

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

工学部 安達貴浩・齋田倫範

1. はじめに

2010年10月19日から21日にかけて、鹿児島県奄美大島(図-1)では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」)。奄美豪雨では、台風13号の東側を北上する暖かく湿った不安定な空気が、停滞していた秋雨前線に大量に流入することによって、発達した積乱雲を含む雨雲が長時間にわたって通過・停滞した。この結果、10月20日の日積算雨量は奄美市住用町で691mm、奄美市名瀬で622mm、瀬戸内町古仁屋286.5mmを記録し、奄美大島でも過去最大級の雨量^{1),2)}となった。この豪雨により、浸水で2名、裏山の崖崩れで1名の死者が出たほか、建物の全半壊565棟、床上浸水130棟、床下浸水762棟等の甚大な被害が生じた³⁾。さらに、通信網や交通網の遮断、赤土の流出による一部サンゴの被災やマングローブ林の流出といった、離島特有の問題が見出されている^{4),5)}。翌年の2011年にも奄美大島は再び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714棟^{6),7)}、2011年11月2日には、住家被害713棟^{8),9)}に上る甚大な被害が生じた(写真1~4)。

我が国の国土には6,852の島嶼が存在し、この内、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。また、離島の総面積は国土全体の約4.2%を占め、居住人口は約70万人程度となっている。特に、九州の離島数は多く、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、河川水質に関する観測データが決定的に不足している。このため、洪水が自然環境に及ぼす影響や浸水等の実態を明らかにすることも容易ではない状況にある。鹿児島県では高水計画の見直しが検討されているが、既往の高水計画においては、全河川に対して名瀬一地点の降水量データを基にして計画が策定されている。一方、これほどの被害をもたらした豪雨でありながら、同じ奄美大島内でも顕著な降雨に見舞われなかった地域もあった。このように降雨の空間分布が極端に異なると、一地点の観測データのみで依存した現在の高水計画では今後の豪雨災害に対応できない可能性がある。

以上のような実状を踏まえて、奄美豪雨時の水文資料を用いて、奄美大島の河川を対象とした高水計画の問題点について検討を行った。

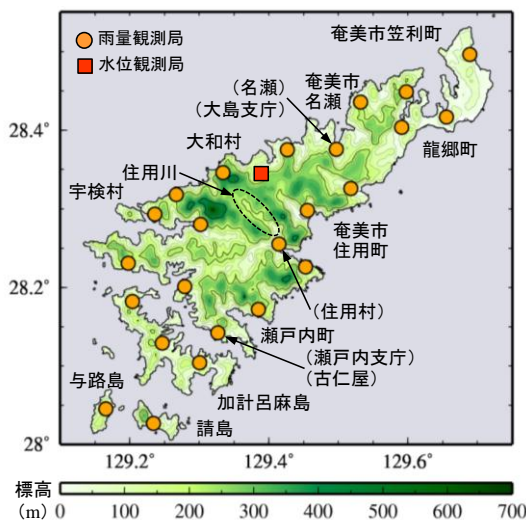


図-1 奄美大島の概略と雨量・水位観測局の位置
(カッコ書は主要な観測局の名称)



写真-1 豪雨時（2011年9月27日）の浦川



写真-2 被災後の浦川河口の状況



写真-3 浦川右岸の被災状況



写真-4 浦川左岸の被災状況

(写真提供：奄美大島酒造株式会社・伊勢員尚氏)

2. 高水計画の検証

(1) 高水流量算定手法の概要

奄美大島の河川では、主に以下の合理式によって高水流量が定められている。

$$Q_p = \frac{1}{3.6} frA \quad (1)$$

ここで、 Q_p ：最大洪水流量(m^3/s)、 f ：流出係数、 r ：洪水到達時間内雨量強度(mm/h)、 A ：流域面積(km^2)である。合理式の適用に当たって洪水到達時間を設定する必要があるが、洪水到達時間の計算において山地にはバイゼン (Bayern) 式が、平地にはクラークヘン (Kraven) 式が適用されている。また、具体的な河道地形データは存在せず、これらの式を適用する際には、モデル化された河道が想定されている。流出係数については山地と市街地の平均的な値が設定されている。表-1 に奄美大島内の主要河川の特徴を示す。奄美大島の河川流域面積はいずれも小さく、ピーク流量算定において3時間以内の比較的短い降雨継続時間が設定されている。

