

# スーパーコンピュータの導入

数理解析技術室 大塚 清  
Kiyoshi OTSUKA

## 1. はじめに

地球温暖化問題を初めとする地球規模の環境問題を科学的に解明するためには、広大な海洋が地球環境問題に果たす役割を解明し、科学的な裏付けの基に、効果的な対策を講じる必要があります。そのためには、観測機器による海洋精密観測はもとより、数理解析手法による海洋の諸現象の解明及び広域な物理現象を精度良く再現できる数値モデルによる気候変動の予測が不可欠です。

海洋科学技術センターでは、将来の大気変動を予測する「大気大循環モデル」との結合を目指し、気候変動予測に重要な役割を果たす数カ月から数十年間にわたる海表面及び海洋内部構造の変動を数値モデルにより精度良く再現するため、海洋大循環モデル研究を実施しています。また、これに関連して、モデルの検証などに必要な広域海洋内部構造データを得るため、音波を利用して1,000km四方の海洋の内部構造を短時間のうちに知ることのできる海洋音響トモグラフィの研究を実施しています。しかし、これらの研究を効率よく推進する上では、大容量記憶装置を備えた超高速演算装置が不可欠です。

そのため、海洋科学技術センターは、数年前よりスーパーコンピュータ導入のための予算要求を行ってまいりましたが、平成7年度の認可予算においてスーパーコンピュータの導入が認められ、平成8年3月1日から運用を開始いたしました。これを機会に、本誌面を借りてスーパーコンピュータの導入についてご紹介させていただきます。

なお、当センターでは、汎用コンピュータ及びスーパーコンピュータを用いた海洋データの解析処理、可視化やデータ管理・提供、コンピュータシステム及びネットワークの管理・運用、先端的計算機技術の研究・調査など海

洋における計算科学技術を更に推進するため、平成7年10月1日に前身である電子計算機室を改組し、数理解析技術室を新設いたしました。

## 2. スーパーコンピュータの現状

最初に、スーパーコンピュータの現状について簡単に触れたいと思います。

この世にスーパーコンピュータと言われるような(当時では)超高速電子計算機が出現したのは、科学技術計算用の数値シミュレータとしての需要から、1976年に米国Cray Research社の創始者であるSeymore Cray氏が開発したCRAY-1でした。このCPU性能は160MFLOPS (FLOPSとは1秒間に処理可能な浮動小数点演算回数の単位で、M(メガ)は10の6乗)でした。これは従来の計算機より動作クロックが2桁以上高速であり、しかも1クロックで2つの演算を処理する(従来機は4クロックで1つの演算を行っていた)優れ物でした。その後、CPU性能が年を追う毎に向上し、日本でも1983年に日立製作所、富士通、日本電気が相次いで500~800MFLOPSマシンを出荷すると、その性能競争は益々激しさを増すことになりました。そして、1988~1993年の間に日立はS-820、富士通はVP-400/VP-2000、そして日電はSX-2/SX-3で単一CPUの2~6GFLOPS高性能マシンを開発しました。しかし、ここら辺が1CPUの性能限界で、消費電力や発熱量の問題などが浮彫りされてきました。

早くからこの問題に気付き、その解決策を模索していたCray社は、CPUを多数使用してトータル性能を向上させるマルチプロセッサ計算機の開発を進め、1984年に4CPUを搭載したCRAY X-MPを、翌年には4CPUのCRAY-2、1988年には8CPUのCRAY Y-MP、そして1991年には最大16CPUを搭載可能なCRAY C90 (最大

性能16GFLOPS, G (ギガ) は10の9乗) を相次いで開発しました。国産では1991年に日電が4CPUのSX-3(25.5GFLOPS), 1993年に日立が4CPUのS-3800(32 GFLOPS) などを出荷しました。

