東京学芸大学リポジトリ
Tokyo Gakugei University Repository

木曽観測所2kCCDカメラのための星の自動検出プログラムの開発

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 公開日: 2009-04-06 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 小寺, 綾乃, 土橋, 一仁 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/2309/35445

東京学芸大学紀要 自然科学系　**57**　pp. 109～118, 2005

木曽観測所2kCCDカメラのための星の自動検出プログラムの開発

小寺　綾乃・土橋　一仁

宇宙地球科学*

（2005年5月27日受理）

KODERA, A. and DOBASHI, K.: Development of automatic star-identifying program for the 2kCCD camera at KISO observatory. Bull. Tokyo Gakugei Univ. Natur. Sci. **57**: 109−118 (2005)　ISSN 1880−4330

Abstract

We have developed a software to identify stars detected by the 2kCCD camera installed in the 105cm Schmidt telescope at KISO observatory, using the computer language IDL widely used in astronomical analyses. Based on the raw data provided by the camera, the software automatically creates a list of data files, and produce a common bias flame as well as flat flames and object flames according to the filters (UBVRI) used in the observations. In addition, stars detected in the object flames are automatically identified, and their flux densities are estimated through a 2D Gaussian fit. The software is also designed to perform easily the astrometry of the stars with an accuracy of ~1". The software developed here should be useful to produce a large-scale extinction map of dark clouds in various wavelengths (UBVRI) out of the data provided by the 2kCCD camera, because extinction is often measured by the star-count technique or the color-excess method both of which require a complete set of stars within a given region in the sky. (in Japanese)

Key words: KISO 2kCCD camera

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

1．はじめに

1998年以来，東京学芸大学天文学研究室では，全天を網羅する写真乾板をデジタル化したデータベースDigitized Sky Survey I（Lasker，1994：以後，DSS）を利用した暗黒星雲の全天探査に取り組んできた（上原，2002；上原ほか，2002；Dobashiほか，2005）。この研究では，天文学の伝統的な研究手法であるスターカウント法をDSSに適用することにより，銀緯−40°＜b＜40°の領域に含まれる全ての暗黒星雲の詳細な分布を描き出すことができた。

暗黒星雲には，星形成が起きる特に密度の高い領域（分子雲コア）や，周辺部の希薄な領域など，大きな密度ムラがある。また，暗黒星雲を取り巻く環境は銀河系内の場所によって異なるので，暗黒星雲内部に含まれるダストの性質（粒径分布や組成など）は，暗黒星雲毎に，あるいは暗黒星雲内部の場所毎に異なることが予想される。このようなダストの多様性は，暗黒星雲に含まれる星間塵（ダスト）による減光量の波長依存性（赤化曲線）の違いとして観測されるはずである。しかしながら，DSSに収録されているデータは，北天はRバンド，南天はBバンド，銀経が零に近い銀河面はVバンド，というように，天空の領域毎に単色のフィルターで撮影されたものである。このため，DSSを

＊　東京学芸大学（184-8501　小金井市貫井北町4−1−1）

用いた研究では，暗黒星雲内の星間塵の特徴である赤化曲線を調べることは出来ない。

そこで我々は，2000年頃より，東京大学木曽観測所の105cmシュミット望遠鏡に搭載された2kCCDカメラを利用して，暗黒星雲の多波長減光量マップを作成する試みを開始した。2kCCDカメラの視野は広く，天空の50’×50’程の領域を一度に撮像することができる。また，同カメラには，紫外線～近赤外線の波長帯をカバーする５つの広帯域フィルター（UBVRI）が整備されており，広がった天体の多波長測光観測を容易に行うことができる。この広視野・多波長撮像能力という2kCCDカメラの優れた特徴を活かせば，暗黒星雲内外での赤化曲線の２次元分布を描き出すことが可能となる。これまでに，我々は，暗黒星雲L1251（Lynds, 1962）等に対する４バンド（BVRI）での研究を行い（神鳥，2001；Kandoriほか，2003），濃密な暗黒星雲の内外でダストの光学的特徴が変化している可能性が高いことを見いだしている。

しかしながら，2kCCDカメラのデータの取り扱いは複雑である。特に，2kCCDのデータから個々の星を検出し，そのピクセル座標を天球座標に変換するための係数（プレート定数）の決定を簡単に実行できるソフトウェアは，これまで開発されてこなかった。バイアスフレームやフラットフィールドなどの基本的な処理についても，観測者がIRAF等の一般的な天文学用ツールを用いて，個別に，また，独自に行う場合が多いのが現状である。研究を効率良く進めるためには，2kCCDカメラに特化したソフトウェアを開発し，誰でも簡単に利用できるようにする必要がある。

以上を踏まえ，本研究では，2kCCDカメラのための自動解析プログラムの開発に取り組んだ。この研究で開発したプログラムを用いれば，バイアスフレーム・フラットフィールドの基礎的な処理を，観測日毎に自動的に行うことができる。また，星の検出も自動的に行える。さらに，プレート定数が既に測定されているDSSとの比較を行うことにより，2kCCDのプレート定数の決定を，半自動的に効率良く行うことができるようになった。

本開発は，同カメラによる暗黒星雲の多波長減光量マップの自動作成プログラムの実現を念頭に行った。ここで作成した一連のプログラムは，減光量マップのためのこのような自動プログラムの基礎となるものである。第２章では，暗黒星雲や減光量マップの基礎についてまとめた後，木曽観測所の105cmシュミット望遠鏡と2kCCDカメラについて紹介する。減光量マップの作成に必要なアルゴリズムや，本研究で開発したプログラムの詳細については，第３章で述べる。本研究のまとめを，第４章で述べる。

