

博士論文の要旨及び審査結果の要旨

氏名 春日 悟
 学位 博士 (理学)
 学位記番号 新大院博 (理) 第 469 号
 学位授与の日付 令和 3 年 9 月 21 日
 学位授与の要件 学位規則第 4 条第 1 項該当
 博士論文名 Development of a New Scheme for Seamless Detection and Tracking of Cutoff Lows and Preexisting Troughs
 (寒冷渦・トラフを捕捉する新強度指標の開発)

論文審査委員 主査 教授・本田 明治
 副査 教授・浮田 甚郎
 副査 教授・河島 克久
 副査 教授・奈良間 千之
 副査 教授・堀之内 武

博士論文の要旨

寒冷渦は対流圏上層で発生する総観規模スケール (数百～千数百 km) の極の寒気を伴う低気圧であり、しばしば集中豪雨や竜巻などのメソスケール (数～数百 km) の擾乱を伴う。しかし、寒冷渦の強度を示す指標はこれまで提案されておらず、寒冷渦の強度の発達・衰退 (ライフサイクル) とメソスケール擾乱の強度との関係を調べた例はほぼない。本研究では、寒冷渦のライフサイクルをより詳細に理解するため、寒冷渦を前段階である気圧の谷 (トラフ) の状態から捕捉・追跡する新しい客観的強度指標 (寒冷渦指標) を開発することである。

本研究では寒冷渦を気圧面高度場の凹みと捉えることで、凹みの中心から近傍の高度分布に接線を引き、その傾きの極大を寒冷渦の強度、その水平距離を半径とすることで、その幾何学的な特徴による指標化を試みた。また寒冷渦周囲の背景場も二次的に推定し、その背景場を局所的に取り除くことで寒冷渦とその前段階のトラフを等方的な渦として連続的に抽出することができることを示した。また更なる数学的な検証により、寒冷渦・トラフ間の遷移 (ライフサイクル) は背景場と凹みの強度の比に関係することを示した。すなわち、背景場 (凹み) に対し、凹み (背景場) の強度がより強い場合、凹みは寒冷渦 (トラフ) である傾向にあり、ある閾値で寒冷渦とトラフを識別する指標となることを示唆した。さらに、各気圧面高度場に適用することにより、寒冷渦の鉛直構造を客観的に捉えることも可能である。抽出プログラム内の符号を反転することにより高気圧を抽出可能であり、ブロッキング高気圧研究への応用も期待される。

本研究ではトラフや寒冷渦の追跡手法の開発も試みている。隣接した 2 つのタイムステップで抽出された凹みに対し、それぞれの半径による円領域に重複が見られた場合、両者は時間的に連続した同一な現象として定義することで、寒冷渦の移動経路をその発達・衰退とともに抽出でき、さらに前段階のトラフから追跡できることを示した。また新指標の精度検証として、過去 40 年間の寒冷渦とトラフの気候的な分布を近年の先行研究と比較した。寒冷渦の気候分布は複数の気圧面を両半球で計算し、中でも高頻度に出現する領域は先行研究と概ね整合的であることを確認している。また新指標で抽出されたトラフに関しても先行研究の示したトラフの気候分布とこちらも整合的であった。

最後に、寒冷渦指標の強みは、強度・大きさ・背景場の情報を同時に得られる点、背景場が凹みの大きさに対応して定まる点、強度はデータ解像度に依存しない点、さらにこれまでの指標の多くの特徴（トラフの段階から抽出、単一時間で利用可能、1変数で利用可能、高気圧抽出可能）を兼ね揃えている点で、寒冷渦のライフサイクルのより詳細な理解に大きく貢献する指標である。特に観測（または予測）された気圧面高度場のスナップショットから各指標を抽出可能であり、迅速な診断をすることで災害にかかわる極端気象発現の予測精度向上へ貢献も期待される。

審査結果の要旨

しばしば災害をもたらす上空の寒気を伴った低気圧である寒冷渦を捉える客観的指標を提唱した研究である。寒冷渦の指標化そのものは新しいものではなく、従来多くの指標が提唱されている。その一つは気圧面高度場の極小点を抽出して中心位置を特定するもので、任意の閾値や条件の設定を一般に必要とする。もう一つは気圧面高度場のラプラシアン（2階微分オペレータ）を取るもので、渦度の極大値を中心及び強度とするものであるが、微細構造を抽出するため空間フィルターなどの処理が必要である。

一方本手法では、寒冷渦を等圧面の一定の半径を持つ円型の凹みと捉え、等圧面高度場を2次元格子化したデータセットを用いて、各点の凹みの程度を数学的に評価する手法の開発に取り組んだ。凹みの深さの最大の場所を中心位置、凹みの深さを強度、円型に凹んでいる半径を影響範囲として、この3つの要素を幾何学的手法により客観的に同時に抽出することに成功している。また背景の基本場を局所的に計算し、それを取り除くことで等方的な渦を抽出するため、寒冷渦に成長する前の上空の気圧の谷（トラフ）の段階においても3つの要素の抽出が可能であり、数日～1週間程度の時間スケールで寒冷渦の検出や追跡が可能となった。また、ある時刻のスナップショットの等圧面高度場から直接計算することができるため、一般に気象解析で実施されるデータの前処理（時間的・空間的平滑化や平均場など基本場の設定）が不要であることも利点の一つである。またある時刻の気圧面高度場から本指標が出力可能な自動数値計算スキームも構築済みで、一般に6時間毎に提供される上空の気象データを用いることにより寒冷渦3要素の時間的・空間的な追跡や検出が可能になり、またこの情報を予報データに適用することで寒冷渦の進路・発達予測の精度向上への寄与にも貢献し、これにより極端気象発現の予測精度の向上、数日～1週間程度の余裕を持った防災への波及も期待できる。

よって、本論文は博士（理学）の博士論文として十分であると認定した。