

高冷地における水の流出機構

清水 邦夫

(信州大学農学部農業工業研究室)

目	次
I 序論	4 各月流出量と各月保水量
II 気象要素と水の流出機構との関係	5 各日流出量及び各日保水量
1 降雨	IV 長野県駒ヶ岳山麓駒ヶ根地区調査結果
2 温度	1 降雨量, 流出量, 蒸発量, 保留量
3 蒸発量その他	2 地下水状況
III 長野県飯田市大明神原地区調査結果	V 結語
1 流域状況	参考文献
2 流量測定	英文摘要
3 年間流出量と年間消失量	

I 序 論

此処数年来(1950年—1958年)水の流出機構について研究を進めて来たが、水の流出機構には気象的要素、例えば降雨量、蒸発量、気温、湿度等が大きく影響する。勿論気象的要素以外にも、植生、土質、傾斜等他の要素と関係はして来るが、気象的要素が最も大きく影響すると云つても過言では無い。即ち金子氏によると、一定地域一定期間の水収支を考えると次の様な平衡関係が成立する。

$$P=D+E+G+M\cdots\cdots\cdots\textcircled{1}$$

P ……降雨量, D ……流出量, E ……蒸発量, G ……地下水補給量,
 M ……土湿増加量

$$\therefore D=P-E-G-M\cdots\cdots\cdots\textcircled{2}$$

上式によつて明らかな様に流出量 D は気象的要素に甚しく影響される事が分る。

処で長野県の如き高冷地に於ては、気象条件が低暖地と異なり、一種特有な条件下にあるので、流出機構も低暖地に於ける流出機構と自から異なつた様相を呈するのである。それに加うるに気象要素以外の条件、即ち上述の植生、土質、傾斜等の条件も高冷地は低暖地と大いに異なるので、更に流出機構は高冷地特有な状況を呈するのである。日本に於ては長野県以外にも東北・北海道を始め、可成りの地域に所謂高冷地に属する地域が分布しており、かつ高冷地に於ける水の流出機構を明らかにする事は、高冷地に於ける農業(灌漑、排水)上、工業(発電)上、又生活(飲料水)上重要な事なので、最近行つた、一二の現地調査を報告し、考察を回らして見たいと思う。

II 気象要素と水の流出機構との関係

序論に於て指摘した様に、高冷地に於ける流出機構に最も大きく影響するのは気象要

素と考えられるが、信州大学農学部構内に於て（標高 772.7m）行つた気象観測結果を主として、名要素別に、他地区との比較を示しつつ気象要素と水の流機構との関係を見て行くと次の様になる。

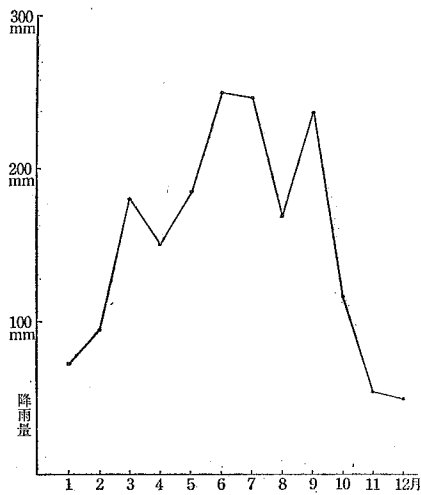
1 降雨

(i) 月別降雨量

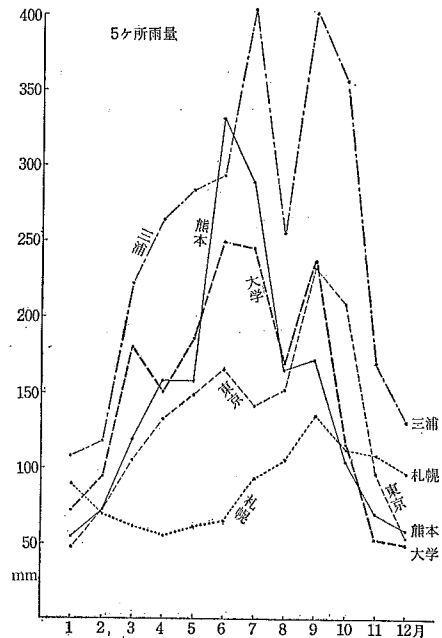
第1表 月別降雨量（昭和28年—昭和32年，大学構内）

年\月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	計
28	82.5	157.0	396.8	107.0	78.5	341.6	437.0	274.9	198.6	89.5	25.3	67.3	2,256.0
29	81.4	74.2	82.8	154.6	260.5	276.7	165.2	117.9	246.3	79.8	78.1	46.2	1,663.7
30	59.7	77.9	184.2	131.0	149.2	135.0	172.7	50.4	244.8	226.4	67.1	45.7	1,544.1
31	102.0	55.0	189.9	195.2	301.7	244.9	171.5	271.7	204.6	120.4	49.3	19.2	1,925.4
32	37.7	112.8	48.7	169.3	136.8	248.7	284.3	132.5	291.2	67.5	50.6	72.3	1,652.4
平均	72.7	95.4	180.5	151.4	185.3	249.5	246.1	169.5	237.1	116.7	54.1	50.1	1,808.4

第1図 月別降雨量



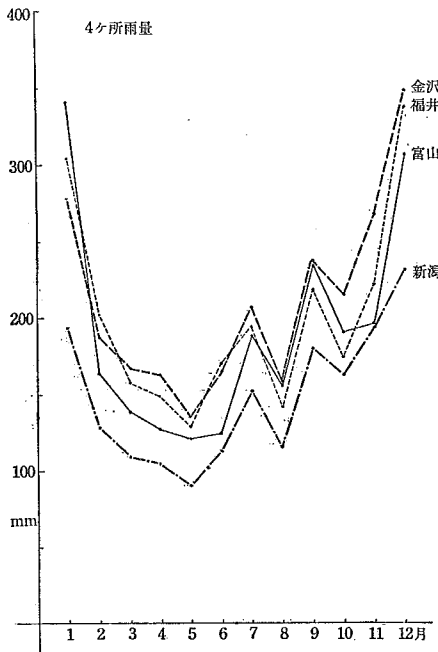
第2図 月別降雨量比較 I



5ヶ年月別平均降雨量を図に示すと第1図の如し。之を筆者が昭和25年調査した木曾川支流王滝川、三浦ダム地点（標高1250m）及び熊本、東京、札幌の月別降雨量と比較すれば第2図の様になる。

第2図の様に月別降雨量で最大となるのは何れも6, 7月或は9月の, 梅雨或は颱風の影響による所謂雨期に於てである。従つてその点に於て熊本, 長野県の2地点(信大構内, 三浦ダム) 東京とも一致し, 北陸の福井, 金沢, 富山, 新潟等の12月或は1月の

第3図 月別降雨量比較 II



冬期に最大月別降雨量を見る地方とは根本的に趣を異にしている。又第2図に示した札幌の月別降雨量は一年を通じて甚だしい変化が無い。従つて月別降雨量の型によつて, 日本各地を大きく分けて太平洋型(6, 7月或は9月に最大月別降雨量がある型) 日本海型(1月或は12月に最大月別降雨量がある型) 北海道型(1年を通じ月別降雨量がほとんど変わらない型) の三型とすれば長野県2地点は太平洋型に属すると見られる。尤も長野県は全体的に降雨の点に於て太平洋型に属しておると見るべきで, 唯北部新潟県との県界に一部日本海型と見られる小地域が存在している程度である。併し太平洋型と云つても, 信大構内及び三浦ダム地点については次の2点に注意しなければならない。

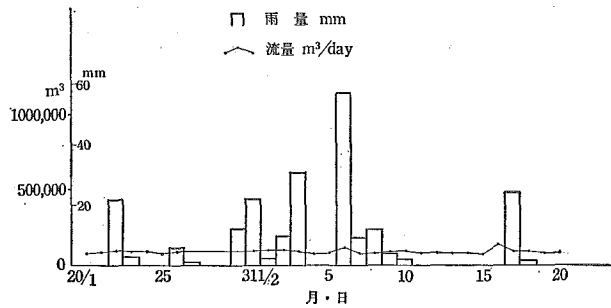
① 12月1月2月3月の所謂冬期の降雨は, 熊本, 東京の様な低暖地の降雨と異なり, 相当量が降雪で, 従つて流出状況も異なる。

② 信大構内と三浦ダム地点の降雨量を比較して明瞭な様に, 同じ高冷地で距離が可成り接近していても, 高度の相異, 方向の相異によつて甚だしく降雨量を異にする。これは北大, 中谷博士等の云う降雨量は標高高さに比例して上昇する事と一致するが, 気象的に上昇気流が高冷地の特に標高の高い地点で冷却され水滴となり, 降雨となつて降雨量を増大せしめる事が大きく影響していると思われる。三浦ダム地点(標高1250m)に於ては第2図に示す様に, 7, 9, 10月は驚異的に降雨量が多いが, 此の地帯では降雨量観測地点より更に標高の高い地点では20%以上も降雨量が大と推定される。(清水: 流出についての研究 昭29年9月 信大紀要参考)

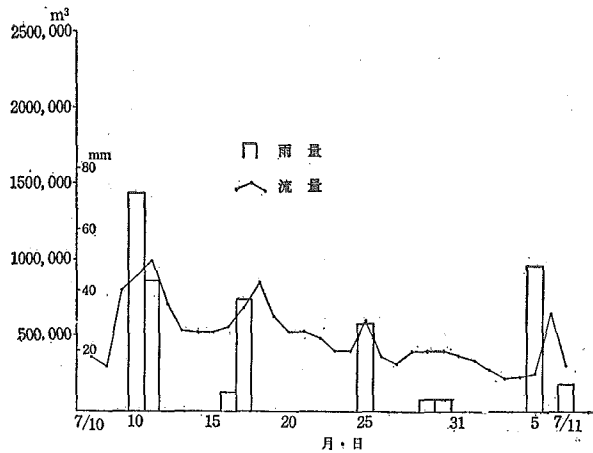
(ii) 降雪, 積雪, 雪融け

冬期になると高冷地に於ては, 時として降雨のかわりに降雪となり, 地上に於てはそれが積雪となつて堆積する。従つて低暖地に於ては冬期降雨があつた場合, 普通は, ただちに地表流出するか又は地下滲透して行くに對し, 高冷地に於ては積雪となつて地表滞留して, ただちには地表流出又は地下滲透は生じないのである。その例として三浦ダム地点に於ける昭和18年1月20日~2月20日の降雨量及流出量状況は第4図に示す

第4図 冬期流出量



第5図 普通期流出量



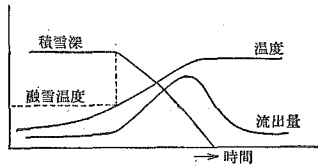
如く降雪があつても、流出となつて現れないで流域内に積雪となつて滞溜している。処が普通の時期、或は低暖地に於いて降雨のあつた場合は第5図に示す様に、降雨が流出量に鋭敏に影響して現れる。尤も低暖地に於ても土壤が乾燥している時に降雨があつても、降雨は土中水分として保留され、流出量に顕著に影響しない場合もある。併し高冷地に於ても冬期又は春期に気温が上昇したり降雨があると積雪は融け、雪融けとなつて地表流出或は地下滲透して行くのである。

