



粘性、層流、乱流（２）

— 流体力学の基礎（２） —

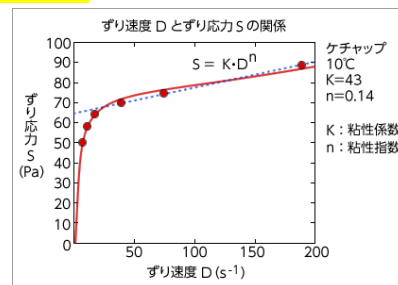
<https://l-hospitalier.github.io>

2018. 6

感染対策の基礎知識

#144

【血圧】は血液の圧力（単位面積の面に垂直にはたらく力）で血流の駆動力。面に平行に働く力はずり（剪断）応力。粘性がなければずり応力は発生しない。【非圧縮性流体】液体はほとんどの場合非圧縮流体とみなせる。気体は温度と圧力の変化がなければ非圧縮とみなせる。【粘性、弾性、非ニュートン流体】粘性（viscosity）は流体のずり速度（剪断速度 share rate）と流速の方向に加わるずり応力（剪断応力 share stress）の関係。通常は線形でずり速度 \propto ずり応力が成立し粘性（剪断応力と剪断速度の比）は一定の値をとる（温度で変わる）。弾性は流動性のない物質に加わる単位面積当たりの力（応力、stress）と変形（strain）の関係で、線形の場合は（フックの法則 Hooke's law として知られる）ばね定数で表示。【非ニュートン流体】は血液やケチャップでみられる性質で、ある程度（降伏応力²）以上ずり応力が大きくなると流動がはじまらず、塑性あるいは（もとに戻る場合は）弾性変形のようにふるまうフェーズがある。弾性は（応力除去で）元に戻る加える力と変形（変位置）の関係。粘性はずり速度（接線速度）とずり応力（接線応力）の関係。古典的な「質点の力学」と異なるのは（非圧縮性）流体力学では慣性以外に粘性による流体内部摩擦で運動エネルギーの熱への変換が起こるのを考慮する必要がある。【レイノルズ数（Reynolds number、Re）】は流体力学において「慣性力と粘性力の比」で定義される無次元量。流れの中で慣性による影響 $=\rho v d$ と粘性による影響 $=\mu$ のどちらが優勢かを定量的に示す。【層流と乱流】管路を流れている流体は、流体分子（fluid particle）が規則正しく一定の層をなして流れている層流（ハーゲン・ポアズイユ流）と無数の不規則な渦をともなっている乱流がある。オズボーン・レイノルズ（英）は1883年、下の写真のような実験装置を作成し



て層流と乱流を定量的に示すことに成功した。この実験装置は水槽に（乱れを整えるため）少し絞った透明な筒を置き、左側（図の外）にある流量計を通して水を水槽全体に流す。左の針からは赤インクが流れ、水槽内の管内の流れを観察することができる。実験結果はレイノルズ数 $Re (= \rho v d / \mu)$ という値で表す。ここで ρ は流体の密度、 v は管路内の流速、 d は管の直径（あるいは流路の代表的長さ、船では水線長など）、 μ は流体の粘性値。流量を調整することにより、流速 v を変化させながら、層流から乱流への変わり目、また乱流から層流への変わり目の流速から Re （臨界レイノルズ数）を求める。臨界レイノルズ数は約 2030 とされるが、判定は人間の観察によるため実験では 2000~3000 の値が得られる。実際に実験装置を製作すると表面のわずかな凸凹が擾乱の原因となり 2030 に近い実験値を出すのは難しい。

ある程度大きな哺乳類では血管径（代表的長さ）が大きいため血流に乱流が発生する。Re が小さく動脈硬化プラークなどの流路の凸凹で発生し下流で自然消失する乱れは disturbed flow（擾乱流）と呼び turbulent flow、turbulence（乱流）とは区別する。現実には低速の小型模型航空機以外では層流翼は実現不可能で現実の航空機の Re はかなり大きい。