

ICTは科学の発展に役立つのか？

— 情報学 A05 班の挑戦 —

下條真司 (大阪大学サイバーメディアセンター)

野崎一徳 (大阪大学サイバーメディアセンター)

松岡 聡 (東京工業大学学術国際情報センター)

現在、さまざまな学問分野で高度な情報通信技術を科学の方法論として取り込んで、利用することにより科学を大きく発展させることが行われつつある。特定領域研究「情報学」の中で我々の研究グループは、グリッド技術により情報通信技術の大きな還流を作ることを目指して、学際的な分野において広帯域通信技術、分散計算技術、知識管理技術を切り口としたプラットフォームや技術開発を通じて必要な人材の育成およびその仕組み作りを行い、それにより、科学全般に対する情報技術の浸透のきっかけとなることを目指した。そのため、我々は数学者、計算物理研究者、電子顕微鏡研究者、ネットワーク研究者、計算機ソフトウェア研究者らが共同して実際のアプリケーション構築を行い、萌芽的ネットワーク技術、データ管理技術を実際の応用レベルにまで引き上げ、フィードバックするというを行った。

「最先端の情報通信システムを活用した新しい研究手法」とは？

情報学の特定研究の中でも、我々のグループはタイトルからして変わっている。そもそも「最先端の情報通信システムを活用した新しい研究手法」とは、少し説明が必要だろう。現在、さまざまな学問分野で高度な情報通信技術を科学の方法論として取り込んで、利用することにより科学を大きく発展させることが行われつつある。たとえば、CERN では大規模な加速器の構築に伴って、そこから発生する大量の観測データを超高速ネットワーク網を用いていち早く世界中で解析をすることで国際的な協調の中で発見を行うことが試みられようとしている。また、天文の世界でも世界中の天文台がそれぞれの観測データをお互いに共有することで全天をカバーする巨大なデータベースを構築し、そこに問合せを行うことでこれまで見過ごされてきた新たな発見を行うということが始まっている。また、米国では複数の大学や病院が協力することでたくさんの症例を集めた解析を行

い、また、分析手法も共有するという BIRN (Biomedical Information Research Network) というプロジェクトが始まっている (<http://www.nbirn.net/>)。また、欧州では同様のものとして、たとえば英国の e-science プロジェクトがある (<http://www.rcuk.ac.uk/escience/default.htm>)。

米国や欧州でのこのような動きは Gigabit から Terabit へと拡大する研究用広域ネットワークの登場と前後して、複数の広域の計算機を接合して TeraFLOPS ひいては PetaFLOPS を目指す動きとして登場した。それらの総称を一般的に GRID コンピューティングあるいは単に“The GRID”と呼ぶ。大規模計算だけではなく、高速ネットワークを利用した大規模な観測装置の遠隔観測とその観測データの共有、多数のセンサのリアルタイム処理、および Digital Library のテラバイト級のデータベース処理なども含む。つまり、グリッドとは「最先端の情報通信システムを活用した新しい研究手法」そのものであり、そのため e-science と呼ばれる。

しかし、我が国においては先端的 IT を科学に応用するという点に関しては、ことに大学を中心とする研究分野での取り組みがうまく行われてこなかった。これは、このような応用研究やそこから派生する新しい研究分野を大切にする土壌が、我が国の学会や大学において醸成されていなかったことも一因となっている。今後、我が国においても、情報通信技術をさまざまな分野に応用し、そこから派生する新しい研究分野や人材をうまく育てていく仕組みが必要とされ、本研究分野となったのである。

このような背景を受けて「情報学」の特定領域の中で、グリッド技術により情報通信技術の大きな還流を作ることを目指して本柱が形成された。

【グリッド技術研究の実際】

そこで、本研究領域 A05 班「最先端の情報通信システムを活用した新しい研究手法」ではこれまでの要素技術のみの研究開発とは異なり、数学者、計算物理研究者、電子顕微鏡研究者、ネットワーク研究者、計算機ソフトウェア研究者らが共同して実際のアプリケーション構築を行い、萌芽的ネットワーク技術、データ管理技術を実際の応用レベルにまで引き上げ、フィードバックするという狙った。具体的には、グリッド技術の応用からインフラに至る、表-1 の計画研究 2 班と公募研究延べ 3 班という構成であった。

