度**を知るこ

とが便利である。平均速度の大さは運動した時間で，その時間中の經過距離を割ればよい。

$$[平均速度]=\frac{[距離]}{[運動時間]}$$

變速度運動にては時間の取り樣によつて，その平均速度は違つてくる。例へば相隣れる二停留場間全體の平均速度と，その一部の平均速度とは同一でない。今物體が t 時間中に距離 s だけ運動したときの平均速度を v とすれば，

$$v=\frac{s}{t} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (30')$$

にて示される。これは公式 (30) と同じ形であるが，(30) 式にては速度の實際の値で，(30′) 式は各時刻に於いて違ふ速度を平均した値である。從つて距離 s を求めるには，(30′) を變形して

$$s=vt \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (29')$$

表定速度　汽車や電車の速さを表はすに**表定速度**(へうていそくど)といふものを用ひることがある。表定速度とは或る二停車場間の距離を，之れに費した停車時間をも含んだ全時間で割つたものである。例へば東海道本線の特別急行列車は，東京驛より神戸驛まで 601 km を約 12 時間 にて通るから，其の表定速度は約 $\frac{601}{12}\fallingdotseq 50\ {}^{km}/_{h}$ である。停車時間の總和が大きい場合の列車の表定速度は小さく同じ東海道本線にても 44 ${}^{km}/_{h}$ だけの列車もある。

例題 19.　或る市街(しがい)電車が車庫(しやこ)を出發し一定の線路を通過し

て，再び戻る迄に 40 min かかつたといふ。その線路の長さ幾何なるか。但しその電車の表定速度 14.4 ${}^{km}/_{h}$ であるとする。

解　速度の單位は ${}^{km}/_{h}$ であるから，時間の單位を h に直せば，

$$[時間]\ 40\ \mathrm{min}=\frac{40}{60}=\frac{2}{3}\ \mathrm{h}$$

故に線路の長さ卽ち經過距離は公式 (29′) と同樣に，

$$[線路の長さ]=[表定速度]\times[時間]\ =14.4\times\frac{2}{3}$$

$$=9.6 \qquad \text{答}\ 9.6\ \mathrm{km}$$

一點に於ける速度　變速度運動をなす物體の速度は，その道の各點に於いて異なる。例へば或る電車の P 點に於ける速度は 20 ${}^{km}/_{h}$ であるとか，Q 點に於ける速度は 25 ${}^{km}/_{h}$ であると稱へる。この場合，P 點に於ける速度 20 ${}^{km}/_{h}$ といふことは，若しも P 點に於ける速度を 1 h 繼續するならば 20 km 進行し得るといふ意味である。汽車，電車，自動車等の**最大速度**(さいだいそくど)といふのは，その乘物の運轉中で一番速い點に於ける速度をいふのである。例へば或る自動車の最大速度 180 ${}^{km}/_{h}$ といふのは，もしもその最大速度で 1 h 繼續すれば 180 km 進行し得るといふことで，なかなか 1 h 之れを繼續するのは困難であらう。

52. 距離時曲線

物體の運動について，時間と距離とのグラフを書くときは，その運動の有樣を一目に知られる便利がある。例へば或る運動點が一點 O を發して A, B, C…と進行

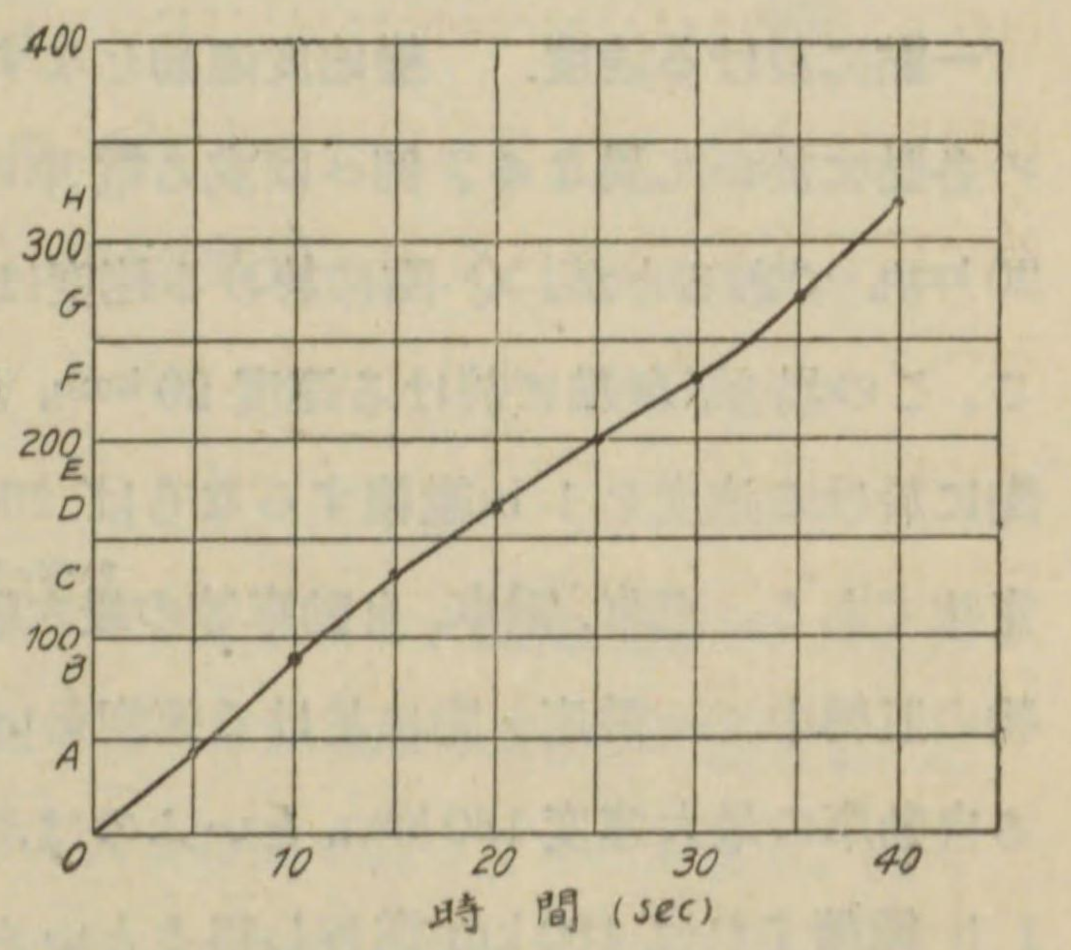
したとする。さうして O 點よりこれ等の各點迄の距離及び時間は次表の通りであるとする。

第 12 表　運動點の時間と距離

	A	B	C	D	E	F	G	H
時間 (sec)	5	10	15	20	25	30	35	40
距離 (m)	40	90	130	165	200	230	270	320

この運動點の時間と距離との關係を書くため，第 119 圖のやうに横軸に時間，縦軸に距離を取り，5 sec のとき 40 m の點，10 sec のとき 90 m の點，‥‥と與へられたる數値に相當する點を記入する。次にこれらの點を結べば圖のやうな曲線を得る。このやうな運動體の距離と時間との關係を示す曲線を**距離時曲線**と稱へる。さうして距離時曲線が横軸となす角の大きいほど同じ時間に對する經過距離が大きいから，速度の大なることを示すのである。

第 119 圖



距離時曲線

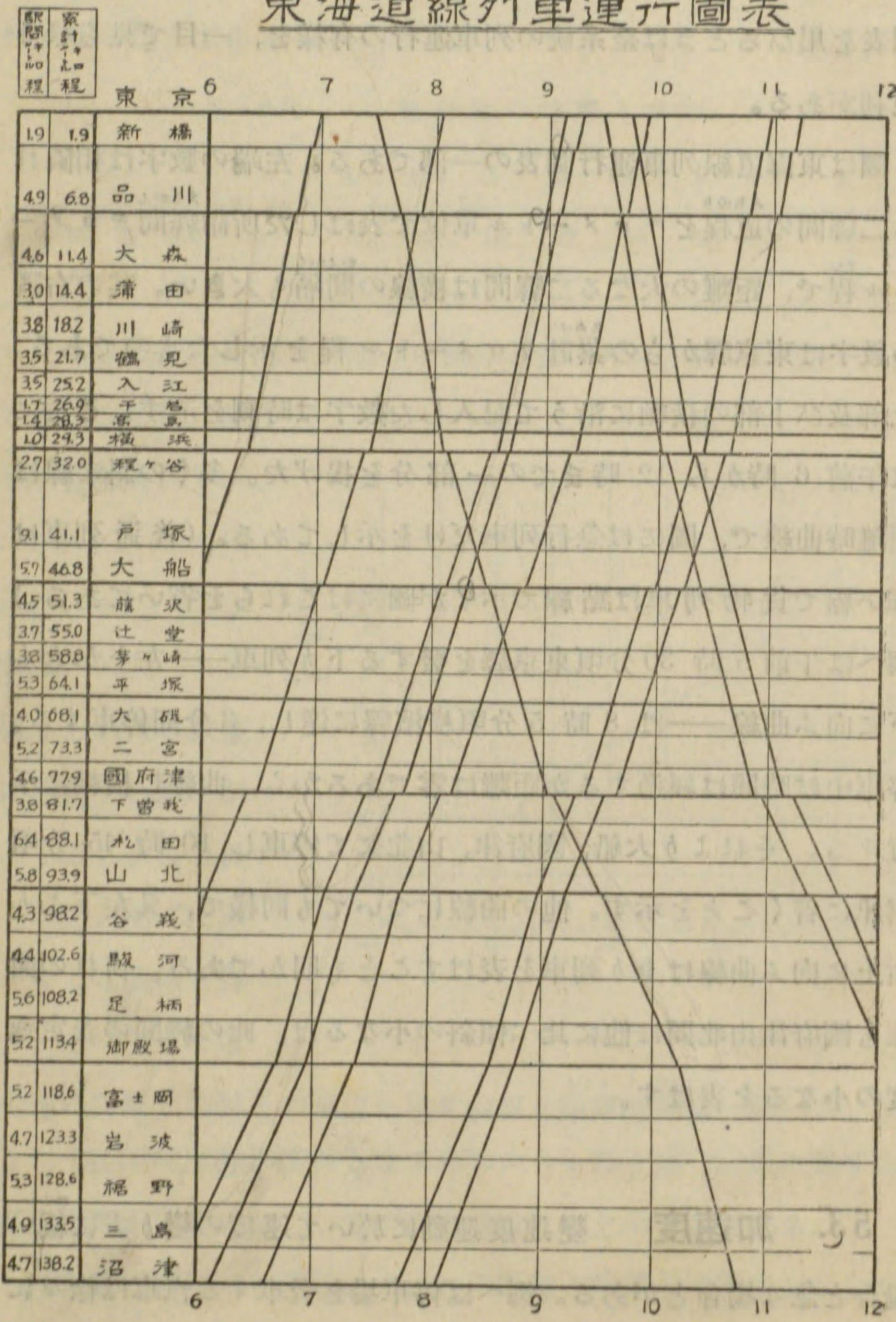
列車運行圖表　鐵道にてはこの距離と時間との關係を示したるものを**列車運行圖表**といひ，第 120 圖はその一例である　運行圖表を用ひるときは全系統の列車運行の有樣を，一目で見られる便利がある。

圖は東海道線列車運行圖表の一部である。左端の數字は相隣れる二驛間の道程をキロメートル單位で表はした所謂驛間キロメートル程で，距離の大なる二驛間は横線の間隔も大きい。其の右隣の數字は東京驛からの累計キロメートル程を示したものである。上部及び下部の横軸に沿うて記入した數字は時刻を示す。ここには午前 6 時から 12 時までの一部分を掲げた。多くの斜な線は距離時曲線で，圖には急行列車だけを示してある。(普通列車は細い線で貨物列車は點線で示すが圖にはこれらを省いてある。) 例へば午前 7 時 30 分頃東京驛を發する下り列車——左上から右下に向ふ曲線——は 8 時 5 分頃横濱驛に達し，3 分間停車する。停車中は時間は經過するが距離は零であるから，曲線は横軸に平行する。それより大船，國府津，山北にて停車し 10 時 45 分頃沼津に着くことを示す。他の曲線についても同樣で，又左下より右上に向ふ曲線は上り列車を表はすことも明かである。何れの曲線も國府津山北間は他に比べ傾斜の小なるは，此の驛間の表定速度の小なるを表はす。

53.　加速度　變速度運動に於いて速度の變り方に緩い場合と急な場合とがある。例へば停車場を發車する汽車は徐々に

第 120 圖

東海道線列車運行圖表



速度を增すけれども，電車の方は急に速度を增す。この速度の變はる割合を表はすに**加速度**(かそくど)といふ語を用ひ，單位時間中の速度の變化を以つて加速度を測る。卽ち上の例について，電車の起動(きどう)の加速度は汽車の起動の加速度より大きいといふ。

加速度の計算　直線運動をなす物體が，或る時刻に 4 km/h の速度を有し，それより 5 sec 經(た)つて 14 km/h の速度になつたとすれば，5 sec 間の速度の變化は (14−4) km/h であるから，平均 1 sec 間の速度の變化卽ち加速度は

$$1^{\text{sec}}\text{ 間に }\frac{14-4}{5}=2^{\text{km}}/_{\text{h}}$$

である。一般に或る時刻に v_0 の速度を有した物體が，t 時間後に v の速度になつたとすれば，その時間中の平均加速度 a は次のやうにして求められる。

$$[\text{平均加速度}]=\frac{[\text{速度の變化}]}{[\text{時間}]}$$

卽ち
$$a=\frac{v-v_0}{t} \quad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \textbf{(32)}$$

加速度の單位　上の例に示したやうに加速度を示すには 1sec 間に 2 km/h といふ風に，時間の單位と速度の單位とを組立てた單位を用ひる。本講義にてはこれを 2 km/h/sec と書き，2 **キロメートル毎時毎秒**と讀むこととする。このやうに，普通用ひる加速度の單位を記せば第 13 表に掲げる通りである。

電車の加速度　電車の加速度は普通 $\boxed{1.2\ \text{km/h}}$/sec から

1.2 Km

第13表　加速度の單位

名稱	記號
センチメートル毎秒毎秒	cm/sec/sec
メートル毎秒毎秒	m/sec/sec
キロメートル毎時毎秒	km/h/sec
ノット毎秒	——

km/h/sec の間で運轉してゐる。尤も郊外電車の加速度は 1.2 乃至 2.2 km/h/sec で，市街電車では 2 乃至 3 km/h/sec である。地下鐵道の如く速度の大なる電車卽ち高速度電車の加速度はそれよりも少しく大きい。

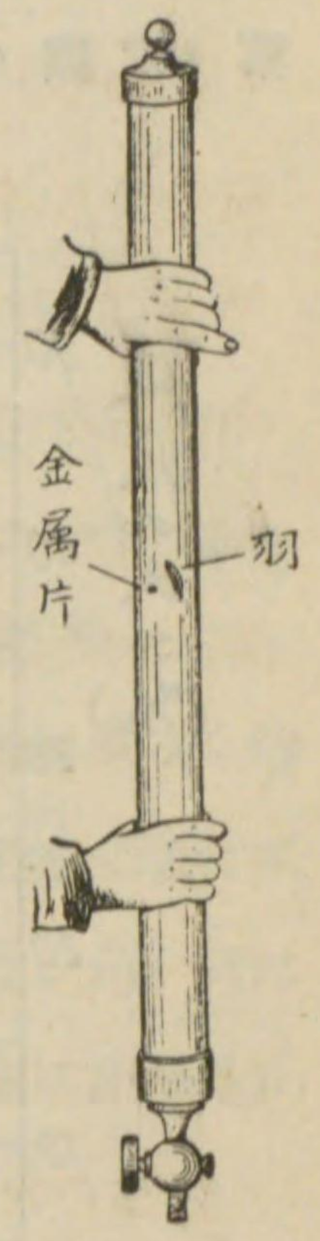
電車を停車しようとするときその速度を次第に減少する。この場合加速度は負(ふ)であるといふ。負なる加速度を**減速度**(げんそくど)と稱へることもある。停車の際制動機(せいどうき)で制動するから，その減速度の値は起動の場合の加速度よりは少し大きい。

汽車の加速度　蒸汽機關車を使用する列車の加速度は，通常 0.3 乃至 0.8 km/h/sec である。電氣機關車を使用するときは，それより稍や大きく 0.45 乃至 1.0 km/h/sec である。停車する場合の値が多少大きいことは電車と同樣である。

落體の加速度　落下する物體を見るに，落ちるに從つてその速度を增加する。卽ち地球上の物體は重力のため一定の加速度にて落下するのである。この加速度を**重力の加速度**と稱へ，凡そ 980 cm/sec/sec 或は 9.8 m/sec/sec である。この値を表はすに通常 g なる記號を用ひる*。卽ち g は重力の加速度を代表する。

註　既にグラムの略字として g(ヂー) を用ひてきた。今また重力の加速度を g(ヂー) で表はし，同じ文字である。それ故本講義には書體で區別するから注意して欲しい。

第21圖



落體試驗器

ひろげた紙片や霧雨(きりあめ)は徐々に落ちる。これは**空氣の抵抗**の爲めで，空氣中にて落下する物體の速度は其の抵抗の影響(えいきやう)を受ける。今第121圖のやうに長さ 1 m ばかりの太き硝子管の一端閉ぢたるものに，金屬片及び羽毛などを入れ，他端を空氣ポンプに連ねて眞空となしコックを閉ぢる。次にこれを倒にすれば金屬片及び羽は一所に落下する。若しコックを開き空氣を入れ同樣に試みると，金屬片は速く羽は遲く落下する。之れによつて眞空中に於いては如何なる物體も一定の加速度 g にて落下する。又空氣の抵抗を無視すれば，空氣中に於ける落體の加速度も同樣である。

