

Suprime-Cam運用の思い出

仲田 史明

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

e-mail: nakata@naoj.org



Suprime-Camの観測データからは数多くの素晴らしい科学的成果が出されてきましたが、必ずしも安定して運用され続けてきたわけではなく、意外と装置トラブルに悩まされることの多い観測装置でもありました。特に2011年に起こりました冷却水漏れ事故は、Suprime-Camの観測装置生命を奪いかねない致命的な事故でしたが、多くの方々の支援により観測の一線に復帰させることができたことは、印象深い思い出として残っています。本稿では、Suprime-Camのサポートアストロノマーとして勤めてきた経験を基に、運用時の思い出を述べさせていただきます。

1. はじめに

ハワイ時間の2017年5月30日早朝、Suprime-Camがついに最後の観測を終えました¹⁾。この最後の観測には、Suprime-Camの開発責任者である法政大学の岡村定矩先生に、国立天文台三鷹キャンパスにあるリモート観測室から参加していただきました。ほかにも、Suprime-Camの開発メンバーであった国立天文台の宮崎聡さん、小宮山裕さん、古澤久徳さんに、日本からわざわざハワイのマウナケア山頂まで来ていただくなど、大勢の方に参加していただくことができました。当日は天候にも恵まれ、最後の天体として岡村先生にゆかりの天体であるNGC 7479を観測しました(図1)。Suprime-Camは1999年1月4日にファーストライトを迎えたので、18年間の長期間にわたり活躍してきたこととなりますが、非常によい最後を迎えられたと思います。

私は幸いにも、このすばる望遠鏡を代表する観測装置の一つであるSuprime-Camに開発期からかかわることができ、また、長年サポートアストロノマーとして科学運用にかかわることができました。この記事では、私の経験について簡単に述

べていこうと思います。

2. Suprime-Camの開発期

私が大学院に入学してまだ右も左もわからないような状態の時期に、Suprime-Camの開発にかかわらせていただくことになりました。このとき、私が担当させていただいた一番大きな仕事がCCDの高精度配置法の確立でした²⁾。Suprime-Camは10個のCCDを使用したカメラですが、その受光面を±15 μmの高精度に保って配置するにはどう

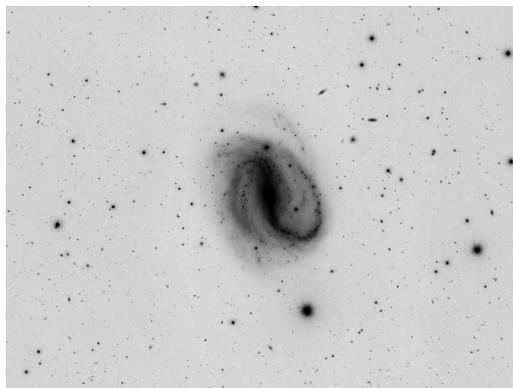


図1 Suprime-Camで最後に観測したNGC 7479の画像。ハワイ観測所の田中壺氏により画像処理された。©国立天文台ハワイ観測所。

したらいいかというもので、これはカメラを主焦点に取り付けることから生じた要求精度です。詳細は参考文献2)をご参照いただきたいのですが、これは、レーザー変位計による高精度な測定と、~5-300 μm の厚みを持つ金属箔を用いた注意深い CCDの高さ調整を行うことで実現しています。1999年にSuprime-Camが無事にファーストライトを迎えてからは、性能試験観測期間の夜間観測に立ち合わせていただき、撮像観測をするうえで必要な知識を学ばせていただきました。改めて調べてみると、ハワイ観測所へは1999年に5回、2000年に6回訪問していたようです。当時まだトラブルに悩まされることの多かった、望遠鏡やSuprime-Camの運用について懐かしく思い出されます。それでも2000年の後半からは共同利用観測が開始され、科学的成果が出始めています。私自身もSuprime-Camのデータを基に博士論文を書くことができました。この時期は、仕事をするうえで周囲の方々に非常にご迷惑をおかけしており、今考えても恐縮してしまうことが数多く思い返されます。それでもこのときの経験は、私のバックグラウンドを作るうえで貴重なものでありました。

