

3.2 2003 年 7 月九州北部に発生した土砂災害の特徴と 発生気象条件の予測

2003 年 7 月九州北部に発生した土砂災害の特徴と発生気象条件の予測

九州大学大学院 農学研究院 ○久保田 哲也、プレム・プラサド・パウエル、
小川 滋、大村 寛、小川浩一郎、松本祐樹

1. はじめに

2003 年 7 月は、福岡県太宰府市や熊本県水俣市を中心に九州において降雨に伴う土砂災害が相次いだ。7 月 1 日には大分県日田市で集水地形の農地斜面における流動性崩壊が発生（死者 1 名）し、その後も、19 日の福岡県大宰府市災害（死者 1 名、被災家屋 40 戸）、20 日の熊本県水俣市宝川内災害（死者 15 名、負傷者 6 名、被災家屋 15 戸）など大きな土砂災害が相次いだ。また、今回の災害の特徴は崩壊が流動化した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、11 月 27～28 日には大分県南東部鶴見町で豪雨（最大約 90mm/hr）により四万十層群（砂岩・頁岩）斜面からの土砂流出災害（被災家屋 12 戸）が発生した。これらに共通な気象条件として西方・南方からの下層ジェット収束などの特徴が見られたが、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比べて、着目する高層気象データが異なるので、ここでは九州北部に視点を置いた分析結果を報告する。

2. 分析に用いる手法・気象条件

2.1 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的運用、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。また、高度な観測精度と降水数値予報が達成されても、山地土砂災害に関するインターネットを通じた不特定多数への自主判断情報の提供には、半日～1 日前における簡便な広域予測は有意義と考える。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（気象要因がほぼ同じである中国地方の既往研究手法：久保田 2002）を、今回の九州北部での災害にも適用し、その予測の適否を検討すると同時に災害の特徴を捉える試みを行った。

上記の手法は、的中率 $Rh=0.938$ 、Critical Success Index スレットスコア $Ts=0.800$ で、鹿児島対象の研究（久保田ら 2002）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）、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；大野 2001、二宮 2001）を使用する。ちなみに、気象庁短時間降水予報の Ts は 0.3～0.6（気象学会 1998）程度、降雪短時間予測研究では 0.6～0.8 程度（Maeda et. al. 2001）となっている。



写真 1 日田の崩壊

2.2 災害時の気象条件

大分県日田災害の場合、7月1日の九州北部には梅雨前線が停滞しその前線上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て、強めの降水が継続する状態であった(図1に類似)。日田市周辺では、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。7月19~20日の大宰府や水俣の災害時には、九州北部に寒冷前線が停滞しており、大陸方面からの水蒸気を含んだ西寄り下層ジェットと遠方の台風7号から多量

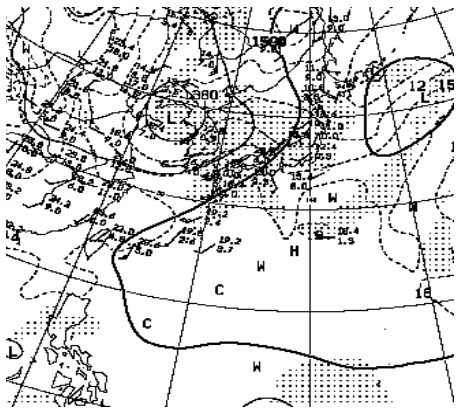


図1 大宰府災害時の高層天気図

の水蒸気を供給された太平洋高気圧縁辺流が西方東シナ海上で収束していた。約5千~1万m上空にまだ寒気が残る状況で、700~850hpa高度に暖かい水蒸気に富んだ空気が供給され、強い降水が継続する状態であった(図1)。線状に組織化されたバック形成型積乱雲群が次々と発生し大雨となったものと考えられる。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、日本上空高層の高気圧および南方の台風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。

表1 気象条件予測結果			
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

3. 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、Rh=0.800、Ts=0.600となる。(災害無を対象とした場合、Rh=0.714、Ts=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の豪雨が降っている。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るため、九州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的中しており、Rh、Tsも高く、この予測モデルのままだ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、著者らの九州南部予測モデル(久保田ら2002)に半日前の鹿児島における気象データを用いて発生予測が的中した。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、災害発生可能性の有無はここで述べた手法により半日前程度に広域の予測が可能と言える。

引用文献：1) 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)。2) 久保田哲也ら(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ー南九州と中国地方、平成14年砂防学会研究発表会概要集。3) 大野久雄(2001)：雷雨とメソ気象 東京堂出版。4) 二宮洸三(2001)：豪雨と降水システム 東京堂出版。5) 気象学会(1998)：気象科学辞典、東京書籍。6) Maeda, N. et.al.(2001):Prediction of precipitation by a neural network method, Journal of Natural Disaster, 23-1.

