

4 次元データ同化手法による関東の局地風と積雲シミュレーション

Numerical Simulation of Mesoscale Wind and Clouds over the Kanto Region
Using Four-Dimensional Data Assimilation

福田忠弘*・神田学**・井上裕史***・鶴野伊津志****

BY Manabu KANDA, Tadahiro FUKUDA, Yushi INOUE and Itsushi UNO

Numerical simulations of Mesoscale wind fields and cumulus clouds in summer over Kanto region have been performed using RAMS(Regional Atmospheric Modeling System). This non-hydrostatic model include the advanced technique of weather prediction; ① the microphysics parameterizations ; ② multi-grid nesting; ③ FDDA(Four Dimensional Data Assimilation). A total of three numerical experiments lead the following results. (1) The results of wind fields agree well with AMeDAS data. (2) Local wind fronts and clouds are simulated by nesting grid system. (3) The cloud over central Japanese mountains area agree qualitatively with the image from NOAA.

1. はじめに

従来の局地気象の数値解析的研究は、木村(1980)¹⁾のモデルに代表されるように、静水圧近似で相変化過程を含まない、いわゆる Hydrostatic-dry model がその主役を担ってきた。しかし、夏季の雷雨性集中豪雨や環状八号線に生じる汚染雲など、局地性のきわめて強い環境気象問題がクローズアップしてきている現在、モデルの1) 非静水圧化、2) 相変化過程(微物理過程)の導入、などが解析のための必須項目となりつつある。また、局地気象シミュレーションは、気象庁などのルーチン予報から取り残されていたこともあり、計算に際して一定の一般風や温位勾配などの簡易な計算条件が仮定される場合も多い。しかし、総観場の気象特性を初期条件や境界条件に適切に反映させるためには、グローバルスケールの天気予測などで開発されてきた3) 4次元データ同化法や4) ネストグリッドシステム、を積極的に導入する必要があると考えられる。

本研究では、上述した4つの項目を全て考慮することの出来るRAMS(Regional Atmospheric Modeling System)を用いて、関東域の局地風と好天積雲のシミュレーションを行う。1) 4次元データ同化法による風速場の再現性、2) 積雲の再現性と積雲が風速場に及ぼす影響、3) マルチグリッドネスティングの影響、が今回の数値実験の着目点である。

* 学生会員 東京工業大学 大学院土木工学専攻
** 正会員 工博 東京工業大学 工学部開発システム工学科助教授
*** 学生会員 東京工業大学 工学部土木工学科
**** 正会員 工博 国立環境研究所 大気圏環境部室長

2. モデルと計算条件の概説

モデルは、現在 GAME-JP の STANDARD MODEL の候補となっている Pielke et al.(1992)²⁾による RAMS (Regional Atmospheric Modeling System)を用いた。本モデルは、様々な option を有するが、今回は非静水圧で乱流クロージャーモデルレベル 2.5 を採用した。以下に本モデルの特徴を示す。

(a)マルチグリッドネスティング手法 本計算は、複雑なグリッド系をネスティングしながら同時並行的に解いていく、いわゆるマルチネスティング手法を採用しており、メッシュ系やモデル方程式系をグリッド毎に設定することが可能である。この手法を用いることで、関東近域の広域総観場と積雲が形成されるような局所場とを両者の相互作用を考慮しながら、効率良く計算を行うことも可能である。今回は対象として東京を中心とした広域総観場の Grid1 と、東京湾を中心としてネスティングを行った局所場 Grid2 の 2 つの領域をとった。本計算のグリッド条件を表－1 に示す。

表－1 各グリッドの計算条件

	メッシュ数		備考
	Grid 1	Grid 2	
水平方向 (座標中心)	60×40 (35.8 N,139.3E)	42×62 (35.5N,139.9E)	解像度 0.1° (Grid 2 は 0.025°)
大気層	18	24	地上 8.5 km(Grid2 は最下層 2 層の解像度 4 倍)
植生層	2	2	BATS のパラメータ ³⁾ 使用
地中層	8	8	最下層 1 m

(b)4 次元データ同化手法 (Four Dimensional Data Assimilation—以下 4DDA と略記する)