一方、これらの発想とは逆に、100MFLOPS程度の安価なCPUを数百、数千と多数結合した超並列マシンが1990年の初頭に出現しました。その代表例として、Thinking Machine社のCM-2/CM-5, Intel社のiPSC, nCUBE社のnCUBE, KSR社のKSR-1などが挙げられます。しかし、超並列マシンは並列化処理性能をフルに引出すプログラミングが非常に難しく、現在の所は画像処理や多量データサーチ、パターンマッチング連想処理など特殊な用途にしか使用されていません。

このようなテクノロジーの流れにあって、現在はベクトルCPUの多並列マシン (ベクトル・パラレル・マシン) が主流となっています。その代表例として、Cray社のCRAY T90 (最大32CPU), 富士通のVPP-500 (7~222 CPU), 日電のSX-4(最大32CPU, ただしマルチノード

タイプでは32x16=512CPU) などがあります。

これらスーパーコンピュータの動向を汎用機やワークステーションなどと対比して表すと、図-1 のようになります。この図から判るように、ワークステーションレベルのRISC (Reduced Instruction Set Computer) 性能が急激に伸びてはおりますが、スーパーコンピュータとの性能差は現状でも歴然としています。

コンピュータにはCPUに仕事をさせるための一連の命令 (プログラム) やデータの一時的格納場所などに使用される、高速なメモリが不可欠であることは言うまでもありませんが、このメモリの構成方式により、図-2 に示すようにメモリ分散型とメモリ共有型とに大別することができます。メモリ分散型は各プロセッサ (PE) がそれぞれメモリを占有しているため、1つのPE内での処理性能は限界まで引出すことが可能です。また、PEとメモリのペアがネットワークで相互に結合されているため、プロセッサを数百、数千と容易に増やすことも可能です。しかし、他のPEのメモリ内のデータを必要とするような

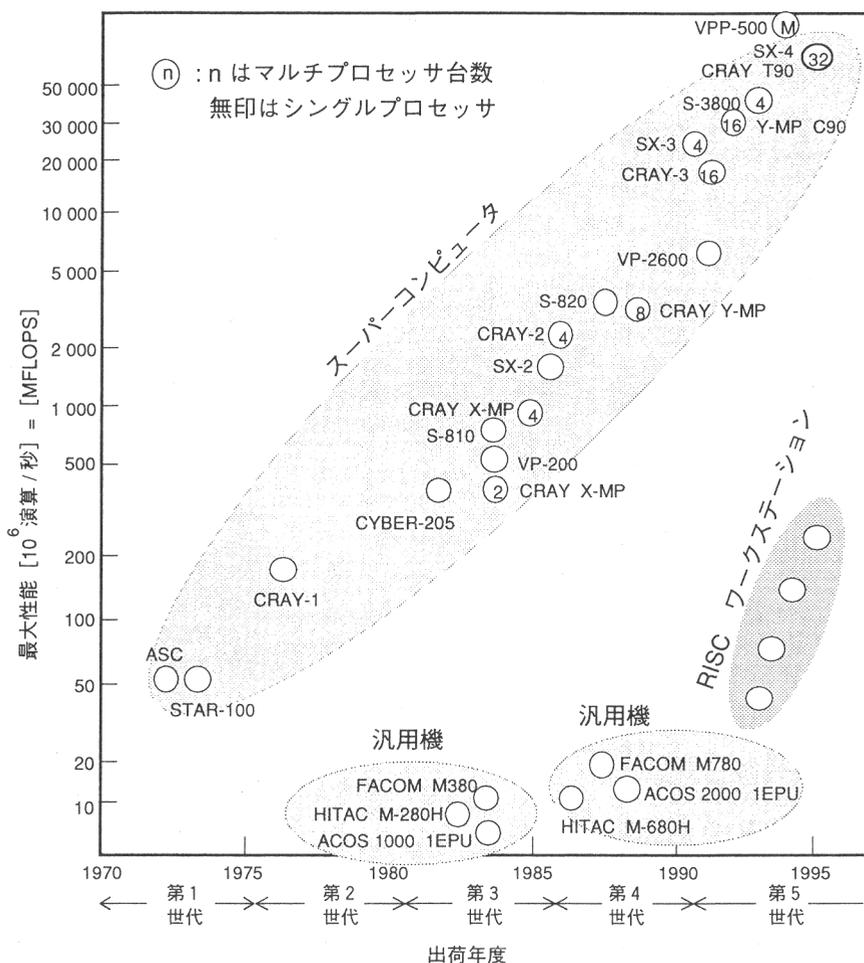
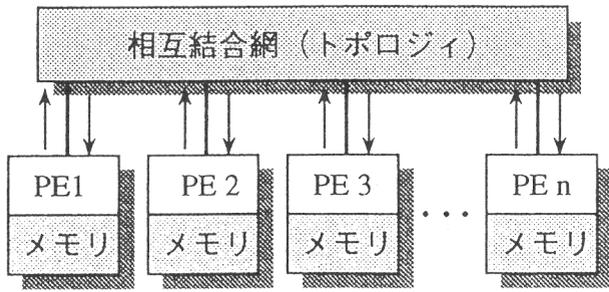
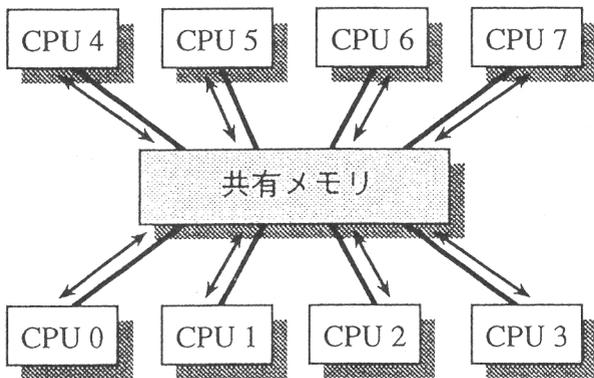


