

開発土木研究所 正 員 山下彰司
 岩手大学工学部 学生員 小林正隆
 岩手大学工学部 学生員 宮 昭彦
 岩手大学工学部 正 員 平山健一

1 はじめに

北海道は積雪寒冷な地域であり、冬期間には河川の大部分は結氷する。河川が結氷することにより、その水理特性は開水路の時とは大幅に変化し、冬期の流量観測精度の低下や河川構造物における取水障害を招いたりする。

北海道の河川の結氷状況については過去に山辺¹⁾、山口²⁾らが行っている。しかし、最近では地球温暖化などの気象状況の変化が言われ、結氷の状況も過去の調査とは異なる可能性が考えられる。

本研究では全道の過去10ヶ年間の気象資料と流量資料を基に解析した北海道河川の結氷状況について整理すると共に結氷条件について考察するものである。

2 基準年の算定

結氷状況はその年の気象条件によって大きく左右されると思われる。そこでまず最初に、気象条件が平均的である基準年を求めることとする。この章では、過去10年間(1982年度～1991年度)の全道8箇所気象データの用いて近年10年間の平均となる基準年を決定する。

基準年選定に用いた気象観測地点は北海道の中で河川結氷が生じる地域として、北見、中川、帯広、留辺蘂、留萌、新得、天塩、浦幌の8地点を選定した。各地点において調査した10年間の各年度の12月～3月までの月平均気温偏差の2乗和をとったものが図-1である。2乗和が0に近い方が平均に近いことを示す。図-1でみると1991年度と1986年度が各地点において2乗和が小さい。しかし、図-2に示される冬期平均気温の10ヶ年平均値からの較差を見ると1991年度はわずかにプラスになっており、1986年度はわずかにマイナスになっている。今回の検討では較差がわずかにマイナスとなった1986年度を基準年として採用した。

また、図-2より冬期間の平均気温がもっとも低かったのは1985年度であり、冬期間の平均気温がもっとも高かった1988年度であった。

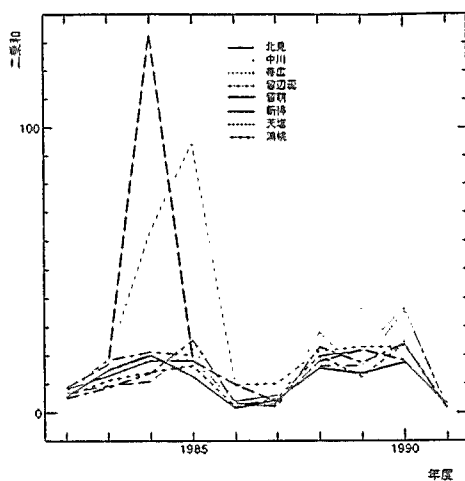


図-1 月平均気温偏差の2乗和

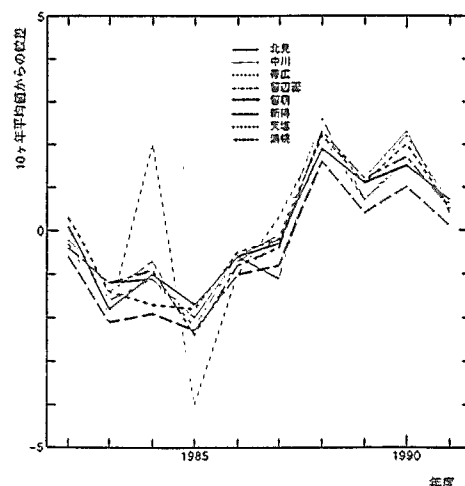


図-2 冬期年平均気温の10ヶ年平均値からの較差

Ice Covered Rivers in Hokkaido by Shoji YAMASHITA, Masataka KOBAYASHI, Akihiko MIYA, Kenichi HIRAYAMA

