

気象研究所 / 数値予報課統一非静力学モデル(MRI/NPD-NHM)を用いた 2way 多重移動格子モデルの開発

* 益子 渉 ・ 室井 ちあし (気象研)

1. はじめに

気象研究所台風研究部では、次世代の台風モデルのプロトタイプとして、MRI/NPD-NHMを用いた2way-多重移動格子モデルを開発している。

台風のような積雲スケールの現象が重要な役割を果たす現象では、細かい格子間隔(~1km)で雲解像非静力学モデルを用いることで、強度や内部構造等の精度の高い予報が期待できる。一方、台風そのもののスケールは~1000kmと大きく、かつ移動し、さらに台風を取り巻く周辺の環境場からの影響も非常に重要であることから、予報領域は広く取る必要がある。しかし、広い領域を細かい格子間隔(~1km)で覆うことは、現在の計算機事情を考えると不可能であり、非効率的であるともいえる。

そこで海外では、熱帯低気圧の現業予報や研究において2way 多重移動格子モデルが使われており、強度や内部構造等の予報においてよい結果が得られている事例が多数報告されている。2way とは coarse mesh が fine mesh へ境界値を与えるだけでなく、fine mesh の値が coarse mesh へフィードバックされることを意味する。

(図1. に概略を示す)

今回はMRI/NPD-NHMを用いた2way 多重移動格子モデルを開発し、ベンチマークとして山岳波の実験を行ったので報告する。

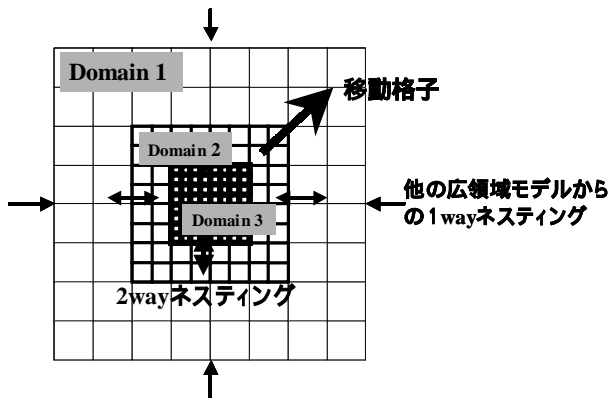


図1. 2way 多重移動格子の概略図

2. モデル概要

ここで開発している多重移動格子モデルは、MRI/NPD-NHM 内部を出来るだけ変更しないようにして、本体のバージョンアップに容易に対応できるようにしている。coarse mesh と fine mesh との間のネスティング処理は別モジュールとして用意した。まずMRI/NPD-NHM のメインプログラムをモジュール化して前処理(pre)、初期化(ini)、積分(fcst)などのサブルーチンに分割した。さらに個々のドメインを統括する親のメインプログラムを作成し、ここから積分計算、ネスティング処理を呼び出すようにした。必要な予報変数等は構

造体にまとめ、メインプログラムでは変数をポインタ参照するようにしている。(図2) 並列実行も可能であるが、現在のところネスティング処理は1ノードにデータを収集してから再分配するようにしている。

coarse mesh と fine mesh の水平格子間隔比率は3:1で固定、タイムステップ幅の比率は任意の整数倍でとれるようにしている。fine mesh は任意の時間に開始、終了することができ、また移動させることもできる。

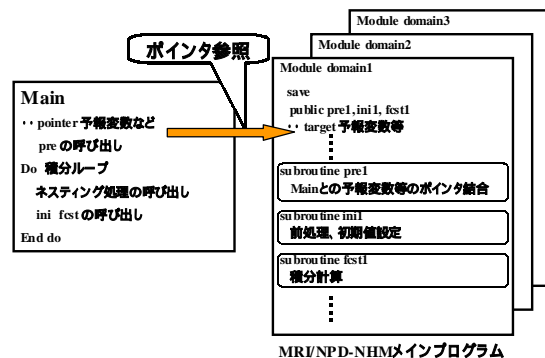


図2. 多重格子プログラム構造

3. 2way 多重移動格子の計算手法

<Mesh 間のインターフェイス>

Arakawa-C グリッドのスカラーと境界に平行な風成分のポイントが fine mesh と coarse mesh で重なるようにとった。(図3)

