

仮想天文台のシステム構築

Construction of Japanese Virtual Observatory (JVO)

あらまし

観測天文学の分野では、すばる望遠鏡をはじめとして、世界中の観測施設から良質なデータが大量に生み出されており、世界中に分散して格納されている。これらのデータから有用となるデータを検索・収集し、統計的な解析により研究を行う「データベース天文学」の重要性はますます高まっている。そこで、国立天文台では、分散して存在する大量のデータを「数値宇宙」と見なし、ネットワークを介して再観測する「仮想天文台（JVO：Japanese Virtual Observatory）」のシステム構築に向け、そのプロトタイプを富士通と共同で開発した。仮想天文台の実現には、分散データ仮想統合環境が必要で、その要件は、(1) データ格納システムの仮想化、(2) 分散した大量データの効率的な利用、(3) 分散環境の脆弱性を考慮した通信である。

本稿では、分散データ仮想統合環境の実現性の確認のため、データグリッド技術を活用して構築したJVOプロトタイプとその評価について述べる。

Abstract

Large amounts of high-quality astronomical data are obtained from the Subaru Telescope and other observatories located throughout the world, and this data is stored in worldwide locations. It is now more important than ever to have an observational database that enables astronomers to search for and collect valuable astronomical data from this vast collection and perform research through statistical analysis. The National Astronomical Observatory of Japan has therefore started construction of a system called the Japanese Virtual Observatory (JVO) that will connect these observational databases via high-speed networks so they can be used collectively as a single virtual data archive. Fujitsu is collaborating with the National Astronomical Observatory of Japan in the development of the prototype system. To build the JVO, a virtual integrated environment for the distributed data will be required. To achieve this, three conditions must be considered: 1) construction of a virtual data storage system, 2) efficient use of the vast amount of distributed data, and 3) the fragileness of the distributed environment. This paper describes and evaluates the JVO prototype constructed using data grid technology to ascertain the feasibility of a virtual integrated environment for the distributed data.



石原康秀 (いしはら やすひで)
グリッドソリューション部 所属
現在、グリッドシステム、アプリケーション開発に従事。



水本好彦 (みずもと よしひこ)
国立天文台 教授
現在、天文学データ解析計算センター長であり、データベース天文学推進に従事。理学博士。



大石雅寿 (おおいし まさとし)
国立天文台 助教授
現在、データベース天文学の推進に従事。
International Virtual Observatory Allianceの中心メンバ。理学博士。

まえがき

観測天文学では常に見えないものを見ようと、望遠鏡や観測装置の開発、新しい波長域の開拓、データ解析手法の工夫を重ねてきた。そして、歴史ある可視光域での観測に加えて、電波天文学、赤外線天文学、X線天文学などの発展が促され、低温の星間ガス、高温の星間ガス、そしてガスから星、惑星の形成とその輪廻が解明され始めている。その一方で、宇宙の始まり、その後の銀河の形成、宇宙の大規模構造の要因、さらに今後の宇宙の運命など、まだまだ分からないことは多い。

これら現代天文学最前線の謎を解明するためには、観測装置の高感度化、高性能化だけではなく、蓄積された多数の天体における様々な物理特徴量に対して、その統計的振舞いを研究する「データベース天文学」が重要になっている。このような統計的な処理により、性質が分かっている天体とは異なる振舞いを見せる天体が見えてくる。これらの「未知天

体」は、これまで知られていなかった新たな天体現象を反映していることが多い。このようにデータベース天文学は、21世紀の天文学研究分野の主力になると期待されている。

本稿では、国立天文台でデータベース天文学を推進するための仮想天文台のシステム構築に向け国立天文台と富士通が共同で開発したプロトタイプとその評価について述べる。

仮想天文台構築

地上望遠鏡や人工衛星搭載の様々な観測装置から得られた宇宙の姿は、世界中の計算機の中に数値データとして蓄積されている。この数値データは、観測された「数値宇宙」となり、計算機ネットワークを介して再観測することができる。この数値宇宙を観測する天文台を仮想天文台といい、欧米を中心として、その「建設」が開始されている。仮想天文台の将来構想例を図-1に示す。代表的な仮想天文台としては、図-1の右側より欧州のAVO (Astrophysical

