

## 河川水温の研究 (第2報)

—山形県・赤川—熊出: 昭和27年~31年 (ダム建設前)  
7月~9月間の河川水温の解析 (続き)—

森 田 浩  
(山形大学農学部農業工学教室)  
(昭和47年9月16日受領)

Studies on River water temperature (II)  
—Analysing Water temperature in R. Akagawa—Kumaide  
station, from July until september: 1952—1956—(II)

Hiroshi MORITA

(Laboratory of Agricultural Engineering Faculty of Agriculture, Yamagata university)

### 目 次

III・2・C. 表面流出 ( $Q_R$ ) がある場合 ( $Q_R$ の場合と略す): 分析結果	223
1) $Q_R$ の場合の流量域	223
2) $t \sim t_a$ 関係, 流量; パラメータ	223
3) コウ配 ( $b$ ) の関数型	225
4) $y$ 切片係数 $C_1^*$ , $C_2^*$ の関数型	226
(1) $C_1^*$ と $C_2^*$ の関係および $\left(\frac{k_R}{q}\right)$	226
(2) 低流量域における $C_1^*$ , $C_2^*$ と中間流出・水温 ( $t_M$ ) との関係	229
(3) 低流量における $\left(\frac{k_R}{q}\right)$ および $C_2^*$ と降雨水温 ( $t_R$ ) の関係	232
(4) $t_M = 9.5^\circ\text{C}$ の場合の $C_2^*$ の関数型	232
(5) $C_1^*$ の近似式 —上記 ( $C_2^*)_{t_M=9.5^\circ\text{C}}$ を用いた $C_1^*$ の関数型—	235
(6) $C_1^*$ 近似式の誤差精度	239
5) $C_2^*$ の補正項, 並びに修正した $C_2^*$ , $C_1^*$ の関係式	239
(1) 一般の場合の $C_1^*$ の関係式	239
(2) 中間流出・水温 ( $t_M$ ) による補正項: ( $C_2^*)_M$	240
(3) 一般の場合の $C_1^*$ の関数型 ( $C_1^*$ 修正式)	241
(4) 修正値 $C_1^*$ と近似式 [ $C_1^*$ ] の比較	242
6) $Q_M \sim Q_R$ の移行流量域	242
7) $Q_R$ の場合: 総括	242
IV 全体 (第1報・第2報) のまとめ	243
謝 辞	245
引用文献	245
Abstract	245

## (附記) 河川水温の研究(第1報)の目次

I. まえがき	第6巻, 第3号	70
II. 研究方法の要点		71
III. 研究結果		71
III・1. 河川水温—気温—流量・関係式		71
III・1・A. 地下水流出( $Q_G$ )が卓越する場合		71
III・1・B. 中間流出( $Q_M$ )と地下水流出( $Q_G$ )が共存する場合		72
III・1・C. 表面流出( $Q_R$ )がある場合		73
III・2. 分析結果		73
III・2・A. $Q_G$ の場合		73
1) 最小基底流量 $Q_{G,t}$ の決定		73
2) 河川水温( $t$ )—気温( $t_a$ )関係		74
3) コウ配( $b$ )の関数型		76
4) $y$ 切片係数 $C_1, C_2$ の関数型		77
5) $t \sim t_a$ 関係式の適合性		78
6) 計算誤差精度の分析		78
7) $Q_G$ の場合: 総括		80
III・2・B. $Q_M$ の場合		80
1) 分析計算についての留意事項		80
2) 河川水温( $t$ )—気温( $t_a$ )関係		82
3) コウ配( $b$ )の関数型		82
4) $y$ 切片係数 $C_1, C_2$ の関数型		83
5) 中間流出・水温( $t_M$ )の分析		84
6) 誤差精度と関係式の適合性		85
7) $Q_G$ — $Q_M$ 移行流量域		87
8) $Q_M$ の場合: 総括		88

III・2・C.  $Q_R$  の場合：分析結果

1) 表面流出がある場合 ( $Q_R$  の場合) の流量域と  $m$  値

(1)  $Q_R$  の場合の流量域

降雨による表面流出 ( $Q_R$ ) がある場合, 流量構成要素の式は次のようである. ( $Q_G$ : 地下水流出,  $Q_M$ : 中間流出)

$$Q = Q_G + Q_M + Q_R \dots\dots\dots(21)$$

河川水温に及ぼす降雨による表面流出 ( $Q_R$ ) の影響が著しい場合には,  $Q_R > Q_M$  (一般的に云って多降雨のときには  $Q_R > Q_M > Q_G$ ) であると考えられる.  $Q_R = Q_M$  のときは, 本報告で述べる  $Q_M \sim Q_R$  移行流量域に相当するであろう. したがって,  $Q_R > Q_M$  なる流量範囲が, この場合の対象流量域であるといえよう. 多数の降雨—流量—水温の関連図 (そのうちの2例を前報告<sup>7)</sup>・図—6・B に示す) の観察, および  $Q > 70 \text{ m}^3/\text{s}$  の範囲では  $Q_M$  の場合として水温を計算すると誤差精度が低下して, その分散がやや大となること (計算結果: 後述) より考察して,  $Q_R > Q_M$  となる流量範囲はほぼ  $Q > 70 \text{ m}^3/\text{s}$  であると推定される. 要約すれば,  $Q_R$  の場合流量域は,  $Q \geq 70 \text{ m}^3/\text{s}$  の範囲であると予測される. (前報告<sup>7)</sup> で述べたように,  $Q_M$  の場合の流量域は概ね  $20 \sim 60 \text{ m}^3/\text{s}$  であるので,  $60 \sim 70 \text{ m}^3/\text{s}$  の範囲が  $Q_M \sim Q_R$  移行流量域となると考えられる. これらについての誤差精度による詳細な検討は吟味の項で後述する.) なお, この場合にも基底流量基準値として  $Q_G = 10 \text{ m}^3/\text{s}$  を用いる. (前報<sup>7)</sup>: III・2・B—1 参照)

(2) 中間流出 ( $Q_M$ ) と基底流量基準値 ( $Q_G$ ) の比 ( $m$ )

$m$  値 ( $m = Q_M/Q_G$ ) は [前報告<sup>7)</sup>: III・1・C—1) (8) 式で述べたように] 降雨の影響項 ( $k_R/q$ ) に含まれる重要な数値であるとともに, 上述の推定を吟味する一つの指標であるので, 以下この値について検討する.  $Q = q \cdot Q_G$ ,  $Q_M = m \cdot Q_G$  を (21) 式に代入し, ( $Q_R/Q_M$ ) を  $q$  および  $m$  の関数として求めると, 次式 (22) が得られる.

$$\frac{Q_R}{Q_M} = \frac{1}{m} [q - (m + 1)] \dots\dots\dots(22)$$

上述のように, この場合では  $Q_R \geq Q_M$  ( $Q_R/Q_M \geq 1$ ) であるので,  $q$  と  $m$  の関係は (22) 式を用いて次の不等式で表示される.

$$q \geq 2m + 1 \dots\dots\dots(23)$$

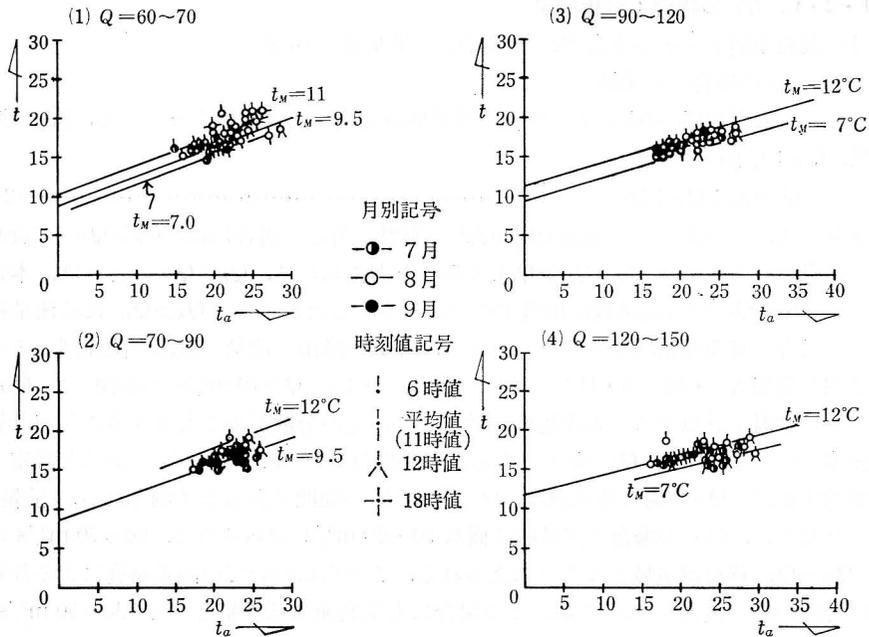
$Q_G = 10 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $Q \geq 70 \text{ m}^3/\text{s}$  とすると  $q = Q/Q_G \geq 7$  であるので,  $m$  の値は (23) 式より次のようになる.

$$m \leq 3.0$$

$Q_R$  の場合の  $m$  の値として (溪流についての計算結果を参照して) その上限値を採用すると,  $m = 3.0$  となる. したがって, 外下の一般的計算で基底流量基準値  $Q_G = 10 \text{ m}^3/\text{s}$  を用いるときには  $m = 3$  とする. (ただし, 周知のように基底流量は先行条件によって変化するので, 個々の観測値を詳細に分析するためにあたっては, それぞれの観測日前後の降雨条件および流況を検討して, その観測月日の基底流量 ( $Q_G$ ), 中間流出 ( $Q_M$ ) を推定し  $m$  の値を定める必要がある. [前報告<sup>7)</sup>: III・2・B—1) 参照])

2) 河川水温 ( $t$ ) ~ 気温 ( $t_a$ ) 関係, 流量: パラメータ

$Q_M \sim Q_R$  移行流量域と推定される  $Q = 60 \sim 70 \text{ m}^3/\text{s}$  区間をはじめとして,  $70 \sim 90 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $90 \sim 120 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $120 \sim 150 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $150 \sim 150 \text{ m}^3/\text{s}$  および  $Q > 300 \text{ m}^3/\text{s}$  の流量範囲について,



図—14 赤川—熊出：ダム建設 昭和前27年～31年・7月～9月間 表面流出がある場合 ( $Q_R$  の場合)

流量をパラメータとする  $t \sim t_a$  関係を(前記他の場合と同様な仕方)で求める。図—14は、そのうちの数例を図示したものである。(図中の直線は後述する計算結果)これらの例示した関係図より、次のような点が観察されるであろう。以下、今後の分析計算に関連して留意すべき事項とあわせて述べる。

- ①  $t \sim t_a$  関係はほぼ直線的である。
- ② 各時刻値群間には、その直線的傾向について著しい差は認め難い。
- ③ 流量が大きくなるにつれて、観測値(データ)の分散度合が次第に小さくなるように観察される。この傾向は、( $Q_R, t_R$ )と( $Q_M, t_M$ )が河川水温に及ぼす影響の仕方と関連すると推定され、現象分析にあたって注目すべき点であると考えられる。
- ④ 月別記号に着目すると、 $Q=70 \sim 90 \text{ m}^3/\text{s}$  区間までは7月のデータ(●印)は8月のもの(○印)より下位にあたる割合が多いように見受けられる。しかるに、それ以上の区間( $Q < 90 \text{ m}^3/\text{s}$ )では、月々による差は認め難くなる。このような傾向と中間流出・水温( $t_M$ )は7月( $t_M = 7.8^\circ\text{C}$ )より8月( $t_M = 11 \sim 12^\circ\text{C}$ )が高いこと(前報<sup>7)</sup>：表—10参照)を照合すると、次のようなことが推定される。

a)  $Q_R$  の場合比較的低い流量範囲( $Q \sim 90 \text{ m}^3/\text{s}$ )では  $t \sim t_a$  関係に及ぼす中間流出の影響度合はなお大きい。

b) 流量が大きくなるに従って、中間流出の影響は著しく小さくなる。

- ⑤ また流量の増大に伴って、 $t \sim t_a$  の関係のコウ配( $b$ )は小となり、 $y$ 切片( $C_1^* \cdot t_0$ )は大となる傾向がある。