3. サポートアストロノマーへの着任

そのような縁もありまして、2009年にそれまで長年Suprime-Camの科学運用を支えてくださいました、前任の小宮山裕さん、古澤久徳さんの後を継いでサポートアストロノマーとして着任することになりました。サポートアストロノマーの仕事を一言で説明すると、観測者の方々が良質な観測データを取得できるようにすること、ということになるでしょうか？ そのために行うべきことは、観測装置のメンテナンス作業などを含めれば広範にわたりますが、メインの業務と考えられていることは、観測の準備方法、観測データの取得方法、観測後のデータ解析方法などについて観測者とやりとりをし、実際の夜間観測においては必要な観測装置側の作業を行うことです。ある程度

長期間にわたる夜間観測に一晩中立ち会うこととなりますので、体力的にきつい面もあります。ただ、私については性能試験観測期の経験もありましたので、特別に大きな困難はなく仕事になじんでいくことができたと思います。Suprime-Camの観測のために世界中からハワイ観測所を訪れる天文学者の方々とお話しする機会にも恵まれ、私としては比較的楽しみながら仕事できていました。

4. 冷却水漏れ事故

それだけに2011年7月2日に起こった冷却水漏れ事故³⁾は、私にとっての転機になったように感じられます。後で述べますが、2012年にはこの事故からの復旧作業に加えて、Suprime-Camの後継機であるHyper Suprime-Cam (HSC)⁴⁾の受け入れ、立ち上げ作業が始まります。この事故以前から、サポートアストロノマーの仕事は忙しいと漠然と思っていたのですが、まだまだ甘かったと感じさせられることになりました。

この冷却水漏れ事故は、Suprime-Camカメラユニットの中に入れて使用する、主焦点補正光学系(PFU)とカメラユニットの間をつなぐ冷却水配管が切れてしまったことにより生じた事故です。これが起こったときは土曜日であったため、私は家でゆっくりしていたのですが、観測装置の異常を知らせるアラームが昼頃に鳴ったことで、何かトラブルが起きていることに気づきました。すでに望遠鏡部門のスタッフの皆様が、マウナケア山頂のすばる望遠鏡ドーム内で状況確認をされていたのですが、ご報告を受けて事の重大さに驚いたものです。

7月3日には私自身も山頂へ行き、Suprime-Camの望遠鏡からの取り外し作業と、カメラユニット本体の状況確認を行っています。冷却水をかぶっている様子はショックでしたが、一番大切なCCDが格納されているデュワー内部には冷却水が入り込んでいなかったことを確認しています。その後

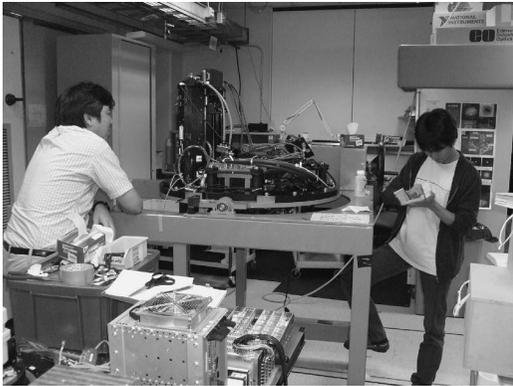


図2 Suprime-Camの分解作業中の写真。宮崎聡さん(左)と小宮山裕さん(右)が冷却水の跡をアルコールで丁寧に拭きながら作業を進めている。

11日にSuprime-Camをヒロ山麓施設に輸送し、13日には宮崎聡さんと小宮山裕さんにハワイに来ていただく、という迅速な対応をしていただきました。お二人に確認していただいたところ、CCDの読み出し回路をはじめとする主な電気回路へのダメージは深刻ではなさそうであると推測されました。それで、一度カメラユニットを分解して各部品を清掃してから組み立て直す、という方針を決めています。この分解作業は、9月2日に再度お二人にハワイに来ていただいて行っています(図2)。

