

(昭和 47 年 10 月日本造船学会秋季講演会において講演)

船舶の着氷について (その 4)

正員 岩 田 秀 一*

Ice Accumulation on Ships (The Fourth Report)

by Shuich Iwata, *Member*

Summary

In the third report, the author presented the results of his comparison between the growth rate and amount of ice accreted on patrol boats obtained from icing experiments conducted at sea and the rate and amount of ice estimated by the theories of forced convection of heat developed in the first and second reports.

It is also advanced that the growth rate and amount of ice accreted on any vessels, can be estimated approximately under any ambient air temperature, wind velocity and duration of icing at sea through the results of these studies.

This paper describes some materials for ambient air temperatures and relative wind velocities during icing on ships, which have been collected through questionnaires entrusted to various types of patrol boats in the northern waters around our country over several years.

The weather condition of the growth of ice accreted on ship has been made considerably clearer by these investigations.

Therefore, assuming conditional ambient air temperature, wind velocity and duration of icing on ships from the abovementioned materials, and picking up four vessels, whose navigations are scheduled in the northern waters, the amounts and heights of centres of gravity of ice accreted on them are estimated, and the change of ships' stability between before and after icing is also presented.

It is also indicated that the centre of gravity of ice accreted on ship can be estimated satisfactorily by these theories.

Finally, the author has made a comparison of the two kinds of amounts and centres of gravity of ice accreted on various types of patrol boats and two fishing vessels estimated by these theories and by the USSR icing norms respectively.

It is pointed out through the results of the comparison that the USSR icing norms contain some defects basically and new icing norms are proposed by the author on the basis of the already reported investigations and studies.

1 緒 言

著者は、第 3 報¹⁾において、実船実験で測定した着氷の成長や着氷量と、これまで展開してきた理論^{2,3)}を用いて求めたこれらの値とを比較し、航海中の気温、風速、着氷継続時間が与えられれば、おおよその着氷の成長と着氷量は推定できることを報告した。

本文では、数年にわたる各種巡視船の調査票による着氷報告から、わが国周辺の北洋において、船舶に着氷が成長するときの気温と風速がかなり明らかになってきたので、着氷条件としての気温と風速をこの資料から仮定し、一方、一日中で着氷の成長し易い時刻と除氷に適した合間から着氷継続時間を想定して、冬期、北洋を航行

* 日本海事協会

する代表船4隻を選び、予想される着氷量とその重心位置を求め、着氷前後の復原性能の変化について報告してある。ついでに、重心位置を求めるこの方法は、実船実験の結果と比較し、充分の精度で適用できることもあわせて説明してある。

最後に、このようにして求めた試算結果と、各種巡視船および2隻の漁船にソ連の着氷基準を適用して求めた着氷量とその重心位置を比較し、この基準には根本的に欠点が含まれていることを指摘し、これまでの調査と研究の結果を総合し、著者の着氷基準を提案してある。

2 冬期、わが国周辺の北洋における気象

田畑⁴⁾は、1963年以来、海上保安庁第一管区海上保安本部の協力を得て、着氷海域に出動する全巡視船に依頼した着氷調査票によって、着氷時の気象や海象を調査してきた。

この票の記載内容は大略次のとおりである。

対船風向と風速、気温、水温、波浪および「うねり」の階級と対船方向、そして着氷については、「着氷がおこらない」、「少し成長しつつある」、「明らかに成長しつつある」等、飛沫については、操舵室の舷窓に、「全く飛んで来ない」、「少し飛んで来る」、「大量に飛んで来る」等が記入され、その他の参考事項も報告されるようになっている。

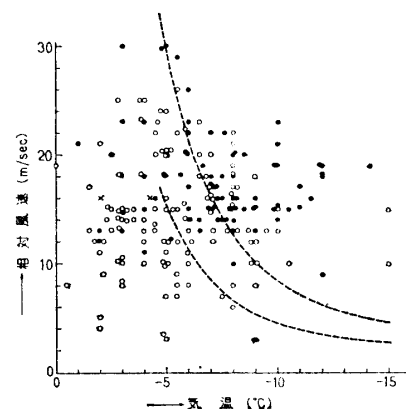
調査報告のあった巡視船は、最も大きい「宗谷」を初めとし、900トン型、450トン型、350トン型、270トン型の各種巡視船である。

