

[Full Paper] バーチャル天文台を実現する分散データベース・計算資源の国際連携機構

大石 雅寿[†] 白崎 裕治[†] 田中 昌宏[†] 川野元 聡[†]
 本田 敏志[†] 水本 好彦[†] 大江 将史[†] 安田 直樹^{††}
 増永 良文^{†††} 石原 康秀^{††††} 山崎 昭一^{††††} 瓦井 健二^{††††}
 中本 啓之^{†††††} 小林 佑介^{†††††} 吉田 徳夫^{†††††}

[Full Paper] A Mechanism in Federating Internationally Distributed Databases and Computing Resources to Realize Virtual Observatories

Masatoshi OHISHI[†], Yuji SHIRASAKI[†], Masahiro TANAKA[†], Satoshi KAWANOMOTO[†], Satoshi HONDA[†], Yoshihiko MIZUMOTO[†], Masafumi OE[†], Naoki YASUDA^{††}, Yoshifumi MASUNAGA^{†††}, Yasuhide ISHIHARA^{††††}, Shouichi YAMAZAKI^{††††}, Kenji KAWARAI^{††††}, Hiroyuki NAKAMOTO^{†††††}, Yusuke KOBAYASHI^{†††††}, and Tokuo YOSHIDA^{†††††}

あらまし 天文学ではあらゆる電磁波の観測データが世界各地で DB 化されており、これらを連携することを通じて天文学研究の大きな発展を目指すバーチャル天文台 (VO) 計画が各国で進められている。日本でもすばる望遠鏡を始めとして各種カタログや画像などの天文観測データが DB 化されており、これらを国際連携に基づいて活用するための JVO 計画を進めている。

我々はプロトタイプ構築を通じて VO を構築するための基盤技術を蓄積し、実用的な時間内で複数のデータベースを検索することを可能とした。VO が世界各国で構築されているが、これらが相互に保持するデータや計算資源を利用できるようになると天文学の研究手法が激変しうる。それぞれの VO 同士でデータや計算資源を相互利用するためには標準プロトコルの制定が必須であり、我々は主として分散 DB に対する統合検索言語の標準化に貢献してきた。また各資源の所在や内容を表すメタデータ形式、その交換法等についても標準化が進んでいる。我々はこれらの標準プロトコルを用いた VO のプロトタイプを設計・実装し、他国の VO との連携に成功した。本システムはデータグリッドの良い例である。

キーワード 天文学 DB, メタデータ管理, グリッドコンピューティング, 国際連携, 標準化

1. はじめに

国立天文台のすばる望遠鏡を始めとして、世界では

Gemini, VLT など次々と 8m 級大型望遠鏡が稼働を始め、観測データを大量に産出する時代を迎えた。衛星による観測データも合算すると、天文学研究に利用できる観測データは数値データとして年間 10TB の規模で増大する。これらの様々な波長のデータを同時解析することによって、現代天文学に残された多くの謎—宇宙の暗黒物質の解明、宇宙ひもの存在の検証、宇宙における生命誕生の解明など— が解明されると期待されている。しかし、従来の手作業を主体としたデータ解析手法に基づく研究ではこの膨大なデータを迅速に処理することは極めて困難であり、現代天文学

[†] 国立天文台データベース天文学推進室
 JVO Project, National Astronomical Observatory of Japan
^{††} 東京大学宇宙線研究所
 Institute for Cosmic Ray Research, University of Tokyo
^{†††} お茶の水女子大学
 Ochanomizu University
^{††††} 富士通株式会社
 Fujitsu Limited
^{†††††} 株式会社セック
 Systems Engineering Consultants Co., Limited

の謎の解明に至るとは到底考えられず、高性能な計算機資源を活用した新たな情報処理技術を天文学に導入することが必須である。

一方計算機技術、ソフトウェア技術、および通信技術がここ数年間に急激に進歩した。天文学でも IT 技術発展の影響は大きく、世界中に蓄積された大量の天文観測データを瞬時に検索・取得して高速処理し、総合的に研究することが夢物語ではなくなる時代が目前に迫っている。大量の天文観測データの蓄積と高度情報通信技術の融合により、世界中に蓄積された多波長の観測データをまとめることが可能な時代となり、さらに情報学において発達した最新技術と天文学を融合させることにより、天体の諸現象等について総合的に研究できる理想の姿が実現しようとしている。