以上の観察事項に留意して、図—14より図式計算により各流量区間ごとに  $t \sim t_a$  直線の

表—11 赤川—熊出：ダム建設前 昭和27年～31年，7月～9月 表面流出がある場合 ( $Q_R$ の場合)  $b, C_1^*$  の標本値

$Q \text{ m}^3/\text{s}$ 区 間	$\bar{Q}$	$q$	$b$ コウ配	$C_1^*$ y 切片係数	備 考
50～60	55	5.5	0.39※	0.75※	$Q=50\sim 70 \text{ m}^3/\text{s}$ 範囲は $Q_M$ の場合として計算できる。 ※印数値：理論値
60～70	65	6.5	0.37	0.75※	
70～90	80	8.0	0.34	0.75	① $Q=70\pm 10 \text{ m}^3/\text{s}$ の範囲 : $Q_G\sim Q_R$ 移行領域
90～120	105	10.5	0.30	0.86	
120～150	135	13.5	0.25 ～0.26	0.92	② $Q>80 \text{ m}^3/\text{s}$ : $Q_R$ の場合
150～180	165	16.5	0.23	0.96	
>300		30.0	0.21	1.02	③ $Q_G=10 \text{ m}^3/\text{s}$

(注) ※印数値を求めた関係式 ( $Q_M$  の関係式)

(1)  $b = b_l + (b^* - b_l) \exp[-k(q-1)]$

$b_l = 0.39, b^* = 0.485, k = 1.04$

(2)  $C_1^* \Rightarrow Q_M$  の場合の  $C_1$  値 (但し  $q < 7$ )

$C_1 = C_2 + (k_M/q)$

$C_2 = \frac{\gamma}{q + \alpha} - \beta$

$\alpha = -0.222, \beta = 0.059, \gamma = -0.086$

$\left(\frac{k_M}{q}\right) = \theta_M + (1 - \theta_M) \frac{1}{q}$

$\theta_M = 0.792, (t_M = 9.5^\circ\text{C})$

平均的なコウ配 ( $b$ ) および y 切片係 ( $C_1^*$ )<sup>(注)3</sup> を求め、その結果をまとめて表—11に示す。これらの分析計算をする際に、 $Q_M \sim Q_R$  の移行流量域に着目することが大切であるので、その要点を述べる。

(注) 3 このような分析操作の目的は、計算過程が繁雑となることをさけることである。

a)  $Q=60 \text{ m}^3/\text{s}$  前後 ( $q=6$ ) の  $Q_M \sim Q_R$  移行域では、 $Q_M$  の場合として計算した係数の値  $[(b)_M, (C_1)_M]$  は近似的に  $Q_R$  の場合の係数値に等しい筈である。[対象期間では  $t_M=7\sim 12^\circ\text{C}$  であるので、平均的には  $t_M=9.5^\circ\text{C}$  ( $\theta_M=0.792$ ) を用いる。] すなわち、

$(b)_M, (C_1)_M \xrightarrow{q=6\sim 7} (b)_R, (C_1^*)$

b)  $Q_R$  の場合のはじめの段階 ( $Q=80 \text{ m}^3/\text{s}$ ) では、なお中間流出 ( $Q_M$ ) の影響があるので、 $b, C_1^*$  の標本値は上記の計算値と連続的な関係を保つであろう。

このような考察にもとづいて、 $Q_M$  の場合として計算した数値を表—11に記入した。以上の分析過程では基本となく標本値を求めるのに  $t \sim t_a$  関係の平均な傾向に着目して計算したが、これは  $t_M$  の条件につて  $t_M=9.5^\circ\text{C}$  を基準値として選定したことに対応する。今後の分析にあたってこの点はとくに留意を要する。

3) コウ配 ( $b$ ) の関数型

表—11のデータを  $b \sim q$  関係図にプロットすると、図—15のようである。これらの標本値より、 $q$  に関する  $b$  の関数型を求めると、次式 (24) が得られる。また、この計算結果よ

り得られる  $b \sim q$  曲線を図-15示す.

$$b = b_i + (b^* - b_i) \exp[-k(q-8)] \dots\dots\dots(24)$$

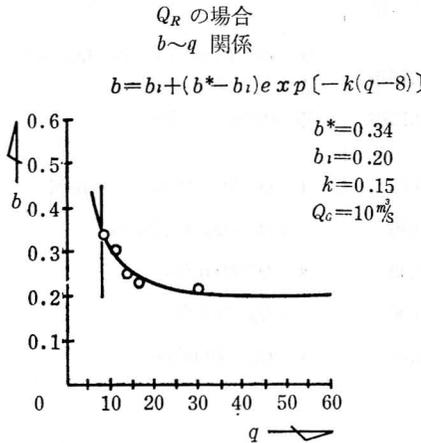


図-15 赤川一熊出：ダム建設前 昭和27年～31年，7月～9月間

附表一4 赤川一熊出：ダム建設前 昭和27年～31年，7月～9日間  $Q_R$  の場合； $b$ の値

流量比 $q$	計算値 $b$	標本値 $b_{ob}$
6.0	0.389	0.39 <sup>※</sup>
6.5	0.375	0.37
7.0	0.363	—
8.0	0.340	0.34
9.0	0.321	—
10.5	0.296	0.30
13.5	0.261	0.25
15.0	0.249	—
16.5	0.239	0.23
20.0	0.223	—
25.0	0.211	—
30.0	0.205	0.21
35.0	0.202	—
40.0	0.201	—
50.0	0.200	—

(注) 関係式  
 $b = b_i + (b^* - b_i) \exp[-k(q-8)]$   
 $b^* = 0.34, k = 0.15, b_i = 0.20, Q_c = 10 \text{ m}^3/\text{s}$   
 ※印：表-11(注)参照

ここに

$$b^* = 0.34, b_i = 0.20, k = 0.15$$

(24) 式を用いて計算した  $b$  の値と標本値とは、附表-4 に示すように良く一致する。なお上式は  $Q = 60 \text{ m}^3/\text{s}$  ( $q = 6$ ) の範囲まで拡張して使用できることが認められる。すなわちさきに推定した「 $Q_M \sim Q_R$  移行域と  $Q_R$  の場合のはじめの段階ではコウ配 ( $b$ ) は連続的である」ことが明らかになった。

4)  $y$  切片係数  $C_1^*, C_2^*$  の関数型

(1)  $C_1^*$  と  $C_2^*$  の関係および  $(K_R/q)$

(i) 三者関係について

前報告<sup>7)</sup>：Ⅲ・1・C で述べたように、 $C_1^*, C_2^*$  の関係は、前掲 (11) 式で示される。この式は計算では計算で求め得る  $(k_R/q)$  項を含むので、 $C_1^*$  関数型を求むることは、 $C_2^*$  の関数型を明らかにすることに帰結する。

$$C_1^* = C_2^* + \left(\frac{k_R}{q}\right) \dots \text{前掲 (11)}$$

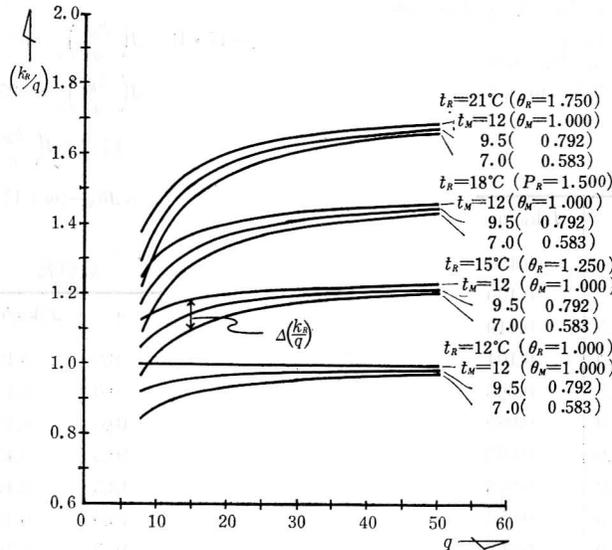
ここに

$$\left(\frac{k_R}{q}\right) = \theta_R - \left\{ (\theta_R - \theta_M) \cdot m + (\theta_R - 1) \right\} \frac{1}{q}$$

表-11に示すように  $C_1^* \sim q$  の標本値が、観測結果の分析より求められ、 $(k_R/q)$  の値は上式より計算されるので  $C_2^*$  は  $C_1^* - (k_R/q)$  として求められる。ただし、この  $C_1^*$  の標本値はその分析過程から明らかなように  $t \sim t_a$  関係図より平均的な値として得られたもので、低流量域 ( $70 \sim 100 \text{ m}^3/\text{s}$ ) の  $t \sim t_a$  関係に影響度の大きい中間流出・水温についていえば、この条件(平均的な値として求めたこと)は  $t_M = 7 \sim 12^\circ\text{C}$  の中間値  $t_M = 9.5^\circ\text{C}$  ( $\theta_M = 0.583$ ) を代表値として用いることに相当する。したがって、上記の計算操作で得られる  $C_2^*$  の値は、中間流出・水温

附表—5  $(k_R/q) \sim q$  関係

流量比 $q$	$t_R=12^\circ\text{C}$ ( $\theta_R=1.000$ )			$15$ ( $\theta_R=1.250$ )			$18$ ( $\theta_R=1.500$ )			$21$ ( $\theta_R=1.750$ )		
	7 (0.583)	9.5 (0.792)	12 (1.000)	7 (0.583)	9.5 (0.792)	12 (1.000)	7 (0.583)	9.5 (0.792)	12 (1.000)	7 (0.583)	9.5 (0.792)	12 (1.000)
8.0	0.844	0.922	1.000	0.969	1.047	1.125	1.094	1.172	1.250	1.219	1.297	1.375
9.0	0.861	0.931	↑	1.000	1.070	1.139	1.137	1.208	1.278	1.278	1.347	1.417
10.5	0.881	0.941	↑	1.036	1.095	1.155	1.190	1.250	1.310	1.345	1.405	1.464
13.5	0.907	0.954	↑	1.083	1.130	1.176	1.259	1.306	1.352	1.435	1.482	1.528
15.0	0.917	0.958	↑	1.100	1.142	1.183	1.283	1.325	1.367	1.467	1.508	1.550
16.5	0.924	0.962	↑	1.114	1.152	1.189	1.303	1.341	1.379	1.492	1.530	1.568
20.0	0.937	0.969	↑	1.137	1.169	1.200	1.337	1.369	1.400	1.537	1.569	1.600
25.0	0.950	0.975	↑	1.160	1.185	1.210	1.370	1.395	1.420	1.580	1.605	1.630
30.0	0.958	0.979	↑	1.175	1.196	1.217	1.392	1.413	1.433	1.608	1.629	1.650
35.0	0.964	0.982	↑	1.186	1.204	1.221	1.407	1.425	1.443	1.629	1.646	1.664
40.0	0.969	0.984	↑	1.194	1.209	1.225	1.419	1.434	1.450	1.644	1.659	1.675
45.0	0.972	0.986	↑	1.200	1.214	1.228	1.427	1.442	1.456	1.656	1.669	1.683
50.0	0.975	0.987	↑	1.205	1.218	1.230	1.435	1.448	1.460	1.665	1.678	1.690



図—16  $(\frac{k_R}{q}) \sim q$ ,  $t_R(\theta_R)$ ,  $t_M(\theta_M)$ ; パラメータ

$t_M=9.5^\circ\text{C}$  ( $\theta_M=0.583$ ) に対応するものである。なお、 $(k_R/q)$  の値は今後の分析計算に重要であるので、附表—5 にその数値表を示す。図—16 は、これらの結果を用いて  $(k_R/q) \sim q$  関係を図示したものである。この図を観察すると、各降雨水温 ( $t_R=12 \sim 21^\circ\text{C}$ ) ごとの  $t_M=7^\circ\text{C}$ ,  $12^\circ\text{C}$  の  $(k_R/q)$  値の差  $\left[ \Delta \left( \frac{k_R}{q} \right)_M = \left( \frac{k_R}{q} \right)_{t_M=12} - \left( \frac{k_R}{q} \right)_{t_M=7} \right]$  ※ は、それぞれほぼ等し

く見受けられ、降雨水温とは無関係であることが推定される。以下この点について検討する。(※対象となる2数値の差を記号  $\Delta$  で表示する.)

(ii)  $(k_R/q)$  の中間流出・水温の項  $(k_R/q)_M$  と降雨水温の項  $(k_R/q)_R$ .