3 道内河川の結氷状況

基準年 1986 年度における結氷状況の調査は全道 20 水系 175 観測所の観測データをもとに行った。

主要水系毎の調査箇所完全結氷率（河川が横断的に完全に氷でおおわれる率）は表-1の通りである。天塩川、留萌川などの道北の河川や渚滑川、湧別川、常呂川などのオホーツク海地方の河川での結氷率は高い。これらの地域は北海道の中でも積算寒度が約 1000°C 日に達する地域である。図-3は基準年の全道結氷図である。図-3より北海道で完全結氷しない地域は日高山脈、大雪山を中心とする道央山系と道南地方および支笏湖を源流とする千歳川上流、屈斜路湖を源流とする釧路川上流、美美川であることがわかる。道南地方の非完全結氷は冬期間の平均気温が余り低下しないことが原因であると思われる。しかし、道央山系は積算寒度が 1000°C 日を越える寒冷な地域であるにもかかわらず非完全結氷であることから、この地域の非結氷の原因は道南地方のような気温の因子ではなく、流況の因子によるものと考えられる。この時、山間地域の水温データは異常に高い水温を示しておらず、今回調査した山間地域のデータに中間流出の影響はなかったと思われる。また、千歳川上流、釧路川上流の非結氷の原因は湖水の流入によるものと考えられ、美美川の非完全結氷の原因は湧水の流入によるものと考えられる。

表-1 水系別完全結氷率

水系名	地点数	結氷数	結氷率	水系名	地点数	結氷数	結氷率
天塩川	25	24	96%	釧路川	9	3	33%
留萌川	5	5	100%	石狩川	52	24	46%
十勝川	28	15	54%	安平川	2	0	0%
網走川	6	4	67%	尻別川	5	3	60%
常呂川	10	9	90%	後志利別川	5	4	80%
湧別川	5	5	100%	鷲川	6	6	100%
渚滑川	5	5	100%	沙流川	6	5	83%

