

# 予測雨量を用いた土砂災害発生危険基準線の運用に関する研究

## A STUDY ON EMPLOYMENT OF CRITICAL LINE BY USING PREDICTION OF RAINFALL

神田茂樹<sup>1</sup>・大石博之<sup>2</sup>・竹本大昭<sup>3</sup>・古川 浩平<sup>4</sup>

Shigeki KANDA, Hiroyuki OHISHI, Hiroaki TAKEMOTO, and Kohei FURUKAWA

<sup>1</sup> 山口県大島土木事務所 (〒742-2300 山口県大島郡久賀町新開)

<sup>2</sup> 山口大学 工学部社会建設工学科 (〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1)

<sup>3</sup> 株式会社エイトコンサルタント (〒700-8617 岡山市津島京町 3 丁目 1-21)

<sup>4</sup> 山口大学 工学部社会建設工学科 (〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1)

### 1. はじめに

現在, 山口県では土砂災害に対する警戒避難体制の整備が進められており, 建設省指針 A 案 (以下旧基準 (A 案)) により設定された線形の土砂災害発生危険基準線<sup>1)</sup> (以下 CL) に代わって, 人工知能技術のひとつである RBFN (Radial Basis Function Network: 放射状基底関数ネットワーク) を用いた非線形の CL<sup>2)</sup> (以下新基準 (RBFN 案)) が検討されている. RBFN による非線形 CL は旧基準 (A 案) の線形 CL に比較して客観性に優れ, かつ災害の発生・非発生の判別に関して高い精度を有していることが報告されている. しかしながら, 新基準 (RBFN 案) には旧基準 (A 案) で設定されていたような警戒・避難の基準及び避難解除の基準が設定されていない. 本研究では, 気象庁が配信する予測雨量を活用することにより, 新基準 (RBFN 案) における警戒・避難基準及び避難解除の基準の設定を試みた.

### 2. 警戒・避難および避難解除への予測雨量の活用について

#### (1) 旧基準 (A 案) における警戒・避難基準の問題点

図-1 に旧基準 (A 案) による CL の設定例を示す. 旧基準 (A 案) では, 災害履歴に基づいて設定される線形の CL と既往最大の 1 時間雨量および 2 時間雨量から算定される警戒基準線 (以下 WL), 避難基準線 (以下 EL) を用いて, 時系列的に変動する降雨に

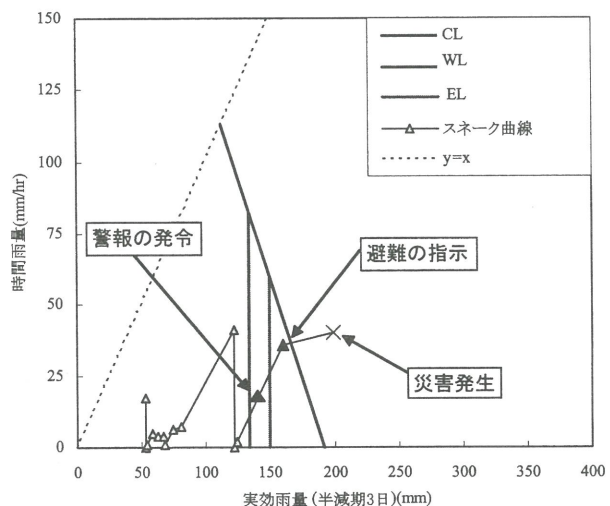


図-1 旧基準 (A 案) における警戒避難基準

対して警戒の発令や避難の指示が行われる. しかしながら, WL, EL による警戒・避難基準には, 避難の指示を出す頻度が高いわりに空振り (避難しても実際には災害が発生しないこと) が多いこと, 既往最大

