タイリング領域法を用いた雲解像モデルの計算

*坪木和久[1]・榊原篤志[2]・渡部雅浩[3]・篠田太郎[1]・吉岡真由美[1]

1)名古屋大学地球水循環研究センター・2)中電シー・ティー・アイ・

3)東京大学気候システム研究センター

1. はじめに

多くの領域モデルは矩形領域を計算領域としている。一般に領域モデルでは、矩形領域を１次元または２次元分割することで並列計算が実行される。一方で計算の対象にあわせた領域は矩形でないことが多い。効率よい計算を行うためには、任意形状の計算領域を用いるほうがよい。「タイリング領域法」は、雲解像モデルについて任意形状の領域でシミュレーションを行う方法である。この方法を **CReSS (Cloud Resolving Storm Simulator) Ver.3** に導入した。この方法を用いることで、たとえば台風の経路に沿うような矩形でない領域の並列計算が可能となる。

2. 重並列化によるタイリング領域法

この方法では矩形の計算領域を一つの「タイル」とよび、これをタイル張りするように計算領域を設定する。各タイルは任意の数だけ用いることができ、タイル群が複数あっても、孤立したタイルがあってもよい。各タイルはさらにサブドメインに分けられる。各タイル内で並列計算を行い、さらにタイル間で並列計算を行う。これを雲解像モデルの「重並列化」といい、これによりタイリング領域法の計算が行われる。

図１に重並列化によるタイリング領域の概念図を示す。計算領域のタイリングは、矩形の計算領域を並べることで実現される。図１a では３個の矩形領域をかぎ状に並べてあり、それぞれの矩形領域が４個のサブドメインに分割されている。図１b に示すように重並列化を用いたタイリング領域では２段階で通信が行われる。まず個々の矩形領域内の並列計算が実行される。このとき矩形領域内のピンクの矢印で示したように通信が行われる（ワールド０）。次に、矩形領域間の通信が、青の矢印で示されるように行われる（ワールド１）。このような重並列化により、任意の形状に矩形領域を設定（タイリング）して、任意形状の領域の計算を行うことが可能になる。

この方法の別の利用法として、GCM の１格子点ごとに雲解像モデルの矩形領域を一つずつ設定することが考えられる。この場合、個々の矩形領域は GCM のスーパーパラメタリゼーションとみなすことができる。

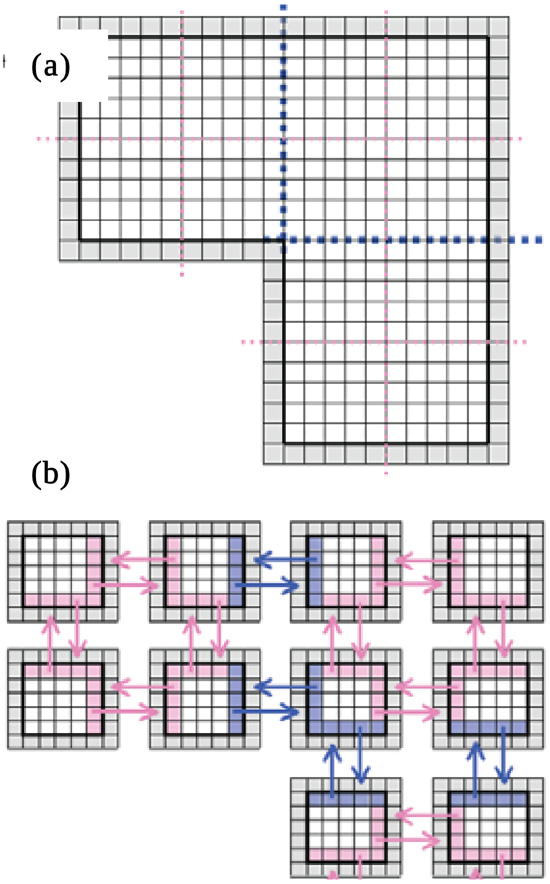

図１：重並列化したタイリング領域の領域分割と通信に関する概念図。白い領域は内部格子、グレーの領域は境界格子。(a) 全タイリング領域。青破線は各タイルの境界、ピンクの破線は個々の領域内の分割境界。(b) タイリング領域法による並列計算の通信の概念図。まず、個々の領域内でピンクの格子のワールドで通信が行われ、次に領域間の青の格子のワールドで通信が行われる。

