

京都三次元分光器第2号機

—データキューブで探る銀河の活動性—

菅 井 肇

〈京都大学大学院理学研究科 〒606-8502 京都市左京区北白川追分町 京都大学理学部宇宙物理学教室〉

e-mail: sugai@kusastro.kyoto-u.ac.jp

私たち京都大学のグループは、面分光機能を含む多機能をもった可視光分光装置を開発してきました。2002年におけるハワイ大学の口径2.2メートル望遠鏡（6月の5晩）と国立天文台の8.2メートルすばる望遠鏡（8月の3晩）での試験観測の成功を経て、現在ではグループ外の研究者との共同研究も進んでいます。とくに面分光機能を取り入れていくことは現在の大望遠鏡時代の次にくるブレークスルーとして期待されています。ここでは、装置の原理の説明や完成までの経緯に加え、実際に得られた成果の中から、銀河スケールでとらえた激しい現象を紹介します。

1. はじめに

京都三次元分光器第2号機 (3DII)¹⁾³⁾ は欲張りな装置です。フィルターを用いた撮像、第2章で説明するスリット分光、といった標準的な機能を装備したうえで、さらに二つの特殊な機能もっています。一つはファブリペロ分光撮像機能です。2枚の平行反射面間の干渉条件を満たす色（波長）の光だけを選択して天体像を撮ることができます。反射面間の距離を自由に調整することにより、目的の波長に合わせた観測が行えます。もう一つが面分光機能です。読んで字のごとく、面全体を一度に分光してしまうのです。今回、すべてを限られた紙面の中でお話することは不可能なので、最後の面分光とは何かに集中してお話します。

ほかにも、欲張りな面がまだあります。いろいろな機能が含まれているにもかかわらず、本体はコンパクトです。150センチ×50センチ×70センチほどの大きさで、重さも150キロです。すばる望遠鏡についている標準的な装置は一辺2メー

ルの立方体で2トンというものなので、これらに比べるとずっと小さなものです。そのため比較的小さい2メートルクラスの望遠鏡にも取り付けることができます。2メートルクラスの場合は視野が広がるという利点があるので、それぞれの望遠鏡で特徴のある研究を行うことができます。

さらには、360ナノメートルという紫外線に近いところから、900ナノメートルという赤外線に近いところまで、可視光の波長領域全体に対応した光学系になっています。この欲張りな装置を用いて、観測環境の良いハワイ島マウナケア山頂（高さ4,200メートル）で、天の川銀河、近傍銀河から遠方銀河に至るまでの星や、星間にただようガスの物理状態・運動状態を調べています。

2. 分光で何がわかるか？

面分光とは何かということの前に、まず分光とは何かを述べます。プリズムのようなもの（分散素子と呼びます）を使って光を“七色”の虹（スペクトル）に分けて分析することです。色つまり波長に分けて分析すると何がわかるのでしょうか

か。大きく分けて二つあります。一つは、観測した天体がどんな元素をもっているか、そしてその元素はどんな物理状態にあるのか（例えば、紫外線を受けて電子がはぎとられているような激しい状態にあるなど）です。これは、水素、酸素、窒素などの各原子またはイオンがそれぞれ特有の波長の光を放射することによります。もう一つは、その観測天体の運動に関する情報です。光は音と同様にドップラー効果という現象を起こします。私たちに向かって近づいてくるものから放射される光は波長が縮められて少し青色側にずれます。遠ざかるもの場合は、逆に赤色側にずれます。

このようなずれを精度よく測定することによって、観測天体が私たちに近づく向きに動いているのか遠ざかる向きに動いているのかがわかるのです。天体の像を撮ることは、形がわかるので有効な観測手段ですが、それだけではそこでどんな現象が起きているのかわからないことがよくあります。分光によって、対象天体の元素組成、およびその物理状態、そして運動の様子がとらえられ、現象がよりよく見えてきます。