1 時間雨量を上回るような集中的な降雨が発生した場合に災害発生の見逃しが生じる恐れがあること等の問題が存在している。

### (2) 警戒・避難への予測雨量の活用

上記の問題を改善するために、本研究では新基準（RBFN 案）において、従来の WL, EL のように警戒・避難基準を予め固定せず数時間先の予測雨量の状況に応じて警報の発令や避難の指示を行う方法を提案する。この方法では、予測雨量によって適宜避難の指示を出せるため、従来法と比較して空振りが減少するとともに避難行動の時間的余裕を確保できるものと考えられる。図-2 に新基準（RBFN 案）における予測雨量を用いた警戒・避難基準の概念を示す。即ち、警戒基準・・・現況で 2 時間先予測雨量が CL を超過した場合に警報の発令

避難基準・・・現況で 1 時間先予測雨量が CL を超過した場合に避難の指示

とするものである。これを本研究における新基準（RBFN 案）の警戒・避難基準案とした。

### (3) 避難解除への予測雨量の活用

一般的に、時間半減の実効雨量を降雨指標として用いる CL の設定手法（矢野案<sup>1)</sup>、提言案<sup>1)</sup>、新基準（RBFN 案）では、CL を超過したスネーク曲線が安全領域に入った時を避難解除の目安としている。しかしながら、降雨指標である実効雨量は減少係数によって雨量値が減少するものの、実況の雨が降り止んでから安全領域に戻るまで 1 日以上を要することもあり、避難解除方法としては必ずしも実用的ではない。また旧基準（A 案）では日半減の実効雨量<sup>1)</sup>を指標としており、この場合無降雨となっても雨量値が減少しないことから避難解除の判断には適さないものと考えられる。これらのことから、新基準（RBFN 案）では、実用性が高くかつ客観的な新しい避難解除

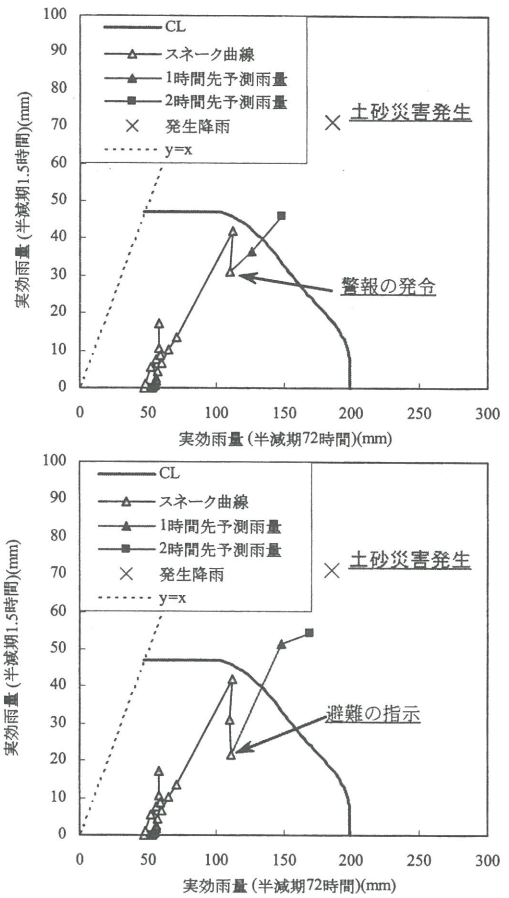


図-2 新基準（RBFN 案）における警戒・避難基準案基準を決定することを試みた。

1976 年～2002 年までの山口県内で発生した土砂災害データ<sup>3)</sup>を検証したところ、そのほとんどが降雨中に発生したものであることが分かった（図-3）。

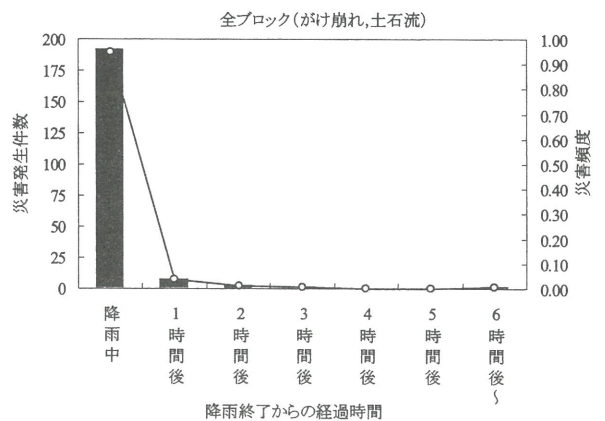


図-3 降雨中及び降雨終了後に発生する災害

そこで本研究では、新基準（RBFN 案）の避難解除基準として予測雨量を活用する方法を検討し、従来よりも避難解除時期を早める方法を提案した。図-4 に本研究における避難解除基準の概念図を示す。これ

