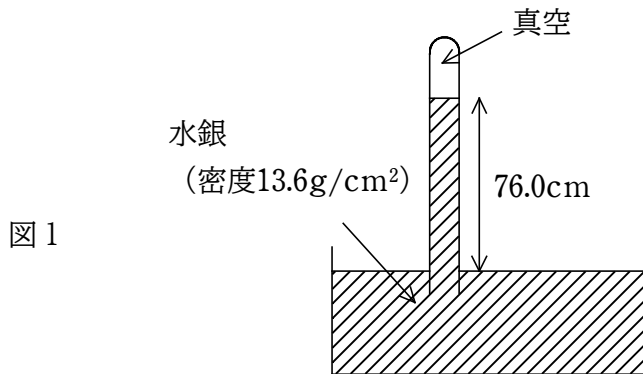


G030生命体と圧力

1.

生命体と圧力の関係について述べた以下の文章の(①)～(⑩)内の[]に文字が指定されていた場合その文字を用いた式を入れ、[数値]とある場合は当てはまる数値を入れよ。

圧力とは 1m^2 あたりに働く力を意味している。単位は[Pa]である。 10m^2 に 500N の力が働いていれば圧力は(①[数値]) Paとなる。



大気の圧力を大気圧という。図1のように水槽に水銀を満たし、十分に長いガラス管の一端を水銀内に入れ、他端を真空ポンプにつなぎ、ガラス管内の空気を抜くと、水銀はガラス管内に入ってくるが、大気圧が1気圧のとき76.0cmまでしか上昇しない。このとき、ガラス管内の、水銀の上の部分の空間は真空となっている。

水槽の水銀面にかかる大気の圧力と、ガラス管内の同じ高さの面にかかる水銀の圧力が等しくなっている。これを利用して大気圧の大きさを測定することができる。

水銀の密度 ρ 、ガラス管の断面積 S 、水銀柱の高さを h 、重力加速度の大きさを g とすると、水銀面にかかる水銀の重力の大きさは、 $\rho h S g$ である。よって、圧力 P は

$$P = \text{(②)} [\rho, h, g]$$

であらわされる。

$\rho = 13.6\text{g}/\text{cm}^3 = 1.36 \times 10^4\text{kg}/\text{m}^3$ 、 $h = 0.760\text{m}$ 、 $g = 9.80\text{m}/\text{s}^2$ を代入すると

$$P = \text{(②)} = 1.36 \times 10^4 \times 0.760 \times 9.80 = 1.013 \times 10^5\text{Pa} = 1013\text{hPa}$$

これが大気圧の大きさである。圧力を水銀柱の高さで表すことがある。大気圧の水銀柱の高さが760mmなので、この圧力を760mmHgとしている。

水銀の代わりに水を用いると、水でも同様に最大の高さがある。水の密度を $1.0 \times 10^3\text{kg}/\text{m}^3$ とすると、この時の水柱の高さは

$$h = \frac{P}{\rho g} = \frac{1.013 \times 10^5}{1.0 \times 10^3 \times 9.80} = 10.3\text{m} = 1030\text{cm}$$

圧力を水柱の高さで表す方法も存在しており、 cmH_2O という単位で表す。ここまですべて整理すると、

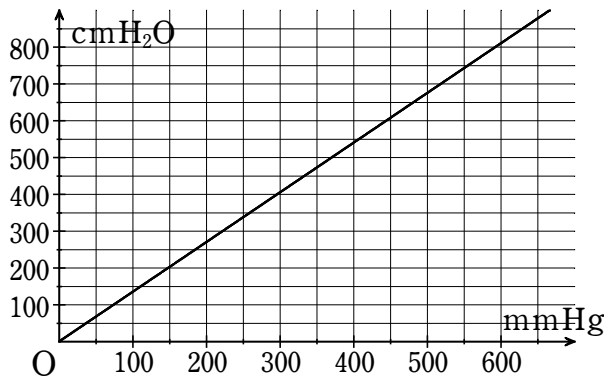
1気圧 $= 1013\text{hPa} = 1.013 \times 10^5\text{Pa} = 760\text{mmHg} = 1030\text{cmH}_2\text{O}$ である。

