ISSN 0915-6321

国立天文台報

第5巻 第2号

(2001年3月)

REPORT

OF THE

NATIONAL ASTRONOMICAL OBSERVATORY OF JAPAN

Volume 5, Number 2

MITAKA, TOKYO

2001

目　次

CONTENTS

国立天文台報　第5巻　29－41（2001）

1等星食のビデオ観測キャンペーンから求めた精密月縁データ

相馬　充，早水　勉†

（2000年10月16日受理）

Lunar Limb Profile Data Obtained from a Video Observation Campaign of Lunar Occultations

Mitsuru SÔMA,　Tsutomu HAYAMIZU†

Abstract

Lunar occultations of the 1st magnitude stars Aldebaran and Regulus occurred in 1998 and 1999. In order to obtain precise limb data we had a campaign of the observations of them throughout Japan. This paper presents the results of the campaign.

1. はじめに

月が恒星を隠す星食は，かつては月の運動や地球の自転速度変動，離島の位置決定などの研究に用いられてきたが，現在ではそれらは，レーザー測距，VLBI，原子時計，GPS などの技術によって，より精密に求めることができるようになった．代わって，現在における星食観測の意義としては，主として次の2点が上げられる[1]．

1. 精密な月縁データを得る．月面地形の調査は1994年にアメリカのクレメンタイン月面測量計画によって行われた[2]が，クレメンタインのレーザー高度計によって得られたデータは月面経度でおよそ3°毎の地域についてであり，それから月縁を知ることは不可能である．また，クレメンタインで得られた高度データの精度は最も良い場所で約 50 m しかない．月の極地域の地形については，クレメンタインのステレオイメージ[3]と地上からのレーダー干渉計[4]によって求めることが試みられているが両者の一致は必ずしも良くない．現在，星食の解析に用いられている月縁データは，地上の写真観測から求めて1963年に発表されたWatts の月縁図[5]であるが，秤動や位置角による系統誤差があることが知られており[6-8]，場合によっては1″を越える誤差があることも報告されている[9]．極地域の月縁地形については接食観測の解析から，いろいろな秤動に対するデータが蓄積されつつある[10]．月縁データは日食観測の解析から太陽直径の変化を求める際に特に重要な役割を果たす[11]．近年，地球大気中の二酸化炭素の増加（温室効果）による地球温暖化が問題になっているが，実際の地球の温度変化のうち，温室効果によるものがどの程度か，また太陽からのエネルギーの変化はどのくらいあるのか，などについては明らかになっていない．数十年の時間スケールでは，太陽から放射されるエネルギーは太陽の直径に比例することが示されている[12]．したがって，日食観測から太陽直径の変化を精密に決定することは，地球温暖化の原因を明らかにするのにも重要である．
2. ヒッパルコス星表[13]の固有運動システムの誤差を検出する．ヒッパルコス星表は1997年に発表され，可視光域の天体の位置の基準として，従来の基本星表に代わって用いられている．ヒッパルコス星表の与える座標系の精度は，座標軸の向きが 0.6 mas (milliarcsecond) 以内，回転は 0.25 mas/year 以内で国際天球座標系 ICRS に結び付いているといわれる．ところで，これまでの基本星表 FK5 は採用している歳差定数が約－3 mas/yearの誤差を持っていることが明らかになっている．この誤差はVLBI[14]，月レーザー測距[15]，固有運動解析[16]という3種の独立な方法によって確かめられている．これらのことが事実であるとすると，ヒッパルコス星表と FK5 星

†せんだい宇宙館 (Sendai Space Hall)

表を直接比較したとき，FK5の歳差定数の誤差に当たる −3 mas/year に相当する系統差が検出されなければならない．しかし，実際に求められたヒッパルコスとFK5の系統差[17]はこの予想をかなり下回るものであった．この事実は，ヒッパルコスの固有運動システムに予想を越える誤差が存在する可能性を示唆している．幸い，月の位置は精密なレーザー測距により，アメリカ JPL の最新の月惑星暦 DE405[18] において，ICRSに対して 1 mas の精度を有しているため，ヒッパルコスの固有運動システムの問題は，月の位置をヒッパルコスの座標系に対して求めることで解決できるはずであり，そのためには星食観測が最適の手段である[19]．

1998年から1999年にかけて，1等星のアルデバランとレグルスの星食が起こった．そこで，我々は精密な月縁データを得ることを主な目的として，1998年10月9日のアルデバラン食，1999年1月5日のレグルス食，同年2月23日のアルデバラン食のビデオ観測を，全国のアマチュア天文観測家や一般の人々に呼び掛けた．この論文ではその結果について報告する．

以上の他にも，1999年6月18日のレグルス食と8月6日のアルデバラン食の観測も呼び掛けたが，これらは悪天候のため，観測できなかった．

2.　1等星食のビデオ観測キャンペーン

1等星という明るい恒星の星食は一般家庭用のビデオカメラで容易に撮影することができる．現象時に正確な時刻信号を同時に記録すれば，1/30秒の精度で星食の時刻が測れることになる．これは月縁のデータを 0″.02，月面上の実距離で 30m 以内の精度で求められることを意味する．この精度は1994年のクレメンタイン月面測量計画による高度測定精度を凌駕するものである．

精密な時刻を求める方法として，次の2種類のうちから観測者に都合の良い方を選んでいただいた．

1. 現象前後に NHK 衛星第1テレビ (BS1) の画面をそれぞれ約1分間録画する．BS1 の画面と正確な時刻との対応は，国立天文台の子午環観測用原子時計による時刻表示を BS1 の画面と同時に録画することにより行った．地上波のテレビでなく衛星テレビを使用したのは，日本全国でのミリ秒以内の同時性が確実なためである．
2. 現象の録画と同時に JJY などの短波標準電波を録音する．録音された時報とビデオのフレームとの対応は鹿児島県川内市せんだい宇宙館の業務用視聴覚設備ソニー製ノンリニアシステム ES-7 を使用し，音声と画像を同時に低速再生して行った．現象時刻測定に際しては，JJY (日本) と HLA (韓国) はビデオ観測の精度では観測地までの電波伝播時間を無視できるので時報から求められた時刻をそのまま採用したが，BPM (中国) は 10ms の進み (BPM の UTC の信号は 20ms 進んでいるため，伝播時間の 10ms を差し引き，10ms の進みになる．BPM では毎時25分〜29分と55分〜59分は UT1 を通報しているが，BPM を使用したこの時間帯の観測はなかった)，WWVH (アメリカ・ハワイ) は 20ms の遅れ，WWV (アメリカ・コロラド) は 33ms の遅れとした．

観測の呼び掛けは主として掩蔽観測者のメーリングリスト JOIN (Japanese Occultation Information Network)，公開天文施設のメーリングリスト，および，ニフティサーブのスペースフォーラム掩蔽会議室を通じて行われた．また共同通信社科学部の協力により多くの地方紙にも観測を呼び掛ける記事が掲載された．

現象のビデオ撮影に際しては，ビデオによる 1/30 秒の現象の時刻測定精度を確保するため，次の点にご注意いただいた．

1. 手ぶれ防止はオフにする．これはオンにした場合，画像信号が音声信号より遅れて記録される可能性があるからである．
2. 業務用カメラには蓄積モードを備えているものがある．その場合はシャッタースピードを1/30秒以下にし，マニュアルで撮影する．
3. ビデオの焦点もマニュアルにより合わせる方が安全である．
4. 5 MHz や 10 MHz では JJY報時信号以外に外国の報時信号が受信できることがある．8 MHz を利用すれば外国の信号の混信は避けられる．ただし，外国の報時信号を利用しても，電波伝播時間を補正することで，JJY とほぼ同じ精度で現象時刻が測定できるので問題はない．
5. JJY 報時信号が受信できない場合は，NTT による電話の117番時報サービスを利用することが可能である．NTT の時報は以前は誤差がときに 0.1秒を越えることもあった[20]が，1987年9月に短波 JJY に自動的に合わせる装置に変更してからは，かなり正確になった．回線遅延はあるが，我々の測定では年間を通して0.03秒以内の誤差である．なお，携帯電話 (PHS を含む) は0.2秒前後の遅れがあるので使用できない．
6. 報時信号の停止時にあたるなどで現象時に報時信号が録音できない場合は，現象の前と後の両方にテープを回しっぱなしにして報時信号を録音することが望ましい．これは，ビデオのレートが規定では29.97Fr/sec なのに対して実際のレ

ートが異なる場合があるため，前後の報時信号から内挿により現象時刻を求める必要があるためである．

7. 電波時計は時報を受信して自動修正した直後でも 0.2秒程度の遅れがあるのが一般的で，その遅れの量も機種により異なり，時間によっても変化するので，使用できない．
8. ビデオカメラの内蔵時計表示は誤差が頻繁に変化するものがある．特に再生の際に表示するものはその傾向が強い．そのため，内蔵時計をいくら正確に合わせても(または，いくら誤差を正確に求めても)，それを用いて現象時刻を求めるのは危険である．
9. テレビの画面角に朝や昼過ぎなどに表示されるデジタルの時計は 0.1秒程度の誤差があることが多いので，正確な時刻としては使用できない．
10. 衛星放送を録画する場合は放送衛星からの電波を直接受信したものを使用する．ケーブルテレビでは遅れがありえるので使用できない．
11. 観測地点は 10m以内の精度で求める必要がある．できるだけ国土地理院の2万5千分の1地形図 (都市部については1万分の1地形図) あるいは2千5百分の1の都市計画図から経緯度・標高を測定して報告いただくか，地形図上に観測地を記してお送りいただく．1万分の1地形図や2千5百分の1都市計画図では経緯度より平面直角座標の方が測定しやすい場合があるが，その場合は経緯度の代わりに平面直角座標で報告できる．GPS の測定では 100 m を越える誤差があることも珍しくないので，必ず地形図を使用する．国土地理院の地形図は書店で，都市計画図は市町村役場で入手できる．(2000年 5 月 2 日 13時 JST より，GPS の位置測定結果を意図的に劣化させる SA [Selective Availability] が解除され，以後は水平位置の測定精度がほぼ 10m 以内になっていることが確認できているが，観測キャンペーンのときは SA が解除されていなかった)

現象時刻をビデオにより求める場合，音声信号と画像信号の録画および再生時における同時性が問題になる．そこでそれをいくつかのカメラとビデオデッキを用いてテストした．

■テスト手順：

ビデオカメラで GHS 時計[21]の秒 LED を撮影．同時に，GHS 時計の音声信号を録音．

撮影したビデオテープを宇宙館の視聴覚設備で同時性を検証．

カメラ，ビデオデッキを変えて 6 通りテストした．

■テスト結果：

音声の正秒を基準として，映像の正秒の遅れを測定．

1 件のテストについて12回の測定を行い，遅れが一定でない場合はさらに12回の測定をし，Result の欄に遅れの頻度をパーセントで示した．

No.	Camera	Recorder	Media	Measured by	Result
1.	Vixen B05-3M	三洋SVH-F81	VHS	SONY SVO-5800	50% 0.5Fr
					50% 0.0Fr
2.	Vixen B05-3M	SONY SVT-S5100	VHS	SONY SVO-5800	0.5Fr
3.	Vixen B05-3M	SONY DSR-30	DVCAM	SONY DSR-80	0 Fr
4.	日立 HV-C12	SONY SVT-S5100	VHS	SONY SVO-5800	1.0Fr
5.	日立 HV-C12	SONY DSR-30	DVCAM	SONY DSR-80	50% 0 Fr
					50% 1 Fr
6.	SHARP Viewcam VL-HL3		Hi-8†	SONY SVO-5800	75% 0.5Fr
					25% 0.0Fr

†Hi-8 を民生デッキ(日立 VT-BS7)で VHS にダビングして測定

Notes.

Vixen B05-3M ：1/60sec露出固定．
日立 HV-C12 ：蓄積モードを装備する高機能機．テストでは，1/100sec露出で撮影．

三洋SVH-F81 ：民生VHSデッキ．標準速で録画．
SONY SVT-S5100 ：業務用タイムラプスビデオ(VHS)．標準速で録画．
SONY DSR-30 ：業務用DVCAMレコーダ．
SHARP Viewcam VL-HL3：民生ハンディー8mm(Hi-8)ビデオカメラ．カメラビデオ一体型．
日立 VT-BS7 ：民生VHSデッキ．Hi-8 からのダビングに使用．

SONY SVO-5800 ：VHS対応の業務用編集機．分解能 1 Field(=0.5 Frame)．
SONY DSR-80 ：DV，DVCAM 対応の業務用編集機．分解能 1 Frame．

このテスト結果から，音声と画像のずれは 1 フレーム以内であることがわかった．

3. 観測結果

観測地のデータを表 1 に示す．経緯度は日本測地系による．

観測された現象時刻は表 2 のとおりである．表中，Acc は測定時刻の精度，Signal は時刻測定に用いた報時信号を示す．また，現象 (Phen) 欄の記号の意味は次のとおりである．

DD: 暗縁潜入
DB: 明縁潜入
RD: 暗縁出現
RB: 明縁出現

表1　観測地のデータ（日本測地系）

1998年10月9日　アルデバラン (ZC 692)

経度	緯度	標高	観測者氏名		地図縮尺
° ′ ″	° ′ ″	m			
141 20 12.33	43 04 35.51	29	松永哲也	Tetsuya Matsunaga	1/1万
140 54 24.20	36 57 36.65	8	長瀬　稔	Minoru Nagase	1/2.5万
140 54 15.78	37 53 01.45	20	白石義高	Yoshitomi Shiraishi	1/2.5万
140 16 31.9	38 06 53.7	212	舟越利安	Toshiyasu Funakoshi	1/2.5万
139 44 47.4	35 44 02.8	31	笹沼範夫	Norio Sasanuma	1/2500
139 44 16.31	35 42 11.84	10	川西洋司	Yoji Kawanishi	1/1万
139 32 18.57	35 40 17.81	58	相馬　充	Mitsuru Sôma	1/1万
139 32 16.1	35 22 32.4	30	鈴木　智	Satoshi Suzuki	1/2.5万
139 06 07.57	35 07 11.13	108	松崎良作	Ryosaku Matsuzaki	1/2.5万
138 26 44.	35 53 15.	1078	石井　馨	Kaoru Ishii	1/2.5万
137 06 16.2	36 39 10.9	132	布村克志	Katsushi Nunomura	1/2.5万
136 12 34.9	35 05 54.	140	井田三良	Miyoshi Ida	1/2.5万
136 04 31.0	34 35 24.8	206	清水義喜	Yoshiki Shimizu	1/2.5万
135 16 00.7	35 18 29.3	80	山本道成	Michinari Yamamoto	1/2.5万
133 56 17.4	34 31 54.3	15	佐藤秀則	Hidenori Sato	1/2.5万
130 20 31.51	31 49 13.97	248	早水　勉	Tsutomu Hayamizu	1/2500

1999年1月5日　レグルス (ZC 1487)

経度	緯度	標高	観測者氏名		地図縮尺
° ′ ″	° ′ ″	m			
140 06 16.	35 06 23.	9	浦辺　守	Mamoru Urabe	1/2.5万
139 44 16.31	35 42 11.84	10	川西洋司	Yoji Kawanishi	1/1万
138 13 18.7	36 20 53.3	493	松井　聡	Akira Matsui	1/2.5万
137 56 55.73	36 19 45.05	901	宮下和久	Kazuhisa Miyashita	1/2500
136 58 29.08	35 07 08.13	16	松浦典文	Noribumi Matsuura	1/1万
136 12 34.9	35 05 54.	140	井田三良	Miyoshi Ida	1/2.5万
136 04 31.0	34 35 24.8	206	清水義喜	Yoshiki Shimizu	1/2.5万
136 01 29.51	35 03 34.15	100	工藤法明	Noriaki Kudo	1/2.5万
131 23 39.	31 50 54.	18	前田幸治	Kouji Maeda	1/2.5万
130 20 31.51	31 49 13.97	248	早水　勉	Tsutomu Hayamizu	1/2500

1999年2月23日　アルデバラン (ZC 692)

経度	緯度	標高	観測者氏名		地図縮尺
° ′ ″	° ′ ″	m			
143 46 12.0	43 27 13.6	380	津田浩之	Hiroyuki Tsuda	1/2.5万
142 28 16.65	44 21 35.54	104	佐野康男	Yasuo Sano	1/2.5万
142 24 54.4	43 49 34.1	135	笹野一規	Kazunori Sasano	1/2.5万
141 28 36.6	38 19 58.9	5	殿村泰弘	Yasuhiro Tonomura	1/2.5万
140 20 45.2	38 13 21.9	170	大場与志男	Yoshio Oba	1/2.5万
140 06 16.	35 06 23.	9	浦辺　守	Mamoru Urabe	1/2.5万
139 55 23.3	36 34 19.2	140	三宅　明	Akira Miyake	1/1万
139 44 47.40	35 44 02.80	31	笹沼範夫	Norio Sasanuma	1/2500
139 44 16.31	35 42 11.84	10	川西洋司	Yoji Kawanishi	1/1万
139 37 54.48	35 42 09.65	49	深津繁人・悦朗	S. & E. Fukatsu	1/1万
139 37 33.04	35 38 30.59	53	濱田毅一	Kiichi Hamada	1/1万
139 32 38.89	35 39 11.88	70	柳沢正久	Masahisa Yanagisawa	1/1万
139 32 25.85	35 40 17.95	58	相馬　充	Mitsuru Sôma	1/1万
139 29 13.2	35 42 58.0	78	鈴木保治	Yasuharu Suzuki	1/2.5万
139 28 45.3	35 40 42.9	60	佐藤幹哉	Mikiya Sato	1/2.5万
139 26 35.6	35 42 14.4	90	大金要次郎	Yojiro Ogane	1/2.5万
139 19 33.6	35 20 54.0	12	眞田正弘	Masahiro Sanada	1/2.5万
139 19 02.13	35 38 52.79	167	中村　透	Toru Nakamura	1/1万
139 06 07.57	35 07 11.13	108	松崎良作	Ryosaku Matsuzaki	1/2.5万
138 26 44.	35 53 15.	1078	石井　馨	Kaoru Ishii	1/2.5万
137 56 55.73	36 19 45.05	901	宮下和久	Kazuhisa Miyashita	1/2500
137 06 16.2	36 39 10.9	130	渡辺　誠	Makoto Watanabe	1/2.5万
136 04 31.0	34 35 25.1	205	清水義喜	Yoshiki Shimizu	1/2.5万
135 16 00.7	35 18 29.3	80	山本道成	Michinari Yamamoto	1/2.5万
135 15 09.4	35 17 52.3	42	大槻直樹	Naoki Ootsuki	1/2.5万
134 20 19.	35 01 21.	446	時政典孝	Noritaka Tokimasa	1/2.5万

表2　現象時刻測定結果

1998年10月9日　アルデバラン (ZC 692)

UTC	Acc	Signal	Phen	Observer
h m s	s			
14 07 34.76	0.10	BPM	DB	Tsutomu Hayamizu
14 14 49.40	0.03	JJY	DB	Yoshiki Shimizu
14 15 58.07	0.03	JJY	DB	Miyoshi Ida
14 16 07.57	0.05	NTT	DB	Michinari Yamamoto
14 17 59.10	0.03	JJY	DB	Satoshi Suzuki
14 18 32.48	0.03	JJY	DB	Kaoru Ishii
14 18 35.37	0.03	TV	DB	Mitsuru Sōma
14 18 49.97	0.05	NTT	DB	Norio Sasanuma
14 19 44.18	0.03	GPS	DB	Katsushi Nunomura
14 24 21.51	0.05	†	DB	Toshiyasu Funakoshi
14 37 27.40	0.07	WWVH	DB	Tetsuya Matsunaga
15 05 49.86	0.03	BPM	RD	Tsutomu Hayamizu
15 12 27.36 ‡	0.03	BPM	RD	Hidenori Sato
15 15 32.81	0.03	BPM	RD	Yoshiki Shimizu
15 16 05.90	0.03	JJY	RD	Miyoshi Ida
15 18 24.86	0.03	GPS	RD	Katsushi Nunomura
15 19 59.35	0.03	JJY	RD	Kaoru Ishii
15 20 27.13	0.05	NTT	RD	Ryosaku Matsuzaki
15 21 19.60	0.03	JJY	RD	Satoshi Suzuki
15 21 51.40	0.03	TV	RD	Yoji Kawanishi
15 21 53.40	0.05	NTT	RD	Norio Sasanuma
15 24 13.92	0.05	†	RD	Toshiyasu Funakoshi
15 24 36.07	0.05	NTT	RD	Minoru Nagase
15 25 08.80	0.03	TV	RD	Yoshitomi Shiraishi
15 27 21.40	0.03	JJY	RD	Tetsuya Matsunaga

† 電波時計を使用しての観測のため，後日その電波時計の誤差を JJY を用いて 測定したところ，その電波時計では 9Fr (0.30s) から 13Fr (0.43s) の 遅れが検出された．その遅れは報時電波を受け取って自動調整してからの時間の 1 次式で良く近似できることがわかったため，その式で補正して現象時刻を求めた．

‡ 現象時には時報が録音されていなかったが，15h07m01s, 15h08m01s, 15h09m00s,15h15m58s, 15h17m01s の BPM の信号のフレームと現象のフレームを特定し，それら相互のフレーム数をカウントして内挿により求めた．その結果，このビデオのレートは規定の 29.97 Fr/sec よりやや小さい 29.944 Fr/sec であることがわかった．

1999年1月5日　レグルス (ZC 1487)

UTC	Acc	Signal	Phen	Observer
h m s	s			
13 28 23.55	0.03	JJY	DB	Yoshiki Shimizu
13 29 04.22	0.03	NTT †	DB	Miyoshi Ida
13 29 35.80	0.05	NTT ‡	DB	Noribumi Matsuura
13 31 54.30	0.05	NTT	DB	Mamoru Urabe
13 31 52.43	0.07	JJY	DB	Kazuhisa Miyashita
14 29 47.27	0.03	JJY	RD	Tsutomu Hayamizu
14 30 56.07	0.03	JJY	RD	Kouji Maeda
14 36 42.81	0.03	BPM	RD	Noriaki Kudo
14 36 48.10	0.03	NTT §	RD	Yoshiki Shimizu
14 36 56.37	0.03	NTT †	RD	Miyoshi Ida
14 37 53.97	0.05	NTT ‡	RD	Noribumi Matsuura
14 38 50.23	0.03	WWV	RD	Kazuhisa Miyashita
14 39 11.08	0.03	JJY	RD	Akira Matsui
14 41 24.19	0.03	TV	RD	Yoji Kawanishi
14 42 04.20	0.05	NTT	RD	Mamoru Urabe

† NTT の時報と JJY が同時に録音されている部分があり，それにより NTT の時報が 1 Fr 遅れていることが測定できたので，現象時刻にはそれを加味してある．

‡ IDO の携帯電話によるもの．電話の時報の遅れを調べるため，観測地でIDO による時報と JJY や WWVH を同時に録音して IDO の時報の遅れを数回測定したところ，IDO の時報の遅れは 0.18s から 0.22s であった．そこでIDO の時報の遅れは 0.20s±0.02s とした．現象時刻の測定精度 ±0.05s はこれにビデオ測定精度 ±0.03s を加味したものである．

§ NTT の時報と JJY が同時に録音されている部分があり，それにより NTT の時報が 1.5 Fr 遅れていることが測定できたので，現象時刻にはそれを加味してある．

