

図書館TA講習会

# 身近な流体力学を考える

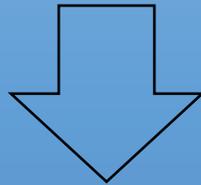
2015年5月25日（月） 12:00-13:00  
@総合図書館ラーニングコモンズ

# 今日の内容

---

- イン트로
  - 目標, 流体力学とは, 関連授業
- 圧力
  - お茶の葉が集まる
- ベルヌーイの定理
  - 2枚の紙, 飛行機
- 揚力
  - スキージャンプ, 変化球
- カルマン渦
  - 無回転シュート
- まとめ

- 👉 流体力学って何だろう…
- 👉 今後（今ちょうど）授業があるんだけど…
- 👉 よく分からないけれど、響きがかっこいい…



- 😊 ○○って流体力学に関係あるんだ
- 😊 授業ちゃんと聞いてみようかな
- 😊 流体力学の本を借りて帰ろうかな

液体と気体を総称して流体といい、その運動を論ずる学問を流体力学という。とくに流体の静止状態を対象とする場合、流体静力学hydrostaticsという。浮力に関するアルキメデスの原理、水圧機の基礎を与えるパスカルの原理などがその範囲に入る。これに対して運動中の流体を対象とする場合が流体動力学hydrodynamicsである。[今井 功]

(日本大百科全書)

◆ 基礎工学部システム科学科  
機械科学コースの例

2年後期	流体工学 流体工学演習
3年前期	流れ学
3年後期	流体力学
3年後期	流体機械学
4年前期	宇宙工学

◆ 大学院入試科目

数学、機械力学、材料力学、熱力学、流体力学

# 今日の内容

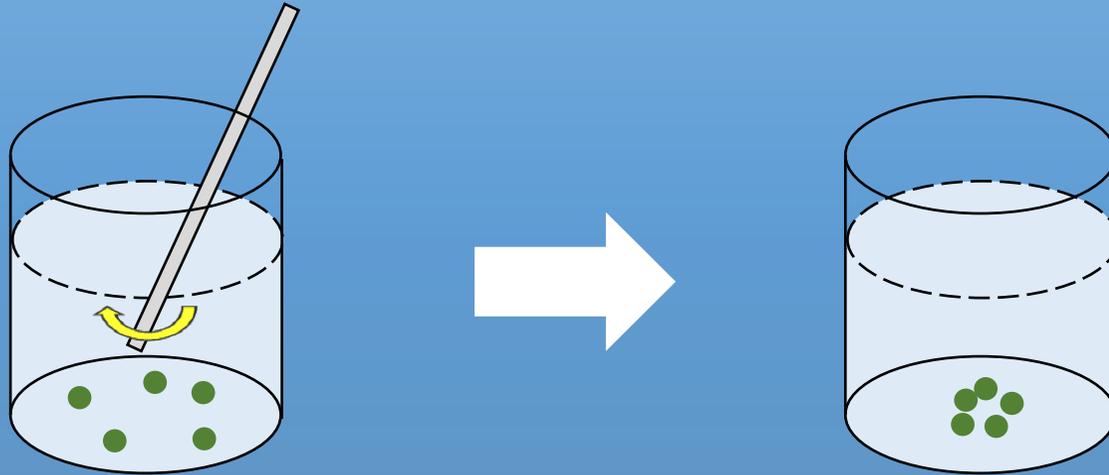
---

- イントロ  
目標, 流体力学とは, 関連授業
- 圧力  
お茶の葉が集まる
- ベルヌーイの定理  
2枚の紙, 飛行機
- 揚力  
スキージャンプ, 変化球
- カルマン渦  
無回転シュート
- まとめ

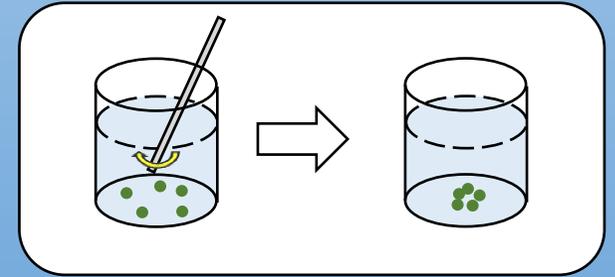
# クイズ

---

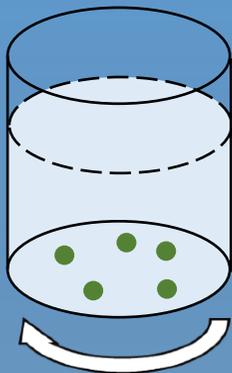
コップに入ったお茶をかき混ぜると、  
お茶の葉が中央に集まってくるのはなぜ？



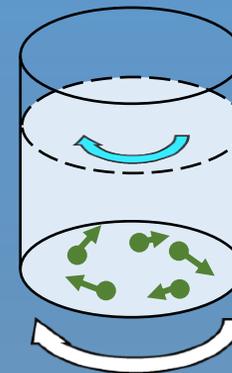
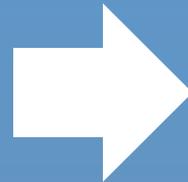
コップに入ったお茶をかき混ぜると、  
お茶の葉が中央に集まってくるのはなぜ？