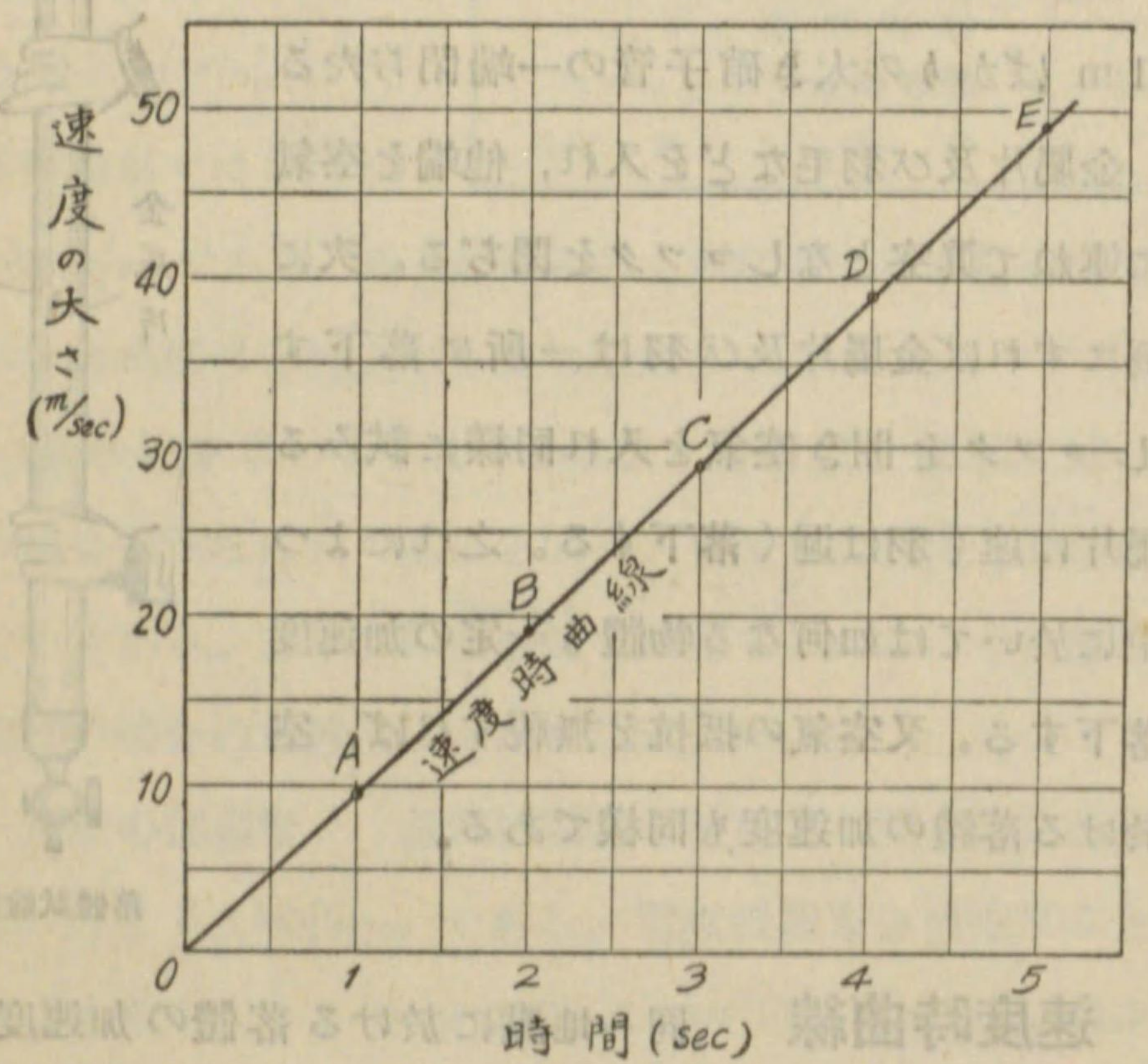
54.　速度時曲線

同一地點に於ける落體の加速度は，空氣の抵抗を無視すれば一定なることを述べた。言ひ換へれば落體の速度は 1 sec 經つ毎に 9.8 m/sec だけづつ增加する。卽ち

最初の速度	$=0$
1 秒後の速度	$=9.8$ m/sec
2 秒後の速度	$=9.8\times2$ m/sec
3 秒後の速度	$=9.8\times3$ m/sec
…………	…………
t 秒後の速度	$=9.8\times t$ m/sec

今横軸に時間を，縦軸に速度の大さを取つて上の關係を示せば，第 122 圖 $OABC....$ のやうになる。かやうに時間と速度の大さ

第 122 圖



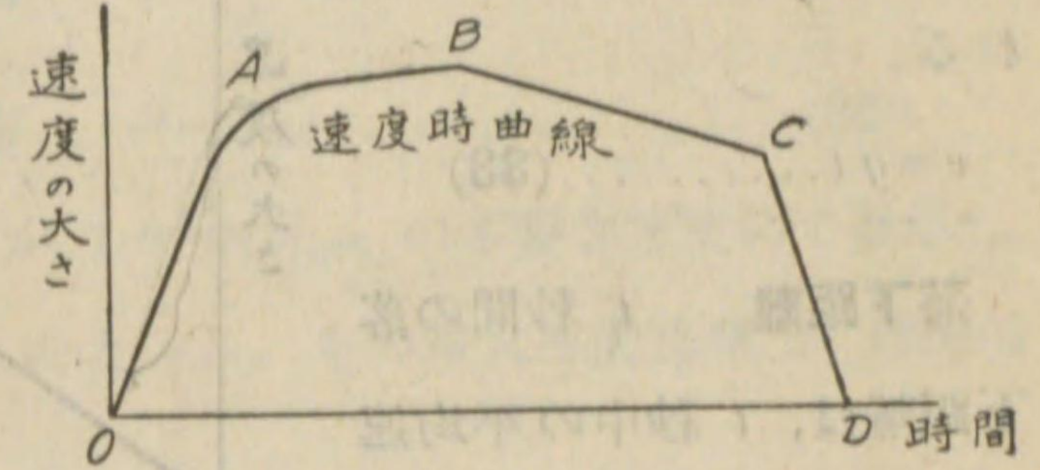
落體の速度時曲線

との關係を示す曲線を一般に**速度時曲線**と稱へる。さうして速度時曲線は加速度の大小を表はす。卽ち曲線の傾斜の急なほど加速度の大きいことを示すのである。

不變加速度運動　落體の運動にては圖に示したやうに速度時曲線は直線となる。これはその速度は時間に比例するからで，時間に對する速度の變化の割合，卽ち加速度は一定不變な運動である。かやうな運動を**不變加速度運動**といふ。

變加速度運動　第 123 圖は市街電車が，二停留場間を走るときの速度時曲線を示す。最初 A 迄は强い電流を使用して急に速度を增すから加速度も大きい。次に B までの間はそれよりは弱い電流を使用し速度も以前ほどに增さない。卽ち加速度は小さく曲線の傾きが緩い。B に相當する所より電流を斷ち慣性で進行するから，速度は次第に減ずる。卽ち加速度は負になる。BC 間は此の間である。最後に停留場に近づくので制動して急に止めるから速度の減じ方が大きい。

第 123 圖



市街電車の速度時曲線

このやうに加速度の變はる運動を**變加速度運動**と稱へる。變加速度運動の速度時曲線は直線とならない。その曲線の形によつて加速度の大小が知られる。

55. 不變加速度直線運動

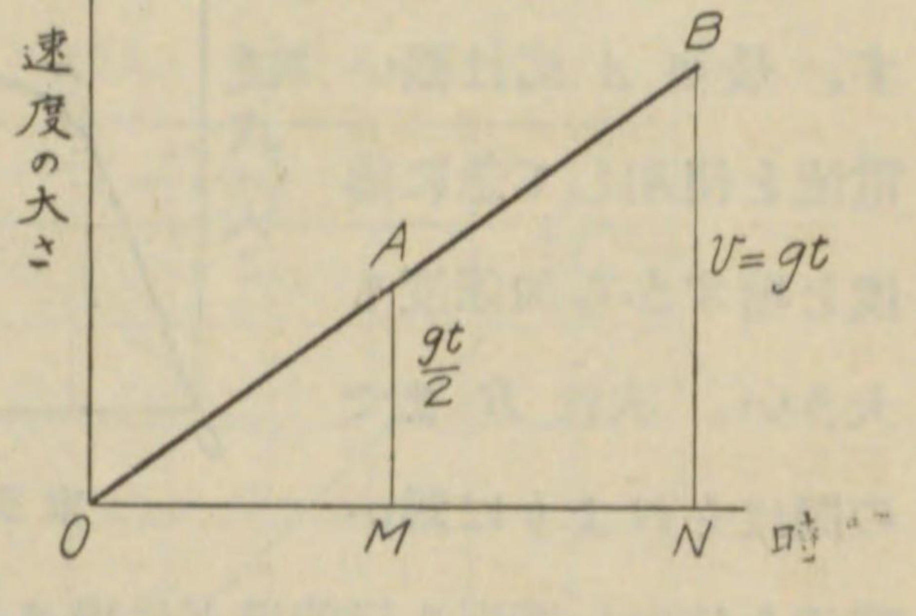
落體の運動は一定な加速度にて一直線上に行はれる。このやうな運動を**不變加速度直線運動**といふ。汽車や電車の運動についても，一樣な加速度にて發車し或は停車するやう運轉するとき，その起動或は制動の部分は不變加速度直線運動と同樣に取扱つて差支ない。

一定時間後の速度　まづ落體の運動より述べよう。重力の加

速度を g にて，t 秒後の速度を v にて表はせば，第 135 頁の説明により次のやうに表はされる。

$$v=gt \quad \cdots\cdots\cdots(33)$$

第 124 圖



平均速度を示す

落下距離　t 秒間の落下距離は，t 秒中の平均速度と時間との相乘積で與へられる。然るに平均速度は第124圖の AM の長さに當り $\frac{gt}{2}$ である。それ故落下距離を s とすれば，$s=\frac{gt}{2}\times t$ となるから，

$$s=\frac{1}{2}gt^2 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(34)$$

一定距離落下後の速度　落體が距離 s だけ落下した時の速度を v とすれば，

$$v^2=2gs \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(35)$$

で表はされる。この關係は (33) 式と (34) 式とから代數計算で求められる。卽ち (33) 式の兩邊を二乘し，後變形すれば，

$$v^2=g^2t^2=2g\times\frac{1}{2}gt^2$$

(34) 式を代入　$=2gs$

落體以外の場合，その不變加速度を a とすれば，重力の加速度 g に相當するから，上の諸式は次のやうに表はされる。

一定時間後の速度　$v=at \quad \cdots\cdots\cdots(33')$

一定時間中の經過距離　$s=\frac{1}{2}at^2 \quad \cdots\cdots\cdots(34')$

一定距離經過後の速度　$v^2=2as \quad \cdots\cdots\cdots(35')$

例題 20.　或る電車が 1.8 km/h/sec の不變加速度にて發車し，20 sec で最大速度に達したといふ。その最大速度及び 20 秒間の經路幾何なるか。

解　(i) [加速度] $a=1.8$ km/h/sec,　[時間] $t=20$ sec

故に 20 sec 後ノ速度即ち最大速度は公式 (33′) に依り，

[最大速度] $v=1.8\times20=36$ km/h

(ii) 加速度の單位を變へるため，まづ速度 1.8 km/h を m/sec に直すには公式 (31) を參照して，

$1.8\div3.6=0.5$ m/sec

從つて　[加速度] $a=1.8$ km/h/sec $=0.5$ m/sec/sec

故に公式 (34′) に依り 20 sec 間の經路は

[經過距離] $s=\frac{1}{2}\times0.5\times20^2=100$ m

答　最大速度 36 km/h，經過距離 100 m

練習問題　VII

1. 運動の方向に依つて運動を分類せよ。
2, 運動の速度に依つて運動を分類せよ。

3. 進行中の電車內を，電車の速度に等しい大きさで正反對の方向に步行する人の運動はどうであるか。

4. 午後 7 時 30 分東京驛を發車したる列車が，翌午前 8 時 10 分神戶驛に着いたといふ。その列車の表定速度は幾何なるか。但し東京驛より神戶驛までの累計キロメートル程は 601 である。

答 $47.4\ {}^{\mathrm{km}}/_{\mathrm{h}}$

5. 急行用電氣機關車を使用したる列車の最大速度は $96\ {}^{\mathrm{km}}/_{\mathrm{h}}$ であるといふ。不變加速度にて發車後 2 min で，この最大速度に達したとすれば，加速度幾何なるか。　答 $0.8\ {}^{\mathrm{km}}/_{\mathrm{h}}/_{\mathrm{sec}}$

6. 地上 19.6 m の屋上より物體を落すとき，物體の地に着くときの速度幾何なるか。但し空氣の抵抗ないものとする。

答 $19.6\ {}^{\mathrm{m}}/_{\mathrm{sec}}$

7. 等しい半紙二枚を取り，一枚はそのままにて，他は小さく丸めて同時にこれらを落すとき，ひろげた方が遲く落ちるは何故なるか。

8. 或る高さから落した水が 5 sec で地に着いたといふ。水が地に着くときの速度及びその高さを求めよ。但し水には一切の抵抗がないものとする。　答 速度 $49\ {}^{\mathrm{m}}/_{\mathrm{sec}}$，高さ 122.5 m

【解答】

1.
- 直線運動....方向一定
- 曲線運動....方向變はる
- 圓 運 動....方向の變はる割合一定

2.
- 不變速度運動..........速度一定，加速度零
- 變速度運動
  - 不變加速度直線運動...加速度一定，方向一定
  - 不變加速度圓運動....加速度一定，方向變る
  - 變加速度運動........加速度變はる

3. 人の步行速度を v とすれば，電車の進行速度は $-v$ である。人は同時にこの v と $-v$ とを受け，合速度 0 となる。卽ち人は地球に對して運動しないこととなる。

4. 所要の時間は (12＋8時10分)－(7時30分)＝12時40分

單位を h で表はせば　[時間] $t=12\frac{40}{60}=12\frac{2}{3}\ \mathrm{h}$

又　[距離] $s=601\ \mathrm{km}$

故に　[表定速度] $v=601\div12\frac{2}{3}\fallingdotseq47.4\ {}^{\mathrm{km}}/_{\mathrm{h}}$

5. 速度の變化した時間は　$60\times2=120\ \mathrm{sec}$

此の間の速度の變化は，最初靜止であるから $96\ {}^{\mathrm{km}}/_{\mathrm{h}}$

故に　[加速度] $a=\frac{96}{120}=0.8\ {}^{\mathrm{km}}/_{\mathrm{h}}/_{\mathrm{sec}}$

6. 物體の落下距離 s は屋上までの高さに等しく 19.6 m

又　[重力の加速度] $g=9.8\ {}^{\mathrm{m}}/_{\mathrm{sec}}/_{\mathrm{sec}}$

故に地に着くときの速度を v とすれば，公式 (35) に依り

$$v^2=2\times9.8\times19.6=19.6\times19.6$$

卽ち　$v=19.6\ {}^{\mathrm{m}}/_{\mathrm{sec}}$

7. 兩方の重さは相等しいが，ひろげた方は，より大なる空氣

の抵抗を受けるから遲く落ちる。

8. ［重力の加速度］ $g=9.8\,\mathrm{m/sec/sec}$ であるから,

(i) 5^{sec} 後の速度を v とすれば, 公式 (33) に依り

$$v=9.8\times5=49\,\mathrm{m/sec}$$

(ii) 高さ即ち 5_{sec} 間の落下距離を s とすれば, 公式 (35) に依り

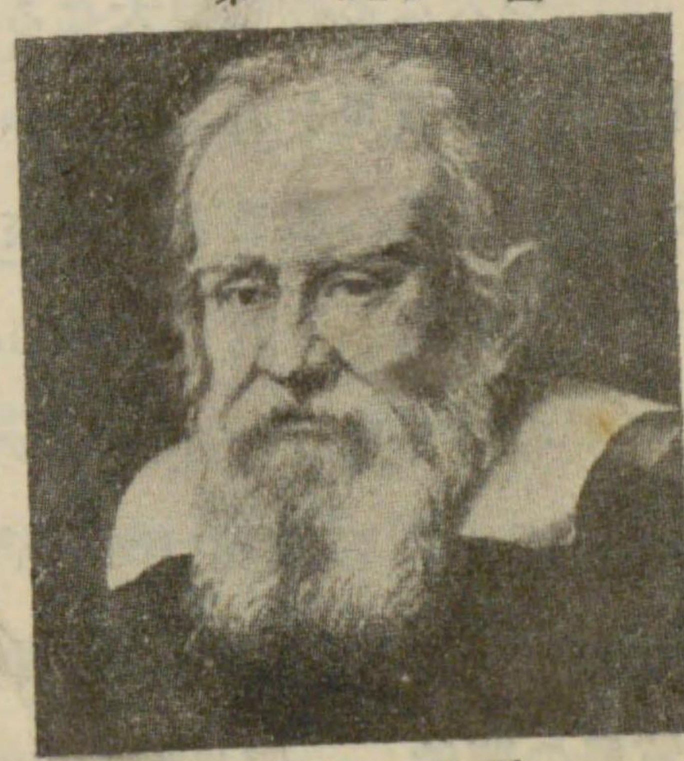
$$s=\frac{1}{2}\times9.8\times5^2=122.5\,\mathrm{m}$$

第八章　運動と力との關係

56. 運動の第一定律　靜止してゐる物體は外より力のはたらきがなければ自ら運動を始めることはない。又運動中の物體は外より力の作用がなければ, その運動の方向や速さを變へない。即ち物體は現在の狀態を續けようとする性質を有する。この性質を慣性といひ, あらゆる物體に共通である。

車中の人の慣性　電車が急に走り出すとき, 車中に立てる人が後方へ倒れようとするのは, 其の人の靜止の慣性に依る。即ち身體が靜止の有様を續けようとするのに, 足は電車と共に前方へ進むので, 後方へ倒れようとするのである。又進行中の電車が急に止まるとき, 車中の人が前方へ倒れようとするのは, 人は進行を續けようとする慣性を有するに拘はらず, 足は電車と共に止まらうとするからである。電車の進行中曲り角にさしかかると, 車中の人は外側へ投げ出されさうになるのも, その人が進行の方向を續けようとする慣性を有するからである。

