

## 全天モニタ画像公開システムの開発

小澤友彦<sup>1</sup>, 野田祥代, 古澤順子, 吉田鉄生, 樋口祐一, 市川伸一

(2014年11月7日受付; 2014年12月15日受理)

## Development of the SkyMonitor Imaging Data Service System

Tomohiko OZAWA<sup>1</sup>, Sachiyo NODA, Junko FURUSAWA, Tessei YOSHIDA, Yuichi HIGUCHI,  
and Shin-ichi ICHIKAWA

### Abstract

We developed the SkyMonitor Imaging Data Service System, which provides SkyMonitor images taken at Okayama Astrophysical Observatory and Higashi-Hiroshima Observatory. For astronomical education, our system implemented an advanced searching facility, which allows users to search informative data. Visualized thumbnail images in the search results assist in finding the target immediately. High resolution SkyMonitor images with the same resolution at the time of photographing which are provided by our system enable a lot of utilization, including an animation making, for astronomical purposes.

### 概要

我々は岡山天体物理観測所と広島大学東広島天文台で撮影された全天モニタ画像を公開するためのシステムの開発を行った。本システムは全天モニタ画像の学校教育や生涯教育への活用を目指し、必要な画像を容易に検索することを可能とする高度な画像検索機能を備えたものである。加えて、検索時にサムネイル画像を表示することで検索結果を視覚的にし、ユーザの利用の効率化を図った。本システムは撮影されたままの高解像度の画像を公開するものであり、動画の作成など様々な利用が期待できる。

## 1 はじめに

同一地点で連続して撮影される全天モニタ画像は、科学の様々な分野で活用されており、例えばオーロラなど高層大気の研究[1]や、森林都市開発などの研究調査[2]、観光資源の広報普及（公益財団法人群馬県観光物産国際協会ホームページの「360°全方向から見えるパノラマ」<sup>1)</sup>）などが挙げられる。天文学においても流星や突発天体などの研究[3]に利用されている。また、観測中にリアルタイムで天候状態を判断し、効率の良い観測を行うために重要なデータにもなっている。データアーカイブにおいては、データの品質評価の材料として活用されている。

全天モニタ画像には、時々刻々の星の動き（日周運動）や季節ごとの星座の移り変わり、太陽の南中高度変化、惑星の運行、といった学校教育における理科や地学の単元に沿ったデータが記録されている。こうした画像は教育目的に有効活用すべきであろう。

また近年、高性能（高解像度）のデジタルカメラが低価格で入手できるようになり、全天モニタに使用するカメラもデジタルカメラが一般的となっている。デジタルカメラで撮影されたカラー画像には、星座を形作る星の並びだけでなく、雲や天の川の動き、遠方の街明かりによる光害などが一目瞭然に記録されており、“天の川はどのように見えるのか”、“街明かりによる星の見え方の違い”といった生涯教育にも有意義な

<sup>1</sup> 和歌山県紀美野町文化センター (Kimino-cho Culture Center)

テーマとして役立つことができる。

このように価値ある全天モニタ画像は世界各地でアーカイブとして公開されている（例えば、SkyArchives<sup>2)</sup>、国立極地研究所オーロラ全天カメラ観測点一覧<sup>3)</sup>）が、日時による検索が主な機能であり、同一時刻の複数画像を抽出したり、特定の天体が写っている画像を選択したりすることは容易ではない。また、撮影されたままの高解像度の画像がアーカイブされていないことが多い上、必要な画像をまとめてダウンロードすることが難しいなど、前述のような教育利用に適しているとはいえない。

一方我々は、天文データアーカイブシステムであるSMOKA (Subaru Mitaka Okayama Kiso Archive system)<sup>4)</sup> [4]の開発を行い、運用している[5-9]。SMOKAは、国立天文台のハワイ観測所のすばる望遠鏡[10]、岡山天体物理観測所188cm望遠鏡、東京大学木曾観測所105cmシュミット望遠鏡、東広島天文台のかなた望遠鏡[11]、MITSuME望遠鏡[12]の観測データを蓄積・管理し、ユーザに提供している。SMOKAでは様々な研究目的をもつユーザからの多様な要望に応えるべく、数多くの検索機能を開発してきた。その結果、SMOKAの利用は年々増加しており、毎月10,000–100,000フレームという世界各国からの観測データ請求を処理している。SMOKAを利用した査読あり研究論文も160本を超え、光赤外地上観測データのアーカイブシステムとして天文学の発展に重要な役割を担っている。SMOKAでは、環境データの一つとして各観測所で撮影された全天モニタ画像を蓄積し公開している。しかしながら、SMOKAで公開している全天モニタ画像の中には解像度を下げたものがあり、それらをWeb上で日付毎の閲覧しかできないなど、やはり教育利用に適しているとはいえない面がある。

以上のような背景の下、全天モニタ画像の教育目的での利用を促進すべく、高解像度の全天モニタ画像を撮影翌日に公開する全天モニタ画像公開システムを開発した。公開データは、SMOKAで保有している岡山天体物理観測所（岡山）と広島大学東広島天文台（東広島）の全天モニタ画像である。開発に際し、SMOKAの開発と運用を通じて蓄積したデータ公開システムに関する知見と経験を生かした。本システムは、学校教育や、生涯教育を目的とした利用に効率の良い検索機能を備え、撮影時のままの高い解像度の画像をユーザ

に提供する特長を持ったものである。

本論文では、2章で全天モニタ画像について述べ、3章で本システムに備えるべき機能と性能を論じ、4章でシステム構築の詳細を述べる。5章で運用および利用状況、6章で今後の課題を議論し、7章でまとめを行う。

## 2 全天モニタ画像について

本システムで公開する画像は、岡山と東広島で撮影された全天モニタ画像である。全天モニタ画像は、観測中の天候や観測データの品質確認のため、各観測所で連続的に撮影されているものである。岡山、東広島ともに600×600ピクセルに縮小した画像がWeb上で即時公開されている<sup>5),6)</sup>。岡山のWebでは、リアルタイム画像として高解像度のもも閲覧できるが、アーカイブモードで表示される過去の画像は600×600ピクセルである。

SMOKAでは、これらの画像を他の環境データ（気温、湿度、気圧、風速、風向）とあわせて、日々観測所から転送し、観測時の環境情報として公開している。SMOKAで公開中の岡山の全天モニタ画像の解像度は600×600ピクセルであり、東広島は2200×2200ピクセル（撮影時の解像度）だが、いずれも観測データに付随する環境情報提供というSMOKA本来の目的から、日付を特定しての表示機能に限定している。今回開発した全天モニタ画像公開システムでは、全天モニタ画像を高解像度のまま撮影翌日に公開し、容易に高度検索ができる機能を備えることを目指した。

各観測所の全天モニタシステムで使用しているカメラおよび公開画像の緒元を表1、システムの所在地を図1に示す。画像は全周魚眼レンズを使用したデジタル一眼レフカメラで撮影されており、矩形の画像に対して内接円の範囲に映像が映し出される（図2、図3）。この内接円の範囲をイメージサークルと呼ぶ。画像形式はJPEGであり、カラーで撮影されている。岡山、東広島ともに、全周魚眼レンズはSIGMA社製(4.5mm F2.8 EX DC Circular Fisheye HSM)を使用している。投影法は等立体角撮影（メーカー公表<sup>7)</sup>）である。観測所ごとの特徴を以下に述べる。

### (1) 岡山の全天モニタシステム

設置場所は観測所本館屋上である。サンプル画像を図2に、外観を図4に表す。図2では、91cm反射望遠鏡および188cm反射望遠鏡のドームなど地上の風景に加え、星や天の川が写り込んでいる。本システムでは、2013年2月14日以降の1分間隔で撮影された画像を公開対象とした。

1) <http://gtia.jp/panorama/>

2) <http://skyarchives.dai1.jp/>

3) <http://polaris.nipr.ac.jp/~acauroara/location/>

4) <http://smoka.nao.ac.jp/>

5) <http://www.oao.nao.ac.jp/weather/skymonitor/>

6) [http://hasc.hiroshima-u.ac.jp/environ/skymon\\_summary.html](http://hasc.hiroshima-u.ac.jp/environ/skymon_summary.html)

7) [http://www.sigma-photo.co.jp/lens/wide/45\\_28/](http://www.sigma-photo.co.jp/lens/wide/45_28/)

観測所	岡山天体物理観測所	広島大学東広島天文台
東経	133度35分38秒	132度46分36秒
北緯	34度34分38秒	34度22分39秒
カメラ	NikonD90	NikonD3200 (2013年6月26日以降)
		NikonD3000 (2013年6月20日以前)
撮影間隔	1分	2分 (2012年2月4日以降)
		10分 (2012年2月3日以前)
画素	2300×2300ピクセル	2200×2200ピクセル

表1：全天モニタシステム諸元. 公開している全天モニタ画像の情報である. 広島大学東広島天文台の画像は、途中からカメラおよび撮影間隔が変更されている.