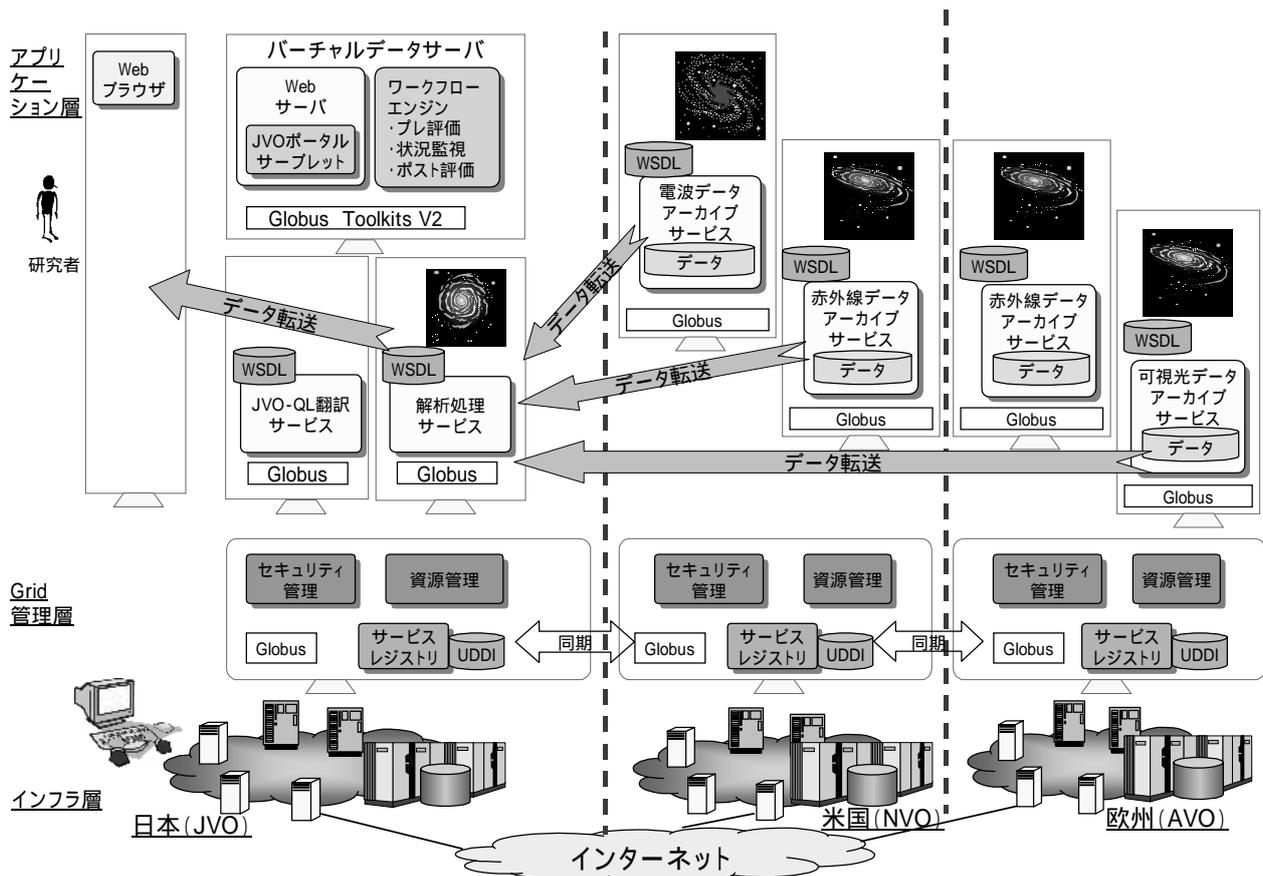


図-1 仮想天文台の将来構想例
Fig.1-Future plan of Virtual Observatories.

