

南薩台地における流出特性 (第2報)

— 直接流出と基底流出との関係 —

塚 田 公 彦

Run-off Properties on Nansatsu Plateau, Kagoshima Prefecture (II)

— The Relationship between Direct Run-off and Base Run-off —

Kimihiko TSUKADA

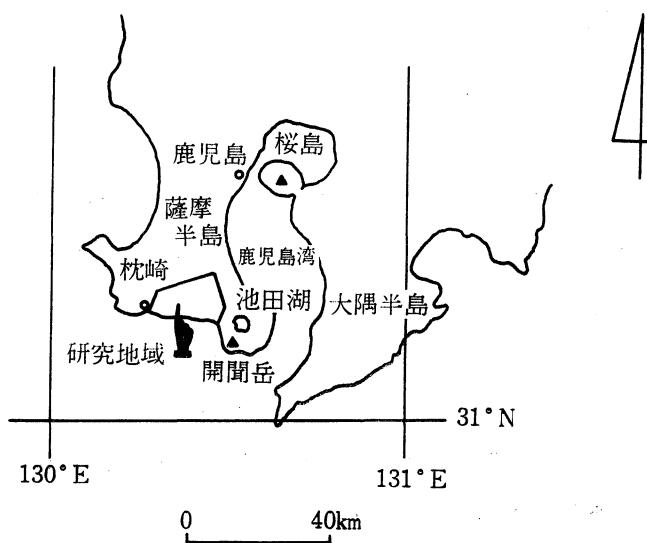
I. 緒 言

前報において、筆者(1978)は火山体を水文学的に取り扱った研究例が多くはないことを指摘し、同時に最近の動向の概略と、シラス地域での研究の一例を報告した。そのなかでは、とくに流出に関して水収支的検討を加えることを目的としたが、流出の特性は水収支のみで説明されるものではない。最近、岸井(1977)は九州の比較的大河川流域において、菅原(1972)のタンクモデルの考え方をを用いて、流出特性を明らかにしようと試みている。タンクモデルの考え方は、流出解析、洪水予報など、とくに水収支や量的予測にとって有効な方法であり、かつ実用的な側面も兼ね備えている。この方法は水文現象を1年またはそれ以上にわたって統計的に処理するため、小流域での個々の流出現象については問題としていない。そこで、本論においては、前報で論じた、水収支からみた流出特性を補足する意味で、個々の流出に焦点をおき、南薩台地での流出の特性を明らかにしようとするものである。

II. 地域の概観

研究地域の概観は、前報において略述したので、ここでは流域の水文環境の概略のみにとどめたい。主な流域は、前報同様、石垣川と水成川流域である。研究地域の位置は第1図に示した。

2流域の一部には古い中生層や第三紀の山地が見られるが、両流域ともその主体は第四紀の火山灰層、すなわち始良、阿多火山の噴出物とされている、いわゆるシラスで覆われ、その下部に

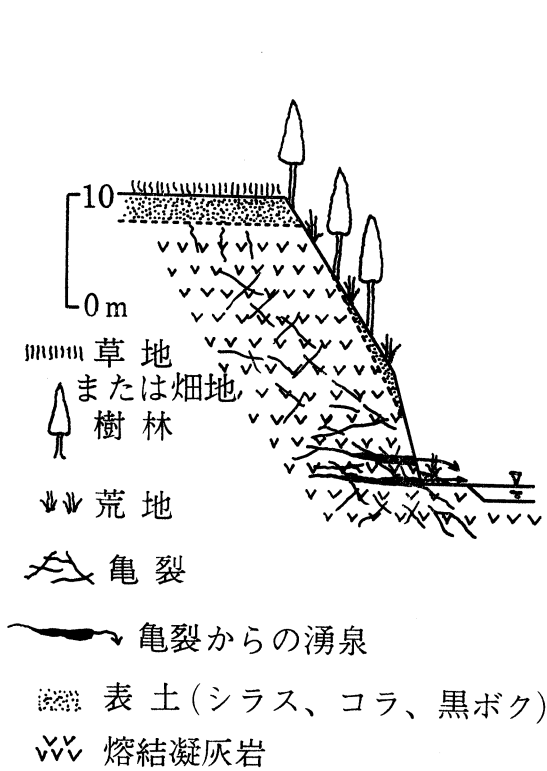


第1図 研究地域の位置図

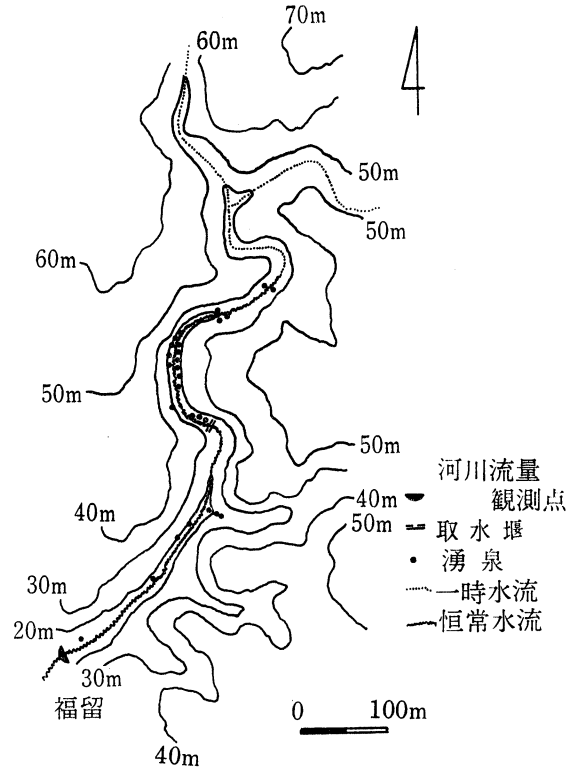
は広く熔結凝灰岩を伴っている。この熔結凝灰岩は、地下水に関して、不透水層ともなり、また一部では帯水層ともなっている。