陣雨水温 ( $t_R$ ) が等しい場合には、異なる中間流出・水温 ( $t_M$ ) の  $(k_R/q)$  値の差は、 $(k_R/q) \cdot$  [関係式前掲(11)式参照] の性質上降雨水温の項が消去されて、 $t_M$  の項のみに関係する。 $(k_R/q)$  の式より  $t_M$  に関する項  $(k_R/q)_M$  は次式(25)で表示される  $q$  に関する減少関数であ

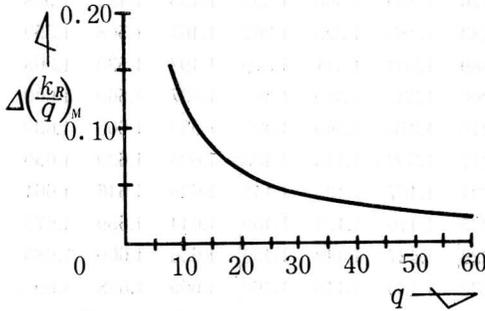


図-17・A  $\Delta\left(\frac{k_R}{q}\right)_M \sim q$  関係

$$\Delta\left(\frac{k_R}{q}\right)_M = \left(\frac{k_R}{q}\right)_{\theta_M=1.00}$$

$$-\left(\frac{k_R}{q}\right)_{\theta_M=0.583}$$

$$= 1.25/q, m = 3$$

数値表

q	$\Delta(k_R/q)$
8	0.156
9	0.139
10.5	0.119
12.0	0.104
13.5	0.093
14.0	0.089
15.0	0.083
16.0	0.078
16.5	0.076
20.0	0.063
25.0	0.050
30.0	0.042
35.0	0.036
40.0	0.031
45.0	0.028
50.0	0.025

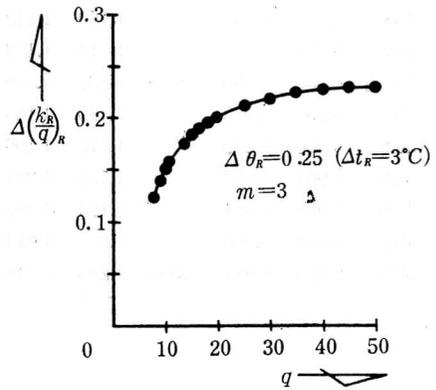


図-17・B  $\Delta\left(\frac{k_R}{q}\right)_R \sim q$ : 数値表

$$\Delta\left(\frac{k_R}{q}\right)_R = 0.25 - \frac{1}{q}$$

一般式:  $\Delta\left(\frac{k_R}{q}\right)_R$

$$= \Delta\theta_R - (m+1) \cdot \frac{\Delta\theta_R}{q}$$

数値表

q	$\Delta(k_R/q)$
8.0	0.125
9.0	0.140
10.0	0.150
10.5	0.155
13.5	0.175
15.0	0.183
16.5	0.190
18.0	0.195
20.0	0.200
25.0	0.210
30.0	0.218
35.0	0.223
40.0	0.225
45.0	0.228
50.0	0.230

って、上記の  $\Delta(k_R/q)_M$  の計算式は(26)式のようになる。

$$\left(\frac{k_R}{q}\right)_M = m \cdot \frac{\theta_M}{q} \dots\dots\dots(25)$$

$$\Delta\left(\frac{k_R}{q}\right)_M = m \cdot \frac{\Delta\theta_M}{q} \dots\dots\dots(25)'$$

$$m=3.0, \quad \Delta\theta_M=0.417$$

$$\begin{aligned} (t_M=12^\circ\text{C}, \quad \theta_M=1.000) \\ (t_M=7^\circ\text{C}, \quad \theta_M=0.583) \end{aligned}$$

$$\therefore \Delta\left(\frac{k_R}{q}\right)_M \doteq 1.25/q \dots\dots\dots(26)$$

(26) 式より  $\Delta(k_R/q)_M \sim q$  の関係を求め、図—17・A および同図の数値表に示す。(附表—5 参照)

$(k_R/q)$  関係式は上述の  $t_M$  の項  $\left[\left(\frac{k_R}{q}\right)_M = \frac{m \cdot \theta_M}{q}\right]$  と  $t_R$  の項の和である。 $t_R$  の項  $(k_R/q)_R$  は次式は(27)で表示される増加関数である。

$$\left(\frac{k_R}{q}\right)_R = \theta_R - \{(m+1)\theta_R - 1\} \frac{1}{q} \dots\dots\dots(27)$$

$$\Delta\left(\frac{k_R}{q}\right)_R = \Delta\theta_R - (m+1) \frac{\Delta\theta_R}{q} \dots\dots\dots(27)'$$

$$\Delta\left(\frac{k_R}{q}\right)_R / \Delta\theta_R = 1 - \frac{(m+1)}{q} \dots\dots\dots(27)''$$

(27)' 式に  $\Delta\theta_R=0.25$  ( $\Delta t_R=3^\circ\text{C}$ ),  $m=3$  を代入すると次の(28)式となる。 $\Delta(k_R/q)_R$  また  $q$  に関する増加関数である。

$$\Delta\left(\frac{k_R}{q}\right)_R = 0.25 - \frac{1}{q} \dots\dots\dots(28)$$

(28) 式で求めた  $\Delta(k_R/q)_R \sim q$  の関係は、図—17・B および同図の数値表のようであるが、附表—5 :  $(k_R/q)$  数値表よりの計算値と良く一致する。

(2) 低流量域における  $C_1^*$ ,  $C_2^*$  と中間流出・水温 ( $t_M$ ,  $\theta_M$ ) の関係

(i) 低流量域における  $C_1^*$  の値と  $t_M$  の関係

さきに、 $Q_M \sim Q_R$  移行流量域に続く  $Q_R$ ・低流量域では、 $C_1^*$  の値は  $Q_M$  の場合の関係式(注)4より推算されることを述べた。

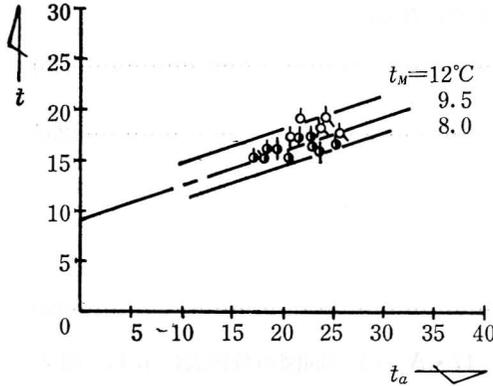
(注) 4  $[(C_1)_M \xrightarrow{q=8} C_1^* \text{ の近似値}]$

$$(C_1)_M = C_2 + \left(\frac{k_M}{q}\right), \quad \left(\frac{k_M}{q}\right) = \theta_M + (1 - \theta_M) \frac{1}{q}$$

$C_2$ : 前報<sup>7)</sup>・附表—3 参照,  $\theta_M = t_M/t_G$ ,  $t_G = 12^\circ\text{C}$

$q=8$  ( $Q=70 \sim 90 \text{ m}^3/\text{s}$ ),  $t_M(\theta_M)=7^\circ\text{C}(0.583)$ ,  $9.5^\circ\text{C}(0.792)$ ,  $12^\circ\text{C}(1.000)$  について  $(C_1)_M$  の値を計算して、表—12に示す。これらの  $(C_1)_M$  値を  $C_1^*$  の値の近似値として採用し得るか否かを検討するために、観測値と比較して図—18に示す。この図より、計算値にもとづく直線は標本値とほぼ一致するので、低流量域では  $(C_1)_M \rightarrow C_1^*$  としてよいことが認められる。

前述表—11における  $C_1^*$  値は、 $t_M=9.5^\circ\text{C}$  ( $\theta_M=0.792$ ) の場合に対応すること、および  $C_1^* \sim (k_R/q)$  として求められる  $C_2^*$  も同様の条件を内包することは、さきに述べた通り



図—18  $t \sim t_a$  関係による  $\langle C_1 \rangle_M \rightarrow C_1^*$  の吟味。  
 $t = b \cdot t_a + C_1^* \cdot t_G$   
 $Q = 70 \sim 90 \text{ m}^3/\text{s} : q = 8 (b = 0.34)$

表—12  $(C_1)_M \rightarrow C_1^*$  の近似値

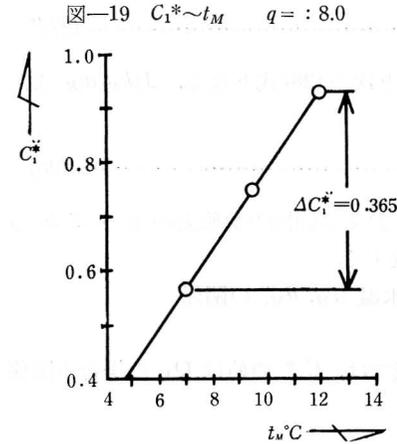
$t_M$ °C ( $\theta_M$ )	7.0 (0.583)	9.5 (0.792)	12.0 (1.000)
$(C_1)_M$	0.565	0.748	0.930

- (注) ①  $(C_1)_M = C_2 + \left(\frac{k_M}{q}\right)$ ,  
 $\left(\frac{k_M}{q}\right) = \theta_M + (1 - \theta_M) \frac{1}{q}$   
 ②  $\Delta(C_1)_M = \Delta C_1^*$ ,  
 $\Delta(C_1)_M = (C_1)_{t_M=12} - (C_1)_{t_M=7} = 0.365$

表—13  $C_2^*$  の計算値 :  $q = 8, m = 3$   
 $\partial C_2^* = (C_2^*)_{\theta_M} - (C_2^*)_{\theta_M} = 0.792$

$t_R, ^\circ\text{C}$ ( $\theta_R$ )	$t_M, ^\circ\text{C}$ ( $\theta_M$ )	$C_1^*$	$(k_R/q)$	$-C_2^*$	$\partial C_2^*$
12°C (1.000)	7.0 (0.583)	0.565	0.844	0.279	-0.105
	9.5 (0.792)	0.748	0.922	0.174	0
	12.0 (1.000)	0.930	1.000	0.070	+0.104
15°C (1.250)	7.0	0.565	0.969	0.404	-0.105
	9.5	0.748	1.047	0.299	0
	12.0	0.930	1.125	0.195	+0.104
21°C (1.750)	7.0	0.565	1.219	0.654	-0.105
	9.5	0.748	1.297	0.549	0
	12.0	0.930	1.375	0.445	+0.104

- (注) ①  $C_2^* = C_1^* - \left(\frac{k_R}{q}\right)$ ,  
 $\left(\frac{k_R}{q}\right) = \theta_R - \{(\theta_R - \theta_M) \cdot m + (\theta_R - 1)\} \frac{1}{q}$   
 ②  $(C_1)_M \xrightarrow{q=8} C_1^* : (\text{注})4 \text{ 参照}$



図—19  $C_1^* \sim t_M \quad q = : 8.0$

[本項 4) —(1) 参照] である。このように  $t_M = 9.5^\circ\text{C}$  を基準として分析計算を進める場合には、後に中間流出・水温 ( $t_M$ ) の影響に基づく一定の補正を施す必要を生ずるのであろう。図—19はこのような点を考慮して、 $C_1^* \sim t_M$  関係を図示したものである。同図より明らかのように  $C_1^* \sim t_M$  関係は直線的であって、 $t_M = 7^\circ\text{C}, 12^\circ\text{C}$  における差は  $\Delta C_1^* = 0.365$  である。

(ii) 低流量域における  $C_2^*$  と  $t_M$  の関係

前述のように低流量域 ( $q \doteq 8$ ) では  $(C_1)_M \rightarrow C_1^*$  として  $y$  切片係数  $C_1^*$  が求められる。 $(k_R/q)$  の値は  $t_R$ ,  $t_M$  が与えられると ( $m=3$  として) 計算されるので、両者の差  $(C_1^* - k_R/q)$  として  $C_2^*$  が計算される。 $t_R = 12^\circ\text{C}$ ,  $15^\circ\text{C}$ ,  $21^\circ\text{C}$  および  $t_M = 7^\circ\text{C}$ ,  $9.5^\circ\text{C}$ ,  $12^\circ\text{C}$  として求められた  $C_2^*$  の計算値を表-13に示す。

さて、 $C_2^*$  の  $q$  に関する関数型を求めることが本項の主たる課題であるが、さきに述べたように中間流出・水温  $t_M = 9.5^\circ\text{C}$  を基準とする場合のほか ( $t_M$  の一般的な場合に) は、 $C_1^* \sim q$  関係を  $t \sim t_a$  関係図より正確に分析することが困難なので、これら一般的な場合には  $C_2^*$  の標本値、したがって分析結果であるその関数型を直接的に求めることは本研究方法では無理となる。このような事情から本報告では、 $t_M = 9.5^\circ\text{C}$  を基準とする場合 ( $t \sim t_a$  直線を平均的に分析する方法に対応する場合) の  $C_2^*$  関数型を求め、 $t_M = 7^\circ\text{C}$ ,  $12^\circ\text{C}$  等の場合については基準の場合 ( $t_M = 9.5^\circ\text{C}$ ,  $\theta_M = 0.792$ ) の分析結果を拡張して適用する方法を採用した。したがって、 $t_M = 7^\circ\text{C}$ ,  $12^\circ\text{C}$  等の場合の  $C_2^* \sim q$  関係については、基準 ( $t_M = 9.5^\circ\text{C}$ ) の場合のものよりの偏倚を明らかにする必要がある。ここにはその第1段階として、低流量域 ( $q=8$ :  $Q=70 \sim 90 \text{ m}^3/\text{s}$ ) におけるこれらの偏倚を求めると次のようである。まづ表-13の計算結果より、 $t_M = 7^\circ\text{C}$  ( $\theta_M =$

