

鹿児島県離島における降雨流出過程の実態調査

工学部 安達貴浩・齋田倫範

1. はじめに

近年、我が国では記録的な集中豪雨が多発しており、各地で水害が発生している。鹿児島県奄美大島でも、2010年10月に記録的な豪雨による甚大な洪水被害が発生した(以下、「奄美豪雨」)。この豪雨によって3名の死者が出たほか、建物の全半壊453棟、浸水被害967棟等の甚大な被害が生じた¹⁾。さらに、通信網や交通網の遮断やサンゴやマングローブ林の被災といった離島特有の問題も見出されている^{2),3)}。2011年にも奄美大島は集中豪雨に見舞われ、2011年9月25～27日の豪雨では人的被害1名、住家被害715棟、2011年11月2日には住家被害713棟に上る甚大な被害が生じた¹⁾。これらの豪雨災害以外にも、表-1に示すように鹿児島県の離島は度々水害に見舞われている。奄美豪雨以降、他大学や学会調査団によって奄美豪雨の実態解明のための研究は実施されているが、鹿児島県の他の離島を対象とした研究は実施されていない。

我が国の国土の内、本州、北海道、四国、九州と沖縄本島を除いた6,847が離島とされている。特に、鹿児島県の離島面積・人口はいずれも全国最大である。このように鹿児島県には離島が数多く存在するが、奄美大島をはじめとする大半の離島では、河川流量、河道地形など、水害を適切に防除するために必要な観測データが決定的に不足している¹⁵⁾。周囲を海に囲まれた離島では、水分の供給が多く、奄美豪雨と同程度の記録的豪雨が発生する可能性が高いことや、上記のようなデータの不足を考慮すると、離島全体を対象とした水文・流出過程の解明は重要な課題である。

以上のような実状を踏まえ、鹿児島県の離島河川を対象とした降雨流出過程に関する基礎情報の充実化ならびに分布型の山地降雨流出解析モデルの構築を行った。

表-1 奄美豪雨災害以降に南西諸島で発生した主な豪雨^{1),4),5),6),7)}

発生年月日	人的被害*		浸水被害		避難勧告・指示対象*		土木関係被害(河川)		主要地点の降水量***					
	死者(人)	重軽傷者(人)	床上浸水(棟)	床下浸水(棟)	避難指示(世帯)	避難勧告(世帯)	箇所数(箇所)	金額(千円)	期間内合計降水量(mm)	最大日降水量(mm)	最大1時間降水量(mm)			
2010 10/18～10/20	3	2	116	851	273	1365	118	1,351,233	720.5	奄美市	622.0	奄美市	89.5	瀬戸内町
									363.0	瀬戸内町	286.5	瀬戸内町	78.5	奄美市
									280.5	伊仙町	226.5	伊仙町	53.5	伊仙町 和泊町
2011 5/28～5/29 (台風第2号)	0	0	0	9	0	0	6	66,600	511.0	屋久島	419.0	屋久島	45.5	屋久島
									318.5	種子島	187.5	種子島	42.0	名瀬
									181.0	名瀬	174.0	名瀬	30.5	種子島
2011 9/25～9/27	1	0	145	445	1	260	46	757,560	385.0	奄美市	297.5	奄美市	67.0	奄美市
									176.5	瀬戸内町	157.5	喜界町	38.0	瀬戸内町 喜界町
2011 11/2	0	0	105	465	0	5491	27	156,000	300.5	瀬戸内町	300.5	瀬戸内町	139.5	瀬戸内町
2012 8/25～8/28 (台風第15号)	1	0	5	106	0	3605	34	291,017	622.5	和泊町	414.5	伊仙町	65.0	伊仙町
									552.0	伊仙町	347.5	奄美市	55.0	和泊町
									520.5	奄美市	340.0	和泊町	51.5	瀬戸内町
2012 9/15～9/17** (台風第16号)	0	0	4	54	0	0	11	69,391	173.0	奄美市	115.0	奄美市	28.0	屋久島町
									157.0	和泊町	109.0	和泊町	22.5	和泊町
									143.5	屋久島町				
2012 9/27～9/30 (台風第17号)	0	7	109	427	0	4395	55	519,332	410.0	瀬戸内町	393.0	瀬戸内町	96.5	瀬戸内町
									355.5	奄美市	304.5	奄美市	68.5	奄美市
									297.0	天城町 南種子町	289.5	天城町	55.5	天城町

