CFDにおける可視化処理*¹藤 井 孝 藏*²

Key Words: Computational Fluid Dynamics, Visualization, Computer Simulation

1. はじめに

1970年, AIAAの会議で発表された2つの論文に始まった航空宇宙における実用的な流体数値シミュレーション研究は, 計算機の急速な進歩とあいまって, 25年という短い間に「数値流体力学(CFD)」という確固たる分野を流体力学研究の中に築き上げた。差分法や有限体積法などといったCFDにおける主たる計算法では圧力, 密度, 速度といった物理諸量が各格子点上の数値となって得られるから, 格子点数が増加したり, 対象形状が複雑化してくると, 得られる数値群から直接に物理現象を理解することは難しくなってくる。そのため実験による流体力学研究と同様に, CFDにおいても「可視化」表示が重要となってきた。事実, 数値シミュレーションにおける可視化表示の重要性はCFDが目玉されはじめた当初から認識されており, 等高線などの線画はもちろん, 最近では複雑なレンダリングを利用したカラー画像を目にすることも珍しくない。一見同じように考えられる実験における可視化とCFDにおける可視化ではあるが, じつは本質的な違いがある。本稿では, まず, CFDにおける可視化のこれまでを振り返り, ついで, 実験における可視化研究との違いを考えることからCFDにおける将来的な可視化とはどのようなものかを議論してみ

る。内容からして学問的な報告とはならず, 多分に読み物的な報告になることをお許し頂きたい。

2. CFDにおける可視化のこれまで

2.1 CFDにおける可視化の変遷 CFDにおける可視化には, 白黒の線画による等高線やx-tダイアグラムなども含まれるからその歴史は古いが, 3次元データのカラー表示という観点で考えてみると, その歴史は浅い。実際, 筆者自身の経験からしても3次元の数値計算結果の発表にはじめてカラー画像を使ったのはほんの10年ほど前, 1984年のことである¹⁾。当時ワークステーションはすでに登場していたが, 国内にはまだグラフィックワークステーションという概念は普及しておらず, 大型機のカラー画像端末が主な道具であった。その後グラフィックワークステーションが普及してくるが, ハードウェアそのものが高価である上, ソフトウェア作成も容易ではなく, 3次元数値計算結果のカラー表示は, 最近に至るまで国立の研究所や一部の研究者に限って行われてきたようである。年代的なずれはあるものの, 海外でも事情は同じで, 単に希少価値として美しいカラー画像がもてはやされ, よく知られているようにCFDはColored Fluid Dynamicsなどと陰口をたたかれる時代もあった。実際, 多くの研究者が「なぜカラー表示が必要なのか」といったことを深く考えず, 単に美しい画像を出力していたことは否めない。しかし, グラフィックワークステーションの低価格化とソフトウェアの普及によって今では誰でも簡単にグラフィックス表示された画像を作ることができるようになってきた。

カラー表示によって「CFDにおける可視化」が注目されるようになる以前から, すでに等高線などの表示はあったのだから, カラー画像が登場して何が変わったかという「色」がついたことと面塗りという表示ができるようになったこと位しかない。カラー表示によって可視化の可能性が広がったことも事実であるが, あらためてこの時代「CFDにおける可視化」に研究的な要素があったのかと問うてみると, グラフィッ

著者紹介

藤井 孝藏 (正会員)

昭和26年生。山梨県出身。昭和55年東京大学大学院航空学博士課程修了。NASAエイムズ研究所NRC研究員, 航空宇宙技術研究所主任研究官等を経て, 昭和63年より宇宙科学研究所宇宙輸送研究系助教授。専門は高速空気力学およびその数値シミュレーション。日本機械学会等会員, AIAA Associate Fellow。

*¹ 平成7年4月5日, 日本航空宇宙学会第26期年會講演会にて講演。平成7年9月4日原稿受理 Flow Visualization in Computational Fluid Dynamics

*² 宇宙科学研究所 Kozo FUJII

クスの知識が要求されるため流体力学研究者にはとっつきにくかっただけの話で、CFDにおける可視化には「研究」的な要素はほとんどなかったことがわかる。事実、CFDにおける可視化が注目を集めたのは道具としての実用的な必要性があったからに他ならない。

