

第 37 回  
天文学に関する技術シンポジウム 2017  
集録

Proceedings of  
Symposium on Engineering in Astronomy 2017

2017年12月21日(木)～12月22日(金)

主催：国立天文台  
於：岡山県倉敷市芸文館



## 参加者名簿

国立天文台

岡山天体物理観測所	泉浦 秀行、筒井 寛典、柳澤 順史
技術推進室	川島 進、鈴井 光一
重力波プロジェクト推進室	平田 直篤
先端技術センター	岡田 則夫、久保 浩一、都築 俊宏、早野 裕、 藤井 泰範、三ツ井 健司
太陽観測科学プロジェクト	萩野 正興
チリ観測所	伊藤 哲也、中村 京子
天文情報センター	中桐 正夫、長山 省吾
天文データセンター	大石 雅寿、小澤 武揚、高田 唯史、山中 郷史、 Zapart Christopher Andrew
野辺山宇宙電波観測所	西谷 洋之
ハワイ観測所	沖田 博文、佐藤 立博、谷口 明充、能丸 淳一、 Jonah Conol、Timothy Castro
光赤外研究部	小林 行泰、佐々木 敏由紀
水沢 VLBI 観測所	上野 祐治、佐藤 克久、平野 賢
RISE 月惑星探査検討室/TMT 推進室	田澤 誠一
TMT 推進室	大屋 真、林 左絵子
OB	沖田 喜一、小矢野 久、前原 英夫

茨城大学

核融合科学研究所	山本 大二郎
基礎生物学研究所	谷口 能之
京都大学	三輪 朋樹
人事院事務総局	鴨部 麻衣、木村 剛一、柴田 一成
生理学研究所	安井 孝
東京大学	大河原 浩
日本スペースガード協会	青木 勉、高橋 英則
分子科学研究所	奥村 真一郎
明星大学	繁政 英治
	浜屋 ひかり、宮良 碧



# 目 次

主催者挨拶	1
国立天文台 技術推進室長 高見 英樹	
招待講演	
1. 21世紀の岡山天体物理観測所	3
泉浦 秀行	
2. 太陽の脅威とスーパーフレア	15
柴田 一成	
一般講演	
[次世代技術開発]	
1. Band10 Profiled horn の試作	27
三ツ井 健司 他	
2. ASTE 345 GHz 帯受信機のアップグレードと ASTE 望遠鏡の現状と運用	
伊藤 哲也	
3. KAGRA ビームスプリッタ防振系のインストール	31
平田 直篤	
4. TMT/IRIS 開発	35
早野 裕 他	
5. 人工知能・ディープラーニングの実際と天文応用	39
小林 行泰	
[保守/運用の最前線]	
6. 望遠鏡保守情報交換会の活動	43
田澤 誠一	
7. 望遠鏡保守情報交換会の活動報告 VERA の電気系保守内製化	47
谷口 明充 他	
8. VERA20m 電波望遠鏡 駆動制御系 時刻同期制御部の改修	49
平野 賢 他	
9. 木曽観測所の自動観測について	53
青木 勉 他	
10. OAOWFC の無人観測	57
柳澤 順史	

[太陽観測技術]

1 1 . 液晶チューナブルフィルター開発について	61
	木村 剛一 他
1 2 . 雲南天文台麗江観測所での太陽コロナ緑色輝線観測の現状	64
	萩野 正興 他
1 3 . 太陽シンチレーション観測の妥当性の検証及びシーイングの定量化	68
	山本 大二郎 他
1 4 . 太陽シンチレーションモニタ (SHABAR) の応用計画について	71
	浜屋 ひかり 他
1 5 . 太陽像によるシーイングサイズの測定手法の開発	75
	宮良 碧 他

[すばる望遠鏡技術]

1 6 . 2017 年主鏡再蒸着:洗浄工程	79
	佐藤 立博 他
1 7 . 2017 年主鏡再蒸着:蒸着工程	82
	沖田 博文 他
1 8 . Top Unit Exchange	86
	Timothy Castro
1 9 . Sky track hoist installation	88
	Jonah Conol
2 0 . 品質マネジメントシステムとハワイ観測所の国際運用	90
	能丸 淳一

[技術情報共有]

2 1 . 光学赤外線望遠鏡光学系材料について	94
	林 左絵子
2 2 . ブラッシャ一天体写真儀の乾板	96
	中桐 正夫
2 3 . 中国気象衛星データから探る西チベットでの天文台サイト探査	100
	佐々木 敏由紀
2 4 . 京都大学理学研究科附属天文台データを用いたダジックアースコンテンツ	104
	鴨部 麻衣 他

[ソフトウェア/データ処理技術]

2 5 . ALMA のソフトウェアテストの技術	108
	中村 京子

2 6 . Machine Learning at JVO: from predicting computer mouse movement under high network latency to compressing astronomical data -----	111
	Zapart Christopher Andrew
2 7 . 国立天文台天文データセンター共同利用計算機システムの運用効率改善 1 :システムログのデータベース化 -----	114
	小津 武揚 他
2 8 . 国立天文台天文データセンター共同利用計算機システムの運用効率改善 2 :問い合わせメールの DB 化と共有のためのウェブインターフェースの開発-----	118
	山中 郷史 他
[ポスター講演]	
2 9 . 宇宙研・先端工作技術グループの紹介 -----	122
	岡田 則夫 他
3 0 . 木曾超広視野高速 CMOS カメラ Tomo-e Gozen Q0 の構造特性の評価 -----	126
	高橋 英則 他
3 1 . 情報公開請求における業務効率化 -----	130
	安井 孝
<b>グループ討論</b>	
グループ討論実施要項-----	133
1. 技術シンポどうする? 何を求める技術シンポ	グループ 1 ----- 135
2. 技術シンポどうする? 何を求める技術シンポ	グループ 2 ----- 136
3. みんなでシェア!日常業務と改善策	グループ 1 ----- 138
4. みんなでシェア!日常業務と改善策	グループ 2 ----- 141
5. 考えてみよう!目指すべき 10 年後	グループ 1 ----- 144
6. 考えてみよう!目指すべき 10 年後	グループ 2 ----- 146
7. 日本でソフトウェア技術を軽視したままで良いのか?	----- 149
<b>写真集</b> -----	152
<b>アンケート結果</b> -----	153
<b>編集後記</b> -----	161



## 第37回天文学に関する技術シンポジウム開催にあたって

国立天文台で技術主幹を務めております高見英樹と申します。本日は岡山での第37回天文学に関する技術シンポジウムにご参加いただき大変ありがとうございました。今回は、現地で出席することができず残念でしたが、プログラムの内容を見させていただくと、望遠鏡などの施設の保守運用、ソフトウェアなど、テーマを定めた講演、グループ議論を行うことになっており大変興味深いです。毎年シンポジウムの持ち方を工夫して、意義の深いものにしていく努力をされていると思います。今回のプログラムでは、皆さんの実際の仕事と具体的に結びついた議論ができ、それを踏まえて今後の業務や技術開発のレベルアップにつながると期待しています。

国立天文台 技術主幹・技術推進室長 高見英樹



# 21世紀の岡山天体物理観測所

大学共同利用機関法人  
自然科学研究機構  
国立天文台  
岡山天体物理観測所  
泉浦秀行

2017年12月22日@倉敷市芸文館

1

## Table of contents

- はじめに
- 岡山を取り巻く国内環境の激変
- 世界の天文学の潮流の激変
- 2000年からの研究教育活動@岡山
- まとめ

(人の移動、予算の推移などはまた別の機会に)

3

## 要旨

- すばる望遠鏡が稼働し始めた2000年以降、岡山天体物理観測所を取り巻く国内環境は激変してきた。一方、世界の天文学の潮流もそれ以上に激動の時代へと突入した。国内外の環境変動の大波の中で、小舟のように翻弄されながらも、最後まで活力を失わずに共同利用を続けて来た岡山天体物理観測所の、21世紀に入ってからの研究教育活動を振り返ってみたい。

2

東京大学  
東京天文台  
岡山天体物理観測所  
開所式  
1960年10月19日

(当時世界で7番目の大望遠鏡)  
(今のすばる望遠鏡)

三木岡山県知事

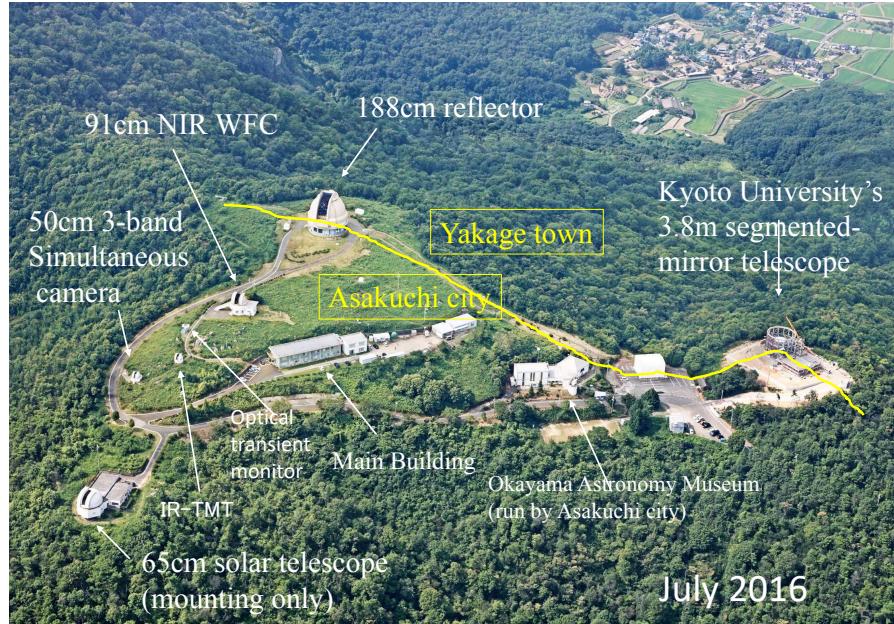
188cm望遠鏡ドーム  
で行われた開所式

読売新聞 昭和35年10月20日

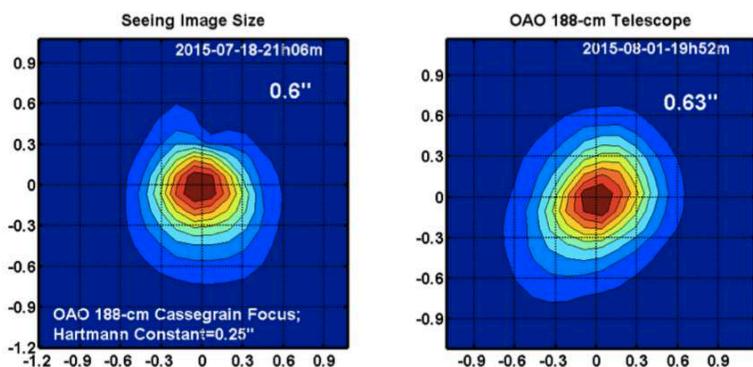


1988年 文部省国立天文台  
2004年 自然科学研究機構国立天文台

-3-



## Best seeing condition at OAO



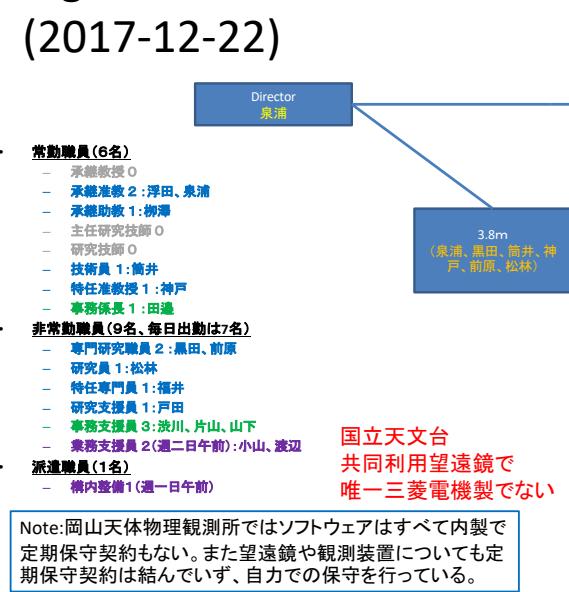
7

## OAO

- =Okayama Astrophysical Observatory
- ! =Office for Astronomy Outreach

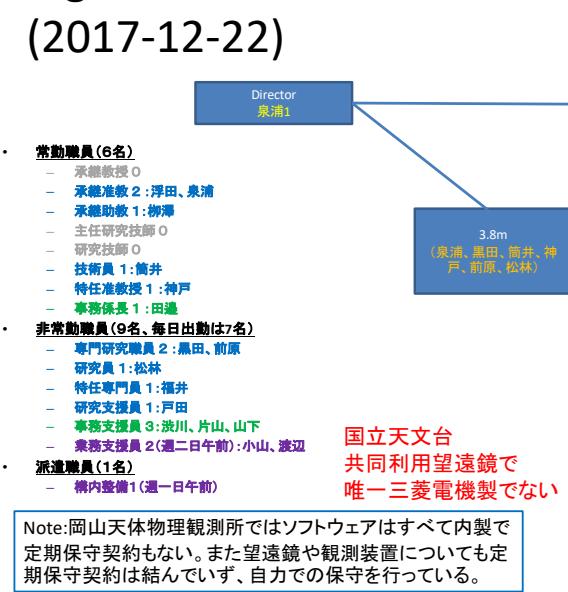
8

## Organization structure (2017-12-22)



9

## Organization structure (2017-12-22)



10

## 岡山天体物理観測所を取り巻く国内環境の激変(2000年～)

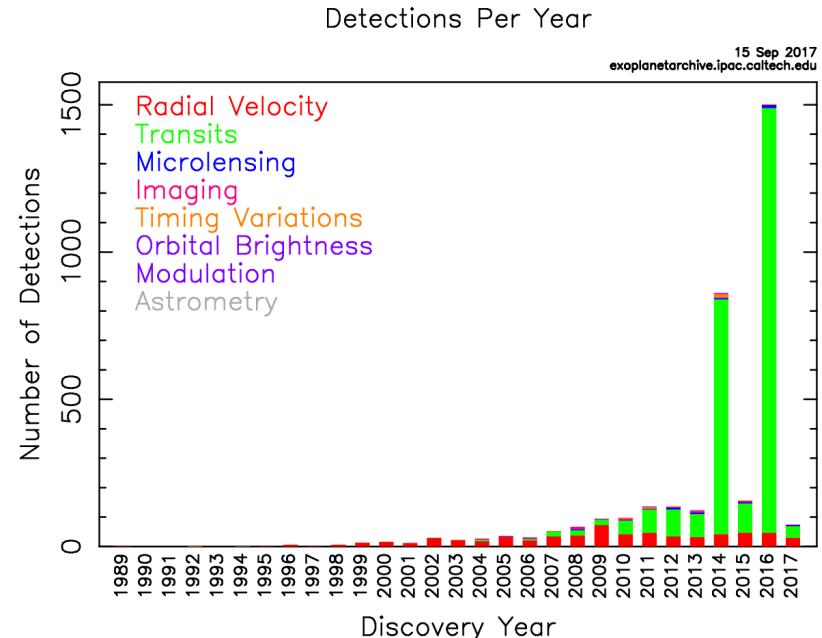
- ・ 堂平観測所閉鎖2000.03
- ・ すばる望遠鏡共同利用観測開始2000.12
- ・ 大学望遠鏡の増加、充実
  - IRSF(名大)1.4m/2000、入来(実質鹿大)1m/2001、なゆた(兵庫県立大)2m/2004、むりかぶし(実質東工大)1.05m/2006、東広島(広大)1.5m/2006、ぴりか(北大)1.6m/2011、ぐんま1.5m/1999
- ・ 大学間連携事業2011.04
- ・ ALMA科学観測開始2011.09
- ・ TMT推進室設置2012.04
- ・ 東大TAO6.5m(2013予算)
- ・ 京大3.8m(望遠鏡2015(14補正)、ドーム2016(15予算))

11

## 西暦2000年以降の世界の天文学の潮流の激変(2000年～) (一部2000年前含む)

- ・ 8~10m級望遠鏡の隆盛
  - Keck、GCT、すばる、GeminiNS、VLT、LBT、HET、SALT
- ・ 4m級望遠鏡の単機能化
  - AAT6dF、KPNO4m、CTIO4m、UKIRT、CFHT、ESO3. 6m、WHT?
- ・ AOの標準化
- ・ タイムドメイン(長期間・高頻度・広範囲の測光サーベイ)天文学の隆盛、普及
- ・ 地上ラージサーベイ天文学
  - 2MASS、SDSS、PanSTARS、LSST
- ・ すぐれた観測衛星の相次ぐ成功
  - Spitzer Space Telescope、AKARI、Herschel
  - Chandra、SWIFT
- ・ KEPLER宇宙望遠鏡の大成功
  - 2009.03打ち上げ、2010.01から惑星検出の報告始まる
- ・ 分光専用サーベイ望遠鏡(HARPS、AFOEなど)の出現
- ・ 中間赤外、近赤外の干渉計像再生の実現
- ・ 重力波天文学の勃興

12



13

## 2000年からの研究教育活動 何をやってきたのか？

- 観測・研究の面から
  - 感度を上げる
  - 精度を上げる
  - 効率を上げる
  - ニッチを探す
  - 装置・設備を更新する  
⇒ユーザーを増やす⇒成果が増す
- 研究者&それ以外の支持者を増やす
- 職員の職場への誇りや満足度を増す

14

## 2000年からの研究教育活動 (高分散分光ベース)

- 2000.01 HIDES open-use began
- 2000.07 Large Project program began (first case: PI: Y. Takeda, Inst.: HIDES)
- 2000.12 Subaru open-use began
- 2001.06 Dr. M. Yoshida took over the Director of OAO
- 2002. ---
- 2003.11 Discovery of HD104985b announced
- 2004.04 HIDES new CCD cryostat production initiated
- 2004 NAOJ of NINS established
- 2005.04 HIDES completion project initiated (mosaic CCD & fiber feeding)
- 2006.04 Dr. E. Kambe joined OAO, fiber feeding project accelerated
- 2007.05 Discovery of epsilon Tau b announced
- 2007.12 new CCD camera with 3 chips in a new cryostat installed
- 2008.01 Open-use of the 3-CCD camera began
- 2009. ---

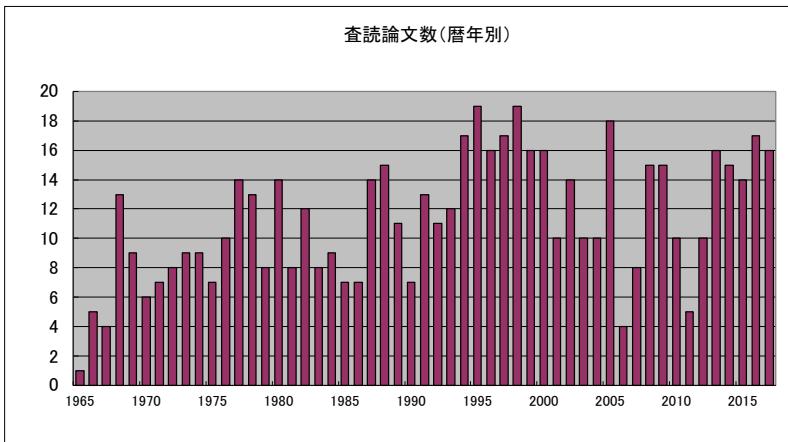
15

## 2000年からの研究教育活動 (高分散分光ベース)

- 2010.10 Dr. H. Izumiura took over the Director of OAO
- 2011.01 Open-use with shared-risk cond. of high eff. fiber feeding began
- 2011.04 KAKENHI Kiban (A) "Automation of extra-solar planet searches" started
- 2012.04 Dr. M. Hayashi took over the Director General of NAOJ
- 2013.03 188 cm telescope and its dome refurbishment completed
- 2014.11 development of automatic observing system began
- 2015.12 tests of queue observing system began
- 2015.12 NameExoWorlds results announced
- 2016.01 Open-use with shared-risk cond. of high res. fiber feeding began
- 2016.04 KAKENHI Kiban (A) "Robotic Spectroscopy Telescope" started
- 2017.08 tests of automatic observing system began
- 2017.12 End of open-use at OAO
- 2018.03 Okayama Astrophysical Observatory will be terminated
- 2018.04 Okayama Satellite Office will open
- 2018.04 Dedicated uses of the 188-cm telescope equipped with an automatic observing functionality will begin

16

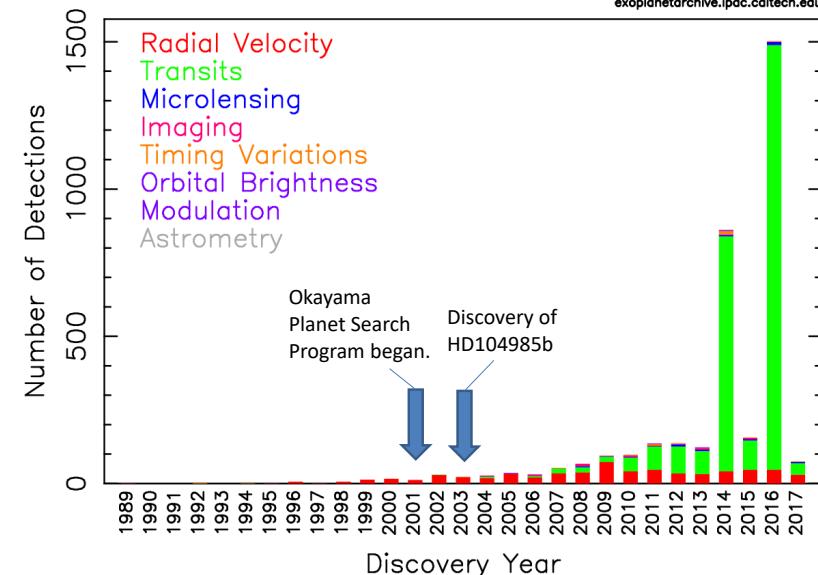
## Annual number of peer-reviewed papers in which Okayama data are used (1965-2017)



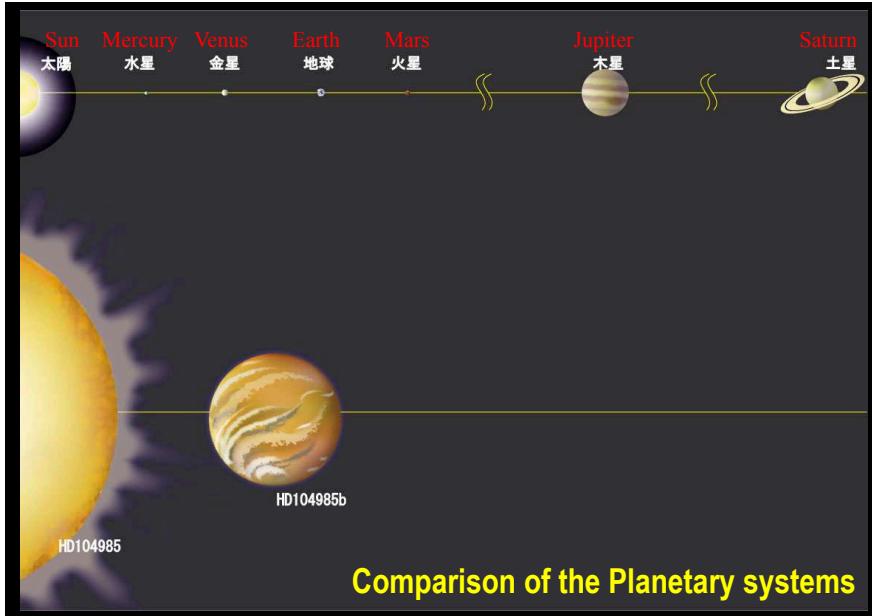
17

## Detections Per Year

15 Sep 2017  
exoplanetarchive.ipac.caltech.edu



18



19

Number of exoplanets and brown dwarfs detected using the 188cm telescope is currently 41 (as of 2017 December)

惑星名	観測のスペクトル型	惑星質量 (太陽質量)	惑星半径 (太陽半径)	伴天体質量 (木星質量)	軌道長半径 (AU)	公転周期 (日)	軌道離心率 親星質量	観星質量 [Fe/H] (dex) <sup>1)</sup>	発見に携わった観測所と公表年 <sup>1,2)</sup>
HD 2952 b	K0 III	2.5	12	1.6	1.2	312	0.13	0	OAO, 2013
HD 4732 b	K0 IV	1.7	5.4	2.4	1.19	360	0.13	0	OAO, AAT, 2013
HD 4732 c	—	—	—	2.4	4.6	2732	0.23	—	OAO, AAT, 2013
HD 5608 b	K0 IV	1.6	5.5	1.4	1.9	793	0.19	0.06	OAO, 2012
HD 14067 b	G9 III	2.4	12.4	7.8	3.4	1455	0.533	-0.1	Subaru, OAO, Xinglong, 2014
75 Cet b	G3 III	2.5	10.5	3	2.1	692	0.12	0	OAO, 2012
81 Cet b	G5 III	2.4	11	5.3	2.5	933	0.21	0.06	OAO, 2008
ε Tau b	K0 III	2.7	13.7	7.6	1.93	595	0.15	0.13	OAO, 2007
6 Lyn b	K0 IV	1.7	5.2	2.4	2.2	899	0.13	-0.13	OAO, 2008
ο UMa b	G4 II-III	3.1	14.1	4.1	3.9	1630	0.13	-0.09	OAO, 2012
HD 81688 b	K0 III-IV	2.1	13	2.7	0.81	184	0	-0.34	OAO, 2008
HD 100655 b	G9 III	2.4	9.3	1.7	0.76	158	0.085	0.15	OAO, BOAO, 2012
HD 104985 b	G9 III	2.3	11	8.3	0.95	198	0.09	-0.35	OAO, 2003
11 Com b	G8 III	2.7	19	19.4	1.29	326	0.23	-0.28	OAO, Xinglong, 2008
HD 119445 b	G6 III	3.9	20.5	37.6	1.71	410	0.08	0.04	OAO, BOAO, 2009
HD 120084 b	G7 III	2.4	9.1	4.5	4.3	2082	0.66	0.09	OAO, 2013
ο CrB b	K0 III	2.1	10.5	1.5	0.83	187	0.19	-0.29	OAO, 2012
ω Ser b	G8 III	2.2	12.3	1.7	1.1	277	0.11	-0.24	OAO, 2013
κ CrB b	K0 IV	1.5	5	1.6	2.6	1251	0.09	0.1	OAO, 2012, confirmation
HD 145457 b	K0 III	1.9	9.9	2.9	0.76	176	0.11	-0.14	Subaru, OAO, 2010
v Oph b	K0 III	3	15.1	24	1.9	530	0.13	0.13	OAO, 2012
v Oph c	—	—	—	27	6.1	3186	0.17	—	OAO, 2012
HD 167042 b	K1 IV	1.5	4.5	1.6	1.3	416	0.1	0	OAO, 2008
HD 173416 b	G8 III	2	13.5	2.7	1.2	324	0.21	-0.22	OAO, Xinglong, 2009
HD 175679 b	G8 III	2.7	11.6	37	3.4	1367	0.38	-0.14	OAO, Xinglong, 2012
HD 180314 b	K0 III	2.6	9.2	22	1.4	396	0.26	0.2	Subaru, OAO, 2010
ξ Aql b	K0 III	2.2	12	2.8	0.68	137	0	-0.18	OAO, 2008
18 Del b	G6 III	2.3	8.5	10.3	2.6	993	0.08	-0.05	OAO, 2008
HD 210702 b	K1 IV	1.7	5.1	1.9	1.2	355	0.17	0.01	OAO, 2012, confirmation
14 And b	K0 III	2.2	11	4.8	0.83	186	0	-0.24	OAO, 2008

これまでに岡山188cm望遠鏡とHIDESの共同利用ならびに国際協力を通じて巨星に検出された系外惑星・褐色矮星の数が2014年度後期に30に達した。その一覧を左表に示す。惑星質量天体24、褐色矮星質量天体6、総計30である。その後惑星検出はさらに6つ増えている。

太陽型主系列星まわりの惑星検出5例も含めると合計で41になる。

20

A PAIR OF GIANT PLANETS AROUND THE EVOLVED  
INTERMEDIATE-MASS STAR HD 47366: MULTIPLE CIRCULAR  
ORBITS OR A MUTUALLY RETROGRADE CONFIGURATION  
Sato, B. et al. 2016.03, ApJ, 819

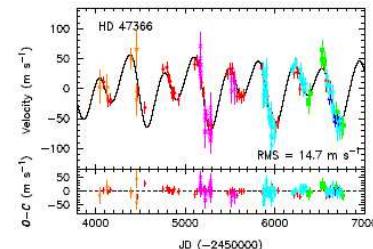


FIG. 4.— *Upper:* Radial velocities of HD 47366 obtained with HIDES-S (red), HIDES-F (blue), CES-O (brown), CES-N (magenta), HRS (cyan), and AAT (green). The error bar for each point includes the extra Gaussian noise. The double Keplerian model for the radial velocities is shown by the solid line. *Bottom:* Residuals to the Keplerian fit.

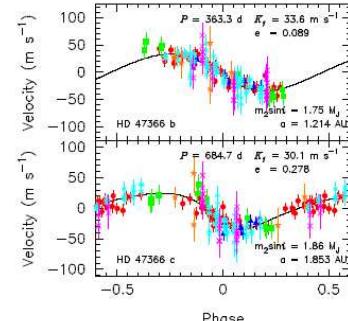


FIG. 5.— *Phased radial velocities and the Keplerian models for the inner (upper panel; signal of the outer planet is removed) and the outer (bottom panel; signal of the inner planet is removed) planet. The error bar for each point includes the extra Gaussian noise. The symbols are the same as those in figure 4.*

21

A PAIR OF GIANT PLANETS AROUND THE EVOLVED  
INTERMEDIATE-MASS STAR HD 47366: MULTIPLE CIRCULAR  
ORBITS OR A MUTUALLY RETROGRADE CONFIGURATION  
Sato, B. et al. 2016.03, ApJ, 819

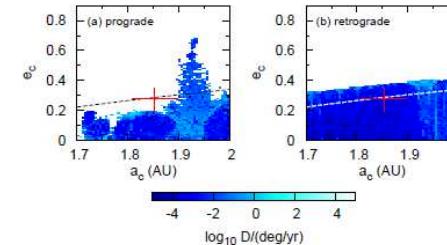


FIG. 9.— Mean motion diffusion  $D$  (stability index) of the HD47366 system. The best-fit orbital parameters are used as the initial parameters for the orbital integrations except for semi-major axis and eccentricity of planet c, whose best-fitted values are marked by red crosses with their  $1\sigma$  errors. The absolute mass of planets used in the simulations are  $m_b = 1.75 M_J$  and  $m_c = 1.86 M_J$  ( $i_b = i_c = 90^\circ$ ). The dashed lines show the orbit-crossing boundary where the apocenter distance of planet b is equal to the pericenter distance of planet c. (a) prograde coplanar configuration. (b) retrograde coplanar configuration.

Parameter	HD 47366 b	HD 47366 c
Period $P$ (days)	$363.4^{+2.5}_{-2.4}$	$684^{+5.9}_{-5.7}$
W. semi-amplitude $K_1$ ( $\text{m s}^{-1}$ )	$33.4^{+2.8}_{-2.5}$	$30.1^{+2.7}_{-2.7}$
Eccentricity $e$	$0.089^{+0.003}_{-0.003}$	$0.278^{+0.020}_{-0.020}$
Longitude of periastron $\omega$ (deg)	$106.1^{+1.1}_{-1.1}$	$132.1^{+1.1}_{-1.1}$
Periastron passage $T_p$ (JD -2450000)	$122^{+11}_{-11}$	$445^{+20}_{-20}$
Minimum mass $m_2 \sin(i)$ ( $M_J$ )	$1.75^{+0.35}_{-0.35}$	$1.81^{+0.17}_{-0.17}$
Semimajor axis $a$ (AU)	$1.214^{+0.035}_{-0.035}$	$1.853^{+0.015}_{-0.015}$
Semimajor axis ratio $a_b/a_c$	$0.6555^{+0.0011}_{-0.0012}$	
Extra gaussian noises for HIDES-S $s_1$ ( $\text{m s}^{-1}$ )	$8.4^{+1.933}_{-1.933}$	
Extra gaussian noises for HIDES-F $s_2$ ( $\text{m s}^{-1}$ )	$8.5^{+3.1}_{-3.1}$	
Extra gaussian noises for CESO-N $s_3$ ( $\text{m s}^{-1}$ )	$13.1^{+1.8}_{-1.8}$	$0^{+0.0}_{-0.0}$
Extra gaussian noises for HRS $s_4$ ( $\text{m s}^{-1}$ )	$0^{+0.0}_{-0.0}$	$0^{+0.0}_{-0.0}$
Extra gaussian noises for AAT $s_5$ ( $\text{m s}^{-1}$ )	$15.8^{+5.6}_{-5.6}$	
Velocity offset of HIDES-F $\Delta RV_{2-1}$ ( $\text{m s}^{-1}$ )	$38.3^{+4.2}_{-4.2}$	
Velocity offset of CESO-ARV <sub>3-1</sub> ( $\text{m s}^{-1}$ )	$50^{+11}_{-11}$	
Velocity offset of CESO-ARV <sub>4-1</sub> ( $\text{m s}^{-1}$ )	$25.3^{+4.7}_{-4.7}$	
Velocity offset of HRS ARV <sub>5-1</sub> ( $\text{m s}^{-1}$ )	$14.5^{+2.1}_{-2.1}$	
Velocity offset of AAT ARV <sub>6-1</sub> ( $\text{m s}^{-1}$ )	$20.5^{+5.8}_{-5.8}$	
Number of data of HIDES-F $N_1$	50	
Number of data of CESO-N $N_2$	7	
Number of data of CESO-N $N_3$	5	
Number of data of CESO-N $N_4$	26	
Number of data of HRS $N_5$	60	
Number of data of AAT $N_6$	13	
RMS ( $\text{m s}^{-1}$ )	14.7	

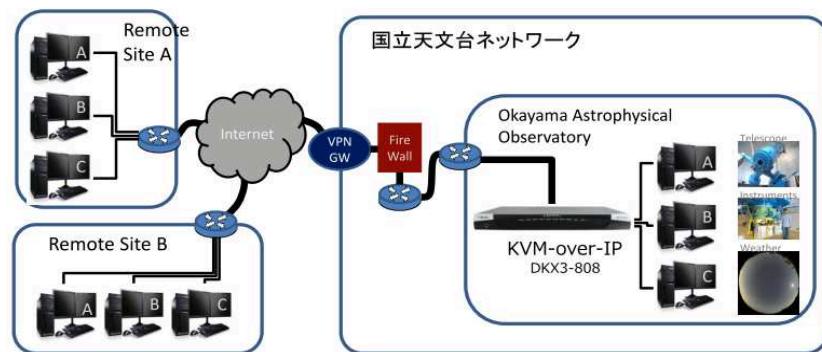
22

## Telescope, dome & instruments

- Telescope
  - Remote observing environment, provided for open-use from 2016A
  - Automatic observing environment, near the first release
- Dome
  - Major maintenance work
- Instruments
  - HIDES (high dispersion echelle spectrograph with I2 cell and fiber-link)
    - The fiber-link's high resolution mode with  $R=100,000$  has been open as a PI-type instrument since 2016A.
    - Astro comb has been installed to the Coude room of the 188 cm telescope.
  - KOOLS (optical imager and low resolution spectrograph)
    - Fiber bundle integral field spectroscopy unit has been accessible as a PI-type open-use instrument since 2015B.
  - ISLE (near infrared imager and low resolution spectrograph)
    - stable
  - MuSCAT (a multicolor simultaneous camera for studying atmospheres of transiting exoplanets)
    - Accessible as a PI-type open-use instrument since 2016B.

23

## Remote observing environment based on KVM-over-IP (K. Yanagisawa et al.)



Provided for the open-use since 2016A.

実績: 国立天文台三鷹、ABC、広大、東大(IPMU)、京大、東工大。2016Aで300時間余り、全共同利用提供時間の27%に達し、その後増え続けてきた。

24

## Remote observing environment based on KVM-over-IP (cont.)



- A は岡山観測所の端末
- B は、三鷹に設置した常設端末
- C は、可搬型端末で観測所から貸し出しをしている。用意した端末は2台。

いずれのリモート端末でも、Aの岡山観測所端末と同じ画面・音声出力が得られ、同様の操作が実現できる。

25

## Dome maintenance (E. Kambe & H. Tsutsui)

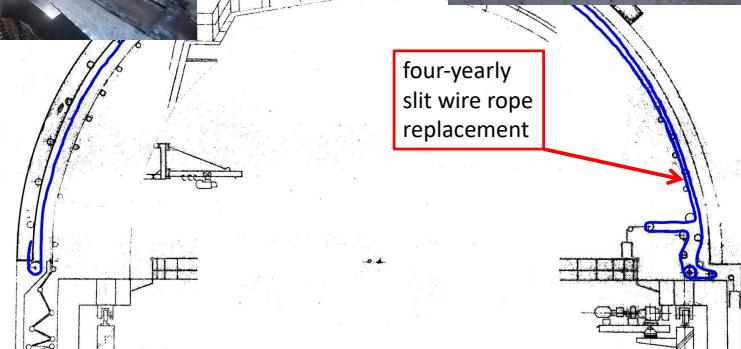
replacement of worn-out slit guide rail



repair and caulking of outer panels



four-yearly slit wire rope replacement



26

## 188cm望遠鏡の観測装置

- HIDES: 可視光高分散分光装置(観測所装置)
  - HIDES-FiberLink(科研費主体)
    - High Efficiency R~50,000、効率世界トップレベル
    - High Resolution R~120,000、分解能と効率世界トップレベル
- KOOLS: 可視光撮像分光装置(低分散)(京大から移転)
  - KOOLS-IFU(科研費主体)
    - 3.8m望遠鏡移行を前提にH28年末で共同利用からデコミッショニング
- ISLE: 近赤外線撮像分光装置(低中分散)(観測所装置)
  - I, J, H、Kバンドで撮像または分光を選択可能
  - 世界最高レベルの低読み出し雑音
  - アジア地域で近赤外分光機能を提供している唯一の装置
- MuSCAT: 3バンド同時撮像装置(科研費)
  - 系外惑星トランジット観測専用装置
  - g', r', z<sub>s</sub>' バンド同時撮像

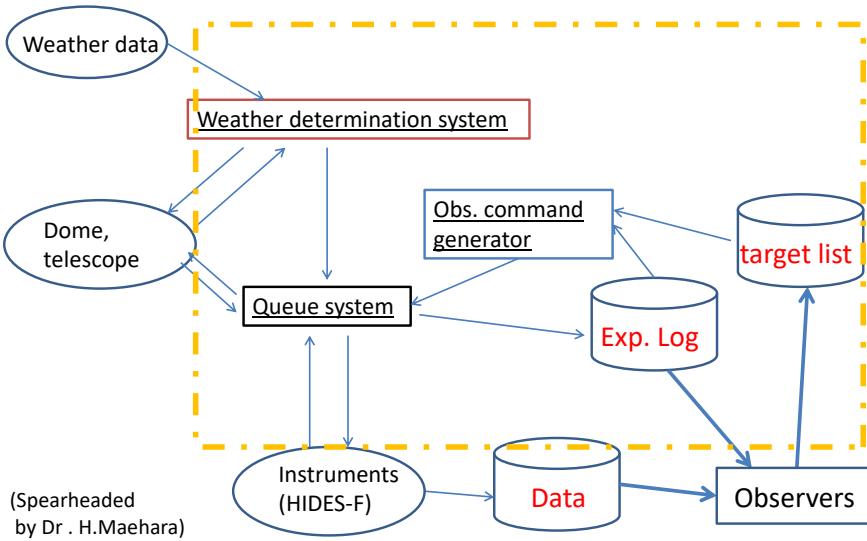
この他に  
新カセグレン分光器  
HBS  
TriSpec

## HIDES-F

- Proceeding to a robotic RV explorer
- Advance the 188-cm telescope and the high dispersion echelle spectrograph (HIDES) + Fiber-Feeding system into a robotic RV explorer.
- JSPS grant KIBAN(A) for the period of FY2016-2020.

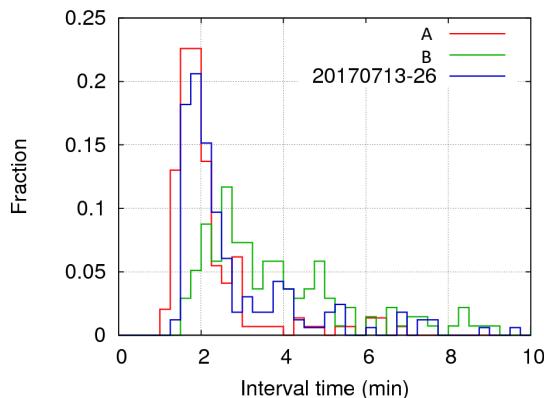
28

## Overview of the automated observing system



## Time-efficiency of observation

- Dead time between exposures: ~2min
  - CCD readout time: ~50sec
- Comparable to the skilled observer



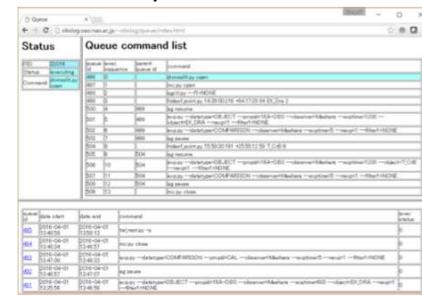
31

## Web based dashboards

### Auto guider (+ acquisition)

- ✓ Observing status can be checked via web browser.

### Queue system



### Exposure Log

OAO-188cm Exposure Log									
Auto refobs: 2017/10/10   2017/10/08 2017/10/09 2017/10/10 2017/10/11 2017/10/12									
Instrument: HIDES (Problem report form: Weather report form)									
ID	OBJECT	DATA TYPE	SET EXP.	EXP. TIME	OBSEVER	FILTER	CAL	CROSSID	COL. A/B/C/D/E
2017071300001	COMPAKON/COMPAKON	OBJECT	38.21.08	1.084	HD	1.78	1.78	1.78	Normal
2017071300002	COMPAKON/COMPAKON	OBJECT	38.21.08	1.084	HD	1.78	1.78	1.78	Normal
2017071300003	COMPAKON/COMPAKON	OBJECT	38.21.08	1.084	HD	1.78	1.78	1.78	Normal
2017071300004	COMPAKON/COMPAKON	OBJECT	38.21.08	1.084	HD	1.78	1.78	1.78	Normal
2017071300005	COMPAKON/COMPAKON	OBJECT	38.21.08	1.084	HD	1.78	1.78	1.78	Normal
2017071300006	COMPAKON/COMPAKON	OBJECT	38.21.08	1.084	HD	1.78	1.78	1.78	Normal
2017071300007	COMPAKON/COMPAKON	OBJECT	38.21.08	1.084	HD	1.78	1.78	1.78	Normal
2017071300008	COMPAKON/COMPAKON	OBJECT	38.21.08	1.084	HD	1.78	1.78	1.78	Normal
2017071300009	COMPAKON/COMPAKON	OBJECT	38.21.08	1.084	HD	1.78	1.78	1.78	Normal
2017071300010	COMPAKON/COMPAKON	OBJECT	38.21.08	1.084	HD	1.78	1.78	1.78	Normal
2017071300011	COMPAKON/COMPAKON	OBJECT	38.21.08	1.084	HD	1.78	1.78	1.78	Normal
2017071300012	COMPAKON/COMPAKON	OBJECT	38.21.08	1.084	HD	1.78	1.78	1.78	Normal
2017071300013	COMPAKON/COMPAKON	OBJECT	38.21.08	1.084	HD	1.78	1.78	1.78	Normal
2017071300014	COMPAKON/COMPAKON	OBJECT	38.21.08	1.084	HD	1.78	1.78	1.78	Normal
2017071300015	COMPAKON/COMPAKON	OBJECT	38.21.08	1.084	HD	1.78	1.78	1.78	Normal
2017071300016	COMPAKON/COMPAKON	OBJECT	38.21.08	1.084	HD	1.78	1.78	1.78	Normal
2017071300017	COMPAKON/COMPAKON	OBJECT	38.21.08	1.084	HD	1.78	1.78	1.78	Normal
2017071300018	COMPAKON/COMPAKON	OBJECT	38.21.08	1.084	HD	1.78	1.78	1.78	Normal
2017071300019	COMPAKON/COMPAKON	OBJECT	38.21.08	1.084	HD	1.78	1.78	1.78	Normal
2017071300020	COMPAKON/COMPAKON	OBJECT	38.21.08	1.084	HD	1.78	1.78	1.78	Normal
2017071300021	COMPAKON/COMPAKON	OBJECT	38.21.08	1.084	HD	1.78	1.78	1.78	Normal
2017071300022	COMPAKON/COMPAKON	OBJECT	38.21.08	1.084	HD	1.78	1.78	1.78	Normal
2017071300023	COMPAKON/COMPAKON	OBJECT	38.21.08	1.084	HD	1.78	1.78	1.78	Normal
2017071300024	COMPAKON/COMPAKON	OBJECT	38.21.08	1.084	HD	1.78	1.78	1.78	Normal
2017071300025	COMPAKON/COMPAKON	OBJECT	38.21.08	1.084	HD	1.78	1.78	1.78	Normal
2017071300026	COMPAKON/COMPAKON	OBJECT	38.21.08	1.084	HD	1.78	1.78	1.78	Normal
2017071300027	COMPAKON/COMPAKON	OBJECT	38.21.08	1.084	HD	1.78	1.78	1.78	Normal
2017071300028	COMPAKON/COMPAKON	OBJECT	38.21.08	1.084	HD	1.78	1.78	1.78	Normal
2017071300029	COMPAKON/COMPAKON	OBJECT	38.21.08	1.084	HD	1.78	1.78	1.78	Normal
2017071300030	COMPAKON/COMPAKON	OBJECT	38.21.08	1.084	HD	1.78	1.78	1.78	Normal
2017071300031	COMPAKON/COMPAKON	OBJECT	38.21.08	1.084	HD	1.78	1.78	1.78	Normal
2017071300032	COMPAKON/COMPAKON	OBJECT	38.21.08	1.084	HD	1.78	1.78	1.78	Normal
2017071300033	COMPAKON/COMPAKON	OBJECT	38.21.08	1.084	HD	1.78	1.78	1.78	Normal
2017071300034	COMPAKON/COMPAKON	OBJECT	38.21.08	1.084	HD	1.78	1.78	1.78	Normal
2017071300035	COMPAKON/COMPAKON	OBJECT	38.21.08	1.084	HD	1.78	1.78	1.78	Normal
2017071300036	COMPAKON/COMPAKON	OBJECT	38.21.08	1.084	HD	1.78	1.78	1.78	Normal
2017071300037	COMPAKON/COMPAKON	OBJECT	38.21.08	1.084	HD	1.78	1.78	1.78	Normal
2017071300038	COMPAKON/COMPAKON	OBJECT	38.21.08	1.084	HD	1.78	1.78	1.78	Normal
2017071300039	COMPAKON/COMPAKON	OBJECT	38.21.08	1.084	HD	1.78	1.78	1.78	Normal
2017071300040	COMPAKON/COMPAKON	OBJECT	38.21.08	1.084	HD	1.78	1.78	1.78	Normal
2017071300041	COMPAKON/COMPAKON	OBJECT	38.21.08	1.084	HD	1.78	1.78	1.78	Normal
2017071300042	COMPAKON/COMPAKON	OBJECT	38.21.08	1.084	HD	1.78	1.78	1.78	Normal
2017071300043	COMPAKON/COMPAKON	OBJECT	38.21.08	1.084	HD	1.78	1.78	1.78	Normal
2017071300044	COMPAKON/COMPAKON	OBJECT	38.21.08	1.084	HD	1.78	1.78	1.78	Normal
2017071300045	COMPAKON/COMPAKON	OBJECT	38.21.08	1.084	HD	1.78	1.78	1.78	Normal
2017071300046	COMPAKON/COMPAKON	OBJECT	38.21.08	1.084	HD	1.78	1.78	1.78	Normal
2017071300047	COMPAKON/COMPAKON	OBJECT	38.21.08	1.084	HD	1.78	1.78	1.78	Normal
2017071300048	COMPAKON/COMPAKON	OBJECT	38.21.08	1.084	HD	1.78	1.78	1.78	Normal
2017071300049	COMPAKON/COMPAKON	OBJECT	38.21.08	1.084	HD	1.78	1.78	1.78	Normal
2017071300050	COMPAKON/COMPAKON	OBJECT	38.21.08	1.084	HD	1.78	1.78	1.78	Normal
2017071300051	COMPAKON/COMPAKON	OBJECT	38.21.08	1.084	HD	1.78	1.78	1.78	Normal
2017071300052	COMPAKON/COMPAKON	OBJECT	38.21.08	1.084	HD	1.78	1.78	1.78	Normal
2017071300053	COMPAKON/COMPAKON	OBJECT	38.21.08	1.084	HD	1.78	1.78	1.78	Normal
2017071300054	COMPAKON/COMPAKON	OBJECT	38.21.08	1.084	HD	1.78	1.78	1.78	Normal
2017071300055	COMPAKON/COMPAKON	OBJECT	38.21.08	1.084	HD	1.78	1.78	1.78	Normal
2017071300056	COMPAKON/COMPAKON	OBJECT	38.21.08	1.084	HD	1.78	1.78	1.78	Normal
2017071300057	COMPAKON/COMPAKON	OBJECT	38.21.08	1.084	HD	1.78	1.78	1.78	Normal
2017071300058	COMPAKON/COMPAKON	OBJECT	38.21.08	1.084	HD	1.78	1.78	1.78	Normal
2017071300059	COMPAKON/COMPAKON	OBJECT	38.21.08	1.084	HD	1.78	1.78	1.78	Normal
2017071300060	COMPAKON/COMPAKON	OBJECT	38.21.08	1.084	HD	1.78	1.78	1.78	Normal
2017071300061	COMPAKON/COMPAKON	OBJECT	38.21.08	1.084	HD	1.78	1.78	1.78	Normal
2017071300062	COMPAKON/COMPAKON	OBJECT	38.21.08	1.084	HD	1.78	1.78	1.78	Normal
2017071300063	COMPAKON/COMPAKON	OBJECT	38.21.08	1.084	HD	1.78	1.78	1.78	Normal
2017071300064	COMPAKON/COMPAKON	OBJECT	38.21.08	1.084	HD	1.78	1.78	1.78	Normal
2017071300065	COMPAKON/COMPAKON	OBJECT	38.21.08	1.084	HD	1.78	1.78	1.78	Normal
2017071300066	COMPAKON/COMPAKON	OBJECT	38.21.08	1.084	HD	1.78	1.78	1.78	Normal
2017071300067	COMPAKON/COMPAKON	OBJECT	38.21.08	1.084	HD	1.78	1.78	1.78	Normal
2017071300068	COMPAKON/COMPAKON	OBJECT	38.21.08	1.084	HD	1.78	1.78	1.78	Normal
2017071300069	COMPAKON/COMPAKON	OBJECT	38.21.08	1.084	HD	1.78	1.78	1.78	Normal
2017071300070	COMPAKON/COMPAKON	OBJECT	38.21.08	1.084	HD	1.78	1.78	1.78	Normal
2017071300071	COMPAKON/COMPAKON	OBJECT	38.21.08	1.084	HD	1.78	1.78	1.78	Normal
2017071300072	COMPAKON/COMPAKON	OBJECT	38.21.08	1.084	HD	1.78	1.78	1.78	Normal
2017071300073	COMPAKON/COMPAKON	OBJECT	38.21.08	1.084	HD	1.78	1.78	1.78	Normal
2017071300074	COMPAKON/COMPAKON	OBJECT	38.21.08	1.084	HD	1.78	1.78	1.78	Normal
2017071300075	COMPAKON/COMPAKON	OBJECT	38.21.08	1.084	HD	1.78	1.78	1.78	Normal
2017071300076	COMPAKON/COMPAKON	OBJECT	38.21.08	1.084	HD	1.78	1.78	1.78	Normal
2017071300077	COMPAKON/COMPAKON	OBJECT	38.21.08	1.084	HD	1.78	1.78	1.78	Normal
2017071300078	COMPAKON/COMPAKON	OBJECT	38.21.08	1.084	HD	1.78	1.78	1.78	Normal
2017071300079	COMPAKON/COMPAKON	OBJECT	38.21.08	1.084	HD	1.78	1.78	1.78	Normal
2017071300080	COMPAKON/COMPAKON	OBJECT	38.21.08	1.084	HD	1.78	1.78	1.78	Normal
2017071300081	COMPAKON/COMPAKON	OBJECT	38.21.08	1.084	HD	1.78	1.78	1.78	Normal
2017071300082	COMPAKON/COMPAKON	OBJECT	38.21.08	1.084	HD	1.78	1.78	1.78	Normal
2017071300083	COMPAKON/COMPAKON	OBJECT	38.21.08	1.084	HD	1.78	1.78	1.78	Normal
2017071300084	COMPAKON/COMPAKON	OBJECT	38.21.08	1.084	HD	1.78	1.78	1.78	Normal
2017071300085	COMPAKON/COMPAKON	OBJECT	38.21.08	1.084	HD	1.78	1.78	1.78	Normal
2017071300086	COMPAKON/COMPAKON	OBJECT	38.21.08	1.084	HD	1.78	1.78	1.78	Normal
2017071300087	COMPAKON/COMPAKON	OBJECT	38.21.08	1.084	HD	1.78	1.78	1.78	Normal
2017071300088	COMPAKON/COMPAKON	OBJECT	38.21.08	1.084	HD	1.78	1.78	1.78	Normal
2017071300089	COMPAKON/COMPAKON	OBJECT	38.21.08	1.084	HD	1.78	1.78	1.78	Normal
2017071300090	COMPAKON/COMPAKON	OBJECT	38.21.08	1.084	HD	1.78	1.78	1.78	Normal
2017071300091	COMPAKON/COMPAKON	OBJECT	38.21.08	1.084					

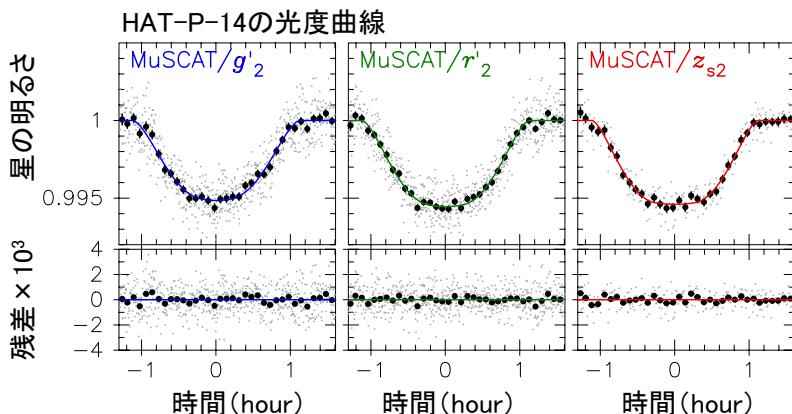
## ISLE (Near-infrared camera and spectrograph)



2008/05/26

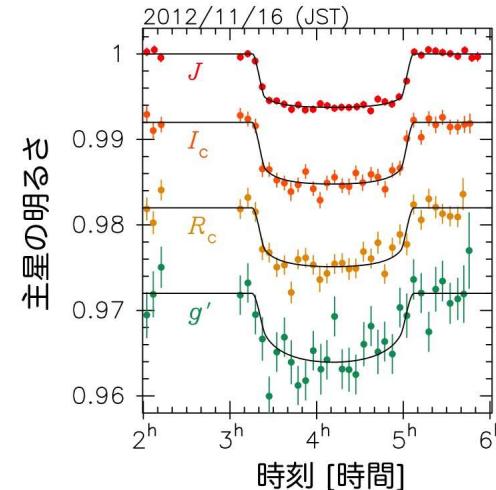
33

Demonstrating High-precision, Multiband Transit Photometry with MuSCAT: A Case for HAT-P-14b,  
Fukui et al. 2016, ApJ, 819, 27



MuSCATで観測されたホットジュピターHAT-P-14bのトランジット光度曲線(左からg, r, z  
バンド)。V=10の主星に対し、1分間あたり0.05%の相対測光精度が達成された

## スーパーイース(海王星質量)GJ3470bの大気調査の観測例



<http://www.oao.nao.ac.jp/public/research/gj3470b/>

岡山天体物理観測所の口径50cmと188cmの望遠鏡で得られた、スーパーイース(海王星質量)GJ3470bのトランジットの観測データ。横軸は時刻、縦軸は主星の明るさを表す。一番上のプロット(赤)は188cm望遠鏡+ISLEで得られた近赤外線のデータ、下の3つのプロット(橙、黄、緑)は50cm MITSuME望遠鏡で得られた可視光のデータ。

2時間近くにわたり主星の明るさが約0.6%暗くなっている。また、波長により暗くなり方が僅かに異なっている。

Fukui et al. 2013

水素を主体とする晴れの大気を持つ惑星であることを主張、報告した。

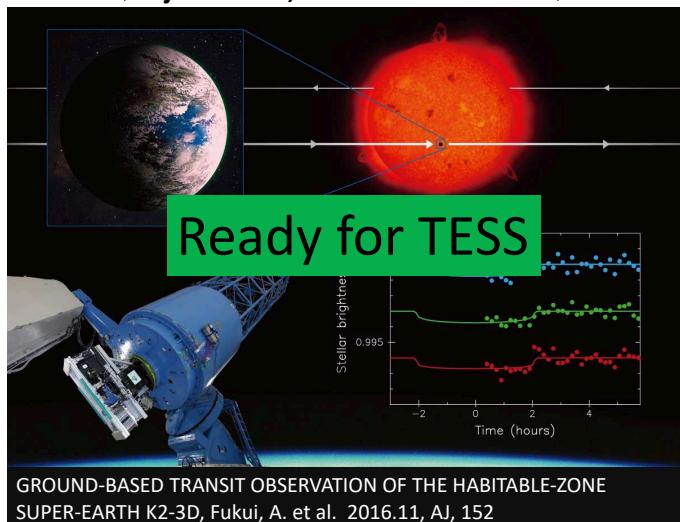
34

## MuSCAT (only recent results)

- Gaudi, et al. "A giant planet undergoing extreme-ultraviolet irradiation by its hot massive-star host", 2017.06, Nature, 546, 514-518,
- Narita, N., Hirano, T., Fukui, A., Hori, Y., Dai, F., Yu, L., Livingston, J., Ryu, T., Nowak, G., Kuzuhara, M., Sato, B., Takeda, Y., Albrecht, S., Kudo, T., Kusakabe, N., Palle, E., Ribas, I., Tamura, M., Van Eylen, V., Winn, J. N. "The K2-ESPRINT project. VI. K2-105 b, a hot Neptune around a metal-rich G-dwarf", 2017.02, PASJ, 69, id.29(12pp.)
- Onitsuka, M., Fukui, A., Narita, N., Hirano, T., Kusakabe, N., Ryu, T., Tamura, M., "Multi-color simultaneous photometry of the T-Tauri star with planetary candidate, CVSO 30", 2017.02, PASJ, 69, L2(6pp.)
- Fukui, A., Livingston, J., Narita, N., Hirano, T., Onitsuka, M., Ryu, T., Kusakabe, N. "GROUND-BASED TRANSIT OBSERVATION OF THE HABITABLE-ZONE SUPER-EARTH K2-3D", 2016.11, AJ, 152, 171(12pp.).