河川の恒常水流は、この熔結凝灰岩の亀裂から生起する場合が多く、これらの露出地点から上流部はほとんどの場合一時水流となっていて、降水時以外は水の流れないことが多い。この模式断面図を第2図に示す。

一般的な表現を借りるならば、シラス台地は全体として極度に浸透性が高く、入力に当る降水の維持、保留能力が高いということができよう。この事実は、第3図に示す水流形成地帯、つまり湧水分布地帯より下流での湧水流量の安定性を示すもので、この点にシラス流域での流出の大きな特色がある。



第2図 湧泉の模式断面図



第3図 湧泉分布図(石垣川)

一方、降水量について概観すると、この一帯は我が国でも多降水域に属している。日本全体の年平均降水量は約 1800 mm といわれているが、南九州では約 2400 mm に達する。その季節配分は 6~8月に集中し、3カ月でほぼ年間の50%を占めている。ただし、南海型と呼ばれる南四国を中心とした地域が8月に最多雨量を記録するのに対し、南九州型では6月に最多雨量を示すことが多い。これは台風と梅雨による降水が多いことと、その来襲時期が早いための現象である。本地域周辺には5カ所^{注1)}の観測地点があるが、地形的影響が大きいようで、それぞれの観測値のばらつきはかなり大きい。

注1) 枕崎, 山川, 指宿, 加世田, 知覧の5カ所で観測値がある。

III. 水文諸要素の測定, 解析, 結果

1) 降 水 量

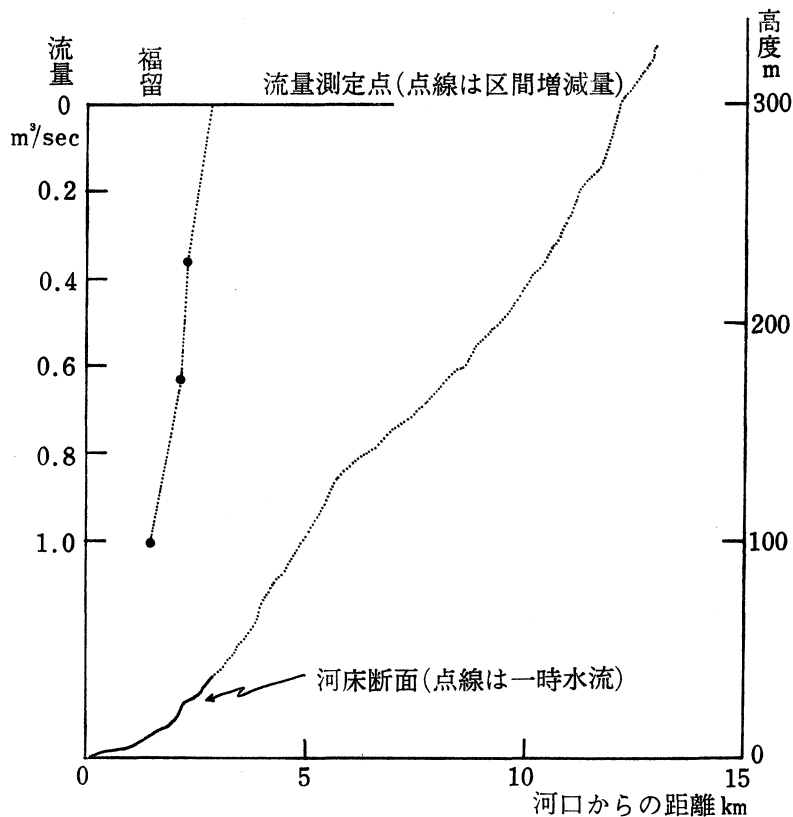
前回の報告で示したように, 石垣川流域のほぼ中央部の青戸小学校の露場を借りて, 隔測自記雨量計で観測を行なった。周辺の観測地点のデータは, 上述のごとくばらつきが大きく, しかも流域外にあり利用する場合に問題がありそうなのである。月別集計値は前報を参照されたい。本論の目的に即しては, 主に日降水量または時間降水量が必要となる。使用した雨量計は 0.5 mm まで読み取ることが可能なので, 以下降水量の値は記録紙からの読み取り値をそのまま利用した。

2) 河 川 流 量

河川流量は, 石垣川, 水成川流域については各々河口から 1.2 km, 1.5 km の地点におけるリシャル型自記水位計の記録値から求めた値^{注2)} でこれも前回と同じである。

3) 湧 水 量

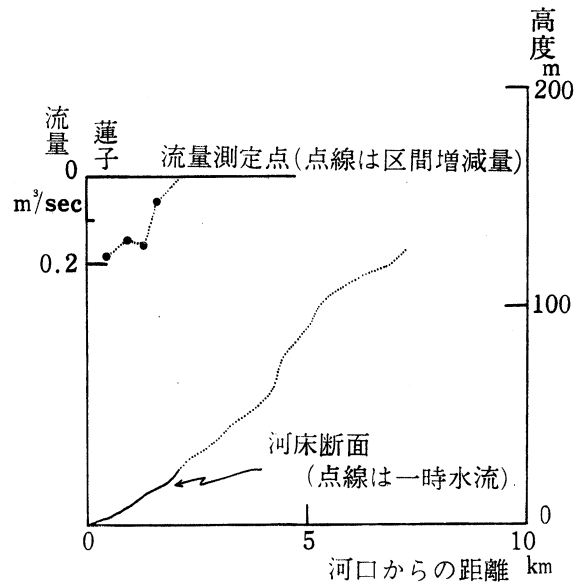
湧水量の測定は, 河床および側壁からの湧水はポリバケツなどを利用し, それが困難な場合は湧水地点の上, 下流側での区間流量を測定して算出した。時期はいずれも10月~12月に亘る減水期である。この測定結果は河川流況図として第4図に示した。この図から, 河口より3 km 付近より下



