

ミリ波分子分光データの解析ソフトウェアの開発

井上 舞*・土橋 一仁*・高木 知里*・秋里 昂*・大江 佑香*

宇宙地球科学分野

(2008年5月26日受理)

INOUE, M., DOBASHI, K., TAKAGI, C., AKISATO, K. and OOE, Y.: Development of reduction software for millimeter-wave radio astronomy. Bull. Tokyo Gakugei Univ. Natur. Sci., 60: 25-36. (2008) ISSN 1880-4330

Abstract

We have developed two types of software for astronomy to analyze the molecular emission line data standardized to the Flexible Image Transport System (FITS) format. One is the Gakugei Baseline Fitting System (GBFITS) to apply baseline fitting to the molecular data, and the other is the Astronomical Image Display & Analysis system (AIDAS) to display 2D images reduced using GBFITS. We developed the software using the “Interactive Data Language” (IDL) which is a popular computer language in the field of astronomy. The widget function with the Graphical User Interface (GUI) prepared in IDL has made the software easy to use and sufficient to analyze and display complex astronomical data.

Key words: widget, spectroscopy, radio astronomy, image processing

Department of Astronomy and Earth Sciences, Tokyo Gakugei University, 4-1-1 Nukuikita-machi, Koganei-shi, Tokyo 184-8501, Japan

要旨: 本研究では、天文分野に広く普及している Flexible Image Transport System (FITS) の形式に統一された分子分光データを、画一的に解析するための2つのソフトウェアの開発を行った。一つはベースラインフィッティングを行うソフトウェア Gakugei Baseline FITting System (GBFITS) であり、もう一つは GBFITS で整約を行ったデータをイメージとして表示する Astronomical Image Display & Analysis System (AIDAS) である。開発には、高度な画像処理を手軽に行えるコンピュータ言語 Interactive Data Language (IDL) のウィジェット機能を使用した。Graphical User Interface (GUI) の要素が強いウィジェット機能を使用することにより、データの解析・表示をより高速かつ効率良く行うことが可能となった。

1. はじめに

内部のガスが分子の状態にある密度の高い星間雲を、星間分子雲という。分子雲は星形成の場として銀河系の中でも重要な役割を果たしている。星間分子雲の温度や

密度といった物理量を調べることは、その内部での星形成過程を解明する上で重要である。

星間分子雲中の一酸化炭素 (CO) 等の分子からは、ある特定の周波数を持つ輝線スペクトル (低い回転遷移による) が放射されている。電波望遠鏡による分子分光観

* 東京学芸大学宇宙地球科学分野 (184-8501 小金井市貫井北町 4-1-1)

測では、そのような輝線スペクトルを検出・解析することにより、分子雲内でのガスの総量、速度場、温度、および密度といった物理量を推定することができる¹⁾。

このように、分子分光観測は分子雲の特性を知る上で大変重要な研究手段である。しかし、観測によって得られるデータのフォーマットは観測所毎に異なり、その解析ソフトウェアも各観測所が独自に開発していることが多い。このため、異なる観測所間でのデータの交換や解析作業も、データフォーマットの変換などの煩雑さを伴う。

本研究では、近年天文分野に広く普及している Flexible Image Transport System (FITS) というデータフォーマットに統一されたデータを、画一的に解析するための汎用性の高いソフトウェア群の開発を行った。このソフトウェア開発には、天文分野に広く普及しているコンピュータ言語 Interactive Data Language (IDL) を使用した。IDLには、1) Operating System (OS) に依存しない、2) 対話形式処理を行える、3) 高度な画像処理を行える、等の特徴がある。IDLの導入により、汎用性の高いソフトウェアの開発を、短期間で容易に行うことが可能となった。また、Graphical User Interface (GUI) の要素が強いウィジェット機能を使用することで、簡単な操作で整約・解析を行うことができるようになった。

観測・解析には多様なソフトウェアが必要であるが、本研究ではベースラインフィッティングを行う Gakugei Baseline FITting System (以後 GBFITS)、および、GBFITS で整約を行ったデータをイメージとして表示する Astronomical Image Display & Analysis System (AIDAS) の2つのソフトウェアの開発を行った。この2つのソフトウェアは、名古屋大学の4 m電波望遠鏡用解析ソフトウェアである DRS 及び ccmmap を基に作成した²⁾。DRS 及び ccmmap はC言語で記述されているため、本研究ではこれらのソフトウェアを IDL で書き直した。開発したプログラムの計算手順の詳細について、第2章で述べる。本研究のまとめを第3章に示す。

2. 開発したソフトウェアの概要

一酸化炭素 (CO) 等の星間分子は、低い回転準位間の遷移による輝線スペクトルを、ミリ波～サブミリ波帯に放射する。そのような輝線スペクトルは、図1のような電波望遠鏡により観測される。電波望遠鏡の受信機により検出された輝線スペクトルは電波分光計により分光され、横軸周波数、縦軸電波強度という形式の分光データが得られる (図2 a)。分子輝線毎に決まっている静止周波数からのズレをドップラー効果を用いて視線速度に変換し、レイリー・ジーンズの法則を仮定して電波強度を

温度スケールに変換する。このように、ミリ波～サブミリ波帯の分子分光データは、視線速度対アンテナ温度の形式で得られるのが一般的である³⁾ (図2 b)。

本研究では、このような分子分光データを解析・表示するためのソフトウェアを2つ開発した。1つは分光データから輝線スペクトルを抽出する (ベースラインフィッティング) ためのソフトウェア GBFITS であり、もう一つは各観測点毎に得られた輝線スペクトルのデータから、積分強度等の分布を計算し表示するための AIDAS である。これらの開発は、主に IDL のウィジェット機能を用いて行った。以下に、開発した2つのソフトウェアの概要を述べる。GBFITS のモジュール一覧及びフローチャートをそれぞれ表1及び図3に示す。また、



図1 野辺山45m電波望遠鏡 (国立天文台提供)

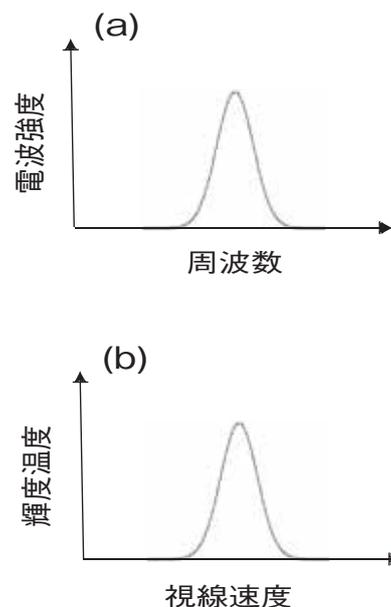


図2 分子分光観測によって得られるデータ。(a) 分光計により、電波強度を周波数の関数としたデータが得られる。(b) ドップラーシフトにより、横軸の周波数を視線速度に変換する。また、縦軸の電波強度は、レイリー・ジーンズの法則によりアンテナ温度に変換する。

