

局地気候モデルの開発について(2)

木田 秀次・市川 栄男

DEVELOPMENT OF LOCAL CLIMATE MODEL (2)

By Hideji KIDA & Hideo ICHIKAWA

Synopsis

Introducing various parameters on lateral boundary conditions, some numerical tests of long-term integrations of nested limited-area models are performed to investigate the possibility for high-resolution local climate models.

The familiar assumption that a lower-resolution model is joined at the lateral boundary of a high-resolution limited-area model is taken and found to be a good approach, though one way interaction from the outer model to the inner one, excepting that difference of the phase velocity occurs between the two. The problem of the phase difference is related with how we choose the width of the region of the limited-area models to be used.

1. はじめに

局地気候を扱う数値モデルは、必然的にメソスケールの現象が表現できるモデルである必要がある。しかしながら、前回の報告(木田, 1995)で紹介したように、そういう高分解能モデルは、現時点では計算機的能力を越えており、無い物ねだりの要求である。しかし、領域を限って高分解能のモデルにするという次善の策をとることについては検討する価値があるだろう。そのための計算技術の手法としてネスティングの方法が提案されており、これについては、世界的に研究されるようになってきた。筆者らの研究もその一環であるが、今回は主に、領域モデルの境界条件の与え方として、広く採用されている極めて単純な手法について検討した例について報告する。

2. バロトロピックモデルによるテスト

領域モデルの側面境界(lateral boundary)を通じて、大規模場の情報をどのように領域モデルに伝えるかが問題のポイントである。何らかの方法により上手に伝われば、その情報のその後の変化は領域モデルによって精度良く表現されることが十分期待できるからである。我々がここにおいて検討した境界条件の付け方は、領域モデル(内側モデル)の情報と大域モデル(低分解能の外側モデル)の情報とを一方的に穏やかに結合させる方法である。すなわち、具体的にはニュートン・ダンピングの方法になっている。テスト用のモデルは、バロトロピックのベータ平面チャンネルモデルを用い、大規模場の運動の形として東西7千5百キロの波長のプラネタリー波動を仮定した。この波動が変形しつつ移動していく様子を、先ず大域モデルでシミュレートした。この大域モデルは、低分解能であるから、波動の巻き波のような微細構造などは、表現できない。それを表現するために、高分解能の領域モデルでネスティングして、微細構造の再現を試みた。

3. 結果

計算の結果を見ると、大規模場は領域モデルにおいて大変良く再現されており、境界に於ける内外のモデルの結合はうまく働いていることを示している。しかし、現段階では領域モデルの分解能がまだまだ不十分のため、微細構造の再現についての可能性の検証はまだ確認不十分であり、今後の計算に期待がつながっている。

4. 用いるモデル

絶対過度保存則から、

$$\frac{D\eta}{Dt} = 0$$

η は絶対過度。格子点法を用い、 z は高度 (m)。 f はコリオリ因子として、地衡風近似、

$$u = -\frac{g}{f_0} \frac{\partial z}{\partial y}$$

$$v = \frac{g}{f_0} \frac{\partial z}{\partial x}$$

と、

$$\zeta = \frac{g}{f_0} \nabla^2 z$$

$$\eta = \frac{g}{f_0} \nabla^2 z + f$$

$f_0 = 45^\circ N$ を中心とする β 平面近似を用いる。時間積分は、リープフロッグ法を用い、リープフロッグ法の 47 回毎に松野スキームを 10 step 入れる。すなわち、時間間隔に関してリープフロッグ法で 1500 (s) を用いるときは、松野スキームで、150 (s) としている。また、格子間隔、時間ステップは、粗いモデルで、300 km, 1500 秒。

ネスティング領域 (2 倍) で、1500 km, 750 秒として行う。

5. Test

テスト用に波数 2 の波を仮定する。境界は、東西 (x 方向) は、cyclic boundary, 南北 (y 方向) は、固定。粗いモデル (Carse Model) の格子の数は $m_x \times m_y = 52 \times 23$ 。

全領域ファインメッシュ (2 倍) で計算したもの (Fine Model) と、粗いモデルから情報をもってネスティングしたもの (Nested Model) と比較していく。領域の取り方の効果をみた実験を除いて、ネスティングを行った領域は、中央部分 (格子で言うと $x \times y = 11 \times 7$ から $x \times y = 33 \times 17$) をネスト域とした。(Fig. 1 に格子とネスト領域を示し、Fig. 2 に初期条件を示す。) また、内挿の時間間隔は 10 時間毎とした。

5.1 特徴

(1) Coarse Mesh

風速分布が北端で最大となるように仮定しているが、壁では、速度をゼロとして固定端にしているので、粘性のようなものが働く形になってしまった。したがって、不安定が 180 時間以降は顕著になってしまうの

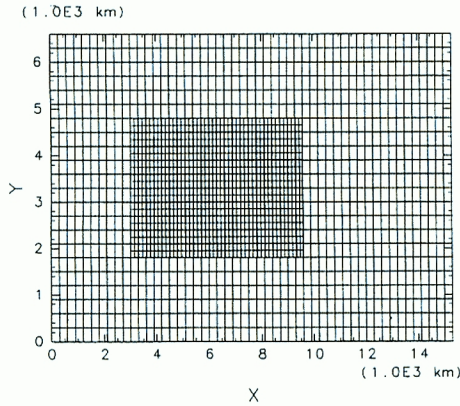


Fig. 1 Grids of nested higher-resolution area and outer lower-resolution area.

