

ろみ、上部が雪、--は水面を示す。このように川の氷が全体としてもろみと氷が相互に層をなしているのがみられる。このような多重性の発生機構を調べるために、川の氷盤の中央に pole をたて、その上下動と水位および積雪量との関係を求めてみた。図 30-2 はそれで、縦軸には氷盤の上下変位量、横には積雪重量 ( $W$ ) と水位 ( $S$ ) の変化量の和をとってある。これからみられるように、氷盤の上下変位は、水位や積雪量をパラメーターとして、かなりの一意性をもっていることがみられる。そこでこれらをもとにして次のような川の結氷のモデル化を考えてみた。それを図 30-3 に示す。

解氷については一般に解氷直前、直後にみられる現象を列記すると

- 1) 解氷は氷の一番うすい所、すなわち流速が速く、shear による減厚の激しい所から流れの方向に急激に崩れかいていくこと。
- 2) 日毎の最高気温が正になりはじめる頃に 1) の現象がみられること。
- 3) 残った兩岸の氷の層は、中央部分の氷が流失した後と前ではほとんど同様の断面をしていること。
- 4) 中央部分の氷の流失の直前には、水位が下り氷盤がかなり降下していること。
- 5) 中央部分の氷の流失前の流水の水温はほとんど  $0^{\circ}\text{C}$  であり、流失直後は約  $0.1^{\circ}\text{C}$  になること。



写真 30-2 中央部の氷の流出状況

以上のようなことがらであり、結局、全面結氷の場合これらを考え合わせると、中央部の氷の流失は、両端を支えて中央部を水中にうかした梁と考え、その中央部の、すなわち shear による減厚の激しい部分に、水位の降下、および氷盤の降下のため、集中的応力が加わり、そのため氷盤が流れの方向に割れ、それと流れによる流水抵抗の相乗的結果によるものと考えるのである。

その他 36 年度は全面結氷下の浮泥量の測定を行ない、その結果、夏と比較して非常に多い量が認められた。また全面結氷下の流量は氷盤が積雪や水位とともに変化すると、流水断面もまた変わってくるので、水位や積雪による断面の変化が果して、どの程度のものであるか、また全面結氷下の水位—流量の関係などについて今年も 1 月 25 日以降観測を行なったので、これについてはデータを整理次第、土木試験所月報に報告の予定である。

なお以上のことがらについての詳細は、すでに土木試験所月報 86, 96, 106 号などにて報告してある。

## 31. 石狩川上流部における雪線の移動について

旭川開発建設部 猪狩坂 夫  
土木試験所 竹本 成行

### 1. ま え が き

昭和 35 年より 37 年の 3 年間にわたり、自衛隊第 2 航空団による航空写真と、旭川開発建設部管内各観測所の成果から、石狩川、伊納地点より上流部における雪線の移動状態について考察を試みたので、ここにその概要を述べる。

## 2. 融雪の要因

融雪の時期やその進行状態などは、地形、気温、日射の有無、風速などに支配される。

このなかで気温が最も主要な因子であることは、これまでもかなり研究がなされてきたことである。しかし、気温による融雪も、空気が静止の状態であればその量はきわめて少量であるが、風による攪乱によって大きく促進される。

従来の実験の結果、気温、風速と融雪量の関係は、次式の形で表わされるようである。

$$M = (a + b \cdot V) T \quad (1)$$

ここに  $M$ : 融雪量                       $V$ : 風速  
 $T$ : 気温                                 $a, b$ : 定数

日射による融雪は、雲種、雲量、雪面の太陽光反射率に左右され、太陽光反射率は、雪質、雪面の状態、太陽高度などによって大きく変わる。これらの関係を“Applied Hydrology,”より引用して示せば図31-1のとおりである。その他、降雨、湿度、地温などによっても少量ではあるが融雪が行なわれる。

降雨による融雪は、温い雨滴が雪中に入り、雪の温度と平衡するために発する熱量によるものであるが、融雪期における雨はあまり高い温度になることはないと思われるので、降雨そのものによる融雪量は大きくない。しかし雨の日は降雨量に加えて、風が出ることが多く、湿度も高くなるので気温融雪が大きくあらわれる。

融雪期は流域が湿潤状態にあるため、流出率が非常に高い。したがって降雨があるとしばしば洪水を引き起す。降雨量をパラメーターとした雨滴温度と融雪量の関係を Applied Hydrogy を参照して示せば図31-2のとおりであって、前述のようにあまり大きく影響しないことがわかる。

