

異種気象レーダパターン情報の統一的な予測法

A Unified Prediction Method for Heterogeneous Weather Radar Patterns

境野 英朋[†]

Hidetomo Sakaino[†]

1. まえがき

近年、都市型災害と呼ばれる局地的な集中豪雨や落雷による被害が報じられることが多くなってきている。2000年9月12日の東海大雨に至っては局地な豪雨と雨が止んだあとの、復旧までの日照問題が指摘されている。このような背景と防災の観点から、雨、雷、晴、曇の局地予報は重要と言える。これらの天候の事前情報としては時空間分解能が高く、広範囲でセンシングができる気象レーダ情報がある。従って、レーダ上に映し出されるさまざまな画像パターンに基づいて予測できれば、その有用性は十分に高いと言える。予測方法としては、降水・衛星・雷レーダからのパターンに基づいて、気象物理量、時間、空間で異なる情報の統一的な予測方法が必要となる。ここでは、ダイナミクス・テクスチャ(DT)法の適用を提案し、その有効性について論じる。

2. 気象レーダとパターンの特徴

ここで用いる3種類の気象レーダは表1に示すような特徴がある。気象レーダによるセンシングは特定の対象に非常に高い性能を発揮できるがそれ以外の対象はほとんど対応できない。降水レーダから雨量と雨域はわかるが晴か曇は識別できない。衛星レーダからは可視・赤外・水蒸気パターンが得られ、可視画像では曇か晴かが判別できる。雨については識別しにくい。雷レーダからは落雷数などはわかるが晴、曇、雨などは識別できない。レーダ上の画素はピンポイント情報を有することから、3種類のレーダ情報をそれぞれ予測して情報を統合すれば、晴・曇・雨・雷といった主要天候のピンポイント予測が実現できる。一方、気象庁等の数値予測(GPV)はレーダ予測手法とは大きく異なっている。一つには気温、気圧、風等、複数の基本物理量を3次元データで観測し、複数の連立方程式を解いていることにある。欠点としてはデータ受信と予測計算に数時間必要となるのと、観測データがレーダからのデータに比べて粗いため、急峻に変化する局地予報には適当ではない。レーダ予測手法では単純にblockマッチング法でサブブロック毎に動きベクトルを推定し、初期サブブロックを独立に線形に外挿する方法が中心である。

表1 3種類の気象レーダの特徴

レーダ	降水	衛星	雷
観測	気象庁	気象庁	F-241
観測値	雨量	雲量 温度 水蒸気	落雷数 落雷時 位置
天候	雨	晴、曇	雷
空間分解能	2.5[km] 10[mm]	6[km] 0.5[mm]	0.1[km] 100[mm]
時間分解能	45[分]	15[分]	0.5[分]

過去から現在にかけて観測される各レーダ情報は、重要な情報であることから、そのまま各レーダ上に映し出されるパターンの未来を予測することができれば防災上、役立つことが考えられる。ここで問題となるのは、予測方法であるが、1)各パターンの気象物理量が異なっていること、2)連立方程式を解くだけ

の十分な物理量が存在しないことである。そこで、本稿ではダイナミクス・テクスチャ(Dynamics Texture: DT)法[1]を適用する。

3. ダイナミクス・テクスチャ法による予測

DT法は降水レーダ上のパターンに既に適用されている。本手法の特徴は、1)パターンの形状に関する知識は不要、2)移動速度(オプティカルフロー)をパターン情報から推定、3)移流、拡散、発達、衰退、停滞等の基本変化を網羅、4)過去と現在の2フレームを使用、5)非線形、非定常パターンに対応、6)偏微分方程式でラグランジュ予測、等である。

一方、衛星レーダと雷レーダのパターンも、降水パターンと予測計算を進める上での類似性が多い。予備実験の結果から、1)連続するフレーム間で時間微分を計算できる、2)空間微分の計算ができる、3)オプティカルフローが求められる、4)発達や分裂、融合等の急峻な変化が存在する、等を確認できている。

以上のことから、新たに衛星と雷レーダパターンでもDT法による予測が可能であることが示唆された。

4. 予測実験

図1に、史上2番の降水量を記録した2000.7.4のときの、3つのレーダパターンと、ある時点から110後の厚木市付近での主要天候ピンポイント予測の結果の例を示す。落雷数は画面領域内5時間で実に、3万点に及び、10分間で最大600点であった。局所的に大雨を伴いながら、落雷も広い範囲でもたらされた。