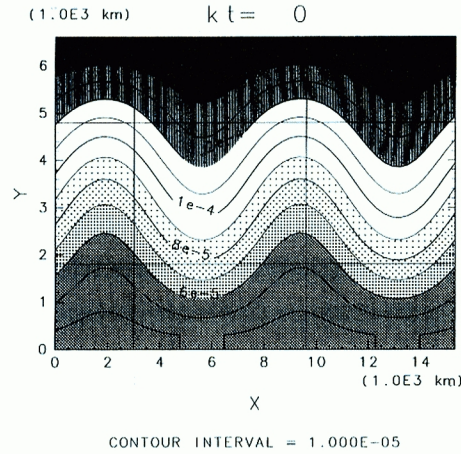


Fig. 2 Initial Condition. The entire Region of the Coarse Mesh. The Rectangular area is nested region.

で、ここまですを比較していく。**Fig. 3**に時間変化を示す。60時間から波が渦巻きかけながら、流れていく。その結果、中央部の波の切込が成長していく。

(2) Fine Mesh

Fig. 4に時間変化を示す。60時間での位相は早めであり、80時間ごろの切込が、Coarse Mesh よりによく、勾配も緩い。この緩い勾配から、90時間、100時間、120時間と小さなへこみ ($x = 5000$ km, $y = 3600$ km あたり) が生じて成長していく。これは、Coarse Mesh では見られなかったものであり、ここでは、このへこみの再現を Nesting の一つの示標とする。以降のへこみは、下流に流されながら消えていく。

5.2 Nest

ネスティングの手法は、以下のように、Anthes. et. al (1989) に沿い、ニュートニアン・ダンピングと拡散項を含んでいる。緩衝域は隣接した7点までとし、Coarse Model からの内挿は、10時間毎に線型的になされる。また空間的にも、もっとも簡単な双一次補間を行っている。

$$\left(\frac{\partial \eta}{\partial t}\right)_n = F(n)F_1(\eta_L - \eta_M) - F(n)F_2 \nabla^2(\eta_L - \eta_M)$$

ここで $F(n)$ は直線的に減少し、

$$F(n) = \begin{cases} (7-n)/6 & (n = 2, 3, 4, 5, 6) \\ 0 & (n \geq 7) \end{cases}$$

さらに、

$$F_1 = \frac{1}{a \cdot \Delta t}$$

$$F_2 = \frac{\Delta x^2}{b \cdot \Delta t}$$

また、 η は絶対過度。 Δt は時間間隔。 Δx は格子間隔。添字の L は、10時間毎の Coarse Model からの空間双線形内挿値、時間線形内挿値。 M は Nested Model での計算値。 n は、最も近接した境界からの格子の数 ($n = 1$ が、境界)。 a , b は、各効果の強さを調節する定数。

(1) Control run

コントロールランとして、 $a = 8$, $b = 24$ を用いて、計算した。**Fig. 5**に時間変化を示す。ノイズがみ

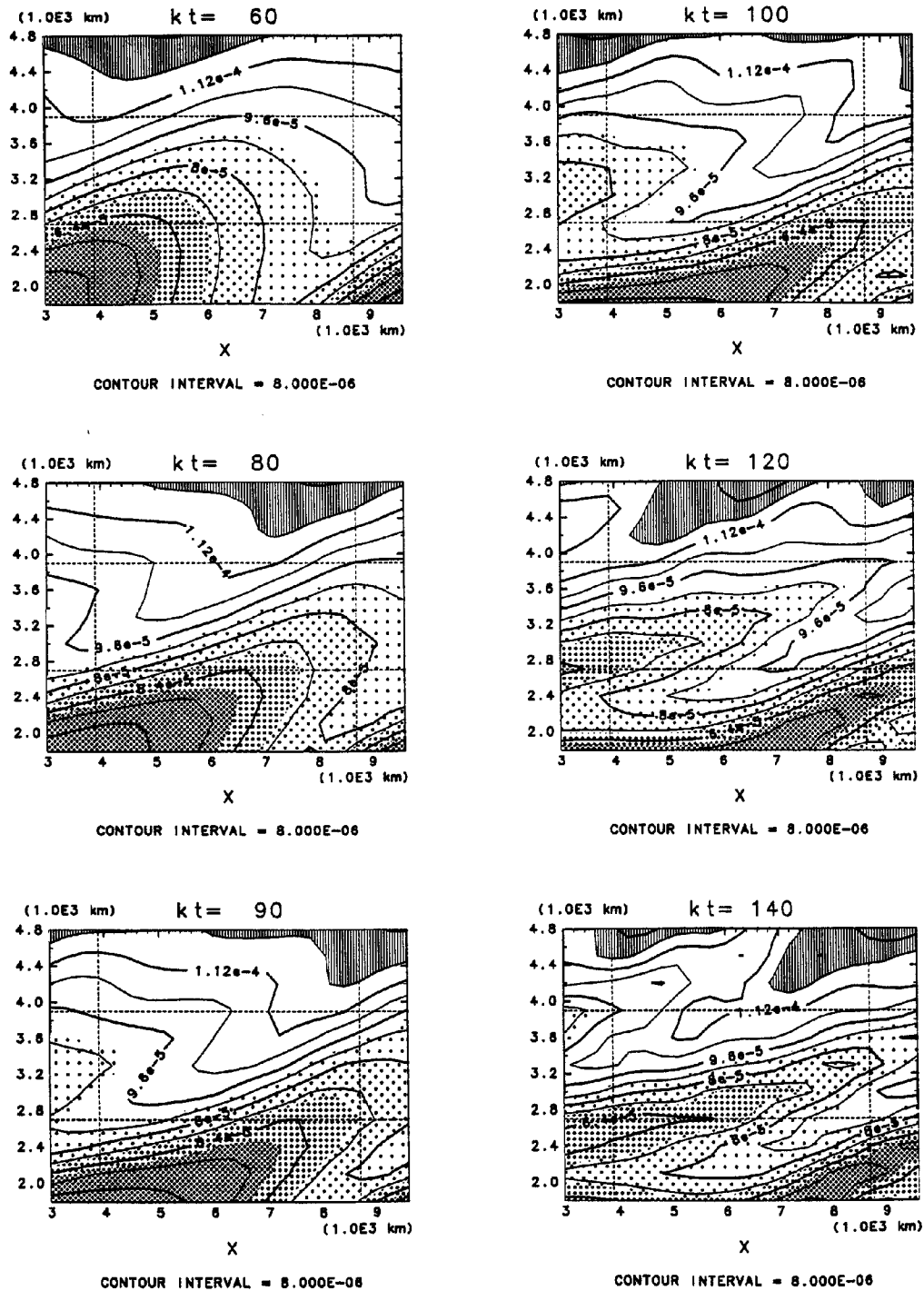


Fig. 3 A time sequence by the Coarse Model. From 60 hours to 140 hours every 20 hours, except for 90 hours between 80 and 100 hours. Dashed lines show the relaxation region.