第 125 圖



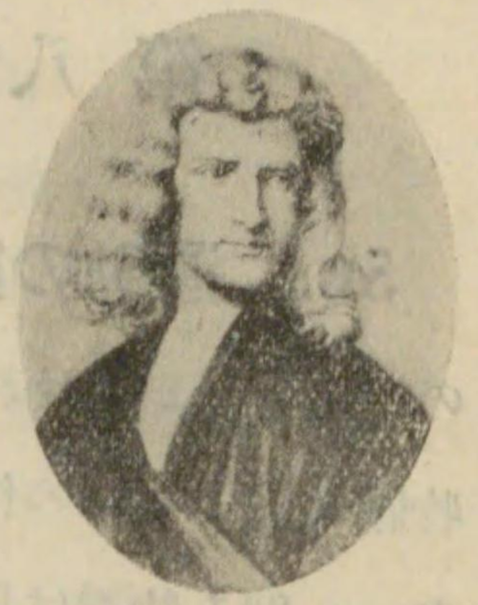
ガリレイ氏

定律　**すべての物體は外より力を受けなければ, 靜止せる物體は靜止を續け, 運動せる物體は不變速度**

を續ける。

この事柄を**慣性の定律**或は**運動の第一定律**と稱へる。物體が慣性を有することは，今より三百數十年の昔伊人ガリレイ (Galilei) 氏が既に發見したことで，其の後，英人ニュートン (Newton) 氏が他の運動の定律と共に之れを第一定律としたのである。

第 126 圖



ニュートン氏

57. 質　量

滑らかな板上にある重いものや輕いもの，或は大さの違ふ種々の物體を，運動させ或は停止させる場合に，その物體によつて，吾々の加へる力に大小の差があることが判るであらう。例へば鉛球は同大の木球よりも動かし難く又止め難い。これ物體はそれぞれ一定の慣性を有するからで，この慣性の大小は次に述べるやうに，一つの量として測り得るのである。

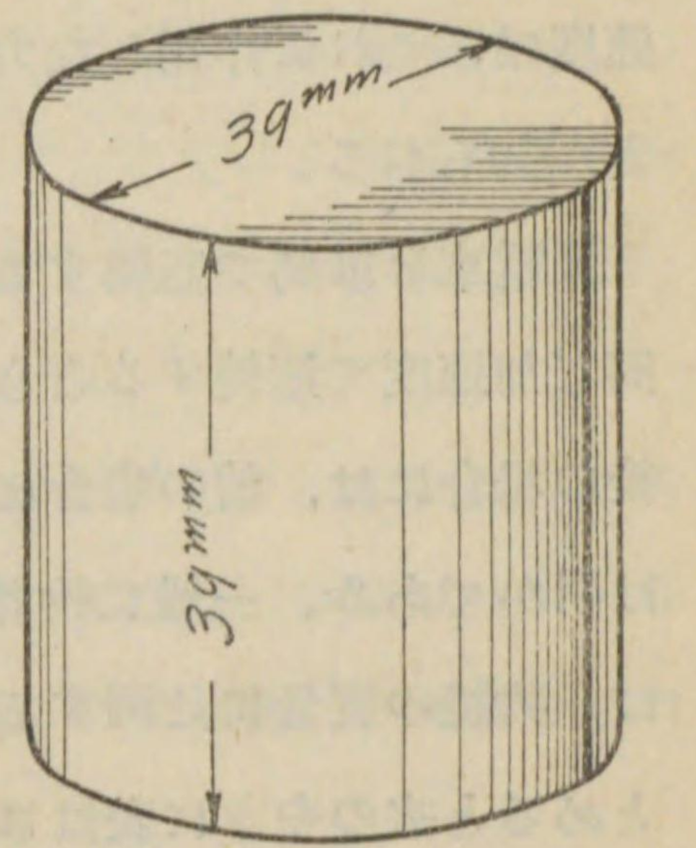
慣性の大なる物體は大なる**質量**を有するといひ，慣性小なる物體は小なる質量を有するといふ。卽ち物體の質量とは慣性を測る量であると考へることが出來る。

同質の質量　同じ種類の物體については，質量は物體の分量を示すものと見做し，單にその體積の大小にて質量を表はされる。例へば $5\,\mathrm{cm}^3$ の銅塊は $1\,\mathrm{cm}^3$ の銅塊の 5 倍の質量を有し，$10\,l$ の水は $1\,l$ の水の 10 倍の質量を有するのである。

質量の單位　質量の單位は**キログラム***を以つて基本とする。

キログラムとは國際キログラム原器の質量である。國際キログラム原器は白金とイリヂゥムといふ金屬の合金で，その質量が 4°C. の純粹の水 $1\,l$ の質量に等しく製作したものである。第 127 圖は國際キログラム原器の大きさを示したもので，高さも直徑も共に 39 mm ある圓柱形である。

第 127 圖



キログラム原器

質量の單位には，そのほか **グラム**，**トン**等を用ひる。これら相互の關係及び記號は第 14 表に揭げてある通りである。

第 14 表　質量の單位

名稱	記號	相互の關係
ミリグラム	mg	$\frac{1}{1000\,000}$ キログラム
グラム	g	$\frac{1}{1000}$ キログラム
キログラム	kg	
トン	t	1000 キログラム

58. 運動の第二定律

電車の制御器を加減しその牽引力を增すときは，牽引力の方向に加速度を生じて急に速くなる。併し制動機を用ひ，進行と反對の方向に制動力を作用させる

註　旣に力の單位としてキログラムを用ひて來た。質量の單位のキログラムとの關係は第 150 頁注意 1 を參照して欲しい。

ときは，進行の方向に對し負の加速度（卽ち減速度）を生じて急に遲くなる。多くの經驗によるに，一般に，同じ物體に生ずる加速度は，これに作用した力の方向に生じ，力の大さに比例することが知られる。

又電車を單獨で運轉する時よりも，電車が數臺の車輛を牽いて，同じ加速度で運轉するときには，大なる牽引力を要する。そして後の場合には，前の場合に比べその質量は數倍に增してゐることは明かである。一般に物體に一定の加速度を與へるに必要な力は，物體の質量に比例するのである。それ故この二つの事柄をまとめると次のやうに表はされる。

力が物體に作用するとき，物體は力の方向に一定の加速度を生じ，そして加速度とその物體の質量との相乘積は，作用せる力に比例する。

之れを**運動の第二定律**といふ。この定律は，力が物體に作用すれば物體はどうなるかといふ事柄を示したもので，あらゆる物體について成立つことである。又直線運動に限らず圓運動でも廻轉運動でもあらゆる運動の場合，上の關係が成立つてくる。かく重要な定律であるから，よくのみこんで欲しい。この定律は簡單に次のやうに記される。

$$[\text{力}] \propto [\text{質量}] \times [\text{加速度}] \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (36)$$

59　力の絕對單位

第 3 節に於いては，重さに基い

て定めた力の單位を示した。併し運動の第二定律によれば，重さに依らずに力の大小を測ることが出來る。通常質量 1 g の物體に作用して 1 cm/sec/sec の加速度を與へる力を，力の單位に取り，之れを**ダイン** (dyne) と名づける。1 ダインといふ力は非常に小さな力で，從つて 1000 ダインといふても大したものではなく，半紙 2 枚を支へる位の力である。

それ故 1000000 ダインの力を 1 **メガダイン**と名づけ，之れを我が國の改正度量衡法で力の單位としてゐる。1 メガダインの力は略ぼ水 1 l の重さに近いのである。ダイン及びメガダインのやうな單位を力の**絕對單位**といふ。

第二定律の數學的式　力の單位にダインを用ひるときは，力の關係式 (36) は簡單に表はされる。例へば 5 g の物體に作用して 3 cm/sec/sec の加速度を與へる力は

$$5\times3=15 \text{ ダイン}$$

といふ風に表はされる。このことはダインの定義から明かであらう。一般に，質量 m グラムの物體に作用して a cm/sec/sec の加速度を與へる力は，1 ダインの m 倍で，且つ a 倍であるから，この力を F ダインとすれば，

$$F=ma \text{ ダイン} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (37)$$

これ卽ち運動の第二定律を表はす數學的式である。

60.　質量と重さ

物體の重さといふのは地球が之れに

働く重力の大さで，地球上の場所によつて多少の違ひがある。質量は物體の慣性を表はす量で，重さのやうに場所によつて變はることはない。今質量 m グラムの物體に働く重力の大さ卽ち重さを w ダイン，重力の加速度を g cm/sec/sec とすれば，重さは力の一種であるから，運動の第二定律により次の關係がある。

$$w = m\,g^{\text{ダイン}} \quad\text{..................}(\mathbf{38})$$

〔重さ〕=〔質量〕×〔重力の加速度〕

さて實測によるに重力の加速度 g は，同じ場所では常に一定で，場所の異なるに從ひ第 15 表に示すやうに違ふのである。それ故公式 (38) は次の事柄を表はす。(i) 同じ物體の重さ w は場所の異なるに從ひ第 15 表に示す割合に違ふ。(ii) 種々の物體の重さ w は，同じ場所ではその質量 m に比例する。

第 15 表　　重力の加速度

地　名	g (cm/sec/sec)	地　名	g (cm/sec/sec)
赤道(計算)	978.0	富士山頂	978.8
ワシントン	980.1	熊本	979.56
パリー	980.9	京都	979.72
ロンドン	981.2	名古屋	979.76
ベルリン	981.3	東京	979.80
ペトログラード	981.9	仙臺	980.11
極　(計算)	983.2	青森	980.32

例題 21.　質量 1 キログラムの物體の，ロンドンに於ける重さを，東京に於ける重さに比較せよ。

解　(38) 式 $w=mg$ に於いて質量は何處でも一定で $m=1000$ g，

重力の加速度 g の値は第 15 表を用ひる。

東京に於ける重さ　　$w = 1\,000 \times 979.8 = 979\,800^{\text{ダイン}}$

ロンドンに於ける重さ　$w' = 1\,000 \times 981.2 = 981\,200^{\text{ダイン}}$

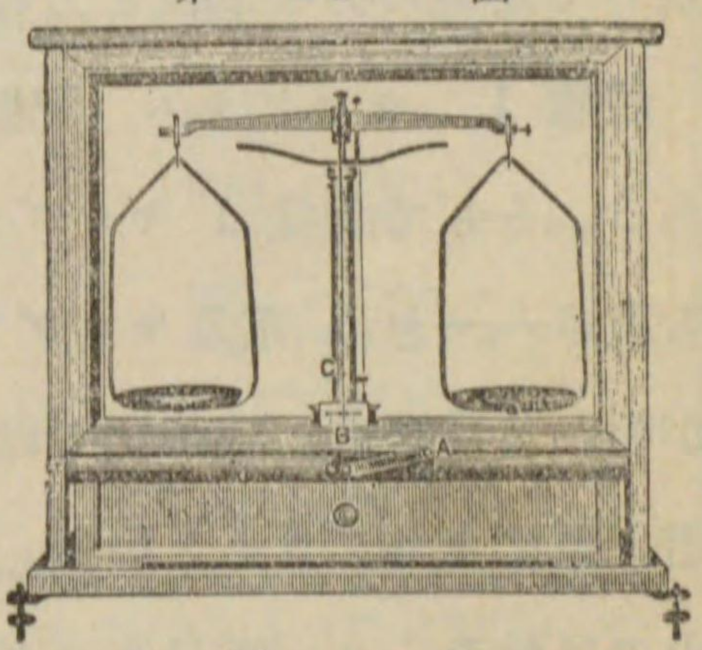
故に　$\dfrac{w'}{w} = \dfrac{981\,200}{979\,800} = 1.0015$

答　ロンドンは東京の 1.0015 倍

注意　物體の重さ卽ち重量とは，物體に働く重力といふ一種の力であるが，質量は單に物體の慣性の程度を示す量に過ぎない。ただ同じ場所では重さは質量に比例するから，種々の物體について質量の割合は重さの割合に等しいので，これがため却つて質量と重さとが混視される虞がある。尤も化學や熱學などにては質量の代りに重さを用ひても差支ないが，物體の運動を論ずる場合には明かに區別しなければならない。

質量の測定　自働秤は力或は重さを測ると述べたが（第 28 頁脚註參照），天秤，桿秤，臺秤等すべて分銅を用ひる秤は，物體の質量を測る裝置である。さうして或る物體を天秤などで測つた質量も，自働秤で測つた重さも同じ數で表はされる（次節參照）。それ故物の賣買などには何れの秤を用ひても變はりはないのである。

第 128 圖



天　秤

第128 圖は硝子箱に納れた天秤

を示す。質量を測らうとする物體を天秤の左皿に載せ，右皿に分銅を適當に載せて桿を水平にする。桿の水平なるかどうかを見るには，之れに垂直に取附けてある指針 C が，目盛板 B の零を指すかどうかを檢すればよい。この場合，分銅に記しある數字の總和はその物體の質量を表はす。

61. 力の絶對單位と重力單位との關係

第 3 節に於いて，力の單位をキログラムとし，1 kg の力は 4°C. の水 1 リットルの重さだけの力であると述べた。これは第 145 頁で述べたやうに 4°C. の水 1 l 卽ち，質量 1 kg の物體の重さだけの力が 1 kg の力であるといふ意味である。依つてこの力の單位を用ひると，物體の質量と重さとは同じ數値で表はされる便利がある。さうして質量の單位のキログラムと區別するため，力の單位には特に**重量キログラム**と稱へることがある。力の他の單位についても同様で，**重量トン**，**重量グラム**と稱へる。かやうに重さに基いて定めた力の單位を力の**重力單位**と稱へる。

注意 1. キログラム（記號 kg）といふ語は元來質量の單位である。そして質量 1 キログラムの物體を支へるだけの力——卽ち重さ——を 1 重量キログラムといふ。併し力の單位なることが明かな場合に，我が國では一々，重量キログラムと言はずに習慣上單にキログラムといふ。それ故質量の單位と紛はしいときは力の單位を一々，重量キログラムと稱へるがよい。重量トン，重

量グラム等についても同様である。

注意 2. 質量 1 kg の物體の重さは場所によつて多少異なるから，力の重力單位を定めるには一定の場所に於ける値を基本としなければならない。學術上にては $g=980.665$ cm/sec/sec を取り，我が國の度量衡法にては $g=980$ cm/sec/sec を取つてゐる。特に指定しない場合は第 134 頁にも記したやうに，$g=980$ cm/sec/sec，或は 9.8 m/sec/sec とする。

兩單位系の關係 1 重量グラムの力は，質量 1 グラムの物體の重さだけの力である。そして質量 1 g の物體の重さは公式 (38) に依り 1g × 980 cm/sec/sec = 980 ダイン であるから，

$$1\ \text{重量グラム} = 980\ \text{ダイン} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (39)$$

從つて

$$1\ \text{重量キログラム} = 980 \times 1\,000 = 980\,000\ \text{ダイン}$$

$$= \frac{980\,000}{1\,000\,000} = 0.98\ \text{メガダイン}$$

1 重量キログラムは大略 1 メガダインである。その他，主なる力の單位並に相互の關係を記せば第 16 表の通りである。

第 16 表　力の單位

	名稱	記號	相互の關係
重力單位	重量グラム	g	980 ダイン
	重量キログラム	kg	0.98 メガダイン (0.98×10^6 ダイン)*
	重量トン	——	980 メガダイン (9.8×10^8 ダイン)*
絶對單位	ダイン	——	
	メガダイン	——	10^6 ダイン*

註 代數學で學んだやうに 1 000 000 を 10^6，100 000 000 を 10^8 と記す。

例題 22. 質量 5 kg の物體に，980 cm/sec/sec の加速度を與へる力は幾ダインなるか。又幾重量キログラムなるか。

解 力を求めるには運動の第二定律 $F=ma$ ダイン に依る。

今 〔質量〕$m=5^{\text{kg}}=5\,000^{\text{g}}$，〔加速度〕$a=980$ cm/sec/sec

故に 〔力〕$F=5\,000\times980=4\,900\,000$ ダイン

次に 1 重量キログラム $=0.98\times10^6=980\,000$ ダイン であるから，

この力は又

$$F=\frac{4\,900\,000}{980\,000}=5 \text{ 重量キログラム}$$

答 $\begin{cases}4\,900\,000 \text{ ダイン}\\ 5 \text{ 重量キログラム}\end{cases}$

62. 運動量

運動體について單にその速度の大小のみならず，同時にその質量をも考へに入れることが力の研究上必要である。運動體の質量とその速度との相乘積を**運動量**といふ。運動體の質量を m，速度を v とすれば，

$$〔運動量〕=〔質量〕\times〔速度〕$$
$$=mv \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(40)$$

今質量 m グラムの靜止せる物體が，一定の力 F ダインの作用を受け，a cm/sec/sec の加速度を生じ，t sec の後 v cm/sec の速度を得たとすれば，

〔力〕 $F=ma$ ダイン (公式 38) より，〔質量〕 $m=\dfrac{F}{a}$，

又 〔速度〕 $v=at$ (公式 33′)，

依つて 〔運動量〕 $mv=\dfrac{F}{a}\times at=Ft$

即ち靜止體が F ダインの力を t 秒間受けるときは，

$$mv=Ft \text{ ダイン-秒} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(41)$$

なる運動量の變化を生ずる。從つて物體の 1 秒間の運動量の變化は，之れに作用した力に等しい。

次に此の v なる速度を有する物體を，原のやうに靜止させるには，同じ大さの力を最初の力と反對の方向に，同じ時間だけ作用すればよい。

63. 運動の第三定律

手にて柱を押せば手もまた反對の方へ押返へされ，重い物を引上げる時にも下方へ引返へされる。かやうに一物體に力が働けば，力を働かした方の物體も亦力の働を受ける。即ち力は必ず相互作用として兩物體間に働くもので，一方の物體に働く力を**作用**といひ，他方の物體に働く力を**反作用**或は**反働**といふ。實驗によれば，兩者の間に次に關係がある。