図-1 スーパーコンピュータの動向



メモリ分散型マルチプロセッサ



メモリ共有型マルチプロセッサ

図-2 コンピュータのメモリ構成方式

場合は、ネットワークを介してデータの授受を行わなくてはならないため、PEの数が増えるに従いオーバーヘッドが増加し、ハードウェアの持つピーク性能とプログラム実行性能との間のギャップが大きくなってしまいう欠点があります。

一方メモリ共有型は、プロセッサの台数や動作クロックの短縮化、データ転送能力に物理的な限界があり、現時点での性能限界は100GFLOPS程度と見られており、また、複数のCPUが同時に同じデータをアクセスしたい場合はぶつかり合いが起きますが、一般的には科学技術計算用マシンとしての実績が豊富で、ハード/ソフトともに成熟しており、従来の逐次処理型言語で記述されたソフトウェアを並列化しやすいという特徴があります。海洋科学技術センターのように計算規模が大小様々で、スーパーコンピュータの利用に関して比較的不慣れたユーザが短時間で成果を求めようとしているサイトにはメモリ共有型が適しているとの判断により、今回はメモリ共有型ベクトル・パラレルマシンを導入することとしました。

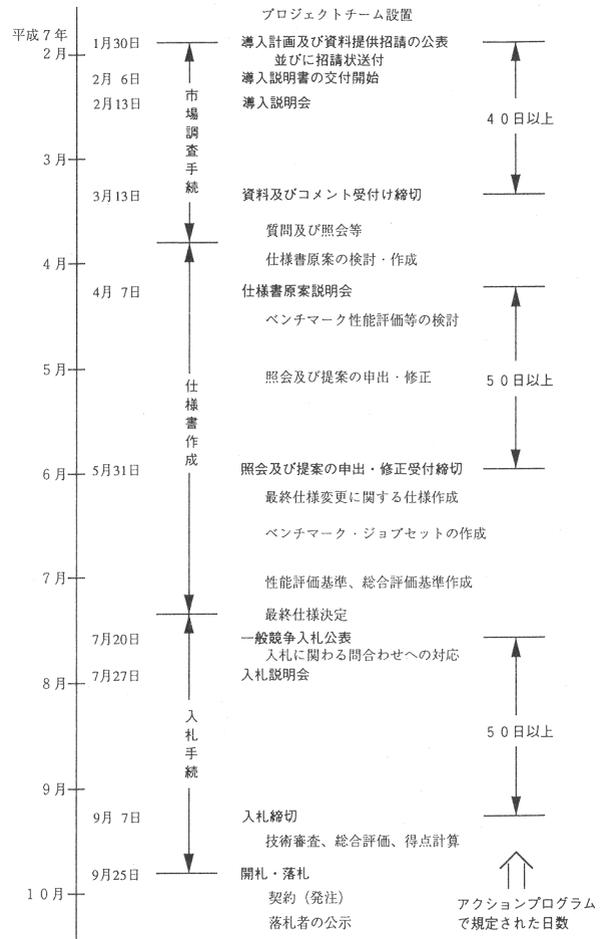


図-3 スーパーコンピュータ導入手続き

### 3. 導入スケジュール

日米経済摩擦の火種になりがちなスーパーコンピュータを導入するに当たっては、より一層透明、開放的かつ無差別な競争導入手続きを確保するとともに、各対象機関が導入の目的に最も合致したスーパーコンピュータを導入することを一層容易にするため、アクション・プログラム実行推進委員会(委員長 内閣官房長官、各省庁事務次官などにより構成)は、昭和62年8月1日より実施しておりました「スーパーコンピュータ導入手続」を改正しました。この新「スーパーコンピュータ導入手続」は平成2年5月1日から実施されました。改正の主なポイントは、

- (1) 落札者の決定に当たって提案価格のみで評価していたものを、性能と提案価格の総合評価にする
- (2) 民間を含め市場調査を行い、予算要求及び予定価格設定の基礎とする
- (3) 苦情処理を行う調達審査委員会を設置する

(4) 適用範囲を従来の100MFLOPS以上から300 MFLOPS以上とする

