
 論 文

鹿児島大学高隈演習林の森林流域における25年間の流況変化

地頭菌 隆¹⁾・下川 悦郎¹⁾・寺本 行芳¹⁾・馬田 英隆²⁾・井倉 洋二²⁾

Temporal variation of flow regime during 25 years in the forested catchment in the Takakuma Experimental Forest of Kagoshima University

JITOUSONO Takashi¹⁾, SHIMOKAWA Etsuro¹⁾, TERAMOTO Yukiyo¹⁾,
UMATA Hidetaka²⁾ and INOKURA Youji²⁾

¹⁾ 鹿児島大学農学部生物環境学科

Department of Environmental Science and Technology, Faculty of Agriculture, Kagoshima University

²⁾ 鹿児島大学農学部附属演習林

Kagoshima University Forests, Faculty of Agriculture, Kagoshima University

Received Sep 30, 2009 / Accepted Dec 15, 2009

Summary

Some hydrologic observations were carried out in the forested catchments covered with volcaniclastic materials and situated in the Takakuma Experimental Forest of Kagoshima University. The purpose of these observations is to understand quantitatively the runoff phenomena in the forested catchments in volcanic areas. In this paper, temporal variation of flow regime in the No.1 Takakuma experimental catchment have been analyzed using the hydrologic data gathered over 25 years from 1984 to 2008. The No.1 Takakuma experimental catchment was often hit by ash falls caused by the volcanic activity of Sakurajima from 1984 to 1995. The ash falls caused a series of phenomena, such as the lowering of infiltration capacity, increase of surface runoff, and increase of runoff ratio. As a result, the difference between plentiful water discharge and scanty water discharge increased, and uniformity of streamflow became gradually lower. On the other hand, the uniformity of streamflow went up gradually as the ash falls decreased from 1996. The ash falls caused by the volcanic activity of Sakurajima have strongly influenced the runoff of the surrounding forested catchments.

Key words : Takakuma Experimental Forest, Hydrologic observation, Watershed experiment, Flow regime, Ash fall

キーワード : 高隈演習林, 水文観測, 流域試験, 流況, 降灰

I. はじめに

鹿児島大学農学部附属高隈演習林は、桜島の東側に位置し、有史以前から始良、阿多、霧島、桜島等の火山活動の影響を受けて火山砕屑物に覆われている。火山砕屑物に覆われた山地は透水性・保水性に富んだ地質構造が形成され、経験的に水もちがよいといわれる。一方、固結していない火山砕屑物は非常に侵食されやすく、流域から流出する土砂量が多い。

著者らは、このような流域特性をもつ高隈演習林に流域

規模が異なる5つの水文試験地を設けて水文観測を開始した(図-1; 下川ら, 1986; 地頭菌ら, 1987, 1988, 1989a, 1989b)。水文観測の目的は、火山砕屑物に覆われた山地流域の流出特性を解明すること、同時にこのような特異な環境条件下における森林の水源涵養機能、洪水調節機能、土地保全機能等について検討するための基礎資料を得ることである。これまで得られた水文データの解析によって、軽石などの火山砕屑物に覆われた流域は直接流出率が10%未満と小さく、また無降雨が長期間続いても安定した高い基底流量が得られることなどが明らかにされている(地頭菌

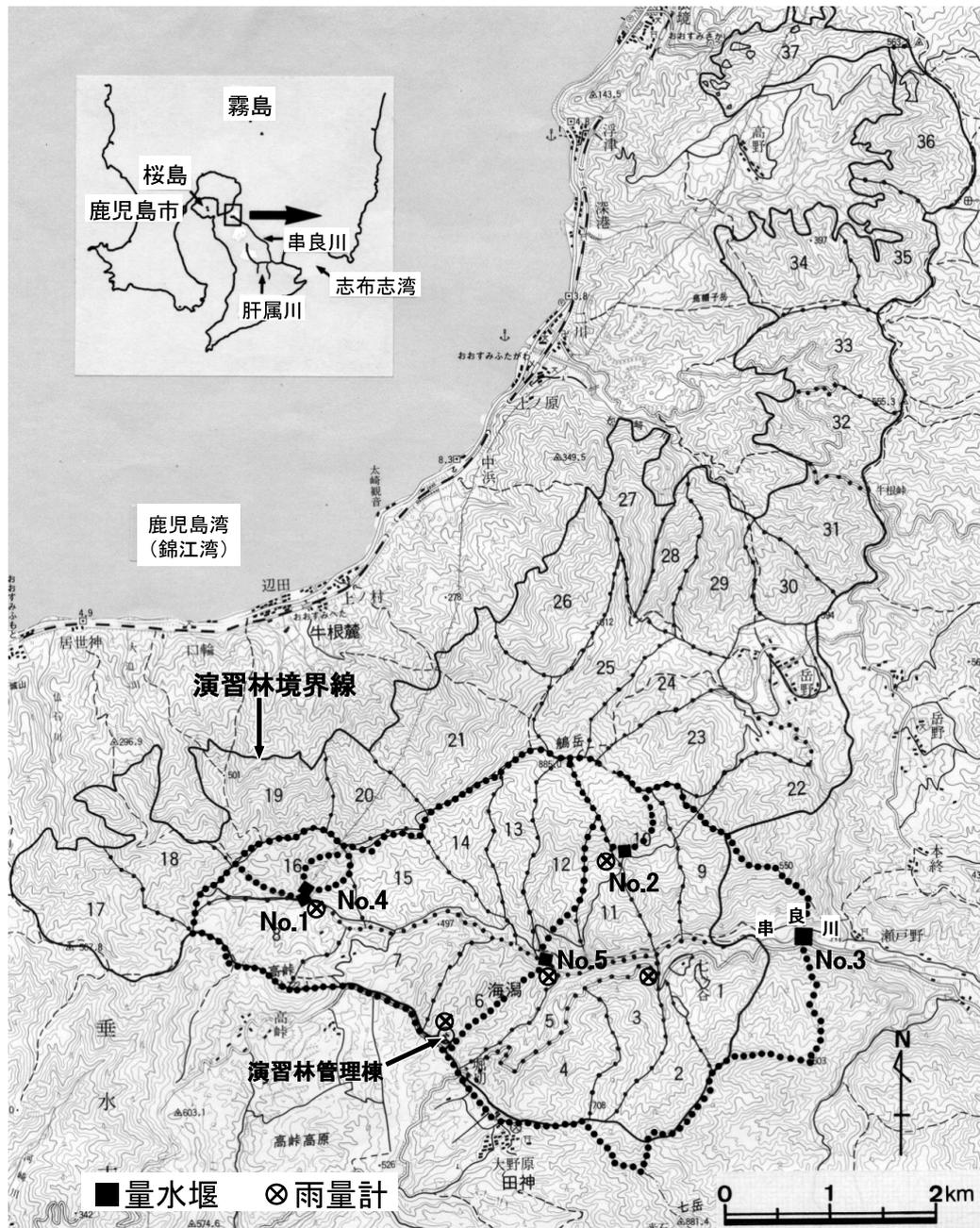


図 - 1 高隈演習林の水文試験地

ら, 1990)。

本論は、観測期間が最も長い高隈第1号試験流域(以下、1号流域という)の25年間の水文データを用いて、流域条件と流況の変遷を解析したものである。

II. 流域の概況

1号流域は、大隅半島南部の志布志湾に流入している肝属川の支川(串良川)の最上流部に位置している(図-1)。流域は面積43.42ha、標高520~678mに分布し、ほぼ円形の

形状をなし、水系は放射状に発達している。図-2に示すように、流域内の東側の2溪流と西側の1溪流は表流水がみられる場合が多いが、それ以外は洪水時のみ表流水が発生し普段は枯れ沢となっている。5000分の1の地形図において流域に1cm×1cmの方眼をかけ、方眼内の等高線本数から傾斜を求めて流域全体で平均した流域平均勾配は27.4度である。