4DDA は、GCM などのグローバルな気象予測モデルから発展してきたものであるが、解析対象日を絞り込んだ現実的条件下での局地循環シミュレーションにおいても極めて有効であることが指摘されている (鶴野 1995) ⁴⁾。4DDA とは、まず客観解析により、空間的に不均一に分布している観測点での気象データを各グリッド毎に内挿した後、そのデータを時間軸を加えた 4 次元空間に取りこみつつ計算を行っていく手法である。本計算で同化させた気象データは表－2 に示すように、ECMWF(European Center for Medium Range Weather Forecasts)のデータのみである。これは、ECMWF データという全球客観解析の結果を用いることで、本モデルの数値予報としての有効性を考慮するためであり、今回は気象庁の高層気象観測や気象官署等のデータなどは同化に用いていない。

表－2 同化に用いた気象データ

内挿データ	観測地点	観測項目
ECMWF データ	(135E,32.5N)～(142.5E,39N) 緯度・経度とも 2.5° 毎 (16 地点)	気圧面高度、温度、風向・風速、相対湿度

(c)地表面条件 Tremback & Kessler (1985) ⁵⁾ による植生・土壌モデルを使用。2 層モデルを局地循環モデルに適用する場合、若干の注意を要する(神田 1995) ⁶⁾が、夏季で植生が十分に繁茂している場合には、多層モデルとの差異が小さく、ほとんど問題とならない。2 層モデルのパラメータは、BATS の結果をもとに設定されている。

(d)湿潤モデル 相変化の微物理過程としては、Cotton et al. (1986)⁷⁾や Meyers et al. (1992)⁸⁾の最近の Ice Microphysics が考慮されている。本計算では雨を伴わない好天積雲の再現がまず目的であるので、その詳細は省く。また、対流調整はここでは行わない。

(e)その他の計算条件 今回は、(1)4DDA による風系の再現性 (2) 積雲の再現性と積雲が風速場に及ぼす影響 (3) マルチグリッドの影響 の 3 点に着目し表－3 に示す 3 ケースの計算を行った。土地利用は表－4 に示すように国土数値情報に基づき、それを簡略化して用いた。解析は東京工業大学 Cray-C90 で対象日の 1995 年 7 月 25 日の 21 時から翌日の 21 時まで 24 時間分の数値シミュレーションを行った。

表-3 各ケースの計算手法の設定

	ネスティング	湿潤モデル	4DDA
CASE 1	○	○	○
CASE 2	×	○	○
CASE 3	×	×	○

表-4 土地利用分類

本モデルの分類	国土数値情報の分類
街区	建物用地・荒地地・その他
水田	水田
畑	畑・河川用地
森林	果樹・森林・その他の樹林
水域	湖沼・海面

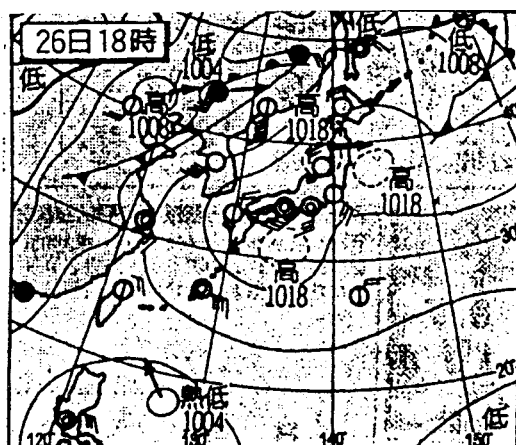
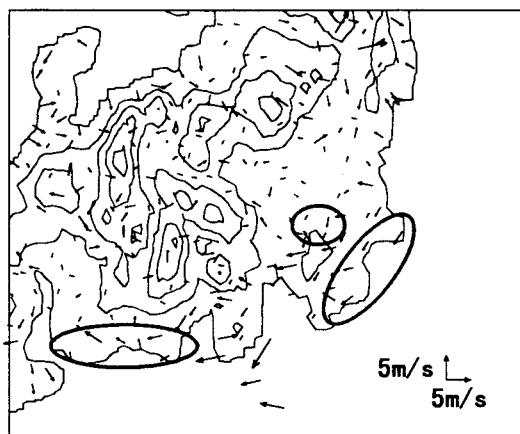