()組()番 名前()

G030生命体と圧力

人の最高血圧は正常時 $120\text{mmHg}=163\text{cmH}_2\text{O}$ である。血液の密度は水とほぼ等しいことから、この血圧では 163cm の高さまで血液を押し上げることができる。血液の圧力は高さの分だけ小さくなる。人の心臓と脳と高さの差は 40cm ほどなので、脳の高さでは心臓より (③[数値]) cmH_2O 血圧が下がることになり、足の位置は心臓より 1.2m 下なので、 (④[数値]) cmH_2O だけ血圧が高くなる。そのため、正確に血圧を測定するには、心臓と同じ高さで測定する必要がある。図2は cmH_2O と mmHg の関係をグラフ化したものである。

図2



血圧で問題となるのがキリンである。キリンの最高血圧は $260\text{mmHg}=(\text{⑤[数値]})\text{cmH}_2\text{O}$ である。キリンの首の長さが 2m ほどなので、最低 $200\text{cmH}_2\text{O}$ の血圧がないと脳に血液がいかない、また、活発に動くためには多量の血液を必要とし、さらに高い血圧が必要である。この血圧を作るためにキリンの心臓は 11kg (人は 200g 程度) と超巨大である。

キリンが水面の水を飲んでから首を高く上げるとき、その高低差は 5m ほどになる。キリンの脳では $500\text{cmH}_2\text{O}$ もの血圧差が生じる。このような血圧差が生じたのではキリンの脳は破壊されてしまう。これを防ぐためにキリンには首の血管内に弁があり、さらに後頭部にワンダーネットと呼ばれる網目状の特殊な毛細血管の塊があって、第二の心臓の役割を果たしていることが明らかにされている。これらが血圧の急変を調整していると考えられている。大昔に生息していた恐竜も似たような仕組みになっていたと推定される。

圧力は物体を破壊する指標として使うこともできる。これを人の骨で考えてみよう。健康な人の骨の耐荷重は 6.0MPa ($1\text{MPa}=10^6\text{Pa}$) とされている。骨粗しょう症の人は 2.0MPa 程度と言われている。この圧力を超えると人の骨は砕けるのである。

図3 主な材料の耐荷重と密度

材料	密度(kg/m^3)	耐荷重(MPa)
骨	2000	6.0
木材	500	70
コンクリート	2400	18
蜘蛛の糸	1200	1600
炭素繊維	1800	3500
ダイヤモンド	3500	100000
鋼材	7800	600

()組()番 名前()

G030生命体と圧力

人の足の骨の断面積は 10cm^2 ($1.0 \times 10^{-3}\text{m}^2$) 程度である。静かに立っているときは、両足で、この2倍の断面積で体重 60kg (600N) を支えている。足の骨にかかる圧力は

$$\frac{600}{2.0 \times 10^{-3}} = 3.0 \times 10^5 \text{ Pa} = 0.3\text{MPa}$$

である。片足で立っているとき骨にかかる圧力は 0.6MPa となる。

骨の耐荷重が 6.0MPa なので、体重 60kg の人であれば、片足で体重の(⑥[数値])倍まで耐えられることになる。人は通常の歩行時片足に体重の 1.2 倍、ランニング時が体重の 3 倍、ジャンプ時が体重の 6 倍とされているので、これらの運動では骨折しない。骨粗しょう症の人の骨の強さは健康な人の $\frac{1}{3}$ とされているので体重の約 3.3 倍までの荷重で骨折することになる。この数値を用いると、骨粗しょう症の人は歩行は問題ないがランニングは骨折する可能性が高いといえる。

