

# 九州北部における2003年土砂災害の地形及び 気象特性と災害発生気象予測

## GEOMORPHOLOGICAL - METEOROLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE LANDSLIDE DISASTER 2003 IN NORTHERN KYUSHU, AND A DIAGNOSIS OF THE METEOROLOGICAL CONDITION

久保田哲也<sup>1</sup>、大村寛<sup>1</sup>、プレム P. ポウデル<sup>1</sup>  
Tetsuya KUBOTA, Hiroshi OMURA, Prem P. PAUDEL

<sup>1</sup>九州大学大学院農学研究院森林資源科学部門 (〒812-8581 福岡市東区箱崎)

### 1. はじめに

2003年7月は、1日に大分県日田市で崩壊が発生し1名が亡くなるなど初日から災害が発生した。その後、19日の福岡県大宰府市災害、20日の熊本県水俣市・鹿児島県菱刈町の土砂災害が生じたが、今回の災害の大きな特徴は崩壊土塊が遠距離まで到達する、または土石流化して下流遠方まで到達する現象(等価摩擦係数の小さな現象)による被害の甚大化であった。また、気象条件も、西方・南方からの水蒸気の収束などの特徴が見られた。九州北部で発生した土砂災害については、水俣災害など九州南部のものと同素因・誘因がやや異なるので、ここでは北部のものに焦点を当て、現地調査、土質試験、地形解析、気象解析と気象条件予測の結果を報告する。

### 2. 平成15年7月1日の日田市三和の農地における流動性崩壊

#### 2.1 崩壊の概要

発生日時は、2003年7月1日午前11時50分頃で、発生位置は大分県日田市三和である。現地の測量から、崩壊部は幅5.6m長さ約30m、最大深さ約7m程度の横長に近い形であるが、流動化の結果200m以上流下している。崩壊頭部はトウモロコシ畑になっており、トウモロコシを乗せ原型を留めた農地残土が73m~100m押し流されている。上記の幅と地形から概算した崩壊土量は、7千m<sup>3</sup>程度である。崩壊の実測勾配は、崩壊の流動堆積部が4.5度から5.0度、崩壊部は10度であった。等価摩擦係数 $\mu$ =標高差/崩壊流動長は地形解析から0.170~0.175程度と考えられる。これは、崩壊土量から考えるとかなり小さく<sup>1)</sup>(後出、図3)、流動性に富んだ崩壊と考えられる。地形は集水地形で、かなり豊富な湧水が見られた。斜面方向はほぼ南向き、標高は約154mとなっている。

地質は、周辺地域に基盤岩として安山岩も分布するが、崩壊部は礫質で固結度の弱い第四紀の阿蘇火砕流堆積物(黒色)とクロボクの上に農地造成に使用された盛土と思

われる褐色の土が載っている状況であった。採土缶で採取した不攪乱試料の透水係数は盛土部が $5.8 \times 10^{-2}$ cm/s程度、火砕流堆積物が $3.1 \times 10^{-4}$ cm/s程度であった。このことから、透水性の高い上層の土層と透水性が小さな下層の境界に地下水が集中して発生原因となった可能性もある。また、下部堆積物表層のクロボクは飽和に近い水を含むと泥~粘土状になっており、すべり面となる可能性が考えられた。しかし、飽和させたサンプルの単純一面せん断試験の結果によると、崩壊周辺の下層火砕流堆積物の強度は盛土と思われる上層土層より粘着力C、内部摩擦角 $\phi$ ともかなり大きい(上層:C=1.88kN/m<sup>2</sup>、 $\phi=18^\circ$ 、下層:C=24.1kN/m<sup>2</sup>、 $\phi=38^\circ$ )。上層の盛土と思われる土層が、降雨・地下水により飽和して崩壊した可能性も考えられる。

#### 2.2 気象条件

7月1日の九州北部には梅雨前線が停滞しその前線を東シナ海方面からメソ低気圧が東進して来る状況で、上空700hpa高度や850hpa高度にも西方からの強い風により水蒸気が供給され、強めの降水が継続する状態であった(図

