

## 国際会議にみる計算空気力学の現状

桑原 邦郎\*

### The Assessment of Recent Applications of Computational Fluid Dynamics

Kunio KUWAHARA  
National Aerospace Laboratory

流体力学における計算空気力学あるいは数値流体力学の占める割合は年々増加している。しかし、この関係の最新の論文が数多く発表される国際会議はあまりない。単発的なシンポジウムやワーク・ショップなどを除外すると ICNMF (International Conference on Numerical Methods in Fluid Dynamics) がほとんど唯一のものであろう。国際会議ではないが、AIAAの一連の学会 (Aerospace Sciences Meeting, Fluid and Plasma Conference, Computational Fluid Dynamics Conference) に多数の計算空気力学関係の論文を見いだすことができる。AIAAはアメリカの国内組織であるが、現実はこの分野でアメリカが大きくリードしている現状から、他の国からも最新の報告が多くなされ、実質的には国際会議としての役割を果たしている。ここでは、1984年6月にフランスのパリ郊外のサックレーで開かれた第9回 ICNMF, および時を同じくしてアメリカのコロラド州スノーマスで開かれた AIAA の Fluids, Plasma Dynamics & Laser Conference を中心にそれらの印象についてふれてみる。

まず、これからの計算空気力学の発展にとって特に考える必要がある以下の5点にしばって最近の傾向を見てみよう。それらは、(1)スーパー・コンピューター、(2)座標生成、(3)計算スキーム、(4)乱流モデル、(5)計算結果の可視化である。

(1) スーパー・コンピューターに関しては、大き

な計算はほとんど CRAY1 を用いたものになってきている。<sup>1),2)</sup> この次の会議あたりから CRAY X-MP, CYBER205 などでもでてくると思われる。ここで特に注目されているのが日本製スーパー・コンピューターである。すでに今回の AIAA の会議で日立 S810, 富士通 VP200 を用いた計算が紹介され、両方とも CRAY1S の2~3倍の能力があることが報告された。<sup>3)</sup> R. W. MacCormack は、必然的に日本から数多くの優れた論文が生まれるだろうと予測している。

(2) 座標生成では3次元の実機回りが最大の課題である。スペース・シャトルのような比較的単純な形状では従来の Poisson 方程式に基づいた方法で作ることもできるが、<sup>4)</sup> 航空機のような複雑な場合には、主翼・胴体・尾翼などにそれぞれ都合の良い格子を形成し、それらを何らかの方法で重ね合わせるという方向にいくと思われる。<sup>5)</sup> 個々の部分の生成法としては、楕円型などの偏微分方程式を解くという方法からより能率的な代数的方法への動きがみられる。<sup>6)</sup> また、計算しながら、最適の座標を生成していくという adaptive grid の方法も整備されていくであろう。<sup>7)</sup>

(3) 計算スキームとしては、Beam-Warming-Steger の方法が Euler および Navier-Stokes 方程式の解法としてはあいかわらず主流だが、効率化のための改良はいろいろ試みられている。<sup>8)</sup> 陽的な解法も、有限体積法を空間積分に使い時間積分はルンゲ・クッタ法による Jameson の方法が注目されている。<sup>9),10)</sup> 非圧縮流体に関しては、河村による高精度の上流差分

\* 宇宙科学研究所

が注目を集めていた。<sup>11)</sup>また、これからのスキームはスーパー・コンピューター用のベクトル化と切り離して考えることはできないだろう。

(4) 乱流モデルは最も面倒な問題として残りそうだが、大きな剝離のある流れでは4階微分の人工粘性項がうまく働いて、特別なモデルなしでもうまくいくという報告もある。<sup>3)</sup>

(5) 計算が大型化してくると、その結果の処理が大変重要になってくる。そのなかで可視化が特に問題になる。単に2次元的な等高線を描けばいいという時代は終わり3次元画像処理装置を駆使したカラー化・映画化がどうしても必要になってきている。

以上、個別的な問題について簡単にふれてみたが、全体的にみてどのような傾向にあるかを、もう少し考えてみよう。

80年代に入ってからからの一つの大きな特徴は、70年代に多数を占めていた、定常ポテンシャル関係の報告が極端に少なくなってしまったことである。これは、定常ポテンシャル方程式に基づいた流れのシミュレーションは生産現場の問題となってしまったということである。研究の主流は Euler および Navier-Stokes 方程式に移行した感がある。同時に境界層方程式についての論文もかなり減っている。アメリカの航空機メーカーの研究報告なども最近では Euler 方程式を用いたものが数多い。<sup>5),12)</sup> 解法と計算機の急速な進歩によって、計算時間は大幅に短縮され、もし日本製のスーパー・コンピューターが利用できるとすれば、現状でも2次元翼型で10秒程度、3次元翼型でも数分で計算可能である。

Navier-Stokes 方程式はまだ実用レベルに達していないが、またそれゆえ最も研究されるべき問題であろう。

諸外国特にアメリカと比べて日本が極端に遅れていると思われる部分は、計算結果の処理である。実験において可視化が有効な手段であるように、数値計算の結果を可視化することは、多くの有益な情報を与えてくれる。その重要性は3次元の計算で著しい。最近の学会発表の多くは計算で得られた流れを

何らかの手法で可視化したものが多く、更にカラー化・映画化されたものが急激に増加している。<sup>2),13)</sup>これらは、単純に参加者をひきつける魅力があるだけでなく、数多くの情報を短時間のうちに理解させられるということが重要な点である。実際にそのような可視化データを得るためには優れた図形処理装置が不可欠であるが国内の研究機関はこれらに対する配慮が極めて乏しいようである。世界一のスーパー・コンピューターをもった今、その周辺の水準向上が急務である。

## 謝 辞

この報告をまとめるにあたって、主にAIAAの会議に関して、航空宇宙技術研究所の藤井孝蔵博士の協力を得た。

## 参 考 文 献

- 1) Fujii, K. and Kutler, P.: AIAA 84-1550.
- 2) Chaussee, D.S., Rizk, Y.M. and Buning, P.G. Proc. 9th ICNMF D.
- 3) Ishii, K. and Kuwahara, K.: AIAA 84-1631.
- 4) Fujii, K.: NASA TM-85857, 1983.
- 5) Yu, N.J. and Chen, H.C.: AIAA 84-2143.
- 6) Smith, R.E. and Kudlinski, R.A.: AIAA 84-0002.
- 7) Nakahashi, K. and Deiwert, G.S.: Proc. 9th ICNMF D.
- 8) Obayashi, S., Kuwahara, K. and Yoshizawa, Y.: Proc. 9th ICNMF D.
- 9) Berger, M.J. and Jameson, A.: Proc. 9th ICNMF D.
- 10) Shmilovich, A. and Caughey, D.A.: Proc. 9th ICNMF D.
- 11) Kawamura, T., Takami, H. and Kuwahara, K.: Proc. 9th ICNMF D.
- 12) Raj, P. and Sikora, J.S.: AIAA 84-0135.
- 13) Shang, J.S.: AIAA 84-1549.

Proc. 9th ICNMF DはSpringer-Verlag社より出版される予定である。