

北海道の港湾・漁港における港内結氷の特性に関する調査研究

Characteristics of Freezing in Ports and Fishing Ports in Hokkaido

早川哲也*・坂本洋一**・水野雄三***・石川成昭****・金川均*****

Tetsuya Hayakawa, Yoichi Sakamoto, Yuzo Mizuno, Shigeaki Ishikawa and Hitoshi Kanagawa

Ports and fishing ports in relatively cold regions in Hokkaido freeze during winter. Controlling freezing in these ports would promote economic activity in winter. Methods to protect ports from freezing have been developed and the effective application of these methods requires classification of characteristics of freezing. This study investigates characteristics of freezing, based on field surveys conducted every winter over 9 years.

It was found that significant increases in frozen area required temperatures of -15°C or below, and that freezing was accelerated by the presence of sea ice.

Key words : freezing in port, ice floe

1. はじめに

北海道内の寒冷な港湾や漁港では冬期間に港内が結氷し、また、オホーツク海沿岸を中心とする地域では流水の来襲もみられる。これらの現象は、観光や水産資源の育成などの面を除けば、経済活動においてマイナス面が多い。しかし、港内のみが結氷する場合、それらの制御や対策を施すことにより、漁船など小型船舶の離着岸や入出港が可能となる。港内結氷対策としては熱供給法や強制排除法(遠藤ら、1989; 山中ら、1991)などがあるが、この効果をより高めるためには各港の結氷の特性や発生要因を解明することが重要である。このため、図-1に示す日本海側2港、オホーツク海側3港、太平洋側3港の計8港で表-1のような現地調査を実施した。

既往の調査研究では、梅沢ら(1990)が結氷初期の港内結氷機構として、①海水温が水深方向に一樣に結氷温度まで達して結氷を開始するパターン、②降雪や海水の融解などにより海面に低塩分層が形成され海水温が通常の結氷温度に達する前に結氷を開始するパターン、の2つに分類している。また、山本ら(1993)は、パターン①を海水が緩やかに冷却された場合と位置づけ、3つ目のパターンとして気温が相当低くなった場合には水面付近のみが結氷温度まで低下し結氷を開始することを示した。さらに、結氷に至る水温低下への影響が考えられる各種気象要因について重線形回帰による相関分析を行い、気温との相関が比較的高いことを示した。しかしながら、オホーツク海側では、流水による水温・塩分濃度の低下及び波浪制御効果により、結氷が促進されるといわれているが、この影響については十分検討されていない。

そこで本研究では、1995年度までに蓄積されたデータを用いて、港別の結氷特性について整理するとともに、網走港については流水の影響についても検討した。

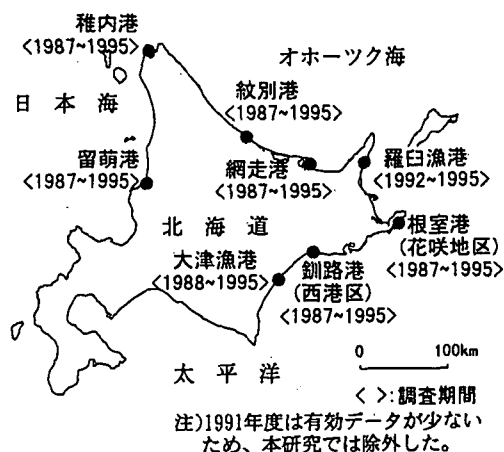


図-1 調査港位置図と調査期間

表-1 主な現地調査項目

港内結氷状況：結氷箇所(面積)や流水流入状況を毎朝観測して記入<メッシュ化して結氷率を算出>
港内水温鉛直分布：水深3~6mの岸壁で毎時連続測定<その平均値を使用>
気象データ：気温測定

* 正会員 北海道開発局開発土木研究所港湾研究室
** 北海道開発局開発土木研究所港湾研究室
*** 正会員 工博 北海道工業大学土木工学科(前開発土木研究所)
**** (社)寒地港湾技術研究センター調査研究部(〒060 札幌市北区北7条西2丁目8番地)
***** 北日本港湾コンサルタント(株)技術部

