

# 1999年6月広島土砂災害時における豪雨域伝播と レーダー雨量の活用

THE MOVEMENT OF HEAVY RAIN IN HIROSHIMA DISASTER ON JUNE 1999 AND  
THE UTILIZATION OF THE RADAR RAIN GAUGE

福岡捷二<sup>1</sup>・渡邊明英<sup>2</sup>・萬矢敦啓<sup>3</sup>・足立文玄<sup>4</sup>  
Shoji FUKUOKA, Akihide WATANABE, Atsuhiko YOROZUYA and Fumiharu ADACHI

<sup>1</sup>正会員 工博 PH.D 広島大学教授 工学部第四類 (〒739-8527 東広島市鏡山 1-4-1)

<sup>2</sup>正会員 工博 広島大学助教授 工学部第四類

<sup>3</sup>正会員 工修 アイオワ大学水理研究所

<sup>4</sup>学生会員 広島大学大学院工学研究科 環境工学専攻

The main cause of the Hiroshima disaster June 1999 is that the heavy rain due to the cold front continued for 2 or 3 hours. This heavy rain appeared in the band with small width. It was considered that this concentration of rainfall was under the influence of the mountainous geographical features.

The value of radar rainfall was lower than one of ground rainfall when ground rainfall was over 40 mm/h at the peak. However, A radar rain gauge was effective to know the distribution and the movement of the heavy rain, if we use the ground rain gauge together. It is considered that the radar rain gauge system is effective for short time prediction of rainfall through the movement of heavy rainfall area.

**Key Words** : Hiroshima disaster, heavy rain, radar rain gauge, ground rain gauge, cold front

## 1. はじめに

平成 11 年 6 月 29 日午後, 前線の移動に伴う集中が, 広島県全域に土砂災害をもたらした。特に, 13 時から 16 時にかけて広島市佐伯区から安佐北区へ向かう北東に延びる帯上(図-1, L1)と, 15 時から 18 時にかけて呉市から東広島市に至る帯上(図-1, L2)の狭い範囲に豪雨が集中した。豪雨が来襲したこれらの場所では, 1 時間雨量にして 40 mm/h ~70 mm/h の雨が記録されている。

この災害の特徴は, 23 日からの先行降雨で緩んでいた地盤に急激に増大した降雨が極めて短い時間に集中したこと, 降雨量の急激な増加から 2 時間ないし 3 時間後のほぼ同時刻に災害が多発したという所にある。広島県は花崗岩が風化したまさ土が山地岩盤を覆っている所がほとんどであり, このために大雨が降ると, このまさ土による斜面崩壊, 土石流が発生し易いという地域的な特性がある。広島市と呉市は, 鹿児島市, 長崎市, 神戸市等と並ぶ斜面災害の代表的な地域であるが, 平地が少ないために山地

部まで宅地開発が広がっており, 土砂災害に対して危険な住宅区域が多い。このため, 多くの場所で同時, 突発的に発生したがけ崩れと土石流等によって 31 名の死者, 1 名の行方不明者を出した。

この集中豪雨の雨量分布や雨域の移動等が, 建設省羅漢山雨量レーダーによく捕らえられていた。従来型の地点雨量計では地上雨量を観測できるが, 空間解像度が粗いため, 強雨域の位置や移動を正確に捕らえることは難しい。

一方, レーダー雨量計では, 地上雨量とレーダー雨量の間に差が生じることがあるが, 強雨域の位置と移動を見ることが可能である。レーダー雨量情報はこれまでも利用されていたが, 雷雨には有効に活用されていなかったと考えられる。この原因として, 時間スケールの短い雷雨現象に対して計測, 被害予測, 警報, 避難に至る過程において時間的に制約があること, 豪雨のようなピーク時の降雨量には誤差が大きかったことが挙げられる。

