

流れのもつ大局性と局所性

On the Nonlocal and Local Quality in Fluid Flow

竹 光 信 正*

Nobumasa TAKEMITSU

「ゆく河の流れは絶えずして、しかも、もとの水にあらず。淀みに浮かぶうたかたは、かつ消え、かつ結びて、久しくとどまりたる例なし。……」 (鴨長明「方丈記」)

これは、有名な鴨長明の方丈記の冒頭の文章である。この文章の本来の意味は、無常ということだそうであるが、ここでは、これを標題の話の出発点とすることをお許し願いたい。すなわち、この文章は、じつに巧みに流れのもつ大局性と局所性を表現していると筆者は考えるからである。

さて、流体力学は、古典的な学問でありながら、いまなお研究されている。その理由の一つは、流れのもつスケールの多様性にあり、しかもこの多様性が流れ本来のもつ大局性と局所性に深くかかわっているところにあると思われる。とくに、乱流においては、このことを離れて考えるわけにはいかない。しかし、現代科学の方法論では、このようなスケールの多様性に取り組むのは、基本的な難題である。それゆえ、現在のところ、流体力学は一つの方法論になっていると言っても過言ではない。別の言葉で言えば、流体力学のもつ難しさは、流れ本来のもつ大局性と局所性を現代科学の方法論の中でいかに表現するかということにある。そして、このことは、本特集号においても如実に表れている。

もちろん、流れ本来のもつ大局性と局所性を結びつける物理量がないわけではない。それは、たとえば流体の圧力 p であったり、乱流のエネルギー散逸率 ϵ であったりする。しかし、これらの物理量は、わかりやすいようでわかりにくい量である。すなわち、これらの物理量は、局所的な点で定義されるにもかかわらず、大局的な全体の流れの性質によって決まる。たとえば、乱流における $k-\epsilon$ モデル(k :乱流エネルギー、 ϵ :乱流のエネルギー散逸率)においては、 ϵ は局所的な性質をもった物理量で定義されるから、乱流エネルギーの散逸は乱流場のあらゆる点で生じることになる。したがって、それにみあった乱流エネルギーの発生は、流れ場の大局的な構造から決まるものであると考えざるをえない。これを、散逸機構が局所的であるから、エネルギーの発生もまた局所的であると考えると、 $k-\epsilon$ モデルのようなモデルはできな

い。それは、むしろLESのモデルになっている。しかしながら、大局性と局所性を結びつける物理量を考えるとき、「…と考へざるをえない。」というように消極的な推論しかできないところが難しい。

このように、流れのもつ大局性と局所性に内在する難しさは、数値計算法を考えるときにもでてくる。数値計算法を考える場合には、与えられた方程式のもとで、初期条件と境界条件を与えれば流れは完全に決定されると考える。しかし、与えられた方程式が厳密解をもつ場合は、きわめて限られているので、大抵の場合数値計算によって解を求めることになる。このとき、方程式の離散化、初期条件、境界条件を流れ本来のもつ大局性と局所性をこわさないように、できるだけ簡単な原理で考えるところに、数値計算法を考える醍醐味があるが、これがなかなか難しい。たとえば、境界条件の離散化による与え方が流れ本来のもつ大局性を変えてしまったり、方程式の離散化の方法が流れ本来のもつ局所的な性質を壊し、それが流れ場全体にまで大きな影響を及ぼしたりする。

当り前のことであるが、流れるほうからすると、もとより数値計算の方法や、乱流モデルを選んで流れているわけではない。この意味で、大局的、局所的に流れている自然な流れを、有限な一部分しか解けないわれわれ人間が再現することには、いろいろな制約がつきまとうものの、流れのもつ大局的、局所的な性質を忘れるわけにはいかない。たとえば、よどみに浮ぶうたかたの性質は、局所的でありながらも、流れの大局的な性質に支配されるからである。その逆も言える。

いままでの科学的な考え方からすると、いろいろな計算法を知らなくても、自然な流れを実現できる本当によい計算法や乱流モデルが、唯一つでもあればよいのかも知れない。しかし、上にみえてきたように、流体力学は自然な流れを実現しようとしてきたわけであるから、花鳥にいろいろな種類があるように、われわれ人間にとっては、いろいろな計算法、いろいろなモデルがあるほうが自然なのかも知れない。

(1987年11月10日受理)

*東京大学生産技術研究所 第1部