

〔ながれマルチメディア〕

秩序渦と乱流場との相互作用について

*電通大院・機械制御工学 高橋直也[†]
 *電通大院・機械制御工学 石井宏幸
 *電通大院・機械制御工学 宮崎武
 **航技研 山本稀義

Interaction between ordered vortex and turbulence

Naoya TAKAHASHI, Hiroyuki ISHII and Takeshi MIYAZAKI

Department of Mechanical Engineering and and Control Systems,

University of Electro-Communications

Kiyoshi YAMAMOTO

National Aerospace Laboratory of Japan

(Received 17 May, 2002 ; in revised form 17 September, 2002)

http://www.nagare.or.jp/mm/2002/takahasi/index_ja.htm

We investigate the interaction of a Lamb-Oseen vortex and external turbulence by direct numerical simulations. Initial external turbulence ($R_\lambda \approx 120$) is produced by another numerical simulation based on the Fourier-spectral method. According to flow visualization, fine structures (worms) are stretched by the differential rotation of the columnar vortex, and spiral-like filament structures are formed around the columnar vortex. The columnar vortex is deformed by the vortex wave excited by the interaction between the columnar vortex and ambient turbulence. The flow field is analyzed statistically, and the energy transfer between the inside and the outside of the core of the columnar vortex is studied in detail.

大規模な秩序渦構造が乱流場と相互作用する現象は、自然界や工学上の問題として頻りに現れ、剪断乱流中では二次元的な大規模渦が周辺乱流場と相互作用して3次元化が促進される例や、飛行機の翼端から発生する後引き渦と乱流場との相互作用で崩壊することが観察されている。このように秩序渦の安定性について解析することは流体力学的な問題としても興味深い問題である。

ストレイン場によって渦核が楕円型変形された秩序渦は渦波の共鳴的励起現象（楕円型不安定性）によって不安定化する。一方Lamb-Oseen渦はNavier-Stokes方程式の線形安定な軸対称解

であるが、乱流との相互作用によって不安定化することが報告されている。本論文では乱流場中における秩序渦の振舞いをDNSによって再現し、相互作用によって起こる秩序渦の大規模渦構造の変化と、乱流場の微細渦構造の渦輪状構造への変化を、可視化解析と統計解析を用いて捉えることを目的とする。

秩序渦であるLamb-Oseen渦は線形安定であるため、秩序渦の変形は乱流との相互作用によって発生したものと言える。このような変形は秩序渦の主成分である渦度の鉛直成分の可視化によって捉えられた(図1)。その結果、渦核内での軸対称波と、渦表面での屈曲波との発生が見られた。このような流れ場を統計的に解析すると、攪乱エネルギーの増幅に異質性が見られた(図2)。半径

* 〒182-8585 調布市調布ヶ丘1-5-1

† E-mail: naoya@miyazaki.mce.uec.ac.jp

** 〒182-8522 調布市深大寺東町7-44-1

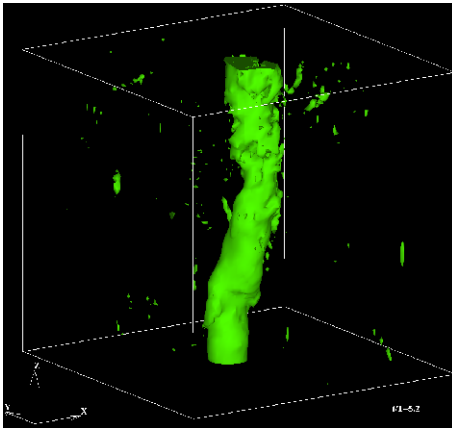


図1 ω_z による秩序渦の可視化
 $(\alpha = 40, t/T = 5.2, \omega_z = 0.77 \max_r \langle \omega_z \rangle (r))$

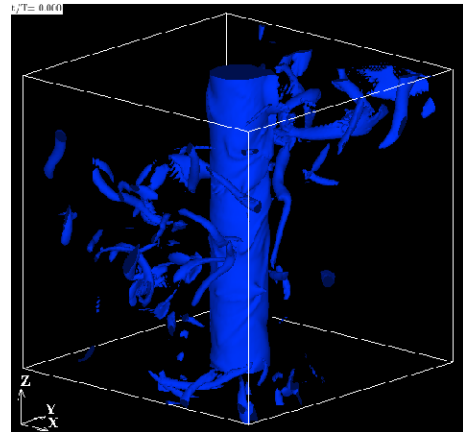


図3 エンストロフィーの時間変化 ($\alpha = 40$).

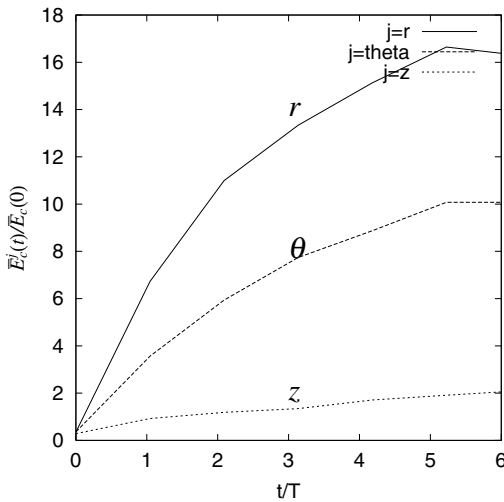


図2 渦核内の攪乱の成分毎の時間変化 ($\alpha = 40$).

方向成分の攪乱の増幅が顕著であった。これは表面に発生した屈曲波を捉えたものである。一方で、鉛直方向成分のエネルギーの増幅はほとんど見られなかった。これは秩序渦の持つ ω_z 成分によって軸方向攪乱の増幅が抑えられたためである。図3は秩序渦周辺の渦構造をエンストロフィーの等値面で可視化したものである。この図には、秩序渦の差分回転によって活性化され、その結果はじめランダムな方向を向いていた微細渦が秩序渦周辺に周方向に揃えられている様子が捉えられた。これは秩序渦の差分回転によるもの

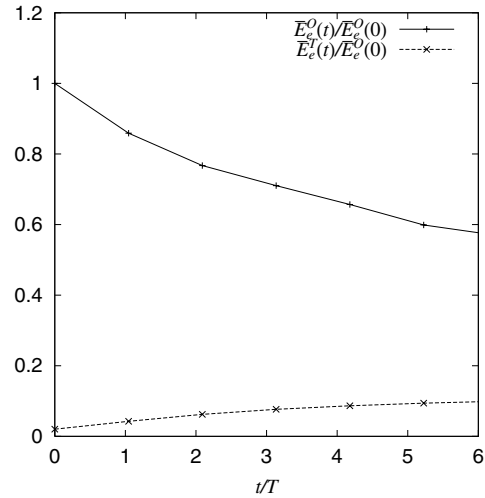


図4 渦核外部での単位体積当りのエネルギーの変化。実線：平均流のエネルギー，点線：攪乱エネルギー。 $t = 0$ の平均流エネルギーで規格化。 $\alpha = 40$ 。

であり、RDTの描像とよく一致する。秩序渦が2回転すると、フィラメントが渦輪状の構造を形成し、延長されて微細化が促進された。このような変化は統計的に確かめられた。渦核外部では平均流の持つエネルギーは減少し、それにつれて攪乱エネルギーが増大した(図4)。これは秩序渦の持つ大規模構造のエネルギーがカスケードし、フィラメントを通して効率よくエネルギーを散逸していると言える。