表-1 奄美大島内の主要河川の特徴と高水計画に係る諸量

河川名	流路延長 (km)	流域面積 (km^2)	洪水到達時間 (min)	時間内雨量強度	流出係数	流域内市町村
新川	3.15	10.1	46.8	94	0.75	名瀬市
小宿大川	5.10	5.6	52.2	98	0.72	名瀬市
知名瀬川	3.90	9.7	54.0	85	0.70	名瀬市
大和川	5.30	10.2	49.2	86	0.70	大和村
仲金久川	1.27	1.9	37.0	105	0.80	瀬戸内町
阿木名川	4.90	11.8	60.0	91	0.70	瀬戸内町
古仁屋又川	1.40	1.95	37.0	113	0.73	瀬戸内町
仲里川	1.10	0.68	20.0	114	0.80	瀬戸内町
役勝川	13.20	47.8	106.8	68	0.71	住用村
住用川	15.00	46.4	133.8	53	0.75	住用村
川内川	10.40	27.7	89.4	67	0.77	住用村
大美川	4.00	16.3	52.2	84	0.79	龍郷町
中勝川	4.50	8.8	55.8	82	0.72	龍郷町
宇津川	5.50	4.4	46.2	78	0.70	笠利町
有屋川	4.90	7.7	24.0	101	0.75	名瀬市

(2) 奄美大島の河川に適用される降雨強度式

前述の方法で得られる洪水到達時間，ならびに実測降雨から作成される降雨強度式によって計画降雨が決定される。奄美大島の河川では一部の支川を除いて 30 年確率で高水計画が策定されている。他の流域での降雨観測資料が限られていることもあり，奄美大島における全河川の高水計画においても、名瀬の降雨データを用いて作成された降雨強度式が用いられている。鹿児島県における降雨強度式作成フローは図-2 に示すとおりである。なお，高水計画では，計画策定時の最新の降雨強度式が適用されており，河川毎に降雨強度式が異なったものとなっている。

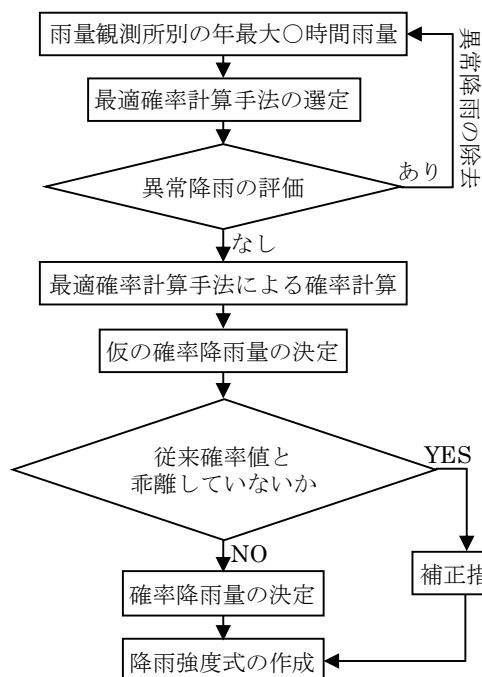


図-2 鹿児島県における降雨強度式作成フロー

(3) 住用川の高水計画における降雨強度式

奄美豪雨では，奄美大島中部を流れる住用川（図-1）の氾濫によって人的被害が生じたこととなった。本節では住用川に着目し，住用川の高水計画に採用されている降雨強度式（名瀬での降雨データを使用して作成）について検討を行った。図-3 に，①「昭和 49 年（1974 年）に策定された住用川の高水計画に採用されている降雨強度式」，②「1921 年から 2000 年 7 月までの観測資料を用いて鹿児島県によって策定された降雨強度式」，さらに，③「②に 2009 年，2010 年の観測データを加えて奄美豪雨の影響を考慮した降雨強度式」を示す。なお，③の降雨強度式は図-2 の手順に沿って作成した。図-3 より，奄美豪雨の影響を考慮しても②の降雨強度式とほとんど違いが見られない。また，現在の高水計画において採用されている①と②，③との間には比較的大きな違いがあることが分かる。このような違いの原因として，観測期間及び確率水量算出における確率計算手法の相違が考えられる（①：1921～1996 年 6 月・トーマス目視法，②：1921～2000 年 7 月・グンベル分布）。高水計画において住用川の洪水到達時間が 134 分とされていることから，これに対する計画降雨を①，②，③の降雨強度式でそれぞれ算定したところ，53.2mm/h，64.7mm/h，65.4mm/h であった。より最近の雨量データを反映させた降雨強度式を用いるほど計画降雨は大きく評価されており，奄美大島の雨量が漸増傾向にあることを示唆している。加えて，奄美大島では 2011 年の 9 月と 11 月にも豪雨による被害が生じており，気候変動等によって雨の降り方が変化している可能性も考えられる。この点については今後継続的な検討が必要である。