2. 港別の結氷特性

(1) 結氷率と結氷日数

図-2は、年間の結氷率（港内の水域面積に対する結氷している面積の割合）の総計について、調査期間での最大値及び最小値、平均値を示している。最大値をみると、網走港の4,961%・日を最高に紋別港が2,610%・日となっており、それに続いて大津漁港、根室港、羅臼漁港が1,000%・日を上回っている。また、留萌港及び稚内港は100%・日程度と低い値を示している。平均値をみると、網走港、紋別港に続いて大津漁港が高く、最大値と同様な傾向となっている。なお、網走港と大津漁港については調査期間中毎年港内結氷が発生したが、釧路港での結氷は観測されなかった。

図-3は、港別に年間の結氷日数について、調査期間での最大値及び最小値、平均値を示したものである。最大値については、網走港の87日を最高に紋別港、根室港が76日と続いている。平均値については、網走港が61日と最も多く、紋別港の45日、大津漁港の30日が続いている。

図-4は、港別の年間の平均結氷率について、最大値及び最小値、平均値を示したものである。最大値をみると、羅臼漁港、網走港、紋別港では60%以上大きい値を示している。羅臼漁港については、結氷日数が少ないものの結氷率が高いのが特徴である。これに対して稚内港では、結氷日数は多いが結氷率が低く、港内の一部が長い期間結氷していると考えられる。

(2) 気温・水温と結氷状況

図-5は、結氷日数が多いオホーツク海側の紋別港・網走港、太平洋側の根室港・大津漁港について、結氷状況と気温の関係を示したものである。横軸は年平均日最低気温、縦軸は年間の結氷日数及び結氷率の総計である。各港ともばらつきはあるものの、年平均日最低気温の低い年ほど結氷日数及び結氷率が大きくなる傾向にある。紋別港については、結氷日数と比較すると結氷率は年平均日最低気温との相関が高い。また、大津漁港については、他の港より最低気温が低いにもかかわらず、結氷日数及び結氷率はさほど高くない。