現地調査により作成した1号流域の地質図と地質断面図を図-3に示す。流域には中生界に属する砂岩からなる四万十層群、これを覆う形で火山砕屑物が分布している(鹿

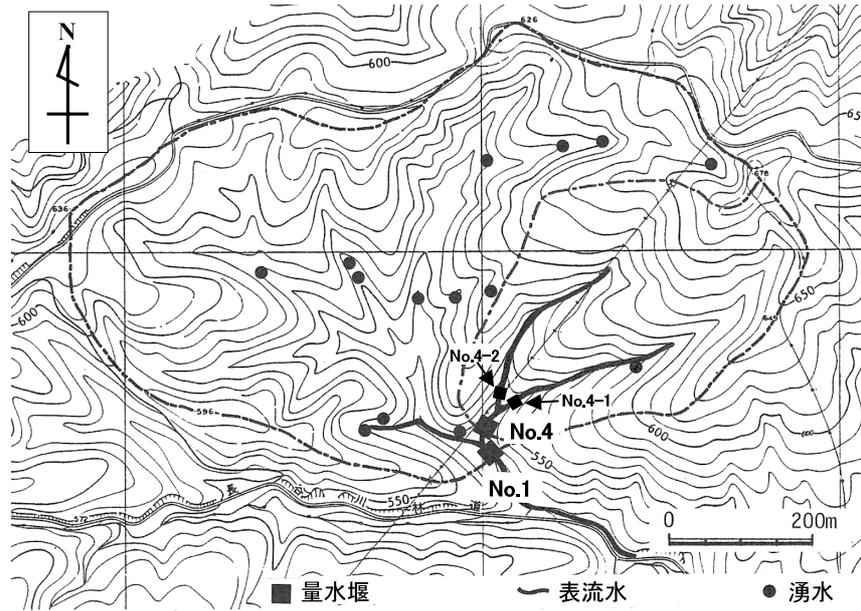


図 - 2 高隈第1号試験流域の地形

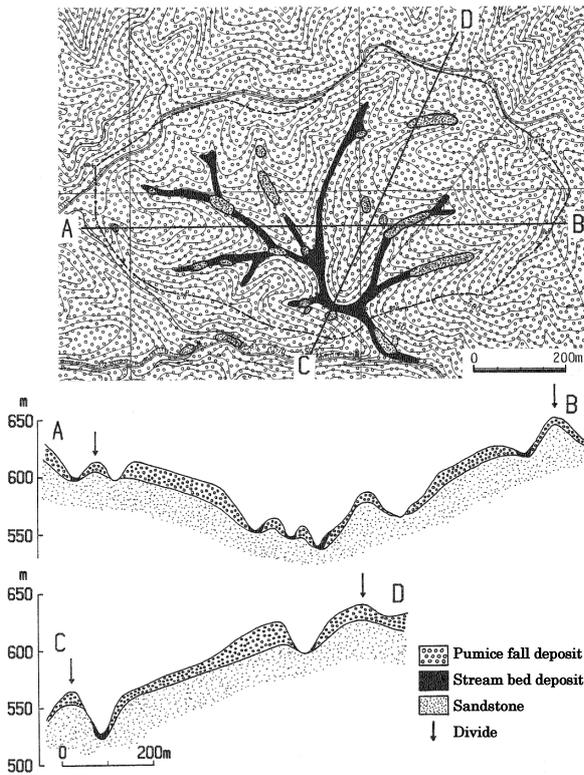


図 - 3 高隈第1号試験流域の地質

鹿児島県, 1972)。火山碎屑物の大部分は洪積世末期に始良カルデラから大量に噴出した大隅降下軽石であり、その厚さは十数mに達し(写真 - 1)、下層ほどよく締まっている。軽石の粒径は2, 3 cmから大きなものでは10cm以上である。また、土層の上層部には桜島から噴出した降下火山



写真 - 1 高隈第1号試験流域の火山碎屑物

灰・降下軽石が分布している。1号流域は火山碎屑物に覆われる以前は比較的小起伏の地形を示し、主に砂岩を表層地質とする山地であった。始良・桜島などの火山活動に伴い、流域内は火山碎屑物に一樣に覆われ、その後侵食により谷が発達し、現在の地形が形成されたと推定される。したがって、流域の基盤岩(砂岩)の露頭は深く刻まれた谷底のみで見られ、他は火山碎屑物に被覆されている。

試験流域一帯には、1914年(大正3年)桜島爆発に伴う降下火山灰・降下軽石が堆積した腐植含量の少ない粗粒の黒色土壌が分布しており、粗粒淡色黒ボク土壌に分類されている(鹿児島県, 1972)。試験流域内の土壌断面を観察すると、最表層のA₀層には黒色の新鮮な火山灰が含まれ、その下位のA~B層は黒褐色を呈する火山灰および軽石の風化物から成り、さらにその下位のC層はあまり風化して

いない軽石から成る。

1号流域の林況については後述する。

Ⅲ. 水文観測

1号流域の下流端には量水堰、湛水池、水位計、雨量計からなる観測施設がある（写真 - 2）。1号流域の観測施設の詳細は報告している（地頭園ら，1986）。量水堰は頂角120度の刃形三角堰と広頂長方形堰からなる複合堰であり、水位70cm以下は刃形三角堰で、水位70cm以上は刃形三角堰に広頂長方形堰を加えた断面で対応している。

水位70cm以下は刃形三角堰の流量算出式の流量係数を求めて流量を計算した。流量係数は、低水位の場合は堰の越流量を直接測定し、高水位の場合は湛水池における流速と流積から流量を求めて算出した。三角堰の流量係数は0.63であった。水位70cm以上は、複合堰の断面のうち三角堰の断面部分はオリフィスの流量算出式を適用し、広頂長方形堰の断面部分はGovinda-Raoの流量算出式（土木学会，1985）を適用して流量を算出した。水位流量曲線は、水位を $H(m)$ 、流量を $Q(m^3/s)$ とすると次式で表される。

$0 < H < 0.7m$ の場合

$$Q = 2.578H^{2.5} \quad (1)$$

$0.7m < H$ の場合

$$Q = 2.187(H - 1.4/3)^{0.5} + 3.53C(H - 0.7)^{1.5} \quad (2)$$

ただし、 $0.7 < H < 0.75m$ のとき、 $C = 1.669(H - 0.7)^{0.022}$

$0.75 < H < 0.89m$ のとき、 $C = 1.552 + 0.173(H - 0.7)$

水位は、当初は湛水池と連絡させた観測井戸でフロート式水位計で測定していたが、現在は湛水池に設置した水圧式水位計で測定し、データロガーに10分間隔で記録している。

降水量は、量水堰の横で0.5mm転倒ます型雨量計で測定し、データロガーに10分間隔で記録している。

1号流域内で伐採等の試験処理を行うことを想定し、東側の2溪流の流量測定のために量水施設（高隈第4号）を1987年に設置した（写真 - 3）。4号流域の観測施設設置の詳細は報告している（地頭園ら，1988a）。4号流域の面積は12.18haであり、1号流域の約28%を占めている。次章で述べるが、4号流域内の森林は2005年～2006年に皆伐した。4号量水堰の直上流で合流している2溪流にそれぞれパーシャルフリュームを設置し、2006年から流量を観測



写真 - 2 高隈第1号量水施設



写真 - 3 高隈第4号量水施設



写真 - 4 高隈第4号流域内の量水施設

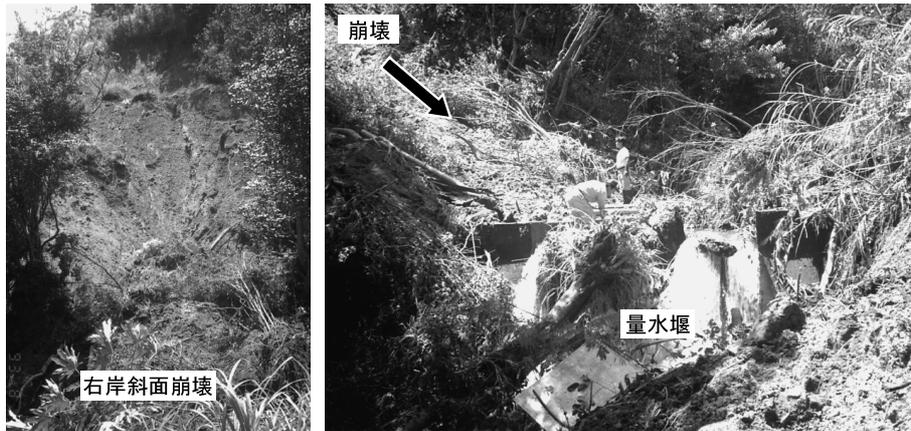


写真 - 5 高隈第1号量水施設の被災 (1993年8月9日)