すばる望遠鏡が毎年算出する 30TB に及ぶ膨大な量の観測データを解析して、口径 10m の KECK 望遠鏡や Gemini, VLT といった欧米の 8m クラス望遠鏡との激しい国際競争の中で現在天文学に残された謎を世界に先駆けて解明するためには、我々がこれまで野辺山にある電波望遠鏡やすばる望遠鏡で培ってきたデータ解析技術を GRID や Java を始めとする技術を駆使することにより高度化した分散データ処理システムとして発展させ、かつ、大量観測データの供給源となるデータアーカイブシステムに合体させたサイエンス・アーカイブシステムとして再構築することがカギとなる。

これらの科学的要求を実現するため、我々は近年発展が著しい情報学の研究成果と大量観測データを生み出す最新の望遠鏡技術の融合として Japanese Virtual Observatory (JVO) の構築を進めてきた。JVO は国内にとどまらず世界中に分散している天文データアーカイブ・データベース (DB) やデータ解析機能を連携させ、いつでもどこからでも天文学を推進することが可能な研究基盤を構築することを目的としている。

これまでの研究開発において構築した JVO プロトタイプ第 1 版 [1], [2], [3] では連携 DB への容易なアクセスが可能となったが、各ジョブの起動に 20~30 秒程度かかるという問題点があった。本論文では、この問題点を解消して実用に耐える機能を実現し、また、同様の計画を進めている他国の VO との間で相互にデータベース連携、データベース検索を可能にしたことについて述べる。

2. プロトタイプ 2 の構築

2.1 Grid Service の採用による性能向上

プロトタイプ第 1 版でのジョブ起動には 20~30 秒程度かかっていた。その理由はプロトタイプで使用した Globus Tool Kit version 2 (GTK2) の globus-job-run コマンドの仕様にあった [4]。このコマンドでは固定値として 30 秒の待ち時間がソースコードに組み込まれており、これが大きな待ち時間を生み出した背景となっていた。そもそも GTK2 は Computing Grid を実現することを主眼に設計されている。従って長時間の CPU 時間がかかる巨大 CPU ジョブを走らせる場合にはたかだか数 10 秒のジョブ起動時間は大きな問題にはならない。しかし準リアルタイム性を求められる Data Grid の場合にはこの待ち時間は大きな障害となってしまふ。我々は GTK2 のソースコードを解析し、この待ち時間パラメータを 3 秒にまで短縮してもジョブ起動に必要な待ち時間は 10 数秒にしか短縮できなかった。このことから GTK2 を利用する限りジョブ起動を短縮することは困難であると考えられた。

そこでプロトタイプ第 2 版の製作においては、リリースされていた Globus Tool Kit version 3 (GTK3) [4] に含まれている Grid Services を活用する方針を取った。Grid Services は基本的に Web Services と同じである。よく知られているように Web services は Firewall が存在しても多くの場合は空いている Port 80 によって通信が可能である。実装の結果、ジョブ起動に必要な待ち時間が数 10 ミリ秒となり、Data Grid 環境に対応する実用システムの開発が可能となる目処がたった。

2.2 プロトタイプの構成

実用システムで利用可能な、データベースを連携する際に必須となる検索言語 (JVO Query Language) の汎用パーサー、JVO で実行される各ステップの実行手順を自動的に作成するスケジューラー、JVO を構成する計算資源の探索に必要な XML メタデータ検索機能、等を新規に設計・実装した。図 1 にプロトタイプのブロック図を示す。

JVO における処理の流れは以下ようになる。まず、利用者は JVO のユーザーインターフェース (Web ブラウザ) 上で行いたい検索命令を JVOQL で記述する。JVOQL を構築するエディタがあるのでこれを利用するのが最も簡便であるが、JVOQL (SQL) を