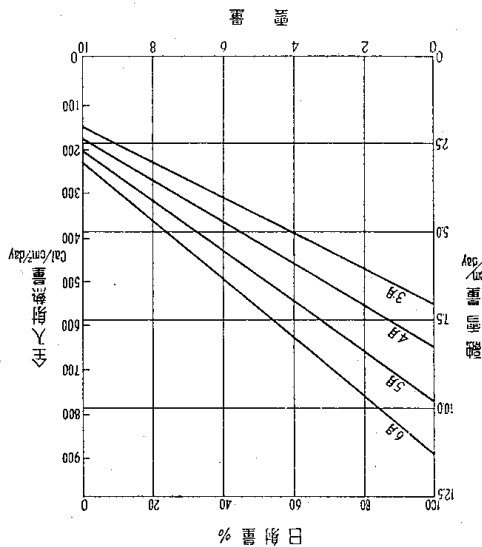


図31-1 雲量と融雪量の関係

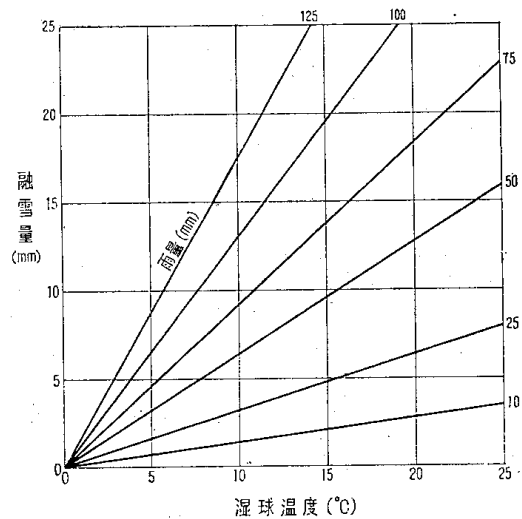


図31-2 降雨による融雪量

## 3. 雪線の移動

### 1) 資料

広い地域の融雪は、前述のように自然の条件に支配されて徐々に進行して行くが、各要素の関係は複雑である。刻々変わる気象条件と融雪との関係を完全にとらえることはほとんど不可能であり、かつそれぞれの資料も豊富には得られない。結局、気象条件の中でも支配的なものを選び、それに他の条件が含まれていると仮定して、融雪量との関係を実験的に求める方法が採られる。

ここでは、他の研究にならい支配的因子として気温を選び、融雪量との相関性が高いとされている Degree Hour によることとした。

石狩川伊納地点までの流域面積は 3,378.6 km<sup>2</sup> で、その配分は、本流旭橋地点まで 1,917.2 km<sup>2</sup> (57%)、忠別川忠別鉄橋まで 559.4 km<sup>2</sup> (17%)、美瑛川両神橋まで 711.3 km<sup>2</sup> (21%) となっており、その他オサラッペ川、江丹別川流域を合わせて 190.7 km<sup>2</sup> (5%) である。また、この流域の面積～高度曲線は 図 31-3 のとおりである。

この流域は大雪山系を含み、標高約 100 m から 2,290 m まで広範囲にわたり、地形も複雑である。したがって気温の分布に一貫性は期待できないが、流域内で自記観測が行なわれているのは旭川のみであり、その他最高、最低気温のみを観測している所が平地に散在するが、その中には信頼性に乏しいものも見出されるので、旭川の気温を以って流域全体を代表させることにした。