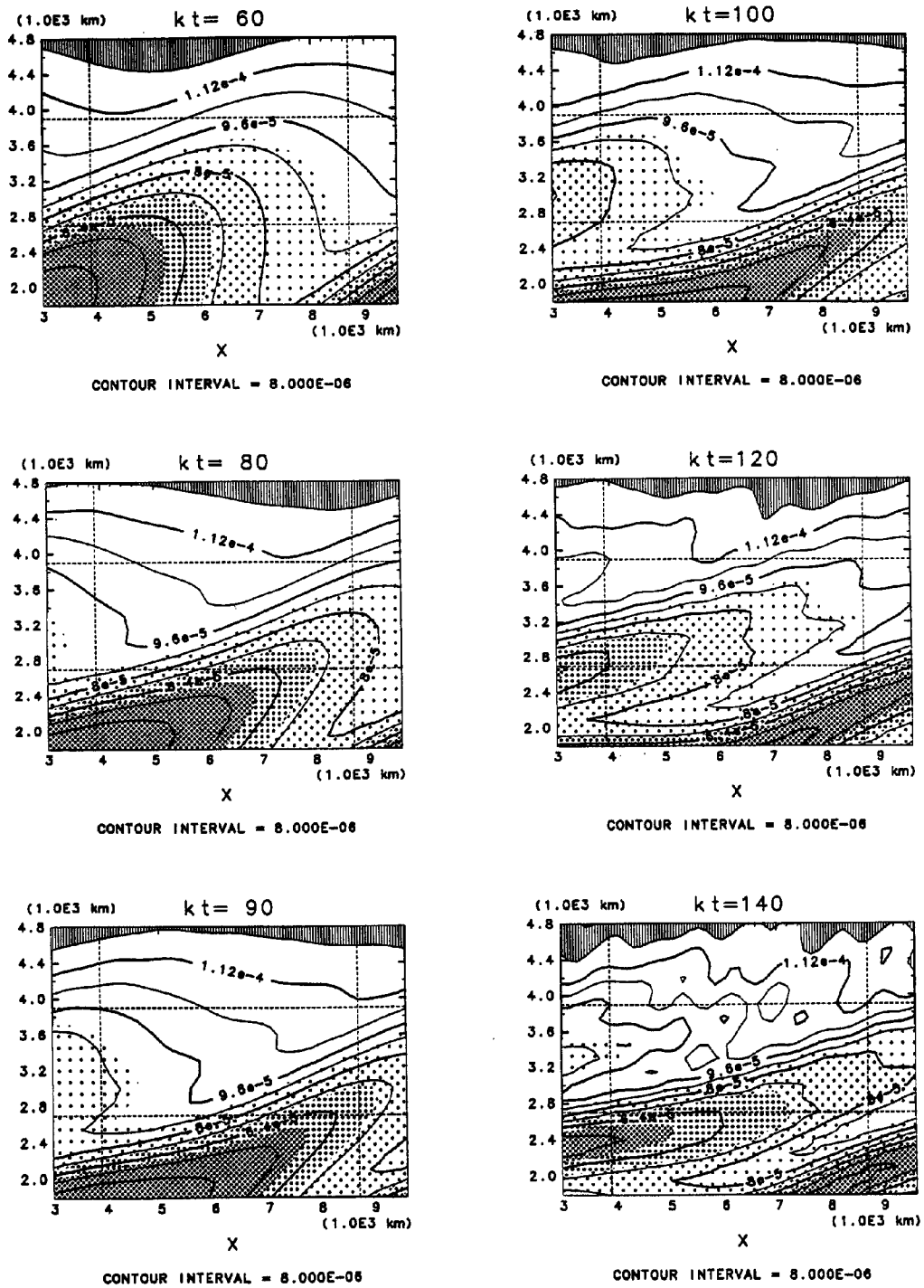


Fig. 4 Same as Fig.3 except for the finer Model.