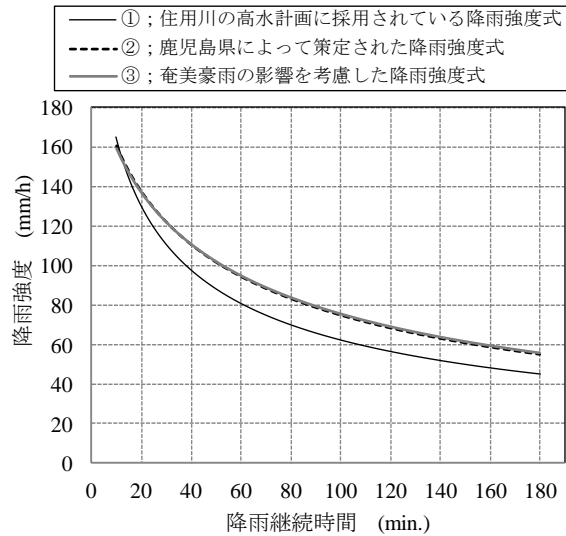


図-3 30年確率の降雨強度式(名瀬)の比較

次に、2010年10月20日(奄美豪雨)、2011年9月25~26日、11月2日の豪雨発生時の降雨の規模と名瀬の降雨を用いて作成された③を比較した(図-4)。ここでは、各豪雨時の降水量が特に大きかった地域に位置する雨量観測点(図-5)を対象とし、降雨継続時間毎に降雨強度が最大となる時間帯のデータを抽出した。この結果より、100年確率を優に超す降雨が名瀬以外の地点では2年間で3回発生していることが確認できる。しかし、奄美豪雨発生時においても、名瀬では計画規模である30年確率の降雨強度を超えておらず、結果的に式②と③にそれほど違いが生じないことになる(図-3参照)。ただし、名瀬の降雨は30年確率を下回る規模であったものの、長時間に亘って継続したため、24時間雨量としては記録的な豪雨となった¹⁰⁾。

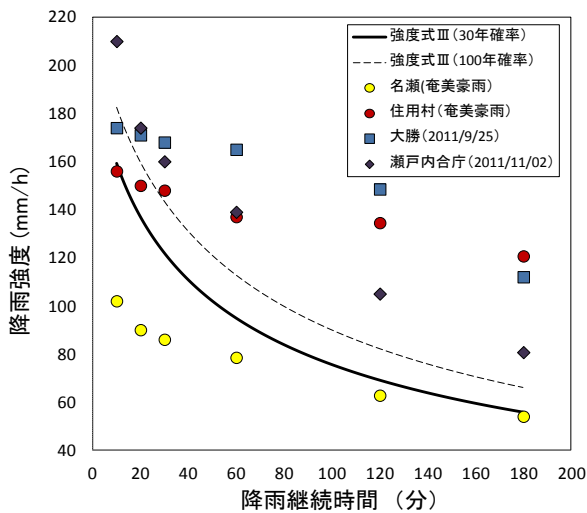


図-4 降雨強度式③と豪雨の規模の比較

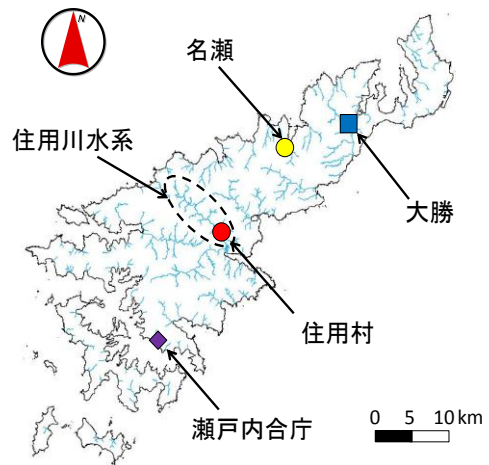


図-5 近年記録的な降雨が観測された代表的な雨量観測点の位置

(4) 流域の違いが降雨強度式に与える影響について

奄美大島には複数の河川流域が存在するにも拘わらず、名瀬の降雨観測資料を用いて計画降雨が定められている。この影響を調べるため、鹿児島県によって実施されている降雨観測の結果を用いて、島内の雨量の違い空間分布を調べた。使用したデータは、鹿児島県によって取得された2001年5月~2011年7月の雨量データである。雨量観測局は、図-1に示すように奄美大島内に19局、隣接する加計呂麻島に3局、与路島と請島にそれぞれ1局配置されている。

