

降雨観測データの土石流発生予測への適用  
- 広島県における最近の事例を使って -

桑田 志保\*・海堀 正博\*\*

\* : 広島大学大学院生物圏科学研究科

\*\* : 広島大学総合科学部自然環境研究講座

Application of the observed rainfall data  
to the prediction of debris flows  
- A case study with the recent debris flow disaster in Hiroshima -

Shiho KUWADA\*, Masahiro KAIBORI\*\*

\* : *Graduate School of Biosphere Sciences, Hiroshima University,  
Higashi-Hiroshima 739-8521, Japan*

\*\* : *Department of Environmental Sciences, Faculty of Integrated Arts and Sciences,  
Hiroshima University, Higashi-Hiroshima 739-8521, Japan*

**Abstract** : A large number of debris flows occurred in Hiroshima Prefecture on June 29 and September 15, 1999. The rainfall events as the cause of disasters were characterized in the point of extreme localization and intensity. Recently, such type of disasters has been often reported and in most of cases, the relationship between the rainfall situation and the occurrence of the debris flow disaster could not be grasped well with a rainfall observation system. We have considered the validity of this current system with some intense rainfall events and found some problems in it. One of the important points is that the observed rainfall value was not always the value of the site of the disaster. Also, several problems concerning the evaluation method of the past rainfall might be pointed out. As another very important point, we could indicate that the flow of the information transmission system was one way and that it did not function in too many necessary sites. A lot of damaged people could not have imaged a debris flow nor slope failure before the disaster. So, we tried to establish an improved system. In our proposed system, the past rainfall is stored in each small district with the interpolation method. As the effect of the past rainfall on the point decreases with time, the sum is computed with a supposed attenuation constant. As the result, the rainfall situation calculated in this system is preferable to the current one to evaluate the possibility of debris flow. The calculation in this proposed system is not too heavy for the public to perform it with a personal computer. We can therefore expect that it contributes to increase the number of interested citizens in disaster and its prevention.

**Keywords** : heavy rainfall, debris flow, critical line, warning-evacuation system.

## 1. はじめに

広島県は、風化花崗岩またはマサ土といった特徴的な地質であり、山地に囲まれていることから、常に土石流や崖崩れなどの土砂災害と隣り合わせの生活を強いられる。その上、近年宅地開発が進み、土砂の不安定化は今後も続いて行くことが予想される。現在、全国の土石流危険渓流に対する砂防ダム等の設備の整備率は約20%と低い。これらのハード面の対策は時間とコストがかかるため、これに加えてソフト面の防災対策が推進されている。現在ソフト面の防災対策として、警戒避難基準雨量の設定や土砂災害の危険性のある箇所を記載したハザードマップの配布等が全国的に試みられ、より正確な土砂災害の発生予測が望まれている。

東広島市では1999年6月29日には広域に、同年9月15日には西条町助実地区を中心に土砂移動現象が発生した。この土砂移動に関わった降雨の状況について、非常に局地性の強い、しかも短時間に集中して降ったという特徴があったことが早くから指摘され(例えば牛山ほか, 1999)、この災害を契機に、近年増加する局地的な集中豪雨に対する現行のシステムの問題点が浮上した(海堀ほか, 1999)。筆者らも防災のためには任意の地点での降雨の情報が土砂移動の発生予測の際に必要なになってくるのではないかという問題提起をした(桑田ほか, 2000)。

本研究では、現行の土砂災害に関する警戒避難システムの問題点を明確にし、より正確に降雨状況が把握でき、簡単かつリアルタイムで活用できるシステム作りを試みた。

## 2. 現状と問題点

### 2-1. 警戒・避難基準雨量のブロック区分について

平成11年3月に広島県が作成した「情報基盤緊急整備事業に伴う土砂災害発生警戒・避難基準雨量検討業務報告書」(以下、広島県報告書とする)では、広島県内の86市町村を71のブロックに分けて土砂災害に対する警戒・避難基準雨量を設定している。現段階ではエリア区分が市町村境界に支配されており、局地的な降雨の際に正確な情報を反映できないシステムになっている。

1999年の降雨は気象庁の17~20kmメッシュのアメダス観測網では捉えきれないような局所的なものであった(海堀, 2000)。図1に広島県における1999年9月15日4時の降雨状況を示す。上図(a)は気象庁の観測点32箇所のみを使用、下図(b)は広島県・国土交通省・日本道路公団の観測点127箇所を加え、計159箇所の雨量観測データを用いて等雨量線を描いた。上図(a)では東広島市の局地的な豪雨を捉えきれないことが分かる。さらに、図2に東広島市周辺における降雨状況を示す。上図は1999年6月29日17時、下図は同年9月15日4時の時間雨量分布にそれぞれ1時間前までの先行降雨を重ねたものである。6月は長雨で発生時までには十分な先行降雨があり、40~50mm/hrの時間雨量をきっかけに土石流が発生した。一方、9月は発生4時間前から降り始め、70mm/hr以上の時間雨量で土石流が発生している。図中の桧山観測所の周辺では、6月が50mm/hr、9月が65mm/hr程度と9月の方が観測された雨量が多かったにもかかわらず、9月より6月の方が豪雨であったという住民の証言を得ている。つまり、気象庁や広島県等の観測所をあわせた約5kmメッシュの観測網でも観測出来ないような局所的な降雨があり、現在設定されている基準雨量ブロック区分では“土砂移動現象の直上の降雨”は捉えられない。例えば、現在、広島県の指針案では東広島地区は安芸津町と安浦町とともにブロック区分されているが、実際に警戒避難に使われる雨量データは東広島観測所(気象庁)のものであり、約5kmごとの雨量観測所でも捉えられないような局地的な降雨の際、正確な降雨予測、さらに土石流発生予測は難しい。防災のためには雨量観測所