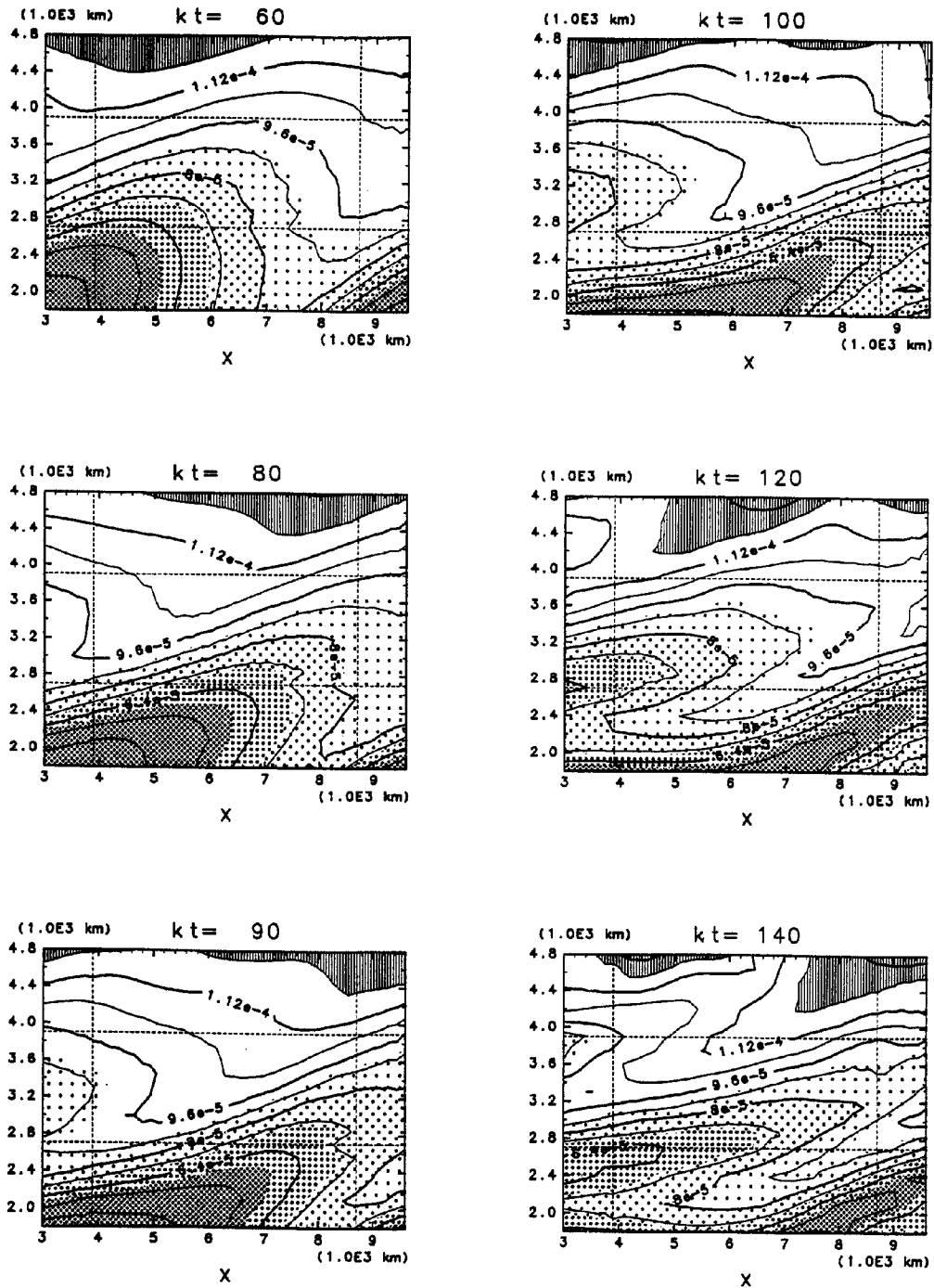


Fig. 5 Same as Fig.3 except for the nested model (control run).

られる。これについては次の節でニュートニアン・ダンピング、拡散項の入れ方や、松野スキームの挟み込み方を変えて実験を行った。Nest した場合について、80 時間の切込の鈍さ、緩い勾配が再現されている。そのため、微妙なノイズに犯されながらも、注目しているへこみが、(120 時間の中央部 $x = 6500$ km, $y = 3400$ km あたりで) かすかではあるが再現されている。90, 100 時間でのへこみが弱いので、120 時間のへこみもかすかである。しかし、緩衝領域で、Coarse Model からネスト域になめらかにつながっているの、Coarse Model のように、鋭い切込みとなることはなく、平ら、もしくは、心持へこんでいるという点で、Fine Model の特徴に近づいているといえる。120 時間以降のへこみの伝播は、120 時間中央でのへこみが再現されていないため、上部からのノイズや緩衝域に達してしまうこともあり、うまく再現されない(140 時間)。また 60 時間の位相は、Coarse Mesh と Fine Mesh との中間的であり、きれいに繋がっていることを示している。

(2) ニュートニアン、拡散項の入れ方…基礎実験 1

Fig. 6 に下記のうち, ctrl, 2, 6, 11, 13, 16 の 120 時間後の結果を示す。

●ニュートニアン・ダンピング、拡散項の入れ方。極端な場合 (Table. 1)

F_1 (Newtonian) 効かせない場合 (1, 2, 5) は粘性の効果など関係なく上部しかも下流 (つまり右) からノイズに侵されていく。

F_1 (Newtonian) を効かせる場合 (3, 4) は粘性の効果など関係なく効かせすぎとなりすぐに計算不安定を引き起こす。

●粘性の効果 (Table. 2)

粘性は効かせないよりは、効かせた法がいいが (6 とその他を比べる)、効かせ方は、ノイズ的な微妙な違いしか残さない。13 は計算不安定。

●ニュートニアン・ダンピングの効き方。(Table. 3)

劇的な違いを生む。17 では弱すぎノイズに侵されるが、かといって強すぎたり (15) というのは、計算不安定を起こす。

(3) 松野スキームの効き方。

松野スキームでは、数値ノイズが消えることを期待したが、挿入回数を増やしても効果がみられないばかりか、悪化すらするので、リーブフロッグスキームと松野スキームのつなぎ方に問題を残していると思われる。

またどの場合も同じノイズが発生しているので、このノイズは、内挿法の問題だと思われる。

(4) 緩衝域を定める…基礎実験 2

$$F(n) = \begin{cases} (5-n)/3 & (n = 2, 3, 4) \\ 0 & (n \geq 5) \end{cases}$$

にする。

Fig. 7 に示した。ノイズがでるが、緩衝域を狭めたおかげで、120 時間の注目のへこみがもう少し良く出ている。これは、粗いモデル (Coarse Mesh) の影響が弱まったのだから、良い結果である。

