

OASIS の開発・すばるの観測装置開発

山下 卓也

〈国立天文台 岡山天体物理観測所 〒719-02 岡山県浅口郡鴨方町本庄 3037〉

若手奨励賞を受賞させていただき本当に有り難うございます。今回の受賞理由として天文学研究自身と装置開発の両方を挙げていただきましたが、私自身天文学が本来の目的で装置開発は天文学のための手段であります(当たり前ですが)。今回の装置も自分のやりたい天文学のために開発したものでありますが、共同利用装置として開発した装置のこれからの貢献を考えると、日本の天文学により大きな貢献となるのは装置開発の方ではないかと思っています。そこで、本稿では開発した装置とその初期成果の紹介、さらにはすばるに向けて天文台での装置開発の現状について日頃感じていることを述べさせていただきたいと思います。

1. オアシス

私が今手がけている装置は、国立天文台・岡山天体物理観測所の共同利用装置として開発している赤外線が多目的カメラで、オアシス(OASIS: Okayama Astrophysical System for Infrared Imaging and Spectroscopy の略)という愛称をつけて呼んでいます。日本ではこれまで天文研究者が地上望遠鏡で赤外線観測をするためには(赤外線天文学者のほとんどがそうであるように)自分達で装置を開発するか、海外の望遠鏡に応募するかしかなかったのですが、オアシスが公開できるようになると比較的容易に赤外観測が可能になるはずです。今、国立天文台及び光赤外分野ではハワイマウナケア山頂に口径8mのすばる望遠鏡を建設中ですが、この望遠鏡は赤外線観測に重点がおかれています。オアシスはその観測装置の開発に向けた経験の蓄積を行うと同時に、日本の赤外線の観測的研究のスタートを少しでも早くすることに貢献できる装置になればと思っています。

この装置は赤外の撮像と分光を目的とした装置で、現在日本で入手可能な赤外線検出器で高量子効率型のものの中では最も画素数が多い256×256素子のNICMOS3と呼ばれるものを用いて

います。計画のスタートは“NICMOS3が入手可能になりそうなので(それまでは開発に関係していたグループしか使えなかったが、商品として販売されることになった)、日本でもこの素子を使った汎用の赤外線装置を開発して岡山天体物理観測所の188cm望遠鏡の共同利用装置にしてはどうか”というアイデアが出されたことです。この話がでた頃には私はハワイ大学に在外研究員として滞在していたので詳しい事情は知りませんが、当時特にプロジェクトを持っていなかった(日本にいなかった)ので私が引き受けることになり、1991年5月に帰国して概念設計を始めました。

まだ日本では2次元の赤外検出素子を利用した装置が開発され始めて日が浅いので、赤外線天文学者といえども2次元赤外検出素子の使用経験が豊富なわけではありません。私も、2次元赤外線検出素子を用いた装置を開発するのは今回が初めてで、2次元検出器の読み出し関係部分の経験がなくこの部分が大きな関門になります。従って、複雑な装置にするとその他の開発要素も多くなって予想以上に時間がかかってしまう危険性があります。この点からは、比較的単純な撮像装置にするのが無難な選択でありました。しかし、この計画以降に岡山観測所で赤外線観測装置をつくる計画がなかったので、撮像装置だけでは天文学のひ

ろがりに欠けることとなります。また、世界を見渡すと分光装置も特に目新しいわけではありませんが、撮像装置はその何倍も作られているので、より価値のあるデータを取得するには分光機能は不可欠であると判断していました。そして何よりも私自身が赤外線分光をやりたいと思っていたので分光機能（グレーティングによる長スリット分光）を中心とした装置にしようと思ひました。

そしてその具体的設計をしていくうちに、コリメーターとカメラの間の平行光の部分にグレーティングやファブリペローエタロンを設置してやり、素子の出し入れやビームの切り替えを行えば少しの余分な労力で色々な機能が追加できることに気がきました。そこで、将来の拡張としてファブリペロー分光や偏光観測も行える設計とすることにしました。図1がシステムの本体部分のレイアウトです。ガイドアキュイジション系（天体の導入ガイドに使うカメラや校正用光源が内蔵されている）はオアシスのために作ったものですが、今後の188 cmのカセグレン装置にも使えるように考えて設計されています。オアシス本体はカメラ部分と前置光学系部分の二つの部分からなり、両方とも真空容器となっていて冷却できるようになっています。カメラ部分にはカメラやフィルター、グレーティング、リオストップなどの光学素