している (写真 - 4)。

1993年、南九州は6月から9月にかけて梅雨前線や台風によって幾度となく大雨に見舞われ、各地で大きな土砂災害が発生した (1993年豪雨災害鹿兒島大学調査研究会, 1994, 1995)。高隈演習林でも山崩れや土石流によって林道等に大きな被害が発生した。1993年8月の大雨によって水文観測施設の右岸斜面が崩壊し、量水堰が破壊した (写真 - 5)。1994年5月に復旧工事が終わり、観測を再開した。

また、2004年～2005年および2008年は、計器故障により一部水位欠測を生じている。

IV. 流域条件の変遷

1号流域は、1984年～2008年の25年間に地形が大きく改変されたことはない。流出への主な影響は、森林の成長および伐採と桜島の火山活動に伴う火山灰堆積による林地の浸透能変化である。

1. 林況

図 - 4は、1号流域の林況の変遷を示したものである。

1984年観測開始時は、林齢20～30年のスギ林が流域面積の約43%を占め、次にシイ類、カシ類、ツバキなどを主体とした林齢50～70年 (一部31年) の広葉樹林が約36%を占めている。残りの約21%は林齢66年のヒノキ林 (一部スギを含む) である (図 - 4a)。

1号流域の森林は、1984年～2005年に部分的な間伐・除伐を実施したが、林分の大きな改変はしていない (図 - 4b)。2005年11月から2006年5月にかけて1号流域内の4号流域 (12.18ha) を皆伐した。4号流域は量水堰の直上流で2溪流が合流している。その左岸流域 (4-1号流域, 面積5.83ha) は皆伐直後にスギを植栽し、右岸流域 (4-2号流域, 面積5.98ha) は植栽せずに天然更新とした (鹿兒島大学附属演習

林, 2009)。2008年現在の1号流域の林況を図 - 4cに示す。

2. 桜島降灰の影響

1号流域は桜島南岳の南東約10kmに位置し、火山噴火によって降灰にしばしば見舞われており、特に北西の季節風が吹く、冬季はその影響が大きい。火山灰が地表面に堆積すると浸透能が低下し、流域の流出現象に影響を及ぼす。1号流域でも火山灰の堆積が流出に影響を及ぼすことが予想されたため、水文観測開始時から降下火山灰量を測定している。方法は雨量計の横に置いたプラスチックコンテナ (長さ61cm, 幅41cm, 深さ31cm) に水を入れ、タンクに堆積した火山灰を定期的に採取してその炉乾燥重量を求めたものである。

桜島の火山活動は火山灰噴火であり、1955年の開始以来50年以上続き、特に1972年以降活発となってきている。図 - 5は1955年～2008年の年ごとの爆発的噴火 (爆発) 回数 (鹿兒島地方气象台, 1955～2008) の推移である。1985年の爆発回数は474回を記録し、1955年以降最高であった。1号流域の水文観測を開始した頃は非常に活発な時期にあたる。その後火山活動は盛衰を繰り返しているが、2002年以降は穏やかになっている。

図 - 6は、1号流域で測定した降下火山灰量の累積推移を示したものである。水文観測を開始した1984年から頻繁に降灰に見舞われた (写真 - 6a)。林地に堆積した火山灰によって浸透能が低下し、表面流で火山灰が流出したり (写真 - 6b)、林内にはリル・ガリーがみられた (写真 - 6c)。流域に降下する火山灰量は、1996年頃から少なくなるとともに、1999年以降はほとんど観測されていない。

