

# GRIDによる天文学統合データ解析システムの研究・開発

研究代表者 大石 雅寿 国立天文台・天文学データ解析計算センター  
研究分担者 水本 好彦 国立天文台・光赤外天文研究部  
安田 直樹 東京大学・宇宙線研究所  
白崎 裕治 国立天文台・天文学データ解析計算センター  
大江 将史 国立天文台・天文学データ解析計算センター

## 概要

日本版ヴァーチャル天文台 (JVO) のプロトタイプ第 2 版を構築し、データグリッド環境が天文学の発展にとって極めて有効であることが示された。また他国 VO との連携を目指したプロトタイプ 3 が他 VO との接続に成功し、実用システムを構築するための大きな関門をクリアできた。

## 1 はじめに

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。2003 年度の研究開発においてはこの問題点を解消して実用に耐える機能を実現することを主目的とした。年度途中の 6 月には新規構成員 (白崎) が加わり、研究開発推進体制も強化された。

## 2 研究開発成果の概要

プロトタイプ 2 の構築-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。このコマンドではデフォルトとして 30 秒の待ち時間が組み込まれており、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 GTK3 に含まれている Grid Services を活用する方針を取った。そ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。

また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。Figure 1 にプロトタイプのプロック図を示す。

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個々のテーブルを検索するための 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レジストリに問い合わせ解決す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。

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

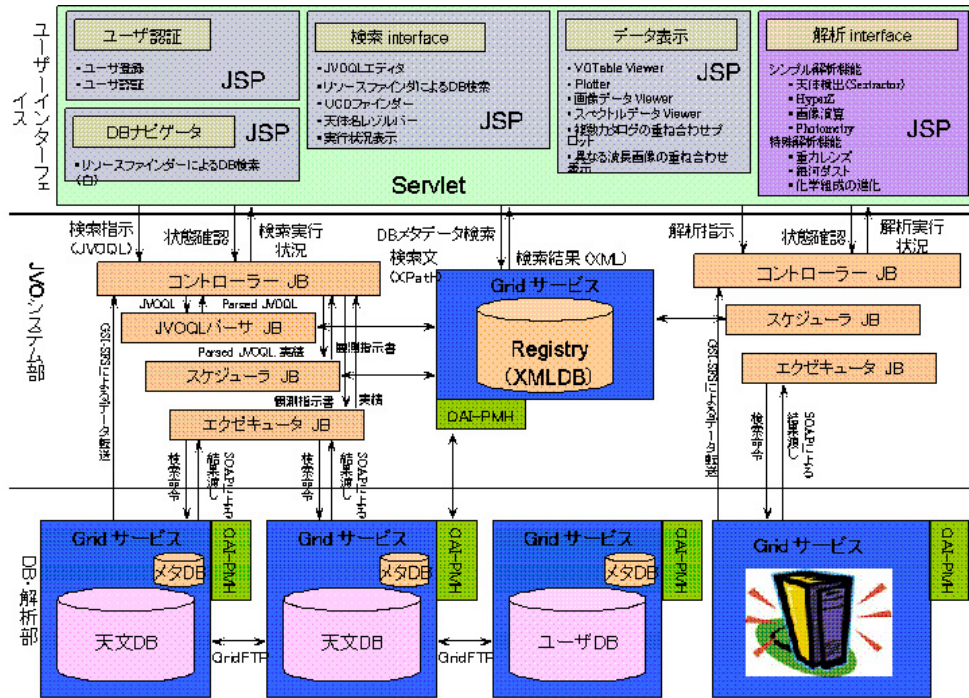


図 1: Architecture of JVO prototype 2. Note that the prototype has not been connected to other VOs yet.

