

4 4 豊平川の融雪出水について

石狩川開発建設部 小田代 弘
 " 山口 甲
 " 橋本 識 秀

まえがき

北海道河川の特性は裏日本河川におけると同様、3月中旬から5月下旬まで、多雪年においては6月初旬にかけて、長期にわたる融雪出水現象（年間流出量の45%強を示す）があることである。一般に河川における洪水現象は、台風、前線等による集中豪雨、長期間継続降雨による。夏期の降水洪水と春期における積雪の融解による融雪洪水に大別される。石狩川においては昭和31年、水防法の改正時より洪水の予報を行なうため夏水に対しては種々の研究、観測並びに解析を実施し現在では水位相関法の段階から貯溜関数法の段階と進み流域平均時間降雨量から各本流の上流部地点のHydrographを予知し下流部へFlood Rootingを行なうことにより下流部のHydrographを予測しており、その演算はAnalog-Computerを使用して、8地点のHydrographが直ちに描かれる状態に準備されている。融雪出水についても上流部地点のHydrographの算出過程以降に関しては夏水と同様、開水路の洪水追跡がそのまま適用出来るのであるから、現在準備された電子計算機を幾分増設する事により追跡計算は十分可能なことである。

即ち降雨量の代りに各気象現象（温度変化、日射量、湿度、降雨量、等）をinputすれば良いのである。融雪出水と夏水とを比較すると次のとおりである。

1. 融雪出水は一般に流出波形がflatであるため、洪水に対する危険重要度が低いと見られている。
2. 融雪期における資料等の蒐集が夏期に比べ困難を伴う。
3. 融雪出水は夏水における降雨量に相当する融雪量が気象条件に対して熱力学的検討が必要であり又融雪の流出量、到達時間が積雪深、積雪の比重などに左右されている。

石狩川の融雪出水は極めて大きな流量を示しており、河川改修計画、水防止、又、水利計画においても重要なことであるので、本文は、融雪出水解析の第一報として、豊平川の融雪出水の概要を述べるものである。

図44-1

1 融雪機構

(1) 流域及び出水資料の概要

解析対象地点は定山溪市街上流、薄別川合流点下流の定山溪発電所取水口である。この地域は、標高は400~1200mの山岳地帯で、流域面積は224Km²である。（図44-1参照）

出水資料は北海道電力KKより定山溪発電所における水位観測資料（33年~39年間の融雪期3月~5月の水位）を使用した。

又、気象資料は、札幌気象観測所、および、定山溪水測所観測資料を用いた。

(2) 融雪出水の特徴

融雪出水は降水と比べると非常に規則的な波形流出をしている事は資料等により明確な事である。一般に云われている融雪出水の特長を考



しながら豊平川における融雪出水の Hydrograph からの夏水と比較してその特長を2, 3のべると,

イ 継続時間が極めて長いこと

(イ) Peakの遅れ時間が夏水よりも5~1時間遅い。

(ロ) 二次流出が非常に長いこと。

ロ 時間流出量が24時間を一波長とする波形流出をすること。

(イ) 気象要素が特に変化しない限り流出は規則的である。

ハ 融雪期における僅かの降雨で大きな出水となること。

(イ) 大きな降水のある場合はPeak 流量の遅れ時間は時間降雨強度に左右されること。

(ロ) 降水のあつた場合の流出波形は夏水の様に極端に直立することはないがPeak 流量もかなり高く安定性のある波形流出をすること。

図44-2 定山溪時間気温

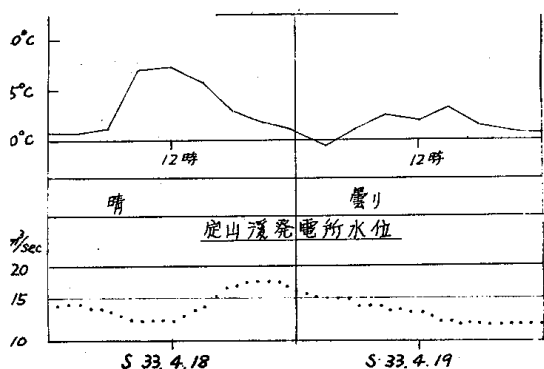


図44-3 定山溪発電所水測地点融雪出水

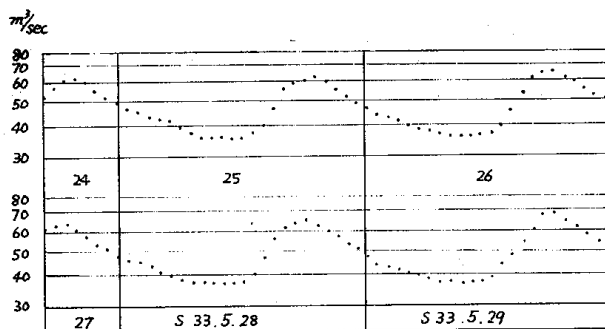


図44-4 定山溪発電所水測地点降雨出水例

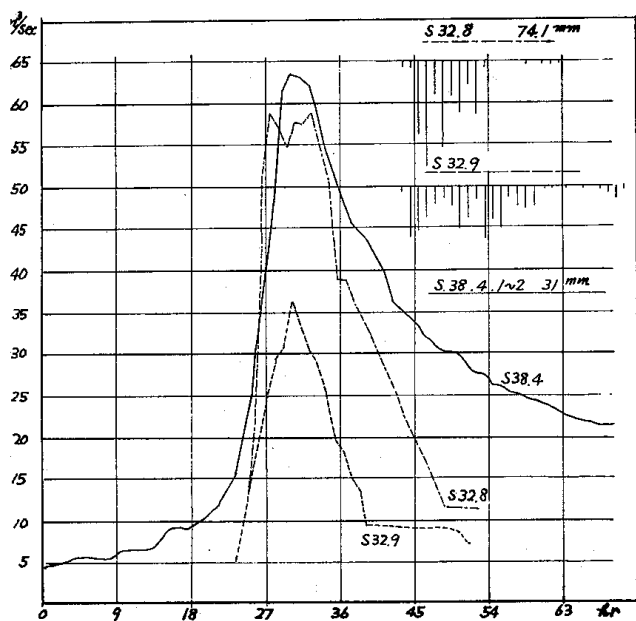


図44-4に示す様に、融雪期における30mm程度の降雨によるPeak 出水量は、夏水における74mmの降雨出水に匹敵する。更に直接流出量全体では夏水に比べはるかに大きな容量を示している。

幸いにも38年4月1~2日頃は未だ融雪出水が初まつておらず、流出量もわずか45 m³/sec程度であり、積雪も十分湿潤状態になつておらず、損失水量も融雪期よりはるかに大きいものと思われる。

