

河川の水温と結氷に関する研究

山 口 甲* 西 村 豊**

目 次

ま え が き	1	2.2 結氷始の予測	22
1. 河川水温の変動	1	2.3 全面結氷の状況	25
1.1 北海道河川の水温変化	1	2.4 解氷の状況	25
1.2 河川水温の予測	8	3. む す び	26
2. 河川の結氷および解氷	10	あ と が き	26
2.1 北海道河川の結氷状況	10	参 考 文 献	26

ま え が き

北海道河川における水温は、低温かつ、変動幅が大きくわが国の河川でも、他の地方の河川では類のない特異な性状を示している。冬期の低温は、河川水面の結氷をまねき、河道内の樋門の門扉および取水口、また護岸などに、氷害の発生、河川水位のせき上げによる洪水氾濫、冬期の流量観測に対する阻害など、数多くの重要な問題を提起している。

また、季節的な水温の変化は、河川の自浄作用機能および河道の流れに対する抵抗の変化をもたらし、それぞれの問題を複雑にしている。

本文はこれらの問題に着目し、水温変動とそれが河道に及ぼす効果について、「地表における水循環に関する研究」の一環として、研究した成果の1つである。

水温の変動については、北海道、全道河川について、調査し、地域性と変動幅を明らかにすることができた。

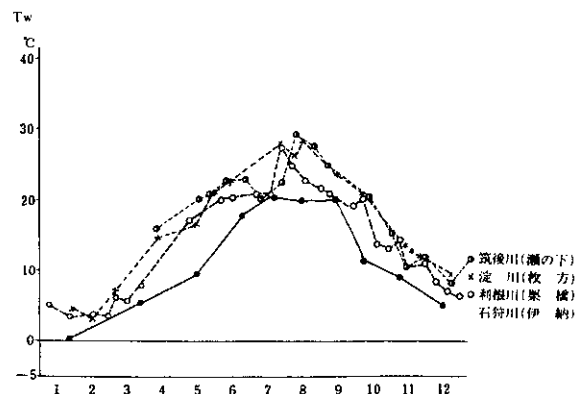
また、気温と水温の関係について論じ、河道の結氷については、氷の発生についての考察を行ない、結氷期間を予測するため、結氷、解氷と気温、水量との関係を調査、検討し、冬期流量予測についての研究を進めるうえでの基礎的な成果を得た。

1. 河川水温の変動

1.1 北海道河川の水温変化

河川水については、これまで一般に流量、水質が、「量」および「質」として、考えられていたが、筆者らは、水温が流水の性質として重要であることに着目した。これまでの調査、研究で、水温に関するものも数多くあるが、

系統的に水温変動を検討したものは少ない。まず北海道河川の水温変動の特性を明らかにするために、わが国の主要河川の水温を図—1に示した。



図—1 日本の代表河川水温図 (S43年水質年表より)

全国河川の中から、利根川、淀川、筑後川を選び石狩川の水温と比較すると月別温度およびその変化に差違がある。利根川などでは、1、2月の3℃から8月の26～30℃の間で変化している。温度変化は23～27℃の変化している

水温は4月頃から急に上昇し、20℃以上の期間は5～9月の約5ヵ月にも及ぶ。

石狩川では0～20℃の水温変化を示し、最高水温は、7月、または8月上旬に起こる。20℃以上の水温となる期間は短かく、図—2に示す。北海道の各河川を見ても、せいぜい1～1.5ヵ月である。水温は、融雪出水が終わる6月になって上昇を始め、水温のゆるみが遅いこ