りを 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 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) によって実現した。

データ転送機能は GTK3 が提供する RFT (Reliable File Transfer) と A05 班が開発した GSI-SFS によって実現した。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。

### 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。二重像候補探索は従来の手法では数時間以上かかるが、JVO では数分で可能であることが分かった。このように情報技術を天文学に導入することが、当初の予想通り、研究の進展にとって極めて有効であることが示された。

### 4 他国の VO との連携に向けて

国際標準の策定 Virtual observatory は現在 15 の国と地域で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 Observartory Alliance (IVOA) [1] 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。

プロトタイプ1で定義した JVOQL は、IVOA における連携 DB（現状ではカタログ DB）へのアクセス言語の基盤として採択され、多少の機能向上を行ったのち Astronomical Data Query Language として標準化された。日本だけでなく、米国、英国及び欧州の各 VO は ADQL をそれぞれのプロトタイプに組み込むこととなった。

連携試験結果 我々は上記 ADQL を組み込んだプロトタイプ3の開発を今年度途中から開始し、米国等の VO との相互接続を目指した。本報告執筆時点で、他国 VO との連携が一部成功している。連携が可能な機能が一部に限定されているのは、他 VO が実装した（しつつある）機能との互換性が各種要因により取れていないことが主たる理由であるが、各国との調整を進めながら互換性を確保できる見通しが得られている。

国際交流 JVO プロトタイプの研究成果は、GRID 関連の複数の国際学会における招待講演の結果非常に高い評価を受け、我が国の GRID 関連活動を国際的に公表することができた。その結果、以前にも増して国際交流が活発となり、我々が各国を訪問して意見交換をするだけでなく、2004年12月にはフランス・CDS 所長、2005年2月には米国 JHU の研究グループが我が国を来訪することが決定している。また2005年5月には京都に世界の VO 研究者が結集して VO 関連プロトコルの標準化等について議論する会議を主催することとなっている。

## 5 終わりに

プロトタイプ3では、これまでの開発で構築した成果だけでなく、国際共同を進めている他国の VO プロジェクトが開発した各種プロトコル（例：SIAP – Simple Image Access Protocol）をも取り込んで開発を進めている。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。今後は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すると同時に、大規模な実用システムの構築に取り組んでゆきたい。

これまでの研究開発を支えていただいた特定領域研究「情報学」関係者、国立天文台スタッフ、また日本学術振興会に深く感謝致します。国立天文台データベース天文学推進室の田中昌宏さん、川野元聡さん、同天文台光赤外研究部の本田敏志さん、お茶の水女子大学の増永良文さん、株式会社富士通およびセックの皆様にはプロトタイプ的设计や実装に当たり大変お世話になりました。

## 参考文献

[1] <http://www.ivoa.net/>.

## 研究成果（主要なもののみ）

### 研究発表

- Yoshida, M., Yasuda, N., et al. (20人中20番目): “Subaru Deep Spectroscopy of the Very Extended Emission-Line Region of NGC 4388: Ram Pressure Stripped Gas Ionized by Nuclear Radiation”, *Astronomical Journal*, Vol. 127, pp.90-104, 2004.
- Iye, M., Yasuda, N., et al. (84人中82番目): “Current Performance and On-Going Improvements of the 8.2 m Subaru Telescope”, *Publications of Astronomical Society of Japan*, Vol. 56, pp.381-397, 2004.
- Kodama, T., Yasuda, N., et al. (32人中31番目): “Down-sizing in galaxy formation at  $z \sim 1$  in the Subaru/XMM-Newton Deep Survey (SXDS)”, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Vol. 350, pp.1005-1014, 2004.

