

スーパーコンピュータでのVRの利用

田村善昭

東洋大学



1. はじめに

スーパーコンピュータを利用した各種数値解析—いわゆるスーパーコンピューティング—においてCG（コンピュータグラフィックス）による可視化は不可欠である。現在、コンピュータの演算性能、記憶容量の増大により、計算対象を分割するセルや要素の数は数百万から数千万にも達している。計算される物理量はセル当たり数個から十数個までであるが、それが時間的に変化する場合には時間方向にも数百点から数万点になるので、その合計は大げさに言えば天文学的な数字である。これらのデータの1つ1つを数値としてみるのはもはや不可能なので、通常は後処理を施して理解できる程度の情報量に絞る。1つの方法は、(数値)積分によって有用な量を求めることである。例えば、空気中を飛行する航空機周りの流れを計算したときには、航空機の表面で空気が機体に及ぼす力を積分すると、全体として航空機にかかる力とモーメントが得られる。これにより、航空機がどのような姿勢変化をし、どのような飛行経路になるかが計算できる。

しかし、積分量は元の詳細な情報が欠落してしまっているため、なぜそのような力がかかることになったのか、そのときの流れはどのようになっていたのかなどの詳細な現象は分からなくなってしまう。そこで、データをなるべく活かしつつ、我々が理解できる形にしようとする、画像を利用するというのが最も自然な考えである。1980年代以降、CGの発達と相まって、CGを用いた数値解析結果の可視化は急速に広まった。

その一方で、VRを利用した可視化は多く見られない。HMDなどが普及した頃いくつか論文が発表され、企業や研究所なども試みに導入したところがあると聞いたが、その後の発展というのはほとんど知られていない。理由は様々であろうが、端的には、VRには様々な周辺装置が必要であるが、それらをわざわざ用意して用いる価値があるのか、ということであろうと思う。CGでの可視化は、ソフトさえあれば通常のモニターでできるが、VRはHMDにして最近の没入型投影装置(IPT)にして、それなりの金額のものであり、それでいて利用できる人数が限られる。加えてそのためのソフトウェアも必要である。よほどの効果がなければ投資価値はないと判断されてしかるべきである。

著者はたまたま先に所属した東京大学インテリジェント・モデリング・ラボラトリーにIPT方式のVR装置CABIN[1]が導入されたことからVRを数値解析に利用することを考え始めた。初期投資が個人的には必要なかったわけで、一般的な例ではないのだが、利用してみると、単なるCGの可視化とは異なる面があるようにも思われる。そこで、ここでは主に著者の経験を中心に、スーパーコンピューティングにVRを利用するとしたら、どのような形態が可能で、またどのような利点があり得るのかについて考えたい。

2. CGによる可視化

まず、CGを用いた可視化について簡単に説明する。最近、各種数値解析に対する可視化ソフトウェアが多

く市販されるようになってきているので、利用者は CG の中身を知らなくても可視化できるようになっている。図 1 は将来型旅客機であるスペースプレーンまわりの流れを解析した結果[2]の可視化で、機体といくつかの断面での総圧と呼ばれる物理量の分布を表示している。総圧は渦などがあると値が下がるのでそこを青で示し、変化のないところは表示していない。この絵は流体解析の可視化としてはかなりインパクトのあったものなのだが、CG としてみると、ただのサーフェス・レンダリングで、シェーディングも最も基本的なグーロー・シェーディングである。従って、リアリティを追求する最近の CG 技術からすると相当に古くさいものである。もちろんこれには訳があって、特別なシェーディングモデルや影付けなどを行ってよりリアルに見せるのもよいのだが、例えば総圧の分布を示している面については、物理量に対応した色相が与えられているから、シェーディングによって色相が変わってしまうのは物理的な解釈の妨げとなるので許されない。また、影を付けることで輝度が落ちて色が見分けにくくなってしまいうのも好ましくないからである。

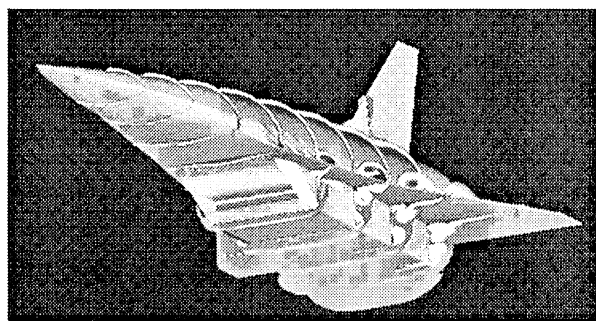


図 1 スペースプレーンまわりの流れの解析結果 (総圧分布)