まず、奄美豪雨発生時である2010年10月20日の各雨量観測局における120分雨量の最大値と

日雨量の空間分布を図-6, 7 に示す. なお, 住用川の洪水到達時間が 134 分とされていることから, ここでは 120 分雨量を例示することとした. 図-6 の結果より, 120 分雨量の最大値は住用村で 269mm となっており, 住用村周辺では突出して強い短時間降雨が極めて局地的に生じていたことが伺える. また, 日雨量 (図-7) についても, 奄美大島北東側で 400mm 以上, 南西側では 400mm 以下と地域によって明瞭に差がみられる. 特に, 奄美市住用町とともに人的被害が生じることとなった大島郡龍郷町では, 120 分雨量は住用町と比較して小さかったものの, 10 月 20 日の日雨量で比較すると住用町を上回る降雨が生じていた. この結果から, 奄美豪雨では, 降雨強度だけでなく, 降雨の時間変化も場所によって大きく異なっていたと判断することができる.

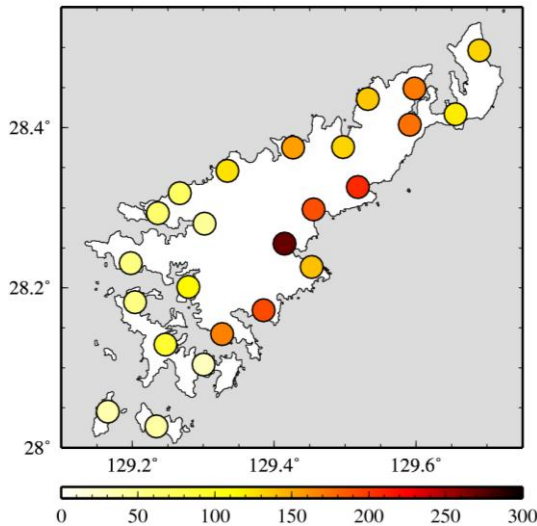


図-6 各雨量観測局における 120 分雨量の最大値 (mm)

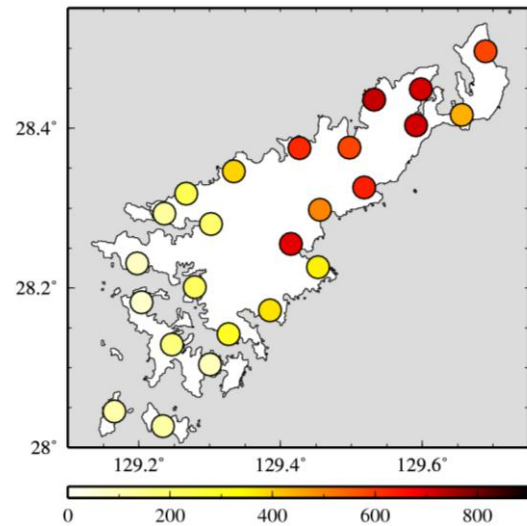


図-7 各雨量観測局における 10 月 20 日の日雨量 (mm)

次に, 2011 年 9 月, 11 月に発生した 2 回の豪雨発生時の日最大 120 分雨量の空間分布を調べた (図-8, 9). 奄美豪雨 (2010 年 10 月) の際には, 奄美大島中部で顕著な降雨が見られたが, 2011 年 9 月 25~26 日の豪雨では北部での降雨, 2011 年 11 月 2 日の豪雨では南部での降雨が著しく大きい. 各豪雨の際の全雨量観測点 (24 箇所) の日最大 120 分雨量平均値 121.3mm, 97.9 mm, 95.9 mm に対して, 標準偏差は 63.4mm, 75.6mm, 61.7mm と大きく, 2011 年の豪雨においても短期降雨の空間分布に大きなばらつきが認められた.

