

氏名	圓 谷 文 明
学位（専攻分野）	博士（学術）
学位記番号	総研大甲第129号
学位授与の日付	平成7年3月23日
学位授与の要件	数物科学研究科 天文科学専攻 学位規則第4条第1項該当
学位論文題目	Studies on Weighted Shift and Add and Iterative Blind Deconvolution toward high resolution IR imaging
論文審査委員	主 査 教 授 石 黒 正 人 教 授 櫻 井 隆 教 授 家 正 則 教 授 小 杉 健 郎（国立天文台） 教 授 近 田 義 広（国立天文台） 助教授 馬 場 直 志（北海道大学）

論文内容の要旨

本論文は、ハワイ・マウナケア山に建設中の口径 8 m の大型光学赤外線望遠鏡とその広視野赤外線カメラを想定し、赤外線天体像の高空間分解能撮像のための手法を研究したもので、2つの部分からなる。

1. 参照用天体を用いた WSA (Weighted Shift and Add) 法による天体像再生

従来のスペックル干渉法では、可視光波長域で高分解能撮像に成功している例があるものの、視野が狭い、広がった天体輝度分布は不得意であるなどの制限があり、広範囲な天体への適用に限界があった。一方、赤外線（特に近赤外線）の波長域では、可視光波長域に比べてアイソプラナティックな角度範囲が広く、視野内に適当な点源を参照用天体として利用できる可能性が高い。この点に注目し本論文では、観測天体と参照用天体を同一視野で同時観測した画像に対して WSA 法を適用する方法を提案する。参照用天体に WSA 法を適用する過程で大気の流れによる像悪化の程度がわかり、同じ手法を観測天体に適用すれば大気の流れを補正した画像を得ることができる。この方法の優位さを示すため、先ず大気の影響を受けた天体画像を生成する手法を開発した。このようにして生成したデータに対して、ここで提案した WSA 法を適用し、単なる SAA (Shift And Add) 法が不得意であった低輝度の天体に対しても満足できる結果が得られることを示した。また、実際に赤外線の波長域で観測された二重星のデータに、通常の SAA 法と今回の WSA 法を適用して比較し、参照用天体を同一視野においた WSA 法の優位さを実証的にも示した。

現在ハワイに建設中の口径 8 m の大型光学赤外線望遠鏡を想定すると、シミュレーションにより K バンドで 13 等級ぐらいの天体に対して 60% ぐらいの Strehl 比が得られることがわかった。ここで提案した方法を実際に行うには、CCD カメラで得た画像を処理する専用の高速演算ハードウェアが必要であり、その製作を現在準備中である。

2. 反復的な Blind Deconvolution 法

上で述べたように WSA 法や実時間の補償光学では地球大気の流れを補正し、望遠鏡の回折限界に近い像を得ることが可能であるが、再生像にはハロー成分など波面補正誤差によるバイアス成分が残ることがあり、特に広がった天体の観測では分解能の劣化や強度誤差などが生じ問題となる。これまでの標準的な Deconvolution 法では上記のようなバイアス成分を取り除くことは困難であった。本論文では、このようなバイアス成分を取り除く手法として Blind Deconvolution 法（以下 B-D 法と呼ぶ）を採用した。B-D 法の基本的な特徴は観測対象としての天体の輝度分布と装置関数としての Point Spread Function（以下 PSF と呼ぶ）を共に未知関数として解くところにある。これまでもいくつかの Deconvolution 法が提案されているが、それぞれ得意な輝度分布に対しては有効であるものの、広範囲な輝度分布に適用できる方法は無かった。B-D 法に用いられるアルゴリズムの一つとして、実空間での演算に基づく Lucy アルゴリズムという手法がある。これについてはいくつかの利点が報告されているが、雑音の強調、空間的に一定でない収束率、リングングなどの欠点が指摘されていた。また、周波数空間で Wiener filter を用いる方法では、雑音の強調は押さえられるものの、一方では有効な情報も低減させるなどの欠点がある。本論

文では、Wiener filterとLucyアルゴリズムを組み合わせてそれぞれの欠点を相補う形での新しい反復的なB-D法を提案し、理論的にはこの手法が雑音の強調の無い逆フィルタの解に収束することを明らかにするとともに、実験的（シミュレーションを含む）にもこの方法が有効であることを示した。

実験としては、点状輝度分布の代表として二重星のシミュレーション画像を、また拡がった輝度分布の代表として実際に観測された太陽光球像を使用し、どちらの場合も本論文で提案された新しいB-D法がWiener filterのみ、あるいはLucyアルゴリズムのみに比較してより良い結果を与えることを実証した。これには、シーイングに起因する、考えている領域の外への情報の流出、外からの情報の流入を考慮したB-D法を考案して用いている。

以上のように、天体の高分解能撮像として、第1段階にWSA法、第2段階にB-D法を適用することにより、汎用性・効率共に優れた手法が構築できることを示した。

論文の審査結果の要旨

天体像の高空間分解能撮像にとっては、地球大気による揺らぎの影響をどう克服するかが大きな問題であり、これまで多くの研究がなされてきた。本研究では、赤外線領域では、可視光波長域に比べてアイソプラナティックな角度範囲が広く、視野内に適当な点源を参照用天体として利用できる可能性が高いことに着目し、観測対象天体と参照用天体を同一視野で同時観測した画像に対してWSA法を適用する方法を提案し、シミュレーションによりこの方法の優位さを示した。従来は補償光学などの実時間での波面補償法の研究が主に進められてきたが、CCDカメラと本論文で提案されている手法を組み合わせることにより、実時間では不可能な画像処理を後処理で実現することができ、新しい高分解能撮像の分野が拓けるものと思われる。

WSA法を適用した再生像には、波面補正誤差によるバイアス成分が残ることがある。本論文では、B-D法を適用してこれを取り除いている。B-D法を実行するアルゴリズムにはいろいろな種類があるが、本論文では、実空間での演算に基づくLucyアルゴリズムと、周波数空間でWiener filterを用いる方法とを組み合わせた新しい方法を用いている。この方法では、2つの方法の長所を生かし欠点を補うことができる。この方法の優位さを、シミュレーションと実際の観測データを用いて示している。

本論文が高空間分解能赤外線観測のための撮像法に2つの新しい手法を提案し、その効果・実現可能性について定量的な評価を与えたことは高く評価できる。本論文で提案された手法は、今後の天体撮像・処理系のハードウェアの開発にも貴重な指針を与えるものである。なお、この研究の一部は既に、Astronomy and Astrophysics誌、及び国際シンポジウム集録に発表されている。

論文の審査は、平成7年1月24日に審査委員全員の出席のもとに行った。公開発表会の形で論文内容を1時間かけて話させ、その後質疑応答を1時間にわたって行った。発表は専門外の人にも分かりやすいよう工夫され、かつ論文の重要部分を要領よくまとめたものであった。質問に対する答は的確であり、基礎学力および当該専門分野における学識も十分であることが判断できた。英文の表現も適切で分かりやすく、語学力についても十分な実力を備えていると判定した。

以上の結果を総合して、学位論文として十分の内容を備えたものと判断した。