

# 非圧縮性 流体の力学

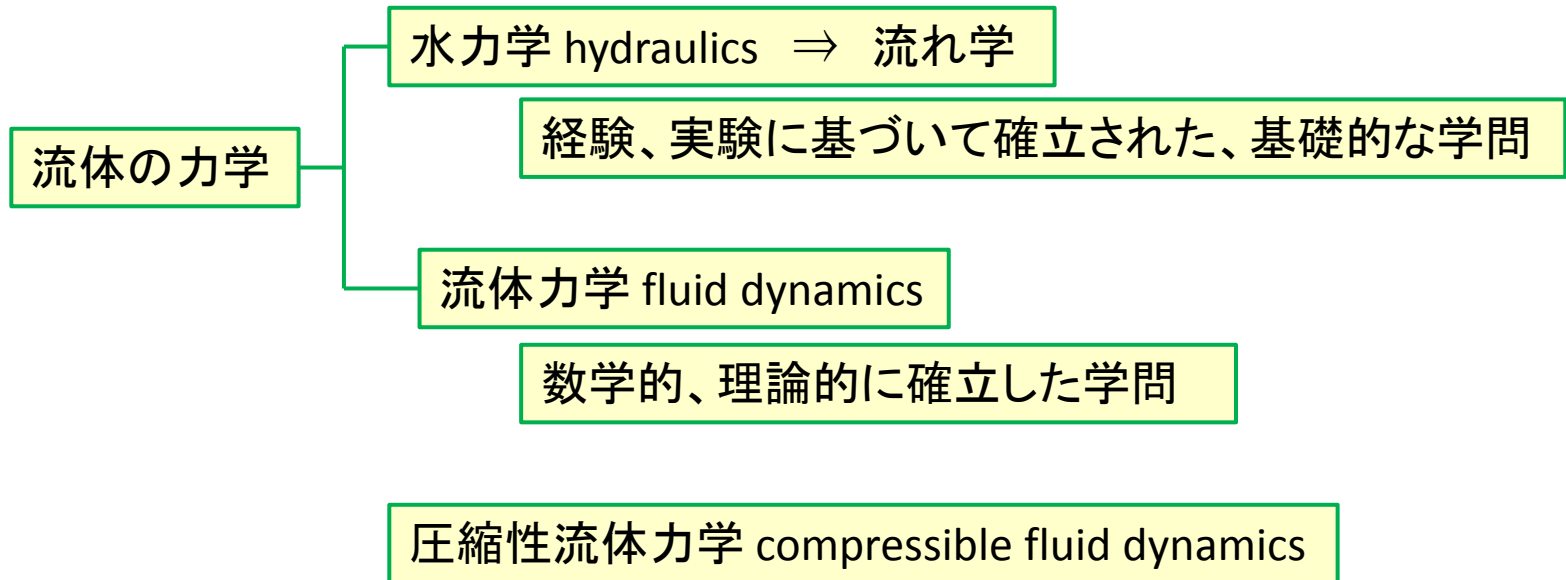
粘性流体 亜音速流れ

基礎編 簡潔編

近畿大学名誉教授

工学博士 児島忠倫

# 流体力学の分類



# 目次

## 非圧縮性 流体の力学

### 1. 流体の特性

- 1.1 流体と流体の力学
- 1.2 粘性流体と非粘性流体
- 1.3 圧縮性流体と非圧縮性流体
- 1.4 実在流体と理想流体

### 2. 静止流体の力学(静水力学)

- 2.1 圧力とは(面に垂直)
- 2.2 圧力の等方性
- 2.3 パスカルの原理
- 2.4 圧力の単位
- 2.5 絶対圧とゲージ圧
- 2.6 液体の深さと圧力の関係
- 2.7 圧力の計測 (a) ピエゾメータ (b) U字管マンノメーター (c) 示差マンノメーター

### 3. ベルヌーイの定理(動水力学)

- 3.1 ベルヌーイの定理
- 3.2 トリチェリーの定理
- 3.3 ベンチュリー管
- 3.4 ピトー管

### 4. 運動量法則とその応用

- 4.1 運動量の法則
- 4.2 固定平板に衝突する噴流の力
- 4.3 ジェットによる推力  $F_t$
- 4.4 ジェット機の推力  $F_t$
- 4.5 ロケットの推力  $F_t$

