

# 降水レーダを用いたリアルタイム土石流危険度マップ

REALTIME HAZARD MAP FOR DEBRIS FLOW USING PRECIPITATION RADAR

森山 聡之<sup>1</sup>・疋田 誠<sup>2</sup>

Toshiyuki MORIYAMA and Makoto HIKIDA

<sup>1</sup> 崇城大学 工学部 環境建設工学科 (〒860-0082 熊本市池田4-22-1)

E-mail: moriyama@0disaster.net

<sup>2</sup> 鹿児島工業高等専門学校 土木工学科 (〒899-5193 鹿児島県霧島市隼人町真孝1460-1)

E-mail: hikida@kagoshima-ct.ac.jp

keywords: prediction of debris flow, precipitation radar, realtime hazard map, disaster information system

## 1. 概要

筆者らは2003年7月に発生した熊本県の水俣土石流以来、土砂災害に対応した次世代型防災情報システムを構築中である<sup>1)</sup>。2005年の9月5日に九州地方を通過した台風14号(以下T0514)は、鹿児島県と宮崎県に多くの被害をもたらした。台風時にはこのシステムは本稼働状態ではなかったが、レーダ雨量データは蓄積されて、このデータを用いてT0514の豪雨により引き起こされた土石流の発生予測に有効であったかどうか検証を行ったものである。

## 2. 過去の発生履歴を用いた土石流発生限界降雨の推定

土石流の発生限界を求めるために平野・疋田らの方法<sup>2)</sup>を用い、実際に土石流が発生した時点と、発生しなかった場合はその降雨イベントの累加雨量の最大値を求め、流域の到達時間と土石流の発生限界降雨を2つの地区について推定した。

## (1) 水俣地区の土石流発生限界降雨の推定

熊本県の土砂災害発生履歴資料が入手出来なかったため、水俣地区と隣接する鹿児島県の出水・阿久根地区の土石流発生・不発生データと気象庁の時間雨量を、水俣深川のデータは熊本県雨量・気象情報サービスの時間雨量を用いた。1997年に土石流災害が起こった鹿児島県の出水と今回の水俣の災害現場は10km程度しか離れておらず、地質も似たような状況であると判断して解析を試みた。過去の履歴の雨量は、雨が多かった1969年・1971年・1993年・1997年のデータを用いている。ただし土石流が発生した雨量のうちアメダス観測点と土石流発生地点の距離が10kmを越えている場合は相関が低いと考え、除外し、結果を図1に示す。これから、土石流発生の上限と不発生の下限を抜き出し、水俣深川の累加雨量曲線のうち、土石流災害が起こった前後(午前3時・午前4時・午前5時)の累加雨量曲線を追加すると図2のようなになる。図2では、累加時間1~4時間で発生の上限と不発生の下限の差が極小で、ほぼ一致している。不発生の上限は3~4時間で一定値122mmに