本文では, 1999 年 6 月 29 日広島集中豪雨に関して, まず, 地上雨量とレーダー雨量の関係, 集中

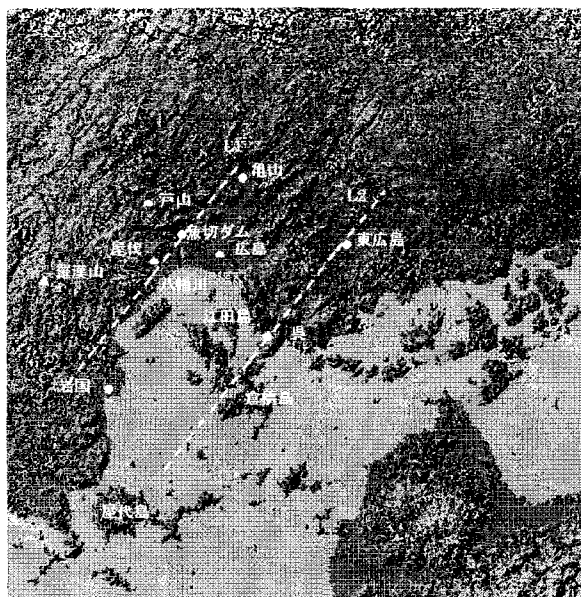


図-1 広島県の地形及び主要な場所の位置

豪雨の原因，レーダー雨量計による豪雨域伝播状況を示し，これより，土砂災害に対する降雨データの利用について議論する。

## 2. 1999年6月29日の豪雨特性

### (1) 気象状況

低気圧の中心位置は9時に九州の西の海上に位置しており，この後に日本海の海岸線に沿って海上を北東に移動していった。低気圧につながる閉塞前線も，29日の午後には島根県北の海上に位置していたと推測される。29日午後には広島県上空には寒冷前線が位置しており，広島県に大雨をもたらしたの第1の原因は非常に発達した低気圧に伴う寒冷前線であったと推定される。

### (2) 地上雨量とレーダー雨量

図-2,3は，降雨量が特に多かった呉土木事務所雨量観測所（県），戸山雨量観測所（建設省）で観測された降雨量の時間変化を建設省羅漢山レーダー雨量計（広島県西部）による降雨量と共に示す。地点雨量で1時間雨量最大82mm/hが記録された地点は八幡川橋地点であった。羅漢山レーダー雨量計は1.5km×1.4°メッシュの解像度を持っている。これらの図より，1時間雨量で見るとピーク時においてレーダー雨量計が1~2割程度小さい値を示しているが，全体的には地上雨量を良く表わしている。