の点のみでなく、任意の地点での降雨の情報が土砂移動の発生予測の際に必要なってくる。

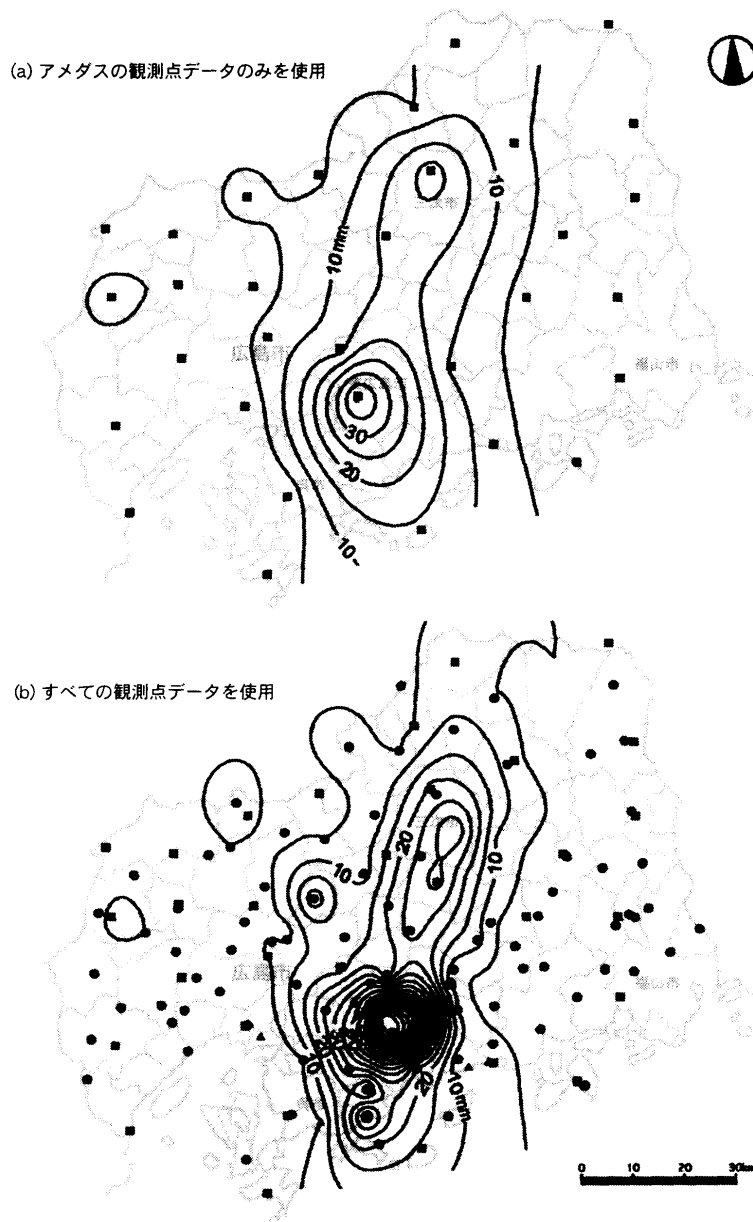


図 1. 広島県における 1999 年 9 月 15 日 4 時の時間雨量分布

- : 気象庁アメダス観測点
- : 広島県観測点
- ▲ : 国土交通省観測点
- × : 日本道路公団観測点

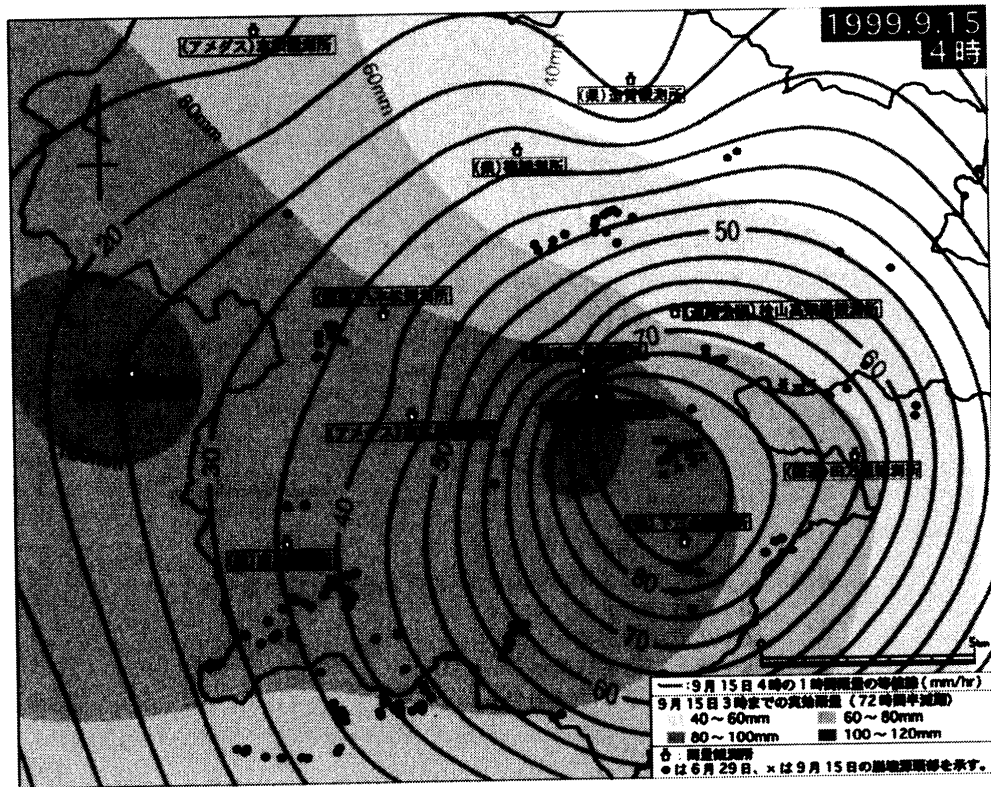
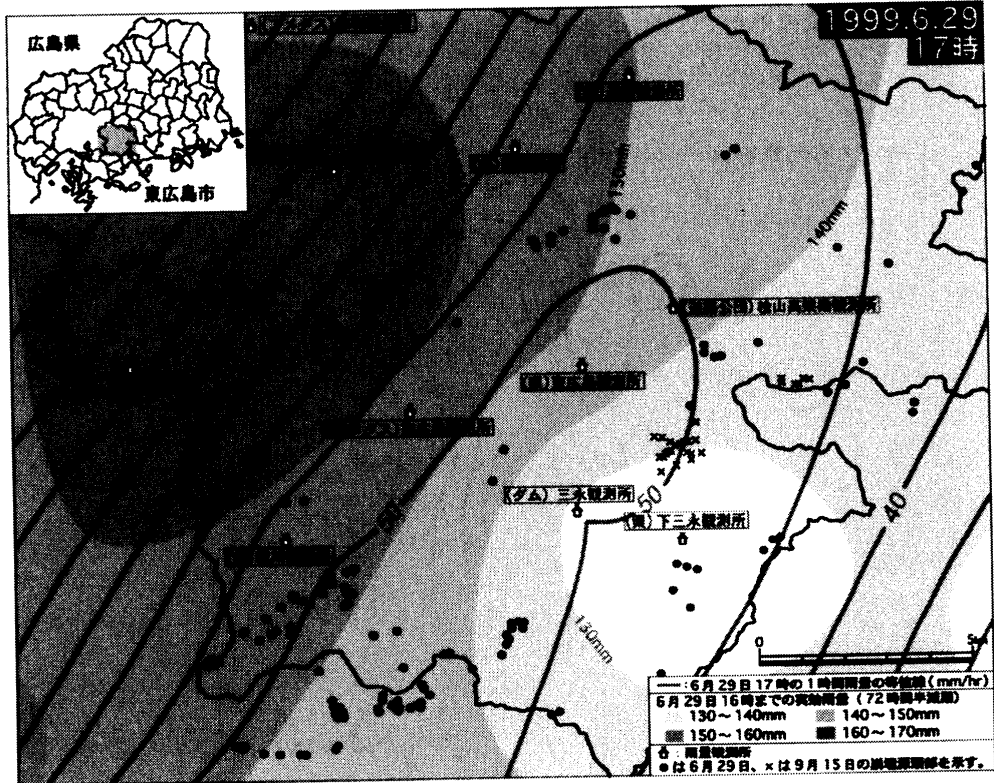