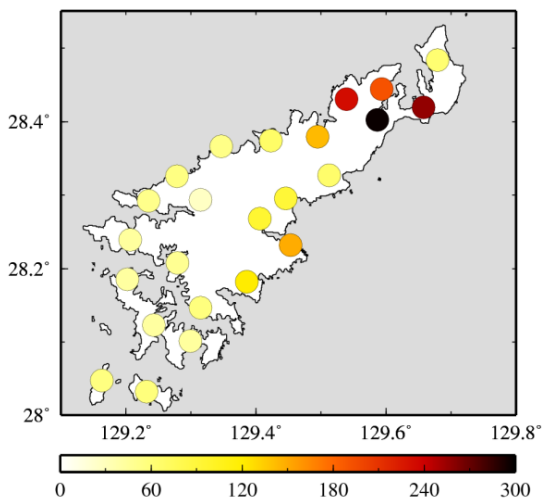


図-8 各雨量観測局における 120 分雨量(mm) の最大値 (2011/ 9/25-26)

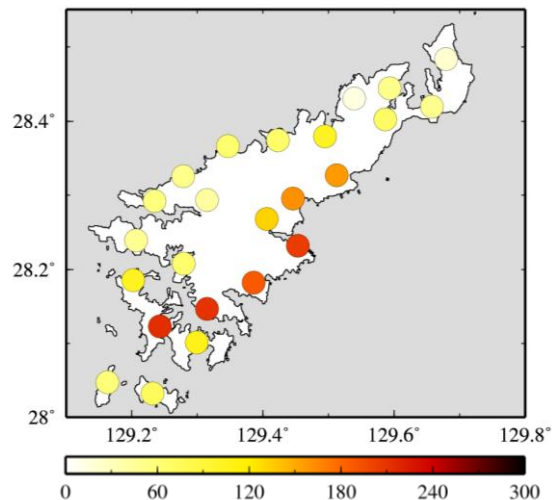


図-9 各雨量観測局における 120 分雨量(mm) の最大値 (2011/ 11/2)

次に、2001年～2010年に大島支庁と住用村で観測された10分間雨量から求めた120分雨量の年最大値を図-10に示す。奄美豪雨が発生した2010年を除く2001年から2009年の120分雨量の年最大値はどちらの観測局でも100mm以下である。9年間の平均値を比較すると大島支庁で70mm、住用村で64mmであり、名瀬と住用町とで有意な差は見られない。したがって、2009年以前のデータのみから判断すると、名瀬の降雨データから作成した降雨強度式を用いて奄美島内の高水計画を策定することは妥当性を欠くものではないと言える。一方、2010年の120分雨量の年最大値は奄美豪雨発生に記録されたものであり、その際、降雨が空間的に強い非一様性を有しており（図-6,7参照）、名瀬と住用町を比較すると120分雨量の最大値に2倍以上の違いが生じていた。あくまでもここ10年の検討結果ではあるが、上記の結果から、奄美豪雨は「記録的な豪雨」であったと同時に、「過去にない局所性を有した豪雨」であったと判断することができる。奄美豪雨では住用村周辺、2011年の豪雨では龍郷町周辺で、短時間の降雨強度は大きな値を示したが奄美大島のように周囲を海に囲まれた離島において特定の多雨地域が存在するとは考え難い。このような考察を踏まえると、奄美豪雨時の住用町と同規模の降雨が島内のいずれの地域で発生しても対応できるように近隣の島々を含む奄美大島周辺に配置された雨量観測局の過去の雨量データを全面的に河川計画に反映させる等の取り組みが望まれる。