Virtual Observatory), 米国のNVO (National Virtual Observatory), そして日本のJVO (Japanese Virtual Observatory) がある^{(1),(2)} また, 各仮想天文台を相互に連携するインターフェースが, International Virtual Observatory Allianceで現在検討が進められている⁽³⁾

仮想天文台の建設が現実的になってきた背景としては, 計算機環境の性能向上が挙げられる。計算機環境においては, 心臓部であるCPU性能が飛躍的に向上し, 接続するハードディスクやテープ装置の容量が増加し, そしてその低価格化が進んだ。すなわち, 大量データの蓄積, そして, その解析処理が容易にできるようになった。また, インターネットにおいては, 帯域幅の拡大と高速化により, 大量データの転送が極めて容易になった。それにより, 遠隔地の計算機資源をあたかもローカルな計算機資源として利用できるようになってきた。

分散データ仮想統合環境

仮想天文台を実現するためには, 「世界中に分散した計算機に格納されている数値データを確実, 安全, かつタイムリに利用できる分散データ仮想統合環境の整備」が必要である。そのような分散データ仮想統合環境の要件を以下に示す。

- (1) 各計算機やそのデータ格納システムを意識することなく利用できること
- (2) 分散した大量のデータを効率的に利用できること
- (3) 分散環境の脆弱性を考慮した通信およびデータアクセスができること

要件(1)では, 利用者がインターネットを介して連携する計算機の所在やOSの違い, さらに管理体系の違いを気にせずに, あたかも1台の仮想的な計算機システムとして透過的に利用できることが要請される。また, 分散した個々のデータ格納システム, 管理ソフトウェア(RDBMSなど)の違いを気にせずに, あたかも一つの仮想的なデータサーバとして利用可能なことが必要となる。

要件(2)では, 大量のデータが世界中に分散しているため, ネットワークを介してデータ転送を最小限にし, 高スループットを実現するための効率的なデータアクセスが求められる。

要件(3)では, データを保存している計算機も

しくはそこまでのネットワーク経路で運用停止や不具合などが発生するため, 耐障害性を考慮した通信方式およびデータアクセスが必要である。

グリッド技術の適用

インターネットを介した分散環境を構築するための最新技術としてグリッド技術があり, 大規模計算やデータ共有の基盤として期待されている。グリッド環境を構築するミドルウェアとしては, 世界中のグリッドプロジェクトで採用されているGlobus Toolkitが広く普及している⁽⁴⁾ 以下に仮想天文台における分散データ仮想統合環境の各要件に対してのGlobus Toolkitの適用方法を示す。

要件(1)の1台の仮想的な計算機システムを構築するために, 管理体系の違いを吸収するようGlobus Toolkitが提供するシングルサインオン認証の枠組みを採用した。利用者は, 一度の認証操作で分散データ仮想統合環境全体の計算機資源を利用でき, さらにリモート計算機上で安全にプログラムを実行することが可能となる。

要件(2)の分散した大量データの効率的な利用のために, Globus Toolkitが提供しているストライピングによるファイルの高速転送および第三者転送の枠組みであるGridFTPを採用した。第三者転送とは, クライアントからの指示で, 2台のサーバ計算機間でのデータ転送を行う仕組みである。

Globus Toolkitは, まだ, ライブラリレベルの基本機能の提供にとどまっており, 分散データ仮想統合環境のシステム構築のためには, 要件(3)などに対して, ユーザアプリケーションの開発による対応が必要である。

なお, JVOプロトタイプ開発の時点では, Globus Toolkit V2 (以下, GT2) は正式提供されていたが, 次期バージョンのGlobus Toolkit V3 (以下, GT3) は, 未リリースの状況で, Webサービスと融合した新しいアーキテクチャとして開発中であった。よって, JVOプロトタイプの開発においてはGT3への移行を意識し, GT2とWebサービスを適用したアーキテクチャを採用した。

