

漁川およびその近隣河川の冬期渇水量

正員 北大工学部 工博 岸 力

正員 北大工学部 中尾 欣四郎

○学生員 北大工学部 上岡 一隆

1. 漁川の冬期渇水量

1.1 漁川の冬期渇水量の特性

苫小牧付近の河川の冬期渇水量を調べる目的で、漁川の冬期渇水量の特性を調査した。漁川の流域概況は図-1に示すとおりで、王子恵庭発電所および北電漁川発電所で流量が測定されている。漁川を調査の対象としたのは、苫小牧付近の河川で、しかも流量記録が完備しているためである。漁川流域の地質は主として火山灰および熔結凝灰岩で

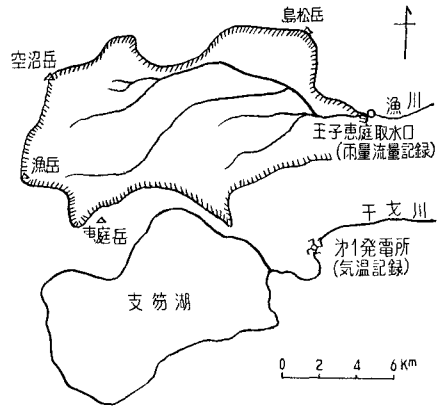


図-1

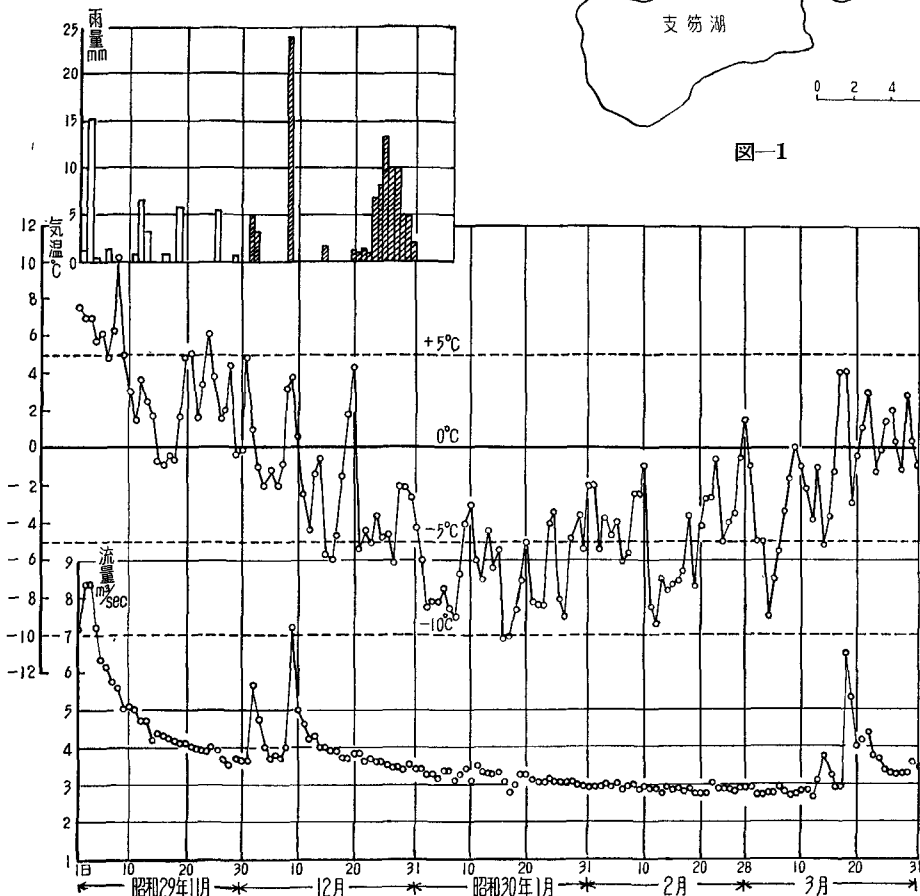


図-2

比較的 porous な流域である。流域面積は王子恵庭発電所において 113.6 km² である。

王子恵庭発電所における冬期の流量および日雨量と気象台支笏湖の日平均気温とを比較して 図-2 に示した。図によれば、日平均気温が 0°C 以下になる 12 月 20 日以降は、流量が継続的に減少し、その減水期は日平均気温が 0°C 以上に上昇する 3 月 18 日まで続く。これは 29~30 年の例であるが、他の年もこれとまったく同様の性質を示し、12 月下旬から 3 月中旬頃までは緩やかな減水が続く。

