

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*, **

所属 :

* 情報基盤センター 計算工学応用開発ユニット

** 東京電機大学 工学部 機械工学科

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と考えられている。流体力学的な見地からの理解を目指し、風洞実験や飛翔実験が行われ、抗力係数(CD)、揚力係数(CL)の回転数依存性の特徴的な依存性が明らかになってきている。一方でその仕組みを実験で再現することは困難なことから、数値シミュレーションによる再現が期待されていて、LESによる数値計算は行なわれているが、モデルの影響がどの程度か判断できない。そこでモデルなしの直接数値シミュレーション(Direct Numerical Simulation, DNS)に基づく現象の再現による、現象の理解が必要である。

本研究では回転する球の流体力学的な特性について、無回転球、バックスピン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、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 について、無次元化された回転数であるスピンパラメータ $SP(=\pi df/U)$ 、 d は球の直径、 f は回転数、 U は主流速度)の増加に伴う増加を再現できた。一方で実験のように SP の増加にともなう CD の減少、 CL の減少・再度増加していく様は確認できなかった。さらに解像度の影響についても不明な点があった。

本年度は実験値とのずれを検討するため、解像度の影響の考慮と、流入条件の変更を行う。

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なった。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ン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。

数値シミュレーションによる結果から CD 、 CL を見積り、実験結果と比較した。

3. 結果

$Re=30000$ および $Re=50000$ について、昨年度の解像度(2×10^7)から、簡易利用で現実的な時間で終了できる解像度(8×10^7)に増加させ、 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。その結果、昨年度の結果と有意な差は観察できなかった。このため現段階では解像度に起因する大きな問題は起こっていないものと判断した。また実行時間の問題から昨年度の解像度に戻し、次の実験を行なった。

流入条件について、これまでのように一様流だけでなく、攪乱を加えて実行することによって、実験環境を模擬可能か試みた。攪乱は正規乱数とし、平均が 0 、分散が主流の 0.2% および 2% となるように設定したうえで実行した。その結果、攪乱を入れる前後で有意な差は認められなかった。同様に分散の大きさによる違いも、圧力場計算の収束回数に違いが見られ、分散が大きい方が増加した。しかしながら CD, CL 値に有意な

差は認められなかった。このため、正規乱数では球表面での層流・乱流遷移を促進すると考え難く、自然界の攪乱を模擬するには不十分と考えられる。

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、解像度依存性と攪乱に対する応答について調べた。解像度は $Re=10^6$ 程度で、簡易利用で調べられる範囲においては CD, CL 値に差は出なかった。一方で攪乱については、正規乱数では飛翔実験中の空気の乱れ成分を模擬できず、何らかの改良が必要である。

5. 今後の計画・展望

攪乱成分として、非圧縮性だけでなく、乱流に特徴的なスペクトルを持った乱数を生成し、数値実験を行う。また簡易利用において有意な差が確認できるようであれば、一般利用等での高解像度での実行を検討する。

6. 利用がなかった場合の理由

(該当せず)