第6図は温度上昇により積雪が融け、その為流出量が増大する状況を示し、第7図は降雨により積雪が融け流出量が増大する状況を示したものである。併し第7図の様な場合はいづれにしても雪融けと降雨とが合するので、流出量が甚だしく大となる傾向がある。一例を挙げれば三浦ダム地点に於ては、昭和22年4月21日~24日の流出状況は下記の如し。

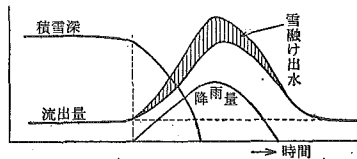
月 日	降雨量mm	流出量m ³ /day
4・21	18.7	1,560,000

4・22	12.7	3,040,000
4・23	2.0	382,000
4・24	4.0	720,000
計	37.4	6,152,000

第6図



第7図



此の場合の流域面積は 59km² であるから 37.4mm の降雨が流域に 一様に降つたと考えれば実に降雨量の 2.78 倍の流出量 (基底流出量を含む) があつた事になり、従つて流域内の積雪量が如何に大であつたかが推察されるのである。

2 温度

高冷地に於ては気温も低暖地に比較して低く、従つて地温も低い訳である。此の事は冬期に於ては降雪ひいては積雪となり、又凍結現象を見る様になり、水の流出機構に影響する処大である。

土壌内の水の透水性にしても Zunker は

$$K = \frac{\mu}{\eta} \left(\frac{P_0}{1-P} \right)^2 \frac{1}{U^2} \dots\dots\dots \textcircled{3}$$

K ……透水性 μ ……形状係数 P ……土壌全空隙 η ……液の粘度

P_0 ……土壌全空隙より吸着水の容積を引いたもの U ……土壌比表面積

で表しているが、氷の場合 η も温度に依つて影響され従つて透水性も温度に依つて影響される事が分る。特に高冷地に於て気温、地温が 0°C 以下になつて水分が凍結する様になると、水の流出機構は低暖地に於ける流出機構と趣を大いに異にするのである。

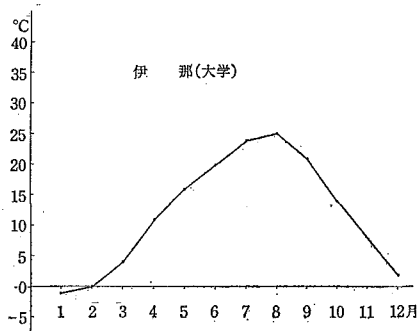
(i) 月別気温

第2表 月別平均気温 (昭和18年~昭和32年大学構内)°C

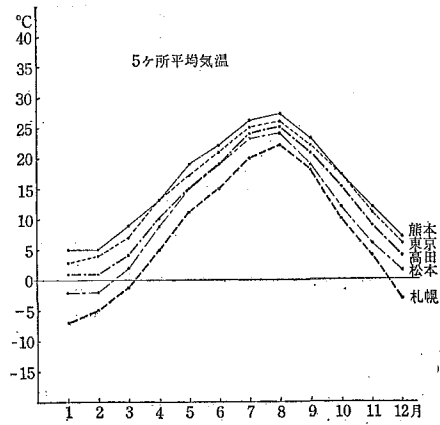
年	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
18	-1.1	-0.3	4.7	9.7	17.0	21.7	24.7	25.9	22.3	14.9	7.7	3.1
19	-0.3	-0.4	3.5	9.2	18.3	21.3	24.2	26.9	21.6	14.7	8.1	1.8
20	-2.3	-1.2	4.5	12.3	14.3	20.8	22.3	26.6	21.5	15.3	8.4	1.0
21	1.2	0.7	3.7	12.0	15.7	21.6	25.9	25.4	20.5	14.2	9.7	1.3
22	0.4	-2.9	2.8	11.9	15.0	19.7	24.6	26.6	22.0	13.1	7.1	0.6
23	-0.3	0.3	3.6	12.2	16.2	20.5	25.0	25.8	21.1	15.8	9.5	5.8
24	—	2.9	3.0	9.7	17.6	20.3	24.3	26.8	21.5	13.6	7.5	3.2
25	1.2	1.7	5.1	13.1	18.3	19.6	25.3	25.6	22.2	14.8	11.1	0.8
26	-0.9	0.5	5.0	10.0	16.8	19.0	22.9	26.4	18.8	16.2	8.1	3.6

27	0.3	0.9	4.1	10.6	16.0	19.0	23.0	26.3	21.0	14.9	9.7	2.7
28	-0.7	0.3	3.9	8.0	14.5	15.6	21.6	22.2	19.7	13.7	6.2	2.5
29	-0.9	0.0	3.5	10.9	13.9	16.8	21.6	24.7	20.5	11.6	7.0	2.0
30	-1.8	0.4	4.1	10.1	13.7	19.7	23.9	23.9	20.0	14.0	5.8	2.6
31	-1.5	-1.1	4.7	9.3	14.0	19.0	23.2	23.0	19.6	13.7	6.7	-0.1
32	-0.3	-2.1	0.9	11.0	13.7	17.5	21.7	24.2	17.2	13.0	7.6	2.1
計	-7.0	-0.3	57.1	160.0	234.9	292.1	354.2	380.3	309.5	213.5	120.1	33.0
平均	-0.5	0.0	3.8	10.7	15.7	19.5	23.6	25.4	20.6	14.2	8.0	2.2

第8図 15年間月別平均気温



第9図 月別平均気温比較



大学構内に於ける昭和18年—昭和32年の月別平均気温は第2表の様になり、その15年間月別平均気温は第8図の様になる。これよりすると1月及び2月は0°C以下である。次に第9図の月別平均気温比較を見ると、熊本、東京、高田に於ては、平均気温が0°C以下になる月は無いが、松本、札幌に於ては夫々1月、2月及び1月、2月、3月、12月が0°C以下となる。勿論気温が0°C以下であれば必ず地温も0°C以下となるとは限らないが、気温が0°C附近を中心として水の流出機構に大きな影響を与えると考えられ、それについては現在実験を進めている。

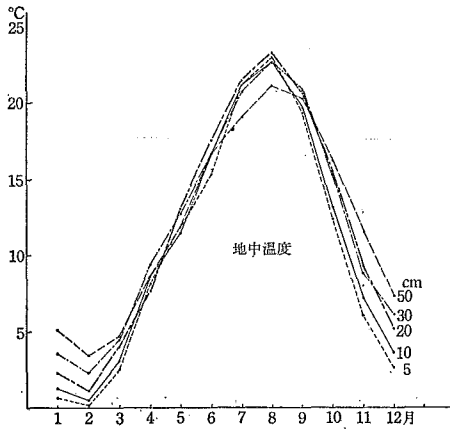
(ii) 地中温度

大学構内に於ける深さ5cm, 10cm, 20cm, 30cm, 50cmに於ける地中温度の昭和29

第3表 深さ別地中温度(昭和29年, 30年平均)°C

深さcm	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
5	0.7	0.2	2.6	8.2	11.9	15.3	21.4	23.0	19.4	12.4	6.1	2.8
10	1.3	0.5	3.1	8.7	11.5	16.8	21.3	22.7	19.7	13.2	7.2	3.7
20	2.3	1.1	4.0	7.8	13.1	17.6	21.5	23.3	20.7	14.6	9.3	5.2
30	3.6	2.3	4.5	9.4	12.8	16.7	20.8	22.7	20.8	15.3	8.8	6.2
50	5.1	3.5	4.7	8.6	11.9	15.7	19.1	21.2	20.3	16.2	11.6	7.4

第10図 深さ別地中温度



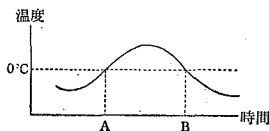
年、30年2ヶ年観測結果を平均した数値は第3表の様になり、それを図示すると第10図の様になる。之で見ると地中温度は5cm以上深くなる。0°C以下となる事は無い事、気温の最低は1月であるに対し、地温の最低は各深さとも2月である事が分る。之は積雪と関係あるものと思われる。

(iii) 温度の時間的变化

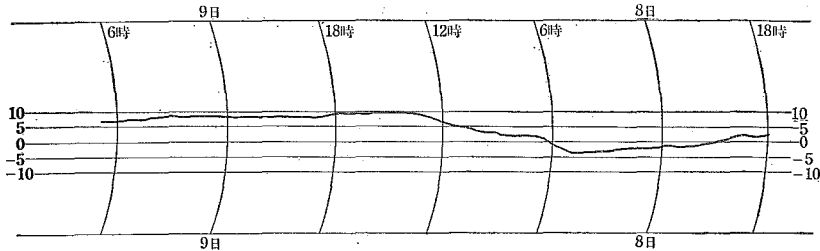
気温或は地温が0°C以下になると水の流出機構は、その通常の機構を著しく阻害される事は上述の通りである。勿論地温の場合に於ても表面が0°Cであつても、少しく地表面より深い位置になると、相当温度が高くなり、水の移動も普通に行はれる様になる。

其処で今気温或は地温の時間的变化が第11図の如くであるとすると、AよりBの時間が短かければ短かい程、通常の流出機構は阻害される事になる。処で高冷地になればなる程、冬期に於ける1日のABの間が短くなる。又同一高冷地に於ても寒冷な時期になればなる程AB間の時間が短くなる。今信大構内の観測結果を例示すれば第12及び第13図の如し。

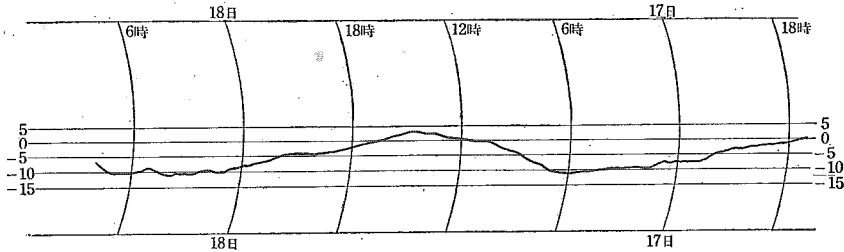
第11図



第12図 昭和32年12月7日18時—9日6時気温



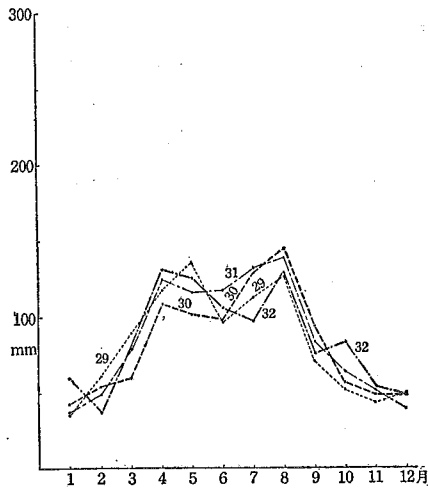
13図 昭和33年2月16日18時—18日6時気温



即ち2月の方が12月よりも通常の流出機構が阻害されていると見て差支えない。従つてAB間の時間が短かければ短かい程、他の条件が同一であれば、同一降雨が降つても流出量は小となる。此の事は高冷地に於て、冬期特に基底流出量が低い事の原因となつてゐる。

