

# 論文審査の結果の要旨

氏名 劉千鳳

ウェーブレット変換は、与えられたデータを位置と波数に関して分解し局所化された波数解析を可能にする。本論文はウェーブレット解析を地球科学分野のデータ解析に応用するための新しい手法を示し、実用化のための基礎を確立するものである。本論文で対象とするのは、気象用ドップラーレーダーによる風速データであり、申請者は、竜巻を伴うような強いメソサイクロンの位置と特性をレーダーのデータから効率良く検出するための新しい方法を提案している。さらに申請者は、この方法について精度や計算時間など現実の使用のために必要な種々の検討を行ない、新しい手法としての基礎を確立している。

気象用ドップラーレーダーによって観測される 10km 程度の水平スケールを持つ強い大気渦擾乱 (メソサイクロン) の動径速度場は、半径数百 km のレーダー (PPI) 画像上において近接した正負の極大の対として観測される。メソサイクロンは、しばしば竜巻、ひょう、洪水などの激しい現象を伴って災害をもたらすため、早期の検出が大きな課題となっている。特に米国では、このような気象現象を捉え警報を出すことを主な目的として 1988 年 NEXRAD (NEXT generation weather RADars) 計画が開始され、1997 年には米国全土は約 160 台のドップラーレーダー (WSR-88D) によってカバーされ、自動検出アルゴリズムによってメソサイクロンを検出し観測情報が提供されるようになった。

現在 NEXRAD レーダー網データを用いる現業のメソサイクロン自動検出アルゴリズムは、主に方位角方向の動径速度差分のパターン (シアパターン) を判断基準としている。しかし、実際の大気渦は周囲の大規模流れや小規模乱れなどの影響により複雑な形状を備えているのが一般的である。さらに、観測機械による信号ノイズの影響もあるため、シアパターンに基づく手法では検出が困難な場合も少なくなく、また検出された大気渦の位置についても誤差が発生しやすい。

本論文では、このようなメソサイクロンを自動検出しその特性を観測データから抽出するために、I. 渦位置の検出、II. 渦の渦度と発散の推定、の 2 段階から成る方法を提案している。

この手法では、まず観測データを 2次元連続ウェーブレット変換を用いて処理した後、メソサイクロンについて Rankine 型の渦形状を仮定し予想される動径方向速度場との内積を用いて、渦位置を畳み込み関数の極大点として検出する。この方法では、従来ドップラーレーダー上で特定の画像パターンを判断する必要があったのに対し、関数の極大点を検出すれば十分であるため、結果的に検出の高速化と結果の信頼性の向上が図れる、という利点をもつ。またウェーブレット変換の特性から、メソサイクロンよりも大規模なスケールの背景風や小規模なスケールの局所擾乱の影響を避けられることも期待される。

この手法の実用化においては、数値処理の段階で現れるさまざまなパラメータの具体的な値や、処理方法の詳細を決定することが必要である。そこで申請者は、実際に米国の NEXRAD によって観測された相当量のメソサイクロン観測データを用いて、これら実際の作業におけるパラメータ値や作業手順の決定を行なっている。さらにこの手法の精度・信頼性を調べるため、渦擾乱に、一様風、正規乱数、異なるスケールの渦擾乱、などを加え

たデータを人工的に生成し、連続ウェーブレット変換処理の有無が結果に与える影響を検討している。その結果、連続ウェーブレット変換を用いることで、位置推定の誤差は、一様風付加の場合約 1/8 に、正規乱数付加の場合約 1/4 に、また異なるスケールの渦を付加した場合 1 桁以上、それぞれ減少することが見い出されている。この結果は従来の方法に比して、申請者の提唱する手法が安定で信頼性の高い渦位置を与えることを示している。

またメソサイクロンの特性として、一様発散域をもつ Rankine 型の渦で近似した場合の、渦度、発散、渦度半径、発散半径、をドップラーレーダーのデータから求める方法も論じられている。申請者の提案する手法は、観測データおよび Rankine 渦を各々連続ウェーブレット変換した後、両者の  $L^2$  ノルムを最小化することでこれらのパラメータの値を決定するものである。申請者は、この方法による誤差を、一様風、正規乱数、異なるスケールの渦擾乱、がそれぞれ存在する場合について詳細に検討し、ウェーブレットの使用によって誤差が 1 桁から 2 桁減少することを示している。

以上の検討の上に立ち、申請者は本手法を、1992 年 5 月にアメリカ・オクラホマ州において得られたメソサイクロンのドップラー速度場へ適用し、特にメソサイクロンの渦度と発散の鉛直分布を求めている。その結果、連続ウェーブレット変換によって結果の安定性が確保されること、また単一のドップラーレーダーのデータからもメソサイクロンの鉛直構造が解析可能であることが見い出されている。特に、後者の点は、従来の結果を大きく越えるもので、本手法の信頼性と将来性を示している。また申請者は、本手法によって得られたメソサイクロンの特性値を用いて、メソサイクロンによる竜巻発生 の推定を行ない、従来のシアパターンによる推定法に比して良い推定が可能であることを示している。

以上、本論文では、連続ウェーブレット変換を気象用ドップラーレーダーのデータへ応用するための新しい方法が提案され、実用化のための実際的基礎づけが行なわれた後、試験データおよび現実の観測データを用いて、方法の有効性が示されている。本論文においては、応用数学的手法の単なる適用に留まらず、気象観測において実際に用いるための詳細な基礎づけが行なわれており、応用的価値の高いものと判断される。

よって、論文提出者劉千鳳は、博士（数理科学）の学位を受けるにふさわしい十分な資格があると認める。