① 容器を角速度 $\omega$ で回転させる



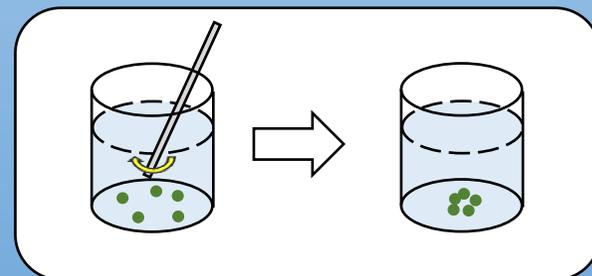
② 十分時間が経過すると、容器内の水全体は容器と共に一様に回転する（剛体回転）



# 数式による説明

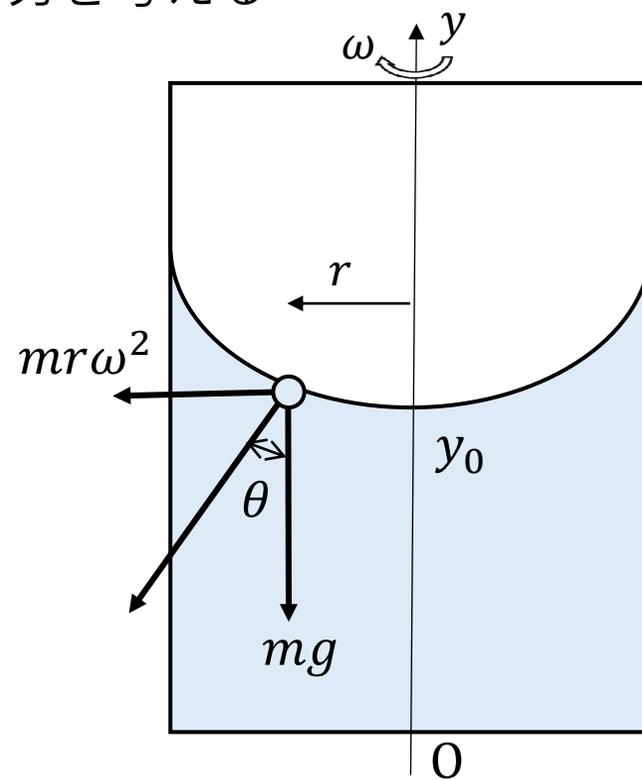
圧力

コップに入ったお茶をかき混ぜると、  
お茶の葉が中央に集まってくるのはなぜ？



回転軸から半径 $r$ の水面にある質量 $m$ の水の塊に働く力を考える

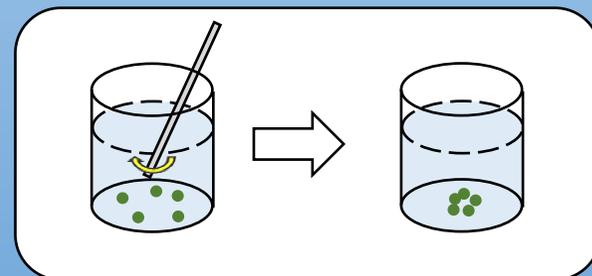
$$\tan \theta = \frac{mr\omega^2}{mg} = \frac{r\omega^2}{g}$$



# 数式による説明

圧力

コップに入ったお茶をかき混ぜると、  
お茶の葉が中央に集まってくるのはなぜ？

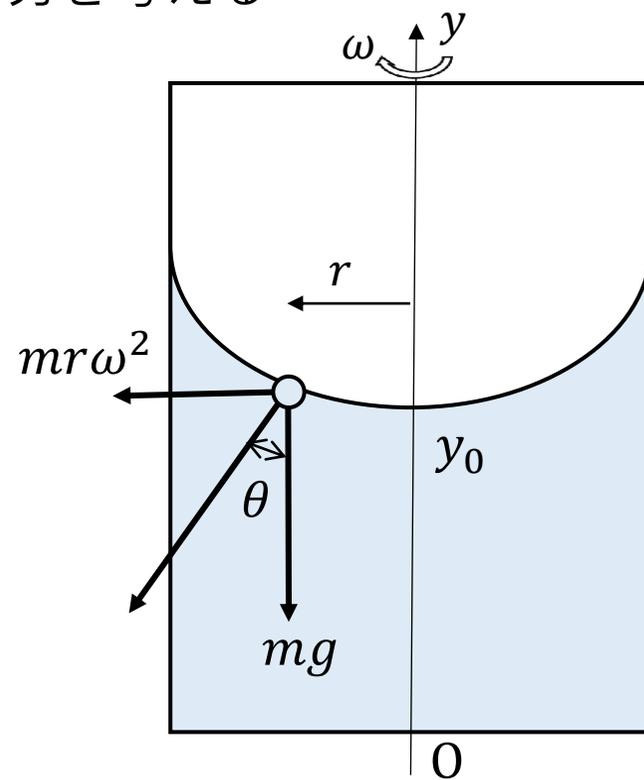


回転軸から半径 $r$ の水面にある質量 $m$ の水の塊に働く力を考える

$$\tan \theta = \frac{mr\omega^2}{mg} = \frac{r\omega^2}{g}$$

$$\tan \theta = \frac{dy}{dr} \text{ より}$$

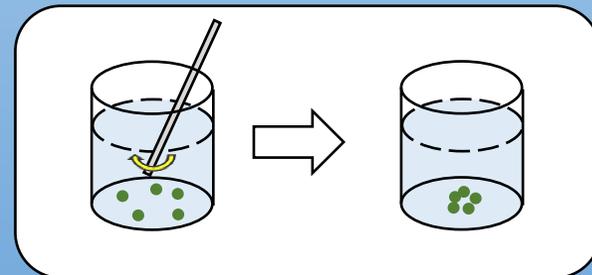
$$\frac{dy}{dr} = \frac{r\omega^2}{g} \quad \text{積分} \quad \Rightarrow \quad y = \frac{\omega^2}{2g} r^2 + y_0$$



# 数式による説明

圧力

コップに入ったお茶をかき混ぜると、  
お茶の葉が中央に集まってくるのはなぜ？



回転軸から半径 $r$ の水面にある質量 $m$ の水の塊に働く力を考える

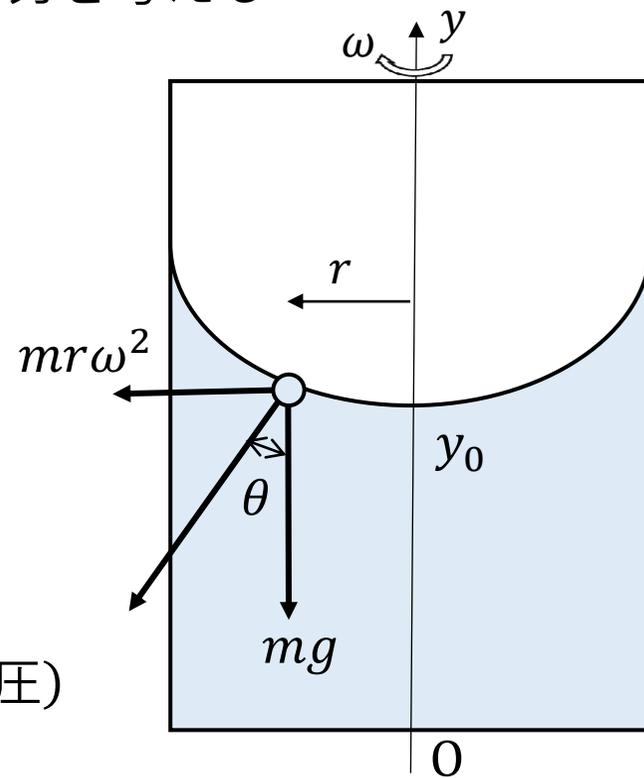
$$\tan \theta = \frac{mr\omega^2}{mg} = \frac{r\omega^2}{g}$$

$$\tan \theta = \frac{dy}{dr} \text{ より}$$

$$\frac{dy}{dr} = \frac{r\omega^2}{g} \quad \text{積分} \quad \Longrightarrow \quad y = \frac{\omega^2}{2g} r^2 + y_0$$

