

JVOのALMAデータサービス

川崎 渉

〈国立天文台チリ観測所 〒181-8588 東京都三鷹市大沢2-21-1〉

e-mail: wataru.kawasaki@nao.ac.jp



川崎



江口

江口 智士

〈福岡大学理学部物理科学科 〒814-0180 福岡県福岡市城南区七隈8-19-1〉

e-mail: satochieguchi@fukuoka-u.ac.jp

ALMAは南米チリに建設された世界最大のミリ波・サブミリ波干渉計である。2015年6月現在、サイクル0, 1で占有期間が終了したデータおよび試験観測データが、世界3カ所のALMA地域センターから一般公開されている。これらのアーカイブデータはインターネットを通じて誰もがアクセス可能であり、データ量・利用者数・アーカイブを用いた研究成果のいずれもが着実に増加している。一方、気軽にアクセスできるというわけにはいかない現状がある。というのも、最終的なALMAの画像データは空間2次元に周波数、さらに偏波情報が加わった3ないし4次元のデータキューブであり、サイズがどうしても巨大になるうえに、多次元の天文画像データを簡単に閲覧できるソフトウェアがほとんど存在しないからである。そこで国立天文台では、天文データセンターとチリ観測所が協力し、ヴァーチャル天文台JVOを通じて誰もが気軽にALMAの3次元画像データにアクセスできるサービスを、世界に先駆けて提供してきた。本稿では、JVOによるALMA望遠鏡のアーカイブデータ配信サービスについて紹介する。

1. はじめに

ALMA（アタカマ大型ミリ波サブミリ波干渉計）望遠鏡は、南米チリ・アタカマ高地に建設された66台のアンテナからなる巨大な電波望遠鏡であり、ミリ波・サブミリ波干渉計としては世界最高の感度と分解能を備えている。2011年より開始した観測は基本的に公募制に基づいており、観測されたデータは較正と画像化処理が施された後、チリ・サンチアゴ中央オフィスのシステムからインターネット経由で東アジア・北米・欧州のALMA地域センター（以下、ARC）に設置され

た各アーカイブシステムに転送される。東アジアALMA地域センター（以下、EA-ARC）は国立天文台三鷹キャンパス内にあり、日本国内からはここにアクセスするのが効率的である*1。データのアクセス権は、まずは観測提案者のみに与えられ、12カ月が経過するとデータは一般に公開される。2015年6月現在、サイクル0、およびサイクル1の一部、そして科学評価（試験）観測（Science Verification: 以下、SV）の、天体数にして1,000件近いデータが公開されており、世界中の誰もがアクセス可能になっている。

さて、この公開されたALMAデータであるが、

*1 <https://almascience.nao.ac.jp/>

その大部分を占めるサイクル0のデータについては、ファイル数・サイズともに巨大なので注意が必要である。サイクル0データの観測プロジェクトごとのファイルサイズは典型的に150ギガバイト（中央値）、大きなものでは1テラバイトを超える。FITS画像だけではなく、画像化する前のビジビリティーデータ（生データおよび較正済みのもの）も含まれている。サイズが大きすぎるため、数個から数十個のファイルに分割されており、たとえ1枚のFITS画像を見るためであっても、すべてのファイルをダウンロード・展開しなければならない。これではなかなか、気軽にFITS画像を見ようという気にはなれない。ただし、サイクル1以降、およびSVデータ*2では配布方法が改善され、FITS画像とビジビリティーデータが別々のファイルに分けて公開されるようになったので、FITS画像へのアクセスは簡単になった。

SVおよびサイクル1以降のデータについて、FITS画像だけダウンロードできるので安泰かという点、残念ながらそうはいかない。ALMA望遠鏡は性能向上のための努力が現在も続けられており、それに伴って将来、データサイズが再び深刻な問題になることが確実である。2015年6月現在、すでに単体で6ギガバイトを超えるFITS画像が公開されているが、いずれはテラバイト級のFITS画像が出現すると予想される。1テラバイトのファイルをあえてダウンロードしようとするれば、転送速度を5 Mbps（世界の平均値）*3として約2日半、通信を日本国内に限定（10-15 Mbps程度）したとしても1日前後を要する。どうしてもこのデータが必要だという場合ならともかく、ちょっと気軽に様子を見てみたいという希望はあえなく打ち砕かれることになる。