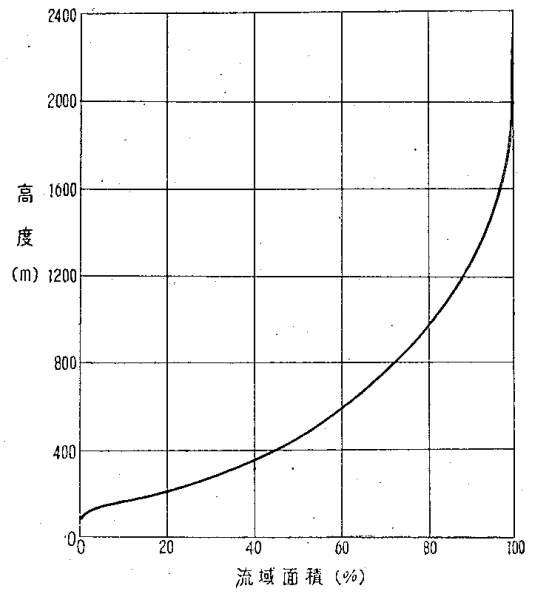


図 31-3 石狩川上流部  
高度流域面積分布曲線

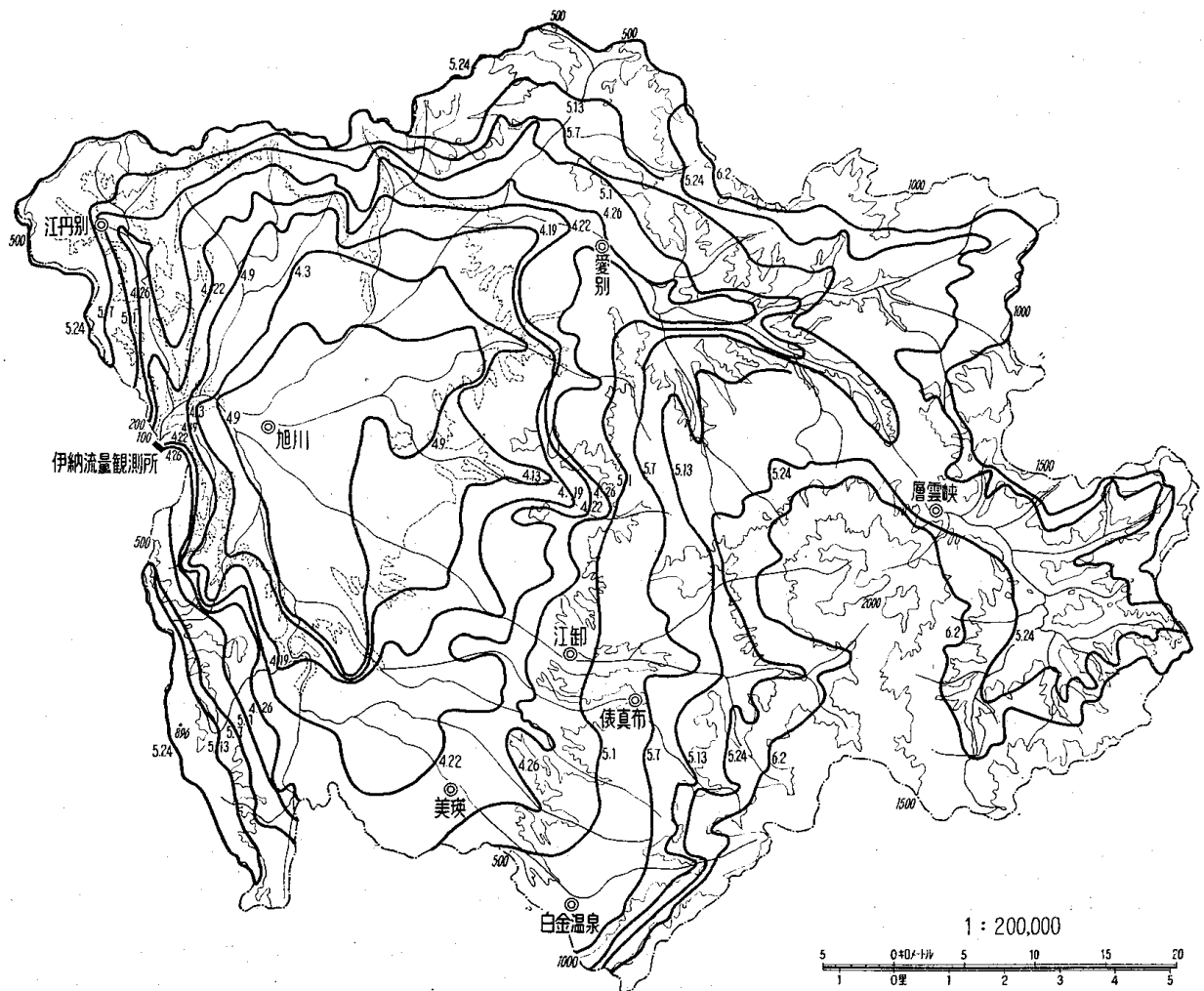


図 31-4 昭和 35 年

融雪期としては3月から5月までをとった。

積算気温は、大雑把ではあるが、旭川气象台観測の3時間ごとの気温によって算出した。

雪線は自衛隊により4月、5月にかけて、昭和35年10回、昭和36年6回(内2回は気象条件、その他で一部分の観測に終わっている。)昭和37年2回、航空観測されたものである。その結果は、自衛隊の手により20万分の1地勢図に示された。これを図31-4, 5, 6に示す。

また、別に旭川開発建設部所轄の雨雪量観測所から7地点を選び、それらの地点で観測された根雪最終日を参考として加えた。その一覧は表31-1のとおりである。

雪線の進行速度には積雪深およびその密度などがかなり影響すると考えられる。雪線調査が行なわれていないため、その分布は明らかではないが、一応3月における前記7地点の最深積雪深を調べて見た。それを表31-1および図31-7に示す。

## 2) Degree Hour (=D.H)

Degree Hour を用いた融雪量の推定に関する研究は、これまで多くなされてきた。そして一応の成果を見ている。

Degree Hour は $0^{\circ}\text{C}$ 以上の気温積算量であって、自記温度記録より、 $0^{\circ}\text{C}$ 以上の面積を求めることによって得られる。しかし自記記録がない場合、なんらかの方法によりその量を推定しなくてはならない。

