

## ◆ 防災特集 ◆

## 10分間更新短時間降雨予測の土砂災害警戒避難への適用

山越隆雄\* 山田 孝\*\* 仲野公章\*\*\* 渡 正昭\*\*\*\*

## 1. はじめに

土石流やがけ崩れに対する警戒避難のタイミングは、降雨量により判断されることが多い。

1984年に発表された国土交通省(旧建設省)の「土石流に関する警報の発令と避難指示のための降雨量設定指針(案)」<sup>1)</sup>では、避難するには土石流発生前に1時間、警戒体制をとるには2時間の猶予をとれるよう、土石流発生基準に降雨実績が近づいた段階で、既往最大の1時間および2時間雨量を用いて警戒避難のタイミングを判断するようになっている。しかし、この手法の場合、既往最大を上回る降雨がある場合に対応できない。また、実際には、既往最大値を上回る降雨は稀にしか起こらないので、警戒避難は空振りとなることも多い。この問題に対応するためには、降雨予測を取り入れた手法を用いる必要がある。さらに、降雨状況の変化を臨機応変に把握するためには、短時間降雨予測が必要である。実際、いくつかの地方自治体において短時間降雨予測を利用した手法が導入され、実際の警戒避難に活用され始めている<sup>2)</sup>。

その一方で、近年、降雨の予測精度の向上が図られ、雨量の急変に対応しやすい約2.5kmメッシュ、10分間更新の短時間降雨予測情報の入手が可能となり、土砂災害予測に役立てる検討もなされつつある<sup>3)</sup>。

そこで、本報では、近年発生した実際の土砂災害事例に10分間更新の短時間降雨予測情報を導入してその予測精度を検討した結果を報告する。

表-1 降雨予測情報を適用した過去の土砂災害事例

| 災害名                    | 発生期間          | 気象現象の空間スケール            | 一雨降水量(mm) | 一雨継続時間(時間) | 気象特性                  |
|------------------------|---------------|------------------------|-----------|------------|-----------------------|
| 佐渡島災害 <sup>4)</sup>    | 1998年8月4日     | 数10km <sup>2</sup>     | 270       | 15         | 梅雨前線停滞による梅雨末期特有の集中豪雨  |
| 栃木・福島災害 <sup>5)</sup>  | 1998年8月26~31日 | 数10~100km <sup>2</sup> | 1,254     | 132        | 南方の熱帯擾乱から停滞前線が刺激された豪雨 |
| 広島災害 <sup>6)</sup>     | 1999年6月29日    | 数10km <sup>2</sup>     | 186.5     | 18         | 梅雨前線停滞による梅雨末期特有の集中豪雨  |
| 三重県藤原岳災害 <sup>7)</sup> | 1999年8月19日    | 数km <sup>2</sup>       | 52        | 1          | 典型的な夏場の大気不安定による局所的豪雨  |
| 東海(恵南)災害 <sup>8)</sup> | 2000年9月11~12日 | 数10~100km <sup>2</sup> | 567       | 39         | 南方の熱帯擾乱から停滞前線が刺激された豪雨 |

Applicability of Every 10-minute Short-term Precipitation Forecast for Warning and Evacuation System Preparing for Sediment Disaster

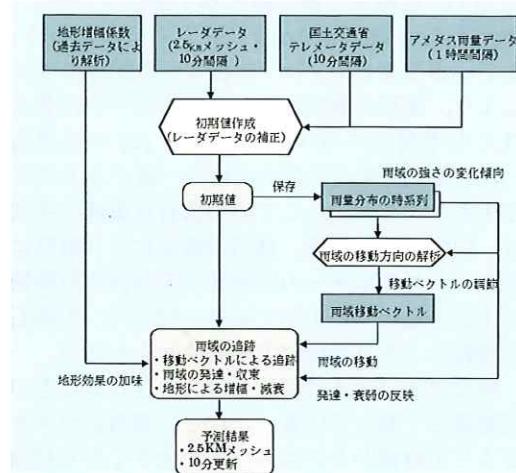


図-1 10分間更新短時間降雨予測手法

また、短時間降雨予測情報をもとに、土砂災害の発生を予測するための短期および長期の二つの降雨指標を時刻を追って示したグラフ(スネークライン)を作成し、その警戒避難実施への適用性について検討を行った。