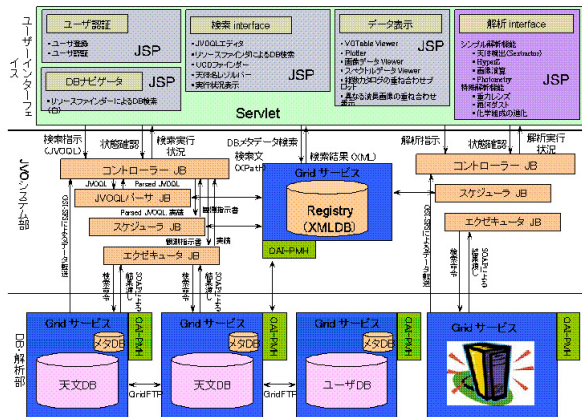


図 1 JVO プロトタイプ 2 の構成。本プロトタイプは他国 VO と未接続である

Fig.1 Architecture of JVO prototype 2. Note that the prototype has not been connected to other VO's yet.

知っている場合にはエディタの編集画面で直接入力することも、既存の命令文を編集することも可能である。命令が完成したら利用者はこれを”submit”する。submitされたJVOQLはJVOQLパーサーに渡される。JVOQLに対するパーサーは、将来の機能向上時において再実装する手間を最小限にするためJavaCC (Java Compiler Compiler) を利用して構築した。このパーサーはJVOQLによって要求される機能を遠隔地に存在する分散データベース内の個々のテーブルを検索するためのNative SQLに分解する。スケジューラは利用者からの要求機能を持つサーバーを後述するレジストリに問い合わせると共に必要な処理ステップをwork flowとして構築する。そしてエグゼキューターが個々のジョブを実行する。これらのジョブはデータベースサーバーに渡されて検索が実行され、その結果はVOTable形式で返される。ユーザーインターフェースではXML形式であるVOTableを人間にとって見やすい形式で表示する。天球上の同じ天体からの異なる波長情報を引き出す場合などは複数サーバーの検索結果を用いてクロスマッチ処理をしなければならない。こういった場合は検索結果が返されてからスケジューラがクロスマッチ処理を行うためのwork flowを構築し、エグゼキューターに実行を依頼する。これらの流れは基本的にプロトタイプ1の場合と同じである[1]。

プロトタイプを実装するにあたっては、上記のJavaCCやGlobus Took Kit以外に下記のソフトウ

エア(全てフリーソフトウェア)を用いた。

- Java – 可能な限り多種多様なプラットフォーム上で動作するために採用
- JAXB 1.0 – VO標準スキーマから各種Javaクラスを生成するために使用
- PostgreSQL – データベース管理
- Apache AXIS, Tomcat – Web ServicesやServletの構築
- HTMライブラリ – 天球座標の特異点を排除して天球領域を検索するためのライブラリ。米国Johns Hopkins大学で開発した[7]。

2.3 メタデータ交換の仕組み

VOシステムはアクセスするサーバを利用者の要求に従ってダイナミックに変化させる。この時に極めて重要な役割を果たすのがメタデータ情報を格納しているレジストリである。プロトタイプ1ではレジストリをUDDI (Universal Description, Discovery and Integration) によって構築したが、UDDIでは複雑な構造を持ちうる天文用レジストリを記述するためには不十分であることが分かり、プロトタイプ2ではレジストリをXMLデータベースによって構築した。用いたXML DMBSは商用のKAREAREA [5]であり、オンメモリで処理を行うため極めて高速なアクセスが実現された。このメタデータも時間とともに変化するため、メタデータの交換のための仕組みが必要となる。我々はこれをOAI-PMH (Open Archives Initiative Protocol for Metadata Harvesting) [6]によって実現した。OAI-PMHはHTTPプロトコルを利用しているのでFirewallが存在しても多くの場合は空いているPort 80によって通信が可能である。レジストリデータ交換の概念図を図2に示す。後述するようにこの機構は、JVOと海外VO間でのメタデータ交換においても使用されている。

