

学 位 審 査 報 告 書

(ふ り が な) 氏 名	しもの あつし 下 農 淳 司
学 位 (専 攻 分 野)	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	理 博 第 号
学 位 授 与 の 日 付	平 成 年 月 日
学 位 授 与 の 要 件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研 究 科 ・ 専 攻	理 学 研 究 科 物 理 学 ・ 宇 宙 物 理 学 専 攻
(学 位 論 文 題 目) A Study of Three Dimensional Kinematics of the Narrow Line Region of the Seyfert Galaxy NGC4151 based on Integral Field Spectroscopy. (セ イ フ ェ ー ト 銀 河 NGC4151 の 狭 輝 線 領 域 の 面 分 光 に よ る 三 次 元 的 運 動 の 研 究)	
論 文 調 査 委 員	(主 査) 太 田 耕 司 教 授 岩 室 史 英 准 教 授 嶺 重 慎 教 授

京都大学	博士（理学）	氏名	下農 淳司
論文題目	A Study of Three Dimensional Kinematics of the Narrow Line Region of the Seyfert Galaxy NGC4151 based on Integral Field Spectroscopy.		
(論文内容の要旨)			
銀河の重要な構成要素として、銀河中心に形成される超巨大ブラックホールの存在がある。この超巨大ブラックホールにガスが燃料として供給されている場合、その重力エネルギーが最終的には輻射のエネルギーに変換されて明るく光る。これを活動銀河核と呼ぶ。こうして放射された紫外線やX線は、周囲にあるガスを電離し、輝線放射領域を形成する。輝線領域は観測される輝線幅をもとに広輝線領域と狭輝線領域に分類される。広輝線領域は1光年規模の非常にコンパクトな領域に限られて存在しており、対照的に、狭輝線領域は千光年規模の広い空間領域にわたって存在している。つまり、狭輝線領域は、超巨大ブラックホールを宿している母銀河が広い範囲にわたって活動銀河核からの輻射等の影響を受けている領域なのであり、活動銀河核と母銀河との関連を理解する上で重要な領域である。にもかかわらず狭輝線領域の実体はまだよくわかっていない。申請者は、近傍の、つまり構造の詳細観測に適した活動銀河核を持つ銀河 NGC 4151 について、面分光観測という手法を活かし、また空間三次元のモデルとの比較を行うことにより、狭輝線放射領域における電離ガスの三次元的運動状態を解き、この放射領域の実体を明らかにした。 NGC4151 の狭輝線領域において、輝線強度が大きく、他の輝線との波長方向の混ざり合いもなく、もっとも調べやすい2階電離酸素からの輝線は、複数の成分を持つことが知られている。主な成分は銀河回転に従うものとする考え方 (Winge et al. 1999) や、全ての成分が中心からのアウトフローに乗った物質とする考え方 (Crenshaw et al. 2000) などが提案されており、基本的な運動状態や成因について決着がついていなかった。 申請者は、可視光多機能分光器である京都三次元分光器第2号機の面分光モードによって得た、空間二次元・波長一次元のスペクトルデータキューブを用い、2階電離酸素輝線をはじめとし、1階電離窒素輝線、電離水素再結合輝線、1階電離硫黄輝線などの各輝線についてモデル解析を行った。そのために、まず狭輝線の中でもさらに、比較的 broad な成分(以下 broad 成分と呼ぶ)と比較的 narrow な成分(narrow 成分と呼ぶ)に分けることができることを見出し、narrow 成分が狭輝線領域全体にわたって分布するのに対し、broad 成分がより中心付近に集中して分布することを明らかにした。そして、narrow 成分について銀河円盤回転の速度場の、broad 成分については中心からの双極コーン状に広がるアウトフローによるスペクトルの、それぞれのモデルでの当てはめを試みた。 その結果、narrow 成分全体に対する銀河円盤回転モデル当てはめでは、すべての輝線について似たパラメータが最適となり、これらの輝線は、同じ銀河円盤回転に従うガスから放射されていると結論付けた。また、中心核から南西5秒角より外側で、すべての輝線において似た大きな残差がみられた。この領域は、過去のスリット分光観測で急激な物理状態の変化が指摘されている部分 (Robinson et al. 1994) に相当し、何らかの異なるコンポーネントであると考えた。これを除外した領域に			