子と検出器が内蔵され、閉サイクルヘリウム冷凍機で冷却されます。前置光学系は、スリットホイール、コリメーターが設置され、将来は偏光装置、ファブリペローエタロンが内蔵できる設計になっています。

この設計のデメリットは拡張性のために当面は使わない空間があり装置全体が大きく重くなることです（そのために剛性も厳しくなる）。しかし、カセグレン焦点の現在の主力機器である新カセグレン分光器（～750 kg）と重量があまり違ふと機器交換時にバランスが取りにくいのでできるだけ重くしてほしいとの要望もあったので、渡りに船とこの設計を採用することにしました（オアシス本体の重量は約250 kg、ガイドアキュイジション系と合わせた重量は約550 kgです）。この設計により、共同利用装置として寿命の長いものになれるものと期待しています。

初めての2次元素子を用いた装置で無謀にもこのような設計としたのはもう一つの理由があります。これまでの赤外線観測装置では（最近でも多いのですが）スタッフ+大学院生の2人やあるいは事実上大学院生が1人か2人で開発を行っているのが一般的でした。しかし、装置を立ち上げるには簡単な装置でもかなりの労力を必要とするものなので、少し大型で複雑なものを例えば2倍の

労力をかけてきっちりと作った方が4倍あるいはそれ以上の能力や成果の出せる装置ができる

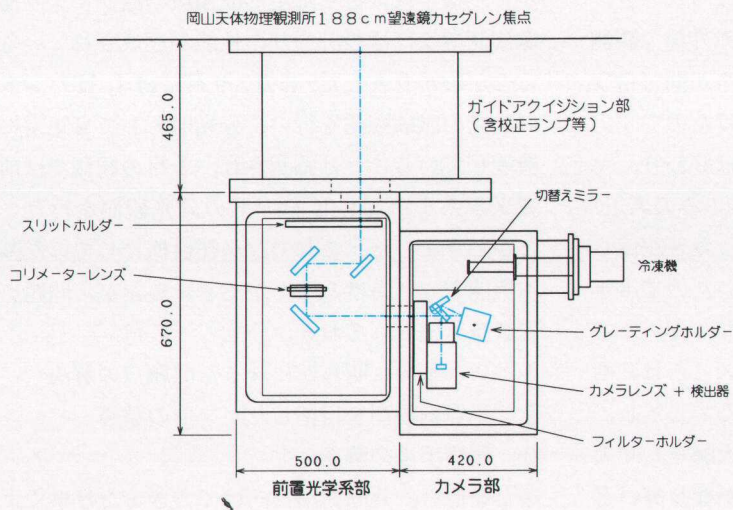


図1 オアシスのレイアウト。青線は光軸、青色の部品は光学素子を表す。

はずだと考えたのです。しかし、計画開始時点では私一人ですから大学院生が来てくれないければ「絵に書いた餅」になってしまいます。しかし、今では西原英治、奥村真一郎、森 淳の3人の大学院生が加わって4人のグループとなり、岡山観測所の渡辺悦二さんにも全面的に協力して頂いて、日本の地上の赤外線観測装置としては大人数で取りかかっています。そして、色々なトラブルや苦労はありましたが、今までのところは予定を大幅に遅れることもなく開発が進んでいて不気味なぐらいです。

2. シューメーカーレビー第9彗星の木星衝突の赤外線観測

さて、オアシスは約1年間の概念設計の期間の後、1992年度から3年間の国立天文台特別経費を主な財源として開発を行ってきました。その2年間で終了した1994年の4月にファーストライトに成功しましたが、この時点では検出器にはまだエンジニアリンググレード（最終的に使用するサイエンスグレードより素子の欠陥率が高いもの）を使っていました。そして、サイエンスグレードのNICMOS3を取り付けて初めての観測がシューメーカーレビー第9彗星の木星衝突現象でした。1993年の後半にシューメーカーレビー第9彗星が木星に衝突することが明らかになったとき、同じ国立天文台の渡部潤一さんから赤外線観測したいのだが今開発しているオアシスが間に合うなら使わせてくれないかと依頼を受けたのです。この段階ではカメラ部分の組立がほぼ終わり、マルチプレクサ(検出器の読み出し部分のみの素子)で読みだしテストを行っていた頃だったと記憶しています。この実験がうまく行っていたので半年もすれば撮像ぐらいはできるようになっているであろうと気楽にOKをしました。そのころは、衝突して何が見えるのか全く知りませんでしたし、これまでの天文のイベントのように大騒ぎして大したことにはならない可能性の方がかなり高いと