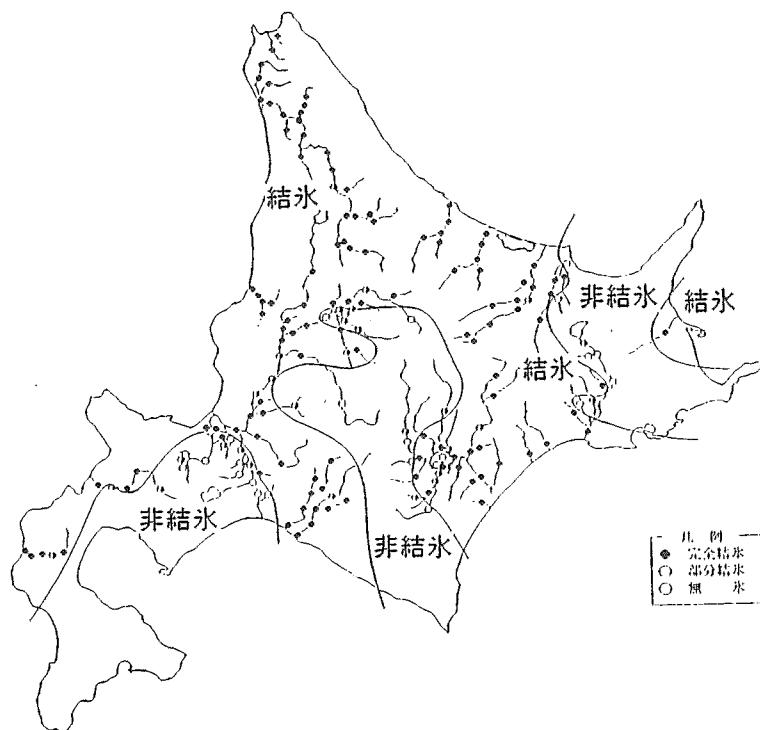


図-3 北海道の河川結氷図（基準年）

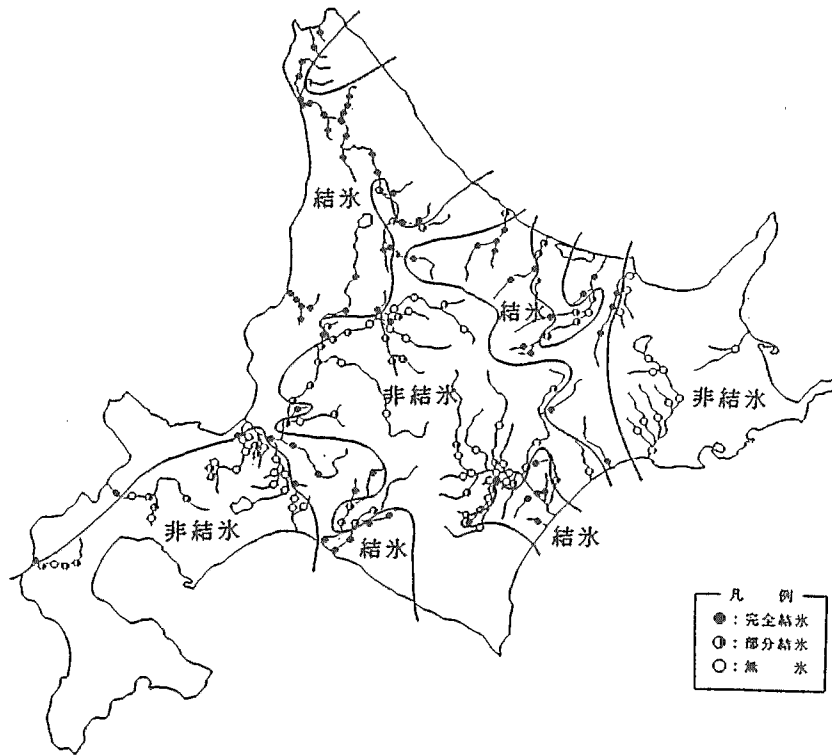


図-6 北海道河川結氷図（1988年度）

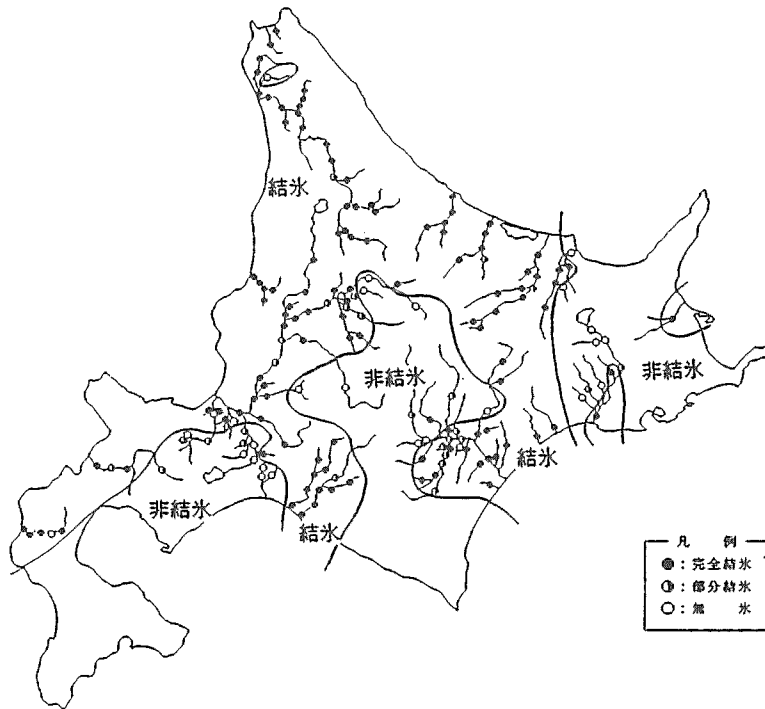


図-7 北海道河川結氷図（1985年度）

図-6と図-7はそれぞれ近年10箇年で最も平均気温が高かった1988年度の結氷図と最も平均気温が低かった1985年度の結氷図である。基準年である1986年度の結氷図（図-3）と平均気温が高かった1988年度の結氷状況を比較すると基準年では完全結氷している天塩川上流やオホーツク海側の河川で部分結氷となっている。石狩川上流や十勝川上流の山間地域でも非結氷および部分結氷となる地点が増えており、暖冬が結氷状況に大きな影響を与えることを示す。