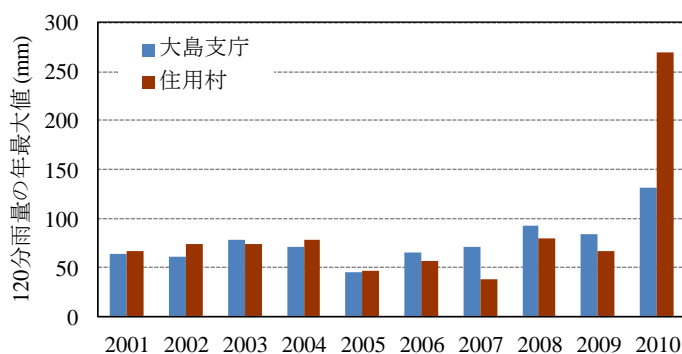


図-10 大島支庁と住用村における年毎の120分雨量年最大値

(5) 奄美大島の河川を対象とした高水計画の問題点

以上の結果を総合し、奄美大島の河川を対象とした高水計画に関連した問題点を以下のようにまとめることができる。

- 1) 奄美大島では地形の影響もあって、流域毎に降雨分布が大きく異なる。その一方で、限られた地点でしか降雨の長期観測資料が存在しない。
- 2) 奄美大島での高水計画の枠組みそのものは妥当である。ただし、高水計画に使用する降雨強度式の更新頻度に対して、水文特性（降雨強度）が大幅に変化している可能性がある。この点を今後どのように高水計画に反映させていくかを検討する必要がある。
- 3) 本章で紹介した高水計画はあくまでも計画規模の流量を流下させるためのものである。一方、近年、気候変動等の影響により、計画規模を超える豪雨が各地で発生している。このような想定外の豪雨に対する水害リスクを推定するため、さらには高水計画に適用される各種パラメータの妥当性を検証するために河道地形データ、水位・流量データの充実化が必要である。
- 4) 表-2に示すように、離島では高齢化率（すなわち、災害弱者比率）が高く、本土と比較して被災リスクが高いと推測される。被害を軽減するためには、河川管理者と地域住民との間で河川整備の実情や問題点1)～3)についての積極的な情報の共有化が望まれる。

表-2 薩南諸島の人口と老齢化率¹⁾

	人口(人)	老年人口(人)	老齢化率(%)	
大隅諸島	屋久島	13,614	3,725	27.4
	口永良部島	147	58	39.5
	種子島	34,128	10,128	29.7
	馬毛島	15	2	13.3
	竹島	83	26	31.3
	硫黄島	140	36	25.7
	黒島	239	77	32.2
トカラ列島	中之島	173	71	41.0
	平島	82	21	25.6
	宝島	102	27	26.5
	小宝島	48	12	25.0
	諏訪之瀬島	49	9	18.4
	口之島	125	58	46.4
奄美群島	悪石島	94	19	20.2
	奄美大島	68,617	17,503	25.5
	沖永良部島	14,551	4,202	28.9
	徳之島	27,167	8,036	29.6
	加計呂麻島	1,547	755	48.8
	請島	161	85	52.8
	与路島	137	69	50.4
	喜界島	8,572	2,775	32.4
与論島	5,731	1,630	28.4	
鹿児島県全体	1,753,000	435,000	24.8	

3. 鹿児島県・離島における水文観測の実態

鹿児島県内には、国土交通省によるものも含めて283局の雨量観測局と59局の水位観測局が設置されている。そのうち薩南諸島には、表-3に示すように62カ所の雨量観測局と1カ所の水位観測局が設けられている。図-11, 12に薩南諸島の各離島の面積と雨量観測局数・水位観測局数との関係を図示している。図中の破線は、鹿児島県における観測局の平均設置密度と各離島の面積から計算される観測局数である。したがって、破線付近に点がプロットされていれば、鹿児島県の平均設置密度と比較して遜色のない密度で水文観測施設が整備されていることを意味する。図-11より、標高が高く平地が少ない屋久島で相対的に観測局数が少ないなど地理的要因による多少の差異はあるものの、雨量観測施設については概ね鹿児島県本土と同程度の水準で整備されていることが分かる。一方、水位観測施設については図-12に示すように奄美大島の1箇所のみであり、鹿児島県本土と比較して圧倒的に観測局が少ない。

特に、屋久島、種子島、奄美大島、徳之島は表-2に示すように面積が広いことに加えて標高が高く、島内の降雨が局所性を持つと想定される。これら4島のうち最も面積が大きい奄美大島では19カ所、最も面積が小さい徳之島でも6カ所で雨量観測が行われている。これらの雨量観測局で測得される貴重な降雨データを積極的に活用し、各島内の降雨特性を把握するとともに、河川計画に反映させていく必要がある。同時に水位観測体制の充実化が急務である。