この一方法として、室蘭工業大学、境隆雄博士は、最高、最低気温から推定できることを示した。

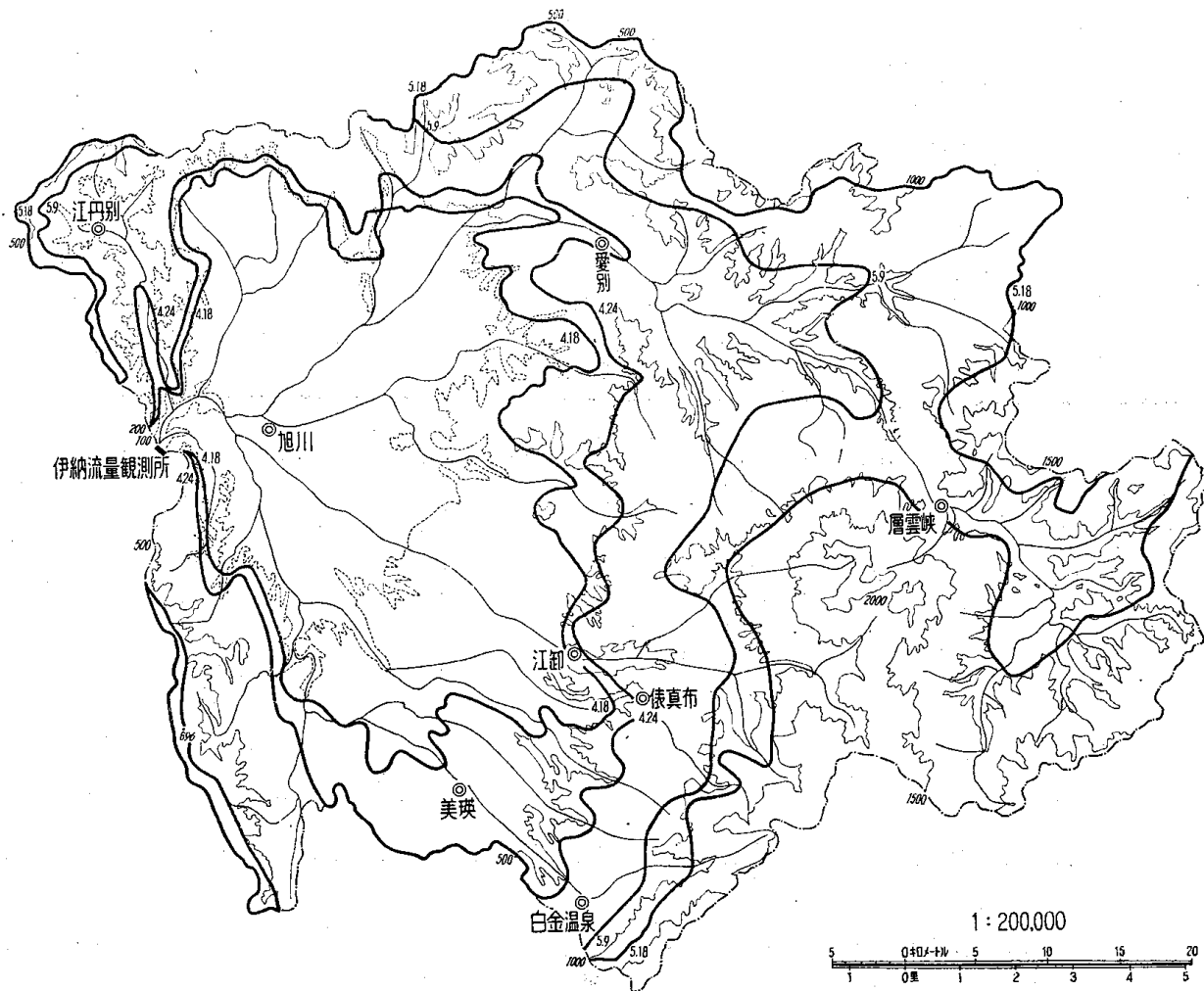


図31-5 昭和36年

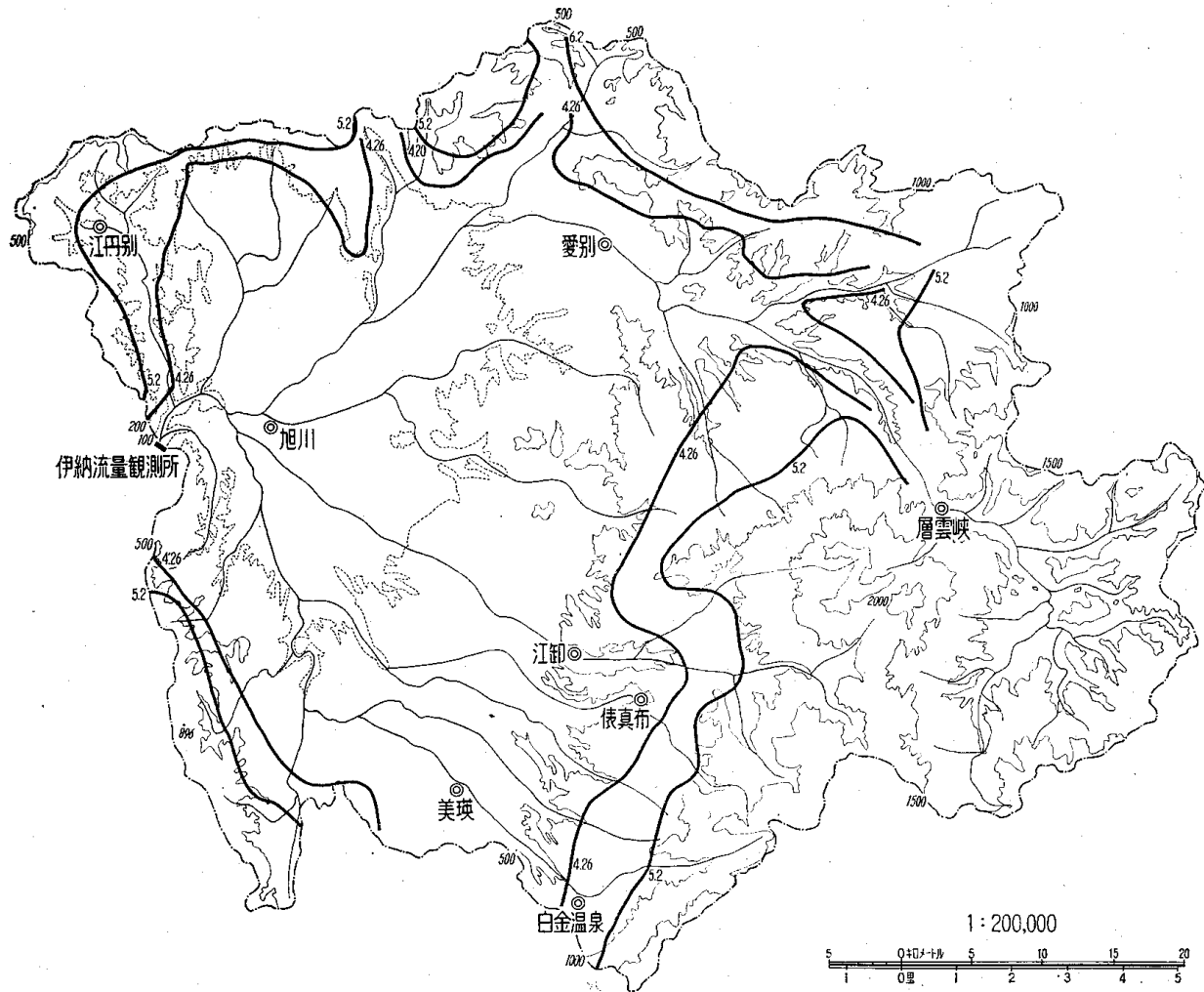


図 31-6 昭和 37 年

表 31-1

観測所名	標高 (m)	根雪最終日			3月の最深積雪深		
		昭和35年 (月日)	昭和36年 (月日)	昭和37年 (月日)	昭和35年 (m)	昭和36年 (m)	昭和37年 (m)
旭川	110	3.30	4.1	3.31	0.81	0.83	0.72
江丹別	160	4.23	4.21	5.1	1.35	—	1.60
美瑛	320	4.21	4.10	4.5	0.73	0.80	0.67
江卸	350	4.26	4.12	4.9	0.90	0.86	0.82
依真布	465	5.1	4.16	4.18	1.45	1.30	1.30
天人峽	620	5.7	4.28	—	2.07	1.62	—
白金温泉	640	5.7	4.26	4.24	1.65	1.60	1.30

また、昨年土木試験所構内で山田技官(現石狩川治水事務所)の行なった融雪実験より、最高気温のみによっても、おおよその推定ができることが確かめられた。

ここでは、後者の方法により旭川における、最高気温と Degree Hour の関係を調べて見た。その結果は図 31-8 のとおりである。

ここにおいても、両者の間にはかなり高い相関があることがわかった。

図31-8より

$$1^{\circ}\text{C} < T_{\text{max}} < 11^{\circ}\text{C} \quad D.H = 1.1 (T_{\text{max}})^2 \quad (2)$$

$$11^{\circ}\text{C} < T_{\text{max}} \quad D.H = 5.0 (T_{\text{max}})^{1.36} \quad (3)$$

を得た。

普通の場合、毎日の気温変化は周期的なある曲線を描く  
 仮りにこの曲線を図31-9のようにかくと

$T_{\text{min}} < 0^{\circ}\text{C} < T_{\text{max}}$  の時、 $t_b$  は  $T_{\text{max}}/\Delta T$  によってきま  
 る。ここで  $\Delta T = \text{const.}$  と仮定すれば  $t_b$  は  $T_{\text{max}}$  によってき  
 まる。 $D.H$  が面積であるということから