などでした。しかし、(4)の適用範囲については、マシン性能の向上化に対応するため、平成7年4月1日より5GFLOPS以上と変更されました。

海洋科学技術センターはこの導入手続きに準じた手順で導入することとし、そのため、まずセンター内に石井研究担当理事を総括責任者とする「スーパーコンピュータ導入プロジェクトチーム」を設置し、利用・運用に関しては各研究部、調達手続きに関しては契約課、建屋の改装に関しては主に工務課が担当するなど、全センター的に対応できる体制を作りました。数理解析技術室は市場調査や導入方針の策定、ユーザの技術的要求要件の取りまとめ、ベンチマークテスト準備、仕様書や性能評価基準書、総合評価基準書などの資料作成、並びにスーパーコンピュータ導入のための諸作業全般を担当することになりました。また、外部からの種々の問い合わせに対して一貫性・公平性を保つため、対外窓口ともなりました。

導入手続きは図-3に示すように、平成7年1月30日の市場調査から始まり、仕様書作成、入札手続へと進め、平成7年9月25日の開札日を迎え、日本電気社製のSX-4/20が落札しました。納入期限は平成8年2月29日でした。

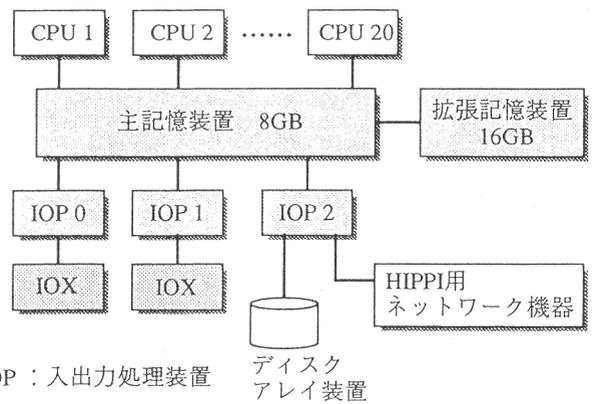
表-1 SX-4/20の主な緒元

|           |            |
|-----------|------------|
| CPU       |            |
| 搭載台数      | 20         |
| 最大ベクトル性能  | 40 GFLOPS  |
| 最大スカラ演算性能 | 5 GFLOPS   |
| 主記憶装置     |            |
| 容量        | 8 Gバイト     |
| 最大転送速度    | 320 Gバイト/秒 |
| 拡張記憶装置    |            |
| 容量        | 16 Gバイト    |
| 最大転送速度    | 8 Gバイト/秒   |
| 入出力装置     |            |
| HIPPI本数   | 8ペア        |
| 最大転送速度    | 1.6 Gバイト/秒 |

