

課題名 (タイトル) :

並列計算技術の数値流体力学への応用

利用者氏名 : ○高橋 直也 松崎 一憲 中西 輝  
 所属 : 本所 情報基盤センター

野球のピッチャーは投球時に、ボールに対して様々な回転をかけることで、ストレートボール、ナックルボール、ジャイロボールなど様々な球種を実現している。本研究では、飛翔中の回転する球を数値シミュレーションで再現し、各球種における流体力学的な特性を理解する。特に様々な球種に対応する回転数(スピンパラメータ SP)と回転軸角度  $\Phi$  についてシミュレーションを行い、抗力係数  $C_D$  のレイノルズ数  $Re$  およびスピンパラメータ(SP)依存性について解析を行う。

計算はモデルを入れない直接数値シミュレーションを行った。基礎方程式として連続の式およびナビエ・ストークスの方程式  $\text{div} \mathbf{u} = 0$

$$\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + (\mathbf{u} \cdot \text{grad}) \mathbf{u} = -\text{grad} p + \frac{1}{Re} \Delta \mathbf{u}$$

を用いた。ここで  $\mathbf{u}$  は流体の速度、 $p$  は圧力を表す。 $Re$  は球の直径と流体の動粘性係数  $\nu$  を用いて定義したレイノルズ数を示す。この方程式を MAC 法 (Harlow & Welch 1965) で差分法し、数値的に解くこととする。MPI を用いて並列化していて、計算は半径方向 37, 周方向 60, 主流方向 70, プロセッサ数 2 で行なった。

数値シミュレーションにより、レイノルズ数を  $Re=500, 1000, 2000, 5000$  と変化させ、解析を行った。ナックルボールとは回転していない球のことを言い、変則的な軌道を描く。ジャイロボールとは、進行方向に対して回転軸が同じ球をいう。またバックスピンストレートボールは、野球では「ストレート」と呼ばれる球種である。図 1 に、3 種の速度場を可視化した様子を示す。

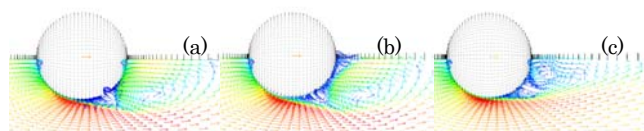


図 1 速度ベクトルの様子。(a)無回転(ナックル), (b)ジャイロ回転,

(c)バックスピンストレート.  $Re=5000$ .

無回転球の場合、実験で観測されたような剥離点、後流や渦の形成が観察された。また抗力係数も実験値と一致した(図 2)。これに比べ、球がジャイロ回転する場合(図 1(b)), 剥離が上流方向に移動する様子が観察され、抗力係数も  $Re=5000$  で若干の上昇が見られた(図 2)。バックスピンストレートの場合、後流がさらに上流で発生している(図 1(c))。

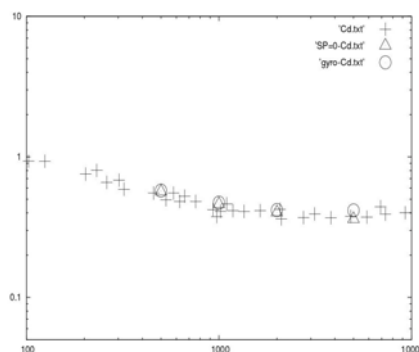


図 2 抗力係数のレイノルズ数依存性の実験値(中山 2008 より)との比較。

今後は解像度を増やしていき、抗力係数が急激に減少するドラッグクライシスや、ピッチャーが投球する球種のレイノルズ数  $Re$  が  $O(10^4) \sim O(10^5)$  を目指す。