

## 論文の内容の要旨

論文題目 COMICS: A Cooled Mid-Infrared Camera and Spectrometer for the Subaru Telescope and Mid-Infrared Observations of Ultracompact HII Regions

(すばる望遠鏡用中間赤外分光撮像装置の開発 および超コンパクト HII 領域の中間赤外線観測)

氏 名 岡本 美子

波長数～数十マイクロンの中間赤外線は、減光の影響を受けにくく、数百 K 程度の物質からの放射に敏感であるため、星形成領域など塵に覆われた活動的な領域の観測に適している。また、多様な固体物質からのバンド放射・吸収が存在し、それらのスペクトル形状は固体物質の種類、組成、構造、粒径等によって変化するため、宇宙空間の固体物質の物性や進化をさぐるのに非常に適している。しかし、この波長での観測的研究は、高い背景放射と検出器技術の遅れのために他波長に比べて大きく立ち後れていた。近年 8m 級望遠鏡の建設が進み、高感度の大フォーマットアレイ検出器の開発が進んだため、より高感度・高効率の観測が可能になった。そこで我々は、より高性能の中間赤外線観測の実現を目指し、国立天文台がハワイ島マウナケア山頂に建設した 8.2m の大型光学赤外線望遠鏡「すばる」の第一期専用観測装置の一つとして中間赤外線分光撮像装置 (Cooled Mid-Infrared Camera and Spectrometer、通称 COMICS) を開発した。

COMICS は、中間赤外線域にある二つの大気窓である N バンド (8-13 ミクロン) と Q バンド (16-25 ミクロン) での撮像と分光を行う装置である。N バンドでの観測に最適化し、8.2m の回折限界を達成できるよう撮像で 0.13 角度秒、分光で 0.165 角度秒のピクセルスケールを有する。撮像系は 42 角度秒×32 角度秒の視野を有し、分光時にはスリットビューワーとして機能する。分光系は、N バンドでの低分散 ( $R\sim 250$ )、中分散 ( $R\sim 2500$ )、高分散 ( $R\sim 10000$ ) の分光と Q バンドでの中分散 ( $R\sim 2500$ ) 分光の各モードを持つ。検出器は量子効率の高い SBRC 社製の Si:As 320x240 IBC 型検出器を採用、撮像・分光で異なる検出器を使用し、特に分光では効率良くバンド全域のスペクトルを取得できるよう、計 5 個の検出器を波長方向に並べて使用する設計である。

COMICS は 1999 年 12 月にすばる望遠鏡に取り付けての初観測に成功した。現在までに 3 個の検出器を搭載して試験観測を行い、2000 年 7 月までに N バンドでの撮像と

低分散分光について実現性能と問題点をほぼ確認した。その結果、空間分解能については、点源撮像で 0.30 角度秒 (於  $11.7\mu\text{m}$ )、分光でも 0.28 角度秒 (於  $10\mu\text{m}$ ) の半値全幅を実現した。低分散分光の波長分解能は、10.5 ミクロンで  $R=240$  を達成している。1 秒積分で  $1\sigma$  を実現する点源天体の明るさは、撮像において、N バンドの幅約 1 ミクロンのフィルターを用いた場合、30–70 mJy、低分散分光では、200–800 mJy であった。これらの性能は、現在利用できる中間赤外線観測装置の中でもトップクラスの値を実現しており、今後の中間赤外線観測に活躍することが期待される。

この COMICS と、COMICS のプロトタイプ装置である MICS とを活用し、超コンパクト HII 領域の中間赤外線観測を行った。

大質量星は、星間物質や銀河そのものの進化に重要な役割を果たす。その高い放射光度、大量の紫外線放射、激しい星風等を通じ、周囲の分子雲の熱、電離、乱流、運動、化学反応などに大きな影響を与え、最期には超新星爆発を起こして内部で生成した重元素を星間に放出し、その莫大なエネルギー放出によって次の星形成のきっかけとなることもある。生まれたばかりの大質量星は高密度の分子雲残骸に覆われており、自身の紫外線でこれら高密度ガスを電離し、超コンパクト HII 領域を形成する。この天体はやがて高い内圧によって膨張し、より大きな HII 領域へと成長する。すなわち、超コンパクト HII 領域は誕生した大質量星が周辺物質と相互作用を始めた段階にあり、大質量星の形成過程とそれが周辺に及ぼす影響を考える上で重要な天体である。

本論文では超コンパクト HII 領域の電離状態と、その内部の物質分布を調べるため 2 つの観測を行った。超コンパクト HII 領域の電離星は周囲の濃いダスト雲によって光球放射がほとんど吸収されてしまい直接観測が難しい。そのスペクトル型は従来、領域の電波総強度や、遠赤外線光度から、電離星が単一星もしくはある質量分布を持つ集団であると仮定して推定されてきた。これに対し、異なる電離エネルギーを持つ重元素イオンの微細構造線を観測することで、電離領域の紫外線放射場の色の情報を得られ、電離星のスペクトル型を決めることができると期待される。中間赤外線域にはこの方法に好都合な微細構造線 [NeII] 12.8 ミクロン、[ArIII] 8.99 ミクロン、[SIV] 10.5 ミクロンが存在する。それぞれのイオンの形成に必要な電離エネルギーは 21.56 eV, 27.63 eV, 34.83 eV で、より早期型の電離星に感度が高い。また、超コンパクト HII 領域のスペクトルには 9.7 ミクロン付近にシリケートダストによる吸収がしばしば観測される。これを利用して、領域内の温かいダストと冷たいダストの分布や、温度構造について知ることができる。