$$D.H = C \cdot (T_{\text{max}})^2 \quad (4)$$

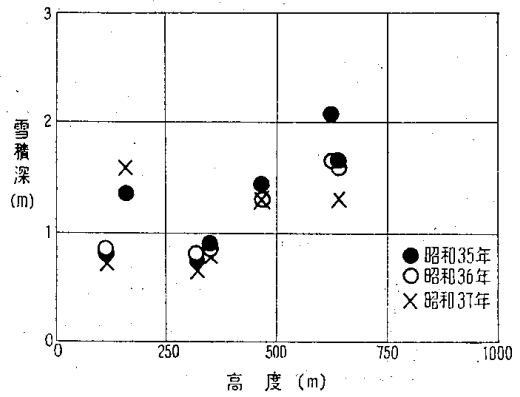


図 31-7

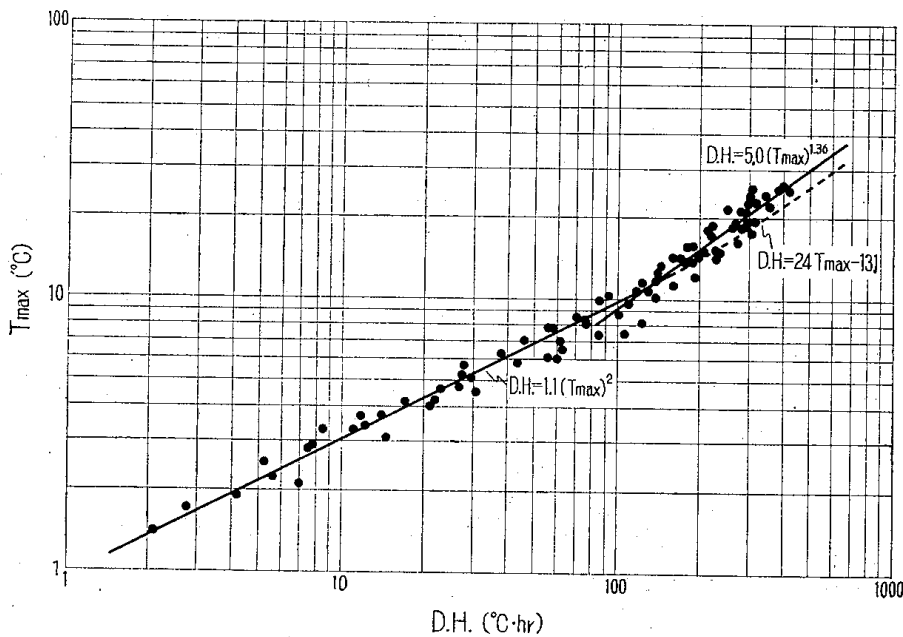


図31-8 最高気温とD.Hの関係

で表わせる。

図31-2は、融雪期の気温変化が、 $1^{\circ}\text{C} < T_{\text{max}} < 11^{\circ}\text{C}$  の範囲では、こ  
 の仮定が成立することを示している。この仮定を、 $0^{\circ}\text{C} < T_{\text{min}}$  に延長す  
 ると、 $t_b = 24 \text{ hr}$ 、すなわち定数となるから  $T_{\text{min}} = 0^{\circ}\text{C}$  の時の  $D.H$  を  $D$   
 とすれば

$$\begin{aligned} D.H &= D + 24 \cdot T_{\text{min}} \\ &= D + 24(T_{\text{max}} - \Delta T) \end{aligned} \quad (5)$$

となり  $T_{\text{max}}$  の一次式である。

図31-8においても  $11^{\circ}\text{C} < T_{\text{max}}$  では一次関係に近い。試みに  $\Delta T = 11^{\circ}\text{C}$  として(5)式を計算してみると

$$D.H = 24 \cdot T_{\text{max}} - 131 \quad (6)$$

これを図31-8に入れると点線のとおりであり、やや大きすぎる。

融雪後期においては、日中相当の気温上昇を見ることもあるが、朝方にかけて冷え込みが激しく、 $\Delta T$  は不  
 規則になってくる。このような場合には、境博士による次式が合理的であり、かつ計算も容易である。

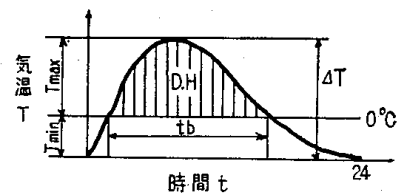


図 31-9

$$D.H = 24 \cdot T_{\max} - 12.5 AT$$

(7)

### 3) 雪線の移動状況

図 31-4, 5, 6 を見ると、同月の雪線高は一定ではなく、流域によって、また方向によってかなりその移動速度に相違がある。すなわち、本流および忠別川流域、美瑛川流域、神居山斜面、江丹別川流域の四流域に分けられる。

本流および忠別川流域は、標高 300 m あたりより山間の狭さく部に入り、長く大雪山系を取り巻いている。この辺では高い山が林立し、互いに日射を妨げ、融雪はやや遅くなる。またこの流域は全体に占める面積比が最も大きいので、融雪について考えるとき重要な意味を持つ。

美瑛川流域は全体としてなだらかな傾斜をなし、神居山斜面を除き同一斜面にあって、西日を多く受けるため融雪は最もスムーズに行なわれる。

神居山斜面については、12 月から 2 月にかけての降雪期には西ないし北西の風が多く、風背斜面となるため積雪も多いし、かつ地形的にも東向斜面であるため、午前中の気温の低い時に日射があるが、午後はまもなく日陰となり気温はあまり高くなり急降下する。そのため融雪は相当に遅れるものと思われる。

江丹別川流域は融雪速度が最も遅いが、神居山斜面と同様の条件にあり、表 31-1 に見るように積雪深は相当大きい。さらに西側も山にかこまれ日射時間が短く、風速も小さいためと推察される。しかし、神居山斜面および江丹別川流域が、流域全体に占める割合は約 5% 程度にすぎず、その所在位置からも、融雪流出の面からは省略しても差支えないものと思う。したがって、ここでは本流および忠別川流域、美瑛川流域の 2 つについて検討する。

図 31-4, 5, 6 から観測日の雪線高を求めると表 31-2 のとおりである。表 31-2 と表 31-1 の根雪最終日を用いて、雪線高と月日の関係を図示すると図 31-10 のとおりである。