図2. 1999年6月29日と同年9月15日における東広島市周辺の降雨状況

### 2-2. 国土交通省（もと建設省）指針案 A 案と CL 設定方法について

広島県報告書では、国土交通省（もと建設省）の「土石災害に関する警報の発令と非難の指示のための降雨量設定指針（案）」（建設省河川局砂防部,1984）に従って、指針案 A 案の実効雨量（半減期 1 日）を横軸に、1 時間雨量強度を縦軸にとり警戒・避難基準雨量の設定をしている。実効雨量 A 案は、前期降雨についてはその影響が時間とともに逓減するが一連の降雨の間は雨量を累加し、梅雨時などの長雨の場合にはいつまでたっても逓減せず、警戒警報や避難勧告の解除のタイミングが取りづらいという特徴がある。また、横軸には土石流発生の 1 時間前までの実効雨量をプロットし、土石流発生危険基準線（Critical line；以後、CL とする）が設定されている。しかし実際には、発生のきっかけとなった 1 時間の降雨も土層中の水分量の増加に影響していると考えられる。

さらに、東広島ブロック（東広島市中央部、黒瀬町、安芸津町、安浦町、川尻町）の基準雨量設定の際には 1999 年 6 月 29 日と 9 月 15 日の東広島市の土石流事例は含まれず、1960 年 7 月 8 日と 1967 年 7 月 9 日と 1972 年 7 月 12 日の竹原管内の土石流事例のみで設定されている。そこで、東広島市における 1999 年 6 月 29 日と 9 月 15 日の雨量データについて、建設省指針案 A 案の方法で計算し、既存の CL のグラフに加え、基準雨量の設定と比較した（図 3）。その結果、一連の降雨の間は雨量が累積されていく指針案 A 案の実効雨量を用いたにもかかわらず、1999 年 6 月 29 日と 9 月 15 日のデータは広島県の設定する CL よりも下側になり、避難勧告を出すよりも先に土石流が発生したことになる。これは、半減期が 1 日と短いため先行降雨が過小評価されていること、CL の設定（プロットの仕方）自体に問題があること、さらに、検討事例が少なすぎるなどの理由が考えられる。

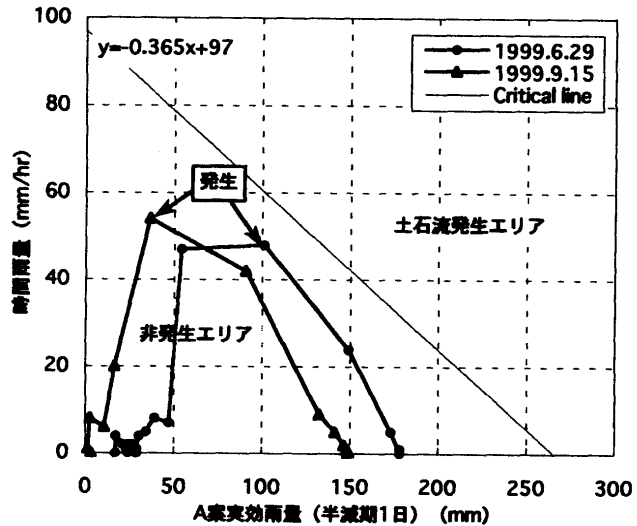


図 3. 建設省指針案 A 案を用いた場合の土石流発生前後の雨量の時間推移

そこで、東広島市における 1999 年 6 月 29 日と 9 月 15 日の雨量データについて、建設省指針案 A 案の方法で計算し、既存の CL のグラフに加え、基準雨量の設定と比較した（図 3）。その結果、一連の降雨の間は雨量が累積されていく指針案 A 案の実効雨量を用いたにもかかわらず、1999 年 6 月 29 日と 9 月 15 日のデータは広島県の設定する CL よりも下側になり、避難勧告を出すよりも先に土石流が発生したことになる。これは、半減期が 1 日と短いため先行降雨が過小評価されていること、CL の設定（プロットの仕方）自体に問題があること、さらに、検討事例が少なすぎるなどの理由が考えられる。

## 3. 降雨の状況と土砂移動現象の関係

### 3-1. 検討対象について

広島県で最近発生した下記の土石流事例を対象に検討を行った。

- 1967 年 7 月 9 日 呉市（前川ほか,1967 より）
- 1993 年 7 月 28 日 東広島市（広島県森林協会,1994 より）
- 1999 年 6 月 29 日 広島市・呉市・東広島市（海堀,2000、広島県,1999 より）
- 1999 年 9 月 15 日 東広島市（海堀,2000 より）

雨量データとしては、気象庁アメダス観測点から 32 箇所、国土交通省所管の観測点から 8 箇所、広島県所管の観測点から 119 箇所、広島市消防局所管の観測点から 14 箇所、日本道路公団所管の観測点から 28 箇所での値を用いた。