*河川研究室長 **同室員

○ 昭和44年 ● 昭和45年 ● 昭和46年

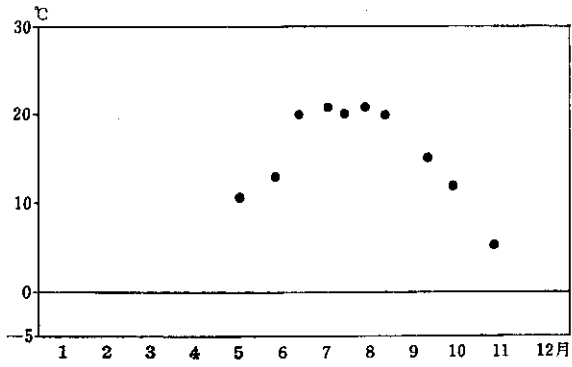


図-2.1 石狩川・奈井江

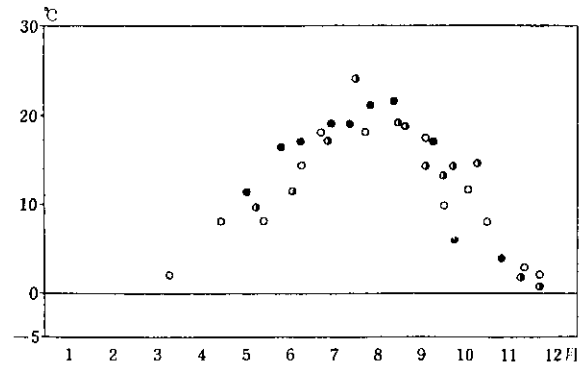


図-2.5 豊平川・雁木

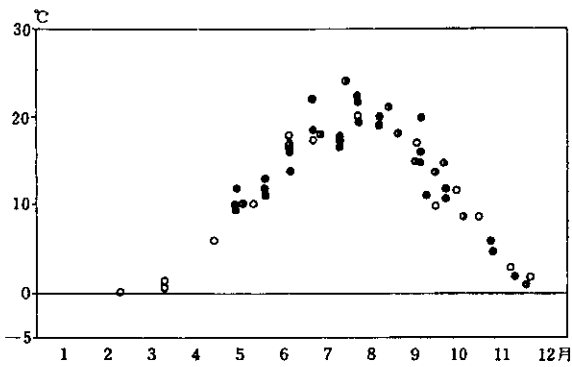


図-2.2 石狩川・石狩大橋

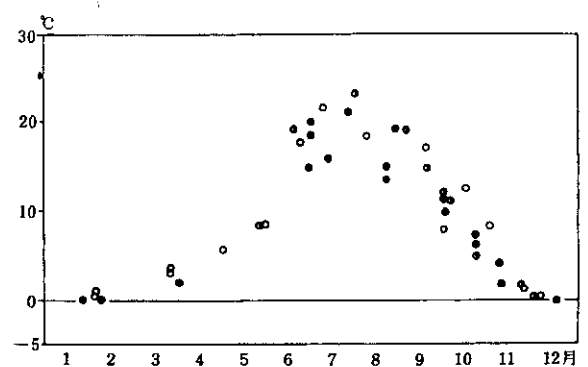


図-2.6 石狩川・伊納

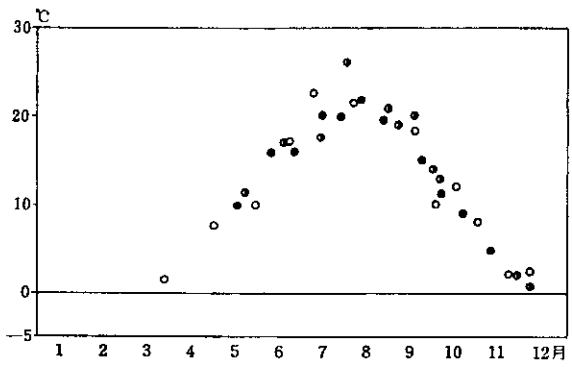


図-2.3 空知川・赤平

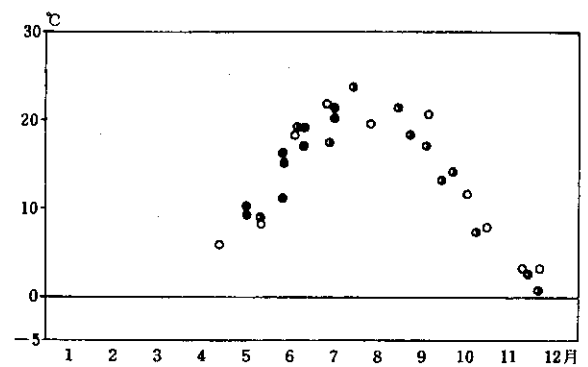


図-2.7 石狩川・橋本町

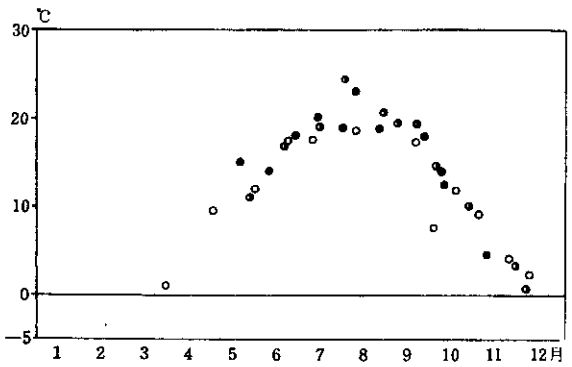


図-2.4 夕張川・清幌橋

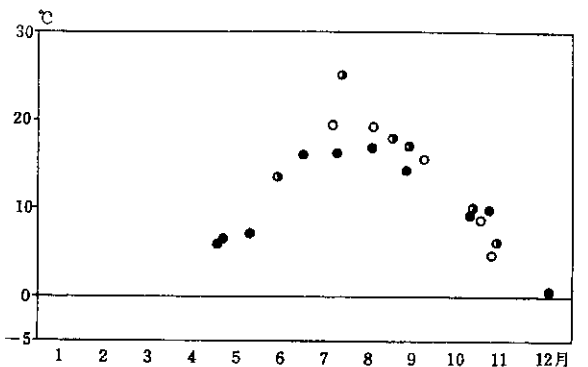


図-2.8 尻別川・名駒

図-2.1~2.8 水 温 変 動 図

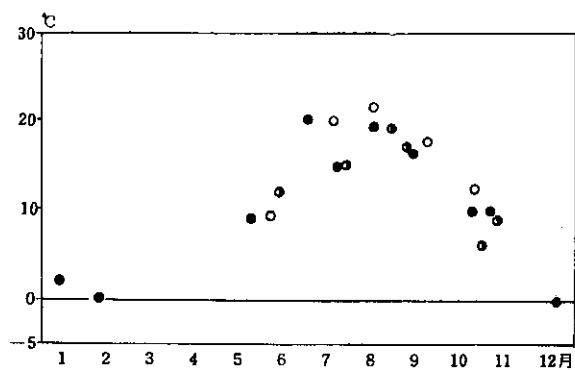


図-2.9 後志 利別川・今 金

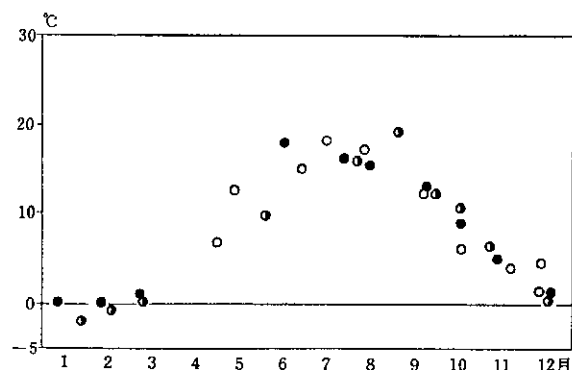


図-2.13 十勝川・芽室太

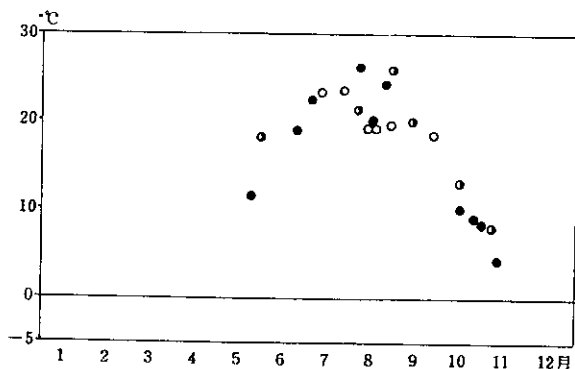


図-2.10 鶴 川・鶴 川

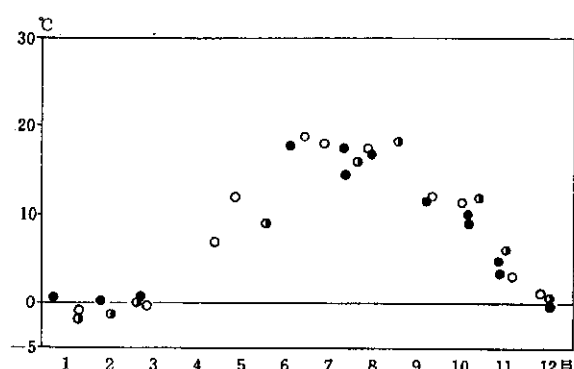


図-2.14 十勝川・帯 広

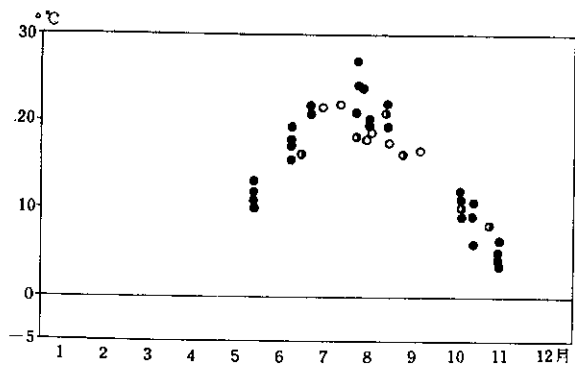


図-2.11 沙流川・平 取

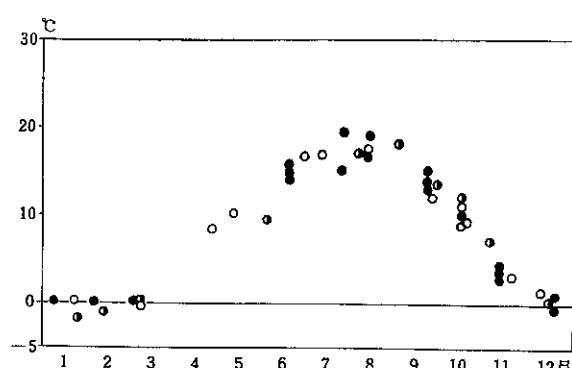


図-2.15 十勝川・茂 岩

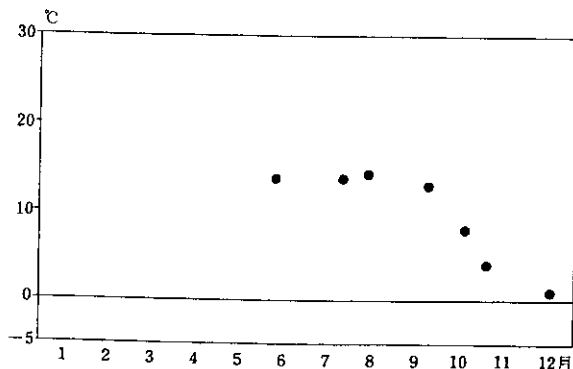


図-2.12 十勝川・新清橋

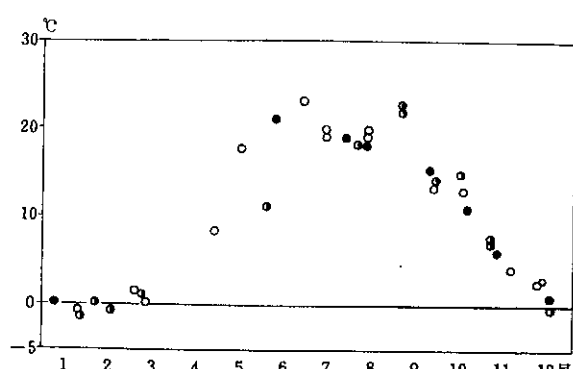


図-2.16 音更川・音 更

図-2.9~2.16 水 温 変 動 図

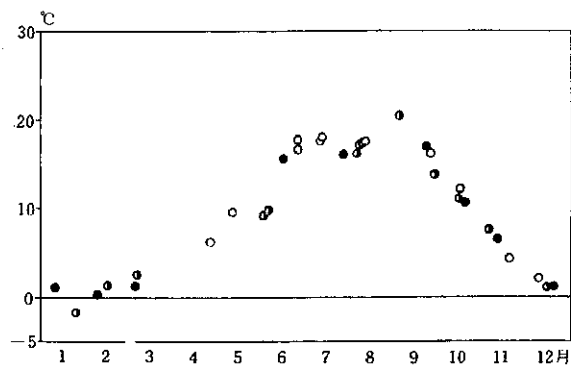


図-2.17 札内川・南帯橋

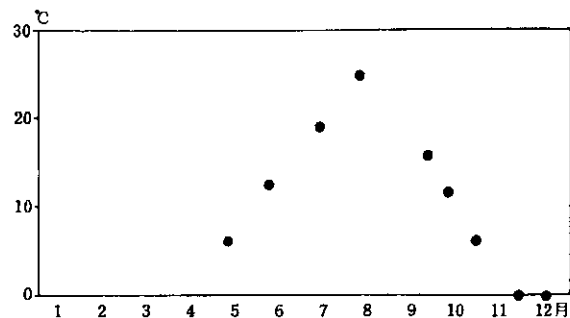


図-2.21 常呂川・上常呂

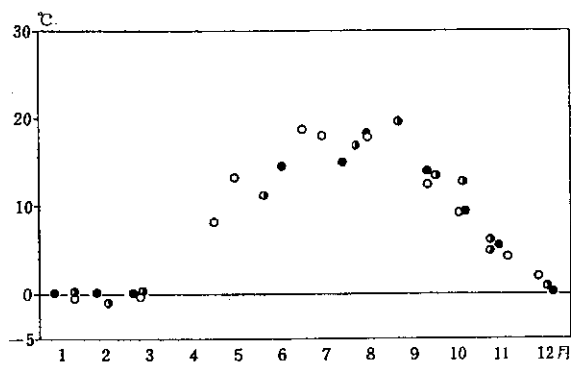


図-2.18 利別川・利別

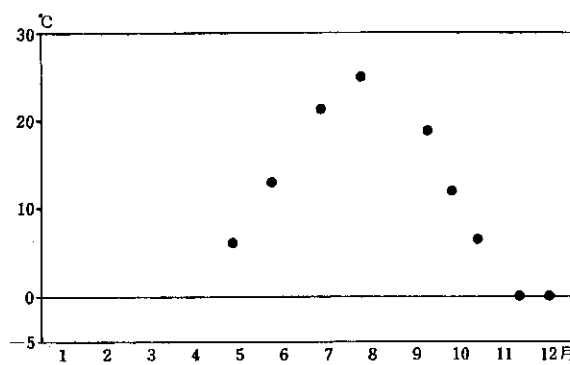


図-2.22 無加川・北光社

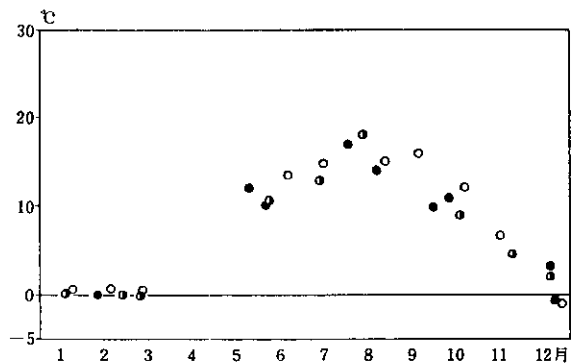


図-2.19 釧路川・開運橋

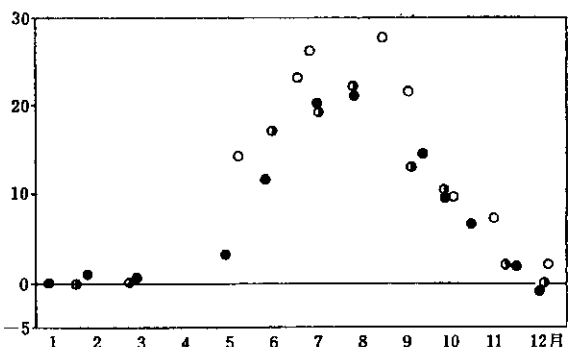


図-2.23 常呂川・北見

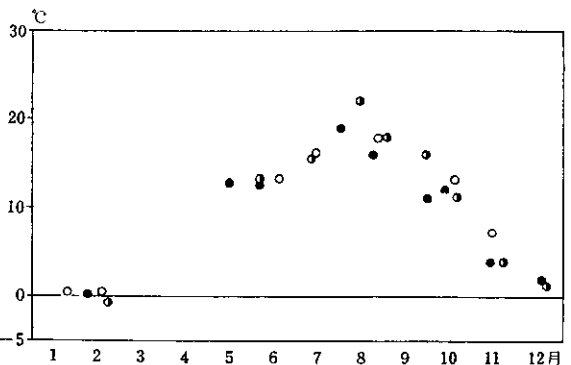


図-2.20 釧路川・新川橋

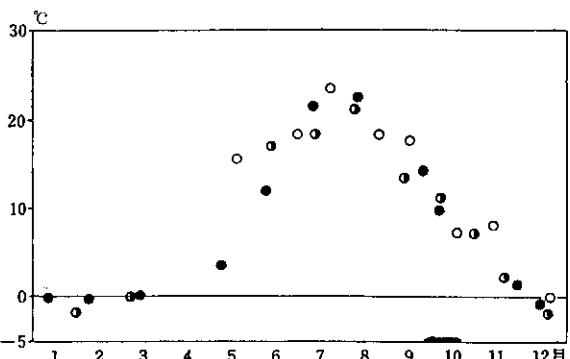


図-2.24 常呂川・上川沿

図-2.17~2.24 水 温 変 動 図

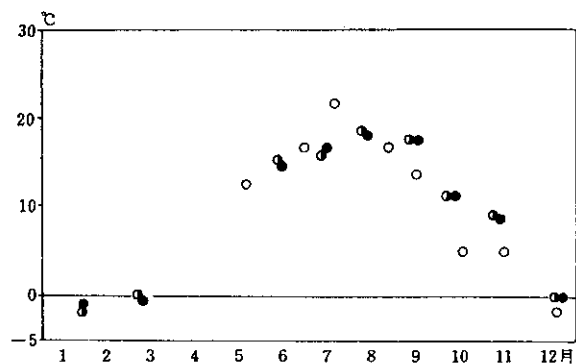


図-2.25 湧別川・中湧別

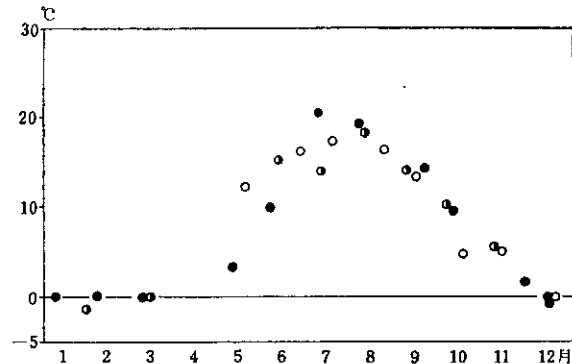


図-2.29 渚滑川・ウツ橋

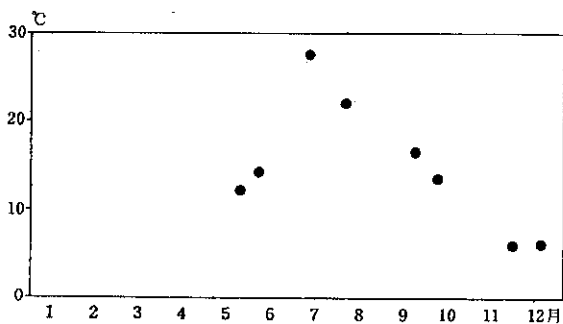


図-2.26 網走川・大曲

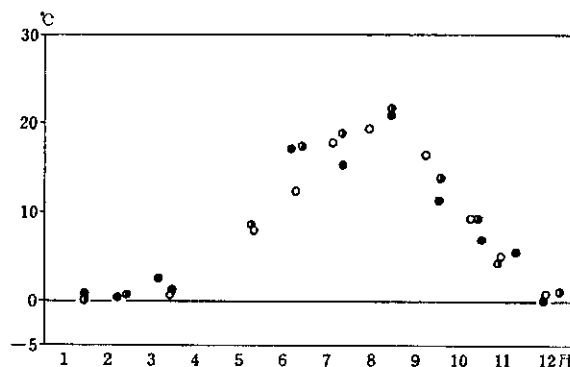


図-2.30 天塩川・名寄

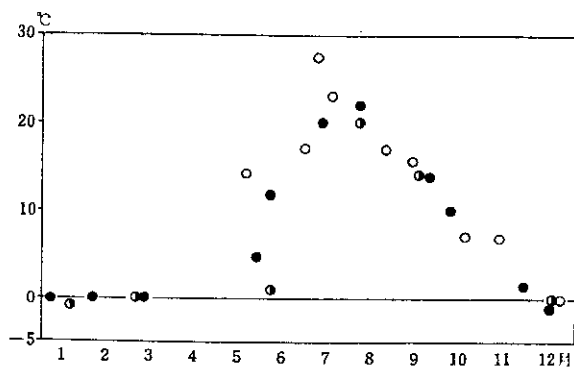


図-2.27 網走川・本郷

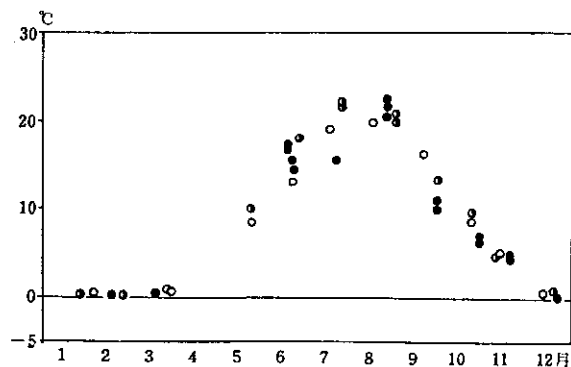


図-2.31 天塩川・美深橋

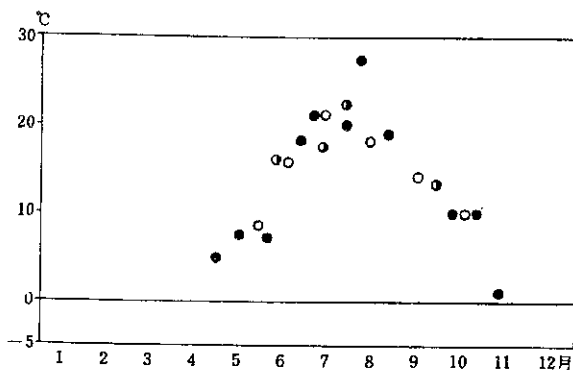


図-2.28 留萌川・大和田

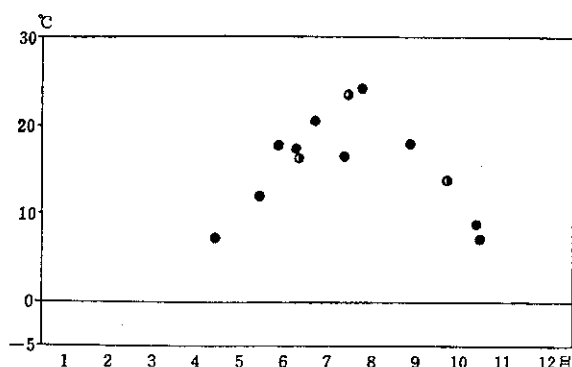


図-2.32 天塩川・円山

図-2.25~2.32 水温変動図

とを示している。さらに、図—2に北海道の一級河川の水溫観測値を示した。河川水溫の季節的変動について、次のことが明らかである。

なお、水溫は各水文観測所におけるデータを使用した。

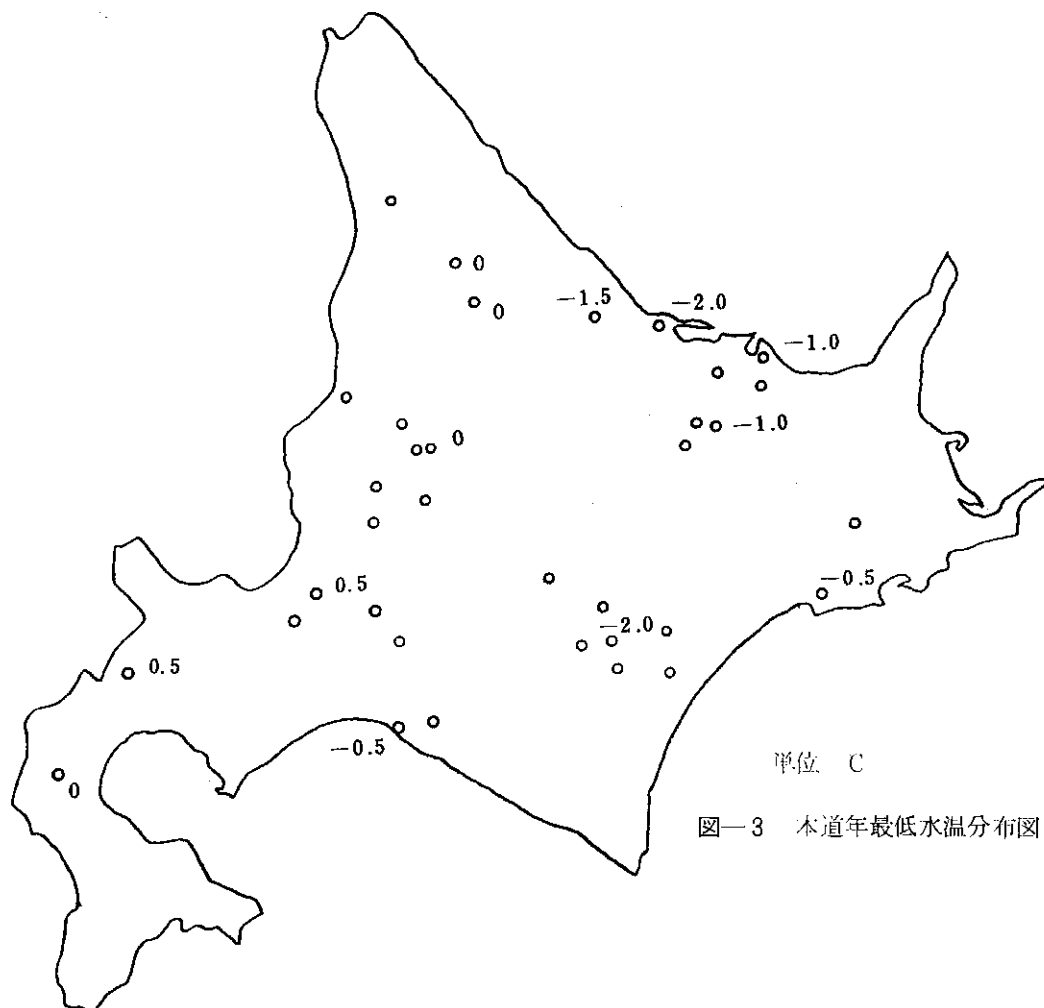
- (1) 各河川とも水溫は、 $-2 \sim 27.5^{\circ}\text{C}$ の範囲にあり変動幅が大きいことは、他の地域の河川水溫には類のない特性である。また、過冷却の期間があることは北海道特有の問題である。
- (2) 1～3月では、水溫の変化は少なく、 $0 \sim -2^{\circ}\text{C}$ の範囲にある。
- (3) 4～12月では、7、8月が最高水溫となり月別変化は、毎年同じ経過をたどる。
- (4) しかし、4～8月の上昇期は、その年の気温によって、水溫は異なる場合がある。この期間は輻射熱による水溫上昇が大きく、日変動、また、時間的水溫変動が大きい。
- (5) 9～12月は、比較的年別変動は少なく、冬に向っての水溫の低下に一定の傾向が見られる。