36

**Timing the Shadow of a Potentially Habitable Extrasolar Planet  
Paves the Way to Search for Alien Life  
(Object:K2-3d, instrument: MuSCAT)**



37

## KOOLS-IFU

- Low dispersion optical spectrograph with an integral field unit of a fiber bundle
- Under upgrade for the 3.8m telescope
- Cryostat modified/improved
- Refrigerator maintenance made
- CCD replaced: SITe 2k x4k -> Hamamatsu 2k x4k (better cosmetics)
- Electronics replaced: Messia5+Mfront -> Messia6+Mfront2 (1/5 lower noise, faster read-out)
- Order sorting filter replaced (for red region) (x1.13 better transmission)
- Dispersion elements replaced: Classical -> VPH (x2.5 better efficiency)
- Works mainly done by K. Matsubayashi(KU->OAO) supported by K. Ohta(KU) and NAOJ(ATC, OAO, etc.)
- Total throughput improved by a factor ~3(to be verified)
- Read noise limit improved by a factor ~15(to be verified)
- See details here  
[http://www.oao.nao.ac.jp/stockroom/extra\\_content/um17/O14\\_Ohta.pdf](http://www.oao.nao.ac.jp/stockroom/extra_content/um17/O14_Ohta.pdf)

38

## NameExoWorlds



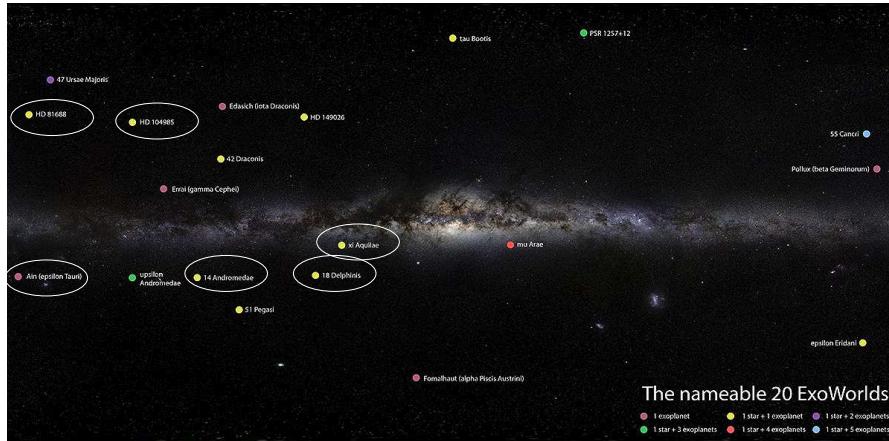
39

## NameExoWorlds

- Naming contest for exoplanets led by IAU
  - まず、性質のよく定めた2600の恒星を巡る305の惑星から20系を選出へ。
    - 世界中の関心のある人々による、既存の或いは新たに作られたクラブからの投票により選出。
    - 岡山天体物理観測所が発見に関わった惑星系がその20の中にも6つエンター。
  - 選出された20系に対し、既存の或いはさらに新たに作られたクラブにより名前が提案された。
  - 提案された名前に対し、世界中のすべての人が有権者として投票が呼びかけられた。
- epsilon Tau(おうし座イプシロン星 = "Ain") : 世界初の散開星団星の系外惑星
  - Ain / Amateru (吳市かまがり天体観測館)
- 14 Andromedae(アンドロメダ座14番星):
  - Veritas / Spes (Royal Astronomical Society of Canada, Thunder Bay Center, Canada)
- xi Aquilae(わし座カイ星):
  - Liberty / Fortitude (法政大学学生団体「Libertyer!」)
- HD 104985(きりん座の恒星): 国内初の系外惑星
  - Tonatiuh / Meztli (Sociedad Astronomica Urania, Mexico)
- 18 Delphini(いるか座18番星):
  - Musica / Arion (徳島県立城南高等学校科学部)
- HD 81688(おおぐま座の恒星):
  - Intercrus / Arkas (天文同好会「岡山アストロクラブ」)

40

# 太陽系外惑星命名キャンペーン NameExoWorlds



岡山で見つけた eps Tau, 14 And, ksi Aql, HD 104985, 18 Del, HD 81688の6星を巡る系外惑星たちに投票で名前がつけられた。2015年12月15日に投票結果が示された(NHK全国ニュースでも報道された)。

## Results: future planning “Requests from OAO users”

「国立天文台 岡山天体物理観測所 188cm望遠鏡  
共同利用の京都大学3.8m望遠鏡への移行に関する要望書」

岡山天体物理観測所 共同利用ユーザー一同  
2015年12月7日

[http://www.oao.nao.ac.jp/oaweb/wp-content/uploads/RequestOAO\\_151207.pdf](http://www.oao.nao.ac.jp/oaweb/wp-content/uploads/RequestOAO_151207.pdf)

43

December 15, 2015  
NHK News Watch 9

2015年12月15日(火)  
太陽系以外の4惑星に日本から提案の名前採用



42

## まとめ：岡山天体物理観測所の全望遠鏡の 共同利用を終わるに当たって

- 論文の数は、観測所ファシリティを、強い関心を持って使ってくれる研究者の数にだいたい比例。
- その研究者の数は、地上中口径望遠鏡では、特徴ある観測装置の数にだいたい比例。
- つまり、岡山天体物理観測所が最後まで高いアクティビティを発揮できたのは、
  - 共同利用ユーザーの多大なる精神エネルギー投入の賜物
  - ユーザーの期待に応えようとしてきた観測所員の努力の賜物
  - それらが観測所予算の確保も可能とし、一層の向上にも繋がったと言えると思います。みなさまのこれまでのご支持とご努力に改めて感謝いたします。本当にありがとうございました。
- この12月末で共同利用観測がすべて終了いたします。
- 来年から、また新たな時代を築いて行くことになります。
- 今後の一層のご支援とご貢献をよろしくお願いいたします。

44

## Further reading

- 岡山天体物理観測所40周年記念誌
- 岡山天体物理観測所50周年記念誌

2017年12月22日 天文学技術シンポジウム(倉敷市芸文館) 講演  
13:10-14:00 (講演)+10分質疑応答

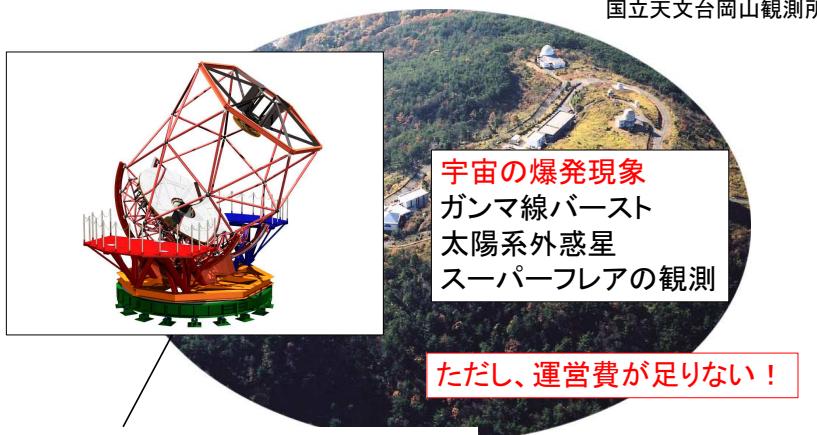
## 太陽の脅威とスーパーフレア

柴田一成

京都大学理学研究科 附属天文台 教授・台長  
京都大学宇宙総合学研究ユニット 副ユニット長

1

京大岡山3.8m望遠鏡(2018年観測開始予定)  
**東アジア最大!** (京大岡山天文台)

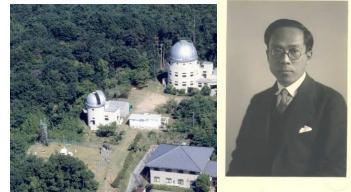


### 3.8m望遠鏡(2018年観測開始予定)

3

京都大学大学院 理学研究科 附属天文台

花山天文台



# 太陽系、太陽観測で世界的成果 日本のアマチュア天文学 発祥の地 (山本一清 初代台長)

京都市山科区 創立:1929年

飛驥天文台



岐阜県高山市 創立:1968年

2

京 市 長 森 田 一 親 ( 外 刊 ) 2014 年 ( 平 成 26 年 ) 5 月 14 日 水 曜 日 7 版

# 花山天文台 運営ピンチ

国の予算獲得難しく

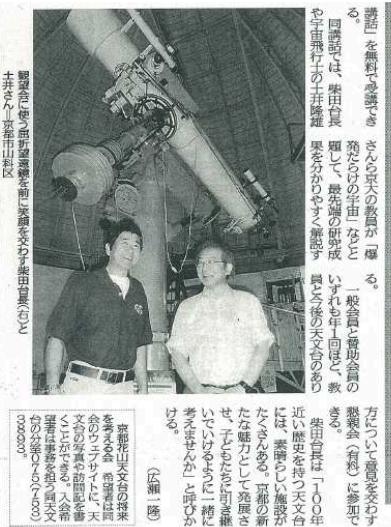
基金設けて寄付募る

アマチア天文台の発祥地といわれる京都太山天文台(京都市山科区)が、存続の危機に直面している。国の予算猶豫で年々縮小になり、運営費の捻出が厳しくなったため。歴史的な財産を主に引き継ぎうつて所管する京大理学研究科付属天文台は基金を設け、個人や企業から寄付を募っている。

# 「花山天文台の将来を考える会」

(代表:尾池和夫、副代表:土井隆雄)

ぜひご参加を!



京都新聞 2017年 7月4日  
2017年7月4日(火) 京都

第3種郵便物認可

25 情報ワイド

## 観望会や天文講話開く

花山天文台の将来を考える会の会場で、多くの来場者が双眼鏡で観察している様子が写されています。右側には「一緒にやろうよ」と書かれたイラストが掲載されています。

花山天文台の将来を考える会の開催についての記事全文は、京都新聞のウェブサイトで確認できます。<http://www.kwasan.kyoto/index.html>

<http://www.kwasan.kyoto/index.html>

京都  
花山天文台の将来を考える会

トップページ 会の概要 天文台紹介 将来計画 企業・個人の方へ 賛同メッセージ お問い合わせ

花山天文台本館（撮影：Creative Office Haruka）

別館18cm屈折サートリウス望遠鏡（撮影：Creative Office Haruka）

観望会の様子 本館ドーム内

ぜひご参加を！

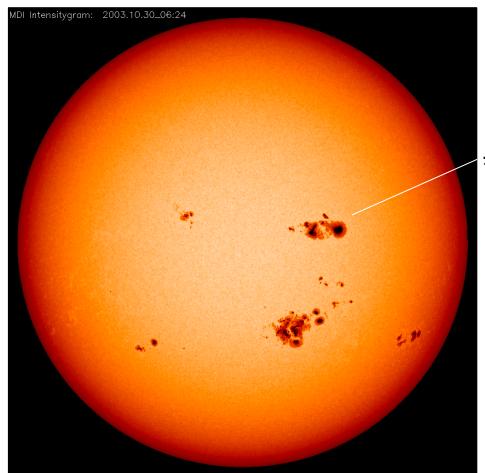
6

## 本日の講演内容 太陽の脅威とスーパーフレア

- 太陽の正体一爆発だらけ
- ひので衛星が見た最新太陽像
- 太陽活動の地球への影響
- ちょっとこわい話: スーパーフレアの発見

## 太陽の正体 一爆発だらけ

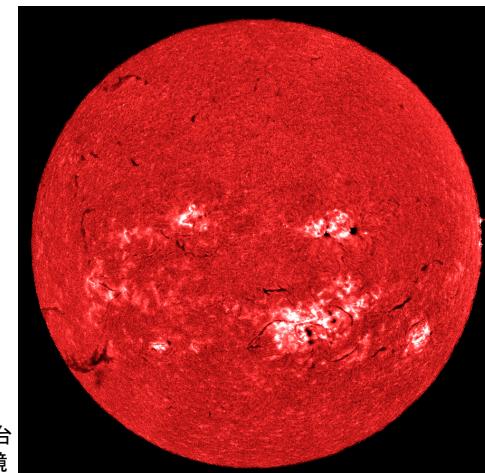
## 可視光で見た太陽 (光球=6000度)



SOHO  
(NASA&ESA)

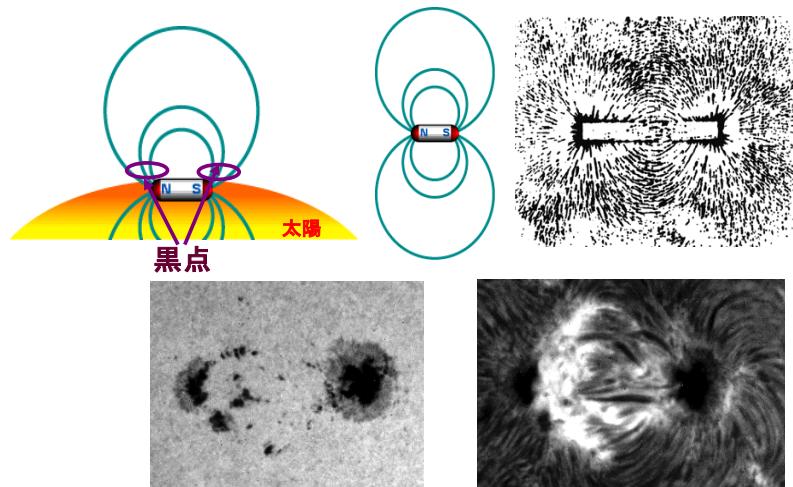
9

## H $\alpha$ 線(水素原子のスペクトル線)で見た太陽 (彩層=1万度: 光球の上層大気)



10

## 黒点の正体=巨大な磁石



11

## 太陽コロナ



コロナは100万度もの超高温状態にある(1940年代発見)  
(グロトリアン、エドレン、宮本正太郎(京大花山天文台3代台長))  
なぜ、こんなに超高温になっているのか?  
天文学最大のなぞの一つ

12

## 太陽フレア

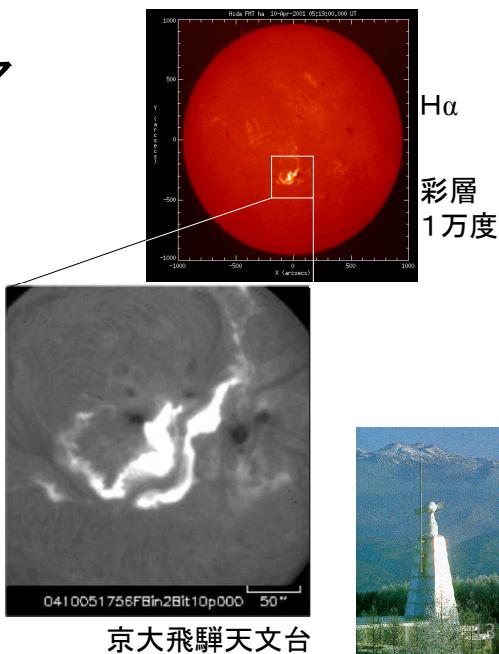
19世紀中頃発見

黒点近傍で発生=>  
磁気エネルギーが源

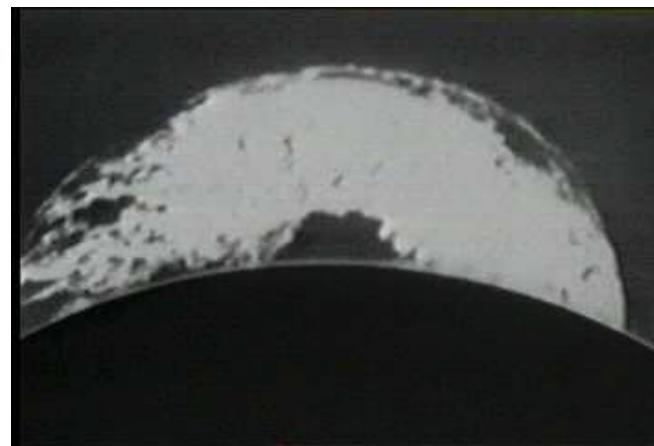
サイズ~(1~10)万km  
全エネルギー

$10^{29} - 10^{32}$ erg  
(水爆10万~1億個)  
太陽系最大の爆発現象

発生メカニズムが  
1世紀以上謎



## 太陽プロミネンス噴出 (史上最大:1946年6月4日:米国)



14

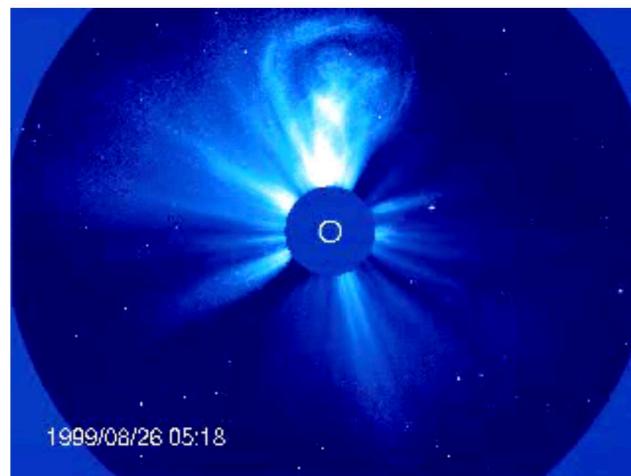
1992/01/12



コロナは爆発  
(フレア)だらけ！

軟X線(1 keV)  
200万度~数千万度

## コロナ質量放出(CME) (SOHO/LASCO, 可視光/人工日食)



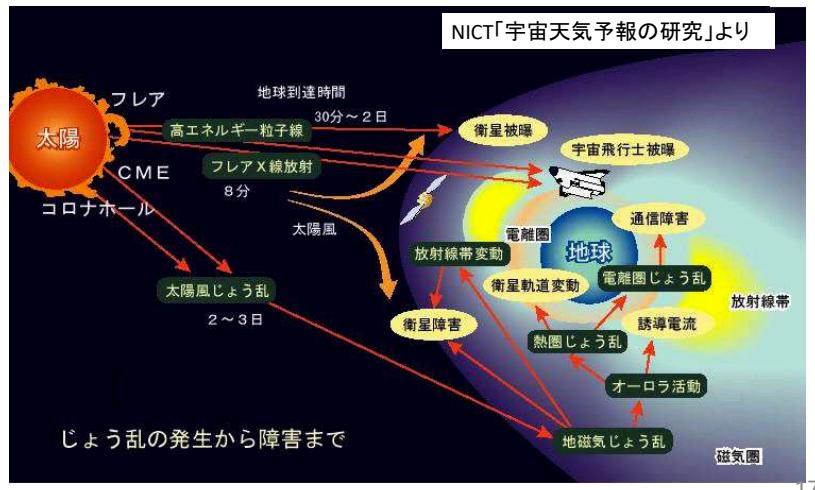
常に  
太陽から  
流れ出し  
ているのは  
太陽風

速度: 100~1000km/s、質量: 10億~100億トン

16

18-

## 太陽活動は地球環境に様々な被害をもたらす=>「宇宙天気予報」が必要



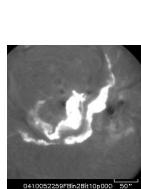
17

## 太陽の謎

- 太陽面爆発(フレア)の発生メカニズムは何か？ フレア発生の予報(宇宙天気予報)は可能か？
- コロナはいかにして100万度もの超高温に加熱されているのか？
- 太陽活動の元となる磁場、すなわち、黒点はいかにして生成されたのか？

18

音楽家・喜多郎作の楽曲「古事記」  
第4楽章「おろち」  
に合わせて、  
太陽の爆發現象の  
驚くべき映像を上映(7分7秒)



19

DVD「古事記と宇宙」(全46分)  
講演後、サインつきで発売！

### 内容紹介

神話と宇宙を音楽と映像で融合!  
歴史的評価を得た“喜多郎”的代表作「古事記」に合わせ、京都大学 花山天文台台長である喜多郎と柴田一成の宇宙をまたにかけた奇跡のコラボレーションがここに！！

### 【収録内容】

- 「太始 Hajimari」(5:33) 宇宙初期の大規模構造形成と銀河形成シミュレーション
- 「創造 Sozo」(3:39) 太陽系内の惑星と衛星
- 「恋慕 Koi」(6:31) 天の川、星団、星雲、銀河
- 「大蛇 Orochi」(7:07) 太陽フレア、プロミネンス噴出、X線で見たコロナ
- 「嘆 Nageki」(5:48) オーロラ
- 「饗宴 Matsuri」(9:01) 日食、コロナ、プロミネンス、彩層
- 「黎明 Reimeい」(8:43) 世界の宇宙学の歴史と未来

企画・監修: 柴田一成  
音楽: 喜多郎



アマゾンでも買えます！

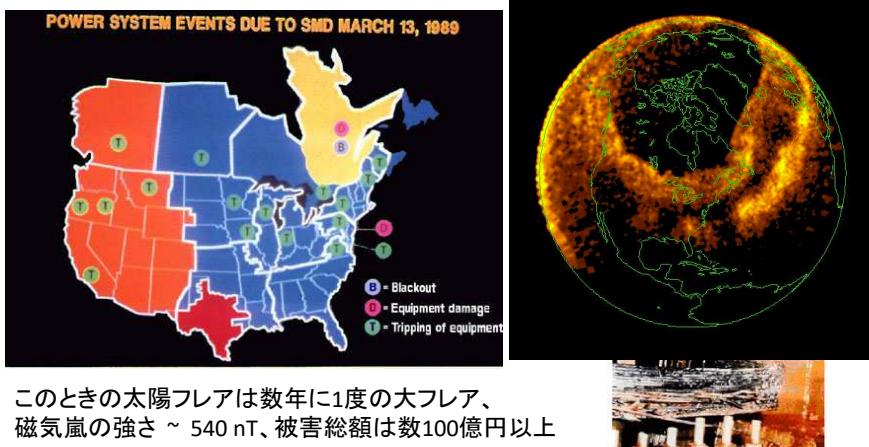
定価4104円=>特価4000円

-19-

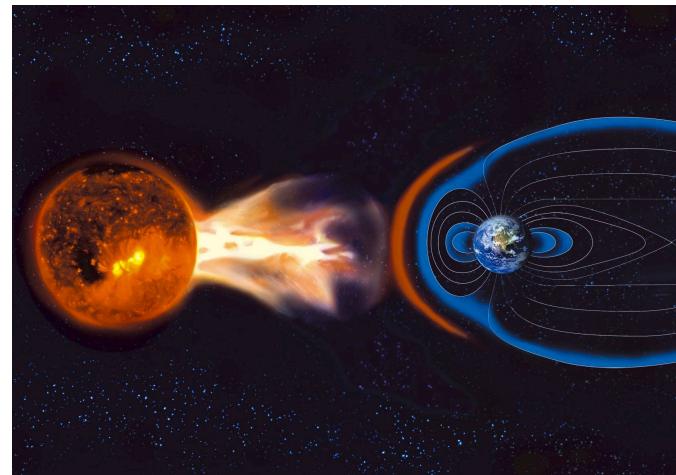
## 太陽活動の地球への影響

21

磁気嵐が原因で発生した1989年3月13日の  
カナダ・ケベック州の大停電  
(600万人が9時間停電の被害を受ける)



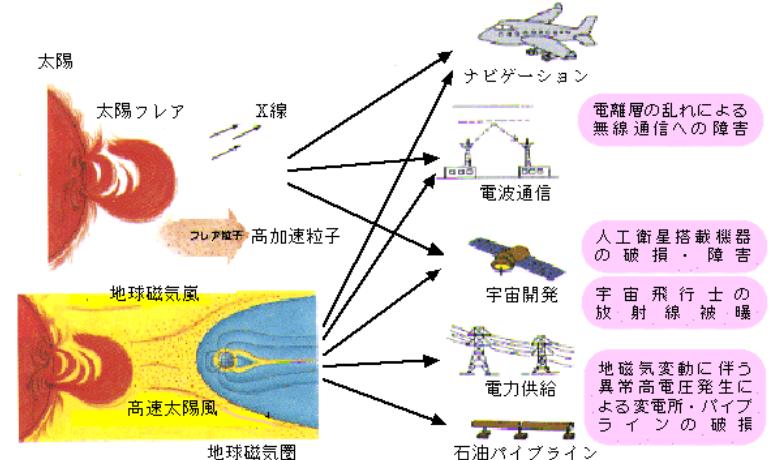
## 太陽フレア、太陽風－オーロラ 説明図



22

## 太陽活動の脅威

太陽の活動は現代の情報化・IT化した文明社会に多大な影響を与えます。



「宇宙天気予報」が緊急の課題

(c) NICT

24

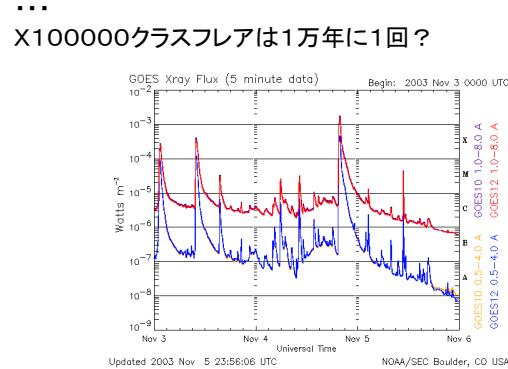
## ちょっと こわい話

25

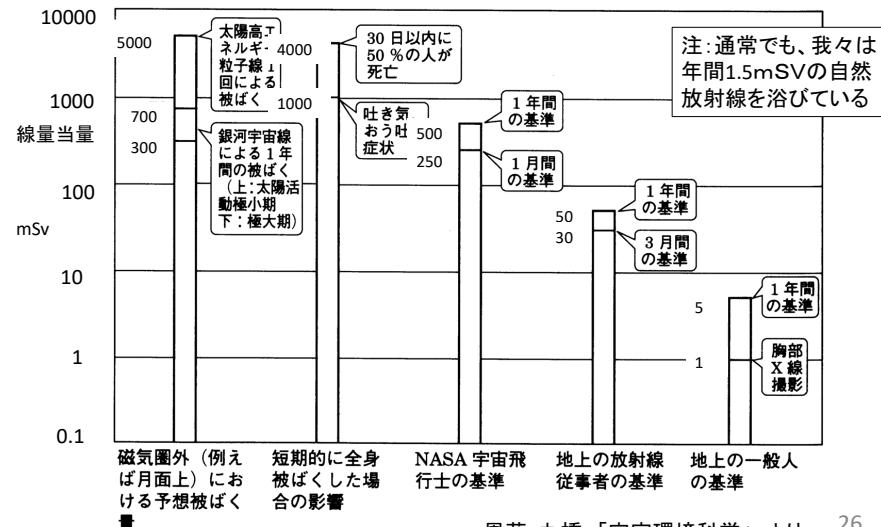
### 巨大フレアの発生頻度 (GOES クラス分類:X線強度で分類)

- 年 X M C
- -----
- 1989 59 620 1929 Cクラスフレアは1年に1000回
- 1990 16 273 2262 Mクラスフレアは1年に100回
- 1991 54 590 2653 Xクラスフレアは1年に10回
- 1992 10 202 1922 X10クラスフレアは1年に1回
- 1993 0 74 1142 X100クラスフレアは10年に1回
- 1994 0 25 336 ...
- 1995 0 11 148
- 1996 1 4 81
- 1997 3 21 286
- 1998 14 94 1188
- 1999 4 170 1854
- 2000 17 215 2223
- 2001 21 310 2101

X線強度が10倍になると発生頻度が10分の1になる



## 太陽放射線による被爆の危険性



26

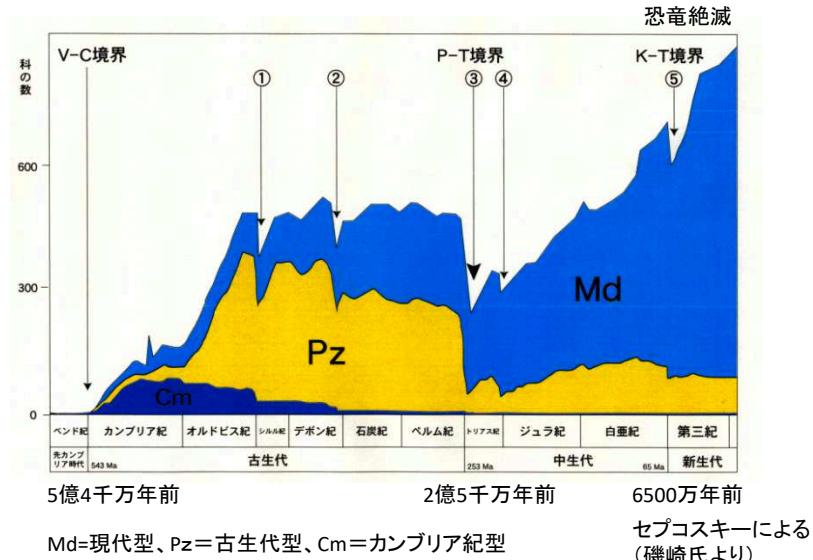
-21-

## 太陽と生命、人間

- 過去に超巨大フレアが起きて生命に影響を与えたかもしれない  
恐竜の絶滅原因は超巨大フレアか？

28

## 生命の大量絶滅



## 太陽と生命、人間

- 過去に超巨大フレアが起きて生命に影響を与えたかもしれない  
恐竜の絶滅原因は超巨大フレアか？
- 生まれたばかりの星は超巨大フレア(太陽フレアの100万倍の強度)を起こしていることが判明

30

ただし

- 太陽はすでに若くなく、自転速度も遅いので、現在は、それほど大きなフレアは起きないと予想される。ご安心を。
- と、最近まで思っていたが、、、

驚くべき発見があった

31

2011年9月19日 天文学会秋季年会 @ 鹿児島大学

## 太陽型星における スーパーフレアの発見 I

○柴山拓也、柴田一成、前原裕之、本田敏志、野上大作、野津湧太、野津翔太、長尾崇史、草場哲(京都大学)、新井彰(京都産業大学)

32

## スーパーフレアを観測するには どうすれば良いか？

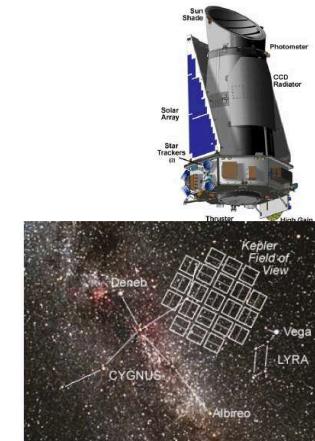
- 最大級の太陽フレアの1000倍のスーパーフレアは、1万年に1回程度の頻度で起きる可能性がある。
- 太陽の望遠鏡観測は始まってまだ400年。
- 太陽を1万年「観測」するにはどうすれば良いか？
- 太陽型星を1万個、1年間観測すれば、太陽を1万年観測したのと同等のデータが得られる！

ケプラー衛星の観測データを使えば良い(関口さん)

33

## ケプラー衛星

- 太陽系外惑星探査衛星
- 惑星が中心星の前を通過するとき、星の明るさが少し減少する。それを検出することにより、惑星を検出。
- 95 cm 口径の反射望遠鏡
- はくちょう座と琴座の16万個の星を常時モニター観測  
そのうち、約半分の8万個が太陽型星
- 30分間隔の観測データを公開



34

## スーパーフレア探査開始！

- 系外惑星探査衛星「ケプラー」は、8万個の太陽型星を常時モニター観測している！しかし、8万個の星の観測データを解析するのは大変。人手が必要
- そうだ！ひまと余している、京大の1回生を動員しよう
- 物理の授業で呼びかけた「誰か一緒にスーパーフレアを探しませんか？どうせ君らは、ひまでしょ、、、」
- そしたら、5人の若者が集まった(柴山、野津、野津、長尾、草場) (2010年)



- それで観測された太陽型恒星のデータ中に、スーパーフレアの証拠を探してみた。
- そしたら、148の太陽型星で365例のスーパーフレアを発見！ (2011年)

## LETTER 世界的な雑誌 Nature に出版 (2012年5月)

### Superflares on solar-type stars

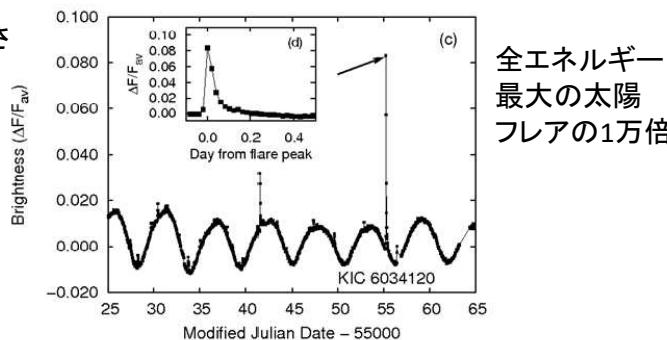
Hiroyuki Maehara<sup>1</sup>, Takuoya Shibayama<sup>1</sup>, Shota Notsu<sup>1</sup>, Yuta Notsu<sup>1</sup>, Takashi Nagao<sup>1</sup>, Satoshi Kusaba<sup>1</sup>, Satoshi Honda<sup>1</sup>, Daisaku Nogami<sup>1</sup> & Kazunari Shibata<sup>1</sup>

京大学部生(3回生)

Solar flares are caused by the sudden release of magnetic energy stored near sunspots. They release  $10^{29}$  to  $10^{32}$  ergs of energy on a timescale of hours<sup>1</sup>. Similar flares have been observed on many stars, with larger 'superflares' seen on a variety of stars<sup>2,3</sup>, some of which are rapidly rotating<sup>4,5</sup> and some of which are of ordinary solar type<sup>6,7</sup>. The small number of superflares observed on solar-type stars has hitherto precluded a detailed study of them. Here we report observations of 365 superflares, including some from slowly rotating solar-type stars, from about 83,000 stars observed over 120 days. Quasi-periodic brightness modulations observed in the solar-type stars suggest that they have much larger starspots than does the Sun. The maximum energy of the flare is not correlated with the stellar rotation period, but the data suggest that superflares occur more frequently on rapidly rotating stars. It has been proposed that hot Jupiters may be important in the generation of superflares on solar-type stars<sup>7</sup>, but none have been discovered around the stars that we have studied, indicating that hot Jupiters associated with superflares are rare.

We searched for stellar flares on solar-type stars (sequence stars) using data collected by NASA's Kepler<sup>8</sup>. The period from April 2009 to December 2009 (a brief flare search method is described in the legend of Fig. 1a is provided in Supplementary Information). We use temperature ( $T_{\text{eff}}$ ) and the surface gravity ( $\log(g)$ ) available Kepler Input Catalog<sup>9</sup> to select solar-type stars. The selection criteria are as follows:  $5,100 \text{ K} \leq T_{\text{eff}} < 6,000 \text{ K}$ ,  $\log(g) \geq 4.0$ . The number of solar-type stars are 9,751 for quarter 0 of the Kepler mission. The length of observation period is about 10 d), 75,728 for quarter 1 (2010 d), 83,094 for quarter 2 (90 d) and 3,691 for quarter 3 (90 d). We found 365 superflares (flares with energy  $> 10^{30}$  ergs) on solar-type stars (light curves of each flare are shown in Supplementary Fig. 8 and properties of each flare are summarized in Supplementary Table 1). The durations of the detected flares are typically a few hours, and their amplitudes are generally 0.1–1% of the stellar luminosity. The bolometric luminosities of each flare were estimated from the light curve and the bolometric correction of the star.

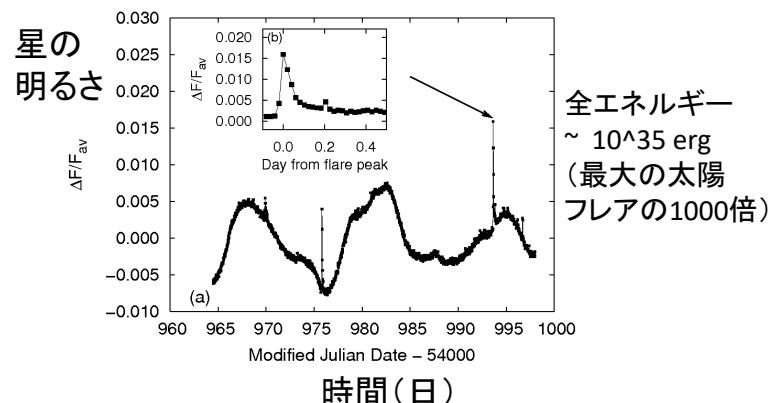
# 星の明るさの変動の原因は 何か？



# 巨大黒点のある星の自転が原因？

3

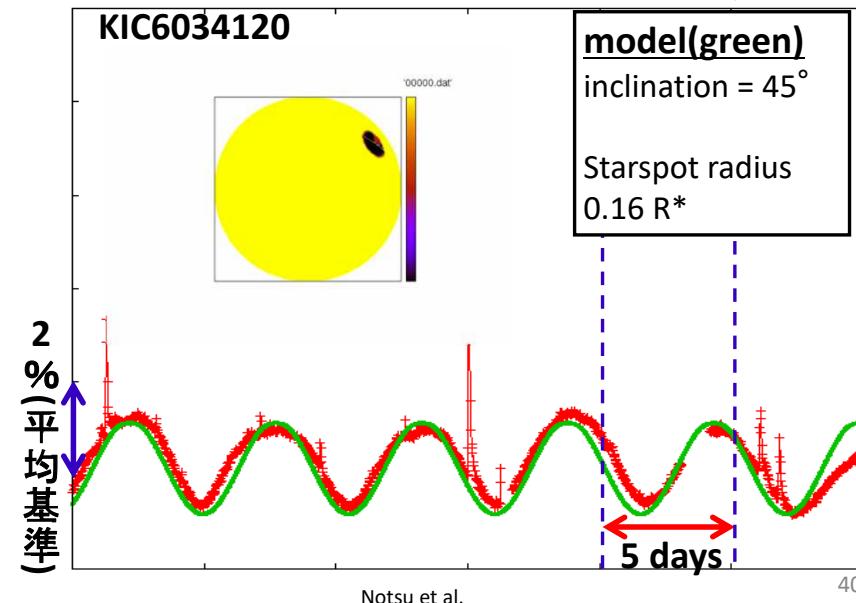
## ケプラー衛星によって観測された スーパーフレア(例1)



Maehara et al. (2011)

38

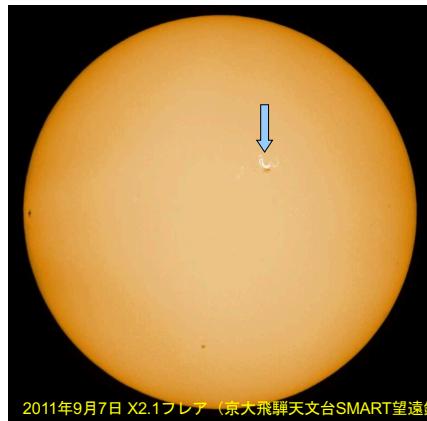
## 黒点による星の明るさ変化のモデル計算



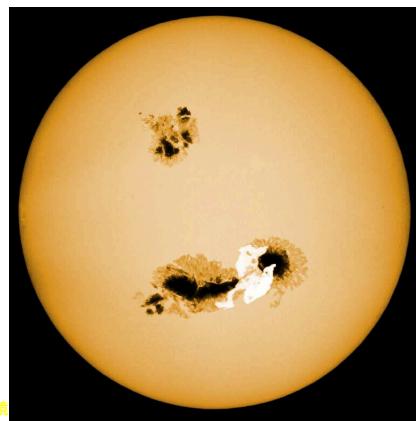
Notsu et al.

40

太陽フレア  
(実際の観測)

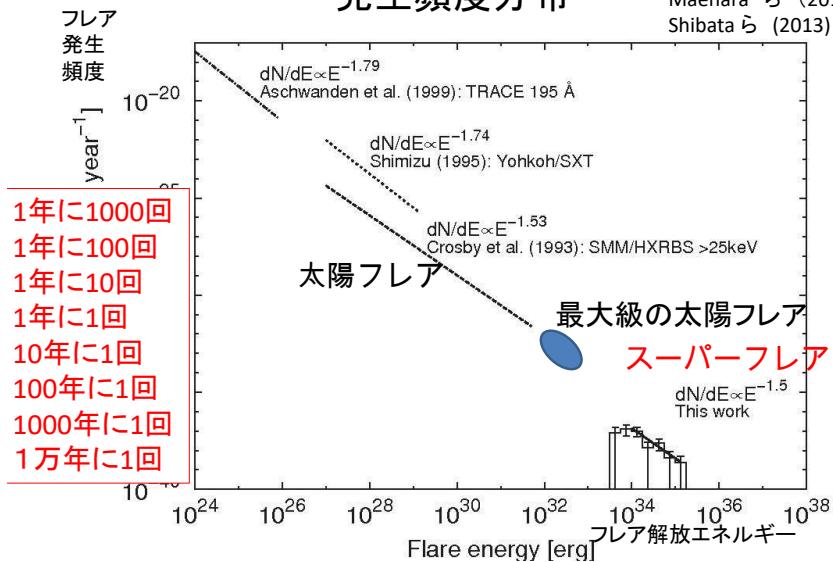


スーパーフレアの  
想像図



太陽フレアとスーパーフレアの  
発生頻度分布

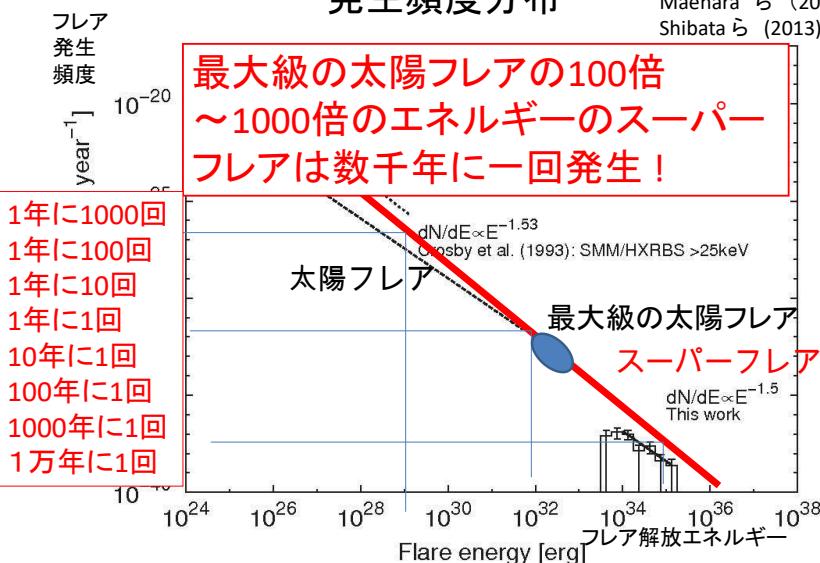
Maehara ら (2012)  
Shibata ら (2013)



太陽フレアとスーパーフレアの  
発生頻度分布

Maehara ら (2012)  
Shibata ら (2013)

**最大級の太陽フレアの100倍  
～1000倍のエネルギーのスーパー  
フレアは数千年に一回発生！**



もし、最大級の太陽フレアの  
100倍～1000倍のスーパーフレアが  
起きたら？

- ・全人工衛星故障？
- ・宇宙飛行士・航空機乗員被曝？
- ・全地球規模で通信障害発生？
- ・オゾン層破壊？
- ・全地球規模で大停電！？
- ・福島原発事故クラスの事故が地球上の  
全原発で発生？

## おわりに： 太陽と生命、人間

- ・過去にスーパーフレアが起きて生命に影響を与えたかもしれない  
恐竜の絶滅原因はスーパーフレアか？
- ・生まれたばかりの星はスーパーフレア（太陽フレアの100万倍の強度）を起こしていることが判明
- ・地球上の生命は太陽活動の嵐をいかに生き延びてきたのか？
- ・むしろスーパーフレアを糧として進化してきたのかもしれない
- ・太陽とそっくりの星で、最大級のフレアの100倍～1000倍のスーパーフレアが数千年に一度の頻度で起きていることが判明（Natureに発表！）
- ・今後、人類文明は無事に存続できるのか？  
人類は太陽放射線の荒れ狂う宇宙空間に進出することができるのか？

その答えは、太陽、宇宙の観測にある

45

## 京大岡山3.8m望遠鏡



超巨大30m望遠鏡の基礎技術開発  
ガンマ線バーストなどの突発天体、重力波天体  
や系外惑星、太陽型星のスーパーフレアを探査、  
解明

京大同窓生の藤原洋さんの資金援助（6億円）による産学連携により開発開始。文科省からも予算（9億円）がつき、2018年度、ようやく観測開始。

スーパーフレア星の自転速度や黒点のサイズの実証のためには3.8m望遠鏡+高分散分光装置が必要  
=>特別推進研究で申請中  
=>乞う、ご期待！

ご清聴ありがとうございました

46

## ALMA Band10 Profiled Horn の試作

○三ツ井健司、福嶋美津広、西野徹雄、金子慶子、ALVARO GONZALEZ、浅山信一郎  
(国立天文台先端技術センター)

概要

現在では ALMA 望遠鏡用受信機の量産は終了しており、先端技術センター(ATC) ALMA 受信機グループでは将来に向けた基礎開発を 2013 年頃に開始した。様々な検討がなされているが、ATC メカニカルエンジニアリングショップ (ME ショップ) ではその中でも Band10 のコルゲートホーンを改良したプロファイルドホーンの試作に取り組んだ。ME ショップ所有の超精密加工機と特注工具を駆使して挑戦したところ、直径  $304\mu\text{m}$  の狭小部分に対する溝幅  $54\mu\text{m}$ 、深さ  $123\mu\text{m}$  の微細溝加工に成功した。

## 1. Profiled Horn

今回挑戦したプロファイルドホーンの図面を図-1に示す。ALMAの受信機にはコルゲートホーンという部品が使われているが、これは天体からの電波を高効率かつきれいなビームパターンで受信できるようモードを変換するためのものである。このプロファイルドホーンは、コルゲートホーンの電波的性能を維持しつつ省スペース化を目的に設計されたものである。現在ALMAで使われているコルゲートホーンは全て外注品であるため、技術の蓄積を目的にインハウスでの開発に取り組んだ。

プロファイルドホーンの内部は多段の円錐に同心円状の溝が等間隔に切られた形状である。溝幅は全て  $54\text{ }\mu\text{m}$ 、深さはそれぞれ異なるが、最も深い溝は  $123\text{ }\mu\text{m}$ 、その部分の最小直径は  $304\text{ }\mu\text{m}$  である。

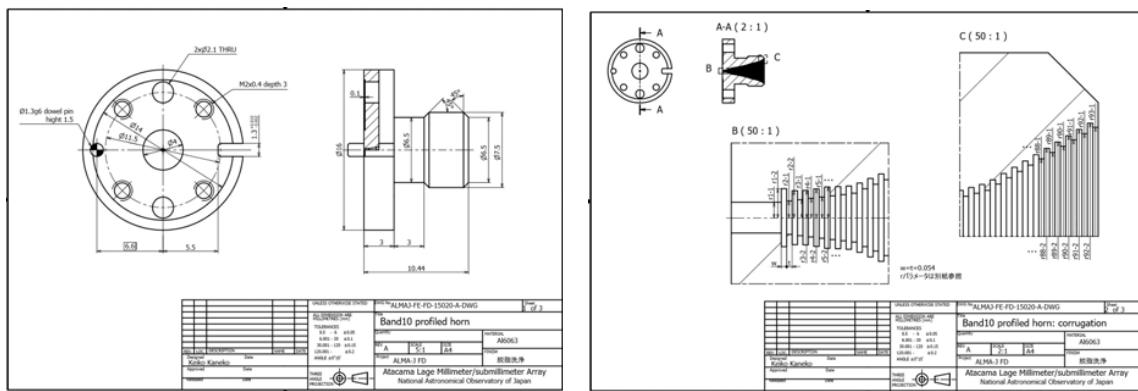


図-1 プロファイルドホーンの図面

## 2. 加工

使用した機械は東芝機械の ULG-300 である。使用工具はカワイエンジニアリングによる特注工具三種（中繩り工具、溝入れ工具、粗仕上げ工具）である。

加工手順を以下に示す。今回は二度に渡って試作を行ったが、一度目と二度目では加工手順が異なっている。

1) 裏面の円筒部中繰り加工 直径  $304 \mu\text{m}$  (両者共通)

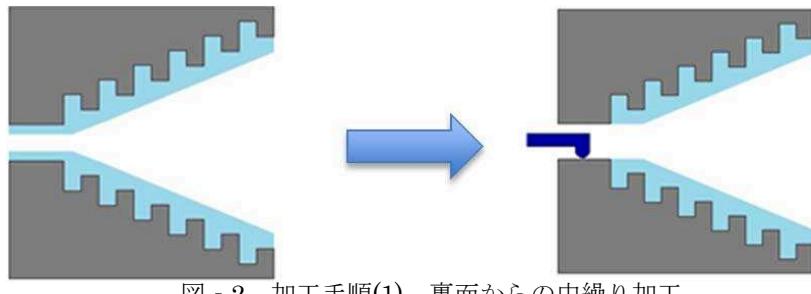


図-2 加工手順(1) 裏面からの中繰り加工

裏面は導波管へとつながる直径  $304 \mu\text{m}$  の円筒部分であるが、これは一度目、二度目共に同様で問題なく加工終了した。

2) 粗仕上げ加工

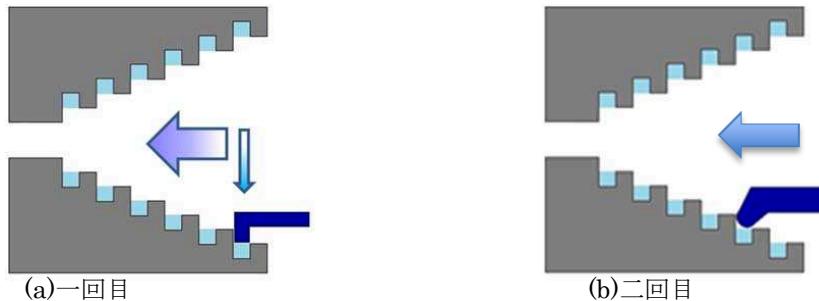


図-3 加工手順(2) 粗仕上げ加工

溝部分の粗仕上げ加工では、溝の山となる部分の仕上げ加工と、谷となる部分を隣の山の高さまでの加工を行った。一度目の試作では溝入れ工具を流用しこれに臨んだが、多くのバリを発生させてしまい、続く溝の仕上げ加工において大きな障害となってしまった。そのため、二度目の試作では新たに粗仕上げ用工具を特注し挑戦したところ、バリの発生を抑えることに成功した。

3) 溝の仕上げ加工

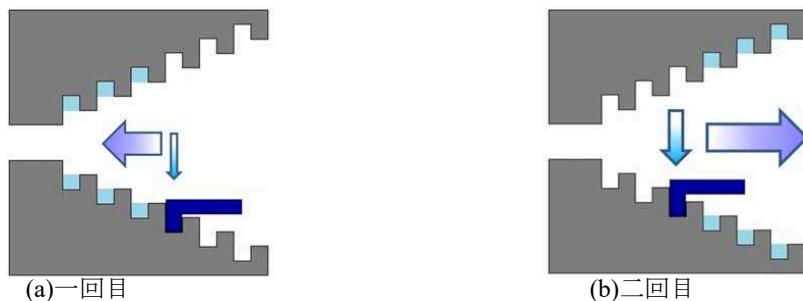


図-4 加工手順(3) 溝の仕上げ加工

当初、一番奥の溝からの加工を試みたが工具が破損してしまった。これは粗加工でのバリによるものと推測し加工順序を手前側からに変更し、さらにナイロン製のブラシでバリの除去を行ったところ、溝増数 92 本中 86 本までの加工に成功した。しかし奥に行くほど

狭小になるためブラシが届かず、それより先は加工できなかった。

二度目の試作では当初の予定通り一番奥からの加工に挑戦し、成功した。前段階の粗仕上げ加工で専用の工具を使いバリの発生を抑制できていたことと、加工条件をより安全なものに変更したことが大きな要因と考えている。

しかし、この時に特注した工具の不備が発覚した。工具飛び出し量が足りなかつたが、メーカーで追加工を行い所定の飛び出し量に修正した。しかし、飛び出し量が変化すると工具の強度が変わり、事前の調査で判明していた加工条件では加工できなくなってしまった。これにより工具が足りなくなり、この時点で試作を終了した。

### 3. 観察（カットモデル）

作製したサンプルをワイヤ放電加工機にて切断しカットモデルを作成した。これにより内部の観察を行った。

#### 1) 溝の倒れ

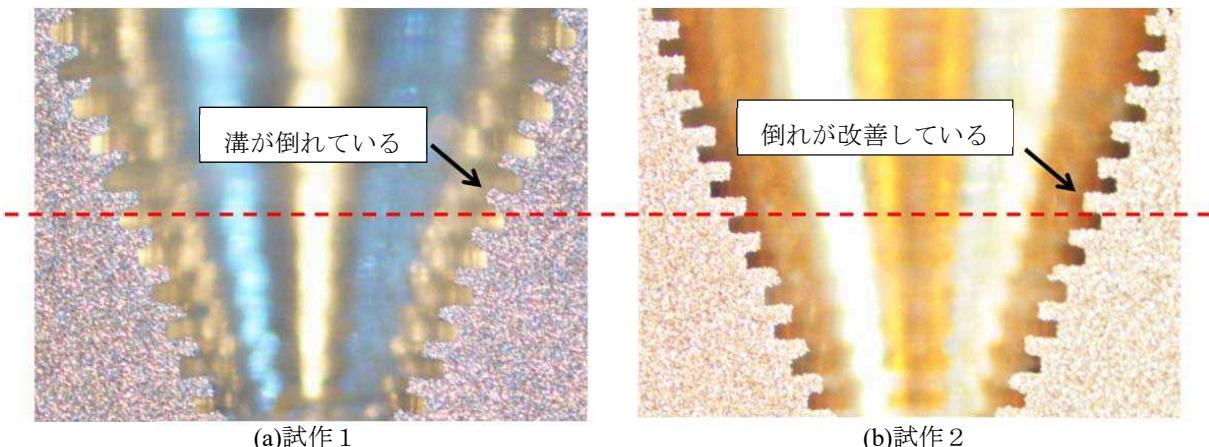


図 - 5 カットモデル観察(7~17段目)

図 - 5 は試作 1、2 それぞれのカットモデルの最奥から 7 ~ 17 段目の顕微鏡写真である。左の試作 1 でのサンプルでは溝の壁が大きく倒れてしまっているが、右の試作 2 のサンプルではそれが改善している。これは加工順序の変更が有効だったと思われる。手前側(写真では上)から加工すると、次の溝を加工する際に手前側の支えがなくなり、加工圧に押されて溝の壁が倒れてしまう。しかし、奥側(写真では下)から加工すれば、手前側には未加工の材料が残っていて壁を支え、倒れを抑制できる。しかも、溝は手前に行くにしたがって広がっているため、奥側には常に支えがある状態なので奥側への倒れも抑制できる。

#### 2) 最奥の溝

図 - 6 は最奥部分の顕微鏡写真である。ここは加工において最難関の部分であるが、溝の底も良好に加工されており、ほぼ設計通りに加工されている。

溝幅 :  $54.5 \mu m$  (設計値  $54 \mu m$ )

溝半径 :  $281.2 \mu m$  (設計値  $288.4 \mu m$ )

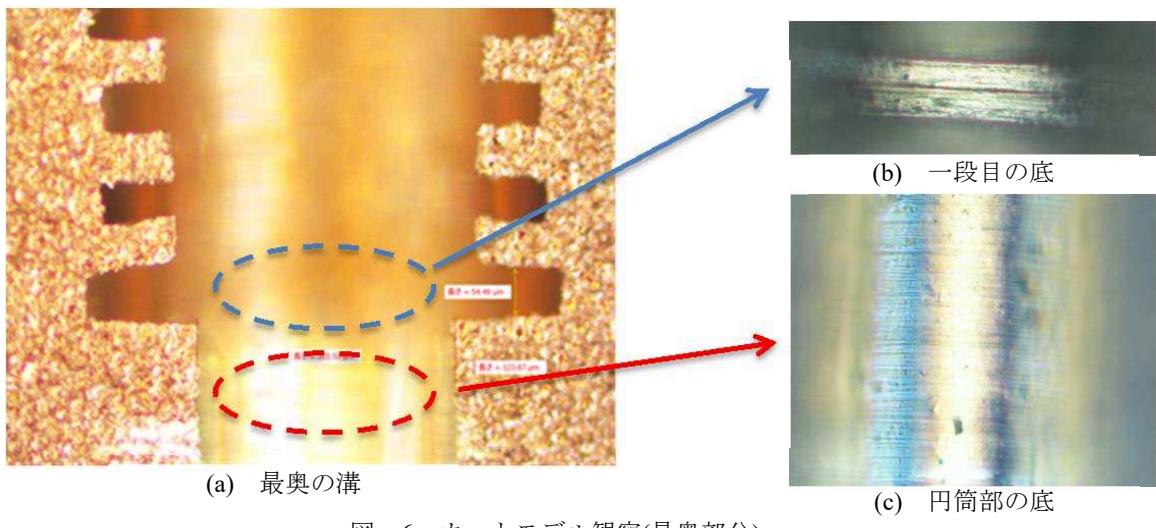


図 - 6 カットモデル観察(最奥部分)

### 3) 溝山のバリ

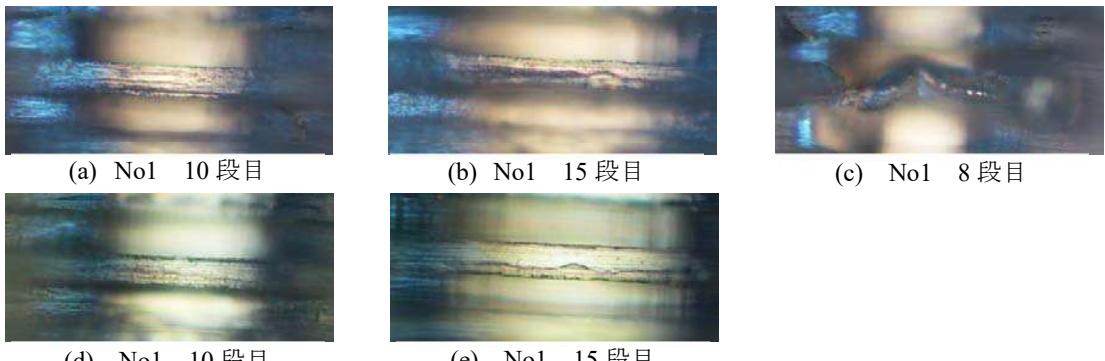


図 - 7 溝の山部分の顕微鏡写真

図 - 7 は溝の山部分の顕微鏡写真である。No1 では写真(c)のように壁が変形してしまっている溝もあったが、No2 ではそれは見られなかった。また、全体的にバリの発生が抑制されており、粗仕上げ時に専用の工具を使用したことが有効であったと思われる。

## 4. まとめ

ALMA Band10 受信機に搭載されているコルゲートホーンを発展させたプロファイルドホーンの試作に取り組み、直径  $304 \mu\text{m}$  の狭小部分に対する溝幅  $54 \mu\text{m}$ 、深さ  $123 \mu\text{m}$  の微細溝加工に成功した。

ホーンとしての完成には至らなかったが、当初の目的である技術の蓄積と加工に必要な条件の取得に成功した。

# KAGRA ビームスプリッタ防振系のインストール

平田直篤

(国立天文台 重力波プロジェクト推進室)

## 概要

大型低温重力波望遠鏡 KAGRA は現在岐阜県に建設中の一辺 3 km のレーザー干渉計である。極めて感度が高い一方、防振装置なしでは地面振動などで感度が悪化するため、各ミラーは多段の防振フィルターを介して真空チャンバー内に懸架されている。国立天文台は防振系の設計、量産、組立設置を担当しており、9月にビームスプリッタおよびその防振系の設置作業を完了した。本稿では防振装置の概要とその設置作業について紹介する。

## 1. KAGRA の概要

現在稼働している重力波望遠鏡はアメリカの LIGO、イタリアの VIRGO などがあるが、KAGRA は東京大学宇宙線研究所と高エネルギー加速器研究機構、そして国立天文台の 3 つの機関がホストになり、国内外の様々な研究機関が協力して岐阜県神岡市の山中に建造を進めている大型低温重力波望遠鏡である。現在主流のレーザー干渉計型の重力波望遠鏡で、一辺 3km の腕がビームスプリッタを中心として X Y 方向に延びている。KAGRA には日本独自のノイズを低減する工夫がある。1 つ目は非常に硬い地盤の岐阜県神岡のトンネル内に



図 1. KAGRA 概要

設置することで、地面振動を地上の 100 分の 1 にすること、次に鏡を低温にすることでノイズ源の一つである熱雑音を減らすこと、そしてこの効果を最大限引き出すため鏡の材質をサファイアとしたことである。図 2 は実際のトンネル内写真である。鏡が設置される真空チャンバーはクリーンブースに囲まれており、インストール作業はクリーン環境で行われる。各真空チャンバーは空気のゆらぎの影響をなくすために 10<sup>-7</sup> 乗パスカルの超高真空に引いた直径 800mm のパイプでつなげられる。



図 2. トンネル内部

## 2. ビームスプリッタ防振系の概要

防振系は重力波望遠鏡にとって非常に重要な要素である。重力波の信号が非常に弱いため、観測帯域での地面振動を 100 億分の 1 まで低減させなければならない。図 3 は神岡のトンネル内に設置されてい

るビームスプリッタ（以下 BS）用の真空チャンバーである。このチャンバー内に鏡が上から吊り下げられる。KAGRA は様々なグループに分かれて建造されているが、防振系は国立天文台が設計、製作、組立設置を担当している。防振系は種類の異なる 4 つのタイプがあるが、BS 用防振系は TypeB と呼ばれ Mark Barton 特任研究員がリーダーとなり最大 7 名で作業が進められた。昨年夏から金属のダミーミラーでインストール手順の確認が行われていたが、今年の 7 月中旬から実際の BS のインストール作業が開始され、9 月に完了した。

図 4 の左側は BS 用真空チャンバーの断面図である。その右側に防振系のみを抜き出した。



図 3.BS 用真空チャンバー

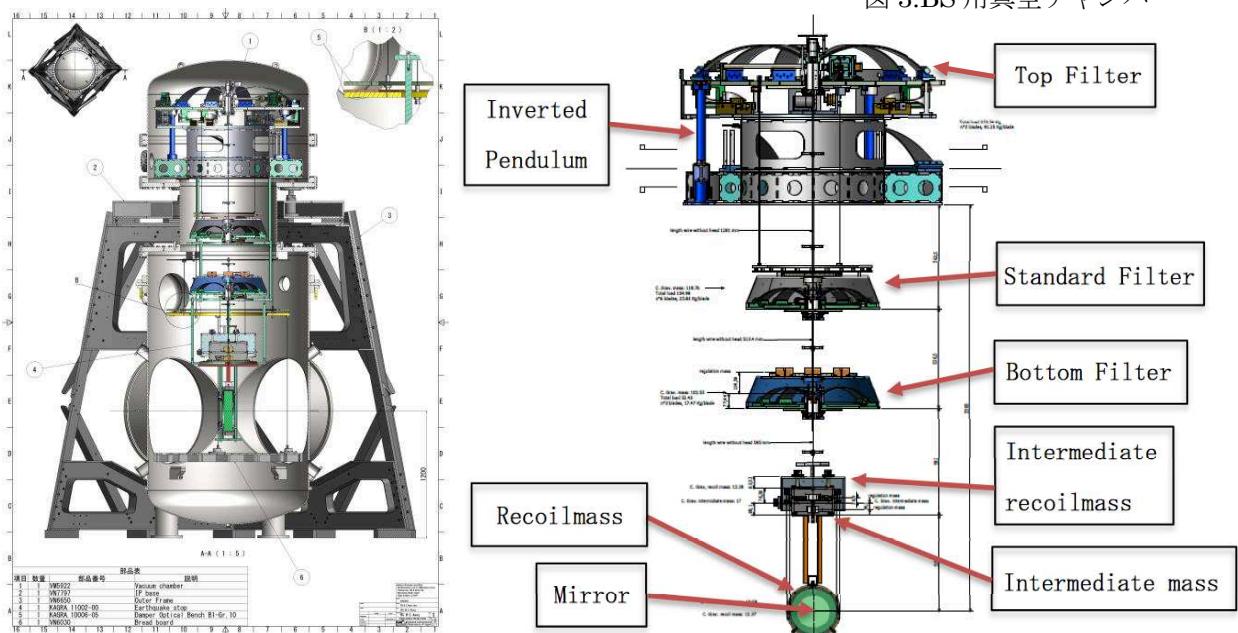


図 4.TypeB 防振系概要

ミラーは上から吊り下げられており、途中に防振フィルターを多段に組み込んでいる。Top Filter、Standard Filter、Bottom Filter は縦方向の振動を低減させるフィルターで、Inverted Pendulum とワイヤーで吊っていることによって全体で構成されている振り子が横方向防振機構となっている。縦方向の振動低減は、GAS フィルターと呼ばれる板バネを用いた機構が現在の主流となっている。GAS とは Geometric Anti Spring の略で、数枚の板バネが押し合う力を使って上下方向に非常に低い共振周波数を持つ一つのバネとして働くフィルターのことである。バネを使った防振では、共振周波数を境にして、高周波側に対して振動を低減する効果がある。防振の効果を高めるためには、この共振周波数を低くすることが



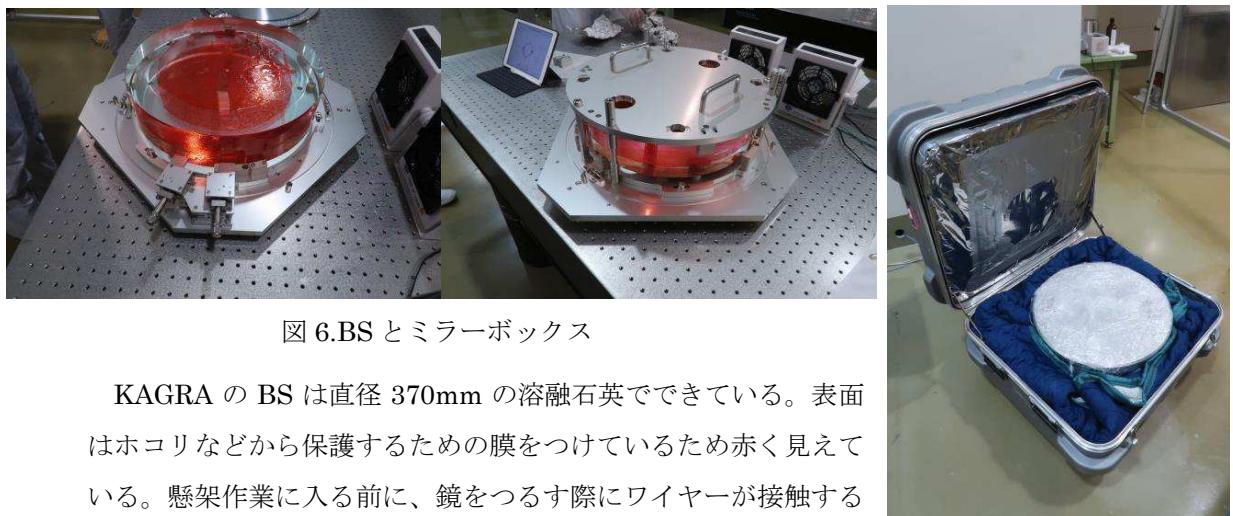
図 5.Bottom Filter

重要である。Bottom Filter は国立天文台で製作、組立、調整が行われた。板バネはマルエーシング鋼でできており、国立天文台先端技術センターにてワイヤーカットで切り出している。Bottom Filter の垂直方向の共振周波数は 0.3Hz から 0.4Hz の間に調整されているが、このように低い共振周波数を実現することはとても難しく、例えばコイルばねでは、自然長から伸びる長さが 2m 近くないと同じ性能をだすことはできない。

### 3. インストール作業

続いて BS 防振系インストール作業について報告する。

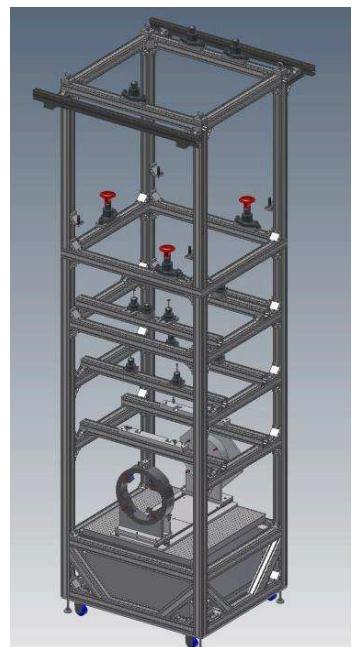
#### 1) BS 準備作業



KAGRA の BS は直径 370mm の溶融石英でできている。表面はホコリなどから保護するための膜をついているため赤く見えている。懸架作業に入る前に、鏡をつるす際にワイヤーが接触する部分となるサファイア製の部品や、鏡の姿勢を制御する際に使用する磁石を Masterbond 社の EP-30 で接着した。これらの作業は東京大学宇宙線研究所柏キャンパス内にあるクリーンルーム内で行われた。部品がきちんと接着されていることが確認された後、ミラーボックスに固定、梱包し神岡へ発送した。

