

河川水温の研究 (第1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—

森 田 浩
(山形大学農学部農業工学教室)
(昭和46年8月31日受領)

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

Hiroshi MORITA

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

目 次

I. まえがき	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_{G1} 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) Q_M の場合の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 [第2報へ続く]	

I. ま え が き

日本における河川水温の研究は、稲作の北限地帯を形成する、その特徴的な農業形態を基盤として発展し¹⁾、この分野の諸先達によって著しい成果が得られている²⁾。水稻の冷水害問題と深くかかわり合っ、その諸対策の一環として進展したこの分野の研究は、従来の課題への接近を持続しつつ、最近では河川水温の形成機構へ接近することによって、その地球物理的研究への萌芽を形成しつつあるように思われる³⁾。

筆者は、「河川ないし渓流水温の形成機構の問題は、水文学的には流域の水収支の問題と熱収支の問題の関連領域で、今後もその研究の発展」を期待する観点より、さきに渓流水温の研究(第1・2報⁴⁾)を発表した。その結果の要点は、渓流水温に及ぼす中間流出・水温および降雨水温の影響を幾分でも明らかにしたことであろう。本報告は上記の研究結果^{3,4)}をふまえて、実際河川(山形県赤川一熊出地点)について同様の手法で表記の課題に接近したものである。

この課題に接近し分析計算を進めるに当っては、次の点に留意した。すなわち、

① 既往の解析結果^{3,4)}より明らかなように、河川水温の形成機構は河川流出過程の各現象段階(無雪期の場合には大略、(A)地下水流出が卓越する場合、(B)中間流出と地下水流出が共存する場合、および(C)これらに表面流出が加わる場合)で異なる。

しかるに、

② (周知のように)上記流出過程・各段階の移行は複雑であって、長期間多数の観測結果を水文的に詳細に分析して一つ一つの各過程段階に即して計算することは、労多く實際上困難である。したがって、

③ 本報告では、降雨条件と流出過程の関連性についての既往の知見に基づいて、上記3過程段階を(a)無降雨で流量小なる場合、(b)降雨後数日経過し比較的流量大なる場合、(c)降雨直後1~2日流量大なる場合として判別し、大別された各過程段階における河川水温—気温—流量の主要な関係をまず把握する。つぎに、

④ 長期間多数の観測値を基準として計算誤差精度を吟味するなかで、各段階移行の問題を検討するとともに、さきに大別した各過程段階の適否を明らかにする。

なお、本報告の分析計算に用いた観測資料は次のようである。

(1) 河川水温および気温

出典：山形県赤川土地改良区連合・観測原簿

観測地点：東田川郡朝日村大字熊出(標高68m, 流域面積約554km²)

(観測地点では河床形状の影響で河川流は入り乱れているので、水温はほぼ一様と見なされる。)

観測期間：自昭和27年~至昭和38年：4月~9月(但し37年は欠測)

水温観測用測器：検定済・棒状寒暖計

観測時刻：6時, 14時(但し昭和27年~28年間, 12時)および18時(但し計算にはこれらの平均値も使用)

(2) 河川流量

出典：同上

観測地点：同 上

観測期間：自昭和25年～至昭和28年間：5月～8月

自昭和29年～至昭和40年間：1月～12月

観測方法：量水標により6時，18時定時観測，流量は $Q-H$ 曲線により日平均流量を算出

(3) 降水量(参照資料)

出典：山形地方气象台，山形県気象月報

降水量は大綱・観測値を参照

(4) 地温(中間流水温の参照資料)

出典：農林省林業試験場山形分場・観測原簿

II. 研究方法の要点

本研究では既報³⁾で提起した接近方法に従ったが，その要点はおおむね次のようである。

① 河川(溪流)水温の現象は流域全体にかかわりあいをもつと云う認識より，流域を一つのユニットとして取り扱い流域全体について水温の形成過程を考察すること，② 河川(溪流)水温は気象的条件(その主なる指標としての気温)のほか，流量と深くかかわり合うので流量を導入すること，③ これらの観点に立って現時点で現象に接近可能な一つの方法は，現象を巨視的に把握して従来の熱学的考察に加えるに水文の考察を併用する方法である。

このような方針にもとづいて，現象分析およびその理論的考察よりまず水温—流量—気温の関係式を導き，つぎに関係式の諸係数の関数型を実際河川の観測値より求める半理論的方法をここでは採用した。この方法の主なる特徴点は，流域全体における表面流出系に及ぼす熱的諸条件の影響を巨視的にとらえて，「流域の熱効果」なる物理量(温度項³⁾)を導入したことである。

III. 研究結果

III. 1 河川水温—気温—流量・関係式

本報告で用いる諸関係式の誘導方法および記号は既報溪流水温の研究⁴⁾のものと全く同じであるので，重複をさけ後述の分析計算に必要な限度で各場合について主要な関係式のみを記述する。〔単位：温度 °C・流量 m^3/s 〕

III・1・A 地下水流出(Q_G)が卓越する場合(以下 Q_G の場合と略称)の関係式

1) 河川水温(t)と地下水流出・水温(t_G)との関係

$$t = t_G + \Delta t \dots\dots\dots(1)$$

ここに， Δt ：「地表流出系全体におよぼす外的条件の総合的熱効果(以下，流域の熱効果という)」^{3,4)}

2) 河川水温(t)—気温(t_a)・関係式，流量：パラメータ

$$t = b \cdot t_a + C_1 \cdot t_G \dots\dots\dots(2) \text{：観測方程式}$$

ここに $b=b(q_G)$, $q_G=Q/Q_{G1}$ (無次元量) $Q=Q_G$

$C_1=C_1(q_G)$ Q_{G1} : 湧水流量

それぞれの関数型は観測結果を分析して決定する. 従来の諸結果によればコウ配 b は q_G の指数関数で表示される. C_1 については後述 4) 参照.

3) 流域の熱効果 (Δt)—気温 (t_a)・関係式, 流量: パラメータ

$$\Delta t = b \cdot t_a + C_2 \cdot t_G \dots\dots\dots(3 \cdot 1)$$

ここに $C_2 = C_1 - 1 \dots\dots\dots(3 \cdot 2)$

$C_2 = C_2(q_G)$

分析計算の操作上, $C_2^{**} (= C_1 - \frac{1}{q_G})$ なる係数を導入すると(注)1, 後述するように C_2^{**} は観測結果の分析より次式で表示される.

$$C_2^{**} = \frac{\gamma}{q_G + \alpha} - \beta \dots\dots\dots(3 \cdot 3)$$

ここに, α, β, γ : 流域条件による定数 (無次元量)

4) Q_G の場合: 係数関係

観測結果を分析するに用いる上記係数間の関係式をまとめると, 次のようである.

$$C_2^{**} = C_1 - \frac{1}{q_G} \dots\dots\dots(4 \cdot 1)$$

$$C_1 = C_2^{**} + \frac{1}{q_G} \dots\dots\dots(4 \cdot 2)$$

$$C_2 = C_1 - 1 = C_2^{**} + \frac{1}{q_G} - 1 \dots\dots\dots(4 \cdot 3)$$

したがって, 観測結果の分析より C_2^{**} を q_G の関係 [例えば (3・3) 式] として表示し得れば, 係数 C_1, C_2 は q_G の関数として求められる.

(注) 1 C_2^{**} を導入する理論的理由については, 引用文献 4) p. 188~189を参照されたい.

III・1・B 中間流出 (Q_M) と地下水流出 (Q_G) が共存する場合 (以下, Q_M の場合と略称)

1) 河川水温 (t) と中間流出・水温 (t_M) の関係

$$t = \left(\frac{k_M}{q} \right) \cdot t_G + \Delta t \dots\dots\dots(5)$$

ここに, $\left(\frac{k_M}{q} \right) = \theta_M + (1 - \theta_M) \frac{1}{q}$, (図—11参照)

$Q = Q_G + Q_M$, $\theta_M = t_M/t_G$, $q = Q/Q_G$

Δt : 流域の熱効果 (前掲)

2) 河川水温 (t)—気温 (t_a)・関係式, 流量; パラメータ

$$t = b \cdot t_a + C_1 \cdot t_G \dots\dots\dots(6): \text{観測方程式}$$

ここに, $b=b(q)$, $q=Q/Q_G$ (無次元量)

$C_1 = C_1(q, \theta_M)$

それぞれの関数型は観測結果を分析して求める.

3) 流域の熱効果 (Δt)—気温 (t_a)・関係式, 流量; パラメータ

$$\Delta t = b \cdot t_a + C_2 \cdot t_G \dots\dots\dots(7 \cdot 1)$$

ここに, $C_2 = C_1 - \left(\frac{k_M}{q} \right) \dots\dots\dots(7 \cdot 2)$

$C_2 = C_2(q)$

観測結果の分析より, y 切片係数 C_2 の関数型がきまると, C_1 は次式で表示される.

$$C_1 = C_2(q) + \left(\frac{k_M}{q}\right) \dots\dots\dots(7 \cdot 3)$$

III・1・C 表面流出 (Q_R) がある場合 (以下, Q_R の場合と略称)

1) 河川水温 (t) と降雨水温 (t_R) および中間流出・水温 (t_M) の関係

$$t = \left(\frac{k_R}{q}\right) \cdot t_G + \Delta t^* \dots\dots\dots(8)$$

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

$$q = Q/Q_G, \quad Q = Q_G + Q_M + Q_R$$

$$\theta_R = t_R/t_G, \quad \theta_M = t_M/t_G, \quad m = \frac{Q_M}{Q_G}$$

Δt^* : 流域の熱効果(注)²

注(2) Q_R の場合には, 降雨条件の影響でその関数型が前述の Δt と異なると予想されるので, 降雨条件を特徴づけるために Δt と区別して *印を附する.