さらに昭和44～46年の水溫から、北海道内の各河川の水溫特性を分析した(表—1 参照)。その結果から図—3

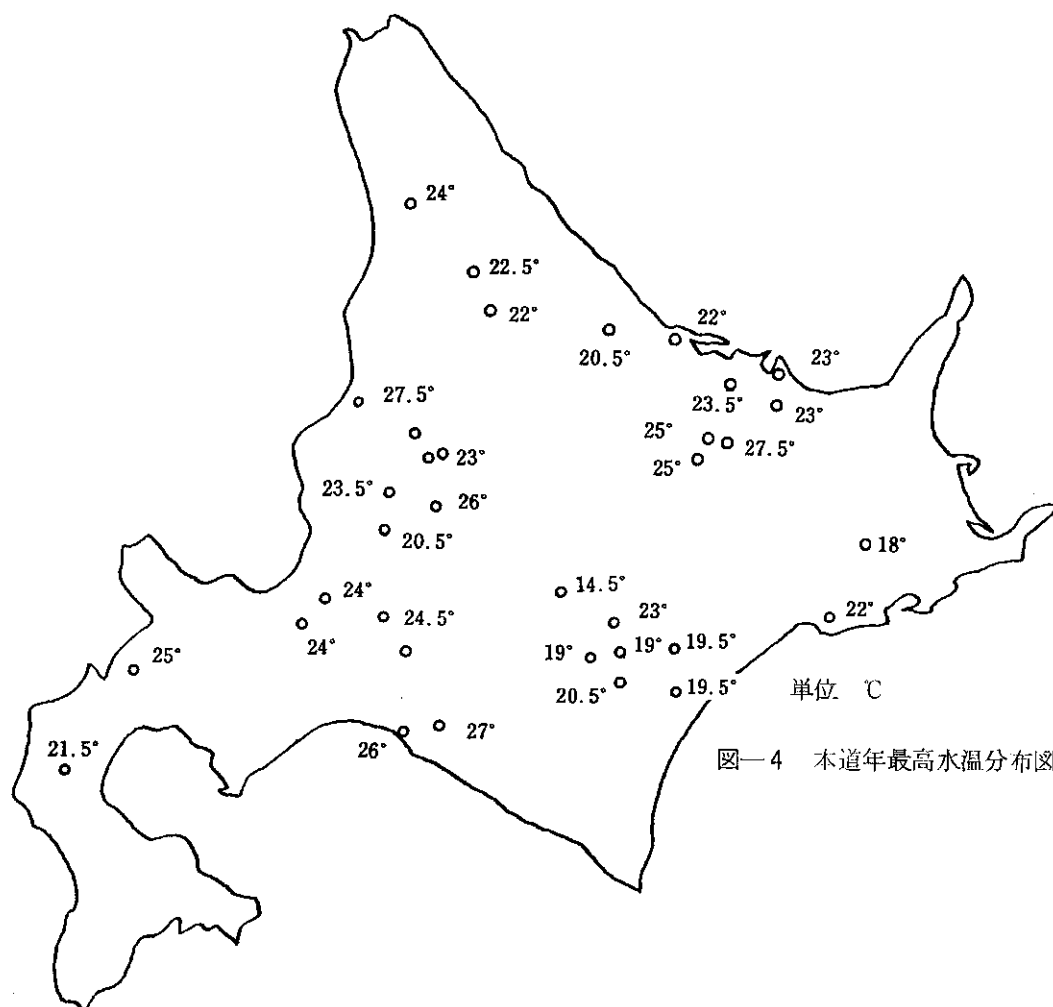
～5に示すように、北海道の地域別について特性を述べると、次のようである。

表—1 各河川水溫特性値

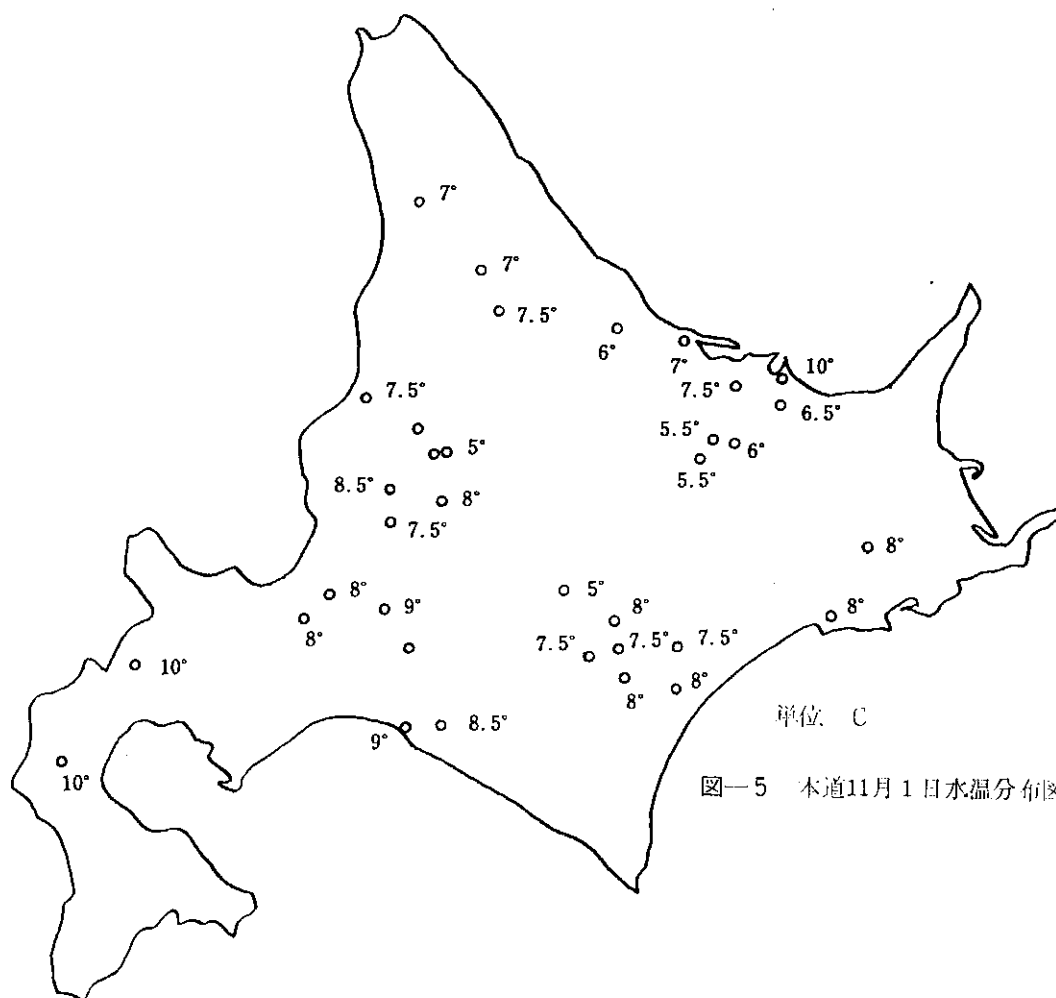
河 川 名	最 低 水 溫 ℃	最 高 水 溫 ℃	11月1日水溫 ℃
後 志 村 別 川	0	21.5	10
尻 別 川	0.5	25	10
石 狩 川 下 流	0.5	23	8.0
石 狩 川 上 流	0	24	5.0
釧 路 川	-0.5	26	9
沙 流 川	—	27	8.5
十 勝 川	-2.0	23	7.5
網 走 川	-0.5	22	8.0
網 走 川	-1.0	23	6.5
釧 路 川	-1.0	27.5	6.0
湧 別 川	-2.0	22	7.0
湧 別 川	-1.5	20.5	6.0
留 別 川	—	27.5	7.5
天 塩 川	0	24	7.0



図—3 本道年最低水溫分布図



図一4 本道年最高水温分布図



図一5 本道11月1日水温分布図

- (1) 石狩川の下流部以南の道南地方の河川では、年最低水温は、氷点下になることはまれであり、 $0 \sim 0.5^{\circ}\text{C}$ の範囲にある。最高水温は、おおむね $22 \sim 25^{\circ}\text{C}$ の範囲にある。11月1日での平均水温は $8 \sim 10^{\circ}\text{C}$ にある。
- (2) 十勝川、釧路川で代表される道東河川では、年最低水温は、 $-0.5 \sim -2.0^{\circ}\text{C}$ 程度であり、道南部よりいずれも1、 2°C 低い。
- (3) オホーツク海に注ぐ河川では、最低は $-1 \sim -2^{\circ}\text{C}$ 、最高 $20 \sim 27.5^{\circ}\text{C}$ 、11月1日で 6°C 程度であり、さらに、 $1 \sim 2^{\circ}\text{C}$ 低くなっている
- (4) 道北の天塩川、留萌川、石狩川上流では、最低は明らかでないが、最高は $24 \sim 27^{\circ}\text{C}$ 、11月1日で 7°C 程度であって、おおむね道東の十勝川、釧路川と同じ程度の水温を有する。
- (5) 水温は、①道南、②道北、道東、③オホーツク海沿岸域の順で低くなる。

1.2 河川水温の予測

河川の結氷に際し、山辺氏は、まず第1条件として、河川水温が 0°C または過冷却の状態になる必要条件を指摘した。流水自体の凍結によらない結氷（例えば、上流からの流水、スノージャムの集積）も起こっているが、いずれにしても水温が、 0°C 付近に冷却される必要がある。気温と水温の関係は、一般的に、

$$T_w = a + b T_a \dots\dots\dots(1)$$

ここに、 T_w ：水温($^{\circ}\text{C}$)、 T_a ：気温($^{\circ}\text{C}$)、 a 、 b ：定数なる一次式で表わすことができると述べている。そこ

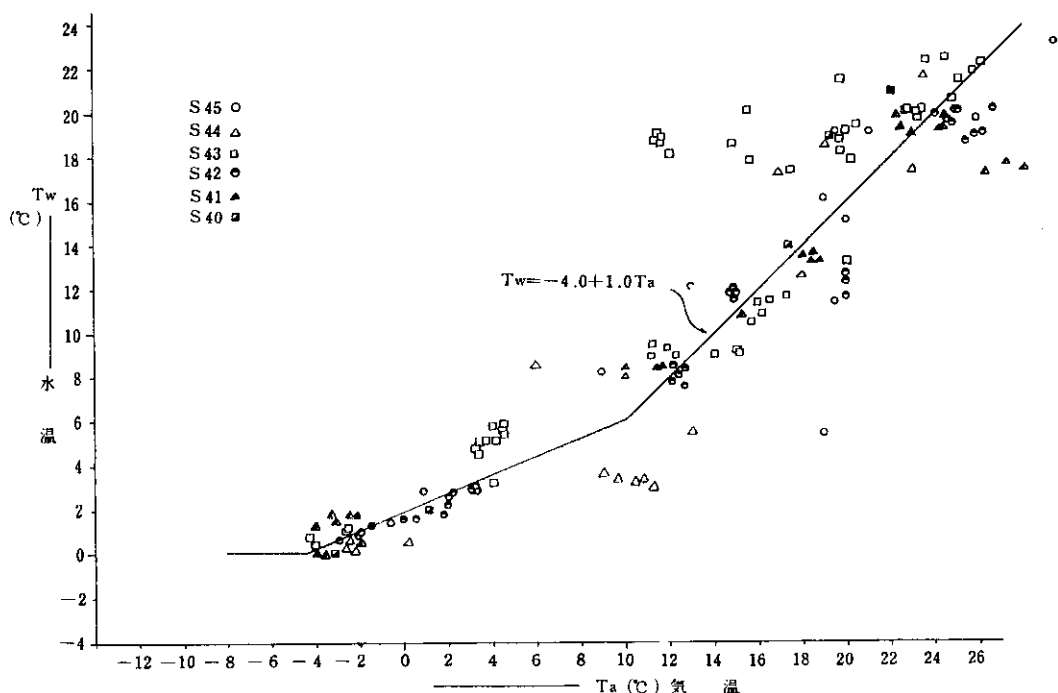
で、石狩川の伊納(上流部)、橋本町(中流部)、石狩大橋(下流部)について、図—6～8のように T_a 、 T_w の関係を調べた。

水温、気温を同時に測定しそれぞれを対応させると、3地点とも気温が 3°C 付近で水温が同一値になり、それより気温が高い時期は、水温は気温より低く夏型であり、気温が 3°C より下がると水温が高くなる、冬型になる。石狩川では、夏型または冬型に移行する時期は、4月上旬および11月下旬である。

西沢氏は、河川水温を予測するにあたって、有効温度は季節により異なることを指摘した。また、河川の上流部と下流部では、気温と水温の対応を異にすることを述べている。

河川の上流域では、河道単位幅流量は小さく、水深も浅いしたがって、気温の変化に対する水温の追従性が大きいことがいえる。また、地下水温など水源での源水の温度に左右されるところが大きい。また、流下時間が長いほど気温にさらされる時間が長くなるので、その影響を受けることが多くなるので、流下に伴って、気温に近くなることが予想され、図—9にその一般的な性状を示した。

河川の中、下流域では河道単位幅当たりの流量が大きくなり、水温は、上流域から移送された、熱量に左右される部分が大きくなり、また、流水の乱流拡散による水温の平均化作用が働き、中、下流域での河道にそった水温変化は上流域のそれより小さくなっている。



図—6 伊 納 KP 146.0 S40～S45

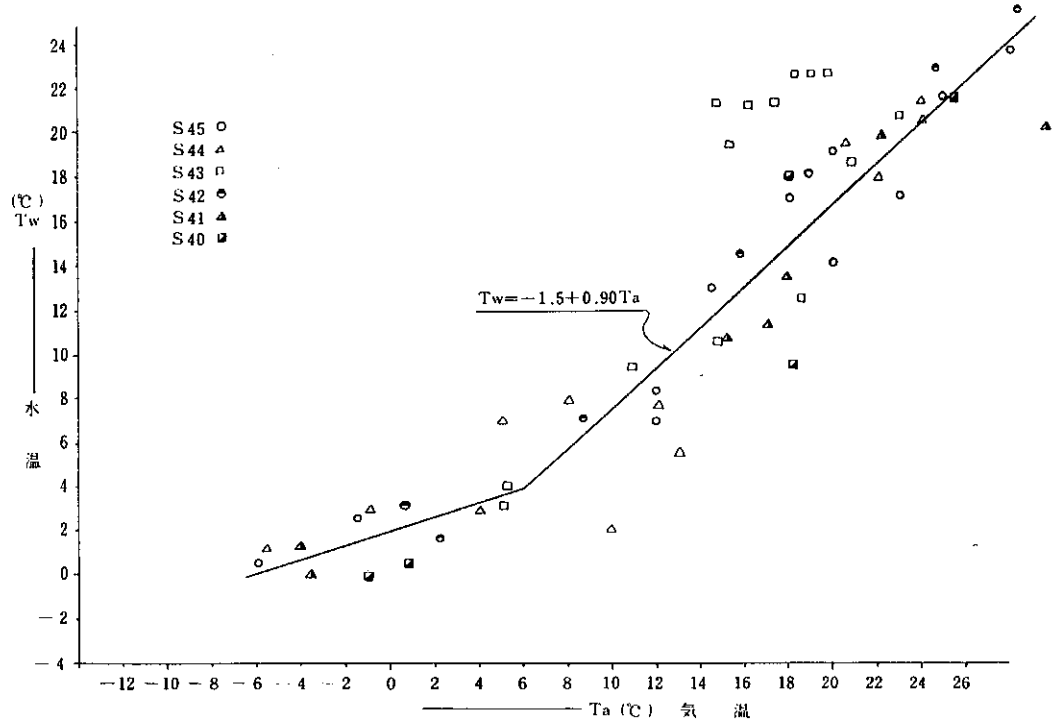
橋
関

こ
れ
あ
こ
な
4

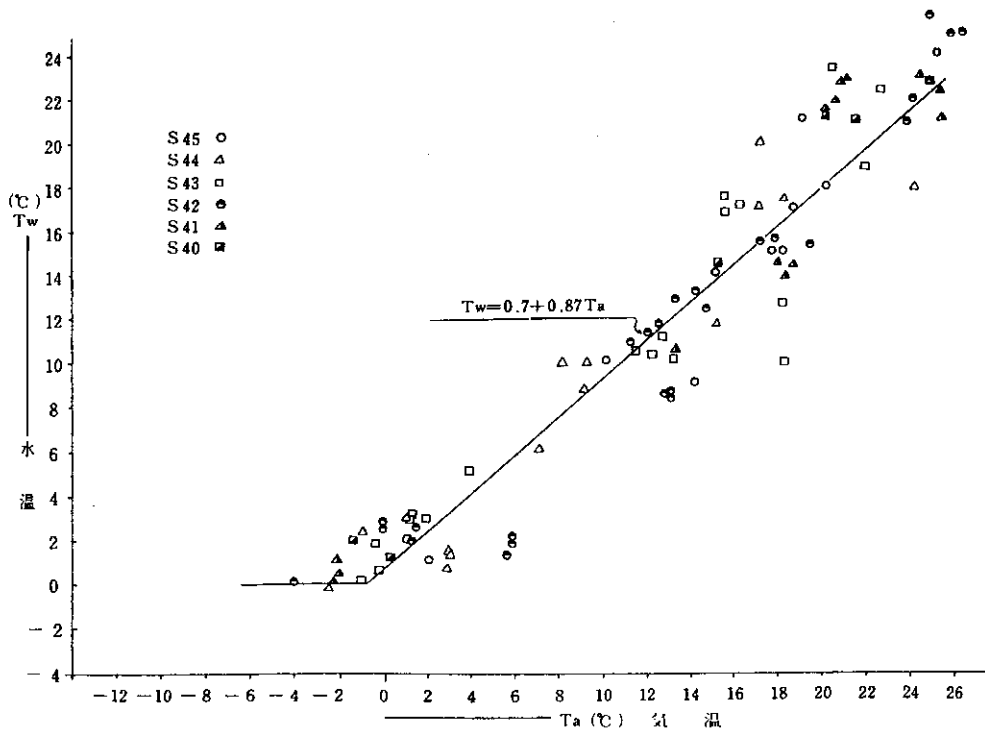
温
度
に
流
を
述

渠
も
が
大
原
水
間
が
の
影
響
に
大

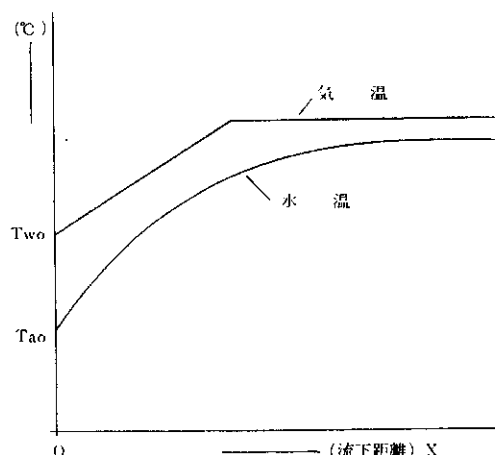
大
き
右
さ
る
水
を
水



図一7 橋本町 KP 93.9 S40~S45



図一8 石狩大橋 KP 26.9 S40~S45



図—9 日平均気温と日平均水温と流下距離の関係

式(1)のように、気温 T_a と水温 T_w の関係を示した場合、上流域では b は大きく、 a が小さな値をとり、下流域では上流域の逆の値をとるであろう。図—6, 7, 8 に T_a 、 T_w の関係を示したが、次のとおりである。

$$\left. \begin{aligned} \text{伊 納(上流域)} \quad T_w &= -4.0 + 1.0 T_a \\ \text{橋 本 町(中流域)} \quad T_w &= -1.5 + 0.90 T_a \\ \text{石狩大橋(下流域)} \quad T_w &= 0.70 + 0.87 T_a \end{aligned} \right\} \cdots (2)$$

今回の資料では水温の時間観測値はないので、時間的な変動についての論及はできないが、水温と気温の日変化には、下流域ほど、変動の位相差があることが予想される。これらの問題については今後さらに検討を進める必要がある。特に本道の場合のように11月以降、結氷期間に至るまでの水温観測値が少ないので、結氷の条件を明確にするため、それらの観測データの集積が望まれている。

2. 河川の結氷および解氷

2.1 北海道河川の結氷状況

水温の特性からも想像されるところであるが、北海道河川では、冬期間に河川水面が結氷し、氷災害が発生している。

北海道では、海氷については人災事故が頻繁に発生するので、冬期の観心事になっているが、河川の結氷については、比較的認識がたりなく、また、これらに関する研究も遅れている。鎌田氏は、河川の氷の発達について興味ある報告をしている。

河川水面の結氷は、湖水などのような静水でなく、流下速度を有する動水であるため結氷現象は複雑であり、大気との熱交換のバランスだけで定義することはできない。結氷は、水面付近における熱交換と動水による水面の変動の平衡状態によって結氷が始まるものと考えられる。

大気が氷点下になる時期は11月以降であって、その時

期の河川流量は地下水による流量が主となるから、また、その低減率は小さくなっている時期にあることから、流量の変化は小さいものと考えてよい。しかし、年によって結氷期の河川流量には、差異があることは流況図から明らかである。

