

12-MD05

## グリッドデータファームによる大規模分散ストレージの構築とサイエンスクラウド技術の研究

村田健史（情報通信研究機構）

独立行政法人情報通信研究機構(NICT)では、JGN-X テストベッドネットワーク上に構築された科学研究用クラウドシステム（NICT サイエンスクラウド）の開発を進めている。ネットワーク上には、複数のスパコン、WS、ストレージ、各種商用および専用アプリケーション、可視化デバイスなど、大規模データ処理に必要なあらゆるホストが接続される。さらに、NICT サイエンスクラウドを国内の主要大学に L2 ネットワークで接続することで、研究者が直接リソースを利用できるクラウドコンピューティング環境を提供している。これらのリソースは、インターネット上からも一般のクラウドサービスと同様に利用できる。これにより、(1) 研究者は、安価な端末を JGN-X に接続するだけであらゆる研究リソースを利用できる環境を手に入れることができる、(2) NICT サイエンスクラウド内部で複数の研究者が仮想ラボを作り、情報共有（リアルタイムコミュニケーションを含む）を行うことができる、(3) NICT サイエンスクラウド内で行った研究活動（の一部）を、研究成果のサービスとして、TDW（タイルドディスプレイ）や Web 等を通じて外部に提供することができる。本稿では、NICT サイエンスクラウドについて利活用面から議論することで、サイエンスクラウドの定義を行うとともに、今後、サイエンスクラウドを活用した科学研究手法・環境構築についての筋道を示す。

### 1. 研究の目的と意義

独立行政法人情報通信研究機構(NICT)では、JGN2+テストベッドネットワーク上に構築された宇宙天気クラウドシステム（NICT 宇宙天気クラウド）の開発を進めている。ネットワーク上には、複数のスパコン、WS、ストレージ、各種商用および専用アプリケーション、可視化デバイスなど、大規模データ処理に必要なあらゆるホストが接続される。さらに、NICT 宇宙天気クラウドを国内の主要大学に L2 ネットワークで接続することで、研究者が直接リソースを利用できるインサイド型のクラウドコンピューティング環境を提供する。これらのリソースは、インターネット上からも一般のクラウドサービスと同様に利用できる。これにより、(1) 研究者は、安価な端末を JGN-X に接続するだけであらゆる研究リソースを利用できる環境を手に入れることができる、(2) NICT 宇宙天気クラウド内部で複数の研究者が仮想ラボを作り、情報共有（リアルタイムコミュニケーションを含む）を行うことができる、(3) NICT 宇宙天気クラウド内で行った研究活動（の一部）を、研究成果のサービスとして、Web 等を通じて外部に提供することができる。

これまで、大学等の情報基盤センターが運用する計算資源は、それぞれが独立したストレージを有するが、利用者は、それぞれの情報基盤センターごとに利用申請を行う必要がある。そのため、数値シミュレーションのための入力データや結果として得られたデータを他の情報基盤センターの計算資源から参照するためには、その都度利用者が明示的に手動で転送しなくてはならなかった。グリッドデータファームを用いた大規模分散ストレージを構築することにより、計算シミュレーション結果を逐次的に参照することが可能となり、自律的なシミュレーション・ワークフローの記述が行える。それと同時に、シミュレーションが終了し、データがすべて出力される時間に拘束されることがなく、パイプライン型の研究遂行が可能となる。本研究では、NICT サイエンスクラウドユーザへの計算資源提供を課題として、それに必要なデータフローを実現するための環境構築と関連するミドルウェアの開発を行うことを目的とする。

### 2. 当拠点公募型共同研究として実施した意義

- (1) 共同研究を実施した大学名と研究体制
  - ・ 大阪大学

現状の Gfarm ノードを継続運用した。現在、大阪大学におけるシミュレーションデータを Gfarm 上で解析する計画の検討中である。大阪大学スパコンのクラウド接続は完了しており、現在、基礎的なパフォーマンスの実験中である。

- ・ 名古屋大学

JGN2plus が JGN-X となり、その際に、名古屋大学（情報基盤センター）の AP が廃止となった。そのため、一時的に Gfarm ノードを停止させた。その後、SINET 経由で VLAN を引き、改めて NICT サイエンスクラウドへの L2 接続を行った。（帯域は 1Gbps である。）名古屋大学スパコンのクラウド接続は完了しており、現在、基礎的なパフォーマンスの実験中である。