作用と反作用とは其の大さ相等しく，その方向相反する。

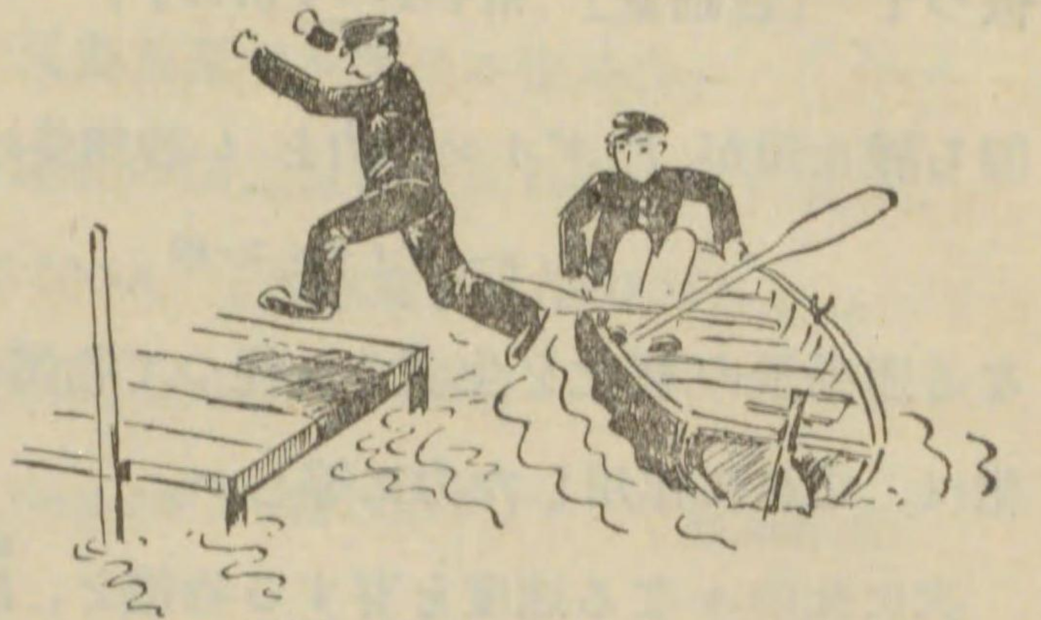
之れを**運動の第三定律**といふ。

作用と反作用とは，働く物體は別である。上の例に於いて柱に加へる力を作用とすれば，手に加はる力は反作用である。それ故これを一物體に働く二力と混同せぬやうに注意して欲しい。

小舟に乗れる人が岸に飛上らうとするとき，小舟は後退するを

見るであらう。この際人は小舟を後方へ強く踏みつけ，小舟より生ずる反作用が人に働くので，人は飛上れるのである。そして小船は踏みつけられた力で後退するのである。

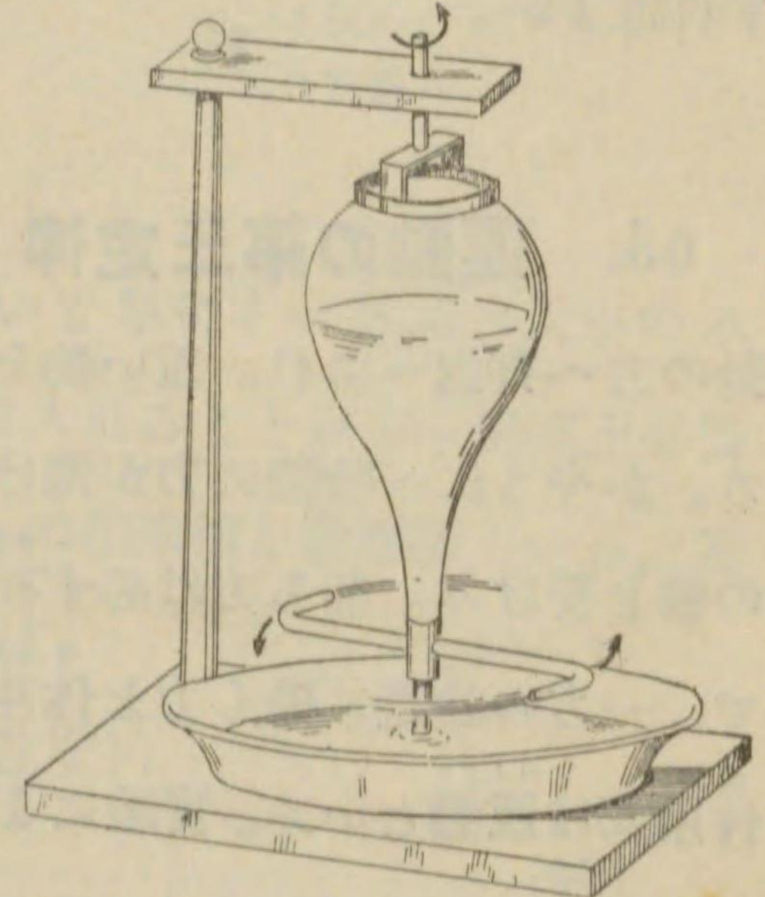
第 129 圖



作用と反作用との一例を示す

第 130 圖はバーカー (Barker) の水車を示す。縦型の筒の底部に水平に取附けた枝管の尖端は，何れも一方に向いてゐる。之れに水を充たし尖端より噴出せしめるとき，この水車は水の出る方向と反對に廻り初める。これ水が噴出する働の，枝管壁に及ぼす反作用に依るのである。恰かも小船より人の飛上るとき小船の後退するのと同理である。

第 130 圖



バーカーの水車

64. 衝撃力　鎚をもつて物體を打つとき，物體はその力の作用を受け，同時に物體よりの反作用で鎚は止まる。特に鎚を高く振上げ物體を強く打つとき，その效果は著しく大きい。これ

鎚が物體に觸れる際，その運動量 mv が大きく，しかも之れを止める時間 t はほんの一瞬間――何百分の一秒といふ程度――であるから，(41) 式 $mv=Ft$ に於いて力 F は著しく强大にあらはれるのである。このやうな力を特に**衝撃力**といふ。

例題 23. 1 kg の鎚をもつて 98 m/sec の速度で物體を打ち，$\frac{1}{200}$ sec 間に全く止めてしまつたといふ。此の際幾何の衝撃力を生じたか。

解　〔質量〕$m=1\,000$ g,　〔速度〕$v=98$ m/sec$=9\,800$ cm/sec,〔時間〕$t=\frac{1}{200}$ sec,　依つて公式 (41) を變形すれば

$$〔力〕\ F=\frac{mv}{t}=\frac{1\,000\times 9\,800}{\frac{1}{200}}=1\,960\,000\,000\ \text{ダイン}$$

$$1\ \text{重量トン}=9.8\times10^8\ \text{であるから}\ F=\frac{1\,960\,000\,000}{9.8\times10^8}=2\ \text{重量トン}$$

答　2 トンの力

衝突　二物體の衝突の際に，相働く力は一瞬間に行はれるので，上述のやうな衝撃力を生じ，大なる損害を受けることが屢々ある。依つて衝突の被害を減殺するには，衝突する際の速度を減じ，且つ衝突の行はれる時間を成るだけ長からしめるがよい。野球のボールを受けるとき，ミットを用ひて手を後方へ引くのはこのボールの衝突を緩和する目的である。又既に第 17 頁第 13 圖に示したやうに，乗物の車體の下にあつて之を支持する彈條は，車臺の動搖より生ずる衝撃力を緩和する爲めである。

連續衝突の壓力　水壓管を流れる水が嘴管より噴出し，或は

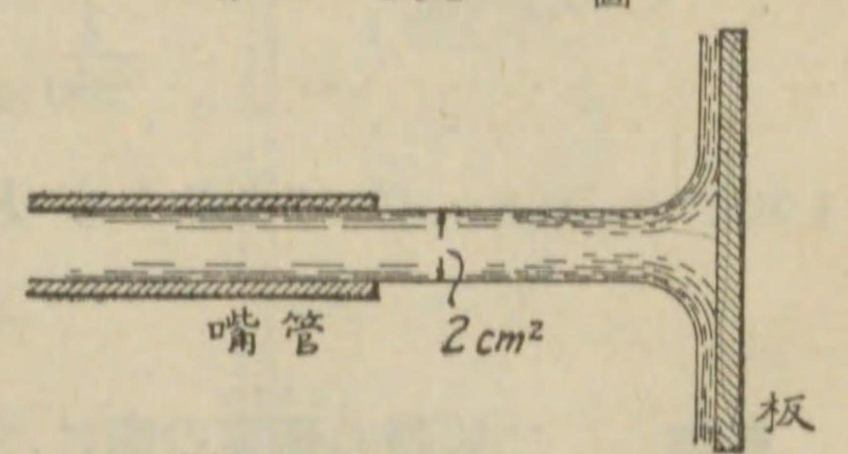
蒸汽管を通る蒸汽がノッズルから噴出して板を撃ちつける場合，水或は蒸汽は後から後からと連續して板を衝撃するから，板に連續的壓力を與へる。

今 v cm/sec の速度で，嘴管を通る水或は蒸汽が 1 秒間に m グラムづつの割合で，固定した板面を垂直に衝撃して止まつたとすれば，生ずる連續的壓力 F は，水或は蒸汽の 1 秒間の運動量の變化に等しい（第 153 頁參照）から，

$$F = mv \text{ ダイン} \quad \dots\dots\dots\dots\dots(42)$$

例題 24. 斷面積 2 cm² の嘴管を，980 cm/sec の不變速度で水平に噴出する水が，固定した鉛直板を衝撃するとき，幾何の全壓力を生ずるか。

第 131 圖



嘴管より噴出する水の衝撃

解　1 秒間に嘴管を通る水の體積は，斷面積 2 cm² で，長さ 980 cm であるから，(2×980) cm³ である。然るに 1 cm³ の水の質量は 1 g であるから

1 秒間に衝撃する〔水の質量〕 $m = 1 \times (2 \times 980) = 1\,960$ g

又　〔水の速度〕 $v = 980$ cm/sec

故に 1 秒間に生ずる〔全壓力〕 $F = 1\,960 \times 980$ ダイン

或は重力單位に直せば，1 重量グラム $= 980$ ダイン（公式 39）であるから

$$F = \frac{1\,960 \times 980}{980} = 1\,960 \text{ g} = 1.96 \text{ kg}$$

答　全壓力 1.96 kg

練習問題 VIII

1. 運動の三つの定律につき其の大要を述べよ。

2. 荷馬車をひくとき，馬と車との間の作用と反作用との關係を述べよ。

3. 電球のやうに破れ易い品物を荷造するとき，波形包紙や藁などを用ひるは何故なるか。

4. 10 000 ダインの力は幾グラムなるか。　**答**　10.2 g

5. 50 グラムの力は幾ダインに當るか。　**答**　49 000 ダイン

6. 質量 60 kg の四斗俵を支へる力は幾何なるか。絕對單位と重力單位とにて表はせ。　**答**　60 kg，58.8 メガダイン

7. 質量 1 kg の物體に 10 000 ダインの力が作用するときは幾何の加速度を生ずるか。　**答**　10 cm/sec/sec

8. 7.2 km/h の速度で進行中の質量 19.6 トンの電車がある。之れに一定の抵抗力が作用して 40 秒で停車せしめたといふ。その抵抗力幾何なるか。　**答**　100 kg

【解答】

1. 第一定律は物體に力の作用しない場合，「物體は現在の狀態を變へない」といふことを示す。

第二定律は物體に力の作用する場合，物體はその速度を變へる卽ち「物體は力の方向に加速度を生じ，その加速度と物體の質量との相乘積は力に比例する」といふことを表はしてゐる。

第三定律は物體に力の作用する場合，その力を作用させた相手(あひて)の物體は反作用を受ける。そして「反作用は作用と大さ等しく方向正反對である」といふことを示してゐる。

2. 馬が F なる力で車をひくと同時に，車は F と大さ等しく方向正反對なる反作用を馬に及ぼす。

3. 荷物を取扱ふときの激動(げきどう)を，直ちに電球に傳へるときは，衝撃力となり電球を破損するおそれがある。それ故波形包紙や藁の彈性を利用し，激動が電球に達するまでに，比較的長い時間を費しその激動が衝撃力とならぬやうにする。

4. (39) 式に示したやうに 980 ダインが 1 g の力に等しいから，　$10\,000^{\text{ダイン}}=\dfrac{10\,000}{980}=10.2^{\text{g}}$

5. $1^{\text{g}}=980^{\text{ダイン}}$，　故に　$50^{\text{g}}=980\times 50=49\,000^{\text{ダイン}}$

6. 四斗俵を支へる力は重力單位で，60 重量キログラム

然るに　1 重量キログラム $=0.98$ メガダイン　であるから，絶對單位にては　　$0.98\times 60=58.8$ メガダイン

7. 力と質量とを與へて加速度を求める問題であるから，公式 (37) を變形すれば，　$a=\dfrac{F}{m}$

然るに　　〔質量〕$m=1^{\text{kg}}=1\,000^{\text{g}}$，〔力〕$F=10\,000^{\text{ダイン}}$

故に　　〔加速度〕$a=\dfrac{10\,000}{1\,000}=10^{\text{cm}}/\text{sec}/\text{sec}$

8. 質量と速度と時間を與へて力を求める問題であるから，公式 (41) を變形すれば，　$F=\dfrac{mv}{t}$

然るに　〔質量〕$m=19.6^{\text{トン}}=19.6\times 1\,000\times 1\,000=19\,600\,000^{\text{g}}$

公式 (31) に依りて速度の單位を換算すれば，

〔速度〕$v=7.2^{\text{km}}/\text{h}=\dfrac{7.2}{3.6}=2^{\text{m}}/\text{sec}=200^{\text{cm}}/\text{sec}$

又　　〔時間〕$t=40^{\text{sec}}$

故に　　〔力〕$F=\dfrac{19\,600\,000\times 200}{40}=98\,000\,000^{\text{ダイン}}$

然るに　　1 重量キログラム $=980\,000^{\text{ダイン}}$　であるから

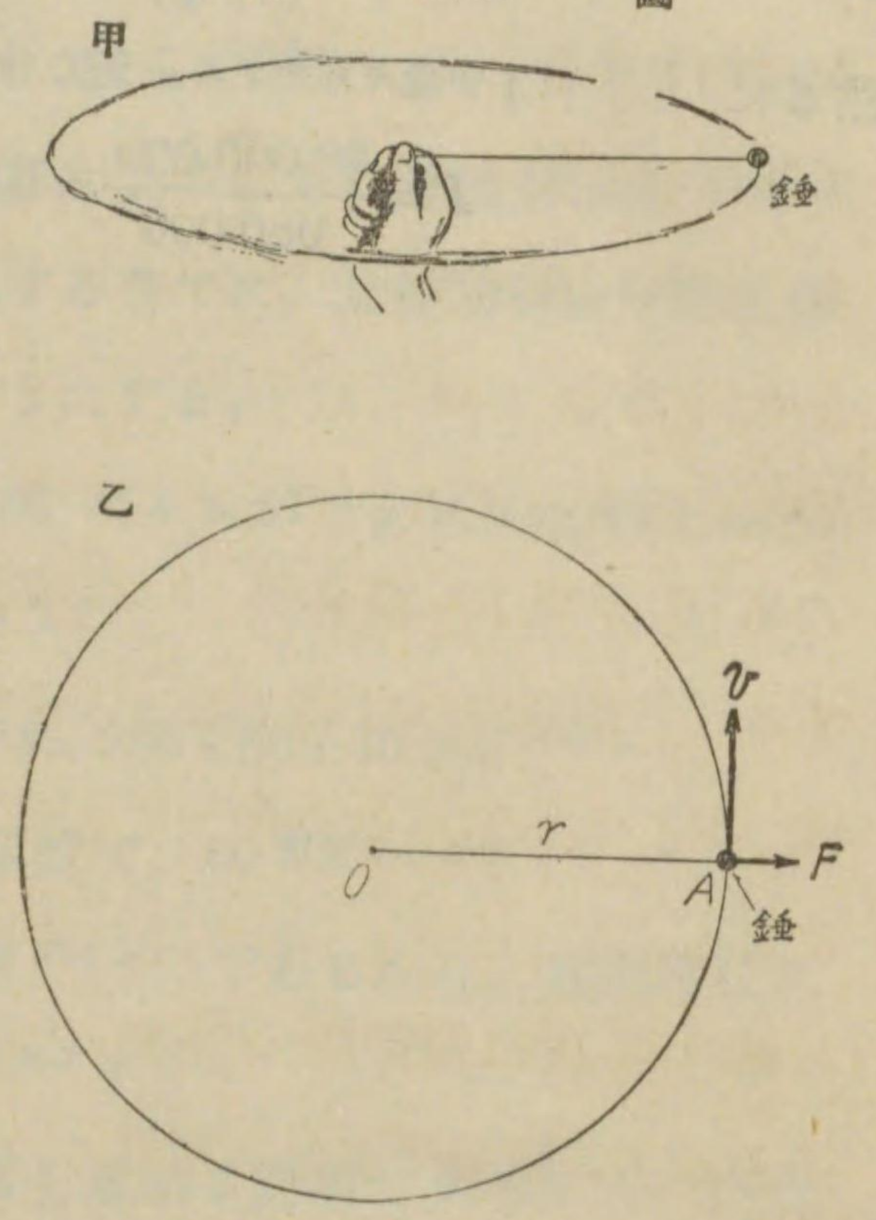
$$F=\frac{98\,000\,000}{980\,000}=100^{\text{重量キログラム}}$$

第九章　圓運動及び振動

65. 遠心力

第 132 圖に示すやうに，絲の一端に錘を結び，他端を持ちて錘を振り廻はし之れに圓運動をなさしめると，絲がピンと張られ恰かも絲はその兩端から引張られてゐるやうに見える。それ故錘には中心から外方に向ふ力が働いてゐると考へ，此の力を遠心力（えんしんりよく）と稱へ，手が絲を引く力を求心力（きうしんりよく）と稱へる。

第 132 圖



錘のなす圓運動

今乙圖に於いて，圓の半徑を r cm とし，錘の質量を m グラム，その速度を v cm/sec とすれば，遠心力の大さ F は

$$F=\frac{mv^2}{r} \text{ ダイン} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (43)$$