2003 年 7 月九州土砂災害の発生気象条件の予測

1. はじめに

2003 年は、九州において降雨に伴う土砂災害が相次いだ。

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比べて、着目する高層気象データが異なるので、ここでは九州北部に着目した分析結果を報告する。

① 7 月 1 日：大分県日田市で集水地形の農地斜面における流動性崩壊が発生（死者 1 名）

② 7 月 19 日～20 日：福岡県大宰府市災害、熊本県水俣市、鹿児島県菱刈町災害

④ 11 月 27～28 日：大分県南東部鶴見町で豪雨（最大約 90mm/hr）、四万十層群（砂岩・頁岩）斜面からの土砂流出災害（被災家屋 12 戸）が発生。

これらの災害の特徴は崩壊が流動化した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。



写真 1 日田の崩壊

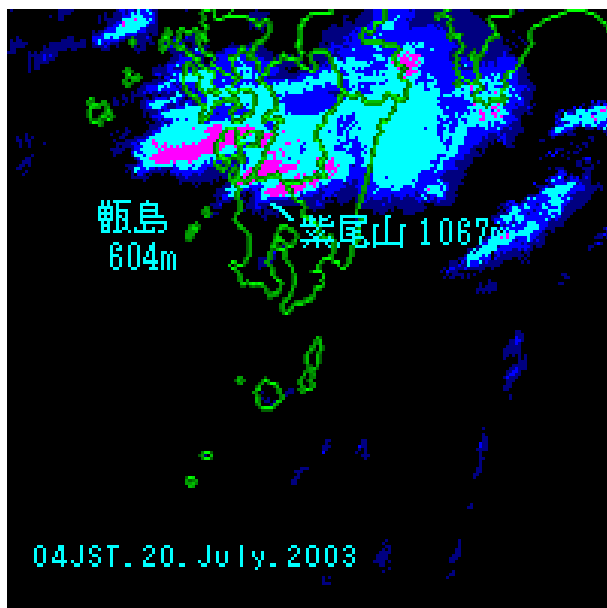


図 1 甬島と紫尾山風下の線状対流雲組織化

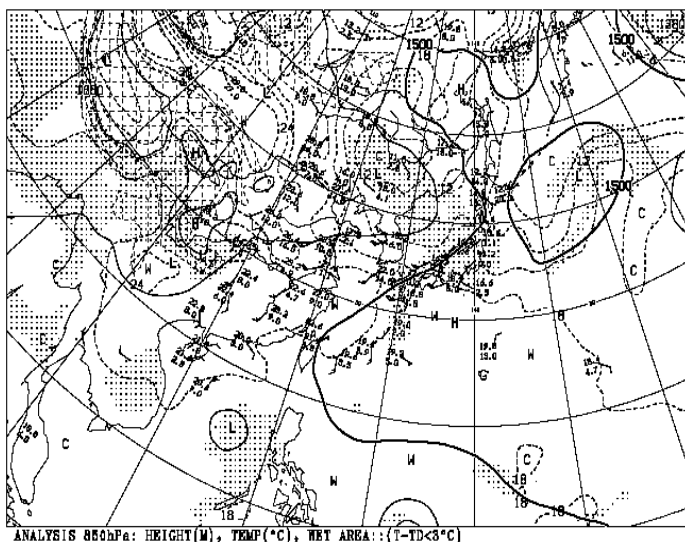
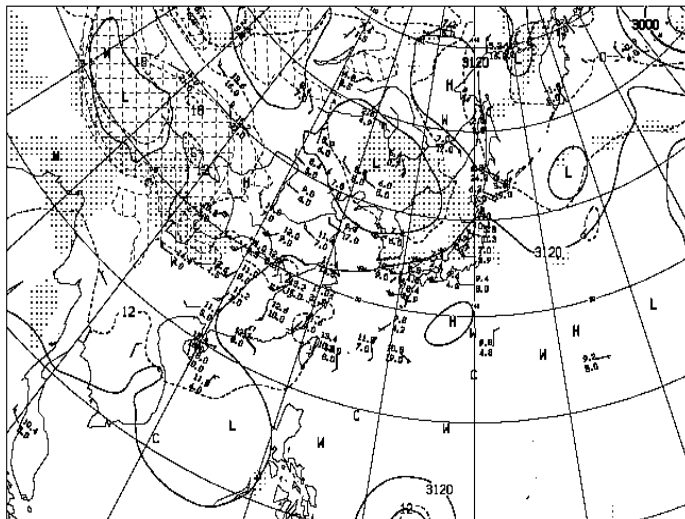
共通な気象条件として西方・南方からの水蒸気の供給・収束などの特徴が見られた。

