コンピュータを応用した流れの可視化*

千葉大・工 中 ロ 博

A BRIEF REVIEW OF APPLICATIONS OF COMPUTER TO FLOW VISUALIZATION

Hiroshi Nakaguchi**

A brief review of the Computer-Aided Flow Visualization (CAFV) is presented. CAFV is a powerful new technique in view of the recent requirements placed on flow visualization. Some unique capabilities of CAFV are described, those are enhancement of pictures, transformation of observer's coordinate, image processing of measured data, disclosure of hidden phenomena from chaotic observation by means of ingenious mathematical treatments, etc. Illustrative examples are shown, and some problems of CAFV to be solved are presented as well.

1 まえおき

2次元定常流れでは流跡、流脈および流線が一致し、そこで流れの可視化は最も有効に使われる。2次元流れに比べて3次元流れでは流れの構造の把握が急にむづかしくなるのは、前者に比べて後者が複雑であるということ以外に、われわれの思考が2次元的事象であることによるように思われる。しかし、流体機械の設計に対する要求が次第に厳しくなるにつれて、流れの可視化に対する要求も、2次元から3次元へ、定常から非定常へ、可視化という定性的な情報から計測機能を併せて定量的な情報へ、さらには実験室内の限られた条件下での可視化から実際の流体機械の作動状況下における可視化へと広がって来ている。

一方、1970年代以降の電算機の発展は、計算速度および記憶容量の飛躍的な増大と画像処理機能の強化から、リモートセンシングやいわゆる数値流体力学の発展を促し、流体、熱および物質の流れの可視化にも有効な手段を提供するようになった。流れの可視化国際シンポジウムの発表論文から見ると、1977年に東京で開催された第1回のシンポジウムには、電算機を応用した流れの可視化に関するものは一つもなかったのに、1980年 Bochum で開催された第2回シンポジウム¹⁾では、114篇の発表論文のうち8篇がいろいろな形で電算機を応用したもので

* 本稿は(財)日本自動車研究所所報「自動車研究」第4巻第4号(1982)に投稿した「流れの可視化技術の動向と課題」の一部を補足したものである。

** Faculty of Engineering, Chiba University, 1-33, Yayoicho, Chiba 260, Japan

あった。²⁾ わが国でも 1980 年の国内シンポジウムにおいて東大生研の高木による展望および小林・石原らによる円柱まわりの流れの可視化への応用を皮切りに、電算機の流れの可視化への応用が次第に広がって来ている。³⁾⁻⁸⁾

電算機援助による流れの可視化 (Computer-Aided or Computer-Augmented Flow Visualization) を以下では C A F V と呼ぶことにする。

2 C A F V の特徴

従来の方法で可視される流れの像は、流脈、流跡 (速度ベクトルの投影)、タイムライン、密度傾斜あるいは自由表面の凹凸など、適用する手法によってさまざまであるが、本来的にアナログ量である。これに対して C A F V ではすべての量をデジタル化して取り込み、計算機の内部で各種の処理を行なってそれを画像化するのだから、本来的に量的な情報になっている。この点がこの方法の最大の特徴と云える。以下、C A F V によって可能となるいくつかの手法を挙げてみよう。

3 画質の改良

流跡法などによって可視化された流れの像、あるいはシユリーレン法などによって可視化された密度傾斜の像をテレビカメラで観測し、その出力 (スポットの明るさ) から、余分なものを弱め必要なものを強調して画質を改良 (enhancement) することができる。またモノクロームの明暗で捉えた情報をカラー CRT に写し出し、色相の変化に変えることができる。これは人間の視覚が明暗の度合いよりも色相の変化に対して鋭敏であることによる。サーモグラフの多くのものは物体表面の温度分布を温度帯毎に色別けて表示するし、地球探査衛星 (Landsat) の計測から地球上の植生などをカラー表示する例などはよく知られている。

4 観測者 (器) の座標変換

非定常の流れでは、観測者 (器) の乗る座標系によって流れのパターンが全く違って見えることはよく知られている。また知覚や思考の時定数が限られた範囲にあるわれわれの目によって、特性時間が中々変わる現実の流れを通常の方法により実時間で観察しただけでは、流の構造を把握しにくいことがある。C A F V によれば座標の変換や時間軸の延伸、短縮が容易に行なわれる。気象衛星で捉えた雲の動きを時間軸を変え、1週間あるいは1ヶ月分の動きを数分に縮めてみると、グローバルな気象の変化が生々と写し出される。

5 定性的な情報から定量的な情報への変換

トレーサを流れに乗せて流跡を可視化し、短かい時間間隔をへだてた2回の観

測から特定のトレーサの移動距離と方向を求め、これから速度ベクトルの投影の分布を求めることができる。気象衛星による観測では雲とトレーサとして地球上の風向風速分布を求めることがすでにルーチンとして行なわれている。

6. 量的計測結果の画像表示

物体表面の圧力分布、物体後流やエンジンの空気取入口における総圧分布などは、多数ではあるが離散的に設けられた静圧管または総圧管とスキヤニバルブ・圧力計との組合わせによって計測される。これを自動的に定量して電算機に取り込み、これらから表面の圧力分布や断面内の総圧分布を画像表示する。前述のサーモグラフも同様の手法でCRT上に表示されたもので、この方法は計測時間の短縮や省力化にも有効である。