## 2. 10分間更新短時間降雨予測の概要

検討対象とした降雨予測手法は、(財)日本気象協会の短時間降雨予測である(図-1)。この手法は、運動学的手法と呼ばれるもので、レーダ情報運動学的手法によって外挿し雨域の発達・収束を反映させることを基本としている。

レーダ情報はあくまでも上空の降水エコーのみを観測しているものであることから、エコー強度

のみによる降水強度と実際の降雨量との間には差異が生ずることがある。そこで降雨量の計算に際しては、レーダ情報を利用した降雨観測データによって補正してから外挿計算を行っている。従来の短時間降雨予測では、5.5km メッシュ、1 時間(正時)毎の予測が提供されていたが、現在では、気象庁の AMeDAS 観測データのみならず、国土交通省のテレメータデータも用いることにより、2.5km メッシュ、10 分間毎の予測データが提供されるようになっている。本報の検討ではこの 2.5km メッシュ、10 分間雨量予測情報(10 分間雨量ベース)を用いた。以下では、従来の短時間降雨予測を、1 時間更新短時間降雨予測と呼ぶのに対し、最近のものを 10 分間更新短時間降雨予測と呼ぶこととする。

### 3. 既往土砂災害への適用事例

#### 3.1 適用対象土砂災害

表-1 に 10 分間更新短時間降雨予測情報を適用した災害の一覧を示す。栃木・福島災害及び東海豪雨災害は 24 時間降水量が 500mm を超過する雨量を観測した地点があるなど降雨の規模が時間的にも空間的にも大きいのが特徴である。一方、藤原岳災害時の降雨は、災害発生地点から数 km 程度離れた AMeDAS 観測所では、災害発生時に降雨がほとんど観測されておらず、非常に局所的な豪雨であった。

#### 3.2 降雨分布の予測状況

図-2 および図-3 に、栃木・福島災害時の 10 分間更新短時間降雨予測結果を、広域図(図-2)および土砂災害発生地点周辺の拡大図(図-3)として示す。

広域図において、例えば栃木県付近に南西方向から北東方向へのびている雨域は、60 分前の予測図(図-2 右下)においてほぼ予測されていることがわかる。しかし、局所的に拡大して見ると、実況と予測値の雨域の分布状況にはいくらか違いがあることも分かる(図-3)。ある地点において、降雨を予測する場合には、該当メッシュのみならず、周囲のメッシュと平均をとるなどの工夫が必要であると考えられる。

#### 3.3 10 分間雨量の予測

10 分間更新短時間降雨予測の精度を検討するために、実際の 10 分間雨量と、10 分間更新短時間降雨予測の内 60 分前の時点での予測値(10 分間雨量)の比較を行った。例を図-4 に示す。図-4 を

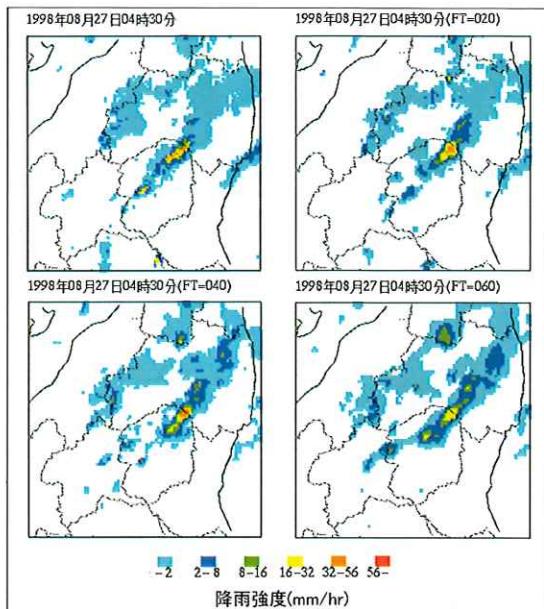


図-2 栃木福島災害時の予測状況(広域図)  
(左上:実況,右上:20分前予測,左下:40分前予測,右下:60分前予測)