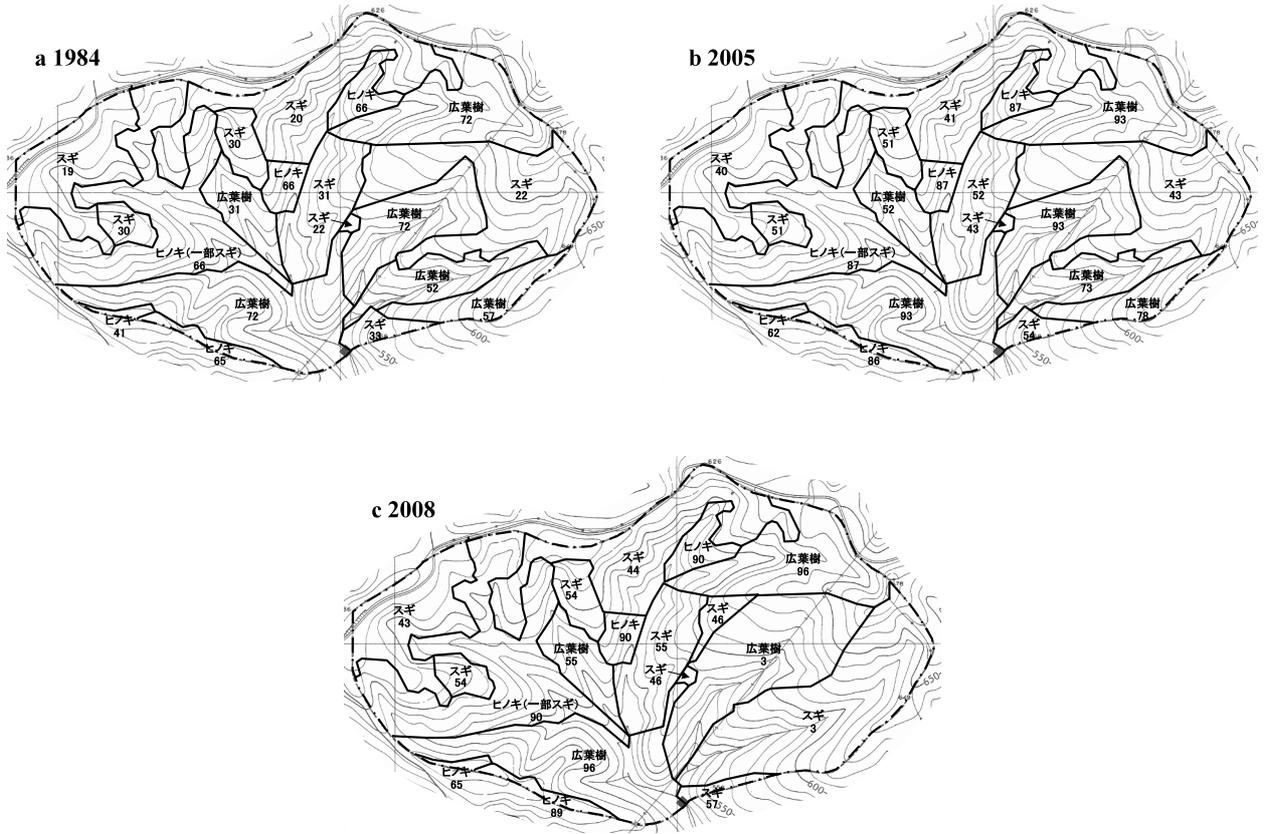


図 - 4 高隈第 1 号試験流域の林況の変遷

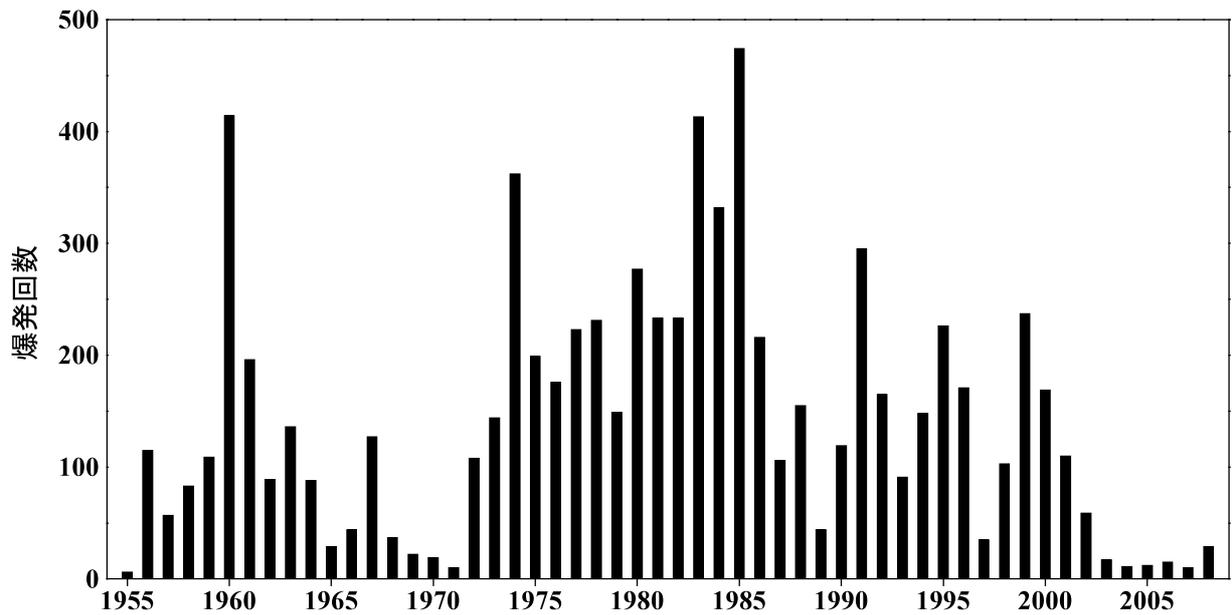


図 - 5 桜島の爆発回数の推移

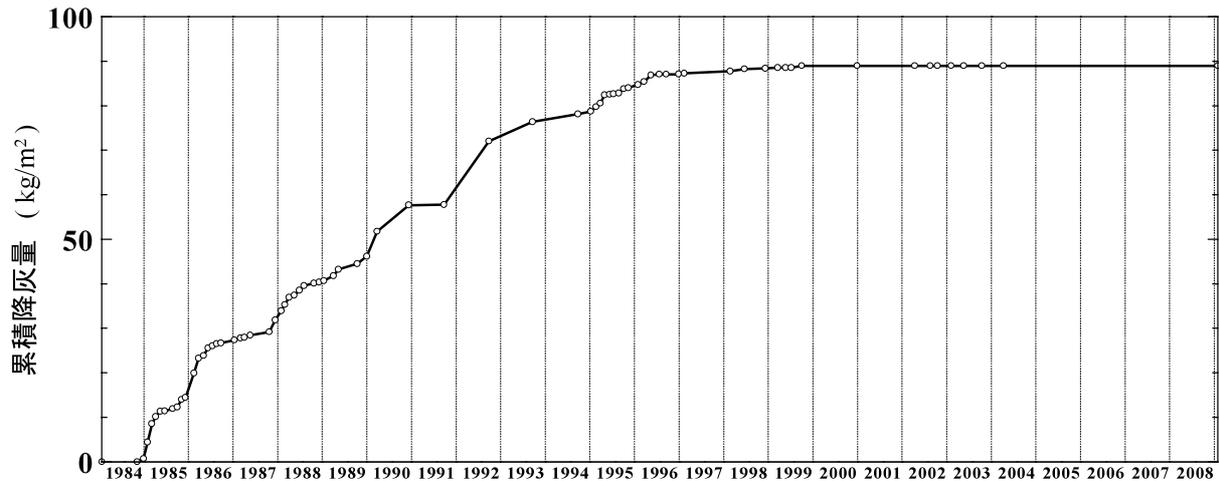


図 - 6 高隈第 1 号試験流域における降灰量の変化

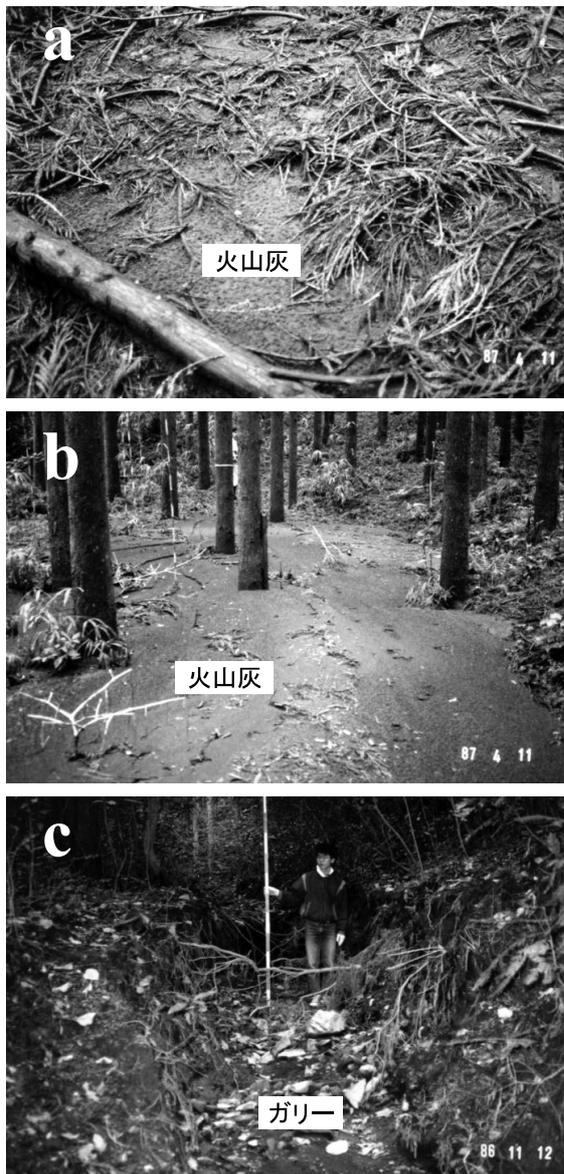


写真 - 6 高隈第 1 号試験流域における桜島降灰の影響

V. 流況特性の変遷

1. 降水

表 - 1 は、1984年から2008年の25年間に 1 号流域で観測された降水に関する資料である。年降水量の最大値および最小値は5207mm (1993年) および2164mm (1986年)、25年間の平均年降水量は3138mmである。鹿児島市の年降水量の平年値 (1971～2000年) は2279mmであり、高隈演習林は鹿児島市の約1.4倍の降水量である。

最大降水量 (10分間、20分間、30分間、60分間、24時間) は、10分ごとの観測をもとに求めたそれぞれの時間ごとの降水量の最大値であり、また最大降水量 (時間、日) は、時刻ごとおよび日ごとの最大値である。25年間における最大10分間降水量は23mm (1991年 6月28日13時10分、1993年 8月 1日 5時30分、1998年10月 7日 6時10分)、最大20分間降水量は38mm (1989年 9月22日 2時10分、1998年10月 7日 6時20分、2006年 7月 5日21時40分)、最大30分間降水量は56mm (1989年 9月22日 2時20分)、最大60分間降水量は94mm (2006年 7月 5日21時40分)、最大24時間降水量は674mm (2005年 9月 6日12時00分)、最大時間降水量は89mm (2006年 7月 5日22時)、最大日降水量は439mm (2005年 9月 6日) である。

日降水量の階級別日数は、日降水量が 1mm、10mm、30mm、50mm、100mmを越した日数であり、それぞれ131日、68日、31日、16日、5日であった。鹿児島市の平年値は、それぞれ122日、58日、23日、11日、3日であり、高隈演習林は鹿児島市より降水日が多い。