7. 隠された情報の抽出

電算機が最も威力を発揮する分野として、流れの隠された構造や法則性の抽出がある。非定常流れ、特に激しい速度変動を伴う乱流境界層や後流内の流れを可視化すると、変転極まりない無秩序な運動が見られるだけで、そのまゝでは良質な情報にならない。そこで、適当な方法で平均化したり、条件つき抽出法 (conditional sampling method) によって数点間の相関をとって調べたりすると、無秩序な乱れによって覆い隠されていた流れの構造や法則性が見出されることがある。条件つき抽出法は層流の境界層や伴流の遷移領域の研究に十数年前から応用され、そこでの流れの秩序的な構造の解明に大きい役割りを果たした。もっとも、このような方法を闇雲に適用しても駄目で、比較的に手軽な従来の可視化によって研究者が流れの構造についてイメージを構築した上で、それを検証するために最適な実験計画を立てて適用する必要がある。

8. C A F V の問題点

以上述べたように、C A F V は流れの可視化、特に3次元非定常流の可視化にとって極めて有力な手法であるが、なおいくつかの問題を抱えている。

①の問題点は、C A F V を本格的に適用しようとする、計算速度および記憶容量の大きい電算機が必要で、現在のところ何処でも誰でもという訳に行かないことである。当面マイクロコンピュータの活用によって部分的なC A F Vを行ったり、それによって前処理した後は大型電算機にかけたりすることになる。前後処置用の周辺機器の改良と共にソフトウェアの開発が必要である。

②の問題点は、どのような量をどのように表示するのが適当かについての議論を深める必要があることで、この点は数値流体力学でも全く同じ問題を抱えている。流れの可視化の当面の目標も、数値流体力学のそれと、任意の時刻の仕

意の矢における速度の大きさや方向を示すことであろう。しかしそれが達成されても複雑な流れの構造が完全に理解できたことになるかどうかは分明でない。流れが理解できたとはどういうことかとなう根本の問題に立戻って考え直す必要があるかも知れないし、二次元定常流に馴染みすぎたわれわれの頭の変革が要求されるかも知れない。

次の問題矢は、電算機の能力が向上するのに平行してセンサ類の性能を向上させる必要がある。多数矢での圧力や速度ベクトルの同時計測について現在われわれの手にあるセンサ類は十分な能力を持っているとは云えない。この矢での性能を向上すると共に、実際の流体機械の稼働条件下での可視化に使えるようなセンサ類の開発が望まれる。

9. おわりに

最近脚光を浴びている C A F V は流れの可視化に対して広汎な可能性を含んでいる。多くの若い研究者の優れた着想を加えることによってそれらが実を結び、流体や物質の流れへの理解が一層深められることを冀念して止まない。

文 献

- 1) International Symposium on Flow Visualization, Bochum, Germany, Sep. 9-12, 1980, Preprint
- 2) 中口 博: I S F V - 1980 を通じて見た流れの可視化の世界的な動向, 流れの可視化, Vol. 1, No. 1 (1981) pp. 18-23.
- 3) 高木幹雄: 流れの可視化と画像処理, 流れの可視化シンポジウム 第8回 (1980), 東京大学宇宙航空研究所, pp V-XV.
- 4) 小林敏雄, 石原智男, 岩崎秀夫: 円柱まわりの流れの画像処理, 流れの可視化シンポジウム 第8回 (1980), 東京大学宇宙航空研究所, pp. 115-118.
- 5) 梶 源亮, 金藤 勤, 末永清冬: 波面境界上の流速測定について, 流れの可視化, Vol. 1, No. 2 (1981), pp. 115-120.
- 6) 近江和生, 今市憲作, 島海基忠: トレーサ法による実験結果の画像処理と解析, 流れの可視化, Vol. 1, No. 2 (1981), pp. 185-192.
- 7) Wen-Jei Yong: Flow Visualization by Computer-Generated Color Graphic Technique, 流れの可視化, Vol. 2, No. 6 (1982), pp. 401-408.
- 8) 宇民 正, 上野鉄男: 連続断層撮影法による流れの三次元構造の把握, 流れの可視化, Vol. 2, No. 6 (1982), pp. 415-420.
- 9) P. Bonmarin: Laboratory Observation of Gravity Waves Breaking on Deep Water, International Symposium on Flow Visualization, Bochum, Germany, Sep. 9-12, 1980, pp. 267-271.
- 10) R. Gallington and G. Sisson: Flow Visualization Using a Computerized Data Acquisition System, International Symposium on Flow Visualization, Bochum, Germany, Sep. 9-12, 1980, pp. 124-141.

- 11) Yoji Ishida: A Numerical Study of Flow Past a Rotating Flat Plate by The Diacrete Vortex Method, Trans. Japan Soc. for Aeronautics & Space Sciences, Vol. 25, No. 68 (1982), pp. 114-125.

Fig. 1 Breaking phenomena of gravity waves
(P. Bonmarin, IMST, France)

Fig. 2 Total pressure distribution behind a canard plane
(R. Gallington and G. Sisson, USAF Academy)

Fig. 3 Three-dimensional structure of turbulent flow
(T. Utami and T. Ueno, Kyoto University)

Fig. 4 Flow past a rotating flat plate (computation)
(Y. Ishida, National Aerospace Laboratory)