これは，強雨域の位置が20km~30kmとレーダーの位置に近いこと，豪雨域を遮る強い雨域がないこと等，レーダーによる計測条件に恵まれた可能性

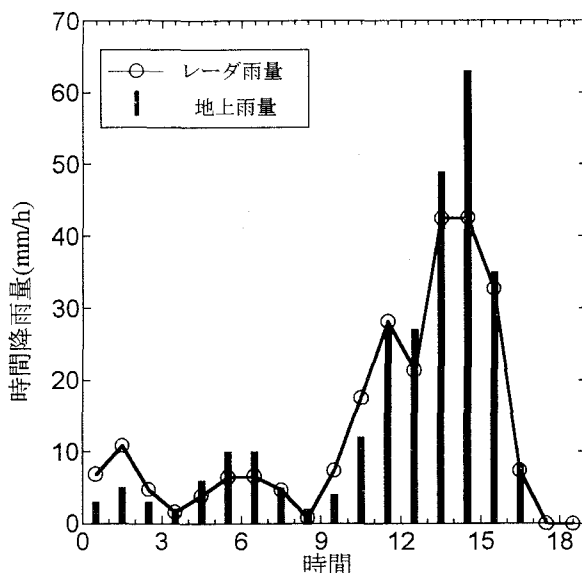


図-2 降雨量の時間変化 —戸山—

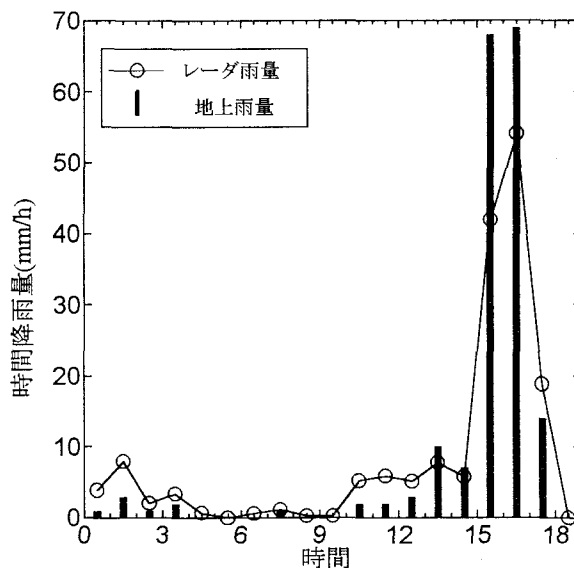


図-3 降雨量の時間変化 —呉—

がある。どちらの図においても，降雨量は時間に対して急激な右上がりの形を示しており，特に降雨量が高いのは2時間~3時間である。特に，呉では地点雨量で見ると急激に豪雨が来襲し，2時間でほとんどの雨を降らせていることになる。

図-4は，各強雨域における1時間レーダー雨量と1時間地上雨量の関係を示したものである。これらの図より，地上降雨量が30mm/h~40mm/hを越えると，レーダー雨量と地上雨量に差が出始め，その差は最大で20mm/h程度であること，この差は1つの流域内もしくは降雨セル群では同様な傾向を示すことが分る。(a)の八幡川流域付近には場所が近い重光・後畑・魚切の群とこれと少し北に離れた所に位置する戸山・湯来があり，それぞれの群でほぼ同一のずれ方をしている。

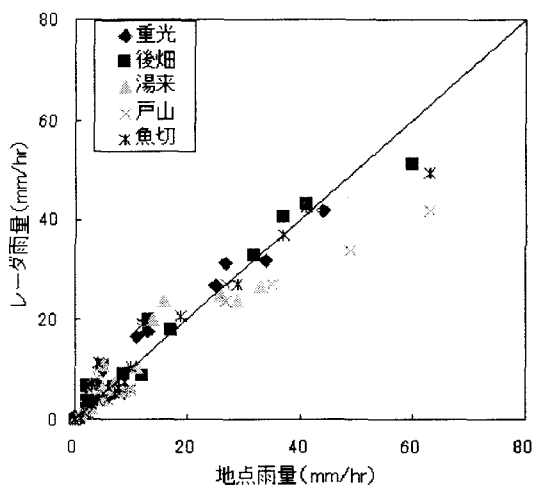


図-4 (a) 1時間レーダー雨量と1時間地上雨量の関係  
(広島市西部八幡川流域付近)

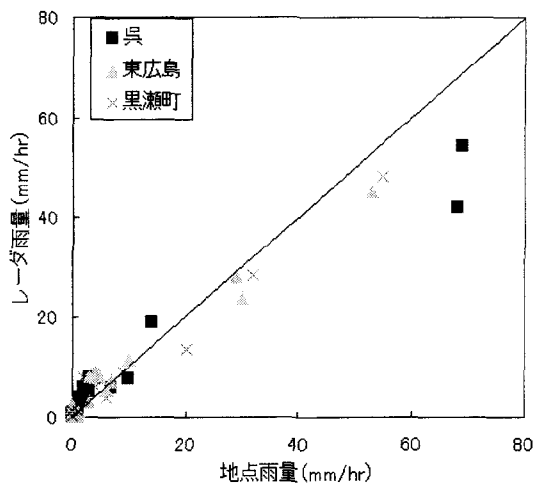


図-4 (b) 1時間レーダー雨量と1時間地上雨量の関係  
(呉市～東広島市)