無降雨期間における河川の減水が、指数曲線で近似的にあらわされることは周知のとおりであり、漁川の冬期の流

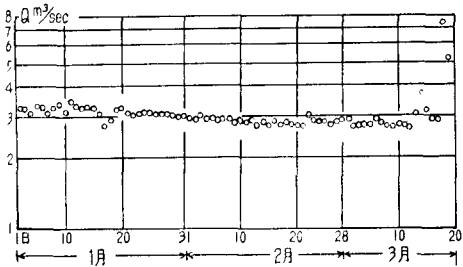


図-3

量変化も、ほぼこの状態に近いと考えられる。漁川の流量変化を (1) 式であらわした 1 例を 図-3 に示す。

$$Q = Q_0 e^{-\alpha t} \tag{1}$$

α = 減水係数 (day⁻¹)

図-3は昭和30年の測定値であるがこの例では $\alpha = +0.00329$ (day⁻¹) となり、流量半減期は 210 日となる。昭和 27~36 年の 10 年間にわたり、毎年の減水係数を求め 図-4 に示した。図-4 によれば減水係数は平均値 $\alpha_m = 0.00264$ (day⁻¹)

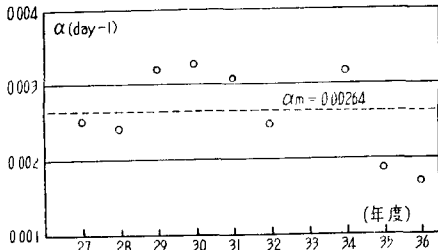


図-4

のまわりに 0.00170~0.00329 のはんに散在し、必ずしも一定値とはみられない。 $\alpha_m = 0.00264$ を用いれば、減水期間を 1 月 1 日から 3 月中旬までの 70 日間とすれば減水比は 0.831 となり漁川では冬期の最渇水量は、1 月 1 日の流量のおよそ 80% となる。

図-4 に示した漁川の減水係数は、年による変動はあっても全体として本州河川の減水係数に比べはるかに小さい。

たとえば竹内、江川による神流川の低水流量の減水は半減期 20~30 日程度であり、漁川の約 10 倍の減水率である。これはもちろん漁川と神流川との流域地質の相違によるところもあるが、漁川では冬期の渇水期中も地温融雪によりある程度の水量が補給されているのが、両者の間の根本的な相違点である。

1.2 地温融雪量

石狩川流域における冬期渇水期の地温融雪量については、岸、中尾が調査を行っており、地中から積雪に伝わる熱量 q は (2) 式で与えられることがわかった。

$$q = -K(\alpha T/\alpha Z) \div 1.0 \times 10^{-4} \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{sec} \tag{2}$$

ここに

q = 単位面積を通じて毎秒雪に与えられる熱量 (cal)

K = 土壌の熱伝導係数で石狩川流域では

$$\div 2.0 \times 10^{-3} \text{ (cal cm}^{-1} \text{ deg}^{-1} \text{ sec}^{-1})$$

$\alpha T/\alpha Z$ = 地中の温度勾配で石狩川流域では

$$\div -5.0 \times 10^{-2} \text{ (deg cm}^{-1})$$

漁川は石狩川水系に属するが、気象条件、流域、地質などは苫小牧近隣河川に類似している。そこで、漁川の地温融雪量を求めるため、室蘭における地温勾配の実測値を利用した。室蘭地方気象台では昭和 19~21 年の 3 年にわたり、11 月から 3 月までの地中温度の測定を行なっている。図-5 は地温の月平均値について、温度の地表からの深さに