これらのグループの中で、情報通信技術を昇華したグリッドのためのインフラストラクチャの研究、グリッドミドルウェアの研究開発、グリッド技術の応用研究までを含んだ幅広い研究を進めた。計画班では、松岡がミドルウェア全体の統括を行い、下條が応用研究とインフラの統括を行うという分担で進めていった。

計画研究	
下條真司	GRID 技術を適応した新しい研究手法とデータ管理技術の研究
松岡 聡	GRID における Peer-to-peer 大規模データ処理に関する研究
公募研究	
清水謙多郎	大規模分散データの真に透過で効率的な共有を実現する分散共有配列システムの開発
小島政和	多項式計画問題に対する大域的最適解法とその並列計算
原 隆浩	広帯域放送通信を有効利用した分散システム上のデータ管理技術に関する研究
大川剛直	空間パターン情報の広域計算処理による蛋白質機能解析
大崎博之	大規模ネットワークにおける GridFTP のための通信プロトコルの研究開発
網崎孝志	タンパク質の構造と機能の予測のための計算資源提供型広域計算
尾家祐二	ネットワークを考慮したグローバルコンピューティングの構築と評価
大石雅寿	GRID による天文学統合データ解析システムの研究・開発
藤本典幸	データ転送遅延を考慮したパラメータ・スウィープ型 GRID 計算のスケジューリング
藤川和利	プログラムの実行戦略を考慮した高スループットコンピューティングに関する研究
西田 晃	分散共有メモリクラスターを用いた疎行列線形代数演算ライブラリの効率的な実装技術
Hong Shen	モバイルエージェント指向ネットワークにおけるエージェント管理
佐藤三久	計算物理学分野の Grid アプリケーションと並列プログラミングシステムの研究

表-1 研究推進体制

【グリッドにまつわるさまざまな研究】

本柱の中で行われたさまざまな研究をインフラ、ミドルウェア、応用という観点でまとめる。

(I) グリッドのためのインフラストラクチャの研究

通信とデータ管理はグリッドを支える重要なインフラである。その中でいわゆる通信技術を扱うのは、「情報学」の柱が5分野ある中でも唯一我々のグループだけであった。そこで本グループのインフラレベルの研究としては、通信プロトコルやスケジューリング、P2P、ハードウェアを含めた幅の広いものになった。

今後のグリッドにおいては、大量データの転送が問題になる。そのため、グリッドでは GridFTP で代表されるように、TCP のウィンドウ制御の問題を回避するため、複数コネクションを用いた転送が用いられている。大崎らは、GridFTP の挙動を数学的解析モデルを用いて解析し、GridFTP の性能を最大化する最適な制御パラメータを明らかにした。この解析をもとに、グリッドのミドルウェア層から計測できる情報のみを用いて、GridFTP の並列 TCP コネクション数を調整する機構を提案した。これにより、さまざまなネットワーク環境で、GridFTP の性能が自動的に最大化されるようになっている。NAREGI プロジェクトと連動し、この機構を NAREGI ミドルウェアに組み込むことによってオープンソースソフトウェアとして利用することが可能になるようとしている。

グリッド環境における効率的なジョブの実行を行うた

め、効率のよいスケジューリングは必須である。そこで、尾家らはグリッド環境において、ワークフロー型アプリケーションのタスクスケジューリングを行う際、記憶領域管理を考慮する手法を実装して評価を行い、他の手法よりも分散プログラムの計算時間を短くできることを確かめた。また、藤本らはバイオインフォマティクスなどによく見られる、Parameter Sweep (PS) 型の計算に対する性能のよいスケジューリング技術を開発した。本研究はその後、自律的に行動して協調作業を行う複数のロボットの制御プログラムを進化計算を用いて得ることを目的とする進化ロボティクスの応用に発展した。日英にまたがるグリッド環境を構築し、その中で本アルゴリズムを用いて、進化ロボティクス分野の重要な応用問題を解くプロジェクトが進行中である。村田らはこれまでネットワーク特性のモデルに対して、フィードバック制御理論を応用し、グリッドコンピューティングにおける動的資源ブローカを設計した。原らは大量データを効率的に扱うためのネットワークインフラとして注目されている放送通信を利用して、データ間の相関性を考慮した効率的な放送データのスケジューリング手法を考案した。