- Fukugita, M., Yasuda, N., et al. (8人中2番目): “Spatial Variations of Galaxy Number Counts in the Sloan Digital Sky Survey. I. Extinction, Large-Scale Structure, and Photometric Homogeneity”, *Astronomical Journal*, Vol. 127, pp.3155-3160, 2004.
- Abazajian, K., Yasuda, N., et al. (153人中147番目): “The Second Data Release of the Sloan Digital Sky Survey”, *Astronomical Journal*, Vol. 128, pp.502-512, 2004.
- 水本好彦: “オンライン・オフライン協調システム”, *SS研ニュースレター選集 2004*, pp.11, 2004年5月.
- Sakamoto, T., Shirasaki, Y. et al. (39名中10番目): “High Energy Transient Explorer 2 Observations of the Extremely Soft X-Ray Flash XRF 020903”, *The Astrophysical Journal*, Vol. 602, pp.875-885, 2004.
- 石原康秀, 水本好彦, 大石雅寿: “仮想天文台のシステム構築”, *FUJITSU*, Vol. 55, No. 2, pp.133-138, 2004.
- 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: “バーチャル天文台 JVO プロトタイプシステムの開発”, *DBSJ Letters*, Vol. 3, No. 1, pp.81-84, June 2004.
- Barraud, C., Shirasaki, Y. et al. (17名中8番目): “The E-Peak Distribution of the GRBs Detected by HETE FREGATE Instrument”, *GAMMA-RAY BURST AND AFTERGLOW ASTRONOMY 2001: A Workshop Celebrating the First Year of the HETE Mission*, pp.AIP Conference Proceedings, 662, 59-62, 2003.
- Tanaka, M., Mizumoto, Y., Ohishi, M., Shirasaki, Y., Honda, S., Yasuda, N., Masunaga, Y., Ishihara, Y., Abe, K., Tsutsumi, J., Nakamoto, H., Kobayashi, Y., Yoshida, Y., Morita, M.: “Development of the Japanese Virtual Observatory (JVO) prototype”, *SPIE, Optimizing Scientific Return for Astronomy through Information Technologies*, pp.286-293, 2004.
- Quinn, P., Barnes, D., Csabai, I., Cui, C., Genova, F., Hanisch, R., Kembhavi, A., Kim, S. C., Lawrence, A., Malkov, O., Ohishi, M., Pasian, F., Schade, D., Voges, W.: “The International Virtual Observatory Alliance: Recent technical developments and the road ahead”, *SPIE, Optimizing Scientific Return for Astronomy through Information Technologies*, pp.137-145, 2004.
- Yuji Shirasaki, Masahiro Tanaka, Satoshi Honda, Yoshihiko Mizumoto, Masatoshi Ohishi, Naoki Yasuda, Yoshifumi Masunaga, Masafumi Oe: “Structured Query Language for Virtual Observatory”, *Astronomical Data Analysis Software & Systems XIX*, pp.in press, 2004.
- Masahiro Tanaka, Yuji Shirasaki, Satoshi Honda, Yoshihiko Mizumoto, Masatoshi Ohishi, Naoki Yasuda, Yoshifumi Masunaga, Yasuhide Ishihara, Katsumi Abe, Jumpei Tsutsumi, Hiroyuki Nakamoto, Yuusuke Kobayashi, Tokuo Yoshida, Yasuhiro Morita: “Japanese Virtual Observatory (JVO) prototype 2”, *Astronomical Data Analysis Software & Systems XIX*, pp.in press, 2004.
- William O’Mullane, Tamas Budavari, Vivek Haridas, Nolan Li, Tannu Malik, Masatoshi Ohishi, Alexander Szalay, Aniruddha Thakar, Ramon Williamson: “OpenSkyQuery & OpenSkyNode - the VO Framework to Federate Astronomy Archives”, *Astronomical Data Analysis Software & Systems XIX*, pp.in press, 2004.