は、まず実地の降雨が止んだ直後（1 時間雨量が 0mm/hr を記録した時点）を避難解除の目安とし、その時点で 1 時間先、2 時間先の予測雨量も 0mm/hr である場合に対象地域の状況を確認の上避難解除を行うものである。

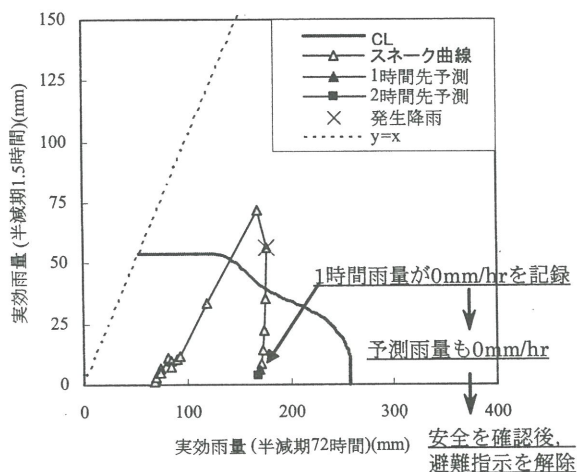


図-4 予測雨量を活用した避難解除の考え方

#### (4) 使用する予測雨量

土砂災害の警戒・避難の目安として採用する予測雨量には、気象庁が配信する降水短時間予報と降水ナウキャストを選択した。

降水短時間予報は、レーダ情報とアメダスデータによって得られたレーダ・アメダス解析雨量(以下、「解析雨量」と表記)を初期値として算出された 6 時間先までの予測雨量であり、1 時間間隔(平成 15 年 6 月から 30 分)で配信されている。また予測雨量は、解析雨量と同様に 5km 四方(平成 13 年 4 月から 2.5km 四方)の格子毎に求められる。これに対し、降水ナウキャストは、2km 四方の格子毎に求められる 1 時間先までの予測雨量であり、データの配信は 10 分毎にきめ細かく行われる。

本研究では、避難指示の目安とする 1 時間先の予測雨量についてはデータ配信間隔が細かく突発的な降雨の予測に有効な降水ナウキャストを、警報の発令の目安とする 2 時間先の予測雨量については 6 時間先までのデータが配信される降水短時間予報を用

いることとした。

### 3. 予測雨量の精度検証

予測雨量に基づく土砂災害の警戒・避難および避難解除基準の運用を行う場合、予測雨量の精度を検証することが最も重要な課題であると考えられる。本章では山口県内を対象にモデル地域を定め、予測雨量の精度検証を行った。

#### (1) 検証対象地域と降雨データ

降水短時間予報については、2000 年 9 月～2002 年 12 月の期間(以下、「対象期間」と表記)で防府市、熊毛町周辺の砂防・河川の雨量計(15 箇所)、気象台(2 箇所)(以下、「対象観測所」と表記)での実況雨量(毎正時の 1 時間雨量)に対する予測雨量の精度を検証した。表-1 に対象観測所の一覧表を示す。対象期間中のデータ総数は 34677 個であった。

降水ナウキャストに関しては山口県内で災害の多発した 2003 年 7 月のデータを使用することとした。対象地域は降水短時間予報で対象とした 2 地域の対象観測所に加え、2003 年 7 月に災害の発生した美祇市・秋芳町の観測所(3 地点)の実況雨量(10 分間更新の 1 時間雨量)に対する予測雨量の精度を検証した。検証を行ったデータ総数は 38947 個であった。

#### (2) 精度検証の方法

精度検証では、実況雨量から求めた 1 時間雨量、実効雨量(半減期 1.5 時間)、実効雨量(半減期 72 時間)に対して、予測雨量から求めたそれらの雨量値がどのような相関を有しているかを求めることで実施した。