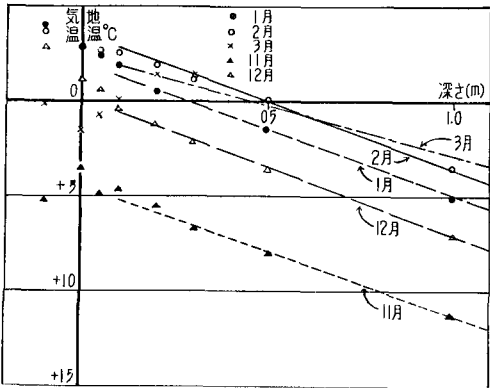


図-5

よる変化の例を示したものである。図によれば、11 月から 2 月の間は季節の進行とともに、地表から深さ 1 m の層の中では地温が一様に低下して行くことがわかる。またこの層内では温度勾配も深さにかかわらずほぼ一定である。3 月の地温は地表付近に温度の逆転層があらわれ、地中の温度勾配は他の月ほど単純でない。しかし 3 月においても逆転層を除いた部分の温度勾配はほぼ他の月と等しい。

室蘭地方気象台の地温測定値から、地中の温度勾配を求め表-1 に示した。

表一1 室蘭における地温勾配 (deg cm⁻¹)

年	1 月	2 月	3 月	11 月	12 月
S 19	0.067	0.068	0.052	0.067	0.067
S 20	0.081	0.071	0.051	0.050	0.070
S 21	0.068	0.061	0.046	0.046	0.070

表-1 によれば、室蘭の地温勾配は (2) 式に示した石狩川流域の値よりやや大きく、

$$\alpha T / a Z \div -7.0 \times 10^{-2} \text{ (deg cm}^{-1}\text{)} \quad (3)$$

の程度となっている。この値を用いれば、伝導熱量 q は (4) 式で与えられる。

$$q = 1.4 \times 10^{-4} \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{sec} \quad (4)$$

ただし、計算にあたっては、熱伝導係数 K は他に実測値が得られないので、石狩川流域の値を用いた。雪の融解熱は 80 cal gr^{-1} であるから、(4) 式の伝導熱量による融解水量 Q は、

$$Q = 1.51 \text{ mm/day} \quad (5)$$

となり、流域 100 km^2 当りの流量 Q_{100} は

$$Q_{100} = 1.8 \text{ m}^3/\text{sec} \quad (6)$$

と算出される。

ここに求めた地温融雪量が正しいとすれば、漁川の最小流量は王子恵庭発電所の流域面積が 113.6 km^2 であるから $Q_{113.6} = 2.0 \text{ m}^3/\text{sec}$ を下廻ることはありえないはずである。表-2に最近10年間における漁川の最渇水量の値を示した。表の値は上述の推定を支持している。

岸、中尾はまた石狩川水系においては、冬期の渇水量は地温融雪量と流域保留地下水量とかなり、両者の比率はおおよそ 7 : 3 であると推定している。漁川の冬期渇水量

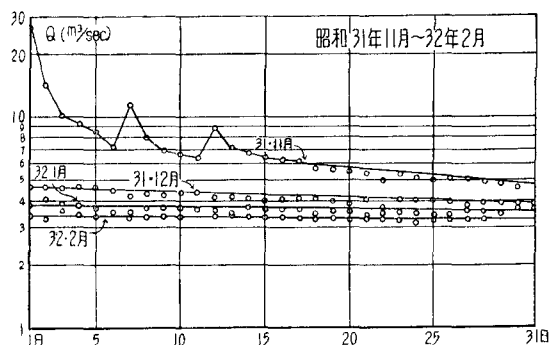
表一2 漁川 (王子恵庭発電所) の最小流量

年 月 日	最小流量 (m ³ /sec)	年 月 日	最小流量 (m ³ /sec)
27. 3. 5	2.60	32. 3. 30	3.05
28. 3. 14	2.35	33. 3. 6	2.85
29. 3. 17	2.75	34. 2. 28	3.00
30. 3. 12	2.70	35. 2. 26	3.60
31. 3. 15	3.10	36. 3. 5	2.70

は、 $3 \text{ m}^3/\text{sec}$ 前後であり、このうち地温融雪量が前述のとおり $2 \text{ m}^3/\text{sec}$ であるから 漁川における地温融雪量と地下水量との比率もおおよそ 7 : 3 と推定される。

