動き出した NAS システム^{*1}

藤 井 孝 蔵^{*2}

Key Words: Computational Fluid Dynamics, Numerical Simulation, Aerodynamics

1987年3月9日、アメリカ合衆国カリフォルニア州のNASAエイムス研究所でNAS—Numerical Aerodynamic Simulation Facility—の完成記念式典がおこなわれた(第1図)。NASは、新たに流体力学研究の有力手段として急速な進歩を遂げつつある数値流体力学(CFD: Computational Fluid Dynamics)の産物であって、工学的には数値風洞の性格をもち、学問的には優れた能力をもつ数値流体力学応用の研究施設となっている。CFDを利用した数値シミュレーション施設を作ろうというNASプロジェクトは、1975年にエイムス研究所内に組織された小さなグループによってスタートした。そこでは将来CFDを実用研究に利用するためにはどの程度の速さと記憶容量を持つ計算機が要求されるかが予測され、それがNASの中核コンピュータの想像図となった。同時に必要となるシステム構成(要求されるデータ転送速度、ディスク容量、必要なグラフィックス機器、全体の構成概念)等が、予測される計算機技術の進歩、数値計算法の改良を考慮にいれて決められていった。参考のために第2図に各種近似方程式によるシミュレーションに要する計算機容量とスピードを示す。

計画は数々の障害を乗り越え完成を迎えたが、初期の要求を満たすことはできず、その時々で最新の計算機をHSP(High Speed Processor)として導入していく進行型のプロジェクトとして決着をみた。そして、最初のHSPとして選択されたのがCRAY 2スーパーコンピュータである。

NASシステムのHSP: CRAY 2は「Navier」と呼ばれ、全体で1720 MFLOPSの計算速度を達成する四つのプロセッサと256 MWのメモリーをもつ。典型的なCFDコードが250 MFLOPS以上で走ることを想定しているが、筆者の知るかぎりでは今のところ多重プロセッサを利用している人は皆無に近く、実際

には速いコードで100から150 MFLOPS程度の性能となっている。多重プロセッサの利用者がいないのはコードの書き換えが必要なこと、複数のプロセッサを利用するため優先度が落ちTAT(turn around time)がかえって悪くなることに起因しており、今後変化していくかもしれない。

HSPを支えるSPS(Support Processor System)はいくつかのアムダール5860とVAX 11/780からなり、インタラクティブなデータの処理や結果の出力に利用されている。アムダールの1台は後述のMSS専用、他の1台は出力専用のマシンである。WKS(Workstation Subsystem)は複雑な画像処理を行うために設置されたカラーグラフィックワークステーションで、データ転送とディスプレイ速度の優れたSGI社のIRISが数十台(研究者2~3名に1台)各研究者に配られている。各々の計算機の外部記憶装置に加えて、データ保存のためにMSS(Mass Storage System)が用意されているが、データの出し入れは端末上の単純なコマンドで制御されていて、ユーザーに煩わしい作業を要求しない。

NAS全体の構成を第3図に示す。このような大規模システムでは各ハードウェア上の作業を減らし、各メーカー機器の互換を図ることが重要である。NASではO.S.(Operating System)をUNIXに準拠したもの(CRAY 2上ではUNICOS)で統一して、ユーザーがどの計算機上でも同じ命令体系を利用できるようにしている。計算機同士を結ぶネットワークではHyperchannelとEthernetがその特徴である。NASは米国全体の施設であるから、国内全域からのアクセスがある。総じてNASnetと呼ばれるこのネットワークは9.6から56 Kビット/秒の回線で構成され、NASと各地の拠点を結んでいて、その拠点から各ユーザーへは各々のEthernetが結んでいる。NASAのセンター同士は224 Kビットの回線となっているようである。このような高速のネットワークによって、地方のユーザーにとっても自分のワークステーション