また、藤川らは、大学や研究機関が保有する PC/WS 等を利用したグリッドシステムを構築するために、ノードの利用状況以外にもネットワークの利用状況も考慮し、ノードおよびネットワークの性能を総合的に計測する手法を提案した。Shen は広域ネットワーク内でモバイルエージェントの解析モニタリングのための新手法とアルゴリズムを開発し、モバイルエージェント管理システムのプロトタイプを作成する研究を行っている。グリッド環境で利用するハードウェアに関して、西田らは複数の技術を組み合わせることにより、科学技術計算に用いられることの多い大規模疎行列線形代数演算のスケラブルな並列実装をコモディティハードウェア上で実現できることを示した。

(II) グリッドミドルウェアの研究開発

グリッドあるいは e-science が提唱する方法論は、単一のアーキテクチャに基づいて最新情報通信技術を取り入れたさまざまなコンポーネントを組み合わせることによって、世界中で利用できる科学のための共通基盤を作っていくというものである。そのために、コンポーネントとしてのソフトウェア、いわゆるミドルウェアの役割が重要となる。

ミドルウェアの中でも重要なものが分散した計算機上で動くプログラム同士を結び付けるプログラミングモデルである。この代表がグリッド上に Remote Procedure Call (RPC) を拡張した GridRPC である。清水らは、大容量のメモリ空間を必要とする計算に対して、グリッド上での分散メモリ型システムを用いて、巨大なメモリ

領域を利用することができる共有メモリプログラミングモデルとシステムを開発した。それを理化学研究所および産業技術総合研究所との共同研究により、それぞれ DNA マイクロアレイデータによるマウスの遺伝子クラスターリング、代表タンパク質チェーン決定システムに適用し、高速化に寄与している。佐藤らは、Ninf-G をベースに OpenMP による簡便な並列プログラミング環境を提供する OmniRPC を開発した。その中で OmniRPC を用いたアプリケーションとして、重力計算専用高速計算機である GRAPE-6 を広域環境で共有し汎用計算機と融合計算を行う、HMCS-G (Heterogeneous Multi-Computer System) システムを開発した。

もう 1 つの重要なミドルウェアは、大量データを高速に共有するためのデータグリッドミドルウェアである。高エネルギー物理学、天文学、惑星学、地震学、ゲノム情報、医療情報・生態情報学等の数々の分野では、測定器の精度の向上により従来の数十～数万倍に至るデータの観測から処理に至るペタバイト級データインテンシブコンピューティングを支えるためのミドルウェアが必要とされており、これがデータグリッドミドルウェアである。本柱で、松岡らはミドルウェアとして、Gfarm (GRID Datafarm) を構築している。これに関しては後の章で述べる。

(III) グリッド技術の応用

本研究領域の最も大きな成果は、グリッドのインフラ、ミドルウェアの研究者が応用の研究者と一堂に会することにより、さまざまなコラボレーションが生まれ、さまざまなグリッド応用分野を切り開いていったことである。

たとえば、下條らのグループではレーザーエネルギー研究分野にてグリッドを用いた並列計算のためのダイナミック領域分割法を開発し、不特定多数のユーザが同時に使用している遠隔地の複数のスーパーコンピュータを用いた大規模シミュレーションを可能にするとともに、高システム利用効率を実現することに成功した。さらに、次世代半導体製造に用いるリソグラフィ光源として熾烈な国際競争が繰り広げられている、レーザープラズマ極端紫外 (EUV) 光源開発研究の研究環境システムとして、「連携シミュレーショングリッドポータル」を構築し、複数の研究機関で並行して研究を進めることを可能とするとともに、それら複数の研究機関で独立して開発したプログラムを連携するシミュレーションシステムを構築することにも成功した。