融雪出水の最盛期においては、常時60~80 m³/secの融雪量があるから、この様な時期に降雨が重なれば融雪洪水はまぬがれないものと思われる。

(3) 融雪機構

融雪洪水の解析には次の三つの過程について各々検討しなければならない。

イ 融雪過程

各種の気象要素による、積雪表面における熱力学的な熱収支による融雪量

□ 浸透過程

積雪表面から供給される融雪水が積雪層内を浸透し地表面に到達するまでの所要時間及び損失等の検討
ハ 流出過程

地表面に達した融雪水が河道に流入するまでの所要時間及び損失量等の流域特性による流出形状の検討
イの過程により表層の融雪水は積雪の中を透下するうちに積雪粒子の毛細管作用により一部は保たれ、そ
一部は再凍結して氷板となり透水性を小さくする。又気温の上昇により再融解するものと考えられる。しかし
坦地においては雨水や融雪水が透過しにくい積雪状態でも、山腹では傾斜や立木、枯草茎等により積雪の透水
は平地より良い状態にある。

地表面に達した融雪水は一部は地表面を流下し残余は地下に浸透する。更に地中に浸透した水は一部はあま
深く浸透せず流下し、一部は飽和層まで達して地下水に加わることになる。

しかし融雪期における地下水量は豊富であり、地中は十分湿潤な状態にあると思われるから、地中浅く浸
した水は比較的速かに流出するものと考えられる。従つて融雪出水には地表面流出分の直接一次流出と積雪層
身の保水力が融雪量に逆比例して、長く尾を引き、これに地中浅く浸透した融雪水が加わつて直接二次流出と
つて出てくると思われる。

2 融雪解析

(1) 融雪流域特性曲線による融雪出水の解析

流域特性曲線とは各流域における流域形状と各時間気象要素に単位図法を適用したものであり、単位図は
数関数で表わし積雪深、湿潤度及び雪線標高により夫々変化するものとし、観測資料より各係数を算出する。
つて各時間気象要素に対し融雪流域特性曲線より一意的に流出形状及び各時間融雪量に対する時間流出量が算
される。これを単位図法を適用して重合により各流域における時間流出量を求める方法である。それでは以下
象流域に対する融雪流域特性曲線の算出方法を豊平川上流の豊平峽と薄別川の合流域を例に上げて述べる。

表44-1 流域標高別面積及累加面積表

標高	豊平峽		薄別川	
	高度別面積	累加面積	高度別面積	累加面積
400m以下	4.498 Km ²	4.498 Km ²	1.897 Km ²	1.897 Km ²
400~ 600	13.398	17.896	10.407	12.304
600~ 800	66.704	84.600	18.699	31.003
800~1,000	53.349	138.090	22.565	53.568
1,000~1,200	18.748	156.838	8.900	62.468
1,200以上	2.045	158.883	2.529	64.997

表44-1の高度別面積及び累加面積より豊平峽+薄別流域の合流流域に対する標高別面積及び累加面積
求めると表44-2のようになる。

融雪流域特性曲線の算出に対し先ず流域形状と熱力学的な factor として、標高による温度降下率 $^{\circ}\text{C}/100$
及び風速の上昇率 $\text{m}/100\text{m}$ を代入し、基準観測地点(定山溪標高300m)における気温、風速(基準観測地
において $1\text{m}/\text{sec}$)を加味し、第一段階の融雪特性曲線を算出する。

但し定山溪標高を300mとし定山溪気温を使用する。又標高100m増による温度降下は既応の測定値
により $0.8\sim 0.6^{\circ}\text{C}$ の温度降下が認められている。一般に標高が高くなるにつれて温度降下率は小さくなるも

表44-2

豊平峡，薄別川，合流流域		
標高	標高別面積	累積面積
400 ^m	12.3463 ^{Km²}	12.3463 ^{Km²}
500	11.9025	24.2488
600	27.3020	51.5508
700	42.7014	94.2522
800	40.3290	134.5812
900	37.9565	172.5377
1,000	25.8903	198.4280
1,100	13.820	212.2480
1,200	11.485	223.7330

と思われるが、こゝでは中間値を取つて
 $-0.7^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ と考える。風速に対しては
 観測資料が無く、又風向によつても変化ある
 ものと思われるので一応無視するものとして
 温度面積を求めると表44-3の様になる。

表44-3 標高別温度面積表(定山溪気温)

高	標高面積	1℃	2℃	3℃	4℃	5℃	6℃	7℃	8℃	9℃	10℃
00 ^m	12.346 ^{Km²}	3.704	16.050	28.396	40.742	53.088	65.434	77.780	90.126	102.472	114.818
00	11.903		7.142	19.045	30.948	42.851	54.754	66.657	78.560	90.463	108.366
00	27.302			24.572	51.874	79.176	106.478	133.780	161.082	188.384	215.686
00	42.701			8.540	51.241	93.942	136.643	179.344	222.045	264.746	307.447
00	40.329				20.165	60.494	100.823	141.152	181.481	221.810	262.139
00	37.957					30.366	68.323	106.280	144.237	182.194	220.151
00	25.890					2.589	28.479	54.369	80.259	106.149	132.039
00	13.820						5.528	19.348	33.168	46.988	60.308
00	11.485							8.040	19.525	31.010	42.495

表44-4 雪線標高と融雪流域特性曲線(βにより修正されていない場合)

雪線標高	1℃	2℃	3℃	4℃	5℃	6℃	7℃	8℃	9℃	10℃
50以下	3.704	23.192	80.553	194.970	362.506	566.462	786.750	1010.483	1234.216	1457.949
50~550		7.142	52.157	154.228	309.418	501.028	708.970	920.357	1131.744	1343.131
50~650			33.112	123.280	266.567	446.274	642.313	841.797	1041.281	1240.765
50~750			8.540	71.406	187.391	339.796	508.533	680.715	852.897	1025.077
50~850				20.165	93.449	203.153	329.189	458.670	588.151	717.630
50~950					32.955	102.330	188.037	277.189	366.341	455.493
50~1050					2.589	34.007	81.757	132.952	184.147	235.342
50~1150						5.528	27.388	52.693	77.998	103.303
50~1250							8.040	19.525	31.010	42.495

(図44-5)の温度面積曲線から融解常数 W_0 を乗じ積雪表面における時間融雪水を求める。

$$R_{wo} = W_0 (a\theta^2 + b\theta + c) \quad 0.7^\circ\text{C} \leq \theta \leq 6^\circ\text{C}$$

$$R_{wo} = W_0 (d\theta + c) \quad \theta > 6^\circ\text{C}$$

但し θ ; 時間気温 R ; 流域温度面積

a, b, c, d, e ; 融雪流域 s, c , の曲線の係数

上記の場合は(日射量輻射)を全て温度で代表し又風速はこの流域における融雪期の標準風速を取るものとし、全て W_0 の係数に含有する。しかし風速は、気温と共に融雪の大きな factor であるから、風速の時間変化の資料しゆう集が可能な場合は当然 W_0 は他の気象要素に対する調整値となり、次に各風速変化に対する温度融雪量曲線から、積雪深又は雪線に対する W_0 により調整された融雪流域 s, c に乗じて融雪量を求めることが出来る。更に又日射量も晴天と曇天では異なり、日中においても変化するものであるから解析が進み次第分離計算されるものである。