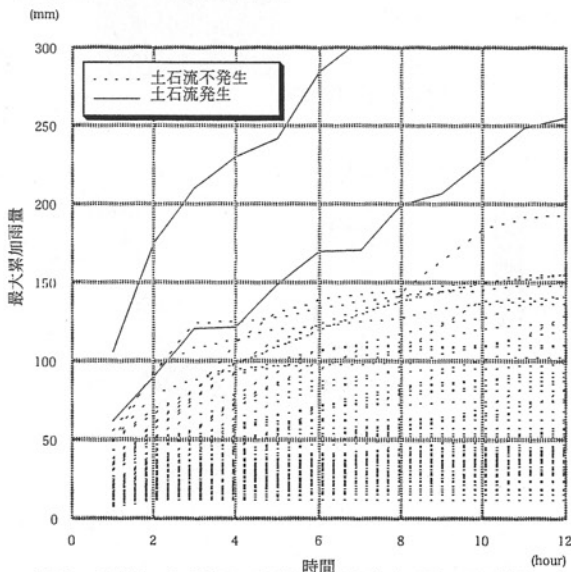


図1 阿久根・出水地区の発生及び不発生時の累加雨量曲線

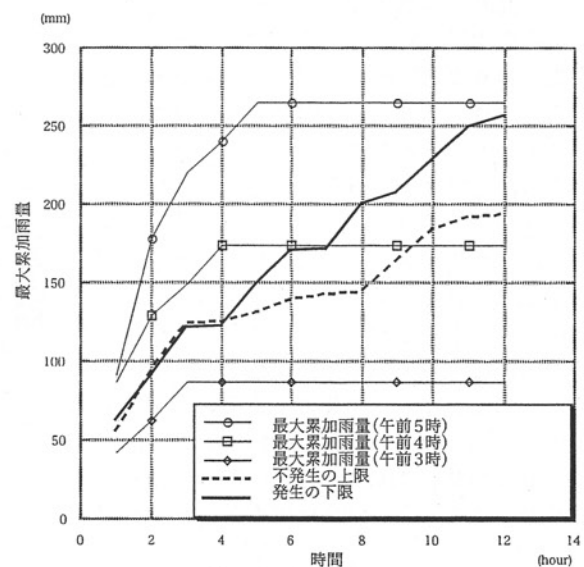


図2 阿久根・出水地区の発生の上下限と0514台風時の水俣深川累加雨量曲線

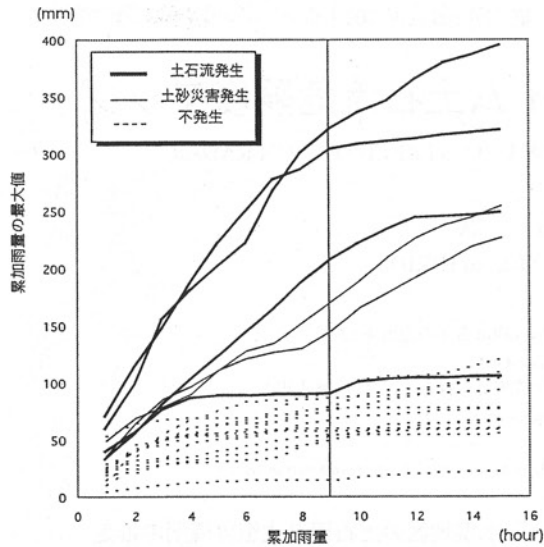


図3 垂水地区の発生及び不発生時の累加雨量曲線  
達しており、到達時間は3~4時間程度と推定できる。累加時間4時間の最大累加雨量に注目すると、午前3時の時点では87mmと不発生の上限(122mm)より小さい値であるが、午前4時では発生の上限(122mm)を越え、174mmと大きく上回っている。いずれにせよ、土石流の発生が午前4時20分前後(一説では4時35分前後)と推定されていることから、この1時間間隔の雨量データでは、4時の時点で防災担当者が避難勧告を考えて情報伝達を実施する時間は無かったと考えられる。同様に崖崩れなどの土砂災害発生危険度が100%になる限界降雨は88mmと推定された<sup>3)</sup>。

(2) 垂水地区の土石流発生限界降雨の推定  
解析資料は、鹿児島県の垂水地区の土石流発生・不発生データと気象庁の高峯の時間雨量を用いた。雨量は雨が多かった1997年のデータを用いている。その結果を図3に示す。これから、土石流発生の上限と不発生の下限を抜き出し、高峯の累加雨量曲線のうち、鹿児島県土砂災害発生予測情報システムにおいて土砂災害発生危険基準(CL3)を突破した本城雨量観測所(9/5,15:40)と新城雨量観測所(9/5,21:20)の2ケースに対応した9月5日15時と21時それに土石流発生直前の9月6日10時の累加雨量曲線を追加したものが図4である。図3では、土石流の発生限界は明確でないが、土砂災害の発生限界の到達時間は9時間であるため、これを採用すると、土砂災害の発生限界降雨が90mmの時に発生確率が0%を超え、91mmの時に100%となる。同様に土石流の発生限界降雨は、90mmの時に発生確率が0%を超え、171mmの時に100%となる。図4では、鹿児島県のシステムとほぼ同時刻あるいはそれ以前