1967年までに集めたこの資料中、相対風速と気温の関係を第4・1図に示してある。この図で、黒丸、白丸、×印は、それぞれ調査票の着氷が、「明らかに成長しつつある」、「少し成長しつつある」、「着氷がおこらない」に対応する。

この図をみると、船の大小や、波浪、「うねり」の対船方向などによって飛沫の浴び方が異なったり、あるいは調査票の記入にあたり報告者の主観が入ることなどもありうるためか、黒丸と白丸が相当入りまじっている範囲もあるが、一般的な傾向としては、気温が低くなるか、相対風速が大きくなると、着氷が、「明らかに成長しつつある」という報告が多い。一方、相対風速が小さくなると白丸が次第に多くなり、10m/sec以下では、たとえ気温が低くともほとんど白丸となっている。これは波浪があまり発達していないため、飛沫の飛んで来る量が少なかったことによるものと解される。

この図に破線で描いた2本の曲線は、直径1cmの円柱について、最大着氷量が一定となる風速と気温の組合わせを、著者が理論で求めて結んだものである。

この図から、わが国周辺の北洋において、船舶に着氷が成長するときの気温と風速をおおよそ推定することができる。



第4・1図 巡視船の報告から求めた相対風速、着氷の成長、気温の関係

3 想定着氷量を定める基礎条件

船舶の復原性能を計画するにあたり、できるだけ低い気温と大きい風速、それに長い着氷継続時間を仮定して着氷量を想定することは望ましいことではあるが、この現象は一年中のある限定された季節に、しかも限られた水域で発生するので、あまり過大に評価することは適切でない。このような観点と、第4・1図の内容から、著者は次の条件を提案する。

気 温	-12.5°C
相 対 風 速	25 m/sec
着氷継続時間	10 時間

着氷継続時間を10時間としたのは次の理由による。

これまでの実船実験の経験から、着氷は夜中に成長し易いことが知られている。これは気温の低下と着氷の成長とを結び付けて考えれば当然のことである。このことと、夜間の除氷作業の困難さを考えると、少なくとも一

晩ぐらい除氷しないでも船舶が航行できる性能を考えておく必要がある。この値として 10 時間を選んだものである。

4 着氷試算船と試算結果

冬期、北洋を航行することが予想される代表船を選び、着氷の分布範囲を 350 トン型巡視船の実験結果から推定し、その主要成長部を円柱と平板に分類する。これに、これまでの理論を適用し、気温を -5°C 、 -10°C 、 -15°C 、風速を 25 m/sec、着氷継続時間を 10 時間と仮定して、着氷量とその上下の重心、着氷前後の復原性能の変化等を求めている。

第4.1表 代表船の主要目

船 型 (m)	350トン型巡視船	900トン型巡視船	124トン 船尾式底曳網漁船	394トン 遠洋底曳網漁船
垂線間長 (m)	45.00	70.20	30.40	47.20
幅 (m)	7.30	9.20	6.90	8.80
深 さ (m)	4.10	5.30	2.70(*4.70)	3.79(*6.00)
状 態	1/3 消費	1/3 消費	漁場発	漁場発
排水量 (t)	407.20	1009.66	333.22	956.65
相等喫水 (m)	2.28	2.99	2.43	3.41
K G (m)	2.68	3.38	2.40	3.25
K M (m)	3.50	4.39	3.29	4.17
G M (m)	0.82	1.01	0.89	0.92

註) * 印は遮浪甲板までの深さ

第4.2表 350 トン型巡視船の気温、着氷量とその重心

気 温 ($^{\circ}\text{C}$)	-5			-10			-15		
氷	W (t)	K G (m)	M (t-m)	W (t)	K G (m)	M (t-m)	W (t)	K G (m)	M (t-m)
船 首 旗 竿	0.03	6.82	0.20	0.10	6.82	0.68	0.24	6.82	1.64
ブルワーク及びハンドレール	1.72	5.41	9.30	5.08	5.44	27.62	10.27	5.46	56.00
上 甲 板	3.92	4.41	17.29	8.35	4.41	36.80	13.49	4.41	59.50
機 銃	0.78	5.52	4.31	2.00	5.57	11.14	3.63	5.61	20.35
船 橋 前 面	0.30	6.60	1.98	0.63	6.62	4.17	1.03	6.61	6.80
全 着 氷 量	6.75	4.90	33.08	16.16	4.98	80.41	28.66	5.03	144.29