^{*1} 昭和63年3月23日原稿受理 Numerical Aerodynamic Simulation Facility Takes Off

^{*2} 宇宙科学研究所 Kozo FUJII

がNASシステムに直接つながっているかのごとくに思える。筆者もコロラド大学から試してみたことがあるが、ほとんどの作業についてはNAS施設の中にある自分のオフィスから利用しているのと変わりなく感じられた。

CRAY-XMP 48 (4 プロセッサと8 MW のメモリー) を中心に形成されているエイムス研究所の計算センター ACF は NAS とは独立した施設となっている。ACF では CRAY は COS, フロントエンドとなっている VAX 群では VMS とそれぞれのオリジナルの O.S. で稼動しているが、ユーザーはスイッチ一つで NAS, ACF のどちらにもアクセスできるので O.S. の違いを除いては不便さはない。

NAS の建物の中では CFD 研究者数十人を含む 200 人近い人間が作業している。NAS のプロジェクトは現在のシステムをサポートするだけでなく CFD 研究を支える可視化等のグラフィックソフトの開発や利用可能な新技術の導入、将来のための技術開発等もおこ

なっている。こうした CFD 支援の体制が充実した研究環境をつくり、優れた研究成果を産み出す要因となっている。

NAS プログラムは基礎および応用の独創的な研究を支援することを目的としている。利用したい人間はまず申請をして NAS の評価機関で承認されてはじめて NAS が利用できる。エイムス研究所の研究者ですらそのすべてが利用できるわけではない。計算機利用に関していえば、その約 90% が流体、構造、材料等の航空工学に、残り 10% が化学、気象、宇宙物理等の他分野となっている。業務別に見ると、55% が内部研究、共同研究、契約研究を含めた NASA のプログラムが占め、20% が防衛研究、15% が航空機メーカー等の産業界、5% がその他の政府機関、最後の 5% が大学である。

NAS の CFD 研究成果はとても限られた紙面には収まらないので個々の論文を見ていただくとして、ここでは NAS の大口ユーザーとなっている流体プロジェクトをいくつかあげ、どんな分野に力がいられているかの参考にさせていただきたい。極超音速流の数値計算、実在気体流れの数値計算、ロータークラフトまわりの流れ解析、大迎角剝離流の研究、VSTOL の研究、空力弾性問題の研究、乱流の基礎研究、数値計算法の開発等がそれである。これらのプロジェクトに主に共通するのは計算時間、計算メモリーともにかなりものが必要である点と、実用的な要求がその背景にあることであろう。NASP (National Aerospace Plane) に関連するプロジェクトはこの典型である。

現在、NAS のプロジェクトは第 3 図に示した IOC

第1図 NAS施設全容

第2図 航空機まわりの流れのシミュレーションに要求される計算スピードと容量 (NASA CP 2454 より抜粋)

第3図 NAS IOC 機構図 (NASA CP 2454 より抜粋)

(Initial Operation Configuration) から次の段階 EOC (Extended Operation Configuration) へ移行しつつある。EOCでは常に2台 HSPを確保し、1台ずつ交互に新機種に interchangeable されている。当初、CRAY 2の4倍の性能を目標とした HSP 2は結局 CRAY 2となり、“Stokes”と名付けられてすでに稼動を開始している。

以上筆者の1年余りのエイムス研究所での滞在経験をもとに述べてきた。NASはNASAとくにエイムス研究所が総力あげて取り組んできたプロジェクトである。スーパーコンピュータだけを語るなら、国内にも実質性能でこれを凌駕する計算機は一つならず

存在し、大学、研究所等で活躍している。しかるに、これを支援する周辺環境の重要性は必ずしも十分認識されているとはいいがたい。国内では航空宇宙技術研究所の数値風洞 NS システムが昨年稼動を開始したが、CFD 研究者の立場でいえば環境は格段に向上したが、まだまだ研究者の負担は軽くはない。世界をリードする NAS およびエイムス研究所の CFD を支えているのは有能な研究者とハードウェアだけでなく、それを支援する形状認識や可視化等の利用ソフトの開発と研究者の負担を軽くしているシステムの設計にもあることを忘れてはいけない（もちろん、それには予算と人員が不可欠なのだが…）。

