国立天文台報　第 8 巻, 43－57（2005）

すばる望遠鏡観測データ品質評価システムの開発

仲田史明，出田誠，八木雅文，榎基宏，吉野彰，山田善彦，高田唯史，市川伸一

（2005年 4 月28日受理）

Development of Quality Assessment System for Observed Data Obtained by the Subaru Telescope

Fumiaki NAKATA，Makoto IDETA，Masafumi YAGI，Motohiro ENOKI，Akira YOSHINO，
Yoshihiko YAMADA，Tadafumi TAKATA，Shin-ichi ICHIKAWA

Abstract

We have developped a prototype of data quality assessment system for observed data obtained by the Subaru Telescope. Our final goal is to construct a quality control system; realtime feedback of data quality to observatory operations. The data quality assessment system is an important component of quality control. Our system consists of FITS format check, FITS header information check, and data quality evaluation. The FITS format check and the FITS header information check ensure the validity of FITS data and their information. The data quality evaluation includes 1) photometric zero point calculation of standard stars, 2) measurement of PSF size and elongation, 3) trend analysis tools of bias level and sky background level. The system is tested using real data of the Subaru Telescope stored in public data archive (SMOKA). Since our data quality assessment is also useful for giving search constraints in data archives, we provided some components to SMOKA so that data quality indices are available for archival search. The problem and the future plan of the data quality assessment system are also discussed.

1. はじめに

結果を実証的に示さねばならない天文学の研究において，観測データから得られる情報は不可欠である．また，観測効率を高め，高品質の観測データを定常的に得られるよう無駄な観測を極力減らし，観測の質を高めていくことは観測システムを運用する上で重要である．この時，必要となるのは「観測データの品質を評価するための指標（品質評価指標）」である．遠隔観測やサービス観測，そして将来的に計画されているキュー観測など，観測者がその場におらず，天候状態，観測装置の動作状態などを直接確認できない観測では，観測者が必要とする品質の観測データが取得できたかどうかを迅速に判断するために，このような客観的な品質評価指標は，特に重要である．

また，観測から得られたデータは観測者の意図とは異なる視点に立った研究に展開できる可能性があるため，観測データを整理しアーカイブしておくことも天文学の発展のためには重要である．特に地上観測の場合，観測条件は一定ではなく，大気状態が不安定で天候が悪い日に取得された観測データもある．これらは測光誤差が大きかったり，星像の歪みが大きかったりと，研究目的によっては全く利用できない品質のデータになる．アーカイブデータの再利用を促進するためには，アーカイブ中の観測データが，目的とするサイエンスに利用できるかどうかを利用者が簡単に判断できるよう，観測データの品質を評価する客観的な指標を提示することが必要である．

観測データの品質評価を行った上で，観測の質の管理を行なう「Quality Control（品質管理）」という概念は，天文学では衛星観測において発展してきたものである．実際 HST [*1] や Spitzer [*2]

などでは，品質評価ツールが標準的に用意され，利用されており，データ利用の効率化を大きく促進している．また，最近では 8m 級の大型光学赤外線望遠鏡を中心に，世界の主要な地上観測所でも Quality Control は整備されつつあり，アーカイブシステムにおける検索にも適用されはじめている[*3，*4]．特に欧州南天天文台の VLT（Very Large Telescope）ではデータ解析パイプラインと連動し，データ解析から得られた情報を，観測所の運用方法や，望遠鏡・観測装置など観測システムのメンテナンスに関する貴重な情報源として駆使し，より効率的な観測所運用を実現している[1)，2)，3)，4)]．

このような背景の下，我々は，すばる望遠鏡[5)]において品質管理を行なう際に必須となる，観測データ品質評価システムのプロトタイプを構築した．このシステムは，望遠鏡で観測した直後，もしくは一晩の観測が終了した後に自動的にデータチェックと品質評価を行なうことを想定している．翌日以降の観測前に星像の質，限界等級などの情報を提供することで，観測者は観測計画を再考することが可能になる．また，このような品質評価を行なう際には，評価対象となる観測データが正しく取得され，正当な形式を保持したものである事が大前提である．我々は品質評価を行なう前に観測データの正当性を確認するシステムを開発し，データ品質評価システムに組み込んでいる．これにより，望遠鏡や観測装置に障害が発生し，良質な観測データが取得できない状態に陥った場合にも放置されることなく，すみやかに観測所に対応を促すことができる．

今回，本システムの試験には，国立天文台天文学データ解析計算センターが運用しているアーカイブシステム SMOKA（Subaru-Mitaka-Okayama-Kiso Archives System）[*5，6)]にある，すばる望遠鏡のデータを用いた．

図 1 に本システムの構成を示す．本論文の構成は以下の通りである．2 章で観測データの形式，3 章で FITS ヘッダ情報のチェック方法についてそれぞれ述べる．これらにより，観測データの正当性が確認できる．4 章では測光零点や PSF などの，観測データの品質を評価する指標の算出について説明する．品質評価システムの SMOKA アーカイブシステムへの応用について 5 章に，今後の課題について 6 章で論じ，最後に 7 章でまとめを行う．

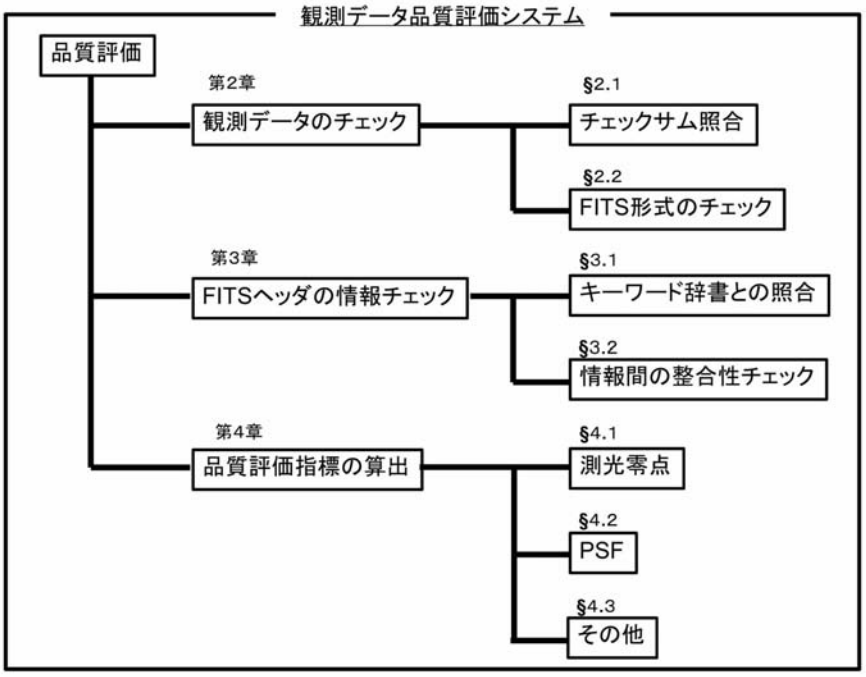

図 1．観測データ品質評価システムの構成図．

*1 HST archive: http://archive.stsci.edu/
*2 Spitzer archive: http://ssc.spitzer.caltech.edu/archanaly/archive.html
*3 http://www.eso.org/observing/dfo/quality/
*4 http://www.gemini.edu/sciops/data/dataIndex.html
*5 SMOKA archive: http://smoka.nao.ac.jp/

2. 観測データの形式チェック

観測データの品質管理を行なう際には，観測データの質の評価を行なう以前にまずその観測データ自身が正しく取得され，正当な形式を保持したものであることを確認することが大前提となる．本章では，このような観測データの形式の確認について述べる．

2.1. データのチェックサム

すばる望遠鏡には，STARS (Subaru Telescope ARchive System) [7), 8), 9)] という，望遠鏡システムの一部として開発・運用されているアーカイブシステムがあり，すばる望遠鏡で取得された観測データが格納されている．また，国内利用者のため，国立天文台三鷹キャンパスには STARS のミラーセットである MASTARS（Mitaka Advanced STARS）[7)] が設置されている．すばる望遠鏡によって観測され，生産された観測データは山頂システムからネットワークを介して転送され，数分後には STARS および MASTARS に格納される．その後ある一定時期を過ぎてから公開アーカイブである SMOKA に転送される．

