

九頭竜川水系滝波川流域の融雪出水に関する研究 (II)

西沢利栄・新井 正*

河川水温調査会

Snow-Melt Runoff of the Takinami River (2nd Report)

By T. Nishizawa and T. Arai

Kasen-Suion-Chosakai (The Research for River Water Temperature), Tokyo

Abstract

This is the second report on the snow-melt runoff of the Takinami River.

In this survey, the depth of snow cover was estimated based on aerial photographs prepared by the Geographical Survey Institute. Total amount of water equivalent of snow cover in the river basin was calculated by assuming the average snow density to be 0.5 gr/cm^3 . It was $4,930 \times 10^4 \text{ m}^3$, considerably smaller than that of the preceding year. Discharge from the river basin was measured at the Yakushi Gauging Station. Subtracting the amount of base flow from total discharge, net runoff during the ablation season (from March to the beginning of May) was obtained. Ratio of net runoff against the total gain of precipitation during this season is about 59%. The value agrees with those in other river basins. The result means that the estimation of the depth of snow cover may be made successfully by use of aerial photographs.

Some results of heat balance observations are also reported. The first is albedo on snow surface, and the second is diurnal variation of temperature in the snow cover. The result of temperature observation shows that daily mean snow temperature in the ablation season does not agree with the freezing point.

1. はじめに

38・1豪雪に際して実施された九頭竜川水系滝波川流域における融雪出水に関する調査は、すでに報告されている。⁽¹⁾ 1964年には、前年の継続として同様な調査が実施された。この年には流域内の空中写真による積雪深の算定などの研究も並行して実施されたので、これらの結果がこの報告にも利用されている。また、流域内の中心地点に設置された自記重量式雪量計と積雪深計の資料も利用するべく準備されたが、これらの測器は正確には記録を行なわなかった。

積雪・降雪に関する資料は流域内の5地点に配置された観測所の値が用いられた。これらの地点は杉山・北谷・小原・木根橋・薬師である。流域の出口に位置する薬

師発電所取水口には、流量を求めるために自記水位計が設置された。流量の記録は1963年12月から64年5月中旬まで得られた。

流域の中心部とみなされる木根橋においては、3月上旬・中旬の期間にわたって、連続的に雪密度・融雪量・雪面熱収支の測定が実施された。

これらの多くの測定結果のうち、部分的にはすでに報告されているものもある。これらを全体として総括報告することは困難であるので、この報文においても問題を限定しようと思う。ここではまず第一に空中写真から得られた積雪深分布図の利用について検討し、同時に融雪期の流出の傾向について述べる。第二には熱収支観測で得られた結果のうち、基礎的な点について報告する。

* 本論文についての質疑応答担当者 (The writer responsible for this paper)