２．暗黒星雲と木曽105cmシュミット望遠鏡

２.１　暗黒星雲

銀河系内には約二千億個の恒星が存在し，恒星と恒星の間には水素やヘリウム等のガスと固体微粒子であるダスト（星間塵）からなる星間物質が存在する。星間物質の分布は一様ではなく，星形成が起きるような特に密度の高い領域もある。このような高密度領域は，背景にある星からの光が吸収・散乱（減光）されてしまうため，地球上の観測者からは，周囲の星野よりも星の少ない暗い領域として認識される。このような領域を暗黒星雲と呼ぶ。図１に，おうし座の暗黒星雲を例として示す。

暗黒星雲は，背景からの光を吸収・散乱するダストと，低温の分子ガスによって構成されている。暗黒星雲のサイズはさまざまで，直径１光年以下の小型グロビュールから，数光年程度のBokグロビュール，さらには数百光年に及ぶ暗黒星雲複合体（巨大分子雲）がある。質量は太陽の数10倍のものから100万倍に達するものまで存在する。平均的な暗黒星雲の温度は10K程度と非常に低温である（例えば，小暮，1994）。よって，暗黒星雲は可視光帯に電磁波を放出することができない。恒星や惑星は，暗黒星雲の中でも特に高密度の部分（分子雲コア）が重力収縮して誕生すると考えられている。このため，暗黒星雲は恒星や惑星の形成メカニズムを探る上で重要な研究対象になっている。

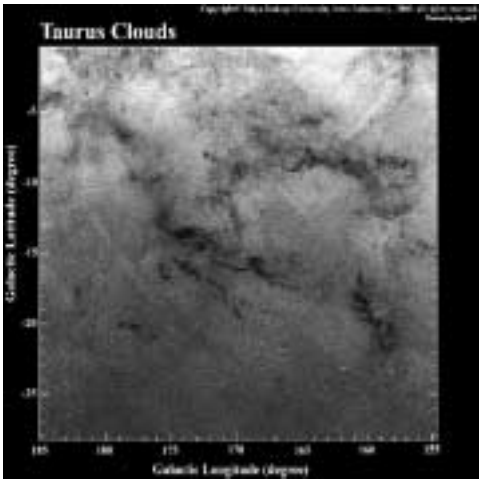

図１　Digitized Sky Survey I（DSS）による，おうし座暗黒星雲の星数密度分布。白～黒の順で，単位立体角当たりの星の数が少なくなる。
（出典：暗黒星雲博物館
URL: http://astro.u-gakugei.ac.jp/DCM/index.html）

2.2　減光量とスターカウント法

フラックスI_0の星の光が，光学的厚さτの暗黒星雲に入射すると，出射光のフラックスIは，exp（－τ）だけ減光を受け，

$$I=I_0\exp(-\tau)\quad（式1）$$

となる（図2）。この関係を，以下では等級で表すことにする。I_0に相当する等級をm_0，Iに相当する等級をmとする。Iとmの関係は，以下のポグソンの式で定義される。

$$m=-\frac{5}{2}\log(I)+c_0\quad（式2）$$

ただし，c_0は定数である。この変換式を用いると，式1は，

$$m=m_0+1.0857\ \tau\quad（式3）$$

となる。つまり，星の光は，

$$A\equiv m-m_0(=1.0857\ \tau)\quad（式4）$$

で決まるA（単位は等級，mag）だけ減光を受けることになる。このAを減光量という。

暗黒星雲による減光を定量する方法の一つに，単位立体角当たりの星の数（星数密度）を計測する「スターカウント法」がある。Wolf（1923）はスターカウント法によって，暗黒星雲およびその近傍の領域を調べ，暗黒星雲までの距離と減光量Aを推定する方法を提案した。それがWolf図法とよばれる方法であり，減光量の分布や暗黒星雲の距離を求める手法として，今日まで広く用いられている。横軸に恒星の見かけの等級，縦軸にその等級よりも明るい恒星の総数（累積星数密度）をとったプロット（累積星数曲線）から，減光量を求める。このとき累積星数曲線は図3 aのようになる。図に見られるように，累積星数の対数は見かけの等級とともに増加する。恒星の絶対等級が全て一様であるとし，見かけの等級m_0に相当するある距離に減光量Aの暗黒星雲があると，累積星数曲線は図中の破線で示したように，等級が増加する方向へAだけ平行移動する。ここで，写真乾板やCCDなどで検出される星のうち，一番暗いものの等級（限界等級，図3 bのm_{th}）での実際の累積星数密度を$\log N$，暗黒星雲がない場合の累積星数密度を$\log N_0$，およびWolf図の傾きをbとすると，減光量Aは，以下の式で表すことができる。

$$A=\frac{\log N_0-\log N}{b}\quad（式5）$$

実際のWolf図は，図4の破線で示すように，暗黒星雲のない場合の累積星数曲線から序々に外れてゆく。これは，恒星には様々な絶対等級を持つものがあること，また，暗黒星雲は視線方向（奥行き方向）にも広がりを持つことなどによる。しかし，本論文では，式5に基づいて，N，N_0，およびbから減光量を計算することにする。