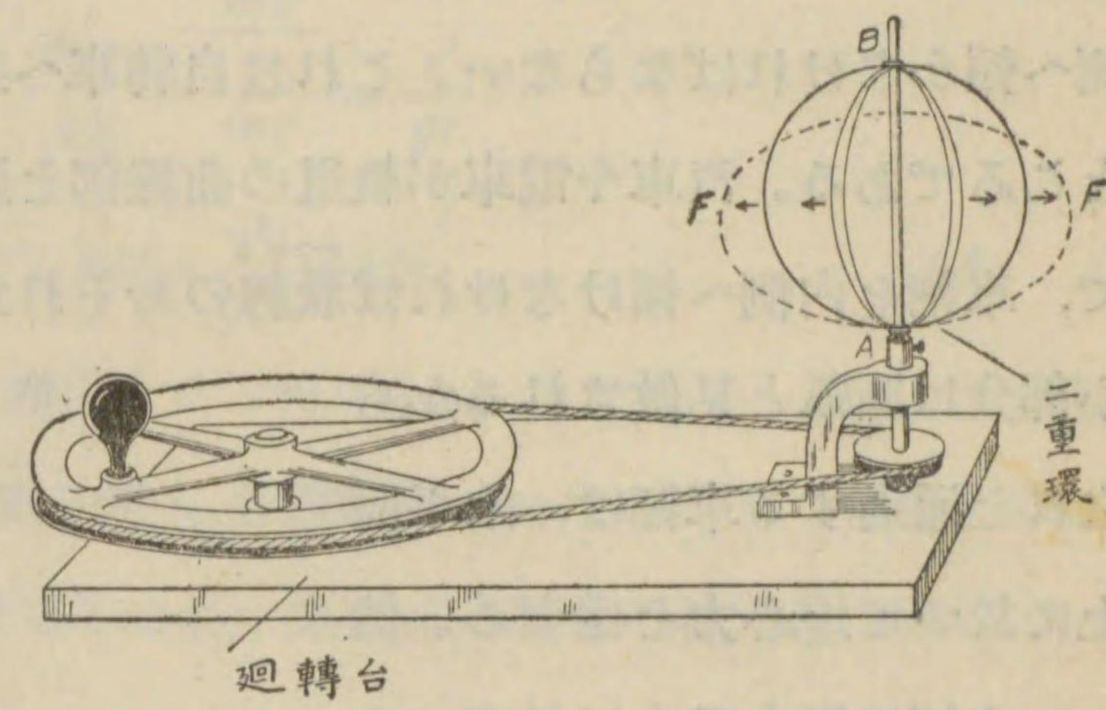
で表はされるものである。この理由はむづかしいから電機學校本科叢書力學にゆづることゝする。

第 133 圖は二重環（にぢゆうくわん）といひ，環の下部 A は軸に固定し，上部 B

1.4
1A＝1000kg
1.4 ×1000
1400.00

には孔があつて軸に沿うて容易に上下し得るやうになつてゐる。今軸を廻轉臺に取附け，把手によつて二重環を速かに廻轉するとき，環は點線で示すやうに扁平（へんぺい）となる。これは環の各點は軸を中心として圓運動をなすから，矢印で示すやうに遠心力 F が外側に働き，そのため B が降下し環全體として扁平になるのである。そして廻轉することが速ければ速いほど，その速度 v が大きくなるから，公式 (43) から知られるやうに遠心力 F も大きくなり，一層扁平になる。

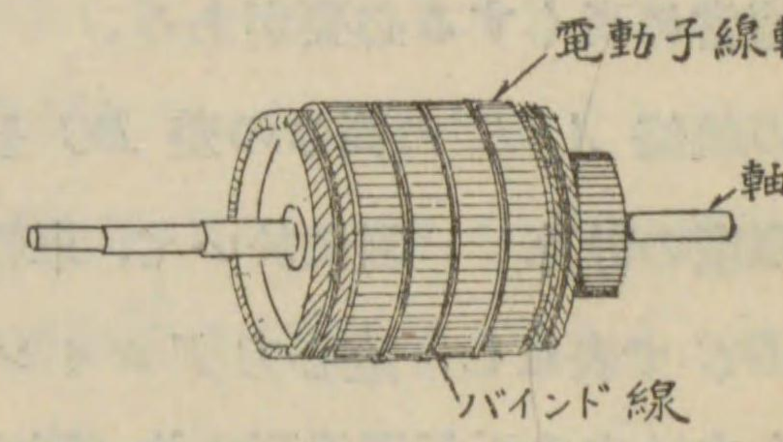
第 133 圖



廻轉臺に取附けた二重環

第 134 圖は電動機の電動子を示す。電動子が速かに廻轉するとき，その電動子線輪（でんどうしせんりん）の各點は，軸の周りに圓運動をなし，強大なる遠心力を生じふくれ出さうとする。それ故之れに働く遠心力よりも強くバインド線で締附（しめつ）けて置く必要がある。また蓄勢輪（ちくせいりん）や水車など一般に廻轉する物體は，或る原因でその廻轉が非常に速くなるときは，

第 134 圖



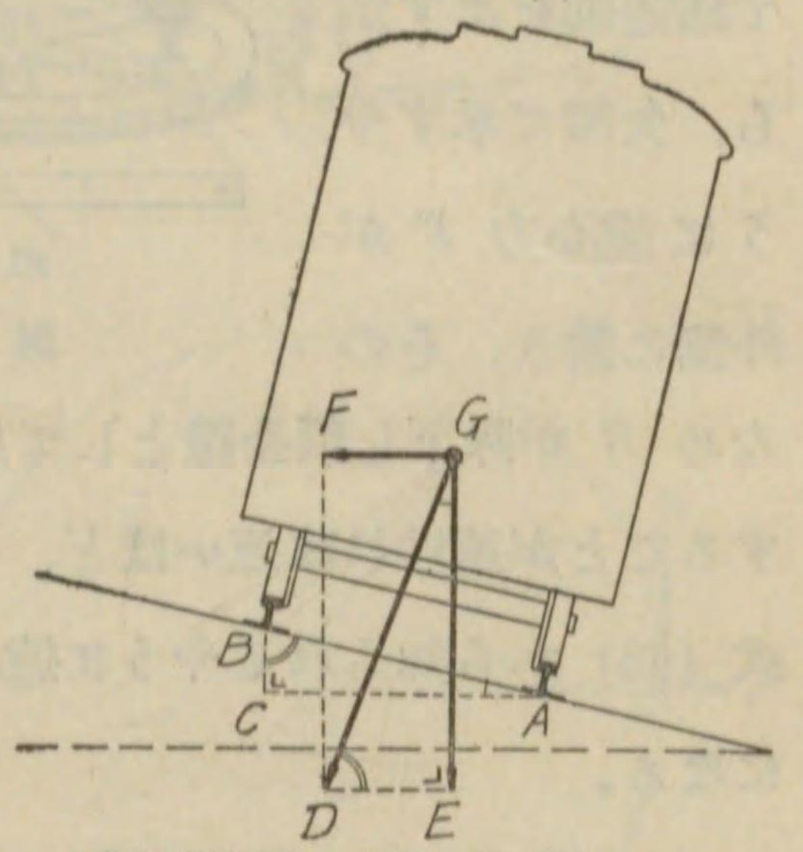
電動子

強大なる遠心力の働に依り破壞を來たす虞がある。

66. 軌條の高度

自轉車に乘つて圓形に走るには，內側へ傾かなければならない。これは自轉車へ乘るものの經驗するところである。汽車や電車が軌道の曲線部を通過するときも同樣で，車輛を內側へ傾けなければ脫線のおそれがある。その曲線の小部分は圓弧と見做されるから之れを通過する車輛は，水平面上に於いて遠心力を生ずる。然るに車輛に働く重力は鉛直であるから，遠心力と重力との合力が軌道面を垂直に壓しつけるやうにすれば，脫線を避けられる（第135圖）。從つて外側の軌條を適當に高くする必要がある。

第 135 圖



曲線部を通る電車に働く遠心力

この軌條 A, B の高さの差 BC を軌條の高度と稱へる。

高度の計算　圖に於いて，車輛の重さ mg ダイン（第148頁）を GE で表はし，遠心力 F ダインを GF で表はせば mg と F との合力は力の平行四邊形の法（第35頁）に依り GD で表はされる。この GD は軌道面 AB に垂直である。然るに三角形 ABC と三角形 GDE とは相似であるから，$\frac{BC}{AC}=\frac{ED}{GE}=\frac{F}{mg}$

實際には $\angle BAC$ は小さいから，AC が AB に等しいと見做し

て差支ない。それ故上式は　$\frac{BC}{AB}=\frac{F}{mg}$

之れに公式 (43) の F の値を代入すれば次のやうになる。

$$\frac{BC}{AB}=\frac{\frac{mv^2}{r}}{mg}=\frac{v^2}{gr}$$

依つて　〔高度〕 $BC=\frac{v^2}{gr}\times AB$ ……………… **(44)**

玆に g は重力の加速度で 980 cm/sec/sec である。又 AB は軌條の幅で，之れを軌間と稱へ，各線路について一定してゐる。我が國有鐵道の軌間は 1 067 mm，東京市內電車の軌間は 1 372 mm である。

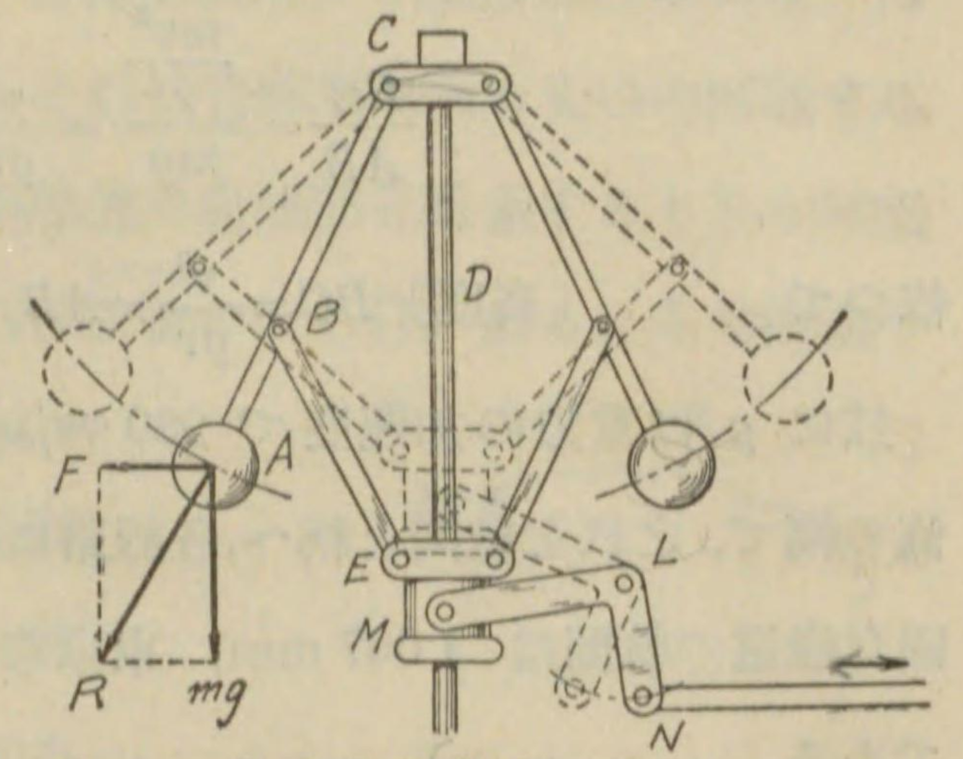
軌道の曲線部の半徑　上に述べたやうに高度 BC は曲線部の圓弧の半徑 r と，車輛の速度 v とに依つて異なる。併し BC を大にし，車輛を大いに傾けるわけにはいかないから，BC にはおのづから制限がある。それで BC を小さくするには公式 (44) から知られるやうに，速度 v を小さくし，半徑 r を大きくする必要がある。汽車にては v を急に減じにくいから r はあまり小さくされない。我が國有鐵道の最小限度は 300 m である。又市街電車軌道にては r が 15 m 以下の曲線を設ける場合もあるから，速度 v を著しく減じ徐行することが必要である。

67. 振子型調速機

蒸汽機關に於いて廻轉を出來るだけ一定に保たうとするには，之れにかかる負荷の變化に應じて，

自働的に蒸汽の通路を或は廣く或は狹く開閉する必要がある。そのため蒸汽の通路に調速機を用ひる（本叢書熱學・火力發電參照）。第 136 圖はその一種なる振子型調速機に作用する遠心力の關係を示したものである。

第 136 圖



振子型調速機に働く遠心力

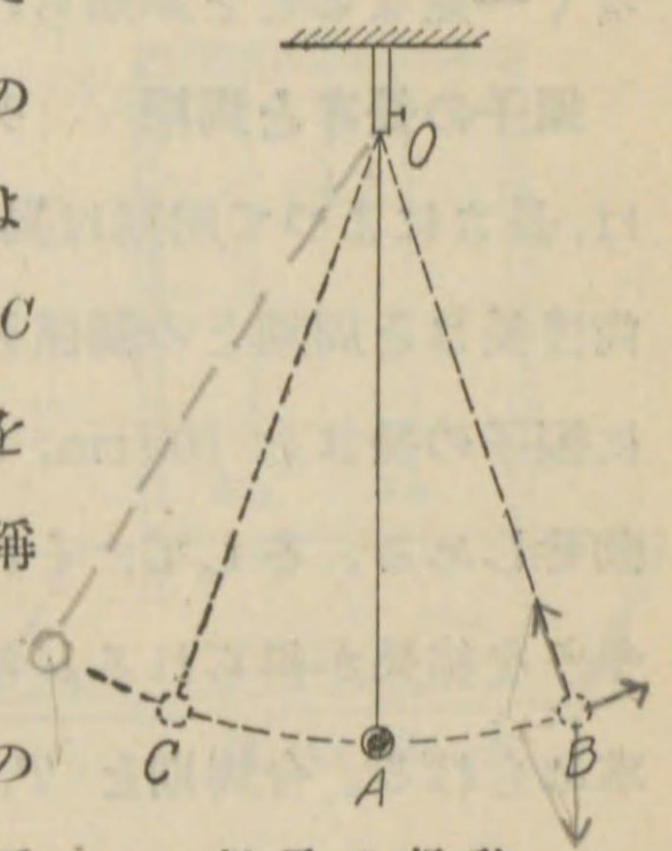
圖に於いて A は重い金屬球で，C を支點とする挺子 CB に連結してゐる。C は D 軸に固定され，E は D 軸に沿うて上下し得るのである。今 D が廻轉するとき金屬球 A は D 軸に垂直な平面内で圓運動をなすから，A には軸 D に垂直の方向に遠心力が働く。今 A に働く遠心力の大さを F, A の重さを mg とすれば，A は F と mg との合力 R の方向に動かうとし，從つて挺子 CB は常に R の方向を取る。

機關のクランク軸の廻轉が速くなれば，適當な連絡によつて A の廻轉の速さ v を增す。從つて公式 (43) により遠心力 F を增す。併し A の重さ mg は變はらぬから，合力 R の方向卽ち挺子 CB が軸となす角を增し，點線で示す位置を取る。從つて L を支點とする曲挺子の他端 N を D 軸に引寄せ，蒸汽の通路を狹め廻轉を遲くする。又クランク軸の廻轉が遲くなれば，之れに反して N を押し，依つて蒸汽の通路を廣めその廻轉を速めるのである。

68. 振子

小さな錘をつるした細い絲の一端を固定するときは，絲は第 137 圖 OA のやうに鉛直に引張られて止まる。今これを B の位置に引上げて放すと，重力の作用により錘は靜止點 A を中心とする圓弧 BAC を，繰返へし運動する。かやうな運動を**振動**といひ，このやうな裝置を**振子**と稱へる。

第 137 圖



振子の振動

絲を吊した O 點から錘の中點までの長さ OA を**振子の長さ**と稱へる。又錘の振動する道卽ち弧 AB, 若しくは AC を**振幅**といひ，弧 BC を一往復するに費す時間を**周期**といふ。さうして單位時間に往復する回數を**振動數**といひ，1 sec に付幾回と呼ぶ。

振子の等時性　振子の實驗は容易であるから，諸君も之れを作り振動せしめるがよい。振子の長さを約 1 m となし，A 點から 10 cm だけ引いて放せば，その振幅は最初 10 cm で，振動する間に次第に減小する。今振幅を約 10 cm となし，30 回往復せしめ，時計にてその時間を精密に測り，60 sec かかつたとすればこの場合，周期は $\frac{60}{30}=2$ sec である。次に振幅を約 5 cm として同樣の實驗をなすときは，周期は等しく 2 sec なることを見るであらう。又異なる錘で長さの精密に等しい振子を作り，同樣の實

驗をなすときは，やはり周期が 2 sec なるを見るであらう。これらの實驗に依つて，振子の周期は錘の種類及び振幅の大小に關係なく一定なることが知られる。これを振子の等時性と稱へる。

振子の長さと周期 次に振子の長さを變へて錘を振らすときは，長さによつて周期は異なる。長さの短いときの周期は小さい。尙ほ長さと周期との關係を精密に知るため，第 17 表に示すやうに振子の長さを 100 cm, 81 cm,……となして，各 50 回づつ振動せしめる。そして，それぞれ振動時間を測るときは，表に示すやうな結果が得られる。各の周期は振動の時間を振動數で割れば求められる。今周期を T, 振子の長さを l で表はせば，實驗の結果は T が $\sqrt{l}$ に比例することを示すのである。

第 17 表　振子の長さと周期との關係

振子の長さ l	振動回數	振動時間	周期 T	長さの平方根 $\sqrt{l}$
100 cm	50	100 sec	2.0 sec	10
81	50	90	1.8	9
64	50	80	1.6	8
49	50	70	1.4	7
36	50	60	1.2	6
25	50	50	1.0	5

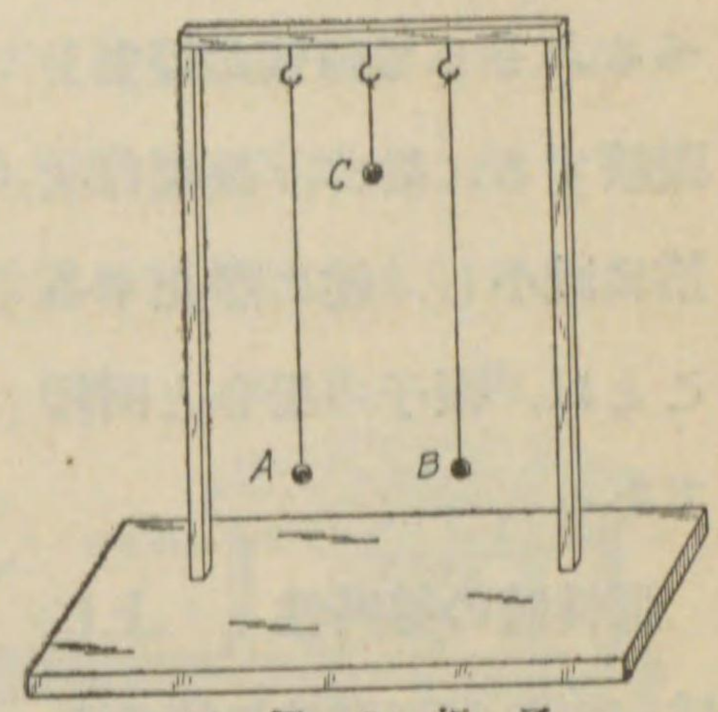
振子の周期はその長さのほか，重力の加速度 g にも關係するもので振幅の小なる間は，周期 T は次の式で表はすことができる。

$$T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} \qquad \text{(45)}$$

茲に π は圓周率である。

柱時計の振子，電車の吊り革等の振動は，上に述べた振子のやうに細長い絲で吊したものではないが，その振動の等時性なることは，上の振子と同樣である。

第 138 圖



三個の振子

例題 25. 第 138 圖に示すやうに，(i) 長さの等しい二つの振子 A, B を同時に振動するとき，(ii) 長さが A の $\frac{1}{4}$ なる C と A とを同時に振動するとき，各について振動の有樣を述べよ。