表 1 GBFITSのモジュール一覧

※	モジュール名	処理の内容
①	gbfits_readfits	Fitsファイルの読み込み。
②	gbfits_make_baseinfo	速度と温度を Fitsファイルから取得。
③	gbfits_raw_data_plot	生データのプロット。
④	gbfits_fitting_setting	フィッティング幅とベースラインの次数の設定。
⑤	gbfits_make_baseline	ベースラインの作成。
⑥	gbfits_make_reduced_data	生データからベースラインを引く。
⑦	gbfits_reduced_data_plot	整約データのプロット。
⑧	gbfits_auto_setting	指定範囲のデータの自動的な整約。
⑨	gbfits_gaussian_fitting	ガウシアンフィットをかける。
⑩	gbfits_make_psfile	PostScriptファイルを出力。
⑪	gbfits_writefits	整約データを FITS ファイルで保存。

※図3のフローチャート上での番号に対応する。

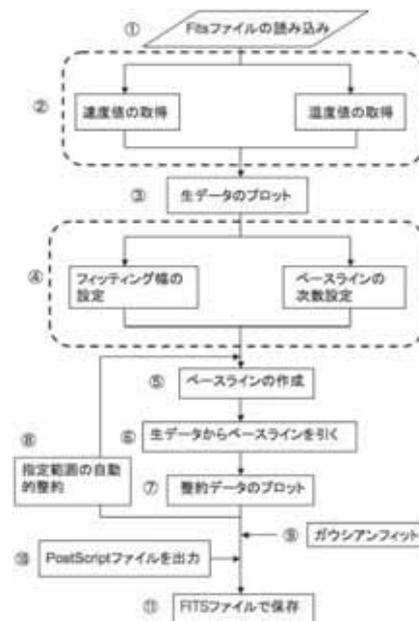


図 3 GBFITSのフローチャート ①～⑪の番号は、表 1 の各番号に対応している。

AIDAS のモジュール一覧及びフローチャートを表 2 及び図 4 に示す。

2. 1 Gakugei Baseline FITting System (GBFITS)

分子分光観測によって得られる生データには、星間雲からやってくる輝線スペクトルの他に大気による雑音や、望遠鏡の受信機自身が発生する雑音が含まれる⁴⁾。このようなバックグラウンドの影響により、実際に観測される生データは、傾いた形や、うねった形で得られるもの

が多い (例えば図 5)。GBFITS では、生データに含まれるバックグラウンドの除去を行い、輝線スペクトルを抽出する。これを、ベースラインフィッティングという。ベースラインフィッティングは、

- ①輝線スペクトルのない速度範囲 (フィッティングレンジ) を指定する。
- ②フィッティングレンジに、N次の最小二乗法を用いたフィッティングを行う。この作業により、ベースラインを決定する。

表2 AIDASモジュール一覧

※	モジュール名 ([]内はサブルーチン名)	処理の内容
①	aidas_readfits [aidas_make_2ddata]	Fitsファイルの読み出し。 2次元配列のデータの作成。
②	aidas_h_rewrite { aidas_coord_projection_setting [aidas_epoch_setting] aidas_g_setting aidas_e_setting }	座標の作成。 投影法の設定。 分点の設定。 銀河座標の作成。 赤道座標の作成。
③	aidas_displayarea_setting { aidas_make_displayarea [aidas_mouse_displayarea_event aidas_input_displayarea_setting] }	表示範囲の設定。 表示範囲の座標の作成。 マウスでの表示範囲の設定。 手入力での表示範囲の設定。
④	aidas_mask_make	マスクの作成。
⑤	aidas_data_mode_setting	イメージの表示モードの設定。
⑥	aidas_interpolation_setting [aidas_gaussian_interpolation]	データ値の補間。 ガウス補間を行う。
⑦	aidas_smoothing_setting { aidas_gaussian_smoothing aidas_median_smoothing aidas_average_smoothing }	イメージにスムージングをかける。 ガウシアンスムージングをかける。 メディアンスムージングをかける。 アヴェレージスムージングをかける。
⑧	aidas_color_setting { aidas_cstretch aidas_reverse_color_setting }	イメージのカラー設定。 コントラストの設定。 カラーの反転表示の設定。
⑨	aidas_contour_setting	イメージのコントラ設定。
⑩	aidas_display_setting	観測点の設定。
⑪	aidas_draw_image { aidas_draw_color_image aidas_plot_coordinate aidas_draw_contour aidas_draw_obspoint }	イメージの表示。 カラーイメージの表示。 座標系の表示。 コントラの表示。 観測点の表示。
⑫	aidas_point_source_display_setting { aidas_readfile aidas_plot_point_source }	点源の表示設定。 プロットファイルの読み込み。 点源の表示。
⑬	{ aidas_scale_plot aidas_beamsize_plot aidas_pcscale_plot aidas_show_coord_plot }	カラースケールの表示。 ビーム幅の表示。 パーセクスケールの表示。 緯線・経線の表示。
⑭	aidas_writesps	PostScriptファイルで出力。

※図4のフローチャート上での番号に対応する。

③生データからベースラインを差し引く。
という工程で行う。以後、本論文ではベースラインを差し引いたスペクトルのことを、“整約データ”と記す。
GBFITSでは、この整約を多数のスペクトルに対し自動的に行うことも可能である。また、輝線スペクトルに

ガウシアンフィットをかけることにより、輝線のピーク温度 Ta^* や半値幅 ΔV 等のガウシアンパラメータを調べることもできる。整約データは、PostScriptファイルとして出力することができる。また、FITSファイルとして保存することも可能である。