実は、研究においてはカラーであるかないかということよりも数値シミュレーションの結果をすばやく画面に表示できるか否かの方が重要であった。簡単なグラフのプロットを考えても、その昔、手作業でグラフ用紙に点を打っていったのに比べて、今ではデータをパソコンに送るだけであったという間にできあがってしまう。同様に等高線や流線などが簡単に描けることに

よって結果を理解するための時間はかなり短縮でき、そのことがCFDの研究の発展の一翼を担ってきたといってもよい。

2.2 可視化表示の工夫 ワークステーションなどが低価格となって普及したせいも、最近では可視化に関する新しい話題が逆に少なくなってきた。話題となるのは、市販のソフトウェアやより安価なワークステーションやパソコンでの可視化などといったことで、可視化ソフトウェアの開発や可視化に関する議論は一服した感がある。別の言い方をすれば、可視化のソフトもある程度流通してきており、程度の差こそあれ誰でも可視化表示ができる状況になってきた、というのが

第1図 曲がり管を過ぎる衝撃波：実験での干渉縞写真と計算結果に対する干渉縞の模擬

最近の傾向であろう。実用計算のたくさんの可視化例については、目に触れる機会が少なくないと思われるので、特に紹介しない。また、可視化のための道具の詳細や可視化の実際のプロセスなどについては文献 2) や 3) を、必要となるハードウェアやソフトウェアについては文献 4) などを参照されたい。さらに、最近の低価格ワークステーションやパソコンを利用した可視化に興味のある方は文献 5) なども参照されたい。なお、アメリカ航空宇宙学会での関連論文のうち最近のものを参考文献 6) ~ 13) にあげておくが、12)、13) を除いてほとんど可視化のインターフェイスやソフトウェアの構築そのものに関するコンピュータサイエンス的な話題に関するものであることを付記しておく。

CFD の可視化に関する研究の例として、だいぶ古くなったが私たちのところで行った研究の一つ取り上げてみよう^{14)~17)}。数値シミュレーションの結果を検証するために実験データとの比較はよく行われるが、衝撃波などを含む流れ場のシミュレーションにおいては、同じように実験における可視化写真との比較がよく行われる。シュリーレン、シャドウグラフといった実験可視化写真と比較されるのは通常密度の等高線である。なぜなら、これらの可視化手法は流れ場に生ずる物理量の密度変化によって得られる写真だからである。しかし、これらの可視化写真は密度の等高線そのものを表したのではないから、このような比較は厳密ではない。特に 3 次元での可視化を考えると、実験で得られる画像は検査面に垂直方向の光が流れ場を横切る際に経験するすべての密度変化を寄せ集めたものである。したがって、単に対称面などでの密度を表示

しても、衝撃波の位置などを別にすれば、正しい比較とはいえない。一つの方法は実験において断面内の密度などを測定することであろうがこれは不可能といつてよい。そこで、数値シミュレーションの結果を工夫して、実験と同じ出力をする。すなわち、数値シミュレーションデータに対して実験装置のメカニズムを模擬した演算を施し模擬的なシュリーレン写真などを作成する。例えば、2 次元のシュリーレン写真のメカニズムは流体力学の教科書に記されているように密度のナイフエッジ(またはカラーフィルター)方向の微分に比例して明るさ(色合い)が決まるというものである。従って、数値シミュレーションで得られた密度分布の 1 方向の勾配をとれば 2 次元シュリーレン写真との直接的な比較ができる。3 次元の場合は少し複雑で、局所的な密度変化による光の曲がりの空間的な積分演算、すなわち、局所密度勾配を 3 次元的に流れ場全体で積分することが必要になる。しかし、これも離散化データを用いた微分、積分に過ぎないから、基本的な数値計算法によって近似的に演算を施すことができる。シャドウグラフ写真や干渉縞も同様である。詳細は文献 16) を参照していただきたい。2 次元の干渉縞での実験とオイラー方程式による計算の比較を第 1 図に示す。曲がり管を過ぎる衝撃波によって起こる非定常的な干渉場である。縞の幅も同じにしてあるから定量的な比較もできる。全体的な流れ場の様子はよく一致しているが、よく見ると実験における写真では衝撃波によって誘起された渦が見られるのに対して計算ではオイラー方程式のためか、見ることができない。3 次元のシュリーレン写真の比較を第 2 図に示す。スパ

