

渦輪の追い越しと音波の発生

Leapfrogging of vortex rings and sound generation

○ 井上 睿, 東北大学流体科学研究所, 〒980-8577 仙台市青葉区片平2-1-1, Email: inoue@ifs.tohoku.ac.jp
 川崎 大生, 東北大学流体科学研究所, 〒980-8577 仙台市青葉区片平2-1-1, Email: kawasaki@miro.ifs.tohoku.ac.jp
 畠山 望, 東北大学流体科学研究所, 〒980-8577 仙台市青葉区片平2-1-1, Email: hatake@miro.ifs.tohoku.ac.jp
 大沼 盛, 東北大学流体科学研究所, 〒980-8577 仙台市青葉区片平2-1-1, Email: onuma@ifs.tohoku.ac.jp
 Osamu INOUE, Institute of Fluid Science, Tohoku Univ., Aoba-ku, Sendai 980-8577, JAPAN
 Hiroo KAWASAKI, Institute of Fluid Science, Tohoku Univ., Aoba-ku, Sendai 980-8577, JAPAN
 Nozomu HATAKEYAMA, Institute of Fluid Science, Tohoku Univ., Aoba-ku, Sendai 980-8577, JAPAN
 Sakari ONUMA, Institute of Fluid Science, Tohoku Univ., Aoba-ku, Sendai 980-8577, JAPAN

Flow fields generated by two coaxial vortex rings having the same sense of rotation are simulated numerically, and the generation and propagation mechanisms of sound are studied. The axisymmetric, unsteady, compressible Navier-Stokes equations are solved by a finite difference method over the entire acoustic field from near to far fields. The results show that the basic nature of the sound depends strongly on the vortex motion induced by the mutual interaction of the two vortex rings.

序論

渦輪の運動に伴って発生する空力音は、ジェット騒音など流体騒音発生の基本的メカニズムの一つとして理論・実験・数値計算の各面から研究されている¹。ここでは、二つの渦輪が同方向に運動し、蛙飛びや融合を行う場合に発生する音を、ナビエ・ストークスの式を高精度の有限差分法を用いて数値的に解くことにより直接求め、音の発生と伝播のメカニズム並びに発生する音の性質を調べた結果を発表する。

計算方法

基礎方程式として軸対称・非定常・圧縮性ナビエ・ストークスの式を用いる。計算には、空間微分に六次精度compact Padéスキーム²（境界三次精度）を、時間積分には四次精度Runge-Kuttaスキームを用いた。境界条件には無反射境界条件を用い、非一様矩形格子を採用した。格子点数は x, y 方向に各々1930, 660点である。渦輪のマッハ数 M は0.075 - 0.2、渦輪の半径と進行速度に基づいたレイノルズ数 Re は400 - 2000である。

計算結果

図1に、渦輪の強さ、渦輪の半径、及び渦核半径が同じ二つの渦輪が自己誘導速度で同方向に運動する場合の流れ場を示す。二つの渦輪は交互に追い越しを行なう、いわゆる蛙飛び運動（leapfrogging）を行い、最終的には融合して一つの渦輪になる。追い越しの回数はレイノルズ数が大きくなるにつれて増加する傾向を見せ、 $Re = 400$ ではすぐに融合が始まるのに対し、 $Re = 2000$ では3回の追い越しの後融合するのが見られた。音波は渦輪の追い越し・融合の各々の現象に伴って生じ、レイノルズ数が大きくなるにつれて発生する音波の数も増加する傾向を見せた。渦輪の進行方向とその反対側では観測される音波の周波数が異なる（ドップラー効果）。

考文献

1. Inoue, O., Hattori, Y. and Sasaki, T., "Sound generation by coaxial collision of two vortex rings," *J. Fluid Mech.*, **424**(2000), pp. 327-365.
2. Lele, S. K., "Compact finite difference schemes with spectral-like resolution," *J. Comp. Phys.*, **103**(1992), pp. 16-42.

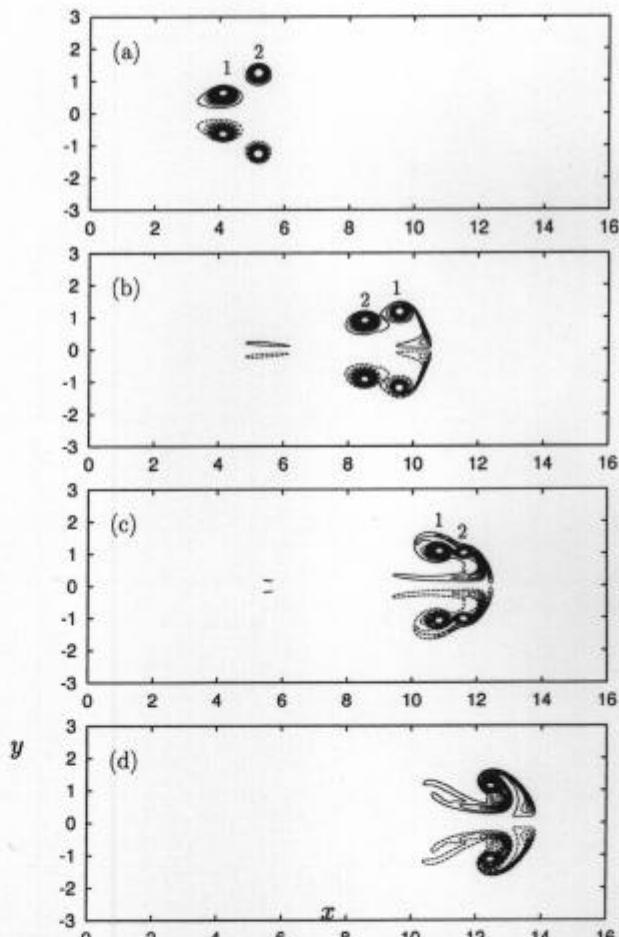


Fig. 1: Leapfrogging of two coaxial vortex rings. Vorticity. $M_1 = M_2 = 0.15$, $Re = 2000$.