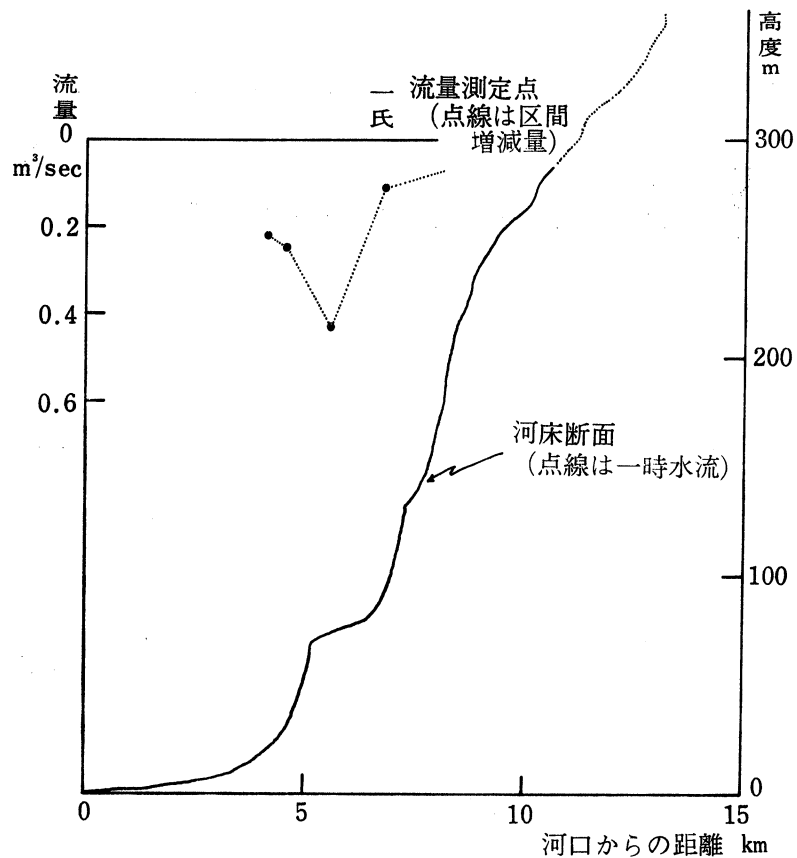
第4図 湧水調査時の河川流況図(その1 石垣川)

黒丸: 流量測定を行なった地点の流量を示す。以下同じ

注2) 1975年~1977年までの記録で月別集計値は前報に掲載してある。



第4図 湧水調査時の河川流況図 (その2 水成川)



第4図 湧水調査時の河川流況図 (その3 馬渡川)

流で、水流を生じ、流下するにつれて流量も増加する (石垣川)。また、すでに在る水流に、途中からの湧水が加わり、下流に向って増加はするが、下流の取水堰のため、その増加分は多くはない (馬渡川)。というような2種類の水流に分類できる。

4) 既存資料

南薩台地では、池田潮の水を利用した、畑地かんがい事業が推進されつつある。そのために集川、高取川、馬渡川の三河川については九州農政局(1969)、石垣川、加治佐川については鹿児島県(1963)による資料がある。観測年度やその期間などにずれがあるため、比較の精度は劣るが、おおよその傾向を把握するには充分利用できる。そこで、これらの3河川^{注3)}についても、水位流量年表を整理し、第1表のような結果を得た。

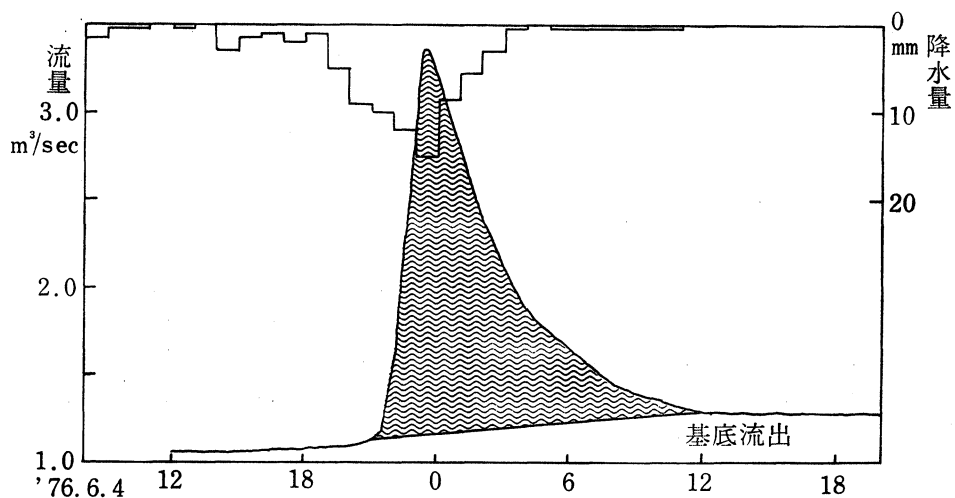
以上のようなデータを利用し、南薩台地における流出特性についての検討を試みた。

第1表 研究地域内河川の各種比流量の比較

No.	河川名	調査年次	流域面積 km ²	年流出率 %	年平均比流量 m ³ /sec/ km ²	湯水比流量 m ³ /sec/ km ²	河況係数	日平均最大流量 m ³ /sec	最小流量 m ³ /sec	備考
1	石垣川	1975-77	17.04	65.3	.051	.016	16.8	4.458	.265	観測最大流量 10.493 m ³ /sec, 河況係数 40.3
2	水成川	"	7.71	34.1	.027	.006	16.7	.804	.048	同上 同上 86.7
3	馬渡川	"	12.13	20.2	.016	.008	6.1	.497	.044	筆者の観測期間に合わせてとった値
4	高取川	1966-68	11.18	62.4	.025	.001	291.7	2.917	.010	九州農政局の水位流量年表より算出した値で3カ年平均値
5	集川	"	5.24	59.0	.031	.007	70.3	2.461	.035	
6	加治佐川	1961-63	22.93	42.0	.031	.010	16.9	3.720	.220	鹿児島県(1963)による値
7	石垣川	"	17.42	45.0	.033	.012	17.7	3.540	.200	