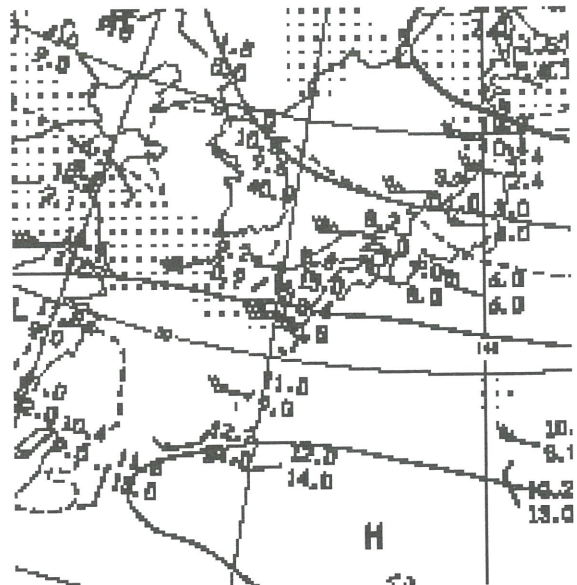


図1 日田災害前日の高層天気図

1)。日田周辺では、崩壊の生じた7月1日前日も20mm/hを越す強い雨が観測されており、崩壊当日も10mm/h程度の雨が見られた。

### 3. 大宰府の災害

7月19日の太宰府市における土石流など太宰府市及び宇美町周辺には多くの崩壊や土石流が見られる。航空斜め写真から見る限りでは、農地や森林被害も含めると、箇所数は太宰府市のみで40箇所以上に上ると見られる。

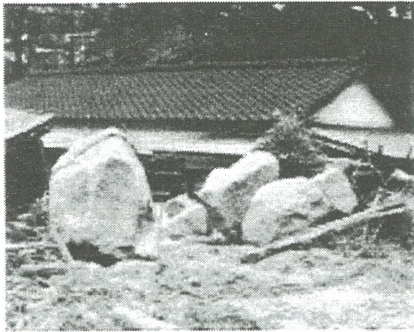


写真1 太宰府市の土石流災害

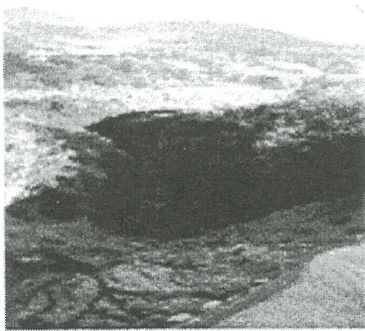


写真2 隣接溪流源頭の崩壊

#### 3. 1 災害の概要

被害が大きかったのは、太宰府市三条の太宰府原川（御笠川上流右支川）であった（死者1名、被害家屋40戸、写真1）。発生日時は、2003年7月19日午前5時50分頃である。流域に崩壊は複数あるが、最大のものは四王子山脈峰部遷急線（標高349m、緯度・経度約N33° 31' 43''、E130° 31' 36''）から発生し、幅約36m、長さ約84m、滑落崖高約6m、深さ0.8~0.9m、勾配約32度の縦長に近い形である。この崩壊下流の連続した部分にも同様の幅で長さ約110m程度の崩壊部があり、他にも幅30m長さ55m程度で勾配約34度と、幅25m長さ40m程度の崩壊も峰部に発生し、太宰府原川に流出している。これらの崩壊土砂が下流扇状地まで流動化したとすると、結果的に1km以上流下していることになる。なお、この地点は、1973年7月31日にも土石流災害を受けている。この他、西隣溪流源頭部遷急線（四王子山脈峰部、緯度・経度約N33° 31' 39''、E130° 31' 29''）に3箇所の崩壊が見られた（写真2）。規