この一連の作業において，観測データに対する何らかの変更が故意にもしくは事故により行われることもありうるが，そのような事態が起こった場合，元々の観測データとは特性の異なる情報に基づいたデータ処理が行われる可能性がある．このような事態を回避するため，我々は SMOKA グループ，およびハワイ観測所と協力し，全ての観測データおよびログファイルについて MD5 (Message Digest Algorithm 5) [*6] というチェックサムを導入した．MD5 は，現在世界で最も広く用いられているチェックサムであり，各種プログラムも充実している C 言語で書かれたプログラムである．MD5 は与えられた入力ファイルに対して 128 ビットの文字列（半角英数字 32 文字）を出力する．内容の異なる入力ファイルに対しては異なる値を出力するため，例えば SMOKA に格納されたデータのチェックサムを計算し，国立天文台ハワイ観測所に格納されたオリジナルのデータのチェックサムと比較することで，オリジナルのデータとの変更の有無を検出できるようになっている．この方法では，例えば Suprime-Cam [17)] のデータについては，SunFire v250（UltraSPARC-III 1GHz，2CPU）上で 1000 フレームをチェックするのに約 14 分かかる．

今後は，以上に加えて，データ部のチェックサムを観測データ取得時にも計算し格納されるようにすることで，観測装置から STARS に転送する際に起こりうる変更も検出できるようすばる望遠鏡に提案していきたい．

2.2. FITS 形式のチェック

FITS（The Flexible Image Transport System）形式 [10), 11)] は，現在天文学で広く用いられている観測データの保存形式であり，「互換性」，「単純さ」，「拡張性」，「自己記述性」を備えている．この FITS 形式は，国際天文学連合（IAU: International Astronomical Union）で制定されている規格である．現在，最新の標準規約は 2000 年 10 月に IAU で正式に承認されたものであり，本システムの対象であるすばる望遠鏡のデータもこの FITS 形式で取得され保存されている．

もし，観測データが FITS 形式に違反していた場合，一般的に広く使用されている FITS ソフトウェア（ブラウザ/エディタ/ライブラリ等）でファイルを読めなかったり，読み込んだ値が不正確になりうる．また，規約違反を無制限に許容することは，観測データ同士の比較や再利用を困難にし，FITS ファイルの科学的な信頼性を損なわせることになりかねない．そこで，我々は，すばる望遠鏡の観測データの FITS 形式をチェックするシステムを開発した．

FITS ファイルが標準規約に適合しているかチェックするためのツールとして，我々は NASA/Goddard Space Flight Center（GSFC）が提供する，C 言語のプログラムである fitsverify を利用した [*7]．これは，FITS の事実上の規約書となっている NASA/Science Office of Standards and Technology（NOST）の規約書に沿ったものであり，FITS 形式のチェッカーとして最も信頼できるものである．fitsverify でチェックを行った場合，FITS 形式に規約違反がある

*6 http://www.fourmilab.ch/md5/
*7 http://heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/software/ftools/fitsverify/

場合は "Error" が，規約違反ではないが推奨される形式になっていない場合は "Warning" が出力される．我々のチェックシステムでは，fitsverify の出力結果を解析し，エラーの種類と検出数を表示させるようにしている．実際にこのチェックシステムを SMOKA の公開データに適用した出力の一例を図 2 に示す．このチェックをするのにかかる典型的な実行時間は，Sun Enterprise 4500（UltraSPARC-II 400MHz，4CPU）上で 1000 フレームあたり約 2 分である．

```
/***********************************************/
/* Runing FITSVERIFY...                        */
/***********************************************/

/*
 * Standard report:
 */

Total number of frames  :       10

start : OHSA00125100.fits
end   : OHSA00125109.fits

E - Binary zero         :        0
E - Header fill         :        0
E - Data fill           :        0
E - BUNIT: "ADU"        :        0
E - Type of value       :       10
E - Value and comment   :        0
E - EXTEND keyword      :        0
E - EQUINOX keyword     :        0
E - Bad numerical value :        0
W - Duplicated keyword  :        0

/*
 * Ignore the following warnings:
 */

W - PC matrix           :       40
W - character '-'       :        0
W - character ' '       :        0

/*
 * Uncategorized errors or warnings:
 */
```

図 2. FITS 形式チェックシステムの出力例．各種 error（E）と warning（W）の集計結果が示される．

他にもよく発見される Error や Warning には，図 3 のようなものがある．これら Error や Warning は，該当するファイル，キーワード，エラーの種類とともにログに出力される．将来は，本チェックの結果を随時開発者や運用関係者にフィードバックし，できる限り規約違反のない FITS ファイルが生成されるよう観測システムの改善を促したいと考えている．

3. FITS ヘッダ情報チェック

FITS ファイルのヘッダ部分には，観測データの属性情報（座標，時刻，波長，観測装置のパラメータなど）が記載されており，解析する際に必要な情報となっている．しかしながら，望遠鏡や観測装置などの観測システムの障害などにより，ヘッダに記載される属性情報が誤っていたり，欠落したりすることがある．このような情報に基づいて解析を行なっては，誤った解析結果を得て，科学的成果に悪影響を与えるおそれが高い．そこで，我々は FITS ヘッダに書かれている情報の誤りを検出するシステムを開発した．本章ではその詳細について述べる．なお，本章で説明するシステムは全て Sun Enterprise 4500（UltraSPARC-II 400MHz，4CPU）上で行われている．OS は Solaris9 である．各節で述べる典型的な実行時間は，この実装環境におけるものである．

今回は SMOKA のアーカイブデータを用いて FITS ヘッダ情報のチェックを行なう際には，観測データの FITS ヘッダ情報が記録された MASTARS のデータベーステーブルのコピーを参照して試験を行なった．これは開発と試験を効率的

```
(1) ヘッダの文字データがsingle quoteで囲まれていない(例:OHSA00125099.fits).

OHSSLIT =              OPEN     / OHSSLIT

*** Error:   Keyword #104, OHSSLIT: Type of value "OPEN" is unknown.

-----------------------------------------------------------------------
(2) ヘッダ末尾のENDの後に，余分な文字（S）が入っている(例:COMA00021328.fits).

END
                                                S

*** Error:   The header fill area is not totally filled with blanks.

-----------------------------------------------------------------------
(3) ヘッダのサイズが2880バイトの倍数になっていない(例:COMA00021328.fits).

*** Error:   checking data fill: error reading from FITS file
```

図 3. FITS 形式のチェックでよく発見される Error の例．
(1) ヘッダの文字データが single quote で囲まれていない
(2) ヘッダ末尾の END の後に，余分な文字（S）が入っている
(3) ヘッダのサイズが 2880 バイトの倍数になっていない

に行なうためであり，最終的には観測データのFITS ヘッダに記載される情報を抽出してチェックを行なうべきものである．

3.1. FITS キーワード辞書との整合性チェック

すばる望遠鏡では FITS キーワード辞書が作成され公開されている [10]．この辞書では，各キーワードの名前と重要度，そしてそのデータ型が定義されている．重要度とは，どのキーワードが必須であるかの分類である．例えば，FITS 形式として必須なキーワード（例えば SIMPLE，NAXIS，NAXIS1，BITPIX など）と，すばる望遠鏡が必須としたキーワード（例えば FRAMEID，OBS-MOD，DATA-TYP など）は「必須キーワード（Common）」と分類されており，どの観測装置の FITS ファイルもこれらのキーワードは全て備えていなければならない．これに加え，OBS-MOD および DATA-TYP により分類される各観測モード（Imaging，Spectroscopy，Polarimetry，Object）に対応して，各々必須と定められたキーワードがあり，これらも全て存在しなければならない．データ型とは，そのキーワードの値がどのような書式を持つかの定義である．すばる望遠鏡の基本辞書では，文字列，数値，論理値，のいずれかが桁数とともに定義されている．