1999年2月23日　アルデバラン (ZC 692)

UTC	Acc	Signal	Phen	Observer
h m s	s			
13 14 00.77	0.03	JJY	DD	Yasuo Sano
13 14 30.09	0.03	WWVH	DD	Kazunori Sasano
13 15 46.02	0.10	TV †	DD	Hiroyuki Tsuda
13 19 41.73	0.05	NTT	DD	Yoshio Oba
13 19 52.63	0.07	TV §	DD	Makoto Watanabe
13 20 16.27	0.03	TV	DD	Yasuhiro Tonomura
13 20 42.69	*	BPM	DD	Noritaka Tokimasa
13 20 52.23	0.05	NTT	DD	Michinari Yamamoto
13 20 52.57	0.03	JJY	DD	Naoki Ootsuki
13 21 01.50	0.03	JJY	DD	Kazuhisa Miyashita
13 21 57.58	0.03	TV	DD	Akira Miyake
13 22 07.77	0.03	JJY	DD	Kaoru Ishii
13 22 52.63	0.03	JJY	DD	Yoshiki Shimizu
13 23 05.04	0.10	NTT ‡	DD	Yojiro Ogane
13 23 05.33	0.03	JJY	DD	Yasuharu Suzuki
13 23 06.11	0.03	BPM	DD	Toru Nakamura
13 23 08.83	0.03	JJY	DD	Mikiya Sato
13 23 11.90	0.03	WWVH	DD	S. & E. Fukatsu
13 23 11.90	0.03	TV	DD	Mitsuru Sôma
13 23 13.33	0.03	JJY	DD	Norio Sasanuma
13 23 13.63	0.03	JJY	DD	Masahisa Yanagisawa
13 23 15.95	0.03	TV	DD	Yoji Kawanishi
13 23 17.94	0.07	BPM	DD	Kiichi Hamada
13 23 36.30	0.03	JJY	DD	Masahiro Sanada
13 23 50.80	0.07	NTT	DD	Ryosaku Matsuzaki
13 24 30.17	0.05	NTT	DD	Mamoru Urabe
14 19 30.99	0.03	JJY	RB	Yoshiki Shimizu
14 20 24.12	0.03	WWVH	RB	Kazuhisa Miyashita
14 20 47.17	0.07	JJY	RB	Kaoru Ishii
14 21 14.35	0.03	TV	RB	Akira Miyake
14 21 21.66	0.07	WWVH	RB	Mikiya Sato
14 21 23.93	0.03	JJY	RB	Masahisa Yanagisawa
14 21 30.00	0.03	JJY	RB	Norio Sasanuma
14 21 49.03	0.08	NTT	RB	Mamoru Urabe

* +0.13−0.07

† テレビの画面でなく，現象といっしょにテレビ(BS1)の音声が録音されていただけだったため，現象前後の比較的明瞭な音声数個のフレームを特定して時刻を測定した．ただし，音声のフレーム単位での特定は困難で，±2フレームの誤差が起こりうる．測定時刻精度は現象のフレームの特定誤差を加味して0.10sとした

‡ パソコンの時計をNTTの時報により合わせ，現象の画像をパソコンに取り込み測定した．時刻合わせは13h19m00sに行い，13h23m30sにチェックしたところ1 ms以内で合っていたとのことであるが，手動によるため，時刻精度を0.10sとした．

§ NHK総合テレビを録画して観測していたが，番組の境界が3ヶ所録画されており，それらが正確であるとして，現象時刻を求めた．総合テレビの番組の境界の時刻の精度については実測の結果，ときに10フレームを越える遅れのあることもある（これは，いくつかのチャンネルで同じ時刻に番組が切り替わる場合に，同じ時刻信号を計算機によってそれらのチャンネルに振り分けて使用しているために生じる誤差だということである）が，多くの場合，ほぼ1.5Fr以内であることが確認できている．

4. 解析

解析は月の暦にDE405を，恒星の位置にヒッパルコス星表を用い，Sôma[22]の解析に基づき次のパラメータの値を用いた．

月の位置への補正: $\Delta\lambda = +0''.50$, $\Delta\beta = -0''.24$

月の半径: $R_0 = 1738.107$ km

Wattsの月縁図の平均月縁への補正:

$\Delta\rho = +0''.128 \sin 2(\mathrm{WA})$

Watts角 (WA = Watts Angle) と自転軸からの位置角 (AA = Axis Angle) との関係: WA = AA + 0°.24

ここで$\Delta\lambda$と$\Delta\beta$は平均距離 (384,400 km) における月の黄経・黄緯への補正量で，暦の与える月重心の位置からWattsの月縁図の平均月縁の中心の位置に直すためのものである．月の秤動はEckhardt[23−24]による計算式を使用した．ただし，黄道に対する月の平均赤道傾斜角にはIAU 1976天文定数系の1°32′32″.7を採用した．

DE405の月の位置とヒッパルコス星表の恒星の位置はいずれもICRSに準拠している．これをJ2000.0年の地球の平均赤道と平均春分点に準拠した座標に直すためChapront et al.[25]によるパラメータの値を使用した．J2000.0からの歳差と恒星時の計算には，IAU 1976天文定数系による歳差定数に対する補正値として−3.266 mas/yearを用いているWilliams[26]による式を，章動の理論にはZMOA 1990[27]を使用した．恒星時の計算に必要なUT1 − UTCの値と瞬時の極に準拠した観測地の経緯度を求めるために必要な地球の極位置はIERS Bulletin B[28]のデータを，日本測地系の準拠楕円体上の経緯度を世界測地系に変

換するためには水路部[29]による値を使用した．水路部による日本測地系変換パラメータの値は国土地理院による値[30]とほぼ1 m 以内で一致している．ただし，北海道や九州で数メートルに及ぶ日本測地系の内部歪みは考慮していない．観測地の標高はジオイドからの高さであるから，それにジオイド高を加えて楕円体表面からの高さに変換した．ジオイド高のデータは「日本のジオイド96」[31-32]を使用したが，これはEGM96[33]に基づく値と一致している．

解析結果を表3－5と図1－3に示す．表中 WA は Watts の月縁図に用いられている位置角， Height は平均月縁からの高さ，WH は Watts の月縁図のよる月縁の高さ，Diff は WA と Height の差 (Height － WH)，lとbはそれぞれ月の経度と緯度の秤動，Observer は観測者名, Phen は現象である． WH 欄にある記号の a は Watts の月縁データが外挿によって得られたもので精度が悪いことを意味し，b はその Watts の月縁データを得るのに大きな外挿を要し，ほ

表3　1998年10月9日のアルデバラン食の解析結果

WA	Height	WH	Diff	l	b	Observer	Phen
°	″	″	″	°	°		
38.76	−0.210	−0.18	−0.03	+6.10	+7.19	Tetsuya Matsunaga	DB
52.21	−0.635	−0.69	+0.05	+6.17	+7.14	Toshiyasu Funakoshi	DB
52.25	−0.628	−0.67	+0.04	+6.22	+7.14	Katsushi Nunomura	DB
53.67	−0.700	−0.84 a	+0.14	+6.24	+7.14	Michinari Yamamoto	DB
55.46	−0.413	−0.30	−0.11	+6.24	+7.13	Miyoshi Ida	DB
56.09	−0.262	−0.04	−0.22	+6.21	+7.13	Kaoru Ishii	DB
56.70	−0.092	+0.08	−0.17	+6.25	+7.12	Yoshiki Shimizu	DB
57.22	−0.266	−0.04	−0.23	+6.31	+7.12	Tsutomu Hayamizu	DB
58.09	−0.273	−0.21 a	−0.06	+6.21	+7.12	Mitsuru Sôma	DB
58.17	−0.492	−0.21	−0.28	+6.21	+7.12	Norio Sasanuma	DB
58.89	−0.712	−0.78	+0.07	+6.21	+7.12	Satoshi Suzuki	DB
282.86	−0.087	−0.14 a	+0.05	+6.15	+7.03	Ryosaku Matsuzaki	RD
283.04	+0.110	−0.20	+0.31	+6.14	+7.03	Satoshi Suzuki	RD
283.77	−0.430	−0.38	−0.05	+6.14	+7.04	Yoji Kawanishi	RD
283.85	−0.480	−0.45	−0.03	+6.13	+7.04	Norio Sasanuma	RD
284.88	−0.418	−0.56	+0.14	+6.28	+7.04	Tsutomu Hayamizu	RD
285.29	+0.094	−0.41	+0.51	+6.19	+7.04	Yoshiki Shimizu	RD
286.01	+0.214	−0.28	+0.49	+6.11	+7.05	Minoru Nagase	RD
286.02	+0.198	−0.24	+0.44	+6.15	+7.05	Kaoru Ishii	RD
286.62	+0.082	−0.20	+0.28	+6.18	+7.05	Miyoshi Ida	RD
288.01	−0.210	−0.49	+0.28	+6.22	+7.06	Hidenori Sato	RD
288.82	+0.256	−0.08	+0.33	+6.10	+7.06	Yoshitomi Shiraishi	RD
290.11	+0.109	−0.14	+0.25	+6.16	+7.07	Katsushi Nunomura	RD
290.36	+0.147	−0.13	+0.27	+6.10	+7.07	Toshiyasu Funakoshi	RD
305.10	+1.321	+1.57	−0.25	+6.04	+7.13	Tetsuya Matsunaga	RD

表4　1999年1月5日のレグルス食の解析結果

WA	Height	WH	Diff	l	b	Observer	Phen
°	″	″	″	°	°		
62.56	−1.360	−1.82	+0.46	+7.08	−0.51	Kazuhisa Miyashita	DB
66.47	−0.932	−1.15 b	+0.22	+7.10	−0.53	Miyoshi Ida	DB
66.65	−0.845	−1.03	+0.18	+7.10	−0.53	Noribumi Matsuura	DB
67.56	−1.205	−1.39	+0.18	+7.07	−0.53	Mamoru Urabe	DB
68.23	−1.376	−1.43	+0.05	+7.10	−0.53	Yoshiki Shimizu	DB
266.89	+0.878	+0.81 a	+0.06	+7.03	−0.65	Kouji Maeda	RD
266.93	+0.820	+0.77 a	+0.05	+7.04	−0.65	Tsutomu Hayamizu	RD
276.50	+0.075	−0.49 a	+0.56	+6.98	−0.60	Yoshiki Shimizu	RD
278.20	+0.373	−0.90 a	+1.27	+6.98	−0.59	Noriaki Kudo	RD
278.34	+0.413	−1.00 b	+1.41	+6.98	−0.59	Miyoshi Ida	RD
278.45	+0.351	−1.00 b	+1.35	+6.97	−0.59	Noribumi Matsuura	RD
278.72	+0.400	−0.88 b	+1.28	+6.93	−0.59	Mamoru Urabe	RD
280.85	+0.160	−0.69 a	+0.85	+6.93	−0.58	Yoji Kawanishi	RD
282.97	+0.041	−0.84 a	+0.88	+6.96	−0.57	Kazuhisa Miyashita	RD
283.06	−0.042	−0.91 a	+0.87	+6.95	−0.57	Akira Matsui	RD

表5　1999年2月23日のアルデバラン食の解析結果

WA	Height	WH	Diff	l	b	Observer	Phen
°	″	″	″	°	°		
85.20	+0.751	+0.72	+0.04	+1.57	+6.95	Yasuo Sano	DD
86.86	+0.051	+0.26	−0.21	+1.56	+6.94	Kazunori Sasano	DD
87.22	+0.251	+0.22	+0.03	+1.55	+6.94	Hiroyuki Tsuda	DD
104.73	+0.762	+0.70	+0.06	+1.52	+6.85	Yasuhiro Tonomura	DD
105.81	+0.622	+0.83	−0.21	+1.53	+6.85	Yoshio Oba	DD
111.68	−0.547	−0.35	−0.20	+1.51	+6.82	Akira Miyake	DD
113.23	−0.557	−0.09	−0.47	+1.54	+6.82	Makoto Watanabe	DD
113.81	−0.171	+0.33	−0.50	+1.53	+6.81	Kazuhisa Miyashita	DD
114.73	−0.362	−0.06	−0.31	+1.51	+6.81	Norio Sasanuma	DD
114.84	−0.280	−0.10	−0.18	+1.51	+6.81	Yoji Kawanishi	DD
114.91	−0.207	−0.11	−0.09	+1.51	+6.81	S. & E. Fukatsu	DD
114.97	−0.318	−0.12	−0.20	+1.51	+6.81	Yasuharu Suzuki	DD
115.04	−0.369	−0.14	−0.23	+1.51	+6.81	Yojiro Ogane	DD
115.05	−0.380	−0.14	−0.24	+1.52	+6.81	Kaoru Ishii	DD
115.09	−0.315	−0.16	−0.16	+1.51	+6.81	Mitsuru Sōma	DD
115.11	−0.297	−0.16	−0.13	+1.51	+6.81	Mikiya Sato	DD
115.13	−0.213	−0.17	−0.04	+1.51	+6.81	Kiichi Hamada	DD
115.15	−0.185	−0.18	−0.01	+1.51	+6.81	Masahisa Yanagisawa	DD
115.33	−0.383	−0.27	−0.12	+1.51	+6.81	Toru Nakamura	DD
116.38	+0.187	+0.30	−0.12	+1.51	+6.80	Masahiro Sanada	DD
116.70	+0.217	+0.46	−0.24	+1.50	+6.80	Mamoru Urabe	DD
117.34	+0.833	+0.92	−0.09	+1.51	+6.80	Ryosaku Matsuzaki	DD
119.27	−0.235	−0.09	−0.14	+1.54	+6.79	Michinari Yamamoto	DD
119.32	−0.172	−0.03	−0.14	+1.54	+6.79	Naoki Ootsuki	DD
120.95	−0.456	−0.28	−0.18	+1.54	+6.78	Noritaka Tokimasa	DD
121.46	−0.566	−0.41	−0.16	+1.53	+6.78	Yoshiki Shimizu	DD
244.38	+0.044	−0.07	+0.11	+1.49	+6.80	Yoshiki Shimizu	RB
249.72	+0.011	−0.10	+0.11	+1.47	+6.83	Mamoru Urabe	RB
250.98	+0.382	+0.63	−0.25	+1.49	+6.83	Kaoru Ishii	RB
251.10	+0.174	+0.60	−0.43	+1.48	+6.83	Masahisa Yanagisawa	RB
251.13	+0.241	+0.59	−0.35	+1.48	+6.83	Mikiya Sato	RB
251.56	+0.941	+0.94	+0.00	+1.48	+6.84	Norio Sasanuma	RB
252.07	+1.158	+1.39	−0.23	+1.49	+6.84	Kazuhisa Miyashita	RB
254.46	+0.068	−0.02	+0.09	+1.49	+6.85	Akira Miyake	RB

とんど意味のないデータであることを意味する．

解析結果から，1998年10月9日のアルデバラン食からは全体として潜入側でWatts のデータが 0″.2 ほど高すぎ，出現側では同程度低すぎることがわかる．1999年1月5日のレグルス食からは出現側で Watts のデータのない部分の月縁データが得られた．また，この日の月の緯度の秤動値は $b = -0^{\circ}.53$ 前後 (潜入時) から $b = -0^{\circ}.59$ 前後 (出現時) で 0° に近く，日食の解析には特に重要なデータとなる．1999年2月23日のアルデバラン食からは特に Watts 角が 115° 付近に Watts のデータにはなかった山と谷のあることが明らかになった．

5.　まとめ

星食のビデオ観測から精密な月縁データが得られることが明らかになった．これらのデータは今後の日食観測の解析やヒッパルコス星表の誤差解析に役立てられる．

今回の星食ビデオ観測キャンペーンを契機にして，星食を定常的にビデオによって観測してくださる方が増え，一人で年間に数十個もの観測をされる方も出てきた．これも今回のキャンペーンの大きな収穫である．今後も星食観測を呼び掛けて，良質のデータを多数獲得できるようにしていきたい．

謝辞

観測にご協力くださった多くの方々に感謝する．また，新聞記事にて観測を呼び掛けてくださった共同通信社科学部を始めとする多くの地方新聞社，ニフティサーブのスペースフォーラム掩蔽会議室で観測を呼び掛けてくださった掩蔽観測グループの戸田雅之氏，ホームページで観測を呼び掛けてくださった北大天文同好会の松永哲也氏，国立天文台のホームページの「情報・お知らせ」の欄に呼び掛け文を掲載くださった国立天文台天文情報公開センター広報普及室にも感謝する．

参考文献

1) Dunham, D.W.: "Current Value of Timings of Total Lunar Occultations", *Occultation Newsletter*, **6**, 411 (1997).

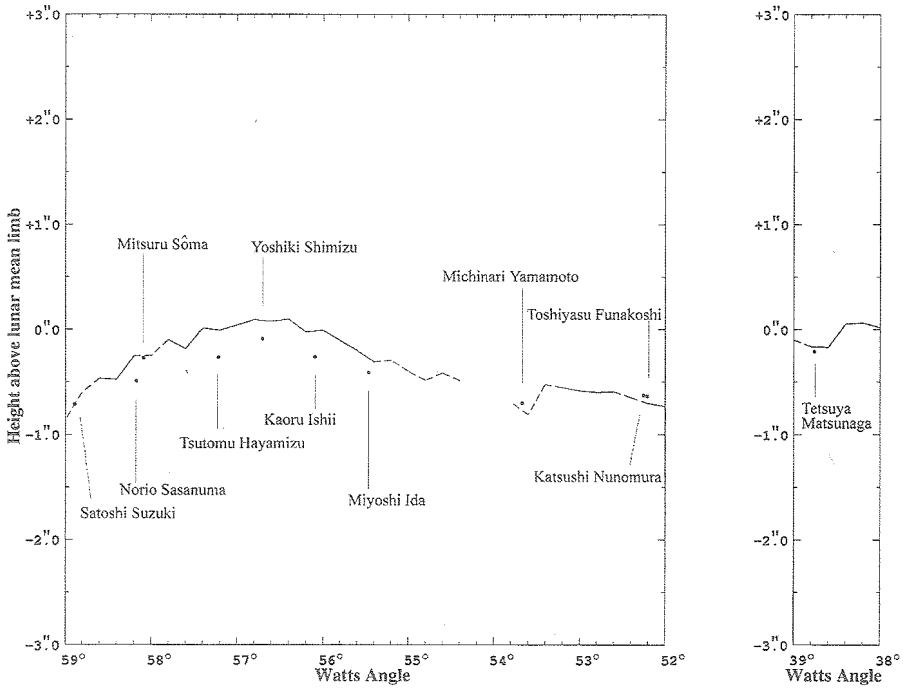

図1　a)

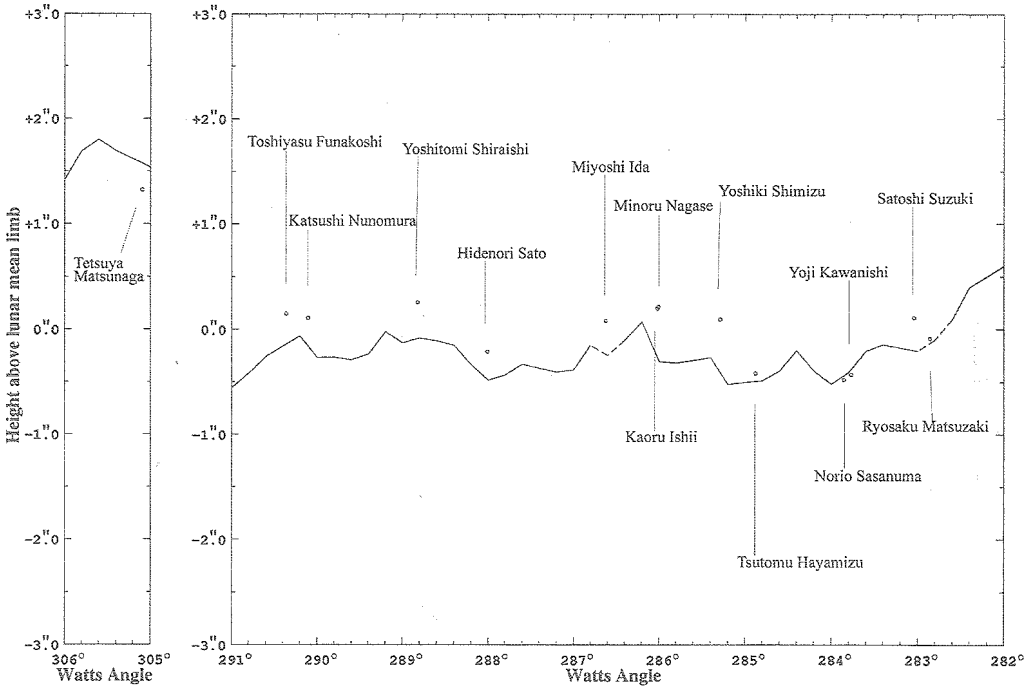

図1　b)

図1　a) 1998年10月9日のアルデバラン（潜入）による月縁
b) 同（出現）による月縁
横軸はワッツ角（度），縦軸は平均月縁からの高さ（秒角）で月の平均距離（384,400km）における値に換算してある.月縁の1度は約16秒角に相当するので，縦方向のスケールは横方向に対して19倍に拡大されて作図されていることになる.丸印が今回の星食観測によるデータ，折れ線は Watts によるもので破線部分は外挿によるため精度が悪いことを意味する.

