

1 カオスと乱流

「ブラジルの一匹の蝶のはばたきがテキサスで竜巻を引き起こすか?」¹ という標語や「バタフライ効果」というキーワードでよく知られるカオス現象は、「決定論的でありながら予測不可能な振る舞いを示す現象」と定義できます。身の回りでみられるカオスの一例に、水や空気などの流体が示す乱流現象があります。マグカップの中で混ざるコーヒーとミルクや自動車の周りの空気の流れ、台風などはすべて乱流です。乱流を予測・制御することは学問としても産業的な応用としてもきわめて重要な問題ですが、この目標は「予測不可能である」というカオスの定義と矛盾しているように思えます。本稿では、この矛盾に対し、乱流の研究がどのように進展してきたのかを概観します。

2 乱流の統計則

図1に、性質の異なる2つの流れを示します。これらの様子は「対称性」に注目して次のようにまとめることができます。(a) 円柱を過ぎるきわめて遅い、整った流れ(層流)。流れは空間や時間に対し対称性をもつ。(b) 格子の後方に生じる速い、乱れた流れ(乱流)：一見破れているように見える対称性は、統計的な操作によって再び出現する。乱流において、流れが速くなることで失われたかに見える対称性が統計的な意味で再構成されているのがポイントです。乱流の研究は、この統計的な対称性を手がかりに進め

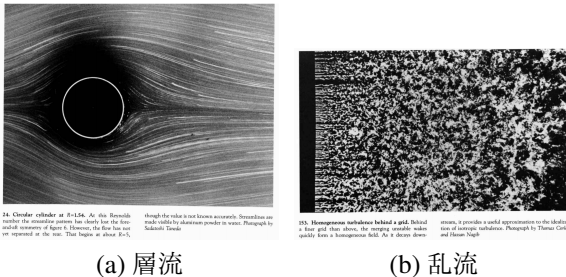


図 1: 性質の異なる二種類の流れ²

¹E. N. Lorenz, “Predictability: Does the Flap of a Butterfly’s Wings in Brazil Set Off a Tornado in Texas?” AAAS 1972

²An Album of Fluid Motion

られてきました。その大きなマイルストーンが、エネルギー・スペクトルの $-5/3$ 乗則³に代表される統計的な普遍則です。

3 乱流の動力学

統計的な描像は構築されましたが、これで乱流が全て理解できたわけではありません。なぜなら、統計的な描像は乱流の動力学的なふるまい(ダイナミクス)について限られた情報しかもたないからです。

そのため、乱流の動力学的な性質を明らかにしようとする研究が近年活発におこなわれています。このとき、解析の手がかりになる対称性(あるいは秩序)とは何でしょうか? 答えは、階層的に存在する様々なスケールの渦構造です。

図2に、池に流れ込む水のスケッチを示します。一見きわめてランダムな現象に見える乱流には、この図のように様々なスケールの渦が存在することが明らかになっています。乱流は、複雑に相互作用する渦の階層構造によるエネルギーの伝達機構で維持されている、と理解できるのです⁵。

以上に述べたように、一見予測不可能に見える乱流には様々な秩序が存在します。私の研究は、乱流を実験と数値計算の両面から解析して乱流の動力学に存在するはずの普遍則を解明することを目標としています。研究交流会では、乱流の面白さを実感してもらえそうな発表をしたいと考えています。



図 2: Leonardo da Vinci による、池に流れ込む水の流れのスケッチ⁴

³統計的に、乱流のエネルギー E は波数スケール k に対し $E(k) \propto k^{-5/3}$ で分布している、という普遍則。

⁴Leonardo da Vinci’s laboratory: studies in flow

⁵渦の相互作用によってエネルギーがより小さな渦に伝達されていき、熱となって散逸していく機構はエネルギー・カスケード描像と呼ばれます。