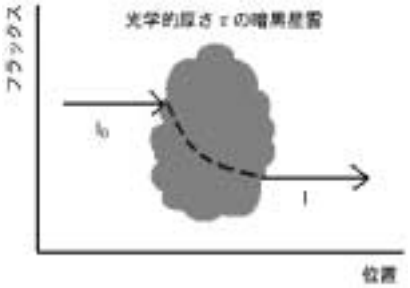

図2　暗黒星雲による減光のイメージ

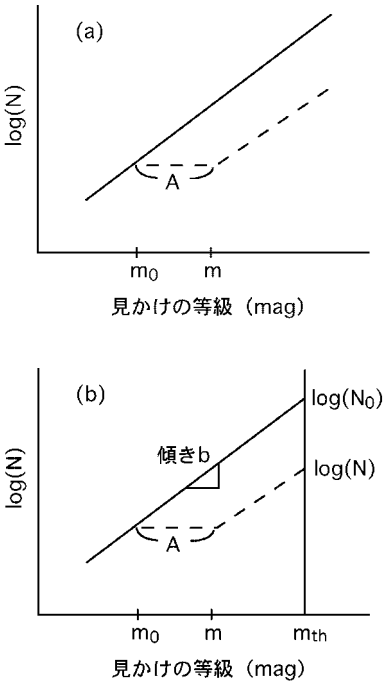

図3　Wolf図の説明

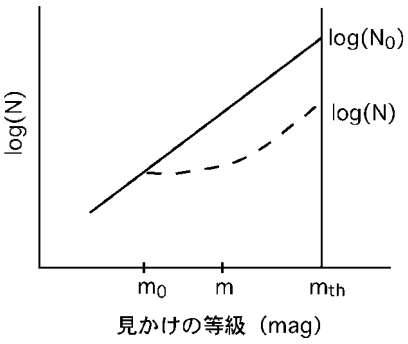

図4　実際に観測される暗黒星雲方向でのWolf図（破線）

2.3　木曽105cmシュミット望遠鏡と2kCCDカメラ

本研究では，東京大学木曽観測所の105cmシュミット望遠鏡に搭載された2kCCDカメラによる測光データの解析ソフトを作成する。2kCCDカメラは2048×2048（=48mm×48mm）の画素を持ち，天空での視野は約50’×50’である。画素サイズは24μm×24μmであり，角分解能1.5”×1.5”に相当する。2kCCDカメラ用の広帯域フィルターとしては，U（0.35μm），B（0.44μm），V（0.55μm），R（0.69μm），およびI（0.88μm）の５バンドが用意されているが，同カメラのUバンドの感度は低いため，深い撮像観測には不向きである。このため，本研究でのソフト開発には，U以外の４バンド（BVRI）による撮像データを利用することにした。

表１に，開発に利用した観測データをまとめる。このデータは，おうし座の暗黒星雲（図１）を2kCCDで撮像観測したものである。おうし座の暗黒星雲は，地球から約140pc（約460光年）の距離にあり，太陽系に最も近い暗黒星雲の１つである。この暗黒星雲のまわりには，太陽程度の質量をもち，主系列に達していない若い星 （T-タウリ型星）が，可視光や赤外線の観測を通して数多く発見されている（例えば，Kenyon and Hartmann，1995）。そのため，「おうし座」は，太陽程度の比較的小さな質量をもつ星 （低質量星）の形成過程を解明する上で，重要な研究対象となっている。

表１　観測データの概要

観　測　日	2000年11/27～12/３ 2001年１/17～１/22 11/14～11/18　１/８～１/15 2002年11/５～11/10
望　遠　鏡	東京大学木曽観測所 105cmシュミット望遠鏡（f＝3300mm）
CCDカメラ	KISO－2KCCDSITe 2048×2048 SI424AB　（視野51 ′×51 ′）
フィルター (波長：μm)	Bバンド, Vバンド, Rバンド, Iバンド （0.44）　（0.55）　（0.69）　（0.88）

３．ソフトウェアの開発

2kCCDによる撮像データから減光量マップを作成するためには，以下の10段階の整約・解析を，バンド毎に行う必要がある。

① 生データ（撮像データ）のリストを作成する。
② バイアス電圧補正用のバイアスフレームを作る。
③ 感度のばらつきを補正するためのフラットフィールドを作る。
④ 天体の写っている画像をバイアスフレームとフラットフィールドで補正し，オブジェクトフレームを作る。
⑤ 星を検出し，積分強度やCCD上でのピクセル座標を記録した星のリスト（スターファイル）を作る。
⑥ DSSと比較し，2kCCDのピクセル座標を赤道座標に変換するためのプレート定数を求める。これを用いて，検出した星の赤道座標を計算し，星のリストに追加記録する。
⑦ 大気量（Air Mass）による減光の補正を 行う。
⑧ 天空での星数密度を求める。
⑨ Wolf図を作成する。
⑩ スターカウント法を適用し，減光量マップを作成する。

以上の手順をフローチャートにまとめ，図５に示す。この研究では，上記のうち①～⑥について，完全に自動，あるいは，半自動で処理を行うためのソフトウェアを開発した。開発したプログラムの一覧を，表２にまとめる。通常，①～⑥の整約・解析作業は，処理手順がある程度確立されている反面，手軽に使える一般的なソフトウェアはあまり開発されていない。特に⑥については，観測所毎，研究者毎にその都度工夫されており，使い易い専用ソフトウェアの開発が求められている。星のリストから減光量マップを作成する⑦～⑩については，開発期間の都合上，今回は一般的なソフトウェアの作成は行わなかった。

開発は，すべてIDL（Interactive Data Language）と呼ばれるコンピュータ言語を用いて行った。以下に，整約・解析手順の詳細と，開発したプログラムについて，フローチャート（図５）に沿って述べる。上記の⑦～⑩に対応する部分については，基本的な作業手順を，３.６～３.７章で簡単にまとめる。

