

COMICS: 観測と結果

藤吉 拓哉

〈国立天文台ハワイ観測所 650 North A`ohoku Place, Hilo, HI 96720, U.S.A.〉

e-mail: tak@subaru.naoj.org



国立天文台ハワイ観測所、いわゆる「すばる望遠鏡」の20周年特集号に観測装置の運用と成果に関する記事のひとつとしてCOMICS小話を…というお題をちょうだいしました。1999年暮れに開眼して以来、COMICSにとっても今年（2019年）は20周年の節目の年でもあります。しかしながら奇しくもというか、ついにというか、2019年1月に開催されたすばるユーザーズミーティングにおいてdecommissioning（運用の停止）が発表されてしまいました。僕もサポートアストロノマーとして20年近く苦楽をともにしてきた身。ここでひとつねぎらいの意味も込めてかかわってきた年月だけでも少し歴史を振り返ってみましょうか…

1. COMICS

まずはCOMICS¹⁾ (COoled Mid-Infrared Camera and Spectrometer=冷却中間赤外線撮像分光装置)を知らない読者のために、表1にその仕様を簡単にまとめました (COMICSの外観は図1をご覧ください)。ひとことで言うとすばる望遠鏡唯一の (観測所で管理・運用されている) 中間赤外線観測装置、要するに地上から観測できるほぼ最長波長^{*1} (約8から25 μm) で天体観測 (撮像と分光) を行う装置です。なぜそのような装置が必要なのか、どのようなサイエンスを狙うのか、などはすでに過去の特集⁵⁾ でくわしく述べられているのでここではくりかえしませんが、Hubble Space Telescopeの後継機であるJames Webb

Space Telescopeには同様の波長帯で観測する装置が搭載されることが決定しており⁶⁾、その重要性がうかがえます。COMICS最大の特徴はもちろん観測波長帯にあり、特筆すべきはなにも特別なことをしなくても (例えば補償光学系等の助けを借りなくても) 望遠鏡の最大能力 (回折限界) を軽々と引き出してしまうことでしょう。しかしもちろん話はそんなに簡単ではなく、例えば10 μm という波長は約300 K (約27°C) の黒体のピークに位置し、つまりほぼ常温のものに敏感です。ということは望遠鏡やドームがめちゃくちゃ明るい!^{*2} なので装置にも望遠鏡にもていねいな設計が必要となってきます。検出器は半導体 (Si:As) ですから、熱によるノイズを防ぐため約4 K (約マイナス269°C) まで冷却されています。

*1 地上からより長い波長、30- μm 帯での観測が可能なのはMAX38²⁾ がチリのチャントール山頂 (標高約5,600 m) で証明し、その後継機MIMIZUKU³⁾ が10-/20- μm 帯ではすばる望遠鏡での観測を成功させています⁴⁾。

*2 このことについて、近代赤外線天文学の祖Frank Lowさん⁷⁾ とその高弟であられるGeorge Riekeさんは以下のようなありがたいお言葉を残しています⁸⁾。'Observing at 10 μm with a ground-based telescope has been likened to observing visually through a telescope lined with luminescent panels and surrounded by flickering lights as though the telescope dome were on fire.' 超訳すると「地上から10- μm 帯を観測するのは、あたかも発光パネルがずらりと並んだ望遠鏡を、ドームが燃えているかのようにチカチカと揺れる明かりのなか肉眼で覗き込んでいるに然り」。

表1 COMICSの仕様.

波長帯	Nバンド (7.5–13.5 μm) Qバンド (16–25 μm)
検出器 撮像	Raytheon社製 320×240 Si: As IBC arrays 6個 (1×撮像+5×分光) 視野: 42×32 arcsec ² (0.13 arcsec pixel ⁻¹) フィルター: 広・狭帯域計15フィルター
分光	N低分散: 分解能約250 (全Nバンドを1ショットでカバー) N中分散: 分解能約2,500 (全Nバンドを2ショットでカバー) N高分散: 分解能約10,000 (8.99 μm [Ar III], 10.51 μm [S IV] & 12.81 μm [Ne II] 付近のみ) Q中分散: 分解能約2,500 (全Qバンドを4ショットでカバー)



図1 すばる望遠鏡に装着されたCOMICS (背景). 仲良く人文字を作っているのは左から山下卓也さん, 酒向重行さん, 田窪信也さん, 宮田隆志さん, 岡本美子さん, そして片坐宏一さんのCOMICS装置チームの面々. 1999年12月撮影.