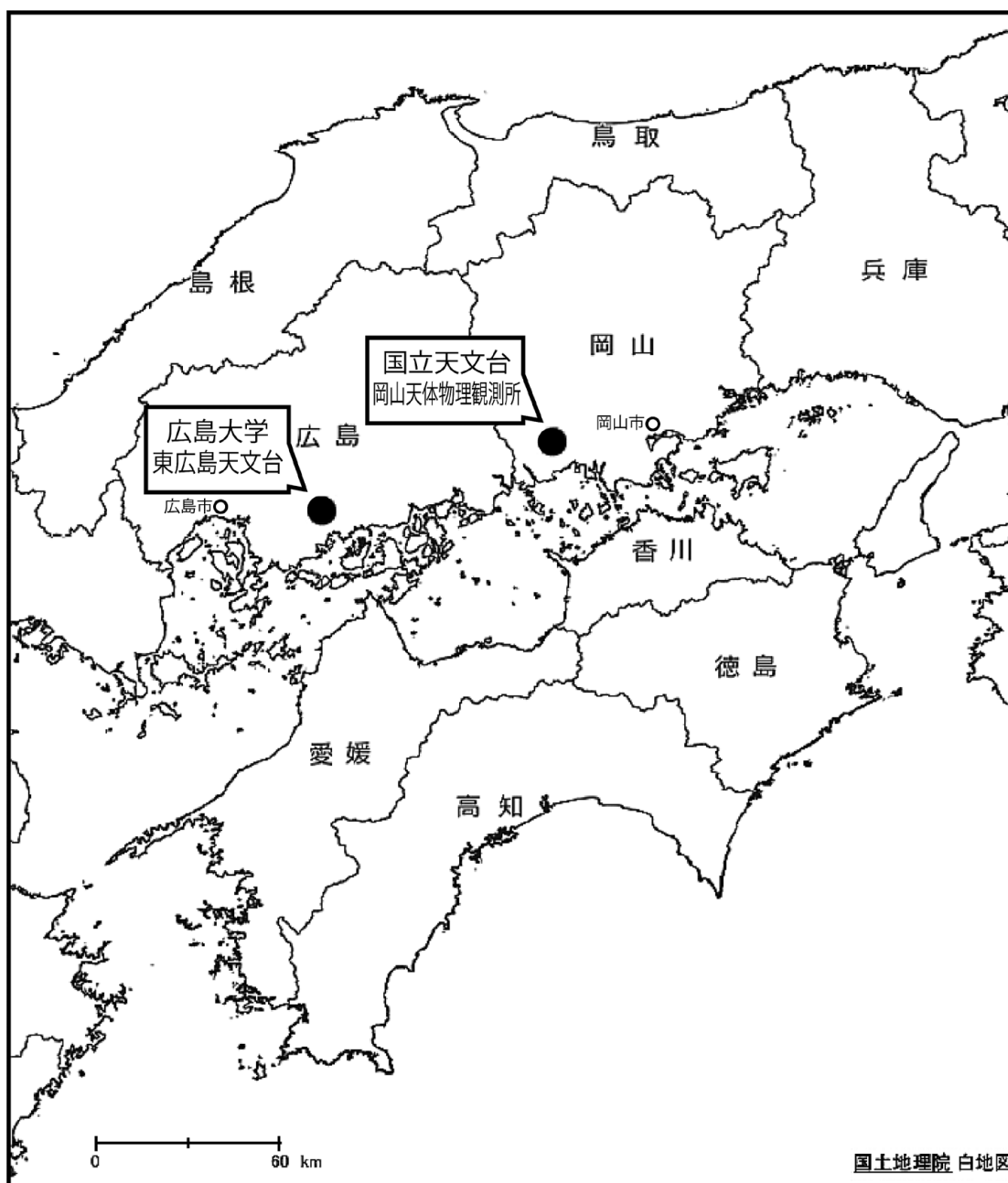


図1：全天モニタ画像が設置された観測所の場所. 各全天モニタシステムが設置されている観測所の位置を●で表す. 国土地理院の白地図 (<http://portal.cyberjapan.jp/site/mapuse4/>) に、観測所の位置を明記した.

## (2) 東広島の全天モニタシステム

設置場所はドーム東側の屋上である。モニタの外観を図5に示す。サンプル画像（図3）では星や天の川、天文台のドームが写っていることがわかる。本システムでは、2012年1月15日以降の画像を公開対象とした。撮影間隔は、2012年2月3日までは10分間隔、それ以降は2分間隔である。

## 3 本システムに備えるべき機能と性能

我々は、想定される使い方を基に、備えるべき機能

や性能を定めることとした。3.1節で想定される利用例を挙げ、それに基づき備えるべき機能と性能を3.2節で、システム運用の上で必要となる機能・性能について3.3節で論じる。

### 3.1 想定される利用例

全天モニタ画像の利用方法は、用途により多種多様と考えられる。本システムは教育利用を主眼としたものであるため、教育の場面で想定される6つの学習テーマを挙げ、各々の利用例を述べる。



図2：岡山天体物理観測所全天モニタ画像サンプル。2013年6月12日2時45分50秒に岡山で撮影された画像。画像からは星座がたどれ、また地上の風景も見える。画像上部には、188 cm 反射望遠鏡のドーム、右上部には91 cm 反射望遠鏡のドームが写っている。