#### 2) アセンブリフレーム上での組立

防振系の組立ては、チャンバーの外に設置した図 8 に示す 80mm 角のアルミフレーム上で行う。各ステージには防振フィルターを上下に動かせるようにジャッキが設置されている。最下段は BS を組み込む際に使用する懸架用治具がセットされている。この治具は 2 本のスライドレールによりミラーボックスとミラーを囲むチタン製の Recoilmass を前後方向にスムーズにスライドできるような構造になっており、BS を安全に組み立てができるよう設計されている。BS は 300  $\mu$ m のピアノ線 2 本で、Recoilmass は 650  $\mu$ m のタングステン線 2 本でそれぞれ



Intermediate mass から吊り下げる。懸架の際は国立天文台先端技術センターにて製作、テストされたワイヤーを巻き上げるワインチシステムが使用された。



図 9. ウィンチシステムと懸架された BS

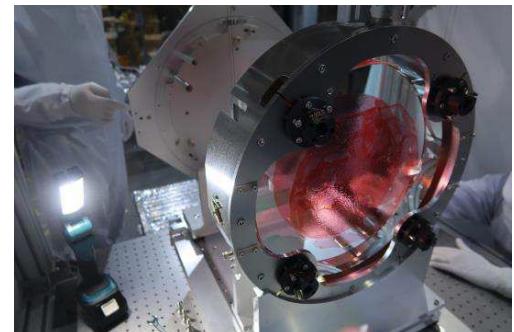


図 10. BS と Recoilmass の組立て

Recoilmass の懸架が終わると、上段の Bottom Filter の設置、Intermediate Recoilmass の組立てと懸架、そしてその上の Standard Filter の設置と Bottom Filter の懸架というように、順番に組立てを進める。これらはマルエージング鋼製のロッドで懸架される。

### 3) 真空チャンバーへの移動

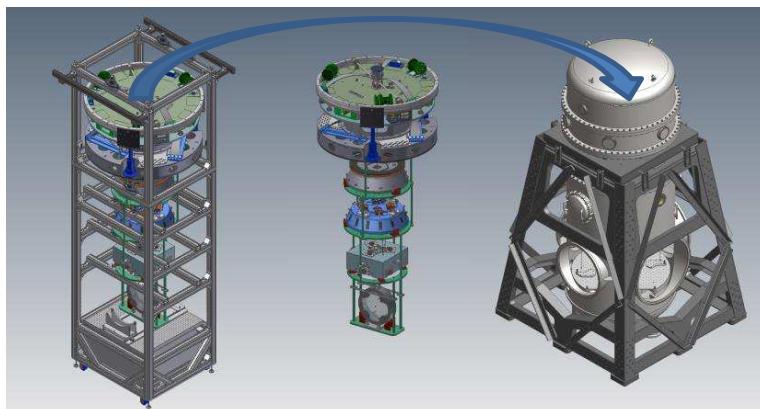


図 11. アセンブリフレームからの移動



図 12. 移動中の BS 用防振系

アセンブリフレーム内で組み上がった防振系は、図 11 のように全体をクレーンで吊り上げて真空チャンバーへ移動させる。移動前にはほぼ全ての防振フィルターは、ステンレス製の枠に固定される。総重量は約 1.5t になる。クリーンブース天井を開き、天井クレーンで慎重に吊り上げチャンバー内に設置した。

## 4. 今後の予定

現在 BS 用防振系は制御の最適化作業中である。今回と同型の防振系のインストールはあと 3 台予定されており、2018 年の 10 月末の完了を目指し現在準備作業を開始している。

# TMT (Thirty Meter Telescope) / IRIS (InfraRed Imaging Spectrograph) の開発

○早野裕、IRIS Japan Team  
(国立天文台)

## 概要

次世代超巨大 30m 望遠鏡 TMT の第 1 期観測装置 IRIS の開発について紹介する。IRIS とは TMT の補償光学系に取り付けられる近赤外線撮像分光装置である。IRIS はアメリカ、カナダ、日本共同で開発が進められている。日本は IRIS 撮像系を担当している。IRIS の概要、現在把握している IRIS 撮像系開発の課題、今後の予定について簡単に述べる。

### 1. IRIS の概要

8-10m クラス望遠鏡の次の世代の超巨大望遠鏡の一つに TMT (Thirty Meter Telescope) 計画がある。これはアメリカ合衆国のカリフォルニア大学及びカリフォルニア工科大学、カナダ、日本、インド、中国の 5 カ国との共同プロジェクトとして進められており、2027 年ファーストライトを目指している。ファーストライトに合わせて製作される第 1 期観測装置の一つが IRIS (InfraRed Imaging Spectrograph) である。TMT の観測装置はすべてナスマスベンチの上に配備される。IRIS は波長 0.84 ~2.4 ミクロンにおいて、撮像モードと面分光モードを切り替えて、もしくは併用できる装置である。TMT のレーザーガイド星を複数用いた多層共役補償光学系 (Multi-conjugate Adaptive Optics) である NFIRAOS (Narrow Field InfraRed Adaptive Optics System) の後段に配置され、30m 望遠鏡の回折限界の空間分解能を達成できることが特徴である。IRIS 撮像系は 4 台の近赤外線検出器である Hawaii-4RG-10 (Teledyne 社製) を焦点面に配し、34 秒角の視野を確保している。その時のピクセルスケールは 4 ミリ秒角である。一方、面分光モードではマイクロレンズアレイによって 4 ミリ秒と 9 ミリ秒のスペクセル、25 ミリ秒と 50 ミリ秒のスライサーモードを切り替え、最大 14000 箇所のスペクトルを同時に取得できる。波長分解能は 4000、8000 となっている。撮像系及び面分光系は真空容器に格納され、液体窒素温度で運用される。この真空容器全体 (IRIS Science Cryostat) を回転させて望遠鏡の視野回転を追尾する構成となっている。撮像系及び面分光系の真空容器の上流には近赤外線の波面センサーが搭載され、2 分角の視野範囲内で最大 3 つのガイド星を選択し tip-tilt 及び focus 情報を測定する。この部分は On Instrument Wavefront Sensor (OIWFS) と呼ばれ NFIRAOS を同じ -30°C に冷却される。IRIS は撮像系、面分光系及び波面センサーの 3 つのサブシステムから構成される。図 1 に NFIRAOS の下面に吊り下げられた状態の IRIS の配置を示している。IRIS 全体は約 4.5m 程度、重量は 6.5t 以内という仕様となっている。IRIS の電気系や制御系の大部分は図 1 のプラットフォームの下部のスペースに設置される予定である。図 2 には IRIS の 3 つのサブシステムを示している。

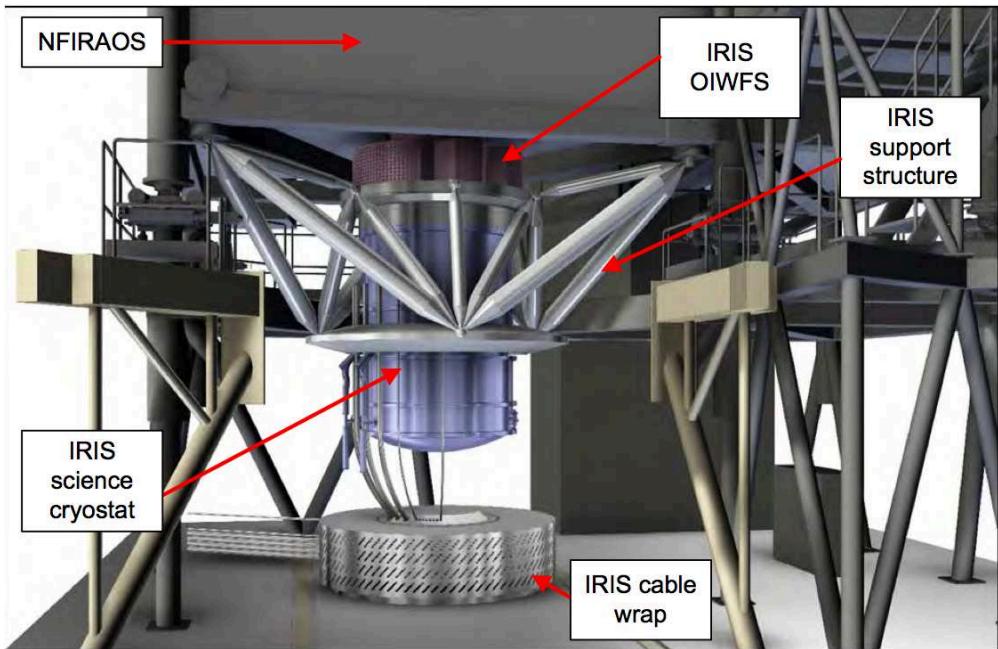


図 1. TMT の補償光学系 NFIRAOS の下部に取り付けられた IRIS

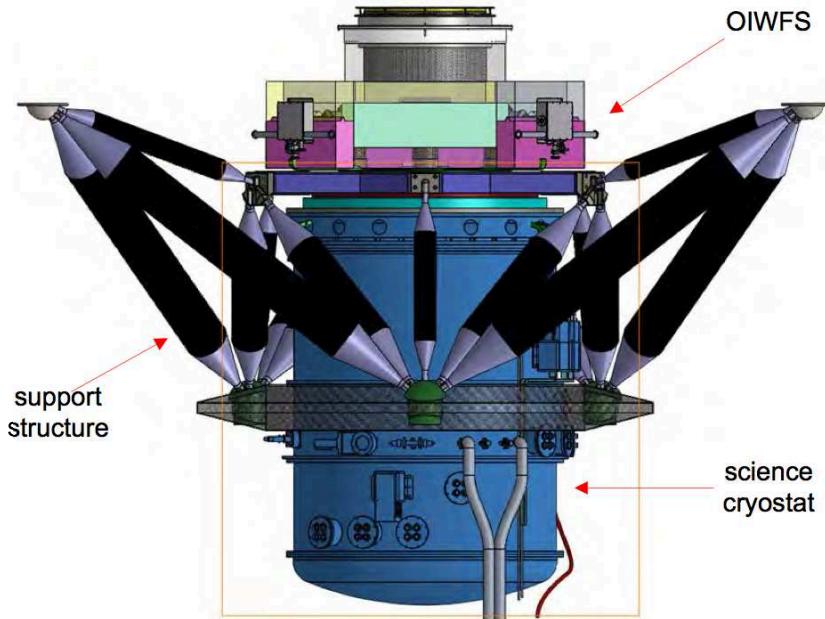


図 2. IRIS の 3 つのサブシステム構成

IRIS の撮像系と面分光系は光学系としては直列に接続されている。つまり、TMT の補償光学系 NFIRAOS から供給された焦点面はまず撮像系に導かれる。そして、撮像系の光路の一部を面分光系に供給する。図 3 に波面センサー、撮像系、面分光系の光路及び光学系配置を示す。波面センサーは IRIS 撮像系及び面分光系の視野の外でガイド星をピックアップする。また撮像系の検出器直前にピックオフ鏡を置いて、面分光系に光を分配している。図 3 の右上に撮像系に用いられる 4 つの検出器面とレンズアレイ面分光系のピックオフ鏡（赤色）及びスライサー分光系のピックオフ鏡（青色）の位置関係が示されている。レンズアレイ面分光のピックオフは撮像系の 4 つの検出器の中心のギャップに合わせて常

設されている一方、スライサー分光系のピックオフ鏡は出し入れができるようになっている。

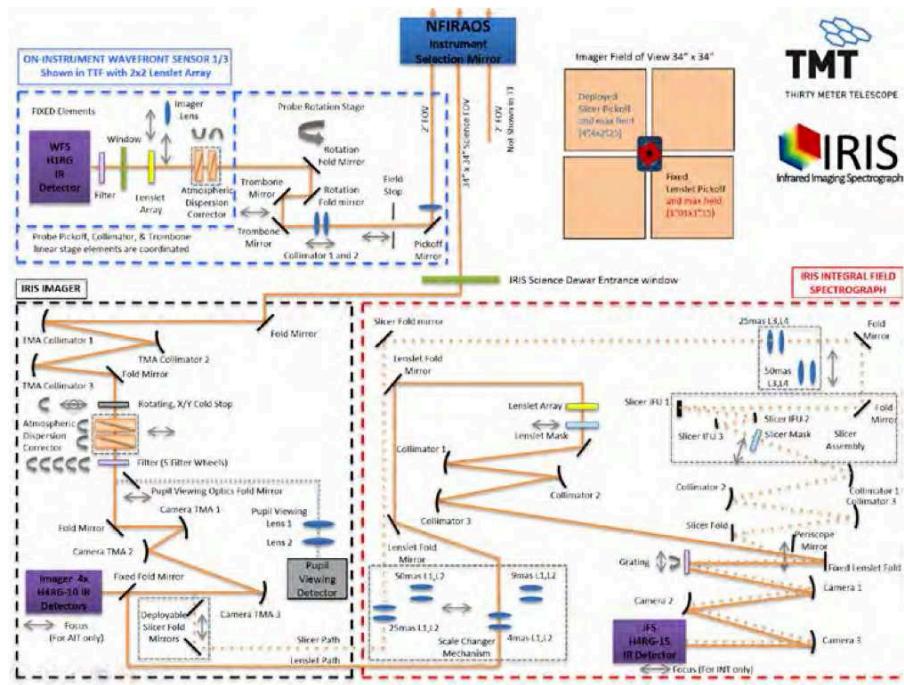


図 3. IRIS の光路図と 3 つのサブシステムの構成

IRIS の撮像系はコリメーター光学系(非球面鏡 3 枚構成)、コールドストップ、大気分散補正光学系、フィルター ホイール、カメラ光学系(非球面鏡 3 枚構成)、検出器という順で光学系が配置されている。コールドストップ、大気分散補正光学系、フィルター ホイールは面分光系でも利用される。特にフィルター ホイールは 60 個ほどのスロットを用意して、撮像系及び面分光系に必要なフィルターを格納する。

図 4 は IRIS 撮像系のパッケージを考慮した光学機械系の配置である。

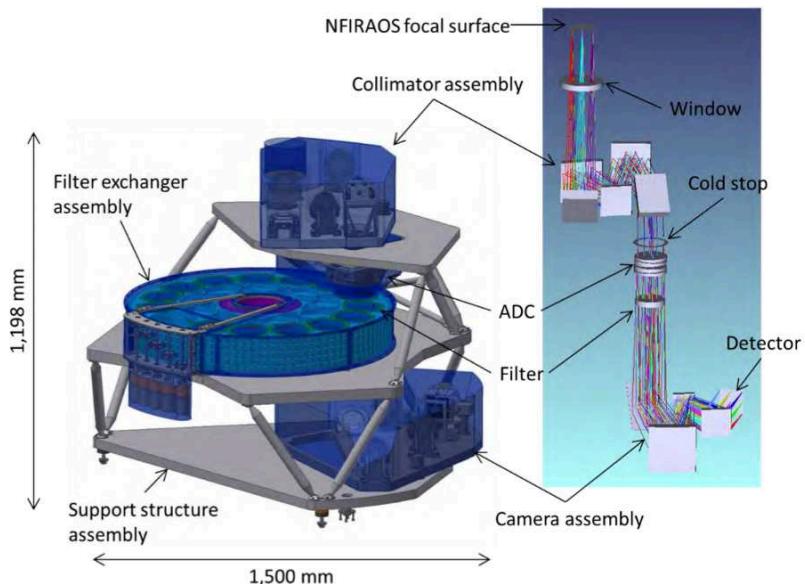


図 4. IRIS 光学機械系のパッケージ

撮像系は3つのプラットフォームから構成され、上段はコリメータ光学系部、中段は主としてフィルターホイール部、下段はカメラ光学系部及び検出器である。

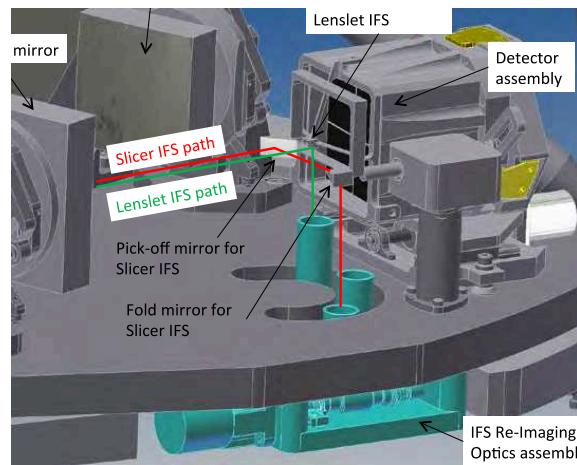


図4. 面分光系へのピックオフ鏡部付近のクローズアップ

図4には面分光系に光路を分けるピックオフ鏡の部分の拡大である。緑色の光路がレンズアレイ面分光の光路である。レンズアレイ面分光系のピックオフ鏡は検出器ユニットにマウントされ固定される。一方、スライサー分光系のピックオフ鏡は回転モーターによって出し入れができるようになっている。

## 2. IRIS 撮像系開発の技術的な課題

IRIS 撮像系はピクセルスケールが TMT の回折限界空間分解能を十分にサンプリングできるよう 4 ミリ秒角である。補償光学系でもたらされた高い精度の光学性能を劣化させないよう、IRIS 撮像系に分配された波面誤差の使用は 40nm rms であり、従来の観測装置のどれよりも数段厳しい仕様となっている。この高い精度を活用し、30 マイクロ秒角の相対アストロメトリ精度を目指している。この 2 つの従来にない厳しい仕様をどのように達成するかが IRIS 撮像系の最大の課題である。現在、波面誤差の詳細分配を検討しており、非球面鏡それぞれには 6nm rms、平面鏡には 3nm rms とすれば、仕様を満たすことが判明し、このような高精度の鏡を製造、測定、検証できるかどうかを検討しているところである。このような高精度な光学系を組み合わせた時にどの程度のアストロメトリの精度が達成できるかという検討も進められている。

## 2. IRIS の開発スケジュール

IRIS は現在、基本設計段階 (Preliminary Design Phase) のレビューを通過し、約 3 年の詳細設計段階に入った。詳細設計によって製造直前まで準備を整え、そのレビューを通過した後、撮像系、分光系、波面センサーそれぞれのサブシステムの製造、組立、調整の段階に移行する。2~3 年を要すると想定している。次にそれぞれのサブシステムを組み上げる段階を経て望遠鏡に取り付け、2027 年の TMT のファーストライトに合わせてコミッショニングを開始する予定である。

# 人工知能・ディープラーニングの実際と天文応用

小林行泰（国立天文台）

## 概要

最近、“人工知能”や“ディープラーニング”という言葉をいろいろな場面で耳にすることが多くなっている。とくにディープラーニングを適用した Google の AlphaGO という囲碁 AI ソフトが世界チャンピオンを圧倒したという 2016 年のニュースは衝撃的であった。人工知能やディープラーニングの手法には今までにない可能性を感じる。そこで、ここでは、人工知能・ディープラーニングの実際と天文学応用の可能性について考察する。

## 1. 人工知能とは

人工知能学会のホームページによれば、人工知能の一つの定義は”学習”し”推論”できることとあり、”学習”とは情報から将来使えそうな知識をみつけることであり、”推論”とは知識をもとに新しい結論を得ることだそうだ。最近の人工知能の際立った発展はディープラーニングによるところが大きく、ディープラーニングを用いることにより、音声認識、画像認識、自動運転、翻訳、ゲームソフトなど多くの分野で従来手法を圧倒する成果が出ている。

将棋の羽生永世 7 冠や囲碁の井山 7 冠への国民栄誉賞授与の話題がでている。また、将棋の藤井四段が最年少プロとなり、デビュー後負け無しで、歴代トップとなる 29 連勝を達成するなど、これも大きな話題となっている。将棋と囲碁の対戦ソフトは機械学習を利用して強くなる、いわゆる AI ソフトである。それぞれ、終局までの手の数が  $10^{220}$  と  $10^{360}$  と、終局までシミュレートすることは、現状では計算機の速度がまったく追いつかない。ともに、ある場面での優劣を評価することが、対戦のために重要であり、この評価値を求めるために、さまざまな工夫が行われている。将棋と囲碁のソフトのしくみを見ていくは、ディープラーニングを理解する上で大いに参考になる。

## 2. 将棋ソフトのしくみ

将棋は駒を動かして先に相手の王将を捕獲したほうが勝ちといふボードゲームであるが、2012 年頃からソフトの棋力がプロ棋士のそれを上回るようになっており、しかも、年々強くなっている（大雑把に 1 年前の自分に 7 割勝てる勢い）。現在ではプロより強い将棋ソフトがフリーで簡単に入手することが可能である。将棋ソフトの基本は場面毎の評価値を計算し、数手までのすべての手を計算して最善手（評価値が一番高い手を指す）ことを行う。この間、相手は評価値を一番下げる手を指すことを仮定する。平均 80 手とすれば、5 手読むためには  $80^5 = 327$  万の盤面の評価値を計算する必要がある。図 1 は藤井四段が対戦相手八段と戦った時の評価値の推移を示したものである。何手先まで読むかは、計算機の能力と思考できる時間に依存する。例えば Bananza という将棋ソフトの最新バージョンでは評価値は駒の

点数と駒の配置の点数から計算されている。これは、棋士が形勢判断をする方法に近いと言える。配置は王と他の2つの駒の配置と王2つと他の一つの駒の配置による点数を加算する。Bonanzaの現在のバージョン6では、駒の価値は飛車642 角行569 金444 歩87などとなっている(ref. 5)。駒の配置の評価値については、たとえば2八玉・4九金の状況において、3八銀なら357、4八銀なら-852、5八銀なら442というようになっている(図2)。これらのパラメータ(駒の評価値、配置の評価値)を昔の棋譜を用いたり、コンピュータとの対戦でチューンアップして決めて行く。これが学習である。

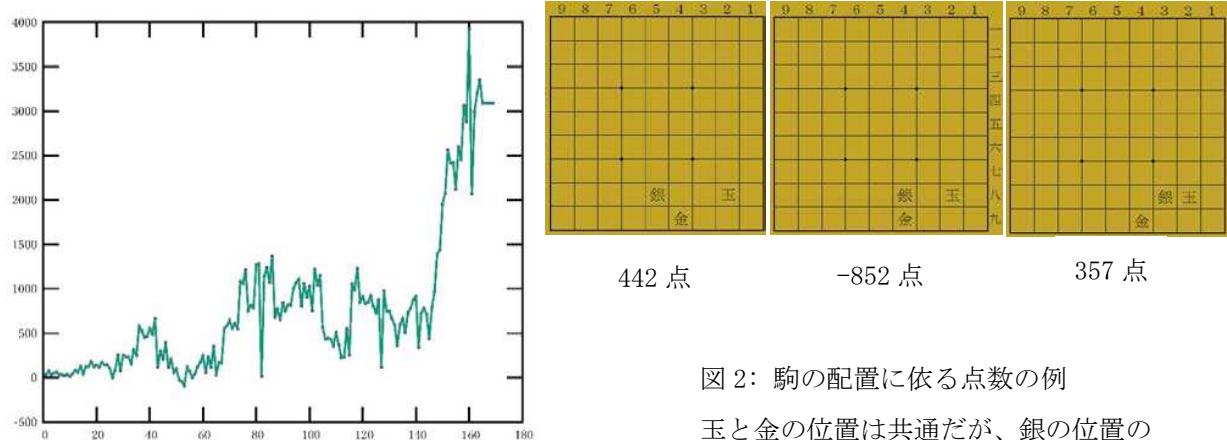


図1：藤井四段対稲葉八段戦での評価値の推移

図2：駒の配置に依る点数の例

玉と金の位置は共通だが、銀の位置の違いで点数に差ができる。

### 3. 囲碁ソフトのしくみ

囲碁は $19 \times 19$ の格子に白と黒の石を交互に配置し、それぞれの石で囲まれた領域を多く確保した方が勝というボードゲームである。囲碁は将棋に比べてはるかに複雑で碁石の強さの数値化も難しいようだ。囲碁ソフトについても将棋のように盤面から評価値を求める努力がされたが、将棋のようにはうまく行かなかった。そこで限られた手数だけシミュレートし、評価するモンテカルロ法を用いた評価が行われて来たが、棋力はアマチュアのレベルにとどまっていた。ここで登場したのが、ディープラーニングを適用して2016年に世界チャンピオンに勝利したGoogleのAlphaGOである。AlphaGOは囲碁盤面を $19 \times 19$ の画像として扱い、これを用い多重多層のニューラルネットを構成し、次の一手の勝率を計算する(図3)。図は青色の濃さで次の一手をそこに打ったときの勝率を示したものである。そして

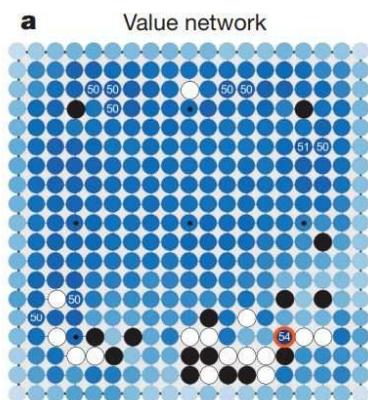


図3

図4はこの勝率を計算するニューラルネットワークの構造の一部である。詳細についてはSilver, 2016を参照されたい。ニューラルネットのパラメータの決定には過去の棋譜を元に、コンピュータ同士による対戦に基づいて決定される。対戦時の計算量も膨大で、2016年イ・セドル世界チャンピオンとの戦いでは、1202個のCPUと176個のGPUを同時に用いたと言われている。

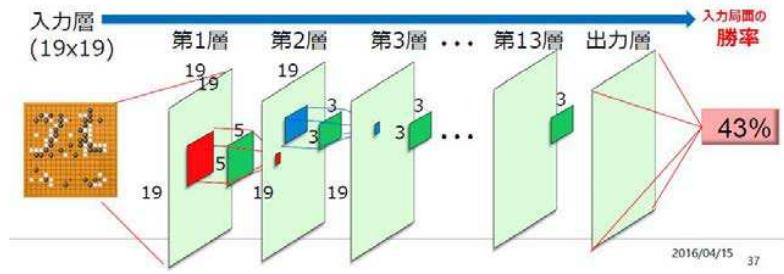


図 4: 盤面の勝率を計算する  
ニューラルネットワーク。勝  
率 43% が output されている。

#### 4. ディープラーニングとは

ディープラーニングとは多層のニューラルネットを用いた計算手法である。ニューラルネットというのは、脳内の神経組織であるニューロンをモデルとして数学モデルである。求めたいものを出力する構造として設計する。例えば、猫画像を認識するニューラルネットの最終出力は猫画像である確率一つとなる。ニューラルネットの基本要素には、全結合型ニューラルネット、畳込みニューラルネット、プーリングなどがあるが、学習により重みとバイアス値を決定しており、決定されたパラメータを用いて様々な用途に用いることとなる。2012 年頃から 4 層をうわまわる多層のニューラルネットが実用化されるようになってきたことと、ニューラルネットの計算にマッチした GPU の利用と性能の向上により一挙に人工知能の主役となっている。図 5 は全結合型のニューラルネットを示し、左端の一列が入力となり、 $256 \times 256$  ピクセルの画像の場合、65536 個の pixel に相当する。図 6 がある層と次の層への結合式であり、学習により最適な重み  $W$  とバイアス値  $B$  を求ることとなる(図 6 で赤字の部分)。

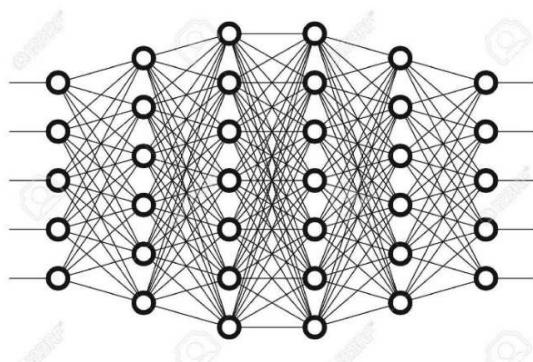


図 5: 6 層の全結合型ニューラルネット

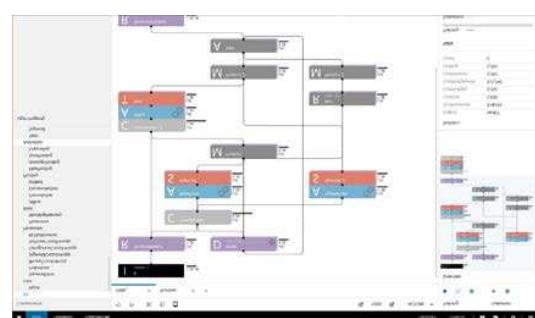


図 7: Neural Network Console  
の設計画面

$$X_j^n = \sum f(X_i^{n-1}) W_{i,j}^n + B^n$$

図 6: 全結合型ニューラルネットの次層への結合式

#### 5. ディープラーニング用ツール

ディープラーニング用のツールとしては、インターパリーター言語である Python の上に多数のライブラリが開発され、Python 自身も含めてほとんどのものがフリーで入手できる。Amazon, Google, IBM, Microsoft などからも様々なツールが提供されていて、これらの企業がディープラーニングの開発に本腰を入れて開発を行っていることが窺える。Windows 10 の環境で一番インストールが簡単で、すぐにディープラーニングを体験することができたものが Sony が提供する Neural Network Console である。

(図 7)(ref. 6)。サンプルデータもついていて、ニューラルネットワークを直感的に設計・学習・評価ができる統合開発環境である。

## 6. 天文応用例

2017年になって、ディープラーニングを適用した天文関連の論文が続々と発表されて来た。内容を羅列すると、トランジットデータの解析(Shallue,2017)、光データから特異天体の抽出、SDSS 銀河の分類(Sanchez,2017)、Ia 型超新星の分類、変光天体の分類、星振学分類などといったものであり、人が手動で行った分類をお手本に分類をディープラーニングで行うというものが多い。今までではプログラムしづらかったものが、ディープラーニングで実現可能となったもので、分類精度は人と同程度ということであるが、分類速度は人が行うよりははるかに速く、大量のデータを扱うカタログ制作などには有効であることが示されており、充分に実用の領域に入っていることがわかる。

## 7. 結論

ディープラーニングは、あくまで人間のプログラムの沿って最小二乗フィッティングの計算をすることが学習となり、ここで得られたパラメータを用い大量の行列の計算を実行するのが推論となる。あくまでニューラルネットの設計をどう行うかで結果が決まってくるが、ニューラルネットワークの計算そのものが理路整然とわかるものではないので、設計は難しく、試行と経験によるところがまだ大きい。ではあるが、従来手法のプログラミングが困難な対象に対して、高い効果が得られていることも事実であり、従来人手で行わざるを得なかった作業を高効率で実現できるなど、意義は大きい。つい今月のニュースではあるが、AlphaGO 続く AlphaGO zero (Silver,2017)は人類の過去の棋譜を用いないことにより、AlphaGO よりも強くなることが示され、さらに Alaphazero ではこれがチェスや将棋にも適用され、従来手法のソフトよりも強くなることが示された。このように、従来手法ではプログラミングが困難であったテーマ、さらには、人手による先入観を排除することで、ディープラーニングは天文分野でも大いに新しい展開が望めそうである。

## 8. 参考文献

1. “Mastering the game of Go with deep neural networks and tree search”, D.Silver et al., nature, 2016, 529, 484
2. “Mastering the game of Go without human knowledge”, D.Silver et al., nature, 2017, 550, 354
3. Identifying Exoplanets with Deep Learning: A Five Planet Resonant Chain Around Kepler-80 And An Eighth Planet Around Kepler-90 Shallue et al. 2017 astro-ph
4. Improving galaxy morphologies for SDSS with Deep Learning Sanchez et al. 2017 astro-ph
5. “Bonanza”, Wikipedia
6. “Neural Network Console”, <https://dl.sony.com/ja/>

# 望遠鏡保守情報交換会の活動

○田澤誠一<sup>1)</sup>、上野祐治<sup>2)</sup>、平野賢<sup>2)</sup>、半田一幸<sup>3)</sup>、  
沖田博文<sup>4)</sup>、佐藤立博<sup>4)</sup>、谷口明充<sup>4)</sup>、山田真澄<sup>5)</sup>

- 1) 国立天文台 RISE 月惑星探査検討室/TMT 推進室
- 2) 国立天文台 水沢 VLBI 観測所
- 3) 国立天文台 野辺山宇宙電波観測所
- 4) 国立天文台 ハワイ 観測所
- 5) 国立天文台 チリ 観測所

## 概要

2017 年 1 月から各観測所の望遠鏡保守担当有志らにより、定期的に情報交換会を行っている。本発表では各局の保守の現状を紹介するとともに、各局が抱える問題、今後の検討課題について報告する。

### 1. はじめに

2016 年 12 月に開催された第 36 回天文学に関する技術シンポジウムで、各観測所の望遠鏡保守担当者数名が一堂に会する機会があった。同シンポジウムでのポスターセッション、懇親会などでの立ち話の中で、各観測所がここ数年来抱えている様々な問題点について意見交換を行ったところ、次のような共通認識を得るに至った。

1. 各観測所ともリソースが不足しがちであること
2. 解決の道筋を立てられない課題を抱えていること
3. 他の観測所での課題解決成功例を知りたいこと
4. お互いに協力できそうなこと
5. これらの情報をお互い交換する場がないこと

ここで一番重要視された項目は 5 番目の「これらの情報をお互い交換する場がないこと」であった。そこで、望遠鏡保守担当者同士のネットワークを構築しやすくするため、今後気軽に意見交換できるような場を持つことで合意した。

上記のような経緯により、2017 年 1 月から望遠鏡保守情報交換会の活動を開始した。この活動の当面の目的は次の 2 点とした。

- ・各観測所の望遠鏡保守担当者同士で保守技術情報を共有し、それぞれが抱える問題の解決を行う
- ・次世代を担う人材育成に向けた検討を行う

現場の活きた情報交換をするため、少人数で機動的な会合を行うことを重視した結果、密な活動を行う

ことができた。これまでの活動履歴を表 1 に示す。

表 1 活動履歴

第 1 回	2017/01/05
第 2 回	2017/02/08
第 3 回	2017/02/22
第 4 回	2017/03/22
第 5 回	2017/04/19
第 6 回	2017/05/25
第 7 回	2017/06/27
第 8 回	2017/07/21
第 9 回	2017/09/20
第 10 回	2017/11/07

## 2. 各観測所の現状

### 2.1. 水沢 VLBI 観測所

水沢 VLBI 観測所が保守を担当している望遠鏡（アンテナ）は、VERA 4 台（水沢、入来、小笠原、石垣）および大学連携 VLBI 用アンテナ 3 台（茨城局 2 台、山口局 1 台）の全 7 台である。現在これらのアンテナ保守作業を主担当 1 名、兼任 2 名という人員体制で行っているが、うち 1 名は 2017 年度末で退職の予定である。VERA 4 台に関しては、アンテナの他に受信機やバックエンド装置といった観測装置の保守業務も担当している。

業務に必要な文書はサイボウズによって管理され、マニュアル、作業手順書、障害報告、業者からの報告などを保存、共有している。保守の作業管理は年間の予定表を基に行われており、一週間単位の業務報告として週報を作成、保守担当者内で共有している。その一方で個人の作業タスクの管理は特にやってはおらず、個人の裁量に任せられている。

水沢では以前から保守作業の内製化に取り組んでおり、アンテナ機械計測、補修塗装、フィドーム膜の開発・取り付け、視野回転巻取機構内のヘリウム管交換などを行ってきた。最近はこれらの経験を基にプロジェクトを超えた連携を進めており、これまで野辺山のアンテナ機械計測、補修塗装作業について協力したほか、現在はハワイ観測所の協力の下、電気系保守内製化に取り組んでいる。

### 2.2. 野辺山宇宙電波観測所

野辺山宇宙電波観測所が管理している望遠鏡（アンテナ）は、45m 電波望遠鏡、10m ミリ波干渉計 F 号機、および 6 基の太陽強度偏波計群である。また、ヘリオグラフについても障害対応を野辺山が担当している。現在これらのアンテナの保守作業を 6 名で行っている。

文書の保管用として Wiki を使用しており、作業内容や不具合対処などの報告書類、マニュアル類を保存している。作業タスクの管理などは特にやっておらず、全て個人の裁量に任せられている。

野辺山では機械計測関係で協力を望んでおり、水沢の協力の下、45m 電波望遠鏡の方位角レール測定、補修塗装を行った。

### 2.3. ハワイ観測所

ハワイ観測所はすばる望遠鏡本体、望遠鏡付帯装置、およびドームについて管理している。現在これらの保守作業をディクルー7名、望遠鏡エンジニアリング部門スタッフ8名、合計15名で行っている。

文書の保管はファイルサーバー上の共有フォルダを使用しており、装置毎に分類されたフォルダに報告書、作業手順書など保存している。また、日報は作業報告システムで管理されており、作業報告はサーバーのデータベースに登録される他、メールでメンバーに配信される。作業タスクの管理などは野辺山と同様に特に行っておらず、全て個人の裁量に任せられている。

ハワイ観測所では主鏡蒸着作業を他の観測所からの人員協力の下で行っているほか、水沢の電気系保守内製化に向けた取り組みに協力している。

### 2.4. チリ観測所

チリ観測所は ALMA アンテナ運用支援チームスタッフの5名が保守的業務を担当している。このうち現地作業を定常的に行えるのは2名で、残り3名は出張ベースでの作業サポートメンバー2名およびマネージャー1名である。ALMA は他の観測所と運用形態が異なり、運用・保守の主体は JAO (Joint ALMA Observatory) にあって、NAOJ にはない。従って現在は技術移転の推進（保守・トラブルシュート情報）に取り組んでいる。

情報共有にはメールを使わず、JIRA（アトラシアン社の課題追跡ソフト）を使用して情報の伝達、保存に努めており、作業記録も JIRA 上に保管している。また予防保守用に CMMS（設備保全管理システム）を使用し、作業管理と予備品管理をこのシステム上で行っている。

チリ観測所では現在マニュアル類などの文書整備を行っており、JAO に提供するための英語マニュアルを管理している。基本的にはメーカーから提供される日本語マニュアルを英語に翻訳し、JAO に提供するが、英語マニュアルに改訂の必要性が生じた際は、同時に日本語マニュアルの改訂が必要となるため、メーカーの管理する日本語マニュアルを改訂すべく調整作業を行う。

## 3. 現状抱える課題

現状抱える問題点についてまとめた。どの観測所もリソース不足により、課題に対応しきれていない現状が明らかとなった。

表 2 観測所の課題

観測所	課題
水沢	人員が不足しており、保守期間の出張負荷が必然的に大きくなる（最長1.5ヶ月間の出張）。また、突発的な障害の発生時は計画的な業務遂行が難しくなる。インハウス化を推進したいが、毎年の業務に追われ専門性を深められずにいる。
野辺山	最近望遠鏡の突発的な不具合が発生しており、事前に不具合箇所を特定することが急務である。また小規模な予算で老朽化対策を講じなければならなくなり計画的に進んでいない。
ハワイ	人員が不足しており、不具合対応、機能更新、予防保全、蒸着作業とやるべきことが多い。
チリ	現地人員に負担が集中しており、効率的でない。課題に対してより組織的に取り組むため、ALMA プロジェクト内、他チームとの連携を改善したい。

#### **4. 今後の検討事項**

各観測所の現状と課題を踏まえ、今後検討したいことを次のとおりまとめた。

1. 各観測所が抱える技術的課題の解決協力
  - リソース不足によって保留されている課題が各観測所に山積みされていることがわかった。今後具体的な課題情報について共有したい。
2. 文書管理方法、タスク管理方法などの情報交換
  - 現在は各観測所が独自の方法で管理しているが、今後どのような管理方法が良いか、管理について共通化できる箇所があるのかどうか、検討したい。
3. 次世代の保守・運用を担う人材の育てかた
  - 保守人員に求められるスキル、資格などどのようなものがあるか検討するとともに、今まで培ったノウハウを次の世代へどう伝授していくか、
4. プロジェクト間連携を今後どのように進めるべきか
  - これまでのプロジェクト間の連携は限定的であり、あまり積極的には行われてきたと言えない。もし連携を阻む障壁があるとしたら、それはどのようなことが原因なのか、今後どのようにしたら連携が進むのか、議論を深めていきたい。

#### **5. おわりに**

この1年間望遠鏡保守情報交換会を続けた結果、リソースが不足していることにより各観測所で様々な課題を解決できずに抱えている現状が見えてきた。その一方で観測所間の連携を深め、課題を解決していく動きに助力することができた。

引き続きこれらの活動を行いながら、今後はこれまでの活動をまとめるとともに、前章に挙げた検討項目について議論した上で、将来の展望についてまとめ、報告したい。

# 望遠鏡保守情報交換会の活動報告

## VERA の電気系保守内製化

○谷口 明充、佐藤 立博(国立天文台ハワイ観測所)

上野 祐治、平野 賢(国立天文台水沢 VLBI 観測所)

田澤 誠一(国立天文台 RISE 月惑星探査検討室/TMT 推進室)

### 1. はじめに

望遠鏡保守情報交換会は、保守技術の共有を通じて、プロジェクトが抱える問題解決、次世代を担う人材育成を目的とした検討会として2017年に発足し、約1年の活動を行ってきた。活動内容は、毎月電話会議にて、各観測所から所属技術者が出席し、保守技術における情報交換を行い、お互いが抱えている問題等に対して意見交換を行う。意見交換後、各観測所が保有する保守技術のノウハウを活かし、互いの問題解決に向けて活動を行っていく。本文書は、水沢 VLBI 観測所にて毎年実施されている電気系保守の内製化に向けた、望遠鏡保守情報交換会の活動として報告する。

### 2. 課題の選定

課題の選定においては、以下の4点を重視し選定を行った。

- (1) 現状の把握が容易で、目指すべき目標が明確であること。
- (2) 実作業者として、情報交換会のメンバーだけで実施できること。
- (3) 課題に対する専用知識を有した技術者が確保できること。
- (4) 費用対効果が期待できること。

上記の選定基準を考慮し、今回は水沢 VLBI 観測所から提案があった電気系保守の内製化を達成すべき課題として選定した。本課題の選定理由は下記 (ア) ~ (エ) である。

- (ア) ハワイ観測所にて専門知識を有する技術者が所属しており、測定におけるノウハウを展開することが可能である。
- (イ) 内製化を促進することで、測定を通じてトラブル対応における技術レベルの向上が期待でき、トラブル発生時の一次解析を現状より高度なレベルで実施することができる。
- (ウ) メーカーとのやり取りにおいても、現状と比較し、明確なトラブル情報をメーカーに提供することが出来るようになるため、対処までの時間短縮、費用削減も期待できる。
- (エ) 内製化実現により、毎年の維持保守の費用削減が期待できる。

### 3. 電気系保守内容

電気系保守とは、望遠鏡の駆動制御装置メーカーにより毎年実施されている、各駆動機構の健全性確認を目的とした保守である。主に扱うのは、駆動制御装置から出力される駆動特性のアナログ電圧測定である。駆動時におけるアナログ電圧を取得することより、各駆動機構が障害なく駆動できているかを確認する。図1に測定データのサンプルを示す。図1の波形においては、取得したアナログ電圧が中央部分はほぼ直線であることが確認できるため、健全と判断できる。本波形における異常とは、取得したアナログ電圧が安定した中央部分において、直線の乱れが確認された場合は異常と判断する。異常が判明した後は、原因切り分けを実施し、問題箇所の特定、処置に移行する。

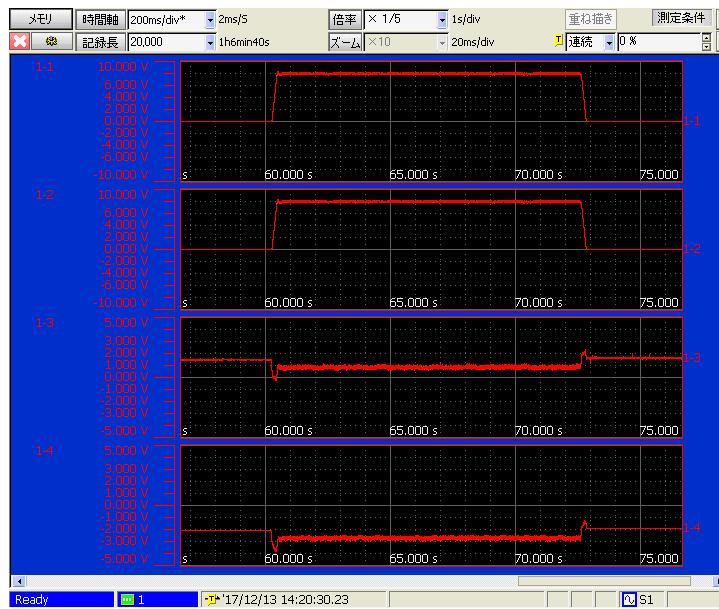


図1 駆動時におけるアナログ電圧(サンプル波形)

#### 4. 活動スケジュール

内製化実現に向けた活動スケジュールを表1に示す。

表1 水沢 VLBI 観測所における電気系保守内製化のスケジュール

No	項目	FY2017						FY2018		FY2019		
		上期	10	11	12	1	2	3	上期	下期	上期	下期
1	ヒアリング (水沢)	↔										
2	ヒアリング (メーカー)		↔									
3	手順書 作成			↔								
4	トレーニング 手順修正				↔							
5	電気系保守 (初年度)					↔						
6	メーカー 電気系保守						↔					
7	VERA 他局展開							↔				

2017年12月時点で、手順書の作成を完了している。2018年1月より水沢 VLBI 観測所にて実機を使用し、トレーニングを実施する。2018年度内に、メーカーの実施した電気系保守と取得データの比較を行う。その後、最終目標として2019年度内を目指し完全内製化に移行する。

#### 5. まとめ

結成間もない望遠鏡保守情報交換会として、水沢 VLBI 観測所における電気系保守内製化に向けた活動を開始することができた。また、完全内製化に向けてスケジュールの作成、及び保守実施時の仮手順書の作成を行うことができた。2019年度内に完全保守内製化を目指し、引き続き活動する。内製化実現後は、その他の観測所に技術展開を実施し、技術者全体の技術レベルの向上を図る。

# VERA20m 電波望遠鏡 駆動制御系 時刻同期制御部の改修

○平野賢、上野祐治、砂田和良、佐藤克久、柴田克典  
(国立天文台 水沢 VLBI 観測所)

## 概要

時刻同期制御部(TSU: Time Synchronous Unit)は、望遠鏡指向指令値を基準時刻信号に同期し、下位駆動制御装置群へ送る装置である。TSU は VERA 専用品で、部品は製造中止され、予備品が枯渇すると運用不可能となる。この問題を解決し運用を継続するため、TSU と同等機能の代替機を開発している。経費削減と技術力向上のため、設計からコーディングまで一貫して内製する。開発の進捗と計画を述べる。

## 1. VERA20m 電波望遠鏡 駆動制御系の概要

VERA(VLBI Exploration of Radio Astrometry)は、銀河系内電波天体の距離と運動を高精度で計測し、3次元立体地図を作るプロジェクトである。望遠鏡は国内に4局あり、2002年から全局での観測が始まった。最大の特徴は2つの天体を同時に観測できる2ビーム機構である。

望遠鏡の駆動機構は、方位角(AZ: Azimuth)、仰角(EL: Elevation)、視野回転角(FR: Field Rotation)、2ビーム機構(2B: 2 Beam)の4つに分けられる。図1-1にAZ、EL、FRの駆動軸及び駆動方向と、2Bの駆動範囲(離角)のイメージを示す。2ビーム機構は6本の脚を持つスチュワートプラットフォームで、2つのステージそれぞれに受信機を搭載している。図1-2に2ビーム機構の工場試験中の様子を示す。2つの天体を同時に観測するため、脚の長さを変え、ビームの離角を調節する機構となっている。

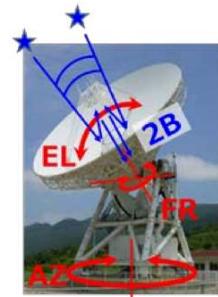


図 1-1 駆動機構のイメージ



図 1-2 工場試験中の 2 ビーム機構

## 2. 時刻同期制御部の概要

時刻同期制御部の現在の構成図を図2-1に示す。望遠鏡の運用者は運用ソフトVFS(VERA Field System)を用いて、局運用計算機からTSUに対して望遠鏡指向指令値を送る。VERAでは、望遠鏡が駆動する時刻を正確に合わせるための基準信号源として水素メーザーを使っている。水素メーザーとは、水素原子の共鳴周波数に基づいて正確な時間間隔を刻む装置である。時刻装置は、水素メーザーからの正確な時間間隔(5MHz)からタイムコードを生成する。TCG/Tは、AZ/EL駆動を司るACU、FR駆動を司るFRCU、そして2B駆動を司る2BCUへそれぞれ同期クロック信号を送る。TSUは局運用計算機とACU等の間にあり、4項で詳しく述べる制御/監視信号を送受信する。

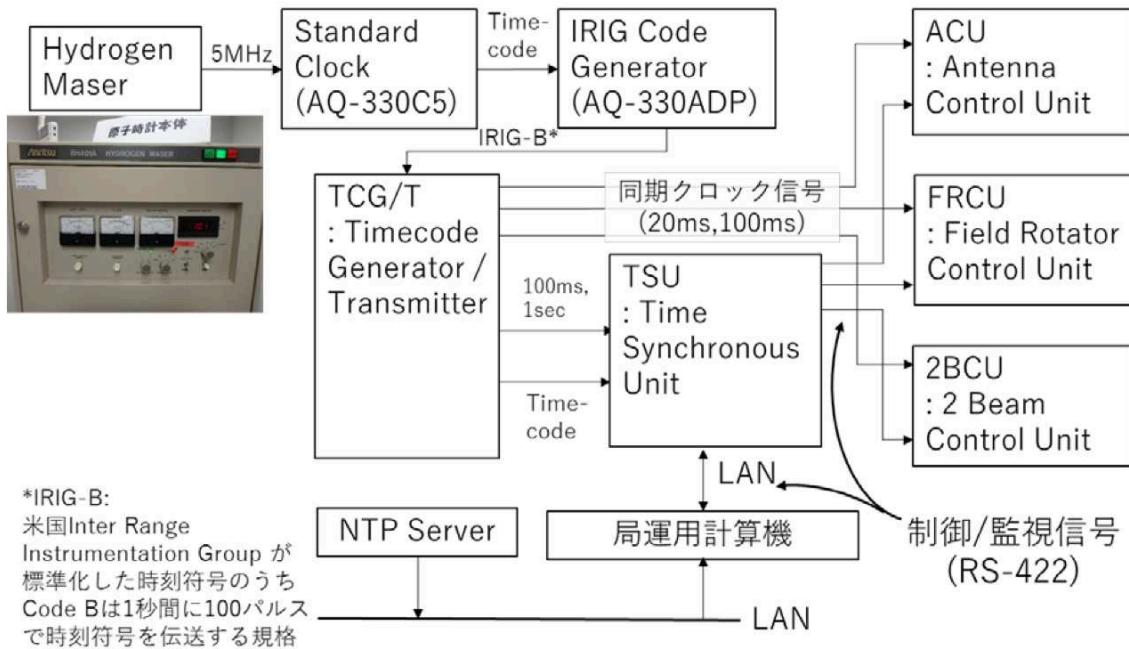


図 2-1 時刻同期制御部構成図（現況・改修前）

### 3. 改修の背景と目的

#### 1) TSU の予備品枯渢

時刻同期制御部を構成する装置類は建設当初から17年余稼動しており、故障フェーズに入っている。ACU、FRCUについては、すばる望遠鏡旧型制御システムと共通であるため、予備品入手可能である。2BCU と TCG/T については、修理専門業者により延命が可能である。しかし、TSU は VERA 特有の装置であり、予備品を入手できず、現有予備品が枯渢した場合は運用停止となる。今回の改修は TSU の予備品枯渢を解消することがひとつの目的である。

#### 2) 経費削減と技術力向上を目的とした内製化

TSU の代替機製造については、過去に製造業者から ACU 等の後継機種置き換えを含めた改修提案を受け検討したもの、予算面で折り合いがつかず見送りした。そこで、経費削減と台内技術力向上のため内製で進めている。

#### 3) TSU OFFLINE 障害原因の切り分け

運用中に不定期に発生する TSU OFFLINE 障害への対策も必要である。観測中に障害が発生すれば、TSU と局運用計算機間の通信が途絶え、望遠鏡の駆動が停止して観測停止となるが、障害の原因是不明である。TSU 自体に起因する可能性も考えられ、本改修によって TSU を使わない構成とすることで障害の原因特定に道筋を付ける。

### 4. 設計方針

TSU 代替機能は、局運用計算機にソフトウェアとして導入する。主な機能は、制御コマンド送信機能と監視ステータス受信機能である。制御コマンドは、指令コマンドと角度情報コマンドから構成される。

例えば駆動機構部の DRIVE ON/OFF は指令コマンド、AZ/EL の位置指定は角度情報コマンドとして記述する。これらは送信のタイミングをクロック信号に同期させる必要がある。監視ステータスは、装置状態と実角度で構成される。装置状態は、駆動角度のリミットやインターロック等のステータス情報である。同期クロック信号については TCG/T に代わる基準信号源を導入し、新しい信号系統と装置に置き換えることで長期安定性を確保する。また、改修によって運用者への負担を生じないよう、運用ソフト VFS のユーザインタフェースを変更しない方針とした。

以上の方針に基づき作成した、改修後の構成図を図 4-1 に示す。

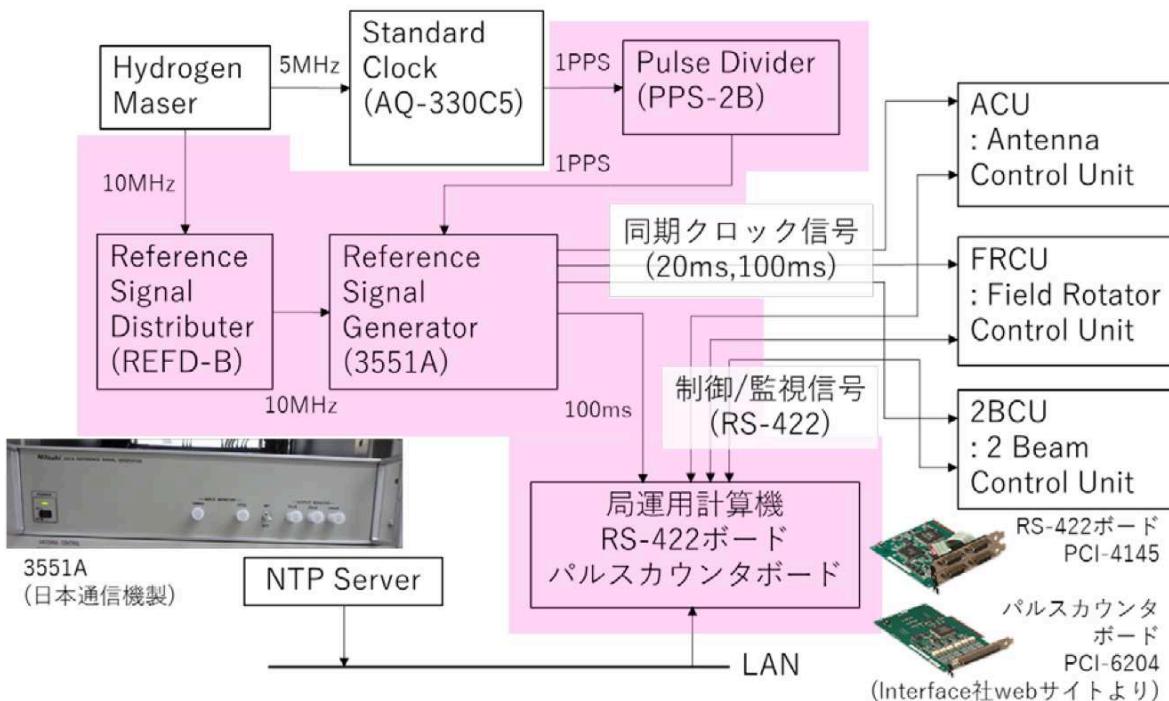


図 4-1 改修後の構成図（赤枠内：現況からの変更予定箇所）

水素メーザーからの基準信号は、現在の 5MHz に加え 10MHz も利用する。また、TCG/T 経由の IRIG 信号に代わり、時刻装置からの 1PPS を使用する。10MHz と 1PPS を、新たに導入する基準信号発生器へ入力し、20ms、100ms の同期クロック信号を生成する。同時に局運用計算機にも 100ms を入力し、計算機と ACU 等の基準時刻を合わせる。制御／監視信号は、局運用計算機に RS-422 ボードを導入し、ACU 等に対して直送する。以上により、TSU、TCG/T を使わない機器構成とする。

## 5. コーディングの進捗状況

2017 年 11 月までの進捗状況を以下にまとめる。

### 1) シリアル通信の確立（～2017.1）

- ・ RS-422 ボード(Interface 社製 PCI-4145)による制御コマンド送信・  
監視ステータス受信

### 2) 同期クロック信号の取り込み（～2017.4）

- ・パルスカウンタボード(Interface 社製 PCI-6204)による同期クロック信号入力をトリガーとした制御コマンド送信
- 3) ACU 予備機と基準信号発生器 3551A を用いた制御コマンド送信・監視ステータス受信(～2017.6)
- 4) ACU 実機、開発用計算機、基準信号発生器を用いたクロック信号同期下での望遠鏡 AZ/EL 駆動に成功 (2017.7)

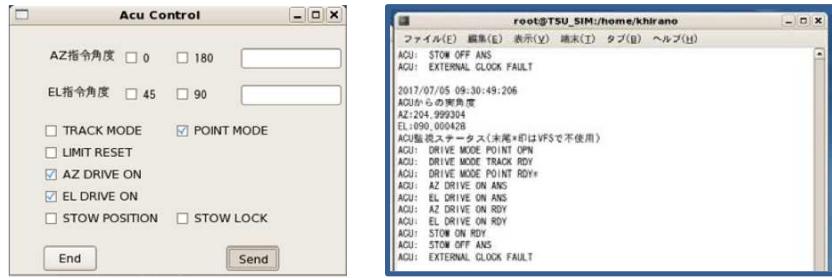


図 5-1 制御コマンド送信用(左)と監視ステータス受信用(右)テストプログラムの画面

- 5) pthread による制御コマンド送信処理のマルチスレッド化(～2017.11)

## 6. 今後の課題

これまで ACU のみに対する制御／監視信号の送受信について取り組んできたが、今後は FRCU、2BCU に対する処理を作成し、駆動制御試験を行う。ACU、FRCU、2BCU 全てに対して同期クロックに基づいた通信を行う必要があるため、計算機負荷はこれまでの ACU 単体との通信と比較して大きくなると予想する。この負荷影響も確認する必要がある。

次に、運用ソフト VFS とのデータ受け渡し処理の記述も必要である。これまで TSU から下流に対する送受信のみを考慮してきたが、TSU の上流部の通信についても代替機能を盛り込んでいく。

また、コーディング作業にあたっては、保守性の高いコードを記述することを目指す。台内研修の一貫として、技術推進室の支援を受け、他プロジェクト所属のソフトウェア技術者によるコードレビューを受ける体制を整えている。合わせて、プロジェクト管理ツールである Redmine や、プログラムバージョン管理ソフト Git 等のツールも活用する。コーディング作業は 2018 年 7 月に終了予定である。

改修の最終段階では、実際に天体を望遠鏡の感度を持つ範囲に収めながら追尾することが可能か、またその時 TSU OFFLINE 障害が発生するかも確認する必要がある。これらの動作確認を経て 2018 年 8 月に水沢局での運用開始を目指している。

## 7. まとめ

時刻同期制御部の TSU は VERA 特有の装置で、予備品入手不可である。予備品枯渇を解消するため、TSU 代替機を開発中である。製造業者による改修費用が高額で予算確保困難であるため、経費削減と技術力向上のため内製する。現在まで仕様検討・設計・試験用部品調達・コーディングと作業を進めた。2017 年 7 月にはテストプログラムによって ACU と制御／監視信号を送受信し、AZ/EL 駆動に成功した。今後は FRCU/2BCU との送受信、運用ソフトとの送受信、天体追尾等の課題に取り組む。

# 木曾観測所の自動観測について

○青木 勉、征矢野隆夫、樽沢賢一、諸隈智貴、酒向重行、森 由貴、小林尚人（東大・木曾観測所）  
前原裕之（国立天文台・岡山）、松永典之（東大・本郷）、猿樂祐樹（京産大・神山天文台）

## 概要

木曾観測所では 2012 年より「KWFC」を用いて広視野撮像観測を行ってきた。数年の試験期間を経て、観測装置及び望遠鏡を安定して運用できることが確認できたことから、2015 年度からは観測運用を自動観測へと転換した。その後、夜間はほとんど滞在者なしの状態で安定した自動観測を数年に亘り続けることに成功した。ここでは長期の自動観測の経験、現状、ならびに課題について報告する。

### 1. 自動観測

自動観測を行う際に最も重要な機能は、観測の可否（観測条件判定）判断である。安全で確実な観測を行うためには、気象関連のセンサー群およびドームスリットに、他の機器以上に確実で正確な動作が求められる。木曾観測所では 2013 年に制御系の大改修を行うなど望遠鏡とドーム制御の信頼性の向上に努めてきた。その結果、数年間に渡り良好な自動観測の運用が実現できている。木曾観測所の自動観測システムの詳細については、天文学に関する技術シンポジウム第 34 回(2014 年)の前原氏の特別講演、及び第 35 回(2015 年)の青木の発表集録を参照されたい。

### 2. 観測条件判定

観測可能な時間帯に、観測開始・再開（ドームスリット開、観測キュー開始）の判断と観測の中断・停止（ドームスリット閉・観測キュー停止）の判断を行うためには、様々な気象条件を判定しなければならない。その中でも雲量の指標となる空の放射強度の計測が観測条件判定の重要な要素となる。図 1 に気象観測モニター画面示す。



図 1. 気象環境モニター画面

左図は、木曾観測所内で計測している、各種気象関連のデータと時間変化をプロットしたものである。中でも重要な雲量の判定には、ATR 値（外気温からの経験式を用いて推定した快晴時の放射強度と観測された放射強度の比を評価）を用いている。

### 3. 木曽観測所の観測効率

木曽観測所における観測効率の統計について紹介する。木曽観測所では観測効率を、日効率（観測実施夜数）と時間効率（観測実施時間）の2つの推定量を用いて定義している。詳細は 前原氏、松永氏による「木曽観測所シュミットシンポジウム 2011」の以下の報告を参照されたい。

[http://www.ioa.s.u-tokyo.ac.jp/kisohp/RESEARCH/symp2011/KisoSymp2011/KisoSymp2011\\_MatsunagaP.pdf](http://www.ioa.s.u-tokyo.ac.jp/kisohp/RESEARCH/symp2011/KisoSymp2011/KisoSymp2011_MatsunagaP.pdf)

- (1) 日効率：1夜に 20 exposure 以上の OBJECT フレームが撮られている夜を観測夜とカウント
- (2) 時間効率：1時間内に 5 exposure 以上撮られている任意の 1 時間を観測時間とカウント

因みに、2016 年度の日効率は  $187 \text{ days} / 351 \text{ days} = 53\%$  、時間効率は  $1389 \text{ hours} / 3767 \text{ hours} = 37\%$  となっている。この値は、過去の統計と比べても良いマッチングを示している。図 2 に過去 6 年間に亘る月毎の観測効率を示す。これらの統計には、現在の主力観測装置である「KWFC」カメラの観測結果を元に計算した値を用いている。