前述の通り、各予測雨量は決められた間隔で設定される格子毎にデータ配信が行われているものの、既往文献<sup>4), 5), 6), 7), 8), 9), 10)</sup>によればその値は実況雨量

よりも低めに算出される傾向が多く、精度検証を行う場合には予測値の誤差を考慮して空間的に幅を持たせた検証（単一の格子のデータと実況雨量を比較するのではなく、予測地点を中心とした複数の格子内における最大値あるいは平均値で判断する方法）を行うことが望ましいと指摘されている。

そこで、本研究では降水短時間予報に関しては対象観測所を中心とした3×3個の格子（以下、「3×3メッシュ」と表記）内において、1) 中心のメッシュでの予測値、2) 3×3メッシュ内の予測値の算術平均値、3) 3×3メッシュ内の予測値の最大値について、実況雨量との相関を求める検証を行った（図-5参照）。また、格子サイズが異なる降水ナウキャストについては、対象観測所を中心とした5×5個の格子（以下、「5×5メッシュ」と表記）と3×3メッシュを用いて同様の精度検証を行った。各予測雨量の精度検証の検討ケースを表-1に示す。

表-1 (a) 降水短時間予報の精度検証ケースの一覧

運用方法	時間雨量	実効雨量 (半減期1.5時間)	実効雨量 (半減期72時間)
中心メッシュ	1時間先	1時間先	1時間先
	2時間先	2時間先	2時間先
	3時間先	3時間先	3時間先
3×3メッシュ 平均値	1時間先	1時間先	1時間先
	2時間先	2時間先	2時間先
	3時間先	3時間先	3時間先
3×3メッシュ 最大値	1時間先	1時間先	1時間先
	2時間先	2時間先	2時間先
	3時間先	3時間先	3時間先

表-1 (b) 降水ナウキャストの精度検証ケースの一覧

運用方法	時間雨量	実効雨量 (半減期1.5時間)	実効雨量 (半減期72時間)
中心メッシュ	1時間先	1時間先	1時間先
3×3メッシュ 平均値	1時間先	1時間先	1時間先
3×3メッシュ 最大値	1時間先	1時間先	1時間先
5×5メッシュ 平均値	1時間先	1時間先	1時間先
5×5メッシュ 最大値	1時間先	1時間先	1時間先

### (3) 精度検証結果

降水短時間予報の精度検証結果の一覧を表-2に、また実況雨量と予測雨量値の相関図の一例を図-6に示す。1時間雨量の予測については、1時間先まで

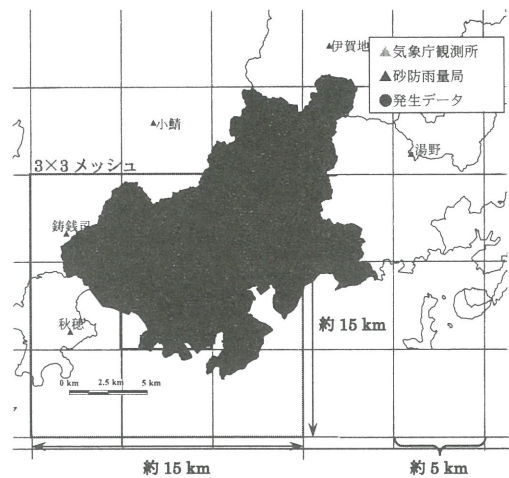


図-5 降水短時間予報の検証に用いたメッシュ構成

は相関係数 0.7 前後を示すものの、2時間先・3時間先については相関係数が 0.5 を大きく割り込み、予測精度が低いことが示されている。これに対し、実効雨量（半減期 1.5 時間）では 2 時間先までの予測であれば相関係数 0.758 以上を有していることが、また実効雨量（半減期 72 時間）では 3 時間先の予測でも相関係数 0.95 以上を有していることが明らかとなった。メッシュ内の値のとり方による相違に関しては、3×3メッシュの平均値が最も相関係数が高い結果となった。ただし、予測雨量が実況雨量に対して小さめに算出される傾向を考慮すると、全般に実況雨量よりも大きな雨量値が得られている 3×3メッシュ最大値（図-6 参照）を採用することが災害の見逃しを減らす上で効果があるものと考えられる。