模等は、西側のものが幅約33m長さ約20m勾配約34度、中央のものが幅約11m長さ8m滑落崖高約6m勾配約40度、東側のものが幅約13m長さ約10m勾配約38度であった。崩壊直下溪流の流下部の勾配は26度程度であった。また、滑落崖下流の地山リター層（落葉落枝層）直下マサ土層の透水係数は約 $1\sim 2 \times 10^{-2}$  cm/s、緻密な部分でも $2\sim 6 \times 10^{-3}$  cm/s程度で、すべり面直上では $4\sim 7 \times 10^{-4}$  cm/s程度であった。峰部の滑落崖付近では、地表からの降雨浸透は容易であったと思われる。また、日田と同じく、すべり面付近から採取した不攪乱試料を飽和させて一面せん断試験を行ったが、その結果、 $C=8.64\text{KN/m}^2$ 、 $\phi=34^\circ$ となり、この面からは特別に弱い地層ではないように思われる。

等価摩擦係数 $\mu$ は、峰部崩壊のみが流下したものとすると0.267程度と計算される。ここでは、単純化の為、Coeら(2002)と同じように渓床不安定堆積物の侵食・取り込みによる土石流規模の増大の機構は考慮せず、あくまで崩壊が流下したと考えることにした。位置の確認できる8箇所の崩壊・土石流の空中写真判読と地形解析から、等価摩擦係数は0.217~0.357で（図2）、数基の砂防ダムで途中停止したと思われる場合は0.400程度であった。1999年広島災害の0.150~0.350よりやや大きな値を示す。（ただし、図2は $T_r$ の判明している世界各地の $\mu$ を使用している。）

これらの $\mu$ を用いてこの地域の将来の崩壊起源土石流

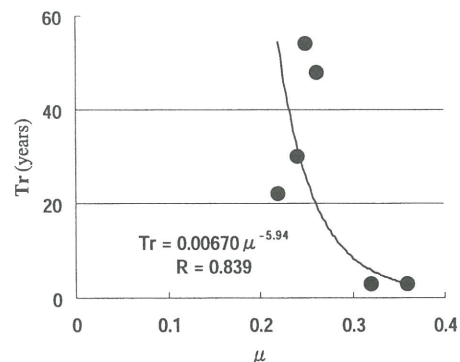


図2 等価摩擦係数 $\mu$ と回帰年 $T_r$

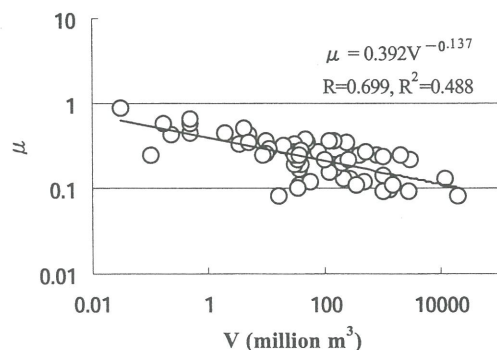


図3 崩壊土砂量と等価摩擦係数 $\mu$ （吉岡<sup>®</sup>1975に追記）



発生の相対的危険性を知る目的で、この  $\mu$  あるいは Melton 数<sup>2)</sup>  $\mu_m$  (標高差/流域面積<sup>1/2</sup>) に、既往の研究<sup>3)</sup> に準じて自己組織化臨界条件仮説 (SOC) を応用した初生崩壊起源の土石流の再発生回帰年  $Tr$  の推定式も検討した (式 (1))。

$$Tr = \xi \cdot \mu^{-\eta} \dots (1)$$

Melton 数  $\mu_m$  を用いれば、 $Tr = \xi \cdot \mu_m^{-\eta}$ 、または、 $Tr = \xi \cdot \exp(-\eta \cdot \mu_m)$  ( $\xi$  と  $\eta$  は定数: Lalamide 造山運動で形成され、片麻岩・石英閃緑岩などが卓越する北米コロラド州ロッキー山地 Front Range での経験式)。  $\mu$  は崩壊体積  $V$  と密接な関係があり (図 3)、発生頻度を表す  $1/Tr$  を用い、 $a, b$  を定数として、 $1/Tr = a \cdot V^{-b}$  となる。この場合、 $b=0.814$  と、SOC に一般的な<sup>4, 5, 6)</sup>  $b=1.0$  に近い値となる。結局、これらの関係式は、崩壊規模は発生頻度と