ただし、従来の分光観測では、スリットと呼ばれる直線状の狭い隙間を通して来た光しか分析できませんでした。面分光とは、そのような天体の

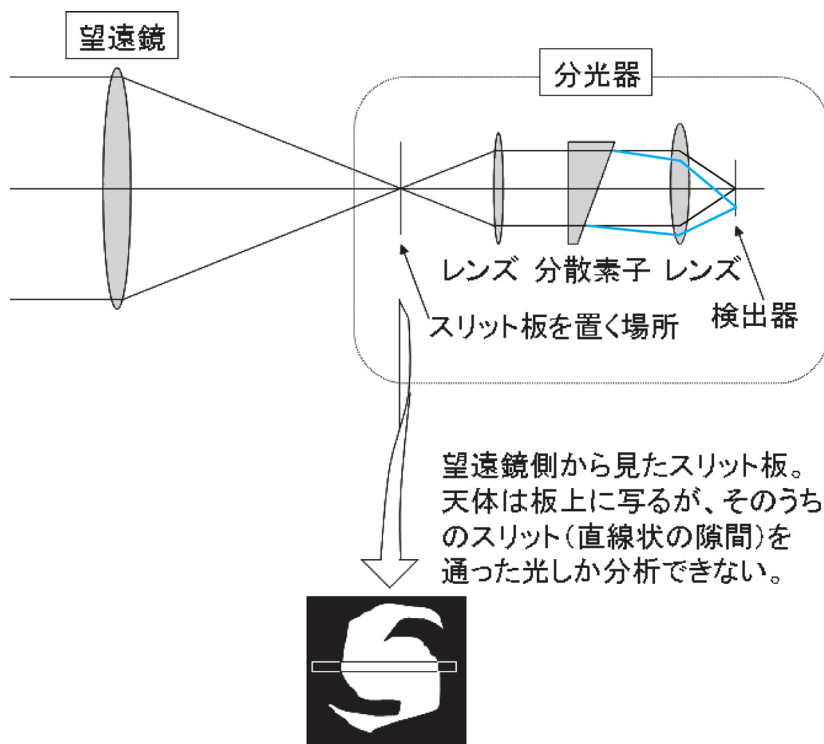


図1 スリット分光の概念図。左側から、天体のある1点から届く光線を追って描いています。平行光として届きますが、それを望遠鏡（実際には鏡である場合も多いですが、簡単化のためにレンズで代用して描いています）によって結像されます（光が1点に集まります）。標準的には、これを分光器の最初のレンズで一度平行な光線に戻して、最後のレンズで検出器に結像する前に、分散素子で波長に分けます。図の青い線は黒い線で描いたのとは別の波長の光の例です。波長の異なる光は検出器の上下に分かれて届きます。検出器の上下方向は波長を展開するのに使われてしまったため、天体の空間情報のために使用できるのは左右方向のみです（この図でいうと紙面こちら側向こう側の方向のみ）。その方向に沿って直線の隙間があるスリット板を分光器の入口に置きます。その隙間を通らなかった光はすべてブロックされて観測できません。

一部だけではなく面全体を一度に分光できるようにしたものです。まず、従来のスリット分光の原理を説明します。図1のように、天体からの光をいったん平行に戻して、そこに分散素子を入れることによってスリットを通過してきた光を波長に分けるのが一般的です。CCDなどの検出器の画素は面で広がっていますが、このうち1方向（例えば縦方向）は光を波長に展開することによって使えます。したがって、天体の空間的な広がりに対して使える方向はもう1方向（例えば横方向）しか残っていません。それで、直線状の狭い隙間を通過してきた光だけしか使うことができません。

3. レンズアレイを用いた面分光の原理

天体の全体が見えないこの窮屈さを、3DIIでは、虫の複眼のように多数の小さなレンズが密集したレンズアレイと呼ばれる光学素子を用いることにより克服しています。天体全体を小レンズで細かく分割することにより、それぞれの場所でのスペクトルを同時に得ることができます。図2と図3でその原理を簡単化して説明します。ま

ず、望遠鏡の焦点面、つまり天体の像ができるところにレンズアレイを置いて天体像を分割します。小レンズの働きによって、その焦点距離だけレンズアレイの後方に、望遠鏡開口面の形状（図1で大きなレンズで示したもの。普通は円）が縮小された像が現れます（図2）。この像を瞳像と呼びます。天体の像ではなく、瞳つまり望遠鏡がうつし出されたものが瞳像で、小レンズの数だけ現れます。天体の明るい場所を受けもった小レンズの後ろにはそれだけ明るい瞳像ができます。3DIIの場合、レンズアレイの2センチほど後ろに、0.05ミリほどの小さな瞳像が37個×37個、隙間をもって整列します。これらぼつぼつ（多瞳像）を、分光器の入口に配置すると、天体の各場所の光を瞳像がもっているのので、全体での分光が一度に得られるというしくみです。実際には各場所のスペクトルが重なり合わないよう、つまりスペクトルどうしが互いに隙間をぬって展開されるように、レンズアレイと分散素子の位置関係（光軸に対する回転角の差）を調整します（図3）。このような配置や分散素子などさまざまなものを自分たちの目的に合わせて最適なものに設計するのはとてもたいへんで根気と注意深さを要します。メ