- Yuji Shirasaki: “Standard Query Language for VO”, IVOA Interoperability Meeting in Pune, India, 2004.
- Yuji Shirasaki: “ADQL/s Syntax (Proposal) - towards unification of ADQL, SIAP, SSAP, SXAP...”, IVOA Interoperability Meeting in Boston, USA, 2004.
- Matsuoka, M., Shirasaki, Y. et al. (39 名中 6 番目): “The Gamma-Ray Burst Alert System and the Results of HETE-2”, *Baltic Astronomy*, 13, 201–206, 2004.
- 白崎裕治, 松崎英一, 水本好彦, 安田直樹, 田中昌宏, 矢作日出樹, 長島雅裕, 小杉城治, 柏川伸成, 垣本史雄, 荻尾彰一: “すばる望遠鏡によるコスミックストリングの探査 II”, 日本物理学会春季大会, 2004.
- 高梨直紘, 土居守, 諸隈智貴, 安田直樹: “Ia 型超新星の多色データを用いた距離決定法”, 日本天文学会春季年会, 2004 年.
- 関口和寛, 水本好彦, 安田直樹 他 29 名: “Subaru/XMM-Newton Deep Survey (SXDS)”, 日本天文学会春季年会, 2004 年.
- 諸隈智貴, 土居守, 安田直樹, 高梨直紘: “Subaru Deep Field (SDF) に存在する変光天体とその性質”, 日本天文学会春季年会, 2004 年.
- 安田直樹, 土居守, 柏川伸成: “すばる望遠鏡による遠方超新星の発見: 観測のまとめ”, 日本天文学会春季年会, 2004 年.
- 大石雅寿, 水本好彦, 白崎裕治, 田中昌宏, 本田敏志, 安田直樹, 増永良文 他 5 名: “JVO の研究開発 (国際連携と全体進捗)”, 日本天文学会春季年会, 2004 年.
- 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 他 5 名: “JVO の研究開発 (プロトタイプ 2 の実装)”, 日本天文学会春季年会, 2004 年.
- 本田敏志, 水本好彦, 大石雅寿, 白崎裕治, 田中昌宏, 安田直樹, 増永良文 他 5 名: “JVO の研究開発 (プロトタイプ 2 のデモンストレーション)”, 日本天文学会春季年会, 2004 年.
- 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 他 10 名: “JVO の研究開発 (コスミックストリング探査への応用)”, 日本天文学会春季年会, 2004 年.
- 白崎裕治, 大石雅寿, 水本好彦, 田中昌宏, 本田敏志, 大江将史, 安田直樹, 増永良文: “JVO の研究開発 (汎用検索言語の検討)”, 日本天文学会秋季年会, 2004 年.
- 田中 薫, 白崎裕治 他 10 名: “HETE-2 がとらえた赤道上空での粒子数異常増加現象 (3)”, 日本天文学会秋季年会, 2004 年.
- 前當未来, 白崎裕治 他 14 名: “HETE-2 衛星による軟ガンマ線リピータの観測”, 日本天文学会秋季年会, 2004 年.
- 河合 誠之, 白崎裕治 他 28 名: “HETE 2 衛星の観測運用状況 – 2004 年春から現在まで”, 日本天文学会秋季年会, 2004 年.
- 鈴木素子, 白崎裕治 他 17 名: “HETE-2 衛星が観測したガンマ線バーストの本体と残光の関係”, 日本天文学会秋季年会, 2004 年.

- 中村 京子、白勢 健一郎、井上 剛毅、水本 好彦: “PC クラスターの構築と観測データ表示並列処理ソフトウェアの試作”, 日本天文学会秋季年会, 2004 年.
- 水本好彦: “天文における分散大量データとマイニング (招待講演)”, 日本 SGI HPC Open Forum, 2004 年.
- Masahiro Tanaka, Yuji Shirasaki & Satoshi Honda: “Japanese VO prototype system and applications to Astrophysics (招待講演)”, IVOA Small Projects Meeting in Pune, India, 2004.

#### 報道

- 大石雅寿, 水本好彦: “国立天文台銀河 100 万のデータベースを公開”, NHK ニュース, 6 月 1 日 19 時.
- 大石雅寿: “日本のデータベース研究最前線「世界中から観測可能なバーチャル天文台」”, 月刊 DB マガジン, 2004 年 10 月号 152-153 ページ.
- 水本好彦: “自宅 PC から世界の天文データを解析 バーチャル天文台構想”, ITmedia News, 2004 年 9 月 13 日.
- 大石雅寿: “ヴァーチャル天文台”, 朝日新聞, 2004 年 8 月 28 日夕刊.