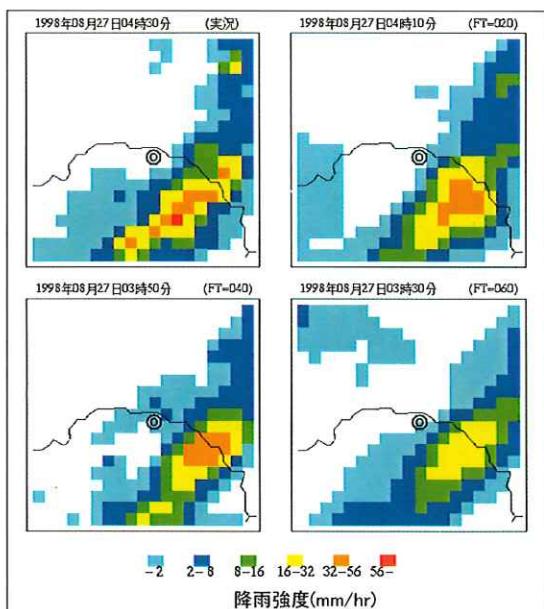


図-3 栃木福島災害時の予測状況(拡大図)  
(左上:実況,右上:20分前予測,左下:40分前予測,右下:60分前予測)  
見ると、実測値と予測値の適合度は低く、予測精度は高くない。しかし、降雨強度の増減の傾向は類似しており、この図において、予測値を 10 分後ろにずらせば、実測と予測の降雨のピークが一致し、予測の適合度がある程度は向上することが期待される。このように、10 分間降雨量を対象とした予測は、10 分程度の時間的ずれを許容できない場合は、予測精度が悪いと評価されることが

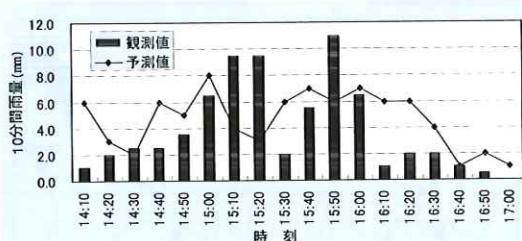


図-4 10分間更新短時間降雨予測(60分前予測)と実測値の比較(1999年6月29日, 広島市可部)

あり得る。しかしながら、もっと時間刻みの長い雨量を対象とすれば、時間的な変動に対して寛容になり、予測情報としての質への影響は少なくなるものと考えられる。

### 3.4 実効雨量の予測

現在、多くの都道府県では、1984年の「土石流に関する警報の発令と避難指示のための降雨量設定指針(案)<sup>1)</sup>」や、かけ崩れにも対応した1993年の総合土砂災害対策検討会による提言<sup>9)</sup>によって、土石流やかけ崩れの発生基準線が定められている。発生基準線は、横軸に長期雨量指標、縦軸に短期雨量指標をとった図上に、土石流、かけ崩れが発生した雨による点と発生しなかった雨による点をプロットし、それらの点の集合の境界線として設定される(図-5)。

短期雨量指標、長期雨量指標の取り方には複数の方法があるが、いずれも、時間単位の雨量や時間単位に半減期をもつ実効雨量として表現される。例えば、総合土砂災害対策検討会による提言においては、短期指標および長期指標は、それぞれ、1.5時間および72時間半減期の実効雨量(式(1)参照)として表されている。

$$R_t = \alpha \cdot R_{t-1\text{ 時間}} + r_t = \alpha \cdot R_{t-1\text{ 時間}} + r_t \quad (1)$$

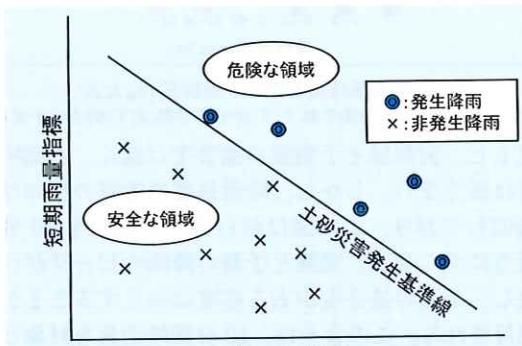


図-5 土砂災害発生基準線設定の概念図

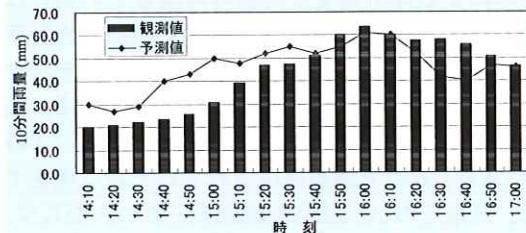


図-6 10分間更新短時間降雨予測(60分前予測)と実測値による1.5時間半減期の実効雨量の比較(1999年6月29日, 広島市可部)