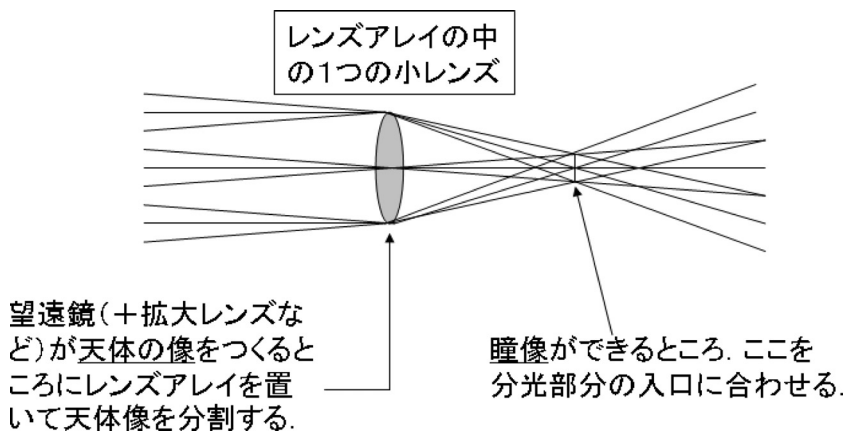


図2 レンズアレイを用いた面分光のポイント。図1のスリット分光と異なるところだけを描いています。また、この図では、天体の1点だけでなく、ほんの少しだけ離れたもう2点からの光線も参考までに追っています。小レンズが作った瞳像と呼ばれる光の円盤（真横から見たこの図では小さな縦の直線で表されている）が、通常の場合のスリットの位置にあたるように分光器を配置します。ただし、スリット板ははずします。

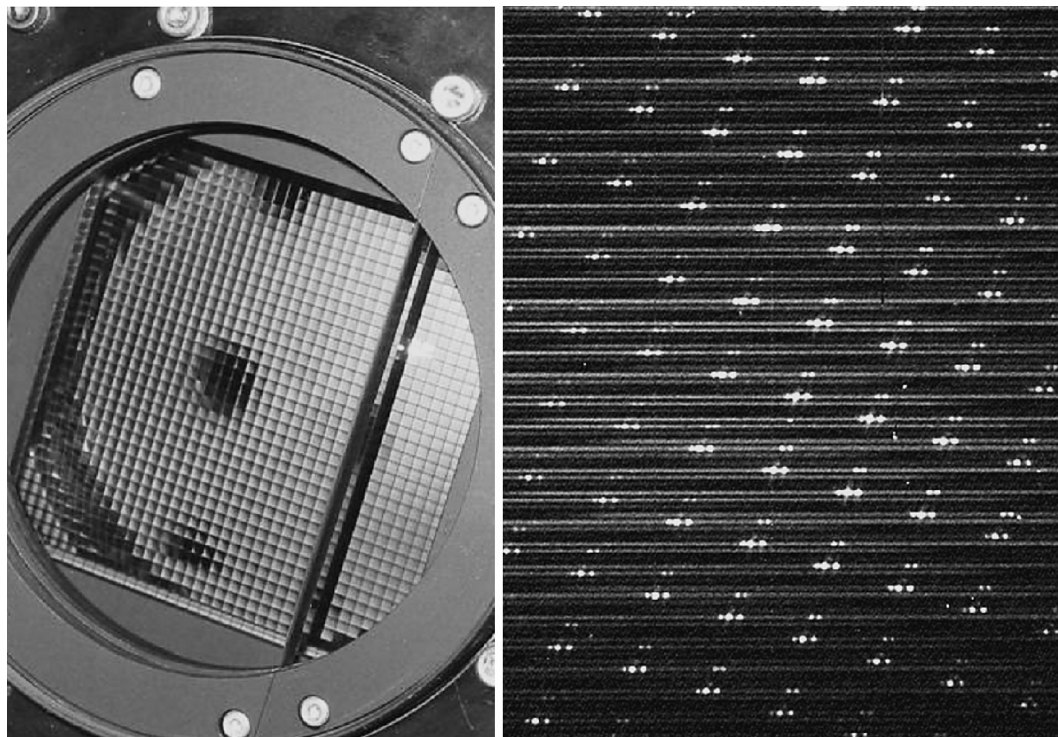


図3 左は実際に空間分割に使用されるレンズアレイ。私たちは、製作精度の面などから、クロスドシリンドリカルレンズアレイという新しいタイプのアレイを用いました。表側には1方向にシリンドー（円柱）状にレンズが並んでおり、裏にはそれとは直角の向きにシリンドー状のレンズが並んでいます。これら表と裏が組み合わされて、小レンズが格子状に並んでいるのと実質上同じ効果が得られます。今ではこのタイプのレンズアレイが他のグループによっても使われるようになってきています。なお、表と裏のシリンドーの曲率半径を異なる値にして収差を減らすアイディアも私たちのものでした。レンズアレイは大きく二つの領域に分けて使用しています。小さいほうの領域を天体の写っていない領域にあて、同時に取得した空の影響をきれいに取り除くという独創的な工夫がなされているためです。この方式も、他のグループによってもそのまま取り入れられたりしています。右は検出器上で得られるスペクトルの一部。各場所のスペクトルが重なり合わないよう、つまりスペクトルどうしが互いに隙間をぬって展開されるように、レンズアレイと分散素子が調整されています。