#### 4. NEC SX-4/20

今回導入されましたスーパーコンピュータ、SX-4/20はSX-4シリーズの20CPU構成で、そのハードウェアの概要を簡単に説明します。

SX-4シリーズは、平成元年4月に発表された4プロセッサで最大25.5GFLOPSの性能を引き出したSX-3のアーキテクチャを踏襲し、平成6年11月に新たなテクノロジーを採用して開発されたシリーズです。メモリ方式はSX-3と同様の共有方式ですが、演算素子としてバイポーラからCMOSに変更され、その結果、動作クロックが約3倍の8ナノ秒と遅くはなりませんが、集積度が約10倍



IOP : 入出力処理装置  
IOX : 入出力制御装置

図-4 SX-4/20のハードウェア構成図

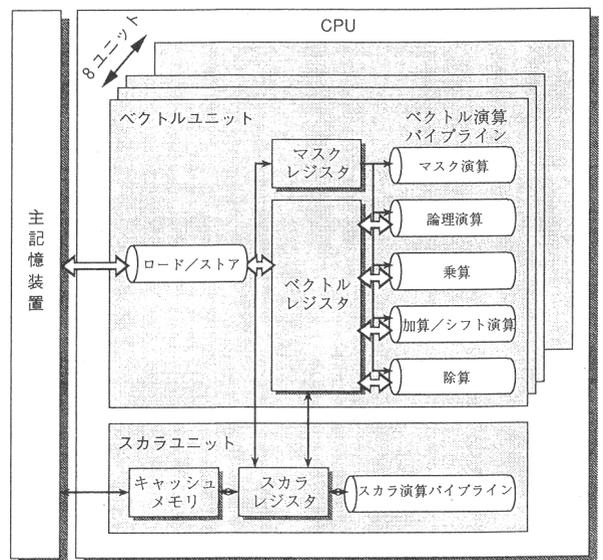


図-5 CPUの構成

向上し、消費電力、設置面積ともに約1/10に低減されました。

SX-4/20の主な諸元を表-1に示します。ハードウェア構成は図-4に示すように、20個のCPUが当時最大規模である8GBの主記憶装置を共有するよう密結合され、これに16GBの拡張記憶装置(大容量半導体記憶装置)が接続されています。各CPUには主記憶装置から16GB/秒の速度でデータが転送され、また、両記憶装置間は4GB/秒の速度でデータ転送が行われますので、拡張記憶装置は超高速のファイル装置やプログラムのスワッピング装

置などとして利用できるほか、FORTRANプログラムの配列データ空間として利用することにより、主記憶容量を超える大規模なプログラムの実行にも対応可能です。

CPUは図-5に示すように、ベクトルユニット及びビスカラユニットから構成され、1CPU当たり8個のベクトルユニットを備えています。1クロック(8ナノ秒)で同時に最大16個の浮動小数点演算(乗算と加算)を行えるため、1CPU当たりの最大ベクトル性能は2GFLOPS(=16/8×10<sup>-9</sup>)になります。スカラユニットはRISCアーキテクチャを採用し、1クロック当たり2命令を同