(b)は1つの降雨セル群が呉市-黒瀬町-東広島市と移動したものであり、ずれ方も同様である。

移動する雷雨セル群毎に地上雨量とレーダー雨量の関係を追跡すれば、雷雨セルごとにその差の特性を見ることができる。降雨セル毎の違いよりも地上とレーダーの違いの方が大きい。これは、時間的、空間的に近い1つの降雨セル群では、降雨を引き起こす条件、気象状態や地形の影響、その他の誤差要因が大きく変化しないため、1時間雨量で見たときに、地上雨量とレーダー雨量の関係が降雨セル群によって大きく変化しなかったためと考えられる。これは、近くに地上雨量データがあれば、レーダー雨量の随時更正が可能であることを示している。

しかし、降雨量が多い場所のデータが必要であり、初めに来襲する個所は更正ができないなどの問題がある。別の雷雨についても検討と確認が必要である。

図-5(八幡川流域拡大)、図-6(呉市付近拡大)に示すように、レーダー雨量計による強降雨域の場所を拡大すると、降雨量の多い部分が山地の稜線に沿っていること、降雨域が一つの谷間に集中している

ことが明らかである。これらのことから、地上風が山地や島等の地形の影響で収束し、地形によって固定された場所で次々と上昇気流が発生し、強い雷雨性の豪雨を発生、維持させたと考えられることができる。

6月29日の早朝から夕方にかけて、山口県東部、広島南西部の地上及び海上では瀬内海から南東もしくは南南東の風が岩国・広島に向かって吹いていた。

このとき、降雨が集中しているのは山口県北部、広島県北西部である。広島県北西部の降雨が集中していた谷間では北東に向かって風が吹いていた。図-7にアメダスデータによる広島における地上の風向、風速を示す。広島市街地付近では、午前中には北東の風が卓越していたが、13時頃から16時頃までの間、八幡川流域に向かう東南東の強い風が吹いており、16時以降は北東に向かう風が吹いていた。図-8に図-5に示したA-Bライン上の標高と降雨量の関係を示す。図-8から、降雨が集中した13時から16時にかけて豪雨が降っていた場所は、八幡川流域西側山地部の東南斜面であり、平地部においてはほとんど降っていないことが分る。

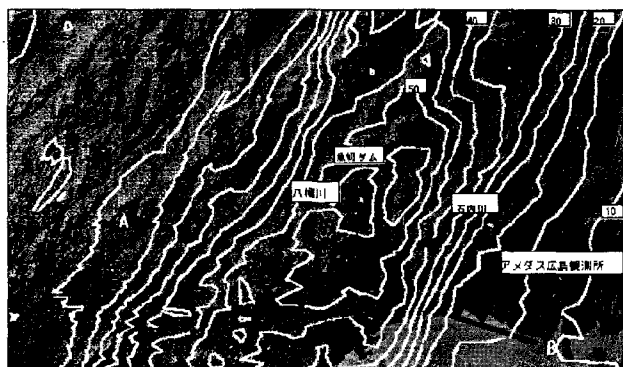


図-5 八幡川流域 14時～15時のレーダー1時間雨量

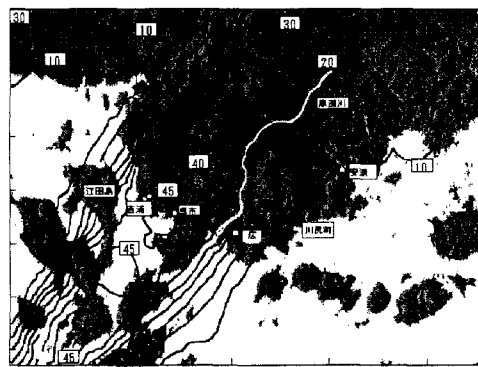


図-6 呉市付近 15時～16時のレーダー1時間雨量

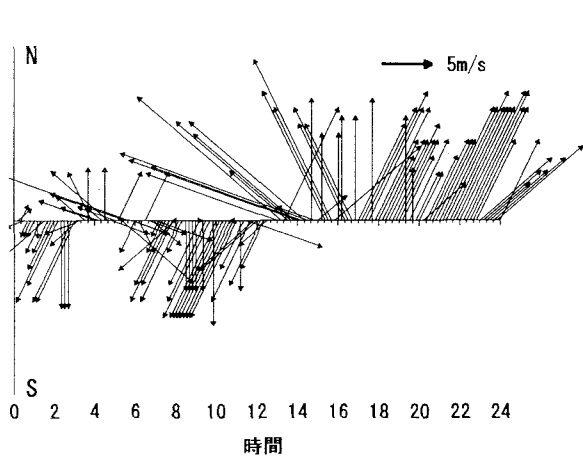


図-7 広島における地上風向・風速の時間変化  
(気象庁アメダスデータ広島)