表-2 降水短時間予報の精度検証結果

予測雨量（中心メッシュ）との相関係数			
	1時間先予測雨量	2時間先予測雨量	3時間先予測雨量
1時間雨量	0.699	0.454	0.390
実効雨量 (T=1.5h)	0.913	0.775	0.673
実効雨量 (T=72h)	0.997	0.989	0.977
予測雨量（3×3メッシュ最大値）との相関係数			
	1時間先予測雨量	2時間先予測雨量	3時間先予測雨量
1時間雨量	0.682	0.471	0.396
実効雨量 (T=1.5h)	0.885	0.758	0.664
実効雨量 (T=72h)	0.994	0.978	0.956
予測雨量（3×3メッシュ平均値）との相関係数			
	1時間先予測雨量	2時間先予測雨量	3時間先予測雨量
1時間雨量	0.731	0.489	0.410
実効雨量 (T=1.5h)	0.928	0.801	0.695
実効雨量 (T=72h)	0.998	0.991	0.980

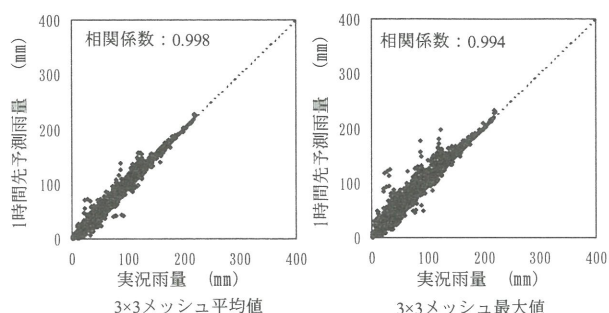


図-5 精度検証 相関図の例 (実効雨量 (T=72hr))

降水ナウキャストの精度検証の結果を表-3 に示す。降水短時間予報に比べて1時間雨量の予測精度が向上している。また実効雨量に関しては降水短時間予報の1時間先の予測値とほぼ同等であった。メッシュ内の値のとり方による相違に関しては、5×5メッシュの平均値が最も相関係数が高い結果となった。ただし、降水短時間予報同様過小な予測値の採用を避けることを考慮して警戒・避難基準の雨量としては5×5メッシュの最大値を用いるのが妥当であると判断した。

以上の結果から、本研究では警戒基準となる2時間先の予測雨量については降水短時間予報の3×3メッシュの最大値を、避難基準となる1時間先の予測雨量については降水ナウキャストの5×5メッシュの最大値を採用することとした。

表-3 実況雨量と降水ナウキャストの相関係数

	中心メッシュ	3×3メッシュ最大値	3×3メッシュ平均値	5×5メッシュ最大値	5×5メッシュ平均値
時間雨量	0.749	0.770	0.767	0.775	0.776
実効雨量 (T=1.5hr)	0.922	0.928	0.926	0.929	0.927
実効雨量 (T=72hr)	0.996	0.997	0.996	0.997	0.997

#### 4. 新基準 (RBFN) と予測雨量を用いた土砂災害警戒避難基準の運用検討

本章では、新基準 (RBFN 案) の非線形の CL に本章で精度検証を行った予測雨量に基づく警戒・避難および避難解除基準を組み合わせた場合の運用例として、2003年7月に防府市、熊毛町、美祿市、秋芳町の4地域 (以下モデル地域) で発生した土砂災害<sup>11)</sup>に

対する警戒・避難および避難解除のタイミングについての検証を行った。またその際には、旧基準 (A 案) との比較を併せて実施した。表-4 に検証に使用した2003年7月の土砂災害データ一覧表を示す。