動き出した NAS システム^{*1}

藤 井 孝 蔵^{*2}

Key Words: Computational Fluid Dynamics, Numerical Simulation, Aerodynamics

1987年3月9日、アメリカ合衆国カリフォルニア州のNASAエイムス研究所でNAS—Numerical Aerodynamic Simulation Facility—の完成記念式典がおこなわれた(第1図)。NASは、新たに流体力学研究の有力手段として急速な進歩を遂げつつある数値流体力学(CFD: Computational Fluid Dynamics)の産物であって、工学的には数値風洞の性格をもち、学問的には優れた能力をもつ数値流体力学応用の研究施設となっている。CFDを利用した数値シミュレーション施設を作ろうというNASプロジェクトは、1975年にエイムス研究所内に組織された小さなグループによってスタートした。そこでは将来CFDを実用研究に利用するためにはどの程度の速さと記憶容量を持つ計算機が要求されるかが予測され、それがNASの中核コンピュータの想像図となった。同時に必要となるシステム構成(要求されるデータ転送速度、ディスク容量、必要なグラフィックス機器、全体の構成概念)等が、予測される計算機技術の進歩、数値計算法の改良を考慮にいれて決められていった。参考のために第2図に各種近似方程式によるシミュレーションに要する計算機容量とスピードを示す。

計画は数々の障害を乗り越え完成を迎えたが、初期の要求を満たすことはできず、その時々で最新の計算機をHSP(High Speed Processor)として導入していく進行型のプロジェクトとして決着をみた。そして、最初のHSPとして選択されたのがCRAY 2スーパーコンピュータである。

NASシステムのHSP: CRAY 2は「Navier」と呼ばれ、全体で1720 MFLOPSの計算速度を達成する四つのプロセッサと256 MWのメモリーをもつ。典型的なCFDコードが250 MFLOPS以上で走ることを想定しているが、筆者の知るかぎりでは今のところ多重プロセッサを利用している人は皆無に近く、実際

には速いコードで100から150 MFLOPS程度の性能となっている。多重プロセッサの利用者がいないのはコードの書き換えが必要なこと、複数のプロセッサを利用するため優先度が落ちTAT(turn around time)がかえって悪くなることに起因しており、今後変化していくかもしれない。

HSPを支えるSPS(Support Processor System)はいくつかのアムダール5860とVAX 11/780からなり、インタラクティブなデータの処理や結果の出力に利用されている。アムダールの1台は後述のMSS専用、他の1台は出力専用のマシンである。WKS(Workstation Subsystem)は複雑な画像処理を行うために設置されたカラーグラフィックワークステーションで、データ転送とディスプレイ速度の優れたSGI社のIRISが数十台(研究者2~3名に1台)各研究者に配られている。各々の計算機の外部記憶装置に加えて、データ保存のためにMSS(Mass Storage System)が用意されているが、データの出し入れは端末上の単純なコマンドで制御されていて、ユーザーに煩わしい作業を要求しない。

NAS全体の構成を第3図に示す。このような大規模システムでは各ハードウェア上の作業を減らし、各メーカー機器の互換を図ることが重要である。NASではO.S.(Operating System)をUNIXに準拠したもの(CRAY 2上ではUNICOS)で統一して、ユーザーがどの計算機上でも同じ命令体系を利用できるようにしている。計算機同士を結ぶネットワークではHyperchannelとEthernetがその特徴である。NASは米国全体の施設であるから、国内全域からのアクセスがある。総じてNASnetと呼ばれるこのネットワークは9.6から56 Kビット/秒の回線で構成され、NASと各地の拠点を結んでいて、その拠点から各ユーザーへは各々のEthernetが結んでいる。NASAのセンター同士は224 Kビットの回線となっているようである。このような高速のネットワークによって、地方のユーザーにとっても自分のワークステーション