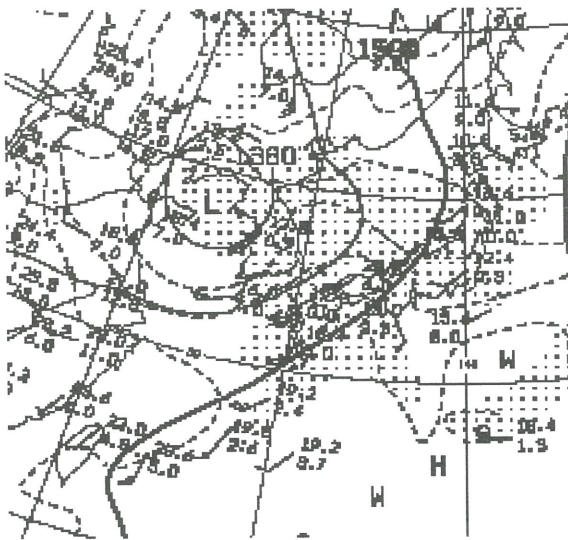


図4 太宰府災害直前の高層天気図

べき乗則の関係を持つとする SOC の仮説<sup>4, 5)</sup> に従うことを示す。

既往の記録から、大宰府での  $Tr \approx 30$  年、 $\mu_m = 0.749$  とすれば、コロラドでの  $\xi$  と  $\eta$  を用いて計算すると  $Tr=587$  年となり、太宰府ではコロラドの平均回帰年の約 20 倍も短い間隔で土石流が発生していることが分かった。このように、この地域は、崩壊起源土石流などの発生頻度が高く、脆弱な地質を有すると考えられる。

崩壊地の地質は風化花崗岩・マサ土から成るが、花崗岩上部に載っていた脆い緑色岩類も散在している。最大礫径は人家被災箇所 (写真 1) で、長さ 2.6m、幅 1.9m、高さ 2.3m であった。砂防堰堤上流にも 1.6×1.6×0.9m 程度のもので堆積していた。植生は、ヒノキ・スギの他にアラカシなど広葉樹類、下流には竹などが見られたが、流木も多く、砂防堰堤に止まっている最大のものは直径 25~26cm であった。広葉樹類の流木も相当数見られたので、広葉樹類の流木にも留意する必要がある。

### 3. 2 気象条件

7月19日の九州北部には、寒冷前線 (梅雨前線の一部) が停滞しており、1993年8月の鹿児島豪雨時と類似して<sup>9)</sup>、大陸方面からの水蒸気を含んだ高層の西よりの風、及び、遠方の台風7号から水蒸気を供給された太平洋高気圧縁辺流が、九州西方東シナ海上で収束していた (図4)。このため、テーパリング・クラウドと呼ばれる激しい気象を引き起こす雲塊も海上に現れ、バック形成型<sup>10)</sup>の線状に組織化された積乱雲群が発生、次々と接近して大雨となったものと考えられる。このテーパリング・クラウドは東シナ海上での出現頻度が高いものとされ、700hpa 高度の上昇気流と関連するとされている<sup>11)</sup>。従って、このような気象条件時には注意を要する。

### 4. 災害気象予測に用いる手法・気象条件

#### 4.1 手法と気象要因

ここ数年、各省庁・各自治体の雨量計データの統一運用、並びに、ウインド・プロファイラー、GPS 水蒸気量観測など高密度な地上・高層観測と対流雲過程を織り込んだ数値予測、10分間隔 1km 格子短時間降雨予報等、観測の効率化及び最新予報技術の活用が急速に進められて