底での圧力 $p$ は

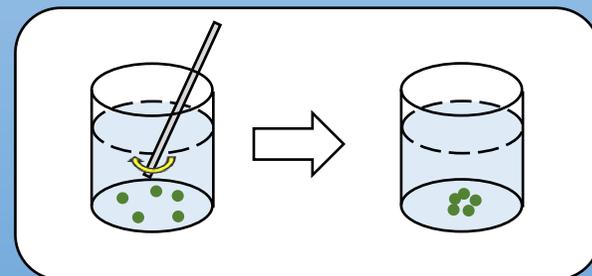
$$p = \rho g y + (\text{大気圧}) = \rho \left( \frac{\omega^2}{2} r^2 + g y_0 \right) + (\text{大気圧})$$



# 数式による説明

圧力

コップに入ったお茶をかき混ぜると、お茶の葉が中央に集まってくるのはなぜ？



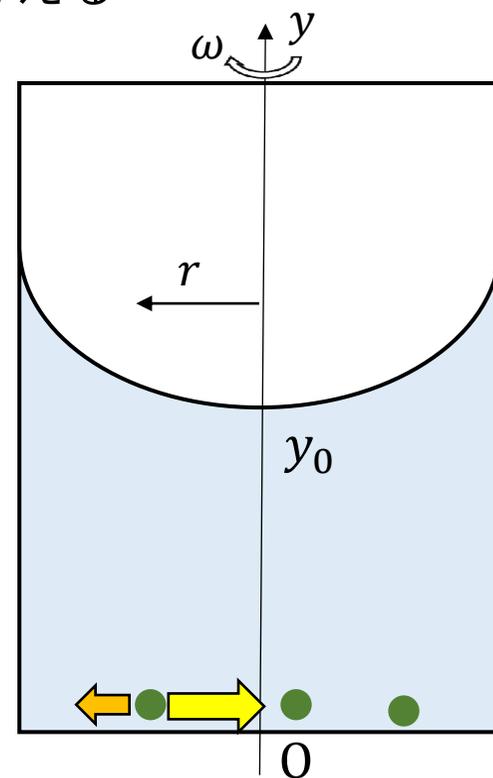
回転軸から半径  $r$  の位置に在る所量の水の塊に働く力を考える

回転を止めてしばらくの間

遠心力 < 圧力による力

底での圧力  $p$  は

$$p = \rho g y + (\text{大気圧}) = \rho \left( \frac{\omega^2}{2} r^2 + g y_0 \right) + (\text{大気圧})$$

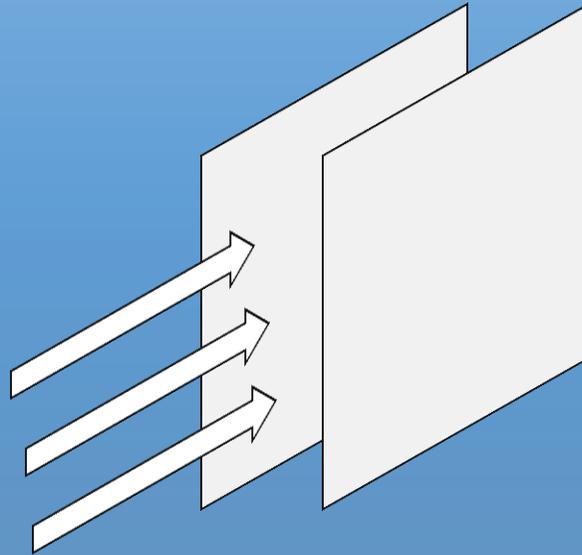


# 今日の内容

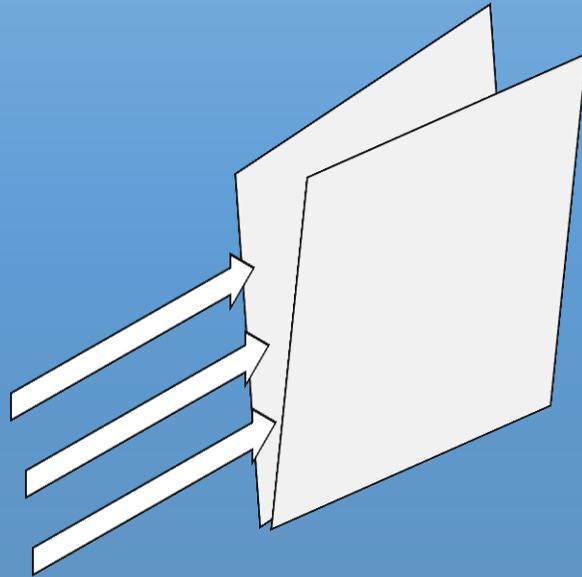
---

- イントロ  
目標, 流体力学とは, 関連授業
- 圧力  
お茶の葉が集まる
- ベルヌーイの定理  
2枚の紙, 飛行機
- 揚力  
スキージャンプ, 変化球
- カルマン渦  
無回転シュート
- まとめ