ンバーの林 忠史がそれを成し遂げました。佐々木 実もサポートしました。また、ポイントとなるレンズアレイは高精度で仕上がっていないと、スペクトルどうしに重なり合いができてしまい、高性能のデータは取得できません。このレンズアレイの評価・測定を石井元巳が行いました。例えば、1.540 ミリの小レンズ間の間隔が0.003 ミリ精度でできていることを確認したりしています。面分光で得られるデータは空間2次元（面）と波長1次元の情報をもつため、3次元データとか

データキューブとか呼ばれます。

4. 試験観測の成果

4.1 爆発的星形成による大規模な重元素増大の現場をとらえる

それでは、3DII 面分光機能を用いて実際に得られた成果を紹介します。まず、ハワイ大学2.2メートル（88インチ）望遠鏡（UH88）に搭載して得られた、NGC 6090 という天体の観測結果です。二つの銀河が重力的に影響を及ぼし合ってい

ます。それが原因となって発生した爆発的星形成により、星の内部で重元素（ヘリウムより重い元素）が合成され周辺の星間ガスへとばらまかれています（現場をとらえたものです⁹⁾。

銀河は誕生して以来、形の変化を含む力学的進化をしています。それと並んで銀河の進化を考えるうえで欠かせないのが化学進化です。星間ガスから恒星が誕生し、それら恒星からの風や超新星爆発を通してのガスのフィードバックによって、星間ガス中の重元素の割合が増加していきます。重元素は人間を作るうえでも大事なものです。銀河において、中心付近ほどこれら重元素の割合が大きいことが知られています^{6),7)}。しかし、恒星内部における重元素合成の理論や重元素放出機構が十分に解明されていないために、どれだけの時間スケールでどのような重元素が放射され、まき散らされていくのかはよくわかっていません。一方、観測的にも、数千光年という、銀河サイズに対して無視できないような大きな領域で重元素の割合が増加しているような現場を空間2次的にとらえることは難しいことでした。私たちは、NGC 6090 において、銀河中心からずれたところで爆発的な星形成が起きていること、そして、この活発な星形成が急激に重元素を増加させ

ているところをつきとめたのです。

図4左は、電離ガスの空間分布を表したものです。爆発的な星形成が起きますと、その中には高温高圧星がたくさん存在します。それらが放射する大量の紫外線が周りのガスを電離します。つまり、ガスの構成要素となっているさまざまな原子から電子がはぎ取られるのです。電離された水素原子つまり陽子に、電離ガス雲中を走っている電子がとらえられると、最終的に水素原子に独特の波長をもった光（水素輝線）が放射されます。したがって、黒で示した水素輝線の強いところは、星形成の激しい場所にあたるのです。左側の銀河ではこのような領域がS字型に目立ち、右側の銀河における、より弱い星形成の場もうっすらと見えています。左側の銀河では近赤外線での観測により銀河中心の位置が精度よくわかっています（図の白い×印）。星形成の激しい領域がこの銀河中心からずれているのがポイントです。もし、この爆発的星形成の場で重元素が急激に増加しているのであれば、もともと存在している中心ほど重元素の割合が大きいという傾向からは分離し浮き立ってその効果が見えるはずだからです。

重元素の割合を調べるために、私たちは同じデータの中から、酸素から放射される輝線を調べ

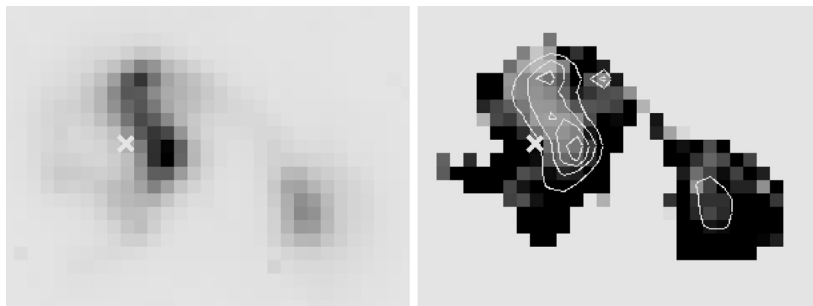


図4 NGC 6090 の面分光データから引き出された結果の一部。左図は、衝突しつつある2個の銀河（左と右下）について、電離ガスからの水素輝線放射の強さの分布を表しています。黒が最も強いところ。×印は左側の銀河について近赤外線観測ですでにわかっている銀河中心の位置。右図は、等高線が水素輝線放射の強さを表し、グレイスケールは酸素輝線の強さ（水素輝線に比べて、1階電離と2階電離の両方の酸素を含む）を表します。黒いほど酸素輝線が目立つところです。1小レンズ当たり0.4秒角（1度角の9千分の1）で800光年に当たります。