雪線は 5 月末日には各年共、大略 1,100 m に達している。図 31-3 より、標高 1,100 m 以下の流域面積は全体のほぼ 85% であって、5 月末を以って融雪は完了したと見てよい。

表 31-2

観測年月日 (昭和年月日)	雪線高 (m)		3 月 1 日よりの累加 $D.H$ ( $^{\circ}\text{C}\cdot\text{hr.}$ )
	美瑛川流域	本流および忠別川流域	
35. 4. 9	190	190	1,130
4. 13	210	190	1,480
4. 19	260	200	1,910
4. 22	300	210	2,260
4. 26	400	300	2,920
5. 1	500	400	3,760
5. 7	640	500	5,130
5. 13	800	700	6,520
5. 24	1,200	1,000	9,160
6. 2	1,400	1,200	11,370
36. 4. 18	500	400	2,560
4. 24	600	500	3,490
5. 9	950	800	7,200
5. 18	1,200	1,000	9,830
37. 4. 26	600	500	4,820
5. 2	800	700	6,050

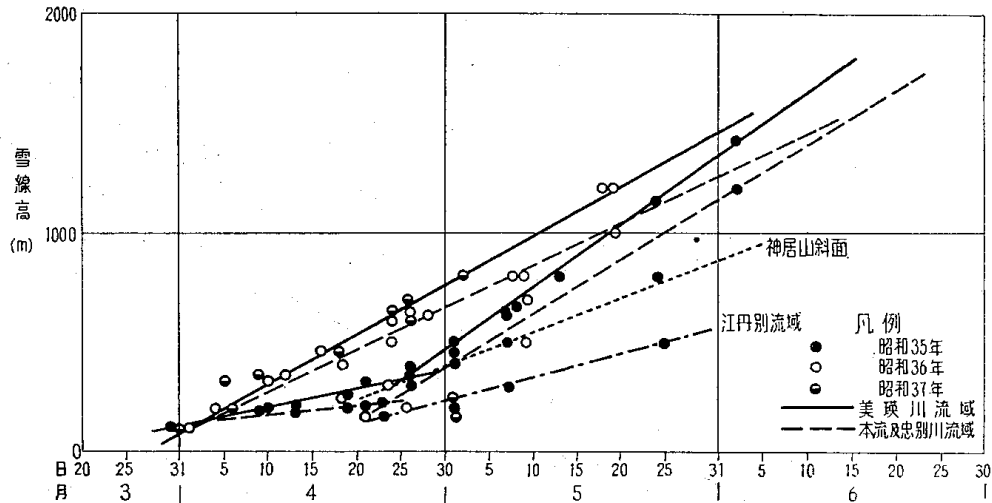


図 31-10 雪線高と月日との関係

最高気温、および日降雨量と流出量の関係を、昭和 36 年を例として示すと、図 31-11 のとおりである。これからは気温が融雪におよぼす影響の大きいことがうかがわれる。そこで、雪線の移動速度を気温に支配されるものと考え Degree Hour との関係調べて見た。

毎月の Degree Hour を旭川の最高気温より、(2)(3)式を用いて計算し、3月1日を起点として累計した。各観測日までの累計は表 31-2 のとおりである。

表 31-2 を用いて、Degree Hour と雪線高の関係を図示すると、図 31-12 のとおりであり、この図から勘案すると、両者の間には次式のような関係があると思われる。

本流および忠別川流域に対して

$$H = 0.108 \sum D.H - 20 \quad (200 < H < 1200) \quad (8)$$

美瑛川流域に対して

$$H = 0.119 \sum D.H + 50 \quad (100 < H < 1400) \quad (9)$$

ここに  $H$ : 雪線高度 (m)

$\sum D.H$ : 3月1日を起点とした旭川の Degree Hour ( $^{\circ}\text{C}\cdot\text{hr}$ )