3 蒸発量その他

第14図 月別蒸発量(信大構内)



②式に於て蒸発量Eが流出量Dに大きな影響を与える事が明である。処で高冷地に於けるEは、冬期に於て特に低暖地のEと趣を大いに異にする。例えば積雪に覆われている処ではそれは雪面からのEである。又土壌面蒸発にしても凍結土壌面からのEについてその値を測定しなければならない。今信大構内蒸発計による月別蒸発量を示すと第4表及第14図の様になる。

蒸発計よりの蒸発量はかなり高い値を示しているが、実際高冷地流域よりの蒸発量は之より可成り低い値と推定される。その他気象条件で温度、風速が蒸発量に影響し、ひいては流出量Dに影響を与える事は論をまたない。

第4表 月別蒸発量(信大構内)

年	月												計
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
昭29年	35.7	61.1	90.4	119.0	136.4	96.9	113.0	126.7	71.2	51.8	43.5	45.1	990.8
30	42.9	53.6	60.0	109.0	102.2	98.3	129.3	144.9	94.3	56.7	48.8	48.8	988.8
31	36.8	48.9	78.6	125.6	117.3	118.2	131.8	138.6	83.0	64.0	52.2	40.4	1035.4
32	59.8	38.3	81.0	131.4	126.4	105.8	97.9	128.5	75.8	82.9	53.9	48.6	1030.3

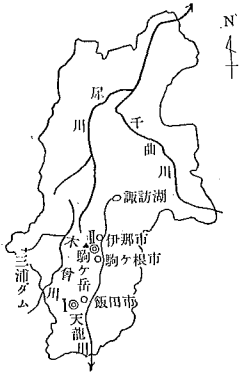
Ⅲ 長野県飯田市大明神原地区調査結果

第15図に示す◎ I 地点を1956年12月に調査地区とし、自記水位計を設置し、1956年12月～1957年10月にわたる流量を観測し、降雨量、蒸発量は水位計位置より約1000m離れた営林署苗畑内観測所のものを使用した。

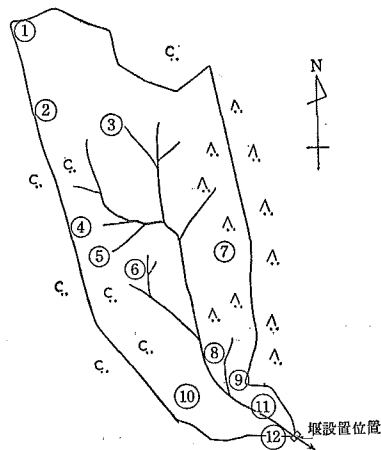
1 流域状況

流域は第16図に示す様に北西より南東に向つて細長い船底の様な形をなしその最底部を幹線水路が流れている。流域面積は現地をコンパス測量して算出した結果 69,658m² 即ち約70,000m²で地目別面積は次の様である。

第15図 長野県図



第16図 流域略図



山林	40% {杉50%, 松10%, 幼植林10%, その他の樹木30%}
雑木	40%
草地	10%
山道及水路	5%
裸地畑地	3%
その他	2%

流域形状に関する数値を求めると次の如くなる。

$$\text{幹線水路延長 } L_0 = 0.425 \text{ km}$$

$$\text{流域面積 } A = 0.069658 \text{ km}^2$$

$$\text{平均巾 } B = \frac{A}{L_0} = 0.164$$

$$\text{流域の形状係数 } F = \frac{B}{L_0} = 0.386$$

$$\text{流域の密集度 } C = \frac{2\sqrt{\pi A}}{\text{流域の周囲}} = 0.729$$

全流路長さ $L=1.0951\text{km}$

流路の状況を表はす数値を求めると、

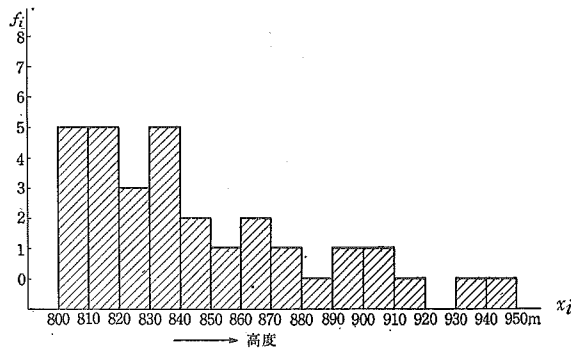
河川密度 $M=\frac{L}{A}=15.6$

山腹長さ $l=\frac{A}{2L}=0.0318$

沢間隔 $2l=0.0636$

流域の平均高度を求める為各高さの頻度分布を求めると第17図のようになった。従つて

第17図 流域標高別分布面積



平均高度 $M=\frac{1}{N}\sum f_i x_i=844.75\text{ (m)}$

N総流域面積

標準偏差 $\mu=\sqrt{\frac{1}{N}\sum f_i(x_i-M)^2}=37.81\text{ (m)}$

変動率 $CV=0.0447$

流域の勾配 $I=\frac{10\text{m}\times\text{等高線数}}{20\text{m}}=\frac{10\times 0.52}{20}=0.26$

流域内の水みちとしては流路の他に山腹ひだ、道路、踏跡等があるが流路面積は第5表の様である。

第5表 流路面積

	流路巾	流路両側延長	面積
本流下部	0.6m	0.4m	285m ²
本流上部	0.4	0.25	91
全支流計	0.2	0.1	670
			577

此処の特長としては流路上流部に於て、深く掘さくして地下水を catch する様に於てある事である。

流域の地質は、主として花崗岩それに片麻岩、石英粗面岩がまじり、土質調査として現地土壌を第16図に示す12地点にて採取し、A. S. K. 法により機械分析した結果、第6表のようになった。(代表的にNo. 2, No. 8, No. 11を掲げる)

真山重、仮比重は第7表の様になり、空隙率、含水率は第8表のようになった。

第6表 機械分析結果

No. 2

分類名	礫	粗砂	細砂	微砂	粘土	土質	備考
粒径mm 深さcm	2 mm以上	2—0.25	0.25~0.05	0.05~0.01	0.01以下		
0—20	14.39%	21.87%	31.65%	8.54%	23.53%	砂壤土	腐植大
20—50	4.30	17.49	29.80	19.27	29.13	壤土	
50—100	5.16	10.40	26.63	19.15	38.64	植壤土	

No. 8

分類名	礫	粗砂	細砂	微砂	粘土	土質	備考
粒径mm 深さcm	2 mm以上	2~0.25	0.25~0.05	0.05~0.01	0.01以下		
0—20	5.85%	22.08%	30.65%	15.55%	21.43%	砂壤土	礫多し
20—50	3.34	17.55	33.46	20.73	24.90	"	
50—100	26.09	15.62	39.14	17.43	1.21	砂土	

No. 11

分類名	礫	粗砂	細砂	微砂	粘土	土質	備考
粒径mm 深さcm	2 mm以上	2~0.25	0.25~0.05	0.05~0.01	0.01以下		
0—20	3.52%	20.05%	37.53%	17.94%	38.88%	植壤土	腐植多し
20—50	6.76	14.77	30.50	17.63	30.32	壤土	
50—100	9.34	11.41	32.68	13.67	32.68	"	

第7表 真比重, 仮比重

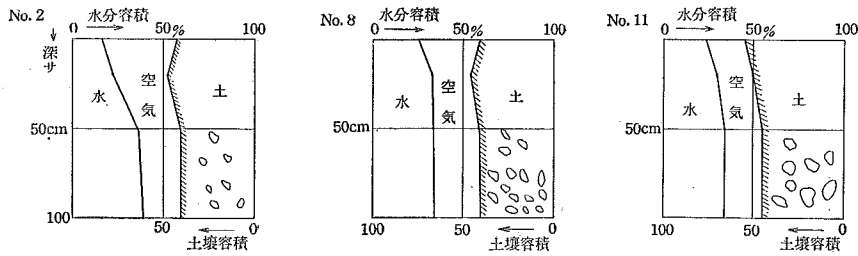
採取位置	深さcm	真比重	仮比重
No. 2	0~20	2.349	0.868
	20~50	2.034	0.746
	50~100	2.453	0.828
No. 8	0~20	2.466	0.948
	20~50	2.200	0.687
	50~100	2.408	0.855
No. 11	0~20	1.822	0.544
	20~50	2.007	0.757
	50~100	2.241	0.848

第8表 空隙率, 含水率

採取位置	深さcm	空隙率 %	含水率
No. 2	0~20	63.03	18.12
	20~50	72.80	31.03
	50~100	66.22	43.33
No. 8	0~20	61.54	27.05
	20~50	68.73	47.44
	50~100	65.40	38.71
No. 11	0~20	70.11	43.02
	20~50	62.27	39.57
	50~100	62.14	40.08

従つて土壤の土, 水, 空気の関係を図示すれば第18図の様になると思われる。又降水頭法によつて滲透係数を測定せる結果は第9表の如し。

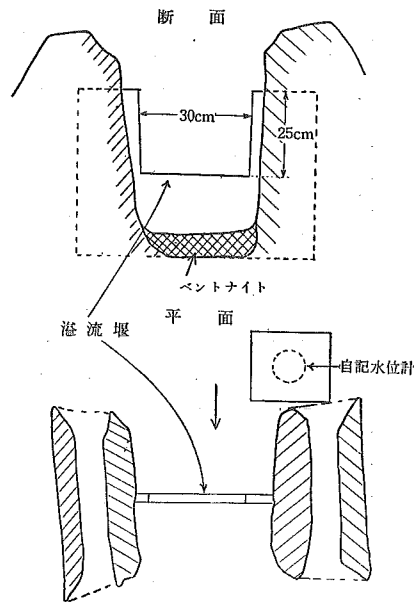
第18図 土 壤 の 土、水、空 気



第19図 堰 設 置 状 況

第 9 表 滲 透 係 数

採取位置	深 さ cm	滲透係数 (cm/sec)
No. 2	0 ~ 20	0.00534
	20 ~ 50	0.00042
	50 ~ 100	0.00025
No. 8	0 ~ 20	0.00143
	20 ~ 50	0.00102
	50 ~ 100	0.00310
No. 11	0 ~ 20	0.00199
	20 ~ 50	0.00507
	50 ~ 100	0.00574