IV. 南薩台地の流出とその特性

流出の特性を知るためには、得られたデータから、ハイドログラフを作成し、それを分離することによって行なわれる。流出は通常、表面流出、中間流出、地下水流出の3成分に分離されるが、



第5図 流出ハイドログラフ(波線部分は直接流出)分離の一例

注3) 集川、高取川、加治佐川については九州農政局、鹿児島県耕地課の水位流量年表を整理したもので、その他の河川は筆者の調査したものと併記したものがあ

中間流出成分を實際上分離するのは困難である。従って、ここでは前二者を合わせて直接流出とし基底流出(地下水流出)との2成分に分離した。ハイドログラフの分離法には、いくつかの方法^{注4)}

第2表 ハイドログラフ分離の結果(その1. 石垣川)

No.	Date	総降水量 mm	継続時間 hrs.	1時間 最大降 水量 mm/hr	直接 流出高 mm	流出継 続時間 hrs.	ピーク 流出高 mm/hr	直接 流出率 %	直接流 出の減 衰係数 Kr	先行す る無降 水日数
1	75. 10. 28	39.0	21.0	12.0	1.20	11.5	.182	3.08	.975	9
2	11. 5	44.5	21.0	5.5	3.62	18.0	.219	8.13	.932	4
3	76. 2. 13	64.5	14.0	17.0	7.31	14.0	.247	11.33	.849	5
4	2. 15	28.5	18.0	12.0	2.54	20.0	.158	8.91	.756	1
5	2. 18	36.0	7.0	18.0	8.13	18.0	.218	22.58	.939	1
6	2. 22	8.5	7.0	4.5	2.49	32.0	.097	29.29	.991	3
7	2. 27	19.5	17.0	4.5	6.80	50.5	.116	34.78	.991	5
8	3. 8	22.5	36.0	3.0	1.77	29.0	.107	7.87	.975	6
9	3. 11	12.5	14.0	3.0	1.29	16.0	.116	10.32	.990	0
10	3. 26	35.5	15.0	24.0	4.73	13.5	.266	13.32	.943	9
11	3. 29	42.5	13.0	9.5	5.82	24.0	.270	13.69	.959	1.5
12	4. 8	18.0	12.0	3.0	2.55	25.0	.139	14.17	.972	1.5
13	4. 13	57.5	29.0	15.0	24.69	46.0	.344	42.94	.972	0
14	4. 21	50.5	14.0	10.0	12.08	34.5	.201	23.92	.982	2
15	4. 27	41.0	18.0	17.0	22.69	36.0	.370	55.34	.977	4
16	4. 29	23.0	7.0	12.0	23.01	42.0	.258	100.0	.989	1.5
17	5. 16	54.0	7.5	17.0	24.85	35.0	.338	46.31	.974	4
18	6. 4	88.5	35.0	15.0	20.63	14.6	.704	23.31	.927	5
19	6. 9	16.0	12.0	11.5	5.65	15.5	.397	35.31	.975	3
20	6. 10	35.0	19.0	15.5	8.17	19.0	.587	23.34	.919	0
21	6. 23	130.5	26.0	19.0	24.86	23.8	.729	19.05	.923	0
22	7. 12	19.0	7.0	17.0	13.24	20.0	.665	69.68	.905	2
23	7. 13	24.0	7.0	16.5	2.10	14.5	.188	8.75	.955	1
24	8. 16	30.0	2.0	18.5	.70	4.0	.262	2.33	.947	13
25	9. 10	144.0	30.0	27.0	32.78	30.0	.448	22.76	.961	0
26	9. 12	149.0	20.0	29.0	99.45	72.0	.754	66.74	.983	0
27	9. 26	9.5	6.0	3.5	.40	5.0	.304	4.21	.967	3
28	10. 8	11.5	5.0	8.0	.30	5.8	.199	2.61	.966	10
29	10. 9	14.5	8.0	5.5	.46	7.0	.203	3.17	.969	0
30	10. 19	20.5	23.0	16.0	.76	2.5	.182	3.71	.788	4
31	10. 23	18.5	12.0	6.0	.88	24.0	.127	4.76	.994	3
32	10. 27	19.0	7.0	6.0	1.45	9.0	.190	7.63	.800	3
33	11. 13	42.0	13.0	20.0	2.74	10.0	.224	6.52	.905	3
34	12. 2	14.0	18.0	4.0	.98	18.0	.114	7.00	.955	8
35	77. 2. 9	15.0	12.0	3.5	.79	12.0	.097	5.27	.988	13
36	3. 13	21.0	4.5	8.5	3.20	13.0	.163	15.23	.950	2
37	3. 17	8.5	2.0	8.0	4.19	7.0	.401	49.29	.784	3
38	3. 18	21.5	9.0	14.5	9.06	8.5	.665	42.14	.773	1

注4) ハイドログラフの分離法については市川正巳著、水文学の基礎(古今書院)などに詳しい説明がある。

第2表 ハイドログラフ分離の結果(その2. 水成川)