- ・ 九州大学

現在、Gfarm ノード設置および九州大学スパコンのクラウド接続の計画中であったが、H. 24 年度は接続を見送った。

- ・ その他

本事業申請には含めていないが、国立極地研究所、宇宙科学研究本部（JAXA）、愛媛大学医学部との間で、L3 接続による Gfarm 利用計画を検討中である。また、申請時にある東北大学については、震災の影響により現在は計画を止めているが、今後は、当大学の状況を見ながら検討を行う予定である

### (2) 共同研究分野

超大規模数値計算系応用分野、大規模データ処理系応用分野、超大容量ネットワーク技術分野、大規模情報システム関連研究分野

### (3) 当公募型共同研究ならではの事項など

現在、様々な分散データ処理や分散データベースの研究開発が進められている。本事業は、国内規模での分散型システムを実現するという点が特長である。このような国内規模での分散システム、特に各大学の基盤研究センターを接続したシステムの研究開発が求められており、NAREGI などがこれにあたる。

このような大学研究拠点を結ぶ国内規模での分散システムの実現が難しかった理由は、遅延を含むネットワークパフォーマンスやファイアウォール等の運用とセキュリティポリシーの統一など、技術的な問題と運用上の問題の 2 つが挙げられる。

本システムでは、SINET ではなく JGN を用いることで、L2 ネットワークの実現が可能となった。これは、多くの大学において JGN の AP（アクセスポイント）が基盤センターに置かれているためである。これにより、JGN を用いた各基盤センターのリソース（スパコン、ストレージなど）を接続することが比較的容易になったためである。

### 3. 研究成果の詳細と当初計画の達成状況

#### (1) 研究成果の詳細について

##### 背景

これまでに発展してきた実験科学（第 1 の柱）、理論科学（第 2 の柱）、計算科学（第 3 の柱）に対して、データ指向型科学は科学的発見のための第 4 の柱であると Jim Gray は提唱した。申請代表者（村田）は、実験科学を支えるインフラストラクチャは実験装置や観測装置（宇宙科学研究では科学衛星観測やロケット実験など）であり、計算科学を行う基盤となるのがスーパーコンピュータであるのに対して、データ指向型科学を支えるインフラとして提案するのが、科学研究専用のクラウドシステム（サイエンスクラウド）であると考えている。

サイエンスクラウドは、2008 年ごろにイリノイ大学によって提唱された。2010 年に第 1 回サイエンスクラウドワークショップ（ScienceCloud Workshop）が米国・シカゴにおいて開催された。その後、毎年 1 回の同ワークショップが開催され、サイエンスクラウドについての議論が進められてきた。

これらのワークショップにおいてなされた議論は、クラウド基盤上での科学研究事例検討、クラウド環境および技術の有効性評価、クラウドシステムの耐障害性（fault tolerance）および信頼性、クラウド上でのデータ指向型研究の工程やツール、Map Reduce などのプログラミングモデルの利用、クラウドストレージ設計、クラウド内での I/O やデータ管理、クラウド内のワークフローやリソース管理、NoSQL などのクラウド技術の科学研究への利用、データストリーミングや動的アプリケーション、HPC 環境におけるクラウドコンセプトの応用、高機能並列分散ファイルシステムと仮想環境接続、クラウドセキュリティーに関する研究および実験などと多岐にわたる。

これらの議論からわかることは、データ指向型

科学研究のインフラストラクチャとしてサイエンスクラウドは重要であるという共通認識はあるものの、多くのクラウド技術は商用クラウドに共通したものであり、それらの技術を科学研究に流用しているにすぎないという点である。すなわち、技術的議論を通じての多くの参加者の興味や目的は、サイエンスクラウドとは何か、いわばサイエンスクラウドの定義を行う事である。サイエンスクラウドが、ビッグデータ科学のインフラストラ

ITビジネス分野の中心となりつつあるビッグデータという概念は、科学研究分野でも適用され始めている。第 3 の研究手法である数値シミュレーションなどにおいて大規模計算の中核をなす技術の一つが HPC (High Performance Computing) である。HPC は計算指向型 (compute-intensive) と言われており、個別のアプリケーション (プログラムや数値計算コード) の処理速度を最大化することが主目的となる。しかし、データ指向型 (data-intensive) 科学では、数値シミュレーションを含むあらゆる科学データを処理することが目的である。クラウド内の多種多様で大規模なデータを目的に応じて高速処理するために考えられたのが MTC (Many-Task Computing) という概念である。MTC では、(クラウド内の) 多様な計算機リソースを融合し、データ分散、並列データ処理やコンピュータとデータファイルをローカライズする工夫など、総合的なデータ処理環境をめざす。特定パターンの商用サービスを実現することが多い民間クラウドと比較すると、複雑で特殊な目的実現型のサイエンスクラウドでは、HPC はその一部であり、MTC 環境の実現が重要となる。