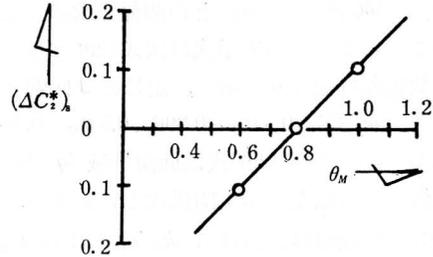


図-20  $(\Delta C_2^*)_{q=8} \sim \theta_M$  関係  
 $(\Delta C_2^*)_8 = 0.5 \theta_M - 0.396$   
 $\doteq 0.5 \theta_M - 0.4$   
 $q = 8.0$

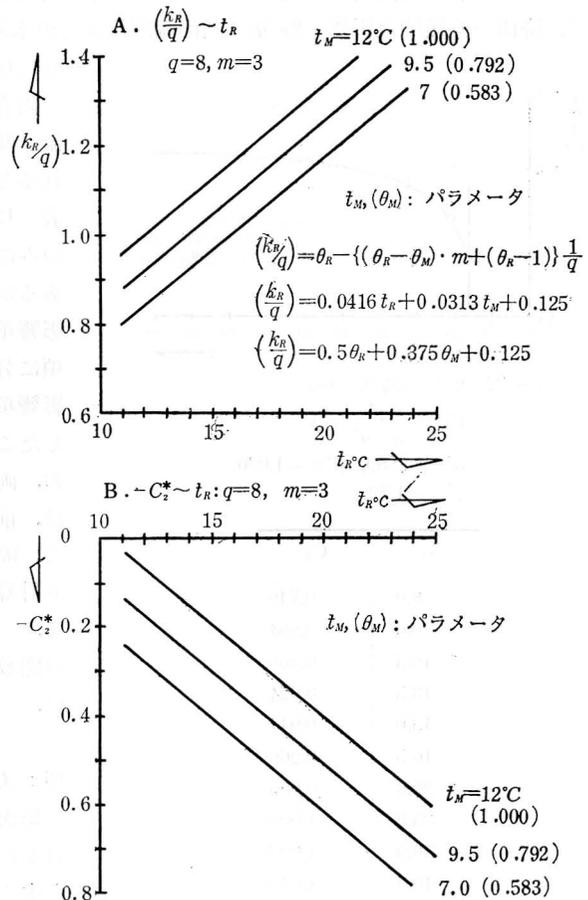


図-21  $(k_R/q)$ ,  $C_2^* \sim t_R$

0.583), 12°C (1.000) における  $C_2^*$  の値  $(C_2^*)_{\theta_M}$  と  $t_M=9.5^\circ\text{C}$  (0.792) における基準値  $(C_2^*)_{0.792}$  の偏差  $\delta C_2^* = [(C_2^*)_{\theta_M} - (C_2^*)_{0.792}] \times$  を各降雨水温別に計算し, 同表の末尾に示す. 表より明らかなように  $\delta C_2^* \sim t_M$  の関係は,  $t_R$  には無関係である.  $q=8$  におけるこの差  $[(\delta C_2^*)_{q=8} = (\delta C_2^*)_8]$  と  $\theta_M$  との関係を求めると, 図-20に示すように  $(\delta C_2^*)_8 \sim \theta_M$  関係は直線的であって, その表示式は次式(29)となる. (※基準の場合 ( $\theta_M=0.792$ ) と対象となる場合の数値差は記号  $\delta$  で示し, 記号と  $\Delta$  区別する.)

$$(\delta C_2^*)_8 = 0.5 \theta_M - 0.396 \doteq 0.5 \theta_M - 0.4 \dots \dots \dots (29)$$

したがって, この(29)式は低流量域 ( $q=8$ ) で中間流出・水温 ( $\theta_M=t_M/t_G$ ) による  $C_2^*$  の基準値よりの偏差を示す関係式といえよう.

(3) 低流量域における  $(k_R/q)$  および  $C_2^*$  と降雨水温 ( $t_R$ ) の関係

前掲表-13のデータを用いて, 低流量域の  $(k_R/q)$  および  $C_2^*$  と  $t_R$  との関係をそれぞれ  $t_M$  をパラメータとして画くと, 図-21 A, B のようである. これらの図から明らかなように, 前者 (A) は  $t_R$  に関する単調増加関数で, また後者は単調減少関数で表示され, 且つ両者の  $t_R$  に対する変化率の絶対値は等しい.

これら両者の対照的な傾向より,  $Q_R$  の場合低流量域では, 降雨水温が高くなるに伴って, 降雨の直接的な影響  $[(k_R/q)$ : 表面流出及びその水温等によるもの] は増加するが, 此

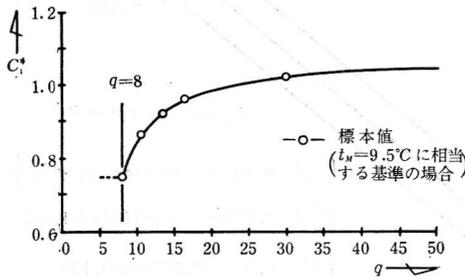


図-22  $C_1^*$  の観測方程式

$$C_1^* = \frac{\gamma'}{q + \alpha'} - \beta'$$

$$\alpha' = -2.89, \beta' = -1.086,$$

$$\gamma' = -1.72$$

q	$C_1^*$
8.0	0.749
9.0	0.804
10.5	0.860
13.5	0.924
15.0	0.944
16.5	0.960
20.0	0.985
25.0	1.008
30.0	1.023
40.0	1.040
50.0	1.050

れに反して“流域の熱効果” ( $\Delta t$ ) 低下して両者は打ち消しあい, その結果河川水温に及ぼす降雨の総体的な影響は減殺されると考えられる. この推論結果は, 表-13・ $C_1^*$  の数値が  $t_R$  に関係なく  $t_M$  のみに依存することからの当然の帰結であるが, 降雨の総体的な影響を直接的な影響項  $(k_R/q)$  と“流域の熱効果” ( $\Delta t$ ) の項に分離した上で, 低流量域における両影響項の性質と相互の関連性を明らかにしたことは留意されるべきであろう. なお, 両者のうちで  $(k_R/q) \sim \theta_R$  の関係式は, 前掲(11)式に  $q=8, m=3$  と代入して,  $(k_R/q) = 0.5 \theta_R + 0.375 \theta_M + 0.125$  となり計算結果 (図-21・A) とよく一致する. 一方,  $C_2^* \sim \theta_R$  の関係式は後述  $C_2^*$  の関数型とかかわるのでここではふれない.

(4)  $t_M=9.5^\circ\text{C}$  の場合の  $C_2^*$  関数型:  $[C_2^*]$

累次述べたように [Ⅲ・2・C-2] (注3) および 4)・(2)・(ii) 等参照],  $C_2^*$  の関数型を求めるには,  $t_M=9.5^\circ\text{C}$  ( $\theta_M=0.792$ ) の場合を基準としてその近似式  $[C_2^*]_{0.792}$  を

求め、つぎに (次項 5) で後述するように  $t_M$  による  $C_2^*$  の補正項 (影響の追加項) を加える。

(i)  $C_2^*$  の標本値

$C_2^*$  の値は  $[C_1^* - (k_R/q)]$  [前掲 (10) 式参照] として各流量比 ( $q$ ) ごとに計算される。 ( $k_R/q$ ) の値は前掲・図—16 : 附表—5 より得られるので、 $C_1^*$  の正確な値を系統的に求めることが大切である。このためには表—11 の  $C_1^*$  標本値 ( $C_1^* \sim q$  関係 : 双曲線型) に基づいて (周知の方法で)<sup>6)</sup>  $C_1^*$  の観測方程式 (30) を求め、この (30) 式で規定される  $C_1^*$  の値を標本の第 2 近似値として採用する。

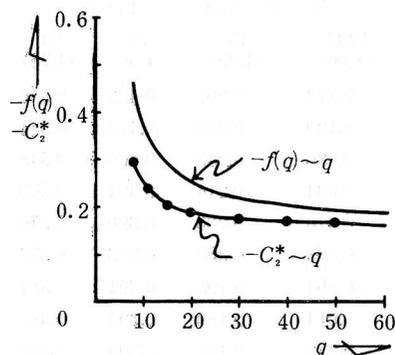
$$C_1^* = \frac{\gamma'}{q + \alpha'} \dots\dots\dots (30) : \text{観測方程式}$$

[図—22, 数値表]

本報告では、 $t_R = 12, 15, 18, 21^\circ\text{C}$  ( $t_M = 9.5^\circ\text{C}$ ) について  $C_2^* \sim q$  関係を計算したが、そのうちの 1 例として  $t_R = 15^\circ\text{C}$  の場合計算結果を図—23 および表—14 (標本値の行) に示す。

(ii)  $C_2^*$  の近似式 :  $[C_2^*]$

以上のようにして求めた  $C_2^*$  の標本値より、次のような分析過程でこの場合の  $C_2^*$  の関数型を決定する。



図—23 赤川—熊出 : ダム建設前, 昭和27年~31年, 7月~9月間, 表面流出がある場合 ( $Q_R$  の場合)  
 $-f(q) \sim q$  関係  
 $-C_2^* \sim q$  関係  
 $f(q) = \frac{\gamma}{q + \alpha} - \beta$   
 $C_2^* = f(q) + \frac{\theta_R}{q}$   
 $t_R = 15^\circ\text{C}, \theta_R = 1.25, t_M = 9.5^\circ\text{C}, \theta_M = 0.792, Q_G = 10 \text{ m}^3/\text{s}, m = 3, \alpha = -2.41, \beta = 0.159, \gamma = -1.642$

表—14  $C_2^*$  の計算値と標本値の比較  
 $t_R = 15^\circ\text{C}$  ( $\theta_R = 1.25$ )  
 $t_M = 9.5^\circ\text{C}$  ( $\theta_M = 0.792$ )  
 $t_G = 12^\circ\text{C}, m = 3, Q_G = 10 \text{ m}^3/\text{s}$

流量比 $q$	$-C_2^*$ 値	
	計算値	標本値
8	0.297	0.297
9	0.269	0.265
10.5	0.243	0.238
13.5	0.214	0.207
15.0	0.206	0.200
16.5	0.200	0.194
18.0	0.195	—
20.0	0.189	0.185
25.0	0.182	0.178
30.0	0.177	0.174
35.0	0.173	—
40.0	0.172	0.170
45.0	0.170	—
50.0	0.169	0.166

(注)  $C_2^* = \frac{\gamma}{q + \alpha} + \frac{\theta_R}{q} - \beta$   
 $t_R = 15^\circ\text{C}, (\theta_R = 1.25)$  の場合  
 $\alpha = -2.41, \beta = 0.16, \gamma = -1.64$

㉑  $C_2^* \sim q$  関係は  $t_R$  値ごとに複雑な関数型を示すので、直接的にそれぞれの関数型を分析決定することは困難である。このような複雑なる関数型の主なる要因は、降雨水温 ( $t_R$ ) の影響項であると予想される。

㉒  $t_R$  の影響の第一近似として  $(\theta_R/q)$  を導入し、 $f(q) = C_2^* - \frac{\theta_R}{q}$  とおくと、 $f(q)$  の値は各  $t_R$  値ごとに異なるが、その関数型はいずれの場合でも双曲線型である。

㉓ 周知の方法<sup>6)</sup>で各  $t_R$  値ごとの関数型を分析する。これらの関数は次式 (31) で表示され、前掲図-22にその1例として  $t_R = 15^\circ\text{C}$  の場合の  $-f(q) \sim q$  関係・分析結果を示す。

$$f(q) = \frac{\gamma}{q + \alpha} - \beta \dots\dots\dots(31)$$

$$\text{但し } f(q) = C_2^* - \frac{\theta_R}{q} \dots\dots\dots(31)'$$

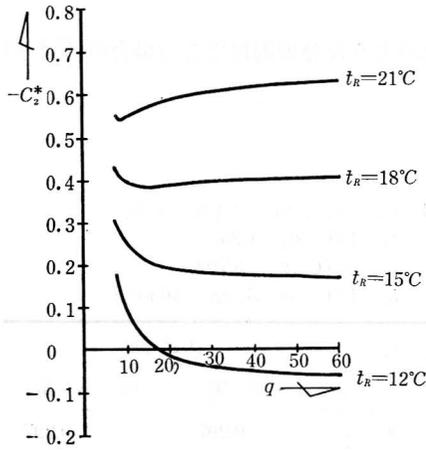


図-24 赤川一熊出：ダム建設前，昭和27年～31年，7月～9月間表面流出がある場合 ( $Q_R$  の場合)  $-C_2^* \sim q$  関係， $t_M = 9.5^\circ\text{C}$  ( $\theta_M = 0.792$ )

$$C_2^* = f(q) + \frac{\theta_R}{q}$$

$$= \frac{\gamma}{q + \alpha} + \frac{\theta_R}{q} - \beta$$

関連数値表

定数	降雨水温 ( $t_R$ °C) の $-C_2^*$ 値			
	12°C (1.00)	15 (1.25)	18 (1.50)	21 (1.75)
$-\alpha$	2.19	2.41	3.00	4.77
$\beta$	-0.09	0.16	0.41	0.650
$-\gamma$	2.25	1.64	1.00	0.373

