移動速度論　Transport Phenomena 2017（第２回）　　　　　　　　　　　　４月２７日（木）

メールアドレス：kozka@kumamoto-u.ac.jp
ＨＰアドレス　：http//www.msre.kumamoto-u.ac.jp/~process/ Transport/home.html

移動速度式（前回の復習）

移動速度式の一般的な形

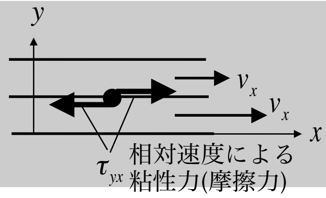
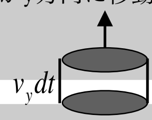
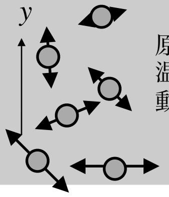
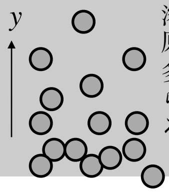
(流束)　＝　ー　(移動係数)　×　(勾配)

(flux)　　(coefficient)　　(gradient)

- (流束)：単位時間に単位面積を通過する物理量(フラックス)
- ー：熱力学の第二法則　大きい方から小さい方へ
- (移動係数)：移動しやすさを示す物性値，物質に固有の性質（物性値）
- (勾配)：移動を駆動するもの（外的因子による駆動力）

３つの物理量の移動現象における相似性と相異点

これらが基礎方程式となる

物理量	速度式に基づく移動（相似）	流れにのって移動(相似) 単位時間あたり 単位面積あたり	特有の移動の形態
運動量	ニュートンの式 $\tau_{yx} = -\mu \frac{dv_x}{dy}$ τ_{yx}：粘性せん断力，μ：粘性係数，$\frac{dv_x}{dy}$：速度勾配  y，v_x，x，τ_{yx} 相対速度による粘性力(摩擦力)	慣性力 $\rho v_y v_x$ x方向の運動量がy方向に移動 A  $v_y dt$	圧力(面積力) 重力，電磁力(体積力)
熱 (ｴﾈﾙｷﾞ-)	フーリエの式 $q = -\lambda \frac{dT}{dy}$ q：熱流束，λ：熱伝導度，$\frac{dT}{dy}$：温度勾配  y 原子や分子の温度による振動が伝わる（伝導）	対流による熱移動（対流） $C_P \rho v_y T$ 面を通過する体積 $v_y dtA$	ふく射 エネルギー消散 発熱
物質 (媒体B中のの成分A)	フィックの第一法則 $N_A = -D_{AB} \frac{dC_A}{dy}$ N_A：物質流束，D_{AB}：拡散係数，$\frac{dC_A}{dy}$：濃度勾配  y 溶質としての原子や分子が多いところから少ないところに移動	対流による物質移動 $C_A v_y$ 移動する量　$C_A v_y dtA$ C_A：単位体積あたりの物質量	化学反応 媒質全体の移動による

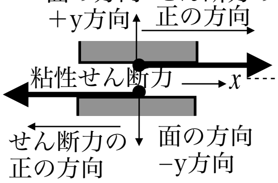
課題２ この３つの物理量以外に，速度式で表現できる物理現象を調べてみよう。

問題４ 教科書p.6の図2-1はCouette流れと呼ばれ，２枚の無限平板の一方が静止，他方がVで動いている場合，その間の粘性流体の速度分布は定常状態で直線的になることがわかっている(第6回で登場)。流体が300Kの水であるとして，速度Vが２m/s，距離Yが3.0cm．粘性係数μが 0.85mPa•sとした時の無限平板に作用する単位面積あたりの摩擦力を計算しなさい。

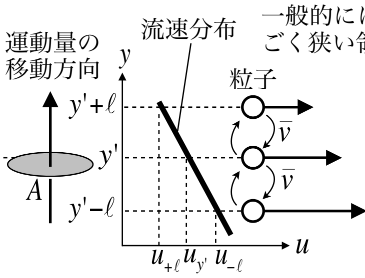
移動係数

気体分子運動論による説明（運動量の移動から粘性係数を見積もる）

y=y'での面に作用する力を分けて考える



ニュートンの式からせん断力は正



一般的には曲線的な分布であるがごく狭い領域では直線分布とみなせる。➡ Taylor展開によってわずかに離れた位置の流速を表現できる。

$$u_{+\ell} = u_{y'} + \ell\left(\frac{du}{dy}\right)_{y'}$$

$$u_{y'}$$

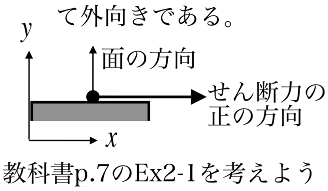
$$u_{-\ell} = u_{y'} - \ell\left(\frac{du}{dy}\right)_{y'}$$

運動量の移動とは
　実際の分子や原子(粒子とする)を厳密に考える必要は無いが，x方向の速度を持った粒子がx方向に運動しつつ，熱的なゆらぎなどでy方向にも瞬時に位置交換していて，全体として運動量が移動すると考える。

粒子はx方向に運動しながら，激しくランダムな方向に動いており，互いに運動量を交換している。

考え方：運動量の移動(変化)＝力積（作用する力F×作用している時間Δt)

注意！ 材料力学や流体力学では面の方向は面に対して外向きである。



教科書p.7のEx2-1を考えよう

ゆらぎの平均速度：$\bar{v}$　粒子の質量：m　粒子密度：n　yの面の面積：A

$$F\Delta t = \bar{v}\Delta t A \times \frac{n}{6} \times \left\{\left(mu_{y'} - mu_{+\ell}\right) + \left(mu_{-\ell} - mu_{y'}\right)\right\}$$

運動量の交換　第１項：ー方向から＋へ　第２項：＋方向からーへ

応力の定義　$\tau_{yx} = \frac{F}{A}$　　上のTaylor展開の式を代入

$$\tau_{yx} = \frac{mn\bar{v}}{6} \times \left\{\left(u_{y'} - u_{+\ell}\right) + \left(u_{-\ell} - u_{y'}\right)\right\} = \frac{mn\bar{v}}{6}\left\{-2\ell\left(\frac{du}{dy}\right)_{y'}\right\} \longrightarrow \tau_{yx} = -\frac{mn\bar{v}\ell}{3}\left(\frac{du}{dy}\right)_{y'}$$

移動速度式との比較

$$\mu = \frac{mn\bar{v}\ell}{3} \xrightarrow{\text{Mazwell-Boltzman 分布を用いると}\ \bar{v} = \left(\frac{8k_BT}{\pi m}\right)^{1/2},\ \ell = \frac{1}{\sqrt{2}\pi n d^2}} \mu = \frac{2}{3\pi d^2}\left(\frac{mk_BT}{\pi}\right)^{1/2}$$

気体分子運動論では，気体の粘性係数は，温度，分子量の1/2乗に比例する。

問題５ 同様の考え方で，熱伝導度λ(右式に示す）を気体分子運動論により導出して下さい。分子の持っている熱量は分子１つの比熱Cvm（分子比熱）と温度の積で表されます。

$$\lambda = \frac{1}{3} n C_{Vm} \bar{v} \ell = \frac{2C_{Vm}}{3\pi d^2}\left(\frac{k_BT}{\pi m}\right)^{1/2}$$