図 2 は三角翼の上に行ける渦を可視化したもので、上は実験の結果、下は計算の結果である (計算と実験で条件は同じでない。念のため)。計算では渦は線で描いている。このように可視化の特徴の 1 つとして線画が多いことも挙げられる。

これらを見ると、数値解析結果の可視化はリアリティとは程遠いものであることが分かる。むしろ計算結果を表現するための記号あるいはビジュアルな言語といった意味合いが強い。そうであれば、VR を利用する意味は薄いように思われる。実際、それがこれまで余り利用されなかった理由でもあろう。

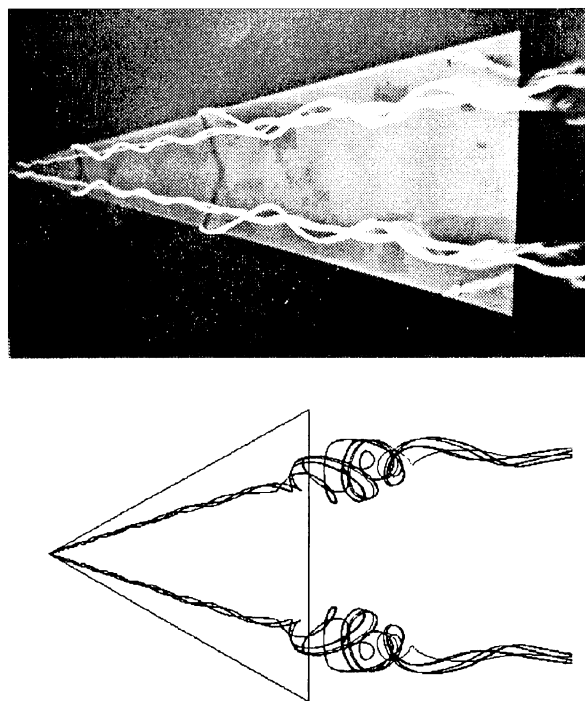


図 2 三角翼上に行ける前縁剥離渦の可視化 (上: 実験、下: 数値解析、ただし条件は異なる)

3 VR 利用の可能性

それでは、VR を利用する利点はどこにあるか。先の議論では、VR は意味がないように思われたが、これも 1 章に述べたように著者の場合はたまたま CABIN を利用する環境にあったので、とにかく考える前に試してみることにした。[3-4]ここで、VR はモニターに CG で絵を描くことの代わりと考えているので、まず、通常の数値解析で CG を利用する場面を考えてみると、大きく 3 つになる。

- ・前処理 (メッシュ生成)
- ・後処理 (可視化)
- ・ビジュアル・コンピューティング

以下、これらについて考える。

3.1 前処理

数値解析の前処理は、計算対象を細かいセルや要素に分割する作業で、メッシュ生成などと呼ばれる。注 1) 例えば、先ほどのスペースプレーンまわりの流れを計算するために使われた格子の物体近傍を図 3 に示す。格子はまず表面分布を決め、それから空間内部を分割していく。数値解析上、セルの形状は解の精度に影響を与える場合が多いので、できる限りきれいな (例えば立方体や正 3

角錐など)にしたい。しかし、2次元ならばともかく3次元では分割されたセルの形状がよく分からない。そこで、VRを利用することの1つの期待として、この分割されたセルの形状がより分かりやすく示せるのではないかと考えている。これを実際にCABINで試しているのが図4である。結論としては、モニターで見るよりは格段に分かりやすい。しかし、それでも線が交差すると(線の太さは奥行きで変わらないので)分かりにくくなるなど、改善すべき点は多い。また、前処理も市販のソフトウェアに頼ることが多くなっているため、それらとの連携も課題である。

注1) 分野や用いる解析手法によって、計算対象を分割した小領域は、セル、要素、格子などと呼ばれ、それらを生成する作業は、メッシュ生成、格子生成、要素分割などと呼ばれている。いずれにも大きな違いはない。

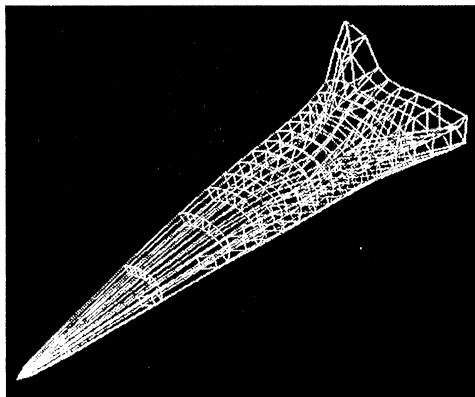


図3 スペースプレーンまわりの流れを計算するための計算格子(一部)