⑤ 水俣災害には地形性降雨の影響が見られる。有名な^{こしきじま}甬島下流の線状対流雲組織化が影響していると見られる（左図）。

2. 分析に用いる手法・条件

2.1 手法と気象要因

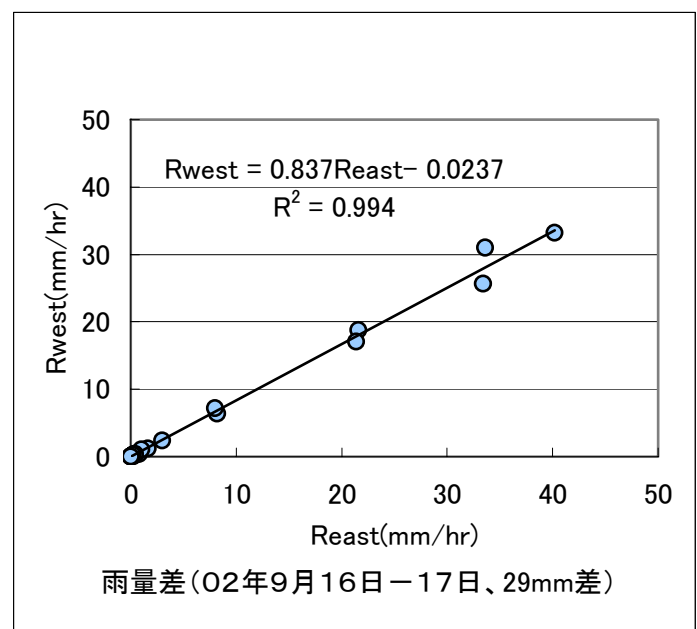
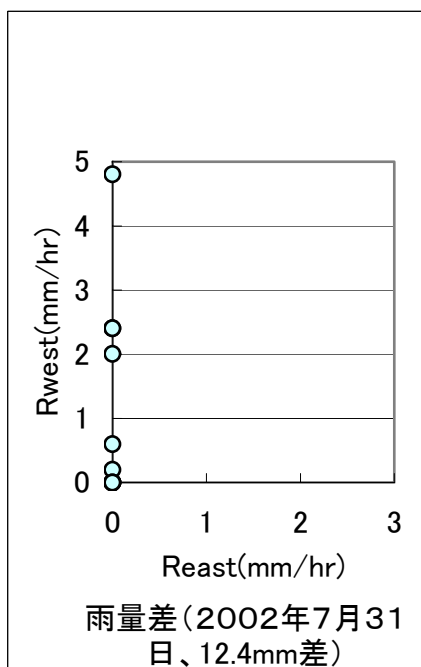
ここ数年、各省庁・各自治体の雨量計データの統一的運用、並びに、ウインド・プロファイラー、GPS 水蒸気量観測など高密度な地上・高層観測と対流雲過程を織り込んだ数値予測、10 分間隔 1km 格子短時間降雨予報等、観測の効率化及び最新予報技術の活用が急速に進められている。しかし、降雨観測所の設置状況やレーダーの特性などから山地における観測・予報精度が直ちに画期的に上がることは困難と思われる。数百m離れると、30mm も異なる例もある。(例えば、下図、福岡演習林・御手洗水流域(200m 離れている峰))



AUPQ78 191200UTC JUL 2003

Japan Meteorological Agency

また、高度な観測精度と降水数値予報が達成されても、山地土砂災害に関するインターネットを通じた不特定多数への自主判断情報の提供には、半日



～1 日前における簡便な広域予測は有意義と考える。

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 (久保田 2002) を、今回の九州北部での災害にも適用し、その予測の適否を検討する。

上記の手法は、中国地方対象に的中率 $Rh=0.938$ 、Critical Success Index スレットスコア $Ts=0.800$ で、鹿児島対象の研究 (久保田ら 2002) よりやや精度が良い。