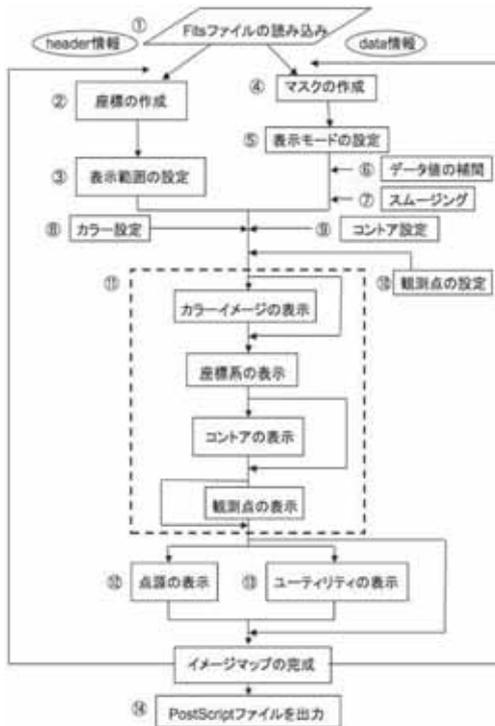


図4 AIDASのフローチャート。
①～⑭の番号は、表2の各番号に対応している。

以下の【1】～【7】に、整約手順の詳細をフローチャート(図3)及びモジュール一覧(表1)に沿って述べる。

【1】生データの読み込み

選択したFITSファイルから、モジュール“gbfits_readfits”により自動的にヘッダー及びデータ(3次元配列)を読み込む。これらの読み込みが完了した後、モジュール“gbfits_make_baseinfo”が起動する。“gbfits_make_baseinfo”では、はじめにヘッダーから天球座標の種類(銀河座標または赤道座標)、視線速度 V_{lsr} 、天体名等の情報を取得する。また、データからアンテナ温度や積分強度を取得する。データの単位が積分強度($K km s^{-1}$)で与えられている場合には、モジュール内でアンテナ温度(K)への変換を行う。次に、取得した座標値、アンテナ温度、視線速度を配列に格納する。視線速度 V_{lsr} は、1次元配列に格納する。また座標は、第1軸(x軸)に経度、第2軸(y軸)に緯度という形式の2次元配列に格納する。アンテナ温度 Ta^* は、座標値の2次元配列に、アンテナ温度 Ta^* を格納するための第3軸(z軸)を加えた3次元配列内に格納する。その後、モジュール“gbfits_raw_data_plot”により、横軸視線速度 V_{lsr} 、縦軸アンテナ温度 Ta^* のデータとして、画面にプロットする(図5)。

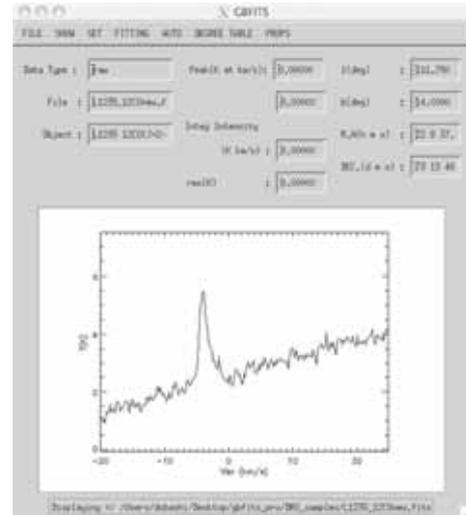


図5 GBFITSでの生データのプロット

【2】ベースラインの決定

設定したフィッティングレンジ、ベースラインの次数を元に、モジュール“gbfits_make_baseline”でベースラインを作成する。ベースラインの決定は、フィッティングレンジ内のデータを最小二乗法を用いてフィットすることにより行う。例として、 $-20 \sim -7 km s^{-1}$ 及び $3 \sim 20 km s^{-1}$ のフィッティングレンジを1次でフィットした様子を、図6に示す。同図の(*)印で示した実線が、作成したベースラインである。

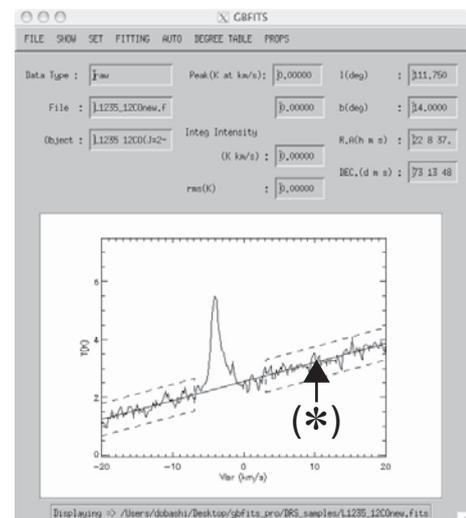


図6 作成したベースラインの例

【3】ベースラインを引いた輝線スペクトルの作成

【2】で決定したベースラインを生データから差し引き、輝線スペクトルのみを抽出したデータを作成する。この作業には、モジュール“gbfits_make_reduced_data”を用いる。このモジュール内では、ベースラインフィッティングで得られた輝線スペクトルのピークのアンテナ

温度、視線速度、積分強度、rmsの値を求める処理も行われる。整約データは、モジュール“gbfits_reduced_data_plot”により、画面上にプロットされる。その様子を、図7に示す。

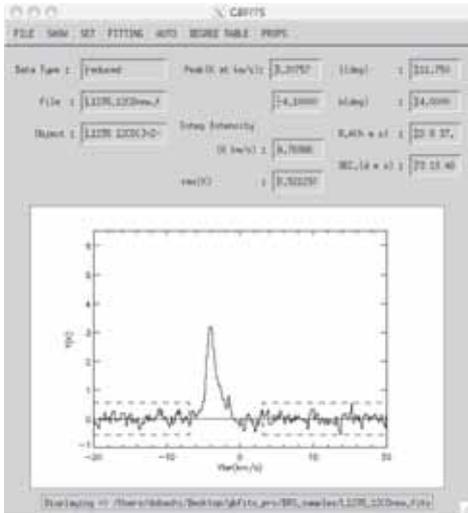


図7 GBFITSでの整約データのプロット

【4】指定した座標範囲の自動整約

モジュール“gbfits_auto_setting”では、【1】～【3】で述べた整約を、指定した座標範囲内の全データに対し自動的に行う。この処理を行うため、指定する座標範囲の左下端の座標値及び右上端の座標値を設定する。次に、The Astronomy User’s Library (天文用のIDLのライブラリ、URL : <http://idlastro.gsfc.nasa.gov/>) のプログラム“adxy”を用いて、2つ座標値を2次元配列のインデックス番号 (i, j), (i₂, j₂) にそれぞれ変換する。アンテナ温度が格納された3次元配列のx軸とy軸は、それぞれ経度と緯度に相当しているため、インデックス番号 i, j を指定することにより、そこに格納しているアンテナ温度 T_a* を取り出すことができる (図8)。そのため、インデックス番号 (i₁, j₁), (i₂, j₂) の範囲内に存在する i, j を順に指定することによって、各座標値ごとのアンテナ温度 T_a* を連続的に取り出すことができる。各アンテナ温度を取り出すたびに、モジュール“gbfits_make_reduced_data”に渡し整約を行う。実際に整約を行った様子を、図9に示す。