2枚の紙の間に息を吹き込むと  
2枚の紙はどうなるでしょう？



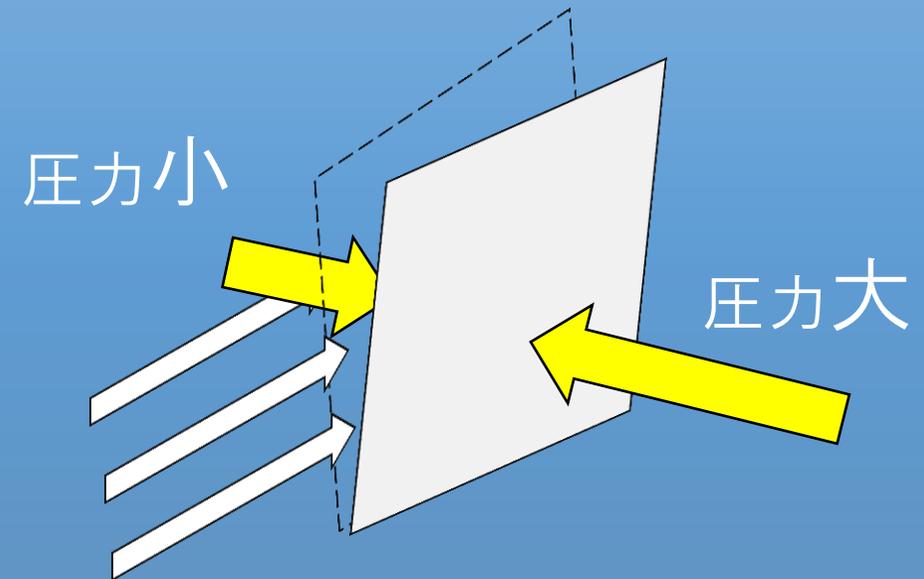
2枚の紙がくっつく



2枚の紙がくっつく



- 2枚の紙の間の圧力が大気圧より小さくなっている

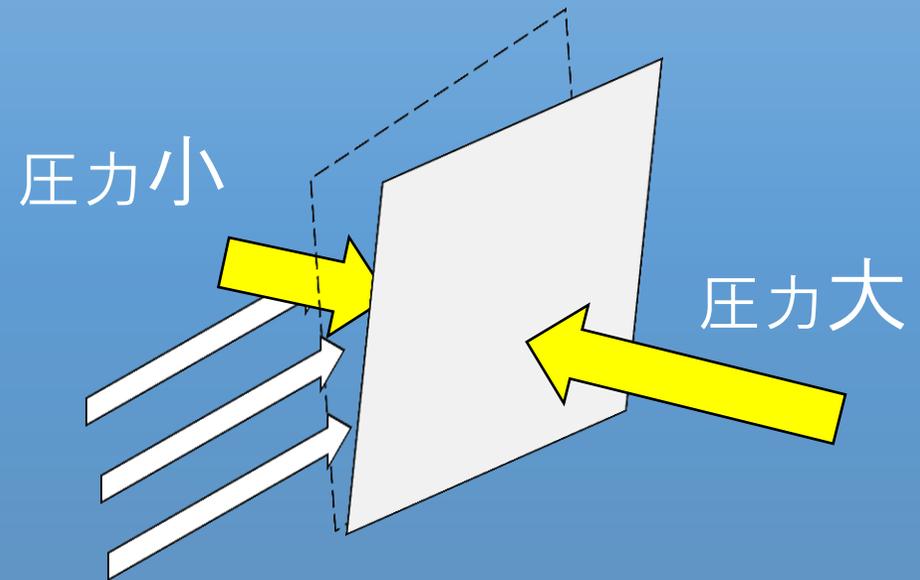


### 2枚の紙がくっつく

- 2枚の紙の間の圧力が大気圧より小さくなっている

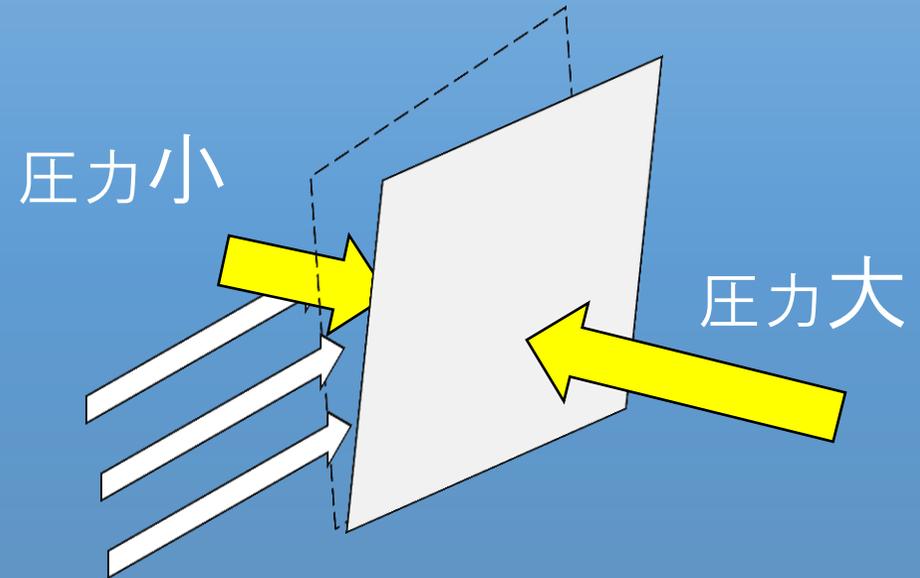


- 2枚の紙の間の流れの速さが大きくなっている（同じ流れの中で）



### 2枚の紙がくっつく

- 2枚の紙の間の圧力が大気圧より小さくなっている
- 2枚の紙の間の流れの速さが大きくなっている（同じ流れの中で）



### ベルヌーイの定理

$$p + \frac{1}{2}\rho v^2 = \text{const} \quad (\text{静圧} + \text{動圧} = \text{一定})$$

$p$ : 圧力  
 $\rho$ : 密度  
 $v$ : 流速

粘性が無視できる完全流体におけるエネルギー  
バランス式. 密度が流れに沿って一定, かつ定  
常的に流れている場合とき, 流線に沿って

$$p + \frac{1}{2}\rho v^2 = \text{const} \quad (\text{静圧} + \text{動圧} = \text{一定})$$

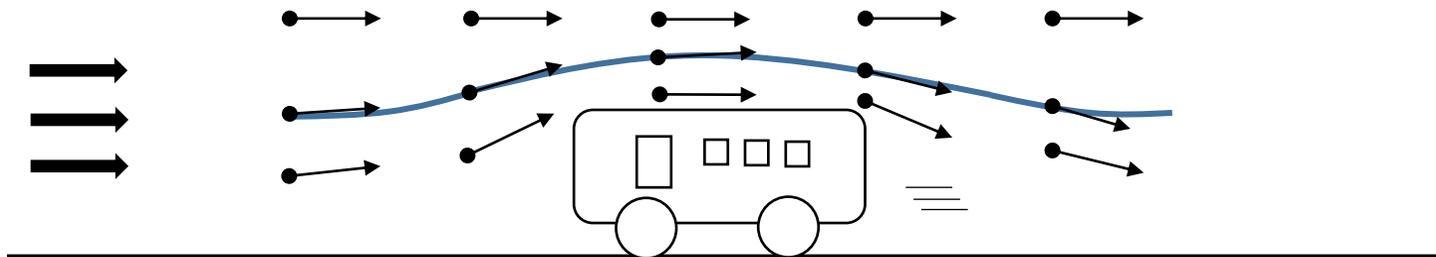
が成り立つとする定理.