2. 年間水収支

図 - 7 は、1984～2008年の日単位のハイトグラフとハイドログラフである。降水量および流出量は、夏期に多く、

表 - 1 高隈第1号試験流域における降水資料

年	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	平均	最小	最大	
月降水量mm	1	49.0	48.0	39.0	98.5	38.0	171.0	187.0	53.0	114.0	98.5	121.0	67.5	97.5	44.0	239.0	39.0	63.5	81.0	102.0	91.5	44.5	75.0	152.0	77.5	74.5	90.6	38.0	239.0
	2	73.0	242.0	119.0	66.5	101.0	264.5	306.5	164.0	71.5	94.0	148.5	101.5	73.0	82.0	173.5	123.0	41.5	63.5	80.0	101.0	45.0	245.0	250.5	110.5	73.0	128.5	41.5	306.5
	3	155.0	287.5	161.0	340.0	170.0	148.5	274.0	279.5	407.5	200.0	141.0	180.0	207.0	181.0	181.5	237.0	131.5	110.5	145.5	250.5	150.0	167.5	177.0	170.0	148.0	200.0	110.5	407.5
	4	270.5	152.5	209.0	332.0	239.5	130.5	212.0	122.0	279.5	165.0	490.5	525.0	233.0	157.0	585.5	161.0	189.5	201.0	243.0	232.5	209.5	76.0	287.0	224.0	135.0	242.5	76.0	585.5
	5	299.0	312.0	286.5	432.5	228.0	319.5	343.0	326.0	67.0	201.5	140.5	379.0	163.0	208.5	372.5	364.0	432.5	148.5	244.0	442.0	476.5	286.0	365.5	274.5	298.5	296.4	67.0	476.5
	6	495.5	398.5	412.5	303.5	461.5	392.0	555.5	661.5	607.5	1041.5	638.5	956.0	761.0	542.0	674.0	706.5	865.0	551.0	560.0	660.5	404.5	341.5	617.0	738.0	641.0	599.4	303.5	1041.5
	7	137.0	400.0	310.5	794.5	346.5	731.5	433.5	332.5	386.0	1507.5	52.5	347.0	660.0	444.0	185.5	695.5	562.5	185.0	552.0	385.0	165.0	349.5	757.0	1224.5	113.5	482.3	52.5	1507.5
	8	713.5	736.5	140.0	291.5	413.0	343.5	352.5	686.0	755.5	1023.5	392.5	171.5	466.0	277.0	84.5	1085.5	419.0	110.0	408.0	343.0	680.0	222.0	177.0	311.5	415.5	440.7	84.5	1085.5
	9	203.5	192.0	187.5	200.5	308.5	429.0	597.5	228.5	146.0	558.0	45.0	173.5	116.5	606.5	191.0	616.0	385.5	418.0	59.5	120.5	563.5	927.0	258.5	156.5	452.5	325.6	45.0	927.0
	10	74.0	104.5	102.0	422.0	36.0	29.0	304.0	92.5	40.5	101.0	51.0	85.0	27.0	26.5	365.0	71.0	182.0	233.0	143.5	129.5	585.0	60.5	12.0	78.5	150.0	140.2	12.0	585.0
	11	70.0	122.0	54.5	118.0	92.5	27.5	97.0	71.0	48.0	95.5	57.5	97.0	104.5	205.0	93.0	90.5	119.0	89.0	113.5	165.0	147.0	201.0	107.0	67.0	199.5	106.1	27.5	205.0
	12	64.5	78.0	142.5	65.0	12.0	35.5	44.5	84.0	149.5	120.5	117.0	7.0	74.5	102.5	14.0	26.0	94.5	83.5	178.0	40.0	192.5	62.5	137.0	109.5	100.5	85.4	7.0	192.5
年降水量mm	2604.5	3073.5	2164.0	3464.5	2446.5	3022.0	3707.0	3100.5	3072.5	5206.5	2395.5	3090.0	2983.0	2876.0	3159.0	4215.0	3486.0	2274.0	2829.0	2961.0	3663.0	3013.5	3297.5	3542.0	2801.5	3137.9	2164.0	5206.5	
最大降水量mm	10分間	18.0	20.0	21.0	17.5	15.5	21.0	15.5	23.0	23.0	17.0	15.5	19.0	13.0	23.0	17.5	18.0	14.5	21.5	14.5	17.5	13.0	20.0	19.0	14.5	18.2	13.0	23.0	
	20分間	29.0	36.5	35.0	24.5	23.0	38.0	25.5	32.5	28.0	30.5	28.0	35.0	22.0	38.0	25.0	35.5	22.0	26.0	20.0	28.0	24.0	38.0	37.5	24.0	29.3	20.0	38.0	
	30分間	41.0	41.0	46.5	31.5	29.0	56.0	36.0	40.0	39.0	38.0	35.5	38.0	41.0	31.0	44.0	31.5	53.0	32.5	31.0	27.0	36.5	34.5	53.0	55.0	33.0	39.0	27.0	56.0
	60分間	73.5	61.0	61.0	51.0	39.5	71.5	51.5	47.0	65.5	57.5	53.5	64.0	65.5	58.0	56.0	47.0	80.5	48.0	55.5	46.0	64.5	65.0	94.0	90.5	38.5	60.2	38.5	94.0
	24時間	311.5	218.0	149.0	240.0	150.0	453.5	306.5	324.0	314.5	357.0	280.5	319.5	309.5	424.0	293.0	362.5	298.5	199.5	220.0	187.0	520.0	673.5	324.5	407.0	132.0	311.0	132.0	673.5
	時間	56.5	48.5	56.0	39.5	30.0	56.0	47.0	43.5	55.0	50.0	50.5	63.0	65.5	55.0	51.0	44.0	72.5	37.0	41.5	46.0	61.0	60.5	88.5	81.5	38.5	53.5	30.0	88.5
	日	262.0	217.0	109.5	170.0	131.0	359.5	305.0	294.0	239.5	310.0	274.0	312.0	273.5	370.0	215.0	338.0	293.5	153.5	188.0	152.0	396.5	438.5	307.0	280.5	118.5	260.3	109.5	438.5
日降水量階級別日数	1mm	128	141	121	145	135	127	136	144	127	139	105	115	126	131	135	142	123	122	144	145	119	117	140	129	132	131	105	145
	10mm	63	75	57	83	57	73	85	76	72	85	51	64	54	66	75	74	74	62	72	70	65	51	71	63	67	68	51	85
	30mm	24	27	22	36	25	32	38	28	30	49	24	29	32	26	39	42	34	24	29	32	32	28	30	30	30	31	22	49
	50mm	13	15	11	19	13	13	22	16	16	30	14	15	17	14	15	26	15	9	12	19	19	13	16	16	18	16	9	30
	100mm	3	4	2	5	3	5	5	5	4	14	3	6	6	3	5	7	7	2	6	2	11	6	5	12	5	5	2	14