北海道の各河川の結氷が始まる時期は、表—2に示すとおりである。

結氷開始起日は、河川によりまた、年次によって、また、同一河川でも上、下流によって異なる。

地域別には、気温、水温の高い道南地域の河川ほど遅い時期に結氷が始まり、道央、道東、道北、オホーツク海沿岸の順序で結氷時期は早くなる。

図—10~13によると、道南とオホーツク海沿岸では約15日の相違がある。

なお、表—2の $T_{ave. m}$ および H_m については、2-4 節を参照されたい。

また、道南でも河川が全面結氷する場合があります。全面結氷を図—14~17に示した。さらに解氷日について図—18~21に示したが、道南が早く、道東、道北が遅い。

全道的に結氷開始日、全面結氷日および解氷開始日を調査してみると、画一的に、それぞれの生起日を表わすことはできない。広大な北海道域では気象条件を異にし、また、河川水理量の差異があることによるものであろう。

表—3には昭和47年1月、2月の石狩川水系での結氷状況、調査結果を示してある。石狩川、千歳川、豊平川の3河川であるが、写真—1~6は、河道勾配が急で、河川流量が小さい豊平川の結氷状況を、水源地から、下流部の雁来橋までの区間について示したものである。

豊平川の1月末の状況は、水源地では湧水部で氷柱状況を示しており、流れが射流となる区間では結氷しないが常流状態で、流速が遅くなると結氷している。

写真—7~12は石狩川の状態を示すが、近年石狩川の結氷の度合は少なくなった。生活用水の排水、火力発電用温水排水の影響が大きいものと思われる。

図—21には、調査時の気温、水温の関係を示してあるが、千歳川は気温が低くなっても、水温はそれほど下がらなく特異な水温を示しており、源水の温度が高いことによるものであろう。また、現地の河道も流速が小さく、河岸付近にスノージャムを見る程度である。

河川の結氷状況は、水温との関係が深いものと予想されるが、図—22に結氷率(結氷幅/水面幅×100)との関係を示したが、急流河川である豊平川は結氷しにくいことがうかがえる。また、水温が2℃程度まで下がると、結氷が始まることが示されている。

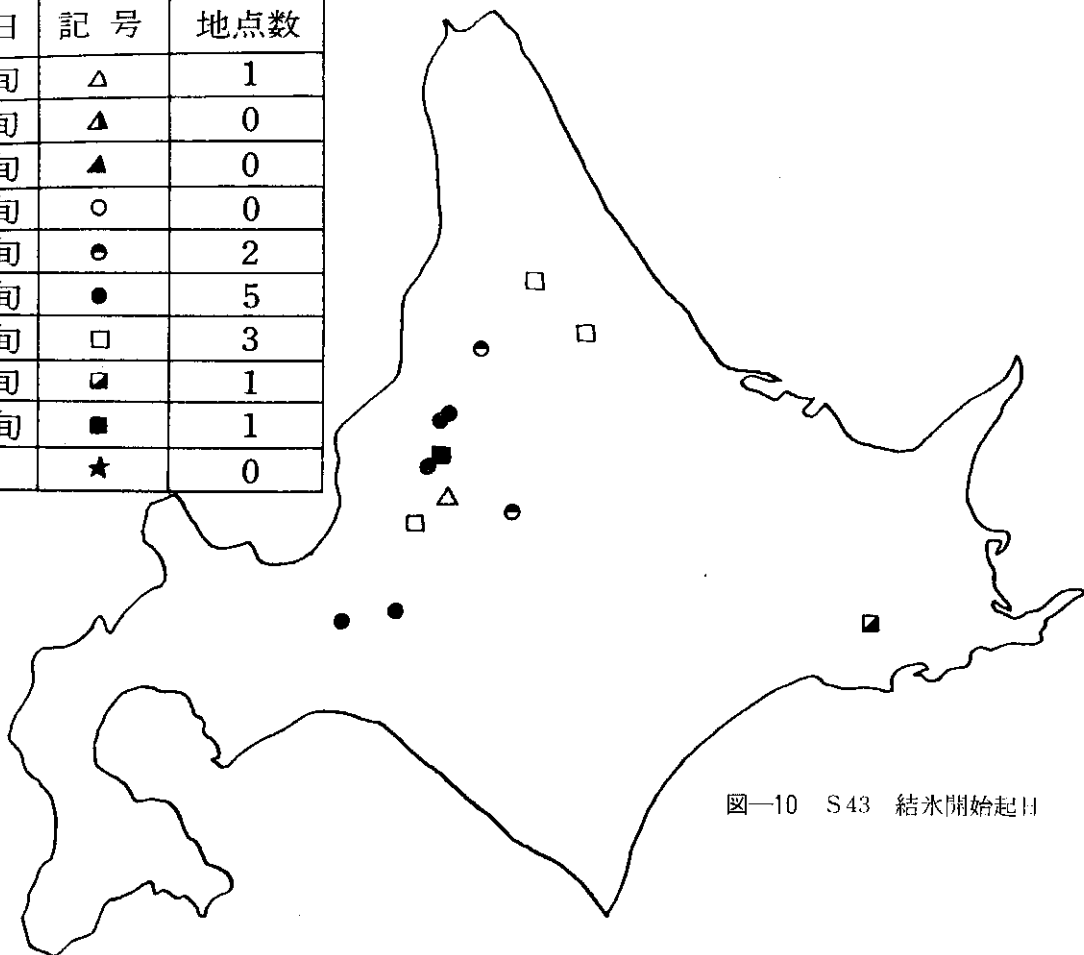
表-2 北 海 道 河 川 の 結 氷 資 料

水名	河川名	観測所	年										月										日										水																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
			1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
水名	河川名	観測所	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
			1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1

[illegible]

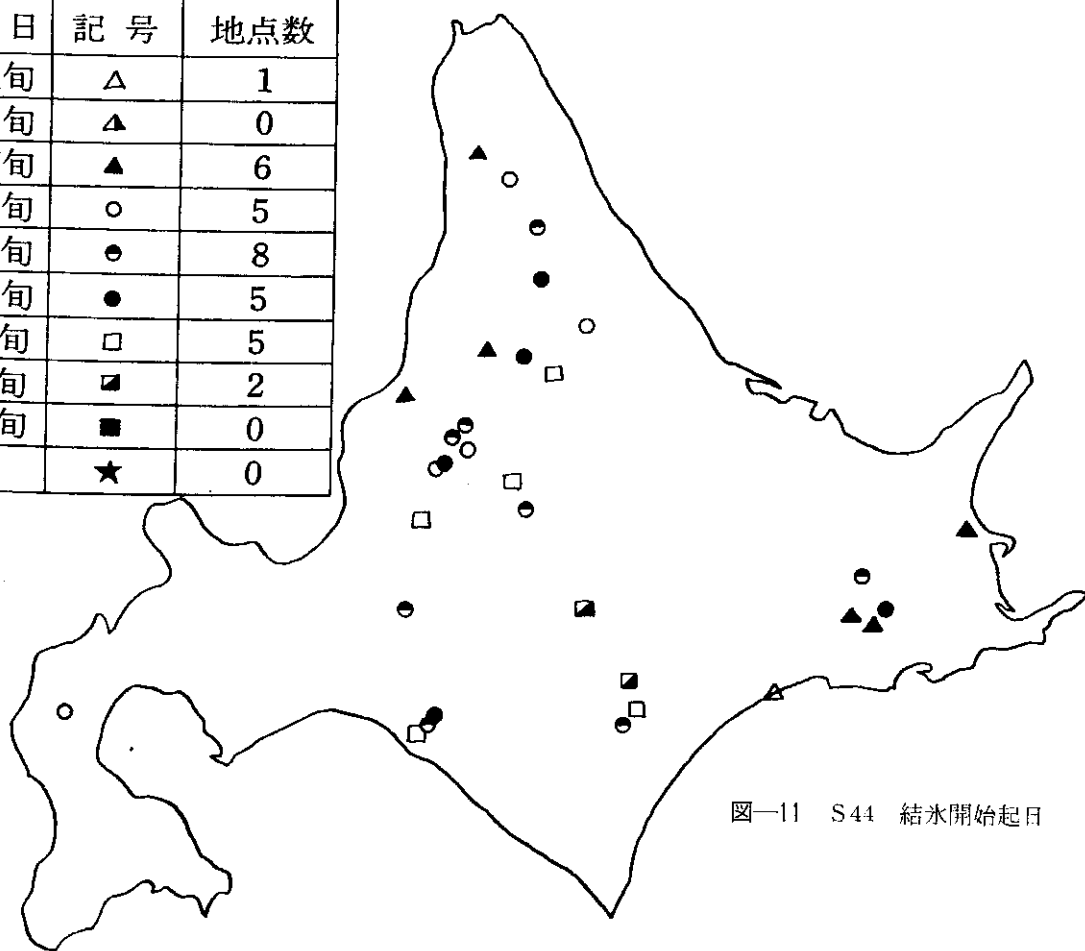
[illegible]

起 日	記 号	地点数
11月上旬	△	1
11月中旬	▲	0
11月下旬	▲	0
12月上旬	○	0
12月中旬	◉	2
12月下旬	●	5
1月上旬	□	3
1月中旬	▣	1
1月下旬	■	1
2月	★	0



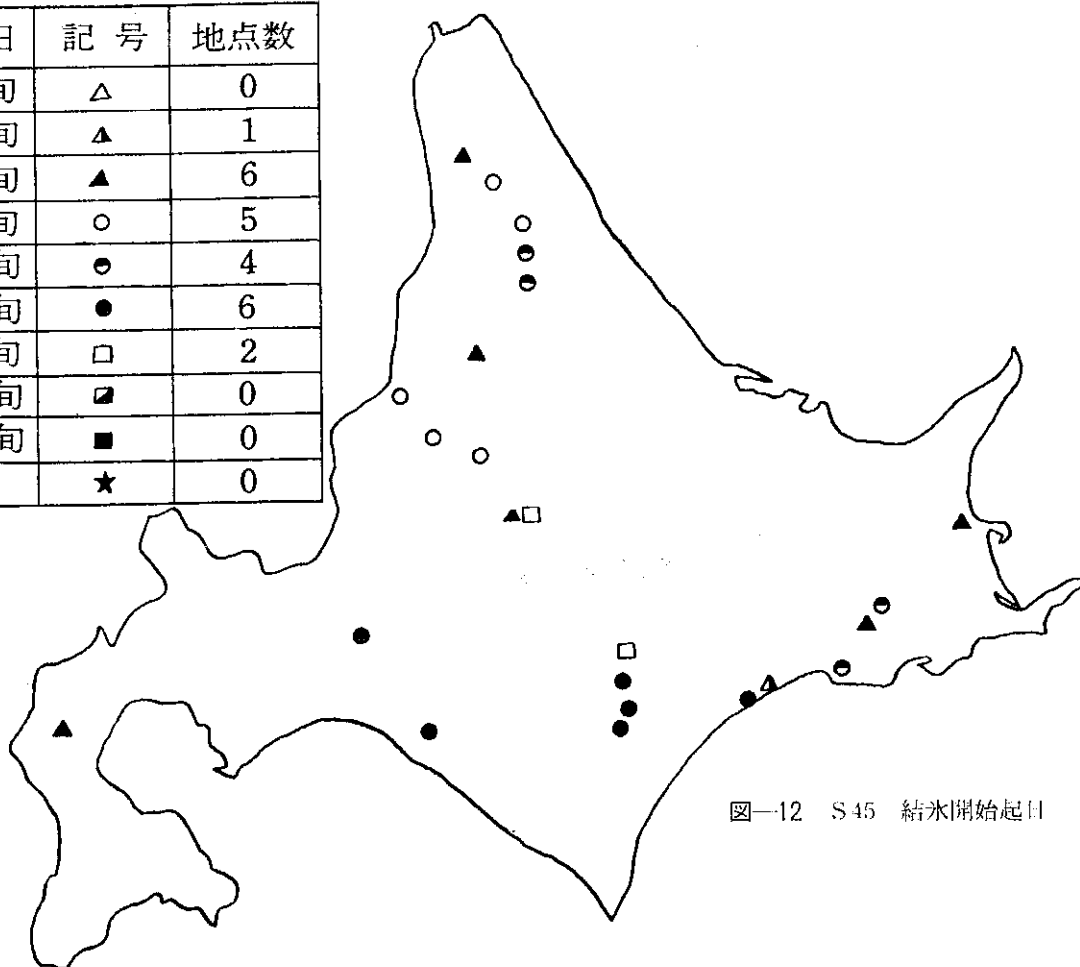
図一10 S43 結氷開始起日

起 日	記 号	地点数
11月上旬	△	1
11月中旬	▲	0
11月下旬	▲	6
12月上旬	○	5
12月中旬	◉	8
12月下旬	●	5
1月上旬	□	5
1月中旬	▣	2
1月下旬	■	0
2月	★	0



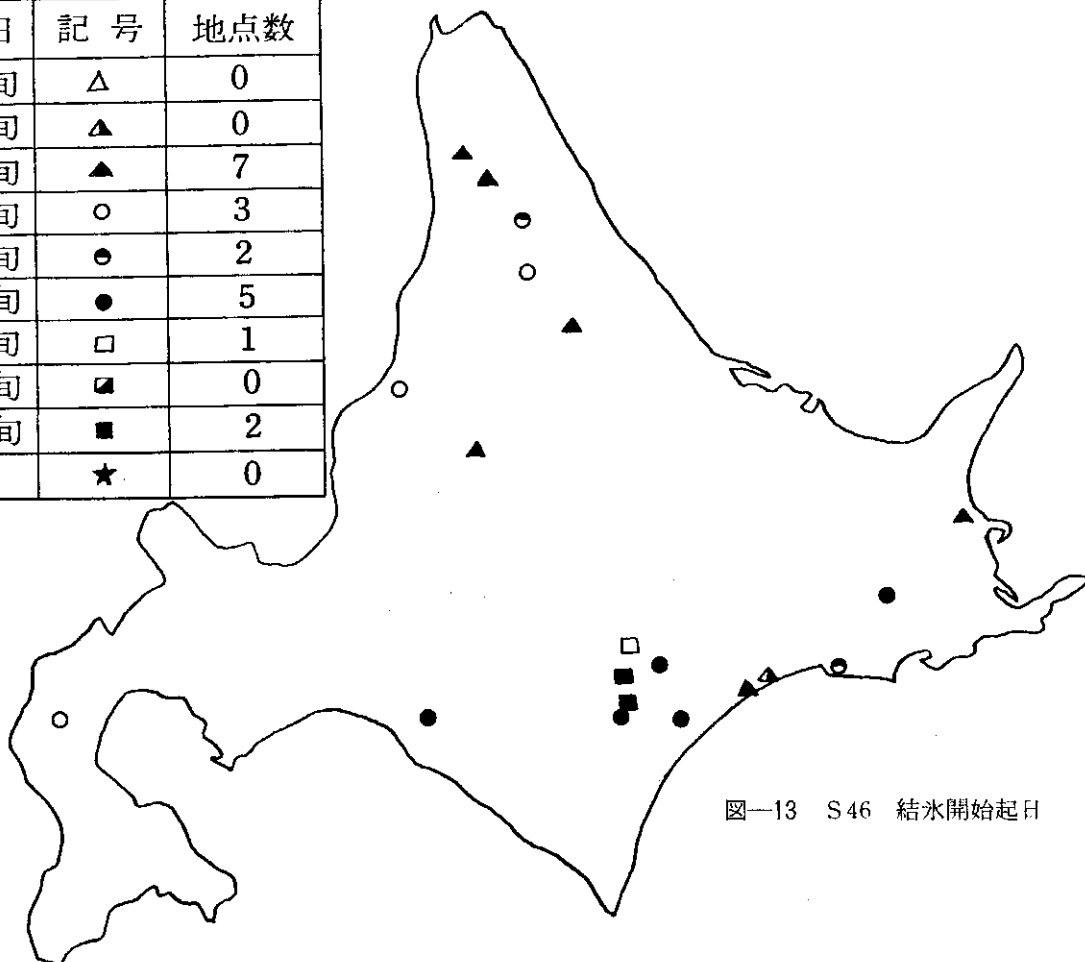
図一11 S44 結氷開始起日

起 日	記 号	地点数
11月上旬	△	0
11月中旬	▲	1
11月下旬	▲	6
12月上旬	○	5
12月中旬	●	4
12月下旬	●	6
1月上旬	□	2
1月中旬	■	0
1月下旬	■	0
2月	★	0



