

序章

CHAPTER 1

1.1 流れ学第 1 の復習

■ 流れ学第 1 との違い

流れ学第 1 では主に、質量・運動量・角運動量・エネルギーの保存則を用いて流体の振る舞いについて論じました。流れ学第 2 では、NS 方程式をはじめとして主に微分方程式を支配方程式として流体の運動を記述していくことになります。

■ 流体の性質と運動方程式

流体力学の、他の力学との相違

流体力学は連続体の力学の一種ですが、連続体には材料力学のように固体の場合と、流体力学の液体の場合があります。個体の場合は、一例ですと、以下に代表される **フックの法則**

$$F = k\Delta x \quad (1.1)$$

といった、変位に応じた力が記述されますが、流体の場合は機械力学で出てきたオイルダンパと同様に

$$F = c \frac{dx}{dt} \quad (1.2)$$

となり, 速度に応じた, いわゆる粘性抵抗¹が働きます,

ニュートンの粘性法則

流体中に, 速度 $u(y)$ で動いている分子が衝突する際の運動量交換について調べてみます. 基準点と, 基準点から分子運動の平均行程 λ だけ離れた点の, 質量 m の分子の運動量変化は

$$\Delta M = m(u(0) - u(\lambda)). \quad (1.3)$$

ここで $u(-\lambda)$ を $(-\lambda)$ 周りにテーラー展開¹します:

$$u(-\lambda) = u(0) - \lambda \frac{du}{dy} + O(\varepsilon^2) \quad (1.4)$$

$$\approx u(0) - \lambda \frac{du}{dy}. \quad (1.5)$$

式(1.3)に式(1.5)を代入して

$$\Delta M = -m\lambda \frac{du}{dy} \quad (1.6)$$

が成り立ちます. ここで, 流体に加わるせん断応力 τ は, 分子の数密度・運動量変化・その点での分子の平均速度に比例します:

$$\tau \propto \Delta M N \bar{u}_m \quad (1.7)$$

$$= m\lambda N \bar{u}_m \frac{du}{dy} \quad (1.8)$$

ここで, 流体密度 $\rho = mN$ より,

$$\tau \propto \rho \lambda \bar{u}_m \frac{du}{dy} \quad (1.9)$$

が成り立っており, 分子の平均速度をエネルギー等配分の法則に基づいて計算すると,

$$\tau = \underbrace{\frac{\rho \lambda \bar{u}_m}{3}}_{\mu=\text{粘性係数}} \frac{du}{dy} \quad (1.10)$$

が成り立つことが知られています. このようなアプローチで流体中のせん断応力が速度勾配に比例するという性質, すなわちニュートンの粘性法則¹を導くことができます. また, このような性質を持つ流体はニュートン流体と呼ばれています.

¹ $f(x + \varepsilon) = f(x) + f'(x)\varepsilon + f''(x)\frac{\varepsilon^2}{2!} \dots$

2.1 流れ学第 1 の復習

サブサブセクション

$$\frac{DV}{Dt} = -\nabla p + \nu \nabla^2 \mathbf{V} + \mathbf{F}$$

だめー www だめー www だめー www だめー www だめー www だめー www だめー www だめー
www だめー www だめー www だめー www だめー www だめー www だめー www だめー www だ
めー www だめー www だめー www だめー www だめー www だめー www だめー www だめー www
だめー www だめー www だめー www だめー www だめー www だめー www だめー www だめー
www だめー www だめー www だめー www だめー www だめー www だめー www だめー www だ
めー www だめー www だめー www だめー www だめー www だめー www だめー www だめー www

だめー www

流れ学第1との違い

サブサブセクション

ながれがくああながれがくながれがくながれがくああながれがくながれがくながれがく
ああながれがくながれがくながれがくああながれがくながれがくながれがくああながれ
がくながれがくながれがくああながれがくながれがくながれがくああながれがくながれ
がくながれがくああながれがくながれがくながれがくああながれがくああながれが
くながれがくながれがくああながれがくながれがくながれがくああながれがくながれが
くながれがくああながれがくながれがくながれがくああながれがくながれがくながれが
くああながれがくながれがくながれがくああながれがくながれがくながれがくああなが
れがくながれがくながれがくああながれがくああながれがくながれがくながれがく
ああながれがくながれがくながれがくああながれがくながれがくながれがくああながれ
がくながれがくながれがくああながれがくながれがくながれがくああながれがくながれ
がくながれがくああながれがくながれがくながれがくああながれがくながれがくながれ
がくああなが