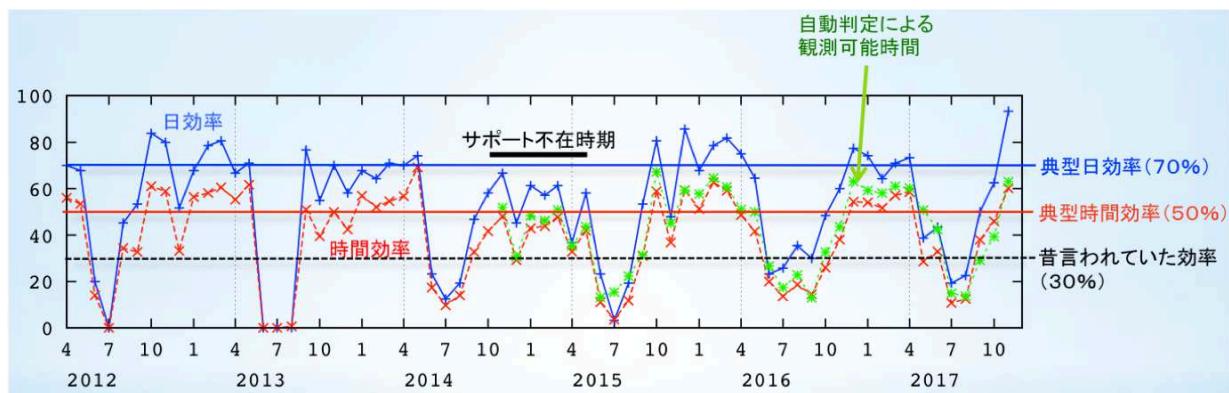


図 2. 月毎の観測効率 (2012-2017 年度)

図から、梅雨時期を除けば、毎月それほど大きな差がないことがわかる。また、緑色の点線で示したグラフは、自動判定（観測可否判定）による観測可能時間を示しており、実際の時間効率がほぼ同じ値を示していることから、自動観測がかなり効果的であることが分かる。

### 4. 観測可能夜数の統計

観測可否判定を行う際には、夏季・冬季で閾値を調整している。これは大気中の水蒸気量の影響によるものと思われており、実際には夏季 (ATR 値= 1.05~1.10 )、冬季 (ATR 値=1.0~1.05) のように微調整をしている。また、観測の開始・再開 (DomeSlit Open) が頻繁に起こらないよう、観測中断・停止 (DomeSlit Close) の ATR 値を 0.05 大きい値に設定している。以下では具体的に、過去 5 年間に於ける観測可能時間の統計について紹介する。図 3 は過去 5 年間の 1 月における観測可能時間の度数分布と、累積度数分布を示している。ATR 値 1.0~1.05 の範囲にある青帯部は、観測開始と中止の判定範囲を示したもので、青帯より ATR 値が低い範囲は観測可能であることを示している。右図の 1 月における過去 5 年間の累積度数分布をみると 5 ~ 6 割程度観測可能であることがわかる。

図4、図5は上記と同様に、残りの2月から12月の過去5年間の統計量を示す。

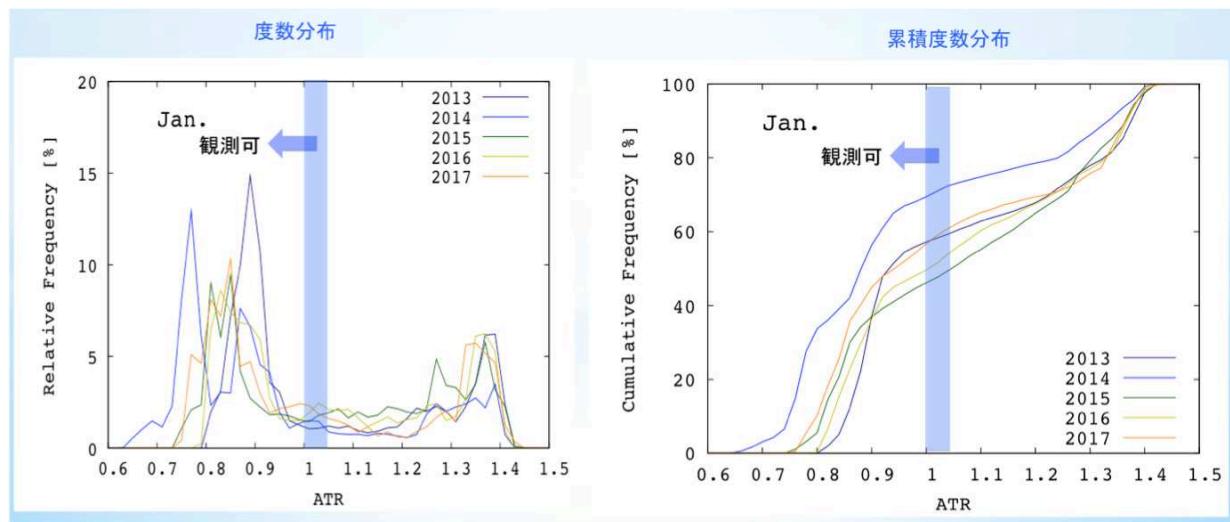


図3. 過去5年間の1月における度数分布と、累積度数分布

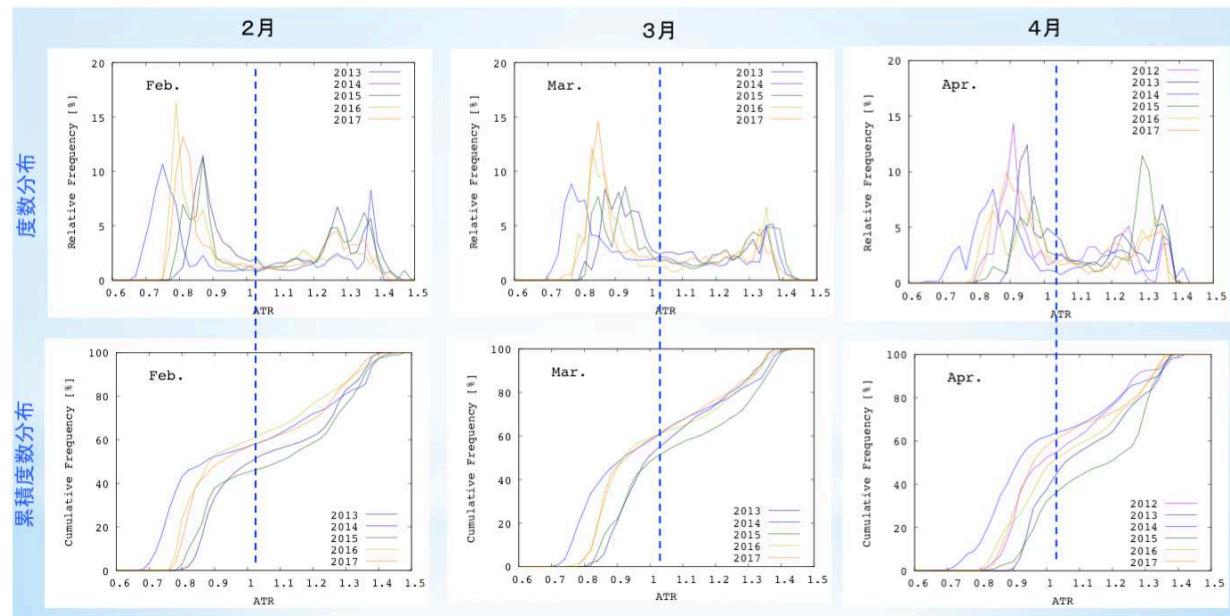


図4. 過去5年間の各月毎の度数分布と、累積度数分布（2 - 4月）

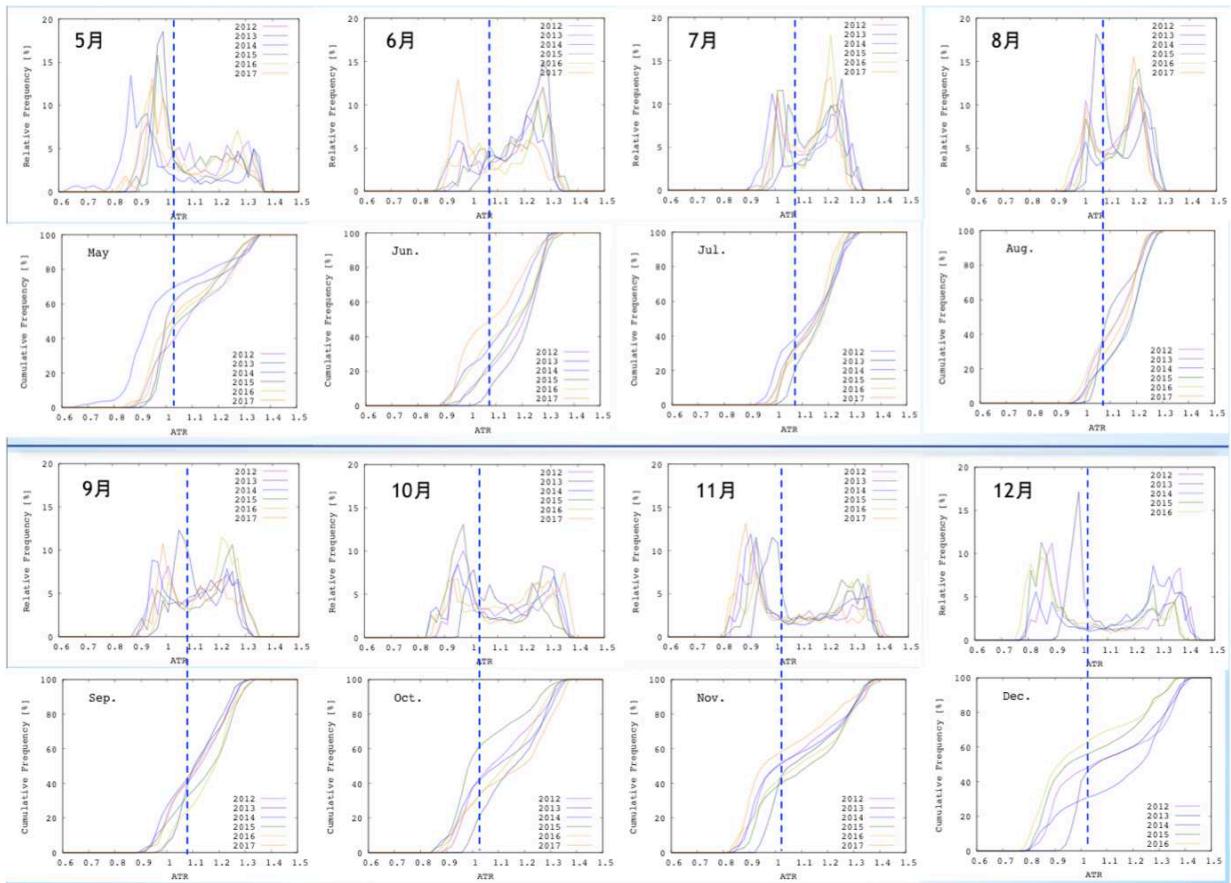


図 5. 過去 5 年間の各月毎の度数分布と、累積度数分布（5 – 12 月）

## 5. 今後の課題

木曾観測所では、今回の技術シンポジウムの P17 で、高橋氏が報告されている新装置「Tomo-e Gozen」超広視野カメラの試験運用を 2018 年 2 月中旬から開始する予定である。その後も含め、スケジュールは以下のようになっている。

- 2018 年 2 月 : Tomo-e GozenQ1 (21 センサーモデル) 完成、試験観測
- 2018 年 7 月 : Tomo-e GozenQ2 (42 センサーモデル) 完成、(Q1+Q2)
- 2018 年 10 月 : Tomo-e GozenQ3 (63 センサーモデル) 完成、(Q1+Q2+Q3)
- 2019 年 1 月 : Tomo-e GozenQ4 (84 センサーモデル) 完成、(Q1+Q2+Q3+Q4)

最終的には 2019 年 1 月に、フルスペックでの観測が開始される予定である。その際に、Tomo-e Gozen カメラの観測の自動化に加えて、可視全天カメラの撮影間隔を 1 分程度に短縮し、雲が無い晴天域の予想を行うことで、観測可能時間を最大限有効活用することを考えている。これらについては、今後の開発課題となっている。

# OAOWFC の無人観測

○柳澤顕史（岡山天体物理観測所）

## 概要

岡山天体物理観測所の 91cm 反射望遠鏡を広視野赤外線カメラに改造して、2 年半余り無人で自動観測をしている。この無人観測を支えるのは、自動天候判断と、自動焦点調節機能、そしてハードウェアの協調動作を実施する仕組みである。

## 1. はじめに

岡山天体物理観測所の 91cm 反射望遠鏡は、1959 年に日本光学(現 : Nikon)によって製作された国産初の 1 メートル級の望遠鏡である。この望遠鏡は、主として可視測光や可視分光観測に多用され成果をあげてきたが、我々赤外屋にとっては、我が国初の近赤外線観測が行われた記念すべき望遠鏡でもある。

この望遠鏡を世界で 2 番目の視野をもつ広視野近赤外 (0.9-2.5um, Y,J,H,Ks-band) カメラ OAOWFC: Okayama Astrophysical Observatory Wide Field Camera に改造した。光学系はフォワードカセグレンと準シュミット光学系を組み合わせた様式を採用しており、最終口径比は f/2.5 と近赤外では世界で最も早い光学系の一つである。焦点には HAWAII (HgCdTe 1K × 1K) を設置しており、 $0.48 \times 0.48$  sq.deg. の視野を 1.67 arcsec/pix の画素分解能で撮像できる。

この望遠鏡は、変光星探査に基づく銀河系円盤構造の研究を目的として改造された。これまでの 2 年半ほどの期間で銀河系内側方向 30 平方度の銀河面 ( $|b| < 1$ ) を Ks-band で繰り返しモニタ観測した結果、90 個程度のセファイド型変光星候補を見つけることに成功した。これらの候補星の 9 割は Gaia 衛星（可視光で観測）では見えていない。言い換えると、近赤外線波長域で観測することで初めて見えてきた天体が殆どを占めている。また、OAOWFC のような無人近赤外ロボット望遠鏡は未だに少なくて、おそらく OAOWFC は、MAGNUM, REM に続いて史上 3 例目であり、広視野の特徴をもつのは OAOWFC のみである。つまり、北天の銀河面を近赤外でモニタサーベイできる装置は OAOWFC の他にはないので、今後もエリアを拡張し、広域のセファイド分布を明らかにしたい。

ロボット望遠鏡のすることは単純で、観測に適した気象条件であれば観測データを取得し、雨が降りそうならドームシャッターを閉めて休む。また、ピント調節を自動で行えばよい。前者は主として中間赤外雲モニタ、後者はオートフォーカス機能により実現できる。そして、望遠鏡、ドーム、撮像装置などの制御要素を、協調動作させる仕組みをつくり、永続化させることも重要である。以下、中間赤外雲モニタ、オートフォーカス機構、そして機器の協調動作の仕組みについて記述する。

## 2. 中間赤外線雲モニタによる天候判断

木曾観測所における自動観測と同様、天候判断には中間赤外線雲モニタを使用している。当観測所では Boltwood Cloud Sensor II (米国 Diffraction Limited 社製品：図 1 参照) を使用している。この製品は、単素子(8~12um)のセンサを 2 個内蔵しており、地上放射温度に対する空の放射温度を相対値で出力する。図にスカイモニタ画像と対応する Tsky を示した。雲量に応じて Tsky が変化する様子が判る。雨を降らせるような雲は、地上からそう高くないところにあり暖かい。よって、地

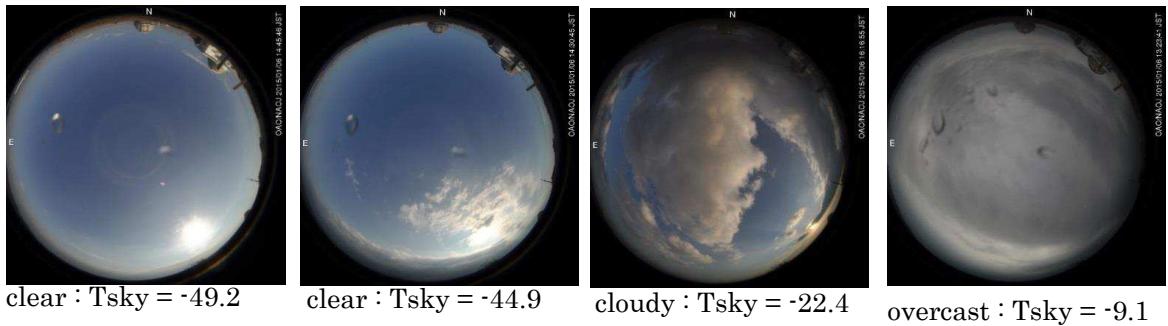


図 1：スカイモニタ画像と、BWCSSII が計測した Tsky。

上温度に対する空の温度差は小さくなり、Tsky が大きくなる。そこで、Tsky に適切な閾値を設けることにより、曇っているかどうかを判断することができる。OAO WFC は Tsky が  $-15$  度より大きくなったらドームシャッターを閉じて観測を停止している。

### 3. オートフォーカス機構

オートフォーカス機構は、鏡筒の伸縮計測に基づく副鏡位置のフィードバック機構と、二次的なフォーカスずれを計測してフィードバックする 2 段構えで実現している。

まず、望遠鏡鏡筒の伸縮を計測し、主鏡と副鏡の距離を一定に保つ仕組みを実現するために距離原器を用意し鏡筒に平行に設置した（図 2 参照）。距離原器は、低膨張ガラス（クリアセラム）の棒で、長さは  $3,200\text{mm}$  である。この長さは、主鏡一副鏡間の規定距離と同じで、気温が  $40$  度変化しても伸縮はわずか  $4\mu\text{m}$  である。一方、鏡筒（材質は炭素鋼）は年に  $1.3\text{mm}$  程度伸縮し、一日でも  $0.2\text{mm}$  程度の変化を起こす。距離原器は、下側端面を主鏡凹面の頂点と一致するように取り付けてある。鏡筒側のトップエンドには非接触のレーザー変位センサ（計測精度  $1\mu\text{m}$ ）が取り付けられており、距離原器の上側端面との距離変化をモニタしている。この仕組みにより、距離原器に対する鏡筒の伸縮が定量的に評価でき、副鏡位置を鏡筒が伸びた分だけ副鏡を主鏡に近づけることで、オートフォーカスが実現できる。

運用したところ、本オートフォーカス機構は期待通りに機能していることが確認できたが、完全なるピント調整はできないことが判った。おそらく、気温変化に伴い主鏡（材質パイレックス）形状が変化して焦点距離が変化することや、常温部にあるフィールドレンズの、主鏡・副鏡に対する相対位置が変化することが原因であると思われる。幸か不幸か OAO WFC には主鏡に起因する非点収差があり、焦点位置を挟んで星像の伸びる方向が変化する。この星像の伸びの位置角とフォーカスずれには一意の関係がある。そこで、定期的（現在は 10 分おき）に画像を解析して星像の位置角を評価して、フォーカスずれを算出し、そのずれ量を副鏡位置にフィードバックしている。こうして、平均的には星像の FWHM を  $2.5$  画素から  $3$  画素に制御できている。

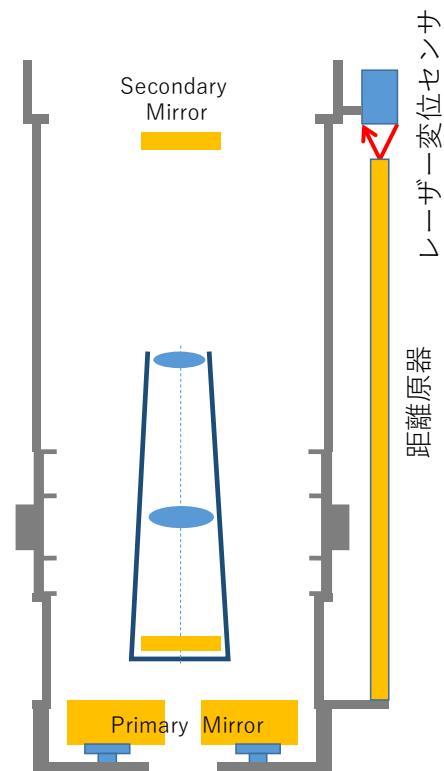


図 2：鏡筒に並行に設置した距離原器と変位センサで測る鏡筒の伸縮

#### 4. ソフトウェアによる統合制御

OAOWFC の無人制御を実現する仕組みの肝は、ハードウェアの分散制御と、ソフトウェアによる並列制御にある。ここではハードウェア構成を概観し、ソフトウェアの仕組みについて解説する。

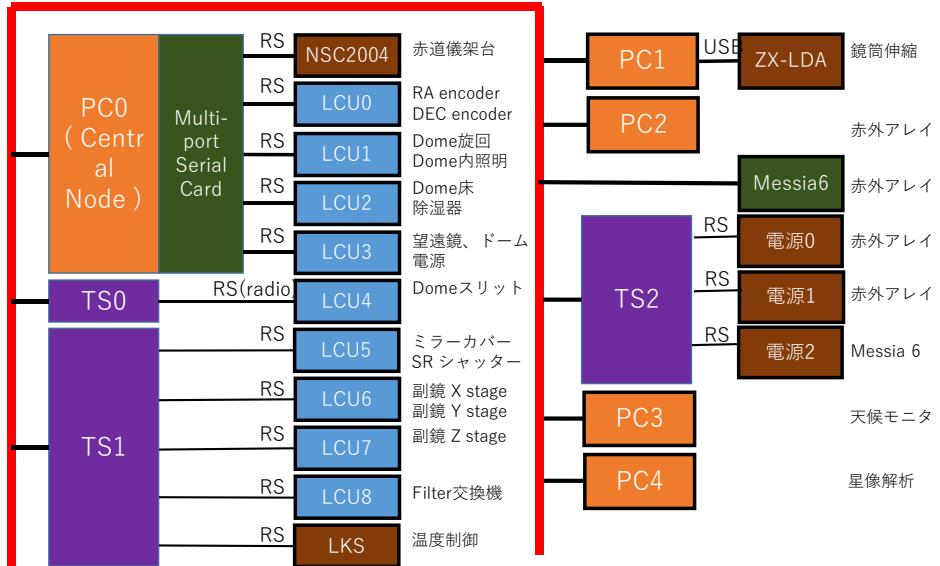


図3：OAOWFCのハードウェアブロックダイアグラム。すべての機器は、LANでつながっている。

ハードウェア構成は分散制御を念頭に設計した。分散制御とは、構成要素ごとにコントローラを割り当て、それぞれのコントローラをネットワーク接続し、相互に通信しあう制御の様式である。図3は、OAOWFCのハードウェア・ブロック図である。OAOWFCの制御要素は、赤道儀架台、副鏡XYZステージ、ドームシャッター、ドーム旋回装置、鏡筒伸縮計測装置、赤外アレイなど、全部で14あり、それぞれにコントローラが割り当てられている。コントローラにはPCの他に、LCU#とラベルされたものがある。LCUとはLocal Control Unitの略であり、その実体は岡山天体物理観測所で設計・製作されたワンチップ・マイコン(H8)ボード(通称:清水ボード)である。このボードは、シリアル(RS232C)通信機能と、約50のI/Oを備えている。よって、接続されているエンコーダの読み取りやスイッチ類のステータスの読み込み、さらには各種モーターの制御や、スイッチの切り替え制御をコマンドにて実現できる。TS#とラベルされた機器はTerminal Serverであり、TCP/IPとシリアル通信(RS232C)の変換を行う機能をもつ。以上の構成により、すべてのコントローラはLANに接続され、計算機からステータスの把握と制御が可能となっている。

分散制御を実現するのに必要なソフトウェア ContWFCは、スクリプト言語 Rubyにて記述した。Rubyは、まつもとゆきひろ氏が開発したオブジェクト指向言語である。Rubyを採用した理由は主に二つある。一つ目は、柔軟で表現力に富んでいるからである。この性質により、コード行数が少なくて済むため、開発時間が短縮され、容易なメンテナンスが実現される。二つ目は、機器の非同期制御を実現するために役立つ、並列処理のクラス・ライブラリ Rindaを標準的にサポートしているからである。

Rindaは、タプルスペースと呼ばれる分散共有メモリに、タプルと呼ばれるデータを読み書きすることで並列制御を実現する環境を提供する。例えるならば、タプルスペースはネットワーク・アクセス可能な掲示板である。この掲示板には、様々な情報(タプル)が書き込まれており、その掲示板を見に来た人(プロセス)は誰でもすべてのタプルを見ることができるし、またタプルを書き込むことが可能である。掲示板には管理人がいて、指定の期限(通常60秒)を過ぎたタプルは消去される。

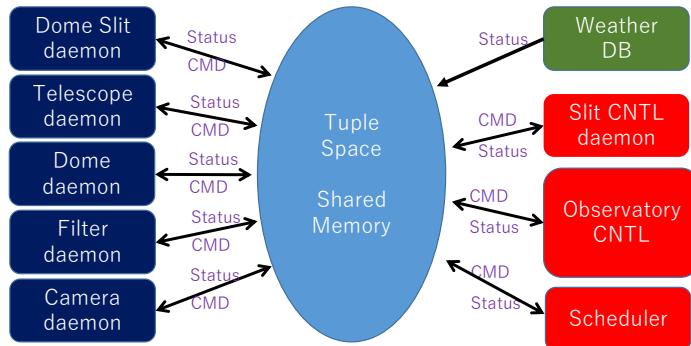


図4：ソフトウェア構造。すべての情報（ステータス、コマンドなど）はタプルスペースを介してやり取りをする。常駐する専用プロセスはLinuxではデーモン(daemon)と称される。

また、セキュリティ維持の観点から、管理人は掲示板にアクセス可能な人を限定することもできる。こうすることで、安全で大きな混乱なくメッセージの交換ができる環境が整えられている。

ContWFCは、Rindaの提供するタプルスペースでメッセージ交換することにより、各コントローラの協調動作を行っている。先ほどの例で、掲示板を見に集まる人々の実体は、コントローラとの通信を媒介するプロセス達である。プロセスはタプルスペースを見張っていて、自分宛ての命令が来たら、その内容をコントローラに連絡して実行させ、結果を聞いてタプルスペースに書き込む作業を実施するほか、定期的にコントローラにステータスを問い合わせ、その返答をタプルスペースに書き込むことにより、そのステータスを必要とするほかのプロセスに周知をする。また、気象装置のように出力一辺倒の機器については、ステータスを書き込むのみである。

図4は、タプルスペースと、コントローラとの通信を媒介するプロセス群の関係を模式的に描いたソフトウェア・ブロック図である。協調動作は次のように行われる。例えば、ドームシャッターの動作を決めるSlit CNTL daemonはWeather DBからの入力をモニタし、雲が厚くなったらシャッターを閉め、天候が回復したら開ける操作をする。画像データする際は、次のようになる。Schedulerが天体の位置情報、データ取得方法を指定したキュー（タプル）を投げる。Observatory CNTLは、キューを受け取り観測が可能と判断すれば、ドーム旋回装置にスリットの方位角を指令、赤道儀架台に姿勢を指令する。両者からの終了メッセージ（タプル）を受けたら、今度はCamera daemonに撮像を指示する。終了のメッセージを受けたら、Schedulerに終了通知のメッセージを送る。通知をうけたSchedulerは、次の観測キューをタプルスペースに投げることで、観測が続いてゆく。ContWFCでは、常に300程度のタプルが存在するが、これらの通信に伴う遅延が観測効率に与える影響は、赤外アレイの読み出しオーバーヘッドと比較すると微小である。Rindaが提供する協調の仕組みは、コーディングの観点からも有益である。各プロセスのコードは互いに依存度の少ない疎結合の関係にある。インターフェースの仕様をきっちり決めれば、バグが入りにくく、保守がしやすい。また必要に応じて機器を付け加えることも容易であり、拡張性も高い。

タプルスペースを提供するプロセスや、コントローラとの通信を媒介するプロセス群、さらに制御をおこなうSchedulerやCNTLプロセス達は、計算機内に常駐している。こうした常駐プロセスはデーモンと呼ばれる。これらデーモンの死活監視を行い永続化させる役割は、プロセス監視デーモンMonitが担っている。おかげでContWFCは常に正気が保たれている。

## 5. まとめ

OAOWFCは世界で2番目に視野の広い広視野赤外線カメラで、大過なく無人で観測を実施している。無人観測は、天候判断機能と自動頂点調節機能、さらに機器類の協調動作を実現するソフトウェアによって実現されている。そのソフトウェアの中核はRuby/Rindaが担っている。

# 液晶チューナブルフィルター開発について

○木村剛一、一本潔、大辻賢一、上野悟、永田伸一、仲谷善一、廣瀬公美、徳田怜美  
(京都大学理学研究科 附属天文台)

## 概要

京都大学理学研究科附属天文台では、太陽観測用 超狭帯域液晶チューナブルフィルターを5年前より開発し、現在までに2台製作してきた1台目の口径32mm(UTF-32)はドームレス太陽望遠鏡や海外の大型望遠鏡で観測に活用されている。2台目の40mm(TF-40)は2016年4月から、飛騨天文台太陽磁場活動望遠鏡のSDDIに搭載されている。本公演では口径32mm(UTF-32)のフィルターを透過幅 $1/8\lambda$ (透過半値幅0.125Å)にするアタッチメントの開発状況を報告する

## 1. はじめに

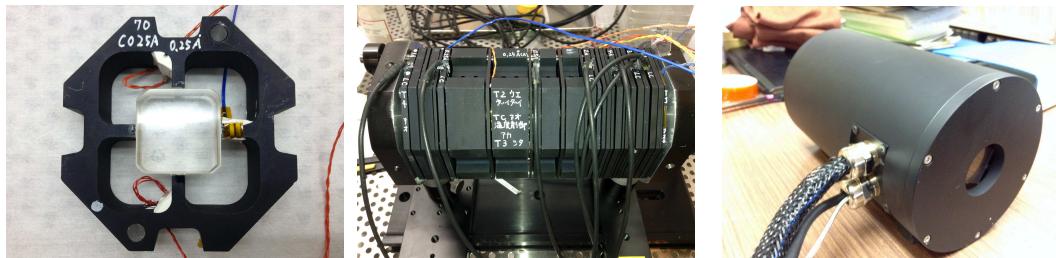
太陽観測衛星や高分解能地上望遠鏡による成果として、太陽大気はダイナミクスなプラズマ運動で満たされている事が明らかとなり、その現象の解析を深めていく必要に迫られてきた。この様な現象を観測するためには、高時間分解能、広視野、高分解能で太陽表面において起きている現象の速度場及び磁場のイメージング観測が必要となってきたことから、5年前より新しい液晶チューナブルフィルターの開発に着手した。

## 2. 液晶チューナブルフィルターとは

リオフィルターとは偏光板、厚みの異なる複屈折結晶（方解石、水晶など）を交互に重ね合わせ、狭い波長範囲の光を取り出すもので、今まで製作してきた2台のリオフィルターは7つのブロックによって構成し、透過帯を0.125Åとした。従来のリオフィルターでは波長変換を行う際、光学素子を駆動させる機構が必要であったこと、機械駆動部分の潤滑と恒温を目的として、素子を油層内に格納している。しかし、油層内に素子保持機構の可動部分から発生する微細な金属粉末が油層内に拡散し、重ねあわされた素子の間に蓄積され光量の著しい低下を招いていた。液晶チューナブルフィルターでは波長可変は液晶素子を使用し機械駆動部を排除し、それに伴い潤滑機能が必要無いため油層も廃止した。液晶素子を使用するもう一つの理由として、波長変換速度の劇的な高速化を達成することが可能であり、特に1号機として開発した口径32mmのUTF-32については、510Åから1100Åの波長帯域内で0.25Å刻みで任意の波長に最短100msで波長変換することが可能である。これは液晶の反応速度に依存している。

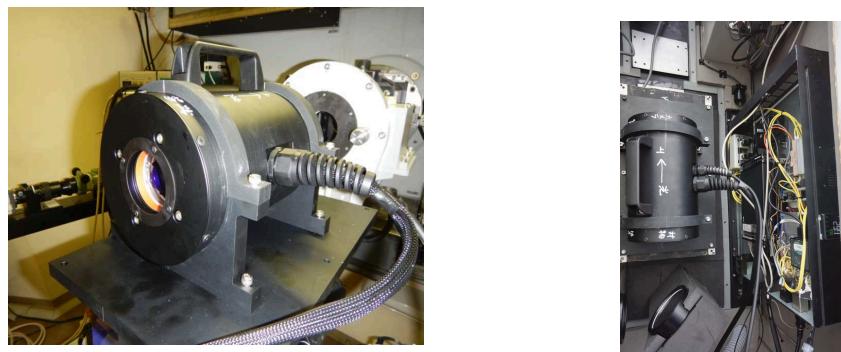
### 1) U T F – 3 2 (Universal tunable filter)

U T F – 3 2 は口径 3 2 mm のリオフィルターで、2 0 1 5 年 1 月に完成した。このフィルターは現在、飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡の定常観測用として用いられている。また、その可搬性を生かし、海外の大型太陽望遠鏡での観測にも使用されている。



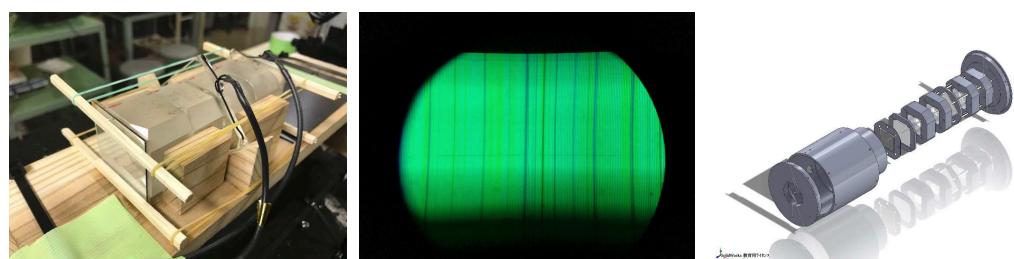
### 2) T F – 4 0 (Tunable filter)

T F – 4 0 は飛騨天文台太陽磁場活動望遠鏡（S M A R T）の新しい観測装置 S D D I に搭載するために製作された口径 4 0 mm の液晶チューナブルフィルターであり、S M A R T T 1 鏡筒内部に設置され使用されている。



### 3) T F – 1 / 8

U T F – 3 2 の透過波長は現在 0. 2 5 Å であるが、これをさらに半分の 0. 1 2 5 Å にするため開発中の装置である。U T F – 3 2 とこのフィルターを同一の光路上に設置する事によって、その性能を発揮する。



現在、部品については京大理学研究科技術開発室に加工依頼を出し部品加工中である。本装置は本年度内に完成予定である。

### 3.まとめ

我が国の液晶チューナブルフィルターの開発は、1996年から乗鞍コロナ観測所の10cmコロナグラフに搭載された、波長 $5303\text{ \AA}$ のコロナ輝線を観測するために開発されたものが実用的なものとして一番初めに開発されたと思われる。その後、その製作ノウハウを継承し、京都大学附属天文台では2012年に新しい液晶チューナブルフィルターの開発が始まったが、透過幅が $0.25\text{ \AA}$ のフィルターは国内ではまだ開発されておらず、波長範囲も $5100\text{ \AA}$ から $11000\text{ \AA}$ と非常に広い物であること、液晶や各種素子の温度依存性などの検証も必要な事から測定などには非常に時間がかかった。この測定、解析には、萩野正興氏（現国立天文台 太陽観測科学プロジェクト）が担当されたが、冬の寒い飛騨天文台の測定室で籠りきりの非常に大変な作業であったと思われる。開発、製作期間は足掛け4年と少々時間をかけ過ぎた感もあるが、2015年1月に初号機であるUTF-32が完成し、中国雲南省撫仙湖太陽観測所にて、太陽のイメージング観測を行った。以降は飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡を常設場所とし観測に供されている。続いて2号機であるTF-40は飛騨天文台太陽磁場観測望遠鏡（SMART）のT1望遠鏡の新しい観測装置（SDDI）へ搭載され、日々の観測用いられている。現在は、UTF-32の透過幅をさらに半分にするTF-1/8を製作中である。

#### 参考文献など

- ・国立天文台太陽科学プロジェクト（太陽観測所）ウェブページ

# 雲南天文台麗江観測所での太陽コロナ緑色輝線観測の現状

○萩野正興、桜井隆、篠田一也（国立天文台）、Yu Liu, Tengfei Song, Xuefei Zhang, Mingyu Zhao, Zhong Liu（雲南天文台）一本潔、木村剛一（京都大学）、濱田寛太（明星大学）、鈴木勲（文京学院大学）

## 概要

コロナグラフと太陽コロナ緑色輝線においてコロナ強度とドップラー速度場を観測できる NOGIS は 2009 年まで乗鞍コロナ観測所で用いられてきた。乗鞍コロナ観測所が閉鎖された後、2013 年 11 月に中国国家天文台の雲南天文台麗江観測所へ移設され、太陽コロナ観測を続けている。ここでは乗鞍コロナ観測所から麗江観測所への太陽コロナ緑色輝線観測の継続性について議論する。

## 1. はじめに

太陽コロナの明るさは太陽本体の  $10^{-6}$  程度しかなく、満月の明るさと同程度である。それに対して、太陽付近の空の明るさは、条件の良い山の上でも、空気による散乱光により  $10^{-5}$  ほどの明るさがあるため平地で太陽コロナは皆既日食の時しか見ることができない。このように太陽コロナを定常に観測するには、空気が薄い空の澄んだ高い山にある観測所が必要である。さらに、1930 年代にベルナール・リオがフランスのピレネー山脈にあるピック・デュ・ミディ観測所で開発した人工的に太陽本体を遮蔽し望遠鏡内の散乱を減らしたコロナグラフを用いて、太陽コロナの観測が可能となる。

乗鞍岳摩利支天山頂（標高 2876m）の乗鞍コロナ観測所では 2009 年まで太陽のコロナ観測を行っていた。この観測所には 2 つの口径 10cm コロナグラフと分光器を備えた口径 25cm のコロナグラフがあった。これらは観測所が閉鎖された後に分解され、国立天文台三鷹キャンパスに運ばれた。現在、同キャンパス内に保管・展示されている。このコロナグラフのうち、太陽コロナ緑色輝線(Fe XIV 530.3 nm)を観測できるフィルターを搭載した望遠鏡は 2013 年 11 月に中国国家天文台の雲南天文台麗江観測所（以下、麗江観測所）へ移設された。

乗鞍コロナ観測所における太陽コロナ緑色輝線観測は直視分光器で 1950 年から 1998 年まで行われてきた。その後、チューニング可能なリオフィルターを用いた観測が閉鎖される 2009 年まで行われた。このフィルターを用いた観測システムは NOGIS (Norikura Green Line Imaging System) と呼ばれ、太陽コロナ中のプラズマ運動だけでなく、速度場も測定することのできる装置であり、コロナ加熱、フレアのメカニズム、コロナ質量放出、宇宙天気といった研究で扱えるデータを取得できる装置として重要である。この観測システムが中国雲南省へと移設

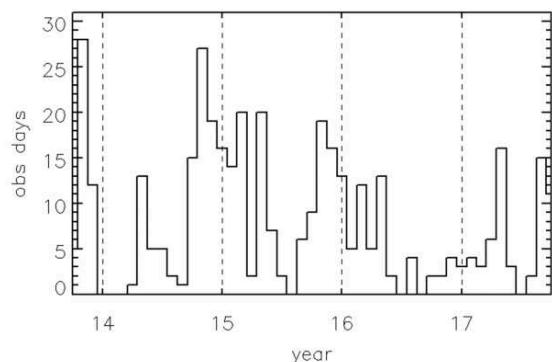


図 1：麗江観測所における月間の観測日数。

された際、名称を YOGIS (Yunnan Observatory Green-line Imaging System)に変更された。

## 2. 雲南天文台麗江観測所

麗江観測所は中国雲南省の北西に位置し、標高は乗鞍コロナ観測所とほぼ同じ3200mの高山にある。この観測所は透明度の高い空と安定した晴天率で太陽コロナ観測には有利なサイトである。季節は雨季と乾季ははっきりと分かれ、雨季には観測時間が短いが、晴れ間には非常に良い観測できる。図1に麗江観測所における月ごとの観測日数の推移を示す。2016年2月にコロナグラフとYOGISは古い既存のドームに移され、数名の観測者によりコロナ観測を続けてきたが、現在雲南天文台で進められているChinese Giant Solar Telescope (CGST)の建設という大型プロジェクトに人員が割かれるため、麗江観測所での観測日数は乗鞍コロナ観測所と比較すると少ない。この問題を回避するため、観測者の負担を減らし少人数でも安定した観測が行えるように、新しいドームの建設と精度の高い太陽追尾機構の開発を行ってきた[2]。これらのシステムが2017年に完成したので、今後は観測日数の増加が期待できる。



図2：(左) 旧ドーム。(右) 新ドームの建物。この建物内には、観測室のほか、会議室や宿泊できる部屋もあり、早朝からの観測にも対応できるようになった。

NOGISに使用されていたコロナグラフの鏡筒は鉄製であったため、望遠鏡移設時にアルミニウム製のものに作り替え、対物レンズを前後させるフォーカス調整機構も更新された。また、赤道儀と観測ドームは雲南天文台が作成した。新しいドームでの観測に導入された赤道儀はフォーク型のもので南中時に中断することなく連続して観測できるようになった。YOGISを含むコロナ観測の光学系は乗鞍コロナ観測所で使用されていたものと同じである(Ichimoto et al., 1999)。この麗江観測所への移設前に乗鞍コロナ観測所で太陽コロナの観測に必要な性能の評価を行った(鈴木, 2014)。

## 3. 太陽コロナ観測

図3と4に乗鞍コロナ観測所と麗江観測所での太陽コロナ観測の例を示す。それぞれ、ほぼ同時刻に太陽観測衛星で取得された極端紫外線のコロナ像も一緒に示す。ここで示した太陽コロナの緑色輝線での温度は約2000万度の構造を見ているのに対し、極端紫外線での温度は100万度であるためコロナの構造には違いがあるが、コロナループの位置はおおよそ一致している。このように乗鞍コロナ観測所で行われてきた観測はほぼ同程度で撮像観測が継続できる状態で移設されたことが分かる。

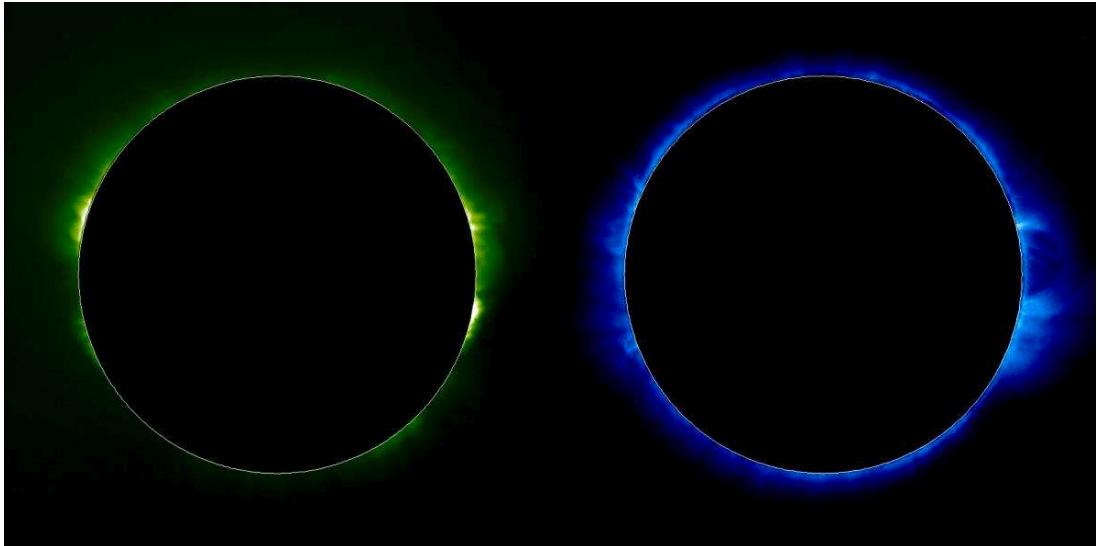


図3:2003年5月29日の太陽コロナ観測。(左) 乗鞍コロナ観測所でのコロナ緑色輝線(5303Å)観測。(右) 太陽観測衛星SOHO/EITによる極端紫外線(171Å)観測。

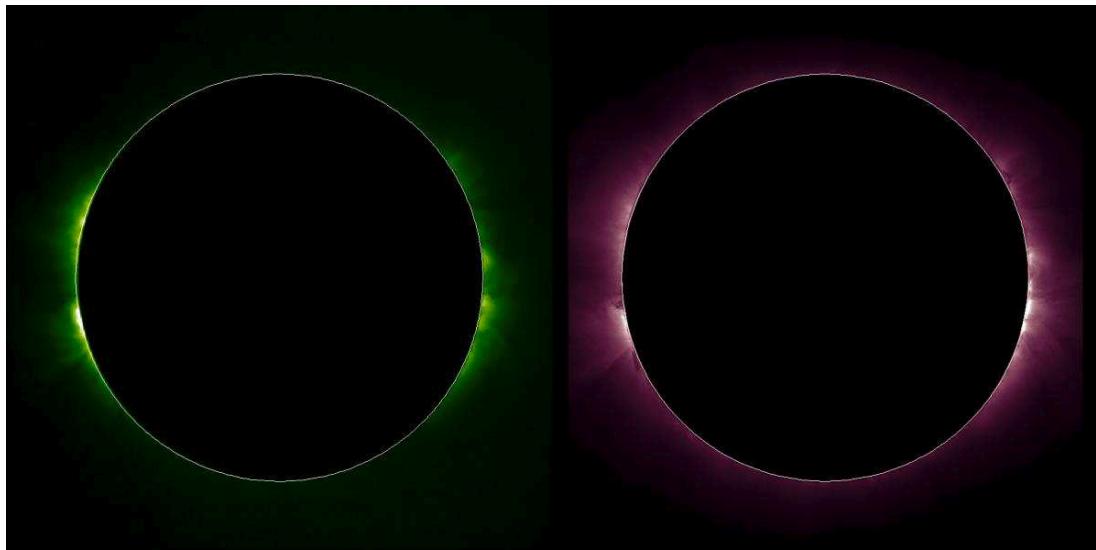


図4:2013年11月15日の太陽コロナ観測。(左) 雲南省麗江観測所でのコロナ緑色輝線(5303Å)観測。(右) 太陽観測衛星SDO/AIAによる極端紫外線(221Å)観測。

この観測システムではフィルターのチューニング素子である液晶の遅延量を調整して、透過波長を緑色輝線の波長中心から $\pm 0.2\text{nm}$ の連続光にセットすることで、空の散乱光の強度を取得できるようにしている。この機能を使って麗江観測所と乗鞍コロナ観測所での空の明るさの比較を行う。ここで、空の明るさと太陽活動には相関がある(Sakurai, 2002)ということに配慮して、今回比較する乗鞍コロナ観測所と麗江観測所のデータの時間間隔は約1太陽周期(11年)を設けた。その結果を図5の左に示す。これは空の明るさの半径方向への分布を示している。実線が太陽一周分を用いた平均の明るさで、破線がその標準偏差である。青線が乗鞍コロナ観測所、赤線が麗江観測所のデータである。この明るさの強度はコロナグラフの脇に設置されたフォトダイオードで計測された太陽ディスクセンターの輝度で規格化されている。この図から読み取れるのは両観測所での観測状況は太陽コロナを観測するのに十分暗く澄んだ空である。また、麗江観測所の空の明るさは乗鞍コロナ観測所よりも暗い可能性がある。すなわち

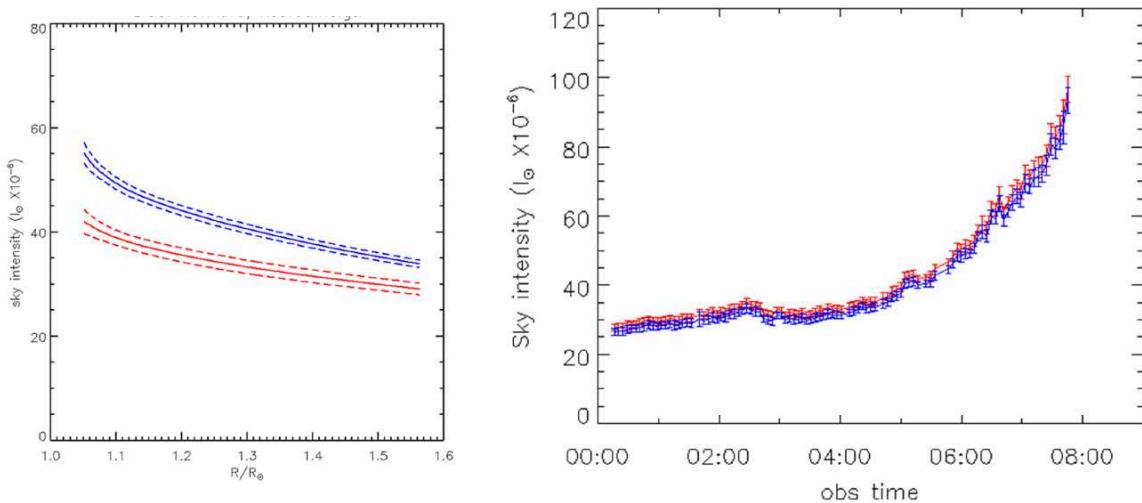


図5：(左) 半径方向の空の明るさの分布を示す。実線が太陽一周分の平均で、破線が標準偏差を示す。青が乗鞍コロナ観測所、赤が麗江観測所。(右) 2013年11月14日の一日の空の明るさの変化を示す。青が1.2太陽半径、赤が1.5太陽半径での推移を示す。エラーバーは太陽全体での標準偏差。

ち、空気による散乱が少ないため、より太陽コロナの観測に適した場所であるということが分かった。

また、一日にわたる麗江観測所での空の明るさ分布の例（2013年11月14日）を図5の右に示す。これ以外の観測日においてもおおよそ同じような時間変化を示した。すなわち、朝は空の状態が良く徐々に空が明るくなるが、南中を挟む±2時間は散乱光が少なく空が暗い状態が続く傾向である。この原因是、麗江観測所周囲の地形が関係している可能性がある。この観測ドームの東側はジャガイモ畑が広がり、数km先が谷になっていて遠い山までは数十kmある。一方で、西側はなだらかな丘で森になっている。また、この畑の土埃が風によって巻き上げられることも観測に影響を及ぼしているかもしれない。さらに、ここで季節変化の調査も行ったが、太陽本体を遮蔽する円盤（オカルティングディスク）は径の違うものを頻繁に交換する。このために交換の前後で太陽光球から漏れる光の散乱で空の状態が変化するように見える。このため、今回の手法を応用して定量的な解析を行うことができない。

現在、麗江観測所で使用している観測用パソコン（Windows XP 32bit）は乗鞍コロナ観測所で使用していたもので、更新が必要である。このタイミングでCCDカメラ、光量計、フィルター内で波長チューニングに使用している液晶遅延素子のドライバの更新を予定している。さらに、雲南天文台ではCGSTの建設が予定されている標高4600mの四川省稻城・亞丁に現在よりも大きな口径のコロナグラフの導入を検討している。

## 参考文献

- [1] Ichimoto, K., et al., Publ. Astron. Soc. Japan, 51, 383-391, 1999
- [2] Sakurai, T., Earth, Planets, Space, 54, 153, 2002
- [3] Sakurai, T., Hinode-3 ASP conf., 454, 439, 2012
- [4] 桜井隆, 天文台ニュース 2012年12月号
- [5] 鈴木勲, 天文台ニュース 2014年1月号

# 太陽シンチレーション観測の妥当性検証及びシーイングの定量化

○山本大二郎、野澤恵（茨城大学）、一本潔、仲谷善一（京都大学飛騨天文台）、三浦則明（北見工業大学）萩野正興（国立天文台）浜屋ひかり、宮良碧（明星大学）

## 概要

地上観測における空間分解能は、シーイングに依存する。そのため、シーイングを定量化する研究が進められている。その中でもシンチレーション観測は、太陽光強度の微小変動から高度ごとのシーイングが推定可能である。本研究では、太陽シンチレーションシステムの確立を目的としている。太陽シンチレーションモニタ SHABAR (SHAdow-BAnd-Ranger) と、波面センサーを用いたシーイング測定手法 SL0DAR (SL0pe-Detection-And-Ranging) との同時観測による測定値の妥当性検証及び、茨城大学・飛騨天文台・乗鞍コロナ観測所でのシーイング測定結果について報告する。

## 1. 背景・目的

地上観測では、対流圏内の大気擾乱からの屈折率の不均一により、対象天体からの光は歪んだ波面となり星像の位置と光強度に揺らぎが生じる。その際の大気による影響をシーイング、大気による星像の光強度揺らぎをシンチレーションと本研究では定義する。望遠鏡のサイト調査の際にはそれらを観測し、定量化することが重要である。SHABAR (図 1 左) は、異なる間隔で設置された複数の光センサーによりシンチレーションを観測する装置である。異なるセンサー間ごとの共分散から、屈折率構造関数  $C_n^2(h)$  と呼ばれる高度  $h$  に依存した大気擾乱の情報を取得でき、 $C_n^2(h)$  を導出することでシーイングの定量化が可能である。本研究ではシンチレーションモニタを使用し、高度ごとの大気擾乱の推定、シーイングの定量化システムの構築を目的としている。

## 2. 解析

$C_n^2(h)$  の推定は主に ATST (現 DKIST) のサイト調査グループが作成した “Deriving  $C_n^2(h)$  from a Scintillometer Array” と Hickson and Lanzetta (2004) を参考にしている。 $C_n^2(h)$  の導出は、

$$B_I(r) = 0.38 \int_0^\infty C_n^2(h) K(h, r) dh ,$$

を用いる。このとき、 $B_I(r)$  はセンサー間距離  $r$  ごとの共分散の観測値、 $K(h, r)$  は高度  $h$  とセンサー間距離  $r$  に依存した共分散のモデルである。モデルを観測値にフィッティングさせることにより  $C_n^2(h)$  を求める。また、シーイングの定量化としてフリードパラメータ  $r_0$  を用いる。 $r_0$  は、観測条件を口径  $r_0$  [m] の望遠鏡の回折限界として表すパラメータである。波長を  $\lambda$ 、天頂角度を  $\zeta$  とし、 $C_n^2(h)$  を用いて、

$$r_0(h) = 0.18466 \lambda^{\frac{6}{5}} (\sec \zeta)^{-\frac{3}{5}} \left[ \int_h^\infty dh C_n^2(h) \right]^{-\frac{3}{5}} ,$$

で表される。したがって、 $C_n^2(h)$ を精度良く推定することができれば、正確な $r_0$ を計算することができるといえる。

### 3. 太陽 SLODAR と SHABAR の同時観測

SHABAR の観測・解析の妥当性を検証するために 2017 年 06 月 05 日 06:13–18:00 (JST)、場所は京都大学大学院附属飛騨天文台で SLODAR との同時観測を行った。観測時は太陽を追尾するために SHABAR を赤道儀に設置した望遠鏡に固定した(図 1 中央)。図 1 右は、同時観測時の様子である。奥にドームレス太陽望遠鏡(DST:Domeless Solar Telescope)があり、手前に赤道儀・望遠鏡に設置された SHABAR が観測を行っている。また、SLODAR は北見工大の三浦氏が DST を用いて行っている。比較するパラメータは、高度 0–1000m 内の $C_n^2(h)$ の平均値である。図 2 は、SLODAR と SHABAR の $C_n^2(h)$ の平均値を比較した結果である。両手法による $C_n^2(h)$ の平均値の相関係数は 0.82 と正相関を示した。SLODAR の値が全体的に大きくなっているが、望遠鏡及び塔起因のシーディング、観測室内のシーディング等が無視できなかった可能性が高い。値の時間変化は相関があることを考慮すると、茨城大学が所有する SHABAR はシーディングの測定が可能であると考える。



図 1 左：シンチレーションモニタ 中央：観測風景 右：SLODAR との同時観測風景

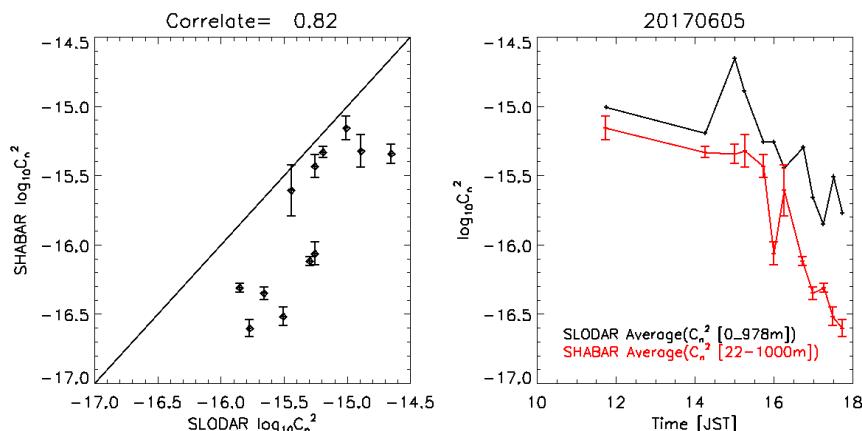


図 2 左：SLODAR と SHABAR の $C_n^2$ の平均値の散布図 右：SLODAR と SHABAR の $C_n^2$ の平均値の時間変化

#### 4. 3つのサイトでのシーイング測定結果

茨城大学・飛騨天文台・乗鞍コロナ観測所での SHABAR による観測を行った。観測概要は、表 1 の通りである。また、図 3 に各観測日・場所で観測した  $C_n^2(h)$  の平均値、図 4 に  $r_0(h)$  の平均値を示す。高度ごとの分布は各サイトで定性的に類似し、他のサイトとは異なる分布を示した。季節・観測時間帯が異なるため、サイト調査に使用できるような議論はできない。しかし、各サイトで SHABAR による定常的・長期的観測を行うことでシーイングのサイト特性を調査できると考える。

観測日	観測時間 [JST]	観測場所	天気
2016/12/02	8:15 – 16:00	茨城大学	快晴
2016/12/03	8:30 – 14:45	茨城大学	晴れ後曇り
2017/06/05	6:15 – 18:00	飛騨天文台	曇り後晴れ
2017/06/06	6:45 – 13:15	飛騨天文台	晴れ後曇り
2017/09/02	8:00 – 12:50	乗鞍コロナ観測所	晴れ後曇り

表 1 : 観測概要

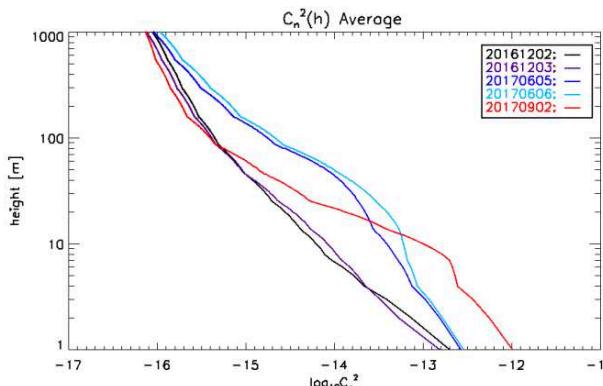


図 3 : 各観測日・場所の  $C_n^2(h)$

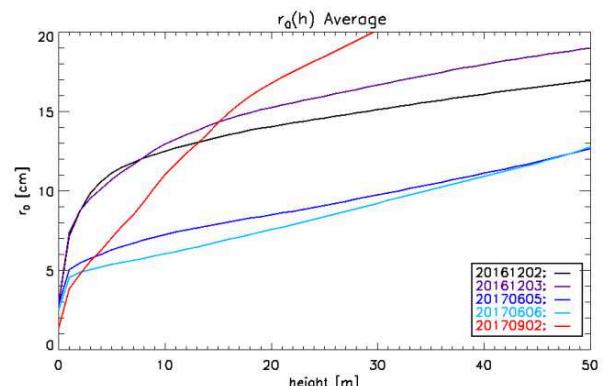


図 4 : 各観測日・場所の  $r_0(h)$

#### 5. 参考文献

- F. Hill, R. Radick and M. Collados, “Deriving  $C_n^2(h)$  from a Scintillometer Array”, ATST Site Survey Working Group Final Report. ATST Proj. Doc., 14, 2003
- Hickson P., and K. Lanzetta, “Measuring Atmospheric Turbulence with a Lunar Scintillometer Array”, PASP, 116, 1143–1152, 2004

# 太陽シンチレーション・モニター(SHABAR)の応用計画について

○浜屋ひかり、宮良碧、日比野由美、小野寺幸子(明星大学)、  
山本大二郎、野澤恵(茨城大学)、萩野正興、篠田一也(国立天文台)、  
仲谷善一、木村剛一、一本潔(京都大学)

## 概要

明星大学日野キャンパスには口径 40 cm の望遠鏡を備えた天文台がある。この天文台は地表面からの大気揺らぎの影響を少なくするため、5 階建てのビルの屋上に設置されている。我々は SHABAR を用いてこの天文台でのシーイングを季節変化も含めて調査している。一方で、SHABAR の観測は上昇気流の影響を受ける。この影響を京都大学飛騨天文台 SMART 望遠鏡に SHABAR を設置し検証する計画である。

## 1. はじめに

光学地上望遠鏡が大型化する近年において大気擾乱の影響が少ないサイトに建設することが高精度の観測を行うためには必要不可欠となっている。太陽の地上観測においては米国ハワイ州マウイ島ハレアカラ山頂に建設が進む Daniel K. Inouye Solar Telescope (DKIST) の 4 m 望遠鏡のサイト調査が注目される[1]。この調査には太陽用に開発されたシーイング・モニター S-DIMM (Solar Differential Image Motion Monitor) とシンチレーション・モニター SHABAR (Shadow Band Ranger)[2] が用いられ、ビッグベアとラ・パルマでの結果と比較して現在の場所に決定した経緯がある。

本研究の目的は、茨城大学で山本[3]が開発した SHABAR の応用例として、明星大学天文台が建てられている場所と望遠鏡の口径が適正かを調査することである。東京都日野市にある明星大学日野キャンパスには口径 40 cm のリッチクレチアン型反射望遠鏡を備えた天文台がある。この天文台は地表面からのシーイングの影響を少なくするため、5 階建てのビルの屋上に設置されている。SHABAR を用いて明星大学上空の大気擾乱の大きさを表すフリード・パラメータ[2]を求め、評価の基準とする。一般的にシーイングは地上からの高さ、気温、風などが関係しているため、季節による変化もモニターする計画である。

一方で、山本らは地上で測定する SHABAR 観測は上昇気流の影響を大きく受けることを報告した。本研究ではこの上昇気流の効果を検証するため、地上 16m の棟の上に設置された京都大学飛騨天文台 SMART 望遠鏡の鏡筒先端に SHABAR を設置することを提案する。

## 2. SHABAR

本研究で使用する SHABAR とは、任意の間隔に設置された複数台の光センサー (フォトダイオード) で太陽の光量を数千 Hz で測定を行う装置である。その明るさの揺らぎ (シンチレーション) からシーイング (大気擾乱による像位置の揺らぎ) を検出する手法で、大気擾乱を高度の関数として推定することが可能である。これらの解析プログラムは今後のデータの整合性のため、茨城大学山本の研究で開発