### 3-2. 土砂移動発生場における実際の降雨量の推定方法について

前述のように、基準雨量の設定においては雨量データの取り扱いによって、その意味が大きく異なってくるため、慎重な取り扱いが必要となる。

降雨量と土砂移動発生との関係についての様々な検討が行われている（例えば矢野,1990、藤井ほか,1994、瀬尾ほか,1985）が、従来から良く用いられている Thiessen 法（吉川,1980）によると、降雨の観測所と土砂移動発生場所までの距離が結果に大きな影響を与えていることがしばしば見受けられる（例えば瀬尾ほか,2001）。土砂移動発生場の近隣に雨量観測所が設けられている場合と、かなり離れた観測所のデータを使用して解析する場合とでは、極めて局地的な降雨があった時に予知の解析にかなりの差が生じることが推察される。たとえば東広島市周辺で局地的豪雨のあった1999年9月15日4時の1時間雨量を見ると、東広島観測所（広島県）は64mm/hr、西条観測所（国道）は90mm/hr、桜山高架橋観測所（日本道路公団）は66mm/hr、下三永観測所（広島県）は89mm/hrと、隣接する観測所間に30～40mm/hrの雨量の差があり、Thiessen法による解析では境界線をはさんだ地域の雨量に大きな差が出る（図4）。

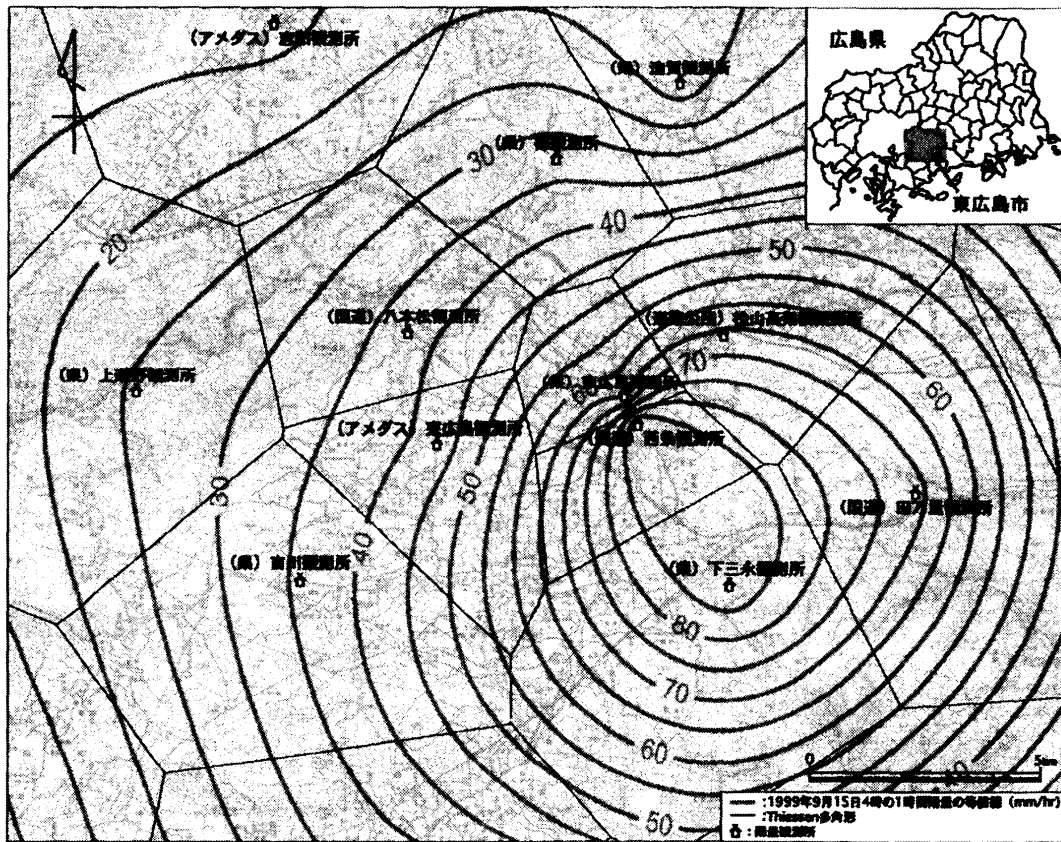


図4. 東広島市周辺における Thiessen 法によるエリア区分と雨量の関係（1999年9月15日4時）

最も実際の降雨を反映している方法は、等雨量線を描き対象地区の雨量を読み取る方法であるが、手間と時間がかかるためリアルタイムで利用することは困難である。そこで本研究では、等雨量線を描く際の補間計算を利用し、ランダムに配置されている雨量観測点の雨量データを格子のデータに補間（内挿）し、そのデータをもとに土石流発生危険雨量を算出していく方法について検討した。この

