

## 1. はじめに

今年度は梅雨において土砂災害に関連する総観～メソスケール気象条件に着目し、インターネットで得られる現況気象情報から 12～24 時間先を簡便に予測する手法を検討した。ここでは、災害発生・非発生の判別解析と、ニューラルネットワーク (NNW) を用いた手法、初等 Catastrophe 理論 (ECT) 及び自己組織化臨界状態 (SOC) 理論を援用した手法との比較を行ったので報告する。

## 2. 対象地域と、用いる気象条件

対象地域は山陰地方とした。この地域の高層気象観測は米子でしか行われていないので、その地上・高層気象データを代表気象データとして用いる。まず梅雨災害では、総観規模気象条件の下層ジェットによる水蒸気の供給 (湿舌) が必要である (浅井 1996、小倉 1997)。この観点から対象地域下層ジェットを表現する韓国チェジュ島、福岡、米子の、a) 700hpa または 850hpa 高度の風向が西～南であること、b) 同高度の風速が 20m/s 以上 (850hpa では 15m/s)、c) 同高度の気温と露点温度差 (湿数) が 3 以下の 3 点を検討し、どちらか危険側の条件の高度データを採用した。次に、強い雨をもたらすメソスケール現象として積雲対流を想定し、対流不安定性を検討した。豪雨の発生機構に重要な線状対流系組織化には CAPE (対流有効位置エネルギー) 以外の影響が見られる (小倉 1997) ことから、簡便な相当温位を使用した前研究 (久保田 1997) と同じ総観規模条件 LJS 及び積雲対流 CIS に関するスコアを用いた。また、既往の研究では、一週間程度の先行降雨の影響を考慮した方が適中率は良いとされる (川原 1997)。しかし、これらのスコアが高ければ、先行降雨も大きいと考えられるので、スコアは先行降雨の影響を考慮したもののみとした。

## 3. 初等 Catastrophe (ECT)

Catastrophe の理論は、要素還元論的アプローチである物理モデルによるコンピューター・シミュレーション全盛の時代にあって忘れ去られた感がある。しかし、最初の要素から結論を導ける「記述モデル」を提供することから、還元する要素間のつながりが極めて複雑に関係しあっている気象条件・気象パターン～土砂災害の複雑系のモデルとして、適当と考えられる。実際は、弱層の形成など多数の小さな構造不安定 (カタストロフ) の集合であるクレオドを経て生じるが、この場合も崩壊など災害発生・非発生そのものは複雑ではないので、現象の本質は少数の基質変数で表現できると考えられる (Rene Thom ら 1977)。従って、上記気象条件を基質変数として、土砂災害発生確率を表現する「くさび型モデル」を採用する。すると、図 1 のように、各気象要因  $u$ ,  $v$  が点 A からルート R を通って、危険側に増して行くと、分岐集合 BF を越え、点 Q で災害発生確率  $P$  が突然増加するが、その後も要因の増加に伴い発生確率は徐々に増加し、 $P$  は一定値に近づいて行くといった実際の現象をよく表現できる。この時のポテンシャルは  $F=P^4/4-uP^2/v+P \cdots (1)$ 、BF:  $(\partial F/\partial P=0, \partial^2 F/\partial P^2=0$  より、)  $27v^2=4u^3 \cdots (2)$ 。分岐集合 BF が、災害発生限界となる。 $u$  と  $v$  に、各スコアを適用する。(2)式の係数を相殺できる値をスコアの倍率に選び、発生データから、LJS の災害発生限界を  $CIS=0$  の時に 1.0、0.5 で 0.0 と調整して、BF を求めると、発生限界は  $LJS=1-(2.0 \cdot CIS)^{3/2} \cdots (3)$ 、これらの発生限界は、発生・非発生データと共に、図 2 にプロットした。

## 4. 自己組織化臨界状態 (SOC) 理論

災害発生時には、上の気象条件スコアの「しきい値」付近で斜面等が臨界的な状態にあり、僅かな気象条件の変化でも土砂災害が発生すると考えられる。この臨界的な条件は、いわゆる自己組織化臨界状態 (Bak ら 1988) と考え得る。ところで、図 2 のように CIS が小さい時でも LJS がある値以上の条件では土砂災害が生じ、それらが原因で不安定となった斜面または溪流堆積物は、それより小さい LJS であっても CIS が少し大きくなれば土砂災害を生じると考える。つまり、CIS の小さい時と大きい時の災害には、ある相関があると仮定でき、このような条件では気象条件は上記の自己組織化臨界状態 (SOC) を表すパラメーターとなり得る (井上 1996)。この時、 $LJS_c \cdot CIS_c^\alpha = C \cdots (4)$ 、 $LJS_c$ 、 $CIS_c$  : それぞれ LJS、CIS の発生・非

発生限界値、 $\alpha$  : 事象のゆらぎに関する定数 $\approx 1.0$  (井上 1996)、 $C$  : 災害規模に関する定数。

### 5. 判別解析とニューラルネットワーク (NNW)

また、判別解析は災害の発生・非発生の2群判別とし、NNWとしては3層完全結合型のものを用いた。これらは、著者の前研究に準じている(久保田ら 1995、1997)。NNWはLJSとCISを用いた2層及びLJSを風と湿数に分けて行った3層の2通りを行った。