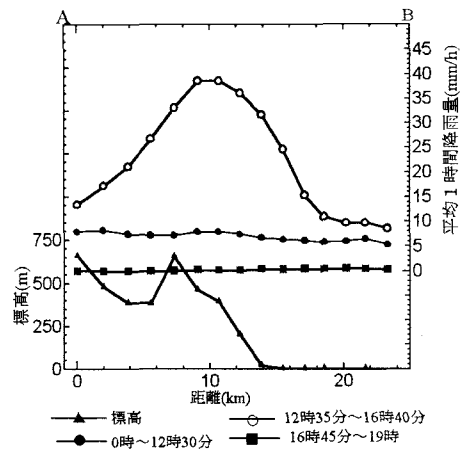


図-8 標高とレーダー雨量の関係

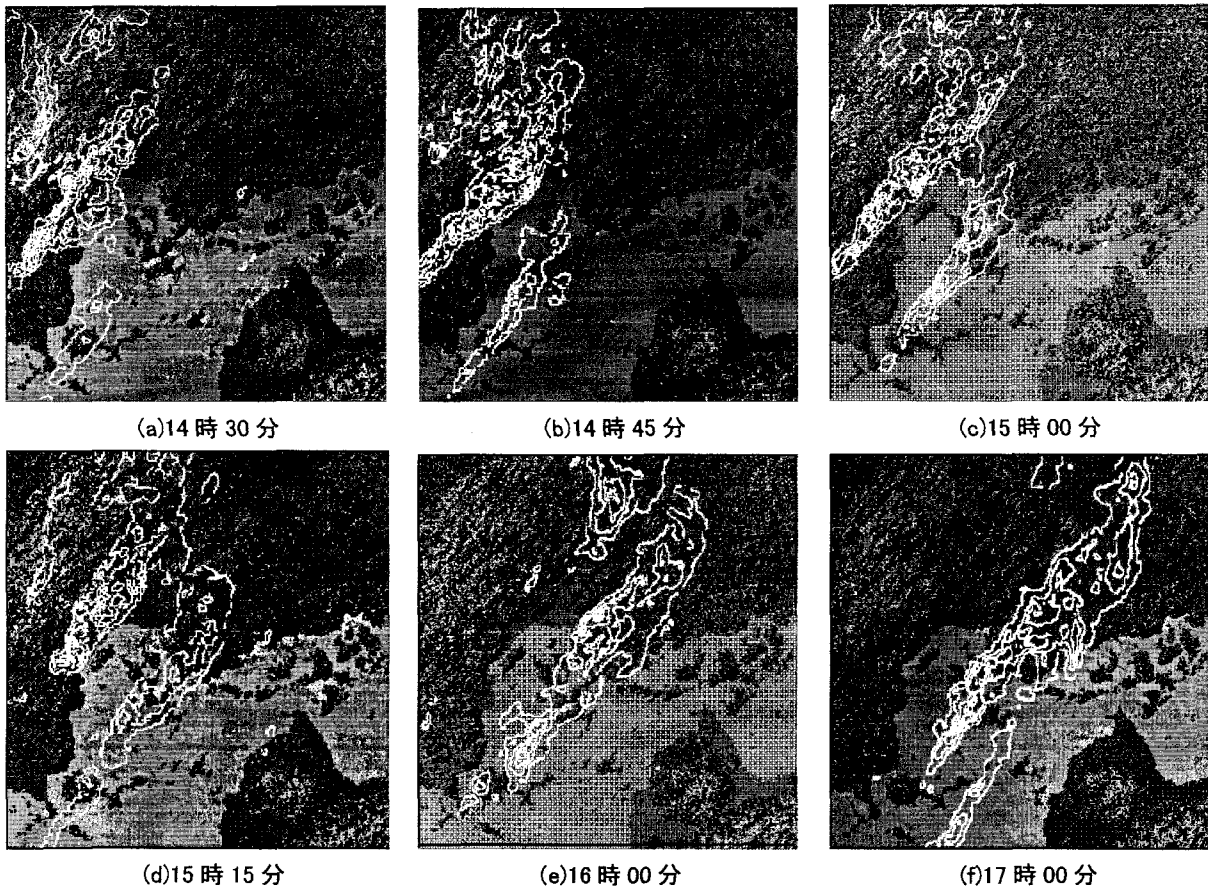


図-9 広島県付近の羅漢山レーダー雨量分布

表-1 6月29日八幡川流域におけるピーク時(14時-15時)の1時間雨量と1日積算雨量

場所 (レーダーの計測範囲)	雨量計	14-15時	1日積算
八幡川流域 (A = 83 km <sup>2</sup> )	羅漢山レーダー	44 mm/h	228 mm/d
八幡川中流域 (A = 47 km <sup>2</sup> )	羅漢山レーダー	49 mm/h	241 mm/d
荒谷川流域 (A = 3.7 km <sup>2</sup> )	羅漢山レーダー	51 mm/h	262 mm/d
野登呂川・古野川流域 (A = 3.2 km <sup>2</sup> )	羅漢山レーダー	53 mm/h	263 mm/d
魚切ダム (八幡川中流域代表)	地上 (広島県)	63 mm/h	254 mm/d
魚切ダム	羅漢山レーダー	47 mm/h	266 mm/d
八幡川 (地上1時間雨量最大)	地上 (道路公団)	81 mm/h	232 mm/d