データ転送機能はGTK3が提供するRFT (Reliable File Transfer)とGSI-SFS (Grid Security Infrastructure – Secure File System) [8]によって実現した。RFTは複数の転送チャンネルを同時に張ることができるので、総合転送性能が高いがセキュリティを確保できない。GSI-SFSはセキュアなデータ転送が可能で、かつ、事前のマウントが不要なシステムである。しかし、サーバとクライアントが一つのマシンに併存できないため、JVOではデータサーバからJVOポータルへの一方通行での利用に限定せざるを得なかった。天文データベースは多くの場合公開されてい

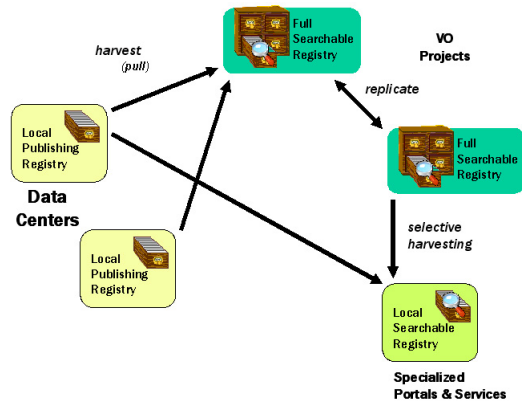


図 2 レジストリ情報交換の概念図

Fig.2 A diagram in Exchanging Registry Data among VOs.

るものであり、かつ商用価値はないに等しいのでたとえ盗聴されても問題はない。そこで観測データの転送には主として RFT を使用した。

3. VO の実用性の検証

JVO プロトタイプ 2 を用い、天文研究がどれだけ加速できるかを調べるため、「宇宙紐」による重力レンズ二重像を実際の観測データを用いて探すことを試みた。宇宙紐とは、宇宙が誕生してから 10^{-35} 秒、温度 10^{15} GeV の頃に存在したとされる素粒子の素である。数学的な点ではなく、大きさももち、太さは 10^{-22} m 以下だが、宇宙の大きさほどの長さがあり、10km の長さで地球と同程度の質量を持つとされている。しかし未だ存在する観測的証拠は見つかっていない。この宇宙紐が存在するならば、その巨大質量によって紐の周囲の空間が歪み、通過する光はあたかもレンズを通過する時のように屈折する。これが重力レンズ効果である。図 3 に重力レンズの観測例 [9] (Credits: NASA, ESA, Andrew Fruchter (STScI), and the ERO team (STScI)) を示した。

従って宇宙紐の存在は重力レンズ効果による二重像が一次的に並んでいる天域を見いだすことに帰着される。すばる望遠鏡で取得したサーベイデータを用いた二重像候補探索は、従来の手法では数時間以上かかる。しかし、同様の探索を JVO で行ったところ約 3 分で探索が終了した。宇宙紐の発見には至らなかったものの、情報技術を天文学に導入することが当初の予想通り、天文学研究の進展にとって極めて有効であることが示された。

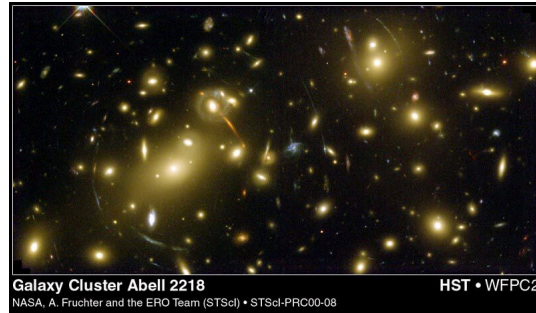


図 3 Hubble 宇宙望遠鏡で取得された重力レンズ天体 Abell2218 の画像。円弧の一部が所々に見えるが、これらが重力レンズ効果によって作られた遠方銀河の像である。

Fig.3 An Image of a Gravitationally Lensing Object, Abell 2218, taken by the Hubble Space Telescope. Several arc-like images are seen in this figure, which are distorted images of distant galaxies produced by the Gravitational Lens.