もう一つ、ALMAから生み出されるデータが高次元であることに起因する問題がある。空間2次元に、周波数と、近い将来にはさらに偏波が1次元ずつ加わって、3ないし4次元のデータキューブという形になる。別にALMAに限らず、電波天文学者にとってデータキューブは当たり前の存在であり、彼ら・彼女らはそれを特定の方向に沿って積分したり切り出したりして、さまざまな図を作成する。しかしながら、データキューブに馴染みのない人がALMAのアーカイブ画像を見るとき、データキューブであること自体がハードルである。データキューブを自由に閲覧するためのソフトウェアは、フリーで現在もメンテナンスされているものとなると、ほとんど思い当たらないのが実情である*4。

2. JVOのALMAデータサービス

上記の問題を克服して、誰でも気軽にALMAの公開画像データにアクセスできる仕組みを提供するために、国立天文台では、すでにすばる望遠鏡データなどの公開の実績をもつ天文データセンターとALMAに携わるチリ観測所とが協力して、国立天文台のヴァーチャル天文台（以下、VO）システムJVO（Japanese Virtual Observatory）を通じたALMAのFITS画像の配信サービスを構築し、2012年秋、世界に先駆けて公開を開始した¹⁾。ここではJVOのALMAデータサービスについて紹介し、具体的な利用方法を解説する。

2.1 巨大な画像データの見せ方：絞り込みとビニング

ダウンロードが不可能なほど巨大なFITSデータキューブを公開するにあたって、ユーザーが気軽にアクセスできるようにするにはどうしたら良いだろうか？

*2 サイクル0同様の配布スタイルから、FITS画像のみダウンロードできるスタイルに切り替わりつつある。

*3 <http://www.akamai.com/dl/content/q4-2014-soti-report.pdf>

*4 Karmaのkvisは2006年頃を最後に更新されていない。最新版のDS9は3D表示に対応しているが、例えば位置-速度図を描くには専用ツールを別途入手して起動時に読み込ませる必要があるなど、簡単ではない。

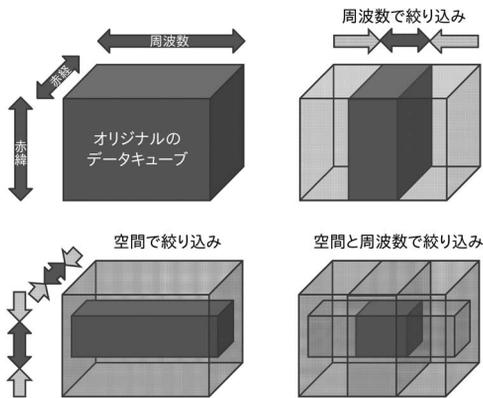


図1 データキューブの切り出し．空間方向・周波数方向に興味のある部分のみに絞り込めば，データサイズを小さくすることができる．

まず，サーベイ的な目的でない限り，データキューブがカバーする空間・周波数範囲のすべてが必要になることはまれである．むしろ，その中の一部の空間領域，一部の周波数領域のみに関心があるという場合がほとんどだろう（図1）．

次に，スペクトル情報は詳しく知りたいが空間的な解像度は低くても構わないとか，逆に，詳細な空間分布が必要だがスペクトル情報は大雑把で良い，あるいは，極端な場合には空間情報のみ，またはスペクトル情報のみが欲しいなど，いろいろな状況がありうる．元のデータサイズが巨大であっても，解像度を必要最低限に下げれば，その分当然だがデータサイズも小さくできる（図2）．

それならば，ユーザーがデータキューブの中から興味ある一小部分をストレスなく迅速に探し出すことができ，その部分のみを，かつ，必要最小限の解像度に落としてデータサイズを小さくしたうえでダウンロードできれば便利ではなかろうか．ダウンロードしたデータキューブは，ユーザーの手元でより詳細に閲覧・解析ができると良い．JVOと日本のALMAコンピューティンググループで検討した結果，このようなサービスを開発・提供することにした．