1. 3 降雨量と流量との関係

図-3に示した漁川の減水状況はほぼ1本の指数曲線で表わされるが、さらにしさいに検討すれば、減水係数にはわずかながら変化があり、図-3の減水曲線はおよそ1カ月を単位とした折線で近似するのがより厳密であることがわかる。このことは昭和32年の例においてさらに明瞭に認められる。図-6は昭和31年11月~32年2月の間の減水



図一6

状況を示したものである。図には減水部を1カ月ごとに区切って、各月ごとの減水係数を比較して示してある。減水係数が11, 12, 1月および2月の順に次第に小となる状況が明らかである。図-6の結果から、漁川の降雨流出は次式で表わされるものと考えた。

$$R = (a + ar + ar^2) + c(ar^3 + ar^4 + ar^5) + c^2(ar^6 + ar^7 + ar^8) + \dots \quad (7)$$

ここに

R = 旬間降雨量

a = 第1旬間流出高

r = 減水係数に相当する定数 < 1.0

c = 減水係数の変化を表わす定数 > 1.0

(7) 式右辺の a は (8) 式から定まるものである。

$$a = \frac{R(1 - cr^3)}{1 + r + r^2} \quad (8)$$

そこで、9月上旬から始めて各月、各旬の降雨量および a を表-3のようは略記することにする。

表一3

旬	9 月			10 月			11 月			12 月			1 月			2 月			3 月	
	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中
R	R_0	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6	R_7	R_8	R_9	R_{10}	R_{11}	R_{12}	R_{13}	R_{14}	R_{15}	R_{16}	R_{17}	R_{18}	R_{19}
a	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	a_8	a_9	a_{10}	a_{11}	a_{12}	a_{13}	a_{14}	a_{15}	a_{16}	a_{17}	a_{18}	a_{19}

表-3の記法を用いれば、たとへば1月上旬の流出高 F_{12} は(9)式で表わされる。

$$F_{12} = (a_{12} + a_{11}r + a_{10}r^2) + c(a_9r^3 + a_8r^4 + a_7r^5) + c^2(a_6r^6 + a_5r^7 + a_4r^8) + c^3(a_3r^9 + a_2r^{10} + a_1r^{11}) + c^4a_0r^{12} + \dots \quad (9)$$

また同様に2月上旬の流出高 F_{15} は(10)式で表わされる。

$$F_{15} = (a_{15} + a_{14}r + a_{13}r^2) + c(a_{12}r^3 + a_{11}r^4 + a_{10}r^5) + c^2(a_9r^6 + a_8r^7 + a_7r^8) + c^3(a_6r^9 + a_5r^{10} + a_4r^{11}) + c^4(a_3r^{12} + a_2r^{13} + a_1r^{14}) + c^5a_0r^{15} + \dots \quad (10)$$

ここで図-2に示した漁川の雨量と流量の関係を参照すれば、12月に入れば例年降雨量は比較的少なく、しかも日平均気温も0℃以下の日が多くなってくる。したがって12月以降は雨として流域に供給される水量はきわめて少なく他の月の雨量に比べ無視しうるものと考えられる。また前節に述べたとおり、1月以降においては降水は雪となって流域に貯留されているが、その一部は地温融雪として河川に供給される。地温融雪量は図-5に示した地温勾配から考えれば12~2月の間はほぼ一定値100km²当り1.8m³/secを保っていると推定される。問題を12月下旬以降の湧水量に限定することにすれば、湧水流量の実測値から地温融雪量を差引いた部分について(9)式および(10)式を適用することができる。

したがって、(9)式においては $a_{12} = a_{11} = a_{10} = a_9 = 0$ であるから(9)式は(11)式となる。

$$F_{12} = c(a_8r^4 + a_7r^5) + c^2(a_6r^6 + a_5r^7 + a_4r^8) + c^3(a_3r^9 + a_2r^{10} + a_1r^{11}) + c^4a_0r^{12} + \dots \quad (11)$$