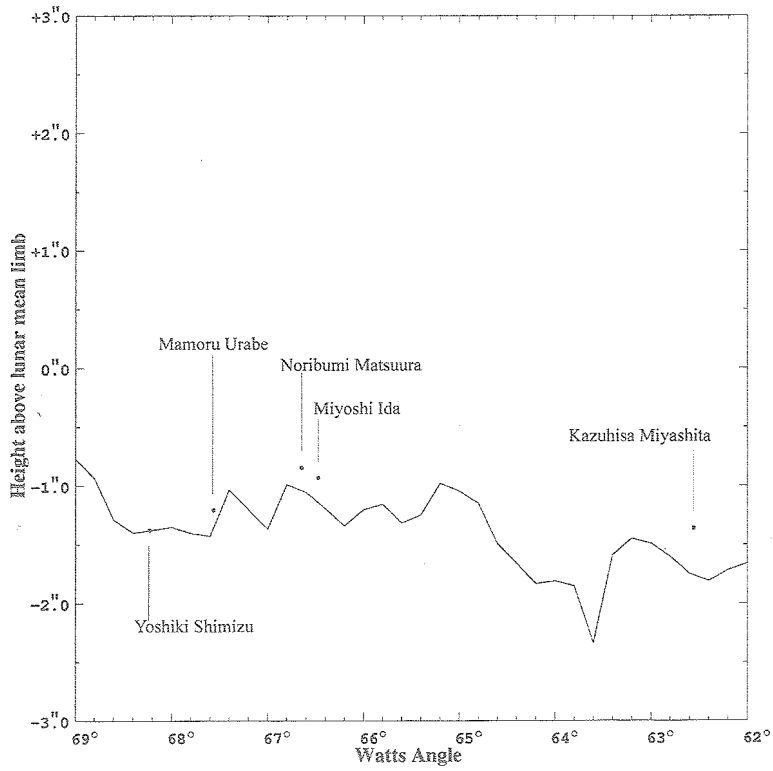

図2　a)

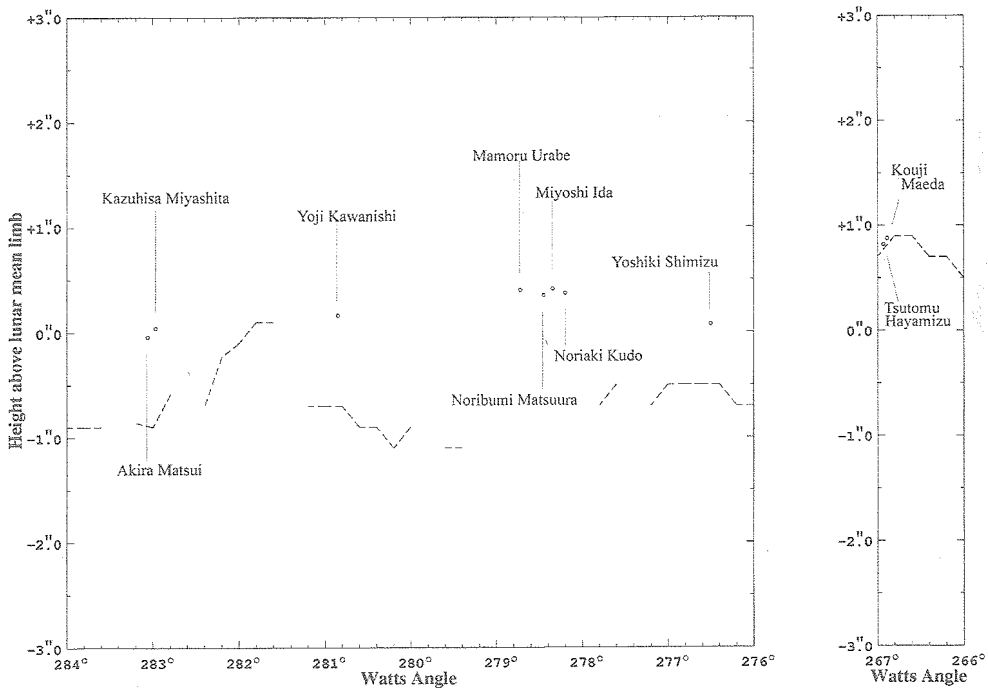

図2　b)

図2　a) 1999年1月5日のレグルス食（潜入）による月縁
b) 同（出現）による月縁
説明は図1参照.

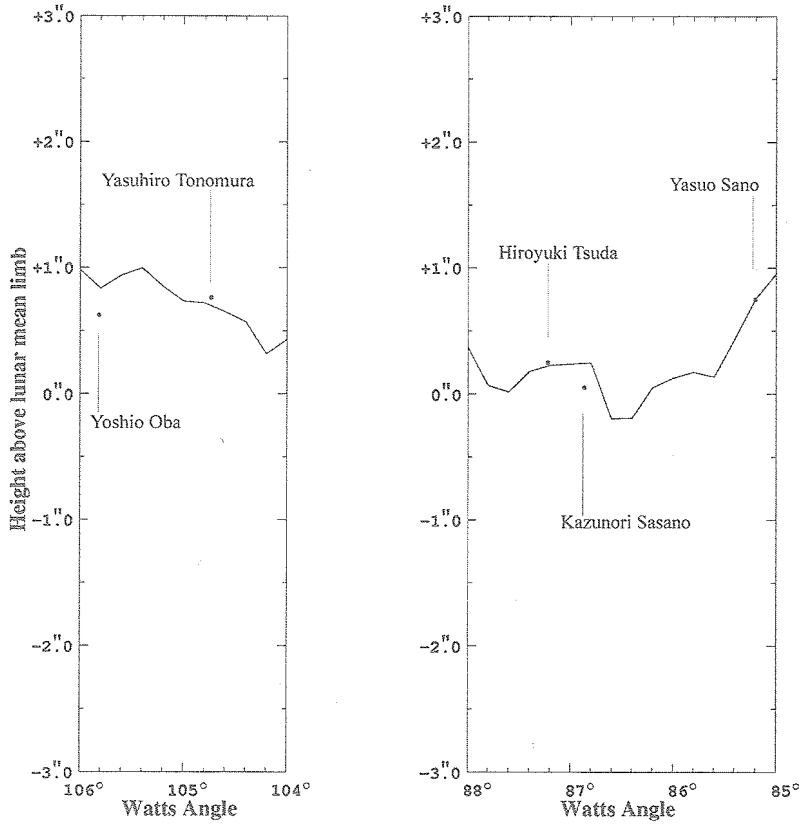

図3　a)

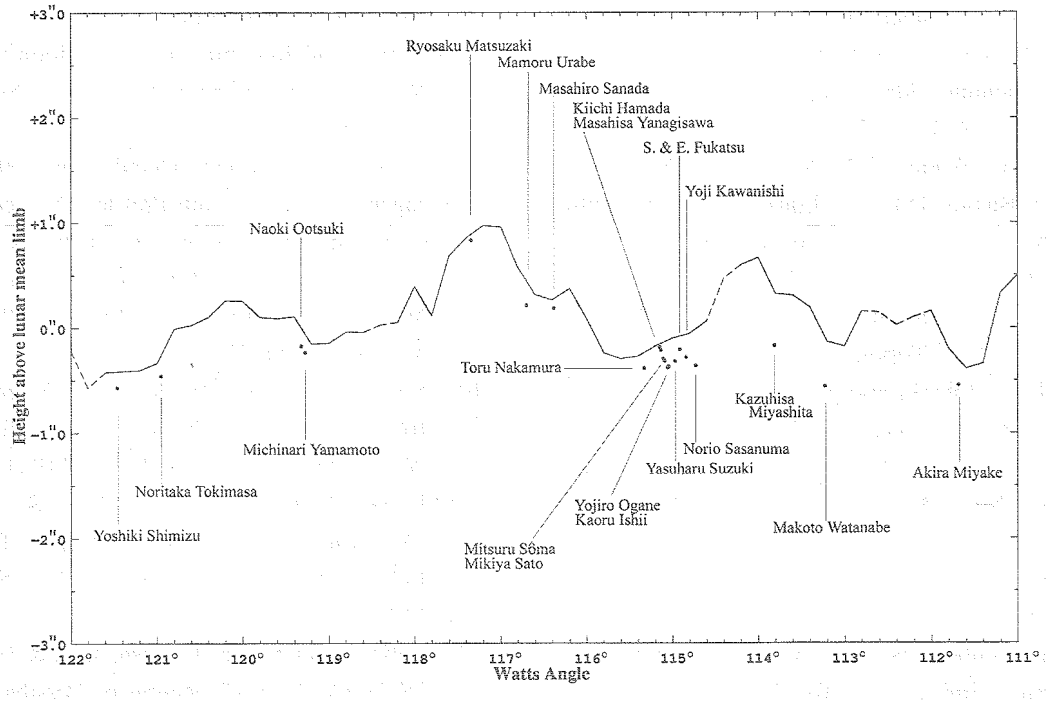

図3　b)

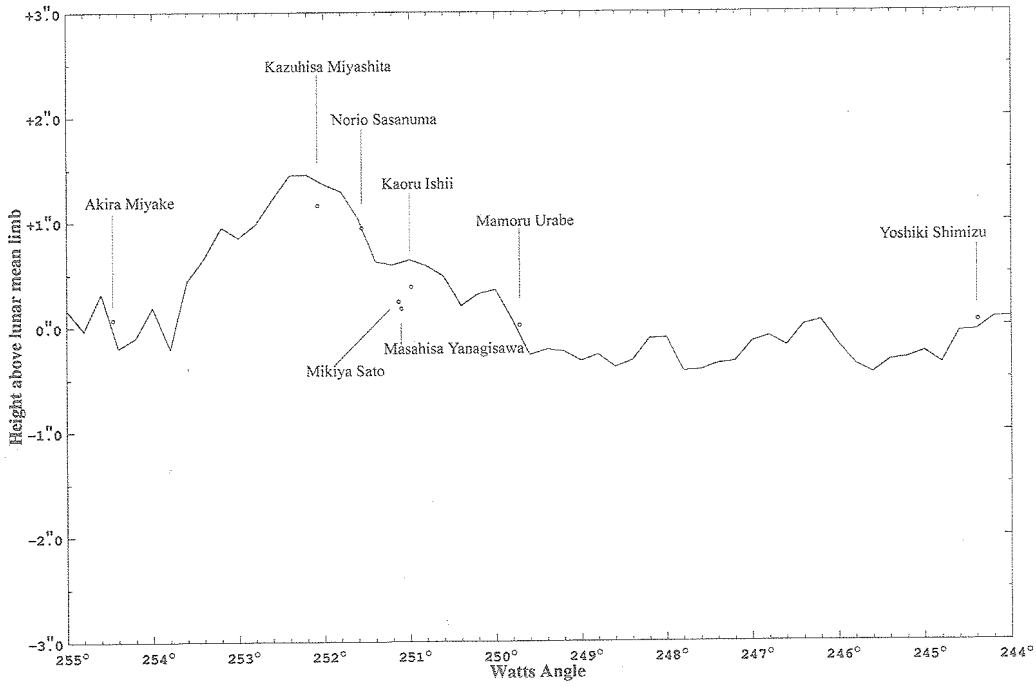

図3　c)

図3　a-b) 1999年2月23日のアルデバラン食（潜入）による月縁
c) 同（出現）による月縁
説明は図1参照.

2) Smith, D.E., Zuber, M.T., Neumann, G.A., & Lemoine, F.G.: "Topography of the Moon from the Clementine Lidar", *J. Geophys. Res.*, **102**, No. E1, 1591−1611 (1997).

3) Cook, A.C., Watters, T.R., Robinson, M.S., Spudis, P.D., & Bussey, D.B.J.: "Lunar Polar Topography Derived from Clementine Stereoimages", *J. Geophys. Res.*, **105**, 12,023−12,033 (2000).

4) Margot, J.L., Campbell, D.B., Jurgens, R.F., & Slade, M.A.: "Topography of the Lunar Poles from Radar Interferometry: A Survey of Cold Trap Locations", *Science*, **284**, 1658−1660.

5) Watts, C.B.: "The Marginal Zone of the Moon", *Astron. Papers Am. Ephemeris*, **17**, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C., U.S.A. (1963).

6) Morrison, L.V. & Appleby, G.M.: "Analysis of Lunar Occultations−III. Systematic Corrections to Watts' Limb-profiles for the Moon", *Monthly Notices Roy. Astron. Soc.*, **196**, 1013−1020 (1981).

7) Rosselló, G. Jordi, C., & Salazar, A.: "Corrections to Watts' Charts Varying with Libration", *Astrophys. Space Sci.*, **177**, 331−338 (1991).

8) Kubo, Y.: "Examination into Error of Watts' Datum and Recomputation of Moon's Position", *Report of Hydrographic Researches*, No. 30, 37−47 (1994).

9) Sôma, M.: "Lunar Occultations Observed in Japan and Lunar Limb Profiles Derived", in: P-S. Chen (ed.) *Observational Astrophysics in Asia and its Future* (Proceedings of Fourth East-Asia Meeting on Astronomy), Yunnan Observatory, Yunnan, China, 254−258 (1999).

10) Sôma, M.: "Limb Profiles of the Moon Obtained from Grazing Occultation Observations", *Publ. Natl. Astron. Obs. Japan*, **5**, 99−119 (1999).

11) Fiala, A.D., Dunham, D.W., & Sofia, S.: "Variation of the Solar Diameter from Solar Eclipse Observations, 1717−1991", *Solar Phys.*, **152**, 97−104 (1994).

12) Sofia, S., O'Keefe, J., Lesh, J.R., & Endal, A.S.: "Solar Constant: Constraints on Possible Variations Derived from Solar Diameter Measurements", *Science*, **204**, 1306−1308 (1979).

13) European Space Agency: "The Hipparcos Catalogue", ESA SP-1200 (1997).

14) McCarthy, D.D., & Luzum, B.J.: "Observations of Luni-Solar and Free Core Nutation", *Astron. J.*, **102**, 1889－1895 (1991).
15) Williams, J.G., Newhall, X X, & Dicky, J.O.: "Luni-Solar Precession: Determination from Lunar Laser Ranges", *Astron. Astrophys.*, **241**, L9－L12 (1991).
16) Miyamoto, M. & Sôma, M.: "Is the Vorticity Vector of the Galaxy Perpendicular to the Galactic Plane? I. Precessional Correction and Equinoctial Motion Correction to the FK5 System", *Astron. J.*, **105**, 691－701 (1993).
17) Feissel, M., & Mignard, F.: "The Adoption of ICRS on 1 January 1998: Meaning and Consequences", *Astron. Astrophys.*, **331**, L33－L36 (1998).
18) Standish, E.M.: "JPL Planetary and Lunar Ephemerides, DE405/LE405", JPL IOM 312.F-98-048 (1998).
19) Sôma, M.: "Examination of the Hipparcos Proper Motion System from Lunar Occultation Analysis", in: K.J. Johnson, D.D. McCarthy, B.J. Luzum, G.H. Kaplan (eds.) *Towards Models and Constants for Sub-Microarcsecond Astrometry* (IAU Coll. 180), U.S. Naval Observatory, Washington, D.C., U.S.A., pp. 115－119 (2000).
20) 青木信仰: 「時と暦」, 東京大学出版会, p. 230 (1982).
21) 早水勉, 下代博之, 相馬充:「星食から生まれたGHS時計」天文月報, **93**, 720－727 (2000).
22) Sôma, M.: "An Analysis of Lunar Occultations in the Years 1955－1980 Using the New Lunar Ephemeris ELP2000", *Celes. Mech.*, **35**, 45－88 (1985).
23) Eckhardt, D.H.: "Theory of the Libration of the Moon", *The Moon and the Planets*, **25**, 3－49 (1981).
24) Eckhardt, D.H.: " Planetary and Earth Figure Perturbations in the Librations of the Moon", in Calame, O. (ed.) *High Precision Earth Rotation and Earth-Moon Dynamics* (IAU Coll. 63), pp. 193－198 (1982).
25) Chapront, J., Chapront-Touzé, M., & Francou, G.: "Determination of the lunar orbital and rotational parameters and of the ecliptic reference system orientation from LLR measurements and IERS data", *Astron. Astrophys.*, **343**, 624－633 (1999).
26) Williams, J.G.: "Contributions to the Earth's Obliquity Rate, Precession, and Nutation", *Astron. J.*, **108**, 711－724 (1994).
27) Herring, T.A. 1991, "The ZMOA-1990 Nutation Series", in: Hughes, J.A., Smith, C.A., & Kaplan, G.H. (eds.) *Reference Systems* (IAU Coll. 127), USNO, Washington D.C., pp. 157－166 (1991).
28) International Earth Rotation Service: Bulletin B (published monthly) (1999).
29) 辰野忠夫:「人工衛星レーザー測距をドップラー観測による海洋測地網二次基準点の位置決定成果」水路部研究報告, No. 30, 1－17 (1994).
30) 飛田幹男:「最近の測地座標と座標変換についての考察」測地学会誌, **43**, 231－235 (1997).
31) 黒田次郎, 高畑嘉之, 松嶋成佳, 福田洋一:「LSC法によるGPS／水準測量と重力ジオイドの統合」国土地理院時報 No. 87, 1－3 (1997).
32) 国土地理院:「日本のジオイド高分布図」国立天文台編「理科年表」1998年版, p. 886 (1997).
33) National Imagery and Mapping Agency: "Department of Defense World Geodetic System 1984: Its Definition and Relationships with Local Geodetic Systems", NIMA TR8350.2 (1997).

国立天文台報　第5巻　43－49（2001）

すばる望遠鏡中間赤外撮像分光装置用 画像表示簡易解析システムの開発

中村京子，宮田隆志*，片坐宏一†

（2000年10月16日受理）

Development of Quick Look and Analysis System for Cooled Mid-Infrared Camera and Spectrometer on the Subaru Telescope

Kyoko NAKAMURA, Takashi MIYATA*, and Hirokazu KATAZA†

Abstract

We have developed a portable quick look and analysis system for use at Subaru telescope with Cooled Mid-Infrared Camera and Spectrometer (COMICS). The COMICS has both imaging camera and long slit grating spectrograph in 8－26 μm wavelength range. The camera has 1 CCD and the spectrograph has 5 CCDs. During observations, we have to check 6 images at once and analyze quickly. We have newly developed a quick-look and data analysis software for the purpose. The system, called XFC (X fits viewer For Comics), is based on the X window system and can be used on UNIX and LINUX systems.

1. はじめに

すばる望遠鏡[1]の第一期共同利用観測装置の一つであるCOMICS[2] (COoled Mid-Infrared Camera and Spectrometer) の画像表示簡易解析システムXFC (X fits viewer for Comics)を開発した。

COMICSは中間赤外域での撮像および分光を目的とした観測装置であり，現在，ハワイ島マウナケア山頂のすばる望遠鏡で試験観測中である．観測可能な波長域は8～26 μm(NバンドおよびQバンド)，撮像およびスリットビュワー用に検出器1個，分光用には中分散で広い観測波長域を実現するため，分散方向に検出器を5個並べる．分光の波長分解能はNバンドで250×2500，Qバンドで2500～10000，検出器のサイズは，撮像分光共に320×240ピクセルである．

中間赤外域の観測では，望遠鏡や大気など室温物体からの黒体放射が非常に強く，これが大きな背景放射として検出される．さらにこの背景放射は短時間で変動することが知られ，これを精度良く差し引くために，早い読みだし，Chop and Nodの手法による観測を行う必要がある．そのため短時間に膨大なデータが発生するので，観測効率を上げるためには，“検出器で取得した頻繁に変わる最新画像を確実に自動表示すること”が重要になる．

汎用ソフトウエアに，画像表示システムとしてはSAOimage[3]，SAOtng[4]およびSkyCat[5]等があり，解析システムとしてはIRAF[6]が存在する．但し，これらは汎用高機能であるがゆえに計算機に負荷を与え，また使用者に複雑な作業を要求するものであり，従って観測後に取得データを時間をかけて解析する際には有用であるが，観測中に取得データを随時表示し，簡単な解析を実行するにはかえって扱いにくい．さらに，四千メートルを越えるマウナケア山頂での作業能力は地上に比べて極端に低下するため，複雑な作業手順が必要なシステムでは誤りが多発し，ひいては観測効率が下がる原因ともなる．すなわち，“少ない作業手順で必要な解析ができること”も重要になる．

これらの理由により，COMICSでは観測中の画像表示および簡易解析を既存システムに頼るのではなく，新たにシステムを開発した．

2. プロトタイプシステム

COMICSにはMICS[7] (Mid-Infrared Camera and Spectrometer)というプロトタイプ観測装置がある．このMICSのために画像表示簡易解析システムPIMAN (Portable Image Monitor and ANalysis system on MICS)をまず開発したが，このPIMANがXFCの前身であるため，まずこのシステムについて述べる．

MICSは10 μm帯域のNバンドで撮像分光を行い，検出器の数は1個，サイズは128×128ピクセルである．典型的なMICSの観測では，検出器を読みだしレート25msで駆動し，背景放射の差し引きのため，3Hzのチョッピング，0.03Hzのノッディングを行い，15秒に一回，各ノッディング・ポジションのデータが取得でき，30秒で観測した画像ファ

* 東京大学大学院理学系研究科天文学教育研究センター(Institute of Astronomy, The University of Tokyo)
† 宇宙科学研究所(The Institute of Space and Astronautical Science)

イルが作成される．数分～数十分で新しい画像ファイルが作成される場合には既存のSAOimageやSAOtng等を使って画像表示をすれば良く，光赤外の観測装置ではこれらシステムを観測モニタとしてよく用いている．MICSも当初，SAOtngを使って観測中の画像を表示していた．ところがCPUに対する過負荷のために新しく作成した画像の表示を取りこぼすことが頻繁に起こり，画像表示のためだけに，再度撮像分光観測を行うことが少なからずあった．

もともとSAOtngを使用した理由は，SAOimageの次期バージョンであることから完成度の高さを期待し，さらにTcl/Tkを使っていることからカスタマイズがしやすいことに魅力を感じたからであった．SAOtngが観測モニタとして十分に機能しない以上，従来のSAOimageで画像表示しIRAFにより簡易解析をするという方法に戻ることがまず考えられたが，MICSの表示システムをSAOimage用に作り変えるよりは，MICSに特化した，画像表示と簡易解析の双方が簡便に行えるシステムを新たに開発するほうが，今後の保守及び必要に応じた機能追加がしやすくなるという利点が得られ，また必要な機能のみを持つためにシステム全体の負荷の軽減が図られる．さらにCOMICSでの使用も視野に入るために，将来性もかなり有望である．これらの理由により，MICS専用の画像表示簡易解析システムであるPIMANを作成することとなった．

図１にPIMANのGUIを示す．これは，GUI上に画像を表示し，画像上の指定した領域のX軸方向の光量を計算し，その結果をグラフ表示したものである．PIMANのGUIは画像表示部分と簡易解析表示部分から成っており，GUIの上半分には最新の観測画像を自動表示し，画像の色や階調の変更，簡易解析をする領域の指定などが行え，下半分には簡易解析をした結果を文字列およびビットマップグラフで表示する．

次にPIMANのシステム構成を図２に示す．プログラムは画像表示系と簡易解析計算系に分かれ，互いに独立している．処理速度を早くすること，グループメンバであれば理解可能で変更も容易にできることを考慮し，C言語で記述した．さらに，MICSはSunワークステーション上のシステムで観測するため，PIMANの開発も同計算機で行ったが，UNIX系のワークステーション上であればどのマシンでもデフォルトで使用可能になるよう，Xウインドウシステムの Xツールキットを使ってGUIを作成した．

PIMANの画像表示系は，まず新規作成画像ファイル(FITSファイル)を自動で読み込みかつGUI上に表示し，さらにカラーマップの変更，階調の変更，拡大表示，ブリンク等の基本表示機能，そして簡易解析を行う領域の指定，簡易解析の選択実行，ビットマップグラフの表示，グラフのプリントアウト等が行え，これらはマウス操作を主とする．画像の自動表示では，Xツールキットのファイルモニタ関数を組み込んでファイルを監視している．

簡易解析はMICSが観測中に必要とする最小限の機能，すなわち標準偏差，PSF，XYZの三軸方向の光量計算の五種類があり，これらの計算結果を文字列およびグラフ出力する．グラフは Super Mongoにより作成し，フリーソフトのnetpbmでビットマップ形式に変換した．表示系と計算系間の通信には，Xウインドウの機能の一つであるプロ