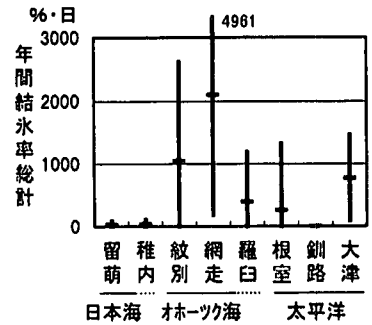


図-2 港別の結氷率の総計

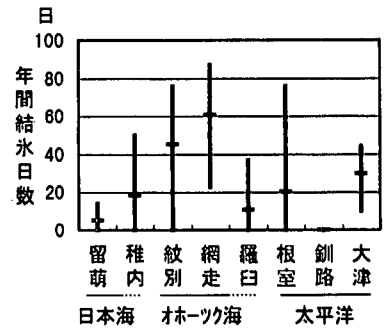


図-3 港別の結氷日数

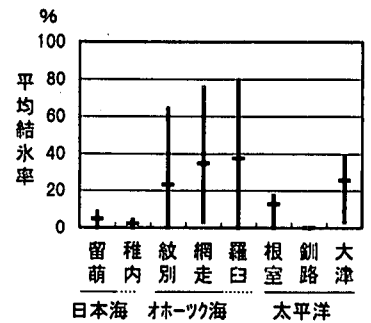


図-4 港別の平均結氷率

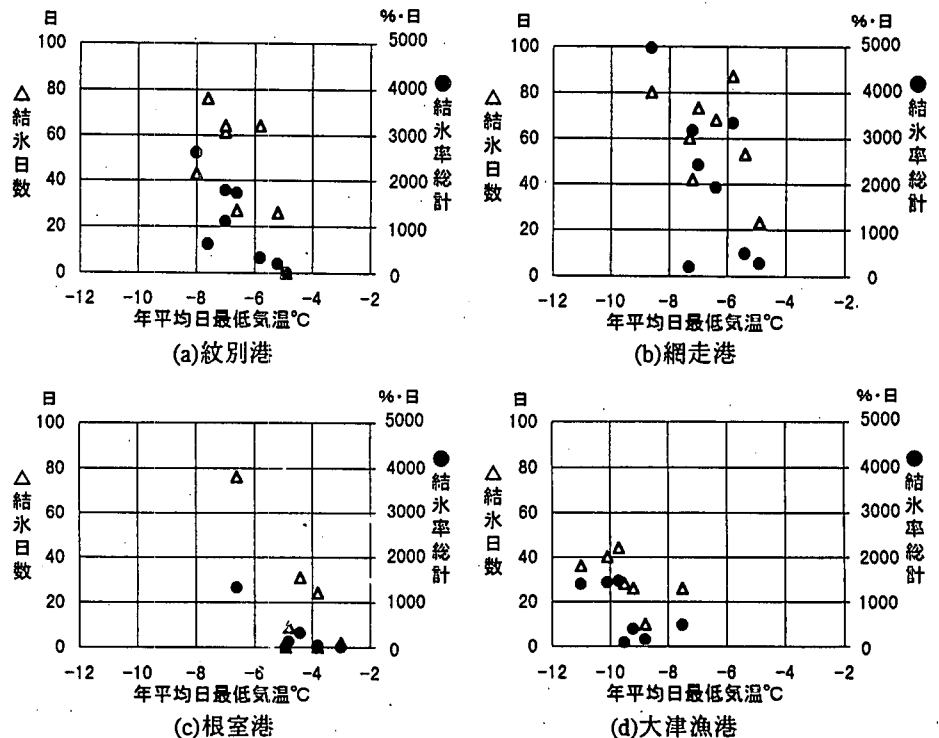


図-5 結氷状況と年平均日最低気温の関係

図-6は、年間の結氷日数、結氷率の総計及び日最低気温、日平均水温について調査期間における平均値を示したものである。結氷率の低い日本海側の留萌港・稚内港では、日最低気温が -5°C 程度とオホーツク海側に比べて 1°C 以上高く、日平均水温も留萌港では 3.1°C と最も高い。太平洋側の根室港では、日平均水温は低い傾向にあるが、日最低気温は -4.5°C と最も高いため結氷は少ないと考えられる。大津漁港では、日平均水温は 1.7°C と根室港より 1°C 程度高いが、日最低気温は -9.4°C と低いいため結氷が発生していると考えられる。

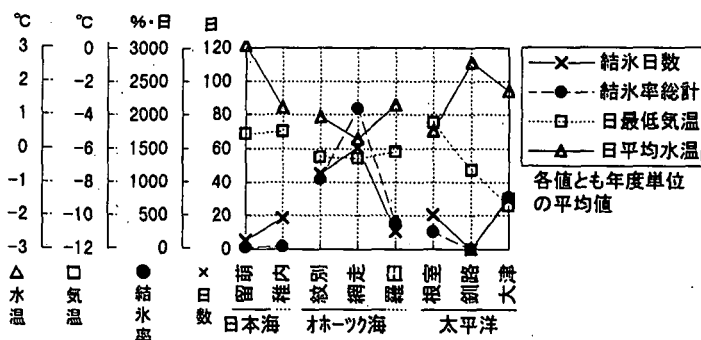


図-6 港別の結氷状況

3. 結氷率の増減

図-7は、結氷率の高い3港（紋別港、網走港、大津漁港）を対象に結氷率の増減差（当日の結氷率－前日の結氷率）の頻度を階級別に示し、同時に当日及び前日の日最低気温をその階級における平均値で示したものである。増減差の頻度をみると、5%未満が多く、紋別港では69%、網走港では65%、大津漁港では50%を占めている。一方、30%以上は3港とも10%程度であり、結氷率は大きく変化する場合が少ないと考えられる。

結氷率増加日においては、当日最低気温が低いほど結氷率の増加量が多くなる傾向にあり、結氷率が30%以上増加する場合、網走港では -10.0°C 、紋別港では -11.4°C 、大津漁港では -19.6°C である。また、網走港及び紋別港については、前日との最低気温の差が大きいほど結氷率の増加が大きくなる傾向にあるが、大津漁港では約 2°C の一定の差を示している。結氷率減少日においては、各港とも当日最低気温が前日最低気温を上回っており、特に大津漁港では10%以上の減少日では、その差が 3°C 程度と大きくなっている。

図-8は、大津漁港における結氷率の増減差と日最低気温の関係を示したものである。日最低気温が下がるとともに結氷率の増加量が多くなる傾向にある。10%以上結氷率が增加する場合には日最低気温 -10°C 以下であり、40%以上の増加する場合は日最低気温は -15°C 以下である。