2.2 JVO-ALMAサービスの概要

JVOによるALMAデータサービスは，JVO

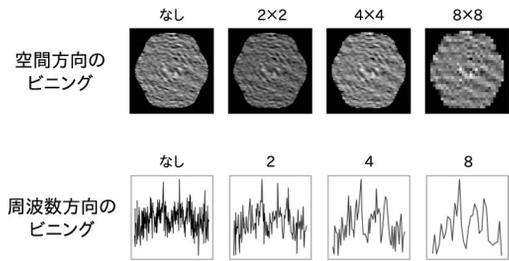


図2 空間・周波数方向のビンニング．空間を $(m \times m)$ ピクセルずつビンニングすればデータ量は $(1/m^2)$ に，周波数を n チャンネルずつビンニングすれば $(1/n)$ になる．両者ともにビンニングすれば $(1/m^2n)$ になる．データサイズを抑えるもう一つの手段である．

ポータル（ユーザーの入り口となるウェブサイト）に加えて，データキューブを閲覧するための2種類のFITSビューアー ALMAWebQL と Visage（詳細は2.5節で）から構成される．

EA-ARCに新しい公開データが送られると，それらは1日以内に自動的にJVOにコピー・展開され，FITSファイルが取り出される．次いで，取り出したFITSデータをビンニングし，データサイズを縮小し解像度を下げたFITSファイルを2次的に生成する．すなわち，空間方向に $(m \times m)$ ピクセルずつ，周波数方向に n チャンネルずつとして（図2参照）， m ($=1, 2, 4, 8, 16, \dots$) と n ($=1, 2, 4, 8, 16, \dots$) の値の様々な組み合わせに対応する多数のFITSファイルを作成するのである．

JVOのALMAデータサービスの最も特長的な機能は，ALMAWebQL（以下，WebQL）というWebベースのFITSビューアーによって，巨大なデータキューブをダウンロードすることなくウェブブラウザ上で閲覧でき，さらに絞り込みや解像度を調整してデータサイズを十分小さくしたうえで，必要な部分のみをユーザーの手元にダウンロードできることである．WebQLはJVOポータルと一体化した形で提供されており，ユーザーは特段の準備も必要なく利用できる^{*5}．一方，VisageはダウンロードしたALMAのFITSデータをより詳細に閲覧するためのスタンドアロン型の

FITSビューアーで、別途インストールする必要がある。

典型的な使い方として、(1) JVOポータルで目的のALMAデータを検索し、(2) WebQLでクイックルックしてから必要な部分を絞り込んでダウンロードし、(3) Vissageを用いて詳しく観察する、という流れを想定している。必要ならば、VissageからJVOポータルやWebQLに簡単に戻ることができる。

2.3 使用例1: JVOポータルで検索

それでは例として、有名な活動銀河NGC 1068のALMAデータを探してみよう*6。ウェブブラウザでJVOポータル*7を開くとService Contentsというページが表示される。SV以外のデータ(NGC 1068はこちら)にアクセスするにはALMA Archiveへのリンクをクリックする。

ALMA Archiveページには、Target Name, Project Code, Coords, Frequency, Desktop Viewerという五つのタブが表示されており、ALMAデータの一覧や検索などができる。NGC 1068のデータを探すにはCoordsタブをクリックし、Center Coords or Target Name欄にNGC 1068と入力*8する(Search Radiusは初期値の10"のままでよい)。Searchボタンをクリックすると検索が行われ、結果が一覧表示される。この表の中の天体名(NGC 1068)をクリックすると、NGC 1068に関するALMAデータの一覧(Target Info)が表示される。表の中のdata type列でintensity cubeとなっているものが空間・周波数の情報をもつデータキューブであり、リンク(ALMA01001176)をクリックするとこのデータキューブの詳細情報が表示される。

2.4 使用例2: WebQLでクイックルック

データキューブの詳細情報ページに表示された

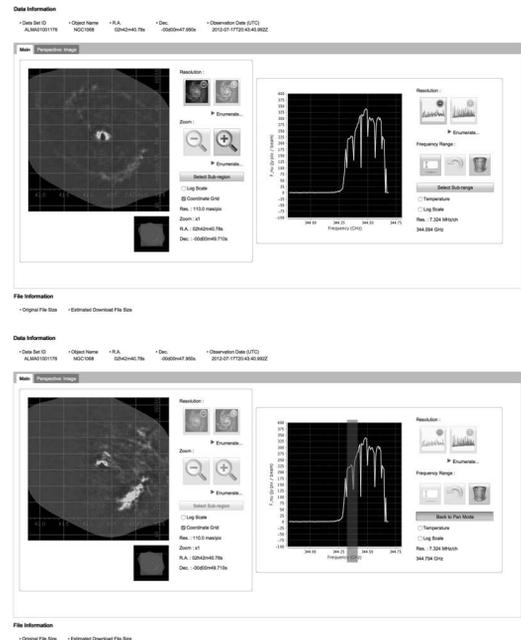


図3 WebQLの画面(上)と表示周波数帯を変更している様子(下)。上: イメージ・ビュー(左側)とスペクトル・ビュー(右側)から構成される。下: スペクトル・ビューの周波数帯選択機能を用いてCOの速度場の空間分布を確認しているところ。