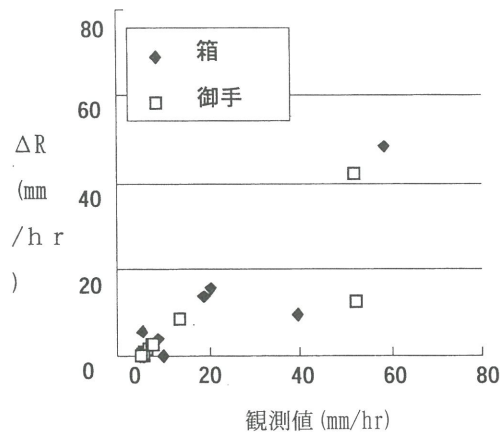


図5 梅雨前線停滞時の観測雨量 (mm/hr) と1時間降水短時間予報値の差  $\Delta R$ : 2001~03年の過小予報 (箱: 福岡市東区の平地、御手: 福岡県篠栗町山地峰部)

いる。しかし、降雨観測所の設置状況やレーダーの特性などから山地における観測・予報精度が直ちに画期的に上がることは困難と思われる。福岡演習林山地での観測によると、周辺環境がまったく同じでも、わずか 200m 離れるだけで実測連続雨量が 30mm も異なる例があることから、その困難さは推測できる。また、十分な観測精度が達成され、同時に高度な降水数値予報が供用されたとしても、ここで述べた半日~1日前における簡便な広域予測は、インターネットを通じた不特定多数への自主的な警戒情報提供の

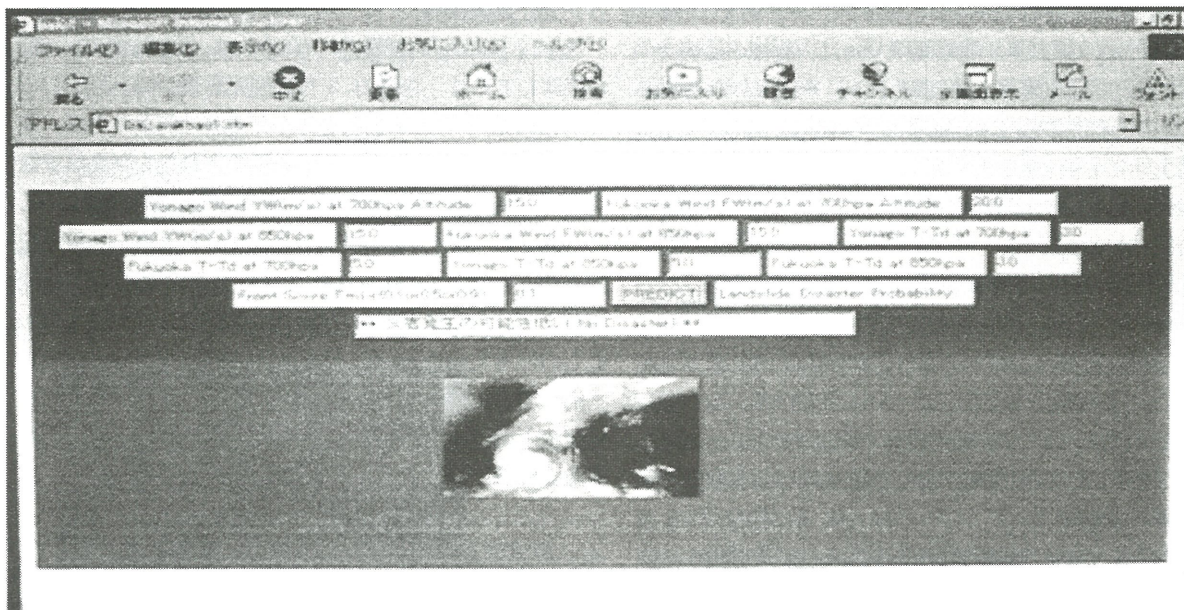


図6 土砂災害気象条件予測アプレット (Java)