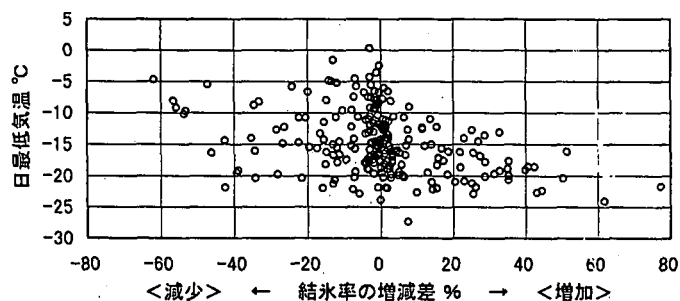


図-8 結氷率の増減差と最低気温の関係（大津漁港）

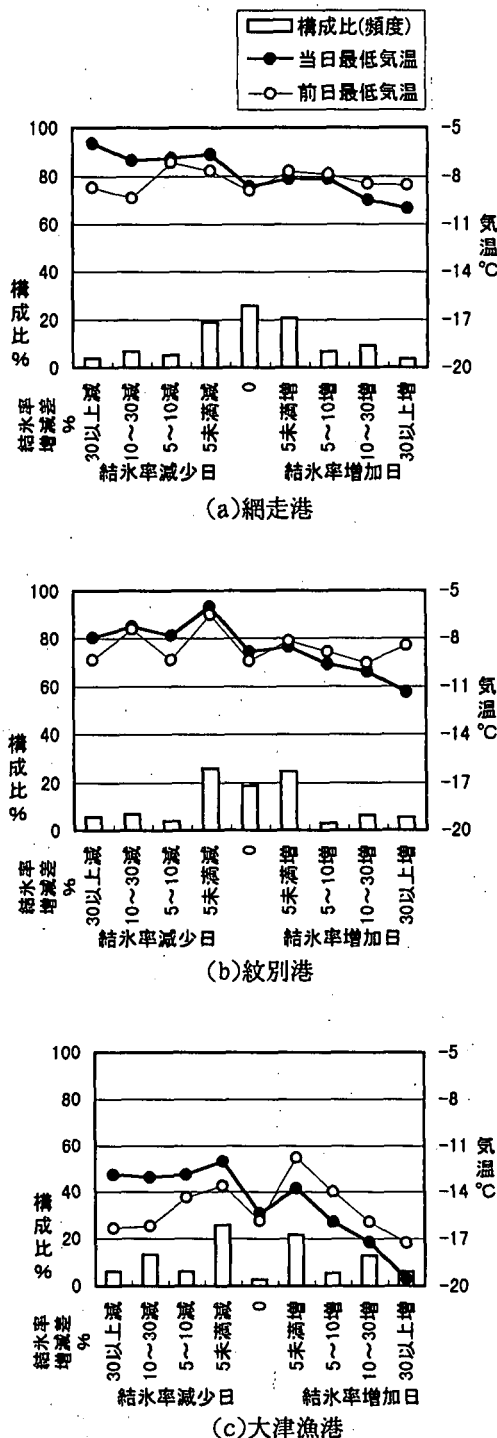


図-7 結氷率の増減差による平均最低気温

4. 結氷に対する流氷の影響

結氷調査を実施している港のうち網走港・紋別港については、港内結氷に対する流氷の影響が考えられる。流氷が来襲した場合、港内静穏度の向上、塩分濃度及び水温の低下が港内結氷を促進させると考えられるが、ここでは水温の低下に着目し、流氷の影響について検討する。なお、検討にあたっては流氷の来襲する頻度が高かった網走港のデータを用いた。

図-9は、図-7(a)を流氷の有無別に示したものである。(a)流氷なしの場合、前述している当日平均最低気温が低いほど結氷率の増加量が多くなるという傾向が強くなる。これに対して、(b)流氷ありの場合、その傾向が全くみられない。

図-10は、1993年度の網走港における日最低気温と日平均水温の関係を示しており、流氷が来襲し結氷している場合を●、結氷のみを○、非結氷を×で示している。日平均水温が約0℃以下の場合に結氷が発生しており、水温が水深方向に一樣に結氷温度まで達した（梅沢ら、1990）ためと考えられる。しかし、日最低気温が-7℃以下の場合に、水温が0℃以上でも結氷が発生しており、水面付近のみが結氷温度に達した（山本ら、1993）と考えられる。

流氷の影響をみると、流氷なしの場合は日最低気温が0℃以下で結氷するのに対して、流氷がある場合は2℃程度であっても結氷している。また、日最低気温にかかわらず流氷が来襲している場合は、日平均水温が-1℃程度と低い傾向にあり、流氷による水温の低下により気温が高くても結氷したと考えられる。