以上の土質よりすると此の流域は保水能力の相当大なる流域と考えられる。

2 流量測定

流域内よりの流出水量を測定する為、第16図に示す様な位置に矩形堰を設置し、溢流水深をウイジン社製自記水位計にて記録せしめそれより流出量を算出した、堰及び自記水位計設置状況は第19図に示す通りで、設置当初は低水時期であつたから此の堰で良かったが、雪融け時期には切り込みを50cmにして出水時の流出量を測定する様にした。

流量計算式は

$$Q = \frac{2}{3} cb \sqrt{2g} \left\{ (H+h)^{\frac{3}{2}} - h^{\frac{3}{2}} \right\}$$

c : 係数 0.63

b : 溢流巾 0.3m

g : 重力の加速度 9.8m/sec

H : 溢流水深

h : 接近水頭 0

$$\therefore Q = 1.838 b \left\{ (H+h)^{\frac{3}{2}} - h^{\frac{3}{2}} \right\}$$

$$\therefore Q = 1.838 \times 0.3 \times H^{\frac{3}{2}}$$

$$\therefore Q = 0.555 \times H^{\frac{3}{2}} m^3/sec$$

尚ほ自記水位計は1957年10月15日に取外したので1957年10月16日~12月17日の流量は降雨量、蒸発量の関係から推定した。

3 年間流出量と年間消失量

前述の

$$P = D + E + G + M$$

に於て、1年を通じて考えて見ると M 即ち土湿増加量は、10月末日の土湿を100mmと仮定するならば翌年の10月末日の土湿も大体100mmと見て大差ないから、1年間に於ては増加量 $M = 0$ と見て差支へない。次に G 即ち地下水補給量であるが、流量測定個処に於て、地下水を充分catchして流出量として測定出来る様にして置けば $G = 0$ と考えて良い。処で本測定場所に於ては、地下水が他に逃げる事を充分防ぐ様に流路及び堰を設置してあるので、本調査地点に於ては

$$P = D + E$$

となる。従つて本地区に於ける年消失量は年蒸発量の E と等しい。故に1956年12月18日より1957年12月17日の1年間に於ける本地区の年降水量、年流出量、年消失量(=年蒸発量)流出率、消失率は第10表の如し。之と比較する為他の地区の流出率を示すと第11表の如し。

第10表 降水量, 流出量, 流出率

降水量	流出量	消失量	流出率	消失率
1953.4mm	1527.7mm	425.7mm	78.20%	21.80%

第11表 年流出率の例(各地流出試験地)

試 験 地	流域面積 ha	降水量 mm	流出量 mm	消失量 mm	流出率 %
足 尾	299	1,982	935	1,047	46
太 田	16	1,646	843	803	52
愛 知 演 習 林	110	1,468	829	639	56
"	107	1,782	1,022	760	56
岡 山 高 島	23	1,144	333	811	27
広 島 立 花	22	1,240	503	737	41
角 館	1.87	2,019	853	1,166	41
釜 淵	3.06	2,616	2,017	599	76
岩 手 大 演 習 林		1,840	1,062	778	58
神 戸 水 道	13	1,231	455	776	37
埼 玉 逆 川	358	1,509	674	835	45
北 海 道 上 川	573	1,399	798	601	57

之で見ると消失量が600~1000mmで、本地区より可成り高いが、此の中には流量測水地点を通らず、地下水流動をなし、地下水補給として消失して行くものもあると考えられる。又宝川(年平均気温5°C)の様な高冷地に於ける平均消出量は470mmと報告されている様に一般に高冷地の方が低暖地に比較して消失量(蒸発量)が小と考えられる。KellerやKootenが湿潤地における年蒸発量 E と年平均気温 $T^{\circ}C$ との間に作った実験式即ち

$$\text{Keller} : E = 100 + 50T - \frac{1}{3}T^2$$

$$\text{Kooten} : E = 44T + 123$$

に依つても温度の低い地帯の方が蒸発量のはるかに小なる事が分る。

而して本地区内の消失量即ち蒸発量425.7mmは蒸発計蒸発量の数値とは可成りの開きがある。勿論之は流域内の地被状況、日照、風向、風速等に関係する事であるが、年蒸発量としては寧ろ $E = P - D$ より求めた値の方が、より真実に近いと考えて各月蒸発量を次式にて求めた結果が第12表である。

$$E_i = \frac{E_m}{E_n} \times E$$

E_i : 各月配分蒸発量

E_m : 各月蒸発計蒸発量

E_n : 年蒸発計蒸発量

E : $P - D$ (年間)

第12表 月 別 蒸 発 量 mm

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	計
蒸発計蒸発量	30.0	23.9	84.5	11.04	95.5	84.6	92.6	122.7	51.1	89.7	53.7	49.0	887.7
配分 "	14.4	11.6	40.5	53.1	45.8	40.6	44.5	58.8	24.5	44.0	25.7	22.2	425.7
修正 "	12.4	10.1	40.0	53.6	46.8	42.1	46.0	60.8	25.0	44.0	24.2	20.7	425.7

独逸の Wollny 氏の土壤面よりの蒸発量の実験によると、土壤面よりの蒸発量は自由水面よりの蒸発量に比して著しく小さく約 $1/2$ に当り、土壤中砂土よりの蒸発量が最も小さく、埴土これに次ぎ、赤土が最も多量であると云つている。又独逸に於ける観測の結果は、裸地の開けた原野の蒸発量と密林内の蒸発計蒸発量との比は100:44であり、若い樹林地の場合は100:80となつている。他に裸地上の蒸発計蒸発量を単位とする時各種の土地の蒸発計蒸発量は

砂利地	0.8
草地	0.7
疎林地	0.6
密林地にして雑草繁茂せる土地	0.2~0.4

なる結果も発表されている。

米国では各種地表面の土質植生と蒸発量との関係を知るために、地表面上4吋の高さ

の処に Livingston porouscup atmometer なる蒸発計を設置し、別に水蒸気無き処に設置した自由水面を有する普通の蒸発計蒸発量との比率を測定した結果、

草木なき砂地又は平坦なる砂利地	100%
低き草の繁茂せる開ける庭園	80~100
稍々高き海岸	80~90
下草の繁茂せる密林	35~40
砂利地の疎林	50~70
雑草繁茂せる谷間の密林	13
雑草繁茂し、地下水の高い沼沢地の密林	10
淡水の沼	45

となつている。併し以上の結果の中でも其処に生育している植物よりの蒸散量まで加味した蒸発量についての研究は少い。

4 各月流出量と各月保水量

期間1ヶ月に於ける水収支はやはり

$$P=D+E+G+M$$

であるが、やはり此の場合流量測定位置に於て地下水補給も正確に流出量 D として出る事が考えられるので $G=0$ として支差へない。

従つて上式は

$$P=D+E+M$$

となる。故に土湿増加量即ち保水量変化

$$M=P-(D+E)$$

第13表 各月保水量変化及び流出率

年 月	降水量(mm) P	流出量(mm) D	蒸 発 量 E (mm)	保水量変化 M (mm)	保 水 量 (mm)	流 出 率 %
1957年 1月	76.0	63.2	12.4	+0.4	87.9	83.1
2月	96.8	57.3	10.1	+29.4	117.3	59.2
3月	53.7	49.7	40.0	-36.0	81.3	92.7
4月	233.1	173.8	53.6	+5.7	87.0	74.5
5月	202.4	169.1	46.8	-13.5	73.5	83.5
6月	376.5	245.7	42.1	+88.7	162.2	65.2
7月	309.0	270.5	46.0	-7.5	154.7	87.5
8月	83.2	63.9	60.8	-41.5	113.2	76.8
9月	326.9	271.5	25.0	+30.4	143.6	83.5
10月	73.1	72.7	44.0	-43.0	100	99.5
11月	60.7	47.9	24.2	-11.4	88.6	78.9
12月	62.0	42.4	20.7	-1.1	87.5	69.5
1956年分	(56.8)	(25.7)	(11.2)	(+19.9)		
	(5.2)	(16.7)	(9.5)	(-21.0)		
計	1953.4	1527.7	425.7			78.2%

となり、各月の P 及 D は分つており又 E は先に算出されておるから、 M も算出出来る訳である。

第13表保水量変化の処はその様にして算出したものである。更に10月末日の保水量を100mmとして、各月末日の保水量を算出すると保水量の欄に示す様な値が出る。唯し此の場合1年間の動きを見る為1956年12月18日より同月31日まで観測した値を1957年12月17日の後に続け、且つ1957年12月末日の保水量を1957年1月初日に続けて考えている訳である。

第13表の流出率を見ると大体良好な数字が出ているが、唯10月が少々大なる値を示しており之は9月の降雨の一部が10月に影響している為と考えられる。又10月末日に於ける保水量は毎年必ずしも完全には一致しないが、夏秋の雨に依つて流域が最大限に保水されて後、不安定な一時的保水量が流出し去つて一応安定した保水状態に落ち着く時であるから、各年とも大差ないと考えられる。

5 各日流出量及び各日保水量

毎日の降水量及び流出量よりして、毎日の保水量は第14表の様になると考えられる。日保水量はその日の流域乾湿状態を示す示標となる。

第14表 流出日変化

14表-1

1957-1 月流出量3252.430m³ 月流出率83.1%

月 日	降 水 量 (mm)	平均流量 m ³ /sec	流 出 量 (m)	蒸 発 量 (mm)	保水量変化	保 水 量
1・1		0.001690	0.0021	0.40	-2.5	85.0
2		"	"	"	"	82.5
3		"	"	"	"	80.0
4		"	"	"	"	77.5
5		"	"	"	"	75.0
6	2.3	0.000395	0.0005	"	+1.4	76.4
7		"	"	"	-0.9	75.5
8		0.000475	0.0006	"	-1.0	74.5
9	5.1	"	"	"	+4.1	78.6
10	11.8	0.001807	0.0022	"	+9.1	87.8
11	3.5	0.001339	0.0017	"	+1.4	89.2
12	1.0	0.000726	0.0009	"	-0.3	88.8
13		"	"	"	-1.3	87.6
14	9.3	0.001339	0.0017	"	+7.2	94.8
15	0.2	0.001016	0.0013	"	-1.5	93.3
16		"	"	"	-1.7	91.6
17		"	"	"	"	89.9
18		"	"	"	"	88.2
19		"	"	"	"	86.5
20		"	"	"	"	84.8

21		"	"	"	"	83.1
22		"	"	"	"	81.4
23	0.5	"	"	"	-1.2	80.2
24		"	"	"	-1.7	78.5
25		"	"	"	-1.7	76.8
26	16.0	0.001690	0.0021	"	+13.5	90.3
27		0.000475	0.0059	"	-6.3	84.0
28		0.000475	0.0059	"	-6.3	77.7
29	15.0	"	"	"	+8.7	86.4
30	11.3	0.005295	0.0066	"	+4.3	90.7
31		0.001940	0.0024	"	-2.8	87.9
計	76.0		0.00632	12.40	+0.4	