我々は，3.2 節以降で述べる FITS ヘッダ情報の各種チェックを行なう前に，各 FITS ファイルに必須キーワードが存在し，この FITS キーワード辞書に定められたような形式を満たしているかを確認し，不適切な場合には警告を表示するプログラム（辞書整合性チェックプログラム）を開発した．使用言語は C 言語である．

具体的には，まず必須キーワードが存在するかを確認し，その必須キーワードのデータ型（文字列，数値，論理値）は正しいかの確認を行なう．次に，OBS-MOD と DATA-TYP で各観測モードの場合分けを行う．そして，各観測モードに対応した FITS キーワードの存在とデータ型の確認を行なう．また，時刻，角度の書式は正常かの確認も同時に行なっている．これらのチェックの結果，何らかの問題があった部分については警告を表示する．典型的な実行時間は，1000 フレームあたり約 2 分である．

我々は SMOKA で公開されている全装置のデータから一部をサンプルとして抽出し，すばる望遠鏡の基本辞書との整合性が保たれているかのチェックを行なった．FITS キーワード辞書との不整合が恒常的に見られたものに対しては，国立天文台ハワイ観測所のサポートサイエンティストグループに報告した．

3.2. 各情報の相互整合性チェック

(1) 時刻関係

すばる望遠鏡で取得された FITS のヘッダ情報には，時刻関係のキーワードとして，観測日（DATE-OBS），観測時刻の世界時（UT），観測時刻のハワイ時（HST），観測時刻の準ユリウス日（MJD）などがある．また，露出開始時間と露出終了時間に対応して，世界時（UT）では UT-STR と UT-END，ハワイ時（HST）では HST-STR，HST-END というキーワードが存在する．我々は，観測日（DATE-OBS），世界時（UT），ハワイ時（HST），準ユリウス日（MJD）の時刻間の関係の整合性をチェックするプログラムを java と Fortran により作成した．

チェックの内容は，(1) UT と HST の関係のチェック，(2) DATE-OBS，UT と MJD の関係のチェック，の 2 点である．まず，(1) であるが，世界時とハワイ時の時差は 10 時間なので，UT=HST+10:00:00 になるはずである．UT と HST を秒単位で比較し，一致しないものは不整合として検出している．(2) ではまず，DATE-OBS と UT から MJD を計算する．MJD の計算は，天文座標計算ライブラリである SLALIB [12] の中にある，年月日より MJD を計算するサブルーチン（SLA_CLDJ）を用いている．ここで，$|\mathrm{MJD(calculation)} - \mathrm{MJD(header)}| > 1$ 秒の時，UT と MJD の関係が不整合として検出される．

以上のチェックを，観測日（DATE-OBS），世界時（UT），ハワイ時（HST），準ユリウス日（MJD）について，SMOKA に登録されているほぼ全てのフレームについて行った．この処理の典型的な実行時間は，1000 フレームあたり約 1 分である．

UT と HST の関係については，IRCS [13] のデータに大きなずれ（最大 463 秒）が存在することが多かったが，その他の装置のデータについては概ね問題は見られなかった．ただし，FOCAS [14]，HDS [15]，COMICS [16] の公開観測直後のフレ

ームに於いては UT と HST のデータが欠落していて検証不能なフレームが存在した．

DATE-OBS，UT と MJD の関係については，IRCS でずれが大きかった．この UT と MJD のずれは前述の UT と HST のずれと相関があるように見えるため，ヘッダに記載されている MJD の計算に HST を用いているものと推測されるが，ヘッダの MJD は HST よりも 1.5 秒程度常に進んでおり，観測時のヘッダ生成あるいは MJD の計算に何らかの問題が生じていると思われる．

その他は，FOCAS と HDS の一部のフレームで，計算した MJD とヘッダの MJD が数百秒〜数千秒ずれている以外，問題は見られなかった．この FOCAS と HDS で MJD の大きなずれが発生する原因は不明である．

(2) 赤経・赤緯ー高度方位角

すばる望遠鏡で取得された FITS データのヘッダ情報において，望遠鏡の向いている方向（ポインティング座標）は，赤道座標（RA，DEC）と地平座標（AZIMUTH，ALTITUDE）の両方で表されている．これらの値がどの程度信頼できるか調べるため，赤道座標から地平座標を計算し，ヘッダにある地平座標の値と比較する，整合性チェックプログラムを開発した．使用した言語は java と Fortran であり，座標計算には SLALIB を用いている．

具体的には以下の手順でチェックする．各オブジェクトフレームについて，ヘッダの RA，DEC，MJD の値と，すばる望遠鏡の位置（西経 155 度 28 分 48.8 秒，北緯 19 度 49 分 42.6 秒）[*8] を用いて，グリニッジ平均恒星時と時角を計算し，最終的に方位角・高度を算出する．こうして求めた値と，ヘッダから抽出した AZIMUTH，ALTITUDE との差を求める．このチェックを SMOKA に登録されている全てのフレームについて行った．実行時間は 1000 フレームに対して約 1 分である．

その結果，取得するデータ区分 (DATA-TYP) を変更した直後や，フォーカステスト，ハルトマンテストなどのテストデータを取得した直後に，大きなずれが生じる傾向が見られることが分かった．例として，すばる望遠鏡の HDS の方位角・高度のずれを図 4 に示す．図 4 から，通常のずれは約 5 分角以内であること，まれに 10 分角を超えるずれが生じることが分かる．図 4 においてずれの大きい 2 フレームは，バイアスフレー

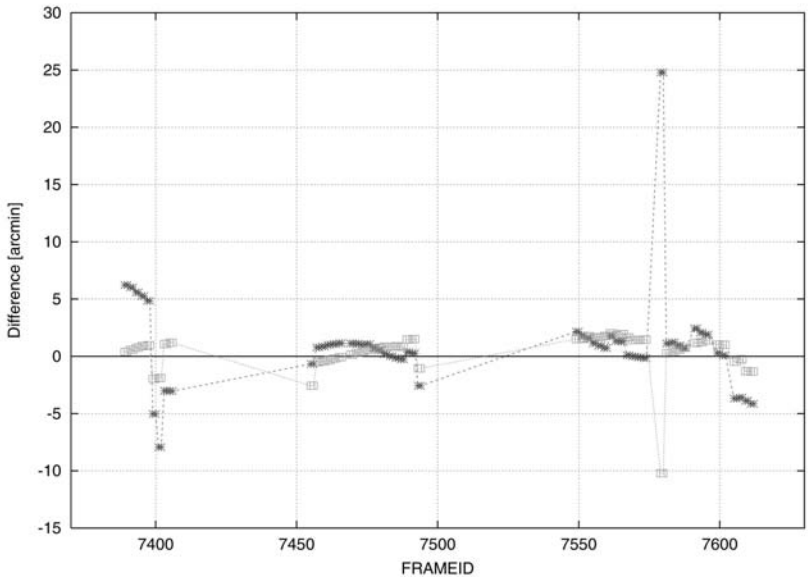

図 4. HDS の方位角・高度のずれの例．ずれは（ヘッダに入っている値－計算で求めた値）（単位arcmin）である．横軸，縦軸はそれぞれフレーム番号（FRAMEID）の通番と，ずれを表す．＊，□ はそれぞれ方位角のずれ，高度のずれを表す．図には 2003 年 5 月 25 日から 2003 年 5 月 29 日までの 1 観測ランの間に取得されたフレームのうち，データタイプがオブジェクトのものについてのみプロットしてある．オブジェクト以外のフレームについては，ヘッダの RA，DEC，AZIMUTH，ALTITUDEの値が不正確であるためプロットしていない．

*8 http://www.nao.ac.jp/introduction/ichi.html

ムの取得の直後に取得されたオブジェクトフレームである．

一般的に，ヘッダに値が入力されるタイミングのずれ，大気差，視野のディザリングなどのために数分角程度のずれが常に生じうる．しかしそれ以上の違いがある場合，いずれかに不適切な値が入っていると考えられ，そのようなフレーム，具体的には，ずれが 10 分角を超えるフレームの座標関係のヘッダの値は信用できないとしてログに記録している．