意味で、土砂災害に備えるために有効であると考えられる。さらに、インターネット上に公開されている雨量観測データ（位置図付き）やレーダー累加雨量と短時間降雨予測及びその可能最大山地雨量へ換算（図5）<sup>12）、13）</sup>の併用によって、山地災害の警戒避難情報としてさらに有意義なものとなり得ると考える。図5の縦軸には予報値と実際の観測地の差を取っており、台風時などでは短時間予報値と観測値には大きな差は無いが、梅雨前線が停滞する気象パターンでは、雨量が大きくなるにつれて数十mmも過小予報がされている場合があった。

従って、停滞前線に関連する土砂災害の総観規模・メソスケール気象条件に着目したニューラルネットワーク（NNW）あるいは重判別解析による12～24時間簡便予測（使用する高層気象が共通する中国地方の既往研究手法<sup>3）</sup>、図6）を、今回の九州北部での災害（大分県鶴見町の災害含む）にも適用し、その適否を検討した。この手法は、的中率  $R_h=0.938$ 、Critical Success Index であるスレトスコア  $T_s=0.800$  で、鹿児島など九州南部対象の研究<sup>14）</sup>よりやや精度が良い。

気象要因としては、梅雨前線の九州上での停滞の有無とメソ低気圧の東シナ海～九州上空への接近の有無（前線スコア  $S$ ：九州北部の停滞前線+前線上メソ低気圧の接近0.9、九州北部の停滞前線0.5、その他0.1）、九州北部から中国地方への下層・中層水蒸気供給条件等を代表する高層気象データ（福岡、米子の850hpa、700hpa高度の湿数と風速<sup>15）、16）</sup>）を使用する。ちなみに、気象庁降水短時間予報の  $T_s$  は0.3～0.6程度<sup>17）</sup>、NNWによる降雪短時間予報の研究では0.6～0.8程度<sup>18）</sup>となっている。

予測データ中、11月の大分県鶴見町の災害時には、前線を伴う低気圧が九州北部をゆっくりと移動し、南方の台風21号（915hpa）に伴う総観場の風の影響もあり、上空700～850hpa高度において湿数0.0～0.1の非常に湿った南方からの気流が低気圧暖域に向けて流入し、大分県上空で収束、大気が不安定となった結果、豪雨をもたらしたと思われる。

#### 4. 2 結果と結論

九州北部に土砂災害の無かった2002年6～7月の降水日7件と、7月の日田・太宰府及び11月の大分県鶴見町各災害時のデータから先述の手法で予測・判定すると、表1のようになる。この時、 $R_h=0.800$ 、 $T_s=0.600$ となる。（災害無を対象とした場合、 $R_h=0.714$ 、 $T_s=0.714$ である。）ただし、災害無の事例を災害有りと誤判断した2件のうちの1件では熊本県水俣市で40mm/hの強雨が降っている。

実際   予測	災害有	災害無	計
災害有	3	0	3
災害無	2	5	7
計	5	5	10

この予測は、主として中国地方のデータで構成された予測モデルを災害発生気象条件がほぼ同じの九州北部に転用したものであり、九州地方の教師データを蓄積すれば、誤判定事例にも対応できる。さらに、2003年の発生事例に関してはすべての中しており、 $R_h$ 、 $T_s$ も高く、この予測モデルのままでも十分に有効と思われる。また、2003



年7月20日の水俣市災害についても、既往の九州南部予測モデル<sup>14)</sup>に発生半日前の鹿児島における気象データを入力した結果、予測は的中した。すなわち、上述の地形・地質の場所において、上記のような気象条件がそろえば土砂災害の危険性が高く、ここで述べた手法により、広域の土砂災害発生可能性が半日前程度に判断可能と言える。

## 5. おわりに

ここで述べた災害の地形・地質・気象条件及び予測手法は、今後の予知・予測に対し有用な知見であると信じる。

今回の調査・研究結果を要約すれば、

1) 地質の類似した地域については、発生した崩壊起源土石流の等価摩擦係数 $\mu$ より、今後の回帰年が推定できる可能性がある。

2) 少なくとも九州北部については、インターネットに公開されている気象情報を用いて、半日～1日前に都道府県規模の広域土砂災害発生可能性予測ができると思う。つまり、より詳細な気象情報収集への注意や巡視体制の準備など住民自らの自主的災害対策の準備段階に入るタイミングの判断に使用できると思われる。