より修理に時間がかかると思われるPFUについて、望遠鏡部門の皆様により1年後の2012年7月頃に修理が終了するとの予定が示されました。それで、Suprime-Camの修理日程もそれに合わせられることになりました。具体的な作業としては、装置部門の土井由行さんに、Suprime-Camの重要な動作部分であるフィルター交換機構(FEU)とシャッターの分解清掃と再組み立てと、その後の動作試験を行っていただいています。想定どおりと言いますか、やはりいくつかトラブルもありまして、作業が終了したのは2012年4月になってからであったと記憶しています。この後、FEU、シャッター以外の部品の組み立て作業と動作確認、

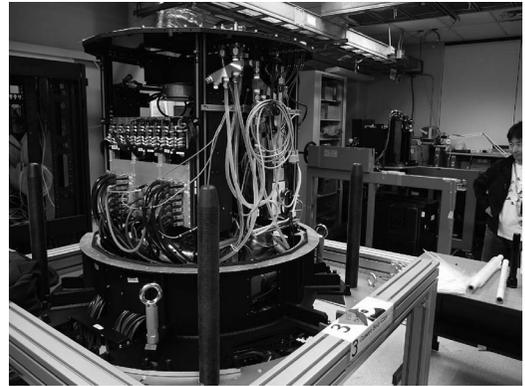


図3 2012年4月27日、広島大学の内海洋輔さんにより撮影。手前にハワイ観測所に到着したHSCが、奥にまだ再組み立てが終了していないSuprime-Camが写っている。私はどちらの作業に参加したらいいのでしょうか？

山頂への輸送、山頂環境での最終動作確認などの作業が必要になります。前述しましたが、2012年4月には次期観測装置であるHSCが三鷹の国立天文台からハワイ観測所に到着しています⁵⁾(図3)。Suprime-Camの作業には、特に小宮山さんのご助力をいただきましたかったのですが、HSCのほうが忙しくあまり多くの時間を割けないという事情もありましたし、私自身もHSCの受け入れ作業に参加していました。本当に7月までに復旧作業を終了できるのか不安であったのを覚えています。

当時の記録を見返したところ、5月の始め頃にネットワークや電源ケーブルの接続を恐る恐る行っていたようです。正常に配線ができたことを確認した後、冷凍機、イオンポンプ、CCDなどの動作試験をしました。この動作試験の過程でどれか一つでも故障していることが確認されたら、Suprime-Camの復旧は相当遅れていたはずですが、しかし、当時はそのような可能性を意識している余裕もなく、とにかく急いで作業をしていました。そして、ハワイ観測所の皆様にSuprime-Camの一通りの性能確認ができたことを報告し、2012年6月19日、約1年ぶりにSuprime-Camをマウナケア山頂へ戻すことができました。以後、観測再

開の準備のため、ほぼ毎日山頂に行って作業をしています。ちなみにHSCのカメラユニットは、Suprime-Camより一足早く6月1日に山頂に輸送しています。私自身もこの輸送作業に参加していましたが、当時はHSCの受け入れ作業に重点が置かれていまして、Suprime-Camの作業は私がひっそりとやっていたという感じです。また、望遠鏡部門の方々にお任せしていたPFUについてですが、当時のメールを読み返してみると、6月28日頃に山頂へ輸送し、動作試験などは7月5日以降に行っていたようです。Suprime-Camも結構ぎりぎりの日程での作業に感じていましたが、こちらもずいぶんぎりぎりの作業をされていたようです。

予定では7月12日に観測を開始することになっていましたが、いざSuprime-Camを望遠鏡に搭載したところ、ネットワークの接続に問題が起きました。このネットワークの問題は、Suprime-Camが復活した後もしばしば起こることになります。後から考えると、おそらくなのですが、PFU内部のネットワークケーブルに障害が出始めていたのではないかと思います。これも冷却水漏れ事故の影響かもしれません。観測装置を制御するためのコンピューターと、PFUを経由してSuprime-Camに通信するネットワークケーブルの経路には、予備のラインも用意されていました。結局このときは、この予備のラインを使用することでネットワーク接続を確保しました。それで、2012年7月15日について観測を再開することができました。いろいろありましたが、あれだけの事故からよく復活してくれたなどと思います。また、この後まもなくHSCのエンジニアリング・ファーストライトが2012年8月29日に行われています。1年ぶりに復活してくれたSuprime-Camですが、世代交代の準備もいよいよ本格的になってきた時期でもありました。