思っていました。また、私の本来の研究とは離れた分野であったので大いに興味を惹かれたわけでもなかったのですが、もし千年に一度の出来事を捉えることができれば好運だし、よい開発目標にもなるのだと思って引き受けたのですが、ご存知のように大騒ぎとなってしまいました。

オアシスの画像はピクセルスケールが粗い(日本の平均的シーイングに合わせてある)ので、外国の画像ほどインパクトはありませんでした。しかし、写野が広いために衛星が測光の基準に使えること、また前置光学系を冷却していなかったことで観測中に副鏡像の近く(本来フィルターのあるべき位置)でNDフィルターを抜き差ししてきたことから、飽和(赤外線が強すぎて測定できなくなる)していない貴重な光度曲線が得られました(この観測の詳しい報告は天文月報の特集(1995年1月号)に長谷川さんの記事が掲載されています)。このように、シューメーカーレビー第9彗星の木星衝突現象を丁度立ち上がったオアシスで捉えることができたのは本当に好運でした。

シューメーカーレビー第9彗星の木星衝突現象は幸いにして非常に明るくなったため、ノイズなどの感度に対する性能が達成されていなくても天文学的成果を出すことができたので、あまり装置の評価には適当な観測ではありませんでした。しかし、後半夜に行った星形成領域の観測により撮像観測ではほぼ設計通りの性能が達成されていることがわかりました。また、9月にはJ、Hバンドの分光の試験観測を行い、分光器としても正常に機能していることは確認され、1月の観測では前置光学系を冷却しKバンドの分光観測を行うことができました。これで、当初目標にしていた基本機能を立ちあげることができましたが、問題点も数多く残されており、

1. これまでに明らかになった問題点の解決
2. 半自動観測を目指したソフトの整備
3. 観測手法の確立

などを行い、共同利用に向けてできるだけ早くよ

い装置に仕上げて公開できるようにしたいと思っています。

3. 地上光赤外線天文学の装置開発

次に、国立天文台（地上光赤外線天文学）での装置開発に関して日頃考えていることを少し述べさせて下さい。前回の関口さんに引き続いて装置開発に関連して受賞させていただいたのは私個人にとってももちろん非常にありがたいことですが、これから良い装置を作って新しい天文学をやりたいと考えている若い人にもよい励みになると思います。国立天文台ではハワイに口径8mのすばる望遠鏡を建設中ですが、この望遠鏡の性能を発揮するにはそれに見合った観測装置が必要で、良い観測装置ができなければ宝の持ち腐れともなりかねません。もちろんこのことはすばる関係者や光学赤外線の研究者では共通の認識で、良い観測装置を開発することを奨励する雰囲気ができつつあると思います。もちろん、装置開発が重要視されすぎて本来の天文学が軽視されることは全く望むところではありませんが、このような雰囲気の中で装置開発も楽しくできる人が多く育ってくれば日本の天文学全体が良い方向に発展できるのではないかと考えています。

このように、装置開発の環境は少しずつ良い方向に向かっていると思いますが、現状での問題点も少なからずあります。一つは開発予算の問題です。オアシスは岡山天体物理観測所の校費を主な財源として開発を行ってきたので、使用上の制限（額ではない）が少なかったのですが、現在のすばる関連の装置開発予算は使いづらい種類のものとなっています。これは、すばる計画が始まった時点では(大)メーカーに一括発注して装置を製作することを想定して、天文台の研究者自身での装置開発を前提としていなかったためと聞いています。従って、装置開発の現場で必要な雑多な物品を入手するのに苦労しています。特に、現在はプロトタイプの開発や基礎実験の段階なので当初予

想されなかったものが突然必要になることが多く、物品のスムーズな入手ができないと開発が大きく遅れることになってしまうのです。この種の問題は研究者側からは単なる愚痴で、自身にはあまり責任がないと意識している問題ですが（本当は改善の努力をすべきなのは言うまでもありませんが）、以下のような開発の現場での悩みも数多くあります。