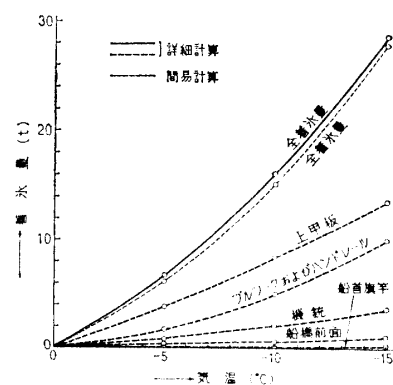
試算の代表船として、4 冬にわたって実験に供した 350 トン型巡視船と、着氷量に及ぼす船舶の大きさの影響を調べる意味で 900 トン型巡視船を選び、これにわが国の代表的な北洋操業トロール漁船 2 隻を加える。これら 4 隻の船舶の主要目を第 4.1 表に掲げてある。

4.1 350 トン型巡視船

350 トン型巡視船は最も多く実験の実績をもっており、この船に理論をまず適用して着氷量やその重心を推定し、実験結果と比較検討するのが最も適切である。

着氷の成長個所は、第 3.8 図⁵⁾ をもとにしてまとめた第 3.5 表⁶⁾ のとおりとする。3 種類の気温毎に着氷量と基線からの氷の重心の高さを求めると第 4.2 表および第 4.2 図のとおりとなる。

海上保安庁においては、巡視船の基準着氷量として、この型の巡視船に 20 トンの氷を見込み、これから単位面積あたりの着氷量を求めて全巡視船の着氷基準⁷⁾ とした。当時は実船実験の結果と巡視船の着



第4.2図 350 トン型巡視船の相対風速 25 m/sec における 10 時間後の着氷量と気温の関係

氷報告を参考としてこの基準を決めたもので、相対風速と気温は全く考慮されず、ただ着氷継続時間のみ 10 時間としてある。いま、第 4・2 図をみると、この基準着氷量は相対風速を 25m/sec, 気温を約 -12°C として決めたことになり、わが国周辺の北洋における気象に照らし、ほぼ妥当な基準であったといえよう。

第 4・3 表 実験で求めた着氷の重量と重心

船 名	試験年	算 出 方 法	着 氷		
			$W(t)$	$KG(m)$	KG/D
そ ら ち	1960	重 心 試 験	25.52	4.59	1.12
ゆ う ば り	1961	重 心 試 験	12.82	5.41	1.32
		秤による実測	13.39	5.09	1.24
ち と せ	1962	秤による実測	19.99	5.12	1.25
ち と せ	1963	秤による実測	6.65	5.64	1.38

「そらち」の実験では、重心試験時には、すでに船橋前面の氷の一部が剥離して落下したり、前部上甲板の一部の氷はホースパイプから逆流する海水のため船橋の前まで洗い流されたり、あるいは船首旗竿は氷の重みのため上甲板に倒れてしまっていた。こうしたためか、実験で求めた氷の重心は一番低い値となっている。

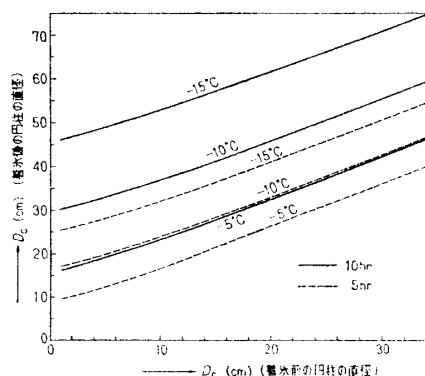
このように、自然の氷の形がこわされているので、理論で求めた氷の重心と比較することは無理である。

「ゆうばり」の実験では、後部上甲板の氷が、入港翌夜から襲って来た猛吹雪のため積った雪を払うとき、誤まって一緒に払われてしまったり、着氷時の重心試験中晴天のため、氷が一部融解してしまった。したがって「そらち」ほどではないが、大分氷の自然の形がこわされている。