JVOプロトタイプの開発

JVOプロトタイプは, 想定される分散データ仮想統合環境をターゲットに図-2に示す構成とした。

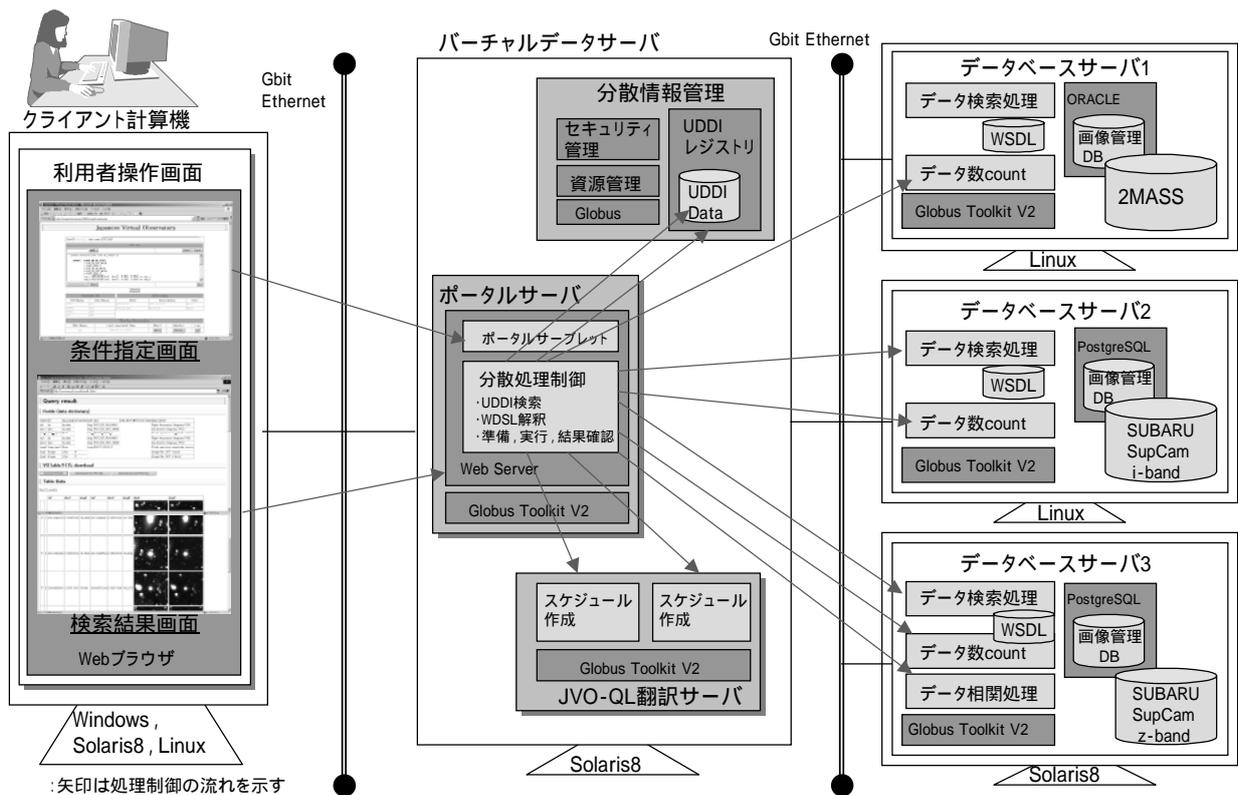


図-2 JVOプロトタイプ構成
Fig.2-Feature of JVO prototype.

