

SOMによるクラスタ解析に基づいた局地的豪雨の発生発達可能性に関する研究

法政大学大学院デザイン工学研究科 ○学生員 三村 昂大
 (株)建設技術研究所 正会員 岡田 翔太
 法政大学デザイン工学部 正会員 鈴木 善晴

1. 目的・背景

近年、我が国ではゲリラ豪雨とも呼ばれる、局地的豪雨が急激に発達する事例が増加しており、都市河川の氾濫や土砂災害などに伴う人的被害が頻発化する傾向にある。このような局地的に発生する豪雨は時間・空間スケールが極めて小さく、各々が独立した発達システムを持つため、気象モデルを用いた旧来の予測システムでは予測が難しい。このような問題に対し、国土交通省ではXバンドMPレーダ（以下、MPレーダ）を用いた観測網X-RAINを整備し、豪雨の監視体制を強化するなどの対策に力を入れている。しかし、ゲリラ豪雨が発生・発達するメカニズムはまだ十分に明らかにされておらず、その予測には多くの課題が残されている。

そこで本研究では、MPレーダからの偏波レーダ情報、及びMSMGPVデータより算出した大気場指標を用いて様々な局地的豪雨を対象に発生・発達構造の解析を行った。また、「積乱雲のタマゴ」¹⁾の発生・発達可能性を評価するため、自己組織化マップSOMを使用したクラスタ解析を行い、発達事例・非発達事例の特徴の違いについて解析・検討した。

2. 使用した大気場情報の概要

本研究では、X-RAINで観測された偏波レーダ情報の中から、レーダ反射因子 Z_{HH} 、 Z_{VV} 、反射強度偏波比 Z_{DR} 、比偏波間位相差 K_{DP} 、偏波間位相係数 ρ_{HV} の5つの偏波レーダ情報を解析に使用した。 Z_{DR} は二偏波における電波の強さの比であり、強雨に伴い雨粒が扁平になるため降雨強度が強いほど大きな値を示す。 K_{DP} は水平、垂直方向の電波の跳ね返りの差を距離で微分した値であり、振幅の情報を用いないため降雨減衰の影響を受けることがなく、強雨時の降雨強度推定に有力である。偏波レーダ情報により作成した合成雨量図の一例として、2015年9月4日の東京で発生した局地的豪雨の事例を図-1に示す。

本研究では気象庁が提供するMSM（メソ数値予報モデル）のGPVデータを使用し、CAPE、SSI、K指数、可降水量、相対湿度、バルクリチャードソン数（Rb）、風の収束及び渦度の8つの大気場指標を算出し解析に用いた。MSMGPVとは、水平格子間隔5km、鉛直13層で3時間間隔のデータである。K指数とは、各高度における気温と露点温度を基に算出する値であり、値が大きいほど雷雨発生の確率が高い。大気場指標の一例として、2時間後に東京周辺で局地的豪雨が確認された2015年9月4日9時の関東周辺におけるK指数の分布図を図-2に示す。

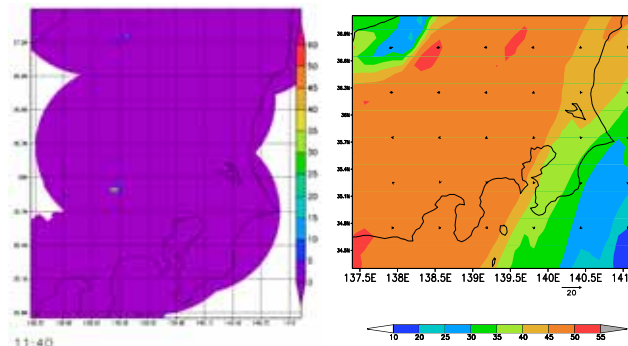


図-1 東京エリアの合成雨量図 (2015年9月4日 11時15分) 図-2 日本域におけるK指数の分布図 (2015年9月4日9時)