2. 積雪量と流量の算定

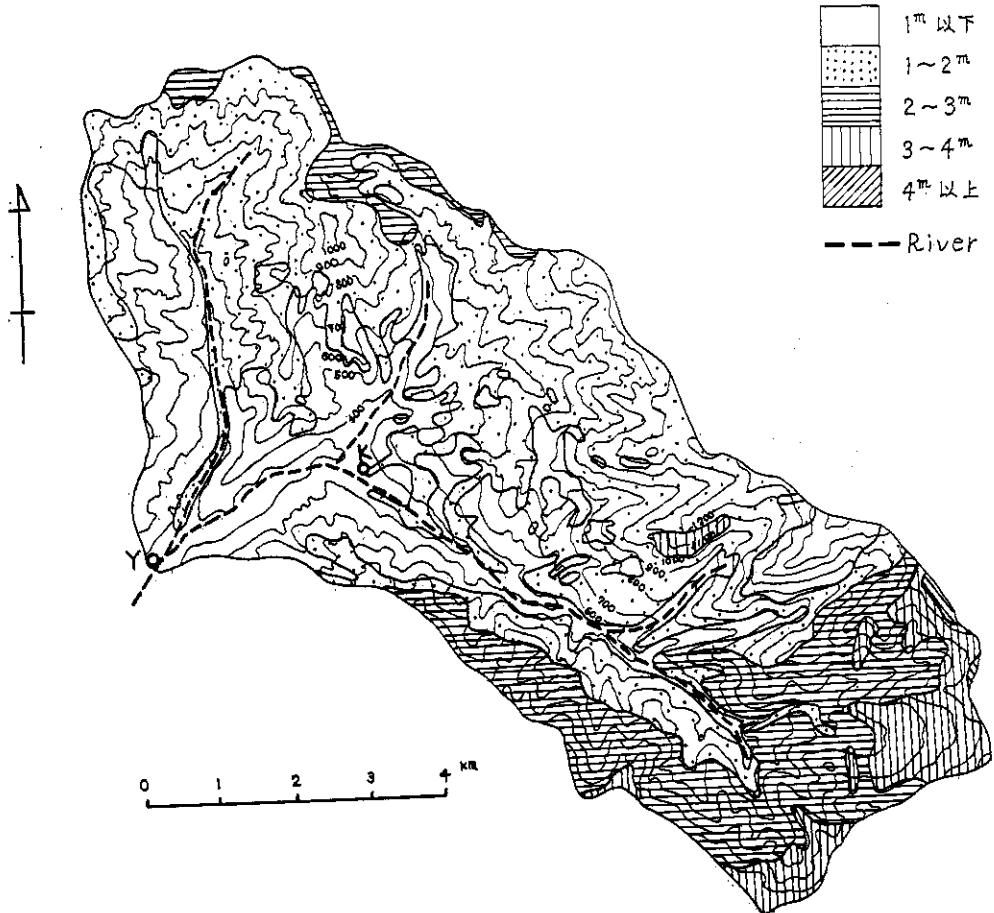
2.1 積雪深と積雪の相当水量

1963~1964年冬季のこの地方の降雪は例外的に少なかった。前年は3月中旬に3 m以上の積雪が見られ、平年でも2 m程度の積雪があるのに対し、1964年3月には木根橋で0.5 m位の積雪しか見られなかった。流域内の積雪および積雪の相当水量の算定には、前年は積雪測量を実施し、各斜面毎に積雪深と高度との関係式を求めて算出した。しかし1964年では、谷コースの積雪測量の危険を考えて、積雪測量は止め、空中写真と5地点の観測値から推定することにした。国土地理院によって作成された空中写真による積雪分布図は、⁽²⁾ 上記5地点の積雪深も参考にして完成されたものである。写真は3月10日に撮影された。積雪深は1 m毎の等値線で示されている。

積雪深の計算は、等深線の間値（すなわち、0 m, 1.5 m, 2.5 m等）にその占める面積を乗じた。図-1は元来の等積雪深線図である。

積雪の密度は流域内の観測所と木根橋における基地観測の値を参考にして、約0.5 gr/cm³と推定された。流域内の総積雪の相当水量は、 $4,930 \times 10^4 \text{ m}^3$ で、1962年冬季に積雪測量によって算定された $9,606.2 \times 10^4 \text{ m}^3$ よりはるかに少なく、ほぼ1/2である。流域内の降雪がいちじるしく少ないことを考えれば、この値は適当であろうと予想される。この結果について、後で流量と合わせて考察し検討する。

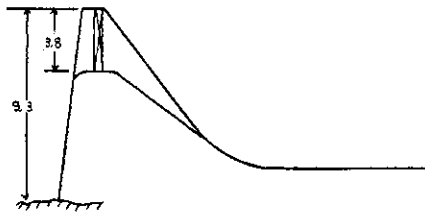
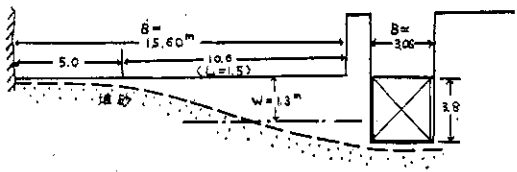
一方木根橋の観測地点では、積雪密度の鉛直分布が連続的に測定された。密度の測定は容量250 cm³の小型採雪器を、表面以下10 cm毎に横方向にさし入れて採雪し



Y : Yakushi Gauging Station K : Kinehashi

図-1 空中写真より得られた流域内の積雪深分布図 (1964年3月10日)

Distribution of the depth of snow cover obtained from aerial photographs for 10 March 1964.



図—2 薬師ダム（測水所）の構造
The Yakushi Dam Gauging Station.