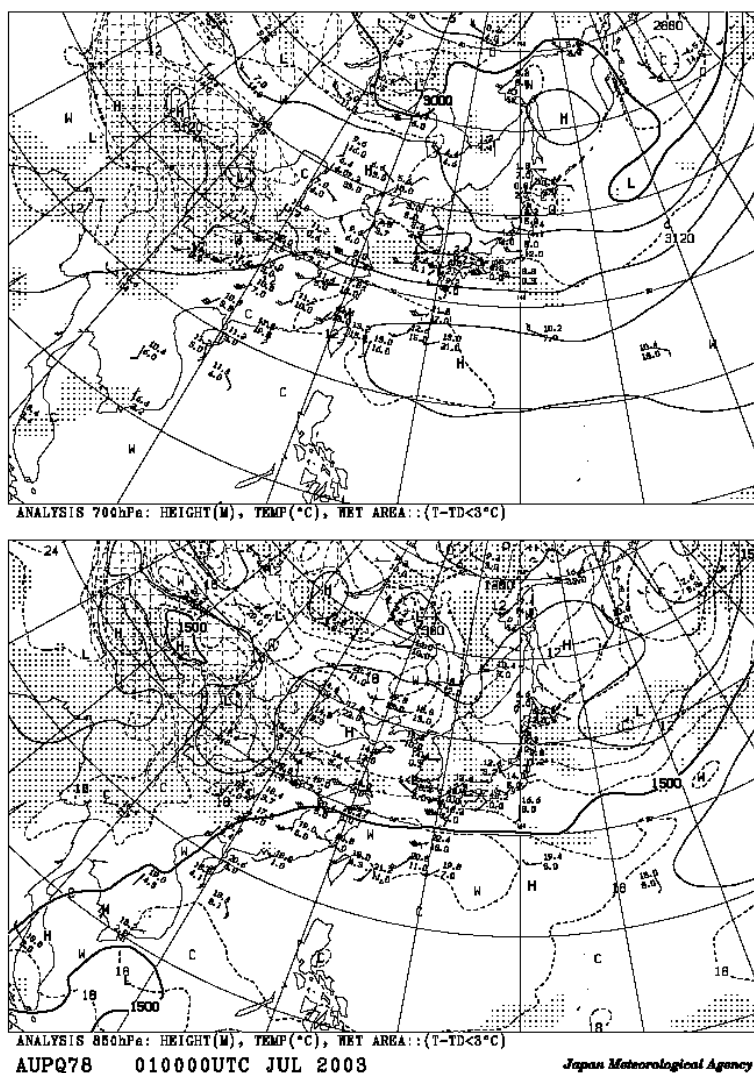
ちなみに、気象庁短時間降水予報の Ts は $0.3\sim0.6$ (気象学会 1998) 程度、降雪短時間予測研究では $0.6\sim0.8$ 程度 (Maeda et. al. 2001) となっている。イタリアのエミリア・ロマーニャ州の崩壊警報では、 $Ts=0.173$ 程度 (Pignone, S et. al. 2004)。

気象要因：

①梅雨前線の九州上での停滞の有無と②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)、③九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)。

2.2 災害時の気象条件

1) 大分県日田災害の場合、7 月 1 日の九州北部には梅雨前線が停滞しその前線上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て、

