

航空研究所彙報

第六十四號

昭和四年十二月

對流に因る週期的柱狀渦の 生成に關する實驗

(航空研究所報告第五十三號抄録)

所員 寺田寅彦
技師 玉野光男

前回の報告⁽¹⁾に於て、水平な二つの境界平面の間に充たされた液體の表面を冷し、又底面を熱した場合に、對流の結果として生ずる週期的柱狀渦の種々の場合に關する實驗の結果を述べておいたが、其後更に、液體の代りに空氣を用ゐて、同様の實驗を行つた。其結果には多少航空學上にも參考になると思はれるものがあるから、茲に其概要を報告するここにする。歐文報告の方に稍詳しい記述を、多數の寫眞を載せてあるから、此問題に興味を感じらるゝ讀者は其方を見られるやうに希望する。

前回の實驗と同様に今回のも全部質的で量的ではない。唯、量的の取扱ひにかゝる前に知つて置かなければならないと思はれる當該現象の基礎的の本質を幾分でも明かにすることが吾々の目的である。

(1) 細長い短冊形の斷面(幅25糎、高さは0から5糎迄加減が出来る)を有する風洞(長さ50糎)を用ゐ、其下底面の眞鍮板を電熱して、洞内空氣の對流を起させ、同時に風洞軸の方向に氣流を通ずるに、前報告液體の場合と同様な柱狀渦の週期的な列が出来て、柱軸は氣流の方向に並列する。此れは風洞の風上から送り込む線香の煙の描き出す縞模様によつて認めることが出来る。

(2) 煙の線條は螺旋狀の紐のやうに捻れる。此の螺旋のピッチは柱軸からの距離によつて餘

⁽¹⁾ 航空研究所歐文報告第三十一號

り著しい変化がない。一方で風洞軸の方向の速度は略一様であるから、極概略に云へば柱状渦は全體として恰かも一つの圓筒のやうに廻轉しつつ進行して居るを考へてもよい。

(3) 風洞の底板を一様に熱する代りに、其上に等間隔(風洞の高さの約二倍)に、互に並行なニクロム線を張り(風洞軸の方向に)、此の針金に適當な電流を通ずるを、矢張前と同様な柱状渦列が出来る。さうして煙の縞模様も大體には同じ形になる。これは可成興味のある事實であらうと思はれる。即ち前の場合には底板全體を熱して居るに拘らず、渦柱のメカニズムの爲に、結果は底板上の特定の箇所だけを熱したを略同等になるのである。若し此の機構を全然知らずに結果だけ見れば、一様な加熱によつて熱の集中を生じるをいふ一見逆理的な現象も見られるのである。

(4) 柱状渦列の横断面内の温度分布を概略的に測つて見るを、丁度渦列に相當する週期的の分布が見られる。さうして、垂直方向の温度傾度は水平方向のそれに比して著しく大きい。一つの渦柱の頂上と下底との差が 14°C .もある場合に左右兩側の温度差は 0.5°C .に足りない程である。これは或意味で柱状渦の著しい安定を示すものを云つてよい。

(5) 風洞の底板を熱するだけで、特別に氣流を通じない場合にも、矢張一般に柱状渦列を生じるが、此場合には、渦柱軸は最早直線的でなく、色々に彎曲し、又相隣る二つの渦柱が或點で互に融合して、ヘアピン状の曲り目を生じなす。細隙を通ずる光線の薄板で渦柱を縦斷して照らして見るを、渦柱内の煙が驚くべき複雑な螺旋状構造をして居るこゝが分かる。それは渦柱軸を軸とする複雑な廻轉體の面に巻きつけられた螺旋状曲線のあらゆる變形を示すものである。又渦柱内の煙は單に柱軸のまはりに廻轉するのみならず、又柱軸の方向に緩徐な分速度を有して居るこゝも分かる。

(6) 風洞の底板の中軸に並行に唯一本の針金を張つて、此れに電流を通じた場合には、針金の兩側に一つづつ扁平な渦柱を生じるが、其渦柱の中軸に近い煙の管は所々に縊れた箇所と膨れた箇所を生じ、此の變形は不安定で次第に生長し、膨れた處が傘状或は傘状の結節になる。此のやうな變形した管の上に煙の線が螺旋状に巻き付いて居るのである。此の實驗によつて、一般の場合に於ける極めて複雑な煙の模様を生ずる経路の一端を窺ふこゝが出来る。

