

## 粘性、層流、乱流（3）

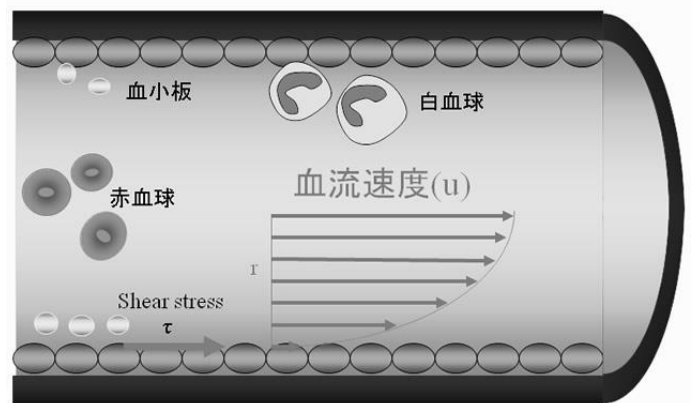
### — 流体力学の基礎（2） —

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

2018. 6

#### 【拍動流、定常流、非定常流、渦のない

流れ】生体の血流は遠心型人工心肺による灌流時等をのぞけば通常は心拍に同期した拍動流。但し定常な拍動流（正弦波の繰り返し）と見做すことはできず、一拍ごとに異なる非定常拍動流。通常の大きさの動物（イヌ、ヒト等）では大動脈基部でのピーク・レイノルズ数  $Re$  は 2300 を超すので、最大流速時には乱流遷移が一拍ごとにみられる。これにより生体内肺動脈、大動脈基部でのコン



$$\text{Shear Stress (ずり応力)} \tau = \mu \frac{du}{dr} \quad (\mu: \text{粘度})$$

プリート・ミキシングが保証され、無気肺を通過した低酸素血が常に脳に流れるというような事故は起きない。

【境界層理論 boundary layer theory】乱流では速度分布は平坦だが壁に沿って流速の遅い領域が発生し境界層と呼ばれる。乱流発生によるずり応力の増加が一酸化窒素（NO）の発生を促し、血管拡張を起こすことが知られている<sup>\*1</sup>。動脈硬化の発生などの研究はまだ十分な結果が得られていない。現実の交通機関などでは  $Re$  数は臨界以上なので、ほぼ乱流域に入ることが多い。そこでは L. プラントル<sup>\*2</sup>による境界層理論（boundary layer theory）を用いて近似的に現象を把握する（乱流は本質的に非定常流）。

#### 【ナビエ・ストークス（NS）方程式】

質点系の

力学のニュートンの第二法則、力＝質量×加速度（ $F=m\alpha$ ）

に相当する流体の運動方程式はアンリ・ナビエ（仏）ジョ

ージ G ストークス（英）によって導かれた。右の式で

$\Delta$ はラプラス演算子。NS 方程式は 2 階の非線形偏微分

方程式で未だ一般解は発見されていない。また解の存

在可能性についても不明で、物理学と数学の重要な課題（ミレニアム懸賞問題、100

万ドル）。従って数値解析によって近似解を求める（2 次元の NS 方程式は 1960

年に滑らかで大域的な解が得られている）。NS 方程式の一般解が得られれば、

乱流を含む流体の挙動が正確に予測することができる可能性がある。

$$\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$$

$$\frac{D}{Dt} = \frac{\partial}{\partial t} + u \frac{\partial}{\partial x} + v \frac{\partial}{\partial y} + w \frac{\partial}{\partial z}$$

<sup>\*1</sup> R. Furchgot, L. Ignaro, F. Murad の 3 人。1998 年ノーベル賞。血管内皮細胞に内皮由来弛緩因子（endothelium-derived relaxing factor: EDRF）と名付け、1986 年までに EDRF の性質と作用機序を解明。EDRF が哺乳類の心臓血管生理学的な多様な反応における重要な化合物である一酸化窒素（NO）であると断定し、パイアグラの開発につながった。

<sup>\*2</sup> 超音速における衝撃波の理論も L. Prandtl と T. Meyer により提示された（1908）