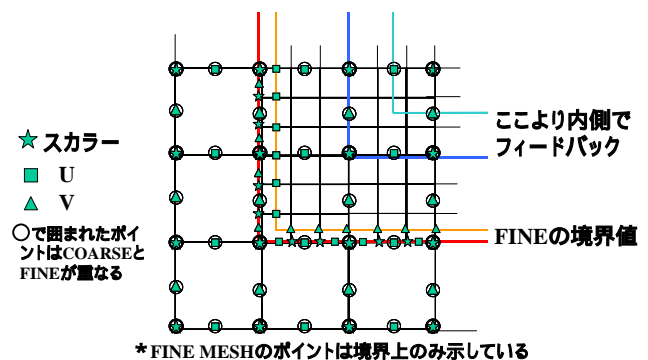


図3. Mesh 間のインターフェイスの設定 (左下)

<初期値・境界値作成>

境界値は coarse mesh のタイムステップ毎に計算され、fine mesh の時間に合わせて線形内挿される。空間内挿は monotone advection algorithms (Smolarkiewicz and Grell, 1992)に従い、内挿を移流の計算と等価に考え、4次のフラックス補正スキームを応用したものをを用いた(式(1))。これにより、シャープな構造と単調性を保つことができる。

$$i^{n+1} = i^{n+1} - (F_{i+1/2} - F_{i-1/2}) \dots \dots (1)$$

i^{n+1} はこれから求める fine mesh の内挿値

i^{n+1} は low order (1 次) で求めた fine mesh の内挿値
 $F_{i+1/2} = \min(1, \dots) * \max(0, A_{i+1/2}) + \min(1, \dots)$
 $i) * \min(0, A_{i+1/2})$

$A_{i+1/2} = FH_{i+1/2} - FL_{i+1/2}$

$$\beta_i^{\uparrow} = \frac{\phi_i^{MAX} - \phi_i}{A_i^{IN}}, \beta_i^{\downarrow} = \frac{\phi_i - \phi_i^{MAX}}{A_i^{OUT}}$$

A_i^{IN} 、 A_i^{OUT} はフラックス A の流入、流出の絶対量

$$i^{MAX} = \max(i-1, i, i+1, i^{n+1}, \dots)$$

$$i^{MIN} = \min(i-1, i, i+1, i^{n+1}, \dots)$$

$$FL_{i+1/2} = - \dots$$

$$FH_{i+1/2} = + /12*(i-1 - 7 \dots i-7 \dots i+1 + \dots i+2) \\ + 2/24*(i-1 - 15 \dots i+15 \dots i-1 - \dots i+2) \\ + 3/12*(i-1 + \dots i+1 + \dots i-1 - \dots i+2) \\ + 4/24*(i-1 + 3 \dots i-3 \dots i+1 + \dots i+2)$$

i は coarse mesh の値

は fine と coarse のグリッドの距離の比率 (1/3, or, 0, or, -1/3)

< fine mesh の境界条件 >

水平風にのみ Chen(1991) の fine mesh と coarse mesh の値の差に対する放射条件を使い、位相速度の求め方は Orlanski(1976) に従った。

$$\frac{\partial(\phi - \phi_c)}{\partial t} + c \frac{\partial(\phi - \phi_c)}{\partial x} = 0$$

は fine mesh, c は coarse mesh の値

c は $(\dots - c)$ の位相速度

< フラックス調整 >

上記放射条件を使うと、fine mesh と coarse mesh のフラックス量に差が生じるため、毎ステップごとに fine mesh の側面のフラックス量が coarse mesh の値に合うように調節する。