附表-6 赤川一熊出：ダム建設前，昭和27～31年，7月～9月間  
 $Q_R$  の場合： $-C_2^*$  の値， $t_G = 12^\circ\text{C}$ ， $t_M = 9.5^\circ\text{C}$  ( $\theta_M = 0.792$ )， $m = 3$ ， $Q_G = 10 \text{ m}^3/\text{s}$

流量比 $q$	降雨水温 ( $t_R$ °C) の $-C_2^*$ 値			
	12°C (1.00)	15 (1.25)	18 (1.50)	21 (1.75)
8	0.172	0.297	0.422	0.546
9	0.129	0.269	0.410	0.544
10.5	0.085	0.243	0.400	0.548
13.5	0.034	0.214	0.394	0.563
15.0	0.018	0.206	0.390	0.570
16.5	0.006	0.200	0.393	0.576
18.0	-0.004	0.195	0.394	0.581
20.0	-0.014	0.189	0.394	0.587
25.0	-0.032	0.182	0.395	0.598
30.0	-0.043	0.177	0.397	0.607
35.0	-0.051	0.173	0.398	0.612
40.0	-0.056	0.172	0.399	0.617
45.0	-0.060	0.170	0.401	0.620
50.0	-0.064	0.169	0.401	0.623

定数	$-\alpha$	2.19	2.41	3.00	4.77
	$\beta$	-0.09	0.16	0.41	0.650
	$-\gamma$	2.25	1.64	1.00	0.373

(注) 関係式

$$C_2^* = \frac{\gamma}{q + \alpha} + \frac{\theta_R}{q} - \beta$$

④ 従って、 $C_2^*$  の関数型 [ $t_M=9.5^\circ\text{C}$  ( $\theta_M=0.792$ ) の場合] は次式 (32) となる。  
以下、近似式であることを明らかにするために、 $[C_2^*]$  の記号を用いる。

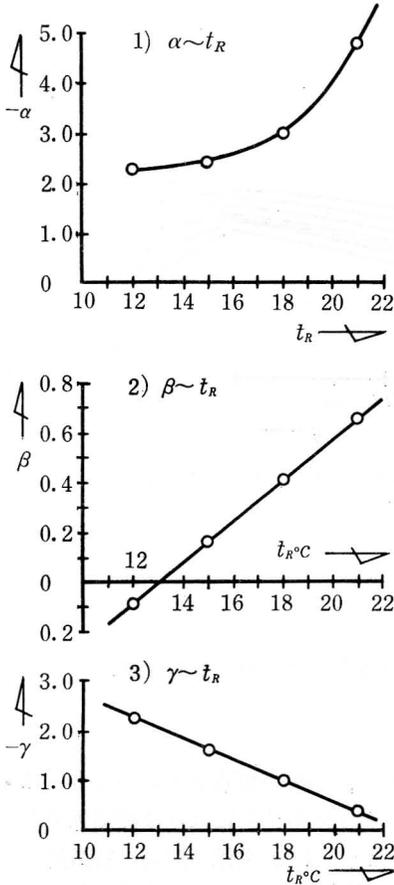
$$[C_2^*]_{\theta_M=0.792} \equiv [C_2^*]_{0.792} = f(q) + \frac{\theta_R}{q} = \frac{\gamma}{q+\alpha} + \frac{\theta_R}{q} - \beta \dots\dots\dots(32)$$

$t_R=15^\circ\text{C}$  の場合について、(32) 式より求めた計算値と標本値とを比較すると、表—14 のように両者はよく一致する。

$t_R=12, 15, 18, 21^\circ\text{C}$  について得られた計算結果 (附表—6 参照) を図—24 に示す。また、各  $t_R$  値における定数  $\alpha, \beta, \gamma$  の値は同図の数値表に整理した通りである。

(iii) 定数  $\alpha, \beta, \gamma$  と降雨水温 ( $t_R$ ) の関係

図—24 の数値表より、上記諸定数と  $t_R$  の関係を示すと、図—25 (1)~(3) のようである。同図 (2) の  $\beta \sim t_R$  関係が直線的であることは、 $(C_2^*)_{q \rightarrow \infty} = -\beta$  [(32) 式参照] なることを考えあわせると、流量が大きい範囲では  $C_2^*$  はほぼ降雨水温 ( $t_R$ ) に比例することを示す。なお、この関係 ( $\beta - \theta_R = \text{const}$ ) は後述  $C_1^*$  の項で述べるように分析結果を吟味する場合に重要である。



図—25 赤川—熊出：ダム建設前，昭和27年～31年，7月～9月間  $Q_R$  の場合

(5)  $C_1^*$  の近似式 ( $[C_1^*]$  と略記する.)  
—上記  $[C_2^*]_{t_M=9.5^\circ\text{C}}$  を用いた  $C_1^*$  の関数型—

$t_M=9.5^\circ\text{C}$  を基準とした  $C_2^*$  の式 (32) が求まると、この場合の  $[C_1^*]$  の式は次式 (33) となる。〔前掲 (11) 式参照〕

$$[C_1^*] = [C_2^*]_{0.792} + \left(\frac{k_R}{q}\right),$$

$$= \frac{\gamma}{q+\alpha} + \frac{\theta_R}{q} - \beta + \left(\frac{k_R}{q}\right) \dots\dots(33)$$

ここに

$$\left(\frac{k_R}{q}\right) = \theta_R - \left\{ (\theta_R - \theta_M) \cdot m + (\theta_R - 1) \right\} \frac{1}{q}$$

(33) 式で  $(k_R/q)$  の項は任意の  $\theta_R (= t_R/t_G)$ ,  $\theta_M (t_M/t_G)$  について計算されるが、 $[C_2^*]_{0.792}$  [前掲 (32) 式] は  $t_M=9.5^\circ\text{C}$  ( $\theta_M=0.792$ ) に対する式で  $\theta_M$  については限定されたものである。すなわち、後者  $[C_2^*]_{0.792}$  は任意の  $\theta_M$  の値については一定の誤差をもつので、上記 (33) 式も自ら任意の  $\theta_M$  について誤差をもつ  $C_1^*$  の近似式である。当面  $C_2^*$  の  $\theta_M$  に関する補正項を求める手掛り (分析条件) が不十分であるので、ここでは  $C_1^*$  の近似式による計算を展開し、その計算結果を検討する過程で、上記の補正項を分析するに必要な条件を求める

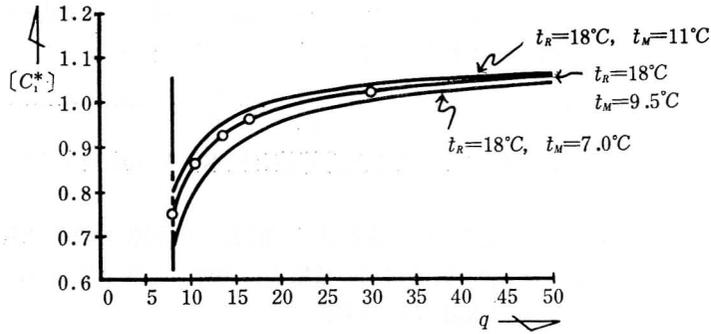


図-26・A 赤川一熊出；ダム建設前，昭和27年～31年，7月9月間  
表面流出がある場合 ( $Q_R$  の場合)  
[ $C_1^*$ ]～ $q$  関係： $t_R=18^\circ\text{C}$  ( $\theta_R=1.5$ ),  $m=Q_M/Q_G=3$ ,  
 $Q_G=10\text{ m}^3/\text{s}$ ,  $t_G=12^\circ\text{C}$

(注)  $C_1^* = C_2^* + \left(\frac{k_M}{q}\right)$ ,  $C_2^* = \frac{\gamma}{q+\alpha} + \frac{\theta_R}{q} - \beta$ ,  
 $\left(\frac{k_R}{q}\right) = \theta_R - \left\{ \theta_R - \theta_M \right\} \cdot m + (\theta_R - 1) \left\} \frac{1}{q}$

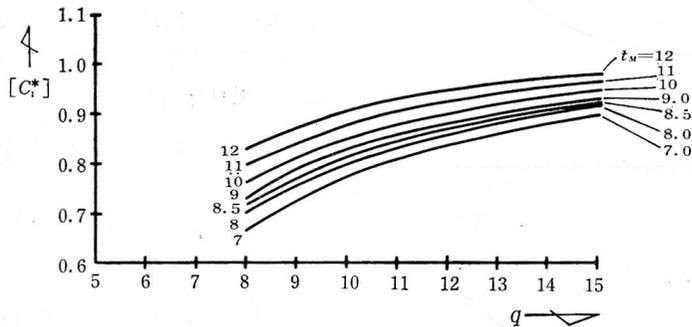


図-26・B 赤川一熊出；ダム建設前，昭和27年～31年，7月～9月間  
 $Q_R$  の場合，[ $C_1^*$ ]～ $q$  関係， $t_M$ ：パラメータ

方法をとった。

(i) [ $C_1^*$ ] の計算値とその特徴的傾向

(33) 式を用いて [ $C_1^*$ ] の値を，次のような  $t_R$ ,  $t_M$  の組合せについて計算する。

降雨水温の値： $t_R=12, 15, 18, 21^\circ\text{C}$

中間流出・水温の値： $t_M=7, 9.5, 12^\circ\text{C}$

これらの計算結果の1例を図-26に図示するとともに，結果の要点をまとめて表-15・Aに示す。同表より明らかなように，[ $C_1^*$ ] の値は降雨水温 ( $t_R$ ) にはほぼ無関係であって，中間流出・水温 ( $t_M$ ) のみに関係する。このような [ $C_1^*$ ]～ $q$  関係の傾向は特徴的であって，降雨条件の直接的影響項 ( $k_R/q$ ) 及びその間接的影響項とも云うべき流域の熱効果・ $y$  切片係数  $C_2^*$  の相互関連性にもとづくものと推察される。今後の計算の都合上，表-15・Aを整理すると表-15・Bのようである。

表—15・A 赤川—熊出：ダム建設前，昭和27年～31年，7月～9月間， $Q_R$ の場合： $[C_1^*]$ の値

$q$	$t_M$	$t_M=7^\circ\text{C}$			$t_M=9.5^\circ\text{C}$				$t_M=12$	
		$t_R=12^\circ\text{C}$	18°C	21°C	$t_R=12^\circ\text{C}$	15°C	18°C	21°C	$t_R=12^\circ\text{C}$	21°C
5.0		0.67			0.750				0.83	
6.0		0.67			0.750				0.83	
7.0		0.67			0.750				0.83	
8.0		0.672	0.672	0.673	0.750	0.750	0.750	0.751	0.828	0.829
9.0		0.736	0.734	0.734	0.806	0.805	0.805	0.803	0.873	0.873
10.5		0.796	0.803	0.797	0.856	0.857	0.857	0.857	0.915	0.916
13.5		0.873	0.876	0.872	0.920	0.923	0.923	0.919	0.966	0.965
15.0		0.899	0.900	0.897	0.940	0.942	0.942	0.938	0.982	0.980
16.5		0.918	0.920	0.916	0.956	0.958	0.958	0.954	0.994	0.992
20.0		0.951	0.952	0.950	0.983	0.984	0.984	0.982	1.014	1.013
25.0		0.982	0.982	0.982	1.007	1.007	1.007	1.007	1.032	1.032
30.0		1.001	1.001	1.001	1.022	1.022	1.022	1.022	1.043	1.043
35.0		—	1.014	1.017	—	1.032	1.032	1.034	—	1.052
40.0		1.025	1.024	1.027	1.040	1.039	1.039	1.042	1.056	1.058
45.0		—	1.031	1.036	—	1.046	1.046	1.049	—	1.063
50.0		1.039	1.039	1.042	1.051	1.052	1.052	1.056	1.064	1.067
60.0		1.048	1.047	1.051	1.059	1.057	1.057	1.062	1.069	1.072

表—15・B 赤川—熊出：ダム建設前，昭和27年～31年，7月～9月間  $Q_R$ の場合  $[C_1^*]$ の値(まとめ)