同様に(10)式においては $a_{15} = a_{14} = a_{13} = a_{12} = a_{11} = a_{10} = a_9 = 0$ であるから、(10)式は(12)式となる。

$$F_{15} = c^2(a_8r^7 + a_7r^8) + c^3(a_6r^9 + a_5r^{10} + a_4r^{11}) + c^4(a_3r^{12} + a_2r^{13} + a_1r^{14}) + c^5a_0r^{15} + \dots \quad (12)$$

またさらに2月下旬の流出高 F_{17} は(13)式で与えられる。

$$F_{17} = c^3(a_8r^9 + a_7r^{10} + a_6r^{11}) + c^4(a_5r^{12} + a_4r^{13} + a_3r^{14}) + c^5(a_2r^{15} + a_1r^{16} + a_0r^{17}) + \dots \quad (13)$$

(11)~(13)式から(14)、(15)式の関係が得られる。

$$F_{12}/F_{15} = 1/cr^3 \quad (14)$$

$$F_{12}/F_{17} = 1/c^2r^5 \quad (15)$$

(14)、(15)式によれば、毎年の流量記録からそれぞれ c 、 r の値が求められるが、1例として昭和27年の計算結果を示す。昭和27年の記録によれば、

$$F_{12}/F_{15} \div 1.19, \quad F_{12}/F_{17} \div 1.30$$

であったから、 $c=1.09$ 、 $r=0.915$ が得られる。この例においては、9月上旬の旬間降雨量の1月上旬の流出高に対する寄与は、(11)式において、

$$a_0 = R_0(1-cr^3)/(1+r+r^2) = 0.05803 R_0$$

であるから

$$c^4a_0r^{12} = 0.041 R_0$$

となり、9月上旬の降雨量の約4%に過ぎない。表-3において計算の始期を9月上旬としたのは以上の理由によるのである。

表-2によれば各年の融雪開始期はまちまちで、2月下旬から3月下旬までの間に分布しているが、3月上旬から中旬の年が多い。1月上旬から3月上旬まで7旬の間の流量減少は

$$F_{12}/F_{18} = 1/c^2r^6 \quad (16)$$

で表われ、この値は図-4の平均減水係数 $\alpha_m = 0.00264$ (day⁻¹) によれば $F_{12}/F_{18} = 1.202$ となるはずである。前例を参照して $c=1.10$ 、 $r=0.91$ とすれば $F_{12}/F_{18} = 1.455$ となり、実測値にほぼ一致した結果が得られる。