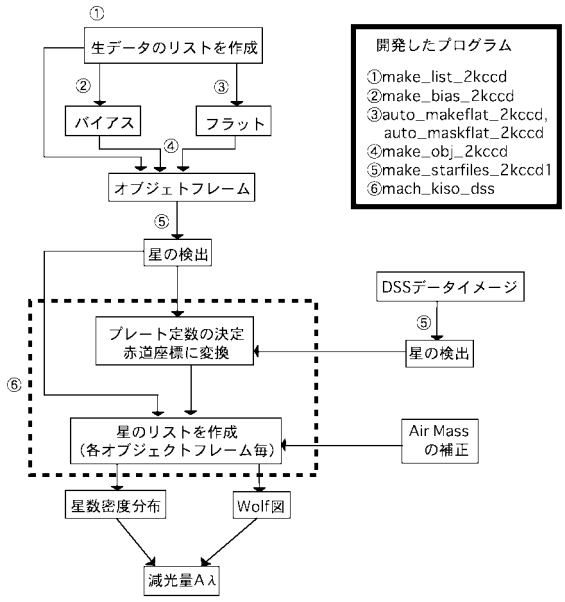

図５　データの整約・解析手順のフローチャート

表２　作成したプログラムの一覧

処理の手順	プログラム名 ［(　) はサブルーチン名］	・プログラムの目的
リストの作成	①make_list_2kccd	・生データからリストファイルを作成。
バイアスフレームの作成	seach_biasfiles_2kccd ②make_bias_2kccd	・リストからバイアスを探す。 ・バイアスフレームを作成。
フラットフィールドの作成	③auto_makeflat_2kccd [seach_flatfiles_2kccd make_flat_2kccd] ③auto_maskflat_2kccd [make_maskflat_2kccd (fix_badpix_2kccd)]	・フラットフィールドを作成。 ・マスクを作成し，フラットフィールドを規格化する。
オブジェクトフレームの作成	seach_objectfiles_2kccd ④make_obj_2kccd [fix_badpix_2kccd]	・リストからオブジェクトを探す。 ・オブジェクトフレームを作成。
星の検出，スターファイルの作成	⑤make_starfiles_2kccd1 (find1_2kccd [plate_noise_lev findstar [star_pixel4 star_pos star_separate]] fit1_2kccd (gmask_2kccd))	・星を検出し，Gaussian fitをかける。スターファイルを作成。
DSSとの比較し，プレート定数，赤道座標を求める。	⑥mach_kiso_dss (select_pairstars_me1 [select_star_2kccd coord4] conv_kiso2dss_2kccd(coord4) conv_matrix_2kccd radec_match_2kccd(coord4) plate_constant_2kccd conv_xy2radec_2kccd)	・DSSと2kCCDのデータを比較し，赤道座標を求める。

3.1 生データのリスト化とバイアスフレームの作成

作成したプログラム“make_list_2kccd”を用いて，観測データ（FITS形式）のヘッダーから，観測日時，天気，データの種類（バイアス，フラット，オブジェクト），オブジェクト名，フィルター，積分時間，赤経・赤緯，天頂距離，大気量（Air Mass），シーイングなどの値を読み取り，観測日毎にデータの一覧表（リストファイル）を作成する。データのヘッダーに誤りがある場合，観測中に記録したログと比較し，適宜，手動でリストを修正する。

全ての観測データに対して，CCDに常時印加されている電圧（バイアス）を除去する必要がある。このバイアスの値のイメージをバイアスフレームという。図6aはバイアスフレームの概念図である。システムの安定性の確認のため，通常，バイアスフレームは観測中に頻繁に取得している。

プログラム“search_biasfiles_2kccd”で，リストファイルからその日に得られたバイアスフレームを全て検索する。プログラム“make_bias_2kccd”で，これらのバイアスフレームからその日の典型的なバイアスフレームを作成する（CCDの各ピクセルについて，多数あるバイアスフレームの値の中央値を取る）。バイアスは，場合によっては，時間的にかなり変動し得るが，木曽の2kCDDの場合，観測日毎にほぼ一定と見なしてよい程度の変動しかないことが分かっている。

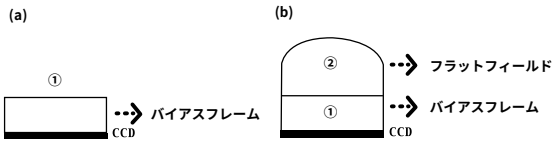

図６　バイアスフレームとフラットフィールドの概念図

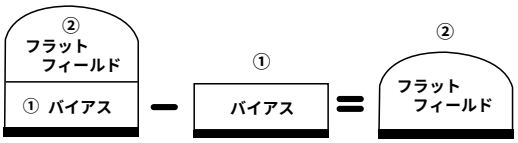

図７　フラットフィールドの求め方

３.２　フラットフィールドの作成

図６ｂは，ドーム内に設置された白いスクリーンに一様な光を当て，撮影したデータ（ドームフラット）である。CCDカメラによる感度のばらつきを取り除くため，カメラの一様な光に対する応答であるフラットフィールド（図７②）を，このデータから作成する。これは，ドームフラットのデータからバイアスフレームを差し引き（図７），結果を規格化することにより行われる。

まず，プログラム“ auto_makeflat_2kccd ”で，その日の典型的なフラットフィールドを作成する。このプログラムには，２つの別のプログラム（サブルーチン）が含まれている（表２）。プログラム“ search_flatfiles_2kccd ”でリストファイルからその日に得られたフラットデータを全て検索する。プログラム“ make_flat_2kccd ”で，全てのフラットデータから，３.１章で求めたバイアスの値を引き，単位時間当たりの積分値に直す。そして，単位時間当たりの積分値から，CCDの各ピクセルについて，多数あるフラットフィールドの中央値を取る。