又単位時間融雪量による直接融雪出水量は次式で表わされる。

$$Q = \int_{\tau_0}^{\tau_1} I(\tau) d\tau = r \cdot R_{wo} (\theta \cdot \nu)$$

$$r = 1 - f'$$

$$f' = \alpha + \beta$$

$$\alpha = \zeta(\rho) \cdot \eta(h)$$

$$\beta = \varphi(z)$$

Q = 単位時間融雪量による単位時間当りの総流出量 ($\text{m}^3/\Delta t \text{ hr}$)

r = 有効融雪比率

f' = 損失融雪量比率

α = 積雪中滲透過程における損失量比率

$\zeta(\rho)$ = 単位積雪深に対する損失量比率(密度 ρ の函数)

$\eta(h)$ = 積雪深による函数

$I(\tau)$ = 融雪出水単位図における時間流出量

τ_0 = 単位時間融雪水の流出開始時間

τ_1 = 単位時間融雪水の流出終了時間

θ = 気温 $^\circ\text{C}$

ν = 風速 m/sec

β = 地表損失率

定山溪積雪深が10cmから、融雪出水の現象が認められなくなるのに45日間かかる。即ち融雪出水資料より33年では5月31日まで36日間の融雪資料しかなく、なお融雪出水が盛んである。34年、38年では定山溪積雪深10cmの時から45日間経過すると融雪出水が終り、夏水の段階と入つて行く。又雪積深資料から1日の消雪度は $5.4 \sim 6.2 \text{ cm}/\text{日}$ であるから雪線の上昇率も明らかになる。(但し、日数がたつにつれて気候は、

図44-5 定山溪時間温度

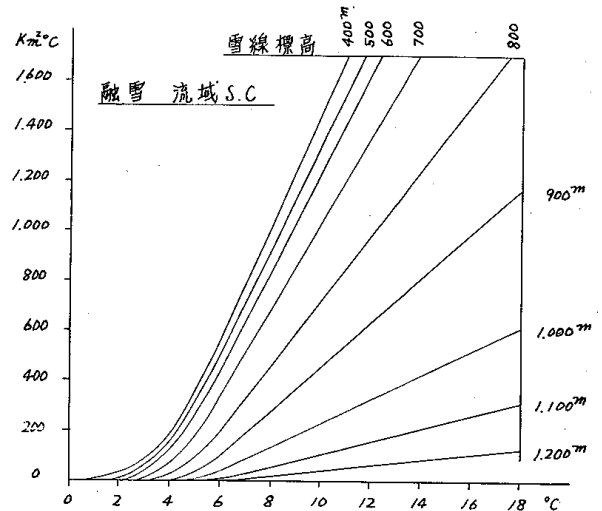
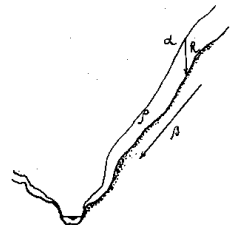


図44-6



かくなるのであるが、雪線標高の上昇に対し高度による温度降下等の条件により雪線附近の気象条件はあまり化ないと考えられるから一定速度と仮定して消雪を 5.8 cm/day とする) 依つて前述資料より定山溪積雪深と水遅れ時間及び雪線の標高と出水遅れ時間及び定山溪雪深 10 cm 以降の日数と雪線標高の関係を示すと図 4 4 - 10 の様になる。

図 4 4 - 7 定山溪積雪深日変化

図 4 4 - 8 ピーク流出遅れ時間図

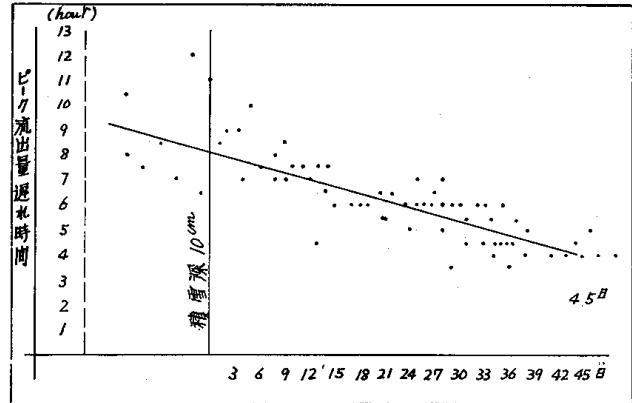
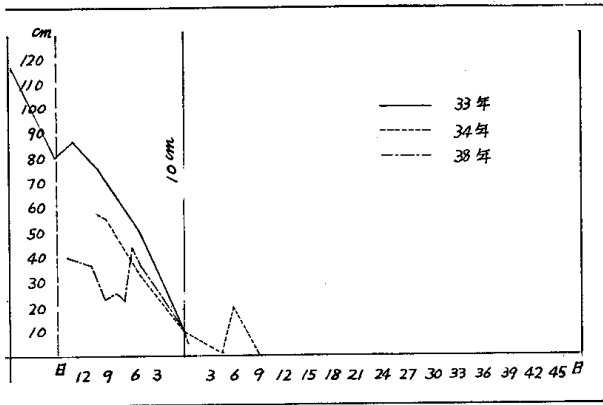
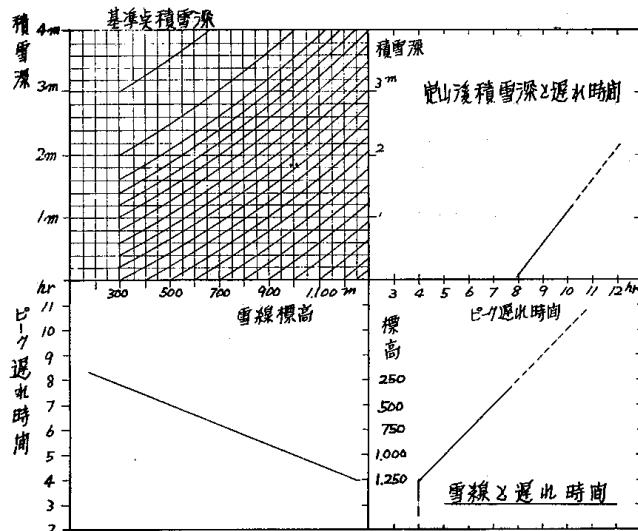
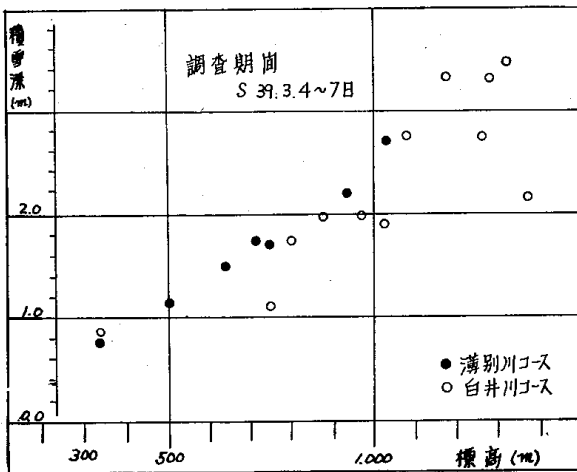


