

一様等方乱流中の渦軸の相対運動

三浦英昭、木田重雄 (核融合研)

Relative motion of vortex axes in isotropic turbulence

H. Miura and S. Kida

National Institute for Fusion Science

ABSTRACT

Vortical structure in an isotropic turbulence is investigated by the *sectional-pressure-minimum-and-swirl* method which identifies low pressure vortices with swirling motions. It is observed that four vortex axes, each of which has the vorticity of opposite directions with its neighbouring two vortex axes, approach each other due to an effect of their curvatures.

KEYWORDS: curved vortex axis, low-pressure vortices, turbulence

§1. はじめに

渦運動は拡散や輸送などの重要な現象の担い手であり、その運動の解析にはこれまで多くの研究がなされている。しかし、この物理的に重要で、日常的にも頻出する普遍的な概念である渦には、確立された定義が存在せず、渦の定義と同定自体が研究の対象でもある。われわれはこれまで、渦が存在するところには圧力の2次元な極小が現れる傾向があることに注目し、圧力断面極小旋回法という渦の同定・可視化法を開発してきた¹⁻³⁾。これによって、内部に2次元な低圧力領域をもつ渦(多くは管状構造をしている)を追跡し、その統計的性質のみならず、時間的な変化を解析することが可能になった。ここでは、この方法を非圧縮・一様等方乱流に適用した結果を報告する。

§2. 渦軸の相対運動

本研究で用いた数値データは、一様等方減衰乱流の直接数値シミュレーションによるものである。このシミュレーションの格子数は $N^3 = 128^3$ であり、その概要と渦軸、渦芯の可視化例は三浦&木田⁴⁾に記述されているので、ここでは割愛する。

渦軸の可視化を各時刻について行い、動画を作成して渦軸を追跡すると渦軸の滑らかな運動が観測できることは、三浦&木田⁴⁾で紹介した。今回改めて注目したのは、渦同士が相互作用を行いながら運動する特徴的な現象が観測さ

れた点である。これまでに観測された主な現象としては、反対符号の渦度をもつ2本の曲がった渦軸の引きつけ合い、隣接する渦軸がお互いに反対向きの渦度をもつ4本の曲がった渦軸の引きつけ合い、同じ向きの渦度をもつ2本の渦軸の接近などである。ここでは、4本の渦軸の接近例を示す。

図1(a),(b),(c)はそれぞれ時刻 $t = 30, 50, 68$ における、シミュレーションボックス中心部の渦軸の様子である。表示されている格子数は $32 \times 32 \times 32$ である。図中の渦軸A及びCは縦軸(緑色の軸)に沿って下向きの渦度を、B及びDは上向きの渦度をもっており、一種の四重極を構成している。すなわち、これらの4本の渦軸は、ある適当な面において四角形の4頂点を構成するように位置しており、各渦軸上での符号は(この四角形の存在する面に対して)下向き、上向きと交互に変わっている。これら4本の渦軸は、時間の経過とともに、四角形の2本の対角線の交点に向けてお互いに近づいている。これは、AとB、AとC、BとD、DとCがその曲率効果により、お互いに引きつけあった結果であると考えられる。

ここで注意しなければならないのは、渦軸同士が接近する原因としては、他に剪断によるものが考えられる点である。実際、多数の渦軸の接近例の中には、同符号の渦度をもつ渦軸が接近して行く例もあり、このような場合は剪断が大きな役割を果たしているものと考えられる。しかし、これら4本の渦軸が存在する周辺の渦度の強さと剪断の強

さ S を比較してみると、 $Q \gg S$ となっている。このことから、渦同士の間、しかも反対符号の渦の引きつけ合いという現象を説明するには曲率効果を以てするのが妥当であると考えられる。

一般に管状渦構造では、渦度の強さが剪断の強さを上回っている傾向にある。実際、この渦度の強さと剪断の強さの大小関係は、管状渦構造の同定方法の一つとして使われている⁵⁾。圧力断面極小旋回法の長所の一つは、必ずしも渦度の強さが卓越していない場所にある旋回流も検出できる点であるが、これは、この渦度の強さと剪断の強さの大小関係が必ずしも自明ではないということも意味している。このため、渦軸の動力学を調べるためには、曲率効果と剪断の効果とどちらが卓越しているかを常に確認する必要があるが、渦度が卓越した旋回流の運動を調べる限りにおいては、反対符号の曲がった渦の引きつけ合いには曲率効果が重要な影響を及ぼしていると考えられる。