そこで、 $c=1.10$ 、 $r=0.91$ として毎年の12月下旬から3

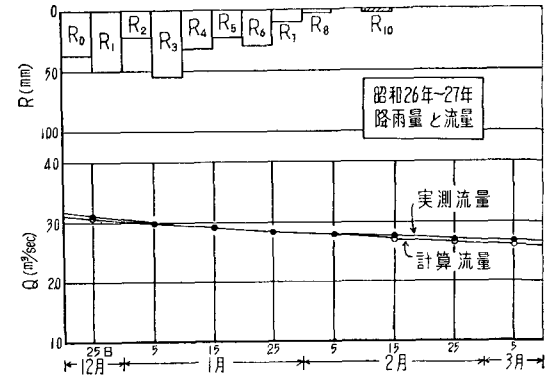


図-7

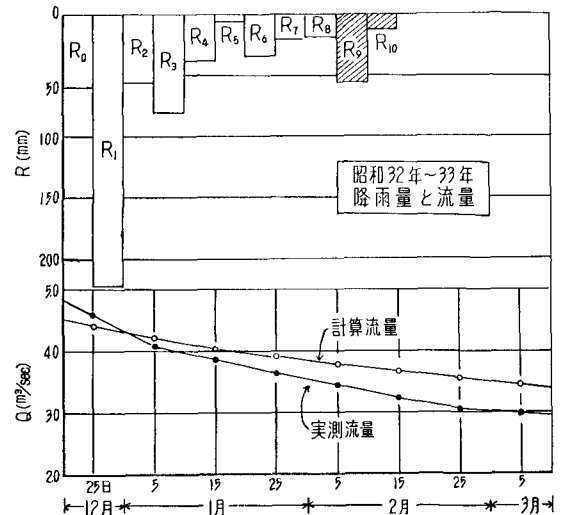


図-8

月上旬までの旬間平均流量を (7) 式にしたがって計算し、実測値と比較した。

結果の代表例を図-7および図-8に示した。

図-7は旬間雨量に特に大きい値がない例であり、図-8は特に大きい旬間雨量を含む例である。図-7の例においては前記の c , r を用いた計算値と実測値とは12月下旬から3月上旬に至る全期間にわたって非常によく一致している。これに対し図-8の例では同じ c , r の値を用いた計算値は実測値と多少異なっている。特に時日の経過とともに計算値は実測値より大きい流量を与える点が注目される。本文の方法の基本式である (7) 式および (8) 式によれば、任意の日の渴水量に対する前期降雨の寄与は降雨量に一次比例する。この仮定はある範囲の降雨量については成立するが特に大きい降雨については補正を加えなければならない。大きい降雨は直接流出としてその大部分が比較的早期に流出してしまい、かなり後の流量に対する寄与はさほど増加

しないからである。

図-8の例から、 $R_i > 100$ mm なる旬間降雨量に対しては r を補正することとし、試算の結果 (17) 式を得た。

$$\left. \begin{array}{ll} R_i \leq 100 \text{ mm} & c = 1.10, \quad r = 0.91 \\ R_i > 100 \text{ mm} & c = 1.10, \quad r = 0.80 \end{array} \right\} \quad (17)$$

(17) 式の c , r を用いた計算流量を実測と比較し図-9に示した。実測値と計算値とはよく一致している。

2. 漁川近隣河川の冬期渴水量と流域の保水性

前章 1.2 に述べたとおり、漁川の冬期渴水量は地温融雪量と流域貯溜水量とで維持されており、両者の比率はおおよそ 7 : 3 と推定される。地温融雪量と地下水流出力との比は流域の保水性を示すものである。したがって、漁川近隣漁川の冬期渴水量から地温融雪量を差引いて、地下水流出力のみを取り出せば流域の保水性の大小が判定される。