4. 他国の VO との連携

天体は空のあらゆる方向に分布しているが、日本から観測可能な天域は限られている。有名なマゼラン星雲（大マゼラン星雲、小マゼラン星雲）は日本からは見えず、観測を行うためには南半球に行かなければならない。また地上で観測が可能な波長域は、その波長域において大気の透明度が十分高い場合だけ—即ち、可視光線、波長 $2\mu\text{m}$ 前後の近赤外、及び波長約 1mm より長い電波—である。これ以外の X 線、紫外線、中間赤外、遠赤外域の電磁波を用いた観測は衛星によって大気の外から実行しなくてはならない。以上のことから、世界中に天文台が存在し天文データベースが構築されている背景が理解されるであろう。

これまで天文研究者は自らの研究に必要なデータは、取得可能な天文台に赴いて観測を実行して取得していた。しかし高速ネットワークで接続された VO を用いればいつでもどこにいても必要な観測データを入手することが可能となる。

しかし、その目的を達成するためには、世界各国で構築が進められている VO 間で標準のプロトコルを使用する必要がある。

4.1 国際標準の策定

現在 15 の国と地域で Virtual observatory 構築プロジェクトが進行している。これらが相互接続されると居ながらにして世界中の観測データにアクセスできる環境が整うこととなる。そのためには個々の VO 間で

の各種データ形式や通信プロトコルを標準化することが必須である。これらの標準化のために International Virtual Observatories Alliance (IVOA) [10] が結成されているが、我々も IVOA に当初から参加し、標準化に貢献してきた。

IVOA にはレジストリや連携検索言語を始めとする 8 つの Working Groups があり、それぞれ標準化活動を進めている。これ以外にも、標準化活動は要求されていないが VO の活用にとって重要なテーマについて議論する Interest Groups があり、理論シミュレーションデータや各種天文アプリケーションについて活発な意見交換が行われている [11]。IVOA では 1 年に 2 回ずつ VO 関連研究者が一堂に会して標準化について集中的に議論する IVOA Interoperability Workshop を開催している。

我々は、これまでに定義した JVOQL [2] を IVOA Interoperability Workshop において世界標準として提案した。連携検索言語の提案は大別して 2 種類あった。一つは JVOQL と同様な SQL の拡張としての連携検索言語であり、もう一つが XML による検索言語である。それぞれ長所や短所があるため活発な議論が交わされ、現実的な選択として SQL の拡張である JVOQL を基礎とする天文用連携データベース検索言語が策定された。これは ADQL (Astronomical Data Query Language) と呼ばれており、Web ブラウザでの入力等に使用される string 形式の表現 (ADQL/s) とそれと等価であるが XML 形式で表現される ADQL/x が標準化された。ADQL/x は各 VO を構成するマシン間の通信の際に主として使用される [12]。ADQL は現状ではカタログ DB への検索に限定されているが、それでも ADQL は日本だけでなく、米国、英国及び欧州の各 VO に組み込むこととなった。

一方カタログ以外の画像等については IVOA の DAL (Data Access Layer) グループが標準化を進めてきた。画像サーバに対する要求は SIAP (Simple Image Access Protocol) によって行う [13]。SIAP は天球上の領域等を指定する複数の検索パラメータを HTTP の GET メソッド等で送信することにより、取得可能な画像データへのアクセス方法やそのメタデータを VO におけるデータ交換の標準フォーマットである VOTable として取得することができる。先にも述べたように HTTP は Port 80 を通じた通信であるので、Firewall が導入されていても多くの場合通信可能であるという利点がある。DAL グループは SIAP 以外にも、スペ

クトルデータに対する要求を記述する SSAP (Simple Spectrum Access Protocol) や時系列データを扱うための STC (Space-Time Coordinate) [14] を定めつつある。

これらの各種プロトコルは現実的な選択としてデータの種類毎に定義されている。しかし VO の利用者の観点で考えると、単一の検索言語であらゆる種類の天文データにアクセスできることが望ましい。我々が提案している JVOQL には既にこの考えを取り込み、データベース内の各属性値のみならずデータフォーマット (FITS, VOTable, JPEG 等) やデータ種別 (画像, スペクトル, データキューブ等) をも仮想的な属性値とみなして検索できる言語-JVOQL version 2 (JVOQL2)-を提案している [2]。IVOA では 2005 年から JVOQL2 に基づいて統一検索言語について議論を開始することとなっている。