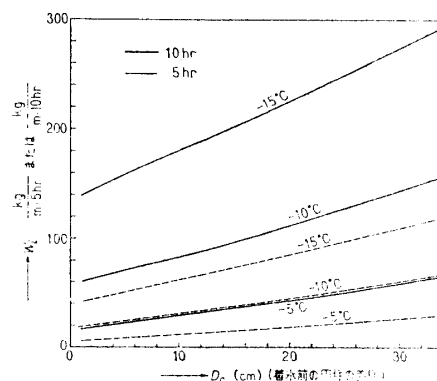
「ちとせ」の第 1 回目の実験では、入港後重心試験を断念し、直ちに氷の重量計測を開始した。しかも気温が低く、機関室囲壁附近の僅かな氷が船内からの熱のため融解してしまったほかは、氷の形がこわされたものはなく、4 冬にわたる試験中最も自然の姿に近い状態で氷の重心が求められた。したがって理論で求めた氷の重心位置と比較検討するのに一番適している。第 4・2 表の氷の重心をみると、着氷量が増加するにつれ、氷の重心は僅かではあるが上昇する傾向がみられる。この実験で計測された着氷量は約 20 トンであったので、第 4・2 表から、着氷量 20 トンに対応する氷の重心位置を推定すると 5.00m となる。この値は、実験で求めた 5.12m の 97.7 パーセントにあたる。

「ちとせ」の第 2 回目の実験では、上甲板上にほとんど氷が成長しなかった。このためか、氷の重心位置は 4 回にわたる実験の中一番高い値となっている。この実験では、左舷船首ブルワーク上ハンドレールの氷が一部波浪のため叩き落された以外は、「ちとせ」の第 1 回目の実験と同様ほぼ自然に近い状態で氷の重心位置が求められた。

この実験の着氷量をみると、第 4・2 表中、気温 -10°C の着氷量から上甲板の着氷量を差し引いたものに近



第 4・3 図 風速 25m/sec, 着氷継続時間を 5 時間, 10 時間とした場合, 気温 -5°C , -10°C , -15°C における着氷前後の円柱の直径の関係



第 4・4 図 風速 25m/sec, 着氷継続時間を 5 時間, 10 時間とした場合, 気温 -5°C , -10°C , -15°C における円柱の単位長さあたりの着氷量と円柱の原径の関係

い。このときの着氷量とその重心の高さを求めると、それぞれ 7.81 トン、5.59m となる。実験で求めた氷の重心の高さは 5.64m であるから、理論値は実験値の 99.2 パーセントとなる。

以上のことから、この理論を用い、充分信頼できる精度で氷の重心位置を推定することができると考えられる。

このように、350 トン型巡視船を対象として、着氷の重量と重心位置を理論で求める方法とその信頼性について述べてきたが、この適用法は少し煩雑に過ぎる嫌いがあるので、少し簡易化し実用に適した計算法を考え、これを再び 350 トン型巡視船に適用し、詳細に求めた計算結果と比較検討してみる。

(1) 円 柱

風速を 25m/sec、気温をそれぞれ -5°C 、 -10°C 、 -15°C 、着氷継続時間をそれぞれ 5 時間、10 時間とした場合、着氷前後の円柱の直径の関係を求め第 4・3 図に示してある。この図から、各気温と着氷継続時間に応じ、円柱の原径と単位長さあたりの着氷量の関係を求めると第 4・4 図となる。この図で、円柱の原径を 5cm 間隔に区切り、それぞれの間隔内の原径に対する着氷量を、その間隔の中央の径に対する着氷量で代表させると、第 4・4 表および第 4・5 表のとおりとなる。

なお、第 4・4 表は参考のため求めたものである。

第 4・4 表 風速 25m/sec、着氷継続時間 5 時間とした場合の円柱の着氷量 (kg/m)

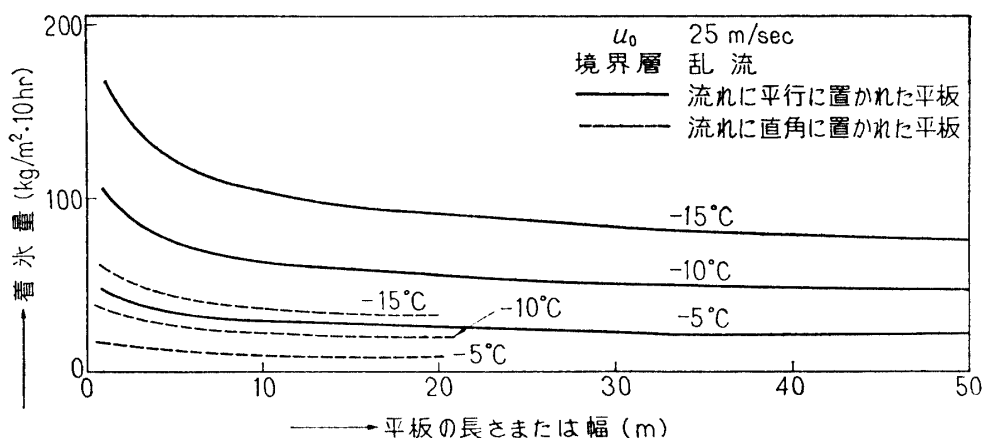
円柱の直径(cm) 気温 ($^{\circ}\text{C}$)	0~5	5~10	10~15	15~20	20~25	25~30	30~35
- 5	7	10	13	17	21	25	29
-10	21	28	34	42	49	57	65
-15	44	56	67	80	92	104	116