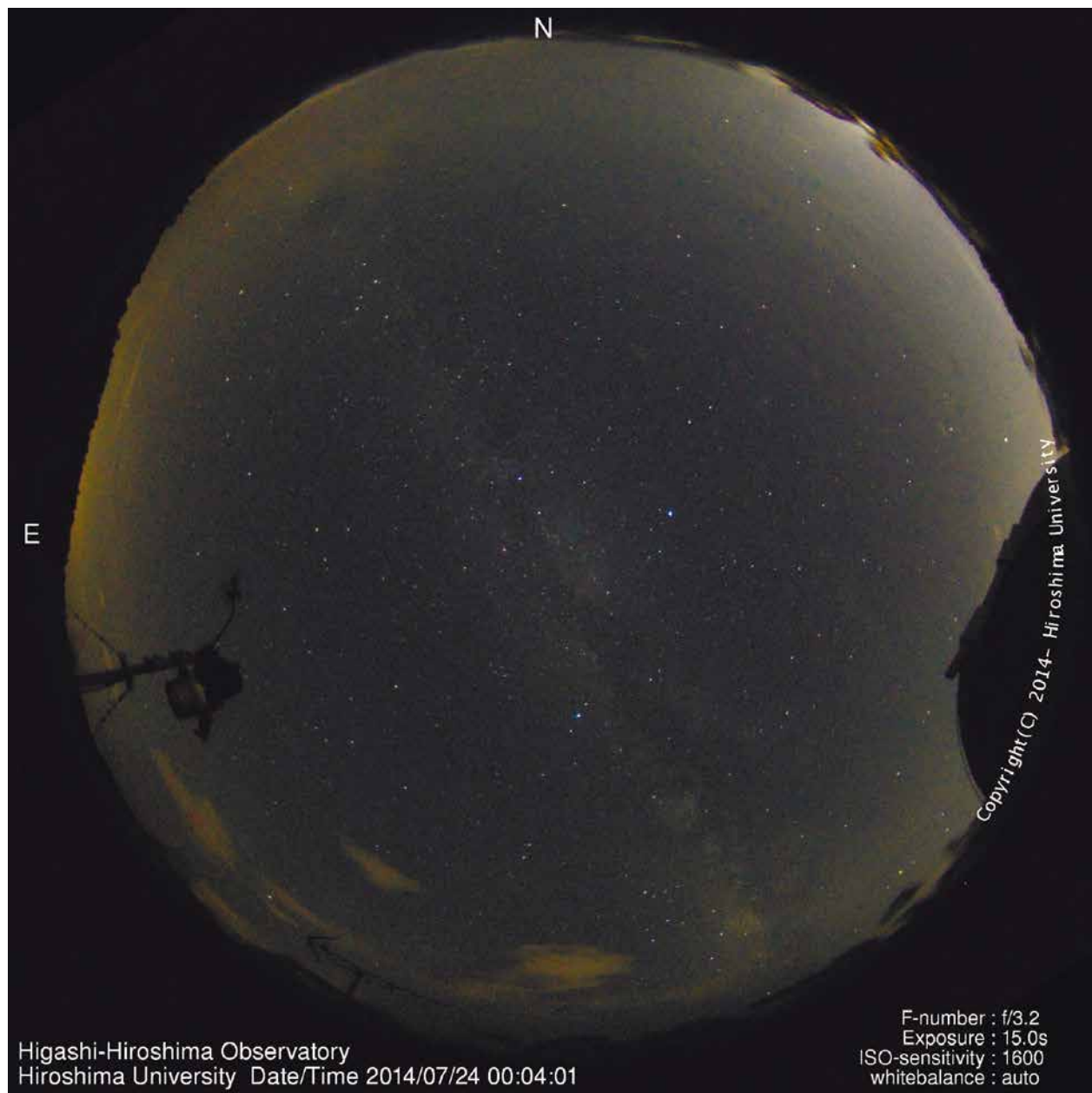


図3：広島大学東広島天文台全天モニタ画像サンプル。2014年7月24日0時4分1秒に東広島で撮影された画像。岡山同様、星座や天の川がわかる。画像右側にはかなた望遠鏡（1.5m光学赤外線望遠鏡）のドームも写っている。



図4：国立天文台岡山天体物理観測所の全天カメラ。本館屋上に設置されている。



図5：広島大学東広島天文台の全天カメラ。ドーム東側建屋屋上に設置されている。

- (a) **星の日周運動** 星が日周運動をする様子は、中学校理科の単元「日周運動と自転」を理解する上で欠かせない自然現象である。しかし授業は日中行われることが多く、星の動きを実際に見る機会は稀といえよう。また人口の多くが都市部に集中する現代では、自然の星空を眺める機会そのものが極めて少なく、全天モニタ画像から星の日周運動がわかるような映像を作成できれば、非常に価値の高いものとなる。
- (b) **惑星の運行** 惑星の運行は、地球をはじめ太陽系惑星の公転運動を知る手がかりとなる。しかしながらその動きは緩やかであり、数か月かけて星座の中を移動する様子を観察することは容易ではない。蓄積した全天モニタ画像から星座の中を動く惑星の映像を作成できれば、長期にわたる惑星の運行を容易に観察することができる。
- (c) **太陽の南中高度変化** 中学校教育の理科の単元「年周運動と公転」では、太陽の南中高度の変化を学習する。一年を通しての太陽の動きは、季節の移り変わりという人々の日常生活と深く関わりのある自然現象であるため、全天モニタ画像から季節ごとの太陽の南中高度変化がわかる教材を作成することは重要であるといえよう。
- (d) **星座の季節変化** 地球の公転による星の動きはわずかであり、日々の変化を実際の星空を見て体感することは難しい。このため、季節の星座と呼ばれるように不連続な変化として扱われることも多い。通年にわたって同時刻の全天モニタ画像を抽出し、地球の公転により星や星座が連続的に移り変わる様子がわかる映像を作成する例が考えられる。
- (e) **月が見える場所の変化** 同じ観測地点で月が見える位置が変化する様子を観察することは、月の公転運動の理解につながる。しかしながら、比較する星が見えづらいなどの理由で、実感を持って捉えることは難しい。全天モニタ画像から毎日同時刻の月が映るものを選出し時系列順に並べることで、月の位置変化を知る映像を作成することができる。
- (f) **日没時刻の変化** 日の出、日の入り時刻は、日常生活においても関心が高いものであり、その変化の様子を知ることは重要性が高いといえよう。全天モニタ画像から、通年にわたり夕刻の空の画像を抽出し、季節ごとの日没時刻の変化を確認できる映像を作成する例が考えられる。

### 3.2 備えるべき機能と性能

本システムで扱う画像データ量は、1年あたり岡山：約53万枚（2.3TB）、東広島：約26万枚（1.3TB）と膨大であり、ユーザが目的とするデータを効率良く抽出するための検索機能が必要である。前節で論じた利用例を実現するために本システムが備えるべき検索項目は以下のようにまとめられる。（子）期間の指定、（丑）時刻の指定、（寅）恒星時の指定、（卯）天体の指定（写る範囲に対象天体が存在するか否かの判定）。また、これらの検索項目で選び出した結果を能率的に評価するために、（辰）画像の確認（目視により必要な画像か否かを判断できる機能）、ユーザが効率的に本システムを利用するために、（巳）高速な検索（ユーザの待ち時間を極力減らす）、（午）画像の一括取得機能（複数画像を一つのファイルにまとめて取得できる機能）を備えることとした。

### 3.3 システム運用に必要な機能と性能

本システムでは撮影翌日の画像公開を目指す。また少ない要員で安定した長期運用を実現するには省力化が必要である。そのために必要な機能・性能を以下にまとめる。

- （未）**公開作業の自動化** 画像の生産量は観測所により異なるが、ほぼ毎日途切れることなく500～1500枚/日の画像が撮影され続けている。休日や要員の都合によらず撮影翌日の公開を実現するために、公開作業をできる限り自動化する。
- （申）**公開作業の処理速度** ネットワーク環境やハードウェアのメンテナンスによる公開作業の中断を想定し、週末に中断が起きた場合でも週明け以降の処理が滞ることのないよう、3日分の画像処理を1日以下で終える処理速度を備えることとする。
- （酉）**クレジットの掲載** 観測所で撮影された画像の適正な利用を図るため、観測所名を公開画像データのイメージサークル内に自動で書き込むこととする（図2、図3）。
- （戌）**ユーザ登録** 機械的なアクセス等による不必要なデータ請求を抑制するため、および、不適切な使用を追跡可能とするため、画像取得にはユーザ登録を必須とする。
- （亥）**検索結果の表示数・取得画像数の制限** 1回あたりの検索結果数が膨大になると、システムおよびネットワークに極端な負荷がかかることが憂慮される。そこで検索結果表示数および取得画像数の上限値を定めることとする。



## 4 全天モニタ画像公開システムの構築

本章では、3章で論じた機能・性能を実現すべく構築したシステムについて述べる。4.1節で本システムの構成を概説する。4.2節でユーザインタフェース、4.3節で検索機能の開発、4.4節でデータ請求システムの開発、4.5節でユーザ向けのドキュメント整備の順に論ずる。また、3.3節で述べたシステム運用面から要求される内部処理機能の開発については、4.6節で論ずる。

### 4.1 システム構成

本システムはSMOKAの開発と運用を通じて得た知識と経験を基に、機能別の6つの論理的なサーバーで構成することとした。全天モニタ画像公開システムの構成図を図6に示す。実装にあたっては、FTPサーバーとデータ転送サーバーをSMOKAと共有するなど、SMOKAのシステムを軸とし、既存のノウハウやプログラムを利用して全天モニタ画像公開システムに必要な部分のみを開発することとした。本開発で用いた計算機の仕様を表2にまとめる。一つの論理的サーバーに複数台の計算機を割り当てることで負荷分散している。