4.2 プロトタイプ 3 の構築

我々は JVO と他の VO を接続するため、プロトタイプ 2 の基本構造を維持しながら先に述べた国際標準プロトコルを実装するプロトタイプ 3 を構築した。プロトタイプ 2 と 3 の主たる相違点は、標準プロトコルを受け取るためのゲートウェイ (SkyNode) を導入したことである。SkyNode [15] は IVOA で標準化されているカタログアクセス機能を提供するサーバである。しかし我々は各種アクセスプロトコルを統一的に扱うことが可能な JVOQL2 を提案しており、プロトタイプ 3 に JVOQL2 を実装してその有用性を世界に提示することが今後の VO の発展にとって極めて重要であると考えた。そこで我々は SkyNode を独自に拡張し、ADQL のみならず SIAP や SSAP 等も処理できるようにした SkyNode-J を実装することとした。図 4 に SkyNode-J のブロック図を示す。

SkyNode-J は JVO への各種検索要求の窓口となる。一方 JVO 内部では検索言語として JVOQL2 を用いる。JVO ポータルに直接アクセスする利用者は JVOQL2 によって検索要求を記述することとなるので問題はない。しかし IVOA 標準を実装した海外の VO からのアクセスは、当然、ADQL/x, SIAP, SSAP によって行われる。そこで我々は ADQL/x, SIAP, SSAP を JVOQL2 に変換するプロトコル変換モジュールを SkyNode-J 内に実装した。JVOQL2 は ADQL/s, SIAP, SSAP の上位互換に当たるので、この変換は困難ではない。

図 5 に SkyNode-J のバックエンド部のブロック図

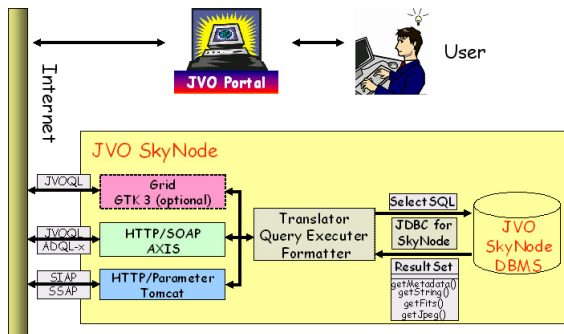


図 4 JVO 内外とのゲートウェイになる SkyNode-J のブロック図。複数のプロトコルを受信できるように内部にプロトコル変換機構を実装している。
Fig. 4 A Schematic Diagram of SkyNode-J. SkyNode-J has a protocol translator to accept multiple protocols.

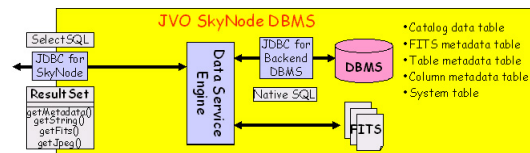


図 5 SkyNode-J のバックエンド部分のブロック図。
Fig. 5 A Schematic Diagram of the Back-end part of SkyNode-J.

を示す。SkyNode-J のプロトコル変換モジュールを通じたアクセス要求は JDBC を介して適切なデータベースサーバに伝えられる。各データベースサーバは、検索対象のデータを JDBC に返し、さらにプロトコル変換モジュールによって VO 標準のデータ形式である VO Table に変換され、各 VO の利用者に返されることとなる。

なお、世界の VO にどのような資源があるのかを記述するメタデータ交換機構は、先に述べた OAI-PMH を利用したものをそのまま用いた。

4.3 連携試験結果 (1) : JVO → 海外 VO

上記各機能を組み込んだプロトタイプ 3 は、2004 年 12 月から動作し始め米国等の VO との連携が成功した。本論文執筆時点 (2005 年 1 月) で、日本、米国、フランス、カナダ、スペインの各サーバのメタデータを JVO のレジストリサーバに取り込むことができている。VO は英国においても構築されているが、英国のプロジェクト (AstroGrid [16]) では IVOA 標準を独自に拡張した CEA (Common Execution Architecture) を使用したゲートウェイになっているため取り込めない。