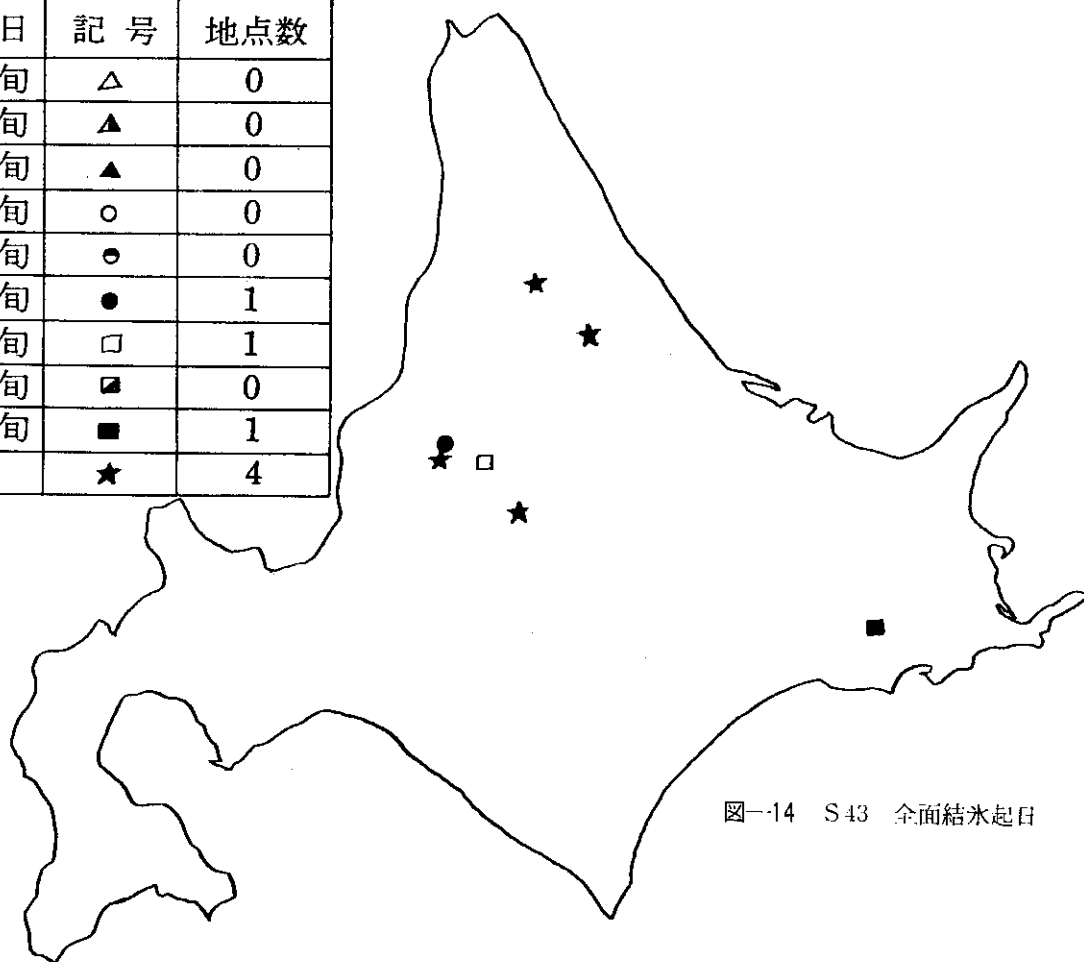
図一12 S45 結氷開始起日

起 日	記 号	地点数
11月上旬	△	0
11月中旬	▲	0
11月下旬	▲	7
12月上旬	○	3
12月中旬	●	2
12月下旬	●	5
1月上旬	□	1
1月中旬	■	0
1月下旬	■	2
2月	★	0



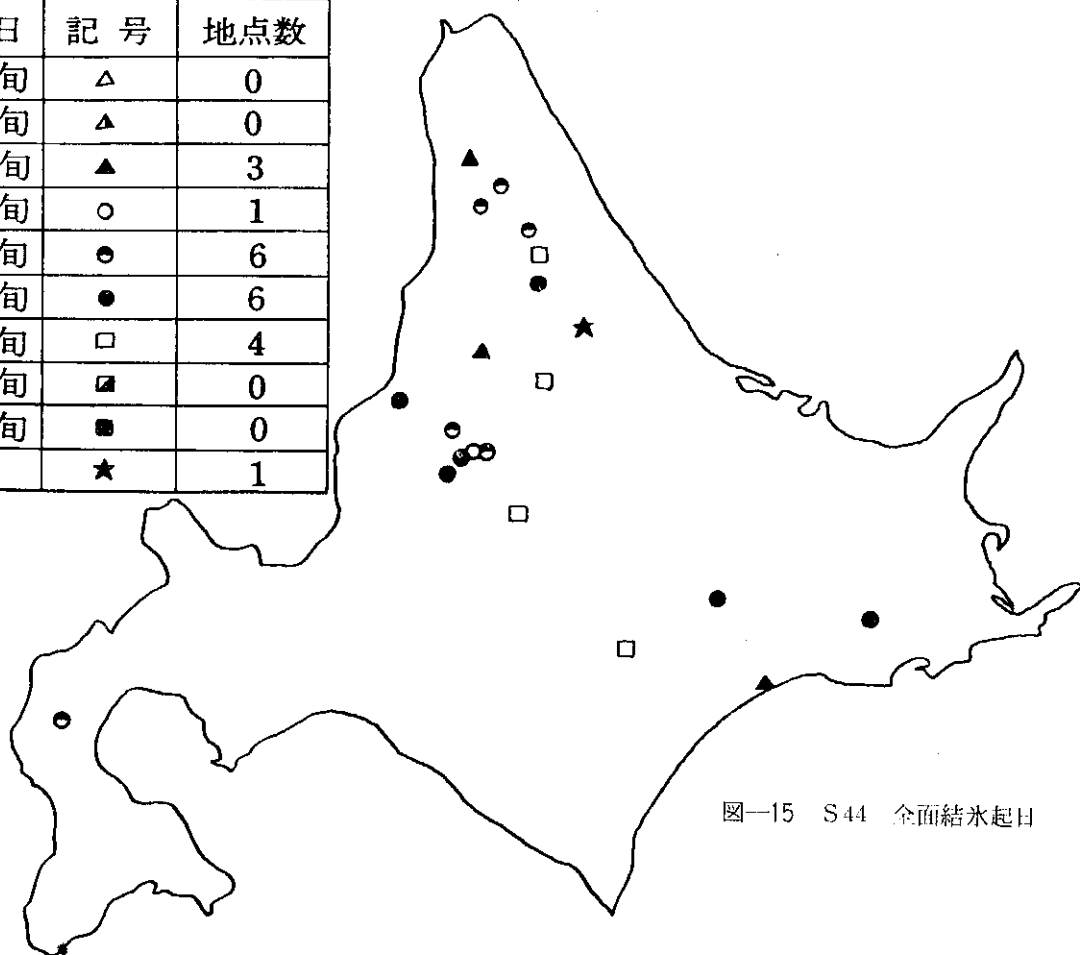
図一13 S46 結氷開始起日

起 日	記 号	地点数
11月上旬	△	0
11月中旬	▲	0
11月下旬	▲	0
12月上旬	○	0
12月中旬	●	0
12月下旬	●	1
1月上旬	□	1
1月中旬	■	0
1月下旬	■	1
2月	★	4



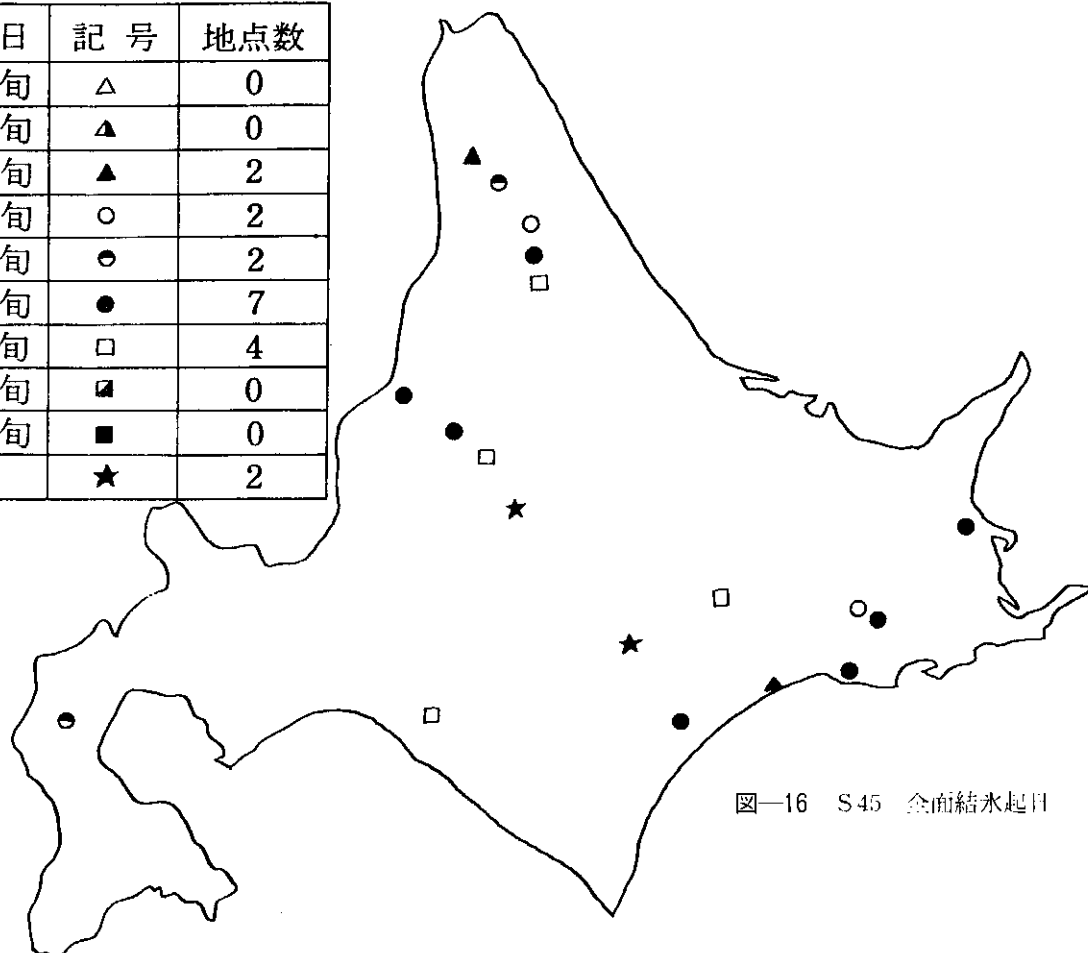
図一14 S43 全面結氷起日

起 日	記 号	地点数
11月上旬	△	0
11月中旬	▲	0
11月下旬	▲	3
12月上旬	○	1
12月中旬	●	6
12月下旬	●	6
1月上旬	□	4
1月中旬	■	0
1月下旬	■	0
2月	★	1



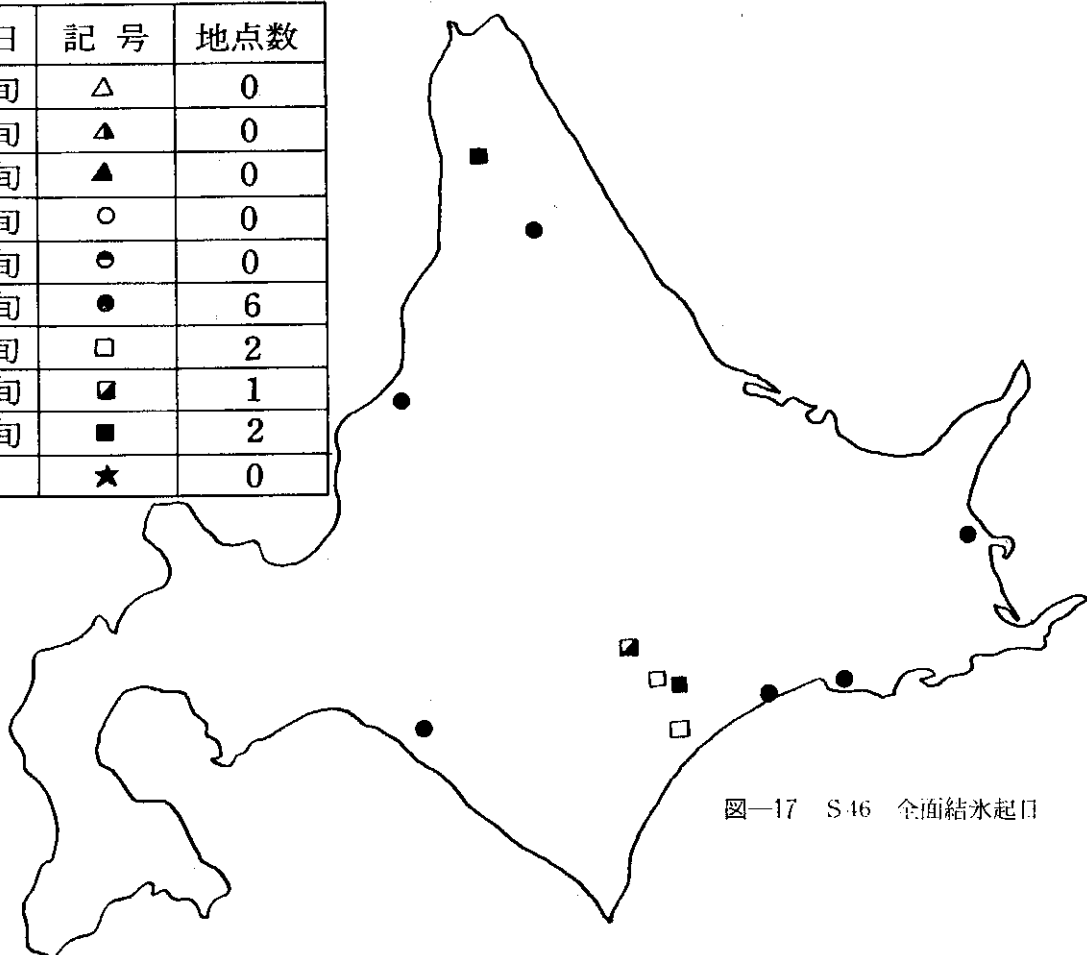
図一15 S44 全面結氷起日

起 日	記 号	地点数
11月上旬	△	0
11月中旬	▲	0
11月下旬	▲	2
12月上旬	○	2
12月中旬	◐	2
12月下旬	●	7
1月上旬	□	4
1月中旬	◻	0
1月下旬	■	0
2月	★	2



図一16 S45 全面結氷起日

起 日	記 号	地点数
11月上旬	△	0
11月中旬	▲	0
11月下旬	▲	0
12月上旬	○	0
12月中旬	◐	0
12月下旬	●	6
1月上旬	□	2
1月中旬	◻	1
1月下旬	■	2
2月	★	0



図一17 S46 全面結氷起日

起 日	記 号	地点数
1 月	★	0
2 月上旬	△	3
2 月中旬	▲	1
2 月下旬	▲	1
3 月上旬	○	4
3 月中旬	●	7
3 月下旬	●	8
4 月上旬	□	3
4 月中旬	■	0
4 月下旬	■	0

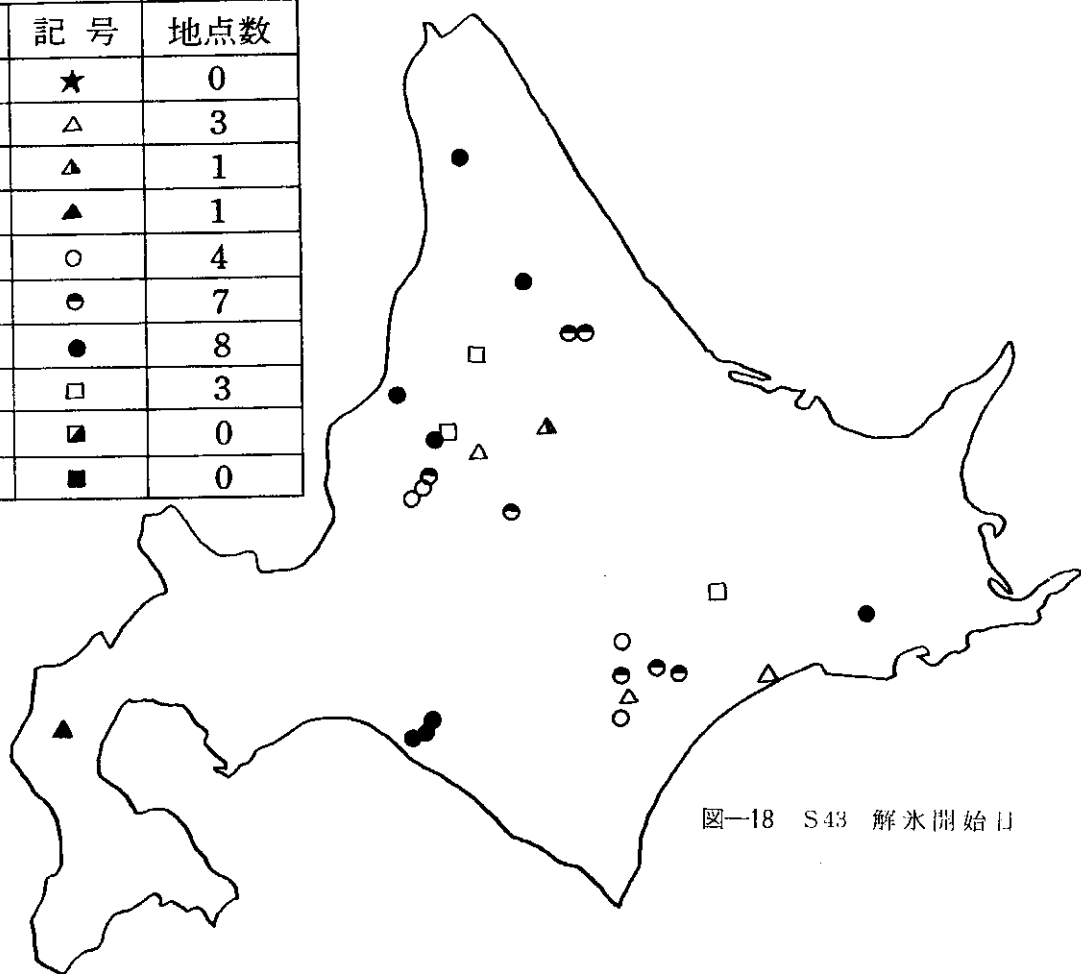


図-18 S43 解氷開始日

起 日	記 号	地点数
1 月	★	3
2 月上旬	△	4
2 月中旬	▲	5
2 月下旬	▲	0
3 月上旬	○	2
3 月中旬	●	2
3 月下旬	●	5
4 月上旬	□	3
4 月中旬	■	5
4 月下旬	■	0