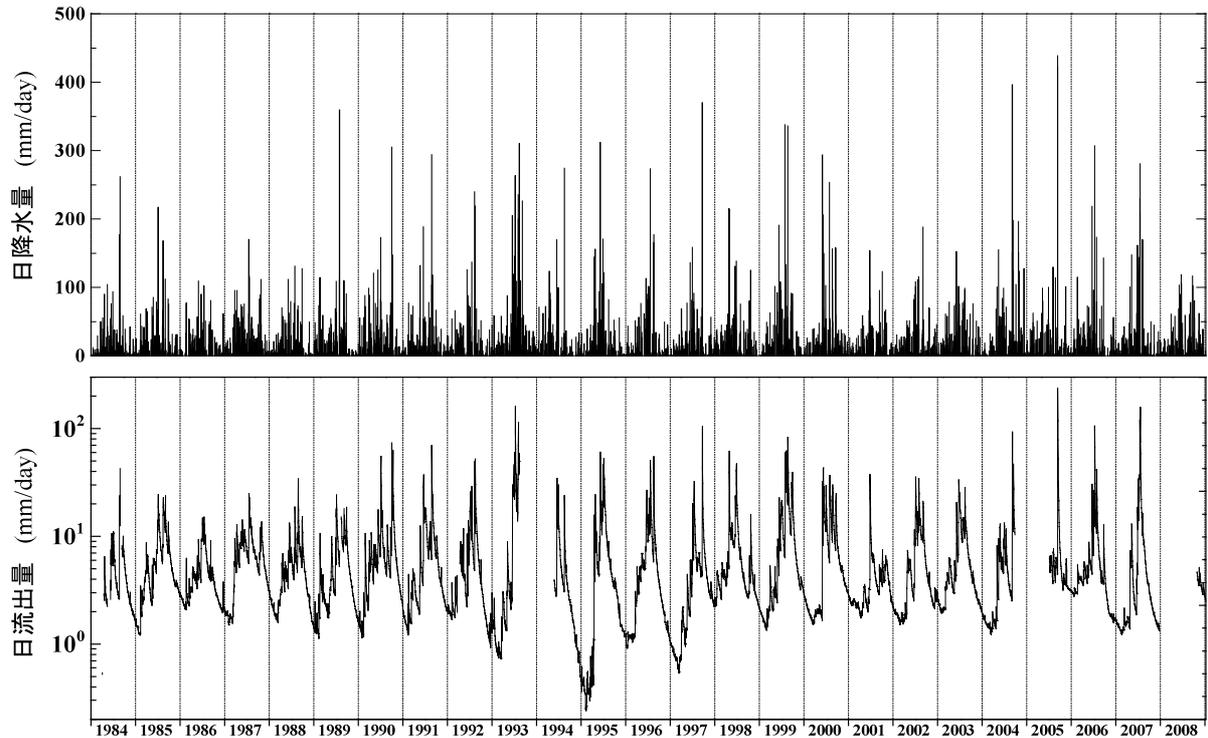


図 - 7 1984～2008年の日単位のハイトグラフとハイドログラフ

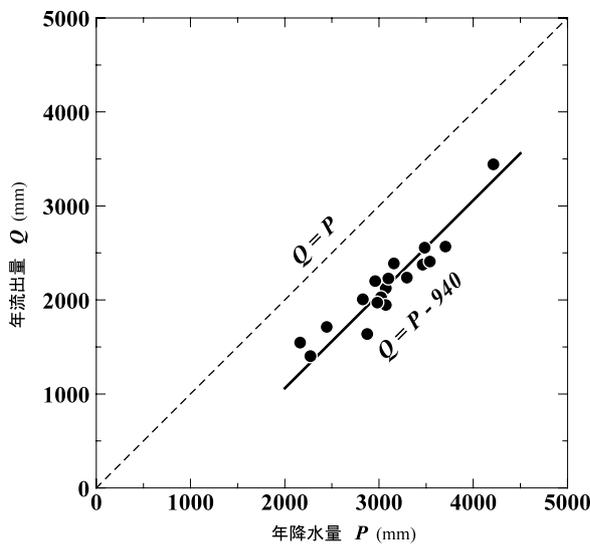


図 - 8 年降水量と年流出量の関係

冬期に少ないことから、1水年は1月から12月までと定めてよい。

山地流域では一定期間について次の水収支式が成立する(中野, 1976)。

$$P = Q + L + S \quad (3)$$

ここで、 P は降水量、 Q は流出量、 L は消失量、 S は貯留量の変化量である。1水年を対象期間にとれば $S = 0$ とみなせるため、(3)式は次のようになる。

$$P = Q + L \quad (4)$$

1水年の降水量 P と流出量 Q を実測すれば1水年の消失量 L が算出される。

図 - 8 は、1984～2008年の年降水量 P と年流出量 Q の関係をプロットしたものである。ただし欠測等で年間のデータが得られなかった年を入れていない。年降水量の増加により年流出量は指数関数的に増加するが、年降水量がある限界値を超えると、 $Q = P$ の線(図中の破線)にほぼ平行な関係になる(中野, 1976)。すなわち、多雨流域の両者の関係は次式で表される。

$$Q = P - L \quad (5)$$

図 - 8 において、(5)式を求めると、

$$Q = P - 940 \quad (6)$$

となり、図中の実線で示される。したがって、1号流域の年消失量は940mm程度と見積もられる。

3. 流況

1水年の日降水量および日流出量を順序統計量の形に整理してプロットすると雨量継続時間曲線および流量継続時間曲線(流況曲線)が得られる(図 - 9)。流況曲線で1, 35, 95, 185, 275, 355番目の日流出量($D_1, D_{35}, D_{95}, D_{185}, D_{275}, D_{355}$)を求めた(表 - 2)。95, 185, 275, 355番目の日流出量はそれぞれ豊水流量、平水流量、低水流量、濁水流量と呼ばれ、流域の流出特性を表す指標に使われる

表 - 2 高限第 1 号試験流域における流況因子

年	D_1	D_{35}	D_{95}	D_{185}	D_{275}	D_{355}	D_M	D_{95-355}	$D_{95/355}$	Q	P	U	C	R_{UP}	R_{CP}	R_{UQ}	R_{CQ}
1984											2605						
1985	24.3	12.4	7.1	4.6	3.0	1.2	5.8	5.9	5.7	2125	3074	577	856	18.8	27.9	27.2	40.3
1986	15.1	8.7	4.6	3.4	2.6	2.1	4.2	2.6	2.3	1545	2164	321	764	14.8	35.3	20.8	49.5
1987	25.0	11.5	8.4	6.3	3.5	1.6	6.5	6.8	5.2	2375	3465	523	1059	15.1	30.6	22.0	44.6
1988	34.0	8.5	5.8	3.9	2.3	1.6	4.7	4.2	3.7	1712	2447	433	732	17.7	29.9	25.3	42.8
1989	69.4	11.5	7.2	3.2	2.1	1.3	5.6	5.9	5.6	2027	3022	709	724	23.4	23.9	34.9	35.7
1990	73.6	12.6	7.6	5.4	3.0	1.2	7.0	6.3	6.1	2567	3707	767	1030	20.7	27.8	29.9	40.1
1991	69.8	14.5	7.4	3.6	2.2	1.4	6.1	6.0	5.4	2227	3101	783	726	25.2	23.4	35.1	32.6
1992	52.3	11.2	6.1	3.3	2.0	1.1	5.3	5.0	5.4	1945	3073	656	709	21.3	23.1	33.7	36.5
1993											5207						
1994											2396						
1995	60.4	16.5	6.6	3.0	0.6	0.3	6.0	6.3	22.2	2177	3090	1033	554	33.4	17.9	47.5	25.4
1996	55.0	12.5	6.1	3.3	1.3	1.0	5.4	5.1	6.2	1971	2983	756	679	25.3	22.8	38.4	34.4
1997	104.1	8.8	5.1	2.8	1.0	0.6	4.5	4.5	8.6	1637	2876	628	496	21.8	17.3	38.4	30.3
1998	61.7	12.5	7.3	4.2	3.1	2.3	6.5	5.0	3.2	2387	3159	730	934	23.1	29.6	30.6	39.1
1999	83.2	23.4	11.3	4.0	2.1	1.5	9.4	9.8	7.7	3442	4215	1493	950	35.4	22.5	43.4	27.6
2000	43.2	17.8	9.0	3.6	2.0	1.6	7.0	7.4	5.7	2555	3486	981	852	28.1	24.4	38.4	33.4
2001	37.4	6.0	4.2	2.9	2.3	1.9	3.8	2.4	2.3	1401	2274	299	680	13.2	29.9	21.4	48.5
2002	35.6	12.7	6.5	3.1	2.0	1.6	5.5	4.9	4.0	2006	2829	705	671	24.9	23.7	35.1	33.4
2003	33.5	13.3	6.6	4.0	2.5	2.0	6.0	4.6	3.3	2200	2961	701	817	23.7	27.6	31.9	37.1
2004											3663						
2005											3014						
2006	106.3	11.9	5.3	4.0	2.9	1.7	6.1	3.7	3.2	2237	3298	778	745	23.6	22.6	34.8	33.3
2007	157.4	14.2	4.8	2.0	1.5	1.3	6.6	3.5	3.7	2408	3542	1255	502	35.4	14.2	52.1	20.9
2008											2802						
平均	60.1	12.7	6.7	3.7	2.2	1.4	5.9	5.3	5.8	2155	3138	744	762	23.4	25.0	33.7	36.1
最小	15.1	6.0	4.2	2.0	0.6	0.3	3.8	2.4	2.3	1401	2164	299	496	13.2	14.2	20.8	20.9
最大	157.4	23.4	11.3	6.3	3.5	2.3	9.4	9.8	22.2	3442	5207	1493	1059	35.4	35.3	52.1	49.5