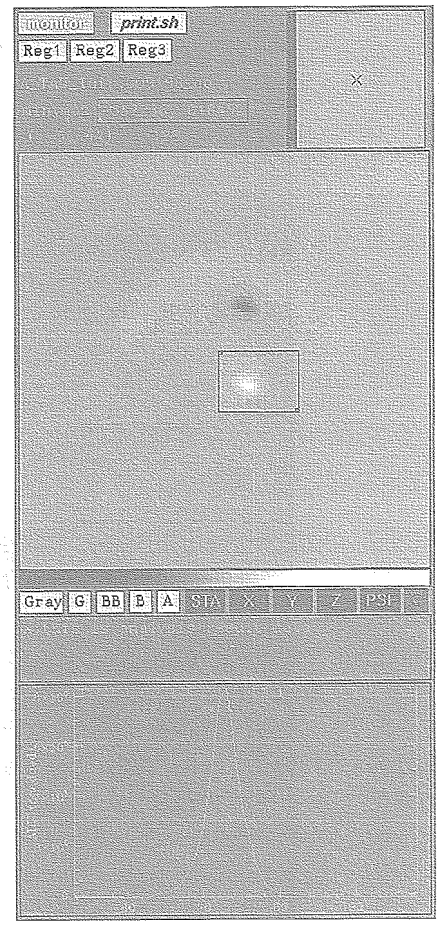

図１．PIMANのGUI

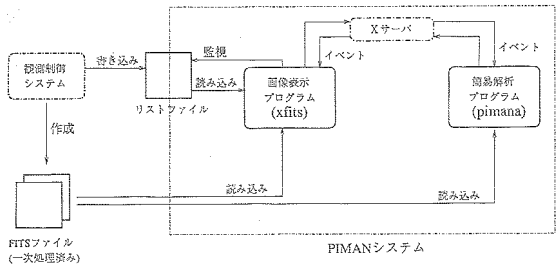

図２．PIMANのシステム構成

表1．PIMANのグラフィック能力

項　目	値
ビジュアルクラス	PseudoColor(疑似カラー)
カラーマップ	デフォルトカラーマップ
カラーセルの個数	64
デフォルト表示色	グレースケール
その他の表示色	緑，A，B，BB (注)

(注)表示色のA，B，BBは，SAOimageのカラーマップを参考に作成した。

表2．PIMANの画像表示に関する諸元

項　目	値
ウインドウ	XツールキットのAthenaウィジェット
表示する画像の数	1
画像表示のスケール	最大384×390ピクセル
画像表示ファイル形式	FITS形式
画像表示ファイルのデータ型	8ビット，16ビット，32ビット
表示する解析結果グラフの数	1
解析結果表示のスケール	384×216ピクセル
解析結果表示のファイル形式	PBM形式(ビットマップ形式)
解析結果の最大表示文字数	約180文字

パティを採用し，イベントによるアプリケーション間通信を行っている．

表1にPIMANのグラフィック能力を示す．ワークステーション上で使うことを念頭に置きビジュアルクラスはPseudoColor対応とし，色はSAO imageで使われているカラーマップが見やすいため，これを参考に作成した．

次に，表2にPIMANの画像表示に関する諸元を示す．MICSの検出器サイズは128×128ピクセルだが，これを等倍で表示すると小さすぎて見にくいので，拡大して表示できるようにした．さらに，複数のデータ型で記述されたFITSファイルが読み込める用に配慮した．

MICSはPIMANを使用して，マウナケア山頂の3.8 m赤外線望遠鏡UKIRT(United Kingdom Infra-Red Telescope)で主に観測した．PIMANは短時間で作成される最新観測画像を確実に自動表示するという，MICSの要請に十分応える表示能力を発揮し，さらに簡易解析をしぼり，かつマウスクリックのみの単純操作で使えるために観測者の負担を少なくし，観測効率の向上に大いに貢献した．

3. COMICS用画像表示簡易解析システム

次にPIMANを土台として作成した本システム，XFCについて説明する．

3.1 本システムの特徴

XFCに求められた機能のおおまかな項目は，(ア)観測で取得したデータを即時に自動表示する，(イ)複数検出器の画像を同時に表示する，(ウ)負荷が少なく安定している，(エ)使いやすいインタフェースである，の四点であった．後に(オ)計算機依存性を少なくする，が加えられ，この五点を満足させるシステムを作成する必要があった．この(オ)については，PIMANはワークステーションでの使用を前提に作成したのでPseudoColorのビジュアルクラスのみの対応を考えればよかったのだが，近年，パソコンにLINUXシステムを載せてXウインドウを表示する場合が多くなり，観測中でもLINUXマシンを観測補助マシンとして簡易解析を行う必要が生じた．LINUXシステムではビジュアルクラスはTrueColorが使え，そのため対応ビジュアルクラスを増やすことが要求された．

ところで，COMICSの画像生成に要する時間は，天体導入時で5～30秒，積分時には30秒～10分程度である．これはPIMANですでに十分達成できていたが，COMICSはMICSに比べ検出器の数が増え，検出器のスケールも大型化している．そこで，PIMANのFITSファイル読み出し部分に若干変更を加えて高速化をはかり，さらに(イ)および(オ)の機能を新たに加えてXFCを開発した．

ここで，XFCと各汎用ブラウザ＋解析ソフトとの特徴を簡単に比較したのが表3である．もともとSAOimageおよびSAOtngは解析システムのIRAFとの連携を取るよう開発されたブラウザであり，SkyCatはデータベースやカタログを表示する際に適したシステムである．従って，これらは一画像を時間をかけて解析する場合には威力を発揮するものといえる．翻ってXFCの方は，中間赤外の観測中に使うことを前提として開発したものであり，当然観測モニタとしては他の追随を許さない．さらに，観測時には天文データとして適した画像がとれたかどうかを確認する程度の解析機能があれば十分のため，簡易解析もかなり絞ることができ，それが結果として計算機に対する負荷の軽減につながった．加えて，汎用ブラウザは『汎用』機能をもつがゆえに改造を前提としておらず機能追加は難しいが，XFCはその点においても有利といえる．すなわち，XFCは簡易解析とそれ以外の部分を別工程で作成したために互いに干渉しない作りになっており，インタフェースさえ合わせておけば簡易解析の内容をいかに変更しようとも，コンパイルをし直すという手間があるとはいえ，即座にその変更結果を反映できる．さらに，簡易解析の個別機能はサブモジュール化されているため，書き換える箇所も限定されている．変更作業にあたっては，もちろんXFC全体のシステムを理解する必要はなく，この時に必要なことはC言語によるプログラミングの知識のみである．

3.2 本システムの構成

XFCのシステム構成はPIMANを踏襲して作成したが，いくつかの点に変更を加えた．図3にXFCの内部構成を示す．

表3. XFCと各汎用ブラウザ＋解析ソフトとの比較

項目	XFC	SAOimage	SAOtng	SkyCat
光・近赤外観測時のモニタ	○	○	○	○
中間赤外観測時のモニタ	○	×	×	×
IRAFの画像ブラウザ	×	○	○	×
データベースの画像ブラウザ	×	×	×	○
ビジュアルクラスTrueColorに対応	○	×	×	×
計算機に対する負荷	○	△	×	△
機能追加・変更作業のしやすさ	○	×	×	×

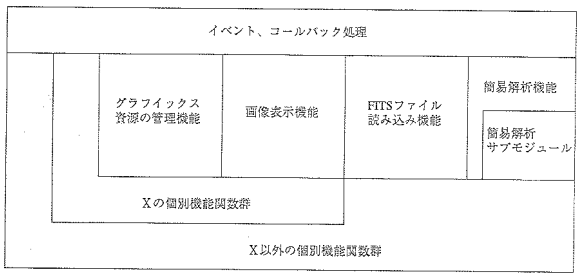

図3. XFCの内部構成

表4. XFCのグラフィック能力

項目	値
ビジュアルクラス	PseudoColor(疑似カラー), TrueColor
カラーマップ	デフォルトカラーマップ
カラーセルの個数	64
デフォルト表示色	グレースケール
その他の表示色	緑, A, B, BB (注)

(注)表示色のA, B, BBは, SAOimageのカラーマップを参考に作成した。

表5. XFCの画像表示に関する諸元

項目	値
ウインドウ	XツールキットのAthenaウィジェット
表示する画像の数	撮像1, 分光5
画像表示のスケール	最大336×262ピクセル
画像表示ファイル形式	FITS形式
画像表示ファイルのデータ型	8ビット, 16ビット, 32ビット, 64ビット
表示する解析結果の数	最大5
解析結果表示のスケール	512×512ピクセル
解析結果表示のファイル形式	GIF形式
解析結果の最大表示文字数	約270文字

まずPIMANではあいまいであった階層構造を厳密化し，階層の下位に行くに従い機能を細分化し，最下位の関数は上位の関数が任意に使えるように作成した．このために一機能のデバッグがやりやすくなり，プログラム作成の時間も短縮できた．

次に，PIMANでは画像表示系と簡易解析計算系の二つのプログラムに分けていたが，アプリケーション間通信でデータのやりとりをすると，多少の時間のロスが出る上にプログラムのまとまりもあまりよくない．さらにプログラム自体もそれほど巨大なものではなく，二つに分ける積極的理由も見当たらなかったため，XFCでは一体化させた．また，PIMANでは計算結果のグラフを表示する部分をあらかじめ用意していたが，XFCでは六つの画像表示領域があるためにグラフ用の表示部分を設けることができず，ポップアップウインドウ上にグラフを表示することとした．

XFCの構成は，大きく四つの機能に分けられる．すなわち，グラフィックス資源の管理，画像表示，FITSファイル読み込み，および簡易解析である．これらの機能が最下層の一関数一機能の関数を自在に使い，それぞれの機能を実現している．この中で簡易解析は独自のサブモジュールを有し，解析部分の機能追加及び変更はこのサブモジュールのみを変更することで実現できるよう配慮している．なお，最下層の関数群であるが，Xリソースの取得やGUI上への文字列の表示等のXを使った関数群と，入力引数のチェックやメモリエリアの取得等のXに関係しない関数群との二つに大きく分かれている．

3.3 本システムの諸元および機能

XFCのグラフィック能力を表4に示す．PIMANと異なる点は，対応するビジュアルクラスにTrueColorが加わった点のみである．

次に画像表示に関する諸元を表5に示す．PIMANとはウインドウ作成方法，画像表示ファイルの形式が一致するのみで，他はCOMICS独自の仕様に合わせて変更した．

3.4 本システムの表示機能

XFCの立ち上げはコマンドで行う．すなわち，UNIX系マシン上で xfc と打ち込む．これで図4のようなGUIが立ち上がる．立ち上がりと同時に，FITSファイル名一覧が書かれているリストファイルを読み込み，その最終行に書かれているFITSファイルを読み込みグレースケールで画像表示する．XFCを終了させる場合は，画像表示部分にマウスを移動し，キーボードから q を入力する．

次に，表示機能および操作方法を表6に示す．画像の自動表示は，Xツールキットの監視関数にリストファイルの入出力を一定周期で監視させることで実現している．FITSファイルを新規に作成した際，このリストファイルの最終行にそのFITSファイル名を書き込むと，監視関数が感知しXFCに通知する．そこでXFCはリストファイルの最終行を読み取り，当該FITSファイルからデータを読み込み画面に表示する．

その他表示機能もPIMANとほぼ同様であるが，簡易解析結果グラフの表示方法は大きく変え，これはフリーソフトのXVを利用した．さらに，一般の観測中ではZ軸方向に重ね合わせたファイルを画像表示するが，Z軸方向の任意の一枚の画像も表示できるような指定も行えるようにした．

これら操作方法は汎用ブラウザのSAOimageとほ

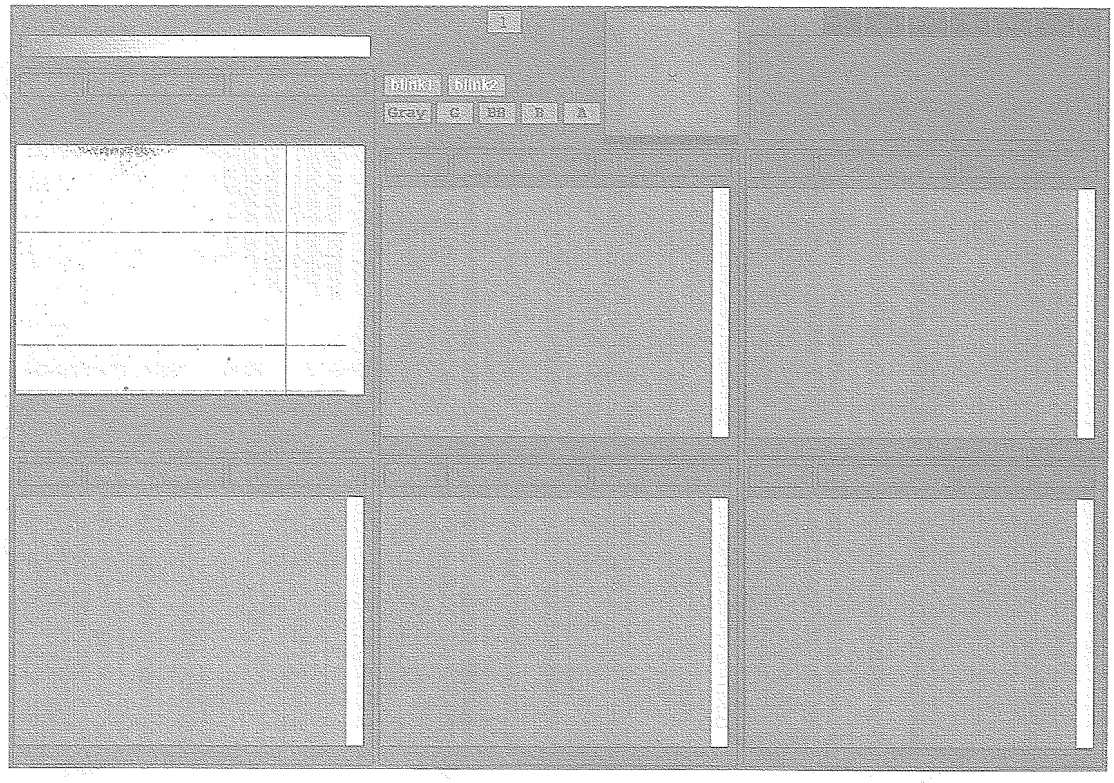

図4．XFC立ち上がり画面

表6．表示機能と操作

機能項目	内　　容	操　　作
	静 的 情 報	
バージョン情報	XFCのバージョン番号をタイトルバーに表示	自動表示
監視ファイル名	監視するリストファイル名をタイトルバーに表示	自動表示
FITSファイル名	現在画像表示しているFITSファイル名を表示	自動表示
FITS最大最小値	FITSファイルの最大最小カウント値を表示	自動表示
	表 示 操 作	
カラーバー	現在の表示色のカラーバーを表示	常時表示
色	デフォルトグレーを含め五つ	コマンドボタン押下
階調	色の階調を変更	左マウスドラッグ(上下左右)
座標表示	画像上マウス位置のFITS座標を表示	自動表示
カウント値	画像上マウス位置のFITSカウント値を表示	自動表示
カウント値変更	FITSファイルの最大最小カウント値変更	キーボード入力，再描画
カーソル移動	画像上のマウスカーソルを1FITS座標単位で移動	矢印キー(上下左右)
拡大表示	画像上のマウス位置中心の32×32を4倍拡大表示	自動表示
ブリンク	現表示画像を保存	コマンドボタン押下
ブリンク再描画	ブリンクした画像を再描画	Shiftキー＋左・真中マウス
z方向画像表示	z軸方向のファイルの指定	キーボード入力
	解 析 操 作	
解析領域指定	画像上の解析したい領域を指定	真中マウスボタン
解析領域変更	画像上の解析したい領域を変更	右マウスボタン
解析領域消去	画像上の解析領域を消去	コマンドボタン押下
解析実行	解析領域の簡易解析を実行	コマンドボタン押下
解析結果	解析結果グラフをXVで表示	自動表示

ぼ同様の方式にしたため，使い勝手が良く明解かつ容易で，初心者であっても短時間で習得できる．

3.5 本システムの簡易解析機能

XFCで行える簡易解析を表7に示す．簡易解析の種類は全部で六つあり，PIMANと異なる点は望遠鏡の方向を計算するパッケージが追加されたことである．

六つの簡易解析それぞれには一つのコマンドボタンが対応している．簡易解析を行う領域を画像上にマウスを持っていって指定し，解析したい種類のコマンドボタンを押下すると，SuperMongoを通してGIF形式のグラフが作成され，XVによりディスプレイ上にポップアップで表示される．但し，標準偏差の結果だけはグラフはなく，計算結果を文字列でXFC上に表示する．図5にY軸方向の切り出しの簡易解析を行った場合の画面を示す．

表7. XFCの簡易解析

簡易解析ボタン	説　　明
STA	標準偏差の計算
X	X軸方向の光量の計算とグラフ表示
Y	Y軸方向の光量の計算とグラフ表示
Z	Z軸方向の光量の計算とグラフ表示
PSF	PSFの計算とグラフ表示
TEL	望遠鏡の方向の計算と表示

4. 今後の展開

本ソフトウエアは1999年12月のCOMICS試験観測より使用を開始した．現在も引続き，COMICSの観測および解析で使用されている．COMICS用のシステムとしては開発が一段落したため，次には他観測装置でも利用できるよう，COMICSに特化した部分を減らし汎用化を図っている．ところで，あるシステムが広く使われるようになるためには，ソフトウエアのコンパイルが簡単にできることが重要である．現在，XFCではUNIX系の異なるマシン上でのコンパイルにあたり，Makefileを手で書き直しているが，これを自動で行うよう変更を加える予定である．また，XFCでは六枚の観測画像を表示するが，COMICSで作成するFITSファイルは二つであり，五つの分光用検出器のデータは一ファイルにまとめている．そこで，一表示画像一FITSファイルのデータも表示できるよう，併せて改良していく予定である．

謝辞

本稿を作成するにあたり，天文機器開発実験センターの数名の方より貴重な助言をいただいたことに感謝します．さらには査読者の方からは丁寧なコメントをいただき，本稿をより内容の濃いものにすることができました．併せてここに謝意を表します．

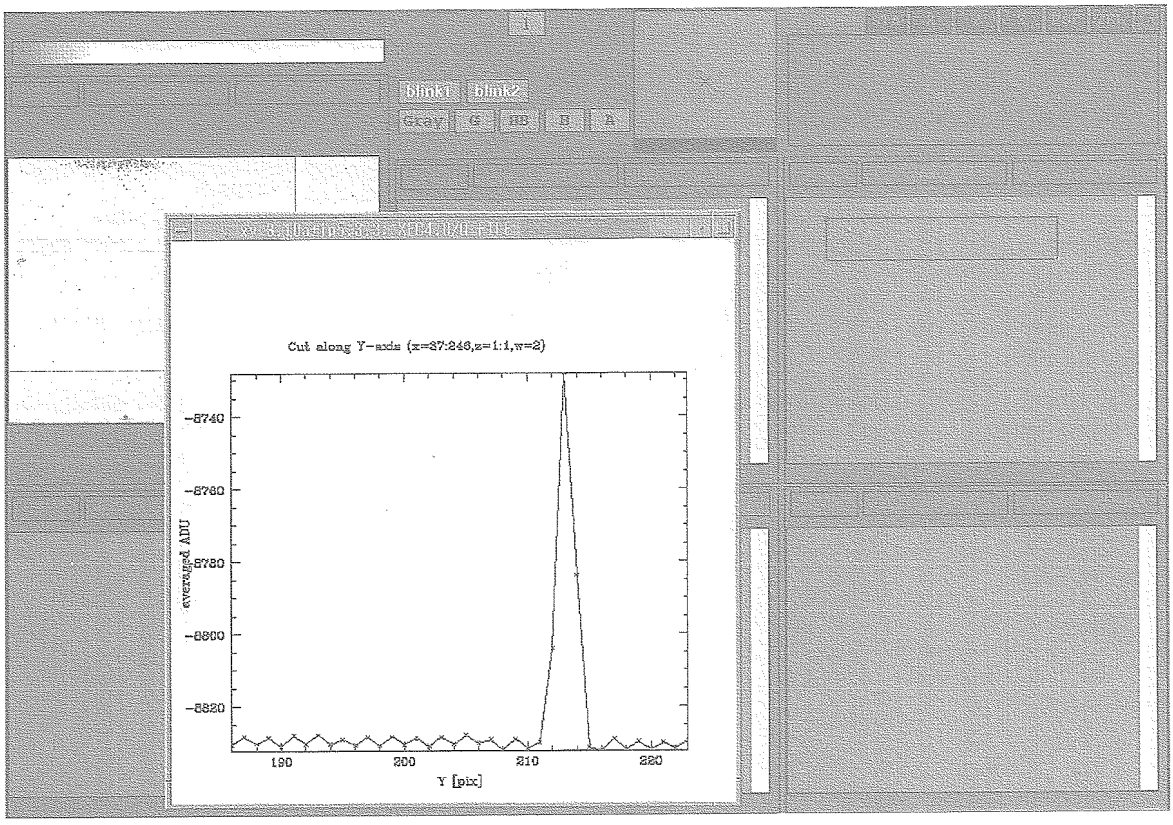

図5. 簡易解析結果表示画面

参考文献

1) N. Kaifu: Subaru Telescope, in *Advanced Technology Optical/IR Telescopes VI, Proc. SPIE*, **3352**, ed. L. M. Stepp, 14－22 (1998).
2) H. Kataza, Y. Okamoto, T. Onaka, S. Takubo, S. Sako, K. Nakamura, T. Miyata, and T. Yamashita: COMICS: The Cooled Mid-Infrared Camera and Spectrometer for the Subaru Telescope, *Proc. SPIE*, **4008**, 132 (2000).
3) D. J. Mink: Browsing Images in World Coordinate Space with SAOimage in *Astronomical Data Analysis Software and Systems V*, A. S. P. Conf. Ser., **101**, ed. G. H. Jacoby and J. Barnes, pp.96－99 (1996).
4) E. Mandel: The SAOtng Programming Interface in *Astronomical Data Analysis Software and Systems VI*, A. S. P. Conf. Ser., **125**, ed. G. Hunt and H. E. Payne, pp.253－256 (1997).
5) M. A. Albrecht, A. Brighton, T. Herlin, P. Biereichel, and D. Durand: Access to Data Sources and the ESO SkyCat Tool in *Astronomical Data Analysis Software and Systems VI*, A. S. P. Conf. Ser., **125**, ed. G. Hunt and H. E. Payne, pp.333－336 (1997).
6) D. Tody: The IRAF Data Reduction and Analysis System, in *Instrumentation in Astronomy VI* ed. D. L. Crawford, Proc. SPIE, **627**, 733－756 (1986).
7) T. Miyata, H. Kataza, Y. Okamoto, T. Tanabe, T. Onaka, T. Yamashita, K. Nakamura, and H. Shibai: MICS: A New Mid-Infrared Camera and Spectrometer for ground-based astronomy, *Publ. Astron. Soc. Pac.*, **111**, 750－764 (1999).

国立天文台報　第5巻　51－58（2001）

Digitized Sky Survey 広域画像作成システムおよびウェブインターフェースの開発

多賀正敏，青木賢太郎*，渡辺大*，安田直樹，市川伸一

（2000年10月16日受理）

Development of a New Image Extraction System and a Network Access Interface for the Digitized Sky Survey

Masatoshi TAGA, Kentaro AOKI* , Masaru WATANABE*,
Naoki YASUDA and Shin-ichi ICHIKAWA

Abstract

We have developed a new image extraction system for the STScI Digitized Sky Survey, which is able to create an image of 6×6 degrees at most. The image we provide with this system is the largest one in the optical wavelength in the world, and is useful for the comparison with images of other wavelength. The function to select the image direction and the pixel scale is also newly implemented. A network interface is set up to allow access to this system with web browsers.