No.	Date	総降水量	継続時間	1時間 最大降水量	直接 流出高	流出継続時間	ピーク 流出高	直接 流出率	直接流出 の減衰 係数 Kr	先行する 無降水 日数
		mm	hrs.	mm/hr	mm	hrs.	mm/hr	%		日
1	75. 9. 18	75.0	30.0	37.0	2.22	12.5	.069	2.96	.927	0
2	10. 12	42.0	11.0	18.5	.73	10.5	.003	1.74	.908	3.5
3	10. 13	22.5	17.0	15.0	.73	3.5	.027	3.24	—	.5
4	12. 6	5.5	3.0	2.0	.01	2.0	.001	.18	—	1.5
5	76. 1. 1	2.5	1.0	2.5	.01	1.5	.005	.40	.506	1.0
6	2. 13	64.5	7.0	4.5	1.92	15.5	.049	3.02	.820	3
7	2. 22	8.5	7.0	4.5	.86	16.5	.018	10.12	.925	3.5
8	3. 26	35.5	15.0	24.0	.51	4.25	.024	1.44	.944	9
9	3. 30	42.5	13.0	9.5	.69	5.0	.020	1.66	.918	1.5
10	4. 14	57.5	29.0	15.0	1.56	3.5	.062	2.58	.975	0
11	4. 29	23.0	7.0	12.0	.15	6.25	.014	.65	.893	1.5
12	5. 21	44.5	5.0	21.5	1.58	9.0	.045	3.55	.957	1.0
13	6. 29	62.5	—	—	2.35	8.5	.103	3.85	.782	.5
14	7. 12	19.0	7.0	17.0	1.78	8.5	.142	9.37	.897	2
15	7. 13	24.0	7.0	16.5	.26	6.5	.030	1.06	.950	1
16	9. 10	144.0	30.0	30.0	2.50	—	—	1.59	.968	13

があるが、この流域ではグラフの立ち上り点と減衰部の変曲点とを直線で結び分離した(第5図)。(求めた直接流出量の値は第2表に示してある。)