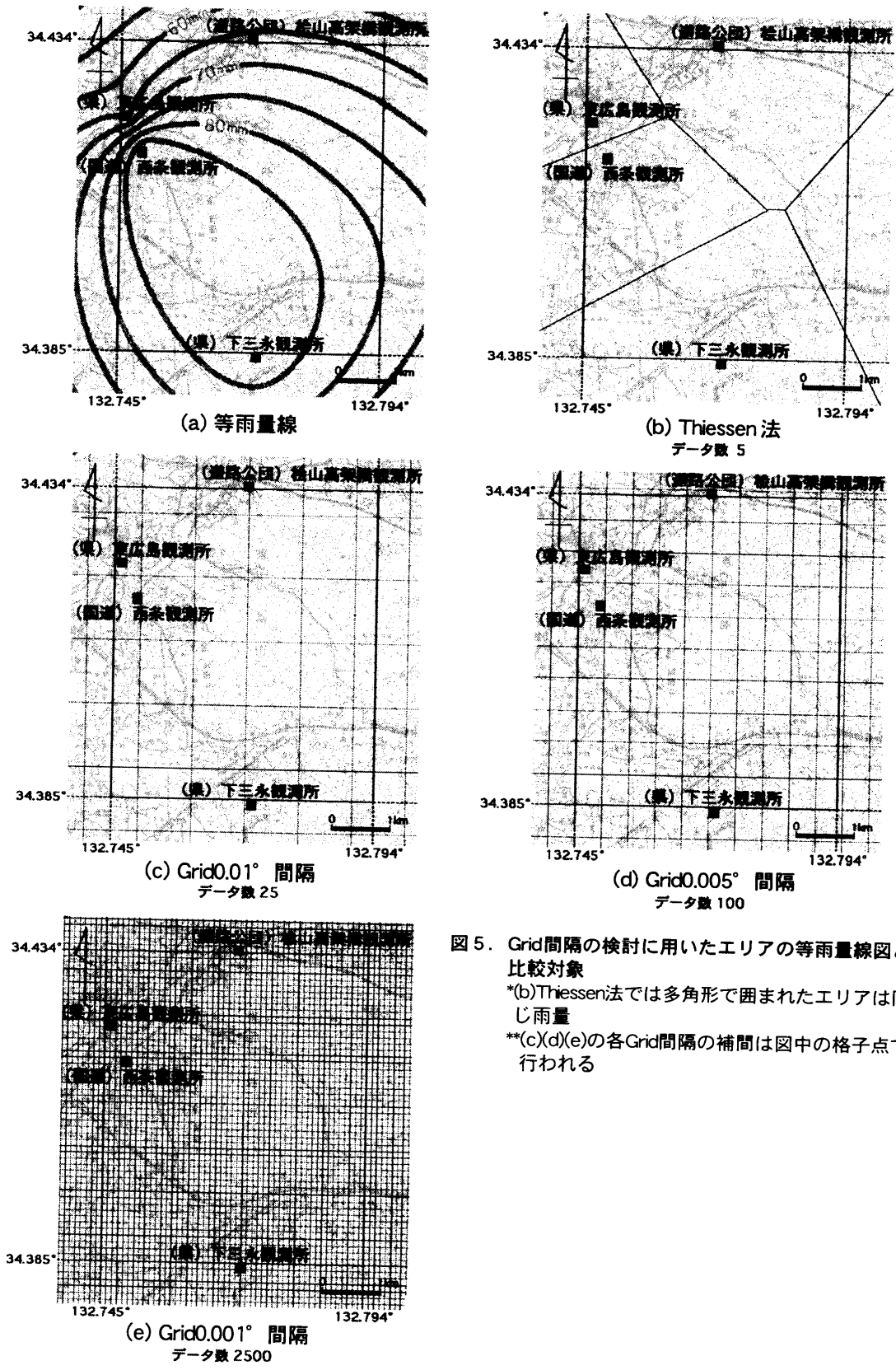


図5. Grid間隔の検討に用いたエリアの等雨量線図と比較対象

\* (b) Thiessen法では多角形で囲まれたエリアは同じ雨量

\*\* (c)(d)(e)の各Grid間隔の補間は図中の格子点で行われる

表 1. Grid 間隔の比較結果

\*0.001°とは緯度・経度 0.001° 間隔で補間した雨量データ (0.005°, 0.01° も同様)

\*\* 広島県指針案とは広島県が設定した雨量観測所で代表される雨量データ

\*\*\*Thiessen 法とは Thiessen 法を用いた場合の雨量データ

比較対象	差 (平均)	差 (最大値)	占める割合			
			1 mm以上	2 mm以上	3 mm以上	4 mm以上
0.001° - 広島県指針案**	38.5mm	47.9 mm	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%
0.001° - Thiessen法***	5.1 mm	17.7 mm	81.6%	70.4%	61.8%	52.9%
0.001° - 0.01°	1.8 mm	16.5 mm	58.3%	32.2%	17.5%	9.0%
0.005° - 0.01°	2.0 mm	10.9 mm	59.0%	40.0%	28.0%	20.0%
0.001° - 0.005°	0.9 mm	9.8 mm	32.3%	7.4%	2.5%	1.2%

方法は、入力したデータ（ここでは雨量データ）をコンピュータ上で変換するため、早く、細かいメッシュでの情報が得られるというメリットがある。雨量観測データを格子のデータに補間する方法として、観測点データから観測されていない任意の地点の状態を推定する Kriging 法（宝ほか、1992）が最も実際の降雨状況を表すのに適していると考え、これを用いて解析を行った。

補間を行う際には格子 (Grid) の間隔が問題となる。Grid の間隔は細かいほど実際の降雨に近いと考えられるが、小さいほど計算量もデータ数も多く、家庭のパソコンで扱うことが困難となる。また、間隔が大きいほど精度は低下し、実際の降雨量から遠ざかる。例えば、Grid 間隔 100m は 1km と比較すると 100 倍のデータ数である。運用を考えると、出来るだけ少ないデータ数かつ実際の事象に近い Grid 間隔の設定が必要である。そこで、どの間隔で補間すれば適当であるかを以下の事例を用いて検討した。

東広島市周辺における 1999 年 9 月 15 日 4 時の時間雨量データのうち、最も降雨の集中するエリア（東経 132.745° ~ 132.794°、北緯 34.385° ~ 34.434°）のデータを用いた。このエリアにおける最大雨量は 90mm/hr、最小雨量は 56mm/hr である。なお、各雨量観測点の位置を緯度・経度値で与えているため、Grid の間隔は緯度・経度値で設定した。

雨量観測データを緯度・経度 0.001° 間隔 (100m 程度) で補間した。算出されたデータは図 5(e) の格子点上の雨量として表される (例えば、北緯 34.385°、東経 132.745° の位置の雨量は 77.6mm/hr)。同様に 0.005° 間隔 (500m 程度)、0.01° 間隔 (1 km 程度) で補間計算を行った。さらに、広島県が設定する基準雨量ブロック区分 (広島県指針案とする) と Thiessen 法を用いた場合の雨量データを作成し比較対象とした。広島県指針案では東広島ブロックは検討エリア外の東広島観測所 (気象庁) の雨量観測値に代表され、エリア内はすべての点で同じ雨量となる。

表 1 に比較結果を示す。左から順に比較対象、値の差の平均、値の差の最大値、値の差が 1、2、3、4 mm/hr 以上のものの占める割合 (%) を示している。すべて時間雨量値そのものを比較している。表中の 0.001° - 広島県指針案は、緯度・経度 0.001° 間隔で補間した雨量データと広島県指針案の場合の雨量データとの比較を表している。

広島県の設定する代表観測所 (気象庁・東広島観測所) と検討エリアは 5 km 以上離れているため、Grid 0.001° 間隔との雨量の差は平均 38.5mm とかけ離れており、すべての点で雨量の差が 4mm 以上であった。また、Thiessen 法の場合も、4mm 以上の差があるものが半分以上を占めている。これらの方法を用いて実際の降雨量の推定をすることは極めて困難なことが明らかである。

Grid 0.001° と 0.01° 間隔の雨量を比較すると、差の平均値を見ると比較的近い値になっているが、その差が 1mm を超えるものが全体の 60% 程度を占めている。最大値も Thiessen 法の場合と同じ程度である。また、Grid 0.005° と 0.01° 間隔の雨量の比較においても、最大値は近いが、その差が



1mmを超えるものが多く占めている。一方、Grid0.001°と0.005°間隔の雨量の比較では、その差が1mmを超えるものが少なく、実際の降雨に近いと言える。

それぞれのデータ数を見てみると、Grid0.001°間隔の場合は2500、Grid0.005°間隔の場合は100、Grid0.001°間隔の場合は25である。Grid0.001°と0.005°間隔の場合はデータ数が極端に異なるにもかかわらず、結果は比較的近いものであった。