八幡川	羅漢山レーダー	59 mm/h	264 mm/d

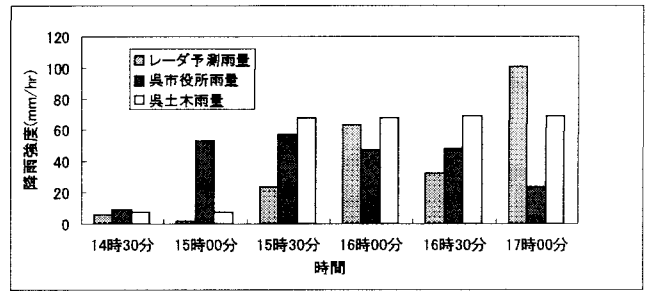
この時間帯では東南東の風が斜面に向かって吹いていたこと、12時以前及び16時以後ではこの方向に風が吹いておらず、大雨が生じていないことから、この豪雨の集中は地形による風の収束に伴うものであったことが確認できる。

表-1 は八幡川流域におけるレーダー雨量を各場所毎に見たものである。八幡川中流域は先の東側斜面までの領域である。八幡川中流域の代表地点である魚切ダム地点では、地上雨量はレーダー雨量に比べて多い。先に述べた様に魚切ダムの地上雨量とレーダー雨量の関係が、この降雨域に対して成立するとすると、この八幡川中流域で特に被害が大きかった荒谷川流域や古野川流域では、魚切ダム地上雨量計で代表された降雨量よりも多くの雨が降ったことが推測される。これは荒谷川下流に位置する八幡川橋(道路公団)で計測された地上雨量が最大値 81 mm/h を示したことにとも対応する。1日積算雨量を見ると大きな差が見られないが、図-5 に示される様に土砂災害に関係する1時間雨量は、小さな流域内でも大きく変化しているため、地上雨量計の密な配備が望まれる。