(5) 領域の取り方…基礎実験 3

●領域を x 方向の格子数で、16~33, すなわち後半約 3/4 にした場合。

Fig. 8 をみると、へこみが成長するのに十分な勾配がないので、120 時間の $y = 3600$ km 辺りでのへこみが、平らな状態になっている。したがって、広いネスト (Control Run) に比べると 120 時間中央部 ($x = 6500$ km, $y = 3500$ km) のへこみらしきものにわずかながら差がみられ、再現性は悪くなっている。

る。

- 領域を x 方向の格子数で, 11~28, すなわち前半約 3/4 にした場合。

Fig. 9 をみると, へこみが成長するのに十分な広さがいないため, 100 時間, 120 時間で ($x = 6000 - 6500$ km, $y = 3500$ km 辺り), 見えにくいが, 上の結果と比較するとへこみがこちらの方が見える。Control Run と比べると, この部分では, ほぼ同じような傾向を持つ。しかし, すぐに緩衝領域に達して, はっきりしない。

- 領域を x 方向の格子数で, 16~28, すなわち中央約 1/2 にした場合。

Fig. 10 をみると, 丁度上記 2 例を混ぜ合わせたものになっている。なおさら, Coarse に近づいて, へこみなどみられない。

6. CONCLUSION

NESTING という手法のうちでも, 極めて簡単な手法をもちいても, 大規模場の特徴を取り込みつつより小さいスケールの現象の再現を行える可能性があることを示した。緩衝領域の幅を狭めると再現性が向上す

Table. 1 Newtonian dumping and Diffusion term.

	a in F_1 (Newtonian)	b in F_2 (diffusion)
1.	なし	なし
2.	なし	1
3.	1	なし
4.	1	1
5.	なし	24

Table. 2 Diffusion dumping at constant a .

	a in F_1 (Newtonian)	b in F_2 (diffusion)
6.	8	なし
7.	8	96
8.	8	48
9.	8	24
10.	8	8
11.	8	4
12.	8	1

Table. 3 Newtonian dumping at constant b .

	a in F_1 (Newtonian)	b in F_2 (diffusion)
13.	なし	24
14.	1	24
15.	8	24
16.	16	24

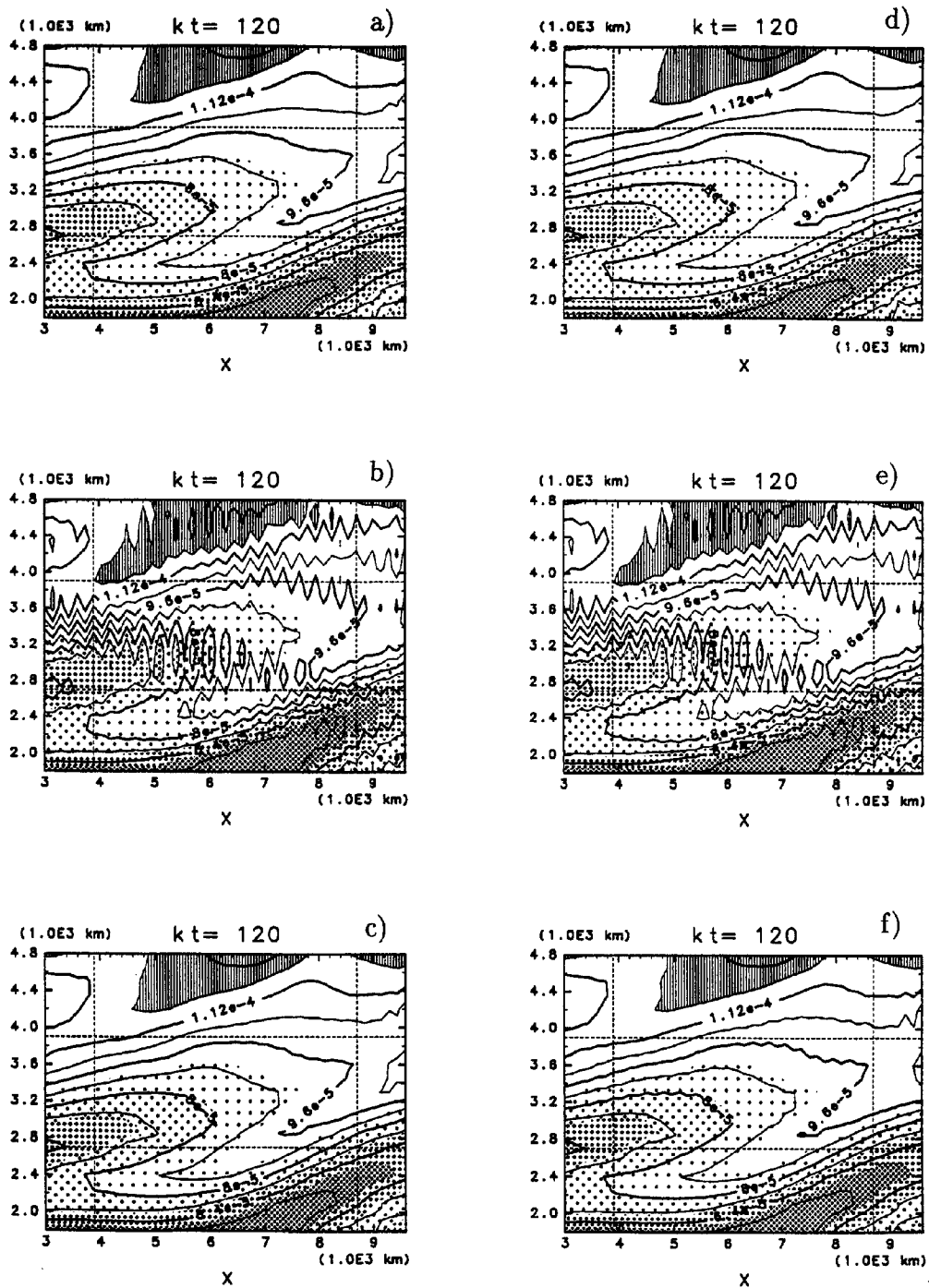


Fig. 6 120 hours by the nested model for various coefficients in the relaxation. a) 9.in table.2, b) 2.in table.1, c) 6.in table.2, d) 11.in table.2, e) 13.in table.3, f) 16.in table.3.