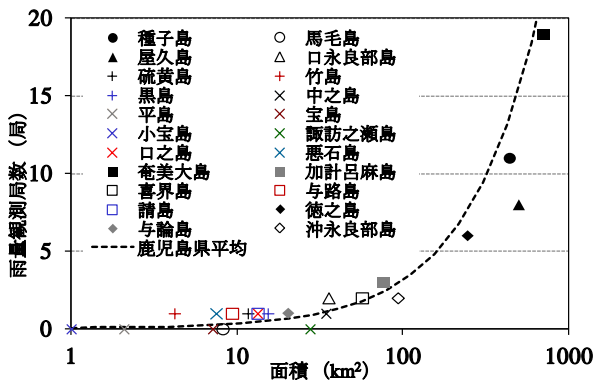


図-11 薩南諸島の離島の面積と雨量観測局数の関係

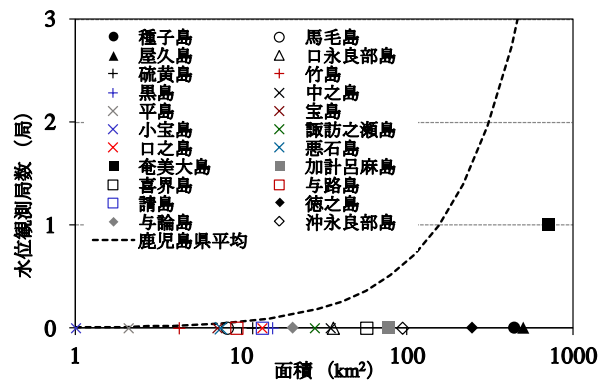


図-12 薩南諸島の離島の面積と水位観測局数の関係

表-3 薩南諸島の地勢と水文観測局数

	面積 (km ²)	河川数 (水系)	最高 標高 (m)	森林 面積率 (%)	雨量 観測局数 (局)	水位 観測局数 (局)	
大隅諸島	屋久島	504.9	17	1,936	88.4	8	0
	口永良部島	35.8	0	657	91.8	2	0
	種子島	445.0	23	282	55.8	11	0
	馬毛島	8.2	0	72	53.8	0	0
	竹島	4.2	0	220	78.8	1	0
	硫黄島	11.7	0	704	74.4	1	0
	黒島	15.4	4	622	87.7	1	0
トカラ列島	中之島	34.5	2	979	77.5	1	0
	平島	2.1	0	243	67.3	0	0
	宝島	7.1	0	292	36.7	0	0
	小宝島	1.0	0	-	48.0	0	0
	諏訪之瀬島	27.7	0	-	65.9	0	0
奄美群島	口之島	13.3	0	628	71.1	1	0
	悪石島	7.5	0	-	76.9	1	0
	奄美大島	712.4	32	694	85.3	19	1
	沖永良部島	93.7	2	240	10.0	2	0
	徳之島	247.8	18	645	43.2	6	0
	加計呂麻島	77.4	1	314	89.0	3	0
	請島	13.3	0	400	77.1	1	0
	与路島	9.4	0	297	74.4	1	0
	喜界島	56.9	0	214	18.7	2	0
与論島	20.5	0	98	4.0	1	0	

4. 住用川での水位観測

(1) 調査の概要

前述のように、奄美大島の河川において水位・流量観測は限られていることから、住用川を対象に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を用いた。流量推定のためには、感潮域よりも上流の順流域で、かつ氾濫による水害リスクが高い地点にできるだけ近い地伝で水位計測を行なう必要がある。しかしながら、上述したように、河道標高のデータが存在しないことから、現地でのヒアリングによって感潮域の推定を試みたが、詳細についての情報は得られなかった。そのため、水位計を設置可能な河川構造物（護岸の根固ブロック）が存在し、明らかに感潮域である区間を除いた地点（図-13）において観測を実施した。観測期間は2011年7月12日～8月19日である。

(2) 調査の結果

観測で得られた水位データを名瀬と住用村の降雨データと併せて図-14に示す。観測結果には約12時間程度の周期的な水位変動が存在することから、水位計を設置した地点は感潮域であったことが分かる。しかし、7月26日の比較的大きな降雨に対して、潮位変動（50cm程度）よりも明らかに大きな水位変動が得られていることから、相対的に潮汐の影響を無視できるとして降雨と水位との関係を調べた。名瀬と住用村の時間雨量によれば、降雨のピークは7月26日7:00～8:00に現れていた。一方、水位変動すなわち流出のピークは7月26日9:00に生じていた。ハイトグラフの重心から流出ピークまでの時差を2倍した値が洪水到達時間の一つの目安であるとされている¹²⁾ことから、住用川の洪水到達時間を概算すると120分～180分程度であると推定される。現行の高水計画で設定されている洪水到達時間は134分であり、本研究において降雨と水位のピークから簡易的に求めた洪水到達時間と比較して著しくかけ離れた値ではないといえる。なお、洪水到達時間を120分として高水流量を算定した場合には現行高水計画より1割程度大きくなる。本研究では、水位観測で捉えた1回のみのお出水を対象として簡便な検討を行った。今後データを蓄積し、より詳細な検討を行う必要がある。また、ハイトグラフの重心を用いて洪水到達時間を推定する手法では、同一降雨の定義方法が推定結果に影響する。従って、より信頼性の高い推定結果を得るためにもデータの充実化が望まれる。以上のような、現行の高水計画の点検という観点からも水位観測データの収集が不可欠である。

