

要旨

金星の雲の物理的・化学的プロセスをより詳細に知るために、金星探査機あかつきが撮像する大量の多波長雲画像データを用いて、それぞれの波長に対応する物理量の間的相关や、それらの波長が持つ空間パターンを統計的に明らかにする。金星は波長ごとに異なる雲の様相を示すが、複数の波長の情報を比較することで、その光量の時間的・空間的変動をもたらす複数の要因をより容易に切り分けることができる。本研究では相関係数マッピングを用いて、ほぼ同時刻に撮像された異なる波長の画像の間的相关を定量的に評価することで、そのような相関を示す金星大気の物理・化学プロセスに新たな制約を与えたい。また、あかつきの高解像度・高頻度の多波長観測により、大量のデータから潜在的な特徴や、特殊な雲構造を見つけ出すことを目的とする統計学的なデータ解析が可能になった。そこで、雲の波長ごとの特徴を統計学的な視点から客観的に抽出し、雲の形態的特徴と波長間的相关性を議論する。また、そのような統計学的アプローチの拡張として、深層学習を用いた雲形態パターンの自動検出にも取り組んだ。

まず、相関係数マッピングにより、波長間的相关を低緯度から中緯度にわたって全球的に調べ、その空間的・時間的変動を明らかにした。これにより、金星の雲の主成分である硫酸の材料物質となる二酸化硫黄 (SO_2) と、太陽放射エネルギーの吸収の半分を占める未同定紫外線吸収物質の間に強い正的相关があることや、それらの物質と雲頂高度との関連性を明らかにした。次に、主成分分析を用いて多波長雲画像の空間パターンを統計的に抽出し、波長間で比較した。その結果、中緯度で斜めの筋状の構造が波長に依らず大きな寄与率を持つことが分かり、また主成分の波長間の比較から、 SO_2 や未同定紫外線吸収物質を分布させる要因と、雲を形成するメカニズムの間に共通点があることが示された。そして、雲頂温度を反映する $10 \mu\text{m}$ 画像において、従来の目視による判断ではノイズの中に埋もれて判然としなかった、筋状の形態パターンを特定した。さらに、金星の雲画像に現れる特殊なパターンを自動で検出する手法として、変分オートエンコーダ (VAE) を用いた異常検出手法を開発し、これを地形固定構造の抽出に適用した。この手法により、地形固定構造を高い精度で自動検出することに成功した。これらの研究は、大量の雲画像データの中からその形態的特徴を統計的に抽出するというアプローチの有効性を示すものである。今後観測技術がさらに向上するに従って、金星やその他の惑星の幅広い観測データに対して、本研究で開発したような手法が応用されることが期待できる。