第 2 図 スパイクつき鈍頭物体を過ぎる超音速流
計算結果に対する模擬シュリーレン画像と実験での可視化画像

イク付きの鈍頭物体を過ぎる超音速流れの結果で、衝撃波背後において次第に濃淡が変化していく様子がどちらの結果にも現れている。このような濃淡の変化は単に対称面内での密度を表示したのでは正確に現れてはこない。実験における可視化プロセスの模擬は単にそれらしい絵を出力するためのものではない。文献17)に示した通り、実験の可視化で見られるもので、単に対称面などの密度を描かせると見えてこない現象もある。この場合、数値シミュレーションは正しいのに比較が正しくないために異なった結果のように理解してしまうことになる。扱う形状が複雑になると、このような違いが大きな誤解につながる可能性もでてくるから、より正確な実験との比較は欠かすことができない。

数値シミュレーションの結果に対して表示のために演算を施すと、そこから数値的な誤差が入り込む。圧力や密度といったスカラー関数を表示している限りはその誤差はせいぜい格子セル内で行われる内挿によるもので、画像表示としてはあまり気にする必要はないが、流線、表面流線、さらには上記の「実験装置の模擬」といった表示を得るためには数値的な微積分が必要で、当然のことながらそこには誤差が生ずる。利用するデータの質が良くても可視化の問題で流れ場を誤解することがあり得る。数値計算そのものにおける誤差に注意が必要のように、可視化の作業の中で生ずる誤差についても注意しておく必要がある²⁾

これまでのCFDにおける可視化の研究は、ここに示したような可視化表示の工夫や可視化にともなう誤差の評価など限られたものだけであった。

2.3 アニメーションの意義 色表示ができること自身は研究にとってさほど重要でなかったとはいっても、カラーによる数値シミュレーション結果の表示によって現象理解は格段に高まるのも事実である。同じようにアニメーション表示されたデータは静止画に比べてはるかに多くの情報を与えてくれる。流れが時間とともに変化する非定常流れの場合はもちろんであるが、定常な流れについても流線を次第に長くしたり、視点を次第に変化させたりすることで3次元的なイメージの理解は高まる。視点の変化や流線の成長などはデータそのものは増えるわけではないのでワークステーションの負担は大きくはなく、それなりの能力のものであれば、インタラクティブに作業できる。しかし、非定常のデータを扱う場合は、これまでの空間のデータに加えて、それらの時系列が生ずる。例えば、空間10万点程度の比較的小さな3次元計算であっても、時間方向の積分が1万回としても全体で得られるデータは $10^5 \times 10^4 = 10^9$ 、すなわち4GB程度になる。

これを総て直接扱うのは現実的ではない。幸い、総ての時間ステップを必要とするほど現象変化は急ではない(1つのステップで急に变化してしまうような時間刻みでは正しい解は得られない)からかなり間引くことができる。また、連続画像からなるアニメーションから学びとるのは「現象変化の様子」であることが多く、定量的な情報すべてを引き出すことは少ない。こう考えると、時系列のデータはある程度間引いても実際には大きな支障はないと考えられる。経験的にいえば、物理量が周期振動の変化をしているとき、その一つの周期に20点程度の点があればおそらく流れの変化は認識できるであろう。

このような一連の画像をリアルタイムでワークステーション等の画面に表示すること(リアルタイムアニメーション)ができれば、アニメーションそのものは完成である。最近ではパソコンやワークステーション上でイメージとして蓄えてあるデータをメモリーに展開し、連続的に表示するソフトなどが出回っている。事前にアニメーションの1コマずつをイメージに落としディスク上に数十枚蓄えておけば、これを使って画面上のアニメーションを見ることができる。蓄える作業という前処理はあるものの、一種のリアルタイムアニメーションができる。このようなデータはピクセルの数、すなわち表示する画像大きさに依存するから小さな画面を設定すれば必要とするメモリー量も多くなき、簡単なアニメーションがいつでも可能となる。