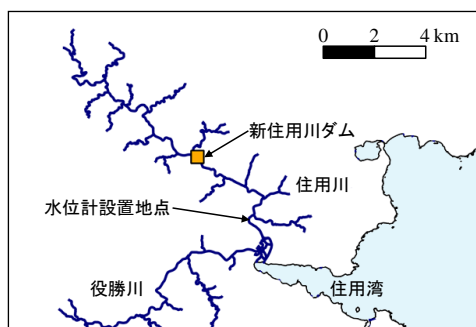


図-13 住用川の概略と水位計設置地点

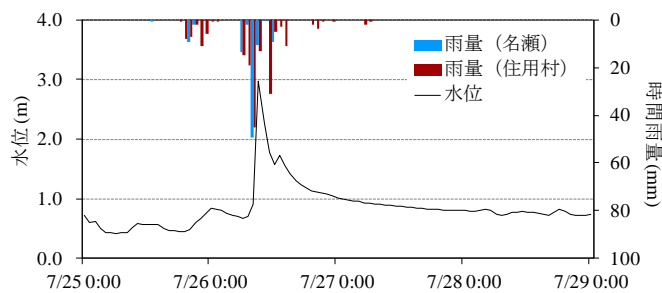


図-14 水位観測結果と時間雨量の時間変化

5. おわりに

本研究では、奄美豪雨を踏まえて、奄美大島の河川を対象とした高水計画の妥当性を検証するとともに、奄美大島における降水量データの解析を行った。その結果、近年降水量が増加傾向にあること、豪雨時高水計画に用いられる短時間の降雨強度は局所性を有することが確認された。降水量データの蓄積状況を考慮すると、従来の高水計画においては名瀬の降雨強度式を使用せざるを得ない状況にあったと言える。しかし、本研究で示したように豪雨の空間分布のパターンは一定ではなく、2010、2011年の豪雨と同規模の降雨が奄美大島内の他の地域でも発生する可能性は十分に考えられる。現在、鹿児島県によって奄美大島の水位計の増設が決定されているが¹³⁾、鹿児島県の島嶼全体を含めると増設数は十分なものとは言えない。さらに公的機関による常設設備の建設には、時間と労力を要することから、安価かつ簡易な水位計測手法の適用を官学さらには住民の連携の下に実施することが重要である。

参考文献

- 1) 福岡管区気象台：災害時気象速報平成22年10月18日から21日にかけての奄美地方の大雨，災害時自然現象報告書2010年第1号，p.15，2010.
- 2) 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.
- 3) 鹿児島県現地対策合同本部：10月20日～奄美地方における集中豪雨による被害状況，p.6，2010.
- 4) 竹林洋史：2010年10月奄美大島豪雨災害調査速報，p.5，2011.
- 5) 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.
- 6) 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.
- 7) 鹿児島県危機管理防災課：9月25日～27日大雨・洪水警報による被害状況，p.4，2011.
- 8) 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.
- 9) 鹿児島県危機管理防災課：11月2日の大雨・洪水警報による被害状況，p.5，2011.
- 10) 国土交通省：奄美大島における大雨等の被害状況について（第19報）p.15，2010.
- 11) 財団法人日本離島センター：2008離島統計年報CD-ROM版，2009.
- 12) 社団法人日本河川協会編：改訂新版建設省河川砂防技術基準（案）同解説（建設省河川局監修），山海堂，p.19，1994.
- 13) 南日本新聞：奄美豪雨 鹿児島県が河川水位計を増設へ，2010.

謝辞

災害調査を実施するにあたり、鹿児島県土木部河川課および砂防課よって取得された降雨データおよび河川計画に係る資料をご提供いただいた。貴重なデータを解析する機会を与えて頂いたことに対して感謝の意を表す。さらに、株式会社三浦建設・専務取締役三浦光悦氏には、住用川における採水調査にご協力いただいた。また、奄美大島酒造株式会社・工場長伊勢員尚氏には、2011年9月の豪雨災害時の写真をご提供いただいた。ここに深謝の意を表す。