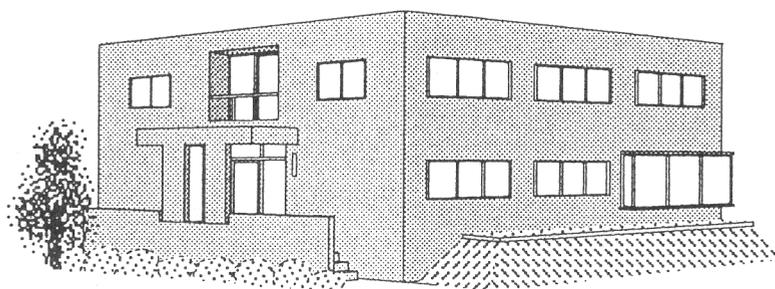


図-6 数理解析棟(旧情報棟)外観図

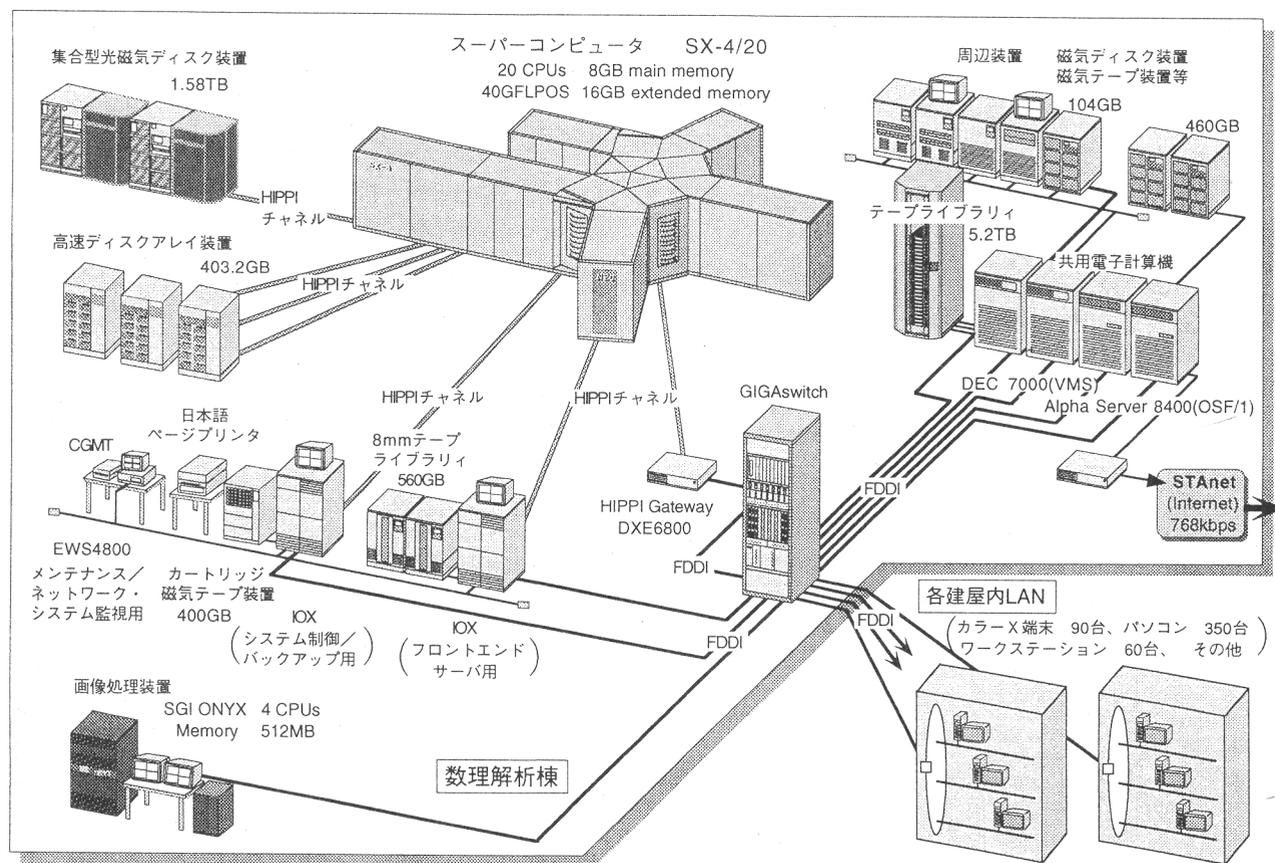


図-7 海洋科学技術センターにおけるコンピュータシステム概念図

時に実行でき、さらにキャッシュ容量が128kB用意されているので、高速スカラ処理が可能で高い実行性能を維持することができるよう配慮されています。

オペレーティングシステム (OS) は業界標準である UNIX System V に準拠した SUPER-UX を採用し、プログラム言語としては FORTRAN90 と ANSI C が使用可能です。また、Fortran コンパイラはある程度の自動化が可能でベクトル化及び並列化機能を有しています。ライブラリとしては、科学技術計算を行うための ASL、数値計算用の MATHLIB、汎用数学ライブラリ IMSL が用意され、グラフィックスライブラリとして AVS が用意されているので、AVS を具備した既存のワークステーションと協調分散処理が可能となります。

## 5. コンピュータ環境整備

平成7年度に入り、スーパーコンピュータの導入と並行して、設置場所の検討を行いました。落札まではどのシステムが導入されるか不明なため、導入の可能性のある機種種の周辺装置、電源設備、冷却設備などを含む最小設置面積、電源容量などを設置条件として検討を行ったところ、何れのシステムも高圧電源設備と冷却設備の一部をマシン本体と切り離せば、数理解析棟(旧情報棟：敷地面積約400m<sup>2</sup>、図-6)1階部分に全て収まることと判りました。そこで今回は、数理解析棟1階をマシンルームとして使用し、居室や講義室、研究室などは2階に設け、高圧電源設備などは数理解析棟と隣接した空地に別棟を設け、そこに収納することとしました。

スーパーコンピュータシステムは、図-7に示すように、SX-4/20を中心に集合型光磁気ディスク装置(合計1.58TB)、高速ディスクアレイ装置(合計400GB)、フロントエンドサーバなどが、最大伝送速度800MbpsのHIPPIチャンネルで接続されています。そしてこのシステムは、高速クロスバースイッチ(GIGAswitch)を経由して既存のコンピュータネットワークに接続されています。共用電子計算機は科学技術演算サーバとして、DEC Alpha Server8400(OSF/1:2CPUs:460GB Hard Disk)と104GB Hard Diskを2式のDEC7620(VMS:

2CPUs)が共有するシステム構成となっています。スーパーコンピュータで処理されたデータなどのバックアップは、8mmカートリッジ磁気テープライブラリ(合計560GB)の他、共用電子計算機システム側の大容量自動テープライブラリ装置(合計5.2TB)でも行うことが可能です。

## 6. おわりに

スーパーコンピュータの運用を開始して早1カ月が経過とうとしています。その間、初期故障によるシステム停止も少なく、フォーマットの違いによる大量データ入力に多少手間取ったことはありましたが、従来使用していたプログラムのSX-4への移植はスムーズに行うことができ、土日祭日を含む終夜運転を行っております。現在は各ユーザが中心となってプログラムの並列化、高速化とともに、計算精度を上げるためのアルゴリズムの一部見直しなどを行っているところです。数理解析技術室では、引き続き利用説明会などを定期的に開催し、新規ユーザの育成にもつとめる予定です。

数年先の近い将来、海洋科学技術センターの海洋における計算科学分野がどの程度活発化し、大規模となるか正確に見通すことはなかなか難しいところもありますが、今回導入されたスーパーコンピュータは、それらの要望に十分応えられるだけの演算性能を備えたシステムであると確信しています。従いまして、今まで外部研究機関のスーパーコンピュータに遠隔ログインさせていただいて、メッシュサイズを大きくしたりモデル規模を縮小して実施していた海洋大循環モデル研究や複数のワークステーションで計算処理を行っていた海洋音響トモグラフィ研究などは、今後良好な計算環境の下で伸びのびと研究を推進することができ、多くの成果を得られることが期待されています。このような高性能のスーパーコンピュータの導入が認められたことは、偏に科学技術庁研究開発局海洋地球課を始め、計算科学技術推進室など関係各位のご努力の賜であると思います。ここに本紙面をお借りして、心からお礼を申し上げます。