(3) 赤経・赤緯，分点

すばる望遠鏡で取得された観測データの FITS ヘッダには赤経，赤緯，分点（RA，DEC，EQUINOX）の値と，2000年分点の赤経・赤緯（RA2000，DEC2000）の値が記載されている．これらの値は，観測装置の不具合，制御系のソフトウェアのバグなどにより不整合となっている場合がある．我々は SMOKA に格納された全装置のほぼ全てのデータに対し，RA，DEC，EQUINOX の値から 2000 年分点の座標値を計算し（以後，計算座標値と呼ぶ），それらが FITS ヘッダに記載された 2000 年分点の座標値，即ち，RA2000，DEC2000 の値（以後，登録座標値と呼ぶ）と一致するか調べている．

まず，RA，DEC，EQUINOX，RA2000，DEC2000 の値の読み値が null になっていたり，無関係な文字列や記号になっていない事を確認する．次に，計算座標値と登録座標値の差を求める．ここで各観測装置の制御系で用いられている座標計算ルーチンの違いにより誤差が生じること，また，1pixel に対応する視野角以下，および seeing 値以下の座標値の差には意味がないことから，計算座標値と登録座標値の差が 1 秒角以下の場合，両者は一致すると見なしている．なお，このチェックを行うソフトの主要部分はデータベースの検索を行うため java を用いて実現しており，2000 年分点座標値の計算には天文座標計算ライブラリである SLALIB が使える Fortran を使用している．チェックにかかる時間は 1000 フレームに対して約 2 分である．

実際に検出された不整合には，EQUINOX の値が 2000.0 ではないにも関わらず，RA と RA2000 の値，DEC と DEC2000 の値が一致しているもの，その逆で EQUINOX の値が 2000.0 であるにも関わらず，RA と RA2000 の値，DEC と DEC2000 の値が一致していないものなどが多いが，その他の不整合も少なくなかった．例えば，RA, DEC として NULL あるいは UNKNOWN という文字列が入っているもの，— となっているもの，などである．不整合である割合は，2005 年 4 月 8 日現在では，例えば Suprime-Cam については 0.14% のフレーム，FOCAS については 20.6% のフレームが不整合となっている．

(4) 時系列（昇順）チェック

すばる望遠鏡で取得されたデータには，SUPA00123456 のように装置略称（3 文字）種別（1 文字）通番（8 桁）の 12 文字からなるフレーム番号が一意に割り振られている．このフレーム番号は，必須キーワード FRAMEID として記録されている．この中で通番 8 桁は一般には各装置ごとに時系列に沿って増加している．この通番が時系列と逆転している場合は，解析の際には注意が必要であると考えられる．そこで，このような逆転を検出するためのプログラムを作成した．使用言語は java である．

具体的には，各フレームのヘッダから FRAMEID と MJD の値を抽出し，FRAMEID の通番の増加に伴って MJD が増加しているかどうかを調べている．FRAMEID の通番が増加していて，かつ露出が同じではない（EXP-ID が変化している）にもかかわらず，MJD が一定になっている，あるいは減少している場合は不整合として検出する．すばる望遠鏡の Suprime-Cam の初期に見られた例を以下に示す．

SUPA00001020: MJD = 51191.34355700
SUPA00001021: MJD = 51191.23395700

SUPA00007086: MJD = 51311.63259500
SUPA00007087: MJD = 51311.44892500

このような例は，観測装置のデータ取得方法によっては，必ずしも異常だとは限らないのだが，観測装置の不具合，バグなどによる場合もあり，解析の際には注意が必要であると考えられる．このチェックにかかる時間は，SMOKA で公開されているほぼ全ての Suprime-Cam データ約 260000 フレームに対して約 3 分である．

(5) データ区分，観測モード，フィルターの既登録チェック

すばる望遠鏡のデータの FITS ヘッダには DATA-TYP により示されるデータ区分（オブジェクト，バイアス，フラットなど），OBS-MOD により示される観測モード（撮像，分光など），FILTER0n（n=1，2，3）により示されるフィルター（*U*，*B*，*V* など）の情報が記入されている．これらのキーワードに異常な値が入っていない事を確認するため，従来の値の一覧と比較し，その中に入っていない新しいキーワードを出力するプログラムを作成した．これにより，新しい情報が現れた場合に検知することが可能になった．特に観測装置の不具合などによりキーワードに '#' が入ったデータが多数あり，このようなデータの検出に役立った．なお，このプログラムに使用した言語は java であり，チェックにかかる時間は，SMOKA のほぼ全ての Suprime-Cam データ約 260000 フレームに対して約 3 分である．

4. 品質評価指標の算出

観測データは，観測システムに障害が起こる場合があることに加え，地上観測については天候が悪いことがあるなど，必ずしも良い条件のもとで得られるとは限らない．各観測データの質を判断するための具体的な数値を提供することは，短期的には観測者の観測計画をより効率的なものにするための再考材料となり，長期的には観測所が，観測データの質を高めるために観測システムをどのように改善していくかを考える材料となる．

我々は観測データの品質評価を行うシステムのプロトタイプとしてすばる望遠鏡で現在もっとも多く利用されている観測装置である Suprime-Cam のデータについて，単位露出時間あたりの測光零点や seeing 値などを自動的に求めるシステムを開発し，SMOKA にアーカイブされている観測データを用いて試験を行った．

4.1. 測光零点

観測データの単位時間あたりの測光零点，すなわち，露出 1 秒当たり 1 ADU が何等級に相当するかの値は観測夜の天候に左右される．すばる望遠鏡では天候等の環境データを表示する機能が制御計算機システムの中に実装されているが，晴れていても強風のときなど，必ずしも測光精度が良いとは限らない．高い測光精度を要求する場合，各観測夜に撮像された標準星データを基に測光較正を行うことが必要である．特に我々の目指す Quality Control を行うためには測光較正を自動的に行えるようにすることが重要である．また，単位時間あたりの測光零点を求めることにより，システムのスループットの経年変化を確認したり，各観測データの限界等級を推定することも可能になる．

我々は，標準星観測が行われた観測夜の測光零点を自動的に求めるシステムを構築した．実装は Solaris9 上で C 言語と c-shell script を用いて行なった．図 5 に導出手順の概要が示してあるが，

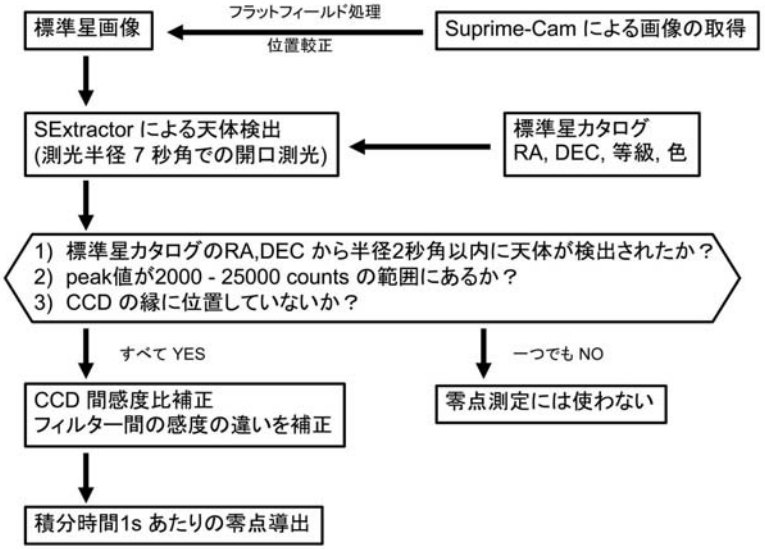

図 5. 測光零点の求め方の手順．大気による吸収はここでは考慮せず，ある高度（secz）における単位時間あたりの測光零点を求めている．

具体的には以下の通りである．

(1) データの準備

測光零点を求めるには，フラットフィールド処理がなされ，精度良く位置較正が行われている標準星画像が必要である．品質評価システムでは，最終的には観測データと，予め準備しておいたFLAT 画像（Hyper-FLAT）を用いて，フラットフィールド処理を行ない，位置較正を行なうべきであるが，今回の試験では，フラットフィールド処理と位置較正は SMOKA が持つ機能を利用した [6]．SMOKA にアーカイブされているSuprime-Cam のデータは，位置較正が行われている場合典型的には 0.2－0.3 秒角程度の高い位置精度が達成されている．