2) 河川水温 (t)—気温 (t_a)・関係式, 流量; パラメータ

$$t = b \cdot t_a + C_1^* \cdot t_G \dots\dots\dots(9): \text{観測方程式}$$

ここに, $b = b(q)$

$$C_1^* = C_1^*(q)$$

それぞれの関数型は観測結果を分析して求める.

なお, *印を附した理由は前述のようである.

3) 流域の熱効果 (Δt^*)—気温 (t_a)・関係式, 流量; パラメータ

$$\Delta t^* = b \cdot t_a + C_2^* \cdot t_G \dots\dots\dots(10)$$

ここに, $C_2^* = C_1^* - \left(\frac{k_R}{q}\right)$

$$C_2^* = C_2^*(q) \quad (* \text{印前述参照})$$

観測結果の分析より, y 切片係数 C_2^* の関数型が決定されると, C_1^* は次式で表示される.

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

III. 2 分析結果

——関係式・諸係数の関数型の決定を中心として——

分析の主なる点は, ①観測結果より前述した関係式・諸係数の関数型を求めるとともに河川水温の計算に必要な事項を明らかにすること, ②得られた分析結果を用いて, 逆に既知の流量 (Q) および気温 (t_a) より河川水温 (t) を計算して, 実測値 (観測水温データ) と計算値を比較することにより誤差精度を吟味し, 得られた分析結果の妥当性を検討することである. 以下, (A): Q_G の場合, (B): Q_M の場合および (C): Q_R の場合について, 分析結果の要点を述べる. (Q_R の場合, 第2報へ続く.)

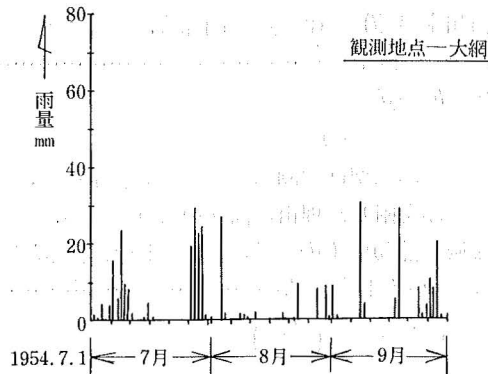
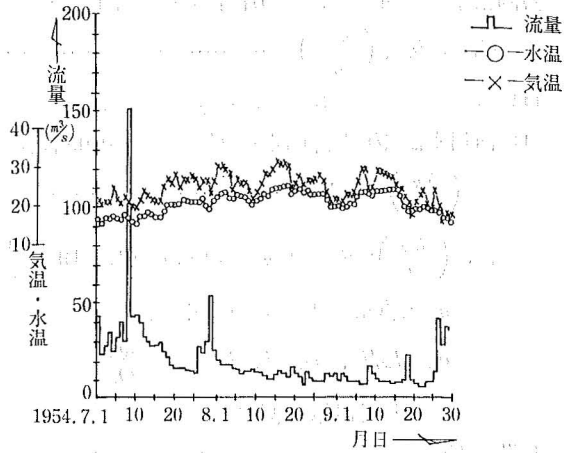
III・2・A Q_G の場合

1) $Q_{G,t}$ の決定 (III・1・A—1) 参照)

赤川—熊出: 7月—9月間における流量, 気温および河川水温の経時変化の1例を,

表一1 赤川一熊出：ダム建設前
昭和27～31年，7月9日間
無降雨：地下水流出が卓越
する場合 (Q_G の場合)
低流量域 ($Q < 10 \text{ m}^3/\text{s}$) にお
ける流量度数分布

流量区間	度数 f	%
2 — 3 m^3/s	0	0
3 — 4	1	2.4
4 — 5	0	0
5 — 6	7	17.1
6 — 7	6	14.6
7 — 8	8	19.5
8 — 9	14	34.2
9 — 10	5	12.2
計	41	100.0



図一・A 赤川一熊出：1954年7月～9月
流量・水温・気温および降水量

図一・A に示す，図一・B は，これらの水文量のうち流量のみについて，昭和27年 (1952) — 昭和31年 (1956)：6月—10月間の経時変化を片対数グラフに図示したものである。この図より中間流出 (Q_M) 領域と地下水流出 (Q_G) 領域とは区別されることがわかる。この間の判別を一層明確にするために，(他年次のデータを含めて) 7月—9月間について $Q-T$ 関係を再整理すると，図一・C のようである。

これらの図を観察すると，赤川一熊出：7月—9月間地下水流出 (Q_G) の流量範囲は，概ね $5 \sim 10 \text{ m}^3/\text{s}$ の領域にあることがわかる。このことを確認するために，無降雨の場合で Q_G が卓越していると想定される低流量域について，流量の度数分布を求め表一1に示す。これらの図表 (図一・C および表一1) より，次の関係が得られる。

$$Q_G = Q_{G,i} + (Q_{G,i} - Q_{G,l})e^{-\lambda T} \dots\dots\dots (12)$$

ここに， $Q_{G,l} = 5 \text{ m}^3/\text{s}$

$Q_{G,i} = 10 \sim 12 \text{ m}^3/\text{s}$ (記号は図一・C' 参照)

すなわち，湧水量に相当する $Q_{G,l}$ の値としてこの場合には $5 \text{ m}^3/\text{s}$ を採用する。なお，上記の観察によると， Q_G の場合から Q_M の場合への移行領域は，概ね $10 \sim 15 \text{ m}^3/\text{s}$ の流量範囲であると推定される。(後述 Q_M の場合：誤差精度参照)

2) 河川水温 (t)—気温 (t_a) の関係，流量；パラメータ

既往の知見により，(流量をパラメータとする) $t \sim t_a$ 関係はほぼ直線的であるので，この場合には $Q = 5-6, 6-7, 7-8, 8-9 \text{ (m}^3/\text{s)}$ 各流量区間，および $Q_G \sim Q_M$ の移行領

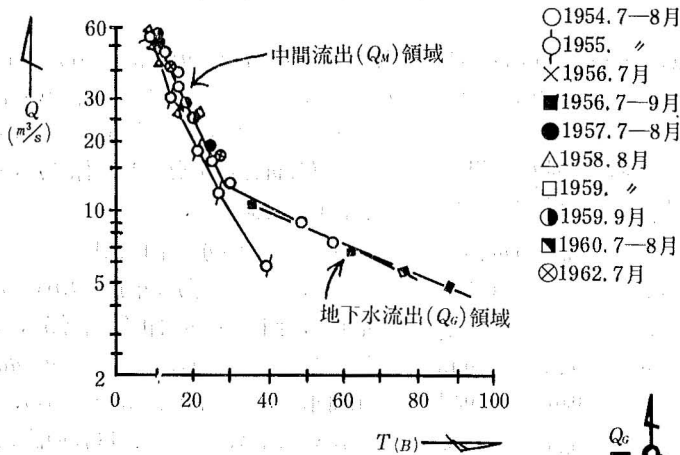
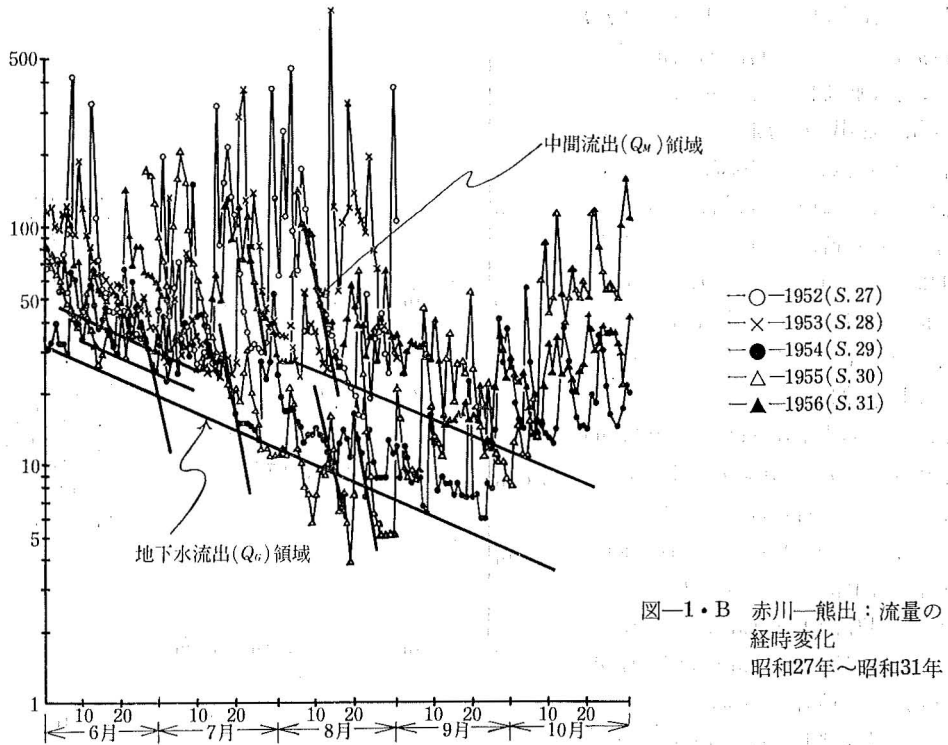


