



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Objective Image Segmentation Method for Morphological Features in Spiral Galaxies [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	清水, 一揮
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(理学)
Dissertation Number	甲第16246号
Issue Date	2025-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/95311
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Kazuki_Shimizu_abstract.pdf, 論文内容の要旨



学位論文内容の要旨

博士の専攻分野の名称 博士(理学) 氏名 清水 一 揮

学位論文題名

Objective Image Segmentation Method for Morphological Features in Spiral Galaxies
(近傍渦巻銀河画像における形態学的特徴の客観的な分割手法)

銀河の形態学的特徴(渦状腕・棒状構造など)は銀河の情報のうち最も利用しやすいものの一つである。形態学的特徴はすなわち星の分布の特徴であるため、複数の銀河間および一つの銀河内での形態学的特徴の違いは銀河における星生成の違い、星の材料である分子ガスの物理状態(密度・温度・速度など)、長時間にわたる星の運動を反映していると考えられる。そのため、銀河の形態学的特徴ごとに物理量を考えることは重要な意味を持つ。このような解析のためには天体画像中の形態学的特徴を画素単位で定義する必要があるが、多様な特徴を持つさまざまな銀河に対して画一的かつ定量的な基準で形態学的特徴を定義するための基準は未だ確立されておらず、現在、形態学的特徴ごとに解析を行うためには主に目視によって形態学的特徴を画素単位で同定する必要がある。そのため、正確性および客観性を確認できず、複数の銀河間での形態学的特徴ごとの物理量を比較し議論を行うことが困難になっているという問題がある。本研究では銀河の画像の形態学的特徴を従来我々が目視から抽出する過程を再現するように画素単位で同定する方法を確立することを目指した。

本研究では従来の手動による形態学的特徴の分類を再現するために、以下の二つの仮定を行う。一つ目に、一般に我々が形態学的特徴の境界だと認識するのは強度マップ内で色が急激に変化する領域であるということ、二つ目に強度マップは形態学的特徴を構成する局所成分とそれ以外の大局成分に分割することができるということである。一つ目の仮定は、形態学的特徴の同定においては強度の値よりも、周辺領域との強度差が重要であること、単一の閾値によるマスクでは特徴を抽出できないことを意味する。2の仮定は、強度マップは、セルシック則として説明されるような銀河全体に渡る大きく緩やかな大局的強度分布と、銀河のごく一部で急激に変化する局所的強度分布の二つの強度分布の足し合わせで表されることを意味する。もし、大局成分と局所成分を分離して、局所成分のみの強度マップを作成できれば、それは形態学的特徴の成分のみを取り出したマップであり、単一の閾値で形態学的特徴を取り出すことが可能になると考え、これらの二成分を分離する。ただし、大局成分は大まかにはセルシック則で説明できる勾配に従うが、より厳密には中心対称ではなく、銀河ごとに多様な勾配をもつことから、特定のモデルを仮定すると手法を適用できる銀河が限定されると考え、本手法では特定のモデルを仮定しない。また、形態学的特徴の空間スケール(渦状腕の幅や棒状構造の短軸方向の長さなど)は特徴ごとに、あるいは一つの形態学的特徴の中でも場所により変化するため、画像内の各画素について適切な特徴の空間スケールを決定しなければ、正確な特徴の定義は不可能である。フーリエ変換のような空間周波数でフィルタリングを行う既存の方法では、このように一つの画像内で任意の複数のスケールを扱うことができないため、新しくアルゴリズムを考える必要がある。

そこで、本研究では以下のようなアルゴリズムを考案した。まず、局所成分を考えるために、画像内の各画素について、その画素の近傍のみを取り出す。すなわち、ある画素を中心にある直径 D 内に含まれる画素のみを取り出した円形の画像について考える。この範囲内の二次元画像(x - y 平面とする)を一次元拡張し、強度を高さ方向にとった三次元の曲面を考える。この曲面から以下の条件を満たす3点を取得する。はじめに、この範囲内で強度が最小の画素を点Aとして、この範囲内で点Aと結んでできる直線と、 x - y 平面となす角が最小になる画素を点Bとする。その上で、この範囲内で2点A, Bと結んでできる平面と x - y 平面となす角が最小になる画素を点Cとする。すなわち、3点を結んでできる三角形ABCは範囲内で、できるだけ強度が弱く、かつ x -

y 平面となす角が小さい平面として定義される。もし、対象としている画素が形態学的特徴の中心に存在する点で、特徴の空間スケールが D であるとする、3 点が互いに隣り合った画素でない場合、三角形 ABC はその範囲内で、大局成分と局所成分を切り分けるように張られる。なぜなら、局所成分はその範囲内で強度を急激に変化させるため、最小値を含み、角度が最小になる平面は特徴の外部に存在する 3 点によって定義されるはずだからである。この処理を二次元画像の全画素に対して実行することで空間スケールが D の成分として局所成分を取り出せる。

また、各画素で取り出す範囲 D を増加させると、三角形 ABC の三次元空間内での高さは減少する。大局成分は局所成分と比較して強度の勾配が緩やかであることから、減少の仕方は形態学的特徴の空間スケールを境に変化する。範囲内に局所成分の画素のみが含まれている場合、勾配が急なので、 D の増加に対する三角形 ABC の三次元空間内での高さの減少も急激である。一方 D が十分増加し大局成分が範囲内に含まれるようになると、強度変化は緩やかなものになる。この傾向が変化する D を各画素における形態学的特徴の空間スケールとして定義し、各画素について適切な D を利用した平面を定義し、大局成分のマップと局所成分のマップを得た。

このようにして得られた局所成分のマップは元の画像と比較して形態学的特徴をなす画素を容易に識別できるようになっており、かつ、単一の閾値によって背景画素と特徴の画素を区別できる。本研究では画像の標準偏差の値を閾値として背景画素をマスクした。このとき一部の点源が強調され画像内に残っている。これらは既存の画像処理を組み合わせ、点源の大きさや形状をもとに削除した。また、銀河の中央の、空間分解されない渦状腕あるいは棒状構造の領域を、銀河中心をピークとして強度が単調に減少する領域として定義することで、形態学的特徴ごとにラベリングされたマップを得た。

この手法を国立天文台野辺山宇宙電波観測所 45 m 電波望遠鏡のレガシープロジェクト COMING で分子ガスが撮像された銀河に対して実行した。目視で構造を確認できたほぼ全ての銀河に対して、目視と一致するように形態学的特徴を強調したマップを得ることができたが、特徴の決定に関しては棒状構造を正しく定義できない銀河や点源を正しく除去できない場合もあった。本手法がどのような銀河に対して有効に働くのかを調査するため、目視によって形態学的特徴のマップを評価し、銀河のパラメータと比較した。その結果として、当手法は見かけの大きさが大きく、銀河円盤の傾きが小さく、渦状腕の周辺領域からの相対的強度が大きな銀河に対して成功しやすい傾向が明らかとなった。これは目視による形態学的特徴同定においても同様に傾向であり、本手法は目視の結果を再現できる新規の手法であるといえる。