第 4・5 表 風速 25 m/sec、着氷継続時間 10 時間とした場合の円柱の着氷量 (kg/m)

円柱の直径(cm) 気温 ($^{\circ}\text{C}$)	0~5	5~10	10~15	15~20	20~25	25~30	30~35
- 5	19	26	33	40	47	55	63
-10	63	77	90	105	121	137	153
-15	147	170	192	214	238	262	286

(2) 平 板

風速を 25m/sec、境界層を乱流、気温をそれぞれ -5°C 、 -10°C 、 -15°C 、着氷継続時間を 10 時間とした場合、流れに平行又は直角に置かれている平板について、単位面積あたりの着氷量と平板の長さ又は幅の関係を求めて第 4・5 図に示してある。この図から、平板の長さ又は幅をある間隔に区切り、円柱の場合に準じてその間隔



第 4・5 図 平板を風速 25 m/sec の流れと平行もしくは直角に置いた場合、単位面積あたり 10 時間後の着氷量、気温、平板の長さまたは幅の関係

第4.6表 風速 25m/sec, 着氷継続時間 10 時間とした場合の平板の着氷量 (kg/m²)

平板の長さ又は幅 (m)		0~2	2~5	5~10	10~15	15~20	20~30	30~40	40 以上
気温 (°C)									
流れに平行	-5	48	38	32	29	27	24	22	22
	-10	103	82	68	61	58	54	50	50
	-15	167	133	111	99	93	87	82	82
流れに直角	-5	17	14	11	10*	註) 平板の幅が 15m 以上の場合は * 印の重量を使用する.			
	-10	37	29	24	22*				
	-15	60	47	39	35*				

第4.7表 350 トン型巡視船の気温, 着氷量とその重心 (簡易計算)

気温 (°C)	-5			-10			-15		
氷	W(t)	KG(m)	M(t-m)	W(t)	KG(m)	M(t-m)	W(t)	KG(m)	M(t-m)
船首旗竿	0.03	6.32	0.20	0.10	6.82	0.65	0.22	6.82	1.50
ブルワーク及びハンドレール	1.49	5.44	8.10	4.51	5.45	24.55	10.01	5.45	54.52
上甲板	3.81	4.41	16.79	8.34	4.41	36.71	13.49	4.41	59.43
機銃	0.55	5.55	3.05	1.52	5.59	8.51	3.11	5.64	17.55
船橋前面	0.31	6.55	2.03	0.67	6.55	4.39	1.10	6.57	7.23
全着氷量	6.19	4.87	30.17	15.14	4.94	74.81	27.93	5.03	140.21

第4.8表 350 トン型巡視船の詳細計算に対する簡易計算の比

気温 (°C)	-5		-10		-15	
氷	W	KG	W	KG	W	KG
%	91.8	99.4	93.8	99.3	97.3	100

第4.9表 350 トン型巡視船の着氷後の復原性能

気温 (°C)	-5	-10	-15
排水量(t)	413.42	422.39	435.21
相等喫水(m)	2.30	2.34	2.39
KG(m)	2.72	2.76	2.84
KM(m)	3.49	3.48	3.46
GM(m)	0.77	0.72	0.62

における着氷量の代表値を求め第4.6表に掲げてある。

350 トン型巡視船について, 第4.5表と第4.6表を用い, 再び着氷量とその重心位置を求めると第4.7表のとおりとなる。

計算の要領は, 詳細計算の場合とほぼ同一であるが, 計算を簡単化するため, さらに次の2つの方法を採用した。

1) 船首ブルワーク上, 上甲板上, 機銃座の周囲等にあるハンドレールのスタンションはないものとした。それは, 横棒に着目すると, 着氷の成長につれ, スタンションの着氷は横棒の着氷に含まれ, -15°C では遂にスタンションはない場合と同じになるからである。一方, 上下横棒の着氷が重なった分の修正も省略した。