< フィードバック法 >

fine mesh と coarse mesh が重なるグリッドでのみ fine mesh の値を coarse mesh にフィードバックし、その後 smoother-desmoother をかける。(Grell . et al . (1995)) こうすることで、coarse mesh で解像できない $2 \times$ 以下の波長の波は完全にダンプすることができる。

< 移動格子 >

移動する台風をシミュレーションできるように、指定した物理量の最小値または最大値が領域の中心付近になるように fine mesh を移動することができる。

fine mesh の移動により、新たに fine mesh の値の作成が必要になる。移動前の領域と重なる領域は元の fine mesh の値を使い、それ以外の領域の値は coarse mesh の値を内挿して求め、それらの値を初期値として積分していく。

< 地形 >

現在のところ、fine mesh の地形は coarse mesh の地形データから作るようにしている。fine mesh の地形をどのように組み込めるようにするかは今後の課題である。

4 . 山岳波実験

2way-3 重格子で実験を行った。coarse mesh は $31 \times 31 \times 32$ 、水平格子間隔 2 km、タイムステップ 30s、

middle mesh は $37 \times 37 \times 32$ 、水平格子間隔 2km/3 (667m)、タイムステップ 10s、fine mesh は $55 \times 55 \times 32$ 、水平格子間隔 2km/9 (222m)、タイムステップ 3.33s で計算した。用いた計算条件は、一般風 8 m/s、安定度 $N = 0.01s^{-1}$ の大気中に高さ 100m、半値幅 3km の山を領域の中央に置いている。

実験の結果、境界での反射等の顕著なノイズは見られなかった。(図 4.)

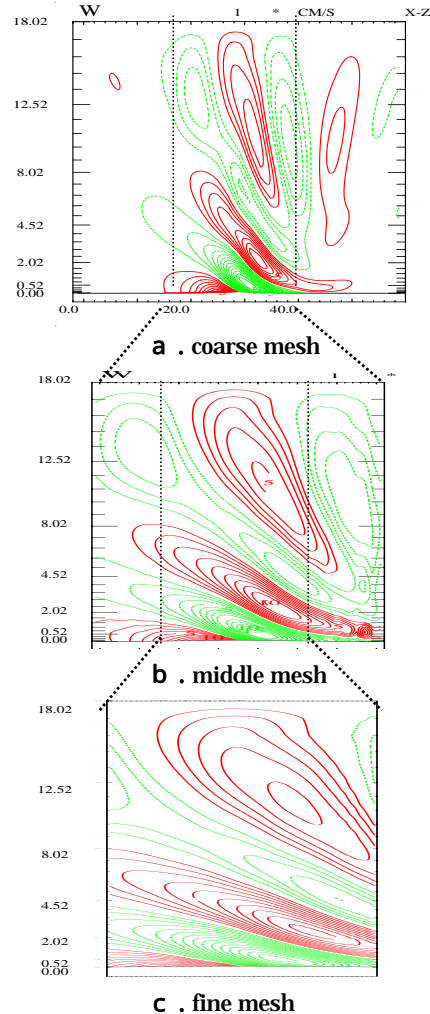


図 4. 30min 後の上昇流の鉛直断面図

5 . 今後

2way 化することによる最大のメリットは fine mesh によって解像可能な現象と coarse mesh の現象の相互作用を精度よく効率的に表現できることである。今後は湿潤過程においても 2way 化し、2way 多重移動格子の効果が大きいと思われる台風のシミュレーションなどを行っていく予定である。

< 参考文献 >

C.Chen : Mon.Wea.Rev 119 (1991) 2852-2869
P.K.Smolarkiewicz and G.A.Grell : J.Comput.Phys 101 (1992) 431-440
I.Orlanski : J.Comput.Phys 21(1976) 251-269
G.A.Grell, J Dudhia, D.R.Stauffer : NCAR TECHNICAL NOTE (1995) 122p