Web QLボタンを押すと、WebQLが起動する(図3上)。画面の左半分が画像を表示するイメージ・ビューで、右半分がスペクトルを表示するスペクトル・ビューである。データキューブをスペクトル・ビューに表示(または選択)されている周波数範囲で積分した画像(積分強度図)がイメージ・ビューに表示され、逆にイメージ・ビューに表示されている空間領域で積分したスペクトルがスペクトル・ビューに表示される。また、イメージ・ビュー上でマウスをドラッグすると表示領域を移動させることができる。各々のビューのResolutionの+ボタンをクリックする

*5 Internet Explorerでは動作を保証していない。FirefoxやChrome, Safariなどを使用されたい。

*6 本稿を読みつつ、ぜひ実際に操作していただきたい。

*7 <http://jvo.nao.ac.jp/portal/>

*8 NEDに登録されている天体ならば座標の代わりに天体名で検索することもできる。

と、より分解能の高いデータキューブを表示できる。両方のビューの+ボタンを数度押し、空間・周波数ともに最大の分解能のデータを表示させてみよう。今の例ではイメージ・ビューに表示される画像はCO輝線 ($J=3-2$) の積分強度図であり、中心付近にリング構造が確認できるだろう。

WebQLの強力な機能として、スペクトル・ビュー上で周波数範囲を指定し、その幅を固定したまま中心周波数を変化させ、強度図の変化を対話的に確認することができる(図3下)。スペクトル・ビューのSelect Sub-range ボタンをクリックし、マウスで範囲を選択すると、選択された範囲が薄紫色の帯で表示される。この帯を左右にドラッグすると、それにあわせてイメージ・ビューの画像が変化する。この機能を用いて、天体の速度構造を大まかに把握することができる。NGC 1068の例では、COガスが北西-南東方向を軸として回転している様子が直感的に確認できる。

WebQL上に表示されている情報は、画面下部のPrint ボタンを押すことで印刷することができる。また、Download Viewing FITS ボタンを押すことで、全データキューブのうち現在表示されている部分のみを切り出してダウンロードすることもできる。その場合、ダウンロードされるFITSファイルの大きさはせいぜい数百メガバイトである。WebQLの詳細な使い方は、「ALMAWebQLの使い方」^{*9}を参照されたい。

2.5 FITSビューアー Vissage

Vissage²⁾ (VISualisation Software for Astronomical Gigantic data cubEs, 発音はヴィサージュもしくはヴィサージ^{*10}) は、誰でも簡単にデータキューブを閲覧できるようにするための新しいFITSビューアーである。WebQLとは異なりスタンドアロン型なので、ユーザーは自分のノートパソコンなどにインストール^{*11}して用い

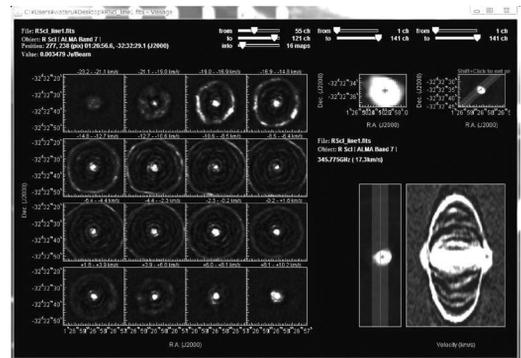


図4 Vissageのスクリーンショットの一例。AGB星 R SclのALMA データを表示している。右上の二つが積分強度図(片方は拡大表示)。右下は位置-速度図でその方向は右上隅の積分強度図上で決定している。左側にはチャンネルマップを配置している。慣れれば、この程度の図なら1分程度で描けるだろう。