また, 地球大気, つまりは空も非常に明るくそのままだと天体が埋もれてしまうので, 副鏡^{*3}を細かく振り目的の天体とその近くのものもない領域を交互に観測しそれぞれを差し引く, いわゆる「チョッピング」観測という少し特殊な手法を 사용합니다. 空を明るくしている主犯格のひとりが大気中の水蒸気なのですが, すばる望遠鏡がある米

国ハワイ州ハワイ島のマウナケア山頂(標高約4,200 m)の大気は海拔ゼロメートル地点に比べほぼ4割減. 東から吹いてくる貿易風は湿った空気をハワイ観測所山麓施設があるヒロ市側の斜面に当てて雨を降らせ, 脱水してから山頂に運びます. また, 逆転層(標高2,000 m付近⁹⁾)が水蒸気をそこで雲に変え, 湿った空気にフタをしてくれています. いわゆる「頭を雲の上に出し」状態ですね. 熱設計がきちんとされたすばる望遠鏡をマウナケア山頂に建設したのは中間赤外線の観測をするためだった! とは少し言い過ぎでしょうか…そのようなCOMICSですが, ハワイ時刻1999年12月14日に第一世代の観測装置としては(正しい焦点位置で)「一番乗り」でファーストライト^{*4}を達成しました¹⁰⁾. 機能試験観測や装置グループへのご褒美時間(Guaranteed Time)の後, S02A期(2002年の上半期)にCOMICS初の共同利用観測課題が採択されました^{*5)}.

2. メンテナンス

少し先走って共同利用の話を始めてしまいましたが, その前に装置維持について一言. 第一期

^{*3} すばるのような反射望遠鏡の鏡(主鏡)で反射した星の光をもう一度反射させる二枚目の鏡のことを主鏡に対し「副鏡」と呼んでいます. これで主鏡からの光をさらに反射して装置まで導きます.

^{*4} 望遠鏡を通った天体の光が初めて装置で検出されることをこう呼びます. First light.

^{*5} 共同利用観測とは広く観測課題を公募し, それを専門の委員会が選択して行う観測のことを言います. すばる望遠鏡はS00B期から共同利用観測を始めました. 映えあるCOMICS第一号共同利用採択課題は当時野辺山電波観測所に所属されていた出口修至さんの「COMICS observations of maser stars with no IRAS or MSX association¹¹⁾」で, ハワイ時刻2002年7月26日に行われました. この成果はもちろんしっかりと出版されています¹²⁾.

観測装置サポートアストロノマーの大事な仕事のひとつに装置を常に最高の状態に保ち観測に提供する、というのがあります（俺・僕・私のときはそうじゃなかったぞ！とおっしゃる方がいるかも知れませんが、まあ突発的な事故は起きますし…最大限の努力はしておりますので、あしからずご了承ください）。そのなかでもルーティーン的に行わなくてはならず、かつそれなりの労力と時間を要する作業がふたつあります。ひとつは冷凍機の定期メンテナンス。冷凍機は撮像と分光側にそれぞれひとつずつ、計ふたつあります。どちらも10,000時間毎にメンテナンスのために取り外し、メーカーへ送ります。連続運転するとだいたい一年とちょっとで交換ということになります。もうひとつは装置へ光を取り入れる窓の交換です。こちらはKBr（臭化カリウム）といって、早い話が塩のかたまりで吸湿性・潮解性があるため、防湿加工はしてあるものの、使用しているとどうしても経年劣化で白濁してしまいます（装置を使用していない時は蓋で保護しています）。そこでこちらも定期的に点検し、必要であれば交換します。どちらの作業も装置の温度を室温まで戻してから行わなければならないので、なるべく同時にできるよう調整します。冷凍機を止めてヒーターで装置内部をあたため、温度が室温まで上昇するのに6日間ほどかかります。それぞれの交換作業後、今度は運用できる温度まで冷やすにはまず2日間液体窒素で前冷却を行います。それから今度は冷凍機だけで（冷凍機は前冷却一日目の終わりに稼働開始させます）検出器や光学系の温度が安定するまでさらに4日間ほどかかります。つまりすべての作業になんだかんだと二週間ほど要する計算です。今回この記事を書くために改めて調べてみると、僕が三代目COMICSサポートア

ストロノマー^{*6}として仕事を始めた2002年から現在までじつに33回冷却作業を行っていました（つまり同じ回数装置をあたためていた）。取り替えた（メンテナンスに出した）冷凍機の数が20台。そして窓の交換は15枚にもおよんでいました。人件費や冷凍機を動かす電気代を除いても、これだけの作業をのべで合算するとそれなりの金額がかかっていたのが改めて判明しました。17年間で物価の上昇もありますし、正確な金額はわかりませんが、なにかの参考となるかも知れないので公表してしまうと2,000±500万円程度だったようです^{*7}。