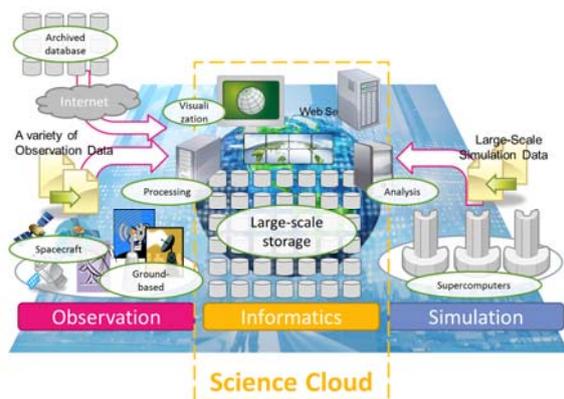


図 1 NICT サイエンスクラウド基本コンセプト

クチャとして位置付けられることには誰も異論がないが、具体的に何をどのように問題解決するものであるかという事が明確ではない。

本稿ではサイエンスクラウドの技術について議論するのではなく、主として利用面からのサイエンスクラウドを提案する。サイエンスクラウドを使った研究手法 (研究スタイル) を規定することで、サイエンスクラウドにより期待される科学研究成果や、サイエンスクラウドに求められる技術が明らかになるからである。

### サイエンスクラウドとビッグデータ

現在、欧米諸国を中心に様々なサイエンスクラウド (ScienceCloud) またはそれに準ずるシステムが提案または運用されている。サイエンスクラウドは、前述のとおりその定義が議論されている状況であり、これらのシステムを通じてその有効性や必要とされる技術が検討されている。特定の研究テーマについてテストケースとしての成果が挙げられているものはあるが、複数の研究テーマで大きな成果を挙げた汎用性の高いサイエンスクラウドはまだ存在しない。

現在欧米を中心にサイエンスクラウドに関する取り組みが行われているが、特定の研究目的に設計されたものや、民間のクラウドを模したシステムも多い。その結果、汎用性が高く複数の大規模プロジェクトで成果を達成したサイエンスクラウドはほとんどない。

本稿で議論する NICT サイエンスクラウドは、あらゆる科学分野でほとんどのデータがデジタル化されている現在、科学研究の第 1 の柱、第 2 の柱、第 3 の柱によるあらゆる科学データを収集・保存・解析 (可視化) ・公開データ処理するデータ指向型科学研究環境として設計された (図 1)。

サイエンスクラウド構築においては、利用者 (すなわち研究者) の視点が欠かせない。NICT サイエンスクラウドはユーザ指向型の設計を行うため、2010 年ごろからプロトタイプを構築してユーザの声を集めると並行して、積極的なヒアリングを行ってきた。情報通信研究機構 (NICT) は、2012 年より ICSU/WDS の事務局 (WDS-IP0) を運用している。特に、WDS 関係の活動を通じて、広く科学研究者が要求または期待する要件を収集した。これまでに調査したサイエンスクラウドに求められる機能またはサービス要件を分析すると、クラウド

サービスとしての機能とデータ指向型科学研究のインフラストラクチャの 2 つの側面があることが分かった。

クラウドサービス機能は、サイエンスクラウドの利便性に関わる機能である。民間クラウドと共通する機能であり、研究者がサーバ、ネットワーク、ユーザ管理等の管理から解放されることで研究の利便性が向上する側面がある。民間クラウドと異なるのは、研究専用サービス（アプリケーション、ツール、システム等）が有効である点である。民間クラウドは、一般には計算機リソースや商用アプリケーションサービスの提供が主体となるが、サイエンスクラウドは研究に特化したサービスや研究用にカスタマイズできるツールを提供することで有効性が高まり、また商用クラウドとの差別化も行われると考えられる。