されたものを用いる。まず、検出されたシンチレーションから、大気の乱れ具合を表す屈折率構造関数  $c_n^2(h)$  を求める。2つのセンサーを用いた明るさ揺らぎの共分散は、地表面からの高度に依存する屈折率構造関数を用いて次式で与えられる。

$$B_1(r) = 0.38 \int_0^\infty C_n^2(h) K(h, r) dh$$

ここで、 $B_1(r)$  はセンサー間距離  $r$  の 2つのセンサーを用いた場合の共分散の観測値であり、 $K(h, r)$  は高度  $h$  とセンサー間距離  $r$  に依存した共分散の理論値である。この理論値と観測値を比較して、屈折率構造関数を求める。この屈折率構造関数を用いると大気のシーイング・サイズを表すフリード・パラメータ ( $r_0$ ) を導出できる。このフリード・パラメータは、シーイングのサイズを口径  $n$ [m]の望遠鏡の回折限界として表し、観測波長を  $\lambda$ 、天頂からの離角を  $\xi$  として以下の式で計算することができる。

$$r_0(h) = 0.18466 \cdot \lambda^{-\frac{6}{5}} [(\sec \xi) \int_h^\infty dh' C_n^2(h')]^{-\frac{3}{5}}$$

### 3. SHABAR での観測

SHABAR の観測は明星大学 30 号館屋上に設置されている天文台の前にある屋外スペースで行った（図 1）。この場所は約 2m の外壁で囲まれているため日照時間は季節変化し、一年を通じて観測できる時間帯は 10 時から 16 時である。この観測では Vixen 社製の赤道儀を太陽追尾装置として使用する。

本稿では 2017 年 10 月 26 日 12:30-15:30(JST)の観測を報告する。この時の平均の気温は 20.2°C であり、風向は北東、風速 2m/s であった。図 2 は観測日の太陽光量（下）とシンチレーション（上）の時間変化を表している。このシンチレーションでは値が小さいときほど大気擾乱（シーイング）の影響が少なく、良い観測条件であることを表している。この光量は雲の通過などで大きく変化するため、光量が低くなっているようなものは解析からは除外して行う。

### 4. 結果

図 3 の左図は屈折率構造関数 ( $c_n^2(h)$ ) と高度の関係を表す。この図から地表付近では屈折率構造関数の値が大きい。これは、大気の乱れが大きいことを表している。しかし、10m以上になると値は小さくなり、大気の乱れも少なくなり安定することを表している。



図 1 : SHABAR 観測

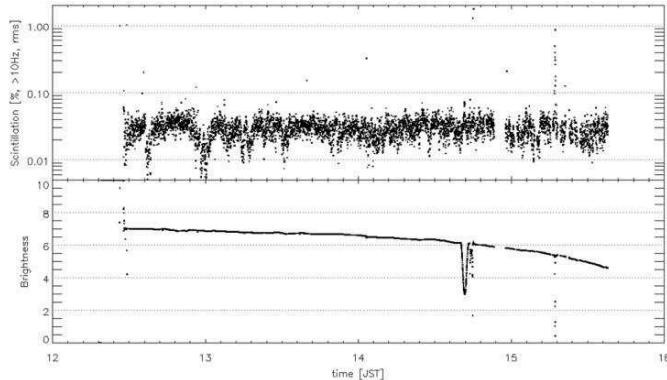


図 2 : 2017 年 10 月 26 日 12:30-15:30(JST)の太陽光量（下）とシンチレーション（上）の時間変化

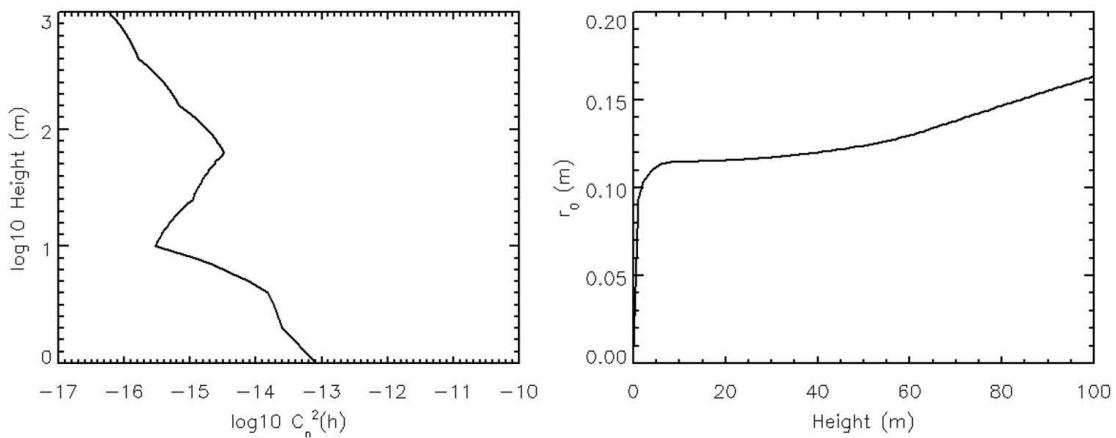


図3：(左) 屈折率構造関数 ( $C_n^2(h)$ ) と高度の関係。(右) フリード・パラメータ ( $r_0$ ) の高度変化。

図3の右図は地表から高度 100mまでのフリード・パラメータ ( $r_0$ ) を表している。このフリード・パラメータでも、高度 10m以下では急激な増加を示し高い高度では緩やかに上昇することが分かる。

図4はいくつかの代表的な高度でのフリード・パラメータの時間変化を表している。この図でも図3の右図と同様の低高度でのフリード・パラメータの値のジャンプが見られた。すなわち、5m以下の低い高度でフリード・パラメータは急激に変化しており、それ以上の高度では値がスムーズに変化していることが分かる。このジャンプは時間が変わっても常に表れている。この傾向は京都大学理学研究科附属飛騨天文台での山本らによる観測結果にも表れており、地表面で起こる上昇気流の影響が表れている可能性が示唆されている。

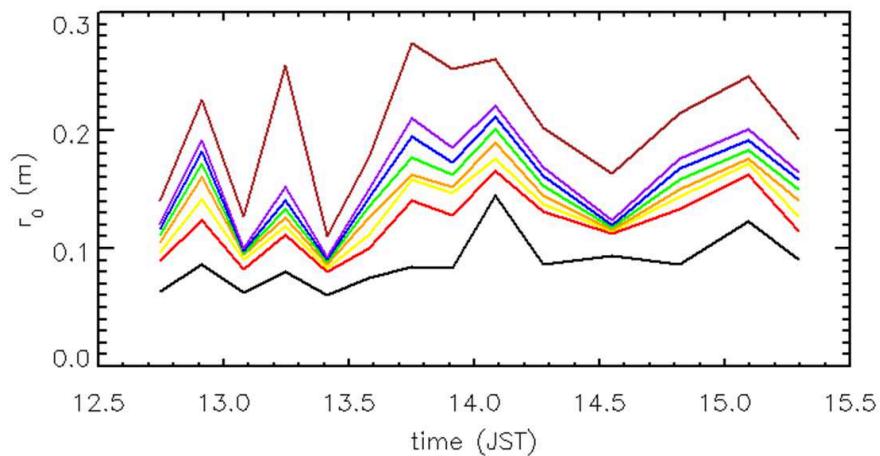


図4：代表的な高度（黒:1m, 赤:5m, 黄:10m, 橙:20m, 緑:30m, 青:40m, 紫:50m, 茶:100m）におけるフリード・パラメータの時間変化

## 5. 将来計画

我々は茨城大学が開発した SHABAR の応用例として、明星大学上空の大気の状態を定量化して明星

大学天文台の設置場所の健全性の調査を報告した。今回の調査結果から地表付近での大気揺らぎが大きく影響を及ぼしていることが分かつてきた。これは山本が議論しているように、地表面付近で発生する上昇気流が SHABAR 観測に影響を与えている可能性がある。この上昇気流がどの程度観測に影響を及ぼすのか調査する必要がある。我々は京都大学理学研究科附属飛騨天文台の SMART 望遠鏡に図 5 のように SHABAR を取り付けて調査観測を行う計画である。この SMART 望遠鏡は高さ 16m のタワー上にむき出して設置されているため、地表の影響を受けず、またドーム内の擾乱もない。この観測に合わせて、SMART 望遠鏡近くの地上にも SHABAR を設置し同時観測を行い、フリード・パラメータを比較する。このことで、地表からの影響を明らかにする。さらに、SMART 望遠鏡 SDDI で観測される太陽全面像からシーイングのサイズを測定する方法[4]を用いて SHABAR 観測の検証を行う。

現在、SHABAR を用いた観測は太陽のシンチレーションを測定し、昼間の大気揺らぎを測定しているが、月光を利用することで夜間の大気の揺らぎを測定することができる。今後、国立天文台すばるで行われた Lunar SHABAR[5]を参考に月光を用いた SHABAR 観測を行いたい。



図 5 : SMART 望遠鏡への SHABAR 取り付け位置と取り付け予想図。

## 6. 参考文献

- [1] Beckers, J. M.: 2001, "A Seeing Monitor for Solar and Other Extended Object Observations", *Experimental Astronomy*, 12, 1-20, 2001
- [2] Beckers, J. M., Leon, E., Mason, J., and Wilkins, L.: "Solar Scintillometry: Calibration of Signals and its Use for Seeing Measurements", *Solar Phys.*, 176, 23, 1997
- [3] 山本大二郎ほか, 第 36 回天文学に関する技術シンポジウム, 「太陽シンチレーション・モニターを用いたシーイングの定量評価」 (2016)
- [4] 宮良碧ほか, 第 37 回天文学に関する技術シンポジウム, 「太陽像によるシーイング・サイズの測定手法の開発」 (2017)
- [5] Oya, S.: "Ground-layer turbulence evaluation project at Subaru Telescope", *Journal of Physics, Conference Series*, Vol. 595, 2015

# 太陽像によるシーケンスサイズの測定手法の開発

○宮良碧、浜屋ひかり、日比野由美、小野寺幸子(明星大学)、萩野正興(国立天文台)、  
山本大二郎、野澤恵(茨城大学)、大辻賢一、一本潔(京都大学)

## 概要

光学望遠鏡を用いた天体観測において地球大気の揺らぎによる屈折率の変化は精度の高い観測の妨げになる。特に、望遠鏡が大型化する昨今においては補償光学などの技術が必要不可欠となっている。しかし、これらの装置は高額で大型のものが多く、大学の研究室レベルで扱えるほど一般的とは言えない。そこで、我々は太陽像からシーケンスのサイズを測定する手法を開発し、小型望遠鏡への適応を議論する。

### 1. はじめに

光学望遠鏡を用いた天体観測において地球大気の揺らぎによる屈折率の変化は精度の高い観測の妨げになる。特に、望遠鏡が大型化する昨今においては補償光学やシーケンス・モニターなどの技術が必要不可欠となっている。

先行研究として、広島大学の上田の修士論文による恒星観測から点像関数を求めシーケンスを評価する方法がある[1]。また、北海道大学の合田の修士論文による北海道名寄市のピリカ望遠鏡で観測した木星の表面模様をハッブル望遠鏡での観測と比較して大気擾乱を測定する方法が開発されてきた[2]。しかし、最も光量があり小型望遠鏡でも容易に観測できる太陽を用いた観測はあまりされてこなかった。

本研究では太陽像からシーケンスのサイズを測定する手法を開発してきた。この開発により、大学の研究室、科学館、アマチュア天文家などが所有する小型望遠鏡でのシーケンス調査も可能になると考える。

### 2. 観測

本研究では、今後の浜屋らの SHABAR 観測[3]との共同研究を考慮して、京都大学理学研究科附属飛騨天文台の太陽磁場活動望遠鏡(通称：SMART 望遠鏡)の H $\alpha$  線太陽全面像観測(通称 SDDI : Solar Dynamics Doppler Imager)のオフライン観測+3.5Å 像を用いて行う[4]。この SMART/SDDI は 2016 年 4 月に太陽フィラメントの放出時の運動を観測する目的で導入され、速度 400km/sec までのドップラー運動を像としてとらえることができる。この観測システムでは波長を高速でかつ精度良く変更させる機構としてユニバーサル・チューナブル・フィルター(UTF)[5]が導入されている。

### 3. 解析

SMART/SDDI で観測された太陽全面像を用いて 2 つの方法で太陽縁からシーケンスを測定する手法を開発し、解析を行った。

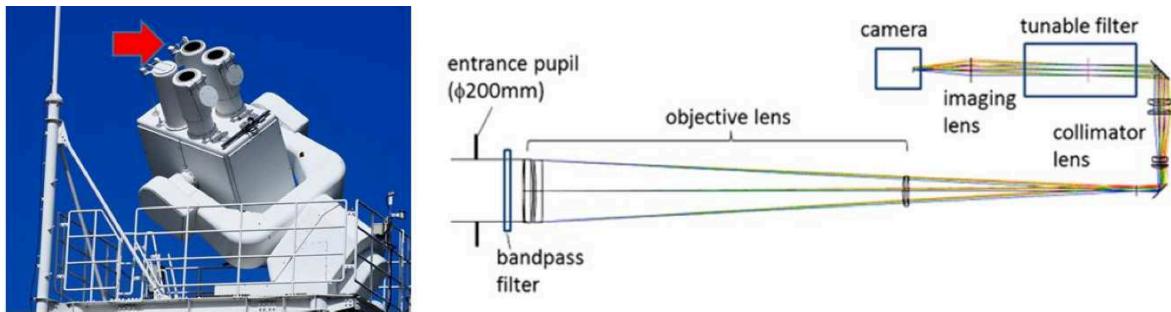


図1:(左)京都大学理学研究科附属飛騨天文台のSMART望遠鏡。赤い矢印がSDDIの鏡筒。(右)SDDIの光学系。口径200mm、焦点距離1086mm、UTF透過幅0.25Å、露出時間2m秒、73波長観測。

第一の方法として、太陽縁の位置を用いてシーディングのサイズを求める。まず、シーディングの影響がない(シーディングフリー)場合、太陽光球縁は真円であると定義する。ここで地球大気中では、空気小塊の屈折率により収差が生じる。この収差は大気層の様々な物理パラメータにより空間的に時間的に変化するが、観測される太陽縁は大気中の透過距離で積算されている。このように地球大気で歪められた太陽縁の凹凸のサイズをシーディングサイズとして測定する。これを本稿では Miyara Method と呼ぶことにする。この手順を以下のようにまとめることにする。

1. 観測された太陽光球のディスクより、中心と太陽半径を求める。ここで求められた円をシーディングフリーの太陽光球ディスクと定義する。
2. 北極より0.5度ずつの緯度での太陽縁位置を求める。
3. 1と2の差分の分布関数を点像関数(PSF: Point spread function)として、これを分解できる回折限界をもつ望遠鏡の口径をフリード・パラメータ(以下FP)とする。

この手法は直感的に分かりやすく処理スピードも速いため簡易的には使える手法ではあるが、PSFの定義が数学的に曖昧であり、結果として求まる値がFPと言えるかは議論が必要である。この曖昧さを取り除くために、Miyara Methodに次の処理を追加した新しいMiyara Methodを提案する。

1. Miyara Methodの手順2での観測による光球強度プロファイル( $h$ と定義する)から、太陽の周縁減光のモデルプロファイルを求める。
2. このモデルプロファイルと特定の半値幅(FWHM)の正規分布(ガウシアン)を畠み込み演算して、FWHMの収差を含んだプロファイルを求める。

$$f(r, \text{FWHM}) = m(r) \otimes g(\text{FWHM})$$

ここで、 $m$ は半径 $r$ を独立変数とする周縁減光モデルのプロファイルとし、 $g$ はFWHMを独立変数を持つガウシアンを表す。ここでガウシアンとFWHMは次式で表される。

$$g(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right), \quad \text{FWHM} = 2\sqrt{2\ln 2} \cdot \sigma$$

3. 観測されたプロファイル( $h$ )とプロファイル( $f$ )を比較して、観測によく合う収差を持つガウシアンを求め、このFWHMをPSFとして定義する。

$$\text{PSF} \leftarrow \min \left( \frac{\sum_r (h(r) - f(r, \text{FWHM}))^2}{\sum_r (h(r) + f(r, \text{FWHM}))^2} \right)$$

4. この PSF を分解できる回折限界をもつ望遠鏡の口径をフリード・パラメータ  $r_0$  とする。

$$r_0 = 0.98 \left( \frac{\lambda}{\text{PSF}} \right)$$

この新しい Miyara Method で求めた例を以下に示す。これは 2017 年 5 月 11 日の SMART/SDDI の観測データ（観測波長：H  $\alpha$  線 6562.8+3.5Å, 露出時間：3m 秒, 画像サイズ：2048×2048pix, ピクセル分解能：1.23") を用いた。図 2 の左上は太陽の北極での太陽のディスクセンターで規格化された太陽縁付近での明るさのプロファイルを表している。左中の図は太陽周縁減光のプロファイル（実線）とある半値幅を持った正規分布（破線）を示している。左下にモデルと代表的な半値幅をもつ正規分布の畳み込みにより求めた比較用のプロファイルを示す。この左上と左下の 2 つのプロファイルを比較し最小二乗法で両プロファイルが最も近くなる半値幅を決定する。右図はこの過程を示しており、横軸は半値幅で、実線で示した値が最小の半値幅（破線）が 2 つのプロファイルが似ていることを示している。この例では半値幅が 8.9 ピクセルの時に最小値を示し、ピクセル分解能を考慮した時の PSF は 10.9" となる。これより求めた FP は  $r_0=1.52\text{cm}$  ということになる。この太陽全体の平均 PSF は  $8.1'' \pm 1.8''$  であり、平均の FP は 2.03cm であった。

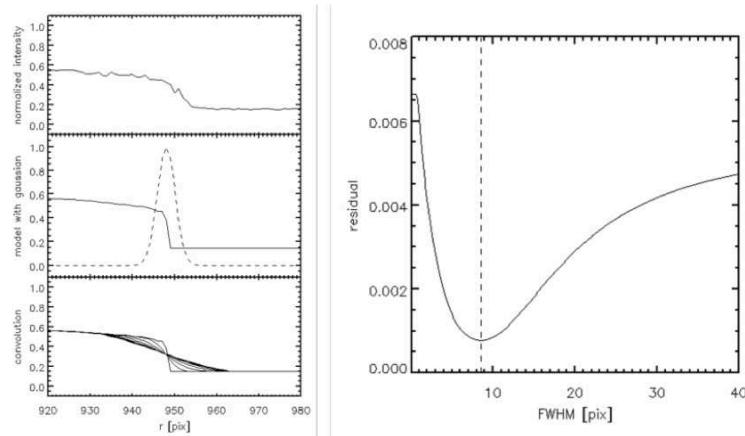


図 2：(左上) 実観測プロファイル。(左中) 周縁減光モデル(実線)、正規(ガウス)分布(破線)。

(左下) 比較用のプロファイル。表示のプロファイルは  $\text{fwhm}=[0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35]\text{pix}$ 。

(右) 2 つのプロファイルを比較して求めた半値幅。

## 5. 結果

図 3 は 2017 年 6 月 5 日のデータを用いて、新しい Miyara Method と SHABAR の 2 つの手法で解析した結果である。左上図は新しい Miyara Method で求めたフリード・パラメータの 30 分毎の時間変化を示している。エラーバーは太陽全体の場所ごとによる違いを表している。このことにより、時間変化は有意ではないが、一日を通して平均の FP はおよそ 1.5-2.5cm の間で推移していることが分かった。左下図は同じデータを用いた太陽ディスクセンターの明るさの時間変化を示している。この図より夕方にかけて明るさが減少しているが、安定した観測が行われたことが分かる。右図は SHABAR による FP の時間推移を表している。夕暮れ近い 8:00UT 以後は値が増加したが、これは太陽光が通過する地球大気の厚みが増したことが関係しているものと考えられる。この補正は煩雑となるため、ここで

は扱わない。観測開始からこの増加前までは変化が大きいが FP は約 1.5cm であり、今回の新しい Miyara Method と近い値を示した。

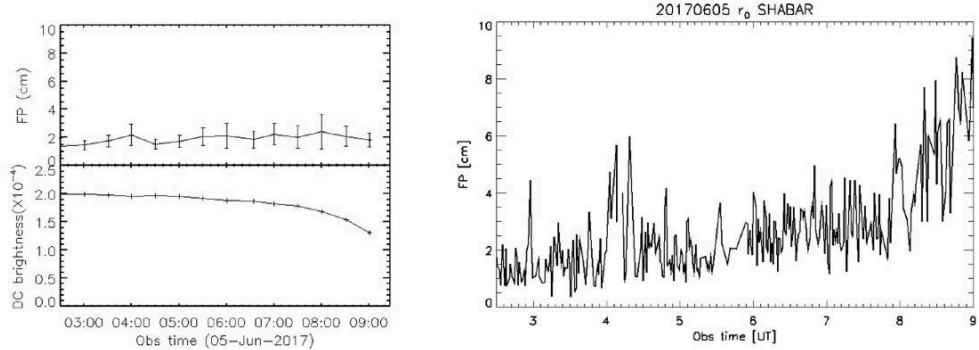


図 3：(左上) 新しい Miyara Method で求めた FP の時間変化。(左下) 太陽ディスクセンターの光量の時間変化。(右)SHABAR で測定した FP。

## 6. まとめ

今回の調査では FP は 2cm 程度であり、過去に報告された飛騨天文台における一般的な FP は 4cm なので、その半分と小さい値となった。この理由はいくつか考えられる。まず、フォーカスの精度が十分でなく太陽縁がぼけたデータの場合、このボケ自体を測定することになる。また、この手法では望遠鏡の光学系自体が持つ収差も精度を変化させる原因となる。さらに、望遠鏡の回折限界は口径で決まるため、この手法での測定の上限は望遠鏡の口径に依存する。しかし、観測条件(高度、観測場所など)が異なるため注意が必要であるが、SHABAR 観測との比較では近い値を示した。このことから精度良くセッティングされた光学系での観測では新しい Miyara Method を用いてシーディングを測定できると考える。今後、浜屋らの SHABAR と太陽像を同時に観測することで検出精度の向上を目指す。

さらに、将来計画として、この手法を用いて明星大学日野キャンパスに設置された 40cm 望遠鏡での月光での夜間のシーディングの測定を行う。この場合、太陽周縁減光のモデルに月探査衛星「かぐや」などのシーディングフリーのデータを適応させることができる。また、波長の特定として、一眼レフカメラのベイダー配列を利用する。このベイダー配列では望遠鏡色収差の測定もできると考える。

## 参考文献：

- [1] 上田篤、2003 年度、広島大学大学院理学研究科 修士論文
- [2] 合田周平、2016 年度、北海道大学大学院理学院 修士論文
- [3] 浜屋ひかり、2017 年、天文学における技術シンポジウム
- [4] Ichimoto, K., et al., 2017, *Solar Phys* 292:63
- [5] Hagino, M. et al., 2014, *SPIE* 9151, 91515V

# 2017年主鏡再蒸着：洗浄工程

○佐藤立博、鍋島芳武、岩下浩幸、並川和人、瀧浦晃基  
谷口明充、坂東貴政、沖田博文  
(国立天文台 ハワイ観測所)

## 概要

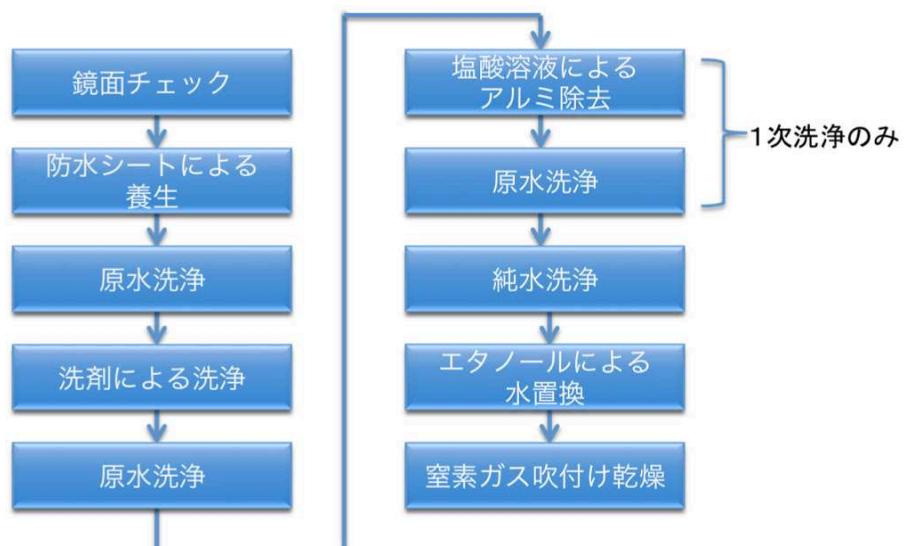
2017年10月2日から12月14日にかけて、国立天文台ハワイ観測所のすばる望遠鏡主鏡の再蒸着作業とそれに伴う各作業とメンテナンスが実施された。12月15日からは新しいコーティングの鏡による共同利用が再開された。本報告では、主鏡蒸着の「洗浄」作業の工程と、大型洗浄装置、今回の課題について述べる。

## 1. はじめに

ハワイ観測所すばる望遠鏡の主鏡蒸着は、1998年の第1回蒸着から始まり、2017年の主鏡蒸着は第8回目の蒸着作業となった。作業は、全てマウナケア山頂施設のドーム内で行われる。本発表の主題である洗浄の主な目的は、真空蒸着の前工程として、アルミニウム反射膜と油膜などを含む汚れを確実に落とすことにある。対象とする鏡材口径は8.3mであり、材質はULEガラスである。

## 2. 洗浄工程

洗浄は、一次洗浄と二次洗浄の2回実施している。一次洗浄で薬液を用いてアルミニウム反射膜を落とし、一次洗浄の後に、1日かけて傷検査が実施される。傷検査は、人が鏡の上に乗り鏡表面に新たな傷が増えていないか目視により検査する。その後、修復が必要な傷は電動工具により研削する作業が行われる。この検査と研削により新たな汚れが発生するため、二次洗浄を実施する。一次洗浄と二次洗浄それぞれ1日かけて行われる。洗浄工程を図1に示す



### 3. 大型洗浄装置

大型洗浄装置は、ドーム内の ESB 階に設置されている。装置の外観を図 2 に示す。薬液のタンクは、100L で 2 つのアームから計 34 個のノズルより噴射される。薬液用のモップは薬液アームに取り付けており計 32 個取り付ける。原水と純水は、それぞれ 10 個のノズルより噴射される。吹付け乾燥用の窒素ガスのノズルは、計 72 個である。純水製造装置の能力は、500L/h であり  $15\text{M}\Omega \cdot \text{cm}$  の品質である。アームはノズルから噴射しながら回転することが可能である。原水・純水・ガスアームの上にある、デッキは人が乗ることができ、原水や洗剤による洗浄時にデッキからモップを使い洗浄作業を実施する。排気ファンは、防爆型の排気ファン 4 個によりダクトで外へ排気できる、薬液とエタノール使用時にファンを動作させる。排水は、床下にピットタンクが設置されており廃液回収業者により廃液を処分する。



図 2 大型洗浄装置の外観

### 4. 薬品について

洗浄作業で使用する薬液は、アルミニウム膜の除去用として 18% 塩酸 1L に、12.5g の硫酸銅を混ぜたものを用いる。油膜等の汚れ除去として用いる洗剤は、試験管などを洗浄するのに用いられる無リンの洗剤 Liqui-Nox を用いる。最終工程で鏡面に残った水を押し出すために高純度のエタノール(Ethyl Alcohol 90.5%, Isopropyl Alcohol 4.98%, Methyl Alcohol 4.52%)を用いる。塩酸やエタノールを用いて作業する場合は、有機溶剤と酸性ガス用のガスカートリッジを用いたレスピレータとゴーグルの装着を必須としている<sup>[1]</sup>。また、ハワイ観測所の Safety officer によるレスピレータの取扱講習も実施される。

### 5. 前回からの変更点

2013 年の主鏡蒸着<sup>[2]</sup>からの変更点として、従来では薬液配管が金属配管(SUS304)であり、薬液による配管腐食による錆が問題となっていた。これを、PVDF(ポリフッ化ビニリデン)に変更した。変更に伴い、薬液タンクの直下にストレーナを新設した。また、薬液ノズルも PVDF の樹脂ノズルに変更した。

ノズルを図 3 に示す。



図 3 従来のノズル(左)と樹脂ノズル(右)

## 6. 洗浄結果

一次洗浄前の鏡面チェック時に、3箇所に 30mm 程度の油のような大きな塊を確認した。洗浄を開始する前に、ベムコットを用いて除去した。アルミニウム反射膜は、薬剤により問題なく除去でき反射膜の残りは目視では確認できなかった。薬剤は、製作した 80L 全てを使用した。一次洗浄後、二次洗浄後も水を弾いている部分があり、油膜が残っている部分が確認された。二次洗浄では、油膜が目立っている部分はエタノールなどを用いて除去を試みたが、ある程度は除去ができたが、油膜は完全に除去できなかった。

## 7. 今後の課題

洗浄前に油の塊を確認したが、拭き取り後に処分したため、何に起因する汚れなのかを調査する機会を失ってしまった。今後は、成分分析などを考慮して汚れとなるものを特定し対策する必要がある。また、水が弾く箇所が多くあり油膜の残りが従来よりも多かった。これらの油膜の残りを、評価する方法を検討し、今後さらに、現在用いている洗剤や洗浄手法そのものを再検討する必要があると考える。

## 謝辞

主鏡洗浄作業には、Day Crew をはじめ、Telescope Engineering Division、Instrument Division と日本からの作業支援に来ていただいた多くの皆様の多大な働きにより実施することができました。特に、湯谷正美氏には、ハワイに出張いただき洗浄作業のご指導をいただきました。また、林左絵子氏には、貴重なご意見とご助言頂きました。さらに Safety officer の能丸淳一氏、吉山直美氏には多忙なところ安全面で多くの協力をいただきました。皆様に感謝申し上げます。

## 参考文献

- [1]湯谷正美「すばる主鏡洗浄時における安全対策」第 26 回天文学に関する技術シンポジウム集録, pp.18-21,2016.
- [2]田澤誠一「すばる望遠鏡主鏡再蒸着作業について」第 9 回自然科学研究機構技術研究会集録, pp.26-30,2014.

# 2017 年主鏡再蒸着：蒸着工程

○沖田博文  
(国立天文台ハワイ観測所)

## 概要

すばる望遠鏡の主鏡再蒸着及び関連保守作業を 2017 年 10 月 2 日～12 月 14 日にかけて実施した。本講演では「蒸着行程」の準備から本番までの工程の概要と改善点について報告する。加えて今回の主鏡再蒸着での新たな取り組みとして、(1) 主鏡の分光反射率をオンサイトで直接測定できる反射率測定器の開発、(2) 主鏡にコーティングしたアルミニウムの膜厚推定手法の改良、も行った。これらの結果についても報告する。

## 1. 蒸着工程の概要と経過

ハワイ観測所すばる望遠鏡の主鏡蒸着は、1998 年に第 1 回目の蒸着を実施して以来、今回 2017 年の実施で第 8 回目の作業となった。今回の再蒸着作業の場合、蒸着工程としては、駆動系の試運転を 2017 年 3 月から実施し、8 月からはプリウェットフィラメントの量産と真空蒸着釜内部の準備作業を実施し、9 月に電力系の試運転等を実施し、問題が無いことを確認した。機械部分のグリスアップ、制御装置内の電球バルブの交換、グローロッドの停止位置の微調整等を行った。マイスナーコイルおよびクライオポンプで使用する大量の液体窒素（十分な余裕をみて 1000 ガロン）は 3 ヶ月前に手配を開始した（ハワイ島内ではこの量の液体窒素の調達が困難で、オアフ島から容器ごと輸送する必要があるため）。

10 月に入ってからは最終的な動作確認を実施した。フィラメントの取り付けは蒸着実施の前々日の 10 月 18 日に行い、二次洗浄が完了した 10 月 19 日夕方から真空蒸着釜を閉め、真空引きを開始した。翌 10 月 20 日は早朝より液体窒素の供給を開始して真空釜内を高真空中にし、グロークリーニングを実施後、午後にフィラメントに電流を流してアルミニウムを蒸発させ、蒸着を実施した。

蒸着ではアルミニウムを溶け込ませたタングステンフィラメントを 288 本使用するが、電源容量から 96 本ずつ 3 回に分けて蒸着している。アルミニウムはフィラメントにかける電圧を 8.8V から 16.2V に上昇する 8 秒間でほぼ蒸発すると考えられる。そのため蒸着そのものは 8 秒 × 3 回 = 24 秒で行われることになる。

蒸着後、真空引きを停止して 10 月 22 日から約半日掛けてゆっくりと大気開放を行った。10 月 23 日には真空蒸着釜を開けて仕上がり状態を目視で確認すると共に、反射率の測定も行った。

## 2. 測定データ

今回の蒸着作業中に制御装置で取得した電圧、電流、圧力のログを図 1～3 に示す。電源装置は交流 60Hz で電圧を制御している。電圧が 1V 程度と低い時に値が安定しないのは電源装置の特性と考えている。今回の蒸着では 3 回ともほぼ設定通りの電圧変化をしていた。

電流について、上昇後にいったん値が大きくなり、その後ある一定値に向かうような傾向が見られた。これはフィラメントの温度上昇に伴い抵抗値が低下したため、流れる電流も低下したことと理解できる。

圧力について、1 回目の蒸着では  $5.2 \times 10^{-6}$  Torr、2 回目は  $7.8 \times 10^{-6}$  Torr、3 回目は  $1.2 \times 10^{-5}$  Torr であった。この圧力環境下でのアルミニウム原子の平均自由行程は、それぞれ 9.5m、6.3m、4.1m である。そのためアルミニウム原子は蒸着釜内の大気分子に衝突することなく主鏡表面に到達したと考えられ

る。加えて、アルミニウム原子の気体分子束と残留大気分子の分子束を比較することで不純物混入量を見積もったところ、それぞれ 2.2%、3.3%、5.0% であった。なおこの値は上限値で、実際の混入量はこれより 1 衍程度小さいと思われる。

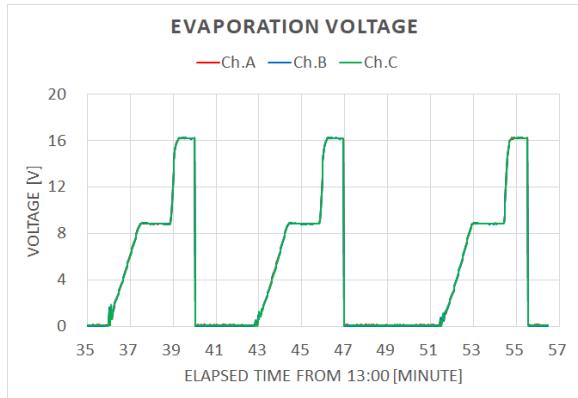


図 1. 電圧ログ

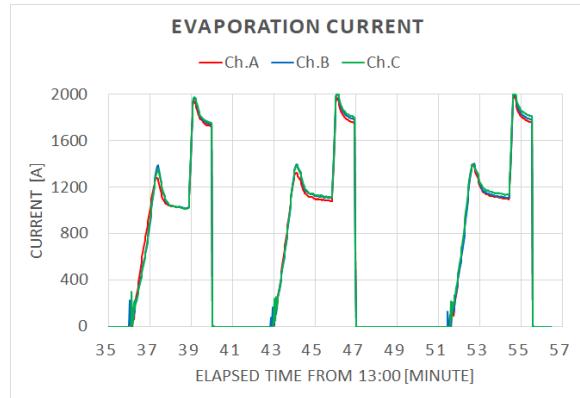


図 2. 電流ログ

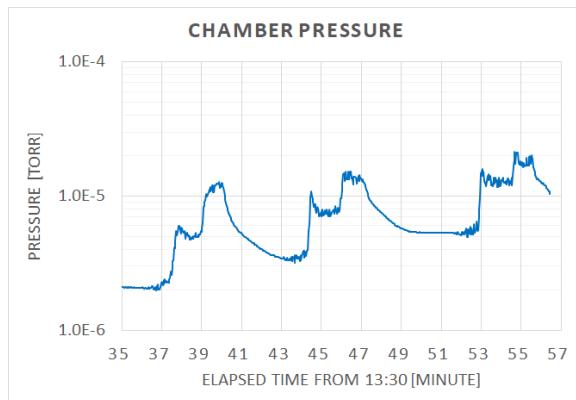


図 3. 圧力ログ

### 3. 改善点

全体の作業としては遅延無く蒸着工程を実施することが出来たが、いくつか改善すべき点も見つかつた。

まず 1000 ガロンの液体窒素タンクローリーのページ音が非常に大きく、夜間に他の観測所から「爆発音がする」と報告があるなど、大きな問題となつた。定期的なページをするとともに、他の観測所への周知も徹底するべきであった。

つぎにプリウェットフィラメントの取り付けの際、直前に選別を実施したが、判断に時間を要し、取り付けに時間がかかった。フィラメント量産時の重量管理を徹底することでこの時間のロスは防げるはずである。

そして今回の蒸着ではミラー・ハッチ故障に伴う修理があったため、直前まで蒸着の準備が出来ない項目もあり、時間的余裕が無かつた。加えて蒸着作業が 10 月となり天候が不安定で大変であった。ベテラン作業者も退職または異動で不足する中、若手職員が手探りで実施せざるを得ない事も問題であった。次回の再蒸着時には十分なリソースを確保し、今回以上に安全・確実な作業となるよう心がけるべきである。

#### 4. 反射率測定器の開発

主鏡反射率は表面に堆積した汚れや生じた傷等によって徐々に低下し、天体からの光子数が減少し、観測効率を低下させる。また正反射しなかったエネルギーは散乱光として、また吸収した場合には熱放射によって、バックグラウンドノイズは増大し、観測効率が悪くなる。そこでハワイ観測所ではドライアイスを用いた洗浄を定期的に行うだけでなく、今回実施のように数年に一度、アルミニウムコーティングをやり直し、高い反射率を維持するよう努めている。

ここで主鏡の状態を正しく理解するため反射率の測定が重要になるが、適切な測定器が無かつたためこれまで実際の測定は困難であった。波長 670nm と 1300nm の 2 波長で測定が可能なポータブル測定器 ( $\mu$  Scan) をこれまで使用してきたが、2 波長のみの測定でデータが不足すること、校正が現地で行えないことから反射率の絶対値を得ることが出来ないという欠点があった。またプレパラート等を用いたサンプルミラー（ウィットネスサンプル）を分光光度計で測定することも広く行われているが、設置場所が厳密には一致しないこと、熱容量が主鏡と大きく異なり熱環境や湿度環境が一致しないことから主鏡の反射率を本当に代表しているのか疑問が残る、といった問題があった。そこで主鏡の状態を正しく理解するため、主鏡反射率の絶対値の分光データを測定するポータブルな測定器を新規に開発した。

開発した測定器では反射率の絶対値の分光データを測定するため、ハロゲン光源、積分球、ファイバ一分光器を用いた。ファイバ一分光器を用いることで波長 380~950nm の範囲を波長分解能 2nm でデータ取得が可能となった。測定パス、リファレンスパス、ダークパスといった 3 種類のデータを取得することで、測定対象の有無以外、光学的に完全に等価な測定を実現することが可能で、このことから原理的に絶対反射率の測定が可能となった。さらに全体を小型・軽量に製作することで、望遠鏡に組み込まれた状態の主鏡に載せて測定することも可能となった。

開発した測定器を用いた測定の結果を図 4 に示す。主鏡反射率は波長 400nm で 92.1%、600nm で 90.5%、波長 800nm で 85.5% であった。蒸着前の主鏡反射率は測定箇所によって異なるが（非一様な汚れのため測定箇所によって反射率が異なると考えられる）、今回行った再蒸着によって、概ね反射率は 10~15% 向上したことがわかる。蒸着後の反射率はこれまでの蒸着と同等の値であった。

#### 5. 膜厚推定手法の改良

主鏡にコーティングしたアルミニウムの膜厚は、薄すぎると反射率が低下して観測効率を低下させる一方、厚すぎる場合も膜厚の非一様性から主鏡の鏡面精度を悪化させ、天体がシャープに結像しなくなり、観測効率を低下させる原因となる。そこでハワイ観測所では建設期の基礎実験に基づいて、これまで 100nm の膜厚を目標にアルミニウムをコーティングしてきた。

ここで膜厚を推定する方法は、蒸着装置にプレパラートを主鏡のすぐ傍に一緒に入れて蒸着し、後にレーザー顕微鏡で断面観察することで行ってきた。しかし断面観察には熟練を要し、測定結果が一定しないという問題があった。

そこで今回、レーザー干渉計 (Zygo) を用いた測定を考えた。基礎実験の結果、プレパラートでは表面形状が数  $10\lambda$  と悪いため、簡単に膜厚に変換することが困難であることがわかった。また裏面がスリガラス状に加工されていないと裏面の干渉縞も重なって見えてしまい、うまく測定出来ないこともわかった。そこで裏面がスリガラス状に加工された表面精度  $\lambda/10$  のブランクミラーを使用したところ、これらの問題が生じず、レーザー干渉計で容易に測定出来ることができた。ブランクミラーの中央にカプトンテープを貼り、主鏡と共に蒸着、蒸着釜から取り出した後にカプトンテープを剥がしてレーザー干渉計で測定することで、容易に膜厚測定が可能である。

プランクミラーは蒸着釜内の4箇所に設置してデータを取得した。測定はプランクミラー毎にそれぞれ3回ずつ行った。図5に測定結果を示す。これらの測定結果から、今回蒸着したアルミニウムの膜厚は110~120nmと推定される。

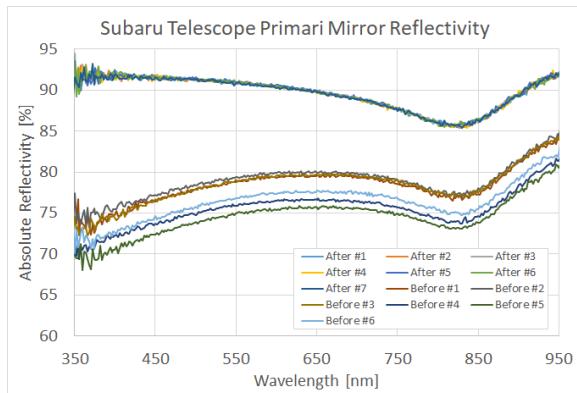


図4. 主鏡反射率

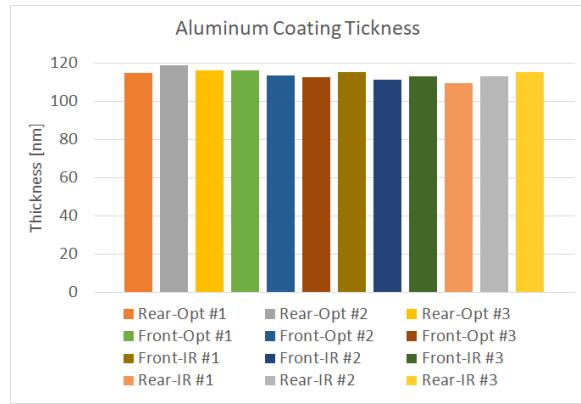


図5. アルミニウム膜厚

## 6. まとめ

すばる望遠鏡の主鏡再蒸着及び関連保守作業を2017年10月2日~12月14日にかけて実施した。蒸着行程は2017年3月から準備を始め、実際の蒸着は2017年10月20日に実施した。ほぼ順調に実施できたがいくつか反省点が残る結果となった。次回に生かしたい。主鏡再蒸着の結果、反射率は波長400nmで92.1%、600nmで90.5%、800nmで85.5%となった。また蒸着したアルミニウムの膜厚は110~120nmと推定される。最終的に、蒸着時に得られた電流・電圧・圧力のログデータ、及び蒸着後に測定した反射率と膜厚のデータから、今回の主鏡再蒸着は成功したと結論づけられる。

## 謝辞

主鏡再蒸着：蒸着工程では望遠鏡エンジニアリング部門、Day Crews、ハワイ観測所職員に加え、日本から作業支援に来ていた多くの皆様の多大な働きにより実施することが出来ました。特に野辺山宇宙電波観測所の倉上富夫氏には事前準備から作業当日まで詳細にご指導をいただきました。また高遠徳尚氏、林左絵子氏、美濃和陽典氏には反射率測定装置の開発で多くの的確な助言をいただきました。三鷹すばる室のサポートや、天文台執行部の特別なご配慮にも感謝いたします。主鏡再蒸着に関わった全ての皆様に感謝申し上げます。

## 参考文献

- [1] 田澤誠一、他、「2013年度主鏡蒸着作業報告」、第33回天文学に関する技術シンポジウム収録、2013年

## **Summary of Symposium**

*Timothy Castro  
Summit Technical Supervisor  
Subaru Telescope*

*The following is a report on my experience at the 37th annual Symposium on Engineering in Astronomy. I have included key areas of interest for your review. Mahalo!*

This year I was lucky enough to attend "The 37th Symposium on Engineering in Astronomy" that took place in Kurashiki Okayama. I Attended a symposium years ago in Matsumoto so I thought I knew what to expect from this one but it was very different but in a good way. Although the main part of it was what I expected I was pleasantly surprised by the addition of things like group discussions and presentations and display boards. I did my presentation on an introduction to our top unit exchange. I gave a fifteen minute condensed explanation on the removal process of a secondary mirror and also what safety measures we have in place for fall protection and rescue. I Also mentioned some of the other exchanges we do like the LLT and FEU exchanges and how much people it takes to complete these tasks. Although I did have some comments on the actual exchange portion itself the thing I noticed most after I was finished presenting was that I was asked more questions related to the fall arrest and fall rescue portion than to the TUE. It seems like more people may have an issue with just having a fall protection system in place but no rescue plan available. I'm not sure what the working rules are in Japan but I hope the people who were asking these questions can find helpful information to get them set up with a fall rescue system. Next years presentation maybe?

I got to meet many new people and also see people who I worked with in the past at Subaru at this symposium. Through group discussions I realized that they have very similar issues and concerns that we have here at Subaru especially when dealing with other staff members and project deadlines. I thought this symposium was very well put together and the people who coordinated it did a fantastic job. The location of the symposium was very nice and easy to find and was also surrounded by a town that seemed as though it was still set in older Japan which was great for me to play tourist after our work was completed. The first day of the symposium consisted of fifteen minute presentations done by each person and some display boards that were available for some people to use. I was very nervous to do my presentation because I felt the audience would not understand what it was that I was trying to talk about but as I found out later many of the people attending spoke english and understood me very well. As a spectator to everyone else's presentations it was a little difficult at times to understand what was being explained due to the language barrier but although almost all of the presentations were done in Japanese I was still able to understand the majority of what they had to say through pictures and english captions describing some of the slides. Once all of the presenters had finished we then had a group discussion that ended the first day and carried on into the next. During the group

discussion portion we all got into groups of about five or six people and discussed some of the issues we are facing at work and what kinds of solutions we came up with to solve these issues. We also gave each other feedback on what we thought might help each other to solve their problems and reach their goals. That night we all went to a restaurant and had more bonding time. I enjoyed this time because I got to talk to people I had not been able to talk to at the symposium itself. The food was delicious and we all had lots of fun. This experience also taught me the valuable lesson of doing leg stretches because if you sit on a floor for long periods of time and you do not normally do this then you are in for some back pain and leg pain. Still it was completely worth it though. The next day consisted of group presentations in the morning to go over what we had discussed the day before during group discussions and a special presentation by the director of the Okayama telescope and another special presenter. After lunch we boarded a bus and took a nice scenic drive to the Okayama observatory for a field trip. The field trip to the Okayama observatory was amazing and it was interesting to see how their telescope functions and we were able to compare some of the similarities and differences between this telescope and Subaru. We got to visit both the old telescope and also the new one that is still under construction. The new telescope was pretty much complete except for the mirror which was not attached yet. The frame of the telescope was amazing to see because it reminded me of a Leggo type Kinect set. It was a very simple yet genius looking design.

The trip itself was a great cultural experience and has shown me a little about where my fellow workers come from and how they live when they're not in Hawaii. It was nice to see people who I worked with in the past and great to meet new people. As an employee of Subaru telescope it is an amazing incentive to know that these business trips are available. Being from a small town I never dreamed of going to a place like Japan but working for Subaru has shown me this is possible. I was able to arrive a few days before the symposium and this allowed me and my co-worker Jonah Conol a chance to see a little more of Okayama including the Castles and the Korakuen garden. I hope this continues in the years to come so that all the daycrew members have a chance to experience this as well. Thanks!

## **37th Symposium on Engineering in Astronomy Reflection**

Jonah Conol

Summit Mechanical Technician

Subaru Telescope NAOJ

### **Abstract:**

The following is a reflection on my experience at the 37th Symposium on Engineering in Astronomy held on Kurashiki, Okayama.

On December 21-22, 2017 I had the opportunity to participate in the 37th Symposium on Engineering in Astronomy which was located in Kurashiki, Japan. My presentation was a fifteen minute presentation on the Sky Track Hoist used here on Mauna Kea at Subaru Telescope. The presentation itself allowed me to step outside my comfort zone as everyone knows I am not a public speaker. I feel that stepping outside my comfort zone and presenting was useful for my personal growth. Subaru Telescope has provided me numerous opportunities in which I have been challenged to step outside of my comfort zone and grow as an individual. Although I was nervous during my presentation, it was a great opportunity. Many participants asked great questions following the presentation itself.

At the symposium the language barrier made communicating with other participants somewhat difficult. I found the use of pictures as well as captions useful in breaking the language barrier. I plan on brushing up on my Japanese for future presentations. What I found useful for me was networking with others in the Astronomy field. At the presentation I was able to see others who I have met here in Hawai'i at Subaru Telescope. It was interesting to see them in their various elements. Meeting various individuals and understanding their roles in their particular jobs in the astronomy field was interesting. I

usually only see the hands on mechanical side of the telescope. Seeing everyone's different role gave me a better appreciation for everyone's hard work. Everyone has their own role to make this job successful.

There was a portion of the symposium where each discussed problems we each face in our different job areas. We needed to discuss the problem as well as possible solutions to the problems. I was able to see that in each of our job areas we encounter problems that need brainstorming in order to be solved. The problems were specific to each person's role. In the end it made me realize the importance of my role in my job. I was unable to help them solve their problems and they were unable to help me solve the problem I discussed.

Another interesting part of the symposium was viewing of the Okayama telescope. We travelled as a group by bus to view the telescope. For me this was interesting because I was able to see a vintage telescope that is still functional. Although this telescope is still functional the technology is outdated and therefore they are building a newer telescope which will be completed soon. The cool thing about the newer telescope that is being built is that it operates similar to our telescope here at Mauna Kea, but on a smaller scale.

I am grateful for the learning opportunity and experiences that I received by participating in the 37th Symposium on Engineering in Astronomy. I found this symposium to be very useful for my professional growth. During the trip I was able to take personal time to view the Okayama Castle as well as other sights in Japan. For me this was a meaningful opportunity to learn more about the Japanese culture. I also visited Korakuen Gardens with my co-worker. I am grateful for this opportunity to participate in this symposium as well as the opportunity to learn more about the culture of Japan.

# 品質マネジメントシステムとハワイ観測所の国際運用(に関する私的検討)

能丸淳一  
(国立天文台ハワイ観測所)

## 概要

これからハワイ観測所は、海外組織などからの外部資金を導入して運営をすることが求められている。これまで単独組織で運用してきたハワイ観測所を共同運用に転換するには、組織運用上多くの課題がある。ハワイ観測所運用の公平性、透明性、客観性を確保するために、品質マネジメントシステム（QMS）の国際基準である ISO9001<sup>1)</sup>が有効であるかどうか、検討をおこなった。ISO9001 認証を取得することの利点については明確に論証できないが、この国際基準の目的はハワイ観測所の上記の 3 つの目標と合致するものであり、組織を ISO9001 に準拠させていくことには意義があると考えられる。

## 1. ハワイ観測所の状況と今後の見通し

ハワイ観測所の運用経費は今後大幅な削減が見込まれており、海外の組織などからの外部資金の導入によって運営を継続することが求められている。ハワイ観測所が外部の組織から運営費を得るには、いくつかの方法が考えられるが、現在ハワイ観測所は出資者との共同運営を念頭においてパートナーを探している。ハワイ観測所に参加する機関は、それぞれが固有の状況を有しており、ハワイ観測所に対しては固有のニーズや期待がある。ハワイ観測所は参加機関が要求する事項を考慮の上、活動をおこなっていかなければならない。ハワイ観測所のミッションは明快だが、参加機関からの要求をどのように活動に結びつけるかについては、以下のような現実的な状況を考慮しなければならない。

- 参加機関同士の要求が対立する場合
- 参加機関の要求が与えられた予算で実現できない場合
- 所内・所外各会議の位置づけ、目的、審議事項、決定事項、責任
- 各役職の責任と権限
- 所員の選考方法（特に参加機関が資金の代わりに人を提供する場合）
- 参加機関が提供した人に対する評価と出資額に対するフィードバック

このような事態が発生した際にはその都度調整や交渉をするのではなく、あらかじめ事態を予測して運用の原則を決めておくべきである。複数機関による共同運用を円滑に進めるためには、組織の運営方針や原則を明確にし、参加機関が了解する必要がある。ハワイ観測所の現在の組織と運営を共同運用という視点からレビューし、そして改善をするために、ISO9001 の QMS が有効であるかどうかを検討する。

## 2. ISO9001 品質マネジメントシステム

ISO9001 は ISO(世界標準化機構)が策定した標準規格である。ISO は 1947 年に設立され、各国から 1 機関の参加が認められている。日本からは日本工業標準調査会(JISC)が 1952 年から加盟している。日

本では 1991 年に ISO9000 に準拠した JISZ9900 が発行された。

ISO9001 につながる ISO9000 シリーズが 1987 年に制定された背景として、1970 年代に日本の工業製品が高品質・低価格を武器に国際競争力を獲得し、目覚ましい経済発展を遂げていたことが挙げられる。一方、英仏独加米といった先進国が経済の停滞を余儀なくされ、それを品質の観点から見直したことが ISO9001 制定の背景にあるのは、特筆すべき事である<sup>2)</sup>。

ISO9001 が求める原則は仕組みの透明性、運用の公平性、そして評価の客観性にもとづく、信頼性の確保である。そして、ルールに基づいて業務を実行することにより、製品の品質を維持し向上させることができ期待できる。品質マネジメントの 7 原則を図にしたもののが図 1 である。

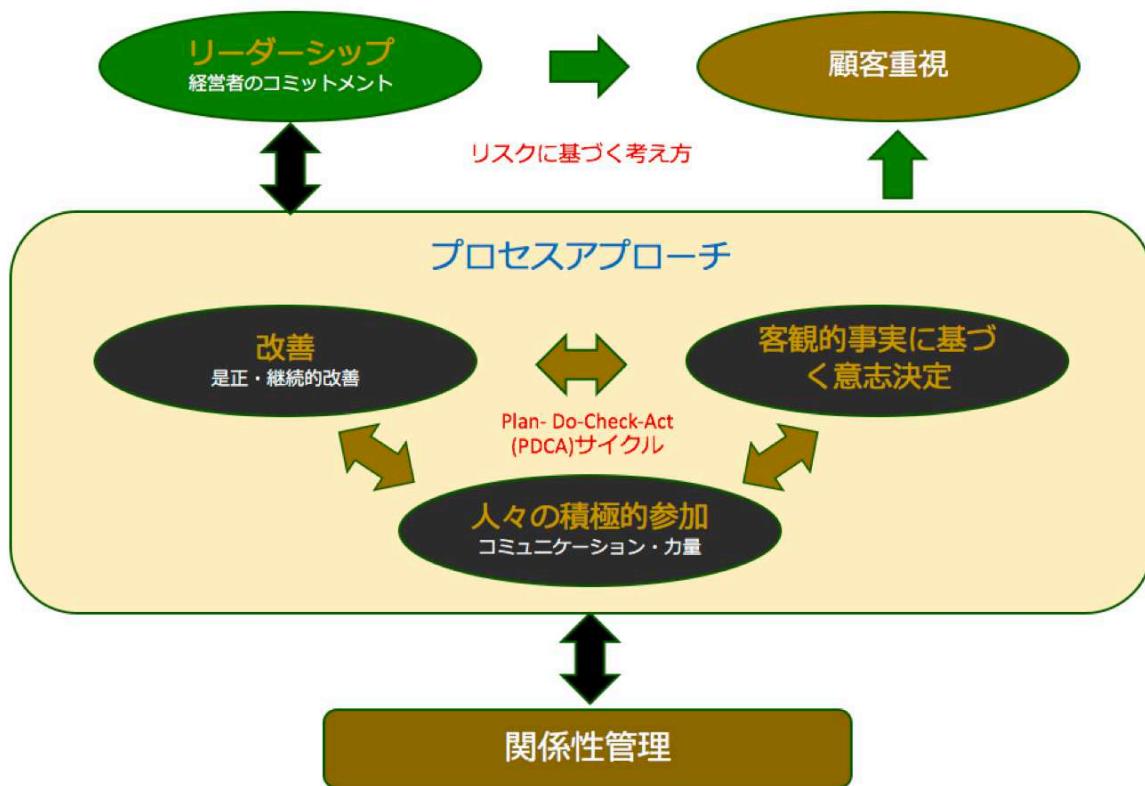


図 1：品質マネジメントの 7 原則。7 原則とはリーダーシップ、顧客重視、プロセスアプローチ、改善、客観的事実による意志決定、人々の積極的参加、そして関係性管理である。

### 3. 天文業界での ISO9001 への取り組み

JAXA の前身の NASDA では研究部門を除く全部門が 2003 年までに ISO9001 を取得した<sup>3)</sup>。また、NASA では 2000 年までに全部門が ISO9001 を取得した<sup>4)</sup>。どちらも天文学の研究をおこなっている組織ではあるが、失敗が許されないロケット、宇宙ステーションや人工衛星の開発や運用が主要な任務である。

地上望遠鏡の天文台については、ESO のラ・シア天文台が 2004 年に ISO9001:2000 の認証を取得した。QMS は組織に利益をもたらすことは分かった一方、認証を取得するためのオーバーヘッドや取得による現実的な利益が見込めないため、認証の更新はおこなわなかった。その代わり、ESO にとって必要

な QMS の要素であるプロセスアプローチと継続的な改善については、QMS の WG が ESO QMS として採用を提案した<sup>5)</sup>。

以上のように、天文業界において ISO9001 はごく一部の研究所においてのみ採用されている。

#### 4. ISO9001 認証をハワイ観測所が取得する理由

ISO9001 の序文には、QMS の便益として次の 4 点が挙げられている。QMS が製品やサービスの品質の向上や利益の増大に直接結びつくものではないことに注意する必要がある。

- 顧客要求事項及び適用される法令・規制要求事項を満たした製品及びサービスを一貫して提供できる。
- 顧客満足を向上させる機会を増やす。
- 組織の状況及び目標に関連したリスク及び機会に取り組む。
- 規定された品質マネジメントシステム要求事項への適合を実証できる。

そのほかに ISO9001 認証を取得する理由として考えられるのは、(1)他の国際規格、例えば ISO 14001:環境マネジメントシステムや ISO 45001:労働安全衛生マネジメントシステム(発行手続き中)と共に構造、内容及びテーマ(例えば、リスクに基づく思考、プロセスアプローチ、リーダーシップ及びトップマネジメントのコミットメント)をもつので、組織が複数のマネジメントシステムを整合させたり、統合したりしやすくなること(2) ISO9001 認証取得を宣伝に使用できること(3)社会の急速な変化、市場のグローバル化および主要な資源としての知識の出現、利害関係者の影響力がますます強くなっているという状況の中で、組織が新たな課題に立ち向かう能力を与えること、そして(4)長期的な成功、継続性、顧客の満足が期待できることである。

#### 5. ISO9001 認証をハワイ観測所が取得しない理由

こちらも、十分な理由がある。

- ISO9001 認証を取得し維持するために組織の資源を使用する必要がある。
- ハワイ観測所の運営の方法を変える必要があり、これまでの文化に慣れたスタッフからは反発や躊躇があることが予想される。
- ハワイ観測所と取引している組織で、ISO9001 認証取得を義務づけているところはない。
- ISO9001 認証を取得することにより経費の削減や観測所の運用効率が高められるか、確証がない。
- 天文台本部から ISO9001 の認証を取得するように求められているわけではない。

#### 6. 結論：ハワイ観測所は ISO9001 の認証を取得すべきか

まず、組織改革には短期的な費用がかかり、さらには天文台本部、自然科学研究機構など上部組織に対して QMS からの要求も発生しうるので、上部組織の理解と積極的な支援が必須である。これがなければハワイ観測所だけで ISO9001 認証を取得することは容易ではない。

顧客満足の向上、信頼性の確保やルールに基づく業務の実行を実現するための組織改革は必要である。

ISO9001 はそのための具体的な要求であり、組織改革の指針として ISO9001 を利用しない手はない。

また、品質マネジメントだけではなく、職場の安全衛生に関する要求など、さまざまな ISO の要求基準は ISO9001 と同じテンプレートに基づいて作成されるので、ISO9001 を満たせば、その他の基準を満たすことも比較的容易になる。親組織や取引先から求められない限り、技術的には認証を取得する必要は必ずしもない。品質マネジメントの 7 原則のうち、ハワイ観測所にとって最も重要なものを選んで、それを達成するために努力をすればよい。

しかし、世界標準へ準拠することは、長期的な視点での運用可能性と成功を明確に目指しているとみなされ、国内外のパートナーを探す場面でもすばる望遠鏡に対して安心感を与えるひとつの指標となる。また、今は地上望遠鏡を主体とする天文研究機関で ISO9001 認証を取得しているところはおそらくないと思われるが、すばる望遠鏡の認証取得は天文界の大型プロジェクト組織の今後のモデルとして、大きなインパクトを与えるものになるであろう。

ハワイ観測所が国際共同運用を開始するまではそれほど時間がないと思われるが、組織改革にはコンサルタントを導入するなど、効果的な対策が求められる。

## 参考文献

- 1) ISO9001:2015 Quality management systems – Requirements, ISO
- 2) <http://www.jisc.go.jp/mss/qms-cir.html>
- 3) [http://www.jaxa.jp/press/nasda/2003/iso\\_20030423\\_j.html](http://www.jaxa.jp/press/nasda/2003/iso_20030423_j.html)
- 4) Annual Quality Congress, Indianapolis, IN, Vol. 54, No.0 QICID:14024 May 2000, pp. 305-310
- 5) Proc. SPIE 9911, Modeling, Systems Engineering, and Project Management for Astronomy VI, 991126 (8 August 2016)

# 光学赤外線望遠鏡 光学系材料について

## Glass Material for Large Telescope Optics

林 左絵子 (国立天文台 TMT 推進室)

Saeko S. Hayashi (TMT-Japan, National Astronomical Observatory of Japan)

### 概要

すばる望遠鏡建設時に比べ、光学系材料の選択肢が増えてきた。冷却を必要とする観測装置の光学素子にも様々な材料が使われている。大型の反射鏡に使われている鏡材ガラスのうち、本報告では現在（および近未来に）使用されている代表的な材料について特性の一部をまとめた。今後、長期運用での問題点を洗い出したいと考えている。

望遠鏡光学系の硝材には次の性質が求められる。

1. 形状の長期安定性
2. 高精度研磨が可能である（加工性）
3. 大量に必要とする場合、実際の入手性（価格、納期）

このうち1番の項目のブレークダウンは：

- もともと熱膨張率がきわめて低い
- もともと均一性が高い（ように作ることができる）
- 環境と反応して劣化をすることがない
- 化学耐性がある（特に注意が必要なのは再コーティング時に、古い反射膜を剥離する際）



ULE 鏡材の例（すばる望遠鏡）

反射式望遠鏡主鏡の主な硝材と、その選定理由の第1要素に挙げられることが多い CTE (線熱膨張率) を次の表に示す。

硝材	使用例	線熱膨張率 ppb/°C
オハラ クリアセラム (ガラスセラミック)	京大 3.8 m 新技術望遠鏡 TMT	0.0 ± 2x10 (カタログ値)
コーニング ULE (アモルファス)	かんなた望遠鏡、すばる望遠鏡 Gemini North & South CLASP、ハッブル宇宙望遠鏡	Mean 0 ± 30 (5-35 °C, ULE 7972) (カタログ値)
ショット ゼロデュア (ガラスセラミック)	なゆた望遠鏡 VLT x 4, EELT Keck x 2 そのほか多数	-17 to -43 (VLT blanks) (文献 1)
オハラ E6 (ホウケイ酸ガラス)	TAO (mini TAO も?) LBT 8.4 m x 2, Magellan 6.5 m x 2 LSST, GMT	52 (文献 2)
パイレックス (ホウケイ酸ガラス)	岡山 188 cm, 91 cm かつての堂平 91 cm パロマー山の 5 m そのほか多数	325 x 10 (文献 3)

### 参考文献

1: VLT の Web ページ

<https://www.eso.org/sci/publications/messenger/archive/no. 86-dec96/messenger-no86-9-11.pdf>

2: Appl Opt. 1984 Dec 1;23(23):4237-44.