$q$	$t_M$	7	9.5	12
5.0		0.670	0.750	0.830
6.0		0.670	0.750	0.830
7.0		0.670	0.750	0.830
8.0		0.670	0.750	0.830
9.0		0.730	0.810	0.870
10.5		0.800	0.860	0.920
13.5		0.870	0.920	0.970
15.0		0.900	0.940	0.980
16.5		0.920	0.960	0.990
20.0		0.950	0.980	1.010
25.0		0.980	1.010	1.030
30.0		1.000	1.020	1.040
35.0		1.010	1.030	1.050
40.0		1.020	1.040	1.060
45.0		1.030	1.040	1.060
50.0		1.040	1.050	1.070
60.0		1.050	1.060	1.070

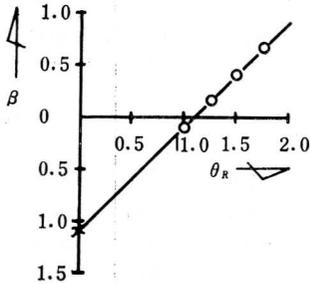
表—16  $\Delta[C_1]$ と $\Delta\left(\frac{k_R}{q}\right)_M$ の比較

$$\Delta[C_1^*] = [C_1^*]_{\theta_M=1.0} - [C_1^*]_{0.583}$$

$$\Delta\left(\frac{k_R}{q}\right)_M = \left(\frac{k_R}{q}\right)_{1.0} - \left(\frac{k_R}{q}\right)_{0.583}$$

流量比 $q$	(1) $\Delta[C_1^*]$	(2) $\Delta(k_R/q)_M$
8.0	0.16	0.156
9.0	0.14	0.139
10.0	0.126	—
10.5	0.12	0.119
12.0	0.11	—
13.5	0.10	0.093
14.0	0.09	0.089
15.0	0.08	0.083
16.5	0.07	0.076
20.0	0.06	0.063
25.0	0.05	0.050
30.0	0.04	0.042
35.0	0.04	0.036
40.0	0.04	0.031
45.0	0.03	0.028
50.0	0.03	0.025

図-27  $\beta = \theta_R + \beta'$   
 $\beta' \doteq -1.09$



数値表

$t_R, \theta_R$	12	15	18	21
(1) 分析値	-0.09	0.16	0.41	0.65
(2) 計算値	-0.09	0.16	0.41	0.66

(1): 附表-6 参照  
(2): (35) 式による計算値

(ii)  $t_M = 7^\circ\text{C}$  と  $12^\circ\text{C}$  における  $[C_1^*]$  値の差  $\Delta[C_1^*]$ . 表-15・B より, 上記の差  $\Delta[C_1^*] = [C_1^*]_{12^\circ\text{C}} - [C_1^*]_{7^\circ\text{C}}$  を求め, これらの数値とさき求めた  $\Delta\left(\frac{k_R}{q}\right)_M = \left(\frac{k_R}{q}\right)_{12^\circ\text{C}} - \left(\frac{k_R}{q}\right)_{7^\circ\text{C}}$  の計算結果 (図-17・A: 数値表参照) を対比して, 表-16 (1), (2) に示す. この比較表より, 両者はほとんど一致することが認められる.

$$\Delta[C_1^*] \doteq \Delta\left(\frac{k_R}{q}\right)_M \dots\dots\dots(34)$$

この分析結果 (34) 式は, 後述する  $C_2^*$  の補正項を求める際に重要である.

(iii)  $C_1^*$  の近似式と観測方程式の比較  
観測方程式:

$$C_1^* = \frac{\gamma'}{q + \alpha'} - \beta \dots\dots\dots\text{前掲 (30)}$$

$C_1^*$  の近似式:

$$[C_1^*] = \frac{\gamma}{q + \alpha} + \frac{\theta_R}{q} - \beta + \theta_R - \left\{ (\theta_R - \theta_M) \cdot m + (\theta_R - I) \right\} \frac{1}{q} \dots\dots\dots\text{前掲 (33)}$$

両式において  $q \rightarrow \infty$  とする, 次式 (35) が得られる.

表-17 降雨水温の推定

気温範囲 $t_a$ °C	推定降雨水温 $t_R$ °C
16 ~ 21	15
22 ~ 25	18
26 ~ 28	21
29 ~ 32	23

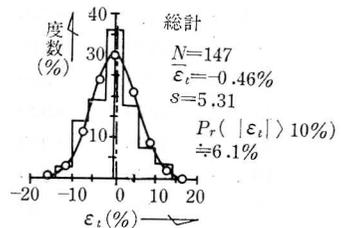
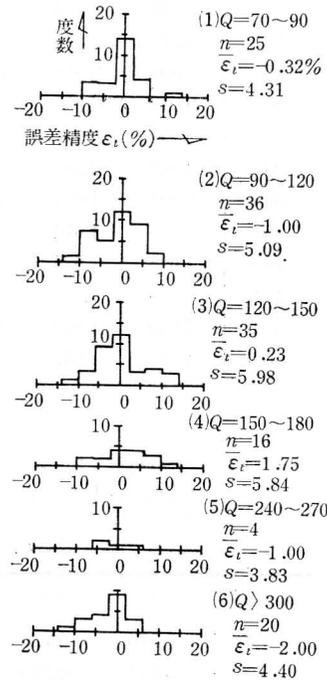


図-28 赤川一熊出: ダム建設前 (昭和27~31年) 7月~9月間,  $Q_R$  の場合  
流量区間別・誤差精度 ( $\epsilon_i$ ) の度数分布

$$\begin{aligned}
 [C_1^*]_{\infty} &= -\beta' \\
 &= \theta_R - \beta \\
 \therefore \beta &= \theta_R + \beta' \dots\dots\dots (35) : \text{図-27} \\
 \beta' &= -1.086 \doteq -1.09 \quad (\text{図-22参照})
 \end{aligned}$$

さきに図-25 (2) に示した  $\beta \sim t_R$  ( $\theta_R = t_R/t_G$ ,  $t_G = 12^\circ\text{C}$ ) の直線的関係は, 上記 (35) 式で表示され, 観測方程式の定数值  $\beta' \doteq -1.09$  を用いると, 図-27の数値表に示すようにさきに得た分析値は (35) 式の計算値と一致する. このような結果より, これまでの計算結果は概ね正確であると云えよう.

(6)  $C_1^*$  の近似式を用いた場合の誤差精度:  $[\epsilon_i]$

以上のように  $C_1^*$  の近似式が求められると,  $b$  の関係式は既に (24) 式で得られているので, 河川水温 ( $t$ ) はこれらの関係式を用いて計算される.

$$t = b \cdot t_a + C_1^* t_G \dots\dots\dots \text{前掲 (9)}$$

$$b = b_l + (b^* - b_l) \exp[-k(q-8)] \dots\dots\dots // (24)$$

(図-25, 附表-4 参照)

$$[C_1^*] = \frac{\gamma}{q+\alpha} + \frac{\theta_R}{q} - \beta + \theta_R - \left\{ (\theta_R - \theta_M) \cdot m + (\theta_R - 1) \right\} \frac{1}{q} \dots\dots\dots \text{前掲 (33)}$$

(附表-5, 附表-6 参照)

この計算において, 降雨水温 ( $t_R$ ,  $\theta_R$ ) および中間流出・水温 ( $t_M$ ,  $\theta_M$ ) は, それぞれ表-17および前掲表-10 [前報<sup>7)</sup> 参照] より推定する.

多数の観測結果 ( $Q$ ,  $t_a$ ) より, 上式を用いて河川水温の計算値 ( $t_{cal}$ ) を求め, これに対応する河川水温実測 ( $t_{ob}$ ) を基準として (他の場合と同様に) 計算誤差の精度  $[\epsilon_i]$  を分析する. 図-28流量区間別の  $[\epsilon_i]$ ・度数分布および全体の計算結果を示す. これらの分析結果より,  $C_1^*$  の近似式を用いたこの場合でも,  $Pr(|\epsilon_i| > 10\%) \doteq 6.1\%$  であって, 実用上, 上記の関係式は有効であることが認められる.

5)  $C_2^*$  の補正項, 並びに  $C_2^*$ ,  $C_1^*$  の修正式

以上で分析した  $C_1^*$  の近似式 ( $[C_1^*]$ : 前掲 (33) 式参照) では, (これまでに述べたように)  $C_2^*$  の関数に  $t_M = 9.5^\circ\text{C}$  ( $\theta_M = 0.792$ ) と限定して  $t_R$  の影響を主とするもの  $[C_2^*]_{0.792}$ <sup>(注)5</sup> を近似的に採用している. 云うまでもなく,  $C_1^*$  の一層正確な関数型を得るには,  $t_R$ ,  $t_M$  の任意の値に適用し得る  $C_2^*$  の関数型を用いる必要がある. このために, 以下あらためて  $C_2^*$  の  $t_M$  ( $\theta_M$ ) に関する補正項<sup>(注)6</sup> を検討する.

(1) 一般の場合の  $C_1^*$  の関係式

上記の課題を本研究の分析過程の中で位置づけ, また  $C_1^*$  の関数型における  $C_2^*$  の  $\theta_M$  に関する補正項の役割を明らかにするために, これまでの分析結果を整理すると次のようである.

$$C_1^* = C_2^* + \left( \frac{k_R}{q} \right) \dots\dots\dots \text{前掲 (11)}$$

( $k_R/q$ ) =  $t_R$  の影響項 ( $k_R/q$ )<sub>R</sub> +  $t_M$  の影響項 ( $k_R/q$ )<sub>M</sub>

$C_2^* = t_R$  を中心とする影響項 ( $C_2^*$ )<sub>R</sub> +  $t_M$  の補正項 ( $C_2^*$ )<sub>M</sub><sup>(注)6</sup>

$$C_1^* = (C_2^*)_R + (C_2^*)_M + \left( \frac{k_R}{q} \right)_R + \left( \frac{k_R}{q} \right)_M \dots\dots\dots (36)$$

ここに,

$$\left(\frac{k_R}{q}\right)_M = \frac{m \cdot \theta_M}{q} \dots\dots\dots \text{前掲 (25)}$$

$$\left(\frac{k_R}{q}\right)_R = \theta_R - \{(m+1)\theta_R - 1\} \cdot \frac{1}{q} \dots\dots\dots \text{〃 (27)}$$

$$(C_2^*)_R = (C_2^*)_{\theta_M=0.792} = \frac{\gamma}{q+\alpha} + \frac{\theta_R}{q} - \beta \dots\dots\dots \text{〃 (32)(注)5}$$

$(C_2^*)_M = f(\theta_M, q)$ : 未知関数の補正項(注)6

(注) 5  $(C_2^*)_R = (C_2^*)_{\theta_M=0.792}$  について: この関数・(32)式は、図-24に示すように降雨水温( $t_R$ )の影響項を中心とするものであるが、 $\theta_M=0.792$  ( $t_M=9.5^\circ\text{C}$ ) における  $t_M$  の影響項をも内包していることに留意する必要がある。

(注) 6  $t_M$  の補正項  $(C_2^*)_M$  について:  $(C_2^*)_M$  は  $C_2^*$  の基準値  $(C_2^*)_{0.792} = (C_2^*)_R$  に対する補正項であるので、さきに述べた  $q=8$  における偏差  $(\delta C_2^*)_8$  [Ⅲ・2・C-4]・12) (ii) 参照) の一般の場合  $\delta C_2^*$  に相当する。

したがって、 $(C_2^*)_M = \delta C_2^*$

(2) 中間流出・水温 ( $t_M$ ) による補正項  $(C_2^*)_M$

$t_M$  の補正項  $(C_2^*)_M$  は、(注) 6 に述べるように、基準値からの偏差  $\delta C_2^*$  に等しい。 $\delta C_2^*$  は  $q=8$  における偏差  $(\delta C_1^*)_8$  と  $q$  の関数  $h(q)$  の種と考えられるので、次式 (37) が成り立つ。

$$(C_2^*)_M = \delta C_2^* = (\delta C_2^*)_8 \cdot h(q) \dots\dots\dots (37)$$

しかるに、 $(\delta C_2^*)_8$  はすでに (29) 式で与えられているので、 $(C_2^*)_M$  を求めることは、 $h(q)$  の関数型を明らかにすることに帰結する。 $h(q)$  は次のような分析過程で求める。

㊸ 補正  $(C_2^*)_M$  を加えて修正する結果は、(36)式より明らかのように、結局  $C_1^*$  の値に影響する。 $C_1^*$  の修正値を  $\delta C_1^*$  とすれば、両者の修正値は(36)式の関係より相等的い。すなわち、

$$(C_2^*)_M = \delta C_1^*$$

上式と (37) 式より、

$$\delta C_1^* = \delta C_2^*$$

したがって、

$$(\delta C_1^*)_8 = (\delta C_2^*)_8$$

これらの関係と (37) 式より、

$$\delta C_1^* = (\delta C_1^*)_8 \cdot h(q) \dots\dots\dots (38)$$

しかるに、 $C_1^*$  については次のような関係が得られているので、これを用いて  $h(q)$  を求める。すなわち、

㊹  $t_M=9.5^\circ\text{C}$  ( $\theta_M=0.792$ ) を基準とした場合には  $\Delta[C_1^*] \sim q$  関係が得られていて、 $\Delta(k_R/q)_M \sim q$  関係との間に次式で示すような関連性のあることが明らかにされている。

$$\Delta[C_1^*] = \Delta\left(\frac{k_R}{q}\right)_M \dots\dots\dots \text{前掲 (34)}$$