データ指向型科学研究のインフラストラクチャ機能は、サイエンスクラウドの高度利用に関わる機能である。その中でも、特に、大規模データ処理（ビッグデータ科学）と複合型データ処理が要求される機能の中心である。大規模データ処理では、単に大規模なストレージにデータを保存するだけでなく、それらのデータの収集、管理、公開と処理が期待される。また、複合型データ処理では、データ観測や数値計算、可視化やアウトリーチなど、サイエンスクラウド上においてすべてのプロセスを実現することが期待される。

大型科学研究プロジェクト推進では、協調的研究環境としてのサイエンスクラウド利活用も重要である。近年、ほとんどの大型研究計画は国際プロジェクト化されており、高い成果を挙げるためには国際的協調研究環境が必須である。NICT サイエンスクラウドの重要な機能の一つが、国際的協調研究を行うための仮想研究室（バーチャルラボラトリー）機能である（図 2）。国際的協調研究環境を NICT サイエンスクラウド上に構築することにより、これまでよりもはるかに短い期間で、多くの研究成果を生み出すことが期待される。

**NICT サイエンスクラウドのシステム概要**

本節では、NICT サイエンスクラウドのシステム概要について議論する。NICT サイエンスクラウドは、広域分散型のクラウドシステムであり、2013 年現在で国内 5 か所の DC（データセンター）を L2 接続することで構成されている（図 3）。データセ



図 2 バーチャルラボラトリー概念図

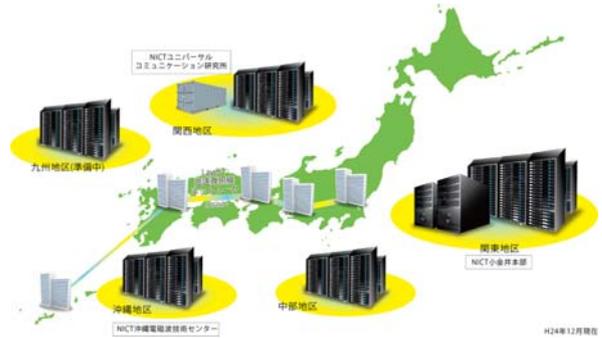


図 3 NICT サイエンスクラウドデータセンター

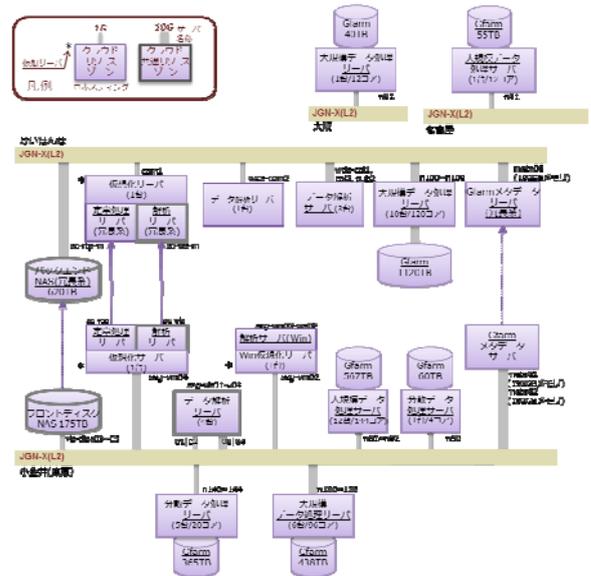


図 4 NICT サイエンスクラウドシステム構成図

ンター間のインターコネクトには、情報通信機構の広域テストベッドネットワークである JGN-X を用いている。

図 4 に、NICT サイエンスクラウドのシステム構成図を示す。図 4 はクラウドリソース全体を表しており、すべてのクラウドユーザが利用できる安定で冗長化されたクラウド共通リソースと、ビッグデータ処理または定常データ処理を対象とするクラウド拡張リソースから構成される。NICT サイ

エンクラウドは、図 4 に加えて、各種研究支援サービスを行うサーバ群と独自研究環境（ハウジング・ホスティングサーバ群）から構成されているが、本節ではクラウドリソースについて議論する。

図 5 は、NICT サイエンスクラウドリソース利用を、クラウドリソース利用と研究開発システム利用に分けて示している。多くの研究者は、クラウド利用を小規模な研究からスタートする。図 6 に