3.　台風のシミュレーションへの利用

タイリング領域法を用いた計算の例として台風のシミュレーションを示す。長距離を移動する台風の経路に沿って、計算領域をタイリングし、長期間の計算を行うことができる。ここでは 2004 年の台風 18 号についての予報実験の結果を示す。この実験ではタイリングした計算が結果にどの程度影響を与えるかを調べるため、全く同じ条件で、全領域を計算するものと比較した。

それぞれの計算の水平解像度は約 2km、初期値を 2004 年 9 月 1 日 0000UTC とし 8 日 0000UTC までの 7 日間(604800 秒)の積分を行った。初期値と境界値は気象庁領域客観解析(RANAL)から与え、海面水温は観測値、地形は実地形を与えた。図 2 は初期値から 6 日(518400 秒)にあたる 2004 年 9 月 7 日 0000UTC の結果を、タイリングしたもの（図 2a）と、全領域を計算したもの(図 2b)について、地上降水量と海面気圧、および水平速度場について比較したものである。タイリングした計算領域は図 2a のグレーの色を付けた非矩形の領域である。これらの 2 つの結果は特に降水分布について、ほとんど同じ結果を与えており、タイリングの結果おこる多くの凹凸の角部分が計算結果にほとんど影響しないことを示している。

同時刻の気象庁レーダーAMeDASと比較すると、台風の中心位置はほぼ観測に対応しており、台風に伴う九州西岸から南部にかけての 30 mm hr^{-1}の豪雨が量的によく再現されている。台風とその北側の降水、四国山地周辺のなどの強い降水も観測とよく対応している。CReSSの予報結果の台風経路は、気象庁ベストトラックにほぼ沿ってい。これらの結果から、重並列化を用いたタイリングによる計算が正しく行われていることが示される。

4.　まとめ

タイリング領域法は、台風だけでなく雲解像モデルに多様な拡張性を与える。たとえば日本列島に沿う領域や、さまざまな気象に合わせた領域の設定などが行える。さらに熱帯などの非静力学的領域の計算への利用などが考えられる。

謝辞：

本研究は文部科学省 21 世紀気候変動予測革新プログラムと環境省地球環境研究推進費によりサポートされています。また、計算は地球シミュレータを用いて行いました。

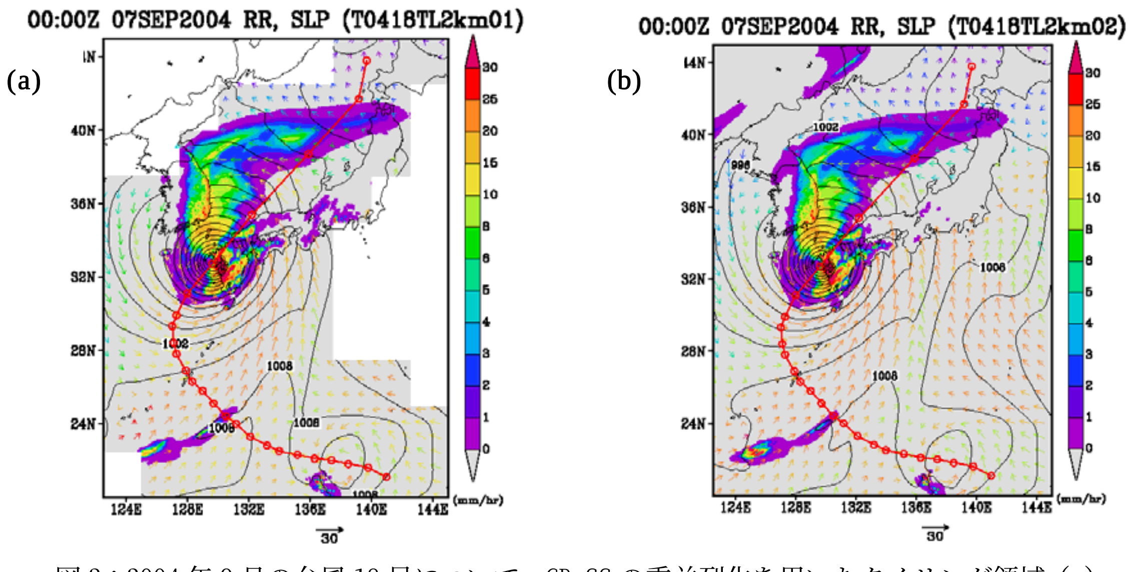

図 2：2004 年 9 月の台風 18 号について、CReSS の重並列化を用いたタイリング領域（a）と矩形領域（b）の比較。両方とも初期値から 6 日(518400 秒)の降水強度（カラーレベル）、地上気圧（等値線）および水平風（矢印）。グレーの領域が計算領域、赤線が気象庁ベストトラック。