1. 序

米国 Space Telescope Science Institute (STScI) のプロジェクトである Digitized Sky Survey 1st/2nd (DSS-1/2) は、北天はパロマー天文台の Oschin Schmidt 望遠鏡、南天はアングローオーストラリア天文台の UK Schmidt 望遠鏡で撮影した写真乾板を全面スキャンしてデジタル化したもので，可視光における基礎データとしてさまざまな研究分野で利用されている．特に最近では，さまざまな波長の観測データを総合的に利用した研究がさかんになってきており，全天で画像が得られる DSS は，電波や赤外線，X 線のデータと比較するための中核となる画像として欠かすことのできないものになっている．

国立天文台天文学データ解析計算センターでは，STScI から DSS データの配布を受け，赤外および電波のサーベイデータである IRAS Sky Survey Atlas および Green Bank Sky Map 1.4GHz/4.85GHz とともにウェブ上で公開している[#1]．また，大量の画像を取得したいユーザーのために，電子メイルによるリクエストを受けて画像を作成するバッチ処理サービス行っている．DSS の画像サービスを行っている機関は，天文学データ解析計算センターの他にもいくつか存在するが，このバッチ処理サービスは天文学データ解析計算センターのみが行っているもので，国内外から非常に多くの利用があり，小惑星の発見など直接的な天文学的成果にもつながっている．また，最近では宇宙科学研究所の宇宙科学企画情報解析センターとの協力のもと，複数の画像データを重ね合わせた画像をウェブブラウザー上で手軽に見られるようにした多波長画像表示サービスMAISON (Multiband Astronomical Imaging Service ON-line)の開発が進んでいるが[†2]，天文学データ解析計算センターが提供している DSS は，MAISONシステムの中核となる画像サーバーでもある．

任意の天域の DSS の画像は，STScI が開発した getimage と呼ばれるプログラムで，乾板のデジタル化画像から作成される．しかしながら，それによって切り出された画像を他の波長の画像と重ね合わせたり比較したりしようとする時に，以下のような重大な問題が起きる．一般に，現在利用できる電波やX線の画像は，ピクセルサイズが可視光の画像に比べて大きく，数度四方程度の領域の画像を扱うことも多い．ところが，getimageでは，作成できる画像の最大サイズがおよそ1.5度×1.5度に限られている．また，ピクセルサイズは写真乾板をスキャンしたときのサイズ(DSS-1 で 1.7秒/ピクセル，DSS-2 で 1.0秒/ピクセル)で固定されているため，そのような広い領域の画像を切り出すと，

* 科学技術振興事業団 (Japan Science and Technology Corporation)

[#] http://dss.nao.ac.jp

[†] http://maison.isas.ac.jp

ファイルサイズは非常に大きくなる．例えば，DSS-1ですら1.5度×1.5度のFITS画像を作成すると20MBもの大きさになる．さらに，getimage で作成される画像は，もとの写真乾板の端に平行に切り取られるため，乾板の周辺部から作成された画像の上下方向は南北からずれてしまう．FITS画像のヘッダーに座標変換の係数が書かれてはいるが，複雑な変換式を必要としており(3.3節参照)，簡単には画像がどちらの方向を向いているのかが判断できないのである．この問題は，とくに天の両極付近を観測した写真乾板について顕著になる．従って，例えばMAISONサーバーがX線/電波の画像とDSSの画像を重ねた画像を作ろうとすると，DSSサーバーから巨大なファイルをダウンロードすることになり，また画像は一般に正しい方向(北が上，東が左)を向いていないことになる．このような問題を解決するため，我々は getimage にかわる広域画作成システムとそれを公開するインターフェースの開発を行った．

次章では，DSS の概要を紹介する．第3章で，今回開発した広域画像作成システムについて解説する．第4章で，このシステムを公開するためのウェブインターフェースの開発について述べる．最期に，残った問題点を整理し，今後の課題について述べる．

2. Digitized Sky Survey 1st/2nd (DSS-1/2) の概要

DSS-1は，パロマー天文台のOschin Schmidt望遠鏡およびアングローオーストラリア天文台のUK Schmidt望遠鏡で観測された写真乾板を，1ピクセル1.7秒でスキャンしてデジタル化したもので，102枚のCD-ROMのセットとして市販されている[3]．DSS-2は，同じ望遠鏡で新たに観測した写真乾板を，1ピクセル1.0秒でスキャンしたものである[4]．DSS-2は一般には市販されておらず，前述した通り，国立天文台天文学データ解析計算センターを含め，世界で七機関にしか配布されていない．また，DSS-2では，北天のみB_j，R，I (写真乾板のJ，F，N)の三色で観測を行っている．2000年10月現在，R，B_jについてはほぼ観測を終えているが，Iについては観測が継続中で，一部のデータのみ利用が可能である．

一枚の写真乾板をデジタル化した画像のサイズは，DSS-1 で 14000×14000ピクセル，DSS-2 で 23040×23040 ピクセルにもなり，計算機上で一つの画像として扱うことは困難である．そのため，それぞれの画像は， DSS-1 で28×28，DSS-2 で30×30の小領域に分割され，それぞれがH-変換[5] と呼ばれるアルゴリズムで圧縮されてファイルに格納されている．また，この画像のピクセル値は写真乾板上での黒度であり，入力光源の強度そのものを表してはいない．よく知られているように，写真乾板の黒度は入力光源に対し，いわゆる特性曲線に沿って変化する．黒度を入射光の強度に変換するためには，通常写真乾板の隅に焼き付けられたウェッジを使って特性曲線を決定する必要がある．

STScI で開発された画像切り出しプログラムgetimageは，指定した領域の中心の座標から対応する写真乾板を探し出し，その中の必要な小領域のファイルをH-逆変換した画像を組み合わせ，FITSフォーマットの画像を作成している．その際，その画像の端は，もとの写真乾板の端に平行になるように作られ，また，指定された領域が写真乾板の端からはみ出す場合，その部分はピクセル値０で埋められる．

3. 広域画像切り出しシステム

3.1 システムの機能

今回開発した画像切り出しプログラムは，C言語で作成してある．画像の作成方法は，以下の三種類のモードに大別され，コマンドラインのオプション引数によって選択することができる．

モード1

STScIのgetimageと同様，作成する画像の上下方向を写真乾板の辺に平行に切り出し，写真乾板からはみ出した場合はその部分を0で埋める．

モード2

作成する画像の上下方向が天球上の南北になるように切り出し，写真乾板からはみ出した場合はその部分を0で埋める．

モード3

作成する画像の上下方向が天球上の南北になるように切り出し，写真乾板からはみ出した場合は隣接する乾板の画像を繋ぐ．

モード1は，STScIのgetimageとの互換性を考えて実装した．DSSでは，隣り合う乾板の観測領域は少しずつ重なっているため，指定した天球上の領域に対して複数の乾板が対応する可能性がある．このように複数回観測された領域の画像は，移動天体や突発天体の検出をするときに有用である．従って，写真乾板を繋がずに，それぞれを独立に切り出すことができるようにするため，モード1や2は必要である．その他に，以下のオプションの選択ができる．

- ピクセルサイズ．
- DSS のバージョン (1 or 2).
- DSS-2の場合，R，B_j，I から色を選択できる．
- モード1および2において，指定した領域に複数の乾板が対応する場合，どの乾板から画像を作成するかを選択できる．
- 広い領域の画像を効率的に作成するため，もとの乾板のデジタル化画像をビニングし，一つのFITSファイルにした「縮小画像」を作成した(次節参照)．画像を作成するとき，「縮小画像」を使用すると，ピクセルサイズは粗くなるが，高

速で広い範囲の画像を作成することができる．モード3では，要求された領域の画像は自動的にこの「縮小画像」から作成される．

モード1とモード2では，要求された領域の中心座標から該当する写真乾板を検索し，それから画像を作成する．モード2では，画像の上下が天球上の南北に一致するように領域を回転して画像が切り出される．

モード3では，まず要求された領域を10分×10分の正方形の領域に区切り，それぞれについて，「乾板の端から最も遠くなるような」乾板を選ぶ．それぞれの正方形の領域の画像は，次節で解説する乾板の「縮小画像」から切り出し，それらを繋いで一枚の画像にしている．モード1からモード3のいずれの場合も，ピクセルサイズが指定された場合には，それに合わせてピクセルのサンプリングを行い，指定されなかった場合には，モード1および2では元の画像のピクセルサイズで，モード3では縮小画像のピクセルサイズで画像を作成する．現在，作成できる画像の最大サイズは6度×6度に設定してあるが，プログラム中の定数を若干書き換えることで，より大きな領域に対応することもできる．

3.2 縮小画像の作成

一般に，写真乾板の画像を繋ぐ必要が生じるのは，非常に広い領域の画像を作成したい時である．そのような場合は，元の画像ほど細かいピクセルサイズは必要ない上，H-変換された多数の小領域ををいちいち逆変換して組み合わせていると非常に時間がかかる．そこで，乾板一枚分をビニングして縮小し，一つのFITSファイルにしたものをあらかじめ用意しておき，要求された領域の画像をこの縮小画像から切り出すことにした．

縮小画像の作成自体は単純である．乾板を構成する全ての小領域をH-逆変換し，DSS-1で5×5ピクセル，DSS-2で8×8ピクセルでビニングして並べ，一つのFITSファイルに変換するのである．縮小画像のピクセル値は，対応する元の画像のピクセル値の単純平均とした．元の画像のピクセル値は，光源の強度ではなく写真乾板上の黒度であるため，一般に元の画像のピクセル値を強度に変換したものの単純平均は，縮小画像のピクセル値を強度に変換したものには一致しない．すなわち，ピクセル値の単純平均をとることによって，測光精度若干落ちることになる．しかしながら，広域画像の主な目的は，他の波長の画像との比較を行なうことであり，測光精度はそれほど必要であるとは考えていない．

縮小画像を作成してみると，いくつかの乾板の画像について，H-逆変換ができないものがあった．さらに，その領域の画像をSTScIなどから取得しようとしても失敗するため，国立天文台天文学データ解析計算センターに配布されている画像のみにエラーがあるわけではないようである．DSS-1は市販されているが，その中にもエラーが含まれていた．今回検出された画像のエラーについては，STScIに通知して対応をお願いしているところである．

3.3 座標逆変換の係数

赤道座標を入力して乾板から画像を切り出すためには，赤道座標を画像上のピクセル座標に変換する必要がある．DSSでは特殊なWorld Coordinate Systemを採用しており，以下のような方法で画像上のピクセル座標(X, Y)を赤道座標(α, δ)に変換する[6]．

まず，(X, Y)を，乾板の中心を原点にしたmm単位の座標(x, y)に変換する．

$$x = (x_c - p_x X)/1000, \tag{1}$$

$$y = (p_y Y - y_c)/1000. \tag{2}$$

ここで(x_c, y_c)は乾板の中心の座標，(p_x, p_y)はピクセルのサイズで，いずれもμmを単位としている．次に，(x, y)から「標準座標」(ξ, η)に，以下の多項式を用いて変換する．

$$\begin{aligned}\xi = {} & a_1x+a_2y+a_3+a_4x^2+a_5xy+a_6y^2+a_7(x^2+y^2)+ \\ & a_8x^3+a_9x^2y+a_{10}xy^2+a_{11}y^3+a_{12}x(x^2+y^2)+ \\ & a_{13}x(x^2+y^2)^2,\end{aligned} \tag{3}$$

$$\begin{aligned}\eta = {} & b_1y+b_2x+b_3+b_4y^2+b_5xy+b_6x^2+b_7(x^2+y^2)+ \\ & b_8y^3+b_9xy^2+b_{10}x^2y+b_{11}x^3+b_{12}y(x^2+y^2)+ \\ & b_{13}y(x^2+y^2)^2.\end{aligned} \tag{4}$$

この標準座標から，赤道座標α，δは，

$$\alpha = \arctan \frac{\xi}{\cos\delta_c(1-\eta\tan\delta_c)} + \alpha_c, \tag{5}$$

$$\delta = \arctan \frac{(\eta\tan\delta_c)\cos(\alpha-\alpha_c)}{1-\eta\tan\delta_c}, \tag{6}$$

のように求められる．以上の式中の係数p_x, p_y, x_c, y_c, α_c, β_cおよびa_i, b_i $(i=1,\cdots,13)$は，各乾板に対してSTScIによって求められている．

今回開発した切り出しプログラムでは，(α, β)から(X, Y)への逆変換は以下のような方法で行っている．標準座標(ξ, η)は，(5)，(6)から解析的に得られる．(ξ, η)から(x, y)に変換するために，

$$\hat{x} = x / x_0, \tag{7}$$

$$\hat{y} = y / y_0, \tag{8}$$

$$\hat{\xi} = \xi / \xi_0, \tag{9}$$

$$\hat{\eta} = \eta / \eta_0, \tag{10}$$

として，変換式を

$$\begin{aligned}\hat{x} = {} & p_0+p_1\hat{\xi}+p_2\hat{\eta}+p_3\hat{\xi}^2+p_4\hat{\xi}\hat{\eta}+p_5\hat{\eta}^2+p_6\hat{\xi}^3+ \\ & p_7\hat{\xi}^2\hat{\eta}+p_8\hat{\xi}\hat{\eta}^2+p_9\hat{\eta}^3+p_{10}\hat{\xi}^4+p_{11}\hat{\xi}^3\hat{\eta}+ \\ & p_{12}\hat{\xi}^2\hat{\eta}^2+p_{13}\hat{\xi}\hat{\eta}^3+p_{14}\hat{\eta}^4+p_{15}\hat{\xi}^5+ \\ & p_{16}\hat{\xi}^4\hat{\eta}+p_{17}\hat{\xi}^3\hat{\eta}^2+p_{18}\hat{\xi}^2\hat{\eta}^3+p_{19}\hat{\xi}\hat{\eta}^4+p_{20}\hat{\eta}^5,\end{aligned} \tag{11}$$

$$\begin{aligned}\hat{y} = {} & q_0+p_1\hat{\xi}+q_2\hat{\eta}+p_9\hat{\xi}^2+q_4\hat{\xi}\hat{\eta}+q_5\hat{\eta}^2+q_6\hat{\xi}^3+ \\ & q_7\hat{\xi}^2\hat{\eta}+q_8\hat{\xi}\hat{\eta}^2+q_9\hat{\eta}^3+q_{10}\hat{\xi}^4+q_{11}\hat{\xi}^3\hat{\eta}+ \\ & q_{12}\hat{\xi}^2\hat{\eta}^2+q_{13}\hat{\xi}\hat{\eta}^3+q_{14}\hat{\eta}^4+q_{15}\hat{\xi}^5+q_{16}\hat{\xi}^4\hat{\eta}+ \\ & q_{17}\hat{\xi}^3\hat{\eta}^2+q_{18}\hat{\xi}^2\hat{\eta}^3+q_{19}\hat{\xi}\hat{\eta}^4+q_{20}\hat{\eta}^5,\end{aligned} \tag{12}$$

のように仮定する．ここで(x_o, y_o)は，mm 単位での乾板の一辺の大きさで，(ξ_o, η_o)は(3)および(4)に(x_o, y_o)を代入して求められる，規格化のための値である．p_j, q_j $(i=0,\cdots,20)$は，ピクセル座標$(\hat{x}_j, \hat{y}_j, j$ は全てのピクセルにわたる)と，それを順変換の式(3)，(4)にあてはめて得られる$(\hat{\xi}_j, \hat{\eta}_j)$ の値を，実測値として(11)および(12)にあてはめた最小二乗法によって求めることができる．こうして求めた $x_o, y_o, \xi_o, \eta_o, p_j, q_j$ を，縮小画像のFITSヘッダーとして格納し，逆変換$(\alpha, \delta)\rightarrow(x, y)$が必要なときに参照するようにした．

図1に，典型的な乾板の逆変換の順変換に対する誤差を示す．乾板の端では誤差がやや大きくなっているが，おおむね1/1000秒程度の誤差しかないことがわかる．順変換による位置精度はおよそ0.5秒程度であるので，これは完全に無視してよい誤差になっている．

3.4 作成される画像とその問題点

画像切り出しプログラムを使って作成した画像を図2から図4に示す．いずれもM81を中心とする6度×6度の画像で，図2はDSS-1から，図3はDSS-2のRバンドの乾板から，図4はDSS-2のB_jバンドの乾板から作成したものである．これらの画像を作成するのに，Sun Ultra 5 (UltraSPARC IIi 270MHz)で1枚あたりおよそ1分30秒ほど必要である．これらを見ると，以下のような問題点があることが分かる．

図2では比較的なめらかに乾板の画像が繋げられているが，図3では中央やや左下に小さな空白部分が見られる．また，図4では空白部分があるだけでなく，乾板ごとのスカイレベルの差が大きいため，繋ぎ目の段差が激しくなっている．空白部分は写真乾板の隅に焼き付けてあるウェッジが入り込んでいるものである．これは，写真乾板上でウェッジの占める領域が，隣接する乾板の重なりの領域より大きいために起こる．また，スカイレベルの差は，乾板ごとの露出時間の違い(この例では45分と80分)が大きく影響している．このようなスカイレベルの違いは，非常に明るい星やアンドロメダ銀河などの大きな天体が写っている場合でも起こりうる．この画像切り出しシステムでは，ピクセル値は露出時間で規格化してあるが，写真乾板の黒度は露出時間に比例せず，いわゆる特性曲線に従って変化するため，十分になめらかにはできていない．これらの問題を完全に回避する方法を現在模索中である．

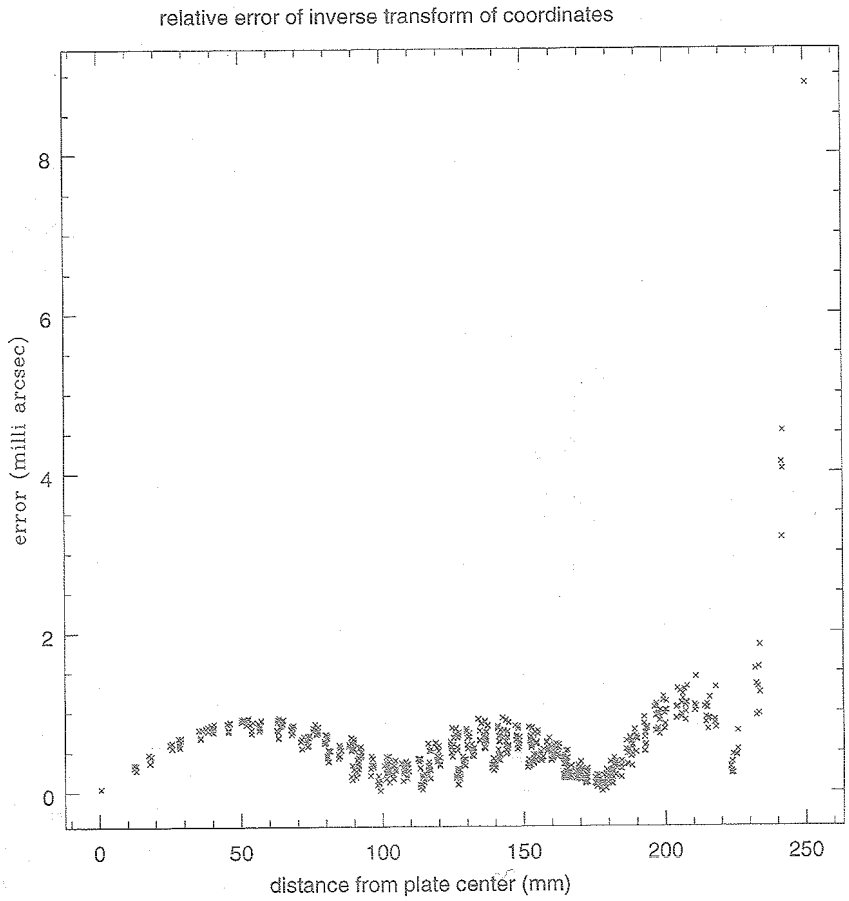

図1　座標逆変換の相対誤差

図1　座標の順変換に対する逆変換の誤差。横軸が乾板の中心からピクセルまでの距離、　縦軸が逆変換の誤差(秒)。乾板の端では1/100秒程度の誤差があるが、ほとんどの　領域で1/1000秒程度におさまっている