3) 上記の広域予測と組み合わせて、すでに公開されている累加降雨情報、レーダー雨量情報、降水短時間予報及びその山地雨量への修正値を用い、インターネット上で自主的避難の判断材料が提供可能と思われる。

従って、地質・地形的には、火砕流堆積物上の盛土や花崗岩地帯の遷急線を伴う急斜面を有する地域に、上述した水蒸気の収束する気象パターンが重なった場合、土砂災害の危険性が大きくなると言える。

なお、この研究の一部は、平成15年度科研費補助金基盤研究(C)課題番号15580126、及び、平成14年度科学研究費基盤研究(B)課題番号14360088により実施した。

## 謝辞

最後に、現地を案内していただいた大分県日田地方振興局耕地課の佐藤主幹、貴重な資料を提供いただきました国土交通省九州地方整備局の半田専門官、福岡県土木部砂防課須貝係長を始めとする皆様、並びに、種々の航空写真を提供いただきました朝日航洋(株)の皆様、また、ここ数年にわたり災害気象条件予測手法や降水短時間予報に関して貴重なご助言とご協力をいただいた気象庁予報部予報課の牧原予報官に記して感謝いたします。

## 引用文献

1) Voight et. al. (1985) : Nature and mechanics of the Mount St. Helens rockslide-avalanche, *Geotechnique* 35, No3, 357-368.

2) Coe, J.A. et.al. (2002): Debris Flows along the Interstate 70 Corridor, USGS Open-File Report 02-398, 4-7.

3) 久保田哲也 (2002) : 総観規模～メソスケール気象条件を用いた土砂災害の広域的予測, *砂防学会誌*, 55 (1), 4-14.

4) Hergarten, S (2002): Self-organized Criticality in Earth Systems, Springer-Verlag, 87-108.

5) Bak, P. et.al. (1988): Self-organized criticality, *Phys. Rev. A* 38, 364-374.

6) Bak, P., Chen, K. (1995): Fractal Dynamics of Earthquakes, *Fractals in the earth sciences*, Plenum Press, 227-236.

7) 本田勝也 (2002) : フラクタル, 朝倉書店, 94-103.

8) 吉岡良朗 (1975) : 地変的規模の地すべりの到達距離と速度の予測について, *地すべり* 12 (1), 43-45.

9) 守田 治 (2003) : 梅雨期の豪雨災害 (3), 九州大学西部地区自然災害資料センター・ニュース, 29 (2003. 9), 47-48.

10) 小倉義光 (1997) : メソ気象の基礎理論, 東京大学出版会, 172-176.

11) 石塚昌範ら (2001) : TRMM の多重センサー観測データによる九州南方海上に発生した、にんじん状雲の解析, *天気*, 48 (9), 27-41.

12) 小谷洋平, 久保田哲也, 大村 寛, 大槻恭一, 脇水健次 (2004) : インターネット上の短時間降雨予報情報を用いた山地地点雨量の推定, 平成16年砂防学会研究発表会概要集, 272-273.

13) 久保田哲也 (2003) : インターネット降水短時間予報情報の山地地点降雨への適用精度, 平成15年砂防学会研究発表会概要集, 164-165.

14) 久保田哲也, 小川滋 (2002) : インターネット警戒避難情報を対象とした土砂災害発生メソスケール気象条件予測 - 南九州と中国地方, 平成14年砂防学会研究発表会概要集, 2-3.

15) 大野久雄 (2001) : 雷雨とメソ気象 東京堂出版, 96-177.

16) 二宮洗三 (2001) : 豪雨と降水システム 東京堂出版, 101-155.

17) 気象学会 (1998) : 気象科学辞典, 東京書籍, 197-199.

18) Maeda, N. et.al. (2001): Prediction of precipitation by a neural network method, *Journal of Natural Disaster*, 23-1, 23-33.

(2004. 6. 18 受付)