図-1・C 赤川—熊出における中間流出および地下水流出の低減曲線
(7月～9月間：残雪のほとんどない期間)

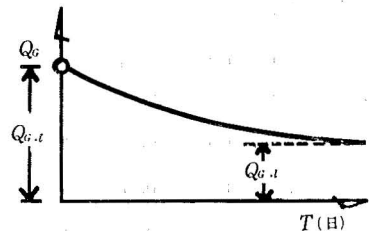


図-1・C' 基底流量 (地下水流出) の低減曲線

域と想定される $Q=10-15$ (m^3/s) 区間について両者の関係を求める。観測資料の項で述べたように赤川—熊出の観測データは6時値, 12時値および18時値である。試みに, これらの時刻およびその平均値(既往の知見によればほぼ11時値に等しい値)を月別・時刻別記号を用いて $t \sim t_a$ 図にプロットすると, 図-2に(それらのうち2例を)例示するようにいずれの時刻値の場合も概ね一つの直線関係にあることが想定される。したがって本報告では, これら(データ)すべての $t \sim t_a$ 関係は同一の直線関係式で表示されるものとして, 以降の分析計算を進めた。その適否は後述の計算誤差の精度を吟味する過程で検討する。

つぎに, 図-2に例示した $t \sim t_a$ 関係図について図式計算によって各流量区間ごとに $t \sim t_a$ 直線 [$t =$

$b \cdot t_a + C_1 \cdot t_G$: 前掲(2)参照] のコウ配(b)および y 切片 ($C_1 t_G$: C_1 , y 切片係数; t_G , 地下水水温)を求め, その結果をまとめると表-2のようである。なお, 表-2には今後の計算の都合上 y 切片係数 C_1 および C_2^{**} (分析操作上導入した係数)の

表-2 赤川—熊出: ダム建設前, 昭和27年~31年 7月~9月間, 地下水流出が卓越する場合 (Q_G の場合) b, C_1, C_2^{**} 標本値

$Q_{G,i} = 5 m^2/s$

$Q \equiv Q_G$ 区 間	q_G $Q_G/Q_{G,i}$	b	C_1 $C_1 \cdot t_G$	C_1	C_2^{**} $(C_1 - 1/q_G)$
5—6 m^3/s	1.1	0.53	9	0.75	-0.16
		0.57	8	0.67	+0.24
6—7	1.3	0.50	8.5	0.71	-0.06
		0.47	10	0.83	+0.06
7—8	1.5	0.50	10	0.83	0.16
8—9	1.7	0.47	10.5	0.87	0.28
10—15	2.1	0.47	10.5	0.87	0.39
(20)	4.0	0.43	10.5	0.87	0.62
				0.91	0.66

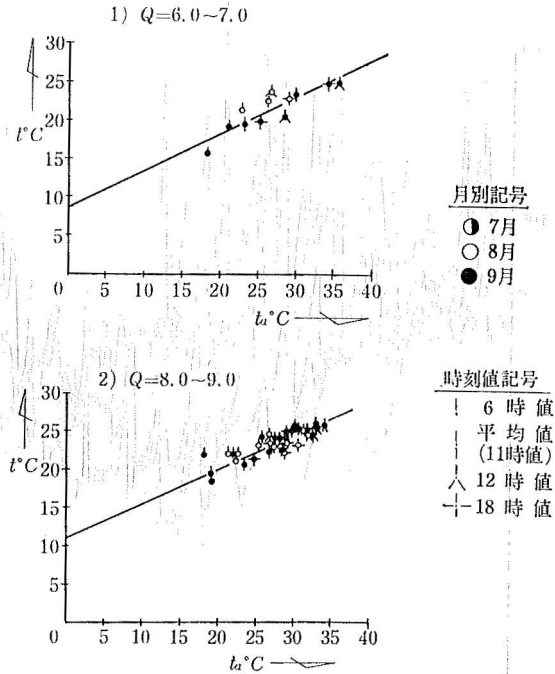


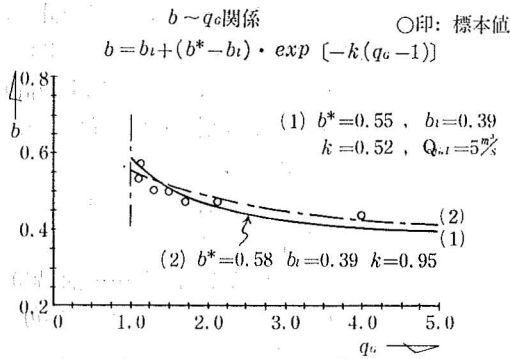
図-2 赤川—熊出: ダム建設前, 昭和27年~31年 7月~9月間, 地下水流出が卓越する場合 (Q_G の場合) $t \sim t_a$ の関係, Q : パラメータ

3) コウ配 (b) の関数型

まず, コウ配 (b) の関数型から分析する。図-3の○印(標本点)は, 表-2のデータ(標本値)を $b \sim q_G$ 関係図にプロットしたものである。

表示式を簡易にし, また既往の諸結果と統一するために, $b \sim q_G$ 関係式は指数関数型を用いる。表-2のデータより, 諸定数を求めると次のようになる。また, 得られた分析結果より $b \sim q_G$ 曲線を図-3(1), (2)で示す。

$$b = b_l + (b^* - b_l)$$



図—3 赤川—熊出：ダム建設前，昭和27年～31年7月～9月間，地下水流出が卓越する場合 (Q_G の場合)

たせるためである。これらのことを上記の分析結果 (数値の組合：(1)，(2)) について述べると， b^* 値の変化は僅かであっても k 値の相違は比較的に大となっている。このような結果より，流域間の比較をする場合に k の値については，僅かな相違は問題にならないであろうと予測される。なお， b の値は今後の計算に必要なものであるので，巻末附表—1 にその計算値を記載した。

4) y 切片係数 C_1, C_2 の関数型

$t \sim t_a$ 関係式 [$t = b \cdot t_a + C_1 \cdot t_G$ 前掲(2)参照] の y 切片係数 C_1 は $C_1 = C_2^{**} + \frac{1}{q_G}$ であるので，その関数型の決定は C_2^{**} の q_G に関する関数型を求めるとに帰結する。さきに述べたように，(q_G, C_2^{**}) の標本値は表—2 に記載してある。これらのデータを $C_2^{**} \sim q_G$ 関係図にプロットしたものが，図—4 の○印の標本点である。表—2 のデータ (q_G, C_2^{**}) を用いて， C_2^{**} の関数型を求めると次式が得られる。

$$C_2^{**} = \frac{\gamma}{q_G + \alpha} - \beta \dots\dots\dots \text{前掲 (3} \cdot \text{3)}$$

ここに， $\alpha = -0.1$
 $\beta = -0.94$
 $\gamma = -1.16$

したがって， C_1 の関数型は次式のようになる。

$$C_1 = \frac{\gamma}{q_G + \alpha} + \frac{1}{q_G} - \beta \dots\dots\dots (14)$$

このグラフを図—5 に示す。定数 α, β, γ は上述の通りである。

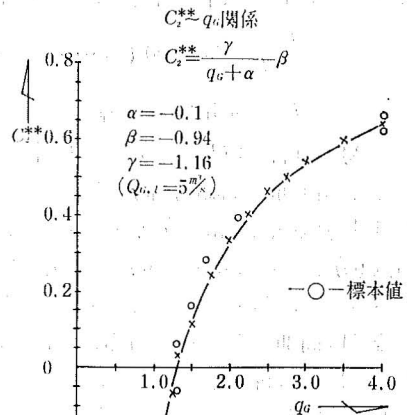
また，「流域の熱効果」 Δt [$\Delta t = b \cdot t_a + C_2 \cdot t_G$ 前掲(3・1)参照] の y 切片係数は， $C_2 = C_1 - 1$ [前掲(3・2)参照] なる関係より次式となる。

$$C_2 = \frac{\gamma}{q_G + \alpha} + \frac{1}{q_G} - (\beta + 1) \dots\dots\dots (15)$$

$$\times \exp[-k(q_G - 1)] \dots\dots\dots (13)$$

(1) : $b^* = 0.55, b_i = 0.39, k = 0.52$
 (2) : $b^* = 0.58, b_i = 0.39, k = 0.95$

上記のように定数を2組求めた理由は，①図—3 に示すように $b \sim q_G$ 関係・標本点のちらばり方が大きいので，引続き誤差精度を吟味する際に b 値の影響を計算し易くしておくため，②今後に予定される流域間の比較検討にそなえて， $b \sim q_G$ 曲線の傾向と定数値との関連性を見ておくため，および③応用するに当たって慎重を期する意味で水温計算値に巾を持た



図—4 赤川—熊出：ダム建設前，昭和27年～31年，7月～9月間地下水流出が水卓越する場合 (Q_G の場合)

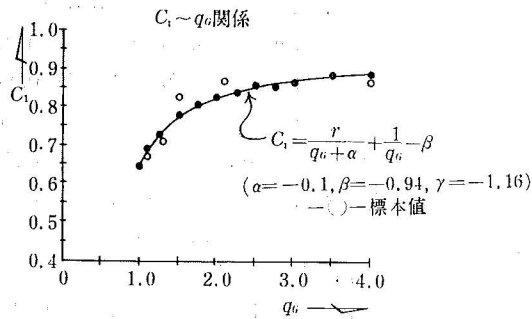


図-5 赤川-熊出:ダム建設前:昭和27年~31年
7月~9月間,地下水流出が卓越する場合
(Q_G の場合)