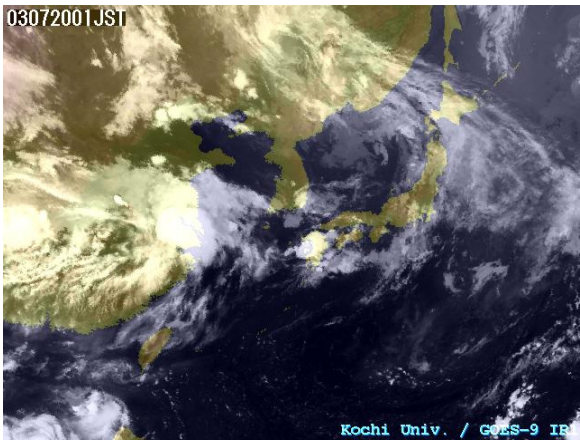
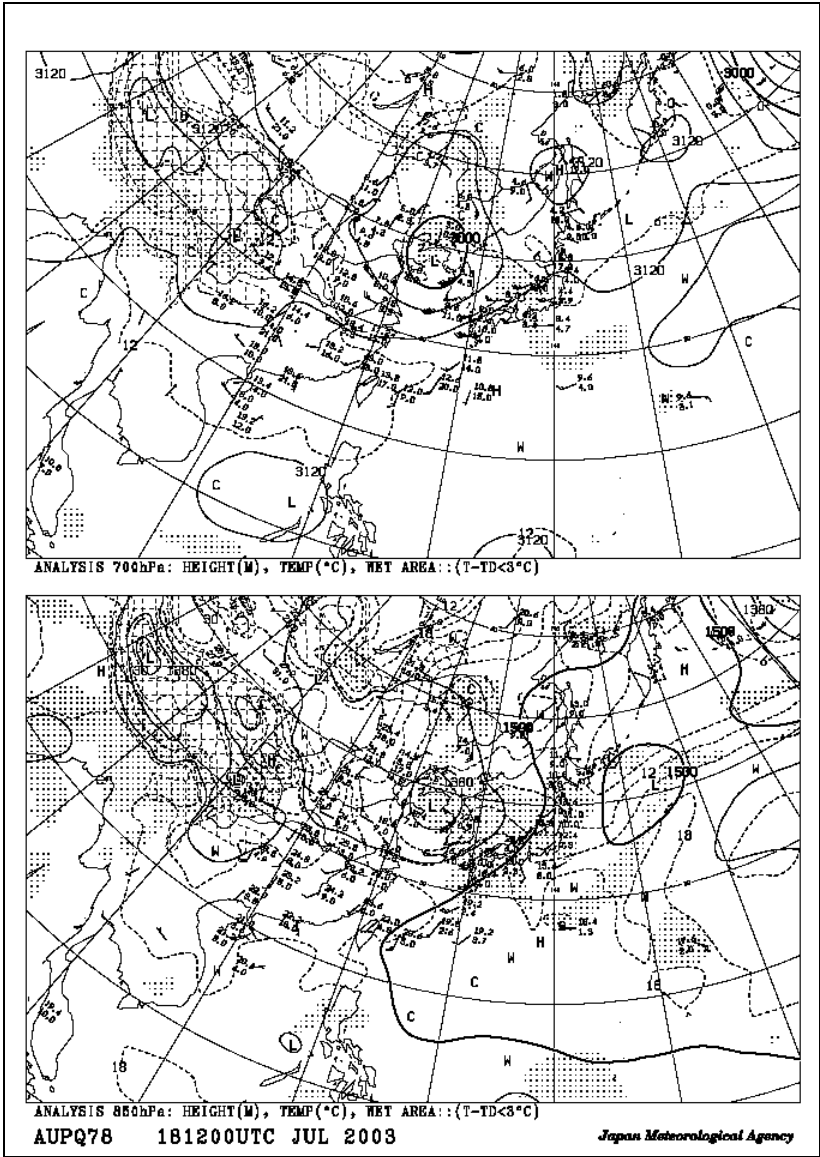
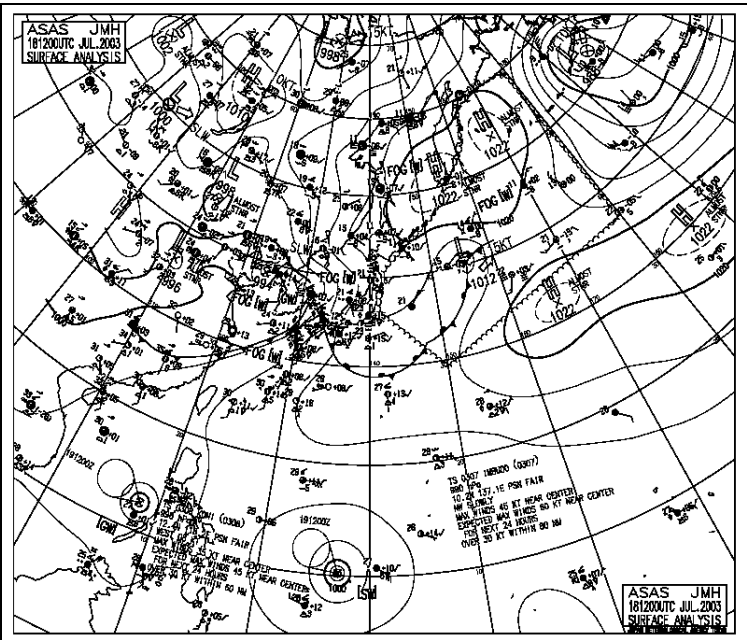


日田災害時の高層天気図

強めの降水が継続する状態であった。日田市周辺では、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。

2) 7 月 19～20 日の大宰府や水俣の災害時：、九州北部に寒冷前線が停滞しており、大陸方面からの水蒸気を含んだ西寄りの風と、遠方の台風 7 号から多量の水蒸気を供給された太平洋高気圧縁辺流が西方東シナ海上で収束していた。

約 5 千～1 万 m 上空にまだ寒



気 の 残 る 状 況 で、700 ～ 850hpa 高度に暖かい水蒸気に富んだ空気が供給され（図 1）、強い降水が継続する状態であった。線状に組織化されたバック形成型積乱雲群が次々と発生し大雨となったものと考えられる。

3) 11 月の大分県鶴見町の災害： 前線を伴う低気圧が九州北部をゆっくりと移動し、

大宰府災害時直前の地上・高層天気図など

日本上空高層の高気圧および南方の台風 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、豪雨をもたらしたものと思われる。

Debris flows at Tsurumi, Oita (28 November '03)