【5】ガウシアンフィッティング

モジュール“gbfits_gaussian_fitting”を用いて、抽出した輝線スペクトルに対しガウシアンフィットをかける。このモジュール内では、設定したガウシアンパラメータ (ピークのアンテナ温度 T_a*, 視線速度 V_{lsr}, 半値幅 ΔV) の初期値を用いて、プログラム“gaussian_fit_gbfits”に

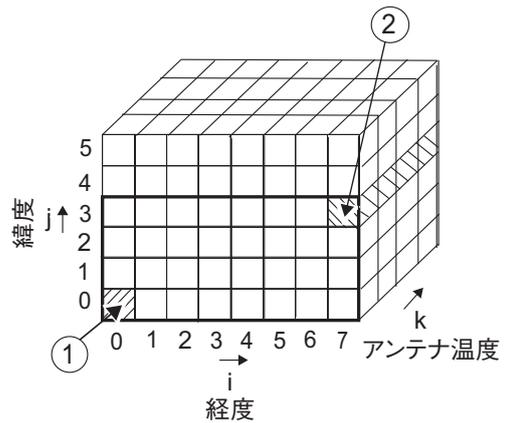


図8 自動整約を実行する範囲の説明

i, j, k はそれぞれ2次元配列のx軸 (経度), y軸 (緯度), z軸 (アンテナ温度) 方向のインデックス番号を表す。例として, (i₁, j₁)=(0, 0), (i₂, j₂)=(7, 3) を選択した場合は、それぞれ①右斜線部、②左斜線部のアンテナ温度の配列が選択される。

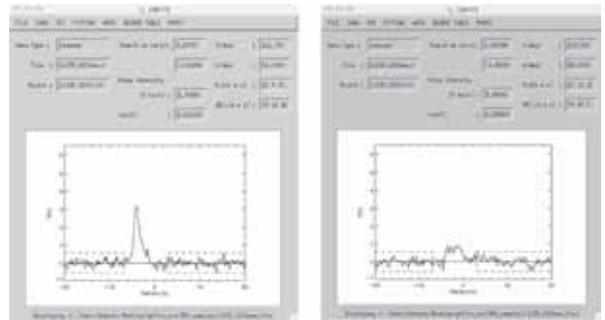


図9 自動整約を行ったデータの様子 (a)始めに整約されたデータ。(b)最後に整約されたデータ。

よりフィッティングされたガウス関数型のスペクトルを作成する。作成したガウス関数型のスペクトルは、輝線スペクトルにオーバープロットされる。更に、フィッティング後のガウシアンパラメータ (それぞれ図10内の①, ②, ③) も画面上に表示される。その様子を図10に示す。

【6】PostScript ファイルの出力

モジュール“gbfits_make_psfile”により、ドローウィジェット上に表示されている整約データと、そのデータの情報 (座標、ピークのアンテナ温度 T_a*, 積分強度値, rms 等) を PostScript ファイルとして出力する。実際に作成した PostScript ファイルは、図11のような形式で出力される。

【7】整約データの保存

モジュール“gbfits_writefits”により、整約データを FITS ファイルとして保存する。また、ベースラインをフィットする際に用いたフィッティングレンジやベース

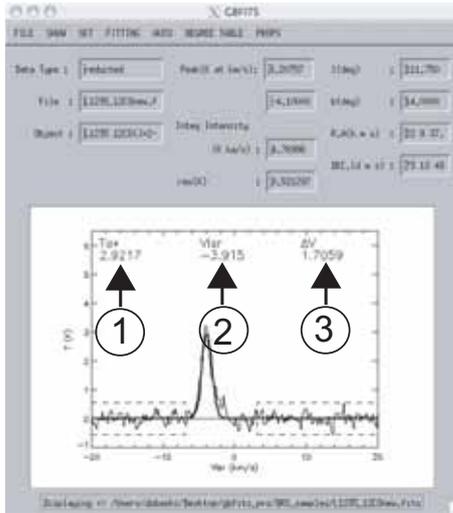


図10 整約データにガウシアンフィットをかけた様子

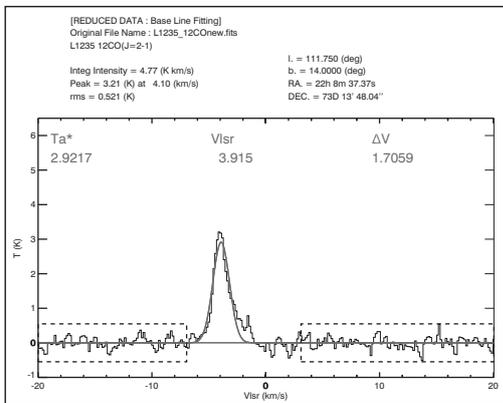


図11 GBFITSで出力した整約データのPostScriptファイル

ラインの次数の情報は、IDL形式のファイルとして保存される。

2. 2 Astronomical Image Display & Analysis System (AIDAS)

天文学において、高速かつ効率よくデータを解析するためには、データを視覚化することが重要となる。

IDLでは、イメージ表示ルーチンやコントア(等輝度線)表示等のルーチンが用意されている。AIDASでは、これらの機能を用いて、GBFITSで整約を行ったデータをイメージとして表示する(図12)。イメージ表示機能の他に、コントア表示、座標表示、観測点表示等、マップとして表示する際に必要な機能を使用することができる。また、赤外線天文衛星 InfraRed Astronomical Satellite (IRAS) 等によって検出された点源の重ね合わせ表示や、カラースケールや望遠鏡の角分解能(ビームサイズ)の表示を行うことができる。作成したイメージは、PostScriptファイルとして出力することが可能である。