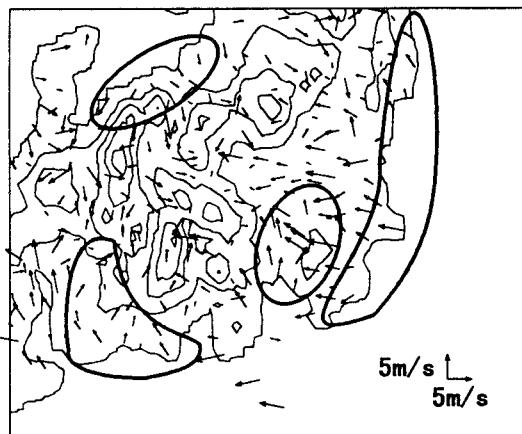
図-1 1995年7月26日の天気図

3. 解析対象日

局地風循環が発達する夏季の晴天日として、1995年7月26日の関東近域の気象条件を用いて解析を行う。この日の天気図を図-1に示す。また、AMeDASのデータから、この日の関東甲信越域の地上風系をプロットしたものを図-2に示す。

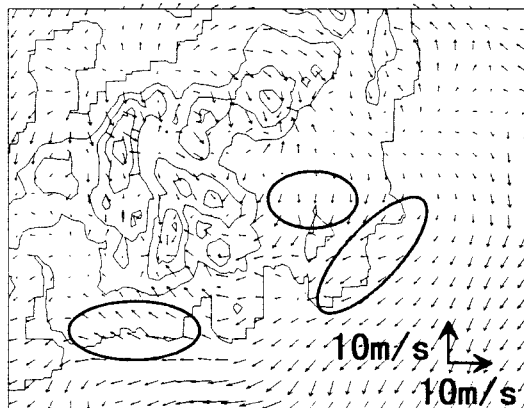


1995年7/26 9:00 [AMeDAS]

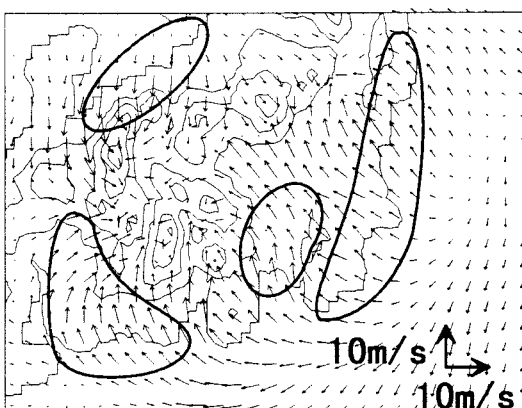


1995年7/26 15:00 [AMeDAS]

図-2 1995年7月26日のAMeDASによる関東地方の風系



9:00[case1]



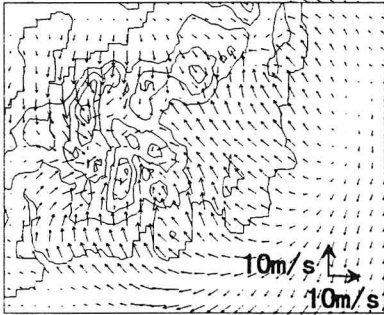
15:00[case1]

図-3 1995年7月26日の数値シミュレーション[CASE1(Grid1)]