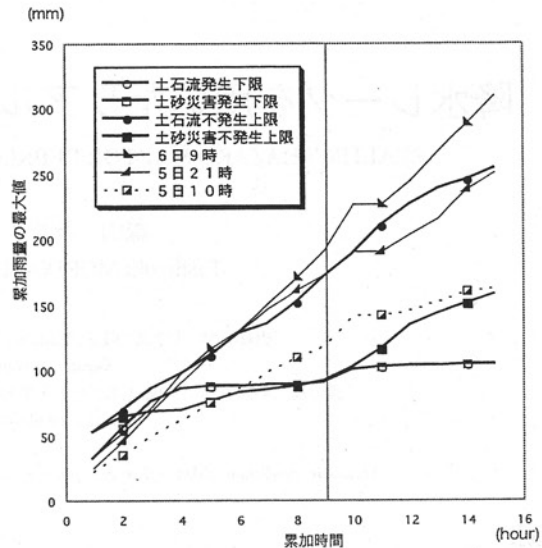


図4 垂水地区の発生の上下限とT0514台風時の累加雨量曲線に警告が送出可能であったことが示されている。

### 3. 次世代防災情報システムの概要

図5は次世代型防災情報システムの構成を示したもので、各ブロック毎に国土交通省のレーダ雨量情報をも

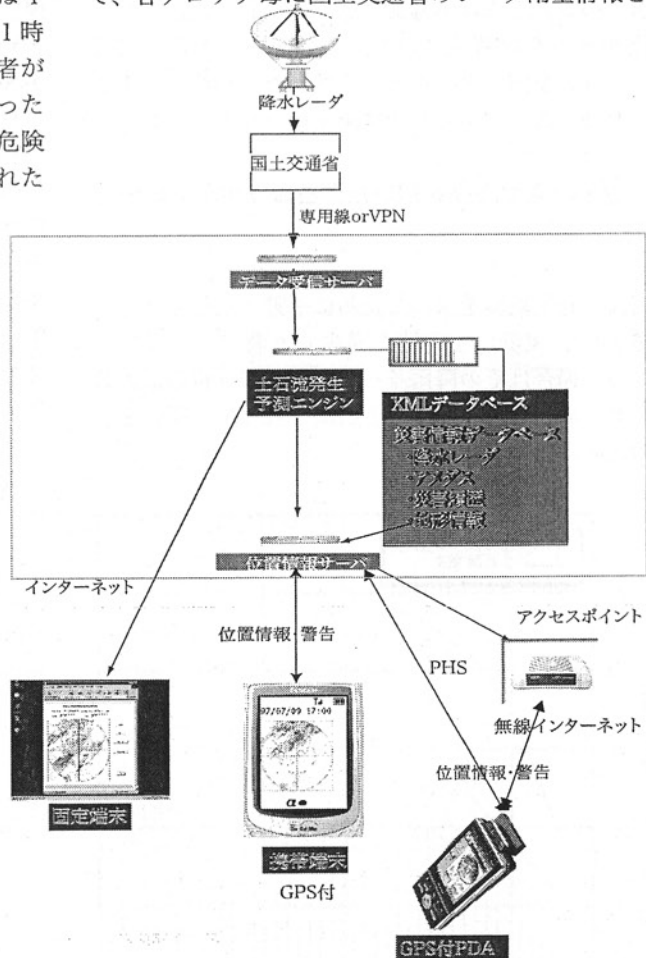


図5 次世代型防災情報システムの全体構成図

とに、土砂災害危険度マップとして各種端末に順次伝達されている様子を示している。

(1) レーダデータの受信

レーダデータの受信は国土交通省九州地方整備局（以下九地整）と崇城大学に光ファイバー回線であるBフレッツ回線を設置し、セキュリティが高いフレッツグループというVPNを介して接続している。この回線はインターネットを介さず、NTT西日本のフレッツ網で直結されているため、ftpの実測で70Mbpsと高速であるが、実際に必要な帯域は64kbps程度で十分である。

九地整から送られてくるデータは九州地方を中心に、国土地理院の1次メッシュで95個分であり、1つ

のデータは約1km四方の3次メッシュに対応した降雨強度で5分毎に配信されている。このデータは地上雨量計でキャリブレーション済みのものである。配信されたデータは、レーダデータ受信サーバでXMLに変換後、gzip圧縮してファイルに保存している。この受信プログラムはJava言語で記述した。T0514時に取得した雨量データの一例を図6に示す。この時点では地図表示が未完成であったため、地図は表示されていないが、台風の目は明確に表示されている。これを図7に示す。気象協会ホームページの同一時刻のレーダアメダスと比較すると、図6で明瞭に見られる赤い強雨域、図7では表示されていない。図8に示す国土交通省河川局のホームページの10分間雨量は、レーダや処理方式が同じであ

