

IRCSの運用と成果

高木 悠平

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

e-mail: takagi@naoj.org



近赤外線分光撮像装置 (Infrared Camera and Spectrograph; IRCS) は、すばる望遠鏡の共同利用初期より使用されており、近赤外線域での撮像・分光観測という基本的な観測から、補償光学装置 (AO) と組み合わせ得る高空間分解イメージに基づいた複雑な観測まで、さまざまな用途・分野で活躍してきました。ここでは、これまでの運用の様子と成果、また現在取り組まれている開発・改良などについてご紹介します。

1. はじめに

すばる望遠鏡の赤外ナスマス焦点にある近赤外線分光撮像装置 (Infrared Camera and Spectrograph; IRCS) は、 $0.9\text{--}5.6\ \mu\text{m}$ の範囲で撮像と分光 (低分散～高分散) ができる装置です。補償光学装置 (Adaptive Optics; AO) とともに運用することで、近赤外線域にて地球大気のゆらぎを補正し、すばるの回折限界の分解能 (0.07 秒角) を得ることができます。IRCSは2000年2月のファーストライト以来、すばるの主たる観測装置の一つとして活躍し続けています。

個人的な思い出ですが、私が初めて触れた観測データはIRCSのエシエルモードのデータでした。これは、分子雲に埋もれた減光の大きな若い天体に対して行った近赤外 K バンド高分散分光観測で得られたものでした。慣れない解析に四苦八苦しつつも、低質量星の進化過程に関連する研究成果を示せた喜びを今でもよく覚えています。それからおおよそ15年たち、すばるが20周年を迎える2019年にIRCSのサポートアストロノマーとなりました。サポートアストロノマーとしての経験はまだ半年ほどですが、上記のようなデータが取得された頃をはじめとした日々の開発・保守運用に

携わってこられた方々に敬意を表しつつ、近年のIRCSとAOの運用と実績について述べたいと思います。

2. 運用の歴史と近年の成果

IRCSによる観測夜数は、ファーストライトから2019年8月現在までで述べ982夜 (うち科学観測は772夜) になります。科学観測とエンジニアリングの夜数分布 (図1) は、IRCSの運用の歴史をよく表していると言えます。

2000年のIRCSファーストライトに続き、同年11月には36の可変形鏡をもつAO36²⁾ のファーストライトが行われ、近赤外 K バンドでは回折限界での観測に成功しました。2001年からは共同利用が開始されましたが、ほぼ同時期に、ノイズ軽減を目的としたAladdin-IIアレイからAladdin-IIIアレイへのアップグレード³⁾ や、観測効率向上のためにグリズムを入れ替えるなどの改良が施されました。さらには、近赤外 J, H バンドでも回折限界に到達することを目的とした、可変形鏡を188もつ新たなAO (AO188)^{4),5)} と、AOに必要な明るいガイド星がない領域でも高空間分解像を得るためのレーザーガイド星 (Laser Guide Star; LGS) システムの開発も始まりました。

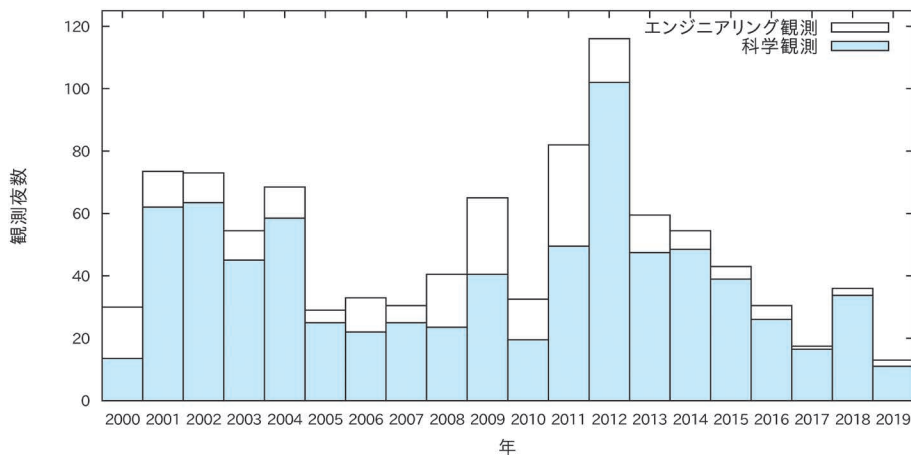


図1 IRCSの観測夜数. 2011-2012年頃に観測夜数が大幅に増大しました. 冷却水漏れ事故¹⁾による補填により2011年, 2012年とも10夜程度IRCSの観測が増えています, それを除いてもこの時期のIRCSの観測夜数は多かったと言えます.