### 4.2 ユーザインタフェース

ユーザインタフェースはSMOKAの運用技術を継承しつつ、3章で論じた検索機能を組み込んで構築した。

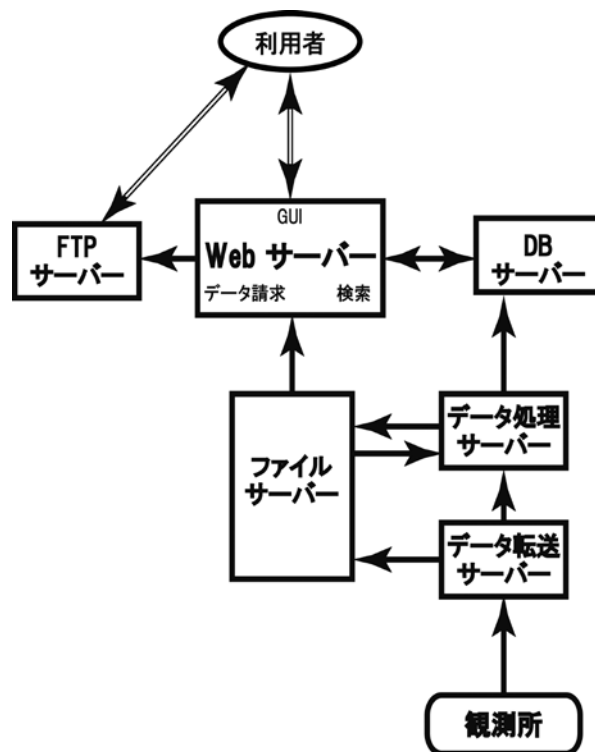


図6：システム構成図。本システムで用いた論理的サーバーの構成と主なデータの流れを示す。構成している論理的6台のサーバーは、ユーザが直接アクセスするFTPサーバーとWebサーバー、データ検用のデータベース(DB)サーバー、画像データを保管するファイルサーバー、データの前処理を行うデータ処理サーバー、各観測所からのデータ転送を行うデータ転送サーバーである。実装では、FTPサーバーとデータ転送サーバーはSMOKAと共有している。

データ転送サーバー (2台)	CPU	Intel Xeon E5-2630L (2.0GHz:6core) × 2CPU
	メモリ	32GB
	OS	Red Hat Enterprise Linux 6
ファイルサーバー (3台)	CPU	SPARC64 VII + (2.86GHz:4core) × 1CPU
	メモリ	64GB
	OS	Solaris 10
	ストレージ	19TB (RAID6)
データ処理サーバー (2台)	CPU	Intel Xeon E5-2690 (2.9GHz:8core) × 2CPU
	メモリ	128GB
	OS	Red Hat Enterprise Linux 6
データベースサーバー (2台)	CPU	Intel Xeon E5-2690 (2.9GHz:8core) × 2CPU
	メモリ	32GB
	OS	Red Hat Enterprise Linux 6
Webサーバー (1台)	CPU	Intel Xeon E5-2630L (2.6GHz:6core) × 2CPU
	メモリ	32GB
	OS	Red Hat Enterprise Linux 6
FTPサーバー (1台)	CPU	Intel Xeon E5-2630L (2.0GHz:6core) × 1CPU
	メモリ	32GB
	OS	Red Hat Enterprise Linux 6

表2：本システムで使用している計算機。6台の論理的サーバーを割り付けた11台の計算機を示す。内訳は、データ転送サーバー2台、ファイルサーバー3台、データ処理サーバー2台、データベースサーバー2台、Webサーバー1台、FTPサーバー1台である。

実装には、Webサーバー機能（Apache HTTP Server, Apache Tomcat）とJSP（Java Server Pages）機能を用いている。JSPはHTMLの中でJava言語を使用してWebサーバー上で動的なコンテンツを作成するものである。また、部分的にWebクライアント側で動作するJavaScriptも使用している。教育（学校・生涯）を目的としたシステムは日本語と英語の両方で構築せねばならない場合が多いが、本システムでは開発期間短縮と労力の軽減を図り、まず国内への浸透を目指して日本語版のみの構築を行った。以下で各表示画面の詳細を述べる。

### (1) 検索画面

検索条件の入力画面を図7に示す。3.2節でまとめた項目のうち（子）「期間指定」、（丑）「時刻指定」、（寅）「恒星時指定」、（卯）「天体指定」の検索機能を実現するため、以下を入力項目とした。

#### 必須条件：

観測所（岡山天体物理観測所または東広島天文台）  
 期間（年月日）  
 昼夜（昼、夜、または両方）

#### 選択条件：

恒星時（時分）  
 撮影時刻（時分）  
 月、惑星（水星、金星、火星、木星、土星）の有無

File Edit View History Bookmarks Tools Help

空モニタ検索

dw02.dc.nao.ac.jp/skymonitor/ Google

## 全天モニタ画像検索

こちらでは 国立天文台岡山天体物理観測所、広島大学東広島天文台 に設置された空モニタ(岡山、広島)で取得された画像を対象に、さまざまな条件で検索し、画像をダウンロードすることができます。  
 画像の検索ならびに閲覧はどなたでも行えますが、ダウンロードにはユーザー登録が必要です(無料)。

注意!検索結果が大量となる場合、全ての結果を表示できません(最大1440枚)。予めご了承ください。

### 検索条件(必須)

観測所

- 国立天文台岡山天体物理観測所 (2013-02-14 / 2014-11-04)
- 広島大学東広島天文台 (2012-01-15 / 2014-11-04)

期間(短期間がより高速) 2012 01 15 - 2014 11 04

昼夜(複数選択可)  昼  夜

### 検索条件(選択:必要に応じて以下から一つ選んでください)

- 未選択
- 恒星時指定(画面中央の赤経hmm,0時を越える場合は2300-0100等記入) 00 00 - 00 00
- 撮影時刻指定(期間中の同一撮影時刻hmm,0時を越える場合は2300-0100等記入) 00 00 - 00 00

### 検索条件(選択:以上で選択した条件に付加されます)

- 月の有無(複数選択可)  あり  なし
- 水星の有無(複数選択可)  あり  なし
- 金星の有無(複数選択可)  あり  なし
- 火星の有無(複数選択可)  あり  なし
- 木星の有無(複数選択可)  あり  なし
- 土星の有無(複数選択可)  あり  なし

検索

2014-11-04 14:53:43

Copyright © 2014 SMOKA(すばる三鷹岡山木曾アーカイブ)/天文データアーカイブセンター/天文データセンター/国立天文台. All rights reserved.

図7：全天モニタ画像検索画面。期間の選択ならびに昼夜の選択に関しては、初期値が設定されている。



いずれの項目も不正な文字入力を防ぐため、選択ボタンまたはプルダウンメニューでの入力方式とした。必須条件の初期値として、「期間」にはいずれかの観測所の公開画像が存在する範囲を表示し、「昼夜」は夜にチェックを入れている。検索条件を入力して画面下方の「検索」ボタンを押すと、データベースへの問い合わせを開始する。

## (2) 検索結果表示画面

データベース検索の結果表示画面を図8に示す。ユーザが結果全体の確認を視覚的に行えるように、検索結果はサムネイル（縮小）画像（岡山：230×230ピクセル，東広島：220×220ピクセル）を撮影時刻順に並べて一覧表示することとした。撮影時刻は各サムネ

イル画像の下方に表示した。サムネイル画像の一覧表示には、HTMLのテーブルタグを用いている。

各サムネイル画像から、より解像度の高いプレビュー画像（岡山：575×575ピクセル，東広島：550×550ピクセル）をリンクした。ユーザはサムネイル一覧から特定の画像をクリックすればプレビュー画像が閲覧でき、天候の判断や目的の天体の写り具合を確認でき、3.2節の（辰）「画像の確認」はこれにより実現できた。

検索期間を長く指定すると結果が膨大な数になり、結果表示に時間を要するだけでなく、データ請求時にシステムやネットワークに過大な負荷がかかる。そこで結果表示枚数は、1分毎の画像を一日分請求した場合の1440枚を最大とし、3.3節の（亥）「検索結果の表示数・取得画像数の制限」を実装した。