標準星カタログとしては，今回は主に，多くの星について標準的な *UBVRI* バンドの測光が行われている Landolt のカタログ [18] を用いた．このLandolt のカタログは標準的なカタログとして広く用いられており Suprime-Cam の観測でも高い頻度で使用されている．ただし，Landolt の原論文に記載されている赤経・赤緯の位置精度は悪いことが知られており，そのままでは使用できない．位置精度を改善したカタログは他の研究者により作成され公開されている [*9]．これは USNO-A2.0カタログ [19] とのクロスマッチを行い，赤経・赤緯の情報を更新したものである．今回の試験ではこのカタログを利用した．また，等級システムは，将来的に測光分光標準星から変換したカタログとの比較を容易にするため，AB 等級に変換している [20]．

(2) 観測データ中の標準星の同定と測光

カタログに記載されている赤経・赤緯から，標準星の Suprime-Cam 画像上での位置を推定する．バックグラウンド値が正確に推定できるよう，Suprime-Cam の画像上で標準星があると推定される場所周辺 30 秒角四方の大きさで画像を切り出し，その領域で SExtractor [21] により天体検出を行う．このとき，標準星があると推定される座標から半径 2 秒角以内に天体が検出できればそれを対応天体と見なす．ここで，対応天体が検出できない原因としては，天体が暗くて検出できない場合，天体が明るすぎて satulation を起こしている場合，天体が bad pixel 上にあって検出に失敗している場合などが考えられる．同定された標準星については測光を行うが，この時の測光半径は Landolt が採用したものに合わせて半径 7 秒角とした．同定された天体の peak 値 が 25000 counts より大きいような明るすぎる天体は CCDの線形性から外れていくため，誤差が大きくなる．また，peak 値が 2000 counts より小さいような暗い天体は，S/N 比が低く，測光精度が悪くなる．また，CCD の縁から 7 秒角以内にある天体については，測光半径 7 秒角で開口測光を行う際，全測光領域を覆うことができなくなり，測光が正しく行われなくなる．従って，同定された天体がこのような条件に当てはまった場合には，測光零点を求めるのには使わないことにする．なお，Landolt の標準星では，この測光半径内に他の天体の光が混入することは，移動天体が偶然入ってしまう場合以外にはない．

(3) 測光零点の導出

Suprime-Cam は 10 枚の CCD により構成されている．これらの CCD の相対感度比はフィルターごとに異なるが，今回の試験で用いたSMOKA でのフラットフィールド処理ではこの相対感度比は補正されていない．そこで，測光零点を導出するために，CCD 間の感度の違いを補正した．また Landolt が用いたJohnson-Kron/Cousins システム [22], [23] のフィルターとSuprime-Cam のフィルターの感度の波長依存性は若干異なるため，この違いの補正も必要である．このフィルター感度の違いは天体の色の関数として一次の項は補正できることが知られているので [24]，その関数を用いて補正を行なった．これらの補正を行った後，測光された count 値を等級に変換し，カタログの値との差を求める．

図 6 に示すように，フィルター感度の色依存性の関数を各標準星の測光結果にフィットすることで最終的な零点が求まる．この結果として，単位時間あたりの測光零点及びその誤差，零点を求めるのに用いた標準星の個数が出力される．この処理の典型的な実行時間は，標準星 1 露出分のデータに対して，Sun Blade 150（UltraSPARC-IIe 550MHz）上で約 2 分であった．例として，2002 年 4 月 7 日に観測された標準星フレームから，このシステムを用いて求められた単位時間あたりの測光零点を図 7 に示す．

*9 http://web.pd.astro.it/blanc/landolt/landolt.html

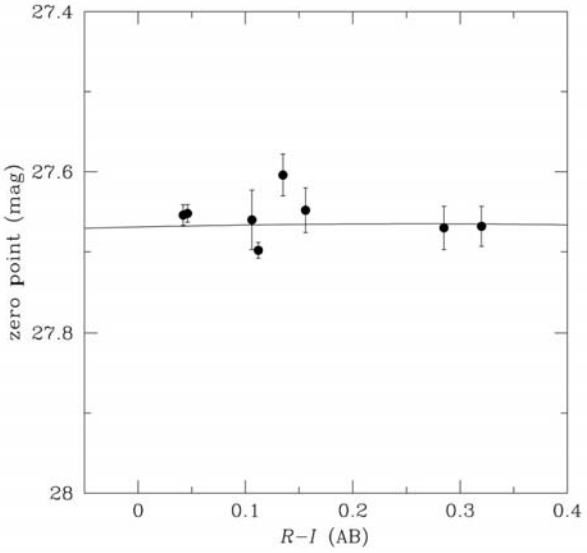

図 6. 2002 年 4 月 8 日に Suprime-Cam で撮像された，標準星領域（SA101）におけるフィットの結果．観測フィルターは R バンド．縦軸は測光零点，横軸は標準星カタログ中の $R-I$ の色である．それぞれ AB 等級を用いている．実線はフィルター感度の色依存性．

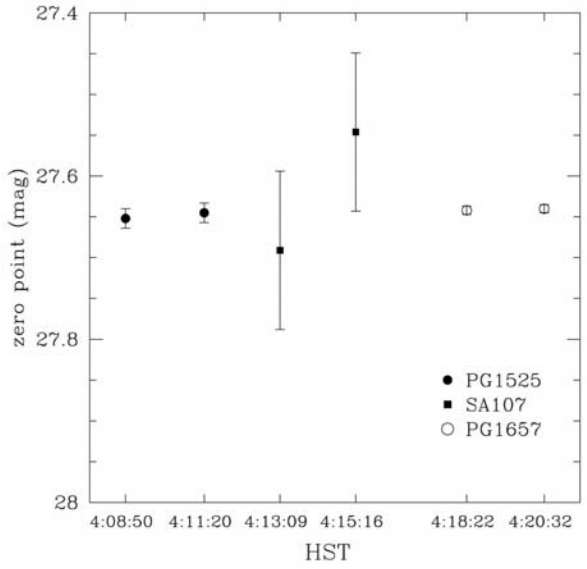

図 7. 2002 年 4 月 7 日に観測された標準星から求められた測光零点の時間変化．観測フィルターは R バンド．縦軸は AB 等級で表された測光零点で，横軸はハワイ標準時間 （HST）．標準星は，ハワイ標準時間で午前 4 時 8 分頃から約 15 分間で観測されている．左から 3 個目と 4 個目のプロットは誤差が大きいが，これは参照した標準星が暗かったためである．

今回は Landolt のカタログに載っている *BVRI* バンドのデータのみを扱ったので，広帯域フィルターを用いて観測された Suprime-Cam データのみに対し測光零点が求められた．しかし Suprime-Cam のデータには，それ以外のフィルターシステム，例えば SDSS の *griz* バンド[20] や狭帯域フィルターなどを用いて観測されたものもあり，測光較正に測光分光標準星を用いなければならないものもある．原理的には標準星の赤経・赤緯，対象フィルターの等級，色の情報があれば本システムに組み込むことは可能である．これらのフィルターシステムを用いたデータに対しても測光を行ない，どの程度の測光精度が出せるかを検証していくことは今後の課題である．

4.2. PSF（Point Spread Function）

すばる望遠鏡の Suprime-Cam で観測を行った場合，天体の典型的な seeing 値（PSF の FWHM）は 0.5 から 1.5 秒角程度と幅がある．seeing 値は，天候が良くても大気の状態が悪い場合や，望遠鏡の焦点合わせが不十分なときにも悪い値になる．望遠鏡が天体の追尾に失敗したときや観測装置に予期せぬ振動が加わった場合などは，星像は楕円状に歪みが生じる場合がある．PSFは，研究者がその観測データを使用するかどうか選別する際に参考にする，最も基本的な情報の一つであり，この情報は観測データの品質を議論するのに重要である．本システムでは，画像の PSF を評価するため，seeing 値と，PSF の楕円率の測定を行うプログラムを開発した．作業の流れを図 8 に示す．実装は Solaris9 上での C 言語と c-shell script で行なっている．