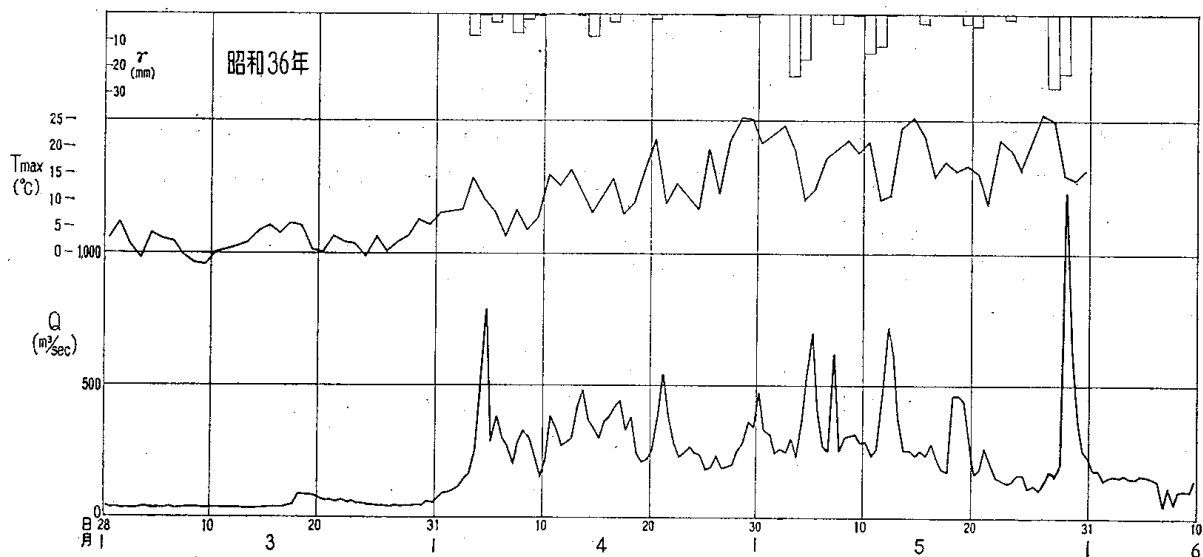


図 31-11



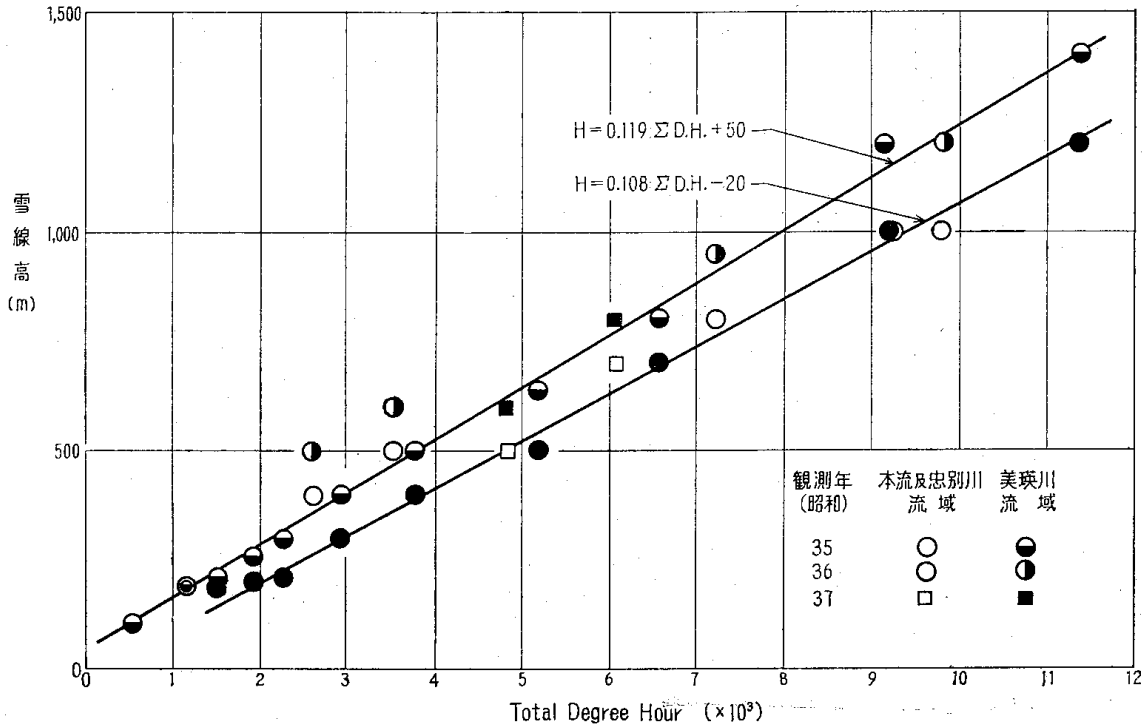


図 31-12 気温積算量と雪線高の関係

単位  $D.H$  に対する雪線移動高は (8), (9) 式より

$$\text{本流および忠別川流域では } \frac{dH}{dD.H} = 0.108$$

$$\text{美瑛川流域では } \frac{dH}{dD.H} = 0.119$$

である。

融雪期は後日になるにしたがい、日射が強くなり、日射時間も長くなるが、逆に雪線の移動に伴い、雪線付近の  $D.H$  と旭川の  $D.H$  の比が小さくなり、旭川の気温変化で雪線付近の  $D.H$  を代表させたことによる誤差を、打ち消すように働くため、一次的関係を示す結果となったものと思われる。

#### 4. む す び

旭川における Degree Hour も、最高気温のみによって推定できることが確かめられた。

この流域の雪線の移動は、ほぼ4つの地域に分かれるが、その支配面積から、2つに分けて考えても十分である。雪線の移動速度は、Degree Hour との相関性が高い石狩川上流部では、旭川の Degree Hour を用いるならば、標高にかかわらず一定である。

このようにして、旭川において最高気温を観測することにより雪線の位置が推定せられ、したがって残雪面積を知ることができる。

ここに Degree Hour Factor が推定されれば、毎日の融雪水量を求めることができる。

終わりに雪線観測の実施に御協力を賜った、自衛隊第2航空団の関係者各位に厚く謝意を表します。