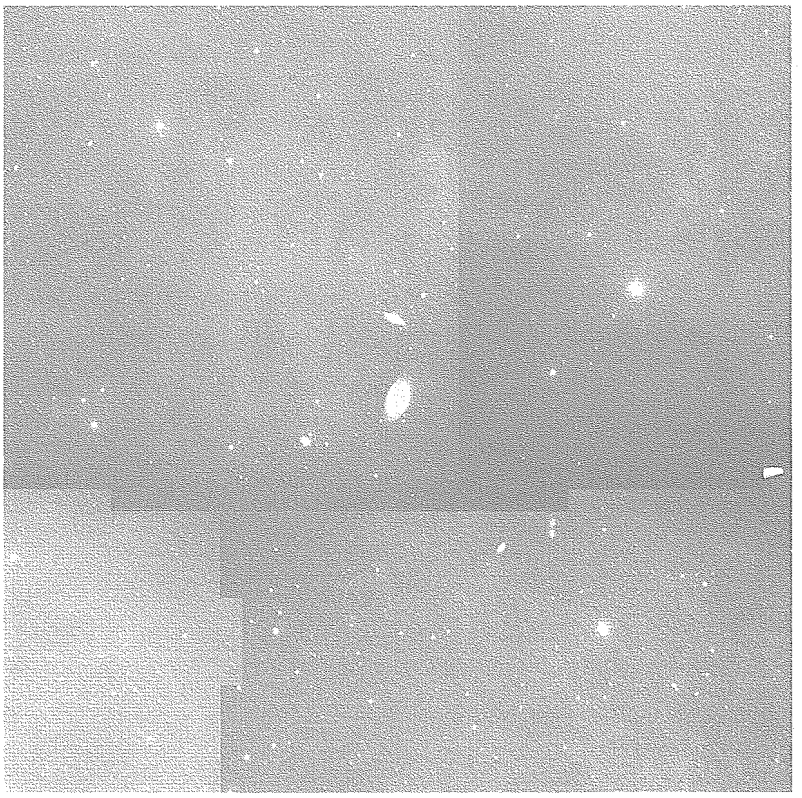

図2　DSS-1の乾板から作成された、M81を中心とする領域の画像。

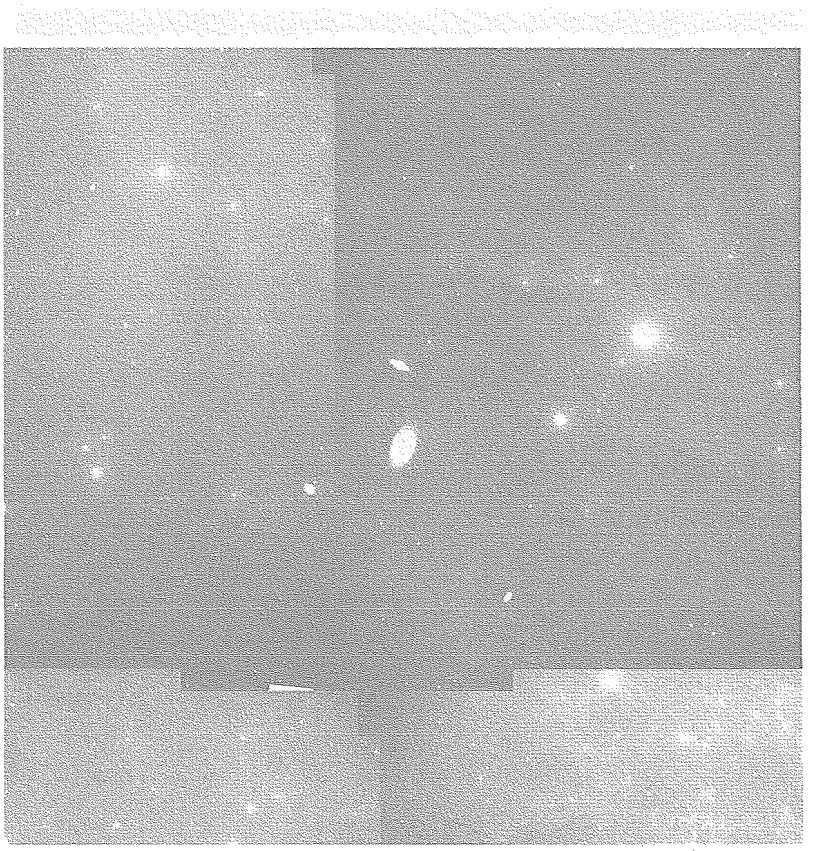

図3　DSS-2 Rバンドの乾板から作成された、M81を中心とする領域の画像

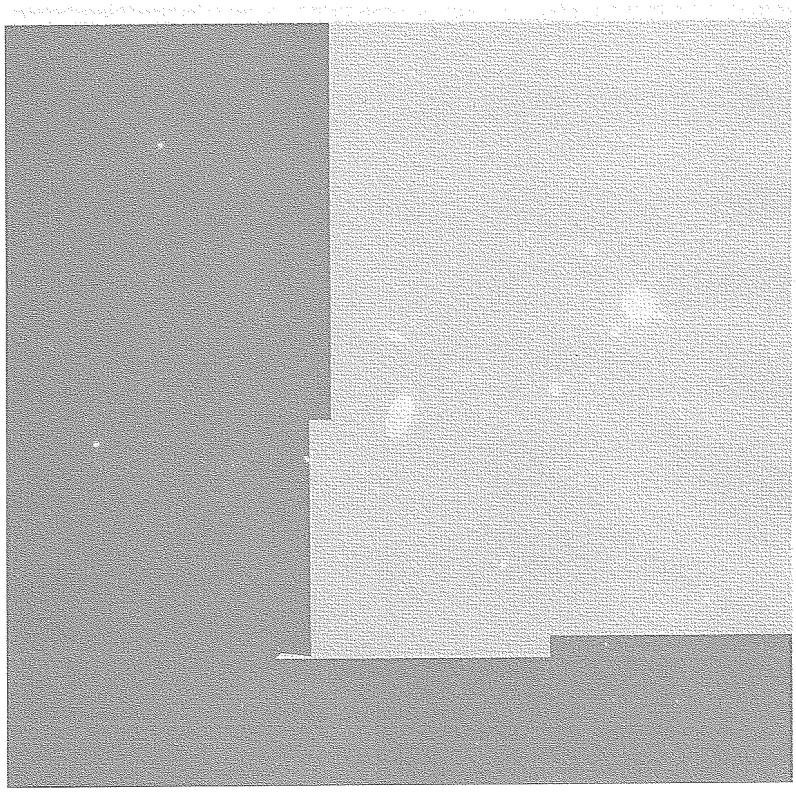

図4　DSS-2 *Bj*バンドの乾板から作成された、M81を中心とする領域の画像。

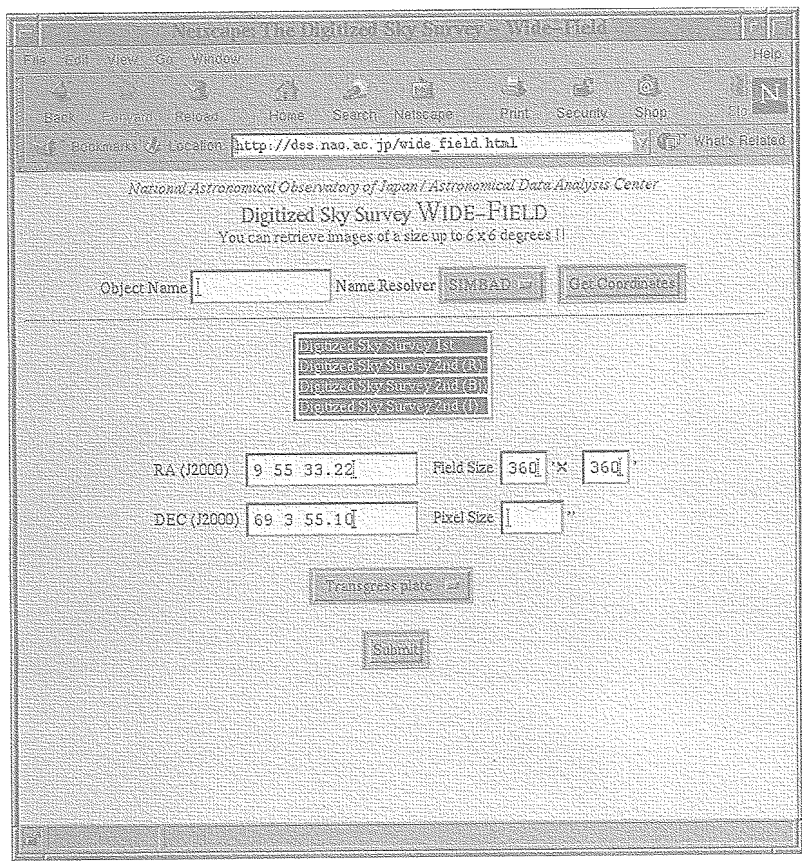

図5　DSS画像の検索画面。

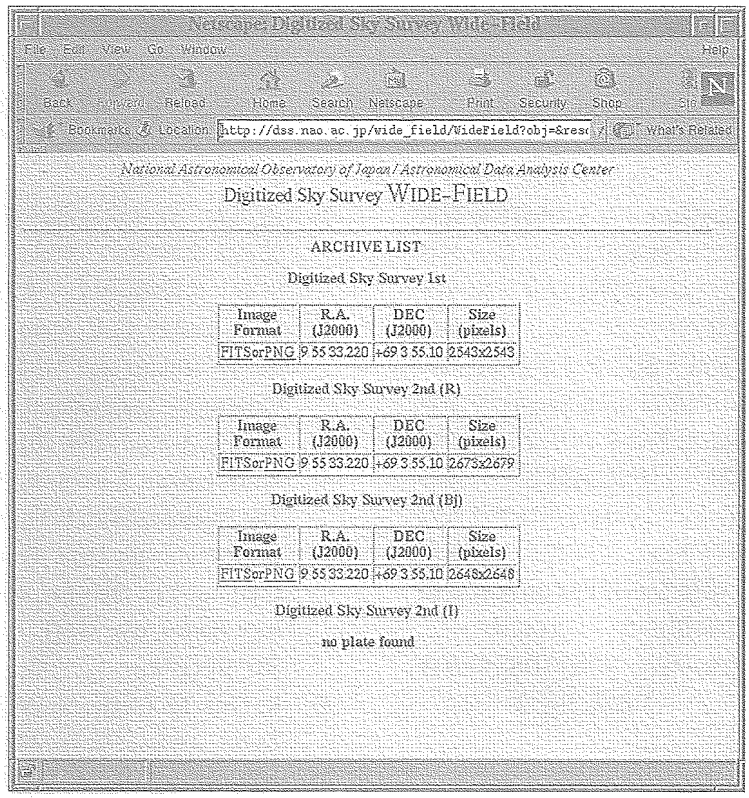

図6　画像の検索結果画面。
FITSをクリックすると、FITS画像がダウンロードされ、PNGをクリックするとPNG画像を表示するページになる(図7)

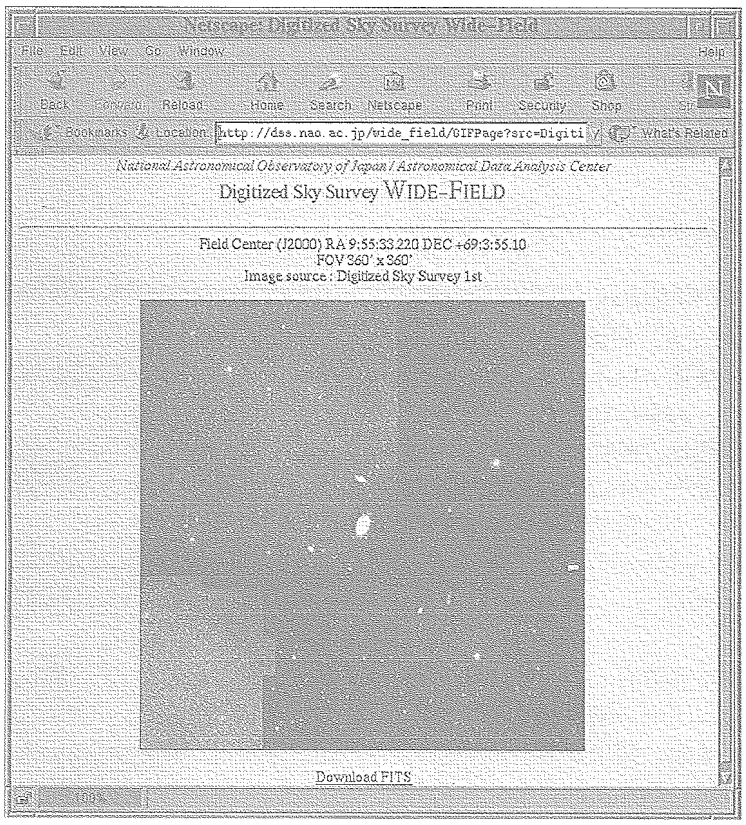

図7　PNG画像の表示画面。
ここからもFITS画像をダウンロードすることができる。

4 ウェブインターフェース

今回開発した画像切り出しプログラムをウェブ上で公開するために，ウェブインターフェースを作成した．ユーザーは，図5に示す検索画面において領域やピクセルサイズなどを入力して送信すると，対応する画像の一覧が表示される(図6)．ここでFITSを選択すると，FITSフォーマットの画像がダウンロードされ，PNGを選択すると図7のようにPNGフォーマットの画像を表示をしたウェブページになる．ここからもFITS画像のダウンロードは可能になっている．

このインターフェースの内部は Java Servlet でプログラムされている．Submitボタンをクリックして要求を送信すると，ウェブサーバーと連動して一連のJavaプログラムが起動される．このJavaプログラムが外部コマンドとして画像切り出しプログラムを起動してFITS画像を作成し，必要ならばPNG画像に変換してウェブブラウザーに転送する．これによって，世界ではじめて6度×6度もの広い領域のDSSの画像をウェブ上で提供することができるようになった．

5 今後の課題

以上のように，STScIの getimage では不可能であった，広い天域の画像をDSSの乾板のデジタル化画像から切り出すことができるようになった．この画像の上下方向は天球上の南北に正しく向いており，また画像のサイズもピクセルサイズを適当に選択することによって小さく押さえることができる．これによって，DSSの画像を他の波長のさまざまな観測データと比較することが非常に容易になった．多波長画像表示サービスMAISONとのインターフェースは，近日中に整備されることになっているが，これによってMAISONの利用価値は飛躍的に向上するであろう．

実は，天文台で公開しているIRAS Sky Survey Map や Green Bank Sky Mapなども，同様の問題を持っている．すなわち，もとの画像データから任意の領域の画像を切り出すときに，端が切れたり，北を向いていなかったりという問題は，同様に存在する．今回の開発を，これらの画像データにも適用し，より使いやすい天体画像サービスを構築していくことが今後の課題である．

謝辞

このシステムを開発するに当たって，国立天文台天文学データ解析計算センターの計算機資源を利用させていただきました．また，同センターのデータセンター実務会の方々には，様々な助言をいただきました．ここに感謝の意を表します．

参考文献

1) 渡辺大，青木賢太郎：天文学データ解析計算センターにおけるCD-ROM画像データのネットワーク上での公開システムの開発，国立天文台報，**4**, 87－99 (1999).
2) 渡辺大，青木賢太郎，三浦昭，宇野伸一郎: 多波長天文画像データ検索・閲覧サービス「MAISON」の開発, 国立天文台報（本号）.
3) B. M. Lasker, C. R. Sturch, B. J. McLean, J. L. Russle, H. Jenkner and M. M. Shara: The Guide Star Catalog. I - Astronomical foundations and image processing, *Astron. J*, **99**, 2019－2058 (1990).
4) B. M. Lasker, J. Doggett, B. McLean and C. Sturch: The Palomar--ST ScI Digitized Sky Survey (POSS－II): Preliminary Data Availability, in *Astronomical Data Analysis Software and System* V, ASP Conference Series, eds. G. H. Jacoby and J. Barnes, 101, 88－91 (1996).
5) K. Fritz, M. Lange, M., Möstel, G. M. Richter and R. Ziener, *Astron. Nachr.*, **309**, 69 (1977).
6) J. L. Russel, B. M. Lasker, B. J. McLean, C. R. Sturch, and H. Jenkner: The Guide Star Catalog. III - Production, database organization, and population statistics, *Astron. J*, **99**, 2059－2081 (1990).

国立天文台報　第5巻　59－72（2001）

多波長天文画像データ検索・閲覧サービス「MAISON」の開発

渡辺　大* **，青木　賢太郎* ***，三浦　昭**，宇野　伸一郎** #，
宇宙科学研究所・宇宙科学企画情報解析センター，
国立天文台・天文学データ解析計算センター

（2000年10月16日受理）

Multi-wavelength Astronomical Image Service ON-line

Masaru WATANABE* **，Kentaro AOKI* ***，Akira MIURA**，Shin-ichiro UNO** #，
Institute of Space and Astronautical Science/Center for Planning and
Information Systems, National Astronomical Observatory of
Japan/Astronomical Data Analysis Center

Abstract

We have developed an astronomical-image browser system which operates on the World Wide Web. The system, called 'Multi-wavelength Astronomical Image Service ON-line' or 'MAISON', works as a 'broker' between a user and multiple, separate, independent astronomical image servers on the Web. Through the MAISON server the user can quickly make a visual inspection into multiple images overlaid each other on the client browser. A dominant feature of the MAISON as compared with other similar multi-wavelength image servers such as SkyView and Aladin is that MAISON deals with a pointing observation image server as well as a survey image server. The first version of the MAISON has been opened on the Web at http://maison.isas.ac.jp. The version is implemented with the image servers of an X-ray astronomcal satellite ASCA and with some survey image servers including the Digitized Sky Survey in optical, the IRAS Sky Survey Atlas in far-infrared, and the Greenbank Sky Map and the FIRST survey in radio. In this paper we present details of the structure of the MAISON system, services it provides, some problems to be settled, and the prospect of the future development.

1. 開発の背景及び目的

天文データには画像や数値表などの形態があり，世界の多くの天文データセンターがこれらを収集して天文研究者に広く公開している．ここ数年の間のWorld Wide Web（WWW）上のソフトウェア技術の急速な発達と普及によって，こうした天文データの公開はWWW上で行われるものがそのほとんどを占めるようになっている（例えば，http://www.cv.nrao.edu/fits/www/yp_center.html）．

日本の天文データセンターにおいてもこの例に違わず，国立天文台／天文学データ解析計算センター（Astronomical Data Analysis Center；以下「ADAC」）と宇宙科学研究所／宇宙科学企画情報解析センター（Center for Planning and Information Systems；以下「PLAINセンター」）とが，多くの天文データを計算機上のファイルとして保有し，WWW上で検索及び閲覧が行えるインタフェースを独自に開発して広く世界の天文コミュニティーに提供してきている[1-7]．観測画像データのアーカイブシステムの開発は観測装置の開発と関連して行なわれることが多いため，結果的に，ADACでは主に可視光・近赤外線の観測画像データのアーカイブシステムが，またPLAINセンターではX線画像データのアーカイブシステムが，それぞれの機関での主要な分担波長域となっている．

これらの日本のデータも含め，世界の天文アーカイブデータの中には，同じ天体や同じ天球領域を撮像したデータが当然数多く含まれている．一つの天体を様々な電磁波長域から多角的に研究する場合，それらの画像を空間的に重ね合わせて視覚的に比較するという手法は，研究の取り掛かりとして基本的な作業である．また研究のアイデアを見つける手段の一つとしても，この方法は有力である．

しかしながら画素レベルでの画像の重ね合わせ

* 科学技術振興事業団
** 宇宙科学研究所
*** 国立天文台
# 現所属：日本福祉大学

作業は，視野のずれや回転、また画素スケールの違いなどにより，実際にはかなり煩雑な作業である．この作業を行なうためには，天文分野で標準的な画像ファイル形式であるFITS形式の画像ファイルのヘッダ情報と画素値情報の読み込み，画素データの変換処理計算，そしてFITSファイルへの書き出し，という工程を経る必要があり，相応のFITSデータ処理知識と計算機ソフトウェア環境が要求される．これらに不慣れな研究者にとっては，画像データの入手から実際の重ね合わせを行なうまでに，本来の天文学研究以外の部分で不要な時間を割かなければならないことになりかねない．また，画像の扱いに慣れた研究者にとっても，それが単なる早見程度の目的である場合には，このような処理をすべて自力で行なわなければならないことは煩雑であることに変わりはない．

この問題は，ADACとPLAINセンターの天文データベース関連スタッフが開催している「宇宙研－国立天文台合同天文データベース連絡会」の中で採り上げられ議論された．そしてその解決策として考案され共同開発されたものが，本稿で紹介する「多波長天文画像データ検索・閲覧サービス（Multi-wavelength Astronomical Imaging Service ON-line；以下　MAISON（メゾン））」である．これは同連絡会の最初の開発成果である．

MAISONは次のようなWWWサービスである．すなわち，アーカイブデータの重ね合わせ処理を，ユーザがデータを取得するWWW上でオンラインに同時に行なってしまい，WWWブラウザ上での早見としていう形でその重ね合わせ画像をユーザに提供する．このサービスにより，WWWブラウザを使うことができるすべての天文研究者は，単にアーカイブ画像を指定するだけでそれらの重ね合わせ画像を簡便に早見閲覧できるようになる．

幸運なことに天文データは，上述のFITS形式の普及により，観測波長に依らず共通のデータ形式を持っており，またその形式に則って画像の天球座標情報を自己記述する仕組みが定められている．このことは，天文学分野ではこうしたオンライン的な画像処理を行なうための基盤が，本来極めて良く整備されていることを意味している．MAISONサーバの仕組みは，この基盤を最大限に活用するものである．

天文データのオンライン的な重ね合わせ機能を備えたサーバとしては，アメリカ・NASA／GSFC（Goddard Space Flight Center）が提供しているSkyView[8]や，フランス・CDS（Centre de Donnees astronomiques de Strasbourg）が提供しているALADIN[9]が既に稼動しているものとして著名である．SkyViewは，全天の任意の領域を波長横断的に様々な波長域で描画し，それらの重ね合わせ表示をすることをその主たる機能とするサーバである．またALADINは，全天の任意の領域での画像データとカタログデータの重ね合わせ表示をその主たる機能とするサーバである．いずれも，オンライン処理でのデータ重ね合わせを行なうサーバの開発に先鞭をつけたものとして高く評価される．ただこれらのサーバは，いわゆるファインディングチャート的な利用目的を主として開発されたものであり，そのため用いられている画像データはサーベイ画像に限られている，という点に留意しなければならない．サーベイデータは，広い領域を均質に観測することを主目的として得られたデータである．このため，空間分解能の高さやデータ値の定量性，データの深さなどの点では一般に，すばる望遠鏡やハッブル宇宙望遠鏡などのような，特定の視野に対して詳細な観測を行なったポインティング観測データに劣るものである．特に空間分解能の高さや観測データの深さという点に着目すると，天文学研究の対象としてより多くの点で興味深いものは，サーベイ画像の重ね合わせよりもポインティング観測画像の重ね合わせである．MAISONサーバは，まさにこのポインティング観測の画像重ね合わせサーバであり，この点でSkyViewやALADINと異なる独自の特長を持つサーバである．

MAISONシステムはその第一版が既に公開されている（http://maison.isas.ac.jp）．

本論文の内容は以下の通りである．第2章においてMAISONの仕組みを概観し，第3章で詳述する．第4章でMAISONの工夫点を抜き出してまとめる．第5章ではMAISON第一版開発で残された課題及び機能強化について議論する．第6章ではMAISON第二版に向けての今後の開発の方向性について述べる．

2. MAISONシステムの構成　－　概要

2.1 処理の流れ

MAISONサーバ計算機，クライアント計算機（ユーザがWWWブラウザを起動している計算機），そしてリモートデータサーバ計算機（天文アーカイブ画像を公開し配信している計算機），の三者の関係を図1に示す．この図から分かるように，MAISONサーバの役割は，クライアントとリモートデータサーバとの間の通信の仲介役である．すなわちMAISONサーバが対外的に行なうことは，

○クライアント（ユーザ）から検索要求やデータ配信要求を受け取り，それらをしかるべき各リモートデータサーバに向かって代理発行すること，

○リモートデータサーバから返されてきた情報を

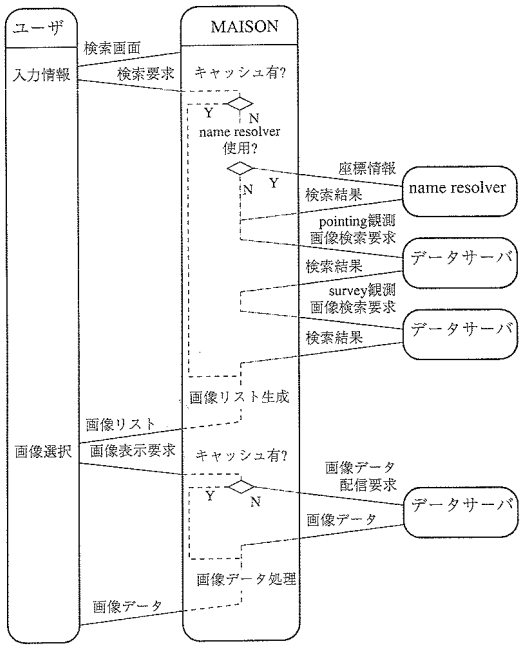

図1. MAISONサーバ計算機，クライアント（ユーザ）計算機，リモートデータサーバ計算機の関係と通信の流れ.