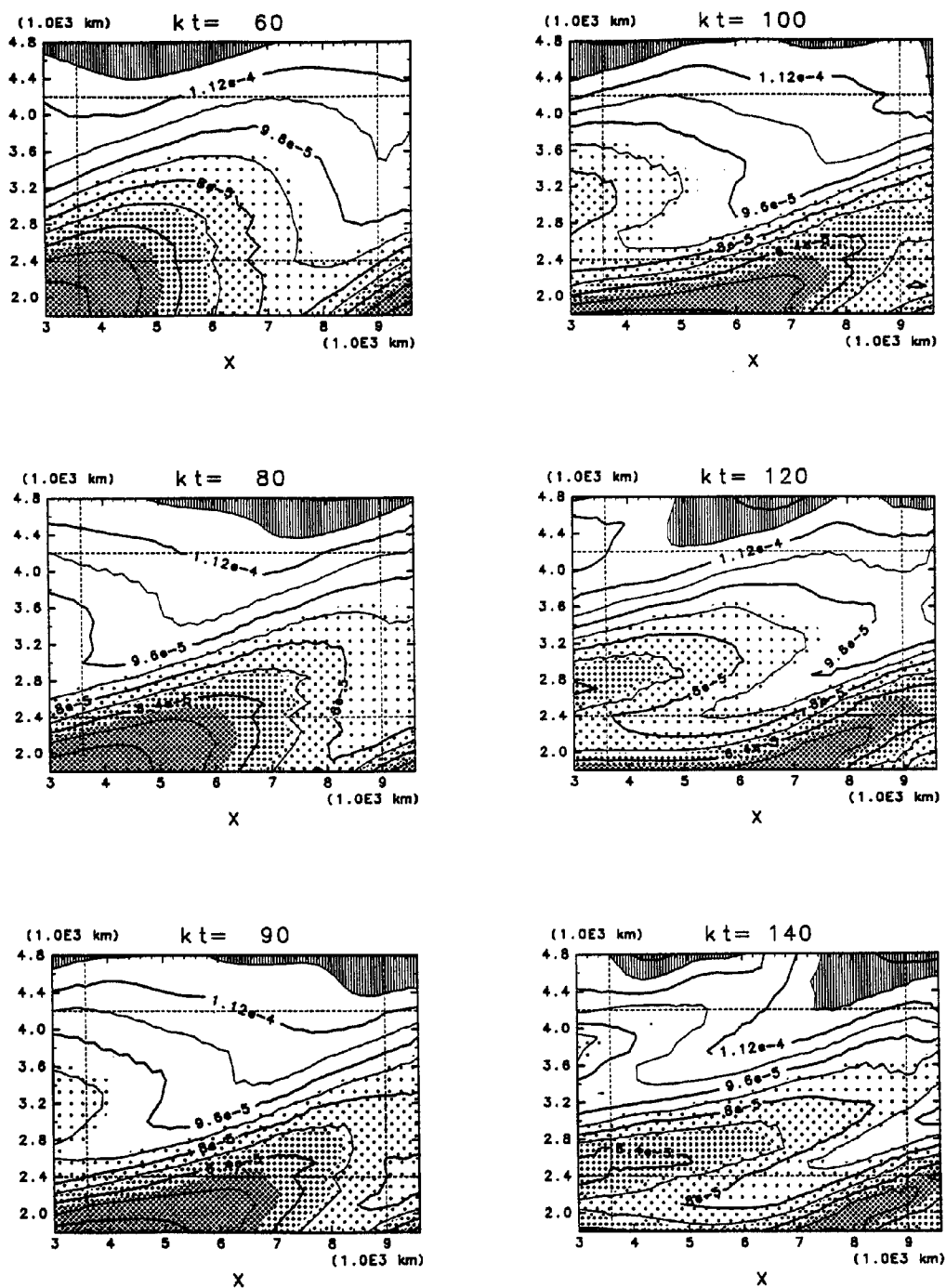


Fig. 7 Same as Fig.5 except for the width of relaxation region. The width is 5 grid points from the nearest boundary.