$R_t$  : 時刻  $t$  における実効雨量

ただし  $R_0 = 0$

$\alpha$  : 1時間毎の減少係数  $= (0.5)^{1/T}$

$T$  : 半減期

$r_t$  : 時刻  $t$  における時間雨量

そこで図-4に示したものと同じ降雨に対して、実測値と降雨予測値による1.5時間半減期の実効雨量を計算し、比較を行った(図-6)。この図において、棒グラフは実測値を表し、折れ線は、予測値を表す。予測値のグラフの各点は、その時刻から60分遡った時点における60分後予測の結果である。この図の前半部分では、大きくずれているが、ピーク前後からよく合致していることが分かる。降雨量を実効雨量化することによって、利用上の予測精度は高まることがわかる。

次に、表-1に示す各災害において、10分間更新短時間降雨予測によって、どの程度先まで、精度良く実効雨量を予測することが可能か検討を行う。図-7に、各災害事例における、実測および予測に基づく実効雨量(1.5時間半減期)の予測時間( $\tau$ )の長時間化に伴う相関係数の変化を示した。予測時間毎の相関係数は、実測値に基づく実効雨量( $R_m, t$ )と予測値に基づく実効雨量( $R_f, t$ )の時系列データ同士の相関をとることによって求めた。

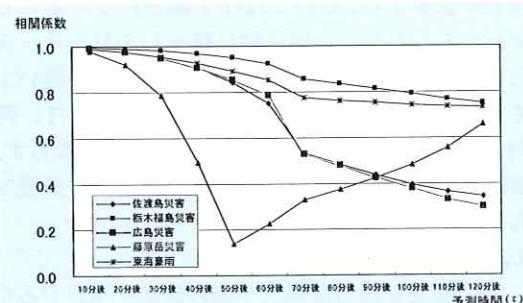


図-7 半減期1.5時間の10分間更新短時間降雨予測による実効雨量と実測値による実効雨量との予測時間別相関係数

実測値に基づく実効雨量 ( $R_m, t$ ) は、10 分毎に式(1)によって計算した。ただし、式(1)は、時間雨量データの時系列に対して使用するよう定められているので、実効雨量を求めようとする時刻から 60 分ずつ遡り、10 分雨量の時系列データを 60 分雨量のものに区切り直した上で、式(1)に適用した。

ある予測時間  $\tau$  の 10 分間更新短時間降雨予測に基づく実効雨量 ( $R_f, t$ ) もまた、10 分毎に式(1)によって求めた。ただし、10 分間更新短時間降雨予測値を用いるのは、予測を行う時刻から後についてのみであり、前については、実測雨量を用いた。例えば、8:20 を予測の起点時刻とした場合の予測時間 30 分後 (8:50) の予測実効雨量の求め方を以下に示す。

$$\begin{aligned} R_{f,8:50} = & \alpha \cdot R_{m,7:50} + r_{m,10\text{ min},8:00} + r_{m,10\text{ min},8:10} \\ & + r_{m,10\text{ min},8:20} + r_{f,10\text{ min},8:30} \quad (2) \\ & + r_{f,10\text{ min},8:40} + r_{f,10\text{ min},8:50} \end{aligned}$$

ここで、 $r_{10\text{ min}, t}$  は時刻  $t$  における 10 分間雨量、であり、添え字の  $m, f$  は、それぞれ、実測値であるか予測値であるかを示す。