14表-2

1957-2 月流出量4119.808m³ 月流出率59.2%

月日	降水量 (mm)	平均流量 m ³ /sec	流出量 (m)	蒸発量 (mm)	保水量変化	保水量
2・1		0.001807	0.0022	0.36	-2.56	85.34
2		"	"	"	-2.56	82.78
3	36.9	0.003472	0.0043	"	+32.24	115.02
4	1.0	0.002595	0.0032	"	-25.6	112.46
5	2.0	0.001565	0.0019	"	-0.26	112.20
6	11.0	"	"	"	+8.74	120.94
7	24.0	0.003943	0.0049	"	+18.74	139.68
8	0.5	0.003472	0.0043	"	-4.16	135.52
9	2.5	0.002595	0.0032	"	-1.06	134.46
10	1.8	0.001445	0.0018	"	-0.36	134.10
11	1.0	0.001339	0.0017	"	-1.06	133.04
12	2.7	0.001565	0.0019	"	+0.44	133.48
13		"	"	"	-2.26	131.22
14		"	"	"	-2.26	128.96
15	3.5	"	"	"	+1.24	130.22
16	7.0	0.001227	0.0015	"	+5.14	135.36
17		"	"	"	-1.86	133.50
18		"	"	"	-1.86	131.64
19	2.0	"	"	"	+0.14	131.78
20		0.001119	0.0014	"	-1.76	130.02
21		0.000917	0.0011	"	-1.46	128.56
22		"	"	"	"	127.10
23		"	"	"	"	125.64
24		"	"	"	"	124.18
25		"	"	"	"	122.88
26		"	"	"	"	121.24
27	0.7	"	"	0.37	-0.77	122.01
28	0.2	0.002595	0.0032	"	-3.37	117.30
計	96.8		0.0573	10.1	+29.4	

14表-3

1957-3 月流出量3474.144m³ 月流出率92.7%

月 日	降 水 量 (mm)	平 均 流 量 m ³ /sec	流 出 量 (m)	蒸 発 量 (mm)	保水量变化	保 水 量
3・1		0.000917	0.0011	1.29	-2.39	114.91
2		〃	〃	〃	〃	112.62
3		0.001339	0.0017	〃	-2.99	109.63
4	3.5	0.002172	0.0027	〃	-0.49	109.63
5	6.9	〃	〃	〃	+2.91	109.14
6		0.001227	0.0015	〃	-2.79	112.05
7		〃	〃	〃	〃	109.26
8	11.6	〃	〃	〃	+16.81	106.47
9	7.6	0.001565	0.0019	〃	+4.41	123.28
10	1.1	0.001807	0.0022	〃	-2.39	127.69
11	0.9	〃	〃	〃	-2.59	122.71
12		0.001444	0.0018	〃	-3.09	119.62
13		0.001339	0.0017	〃	-2.99	116.63
14		0.001119	0.0014	〃	-2.69	113.94
15		〃	〃	〃	〃	111.25
16	0.8	〃	〃	〃	-1.89	109.36
17		〃	〃	〃	-2.69	106.67
18		〃	〃	〃	〃	103.98
19		0.001339	0.0017	〃	-2.99	100.99
20		〃	〃	〃	〃	98.00
21	1.0	0.001119	0.0014	〃	-1.69	96.31
22		〃	〃	〃	-2.69	93.62
23	2.3	〃	〃	〃	-0.39	93.23
24		〃	〃	〃	-2.69	90.54
25	1.0	〃	〃	〃	-1.69	88.85
26	0.2	〃	〃	〃	-2.49	86.36
27		〃	〃	〃	-2.69	83.67
28		〃	〃	〃	〃	80.43
29		〃	〃	〃	〃	77.79
30	9.2	0.001444	0.0016	〃	+6.31	84.10
31		0.001227	0.0015	1.30	-2.80	81.30
計	53.7		0.0497	40.0	-36.0	

14表—4

1957—4 月流出量11944.198m³ 月流出率74.5%

月 日	降 水 量 (mm)	平 均 流 量 m ³ /sec	流 出 量 (m)	蒸 発 量 (mm)	保水量変化	保 水 量
4・1		0.001119	0.0014	1.78	-3.18	78.12
2		"	"	"	"	74.94
3		"	"	"	"	71.76
4		"	"	"	"	68.58
5		"	"	"	"	65.30
6		"	"	"	"	62.22
7		"	"	"	"	59.04
8		0.000917	0.0011	"	-2.88	56.16
9		"	"	"	"	53.28
10		"	"	"	-2.58	50.77
11	0.3	0.002172	0.0027	"	+20.52	71.29
12	25.0	0.001017	0.0013	"	+0.72	72.01
13	3.8	0.000917	0.0011	"	-2.88	69.13
14		"	"	"	"	66.25
15		"	"	"	"	63.37
16	1.3	"	"	"	-1.58	61.79
17		"	"	"	-2.88	58.91
18		"	"	"	"	56.03
19	47.0	0.009199	0.0141	"	+31.12	87.15
20	41.0	0.012560	0.0156	"	+23.62	110.77
21	25.9	0.006369	0.0073	"	+16.82	127.59
22	31.2	0.011170	0.0139	"	+15.52	143.11
23	34.5	0.018881	0.0234	"	+9.32	152.43
24	1.5	0.009199	0.0114	"	-11.68	140.75
25	21.5	0.014985	0.0186	"	-1.12	139.63
26		0.008568	0.0106	"	-12.38	127.25
27		0.007529	0.0093	"	-11.08	117.76
28		"	"	"	"	116.68
29		0.006580	0.0082	"	-9.99	99.70
30		0.006369	0.0079	1.80	-9.7	87.00
計	233.1		0.1738	53.6	+5.7	

14表-5

1957-5 月流出量12515.636m³ 月流出率83.5%

月 日	降 水 量 (mm)	平 均 流 量 (m ³ /sec)	流 出 量 (m)	蒸 発 量 (mm)	保水量変化	保 水 量
5・1		0.006369	0.0073	1.50	-8.8	78.0
2	7.0	0.006580	0.0081	//	-2.6	75.6
3		0.005295	0.0066	//	-8.1	67.5
4	13.0	0.005983	0.0074	//	+4.1	71.6
5	45.8	0.014505	0.0179	//	+26.4	98.0
6	6.3	0.008159	0.0101	//	-5.3	92.7
7	7.4	0.007957	0.0100	//	-4.1	88.6
8	1.0	0.006953	0.0086	//	-9.1	79.6
9		0.005832	0.0072	//	-8.7	70.8
10		0.005463	0.0068	//	-8.3	62.5
11	24.0	0.007339	0.0091	//	+13.4	75.9
12	11.6	0.008987	0.0011	//	+9.0	84.9
13		0.005634	0.0070	//	-8.5	76.4
14	4.7	0.003632	0.0045	//	+0.5	76.9
15		0.002596	0.0032	//	-4.7	7.22
16		//	//	//	//	67.5
17		//	//	//	//	62.8
18		//	//	//	//	58.1
19	14.5	0.003472	0.0043	//	+8.7	66.8
20	5.6	0.003161	0.0039	//	+0.2	67.0
21		0.002192	0.0027	//	-4.2	62.8
22	1.9	0.002065	0.0026	//	-2.2	60.6
23		0.001690	0.0021	//	-3.6	57.0
24	28.2	0.003315	0.0041	//	+22.6	79.6
25	10.7	0.005295	0.0066	//	+2.6	82.2
26		0.002323	0.0030	//	-4.5	77.7
27		0.001940	0.0024	//	-3.9	73.8
28	5.5	0.002192	0.0027	1.5	+1.3	73.1
29	14.6	0.003472	0.0043	1.6	+8.7	81.7
30	0.8	0.002886	0.0036	1.6	-4.4	77.3
31		0.001807	0.0022	1.6	-3.8	73.5
計	202.4		0.1691	46.8	-13.5	

14表—6

1957—6 月流出量17090.496m³ 月流出率65.2%

月 日	降 水 量 (mm)	平 均 流 量 (m ³ /sec)	流 出 量 (m)	蒸 発 量 (mm)	保水量変化	保 水 量
6・1	14.8	0.002458	0.0030	1.42	+10.38	83.88
2	16.7	0.004264	0.0053	"	+9.98	93.86
3		0.001940	0.0024	"	-3.82	90.54
4		0.001565	0.0019	"	-3.32	97.22
5	16.2	0.002596	0.0043	"	+10.48	97.70
6	15.0	0.003943	0.0049	"	+8.68	106.38
7	16.8	0.005834	0.0072	"	+8.18	114.56
8	0.8	0.003943	0.0049	"	-5.52	109.04
9		0.003028	0.0038	"	-5.22	103.82
10		0.002736	0.0034	"	-4.82	99.00
11	10.8	0.003161	0.0039	"	+5.48	104.48
12		0.002736	0.0034	"	-48.2	99.66
13	0.7	0.002596	0.0043	"	-5.02	94.64
14		0.001445	0.0018	"	-3.22	91.42
15	0.4	"	"	"	-2.82	88.60
16		"	"	"	-3.22	85.38
17	12.4	0.002456	0.0030	"	+7.98	93.36
18	1.6	0.001565	0.0019	"	-1.72	91.64
19		0.001227	0.0015	"	-2.92	88.72
20		0.001445	0.0018	"	-3.22	85.50
21		0.001690	0.0021	"	-3.52	81.98
22	5.6	"	"	"	+2.08	84.06
23		0.001339	0.0017	"	-3.12	80.94
24	12.2	0.002192	0.0027	"	+8.08	89.02
25		0.001445	0.0018	"	-3.22	85.80
26	39.0	0.008568	0.0106	1.52	+26.88	112.68
27	178.0	0.11988	0.1487	"	+27.78	140.46
28	6.7	0.002192	0.0027	"	+2.48	143.34
29	17.2	0.003633	0.0045	"	+11.28	154.62
30	11.6	0.002065	0.0025	"	+7.58	162.2
計	376.5		0.2457	42.1	+88.7	