解 (i) A と B とは長さ等しいから其の周期も相等しい。それ故幾回振動しても，兩者が常に一所に行はれ，振幅が次第に減じてもそれには關係はない。

(ii) C の長さは A の $\frac{1}{4}$ であるが，周期は長さの平方根に比例するから，C の周期は A の $\sqrt{\frac{1}{4}}=\frac{1}{2}$ である。それ故 A の 1 回に付 C は 2 回の割合で振動を繼續する。

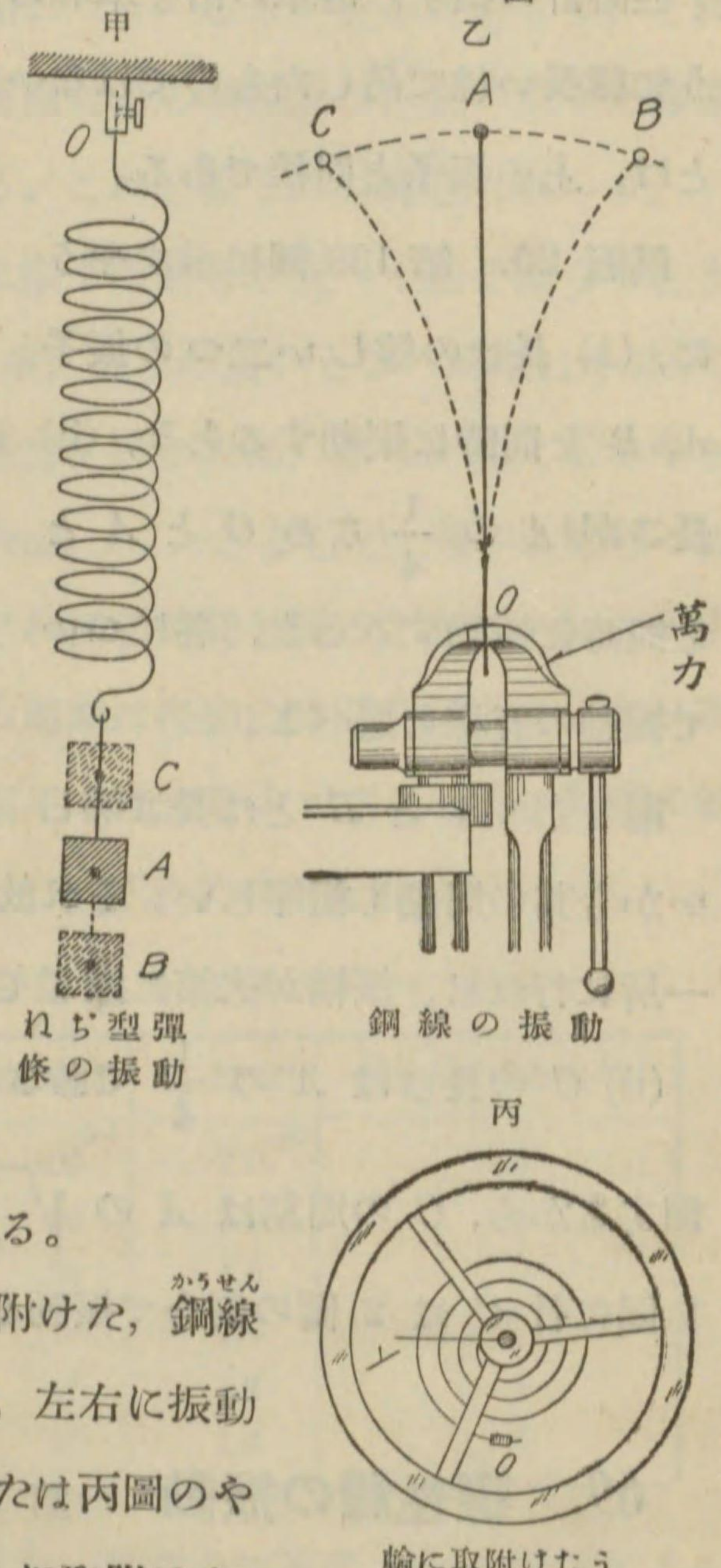
69. 彈性體の振動

第 139 圖甲のやうにねぢ型彈條の一端 O を支へ，他端に錘をつるとき，彈條はいくらか延びて A の位置で釣合ふ。次にこれを B まで延ばして放すときは，彈條の彈力によつて錘は A を中心として上下に繰返へし運動をなす。卽ち彈條並に錘は鉛直に振動するのである。

この場合 AB 或は AC を**振幅**といひ，錘の一往復するに要する時間を**周期**と稱へる。そして彈條が振動を繼續するに從ひ，振幅は次第に減小し，遂に靜止することは，振子の場合と同様である。

彈性體の等時性　上に述べたねぢ型彈條に適當な錘をかけ，これを振動せしめ，振子の場合と同様に，その周期を精密に測つて見ると，振幅の大小に拘はらず周期が一定なことが知られる。

第 139 圖



ねぢ型彈條の振動　鋼線の振動　輪に取附けたうづまき型彈條

又乙圖のやうに一端に錘を附けた，鋼線の他端 O を萬力で固定して，左右に振動せしめ，その周期を測る。または丙圖のやうな，一端を小さな輪の軸 Y に取附けた，うづまき型彈條の他端 O を固定し，之れを僅か廻はして放せば，或は捲かれ或は解けて振動を繼續する。そして其の周期を測れば，周期は振幅の大小に拘はらず一定なることが知られる。卽ち彈性

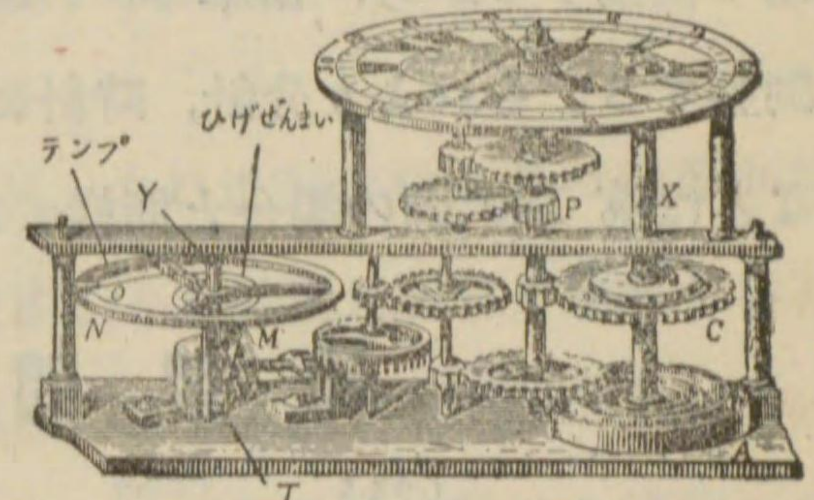
體の振動も等時性である。尤も彈性や錘などが變はると周期も異なるものである。

70. 時計

時計はいふまでもなく時間を測るに用ひるもので，其の原理は振子或はうづまき型彈條の等時性，卽ちその一振動に要する時間が正確に一定な性質を利用したものである。

懷中時計，腕時計，小型の置時計などの主要部は第 140 圖に示すやうになつてゐる。圖中 N はテンプといひ，その小さなうづまき型彈條を俗に鬚ぜんまいと稱へる。

第 140 圖



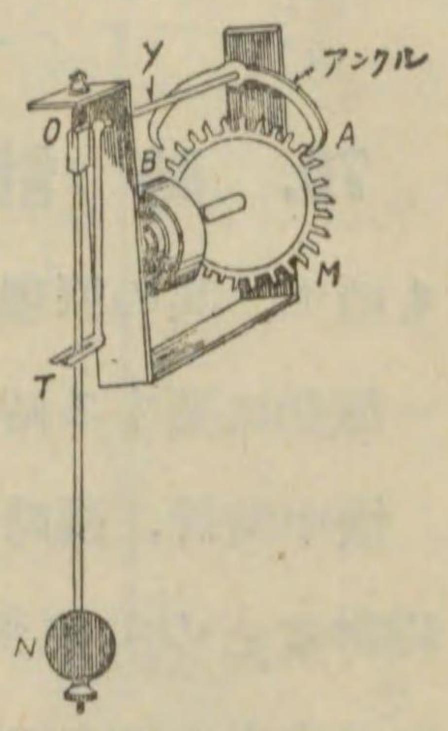
時計の內部

先づ軸 X によつて之れに取附けた帶狀の，うづまき型彈條 A が捲かれてゐると，齒車 C を廻轉しようとする力を生じ，この力は順次に多くの齒車に傳はり遂に M に達し，N なるテンプを押してその振動を繼續せしむる。N は等時性を有し一定の周期で振動し縱軸 Y から T（シリンダー或はアンクル）を經て齒車 M の運動を調整する。從つてそ　調整されたる廻轉を齒車 P を經て分針に傳へる。この運動は更らに齒車に傳つて時針を動かす。

柱時計はテンプの代りに振子を用ひる。第 141 圖は齒車 M と振子との連絡だけを示したのである。帶狀の，うづまき型彈條が捲かれてゐるときは，結局，齒車 M を廻はさうとし（途中の多

くの歯車は第 140 圖と同樣)，之れとかみ合ふアンクル AB を押して，振子の振動を繼續せしむる。今振子 N を左方に振るとき，T を經て Y 軸を廻はす。從つてアンクルの A 端は歯車 M の歯を抑さへ，N を右方に振るとき B 端が歯を抑さへ M の廻轉を抑制する。そして N は一定の周期で振動するから，歯車 M の廻轉を一樣に調整する。それより分針，時針に傳へる關係などは第 140 圖の場合と同樣である。

第 141 圖



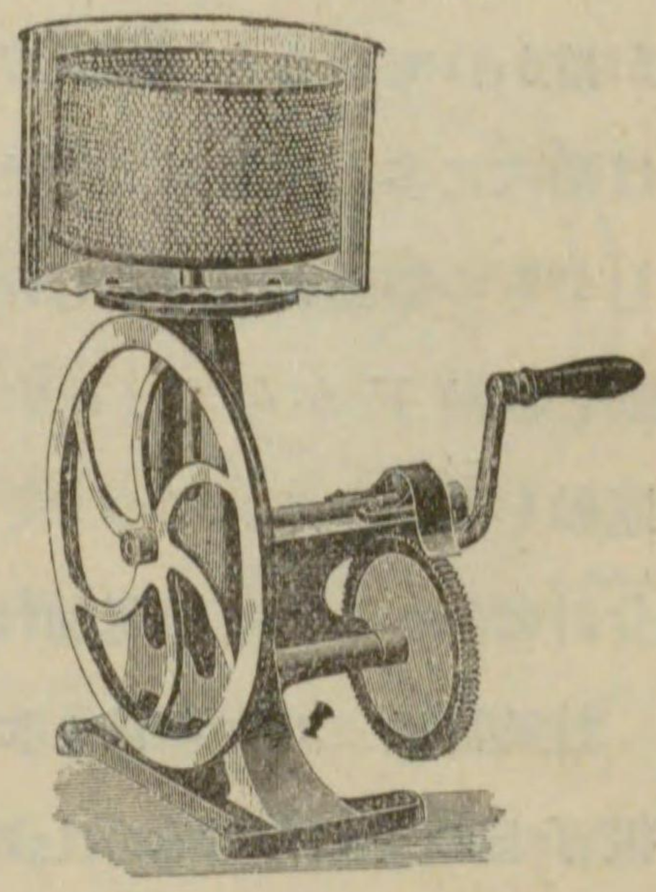
振子時計の一部

練習問題 IX

1. 自動車の疾走するとき車輪に附着せる泥の飛び散るは何故なるか。

2. 第 142 圖は遠心乾燥器の斷面を示す。これは内外二重の器が底で一所になつて居り，内部の器には數多の小孔がある。之れを用ひて洗濯物などの水分を除去するといふ。その作用を説明せよ。

第 142 圖



遠心乾燥器

3. 質量 98 g の錘を輪に取附け，之れを 1 秒間 7 回の速さで廻轉するとき，錘に生ずる遠心力何程なるか。但し輪の中心から錘まで 50 cm あるといふ。

答 9 680 g

4. 電車が軌道の曲線部を通る時徐行しなければならないのは何故なるか。(第 163 頁參照)

5. 周期とは何か。

6. 振子の等時性とは如何なる性質なるか。(第 166 頁參照)

7. 常に後れる柱時計は如何にすれば直されるか。

【解答】

1. 車輪の廻轉が速くなるほど，之れに附着せる泥の速度が増し，從つて泥に働く遠心力も増す。それ故泥はもはや附着し得られなくなり，その點に於ける速度の方向（第 132 圖乙に於ける v の方向參照）に飛び去るのである。輪周の各點に於ける速度 v の方向はそれぞれ圓に切線であるから，泥は輪周の多くの點から飛び散るのである。

2. 下部の把手を廻はすとき，乾燥器は鉛直軸の周りに速かに廻轉する。從つて洗濯物などの水分は，大なる速度で圓運動をなし之れに働く遠心力のため，もはや附着し得られなくなり，小孔より飛び出で，外部の器に溜まる。

3. 公式 (43) $F=\frac{mv^2}{r}$ ダイン に於いて，〔質量〕$m=98$ g，〔半徑〕$r=50$ cm，又〔速さ〕v は 1 sec 間に圓周 $2\pi r$ の 7 倍であるから

$$2\pi r\times7=2\times3.14\times50\times7=2\,200\ \mathrm{cm/sec}$$

故に　〔遠心力〕$F=\dfrac{98\times 2\,200^2}{50}=9\,486\,400$ ダイン

1 g の力は 980 ダイン であるから　$=\dfrac{9\,486\,400}{980}=9\,680$ g

5. 周期とは振動する物體が一振動（即ち一往復）するに要する時間を云ふ。

7. 常に後れる柱時計は，その振子の周期が大き過ぎる。卽ち振子は長が過ぎるから，下にある止めねぢを，少し上げるやうにねぢればよい。

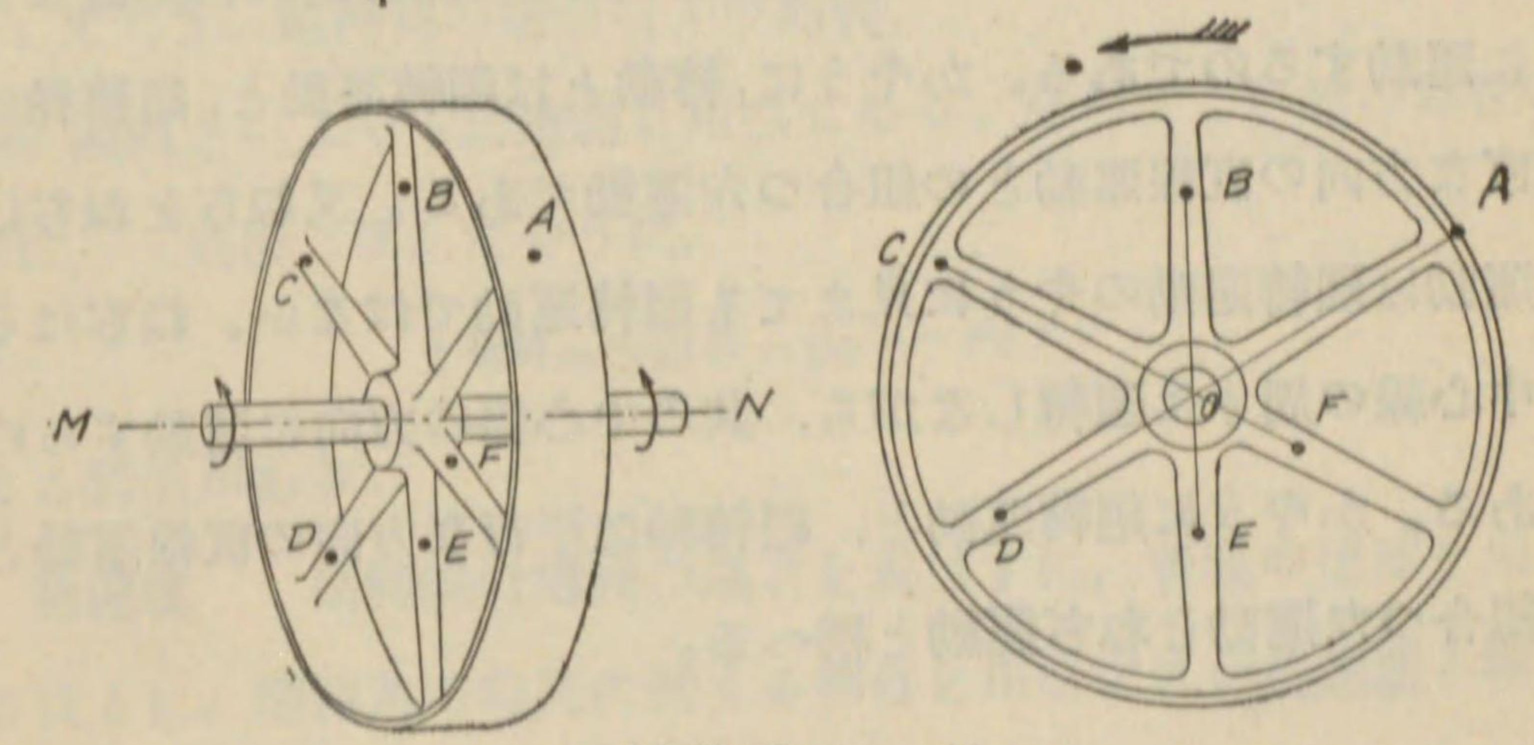
第十章　廻轉運動

71. 廻轉體　物體の廻轉についてこれまで屢ば述べたが本章にては之れに關してまとまつた說明をしよう。滑車や挽臼などは軸の周りに廻轉し，また電動機の電動子や水車などは，軸と共に廻轉するから，かういふ物體を總稱して**廻轉體**といふ。