Thermal expansion uniformity of materials for large telescope mirrors.

Jacobs SF1, Shough DM, Connors CJ.

3: <http://www.valleydesign.com/pyrex.htm>, <http://www.fpi-protostar.com/bgreer/properties.htm>

反射面を構成するコーティングに影響する環境要因としては、次のようなものがある。

- 環境土壤（火山性の砂塵など）+湿気 = 酸性（土壤および／または湿気が）
- ディーゼル油煙 = イオウ含む
- 花粉、樹脂
- 機械油（ドームや望遠鏡上部構造のグリースなど）

金属コーティングの場合、酸性物質が付着すると腐食により右図のようなピンホールを形成する。こうした腐食は長い間に少しづつ広がってしまう。汚れは早めにとることが肝心。砂塵などは付着してすぐ、まだ乾いた状態のうちにCO<sub>2</sub>クリーニングなどで取り除くことが運用上、重要である。しかし花粉や油系の汚れは、高圧ガスによる吹き飛ばしやCO<sub>2</sub>による清掃でも取り除くことができず、やっかいである。どのような原因の汚れであっても、再コーティングにより、鏡面の良い反射性能を取り戻すことができる。

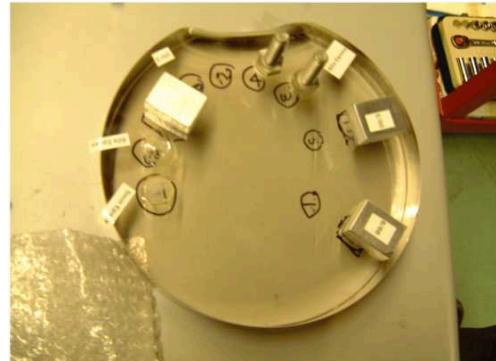


それでは古いコーティングを剥がす際に用いる薬品と硝材の相性はどうであろうか。実際に使われている例を次の表にまとめた。すばる望遠鏡主鏡は8回のコーティングを経たが、薬品による顕著な影響は認められない。またE6を使用しているLBTでも、薬品による影響は見られないとのことである。

硝材	アルカリ	酸
クリアセラム	確認したもの：塩酸（+硫酸銅）、水酸化ナトリウム、重曹、炭酸カルシウム、硝酸（いずれも薬品単体、金属膜なしでの実験）	
ULE		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 塩酸でアルミ剥離</li> <li>• 過塩素酸を含む薬品でクロム剥離</li> </ul>
ゼロデュア		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 塩酸でアルミ剥離</li> </ul>
E6		<ul style="list-style-type: none"> <li>• アルミ剥離に酸を使用</li> </ul>
パイレックス	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 水酸化ナトリウムでアルミ剥離</li> </ul>	

次に機械的な強度に関する留意事項を挙げる。

- 未処置欠陥の伝搬
  - 加工工程経験を運用世代に伝える
    - 衝撃
    - 繰り返し荷重
- 金属との接着（右図は実験の例）
  - 衝撃時にガラスと接着剤どちらが勝つか
    - 気温や湿度の変化
    - 接着剤の経年変化
      - 運用からの経験を次世代に生かす



ここに挙げた項目以外にも、大型鏡材の長期運用における経験と課題が各所で積み上がって来ているので、適切に情報共有ができる事を願っている。

この報告の背景には、国立天文台の職員に限らず、ものづくり日本を支えているメーカーの方々も含めて、野辺山宇宙電波観測所の45m望遠鏡、ハワイのすばる望遠鏡やTMTに関わって来た多くの皆様のご努力があります。深く敬意と感謝を表する次第です。

# プラッシャー天体写真儀の乾板について

中桐正夫 国立天文台天文情報センター

## 1. 概要

国立天文台の前身の一つである東京大学東京天文台に明治時代に設置された天体写真儀（プラッシャー天体写真儀）で撮影された戦前（1945年以前）の星野写真乾板は1945年2月の東京天文台本館焼失により失われたものと思われていたが、2008年に筆者を中心に立ち上げたアーカイブ室によって441枚が発見され、これらの乾板はスキャナーによるデジタルデータとしてリストと共に公表された。また、戦後のプラッシャー天体写真儀の乾板は、廃棄寸前に中村 士氏によって救出され、その乾板2447枚のリストが公表された。筆者はこの戦後のプラッシャー天体写真儀の乾板3355枚をスキャナーによりデジタルデータとして取り込みを終え、公表の準備を行っている。

## 2. プラッシャー天体写真儀のレンズと鏡筒

プラッシャー天体写真儀のレンズ（口径20cm、主点距離120cm）と鏡筒は、1896年（明治29年）8月9日の北海道・枝幸であった皆既日食観測用に急遽、アメリカのプラッシャー社から購入（2893円）されたもので、この日食は曇って観測できなかったが、1898年インド・ムンバイの皆既日食、1901年スマトラ・パダンの皆既日食で活躍した。

## 3. 赤道儀を購入し、天体写真儀に転用

日食観測用にレンズと鏡筒のみが購入されていたので、しばらくはトロートン・シムス20cm望遠鏡に同架されて使用していた（写真1）が、1902年（明治35年）専用のワーナー・スワゼー社製の赤道儀が購入された。写真2が赤道儀に載ったプラッシャー天体写真儀である。写真3は東京天文台の麻布時代のトロートン・シムス20cm望遠鏡のドームである。

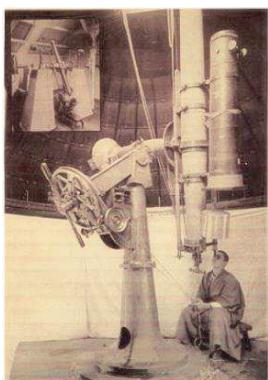


写真1

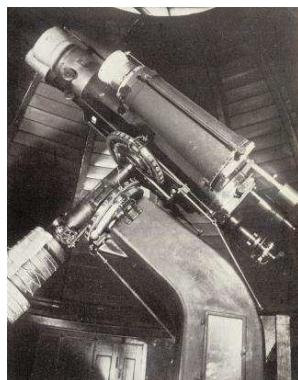


写真2



写真3

## 4. プラッシャー天体写真儀で撮影された日本最古の星野写真を発見

戦前（1945年以前）の天体写真乾板は、1945年2月8日未明の東京天文台本館の火災で焼失したものと思われていたが、筆者を中心に立ち上げたアーカイブ室の手によってプラッシャー天体写真儀で撮影された1899年3月から1917年2月の441枚の乾板が発見され、佐々木五郎を中心にそのリストが作成され、スキャナーによるデジタルデータとして公表された。

1899年3月5日の写真乾板は日本最古の星野写真と思われる。この写真乾板の全体像が写真4であり、その中心部の星像が写真5、左上部の星像が写真6、中央上部の星像が写真7、右上部の星像が写真8である。

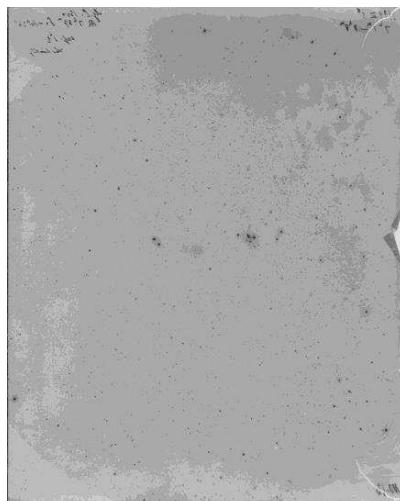


写真 4

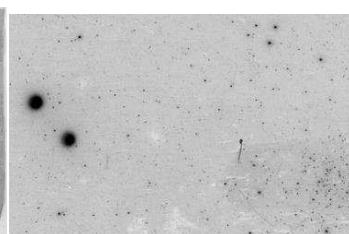


写真 5

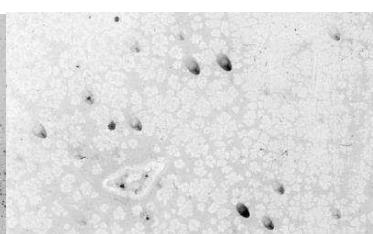


写真 6

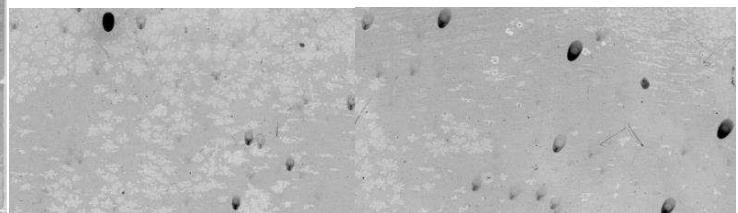


写真 7

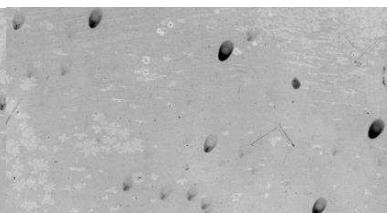


写真 8

天体写真儀として使ってみると写真 4 から写真 8 でわかるように、このレンズはひどいコマ収差を持っていることが分かり、購入後 12 年を経ていたがブラッシャー社に収差がひどいので研磨のやり直しを依頼したところ、研磨し直すと口径が小さくなるので同じ口径 20 cm で少し焦点距離が長いレンズ（焦点距離 127 cm）が無償で納入された経緯、美談があった。このブラッシャー社の末裔がハワイに建設された「すばる」の主鏡を研磨したコントラベス社である。

写真 9 が 1913 年 5 月 4 日の乾板の右上部分の像は収差があるが、写真 10 が 1913 年 9 月 12 日乾板の右上部分の像はずいぶん収差が小さい。この間にレンズが交換されたことが分かる。

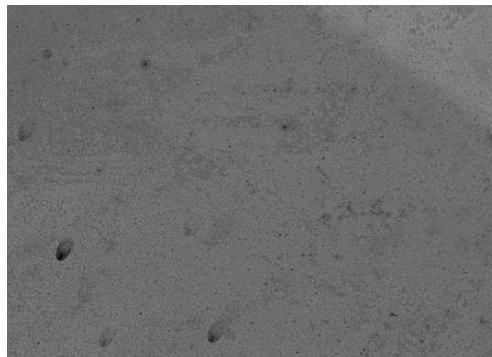


写真 9

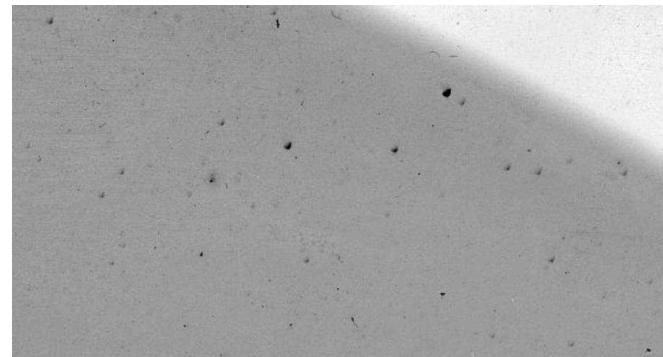


写真 10

##### 5. ブラッシャー天体写真儀で日本人最初の小惑星「TOKIO」、「NIPPONIA」を撮影

東京天文台第 2 代台長であった平山信はブラッシャー天体写真儀の 1900 年 3 月 6 日の乾板（写真 11）、1900 年 3 月 9 日の乾板（写真 12）に小惑星を検出していた。写真 13 の丸の中の矢印の棒状の天体が小惑星である。細心の眼力が必要だったと思われる。撮影された天体が小惑星と同定するには

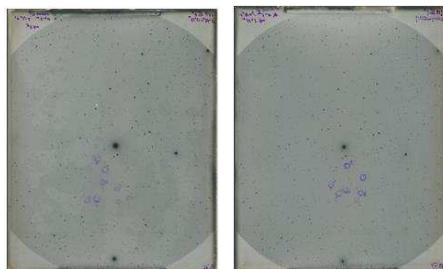


写真 11

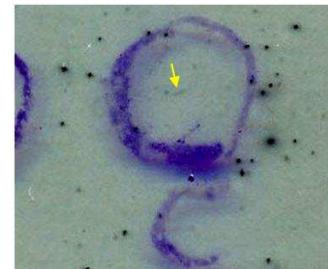


写真 12

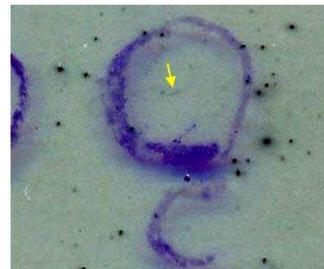


写真 13

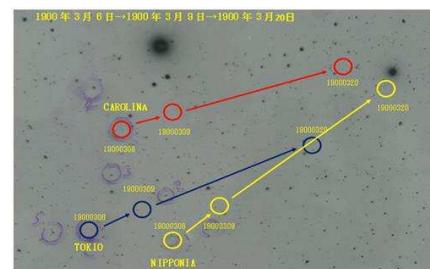


写真 14

3点の観測が必要である。平山信は1900年3月20日にもこの天体を撮影していた（写真14）が、この観測は国際天文連合に報告されず、平山信はこの小惑星の発見者とならなかった。3点目の観測を報告した発見者から命名権を譲り受け小惑星「TOKIO」、「NIPPONIA」の命名をした。

#### 6. 古い天体写真儀の乾板は Proper Motion の大きな天体の移動を追跡できる

古い観測の乾板のデータは、Proper Motion の大きな天体の移動を追跡できる。これも古い乾板を保存する意義である。写真15はProper Motion の大きな天体の例として61Cygの例で、1855年のボン星図、ブラッシャ一天体写真儀の1910年10月、パロマー写真星図1951年7月、2005年9月の位置をプロットしたものである。

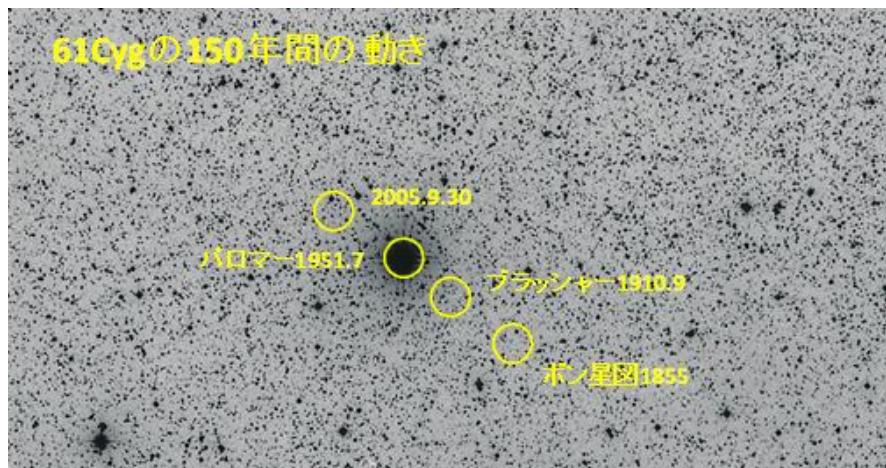


写真 15

#### 7. 戦前のブラッシャ一天体写真儀の乾板のリスト、デジタル画像が公表された

ブラッシャ一天体写真儀の乾板は、1945年（昭和20年）2月8日未明の東京天文台本館の火災によって失われたと思われていたが、2008年に筆者らによって立ち上げられたアーカイブ室の活動で1899年～1917年の441枚の乾板が発見され、そのリスト（写真16）とデジタルデータ（写真17）が佐々木五郎らによって公表された（文献1）。

佐々木五郎一集

付録：表1 今回見つかった写真乾板のカタログ。

番号	Box No	NO	DATE	TIME	EXP	CENTRAL OBJECT	R.A.	DEC	NOTE
1	1	13	1899/3/5	7h1m-8h8m	1:30:00	yc.1564	7:37.0	-14:36	ややはがれ。メ モ書きがあるが 判読不能
2	1	14	1899/3/6	6h35m-10h45m	4:02:00	yc.1541	7:27.3	+65:55	yc.1541の後ろ判 読不能
3	1	15	1899/3/8	6h21m-7h55	3:00:00		12:14.5	-14:10	割れ。2枚重ね。 日付の後ろ、メモ 判読不能
4	1	16	1899/3/12	6h39m-8h45m	3:02:00	yc.15xx	7:12.54	-13:02	
5	1	17	1899/3/13-14	11h37m55s-9h10m5s	5:30:00	YC2377	11:15.0	+13:32	カブリあり
6	1	18	1899/3/17	-12h52m19s(middle)	3:00:00	Small Planet	11:00.6	+16:30	
7	1	19	1899/3/18	11h48m-2h54m	3:01:00	yc3075	12:29.6	+8:14	4割はがれ
8	1	20	1899/4/1	9h45m43s-12h20m43s	2:35:00		10:48.0	+16:00	3割はがれ
9	1	21	1899/4/9	10h57m12s-1h2m12s	3:05:00	?	12:28.0	+12:00	
10	1	22	1899/4/10	9h17m44s-12h21m14s	3:00:00	BD8*2639	12:40.36	+8:13	ややはがれ。模面 シミ
11	2	23	1899/4/15	10h30m33s-1h53m33s	3:00:00	$\mu$ Virginis	13:19.50	-10:38	2割はがれ
12	2	24	1899/4/16	-1h44m	1:18:00	$\gamma$ Hydrus	13:13.0	-22:39	2割はがれ。メ モ書きあり
13	2	25	1899/4/29-30	11h6m41s-1h5m41s 10h24m46s-13h3m46s	4:56:00	$\mu$ Virginis	12:37.0	+10:47	2割はがれ。模面 シミ
14	2	26	1899/5/4	11h42m-2h50m	3:00:00	$\eta$ Bootes	13:50.0	+18:54	ややはがれ。
15	2	27	1899/5/7-8	12h8m3h13m	3:05:00	BD29*2319	12:38.0	+28:55.5	

写真 16

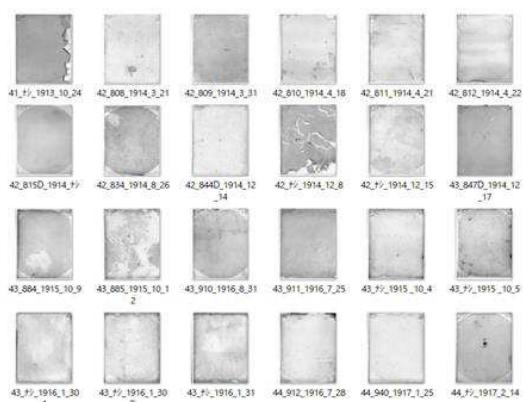


写真 17

#### 8. 戦後のブラッシャ一天体写真儀による乾板が発見され、そのリストが公表された

戦後のブラッシャ一天体写真儀による乾板は廃棄される寸前、中村 士氏によって救出され、その整備、保管が行われ、その2447枚の乾板リストが中村らによって公表された（写真18、19）。

## ARCHIVAL CATALOGUE OF BRASHEAR ASTROGRAPHIC PLATES

By

Tsuko NAKAMURA, Hiroki KOBAYASHI, Syudo ISOBE, and Hisako HIRASAWA

(Received April 26, 1990)

## Abstract

The Brashear astrophotograph took more than 5000 plates of sky patrol at Mitaka Campus from 1942 through 1964. We arranged the plates in chronological order, stored in an air-conditioned room, and made the complete observation list of them as a machine-readable database. This catalogue will provide researchers with the convenience of archive survey of the past astronomical events.

## 1. Introduction

## 2. Description of Brashear Astrophotograph

Since the end of the 19th century, Tokyo Astronomical Observatory (TAO) had been taking observational plates with an improved new called Brashear astrophotograph. This was done as a routine program at the Astronomical Observatory in the former Tokyo University campus, Mitaka. At Asahidai campus, Prof. S. Hirayama, who was a member of the observation committee, gave these plates to the TAO. After the calculations resulting from these, he wrote the name of Tokyo, Nippon, and Hipsanola. O. Okawa at Mitaka campus also discovered with this astrophotograph.

## (1) Camera

The Brashear astrophotograph telescope was equipped with the two cameras given in Table 1.

Table 1.  
Lens Diameter Focal length Field of view Scale  
Brashear (Focal triplet) 20 cm 127 mm 478×972 1700/mm

## Archival Catalogue of Brashear Astrographic Plates

## Table 2.

PLATE NO.	DATE	TIME	EXP.	CENTRAL OBJECT	R.A.	DEC.	NOTE
B3588 Z0878	1962/10/18	10:25:00	20:00	M-P	00:01:6 +17:25:7	103A-O-B	
B2033 Z0879	1962/10/18	10:27:00	03:14J	42:00	00:03:3 +19:23:5	103A-O-B	
B1761	1962/10/18	10:30:00	03:14J	42:00	00:03:3 +19:23:5	103A-O-B	
B3597 Z0887	1962/10/21	11:19:00	20:00	M-P	00:05:2 -02:02:5	103A-O-B	
B3585 Z0885	1962/09/11	14:45:00	23:00	M-P	00:06:1 -03:00:1	103A-O-B	
B2919 Z0886	1962/09/11	14:45:00	23:00	M-P	00:06:1 -03:00:1	103A-O-B	
B3569 Z0859	1962/09/21	13:34:00	29:00	M-P	00:07:1 +19:24:6	103A-O-B	
B1501	1948/10/11	21:16:56J	40:10	M-P	00:07:5 -10:22:5	FUJI-A-K	
B3581 Z1130	1962/09/11	14:45:00	14:00	M-P	00:07:5 -03:46:8	103A-O-B	
B3519	1962/09/18	12:36:00	14:00	M-P	00:07:5 -03:46:8	103A-O-B	
B1348	1947/10/08	21:12:19J	40:00	M-P	00:08:5 +03:26:5		
B1567	1948/10/20	20:55:43J	38:00	M-P	00:09:5 +37:53:0	HYPERPAN	
B2243	1947/10/20	20:55:43J	38:00	M-P	00:09:5 +37:53:0	HYPERPAN	
B1246	1947/10/27	22:35:47J	40:00	M-P	00:12:7 +05:29:7	1200B-KA	
B2240	1951/09/23	19:39:36J	23:45	M-P	00:13:2 +32:06:3	0:5:8-B	
B2242	1951/09/23	19:39:36J	23:45	M-P	00:13:2 +32:06:3	0:5:8-B	
B1341 Z0865	1961/09/19	14:17:00	32:00	C-1957NA	00:15:7 +16:44:8	103A-C-B	
B2048	1950/10/07	21:44:11J	50:00	M-P	00:18:2 +06:53:5	0:5:8-B	
B2443 Z0860	1962/12/17	17:54:25	22:00	C-NIKOS(52F)	00:18:9 +01:07:7	0:5:8-B	
B2001 Z0861	1962/10/22	14:29:00	10:00	C-1957NA	00:20:0 +17:12:3	103A-O-B	
B3349 Z0851	1957/08/22	14:29:00	10:00	C-1957NA	00:20:3 +17:12:3	103A-O-B	
B3603 Z0859	1962/10/22	10:05:00	20:00	M-P	00:20:5 +17:05:1	103A-O-B	
B1529	1948/11/21	19:48:00J	04:00	M-P	00:22:0 +08:23:7		
B1529	1948/11/21	19:48:00J	04:00	M-P	00:22:0 +08:23:7		
B1549	1948/12/02	21:33:56J	30:00	M-P	00:21:3 +36:05:7		
B1592	1948/12/02	22:05:58J	30:00	M-P	00:21:3 +36:05:7		
B3600 Z0850	1962/10/21	13:32:00	11:00	M-P	00:22:5 +19:12:7	103A-O-B	
B1248	1943/09/24	20:35:38J	16:00	M-P	00:22:6 -04:40:2	1200B-T-	
B3588 Z0888	1962/10/21	12:01:00	12:00	M-P	00:23:3 -10:12:5	103A-O-B	
B2034	1959/07/21	19:34:51J	30:00	M-P	00:23:9 +10:52:7	0:5:8-B	
	1948/10/21	19:39:31J	10:00	M-P	00:23:9 +08:15:8	FUJI-A-K	

写真 18

写真 19

## 9. 戦後のブラッシャー天体写真儀による乾板のデジタルデータ化

中村氏によって廃棄を免れたブラッシャー天体写真儀による乾板は国立天文台図書室の貴重書庫の一角にある乾板保管場所に戦前の乾板などと共に保管されている。筆者はこの戦後の乾板をデジタルデータとして公表するためスキャナーで 1200dpi、グレースケール 16 ビットによって 3355 枚の取り込みを終えている。乾板の経年変化を示したいとカラー 48 ビットで取り込みを始めたが、スキャナーのレビュー機能を十分理解せず、エリア決めだけに使い、1000 枚以上を取り込む大失敗をやってしまった（写真 20）。写真 21 は BOX-88 のデジタル画像のサムネイルである。

左がプレビューをしないでカラー48ビットで取り込んだ画像。  
右がプレビューをやってグレー16ビットで取り込んだ画像

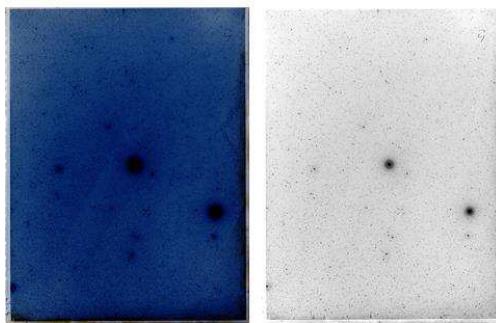


写真 20

BOX-88 サムネイル

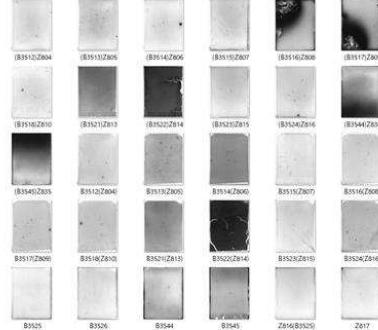


写真 21

## 10. ブラッシャー天体写真儀のその後

三鷹で観測に使われたブラッシャー天体写真儀ドーム（写真 22）は取り壊され、ブラッシャー天体写真儀は国立天文台天文機器資料館に展示（写真 23）されていく



写真 22



写真 23

## 11. 参考文献

- 佐々木五郎、中桐正夫、大島紀夫、渡部潤一「日本最古の星野写真乾板の発見」国立天文台報第 15 卷第 3・4 号（2013 年 4 月）
- Tsuko.NAKAMURA et al : 「Archival Catalogue of Brashear Astrograph Plates」 Publications of the National Astronomical Observatory of Japan Vo.1 No.4 (1990 Apr.)

# 中国気象衛星データから探る西チベットでの天文台サイト探査

佐々木敏由紀(国立天文台)

## はじめに

西チベット域は汎地球天体観測網を構築する上で重要な位置を占めるサイトである。西チベット域での天体観測サイト調査を2007年から中国・日本共同で行っている。その結果、マウナケアに匹敵する晴天率を持つサイトの存在が明らかになってきた。獅泉河に近いアリ（高度5032m）には中国国家天文台がアリ観測所を設立し小型望遠鏡望遠鏡が設置されている。しかし同所は、将来の大型望遠鏡設置の上で、冬期の強風環境と中心都市獅泉河が直視できる欠点を持つ。今回、アリ観測所周辺で、風環境が穏やかで晴天率が高いサイトを中国気象衛星データを用いて調査した。直径30kmの盆地内にある小丘がその有力サイトとして浮上してきた。今後のサイト環境の調査が必要であり、その結果を踏まえて大型望遠鏡設置に向けて進展することを期待している。

## これまでの中国サイト調査概況

2007年から中国・日本共同で中国西部域（新疆ウイグルおよびチベット）で天体観測サイト調査を継続的に行ってきました。調査サイトは、カラス（新疆ウイグル）、オマ（チベット）、アリ（チベット）である。調査のために設置した機材は、 $10\mu$  帯中間赤外線カメラ装着の雲モニ

ター装置、微熱乱流計測装置（カラス、オマ）、気圧計、気象センサー、粉塵計（アリ）である。

雲モニター装置でもとめた晴天率は、他の望遠鏡サイト、すなわち、すばる望遠鏡、ハレアカラ（マウイ島）、チャナントール（チリ）、岡山観測所と比較した（図1）。晴天率は図1左下に示した評価式で求めている。冬期のオマ、アリの晴天率は、すばる望遠鏡に

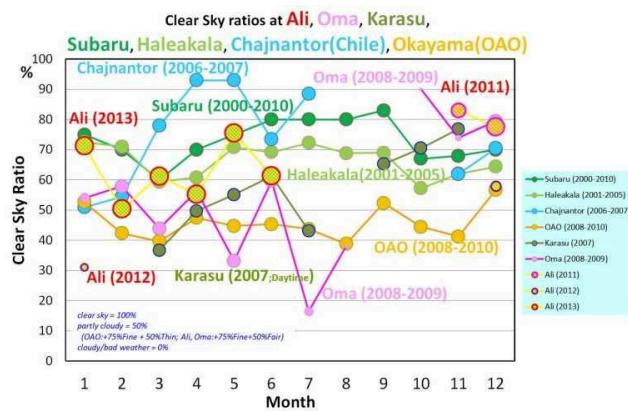


図1. 晴天率比較

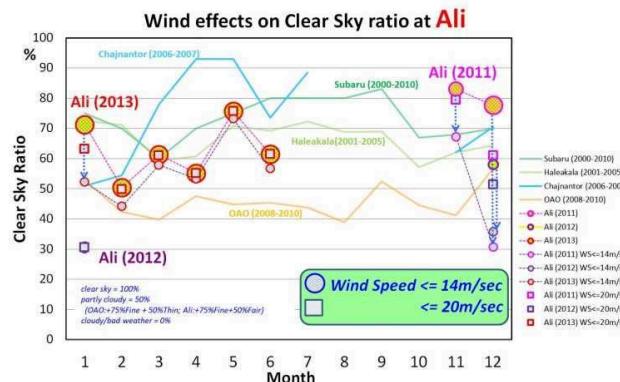


図2. 強風影響下での晴天率の劣化

匹敵しており、通年にわたって岡山観測所より快晴割合が高い。しかしアリでは冬期には晴天でも強風の影響で観測不能となる割合が高いことが判明している。すばる望遠鏡での風速の観測限界値 14m/s を適用すると、観測可能晴天率は 12 月には 30% に下がる（図 2）。

気象環境の詳細について、気象研の天気予報シミュレータを用いて評価をした。図 3 は、風速が比較的強く測定されていた 2012 年 12 月 14 日真夜中 18UTC の地

表面 10m での風速分布である。アリで強風でも ZoZo Hill では風速環境が穏やかであることがわかる。周辺の山脈により風速が遮られて穏やかな環境となっている。シーディングへの影響は、接地境界層によるシーディングへの影響、ドーム望遠鏡による影響、上空大気による影響があり、接地境界層の穏やかな ZoZo Hill でのシーディング環境はアリ観測所の 0.8 秒角より良いと推定される。

上記の 2007 年から 2013 年にわたる中国・日本共同で行ってきた西チベット域での天体観測サイト調査の状況は、佐々木報告（天文月報 2015 年）にまとめてある。

### 中国衛星データを用いたサイト評価

ZoZo Hill での晴天率は夏期の測定データがチベット入境の許可が下りずに回収できていない。周辺地域について人工衛星データのアーカイブから天体観測環境を評価することも試みられている (Ye ほか, 2016)。Ye ほかは、Climate Forecast System (CFS)/National Centers for Environmental Prediction (NCEP) を用いており、Data は 6h 毎の角度分解能 0.3° (~30 km)、31 年間平均である。我々はより精度の高い評価をするために中国衛星風雲 (Fengyun, 略: FY) FY2-D データによる西チベットでの晴天率推定を行った。FY2-D データは、千葉大学で公開されている (<http://www.cr.chiba-u.jp/>)。FY2-D のデータ仕様は、経度: 44.62E- 164.58E、緯度: 59.98N- 59.98S、分解能: 0.04 degree (4km)、1 時間ごとのデータである。波長帯は可視 x1 チャンネル、赤外 x4 チャンネルであり、雲の分布を得るために 10 μ 帯の赤外線画像を用いた。1 時間ごとのイメージを各点について時系列データに並び替えて、月毎に時系列分布図とした。

処理としては、wget によるデータダウンロードおよびその後の解凍は ubuntu 上で処理し、解凍した画像データの温度データへの変化、FITS 化処理、時系列データを切り出し

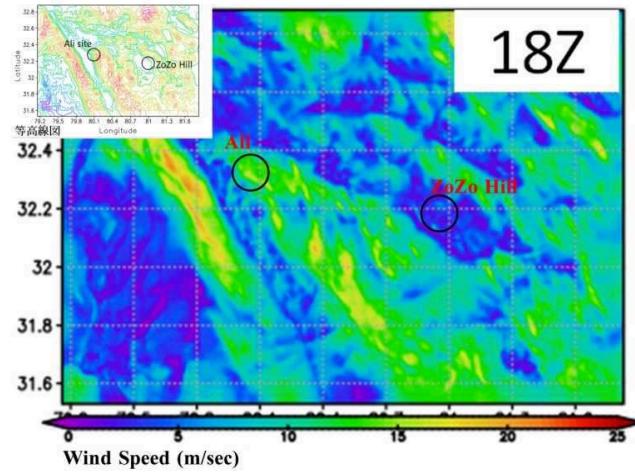


図 3. 気象研の天気予報シミュレータによる地表面風速分布

エクセル形式への変換処理は、Microsoft Visual Studio C++ (VC)で GUI込みで作成した。時系列エクセル形式データから日別プロファイル画像からの晴天率判定は、別個の VC 作成ソフトウェアで行った。データを圧縮するために、ピクセル角度分解能 3 (角度分解能  $0.12^\circ$ ) とした。時間分解能は元データに準拠して 1 時間である。衛星データが乱れる場合もあり、その場合は欠落データとした。図 4 は月毎の日別プロファイル画像からの晴天率判定を示した例である (2010/01 アリ地区)。1 月間の平均データ (空色の丸) とその誤差 (データから求めた rms 値、あるいは固定 rms 値) に基づいて晴天率判定を行った。この例では、平均値より固定 rms 値  $3^\circ$  (温度)  $\times 2.5$  倍を引いた値以上の熱温度である場合には晴天と判定している。時間ごとの判定を天文薄明時間内で評価して夜間の晴天率としている。雲モニターの晴天率と衛星データでの推定晴天率との比較図は図 5 であり、基本的に良い一致を示している。2008 年 11 月から 2014 年 12 月までのデータを解析した。中国衛星データでの推定晴天率と他の望遠鏡サイトとの比較は図 6 に示した。7, 8 月を除き他の望遠鏡サイトに伍した晴天率を示している。

アリ観測所、ZoZo Hill 周辺の西チベット各地での晴天率の様子を毎月調べた (図 7)。2008-2014 の平均から求めた分布である。図 7 で左 (西) から右側 (東) に○印で示したサイトは、ハンレ(インド)、アリ、ゾゾ丘 ZoZo Hill、シンバ、オマ、ツォチェンである。ツォ

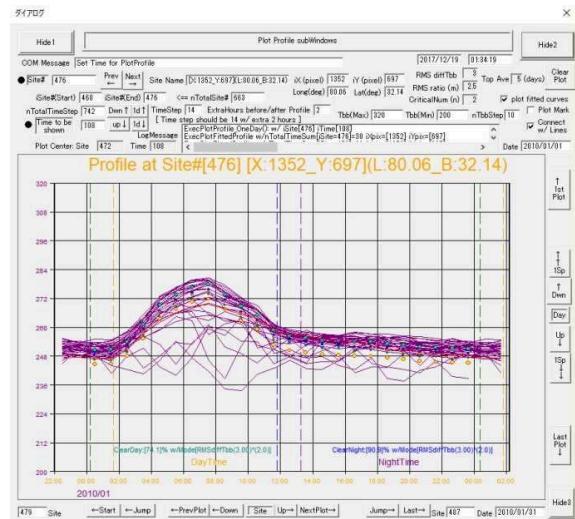


図 4. FY2-D データの時系列分布図

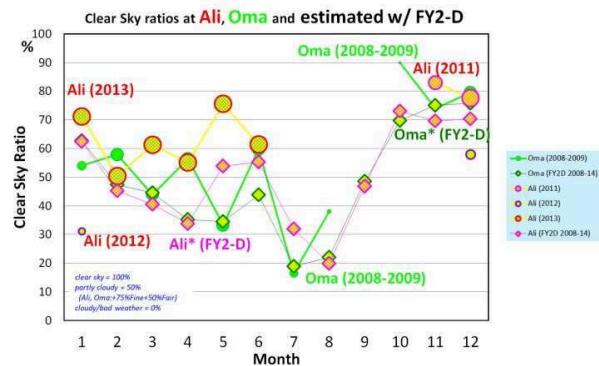


図 5. 雲モニターの晴天率と衛星データでの推定晴天率との比較

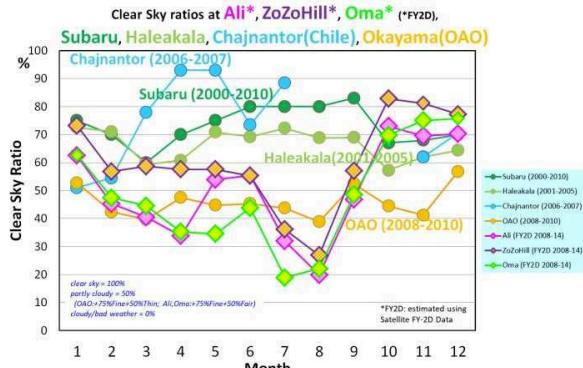


図 6. 衛星データでの推定晴天率と他の望遠鏡サイトとの比較

チエンは Ye ほかにより有力サイトとして推奨されていたサイトであるが春頃の晴天率が ZoZo Hill に比べ劣る。

西チベットの高山山頂では、風速は上空の高風速域に直結するので、風速の強い日時には天体観測にはふさわしくない。一方、盆地状地形は地上風速が穏やかであり、接地面層によるシーディングが少なく、天体観測環境としては西チベットではふさわしいものと考えられる。

ZoZo Hill は、獅泉河から直線距離 87km にあり、高度 4619m で、周辺を高度 5500m 以上の高山に囲まれた盆地状平坦地にある小丘である。小丘の山頂はマウナケア山頂の 2 倍の面積があり、複数の望遠鏡が設置可能である。また周辺の山まで約 15km 以上(盆地直径 30km) であり、将来の電波干渉系サイトとしても有望であろう。小丘での観測環境調査が望まれる。一方、我々が 2013 年からチベット入境できなかったような政治的不安定さもある。EACOA/EAO としてチベット入境が可能になる政治的裁断も強く望まれる。

サイト調査のメンバーは、三上良孝、大島紀夫(元国立天文台)、吉田道利(現国立天文台)、長山省吾(国立天文台)、中国国家天文台の姚永強、劉立勇、王繼昌である。現地調査では、姚さんらに非常にお世話になった。直江寛明さん(気象研)、関口和寛さん、安藤裕康さん、海部宣男さん、劉採品さんにも御支援いただいた。国立天文台で製作した機材が有効に機能している。雲モニター装置は岡田則夫さん(先端技術センター)、微熱乱流計測装置は三上さん、センサー製作は大島さんが担当した。同センサー取り付けには、小矢野久さん(元岡山観測所)に援助して頂いた。

[参考文献] 佐々木敏由紀, 2015, 天文月報, 108, 480

Quan-Zhi Ye, et al., 2016, MNRAS 457, L1-L4.

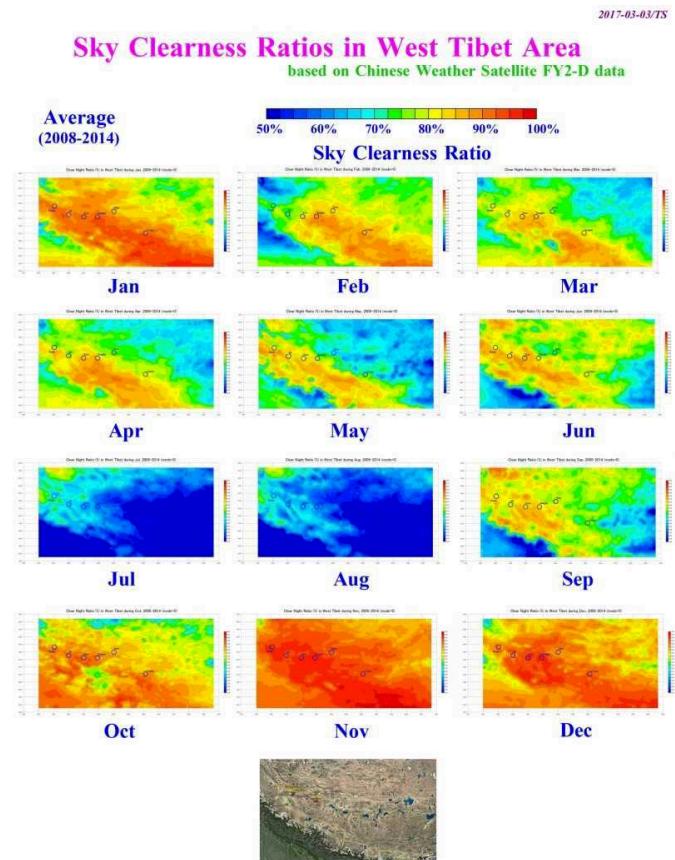


図 7. 2008-2014 の平均から求めた各月の晴天率地上分布

# 京都大学理学研究科附属天文台データを用いたダジックアースコンテンツ

○鴨部麻衣、玉澤春史、河村聰人、富田良雄、野上大作、齊藤昭則、大辻賢一  
木村剛一、柴田一成（京都大学）、萩野正興（国立天文台）

## 概要

京都大学花山天文台は1929年に設立され、大学天文台としては国内二番目の歴史がある。

特筆すべき業績の一つに、宮本正太郎の火星のスケッチによる偏東風発見がある。また、飛騨天文台では1968年以来、太陽や太陽系天体を観測してきた。これらのデータを活用し、球体に投影するダジックアースで、一般向けに紹介している。本講演では、データの取り扱い、アーカイブ、教育普及に関して実演を交え紹介する。

## 1. はじめに

本シンポジウムは、天文学に関わる技術的な情報交換・交流の場を提供し、さらなる技術の発展を目的として開催されている。本稿では少し趣向を変えて、「天文アウトリーチの技術」という視点で情報共有や分野を超えた連携に貢献できればと考えている。天文学分野のアウトリーチ活動を実践するにあたり、子どもや一般の方々に対して観測データを単に「見せて」紹介するだけでなく、魅力的に提供するにはどうすればよいか、いわば、どのように「魅せる化」できるか？その技術の一つとしてのダジック・アースという手法を紹介する。

## 2. 京都大学理学研究科附属天文台とアウトリーチ活動について

京都大学理学研究科附属天文台は、花山天文台、飛騨天文台から成っている。2018年度からは3番目の天文台として岡山天文台が加わることになっている。花山天文台は1929年に設立され、大学天文台としては日本で2番目に古い天文台である。初代台長山本一清教授は、当時としては珍しく市民向けの観望会を開き、アマチュア天文家を受け入れ、多くのアマチュア天文家を輩出してきた。また近年、花山天文台ではアウトリーチ活動を盛んに行っている。2017年の主な活動に、京都市観光協会・京都市主催「第42回京の夏の旅」（2017年7月8日～9月30日）、第5回花山天文台応援野外コンサート「古事記と宇宙」（出演：喜多郎他）、京都市教育委員会との連携事業「花山天文台体験学習」（2017年11月14日～17日）などがあり、2017年に花山天文台を訪れた人数は、上記3つのイベントの集計だけで8000人を上回っている。

## 3. ダジック・アースについて

ダジック・アースとは「地球や惑星についての科学を楽しんでもらうために、学校や科学館や家庭で、地球や惑星を立体的に表示するプロジェクト」（ダジック・アースのサイト <https://www.dagik.net> より）であり、京都大学理学研究科地球惑星グループが推進している。球形のスクリーンとパソコンやタブレットなどの端末、プロジェクタという手軽なシステムで地球などを球面に投影した“デジタル地球儀”

といえる。ガイドラインには、科学に関連する活動（研究機関の科学広報活動を含む）や教育活動（科学以外の分野も含む）での利用を目的としていることが明記されている。

ウェブでは現時点で 130 以上のコンテンツが公開されていて、ブラウザ上で操作できる。アンドロイド端末、iOS 端末に対応したアプリも公開されており、各自の端末にアプリをダウンロードして操作することもできる。

利用目的に適う場合には、機材の貸出も行われているので、個々にダジック・チーム (info@dagik.org) まで問い合わせて頂きたい。

#### 4.京都大学理学研究科附属天文台でのダジック・アース活用について

京都大学理学研究科附属天文台でこれまで試行的に行ってきました事例を紹介する。

##### 4.1 宮本正太郎博士火星スケッチ（2017 年 7 月～9 月「京の夏の旅」で展示）



宮本正太郎は、太陽コロナの温度が 100 万度であることを世界で初めて正確に算出した。また月・惑星の観測的研究でも知られており、火星のスケッチから偏東風を発見し、探査機時代に先駆けて惑星気象学を開拓した人物である。1956 年～1976 年に宮本が残した 3000 枚を超える火星観測のスケッチは、現在、デジタル化され京都大学研究資源アーカイブ

図 1 宮本正太郎（1912 年～1992 年）  
(<http://www.rra.museum.kyoto-u.ac.jp/>) にて閲覧できる。

「京の夏の旅」での公開に際して、飛騨天文台大辻により宮本火星スケッチをダジックコンテンツ化した。

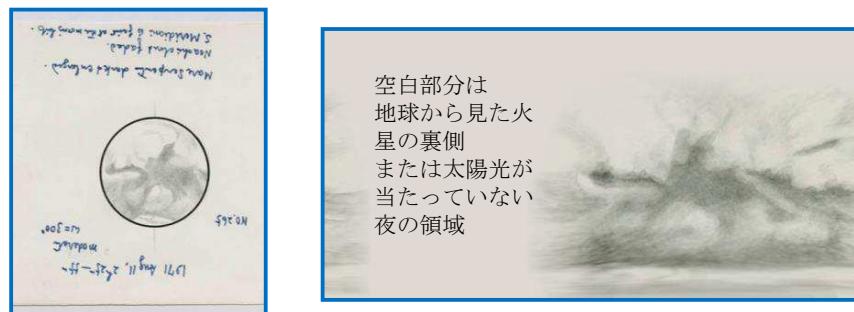


図 2 火星スケッチ（180° 反転）とダジック用マップ

##### 4.2 宮本火星スケッチのダジックコンテンツ化手順

- ① 火星スケッチの輪郭を自動検出
- ② 宮本論文 (Miyamoto 1971) よりスケッチ時の時刻、火星視直径、中央子午線、太陽・地球・火星の位置関係を参照する
- ③ 火星スケッチ上の緯度経度グリッド配置を導出。夜領域の位置も計算で求め、昼の部分をダジック用マップに展開する。同じ日に何枚もスケッチが行われた際は、一つのダジック用マップ上に

重ね合わせる

#### 4.3 飛騨天文台一般公開での展示（2016年8月27日）

飛騨天文台では太陽磁場活動監視望遠鏡（SMART）などにより、定定期に太陽観測が行われている。SMARTで観測された日々のデータは、ウェブで公開されている。

2016年度飛騨天文台一般公開では、SMARTで観測された太陽H $\alpha$ 像の動画を直径2mのバーレンに投影したコンテンツが登場した。その後、直近の太陽像や太陽活動現象がダジックコンテンツ化され、今後イベントなどで活用が期待されている。

#### 4.4 太陽像のダジックコンテンツ化（飛騨天文台大辻担当）

- ・任意の幅（15度程度）のデータを短冊状につなぎ合わせ、裏表1週分のダジックマップにする。
- ・フィラメントや活動領域など、東西方向に長く伸びる構造については短冊の幅、形状を変化させる。
- ・短冊の縁でつなぎ目が目立たないように重みづけで滑らかにつなげる。
- ・周辺減光を補正する。

本シンポジウムでは、宮本火星スケッチ及びSMART望遠鏡で観測されたフィラメントの噴出現象（2016年5月21日）をダジックコンテンツ化したものを紹介した。



図3 宮本火星スケッチのダジックコンテンツ

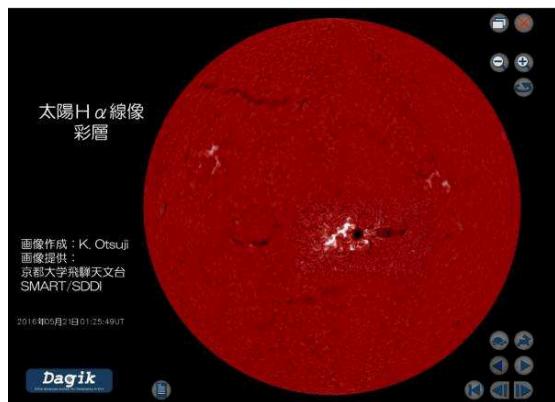


図4 SMART H $\alpha$ 像ダジックコンテンツ

### 5.まとめ

花山天文台・飛騨天文台では長期にわたる観測データの蓄積があり、デジタル化されたものの日の目を見ずに埋もれているものも多いかもしれない。歴史的に意義深いデータや日々更新される最新の観測データをダジックコンテンツ化することにより、データを「魅せる化」した活用ができる。ダジックコンテンツは子どもたちや一般向けにわかりやすく、インパクトある形で提示できるツールである。アイデア次第でアウトドア活動での様々な展開が可能であろう。今後は、出前授業などの学校現場や宇宙天気予報分野でのアウトドア活動の一環としても活用できればと考えている。



図 5,6 技術シンポジウムでの実演展示の様子

【参考】

ダジック・アース <https://www.dagik.net>

京都大学研究資源アーカイブ <http://www.rra.museum.kyoto-u.ac.jp/>

京都大学研究資源アーカイブ宮本正太郎火星スケッチ <http://exhibit.rra.museum.kyoto-u.ac.jp/mars/>

太陽磁場活動監視望遠鏡（SMART）データアーカイブ

<http://www.hida.kyoto-u.ac.jp/SMART/T1.html>

<http://www.hida.kyoto-u.ac.jp/SMART/T3/>

# ALMA のソフトウェアテストの技術

国立天文台チリ観測所 中村京子

ALMA は、観測運用中の現在もソフトウェアの開発（機能追加、改良、バグ修正）を継続的に行っており、その一環であるソフトウェアテストも定期的に実行している。2015 年の技術シンポジウムにおいて、「ソフトウェアテストの紹介」と題して発表する機会を得たが、今回はその続きとして、ALMA のソフトウェアリリースの現状、テストの実際、そして使用しているソフトウェアツールについて簡単に紹介したい。

## 1. ソフトウェアテストとは

前々回のシンポジウムにおいても “テスト” と “デバッグ” の違いについて説明したが、ソフトウェアテストの部外者には両者の区別がつきにくいくらいがあるため、念を入れて、今回も定義を簡単に述べておく。

### 「ソフトウェアテスト」

- ・欠陥から発生する故障を発見すること（「JSTQB Foundation 第 3 版」）
- ・コンピュータのプログラムから仕様にない振舞または欠陥（バグ）を見つけ出す作業（Wikipedia）

### 「デバッグ」

- ・ソフトウェアの故障の原因を見つけて、分析して、取り除くプロセス（「JSTQB Foundation 第 3 版」）
- ・プログラム中の欠陥を修正する作業（Wikipedia）

つまり、ソフトウェアテストとは、製造業における検査や商品テストに相当するものである、とイメージすれば理解しやすいであろう。

## 2. ALMA のソフトウェアリリース

ALMA ソフトウェアは、開発が主体の時期には半年に一度のリリースであったが、2013 年からの本格的な観測運用開始を境に体制を変更し（2014 年、1.5 ヶ月に一度のリリースとなった）。その後さらに運用体制の見直しを行い、2016 年 10 月からは毎月リリースに変更されている。リリースはサブシステム単位で行われ、オンライン系（ONLINE）、共通基盤系（COMMON）、データベース系（ARCHIVE）、観測支援系（OBOPS）、観測準備系（OBSPREP）、観測データ処理系（SPT-PIPE）に分かれる。

毎月リリースとしたのは、アジャイルの手法（少数のソフトウェア変更を短周期で繰り返す）を取り入れたためである（ONLINE のみ二カ月周期とした）。各周期の開発終了時にテストが実施され、テストにパスしたものが、正規の ALMA ソフトウェアとしてリリースされる。開発部隊は、日本（NAOJ）、米国（NRAO）、欧州連合（ESO）そしてチリ（JAO）各所にある。テストは IRM（Integration and Release Management）という専門のグループが担当し、やはり四サイトに散らばるメンバーで構成されているが、主体はチリの JAO に置かれている。テストは目的の違いにより、以下の三フェーズに分かれる。

Phase A：実装機能がモジュール内で正しく動くことの確認（開発作業中に実施）

Phase B：実装機能の動作確認および既存機能の動作確認（3 週間 ※ONLINE は 4 週間）

Phase C：実装機能が仕様通りであることの確認（1 週間）

## 3. Phase B テストの一連の流れ

ここでは、IRMで行っているテスト作業（Phase B）の概要を述べる。

#### ① テスト対象確認

リリース毎に開発すべき機能や修正すべきバグが指定され（天文学者と開発者の両者が議論の上、決定する）、一機能一チケットとして管理システム JIRA に登録される。チケットにはステータスが表示され、このステータスにより開発段階やテスト状況が一目でわかるようになっている。また、どういう機能か、どのようにテストすべきか等も記述され、コメント欄を使って複数人で議論もできる。テスターは、ステータスが実装完了となったチケットをテストすることになる。

#### ② ソフトウェアのビルド

開発の済んだソースは、ソフトウェアリポジトリ（従来 Subversion を使っていたが、本年 10 月から Git に移行した）に保管される。テスターは、ソースファイルをリポジトリから取得し、実行プログラムを生成（ビルド）する。

#### ③ 実行プログラムのインストール

ビルドに成功した（エラーのない）実行プログラムを、テスト環境（Red Hat Linux）にインストールする。

#### ④ 事前検査（サニティチェック）

インストールしたプログラムが実際に使えるか、本格的なテストに入る前に簡単に検査する。

#### ⑤ テスト

テスト結果が期待通りであれば、チケットのステータスをテスト終了に変更する。テスト結果が期待したものとは異なる場合、チケットのコメント欄を使って開発者とやりとりをする。開発者はコメントを見て、必要に応じてソースファイルを変更し、リポジトリに保管する。テスターは修正されたソースファイルを使ってビルドし、再テストする。

#### ⑥ 回帰テスト（リグレッションテスト）

従前の機能が問題なく動いていることを確認する。何らかの問題が発見された場合、バグチケットを新規作成し、開発者はそれを確認してデバッグ作業を行い、修正したソースファイルをリポジトリに保管する。テスターは再びビルドを作成し、再テストを行う。バグ修正が最終的に確認されれば、チケットのステータスを変更して作業を終了する。

#### ⑦ まとめ

今回のリリースのテスト結果をドキュメントにまとめる。

### 4. ソフトウェアツールの紹介

前節でソフトウェアリポジトリやチケット管理システムに言及したが、ここではそれらも含めて、主にテストチームが現在使用しているソフトウェアツールを紹介する。

#### サーバシステムの仮想化

**VMware**：物理的に一台のコンピュータ上に、仮想的に複数のコンピュータを立ち上げる。観測およびソフトウェアテスト環境で採用している。

**Docker**：アプリケーション実行に必要なすべてのファイル一つにまとめ、Linux のコンテナ上で実行する。ALMA が開発している様々な Web アプリケーションが対象である。

#### ソフトウェアリポジトリ

**Subversion (SVN)**：集中型バージョン管理システム。すべてのソフトウェアソースを保管する。ALMA

では wandisco を運用し、四サイトでサーバを同期運転していた。2017年9月まで。  
**Git** : 分散型バージョン管理システム。2017年10月から運用開始し、Webベースのサービスである bitbucket を使用している。開発・テスト作業はブランチ上で行い、“master”には動作保証されたファイルのみ保管する。

### ユーザ認証管理

**LDAP** : ユーザ情報管理データベース。観測およびソフトウェアシステムのユーザ認証に使用している。

**CAS** : シングルサインオンの認証機構。複数 Web アプリケーションのユーザ認証で運用している。

### テストの自動化

**Selenium** : Web アプリケーションの自動テストツール。これに JUnit や TestNG ライブラリを組み合わせてテストスクリプトを作成する。

### 自動実行

**Jenkins** : 繙続的インテグレーションツール。ビルドの自動実行、テストの自動実行等に使用している。

## 5. 今後の展望

自分が ALMA コンピューティングチームに加わった頃（2009年）は、Linux システムは実マシン、SVN は ESO 本部のドイツだけにあり、LDAP の認証はまだ、テストはほぼ手動で行うという形で、上に挙げたツールのほとんどは使っていなかった（まだ世の中に出ていなかったものもある）。ところが、その後 8 年間で VM や Docker が実質的に標準化され、ソフトウェアリポジトリの分散管理、認証の集中管理、そして自動テスト技術が大きく伸びた。中でも自動テストは発展途上にあり、まだまだ伸びしろがある。

現在、自動テストは単純作業の繰り返しを効率化する程度である。高度なテストは人間が手動で行っており、現行、人が操作するテストに勝るものはない（機械が行うより多くのバグを見つけることができる）。ただ、最近とみに話題の AI 技術の進展により、人間を越えるインテリジェントなテストが自動で行えるようになる日が来るかもしれない。

## 参考文献

- 「JSTQB Foundation 第3版」大西建児他 翔泳社
- 「JUnit 実践入門」渡辺修司 技術評論社
- 「Docker 実践入門」中井悦司 技術評論社
- 「システムテスト自動化標準ガイド」マーク・フュースター、ドロシー・グラハム 翔泳社
- 「継続的インテグレーション入門」ポール・M・デュバル、スティーブ・M・マティアス、アンドリュー・グローバー 日経 BP 社

# Machine Learning at JVO: from predicting computer mouse movement under high network latency to compressing astronomical data

ZAPART Christopher  
(国立天文台天文データセンター)

## 概要

The Japanese Virtual Observatory (JVO) ALMA WebQL service has recently been upgraded to version 3. Its users are located all over the world. Whilst the latency of a network connection in Mitaka is sub-1ms, the latency rises to 70ms in Shanghai, around 125ms in Europe and probably well over 250ms in Mexico or Chile. The talk discusses some of the challenges faced when providing a web browser-based real-time FITS data cube preview service over high-latency low-bandwidth network connections. In particular we focus on predicting user mouse movements with a Kalman Filter in order to speculatively deliver the real-time spectrum data corresponding to where the user is likely to be looking at in the near future. The other countermeasure comes with the adoption of the efficient Better Portable Graphics (BPG) image format, which itself is based on the HEVC video compression standard used to compress 4k/8k video streams. Also, in preparation for future terabyte-class FITS files from the ALMA telescope we are experimenting with artificial neural networks for compressing FITS data cubes. The goal is to reduce correlations across the X-Y and frequency/velocity dimensions. Another place where we use artificial intelligence is in deciding, based on the image pixel histogram, which tone mapping function (linear, log, sigmoid etc.) should initially be used for presenting a FITS image in a web browser. Astronomical FITS files have a High Dynamic Range (HDR) which needs to be converted into a 8-bit greyscale. Choosing a reasonable tone mapping function for this conversion is not trivial.

## 1. Mouse movement tracking/prediction with the Kalman Filter

Please refer to 図1.

## 2. Image tone mapping function selection

There are five tone mapping functions to select from: linear, logarithmic, logistic (sigmoid), ratio ( $\frac{pixel}{1+pixel}$ ) and square. A simple logistic regression classifier has been employed to decide which function should be used to preview the FITS image in a web browser. User are naturally able to change manually from the settings menu the initial selection made by the computer. Please refer

to 図2.

### 3. Image Compression with Radial Basis Functions

In preparation for ALMA publicly releasing several hundred GB large FITS files we are considering various ways of compressing the FITS data. In this example 2D image pixels are represented as a mixture of elliptical Radial Basis Functions:

$$pixel(x, y) = bias + \sum_i^N w_i \exp \left[ - \left( a_i (x - x_0^i)^2 + 2b_i (x - x_0^i)(y - y_0^i) + c_i (y - y_0^i)^2 \right) \right]$$

where  $bias, w_i, a_i, b_i, c_i, x_0^i, y_0^i$  are free parameters to be learnt during a training phase and  $N$  is the number of basis functions, set to be much smaller than the number of pixels in the original 2D image.

図3 shows an example of image compression (reconstruction) with Radial Basis Functions. The original FITS image consists of  $1024 \times 1024$  float32 pixels. It has been reconstructed with  $64 \times 64$  ellipses, achieving a large compression ratio. The image has been compressed down to about 2.3% of the original size.

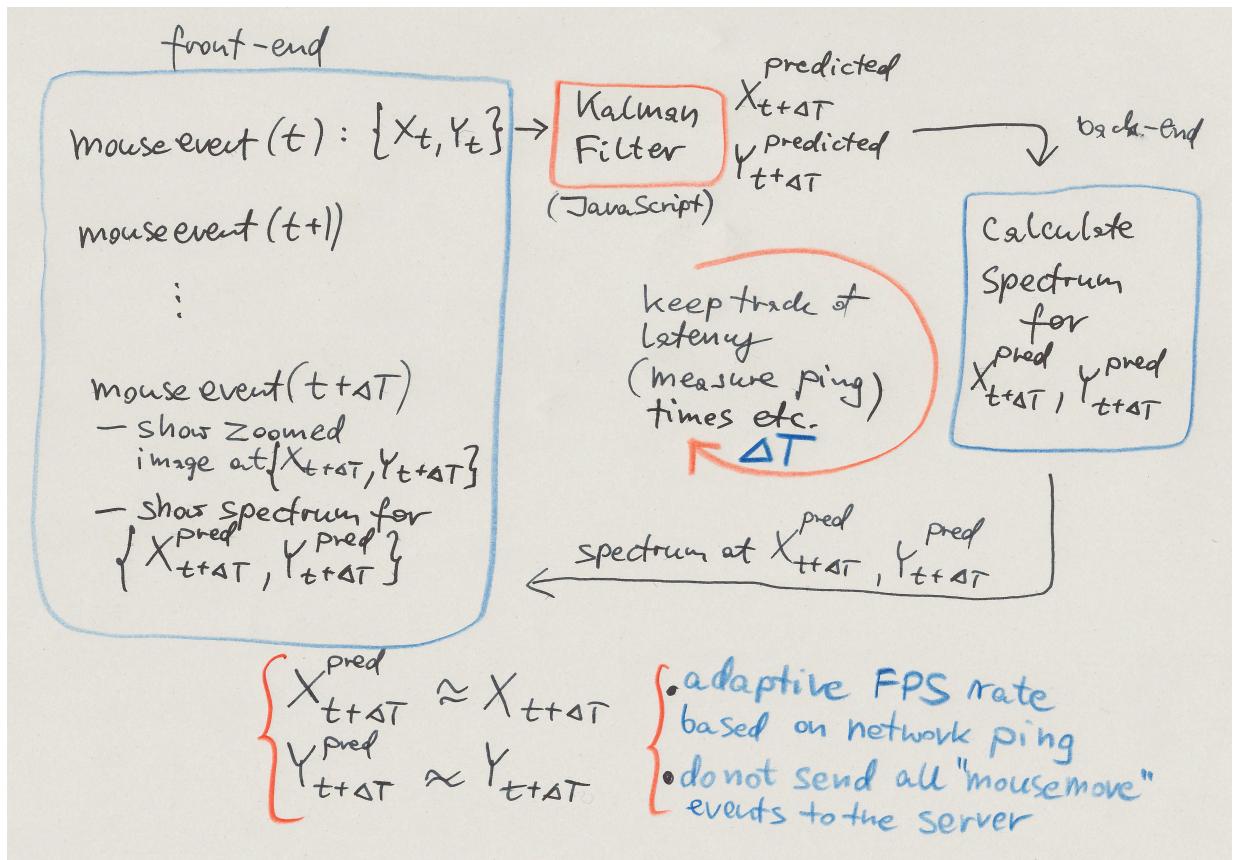


図 1: Kalman Filter.