14表-7

1957-7 月流出量18818.600m³ 月流出率87.5%

月 日	降 水 量 (mm)	平 均 流 量 (m ³ /sec)	流 出 量 (m)	蒸 発 量 (mm)	保水量变化	保 水 量
7・1	11.0	0.006188	0.0077	1.48	+1.82	164.02
2	62.8	"	"	"	+53.62	217.64
3	6.0	0.01256	0.0156	"	-11.08	206.56
4	20.0	0.008159	0.0101	"	+8.42	214.98
5		0.008776	0.0109	"	-12.38	202.60
6		0.01094	0.0136	"	-15.08	187.52
7	41.6	0.01499	0.0186	"	+21.52	209.04
8	15.0	0.01184	0.0147	"	-1.18	207.86
9	17.4	0.01164	0.0144	"	+1.52	209.38
10	2.2	0.007339	0.0091	"	-8.38	201.00
11	6.6	0.008159	0.0101	"	-4.98	196.02
12	31.8	0.007143	0.0089	"	-21.42	217.44
13		0.009199	0.0114	"	-12.88	204.56
14		0.07957	0.0099	"	-11.38	193.18
15	1.2	0.007143	0.0089	"	-9.18	184.00
16	0.2	0.006580	0.0081	"	-9.38	174.62
17	0.7	0.005983	0.0074	"	-8.18	166.44
18	9.9	0.005463	0.0068	"	+1.62	168.06
19	0.5	0.006766	0.0084	"	-9.38	158.68
20	10.3	0.004092	0.0051	"	+3.72	162.40
21		0.005295	0.0067	"	-8.18	154.23
22	34.3	0.006580	0.0081	"	+24.72	178.94
23	3.3	0.008776	0.0109	"	-9.08	169.86
24		0.004940	0.0061	"	-7.58	162.28
25	10.6	0.002736	0.0034	"	+5.72	168.00
26	15.7	0.005295	0.0067	1.50	+7.5	175.50
27		0.003472	0.0043	"	-5.8	169.70
28	6.2	"	0.0043	"	-0.40	170.10
29		0.003633	0.0045	"	-6.0	164.10
30	1.7	0.003472	0.0043	"	-4.1	160.00
31		0.003028	0.0038	"	-5.3	154.70
計	309.1		0.2705	46.0	-7.5	

14表—8

1957—8 月流出量4388.860m³ 月流出率76.8%

月 日	降 水 量 (mm)	平均流量 (m ³ /sec)	流 出 量 (m)	蒸 発 量 (mm)	保水量変化	保 水 量
8・1		0.002736	0.0034	1.95	-5.35	149.35
2		0.002323	0.0036	"	-4.95	144.40
3		0.002065	0.0026	"	-4.55	139.85
4	2.9	"	"	"	-1.65	138.20
5	1.0	0.002192	0.0027	"	-3.65	134.55
6	1.4	0.002065	0.0026	"	-3.15	131.40
7	22.1	0.001940	0.0024	"	+17.75	149.15
8	8.3	0.005463	0.0068	"	-0.45	148.70
9	6.2	0.003943	0.0049	"	-0.65	148.05
10		0.002323	0.0030	"	-4.95	143.10
11	0.3	"	"	"	-4.65	138.45
12	5.4	"	"	"	+0.45	138.90
13	2.5	"	"	"	-2.45	136.45
14		0.001339	0.0017	"	-3.65	132.90
15		"	"	"	"	129.25
16		0.001227	0.0015	"	-3.45	125.80
17		0.001119	0.0014	"	-3.35	122.45
18		0.001016	0.0013	"	-3.25	119.20
19		"	"	"	"	115.95
20		"	"	"	"	112.50
21	0.9	0.000916	0.0011	"	-2.15	110.55
22	2.0	0.000555	0.0007	"	-0.65	109.90
23	5.9	0.000475	0.0006	"	+3.35	113.25
24	5.5	0.001119	0.0014	"	+2.15	115.40
25		0.000641	0.0008	"	-2.75	112.65
26		0.000323	0.0004	"	-2.35	110.30
27	0.8	"	"	2.0	-1.60	108.70
28	18.0	0.000323	0.0004	"	+15.6	124.30
29		0.001940	0.0024	"	-4.4	119.70
30		0.000917	0.0011	"	-3.1	116.60
31		0.001119	0.0014	"	-3.4	113.20
計	83.2		0.0639	60.7	-41.5	

14表-9

1957—9 月流出量27360.870m³ 月流出率83.5%

月 日	降 水 量 (mm)	平 均 流 量 (m ³ /sec)	流 出 量 (m)	蒸 発 量 (mm)	保水量変化	保 水 量
9・1	2.5	0.001227	0.0015	0.83	+0.17	133.37
2	10.0	0.002065	0.0026	"	+6.57	119.94
3		0.001227	0.0015	"	-2.33	117.61
4		0.001016	0.0013	"	+2.13	119.74
5	17.1	0.000726	0.0009	"	+15.37	135.11
6	24.2	0.006580	0.0081	"	+15.27	150.38
7	53.4	0.008159	0.0101	"	+42.47	192.85
8	2.9	"	0.0101	"	-8.03	184.82
9	46.9	0.012320	0.0153	"	+30.77	215.59
10	54.7	0.010940	0.0136	"	+40.27	255.86
11	16.0	0.008159	0.0101	"	+50.7	260.93
12	1.0	0.016016	0.0201	"	-19.93	241.00
13	1.7	0.005834	0.0072	"	-6.33	234.67
14		0.011410	0.0141	"	-14.93	219.74
15		0.020763	0.0258	"	-26.63	193.11
16	6.3	0.014505	0.0183	"	-12.83	180.28
17	1.2	0.006766	0.0084	"	-8.03	172.25
18	5.7	0.007339	0.0091	"	-4.23	168.02
19		0.005983	0.0074	"	-8.23	159.79
20		0.004597	0.0057	"	-6.53	153.26
21		0.009850	0.0122	"	-13.03	140.23
22	11.0	0.007529	0.0093	"	+0.87	141.10
23	1.3	0.006953	0.0086	"	-8.13	132.97
24	1.5	0.005834	0.0072	"	-6.53	126.44
25	23.3	"	"	"	+15.27	141.71
26	9.0	0.006953	0.0086	"	-0.47	141.24
27		0.005634	0.0070	"	-7.82	129.10
28	3.2	0.007529	0.0093	"	-6.93	122.17
29	28.5	0.006188	0.0077	"	+19.97	142.14
30	5.5	0.002596	0.0032	0.84	+14.6	143.60
計	326.9		0.2715	25.0	+30.4	

14表—10

1957—10 月流出量4660.69m³ 月流出率99.5%

月 日	降 水 量 (mm)	平均流量 (m ³ /sec)	流 出 量 (m)	蒸 発 量 (mm)	保水量変化	保 水 量
10・1		0.003633	0.0045	1.39	-5.89	137.71
2		"	"	"	"	131.82
3		0.003315	0.0041	"	-5.49	126.33
4		0.002881	0.0036	"	-4.99	121.34
5	3.3	0.002736	0.0034	"	-1.49	119.85
6	15.8	0.002596	0.0043	"	+10.11	129.96
7		0.003633	0.0045	"	-5.89	124.07
8		0.003028	0.0036	"	-4.99	119.08
9		0.002736	0.0034	"	-4.79	114.29
10		0.002458	0.0030	"	-4.39	109.90
11		0.002192	0.0027	"	-4.1	105.80
12		0.002065	0.0026	"	-4.0	101.80
13		0.001940	0.0024	"	-3.8	98.00
14		0.001690	0.0021	"	-3.5	94.50
15		"	"	"	"	91.00
16	13.9	0.002192	0.0027	"	+9.8	100.80
17	13.0	0.002880	0.0036	"	+8.0	108.80
18		"	"	"	-5.0	103.80
19		0.004745	0.0006	"	-2.0	101.80
20		"	"	"	"	99.80
21		"	"	"	"	97.80
22		"	"	"	"	95.80
23		"	"	"	"	93.80
24	1.1	"	"	"	-0.9	92.90
25		"	"	"	-2.0	90.90
26		"	"	"	"	88.90
27		"	"	"	"	86.90
28	1.0	0.004745	"	"	-1.0	85.90
29	25.0	0.002192	0.0027	"	+20.9	106.10
30		"	"	"	-4.1	102.00
31		0.004745	0.0006	"	-2.0	100.00
計	73.1		0.0727	44.0	-43.6	

14表-11

1957—11 月流出量3177.100m³ 月流出率78.9%

月 日	降 水 量 (mm)	平均流量 (m ³ /sec)	流 出 量 (m)	蒸 発 量 (mm)	保水量变化	保 水 量
11・1		0.001015	0.0013	0.80	-2.1	97.7
2		〃	〃	〃	〃	95.8
3		〃	〃	〃	〃	93.7
4		〃	〃	〃	〃	91.6
5		〃	〃	〃	〃	89.5
6	4.6	0.001690	0.0021	〃	+1.7	91.2
7		0.001015	0.0013	〃	-2.1	89.1
8	1.1	〃	〃	〃	-1.0	88.1
9		〃	〃	〃	-2.1	86.0
10		〃	〃	〃	〃	83.9
11	27.6	0.002596	0.00418	〃	+22.62	106.52
12	14.0	0.002323	0.0030	〃	+10.2	116.72
13		0.001807	0.0023	〃	-3.1	113.42
14		0.001015	0.0013	〃	-2.1	111.32
15		〃	〃	〃	〃	109.22
16		〃	〃	〃	〃	107.12
17	1.9	〃	〃	〃	-0.2	106.92
18	11.2	0.002192	0.0027	〃	+7.7	114.62
19		0.001807	0.0023	〃	-3.1	111.52
20		0.001015	0.0013	〃	-2.1	109.42
21		〃	〃	〃	〃	107.32
22		〃	〃	〃	〃	105.22
23		〃	〃	〃	〃	103.12
24		〃	〃	〃	〃	101.02
25		〃	〃	〃	〃	98.92
26		〃	〃	〃	〃	96.82
27		〃	〃	〃	〃	94.92
28		0.001015	〃	〃	〃	92.82
29		〃	〃	0.81	〃	90.71
30		〃	〃	〃	〃	88.60
計	60.7		0.0479	24.2	-11.4	

14表—12

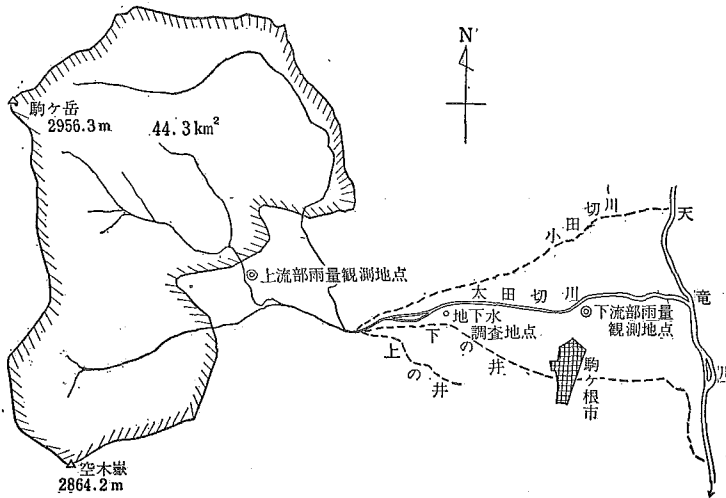
1957—12 流出量2906.178m³ 月流出率69.5%

月 日	降 水 量 (mm)	平 均 流 量 (m ³ /sec)	流 出 高 (m)	蒸 発 量 (mm)	保水量変化	保 水 量
12・1		0.00106	0.0013	0.65	-1.95	86.65
2		"	"	"	"	84.70
3		"	"	"	"	82.75
4		"	"	"	"	80.80
5	16.3	0.001807	0.0023	"	+13.35	94.15
6	3.0	0.001690	0.0021	"	+0.25	94.40
7		0.001339	0.0017	"	-2.35	92.05
8		0.001016	0.0013	"	-1.95	90.10
9	7.1	0.001565	0.0019	"	+4.55	94.65
10		0.001119	0.0014	"	-2.05	92.60
11		0.001015	0.0013	"	-1.95	90.65
12		"	"	"	"	88.70
13	24.6	0.002192	0.0027	"	+21.25	109.95
14	5.6	0.001565	0.0019	"	+3.25	113.20
15		0.001015	0.0013	0.7	-2.0	111.20
16		"	"	0.7	"	109.20
17		"	"	0.7	"	107.20
小 計	(56.8)		(0.0257)	(11.2)	(+19.9)	
18		0.000917	0.0011	0.67	-1.77	105.43
19	0.5	"	"	"	-1.27	104.16
20	4.0	0.001229	0.0015	"	+1.83	105.99
21	0.5	0.001339	0.0017	"	-1.87	104.12
22		"	"	"	-2.34	101.78
23		"	"	"	"	99.44
24	0.2	"	"	"	-2.14	97.30
25		0.000555	0.0007	"	-1.37	95.93
26		"	"	"	"	94.56
27		"	"	"	"	94.29
28		"	"	0.7	-1.40	92.89
29		"	"	0.7	"	91.49
30		0.00106	0.0013	0.7	"	89.49
31		"	"	0.7	"	89.49
小 計	(5.2)		(0.0167)	(9.5)	(-21.0)	
計	62.0		0.0424	20.7	-1.1	