これらのAOアップグレードに向けて, 当初カセグレン焦点に設置されていたIRCSは, 2005年にナスミス焦点へと引っ越すこととなります. AO188が完成し運用されるまでの数年間は, IRCSはしばらくAOなしで運用されました. この時期のIRCSの観測夜数がわずかに減ったような傾向が見られます.

2008年からは, 背景星を利用し大気ゆらぎを補正するAO188の自然ガイド星(Natural Guide Star; NGS)モードが共同利用に公開されました. また, 同時にレーザーガイド星を使用する観測モード(LGSモード)の公開に向けたエンジニアリング観測が増加しました. そして2011年からはLGSモードも共同利用に公開され, このころIRCSの研究観測夜数は大幅に増大しました. LGSモードでは低次元の波面補正を行うために, LGS以外にもティップティルトガイド星(TTGS)を使用します. そして, AO188+LGSはターゲットを中心とした2.7分角四方内にある星をTTGSとして使用することができます. これは他の望遠鏡のLGS AOシステムと比べても最大で, AOを利用した観測をすることができる天体が他の望遠鏡より多いということになります. このような

背景もあり, 観測夜数が増大したのだと考えられます.

IRCS+AO188の観測は, さまざまな分野で多くの研究成果を生んできました. 近年では, 大質量銀河の形態進化を明らかにするため, すばるの主焦点カメラ(Suprime-Cam)で得られた広域多波長深撮像データから選定された遠方銀河に対し, IRCS+AO188による高空間分解撮像観測

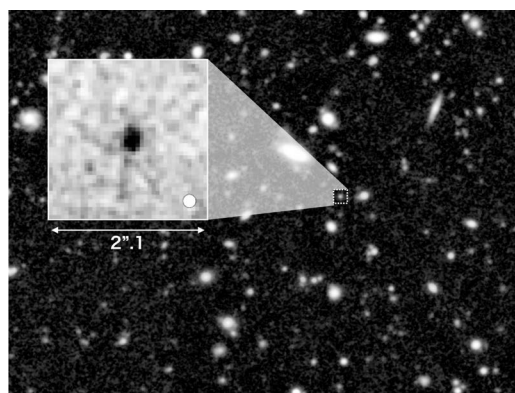


図2 Suprime-camで取られた深撮像データ(背景, 2×1.5 分角)と, IRCS+AO188で捉えた約120億年前の遠方銀河の高空間分解画像(2.1×2.1 秒角). IRCS画像右下の円はAOによる空間分解能を示しています⁶⁾.

が行われました(図2)。その結果、120億年前の大質量楕円銀河は、現在の宇宙にある同程度の質量の銀河に比べ非常にコンパクトであることが明らかになりました⁶⁾。遠方銀河の形態を探る上で、AOを用いた近赤外高空間分解撮像観測は非常に強力なツールです。特にLGSモードが公開されて以降は、銀河系外の観測成果の割合が増大していることから、その有用性がわかります。また、AOとエシエル分光器とを組み合わせれば、より効率的な高分散分光観測が可能です。分子雲による減光が大きい領域では、可視光での観測が非常に困難ですが、このような領域でもIRCSならば近赤外線の高分散スペクトルを得ることができます(図3)。このようなスペクトルを活用し、恒星の金属量などの物理量を詳細に調査する研究も積極的に行われています⁷⁻⁹⁾。

3. IRCSの今後

近年は、Hyper Suprime Camの観測などに押されてIRCSの観測夜数は減少してきていますが、装置の開発は積極的に行われています。2015年より、IRCSでの偏光観測を行うための開発や試験観測が行われています。IRCS+AOの偏光観測は、これまで赤外線高コントラスト撮像カメラ(HiCIAO)で積極的に行われてきた原始惑星系円盤の直接撮像観測が行えるだけでなく、IRCSの特徴であるL、Mバンド域を活用し、さらには撮像だけでなく分光観測も組み合わせることで、原始惑星系円盤の構造や物理的・化学的進化をより詳しく明らかにできると期待されています。また、直線偏光だけではなく円偏光モードの開発も進行しています。