平均気温が最も低かった1985年度と基準年の1986年度を比較すると結氷状況にほぼ変化はなかった。これは気温に関わらず完全結氷しない地点が存在することを示す。

4 北海道河川の結氷特性

前章での結氷図における非完全結氷地域（部分結氷を含む）の考察から河川が結氷するには気温の因子のほかに流速などの流況の因子あることがあげられた。ここでは気温の因子を結氷箇所では結氷前の3日寒度および非完全結氷箇所では冬期間の最低3日寒度で代表させ、おもに流況の因子と河川結氷の関係について検討する。検討に際しては全道175箇所の調査地点の内、水温調査が行われており、なおかつ都市排水など人工的要因および中間流出による異常に水温が高い地点を除いた観測地点データを用いた。

既往の研究では岸ら³⁾によると結氷はFroude数が0.4を越えると生じず、また山口ら²⁾によると河川結氷が生じる河川では以下の式が成り立つことが報告されている。

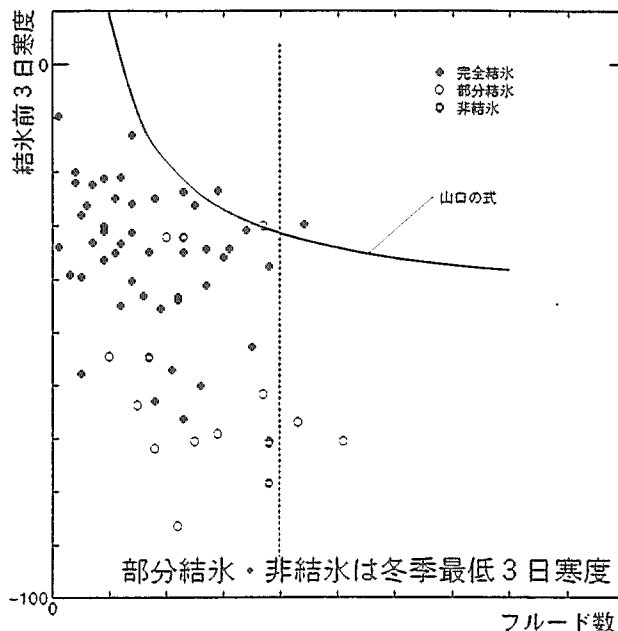


図-8 3日寒度-フルード数関係図

$$T_3 < \frac{1.8}{F_r} - 15 \quad (1)$$

ここで、 T_3 : 結氷前の3日平均気温、 F_r : Froude数である。

図-8は完全結氷した河川において、縦軸に結氷前の3日間の温度を積算した3日寒度を、横軸に結氷直前のFroude数をとったものである。参考のため部分結氷および非結氷地点のデータも示した（縦軸は冬期間の最低3日寒度とする）。図において山口の式は(1)式の両辺を3倍して左辺の $T_3 \times 3$ を3日寒度 T_{c3} として以下の式とする。

$$T_{c3} < \frac{5.4}{F_r} - 45 \quad (2)$$

図-8においても山口の式は成り立ち、また、完全結氷した河川ではFroude数が0.4を越えないことが示されており、過去の調査結果と合致している。

図-8より結氷条件としてFroude数が大きく関与していることが確認できた。ところでFroude数は流速と水深の成分から成っている。そこで、Froude数を流速成分と水深成分に分けてそれぞれの成分が結氷条件にどのような影響を与えているか検討した。図-9は縦軸に3日寒度、横軸に流速をとった図である。図より流速がだいたい0.5~0.7m/sを越えると冬期間の最低3日寒度が50°Cを越えても完全結氷しないことがわかる。ところで、Larsen⁴⁾によると流速が0.6m/sを越えると完全結氷しないことが報告されている。図-9で流速が0.6m/sで完全結氷と部分結氷、非結氷の境界が明確に区分されなかった。原因としては完全結氷の条件が水理条件だけでなく、気温・水温等の気象条件によっても左右されることが考えられる。気温・水温等の熱収支に着目した結氷条件の検討は佐渡ら⁵⁾が常呂川において行なったことがある。

図-10は縦軸に3日寒度、横軸に水深をとった図であるが、この図からは結氷と水深に関する関係は見いだせない。したがって、水理条件を基にして結氷条件について考えるとき、おもに流速の条件が