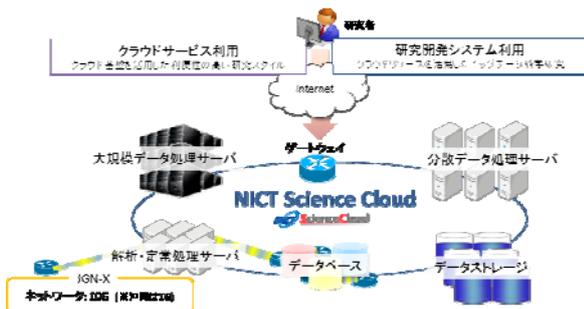


図 5 NICT サイエンスクラウド利活用概要

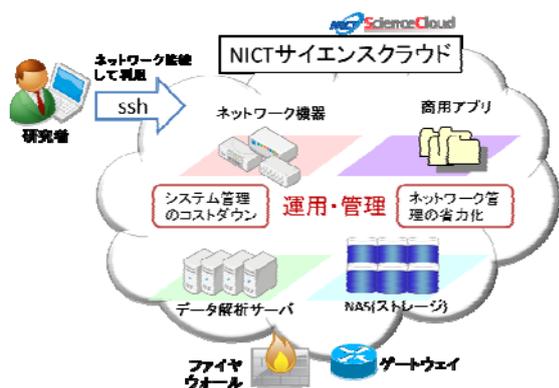


図 6 クラウド研究環境利活用（クラウド的利用）

示すのはクラウド的利用であり、商用クラウド利用と比較的似た利用である。クラウド的利用の場合には、安定性・冗長性に優れた共通リソースの利用が必須である。データの保存が多重化されているだけではなく、システム停止の頻度も小さいため、継続的な研究環境が保障されるからである。また、NICT サイエンスクラウド側がファイアウォール（IPS を含む）、ユーザ管理（LDAP）、データファイルのウィルススキャンなどを行うことで、研究者（ユーザ）の利便性は独自の研究環境と比較して高くなる。また、NICT サイエンスクラウドにライセンスされた民生品の研究用アプリケーション

が利用できることも、サイエンスクラウドの利便性の一つである。これまでは、多くの研究者が個別にこのような研究環境を構築・運用してきたが、NICT サイエンスクラウドを用いることで構築・運用から解放され、研究に集中できることが期待される。

研究が進展すると、NICT サイエンスクラウド利用目的は、単純な利便的利用から、処理データの大規模化や特殊化、多目的化などに発展することが多い。また、独自研究環境をサイエンスクラウドに移植し、クラウドリソースを活用して目的を達成することもある。

### NICT サイエンスクラウドの研究支援サービス

商用クラウドでは、多くのソリューションが特定ベンダの独自技術と仕様に基づいており、その結果として困り込み（ベンダロックイン）がユーザの利便性を損なうことが多かった。この状況を改善するため、ソフトウェア開発者、Sler、クラウド事業者、さらにクラウドユーザといったステークホルダーによる、オープンソースのクラウド基盤ソフトウェアの利用と協業によるクラウドサービスやクラウドソリューションの提供という流れがある。オープンクラウドで市場を活性化し、共存共栄で成長するクラウドの生態系をつくり出そうという取り組みはオープンクラウドエコシステムと呼ばれている。

エコシステムは商用クラウドで提案された概念であるが、Helix Nebula のようにサイエンスクラウドでもエコシステムに取り組む事例もある。Helix Nebula のエコシステムは、科学データから価値のある情報を抽出することを目的としており、これにより科学研究者と民間産業を結びつける試みである。

しかし、NICT サイエンスクラウドユーザへのヒアリングによると、クラウド基盤を使った新しいサイエンス（特にビッグデータ科学）を行う場合には研究テーマごとの特殊性が高く、エコシステムの実現は容易ではない。ただし、商用クラウドと比較すると専門性は高いが、科学研究分野で汎用性があるアプリケーション、ツールおよびシステムは可能である。筆者らのグループでは、このような汎用的な科学研究用アプリケーション・ツール・システム（科学研究用エコシステム）を開発し、公開してきた。