3. 「積乱雲のタマゴ」の発達構造の解析

はじめに、合成雨量図および偏波レーダ情報を基に作成した鉛直断面図を利用し、目視で155個の「積乱雲のタマゴ」（発達事例106事例、非発達事例49事例）を抽出し、偏波レーダ情報、降水粒子の種類、ドップラー渦度、MSMGPVから算出した大気場指標を用いて、「積乱雲のタマゴ」の発達構造について解析を行った。ドップラー渦度とは、MPレーダによって観測されるドップラー風速¹⁾を用いて算出した渦度である。降水粒子の種類は、中北ら²⁾を参考に、ファジー理論による降水粒子判別を行い、「積乱雲のタマゴ」内部での降水粒子（雨、霰、氷晶、雪片）の空間分布とその割合を求めた。

「積乱雲のタマゴ」とは、上空でできた局地的豪雨をもたらす可能性がある降水セルのことである。本研究では上空でレーダーエコーを捕らえてから30分以内に地上で降雨強度50mm/h以上の雨になったものを発達するタマゴ、そうでないものを発達しないタマゴと定義し、解析に使用した。

図-1に示した事例は発達する事例であり、積雲発生初期の偏波レーダ情報から K_{DP} の値が大きく、大きい雨粒が存在することが確認された。また、大気場指標に着目すると、K指数と相対湿度が高いことから大気が不安定であり、上昇流が起りやすい大気場であったことが確認された。

4. 自己組織化マップSOMの概要

次に、SOMを使用した「積乱雲のタマゴ」のクラスタ解析を行った。SOMとは、ニューラルネットワークの一種であり、非線形かつ複雑な多次元データのパターン分類に適している。本研究では、正規化した偏波レーダ情報、大気場指標、ドップラー渦度、降

Key Words: X-RAIN, 自己組織化マップ, 積乱雲のタマゴ, ゲリラ豪雨, MSM

〒162-0843 東京都新宿区市谷田町2-33 法政大学デザイン工学部都市環境デザイン工学科 TEL & FAX: 03-5228-1389

表-1 判別精度の良かった組み合わせの一例（大気場指標：K 指数，相対湿度，CAPE，Rb，風の収束，渦度）

パターン	入力データ	判別精度 (%)
No.1	$Z_{DR} \cdot K_{DP} \cdot Z_{HH} \cdot \rho_{HV} \cdot$ 大気場指標	78.7
No.2	$Z_{DR} \cdot K_{DP} \cdot \rho_{HV}$	77.4
No.3	$Z_{DR} \cdot \rho_{HV}$	74.2
No.4	$Z_{DR} \cdot \rho_{HV} \cdot$ ドップラー渦度	74.2
No.5	$Z_{DR} \cdot Z_{HH} \cdot$ 大気場指標	74.2

水粒子の種類から 22 パターンの組み合わせを設定し，SOM の入力データとした．抽出した全ての「積乱雲のタマゴ」に対してクラスタ解析を行い，その後の発達と非発達が正しく判別されたタマゴの割合から判別精度を求めた．

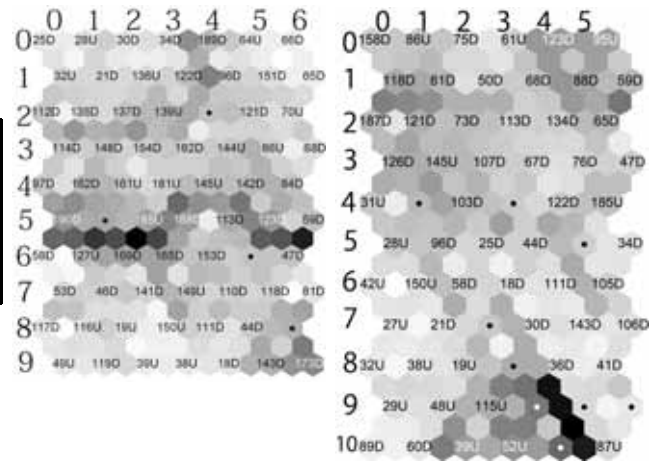
本研究では，入力ベクトルが SOM によって出力されたマップ上で正しく配置されるように，マップサイズの設定³⁾を行った．SOM の全ノード数 M は全入力データ数 n を用いて $M=5\sqrt{n}$ で定義され， M の小数部分は切り上げを行い整数とした．次に，マップの縦と横のノード数 n_1 ， n_2 については，全入力データの共分散行列における第 1・2 成分 e_1 ， e_2 との関係式 $\frac{n_1}{n_2} = \sqrt{\frac{e_1}{e_2}}$ より，両者の比を求めた．