次に，入射光に対して反応しない壊れたピクセル（bad pixel）を探し，これ以降の処理では直接使わないように印をつける。このデータをマスクと呼ぶことにする。上記で求めた平均的なフラットフィールドにマスクをかけ，全体を規格化する。これには，プログラム“ auto_maskflat_2kccd ”を用いる。このプログラムには，別のプログラム“ make_maskflat_2kccd ”が含まれている。これは，バンド毎に閾値εを設定し，各ピクセルの値Hが，H<（1-ε）H_m（フラットの値が小さ過ぎる），または，H>（1+ε） H_m（大き過ぎる）のものをマスクするサブルーチンである。ここで，H_mは，平均的なフラットフィールドの値（中央値）である。マスクしたピクセルのフラットフィールドは，プログラム“ fix_badpix_2kccd ”によって決める。マスクをかけたフラットフィールドの中央値を用いて，フラットフィールドを規格化する。これらの作業では，マスクはバンド毎に作られる。しかし，以下の３.３章以降の処理では，全てのバンドでのマスクを合成したマスク（何れか１つのバンドでマスクされているピクセルは，マスクする）を用いる。

以上によって求められたバイアスフレーム，フラットフィールド，マスクを用いて，天体の画像を整約する（３.３章）。

３.３　オブジェクトフレームの作成

バイアスフレーム（図８の①），フラットフレーム（同②）を使って，天体の写っている画像を補正し，オブジェクトフレーム（同③）を作成する。

まず，プログラム“ search_ objectfiles_2kccd ”を使い，３.１章で作成したリストファイルから天体を撮影したデータを検索する。次に，プログラム“ make_obj_2kccd ”で，それぞれのデータからバイアスフレームを差し引く。データの値を積分時間で割り，１秒当たりの積分値に直す。データ全体を３.２章で求めたフラットフィールドで割り，オブジェクトフレームを作成する。マスクのかかっているピクセルのデータは，サブルーチン“ fix_badpix_2kccd ”で，隣接するピクセルのデータより内挿した値に置き換える。

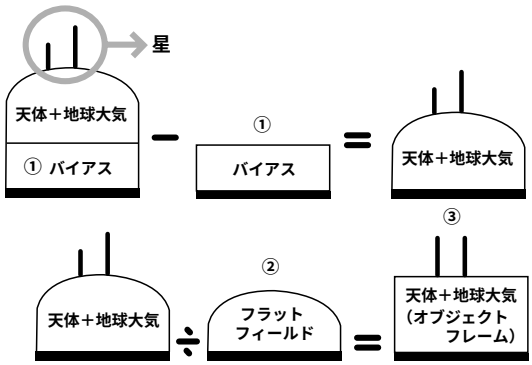

図８　オブジェクトフレームの求め方

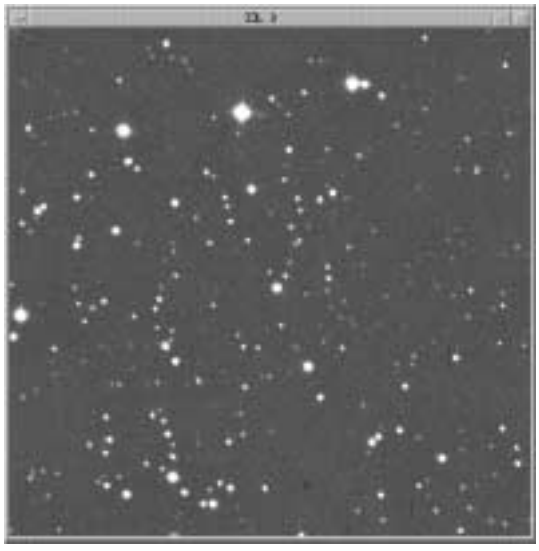

図９　作成したオブジェクトフレームの例

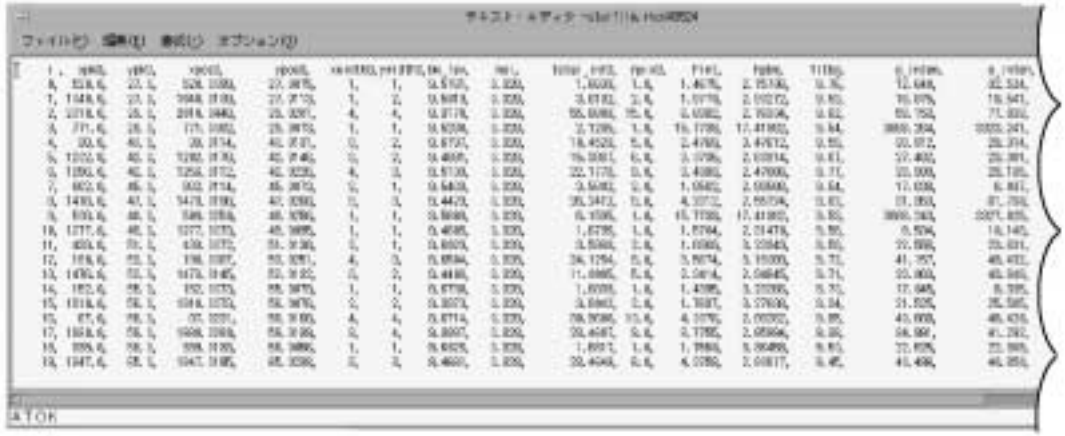

図11　作成したスターファイルの一部。星のピクセル座標，スカイレベル，ノイズレベル，積分強度，ガウシアンパラメーター等が記録されている。

以上の整約により，オブジェクトフレームを得ることができる。“ make_obj_2kccd ”では，結果がFITS形式で自動的に保存される。図９に得られたFITS画像の例を示す。