本稿の前半で、装置開発を1～2名の少人数で行うより、大人数（といっても4人程度）で1つの装置に取りかかって何倍も価値のある装置を開発の方が効率的であると述べました。このこと自身は間違ったことではないと思っていますが、次世代の観測天文学を担う大学院生（特により良い装置を開発して新しい天文学を発展させることのできる天文学者の卵）の教育を考えた場合この方針は必ずしも最善ではない場合があります。装置が小さくてごく少人数で開発を行っている場合は大学院生がその装置の事実上の責任を負っていることが多くなります。そうなると、装置開発に必要な技術・知識の全般が必要となる（このことも重要）ため、個々の技術分野での到達点が低くなるかもしれないし、修得に時間がかかって開発期間が長くなるかもしれませんが、自分自身で装置の立ち上げの全てを考え、システムとして完成させること（の難しさや重要性）が経験できるのです。これは、開発が遅れたりトラブルで観測に支障をきたすとすべてが自分の責任となるからです。逆に、比較的大きな装置を複数人で開発している場合は一部分を担当することで満足しがちな上に自分がシステム全体に対して気を配らなくても開発が進むので、責任感が希薄になりがちになります。そこでオアシスの開発ではなるべく大学院生の責任感にもとづいた自主的な行動を期待しているのですが、開発スケジュールを大幅に遅らせるわけにもいけないので、どうしても口出しをしてしまいます。この問題は個人の意識も大きく影響するので、個々のケースで必ずしも正しいと

は限りませんが、大学院教育の面からはシステムの問題として認識しなければならないことだと思っています。

また、すばるの観測装置のような大型で高性能な装置開発ではメーカーに頼る部分が大きくなるので、大学院教育という点ではより効果の少ないものになるのではないかと心配しています。概念設計や基礎設計の段階では大学院生の寄与は不可欠ですが、詳細設計や製造・組立はメーカーにまかせられる場合が多いので、上に述べたような経験や個々の要素技術の実際の開発の経験を積むことが難しくなると思われます。

すばるの観測装置では研究者の対応も容易ではありません。1つの観測装置を立ち上げるのは広範囲の技術を必要とし、そのどれ一つが欠けても信頼性のあるよい装置を作ることができません。欧米では天文台・研究所内でかなり技術陣の体制が整って装置開発全体をカバーできる所があります。国立天文台でもそれを目指してはいますが、まだ実現しているとは言えない状況にあります。そこで現在は、メーカーに一括発注するか、あるいは研究者個人（+大学院生）の能力と努力に依存して開発を行っていく、のいずれかが行われています。装置が小さいうちは大学院生の教育に良いこともあり後者が良い選択だと思えますが、大きなあるいは高性能な装置になればなるほど個々の技術も高度になり、小グループで開発できる限界を越えてしまうと思います。日本の現在の制度の中では欧米型をそっくり真似るのは不可能ですしその必要もないと思いますが、かといって、日本の現在の制度が前提としているように装置はメーカーから購入するものと割り切ってしまうと、やはり期待する装置はできないと思うのです。個々の技術ではメーカーに頼る部分は絶対に存在しますが、システム化の部分は天文学研究者が大幅に関与しないと実際に使いやすく多くの天文学的成果を生み出せる装置にならないと思います。今後すばるの装置のようなさらに大型で高精

度の装置を開発するに当たってどのような体制で望めば良いのか？メーカーと意志の疎通を積極的に行うぐらいで良い装置ができるのか？など、これからは装置を作ることに以上で開発体制をどう構築していくのかが大きな課題だと思っています。

最後になりましたが、オアシスの開発にあたって、すでにPICNICというNICMOS3を用いた赤外線観測装置を開発しておられた国立天文台の小林行泰さんにはNICMOS3の駆動・読みだしの経験を教えて頂き非常に心強いものでした。また、メシアを開発して供給して下さった国立天文台の関口真木さん、メシアのアナログとメモリ部分を赤外線装置用に置き換えたボードを設計し、赤外グループの共通の読みだし回路を開発してくれた東大理学部天文学教育研究センターの片坐宏一さんにも感謝しています。そして何よりも、私の（甘い）言葉を信じて（かどうかは知りませんが）、しばらくは観測もできないのにオアシスの開発に専念してくれた大学院生に御礼を述べたいと思います。

Development of OASIS and more

Takuya YAMASHITA

National Astronomical Observatory

Abstract: A common-use infrared instrument for the 188cm telescope at the Okayama Astrophysical Observatory is now under development. Brief descriptions are given for the instrument and how its specifications were fixed. Its first scientific results were obtained at the comet Shoemaker-Levy 9 impact on Jupiter. Several problems of which we should be aware concerning the instrument development and education of graduate students are also described.