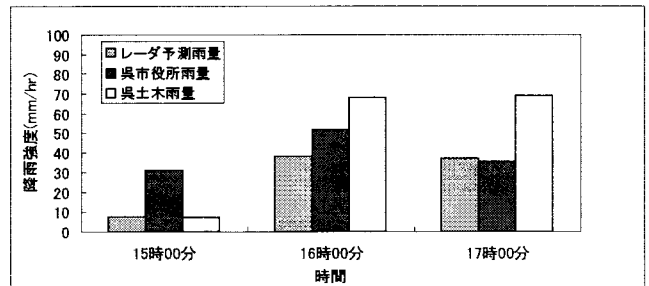
### (3) 雷雨域の移動

次にレーダー雨量分布の経時変化から警戒・避難へのレーダー雨量情報活用の可能性を見てみる。図-9(a)(b)(c)(d)のようにレーダー雨量分布を15分毎に追って見ると次のことがわかる。北東に延びる帯状の強降雨域が次々と発生してそれらが順次北東へ移動しており、このため強降雨域が帯状に停滞しているように見える。図-9(e)(f)を見ると、寒冷前線の東への移動と共に西側の降雨域は消えていく。呉を襲った強雨域は前線位置の移動と共に新たに東側に発生したものである。その発生場所はほぼ決まっており、山地や島などの斜面に沿っている。呉市における豪雨を地点雨量で見ると急激に降ったことになるが、レーダー雨量計で見れば強降雨域が時間と共に海上から近づいて来たことが分る。

したがって、災害が起きるかどうかもまでは予測できなくとも15分から30分前には大雨の発生を予測できた可能性がある。そこで、呉について30分前、1時間前のレーダー雨量分布(レーダー雨量は15分前からの平均値)を用いて、雨量分布を雨域の移動速度で移動させて呉における雨量を算出すると図-10 のようになる。ただし、地上雨量とレーダー雨量のずれの関係は八幡川流域の関係を用いて補正した。



(a) 30分前データによる外挿結果



(b) 1時間前データによる外挿結果

図-10 レーダー雨量外挿結果と呉における地上降雨量

呉市役所は10分間雨量を積分したものであり、呉土木のデータは1時間雨量を平均化して用いた。これより、1時間前のレーダー情報では降雨の発生は予測できても豪雨の予測はできていない。30分前のレーダー雨量を用いると15時30分から16時の間と16時30分から17時の間に豪雨の発生を予測しているが、時間、場所と降雨量の関係は地上観測値と一致してない。また、15時前後の降り始めについてもレーダー雨量では強い雨域を捉えていないようである(図-9(c)(d))。すなわち、レーダー雨量の利用により強降雨域が近づいて来ることや到達時刻などを予測できても、実際に当該地点に雨域が到達した時に豪雨をもたらすかどうかを知ることは難しい。これは、雷雨は局所的な現象であり、ピークの位置と大きさが変動するためである。特に呉における降雨は地形の影響を受けるため、その変化は大きい。事実、近い位置の地上雨量同士でさえ一致していない。現在配備されている雨量レーダーでは雷雲の構造や発達・減衰の状況など、3次元的構造まで捉えることができず、またそれらの予測も困難である。

降雨予測について問題が残されているものの、レーダー雨量計等による雨量分布の時空間変化を監視することにより、対象とする範囲のどこかで豪雨が発生する可能性を事前にある程度の確度で知ることが可能であり、早期に警戒を行う指標に利用することはできるであろう<sup>9)</sup>。1つの対流セルの寿命は約