表-4 2003年7月にモデル地域での土砂災害一覧表

報告番号	市町村	災害形態	災害日時				使用観測所
			年	月	日	時	
116	美祿郡秋芳町	がけ崩れ	2003	7	12	1	秋吉台
117		がけ崩れ	2003	7	12	1	
118		がけ崩れ	2003	7	12	1	
119		がけ崩れ	2003	7	12	1	
120		がけ崩れ	2003	7	12	1	
105	美祿市	がけ崩れ	2003	7	11	23	豊田土木
131		がけ崩れ	2003	7	"	24	美祿大橋
29	防府市	がけ崩れ	2003	7	8	11	防府土木
104		がけ崩れ	2003	7	12	1	
106		がけ崩れ	2003	7	"	5	大平山
129		がけ崩れ	2003	7	"	1	防府土木
130		がけ崩れ	2003	7	"	1	
124		がけ崩れ	2003	7	"	2	
107		がけ崩れ	2003	7	"	1	大平山

#### (1) 警戒・避難および避難解除のタイミングの検証

図-5 に2003年7月12日1時に防府市で発生した がけ崩れ災害に対する各基準案での警戒・避難および避難解除のタイミングを示す。新基準 (RBFN 案) では、災害2時間前に警報が発令され、50分前には避難の指示が出されており、住民を災害発生前に安全に避難させることが十分可能である。また、避難指示の解除は同日早朝5時に可能となった。一方、旧基準 (A 案) では災害発生と同時に避難指示が発令される結果となった。表-5 に2003年7月にモデル地域で発生した全ての土砂災害での警戒・避難のタイミングの検証結果を示す。旧基準 (A 案) では、発生14件中12件もの見逃しがあったのに対し、新基準 (RBFN 案) では1件のみであったことから、大きく精度を向上できる可能性が示唆された。また、非発生の的中率に関しても新基準 (RBFN 案) の方が格段に精度の高い結果となっており、より信頼性の高いシステムであるといえる。

#### 5. まとめ

本研究では、予測雨量を活用することで新基準 (RBFN 案) における新たな警戒・避難および避難解

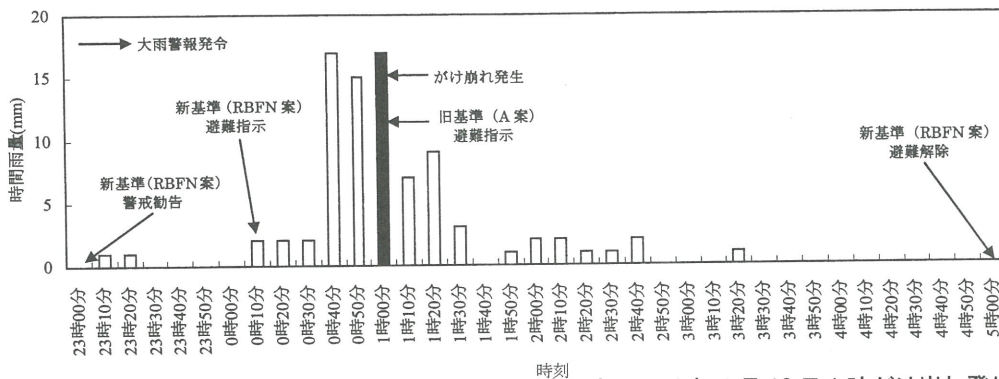


図-5 警戒避難・解除のタイミング検証結果 (防府土木：2003年7月12日1時がけ崩れ発生)