5. 復活後のSuprime-Cam

復活後のSuprime-Camは、冷却水漏れ事故の前に比べてやや不安定になったように思います。まず、Suprime-Camを望遠鏡に搭載したときのネットワーク接続が不安定になりました。復活直前の観測準備段階でも生じたトラブルですので、前節でも述べています。これについてですが、(1)望遠鏡搭載前の状態ではSuprime-Camとのネットワーク接続に問題が生じないこと、(2)HSCを望遠鏡に搭載したときにはネットワーク接続に問題は生じないことから、Suprime-Camを望遠鏡に搭載したときのみを使用する、PFU内部のネットワークケーブルに障害が起きたのではないかと推測されます。ただ、そうであったとしても修理は難しそうでした。接続に問題が生じるラインについては、予備のラインを使用して運用を続けることにしています。

FEUについてですが、復活直後には無事動いて大丈夫そうに見えましたが、やはりトラブルの頻度が高くなったように思います。冷却水漏れ事故の影響が徐々にでてきたのかもしれませんが、例えばDCDCコンバーターとシーケンサー^{*1}という二つの部品が壊れる、ということが起きています。これらの修理のため、何度かSuprime-Camをヒロ山麓施設に輸送して、大掛かりな修理を行う必要がありました。

FEU関係では、特に印象に強く残っている大きなトラブルが2014年1月5日に起こっています。この日は外気温が-11~-5℃と非常に低く、それでも晴天の日でした。観測室も非常に寒く、ジャケットを羽織りながら観測をしていたのを覚えています。この低温下の観測で観測装置の部品に金属収縮が起きたせいなのか、CCDデュワー前のシャッターが正常に開かないというトラブルがありました。このトラブル自体は無事に復旧させる

^{*1} あらかじめ決められたプログラムに従い、シーケンス（順番）どおりに機器を動作させるためのコントローラー。

ことができたのですが、その復旧作業中にFEUで使用しているエレベーターの位置を初期化しようとし、それが失敗しました。これは、やはり金属収縮のため、エレベーターが初期位置の基準として参照する、リミットスイッチ^{*2}があるところまで降りてくることができなかつたためです。実は2013年9月にシーケンサーのトラブルが生じた際、FEUの部品に曲がりが生じてしていました。そのときの対応で、リミットスイッチをエレベーターの動作限界まであまり余裕のない位置まで動かさなければならなかつたのです。シーケンサーが故障したのは冷却水漏れ事故の影響と考えられますので、このトラブルも事故の後遺症の一つと言えるかもしれません。位置の初期化に失敗した結果、FEUのエレベーターを動かすことができなくなりました。

結局、夜間に復旧させることはできず、翌1月6日日中に主焦点にあるSuprime-Camに直接アクセスしてエレベーターの位置の初期化をする、という作業をしています。これで、エレベーターを再度動かすことができるようになりました。しかし、その日の夜間観測中午前0時頃、フィルター交換に失敗しました。今度はエレベーターを動かすための駆動モーターが、ときどき脱調してしまうようになってしまったためです。その原因は不明ですが、低温状態で起きたトラブルでモーターにもダメージがあったのかもしれません。オペレーターに協力してもらい、再度主焦点のSuprime-Camに直接アクセスして復旧作業を行い、観測を再開できたのは明け方午前4時頃になってからでした。そのときの予定では、1月7日、8日の2日間もSuprime-Camで観測することになっていましたが、この残りの2日間はフィルター交