また、小島らは大規模多項式最適化問題を解くための多項式最適化問題に対して、疎なデータ構造を有効活用した半正定値計画緩和法を開発し、グリッド環境に適用することにより、従来解けなかった大規模問題が高速に解けるようになった。

バイオ分野は最もグリッドの応用が期待される分野の 1 つである。たとえば、タンパク質の構造や機能解析に用いられる分子動力学 (MD ; molecular dynamics) 計算では、グリッド技術の応用により高速化が期待できる。網崎らは分子動力学計算専用クラスタを開発し、その上にグリッド環境を構築した。MD 計算で律速となる二体相互作用求値に対して、専用計算ボードと高速アルゴリズムを併用する計算システムをクラスタ化することにより、大規模な計算を可能とした。相互作用計算提供サービスの多重化を実現するために、Globus Toolkit の API を利用し、専用計算ボード管理が Globus 資源管理機構の一部として機能するような、階層的グリッド資源管理機構を構築した。計算の実装には、Ninf-G を利用し、専用クラスタ上での計算と、クライアントとのデータ通信をオーバーラップさせることにより、効率のよい計算が実現できる。これらグリッド技術を利用して、クライアントへの計算パワーの提供と MD 専用クラスタの利用率向上を両立し、定型 MD 計算の実行のための遠隔ジョブモニタ型の MDGRID システムを実現することができた。上記のシステムにおいて、水滴中のジヒドロ葉酸還元酵素 (中規模) とヒト血清アルブミン (大規模) についての実証実験を行い、タンパク質の構造・機能解析のための MD 計算が実用的に行えることを確認した。また、大川らは、タンパク質分子表面データベースを対象とし、グリッド環境のもとで高速に類似タンパク質を検索可能な枠組みを提案している。これらは、本柱の中でのさまざまな意見交換が実質的に実を結んだ好例である。

大石らは天文学の分野でのグリッド技術の応用例として世界中の天文台のデータを連携させる JVO (Japanese Virtual Observatory) の研究開発を進めた。米・英・仏・加・西および国内の 100 を超える天文データアーカイブデータベースサーバに対するシームレスなアクセスを実現し、データ検索は数十秒以内で完了し、実研究において十分利用できるレベルに至った。また、森らは、世界に 1 台しかない大阪大学の H-3000 型超高压電子顕微鏡において、グリッド技術を用いて遠隔地からも利用できるシステムを開発することに成功した。

グリッドにおける Peer-to-peer 大規模データ処理に関する研究

高エネルギー物理学、天文学、地震学、ゲノム情報、医療情報・生態情報学等の数々の分野では、測定器の精度の向上により従来の数十～数万倍のペタバイト級のデータが分散環境から収集されつつあるが、これらは従来の集中型のスパコンやデータアーカイブでは、コスト

やデータ量・集中の面で、その取り扱いが実質的に不可能であり、分散環境上で直接安価に処理・蓄積・検索するデータグリッド環境の構築が強く求められている。

松岡らは、データグリッドにおける大規模クラスタの広域 Peer-to-peer 連携ならびにデータ転送、そのためのプログラミングや定量的なモデルならびに解析・シミュレーション技術、さらにはデータの仮想的なマネジメントなどを研究し、ペタバイト級のデータ処理をする基盤技術を開発して、実際のデータグリッド、特に高エネルギー分野におけるデータ処理ならびにそのミドルウェアの開発を行う Gfarm プロジェクト²⁾ (図-1) の一端を担うことを目指した。ここでは、(II) グリッドミドルウェアの研究開発成果の1つである松岡らの研究成果について詳しく述べる。