* 土砂災害、風災害等によるものも含む。

** 鹿児島県本土の被害を含む。

*** 2011/5/28～5/29の降水量については福岡管区気象台九州・山口県防災気象情報ハンドブック⁸⁾、その他については鹿児島地方気象台災害時気象資料^{9)～14)}に基づく。

2. 薩南諸島における水位観測

(1) 水位観測の概要

前述のように、鹿児島県の離島における水位・流量観測データが限られていることから、図-1に示す薩南諸島を対象として水位計測を実施した。水位計測機器として、Onset Computer社製HOBO Water Level Data Loggerを使用し、測定時間間隔10分で計測を行っている。表-2に示すように2012年7月8日～9月8日に水位計設置作業を実施し、5つの離島の計11河川で水位計測を開始した。水位計の新規設置に際しては、感潮域より上流の順流域で、かつ氾濫による水害リスクが高い地域に近い地点を選定した。奄美大島住用川においては、2012年3月から水位計測を継続していたため、データ回収と水位計の再設置を行った。

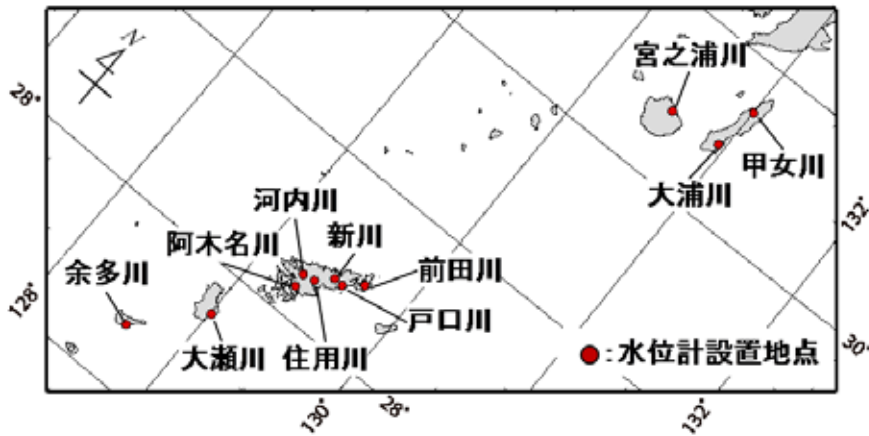


図-1 薩南諸島の概略と水位計設置地点

表-2 水位計設置地点・設置時期一覧

島名	河川名	測定地点の座標						設置年月日
		緯度			経度			
		度	分	秒	度	分	秒	
種子島	甲女川	30	42	30	131	0	31	2012/7/8
	大浦川	30	25	59	130	57	9	2012/7/9
屋久島	宮之浦川	30	24	44	130	33	37	2012/7/28
奄美大島	前田川	28	26	54	129	41	5	2012/7/21
	戸口川	28	21	46	129	34	9	2012/7/21
	新川	28	21	55	129	30	1	2012/7/21
	住用川	28	21	55	129	30	1	2012/7/22
	河内川	28	15	52	129	18	58	2012/7/22
	阿木名川	28	10	49	129	19	28	2012/7/23
徳之島	大瀬川	27	44	3	129	0	39	2012/9/7
沖永良部島	余多川	27	21	37	128	37	4	2012/9/8
与論島	-	現地踏査のみ実施						2012/7/14

(2) 水位観測結果

2012年11月28、29日に、奄美大島の前田川、新川、住用川、河内川に設置した水位計のデータ回収を行った。なお、戸口川では機器の流失、阿木名川では護岸崩壊による機器の埋没のため、データ回収が行えなかった。奄美大島以外の離島に設置した水位計のデータ回収は今後順次実施する予定である。観測で得られた水位データを名瀬の降雨データと併せて図-2に示す。河内川に設置した水位計は観測期間の後半に機器の不調により欠測となっていた。

名瀬の雨量データから、水位観測期間中の8月26～28日と9月28～29日に比較的大きな降雨イベントが発生していたことが確認できる。この2回の降雨イベントによって、流域面積¹⁶⁾の小さい前田川(5.0km²)、新川(8.7km²)では約1m、奄美大島では比較的大きな流域面積を有する住用川(47.6km²)、河内川(43.9km²)では2m以上の水位上昇がみられた。平成24年度は薩南諸島における水位観測体制の構築を中心に行ったが、今後は水位計測の継続に加え、河川流量データの充実化が重要となる。流速計や浮子による一般的な流量観測手法と画像解析等の簡易的な手法とを併用し、機材輸送コストが高く、かつ水際へのアプローチが困難な離島河川でも低予算・