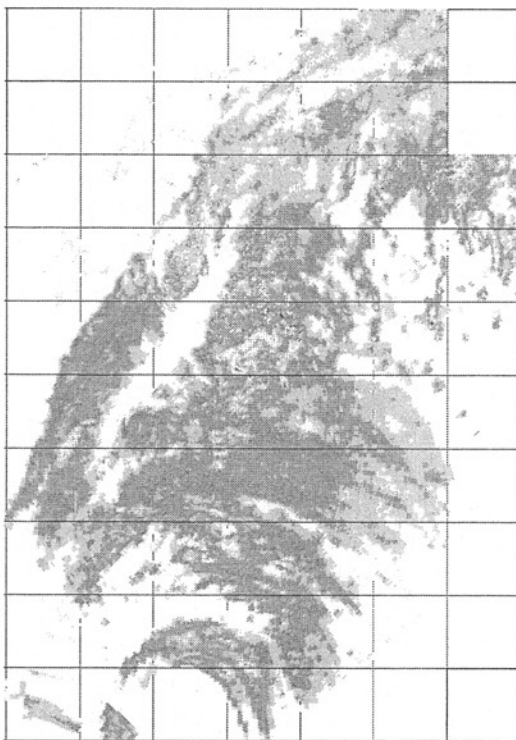


図6 T0514時の5分間降雨分布  
凡例は気象協会と同じ

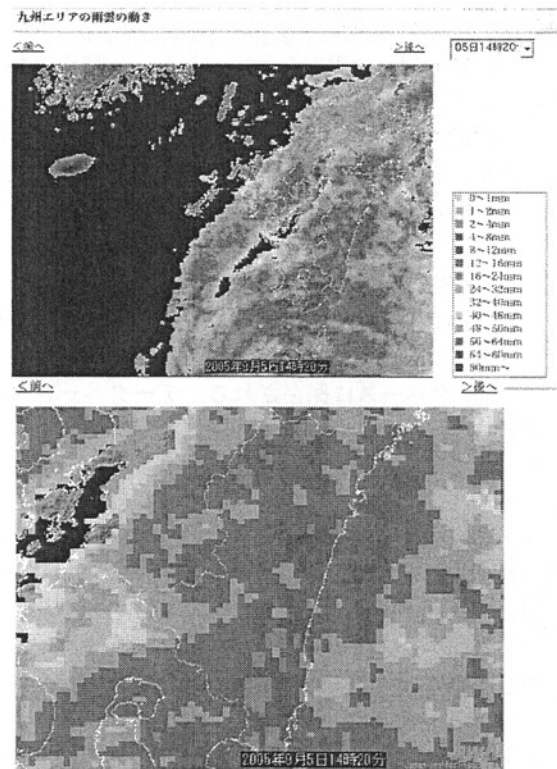


図7 T0514時の気象協会 web(tenki.jp) での  
同時刻の降雨分布と宮崎を中心とした拡大図

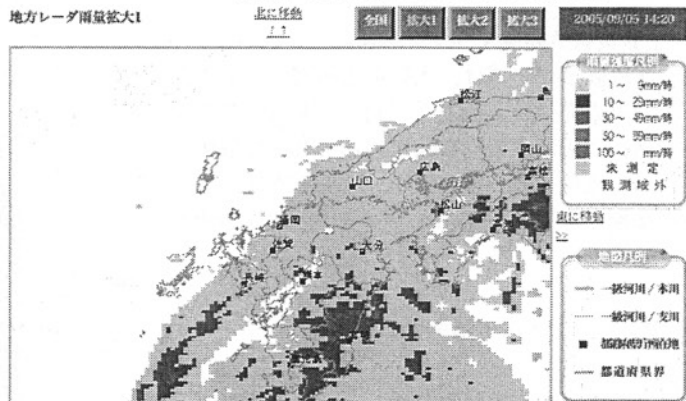
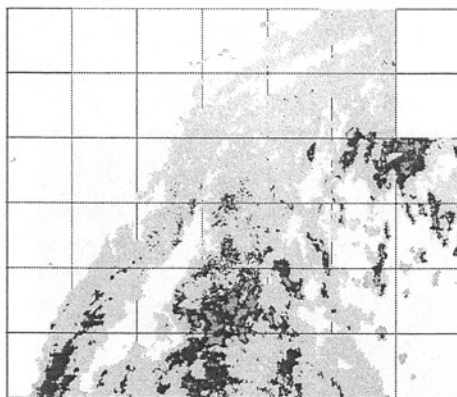