※流れの高さが変化する場合, 上式に位置エネルギーを加える必要がある

粘性が無視できる完全流体におけるエネルギー  
バランス式. 密度が流れに沿って一定, かつ定  
常的に流れている場合とき, 流線に沿って

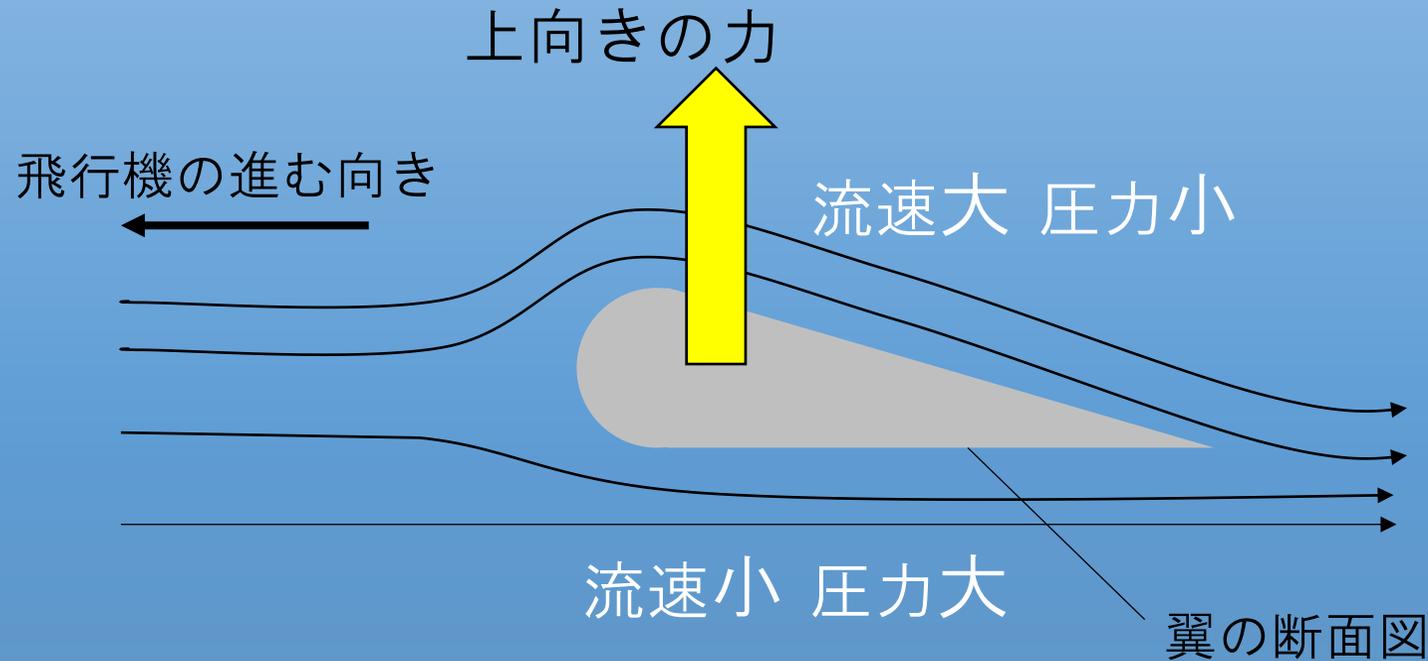
$$p + \frac{1}{2}\rho v^2 = \text{const} \quad (\text{静圧} + \text{動圧} = \text{一定})$$