について銀河円盤回転モデル当てはめを行ったところ、残差の平均二乗偏差がレンズレット（各空間要素）ごとの観測の相対波長決定精度と同程度と、よくモデルに当てはめられた。求めた回転円盤の主軸の方向について、過去の観測による、銀河全体での中性水素 21cm 線での方向や、5～20 秒角の範囲での方向と比較すると、銀河の内側ほど北から東回りに回転するようなねじれが見られた。また、1 階電離硫黄の輝線比から求めた narrow 成分の電子密度分布について、中心半径 2 秒角以内では中心から北東 0.6 秒角の位置が最も高密度となる非均一性を示し、これは銀河円盤上のガス雲の落ち込みによるものである可能性も考えられる。

一方、broad 成分に対しては、銀河中心核から一定速度で双極コーン状にアウトフローするガスからの輝線によるモデルへの当てはめを行った結果、軸が天球面上で北から東回りに 60 度、視線方向から 30 度、そして半開き角が 35 度の中が詰まった双極コーンのモデルが最もよくあった。この天球面上での軸方向は、電波ジェットの方ではなく、2 階電離酸素輝線の広がった方向に近い。また、視線方向は双極コーンの内側外縁部に含まれ、銀河中心核を電離ガスを通して見ているといえる。

以上、申請者は、NGC 4151 狭輝線領域について、面分光観測を利用しモデルとの比較を行うことにより、NGC 4151 の中心付近においても銀河円盤の回転運動によく従うガスが存在し、かつ回転円盤状のガスと中心核からアウトフローを行うようなガスの両方が存在することを明らかにした。

(論文審査の結果の要旨)

ほとんどの銀河がその中心に超巨大ブラックホールを持つ可能性が有力視されてきているが、それを宿している母銀河に対する直接的な影響としては、重力的にはそれほど広い範囲に及ばない。この論文における対象となっている狭輝線領域は、超巨大ブラックホールごく周辺から放射される電離光子や流れ出る物質流の影響を広い範囲にわたって受けている領域であり、超巨大ブラックホールからの母銀河へのフィードバックという観点から重要な領域となっている。観測される角度によって見える場合と見えない場合があるような広輝線領域に比べ、空間的に広がっており私たちからの視線上にそれを隠すものがほとんど無い狭輝線領域における輝線強度は、活動銀河核が私たちの視線に対して隠されているかどうかを問わず、その活動銀河核の放射エネルギーの大きさの指標として使われるという重要性もある。

これらの重要性と実用性にもかかわらず、この狭輝線領域の実体はわかっていなかった。狭輝線領域が物理的に単一の領域ではなさそうであることが原因となっている。したがって、従来のスリット分光により、空間一次元（つまり1本の線状の空間領域）における速度分布を測定するだけでは、複雑な構造なのに情報が少なすぎて狭輝線領域を理解するのは難しかったのである。これを申請者は、面分光という自ら開発にたずさわった装置で克服したことに意義がある。視野は小さいが狭輝線領域を充分覆うような空間二次元つまり面に対しての分光を行える装置だ。これにより狭輝線領域全体の速度構造が観測でき、理解が進んだのである。

情報が得られても一見複雑そうな面分光情報をいかに分析して現象の理解につなげるかはもうひとつの壁である。これについても、申請者の比較的 narrow な成分と broad な成分に分離して定量的な議論を進めるという着眼点が独創的で、この分野の定量的研究を推し進めるための鍵になると考えられる。実際、申請者は、narrow 成分は銀河円盤回転をしているガスであり、broad 成分は広い開き角を持ったアウトフローであることをつきとめたのである。

狭輝線領域の面分光観測は、ここ数カ月のタイムスケールでさかんに行われるようになってきており、とくに大望遠鏡での観測例が多い。申請論文は、2メートルという中小口径望遠鏡で行った観測をもとにした研究であるにもかかわらず、面分光を用いた研究の先駆けとなったわけである。分析方法にしても、申請者の成したような定量的な研究はまだ進んでおらず、これについても、申請論文は、道を開くための大きな可能性を持った手法を提供している。他の研究では、恒星の運動が銀河回転に乗っていると仮定し、電離ガスにおける速度場から恒星の速度場を算術的に差し引いてみることにより、アウトフローらしき速度場ずれが検出されるかどうかを見ているなどの定性的なレベルにとどまっている。

申請者の果敢な姿勢も評価できる。ハッブル宇宙望遠鏡という桁違いに空間分解能の良い観測をもとにしたモデルに対して、それが空間二次元を調べたものではなかった弱点を指摘し、対抗するモデルで果敢に挑戦した論文となっている。ごく最近、近赤外線観測ではあるが、大望遠鏡による補償光学を用いた面分光も行われるようになった結果、申請者のモデルを支持するような結果が得られつつある。

以上の通り、本論文は博士（理学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成22年1月18日論文内容とそれに関連した口頭試問を行った。その結果合格と認めた。