図8 T0514時の国土交通省河川局 web(river.or.jp : 右) との比較 凡例は国土交通省のものに統一

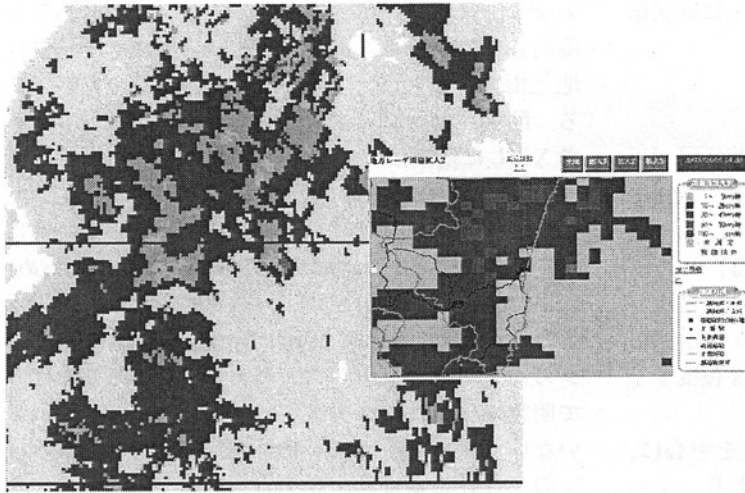


図9 T0514時の国土交通省河川局 web(river.or.jp:右図)の5分間降雨分布と宮崎市を中心とした拡大図

凡例は国土交通省のものに統一

るため、ほぼ同一の傾向を示す。しかし、図9のように拡大してみると解像度の違いがよくわかる。このように時間的あるいは空間的に平均化されると、土砂災害の予測に必要な強雨域のデータが平滑化され埋没してしまう問題が生じる。

#### (2) レーダデータのデータベース化

レーダデータ受信サーバでXMLで保存されたデータは、さらに、受信サーバからイントラネットを介してXMLデータベースに保存される。データベース(以下DB)に保存せず土砂災害危険度を逐次計算することも可能である。将来の高負荷時に分散処理を可能とするため、DBに保存して計算することにした。ここで採用したXMLデータベース(以下XML DB)は柔軟性が高いが高速処理に不向きなのが問題である。今回は、オープンソースのeXistをXML DBとして採用したが、5分毎のデータをデータの重複が無い検索してから保存する動作を行うのに5分以上かかった。このため標準では全てのデータに対して作成される索引を、時間や無降雨フラグに限定して作成する等の調整を行い、所定時間内に格納可能になった。

#### (3) 土砂災害危険度マップの構築

土砂災害危険度マップは、土砂災害の発生の上下限および土石流の発生の上下限を、到達時間内の累加雨量の最大値から表示する。今回は前述の2.で解析が終了していた水俣・阿久根・出水地区と垂水地区の土砂災害危険度マップを作成した。マップの作成範囲を図10に示す。

#### (4) プッシュ型土砂災害警告システム

災害時に避難勧告をしても避難しない住民が多く、住

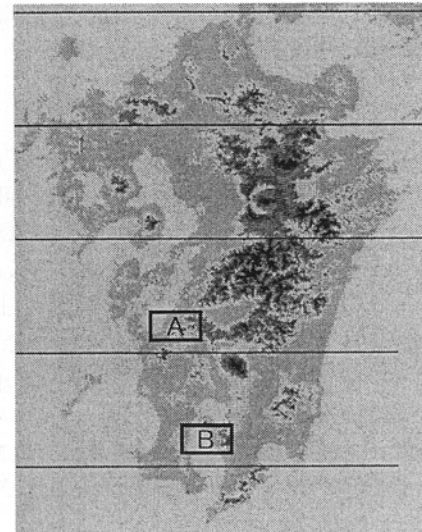


図10 土砂災害危険度マップの作成地域

民がインターネット等にアクセスして情報を取得するいわゆるプル型の行動は実際にはなかなか行われてこなかった。これに対し、本研究の一環として、携帯端末の位置を定期的に取得し、その位置周辺で発生限界降雨量を越えた場合、その端末に知らせる、いわゆるプッシュ型の警告システムを構築中である<sup>4)</sup>。これにより住民が自分に向けられて発信されたリアルタイム情報として、避難を真剣に考慮するものと期待している。

