

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*、栗林 悠人*

所属 : * 情報基盤センター 計算工学応用開発ユニット

1. 本課題の研究の背景、目的、関係するプロジェクトとの関係

球技において回転する球の空力特性は注目されており、特に卓球では勝敗を大きく左右する。風洞実験や飛翔実験、数値計算などで研究が行われているが、抗力係数(CD)、揚力係数(CL)の回転数依存性はまだ明確になっていない。そこで本研究では無回転球、バックスピンのボールを理化学研究所情報基盤センターのスーパーコンピュータ HOKUSAI GreatWave を用いて直接数値シミュレーション(DNS)を実行し、その結果を卓球ボールの飛翔実験と比較を行う。

昨年度は、実験でCLが球の回転数に比例する傾向が見られている [2] 事に注目し、圧力の境界条件を変更し計算を行ったが、実験値を再現しきれていなかった。速度の減速について条件に加えていなかったことが原因だと考えられた。今年度は速度の減速条件の変更を行い、回転数を無次元化したスピンパラメータ(SP)とCLの依存性について、DNSを用いて比較することを目的とする。

2. 具体的な利用内容、計算方法

流体の数値シミュレーションは非圧縮のナビエ・ストークス方程式を、MAC法[4]を用いて差分法により数値的に解いた。時間の離散化には一次精度の陰的オイラー法、空間微分項は中心差分、圧力項はSOR法を用いた。プログラムはFortranで作成し、MPIを用いて並列化を行った。

流れ場を表すパラメータのレイノルズ数 $Re=Ud/\nu$ について、Uは主流の速さ、dは球の直径、 ν は流体の動粘性係数であり、卓球競技における代表的な値を考慮して $Re=30000$ と 50000 の二種類で計算を行った。球の回転について、回転数 f をUとdで無次元化したスピンパラメータ $SP(=\pi df/U)$ で[0, 1.0]の範囲で0.1刻みに指定し、回転軸はバックスピストレートとなるよう主流に直角方向に取って実行した。

数値計算結果は実験結果と、抗力係数 CD, 揚力係数

CLについて比較を行なった。

3. 結果

Fig. 1に $Re=50000$ におけるCDとCLのSP依存性についてDNSと飛翔実験、風洞実験と比較したものを示す。0次、1次の境界条件によるCD, CLの値に大きな差は見られなかった。 $SP \leq 0.6$ ではCDは実験値と概ね一致するが、CLでは増加しているが実験値と一致しているとは言えない結果となった。 $SP > 0.6$ では実験値と同じようにCD, CL共に一度減少してから再び増加する振舞いがDNSでは見られなかった。 $Re=30000$ でも計算を行ったが同様な結果となった。

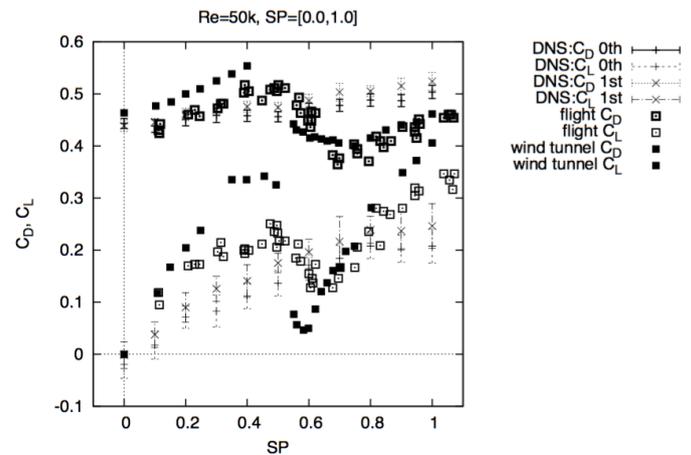


Fig.1 CD, CL 値の SP 依存性(数値シミュレーションと実験との比較)

Fig. 2に $Re=50000$ における $SP=1.0$ の、進行方向に対して上方の剥離部分を拡大したものを示す。剥離部分を拡大してみると層流遷移が起きていることが確認できる。実験では乱流遷移が起きていると考えられることから、このことが実験結果とDNSとの差の原因になったと考えられる。その原因として、DNSでは表面の粗さは想定していないので高い $Re \cdot SP$ でも層流のままと考えられること、それに対して実験で用いる卓球ボールは表面の粗さがある程度あることから、乱流遷移が剥離前に起こっていると考えられる。

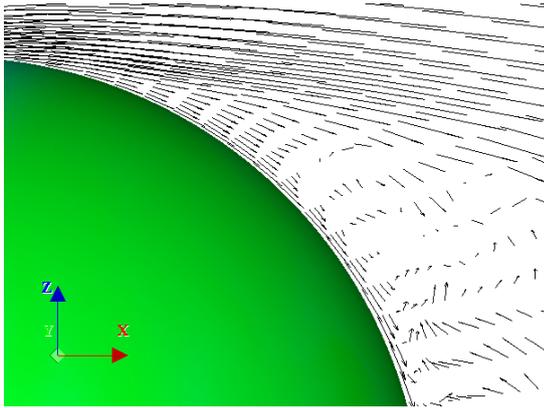


Fig.2 $Re=50000$, $SP=1.0$ での球上部での剥離点付近の流れ場の様子.

4. まとめ

卓球を想定した回転する球の直接数値シミュレーションを行い、実験値と比較した。抗力係数 CD 、揚力係数 CL とともに SP の増加に伴い増加し、 $SP \approx 0.6$ で概ね一致した。一方で実験のように減少し再度増加していく様は確認できなかった。DNS と実験との差が出た原因を調べるために可視化解析を行った。回転の影響により揚力が増加していることが確認できた。また境界層付近を拡大した可視化では、層流遷移になっていることが確認できた。しかしながら飛翔実験では乱流遷移となっているため、DNS との差が出ていると考えられる。

5. 今後の計画・展望

DNS と実験との違いについて検討を行う。さらに解像度依存性について詳細に解析をすすめるとともに、収束条件の取り扱いについても改良する必要がある。

6. 利用がなかった場合の理由

(該当せず)