

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\*,\*\*、若宮章紘\*\*, 大原 滉平\*\*

所属 : \*本所 情報基盤センター

\*\*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。風洞実験や飛行実験、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(CLZ)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、バックスピニングボールを情報基盤センターのスーパーコンピュータ RICC 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。

これまで、計測結果において揚力係数 CLZ が球の無次元化された回転数(スピンパラメータ, SP) に比例する傾向に注目し、速度場の境界条件の修正、圧力場の収束条件の修正などの変更を試みてきた。今年度はさらに、圧力の境界条件を見直すこと、収束条件を工夫することで実験が行なわれているレイノルズ数  $Re=20000\sim 40000$  程度での数値シミュレーションを行い、実験結果との比較を行うことを目的とする。

## 2. 具体的な利用内容、計算方法

基礎方程式は、連続の式およびナビエ・ストークスの方程式を MAC 法を用いて、差分法により数値的に解く。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 を用いて並列化してある。

## 3. 結果

図 1 に、 $Re=20000$  における飛行実験結果との比較を示す。ここで解像度は 2 通り実行し、それぞれ  $(r, \theta, z)$  方向にそれぞれ  $(187, 306, 352)$  (「dim4」としてあるもの)、 $(233, 382, 440)$  (「dim4.5」としてあるもの)取っている。どちらの解像度でも抗力・揚力係数の

値への影響はほとんどなかったことから、今回行なった数値シミュレーションにおけるレイノルズ数(20000~40000)では「dim4」で実行を行なった。

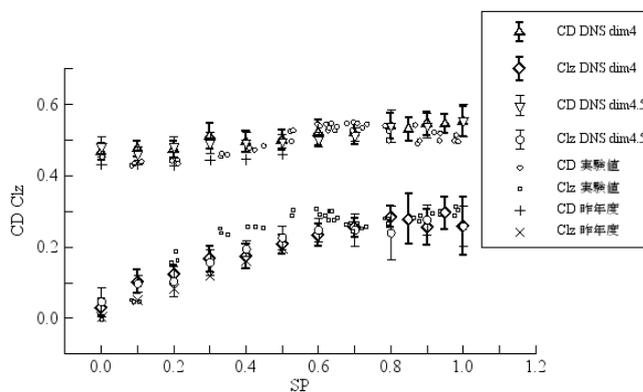


図 1  $Re=20000$  における揚力・抗力係数のスピンパラメータ SP 依存性。

抗力係数 CD の結果について、数値シミュレーションで得られた値は飛行実験のものをよく再現した。

抗力係数 CLz について、数値シミュレーションの結果は SP が 0.8 以下で CLz は SP に比例し、それ以降一定の値を取る傾向が見られた。これは飛行実験の結果を概ね再現していると考えられる。一方で  $SP=0.4$  付近では数値シミュレーションによる値は飛行実験のものに比べて小さくなっている。このような傾向は  $Re=30000, 40000$  でも見られたことから、原因を調べるため、可視化解析を行った。

Fig.2 に、 $Re=20000$  における球周りの流れを、速度場(球まわり)および圧力場(球表面)で可視化したものを示す。回転の影響で、 $SP=1.0$  では後流が下方に伸び、剥離点が移動していることがわかる。しかし実験結果との違いを説明できず、より詳細な解析が必要である。

## 4. まとめ

回転する球の空力特性(抗力係数および揚力係数)を調べるため、MAC 法を用いた数値シミュレーションを行った。昨年度までに見付かった圧力場の境界条件、速度場の収束条件の見直しを行うことにより、飛行実験が行なわれている  $Re=20000$  ~  $40000$  でも数値シミュレーションを行った。その結果、飛行実験結果を概ね再現することができたが、特に揚力係数において飛行実験との差があることがわかった。

## 5. 今後の計画・展望

揚力係数の値について、数値シミュレーション結果と飛行実験の結果との間に差が出た  $Re=20000$ ,  $SP=0.4$  付近における結果について、可視化解析を行い、実験値との差の原因を調べる。またより高いレイノルズ数において発生が予想されているドラッグクライシス(抗力係数が突然減少する現象)の再現も目指す。

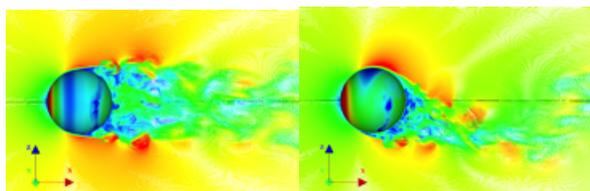


Fig.2 回転する球の可視化解析結果.  $Re=20000$ .

左 :  $SP=0.0$ . 右 :  $SP=1.0$ .