#### 4. 土砂災害危険度マップのリアルタイム表示

##### (1) 水俣・阿久根・出水地区のT0514における土砂災害危険度マップ

2.の結果より、水俣・阿久根・出水地区の土砂災害発生限界(4時間累加雨量で88mm)土石流発生限界(4時間累加雨量で122mm)を採用した。図10の国土地理院の二次メッシュ6メッシュに相当するAの区域を対象に作成したT0514通過時の水俣付近の土砂災害危険度マップを図11に示す。黄色で表示されている部分が土砂災害発生限界雨量を越えている。土石流発生限界を越えた場合は赤で表示するが、今回は土石流の発生限界降雨まで達していなかったため赤は表示されていない<sup>5)</sup>。実際土砂災害は起こって

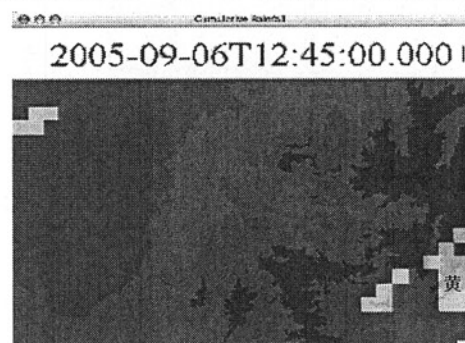


図11 T0514時の水俣地区の土砂災害危険度マップ

いなかった。

(2) 垂水地区のT0514における土砂災害危険度マップ

垂水地区においても、2.の結果から、図10のBの領域に、9時間累加雨量の最大値が

- A. 90mmを越えた場合は土砂災害発生危険度が0%を越えたとして黄色の表示
- B. 91mmを越えた場合は土石流発生危険度が0%を越えたとして橙色の表示
- C. 171mmを越えた場合は土石流発生危険度が100%を越えたとして赤色の表示

を行うこととした。実際には地図を見やすくするために半透明表示にしているため地図の色によって異なる色になっている場合がある。なお、錦江湾の西岸は、発生限界降雨の検討は行っていないので除外した。また桜島については今回は垂水地区と同じ基準で表示しているが、実際には火山性土石流は全く異なる基準となる<sup>2)</sup>。以下に、時間を追ってこの土砂災害危険度マップを説明する。(鹿児島県土木部傾斜地保全係提供資料を小川編集<sup>6)</sup>、森山・疋田修正)

- 1) 9月4日12:00 この時点では雨はわずかに降っているのみ(図12)

2005-09-04T12:00:00.000+09

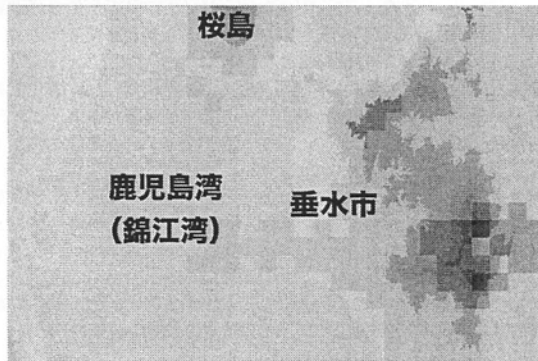


図12 T0514時の垂水地区の土砂災害危険度マップ  
(9月4日12時)

2005-09-05T14:40:00.000+09

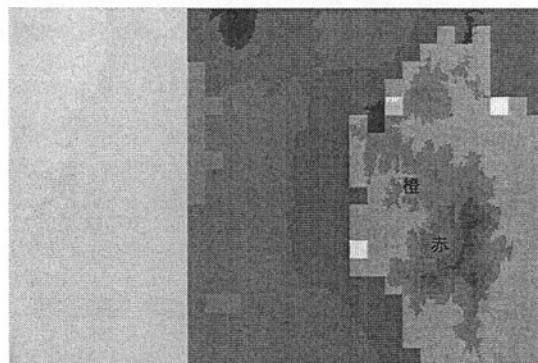


図14 T0514時の垂水地区の土砂災害危険度マップ  
(9月5日14時40分)

