

(続紙 1)

京都大学	博士 (理学)	氏名	武村 一史
論文題目	重合格子法に基づく急峻地形解像大気モデルの開発		
(論文内容の要旨)			
<p>本研究では、急峻地形を表現する非静力学大気数値モデルを新たに開発した。従来の非静力学大気数値モデルで採用されている地形準拠座標系では、急峻地形上で格子の歪みに伴う誤差が増大する問題がある。歪みの少ない格子を数値的に生成する一般座標系によってこの誤差は緩和されるが、崖のような急峻地形上では適切な格子生成が行えない。そこで本研究は、数値流体力学分野で複雑境界の表現に用いられている重合格子法を採用することとした。</p> <p>重合格子法は複数の格子系を重ね合わせて計算領域を表現する手法であり、各格子系で独立して計算を行った後、重合領域における格子系間の情報交換のために互いに補間を行う。大気科学分野における重合格子法の利用は Yin-Yang (陰陽) 格子のような全球モデルの全球表現に限られており、急峻地形の表現に用いたのは本研究が初めてである。重合格子法を地形表現に適用する際、大気の成層性に伴う鉛直方向の補間誤差が問題となるが、熱力学変数の補間を擾乱成分に基づいて行うことで補間誤差を軽減することに成功した。山岳波の数値実験を行い、地形準拠座標系や一般座標系では不可能であった急峻地形上における大気の流れの再現が、重合格子法を用いることによって可能となることを示した。</p> <p>次に、重合領域における補間の際に局所的な保存性及び無振動性が損なわれる問題に取り組んだ。保存性及び無振動性は、物理的な特性を満たす適切な計算や数値振動の抑制による安定した計算につながるため、非静力学大気数値モデルの性能として重要である。直交性や均一性が高い Yin-Yang 格子を対象に開発された保存性補間法や移流補正法は、局所的な保存性と無振動性をともに満たすことができない。そこで本研究では、Yin-g-Yang 格子の保存性補間法のフラックス補間に、大域的な保存性を満たす移流補正法の考え方を応用した新たな補間法を開発した。移流実験の結果、開発した補間法は局所的な保存性をほぼ全域で満たすとともに無振動性を満たし、先行研究の保存性補間法よりも誤差が軽減されることが示された。先行研究の保存性補間法は格子の歪みが激しい場合に流れを停滞させるため、局所的な誤差が顕著に増加するが、開発した補間法では補正の過程で風向きを考慮することで流れの停滞を回避し誤差の増加を大幅に低減することに成功した。</p> <p>最後に、開発した補間法を非静力学大気数値モデルに実装し、暖気塊の数値実験から保存性を満たすことを示した。また、山岳波の数値実験から、開発した補間法の補正に伴う誤差の増加はわずかであることを示した。これらの結果から、開発した非静力学モデル及び補間法は顕著に誤差を増加させずに、局所的な保存性及び無振動性を満たした急峻地形上の計算を実現することに成功した。</p> <p>本研究で開発した数値手法は、急峻地形の影響を取り入れた高解像度数値実験の実現に寄与するものである。また、このスキームを非静力学大気数値モデルに適用することにより、局所的な保存性をほぼ全域で満たすとともに無振動性を満たすため、雲微物理過程の実装により、急峻地形上の地形性降水の適切な計算が可能となる。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

近年、急峻地形上で豪雨が多数発生しており、その予測には大気数値モデルにおける詳細な地形表現が必要と考えられている。計算機性能の向上に伴って大気数値モデルの空間分解能が上がり、小さなスケールの気象現象を捉えられるようになってきたが、従来の大気数値モデルは急峻地形の表現に大きな問題を抱えている。これは、大気数値モデルで広く用いられている地形準拠座標系が地形に沿って鉛直座標のみを変換しており、急峻地形上で格子が大きく歪んでしまって計算誤差が大きくなるためである。鉛直座標だけでなく水平座標も変換することによって直交性の高い格子を生成する一般座標系による解決も図られてきたが、崖のような地形に対して適切な格子を生成できなかった。下端境界である地形表現は、格子構造や変数配置を決定づける大気数値モデルの根幹的な問題である。

申請者は、複数の独立した格子を重ね合わせて計算領域を表現する重合格子法に基づいて急峻地形を解像する大気数値モデルを開発した。その結果、地形準拠座標系だけでなく一般座標系でも不可能であった急峻地形上における大気の流れの再現に成功した。これまで大気科学分野における重合格子法の応用は、全球モデルにおけるYing-Yang (陰陽) 格子に限られており、地形表現への応用を初めて実現させた意義は高いと評価できる。本研究で開発した重合格子法は、地形準拠座標系や一般座標系で表現不可能な急峻地形領域にのみ局所的に適用する事も可能で、汎用性が高いと言える。

重合格子法は複数の独立した格子を形成するため、他の手法に比べて比較的簡単に複雑な地形を表現できる反面、重なり合った領域における格子間の情報交換のために補間が必要となる。この補間において保存性や無振動性が破綻してしまうため、雲微物理過程を実装して降雨の再現が可能となっても、非物理的な水物質の生成・消滅に繋がり、詳細な地形表現の価値を損なう。全球表現への重合格子法の応用であるYing-Yang格子を対象としてフラックスに基づく局所的な保存性を満たす補間法が開発されてきたが、無振動性は満たしていなかった。さらに直交性や均一性が高いYing-Yang格子用に開発されてきた補間法は、地形表現の応用で必要となる複雑な格子に対しては大きな誤差が発生した。申請者は、Ying-Yang格子を対象に開発されてきた保存性補間法に対して大域的な保存性を満たす移流補正法の考え方を適用することによって、局所的な保存性をほぼ全域で満たすとともに無振動性を満たすという非常に優れた性質を持つ新たな補間法を開発することに成功した。重合格子法の弱点に目をそらさず、克服した意義は大きいと評価できる。この手法は、Ying-Yang格子への適用も可能で、その応用範囲は広いと考えられる。

計算機能力の向上に伴って大気数値モデルの高解像度化が進み、地形準拠座標系の限界が見えてきている現在、本研究は重合格子法によって急峻地形表現の新たな可能性を切り開いたといえる。よって、本論文は博士(理学)の学位論文として価値あるものと認める。また、令和元年7月25日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。

要旨公表可能日： 年 月 日以降