図 4 4 - 9 豊平川上流部積雪深調査

図 4 4 - 10 積雪深及び雪線標高と流出遅れ時間



次に積雪深及び雪線毎の単位図を資料の解析により作成する。

一般に融雪流出量は半対数紙に Plot すれば図 4 4 - 1 の様な直線で表現出来ることは周知のとおりである。

τ_0, τ_m は融雪資料分析図 4 4 - 10 により直ちに求められる。又 β (流出係数) は融雪流出量資料より求められる。

ここで未知の項は、 ζ であり、これは c_1, c_2 の遞減係数及び τ_n を求める事により定めることが出来る比

率である。

直接流出における一次減水部の通減係数を c_1 とすると

$$\frac{\log \zeta \xi - \log \xi}{\tau_2 - \tau_m} = -c_1$$

$$\log \zeta = -c_1 (\tau_2 - \tau_m)$$

$$\zeta = e^{-c_1 (\tau_2 - \tau_m)}$$

$$\zeta \cdot \xi = \xi \cdot e^{-c_1 (\tau_2 - \tau_m)}$$

$$\text{一般に } Q = \xi e^{-c_1 \tau} \quad 0 \leq \tau \leq (\tau_2 - \tau_m)$$

同様に直接二次流出の遅減係数は

$$Q = \zeta \xi e^{-c_2 \tau} \quad 0 \leq \tau \leq (\tau_n - \tau_2)$$

単位図の Peak 流量及び一次流量が $\frac{9}{10}$ に減ずるまでの時間を T_9 とすれば

$$Q = \frac{9}{10} \xi \quad \tau = T_9 \quad C_1 = [hr^{-1}]$$

$$C_1 = (\log_e \frac{9}{10}) / T_9 = 0.10536 / T_9$$

$$C_2 = (\log_e \frac{9}{10}) / T_9 = 0.10536 / T_9$$

以上の直接流出通減係数 C_1, C_2 を求め、これと温度勾配との関係図を求めることにより、時間融雪量に対する流出波形の通減係数 C_1, C_2 が求められる。

次に流出資料より $\tau_0, \tau_m, \tau_2, \tau_n$ を雪線ごと求めて、一時間融雪量に対する単位図を図 44-12-13 の如く作成する。

図 44-12 積雪深と単位図

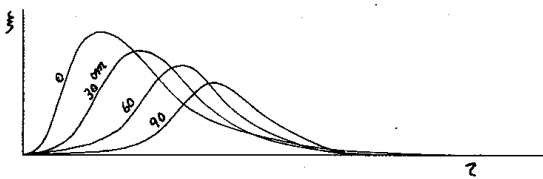


図 44-13 雪線標高と単位図

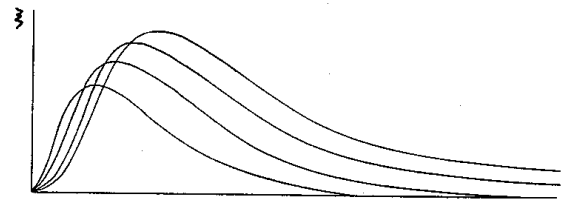


図 42-12, 13 における ξ は次式で表わされる。

$$Q_v = \int_{\tau_0}^{\tau_n} I(\tau) d\tau = \gamma \cdot R_{wo}(\theta), \quad (m^3 \text{ hr}^{-1})$$

$$I(\tau) = \xi \cdot \lambda \cdot (t)$$

$$Q_v = \int_{\tau_0}^{\tau_n} \xi \cdot \lambda \cdot (t) d\tau = \xi \cdot S$$

S は Peak 流量を 1 とした場合の単位図の時間面積であるから。

図 44-14

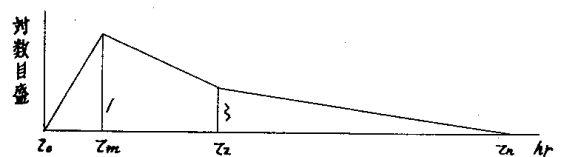


図44-12より

$$\begin{aligned}
 S &= \int_{\tau_0}^{\tau_m} e^{-\frac{\tau}{\tau_m - \tau_0}} d\tau + \int_{\tau_m}^{\tau_2} e^{-c_1(\tau - \tau_m)} d\tau + \int_{\tau_2}^{\tau_n} \zeta e^{-c_2(\tau - \tau_2)} d\tau \\
 &= (\tau_m - \tau_0) \left(e^{\frac{\tau_m}{\tau_m - \tau_0}} - e^{\frac{\tau_0}{\tau_m - \tau_0}} \right) \\
 &\quad - \frac{1}{C_1} (e^{-c_1(\tau_2 - \tau_m)} - 1) - \frac{\zeta}{C_2} (e^{-c_2(\tau_m - \tau_2)} - 1)
 \end{aligned}$$

従つて

$$\begin{aligned}
 Qv &= S \xi = \gamma \cdot R_w(\theta) & \xi &= \frac{1}{S} \gamma \cdot R_w(\theta) \\
 \xi &= \beta_0 R_w(\theta) & \therefore \beta_0 &= \frac{1}{S} \gamma
 \end{aligned}$$

β_0 は融雪資料より方程式を立てて各雪線及び積雪深毎に求めておく。同様に基底流量に対する検討も同時に行なうものとする。

(2) 融雪流域特性曲線 (温度)

以上により融雪流域特性曲線 (融雪量を気温により代表させた場合は ξ は図44-15の如くなる。

(3) 融雪流域特性曲線 (温度, 風速)

融雪水量を気温と更に風速による影響と考慮した場合の融雪流域特性曲線 (風速 1 m の時, 他の気象要素を温度で代表させた時の融雪係数)

図44-16は一般図であり, 使用する③限が複雑になることと, 実際は一度に全てを使うことはなく雪線

図44-15 融雪流域特性曲線 (S, M, B, C, C): 温度

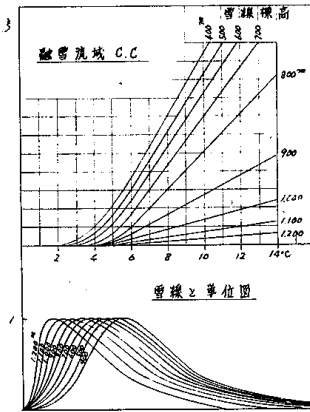


図44-16

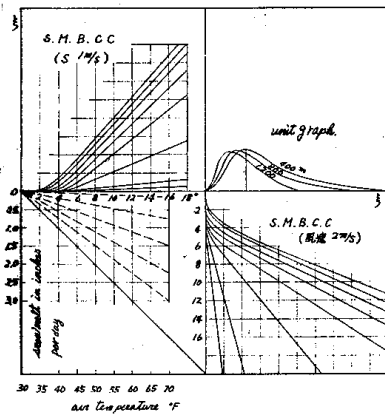


図44-17 融雪流域特性曲線 (雪線標高 400m)