- 2) 9月5日01:00 既に赤色の表示が現れている(図13)
- 3) 9月5日14:40 鹿児島県の市木雨量観測所で警戒雨量ライン(CL3)を突破。この時点では主に山間部で土砂災害の発生確率が0%を越えている(図14)
- 4) 9月5日15:40 鹿児島県の本城雨量観測所で警戒雨量ライン(CL3)を突破。図2に比べると赤が(一時的に)減っている(図15)
- 5) 9月5日18:20 新御堂地区で崖崩れが発生。図2及び図3に比べ赤が増え、橙が海岸の方へ広がっている(図16)
- 6) 9月5日21:20 鹿児島県の新城雨量観測所で警戒雨量ライン(CL3)を突破。橙が海岸ぎりぎりまで迫っている(図17)
- 6) 9月6日09:30 小谷地区で土石流が発生。一部の海岸を除きほぼ全域が橙になっている(図18)
- 7) 9月6日12:30 新御堂地区で土石流が発生。図18に比べると若干減って来たが、赤の面積は相変わらず多く警戒を必要としている(図19)

以上の土砂災害危険度マップの表示から、この土砂災

2005-09-05T01:00:00.000+09

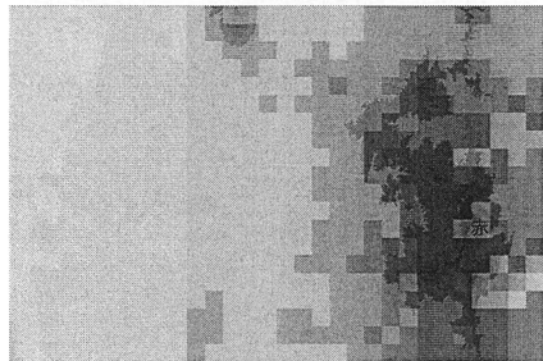


図13 T0514時の垂水地区の土砂災害危険度マップ  
(9月5日1時)

2005-09-05T15:40:00.000+09

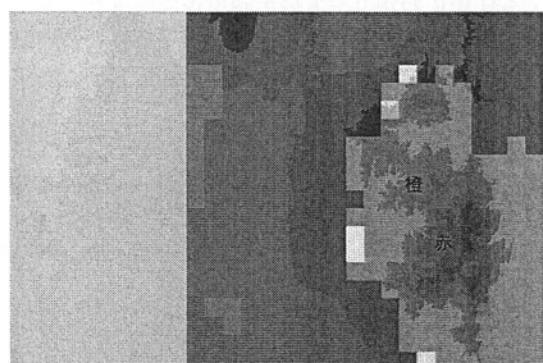


図15 T0514時の垂水地区の土砂災害危険度マップ  
(9月5日15時40分)

2005-09-05T18:20:00.000+09

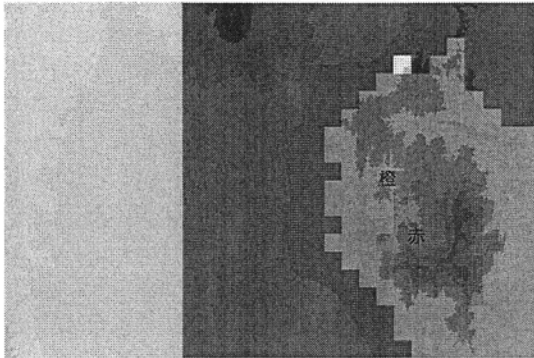


図16 T0514時の垂水地区の土砂災害危険度マップ (9月5日18時20分)

2005-09-05T21:20:00.000+09

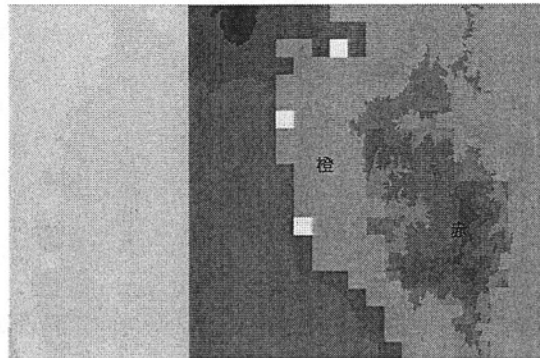


図17 T0514時の垂水地区の土砂災害危険度マップ (9月5日21時20分)

2005-09-06T09:30:00.000+09

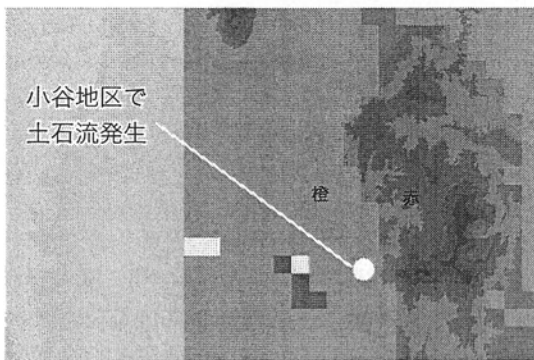


図18 T0514時の垂水地区の土砂災害危険度マップ (9月6日09時30分)