2.4 ビジュアルコンピューティング アニメーション作成から一歩進んで、非定常計算のみならず計算を行っている途中の様子を見ることは様々な利点がある。例えば、計算がうまくいっているかどうかをモニターすることで計算を途中で終了させたり、そのモニター結果からジョブに積極的にコマンドを送ってパラメータの変更をしたりすることで計算を効率的に行うことが可能となる。現状では難しいが、ファイル出力のタイミングをインタラクティブに指定したり、データを引き出したりもできる可能性がある。この意味で計算しながら可視化表示を行うインタラクティブビジュアルコンピューティングが重要である。簡単なビジュアルコンピューティングは、すでに日常の研究作業に頻繁に利用されている。ここでは鈍頭物体を過ぎる超音速流を例にとり、その具体例を第3図(a)と(b)に示す。(a)は中心差分(陽的な数値粘性項を付加)を利用したもの、(b)は高解像度型の風上差分を利用したものである。どちらも局所時間刻みを利用しているが、同じ時間刻みで200ステップ程計算を進めたところでの画面のハードコピーである。中心差分を利用した場合は物体中央付近から後方にかけて全体に同じよ

a) 中心差分を利用した場合

b) 高解像度風上差分を利用した場合

第3図 ビジュアルコンピューティングの例

鈍頭物体を過ぎる超音速流れの計算(初期の200ステップ後)

うな衝撃波の形成過程が見え、それが一様に物体から離れていく。一方、ここで利用した風上差分では物体後方から次第に衝撃波が成長していく。この後、後方位置の衝撃波が物体からある程度離れて、やっと鈍頭先端の衝撃波部分が物体から離れ始める。このとき残差が増大し、計算が不安定になりやすいことは残差履歴と対比しながら等高線の変化を見ているとよくわかる。このように同じ時間刻みであっても計算法によって解の成長の仕方はまるで違い、その結果計算が不安定になる要素にも違いがあるが、このような事実は計算中の姿をモニターして初めてわかることで、ビジュアルコンピューティングの有用性を示すものといえる。

3. CFD における可視化の今後

3.1 CFD における可視化 今後の CFD における可視化を考えるためには、実験における可視化と数値シミュレーションにおける可視化の本質的な違いを考えることが役に立つ。実験においては、例えば物体表面上の圧力測定データといった具合に、計測器を利用して得られるデータが限られているため、シュリーレン写真やオイルフローといった「可視化」によって流れ場全体を把握する必要があった。一方、数値シミュレーションにおいては流れ場全体の物理量は数値として得られている。膨大なデータそのものは存在していて、問題はそのような膨大なデータをいかにしたら理解しやすくていいかという点にある。

後処理としての CFD の可視化作業は2つのパートに分けることができる。第1は数値データから表示したい情報を切り出してくる「データ処理」である。第2はその情報をグラフィックスを利用して表示する CG の部分である。CFD における可視化の要点はその第1に部分で何を行うかである。いかに有用なデータを大量のデータから引き出すかが重要で、それを画像として表示するいわゆる Computer Graphics においてはすでに確立した技術が利用でき、特別な知識はもはやあまり必要ない。圧力等高線や密度面塗り分布などは適当なワークステーションとソフトウェアがあれば、誰でも表示できる。実際、多くの市販の可視化ソフトウェアやフリーのソフトウェアが流通しはじめており、決められたものを表示するのはそんなに大変なことではない。流体研究として大切なのは「決められたもの」をいかに決めるかである。数値計算結果から、どのようなデータを作成するかはシミュレーション結果が大容量になってくるとさらに重要となる。

3.2 新たな可視化を目指して アニメーションの項で示したように、数値シミュレーションが吐き出すデータ量は膨大である。しかも、これまで無視してきたランジェントな変化もデータとして残さざるを得なくなっている。アニメーションの項ではそこから定性的な「流れの様子」を知ることができればよい、という前提に立って話をした。しかし、そこから総ての現象理解をする必要がある場合、どう間引けばよいのだろうか。振動翼など動きがはっきりしている場

合は一つの周期に50回とか100回とか決めることもできる。また、非定常の現象として注目したいものの物理変化の周波数がある程度予測できる場合も同様の手法が利用できそうである。しかし、より一般的な方法は存在しないのだろうか。一つの方法はビジュアルコンピューティングを通じて適当な(何が適当かも難しいが)物理量をモニターしながら計算することであろう。これをもとにデータ出力のタイミングを決めていくのがよいと考えられる。