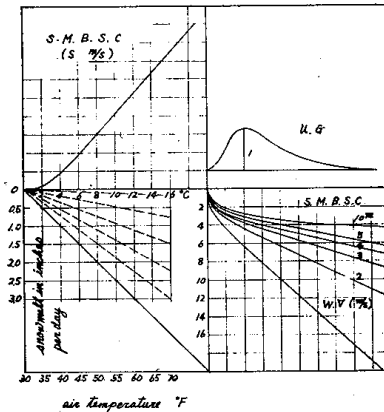
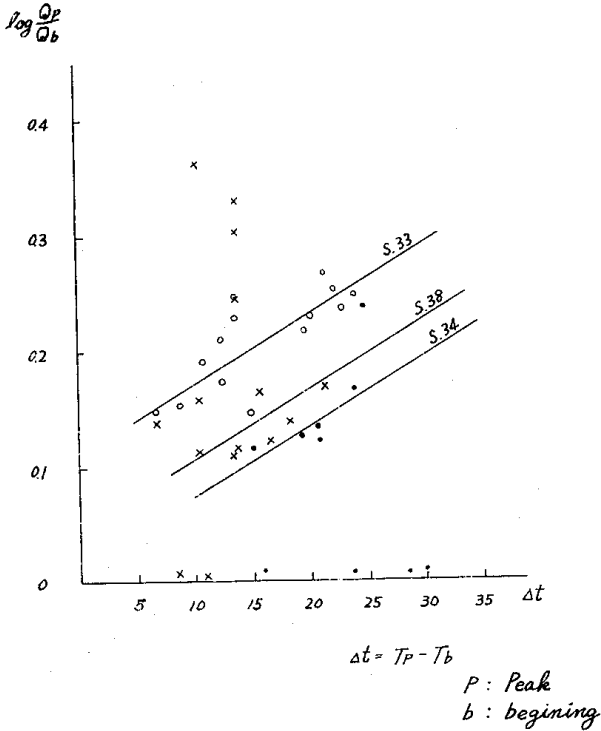


表44-5 温度勾配と通減係数

	雪線 標高	定山溪 最高気温	前最低 気温	後最低 気温	前差	後差	$\Delta t \cdot h_r^{-1}$	直接一次通減係数		直接二次通減係数	
								T_9	$0.10536/T_9$	T_9	$0.10536/T_9$
33.4.18		7.6°	1.1°	1.5°	6.5	10.0	0.5208	6.0	0.01756	9.7	0.01086
23		14.7	1.4	-6.4	13.3	21.1	2.1870	2.8	0.03763	9.2	0.01145
5.3		15.0	0.8	6.5	14.2	8.5	1.094	4.0	0.02634	12.2	0.008636
5		12.8	0.6	5.0	12.2	7.8	1.094	4.5	0.02341	10.9	0.009666
12		8.5	3.0	1.1	5.5	7.4	0.8333	6.2	0.01699	12.0	0.008770
19		23.1	2.5	9.6	20.6	13.5	1.615	4.8	0.02195	8.0	0.01317
20		24.8	3.8	9.8	21.0	15.0	1.451	2.4	0.04390		
21		20.7	6.5	9.6	14.2	11.1	1.562	2.2	0.04789	8.9	0.01184
26		14.8	3.8	5.2	11.0	9.6	1.094	2.2	0.04789	11.2	0.09407
27		21.2	2.1	7.7	19.1	13.5	1.198	1.8	0.05853		
28		26.0	4.0	8.2	22.0	17.8	1.302	1.8	0.05853		
29		25.1	6.5	10.0	18.6	15.1	1.302	1.7	0.06198		
34.5.1		25°C	7.0	15.2	18°C	13.0			0.0382	8.1	0.01301
2		16.5	11.5	10.2	5.0	6.3				7.2	0.01463
7		16.0	0.5	8.0	15.5	8.0		6.8	0.03386		
8		15.0	1.8	0.7	13.2	14.7		5.2	0.02026	12.1	0.008707
10		19.6	2.5	3.6	17.1	16.0	1.719	4.8	0.02195	8.9	0.01184
15		20.5	-0.7	4.0	21.2	16.5	1.875	6.8	0.03386	8.4	0.01254
16		23.8	4.0	11.3	19.8	12.5	1.562	2.8	0.03763	7.5	0.01405
23		24.0	4.5	9.5	19.5	13.5	1.510	3.2	0.03293	9.3	0.01133
24		22.7	5.0	5.2	17.7	17.5	1.920	4.2	0.02509	16.5	0.00639
38.4.4		13.1	-2.3	5.7	15.4	7.4	1.094	2.8		7.2	0.01463
12		11.6	1.3	5.0	10.3	6.6	0.6771				
13		13.2	-0.9	4.0	14.1	9.2	1.458	4.0	0.02634	14.0	0.07526
16		17.6	6.0	3.2	23.6	14.4	1.042	2.6	0.04052		
22		8.7	-0.4	-4.5	9.1	13.2	1.458			19.6	0.05376
26		12.9	1.8	2.4	11.1	10.5	1.094	5.6	0.01881		
27		18.4	-0.3	8.4	18.7	10.0	2.135	4.4	0.02395	16.2	0.06504
5.1		13.0	1.7	1.9	11.3	11.1	1.094	4.8	0.02195	12.1	0.008707
7		15.0	6.4	1.5	8.6	13.5	1.302	3.6	0.02927	6.4	0.01646
12		21.4	-0.5	9.4	21.9	12.0	1.249	3.2	0.03293		
18		21.0	5.5	8.4	15.5	12.6		3.0	0.03512	9.2	0.01145
19		17.0	10.0	7.5	7.0	9.5	0.9896	3.4	0.03099		
22		18.0	10.4	13.0	7.6	10.4	0.8854	3.2	0.03293		

図44-18 温度の高さと流出量高さの相関図



Peak 流量 (Q_p) の対数差との関係図を図44-18に、又表44-5には時間温度勾配と、直接一次、二次の遞減勾配をまとめた。

3 融雪解析例

(1) 豊平川本流薄別川合流域における解析例

融雪出水例には、昭和33年4月18~20日の一例を述べ実際の解析法を示し以つて、今後の解析に当つての方針を述べ、又基底流量に対する検討事項を述べるものとする。

表44-6 水位月表 (定山溪)

月日	天候	max T	min T	風向	風力
4月18日	晴	9℃	2℃	西	和
4月19日	曇	1℃	-3℃	"	"

たのであるが、札幌及び定山溪の最高最低が、表44-6とは資料が異なるため、多少の誤差があるものと思われる。33年は4月25日で定山溪積雪深が10cmあり、温度面積曲線(図44-15)の融雪流域特性曲線を