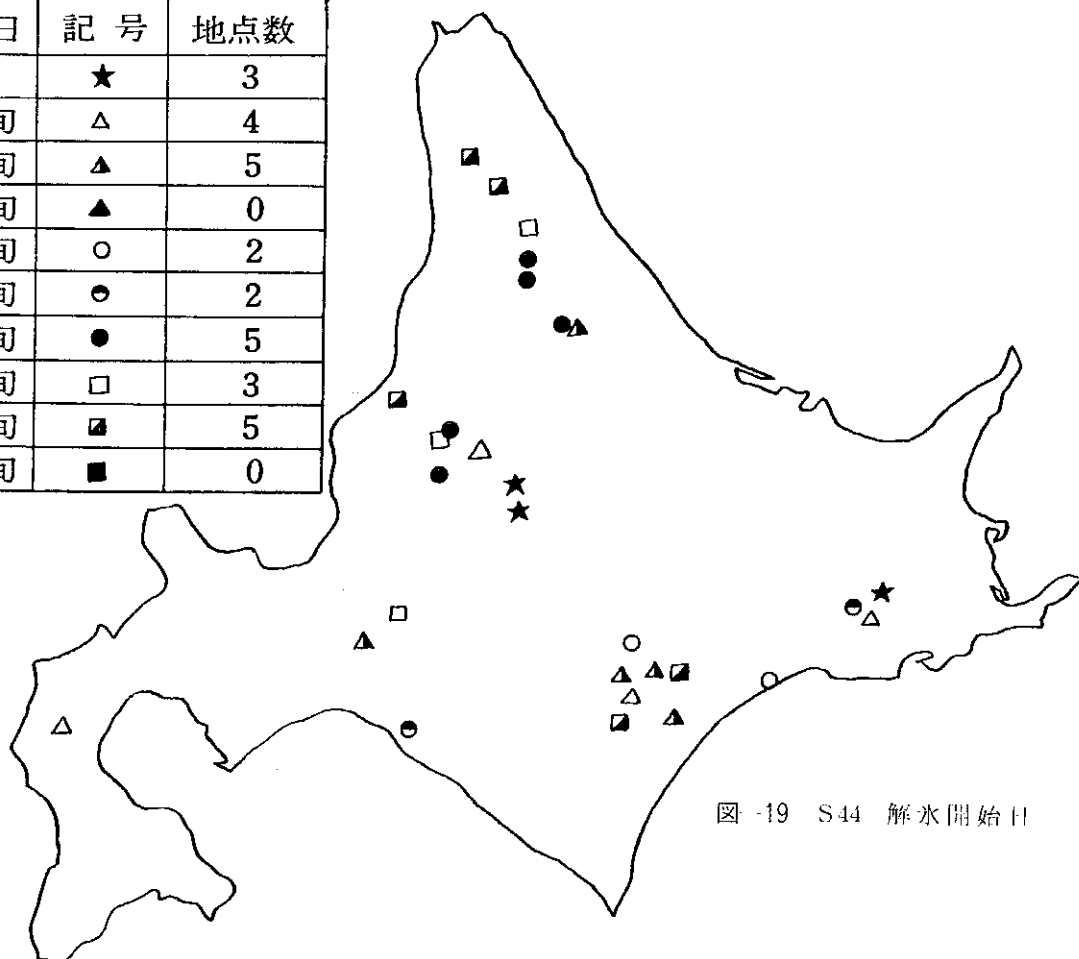


図-19 S44 解氷開始日

起 日	記 号	地点数
1 月	★	0
2 月上旬	△	2
2 月中旬	▲	3
2 月下旬	▲	1
3 月上旬	○	3
3 月中旬	◎	4
3 月下旬	●	5
4 月上旬	□	2
4 月中旬	■	0
4 月下旬	■	0

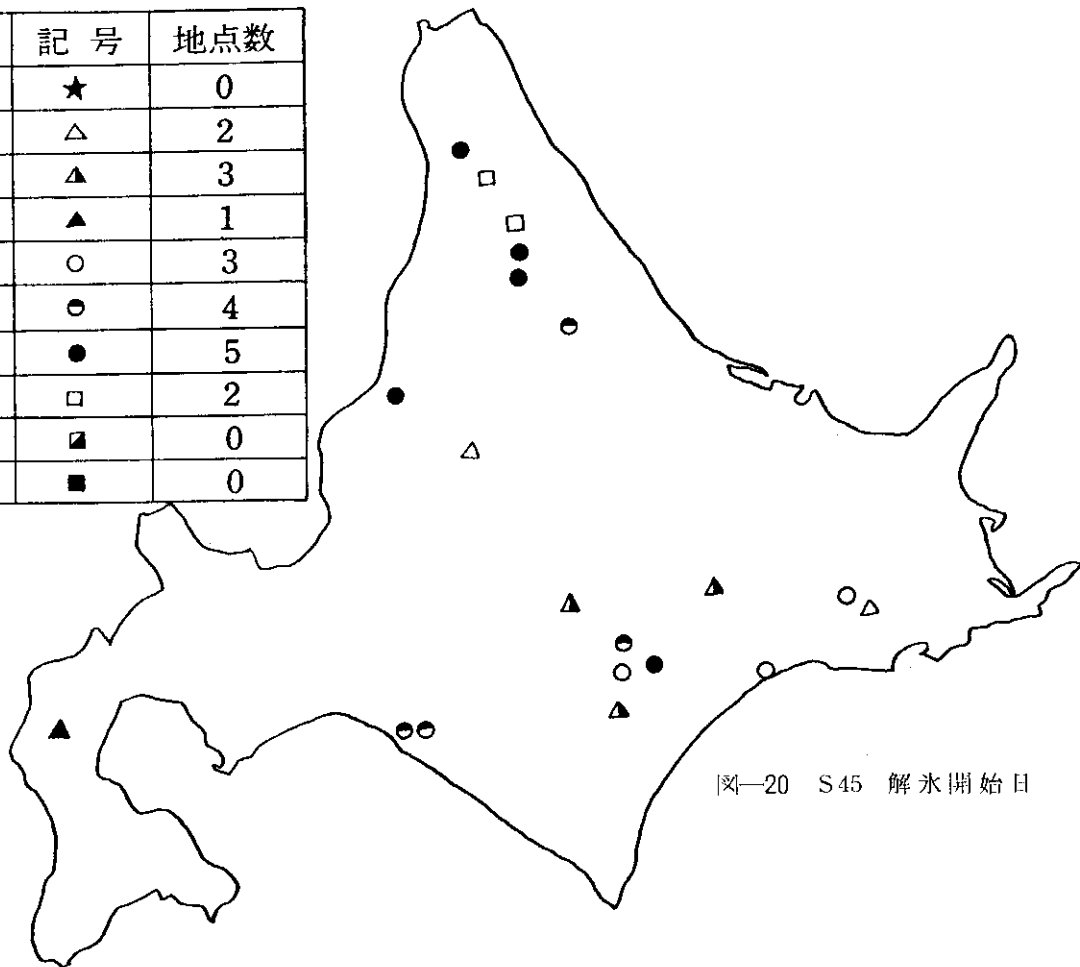


図-20 S45 解氷開始日

表-3 結氷状況調査表
石狩川

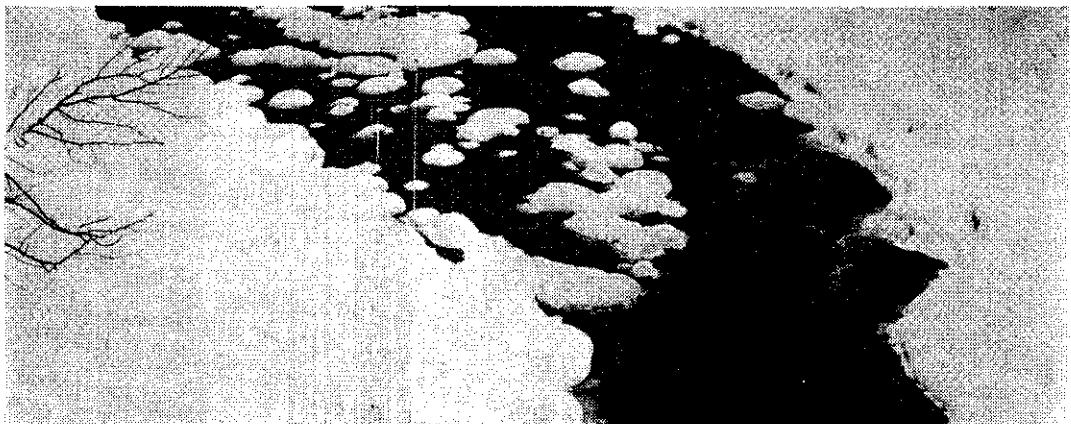
観測点	水温	① 川幅	② 流水幅	③ % $\times 100$	④ 結氷幅	⑤ % $\times 100$	備 考
石狩河口	+1.5℃	200	200	100	0	0	
雁来橋	+1.2	20	15	75	5.0	25	
新石狩大橋	+2.5	200	200	100	0	0	
江別橋	+2.2	60	60	60	0	0	
江別大橋		80	0	0	80	100	氷塊につき水温不測
北橋	+2.4	12	12	100	0	0	
岩見沢大橋	+1.8	110	110	100	0	0	
深川橋	+0.5	68	10	14.7	58	85.3	
峠背平橋	+0.8	22	10	45.5	12	54.5	
江竜橋	+1.0	60	40	66.7	20	33.3	
雨竜橋	+0.3	72	2.0	2.8	70	97.2	
尾白利加橋	+0.8	70	6.0	85.7	1.0	14.3	
石狩川橋	+0.5	68	60	88.2	8.0	11.8	
空知大橋	±0.0	62	30	48.4	32	51.6	
砂川大橋	+1.2	145	60	41.4	85	58.6	
新十津川橋	-0.5	20	5.0	25	15	75	
奈井江大橋	+0.3	65	50	76.9	0	23.1	
月形橋	+0.5	96	96	100	15	0	

豊平川

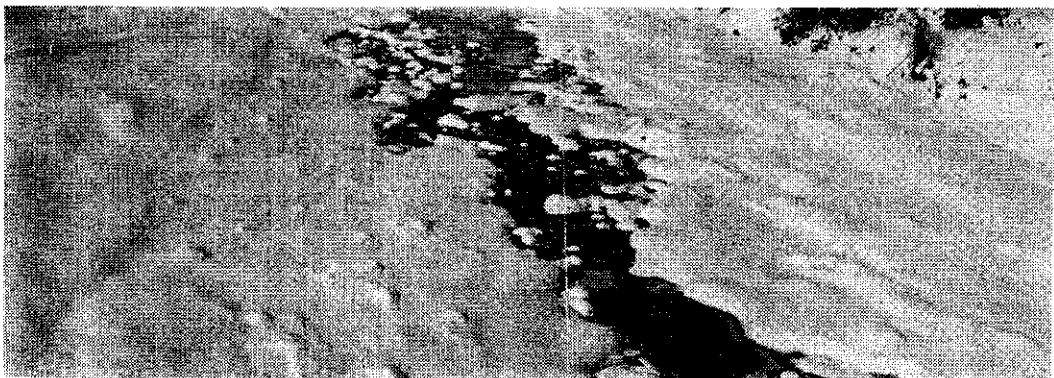
観測点	水温	① 川幅	② 流水幅	③ % $\times 100$	④ 結氷幅	⑤ % $\times 100$	備 考
雁来橋	±0.0℃	20	0	0	20	100	
東橋	+0.8	45	6.0	13.3	39	86.4	
一条橋	-0.1	35	0	0	35	100	
豊平橋	-0.1	65	0	0	65	100	
南9条橋	-0.2	140	0	0	140	100	
幌平橋	-0.2	30	10	33.3	20	66.7	
南22条橋	+0.3	75	72	96	3.0	4.0	
南岩橋	-0.1	60	0	0	60	100	
新井橋	-0.2	7.0	0	0	7.0	100	
栄橋	-0.1	30	1.0	3.3	29	96.7	
石松橋	-0.1	12	0	0	12	100	
豊橋	-0.2	11	6.0	54.4	5.0	45.5	
時雨橋	-0.2	12	1.2	10	10.8	90	
紅葉橋	-0.3	8	1.0	12.5	7.0	87.5	
築橋	+0.5	60	60	100	0	0	
藻南橋	-0.2(6.7) +2.2(6.7)	40	24	60	16	40	

千歳川

観測点	水温	① 川幅	② 流水幅	③ $Q/q \times 100$	④ 結氷幅	⑤ $q_2/q_1 \times 100$	備 考
根志越橋	+2.0℃	40	40	100	0	0	
第1号橋	+0.5	10	7.0	70	3.0	30	
南24号橋	+2.0	6.5	6.3	96.9	0.2	3.1	
第2号橋	+0.8	40	40	100	0	0	
第3号橋	-1.0	9.5	0	0	9.5	100	
南12号橋	+2.8	21	18	85.7	3.0	14.3	
南9号橋	+0.5	11	5.5	50	5.5	50	
千才橋	+1.0	30	30	100	0	0	
中央橋	+0.5	10	0	0	10	100	
親長橋	+0.5	8.0	0	0	8.0	100	
広橋	+0.8	40	38	95	2.0	5	
江別橋	+0.5	40	33.5	83.8	6.5	16.2	



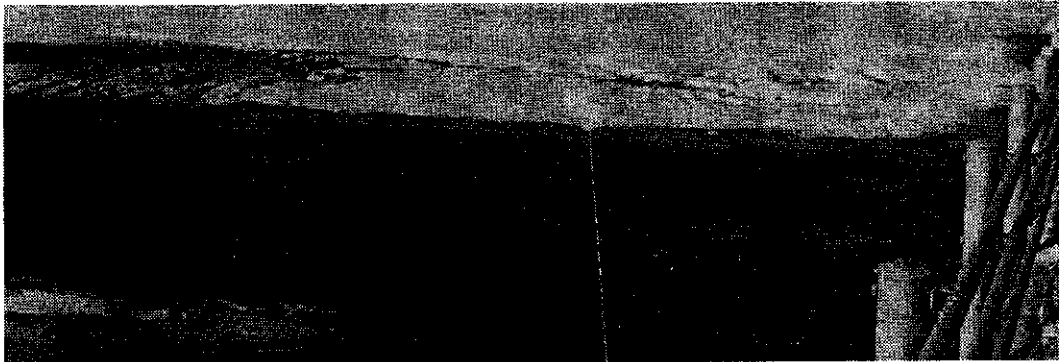
写真一 豊橋(13h 45'), 気温-5.9
水温-0.2, 1月29日



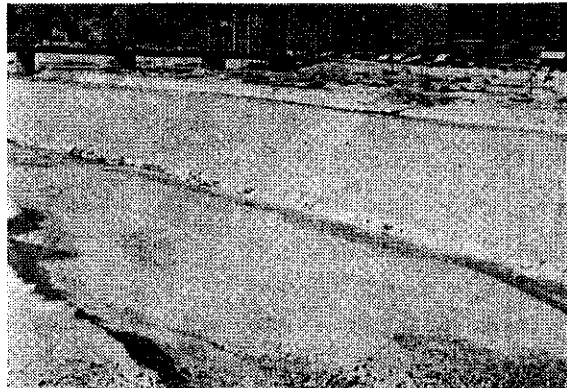
写真二 栄橋(13h 00'), 気温-4.0
水温-0.1, 1月29日



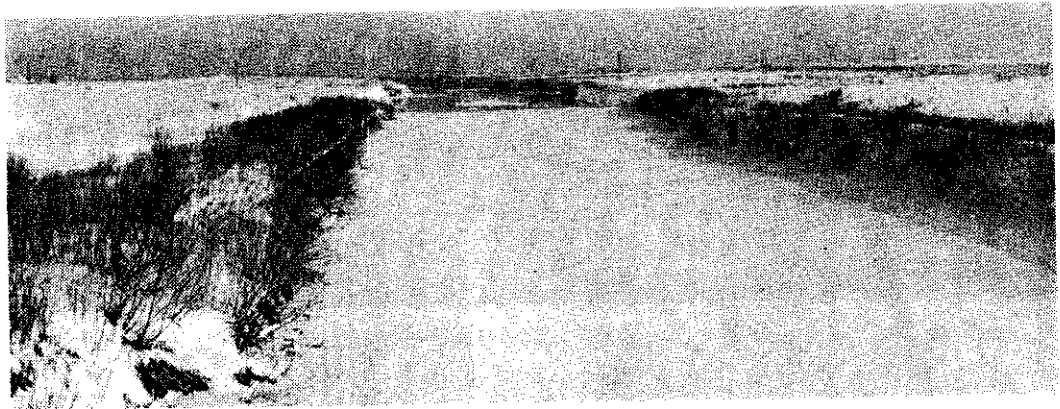
写真—3 御料橋(12h30'), 気温-3.4
水温-0.2, 1月29日



写真—4 幌平橋(10h30'), 気温-3.8
水温-0.2, 1月29日



写真—5 豊平橋(9h40'), 気温-5.5
水温-0.1, 1月29日



写真一6 雁木橋(8 h 40'), 気温-8.8
水温±0.0, 1月29日



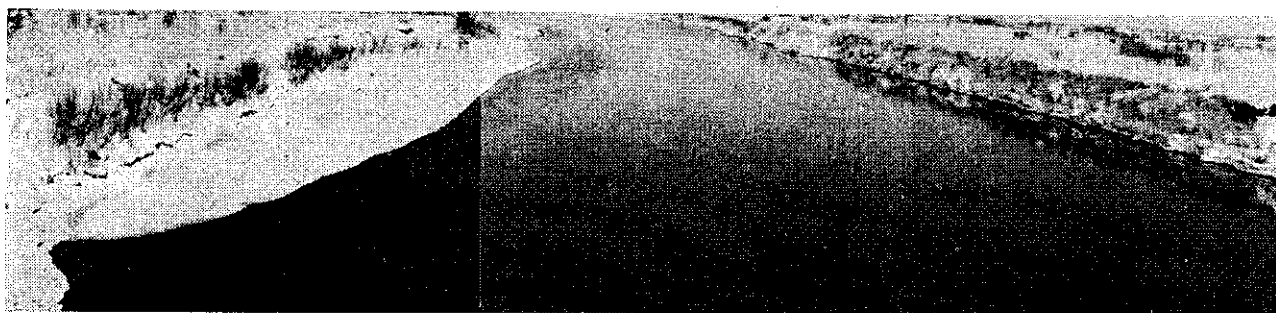
写真一7 深川大橋 2月17日(12 h 10')上流
気温+4.8, 水温+0.5