クライアントに返すこと，

の2つである．このそれぞれの処理過程中にMAISONサーバ上で独自の内部的な処理作業が行なわれる．

クライアントから直接リモートデータサーバに接続する形態に比べて，MAISONサーバを通じて接続する形態には，以下の二つの利点がある．すなわち，(1) クライアントはMAISONサーバに対する一度の手続き（接続手続き・検索要求発行・データ配信要求発行）を行なうだけで，複数のリモートデータサーバに対して同様の手続きを行なったことになる，(2) MAISONサーバ上で画像データの複雑な中間加工をすることができる．これらの内部処理的な利点を含めて記述すれば，MAISONサーバの行なう処理の概要は次のように書き換えられる：

○クライアント（ユーザ）から検索要求やデータ配信要求を受け取り，それらを各リモートデータサーバが受け付けられる書式に整形した後，代理発行すること，

○リモートデータサーバから返されてきた情報や画像データに対して，必要な情報の抽出や画像データの加工を施し，その後に，MAISONシステム独自のデータ表示機能を用いてWWW上でのデータ閲覧に適した表示方法でクライアントに返すこと．

これらの更に詳しい説明は3章で行なわれるが，細分した項目だけを列記すると以下のようになる．

［1］ユーザ入力情報（検索要求）の解釈（3.1章）
［2］リモートデータサーバへの検索要求の発行及び検索結果の取得（3.2章）
［3］検索結果の処理による画像リストの作成及びクライアントへの画像リストの表示（3.3章）
［4］ユーザ入力情報（画像表示要求）の解釈（3.4章）
［5］リモートデータサーバへの画像データ配信要求の発行及び画像データの取得（3.5章）
［6］画像データの処理（3.6章）
［7］画像データの表示（3.7章）

2.2 ハードウェア及びソフトウェア環境

MAISONサーバ計算機として実際に用いられている製品は，Sun社製Ultra5（CPU:UltraSPARC-IIi 270MHz，メモリ容量:128MB，ハードディスク容量:4GB）である．PLAINセンター内に設置されている．上の論述からも分かるように，MAISONサーバ自体はデータアーカイブを恒久的に保持するものではないため，MAISONサーバ計算機自体は大容量ストレージシステムを特に必要としない．

MAISONの開発に用いられている言語は，画像処理はC言語，画像表示の一部にJava言語，それ以外のすべて部分はPerl言語となっている．

これらのシステムのプログラミングでは，処理間の独立性を高める目的で，積極的にプログラムのモジュール化が図られている．例えば各リモートデータサーバに対する検索要求や画像取得処理などを独立したプログラムにすること（4.1章，4.2章）により，新しいリモートデータサーバが追加された時に既存のプログラムの修正が必要最小限の作業で済むようになっている．また，このモジュール化により，PLAINセンターが開発・管理・運用を行なっている宇宙科学衛星データベースシステム「DARTS」[6] 用に開発されたモジュールの多くをMAISONで再活用することができ，開発の効率が高められている．

2.3 対応リモートデータサーバとその要件

MAISONが現在対応しているリモートデータサーバは，ADACとPLAINセンターが公開しているサーバ各1システムずつである．前者はサーベイ観測データであるDigitized Sky Survey（DSS）I&II，IRAS Sky Survey Atlas，Greenbank Sky Map の3つの画像データを配信しているサーバ[5] であり，後者は前述のDARTSの中のX線天文衛星ASCAの観測

データ（「Revolution 2」と呼ばれる整約処理を経たデータ）を配信しているサーバである．

MAISONサーバがリモートデータサーバと通信を行うためには，各リモートデータサーバに対する通信のためのインタフェースソフトウェアをあらかじめMAISONサーバ側に作成しておく必要がある．具体的には，このソフトウェアは，各リモートデータサーバの接続仕様に特化させた検索要求変換モジュール（3.2章）とHTML変換テーブル（4.1章）より構成される．MAISONサーバ側にこうした準備作業が必要となる一方で，リモートデータサーバ側には，MAISONサーバに対する何らの特別な設定も要求されない．つまりMAISONサーバは，データサーバが配信するデータをそのままの形で受け取って使用するのみである．この意味でMAISONサーバは，リモートデータサーバに対して完全に受動的な立場をとる，と言える．

この制限から，MAISONサーバが対応することができるリモートデータサーバは以下の3つの条件を満たすものに限定される；（1）TCP/IPによってデータ発信していること，（2）FITS形式の画像（FITS画像），もしくはFITS画像に容易に変換することができる形式の画像（例えばIRAF形式やSTSDAS形式など），のどちらかで画像を提供していること，（3）画像内のすべての画素の天球座標を求めるために十分なWorld Coordinates System[10]のレコードが記述されていること．これらの3条件が課せられるが，しかしこれらの条件はいずれも広範に採用もしくは遵守されているものであるため，今後MAISONサーバの対応リモートデータサーバを拡張して行く上で実質上支障になるものではない．逆に言えば，リモートデータサーバに対してこれらの（至極穏当な）条件しか課せられないということは，ほぼすべての不特定多数のリモートデータサーバを無制限にMAISONサーバに対応させることができる，ということを意味している．この拡張性の良さはMAISONシステムの大きな特長の一つである．

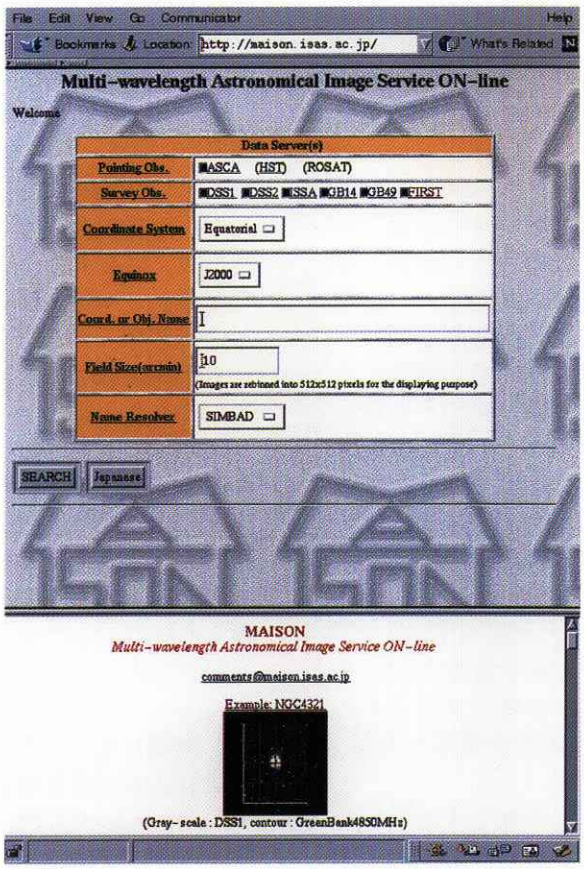

図2. MAISONのWWWサイトのトップページ（http://maison.isas.ac.jp）．検索に用いるフレーム（上半分側）とドキュメントを記述したフレーム（下半分側）が同時に表示される．

3. MAISONシステムの構成 ― 詳細

3.1 ユーザ入力情報（検索要求）の解釈

MAISONのWWWサイトのトップページ（http://maison.isas.ac.jp）の外観を図2に示す．WWWサーバ計算機はMAISONサーバ計算機自体となっている．トップページはCommon Gateway Interface（CGI）スクリプトを使って動的に作成される．このスクリプトは，主にDARTS用に開発されたPerlモジュールが基になっている．

このページのHTMLフォームでは，画像検索を行なうための4つの条件を入力することが要求される．すなわち，[1] 画像検索を行なうアーカイブソース，[2] 天球位置情報（赤道座標もしくは天体名で指定），[3] 天球上での検索領域の大きさもしくは画像視野の大きさ（3.2章），[4] SIMBADネームレゾルバ（後述）の使用の有無，である．これらの入力情報はフォームのsubmitによりMAISONサーバに渡される．

これらのユーザ入力情報を受け取ったMAISONサーバではまず，[1] [2] [3] の入力値をMAISONサーバ自体のキャッシュ（画像リストデータベース（4.2章））内で検索する．もしこのキャッシュ内に同一の検索条件のデータが存在する場合は，これらのキャッシュ情報を用いて3.3章の処理に移る．存在しない場合については以下のようになる．

まず [4] の入力値を参照して [2] の入力値の解釈を行なう．PLAINセンターにはCDSが開発し運用している天体総合データベースSIMBAD[11] のネームレゾルバクライアントプログラムがあり，MAISONサーバはそれを起動する．もし [4] で「SIMBADネームレゾルバ使用有」が指定されていて，かつネームレゾルバの回答が正当に取得できた場合，[2] の値はその回答値である赤道座標値に置き換えられる．また、もし [4] で「SIMBADネームレゾルバ使用無」が指定された場合，もしくは「使用有」が指定されたがネームレゾルバの回答が正当に取得できなかった場合，[2] の入力値がそのままこれ以降の処理に用いられる．続いて，もしポインティング観測（ASCA）とサーベイ観測（DSS，IRAS，Greenbank）が共に指定されている場合は，指定アーカイブソースをこの2つに分類する．この分類は，データサーバへの検索要求を，ポインティング観測とサーベイ観測とで別々に順序立てて行う（3.2章）ために必要な処理である．

[3] の入力値は，ポインティング観測とサーベイ観測とで解釈が異なる．前者では観測視野の中心は必ずしも天体の中心座標に一致したものではないため，この値は「検索領域の大きさ」と解釈される．後者に対しては「画像視野の大きさ」と解釈される．

3.2 リモートデータサーバへの検索要求の発行及び検索結果の取得

3.1で解釈された入力情報を基に，リモートデータサーバへ検索要求の発行を行い，その検索結果をHTML文として取得する．

この検索要求発行では，[1] でポインティング観測とサーベイ観測とが両方指定されている場合，ポインティング観測サーバとの全通信の完了を待って，しかる後にサーベイ観測サーバとの通信が行なわれる．このように通信が2段階になっている理由は以下の通りである．ポインティング観測の検索結果画像は，その視野中心の天球座標は一般には必ずしも [2] の値に一致したものではなく，[3] の値の程度だけ散らばったものになる．すなわち，個々のポインティング観測画像については、その真の視野中心と視野の大きさを再調査し，しかる後にそれらの値に合わせたサーベイ観測画像の検索要求を行わなければならない，ということである．検索にこのような冗長が含まれる点は，MAISONにおける新機能である「ポインティング観測画像の重ね合わせ」を実現する上においては一般に回避できない点である（6章）．

(1) ポインティング観測データサーバとの通信

検索要求の発行に必要なCGIの環境変数QUERY_STRINGの値は，解釈されたフォーム入力情報を基に，各リモートデータサーバに適合した検索要求文字列として作成される．その際，各リモートデータサーバ毎にあらかじめ用意された検索要求変換モジュールが用いられる．この文字列をソケットによりリモートデータサーバのHTTPポートに送信することで，リモートデータサーバ側で検索スクリプトを起動させ，その検索結果をHTML文としてMAISONサーバで受信する．（この段階でリモートデータサーバから返される内容は，まだ画像データそのものではなく，画像検索結果を表示するための通常のHTMLテキストであることに留意.）

(2) サーベイ観測データサーバとの通信

ポインティング観測データサーバとの通信がすべて完了した後に，サーベイ観測の各リモートデータサーバに対して検索要求が発行される．発行手続きはポインティング観測データサーバとの通信と同様である．サーベイ観測の検索要求の内容は，ポインティング観測が指定されているかどうかで変わってくる．指定されている場合には3.2章冒頭で述べたように，ポインティング観測の検索結果の各々の画像についてそれに対応する視野のサーベイ画像が検索要求される．また，指定され

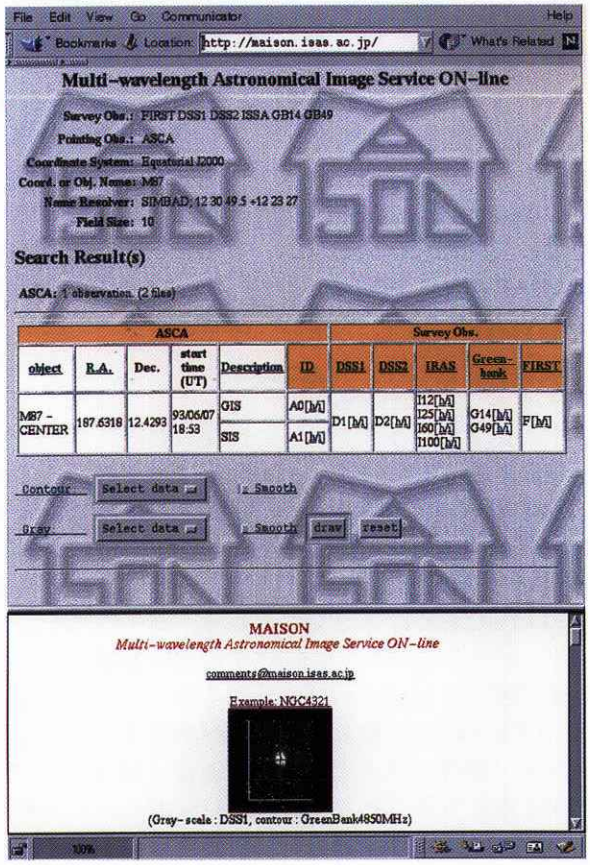

図3. 検索結果画像リストの表示を行なうページの例．リストは各ポインティング観測毎に分割されて表示される．

ていない場合には，解釈されたフォーム入力情報で指定された赤道座標を中心として，指定された視野の大きさに対応する画像が検索要求される．

(3) 検索結果HTML文の解釈

(1) 及び (2) の手続きで受信されたHTML文は，各アーカイブソースに対応したHTML変換モジュール (4.1章) による処理を経て，その文中から必要項目が抽出され，それらは「画像リストデータベース」(4.2章) に登録される．これらのHTML文はこの後一旦MAISONサーバ内の作業領域に溜め置かれる．クライアント側へは転送されない．検索にヒットした観測数などの検索結果の概要については，画像リストデータベースへの登録が完了次第クライアントのブラウザに表示される．

3.3 取得検索結果の処理による画像リストの作成及びクライアントへの画像リストの表示

指定されたすべてのリモートデータサーバからの検索結果のHTML文が揃ったところで，それぞれのHTML文に対応した「画像リストデータベース」が1つの表に統合され，クライアントに送信するための画像リスト (HTML文) が作成される．

この画像リストがクライアントのブラウザに表示された外観を図3に示す．画像リストは，ポインティング観測の観測同定番号 (例えばASCAの例では「sequenceID」) が同一の項目もしくは座標情報が同一の項目が一つの表になるように区分されて作成される．画像リスト中には，当該ポインティング観測の主な付随情報 (例えばASCAの例では各画像の属性 (SIS, GISの別) など) や，各観測で得られた画像の一覧などが表示される．各画像名には，ヘッダ情報の閲覧および画像ファイルのダウンロードができるように，ハイパーリンクが付与される．各表の末尾にはHTMLフォームが作成され，ユーザには [5] 等輝度線表示 (3.7章) を行なう画像のMAISON同定ID，[6] グレースケール表示 (3.7章) を行なう画像MAISON同定ID，[7] それぞれの表示画像の平滑化処理 (3.6章) の有無，を指定することが要求される．

3.4 ユーザ入力情報 (画像表示要求) の解釈

上記 [5] [6] [7] の指定によりクライアントから送られる要求は，そのHTMLフォームの構成に

依存しない中間言語（4.3章）に変換される．これはMAISONサーバの工夫の一つである．中間言語は更に解釈されて，そこから画像名が抽出される．各画像名は，MAISONサーバ内でキャッシュされている画像リストデータベース（4.2章）の内容と照合され，もしそこに同一の画像名が見つかった場合は，MAISONサーバがローカルにキャッシュしている画像が用いられることになる．もし見つからなかった場合は，当該リモートデータサーバに接続して画像の配信を受ける（3.5章）．この配信を受ける際には，画像名から画像取得用URLが作成される．このURLは，各リモートデータサーバごとに用意された画像取得モジュールに渡される．

3.5 リモートデータサーバへの画像データ配信要求の発行及び画像データの取得

キャッシュに画像がなかった場合は，与えられたURLをもとに，各リモートデータサーバごとに用意された画像取得モジュールを用いて，画像ファイルの配信を受ける．画像取得モジュールは，ソケットライブラリを用いて作成されており，HTTP通信部，HTML変換部（変換テーブル），FTP通信部等で構成される．まず画像リスト中に与えられたURLをもとにリモートデータサーバとHTTP通信を行ない，結果をHTML変換して画像ファイルの実際のURLを取得する．一度のHTTP通信で目的の画像ファイルのURLを記述したHTML文を取得できない場合は，HTTP通信は複数回行なわれる．次に，得られたURLの画像ファイルを，HTTPもしくはFTPにて取得する．取得された画像ファイルには，検索要求時に割り当てられたIDをもとに，一意なファイル名が与えられ，その画像ファイルは作業領域にキャッシュされる．

3.6 画像データ処理

画像取得モジュールからの画像ファイルが揃った時点で，画像演算部に処理が移される．

得られた画像ファイルは，クライアントブラウザに表示される前に，二つの加工処理を経る．画素レベルでの天球座標位置合わせ処理，そして画素数不変のままでの画素値の平滑化処理，である．それぞれについて以下に説明する．

（1） 画素レベルでの天球座標位置合わせ処理

表1

ASCA／GIS	14.7″／画素（=視野62.9′／256画素）
ASCA／SIS	6.4″／画素（=視野33.9′／320画素）
DSS I	1.7″／画素
II	1.0″／画素
IRAS	90″／画素（=視野12.5°／500画素）
GreenBank 1400MHz	180″／画素（=視野17°／512画素）
4850MHz	40″／画素（=視野11.4°／1024画素）

現在MAISONが対応しているリモートデータサーバが提供する画像の画素スケール，視野，及び画素数を表1に示す．この表から分かるように，各画像データの画素スケールの違いから，同じ視野の画像でもその画素数は各データソースで大きく異なる．また，同一視野の画像を取得しているのではあるが，視野の回転の有無や，リモートデータサーバ毎の視野切り出しの精度の違いなどから，これらの画像は単純にその四隅を一致させて重ねただけでは意味のある重ね合わせにはならない．

これらの事柄を考慮して，重ね合わせが指定された2画像に対して，画素の再サンプリングを行なうことにより，画素レベルで位置合わせを行なう．この処理は以下のように行なわれる．始めに，任意の一方の画像をその視野を不変のままで，512×512画素への再サンプリングを行なう．この画素数は，現在対応しているリモートデータサーバから得られる画像の空間分解能を大きく損なうことなく，かつMAISONサーバが用いているFITS画像表示プログラム（3.7章）の実用的な表示限界画素数以内に収まる，という2つの条件から決められたものである．この再サンプリングに際しては，ヘッダ内のWCSレコードの値もそれに対応して修正される．続いて，この画像の各画素に対して天球座標値を求めていき，もう一方の画像上でのその天球座標値に対応する画素座標値を求めていく．この画素座標値は一般に整数値とはならないものであるから，その周囲の画素の値からの内挿によりその画素座標位置における画素値を決定する．

以上の処理を行なうことにより，指定された2画像は，ピクセルレベルで完全に同一の視野を持つ512 × 512画素の画像に変換される．この変換処理は，FITS画像データの入出力ライブラリであるFITSIOライブラリ[12]を用いてFORTRAN言語及びC言語で作成されている．

（2） 画素値の平滑処理

MAISONでは2つの画像を重ねて表示するために，一方をグレースケール表示，他方を等輝度線表示で表示する（3.7章）．等輝度線表示を画像内の小さい構造やノイズに影響されにくくする目的で，画素値を平滑化した後に等輝度線を表示する手法は一般によく用いられるものである．MAISONにおいても，等輝度線表示に対して平滑化を行うかどうかを選択できるようになっている．平滑化の処理には，FITSIOライブラリを用いてNASA/GSFCで開発されたFITS画像処理スクリプトパッケージFTOOLSのスクリプトを用いている．平滑化にあたっては，その平滑化に用いるウィンドウの形及び大きさがパラメータとして挙げられるが，MAISONでは当該画素を中心としてFWHM（半値全幅）が11画素となるGaussian，の一種類の

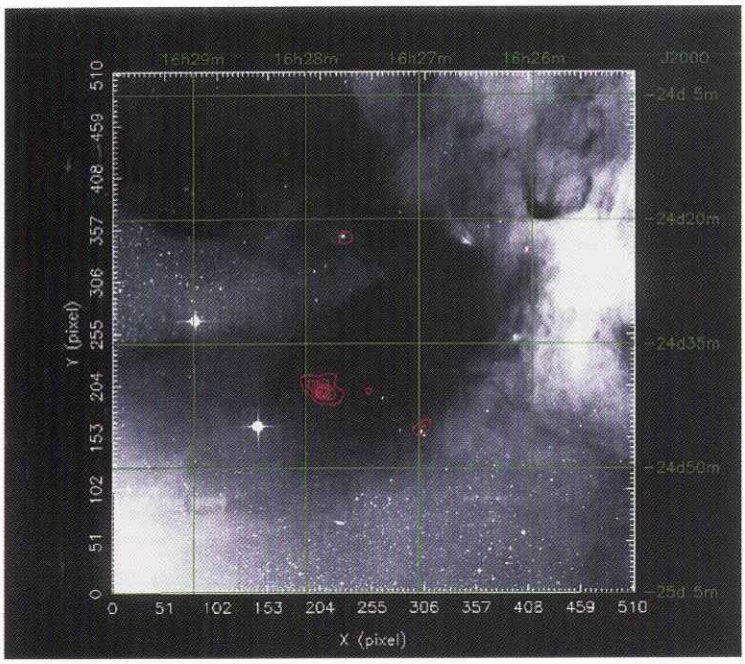

図4.　2枚の画像の重ね合わせ表示を行なうページの例．写っている領域はρ-Oph暗黒星雲である．グレースケール画像がDSS I（可視光*R*バンド），等輝度線画像がASCA/GIS（X線）の観測データである．この例では，X線で明るい3領域で，いずれも可視光の対応候補天体が確認できる．

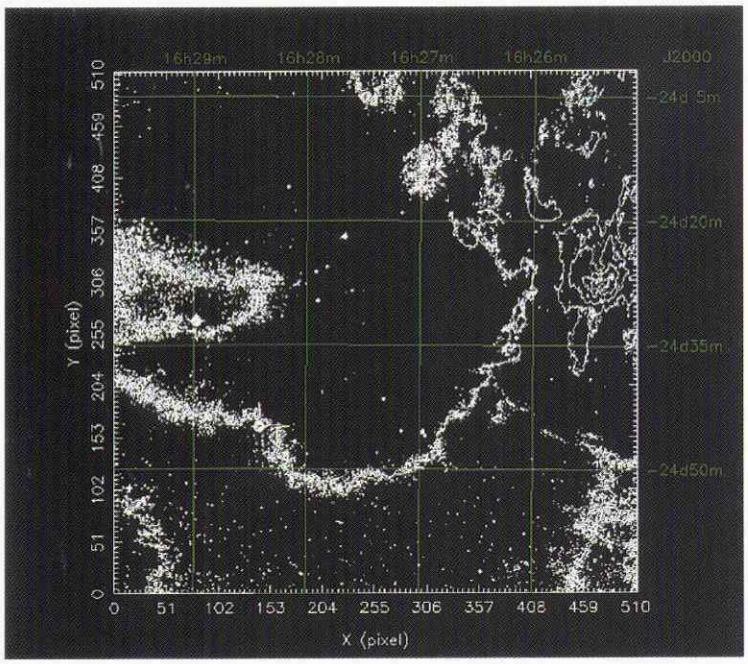

図5.　1枚の画像の等輝度線表示を行なうページの例．図4と同じ領域でのDSS I（可視光*R*バンド）のデータである．図4で対応候補に挙げられる天体がいずれも確認できる．