毎に使うのであるから、以下同様にして描き、時間融雪量に対する流出時間分布を重合することにより時間流出量を算出する事が出来る。

(4) 減衰勾配

時間融雪出水単位図の作成に対し今後の参考資料として一日気温最高最低差 (ΔT) と流出量の立上り量 (Qb) と

図44-19 融雪流域特性曲線 (S, M, B, C, C)

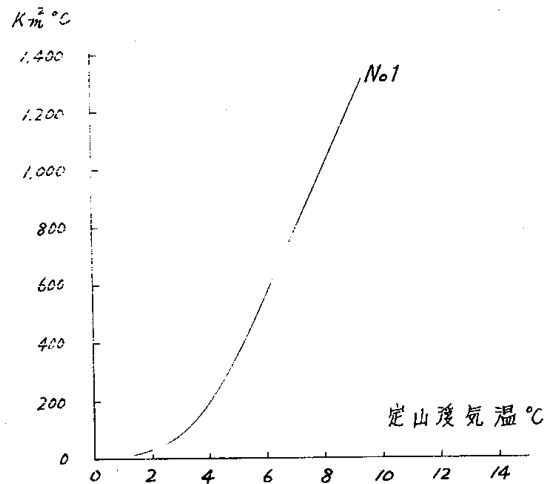


図44-20 流域時間融雪量流出単位図

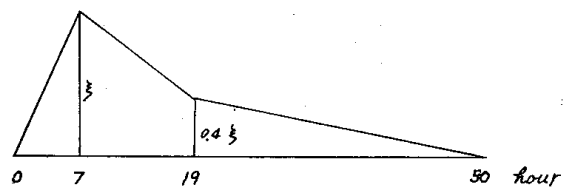


表44-6より4月18日の気象条件がほとんど18~19日の融雪出水量に影響するものと考えられる。但し計算に使用した気温は札幌三時間気温から定山溪気温に変換し

使用する。

そこで図44-19のS, M, B, C, C, より豊平峡, 薄別川流域時間融雪流出量単位図を一応図44-20のように仮定してa, b, c, d, e, f (基底流量)等の係数を実測流量から決定しβ及びfを求める。

表44-7 単位図時間流出比率

時間	流出比率	時間	流出比率	時間	流出比率	時間	流出比率	時間	流出比率
1	0.143	11	0.800	21	0.374	31	0.245	41	0.116
2	0.286	12	0.750	22	0.361	32	0.232	42	0.103
3	0.429	13	0.700	23	0.348	33	0.219	43	0.090
4	0.571	14	0.650	24	0.385	34	0.206	44	0.077
5	0.714	15	0.600	25	0.323	35	0.194	45	0.065
6	0.857	16	0.550	26	0.310	36	0.181	46	0.052
7	1.000	17	0.500	27	0.297	37	0.168	47	0.039
8	0.950	18	0.450	28	0.284	38	0.155	48	0.026
9	0.900	19	0.400	29	0.271	39	0.142	49	0.013
10	0.850	20	0.387	30	0.258	40	0.129	50	0.000

但し $\xi = \frac{1}{17.9} \beta_0 R$ 基底流量は一定値fとする。

先ず融雪流域特性曲線より函数の係数を定めると、

$$0.49a + 0.7b + c = 0$$

$$9a + 3b + c = 80.553$$

$$36a + 6b + c = 566.462$$

$$\Delta = \begin{vmatrix} 0.49 & 0.7 & 1 \\ 9 & 3 & 1 \\ 36 & 6 & 1 \end{vmatrix}$$

$$\Delta a = \begin{vmatrix} 0 & 0.7 & 1 \\ 80.553 & 3 & 1 \\ 566.462 & 6 & 1 \end{vmatrix}$$

$$\Delta b = \begin{vmatrix} 0.49 & 0 & 1 \\ 9 & 80.553 & 1 \\ 36 & 566.462 & 1 \end{vmatrix}$$

$$\Delta c = \begin{vmatrix} 0.49 & 0.7 & 0 \\ 9 & 3 & 80.553 \\ 36 & 6 & 566.462 \end{vmatrix}$$

依つて、以上の行列式を解いてa, b, cを求めると、

$$a = \frac{\Delta a}{\Delta} = 23.9522 \quad b = \frac{\Delta b}{\Delta} = -53.6001 \quad c = \frac{\Delta c}{\Delta} = 25.7836$$

$$\text{更に } 223.733\theta + e = 1,457.949 \quad \theta = 10^\circ\text{C} \quad \therefore d = 223.733 \quad e = 779.383$$

の様になる。

融雪流域特性曲線

$$R(\theta) = 23.95\theta^2 - 53.60\theta + 25.78 \dots(1) \quad 0.7^\circ\text{C} \leq \theta \leq 6^\circ\text{C}$$

$$R(\theta) = 223.7 \cdot \theta - 779.4 \dots(2) \quad \theta > 6^\circ\text{C}$$

$$\therefore \xi(\theta) = \frac{1}{17.9} r \cdot R(\theta) = \frac{\beta_0}{17.9} R(\theta)$$

$$\xi(\theta) = \beta_0(\theta) \{ 1.338\theta^2 - 2.994\theta + 1.440 \} \dots(3) \quad 0.7^\circ\text{C} < \theta < 6^\circ\text{C}$$

$$\xi(\theta) = \beta_0(\theta) \{ 12.50\theta - 43.54 \} \dots(4) \quad \theta > 6^\circ\text{C}$$

(3)及び(4)式より $\xi(\theta)$ を図44-21の定山溪時間
 気温より算出し、時間融雪量に対し単位図を作成し、
 累加し実測流出量との等式を立てると。

S 3 3. 4. 1 8 の流出量と上記気温との連立方程式を

作れば $\frac{1}{17.9} a = 1.338 \cdot \beta_0$

$\frac{1}{17.9} b = -2.994 \cdot \beta_0$ $\frac{1}{17.9} c = 1.440 \cdot \beta_0$

$\frac{1}{17.9} d = 12.50 \cdot \beta_0$ $\frac{1}{17.9} e = 43.54 \cdot \beta_0$

- 109.2 a + 32.32 b + 13.50 c + 25.62 d + 3.507 e + f = 12.20
- 108.9 a + 31.81 b + 13.01 c + 29.13 d + 4.054 e + f = 12.62
- 101.2 a + 27.36 b + 10.83 c + 45.48 d + 6.435 e + f = 15.24
- 118.3 a + 29.84 b + 10.21 c + 51.21 d + 7.231 e + f = 17.12
- 148.6 a + 36.68 b + 11.56 c + 43.39 d + 6.154 e + f = 16.64
- 144.4 a + 37.66 b + 12.52 c + 37.55 d + 5.325 e + f = 15.70
- 134.4 a + 36.92 b + 12.96 c + 31.69 d + 4.495 e + f = 15.24
- 105.8 a + 31.56 b + 12.04 c + 22.60 d + 3.207 e + f = 13.90
- 147.1 a + 40.22 b + 16.87 c + 0.9022d + 0.130 e + f = 10.23