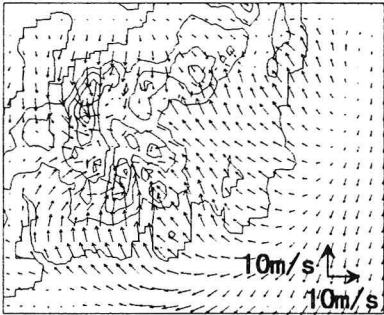
4. 解析結果と考察

(a) 4次元データ同化による現象の再現性 1995年7/26の9時と15時のAMeDASデータ(図-2)とCASE1による解析結果(図-3)を比較する。9時にすでに地上風系がある程度再現されている。特に、図中の太線で囲った房総半島東部の北西風、静岡県南東部の南東風、東京北部での北風などが良く再現されており、この付近の風は全時間帯を通して再現性が高い。また、西側・北側の境界付近の風は完全には再現されていない。しかし、15時になると再現性の高い地域が拡大し、観測結果に近い風系が非常に良く再現されている。境界付近の風も多少改善されるが、同化データのスケール等による限界のため、再現性は落ちる。しかし、対象領域を関東平野・甲府盆地付近とする場合、境界付近の影響はほぼ無視することができる。また、関東平野に局地風の収束域などがみられ、この点については、後に示すマルチネスティング手法の議論で詳しく考察することにする。

(b) 湿潤モデル Ice-Microphysics model を用いた CASE2 と Dry model を用いた CASE3 の計算結果を図-4に、15時の雲の分布を図-5に示す。CASE1とCASE2で、風系にほとんど差は生じなかった。この日は、天気図に示されるように関東近域は快晴で、雲はあまり発生していない。シミュレーションにおいても全体的に雲の発生量は少ない。そのため、雲による日射の遮蔽、雲からの放射などが弱く、計算においてもこれらの効果が地上風系に大きな影響を与えなかったことが考えられる。次に、発生した雲のパターンを、人工衛星NOAAによる同日の14時頃に撮影された東日本の衛星可視画像(図-6)と定性的に比較する。計算結果によると15時には中部山岳地域に強い風の収束帯が形成されており、その付近に雲が発生していることがわかる。これらの雲の分布は、可視画像でとらえられた実際の分布と大変良く類似しており、これらは山岳域での風の収束に伴う上昇気流により発生したものと考えられる。また、計算結果には、日本海側の平野部から山間部、及び西側境界部に雲の発生量が少ない地域が存在する。これは風系の再現性で考察したように、同化データのスケール等により、特に陸域での境界における水蒸気量が正しく再現されていないことが考えられる。今後は、レーダーアメダス、GPS(Global Positioning System)等のより精密なデータを用いて計算していく必要がある。また、ネスティングにより雲の分布に違いが生じるが、これは次で考察する。

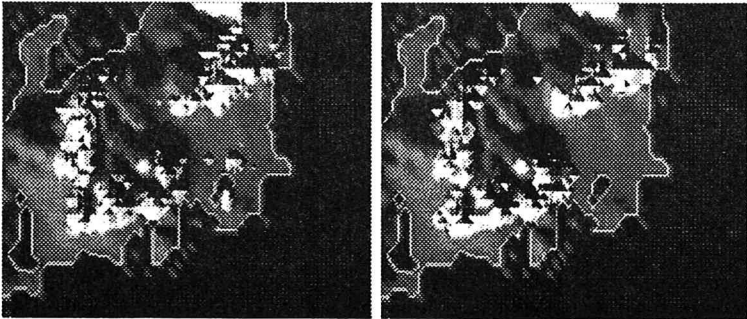


15:00[case2]



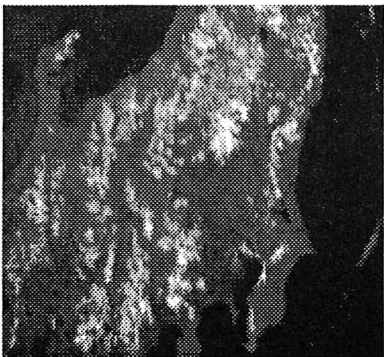
15:00[case3]

図-4 湿潤モデルと風系



7/26 15:00 ネスティング有り 7/26 15:00 ネスティングなし

図-5 計算による雲の分布(1995 7/26 15:00)



(1995 7/26 14:00)

図-6 NOAAの衛星可視画像

(c) マルチネスティング CASE1 の Grid2 の 12 時、15 時の解析結果を図-7 に示す。Grid2 ではネスティングをして、より細部の気象シミュレーションをしている。そのため、図中のラインで示されるように Grid1 ではとらえきれない極局地的な風の収束域が明確に再現される。また、本モデルでは同時並行的にそれぞれのグリッドを計算しているため、Grid1 から Grid2 へ計算するだけではなく、逆に Grid2 で再現される極局地的な現象が、Grid1 の総観場へとフィードバックされることも考えられる。そこで、12 時の計算結果