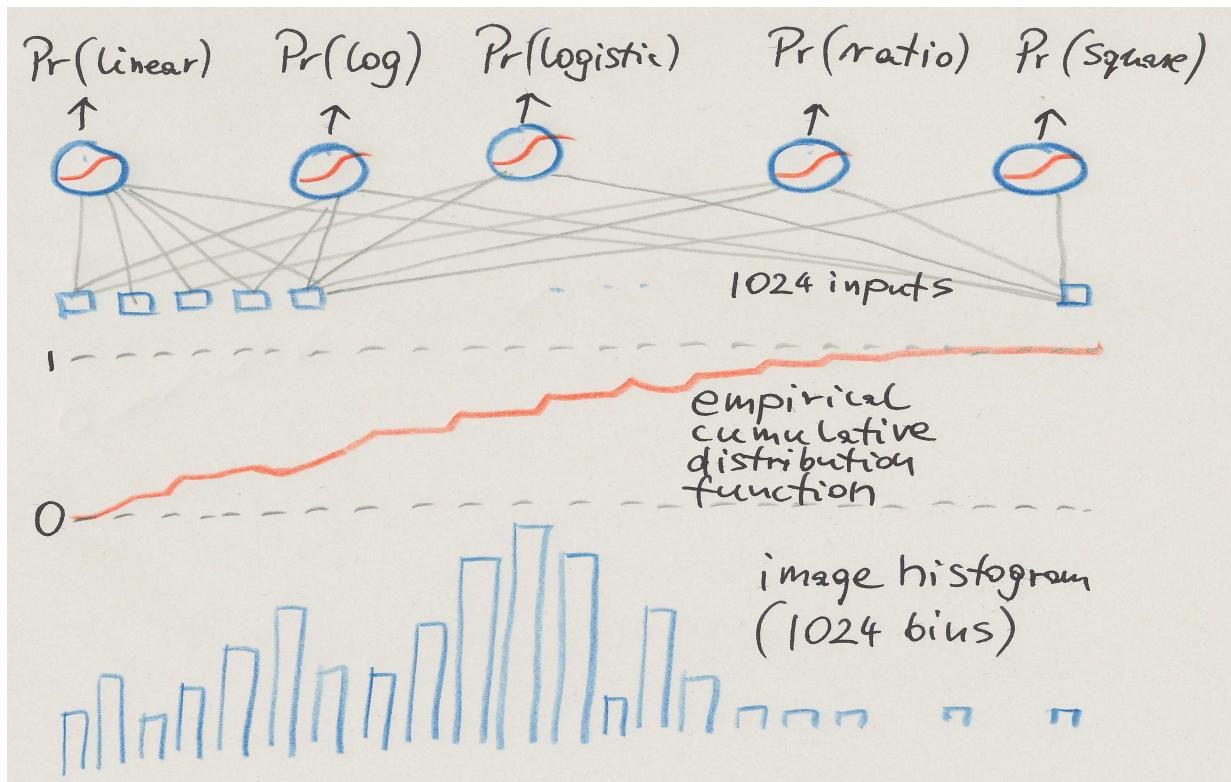


图 2: Tone mapping function selection with logistic regression.

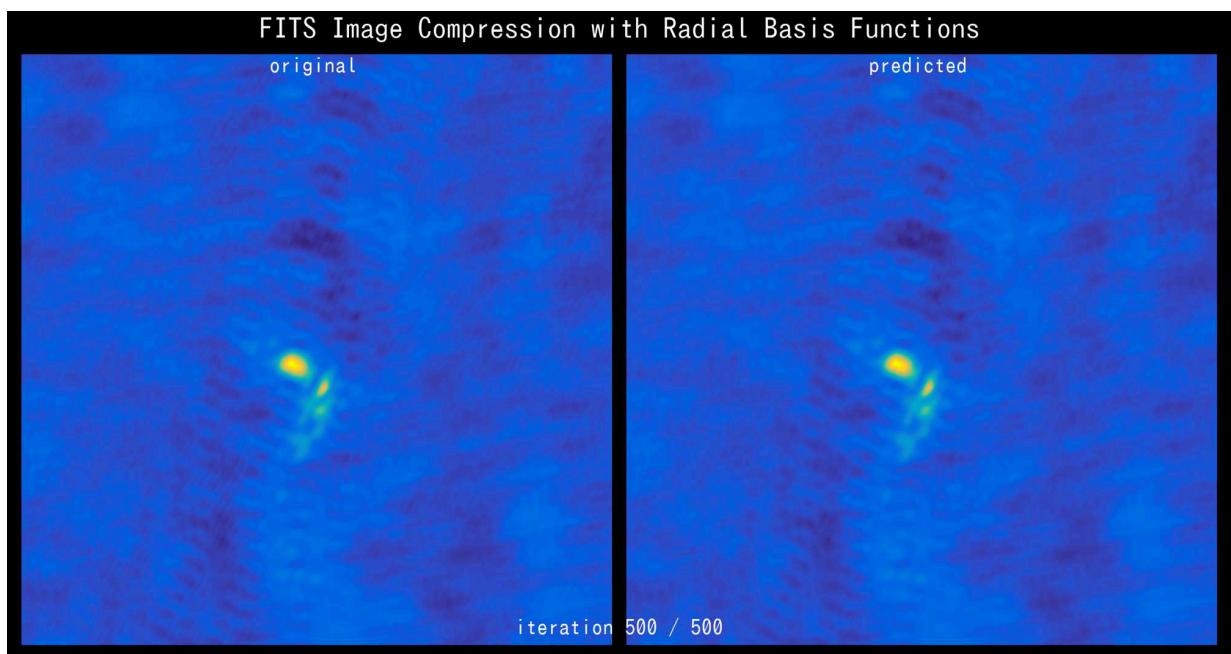


图 3: Image compression: the original image is shown on the left, the image reconstructed with Radial Basis Functions is shown on the right-hand side. Increasing the number of elliptical basis functions will result in more accurate reconstruction at the cost of worsened compression ratio. One needs to strike a balance between preserving small details and reducing the image size as much as possible.

# 国立天文台天文データセンター共同利用計算機システムの 運用効率改善 1: システムログのデータベース化

○小澤武揚、高田唯史、市川伸一、田中伸広、磯貝瑞希、亀谷和久、  
卷内慎一郎、山中郷史、藤川真記子  
(国立天文台天文データセンター)

## 概要

国立天文台天文データセンターの共同利用計算機システムである多波長データ解析システムのシステムログのデータベース化作業について報告する。多波長データ解析システムはあらゆる波長の天文データを整約・解析するために様々な機能をユーザに提供しているが、ユーザのニーズに応えるためには計算機の利用状況を定量的に把握し、システムの改良をしつつ運用を行う必要がある。そこで我々はシステムの利用状況を効率的に集約・統計分析するために、CPU やメモリ使用率等のシステムログのデータベース化を進めた。システムログをデータベース化したことにより、データベース化前と比べてシステムログの統計情報の算出が画期的に楽になった。作成したデータベースはシステム利用状況分析のための核となることが期待されている。

## 1. 背景と目的

国立天文台天文データセンターでは共同利用計算機システムである多波長データ解析システム（以降、解析システム）の運用を行っている（図 1）。解析システムはあらゆる波長の天文データの解析を行うことを目的として構築されており、国内外の天文観測機器のデータの整約と解析を行うことができる。解析システムは「国内外の天文学関連分野における大学院生以上の研究者」であれば利用資格を有し<sup>1</sup>、2017 年 12 月現在で 320 人の利用者がいる。利用者が解析システムで天文データの解析を行うことによって、1 年間あたり数十本の天文関連論文が生産されている<sup>2</sup>。

システムを利用者の利用形態に合ったものへと育てていくためには、第一に現在のシステムの利用状況をシステムの運用者が把握しなければならない。解析システムに於いてはシステムログの統計分析を行うことでシステムの利用状況を把握することができる。しかし数分置きに数十台のサーバから出力されるシステムログの統計分析を行うことは容易ではなく、これまでシステムログの分析は行われて来なかつた。

システムの利用状況が把握できていないという現状を解決するために、我々は解析システムのシステムログのデータベース化を行うことにした。次節で紹介するデータベースの利点により、システムログをデータベース化することによってシステムログの統計分析を簡単に行えるようになる。

<sup>1</sup> 多波長データ解析システムアカウント登録：[https://www.adc.nao.ac.jp/J/kaiseki\\_top.htm](https://www.adc.nao.ac.jp/J/kaiseki_top.htm)

<sup>2</sup> 成果論文リスト：<https://www.adc.nao.ac.jp/adc-public/html/seikaronbun.html>

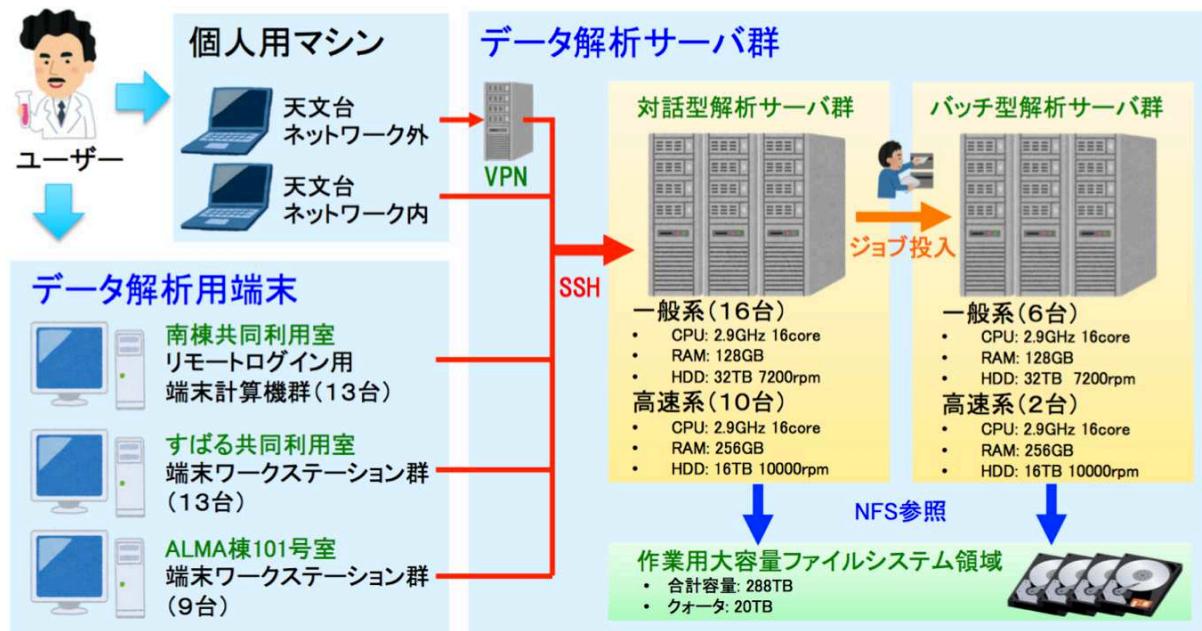


図 1. 多波長データ解析システムの概略。利用者は個人用マシン或いは国立天文台三鷹キャンパス内にあるデータ解析用端末から SSH で対話型解析サーバ群にアクセスしデータの整約と解析を行う。

## 2. データベース化の利点

情報をデータベース化することによって得られる利点として、大量のデータに対して簡単且つ高速にデータ検索を行えるという点が上げられる。この利点は関係データベース管理システム (Relational Data Base Manager System: RDMBS) の問い合わせ言語である SQL を使用することで得られる。SQL は RDMBS 上でデータの検索やデータの登録を行うための言語である。例えばあるサーバのある日の CPU 使用率の平均値が欲しいという場面があった場合、シェルスクリプトであれば数十行スクリプトを記述する必要がある一方、SQL を使用すればわずか数十文字の記述でこの目的を達成できる。システムログをデータベース化する事によって統計分析やグラフ化に必要な情報を簡単に抽出できるようになり、システムログの統計分析やグラフ化を迅速に行えるようになる。

## 3. データベース化する情報

データベース化するシステムログは解析システムの CPU 使用率、メモリ使用率、ログインユーザ数、ディスク負荷率、ディスク使用率である (表 1)。CPU 使用率は mpstat、メモリ使用率は free、ログインユーザ数は who、ディスク負荷率は iostat -x、ディスク負荷率は du という Linux コマンドを使ってそれぞれデータを測定している。但しディスク負荷率は iostat -x で得られる 13 個の情報をそれぞれデータベース化する。各情報はディスク使用率を除き 5 分置きに各サーバでデータを測定しており、2013 年 9 月から現在までデータを測定している。測定した情報は、情報毎 24 時間毎に 1 ファイルに整理する。例えば CPU 使用率であれば 1 列目に測定時刻、2 列目にサーバ 1 の CPU 使用率、3 列目にサーバ 2 の CPU 使用率という具合に 24 時間分のデータをまとめた。この時ファイルのデータ列数と行数及びそのデータサイズは表 1 に示す通りとなる。

システムログ	コマンド	測定頻度	列数	行数/日	行数/年	サイズ/日	サイズ/年	測定期間
CPU使用率	mpstat	5分	35	288	105120	~ 40 KB	~ 14MB	2013年9月 -現在
メモリ使用率	free	5分	35	288	105120	~ 40 KB	~ 14 MB	
ログイン数	who	5分	27	288	105120	~ 20 KB	~ 7 MB	
ディスク負荷率※	iostat	5分	61	288	105120	~ 50 KB	~ 18MB	
ディスク使用率	du	1日	61	1	365	~ 1 KB	~ 365 KB	

表 1. データベース化する解析システムのシステムログ一覧。

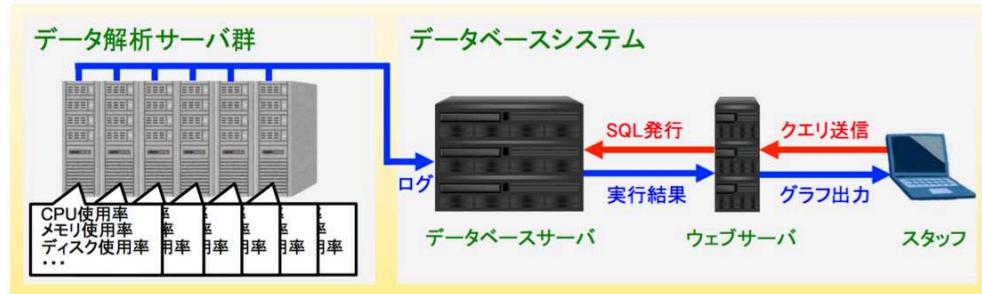


図 2. システムログデータベースの概略。

#### 4. システムログのデータベース化

作成するシステムはデータ解析システム群部分とデータベースシステム部分に分けられる（図2）。データ解析システム群部分では各データ解析サーバが定期的にシステムログを生成する。生成されたシステムログは24時間に1回の頻度で、24時間分のデータがデータベースサーバに送信される。送信されたデータはデータベースサーバ内で前述の通り情報毎24時間毎に1つのファイルに整理される。整理後のデータがデータベーステーブルにコピーされる。

データベース管理システムとしてはRDBMSであるPostgreSQL 9.6を使用した。PostgreSQLは天文データセンター内で広く使われているRDBMSでありノウハウがあるため採用した。データを格納するテーブルはサーバ種とログ情報の組み合わせ毎に作成した。例えば一般系対話型解析サーバのCPU使用率を収めるテーブルは「一般系対話型解析サーバ\_CPU テーブル」である。各テーブルはテーブルパーティショニングを行い<sup>3</sup>、年毎にデータを分割した。結果的にテーブル数は322テーブルとなった。各テーブルの列構成は1列目に時刻(timestamp)、2列目以降に各システムログ情報(real)という構成になっている。主キーは1列目の時刻に設定している。

システムログを情報毎24時間毎に1つのファイルに整理する過程や、整理後のデータをデータベーステーブルにコピーする作業はbashのスクリプトで行っている。cronにこれらのスクリプトを登録することで自動的にシステムログのデータベース化が行われる。

#### 5. システムログの可視化

月毎のCPU使用率の推移等、基礎的な利用状況をグラフとして閲覧できるウェブインターフェースの開発を進めている。使用するアプリケーションはPHP7.2であり、データベース抽象化レイヤはPHP

<sup>3</sup> データを複数の子テーブルに分割して格納しながらも、見かけ上は1つのテーブルとして扱うことが技術。

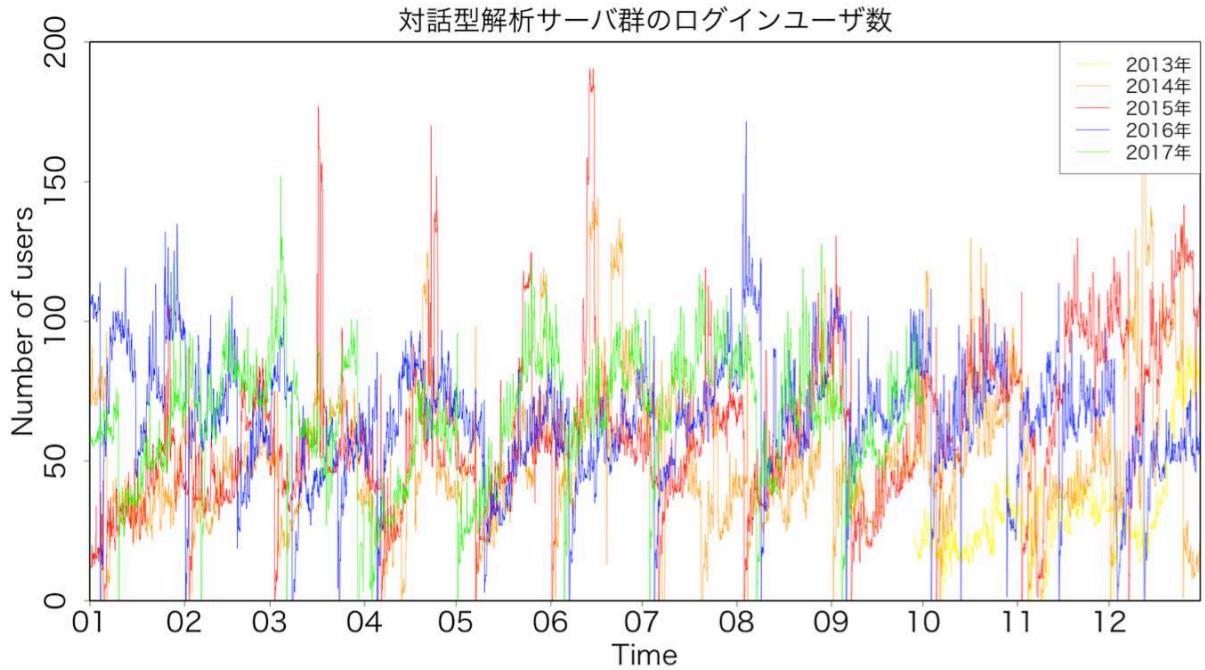


図 3 解析サーバ群のログインユーザ数推移。縦軸が人数、横軸が月を表している。各線は 2013 年から 2017 年までの各年のユーザ数の推移を表している。

Data Objects を使用する。まだ開発段階であるがウェブページ上でサーバ種、システムログ、年、月を指定すると、指定した情報が動的にグラフ化され閲覧できるシステムとなる予定である。

## 6. システムログデータベース化の結果

システムログをデータベース化した結果、統計分析やグラフ化を行うためにシステムログから必要なデータを抽出する作業が画期的に楽になり、これまで時間的及び作業量的な問題で行われて来なかつたシステムログの統計分析作業を簡単に行えるようになった。

図 3 は対話型解析サーバ群のログインユーザ数の推移を表したグラフであり、今回作成したシステムログから抽出したデータを用いて作成した。解析システムは毎月メンテナンスを行っているため月初めにはログインユーザ数が 0 になる。その後ログインユーザが積み重なっていき、次の定期メンテナンス日まで右肩上がりでログインユーザ数が増加する傾向が見られる。一方 11 月と 12 月は定期メンテナンス後のログインユーザ数の増加が急峻であり、この時期大学院生の利用者が多いためと考えられる。これらは今回ログインユーザ数の推移をグラフ化したことで初めて判明した事象であり、今まで定性的にしか理解していなかった解析システムの利用状況を定量的に理解できるようになった。

## 7. 今後の展望

開発中のシステムログを可視化するウェブインターフェースを完成させると共に、解析システムの利用者も本ウェブインターフェース利用できるように環境を整える。利用状況の推移を閲覧できる環境を整えることで、利用者のログイン先サーバの選択の助けや解析システムへの理解が深まれば幸いである。

# 国立天文台天文データセンター共同利用計算機システムの運用効率改善 2: 問い合わせメールの DB 化と共有のためのウェブインターフェースの開発

○山中郷史, 田中伸広, 磯貝瑞希, 小澤武揚, 亀谷和久, 卷内慎一郎, 藤川真記子, 高田唯史  
(国立天文台 天文データセンター)

## 概要

国立天文台天文データセンターでは、現在運用中の多波長データ解析システムに対する共同利用ユーザーからの要望に対応するため、メールによるサポートを行なっている。

メールにて送られてきたシステムへの要望に関する情報を集約し、今後の運用改善と効率化を目的としたメールの管理・共有のためのソフトウェア開発を行なった。本ソフトウェアは PostgreSQL、PHP 等から構築され、現在はベータ版の開発が完了し試験運用を開始している。本ソフトウェアは 2018 年 3 月から稼働開始予定の次期多波長データ解析システムと同時に本格運用を開始する予定である。

## 1. 背景

### 1.1 多波長データ解析システムとは

多波長データ解析システム（以下、解析システム）とは、国立天文台天文データセンターが運用しているシステムであり、あらゆる波長で観測された観測データの解析を目的として構築された計算機群である。大学共同利用の計算機システムであり、『国内外の天文学関連分野における大学院生以上の研究者』であれば誰でも使用することができる。

### 1.2 Consult メール（問い合わせメール）について

解析システムに関する質問・要望等に対応するために設けている問い合わせ用メールアドレスが“consult\_アット\_マーク\_anal.ao.ac.jp”である（\_アット\_マーク\_は@で置き換え）。アドレスに consult が含まれていることから、我々のグループ（以下、運用グループ）では Consult メールと呼んでいる。このメールアドレスは以下の問い合わせの窓口となっている。

- ・解析システムを利用するための新規アカウントの申請
- ・既存アカウントの更新
- ・解析システム専用 VPN の利用申請
- ・アカウントのグループ化申請
- ・システムに対する要望（ソフトウェアのインストール、不具合対応など）
- ・システムに関する質問  
(・天文データセンターで管理している共同利用室の設備に関する質問)

Consult メールが運用グループに配達されるまでを模式的に表したものが次頁の図 1 である。最初にユーザーから送られてきたメールは、運用グループで管理しているメールサーバーへと配達される。こ

ここでメール 1 通に Consult ID と呼ばれる固有の数字が件名に付与される。その後、ID が付与されたメールは運用グループ全体に一斉に配達される。問い合わせの種類によって運用グループ内の担当者は決まっており、メール受信後は担当者が各々対応を行う。この際 CC に上記 consult のアドレスを加えて返信することで、メールの返信に対しても固有の Consult ID が付与され、かつ運用グループ全体にもメールが共有されるようになっている。

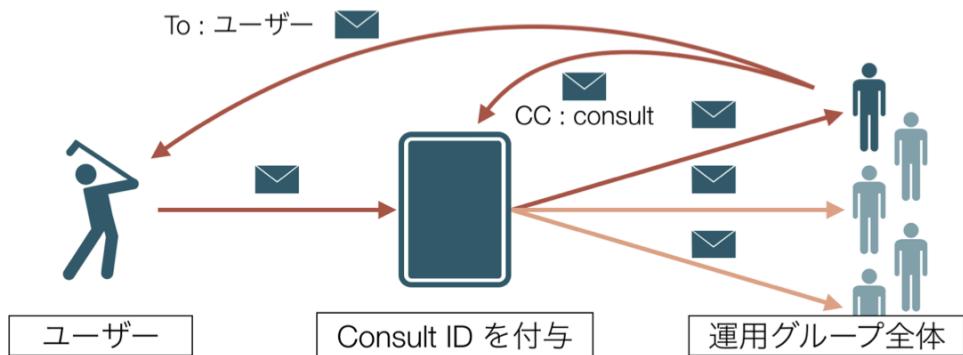


図 1. メール配達の模式図

しかし、この配達モデルにおいては『あとから対応したメールを参照することが手間である（個々人が自分の PC 内を検索する必要がある）』や『ユーザーからの要望・質問が既に解決しているのかどうかが不明瞭である（もちろん運用グループで相互に確認をしており、アカウント関係の申請は漏れがないよう別の方で毎日チェックはされている）』などいくつかの問題点があった。

### 1.3 本システムの目的

1.2 で述べたような問題点を可能な限り減らし、今後の運用業務改善と効率化を図ることは非常に重要である。実際、1ヶ月の間に送られてくる Consult メールの総数は 200 通に上るため、決して少なくない時間がユーザー対応業務に割かれている（ただし、実際の対応件数は 200 よりもっと少ない数字である。理由については 3.1 で述べる。）。そこで以下の 3 つを目的としたソフトウェア開発を行った。

- ① Consult メールを対応後も簡単に参照できるようにデータベースを用いて適切に管理する
- ② データベースに集約したメールの統計情報を計算し、日々の業務を数値化する
- ③ 運用グループ内で簡単に共有できるようにインターフェースを整備する

## 2. システム開発

### 2.1 システム概略

1.3 で述べた目的のために、右記図 2 で示すような大きく分けて 3 つに分類されるソフトウェアの開発を行った。詳細については 2.2 以降から順番に述べていく。

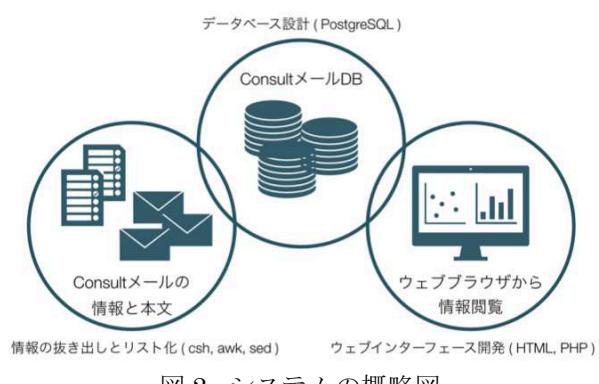


図 2. システムの概略図

## 2.2 データベース設計

データベースの構築には PostgreSQL を使用した。カラムには Consult ID、メール受信日、件名、送信者、宛先、などの一般的な情報の他に“Parent Consult ID”という情報を用意した。これは最初に送信されたメールを“親”と定義し、後に続く返信を“子”と定義した際の“親”的 Consult ID を入れるカラムである。この工夫を施すことにより『メールのスレッド表示』『質問・要望の解決までに要した時間の計算』『相談件数（≠メール総数）の計算』などの点で便利になると考えて取り入れた。

## 2.3 Consult メールの自動データベース化

データベースでメールの情報を取り込むためには、受信した Consult メールから必要な情報のみ取り出して、かつ PostgreSQL で読み取れる形式でリスト化する必要がある。このために、csh・awk・sed に SQL スクリプト組み合わせたシェルスクリプトを作成した。作成したシェルスクリプトは cron により毎日自動で実行＆ログを管理者へ送るよう設定を施した。

## 2.4 メールデータベース共有のためのウェブインターフェース

最後に、作成したデータベースの情報をウェブブラウザから閲覧できるよう、インターフェースの開発を行なった。HTML/CSS でウェブページを作成し、PHP を HTML に埋め込むことで PostgreSQL と連携させた。また、Python を用いた CGI スクリプトを用意して、最新の情報を参照してその場で集約情報をグラフ化するページの作成まで行った。最終的に、メールの新着順表示・スレッド表示・メールの基本情報を用いた検索・本文のキーワード検索・情報集約、に関するページを作成した。以下の図 3 ではその内の 2 つの例を示す。図 3 左のスレッド表示のページの一例を見ると、親 Consult ID が正しく設定され、スレッド表示と解決日の決定が適切に行われていることがわかる。



ID	親ID	受信日	件名	From	To	...	解決日	更新日
17003	17003	2017-10-02 20:53:15	【作業依頼】開発系サーバへのCASA 5.1.0のインストール	伏せています	consult@ana.nao.ac.jp		2017-10-10 17:45:00	2017-12-13 15:52:22
17006	17003	2017-10-03 15:43:01	Re: 【作業依頼】開発系サーバへのCASA 5.1.0のインストール	consult<consult@ana.nao.ac.jp>	伏せています		2017-10-10 17:45:00	2017-12-13 15:52:22
17031	17003	2017-10-05 19:57:21	Re: 【作業依頼】開発系サーバへのCASA 5.1.0のインストール	伏せています	consult<consult@ana.nao.ac.jp>		2017-10-10 17:45:00	2017-12-13 15:52:22
17038	17003	2017-10-06 11:56:53	Re: 【作業依頼】開発系サーバへのCASA 5.1.0のインストール	consult<consult@ana.nao.ac.jp>	伏せています		2017-10-10 17:45:00	2017-12-13 15:52:22
17039	17003	2017-10-06 12:20:35	Re: 【作業依頼】開発系サーバへのCASA 5.1.0のインストール	伏せています	consult<consult@ana.nao.ac.jp>		2017-10-10 17:45:00	2017-12-13 15:52:22
17053	17003	2017-10-10 10:16:20	Re: 【作業依頼】開発系サーバへのCASA 5.1.0のインストール	consult<consult@ana.nao.ac.jp>	伏せています		2017-10-10 17:45:00	2017-12-13 15:52:22
17060	17003	2017-10-10 12:21:39	Re: 【作業依頼】開発系サーバへのCASA 5.1.0のインストール	伏せています	consult<consult@ana.nao.ac.jp>		2017-10-10 17:45:00	2017-12-13 15:52:22

図 3. メールのスレッド表示ページから抜粋した一例（左）とメールの検索のページ（右）

## 3. ベータ版システムの運用結果

今回、Consult メールをデータベース化したことで得られた集約情報の一部が次頁の図 4 である。図 4 左は 2017 年 4 月から 10 月までに届いた Consult メールの内、何通が親メール（相談件数）であったかをヒストグラムで表している。緑が親メールの数を表しており、青+緑がメールの総数である。注意

点として、アカウント申請などの自動応答メールは1度に3通Consultメールとして配達される（それぞれ配達先が異なっているが、運用グループには全て配達されている）。このため『メール総数=親メールとその返信』という関係性になっていない。注意すべき点はあるものの、この図を見ると4月が最も相談件数が多く、5月以降は減少し一定値へと漸近していくことがわかる。

次に図4右はConsultメールをカテゴリー分けした場合のヒストグラムになっている。カテゴリー分けの際には件名を利用して自動で分類し、分類できたメールのみ総数を表示している。赤は新規申請を表し、今回の結果からは分散が大きく明確なことは言えないが、1年を通して概ね一定であるように見える。緑はアカウント更新を表しており（正式な更新受付期間は2-3月なのでここでは期間外の更新申請を意味している）、こちらは4月をピークに以降減少している。青とシアンはそれぞれVPN申請とグループ化申請を表し、こちらは毎月一定数の申請があることがわかる。

これら傾向が正しいのかを確認するためにも、過去のConsultメールを取り込み、今後もメールを絶えず取り込んでいくことでより正確な傾向を掴むことができると考えている。

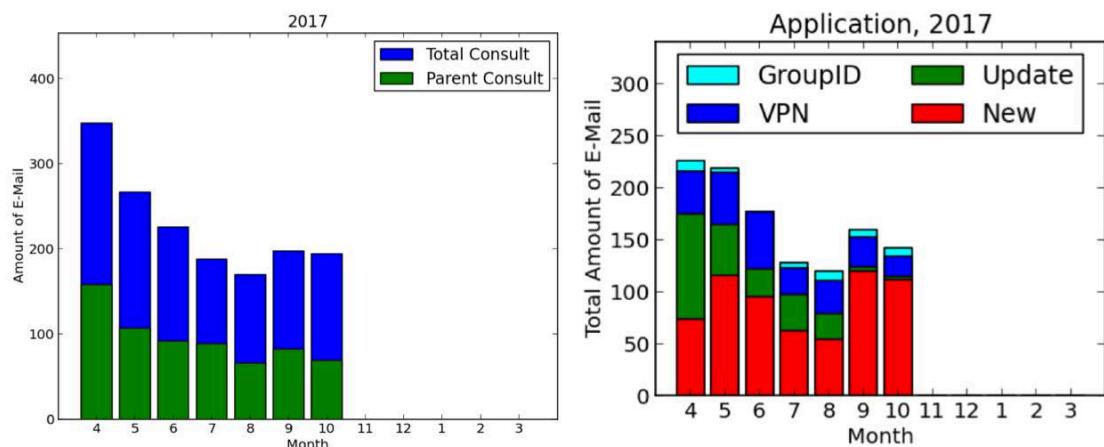


図4. メール総数のうち親メールの占める数（左）とカテゴリーごとのConsultメールの総数（右）

#### 4. 今後の展望

現在運用中の解析システムは2018年3月1日から新システムへと移行される。この新多波長データ解析システムは、現行のシステムと比べて“総合的な計算機性能が4倍”、“ユーザーの利用可能ディスク容量が2倍（2018年3月1日時点の数値であり、最終的には3倍にまで増強される）”を達成する見込みである。今回開発したConsultメールデータベースは、新システムの稼働と同時に本格運用を予定している。また、新解析システムからはユーザー管理システムも刷新される予定である。新しいユーザー管理システムと連携することで、ユーザー単位で情報をまとめることができると考えている。すなわち、分野・役職ごとにConsultメールをまとめることで、例えば、大学院生やポスドクからの質問を集約し数値化できるはずである。これは今後の天文データセンター主催の講習会の内容に反映できるのではないかと期待しており、さらにUser-Friendlyな運用を進めていければと考えている。

## JAXA 宇宙科学研究所 先端工作技術グループの紹介

○岡田則夫, 中坪俊一, 加賀 亨, 正光義則, 川崎繁男 (宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所)  
青山正樹 (分子科学研究所), 宮地晃平 (国立天文台)

### 概要

宇宙航空研究開発機構（以下、JAXA）宇宙科学研究所（以下、宇宙研）では平成 28 年 4 月に新たに先端工作技術グループが発足した。このグループは、工作室、エレクトロニクスショップ、宇宙ナノエレクトロニクスクリーンルームで構成され、実験ジグからフライトモデルまで、研究者や技術者の方々と一緒に「インハウス」での「ものづくり」を実現し、そのノウハウを蓄積するために設立された。特に工作室は高度な機械加工を行うべく新たな装備の新工作室を立ち上げている。私は招聘職員として上記のメンバーとともにグループの立ち上げに参加している。ここでは整備を進める新工作室を主として当グループを紹介する。

### 1. 先端工作技術グループの発足

近年、JAXA の予算が減少するなか、研究開発成果の最大化が求められている。宇宙科学研究所も、世界をリードする挑戦的な宇宙プロジェクトが求められる反面、失敗が許されない厳しい状況にある。このような厳しい状況の下、挑戦的な宇宙プロジェクトに成功するためには、研究・検討段階でのフロントローディングをいかに充実させられるかがポイントとなる。具体的には、プロジェクト立ち上げの前段階から「試作検討過程」を充実させ、技術的困難を克服し実現性を高め、成立性を見極めることが必要となる。外注によるものづくりから内製に切り替え、限られた資金を有効活用し研究のスピードアップをはかるため、宇宙研工作室を改革する検討チームが発足した。

元来宇宙研には、東京大学生産技術研究所に端を発する工作室が存在していた。ペンシルロケットに始まり、ラムダ・ロケットによる人工衛星「おおすみ」の打ち上げ成功など大学のレベルを超えた研究開発を支えて来たが、1989 年の相模原キャンパス移転、2003 年の JAXA 誕生等を契機に、工作室の人員体制も縮小を続け、最近は 2 名の契約職員が学生や職員の汎用工作機械の技術指導を行っているのみとなっていた。また、JAXA の中では調布航空宇宙センターにスタッフを配置しての工作室が運営されていたが、活用が乏しく 2016 年度にて運用停止となった。

このような厳しい状況のなかで宇宙研を拠点に JAXA 全体に貢献する先端的な工作室を実現する動きが、2015 年に始まった。宇宙研内に主だったプロジェクトの代表からなる「工作室改善検討チーム」が結成され、改革の実行に向けた議論と立案に取り組んだ。全国の主な研究機関・大学等の工作室の調査を行い、JAXA 宇宙研にふさわしい工作室の規模と装備等の草案をまとめ、審議に臨んだ結果、研究所の事業として新工作室を含む先端工作技術グループの発足が認められた。発足にあたり、今後のグループの取組みとして下記の 3 つのコンセプトが掲げられた。

- ① BBM(Bread Board Model)、最終的には衛星搭載用 FM (Flight Model) 品まで作製できる加工技術
- ② 高度な加工を可能にする設計支援機能
- ③ プロジェクト・研究系を超えて横断的に「ノウハウ」を集約・蓄積するセンター

## 2. 先端工作技術グループの施設

先端工作技術グループの設備は先端宇宙科学実験棟（図1）にある。表1に示すように建物3階に工作室とエレクトロニクスショップが、4階に宇宙ナノエレクトロニクスクリーンルームがある。高度な機械加工の実現にむけて、NC機を主軸とした新工作室が強固な基礎の上に1階に設置された。



図1. グループ所在地

表1. 先端工作技術グループの設備

	<b>3階 工作室 契約職員 2名</b> ボール盤、汎用旋盤、汎用フライス盤を用いた機械加工 職員や学生が自ら加工して「ものつくり」を行う 400 mm×200 mmサイズまで 50~100 μm精度での加工が可能
	<b>1階 新工作室 プロパー1名 クロスマーチント1名 交流人事2名</b> 5軸加工機、ワイヤー放電加工機等のNC工作機械を用い 専任スタッフによる高度な機械加工や三次元計測を担当 600 mm×400 mmサイズまで 1~10 μm精度での加工が可能 三次元計測は 1200 mmサイズまで計測可能
	<b>3階 エレクトロニクスショップ 契約職員 1名</b> 24時間利用が可能。 豊富なアナログ回路用電子パーツの在庫と製作スペースを提供。回路 設計等の相談も可能
	<b>4階 宇宙ナノエレクトロニクス CR 併任教授1名 招聘職員1名</b> ISO CLASS1の高クリーン度 クリーンルーム内にて電子デバイス製作が可能 エレクトロニクスデバイスから各種 MEMS デバイス等製作可能 設計・作製やデバイスプロセス等の相談可能

本来、工作室機能は分散することなく一か所で作業が完結するのが好ましいが、他の研究設備との関係で、1階の新工作室では専任スタッフによる研究室等からの依頼加工を行い、3階工作室は職員や学生が自ら加工して「ものつくり」を行う区分けとしている。

### 3. 新工作室について

#### (1) 新規導入機

新工作室の持つべき装備については、「工作室改善検討チーム」が現在行われている開発や実験、将来計画の要求を調査し、必要な加工精度やワーキングサイズを精査し、図2に示すように導入機種を絞り込んだ。実際に加工などを行う流れも考慮して汎用工作機械も導入している。

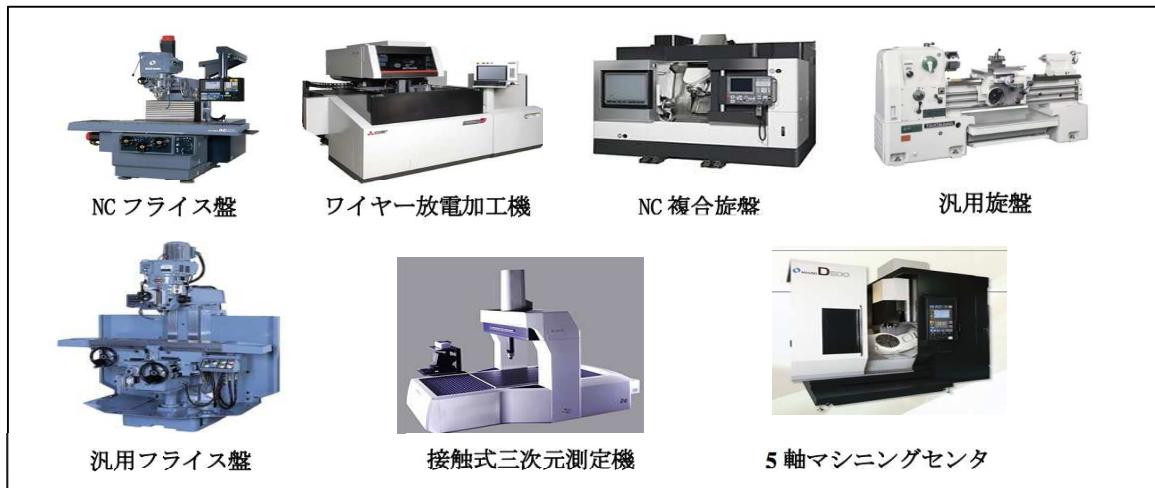


図2. 新工作室の工作機械

#### (2) 立ち上げ状況



新工作室の規模と方向性は、平成27年度から活動を始めた「工作室改善検討チーム」で策定され、予算確保や工作室として用いる部屋の手配、工作機械等の導入スケジュールも同チームで準備された。平成28年度の岡田着任により、グループとしての取組みを開始した。8月からは青山氏が着任しインフラ整備と工作機械搬入などを進めた。平成29年度には、中坪氏、加賀氏が着任し、工作室の初期運用を開始するに至った(図3)。

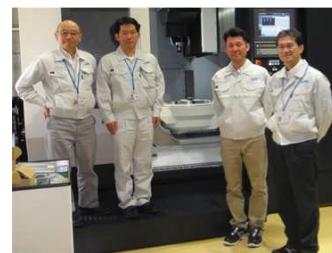


図3 新工作室立ち上げメンバー  
左から岡田 中坪 加賀 青山

#### 4. グループ人員体制

新工作室のスタッフは現在のところ任期の定めのない職員が1名、他機関からの期間を区切った招聘職員3名の構成である。新工作室の立ち上げは研究環境における工作中に手慣れた即戦力となる人材が必要となる。そこで全国各地の国立大学や研究所の協力を仰ぎ、研究連携協定等を結び、その中で技術交流としての招聘人事を行って来ている。出向元の関係機関の深い配慮とご理解の賜物であり、深く感謝申し上げる。またこのような人材交流は、人材の循環が滞りがちな全国各地の工作室で働く加工技術者にとっても、貴重な宇宙機器開発の経験となり、キャリアパスとしてもやりがいを感じるものである。

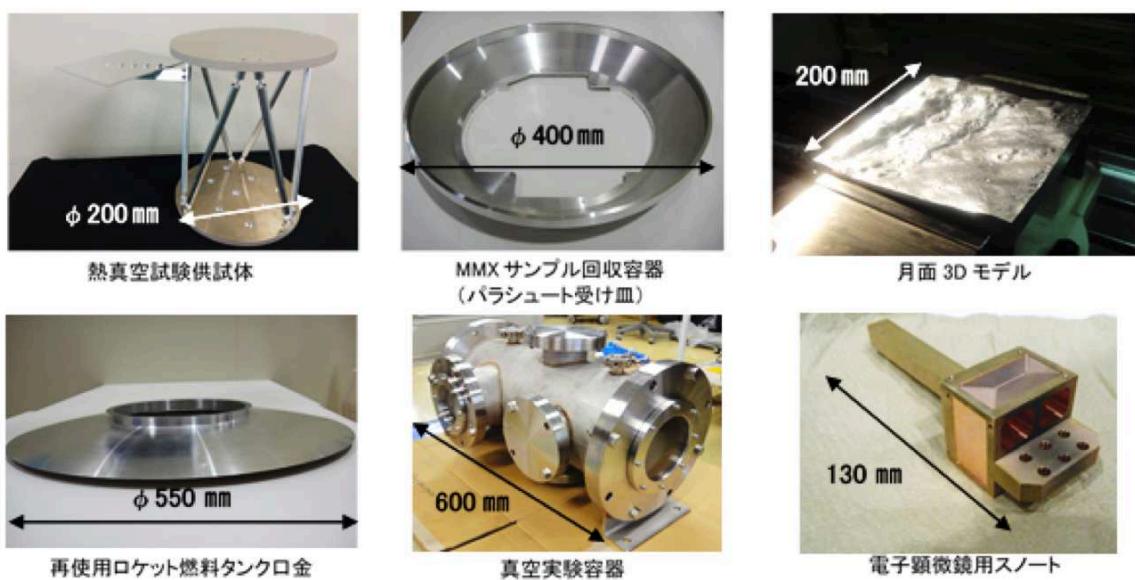
しかしながら、新工作室がコンセプトとして掲げる「ノウハウ」の蓄積や、技術の伝承においては、短期間で人が入れ替わる状況は好ましくなく、しっかり腰を据えて取り組む人材が不可欠である。即戦力の人材で実績をつくりながら、任期の定めのない職員のさらなる配属要求を行い、実現していく必要がある。

工作室とエレクトロニクスショップは従来果たしてきた役割を継承し、経験を積んだ契約職員のもと新工作室との相乗効果で稼働率があがっている。また、宇宙ナノエレクトロニクスクリーンルームは研究者と招聘職員（平成25年から3年半は宮地晃平氏が所属）で約4年前から設備立ち上げを行い、ISOクラス1のクリーン環境の下で、電子デバイス開発を行っている。

#### 5. 今後について

新工作室は初期の立ち上げをほぼ終了し、導入工作機械の試験運用を兼ねた製作加工を始めた。現在は工作室運営委員会が中心となり運用ルールの策定が課題となっている。平成30年度からは、本格運用にうつり、宇宙機の特徴である真空・低温・振動・軽量化に特化した挑戦的な「ものづくり」がまっている。当グループの発足が、今後の日本の宇宙機器開発の底上げに繋がるものと信ずる。全国各地の技術者によって立ち上がったJAXA宇宙研新工作室が、「ノウハウ」を蓄積するセンターとして機能していくには、JAXA職員さらなる人員体制の充実による新工作室の定常運用への移行が鍵となる。

新工作室での製作事例



# 木曽超広視野高速CMOSカメラ Tomo-e Gozen Q0の構造特性の評価

○高橋 英則（東京大学大学院理学系研究科・天文学教育研究センター）

酒向重行<sup>a</sup>, 大澤亮<sup>a</sup>, 一木真<sup>a</sup>, 小島悠人<sup>a</sup>, 土居守<sup>a</sup>, 小林尚人<sup>a</sup>, 宮田隆志<sup>a</sup>, 本原顕太郎<sup>a</sup>, 諸隈智貴<sup>a</sup>, 小西真広<sup>a</sup>, 満田和真<sup>a</sup>, 有馬宣明<sup>a</sup>, 青木勉<sup>a</sup>, 征矢野隆夫<sup>a</sup>, 樽沢賢一<sup>a</sup>, 猿楽祐樹<sup>a</sup>, 森由貴<sup>a</sup>, 中田好一<sup>a</sup>, 戸谷友則<sup>a</sup>, 松永典之<sup>a</sup>, 茂山俊和<sup>a</sup>, 臼井文彦<sup>b</sup>, 渡部潤一<sup>c</sup>, 山下卓也<sup>c</sup>, 田中雅臣<sup>c</sup>, 前原裕之<sup>c</sup>, 春日敏測<sup>c</sup>, 有松亘<sup>c</sup>, 猪岡皓太<sup>c</sup>, 富永望<sup>d</sup>, 板由房<sup>e</sup>, 小久保充<sup>e</sup>, 奥村真一郎<sup>f</sup>, 浦川聖太郎<sup>f</sup>, 池田思朗<sup>g</sup>, 森井幹雄<sup>g</sup>, 佐藤幹哉<sup>h</sup>

<sup>a</sup> 東京大学、<sup>b</sup>神戸大学、<sup>c</sup>国立天文台、<sup>d</sup>甲南大学、<sup>e</sup>東北大大学、

<sup>f</sup>日本スペースガード協会、<sup>g</sup>統計数理研究所、<sup>h</sup>日本流星研究会

## 概要

東京大学木曽観測所 105cm シュミット望遠鏡は 2016 年度をもって共同利用を終え、超広視野高速 CMOS カメラ Tomo-e Gozen を中心とするプロジェクト観測運用へと移行した。現在は、これまでのプロトタイプモデル (PM) の製作工程やシュミット望遠鏡での観測を受けての改良・改善点の洗い出しを経て、84 センサ搭載のフルモデル (FM) 製作に向けて開発が進んでいる。FM の特筆すべき点は焦点面全体が 4 分割されており、各々独立なカメラとして使用できることである。それらを焦点面で組み合わせることで、最終的に視野 20 平方度の Tomo-e Gozen が完成する。機械的特徴として、内梁を残した削り出しによる筐体の軽量化・コンパクト化がされている他、配線や組立、フィルター窓の組み込みの際のハンドリングの良さなどを考慮したアイディアが盛り込まれている。また多数センサによる大きな発熱対策のため、別途製作した熱モデルを用いた熱試験も行われ、熱浴(望遠鏡本体)と熱コンタクトを大きく取ることで排熱が可能であることを確認した。さらに PM でも採用されたシュミット望遠鏡の 3 次元曲面焦点面を再現するためのセンサ毎に独立した形状の高さ調整機構 (Height Adjustment Plate : HAP) がベースプレートの 3 次元測定の結果を基に製作された 2017 年 10 月には 4 センサー搭載の最終評価モデル (Q0 : Q series type-zero) をシュミット望遠鏡に取付け、試験観測を行った。実際に天体の結像性能を評価した結果、機械的設計・製作に問題ないことが確認された。熱的にはセンサーから発生する熱は望遠鏡側へスムーズに排熱されているが、逆にエレクトロニクスからの熱がかなり大きいことがわかった。実験室での模擬試験では自然空冷でも許容範囲内であるが、強制冷却によってさらに温度上昇を抑えることができ、FM にむけての冷却機構を模索中である。

## 1. Tomo-e Gozenとは？

Tomo-eは東京大学木曽観測所105cmシュミット望遠鏡の全視野を84チップの常温駆動CMOSセンサーで覆い、20平方度の視野をフルフレームで最速2Hz観測できる超広視野高速カメラである。高速で時間変動する天体の広域サーベイを主な目的としている。用いられるセンサーはCanon製のCMOSセンサーで、通常の動作温度範囲ではCCDに匹敵する低ノイズを実現する。天文学では常識となっている真空・冷却のための装備が必要ないため、本体は軽量且つ簡易な構造にすることができる。

表1 : Tomo-e Gozen の仕様

本 体	
サイズ	600 (W) x 500 (L) x 200 (H) mm
重量	~50kg (本体のみ)、~80kg (エレキ等含む)
Canon CMOS センサー	
センサー数	84 個
センサーフォーマット	2160 x 1200 (total), 2000 x 1128 (photosensitive)
ピクセルサイズ／スケール	19 um/pix, 1.19 arcsec/pix
ファイルサイズ(フル)	4.9 MB/frame/chip, 3.8 GB (100 frames, 8 chips)
フレームレート	0.5 sec/frame
ダークカレント	1e- (~18°C)
積分時間 (typical)	0.5 sec (全読み出し), 0.05 sec (512 x 512 読み出し)
可観測波長域	$\lambda = 400\text{--}650\text{ nm}$
フィルター	なし
望 遠 鏡	
搭載望遠鏡	東京大学木曽観測所 105cm シュミット望遠鏡
高度リミット	8 deg
シーイングサイズ	4 arcsec

## 2. Tomo-e PM から FM へ

これまで 8 センサー搭載の Tomo-e／PM を製作し、性能評価試験を行ってきた。これは Tomo-e の技術実証機であり、形状はフルサイズを半分にしたものである。PM では、構造体形状の歪みを望遠鏡焦点面形状に補正する機構（高さ調整用治 : Height Adjustment Plate : HAP）を採用し、その有効性が試験観測で実証されている。Tomo-e Gozen Q series は FM84 チップ搭載を想定した最終モデルであり、基本的な機械的形状・製作のコンセプト (HAP など) は PM を踏襲している。但し、望遠鏡への設置のハンドリングやセンサーが多数になることを考慮し、焦点面を 4 分割した形状に変更した。さらに最終型を想定した望遠鏡インターフェースも新規製作した。

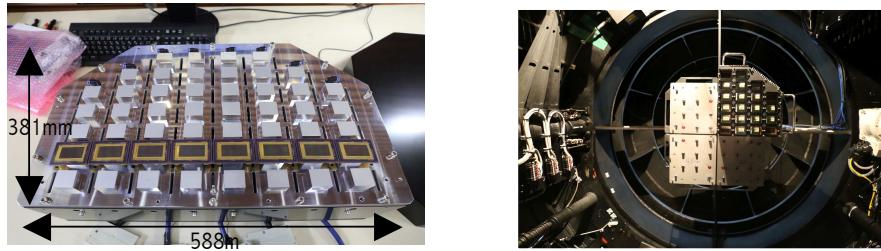


図1：PM筐体（左）とシュミット望遠鏡に搭載されたFM/Q0（右）

### 3. Tomo-e/FMの機械的特徴

FM筐体の特徴は、木曽シュミット望遠鏡への搭載に最適化されたコンパクトな構造となっていることである。前述の通り、焦点面を4分割したユニットで構成され、これにより、各種試験、搭載、交換時のハンドリングが容易になる。2017年秋に、センサーを外周に4つ搭載したQ0が試作され、2017年10月には実際にシュミット望遠鏡に搭載され、試験観測も行われた。そこで望遠鏡との噛み合わせ、強度確認、焦点位置の確認、温度環境などの試験が行われた。

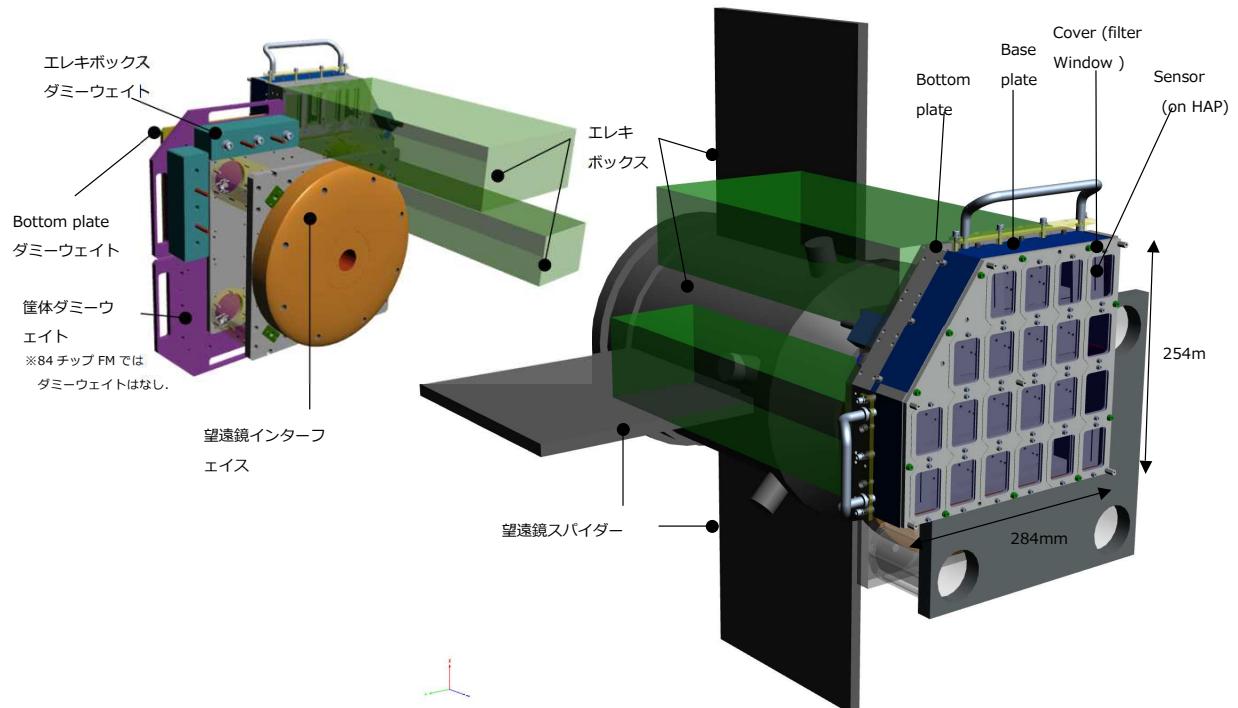
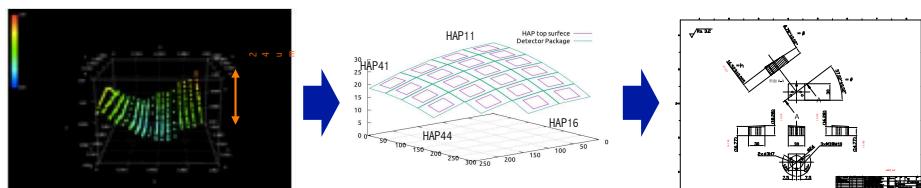


図2：望遠鏡に搭載した状態のTomo-e/Q0

### 4. ベースプレートの形状測定と焦点位置調整

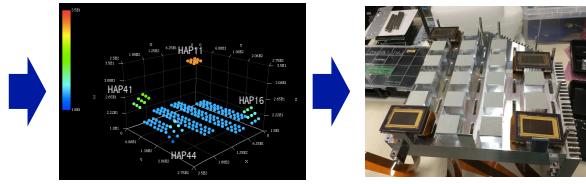
84チップを使用するTomo-eはシュミット望遠鏡の大きな湾曲焦点面に位置するすべてのセンサーの焦点を合わせる必要性がある。センサー（ピクセル）の大きさを考慮するとその被写界深度（焦点が合う厚み）は $60\mu\text{m}$ となり、機械加工と組立をあわせた精度はこれ以下にしないといけない。そこでセンサーが搭載されるベースプレート形状に対応した個別のHAPを作製、配置することでこの精度を達成した。その手順を図3に示す。



(1) BPの3次元測定結果。P-Vで24umの高差があるが、個々のセンサー（HAP）の範囲内では1-2umの傾きで収まっている。

(2) 1/4 Quadrantのシュミット望遠鏡焦点面。この面にセンサー面が配置されるように、個々のHAPの高さで調整する。

(3) HAPの製作図面。BPの形状（傾き）に合わせて、HAPの形状も各位置で異なる。



(4) HAP込みのBPの3次元測定結果。  
FM/QOでは四隅のみセンサーを配置予定。(2)の理想曲面に沿った形状になつていることがわかる。

(5) センサーを搭載。固定には簡便性・可換性などを考慮し、熱伝導性両面テープを用いている。

図 3 : ベースプレートの形状測定と HAP の製作および焦点位置調整。

## 5. シュミット望遠鏡での焦点位置測定

前章の製作の確認のために、シュミット望遠鏡に搭載した状態でフォーカスを変えながら画像を取得、センサー毎の最適フォーカス位置で全面に渡って天体（点源）を使って PSF を測定した。その結果、**最適フォーカス位置が 4 つのセンサーで一致すること**を確認した（図 4 中央下）。つまりシムなどの調整なしに、現状の機械加工および HAP で光学的精度を達成した。さらに、各センサー面内で PSF がほぼ一定値となっている（図 4 の左右）。これは、各センサーが「**あおり**」、「**傾き**」なしに、ローカルな焦点湾曲面を正確に再現していることを示している。

Det_011	3.66 pix
Det_016	3.07 pix
Det_041	3.57 pix
Det_044	3.48 pix
@Focus position	28.20

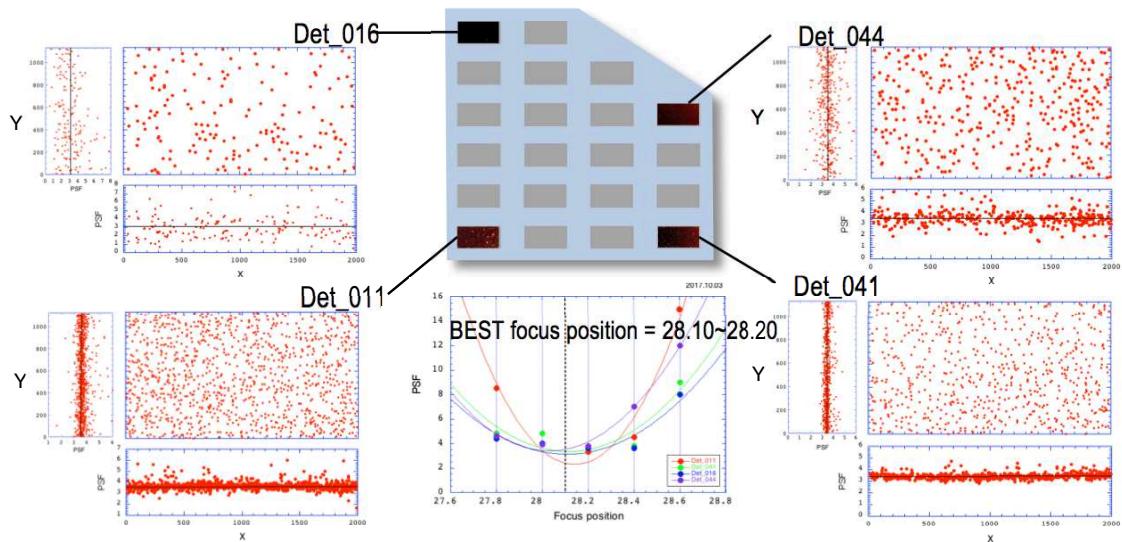


図 4 : シュミット望遠鏡でのフォーカス合わせと PSF 測定結果。

## 6. Tomo-e の熱環境測定

Tomo-e は 84 個というかなりの数のセンサーを用いるために、エレクトロニクスを含めるとかなり大きな発熱が想定される。一方で、Tomo-e は常温駆動でアクティブな冷却機構は有していない。過去の特性試験により、外気温より +2 度程度以下の制御が必要である。そこで passive な排熱機構として、(1) センサー系は熱浴である望遠鏡へ積極的に熱結合する、(2) エレクトロニクスは可能な限り空冷機構を保有することで、この問題に対処する。

2017 年 10 月の望遠鏡搭載試験において、温度環境測定を行った。その時点では Q0 のみであったため、現在は存在しない Q2～Q4 については、センサーおよびエレクトロニクスと同等の発熱をヒーターによって付加した。温度は「Tomo-e 筐体内」、「エレキボックス」、「Tomo-e 周辺雰囲気」、「望遠鏡鏡筒内」をモニターした（図 5）。

その結果、センサーのヒーターを ON にした後でも急激な温度上昇はみられず、**望遠鏡本体への排熱が有効に働いている**ことが示された。エレキボックスのヒーターを ON にした後は、望遠鏡鏡筒内をはじめ全体の温度上昇がみられる。エレクトロニクスおよび Tomo-e 本体が急激な温度上昇しないような冷却機構が必要である。