- 236.3 β_0 + f = 12.20 18日12時
- 256.8 β_0 + f = 12.62 " 13
- 357.4 β_0 + f = 15.24 " 16
- 408.9 β_0 + f = 17.12 " 19
- 380.1 β_0 + f = 16.64 " 23
- 336.0 β_0 + f = 15.70 19日 1時
- 288.4 β_0 + f = 15.24 " 3
- 207.3 β_0 + f = 13.90 " 7
- 106.2 β_0 + f = 10.23 20日12時

表44-8

No.	β_0	$K\beta_0$	f	\bar{f}
1	0.02049	4.843	7.357	7.357
2		5.262	7.358	6.645
3	0.02604	6.688	5.932	
4		9.307	5.933	
5	0.03650	13.05	2.190	4.062
6		14.93	2.190	
7	0.01667	6.817	10.303	6.247
8		6.336	10.104	
9	0.02132	8.103	8.537	9.321
10		7.164	8.536	
11	0.009664	3.247	12.453	10.50
12		2.787	12.453	
13	0.01652	4.764	10.476	11.47
14		3.424	10.476	
15	0.03630	7.524	6.376	8.426
16		3.856	6.370	
合計	0.1835		合計	70.389
平均	0.02294		平均	7.822

図44-21 定山溪気温

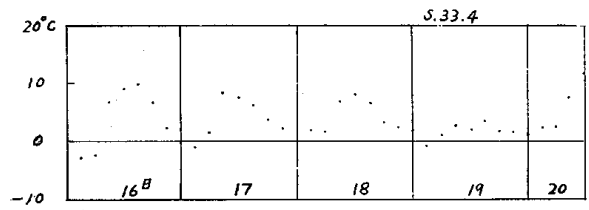


表44-9

No.	f ($\beta_0=0.02294$)	β_0 (f=7.822)
1	6.779	0.01853
2	6.729	0.01868
3	7.041	0.02076
4	7.740	0.02274
5	7.841	0.02320
6	8.006	0.02345
7	8.624	0.02572
8	9.145	0.03414
9	7.587	0.02267

以上の計算により求めた係数 f , β_0 を用い、三角形波形流出単位図と仮定した場合の総合流出係数 β により修正された、最終的な融雪流域特性を描くと図 44-22 の様になる。

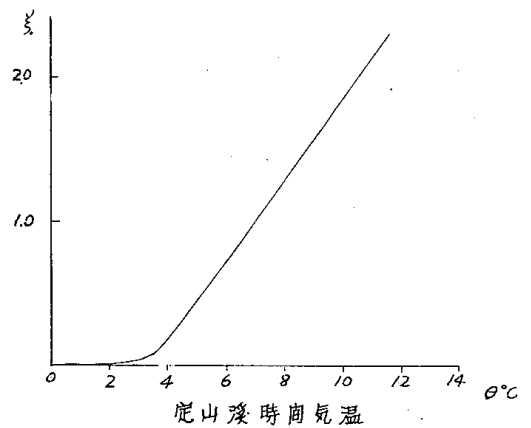
表 44-10 融雪流域特性曲線表

°C	1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°
ξ'	3704	23.192	80553	194970	362506	566462	786750	1010483	1234216	1457949
ξ'_0/s	0.2069	1.296	4.500	10.89	20.35	31.65	43.95	56.45	68.95	81.45
ξ_0	0.000475	0.02959	0.1032	0.2490	0.4668	0.726	1.008	1.295	1.582	1.869

ξ_0 : 時間融雪量による流出量の Peak 流量を示す。即ち定山溪気温に対して一意的に単位図の Peak 流量を求めることが出来る解であり、時間融雪量による流出時間配分量は単位図の Peak 流出量に対する比率で求めることが出来る。これは単位図を概略直接一次流出と直接二次流出との三角形で表わしたものであるが、実際の指数函数的流出波形単位図においても同様に求めることが出来る。それらの検討は次回に述べる事とし、以後計算結果を考察し次回の課題を述べる。

図 44-23 より β_0 (f = 変化する場合) 曲線は、下図 44-24 の基底流量 f (β_0 = 可変) の時は非常に極端な変化をしておりますが、総合流出係数 β_0 は気温と流出量の遅れ時間に一致して増加減少していることは単位図の仮定はともかくとして、何らかの形で時間温度 θ の函数で変化するものと思われる。又図 44-24 より基底流量 f ($\beta_0 = \text{const}$) の曲線が流出量減水部の遷曲点 δ において折線と成っていることは、基底流量の検討に対しても一光を放するものと思われる。更に図 44-25 においては実流出量と計算流出量がほとんど一致しているので今後も十分の精度は期待出来るものと思う。計算流量全体が一時間半強、前にずれているのは単位図の Peak 遅れを 7 時間にしたからであり、実際の遅れ時間は図 44-10 からも明らかに 8 時間 40 分であり問題は無いものと思われる。