次に高さ h のところから転倒(手で支えなかった場合)した場合を考えてみよう、質量 m とすると、接地直前の運動エネルギーは重力による位置エネルギーと等しいので(⑦[m, g, h]) である。体の一部が接地してから静止するまで変形(ひずみ)した距離を d としたとき、その間の平均の力を F とすると、 F のした仕事で運動エネルギーが 0 となると考えられるので

$$(⑧[F, d]) = (⑦)$$

が成立する。 $h = 1\text{m}$ 、固い板の上とすれば、人体自身が 5cm 程度変形するので、 $d = 0.05\text{m}$ 程度と考えられる。 $F = 20 mg$ となり、体重の 20 倍の荷重が瞬間的にかかることになり、骨折する可能性が高いといえる。

10cm 程度のクッションの上に転倒すれば、人体の変形と合わせて $d = 0.15$ となる。

この場合 $F = \frac{1}{0.15} mg = 6.7 mg$ となり、健康な人なら骨折しないが、骨粗しょう症の人は骨折する可能性が高いといえる。

テレビ番組にウルトラマンという番組があるが、このウルトラマンの身長は人の 20 倍であるとされている。このウルトラマンの体が人体と相似形で同じ組成・同じ構造をしていると仮定すると、両足で立っているときの足にかかる圧力は人の 20 倍となり、 $0.3\text{MPa} \times 20$ で脛骨(足の骨)にかかる圧力が計算できる。これは、 6.0MPa で脛骨の限界圧力に達しているので、ウルトラマンは地球上では片足で立つことができず、歩いたり跳んだりする怪獣と戦うことなどはもってのほかである。また、心臓と脳との高低差が 8m 程度もあり、 1 気圧に近いので脳の血流はほとんどなくなり、ウルトラマンは立っただけで失神してしまうであろう。ウルトラマンや怪獣のような巨大生物は地球上では物理的に生活できないのである。

それでは、テレビアニメで活躍している巨大ロボットというのは実現性はどうか。身長が人の n 倍になると、足にかかる圧力は(⑨[n])倍になり、体重は(⑩[n])倍になる。体積に比例して質量が増大するので、人と同じ加速度を得ようとすると、(⑩)倍の力が必要となる。少しでも小さい力で大きな加速度を得て機敏に動く

()組()番 名前()

G030生命体と圧力

ようにするには軽くて強い素材を用いる必要がある。図3の中では炭素繊維が最適である。巨大であればあるほど質量が大きくなるので、加速度が小さくなり動きが鈍くなる。加速度を大きくするためには強い動力と強い力が必要である。強い動力源として考えられるのは原子力しかなく、放射線を防ぐ分厚い壁が必要となる。また、素材の耐久性は圧力で決まっているので、強い力を出すためには太い素材を使う必要がある。飛び道具を跳ね返すためには分厚い材料が必要であり、武器として飛び道具を追加するとそのための質量がさらに増大し、戦いに強くすればするほど動きが鈍くなるのである。その結果、ミサイルなど飛び道具の的になるだけであり、巨大ロボット兵器は現実的ではない。

解説

① 10m^2 に500Nなので、 $\frac{500}{10} = 50\text{Pa}$

② $P = \frac{mg}{S} = \frac{\rho h S g}{S} = \rho h g$

③ 高さの差がそのまま cmH_2O である。40 cmH_2O

④ 高さの差がそのまま cmH_2O である。120 cmH_2O

⑤ 図2のグラフより 260 mmHg の位置では 350 cmH_2O

<別解>

760 $\text{mmHg} = 1030\text{cmH}_2\text{O}$ なので、

$$260 \times \frac{1030}{760} = 352 \approx 350\text{cmH}_2\text{O}$$

⑥ 片足で立っているときの圧力が0.6 MPa で、骨は6.0 MPa まで耐えられるので、これは、10倍である。

⑦ 重力による位置エネルギーなので、 mgh

⑧ 上向きの力 F で下向きに距離 d の仕事なので、 $-Fd$

この仕事で、位置エネルギー mgh で得られた運動エネルギー mgh を消去するので、

$$mgh - Fd = 0 \quad \text{よって、} \quad Fd = mgh$$

⑨ 断面積は相似比の2乗 n^2

⑩ 体積は相似比の3乗 n^3

()組()番 名前()