→ $q_G \rightarrow (b, C_1)$]. 前掲図-2の実線はこれらを例示したものである。但し、 b の値は(2)を用いる。図-2に例示した標本点と得られた直線との状況からわかるように、それぞれの流量区間で両者の適合性は比較的良好であることがうかがえる。その詳細は次項の誤差精度の分析で述べる。なお、本報告の計算では b の値として②の場合を用いたが、慎重を期するためには応用するに当たって①の場合についても計算し計算値に巾を持たせる方が良くあろう。

6) 計算誤差精度の分析

上述したように、 b および C_1 の q_G に関する関数型がきまると、流量($Q=Q_G$)および気温(t_a)の一組の標本値〔観測値:(Q, t_a)〕について、これに対応する水温計算値(t_{cal})を前掲(2)式より求めることが出来る。得られた水温計算値(t_{cal})の誤差精度(ϵ_t)は次式より求める。(但し、以下の計算では b の値に(2)の数値を用いた。)

$$\epsilon_t = \frac{t_{cal} - t_{ob}}{t_{ob}} \times 100 (\%) \dots \dots \dots (16)$$

ここに、 t_{ob} :河川水温観測値

A) 無降雨: Q_G の場合の誤差精度

各時刻値別、各流量区間ごとに一つ一つの観測値群($Q, t_a: t_{ob}$)について、それぞれの水温計算値の誤差精度(ϵ_t %)を求め、この計算結果に基づいて時刻値-流量区間別の平均値($\bar{\epsilon}_t$)および標準偏差(s)を求め、表-3・Aに示す。同表で明らかなように、 $|\bar{\epsilon}_t| < 7\%$ であること、および標準偏差 s が数%以下であることにより考察して、①各時刻値間および流量区間別ともに ϵ_t の分布に差は認められない、また②現象が複雑なる実際河川の場合としては、分析結果のいずれについても誤差精度は比較的小であることがわかる。換言すると、各時刻値を一括して分析しても、その結果は実測値と対比して適合性が概ね良好であると云えよう。表-3・Bの統計値は、上記のデータ全体について計算した結果(図-6・A参照)であるが、 $\bar{\epsilon}_t = -0.34\%$, $s = 4.4$ および $Pr(|\epsilon_t| > 10\%) \leq 2\%$ である。この計算結果は上記の考察を裏付けるものと考えられる。

B) 降雨時のデータを加えた場合の誤差精度

さきに、まえがきの分析計算についての留意点③において述べたように、 Q_G の場合にはまづ無降雨の場合について分析しているので、降雨の場合を追加して考察する必要がある。

C_1 および C_2 の値は、今後の計算に重要であるので、巻末附表-2にまとめて記載する。なお、以上の計算で t_G の値は既報^{3,4)}に従い、 $t_G = 12^\circ\text{C}$ を用いる。

5) $t \sim t_a$ 関係式の適合性

$t \sim t_a$ 関係式:

$$t = b \cdot t_a + C_1 \cdot t_G \dots \dots \dots \text{前掲(2)}$$

以上のようにして、コウ配(b)および γ 切片係数 C_1 の q_G に関する関数型が決定されると、各流量区間ごとに直線を画くことが出来る[$\therefore Q$

表-3・A 赤川一熊出：ダム建設前，昭和27年～31年，5月～7月， Q_G の場合：誤差精度(ϵ_t %)の平均と標準偏差 無降雨の場合：流量区間別・各観測時刻別の統計値

Q 区間	標本数(n) 平均值($\bar{\epsilon}$) 標準偏差(s)				n 計： $\bar{\epsilon}$ s
	6時値	11時値	12時値	18時値	
m^3/s 5~6	n= 5 $\bar{\epsilon} = -6.74$ s = 3.42	5 -3.72 1.58	5 -2.64 2.57	5 -1.94 3.22	20 -3.76 3.34
6~7	3 -5.63 2.15	3 2.73 2.90	3 6.00 7.75	3 4.87 3.76	12 1.99 6.52
7~8	4 -6.68 4.98	4 -1.03 2.88	4 2.20 4.10	4 0.23 2.36	16 -1.32 4.98
8~9	9 -5.26 6.27	9 -1.39 3.47	9 -1.00 3.37	9 0.10 2.77	36 -1.66 4.71
10~15	14 -1.52 4.36	14 0.90 4.07	14 1.51 3.02	14 1.59 3.33	56 0.62 3.94

計 N=140

表-3・B 赤川一熊出：ダム建設前，昭和27年～31年，5月～7月， Q_G の場合：誤差精度(ϵ_t %)の平均と標準偏差

ϵ_t (%)	度 数 f			統 計 値
	標本数	%	計算値	
-12	1	0.7	1.2%	N=137 $\bar{\epsilon}_t = -0.34$ s=4.44
-8	10	7.3	8.2	
-4	40	28.2	25.7	
0	49	35.8	35.8	
4	26	19.0	22.0	
8	9	6.6	6.0	
12	2	1.4	0.7	
計	137			140の内3ヶ棄却

表-4 Q_G の場合：誤差精度 降雨時のデータを加えた場合の統計値

標 本 数 N	191
平均 誤 差 精 度 $\bar{\epsilon}_t$ %	-0.23
標 準 偏 差 s	4.59

[備考] $P_r(\epsilon_t > 10\%) = 2\%$

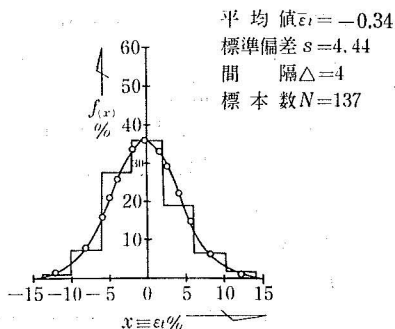
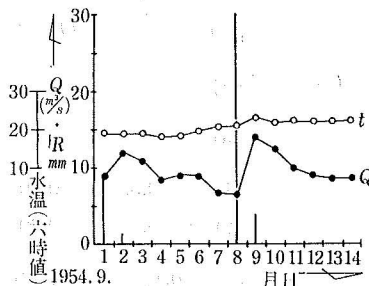


図-6・A 赤川一熊出：ダム建設前 昭和27年～昭和31年，7月～9月間， Q_G の場合 誤差精度(ϵ_t)の分布曲線

1) 1954.9.1~9.14



2) 1955.8.14~8.24

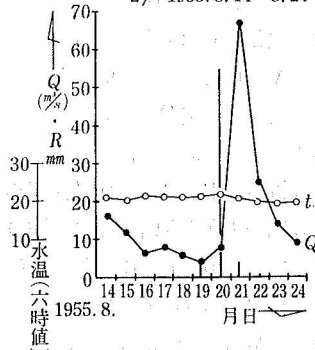


図-6・B 赤川一熊出：ダム建設前 降雨量—流量—水温

図一・Bに示すように、降雨のある日でも流量の増加は著しくなくて地下水流出 (Q_G) の卓越している場合があることは周知の通りである。このような場合を追加して、観測値全体について水温計算値の誤差精度 (ϵ_t) を前述のように求め、 $\bar{\epsilon}_t$ および s を計算すると表一四のようになる。同表より明らかなように、 $\bar{\epsilon}_t \doteq -0.23$, $s \doteq 4.6$, $P_r(|\epsilon_t| > 10\%) \doteq 2\%$ であるので、この場合にも無降雨のみの場合と同様に得られた関係式の適合性は良好であると云えよう。

7) Q_G の場合：総括

(1) 関係式

$$t = b \cdot t_a + C_1 \cdot t_G \dots\dots\dots \text{前掲 (2)}$$

$$\Delta t = b \cdot t_a + C_2 \cdot t_G \dots\dots\dots \text{同上 (3・1)}$$

(2) 係数の関数型

$$b = b_l + (b^* - b_l) \cdot \exp[-k(q_G - 1)] \dots\dots\dots \text{前掲 (13) 附表一}$$

$$C_1 = \frac{\gamma}{q_G + \alpha} + \frac{1}{q_G} - \beta \dots\dots\dots \text{同上 (14) 附表二}$$

$$C_2 = \frac{\gamma}{q_G + \alpha} + \frac{1}{q_G} - (\beta + 1) \dots\dots\dots \text{同上 (15) 附表二}$$

ここに、 $q_G = \frac{Q}{Q_{G,l}}$ ($Q = Q_G$)

(3) 定数の値

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

$$\alpha = -0.1, \quad Q_{G,l} = 5 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\beta = -0.94, \quad t_G = 12^\circ\text{C}$$

$$\gamma = -1.16$$

(4) 誤差精度：(計算には b の値②を用いる。)

$$N = 191, \quad \bar{\epsilon}_t \doteq -0.23\%, \quad s \doteq 4.6$$

$$P_r(\epsilon_t > 10\%) \doteq 2\%$$

III・2・B Q_M の場合

1) 分析計算についての留意事項

中間流出 (Q_M) と地下水流出 (Q_G) が共存する場合 [Q_M の場合と略称] には、降雨の直接的影響はなく中間流出・水温 ($t_M, \theta_M = t_M/t_G$) の影響が加わる (III・1・B 参照)。この場合、分析計算を進める上で留意すべき事項を述べると、次のようである。