### 5. 管路内の流れと諸損失

- 5.1 滑らか円管内 層流の場合
- 5.2 滑らか円管内 乱流の場合 (a) 速度分布の指数法則 (b) 速度分布の対数法則
- 5.3 粗面円管の速度分布
- 5.4 直円管の摩擦損失
- 5.4.1 ダルシー・ワイスバッハの式
- 5.4.2 粗面管の管摩擦係数
- 5.5 助走区間における流と圧力損失水頭
- 5.6 管路入口形状と損失係数
- 5.7 管路内流れの諸損失水頭(急拡大管、急縮小管、ディフューザー、ベンド、エルボ)
- 5.8 粘性流れの管路の総損失 < 実在流体 修正ベルヌーイの式 >

### 6. 層流と乱流、遷移流 レイノルズ数 $Re$

### 7. 相似則と次元解析

### 8. 境界層と物体まわりの流れ

- 8.1 境界層 ・層流境界層と乱流境界層 ・境界層のはく離 ・はく離点 S ・境界層の厚さ  $\delta$
- 8.2 物体に働く力 円柱、球まわりの流れ

理想流体 追加

# 1. 流体の特性

- 1.1 流体と流体の力学
- 1.2 粘性流体と非粘性流体
- 1.3 圧縮性流体と非圧縮性流体
- 1.4 実在流体と理想流体

流体力学 著名者:

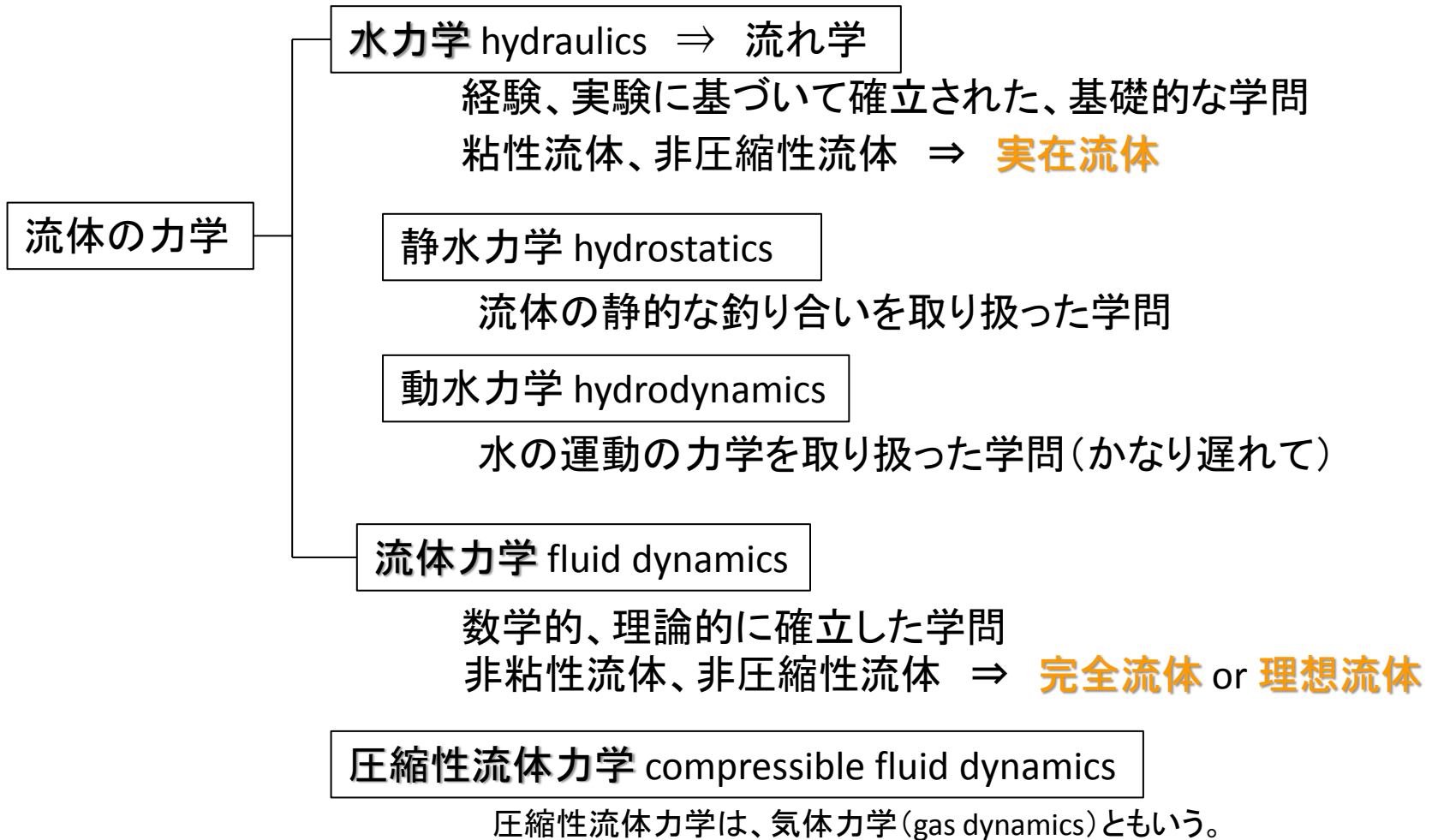
- ◎ ニュートン Newton;イギリス(1642-1727)  
抵抗則(慣性抵抗は、速度の二乗に比例)
- ◎ **ベルヌーイ** Bernouilli;スイス 数学者、物理学者(1700-**1783**)  
3人兄弟の2番目ベルヌーイの定理
- ◎ ダランベール d'Alembert;フランス 数学者、物理学者(1717-**1783**)  
質点系のニュートンの運動方程式を、流体力学に適用。
- ◎ **オイラー** Euler;ドイツ 天才的数学の才能(1707-**1783**)  
運動方程式、統計的方法、(父)ヨハン・ベルヌーイに才能を見い出された。
- ◎ ラグランジュ Lagrange;フランス 天才的数学者、天文学者(1736-1813)  
運動方程式、歴史的方法