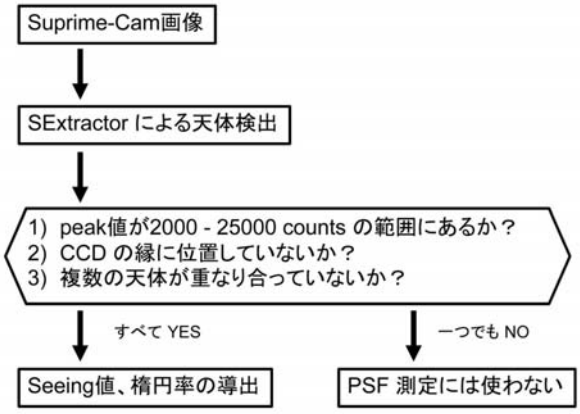

図 8. PSF の求め方の手順.

Suprime-Cam の CCD 1 枚あたりの視野は約 6x13 分角と比較的広く，十分な数（数十個）の PSF を持つ天体を検出することができる．全検出天体について seeing 値，楕円率を求めてヒストグラムを描くと，PSF を持つ天体の seeing 値および楕円率は，ある値の周辺に集中的に分布しピークを作ることが分かる（図 9）．この分布の代表値として最頻値をとり，品質評価指標とすることにした．このピークの検出と最頻値の推定は

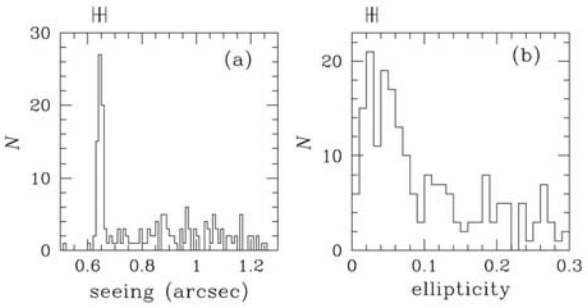

図 9. 2002 年 4 月 8 日の観測について Suprime-Cam の CCD 1 チップから検出された全天体の seeing 値（a），楕円率（b）の分布．この分布における最頻値を太い実線で表す．細い実線は誤差である．

プログラムにより自動的に行なっている．ここでは，測光零点の時と同様に，天体の検出及び seeing 値，楕円率の測定には SExtractor を用いており，前節で述べたような理由から peak 値が 2000 から 25000 counts の間にある天体のみを採用している．また，CCD の縁にある天体，複数の天体が重なり合っていて PSF が正確に求められないであろう天体も除外している．出力は，seeing 値，楕円率とその誤差である．この処理の Sun Blade 150（UltraSPARC-IIe 550MHz）上での実行時間は，1 枚の CCD 画像について約 30 秒である．

4.3. その他の指標

前節，および，前々節で述べた単位露出時間あたりの測光零点と PSF は有力な品質評価指標であるが，観測データの品質を判断するための材料は他にも考えられる．SMOKA では現在以下で述べる指標を算出している [6]．これら算出プログラムを本システムにおいても利用し，品質評価指標として導入した．

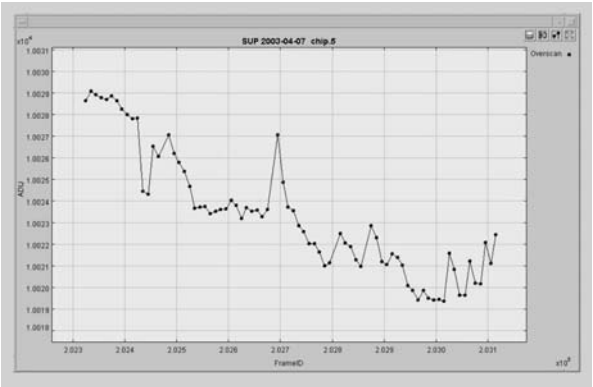

図 10. バイアス値推移図の出力結果の例．バイアス値の推定値としてオーバースキャン領域の平均値を求めてその値の推移を示した．ここに掲げた図は，2003 年 4 月 7 日の観測について Suprime-Cam の CCD 1 チップ（chip5）のバイアス値の推移を示した図である．横軸はフレーム番号（FRAMEID）の通番，縦軸はカウント（ADU）である．

(1) バイアス値の推移

Suprime-Cam の CCD にはオーバースキャン領域が設定されており，この領域の count からバイアス値を推定することができる．前後のデータ取得時に比べてバイアス値が異常に大きく変化した場合には，CCD 読み出し回路などの観測システムに何らかの異常が生じている可能性がある．そこで，本システムではオーバースキャン領域の平均値をバイアス値の推定値として求めた後、その推移図を作成している．図 10 は出力結果の 1 例である．

(2) ショット図

Suprime-Cam は 10 枚の CCD で 32x27 分角という広い視野を覆うカメラである．この広い視野の中には露出時間中に人工衛星や流星が通過する場合も多い．また，オートガイダーの影が写り込んでいる場合もある．さらに視野内もしくは視野近傍に明るい星がある場合には迷光や散乱光が写り込むこともある．これらはデータ整約・解析

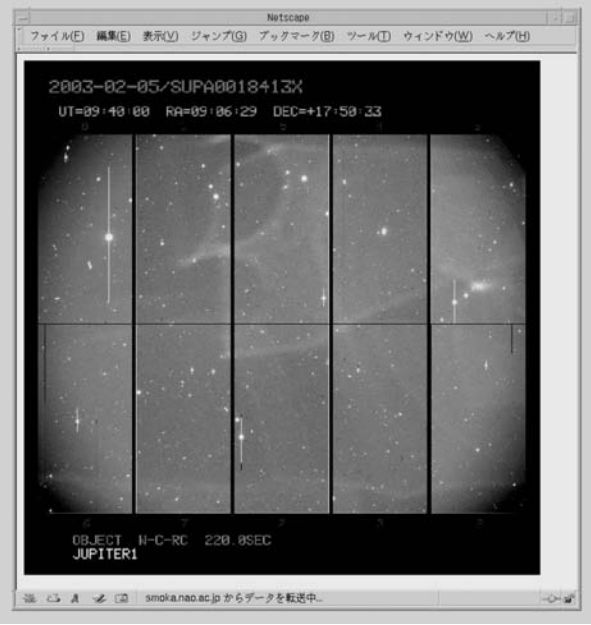

図 11. ショット図の出力結果の例．Suprime-Cam の CCD 10 個の画像をまとめて表示した図である．上の部分には，フレーム番号 (FRAMEID)，撮影時刻，赤経・赤緯が，下の部分にはフレーム種別，フィルター名，露出時間，天体名が書き込まれている．この例では，迷光が広範囲に写っていることがわかるが，これは視野のすぐそばにあった木星によるものであることが分かっている．

の際に悪影響を及ぼし，観測結果の精度を低下させる危険性が大きい要素である．本システムでは，Suprime-Cam の視野全体を一望できるショット図（図 11）を作成し，これらの事象の有無，程度を視覚的に判断することができるようにした．図 11 では木星による迷光が顕著に見えている．

(3) バックグラウンド値

観測データのスカイバックグラウンド値は観測時の天候状態，観測フィルター，露出時間に左右される．通常，可視光波長域の観測データでは測光誤差はスカイノイズで決まる．スカイノイズはスカイバックグラウンド値の大きさで決まるため，特に測光精度を重視する研究においてはスカイバックラウンドの情報は重要である．本システムでは，各 CCD チップ内の分散した 15 箇所で平均値と標準偏差を求め，それをもとにバックグラウンド値を算出している．ただし，大規模な迷光や散乱光が生じている場合や，視野の大部分を占めるような大きな天体がうつっている場合には算出を誤る可能性があることは注意が必要である．また，このバックグラウンド値と測光零点の情報と合わせることで，スカイの明るさを見積もることもできる．