① 基底流量 (Q_G) について

基底流量 (Q_G) は先行条件によって変化することは周知の通りである。本報告では既報⁴⁾の分析結果にならない、 Q_G と Q_M が共存する場合の基底流量の最小値 (以下基底流量基準値と仮称) を便宜上一般的な分析計算の基準として用いる。さきに、III・2・A—1): $Q_{G,l}$ の決定で述べたように、 $Q_G - Q_M$ の移行流量域はほぼ $Q \doteq 10 \sim 15 \text{ m}^3/\text{s}$ 区間である。(図一・C 参照)

したがって、ここではこのような観察結果に基づいて、基底流量基準値として $Q_G = 10$

m^3/s を採用した。その適否の吟味は、誤差精度により Q_G-Q_M の移行流量域を検討する際に述べる。なお、個々の観測値を詳細に分析するにあたっては、それぞれの観測日の前後の降雨条件および流況を考慮して、その観測月日の基底流量を定める必要がある。

② 「流域の熱効果」 Δt について

Q_G の場合もこの場合もともに降雨の直接的な影響がないので、 Q_G-Q_M 移行流量域の等しい流量と気温に対しては「流域の熱効果」 Δt はほぼ等しいと考えられる^{3,4)}。すなわち、両者の場合で気象条件と地表流出の条件は等質であるので、 Q_G の場合の Δt 式のコウ配 (b) および y 切片係数 C_2 は、流量比の変換 ($q_G=Q_G/Q_{G,1} \rightarrow q=Q/Q_G$) を考慮すればそのまま Q_M の場合へも適用して差支えないであろう。

この仮定は、コウ配 (b)、 y 切片係数 C_2 および C_2 の関数型を決定する上で重要であって、既報「渓流水温」^{2,4)} については、それが正当であることが認められている。

③ 中間流出・水温 (t_M) について

この場合には、 t_M の影響は次式 $\left(\frac{k_M}{q}\right)$ で表示される。

$$\left(\frac{k_M}{q}\right) = \theta_M + (1 - \theta_M) \frac{1}{q} \dots\dots\dots \text{前掲 (5)}$$

最近の調査研究 (森田: 1971)⁵⁾ によると、 t_M は主としてその流動層の地温 (t_s) に左右され、降雨中を除くとほぼ流動層の地温に等しいことが明らかとなった。本研究では流域内で地温観測が求められていないので、比較的近く且つ流域条件が近以していると考えられる山形県釜淵・農林省林試分場の地温データ⁴⁾ を参考資料とする。 (t_M の推算過程の詳細は後述)

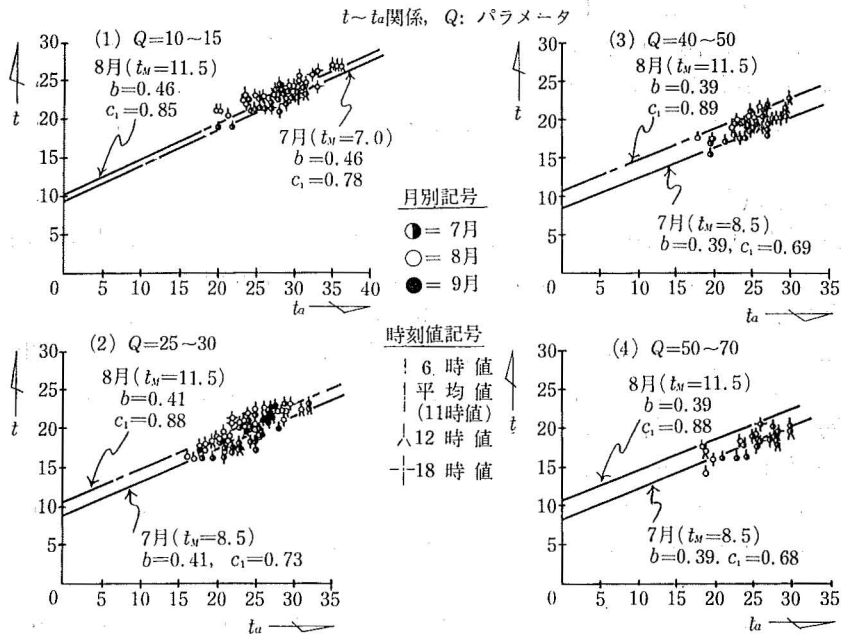


図7 赤川—熊出ダム建設前 昭和27年~31年, 7月~9月間 中間流出と地下水流出が共存する場合 (Q_M の場合)

2) 河川水温 (t)—気温 (t_a) の関係, 流量: パラメータ

この場合には, 流量 $10 \text{ m}^3/\text{s} \sim 40 \text{ m}^3/\text{s} : 5 \text{ m}^3/\text{s}$ 間隔 ($10 \sim 15, \dots, 35 \sim 40 \text{ m}^3/\text{s}$) の 6 区間および $40 \sim 50 \text{ m}^3/\text{s}, 50 \sim 70 \text{ m}^3/\text{s}$ の 2 区間で, 前記各時刻の観測結果より $t \sim t_a$ 関係を求め, 関係図にデータをプロットした数例を示すと図—7・(1)~(4)のようである。(図中の直線は後述する計算結果である。) これらの例示した関係図より, 次の点が観察されるであろう。

- ① $t \sim t_a$ 関係はほぼ直線的である。
- ② 各時刻値の群間には, その直線的傾向について著しい差は認め難い。
- ③ Q_G の場合より, 全体的に分散の度合が大きく観察される。
- ④ 月別記号に着目すると, 7月のデータ (●印) は8月のもの (○印) より下位にある割合が多く見受けられる。しかし, 両者のコウ配 (b) は近似しているように観察される。

これらの観察事項の内, 各時刻値の群間差を検討するために $t \sim t_a$ の相関々係を計算しその結果を例示すると, その統計値は表—5のようになる。同表より明らかなように, 各時刻値別のコウ配 (b), y 切片 ($C_1 \cdot t_G$) とともに全体のものに近い, すなわち, 各時刻値のデータは, (Q_G の場合と同様に) 同一の直線的関係にあると認められる。(流量区間による均一性がやや不良の場合もあるが, これらの不十分な点については後述の誤差精度の項で再検討する。) 他の観察事項については, 順次分析計算の過程で述べる。

表—5 赤川—熊出: ダム建設前 昭和27年~31年
7月~9月間, 中間流出と地下水流出とが併存する場合 (Q_M の場合) 各時刻値別・ $t \sim t_a$ の関係の比較, 流量区間: $Q = 10 \sim 15 \text{ m}^3/\text{s}$ ($q = 1.25$)
—各時刻値別 b および $C_1 \cdot t_G$ —

時刻値区分	相関係数 (r)	コウ配 (b)	y 切片 ($C_1 \cdot t_G$)
6 時 値	0.71	0.45	10.8
平均値 (11時値)	0.65	0.44	10.8
12 時 値	0.91	0.48	9.6
18 時 値	0.77	0.42	11.1
全 体	0.90	0.45	10.6

3) コウ配 (b) の関数型

関係式 (Ⅲ・1・B 参照) の諸係数の内で, コウ配 (b) については (理論上 $t \sim t_a$ 関係および $\Delta t \sim t_a$ 関係で同一であって), 前述のように, 観測結果より① $t \sim t_a$ 関係図の7月データ (●印) と8月データ (○印) のコウ配はほぼ等しいこと, また留意事項より② $\Delta t \sim t_a$ 関係は (流量比の変換: $q_G \rightarrow q$ により), Q_G の場合が Q_M の場合に拡張して適用されることが認められるので, 他の係数よりも正確に求められる。以下, 上記の順序に従ってコウ配 (b) の関数型を分析する。

① $t \sim t_a$ 関係図よりの b 値およびその関数型

前述した流量 $10 \sim 40 \text{ m}^3/\text{s} : 5 \text{ m}^3/\text{s}$ 間隔・6区間および $40 \sim 50 \text{ m}^3/\text{s}$ の区間, 計7区間 (前掲図—7: 例示図参照) について, $t \sim t_a$ 関係のコウ配 (b) を図式解法で求めると表—6のようである。

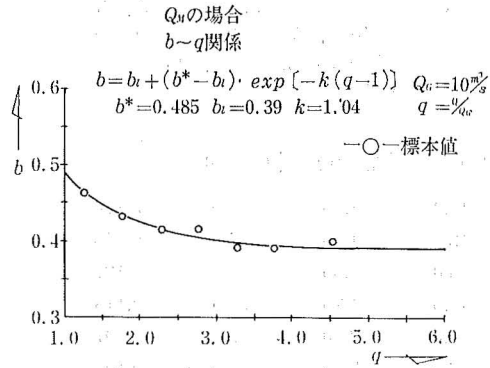
これらの標本値より $b \sim q$ 関係式を指数関数型とし求めると, Q_G の場合と同様に (13) 式で表示され諸定数は次のようになる。図—8に, これらの分析結果を示す。

$$b^* = 0.485 \quad b_t = 0.39 \quad k = 1.04$$

表一六 赤川一熊出：ダム建設前
昭和27年～31年，7月～
9月間 Q_M の場合 b の
標本値

q	b
1.25	0.46
1.75	0.43
2.25	0.42
2.75	0.41
3.25	0.39
3.75	0.39
4.50	0.40

$q=Q/Q_G$ $Q_G=10\text{ m}^3/\text{s}$



図一八 赤川一熊出：ダム建設前 昭和27年～
31年，7月～8月間

② Q_M の場合と Q_G の場合の b 値の比較

以上のようにして求めた Q_M の場合の b 値(計算値)と，流量比を $q_G=2q$ ($Q_{G,l}=5\text{ m}^3/\text{s}$, $Q_G=10\text{ m}^3/\text{s}$; $q_G=Q/Q_{G,l}$, $q=Q/Q_G$) として変換した Q_G の場合の b 値とを比較して，表一七に示す。同表より両者はよく一致することが認められるので，前述・留意事項②で指摘した点の正当性の一面が明らかにされた云えよう。また，表一六と表一七を比較すると，計算値は標本値と良い一致を示すことが認められる。(前掲図一八参照)