(34) 式で示される両者の関連性は、基準の場合以外の任意の  $t_M$  の場合に対しても成立すると仮定する。上式のうち、右辺  $\Delta(k_R/q)_M$  の一般式は次式で与えられている。

$$\Delta\left(\frac{k_R}{q}\right)_M = \frac{m \cdot \Delta\theta_M}{q} \dots\dots\dots \text{前掲 (25)'}$$

(25)', (34) より

$$\Delta[C_1^*] = \frac{m \cdot \Delta\theta_M}{q} \dots\dots\dots(39)$$

となる。この(39)式を用いると、次のような計算により  $h(q) = \frac{8}{q}$  が得られる。

◎ この計算過程の要点は、次のようである。

$$\begin{aligned} q=8 \text{ における } \delta C_1^* : \\ (\delta C_1^*)_{q=8} &\equiv (\delta C_1^*)_8 \\ q=8 \text{ における } \Delta[C_1^*] : \\ \Delta[C_1^*]_{q=8} &\equiv \Delta[C_1^*]_8 \end{aligned}$$

とする。

一般的に、 $\delta C_1^* \propto \Delta[C_1^*]$  であるので、次の関係が成り立つ。

$$\frac{\delta C_1^*}{(\delta C_1^*)_8} = \frac{\Delta[C_1^*]}{\Delta[C_1^*]_8} \dots\dots(40)$$

(39) 式より、

$$\frac{\Delta[C_1^*]}{\Delta[C_1^*]_8} = \frac{8}{q} \dots\dots\dots(39)'$$

(38) 式より

$$\frac{\delta C_1^*}{(\delta C_1^*)_8} = h(q) \dots\dots\dots(41)$$

これら(39), (40) および(41)式より、次式(42)が得られる。

$$h(q) = \frac{8}{q} \dots\dots\dots(42)$$

(上記の計算過程で、 $q=8$  は適用流量域の流量比下限値であるので、この下限値の記号を  $q^*$  とすれば、(42) 式の一般型は次のようになる。

$$h(q) = q^*/q \dots\dots\dots(42)'$$

以上の分析結果より、(29), (37) および(42) 式をまとめると、 $C_2^*$  の補正項  $(C_2^*)_M$  は次式で表示される。

$$\begin{aligned} (C_2^*)_M &= (4.0 \theta_M - 3.168) \cdot \frac{1}{q} \\ &\doteq (4.0 \theta_M - 3.17) \cdot \frac{1}{q} \dots\dots\dots(43) \end{aligned}$$

したがって、 $C_2^*$  の修正式は(32)式と(43)式より次式(43-a)となる。なお、(参考のために) (43) 式より求めた  $C_2^*$  の補正値を表-18に示す。

$$C_2^* = \frac{\gamma}{q+\alpha} + \frac{\theta_R}{q} - \beta + (4.0 \theta_M - 3.166) \frac{1}{q} \dots\dots\dots(43-a)$$

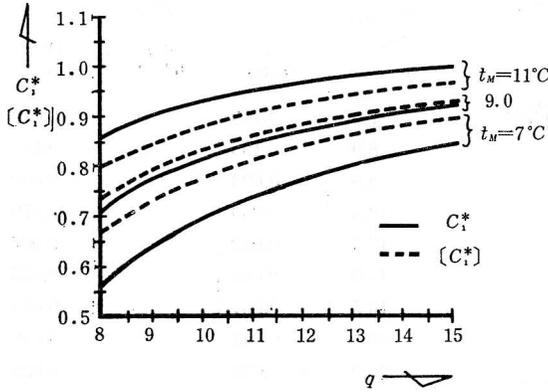
(3) 一般の場合の  $C_1^*$  の関数型

前述した  $C_2^*$  の補正項  $(C_2^*)_M$  を、前提(33)式に示す  $C_1^*$  の近似式  $[C_1^*]$  に加えると、 $C_1^*$  の修正した関数型が得られる。

表-18  $C_2^*$  の補正値

$$[C_2^*]_M = (4 \theta_M - 3.168) \frac{1}{q}$$

$t_M$ / $\theta_M$ $q$	$(C_2^*)_M$		
	7	9.5	12
7.0	-0.119	0	+0.119
8.0	↑ 0.105	↑	0.104
9.0	0.093		0.092
10.5	0.080		0.079
13.5	0.062		0.062
15.0	0.056		0.055
16.5	0.051		0.050
20.0	0.041		0.042
25.0	// 0.033	//	0.033
30.0	0.028		0.028
35.0	0.024		0.024
40.0	0.021		0.021
45.0	0.019		0.018
50.0	0.017		0.017
60.0	↓ 0.014	↓	0.014



図—29 近似値 [C<sub>1</sub>\*] と修正値 C<sub>1</sub>\* の比較

表—19 C<sub>1</sub>\* の修正値

		C <sub>1</sub> *		
q	t <sub>M</sub> θ <sub>M</sub>	7	9.5	12
		0.583	0.792	1.000
7.0	7.0	0.551	0.750	0.949
	8.0	0.565	0.750	0.934
	9.0	0.637	0.800	0.962
	10.5	0.720	0.860	0.999
	13.5	0.808	0.920	1.032
	15.0	0.846	0.940	1.035
	16.5	0.869	0.960	1.040
	20.0	0.908	0.980	1.052
	25.0	0.947	1.010	1.063
	30.0	0.972	1.020	1.068
	35.0	0.986	1.030	1.074
	40.0	0.999	1.040	1.081
45.0	1.011	1.045	1.081	
50.0	1.023	1.050	1.082	
60.0	1.036	1.060	1.084	

$$C_1^* = \frac{\gamma}{q + \alpha} + \frac{\theta_R}{q} - \beta + \left[ \theta_R - \left\{ (\theta_R - \theta_M) \cdot m + (\theta_R - 1) \right\} \frac{1}{q} \right] + (4\theta_M - 3.168) \frac{1}{q} \dots\dots\dots (44)$$

ここに、

α, β, γ: 図—24 関連数表

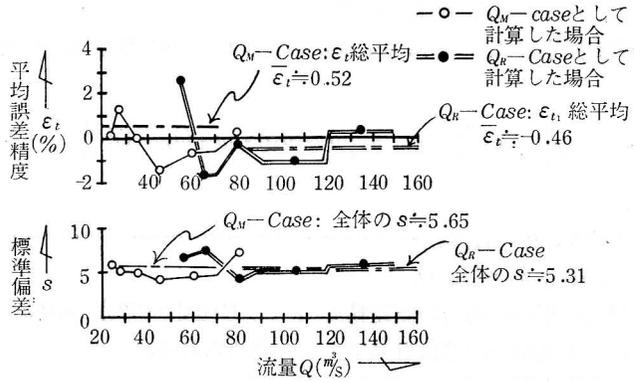
m ≤ 3.0 (一般的計算には m = 3)

まえに、[C<sub>1</sub>\*] の計算値とその特徴的傾向 (表—15・A, 表—15・B 参照) について述べたように、[C<sub>1</sub>\*] の値に対しては (結果的に見て) 降雨水温 (t<sub>R</sub>) による影響は僅少である。また、C<sub>2</sub>\* の補正項は前述のように t<sub>R</sub> の項は含まれないので、おのずから C<sub>1</sub>\* の修正値についても亦 t<sub>R</sub> の影響は僅少である。今後の計算の便宜上、表—19 に C<sub>1</sub>\* の修正値を示す。

(4) 修正 C<sub>1</sub>\* と近似値 [C<sub>1</sub>\*] の比較

修正された C<sub>1</sub>\* を近似値 [C<sub>1</sub>\*] を比較するために、t<sub>M</sub> = 7, 9, 11°C をパラメータとする両値と q との関係を図—29 示す。同図より明らかなように、q ≤ 15 の範囲において t<sub>M</sub> = 7°C および 11°C については両者の差は無視し得ない。(図—14, 表—19 参照)。しかし、現在のところ t<sub>M</sub> は推定値であり不正確であることをまぬがれ得ないので、実際の計算に当っては C<sub>1</sub>\* と [C<sub>1</sub>\*] の相違を現実の問題とするまでにいたっていない。したがって、両値の差を厳密に検討するには、今後中間流出水温 t<sub>M</sub> についての知見を蓄積して、その正確な値を求めることが必要である。結論的に云えば t<sub>M</sub> 値に表—10 を用いる場合近似値 [C<sub>1</sub>\*] の計算式 (33) による誤差精度は (前述したように) 数% 程度であるので、これを用いて差支えないといえよう。

6) Q<sub>M</sub>—Q<sub>R</sub> の移行流量域の検討



図—30 赤川—熊出：ダム建設前、昭和27年～31年・5月～7月  
 $Q_M$ —Case から  $Q_R$ —Case へ移行する流量範囲——各流量区  
 間における平均誤差精度 ( $\epsilon_i$ ) とその標準偏差 ( $S$ )——  
 (注) 1.  $Q < 70 \text{ m}^3/\text{s}$  の範囲では、 $Q_R$ —Case として計算すると誤差  
 は大となる。  
 2.  $Q > 70 \text{ m}^3/\text{s}$  の範囲では、 $Q_M$ —Case として計算すると誤差  
 精度の標準偏差が大となる。  
 3. したがって、両者が移行する流量範囲はほぼ  $70 \sim 80 \text{ m}^3/\text{s}$   
 と考えられる。

さきに、Ⅲ・2・C—1)・(1)  $Q_R$  の流量域について述べた際に  $Q_M$ — $Q_R$  の移行流量域は  
 ほぼ  $60 \sim 70 \text{ m}^3/\text{s}$  の範囲であると推定した。この推定結果の適否を、水温計算値の誤差精  
 度を分析することにより検討する。(ただし、 $C_1^*$  は計算の便宜上近似式を用いた)

図—30は、 $20 \sim 140 \text{ m}^3/\text{s}$  流量間で流量間隔  $5 \text{ m}^3/\text{s}$  ないし  $10 \text{ m}^3/\text{s}$  おきに水温計算値の  
 誤差精度を  $Q_M$  の場合および  $Q_R$  の場合で別々に求めて、比較検討したものである。同図  
 より、①  $Q < 70 \text{ m}^3/\text{s}$  の範囲では  $Q_R$  の場合として計算すると誤差は大となる、②  $Q > 70$   
 $\text{m}^3/\text{s}$  の範囲では  $Q_M$  の場合として計算すると誤差の分散が大となることわかる。した  
 がって、 $Q_M$ — $Q_R$  の移行流量域はほぼ  $70 \text{ m}^3/\text{s}$  前後にある推定される。

7)  $Q_R$  の場合の総括

以上の解析結果より、降雨の場合の主なる事項をまとめると次のようである。

(1) 関係式・諸係数の関数型

$Q_R$  の場合、主なる関係式は前報の (9) 式と (10) 式で示されるが、各式の係  $b$ 、 $C_1^*$  およ  
 び  $C_2^*$  の関数型は次のようである。

①  $b$  の関数型

$$b = b_0 + (b^* - b_1) \exp[-k(q-8)] \dots\dots\dots \text{前掲 (24)}$$

ここに、

$$b^* = 0.34, \quad b_1 = 0.20, \quad k = 0.15$$

② 中間流出水温  $t_M = 9.5^\circ\text{C}$  ( $\theta_M = 0.792$ ) の場合の  $C_2^*$  の関数型 ( $C_2^*$  の近似式)

は次式となる。

$$[C_2^*]_{0.792} = \frac{\gamma}{q+\alpha} + \frac{\theta_R}{q} - \beta \dots\dots\dots \text{前掲 (32)}$$

ここに、

$\alpha, \beta, \gamma$ : 図-24, 附表-6 参照

③ 中間流出水温  $t_M=9.5^\circ\text{C}$  ( $\theta_M=0.792$ ) の  $C_1^*$  の関数型 ( $C_1^*$  の近似式) は次のようである.

$$[C_1^*] = \frac{q}{q+\alpha} + \frac{\theta_R}{q} - \beta + \theta_R \left\{ (\theta_R - \theta_M) \cdot m + (\theta_R - 1) \right\} \frac{1}{q}$$

ここに,

$$q = Q/Q_G, \theta_R = t_R/t_G \dots\dots\dots\text{前掲 (33)}$$

$$\theta_M = t_M/t_G, m = Q_M/Q_G$$

④ 近似式を用いた場合の誤差精度  $\varepsilon_t$  は,  $Pr(|\varepsilon_t| > 10\%) = 6.1\%$  であって, 実用上, 関係式による河川水温の計算は有効であると認められる.