^{*1} 昭和63年3月23日原稿受理 Numerical Aerodynamic Simulation Facility Takes Off

^{*2} 宇宙科学研究所 Kozo FUJII

がNASシステムに直接つながっているかのごとくに思える。筆者もコロラド大学から試してみたことがあるが、ほとんどの作業についてはNAS施設の中にある自分のオフィスから利用しているのと変わらなく感じられた。

CRAY-XMP 48 (4 プロセッサと8 MW のメモリー) を中心に形成されているエイムス研究所の計算センター ACF は NAS とは独立した施設となっている。ACF では CRAY は COS, フロントエンドとなっている VAX 群では VMS とそれぞれのオリジナルの O.S. で稼動しているが、ユーザーはスイッチ一つで NAS, ACF のどちらにもアクセスできるので O.S. の違いを除いては不便さはない。

NAS の建物の中では CFD 研究者数十人を含む 200 人近い人間が作業している。NAS のプロジェクトは現在のシステムをサポートするだけでなく CFD 研究を支える可視化等のグラフィックソフトの開発や利用可能な新技術の導入、将来のための技術開発等もおこ

なっている。こうした CFD 支援の体制が充実した研究環境をつくり、優れた研究成果を産み出す要因となっている。

NAS プログラムは基礎および応用の独創的な研究を支援することを目的としている。利用したい人間はまず申請をして NAS の評価機関で承認されてはじめて NAS が利用できる。エイムス研究所の研究者ですらそのすべてが利用できるわけではない。計算機利用に関していえば、その約 90% が流体、構造、材料等の航空工学に、残り 10% が化学、気象、宇宙物理等の他分野となっている。業務別に見ると、55% が内部研究、共同研究、契約研究を含めた NASA のプログラムが占め、20% が防衛研究、15% が航空機メーカー等の産業界、5% がその他の政府機関、最後の 5% が大学である。

NAS の CFD 研究成果はとても限られた紙面には収まらないので個々の論文を見ていただくとして、ここでは NAS の大口ユーザーとなっている流体プロジェクトをいくつかあげ、どんな分野に力がいられているかの参考にさせていただきたい。極超音速流の数値計算、実在気体流れの数値計算、ロータークラフトまわりの流れ解析、大迎角剝離流の研究、VSTOL の研究、空力弾性問題の研究、乱流の基礎研究、数値計算法の開発等がそれである。これらのプロジェクトに主に共通するのは計算時間、計算メモリーともかなりのものが必要である点と、実用的な要求がその背景にあることであろう。NASP (National Aerospace Plane) に関連するプロジェクトはこの典型である。

現在、NAS のプロジェクトは第 3 図に示した IOC

第1図 NAS施設全容

第2図 航空機まわりの流れのシミュレーションに要求される計算スピードと容量 (NASA CP 2454 より抜粋)

第3図 NAS IOC 機構図 (NASA CP 2454 より抜粋)

(Initial Operation Configuration) から次の段階 EOC (Extended Operation Configuration) へ移行しつつある。EOCでは常に2台HSPを確保し、1台ずつ交互に新機種に interchangeable されている。当初、CRAY 2の4倍の性能を目標としたHSP 2は結局CRAY 2となり、“Stokes”と名付けられてすでに稼動を開始している。

以上筆者の1年余りのエイムス研究所での滞在経験をもとに述べてきた。NASはNASAとくにエイムス研究所が総力あげて取り組んできたプロジェクトである。スーパーコンピュータだけを語るなら、国内にも実質性能でこれを凌駕する計算機は一つならず

存在し、大学、研究所等で活躍している。しかるに、これを支援する周辺環境の重要性は必ずしも十分認識されているとはいいがたい。国内では航空宇宙技術研究所の数値風洞NSシステムが昨年稼動を開始したが、CFD研究者の立場でいえば環境は格段に向上したが、まだまだ研究者の負担は軽くはない。世界をリードするNASおよびエイムス研究所のCFDを支えているのは有能な研究者とハードウェアだけでなく、それを支援する形状認識や可視化等の利用ソフトの開発と研究者の負担を軽くしているシステムの設計にもあることを忘れてはいけない(もちろん、それには予算と人員が不可欠なのだが…)。