最も結氷に影響を与えることがわかる。

最低3日寒度－流速関係図

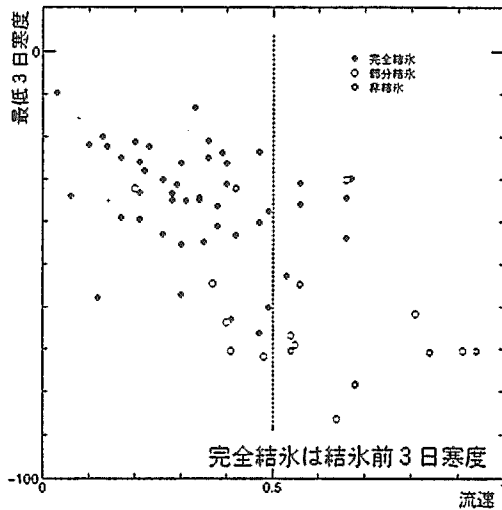


図-9 3日寒度－流速関係図

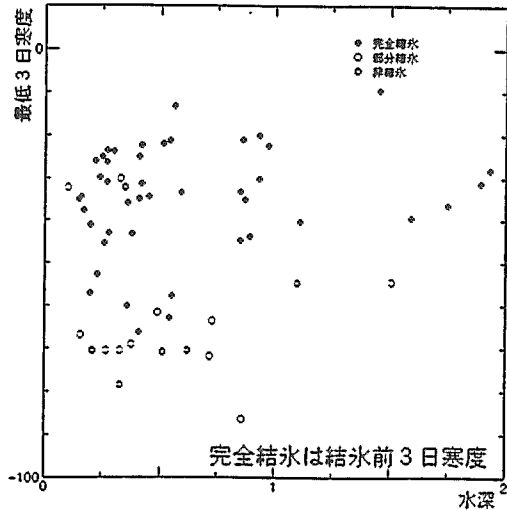


図-10 3日寒度－水深関係図

5 あとがき

今回は1982年度～1991年度までの調査年度間で全道175箇所の流量観測地点と十数箇所の気象観測地点のデータを基に最近10ヶ年間の結氷状況について調査した。

近年、地球温暖化等が言われており、結氷状況も過去の結果と相違がでるのではないかと思っただ、結果としてほぼ同じ結果が得られた。原因としては基準年として選定した1986年度の気温が過去の調査時期の1960年代の平均気温とほぼ同じであることが考えられる。これは1960年代の平均気温と調査年度間の平均気温がほぼ同じことを意味する。しかし、調査年度間の気温の推移は直近の過去5年間は高めである。したがって、この傾向が今後も続くならば、結氷状況も変わることが考えられる。

次に結氷状況については過去に報告された水理条件を用いた結氷条件が成り立つことが再認識された。また、結氷条件の指標として主として流速を用いることによりある程度明確に結氷と非結氷（部分結氷を含む）を区別することができることがわかった。

今回の調査では主として河川の水理条件を用いて北海道における最近の結氷状況を明らかにした。河川が結氷する条件としては水理条件だけでなく、気温・水温・熱輻射等の気象条件も関係している。しかし、水理条件だけを用いても大体の結氷判定はできると思われる。

今後は、結氷後の河川水理変化等の基礎調査を継続的に行って行きたい。

参考文献

- [1] 山辺功二; 北海道の河川結氷, 水温の研究 第12巻第1号, 1968.
- [2] 山口 甲, 西村 豊; 河川の水温と結氷に関する研究, 土木試験所月報 No.238, 1973.
- [3] 岸 力, 中尾欣四郎; 北海道における河川結氷と冬季渇水量について, 土木学会第16回年次学術講演会講演集, 1961.
- [4] Larsen.P; Thermal regime of ice covered waters, IAHR ice symposium On Ice Problems, Part 3, Lureå, Sweden, 1978.
- [5] 佐渡公明, 中尾隆志; 冬期の河川結氷と熱収支について, 日本雪氷学会誌雪氷45巻1号, 1983.