ました。これが、水素輝線に比べてどれだけ弱いか、重元素の割合の多さに対応しているからです。これは酸素輝線と水素輝線の放射機構の違いに起因しています。電離ガス雲中を走っている電子のうち勢いの良いのが酸素イオンに衝突して去っていくときに酸素イオンが励起され、酸素輝線が放射されます。勢いの良い電子が多い（電離ガスの温度が高い）ほど酸素輝線は強くなります。さて、重元素が多いとさまざまな種類のイオンがいろいろな波長で放射を行い、電離ガスが冷えてしまいます。したがって、重元素が多いところでは、酸素輝線が比較的弱くなります*1。

図4右を見ると、酸素輝線（水素輝線素に対する比）が弱いところが、図4左で見いだされた爆発的星形成領域に当たっていることがわかります。数千光年スケールで爆発的星形成が重元素を急激に増大させている現場をとらえたのです。紙面の都合上省略しますが、私たちは、爆発的星形成領域で窒素がとくに増加していることも見だし、それぞれの元素がどのような恒星・超新星によって供給されているのかを考察しました。

4.2 超巨大ブラックホールに伴う銀河風をとらえる

私たちは同じ装置を、口径8.2メートルすばる望遠鏡にも搭載し成果を上げています。より大きな望遠鏡（正確にはより長い焦点距離の望遠鏡）に取り付けるとその分視野が狭くなります。しかし一方で、すばるにおける大集光力はもちろんのこと、解像度の高さを活かした、現時点において究極の可視光面分光が行えます。すばる望遠鏡は、ドームの構造や風のドーム内への送り方を工夫しており、地上の望遠鏡として非常に優れた解像度を誇っているからです。NGC 1052 という銀河の中心に存在する超巨大ブラックホールに伴う銀河風（ガス噴出）の姿をとらえた成果⁹⁾を紹介

します。

最近の研究により、私たちの天の川銀河のような一見普通に見える銀河を含め、多くの銀河にはその中心に、太陽の百万倍から十億倍という質量をもった超巨大ブラックホールが存在することがわかってきています。これらの超巨大ブラックホールは、燃料がないときにはおとなしくしているのですが、他の銀河との相互作用などにより周りから燃料となるガスが供給されると、それが超巨大ブラックホールのごく付近まで円盤状に落ち込んできたときに生じる摩擦熱によって莫大な光度で光り始めたり、円盤付近から逆にガスが噴き出したりと激しい現象が発生し、にわかにもその存在を主張し始めます。このような活動性をもつものを活動銀河中心核と呼んでいます。

私たちは、活動銀河中心核の中でも非常に若い段階にあると考えられている NGC 1052 という銀河の中心部を世界最高性能の面分光画像でとらえました。この銀河は、私たちから6千万光年という比較的近傍に存在するため、活動銀河中心核付近の成長の様子を空間的に分解して観測できるチャンスを与えてくれたのです（図5）。観測の結果、超巨大ブラックホール周辺から双極円錐状に噴き出している銀河風がきれいにとらえられ（図6と図7）、さらに、それが周りに残っているガスと激しく衝突している現場をもとらえることができました。銀河風ガスのなかには毎秒千キロメートルを超える非常に高速で動いているものもあることがわかりました。銀河風の円錐軸に近いほど高速に噴き出しているというような、銀河風の中の構造までもが明らかになったのです。活動銀河中心核成長の初期段階の貴重な観測となりました。

銀河風⁹⁾は、銀河内から外へとガスを吹き飛ばします。銀河本体のその後の星形成にも影響を与

*1 詳細を言うと、重元素が非常に少ない場合には、冷却の効果よりも、酸素自体が増える効果が卓越し、重元素が増えるほど酸素輝線が強くなります。NGC 6090 においてはそのような非常に少ない重元素という状況が当てはまらないことは、他の輝線を用いた診断で明らかにしました。