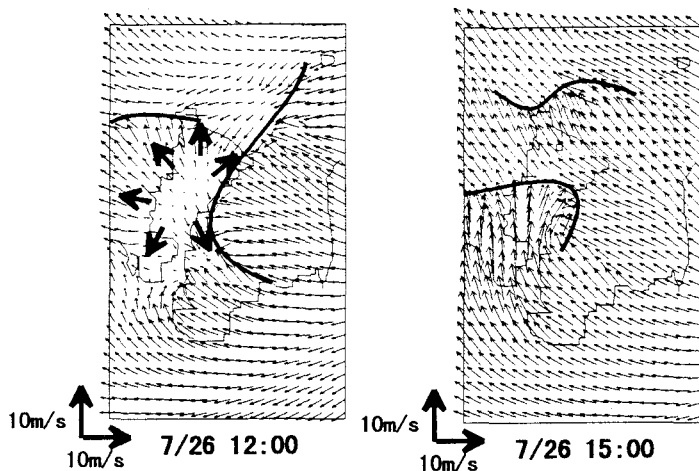


図-7 ネスティンググリッド (CASE1-Grid2) の計算結果

(図-8)におけるネスティングの影響をアメダスと比較してみる。CASE1 では、図-7 にも示されるように東京湾からの吹き出し風が Grid1 においても発生し始めている。一方、CASE2 ではその吹き出し風はみられない。これは、Grid 1 の空間解像度では明確に再現できなかった東京湾スケールの局地風を、ネスティングをかけて解像度を上げた Grid2 ではとらえることができ、それがスケールの大きい Grid1 へとフィードバックされた結果と考えられる。実際に、この付近の風系は東京湾、相模湾、太平洋からの湾風・海風が互いに影響し合っ、複雑なものとなるがよくいわれている。そのため、東京湾風の影響を取り込んで計算をしている CASE1 のほうが、CASE2 に比べより実際の風系に近づいているといえる。

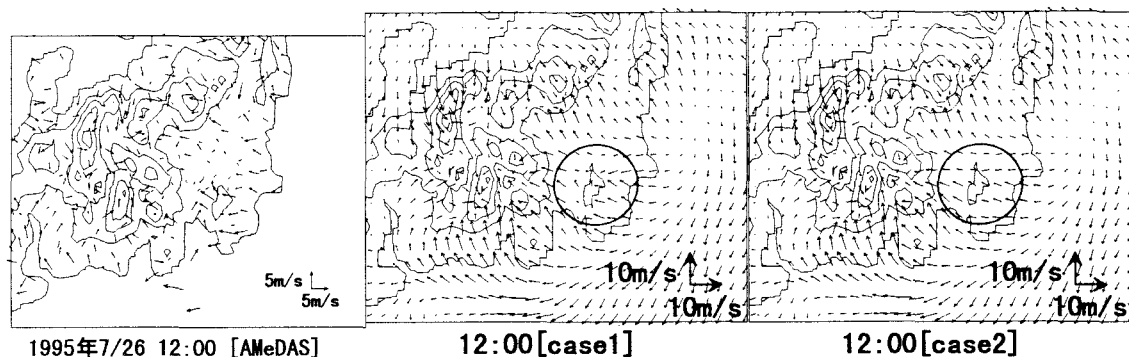
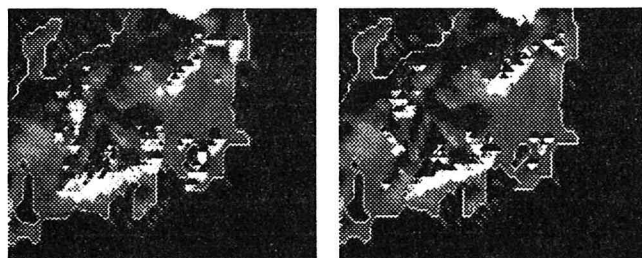