(7) 風洞を用ゐないで、單に一様に熱した水平な金屬板上に長方形の硝子函を載せた場合も實驗して見た。函の高さは1.5 糎で大きさや形は色々變へて見た。細長い底面を有する函の場合には、並行な柱列の柱軸が函の短邊と並行に並び易い傾向がある。併し、此のやうに短邊に並行な柱列が出来て居る場合に、冷却された眞鍮棒を、函の蓋ガラス板の上に、長軸と並行に、適當の位置におくを、此の眞鍮棒の冷却作用で其下に當つて下降氣流を生じる爲に、此れが先導の役目をして、次第に渦列の變形が起り、結局は眞鍮棒に、即ち長邊に並行な渦柱列に變つてしまふ。これは多少付磁の現象をこのアナロジーがあつて面白いかと思ふ。其他の場合でも、此のやうに適當な冷却或は加熱を行つて、渦柱列を或度迄隨意に變形させるこゝが出来ると譯である。又ガラス函の上蓋に小さな

穴を明けるこ、其處から進入する冷たい空氣の柱が先導となつて其周圍に同心環狀の渦柱が出来る。又二つの相隣れる渦柱の境界に當る部分の一點を蓋ガラスの上から熱し或は冷却するこによつて二渦柱を融合せしむるこも出来る。

(8) 硝子函内に生ずる渦柱を烟の移動する経路を詳しく調べる爲に、函の上蓋又は横壁の一點から少量の烟を送り込み、其烟が段々に擴がつて行く狀況を活動寫眞に撮つて見た。其結果から烟が渦柱の長さの方向に擴がりながら、次第に複雑な模様を展開して行く経路を知るこが出来た。規則正しい直線狀渦柱が並行に並ぶやうな場合には、柱の兩端に當る横壁の前で相隣る二柱の端が互に連結するのが普通である。此れは此横壁に沿ふ對流が重なる影響こして説明される。又横壁から渦柱の内部に向ふ流れが出来て其爲に烟の模様は特殊な啞鈴のやうな形を示す。

(9) 更に硝子函内の烟の模様の微細な構造を検査する爲に、極めて薄い光束板で渦柱の色々な高さの水平縦断面や又一つ一つの渦柱の垂直縦断面、又其横断面等を照して、大きく寫眞に撮つて見た。其結果こして複雑極まる烟の模様の構造こ其の生成の機巧をも幾分明にするこが出来た。又顯微鏡で烟の一つ一つの粒の運動の方向等も調べて見た。其等の結果を綜合して見るこ、烟の運動は一部は渦柱内の空氣の運動を示すこ勿論であるが、又一方では空氣に對する相對運動があつて其爲に色々な模様を生ずるものこ考へられる。其のやうな相對運動の生ずる原因はよくは分らないが、主こして空氣の各層間の速度差による二次的効果によるものこ想像される。烟の粒に對するマグヌス効果の如きものも一つの原因こ考へられる。兎も角も普通ならば唯次第に一樣に擴散して均等分布に向ふ筈の烟が、渦動の機巧によつて或部分には集注し、或部分からは取り出され、chaosから規則的構造が出来上るこいふこが最も興味のあるここ、考へなければならぬ。

(10) 上記の如き烟の模様は原因の如何によらず常に回轉せる流體柱に固有なものであるかぎうかを見る爲に、別に烟を入れた硝子の圓筒を其軸のまはりに廻轉させて見た。圓筒の一端の底面は筒に固定し、他の一端の面は臺に固定した。さうして廻轉軸を水平にした場合こ垂直にした場合こ兩方實驗して見た。いつれの場合にも、固定した底面の中心から筒の内部に向ふ流れを生じる。此れは對流の場合に横壁から渦柱軸に沿ふ流れに相當するもので、底面の摩擦による効果であり、龍卷や颱風の場合に於ける中心上昇氣流に相當するものである。又此の廻轉筒軸に沿ふ流れの周圍に生ずる烟の模様も種々の點に於て對流による柱狀渦内の烟の模様こ共通であるこが認められる。

(11) 二つの共軸圓筒をそれぞれ獨立に廻轉した場合、即ちテラーの實驗の場合（此れに就ては著者の前報告⁽²⁾を参照されたい）をも實驗して見た。此場合の烟の模様は一方ではテラーの渦の模様こ連關し、又一方では對流渦の模様こ連關して比較さるべきもので、此の二つの現象が運動學的に同型のものであるこいふこの例證こして興味あるものこ考へられる。

(2) 本所報告第二十六號

(12) 以上の結果を應用すれば、太氣中や或は海水中に渦柱が生じた場合に、浮游する塵埃などの移動集散の状況を豫測する場合の手掛りとなる見込がある。其一例として、龍卷の珍しい例として知られた或るものが、吾々の實驗で模寫することが出来る。又海水中には屢々大小種々の渦柱を生じることが知られて居るが、さういふ場合に浮游生物の集散が幾分渦動の爲に支配されるかも知れない。此點は水産學者の注意を促がしておきたいと思ふ。

(13) 對流による柱狀渦に就てはレーリー、ジェフリース、リユーウイス等の理論があるが温度や速度の分布を實驗と比較するには餘り解式が便利に出來て居ないし、又實驗の方でも各部の温度や渦度を詳細に測ることは困難であるから、さういふ問題には觸れないことにした。