流線…その瞬間での速度ベクトルを滑らかに結んだ線



# 飛行機はなぜ飛ぶか

## ベルヌーイの定理



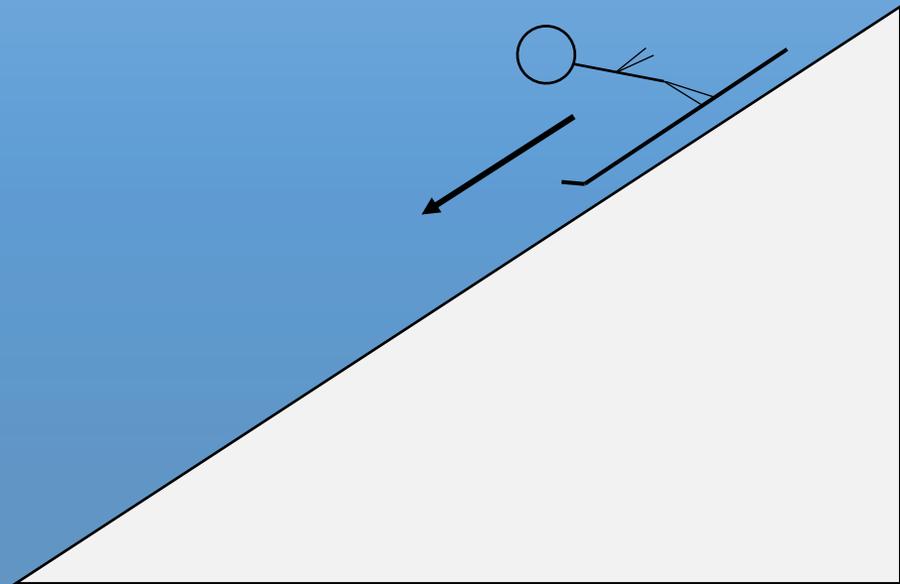
※ベルヌーイの定理のみで飛行機が飛ぶ理由を言えるわけではない

# 今日の内容

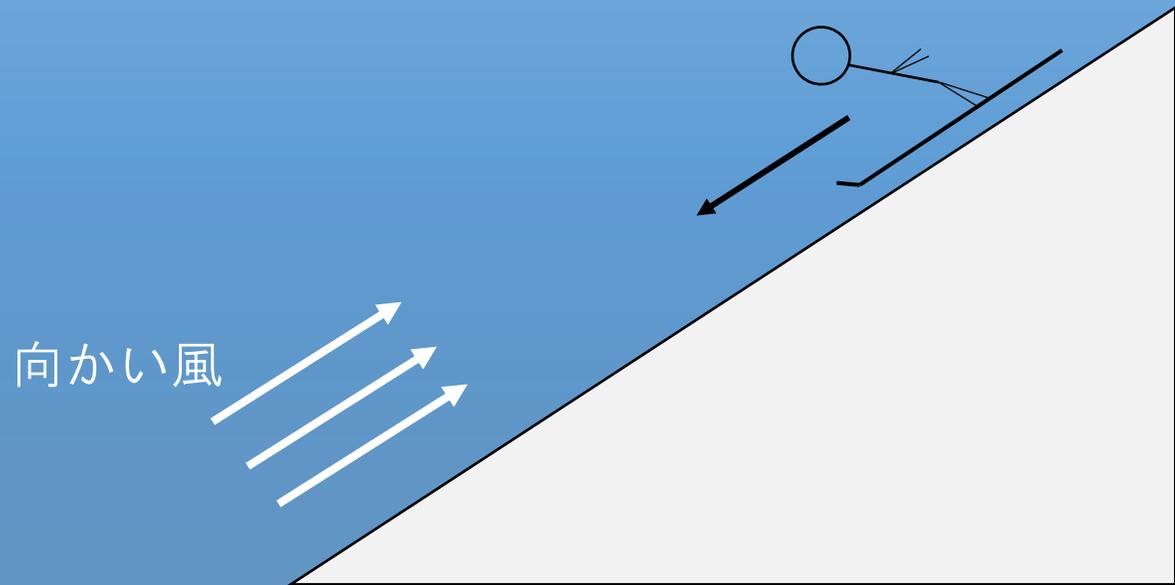
---

- イントロ  
目標, 流体力学とは, 関連授業
- 圧力  
お茶の葉が集まる
- ベルヌーイの定理  
2枚の紙, 飛行機
- 揚力  
スキージャンプ, 変化球
- カルマン渦  
無回転シュート
- まとめ

