

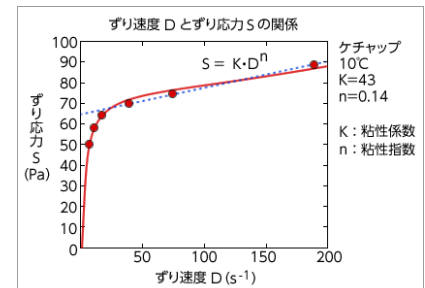
## 粘性、層流、乱流（２）

### － 流体力学の基礎（２） －

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

2018. 6

【**血圧**】は血液の圧力（単位面積に垂直にはたらく力）。 血流の駆動力。 水平に働く力はずり（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して良い。 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 share stress $\div$ 剪断速度 share rate）の値は一定値（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）の関係で線形の時（フックの法則 Hooke's law）はばね定数で表示。 【**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<sup>2</sup>）以上ずり応力が大きくなると流動がはじまらず、固体の塑性（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）元に戻る加わる力と変形（変位量）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）流体力学では慣性に加えて粘性による流体内部の摩擦によるエネルギーの熱への変換を考慮する必要があること。 【**レイノルズ数（Reynolds number、Re）**】流体力学において慣性力と粘性力との比で定義される無次元量。 流れの中での慣性による影響 $=\rho v d$ 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 年に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表すことに成功した。 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  $\rho$  は流体の密度、 $v$  は管路の流速、 $d$  は管の直径（あるいは流路の代表的長さ、舟では水線長など）、 $\mu$  は流体の粘度。 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 になるが、判定は人間の観察によるため実際は 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代表的長さが大きいいため血流に乱流は発生する。  $Re$  が小さいのに動脈硬化プラークなど流路の凸凹で発生し、下流で消失する場合は disturbed flow（擾乱流）と呼んで turbulent flow、turbulence（乱流）とは区別する。 同様に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。