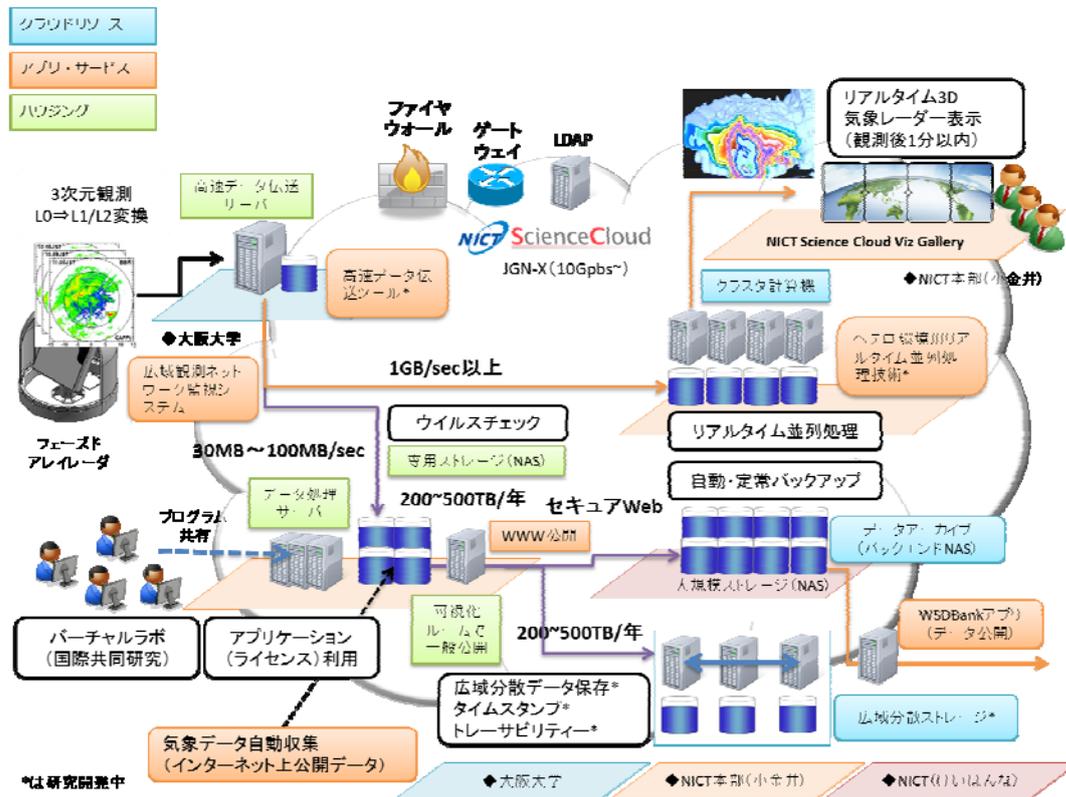


図7 NICT 次世代ドップラーレーダーデータ処理システム（開発中を含む）

### NICT サイエンスクラウドを活用したシステム例

これまでに述べた NICT サイエンスクラウドの様々な機能を融合し、特定の科学研究目的を達成するためのシステム開発も進んでいる。図7にその例を示す。システムでは、クラウド基盤機能として NICT サイエンスクラウドが運用するファイアウォールやゲートウェイサーバ、LDAP を活用している。研究支援サービス（科学研究用エコシステム）として、データ収集機能、データ転送機能などを活用し、さらにサイエンスクラウドのビッグデータ処理のための計算環境を活用する計画である。バーチャルラボにより国際的なデータ処理環境を実現し、Web 公開や可視化結果の研究利用なども視野に入れている。

#### ビッグデータ処理技術開発

最後に、NICT サイエンスクラウドにおいて分散ストレージシステム（Gfarm）と Gfarm のためのワークフローシステム（Pwrake）を用いた並列分散処理実験結果について報告する。近年、データ指向型科学という概念が提唱され、我が国では京コ