低労力で流量を計測可能な手法の確立が必要である。

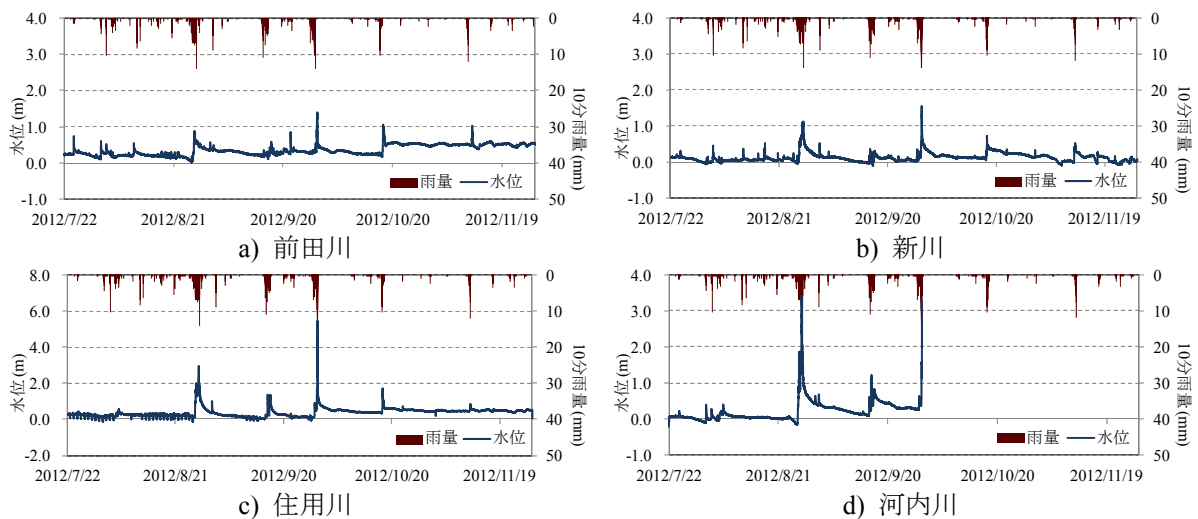


図-2 水位観測結果と10分雨量(名瀬)の時間変化

3. 降雨流出解析

(1) 解析モデルの概要

多くの河川流域においては山地での現象が降雨流出過程に少なからず影響を及ぼす。また、奄美大島や屋久島といった薩南諸島の一部の離島では、河川下流域の一部の地域を除いて、流域の大部分を山地が占める場合が多い。そこで、薩南諸島の降雨流出特性の解明に向けて、分布型の山地降雨流出解析モデルの構築を行った。ただし、流出解析モデル構築の初期段階である2012年度は、雨量、河道形状、水位、流量といった入力条件や精度検証用データの整備状況を鑑み、川内川上流域を解析対象とした。

まず、落水線に基づいて集水域を抽出するプログラムを作成した。このプログラムを用いて川内川上流域の標高5次メッシュデータ¹⁶⁾と河道データから落水線を作成し、解析対象となる集水域を抽出した。落水線作成時に、所定の長さスケール以下の窪地が存在した場合には、斜面勾配に閾値を与えることによって、必ず下流側に水が流れるように落水線を補正した。川内川荒田水文観測所を下流端とした場合の集水域抽出結果を図-3に示す。集水域中央の空白の部分は陸上自衛隊霧島演習場である。この霧島演習場周辺は、比較的広範囲にわたって周辺よりも標高の低くなっているため、解析対象領域から除外した。



図-3 川内川荒田水文観測所の集水域

以上のような集水域と落水線に基づいて流出解析モデルを作成した。抽出した流域はすべて山地メッシュと見なし、山地モデルを適用した。また、河道については、**図-4**に示すように河道が存在する山地メッシュからの横流入を考慮し、河道モデルとして別途解析を行った。