【データグリッドにおける大規模クラスタの

広域 Peer-to-peer 連携ならびにデータ転送】

データ処理中心に構成された PC クラスタが複数広域接続されている場合、それらの間でのマルチギガビット級のデータ転送は、ストリーム間の干渉、TCP/IP の Slow Start アルゴリズムなどの特性、ファイアウォールなどのセキュリティの問題など、さまざまな面で困難がつかまとう。

上記の問題点を改善するため、同時に通信を行うノード数、ストライプ数等のパラメータについて、自動的に通信路に合ったパラメータを決定するシステムを提案した³⁾。通信路のパラメータを変化させ、その上でクラスタ間データ転送のシミュレーションを行った。その結果、データ転送にかかる時間はストライプごとにばらつきが大きく、静的な値で最適なストライプ数、ノード数を予測するのは難しいことが判明し、効率的なデータ転送を行うには、各クラスタノードで協調し、動的に各パラメータを変更する必要があることが分かった。得られた結果をふまえ、各パラメータの最適な値を決定するために、パケットロス率のような動的に分かるパラメータを用いて決定する方法、転送時にシミュレーションにより最適なパラメータを決定する方法、さまざまな通信環境を想定してあらかじめシミュレーションを行い、転送時にそのデータベースにより最適なパラメータを決定する方法の3つの方法の提案を行った。

セキュリティ面では、従来の方式では、一般的なプライベートアドレスを伴うファイアウォール越え・グリッド上の PKI ベースのセキュリティモデル・OS に対する非依存性・ならびに Gbps 級に至る長距離ネットワーク

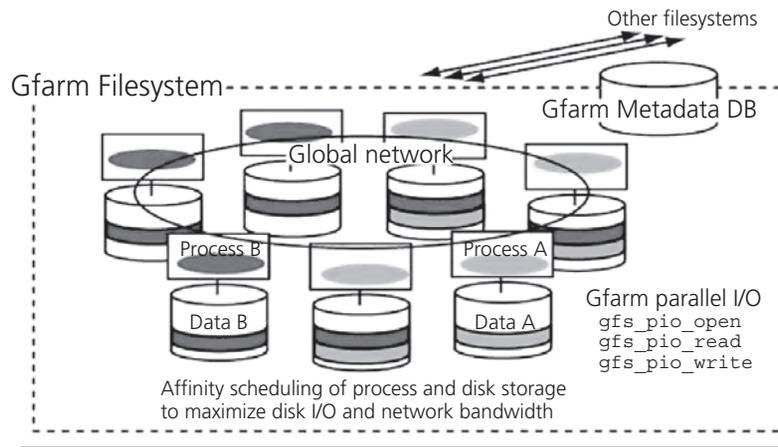


図-1 Gfarm システム概念図

の転送速度すべてを両立させるのは困難であった。本研究では、これらの要件を満たすデータグリッド用の高性能オーバーレイネットワークシステムである JRouter を提案した。JRouter は中間ノードをリレーするかたちのオーバーレイネットワークだが、並列転送や PKI 認証に対応しており、データグリッド用途に特化している。ベンチマークでは、高いスケーラビリティと、並列転送による高速な転送速度を示した。

【Peer-to-peer なデータグリッドの解析・シミュレーション】

高エネルギー物理における LHC 加速器実験での解析ジョブは、1つのサイトですべてのジョブの処理をするモデル (Central Model) と、階層構造を持たせて、複数のサイトで分散して処理するデータグリッド構成のモデル (Tier Model) が考えられる (図-2)。1つのサイトに十分な性能を持つ計算機群が構築可能であれば、性能面、管理面で Central Model は非常に有利であるが、電力、コスト等の制限が発生し、場合によっては Tier Model が有利となる。

松岡らが開発した Bricks グリッドシミュレータ¹⁾ を拡張し、2つのモデルの性能特性を詳細に解析した。Bricks システムはグリッドのネットワーク、計算機資源を待ち行列を用いて表している (図-3)。ペタスケールデータを扱うため、ディスクからの読み出し、ディスクへの書き込みにかかるオーバーヘッドを待ち行列で表現するよう拡張した。評価では、性能が十分にある場合は、セントラルモデルが非常に有利であること、1つのサイトに十分な計算機性能が確保できない場合では、Tier Model を適切に構成することにより、LHC に求められる莫大なデータ処理要求を満たすことを確認した。