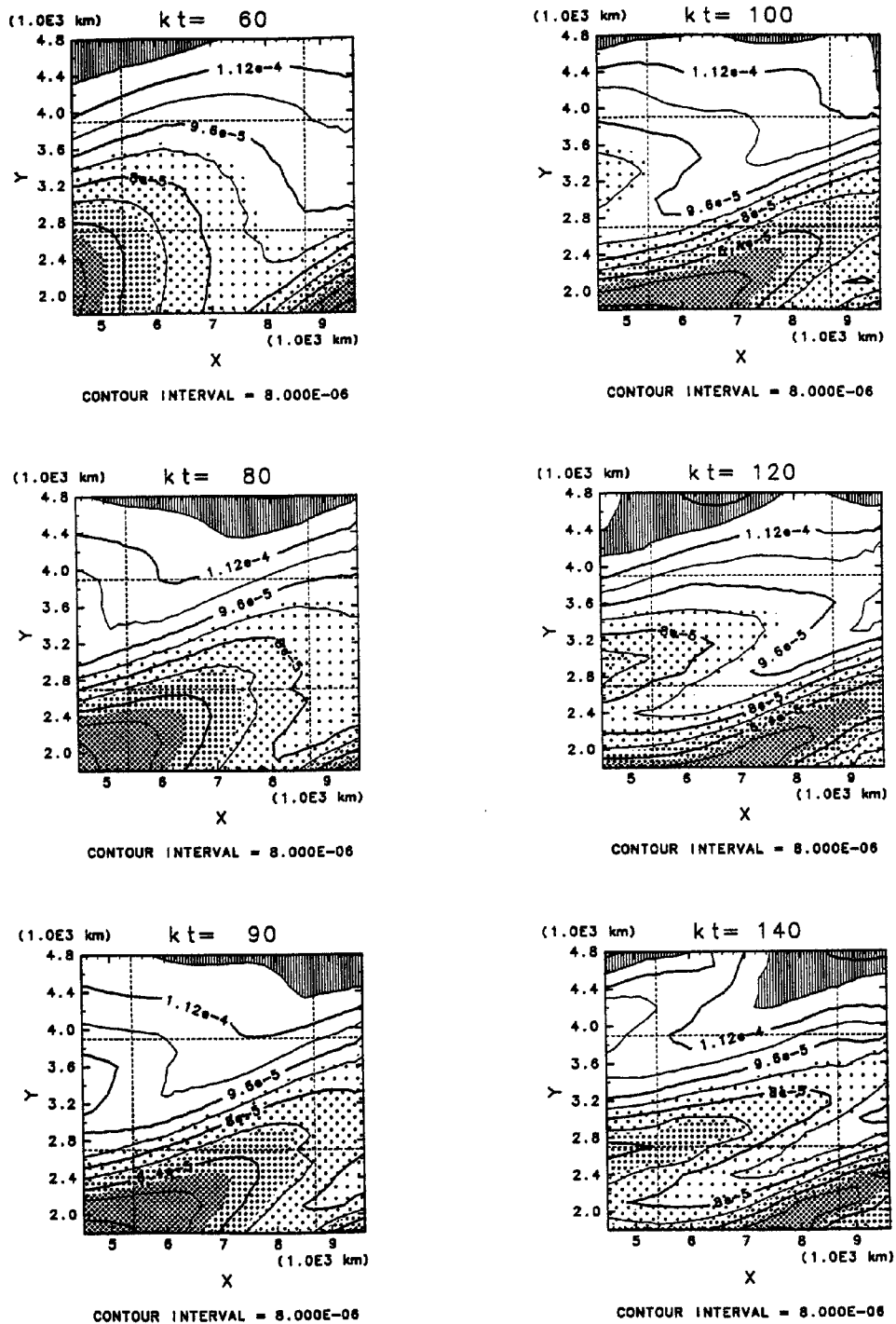


Fig. 8 Same as Fig.5 except for that Nested region is narrowed (down-stream 3/4).

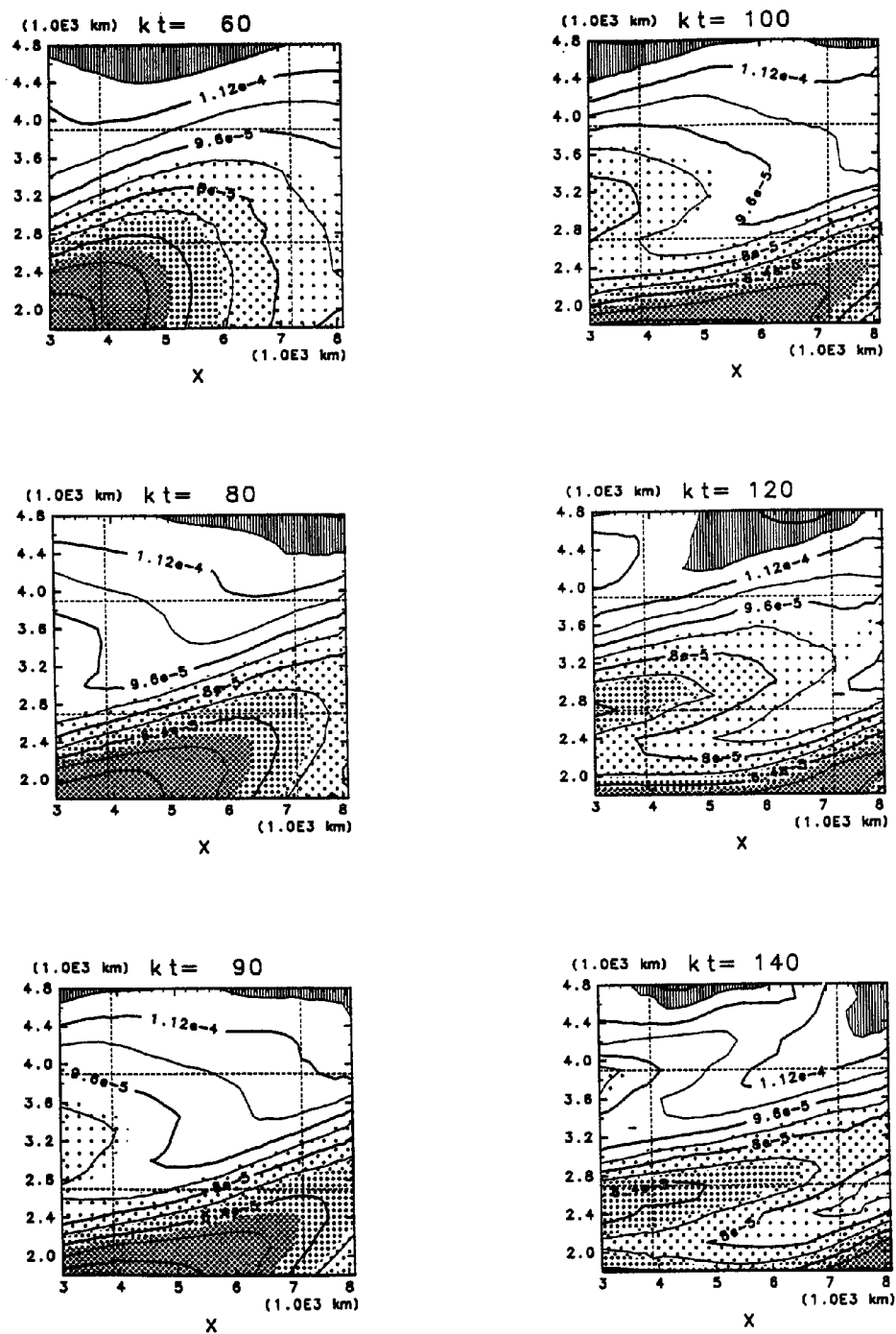


Fig. 9 Same as Fig.5 except for that the nested region is narrowed (up-stream $3/4$).