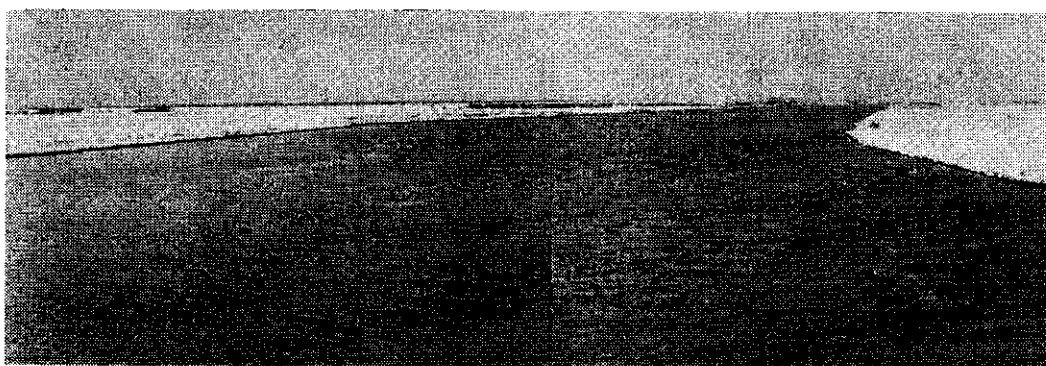
写真一8 石狩川橋 2月17日(14 h 45')上流
気温+1.2, 水温+0.5



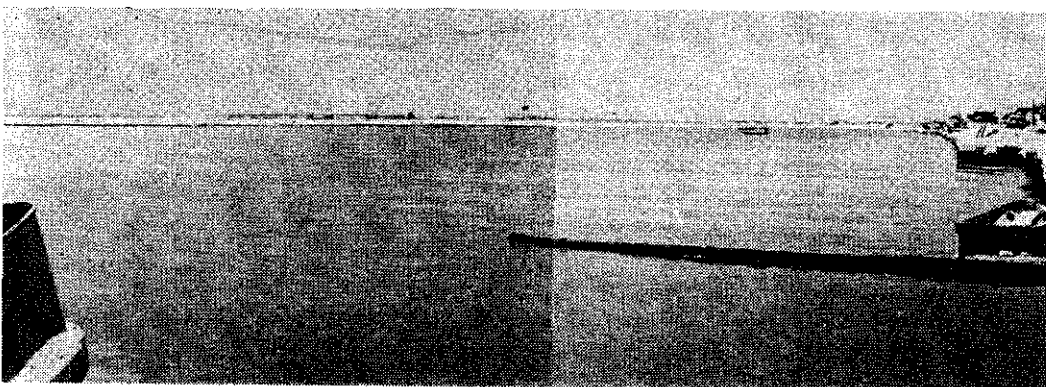
写真—9 奈井江大橋 2月18日(10h 10')上流
気温-4.5, 水温+0.3



写真—10 月形大橋 2月18日(10h 55')上流
気温-3.5, 水温+0.5



写真—11 新石狩大橋 2月16日(13h 30')下流
気温+0.5, 水温+2.5



写真—12 石狩河口 2月16日(11h 30')
気温+4.5, 水温+1.5

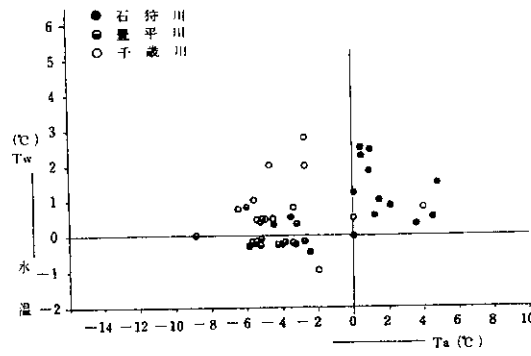


図-21 石狩川・豊平川・千歳川水温 (S47 1月28~29日 2月16~19日)

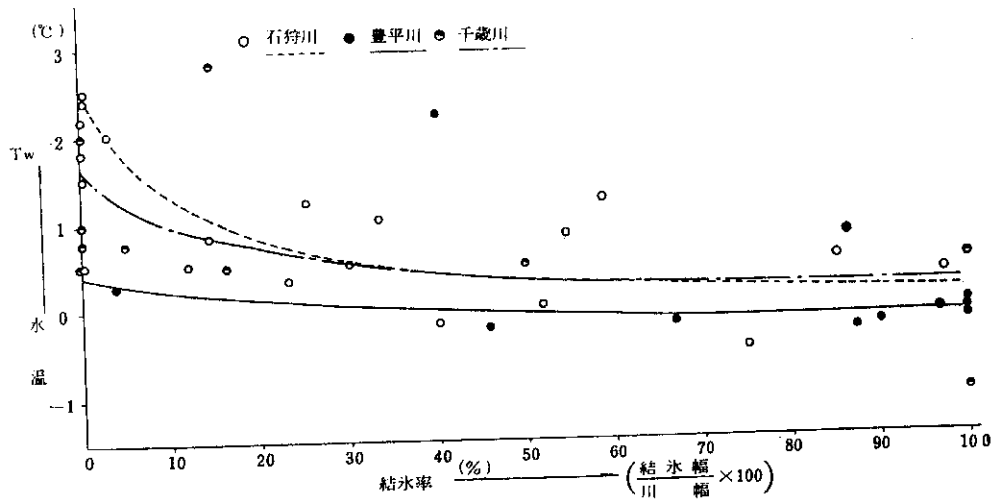


図-22 水温 T_w — 結氷率の関係

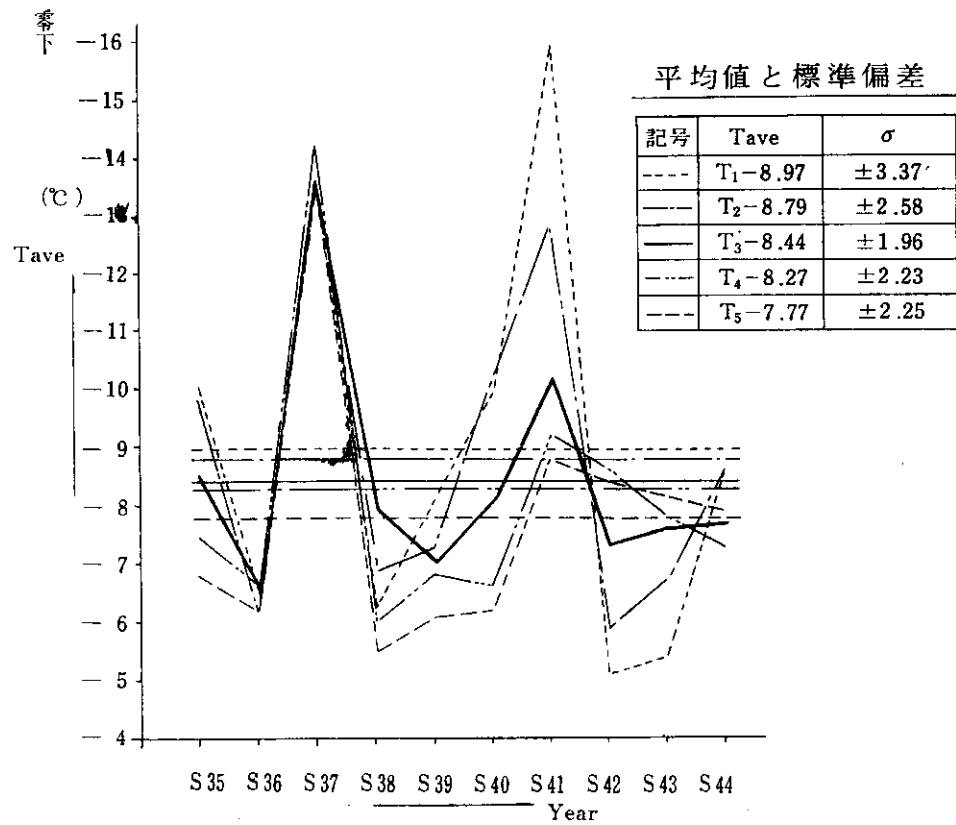


図-23 T_{ave} - Y_{aer}

2.2 結氷始の予測

前項の結氷状況でも明らかなように、地域別だけではなく、年別に結氷開始起日が違うのは、その年によって大気の冷込みが異なるからである。図-23は、石狩川の江部乙観測所における結氷開始起日と、その1～5日間以前のそれぞれの平均気温を示したものである。

河川水を冷却するに要する時間はかなりの時間を要するが、その時間的關係は、明らかにされてない。

そこで、結氷が始まる日を基準にとって、それ以前の日数別、平均気温の關係を見ると、図-23から3日平均気温($T_{3\text{ave}}$)が最も相関がよい。それは図-23が、結氷より前の日の日数別平均気温との關係を10年間の変動と標準偏差 σ で示したものであるが、図から3日平均気温に偏差の極小値があることがうかがえる。

そこで、全道河川の結氷開始起日を基準日として3日前までの平均気温との關係を示すと、その頻度分布は、表-4、図-24に示すとおりであり、平均値 -5.499°C 、標準偏差 $\sigma = 4.577^{\circ}\text{C}$ である。図-24に示すことから、各年とも、3日間の平均気温がおおむね -1°C まで下がると結氷が一部始まり、結氷がしにくいところでも、 -15°C で結氷を始めている。

これまでの検討で結氷開始日の年別変動についてはそれぞれの結氷が始まる前3日間の平均気温に置換えることによって、おおむね、その日を表わすことができることを示した。その時の予測精度は3日平均気温 -5.499°C に対して、標準偏差 $\sigma = 4.577^{\circ}\text{C}$ である。

そこでさらに予測精度を上げるため、河川の状態をParameterとして考慮に入れることとする。

表-4 $T_{3\text{ave}}(^{\circ}\text{C})$ 頻度表

$T_{3\text{ave}}(^{\circ}\text{C})$	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	-0	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8	-9	-10	-11	-12	-13	-14	-15	-16	計
0.0							2								1	2	2	2	1	4	1		1	1					17
0.1														3	1	1	2	1				2	1	1		1			13
0.2											1	1			2	2	1		2		2	2			2			1	16
0.3			1										2			2	2		1	4				1	2				15
0.4							1						3	2			1			1									8
0.5										1	3				2	3		3	1	1	1								15
0.6		1							1			1		2	1	2	3	1	1			1			2				16
0.7															1	2	3		3	1									10
0.8									1		1	2	1		1				2							1			9
0.9												1	2				3		1	2						1			10
計	1	1	0	0	0	0	3	0	2	0	3	8	8	8	10	14	17	6	15	10	5	5	2	1	7	2	0	1	129

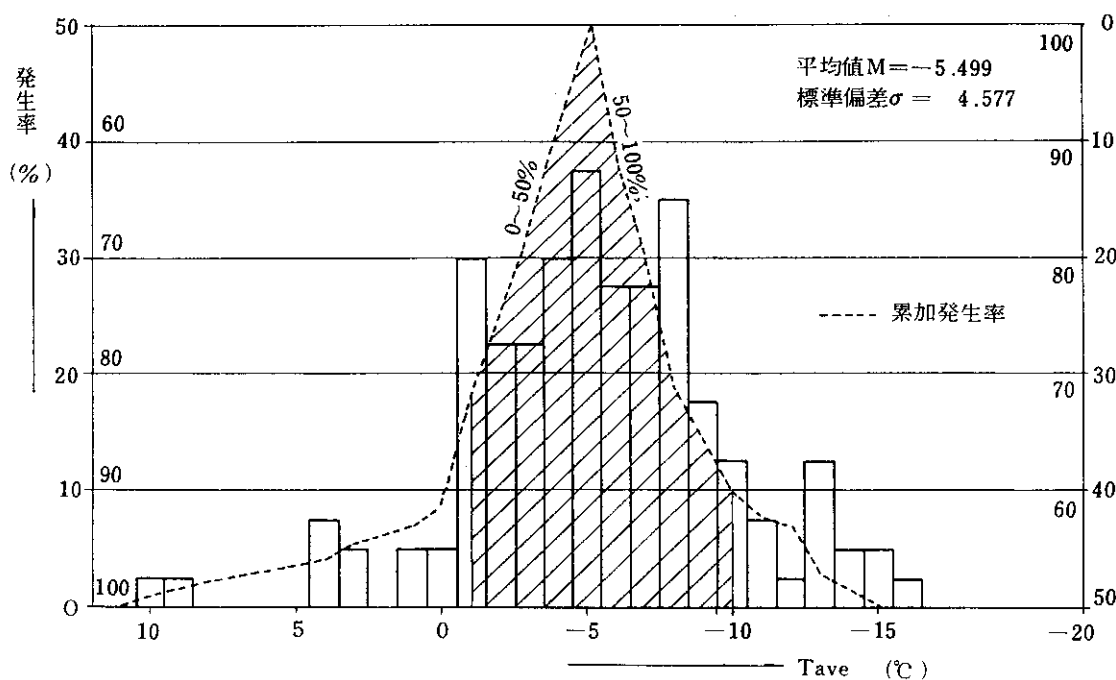


図-24 $T_{3\text{ave}}(^{\circ}\text{C})$ 頻度分布

河川の状態を示すものとして、結氷日の水位を考え、各観測所ごとに、結氷前3日間平均気温を $T_{3\text{ave}}$ とし、また、結氷日の水位を水面標高 H_m として道央、道南、道東、道北の3地域に区分して示すと、図—25～27のようである。これらの図から地域性がうかがえるが、特に顕著なのは道北地域の河川では、他の地域の河川に比べて、気温の冷え込みが少ないうち結氷が始まることである。

河川では流れの状態が結氷の始まりに関係することも考えられる。流量、河道横断形が測定されている観測所について、流れの大きさを示すものとして、フルード数 Fr_o を考えて、結氷開始前3日温度 $T_{3\text{ave}}$ との関係調べた。その結果は図—28、29のようであるが、これらの図から明らかのように、 Fr_o と $T_{3\text{ave}}$ からおよそその結氷開始時期を予測することができる。すなわち、結氷が予想される11月下旬から12月中旬にかけての Fr_o と $T_{3\text{ave}}$ をあらかじめ求めることができれば、式(3)によって結氷開始が予測される。

結氷開始の条件

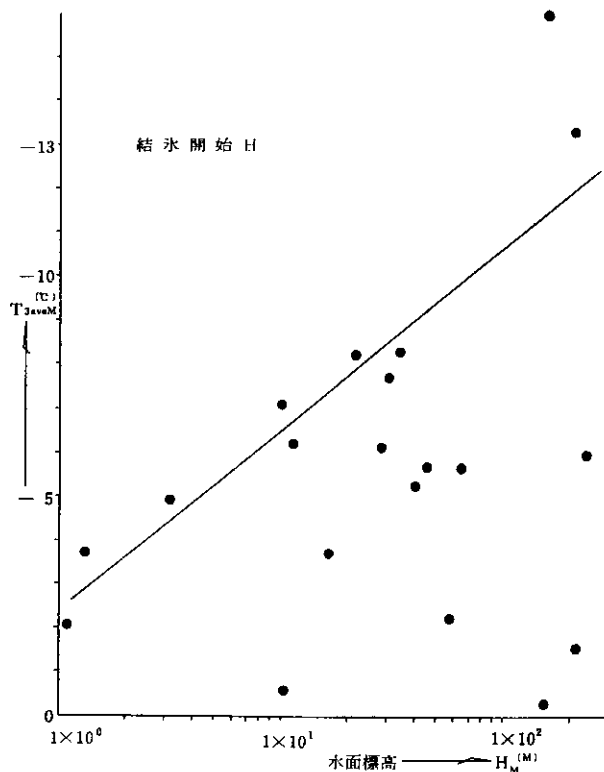
$$T_{3\text{ave}} < \left(\frac{1.755}{Fr_o} \right) - 15 \dots \dots \dots (3)$$

ここに

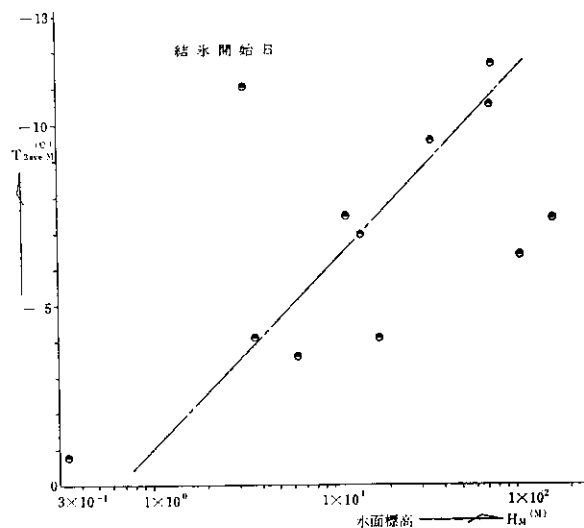
$T_{3\text{ave}}$: 3日間平均気温(℃)