11 月 27～28 日には大分県南東部鶴見町で豪雨（最大約 90mm/hr）、四万十層群（砂岩・頁岩）斜面からの土砂流出災害（被災家屋 12 戸）



写真 2 11 月の大分県鶴見町の災害

3. 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。

結果： 表 1

この時、 $R_h=0.800$ 、 $T_s=0.600$ 、
空振り率 0.400、見逃し率 0.00
となる。

(災害無を対象とした場合、 $R_h=0.714$ 、 $T_s=0.714$ 空振り率 0.00 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 の豪雨が降っている。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る。九州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、著者らの九州南部予測モデル（久保田ら 2002）に半日前の鹿児島における気象データを用いて発生予測が的中した。

表 1 気象条件予測結果				
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	

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、災害発生可能性の有無はここで述べた手法により半日前程度に広域の予測が可能と言える。

補 足

土石流のナウ・キャスト手法

短時間降雨予報を含め雨量の予測が当てにならないとした時、降雨パターンによる発生の判断が重要と思われる。下記に一例を示す。＜川原、（2002 年）、森山（2002, 2004 年）などによる＞。

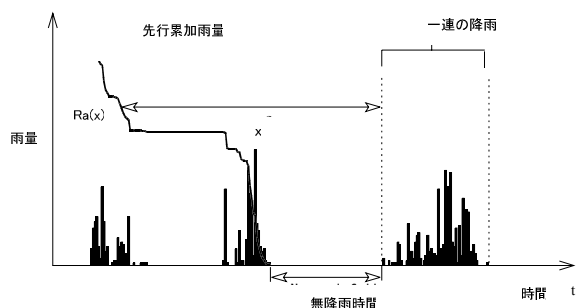


図 補-1 先行雨量の説明図

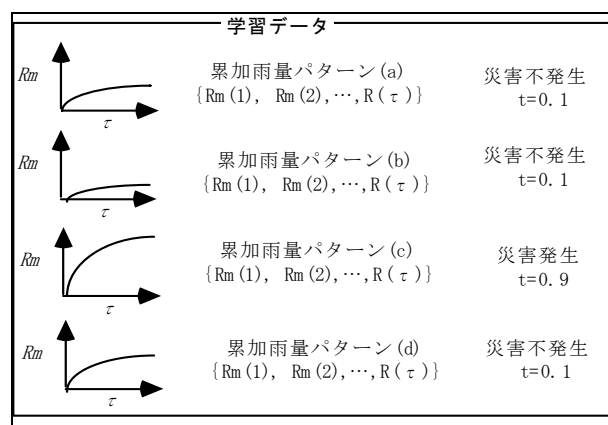


図 補-2 ニューラルネットワーク学習説明

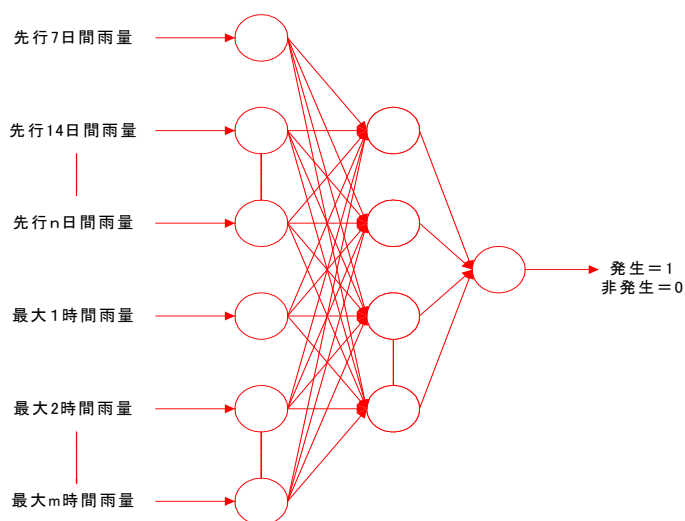


図 補-3 ニューラルネットワーク概念図

1) 雲仙普賢岳での結果

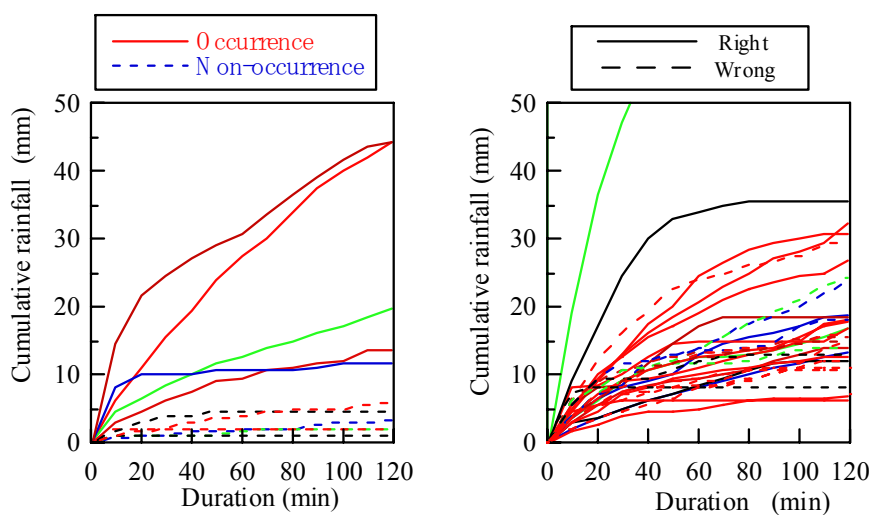


図 補-4 雲仙普賢岳での結果

土石流が発生した初期のデータである 1991 年 5 月のデータ（発生降雨パターン数 5 例、不発生降雨パターン数 6 例）を学習データとして用い、1991 年のそれ以降のデータ（発生降雨パターン数 17 例、不発生降雨パターン数 80 例）を予測させた。また 1992 年のデータ（発生降雨パターン数 19 例、不発生降雨パターン数 88 例）を予測させた（川原 2002）。

表 補-1 雲仙普賢岳での学習および予測結果

	発生事例		不発生事例		スレットスコア (%)
	的中数	見逃し数	的中数	空振り数	
学習結果(1991 年 5 月)	5	0	6	0	100
予測結果(91 年 6 月以降)	17	0	66	14	54.8
予測結果 (1992 年)	19	0	78	10	65.5

2) 広島での学習および予測結果

学習データは 1990 年から 1995 年の 132 件の降雨パターンとし、予測データは 1996 年から 1999 年までの 70 件の降雨パターンとした。各降雨パターンの災害発生／不発生の分類は、広島県統計年鑑の風水害の記録により人的被害記録された事例を発生時降雨パターンとした（川原 2002）。

表 補-2 広島での学習および予測結果

	発生事例		不発生事例		スレットスコア (%)
	的中数	見逃し数	的中数	空振り数	
学習結果	6	0	116	10	38
予測結果	1	0	50	19	5

引用文献

- 1) 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)。
- 2) 久保田哲也ら (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。
- 3) 大野久雄 (2001) : 雷雨とメソ気象 東京堂出版。
- 4) 二宮洸三 (2001) : 豪雨と降水システム 東京堂出版。
- 5) 気象学会 (1998) : 気象科学辞典、東京書籍。