地温融雪量を 100 km^2 当り $1.8 \text{ m}^3/\text{sec}$ として、漁川近隣

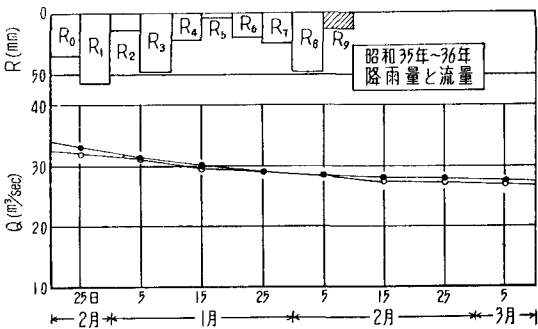


図-9 a

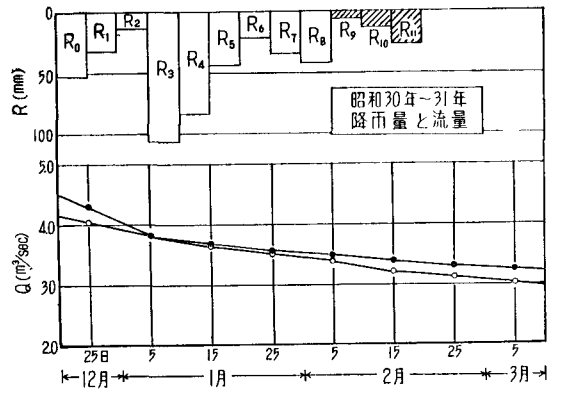


図-9 c

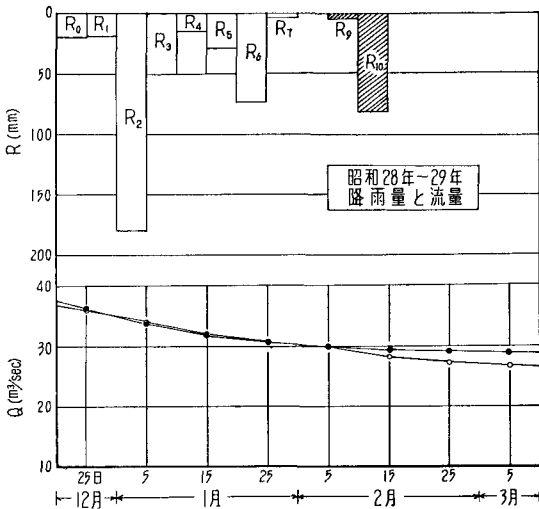


図-9 b

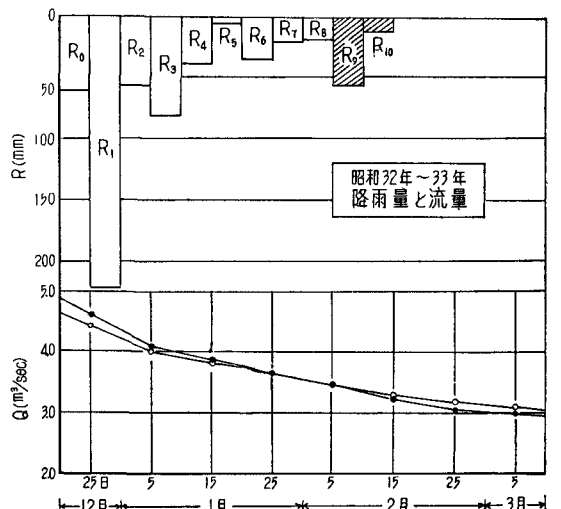


図-9 d

表-4

河 川 名	流 域 面 積 (km ²)	測水年月日	実 測 流 量 (m ³ /sec)	地温融雪量 (m ³ /sec)	地下水流出量 (m ³ /sec)	地下水比流量 m ³ /sec-100km ²
勇 振 川 本 流 7 哩 付 近	24.75	30. 2. 2	0.863	0.445	0.418	1.69
勇振本流稔橋 500 m 下流	182.9	33. 1.	6.20	3.29	2.91	1.59
〃	182.9	34. 1.	6.48	3.29	3.19	1.75
苦小牧川ワッカナイ水源地	26.24	35. 1. 30	1.50	0.473	1.03	3.92
〃	26.24	36. 1. 30	1.19	0.473	0.72	2.74
錦 多 布 川 水 源 地	31.0	35. 1. 30	1.47	0.558	0.91	2.94
〃	31.0	36. 1. 30	1.06	0.558	0.50	1.61
覚生川本流河口 4 km 上流	24.0	36. 1. 11	0.433	0.432	0.001	0.004
樽前川本流河口 4 km 上流	29.0	〃	1.055	0.522	0.533	1.84
別々川本流河口 6 km 上流	18.9	〃	0.701	0.340	0.361	1.91
社台川河口 1.5 km 上流	41.8	〃	0.900	0.752	0.148	0.35
白老川スクンベツ中洲下	104.1	34. 1. 21	2.994	1.875	1.119	1.07
〃	104.1	34. 1. 11	3.123	1.875	1.248	1.20
ウ ヨ ロ 川	23.2	34. 1. 21	0.925	0.418	0.507	2.18

の 9 河川について地下水流出量を求めた結果を表-4に示す。表-4 の値は、測水口が同一でないから、各河川の比較にあたっては値に多小の幅があると考えるべきである。しかし、表-4 によれば、測水日の相違以上に明瞭な河川ごとの差が認められる。苦小牧川、錦多峯川はここに示した 9 河川のうち特に流域の保水性が大であり、これに対し覚生川、社台川は著しく保水性が小であることがわかる。ここにあげた範囲内では、苦小牧より東側の地域が西側の地域より概して保水性がすぐれており、これは流域の地質から

もうなずかれるところである。

また表-4 に示した資料の限りでは、渇水量は 100 km² 当り 1.8 m³/sec を下廻る例はない。これは、前章に述べた地温融雪量の推定結果を支持する一つの事実である。

謝 辞

本研究を行なうにあたって、王子製紙 K.K. から資料の提供をうけた。ここに記して厚く謝意を表する。