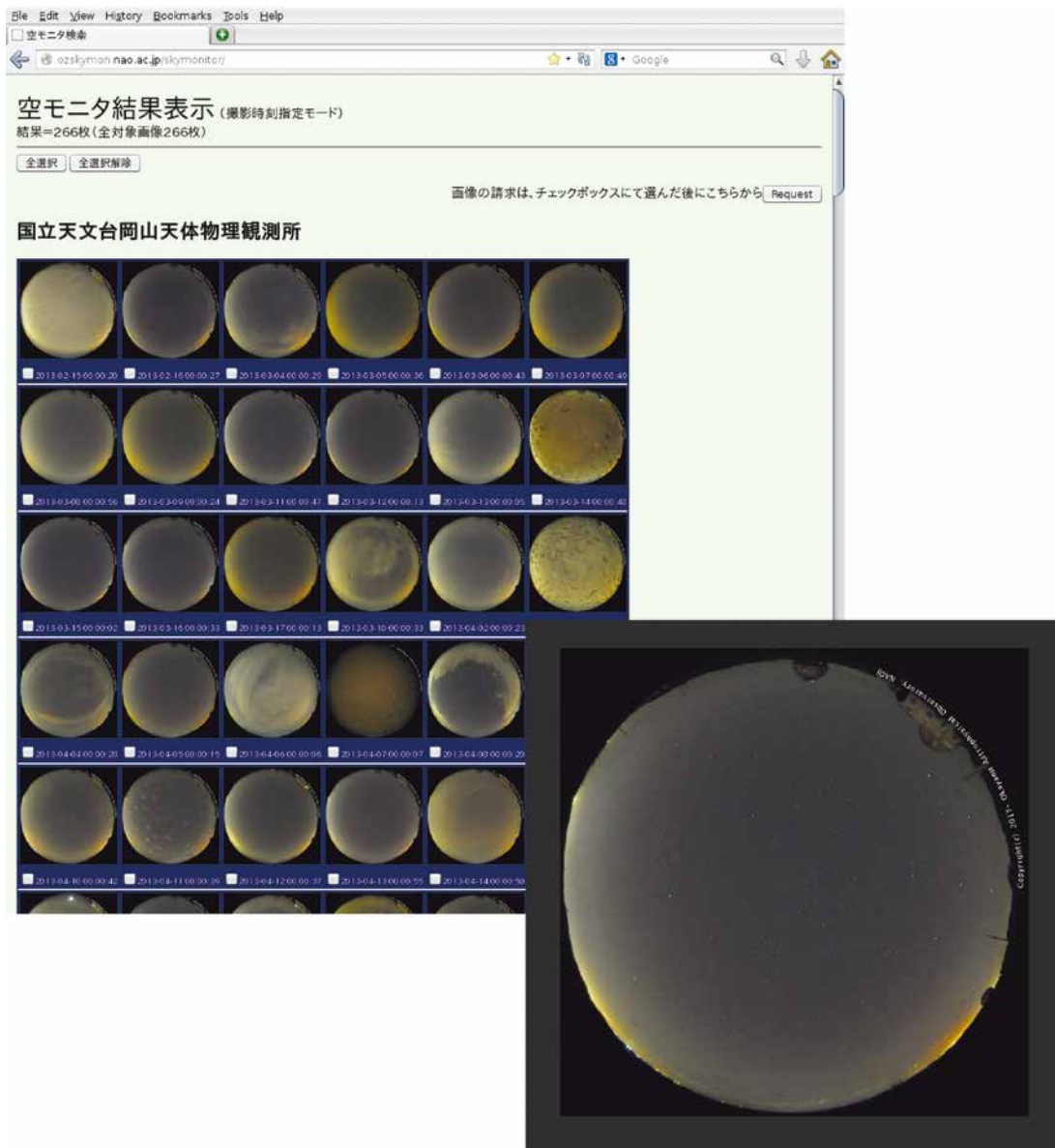


図8：サムネイル画像の一覧とプレビュー画像。検索結果はサムネイル画像（左上）の一覧として表示される。利用者は各画像をクリックすることでプレビュー画像（右下）を閲覧できる。

図9：データ請求フォーム画面。全天モニタ画像の取得時にユーザアカウント名を入力，さらにデータの取得形式（FTP），圧縮形式（ZIP, TAR.GZ），および利用目的を選択する。

各サムネイル画像下方にはチェックボックスを設けた。ユーザは、チェックボックスにチェックを入れて画像の選択を行う。全ての画像の選択および解除は「全選択」「全選択解除」ボタンで行うことができる。画像選択用のチェックボックスはHTMLフォームを、チェックボックスの全選択や全解除の機能はJavaScriptを利用して実装した。画像を選択した後、「Request」ボタンを押すとデータ請求画面へと移動する。

### (3) データ請求画面

図9にデータ請求画面を示す。SMOKAと同様、ユーザにアカウント名入力と利用目的の選択を促している。取得形式はFTPのみである。ユーザが多数の画像を取得する場合、1画像ずつダウンロードするのは非常に効率が悪い。そこで、本システムでは圧縮形式を選択できるようにし、複数の画像ファイルを1ファイ

ルにまとめられるようにした。初期値は非圧縮であるが、利用が見込まれるZIP形式、TAR.GZ形式を選択可能とした。3.2節の（午）「画像の一括取得機能」についてはこれにより実現した。この画面で「OK」ボタンを押せば、データ請求の手続きは完了である。

### (4) ユーザ登録画面

不正アクセスによる大量請求などを防ぐため、SMOKAではデータ請求を登録制にしている。本システムも同じ理由からデータ請求を登録制にするため（3.3節の（戊）「ユーザ登録」）、SMOKAで運用中のユーザ管理情報をそのまま利用し、開発にかかる負担を軽減した。SMOKAのアカウントを持つユーザは自動的に本システムにも登録されることになるため、新たなユーザ登録は不要である。

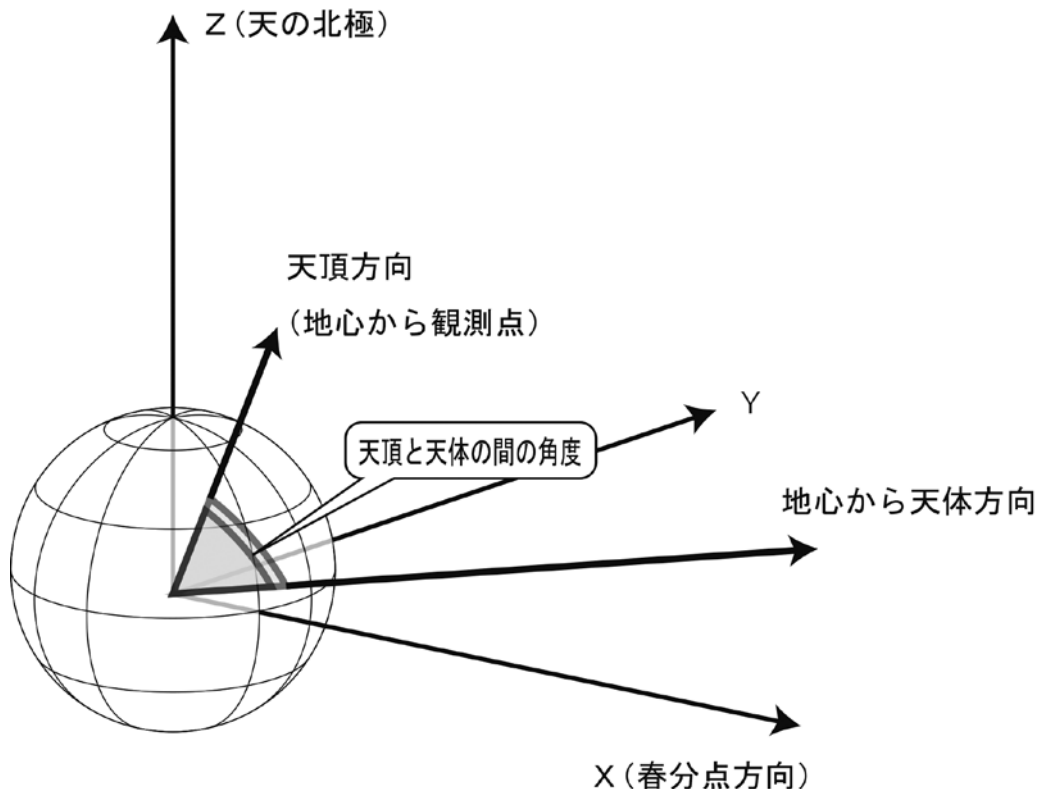


図10：地心に対する観測点と天体の関係図。本システムでは、原点を地心とし軸を赤道座標系とした直交座標を採用している。観測点における可視・不可視は、地心から見た観測点と天体の間の角度（二つのベクトルの内積の正負）によって求めることとした。

### 4.3 検索機能の開発

検索画面（図7）からの検索を可能にするためには、検索および結果表示に用いる各種情報をデータベース上に保持しておく必要がある。本システムではSMOKAと同様、リレーショナルデータベース管理システムである PostgreSQL<sup>8)</sup> 9.2.2を使用し、データベース上に画像情報を登録するテーブル（画像情報テーブル）、および太陽、月、惑星の座標情報を登録するテーブル（天体情報テーブル）を作成した。画像情報テーブル、天体情報テーブルのカラム一覧をそれぞれ表3、表4に示す。以下で、検索画面から起動される検索機能の開発について述べる。