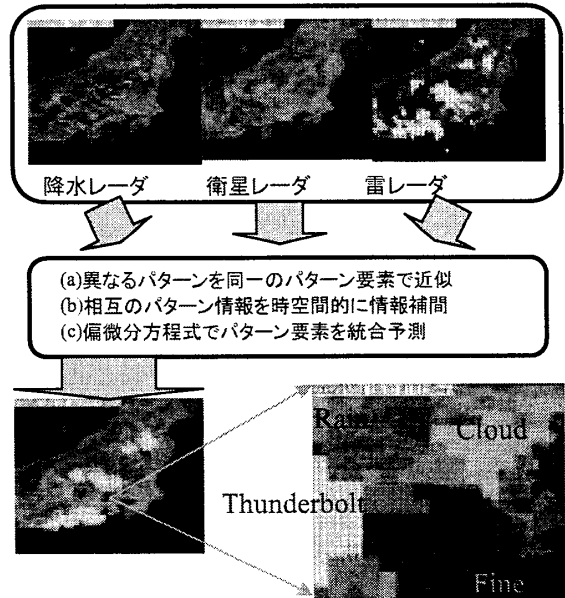


図1 DT法による3つのレーダパターン統合予測の例

本稿では、雷レーダの中の落雷数を予測に用いた。落雷データは瞬間的に観測されるが、降水データの10分間に基

[†]日本電信電話(株), NTT コミュニケーション科学基礎研究所

準をとり、10分間積分としたデータを落雷データの1フレームデータとした。また、衛星データは1時間間隔であるが後述するように、フレーム間の差分計算時では現在からみた10分~60分前の過去のデータはすべて同じ1時間前のデータを参照し計算した。空間分解能も降水データの2.5kmにすべてメッシュ点の最近傍点の値で補間処理して生成した。予測方程式(1)と諸方程式の詳細は紙面の都合上、文献[1]に譲る。ここではその概略のみを述べる。各レーダパターンの画像強度 I 、位置 \mathbf{x} 、時間 t とする。メッシュ間隔 h_x, h_y の計算空間座標を (i, j) 、時間 n の各微分値は計算格子点で差分近似した。式(1)の時間項を前進差分をとった式(2)を所定未来時間先まで反復的に時間幅 Δt の間隔で繰り返す。STE $_i$ ($i=1, 2, 3$) はそれぞれ移流項、異方拡散項、状態項である。非線形な移流項中、パターン速度 \mathbf{u} は標準正則化法で速度に1次微分についての拘束条件を与えて求めたオプティカルフローにより与えた。また、速度にノイズ軽減のために特異値分解を適用した。速度場の予測は移動平均フィルタを反復的に適用した。状態項は発達・衰退・停滞に関して、時間差分値にしきい値により3つに分類した結果を与える。異方拡散項はエッジ構造を保ちつつ平滑化の効果を有する。予測に際して、それぞれのレーダパターンの現在(初期値)と1つ過去の、連続する2フレームのみを使用した。low-pass filter等の前処理は行っていない。 $h_x=h_y=1.0$ 。

$$\frac{\partial I(\mathbf{x}, t)}{\partial t} = \sum_{q=1}^3 STE_q, \quad (1)$$

$$I_{i,j}^{n+1} = I_{i,j}^n + \Delta t \cdot \sum_{q=1}^3 STE_q. \quad (2)$$

where

$$\begin{cases} STE_1 = Advect(I, \mathbf{u}, i, j, n), & \mathbf{x}_{i,j} = (x, y) = (ih_x, jh_y), \mathbf{u}_{i,j} = (u_x, v_y) \\ STE_2 = Diff(I, i, j, n), & \\ STE_3 = State(I, i, j, n), & \nabla \equiv \frac{\partial}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \end{cases}$$

$$Advect(I, \mathbf{u}, i, j, n) = \mathbf{u}_{i,j} \cdot \nabla I_{i,j} \quad Diff(I, i, j, n) = I_{i,j}^{n+1} - I_{i,j}^n + \lambda \cdot \sum_{k=1}^4 [c_k^n \nabla_k^2 I]$$

$$\begin{aligned} \nabla_x I &= (I_{i+1,j}^n - I_{i-1,j}^n) / \Delta x, \nabla_y I = (I_{i,j+1}^n - I_{i,j-1}^n) / \Delta y, & c_k^n &= g \left(\left| \nabla_k^n I \right| \right), \\ \nabla_x^2 I &= (I_{i+1,j}^n - I_{i,j}^n - I_{i-1,j}^n) / \Delta x^2, \nabla_y^2 I = (I_{i,j+1}^n - I_{i,j}^n - I_{i,j-1}^n) / \Delta y^2, & g^{-1}(z) &= 1 + (|z|/K)^2 \end{aligned}$$