⑤ 中間流出水温  $t_M$  ( $\theta_M$ ) による  $C_1$  補正項

$$(C_2^*)_M = (4.0 \theta_M - 3.17) \frac{1}{q} \dots\dots\dots\text{前掲 (43)}$$

$q \leq 15$  の流量範囲では  $(C_2^*)_M$  の影響は無視し得ない.

⑥ 上記近似式に  $C_2^*$  の補正項を加えると,  $C_1^*$  および  $C_2^*$  関係式の一般型が求められる.

⑦ 基準値

$$Q_G = 10 \text{ m}^3/\text{s}, \quad t_G = 12^\circ\text{C}, \quad t_M = 9.5^\circ\text{C}$$

⑧  $Q_M - Q_R$  の移行流量域はほぼ  $70 \text{ m}^3/\text{s}$  前後と推定される.

⑨  $m = Q_M/Q_G$  と  $q = Q/Q_G$  との関係は  $q \geq 2m + 1$  (23) 式で表示され,  $Q_G = 10 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $Q \geq 70 \text{ m}^3/\text{s}$  であるので  $m \leq 3.0$  となる. (但し, 豪雨の場合を除く.)

⑩ 河川水温に及ぼす降雨の影響は, 概ね次のようである. ㊶降雨の直接的影響項である  $(k_R/q)$  すなわち表面流出およびその水温等によるものは降雨量に伴って増加するが, ㊷“流域の熱効果”の項 ( $dt^*$ ) は低下するので, 両者は打ち消しあい, ㊸降雨の総体的な影響は減殺される.

⑪ その結果, 河川水温は中間流出水温の影響をつよく受けるが, 降雨水温の影響は余り受けないと推定される.

⑫ 中間流出水温  $t_M$  の最頻値はほぼ  $9.5^\circ\text{C}$  と推定され, 本報告の対象期間ではその値は  $t_M = 7 \sim 12^\circ\text{C}$  の範囲にあると推定される.

#### IV. 全体 (第1報, 第2報) のまとめ

以上, 本研究の結果 (第1報, 第2報を通して), 赤川一熊出についてダム建設前の7月~9月間, 河川水温のマクロ的性質の一面が明らかにされた. その主なる事項は次のようである.

1) 地下水流出 ( $Q_G$ ) が卓越する場合 (A), 中間流出 ( $Q_M$ ) が卓越する場合 (B) および降雨による直接的な表面流出 ( $Q_R$ ) が卓越する場合 (C) について, それぞれの流量範囲が明らかとなった.

$$(A): 5 \sim 15 \pm 5 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$(B): 20 \sim 70 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$(C): Q > 70 \text{ m}^3/\text{s}$$

このような流量区間で, 河川水温はそれぞれ特徴ある傾向を示し, 各場合で特性値を異

にする。

2) 河川水温と渓流水温のマクロ的解析は全く同様な方法で出来ることを確認したが、両者の特性値の比較検討は行わなかった。今後、研究結果を蓄積した上で実施したい。

3) 河川水温におよぼす中間流水温 ( $t_M$ ) および降雨水温 ( $t_R$ ) の影響の仕方が以前より一層明らかとなった。とくに前者の影響が後者のものより大きいこと、ならびにその理由が現象的に明らかにされた点は、一つの新しい知見と云えよう。

4) 対象流域における時期別の中間流出・水温平均値の推定方法が求められた。

これらの分析結果にはなお不十分な点が多いが、河川水温の研究に一定の寄与となるであろう。

[謝辞]

本報告をまとめるに当っては、山形大学・農学部佐藤愛子氏から本文・図表の清書および計算の主なる部分を手伝って頂いた。ここに記して、心から感謝の意を表す。

引 用 文 献

- 7) 森田 浩：河川水温の研究，第1報：山形大学紀要（農学）第6巻第3号（1972）

Abstract

Recently, it has been emphasized that water and heat balances are important problems in Geo-physical researches. Water temperature in Rivers Should be Considered of one of these border problems.

1. This paper examines water temperature data in No-Snow seasons (from July until September) over a past five years period (1952~1956) for Akagawa R. in Yamagata Pre., Japan.

2. From the result of recent researches, this paper stands on two fundamental points of view concerning method of reseach, i. e. the standing point of researching the phenomena in the total basin and of looking at flow discharge.

3. This paper, standing on these points of view, makes clear the relation among the river discharge ( $Q$ ), the water temp. of river flow ( $t$ ) and atomspheric temperature ( $t_a$ ).

The main reults are as follows ;

[A] Base-flow Case ( $Q_G$ -Case ;  $Q=Q_G$ )

1) The Relation between  $t$  and  $t_a$  is expressed by the next formula (1)

$$t = b \cdot t_a + C_1 \cdot t_G \dots\dots\dots(1)$$

Where

$$b = b_i + (b^* - b_i) \exp[-k(q_G - 1)] \dots\dots\dots(2)$$

$$C_1 = \frac{\gamma}{q_G + \alpha} + \frac{1}{q_G} - \beta \dots\dots\dots(3)$$

2) The Relation between  $\Delta t$  and  $t_a$  ; formula (4)

$$\Delta t = b \cdot t_a + C_2 t_G \dots \dots \dots (4)$$

Where

$b$  : same, as above formula (2)

$$C_2 = \frac{\gamma}{q_G + \alpha} + \frac{1}{q_G} - (\beta + 1) \dots \dots \dots (5)$$

3) Symbols of physical quantity in the formula and main characteristic constants.

$t_G$  : temperature of ground-water ( $t_G = 12^\circ\text{C}$ )

$Q_G$  : Base-flow (or ground-water) discharge

$Q_{G-l}$  : Min. Base-flow

$$q_G = \frac{Q_G}{Q_{G-l}} \text{ (Base flow discharge ratio)}$$

$\Delta t$  : Total heat-effect in Basin

$b_l, b^*, k, \alpha, \beta, \gamma$  : Characteristic constant, different in each river basin

4) Constant data in this case.

No.	$b^*$	$b_l$	$k$
1	0.55	0.39	0.52
2	0.58	0.39	0.95

$$Q_{G-l} = 5 \text{ m}^3/\text{s}, \quad t_G = 12^\circ\text{C}$$

$$\alpha = -0.1, \quad \beta = -0.94, \quad \gamma = -1.16$$

5) Accuracy of error ( $\varepsilon_t$ )

$$\varepsilon_t = (t_{cal} - t_{ob}) / 100$$

Where

$t_{cal}$  : calculated value of  $t$ .

$t_{ob}$  : observed value of  $t$ .

$\bar{\varepsilon}_t \doteq -0.23\%$ , Total number  $N = 191$

standard deviation of  $\varepsilon_t$  :  $s \doteq 4.6$

$P_r (|\varepsilon_t| > 10\%) \doteq 2\%$

[B] Base-flow plus Inter-flow Case. ( $Q_M$ —Case ;  $Q = Q_G + Q_M$ )

1) The Relation between  $\Delta t$  and  $t_a$  :

$$\Delta t = b \cdot t_a + C_2 \cdot t_G \dots \dots \dots (4) : \text{as above}$$

Where

$b$  : same as above formula (2)

$$C_2 = \frac{\gamma}{q + \alpha} - \beta \dots \dots \dots (6)$$

2) The Relation between  $t$  and  $t_a$  :

$$t = b \cdot t_a + C_1 \cdot t_G \dots \dots \dots (1), \text{ as above}$$

Where

$b$  : some as above formula (2)

$$C_1 = C_2 + \left(\frac{k_M}{q}\right) \dots\dots\dots(7)$$

$$\left(\frac{k_M}{q}\right) = \theta_M + (1 - \theta_M) \frac{1}{q} \dots\dots\dots(8)$$

3) Symbols of physical quantity and main characteristic constants.

$Q$  : River discharge,  $Q_M$  = Discharge of Inter-flow

$q = Q/Q_G$  : Discharge ratio

$\theta_M = t_M/t_G$ ,  $t_M$  : water temperature of Interflow

$(k_M/q)$  = Effect term of Inter-flow temperature.

Other symbols and Constants, as above.

4) Constant data in  $Q_M$ -case.

$b^* = 0.485$ ,  $b_l = 0.39$ ,  $k = 1.04$

$\alpha = -0.222$ ,  $\beta = 0.059$ ,  $\gamma = 0.086$

$Q_G = 10 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $t_G = 12^\circ\text{C}$

5) Accuracy of error.

$\bar{\epsilon}_t = 0.52\%$ ,  $s = 5.65$ ,  $N = 417$

$Pr(|\epsilon_t| > 10\%) \doteq 8\%$

6) In this case, it is remarkable that average temperature of Inter-flow in a basin is estimated from these results.

(Above parts were described in the 1<sup>st</sup> report, and the next residual part is reported in this 2<sup>nd</sup> paper.)

[C] Surface Run-off Case or Rain-fall Case, ( $Q_R$ -case ;  $Q = Q_G + Q_M + Q_R$ ,  $Q_R$  : Direct surface Run-off Discharge of Rain fall.)

1) The Relation between  $\Delta t^*$  and  $t_a$

$$\Delta t^* = b \cdot t_a + C_2^* \cdot t_G \dots\dots\dots(9)$$

Where

$\Delta t^*$  : Total Heat (Thermal)-effect in Basin

$$b = b_l + (b^* - b_l) \exp[-k(q - q^*)] \dots\dots\dots(10)$$

$$C_2^* = \frac{\gamma}{q + \alpha} + \frac{\theta_R}{q} - \beta : \text{for } t_M = 9.5^\circ\text{C} \dots\dots\dots(11 \cdot a)$$

( $\theta_M = 0.792$ )

$$C_2^* = \frac{\gamma}{q + \alpha} + \frac{\theta_R}{q} - \beta + (4.0 \theta_M - 3.17) \frac{1}{q} : \text{for an arbitrary value of } t_M \dots\dots\dots(11 \cdot b)$$

2) The Relation between  $t$  and  $t_a$ .

$$t = \left(\frac{k_R}{q}\right) \cdot t_G + \Delta t^* \dots\dots\dots(12)$$

Where,

$$\left(\frac{k_R}{q}\right) = \theta_R - \left\{(\theta_R - \theta_M) \cdot m + (\theta_R - 1)\right\} \frac{1}{q} \dots\dots\dots(13)$$

or  $t = b \cdot t_a + C_1^* \cdot t_G \dots\dots\dots(14)$

Where,  $b$  : as above

$$C_1^* = C_2^* + \left( \frac{k_R}{q} \right) \dots \dots \dots (15)$$

3) Symbols, Constant Values and Tables.

$$b^* = [b]_{q=q^*} = 0.34, \quad k = 0.15$$

$q^*$  = Lower limit of  $q$ ,  $q = Q/Q_G$

$$b_l = [b]_{M \rightarrow \infty} = 0.20$$

$\theta_R = t_R/t_G$ ,  $t_R$  : temp of Rain drops (C°)

$$m = Q_M/Q_G$$

Other symbols : as shown above

$\alpha, \beta, \gamma$  : Fig. 24, main Table 6.

4) Standard Values (estimated)

$$Q_G = 10 \text{ m}^3/\text{s}, \quad t_G = 12^\circ\text{C}, \quad t_M = 9.5^\circ\text{C} \quad (7 \leq t_M \leq 12^\circ\text{C})$$

5) Accuracy of error ( $\varepsilon_t$ ), for approximate formula

$$\bar{\varepsilon}_t = -0.46\%, \quad s = 5.31, \quad N = 147$$

$$Pr(|\varepsilon_t| > 10\%) \doteq 6.1\%$$

From this results, We should be able to use approximate formula in estimating the River temp.

6) It is estimated that Transition region between Inter-flow Discharge ( $Q_M$ -Case) and Direct discharge of Rain-fall ( $Q_R$ -Case) is about  $70 \text{ m}^3/\text{s}$  in this River.

[D] For Three Cases :

1) Discharge region of each case is estimated from these result as follows.

(A)  $Q_G$ -Case :  $5 \text{ m}^3/\text{s} \sim (15 \pm 5) \text{ m}^3/\text{s}$

(B)  $Q_M$ -Case :  $20 \text{ m}^3/\text{s} \sim 70 \text{ m}^3/\text{s}$

(C)  $Q_G$ -Case :  $Q > 70 \text{ m}^3/\text{s}$

2) For discharge region of each case (as shown above), Thermal Behavior of River is different and represented with each characteristic constant Values.

3) This paper make it clear that Temp of Interflow and Rain-fall have a distinctinctive effect on River Temp.

4) It will be remarkable that avarage temperature of Interflow in a basin is estimated from these results.