表一七 赤川一熊出：ダム建設前 昭和27
年～31年，7月～9月間 Q_M の
場合： b の値

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

$b^* = 0.485$ $b_l = 0.39$ $k = 1.04$
 $Q_G = 10\text{ m}^3/\text{s}$

流量比 q	Q_M の場合	Q_G の場合の 計算値 (脚注参照)
	b	
1.00	0.485	0.485
1.25	0.463	0.463
1.50	0.446	0.447
1.75	0.434	0.434
2.00	0.424	0.420
2.25	0.416	0.416
2.50	0.410	0.410
2.75	0.405	0.405
3.00	0.402	0.402
3.25	0.399	0.399
3.50	0.397	0.397
3.75	0.395	0.395
4.00	0.394	0.394
4.50	0.392	0.392
5.00	0.3915	0.391
6.00	0.3905	—
8.00	0.3901	—

4) y 切片係数 C_1 , C_2 の関数型

C_1 と C_2 の関係は前掲 (7・3) 式で表示される。

$$C_1 = C_2 + \left(\frac{k_M}{q}\right) \dots\dots\dots \text{前掲 (7・3)}$$

ここに， $k_M = \theta_M + (1 - \theta_M) \frac{1}{q}$,

$$\theta_M = t_M / t_G$$

しかるに， $At - t_a$ 関係式の y 切片係数 C_2 は，前述・留意事項②より Q_G の場合の $C_2 \sim q_G$ 関係式 [$C_2 = \frac{\gamma}{q_G + \alpha} + \frac{1}{q_G} - (\beta + 1)$; 前掲 (15)] を用いて， $q = \frac{1}{2} q_G$ なる流量比変換により計算される。表一八はこのようにして求めた $C_2 \sim q$ 関係の数値表である。得られた q に対する C_2 値を用いて，周知の方法で⁶⁾ C_2 の関数型を分析すると，次式を得る。

$$C_2 = \frac{\gamma}{q + \alpha} - \beta \dots\dots\dots (17)$$

(注) Q_G の場合
 $b = b_l + (b^* - b_l) \cdot \exp[-k(q_G - 1)]$
 $b^* = 0.55$, $b_l = 0.39$, $k = 0.52$, $q_G = 2q$

表一八 赤川一熊出：ダム建設前 昭和27年～31年，7月～10月間 Q_G の場合の $C_2 \sim q_G$ 関係と Q_M の場合の $C_2 \sim q$ 関係

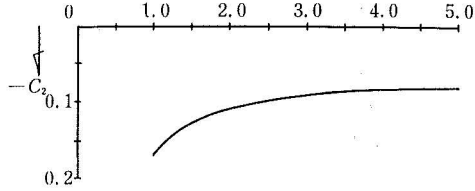
流量 $Q \text{ m}^3/\text{s}$	q ($Q_G=10$)	q_G ($Q_{G,t}=5$)	$-C_2$ 計算値
10.0	1.00	2.00	0.170
12.5	1.25	2.50	0.143
15.0	1.50	3.00	0.127
17.5	1.75	3.50	0.115
20.0	2.00	4.00	0.107
22.5	2.25	4.50	0.102
25.0	2.50	5.00	0.097
27.5	2.75	5.50	0.093
30.0	3.00	6.00	0.090
32.5	3.25	6.50	0.087
35.0	3.50	7.00	0.085
37.5	3.75	7.50	0.084
40.0	4.00	8.00	0.082
45.0	4.50	9.00	0.080
50.0	5.00	10.00	0.078

(注) $q_G = 2q$, $q_G = Q/Q_{G,t}$, $q = Q/Q_G$
 $Q_{G,t} = 5 \text{ m}^3/\text{s}$, Q_G の場合: $Q_G = 10 \text{ m}^3/\text{s}$
 $C_2 = \frac{\gamma}{q_G + \alpha} + \frac{1}{q_G} - (\beta + 1)$
 $\alpha = -0.1$ $\beta = -0.94$ $\gamma = -1.16$

Q_M の場合
 $C_2 \sim q$ 関係

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

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



図一八 赤川一熊出：ダム建設前 昭和27年～31年，7月～9月間

ここに， $\alpha = -0.222$
 $\beta = 0.059$
 $\gamma = -0.086$ (図一八参照)

Q_M の場合の C_2 値は，今後の計算に重要であるので，巻末附表一三にまとめて記載する。

以上のようにして C_2 の関数型がきまると， Q_M の場の C_1 の関数型は，次式で表示される。[(5)式，(7・3)式参照]

$$C_1 = C_2 + (k_M/q)$$

$$= \frac{\gamma}{q + \alpha} + (1 - \theta_M) \frac{1}{q} + (\theta_M - \beta) \dots (18)$$

ここに， α , β , γ : 前掲の数値

5) 中間流出・水温 (t_M) の分析

— t_M の月・旬別度数分布を中心して—

上記 $t-t_a$ 関係式の y 切片係数 C_1 は，前掲(7・3)および(18)式より明らかなように中間流出・水温 (t_M 無次元量: $\theta_M = t_M/t_G$) に関係する。しかるに，本研究の対象流域・対象期間では t_M に深くかかわり合う地温 (t_s) の観測値が全くない。幸い，本報告で述べた以上の分析結果を用いると， t_M について流域全体の総合的な平均値 (t_M の流域平均: \bar{t}_M) を次に述べるような計算操作で求められる。したがって，ここでは計算した t_M の流域平均値と前述の釜淵試験地データ⁴⁾とを比較検討した上で，7月上旬～9月中旬間における t_M の月・旬別平均値を推定した。以下これらの分析計算過程の要点を述べる。

(1) 中間流出・水温 (t_M) の推算

t_M の推算に関連する前掲の関係式をまとめると，次のようである。(以下，一般的計算では $Q_G = 10 \text{ m}^3/\text{s}$, $t_G = 12^\circ\text{C}$ を用いる。)

$$t = b \cdot t_a + C_1 \cdot t_G \dots \dots \dots \text{前掲 (6)}$$

$$C_2 = \frac{\gamma}{q + \alpha} - \beta \dots \dots \dots // (17) \text{ 附表一三, 図一八}$$

$$C_1 = C_2 + \left(\frac{k_M}{q} \right) = C_2 + \theta_M + (1 - \theta_M) \frac{1}{q} \dots\dots\dots(18')$$

これらの式より t_M の推算に用いる次の2式を求める。

(6)より,

$$C_1 = (t - b \cdot t_a) / t_G \dots\dots\dots(19)$$

(18')を変形して,

$$\theta_M = \left(C_1 - C_2 - \frac{1}{q} \right) / \left(1 - \frac{1}{q} \right) \dots\dots\dots(20)$$

ここに, $\theta_M = t_M / t_G$, $t_M = \theta_M \cdot t_G$ ($t_G = 12^\circ\text{C}$), $q = Q / Q_G$, ($Q_G = 10 \text{ m}^3/\text{s}$)

上記諸式の内, (17) [附表—3 : 図—9 参照], (19), (20) および $b \sim q$ 関係 [表—7 : 図—8 参照] を用いて, 次の計算要領で1組の観測値 (Q, t, t_a) ごとに中間流出・水温 t_M を計算する。

- ① C₁ の計算 各年・月・日 : 1組のデータ (Q, t, t_a) について, $q = Q / Q_G \rightarrow b$ (図—8 参照) で b 値が求まるので, (19)式により C_1 が計算される。
- ② C₂ の計算 上記・1組のデータについて q がきまると, (17)式ないし図—9 : 附表—3 より C_2 が求められる。
- ③ θ_M, t_M の計算 C_1, C_2 および q が求められると, 1組のデータごとに(20)式を用いて, θ_M 従って t_M が計算される。
- ④ 各年月日の t_M 値 以上の一連の計算により, 各年月日ごとに t_M が求められる。

(2) t_M の月・旬別度数分布と月・旬別流域平均 (\bar{t}_M)

上述のようにして対象期間で求めた, 各年月日ごとの t_M 値の計算結果より, その数例を表—9に示す。これら多数の計算結果を整理して, 7月上旬~9月中旬間で旬間別に度数分布を求めると図—10・A のようである。これらの推算結果と釜淵試験地 ($Z=3.0\text{m}$) の地温とを比較すると, 図—10・B に示すように7月~8月中旬間で $1 \sim 2^\circ\text{C}$ の差, および8月下旬~9月中旬間では $4 \sim 5^\circ\text{C}$ の差がある。したがって, 上記の推算値は不十分である難点をもち, 今後引き続き検討を要するが, 赤川流域の規模 ($A \approx 550 \text{ km}^2$) を考慮すると, これらの推算値は第1次近似的には流域平均の \bar{t}_M 値 (=流域平均の流動層・地温 : \bar{t}_s 値) として用い得るであろう。今後の計算に用いる便宜上, これらの度数分布・分析結果より月・旬別・ t_M の流域平均値 ($\bar{t}_M, \bar{\theta}_M$) を一表にまとめて表—10に示す。 \bar{t}_M に巾をもたせた理由は, 図—10でわかるように t_M の度数分布は分散が大きいため, 河川水温の推算に当って慎重を期し, その許容範囲を明らかにするためである。