#### (1) 観測所指定による検索機能

2014年11月現在、画像情報テーブルは岡山、東広島を合計して約154万行である。このままでも観測所を指定して検索することは可能だが、今後取り扱う観測所が増えることを想定し、データベース上で画像情報テーブルを観測所ごとに分離して検索時に参照テーブルを切り替えることとした。これにより将来的なテ

ブルの巨大化を防ぎ、検索および公開処理にかかる時間の短縮が期待できる。

#### (2) 期間指定、時刻指定による検索機能

観測所ごとの画像情報テーブルに登録された撮影日時（表3の「jst」カラム）を参照し、条件にあう画像のみを抜き出すことで実現した。

#### (3) 恒星時による検索機能

同じ位置に同じ恒星が写るような画像を抜き出すためには、同一の恒星時に撮影された画像を画像情報テーブルから検索すればよい。そこで、生の画像から抽出した撮影日時、観測場所の経度（表1）から恒星時を算出し、画像情報テーブル（表3の「lst」カラム）に登録することで恒星時による検索を可能にした。

#### (4) 天体の有無による検索

月や惑星の有無は、天体情報テーブルを参照し、赤道直交座標系でその天体方向のベクトルと観測点での天頂方向のベクトルの内積の正負から、観測点の空に天体が昇っているかどうかを判断する（図10）。天頂方向のベクトルは地心と観測点を結ぶものと近似し、大気差や観測地の標高によって水平以下まで見える効

8) <http://www.postgresql.org/>

カラム名	データ型	内容
filename	varchar(32)	ファイル名
subpath	varchar(256)	ディレクトリ
date_obs	varchar(32)	撮影日時 (UT)
mjd	double precision	撮影日時 (MJD)
jst	varchar(32)	撮影日時 (JST)
exif_timestamp	timestamp	Exifに記録された撮影日時
width	smallint	画像幅
height	smallint	画像高
filesize	integer	ファイル容量
exptime	double precision	露出時間
isospeed	real	ISO感度
aperture	real	F値
evvalue	double precision	露出値
lst	double precision	地方恒星時
x	double precision	天頂のX座標
y	double precision	天頂のY座標
z	double precision	天頂のZ座標
rah	double precision	天頂の赤道座標 (R.A. 時)
dec	double precision	天頂の赤道座標 (Dec. 度)
r	double precision	観測点の距離 (AU)
orig_width	smallint	公開用画像幅
orig_height	smallint	公開用画像高
orig_size	integer	公開用画像ファイル容量
preview_width	smallint	プレビュー用画像幅
preview_height	smallint	プレビュー用画像高
preview_size	integer	プレビュー用画像ファイル容量
thumb_width	smallint	サムネイル用画像幅
thumb_height	smallint	サムネイル用画像高
thumb_size	integer	サムネイル用画像ファイル容量

表3: 画像情報テーブルのカラム一覧. 画像ファイル名や撮影日時のほか様々なカラムを設けた. 撮影日時や露出時間など全天モニタ画像内の情報だけでなく, ファイルを保存しているディレクトリ名やファイル容量の情報も含めた. データ型は各カラムに格納する値の性質や範囲の定義である. Exifは, 撮影した画像本体と付属情報を記録した画像のファイルフォーマットである.

カラム名	データ型	内容
mjd	double precision	MJD
ut	varchar(32)	UT
origin_x	double precision	太陽系重心のX座標
origin_y	double precision	太陽系重心のY座標
origin_z	double precision	太陽系重心のZ座標
moon_x	double precision	月のX座標
moon_y	double precision	月のY座標
moon_z	double precision	月のZ座標
moon_rah	double precision	月の赤道座標 (R.A. 時)
moon_dec	double precision	月の赤道座標 (Dec. 度)
moon_r	double precision	月の距離 (AU)

表4: 天体情報テーブルのカラム一覧 (月の場合). 天体 (月) の座標情報として, 日時情報のほか, 天体座標を直交座標, 赤道座標で登録している.

果は無視した。昼または夜の判断には、薄明を無視し、太陽の天体情報テーブルを用いて同様の検索処理を行う。内積計算の速度向上を図るため、あらかじめ天体の座標(x,y,z)3成分を天体情報テーブルに、観測時における観測点の地心からの相対位置(x,y,z)を画像情報テーブルにそれぞれ登録している。

#### 4.4 データ請求システムの開発

本システムのデータ請求システムは、開発の期間と労力を抑えつつ、請求した画像データを一つにまとめて取得できるように、SMOKA既存のデータ請求システムにファイル圧縮機能を付加して実装した。また、各画像または一つにまとめたファイルのMD5値を計算して別ファイルに書き込む改良も加えた。これにより、ユーザはデータ取得前後でデータの破損がないかを確認できるようになった。SMOKAと同様、データ請求処理が終わるとユーザ宛に準備完了のメールを送付するようにしている。ユーザはメールの内容にしたがって、FTP経由でデータを取得することができる。

#### 4.5 ユーザドキュメントの整備

本システムでは、学校教員や科学館・博物館の学芸員といったユーザを想定している。全天モニタ画像を教育現場で積極的に活用してもらうためにも、ユーザ向けの検索実例集や利用例をWeb上に公開することが望まれる。

##### (1) 検索実例集

具体的な教育利用の目的に合わせた検索方法の解説ページを作成し、以下の実例を公開した。

- 日周運動の動画の作成
- 木星が数か月かけて星座の中を動いていく動画の作成

前者は、星空の一晚の動きがわかるような画像を検索する方法を、後者は木星の運行がわかるような画像を検索する方法を紹介している。

また、取得した画像を動画に変換するため、以下のツールの使用例も公開している。

- Windows Live Movie Maker による動画作成方法
- iMovie による動画作成方法

##### (2) 利用実例集

実際にユーザが全天モニタ画像公開システムを用い

て作成した動画を公開した。2014年11月現在、岡山の全天モニタ画像で作成した一晚の星の軌跡を収めた動画が国立天文台ホームページ<sup>9)</sup>で紹介されており、本システムの利用実例集のページから参照可能とした。

#### 4.6 内部処理機能の開発

##### (1) 観測所からのデータ転送

各観測所からの画像データの転送は、SMOKAのシステムで従来より行われている。転送は毎日2回(岡山:5時0分,13時0分,東広島:10時半,13時10分)自動で行われ、ファイルサーバー上に保存される(図6)。ファイル容量は、岡山で約6.2GB/日,東広島で約3.5GB/日である。画像の管理上、画像ファイル名、ディレクトリ名およびディレクトリ構造は、各観測所での様式を保持しており、各観測所とのデータの整合性チェックが容易となっている。本システムの構築にあたって、撮影翌日の転送が可能となるよう観測所側と協議し体制と仕組みを作った。

##### (2) 公開画像の前処理

データ転送後、データ処理サーバー上で公開用画像、検索結果一覧で表示するサムネイル画像、個別閲覧用のプレビュー画像の作成を行う。いずれの画像も観測所から転送した画像データにクレジットを記入し(3.3節の(西)「クレジットの掲載」)、観測所が表示している文字など本システムには不要と判断した領域をトリミングする。さらに、サムネイル画像とプレビュー画像についてはリサイズする。また、各画像からファイルパスやファイル容量など、(3)で述べるデータベース登録に必要な情報も用意する。画像処理用のプログラムはSMOKAと同様、Java言語で作成した。この処理は1日1回、次節の処理とともに自動で行っている(3.3節の(未))。

##### (3) データベーステーブルへの情報登録

公開画像の前処理の後、元の画像データに記録されている露出時間や露出情報を読み取り、撮影日時からMJDを求め、さらに観測所の経度、緯度および標高から観測所の天頂方向ベクトル(x,y,z)を計算する。(2)の前処理と以上の計算が正常に終了すれば、データベース上の画像情報テーブル(表3)にこれらの値を登録する。データベースにはその他、露出値(表3の「evvalue」)などの撮影情報、(2)で抽出したファイルパス等の画像情報も登録する。撮影日時や露出情報の抽出には、フリーのソフトウェアdrcrow<sup>10)</sup>を、恒星時の計算には、IAU SOFA(Standards of Fundamental Astronomy)<sup>11)</sup>を用いた。(2)で述べた画像の前処理と