(c) 排砂門流量 (Q_3)

Q_1 , Q_2 , Q_3 のそれぞれの流量は、次の方法で求められた。

(a) 発電所使用水量は、発電所の発生電力から逆算された。

(b) 堰堤越流量は次式で求められる。

$$Q_2 = C_2 \cdot B \cdot h^{3/2}$$

B は越流幅 (15.6 m), h は水深。

(c) 排砂門からの流出量は次式で求めた。

$$Q_3 = C_3 \cdot B (h_2^{3/2} - h_1^{3/2})$$

B は 3.06 m, h_2 は排砂門の越流頂から水面までの高さ, h_1 はゲートの下端から水面までの高さである。

C_2 , C_3 はそれぞれ係数で, C_2 はダムの越流深によって変化し 1.2~2.0 の間の値をとる, C_3 は 1.87 とした。流量は Q_1 , Q_2 , Q_3 を加えて求め、12月下旬から5月中旬までの期間の毎時の値について計算された。表—2 にはこの期間の日流量が示されている。

1963年3月から5月までの流量調査では、雪面における受熱量の日変化の最大の発生時刻と、ハイドログラフの日変化の最大との間に6~7時間の位相のずれがあることが知られた。1964年の調査でも同様な位相のずれが見られたが、差が小さくなっている。1963年の場合に杉山橋地点の流量の最大は16時から21時の間に多く出現し、最小は9時から14時の間に多く出現している。1964年においては、最大は15時から19時の間に多く見られている。最小は前年ほど明確な傾向を示していない。この

表—2 薬師発電所取入口における日流量
Daily discharge at Yakushi Power Station (in m^3/day).

M	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May
D					
1	396.08	327.76	183.12	1509.44	—
2	381.79	313.50	234.82	4700.91	545.42
3	335.39	267.52	241.11	1825.36	550.86
4	316.10	260.97	287.99	1931.05	476.27
5	298.94	236.25	440.53	2995.65	428.47
6	286.98	211.38	418.63	2400.88	377.01
7	266.85	235.90	750.60	2165.28	351.81
8	245.94	269.10	339.20	2058.66	325.86
9	231.27	1444.92	302.61	2808.03	282.90
10	219.14	713.59	302.13	1698.49	256.65
11	227.42	517.13	266.13	1772.19	223.41
12	424.90	425.71	243.03	2218.57	376.22
13	1823.20	360.55	268.89	1209.00	597.53
14	1063.43	329.35	263.25	1151.41	372.98
15	623.63	344.41	274.98	1134.97	
16	506.78	349.24	348.34	1581.32	
17	459.37	290.76	282.86	2643.05	
18	348.72	253.41	251.46	1280.64	
19	393.12	230.13	309.32	1086.07	
20	558.15	224.64	590.29	1207.25	
21	329.80	224.64	552.18	942.77	
22	322.31	217.17	411.20	929.79	
23	317.26	197.16	351.42	812.12	
24	300.27	193.38	327.28	721.00	
25	267.83	191.13	333.47	1009.76	
26	263.37	187.98	332.04	1236.73	
27	239.94	183.36	341.49	800.09	
28	251.43	177.12	316.11	637.64	
29	332.40	177.12	372.82	567.09	
30	304.61		604.69	—	
31	228.77		—		

ような1963年と1964年の受熱量と流出量の最大のずれの差は、積雪の厚さに関連していると予想される。1963年の木根橋の3月中旬の積雪深は2.5~3.0 m で流域全体でも同程度の量であったのに対し、1964年では木根橋で0.5 m, 流域では1.5~2.0 m であった。せまい流域内での流出のおくれについては、積雪1 mについて2時間という値も報告されているが⁽⁹⁾、流域の型や融雪水の発現地によっても異なって来ると予想される。

1963年の結果では流出の日最大の出現時刻は、季節の進行にともなって次第に早くなることがわかったが、

1964年ではこのような傾向は明らかではなかった。

2.3 流出率

上述の流出の最大の問題は防災上重要な点であるが、融雪の流出率を推定しておくこともいろいろな点で重要であろう。また、写真から推定された積雪の相当水量を流量から検討する意味においても、流出率の推定は大切な調査項目であった。融雪期の場合、流出率は次のように表現できる。

$$r = \frac{\Sigma(Q - Q_0)}{S_w' + \Sigma P}$$

S_w' は流域内の融雪初期の全積雪の相当水量、 ΣP は融雪期間を経て末期に至るまでの合計地域降水量、 Q は流量、 Q_0 は基底流量である。期間は空中写真が撮影された3月11日を開始日とし、5月10日を終了日とした。終了日は雪線高度の移動を考慮して決められた。1964年の基底流量は $2.05 \text{ m}^3/\text{sec}$ と推定されたから、この期間内においては次のような値が得られる。

$$S_w' + \Sigma P = 8,049.11 \times 10^4 \text{ m}^3$$

$$\Sigma(Q - Q_0) = 4,776.8 \times 10^4 \text{ m}^3$$

したがって流出率 (r) は59.3%となる。この値は他の地区で報告されている値と比較してみると、ほぼ適当であろうと思われる。(4)