石垣川の流出については、年間ハイドログラフ^{注5)}をも作成し、これにもとづいて直接流出量と基底流出量を求めた。

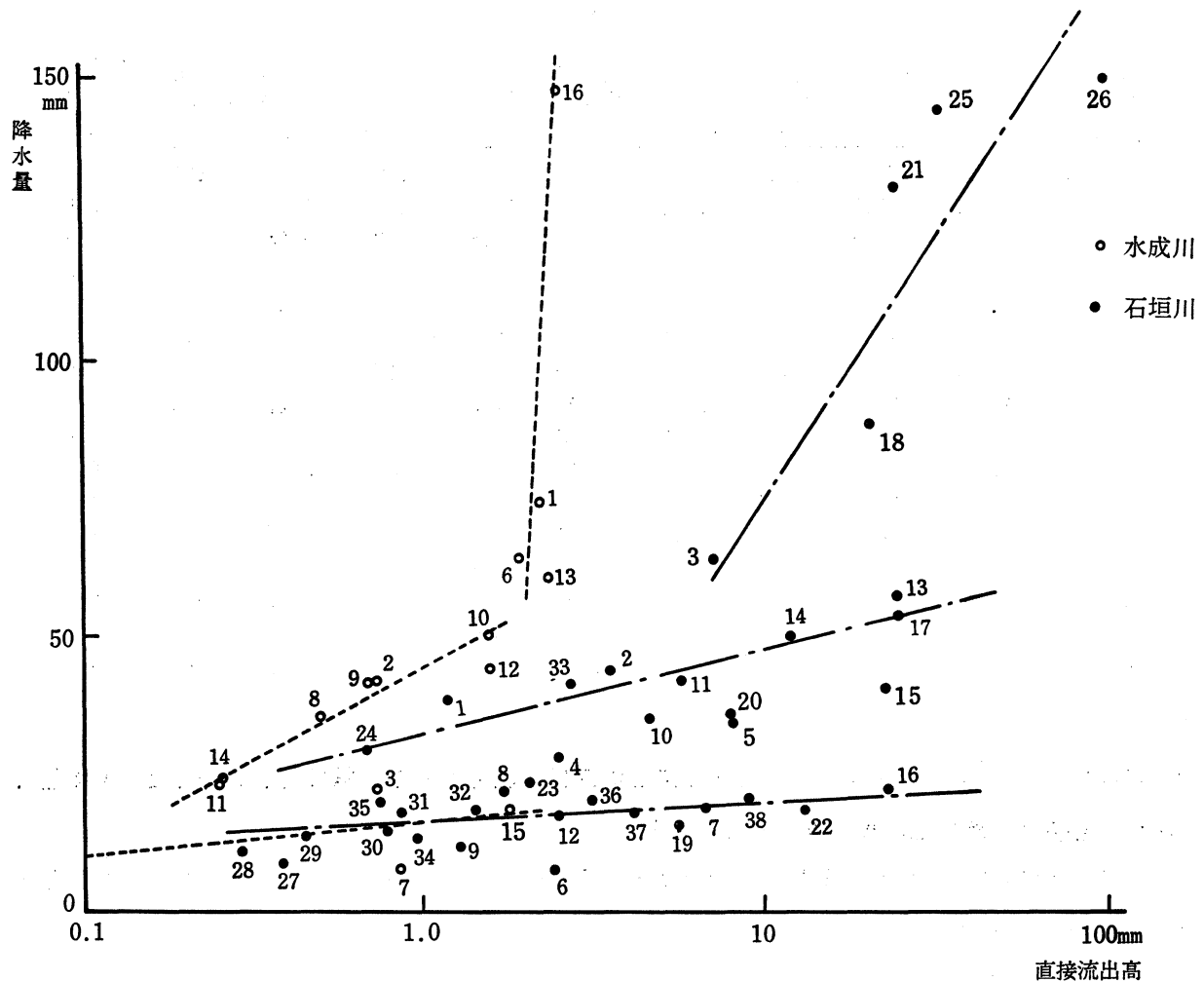
1) 一降水と直接流出との関係

一般的には、降水量が増加すれば、それに伴って直接流出高も増加することが知られている。上記2流域から得られた、ハイドログラフの分離の結果を降水量の値と合わせて図示したのが第6図である。これら2流域においても、一般的な傾向を示すものと予想したが、結果的には簡単な一つの線で表わすことのできないような点のばらつきとなって表わされた。これは先行する流域の条件^{注6)}のためであると思われる。しかしながら、大まかな傾向として、3種類のタイプに分類することは可能である。すなわち、①、ほぼ20mm程度の降水量までは、ごく少量の降水量の変化に対して直接流出高は敏感な反応を示し、急速にその量を増す。②20~60mm程度の降水に対しては①程ではないが似たような傾向がある。③しかし60mm以上の豪雨に対しては降水量の増加にもかかわらず、直接流出高はそれほど増加せず、その変化量は小さい。この点に関して水成川流域はより顕著である。

また、石垣川、水成川2流域からの直接流出高の値にも大差がある。とくに、20mm以上の降水に対する流出高の差が著しい。流出高に違いが現われる場合の条件としては、

注5) 前報に示した水位流量曲線の式と筆者(1978b)の報文に詳しく説明した。

注6) たとえば土湿不足などで、これは流出が生じた降水の前の無降水日数などで示すことができる。



第6図 降水量と直接流出高との関係

番号は第2表(1)(2)と同じ，水成川4.5.は0.02mm以下

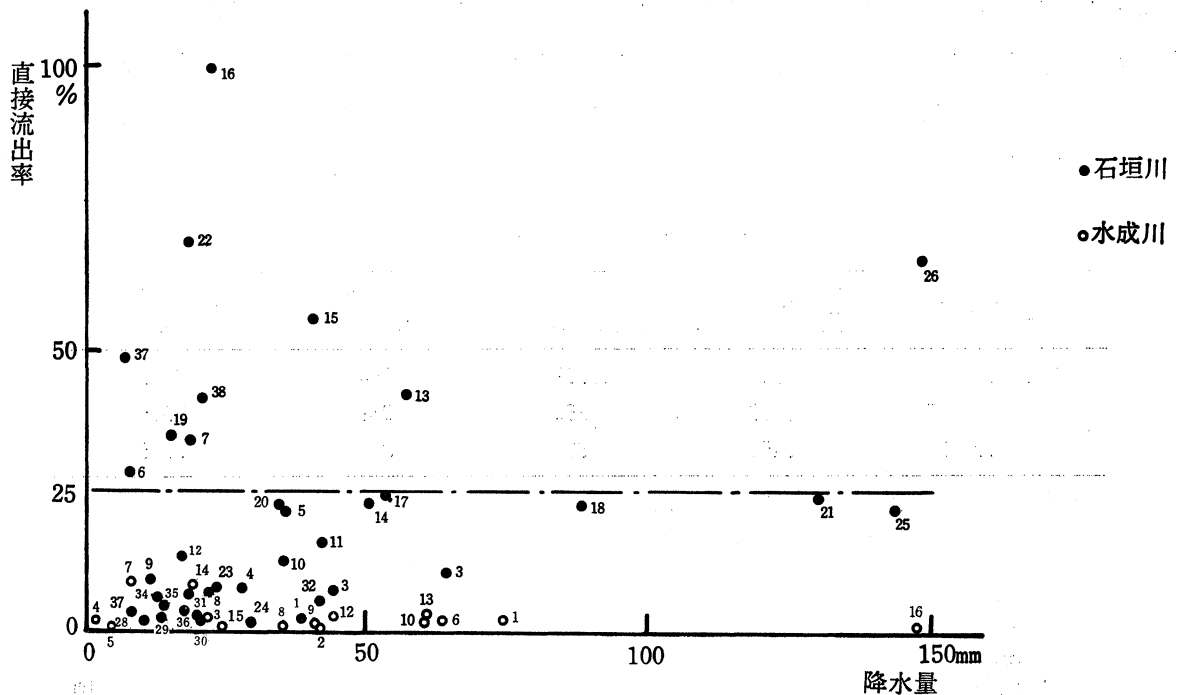
① 降水量に大きな違いがある場合

② 流域の先行条件の違い

③ 流域自体の“器”としての違い，などである。このうち①と②については，降水量観測地点の選定に一考の余地はあるが，上記2流域間に大差があるとは考え難い。従ってここで考えられる条件は③となるが，具体的には，石垣川流域内には，水成川流域に比べて山地が多く，また地質条件，殊に不透水層基盤の地表からの深度差などの影響が大きいと考えられる。現地の調査から，河口および流量観測地点付近では2流域とも大差はないが，竹崎(1972)によると，観測点の上流域では，水成川流域の場合，不透水層基盤の深度の大きい部分の面積が流域面積全体に占める割合が大きくしかもこの谷状凹地は最上流にまで広がっている。

降水のタイプに関する要因を消去して，流域の条件と直接流出との関係を知るには，直接流出率と降水量との関係をみればよい。そこで2流域における上記二者の関係を示したのが第7図である。石垣川流域においては，点のばらつきが大きい，50mm以下の降水量の場合に，半数以上が25%

以下の流出率を示している。しかし1点だけは100%の流出率を示し、降水量だけから流出の特性は決められないことを表わしている。50 mm以上の降水量に対しては2, 3, のケースを除くすべてが直接流出率20~30%の間に入る。No. 25, 26のケースについては一連の雨と考えることができるが、そうすると300 mmの降水に対して45%の流出率となる。小杉(1967)によって示された黄瀬川^{注7)}の例のように、降水量と直接流出率との相関はよくないが、ここでは2種類のグループに分けることができ、その傾向は黄瀬川の場合のようにきれいな concave の曲線ではなく、直線または convex な曲線で近似できよう。



