

(第 6 号様式)

## 学位論文審査の結果の要旨

氏 名	登 口 暁
審査委員	主査 長尾 透 副査 鍛冶澤 賢 副査 松岡 良樹

### 論 文 名

Optical properties of infrared-bright dust-obscured galaxies and discovery of blue-excess dust-obscured galaxies

### 審査結果の要旨

本学位論文は、巨大ブラックホール成長と銀河進化の関係を明らかにするために、塵に覆われた銀河に注目し、そうした銀河の中心部でどのように巨大ブラックホールが成長しているかを、測光学的および分光学的な手法により研究した成果をとりまとめたものである。

一般に大質量銀河の中心部には、太陽の数百万倍から数十億倍もの質量を持つ巨大なブラックホールが存在する。しかし、巨大ブラックホールがどのように莫大な質量を獲得したか、また巨大ブラックホールの成長が自身を宿す母銀河の成長と物理的にどう関連しているか、といった基本的な理解は未だ得られていない。理論的には、銀河同士の合体が生じた場合にガスが圧縮されて爆発的な星形成活動が生じ、その際に角運動量を失ったガスの一部が巨大ブラックホールに降着することで巨大ブラックホールが質量を獲得する、というシナリオが提唱されている。このプロセスは大量の塵に覆われた状態で進行すると予想されていて、プロセスの途上にあるこうした塵に覆われた銀河は塵の熱放射により赤外線では明るくなる一方、塵による減光効果により可視光で暗くなると考えられる。それゆえ従来の観測的研究では塵に覆われた銀河の系統的探査が困難であったために、塵に覆われた銀河の統計的性質の調査はこれまで進んでいなかった。

そこで本研究では、赤外線では明るく可視光で暗い銀河を系統的に探査するため、国立天文台すばる望遠鏡で2014年に運用が開始された超広視野可視光カメラHSCによる広域可視光撮像サーベイに着目した。探査領域の広さと検出感度の高さを兼ね備えたHSCサーベイで得られたデータと、NASAの赤外線観測衛星WISEによる中間赤外線全天撮像サーベイのデータを組み合わせることで、約100平方度の探査領域内に571個の赤外線では明るく可視光で暗い塵に覆われた銀河を発見した。得られたサンプルの可視光帯での色を調査したところ、塵の減光効果で非常に赤い色を示すはずという直感的

予想とは異なり、天体ごとに多様な色を示すことが分かった。また、この可視光帯の色と、可視光から中間赤外線までのスペクトルエネルギー分布 (SED) との関係性を調べたところ、星形成活動が支配的な SED を示す銀河では可視光帯の色が赤い一方で、巨大ブラックホールの活動が支配的な SED を示す銀河では可視光帯の色が青いことが分かった。このことは、塵に覆われた銀河において星形成活動が活発になった後で巨大ブラックホールの質量成長が進行し、その結果として巨大ブラックホールの活動により生じる外向きの放射圧が塵を吹き払う、という理論シナリオを観測的に支持するものである。この理論シナリオの妥当性を示すことができた点が、本博士論文の第一の成果である。

また、発見した塵に覆われた銀河のサンプルを更に精査することで、塵に覆われた銀河としては例外的に極めて青い色を可視光帯で示す天体を 8 個発見した。こうした銀河は、塵に覆われている期間の最終段階に対応する銀河である可能性が考えられるため興味深い。そこでこうした銀河の詳細な性質を解明するため、すばる望遠鏡および欧州南天天文台 (ESO) の VLT 望遠鏡を用いて可視分光観測を行い、可視光帯で極めて青い色を示す 4 個の塵に覆われた銀河のスペクトルを取得した。このスペクトルの解析により、4 個全ての銀河のスペクトルに速度幅が  $2000 \text{ km/s}$  を超す輝線が検出された。このような高速運動を行う輝線放射領域は巨大ブラックホールの近傍 1 光年以内にしか存在しないため、これら 4 個の銀河では中心核が塵に隠されず見えていることになる。また、検出された輝線の速度プロファイルを調査すると、ピークの短波長側の放射強度が長波長側よりも強いという非対称性が見られた。この非対称性は、巨大ブラックホール周辺から外側に向かってガスのアウトフローが生じていることを示す。更に、可視光スペクトルと可視光から中間赤外線までの SED の情報を使って、これら 4 個の銀河の巨大ブラックホールの質量を見積もると、太陽質量の約 5 億倍から 20 億倍程度であることが分かった。この程度の巨大ブラックホールで観測されている銀河光度を説明しようとする、巨大ブラックホールの質量成長率が理論的な最大値 (エディントン限界) にほぼ達している必要がある。以上の結果を統合すると、質量成長のピーク段階にある巨大ブラックホールの活動性によって生じた激しいアウトフローが母銀河の塵を吹き払いつつある、という描像を、可視光帯で極めて青い色を示す塵に覆われた銀河について示すことができたといえる。これが本博士論文の第二の成果である。

本学位論文に関する公聴会は令和 3 年 2 月 12 日にオンライン形式で行われ、論文発表と質疑応答が行われた。この公聴会に引き続いて学位論文審査委員会を開催して論文内容について厳正に審議した結果、本学位論文が理工学研究科の定める学位審査基準を満たしており、学位を授与するに相応しい内容であると判定された。