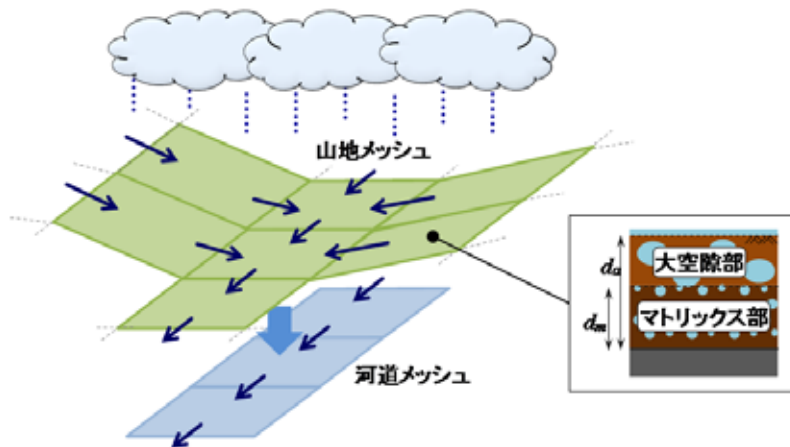


図-4 降雨流出解析モデルの概要

解析モデルには、立川ら¹⁷⁾が開発した落水線に沿った1次元 kinematic wave モデルを採用し、基礎式として以下の連続式と流量流積関係式を用いた。なお、山地における流出形態は各メッシュに存在する水分量に応じて変化し、**図-4**に示すようなマトリックス流れ、大空隙中の流れ、表面流出といった3段階の流出形態が出現することになる。

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial s} = r$$

$$q = \begin{cases} k_m i d_m (h/d_m)^\beta, & 0 \leq h \leq d_m \\ k_m i d_m + k_a i (h - d_m), & d_m < h \leq d_a \\ k_m i d_m + k_a i (h - d_m) + \alpha (h - d_a)^{5/3}, & d_a < h \end{cases} \quad (\text{山地})$$

$$q = \alpha_r h^{5/3}, \quad 0 \leq h \quad (\text{河道})$$

ここで、

$$\beta = k_a/k_m, \quad \alpha = \sqrt{i}/n, \quad \alpha_r = \sqrt{i_r}/n_r$$

ここで、 h : 水深、 t : 時間、 q : 線流量、 s : 流水線の方向の座標、 r : 有効雨量、 k_m : マトリックス部の透水係数、 d_m : マトリックス部の最大水分量、 k_a : 重力水が卓越する大空隙部の透水係数、 d_a : 土壌内に存在し得る最大水分量、 i : 斜面勾配、 n : 山地表面の粗度係数、 i_r : 河床勾配、 n_r : 河道の粗度係数、である。

(2) 数値シミュレーション結果

図-3に示した川内川流域を対象として、小規模の出水のあった2000年6月2日から4日までの3日間の解析を行った。入力降雨として、集水域周辺の雨量観測点(7地点)における平均10分雨量の時系列データを用いた。モデル・パラメータについては、立川らの値を基準として値を調整し、最適値を決定した。その結果、 $k_m=0.0025\text{m/s}$ 、 $d_m=0.18\text{m}$ 、 $k_a=0.01\text{m/s}$ 、 $d_a=0.2\text{m}$ 、 $n=0.4\text{m}^{-1/3}\text{s}$ 、 $n_r=0.03\text{m}^{-1/3}\text{s}$ の場合に、比較的良好なシミュレーション結果が得られることが確認できた。

解析結果として、荒田水文観測所における水位と流量の経時変化を**図-5**、**6**に示す。実測値¹⁸⁾と解析値との間に若干のズレは見られるものの、水位、流量いずれについても、シミュレーションは実測結果を概ね再現していることが確認できる。