# 1.1 流体と流体の力学

- 純粋な物質 ⇒ 固体、液体、気体 ⇒ 3態に分類
- 液体、気体 ⇒ 流体(fluid) ⇒ 連続体として取り扱う ⇒ 流体粒子(流体の微小部分)
- **実在流体** ⇒ すべて粘性(viscosity)がある。  
⇒ **粘性流体**(viscosity fluid)
- 粘性のない仮想流体 ⇒ **完全流体** perfect fluid)  
or **理想流体**(ideal fluid)
- **圧縮性流体**(compressible fluid)
- **非圧縮性流体**(incompressible fluid)

# <流体の力学 学問体系>



CFD (コンピュータ流体力学)、数値流体力学、流れの可視化  
航空宇宙工学、噴流工学、付着噴流 (純流体素子)、水理学 (土木工学分野)

# 1.2 粘性流体と非粘性流体

粘性 viscosity

容器内の水の回転運動⇒時間の経過とともに静止する性質⇒この性質を粘性と呼ぶ。

粘度  $\mu$  viscosity

粘性の大きさの程度を粘度と呼ぶ。

<平行平板間の流れ> 図1.1参照

すべりなしの条件 non-slip condition

$$y = 0 : u = 0$$

$$y = h : u = U \quad (1.1)$$

単純クエット流れ (Couette flow) と呼ぶ。

$$u = \frac{Uy}{h} \quad (1.2)$$

上板を速度  $U$  で移動する力  $F$  は、上板面積  $A$  と速度  $U$  に比例し、距離  $h$  が小さい時には、 $h$  に反比例する。比例定数を  $\mu$  とすると

$$F = \mu A \frac{U}{h} \quad (1.3)$$

せん断応力  $\tau$  shear stress

$$\tau = \frac{F}{A} = \mu \frac{U}{h} = \mu \frac{u}{y} \quad (1.4)$$

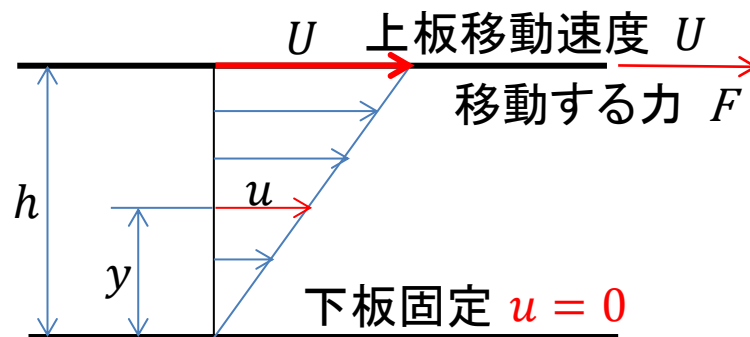


図1.1 平行平板間の流れ

図1.2 に示す速度分布の流れでは

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \quad (1.5)$$

$\mu$ : 粘度 (温度の関数)