第7図 降水量と直接流出率との関係

番号は第2表(1)(2)と同じ

水成川流域についての流出率の特徴はほとんどすべての点が5%以下の値を示すことで150 mmの降水量に対しても、直接流出率は変化していない。むしろ20 mm以下の降水量の場合にみられる直接流出率の上昇に着目した方がよい。この部分での増大は、2流域ともに、水みち流出などの表面流出成分による直接流出高およびその比率の増大を示していると思われる。平田(1966)は二者の関係について降雨前の無降水日数をパラメーターとして一定の傾向があることを示した。しかしながら、この流域では、そのような傾向を把むことはできなかった。前掲の2図から、一降水に対する直接流出高、および直接流出率ともに、石垣川流域の方が水成川流域よりも大きく、隣接する2流域間でも流出の仕方には相違があることが明らかとなった。

2) 湧水量と河川流量との関係

河川水流は流域からの涵養によって維持される。ごく普通に見られる河川では、最上流域を奥深

注7) この例によると降水量と直接流出率の関係は concave のきれいな一本の曲線で示されている。

い山地に遡ることができる。そこでは、高度などの影響もあって比較的降水量は多く、小規模であっても常時水流を生じている。この場合の水流の生起の仕方は種々あるが、いずれも流下するに従って水量を増し、安定した水流へと成長する。

ところが、最上流域や途中の流域が火山噴出物や扇状地堆積物で覆われたりしている場合は、ここでの流出機構も大きく変わってくる。この流出機構に関する最近の研究例は山本 (1958, 1970) によって示された富士山の例などがある。山本は山体をダイアグラムの的に山頂涵養帯、山腹涵養帯、山麓湧泉帯と三区別している。規模の違いはあるものの、ここでも同様の区分が可能である。

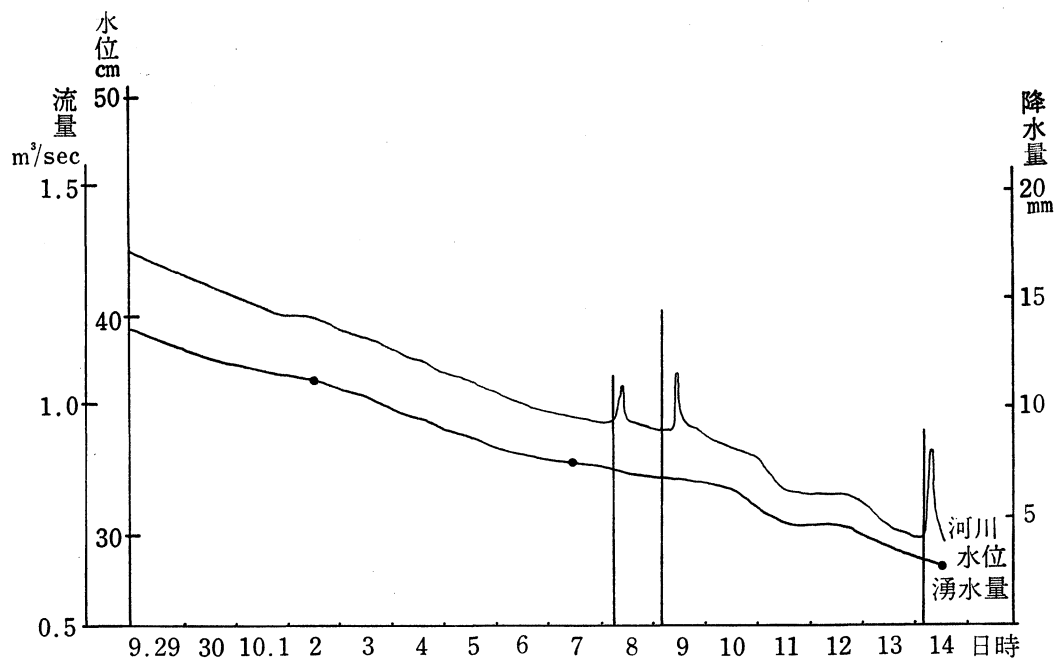
湧泉の調査結果については、前章第3節で示したが、この結果を河川水位観測点と取水堰での流量にまとめ、3回の観測期間の変化を示したのが第3表である。この表をもとに湧水量と河川流量の関係を検討した。降水量と河川流量とこの表の値を同時に図示すれば、その間の相互比較が可能である (第8図)。

第3表 湧水量と河川流量との関係

調査年月日	取水堰での流量 A m ³ /sec	水位観測点での流量 B m ³ /sec	B-A* m ³ /sec	B-A/B** %
1976. 10. 2	.645	1.009	.364	36.1
10. 7	.573	.862	.289	33.5
10. 14	.456	.666	.210	31.5

* B-A 取水堰より下流の湧出量

** (B-A)/B 取水堰より下流の湧出率



第8図 降水量, 湧水量, 河川水位の関係 (黒丸は湧水量実測値)

この図から、降水量 36 mm その内河川流出となった部分が 1.27 mm で、流出率は約 3.5% で

あったことがわかる。すなわち、この期間の河川総流出高 114.7 mm の35%に相当する。これは逆に96.5%は降水ではなく湧水からの涵養であり、基底流出と直接流出の関係は、前者が圧倒的に多いことを示している。観測期間は10月の減水期にあたるが、この時期はまた非かんがい期でもある。従って、この時期の降水は直接流出にほとんど関与せず、100%近い量が基底流出成分へととなっていくことを示している。