§3. まとめ

ここでは、4本の隣同士が反対向きの渦度分布をもつ渦軸の接近例を報告した。この接近は、主に曲がった渦の曲率効果によるものであると考えられる。われわれの一樣等方乱流のシミュレーション中では、この他に同符号の渦度をもつ渦軸の接近や回転、渦軸のリコネクションなど多様な現象が観測されている。格子数 $N^3 = 128^3$ のシミュレーションは、計算機能力が非常に発達した現在となつては小規模なものであるが、それでも丁寧に調べるべき現象がまだ残されていることを最後に強調したい。

この数値計算は、文部省核融合科学研究所理論・シミュレーション研究センターのスーパーコンピュータ SX-3(当時、現在は SX-4) を用いて行った。

- 1) H. Miura and S. Kida: J. Phys. Soc. Jpn. **66**(1997) 1331-1334.
- 2) S. Kida and H. Miura: Euro. J. Mech. B/Fluids **17**(1998) 471-488.
- 3) S. Kida and H. Miura: J. Phys. Soc. Jpn. **67**(1998) 2166-2169.
- 4) 三浦英昭, 木田重雄: ながれ **17**(CD-ROM)(1998).
- 5) M. Tanaka and S. Kida: Phys. Fluids A **5**(1993) 2079-2082.

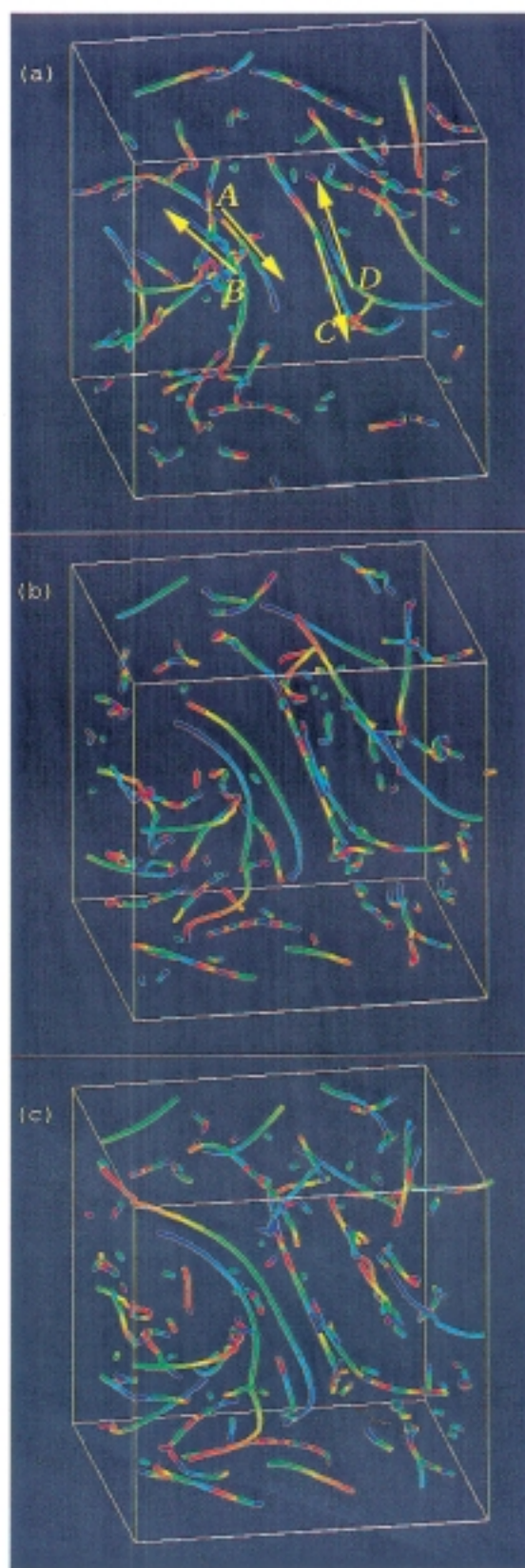


Fig. 1. 4本の渦軸の相対運動。(a) $t=30$, (b) $t=50$, (c) $t=68$ 。渦軸の引きつけ合いによる接近が観測される。A, B, C, Dと名付けられた渦軸は、夫々順に正方形の4頂点を構成する配置になっている。各渦軸上の渦度の向きはその正方形に対して、上向き、下向きと交互に変わっている。