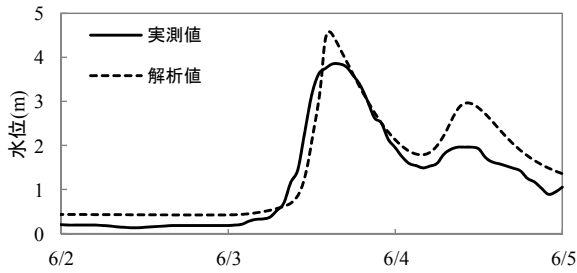


図-5 水位の実測値と解析値の比較

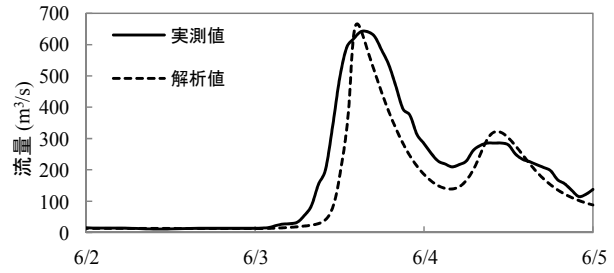


図-6 流量の実測値と解析値の比較

(3) モデル・パラメータが解析結果に及ぼす影響

構築したモデルの各パラメータは、直接観測することが現状では困難なため、試行錯誤的に最適値を決定する必要があった。このような状況においては、モデル・パラメータが解析結果に及ぼす影響を適切に評価しておくことが重要になってくる。そこで、モデル・パラメータを種々変化させて感度解析を行った。結果の一例として、河道と山地表面の粗度係数をそれぞれ変化させた場合の結果を図-7, 8に示す。河道の粗度係数は解析結果にそれほど影響を及ぼさないのに対し、山地表面の粗度係数はピーク流量の解析結果に対して大きな影響を及ぼすことが分かった。

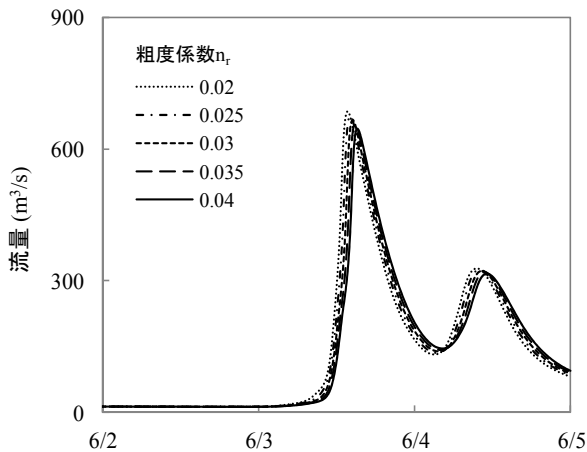


図-7 河道の粗度係数が流量解析値に及ぼす影響

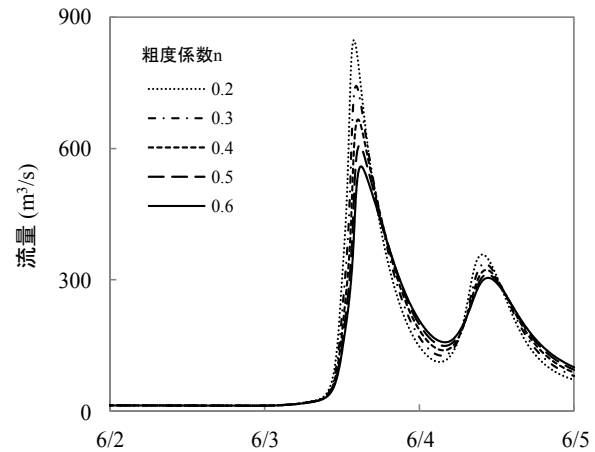


図-8 山地斜面の粗度係数が流量解析値に及ぼす影響

一般的に山地土壌の保水能力は大きいいため、比較的大きな豪雨でしか表面流出は発生しないと考えられている。しかし、今回解析対象とした降雨の規模がそれほど大きくなかったにも拘わらず、解析では図-9に示すようにピーク流量出現時に集水域の約9割の山地部で表面流が発生しているという結果が得られた。逆に、表面流出が発生しない条件設定のもとでは、流量と水位の再現性が不十分であった。