5. おわりに

本研究で得られた主要な結論を以下に示す。

- (1) 結氷率の変化は5%未満がほとんどである。また、その増加量は当日の日最低気温の低下に伴い多くなる傾向にある。
- (2) 大津漁港では、10%以上結氷率が增加する場合の日最低気温は-10℃以下であり、40%以上増加する場合の日最低気温 -15℃以下である。
- (3) 流氷がある場合はない場合に比べて気温にかかわらず水温が低下する傾向がある。
- (4) 流氷がある場合はない場合に比べて高い気温で結氷が発生する。

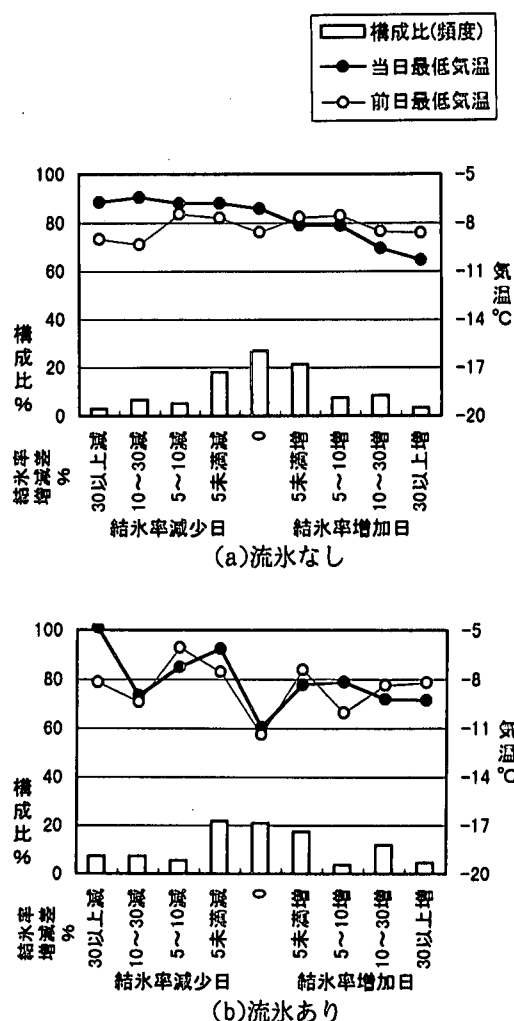


図-9 流氷の有無による結氷率増減と平均最低気温（網走港）

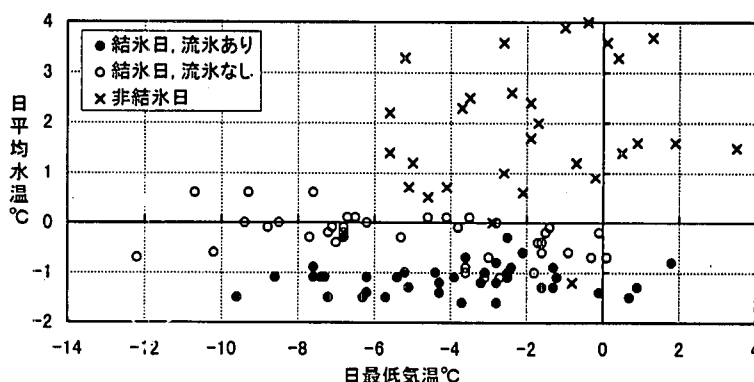


図-10 網走港結氷状況別の気温と水温の関係

最後に現地調査の実施にあたり、北海道開発局各港湾建設事務所及び同事業所の関係者の方々には、厳冬期にもかかわらず日々の結氷観測をはじめ計測器の設置やメンテナンスなど多くの面でご協力をいただいた。ここに記して深謝の意を表する次第である。

参考文献

梅沢信敏・平沢充成・杉本義昭・水野雄三・遠藤仁彦(1990)：港内結氷のメカニズムに関する調査研究、海岸工学論文集第37巻、pp. 858～862

遠藤仁彦・梅沢信敏・谷野賢二(1993)：エアバブル工法による港内結氷制御に関する実験的研究、海岸工学論文集第36巻、pp. 693～697

山中浩次・水野雄三・杉本義昭・時川和夫・梅沢信敏(1991)：エアバブル工法による港内結氷制御に関する実験的研究（2）、海岸工学論文集第38巻、pp. 706～710

山本泰司・水野雄三・笹島隆彦・山中浩次・時川和夫(1993)：寒冷地港湾における港内結氷特性に関する研究、海岸工学論文集第40巻、pp. 1011～1015