３.４　星の検出及びスターファイルの作成

オブジェクトフレーム毎に星の写っていないピクセルの標準偏差σを求め，スカイレベルより５σ以上高い値を持つピクセルを星として検出する。これには，プログラム“ make_starfiles_2kccd1 ”を用いる。このプログラムは，主に２つのサブルーチン“ find1_2kccd ”と“ fit1_2kccd ”により構成される。

“ find1_2kccd ”は，星を検出するためのプログラムである。上記の標準偏差σを“ plate_noise_lev ”で求め，プログラム“ findstar ”により，スカイレベルより５σ以上高いピクセルを漏れなく検出する。これらのピクセルを個々に星に分けるため，プログラム“ star_pixel4 ”を用いる。もともとは別々の星であるが，近接しているため，１つの星として認識されるものもある。このような星を，プログラム“ star_separate ”で分割する。

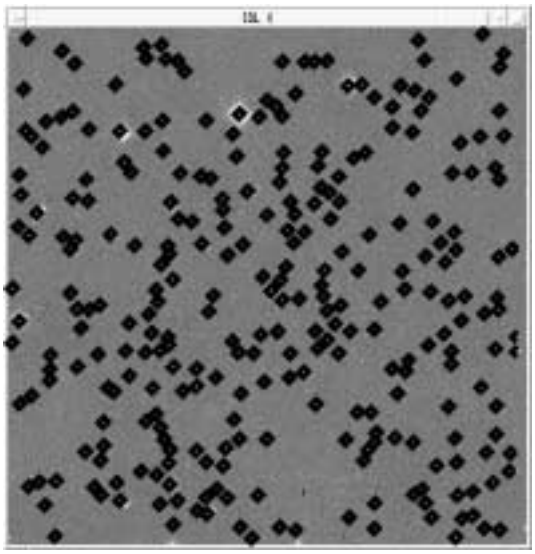

図10　星の検出の様子。菱形のプロットが検出した星である。

次に，検出した１つ１つの星の近傍の15×15ピクセルを取り出し，プログラム“ fit1_2kccd ”を使って，Gaussian fitをかける。これにより，星の明るさ（積分強度）を見積ることができる。明るすぎる星や，近傍に別の星がある場合には，“ fit1_2kccd ”は上手く動作しない。このため，このような場合には，プログラム“ gmask_2kccd ”で，飽和しているピクセルを除外したり，関係のない星のピクセルを除去したりして，“ fit1_2kccd ”を適用する。図10に，星の検出の様子を示す（菱形のプロットが検出した星）。

このようにして求めた星のピクセル座標（x，y），ピクセル総数，スカイレベル，閾値，積分強度，Gaussianパラメータなどの値を，スターファイルとして記録する。スターファイルの例を図11に示す。また，次の３.５章では，プレート定数を求めるため，DSS上の星との比較を行う。このため，オブジェクトフレームがカバーしている領域のDSS画像を別途入手し，同様のスターファイルを作成しておく。

３.５　プレート定数の決定と赤道座標への変換

ここでは，2kCCDのピクセル座標（x，y）を赤道座標へ変換するためのプレート定数を決定する。これには，2kCCDと同じ領域のDSS画像を利用する。DSSのプレート定数は，DSSのFITSファイルのヘッダーに既に格納されているので，DSS上で見つけた星とのマッチングを取れば，2kCCDのオブジェクトフレームのプレート定数を決めることができるのである。

2kCCDおよびDSSのFITSファイルと，３.４章で検出した星のリスト（スターファイル）を用意し，プログラム“ match_kiso_dss ”で比較する。このプログラム

