

巨大渦の安定性—2次元非圧縮高レイノルズ数の流れの中で



岡本 久

京都大学数理解析研究所
okamoto@kurims.kyoto-u.ac.jp

流体力学は古典物理学の問題であり、統計物理学の活躍する乱流理論を除けば物理学的に面白いものではない。こう考える読者は多いのではなかろうか。「大きなコンピュータさえあれば、流体力学のたいていの問題は解ける」という人もいる。だが、コンピュータシミュレーションで現れ出る結果をそのまま鵜呑みにする物理学者はいない。やはり、その物理的背景が理解できるまでは納得できるものではなかろう。流体力学には物理的背景説明の難しい現象は結構あるように思う。私のような数学者としては、以下に述べるような流れ現象の背景説明を物理学の研究者から得たいのである。

考察の対象は2次元の流れである。現実の流れはすべて3次元であるとはいうものの、地球規模の流れのように、高さが横方向に対して極端に小さい場合には2次元流れがよいモデルになると信じている人は多い。2次元には3次元とは異なる特有の現象（例えば乱流の逆カスケードなど）があり、独自のおもしろさがある。

背景説明を期待したい流れ現象はいろいろとあるものであるが、中でも2次元における大規模渦の存在が厄介な問題である。それは非常にしばしば発生し、しかも長時間にわたって維持されるけれども、普遍的な現象と言えるほどの法則性が見つかっていない（ようだ）。だからと言って物理学や数学になじまないということもなかろう。環境が違っていても同じような渦があっちにもこっちにもみられるというのは何か底に潜むものがあるに違いない。

ここでいう大規模渦とは、一言で言えば、

流線のトポロジーが単純である解である。典型的な例は、流れ関数が1点のみで最大値をとり、最小値を取るのも1点で、その他の領域では単調な場合である。そこまで数学的に厳密にしてしまうと発見が困難な場合もあるが、「ほとんど単調」と言える場合も含めて考えれば非常に多くの場合にこうした大規模で単調な解が見つかるのである。統計力学の理論を乱流現象にあてはめるとき、大規模渦は厄介者である。性質の似通ったものが大量にあることが統計力学の前提であるから、典型的な大きさと同程度の渦が1個だけ存在しているというのは好ましくない。それが例外的なものならばよい。しかし、様々な知見の積み重ねによって、大規模渦は不可避であると考えられる研究者は増えてきたように思える。実際、こうした大規模渦の存在は古くから指摘されてきた。一方で、「レイノルズ数が小さいからそうしたものが現れるのであって、レイノルズ数が十分に大きければそのようなものは崩れてしまい、観測されないであろう」という意見もあるかもしれない。しかし、筆者らの研究は、（相当に多くの場合に）どんなにレイノルズ数を大きくしても大規模渦が不可避であることを強く示唆する。しかも、それが、定常な流れという、一番単純なものの中に見つかるのである。

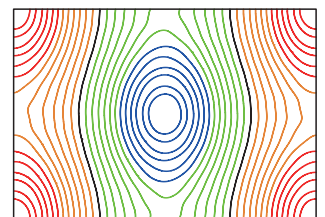
こうした渦の存在を生み出すメカニズムは何か、人それぞれに意見の分かれるところであろう。何らかの意味で関連しそうなのは、「逆カスケード」や「最大エントロピー解」であろう。読者の中から物理的な説明を与える人が現れてくることを期待する。

—Keywords—

レイノルズ数:
非圧縮粘性流体の中に見れる無次元パラメータの中で最も基本的なもので、流れの安定性・乱れを記述する。

逆カスケード:
1967年にロバート・クライクナンが2次元乱流について理論的に予想したもので、これが正しいとすると、大きな渦が自発的に表れてくるのが自然に納得される。

最大エントロピー解:
エントロピーというものを何らかの意味で、あるいは天降り式に定義して、そのエントロピーを最大にするような定常流れ（最大エントロピー解と呼ばれる）を計算すると、それが観測されるパターンに定性的に一致する、という予想がある。



典型的な大規模渦。