ここで計算に利用した S_w' はすでに述べたように、空中写真による積雪深分布図にもとづいている。このように流量と比較してみると、 S_w' の値はほぼ信頼できるように思われる。すなわち、流域内における地上観測を並用すれば、空中写真もかなり信頼して利用できよう。

3. 雪面熱収支の二、三の問題

3.1 雪面の反射率

すでに述べたように、この調査では雪面熱収支の観測も同時に行なわれた。この雪面熱収支の観測結果を直ちに流域の流出の解析に利用することは困難であるが、若干の基礎的な問題について得られた結果を報告する。

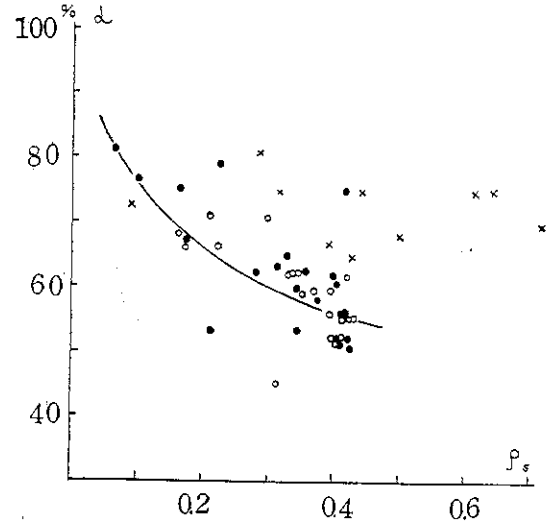
雪面反射率は融雪の熱収支過程のなかで、大きな役割を受け持っている。今回の調査では木根橋付近の水田上において、2台のゴルテンスキー日射計をそれぞれ上向きと下向きに設置して、入射および反射短波長放射を測定し、その比を反射率 (α) とした。下向き日射計は日影を作らないように注意し、補正は施していない。

$$\alpha = I_{\uparrow} / I_{\downarrow} \quad (\%)$$

雪面反射率は新雪が降った後、時間の経過とともにいちぢるしく大きく変化する。そして、表—2に示されるように、新積雪後5日位で安定した値をとるようになる。

この時の雪面反射率は50~60%であった。

時間の経過にともなう反射率の変化は、それが雪面の汚れ、粗さ、積雪の含水率または密度などによって支配されていると考えられる。そこで、表面の雪密度と反射率との関係を示すと、図—3のようになり、かなり良好な傾向が得られる。この図では、反射率の測定値がいずれも太陽高度 $30 \sim 40^\circ$ の間にあることを考えて、太陽高



図—3 雪面反射率と雪密度との関係

The relation between albedo and surface snow density (ρ_s). \bullet : cloudy, \circ : sunny, \times : data by Thomas (1963).

度の影響は考慮していない。このように、反射率は雪密度の増加にともなう、反対に減少することが知られた。反射率は雪面の状態と積雪層中における短波放射の吸収とによって決められると考えられるから、積雪中の光の吸収も同時に測定された。測器は綠色部分に最大感度を持つ光電池である。光の吸収を

$$I_z = I_0 e^{-az}$$

と示して、係数 a と雪密度との関係を求めると、図—4が得られる。図中では表層の雪密度との間にはよい関係が見られるが、10 cm 層では良好でない。これは10 cm 層になると氷板などが入って来るためであろう。

以上のようないくつかの関係を考えて、雪質と雪面反射率との関係をまとめると次のようになる。

しめった新雪	66~75%
新しいザラメ	60~66%
古いザラメ	51~56%

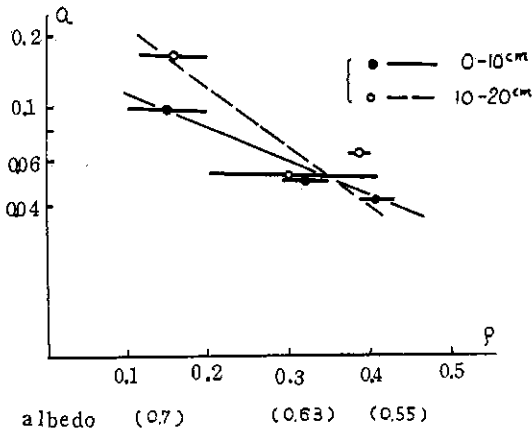


図-4 a と雪密度との関係
The relation between absorption coefficient and snow density.