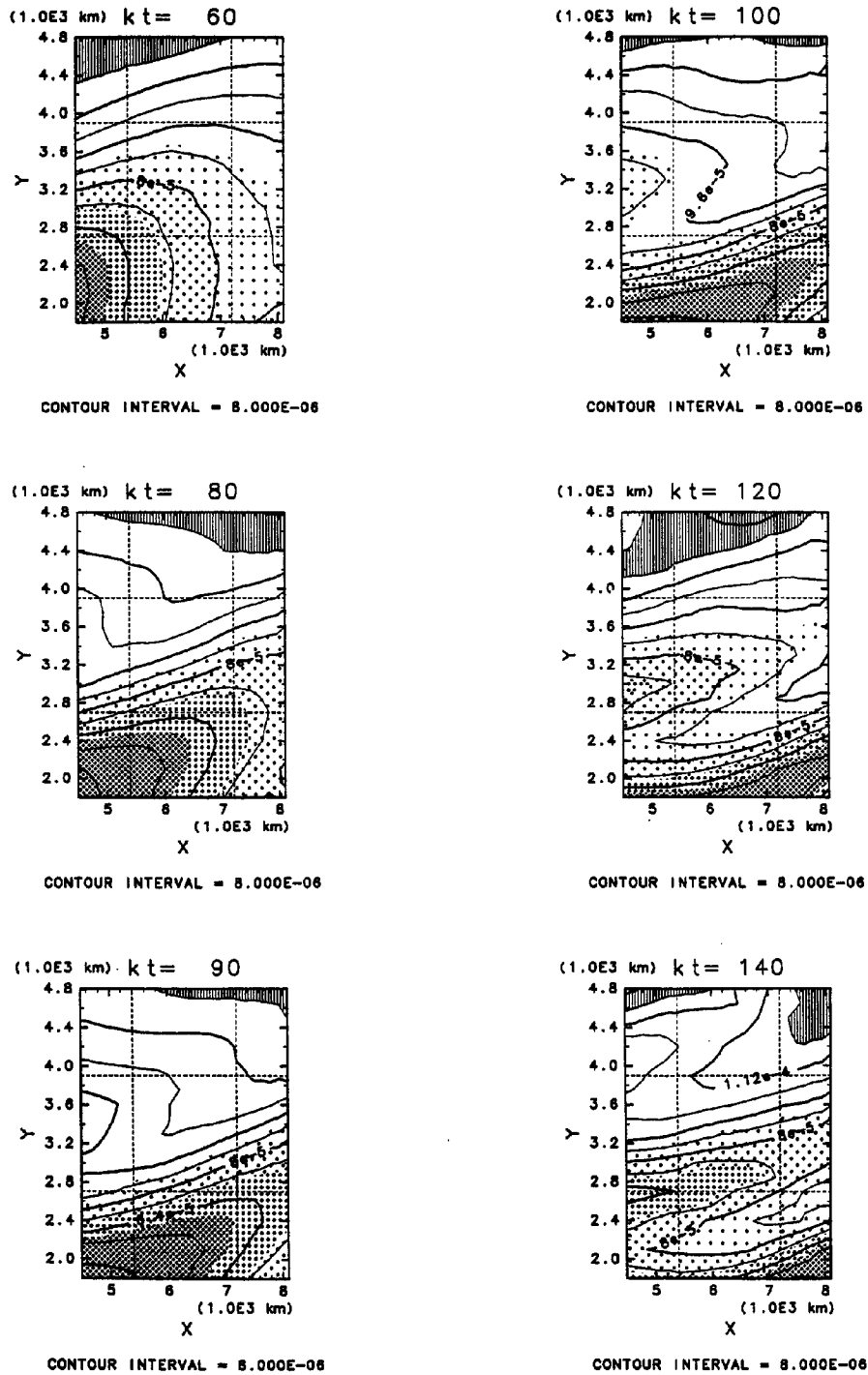


Fig. 10 Same as Fig.5 except for that the nested region is narrowed (centered 1/2).

るが、ノイズが増す。このノイズの除去が不十分であり、なお研究をつづける必要がある。また領域依存性についても、現象の上流にある程度の広さがないと Coarse Mesh の影響がきいてきて、再現性が悪くなってしまう可能性が示唆された。

参考文献

- 1) 木田秀次：局地気候モデルの開発について—特にネスティングの問題—，京大防災研年報，第 38 号 B-2，1995，pp.249-258.
- 2) 気象研究ノート 110 号，気象力学における数値計算法. 1972.
- 3) 気象研究ノート 134 号，数値予報（下）.
- 4) 増田善信：数値予報，気象学のプロムナード 3，東京堂出版，1981.
- 5) Anthes. R. A., Y. H. Kuo, Y. Hsie, S. Low-Nam and T. W. Bettge : Estimation of skill and uncertainty in regional numerical models. Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 115, 1989, pp.763-806.
- 6) Davies. H. C : A lateral boundary formulation for multi-level prediction models. Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 102, 1976, pp.405-418.
- 7) Chen. J. H. and Miyakoda. K. : A nested grid computation for the barotropic free surface atmosphere. Mon. Wea. Rev., 102, 1974, pp.181-190.