9) <http://www.nao.ac.jp/gallery/weekly/2014/20140617-oao-sky-monitor.html>

10) <http://www.cybercom.net/~dcoffin/drcrow/>

11) <http://www.iausofa.org>

データベース登録は、毎日午後2時に自動で行われる(3.3節の(未))。1日分の画像の処理にかかる時間は、岡山の画像データ(約1440枚)で約30分、東広島の画像データ(約700枚)で約15分である(3.3節の(申))。

天体(太陽、月、惑星)の座標情報は、天体情報テーブル(表4)に登録する。登録する座標情報の時間間隔は、地球からの移動速度が、太陽と惑星ではおよそ1度/日以下、月では1度/時間であることから、それぞれ1日毎、1時間毎とした。天体の座標計算には、天体歴DE405 [13]を用いている。このテーブルには2010-01-01から2019-12-31までの十分長い期間の情報を登録しているため当面更新の必要はない。

テーブルの巨大化による処理速度の低下を防ぐため、画像情報テーブルは先に述べた通り観測所毎とし、天体情報テーブルは、太陽、月、惑星の3つに分離して作成した。各天体情報テーブルの行数は、2010年から2019年の期間の登録量で、太陽と惑星については4000行弱、月については約88000行である。

以上のようにデータベーステーブルに登録した情報を参照することにより、検索画面で指定した条件による検索と検索結果表示が可能となった。データベースサーバー上での試験では、条件により違いはあるものの、検索にかかる時間は約3秒程度であり、運用に十分耐えうるものと判断した(3.2節の(巳))。

## 5 運用および利用状況

### 5.1 運用状況

本システムは、2014年3月20日より運用を開始した。URLは以下の通りである。

<http://ozskymon.nao.ac.jp/>

運用開始から2014年11月現在まで、大きな問題はなく安定して運用している。4章で述べた通り、観測所からのデータ転送後の午後2時から30分程度で画像処理とデータベースへの情報登録が完了するため、撮影翌日の午後には各観測所の画像が本システムから公開できている。検索に要する典型的時間は3秒程度であるが、ネットワークや閲覧環境によっては1440枚の画像表示に20秒程度を要する場合がある。今後さらなる高速化を目指したい。

### 5.2 利用状況

本システムの公開開始から半年が経過したが、周知が十分ではないと思われる上、現段階では基本的機能のみの構築ということもあり、ユーザがまだ少ないの

が現状である。公開開始から2014年10月までの利用状況を図11に示す。

## 6 今後の課題

我々は、全天モニタ画像公開システムの開発を行い運用を開始した。利用がまだ少ない状況ではあるが、SMOKAの場合、データの蓄積量が増えるにしたがって、様々なユーザの求める多彩なデータが含まれるようになって利用者が増えていった。本システムも、まず第一に安定した運用に努めることが重要であろう。

今後さらなる利用を促すためには、検索実例集や利用例といったユーザドキュメントの充実を含め、天文教育・理科教育などの学会や、科学館博物館の研修会といった場での広報を積極的に行うなどの周知活動が必要であろう。また機能の充実も望まれる。本章では、教育利用だけでなく、天文や宇宙分野における普及活動への利用も視野に入れ、今後拡充すべき機能と行うべき処理について論ずる。

### 6.1 天候判断の事前処理

本システムでは、サムネイル画像やプレビュー画像を表示することで、目視による天候の判断が可能である。しかし、膨大な画像からユーザが求める画像を効率的に抽出するためには、予め天候判断の処理を行っておくことが望ましい。そのためには、全天モニタ画像に位置較正を施し、恒星カタログとのマッチング処理を行って、対象画像内の恒星の光度量を計測することが考えられる。実現のためには、位置較正に加え、判断基準に使うカタログや恒星の選定、天候判断の基準(恒星の光度量の閾値)設定などの課題が多くある。

### 6.2 天体等の名称による検索機能

検索の際に、人工天体名や星座名、「夏の大三角形」、「1等星」などを、検索項目に追加することで、理科の単元や天文・宇宙の普及活動のテーマに合わせた画像の取得が容易になる。実現のためには、位置較正に加えて、人工天体(宇宙ステーションなど)や恒星の座標情報を天体用データベースに登録する機構が必要となる。対象天体数や種別が増えることで、データベース構造の再検討も必要になる可能性がある。

### 6.3 座標入力による検索機能

ユーザが座標を入力して検索できるようになれば、

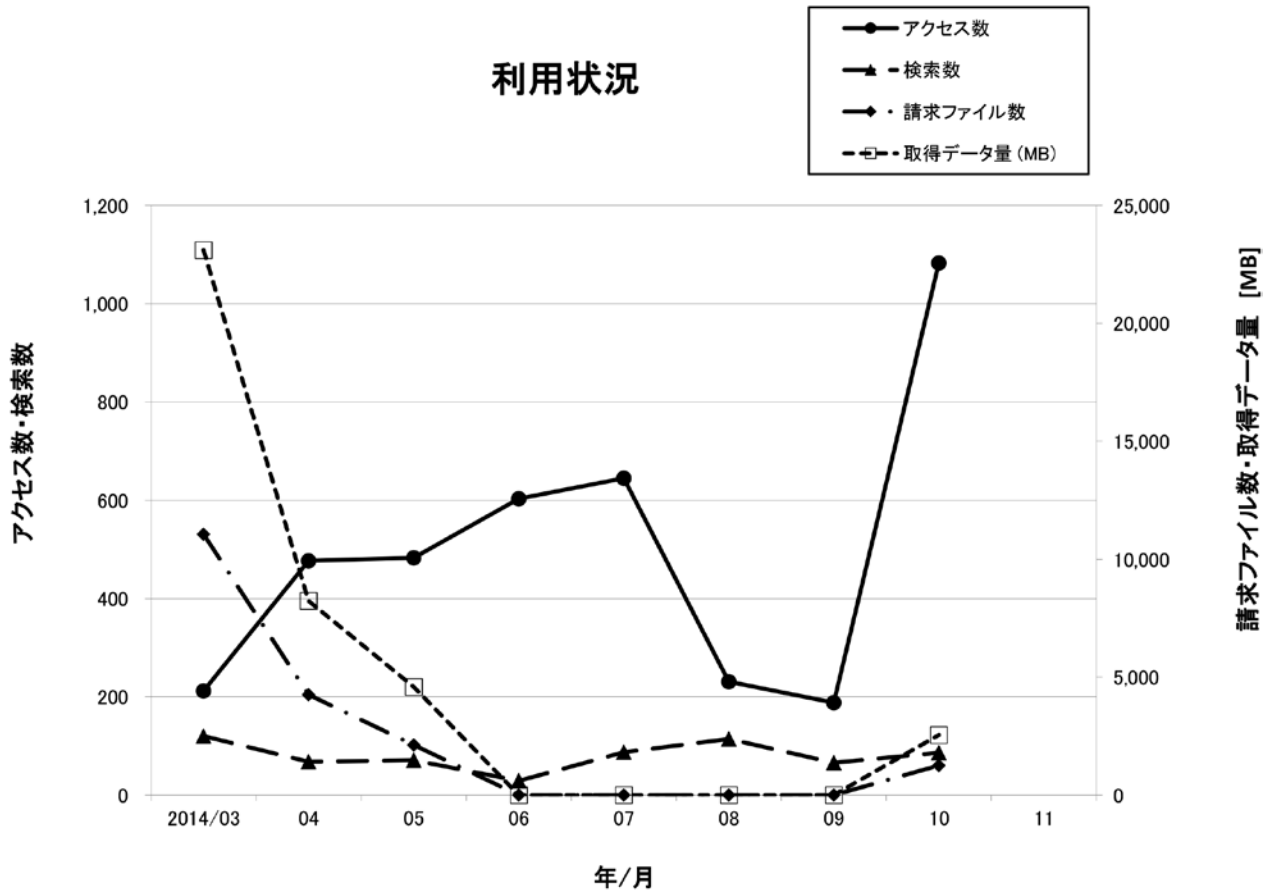


図11：全天モニタ画像公開システムの利用状況。本システム運用開始時（2014年3月21日）から2014年10月末までの利用状況を表す。アクセス数（実線）、検索数（破線）、請求ファイル数（一点鎖線）、取得データ量（点線）ともに利用はまだ少ない。