2) 機銃の座は円形であるが, 等価平板に直し, その長さをもって平板の長さとした。

第4.2表と第4.7表とから, 着氷量と氷の重心について, 簡易計算の詳細計算に対する比を求めると第4.8表となる。

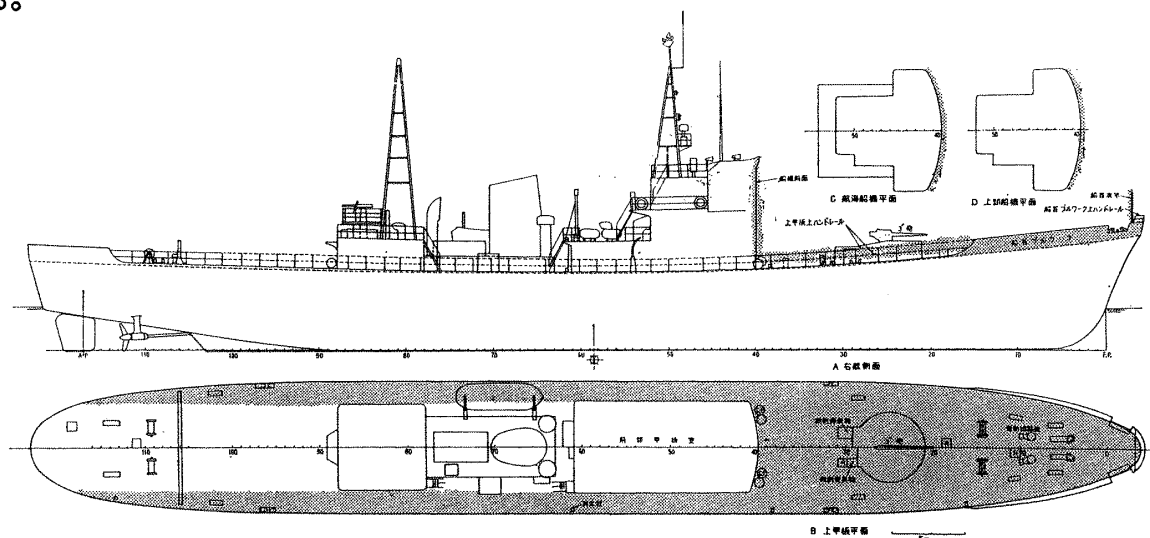
この結果をみると, 着氷量のみ, 比較的気温の高い場合に少し差が生ずる。しかし, 着氷基準としての気温を -12.5°C とすれば, この簡易計算法は充分使用できる。参考のため, この方法で求めた全着氷量を第4.2図に点線で示してある。

第4.1表に掲げる状態に, 第4.7表の着氷量を想定すれば, 船の重量, 重心等は第4.9表のとおりとなり, 着氷前に比べ, 船の重心は 4~18cm 上昇し, GM は 5~20cm 減少する。

次に、船舶の復原性能を求めるために必要な因子として、風圧側面積と横環動半径の変化について簡単に述べる。

上甲板上的着氷は、ブルワークと氷の成長したハンドレールやいろいろな鐵装品の蔭になるので、風圧側面積の変化には影響しないとして差しつかえない。船橋前面の着氷は厚さが薄いのでこれも無視して差しつかえない。結局、着氷が成長する船首旗竿、ハンドレール等の細い円柱のみ考慮すれば充分である。着氷後の寸法は、第4・3図から円柱の原径に応じて求めることができる。

横環動半径は、着氷の分布が影響することは勿論、そのため船の排水量と重心が変化する。さらに喫水の増加を伴い見掛け質量も変化するので複雑な問題となり、簡単な計算で求めることはできない。著者等の論文⁸⁾に述べたように、着氷後の方が、着氷前に比べ、横環動半径が、350 トン型巡視船では僅かに大きくなり、漁船では不変という実験結果が得られた。これらの結果から、着氷前後であまり大きい変化はないとして差しつかえないように思われるが、実測例も少なく、この辺の様子を詳しく把握するためには、今後さらに研究を続ける必要がある。



