Japan Society of Fluid Mechanics

外力を加えた熱対流中の鉛直渦の生成に関するDNS解析

DNS analysis of vertical vortices in thermal convection

○飯島　遼太, 東工大院, 神奈川県横浜市緑区長津田町 4259 G5-7, E-mail: iijima@depe.titech.ac.jp
田村　哲郎, 東工大院, 神奈川県横浜市緑区長津田町 4259 G5-7, E-mail: tamura@depe.titech.ac.jp
IIJIMA Ryota, Tokyo Institute of Technology, G5-7, 4259, Nagatsuta, Yokohama
TAMURA Tetsuro, Tokyo Institute of Technology, G5-7, 4259, Nagatsuta, Yokohama

Various types of vertical vortices are seen in a convective boundary layer such as tornado and dust devil, which offen cause some damage to human life activity. According to the past studies, the vertical vortices are formed in natural convection. But the stronger vortices are seldom seen because of the symmetry. In this study, we performed three cases of DNS of the thermal convection with/without the external forces, (a) natural convection, (b) convection with upward flow, (c) convection with upward flow and rotation, in order to investigate the characteristics of the stronger vortices. The result shows that the stronger vertical vortices are formed in the case (b),(c), and shows more detailed characteristics of them.

1. はじめに

大気中に生じる強い鉛直旋回流は，竜巻等としてときに大きな被害をもたらすことなどから，より詳細な物理機構の解明が期待されている．そのような鉛直旋回流が生じるひとつの状況として，地面からの熱供給による対流がある．

自然対流中においては，対流セルの境界をなす筋状の上昇流領域に沿って水平渦が生じ，それが局所的に強い上昇流によって立ち上げられ，鉛直上向きに引き伸ばされることによって鉛直渦が生じるというメカニズムが存在していると考えられる[1]。

しかし，地面からの熱供給のみによる自然対流ではその対称性などから，大気中の激しい旋回流を表すような，ある回転方向に卓越した鉛直渦が生じる可能性は低い。

そこで本報では，卓越したより激しい鉛直渦の生成メカニズムや物理機構を調べるため，熱対流に加えて外力による場の回転及び上昇流を導入した直接数値計算 (DNS) の結果及びその考察について述べることとする．

2. 解析手法・計算条件

本研究では、初期の平均風速が 0 かつ地面の熱フラックス一定という共通の条件下で、(a) 外力なし、外力による (b) 上昇流、(c) 上昇流及び場の回転の３つのケースについて Boussinesq 近似により浮力を考慮した基礎方程式を用いて DNS による計算を行なう（Fig.1 左上図参照）。外力としては速度場の影響を力としてフィードバックさせる Goldstein ら[2] の方法に倣った。

境界条件は、速度については側面に周期的、上下面にすべりなし条件を課す。また、温度については地面境界における熱フラックス H_0 を一定として熱を与える。また、温度の初期条件として計算領域の上層に逆転層を配置し、対流の発達を抑制する。

無次元パラメータはレイノルズ数 $Re = LU/\nu$ =2360、$Pr = \nu/\alpha$ =0.71 を用い、計算手法は、時間進行は MAC 法、時間発展は Adams-Bashforth 法、計算格子はスタガード格子、また圧力方程式の解法は SOR 法である。計算領域については水平方向、水平方向、鉛直方向の順に無次元長さで 2.5 × 2.5 × 1.6 の底面を正方形とする直方体とし、格子数は 256 × 256 × 128 としている。

3. 計算結果及び考察

同時刻のケース (a)〜(c) の渦構造について Fig.1 に示す。これらの図で、管状の物体は強い渦の存在を表し、半透明の領域は温度の等値面を表す。

図から、ケース (a) が最も鉛直渦の発生が弱く、一方、上昇流を加えたケース (b) では複数の強い鉛直渦が生じていることがわかる。これは、温度分布から分かるように外力による上昇流の効果で地面からの局所的上昇流であるプルームが激しくなり、そこでの渦度の集中及び引き伸ばし効果によってより強い鉛直渦が生じやすくなったためであると考えられる。

また、ケース (c) では (b) に比べて渦の数は少ないものの、外力による回転とその集中化によって、与えた回転と同方向かつ卓越した強さをもつ鉛直渦が領域の中央付近に発生していることが分かる。この渦も局所的な上昇流を伴っており、より激しい局所的上昇流の存在と周辺流れ場のある方向への回転が、対流中での卓越した鉛直渦の発生に大きく寄与すると考えられる。

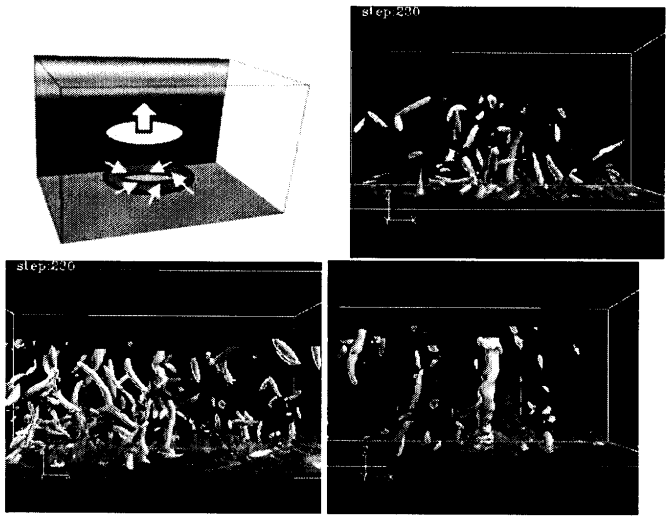

Fig. 1　（左上）計算モデル図
渦度及び温度の等値面図（右上）ケース (a)、（左下）ケース (b)、（右下）ケース (c)

参考文献

(1) Kanak, K. M., D. K. Lilly and J. T. Snow　"The formation of vertical vortices in the convective boundary layer." Quart. J. of the Roy. Meteor. Soc., V126A, p. 2789-2810., 2000
(2) D. Goldstein, R. Handler and L. Sirovich, "Modeling a no-slip flow boundary with an external force field." J. Comput. Phys. 105, p. 354-366., 1993

NII-Electronic Library Service