害危険度マップを見ればどの地区が危ないか一目瞭然である。また、図19の6日12時30分の時点では多くの地区で雨が止んでいたことから、土石流の発生が意外であると受け取られたようであるが、山間部の状況はまだまだ予断を許さない状況であったことが見て取れる。これも、レーダ雨量計の高解像度の雨量データを用いることで明確になったことと思われる。

## 7. 結論

本情報システムを用いることで水俣だけでなく、垂水地区でも住民にわかりやすい土砂災害危険度を示すことが可能であると思われる。今後は鹿児島県や宮崎県をはじめ九州各地の土砂災害の履歴を解析してシステムに導入し実用性を向上させるとともに、レーダ雨量のキャリブレーション精度についても検証し、より良いシステムを目指したい。また本研究では高峠の雨量で垂水地区の限界雨量を決めているが、メッシュ直上の雨量を使う方が正確になる。過去のレーダ雨量の履歴が手に入れば再解析する必要がある。

謝辞：本研究は文部科学省科学研究費基盤研究(B)「ITを利用した防災情報システムの構築に関する研究」(平成16～17年度)の補助を受けた。国土交通省九州地方整備局の河川管理課課長川崎正彦氏、前洪水

2005-09-06T12:30:00.000+09

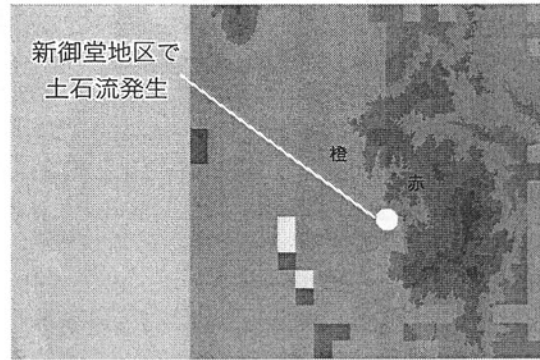


図19 T0514時の垂水地区の土砂災害危険度マップ (9月6日12時30分)

予報係長原和久氏(現川辺川第2砂防工事事務所長)ならびに電気通信課内田康之前係長(現菊池川河川工事事務所専門職)にはレーダデータ取得にご尽力いただいた。また河川情報センター光武富雄氏(現東京建設コンサルタント九州支店)にもご協力いただいた。レーダデータの受信にあたっては(株)東芝九州支社村野隆氏には多くのご示唆を頂いた。土石流発生の履歴データは鹿児島県砂防課より提供していただいた。また、水俣深川の雨量は、熊本県雨量・気象情報サービス(<http://www.pref.kumamoto.jp/existence/kishou/tenkou.htm>)より入手した。土砂災害危険度マップの地図は国土地理院の国土数値情報日本座標系2500標高データを使用した。ここに記して謝意を表す。

## 参考文献

- 1) 森山聡之・疋田誠：水俣における防災無線ネットワークの構築、第60回土木学会全国大会講演概要集、CD-ROM版、2005
- 2) 平野宗夫・疋田誠・森山聡之：活火山流域における土石流の発生限界と流出規模の予測、第30回水理講演会論文集、181-186、1986
- 3) 森山聡之、伊東修司、岡谷和人：土石流災害の予測と災害情報の伝達、第59回土木学会全国大会講演概要集、CD-ROM版、2004
- 4) 森山聡之、林 雅浩：避難防災情報システムにおける連続的位置情報取得について、平成17年度土木学会西部支部研究発表会概要集、CD-ROM版、2006
- 5) 森山聡之・疋田誠：土砂災害に対応した防災情報システムの構築、第61回土木学会全国大会講演概要集、投稿中
- 6) 小川滋・久保田哲也・平松晋也編：土砂災害警戒・避難システム、第4章・土砂災害の警戒・避難システムの課題と展望、九州大学出版会、2006
- 7) 鹿児島県土木部砂防課：鹿児島県土砂災害発生予測システム、18P

本論文はカラー表示の図を多数用いているが、印刷は白黒の予定である。このため、カラー版のPDFを<http://www.0disaster.net/>に掲載する予定である。(2006.5.19 受付)