第4・6図 900 トン型巡視船の着氷分布図

4.2 900 トン型巡視船

900 トン型巡視船の側面図、平面図等を第4・6図に示してある。この船と350 トン型巡視船とを比べると、上甲板上的諸配置がよく似ている。多少異なるのは、船首ブルワークが高くその上にハンドレールがほとんどない

第4・10表 着氷成長の理論計算適用箇所 (900 トン型巡視船)

算 定 場 所	円 柱			平 板			備 考
	直 径 (mm)	長 さ (m)	数	長 さ (m)	幅 (m)	数	
(船 首 旗 竿)	48.3	2.15	1				
(船首ブルワーク上ハンドレール)							
横 棒	33.4	1.25	2				
(船首ブルワーク)				11.90	1.10	2	気流と平行
(上甲板上ハンドレール)							
手 摺	25.0	33.00	2				F.43 まで 気流と平行
(上 甲 板)							
(3'' 砲)							
砲 身	75.0	3.90	1				
(船 橋 前 面)							
上 甲 板 ~ 航 海 船 橋 甲 板				4.40	6.30	1	気流と直角
航海船橋甲板 ~ 上部船橋上端				3.30	8.35	1	気流と直角

こと、機銃の代りに3吋砲が搭載され、その周囲にはハンドレールの代りにブルワークが上甲板に直接設けられていることである。そこで着氷成長個所として350トン型巡視船と相似に考え、第4・6図に薄く塗りつぶした範囲とし、簡易計算法を用いて着氷量とその重心を求めることにする。すなわち、船首ブルワーク上にあるハンドレールは横棒のみ考え、上甲板上ハンドレールは前端からF.43まで含め、スタンションは無視する。

上甲板は、前部上甲板と、前部甲板室の側壁に沿い、船体中心線に平行に引いた直線と上甲板舷側線に囲まれる範囲を考える。3吋砲は砲身のみ考え、ブルワークその他は上甲板に含める。その他船首旗竿、船首ブルワーク、船橋前面等は、350トン型巡視船の場合と同様である。

第4・11表 900トン型巡視船の気温、着氷量とその重心

気 温 (°C)	-5			-10			-15		
氷	W(t)	KG(m)	M(t-m)	W(t)	KG(m)	M(t-m)	W(t)	KG(m)	M(t-m)
船 首 旗 竿	0.04	9.70	0.39	0.14	9.70	1.36	0.32	9.70	3.10
ブルワーク及びハンドレール	2.06	7.10	14.63	5.92	7.04	41.62	12.68	6.98	88.36
上 甲 板	7.33	5.82	42.70	16.57	5.82	96.40	26.94	5.82	156.70
3'' 砲	0.10	8.00	0.80	0.30	8.00	2.40	0.66	8.00	5.28
船 橋 前 面	0.60	9.62	5.77	1.33	9.62	12.78	2.16	9.62	20.79
全 着 氷 量	10.13	6.35	64.29	24.26	6.37	154.56	42.76	6.42	274.23