【大規模データの仮想的なマネジメント技術】

グリッド環境ではジョブの実行がスケジューリングシステムによって管理されており、最適なジョブの実行マ

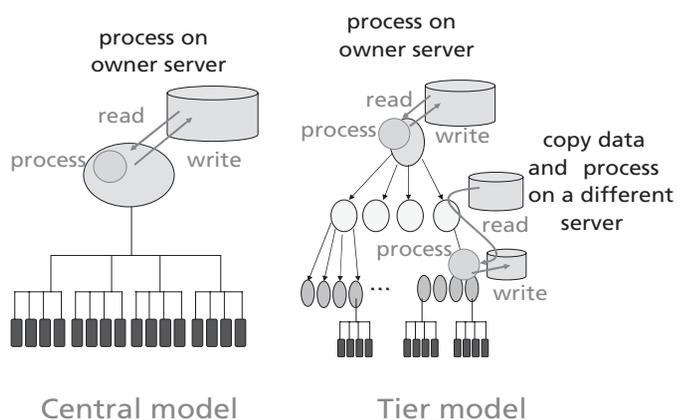


図-2 CentralモデルとTierモデル

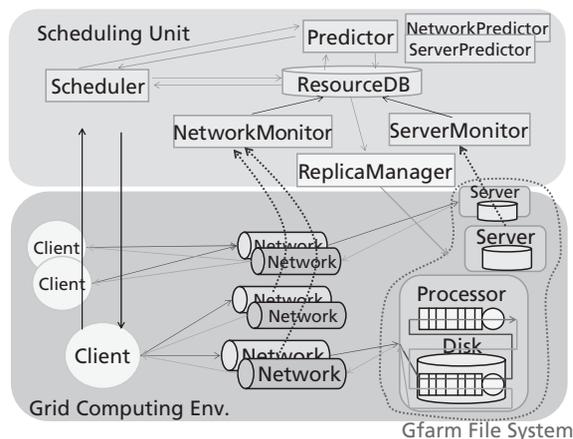


図-3 Bricksシステム構成図

シンを決定する。従来、実行マシン上でのデータの利用は共有ファイルシステムや単純なステージング機構を利用していたが、大規模なデータを扱うアプリを実行する場合、データ保持ノードへのアクセス集中が発生し、パフォーマンスが大幅に低下し、最悪の場合にはデータ保持ノードがダウンしてしまう。また同一データを実行マシンに繰り返し転送したり、データの転送元・転送先として必ずしも最適なノードが選ばれないため、非効率なデータ転送が発生する。

本研究ではスケジューリングシステムとレプリカ管理システムを統合し、相互に連動させることにより、レプリカのロケーション情報を意識したジョブスケジューリングが可能になると同時に、ジョブスケジューリングに応じたレプリカの作成が可能となり、データインテンシブアプリケーションの効率的な実行環境が構築できることに着目した⁵⁾。そのため、グリッド用スケジューリングシステムJayを拡張して、レプリカ管理システムとの連動・スケーラブルな並列レプリケーションフレームワークを統合した。これにより、

- (1) すでにレプリカが作成されているノードに優先的にジョブをスケジュールする。
- (2) もしレプリカを保持しているノードを利用できない場合にも、データ転送のコストが低いノードにジョブをスケジュールする。
- (3) 同一ファイルの転送をLAN内の複数ノードが要求している場合にはそれらの中から代表ノードを決定し、代表ノードのみがWAN経由でファイルを取得して、コストの高いWAN上のデータ転送を最小限に抑え、代表ノードから他ノードにはマルチキャストファイル転送ツールDolly+を用いてO(1)でファイル転送を行う。