これに加え、LGSモードに不可欠なレーザーのアップグレードが今まさに進行中です。大気ゆら

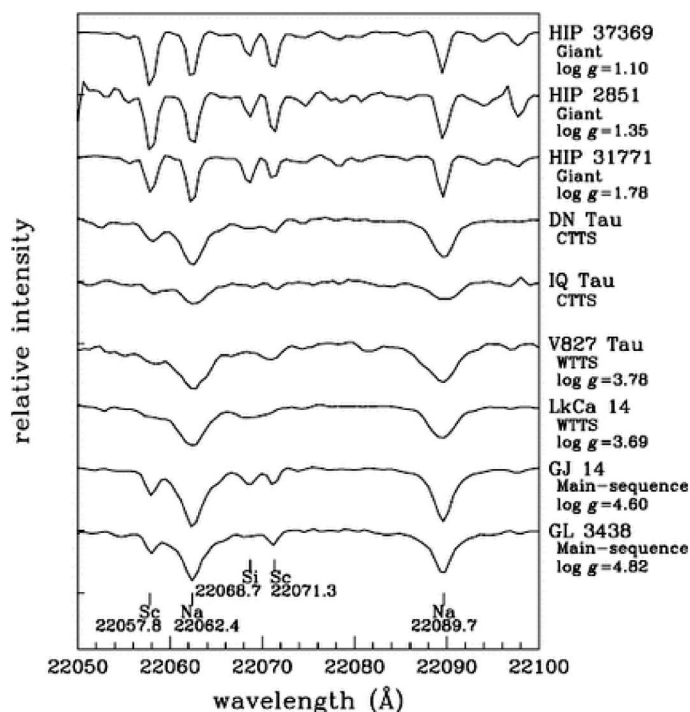


図3 近赤外線Kバンドの恒星スペクトルの例。近赤外線では若い星(図中のCTTS(古典的Tタウリ型星)、WTTS(弱輝線Tタウリ型星))のスペクトルも効率的に観測できる上、大気吸収線の深さ等を活用することでこれらの星の基本的な物理量を明らかにできます⁷⁾。

ぎの補正の良し悪しはAOに導入する光量に大きく依存します。LGS観測の場合、レーザーの明るさが非常に重要になりますが、近年すばるのレーザーは徐々に劣化してきていました。夜間観測中に外に出てみると、例えばKeckのレーザーは月明かりがある中でも容易に見つけられますが、すばるのレーザーは暗夜であっても見つけることが非常に困難でした。新調されるレーザーは、現在のものより出力が約10倍(2019年現在の劣化した状態と比較するとおおよそ50倍)となり、運用も単純化されるため、より効率的に観測することが可能になります。新しいLGSモードは2020年に使用可能になる予定です。

IRCSは運用開始からまもなく20年となり、最近では不具合も目立つようになりました。IRCS

は同じ仕様の検出器が撮像用と分光用にそれぞれ1つずつ搭載されていますが、この読み出し部の不具合が頻発しています。交換用も含めた各部品も劣化が進んでおり、正常な部品の数も不足しているため、現在は撮像側と分光側で同時に正常なデータを撮ることが困難になっています。このような不具合を解消しつつ、上記の偏光観測や新しいレーザーによる観測が始まったとき、2012年の再現とは行かないまでも観測夜数が増え、嬉しい悲鳴をあげながら観測に取り組む日々がくることを個人的に期待しています。

謝 辞

本稿の内容は、国立天文台の表泰秀氏、美濃和陽典氏、工藤智幸氏より頂いた多くの有益な情報に基づいています。

参考文献

- 1) Takami, H., et al., 2004, PASJ, 56, 225
- 2) Terada, H., et al., 2004, SPIE, 5492, 1542
- 3) Hayano, Y., et al., 2008, SPIE, 7015, 25
- 4) Hayano, Y., et al., 2010, SPIE, 7736, 21
- 5) 仲田史明, 2018, 天文月報, 111, 161
- 6) Kubo, M., et al., 2018, ApJ, 867, 1
- 7) Takagi, Y., et al., 2011, PASJ, 63, 677
- 8) Tsuji, T., & Nakajima, T., 2014, PASJ, 66, 98
- 9) Fukue, K., et al., 2015, ApJ, 812, 64

Operation and Progress of IRCS

Yuhei TAKAGI

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

Abstract: The Infrared Camera and Spectrograph (IRCS) mounted on the Subaru Telescope has been used for observations since the beginning of the Subaru operation. IRCS can conduct not only the basic near-infrared photometry and spectroscopy, but also detailed studies in various fields by combining with adaptive optics. In this article, the progress and future prospects of IRCS are presented.