(4) フラットフィールド精度指標

SMOKA では Suprime-Cam データの一部についてフラットフィールド処理までの一次処理を行った画像を提供している[6]．SMOKA では，フラットフィールド処理の際には，1 観測ラン（連続して観測が行われた単位：1ヶ月当り 1 観測ランという場合が多い）の観測データから得たフラット画像（Super-FLAT画像）を用いている．一方，本 Quality Control システムは観測データの取得直後にその品質評価を行うことを最終目標としている．そのため，1 観測ラン分の観測データが揃うのを待たず，SMOKA で Hyper-FLAT と称している過去数ヵ月間の観測データを用いて作成したフラット画像を用いて，観測直後にフラットフィールド処理を行い，その結果を測光零点やPSFを算出するのに用いている．このフラットフィールドの精度指標として，Hyper-FLAT を用いてフラットフィールドした後の各 CCD チップ内 15 箇所で得た平均値の標準偏差を，各観測データごとに求めた．このフラットフィールド精度指標は，測光零点や PSF 算出の精度の目安を与える．

5. データアーカイブへの活用

従来の SMOKA アーカイブでは，観測データの品質が表示されていなかったため，各研究者が独自にデータの品質を調べ，研究目的にかなうデータを選別しなければならなかった．膨大な観測データが蓄積されるアーカイブにおいて，この品質確認は非常に手間がかかり，研究者がアーカイブデータを利用することを敬遠する原因にもなっていた．アーカイブ利用者が一目で必要なデータを選別できるようにすることは，アーカイブデータを用いた天文学研究を促進する上で非常に重要である．そこで，本システムで開発を行った PSF や測光零点，そしてそこから求められる限界等級など，各観測データの品質を客観的に評価できる指標を SMOKA に提供し，これらの指標を検索条件として利用できるようにした．この詳細は SMOKA 論文 4 に述べられている[25]．

6. 今後の課題

今回我々は，すばる観測所で Quality Control を実現するため，観測データの品質評価システムのプロトタイプを開発した．本システムの最終目標は，すばる望遠鏡で観測された直後に品質評価を行ない，フィードバックをかけることであるが，そのためには，解決しなければならない問題がいくつか存在する．

6.1. 精度の改善

今回開発した品質評価システムは，大量の観測データに対し自動的に短時間で結果を得ることを目指したため，各画像の特殊な問題点に十分に対応できておらず，得られた品質評価の値の精度は必ずしも高いとは言えない．例えば，測光零点を求める際，色補正の関数は高度に依存することが知られているが，現在は各高度ごとの色補正は一定であると仮定している．また，該当する標準星が CCD の bad pixel 上に存在したり，移動天体や宇宙線などが重なった場合に測光が正しく行われなくなるが，このような例外処理に対しては，まだ十分に対応できておらず，予めつくっておいた Hyper-FLAT を使って処理をすることによる誤差がどの程度生じるかの検証も不十分である．PSF の評価については，星が少ない領域では最頻値が正しく求まらない可能性があるが，この対処は未実装である．このような問題に適切に対処していくためには，今後も品質評価の精度のセルフチェックを行ないつつ，より高次の補正を組み

込み，判断システムを強化することで，精度を改善していくことが必要である．

6.2. TSC ログの活用

第 3 章で述べたように，我々は FITS ヘッダ情報をチェックするシステムを構築した．しかし，実際に誤りがあった場合，FITS ヘッダ内部の情報のみから正しい情報を推測することは困難で，今回のシステムでは誤りがあることを記録するのみで放置せざるを得ない場合が多い．すばる望遠鏡では，1 分ごとに望遠鏡の指向方向の赤経・赤緯や高度方位角などの情報を TSC ログとして記録している．この TSC ログを参照することで誤った FITS ヘッダ情報を修正できる可能性がある．TSC ログをどう活用していくかは今後の検討課題である．

6.3. システムの高速化

今回の品質評価システムにおいて，測光零点やPSFの結果を得るまでには数分程度の時間がかかっている．本システムの目標は，観測データ取得直後に品質評価を行い，直ちに観測システムや観測者にフィードバックすることであるが，現在の処理速度では十分とは言えない．現状のシステムで最も時間がかかっているのは，外部プログラム（SExtractor）による天体検出プロセスであり，この部分をソフトウェアの改善により高速化することには限度がある．そこで，我々は，結果を速やかに求める必要がある場合には，測定領域を観測された視野の一部に絞ることを検討している．例えば，seeing 等を求める際，CCD 全面の天体からではなく，CCD 中央部の天体のみから推定する．この場合時間のかかる天体検出プロセスを一部省くことができるため，大幅な時間短縮が期待できる．このような方法を実装していくとともに，十分な精度を確保するには検出面積をどこまで限ってもよいかを検証する事が今後の課題である．また，他の処理でも高速化できる可能性を探り，並行して改良を続ける必要がある．

6.4. データ表現方法の改良

本システムが提供する品質評価指標には，バイアス値推移図（図 10）やショット図（図 11）のように視覚的な判断を要求するものと，seeing 値や 測光零点のように統計的な数値が混在している．品質情報の可視化および統計的な処理機能は，望遠鏡や観測装置の経年変化によるパフォーマンスの低下を検出するためのトレンド解析の材料としても必要不可欠であり，今後の観測所の安定した運用をサポートする機能として役立つため，現在実現している以外の表現方法の検討も必要である．

6.5. 他の観測装置への適用

本論文では，すばる望遠鏡において最も利用数が多く，かつ構造が単純な Suprime-Cam のデータを品質評価の対象としたが，他の観測装置についての取り組みについても将来的には考えていく必要がある．このとき，視野が狭く限界等級が浅いため，十分な数の星が取得できない赤外波長域の撮像観測データではどのようにして位置較正を行ない，PSF を求めるか，また，分光観測データではどのような方法で品質評価を行うかなど，それぞれの観測装置に対応した適切な評価方法を検討していくことが必要である．

6.6. 取得直後の観測データへの適用

本論文で述べた品質評価システムは望遠鏡で観測した直後，もしくは一晩の観測が終了した直後の観測データに適用することを最終的な目標としている．観測中，もしくは次の観測前にデータの品質評価を行うことにより，望遠鏡や観測装置の障害に対して直ちに対応したり，観測者が効率的な科学的成果算出のため観測計画を見直したりすることなど，観測の質を上げるためのフィードバックが可能となる．このことは有限の観測時間をより効率的に使用できるような環境を整え，天文学全体の質の向上にも貢献するものであるため，非常に重要である．このような一連のシステムは，すばる望遠鏡の存在するマウナケア山頂もしくはヒロの山麓施設にある計算機上に構築する必要がある．開発・運用における技術的・金銭的・人的な問題などによりすべてのシステムがハワイの計算機上で動くかどうかについても今後の詳細な設計・担当者間の議論が必要である．また，より高速かつ効率のよいフィードバックを求める場合には，望遠鏡・装置の制御を含んだ山頂システム制御ソフトウェアとの融合が不可欠である．このためには，今後すばる望遠鏡の山頂制御ソフト開発チームとのより密接な調整・共同作業が必要になるであろう．また，このシステムを運用する上で重視するべきことの 1 つはフィードバックするための情報の取得の容易さ，的確さとフィードバックの簡便さである．したがって，フィードバックについて主な役割を担うであろう人々 (サポートサイエンティストなど) が必要としている情報

を認識しながら今後の作業を進めていく必要がある．

7．まとめ

高品質の観測データを定常的に得ることにより天文学の成果を促進するためには，観測データの品質を迅速に評価確認できるシステムの構築が必要不可欠である．このような観点から，我々は，すばる望遠鏡により観測されたデータの品質を評価確認するシステムのプロトタイプを開発した．このシステムでは，まず FITS フォーマットの確認，FITS ヘッダ情報の整合性の確認を行っている．これにより，すばる望遠鏡から得られる観測データを，信頼できる状態で管理することができる．また，本システムでは，Suprime-Cam から得られた画像について，測光零点や PSF 等を調べることにより，どの観測データが科学的な研究に使用しうる良質なものかの判断に有用な品質評価指標を自動的に算出することに成功した．