などの方策により、データグリッド上の処理とデータの割り当てと移動を最適に行うことを可能とした。バイオインフォマティクスの分野で広く利用されている同相性

検索ツールBLASTのベンチマークでは、数十ギガバイトのデータをあらかじめ各ノードに割り当てておく理想的な状態に対して、通常のシステムでは数分の1の性能ダウンがあるが、提案システムではほぼ理想に近い性能とスケーラビリティを達成することを示した(図-4)。

【大規模データ転送実証実験：Bandwidth Challenge 2002, 2003, StorCloud 2005】

本研究では、毎年のように実際に高性能データグリッド環境を構築するチャレンジを、大規模な国際学会であるACM/IEEE Supercomputing (SC)で行ってきた。2002年11月の米国ボルティモアのSC2002において、日米の7拠点を高速ネットワークで接続し構築したグリッド環境を用いて、産総研グリッド研究センターを中心としたグリッドデータファームによる大規模データ解析の実証実験(Bandwidth Challenge 2002)に世界で初めて成功した。これに引き続き、より持続性の高い大規模データグリッドテストベッドを国内に構築した。このテストベッドは合計1,000プロセッサ、200TerabyteのGfarmクラスタ群がSuperSINET, Tsukuba WANなどの高速WANで接続されたもので、我が国では最大規模を誇る。さらにこの一部を利用し、さらに米国およびタイ国の新たなテスト拠点を追加することによって、2003年11月には米国フェニックスで開催された国際会議SC2003において、日米タイの計9拠点からなる大規模データ解析の実証実験(Bandwidth Challenge 2003)に成功した⁴⁾。この成功により、我々は“Distributed Infrastructure” Awardを受賞した。米国シアトルで開催されたSC2005では、高性能の記憶技術実証実験(StorCloud 2005)で、停電力・高密度クラスタであるMegaProto(1ノードあたり16CPUを搭載)4ノード(64CPU)とiscsi targetを96台で接合し、Gfarmを構成し、29TBの総容量、1.4GB/secのWrite、1.5GB/secのRead性能を達成し、また、高エネルギー物理学のア

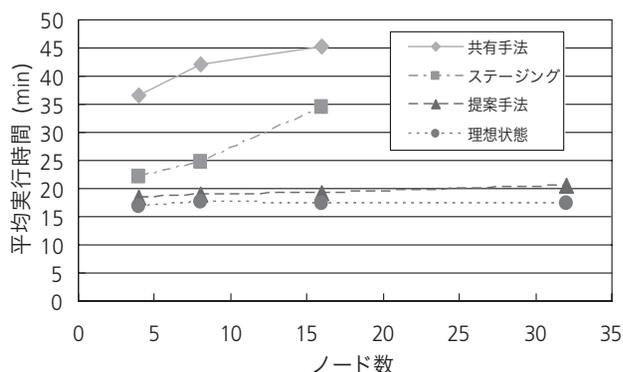


図-4 ジョブの平均実行時間 (Jay)



図-5 StorCloud2005 の構成

アプリケーションである Belle を 1.6TB の raw data を用いて動作させた (図-5)。

グリッド分野のその後の展開

特定領域研究「情報学」の中で我々が研究を開始したのに前後して、国内外でのグリッド技術に関する関心と期待は急速に高まっていた。その中で、本研究グループのメンバは常にその活動の中央に位置しており、派生するさまざまな活動を立ち上げてきた。2002年からは文科省 IT プログラム「スーパーコンピュータネットワークの構築 (バイオグリッド)」が立ち上がり、バイオに適応するためのグリッド技術の開発が行われた⁶⁾。2003年からは我が国のグリッドミドルウェア開発プロジェクトの旗艦となるべく、同じく文科省「超高速コンピュータ網形成プロジェクト (NAREGI: National Research GRID Initiative)」が開始された。また、7大学情報基盤センター群は SuperSINET グリッド部会として、NII とともに実証実験を開始した。これが、その後 NII (国立情報学研究所) の CSI (Cyber Science Infrastructure) 構想として継続することになった。さらに、2006年度からは「次世代スーパーコンピュータ研究開発プロジェクト」がスタートし、グリッド技術は国内外の計算機と利用者をつなぐ「のり」として大きな役割が期待されている。また、アジア太平洋地域のグリッドコミュニティ APGRID, PRAGMA などの国際連携プロジェクトでも我々の研究グループらが中心的な役割を果たしている。このような ICT に対する期待とインフラが重要視される中で、その中心に位置するグリッド技術の重要性はますます重要になってきているといえる。