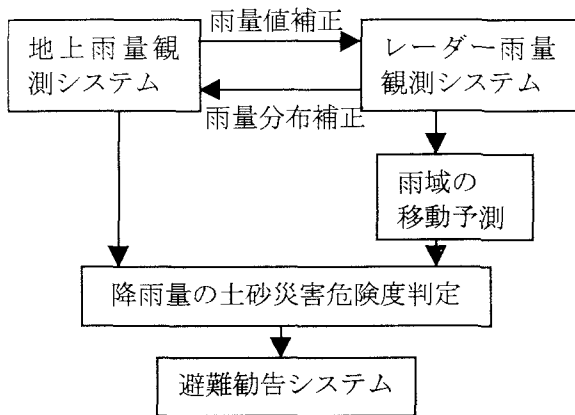


図-11 雨量観測に基づく土砂災害危険度判定チャート

30分から1時間程度であることから、レーダー雨量計を用いても豪雨域の発生や移動を1時間前に予測することは難しい。今回の例では、1時間前の情報では降雨が生じることを予測できても豪雨の発生は予測できなかった。30分前のレーダー情報でも地点雨量や豪雨発生位置を正確に予測することはできなかったが、豪雨発生の可能性予測に関して有益であったと考えられる。ただし、予測の精度は、雨域の大きさや移動速度に依存すると考えられ、他の事例についても解析をしていく必要がある。情報伝達後の避難に要する時間などの検討が必要であるが、このような情報を住民の避難に速やかに生かすことができる警戒・避難システムの確立が望まれる。

### 3. おわりに一望まれる災害対策方法について

降雨量から土壌内水分量を求めて、がけ崩れや土石流の発生について予測することは概ね可能である<sup>2)4)5)</sup>から、降雨量を把握と予測が早期警戒のために重要である。現在、広島県では土砂災害危険区域図を公表して、土砂災害発生監視システムを整備し、警戒避難体制の強化を図っている。このシステムでは県全域で214基設置された地上雨量計データに基づいて危険性を判断することになっている。

しかし、今回示したように小流域内でも降雨量が大きく変化したり、海上から豪雨域が近づく場合がある。したがって、雷雨の様な狭い強雨域とその移動を捉えられるレーダー雨量情報をリアルタイムで活用することや、当該地区での雨量精度を上げるための地上雨量計の綿密な配置が望まれる。多くの事例について精度的な検討が必要であるが、レーダー

情報のリアルタイム更正を行えば、単純な時間外挿による豪雨襲来予測もある程度は可能であろう。図-11に示すように、地上雨量データとレーダー雨量データを用いて相互に補間しつつ、雨量を正確に捉え、豪雨及び土砂災害の発生を予測していくことが望ましい。

迅速な避難のためには住民の危機意識の向上が肝要である。今回のような強い前線性雷雨等の場合は、台風と同様に前線の移動と共に広域に災害をもたらす可能性が高い。台風等の場合には多くの人はあらかじめ、それに備えるであろうが、前線による雷雨の場合には危機意識が高くなく警戒をしていない可能性が高い。これは雷雨そのものの局所性が高いためであろう。このような場合に住民に危機意識を高めるためには、危険な場所が見てわかるレーダー雨量情報のリアルタイムでの一般公開が望まれる。これと共に、被害が広域に及ぶような気象条件の場合に、その状態が自分たちの場所で起きた場合に実際にどのような被害が生じる可能性があるかを理解することができるように、どこでどのような被害が生じているかということを具体的に随時示す情報配信システムが必要であろう。すなわち、被害を起こす要因である強雨域の位置とその移動とともに、実際に生じている被害状況を広域的に示すことが住民の危機意識を高めるために重要であろう。

謝辞：地上雨量には建設省中国地方建設局、広島県、気象庁(アメダス)の観測データを用いた。羅漢山レーダー雨量については建設省中国地方建設局河川計画課から提供を受けた。ここに記して感謝します。

#### 参考文献

- 1) 福岡捷二・渡邊明英：6月29日集中豪雨による広島県土砂災害，土木学会誌 第84巻第10号災害報告，pp. 54-58，1999.
- 2) 福岡捷二・渡邊明英・萬矢敦啓：1999年6月29日豪雨による広島県土砂災害とその教訓，平成12年度河川災害シンポジウム，p.1-13，2000.
- 3) 中北英一・池淵周一・矢神卓也：東北豪雨の生起・伝播特性，1998年南東北・北関東の集中豪雨災害に関する調査研究，pp. 11-26，1999.
- 4) 道上正規・檜谷治：タンクモデル法を用いた豪雨による斜面崩壊時刻の予測，豪雨による土砂崩壊の予測に関する研究(中間報告)，pp. 70-74，1989.
- 5) 道上正規・小島英司：集中豪雨による崖崩れの発生予測に関する研究，鳥取大学工学部研究報告 第12巻，pp. 167-177，1981.

(2000.4.17 受付)