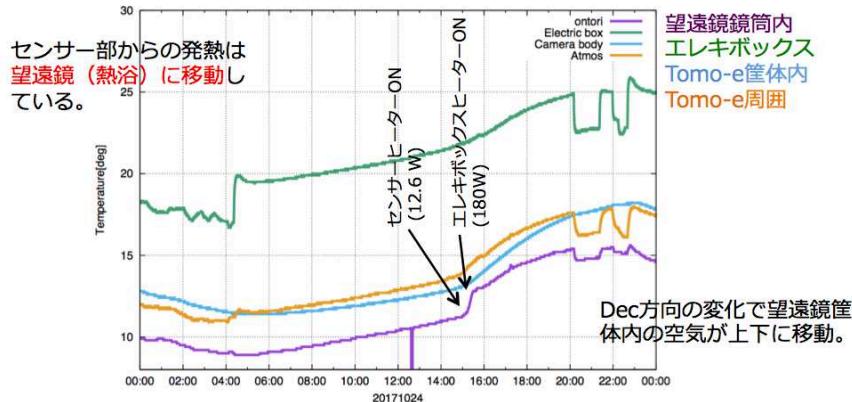


図 5 : Tomo-e をシュミット望遠鏡に搭載した状態での温度測定結果。熱の移動の様子をモニターした。

これまでの電気的な特性評価の結果、Tomo-e/FM (84 センサー)の総発熱量は~271W と想定されるが、そのうちエレクトロニクスの発熱量は~262W となり、Tomo-e の発熱の大半をエレクトロニクスが担っていることがわかった。つまり、エレキ部の排熱が Tomo-e の定常的な運用に重要であることがわかる。そこでエレクトロニクスについて別途実験室で発熱・温度特性試験を行った。

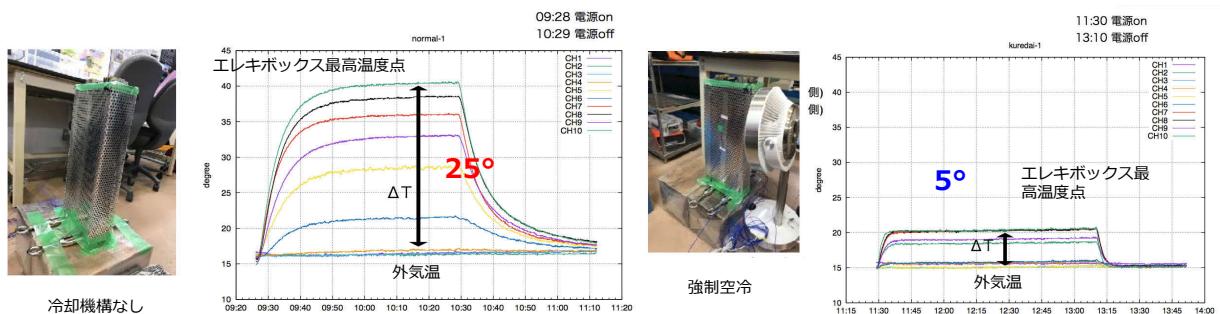


図 6 : 実験室でも温度環境試験。左：冷却機構なし。右：強制空冷。

図 6 の写真に示すようにエレキボックスを置き、想定される発熱をヒーターにより付加した。エレキボックスは熱を逃がすため、穴の空いたパンチングアルミプレートで覆った。結果、自然冷却でもエレクトロニクスとしては許容範囲ではあるが、さらに強制空冷することで、定常運用時に安心できるレベルまで温度上昇を抑えることができた。具体的な冷却機構については現在検討中である。(候補としてマイクロプロワなど。)

## 7. まとめと今後

### 7.1 まとめ

Tomo-e/FM の開発に関するまとめは以下の通り。

- (1) Tomo-e/PM (センサー数 8 個) の結果を受け、FM (Q0 : センサー数 4 個) を製作した。
- (2) 望遠鏡へ搭載した状態での光学試験の結果、個々のセンサー面内および異なるセンサーでの結像性能に問題はなかった。つまり、これまでの機械的コンセプトでの工法・設置方法の方向性が正しいことが示された。
- (3) 望遠鏡搭載時および実験室での温度環境試験の結果、センサー部は望遠鏡への積極的な熱結合、エレクトロニクスについては強制空冷機構が推奨されることがわかった。

### 7.2 今後

今回の結果を受け、84 センサーのフルモデルへと製作を進めていく。2018 年 2 月には 21 センサー搭載の Q1 モデルを製作、シュミット望遠鏡への搭載試験観測を行う。さらに引き続き Q2, Q3 そして Q4 の製作を進め、Tomo-e の特徴を活かしたサイエンス（銀河系内外のフラッシュ、人工天体のフラッシュ、既知の小惑星の掩蔽、流星の科学、重力波のフォローアップ、etc...）の成果を期待して、最終的な 84 センサーの Tomo-e Final の 2018 年度内完成を目指す。

# 情報公開請求における業務効率化

人事院事務総局電子化推進室

(元国立天文台チリ観測所)

安 井 孝

## 概要

公的機関における議事録や技術文書の公開請求が増えてきました。セキュリティや個人情報保護などの観点から大量の文書にマスキングを行うことが必要になっていますが、対応作業は通常業務以上の負荷がかかります。

効率よく確実に処理するためのアプローチをいくつか紹介いたします。

## 1. 情報公開制度とは

行政機関の保有する情報の公開に関する法律（平成 11 年法律第 42 号）および独立行政法人等の保有する情報の公開に関する法律（平成 13 年法律第 140 号）に基づいて、行政機関や独立行政法人等が保有している文書の開示を求めることができる制度である。昨今話題となった「PKO における『日誌』問題」やモリ・カケ騒動などに見られるように、国民の知る権利を保障するため政府機関等が組織的に扱う文書について開示が求められる場合が増えてきている。ただし、以下のような場合は公開ができないこととなっている。

- |               |                |
|---------------|----------------|
| ・個人に関する情報     | ・国の安全等に関する情報   |
| ・審議、検討等に関する情報 | ・法人に関する情報      |
| ・公共の安全等に関する情報 | ・事務または事業に関する情報 |

予算が適正に執行されているかどうかを問われることもあり、透明性を確保しつつセキュリティ等に関する情報は適切に守秘を行い、問題のない部分は改竄することなくありのまに公開することが望ましいと考えられる。情報システムの場合、具体的な内容は攻撃の対象のヒントを与えることにもなるため実際には膨大なドキュメントに対して適切な加工をミスなく行うことは非常に難しく、時間と人手を要する地道な作業となる。

## 2. 議事録など WORD 形式の場合

一般的に表計算ソフトでの VBA マクロを用いられることが多いが、ワープロソフトのマクロは余り使った経験がないものと思われる。使ってみるとこれがなかなか面白い。数値でなくドキュメントを扱うソフトなので当たり前といえばその通りだが、ドキュメント全体、章立て、文節、単語などを扱うマクロの関数やプロジェクトが準備されている。筆者の場合は NG ワードと OK ワードのリストを作成し、検索の関数を用いて自動的に蛍光ペンやマスキングを行うマクロを作成し繰り返し適用しながら最終形へ近づけていった。どの語句や言い回しにマスクをかけば良いかを判断するのに最初は時間を要したが、複数の人間の眼で確認しながら何度も適用していく、言わばヒューリスティックな方法によって

方針を決めることができ、一度その方針が決まれば、かなりの効率で大量のドキュメントをこなすことができるようになった。

### 3. PDF 形式の場合

元ネタが WORD 形式でないものや既に PDF 形式で保管されている文書がある場合、前章のやり方ではうまくいかない。

まず PDF を生成できる Acrobat が持っている JavaScript 実行の機能及び Form の機能を使って VBA マクロと同じようなことをやろうと考えた。JavaScript の API などもあることが分かったが、バージョンによって動作が違ったりしてなかなかうまく実装まではたどりつけなかった。しかも納期が迫っていて、作成するツールを別の職員にも快適に使って貰おうと思うと問題がある。

そこで、着眼点を変え、元々 Acrobat 系ソフトがマスキング（墨消し）の機能を備えていることを利用することにした。またバッチ処理とも言うべき「アクションウィザード」により一連の処理を自動的に繰り返して行うことができる。今回これを組み合わせて効率よくマスキングを行うことができた。

簡単に説明すると各ユーザの NG ワードに相当する単語のリスト（テキスト形式）を XML 形式に変換する VBA マクロを作成し、出力された XML 形式のファイルをアクションウィザードによって予め定義された自作ツールへ読み込んで実行する。

### 4. 今後の展開

通常業務においても合理化並びに経費削減の名のもとに人は減らされているのに  $+ \alpha$  の仕事が増している。これは公的機関に限らず民間においてもであろう。創造的な活動や、きめの細かいサービスを心掛けるためには余りに仕事量が多い。事務職の PC を使う仕事の大半が過去の案件のペースト & コピーと修正・更新だということをどこかで読んだことがある。もう「24 時間働けますか？」の時代ではないし、残業はやらずになんとかしようということにもなってきた。

今回、実施した手法や開発したツールを組織として活用すれば、全体でかなりの工数を削減できることが実感できた。これが多くの仕事を抱えている人たちへの一助となれば幸いである。

昨今、深層学習を利用した AI が画期的な成果を見せ始めている。今後すべての仕事が AI に置き換わることはないとても、さらにこのテーマを進めていくとすれば、客観的に文書を改竄することなく効果的で確実なマスキングを提供もしくはアドバイスを得るために AI の手法を取り入れていくことも考えている。

以上



# グループ討論実施要項

## 技術シンポジウム世話人会

### 概要

「第 37 回天文学に関する技術シンポジウム」では新しい試みとして、今後の天文分野における技術・組織・連携などの課題に対して、様々な情報共有と意見交換することを目的とした全員参加のグループ討論を実施した。以下、実施要項を記載する。

### 1. グループ討論の目的

今回のグループ討論は、今後の天文分野における技術・組織・連携などの課題に対して、各グループで様々な情報共有と意見交換をすることを目的として実施した。

### 2. グループ討論テーマとグループ割振り

グループ討論のテーマは、世話人会であらかじめ設定した 3 つのテーマから選択するか、参加者が新規テーマを提案できる方式とした。参加者はシンポジウム参加登録時の Web フォームから、いずれかを選択できる。今回、参加者からは 1 つの新規討論テーマの提案があり採用した。

グループ分けは、1 グループが 4 名から 8 名で所属や年齢が別れるよう世話人会で事前に割振りをした。ファシリテータは、各グループの参加者から 1 名を世話人会で選定し依頼した。表 1 に本シンポジウムでの討論テーマとファシリテータを示す。

表 1 グループ討論テーマとファシリテーター一覧

No.	Topics	Facilitator
1	技術シンポはどうする？何を求める技術シンポ 1	川島進
2	技術シンポはどうする？何を求める技術シンポ 2	藤井泰範
3	みんなでシェア！日常業務と改善策 1	田澤誠一
4	みんなでシェア！日常業務と改善策 2	佐藤立博
5	考えてみよう！目指すべき 10 年後 1	林左絵子
6	考えてみよう！目指すべき 10 年後 2	上野祐治
7	日本でソフトウェア技術を軽視したままで良いのか	大石雅寿

### 3. グループ討論のタイムスケジュール

グループ討論は、1 日目と 2 日目の両日に実施した。表 2 にグループディスカッションのタイムスケジュールを示す。2 日間に分けて実施しているが、これは 1 日目のアイスブレイクの後、休憩時間や懇親会などグループ討論以外の時間でも意見交換できることを狙ったためである。また、ファシリテータには事前に進め方、タイムスケジュール、グループメンバーの情報を伝えた。

表2 グループ討論のタイムスケジュール

時間	項目	内容
20min (1日目午前)	グループ討論趣旨説明、 グループファシリテータの紹介	グループ討論の意義と目的、進め方の全体説明。 各グループファシリテータの紹介
55min (1日目午後)	アイスブレイク、 担当決め、 グループ討論（1日目）	アイスブレイクと討論での担当者決めをする、どんな討論をするのかファシリテータから説明する。グループごとテーマに沿って討論する。
60min (2日目午前)	グループ討論（2日目）、 まとめ発表資料の作成	グループごとに討論し、まとめ、発表資料の作成をする。
35min (2日目午前)	グループ討論結果の発表	グループから発表者を決めて討論内容を全員に展開する。1グループの発表時間は5分。

#### 4. グループ討論の進め方

実際のグループ討論の進め方は、ファシリテータと各グループの主体性に任せたが、グループ討論の参加者には事前に下記6点の留意事項をお願いした。

- |             |           |
|-------------|-----------|
| ・縛張り意識を持たない | ・人の話をよく聞く |
| ・相手を非難しない   | ・思い込みを捨てる |
| ・肩書と立場を忘れる  | ・楽しく議論する  |

なお、グループ討論の円滑化のために、サインペンと付箋、A4およびA3用紙を世話人会で用意した。

各グループの討論内容の発表は、今回初めての試みということもあり、意見やアイディアなどの紹介程度で十分とした。時間の都合により発表への質疑応答は実施しなかった。集録はパワーポイント資料やpdfなどの電子データを提出するように求めた。

#### 5. さいごに

グループ討論は滞りなく実施され、様々な情報共有や意見交換が行われた。討論後、アンケートで貴重な意見を多数いただいた。こうした意見を、今後の技術シンポへ活かしたいと考える。討論内容は、次頁以降の技術シンポジウム集録に掲載する。

#### 謝辞

ご多忙な所ファシリテータを引き受けて頂いた皆様、グループ討論に参加していただいた参加者の皆様、それぞれの協力によりグループ討論が開催できたことに大変感謝いたします。ありがとうございました。

## 技術シンポはどうする？ 何を求める技術シンポ 1

- ・技術シンポを止めた方が良いという意見はなかった

久保、川島(国立天文台)  
小林(国立天文台)、宮良(明星大)

- ・技術者の集まるよい機会
  - ・エクスカーションが魅力的(石垣島に行きたい！)
  - ・知らない部署の話が聴ける
  - ・新しい出会い、横のつながりが広がる
  - ・技術者だけでなく研究者、院生、学部学生など幅広い層の参加がある
  - ・参加メンバーが固定していく傾向がある
  - ・参加しない人を取り込む方法は？
  - ・意欲のある人を取り込む方法は？
- 何か新しい企画、新しい人が企画メンバーになる

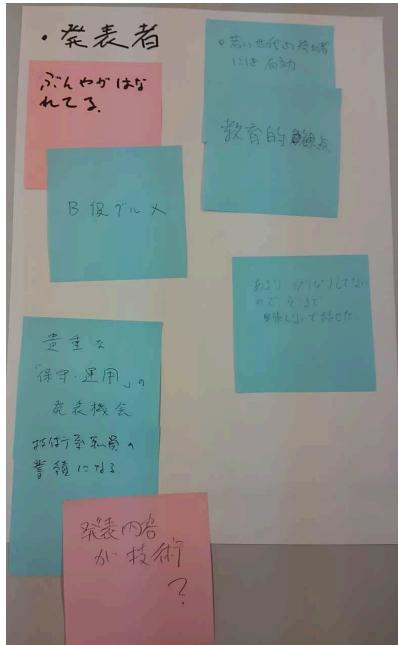
- ・汎用的なテーマを作つてみる
- ・毎回テーマを変えてみる
- ・発表する内容が皆の助けになると良い
- ・発表を増やすには
- ・発表させる空気を作る → 積極的に声をかけ、参加者を引っ張つてくる
- ・発表の義務化 → 評価に結び付く様にする
- ・パラレルセッション(聴きたかった発表が聴けなかつた)にはしない方が良い
- ・皆の話を聴きたい
- ・グループ討論(よい機会だったが時間をとり過ぎ)の時間を回(発表の時間に)せばよいのでは

## グループ討論

### ~技術シンポどうする? 何を求める技術シンポ 2~

#### メンバー

中桐正夫, 浜屋ひかり, 佐藤克久, 筒井寛典,  
鈴井光一, 小矢野久, 鎌田有紀子 (ZOOM参加)  
藤井泰範(ファシリテータ)



### 発表者目線

- ・良いところ
  - 若い世代の参加者には有効
  - 教育的観点
  - B級グルメ(先端研究的開発ではなく、日常の運用とかピリッとおいしい感じ)
  - 貴重な保守運用発表機会
  - 技術系職員の業績になる(報告書)
  - あまりピリピリしていないので緊張しないで話せる
- ・改善すべきところ
  - 分野が離れている
  - 発表内容が技術?

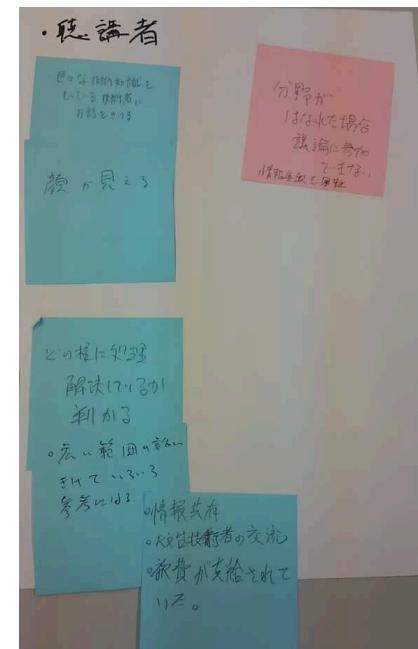
### (ファシリテータが目論んだ) 本グループ討論の進め方

#### 初回 (1日目)

- ・自己紹介(所属と技術シンポ参加歴等)
- ・現状の技術シンポにおける良いところ、改善すべきところを自由に挙げる
  - カテゴリーとして「発表者目線」「聴講者目線」「その他」の3つに分ける
  - 「良いところ」は青色の付箋、「改善すべきところ」は赤色の付箋

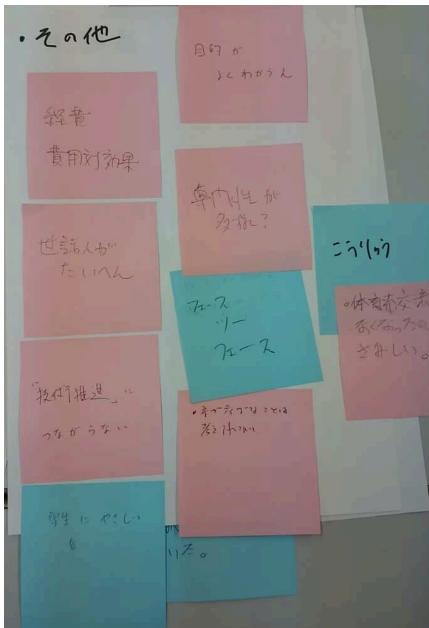
#### まとめ (2日目)

- ・挙げられた付箋をもとに、今後の技術シンポに向けた改善点が見いだせるか?
  - 共通テーマ?
  - 何にメリットを求める?



### 聴講者目線

- ・良いところ
  - いろいろな知識を持つ技術者に話を聞くことができる
  - 顔が見える
  - どのように処理解決しているか見える
  - 情報共有
  - 天文台技術者の交流
  - 旅費が至急されていた
  - 広い範囲の話が聞けていろいろ参考になる
- ・改善すべきところ
  - 分野が離れた場合、議論に参加できない
  - 情報収集困難



## その他

- 良いところ
  - Face to Face
  - 学生にやさしい
  - 交流
  - Negativeなことは考えられない
- 改善すべきところ
  - 経費、費用対効果
  - 世話人が大変
  - 技術推進につながらない
  - 専門性が多様
  - 体育会系(?) 交流がなくて寂しい
    - 東京天文台だったとき、各観測所に縛られている方が多かった。交流会が唯一会える場?
  - 目的が良くわからない

まとめに向けて

- テーマ設定とかしてみる?  
失敗で獲得する経験とか=>失敗成功談は結局どこでも同じよう話になる
- こんなこと悩んでます
- (完成品の話は他の研究会でも聞けるので)未完成発表会
- 装置運用の安定化=>結局装置も様々だし
- (B級グルメからの)多様化
  - テーマ設定とか共通化すると参加者が減る
  - 業務紹介?=>Openにするか?
  - 今回のカテゴリー分けはOK
  - 分科会で熱い議論を
  - 大学関係の集まりでは参加者も多く分科会に分けても成立する

ファシリテータの力不足で、残念ながら時間が足りずまとめになりませんでしたが、有意義な意見交換ができたと感じました。

## Group Discussion 1

### Let's share it with everyone!

### Daily work and improvement plans

S. Tazawa, J. Conol, T. Castro, T. Yasui,  
T. Takada, T. Ozawa, N. Hirata, K. Hirano

## Issue and Solution (1)

- Issue
  - Since I have a lot of work, I am confused as to which work to start.
- Solution
  - It was solved by "Moscow method" prioritization.
    - Priority: (high) Must > Should > Could > Won't (low)
- Opinions
  - There is also a way to decide on the deadline.
  - Postponed issues may not end indefinitely.
  - Author of Draemon said "Don't do now what you can do tomorrow".

## Issue and Solution (2)

- Issue
  - There is an LGR that needs to be replaced in the main shutter, it is necessary to deal with limited materials at a narrow place.
- Solutions
  - I can not solve it, I am in trouble.
- Opinions
  - How about renewing the main shutter?
  - How about trying to respond by jacking up?

## Issue and Solution (3)

- Issue
  - When unexpected job occurred, how should we respond? Budget and people will decrease but work will increase.
- Solutions
  - Automate by PC or macro, or increase people.

## Issue and Solution (4)

- Issue
  - I would like to share computer usage status and system operation information within the group.
- Solution
  - Introducing a system to share information on the server.
- Opinions
  - How about using a wiki page?
  - Wiki sometimes makes it difficult to organize information.
  - Face to face is the best, but time is limited.
  - Use the issue tracker. How about JIRA?
  - Sometimes the license is limited.
  - Redmine is licensed free.

## Issue and Solution (5)

- Issue
  - I would like to know the number of articles written by users, who is using a shared use computer, but I'm in trouble because I can not get usage information from users.
- Solution
  - There is an option to ask all user.
- Opinions
  - Can you track it according to usage history?

## Issue and Solution (6)

- Issue
  - In the ordering work of parts, forget the mail of "ordered" or specify a destination "to Mitaka"
- Solution
  - No matter how busy I do as a series of work
- Opinions
  - It is important to not make it your own information
  - Create a checklist that lists a series of flows
  - Make an accounting system and always place orders via it
  - Automate what everyone does the same work
  - Use tools such as Cybozu and JIRA

## Issue and Solution (7)

- Issue
  - Share daily remedial measures
- Solution
  - Write improvement measures in the weekly report shared in the team every week
- Opinion
  - E-mail sharing with Subaru (Daily, Weekly)
  - Sharing by e-mail can only be seen by a limited number of people, so it is better to use Wiki etc.
  - Once you create a Wiki page format, you can copy it next time so convenient
  - I am doing Subaru, but at the same time it is up to wiki

## Issue and Solution (8)

- Issue
  - What to buy a gift for my fiancée for Christmas
- Solution
  - Search by airport
- Opinion
  - It is better to have a store in Kurashiki introduced

## Issue and Solution (everyone)

- Issue
  - How to avoid human errors.
- Solution
  - Share information.
  - Use checklist to be able to remind.
  - Use some system to send reminder mail.
  - Paste Post-it on the display.
  - Morning briefing.

# 1. 情報共有ツール

## シェア2

佐藤立博（国立天文台ハワイ観測所）  
鴨部麻衣（京都大学花山天文台）  
木村剛一（京都大学飛騨天文台）  
能丸淳一（国立天文台ハワイ観測所）  
山中郷史（国立天文台天文データセンター）  
繁政英治（分子科学研究所）  
谷口能之（核融合研究所）  
長山省吾（国立天文台天文情報センター）

### 1. 情報共有ツール

### 2. セキュリティ

### 3. アウトリーチ

## 情報共有ツール

- 天文情報センター：サイボウズ、wiki
- すばる：サイボウズ、wiki、Google Drive 1TB、Open source own cloud
- 京都大学
  - 京都大学グループウェア：使い勝手のいいサービスを使っているケースが多い→研究所単位でサーバあり
- 分子研：各グループごと。Next Cloud導入→使ってくれない…
- 核融合研：サイボウズ

## 2. セキュリティ

- ・核融合研：メール、毎回ワンタイムパスワード入力必要
- ・核融合研、分子研、京大：ウェブメール。それぞれがメールサーバー構築
- ・すばる：Gmail利用。二段階認証。
  - ・天文台はまだ緩い

### 事例

### NINSルール

- ・フリーメール、ネットワークストレージサービスを業務に使用禁止
- ・例外
  - ・機密性1：公開していい情報
  - ・小林副台長が許可した機密性2の情報
- ・我々が扱う情報：ほとんどが機密性2（個人名入り）に該当…
- ・GmailなどのGoogleのサービス、Dropboxなど使えない
- ・サーバは建物の2階以上に施錠した場所に→分子研は対応（！）
  - ・徹底されていない→対応無理！！

### セキュリティ

- ・セキュリティに関しては、NINSは今後厳しくなる。
  - ・細かいA/Iがある
    - ・研究所外へ持ち出すPCは暗号化

# 情報セキュリティ研修

- ・核融合研、分子研：講習会出席。二回目以降はビデオ観聴
- ・京都大学：不定期にEラーニング
- ・核融合研
  - ・研修を受けないと、自分で所内のネットワークに接続する設定ができない仕組み

## 3. アウトリーチ

### アウトリーチ

- ・核融合研究所のアウトリーチは難しい
  - ・ダジックアースを使っては？→無料で提供
  - ・アウトリーチの効果をどう測定するか？

### アウトリーチ

- ・野辺山に機構の展示室設置
  - ・野辺山の来場者：3万人？
  - ・基礎研究の分野：
    - ・地味？→全国の同分野の機関と一緒に展示会？
  - ・ハワイ：Astro Dayで他の天文台と一緒に
  - ・一つのテーマで各所と協力して展示会など

10年後の日本の天文について

「10年後日本が世界をリードするためには」

### 考え方 1

山本、伊藤、萩野、西谷、奥村、谷口、林

### 課題

- ① サイエンティストと技術者の距離感
- ② 人手不足（若手不足）
- ③ 技術継承

### ① サイエンティストと技術者の距離感

- ・日本はメーカーに設計段階から依頼
- ・観測データをもらって研究
  - ・望遠鏡を使わなくても研究ができるようになった
- ・サイエンティストと技術者の相互理解

### ② 人手・若手不足

- ・若者が入りやすい環境づくり
  - ・若者が安心できる環境づくり
- ・次世代教育
- ・広い範囲の方々への情報共有

### ③ 技術継承

- 若者がモノづくりから遠ざかってる？
- 装置を壊して、失敗することで理解が深まる
  - 失敗できる環境はあるか  
(大規模プロジェクトが増えた)
- 技術を文書化 + 経験
  - 若者にもっと実践させたい
  - キーパーソンがいなくなったら…

## グループ討論テーマ No.6

考えてみよう 目指すべき 10 年後 2 グループ討論結果

サブテーマ：国際連携時代における組織像、働き方

参加者：大屋 真（TMT 推進室）

岡田 則夫（先端技術センター/宇宙科学研究所）

沖田 喜一（国立天文台 OB）

沖田 博文（ハワイ観測所）

佐々木 敏由紀（光赤外研究部）

早野 裕（先端技術センター/TMT 推進室/ハワイ観測所）

上野 祐治（水沢 VLBI 観測所 ファシリテーター）

### ●組織像

- ・責任所在、指揮命令系統の確立
  - ・現状、明確でない印象だが、明確にする必要があるのではないか
  - ・欧米明確である。特に技術者がそう
    - 一はっきりしすぎていて自分の裁量が無いため、面白味を感じずに辞めていく人も
      - より良いものを作れる方法があっても、仕様以上でも以下でもダメと言われる
      - やりたいことは自分で予算を取る必要がある
- ・マネジメントは研究者の苦手分野である
  - 一研究者でも、工学系は研究室に指揮命令系統があって、馴染んでいる印象がある
  - 一天文系研究室はクラスター的で、馴染みが薄いと感じるところはある
- ・天文学者の民間企業化は、研究者としての本質と乖離する印象がある
  - 一ジレンマである。研究の推進には大型観測装置が必要となることが多く、その建設、維持、運用にはマネジメントスキルが必須
    - 研究者の能力をマネジメントにばかり使ってしまうのは、技術者から見ていてもったいない。
    - 一天文学を志す学生の段階で、大型プロジェクトに関わるとはこういうものだ、ということを教育していくのが良いのではないか
      - 大型プロジェクトを経験した研究者が指導側に立つ段階になっている
      - 学生数が限られているため、一人に多くのことを要求することになる。学生が多ければ適性を見て役割を割り振ることができるのだが
- ・大型プロジェクトは将来的な閉鎖も見込んで計画する必要がある
  - ・予算、人事の長期計画が必要
    - 一プロジェクトの序盤を過ぎると、予算も人員も不足して現場が苦労している
    - 一天文台内での人事の流動性を活かして、人員不足を補う
  - ・予算の決定権のある役人は観測装置をいわゆる「箱物」と考えている印象
    - 一建設段階では保守費用、解体費用まで見込んでくれない
    - 一長期の保守計画などで予算を計画的取っていく必要がある

- 研究者はいつまでも装置が健全である前提で新しい研究を提案してくるが、寿命が近い装置でそれを検討することは時間・労力ともにもったいない。技術者として、余命宣告することも重要な仕事であると感じる
- 方針決定の際、研究者ばかりだと延命という選択になることがほとんど。技術者、事務方、バランスよく人員を集めて総合的に判断する必要がある
- ・欧米は計画段階で、解体まで見込んでいる印象を受ける
  - 観測が終わると、跡形もなく撤収していく
- ・既存プロジェクトの障害に対しての考え方はどうしているか
  - 想定されるリスクを列挙し、可能なものは対策している
  - 対策できないものも多い

## ●働き方

- ・人材確保、育成
  - ・コミュニケーション能力が必要
    - 日本人は空気を読んで、発言しなくなる
      - どこの国の人もそういうところはある。裏で文句を言っている
      - 国際組織はすべてオープン、クリアを建前としつつ裏がある
  - ・語学力の問題がある
    - 語学力必要だがそれだけではない。コミュニケーション能力が重要
      - 言うべきことははっきり言う、という普遍的なことをしっかりとやると、どこの国の人であっても信頼される
    - 互角力が業務に必要なら、できるようになるまで組織が徹底的にフォローする必要がある
      - 語学力が利益に直結する外資系企業勤務者から、勤務時間内レッスンは当然として勤務時間外レッスンやマンツーマンレッスンまで行っていると聞いた
  - 外国語もできて技術もある人材は、引く手あまたで高給の企業へ行ってしまう
    - 給料を上げることは難しい
      - 優秀な人材が魅力を持つようなスキルが身につくとか、転職に有利なブランドイメージが得られるとか、そういうことが無いと来ない
- ・後進の指導体制がない
  - 人が少ないため、年齢構成が離れたりして指導体制ができていない
    - 明確な基準が無い判断など、経験値が求められることに関しては、上司からの認証や指導が必要と感じる。いつまでも自分の判断は正しかったか、自信が持てない
- ・日本は長時間労働など無理しがち
  - ・長時間労働が美德の風潮がある
  - ・欧米人は基本的に時間通りの出退勤
    - 家庭での時間を大事にするため定時で帰る
    - その代わり家事が終わってから仕事をしているのか、遅い時間にメールがくる

- ・欧米は短期集中で大量の仕事をする
  - ・レビュー時期（契約獲得前）に猛烈に働く
  - ・契約が済むと、のんびりになって納期を守らないことがある
    - 狩猟民族の働き方？
    - 契約が済むと、半額程度の前金が入るため強気になっているのでは
      - 日本は納品されて初めて全額入金のため、納期厳守
  - ・働き方については、お互いの文化や考え方を理解し、歩みよりの姿勢が重要
    - 無理に合わせようとしてもうまくいかない。そういうものだ、と広く構える
    - 以前、他国との会議の際、日本のやり方でやってくれ、と言われて対応に困ったことがあった。
      - 当たり前と思っていることをやってくれと言われるとできないものだと痛感した
  - ・欧米人は自分の役割分担意識が明確で、担当の仕事以外はやらない
    - 作業後の掃除も、掃除係の仕事と認識している
    - 日本は5Sが浸透しているのと対照的
  - ・新技術の導入
    - ・日本は3Dプリンターの導入遅れている
      - ドイツメーカーが優位
      - ESO職員、3Dプリンターで作った部品を自慢してくる
      - 日本は既存技術偏重がある。
        - 新技術は様子を見ることが多く取り残される
        - 文化として、新しいこと、冒険的なことには慎重な国
        - 予算をつける役人が事務細で、新技術に理解がないのも一因
      - 3Dプリンターでの加工物、信頼性に難あり
        - 3Dプリンター先進国でも、ここが解決できていない
        - 後発の日本、得意分野でもあり、ここを先んじて確立すれば世界的に優位に立てる
      - 3Dプリンター、モノづくりに革命を起こしている
        - 宇宙分野でも加工品の採用事例あり
        - 一方で、使いこなすには設計段階での思考の変革を要求されている。積み重ねて作る感覚
        - 5年以内に変革しないと乗り遅れる
          - 一般企業では利益や産業構造への影響もあって、変革スピードに限界があるかもしれない。
          - そういうことに縛られない研究機関から変革を発信するのが良い
        - アメリカでは高校生が3Dプリンターのキットを買って、自分で組立てて遊びながら学んでいる
    - ・天文台が維持、高めるべき技術
      - 超精密加工は機械を導入し、育ててきた経緯がある。他ではやらないこと。
      - 過去に技術検討委員会で考え、まとめた。
      - 特殊な機器を必要とする技術、装置が高くて買えない。
        - 自然科学研究機構のサイトビジットで、他の研究所の装置を見る機会があった
        - 高額な装置は共同利用することで、問題を解決できる可能性がある

# 技術シンポジウム2017

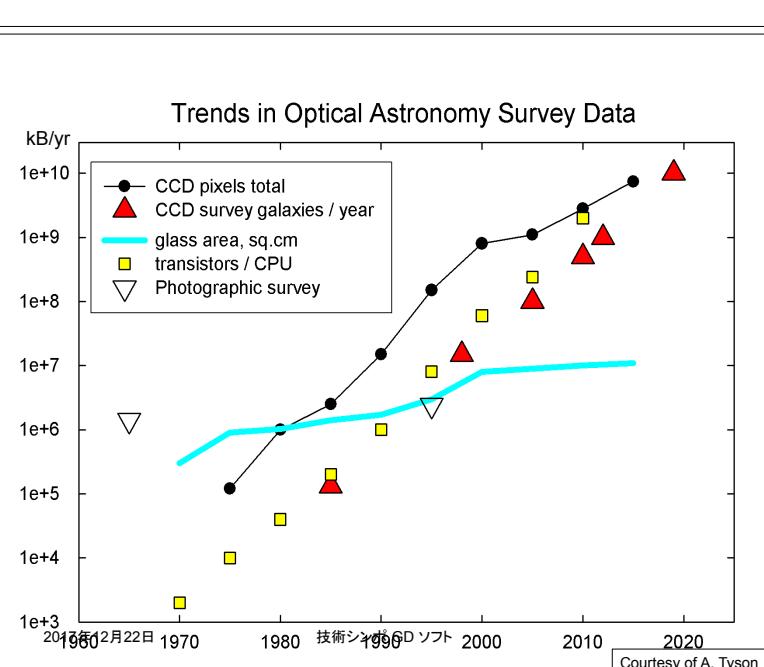
## Group Discussion ソフト1

Facilitator: 大石雅寿  
 国立天文台 天文データセンター  
[masatoshi.ohishi@nao.ac.jp](mailto:masatoshi.ohishi@nao.ac.jp)



Facilitator: 大石雅寿

国立天文台 天文データセンター  
[masatoshi.ohishi@nao.ac.jp](mailto:masatoshi.ohishi@nao.ac.jp)



## 参加者(敬称略)

- 中村(NAOJ、ALMA)
- 都築(NAOJ、ATC)
- 柳澤(NAOJ、OAO)
- 青木(東大、木曾)
- 三輪(基生研)
- 川上
- 大石(NAOJ、ADC)

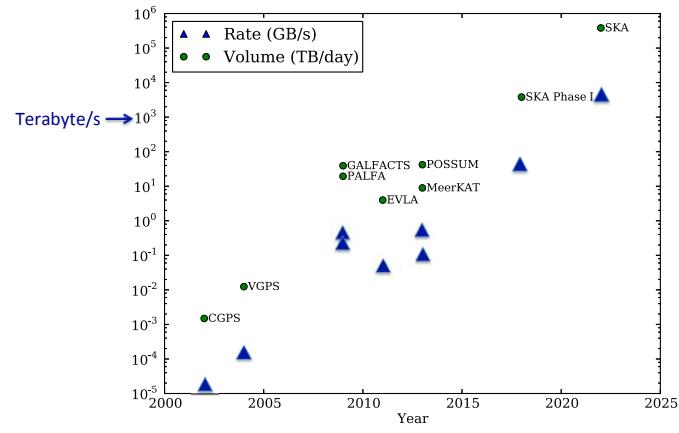
2017年12月22日

技術シンポ GD ソフト

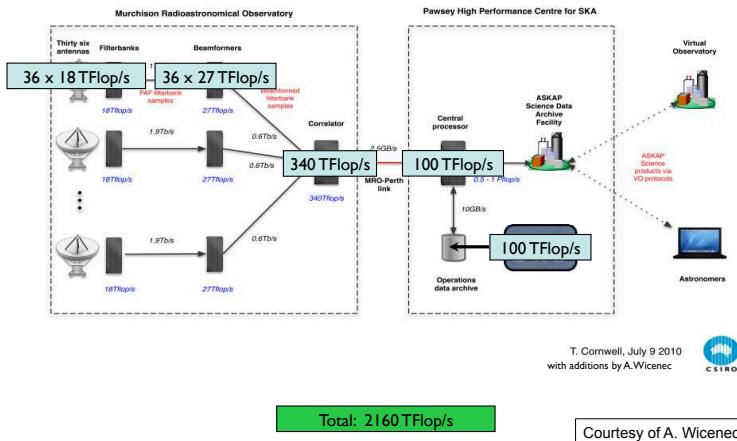
2

-149-

## Survey Raw Data Output Rates



## Schematic ASKAP Data Flow



## 問題提起

- 今後の国際協力を考えた時、ハード重視＆ソフト軽視ではマズイのではないか。ハードとソフトのバランスを改善すべきではないか。
- Pro: ALMAでのソフト開発に投入する人員はこれまでの日本流に比べ非常に多い。
- Con: ハード偏重とは感じない。車の両輪でどちらも大切。

2017年12月22日

技術シンポ GD ソフト

6

## これまでの振り返り

- 良いUIは良いソフトとの印象に繋がる。良いUIがないとハードの性能を十分引き出せない。ハード開発の場でも良いUIが必須。
- 開発関係者の入れ替わりに備えた文書化をほとんどしてきていない→文書があればソフトも「形」になるのでは？
- 観測所が装置が出すデータの一次処理ソフトを開発しなかった例もあった

2017年12月22日

技術シンポ GD ソフト

7

## 今後に向けて(1)

- ハード開発者とソフト開発者間でお互いに何をやっているかをよく知るようにしよう。
- (天文に限らず)ソフトウェア関係者の人的交流を促進する必要がある
  - 技術シンポはそのための良い場となる
  - 大学も含めたソフト関連技術情報交換機構の構築
- 製作したソフト資産の共用化(汎用化)
  - ライブラリにする
  - 失敗も含めた開発経験も共有できるか？

2017年12月22日

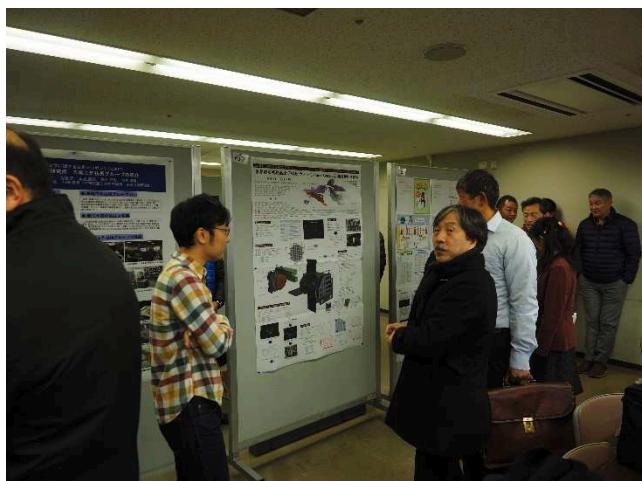
技術シンポ GD ソフト

8

## 今後に向けて(2)

- 文書化をしよう！
  - 文書化しなければソフトウェアは完成しない
  - フォローチャートやブロックダイアグラムは必須
  - ソフトの継続性担保のために必須
  - ソフト開発会社の文書を真似る
  - 文書は記録であると共に頭の中を整理すること

第37回 天文学に関する技術シンポジウム 写真集  
2017.Dec.21～22



# 「第37回天文学に関する技術シンポジウム」アンケート結果

## 技術シンポジウム世話人会

### 概要

「第37回天文学に関する技術シンポジウム」開催後、参加者にアンケート調査を行った。アンケートの目的は、「本シンポジウムが参加者にとってどれくらい役に立っているのか？」そして、「今後のシンポジウムをどのようにしていけばよいのか？」の2点について、参加者の率直な意見を得る事である。アンケートには参加者56名に対し26名から回答が得られた。今回のシンポジウムの満足度と有用性については好意的な意見が90%以上を占めた。今後については、グループ討論、分科会の是非に加え、今後取り上げてほしいテーマや今後の運営についての有益な提案、指摘を頂いた。この結果を今後のシンポジウムの企画・運営に反映させていきたい。

### 1. アンケート実施方法

シンポジウム開催後、2018年1月9日を期限としてシンポジウムの内容についてアンケート調査を行った。アンケートの目的は、「本シンポジウムが参加者にとってどれくらい役に立っているのか？」そして、「今後のシンポジウムをどのようにしていけばよいのか？」の2点について、参加者の率直な意見を得ることである。アンケートの設問内容は以下の通りである。

- 設問1 所属についてお知らせ下さい。国立天文台所属ですか？それ以外ですか？（選択）
- 設問2 職種についてお知らせください。（選択）
- 設問3 今回の参加形態をお知らせください。（選択）
- 設問4 シンポジウム全体の内容はいかがでしたか？（選択）
- 設問5 グループ討論に関して、どのテーマについて参加されましたか？（選択）
- 設問6 グループ討論の内容はいかがでしたか？（選択）
- 設問7 グループ討論は今後も続けたほうがいいと思いますか？（選択）
- 設問8 グループ討論についてご意見がありましたらお願ひいたします。（記述）
- 設問9 (講演時間確保の方法に関して、)日程を1日延長した場合の参加日程(複数選択可)
- 設問10 (講演時間確保の方法に関して、)分科会制(2会場にて同時に2セッションを並行して行う)の採用について(どう思いますか？)（選択）
- 設問11 (講演時間確保の方法に関して、)エクスカーションを中止し、講演時間に充てる可能性がある場合、(どう思いますか？)（選択）
- 設問12 今回のシンポジウムで得た情報やつながりは今後の業務に役に立ちますか？（選択）
- 設問13 今後、本シンポジウムに希望するテーマがありましたらご記入ください。  
グループ討論のテーマでも構いません。（記述）
- 設問14 その他、本シンポジウム全体でお気づきになったこと、今後の本シンポジウムの運営等についてご意見・ご要望等ありましたらご記入ください。（記述）

## 2. アンケート結果(1) 回答率と回答者の概要

今回のアンケートでは、参加者総数 56 名に対して 26 名から回答が得られ、回収率は約 46% であった。回答者の所属は、国立天文台 18、国立天文台以外 8 となり、約 7 割が国立天文台所属であった(設問 1)。職種は、技術系職員 11、研究教育系職員 7、学生 3、その他 5 となり、技術系職員が約 4 割を占めた(設問 2)。また、参加形態を伺ったところ、講演者 17、聴講者(講演なし)9 となり、およそ 3 分の 2 が講演者であった(設問 3)。

## 3. アンケート結果(2) シンポジウム満足度

シンポジウム全体の満足度を調べるため、「とても満足」(1)から「とても不満」(4)の4段階で満足度を伺った(設問 4)。結果は以下の図1のようになつた。「とても満足」、「満足」を合わせると全体の 90% 以上を占め、好評であったことがうかがえる。一方で、「とても不満」(4)が 1 件あった点に留意すべきである。

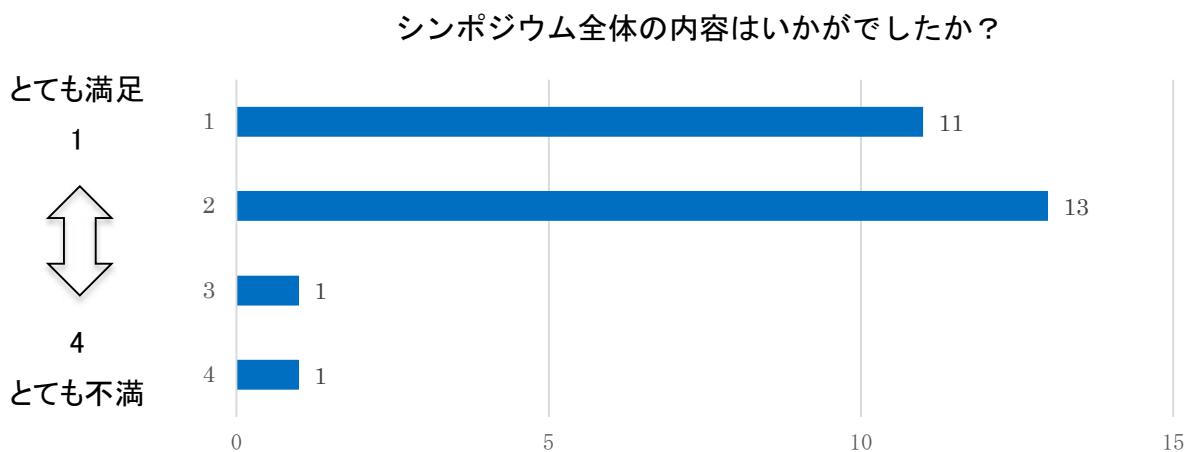


図1 シンポジウムの満足度調査結果

シンポジウムが業務上有益であるかを調べるため、選択形式で伺った(設問 12)。結果は以下の図2のようになつた。「大いに役に立つ」、「役に立つ」を合わせると 95% を占めることから、参加者はそれぞれシンポジウムに何らかの意義を感じていることがうかがえる。ちなみに「わからない」と回答したのは国立天文台からの回答者であり、特に国立天文台外からの参加者については有益と感じている傾向が見られた。なお、「わからない」と回答した方は、設問 4 で(3), (4)と回答した方々とは別の方であった。

今回のシンポジウムで得た情報やつながりは今後の業務に役に立ちますか？

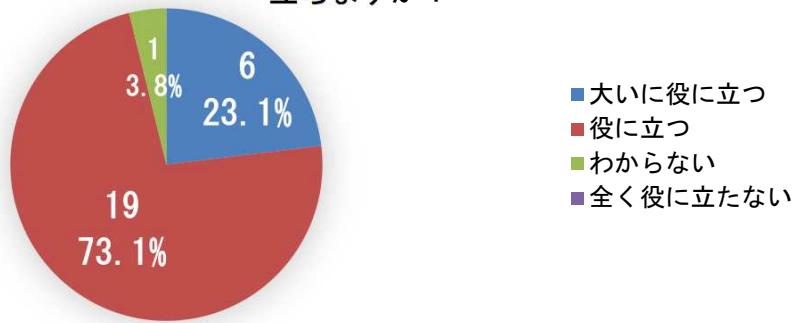


図2 シンポジウムの有益性の調査結果

#### 4. アンケート結果(3) グループ討論

今回初めて実施したグループ討論についてのアンケート結果を示す。まず、回答者の参加したテーマについて伺った(設問 5)。結果は以下の通りとなり、各テーマのグループ数に対して概ね比例した割合となった。

- | テーマ                     | 件数  |
|-------------------------|-----|
| 技術シンポこの先どうする？何を求める技術シンポ | 7 件 |
| みんなでシェア！日常業務と改善策        | 8 件 |
| 考えてみよう！目指すべき10年後        | 7 件 |
| 日本でソフトウェア技術が軽視されるのはなぜか？ | 4 件 |
| 参加しなかった                 | 0 件 |

次に、グループ討論の満足度について伺った(設問 6)。結果は下記の図3のようになった。回答者のうち約9割が内容について満足していることがうかがえる。

グループ討論の内容はいかがでしたか？

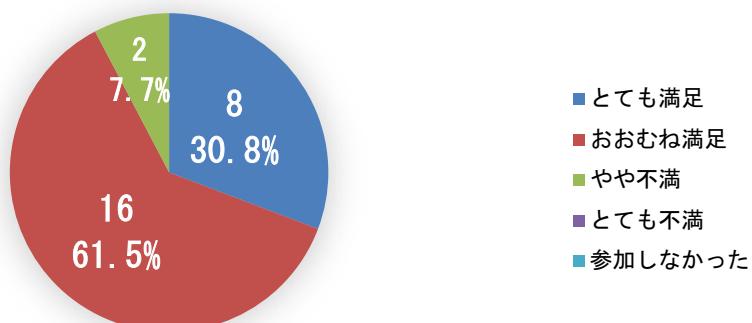


図3 グループ討論の満足度調査結果

次回のグループ討論実施の是非についても伺った(設問 7)。結果は以下の図4のようになった。回答者のおよそ4分の3が継続に肯定的であることがうかがえる。「参加しなかった」に1件の回答が存在するが、設問5,6ではなかった回答であった。

#### グループ討論は今後も続けたほうがいいと思いますか？

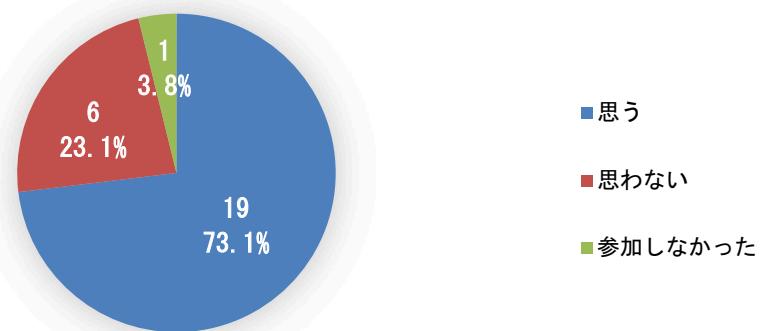


図4 グループ討論の実施継続についての希望調査結果

グループ討論について自由記述形式で意見を伺った(設問 8)。頂いた意見を以下に紹介する。

- 時間の長さが中途半端。結局、発表・グループ討論の両方共、時間不足気味だった。
- 当グループでは言葉の障壁があり、なかなかスムーズに進まなかつたが最終的にはなんとか形になる結論を得られたように思う。今後、自動翻訳などのツールが揃ってくれれば言葉の障壁は低くなると思われるので国際的な広がりが出てきておもしろいことになると思う。
- 初めて会った、別の分野の参加者とも突っ込んだ話ができ、今後も仕事の協力ができるようである。これはこれまでのシンポや懇親会のみではできなかつた点で、グループディスカッションは非常に有意義であったと思う。
- テーマの選択が難しいと思いますが、可能なら続けていただきたいと思います。
- 時間が少ない印象を持った
- 「思わない」を選択しましたが、他の機関の方との議論まではいかない、雑談的な話の中から有益なお話を聞けたことはよろしかつた。この部分については「良い」です。
- 所属観測所以外の方とも知り合え、意見交換できたので、良かったと思う。時間配分、グループ分けに関しては今後レビューが必要。
- ブレインストーミングだけを実施したのでは、何も残らないと感じた。全体でひとつのテーマに絞り、グループごとに発表したほうが、同じテーマに対する違う視点を得られるかもしれません、議論にたどり着くように思う。ではどんなテーマがよいかは、事前募集か、集まらなければ世話人で決定でもよいと思うが、直接業務に生かせる内容（今回で言えば「みんなでシェア！日常業務と改善策」）を希望する。
- 職場／職種／年代混在がとても良かったです。

- もう少し時間があるとよい
- 情報共有としては日頃の問題点の共通性を認識できた点は良かったが、技術シンポでやるべきなのは今後考えて行くべきと思う。

有意義であるとの意見がある一方、初めての試みという事もあり、時間配分、テーマ選択、グループ分けについて不十分な点を指摘される意見も多かった。グループ討論を実施するならば本シンポジウムとは別の場でとの意見がある一方、本シンポジウムの参加者層での実施を評価する意見もあった。従来の発表・議論の時間を確保した上で、延長・追加する形でグループ討論の時間を充分に確保する事が望まれていると考える。

## 5. アンケート結果(4) 講演時間の確保の方法

今回、講演数の大幅増加に加えグループ討論の実施もあり、一般講演の時間枠が不足した。このため、1件あたりの講演時間の縮小に加え、やむを得ず分科会制を導入した。一般講演の時間枠不足の対応策として、日程の延長、分科会制の採用、エクスカーションの中止が考えられるが、これらについて意見を伺った。

最初に、日程延長した場合の参加意志と参加日程について伺った(設問 9)。結果は、以下の図 5 のようになった。なお、この設問 9 は複数選択を許している。

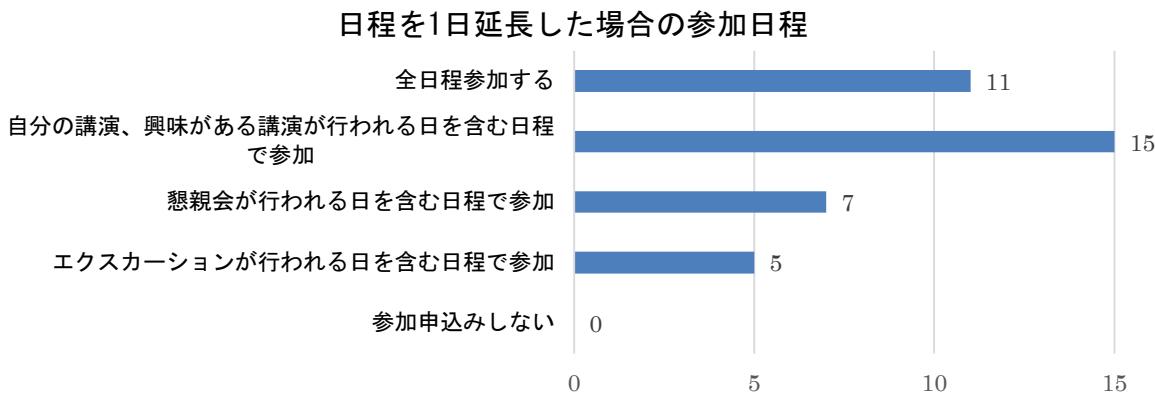


図 5 日程延長した場合の参加意志と参加日程についての調査結果

回答者の約 4 割が「1. 全日程参加する」と回答し、「5. 参加申込みしない」は 0 件である事から、日程の延長は全く非現実的な解ではない事がうかがえる。また、ほとんど全ての回答者が、1. または 2. を選択した結果は当然であるが、1. または 3. 、1. または 4. を選択した回答者もそれぞれ 7、6 割程で、懇親会、エクスカーションも参加者に取って重要視されている事がうかがえる。

次に分科会制の採用の是非について伺った(設問 10)。結果は、以下の図 6 のようになった。

### 分科会制(2会場にて同時に2セッションを並行して行う) の採用について(どう思いますか?)

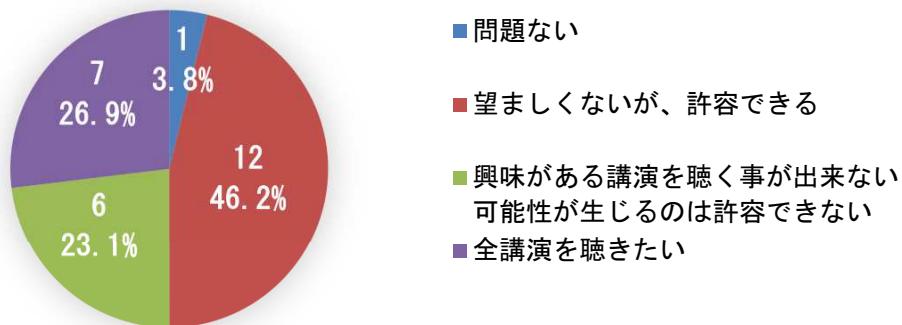


図 6 分科会制の採用の可否についての調査結果

回答者のほぼ全てが分科会制の採用について何かしらの支障があると考えており、半数が否定的であった。

最後に、エクスカーションの中止の可能性について伺った(設問 11)。結果は以下の図 7 のようになつた。「参加申込しない」が回答者の約 2 割に達しており、エクスカーション重視の参加者もいることが読み取れる。

### エクスカーションを中止し、講演時間に充てる可能性がある場合、(どう思いますか?)

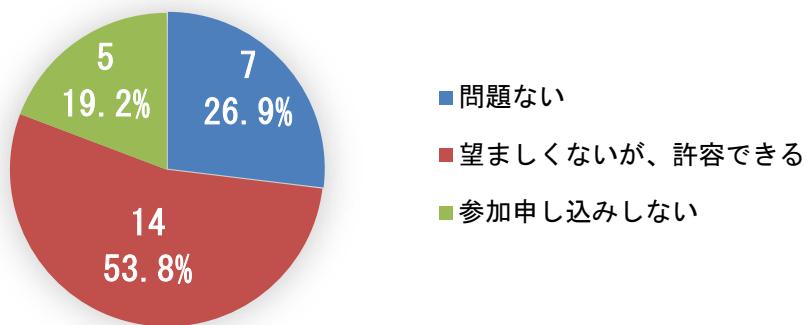


図 7 エクスカーションの中止の可否についての調査結果

## 6. アンケート結果(5)：シンポジウムの今後

今後のシンポジウムの企画・運営に活かすため、取り上げてほしいテーマ(グループ討論を含む)およびその他意見・要望を自由記述形式で伺った。まず、取り上げてほしいテーマについては以下のような意見を頂いた(設問 13)。

- 1) 技術職員(技術系職員、研究職)という職を、どう考え、職務をどう遂行すべきか
- 2) 技術継承のための、教育や研修はどうあるべきか(技術継承は必要という立場に立っています)
- 3) 宇宙の成り立ちと天体観測、生命の起源と機能と形態観察(大きな空間、小さな空間を見るということ)

- 基盤技術の持ち寄りと水平展開
- 10年後を考えるのはよいテーマだと思います。一年後に考えがどう変わるのが、それを10回繰り返し本当に10年たった時はどうなっているのか興味があるところです。
- この技術シンポジウムは、各技術職員が日頃行っている業務を取りまとめ、発表する数少ない場であるかと思います。学会の様に権威立っていない、失敗や、技術職員の泥臭い日常での業務なども取り入れ発表、情報交換する場である事だけはそぎ落とさない様運営して頂けたら、色々とやられてみたらよろしいかと思います。
- 近未来の天文学に求められる技術、それに対して技術者・研究者が高めるべきスキル
- 技術シンポジウム参加者にとっての「国際化」とは。

技術関係者の将来像と技術の継承・共有に関するテーマが複数寄せられる結果となった。

その他の意見・ご要望という設問に対しては以下のようないい意見を頂いた(設問14)。

- 技術シンポジウムは小規模で中身が濃いイメージで、分野外の発表を聞くことでいろいろな気付きもあるので、分科会はやめてほしい。
- エクスカーションの時間がギリギリの設定で少しハラハラしました。やはり渋滞などの配慮は必須だと考えます。
- すばるの蒸着の講演はよかったです。一つの大きなひとまとまりの技術的な仕事をじっくり解説してもらうような講演があるといいと思った。ポスターの時間がちょっと短かったです。パラレルセッションはやはり聞きたいのに聞けない部分があり残念であった。年末は忙しいので、もう少し早い時期の開催だとうれしい。全体的に素晴らしい回だったと思います。
- 准教授から技術系職員が、同じシンポジウムやグループ討論で報告し議論し、意見交換するというスタイルは画期的だと思います。懇親会でも話しやすくなりますし、是非、続けていただきたいと思います。
- グループ討論については新鮮で興味深い体験ができました。自組織の研究会でも参考にさせていただきたい企画です。
- 新しい事を取り入れ今後も技術シンポジウムが続く事を願っております。
- 世話を人の皆様の目配り、手配、感心いたしました。はやり段取り8分が生きていますね。
- 日英などの言語の混合を今後どうしていくかは、少し時間をかけて検討していくべきなのかもしれません。
- エクスカーションは実施してほしい、グループ討論を無くし講演時間に充ててほしい。

グループ討論については賛否双方の意見が寄せられた。また、英語化-国際化に関する意見も頂いた。

## 7. まとめ

参加者の率直な意見を得ることを目的として実施した「第37回天文学に関する技術シンポジウム」のアンケート結果を紹介した。総じて今回のシンポジウムは好評であったことがわかった。ただし、回収率が半数を下回っている事について注意する必要がある。今後の課題として、引き続き回収率向上の取り組みが必要であろう。今回新たに実施したグループ討論については、内容については好評であったが、時間配分、テーマ選択、グループ分け等について課題があることがわかった。また、今後取り上げてほしいテーマやその他の意見として、いくつかの有益な意見を頂いた。今回頂いた意見は、今後の企画・運営に活かし改善を図る所存である。最後に、この場をお借りして有益な意見ご指摘を寄せてくださった参加者の皆様に感謝申し上げる。

## 編集後記

未経験者が多い世話人でしたが、経験者のサポートもあり、新しい試みを導入しつつも無事終えることができました。今後の世話人も経験者に未経験者を加えた「うなぎのタレ」方式で行うと、風通しが良く継続的な発展が望め、技術シンポの存在意義も高まるのではないかと思います。また、直接対話の「場」としての技術シンポの役割を再認識し、今後も継続すべきと強く感じました。 (上野 祐治)

事前打ち合わせはネット会議ばかりで、世話人メンバーの多くがシンポジウム当日(厳密には前日)まで顔もわからない(!!)状態でしたが、全員の協力により何とか無事に開催できました。ありがたいことに今回は参加申し込みが多く、スケジュールの割り振りやエクスカーションで苦労し不手際もありましたが、次回以降の開催・運営に今回の経験を生かしてもらえればと思います。 (奥村 真一郎)

はじめて技術シンポの世話人を担当させていただきました。今回、新しい試みや従来からの変更についてを世話人会で色々な議論して、とてもエキサイティングでした。この世話人会は、とても良いチームだったと思っています。至らぬところも多々ありご迷惑をおかけしましたが、技術シンポのお手伝いが出来て大変うれしく思っています。 (佐藤 立博)

今回岡山で技術シンポが開催されるということで世話人になりました。日頃岡山にいるとなかなか他のブランチの方と交流がないのですが、世話人会を通して色々な方々と仕事することができて楽しかったです。 (筒井 寛典)

昨年に引き続き世話人会打ち合わせの進行役を担当しました。当初は昨年同様のシンポジウムにしようかと安易に考えていました。しかしながら、各観測所の様々な経験を持つ世話人の意見や提案を取り入れた結果、昨年よりも大きく改善した技術シンポになりました。各世話人に感謝するとともに、若手技術職員の可能性を感じることができた点は今後のキャリアを考える上でも良かったと思います。

(都築 俊宏)

ほぼ初めての世話人という事で良い経験になり、楽しく務めさせて頂きました。一方で、世話人各自多くの労力を費やした様にも思います。某 WS にて、研究会などの集会開催は研究推進に必須だが負担が大きく、中々...、という様な話を聞いた事を思い出しました。もし何処かの機関がインフラとして集会開催用のツール群を整備する事になれば多くの人が助かり随分と効率が向上するのではないか、などと思い至りました。 (西谷 洋之)

今年の世話人は三鷹だけでなく各観測所から協力していただこうと思いこのようなメンバーにお願いしました。遠距離会議ということで困難がないわけでもないのですが、個々の能力の高さのおかげで盛況のうちに技術シンポを開催することができました。次の目標は如何にして国立天文台技術系職員の参加率を上げるかですかね？ (藤井 泰範)

企画・開催にあたりご支援ご協力下さいました、ハワイ観測所の谷口 明充 氏、岡山天体物理観測所の皆様、特に戸田 博之 氏に、また、エクスカーションで、岡山天体物理観測所の案内をして下さいました泉浦 秀行 所長、188 cm 望遠鏡の見学でお世話になりました柳澤 顯史 氏、京都大学 3.8 m 望遠鏡の案内をして下さいました岡山天体物理観測所の松林 和也 氏、同望遠鏡の見学でお世話になりました京都大学の仲谷 善一 氏に、この場をお借りして感謝申し上げます。 (世話人一同)