廻轉軸　第143圖は廻轉體の一例を示す。廻轉體の廻轉する

第　143　圖

甲　乙



廻轉體の一例

運動卽ち廻轉運動に於いては，廻轉體の各點 $A, B, C, \ldots\ldots$ は一定直線 MN の周りに，それぞれ一定の半徑 $OA, OB, OC\ldots\ldots$ で圓運動をなしてゐる。この一定直線を**廻轉軸**と稱へる。廻轉體の廻轉中でも廻轉軸上の點は少しも運動してゐない。例へば電動子の軸は相當の太さがあるから全體としては廻轉してゐるが，その軸の中心線は少しも運動しない。この中心線は廻轉軸なのであ

る。卽ち廻轉軸といふのは，廻轉體の運動しない二つの定點を結ぶ數學上の直線である。

廻轉の方向　廻轉體の廻轉の方向が右廻りであるか，左廻りであるかは，軸を見る方向卽ち正面から見ると裏面から見るとで違ふ。甲圖に於いて M の方から見れば左廻り卽ち反時計式方向であるが，N の方から見れば右廻り卽ち時計式方向である。

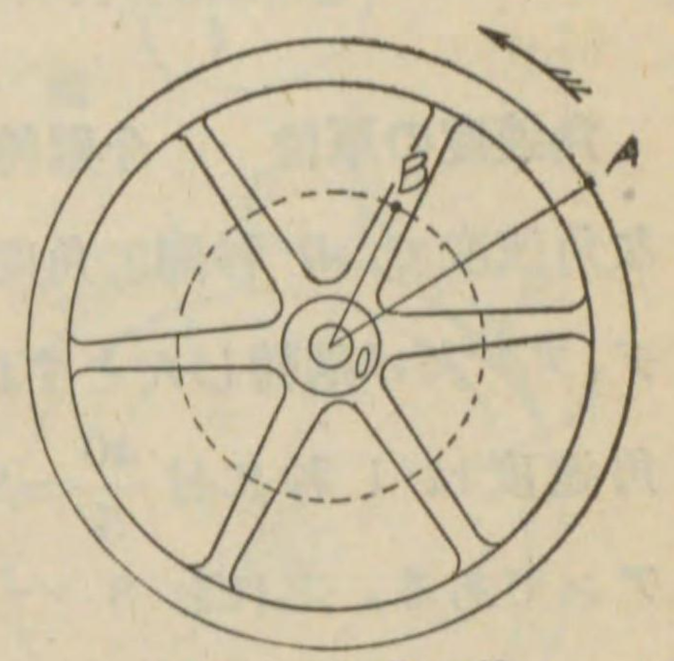
注意　車輛の進行するときの車輪の運動は，第 76 頁で述べたやうに，廻轉運動でなくて**轉動**である。車輪は車軸の中心線卽ち廻轉軸の周りに廻轉しながら，廻轉軸自身は始終之れに垂直な方向に運動するのである。かやうに，轉動とは廻轉運動と，廻轉軸に垂直な方向の直線運動との組合つた運動である。又ねぢをねぢ込む運動は廻轉運動のやうに見えても廻轉運動ではない。ねぢはその中心線の周りに廻轉しながら，其の中心線の方向に運動するのである。かやうに廻轉運動と，廻轉軸に平行な方向の直線運動との組合つた運動を**ねぢ運動**と稱へる。

72.　角運動

廻轉體が廻轉するとき，その各點は廻轉軸の周りにそれぞれ一定の半徑で圓運動をなす。第 144 圖は廻轉體の横斷面を示すもので，廻轉軸は一點 O にて表はされる。横斷面内の任意の一點 A が OA を半徑とする圓周だけ動く間に，他の點 B は BO を半徑とする圓周だけ動くから，同じ時間中に動く距離は異なる。併しながら，OA の廻轉する角度も OB の廻

轉する角度も相等しく，1 廻轉である。他の何れの點についても同樣である。依つて廻轉體の**廻轉角**は，任意の一點 A につき，半徑 OA 廻轉する角度で表はされる。

第 144 圖



各點の廻轉角が等しいことを示す

角の單位　廻轉角を表はすに 10 度，20 度 といふやうに**度**を用ひることもあるが，廻轉運動の理論には**レーディアン** (radian) を用ひると都合がよい。又大きい廻轉角の場合は 100 廻轉，200 廻轉といふやうに**廻轉**を用ひてゐる。そしてこれ等の單位の間に，三角法で學んだやうに，

$$1^{\text{廻轉}} = 360^{\text{度}} = 2\pi^{\text{レーディアン}}$$

なる關係がある。

角速度　廻轉體の廻轉の速さを表はすに，普通の速度を用ひる代りに，廻轉角の時間に對する割合を用ひ之れを**角速度**と稱へる。卽ち

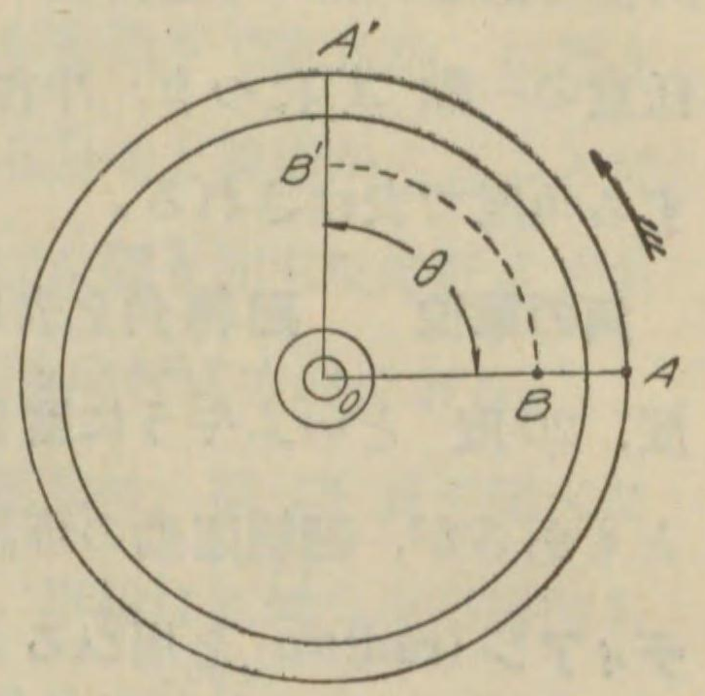
$$〔\text{角速度}〕=\frac{〔\text{廻轉角}〕}{〔\text{時間}〕}$$

第 145 圖に於いて任意の一點 A が一樣な速さで，t 時間に A' に至つたとすれば，その廻轉角は AOA' で之れを θ で表はす。A 點の速さが一樣であるから，從つて廻轉角の時間に對する割合も一樣である。卽ちその角速度は不變である。この不變な角速度

を ω で表はせば，次の關係があるのは明かである。

$$\omega=\frac{\theta}{t}\cdots\cdots(46)$$

第 145 圖



廻轉角

角速度の單位　今廻轉體が不變な角速度で，5 秒間に角度 40 レーディアンだけ廻轉したとすれば，その角速度は 1 秒に付 $\frac{40}{5}=8$ レーディアンである。之れを 8 レーディアン/秒と記し，8 レーディアン毎秒と讀む。かやうに角速度の單位は，角度の單位と時間の單位とを組合せて用ひる。通常用ひる角速度の單位を擧げれば，

レーディアン毎秒（記號 レーディアン/秒）
廻轉毎秒　　　（記號　廻轉/秒）
廻轉毎分　　　（記號 廻轉/分，*R. P. M.*）

廻轉毎分は英語で Revolution Per Minute といふから，その頭字だけ取り略字として *R. P. M.* を用ひることが屢ばある。

例題 25. 或る發電機が 720 *R. P. M.* の角速度で廻轉してゐるといふ。その角速度は幾 レーディアン/秒 なるか。

解　1 廻轉 $=2\pi$ レーディアン であるから，720 *R. P. M.* 即ち

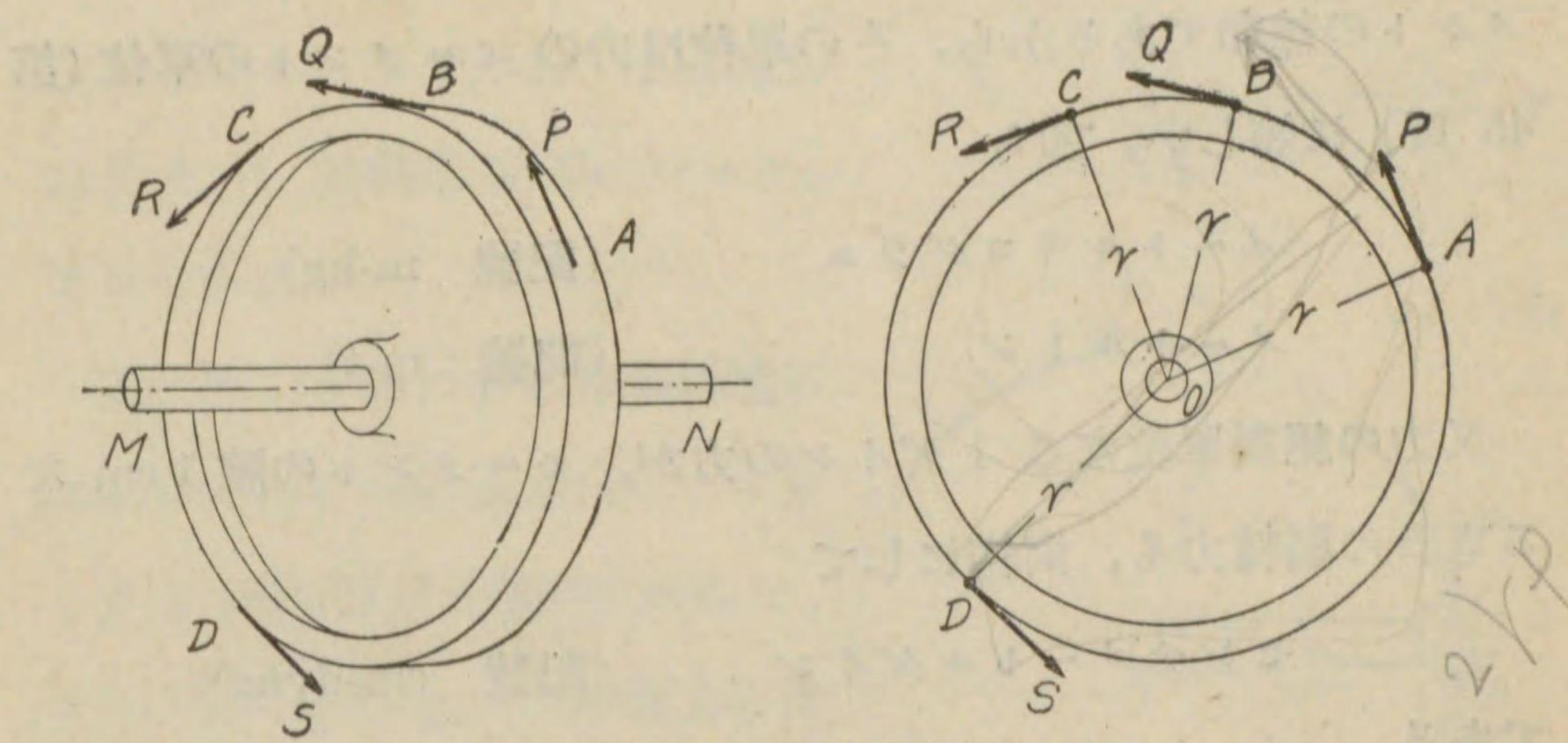
720 廻轉/分 $=2\pi\times720$ レーディアン/分 $=\frac{2\pi\times720}{60}$ レーディアン/秒

$=24\pi=75.36$ レーディアン/秒　**答** 75.4 レーディアン/秒（約）

73. 廻轉力

第 146 圖は廻轉體に働く多くの力を示

第 146 圖



廻轉體に働く廻轉力

す。圖に於いて $P, Q, R, \ldots\ldots$ の諸力が，半徑 r なる輪周に常に切線の方向に働く有樣を示す。力 $P, Q, R, \ldots\ldots$ はそれぞれ OA, $OB, OC, \ldots\ldots$ に垂直であるから，廻轉軸 O に對する諸力のモーメントは，第 43 頁で述べたやうにそれぞれ $P\times r, Q\times r, R\times r, \ldots\ldots$ である。

一般の廻轉體について，その廻轉は，廻轉軸 MN に垂直な平面内にある，上述のやうな諸力のモーメントに依るのである。それ故廻轉體に作用する多くの力のモーメントの總和を，その廻轉軸に對する**廻轉力**或は**トルク**と稱へる。即ち廻轉力を τ で表はせば，

$$〔廻轉力〕\ \tau=(Pr+Qr+Rr+\ldots\ldots)\ \cdots\cdots(47)$$

但し廻轉の方向が左廻りのモーメントを正とし，右廻りのモーメントを負として計算する。

廻轉力の單位　廻轉力とは廻轉軸に對する，多くの力のモーメントの總和であるから，その單位は力のモーメントの單位（第45頁）に等しい。卽ち

メートルキログラム	（記號　m-kg）
メートルトン	（記號　m-t）

又力の絕對單位なる1ダインの力が，モーメントの腕1cmなるときの廻轉力も，同樣にして

センチメートルダイン	（記號　cm-dyne）

である。

74. 廻轉力のなす仕事

廻轉體に一定の廻轉力を作用しながら，その廻轉軸の周りに廻轉するとき，なす仕事の量を求めよう。さて仕事とは第8頁公式(2)に示したやうに，

〔力の大さ〕×〔力の方向への移動距離〕

である。

今第147圖に示すやうに把手の廻轉軸 O から r m の距離にある點 A に，P kg の力を OA に直角に加へ，力の方向が絕えず把手と直角なるやうに1廻轉すれば，力はその畫く圓に切線の方向にあるから，結局，力の方向への移動距離は圓周卽ち $2\pi r$ m である。それ故

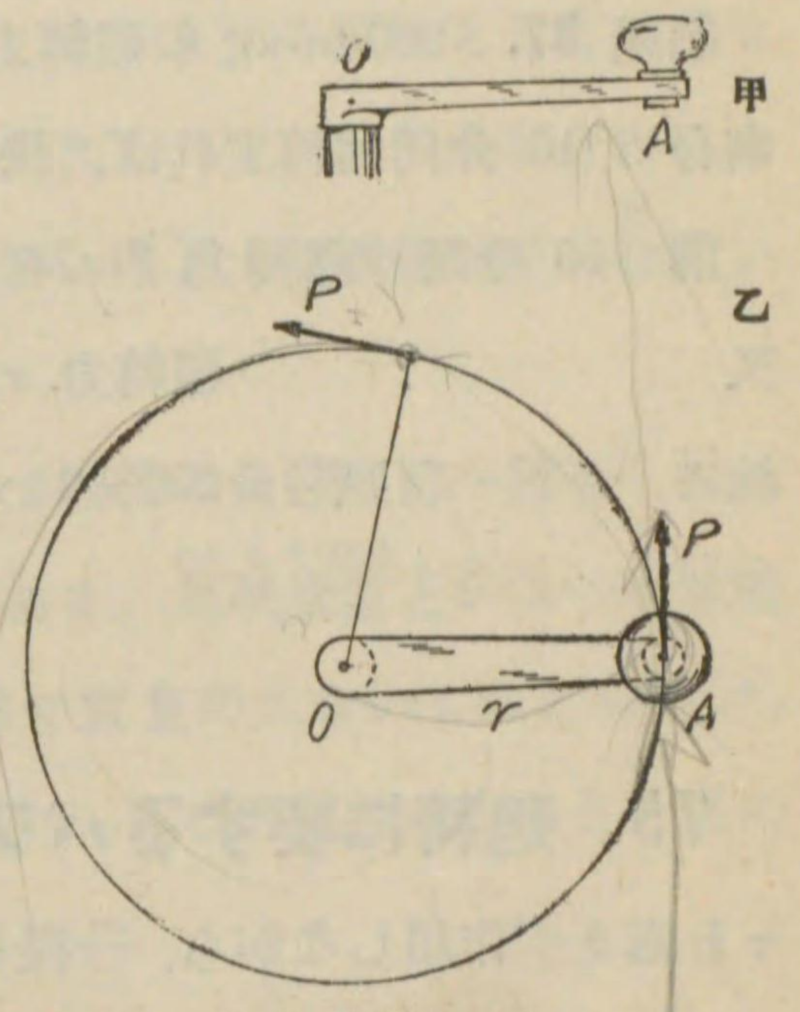
$$〔P のなす仕事〕=P\times 2\pi r$$

或は

$$=P\times r\times 2\pi$$

茲に $P\times r$ m-kg は O に對する力 P のモーメントで，2π は廻轉した角で，1廻轉卽ち 2π レーディアンである。

第147圖



把手の廻轉を示す

次に第146圖に示した廻轉體に於いて，多くの點 $A, B, C, \ldots.$ にそれぞれ輪周に切線の方向に，P kg, Q kg, R kg, $\ldots.$ の諸力を作用し，一樣な速度で1廻轉すれば，各の力のなす仕事は上と同樣に，$P\times r\times 2\pi$，$Q\times r\times 2\pi$，$R\times r\times 2\pi$，$\ldots.$ である。この關係は他の一般の廻轉體についても成立つから，これ等諸力のなす全體の仕事は

$$Pr\times 2\pi+Qr\times 2\pi+Rr\times 2\pi+\ldots.$$
$$=(Pr+Qr+Rr+\ldots.)\,2\pi$$

