

Title	流体解析の現場から
Author(s)	梶島, 岳夫; 三宅, 裕
Citation	大阪大学大型計算機センターニュース. 1998, 107, p. 11-13
Version Type	VoR
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/66249">https://hdl.handle.net/11094/66249</a>
rights	
Note	

*Osaka University Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

## 流体解析の現場から

大阪大学大学院工学研究科 機械物理工学専攻

梶島 岳夫・三宅 裕

## 1. 計算機性能の要求 —まだまだです—

当研究室では主として乱流現象の解明と予測や制御を目的とした研究で数値計算を行っている。流体運動は、質量・運動量・エネルギーなどの保存を表す偏微分方程式で記述される。しかし、それは強い非線形性を有するために解析解が得られるのは限られた僅かな場合である。したがって、一般の流れ場を解析するためには数値計算が不可欠である。それが可能となったのはそれほど古いことではないが、数値計算によって実験では難しい現象を取り扱うことができるようになった意義は大きい。とはいうものの、理学か工学かを問わず、さらに複雑な系の取り扱いを必要としている。われわれは、タービン翼列など複雑形状の場、乱流という複雑現象、混相や非ニュートンなどの複雑流体を扱う。これらの流れを計算で再現して解析する「数値実験」を行うため、基礎式にほとんど仮定を加えない、いわゆる直接シミュレーションを主たる研究手法としている。

流れ場が乱流状態にあることは数値計算の上ではたいへんな障害となる。つまり、乱流運動には様々なスケールが混在しており、非線形性によって異なるスケールの中に相互作用があるから、その直接シミュレーションを行うには、全てのスケールを同時に扱わなければならない。したがって、最大スケールの流れと最小の乱れの比が数値計算に必要な格子(メッシュ)数となる。一般に乱流では、最も規模の小さいものでも  $10^8$  以上は必要と見積もられ、既に実施された最大の計算はその程度である。ただ、最小の渦まで解かなくても実験と比較して妥当な解が得られることが経験的に知られており、われわれの計算は  $10^6$  から  $10^7$  程度のメッシュでも十分成り立っている。しかし、現場ではより微細な構造の解析か、より大規模で複雑な系の解析を必要としており、今のスーパーコンピュータシステムでは速度も容量も不十分であることを強調しておきたい。