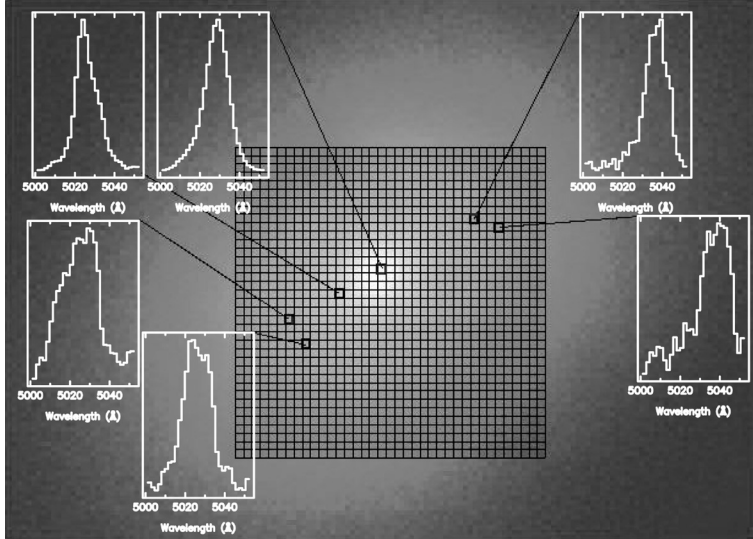


図5 NGC 1052 の面分光観測による、ガスの運動の測定。すばる望遠鏡によって作られる楕円銀河 NGC1052 の像を、3DII のレンズアレイ上に置くことにより面分光観測を行いました。白い四角で囲んだグラフは、そのうちの6カ所（6個の小レンズ）の分光データを示したもので、酸素輝線の波長と強さを示しています。実際にはこの20倍の波長範囲が観測されており、さまざまな元素からの輝線が見られますが、ここでは簡単化のために限られた波長範囲だけを示しています。このグラフの形が酸素ガスの運動状態を表しています。場所によって、輝線のピーク波長や形が異なっています。

えるなど、銀河の進化を決めていく重要な要素になります。元素の形成史やそのばらまき方にも影響を及ぼすことになります。このような重要性にもかかわらず、銀河風の観測は簡単なものではありませんでした。銀河風が淡いからです。最近の大望遠鏡による集光力と工夫された装置により、初めてその全容を明らかにする機会が訪れつつあるのです。銀河風は、爆発的な星の集団形成に伴うものと、銀河中心に存在すると考えられている超巨大ブラックホールの活動に伴うものとに大別されますが、その中でも起源に、より謎が多いとされる後者をとらえたものです。

5. 裏 話

5.1 3DII をハワイに送る前の時期

さて、UH88 でもすばるでもそれぞれの特長を活かした成果が得られてきていますが、このような成果が予感できたのは、2000年5月と2001年

1月に国立天文台三鷹の口径1.5メートル赤外シミュレーター望遠鏡を用いての試験に成功¹⁰⁾したときでした。このときの主目的は、望遠鏡や装置の姿勢が変化するとき生じる検出器上の像の位置ずれが小さいことを確認することでした。2メートルクラスの望遠鏡にも搭載できるようにとの厳しい重量制限のもと、有限要素法での強度計算を駆使した服部 堯の筐体設計どおりの安定性が確認できました。また、天体データの取得にも成功しました。この試験観測では、三鷹にいる方々とくに田中培生さんにお世話になりました。

ちなみに、結局私たちとほぼ同時期に立ち上がることになるライバルのジェミニ望遠鏡用面分光ユニット¹¹⁾は、この頃まだ、実験室での試験段階にありました。この後、すばるの持ち込み装置受け入れ制度ができ、3DII が審査を受けている間も、とにかく早く搭載したいと気ははやりました。もちろん、全く何も作業をせずに待っていた

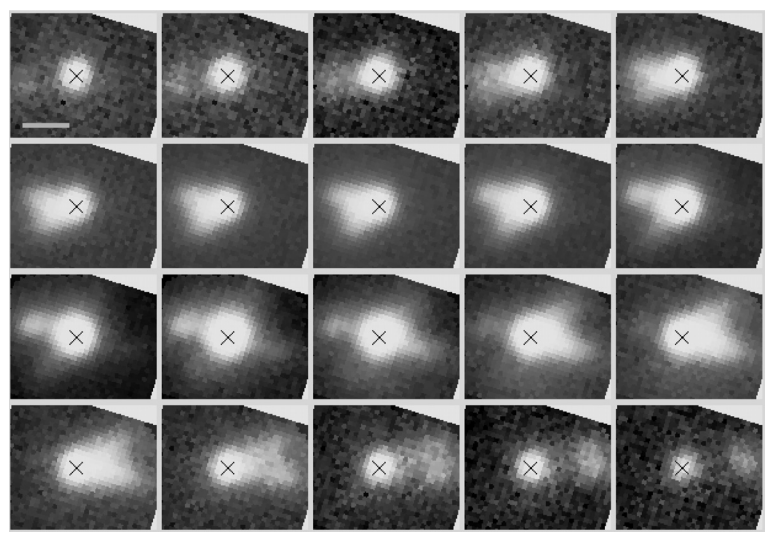


図6 NGC 1052 の活動銀河中心核からのガスの流れ。 レンズアレイによって一度に取得したデータ (図5) を、各小レンズについて解析したものを速度ごとにまとめて示しました。 私たちに向かってくる向きに高速に動いているガスの空間分布 (左上の画像) から、私たちから遠ざかる向きに高速に動いているガスの空間分布 (右下の画像) までを速度順に毎秒 100 キロメートルきざみで並べたもの。 速度は、ガス中の電離酸素からの緑色の輝線へのドブラー効果を測定 (図5) することにより得ています。 各画像の×印で示したところに超巨大ブラックホールが存在していると考えられており、そのごく近傍から噴き出る銀河風の存在が読み取れます (図7参照)。 一番左上の画像に示した横棒の長さが1秒角で 300 光年に当たります。 この図では、北が上になるように像を回転してあります。