利用者操作クライアント計算機，バーチャルデータサーバ，複数台のデータベースサーバから構成され，クライアント計算機はWebブラウザが動作する任意のOSを使用し，サーバ用計算機はSolarisとLinuxをOSとした。また，RDBMSは，天文学でよく採用されているORACLEとPostgreSQLを利用した分散データ仮想統合環境とし，すばる望遠鏡などの天文学研究用の実データを格納した。

JVOプロトタイプにおいて，分散データ仮想統合環境を実現するために個別アプリケーション開発で対応した主要な開発内容を以下に示す。

要件（1）の1台の仮想的な計算機システムの構築は，利用者がWebブラウザでバーチャルデータサーバの「ポータルサーバ」にアクセスし，すべての操作を行えることで実現した。バーチャルデータサーバは，複数のデータベースサーバを束ねており，あたかも1台の計算機上に一つのデータベースがあるように見せている。さらに利用者からの仮想データベースへの検索には，SQL（Structured Query Language）を拡張したJVO Query Language（以下，JVO-QL）を新たに作り上げ，分散データベ

スに対する検索を実現した。

その処理は，以下のフローで実現される。ポータルサーバにある分散処理制御は，エンドユーザから指示されたJVO-QLの翻訳および検索実行スケジュールの作成を「JVO-QL翻訳サーバ」に依頼する。その後，作成された検索実行スケジュールに従い，分散処理制御はデータベースサーバにあるサービスのリモート呼び出しを行う。最終的な結果は，バーチャルデータサーバから利用者へ返す方式とした。

要件（2）の分散した大量データの効率的なアクセスのために，ネットワーク経由のデータ転送を最小限にするスケジューリング方式を実装した。これは，複数のデータベースサーバにまたがるデータ統合検索を行う場合，各データベースサーバに存在する検索結果データ件数を事前に把握し，データ転送量を最小にする2段階スケジューリング方式である。

図-3のように二つのデータベースサーバA（検索結果件数：100件），B（検索結果件数：10,000件）に分散したデータの統合をする場合，バーチャルデータサーバにすべてのデータを集めると，のよ

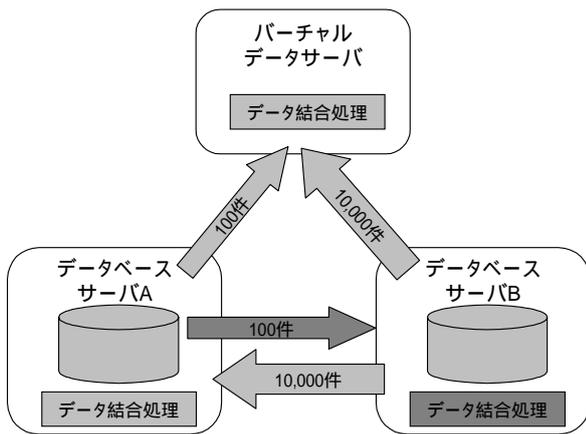


図-3 データ転送の最小化方式
Fig.3-Minimization of data transfer.

うに転送するデータ量はAとBの双方からのデータ量を足した10,100件となる。それに対し、あらかじめ、それぞれのデータベースサーバでの検索結果データ件数を把握し、結果件数の多いデータベースサーバBでデータ結合処理を行うことを事前に決定することにより、転送するデータ量が、の100件のみとなり、全体処理のスループットを向上させることができる。

要件(3)の分散環境の脆弱性を考慮した通信のために、同一データを提供するデータベースサーバの代替呼び出しの枠組みを開発した。その実現方法として、WebサービスのUDDI (Universal Description, Discovery and Integration) レジストリ機能を用い、データを提供するサービスの所在管理を行う。そのサービス呼び出しは、UDDIレジストリの検索、当該WSDL (Web Services Description Language) の参照、呼び出しインタフェースを整えリモート計算機上でのプロセス実行、という手順で行う。ここで、UDDIレジストリに登録されている複数の同一サービスを候補リストとして準備することにより、選択したサービスが異常終了した場合、つぎの候補を選択し呼び出す方式を実装した。