## 2. 現在の計算機環境 —研究室に SX-4 がやってきた—

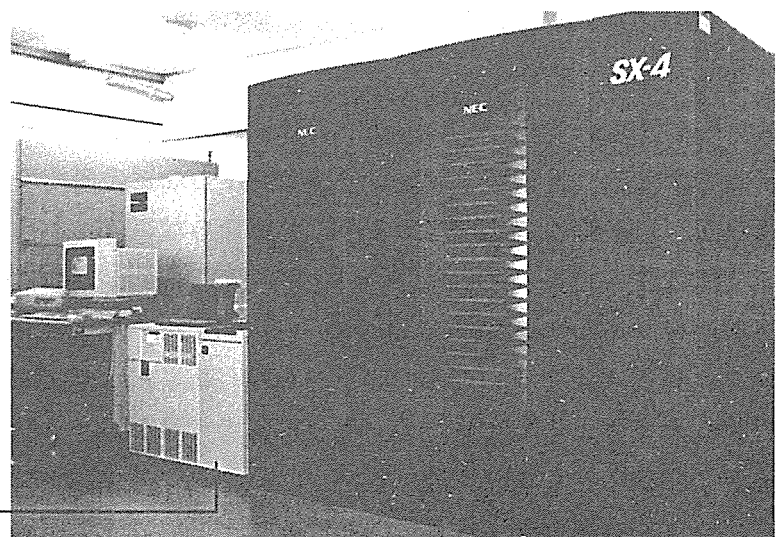
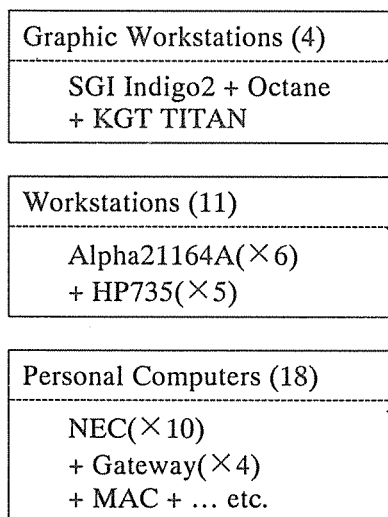
当研究室はこの数年間、おそらく大型計算機センターの大ユーザーグループのひとつだと思う。しかし、上述の事情で、センターの計算機容量に満足してはいたわけではない。加えて、非定常計算の結果として  $10^7$  のメッシュ点で速度や圧力などの多くの物理量がどんどんと出力されるわけであるから、その保存や処理も考えなければならない。それら諸々が研究室にスーパーコンピュータを必要とする背景となった。幸いにして平成8年度の研究基盤重点設備費の援助を得ることができ、NEC SX-4 システム(2CPU, 主記憶 2GB, 拡張記憶 1GB)と、それに直結する SGI Indigo2 画像処理システムを調達することができた。(政府調達では 5GFLOPS 以上をスーパーコンピュータと言うが、とても単年度で買えるような事務量ではない。当研究室のものは 2CPU で計 4GFLOPS だからその手続きをしなくて済んだが、われわれはスーパーコンピュータだと思っている。)なお、この予算は機械物理工学専攻の4研究室からの共同提案に充てられたもので、現在ではさらに3研究室を加えたユーザーグループによって利用されている。昨年3月に導入し、当初は度々故障したが、夏過ぎからは電気工事による停電をのぞき、ほぼフル稼働状況にある。利用実績としては当研

研究室が CPU 時間の約 70% を使わせてもらっている。

1998 年度末時点での当研究室の計算機環境を下に示す。プログラミングの開発段階では最近話題の Alpha チップをのせた計算機とやや疲労気味の HP735 から成るワークステーション群が使用される。ある程度見通しがつくと SX-4 で本格的に計算が始まり、その後いくつかは大型計算機センターに移される。並列化効果の高いもの、特大の容量を要するものはセンター向きである。一方、長時間の計算を要するものは、処理の優先度は低いけれど 72 時間通して実行できるクラスを設けている当方のシステム SX-4 で継続される。さらに一部の研究テーマについては学外の各種ベクトル計算機・並列計算機を利用させていただける環境にある。これらはいへんうまく仕分けされており、この原稿を書いている卒論・修論の追い込み時期を除けば快適である。ただ、研究室の SX-4 は常に待ちジョブがたまっており、コードの並列化(と予算確保)に成功すればもっとセンターに移したいところである。SX-4 調達の際にはセンターからは得意先に逃げられるのではと懸念されたとか仄聞しているが、心配ご無用です。今年度の利用負担金は昨年度よりも多いはずである。新システムの導入によって、さらに計算の領域が広がったということだと思ふ。

研究室に SX-4 が来た効果は、画像処理システムとの連携と相まって絶大である。前々から考えていた課題をいくつも実現することができた。例えば、固体壁面に沿う乱流構造のメカニズムの理解が進み、様々な作用に対する渦のふるまいを数値実験することにより、流動抵抗の削減方法を論ずる糸口がつかめたように思う。また、渦運動によって発生する騒音について、数値実験で音源を特定することが可能となった。これらを、多くの機器やシステムの効率向上や騒音低減を通じて、エネルギーや環境の諸問題に取り組める基礎的実験ツールに発展させてゆきたい。

一方、SX-4 をもつことでそれなりの苦勞もある。計算機室の建設、専用冷房装置の購入と設置、電源工事、フリーアクセスの床工事は全て研究室の負担で、初期投資は 1000 万円を超えている。また、保守は最も重要な課題である。設備維持費としてわれわれのところに支給されるのは年間 200 万円程度で、必要な保守サービスを受けるためにはそれ以上を稼いできて追加しなければならない。もちろん運用管理は研究室の仕事で、スタッフや学生の負担も少なくない。