3.2 積雪温度に関する検討

従来融雪に関する計算は、雪面温度を 0°C であると仮定して行なわれていた。しかし融雪期において雪温を実測してみると、 0°C 以下である場合が多い。この観測では十分に注意して検定されたサーミスタ温度計を利用して各層の雪温が測定されたが、昼間で -0.2°C 位、夜間では曇高、曇量によってちがいがあがるが、晴れた夜には雪面で -5°C にも達する。図-5は、晴れた日(3

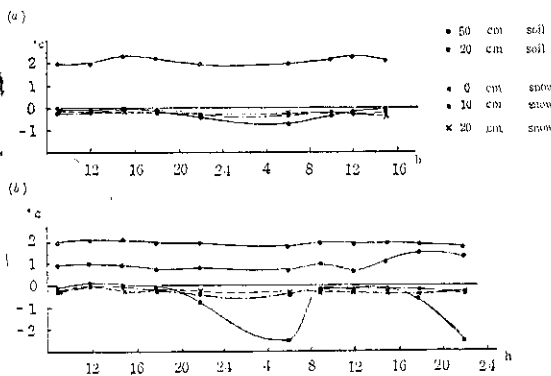


図-5 晴れた日(b)と曇った日(a)の積雪温度
Diurnal variation in temperatures of snow and soil.

(a) March 6-7, 1964 (cloudy days),
(b) March 9-10, 1964 (clear days).

月9日~10日)と曇った日(3月6日~7日)の、積雪温度の比較である。同じ日の夜間の積雪中の鉛直温度分布は図-6に示されている。夜間の放射冷却によって雪

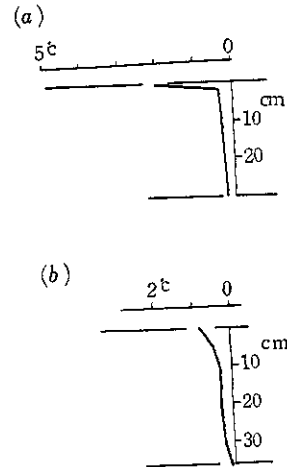


図-6 夜間の雪温鉛直分布
Vertical distribution of snow temperature at midnight.

(a) March 10, 1964: 22 h (no cloud),
(b) March 9, 1964: 22 h (St 10).

温がいちじるしく低下するのは、表層の2~3 cm だけである。これ以下の層においては、1日中 $-0.2\sim 0.3^{\circ}\text{C}$ に保たれている。このような事実を見ると、もし日平均雪面温度を求めるならば、 0°C よりもはるかに低いことが予想される。

4. まとめ

この報文では、総括的な考察を行なうまでの解析結果が充分でないので、問題を限定して述べた。まず、積雪の相当水量の算定には空中写真の結果が利用され、これは流出量によって検討された。その結果、空中写真による積雪量の算定が可能であることがわかった。流量については日変化の最大の起時が問題にされ、雪面における受熱の最大よりも1963年では6~7時間、1964年では3~4時間おくれで出現することが述べられた。このおくれは積雪深と関係している。

熱収支観測からは雪面反射率と雪質との関係がまとめられた。また、夜間の観測資料から、融雪期の日平均雪温が 0°C 以下であることが指摘された。

参考文献

- (1) 西沢利栄, 他 (1965): 九頭竜川水系滝波川の融雪出水に関する研究. 防災科学技術総合研究報告 第3号, p. 43~50.
- (2) 国土地理院 (1964): 積雪深・なだれ・風向分布図 (滝波川地域).
- (3) 土木学会 (1963): 水理公式集, p. 51~52.
- (4) 例えば 東京管区气象台 (1956): 尾瀬沼・尾瀬原・片品川上流地域積雪調査報告書.