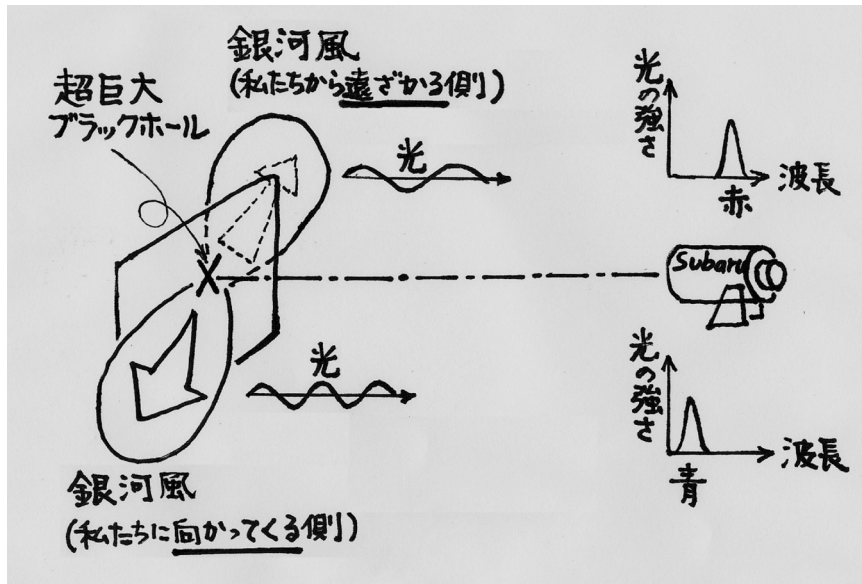


図7 図6から読み取れる銀河風の構造。 超巨大ブラックホール付近から噴き出す双極的な流れの軸は傾いていると考えられます。 私たちから遠ざかるガスからすばる望遠鏡へ向けて放射される光はドブラー効果により少し長い波長側 (赤色側) にずれます。 逆に私たちに向かってくるガスからすばるへ向けて放射される光は少し短い波長側 (青色側) にずれます。

わけではありません。すばるに搭載するための、ハードウェア・ソフトウェアのインターフェイスを完璧にしました。すばるに搭載するためには、装置を動かす場合にもすばる側から指令を発行して（すばるオペレーティングシステム）それを3DII側が受け取って実行するというように操作を一体化したものにしないとけません。このための「すばるインターフェイス」作製、および3DII側の制御ソフトの改造を、小杉城治、服部、河合篤史が中心になって行いました。ハード的には、すばるの自走台車に載せれば望遠鏡への自動脱着ができるように、汎用コンテナの作製を国立天文台の湯谷正美さん、山口達二郎さんで行いました。コンテナには断熱材でできた外壁も付け、なかには冷却水を利用した熱交換器を2台配置し、コンテナの外への排熱を抑えました。このコンテナは、他の持ち込み装置でも、アダプターさえ作れば使えるよう設計されています。

5.2 試験観測時、およびその後の様子

UH88でもすばるでも試験観測は成功しましたが、その直前の準備中などいろいろなことがありました。UH88での立ち上げでてこずったことは、常備してあるトランシーバが3DIIの検出器に異常を起こすことでした。おかしくなればなるほど、検出器の近くで、制御室へ、今度はどうだ、と連絡を取ります。この悪循環に気づき、トランシーバーを使わないということで一件落ち着きました。後でわかったのですが、東北大学の線スペクトル偏光分光装置グループの方々も同じことで苦勞したそうです。UH88では現所長の西村徹郎さんは言うまでもなく、デイクルーの方々にもたいへんお世話になっています。試験観測当時所長だった Andrew Pickles さんの協力も迫力のあるものでした。

すばるに関しては、国立天文台ハワイ・三鷹のたいへん多くの方々に多方面にわたり（運送・管

理や経済的なサポートも含め）お世話になっています。この限られた枚数ではとても名前を挙げきれないのが残念です。試験観測時の写真がwwwにあるのでご覧下さい*2。

すばるでの観測は、複雑な手続きを経ているわりには、すばるオペレーティングシステムとの一体化によりスムーズに進んでいます。例えば、天体が視野にちょうどよく入っているかを確認する際にも、分散をかけていない多瞳像（ぼつぼつの望遠鏡像）を数秒で取得・再合成して確認するのですが、微調整が必要な場合でも、その再合成した像の上をクリックするだけで、望みの場所に望遠鏡が動きます。なお、解析ソフトについては、河合らがかなり自動化を進めました。観測中、天体データが撮れてしばらくすると、いつのまにか輝線画像や速度の空間分布の図をモニターに表示し、にこにこしていることがよくあります。