### 6. 解析結果と結語

判別解析、ECT、SOC及びNNW予測についての結果を表1、図2に示した。NNWの学習は100%正確に行われている。解析使用データは、順に、それぞれデータ全部、約17%、同左、同20~30%となる。

表1. 予測結果

	判別解析	ECT	SOC	NNW
的中率R <sub>h</sub>	90.3	77.8	93.1	87.5
見逃し率R <sub>mb</sub>	16.7	0.0	0.0	0.0
空振り率R <sub>sw</sub>	54.5	72.7	45.5	60.0
スコア-TS	41.7	27.3	54.5	40.0

表1から災害発生に対する的中率は判別解析(マハラノビス平方距離 6.83)と比較してもSOCが90%以上、他のものも77%~90%の成績を上げている。3層のNNWでは学習結果の的中率0%なので、LJSを2つのスコアに分割するのは適当でないと考えた。ETCはスコアの倍率調整を伴うので主観が入る率は大きくなると思われるので、理論的にはSOCの方が妥当と考えられる。予測の精度もSOCの方が良い。

### 参考文献

- 1) 浅井富雄: ローカル気象学、東京大学出版会、1996、pp144-145、
- 2) P. Bak et.al.: Self-organized criticality, Phys. Rev. A38, 1988, pp364-374.
- 3) 井上政義: カオスと複雑系の科学、日本実業出版社、1996、pp154-161.
- 4) 川原恵一郎: ソフトコンピューティングによる土石流の発生および流出規模の予測に関する研究、九州大学大学院工学研究科博士論文、1997、pp45-63.
- 5) 久保田哲也: 土石流発生基準雨量に対するNeural Networkの応用について、砂防学会誌 47-6、1995、pp8-14.
- 6) 久保田哲也: ニューラルネットワークを用いた土砂災害発生気象条件の研究-梅雨-、平成9年度砂防学会研究発表会講演集、1997、pp242-243.
- 7) 小倉義光: メソ気象の基礎理論、東京大学出版会、1997、pp124-125、
- 8) R. Thomら: 形態と構造、みすず書房、1977、pp30-224.

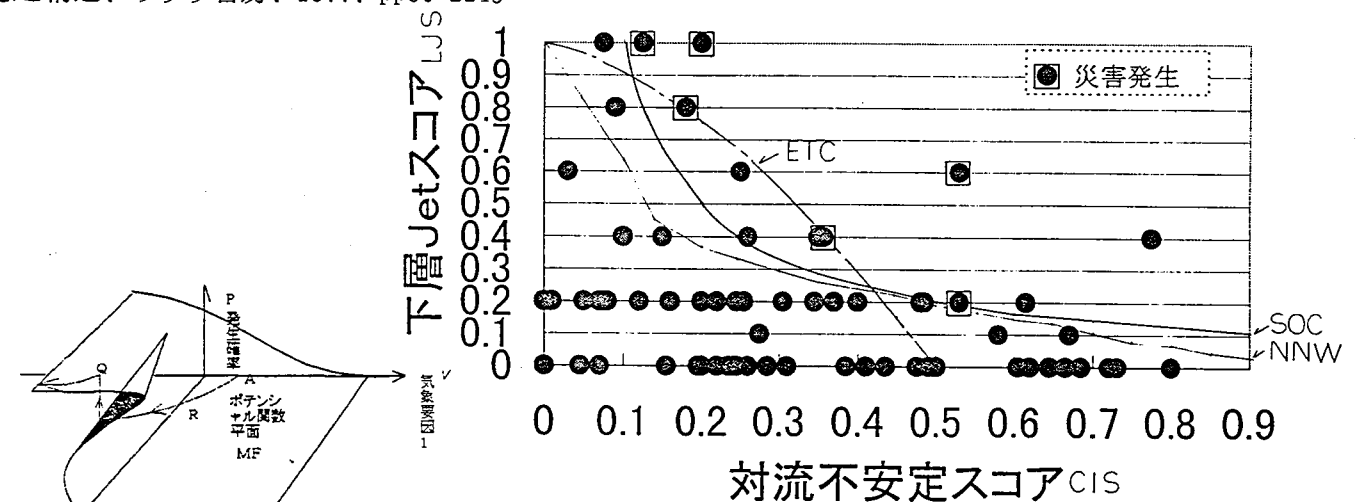


図2 対流不安定スコアと下層Jetスコア

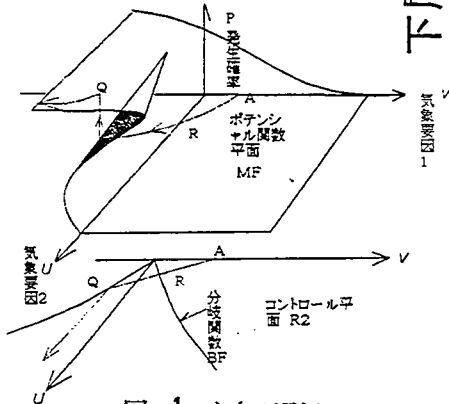


図1 くさび型カタストロフのポテンシャル関数平面