スキージャンプでは追い風・向かい風  
どちらが有利でしょう？



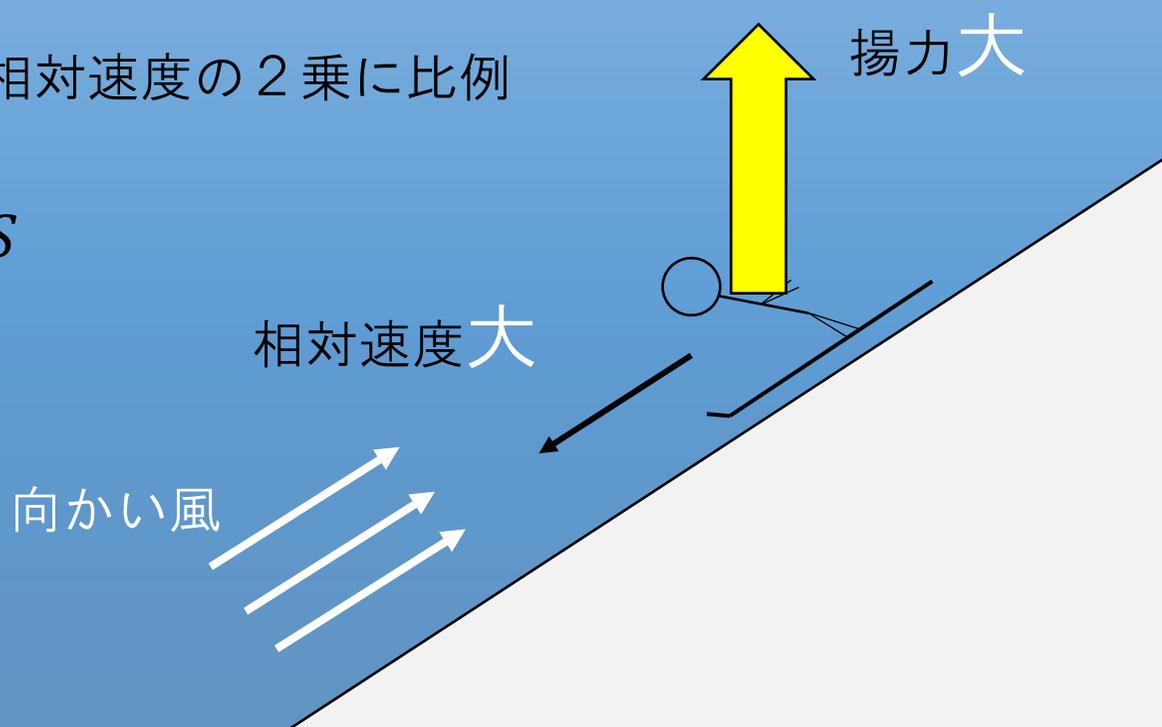
向かい風が有利



## 向かい風が有利

揚力は物体と流速の相対速度の2乗に比例

$$F = \frac{1}{2} C_L \rho V^2 S$$



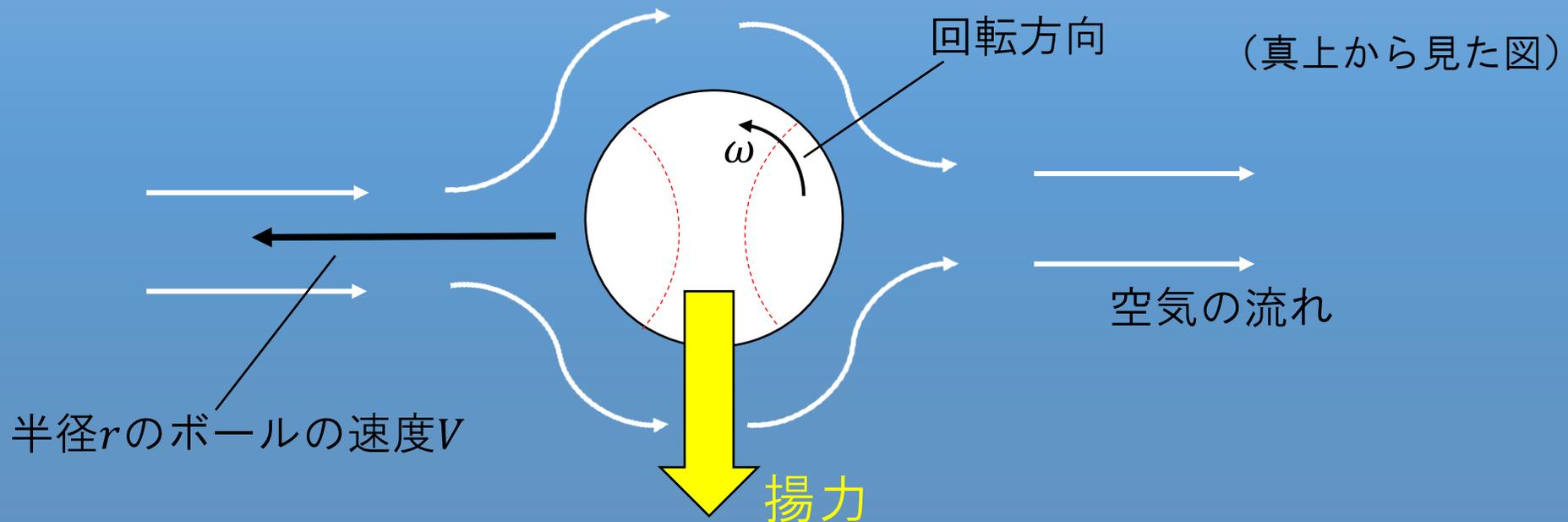
$F$ :揚力  $C_L$ :揚力係数  $\rho$ :流体の密度  $V$ :相対速度  $S$ :基準面積

変化球はなぜ曲がる？





ボールの回転によってボールに当たる気流が変化し、ボールに揚力が働く。この揚力による効果をマグヌス効果という。



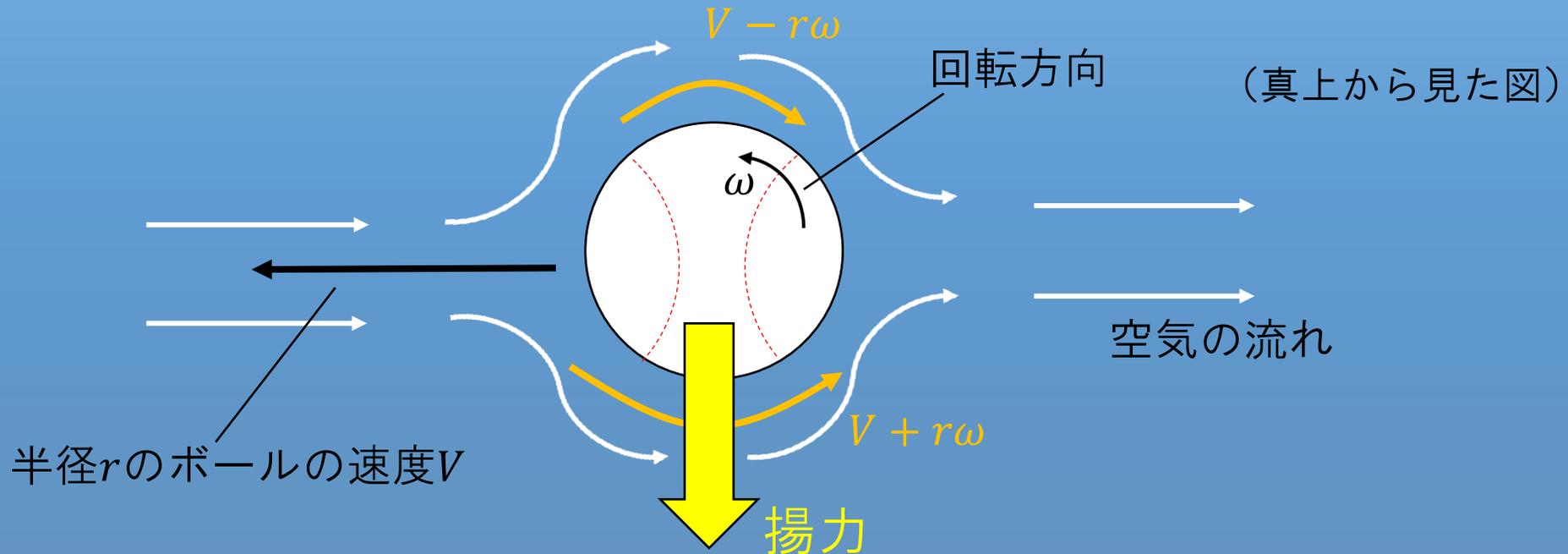
# マグヌス効果

揚力



流れの中で回転している物体に、流れに対して垂直な方向に揚力が生じる現象。流れが加速される面と減速される面が生まれることに起因する。

(1825年ハインリッヒ・マグヌス)



# マグヌス効果

揚力



流れの中で回転している物体に、流れに対して垂直な方向に揚力が生じる現象。流れが加速される面と減速される面が生まれることに起因する。

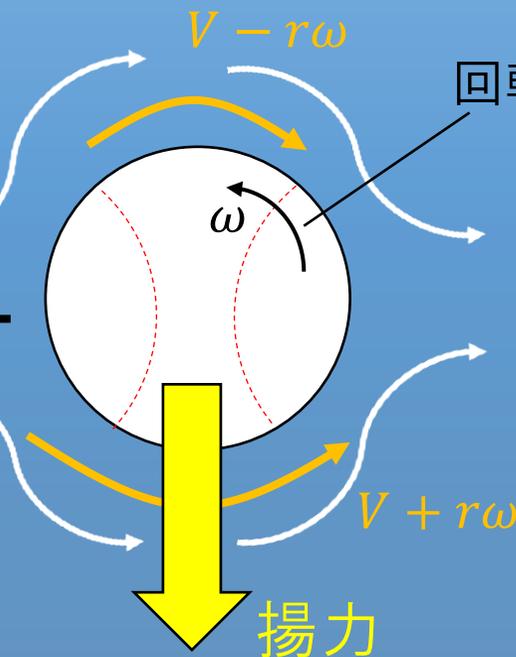
(1825年ハインリッヒ・マグヌス)

$$p + \frac{1}{2}\rho v^2 = \text{const}$$

(静圧+動圧=一定)