3. 共同利用観測

僕が望遠鏡時間要求の提案書（プロポーザル）の技術審査を引き継いだS02B期以降の共同利用統計が図2です。左の縦軸がプロポーザルの数で、実線で表してあります。そして破線がそのうちの採択数です。また、右の縦軸が要求と割り当て夜数で、それぞれ一点鎖線（—・—）と二点鎖線（— · —）で示されています。当たり前かも知れませんが、プロポーザルの数とその採択数、要求と割り当て夜数は（最初期以外は）良く相関しているようです。おもしろいことに、約6年周期で人気が落ち込み（例えばS06AとS12A期）その後回復しますが再度徐々に興味が失われていき、近年は三回目の復調時期にあたっていた可能性があるように見えます（まあ最近はdecommissioningの話が出てきてはいたので、そのあたりが少し関係しているのかも知れませんが…）。このグラフをもっと詳しく分析すると（例えばなぜ需要は一定ではなく、ほぼ周期的に人気の浮き沈みがあるように見えるのか等）なにか中間赤外線天文学の動向がわかる可能性があります、本

^{*6} 初代は似顔絵も担当の宮田隆志さん。二代目は岡本美子さんです。

^{*7} 内訳は本文にもあるように冷凍機のメンテナンス料金+窓の購入費用（毎回複数枚一括購入）+前冷却用の液体窒素代の今までの合計。

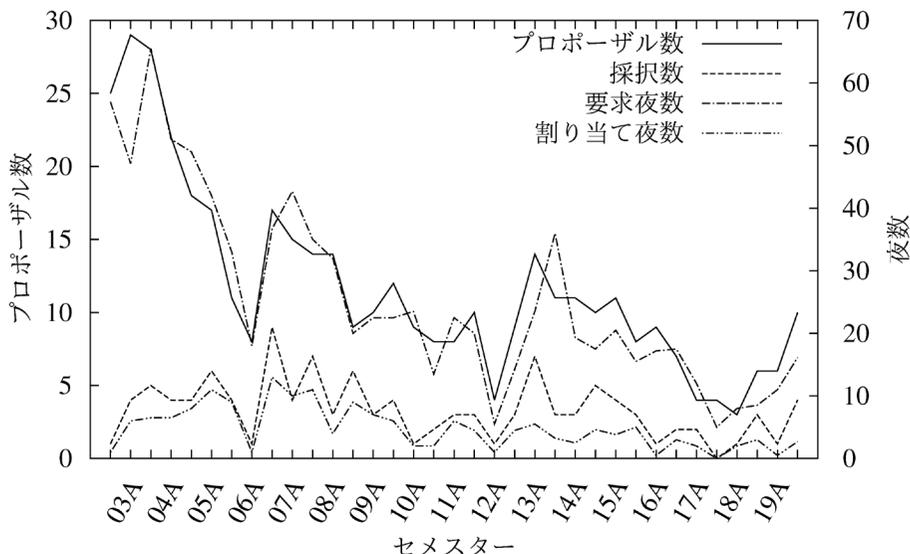


図2 COMICS共同利用の統計.

表2 COMICS共同利用：2002年から2019年までの総数と Semester 毎の平均.

	総数	Semester 平均
プロポーザル数	411	11.7
採択数	117	3.3
要求夜数	900.89	25.7
割り当て夜数	167.405	4.8

文の趣旨からズレてしまいますので割愛します。もしご興味のある方がいらっしゃいましたらぜひ調べてみて下さい。表2に今までのそれぞれの総数と Semester 毎の平均をまとめました。

4. 結果

この世知辛い時代、一番手っ取り早くなにかの成果として調べられてしまいがちなのが論文の数です。そこですばる望遠鏡でもこれらを集計し、公表しています^{*8}。観測所内部ではさらに装置ごとの論文数など細かい項目に分けてまとめています（装置論文と認定されるには、いちおうそれなりにきびしい基準があります。例えば観測ログや

