

バスタブ渦の起源

日常生活で、浴槽や台所のシンク内の水を排出するときにバスタブ渦と呼ばれる水の渦巻き流が見られる。この渦の回転方向は、台風などとの類推から、地球の自転によるコリオリ力によって北半球では反時計まわり、南半球では時計まわりであるという「俗説」が有力である。しかし、バスタブ渦のような小さな渦構造に及ぼすコリオリ力の影響は非常に小さく、バスタブ渦の回転方向はコリオリ力では決まらぬとする意見も強い。マサチューセッツ工科大の Ascher H. Shapiro 教授は、北半球のアメリカ合衆国ボストンで、円筒容器を用いた軸対称流れの詳細な実験を行い、バスタブ渦の回転方向は反時計回りとなって、コリオリ力によって決まることを確かめた。Shapiro はその成果を 1962 年に科学誌 Nature に論文として発表した。その結果には懐疑的な意見も数多く出されたが、南半球にあるオーストラリアのシドニーで追実験が行われ、時計まわりのバスタブ渦が観測されることによって Shapiro の実験結果の正しさが確認された。しかし、実験には軸対称性を阻害する要素が入り込むため、現在においてもバスタブ渦の向きが決定される機構は明らかにされていない。

最近、京都大学工学研究科と同志社大学工学部の研究グループは、完全な軸対称条件のもとで、円筒容器中の水が排水される時の流れの数値シミュレーションを行い、バスタブ渦の形成とその維持機構を数値的に調べた。その結果、もし流れが完全に軸対称で、排水する直前の水が完全に静止していて残留渦度がないときには、発生するバスタブ渦の回転方向は北半球では反時計回りであることを明らかにし、「俗説」が正しいことを証明した。しかし、日常的に私たちが見るバスタブ渦は、初期にバスタブ内に存在する残留渦度が排出口付近に集まることで一時的に観測される渦であり、その回転方向は残留渦度の性質で決まり、予測不可能であることも分かった。この成果は、日本物理学会が発行する英文誌 Journal of the Physical Society of Japan (JPSJ) の 2012 年 7 月号に掲載された。

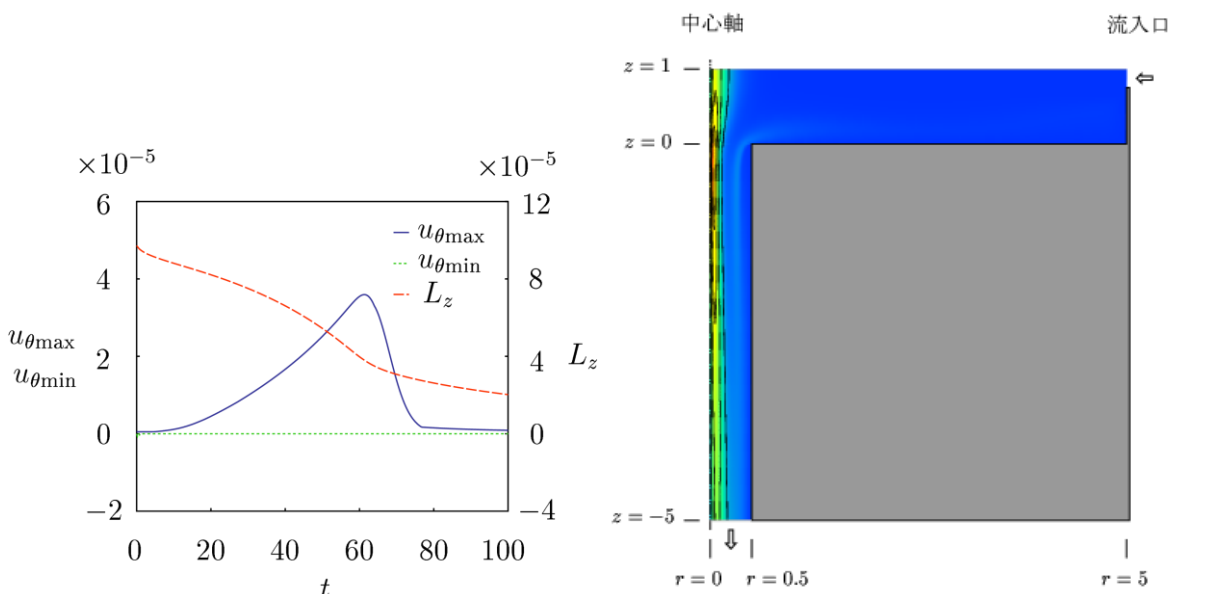


図 1. (左) 周方向速度の最大値($u_{\theta\max}$), 最小値($u_{\theta\min}$), 全角運動量(L_z)の時間変化. (右) $t=61$ における鉛直断面内の周方向速度分布. 暖色(赤)と寒色(青)は、それぞれ、周方向速度の大きい領域と小さい領域を表す.

