

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\*, \*\*

理研での所属研究室名 :

\* 本所 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重要である。特にサッカーや卓球では、任意の回転軸・回転数を与えることで、ボールの飛行経路を変化させることにより、相手の予想を外して得点に結びつけている。この現象は球周りの流れとして基礎的な問題であり、古くから研究されているが、回転が加わった場合の振る舞いは最近でも注目されるなど新しい問題でもある。このため実験でも、回転する球の抗力係数(CD)、揚力係数(CL)の回転数への依存性の特徴的な依存性が明らかになってきている。一方でその依存性は飛行実験(固定ジグなし)と風洞実験(固定ジグあり)で異なるなど、未だ議論に決着がついていない。このため数値シミュレーションによる再現が期待されていて、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と言える。

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行実験と比較を行う。

昨年度までは、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ったが、飛行実験

との対応をつけることはできなかった。

今年度は引き続き解像度の向上を目指すこととした。

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,  $\nu$  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

$Re=30000$  について、昨年度の解像度 ( $8 \times 10^7$ ) から、配列の分割方法を見直すことによって、簡易利用でも  $2 \times 10^8$  に増加させることができ、また計算時間も現実的な長さで収束することを確認できた。一方、その結果得られた  $CD$  と  $CL$  の  $SP$  依存性について、昨年度までの DNS の結果と比較した。その結果、昨年度までの結果との明らかな差は見られなかった。また飛行実験の結果とも比較したが、抗力係数に対する背景風の影響はあるが、それほど強くはなく、風洞実験と飛行実験の差を埋めるものではない、との結論に至った。

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、解像度をさらに向上させるためのプログラムの見直しを行った。その結果、解像度を  $8 \times 10^7$  から  $2 \times 10^8$  へ向上させることができた。この時の実行時間は比較的長時間だが、簡易利用で実行できる範囲に留まっていた。このため CD, CL 値への解像度の影響を探ったが、有意な差は捕らえられなかった。このため飛翔実験と DNS の結果の差は解像度によるものではないと考えられる。

5. 今後の計画・展望

CD, CL 値の差だけでなく、球表面での剥離・再付着現象といった流れ場・渦構造の変化に注目し、十分高い解像度を持った DNS で飛翔実験の結果が再現できない点に着目し、解析を行う。

6. 利用がなかった場合の理由

(該当せず)