NEC SX-4/2C (MMU:2GB+XMU:1GB, Disk:67GB)

### 3. 提 言 ―やはりスーパーコンピューターの充実を最優先に―

流れの大規模数値シミュレーションの立場から大型計算機センターに望むことを述べたい。今後、大学ならではの研究に投資してもらってその知見を広く提供する体制を整える必要性がますます高まるであろう。その際、大型計算機センターをはじめ共同利用施設は大学の貴重な研究基盤であり、常に最新のシステムが整備されるべきである。

われわれの研究領域が属する計算力学、さらに広義には計算物理学、計算科学の多くは、ミクロ系・非線形系・複雑系などを対象とする。理論的または実験的アプローチだけでは限界もあり、ここに数値計算の意義がある。それには、現象の本質をとらえた条件の設定と結果の解析が肝要であるが、しばしば非常に大規模で手間のかかる作業が不可避となる。それはおそらく大学のやるべき仕事だと思う。世の中にチャンピオンデータというものがある。最も分解能が高く、最も信頼できるデータに与えられる賛辞であろう。これにしを削っている人がいるのは、本質に迫るには現在の計算機では不足しており、目標はかなり遠いからであって、一概に無意味な競争とは言えない。そのような意味からも、大学の大型計算機センターでは常に最先端のスーパーコンピューター環境を提供し続けることを最優先課題としてほしい。

自前でスーパーコンピューターを導入し運用するコストはわれわれの場合、買い取り価格・計算機室整備費用・保守費用を考慮し、数年間にわたって第一線で働いてくれるとして平均 3000~4000 万円/年である。これくらいの負担で数 CPU を 1 年間専用させてもらえる制度があれば、管理の仕事から解放されるから飛びつく値打ちがあるだろう。一研究室で無理ならグループを作って応じてよい。あるいは、閑散期の一ヶ月とか、ラジオ深夜便の時間帯とか、いろいろな方法があると思う。定額料金制など、運用面でも広範なニーズに弾力的に応じる体制が望まれる。

課金については、計算の量だけではなく質でも差をつける方がよい。今年度から並列化に努力すれば報われる課金制度になったことは合理的で歓迎したい。これとは別に、アプリケーションソフトを使用した CPU 時間に特別料金を徴収してはどうか。SX-4 と同時に導入されたこれらの高額ソフトは、ほどほどの精度があれば足りるという場合に研究の省力化手段としては有益であろう。しかし、共同利用施設である計算機センターに購入してもらって使うのなら、それなりの負担をすべきである。実験でも、ポンと置けばすぐにデータの取れる測定装置は高いし、外注すればもっと金がかかる。そういう観点から、自作のプログラムを流す場合の利用料をもっと下げ、アプリケーションソフトを使う場合の値上げ分でもまかなってもらいたい。

さて、大規模計算の泣き所は結果として出てくる大量のデータの処理である。場合によっては 10GB 単位の計算結果を長期間保管して様々な角度から解析を加える必要が生じる。このことは自前のスーパーコンピューターを欲するに至った要因のひとつである。計算機センターのディスクを使うと、データを置いておくだけで予算がまたたく間に減ってゆく。頻繁に使用するデータをいちいちテープに巻き取るのも非効率である。もちろん、学内 LAN を強化して手元の媒体に収録することも考えられるが、現状では転送も読み書きも遅すぎるし、シミュレーションの結果で LAN に渋滞を引き起こすことは歓迎されないだろう。そこで、アクセスは多少遅くても低価格で大容量の保管庫があればと思う。

以上、大型計算機センターの現状についてよく理解しない的外れの点があったのではと危惧しているが、ひとつの研究現場からの一方的な意見としてご容赦いただければ幸いである。