る。まだ開発途上のため未完成の部分も多いが、以下のような機能を実装している：

(1) FITSデータキューブの簡単な操作と表示: WebQLが現在、積分強度図とスペクトルのみであるのに対し、Vissageではモーメント図・チャンネルマップ・位置-速度図など、より多彩な表示をサポートする。ユーザーの負担を減らすため、例えばFITSファイルのアイコンをドラッグ&ドロップすれば表示できるなど、極力簡単に直感的に操作できるよう配慮している。

(2) JVOとの連携: 表示中のALMAデータを元にJVOに接続してWebQLを起動したり、ピンニングの異なるALMAデータ、さらに同じ領域のすばるデータを取得し即座に表示できる。

(3) 自由なレイアウトによる複数表示: 2次元画像と異なり、データキューブの表示方法は多彩である。また、VOは本質的に多波長であり、VOとの連携を標榜する以上、複数の波長帯や望遠鏡からのデータの併存は自然なことと言える。

^{*9} <http://jvo.nao.ac.jp/vos2015a/webql/almawebql.pdf>

^{*10} 1980年代英国の音楽グループ・ヴィサージに触発された命名。ただしsを重ねて英単語にない名前にした。

^{*11} JVOサイト <http://jvo.nao.ac.jp/download/Vissage/> からダウンロードできる。

同じデータに対する異なる種類の表示同士や、他の波長帯・異なる望遠鏡の画像データとの比較がしやすいよう、複数の図を自由なレイアウトで配置・表示することができる(図4)。将来的には、ALMA以外のデータへの対応、より多彩な表示、JVO以外のVOとの連携、作図機能などを充実させていきたいと考えている。

3. 利用状況と今後の展望

最後に、ALMAアーカイブデータを用いた論文統計³⁾に触れつつ、本稿を締めくくりにしよう。ALMAアーカイブデータを用いた論文数は、SVデータを用いた論文が順調に増加しているのに対し、それ以外のデータを用いた論文は、全世界を合わせてもまだ比較的少ない。これは、前述のようにサイクル0のFITS画像へのアクセスが簡単でないことも一因であろうと推察される。この点で、JVOのALMAデータサービスは、現在のところ、サイクル0を含めたすべての公開ALMAデータのFITS画像が簡単に閲覧・取得できる世界で唯一のサービスである。今後、ALMAの稼働に伴いアーカイブデータの蓄積が進み、質・量ともに増大すれば、データ資源としての価値も着実に増していく。日本の天文コミュニティにおいても、ALMAのアーカイブデータの活用が盛んになることを大いに期待したい。

謝辞

JVO-ALMAデータサービスは、国立天文台の白崎裕治、小宮悠(現・東京大学)、小林剛志、Chris Zapart、川口俊宏(現・札幌医科大学)、小杉城治、大石雅寿、水本好彦の各氏との共同作業により構築されました。ALMAの論文統計に

ついては、ヨーロッパ南天天文台(ESO)のFelix Stoehr氏から情報を提供していただいたほか、国立天文台の森田英輔、立松健一の両氏からも情報・助言をいただきました。JVOのALMAサービスは、ALMA側からFITSファイルの提供を受けて成り立っています。ALMAデータ作成に携わった合同ALMA観測所や各ARCのスタッフ、すべての関係者に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) Eguchi S., et al., 2014, in Proceedings of ADASS XXIII, eds. Manset N., Forshay P., ASP Conference Series 485, 7
- 2) Kawasaki W., et al., 2014, in Proceedings of ADASS XXIII, eds. Manset N., Forshay P., ASP Conference Series 485, 285
- 3) Stoehr F., 2015, private communication

JVO-ALMA Data Service

Wataru KAWASAKI¹⁾ and Satoshi EGUCHI²⁾

1) National Astronomical Observatory of Japan, 2-21-1 Osawa, Mitaka, Tokyo 181-8588, Japan

2) Department of Applied Physics, Faculty of Science, Fukuoka University, 8-19-1 Nanakuma, Jonan-ku, Fukuoka 814-0180, Japan

Abstract: Public ALMA data, available from websites of the ALMA Regional Centres (ARCs), have been producing scientific results as their amount increases. However, their hugeness and high dimensionality can be hurdles for newcomers. To promote casual access to the public ALMA data, the Japanese Virtual Observatory (JVO), in collaboration with the East-Asian ARC, distributes ALMA FITS cubes together with ALMAWebQL for quick look and Vissage for flexible viewing. We introduce the ALMA data service run by JVO.