$p$ : 圧力  
 $\rho$ : 密度  
 $v$ : 流速

半径 $r$ のボールの速度 $V$



回転方向

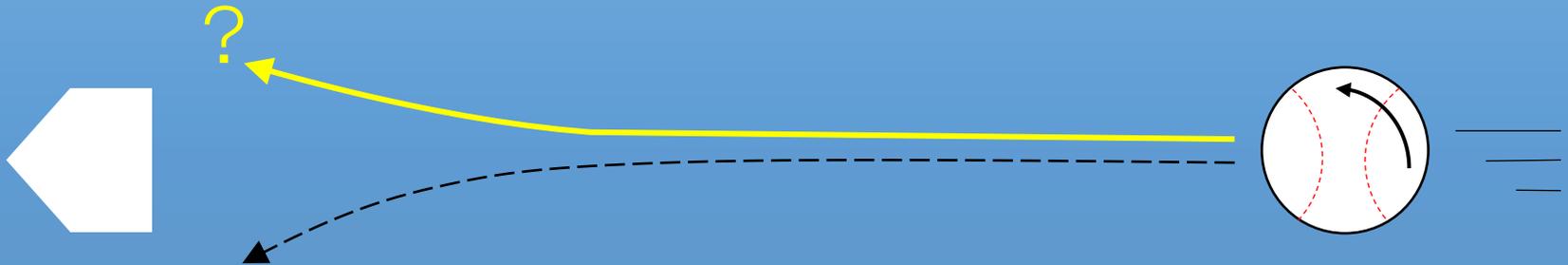
(真上から見た図)

空気の流れ

揚力

※ベルヌーイの定理を用いると、揚力の向きが図の向きであることが分かる

希薄気体では地上でのマグヌス効果に対応する力が逆向きに働く



※地上と同じ大きさの力が働くわけではない

# 今日の内容

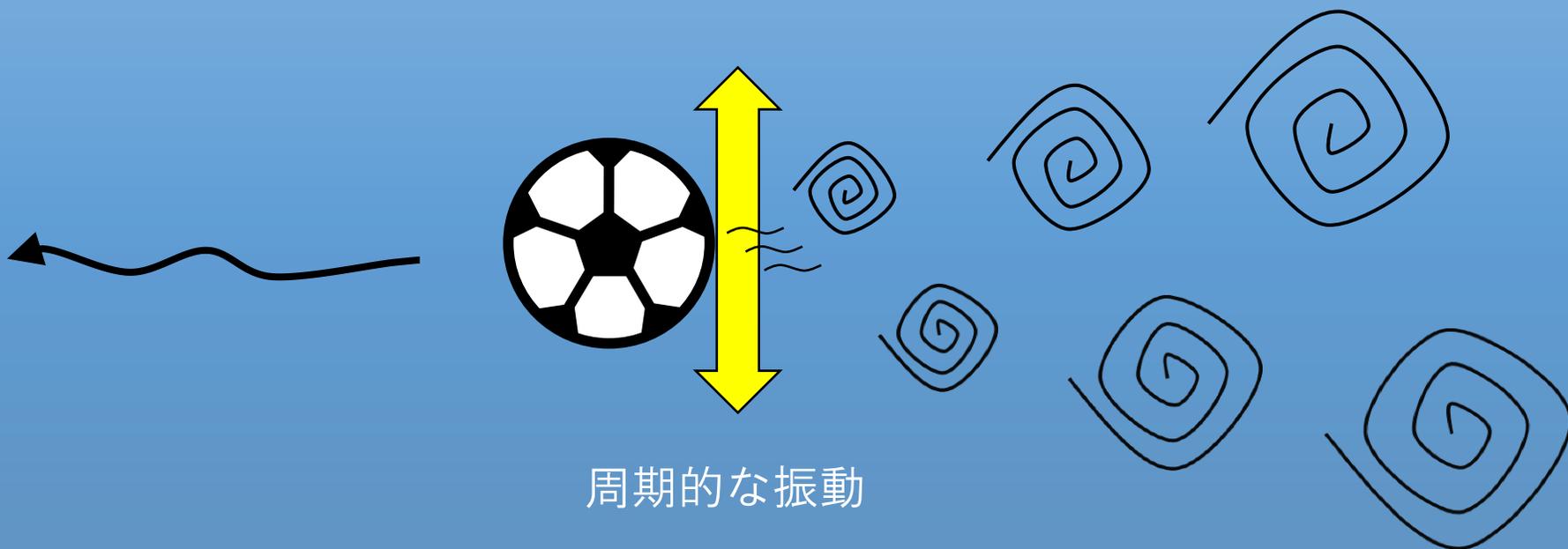
---

- イン트로
  - 目標, 流体力学とは, 関連授業
- 圧力
  - お茶の葉が集まる
- ベルヌーイの定理
  - 2枚の紙, 飛行機
- 揚力
  - スキージャンプ, 変化球
- カルマン渦
  - 無回転シュート
- まとめ

サッカーの無回転シュートや野球のナックルボールはなぜふらふらとした軌道を描く？



ボールの後ろにカルマン渦が発生し、  
この渦によって上下左右に引っ張られる



### カルマン渦

渦を放出するごとに，その反作用として物体に横向きの力が働く．

- 水中で棒を動かすと棒が左右に振動する
- 風が吹くとき電線が鳴る
- 旗がたなびく
- タコマ橋の崩壊の原因でもある

# 今日の内容

---

- イントロ  
目標, 流体力学とは, 関連授業
- 圧力  
お茶の葉が集まる
- ベルヌーイの定理  
2枚の紙, 飛行機
- 揚力  
スキージャンプ, 変化球
- カルマン渦  
無回転シュート
- まとめ

# まとめ

---

- コップの中の水を回転させると水面が2次関数になる  
→圧力差により沈殿物は中央に集まる
- 流線に沿って 静圧+動圧=一定 である  
→ベルヌーイの定理
- 揚力は物体と流れの相対速度が大きいほど強く働く  
→スキージャンプは向い風が有利
- 回転しながら流れの中を動くとマグナス効果が生じる  
→変化球が曲がる
- 一様流中の物体の後方にはある条件下でカルマン渦が生じる  
→無回転シュート

# 参考文献

---

## 身の回りの流体现象と流体力学

伊藤慎一郎（2009）『「流れの法則」を科学する—数式なしで見える流体力学—』技術評論社

石綿良三（2007）『図解雑学 流体力学』ナツメ社

木田重雄（1994）『パリティブックス いまさら流体力学？』丸善

## 学問として流体力学を学ぶ

日本機械学会（2005）『JSMEテキストシリーズ 流体力学』丸善

藤川重雄（2008）『機械系大学院への四力問題精選』培風館