本システムが備えた月や惑星だけでなく、変光星や突発天体といった検索対象が増えることになる。この機能の実現には、まず位置較正が必須である。

#### 6.4 投影法の変換と情報上書き処理

全天モニタ画像は、人の目の見え方とは異なるため、一般には方角や高度などがわかりづらい画像である。したがって、投影法を変換し、東西南北や天頂など、任意の方角や範囲のみ切り出した画像を提供する機能があれば、全周魚眼レンズに馴染みのないユーザーの理解度も上がり、活用用途の幅が広がると考えられる。また、天体名、星座名、星座線などを上書きした画像を提供することで、星の並びや星座への理解が深まり、教材としての価値も高まる。実現には、位置較正が前提となる。理解しやすい投影法を選定し、上書きする情報やその表示の位置を考慮するなどの課題がある。

#### 6.5 位置較正処理

6.1, 6.2, 6.3, 6.4節で述べた課題の実現には、画像内の詳細な座標情報が必要である。そこで我々は、全天モニタ画像の位置較正を行い、World Coordinates System (WCS) パラメータ情報を得ることを計画している。位置較正を行うためには、画像の投影法やFITS (The Flexible Image Transport System)<sup>12)</sup> [14,15] 画像での投影形式の情報が必要である。本システムの全天モニタ画像はJPEG画像であり、等立体角投影である。全天モニタ画像と天体座標のフィッティング試験により、全天モニタ画像をFITS画像に変換した際の投影形式はZenithal Equal-Area (ZEA) であることが確認できたが、個々の画像取得時の天候状態に起因する標準星マッチング精度の違いや、歪み補正、全天モニタ画像の中心と天頂方向とのずれの補正等、実現には解決すべき問題が多数ある。

12) <http://jaipnao.ac.jp/jfits/>



## 6.6 動画提供機能

本システムで提供している画像は、動画作成の用途で取得するユーザーが多いと思われる。動画提供機能をシステムに追加することにより、ユーザーの作業時間の削減や、作成に使用するソフトウェアを必要としないメリットが考えられる。この機能を実現するためには、動画作成作業の自動処理をシステムに組み込む必要があるが、使用ソフトウェアの選定、動画形式の選択機能、動画作成の処理時間の短縮化などが問題となる。

## 6.7 他観測所の全天モニタ画像の追加

現在本システムで公開している全天モニタ画像は、岡山天体物理観測所と東広島天文台の2観測地点の画像である。今後、他の観測地点で撮られた画像を加えていくことが望まれる。

## 7 まとめ

同地点から一定間隔で連続撮影される全天モニタ画像は、研究現場で広く活用されているだけでなく、天文学教育の観点からも非常に利用価値の高いデータである。本論文では、岡山天体物理観測所と広島大学東広島天文台で撮影された全天モニタ画像を公開する全天モニタ画像公開システムの開発について論じた。従来、全天モニタ画像は縮小されたものが提供されることが多かったが、本システムでは撮影時の高解像度のデータを提供している。また、ユーザーが膨大な画像から利用目的に合致した画像を効率的に検索できる機能を備えた。

システム設計にあたっては、利用例を想定して備えるべき機能や性能を決定した。また、各観測所からのデータ転送から公開処理までを自動化し、撮影翌日のデータ公開を可能にした。データベース上のテーブル構造を工夫し検索速度の高速化を図った。検索結果画面をサムネイル画像一覧にし、結果全体を視覚的に確認できるようにした。また、各画像の詳細を確認できるプレビュー画像も閲覧可能にした。複数の画像を一つのファイルにまとめてデータ請求ができる請求システムを構築した。開発にあたってSMOKAのシステム構成を継承し、その安定運用で使用中のプログラムや既に確立した技術を活用することで開発にかかるコストを軽減した。

本システムを、より多くのユーザーに多様な用途で活用してもらうため、具体的な利用例や検索実例集といったユーザドキュメントの公開も開始した。

ユーザーのさらなる利用を促すため、今後、位置較正情報の算出や、検索機能の強化、動画自動作成機能の追加、他観測所の全天モニタ画像公開などを行っていく。

## 謝辞

本開発の遂行にあたっては、国立天文台天文データセンターDB/DAプロジェクトの計算機資源を活用した。日頃から運用を連携して進めるとともに、開発および論文作成を支援して下さった、岡山天体物理観測所、広島大学東広島天文台の皆様、貴重なご意見を下さった利用者の方々、暖かく見守って下さった和歌山県紀美野町文化センターの皆様には感謝する。本システムの開発にあたって、恒星時の計算にはIAU SOFAのソフトウェアルーチンを、天体の座標計算にはJPLで提供しているDE405を用いた。その他有用な各種フリーソフトウェアを提供している開発者の方々にも感謝したい。本研究は、JSPS科研費25350330の助成を受けたものであり、開発は、国立天文台天文データセンター開発経費の援助を得て行ったものである。

参考文献

- [1] R. Kataoka, Y. Miyoshi, K. Shigematsu, D. Hampton, Y. Mori, T. Kubo, A. Yamashita, M. Tanaka, T. Takahei, T. Nakai, H. Miyahara, and K. Shiokawa: Stereoscopic determination of all-sky altitude map of aurora using two ground-based Nikon DSLR cameras, *Ann. Geophys.*, **31**, 1543-1548 (2013).
- [2] M. Kubo and K. Muraki: Three dimensional visualization of forest using field measured data, satellite image and fish-eye photo, *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science*, XXXVIII, **8**, 696-699 (2010).
- [3] A. Miyashita, K. Tanaka, H. Watanabe, H. Tanabe, M. Sato, and J. Watanabe: Fireball Monitoring Observation at the Kiso Observatory, *Publ. Natl. Astron. Obs. Japan*, **12**, 11-80 (2009).
- [4] 馬場肇, 安田直樹, 市川伸一, 八木雅文, 岩本信之, 高田唯史, 洞口俊博, 多賀正敏, 渡邊大, 奥村真一郎, 小澤友彦, 山本直孝, 濱部勝: すばる望遠鏡公開データアーカイブシステムの開発, *国立天文台報*, **6**, 23-36 (2002).
- [5] 山本直孝, 野田祥代, 多賀正敏, 小澤友彦, 洞口俊博, 奥村真一郎, 古荘玲子, 馬場肇, 八木雅文, 安田直樹, 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2, *国立天文台報*, **6**, 79-100 (2003).
- [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 (2004).
- [7] 出田誠, 榎基宏, 小澤友彦, 吉野彰, 仲田史明, 奥村慎一郎, 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*, **8**, 59-84 (2005).
- [8] 山田善彦, 小澤友彦, 西澤淳, 古荘玲子, 西村高德, 榎基宏, 吉野彰, 古澤順子, 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5, *国立天文台報*, **12**, 53-78 (2009).
- [9] 野田祥代, 古荘玲子, 古澤順子, 山田善彦, 山内千里, 小澤友彦, 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6, *国立天文台報*, **14**, 35-61 (2012).
- [10] N. Kaifu: Subaru Telescope, *Advanced Technology Optical/IR Telescopes VI*, ed. L. M. Stepp, *Proceedings of SPIE*, **3352**, 14-22 (1998).
- [11] M. Uemura, A. Arai, and T. Uehara: GRB 061121: optical observation at KANATA 1.5m telescope, *GCN Circ.*, 5828 (2006).
- [12] T. Kotani, N. Kawai, K. Yanagisawa, J. Watanabe, M. Arimoto, H. Fukushima, T. Hattori, M. Inata, H. Izumiura, J. Kataoka, H. Koyano, K. Kubota, D. Kuroda, M. Mori, S. Nagayama, K. Ohta, T. Okada, K. Okita, R. Sato, Y. Serino, Y. Shimizu, T. Shimokawabe, M. Suzuki, H. Toda, T. Ushiyama, Y. Yatsu, A. Yoshida, M. Yoshida: MITSuME | Multicolor Imaging Telescopes for Survey and Monstrous Explosions, *Il Nuovo Cimento C*, **28**, 755-758 (2005).
- [13] E. M. Standish: JPL Planetary and Lunar Ephemerides, DE405/LE405, JPL Interoffice Memorandum IOM 312.F-98-048 (1998).
- [14] M. R. Calabretta and E. W. Greisen: Representations of celestial coordinates in FITS, *A&A*, **395**, 1077-1122 (2002).
- [15] 天文情報処理研究会監修, 日本FITS委員会協力: FITSの手引き第5.3版, 国立天文台天文データセンター発行 (2013).