図-8 1995 年 7 月 26 日 12:00 におけるネスティングの影響の比較

以上の結果より、基本場の計算格子ではとらえきれないスケールの小さな局地風フロントの発達、あるいはそれらの収束域などを再現したい場合には、ネスティングは非常に有効な手段となることが考えられる。しかし、ネスティング内では局所的な影響は強まるが、その範囲外では通常の計算と変わらない。ネスティングを行う場合は、とらえたい細部現象のスケール、その構造等を理解し、その上で計算領域とネスティングの範囲のバランスを考慮していく必要がある。

次に、ネスティングによる雲の発生量の差異を考察する。図-9 に CASE1、CASE2 の 12 時の雲の分布を示す。図-5、図-9 に示された CASE1 では、ネスティングをかけた東京湾東部に可視画像 (図-6 参照) に対応した雲が発生している。しかし、ネスティングをかけなかった CASE2 ではこの雲の発生量は少ない。この付近に発生した雲は、ネスティングにより強調された複雑な海風収束域沿いに対応している。12 時の東京湾東部に形成されたフロント付近、そして 15 時にこのフロントが西進した地域 (いずれも図-7 参照) に積雲が発生

している。このことから、局地場における風の収束域でも雲の発生が十分ありうることが考えられ、ネスティング手法を用いて夏季の雷雨性集中豪雨や環状八号線上に生じる汚染雲などの局地性の極めて高い環境気象場再現の可能性が期待される。



7/26 12:00 [CASE1]

7/26 12:00 [CASE2]

図-9 1995 7/26 12:00 の雲の分布の比較

5. 結果

- (1) 4 次元データ同化手法により関東近域の局地風が良好に再現されることが示された。
- (2) 山岳域に生じる夏季の好天日における積雲の再現性が定性的に示された。
- (3) ネスティングにより海風前線に伴う東京湾東部の積雲が再現され、局地性の高い現象の再現に有効であることが示された。

【謝辞】本研究にあたって、東北大 NOAA の衛星画像を利用させて頂き、気象統計室からは AMeDAS のデータを使用させて頂きました。また、山梨大学大学院西村修氏には、研究に対するアドバイス、資料の作成など色々と手伝って頂きました。ここに、心から厚く謝意を表します。

【参考文献】

- 1) 木村富士男、1984：局地風モデルを利用した光化学大気汚染の数値シミュレーション、気象研究所技術報告 第 11 号、217—231
- 2) R.A.Pielke, W.R.Cotton, R.L.Walko, C.J.Tremback, W.A.Lyons, L.D.Grasso, M.E.Nicholls, M.D.Moran, D.A.Wasley, T.J.Lee, and J.H.Copeland, 1992：A comprehensive Meteorological system - RAMS, Meteorol. Atmos. Phys. 49, 69-91
- 3) R.E.Dickson, A.Henderson-Sellers, P.J.Kennedy, 1993：Biosphere-Atmosphere Transfer Scheme (BATS) Version 1e as Coupled to the NCAR Community Climate Model: NCAR TECHNICAL NOTE
- 4) 鶴野伊津志、1995：4 次元データ同化手法による関東地域の局地循環シミュレーションと評価、大気環境学会誌 30、351—366
- 5) Tremback, C.J., Kessler, R., 1985：A surface temperature and moisture parameterization for use in mesoscale numerical models. Preprints. 7th AMS Conference on numerical Weather prediction, June 17-20, Montreal, Quebec, Canada, Amer. Meteor. Soc., Boston, 433-434
- 6) 神田学(1995)：メソスケールモデルへの多層植生モデル導入効果に関する数値的解析検討、水文水資源学会誌、vol. 8、pp. 547—559
- 7) Cotton, W.R., Tripoli, G.J., Rauber, R.M., Mulvihill, E.A., 1986：Numerical Simulation of the effect of varying ice crystal nucleation rates and aggregation process on orographic snowfall. J. Climate Appl. Meteor., 25, 1658-1680.
- 8) Meyers, M.P., deMott, P.J., Cotton, W.R., 1992：New primary ice nucleation parameterizations in an explicit cloud model. J. Appl. Meteor., 31, 708-721.