



若 者

雲をつかむような話

梶 島 岳 夫*

使い古しの解析的な方法で容易に処理できる現象の研究には誰もが手をつけるが、旧来の方法だけでは手に余るような現象には、たとえ興味深い課題であっても、見ぬふりをしている。

このような傾向は科学に限らずあらゆる分野に多分に見受けられる。七面倒なものと敬遠されていた問題も、適当な手法が見いだされた暁には情勢は一変して、中心的なテーマとして脚光を浴びないとも限らない。計算機の飛躍的な発達により、急速な展開を見せつつある乱流現象の解明もそのひとつと言えるであろう。

流れに乱れた状態が存在することは大昔から知られていたはずで、これが系統的に調べられ始めてからでもすでに一世紀あまりが経過している。乱流はごくありふれた現象であるが、その機構はほとんど明らかにされていない。理論的にはごく限られた範囲しか説明できない。最も信頼できる拠り所は実験データであろう。実験室で実現できるような流れに関して、熱線流速計によって平均速度だけでなく変動の強さなどの詳細な測定が可能となったのは1950年代である。特に工学的に重要な固体境界をもつ乱流については、1960年代の水素気泡法による可視化実験の結果、壁のごく近くには全く不規則な乱れではない組織的な構造が存在することが指摘された。乱流と組織的構造という概念は一見矛盾するように思われる。たしかにこのような機構の発生を時空的に予測することは不可能である。しかし運動そのものはきわめて決定論的に推移するようにみえる。

一度気がついてみると、どうしてこんなに明白なものが今まで見えないでいたか不可解に思われるほどに明瞭に見えることがある。無意味とも考えられていた乱れの観察をあえて行い、

多くを示唆した研究のもつ意義は大きい。しかしそうすると今度は、これがあまりによく見え過ぎて他の現象を突き止める邪魔になる心配もある。

さて壁近傍の乱流構造を解明し定量化するために、流れの可視化に加えて、熱線流速計による様々な手法が発達した。流速計による研究は基本的には点情報の解析であり、分布を示すことはできない。また複数のデータの同時測定や、機構を考察する上で重要な圧力や渦度などの入手も困難である。計器の挿入の影響や測定精度などの問題もある。したがって実験的にはひとつの乱流渦を追跡しながら同時にデータを取り出すというような芸当は不可能である。そこで測定回数で稼ごうとする。すなわち、ある現象が検出される都度に、その周辺の流れを繰り返して測定し、平均的な流れの姿を浮彫りにしようと試みる。統計平均量として抽出された渦構造が何を意味するのだろうか。もしかしたら、何も無いところからいかにも特別な構造が存在するかのように錯覚をしているのではないかという不安が恒にある。

乱流といえども現象は決定論的に推移し、これがナビエ・ストークスの方程式で記述し得ることを前提にすれば、支配方程式を解くことにより、乱流の統計量だけでなくその構造や発生機構に関する情報が得られるはずである。非線形で時間依存型であるこの式を一般に解析的に解くことは不可能で、数値解によらなければならない。最近になって、大規模な数値計算で偏微分方程式を解く望みがでてきた。

数値シミュレーションの手法は理論解析よりもむしろ実験に近いが、情報の抽出が任意で、同時にデータを多面的に表示することができるなどの利点がある。雲をつかむような話でも、雲のあらゆる情報を手にしてしまえばその全貌

*梶島岳夫 (Takeo KAJISHIMA), 大阪大学, 工学部, 機械工学科, 助手, 工学博士, 流体工学

を明らかにするのも夢ではなからう。

乱流は、流路の大きさの渦から流体の粘性に抵抗して乱れを維持できなくなるほどの小さい渦に至るまで、広範囲のスケールの渦運動から成り立っている。したがって、乱れの最小寸法で時空を分割して、差分化した方程式を直接積分するために確保すべき格子数は膨大である。その要求は近い将来に実現可能な計算機性能をはるかに上回る。

ところで、乱流を構成する渦はその大きさによって性質が異なることが実験的に知られている。乱れのエネルギーの大部分を輸送する大きな渦は流れ場の種類に応じて様々な様相をみせる。現実にはこのような流れだけを知ればよいことが多い。小規模渦は流れ場の形状に関わらず普遍的で等方的な性質をもっており、もっぱらエネルギーを消散するので、これを記述するパラメータは消散エネルギー量のみとなる。

Large eddy simulation (LES) は、このような乱流渦の性質に注目して、乱流場を大小のスケールの乱れに分離し、小規模変動をモデル化して大局的な流れの方程式に組み込み、これを直接計算しようとする方法である。この研究は1960年前後から気象学の分野で行われ、1970年代になって実験室規模の乱流に応用された。LESは工学分野への応用もさることながら、乱流構造の解明の手段として最も期待されている。

数値シミュレーションはこれまでは既知の実験事実を再現して始めてその価値が認められたものである。今後は、計算結果が新しい知識を与え、実験家や理論家が追随するようなことが十分に想像できる。

計算機の作りだす流れは、厳密な意味では、

決して現実の世界ではない。理論や実験からは知り得ないレベルまで立ち入ろうとしている現在、これが現実の流れをどの程度模倣しているのかを示すことが必要となる。これまで数値シミュレーションが実験にとって代わるまでに至っていない理由は、計算機の処理能力の不足もさることながら、離散化に伴う諸問題にある。単に精度が低下するだけでなく、数値解が原微分方程式とは定性的に異なる流れを与えかねない。そこで誤差の影響を正しく評価し、適切に制御すること、また数値計算の網目でとらえられない挙動を精度よくモデル化して組み込む技術が不可欠となっている。

そもそも自然現象には古いも新しいもないのであって、それを研究する人の考え如何が問題になる。流行の課題を、最新の方法と装置で研究するのが必ずしも新しいとは言えない。だからといって伝統を逸脱した独自の方法を追求するのも容易ではない。見通しがきく人には、あらゆる難関が見渡され（るような気がし）、そのために前進する勇気を喪失しやすい。前途に霧がかかっている者はかえって楽観的で、委細かまわず着手してみると、どうにも抜けられない難関というのは案外とまれだと思われる。むしろ、自分の予想した結果が出たときに、実は別の原因のために生じた偶然の結果ではないかという可能性を検討することを忘れないようにしたい。

拙文は大学院における研究をまとめた時点ですりついたことを書き付けたものです。研究をご指導いただきました三宅裕教授、この欄への投稿をお勧め下さいました世古口言彦教授に感謝します。