換をせずに観測をしていただくようお願いしてしのいでいます。

装置部門の土井由行さんにご相談させていただきましたが、これを修理するにはFEUを一度分解して、曲がった部品を作り直す必要があります。再組み立てをする際には微妙な調整作業も必要になります。それに加えて駆動モーターを交換することも必要になりますので、最低2カ月かかることが予想されました。しかし、向こう半年の観測スケジュールはすでに決まっていたので、修理のために十分な時間を割けそうにありません。それで、応急処置として(1)リミットスイッチ下方にスペースを作り、エレベーターの可動範囲を広げる、(2)駆動モーターへの負担を減少させるためエレベーターの移動速度を減少させる、という処置を行っています。観測計画を調整してもらい、FEUの本格的な修理ができたのは2014年9月から11月にかけてです。

また、オートガイダー^{*3}も冷却水漏れ事故の後に不安定になりました。PFUの底部についているオートガイダーは、冷却水をまともに被ってしまった部品になりますが、まもなくガイドカメラの前についているシャッターが動作しなくなるなど、徐々に動作が不安定になっていきました。結局、2016年にオートガイダーの修理を諦めることになり、これをきっかけに2017年5月をもってSuprime-Camの科学運用を停止することが決まりました。

6. 最後 に

一方で、2014年3月からはHSCの共同利用観測が始まっています。やはり最初の頃はさまざまなトラブルに悩まされましたが、私の実感として

^{*2} ある部品(今回の場合はエレベーター)が、特定の位置に到達したかを検知するためのセンサー。

^{*3} 望遠鏡で観測をする際、天体の軌道運動に伴い追尾する必要がある。これは通常コンピュータにより制御されるが誤差が生じる。そのため、特定の星を捉え、その星が同じ位置に撮像され続けるように制御することで、この追尾誤差を小さくする方法がある。これを実現するため、Suprime-Camでは外部に小型のカメラをもっているが、これをオートガイダーと呼んでいる。

は2015年初め頃には運用が安定してきたと思います。そうだとすると、2017年はHSCの運用が安定してから2年経過した年ということになります。Suprime-Camは、後継機であるHSCとの適度な重複期間を経て、ちょうどいい時期に引退させることができたのかもしれませんが。最後まで質の高い画像(図1)を取得できる性能を保ち、皆様に見送られながら引退できたSuprime-Camは幸せな観測装置だったのだと思います。私としても、長年かかわってきた観測装置の最後の瞬間を見ることができ、たいへん感慨深いものがありました。

私自身は、現在HSCの科学運用の改善について考える立場となっています。このHSCはサイエンス用のCCDとして、Suprime-Camの約10倍の104個が使用されており、Suprime-Cam以上の成果が出されることが期待されています。このHSCもSuprime-Camのように、最後の観測まで無事に観測データを取得し続けられる観測装置であってほしいと願っています。

謝 辞

Suprime-Camの運用にかかわっていただきました、すべての皆様に感謝いたします。また、本稿を執筆する機会を与えてくださいました小宮山裕さんに御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 当日の様子については、https://www.naoj.org/Topics/2017/06/15/j_index.htmlにプレスリリースされている
- 2) Nakata, F., et al., 2000, in *Optical Detectors for Astronomy II*, eds. Amico, P., & Beletic, J. W. (Kluwer Academic Publishers), 133
- 3) ハワイ観測所からの報告は、http://www.naoj.org/Announce/2011/07/04/j_index.htmlにある
- 4) Miyazaki, S., et al., 2017, PASJ, in press
- 5) 当時のHSC開発過程の様子は、<http://anela.mtk.nao.ac.jp/hscblog/builder/2012/04/>に詳しく載っている

Memories of Suprime-Cam Operation

Fumiaki NAKATA

Subaru Telescope, National Astronomical Observatory of Japan, 650 North A'ohoku Place, Hilo, HI 96720, U.S.A.

Abstract: While a lot of great scientific achievements have been produced by Suprime-Cam data, the operation of Suprime-Cam was not always stable. Actually, we experienced more various troubles in its operation than we initially imagined. In particular, when the coolant leak incident occurred in 2011, the damage to the instrument was so critical that we even thought about abandoning the recovery work. Therefore, it was really impressive to me that Suprime-Cam revived from this disaster thanks to tremendous efforts devoted by many people. In this article, I will describe some memories of Suprime-Cam operation based on the experience as a support astronomer of Suprime-Cam.