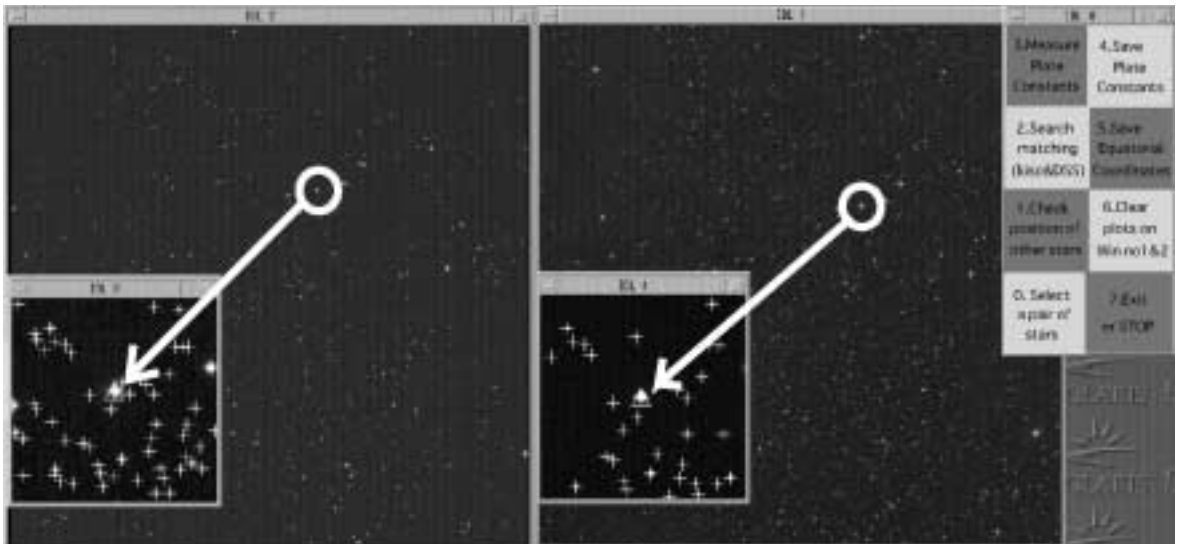

図12　DSSのデータ（右）と2kCCDのデータ（左）を比較して赤道座標に変換するプログラムの様子。それぞれ選んだ星が小窓に拡大されて表示される。

を起動すると，図12の右上に示した操作メニューがあらわれる（“IDL0”というウィンドウ）。このメニューから，まず，０番を選び，ウィンドウ“IDL1”に表示されるDSSのイメージと，“IDL2”に表示される2kCCDのイメージに写っている２組の星（合計４個の星）を，コマンドラインに表示される説明に従いながら，マウスで選ぶ。この時，“match_kiso_dss”の内部では，サブルーチン“select_pairstars_me1”と“select_ star_2kccd”が動いている。２組の星のピクセル座標を基に，2kCCDからDSSへのピクセル座標の１次変換行列（回転，平行移動，および定数倍を含む）が決定される。最初は，対応の取り易い目立つ星２組を選び，１次変換行列を仮決定する。メニューの１番を選ぶと，仮決定した変換係数を用いて，2kCCD上の任意の星の位置をDSS上に表示することができる（プログラム“conv_kiso2dss_2kccd”が起動する）。この機能を活用しながら，2kCCDの画面の左上と右下など，画像の対角線方向にできるだけ離れた２組の星を，メニューの0番で選び直す。すると，精度良く１次変換行列を決めることができる。

１次変換行列を決定したら，メニューの２番を選択する。すると，2kCCD上で検出された全ての星をDSSでのピクセル座標に変換し，DSS上で検出された星とのマッチングをとるプログラム“conv_matrix_2kccd”が起動する（４ピクセル以内にある星を同一の星とする）。マッチングの取れた星を2kCCDの画像にプロットした例を，図13に示す。

DSS上で検出された星のピクセル座標は，DSSのヘッダーとプログラム“coord4”によって，容易に赤道座標（α，δ）に変換することができる。マッチングの取れた星の赤道座標を基に，2kCCDのピクセル座標（x，y）を，赤道座標（α，δ）の３～４次の関数として表す。メニューの３番を選択すると，有限要素法を用いてx（α，δ）およびy（α，δ）をレギュラーグリッドの２次元データとして各々作成し，それに対して３次ないし４次の２次元フィットを行うプログラム“plate_constant_2kccd”が起動する。この２次元フィットの係数を，2kCCDのプレート定数として用い，全ての星の赤道座標を求める。この方法では，典型的に1”（rms）程度以内の精度で，2kCCD上の星の赤道座標を求めることができる。このようにして求めた赤道座標を，３.４章で作成したスターファイルに付け加えて記録する。

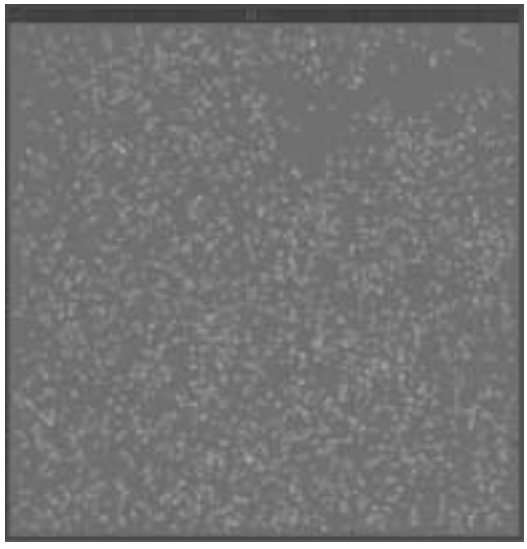

図13　求めた赤道座標を2kCCDのデータにプロットした様子。黒い点が星，白い菱形が求めた赤道座標をプロットしたものである。

3.6　大気量の補正と星数密度の測定

標準星を測光することにより，データを取得した時の大気の光学的厚さを測定する。次に，３.１章で作成したデータのリストファイルより，各オブジェクトファイルの天頂距離を読み取り，大気量についての補正を行う。

暗黒星雲のない領域でWolf図を作成し，図３bに示した傾きb，限界等級m_{th}を求める。おうし座の暗黒星雲近傍で作成したWolf図の例を，図14に示す。銀河座標（l，b）に沿って天空に ２分角のメッシュを切り，それぞれのメッシュ内で限界等級以下の星の数を求め，星数密度のマップを作成する。得られた星数密度マップの例を，図15に示す。このような星数密度マップを2kCCDのプレート毎に作成し，つなぎ合わせると，広い範囲をカバーする星数密度マップ（図16）を作成することができる（図16の一部を拡大したものを，図17に示す）。

3.7　減光量マップの作成

暗黒星雲のない領域での星数密度N_0を測定し，Wolf図から求めた傾きb（３.６章）を２.２章の式５に代入すれば，３.６章で求めた星数密度分布図より，減光量マップ（A_λ）を得ることができる。