時系列からデータを間引いたり、特定関数のみの出力を限定したりすると、意図せずに大切な現象を表すデータを失ってしまっていることもありうる。それを避けるために今後の膨大なデータに対する後処理においては、研究者の意図するものを出力するだけでなく、起こっているなんらかの変化を検知して必要な情報を勝手に出力する「インテリジェントなシステム」が重要になってくるであろう。これを feature probe と呼んでおく¹⁸⁾。簡単な例は2次元流れを思い浮かべればよい。物体付近境界層内で主流方向の速度の符号が変わる場所、これを探せば剥離点が見つかる。3次元の場合は実験におけるオイルフロー、数値計算での物体近傍流線を思い起こせば理解できる。さらに、圧力の飛びがあるところを探せば衝撃波などが見つかる。といった具合に物理量の特異点を探すと、現象が大きく変化しているところ、すなわち着目すべきところを知ることができる。さらに考えを空間内にまで広げてみると、渦崩壊とかよどみ点とか、さまざまなものを数値データに対して解析的な評価のみによって得ることができる。このような考え方の参考になるのは鈴木¹⁹⁾や沢田²⁰⁾の論文であるが、実際に後処理ソフトウェアにこのような機能を組み込んで評価してみれば、

新たな後処理が見えてくるかも知れない。特異点とは異なるが、feature probe の例を第4図に示す。これは超音速のダクト内に設けられたキャビティーを過ぎる流れのシミュレーション結果で、流線に加えて渦度の局所的な最大点を表示している²¹⁾。全体の流れ場の中での最大最小はもちろん大切であるが、現象変化を考えた場合局所的な極値を表示することが役に立つ。その付近のみに領域を絞って流れ場を吟味したり、流線を出す場所を選ぶための参考になる。データ量が膨大になれば、このような feature probe 機能の効果はよりはっきり認識されるようになるであろう。特異点を利用した例については文献21)を参照されたい。

多くの数値計算において興味のある中心は物体付近であることが多い。一方、外部からの擾乱を避けるために外側境界の位置は十分遠くにとられることが多い。つまり、計算している大部分は可視化表示しても、全く見てはいないのである。外部境界付近は格子も粗いから、無駄な格子数はそれ程多くはないが、この辺りにもデータをコンパクトにするための秘策が隠されている。実際に各方向100点、全体で100万点の計算を考えてみる。仮に遠方場を削って、取り扱う格子点を1方向2割減らせたとしよう。各方向は80点となる。全体では51.2万点となり、扱うデータは半分になってしまう。このような場合、格子点の削り方の考え方は例えば

- 1) 一様流から $\pm \varepsilon$ の領域にある格子点を捨てる
- 2) 物理量の変化の絶対値が $\pm \varepsilon$ の範囲にある格子点は捨てる

などである。時空間全体で考える必要があるので注意は要するが、さまざまな thresholding もデータ量を限定する方策になりうる。

最後に、実際の画像表示について述べておこう。すでに述べたように可視化表示の処理は、(1)計算結果のデータを処理して必要なデータを切り出す作業と、(2)切り出されたデータを表示し、移動、回転、ズームなど結果を理解するために画像を切り替えていく作業とにわけられる。取り扱うデータを小さくすることはどちらの処理も軽減化することができ機動性が向上する。表示している対象物を減らすことで後者の作業を軽減化できる。たくさん面の塗りをするほとんどマウスが動かなくなる。しかし、画像表示しているウィンドウのサイズを小さくするなどして、表示している全体像を小さくすると、解像度は落ちるが機動性はずっと向上する。また、いわゆる関数の面塗り表示において必要なレベルだけに表示を限定する thresholding を利用すれば画像(ポリゴン)の量としてはかなり

第4図 Feature Probe の例 (圧力が局所的に最小となる点を表示) —超音速キャビティー流れ—

第5図 総圧分布の表示に対して thresholding をかけたもの—エンジンつきスペースプレーンを過ぎる超音速粘性流れ—

減らすことができ機動性が向上する。第5図にエンジンつきスペースプレーンのシミュレーション結果に対して総圧分布を描いた例を示す²¹⁾。総圧レベルを限定して機体下部の領域のみに注目している。