上式に於いて括弧內は公式(47)に示すやうに廻轉力（單位 m-kg）で，2π レーディアンは廻轉角であるから，仕事（單位 kg-m）は次の如く表はされる。

〔廻轉力のなす仕事〕=〔廻轉力〕×〔廻轉角〕

廻轉角は 2π レーディアンに限らず，レーディアン單位で表はし

た角ならば，上の關係は成立つ。今廻轉角を θ レーディアンとし，廻轉力を τ で表はせば，次のやうに示される。

$$〔廻轉力のなす仕事〕=\tau\theta \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (48)$$

例題 27. 200 m-kg の廻轉力を有する電動機が，350 廻轉/分 の割合で 10 分間廻轉すれば，幾何の仕事をなすか。

解 10 分間の廻轉角 $\theta=350\times10$ 廻轉 $=2\pi\times350\times10$ レーディアン

又　　廻轉力 $\tau=200$ m-kg,

故に　〔仕事〕$=200\times2\pi\times350\times10=4\ 396\ 000$

答 4 400 000 kg-m (約)

75 廻轉に要するパワー

廻轉體に一定の廻轉力 τ を絶えず作用しながら，一様な角速度で t 秒間に，θ レーディアンだけ廻轉するとき，之れに必要なパワーは次のやうにして求められる。

まづ廻轉力のなす仕事は前節で述べたやうに $\tau\times\theta$ である。そして第 9 頁公式 (3) は一般に成立つ關係であるから，

$$〔パワー〕=\frac{〔仕事〕}{〔時間〕}=\frac{\tau\times\theta}{t}=\tau\times\frac{\theta}{t}$$

然るに公式 (46) で示したやうに，$\dfrac{\theta}{t}$ はその廻轉體の角速度 ω であるから，

$$〔廻轉に必要なパワー〕=\tau\omega \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (49)$$
$$=〔廻轉力〕\times〔角速度〕$$

76. 廻轉體の慣性

一旦廻はした獨樂は廻轉を繼續してなかなか倒れない。かやうに廻轉體はその軸の方向を一定に保たうとする性質と，廻轉を繼續しようとする慣性とを有するものである。そして廻轉體の質量が大きく，且つその大部分が軸より遠ざかるほど，また角速度の大きいほど，廻轉體は止め難くいものである。

蓄勢輪（第 84 節參照）を用ひて廻轉の角速度を一様ならしめるのは上の性質を利用したものである。單軌鐵道といふ一本軌道を進行し得る車輛は，獨樂の一種で質量の大きいものを取附け，之れを非常に大なる角速度で廻轉し，その廻轉軸の方向を一定に保たせるやうになしたものである。

練習問題 X

1. 廻轉體とは如何なるものをいふか。
2. 車輪の廻轉するとき，輪周の速さと角速度とを説明せよ。
3. 偶力は一種の廻轉力なることを述べよ。
4. 560 廻轉/分 の角速度を有する電動機が，1 分間に 44 000 kg-m の仕事をなしたとすれば，その軸に對する廻轉力幾何なるか。

答 12.5 m-kg

〔解答〕

1. 廻轉軸と稱へる一定直線の周りに，廻轉し得る物體は總べ

て廻轉體といふ。

2. 單位時間に，輪周の一點の廻はつた距離は，その輪周の速さ（之れを輪周速度ともいふ）である。その點から軸に至る長さ卽ち輪周の半徑が單位時間に廻はる角度は，車輪の角速度である。

3. 偶力は第 47 頁で述べたやうに，大さ等しく方向反對な一組の力である。これが廻轉體に働くときは，各の力は廻轉軸に對してモーメントを有するから，二力から成る廻轉力である。

4. 1 分間の廻轉角 $\theta=2\pi\times560$ レーディアン，廻轉力を τ m-kg とすれば，公式 (48) に依り

$$44\,000=\tau\times2\pi\times560$$

故に

$$\tau=\frac{44\,000}{2\times3.14\times560}=12.5\ \text{m-kg}$$

エネルギー

第十一章　仕事及び勢力

77. 仕事の單位　仕事に關して第 4 節で述べたことをまとめると，力が物體に作用して之れを力の方向に移動するとき，力は仕事をなしたといふ。その仕事の量 W は，力の大さ F と力の方向への移動距離 s との相乘積で測る。卽ち

$$W=Fs \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \quad (2')$$

從つて仕事の單位は，力の單位と，距離卽ち長さの單位との組立で表はされる。然るに力には絕對單位と重力單位との二系統あるから，仕事の單位にもこの兩系統がある。

仕事の絕對單位　力の絕對單位は第 147 頁で述べたやうにダインであつた。その 1 ダインの力で，力の方向に 1 cm だけ物體を移動する仕事を 1 **エルグ** (erg) といふ。1 エルグは甚だ小さい單位で，その一千萬倍卽ち 10^7 エルグを 1 **ジュール*** と稱へる。

仕事の重力單位　1 g の力で，その力の方向に 1 cm だけ物體を移動する仕事を 1 **グラムセンチメートル**といひ，記號 g-cm を用ひる。又屢ば用ひて來たキログラムメートル（記號 kg-m）は，1 kg の力で，その力の方向に 1 m だけ物體を移動する仕事で

註　玆に述べたジュールも電氣磁氣・測定第八章で述べたジュールも同じである。電流のなす仕事の場合は，力と距離とで定めないで，1 アムペアの電流が 1 オームの電氣抵抗を有する導體を通るとき，1 秒間になす仕事を 1 ジュールと定める。

ある。

兩系統の關係 第 151 頁で述べたやうに，1 g の力は 980 ダインであるから，g-cm とエルグとの關係は次のやうになる。

今 1 g の力で，1 cm 移動する仕事は 1 g-cm で，

又 1 g の力卽ち 980 ダインの力で，1 cm 移動する仕事は 980 エルグであるから

$$1^{\text{g-cm}} = 980^{\text{エルグ}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \textbf{(50)}$$

次に kg-m とジュールとの關係を求めよう。

$$1^{\text{kg-m}} = 1000^{\text{g}} \times 100^{\text{cm}} = 100\,000^{\text{g-cm}}$$

(50) 式に依り $= 980 \times 100\,000^{\text{エルグ}}$

卽ち $= 9.8 \times 10^{7\,\text{エルグ}}$

$10^{7\,\text{エルグ}} = 1^{\text{ジュール}}$ であるから

$$1^{\text{kg-m}} = 9.8^{\text{ジュール}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \textbf{(51)}$$

第 8 頁に於いて，1 ジュールは $\dfrac{1}{9.8}$ kg-m に相當すると述べたる關係は，(51) 式に依つて明かになつたのである。

以上述べた仕事の單位並に單位相互の關係をまとめると，第 18 表に掲げる通りである。

第 18 表　仕事の單位

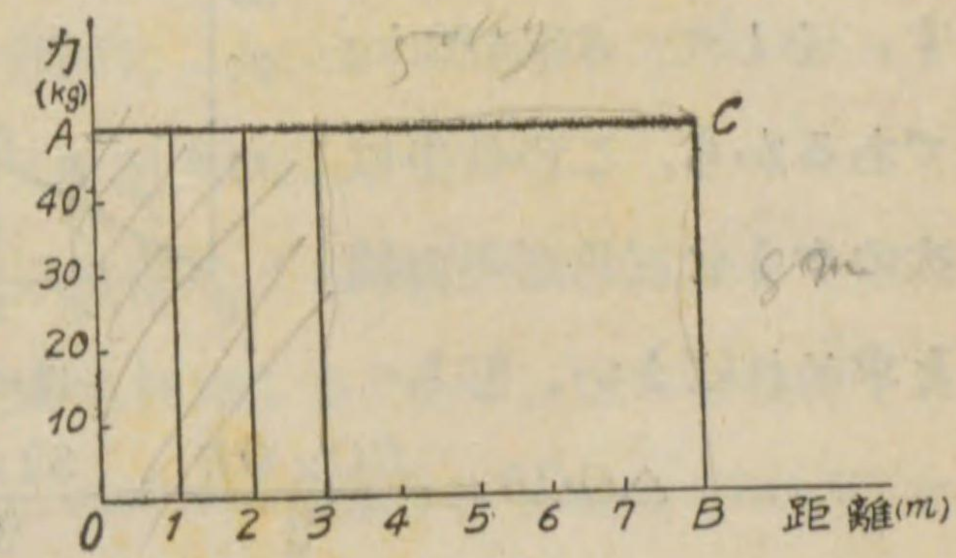
系統	名稱	記號	相互の關係
絶對單位	エルグ ジュール	— —	 10^7 エルグ
重力單位	グラムセンチメートル キログラムメートル	g-cm kg-m	980 エルグ 9.8×10^7 エルグ (9.8 ジュール)

力に逆つてなす仕事 力の方向に物體を移動するとき，力は仕事をなしたと述べたが，物體から見れば物體は仕事をなされたのである。若し物體が之れに働く力に逆つて移動するときは，物體はその力に逆つて仕事をなしたといふ。例へば電動機を廻轉するとき，電動機は軸と軸承との間の摩擦力に逆つて仕事をなすのである。このやうな仕事を特に**摩擦損失仕事**(まさつそんしつしごと)といふ。又電車や汽車はその進行中，車輪の輪周と軌條との間や車輪の軸の周りに生ずる摩擦力，及び空氣の抵抗力などを受ける。これらの抵抗を總稱して**列車抵抗**(れつしやていかう)といふ。電車や汽車はこの列車抵抗といふ力に逆つて仕事をなすのである。

78. 仕事の圖示法

仕事の量 W は，力の大さ F と力の方向への移動距離 s との相乘積で測るから，力 F を表はす直線と距離 s を表はす直線との包む面積で仕事の量を示すことができる。例へば 50 kg の一定な力が物體に作用して，8 m だけ移動した仕事は第 148 圖のやうに示される。卽ち横軸に距離を取り $8^{\text{m}} = OB$ とし，縦軸に力を取り $50\,\text{kg} = OA$ とする。そして距離は增しても力は常に OA に等しいから，仕事

第 148 圖

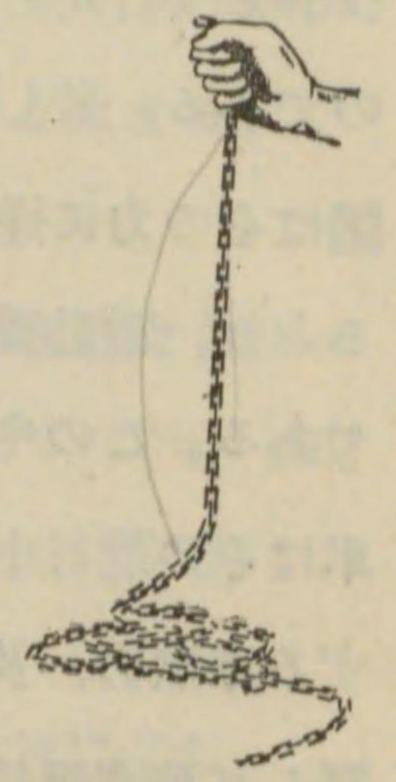


一定な力のなす仕事の圖示

は $OA \times OB$ 卽ち矩形 $OACB$ なる面積で表はされる。

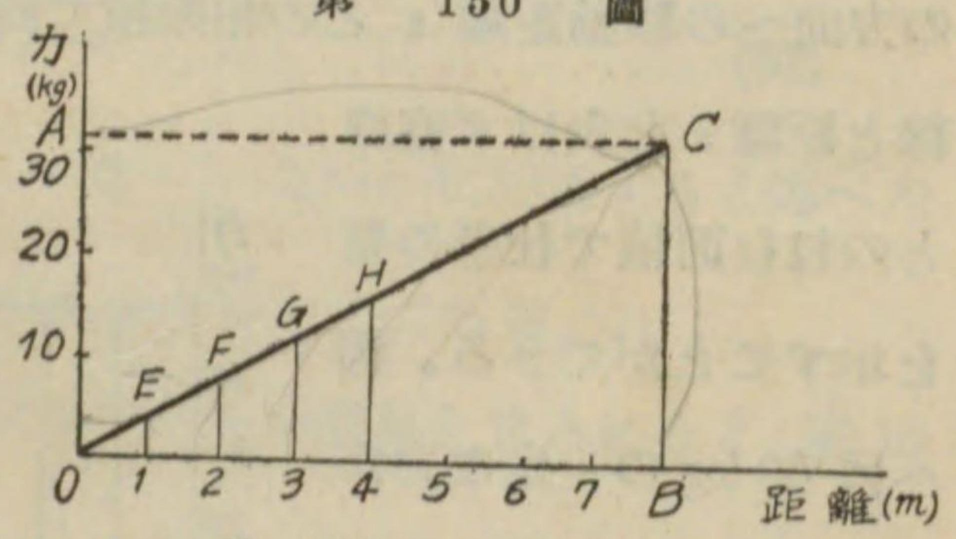
次に力の大さが變はる場合にも，同樣に仕事を圖示することができる。例へば彈條を引延ばすときの如く，或は地上にある鎖(くさり)を一端から引上げるとき（第 149 圖）の如く，力が次第に增すときの仕事は第 150 圖のやうに示される。今長さ 1 m に付 4 kg の重さの鎖を，その一端から徐々に 8 m だけ引上げる仕事を圖示しよう。まづ横軸に距離 $8\,\mathrm{m}=OB$ と取ること前例と同樣である。力は最初零で，順に 1 m 引上げる每に 4 kg づつ增し，遂に $4\times 8=32$ kg に達するから，1 m 引上げる每に，力は $1E$, $2F$, $3G$.... BC となる。それ故直線 $OEFG....C$ と OB とのなす三角形 OCB の面積は，この場合の仕事の量を示す。そして $BC=32$ kg であるから，この仕事は次のやうに三角形の面積を求めればよい。卽ち

第 149 圖



鎖を引上げるに從ひ力の增すことを示す

第 150 圖



一樣に增す力のなす仕事の圖示

$$\triangle OCB=\frac{BC\times OB}{2}=\frac{32\times 8}{2}=128\ \mathrm{kg\text{-}m}$$

79. パワーの單位

機械が單位時間になす仕事の量を以つて，その機械のパワーと稱へる。これ既に第 5 節で述べた

るところである。卽ち t 時間中に W だけの仕事をなす機械のパワーを P とすれば，

$$P=\frac{W}{t} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (3')$$

この式を變形すれば

$$W=Pt \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (52)$$

卽ち物體のなす仕事はそのパワーと時間との相乘積で表はされる。

仕事には絕對單位と重力單位との二系統ある。從つてパワーにもこの兩系統があるから，第 5 節で述べたものをこの兩系統に分類して再記しよう。

パワーの絕對單位　仕事の絕對單位にはエルグとジュールとがあつた。エルグはあまり小さ過ぎて實用に適しない。依つて 1 秒間に 1 ジュールの仕事をなすパワー卽ち 1 ジュール/秒 を 1 **ワット**（記號 W）といひ，1 000 ワットを 1 **キロワット**（記號 kW）といふ。

パワーの重力單位　1 秒間に 1 kg-m の仕事をなすパワーを 1 **キログラムメートル每秒**（記號 kg-m/sec）といふ。

馬力（記號 H. P.）は元來英國で 1 分間に 33 000 フートポンドの仕事をなすパワーと定められたものである。之れを換算すれば，略ぼ 1 秒間に 76 kg-m のパワーに當り，また 0.746 kW に相當するので，我が國の改正度量衡法では 1 馬力は 0.746 キロワットと定めてゐる。

兩系統の關係　(51) 式で示したやうにまづ仕事の單位

$$1\ \text{kg-m} = 9.8\ \text{ジュール}$$

それ故パワーの單位　$1\ \text{kg-m/sec} = 9.8\ \text{ジュール/秒} = 9.8\ \text{W}$

從つて　$1\ \text{W} = \dfrac{1}{9.8}\ \text{kg-m/sec}$ ………… **(53)**

又 1 H.P. が略ぼ 76 kg-m/sec に相當することを，我が國の規定に基いて說明すれば，

$$1\ \text{H.P.} = 0.746\ \text{kW} = 746\ \text{W} = \frac{1}{9.8}\ \text{kg-m/sec} \times 746 = 76.12$$
$$\fallingdotseq 76\ \text{kg-m/sec}$$

以上述べたる關係を一覽表にすれば次の通りである。

第 19 表　パワーの單位

系統	名稱	記號	相互の關係
絕對單位	ワット	W	$\frac{1}{9.8}$ kg-m/sec
	キロワット	kW	1 000 W
重力單位	キログラムメートル毎秒	kg-m/sec	9.8 W
	馬力	H. P.	746 W 0.746 kW 約76 kg-m/sec

注意　仕事はこれをなし遂げる時間の長短に關係なく，一定な量である。併しパワーは機械が仕事をなす速さを表はす量であるから，或る仕事を短時間でなすときほど其のパワーは大きい。從つてパワーの單位には，時間の單位を明かに含んでゐる。また吾々が急いで仕事をなす場合，“馬力をかけてやる” といふことがある。これは時間を小にし，大なるパワーで仕事をするといふ意味である。

パワーと力　パワーはまた動力(どうりょく)とも稱へ，力と密接な關係があるが，力と同じでない。今一定の力 F が物體に働き，t 時間内に物體が力の方向に s だけ移動するならば，(3′) と (2′) から

$$P = \frac{W}{t} = \frac{F \times s}{t} = F \times \frac{s}{t}$$

併し $\dfrac{s}{t}$ は第125頁で述べたやうに速度であるから，これを v とすれば，

〔パワー〕$P = Fv$ ……………… **(54)**

卽ちパワーは力と速度との相乘積に等しい關係がある。そしてこれらの間に次の單位を用ひる場合が屢ば起るから，特に記しておく。

力 F の單位を kg
速度 v の單位を m/sec
パワー P の單位を H.P.

とすれば，1 H.P. ≒ 76 kg-m/sec であるが，實際上の問題を取扱ふには，76 kg-m/sec = 1 H.P. として差支ない。それ故公式 (54) は

〔パワー〕$= \dfrac{Fv}{76}$ H.P. ………… **(54′)**

例題 28.　重さ 38 トンの電車を平坦な線路に於いて，36 km/h の速度で牽くには幾 H.P. のパワーを要するか。但し列車抵抗 1 トンに付 5 kg であるとする。

解　〔全抵抗力〕$F = 5 \times 38 = 190\ \text{kg}$

又速度を m/sec に換算するため第126頁 (31) 式の關係に依り，