6. さいごに

すばるのような大口径望遠鏡に搭載されている可視光面分光装置は、ジェミニ望遠鏡（英国・カナダ・米国など）、VLT望遠鏡（ヨーロッパ南天天文台）のもの¹²⁾があり、3DIIを含めたい同時期に立ち上がりました。それぞれが特徴を活かした成果を上げつつあります。グループの規模でいうとたいへん小さい私たちですが、今回紹介した、純粋に幾何光学的な多瞳分光を採用するなど個性を発揮しています。ジェミニとVLTでは、光ファイバーで疑似スリットを作って分光する方式を採っています。ファイバーは光を自由に持ち運びできて手軽な気がしますが、一方で、私たちの採用している方式は精度・安定性で有利な面があるなど、一長一短があります。また、3DIIが短波長まで対応できる光学設計になっているのは武山芸英のがんばりによりです。いろいろな特徴をもった面分光がしのぎをけずるとというのが望まし

*2 <http://www.kusastro.kyoto-u.ac.jp/~sugai/uh88/uh88.html> と <http://www.kusastro.kyoto-u.ac.jp/~sugai/subaru/subaru.html>

い姿なのではないでしょうか。

京大 3D グループは、面分光の有用性を強く認識し、すばる望遠鏡等に搭載するための装置を目指し、プロトタイプとして大谷 浩が中心となり 1 号機¹³⁾を開発し国内望遠鏡で経験を積みました¹⁴⁾⁻¹⁷⁾。このときのメンバーとして前村浩之、青木賢太郎らが含まれます。これを原型として、飛躍的に性能と精度の高い 2 号機の開発に進んだのです。例えば、図 3 で紹介した空の影響の取り除き方も 1 号機でのアイデア¹⁸⁾を引き継いでいます。尾崎忍夫は 3DII でも心臓部と言える検出器を担当しました。3DI で石垣 剛が立ち上げたファブリペロ分光撮像機能については、8メートル以上の望遠鏡としては断突で最も早く立ち上がっています。高性能の面分光が可能であることを証明できた今、今度は 8メートル望遠鏡でのファブリペロの威力をも示すべき時期にきています。なお、3DII の新しい力として、下農淳司、沖田容史子、須藤 淳の貢献に大きなものがあります。

参考文献

- 1) Sugai H., et al., 2004, Proc. SPIE 5492, 651
- 2) Sugai H., et al., 2000, Proc. SPIE 4008, 558
- 3) Sugai H., et al., 1998, Proc. SPIE 3355, 665
- 4) Bacon R., et al., 1995, A&AS 113, 347
- 5) Sugai H., et al., 2004, ApJ 615, L89
- 6) Kennicutt R. C., Bresolin F., Garnett, D. R., 2003, ApJ 591, 801
- 7) Considère S., et al., 2000, A&A 356, 89
- 8) Sugai H., et al., 2005, ApJ 629, 131

- 9) Veilleux S., Cecil G., Bland-Hawthorn J., 2005, ARA& A, 43, 769
- 10) Sugai H., et al., 2002, ASPC Proc. 282, 433
- 11) Allington-Smith J., et al., 2002, PASP 114, 892
- 12) Prieto E., et al., 2000, Proc. SPIE 4008, 510
- 13) Ohtani H., et al., 1998, Proc. SPIE 3355, 750
- 14) Ishigaki T., et al., 2004, PASJ 56, 723
- 15) Hattori T., et al., 2004, AJ 127, 736
- 16) Hattori T., et al., 2002, PASJ 54, 393
- 17) Ishigaki T., et al., 2000, PASJ 52, 185
- 18) Ohtani H., et al., 1994, Proc. SPIE 2198, 229

The Kyoto Tridimensional Spectrograph II —Revealing Galactic Activities with Data Cubes—

Hajime SUGAI
Department of Astronomy, Kyoto University,
Kitashirakawa, Sakyo-ku, Kyoto 606-8502, Japan

Abstract: We have developed the Kyoto tri-dimensional spectrograph II, a multimode optical spectrograph that includes an integral field spectrograph (IFS) mode. We have succeeded in test observations on the University of Hawaii 88-inch Telescope as well as on the Subaru Telescope. Although it is not a common user instrument, we have been carrying out some collaborative research programs with non-members. I describe our lenslet-type IFS and processes required for mounting it on the telescopes. Some results from successful test observations are shown.