表-5 警戒・避難と避難解除のタイミング比較

報告番号	CL超過	警報の発令タイミング*1		避難の指示タイミング*2		避難解除の タイミング*4 新基準のみ
		新基準 (RBFN 案)	旧基準 (A案)	新基準 (RBFN案)	旧基準 (A案)	
131	○	1時間前	発生時刻	1時間20分前	発生時刻	4時間20分後
105	○	1時間前	1時間後	50分前	1時間後	3時間20分後
116	○	2時間前	2時間前	2時間10分前	36時間後	3時間10分後
117	○	2時間前	2時間前	2時間10分前	36時間後	3時間10分後
118	○	2時間前	2時間前	2時間10分前	36時間後	3時間10分後
119	○	2時間前	2時間前	2時間10分前	36時間後	3時間10分後
120	○	2時間前	2時間前	2時間10分前	36時間後	3時間10分後
29	×	×	×	×	×	-
104	○	2時間前	発生時刻	50分前	発生時刻	4時間50分後
129	○	2時間前	発生時刻	50分前	発生時刻	4時間50分後
130	○	2時間前	発生時刻	50分前	発生時刻	4時間50分後
124	○	3時間前	1時間前	1時間50分前	1時間前	4時間50分後
107	○	1時間前	発生時刻	1時間前	発生時刻	7時間後
106	○	5時間前	4時間前	5時間前	4時間後	7時間後
発生の 的中率 (%)	92.9(13/14)	92.9(13/14)	50.0(7/14)	92.9(13/14)	14.3(2/14)	100.0(13/13)
非発生の 的中率 (%)*3	84.2(32/38)	71.1(27/38)	60.5(23/38)	81.6(31/38)	76.3(29/38)	-

\*1：警報が発令されなかったものは×、発令されたものは災害時刻との時間差を示す  
 \*2：避難の指示が出されなかったものは×、出されたものは災害時刻との時間差を示す  
 \*3：2003年に災害が起きた近傍の観測所のデータのみ使用  
 \*4：避難指示が発令されなかったものは-、発令されたものは避難指示の発令時刻との時間差を示す

除の基準を提案した。これについて昨年度の災害事例への有用性を検証した結果、適切な警戒・避難および避難解除を行うことが可能であることが明らかとなった。これは、基幹となる新基準 (RBFN 案) の非線形の CL が高い的中精度を有していることに加え、予測雨量に関して精度検証結果に基づいた適正な運用が出来た事によるものと考えられる。今後更にデータを蓄積し、災害事例の検証を進めることでより信頼性の高いシステムの構築を目指したい。

参考文献

1) 国土交通省国土技術政策総合研究所:土砂災害警戒避難基準雨量の設定方法, 国土技術政策総合研究所資料, 2001  
 2) 倉本和正, 鉄賀博己, 東 寛和, 荒川雅生, 中山弘隆, 古川浩平:RBFネットワークを用いた非線形がけ崩れ発生限界

雨量線の設定に関する研究,土木学会論文集, No.672, IV -50, pp.117-132, 2001

3) 山口県土木建築部砂防課;土砂災害情報相互通報システム整備事業に伴う山口県土砂災害発生危険基準線設定業務報告書,2002

4) 原義文, 石川芳治, 牧原康隆, 板垣昭彦, 赤津邦夫:降水短時間予報の土石流発生基準雨量への適用, 平成5年度砂防学会研究発表会概要集, pp.101-102, 1993

5) 井良沢道也, 北川明, 杉浦幸彦, 竹森史郎:レーダによる降雨予測の土砂災害への適用, 新砂防, Vol.46, No.6(191), pp.10-17, 1994

6) 原義文, 高木久之, 多々良秀世, 原和夫, 早川裕毅: 10分間更新短時間降雨予測情報の利用検討, 平成11年度砂防学会研究発表会概要集, pp.166-167, 1999

7) 原義文, 青山一幸, 佐藤嘉紀, 林元彦, 高木久之, 多々良秀世, 原和夫, 早川裕毅, 吉田信夫: 10分間更新短時間降雨予測情報の利用検討(その2), 平成12年度砂防学会研究発表会概要集, pp.228-229, 2000

8) 姫城賢一, 瀬尾克美, 菊井稔宏, 吉田真也, 佐竹伸二, 飯塚史教, 岡野和行:集中豪雨における警戒・避難基準雨量について(平成11年6月29日広島災害における事例検討), 平成12年度砂防学会研究発表会概要集, pp.234-235, 2000

9) 原義文, 伊藤明, 小野秀樹, 高木久之, 多々良秀世, 吉田信夫: 10分間更新短時間降雨予測情報の利用検討(その10), 平成13年度砂防学会研究発表会概要集, pp.196-197, 2001

11) 山口県土木建築部砂防課;土砂災害警戒避難情報の有効活用に関する検討業務報告書,2002

(2004.6.18 受付)