図-7 より、降雨規模が大きかった栃木・福島災害や東海豪雨災害では 120 分後の予測における相関係数が 0.8 近くに達しているのに対し、不安定性降雨で極めて局所的な降雨であった三重県藤原岳災害の相関係数は、40 分後、50 分後になると急激に低下していることがわかる。なお、藤原岳災害において、50 分後以降の予測で相関係数が増加している。これは、災害発生時 60 分以上前に他の降雨系が存在し、この降雨系が 1 時間前後継続すると予想していたため結果的に予測精度が向上したものである。本質的に災害時の降雨を予測していたものではない。また、降雨規模がこれらの中間に位置付けられる広島災害と佐渡島災害では、予測時間 60 分までは、栃木・福島災害等とほぼ同等の相関性を有するが、60 分を過ぎると急に相関性が悪化している。降雨の規模が大きいほど、より先の予測が可能だが、現象が小さくなるほど、先の予測が困難となることが分かる。現行の降雨予測法が外挿手法をベースとしているため、基本的に降雨現象のライフタイム<sup>10)</sup>を超えて予測することは不可能である。したがって、ライフタイムが長い空間スケールの大きな降雨現象ではかなり先まで降雨予測が可能であるが、ライフタイムの短い空間スケールの小さな降雨現象で

は予測が難しいだと考えられる。

### 3.5 スネークラインへの適用

表-1に掲げた土砂災害事例の内、広島災害と三重県藤原岳災害について実際にスネークラインを作成し、従来の 1 時間更新短時間降雨予測情報と 10 分間更新短時間降雨予測情報を適用することにより、その活用方法について検討した。

広島災害と三重県藤原岳災害について、短期雨量指標を 1.5 時間半減期実効雨量とし、長期降雨指標を 72 時間半減期実効雨量としてスネークラインを作成し、図-8~11 に示した。実効雨量は式(1)によって求めた。

各図とも◆印は災害発生時刻の実効雨量を表す。どちらの場合も、土石流が発生して災害をもたらした例である。実線は観測値によるスネークライン、破線は予測値によるスネークラインを表す。ここでは、時間雨量を元にした毎正時更新の短時間降雨予測情報によるスネークライン (図-8, 10) と、10 分間雨量を元にした 10 分間更新短時間降雨予測情報によるスネークライン (図-9, 11) に分けて示し、両者の予測能力の違いを検討する。なお、実況の実効雨量は、式(1)を適用して求めることとし、1 時間後予測、2 時間後予測の実効雨量については以下の式(3)、式(4)によって求めた。

$$R_{f,t+1\text{ 時間}} = \alpha \cdot R_{m,t} + r_{f,t+1\text{ 時間}} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} R_{f,t+2\text{ 時間}} = & \alpha \cdot R_{f,t+1\text{ 時間}} + r_{f,t+2\text{ 時間}} \\ = & \alpha^2 \cdot R_{m,t} + \alpha \cdot r_{f,t+1\text{ 時間}} + r_{f,t+2\text{ 時間}} \quad (4) \end{aligned}$$

図-8 は、広島災害時の広島市可部における実測時間雨量に基づくスネークラインと短時間降雨予測値に基づくスネークラインを比較した図である。災害発生 20 分前の 15:00 初期値の 1 時間後予測値は災害発生以上の降雨を予測しており、15:00 の時点では災害発生規模の降雨が 1 時間以内に発生することを把握できる状況にある。しかしながら災害発生 1 時間 20 分前の 14:00 初期値の 2 時間後予測値は、災害発生水準まで予測値が達しておらず、この時点では 2 時間以内に災害発生規模の降雨が発生することを把握できない。

次に、同じく広島災害について、10 分間更新短時間降雨予測値に基づいて 1 時間先および 2 時間先の予測実効雨量を求めた場合に、いつの時点で、災害発生規模の降雨を予測できるかを検討した。