$\frac{du}{dy}$ : 速度こう配

溶湯粉砕に影響大

表面張力  $\Rightarrow$  球形

$\mu$ : 粘度  
 気体: 温度高 粘度大  
 液体: 温度高 粘度小

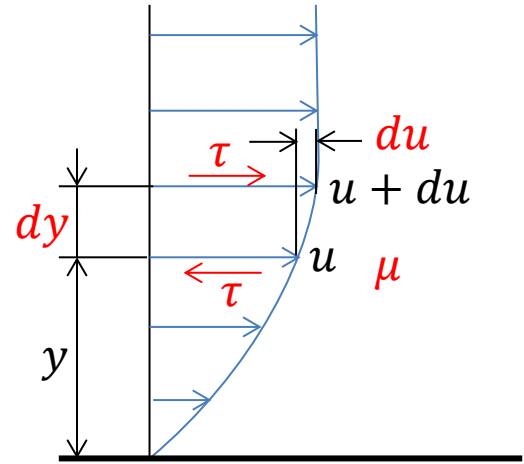


図1.2 速度こう配をもつ流れ

**ニュートン流体** Newtonian fluid

(1.5) 式が成立する流体。通常の水、空気など。

**非ニュートン流体** non-Newtonian fluid

濃い泥水、パルプ液、油絵具、流動状のビニールなどのようなニュートンの粘性法則に従わない流体。

**粘度  $\mu$**  viscosity or **粘性係数** coefficient of viscosity

$$\text{SI単位: } \mu = \frac{\tau y}{u} = \frac{(\text{N/m}^2 \cdot \text{m})}{\text{m/s}} = \frac{\text{N} \cdot \text{s}}{\text{m}^2} = \text{Pa} \cdot \text{s}$$

**動粘度  $\nu$**  kinematic viscosity or **動粘性係数**

粘度  $\mu$  を密度  $\rho$  で除したもの

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (1.6)$$

$$\text{SI単位: } \nu = \frac{\mu}{\rho} = \frac{\text{Pa} \cdot \text{s}}{\text{kg/m}^3} = \frac{\text{kgm} \cdot \text{s}}{\text{s}^2 \text{m}^2} \cdot \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} = \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

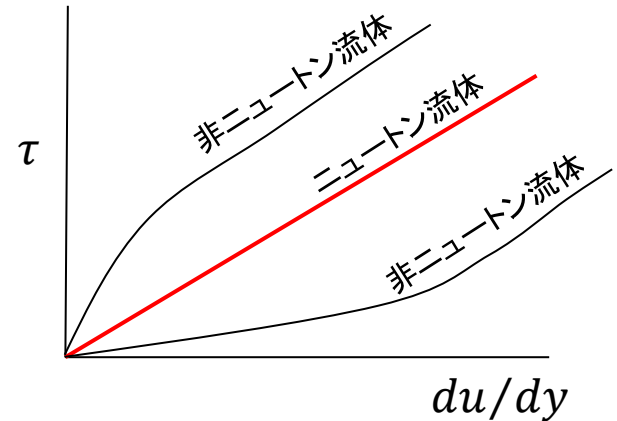
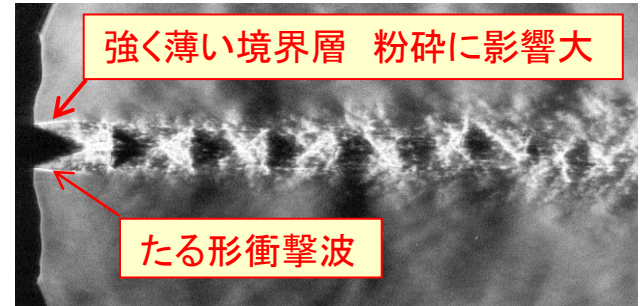


図1.3 流動曲線



## 1.3 圧縮性流体と非圧縮性流体

- 圧縮性流体(compressible fluid)

流体に作用する圧力が増大すると流体は圧縮され、その体積は減少する。

⇒このような流体の性質を圧縮性という。

液体よりも気体の方が圧縮性は、著しい。

- 非圧縮性流体(incompressible fluid)