$D_1, D_{35}, D_{95}, D_{185}, D_{275}, D_{355}$: 流況曲線における1, 35, 95, 185, 275, 355番目の日流出量 (mm/day)
 D_M : 年平均の日流出量 (mm/day) $D_{95-355}, D_{95/355}$: 豊水流量と渇水流量の差, 比
 Q : 年流出量 (mm) P : 年降水量 (mm) U : 非調節流出量 (mm) C : 調節流出量 (mm)
 R_{UP} : 非調節流出量 / 年降水量 (%) R_{CP} : 調節流出量 / 年降水量 (%)
 R_{UQ} : 非調節流出量 / 年流出量 (%) R_{CQ} : 調節流出量 / 年流出量 (%)

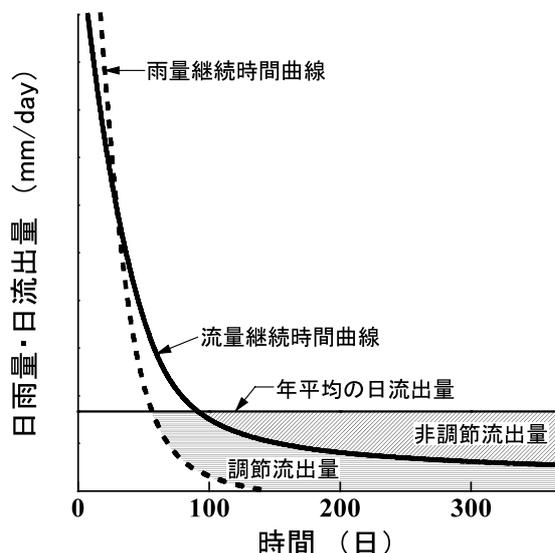


図 - 9 雨量継続時間曲線および流量継続時間曲線

(水文・水資源学会, 1997)。また、豊水流量と渇水流量の差 (竹下, 1981) および豊水流量と渇水流量の比 (岸原・田中, 1975 ; 竹下・高木, 1977) は流域からの流出の均等性を表す指標値として用いられている。すなわち、豊水流量と渇水流量の差あるいは比が小さいほど高水時と低水時の流量差が小さくなり年間を通して流量が均等化していると評価される。表 - 2 には豊水流量と渇水流量の差 D_{95-355} および豊水流量と渇水流量の比 $D_{95/355}$ も示した。

図 - 9 において、年平均の日流出量の直線は流域からの流出が完全に均等化された場合の流況曲線と考えることができ、利水の面からは非常に都合がよく理想的な流況曲線である。流況曲線と年平均の日流出量の直線で囲まれる部分 (図 - 9 において斜線部分) が小さいほど年平均日流出量の直線で表される流出状態に近づく。この斜線部分は流域の流出均等化作用により調節されなかった流出成分であるという意味から非調節流出量と呼ばれ、流出の均等化の

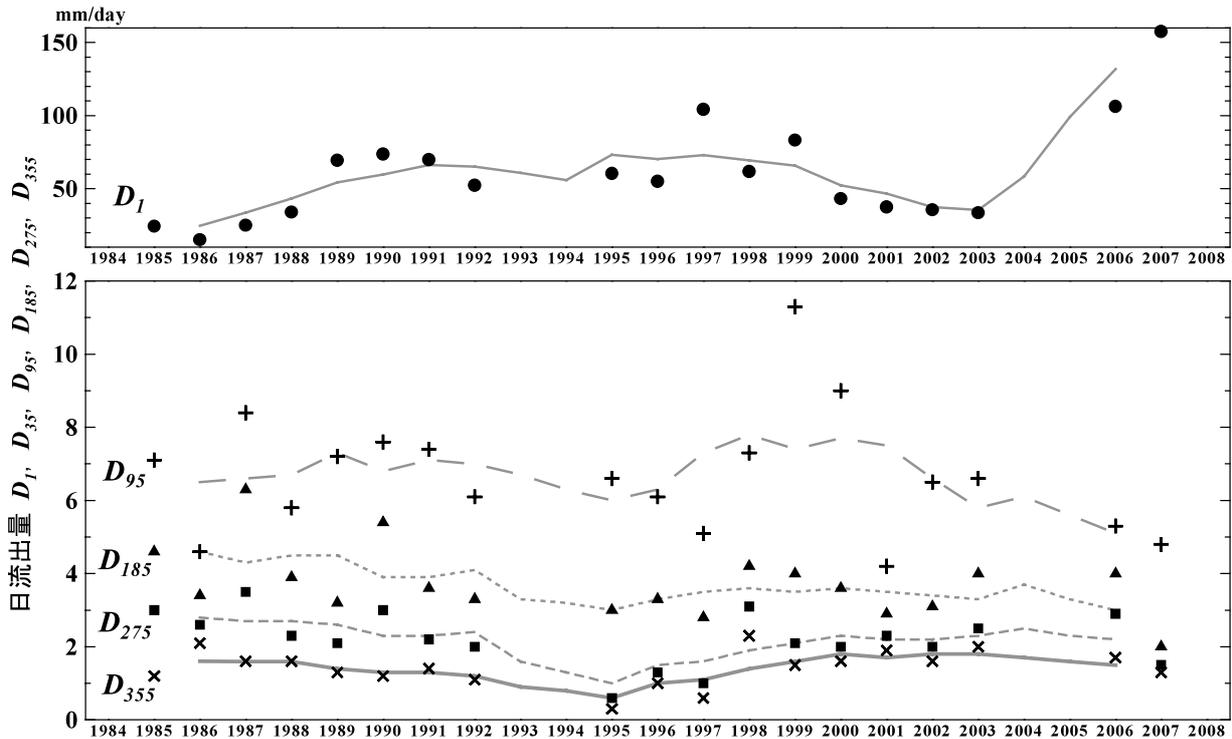


図 - 10 流況因子の経年変化

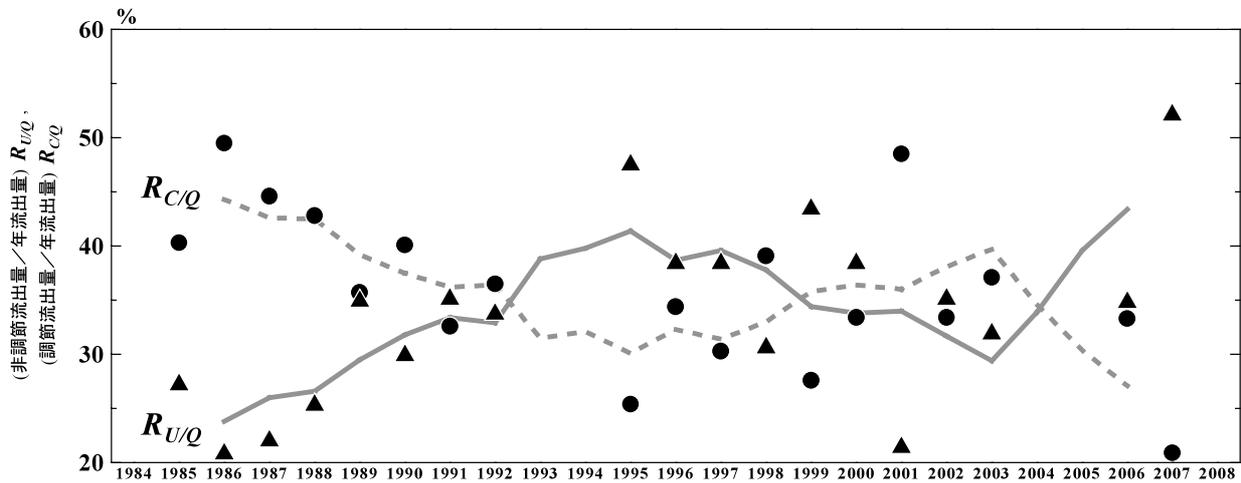


図 - 11 流出の一様性の経年変化

程度を表す指標値として提案された (竹下, 1980)。図 - 9 において破線で示される雨量継続時間曲線は、流域がモルタルなどの不透水性物質に覆われ地中への浸透が全く行われず、降水はその日のうちにすべて流出すると仮定した場合の流況曲線と考えることができる。現実には流域で地下への雨水浸透が行われるため流出は時間的な遅れを伴い、図 - 9 の実線で示されるような流況曲線の形をとる。したがって、流域の流出均等化作用により破線から実線に流況が変化させられたことになる。また、図 - 9 において横線