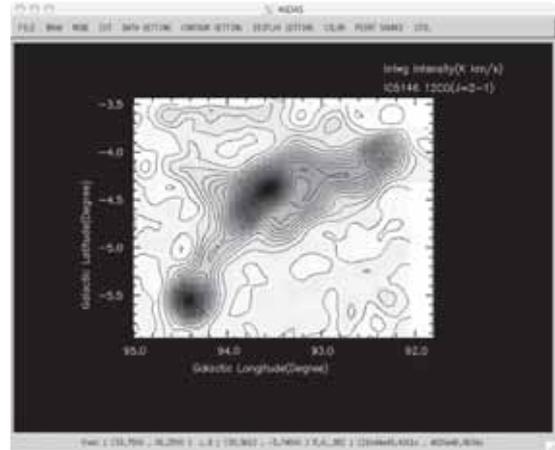


図12 GBFITSで整約を行ったデータをイメージとして表示した例

以下に、イメージの作成手順の詳細を、フローチャート(図4)及びモジュール一覧(表2)に沿って述べる。

【1】FITSファイルの読み込み

モジュール“aidas_readfits”により、自動的にFITS形式のヘッダー及びデータ(2次元配列または3次元配列)を読み込む。データが3次元配列の場合には、モジュール“aidas_make_2ddata”を用いて、2次元配列に変換する。

【2】座標の作成

ここでは、銀河座標または赤道座標の座標配列をヘッダーから作成する。ヘッダーには、座標系と投影法の種類を記載する部分があり、この部分の情報を元にモジュール“aidas_h_rewrite”で座標配列を作成する。このモジュールは、主に座標系と投影法の変更を行う“aidas_coord_projection_setting”, 座標配列を作成する“aidas_g_setting”, “aidas_e_setting”の3つのサブルーチンにより構成される。座標系または投影法を変更する場合は、“aidas_coord_projection_setting”を用いて、選択した座標系と投影法にヘッダー情報を変更する。変更を行わない場合には、元のヘッダー情報が反映される。ウィジェット上で赤道座標を設定した場合は、“aidas_coord_projection_setting”内の“aidas_epoch_setting”によりヘッダーの分点情報を変更する。その後、“aidas_e_setting”により赤道座標を作成する。一方、銀河座標を設定した場合は、“aidas_g_setting”により銀河座標を作成する。作成した座標配列は、2.1章の【1】と同様に、第1軸(x軸)に経度、第2軸(y軸)に緯度という形式の2次元配列に格納する。同じデータを銀河座標と赤道座標で表示した様子を、それぞれ図13a, bに示す。

【3】表示する座標範囲の設定

モジュール“`aidas_display_setting`”により、表示する座標範囲の設定を行う。設定は、2通りの方法で行うことができる。1つはマウスでドローウィジェット上をクリックする方法であり、もう一つは座標値を直接入力する方法である。マウスで設定を行う場合、サブルーチン“`aidas_mouse_displayarea_event`”を用いる。このサブルーチンでは、ドローウィジェット上でクリックしたポイントに当たるデバイス座標(ピクセル単位の座標)を、座標値を格納している2次元配列のインデックス番号に変換する。一方、座標値を直接入力する場合は、サブルーチン“`aidas_input_displayarea_setting`”を用いる。このサブルーチンでは、2.1章の【4】で使用したプログラム“`adxy`”により、座標値をインデックス番号に変換する。これら2つのサブルーチンにより得られたインデックス番号は、サブルーチン“`aidas_make_displayarea`”に引き渡される。このサブルーチンでは、元の座標範囲の2次元配列から、インデックス番号で指定した範囲を抜き出し、新たな座標範囲の2次元配列を作成する。表示範囲の設定前、設定後の様子を、それぞれ図14a, bに示す。

【4】マスクの作成

観測点以外のデータには、FITSファイルで定められた空白用の値が格納されている。この値が格納されている配列の部分に、以降の処理で扱わないように、同じ大きさのマスクの配列を作成する。後に説明する【6】、【7】、【11】の処理は、このマスクをデータにかけて行う。マスクは、モジュール“`aidas_mask_make`”を用いて自動的に作成する。

【5】表示モードの設定

【1】の処理で取得したデータは、基本的に積分強度(K km s^{-1})の単位で得られる。ここではモジュール“`aidas_data_mode_setting`”により、積分強度から他の単位に変換したデータを作成する。表示モードの種類は、積分強度図(単位は K km s^{-1} , 図15a)、ピーク温度図(単位はK, 図15b)等が選択できる。