また第3表から取水堰より下流の湧出量は日を追って減少し、河川水位観測点の流量が $0.5 \text{ m}^3/\text{sec}$ を下まわるようになると、この地点と取水堰の間で流入する湧水はほとんど涸渇し、上述の湧泉帯に相当する部分は上流側へと後退していくことがわかる。湧泉帯の上限は、石垣川流域では標高 30 m 付近までであるので、その範囲は著しく狭い部分だけとなる。従って、それよりさらに上流域が、ここでの山頂および山腹涵養帯に当る部分であると言えよう。この事実は、台地上には水田が分布せず、茶、甘藷などの耐干作物のみが作られていることとよく一致している。

3) 直接流出と基底流出との関係

年間ハイドログラフから、直接流出量の部分を差し引くと、年間の総基底流出量が求められる。この方法は、井戸の分布が極端に偏在しているようなところでは地下水流出自体を評価できないので、地表水からアプローチできる方法として有効である。

総直接流出量と総基底流出量との関係は、月別集計値として第4表に示した。この表からみると、本章第1節で扱った一降水に対する直接流出率約20%よりもさらに小さく、年間を通してみると6、7月を除き6%にも満たないことが判明する。その結果年平均の直接流出率は3.64%にしかならず、総流出量に占める総直接流出量の割合も5.4%とひくい。水位曲線の読み取り限界や誤差

第4表 月別総直接流出量（石垣川）

月 別	降 水 量 mm	流 出 量 m^3/sec	基底流出量 m^3/sec	直接流出量 m^3/sec	直接流出量	直接流出率
					流出量	
1976. 2	179.0	9.948	9.543	.405	4.07	1.15
3	216.6	18.392	18.244	.148	.80	.35
4	274.0	20.257	18.923	1.334	6.59	2.47
5	214.0	26.514	24.022	2.492	9.40	5.90
6	556.0	53.839	42.702	11.137	20.69	10.16
7	276.0	67.560	58.199	9.361	13.86	17.20
8	130.0	35.833	35.833	—	—	0
9	342.0	31.892	28.968	2.924	9.17	4.34
10	98.0	21.550	21.550	—	—	0
11	77.0	12.352	12.352	—	—	0
12	78.0	11.185	11.185	—	—	0
1977. 1	46.0	10.757	10.757	—	—	0
水年合計	2486.5①	320.079	292.278	27.801		
平 均	207.2②	26.673	24.357	2.317	5.38	3.46

① $490.393 \text{ m}^3/\text{sec}$ ② $40.866 \text{ m}^3/\text{sec}$ に換算される。

のため見落した量を見込んだとしても、なおかつ小さく、ここでの降水は大部分が一度地下に浸透し、しばらく時間をおいて河川へ流出するというプロセスを如実に示すものと判断される。前節に述べた関係がここでも裏付けられた。

4) 既存資料からの検討

既存資料の水位流量年表を使って各種比流量などにまとめた表によれば、各流域はいずれも隣接しあっているにもかかわらず、かなりの違いを示している。とくに高取川、集川の河況係数はこの地域では高い値を示し、他の流域と大きく異っている。また他の流域は逆に安定した流況を示し、通常日本各地で見られる河川とは異っている。この点に関しては、これら流域での流出機構や他地域の流域での流出との比較考察が必要である。

V. 結 語

以上4点に関して検討を加えてみたが、まとめてみると次のようになる。

一降水に対する直接流出の量は、著しく少く、非かんがい期や年間ハイドログラフの減衰期に当る時期は30mm程度の雨にはほとんど影響されない。

湧水量と河川流量および直接流出量と基底流出量との関係から、ここでの降水は一度地下に浸透し、ある期間をおいて徐々に流出するというプロセスが明らかとなった。直接流出量が極端に少ないにもかかわらず、河川流出率は50%以上を示していることから、本流域の流出のタイプが基底流出型であることが実証できた。

他地域との比較検討を行なうことによってより鮮明なシラス地域での流出特性が明らかになる。この点に関しては今後、機をみて検討してみたい。

本研究は昭和51年度文部省科研費一般研究(c)(代表者 塚田公彦 課題番号058066)の補助を受けて行なったものの一部分である。関係諸機関にお礼申し上げます。なお、現地調査で種々便宜をはかっていただいた九州農政局南薩農業水利事業所の逸見宏道工事課長をはじめとする皆様、調査を手伝って下さった当時本学部学生の木佐貫秀明氏に厚くお礼申し上げます。

参 考 文 献

- 鹿児島県(1963):鹿児島県の地下水概況. 42p. など.
岸井徳雄(1977):九州地方の火山灰地帯・非火山灰地帯における諸河川の流出特性. 国立防災科学技術センター研究報告. No. 17, 1~16.
九州農政局(1969):国営南薩土地改良事業計画書添付資料(その4, 観測関係) 164p.
小杉雅子(1967):狩野川水系黄瀬川流域の流出特性について. ハイドロロジー, No. 1, 36~38.
菅原正巳(1972):流出解析法, 257p. 共立出版など.
竹崎徳男(1972):鹿児島県における裂か地下水の開発(電気探査と水理地質の調査結果について). 地学雑誌, 81, 335~343.
塚田公彦(1978a):南薩台地の流出特性. 鹿児島大学教育学部研究紀要. No. 29, 71~79.
———(1978b):シラス台地の水文特性. 日本の水収支, 88~103, 古今書院.

平田重夫 (1966) : 香川県塩江付近の小谷における水の流出について. 地理学評論, 39, 713~729.

山本荘毅 (1958) : 日本における火山山麓の湧泉. 科学, 28, 90~91.

—— (1970) : 富士山の水文学的研究—火山体の水文学序説—. 地理学評論, 43, 267~284.

(1978年10月20日 受理)