今回検討した事例は非常に局地的な降雨であることを考慮すると、Grid 0.005°間隔が実用的かつ実際の事象に近い補間計算に最も適していると考えられる。

### 3-3. 先行降雨の評価方法について

先行降雨の評価方法として、指針案A案が土層中の雨水の動態を的確に評価しているとは言い難い。そこで、一連の降雨の間も逓減する以下のような方法(矢野,1990)を用いて実効雨量を算出した。

n時間目の実効雨量 $R_n$  (mm)は、半減期をT時間としたときの1時間ごとの減少係数を $\alpha$ とすると以下のように表される。

$$\alpha = (1/2)^{1/T}$$

$$R_n = \alpha R_{n-1} + r_n$$

ここで、 $r_n$  (mm/hr)はn時間目までの1時間雨量、 $R_{n-1}$  (mm)は(n-1)時間目までの実効雨量を示す。

指針案A案が一連の降雨の間は累積されるのに対して、今回の解析に用いた方法は一連の降雨の間も減衰する。また、指針案の実効雨量は半減期が日単位であるのに対して、時間単位で減衰する半減期を用い、集中的な豪雨の際にも細かい変化をみるのが可能である。

実効雨量の半減期の設定によって先行降雨の評価がかなり変わってくる。また、地質や地形構造、雨の降り方によって逓減する量が変わってくると言われており、半減期についての具体的な数値は確立されておらず、より適当な半減期の設定についての様々な調査・研究が行われている(例えば瀬尾ほか,1985、荒木ほか,1997)。筆者らは、東広島市周辺で発生した土砂移動現象について、24、48、72、96時間の4つの半減期をあてはめて、発生に決定的に影響した降雨量を検討した(桑田ほか,2000)。その結果、72時間半減期が最も空振り率が低く、先行降雨の評価方法として適していると考え、以後これを用いて検討する。

### 3-4. 土石流発生基準雨量の設定

以上のことを踏まえ、土石流発生危険基準線(CL)の設定を行う。

まずGrid0.005°間隔に補間した1時間雨量データから、提言手法によって実効雨量を算出する。土石流発生源頭部の緯度・経度から発生時の雨量を読み出し、実効雨量をグラフの横軸に、1時間雨量強度を縦軸にとり、これを土石流発生事例とする。非発生事例に関しては、発生事例の発生1時間前までの降雨を用いた。このとき、各プロットは実効雨量、時間雨量ともに同時刻の値を採用した。図6に東広島市及びその周辺における土石流発生と降雨の関係を本提言手法で表したもの(左図(a))とThiessen法で表したもの(右図(b))を示す。

土石流の発生、非発生によって区分されるラインがCLであるが、Thiessen法によるものは発生事例・非発生事例ともにばらつきが大きい。また、発生エリアに非発生事例が混在するため、空振り率が大きくなっている。Thiessen法では近隣の雨量観測所の観測値そのものを用いて解析を行うため、土石流発生場の降雨状況を正確に反映していない可能性があり、CLの傾きも提言手法によるも

のと大きく異なる。提言手法ではThiessen法に比較してかなりの精度の向上がみられ、土石流発生場の降雨状況を正確に推定することが可能であると考えられる。

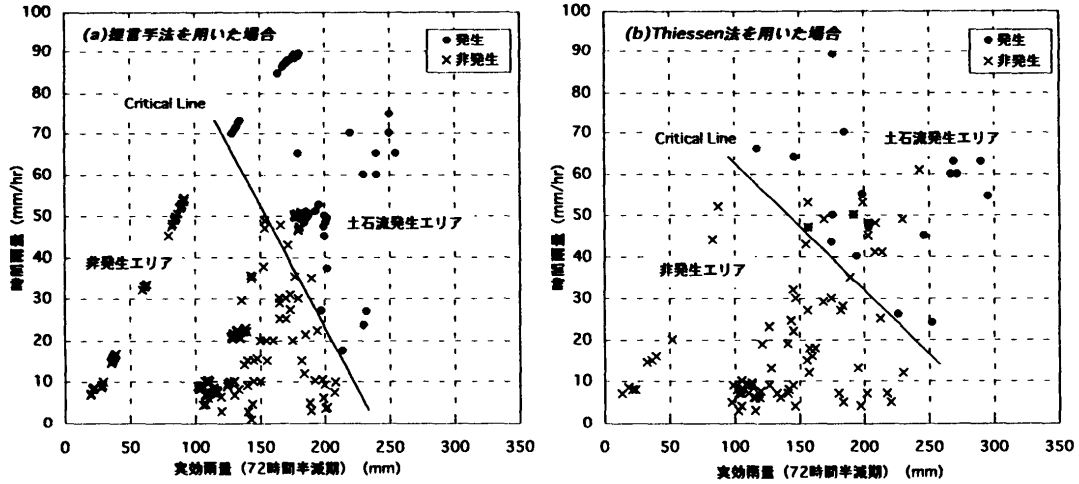


図6. 土石流発生と降雨量の関係（提言手法と Thiessen 法を用いた場合）

4. 土石流の発生予測への適用

本提言手法を実際の発生予測へ適用するには、リアルタイムの解析が必要である。2001年6月より広島県防災情報システムホームページ (<http://www.bousai.pref.hiroshima.jp/>) (以下、防災情報システムHPとする)にて、広島県下の235箇所の雨量観測所の観測データをリアルタイムで閲覧することが可能である。この雨量観測データを土石流の予測に活用する手順は図7のようになる。

まず、防災情報システムHPより1時間雨量データをダウンロードする。これをGrid0.005°間隔で補間し、メッシュのデータを作成する。さらに、提言手法によって実効雨量を算出する。次に、設定したCLグラフ上に、現在の1時間雨量と実効雨量をそれぞれ縦軸と横軸にプロットする。これらを1時間ごとに直線で結んだ曲線をスネークラインと呼び、この変化によって現在の降雨状況を把握する。さらに、同HP上のレーダ雨量を用いた最大3時間後までの短時間降雨予測より、その後1~2時間の間にCLを越える降雨があるかどうかを判断する。このような手