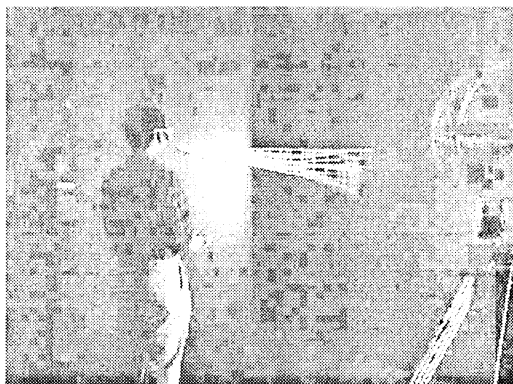


図4 CABINの中でスペースプレーンまわりの計算格子を見ている様子

3.2 後処理

後処理は、考え方としては簡単である。CGで可視化

しているところをVRで置き換えるだけである。ここで、VRはIPTなどでの立体視+視点連動のことを考えている。ここで、あらためてVRを使うことの利点を考えてみると、仮想空間の3次元座標の認識が容易であるということがひとつの特徴として考えられる。例えば、図2のように流れに沿って線を引く(流線などと呼ばれる)ときには、どこを始点とするかが重要なのだが、それを可視化ソフトでインタラクティブに与えるのは、画面で3次元位置を認識するのが容易でないため、結構難しい。そこで、VR利用の1つとして、流線の開始位置を仮想空間で会話的に与えることを考えた。それを図5と6に示す。図5はCABINの1画面の絵、図6は実際に作業をしている様子で、ここでは、流線の始点は手袋型の入力装置によって与えている。実際に体験してみないと分からないが、可視化ソフトで流線を出す位置を選ぶよりも遙かに容易に希望するところから流線を出せる。それも、ほぼリアルタイムで流線の計算ができるので、手を動かしていくことで流れの様子を探るような感触を持つことができる。



図5 三角翼まわりの流れを示す流線と速度ベクトル(CABINの1画面)

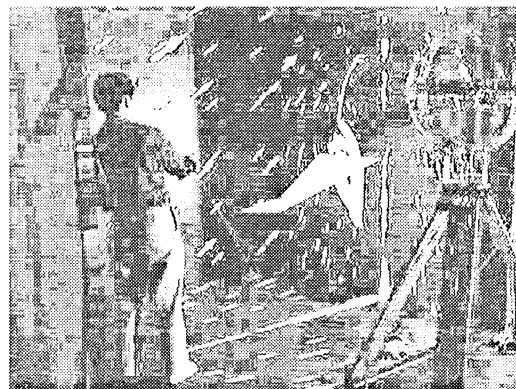


図6 三角翼まわりの流れをCABINの中で見ている様子

もうひとつ、ここでは速度ベクトルを矢印によって表している。一般に矢印による速度ベクトルの表示は 2 次元や 2 次元面内では有効であるが、3 次元空間ではかえって誤解を招くと考えられる。というのは、透視投影では遠くの方がより小さくなるので、2 つの大きさの違う矢印を見たときに小さい方をより奥にあると判断しがちであるが、矢印は速度ベクトルの大きさに比例した大きさに描かれるので必ずしも小さい方が奥にあるとは限らないからである。ところが、VR では、立体視と視点運動によって十分な奥行き情報が得られるので、矢印を見間違えることがない。結果として 3 次元の流れ構造を直観的に把握しやすくなっている。後の章でもさらに考察するが、特にこの空間座標の認識に大きな利用価値があると思われる。

3.3 ビジュアル・コンピューティング

ビジュアル・コンピューティングという用語がいつから使われたのか著者は寡聞にして知らないが、ここ 10 年以内のことであると思う。またその定義も従って著者の中では曖昧であるが、「数値計算において、映像を用いた入出力があり、映像と計算の関係が不可分のもの」といった意味で捉えている。例えば参考文献[5]には、計算対象をドロー系のソフトのようなインターフェースで用意し、計算を開始させると同じウィンドウ上で計算の進行が可視化されるといった例が挙げられている。これと VR を組み合わせるとすると、計算に対するインタラクションをより直接的あるいは直観的にできることが利点ではないかと想像される。

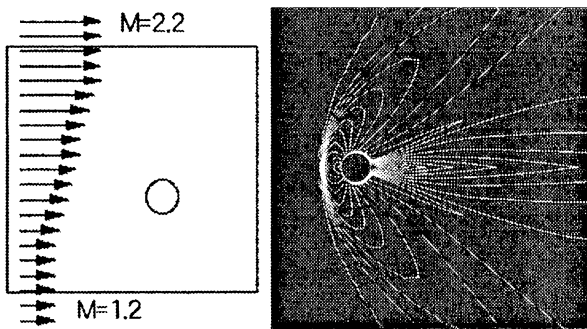


図 7 円柱まわりの流れの様子 (左：流れの模式図、右：密度の等高線)