Fr_o : 結氷予測時のフルード数

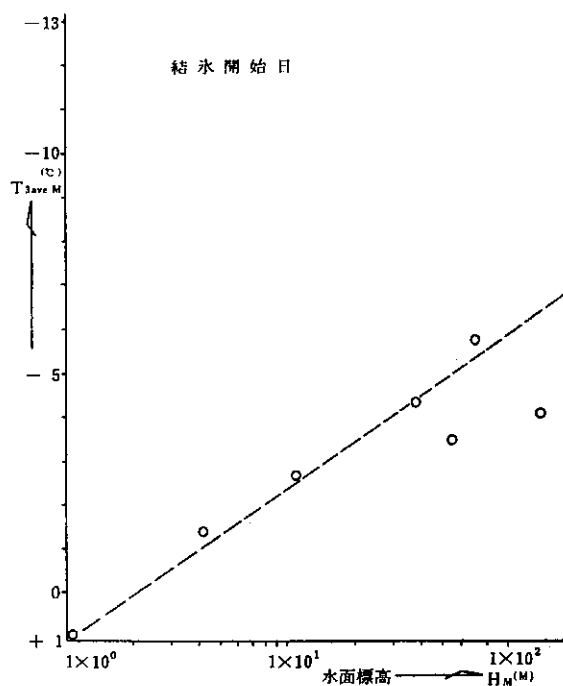
しかしながら石狩川では、図—29に示すように、納内西一区(美瑛川)のように、特異な値を示すものがあるが、それらについては、さらに今後の現地調査を必要とするところである。



図—25 道央・道南地域 $T_{3\text{ave}}$ (℃)-水面標高 H_m (m) の関係



図—26 道東地域 $T_{3\text{ave}}$ (℃)-水面標高 H_m (m) の関係



図—27 道北地域 $T_{3\text{ave}}$ (℃)-水面標高 H_m (m) の関係

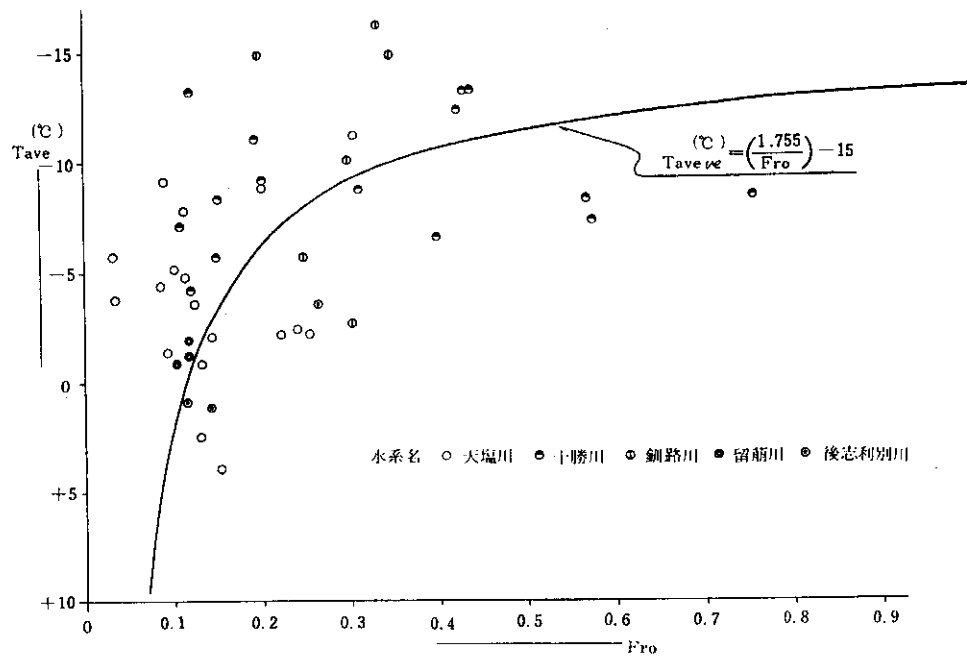


図-28 $T_{ave}(^{\circ}\text{C})-F_{ro}$ (結米開始日)

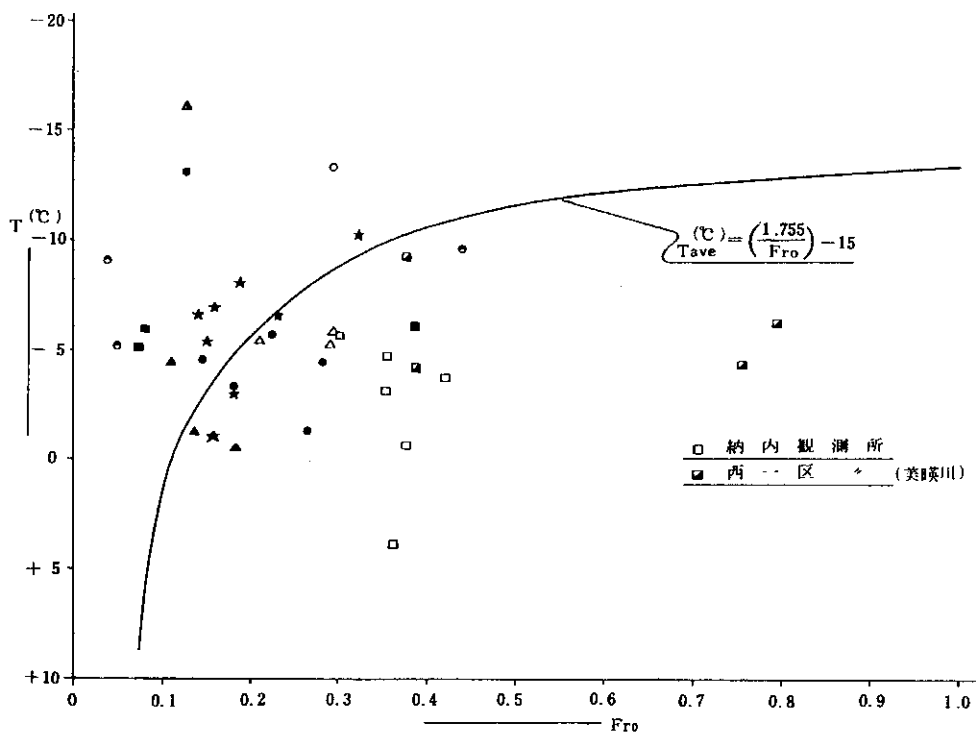
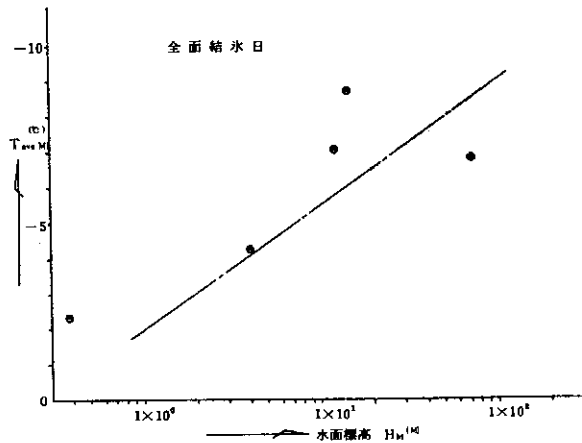
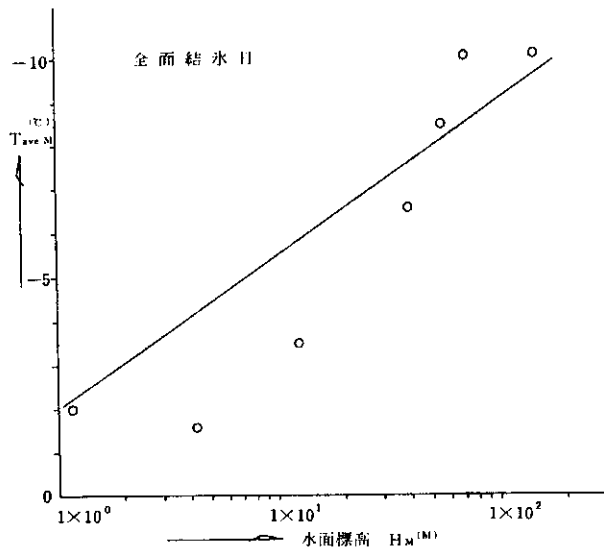


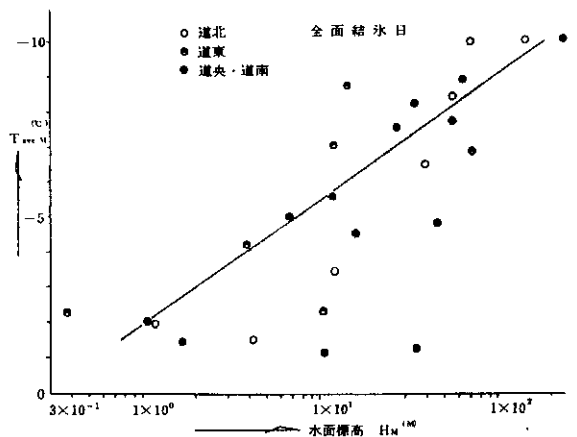
図-29 石狩川における $T_{ave}(^{\circ}\text{C})-F_{ro}$ の関係 (結米開始日)



図—30 道東地域 T_{ave} (°C)–水面標高 H_m (m)の関係



図—31 道北地域 T_{ave} (°C)–水面標高 H_m (m)の関係



図—32 道央・道南地域 T_{ave} (°C)–水面標高 H_m (m)の関係

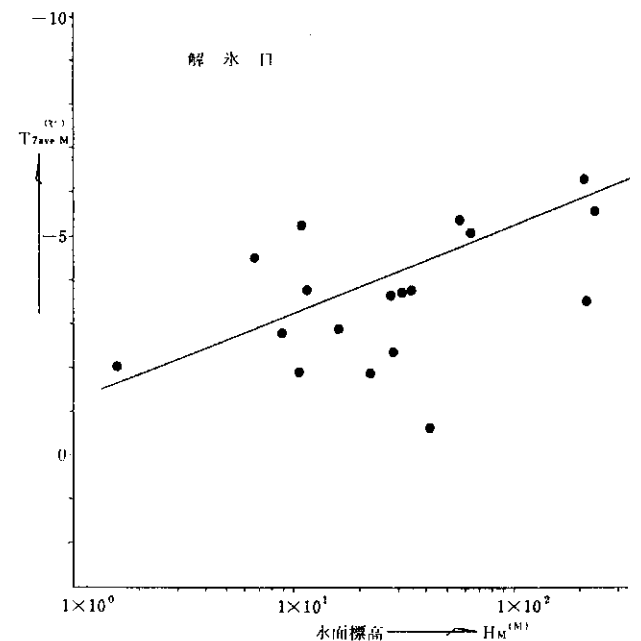
2.3 全面結氷の状況

一般に多くの河川においては、水面幅の広狭は河川水面の全面結氷にはあまり関係がないことを山辺氏は指摘している。河川水面の結氷状態の進捗は、河岸に一部着氷が始まると、それから急速に結氷は河心面へと発達する。しかし、その条件としては、さらに気温の低下、低気温の継続があり河川水が冷却され続けることである。そこで、結氷開始日から全面結氷日までの平均気温を、道内河川の各観測所について調べたものが、図—30～32である。全面結氷日については、気温だけでなく、水面標高が関係していることがわかるが、結氷開始日について見られたほど、地域による差異は見られない。

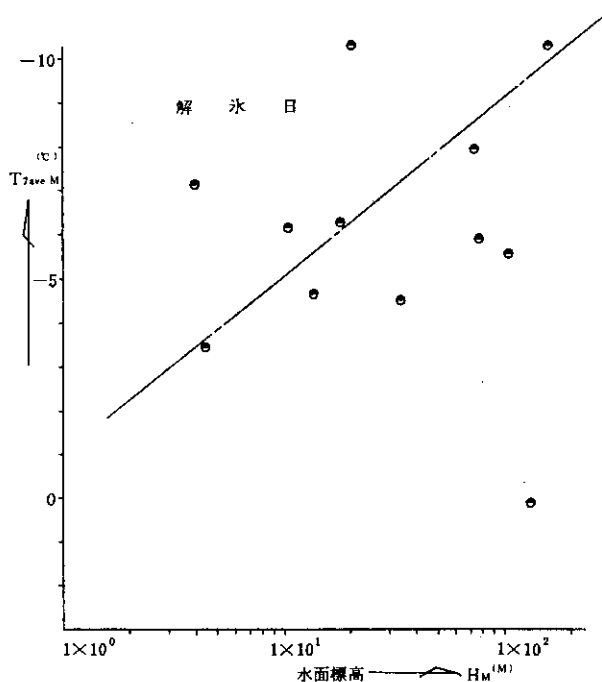
2.4 解氷の状況

解氷開始日の定義は水面上の一部に水面が現われた日としており、水位観測員が観察したものである。河川の解氷は、河川水温の上昇よりもむしろ、気温上昇による河川流量の増加に伴って、氷が割れて流下する現象による場合が多い。解氷の資料は先きに述べた表—2に示してあるが、解氷開始日には、地域性を有し、かつ年によって起日の差異がある。河道にそって資料が数多くある天塩川について見ると、解氷は河川の上流部は始まり、順次下流部に及んでいる。昭和44年の例(図—19参照)によると、上流部で2月中旬に始まった解氷は、4月中旬になって下流部でやっと解氷が始まるほど、解氷が起きている期間はかなり長いことがうかがえる。

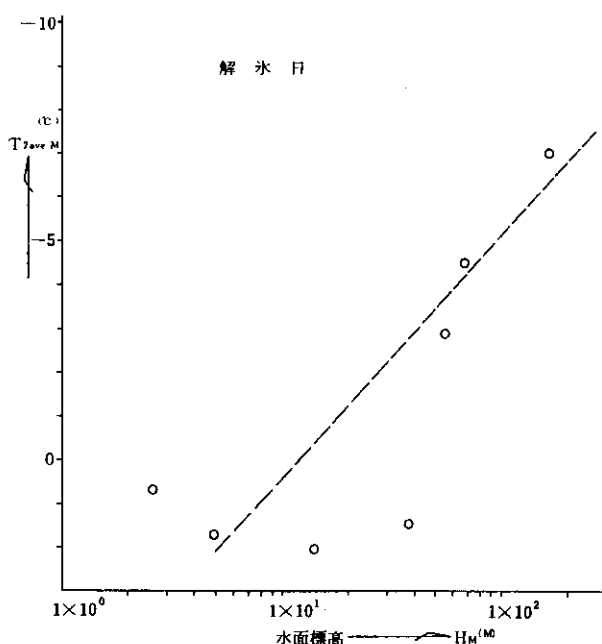
結氷に対して考慮した方法と同様に、解氷が始まる前の暖気温日数について検討したところ、解氷開始日を基準日として、7日前からの日平均気温 T_{7ave} とが最も相関性が高いことが見いだされた。道内河川の解氷開始における各観測所ごとの T_{7ave} と水面標高 H_m との関係を



図—33 道央・道南地域 T_{7ave} (°C)–水面標高 H_m (m)の関係



図—34 道東地域 $T_{ave\ m}$ ($^{\circ}\text{C}$)—水面標高 H_m (m)の関係



図—35 道北地域 $T_{ave\ m}$ ($^{\circ}\text{C}$)—水面標高 H_m (m)の関係

図—33～35に示した。図によると解氷日については、まだ地域的にその性状の差があるが、特に図—33に示す道央・道南地域における河川については、比較的に高い精度で解氷に必要な7日平均気温を推定することができるようである。

3. むすび

河川水温に関する調達は営農用水の取水の条件として重要な問題の一つであり、また、温水の排出は河川域の生態に与える影響は大きいとされている。また、北海道河川の特徴の一つとしての結氷は、冬期流量観測の精度

向上へ大きな阻害要因となっている。本文は冬期間の河川域における水循環を把握するに先きがけて、流量観測への結氷の阻害度の現況を把握することを目的とした調査報告文であって、要記すれば次のとおりである。

(水温)

- (1) 北海道河川の水温は夏期 27°C 、冬期 -2°C の間で変化し、 20°C 以上の期間が短かく冬期に過冷却の状態が生ずる。
- (2) 水温の地域性について、大別して道南・道央・道東・道北・オホーツク沿岸の4域に大別される。
- (3) 11月上旬の水温は、各年とも同じ値を示すことが明らかにされた。外の期間は、各年の気温変化に応じて年によって異なった値になっている。

(結氷)

- (4) 結氷始めと最も関係の深い期間気温は3日平均気温であり、平均的に -5.5°C である。
- (5) 流れの状態の指標としてフルード数 Fr_o をとると3日間平均気温が、次式で示す温度以下になったとき結氷が始まる。

$$T_{3\text{ ave}} < \left(\frac{1.755}{Fr_o} \right) - 15 \dots \dots \dots (^{\circ}\text{C})$$

- (6) 全面結氷は、結氷開始日からの平均気温と関係がある。
- (7) 解氷は、解氷前7日間の平均気温との関係が最もよい。

あとがき

本文は北海道河川の水温の状況、河川の結氷状況を調査し、2、3の考察を行なったものである。推定値にはまだ幅が大きい、許される精度で結氷開始、全面結氷、解氷開始日を推定できるようになった。河川の結氷状況の観察資料は開発局が、水位観測要領によって実施した水位月表によるものであるが、河道横断面の実測資料がなく、河道内水理資料に欠けるものが多かったので、今後は重点的に結氷状況の観測を続けるとともに水理量の測定を行ない、冬期流量観測の精度向上に資する所存である。最後に厳寒期の悪条件の中で氷の観測を続けられている水位観測員の方、また、ぼう大な資料を整備された開発建設部の水理調査の担当官の御芳苦に深く感謝する。

参考文献

- 1) 山辺功二：水温の研究：河川水温調査会研究部：第12巻、第1号：北海道の河川結氷：(p.36～42)
- 2) 西沢利栄著：水資源ハンドブック：安芸皎一、多田文男、監修：朝倉書店：(p.71～113)
- 3) 鎌田新悦：河川の結氷とこれに伴う水理に関する研究：北海道開発局土木試験所報告：第38号：(1965)
- 4) 北海道気象月報：札幌管区气象台：昭和35年1月号～昭和46年3月号