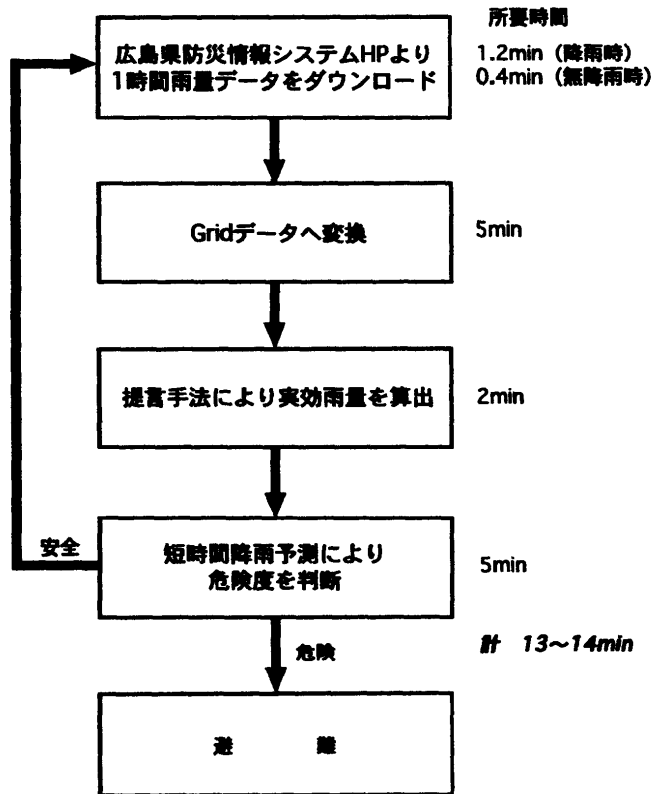


図7. 土石流警戒避難システムフローチャート

順を繰り返し、危険度の判断を行う。

例えば2001年6月19～20日に起きた降雨イベントについて、スネークラインを作成し、1時間ごとの雨量の変化をみた(図8)。左図(a)に指針案A案を用いた場合、右図(b)に提言手法を用いた場合を示す。この降雨イベントについては、呉観測所(広島県)を例に解析を行ったが、呉市においてこの降雨による土石流の発生は確認されていない。2001年6月18日17時から降り始めた雨は19日4時には県の設定する警戒基準雨量を、17時には避難基準雨量を超過し、早い段階で警戒体制に入っている。降雨は19日20時頃にピークに達したが、その後も弱い降雨が続いたため、指針案A案の実効雨量が逡減しない状態が続き、土石流が発生していないにもかかわらず、スネークラインは提言手法によって設定したCLを越える事態になった。降雨のほとんどない時期でも避難基準雨量は超過したままで、5日後の6月25日ようやく基準雨量を下回った。一方、提言手法を用いた場合は、時間とともに変化する土層中の雨水の動態を的確に表現し、CLを越えていない。

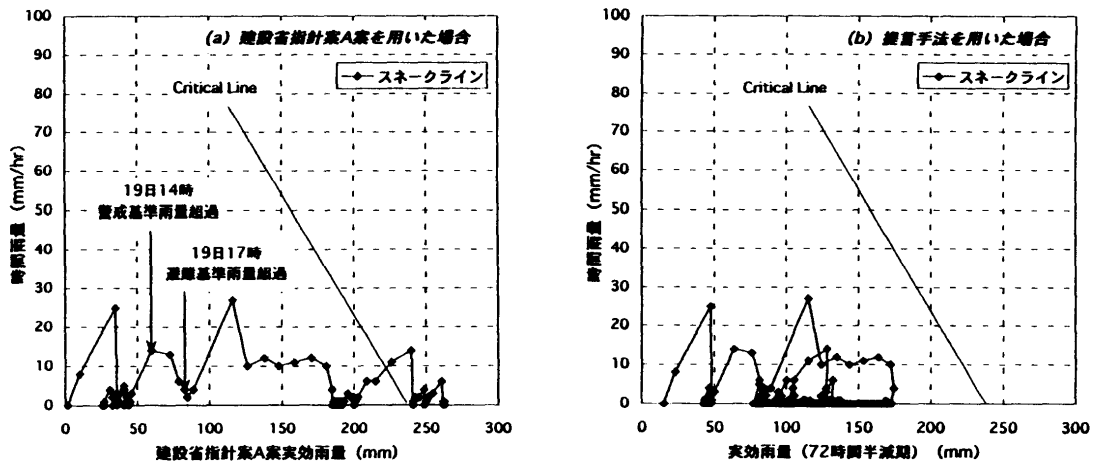


図8. 提言手法解析例1 (2001年6月19～20日 呉市の場合)

また、2001年9月14～15日の降雨イベントでも同様に1時間ごとの雨量の変化をプロットした(図9)。左図(a)に指針案A案を用いた場合、右図(b)に提言手法を用いた場合を示す。この降雨イベ

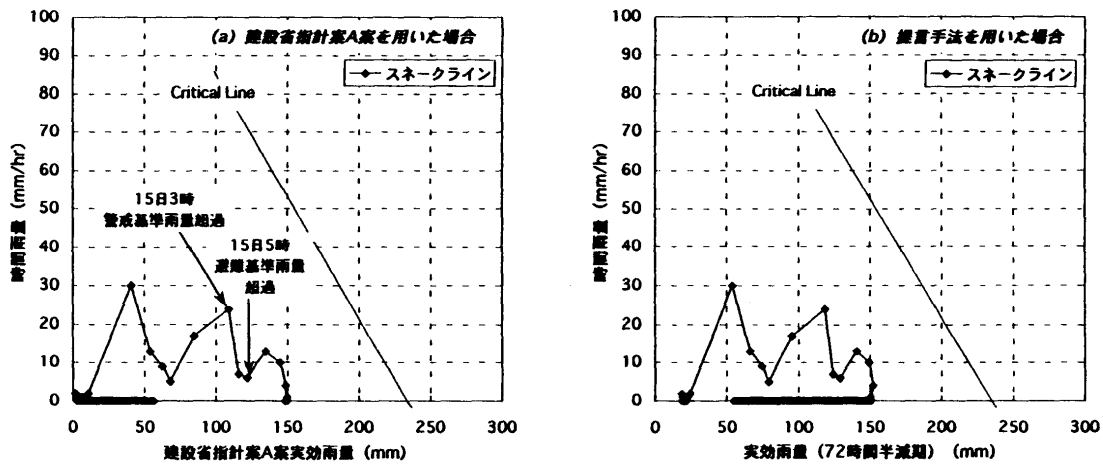


図9. 提言手法解析例2 (2001年9月14～15日 豊平町の場合)