Ⅳ 長野県駒ヶ岳山麓駒ヶ根地区調査結果

第20図に示す太田切川沿岸地下水調査地点を中心とした水文学的調査を1957年及1958年に行つたが、此処に於てもやはり高冷地特有の水の流出機構を示した。即ち太田切川は上流部に於て発電を行い、台地の出口より下流部に於ては数地点より、田用水として取水し、色々その水は利用されている。従つて太田切川の水流出機構を調査する事は、

第20図 調査地略図



此の水を利用している人々にとつても必要な事である。其処で太田切川流量については中部電力の調査資料又下流部雨量については建設省赤穂工事々務所の資料に基づいて考察を進め、地下水については第20図○印の示す位置にある地下水集水井中に自記水位計を設置し、地下水位を測定した。

1 降雨量，流出量，蒸発量，保留量

昭和28年～昭和31年の降雨量を、上流雨量観測地点(Ⅰ)と下流雨量観測地点(Ⅱ)の2ヶ所について比較すると第15表の様になる。

第15表 年 降 雨 量

	上流観測地点 (標高1,200m)	下流観測地点 (標高650m)
昭和28年	3,484.3mm	1,929.5mm
29年	3,763.7	1,969.3
30年	3,045.6	1,457.3
31年	3,631.4	2,022.3
平均	3,481.3mm	1,844.6mm

従つて上流部の方が下流部に比較して約1,600mmも年間雨量が高い事になる。

処で上流雨量観測地点より更に上流部流域44.3km²より流出して来る年間流出量(D)に

昭和28年	4706.3mm
昭和29年	3357.2mm
昭和30年	3323.4mm
昭和31年	4906.3mm

平均 4073.3mm

此を第15表上流雨量観測地点の降雨量に比較すると平均で約600mm大となる。故に流域内降雨量は上流雨量観測地点降雨量より可成り大なる事が推定出来るが、その差の多少は年によつて異なる。之は流域が標高1200mから駒ヶ岳頂上の2956mに至る間、標高差が甚だしく大なる上、溪谷の方向も色々ある為と思われる。次に此の流域内の蒸発量(E)であるが、高冷地に於ては蒸発量が小なる傾向を有し、宝川の調査結果によると年消失量470mmとなつており、従つて当流域に於ては500mmと推定して大差ないものと思われる。又土湿増加量 M は年間を通じると0、地下水補給量も、流量測定場所が岩盤露出し、地下水もすべて表流水として測定出来る状態にあるので0、従つて流域降雨量 $P=D+E$ となり、流域年降雨量は次の様に推定出来る。

昭和28年 5206.3mm

29年 3857.2mm

30年 3823.4mm

31年 5406.3mm

平均 4573.3mm

次に4年間で降雨量のも最大であつた昭和31年の月別流出量を算出すると、第16表の様になり、又上流部雨量観測地点の31年の月別降雨量は第17表の様になる。

流域降雨量も之と比例的に降つたと推定し各月降雨量 P_m は

$$P_m = \frac{P_y}{P_y'} \times P_m'$$

P_m ……流域月別降雨量

P_y ……流域年降雨量

P_m' ……上流観測地点月別降雨量

P_y' ……上流観測地点年降雨量

第16表 月別流出量 (31年)

月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
流出量	mm 107	91	331	527	626	753	605	476	617	377	206	190

第17表 上流観測地点降雨量 (31年月別)

月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
降雨量	mm 115.2	101.1	433.3	422.4	507.0	431.8	247.8	551.2	427.1	207.6	76.5	105.8

第18表 流域月別降雨量

月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
降雨量	mm 172.4	151.4	645.8	629.5	754.4	643.5	369.7	820.1	636.5	309.9	114.9	158.3

より算出すると第18表の様になる。

次に蒸発量は昭和31年信大構内に於ける月別蒸発量は第19表の様である。

流域月別蒸発量 E_m は次式にては算出すれば、

$$E_m = \frac{E_y}{E_{y'}} \times E_{m'}$$

E_y ……流域年蒸発量

$E_{m'}$ ……信大月別蒸発量

$E_{y'}$ ……信大年蒸発量

第20表の様になる。

第19表 信大構内蒸発量 (31年月別)

月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	計
蒸発量	mm 36.8	48.9	78.6	125.6	117.3	118.2	131.8	138.6	83.0	64.0	52.2	40.4	1035.4

第20表 流域月別蒸発量

月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	計
蒸発量	mm 17.8	23.6	37.9	60.5	56.5	57.5	63.5	66.8	40.4	30.8	25.2	19.5	500

第21表 流域保水量変化, 月別流出量

月	降雨量	流出量	蒸発量	保水量変化	保水量	流出率
	mm	mm	mm	mm		
昭31年 1月	172.4	107	17.8	+47.6	-20.0	62.06
2月	151.4	91	23.6	+36.8	16.8	60.10
3月	645.8	331	37.9	+276.9	293.7	51.25
4月	629.5	527	60.5	+42.0	335.7	83.71
5月	754.4	626	56.5	+71.9	407.6	82.97
6月	643.5	753	57.5	-167.0	240.6	117.01
7月	369.7	605	63.5	-298.8	-58.2	163.64
8月	820.1	476	66.8	+277.3	219.1	58.04
9月	636.5	617	40.4	-20.9	98.2	96.93
10月	309.9	377	30.8	-97.9	100	121.65
11月	114.8	206	25.2	-116.4	-16.4	179.44
12月	158.3	190	19.5	-51.2	-67.6	120.02
計	5406.3	4906	500.0			90.74