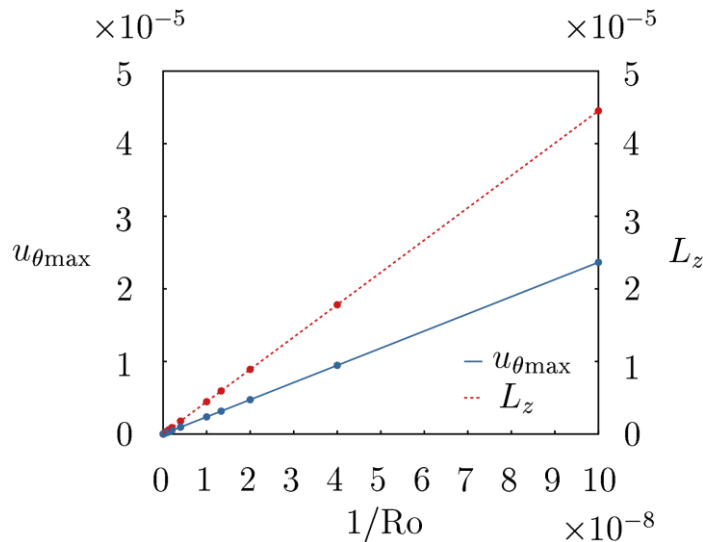


図2. 最大周方向速度($u_{\theta max}$)と各運動量(L_z)のロスビー数(Ro)依存性.

この研究では、浴槽の代わりに円筒容器を用い、円筒容器の底面の中心に付いた細い円筒の排出パイプから水が排水され、円筒容器の側壁上端から連続的に水が供給されて、水面が常に一定となる流れを考えている。容器内の流れは比較的遅く（レイノルズ数=3000）、流れ場は軸対称であると仮定している。容器が静止している（地球の回転の影響を受けない）場合、初期に側壁付近に存在したわずかに周方向速度をもつ流体粒子が排出口に近づくにつれて、流体粒子の周方向速度は大きくなる（図1左、実線）。これは、流体粒子のもつ中心軸方向の角運動量がほぼ保存され、中心軸から流体粒子までの距離が短くなることによって粒子の回転速度が大きくなることにより生じる。このとき見られるバスタブ渦の回転方向は、初期の側壁付近の残留渦度の分布によって決定されるため、一意には定まらない。また、この種のバスタブ渦は一時的なものであり、時間の経過とともに流出する。一方、容器が中心軸まわりに回転し、コリオリ力の影響を受ける場合、初期の残留渦度の影響による過渡的な渦が生じた後、最終的には、コリオリ力によって一意に定まる定常なバスタブ渦が形成される（図1右）。このとき、定常状態におけるバスタブ渦の周方向速度は、浴槽の回転速度（ロスビー数の逆数）に比例する（図2、実線）。なお、初期の残留渦度の影響による過渡的な状態では、バスタブ渦の回転方向は一意には定まらず、残留渦度の分布に応じて、定常なバスタブ渦とは逆向きの回転が一時的に見られることがある。

この研究では、容器と流れ場が完全に軸対称であることが仮定されている。日常生活にある実際の浴槽や台所シンクは軸対称でなく、仮に浴槽が軸対称であったとしても、レイノルズ数が大きい流れは3次元的になって、流れ場の軸対称性は破れる。流れの3次元的な振る舞いによって、軸対称流れとは異なるバスタブ渦の形成機構が存在する可能性がある。バスタブ渦は日常的に見られるが、依然として未解明で興味深い現象である。

論文掲載誌 J. Phys. Soc. Jpn. **81** (2012) No.7, p. 074401

電子版 <http://jpsj.ipap.jp/link?JPSJ/81/074401> (6月15日公開済)

<情報提供：横山 直人(京都大学大学院工学研究科)

水島 二郎(同志社大学理工学部) >