ントについては、豊平町・吉木観測所（広島県）を例に解析を行ったが、周辺においてこの降雨による土石流の発生は確認されていない。2001年9月14日4時から降り始めた雨は15日3時には警戒基準雨量を、5時には避難基準雨量を超過した。その後、指針案A案と提言手法はほぼ同様の変化を示している。避難基準雨量はその後10年確率降雨があることを想定して設定されているため、今回の降雨のようにその後降雨がない場合でも避難勧告が発令される。つまり、これは空振り事例であり、住民の信頼性が下がる恐れがある。避難勧告を発令する前に、短時間降雨予測によりその後の降雨を想定した上で住民への勧告を行えば、空振り率も下がり、より正確な発生予測と住民の信頼性の回復へとつながるだろう。レーダ雨量を用いた短時間降雨予測については、すでに突発的豪雨に対して適用可能なことが示されている（井良沢ほか，1994）。

筆者の利用しているパソコン（FUJITSU FMV 6450DX4）では、1時間分の雨量データのダウンロードにかかる時間は降雨時1.2分、無降雨時0.4分程度で、雨量のダウンロードから危険度の判断まで15分程度で終了する。このパソコンは家庭用のものとさほどかわりがないので、この時間は一般家庭で行ってもあまり変わらないと考えられる。例えば9～10時の1時間雨量は10時10分までには表示されるようになっているので、1時間後に集中豪雨があったとしても余裕をもった避難が可能であろう。

従来は元となる雨量データは公開されていなかった。実効雨量を算出した後、警戒基準雨量もしくは避難基準雨量を超過したという情報のみが住民に提供されていた。しかし現在はインターネットを通じて雨量観測データを誰でも閲覧することが出来る状態になっている。そこで、汎用性のあるパソコンで容易に解析可能である本提言手法を用いることで、土砂災害やその防止に関心のある住民がいつでも詳細な降雨状況を把握することができる。これによって、新たな二次災害の防止にも貢献できると考えられる。また、家庭のパソコンで日頃から容易に解析でき、一般住民の土砂災害に対する意識の向上にもつながるものと期待される。

## 5. 結 論

土砂災害のソフト対策のひとつである土石流警戒避難システムに関して、現状の問題点を明らかにし、新たなシステムの提案を行った。その結果、以下のことが明らかになった。

1. 現在の警戒・避難基準雨量ブロック区分は市町村境界に支配された大きい単位が主であるため、局地的な降雨に対応できない。
2. 国土交通省（もと建設省）指針案A案は半減期が24時間と短いため先行降雨が過小評価となりやすい反面、長雨に対しては減衰することなく加算される仕組みであるため過大評価となり、いつまでも警戒警報・避難勧告を解除することができないものとなっている。
3. 本提言手法では一連の降雨の間も逡減する実効雨量を用い、集中的な豪雨の際にも細かい変化をみることが出来る。なお、半減期は72時間が最も適していた。
4. 雨量観測値を補間によってメッシュデータとする場合、緯度・経度それぞれ0.005° 間隔にするのが現在の観測点数や汎用パソコンの性能から最適である。
5. 詳細な降雨状況を容易にリアルタイムに計算することができるため、土砂災害やその防止に関心をもった人が地域の状況をよりの確に把握し、防災につなぐことができる。

今後より正確、簡単かつリアルタイムに活用できる手法について解析を重ねていくつもりである。さらに、今回は降雨指標のみによる解析だったが、地質、地形、土地利用、植生等の要因を加え、総合的な見地により土石流発生予測ができる手法の開発を行いたい。

## 謝 辞

降雨状況の把握にあたり、広島県土木建築部、広島市消防局、国土交通省、日本気象協会、日本道路公団から貴重な降雨記録の提供を受けた。また、本研究を進めるにあたり広島大学総合科学部砂防学研究室の皆様の協力を得ることができた。ここに記して感謝の意を表します。

## 引用文献

- 荒木義則・古川浩平・松井範明・大木戸孝也・石川芳治・水山高久 (1997) : ニューラルネットワークを用いた土石流危険渓流における土砂崩壊のリアルタイム発生予測に関する研究, 土木学会論文集, No.581/VI-37, p.107-121.
- 井良沢道也・北川明・杉浦幸彦・竹森史郎 (1994) : 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, p.10-17.
- 牛山素行・里深好文・海堀正博 (1999) : 1999年6月29日広島市周辺で発生した豪雨災害の特徴, 自然災害科学, Vol.18, No.2, p.165-175.
- 海堀正博 (2000) : 平成11年広島土砂災害とその対策, 第32回(社)砂防学会シンポジウム講演集「斜面都市における防災を考える」, 長崎市, p.27-38.
- 海堀正博・石川芳治・牛山素行・久保田哲也・平松晋也・藤田正治・三次岩生・山下祐一 (1999) : 報文1999年6月29日広島土砂災害に関する緊急調査報告(速報), 砂防学会誌, Vol.52, No.3, p.34-43.
- 桑田志保・梅木健一・海堀正博 (2000) : 広島のマサ土分布地域における土石流発生の基準雨量に関する研究, 平成12年度砂防学会研究発表会論文集, p.302-303.
- 建設省河川局砂防部 (1984) : 総合土石流対策(Ⅱ)土砂災害に関する警報の発令と避難の指示のための降雨量設定指針(案).
- 瀬尾克美・五代均・原義文・塩島由道 (1985) : 土石流警戒・避難基準としての降雨指標について, 砂防学会誌, Vol.38, No.2, p.16-21.
- 瀬尾克美・原口勝則・菊井稔宏・吉田真也 (2001) : 土砂災害警戒避難基準雨量の課題と改良について, 砂防学会誌, Vol.53, No.6, p.37-44.
- 宝馨・岡明夫 (1992) : 回帰分析及びkrigingによる確率雨量の地域総合化, 土木学会論文集, No.456/II-21, p.1-10.
- 広島県 (1999) : 速報6.29土砂災害, 平成11年6月末梅雨前線豪雨災害パンフレット.
- 広島県森林協会 (1994) : 平成5年発生林道災害総合調査報告書.
- 広島県土木建築部砂防課 (1999) : 情報基盤緊急整備事業に伴う土砂災害発生警戒・避難基準雨量検討業務報告書.
- 藤井恒一郎・久保田哲也・奥村武信 (1994) : 土石流発生警報の発令及び避難指示の的確性向上に関する研究, 砂防学会誌, Vol.47, No.2, p.35-42.
- 前川力・岡本雅典・桂順治 (1967) : 昭和42年7月豪雨による呉市の災害の調査速報, 文部省科研報告書, p.1-38.
- 矢野勝太郎 (1990) : 前期降雨の改良による土石流の警戒・避難基準雨量設定手法の研究, 砂防学会誌, Vol.43, No.4, p.3-13.
- 吉川秀夫 (1980) : 改訂河川工学, 朝倉書店, p.13-15.