液体⇒一般に圧縮され難い。

気体⇒圧力変化の小さい流れ

流速の低い流れ(100 m/s以下)

# 1.4 実在流体と理想流体

実在流体(粘性流体)と理想流体(非粘性流体)の円柱まわりの流れの違い

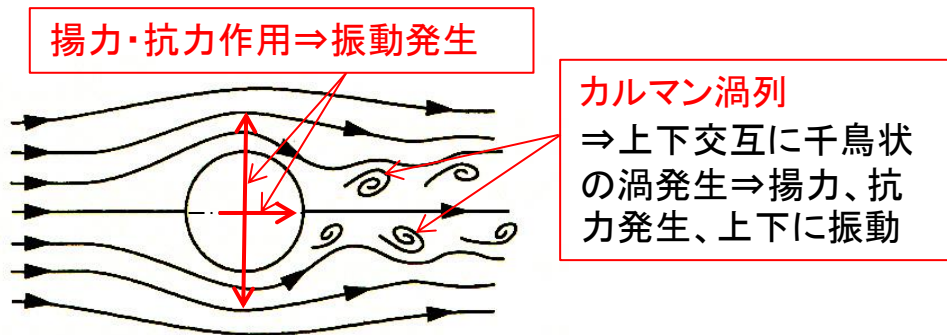
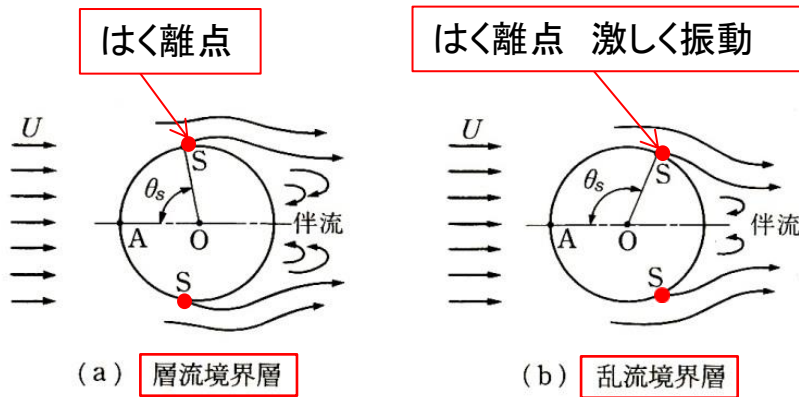


図1.1 実在流体(粘性流体)の円柱まわりの流れ

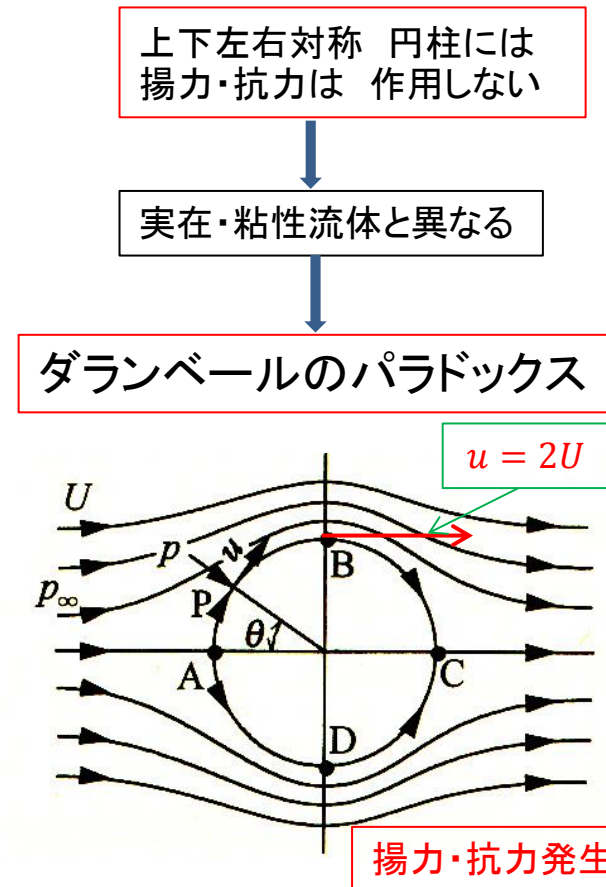


図1.2 理想流体の円柱まわりの流れ

$u = 2U \sin 30^\circ = U$

$u = 2U \sin \theta = 2U \sin 90^\circ = 2U$