4. おわりに

CFD における可視化には残念ながら研究的な要素はうすい。それは、実験における可視化が他の方法では得られないデータを可視化によって表示するのにに対して、CFD における可視化はすでに存在するデータをどのように可視化するかの技術論でしかないからだろう。すでに可視化作業そのものは市販のソフトウェアでも十分可能となってきた現在、必要なのは「何」を可視化するか、またそこから「何」を学びとれるのかをあらためて考え直すことではないだろうか。単に静的な物理量を美しい画像として表示することによって現象を理解する方法では、今後飛躍的に増加していくであろうデータ量に対応していくには限界がある。あらためて CFD における可視化について考えることが必要な時代にさしかかっているように思える。高度な可視化を考えれば、数値的な演算が必要になる。数値計算の誤差について常に考慮しておくのと同じように、可視化の作業から入り込む誤差についても注意を払っておくことも忘れてはいけないう。

なお、第1図の計算は筆者とロシアの Ioffe 研究所(当時) Timofeev 氏らとの共同研究の成果であることを付記しておく。

参考文献

- 1) 大林 茂, 藤井孝蔵: LU 分解による3次元流の数値計算,

第16回流体力学講演会, 1984.

- 2) 中橋和博, 藤井孝蔵: 数値流体力学シリーズ 第6巻 格子形成法とコンピュータグラフィックス, 東大出版会, 1995.
- 3) 田村善昭, 藤井孝蔵: 数値流体力学における可視化(I)-(IV), 日本数値流体学会誌, 2, 3~3, 2 (1994~1995)
- 4) 日本機械学会: 講習会「サイエンティフィックビジュアルゼーション—市販ソフトはここまで来た」—講習会教材, 1992.
- 5) 日本機械学会: ワークショップ「200万円以下で総て揃う可視化システム」, 機械学会第72期通常総会講演会資料集V, 1995, pp. 245-255.
- 6) Edwards, D. E. and Haines, R.: RAVEN: A Rapid Visualization System for Interpretation of Engineering Data, AIAA Paper 94-0204 (1994).
- 7) Haines, R.: A Distributed System for Large-Scale Unsteady CFD Visualization, AIAA Paper 94-0321 (1994).
- 8) Bihari, B. L., Peppi, K. M., and Chakravarthy, S. R.: GLIMPSE: An Object-Based Approach to Scientific Visualization, AIAA Paper 94-0326 (1994).
- 9) Globus, A.: A Software Model for Visualization of Large Unsteady 3D CFD Results, AIAA Paper 95-0115 (1995).
- 10) Reed, J. and Afjeh, A.: An Interactive Graphical System for Component Zooming in a Numerical Propulsion System Simulation, AIAA Paper 95-0118 (1995).
- 11) Benson, T.: Interactive Computer Graphics Applications for Compressible Aerodynamics, AIAA Paper 95-0119 (1995).
- 12) Darneofal, D. L. and Haines, R.: An Analysis of 3-D Particle Path Integration Algorithm, AIAA Paper 95-1713CP (1995).
- 13) Shirayama, S.: Several Sources of Errors in Numerical Flow Visualization Techniques, AIAA Paper 95-1714CP (1995).
- 14) Tamura, Y. and Fujii, K.: Visualization for Computational Fluid Dynamics and the Comparison with Experiments, AIAA Paper 90-3031 (1990).
- 15) Fujii, K. and Tamura, Y.: Visualization Technique in Computational Fluid Dynamics for Rational Comparison with Experiment, Proc. of the 6th International Symposium on Flow Visualization, 1992, pp. 762-766.
- 16) Tamura, Y. and Fujii, K.: Simulation of Experimental Visualization Methods for Computational Fluid Dynamics, International Journal of Computational Fluid Dynamics, 2 (1994), pp. 309-333.
- 17) 藤井孝蔵: 高速気流の数値シミュレーションと可視化, 可視化情報, 11, 41 (1991), pp. 1-6.
- 18) Fujii, K. and Tamura, Y.: Graphic Interface for the Efficient Postprocessing of Huge Simulation Data, Proc. of the International Symposium, Intellectual Facilitation of Creative Activities, 1994, pp. 70-75.
- 19) Suzuki, K.: Topology of a Computed Incompressible Three-Dimensional Separated Flow Field around a High-Angle-of-Attack Cone-Cylinder, Computers & Fluids, 19, 3/4 (1991), pp. 315-334.
- 20) 沢田恵介: 渦中心の同定法について, 第7回数値流体力学シンポジウム, 1993.
- 21) Tamura, Y. and Fujii, K.: Visualization for Large-Scale Flow Simulations, Proc. 6th International Symposium on Computational Fluid Dynamics, Lake Tahoe, U. S. A., Sept., 1995.