部分は調節流出量と呼ばれ、非調節流出量と同様に流出の均等化の程度を表す指標値に用いられる (竹下, 1980)。表 - 2 には非調節流出量 U (mm) および調節流出量 C (mm) も示した。非調節流出量および調節流出量は年降水量の増加とともに増大する (地頭園, 1992)。 U および C を流域間の流出の一様性の比較に用いるには雨量条件を同一にする必要がある。 U および C を年降水量および年流出量で割ることにより雨量の影響を排除した (非調節流出量 / 年降水量) $R_{U/Q}$ 、(調節流出量 / 年降水量) $R_{C/Q}$ 、(非調節流出量 / 年

流出量) R_{UQ} 、(調節流出量 / 年流出量) R_{CQ} を算出した (表 - 2)。

図 - 10は、各年の年最大日流出量 D_I 、豊水流量 D_{95} 、平水流量 D_{185} 、低水流量 D_{275} 、渇水流量 D_{355} をプロットし、5年間の移動平均した値の経年変化を示したものである。年最大日流出量 D_I は1995年頃まで増大し、その後は減少していたが、2006年以降はまた増大傾向にある。一方、低水流量 D_{275} や渇水流量 D_{355} は1995年頃まで減少し、その後は増大していたが、2006年以降はまた減少傾向にある。前述したように、1号流域は水文観測を開始した1984年から頻繁に降灰に見舞われ、林地に堆積した火山灰によって浸透能が低下し、表面流の発生が確認されている。火山灰堆積で浸透能が低下した期間は、洪水時の流出率が増大して最大流量が大きくなり、逆に地下水流出量が少なくなり低水時の流量が減少したと考えられる。1996年以降は流域に降下する火山灰がほとんどなくなり、林地の浸透能は回復していき、最大流量が減少し、低水時の流量は増加した。2006年以降の最大流量の急激な増加は、2005年11月から2006年5月にかけての1号流域内の約28%を占めている4号流域の皆伐が関係しているものと思われるが、まだデータが少ないので今後検討することにする。

流域からの流出の一様性を表す指標値の経年変化を検討した。図 - 11は、その一例として(非調節流出量 / 年流出量) R_{UQ} および(調節流出量 / 年流出量) R_{CQ} をプロットし、5年間の移動平均した値の経年変化を示したものである。1984年から1995年までは流出の一様性が低下する傾向がみられたが、1996年以降はそれが回復する傾向が見られた。桜島の火山活動に伴う火山灰の堆積は流域の流出特性に大きな影響を及ぼしていることがわかる。

VI. おわりに

鹿児島大学農学部附属高隈演習林に設置した高隈第1号試験流域における1984年～2008年の25年間の水文データを用いて流況特性の変遷を解析した。試験流域は森林の生長に伴う流況の変遷を把握することを目的としていたので、水文観測開始から20年間は森林伐採などの処理を行わない管理下においてきた。しかし、試験流域は桜島から約10kmの位置にあるため、火山活動に伴う降灰の影響をしばしば受けた。林地に堆積した火山灰は浸透能低下や表面流発生を引き起こし、さらに降灰が激しいときは林地にリル・ガリー侵食を起こした。その結果、試験流域の流況は桜島降灰の影響を大きく受け、森林の生長が流況に及ぼす影響を抽出することはできなかった。したがって、森林地の浸透能の変化が流況に及ぼす影響は、森林生長がそれに及ぼす

影響より大きいことがわかる。

末筆ではあるが、25年間の水文観測施設の維持管理においては、研究室に所属していた学生諸氏、高隈演習林の職員の方々に多大なご協力を頂いた。また1号流域の林況については演習林の芦原誠一氏に整理して頂いた。ここに記して謝意を表します。

引用文献

- 土木学会 (1985) : 水理公式集 - 昭和60年版 -, 土木学会, 625pp.
- 地頭園隆・下川悦郎・野元俊秀 (1986) : 高隈演習林内の森林理水試験流域における水文観測, 第1報 高隈第1号試験流域の環境調査と1984年および1985年水文資料解析, 鹿児島大学農学部演習林報告, 14, p.33~50
- 地頭園隆・下川悦郎ほか (1987) : 高隈演習林における水文観測施設 (高隈第2号量水堰堤) の建設について, 鹿児島大学農学部演習林報告, 15, p.83~93
- 地頭園隆・海田和孝・下川悦郎 (1988) : 高隈演習林内の森林理水試験流域における水文観測 - 高隈第3号試験流域の設定と試験流域の地形・地質・植生 -, 鹿児島大学農学部演習林報告, 16, p.117~124
- 地頭園隆・下川悦郎ほか (1989a) : 高隈演習林における量水施設 (高隈第4号) の建設, 鹿児島大学農学部演習林報告, 17, p.111~116
- 地頭園隆・下川悦郎ほか (1989b) : 高隈演習林における量水施設 (高隈第5号) の建設, 鹿児島大学農学部演習林報告, 17, p.117~123
- 地頭園隆・下川悦郎 (1990) : 南九州における火山砕屑物に覆われた森林流域の流出特性, 水文・水資源学会誌, 3(1), p.7~16
- 地頭園隆 (1992) 火山活動が流出現象に及ぼす影響に関する実証的研究, 鹿児島大学農学部演習林報告, 20, p.1~122
- 鹿児島県 (1972) : 志布志湾地域開発地域, 土地分類基本調査, 岩川5万分の1
- 鹿児島大学農学部附属演習林 (2009) : 鹿児島大学農学部附属高隈演習林における植栽箇所一覧 (1998~2007年度), 鹿児島大学農学部演習林研究報告, 36, p.95~104
- 鹿児島地方気象台 (1955~2008) : 桜島火山観測資料
- 岸原信義・田中洋二 (1975) : 流域の理水特性に関する研究 () 流況係数と流域の地形・地質との関連について, 日林誌, 57, p.245~254
- 中野秀章 (1976) : 森林水文学, 共立出版, 228pp.
- 下川悦郎・地頭園隆ほか (1986) : 高隈演習林における水

- 文観測施設（高隈第1号量水堰堤）の建設について，鹿兒島大学農学部演習林報告，14，p.57～66
- 水文・水資源学会（1997）：水文・水資源ハンドブック，朝倉書店，636pp.
- 竹下敬司・高木潤治（1977）：暖帯林地の水保全環境に関する土壌及び地形的研究，福岡県林業試験場時報，26，p.1～51
- 竹下敬司（1980）：流域の土地利用状況の変化と流況の変化，日林九支研論集，33，p.317～318
- 竹下敬司（1981）：森林土壌の水資源保全機能に関する解析と評価，第17回国際林業研究機関連合世界大会論文集，p.53～57
- 1993年豪雨災害鹿兒島大学調査研究会（1994）：1993年鹿兒島豪雨災害の総合的調査研究報告書，229pp.
- 1993年豪雨災害鹿兒島大学調査研究会（1995）：1993年鹿兒島豪雨災害の総合的調査研究報告書，第2集，218pp.

要 旨

著者らは，鹿兒島大学農学部附属高隈演習林内の火山碎屑物に覆われた森林流域において1984年から水文観測を継続している。この観測の目的は火山地域における森林流域の流出現象を定量的に解明することである。本論では，1984～2008年の25年間に得られた水文データを用いて，高隈第1号試験流域の流出特性の変遷を解析した。試験流域は，1984年から1995年にかけて，桜島の火山活動に伴う降灰にしばしば見舞われた。林地に堆積した火山灰は浸透能低下や表面流発生を引き起こし，さらに降灰が激しいときは林地にリル・ガリー侵食を起こした。その結果，豊水時と渇水時の流量差が経年的に増大していき，流出の一様性は低下した。一方，1996年から降灰が少なくなるにつれて，流出の一様性は向上した。桜島の火山活動に伴う降灰は，周辺の森林流域の流出に強く影響していることが明らかになった。