

熱流体トレーニング(4)

刑部真弘*1

OSAKABE Masahiro

乱流状態における速度や温度の変動も、前回のトレーニングで述べたネズミの数のように、ある条件を超えると予測不可能な暴走状態に変化する。乱流においてある一点で観測した速度変動は、予測不可能な乱れとして観測される。このとき流れの中には、比較的大きな渦が見られることがある。例えば、図1の衛星写真に示したように、韓国の済州(チェジュ)島や日本の屋久島の後ろに北西の季節風がふいている日にできる渦列である。すなわち、海面上に突き出た高い山である島の後ろに、その山の大きさほどもあるカルマン渦のような大きな渦列が、雲により可視化できているのである。衛星写真でみると、その大きな渦のみが目立つが、実は、大きな渦にはそれよりも小さな中渦がのった状態となっている。さらにその中渦には、それよりも小さな渦がのっているのである。遊園地にあるコーヒーカップの遊具に乗ると、自分の位置が予測不可能な状態になり気分が悪くなる。これと同じように大小の渦が重なった流れを1点で観測すると、予測不可能な状態まで乱れた状態として観測される。非常に乱れた状態である乱流においても、この大中小の渦で代表されるような組織的な構造が存在することは重要である。

なお、代表長さとして済州島の山の直径を20km、風速10m/s、空気動粘性係数 $\nu = 1.6 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ とすると、Re数は 1.25×10^{10} となる。実験室規模の実験で、円柱の後流にできるカルマン渦は、Re数が40から150の範囲にあるとき明確に見られるので、奇妙に感じる。済州島の場合は、大きな渦に乗った小さな渦を、分子運動のように捉えれば理解できる。この小さな渦によって生じる分子粘性係数のようなものを渦粘性係数というが、この値を分子粘性係数の 10^8 倍程度と考えてあげれば、Re数が125程度となる。すなわち、大きな渦にとって小さな渦は分子運動のように働き、みかけの粘性係数を増加させていると考えることができる。

ところで、壁面近傍を流れる乱流には特に際立った特徴がある。流れが壁面によって拘束されるため、壁面上に流れの方向を軸とした縦渦構造が存在するのである。回転方向の異なる縦渦が、図2に示したように交互に並んだ構造となるため、壁面上には壁面から離れた高速の流れが壁面に叩きつけられる高速ストリークと、それと逆の低速ストリークが交互に並んだ構造となる。この縦渦構造は、主流から壁面に運動量および熱等を運ぶ重要な役割を担っている。

運動量を運ぶこの縦渦を抑制してあげれば、壁面への

運動量輸送も減ることが想像できる。運動量輸送の減少は、乱流壁面摩擦の低減を意味している。例えば、ウナギやドジョウの表面は、触るとヌルヌルしているが、この粘度の高い分泌液が壁面の縦渦構造を効果的に減衰させていると考えられている。この効果をトムズ効果とよんでいる。人工的に高分子ポリマー等を用いて、配管や船舶の摩擦抵抗低減を図ろうとした研究が過去に多く行われてきたが、残念ながら実用化には至っていない。

流れ方向に沿って薄い“つい立”であるリブレットを設置し、縦渦を抑制する方法も米国NASAで開発され、流速に対して最適な間隔のリブレット等が提案されている。また、1980年代には、船舶や航空機等への応用実験が積極的に行われた。特に、1987年に行われたヨットレースのアメリカズ杯においてリブレットを用いた米国艇が、この年優勝したことは大きなセンセーションになった。ただし、このリブレットの技術は、人類が最初に見つけたものではなく、鮫(サメ)の肌は古くからリブレット構造を有していた事実は驚きである。

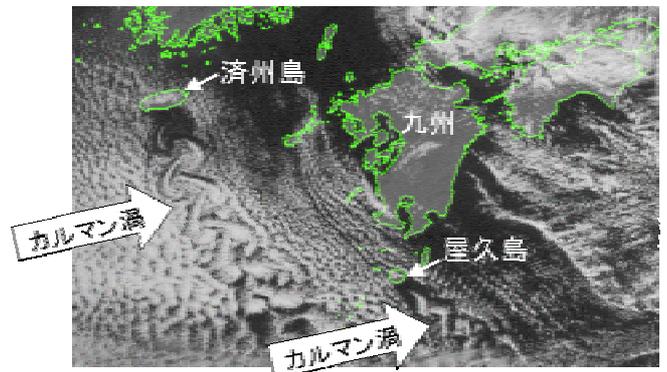


図1 島の後ろに出来る巨大渦

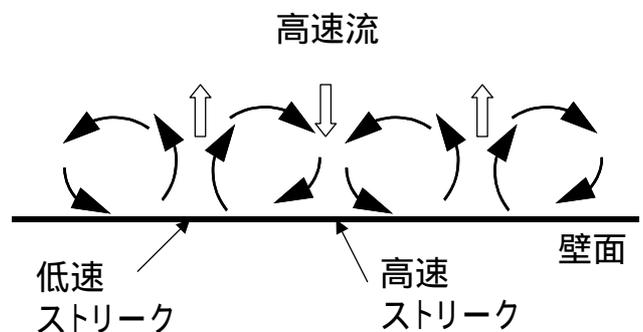


図2 壁面上の流れの方向を軸とした縦渦構造

参考文献

- (1) 刑部真弘, エネルギー技術者の熱流体トレーニング, 海文堂出版, (2004)

*1 東京海洋大学海洋工学部 海洋電子機械工学科
(江東区越中島2-1-6)