検討方法は以下の通りである。14:00 から、10 分間毎に、順次 10 分間更新短時間降雨予測に基づく予測時間 1 時間および 2 時間の予測実効

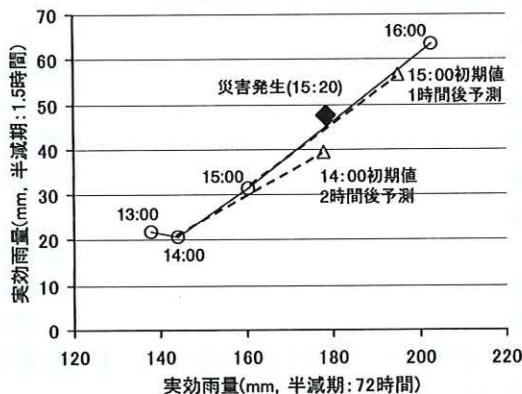


図-8 広島災害時の1時間更新短時間降雨予測によるスネークライン

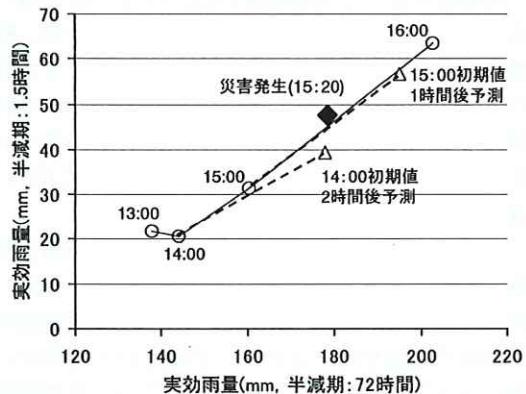


図-10 藤原岳災害時の1時間更新短時間降雨予測によるスネークライン

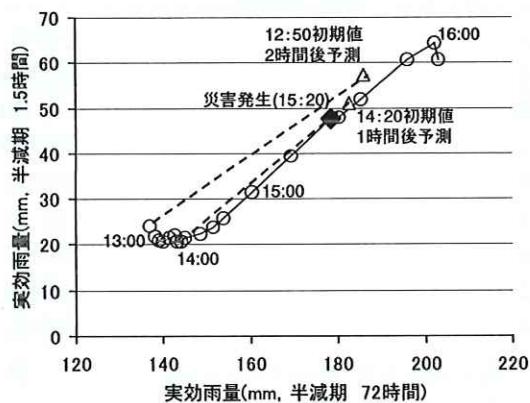


図-9 広島災害時の10分間更新短時間降雨予測によるスネークライン

雨量 ( $R_f$ ) を計算する。そして、これらの予測実効雨量を、災害発生時の 1.5 時間および 72 時間半減期実効雨量と比較し、その両方を初めて超過する時刻を求めた。

その結果、予測時間 2 時間の予測実効雨量は、12:50 に、予測時間 1 時間の予測実効雨量は、14:20 に災害発生規模の実効雨量を超過したことが明らかになった(図-9)。すなわち、予測情報の伝達等にかかる時間を考えなければ、実際の災害発生(15:20)よりも 150 分前に警戒体制をとり、60 分前に避難体制を取ることが可能であったことを意味する。これは、情報更新頻度の違いと、10 分間更新降雨予測の予測能力が高いことに起因するものと考えられる。

一方、藤原岳災害時の短時間降雨予測は、災害発生 50 分前の 17:00においても降雨強度が増大傾向に転ずることを予測していなかった(図-10)。10 分間更新短時間降雨予測も、17:00

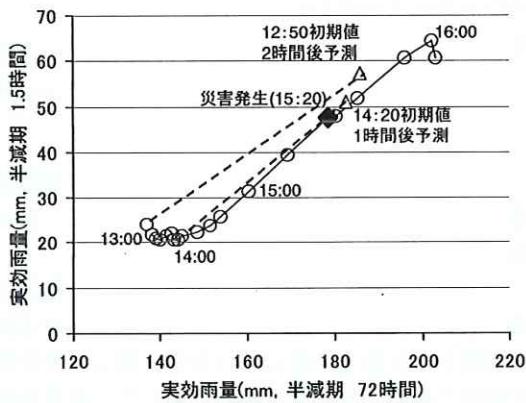


図-11 藤原岳災害時の10分間更新短時間降雨予測によるスネークライン

においては、短時間降雨予測同様に予測をはずしていた(図-11)。この事例から、現行の予測手法によって藤原岳災害のような不安定性突発型の豪雨を 60 分以上前から予測することは困難であることがわかる。しかし、情報更新頻度が高いため、10 分毎に更新される実況データによって、時々刻々と降雨量が災害発生規模に近づくことを把握することはできる。

#### 4.まとめ

近年発生した土砂災害に、10 分間更新短時間降雨予測情報を適用し、降雨予測情報の活用方法および適用限界について検討した結果、以下の知見が明らかになった。

(1) 時空間的に規模の大きな降雨(数  $10\text{km}^2$ ~)に対しては、10 分間更新短時間降雨予測に基づく予測実効雨量は、1 時間程度先まで、実測値に基づく実効雨量との相関が高い。