表 1 カニ星雲データへの検索時間

Table 1 Time to query data of the Crab Nebula

波長	サーベイ名	サーバ	時間 (秒)
X 線	Chandra	cda.harvard.edu	1.715
赤外線	2MASS	mercury.cacr.caltech.edu	3.536
電波	VLA	adil.ncsa.uiuc.edu	7.115

プロトタイプ 3 を用いてどの程度の時間で世界のサーバに存在する天体データを取得できるかを調べるため、カニ星雲の X 線、赤外線、電波のデータ取得を試みた。取得に際して使用した JVOQL2 は以下のものである。

```
SELECT *
FROM サーバ
WHERE region = BOX ( (83.633212, 22.014460),
                    0.2, 0.2)
```

各波長にサーバに対する検索時間を表 1 にまとめた。ここで表示しているのは複数回のアクセスを試みた中での最短時間である。

これらの検索を複数回繰り返してみた。X 線や赤外線画像の取得時間には大きな差は見られなかった。しかし電波画像の取得時間は多くの場合 7 秒ほどであったが、時として 30 秒程度かかることがあった。この電波画像サーバは著名な公開画像サーバであるので、サーバへの負荷によってアクセス時間が時として変動する可能性が考えられる。しかしながら米国の東海岸 (Harvard - マサチューセッツ州)、中部 (NCSA - イリノイ州)、及び西海岸 (Caltech - カリフォルニア州) に分布する各サーバへのアクセス時間がほとんど待ち時間がないと言える時間であることが明らかになり、国際的に連携した VO が天文研究に有用であることが分かった。

4.4 連携試験結果 (2) : 海外 VO → JVO

JVO から海外 VO にアクセスするだけでなく、海外 VO から JVO に登録されているリソースが見えるかどうかの確認を行った。確認作業は、英国 Astro-Grid [16] のレジストリブラウザ及び米国 NVO [17] の Searchable Registry に JVO のリソースが登録されていることによって確認した (図 6)。この画面は下記の URL にアクセスすることによって確認可能である。
http://hydra.star.le.ac.uk:8080/astrogrid-registry/browse.jsp?version=0_10&IvornPart=jvo
このことから、JVO と海外 VO との間における各

The screenshot shows the AstroGrid Registry Browser interface. At the top, there are two 'AstroGrid' logos. Below them, the page title is 'Registry Browser'. On the left, there is a navigation menu with options like 'Server', 'Home', 'Admin', 'Investigate', 'IVORN', 'Lookup', 'Browse', 'Query', 'Keyword', 'Query', 'Register', 'Enter', and 'Resource'. The main content area shows the version '0.9' and a search for 'IVORNs including: jvo'. Below this, there is a table listing resources.

Title	Type	AuthorityID	ResourceKey	Up
JVO Publishing Registry	vg:Registry	o	publishingregistry	200-16
JVO Publishing Registry	vg:Registry	jvo	publishingregistry	200-21
the Subaru/XMM-Newton Deep Survey (SXDS) SkyNode Service	sn:OpenSkyNode	jvo/skynode	svds	200-20
Subaru/XMM-Newton Deep Survey 01	sn:OpenSkyNodeJ	jvo/skynodej	svds	200-20
JVO	vr:Organisation	jvo	jvo	200-18
the Subaru/XMM-Newton Deep Survey (SXDS) SIA Service	sia:SimpleImageAccess	jvo/siap	svds	200-20
JVO Authority	vg:Authority	jvo	null?!	200-21

図 6 AstroGrid のレジストリブラウザから JVO のリソースを見たスナップショット。

Fig.6 A Snapshot of JVO Resources observed from the AstroGrid Registry Browser.