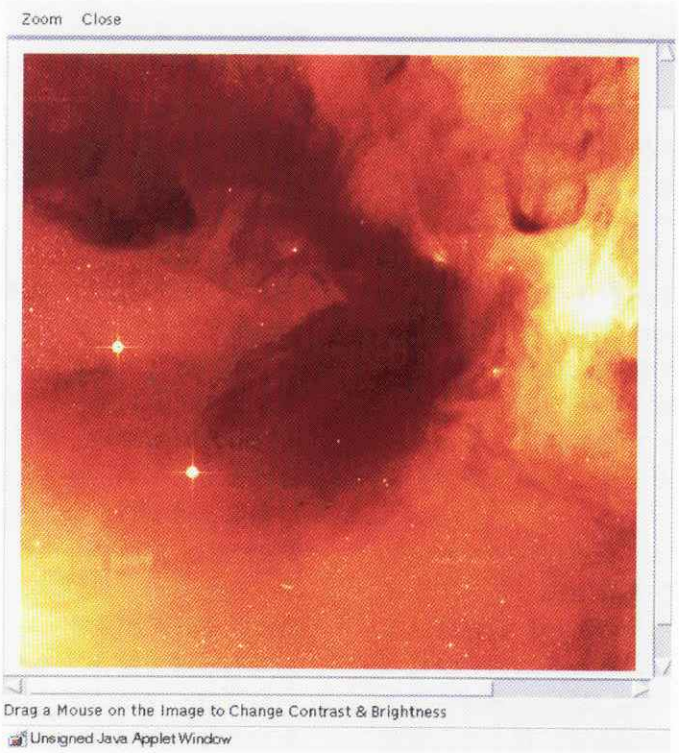

図6. 1枚の画像のグレースケール表示を行なうページの例．図4のグレースケールと同じデータである．図4で対応候補に挙げられる天体がいずれも確認できる．

みをウィンドウ関数として現在採用している．（5章）

3.7 画像データの表示

画像表示はHTML文のIMAGEタグを用いたGIF画像によるものと，Javaアプレットとして開発されたFITS画像表示プログラムを用いたものの2種類がある．[5] [6] が共に指定された2枚の画像の重ね合わせ表示（図4）あるいは [5] のみが指定された1枚の画像の等輝度線表示（図5）には前者が用いられ，[6] のみが指定された1枚の画像の単独のグレースケール表示（図6）には後者が用いられる．

FITS画像表示プログラムは，ADACが中心となって開発されたMOKA3[4] の開発に伴って作成された「早見画像ビューワ」を元に，MAISON用に調整を加えたものである．クライアント側でローカルな処理を行えるというJavaアプレットの特長を利用して，画像マウスのドラッグによる画像の階調変化とメニューからの選択による画像表示の拡大・縮小を行うことができるようになっている．等輝度線表示と重ね合わせ表示では，FITS画像をGIF画像に変換している．この等輝度線表示及びGIF変換プログラムはC言語で書かれ，FITS画像データの読み込みにはCFITSIOライブラリ[13]，等輝度線の表示及びGIF画像の作成にはPGPLOTライブラリ（http://astro.caltech.edu/~tjp/pgplot/）が用いられている．またGIF画像の表示では，画像の周囲に赤道座標の目盛りを記し，画像上に経緯線を表示している．この天球座標の計算は同じCプログラム内でWCSToolsサブルーチン[14] を用いて行われている．

4. MAISONシステムの工夫点

4.1 HTML変換モジュール

MAISONシステムでは，異なる複数のリモートデータサーバからのHTML出力を取り扱い，クライアントに対してはそれらを統一的に表示する，という作業が求められる．従って，形式の全く異なるHTML文から必要な項目を抽出する，あるいはHTML文を整形して統合する，などのHTML文の変換処理を効率良く行う仕組みを開発することが必要である．また，リモートデータサーバのHTML文が変更された場合に容易にこれに対処できるように，それらの変換処理スクリプトは管理し易いものであることが望まれる．

HTML変換モジュールは，こうした煩雑な処理をすべて統一的に行うために独自に作成したモジュールであり，DARTS用に作成されたものがその基礎になっている．

HTML変換モジュールの動作である「HTML文から必要な項目を抽出する」ということと「HTML文を整形して作成する」という二つの動作は，一見異なる処理に見えるが，HTML文中のタグの出現に応じて対応した処理を行う，という基本動作は共通である．従って，HTML文からの項目抽出及びクライアントへのHTML文の表示には同じ機構を採用することができる．こうして，HTML文の各タグに対する解釈及び変換の動作を定義することにより，HTML文の入出力に関するすべての処理をこの一つのHTML変換モジュールで取扱う．これらの定義は，各処理ごとに別の変換テーブルを読み込むことでなされるようになっており，このことがこのモジュールの汎用性を高める工夫となっている．

HTML変換モジュールは，別途作成したHTML変換テーブル（タグと属性値の定義リストや，タグの出現時の動作を定めたリスト）との組合せで動作する．基本動作として，与えられたHTMLテキスト中の開始タグ（<タグ名 属性>）及び終了タグ（</タグ名>）を順番に抽出して，以下の三種類の動作のいずれかを行なう．

○そのタグの出現時の動作を定めたリストが用意されている場合，その動作内容に従ってテキストの書換えや予め定められた処理の実行を行なう．HTML文から画像リストデータベース（4.2章）を作成する場合は，主としてこの機能を利用する．

例：<H2>: 画像リストの表題の開始
</H2>: 画像リストの表題の終わり．
これが現れたら，<H2>...</H2>の内容を表題として定義する．
<TABLE>: 表題が定義されている場合，その表題（例えばASCA）に対応した画像リストの開始とみなす．
<TR>:画像リストの各エントリの区切り
<A HREF=”...”>: 画像リストの区切りの中で現れた場合，対応する画像ファイルを得るためのURLと解釈して保存する．

○それ以外で，そのタグがタグ・属性値の定義リスト中に与えられている場合，同定義リストに記された属性値のみ残して，他の属性値を削除したタグを生成する．

○それ以外のタグは，削除する．

「HTML文からの項目の抽出」の場合，リモートデータサーバからの応答は，必要な情報がHTMLのタグで区切られている場合がほとんどである．従って，リモートデータサーバからの検索結果HTMLを解釈する際には，応答の中で必要な情報と関連する（前後の）タグの出現パターンとの対応づけを行なうことにより，キーとなるタグを元に状態遷移を繰り返して必要な情報を自動的に情報を抽出するようになっている．

また「HTML文の整形」の場合，作成されたHTML文はクライアントのブラウザに表示される（3.3章）訳であるが，ブラウザに依存するHTML文タグの解釈の違いにより，一種類のHTML文を用意しただけでは，ブラウザによって表示に相違ができてしまい，必ずしも我々開発者側で意図した表示とはならない．しかしながらブラウザごとにHTML文生成プログラムを用意すると処理が繁雑になるため，作成するHTML文は基本的に一種類とすることが望ましい．

この問題を解決するために，HTML変換モジュールでは，ブラウザに応じたタグの変換規則（少なくとも，MAISONサーバ側が意図した通りの情報をクライアント側でも閲覧できるようになるもの）をあらかじめ取り込んでおき，クライアントブラウザから与えられるagent名を参照することにより，一旦作成されたHTML文中のタグをそれに応じた一定の規則でブラウザの種類毎に変換するような工夫を行っている．ブラウザ間の非互換性は，HTML文中のタグの解釈の相違にあるため，この変換によりブラウザ間の相違を吸収できる．変換規則は，Mozilla（Netscape, IE）のバージョン0（Mosaic相当）からバージョン4（Communicator相当）程度に分類して作成している．これらのいずれにも該当しない場合はバージョン0（Mosaic相当）とみなしている．

4.2 画像リストデータベース

MAISONシステムにおいてはネットワークを通じたデータの受信が本質的である．従って，ネットワークを通じたデータ送信に無視できない遅延が発生した場合は，それに伴うパフォーマンスの劣化は避けることが出来ず，MAISONにおける弱点の一つとなり得る．

この問題を軽減するために，我々はMAISONサーバ上に「画像リストデータベース」というものを作成し，画像データのリストと画像データ自体をキャッシュとして一日間MAISONサーバ上にローカルに保持する，という工夫を施している．このデータベースは，クライアントからの検索要求の発行の後に，リモートデータサーバとの通信の前に参照され，もしその検索条件と同一の検索条件がデータベースに保持されていれば，データサー

バとの通信を行わず，MAISONサーバでローカルにその検索に対する結果をクライアントに返す．（クライアントからの画像リスト要求の全項目が，文字列として見た場合に全て一致しているものを「同一」とみなす．従って，例えば1.23と1.230は同一とはみなしていない）この処理により，データのネットワーク転送の遅延による問題を軽減し，処理プロセスをある程度高速に実行することが可能となっている．このデータベースは一日に一回，cronによって自動でチェックされ，検索や画像処理要求などによるデータベース参照が24時間以上行われていない検索条件については，対応したデータベース項目及び画像ファイルが全て消去される．キャッシュ後に24時間以内に再検索を受けたデータについては，キャッシュ上での保持期間が更に一日間延長される．

「画像リストデータベース」はUNIXにおけるdbmファイルで，perlで作成・管理されている．リモートデータサーバから送られてきたHTML文から，4.1章で述べたHTML変換モジュールとHTML変換テーブルによって，必要な項目（後述）のみが抜き出されて作成される．リモートデータサーバの仕様によっては，我々が必要とするデータベース登録項目がすべて記述されたHTML文が一度の通信で得られるとは限らないので，そのような場合には必要な通信を複数回行なう場合もある．

データベース及び実際の画像ファイルを保存している作業領域（キャッシュ領域）の構成は，以下のようになっている．

```
作業領域ディレクトリ
│
├─ 検索条件データベース
│
├─ 検索条件ID（ディレクトリ）
│   ├─ 画像リストデータベース
│   │  （画像IDを定めている）
│   ├─ 取得画像（画像ID+拡張子 .fit）
│   └─ 画像処理結果（FITS, GIF）
│
├─ 別の検索条件 ID（ディレクトリ）
│   ├─ 画像リストデータベース
│   ├─ 取得画像
│   └─ 画像処理結果
┆  ----
```

各項目の説明は以下のようになる．

○検索条件データベース: 検索条件と検索条件IDの対応関係を保存する．

○検索条件ID: 秒単位の時刻情報をもとに，各検索要求に対して生成され，作業領域中のディレクトリ名として用いられる．異なる検索条件に対しては，異なるディレクトリ名として与えられるが，検索条件データベースに登録されている過去の検索条件と同じ検索条件に対しては，対応するキャッシュが有効である限りは，同一の文字列が与えられる．（以前の内容がキャッシュとして利用される）

○画像リストデータベース: 対応する検索条件IDのディレクトリ下に作成される．画像リスト自体は，検索対象と座標情報の対をファイル名にして，個別のファイルとして保存されている．（ポインティング観測の結果次第で，対応するサーベイ観測の座標情報が異なるため）その他に画像リスト管理用のデータベースが保存される．（画像IDと観測対象の対応表，画像IDとフォームで表示される画像の名称の対応表，など）

○FITS画像: リモートデータサーバから取得した画像ファイルを保存する．圧縮ファイルとして取得したデータは，元データに復元して保存する．各画像には，画像リストデータベースで割り当てられた画像IDがファイル名としてつけられる．

○画像処理結果: スムージングや重ね合わせ等，クライアントからの要求に応じて作成された画像を保存する．ファイル名は画像IDと処理内容の組み合わせで表現される．

画像リストデータベースは，リモートデータサーバによらず統一された形式で登録される．登録される情報は，以下の通りである．

○表　　題: リモートデータサーバから返された画像リストの表題が格納される．

○画像ID　: 検索の結果リストアップされた各画像に対して，時刻情報とプロセスIDからなる一意なIDが割り当てられる．

○URL　　: 上記の各画像IDに対応する画像ファイルを取得するためのURLが格納される．

○付随情報: 上記の各画像IDに付随するその他の情報が格納される．リモートデータサーバから得られた画像リストがユーザから識別し易くなるように，情報は適宜取捨選択され加工される．

4.3 中間言語の採用

ユーザが画像表示の方法を指定するインタフェースには様々な形態が考えられ，それに伴いHMTLフォームの構成等も随時改良が加えられていく可能性がある．HTMLの場合，サーバに送られる問い合わせはフォームの構成変更が直接影響

することになる．これに対して，画像処理側の機構（3.5章）もまた改良が加えられていく可能性がある．その際に，フォームで使われている問い合わせをそのまま画像処理側で解釈していたのでは，インタフェースが変更される度に画像処理側も解釈の機構に変更を加える必要が生じる．すなわち，インタフェース作成者と画像処理部の作成者との間での調整が常に必要となり，開発効率の面で好ましくない．

このような問題を解消するために，インタフェース側から画像処理側に渡す中間的な言語の文法を予め定めておく工夫を行った．こうすることにより，画像処理側は規定の中間言語のみを解釈できるようにしておけば良く，インタフェースの構成に左右されなくなる.インタフェースを作成する側も，正しく中間言語に変換する所まで関知しておけば良く，画像処理側のことは考えずにHTMLフォームの構成を変更することができる．

中間言語を介する分，厳密には実行時の処理量は増えるが，MAISON全体の処理時間に比較すれば無視できるものである．利点として，モジュール間の独立性が高まり，開発効率向上の寄与も大きい．

5. MAISONの課題

現行のMAISONは実際に稼動するサービスとして現在公開されている．しかし我々開発者の立場からは，現行のMAISONはその種のサービスシステムの開発第一版としての「テスト版」という側面がむしろ重要である．

実際，具体的な開発作業を通じて，この種のサービスシステムをより良いものとするために，開発当初は思い至らなかった様々な開発課題があることが分かってきた．その中には，現行のMAISONでは完全には解決されていない課題も少なからず残されている．以下にそれら課題をまとめ，今後の取り組みを列挙する．

(1) 画像リストの判り易い表示方法

対象となるデータソースが増えてくると，それらの検索結果のリスト表示は，単に羅列しただけではかなり込み入った，一見して見づらいものとなる．この課題には対処を行ってきているが，まだ改良の余地が残されていると考えている．例えばブラウザ上での表示を，JavaScriptを用いたり，あるいはJava言語のアプレット機能を用いたりすることで，リスト情報の表示をクライアント側でローカルに操作できるようにすることができる．これによりこの問題は大きく緩和されると考えている．

(2) 画像表示における表示プロパティ操作機能の追加

最終的な画像表示では，重ね合わせ表示においてもその表示のプロパティをユーザが簡便かつ迅速に変更できるような仕組みを提供することができれば，MAISONの活用性が大きく進展することが期待される．現状では，重ね合わせ画像表示はHTMLのIMAGEタグを使ったGIF画像表示であるため，このような操作機能の追加や操作性の向上の要求には応じられない．この問題に対処するためには，画像表示部はすべてJava言語のアプレット機能を用いて開発することが求められる．

また，これら2つ以外の一般的な問題点として，開発当初のソフトウェア開発能力が未熟であったことから，処理によってはアルゴリズムや開発ソフトウェア環境が最適なものになっていない，ということと，スムージングの大きさの指定など，ユーザに選択枝を与えることが可能なパラメータで，まだそうなっていないものがある，ということが挙げられる．

MAISONの開発過程で以上のような課題に直面したが，いずれも現行のMAISONにおいて対応することは，非効率的であったり，また技術的に不可能であったりするものである．この点を考慮し，また現行のMAISONが開発段階の区切りのいいところであることを受けて，これらすべての課題を解決するために，根本的に新しいMAISONサーバ第二版の開発に取り掛かる計画である．この計画について次章で述べる．

6. MAISONの今後の開発の方向性

5章で述べた課題を解決するために，2000年度から新たなMAISONサーバ第二版の開発に取り組み始めている．5章にあげた二点の問題点は，この第二版ではいずれもJava言語のアプレット機能を用いることで解決が図られる．

画像リストの表示では，クライアントブラウザ上で列の表示/非表示を切り替えることや，行のソートなどの操作を可能とすることで，見易さが向上する．また，検索結果のポインティング観測画像リストをより視覚的に把握する目的で，画像の視野の天球位置を描画した天球図をアプレット機能を用いて表示する．ユーザはこの天球図上でサーベイ画像の領域を指定できる．このようにサーベイ画像の視野領域をユーザに効率的に選択させることにより，検索の冗長性（3.7章）を緩和することができる．この天球図では，背景の画像としてDSS広視野画像[15]を採用し，より視覚的に理解し易い画像リスト表示を目指す．

重ね合わせ画像表示部では，アプレット機能を用いた高機能表示システムを開発中である．この

システムは，Java言語のアプリケーションとして開発されたFITS画像表示システムNAOimage[16,17]に改造を加えることで開発が進められている．この画像表示部からは，MAISONサーバを経由して画像取得要求やカタログデータ取得要求が発行されることになる．カタログデータサーバとしては，ADACがミラーサイトとなっているVizieRサーバ[18]を利用する．カタログ天体は，その位置や（銀河などの広がった天体については）形状などを画像の上に図示し，必要に応じてその他の観測量を表示する機能を付加する．

新たなリモートデータサーバも逐次追加していく予定である．現在の候補としては，ADACにミラーデータサーバがあるハッブル宇宙望遠鏡データ[7]，PLAINセンターにミラーデータサーバが設置されているROSATポインティング観測データとサーベイ観測データ，STScIがデータサーバとなっている電波のサーベイデータFIRST[19]などが挙げられる．

また，リモートデータサーバに接続して検索を行い，必要な情報の配信を受けるための方法として，CDSが中心となって提唱している「ASU (Astronomical Server URL)」という天文データのHTTPによる交換のためのURL記述書式の採用があるので，これを活用してリモートデータサーバとの通信をより簡便なものとする努力も払うべきである．更に，ASUを一般化して，登録してあるリモートデータサーバへのアクセスに関してはクライアント側はQUERY_STRINGの書式の変更を気にする必要がなく，常にデータサーバ側でそれを管理できるという「GLU (Generateur de Liens Uniformes)」というツールの採用も検討している．このGLUメンバーに加わることで，この中のリモートデータサーバからのデータ配信については，QUERY_STRINGの変更を全く気にする必要がなくなり，MAISONのシステム管理の労力が大幅に削減できると考えている．

謝辞

本開発は，国立天文台・天文学データ解析計算センターの現スタッフメンバー，並びに宇宙科学研究所・宇宙科学企画情報解析センターの現スタッフメンバー及び前スタッフメンバー（星野 真弘氏，根來 均氏）の協力の下で進められました．また，国立天文台・天文学データ解析センター・天文データセンター実務会メンバーの皆様からは有益な助言や御協力を頂きました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

1) T.Horaguchi, S.Ichikawa, M.Yoshida, S.Yoshida, and M.Hamabe: An Archival System for Observational Data Obtained at the Okayama and Kiso Observatories, *Publ.Natl.Astron.Obs.Japan*, **4**, 1－8 (1994).

2) T.Takata, S.Ichikawa, T.Horaguchi, S.Yoshida, M.Yoshida, T.Ito, E.Nishihara, and M.Hamabe: An Archival System for Observational Data Obtained at the Okayama and Kiso Observatories. II, *Publ.Natl.Astron. Obs.Japan*, **4**, 9－21 (1995).

3) 西原英治，洞口敏博，伊藤孝志，高田唯史，青木賢太郎，吉田道利，吉田重臣，市川伸一，濱部 勝: データアーカイブシステムMOKA2の開発，国立天文台報，**3**, 23－33 (1997).

4) T.Horaguchi, E.Nishihara, M.Yoshida, K.Aoki, T.Ito, M.Watanabe, S.Ichikawa, T.Takata, S.Yoshida, and M.Hamabe: An Astronomical Data Archive System with a Java-Based User Interface, *Publ.Astron.Soc.Japan*, **51**, 693－701 (1999).

5) 渡辺 大，青木賢太郎：天文学データ解析計算センターにおけるCD-ROM画像データのネットワーク上での公開システムの開発，国立天文台報，4，87－99(1999).

6) A.Miura, H.Negoro, S.Uno, I.Shinohara, S.Matsui, K.Matsuzaki, M.Watanabe, A.Yamashita, H.Takahashi, H.Matsui, M.Hoshino, and F.Nagase: ISAS Data Archive and Transmission System (DARTS), in *Astronomical Data Analysis Software and Systems* IX, in press.

7) 安田直樹，青木賢太郎，渡邊 大，多賀正敏，西原英治，大槻かおり，市川伸一：日本版HSTデータアーカイブシステムの開発，国立天文台報，**4**，209－220 (2000).

8) T.McGlynn, K.Scollick, and N.White: SkyView: The Multi-wavelength Sky on the Internet, in *Proceedings of the IAU Symposium* No.179, eds. B.J.McLean, D.A.Golombek, J.J.E.Hayes, and H.E.Payne (Dordrecht, Kluwer), pp.465－466 (1998).

9) F.Bonnarel, P.Fernique, O.Bienayme, D.Egret, F.Genova, M.Louys, F.Ochsenbein, M.Wenger, and J.G.Bartlett: The ALADIN Interactive Sky Atlas. A Reference Tool for Identification of Astronomical Sources, *Astron. Astrophys.Suppl.*, **143**, 33－40 (2000).

10) NASA/GSFC Astrophysics Data Facility: A User's Guide for the Flexible Image Transport System (1996).

11) M.Wenger, F.Ochsenbein, D.Egret, P.Fubois,

F.Bonnarel, S.Borde, F.Genova. G.Jasniewicz, S.Laloe, S.Lesteven, and R.Monier: The SIMBAD Astronomical Database. The CDS Reference Database for Astronomical Objects, *Astron. Astrophys.Suppl.*, **143**, 9－22 (2000).

12) W.Pence: New Developments in the FITSIO and Fv Software Packages, in *Astronomical Data Analysis Software and Systems* VII, ASP Conf. Ser. vol. 145, eds. R.Albrecht, R.N.Hook, and H.A.Bushouse (San Francisco, ASP), pp.97－98 (1998).

13) W.Pence: CFITSIO,v2.0:A New Full-Featured Data Interface, in *Astronomical Data Analysis Software and Systems* VIII, ASP Conf. Ser. vol. 172, eds. M.Mehringer, R.L.Plante, and D.A.Roberts (San Francisco, ASP), pp.487－489 (1999).

14) D.J.Mink: WCSTools: An Image Astrometry Toolkit, in *Astronomical Data Analysis Software and Systems* VIII, ASP Conf. Ser. vol. 172, eds. M.Mehringer, R.L.Plante, and D.A.Roberts (San Francisco, ASP), pp.498－501 (1999).

15) 多賀正敏 他, 国立天文台報（本号).

16) H.Baba, N.Yasuda, S.Ichikawa, W.Aoki, M.Taga, T.Horaguchi, andM.Hamabe: Development of a Java-based Quicklook Image Browser for Echelle Spectrograph, in *Astronomical Data Analysis Software and Systems* IX, in press.

17) 馬場 肇 他, 国立天文台報（本号).

18) F.Ochsenbein, P.Bauer, and J.Marcout: The VizieR Database of Astronomical Catalogues, *Astron. Astrophys.Suppl.*, **143**, 23－32 (2000).

19) R.Becker, R.L.White, and D.J.Helfand: The FIRST Survey: Faint Images of the Radio Sky at Twenty-cm, *Astrophys.J.*, **450**, 559－577 (1995).

国立天文台報　第5巻　第2号

2001年3月31日　発行

編集兼
発行者　国　立　天　文　台
〒181-8588 東京都三鷹市大沢2-21-1
Tel. 0 4 2 2 - 3 4 - 3 6 0 0

印刷所　有限会社　泰　成　社
東京都杉並区梅里1-1-46

2001·3·600