- (2) 10分間更新短時間降雨予測の10分間雨量予測値の予測精度は低いが、通常、土砂災害発生予測に用いられる降雨指標は時間単位であるため、時間的な誤差が吸収されるので利用上問題にならない。
- (3) 広島土砂災害の事例に適用したところ、60分間更新短時間降雨予測よりも、10分間更新短時間降雨予測の方が早く災害発生規模の降雨を予測することが可能であった。これは、情報更新頻度が高く、予測精度が良いためであると考えられる。
- (4) 予測手法が基本的に外挿手法である短時間降雨予測手法では、三重県藤原岳災害をもたらしたような、突発性の不安定性局地豪雨を予測することは難しい。しかし、10分間更新短時間降雨予測であれば、実況雨量情報が10分毎に更新されるため、時々刻々と降雨量が災害発生規模に近づくことを把握することはできる。

本報における検討の結果、短時間降雨予測による土砂災害対策への適用性が、ある程度示された。しかし、今回の検討において、10分間更新短時間降雨予測情報を用いることのメリットは、実効雨量の予測情報の精度が良好であるというメリットより先に、まずは、10分間ごとに実況雨量が更新されることのメリットの方が大きいと思われた。

今後は、実際に土砂災害発生基準線を設定している地点へ、10分間更新短時間降雨予測情報を適用させる事例を増やし、実際の警戒避難を行うための具体的な運用方法の検討を行ってゆく必要がある。

最後に、本報文の執筆にあたって、京都大学防

災研究所牛山素行助手には、藤原岳災害の現地雨量データ（西乃貝戸川現場：大貝戸）をご提供頂きました。独立行政法人土木研究所水工研究グループの松浦達郎研究員には、短時間降雨予測に関する資料提供及びご助言を頂きました。ここに感謝の意を表します。

### 参考文献

- 1) 建設省河川局砂防部：土石流に関する警報の発令と避難指示のための降雨量設定指針（案），1984.
- 2) 例えば、友村光秀、堀内成郎、岸岡正哲、水山高久：降雨予測情報を用いた土砂災害発生予測システムの開発事例、平成13年度砂防学会発表概要集, pp.198-199, 2001.
- 3) 例えば、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3）、平成13年度砂防学会発表概要集, pp.196-197, 2001.
- 4) 濑尾克美、原口勝則、高橋幸彦：平成10年8月4日新潟県佐渡地方の土砂災害における地元住民の対応と教訓、砂防学会誌, Vol.52, No.1, pp.35-40, 1999.
- 5) 牛山素行：1998年8月26日～31日に栃木・福島県で発生した豪雨災害の特徴、自然災害科学, Vol.17, No.3, pp.237-243, 1998.
- 6) 例えば、（財）砂防・地すべり技術センター：平成11年広島県土砂災害調査報告、SABO, Vol.63, pp.42-51, 1999.
- 7) 牛山素行、林拙郎、川達洋、粟飯原篤史：1999年8月19日三重県員弁郡藤原町で発生した土石流、砂防学会誌, Vol.53, No.3, pp.30-36, 2000.
- 8) 例えば、吉谷純一、古本一司、山田孝、石田哲也、山越隆雄、浅井健一、柳原幸希：平成12年9月10日からの秋雨前線豪雨による洪水・土砂災害報告、土木技術資料, Vol.42, No.12, pp.2-5, 2000.
- 9) 建設省河川局砂防部：総合土砂災害対策検討会における提言および検討結果、1993.
- 10) Orlanski, I. : A rational subdivision of scales for atmospheric processes, Bull. Am. Meteorological Soc., Vol.56, No.5, 1975.

山越隆雄\*



独立行政法人土木研究所  
土砂管理研究グループ  
火  
山・土石流チ  
ーム  
研究員、農博  
Dr. Takao YAMAKOSHI

山田 孝\*\*



北海道大学大学院農学研  
究科助教授、農博  
(前 国土交通省土木研  
究所砂防研究室主任研究員)  
Dr. Takashi YAMADA

仲野公章\*\*\*



独立行政法人土木研究所  
土砂管理研究グループ  
長  
Masaaki NAKANO

渡 正昭\*\*\*



同 土砂管理研究グル  
ープ  
火山・土石流チ  
ーム  
上席研究員  
Masaaki WATARI