【6】データの補間

観測が行われていない点が含まれるデータを、補間を行わずイメージ化すると、図16aのように表示される。この状態では構造が分かりにくいいため、モジュー

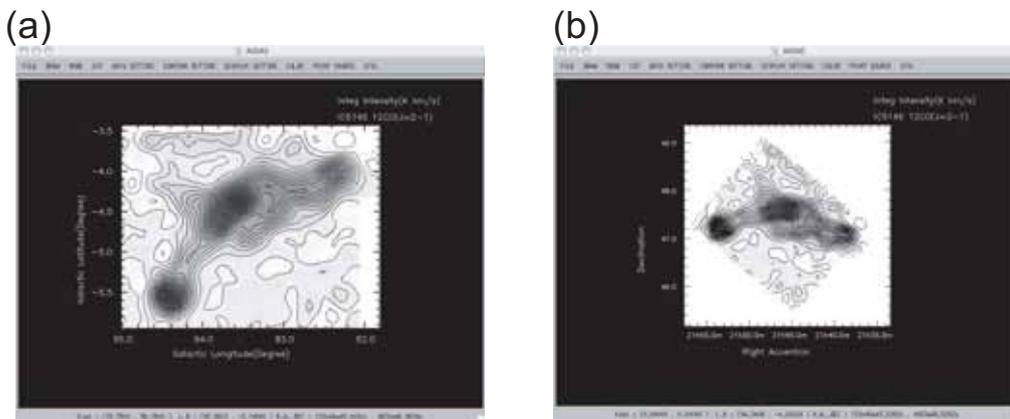


図13 (a) 銀河座標と (b) 赤道座標で表示した図

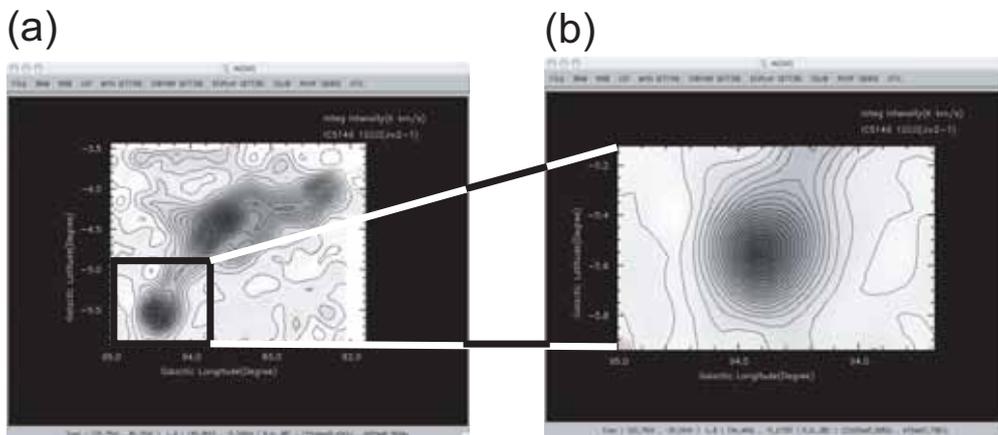


図14 (a)は拡大前の図であり、(b)は(a)の白枠で囲んだ部分を拡大して表示した図

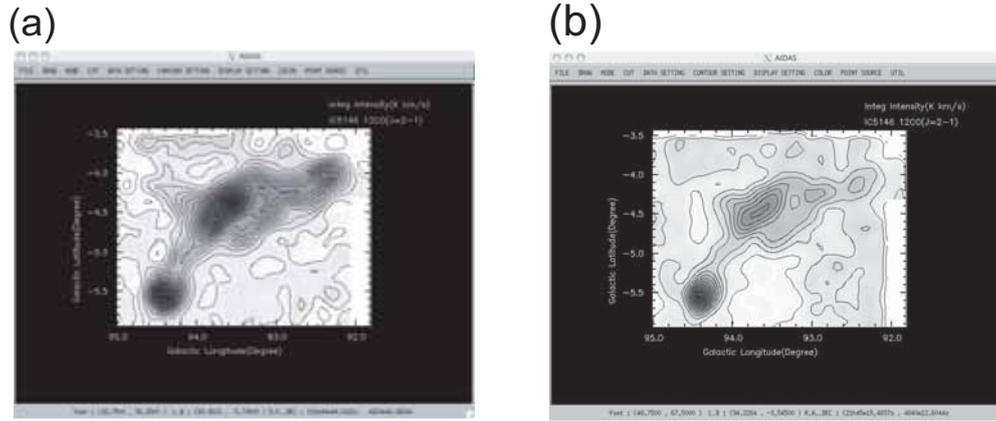


図15 (a)積分強度図 ($K \text{ km s}^{-1}$)と(b)ピーク温度図 (K)で表示した様子

ル “aidas_interpolation_setting” を用いて、データの補間を行う。现阶段では、サブルーチン “aidas_gaussian_interpolation” により、ガウシアン補間のみ行うことができる。図16bに、ガウシアン補間を行った例を示す。

【7】スムージング

ここでは、モジュール “aidas_smoothing_setting” を用いてスムージングを行う。このモジュールは、3つのサ

ブルーチン “aidas_gaussian_smoothing”, “aidas_median_smoothing”, “aidas_average_smoothing” により構成される。それぞれのサブルーチンで、ガウシアンスムージング、メディアンスムージング、アヴェレージスムージングを設定した範囲で行う。スムージング前のイメージ(図17a)に対して、ガウシアンスムージングを行った例を図17bに示す。

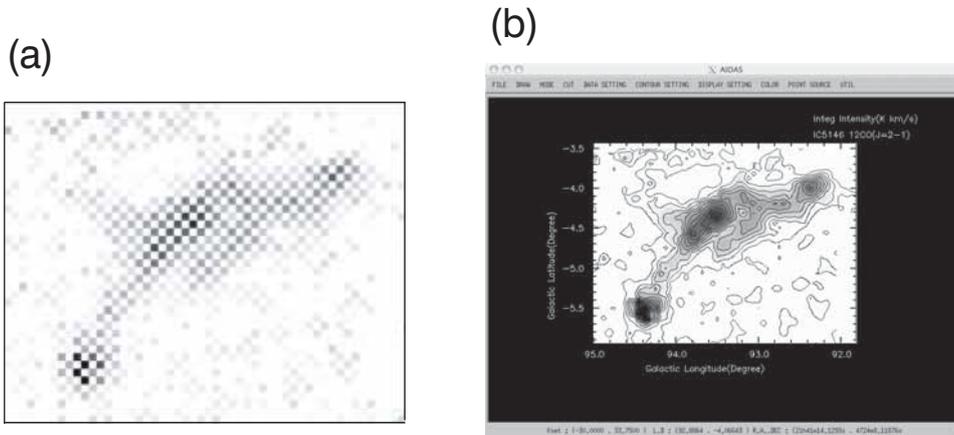


図16 (a)ガウシアン補間をかける前と(b)ガウシアン補間をかけた後の様子

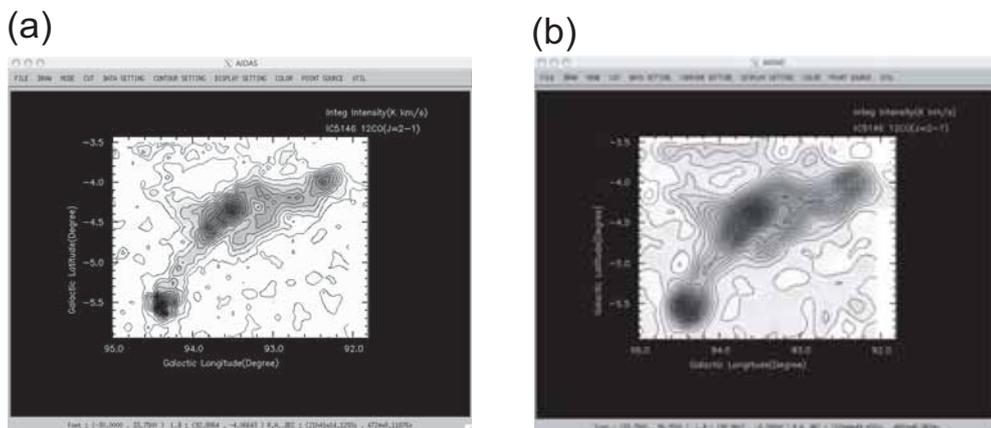


図17 (a) ガウシアンスムージングをかける前と (b) ガウシアンスムージングをかけた後の様子

【8】カラーの設定

ここでは、モジュール“`aidas_color_setting`”により、カラー、カラースケール、コントラスト、カラー反転の設定を行う。コントラストの調節には、モジュール内のサブルーチン“`aidas_cstretch`”を用いる。また、カラー反転の場合には、サブルーチン“`aidas_reverse_color_setting`”により、カラーテーブルの反転を行う。標準カラーのイメージ(図18a)に対して、カラーをグレースケールに変更したイメージを図18bに、コントラストの調節を行ったイメージを図18cに示す。

【9】コントアの設定

モジュール“`aidas_contour_setting`”により、コントアの間隔、線種、線の太さ、カラー等を設定する。通常の実線の他に、太線と破線を用いてコントアを表示した例を、図19に示す。