モードの詳細からその貢献度をはかることができる、など）。それによると COMICS のデータを使った論文は2018年までに76本。ザッとながめてみると、太陽系内（惑星・彗星等）から天の川銀河系内の星形成、新星・星間物質の観測、近傍銀河まで幅広い研究に COMICS が利用されているのがわかります。論文を掲載誌でランクづけするのは好きではありませんが、このなかにはいわゆるネイチャー論文3本¹³⁻¹⁵とサイエンス論文1本¹⁶が含まれます。また、引用数では上位5論文^{13,16,17-19}すべて80超えと、なかなか健闘しているのではないかと思います。しかしこういった数値のつねで、「なかなか」の基準化がむずかしいところです。例えば他の中間赤外線装置^{*9}と比較できたりすれば少しはなにかわかるような気がしますが、調べる気力も時間もなし…そこでやや異種格闘技戦ではありますが、すばる望遠鏡の他の装置とくらべることにしましょうか。論文数は前述のようにまとめてありますし、例えば今までのすばる望遠鏡で一番活躍した装置と言えば Su-

*8 例えば2018年に出版された論文は<https://www.naoj.org/Observing/Proposals/Publish/2018.html>にまとめられています。

prime-Cam²⁵⁾ で異論はないでしょう。そしてご想像どおり論文数もダントツの一位でその数なんと779本。さーすが、COMICSと比べると10倍以上でまさにケタ違い…しかしここでハタと気づくのです。Suprime-Camって大人気だったからきっと使われた夜数も飛び抜けて多いし、一夜ごとの論文数にしたらどうなのか…ちょっとしたごまめの歯ぎしり。するとSuprime-Camの割り当て夜数^{*10)}は17年間で901夜ちょっとどこちらも予想どおりぶっちぎり。1夜毎に0.86論文出版されている計算になります。一晚観測してほぼ1論文。やっぱりスゴいな…対してCOMICSが使われたのは174夜。つまり1夜毎0.44論文で、どうあがいても負けますね…じゃあ他の装置は…とちまちま集めたのが表3です。どうです？これならCOMICSも「なかなか」健闘したと言えるのではないのでしょうか？そんなに目立つヤツじゃなかったけど、アイツそれなりにがんばってたよな…時々そんなふう思い出してやって下さい。そしてCOMICSでまかれた種が、次世代のMIMIZUKUやMACHI³⁵⁾で大きく花開くことを夢見ながらこのへんで筆を置きたい（タイピングをやめたい？）と思います（ページ数大幅オーバー…シツレイしました…）。

表3 すばる望遠鏡各装置の2018年までの論文数と、S17A期までの観測割り当て夜数から計算した1夜毎の論文数。

装置名	論文数	1夜毎論文数
Suprime-Cam	779	0.86
CISCO ²⁸⁾ /OHS ²⁹⁾	88	0.50
FOCAS ³⁰⁾	212	0.44
COMICS	76	0.44
HDS ³¹⁾	233	0.43
IRCS ³²⁾	204	0.40
MOIRCS ³³⁾	119	0.29
FMOS ³⁴⁾	50	0.27



図3 とある夜の観測部隊。左から山下卓也さん、宮田隆志さん、筆者、本田充彦さん、酒向重行さん、そして片坐宏一さんのある意味最強の面々（もちろん僕を除いて…）。(たぶん)2002年ごろ撮影。

^{*9)} 余談ですがすばると同等の8メートル級口径の望遠鏡において、いわゆる汎用の中間赤外線観測装置は絶滅危惧種となっています。例えばマウナケア山ではケック望遠鏡が2005年に早々とLWS²⁰⁾という観測装置を停止。2012年にはジェミニ望遠鏡がMichelle²¹⁾とT-ReCS²²⁾を停止しています。つまりCOMICSがマウナケア山では最後の生き残り…他では僕の知っているかぎり、まだ生きながらえているのはVISIR²³⁾（チリのVLT望遠鏡。標高約2,600 m）とCanari-Cam²⁴⁾装置（スペイン領カナリア諸島のGTC望遠鏡。標高約2,400 m）がありますが、前述のようにマウナケア山のほうが標高がはるかに高く、圧倒的に中間赤外線観測には有利です。

^{*10)} あくまでも割り当てられた夜（共同利用・インテンシブ・戦略枠・ハワイ大学・ケック・ジェミニ交換時間）の総数。ToO（突発天体観測）およびサーブス観測は含めていません。また、悪天候や望遠鏡・装置の不具合で観測できなかった夜もあったと思いますが、それらも計算に入れていません。Suprime-CamはS17A期をもって引退したので、他の装置もそこまでを足し合わせました。17年間にそれぞれの装置が観測できなかった夜数もそれなりに平均化されたのではないかと…基本的にはすばる望遠鏡がウェブで公開しているスケジュールページ (<https://www.naoj.org/cgi-bin/opcenter/schedule.cgi>)を参照しました。ただし、ひと晩のうちに複数の装置を使うことや試験観測との組み合わせなどもあるので、そのような細かい時間配分は内部の記録を参照しました。また、CIAO²⁶⁾が表3に含まれていないのは、途中でHi-CIAO²⁷⁾の論文も数えられ始めていて、わけわかんなくなっちゃったからです。ゴメンナサイ…