- 6) Maeda, N. et. al. (2001) : Prediction of precipitation by a neural network method, Journal of Natural Disaster, 23-1.
- 7) Pignone, S et. al. (2004) : Landslide prediction tools adopted by the hydro-meteorological survey of Emilia Romagna, Geophysical Research Abstract Vol. 6, EGU04-A-02824, EGU.

補足分

- 1) 川原恵一郎 (2002) : **土砂災害基準雨量、平成 12 年度～平成 14 年度科学研究費補助金（基盤研究(B)(1)）土砂災害警戒避難システムのソフト化に関する研究** 研究成果報告書、108－114。
- 2) 森山聡之 (2002) : **警戒雨量の考え方、平成 12 年度～平成 14 年度科学研究費補助金（基盤研究(B)(1)）土砂災害警戒避難システムのソフト化に関する研究** 研究成果報告書、25－30。
- 3) 森山聡之 (2004) : 防災情報システム(4)、NDIC News No. 30、九州大学西部地区自然災害資料センター、44-48、2004 年 3 月。

THE CHARACTERISTIC OF LANDSLIDE DISASTERS IN KYUSHU DISTRICT, JAPAN, INDUCED BY HEAVY DOWNPOURS IN JULY 2003

Tetsuya KUBOTA, Kyushu University (kubot@agr.kyushu-u.ac.jp)

1. Introduction

In July 2003, over 50 people suffered from some tragic landslide disasters induced by the heavy rainfall in Kyushu district, Japan.

One of them is a debris flow from shallow landslides on granite slopes on July 19 in Dazaifu (Fukuoka prefecture), following large scale Minamata's debris flow that was also from a deep landslide on the andesite-tuffbreccia slope in Minamata (Kumamoto prefecture) on July 20, the days in row (Photo.1~6).

They have distinctive characteristics in terms of

- (1) their source (directly running down from landslides),
- (2) their small equivalent friction coefficient "Mf" (values between 0.170 and 0.250) which caused many casualties at downstream area,
- (3) they brought a lot of organic debris (drift woods) that caused the heavy impact to the houses and buildings downstream,



Photo.2 The debris flow in Dazaifu

- (4) the peculiar meteorological condition of frontogenesis with vapor convergence on the stationary front and around a typhoon in far south that drive the heavy precipitation (above 90mm/hr, total 400mm/3days) at the end of the rainy season (Fig.1).