【10】観測点の設定

モジュール“`aidas_display_setting`”を用いて、観測点表示の有無、デバイス上の表示場所、観測点の形状やカ

ラーの設定を行う。図20に、イメージ上に観測点を表示した例を示す。

【11】イメージの表示

【2】～【9】までの設定から、モジュール“`aidas_draw_image`”により、イメージを表示する。このモジュールは、主にサブルーチン“`aidas_draw_color_image`”、“`aidas_plot_coordinate`”、“`aidas_draw_contour`”の3つのサブルーチンで構成される。“`aidas_draw_color_image`”では、IDLに用意されているイメージ表示ルーチンを用いて、カラーイメージを表示する。“`aidas_plot_coordinate`”では、2次元プロットルーチンにより、座標配列をプロットする。“`aidas_draw_contour`”は、コントア表示ルーチンにより、コントアを描く。これらのサブルーチンの組み合わせにより、コントア(図21a)、カラー(図21b)、カラー・コントア(図21c)のイメージを表示する。また、【10】で観測点の表示を行う設定にした場合は、【4】で作成したマスクを用いて、観測点をモジュール“`aidas_draw_obspoint`”によりプロットする。

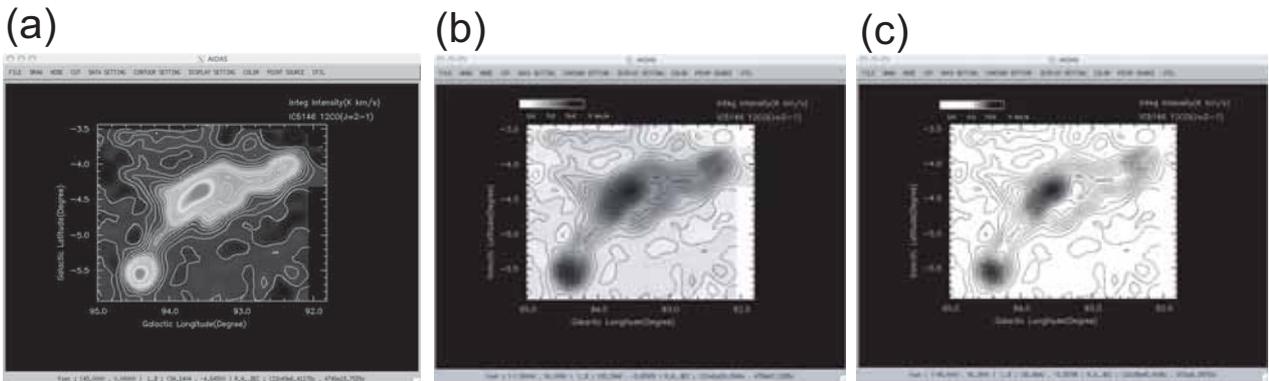


図18 (a)標準のカラーで表示した図(グレースケールで表示されているが、実際はカラーで表示される)
(b)グレースケール設定で表示した図 (c)コントラストを調節した図

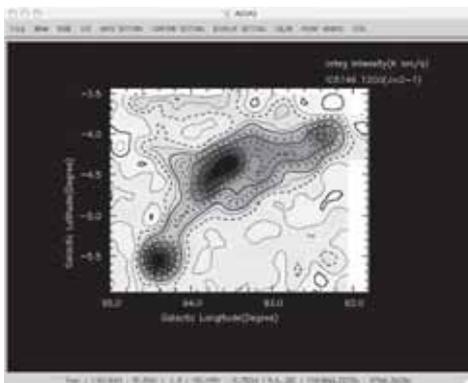


図19 コントア設定を行った様子。実線の他に、太線、破線でコントアを表示した。

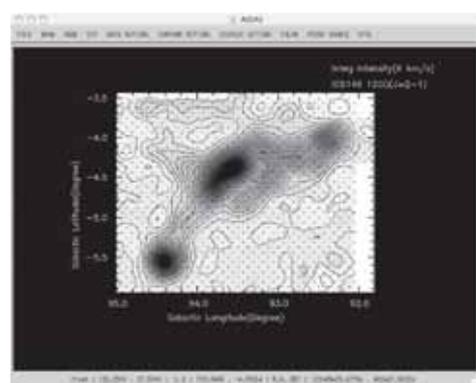


図20 観測点をプロットした図

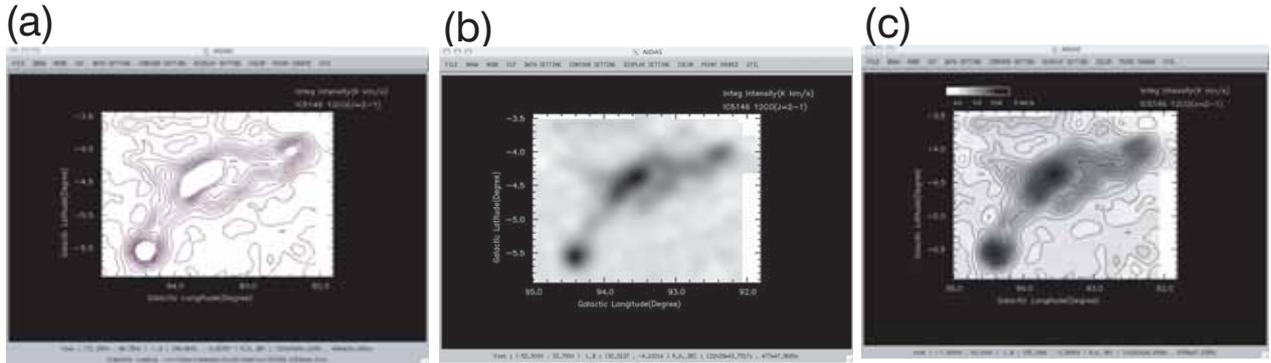


図21 (a) コントア図, (b) カラー図, (c) カラー・コントア図で表示した様子

【12】点源の表示

赤外線天文衛星IRAS等によって検出された点源の位置を、モジュール“`aidas_point_source_display_setting`”を用いて、イメージ上に重ね合わせて表示する。この処理を行うにあたり、天体名と座標値をコンマで区切った形式のテキストファイルを用意する(Appendixを参照)。このファイルを、サブルーチン“`aidas_readfile`”により読み込む。点源のサイズやカラーの設定後、サブルーチン“`aidas_plot_point_source`”により、点源をイメージ上に表示する。IRAS点源をプロットした様子を、図22に示す。