$$State(I, i, j, n) = I(i, j, n) / \Delta t - I(i, j, n-1) / \Delta t.$$

図2に、図1中、降水レーダ(青色)と雷(落雷:黄色)レーダの2パターンについて、式(2)により5時間先(20:30)まで、DT法で予測した結果を実測と対応する同時刻と、従来法の3駒で比較したものを示す。DT法予測ではアルプス山脈など内陸にあったパターンが関東平野などを通過して太平洋まで実測どおりの確に予測することができた。従来法はサブブロック数を最適化したのが予測開始(15:30)からわずか1時間後(16:00)でさまざまな方向に散らばってしまい実測と全く異なる方向に予測された。これはblockマッチングで推定された速度がさまざまな方向に検出されたことと、線形にサブブロックを移動させたことによる。不自然にサブブロック同士が重なりあったりもした。一方、DT法ではオプティカルフローにより画素単位に速度を推定し、画素近傍の降水量や落雷数の値が数理方程式により、影響し合いながらそれぞれのパターンが移動した。衛星レーダ情報中の、可視パターンは晴か曇(雲量)の情報を提供してくれる。しかしながら、宇宙より観測し

ているために夕方には太陽光の沈みとともに図3の左側(実測)に示すように、18時以降消滅してしまい情報を失う問題がある。この問題は、DT法で2時間後(19時)までも曇予測情報を出すことで解決している。DT法のもう一つの利点として、1時間毎しか観測されないが、数分間隔で非線形かつ非定常に曇パターン予測を行うことである。従って、19時でも、曇に加えて、晴・雨・落雷の全天候ピンポイント予測情報を得ることができた。

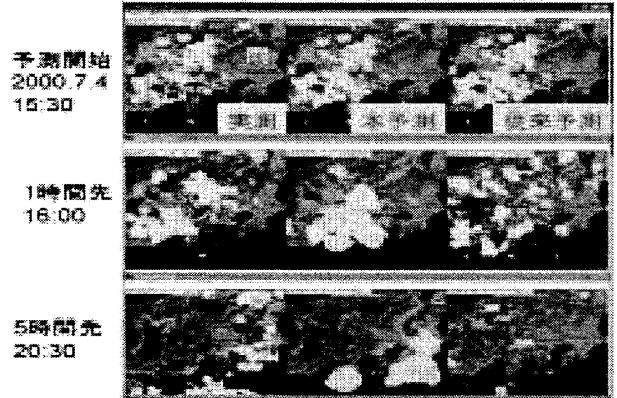


図2 落雷レーダと降水レーダの5時間先予測の比較

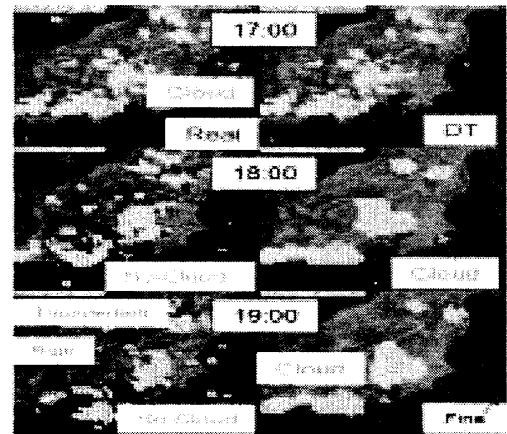


図3 衛星・落雷・降水統合と可視パターン消滅問題

5. 評価結果

3つのレーダそれぞれの予測精度について、実測データを正解データとして予測誤差を評価した。'99, '00で落雷が多かった関東以南のデータで評価した(表2)。3時間後の実測値と予測値との画素平均誤差である。DT法は従来法と比べると相対的に30%以上改善され、特に、落雷は58%となった。DT法の有効性が示された。

表2 3種類のレーダパターン予測評価

	Rain	Satellite (Visible)	Satellite (Infrared)	Satellite (Water Vapor)	Thunder bolt
Conventional Method	0.61	30.5	43.3	42.5	0.026
DT	0.33	21.0	25.2	27.4	0.011
Improvement percentage	46%	31%	42%	36%	58%

6. まとめ

単一の基本予測方程式で物理量の異なる複数のデータで従来法よりも誤差を向上させることができた。

参考文献 [1] 境野, "時空...", 信学技報 IE2002-8, pp. 43-48, 2002.