Photo.3 The source of the debris flows in Dazaifu

2. Geology (North to south)

- 1) Granite ---- Debris flows and slope failures in Dazaifu area, Fukuoka (19 July 2003).

- 2) Quaternary Volcanic material (Scoria) ---- The slope failure in Hita area, Oita (1 July '03).
- 3) Mesozoic Shale, Sandstone ---- debris flows at Tsurumi, Oita (28 November '03)
- 4) Andesite, Tuffbreccia, ---- Debris flows at Minamata, Kumamoto (20 July '03).

3. Topology and other features (in typical cases)

3.1 Hita, Oita

1) Scale: width 56m, length 30m, maximum depth 7.0m, volume approximately 7000m³.

2) Slope gradient: approximately 10° at the slope failure, and 4.5° at running section of the debris.

3) Travel distance "L" and equivalent friction angle "Mf:

Here, Mf is defined as $Mf = H/L$ (H: relative height between the toe of debris flow deposition and the top of source area i.e. the top of failure or torrent) $L \geq 100m$,



Photo.4 The debris flow occurred in Hogawachi, Minamata, Kumamoto



Photo.5 The debris flow that struck the Hogawachi community



Photo.6 The landslide that supplied the debris flow

$Mf=0.170$ or 0.175 (smaller than expected Mf judged from its body mass).

4) Mechanism: Movement of the unstable embankment soil (permeability $k = 5.8 \times 10^2 \text{cm/s}$) over the scoria (low $k = 3.1 \times 10^4 \text{cm/s}$), and concentration of ground water.

3.2 Dazaifu

1) Scale: the source failure has width of 36m. length 90m, maximum depth 1.5m.

2) Slope gradient: approximately 32~34° at the slope failure, and 26° at running section on the torrent.

3) "L" and "Mf": $L \geq 1.0\text{km}$, $Mf=0.217 \sim 0.357$ for 8 debris flows.(Comparable with typical values for debris flows such as Hiroshima disaster '99 ; $0.150 \sim 0.350$).

4) Mechanism: mass movements from collapses on the unstable granite sand slopes ($k=2 \times 10^2 \sim 6 \times 10^3 \text{cm/s}$) with high pore water pressure.

3.3 Minamata

1) Scale: the source failure has width of 80~100m. length 200m, maximum depth 10m, volume approximately $9 \sim 10 \times 10^4 \text{m}^3$.

2) Slope gradient: approximately 30° at the slope failure, and 20° at running.

3) "L" and "Mf": $L=1.6\text{km}$, $Mf=0.240 \sim 0.250$.

4) Mechanism: mass movements from collapses on the unstable slopes by concentration of grand water.

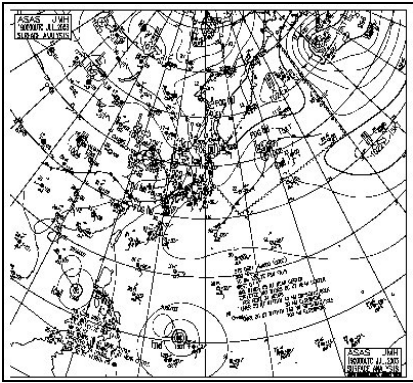


Fig.1 The meteorological condition

4. Return period (Tr) of the debris flows

With the assumption of self-organized criticality (SOC), return period "Tr" may follow the power law;

$$Tr = \xi \boxtimes Mf^{-\eta} \quad (\xi \doteq 6.70 \times 10^{-3}, \eta \doteq 5.94).$$

Since $1/Mf$ has a obvious correlation with landslide mass, Tr has a relation with the mass. Hence, it may form SOC (Bak et.al. 1988). The formula was obtained with the data of Dazaifu($Tr=30$), Hiroshima($Tr=54$) and others. Compare with Colorado's case (Coe et.al. 2002), Dazaifu has almost 20 times smaller Tr that means higher susceptibility of debris flows.

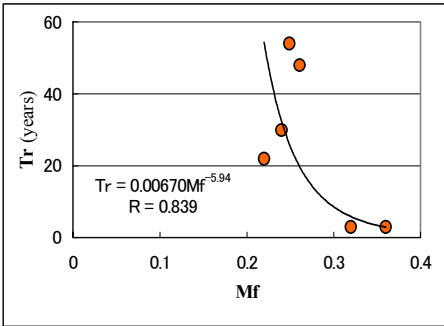


Fig.2 Relation of Mf and Tr

References: 1) Bak, P. et.al. (1988): Self-organized criticality, Phys. Rev. A38, 364-374.

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