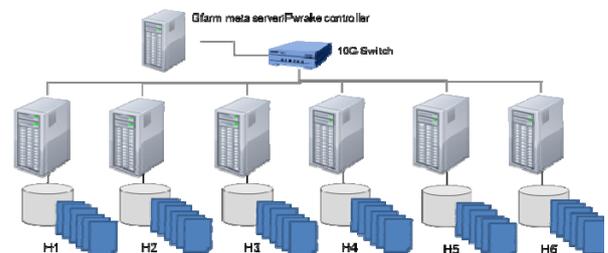


図8 分散処理実験システム

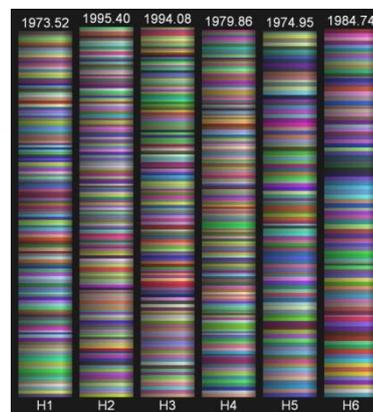


図9 6 台のクラスタ計算機での負荷分散

コンピュータの利用も始まり、TB または PB 以上の大規模科学データが研究対象となっている。一方、これらのような特別なプロジェクトではなく、大学や研究機関の小～中規模研究プロジェクトにおいてもデータの大規模化は始まっている。10TB を超えるデータ処理(例えば大規模可視化)や 100TB を超えるデータ検索(たとえば特徴検出)などは、プロジェクト規模によらずこれからのデータ指向型科学研究では重要である。

これらのデータ処理は、処理時間とデータ読み書き(I/O)時間が同規模となることがあるため、これまでの HPC 型数値計算環境ではなく I/O の高速化がなされているクラウド環境が有効となる。本稿では、NICT サイエンスクラウドにおいて分散ストレージシステム(Gfarm)と Gfarm のためのワークフローシステム(Pwrake)を用いた並列分散処理実験(図 8)を行った。

ページ制限の関係で実験結果の詳細(図 9)は別稿に譲るが、実験の結果、サイズや処理時間がばらついた TB スケールの大規模・大量のデータファイルをクラウド環境下で並列処理する場合には、(1)データファイルの配置、(2)I/O の分散化を考慮した最適化が必要であることが分かった。

#### (2) 当初計画の達成状況について

当初の目標であった拠点データセンターを接続しての NICT サイエンスクラウドの構築は完了した。その利便性を検討し、真に科学研究に利用できるクラウドシステムの構築が H.24 年度の目標であったが、これについてもおおむね達成できた。基盤となる大規模分散ストレージシステムについては、本報告書には紙面の都合上記載していないが、安定化・冗長化を図り、おおむね達成した。また、このストレージシステムを活用したビッグデータの分散処理に着手しており、これについては今年度に進行中である。(ただし、諸般の事情で学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点計画には申請しておらず、別の形での報告となる。)

#### 4. 今後の展望

宇宙科学研究分野では、科学研究分野の中では研究規模が大きな分野である。宇宙科学の主要な研究手法である衛星観測および広域地上観測に対して、数値シミュレーションは観測を補完する手法であり、宇宙科学研究の二本柱と言ってもよい。

これらの手法は、近年、予算の大型化に伴うメガサイエンスとなっている。それに伴い、出力されるデータも大規模化されている。宇宙科学では、他の科学研究分野同様に、観測とシミュレーションの融合が研究のブレークスルーとなることが期待されているが、二つのメガサイエンスの融合は 20 世紀後半に期待されたほどには進んでいない。これは、保存された大量のデータファイルから有益な情報を抽出する環境と手法が不十分であることを示唆している。

このような背景のもと提唱されているのが、第 4 のパラダイムであるデータ指向型科学研究である。一般にデータ指向型科学研究の基盤となるのがサイエンスクラウドであると考えられているが、サイエンスクラウドについては、技術的側面および利活用面からの議論が始まったばかりである。言い換えると、どのような方法でサイエンスクラウドがデータ指向型科学研究を実現するのかは明確ではない。本稿では、情報通信研究機構(NICT)で構築した科学研究用クラウドである NICT サイエンスクラウドについて、「サイエンスクラウドとは何か」「サイエンスクラウドには何ができるか」という視点で議論を行った。

NICT サイエンスクラウドがデータ指向型科学研究に対して貢献できるのは、バーチャルラボラトリー構築を含むクラウドの利便性とビッグデータ処理を含む大規模データ科学研究環境の提供という 2 本柱の機能提供である。本稿では、特に前者に重点をおいて議論を行った。サイエンスクラウドにより真に大規模な研究プロジェクトを進めるためには、商用クラウドの様に計算機リソースを仮想化して提供するだけでは不十分である。セキュリティ対策やシステム冗長化はもちろんのこと、バーチャルラボラトリーを構築するためのユーザ管理、商用アプリケーションライセンスの提供、研究目的に特化したアプリケーションやシステムの提供、独自研究環境とクラウドリソースの融合などが総合的に機能して、初めてサイエンスクラウドとしての成果が期待できる。セキュリティについても、システムセキュリティーの担保だけではなく、研究成果を Web 等で公開するためのセキュリティ対策のガイドラインなども必要である。