謝辞 本稿を終えるにあたり、ここにあげることでできなかった分担者、協力者、また、本特定領域研究を支えてくださった方々に謝意を表します。本稿は本領域で行われた研究の一部を紹介しているのみで、正しく

は情報学の Web サイト (<http://research.nii.ac.jp/kaken-johogaku/>) あるいは成果報告書を当たられることをお勧めする。

参考文献

- 1) Takefusa, A., Casanova, H., Matsuoka, S. and Berman, F.: A Study of Deadline Scheduling for Client-Server Systems on the Computational Grid, Proceedings of 10th IEEE International Symposium on High Performance Distributed Computing (HPDC-10), pp.406-415 (2001).
- 2) 建部修見, 森田洋平, 松岡 聡, 関口智嗣, 曾田哲之: ベタスケール広域分散データ解析のための Grid Datafarm アーキテクチャ, ハイパフォーマンスコンピューティングと計算科学シンポジウム HPCS2002 論文集, pp.89-96 (2002).
- 3) Ogura, S., Matsuoka, S. and Nakada, H.: Evaluation of the Inter-cluster Data Transfer on Grid Environment, The 3rd IEEE/ACM International Symposium on Cluster Computing and the Grid, pp.374-381 (2003).
- 4) Tatebe, T., Ogawa, H., Kodama, Y., Kudoh, T., Sekiguchi, S., Matsuoka, S., Aida, K., Boku, T., Sato, M., Morita, Y., Kitatsuji, Y., Williams, J. and Hicks, J.: The Second Trans-Pacific Grid Datafarm Testbed and Experiments for SC2003, The 2004 International Symposium on Applications and the Internet (SAINT 2004 Workshops), pp.602-607 (2004).
- 5) Machida, Y., Takizawa, S., Nakada, H. and Matsuoka, S.: Multi-Replication with Intelligent Staging in Data-Intensive Grid Applications, In 7th IEEE/ACM International Conference on Grid Computing, Barcelona, Spain, pp.88-95 (Sep. 2006).
- 6) Nakamura, H., Date, S., Matsuda, H. and Shimojo, S.: A Challenge towards Next-generation Research Infrastructure for Advanced Life Science, *Journal of New Generation Computing*, Vol.22, No.2, pp.157-166 (2004).

(平成 19 年 4 月 4 日受付)

● 下條真司 (正会員) shimojo@cmc.osaka-u.ac.jp

昭和 61 年大阪大学・助手。平成元年同大型計算機センター・講師。平成 3 年同助教授、平成 10 年同教授、平成 17 年よりセンター長、現在に至る。工学博士。

● 野崎一徳 (正会員) nozaki@cmc.osaka-u.ac.jp

平成 16 年大阪大学歯学研究所博士後期課程修了、同年同大サイバーメディアセンター教務職員、現在同大情報科学研究科博士後期課程在学中。歯科医師、歯学博士。コミュニケーションという観点から発音をとらえ、そのメカニズム、定量化手法、そして治療法の開発を情報科学技術を用い取り組んでいる。

● 松岡 聡 (正会員) matsui@is.titech.ac.jp

1986 年東京大学理学部情報科学科卒、1989 年同大学院博士課程から、学情報科学科助手に採用、同大情報工学専攻講師を経て、1996 年に東京工業大学情報理工学専攻助教・計算科学専攻助教。2001 年に同大学術国際情報センター教授、2002 年より国立情報学研究所の客員教授を併任。博士 (理学) (東京大学)。高性能システム、並列処理、グリッド計算、クラスタ計算機、高性能・並列オブジェクト指向言語処理系、などの研究に従事。