まず第一の観測として、超コンパクト HII 領域を 2 つ含む大質量星形成領域 W51IRS2 を、COMICS のプロトタイプ装置である MICS を用いて N バンドでの撮像および長スリット低分散分光で観測した。W51IRS2 の N バンドスペクトルには、ダスト熱連続放射、シリケート吸収、[NeII]、[ArIII]、[SIV] の 3 つの微細構造輝線が検出された。スペクトルから各空間位置での減光を求め、減光補正した 3 輝線のマップを再現、連続波撮像とあわせて、7 つの中間赤外線源線が存在することを明らかにした。

これらの赤外線源を電波連続波源や近赤外線源と比較し、7 赤外線源のうち 4 つは独立した超コンパクト HII 領域、1 つはシリケート吸収の非常に深い埋もれた天体と同定した。このうち超コンパクト HII 領域については、電離星のスペクトル型を見積もるために、各領域で積分した 3 輝線の強度を求め、横軸に [NeII] 強度に対する [ArIII] の強度の比、縦軸に [NeII] 強度に対する [SIV] の強度の比をとった強度比図を作成しプロットした (図)。これを、他文献で同輝線の観測がなされている他の (超) コンパクト HII 領

域の強度比と比較すると、W51 IRS2 中の超コンパクト HII 領域は中程度の電離状態にあることがわかった。また最近の電離領域モデルから予想される強度比とも比較を行った。このモデルは、最近提案された非局所熱平衡と星風の影響を考慮した恒星大気モデルを基に、一定密度のガス中で単一の大質量主系列星が形成する HII 領域において、Ne, Ar, S その他の元素が各々どのようなイオン状態にどのくらいの割合で存在するかを予想したものである。この比較の結果、W51 IRS2 中の超コンパクト HII 領域の輝線強度比はおよそ O9V 相当で、これまでの電波による推定値 (O5.5 および O7.5) に比べてかなり晩期になっている。

また同図からは、(超)コンパクト HII 領域の輝線強度比が図上で一つの直線にのることが明らかになった。これは、領域の密度、銀河中心からの距離、減光などとの相関はなく、電離星の温度に対応した系列であると考えられる。一方で、この観測系列がモデル予想の系列とかなり異なっており、この原因として恒星大気モデルによる大質量星の紫外線スペクトル予想が現実のものとは異なっている可能性と、超コンパクト HII 領域の電離星が単一ではなくクラスターをなしている可能性が考えられる。

上述の輝線強度比図でプロットされた W51 IRS2 以外の HII 領域は、数角度秒程度のアパーチャで観測されており、W51 IRS2 のように個別に分解された HII 領域を見出せた場合にやはり同じ系列にのるかについては、検証を要する。また、もし大質量星クラスターが超コンパクト HII 領域の電離源であるなら、個々のメンバー星はより高い空間分解能で観測することで分離される可能性があると考え、第二の観測として、COMICS とすばる望遠鏡による K3-50A 超コンパクト HII 領域の N バンド観測を行った。

K3-50A は、O5.5 主系列星 1 個相当の電波連続波強度を持つ。この領域を N バンド 4 色撮像し、長スリット低分散分光によって、連続波の強い中心領域の大半を観測した。そのスペクトルには、ダストからの熱放射による連続波、シリケートダストによる吸収、[NeII], [SIV], [ArIII] の 3 つの輝線が検出された。スペクトルから放射ダスト量、温度、吸収の光学的厚さの分布を求め、減光補正した輝線マップを再現した。この結果、5 つの輝線放射ピークとアーク構造を見出した。これらの個々の構造が独立した大質量星に対応するのかについて、輝線強度比・放射ダスト温度の空間分布、近赤外線点源の分布から考察し、この領域には少なくとも 2 つの大質量星が存在するが、うち 1 つはさらに複数の大質量星に対応する可能性もあることを指摘した。領域を二つに分離した場合の輝線強度比は、いずれも観測的輝線強度比系列にのり、うち 1 つは O8-O9V、もう 1 つは O9-B0V の星に電離されている場合のモデル輝線強度比に最も近かった。これは、電波で見積もられているスペクトル型に比べかなり晩期であるため、ここで分解された二つの電離領域がさらに複数の大質量星によって形成されている可能性がある。

Figure 1: 超コンパクト HII 領域における  $[\text{ArIII}]8.99\mu\text{m}$ ,  $[\text{SIV}]10.51\mu\text{m}$ ,  $[\text{NeII}]12.81\mu\text{m}$  の輝線強度比図。▲が W51IRS2 の、●が K3-50A の今回分離された各ソースでの強度比を示す。○、◎、△、および星型△は、文献から得た、他の(超)コンパクト HII 領域の輝線強度比で、うち、星型△は  $I([\text{SIV}])/I([\text{NeII}])$  が上限値しか求まっていない領域、△は  $I([\text{ArIII}])/I([\text{NeII}])$ 、 $I([\text{SIV}])/I([\text{NeII}])$  とともに上限値しか求まっていない領域である。実線をつないでいる■は、モデル計算による単一主系列電離星の作る超コンパクト HII 領域について予想される輝線強度比で、電離星の有効温度、対応質量、スペクトル型が図中に示してある。この図から観測は明らかに一つの系列をなしているのが読み取れるが、その系列がモデル予想からかなりずれていることも示している。