後者のビッグデータ科学については、現在、Gfarm による大規模データ処理の技術開発と実運用を並行して進めている。2013 年度の本拠点申請

は行っていなため、NICT サイエンスクラウドによるビッグデータ処理の成果は別稿において報告したい。

ビッグデータ科学の重要性が認識されつつある現在、今後も研究リソースを一か所に集約することでサイエンスクラウドを構築する研究機関が増えであろう。しかし、単に大規模な計算環境を作っても、サイエンスクラウドとしては機能しない。本論文は、真に実用的なサイエンスクラウド構築の助けになるだろう。

## 5. 研究成果リスト

### (1) 学術論文

Visualization of flux rope generation process using large quantities of MHD simulation data  
Kubota, Y., Yamamoto, K., Fukazawa, K. and Murata, K., T., Data Science Journal, Vol. 12, pp.WDS134-WDS138 (2013)

Solar-Terrestrial data Analysis and Reference System (STARS) – Its High Potentiality for Collaborative Research, Kunitake, M., Yamamoto, K., Watari, S., Ukawa, K., Kato, H., Kimura, E., Murayama, Y. and Murata, K., T., Data Science Journal, Vol. 12, (投稿中).

A Science Cloud for Data Intensive Sciences, Murata, K., T, Watari, S., Nagatsuma, T., Kunitake, M., Watanabe, H., Yamamoto, K., Kubota, Y., Kato, H., Tsugawa, T., Ukawa, K., Muranaga, K., Kimura, E., Tatebe, O., Fukazawa, K. and Murayama, Y., Data Science Journal, Vol. 12, pp. WDS139-WDS146 (2013) .

Relativistic electron flux forecast at geostationary orbit using Kalman filter based on multivariate autoregressive model, Sakaguchi, K., Miyoshi, Y., Saito, S., Nagatsuma, T., Seki, K. and Murata, K., T., Space Weather, Vol. 11, pp.79-89 (2013).

An Integrated Management System of Multipoint Space Weather Observation, Watanabe, H., Yamamoto, K., Tsugawa, T., Nagatsuma, T., Watari, S., Murayama, Y. and Murata, K., T., Data Science Journal, Vol. 12, (投稿中).

Research Environment and Information Service of Space Weather Cloud, Watari, S., Kato, H., Murata, K., T. Yamamoto, K., Watanabe, H., Kubota, Y. and Kunitake, M., Data Science Journal, Vol.12, pp. WDS209-WDS212 (2013).

A numerical simulation of a negative solar wind impulse: Revisited, Fujita, S., Yamagishi, H., Murata, K., T., Den, M. and Tanaka, T., Journal of Geophysical Research, vol.117, A09219 (2012).

On Post-Midnight Field-Aligned Irregularities Observed with a 30.8-MHz Radar at a Low Latitude: Comparison with F-Layer Altitude near the Geomagnetic Equator, Nishioka, M., Otsuka, Y., Shiokawa, K., Tsugawa, T., Effendy, Supnithi, P., Nagatsuma, T. and Murata, K., T., Journal of Geophysical Research, Vol.117, A08337 (2012).

Design and Implementation of File Authentication System using Timestamp Mechanism for a Distributed File System, Ogaki, T., Watanabe, H., Iwama, T., Den, M. and Murata, K., T., IEICE Technical Report, Vol. IEICE-112 (250), pp.79-84 (2012).

3次元可視化パラメータ共有による多地点遠隔ボリュウムコミュニケーションシステム, 渡邊 英伸, 山本 和憲, 村田 健史, 木村 映善, 亘 慎一, 村山 泰啓, 宮地 英生, 荻野 瀧樹, 深沢 圭一郎, 電子情報通信学会論文誌 (D), Vol. J95-D (5), pp.1160-117 (2012) .

(2) 国際会議プロシーディングス

(3) 国際会議発表

Asia-Oceania Space Weather Alliance: AOSWA,  
AOGS 2012, Singapore, Aug. 2012.

Topics of Space Weather Research and  
Operation Activities at NICT and Future  
Outlook, AOGS 2012, Singapore, Aug. 2012,  
(invited).

A Virtual Observation Network System for  
Global Ground-Based Observatories, Japan  
Geoscience Union Meeting (JpGU), May 2012.

(4) 国内会議発表

(5) その他（特許、プレス発表、著書等）