展望・解説

CAFV について思うこと

小林 敏雄**

Expectation for CAFV

Toshio KOBAYASHI

コンピュータはわれわれの生活の隅々にまで入り込んでいる。病院に定期健康診断に行けばコンピュータが健康状態を教えてくれるし、証券会社では（不幸なことに私は未だ経験はないが）コンピュータが株の買い方、売り方を教えてくれるという。チェスではコンピュータの方が私よりはるかに強いし、囲碁でもそろそろコンピュータに負けそうである。しかしながら、これらのコンピュータの能力はデータベースの集積とその分析であり、決して創造的分野でないと思っていた。

ところが、最近ショッキングな記事を目にした。作曲家でありコンピュータ学者でもある林二（リン・アル）教授の「コンピュータ音楽の現在と未来」という話で、日本経済新聞の文化往来というコラムの中に載っていたものである。林教授は20年近くも前にイリノイ州立大学で世界最初のコンピュータによる音楽会を開いたことで有名な方であるが、彼は「真に創造的な作曲活動はコンピュータだけができて人間にはできないものである」と主張する。真に創造的な音楽は既存の音楽の様式や要素をすべて否定した所に存在し、人間の能力は、たとえ天才的な作曲家でも既存の音楽の様式を全部知り、それを完全に否定することは不可能である。高性能のコンピュータはそれができるといふことらしい。既存の様式をすべて否定することが創造性に結び付くかは疑問であるが、芸術の、しかも創造性の強く要求される分野でもコンピュータの進出は急速に進んでいる。

科学技術の分野は既存の様式をすべて否定した所に真の創造性が存在するというような世界とは

異なる。幸いなことにわれわれの対象とするものはもっと deterministic であり、コンピュータの利用が受け入れられやすい分野である。

さて、最近の流れの可視化の分野におけるコンピュータの利用(CAFV: Computer Aided Flow Visualization)は、①数値計算による流れの生成と表示、②間接測定結果からの流れの表示、および③可視化結果のデジタル画像処理に大別されよう。流れ解析の一方法としてのコンピュータ利用は、CFD (Computational Fluid Dynamics) と呼ばれているが、高速コンピュータの発達はこの CFD を応用数学の一分野から科学技術開発の実用的手段に転身させつつある。すなわち、従来ほとんど不可能と考えられていた大規模な乱流シミュレーションを含めて複雑な流れ現象の CFD による解析の可能性が生じてきた。たとえば、膨大な時間と経費を費やしてきた航空機開発の分野では、風洞実験の機能を CFD で代替しようとするいわゆる「計算機風洞」の開発が現実なものになりつつあるし、これに触発されて航空工学以外の分野でも実験のある部分を CFD で代替、あるいは補完しようとする強い期待がある。これらの計算機風洞を実現するにあたり必要とされるものとして、流れ現象のモデリングにおける知識、数値計算法における知識などとともに画像表示に関する知識やデータ輸送・インターフェースに係わる技術などがあげられる。CFD によって得られた流れを現実の流れのように表示することができれば、それは流れを理解する上に有力な武器となることはもちろん、計算された流れが妥当なものであるか否かを診断する上でも有効なツールに

*原稿受付 昭和63年1月12日

**東京大学生産技術研究所

なるであろう。昨秋、NASA Ames 研究所の数値流体研究室を訪問する機会があった。そこでは多くの CFD 研究者がスーパーコンピュータ CRAY-II を駆使し、大規模計算を試みていたが、画面上に現われる流れのアニメーションを見て、計算結果の妥当性を議論していた。これらの画像表示用のソフトウェアは数年間は、米国外への移設は禁止されているとのことである。計算機風洞は現状では幾つか課題はもっているものの、それらの課題が克服されれば設計面での貢献とともに実験では再現が困難なような現象、たとえば乱流の微細なメカニズム、核融合炉内のプラズマ乱流の性状や半導体産業における結晶成長過程などの解明を期待してよいかもしれない。

CAFV の第 2 の方向はピトー管、熱線風速計、レーザ流速計、超音波流速計あるいは圧力計などによる流速や圧力の間接測定結果を画像化することである。これらの間接測定法はノウハウが十分蓄積されており、現在のところ最も信頼性の高い流れ解析手法であろう。しかしながら多くの場合、点の測定あるいは線の測定であり、流れ場の全容を同時に測定することは難しい。たとえば乱流境界層におけるバースト現象を熱線風速計を用いて解明しようとするれば、狭い空間に数多くの熱線センサーを挿入しなければならず、本来の流れ場を壊してしまうことになる。定常流あるいは周期的定常流の場合には 1 本あるいは 2 本以上の熱線センサーのトラバースによって、流れ場全容の各位相ごとの速度分布を得ることは可能であるが、非定常流の場合は不可能である。例外的に固体壁面上の圧力分布の広域瞬時測定は可能である。NASA が開発した多点圧力計測装置を利用し、わが国の建設会社（清水建設）が「スーパー風洞実験システム」を開発し、風洞内に設置された建物模型表面上の変動風圧を 512 か所で同時測定し、それを等圧線に変換して画像表示した例がある。アニメーション化することにより非定常流れがわかり易く表現されており、新しいツールとして期待がもたれる。

間接測定法とコンピュータとの結び付きでもう一つ忘れてはならないものはコンピュータモグ

ラフィ (CT 法) である。超音波や X 線、 γ 線あるいはレーザ光などを利用し流れの断層像を推定することができる。流れ場の三次元構造の把握は、流れ計測のターゲットの一つであり、CT 法と画像表示の組み合わせはその有望なツールであろう。

CAFV の第 3 の方向は、流れ場の測定手段として可視化技術を用い、その結果にデジタル画像処理技術を適用することによって流れ場の定量計測を目指すことである。流れの可視化結果に適用される画像処理技術は「2 値性画像の処理」と「階調性画像の処理」に分類される。2 値性画像の処理例としてはトレーサ粒子の運動軌跡を自動的に追跡し速度ベクトルを求める試みと噴流の輪郭のように領域を判別するパターン認識的試みに分けられる。いずれの処理においてもソフトウェアとして既製のものが比較的用意され始めており、それらをうまく使い分けることが肝要である。この流れのデジタル画像解析は一般に、流れ場の全容を一時に観察することができるという流れの可視化技術そのものの特徴を受け継いでいるものの、同時に測定精度が可視化技術に大きく依存することを忘れてはならない。しかしながら、境界層内のバースト現象の定量的把握にも適用されており、微細現象の統計的処理などに威力を発揮するよう期待される。さらに今後は流速と圧力、流速と温度などのように二つ以上の物理量の同時定量測定により関心がもたれるものと予想される。

流れの可視化技術とコンピュータの係わり方を分類し、それぞれの現状の概要を紹介した。CAFV に要求される課題はますます高度化し、適用事例も増大するものと思われる。しかしながら、いかにコンピュータが発達し流れに関するすべての種類の情報が蓄積され画像として表示されるようになって、流れの最終のイメージは依然としてそれぞれの研究者の深い洞察が決定することになる。コンピュータは創造的な作曲家になるかもしれないが、創造的な流体力学研究者にはなり得ない。可視化技術もコンピュータも流れのイメージ構築のための補助手段として有効に機能させたいものである。