種リソースの共有機構が確立できたことが分かる。

5. まとめと今後の方針

プロトタイプ 3 では、これまでの開発で構築した JVOQL を始めとする成果だけでなく、国際連携に基づき他国の VO プロジェクトと共同開発した各種プロトコル (例: SIAP – Simple Image Access Protocol) をも取り込み、海外 VO との連携試験に成功した。海外 VO への検索時間は長くても 1 分以内と十分に実用に耐える待ち時間であることが分かった。これにより世界の VO 間での相互の各種計算機資源 (データ、サーバ機能等) が可能となる。

しかしながら課題もある。現状での計算資源共有は公開データベースに限定されている。VO を利用することが普及すると、公開前の自分の観測データも VO で処理したいという要請が出てくると予想される。この場合は、商業的価値がないとは言え、データの学術的な価値や観測提案者のアイデアを保護するためにもセキュリティ面に配慮したシステムに進化させる必要がある。また、研究を進めるためには天文研究者が普

段利用している各種解析ツールも VO の上で利用できるようにするための共通インターフェースの開発が求められている。今後はこれらの課題を踏まえながら JAXA/ISAS のデータベース接続も含めた大規模な実用 VO システムの構築を進め、天文学におけるデータグリッド機能の実現によって多くの天文学的成果が出ることを体現に取り組んでゆきたい。

最後に JVO の基本的機構は、天文学にとどまらず、データベースを活用する他の研究分野にも応用可能であることを指摘しておきたい。研究分野ごとにデータベースに格納している属性値やデータ保護の考え方は異なるが、巨視的に見れば共通の枠組みが利用できると思われる。

謝辞

これまでの研究開発を支えていただいた国立天文台スタッフの方々に深く感謝致します。本研究は、文部科学省科学研究費補助金特定領域研究「情報学」(15017289,16016292) 及び独立行政法人日本学術振興会先端研究拠点事業による支援を得た。

文 献

- [1] 田中昌宏, 白崎裕治, 本田敏志, 大石雅寿, 水本好彦, 安田直樹, 増永良文, "JVO プロトタイプシステムの開発", DEWS2004, <http://www.ieice.org/iss/de/DEWS/proc/2004/paper/6-C/6-C-03.pdf>, 2004 年 3 月.
- [2] 白崎裕治, 田中昌宏, 本田敏志, 大石雅寿, 水本好彦, 安田直樹, 増永良文, "天文学 DB 用検索言語仕様の考察", DEWS2004, <http://www.ieice.org/iss/de/DEWS/proc/2004/paper/6-C/6-C-03.pdf>, 2004 年 3 月.
- [3] 本田敏志, 白崎裕治, 田中昌宏, 大石雅寿, 水本好彦, 安田直樹, 増永良文, "JVO の研究開発 -プロトタイプの概要-", DEWS2004, <http://www.ieice.org/iss/de/DEWS/proc/2004/paper/I-9/I-9-05.pdf>, 2004 年 3 月.
- [4] <http://www.globus.org/>
- [5] <http://www.sec.co.jp/products/karearea/>
- [6] <http://www.openarchives.org/OAI/openarchivesprotocol.html>
- [7] <http://www.sdss.jhu.edu/htm/>
- [8] 武田 伸悟, 伊達 進, 下條 真司, "グリッドファイルシステム GSI-SFS", 情報処理学会研究報告 2003-OS-93, 沖縄, pp. 97-104, 2003 年 5 月.
- [9] <http://www.stsci.edu/public.html>
- [10] <http://www.ivoa.net/>
- [11] <http://www.ivoa.net/twiki/bin/view/IVOA/WebHome>
- [12] http://www.ivoa.net/twiki/bin/view/IVOA/IvoaVOQL#ADQL_0_9
- [13] <http://www.ivoa.net/Documents/latest/SIA.html>
- [14] <http://www.ivoa.net/Documents/latest/STC.html>
- [15] <http://www.ivoa.net/twiki/bin/view/IVOA/IvoaVOQL#SkyNode>
- [16] <http://www.astrogrid.org/>
- [17] <http://us-vo.org/>

Abstract In astronomy several Virtual Observatory (VO) projects are underway aiming at connecting various astronomical databases and computing resources in the world. Japanese Virtual Observatory (JVO) project aims at including various catalogs and images taken by the SUBARU and other telescopes based on international cooperation. Standardized protocols are indispensable for interoperable VOs. We have primarily contributed to the standardization of an integrated query language to access federated databases. We implemented the third generation prototype of JVO by using these standard protocols, and succeeded in cooperating with other VOs. This is a good example of a data grid application.

Key words Astronomical Databases, Meta-Data Management, Grid Computing, International Federation, and Standardization