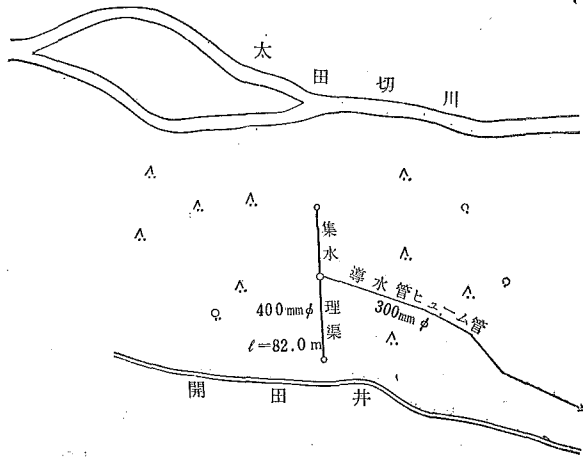
処で土湿増加量(保水量変化) M は

$$M = P - (D + E)$$

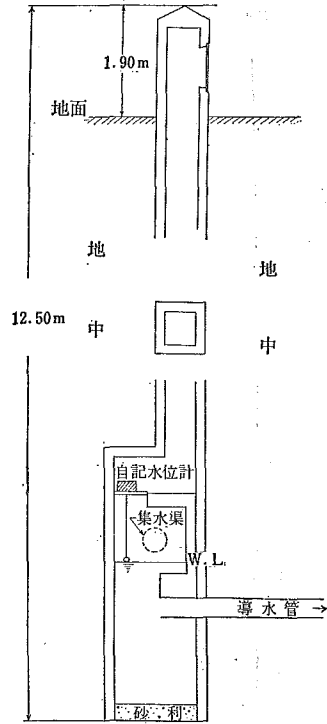
なる故月別保水量変化, 保水量, 月別流出率は第21表の様になる。

之よりすると特に3月に流域内に積雪があり, 保水量の増大した事が顕著な特徴であ

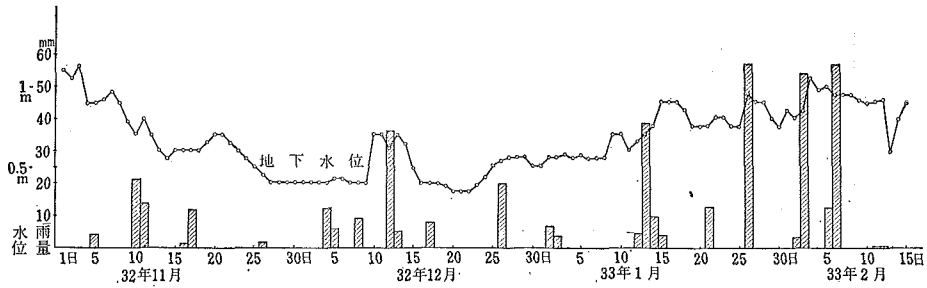
第21図 集水井埋没状況



第22図 自記水位計設置図



第23図 雨量—地下水位関係図



る。

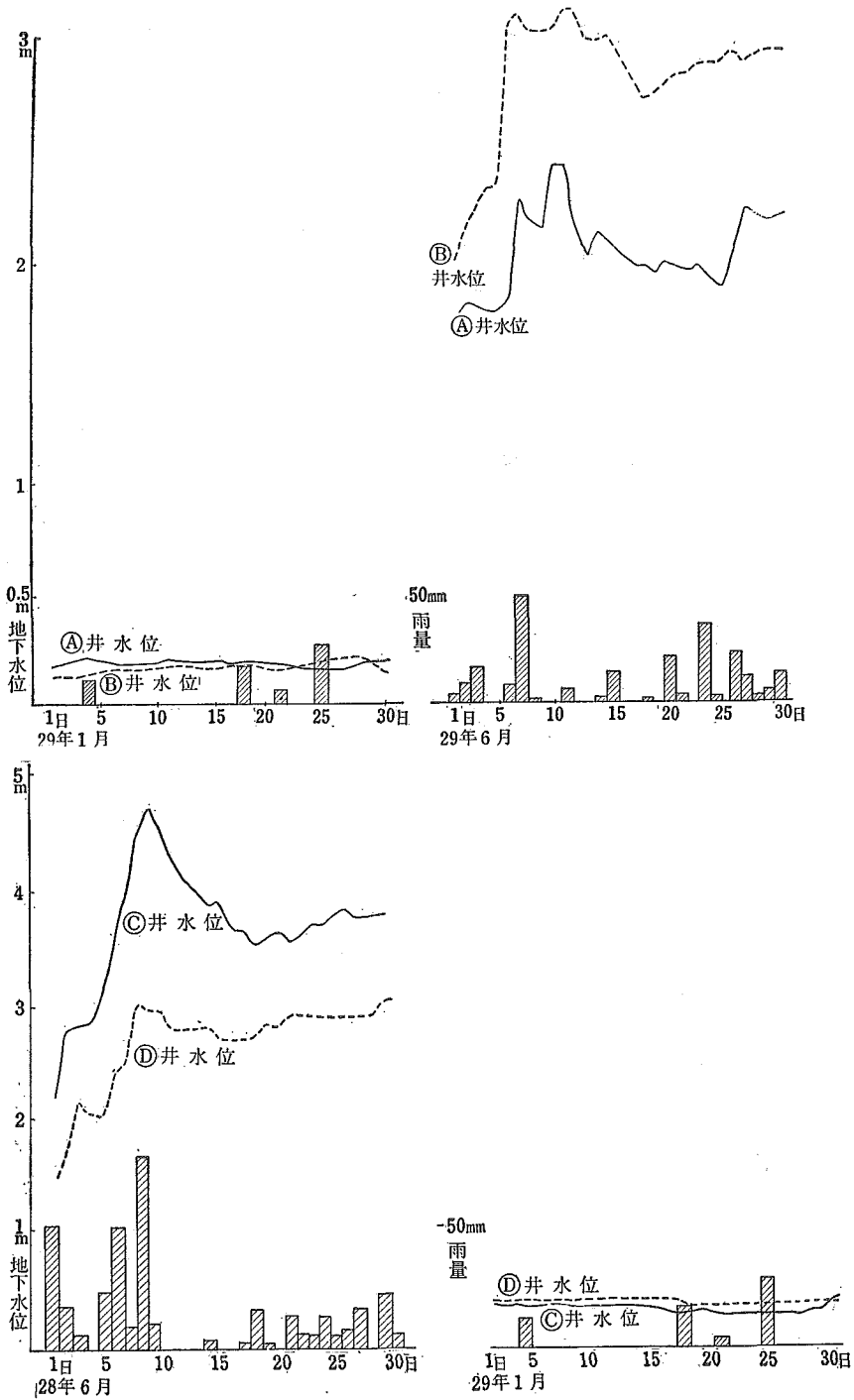
2 地下水状況

此の地区の地下水は前述の様に第20図○印の位置に於て調査したが、此の位置に第21図の様に取水井及び集水井が埋設されており、3本の取水井は現地面より約11mの深さに掘られ、此の3本の取水井の間約85mに渉つて集水井が埋設されている。

取水井の中、中央の取水井中に自記水位計を設置し、水位の変動を記録せしめた。

地下水位と降雨量との関係は第23図のようになる。此れよりすると地下水位は降雨量に冬期でも相当鋭敏に反応する様に見えるが、それはその時の温度とも関係する。特に此

第24图 伊那地区地下水位



の場合は1月15日より他の水源より0.9l/sec(2月20日測定)の水を補給している事を考慮に入れねばならぬ。

一般には地下水位と降雨量との関係は第24図の様である。

此れは伊那地区に於て行つた調査結果であるが、高冷地に於ても温暖な又土湿の大なる6月に於ては、降雨が鋭敏に地下水位に影響するが、寒冷な1月に於ては表土の凍結等のために、地下水位に降雨量は余り顕著な影響を与えない。

V 結 語

- 高冷地に於ける水の流出機構は、低暖地の流出機構と趣を異にする点がある。即ち、
- (1) 冬期に於ては、降雨よりも寧ろ降雪が多くそれ等は積雪となつて流域内に保留され春の雪融け時期に、降雨或は高温の為に流出する。そして降雨と一緒になつて流出する時に雪融け出水の様相を呈する。
 - (2) 一般に高度が高い程、降雨が大となり、従つて低地の降雨では予想し得ない程の降雨が高流域には降り、年間降雨量5,000mmを越す地域が、長野県内高地には処処ある。
 - (3) 気温が0°C附近を中心として、水の流出機構に影響を与える。特に地表面が凍結して水の流出を止めてしまう様になると、基底流出量は著しく減少する。
 - (4) 蒸発量も一般に高冷地の方が低い。従つて流域よりの消失量も小となる。
 - (5) $P=D+E+C+M$ なる式より各月の保水量変化、保水量、各日保水量変化、保水量が推定される。
 - (6) 駒ヶ岳山麓も降雨の大なる地域と推定される。特に昭和31年の如きは年間降雨量5406.3mmもあつたと推定される。又昭和31年は3月に降雪が大で、従つて流域内の保留量が著しく増大したと考えられる。
 - (7) 高冷地に於ける地下水位は、一般に温湿な8月頃に於ては、降雨に対して鋭敏に反応するが、冬期に於ては大した反応を示さず、地下水位は著しく低下する。

なお本研究には、飯田市、駒ヶ根市当局、地元各位の御協力並に御援助を得、又文部省科学研究費の補助を受け、実際の現地調査及び室内実験、資料の整理等には、農業工学研究室員の池上甲子雄君、農業工学専攻生鈴木武君、志村好文君、長尾邦人君の努力に負う所大である。此処に此等の各位に厚く感謝の意を表するものである。

参 考 文 献

- 福田仁志 “融雪期に於ける新潟県姫川の流量に就いて” 農土研 第11巻1号 昭和14年3月
 ——— 関口有方 “融雪期に於ける5河川の流量について” 農土研 第12巻4号 昭和15年12月
 ——— 川島通義 “融雪期に於ける9河川の流量について” 農土研 第14巻1号 昭和17年3月
 金子 良 “水文学的循環における土壌の効果” 農技研報告 F第9号 昭和31年2月
 ——— “小流域河川の流出機構” 農技研報告 F第2号 昭和27年3月
 ——— “農業水文学” 土木雜誌社 昭和32年12月
 大杉 繁 “一般土壌学” 朝倉書店 昭和17年6月

- 狩野徳太郎 “農業水利” 養賢堂 昭和24年2月
 L. D. Bayer (野口, 福田訳) “土壤物理学” 朝倉書店 昭和30年9月
 Reclamation Manual “Water Studies” U. S. Department of the Interior 1949
 Tolman “Ground Water” Mc Graw Hill Book C. 1937
 清水邦夫 “流出についての研究” 信大紀要 1954
 ——— 大工原貞夫 “河川周辺地区の地下水について” 信大農学術報告 1956
 ——— “黒部川の流出状況” 同上 1954
 ——— “駒ヶ根市赤穂上水道地下水に関する調査研究” 信大農工資料 第1報 1957

Summary

Report on Runoff in the Cooler Region of High Elevation

Kunio Shimizu

(Institute of Agricultural Engineering, Faculty of Agriculture, Shinshu University)

Runoff in the cooler region of high elevation is different from runoff in the warm region of low elevation.

- (1) In the cooler region of high elevation we have not rain in winter and have snow, so heavy snow lies inside the area. In snowmelt-season, in spring, it runs off with rain or high-temperature and we have sometimes snowmelt-flood.
- (2) Generally we have more heavy rain in higher elevation, and in Nagano prefecture we have some areas where it rains more 5,000mm in a year.
- (3) Temperature influences runoff about 0°C, especially when surface of area freezes and runoff stops, base-flow becomes extremely lower.
- (4) Generally evaporation in the cooler region of high elevation is smaller.

- (5) From equation $P=D+E+G+M$

P =precipitation

D =discharge

E =evaporation

G =recharge of ground water through infiltration

M =change of moisture

we can compute monthly change of moisture, monthly moisture, daily change of moisture, and daily moisture.

- (6) We can compute that it is heavy rain in the foot of Mt. Komagatake, especially in 1956 it is 5406.3mm precipitation. We can compute that it is heavy snow in March 1956, so retention in area greatly increases.

- (7) Ground water level in the cooler region of high elevation, generally, is influenced by rain in warm and wet season, example June, and is not influenced by rain in winter so is lower.

信州大学農学部紀要第八号正誤表

頁	行	誤	正
Contents	Seiji O. の項	features if	features of
6	16	項芽	頂芽
"	19	Kaenrpferi	Kaempferi
7	11	採集	採取
8	5	がいがい	がい
"	9	異々	略々
10	第 4 表 中	海拔高	海拔 (高)
13	第 8 表 中	L. europaea Dc. (32 years)	L. europaea Dc. (30 years)
"	"	簿原	篠原
14	5	chlorlydrin,	chlorlhydrin,
"	6	uiny1	vinyl
"	27	著し減少	著しく減少
18	14	R. Sehofer	R. Schober
20	1	of the water	of the nutrient and water
25	著者表示の項	(信州大学農学部農業工業研究室)	(信州大学農学部農業工学研究室)
"	序論 3	要素と関係は	要素も関係は
61	15	巻方 1 左右ハ	巻方ノ左右ハ
62	下から 11	直接的な因果関係	直接的な因果関係
63	19	胸高部位から	所要部位から
64	4	凡ての樹種は多少の個樹に回旋	凡ての樹種は多少共回旋
"	5	その期間には	その時期には
65	6	第一表	Table 1
68	20-22	断面高 1.0m に於て S 方向の樹種が	を削除し、同文を「樹心から 20 個の年輪数で」の前に挿入する
70	3	Table 2 表になる	Table 2 になる
72	表 中	P. Glehni の項	自生を挿入する
72	"	P. Thunbergii の項	自生を挿入する
73	"	cryptomeria japonica	Cryptomeria japonica
"	"	Cryptomeria japonica の項	植栽を挿入する
"	"	Sciadpitis verticilata の項	自生を挿入する
74	"	Thujopsis dolabrata の項 1-3	植栽を挿入する
"	"	" 4	自生を挿入する
75	20	Thuyopsis	Thujopsis
76	2	of Fwisted	of twisted
77	表中 10	Araucaryaceae	Araucariaceae
"	" 11	Kavri	Kauri
"	" 下より 3	Sinensis	sinensis
"	" 下より 11		備考欄と分布欄を入替る
84	下より 6	左右性は極めて	左右性は極めて
85	下より 6	Schweiz.	Schweiz.
87	下より 7	an "Umprehung"	An "Umprehung"
88	2	SV (20.5)	SV (20,5)
"	10	Symmetrical	Symmetrical
"	18	force.	forces.
"	21	Even O	Even O,
"	22	understand	understood
96	Photo. 16	Thunbergii	Thunbergii