JVOプロトタイプの評価結果

分散データ仮想統合環境における要件に沿って、JVOプロトタイプから得られた評価結果を以下に示す。

要件(1)の分散システムの個々の計算機を意識しないアクセスについては、利用者からはポータル

サーバを窓口にすることで、一つの仮想計算機の利用を実現し、さらにGT2のシングルサインオン機能により所在を気にせずに管理体系の違う計算機でのリモートプロセス起動を容易にかつ安全に実現できた。しかし、認証や暗号化処理によるオーバーヘッドが数秒あり、インタラクティブ処理では、無視できない値のため、実運用システムの開発に向けて、その改善が必須であり、継続して検討する必要がある。

また、利用者からのJVO-QLによるデータ操作により、仮想データベースへのアクセスを実現した。個々のデータベースサーバへのサービス呼び出しは、WebサービスのUDDI検索とGT2のリモートプロセス実行により、サービスの所在を意識しないでアクセスを可能とした。今後の課題としては、研究者が必要としている、より高度なデータ操作をJVO-QLの拡張で対応できるかを検証していくことが必要である。

要件(2)の分散した大量データの効率的なアクセスは、ネットワーク経由のデータ転送を最小限とするスケジューリングにより実現した。複数のデータベースサーバに対して、事前にそのデータ件数を把握することにより実現しているため、件数を把握する時間が、データ転送時間より短い場合に有効な手法である。

要件(3)の分散環境の脆弱性を考慮した確実なアクセスとして、要求した処理実行が異常となった場合の対応処理を実装しなければならない。JVOプロトタイプでは、処理実行先を候補リストから動的に決定する分散処理制御を実装した。これにより、実行異常終了が発生した場合、登録されている代替サービスの自動再実行を可能とし、耐障害性を高めることができた。今後は、連携する他システムおよびネットワークの運用状況や負荷状況を考慮するような高度な分散処理制御への発展を検討したい。

む す び

仮想天文台を建設するためにJVOプロトタイプの開発を通して、GT2の適用方法、課題および制限事項を把握し、個別アプリケーション開発での対応が必要な機能を実装し、分散データ仮想統合環境の実現に向けての評価を実施した。今回実装した方式は、分散したデータ統合が必要となっているほか

のサイエンス分野や企業内・企業間において、適用可能なものである。

グリッドは発展中の技術であり、まだ多くの解決すべき課題が残されている。これらの課題がGT3によって解決されることを期待し、現在、次期JVOプロトタイプをGT3ベースで構築および評価を実施している。

グリッドは、次世代分散システム環境のキーテクノロジーと期待され、サイエンス分野からビジネス分野へと急速に拡大し、発展しようとしている。現時点のグリッドは、ちょうどWorld Wide Webがまだ存在していない1980年代のインターネットのようなものである。サイエンス分野の研究者は、メール、ファイル転送、リモート端末などの基本的な機能のみの利用でも大きな恩恵を受けていたが、その時点で、現在のインターネットのようにビジネスに影響するインフラになるとはだれも予想していなかった。グリッドも同様にミドルウェアやアプリケーションの発展により爆発的に普及していくと考えられ、UNIXによる計算機システムの「オープン化」、「インターネット」に続く、サイエンス分野から派生する第3の技術革新となる可能性が高い。先行する仮

想天文台の構築を通じて、グリッドの適用方式および開発方式を早急に確立していきたい。

最後に、本稿で述べたJVOプロトタイプの共同開発に当たり、数々の的確なご指導を頂いた東京大学宇宙線研究所の安田助教授、国立天文台の白崎研究員、田中研究員にこの場を借りて心からお礼を申し上げます。

参考文献

- (1) International Virtual Observatory Allianceホームページ .
<http://www.ivoa.net/>
- (2) 国立天文台JVOプロジェクトホームページ .
<http://jvo.nao.ac.jp/>
- (3) Y. Mizumoto et al. : Construction of the Japanese Virtual Observatory (JVO) . Astronomical Data Analysis Software and Systems XII ASP Conference Series , H. E. Payne et al. eds . , Vol.295 , p.96 (2003) .
- (4) Globusプロジェクトホームページ .
<http://www.globus.org>