1 つの例を図 7 に示す。円柱まわりの流れがその場で計算され、可視化されているが、流れの速さが高さ方向で異なっていて、円柱の位置によってできる流れが異なるようになっている。ここでは円柱を観察者が上下に動か

せるようにしている。流体の計算は実時間ではとても行えないので、かなり時間を引き延ばして見ていることになるが、円柱を上下させるとそれによって流れが変化する様子が見て取れる。

このように流れを体験できることは、教育的効果、つまりこの分野の初心者にとって意味があるだろうことは想像に難くないが、我々研究者にとっても新しい発見がありそうな気がする。それについては次の章で述べる。

4. VR 利用の意義

先の例を参考に、数値解析における VR 利用の意義についてあらためて考える。1 つ明らかなのは、前処理や後処理で述べた 3 次元の空間認識である。以前は計算時間や記憶容量の制限で、問題を 2 次元もしくは軸対称などと仮定することが多かったが、今日では実際の複雑な形状でそのまま計算機に載せることが当たり前になった。従って、結果を理解するには空間の 3 次元的な広がりを対象とせざるを得ない。その方法の 1 つとして VR は有効だということである。これは容易に想像がつく。加えるならば、先にも述べたように視点運動は重要で、立体視だけでは大きな効果は得られない。かつて、液晶シャッター眼鏡にモニターを連動させて立体視をする装置があったが、余り普及しなかった理由の 1 つであると思う。

もう 1 つは VR を VR らしく用いないことである。例えば流体に VR というと思いつくのは NASA の数値風洞のように、風洞実験を計算機の中で行うイメージである。この場合、現実の実験を計算機が代替する。表示されるのも実際の実験の代わりになるものであろう。しかし、ここで著者が示したのはそれとは少し違う。表示されるものの大きさは図 1 の場合は縮尺して小さくなっているし、あるいは分子レベルの解析であれば逆にかなり拡大されている。時間についても流体の場合は引き延ばされて示されることが多い。見た目についても、CG としてのレベルは低く、また実際に存在しない面や線が描かれるなど、素人が考える、現実世界の模倣としての VR とは相当に違う。しかし全くの作り物であっても、視点運動、もしくは流線を引いたり円柱を手で動かしたりといったインタラクションが我々の感覚に妙なりリアリティをもって訴えかけてくる。それが何の役に立つのかと言えば、確かなことは分からないのだが、モニターで見るとは違う感覚で流れを見ている気がする。もうひとつ、CABIN などの IPT の場合は見ているものが実寸法で大きいという効果もありそうなのだが、いずれにしてもはっきりした結論を導くに

は至っていない。

5. おわりに

著者の結論は、「確かに VR を利用することで、単に CG の可視化とは違う効果が得られるが、それが具体的に何で、どのくらい重要なのかはまだ分かっていない」ということである。著者は先に述べたように CABIN というきっかけがあったので VR の利用を始めたが、そうでなければ未だに敷居が高かったであろうと思う。コンテンツ (VR を数値解析に利用するとどんないいことがあるか) も重要だが、インフラ (VR の環境、装置) も実際には相当重要な要件になってくると思う。

参考文献

- [1] 廣瀬通孝ほか：没入型多面ディスプレイ(CABIN)の開発、日本バーチャルリアリティ学会第 2 回大会論文集、pp 137-140 (1997)
- [2] Kozo Fujii and Yoshiaki Tamura: Effect of Engine Integration on the Aerodynamic Characteristics of a Spaceplane、International Journal of Computational Fluid Dynamics、Vol. 8、pp 235-246 (1997)
- [3] 田村善昭ほか：没入型多面ディスプレイによる可視化、第 11 回数値流体力学シンポジウム講演論文集、pp 109-110 (1997)
- [4] 森田祐介ほか：没入型ディスプレイを用いたビジュアルコンピューティング、機械学会関東学生会第 38 回学生員卒業研究発表講演会講演前刷集、pp 331-332 (1999)
- [5] 城之内忠正：Java による計算と情報発信、日本機械学会第 75 期通常総会講演会資料集(VI)、pp 348-349 (1998)

【略歴】

田村善昭 (TAMURA Yoshiaki)

東洋大学工学部コンピュータシミュレーション情報工学科助教授。1961 年生まれ。1986 年 3 月東京大学大学院工学系研究科修士課程修了。1986 年 4 月～1989 年 1 月富士通株式会社、1989 年 2 月～1996 年 7 月文部省宇宙科学研究所宇宙輸送研究系助手、1996 年 8 月～2001 年 3 月東京大学大学院工学系研究科助教授を経て 2001 年 4 月より現職。博士 (工学)。専門は流体力学、特に数値流体力学における計算法と可視化。