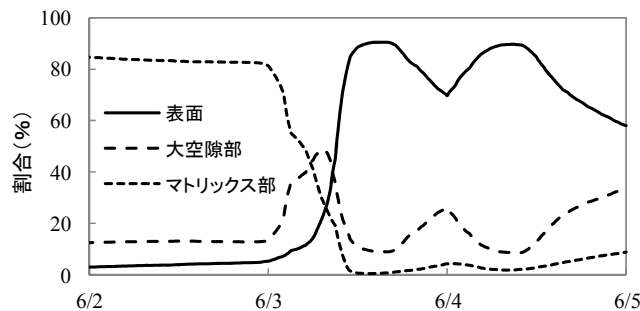


図-9 流出が発生している各土層の全山地メッシュにおける割合

4. まとめと今後の事業計画

鹿児島県・離島の河川における高水計画の計画規模は、その大半が30年と比較的短いことから、水害による被害を軽減するためには、ハード対策だけでなくソフト対策も不可欠である。ソフト対策におけるシナリオ作りを適切なものとするためには、降雨流出過程の実態把握が重要となる。しかし、鹿児島県の離島において、水位観測はわずか1地点でしか実施されておらず、このため基礎データが不足している鹿児島県の離島においては、河川水位・流量データの充実化が喫緊の課題である。その一方で、鹿児島県内には160水系310の二級河川が存在し、一地方自治体のみでこれら全てにおいて十分な水位・流量データを整備するのは容易ではない。水位計測のみであれば、常設型の測定機器によって一部の労力を軽減できると考えられがちであるが、実際には設備の新設や維持管理に多大な費用と時間を要することになる。したがって、鹿児島大学地域防災センターとして、“経済的かつ簡易的な水位・流量計測手法の確立”と“継続的な水文データ取得の取り組み”による降雨流出特性の実態解明が必要である。これらの観測資料を効率的に取得し、蓄積される情報を有効活用するには、官学連携ならびに地域住民の協力が不可欠と考えている。

以上のような状況を考慮して、2012年度の事業では、薩南諸島の11河川を対象として水位計測、ならびに分布型山地降雨流出解析モデルを構築した。今後、降雨流出解析モデルの精度を向上させるために、山地における降雨流出形態の実態を把握すると同時に、数値モデルに係る各種パラメータ同定、精度検証用の河川水位・流量データの取得が必要である。なお、今年度作成に着手した降雨流出モデルについては、“水害リスク評価システム”へと発展させる予定である。主には、①各種雨量情報のフル活用による局所性を有する降雨への対応、②ネスティングによる微地形表現力の向上、③山地における降雨流出特性（土壌・地質、植生の影響）の反映、④生活圏における降雨流出特性（土地利用区分、道路網・下水管網の影響）の反映を段階的に進めていく予定である。最終的には、数値モデルによる解析結果と流域内の人口分布、高齢化率、避難所配置等の地理情報から流域内の災害脆弱性を評価できるモデルの実現を目指している。

参考文献

- 1) 鹿児島県：奄美地方における集中豪雨災害の記録，p.357，2012.
- 2) 竹林洋史：2010年10月奄美大島豪雨災害調査速報，p.5，2011.
- 3) 奄美群島サンゴ礁保全対策協議会：豪雨災害後モニタリング調査報告書，p.6，2011.
- 4) 鹿児島県危機管理防災課：5月28日～29日の台風第2号による被害状況（第10報），p.4，2011.
- 5) 鹿児島県危機管理防災課：台風15号による被害状況，p.7，2012.
- 6) 鹿児島県危機管理防災課：台風16号による被害状況，p.4，2012.
- 7) 鹿児島県危機管理防災課：台風17号による被害状況，p.7，2012.
- 8) 福岡管区気象台：九州・山口県防災気象情報ハンドブック2012，p.138，2012.
- 9) 鹿児島地方気象台・名瀬測候所：災害時気象資料-平成22年10月18日から20日にかけての鹿児島県奄美地方の大雨について-，p.11，2010.
- 10) 名瀬測候所・鹿児島地方気象台：災害時気象資料-平成23年9月25日から26日にかけての鹿児島県奄美地方の大雨について-，p.12，2011.
- 11) 名瀬測候所・鹿児島地方気象台：災害時気象資料-平成23年11月2日の鹿児島県奄美地方の大雨について-，p.10，2011.
- 12) 鹿児島地方気象台・名瀬測候所：災害時気象資料-平成24年台風第15号に伴う8月25日から28日にかけての奄美地方の気象状況について-，p.24，2012.
- 13) 福岡管区気象台：災害時気象資料-平成24年台風第16号による9月15日から17日にかけての九州・山口県の気象状況について-，p.15，2012.
- 14) 鹿児島地方気象台・名瀬測候所：災害時気象資料-平成24年台風第17号に伴う9月27日から30日にかけての鹿児島県の気象状況について-，p.31，2012.
- 15) 安達貴浩，齋田倫範：奄美大島における降雨流出特性の解明に向けた奄美豪雨の規模と空間分布特性に関する検討，2010年奄美豪雨災害の総合的調査研究報告書，鹿児島大学地域防災教育研究センター，pp.1-10，2012.
- 16) 国土交通省国土政策局：国土数値情報ダウンロードサービス，<http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/> .
- 17) 立川隼人，永谷言，寶馨：不飽和流れの機構を導入した流量流積関係式の開発，水工学論文集，第48巻，pp.7-12，2004.
- 18) 国土交通省河川局：水文水質データベース，<http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/> .