このようにして月・旬別の \bar{t}_M の値 (表—10参照) が定まると, この数値表より各年月日ごとに t_M の推定値が求められるので, 前述(18)式 [$C_1 = C_2 + (k_M/q)$] を用いて C_1 の値を計算することが出来る。図—11は, このような計算の便宜上表—10に示す各 t_M 値ごとに $(k_M/q) \sim q$ 関係を描いたものである。

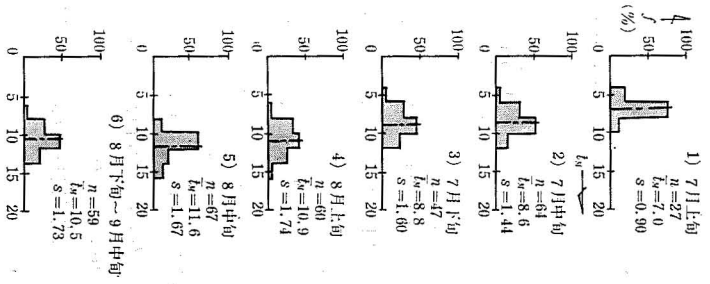
6) Q_M の場合の誤差精度と関係式の適合性

上記のような計算操作で C_1 の値が各年月日ごとに求められると, すでに $b \sim q$ 関係 [表—7, 図—8 : (13) 式参照] は得られているので, 流量 Q (無次元量 : q) および気温 (t_a) が既知であれば, $t \sim t_a$ 関係式 [$t = b \cdot t_a + C_1 \cdot t_G$: (6)] を用いて河川水温 (t) を計算する

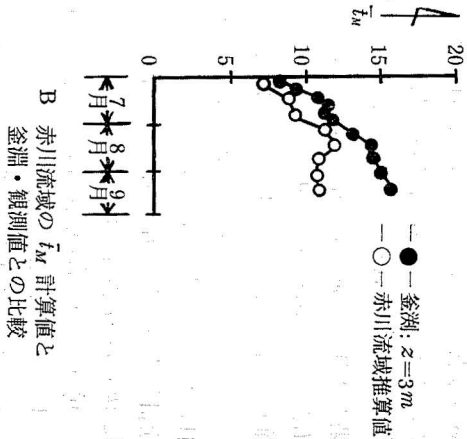
表一9 中間流水温 (t_M) の推算結果 (計算例) 赤川一熊出: ダム建設前 Q_M の場合

計算順序No.	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫	⑬	⑭	⑮
計算順序	流量	流量比	水温観測値	気温観測値	図表より	(4)×(5)	(8)-(6)	(7)/12	図表より	(8)+(9)	1/(2)	(10)-(11)	1-(11)	(12)/(13)	(14)×12
年月日	Q	q	t_w, b	t_a	b	$b \cdot t_a$	$C_1 \cdot t_G$	C_1	$-C_2$	$C_1 - C_2$	$1/q$	$C_1 - C_2$ $-1/q$	$1-1/q$	θ_M	t_M
S 27. 8. 20	19.5	1.95	20.0	22.0	0.425	9.350	10.650	0.888	0.109	0.997	0.513	0.484	0.487	0.994	11.93
S 29. 7. 19	20.2	2.02	20.3	26.8	0.422	11.310	8.990	0.749	0.107	0.856	0.495	0.361	0.505	0.715	8.58
S 30. 7. 10	60.6	6.06	18.1	28.3	0.391	11.051	7.049	0.587	0.074	0.661	0.166	0.495	0.834	0.594	7.13
S 31. 8. 11	48.9	4.89	20.4	24.8	0.390	9.672	10.728	0.894	0.079	0.973	0.204	0.769	0.796	0.966	11.59
S 31. 9. 11	27.2	2.72	19.9	24.1	0.405	9.760	10.140	0.845	0.093	0.938	0.368	0.570	0.632	0.902	10.82

(注) 算式 $\theta_M = (C_1 - C_2 - 1/q) / (1 - 1/q)$ $C_2 = \frac{\gamma}{q + \alpha} - \beta$: 附表-3, 図-9 t : 水温観測値 (°C)
 $t_M = \theta_M \cdot t_G$ ($t_G = 12^\circ\text{C}$) $\alpha = -0.222, \beta = 0.059, \gamma = -0.086$ t_a : 気温観測値 (°C)
 $C_1 = (t - b \cdot t_a) / t_G$ $q = Q/Q_G$ ($Q_G = 10 \text{ m}^3/\text{s}$) b : 表-7, 図-8, 関係式 (13)



図一10 赤川一熊出: ダム建設前, 昭和27年~31年, 7~9月間の中間流出・水温 (t_M) の月・旬別度数分布



図一11 赤川流域の t_M 計算値と釜淵・観測値との比較

表—10 赤川—熊出：ダム建設前
昭和27年～31年，7月～9月間
月・旬別 \bar{t}_M 値

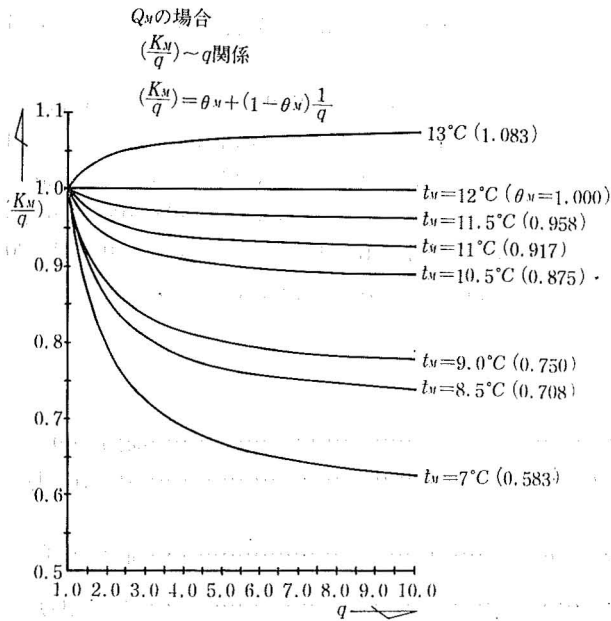
月・旬 別	\bar{t}_M	$\bar{\theta}_M$
7月上旬	7.0	0.583
〃 中旬	8.5	0.708
〃 下旬	9.0 10.0	0.750 0.833
8月上旬	11.0	0.917
〃 中旬	11.5	0.958
8月下旬～ 9月下旬	10.5 11.5	0.875 0.958

ことが出来る。多数の観測値についてこれらの水温計算値 (t_{cal}) の誤差精度 (ϵ_t) を前掲(16)式で求め、流量区間別に誤差精度 (ϵ_t) の度数分布を分析すると、図—12(1)～(5)のようである。同図より明らかなように、標準偏差 (s) の範囲：4.3< s <6.2，平均値 ($\bar{\epsilon}_t$) の範囲：-1.7< $\bar{\epsilon}_t$ <1.6%であって、その度数分布はほぼ正規分布と見なされる。これらの総計について統計値を求めると、図—12下段に示すように $\bar{\epsilon}_t=0.52\%$ $s=5.7$ であって、その分布型は正規型であると云えよう。また、 $|\epsilon_t|>10\%$ なる確率はほぼ8% [$P_r(|\epsilon_t|>10\%)=8\%$]であるので、 Q_M の場合の誤差精度は概ね良好であると考えられる。したがって、この場

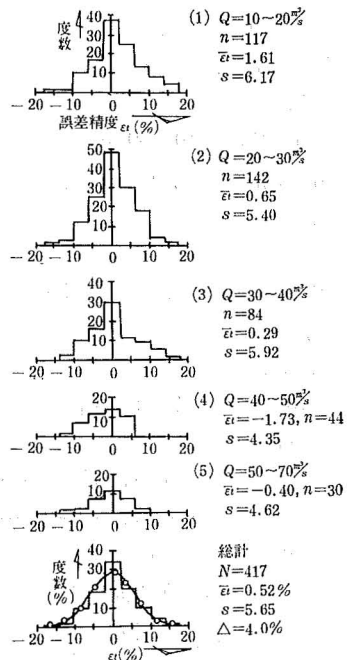
合について得られた関係式の適合性は良好であって、各時刻観測値を一括して取扱っても差支えないことが認められる。

7) Q_G-Q_M の移行流量域

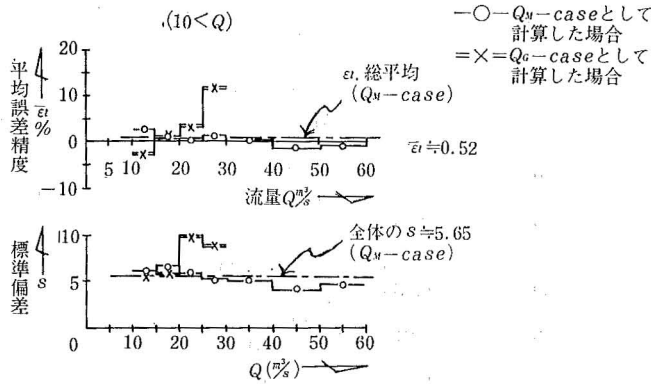
さきに、Ⅲ・2・B—1) ①で基底流量基準値として $Q_G=10\text{ m}^3/\text{s}$ を採用した際に、観測