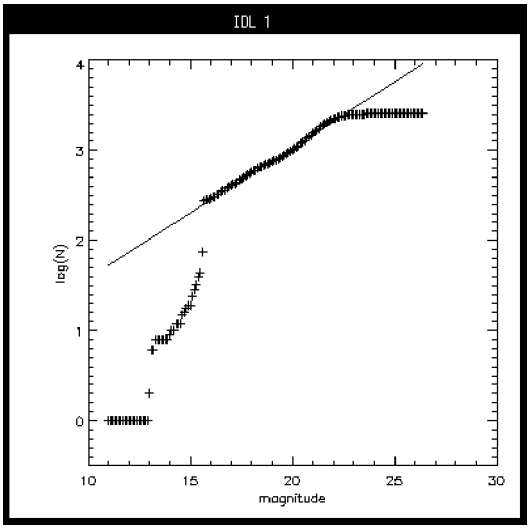

図14　作成したWolf図

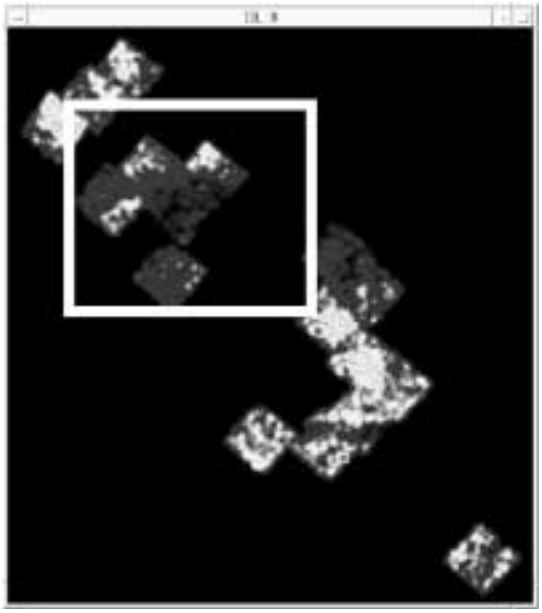

図16　モザイクした星数密度マップ。白～黒の順で，単位立体角当たりの星の数が少なくなる。白い四角で囲った部分の拡大図を図17に示す。

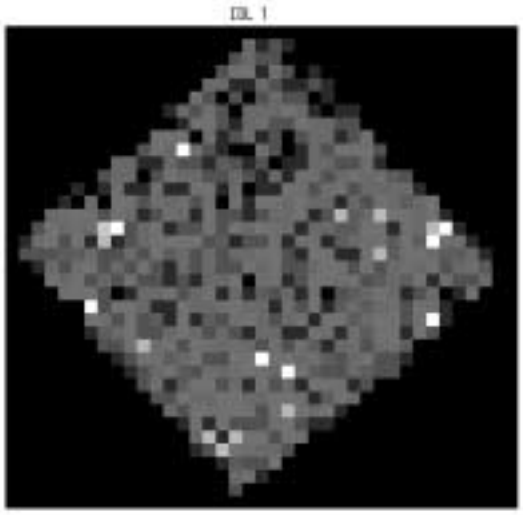

図15　作成した星数密度マップの様子（2'グリッド）。白～黒の順で，単位立体角当たりの星の数が少なくなる。

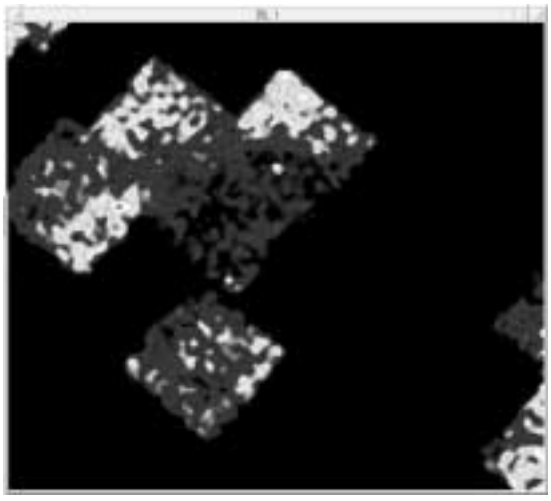

図17　図16の星数密度マップを一部拡大した様子。

４．まとめ

本研究では，木曽観測所の105cmシュミット望遠鏡に搭載された2kCCDカメラによる撮像データから，星を自動的に検出するためのプログラム開発を行った。ここで開発したプログラム群を用いれば，ある観測日のデータに対し，生データのリスト化，バイアスフレームの作成，バンド（BVRI）毎のフラットフィールドの作成，および，オブジェクトフレームを得るための整約（バイアス・フラットの処理）を，完全に自動的に行うことができる。また，作成したオブジェクトフレームから星を自動検出し，測光を行い，赤道座標を半自動的に1”（rms）程度の精度で決定することも可能となっている。ここで開発した一連のプログラム群は，同カメラを用いた暗黒星雲の多波長減光量マップの自動作成プログラムの実現に，大いに資することが期待される。

このソフトウェア開発は，著者の一人（小寺綾乃）の卒業研究として平成16年度に行ったものです。木曽2kCCDのデータやその取り扱い方については，東京学芸大学の西浦慎悟氏より有益な助言を頂きました。ここに感謝致します。

参考文献

上原　隼，2002，東京学芸大学大学院修士論文

上原　隼，土橋一仁，神鳥　亮，佐藤　文男，2002，地学教育，第55巻，第１号，p. 13

神鳥　亮，2001，東京学芸大学大学院修士論文

小暮　智一，1994，星間物理学，ごとう書房，p. 464

Dobashi, K., Uehara, H., Kandori, R., Sakurai, T., Kaiden, M., Umemoto, T., Sato, F., 2005, Publ. Astron. Soc. Japan, vol. 57, p.S 1

Kandori, R., Dobashi, K., Uehara, H., Sato, F., and Yanagisawa, K., 2003, Astron. J., vol. 126, p. 1888

Kenyon, S., J., and Hartmann, L., 1995, Astrop. J. Suppl., vol. 101, p. 117

Lasker, B. M., 1994, Bull. American Astron. Soc., vol. 26, p. 914

Lynds, B. T., 1962, Astrop. J. Suppl., vol. 7, p. 1

Wolf, M., 1923, Astron. Nachr., vol. 219, p. 109