謝 辞

曲がりなりにも僕がCOMICSのサポートアストロノマーを続けていられるのは、COMICS装置グループの方々(図1, 図3)のご支援のおかげです。山頂からの突然の電話にいつも対応していただき(まあ電話はたいてい突然ですが…)、ありがとうございます。ここに深く感謝の意を表します。また、論文数やハワイ大学観測時間の集計などでは三鷹すばる室の吉田千枝さんとハワイ観測所Operation CentreのNoriko Rothさんにいろいろとお手伝いいただきました。ありがとうございました。

参考文献

- 1) Kataza, H., et al., 2000, *SPIE*, 4008, 1144
- 2) Miyata, T., et al., 2008, *SPIE*, 7014, 28
- 3) Kamizuka, T., et al., 2012, *SPIE*, 8446, 6
- 4) <http://www.ioa.s.u-tokyo.ac.jp/TAO/news/20180703/index.html> (2019,10,7)
- 5) 特集：中間赤外線の世界へようこそ，天文月報，2004，97，209
- 6) Rieke, G. H., et al., 2015, *PASP*, 127, 584
- 7) Low, F. J., et al., 2007, *ARA&A*, 45, 43
- 8) Low, F. J., & Rieke, G. H., 1974, *Methods of Exp. Phys.*, 12, 415
- 9) Cao, G., et al., 2007, *J. Clim.*, 20, 1145
- 10) 海部宣男，2000，天文月報，93，201
- 11) <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2002suba.prop...34D/abstract> (2019,10,7).
- 12) Deguchi, S., et al., 2005, *PASJ*, 57, 933
- 13) Okamoto, Y. K., et al., 2004, *Nature*, 431, 660
- 14) Sako, S., et al., 2005, *Nature*, 434, 995
- 15) Orton, G. S., et al., 2008, *Nature*, 453, 196
- 16) Sugita, S., et al., 2005, *Science*, 310, 274
- 17) Asmus, D., et al., 2014, *MNRAS*, 439, 1648
- 18) Maaskant, K. M., et al., 2013, *A&A*, 555, 64
- 19) Chiba, M., et al., 2005, *ApJ*, 627, 53
- 20) Jones, B., & Puetter, R. C., 1993, *SPIE*, 1946, 610
- 21) Glasse, A. C., & Atad-Ettdgui, E. I., 1993, *SPIE*, 1946, 629

- 22) Telesco, C. M., et al., 1998, *SPIE*, 3354, 534
- 23) Lagage, P. O., et al., 2004, *Messenger*, 117, 12
- 24) Telesco, C. M., et al., 2003, *SPIE*, 4841, 913
- 25) Miyazaki, S., et al., 2002, *PASJ*, 54, 833
- 26) Murakawa, K., et al., 2004, *PASJ*, 56, 509
- 27) Hodapp, K. W., et al., 2008, *SPIE*, 7014, 19
- 28) Motohara, K., et al., 2002, *PASJ*, 54, 315
- 29) Iwamuro, F., et al., 2001, *PASJ*, 53, 355
- 30) Kashikawa, N., et al., 2002, *PASJ*, 54, 819
- 31) Noguchi, K., et al., 2002, *PASJ*, 54, 855
- 32) Tokunaga, A. T., et al., 1998, *SPIE*, 3354, 512
- 33) Ichikawa, T., et al., 2006, *SPIE*, 6269, 16
- 34) Kimura, M., et al., 2010, *PASJ*, 62, 1135
- 35) Okamoto, Y. K., et al., 2010, *SPIE*, 7735, 5

COMICS: Observations and Results

Takuya FUJIYOSHI

Subaru Telescope, National Astronomical Observatory of Japan, 650 North A`ohoku Place, Hilo, Hawaii 96720, USA

Abstract: We summarise briefly the 20-year legacy of the soon-to-be decommissioned, Subaru Telescope facility mid-infrared camera and spectrometer COMICS, primarily from its operation (maintenance, observations, etc.) and accomplishment (publication record) viewpoints. Since opening its eyes towards the end of 1999, this (the year 2019), just as it is for the telescope itself, marks the 20th anniversary for COMICS. However, it was recently announced (at the Subaru Users' meeting held in 2019 January) that it is to be decommissioned in 2020 August. This article is at the same time a personal account of, and a tribute to and an appreciation for the instrument from, a support astronomer who has also spent almost 20 years looking after it.