図 44-22 融雪流域特性曲線



(2) 基底流量に対する考察

ここでは最初の課題でもあつた、基底流量の検討に関して、その良否は次回に 2, 3 の提案をして

図 44-23 定山溪気温と β

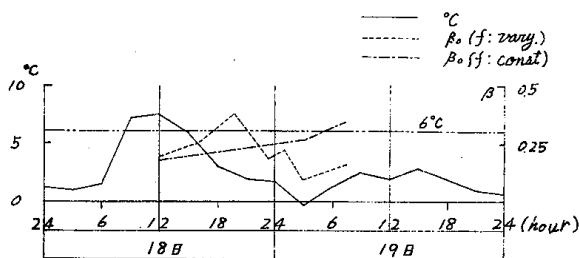


図 44-24

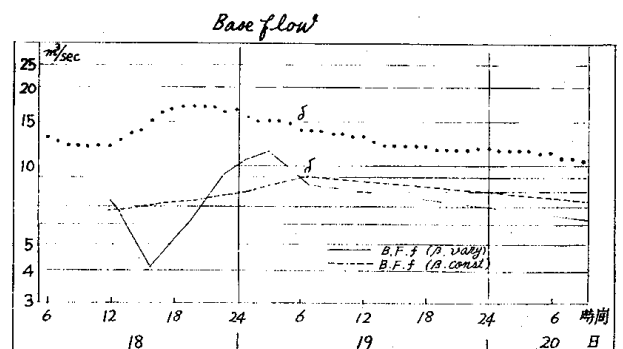


図44-25

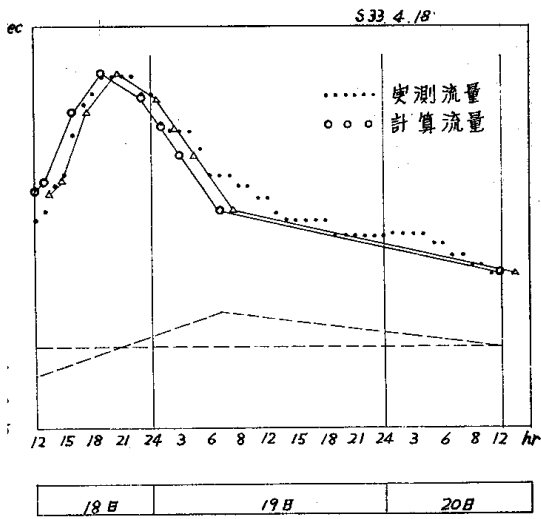


図44-27 基底流量 A案

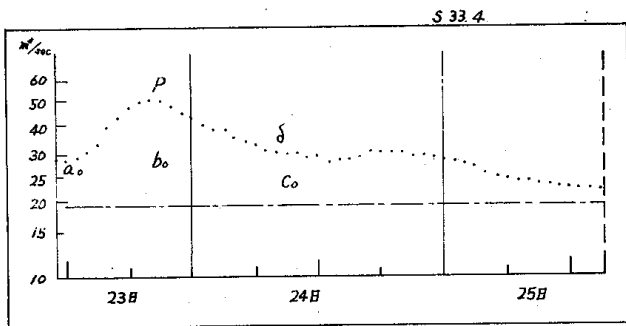
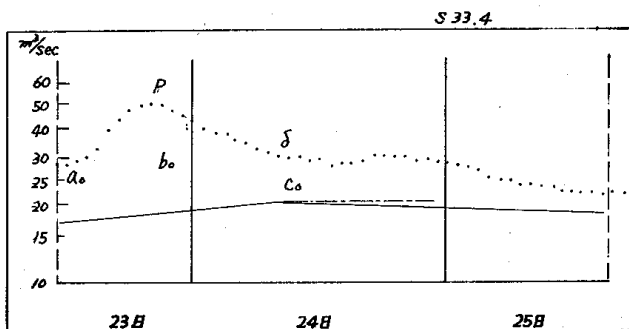


図44-29 基底流量 C案



著者の意向と今後の課題を述べるものとする。

A案：基底流量 f を一定と考えた場合で f (m^3/sec) は、Peak 流量等減衰部の遷曲点における C_0/b_0 の比率を資料等により一定と定めて求める方法である。

B案： f をその時の流量状況により勾配が負あるいは零、正と変化するもので C_0/b_0 及び勾配は資料より一定の法則を見出して定めるものとする。A案よりは幾分実際に近いものと思われる。

図44-26 定山溪3時間気温

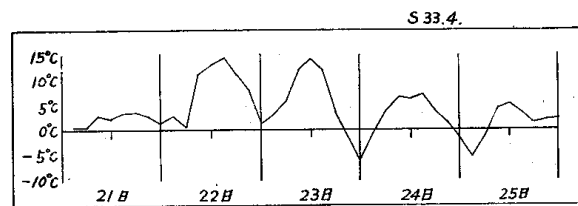


図44-28 基底流量 B案

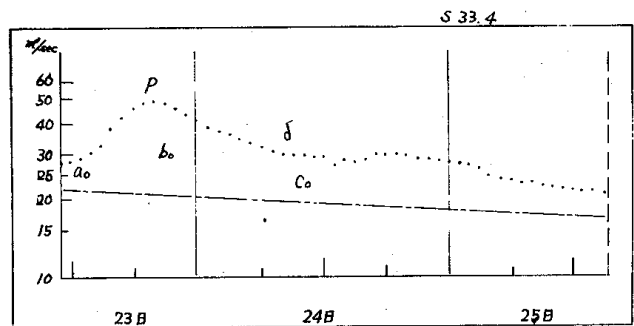
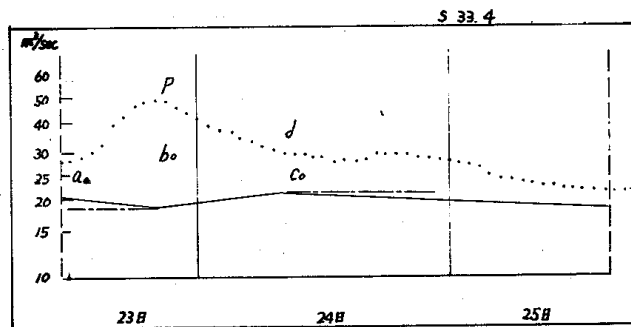


図44-30 基底流量 D案



C案：その日の流出量の影響が現われる始点 u_0 から遷曲点 δ まで正勾配で上昇し δ 点から流量状況に応じて負零、正の勾配で f を定めるものとする。 C_0/b_0 はA案B案同様に見出すものとする。

D案：その日のPeak流量時のP点まで前流出量状況により或る勾配を持つて来てP点より δ 点まで正勾配で増量しそれよりは前流出量同様或る勾配をもつて直接流出量と f を分離する方法である。

S33年4月18日、19日の解析結果より考察すると著者はD案が一番妥当かと思われる。計算結果においては、 B_0 を一定にした場合は基底流量はC案に一致したものであるが、単位図の $\zeta(QdQ_p)$ の比率を大きくするとA案でも別に問題は無くなるものと思われる。従つて基底流量を或る仮定を持つて定めれば、単位図もそれに合う様に修正されるのである。従つて実際の基底流量の定義にかなつた流量を決定するには時間融雪量が如何なる流出形状を示すか、即ち単位図を如何に実際に相合したものを使用するかによつて基底流量が定まるのでありどの案が最も適当か、あるいは又この外の形になるのかが定まるのである。

あ と が き

以上の考察により次回の課題を列挙してあとがきとする。

1. 各雪線ごとあるいは基準観測地点における積雪深に対する単位図を作成する。
 - (1) 時間融雪量に対し流出継続時間を積雪の状態又は流域の特性に応じて検討する。
 - (2) 直接一次流出及び直接二次流出の遞減勾配を33～39年の資料より求め更に一次及び二次の相関関係を見出し単位図が如何なる指数関数で表現すべきかを解析する。
2. 既存資料及び観測により風速による影響を求め融雪特性曲線にパラメーターとして風速の項を加える。
3. 今回は降雨を避けて資料の分析について気温融雪についての検討を試みたものであるが解析の進み次第、降雨量も挿入出来る形にする。

実際水害に対する洪水予報及び河道計画、ダム計画等に対しても融雪期の降雨に対する出水が最も重要な項目であり、最終的には融雪期に過去降雨に対する出水量解析をして融雪洪水に対する予報、及び計画に対しては融雪期の確率雨量等検討により計画融雪洪水量の算定に帰着するものと思われる。

参 考 文 献

- 1) 北海道電力株式会社
札幌管区气象台 積雪基礎調査 融雪の研究
- 2) 直轄工事第12回技術研究報告
北陸建設局 井上章平 融雪出水の解析について
- 3) 第16回直轄技術研究報告
北陸地建 山田睦郎 融雪洪水の予報について
- 4) 東北地建 木谷正 融雪洪水の解析について
- 5) Linsley, R.K. Applied Hydrology