【13】ユーティリティの表示

ここでは、モジュール“`aidas_scale_plot`”, “`aidas_beamsize_plot`”, “`aidas_pcscale_plot`”, “`aidas_show_coord_plot`”により、それぞれカラースケール(図23の①)、ビームサイズ(図23の②)、パーセクスケール(図23の③)、経線・緯線をドローウィジェット上に表示する。

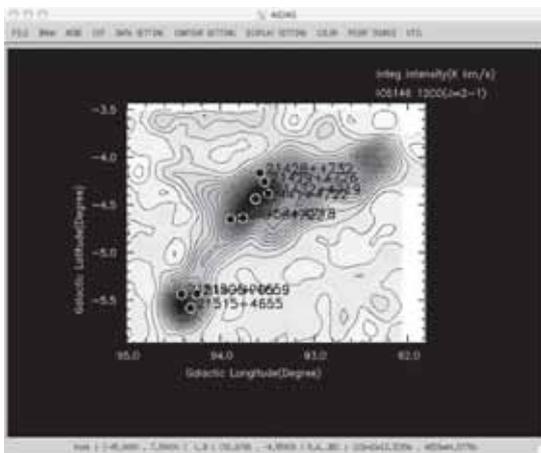


図22 IRAS点源をプロットした図

【14】PostScriptファイル出力

モジュール“`aidas_writesps`”により、ドローウィジェット上のイメージをPostScriptファイルとして出力する。作成したPostScriptファイルは、図23のような形式で出力される。

3. まとめ

本研究では、天文分野に広く普及しているFlexible Image Transport System (FITS) 形式に統一された分子分光データを、Interactive Data Language (IDL) のウィジェット機能を用いて解析することのできる2つのソフトウェアの開発を行った。これらのソフトウェアは、以下のような特徴を持つ。

- (1)IDLの導入により、Unix, windows, Mac OS 等で使用できる Operating System (OS) に依存しないソフトウェアとなった。
- (2)Graphical User Interface (GUI) の要素が強いウィジェット機能の使用により、簡単な操作で整約・解析を行える。

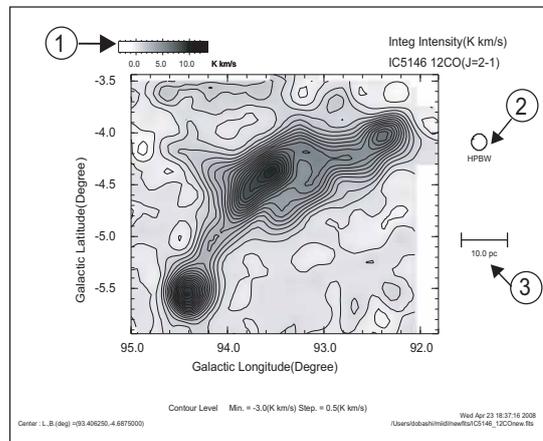


図23 各種ユーティリティを付けたPostScript File。

- ①カラースケール, ② ビームサイズ, ③ パーセクスケール

(3)Gakugei Baseline FITting System (GBFITS) では、生データからバックグラウンドを差し引き、天体の輝線スペクトルを抽出するベースラインフィッティングを容易に行える。

(4)Astronomical Image Display & Analysis System (AIDAS) では、GBFITSで整約を行ったデータをイメージとして容易に表示することができる。

このソフトウェア開発は、筆頭著者の井上舞が卒業研究として平成19年度に行ったものです。本論文を推敲するにあたり、有益な助言を頂きました西浦慎悟先生に感謝致します。また本研究を進めるにあたり、科学研究費補助金(課題番号18026003)及び伊藤科学財団(H19)の資金援助を受けました。ここに感謝致します。

Appendix

点源表示のためのテキストファイルの書式

ここでは、AIDASで点源の表示を行うために必要なテキストファイルの書式(フォーマット)について説明する。

(1) 座標系とデータフォーマットの決定

テキストファイルの1行目に、次の1~3のキーワードのいずれか一つを記入し、座標系とデータフォーマットを決定する。

1. mapplotLB1: 銀河座標。度単位で座標をファイルに書き込む。
2. mapplotAD3: 1950年分点の赤道座標。時分秒単位で座標をファイルに書き込む。
3. mapplotAD20003: 2000年分点の赤道座標。時分秒単位で座標をファイルに書き込む。

(2) データフォーマット

テキストファイルに、次の1~3のフォーマットで記入する。また、具体例をその下に示す。1行目に(1)のキーワードを記入する。2行目からは天体の名称、経度、緯度をカンマで区切って記入する(1天体につき1行)。カンマの前後にスペースを使用することも可能である。また、一行の長さ及びデータ数に上限は無い。

1. mapplotLB1
天体名, L(deg), B(deg)

2. mapplotAD3
天体名, HH, MM, SS.S, +(または-), dd, mm, ss.s
赤経のHH(時), MM(分), 赤緯のdd(度), mm(分)は整数型で記する。

3. mapplotAD20003
天体名, HH, MM, SS.S, +(または-), dd, mm, ss.s

(a)

```
mapplotLB1
21412+5000,94.974980,-2.1234782
21428+4732,93.580608,-4.1664524
21429+4726,93.530374,-4.2605125
21432+4719,93.492180,-4.3847128
21441+4722,93.626980,-4.4394085
21454+4718,93.762264,-4.6382553
21461+4722,93.893924,-4.6507811
```

(b)

```
mapplotAD3
21412+5000,21,41,15.8,+50,0,25
21428+4732,21,42,51.2,+47,32,55
21429+4726,21,42,59.2,+47,26,40
21432+4719,21,43,17.3,+47,19,30
21441+4722,21,44,6.2,+47,22,11
21454+4718,21,45,28.0,+47,18,13
21461+4722,21,46,6.6,+47,22,40
```

図24 点源表示のためのデータフォーマットの例。
(a) 銀経・銀緯で位置を示すデータフォーマットと (b) 赤経・赤緯(2000年分点)で位置を示すデータフォーマット。

引用文献

- 1) 小暮智一, 1994, 星間物理学, ごとう書房, pp.521-523
- 2) 大西利和, 1993, おうし座領域のC¹⁸O (J=1-0) 輝線による分子雲コアの観測, 名古屋大学大学院修士論文
- 3) 海田正大, 2005, 60cm電波望遠鏡の電波分光計の開発と光学及び電波指向性の評価, 東京学芸大学大学院修士論文
- 4) 赤羽賢司, 海部宣男, 田原博人, 1988, 宇宙電波天文学, 共立出版株式会社, pp.325-326