本システムは現在，SMOKA アーカイブデータで試験している段階であるが，最終的にはすばる望遠鏡で観測した直後のデータについて，品質確認を行うことが目標である．このような品質評価システムを組み込んだフィードバックが実現すれば，観測者に，研究目的に必要な観測データを取得するための観測計画を再考する判断材料を提供できるようになる．

このシステムによって得られる品質評価指標は，アーカイブでも活用できる．本システムの算出した品質評価指標は SMOKA の検索条件に組み込まれ，SMOKA 利用者が研究目的に耐えうる良質な観測データを容易に検索できるようになった．これはアーカイブを用いた天文学研究を促進するものと期待できる．この品質評価システムは今後もさらに改善を続けていく予定である．

謝辞

本研究の開発・試験作業には，天文学データ解析計算センター DB/DA プロジェクトの計算機資源を活用した．国立天文台の矢治健太郎氏，国立科学博物館の洞口俊博氏の助力に感謝する．また，ハワイ観測所の佐々木敏由紀，小杉城治の両氏の暖かい励ましにも感謝する．有益な助言を下さった，匿名の査読者にも感謝したい．

本システムの開発には，米 NASA/GSFC の fitsverify，仏 IAP の Emmanuel BERTIN 氏によって開発された SExtractor，米 NOAO の IRAF，スイス Fourmilab の John Walker 氏によって開発された MD5 を利用した．また，有用な各種フリーソフトウェアを提供している開発者にも感謝したい．

本研究は，国立天文台天文学データ解析計算センタープロジェクト経費の援助を得て行われた．

参考文献

1）D. Silva, and M. Peron: *ESO Messenger*, No.118 (2004)
2）R. Hanuschik, and P. Amico: *ESO Messenger*, No.99 (2000)
3）R. Hanuschik, and D. Silva: *ESO Messenger*, No.108, 4–9 (2002)
4）W. Hummel, R. Johnson, A. Jaunsen, Y. Jung, and L. K. Lundin: Processcontrol charts for dataflow operations of the ESO VLT, *Proc. SPIE*, 5493,106–116 (2004)
5）N. Kaifu: Subaru Telescopes, in *Advanced Technology Optical/IR Telescopes VI*, *SPIE*, **3352**, 14–22
6）榎基宏，多賀正敏，小澤友彦，野田祥代，奥村真一郎，吉野彰，古荘玲子，馬場肇，洞口俊博，高田唯史，市川伸一:すばる望遠鏡公開データアーカイブシステムの開発 3, 国立天文台報, **7**, 57–84.
7）T. Takata, M. Yagi, N. Yasuda, R. Ogasawara: Distributed data archivesystems for Subaru Telescope, *SPIE*, **4844**, 242–249 (2002).
8）T. Takata, R. Ogasawara, K. Kawarai, and T. Yamamoto:Data archive and Database System of the SUBARU Telescope, *Proc. SPIE*, **3349**, 247–254 (1998).
9）T. Takata, R. Ogasawara, G. Kosugi, Y. Mizumoto, S. Ichikawa, N. Yasuda, M. Taga, M. Yagi, T. Horaguchi, H. Baba, M. Watanabe, T. Ozawa, M. Hamabe, T. Yamamoto, and K. Kawarai: STARS (Subaru Telescope archive system) for the Effective Return from Subaru Telescope, *Proc. SPIE*, **4010,** 181–189 (2000).
10）天文情報処理研究会: FITSの手引き第 5 版 (2004).
11）R. J. Hanisch, A. Farris, E. W. Greisen, W. D. Pence, B. M. Schlesinger, P. J. Teuben, R. W.

Thompson, and A. Warnock III: Definition of the Flexible Image Transport System (FITS), *A&Ap* **376**, 359–380 (2001)

12) P. T. Wallace: The SLALIB Library Astron, *ASP Conference Series*, **61**, 481 (1994)

13) N. Kobayashi, A. T. Tokunaga, H. Terada, M. Goto, M. Weber, R. Potter, P. M. Onaka, G. K. Ching, T. T. Young, K. Fletcher, D. Neil, L. Robertson, D. Cook, M. Imanishi, and D. W. Warren: IRCS: Infrared Camera and Spectrograph for the Subaru Telescope, *Optical and IR Telescope Instrumentation and Detectors*, ed. M. Iye and A. F. Moorwood, *Proc. SPIE*, **2008**, 1056–1066 (2000).

14) N. Kashikawa, K. Aoki, R. Asai, N. Ebizuka, M. Inata, M. Iye, K. S. Kawabata, G. Kosugi, Y. Ohyama, K. Okita, T. Ozawa, Y. Saito, T. Sasaki, K. Sekiguchi, Y. Shimizu, H. Taguchi, T. Takata, Y. Yadoumaru, and M. Yoshida: FOCAS: The Faint Object Camera and Spectrograph for the Subaru Telescope, *PASJ*, **54**, 819–832 (2002).

15) K. Noguchi, W. Aoki, S. Kawanomoto, H. Ando, S. Honda, H. Izumiura, E. Kambe, K. Okita, K. Sadakane, B. Sato, A. Tajitsu, T. Takada-Hidai, W. Tanaka, E. Watanabe, and M. Yoshida: High Dispersion Spectrograph (HDS) for the Subaru Telescope, *PASJ*, **54**, 855–864 (2002).

16) H. Kataza, Y. Okamoto, S. Takubo, T. Onaka, S. Sako, K. Nakamura, T. Miyata, and T. Yamashita: COMICS: the cooled mid-infrared camera and spectrometer for the Subaru Telescope, Optical and IR Telescope Instrumentation and Detectors, ed. M. Iye and A. F. Moorwood, *Proc. SPIE*, **4008**, 1144–1152 (2000).

17) S. Miyazaki, Y. Komiyama, M. Sekiguchi, S. Okamura, M. Doi, H. Furusawa, M. Hamabe, K. Imi, M. Kimura, F. Nakata, N. Okada, M. Ouchi, K. Shimasaku, M. Yagi, and N. Yasuda: Subaru Prime Focus Camera--Suprime-Cam, *PASJ*, **54**, 833–953 (2002).

18) A. U. Landolt: UBVRI photometric standard stars in the magnitude range 11.5-16.0 around the celestial equator, *AJ*, **104**, 340–371 (1992)

19) D. B. A. Monet, B. Canzian, C. Dahn, H. Guetter, H. Harris, A. Henden, S. Levine, C. Luginbuhl, A. K. B. Monet, A. Rhodes, B. Riepe, S. Sell, R. Stone, F. Vrba, R. Walker: *The USNO-A2.0 Catalogue VizieR On-line DataCatalog: I/252.* Originally published in U.S. Naval Observatory FlagstaffStation (USNOFS) and, Universities Space Research Association (USRA) stationed at USNOFS. (1998).

20) M. Fukugita, K. Shimasaku, and T. Ichikawa: Galaxy Colors in Various Photometric Band Systems, *PASP*, **107**, 945–958 (1995).

21) E. Bertin, and S. Arnouts: SExtractor: Software for source extraction, *A&ApS*, **117**, 393–404 (1996).

22) Johnson, H. L., and Morgan, W. W: Fundamental stellar photometry for standards of spectral type on the revised system of the Yerkes spectral atlas *ApJ*, **117**, 313 (1953).

23) Cousins, A.W.J.: VRI Photometry at the S. A. A. O. *MNSSA*, **34**, 68 (1975).

24) Thuan & Gunn: A new four-color intermediate-band photometric system, *PASP*, **88**, 543 (1976).

25) 出田誠，榎基宏，吉野彰，仲田史明，奥村真一郎，山本直孝，古荘玲子，矢治健太郎，山田善彦，八木雅文，洞口俊博，高田唯史，市川伸一:すばる望遠鏡公開データアーカイブシステムの開発 4，国立天文台報，印刷中.