図—11 赤川—熊出：ダム建設前
昭和27年～31年，7月～9月間



図—12 赤川—熊出：ダム建設前
(昭和27年～31年) 7月～
9月間， Q_M の場合 流
量区間別・誤差精度 (ϵ_t)
の度数分布



- (注) 1. $10 < Q < 20 \text{ m}^3/\text{s}$ の範囲では、 Q_G -Case, Q_M -Case いずれで計算しても誤差精度は大差ない。
 2. $Q > 20 \text{ m}^3/\text{s}$ の範囲では、 Q_G -Case として計算すると誤差は増大する。
 3. したがって、両者が移行する流量範囲は約 $10 \sim 20 \text{ m}^3/\text{s}$ である。

図—13 赤川—熊出：ダム建設前 昭和27年～31年、5月～7月 Q_G -Case から Q_M -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 ($\bar{\epsilon}_t$) とその標準偏差 (s)

データの分析結果より考察して、 $Q_G \sim Q_M$ の移行流量域はほぼ $Q = 10 \sim 15 \text{ m}^3/\text{s}$ 区間であると推定した。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。

図—13は、 $10 \sim 60 \text{ m}^3/\text{s}$ 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 (t) の誤差精度 ($\epsilon_t \%$) を求め、各流量区間における平均値 ($\bar{\epsilon}_t$) および標準偏差 (s) の変化を画いたものである。これらの図より、流量 $Q > 20 \text{ m}^3/\text{s}$ の範囲では、 Q_G の場合として計算すると誤差が増大することがわかる。したがって $Q_G \sim Q_M$ の移行流量は概ね $10 \sim 20 \text{ m}^3/\text{s}$ の区間であって、さきに推定した流量範囲はこの区間に包括される。なお、 $10 < Q < 20 \text{ m}^3/\text{s}$ の範囲では、両者いずれの場合として計算しても誤差精度にはほとんど差が認められない。

8) Q_M の場合：総括

(1) 関係式

$$t = b \cdot t_a + C_1 \cdot t_G \dots\dots\dots \text{前掲 (6)}$$

$$\Delta t = b \cdot t_a + C_2 \cdot t_G \dots\dots\dots \text{〃 (7 \cdot 1)}$$

(2) 係数の関数型

$$b = b_l + (b^* - b_l) \cdot \exp.[-k(q-1)] \dots\dots\dots \text{前掲 (13)}$$

$$C_2 = \frac{q + \alpha}{\gamma} - \beta \dots\dots\dots \text{〃 (17)}$$

$$C_1 = C_2 + (k_M/q) \dots\dots\dots \text{〃 (7 \cdot 3) (18)}$$

ここに

$$(k_M/q) = \theta_M + (1 - \theta_M) \cdot \frac{1}{q} \quad q = Q/Q_G, \quad \theta_M = t_M/t_G$$

(3) 定数の値
 $b^*=0.485$, $b_l=0.39$, $k=1.04$
 $\alpha=-0.222$, $\beta=0.059$, $\gamma=-0.086$
 t_M の値: 表—10
 $Q_G=10 \text{ m}^3/\text{s}$, $t_G=12^\circ\text{C}$, 適用流量 $Q \cong 10 \sim 60 \text{ m}^3/\text{s}$

(4) 誤差精度
 $N=417$, $\bar{\epsilon}_t=0.52\%$, $s=5.65$
 $P(\epsilon_t > 10\%) \cong 8\%$

(5) 新しい知見
 対象流域の中間流出・水温平均値, したがって中間流出・流動層の流域平均地温の推定方法.

以上の結果より, 各月・日の流量 (Q) と気温 (t_a) が得られると河川水温が計算される. 前掲図—7の直線は各流量区間について, それぞれの流量平均で計算した結果を図示したものである.

(Ⅲ・2・C: 第2報に続く)

引 用 文 献

- 1) 森田 浩: 日本における河川水温研究の科学的背景と特徴, 水温の研究 Vol. 11, No. 5 (1968. 1)
- 2) 西沢利栄: 河川の水溫, 水温の研究 Vol. 6, No. 1~No. 4 (1962), No. 5 (1963)
 安芸峻一, 多田文夫監修: 水資源ハンドブック, 朝倉書店 (1966)
 森田 浩: 日本における河川水温研究の概観と問題点, 水温の研究 Vol. 11, No. 4 (1967. 11)
- 3) 森田 浩: 流出水の低水温形成機構と冷水流出の予報に関する基礎的研究, 山大紀要 (農学第5巻第3号 (昭和43年))
- 4) 森田 浩: 溪流水温の研究, 第1報: 山大紀要 (農学) 第6巻第1号 (昭和45年), 第2報: 山大紀要 (農学) 第6巻第2号 (昭和46年)
- 5) 森田 浩: 岩手大学・御明神試験地
 下館内・B 沢 (3.56 ha) の中間流出・水温について, 文部省特定研究御明神試験流域研究班・研究報告 (1971. 3)
- 6) THODORE R. RUNNING: Empirical Formula, New York John Wiley & Sons, Inc (1917)

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 research, i. e. the standing point of researching the phenomena in the total basin and of looking at the flow discharge.

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

The main results 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

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

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

2) The Relation between Δt 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 ($t_G \doteq 12^\circ\text{C}$)

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

$Q_{G,i}$: Min. Base-flow

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

Δt : 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

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

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

5) Accuracy of error (ϵ_t)

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

where

t_{cal} : Calculated value of t .

t_{ob} : observed value of t .

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

standard deviation of ϵ_t : $s \doteq 4.6$

$P_r\{|\epsilon_t| > 10\% \doteq 2\%$

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

1) The Relation between Δt 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 for mula (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 : same as above formula (2)

$$C_1 = C_2 + (k_M/q) \dots\dots\dots(7)$$

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

3) Symbols of physical quantity and main characteristic constants.

Q : River discharge

$q = Q/Q_G$: 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.

$$b^* = 0.485, \quad b_t = 0.39, \quad k = 1.04$$

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

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

5) Accuracy of error.

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

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

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

(To be continued.)

附表—1 赤川—熊出：ダム建設前 昭和27年～31年，7月～9月間 Q_G の場合： b の値
 $b = b_i + (b^* - b_i) \exp[-k(q_G - 1)]$
 $q_G = Q_G / Q_{G,i}$ $Q_{G,i} = 5 \text{ m}^3/\text{s}$

分区 基底 流量比 q_G	b の 計 算 値		標 本 値 b_{ob}
	(1) $b^* = 0.55$ $b_i = 0.39$ $k = 0.52$	(2) 0.58 0.39 0.95	
1.1	0.542	0.563	0.53~0.57
1.3	0.527	0.533	0.47~0.50
1.5	0.513	0.508	0.50
1.7	0.501	0.488	0.47
2.0	0.485	0.464	—
2.1	0.480	0.457	0.47
2.5	0.463	0.436	—
3.0	0.447	0.418	—
3.5	0.434	0.408	—
4.0	0.424	0.401	(0.43)
4.5	0.416	0.397	—
5.0	0.410	0.394	—
5.5	0.405	0.393	—
6.0	0.402	0.392	—
6.5	0.399	0.391	—
7.0	0.397	0.391	—
7.5	0.395	0.390	—
8.0	0.394	0.390	—
9.0	0.392	0.390	—
10.0	0.392	0.390	—
15.0	0.390	0.390	—

附表—2 赤川—熊出：ダム建設前 昭和27年～31年，7月～9月間 無降雨：地下水流出が卓越する場合 (Q_G の場合)

C_1 および C_2 の値

$$C_1 = -\frac{\gamma}{q_G + \alpha} + \frac{1}{q_G} - \beta$$

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

$$\alpha = -0.10, \beta = -0.94, \gamma = -1.16$$

q_G	C_1	$-C_2$
1.0	0.651	0.349
1.1	0.690	0.310
1.25	0.731	0.269
1.30	0.740	0.260
1.50	0.781	0.219
1.70	0.810	0.190
2.00	0.829	0.171
2.25	0.840	0.160
2.50	0.857	0.143
2.75	0.862	0.138
3.00	0.870	0.130
3.50	0.889	0.111
4.00	0.890	0.110
4.50	0.896	0.104
5.00	0.903	0.097
5.50	0.905	0.095
6.00	0.913	0.087
6.50	0.909	0.091
7.00	0.912	0.088
8.00	0.923	0.077
9.00	0.920	0.080
10.00	0.923	0.077
15.00	0.932	0.068

附表-3 赤川-熊出:ダム建設前 昭和27年~31年, 7月~9月間

$$Q_M \text{ の場合 } C_2 = \frac{\gamma}{q+\alpha} - \beta$$

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

Q_M の場合	$Q_G = 10 \text{ m}^3/\text{s}$	Q_G の場合の 計 算 値 (脚注参照)
q	$-C_2$	
1.00	0.170	0.170
1.25	0.143	0.143
1.50	0.126	0.127
1.75	0.115	0.115
2.00	0.107	0.107
2.25	0.102	0.102
2.50	0.097	0.097
2.75	0.093	0.093
3.00	0.090	0.090
3.25	0.085	0.087
3.50	0.085	0.085
3.75	0.084	0.084
4.00	0.082	0.082
4.50	0.080	0.080
5.00	0.077	0.078

(注) Q_G の場合: $Q_{G,1} = 5 \text{ m}^3/\text{s}$

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

$$\alpha = -0.1, \beta = -0.94, \gamma = -1.16, q_G = 2q$$