5. SOM によるクラスタ解析

全 22 パターンのうち，判別精度の良かった上位 5 つの組み合わせを表-1 に示す．入力データの種類の着目すると Z_{DR} が上位 5 位全てに入っていることから発達・非発達の判別に欠かすことができない要素であると言える．22 パターンの全体的な傾向として，偏波レーダ情報では Z_{DR} ， K_{DP} ， Z_{HH} ， ρ_{HV} ，大気場指標では CAPE，K 指数，相対湿度を入力データとしたときに判別精度が高かった．ゆえに，これらの大気場情報との間にタマゴの発達・非発達との関連性が強いと言える．

また，最も判別精度の高かった 2 つのクラスタ解析の結果を図-3 に示す．マップ上には各クラスタを代表する「積乱雲のタマゴ」が表示され，数字は事例 No.，D は発達するタマゴ，U は発達しないタマゴを意味する．図-3(a) では性質の似たものが右下と左下に配置され，図-3(b) では中央下側に配置されたことが見て取れる．図-3(a) のマップ全体の判別精度は 78.7%，図-3(b) のマップ全体の判別精度は 77.4% であり，さらなる検討は必要であるものの，判別手法として有効であると考えられる．また，大気場指標の組み合わせを考えることで判別精度が向上する可能性も 2 つの違いから示唆された．

図-3(a) の中で，分類されたタマゴが全て発達したクラスタ (0,6) に含まれるタマゴとその入力データの一例を表-2 に示す． Z_{DR} ， K_{DP} ， Z_{HH} ，相対湿度の値が大きいことが見て取れる．また，図-3(a) において非発达到分類されたクラスタ (2,8) では，表-2 より， Z_{DR} ， Z_{HH} ，相対湿度の値は大きい，クラスタ (0,6) と比較すると相対的に小さく， K_{DP} の値が 0 に近いために異なるクラスタに分類されたと考えられる．したがって， Z_{DR} ， K_{DP} ， Z_{HH} ，相対湿度の



(a) パターン No.1

(b) パターン No.2

図-3 SOM を用いた積乱雲のタマゴの分類結果

表-2 図-3(a) における各クラスタに含まれるタマゴと大気場情報の値

クラスタ	No.D/U	Z_{DR}	K_{DP}	Z_{HH}	相対湿度
(0,6)	No. 58D	4.69	1.14	34.17	94.71
	No. 60D	0	0	0	95.24
	No.128D	5.07	0.44	33.33	94.3
	No.130D	5.26	2.41	45.04	93.92
(2,8)	No.19U	2.81	0	29.8	89.933
	No.42U	4.38	0.07	26.3	88.71
	No.45U	2.44	0	26.1	84.743

値が大きいときに発達する可能性が高く，SOM の入力データとして Z_{DR} ， K_{DP} などの偏波レーダ情報や相対湿度を組み合わせることで高い判別精度が得られることが示唆された．

6. まとめと今後の課題

本研究では，積雲発生初期における偏波レーダ情報及び大気場指標などの大気場情報を用いて，「積乱雲のタマゴ」の発生・発達可能性の定量的評価を目的に SOM によるクラスタ解析を行った．最も高いもので 78.7% という判別精度を得ることができ，積乱雲のタマゴの発達・非発達の判別手法として有効であることが示唆された．

今後の課題として，SOM に入力する偏波レーダ情報，大気場指標等のデータの組み合わせを検討することで，「積乱雲のタマゴ」が発達するか否かをより高い精度で判別し，局地的豪雨の発達可能性の定量的評価につなげていくことが必要である．

参考文献

- 1) 中北英一，西脇隆太，山邊洋之，山口弘誠：ドップラー風速を用いたゲリラ豪雨のタマゴの危険性予知に関する研究，土木学会論文集 B1（水工学）vol.69 No.4，pp.I325-I330，2013．
- 2) 中北英一，最新型偏波レーダを用いた表層降水粒子タイプの混在状態推定に関する研究，京都大学防災研究室年報，第 54 号 B，平成 23 年 6 月
- 3) 石原成幸，河村明，天口英雄，高崎忠勝，川合将文：自己組織化マップを用いた東北地方太平洋沖地震に伴う東京における不圧・被圧地下水位の変動特性評価，土木学会論文集 B1（水工学），Vol.69 No.4，pp.I541-I546，2013．