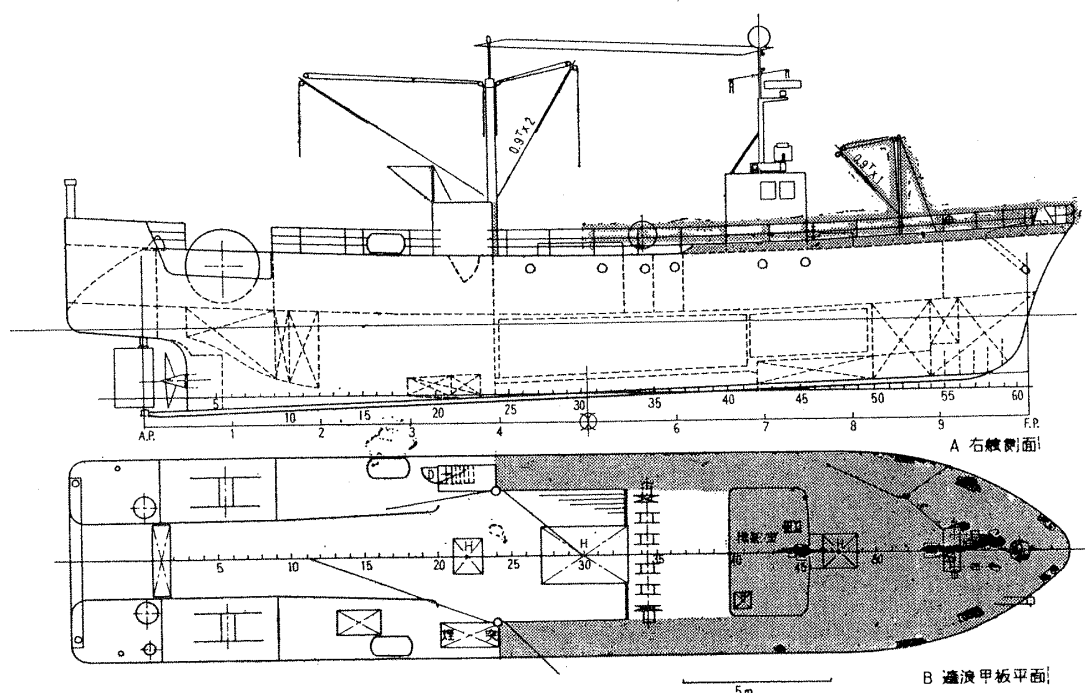
第4・12表 900トン型巡視船の着氷後の復原性能

気 温(°C)	-5	-10	-15
排 水 量(t)	1019.79	1033.92	1052.42
相等喫水(m)	3.01	3.04	3.07
KG (m)	3.41	3.45	3.51
KM (m)	4.40	4.40	4.38
GM (m)	0.99	0.95	0.87

以上の着氷成長個所をまとめ第4・10表に掲げてある。

この表をもとに、第4・5表と第4・6表を用いて氷の重量と重心を求めると第4・11表のとおりとなる。

第4・1表に掲げる状態に、第4・11表の着氷量を想定すれば、船の重量と重心等は第4・12表のとおりとなり、着氷前に比べ、船の重心は3~13cm上昇し、GMは2~14cm減少する。350トン型巡視船の場合



第4・7図 124トン船尾曳網漁船の着氷分布図

に比べ、重心の上昇、GM の減少共にやや少ない。

4.3 124 トン船尾式底曳網漁船

124 トン船尾式底曳網漁船の側面図と平面図を第4.7図に示してある。

着氷成長箇所は、同図で薄く塗りつぶした範囲とする。

第4.13表 着氷成長の理論計算適用箇所 (124 トン船尾式底曳網漁船)

算 定 場 所	円 柱			平 板			備 考
	直 径 (mm)	長 さ (m)	数	長 さ (m)	幅 (m)	数	
(船首ブルワーク及び遮浪甲板) 板上ハンドレール							
堅 棒	42.7	0.60	25				
横 棒 (上)	42.7	0.90	6				
" (中)	42.7	17.3	2				
" (下)	16	17.1	2				
" (下)	16	3.8	2				
(船首ブルワーク)				14.0	0.30	2	船首から船の 長さの中央ま で算入
(遮 浪 甲 板)							気流と平行
(操 舵 室)							気流と平行
前 面				2.60	4.40	1	気流と直角
頂 部				2.70	2.20	1	気流と平行
(コンパニオン及び煙突の前面)				1.85	0.90	2	気流と直角
(デ リ ッ ク)							
ボ ス ト	336	3.70	1				
ブ ー ム	165	3.65	1				
ス テ イ	12	4.0	2				
ワ イ ヤ	12	2.5	3				
"	12	3.65	1				

第4.14表 124 トン船尾式底曳網漁船の気温、着氷量とその重心 (簡易計算)

気 温 (°C)	-5			-10			-15		
氷	W(t)	KG(m)	M(t-m)	W(t)	KG(m)	M(t-m)	W(t)	KG(m)	M(t-m)
ハンドレール	1.52	5.49	8.35	4.89	5.49	26.87	10.92	5.49	59.97
船首ブルワーク	0.24	5.06	1.21	0.51	5.06	2.58	0.83	5.06	4.20
遮 浪 甲 板	2.37	4.87	11.53	5.05	4.87	24.58	8.14	4.87	39.61
操 舵 室 前 面	0.17	6.10	1.04	0.35	6.10	2.14	0.58	6.10	3.54
操 舵 室 頂 部	0.43	7.40	3.18	0.94	7.40	6.96	1.52	7.40	11.24
コンパニオン及び煙突	0.06	5.60	0.34	0.12	5.60	0.67	0.20	5.60	1.12
デ リ ッ ク	0.76	7.09	5.32	2.17	7.07	15.34	4.74	7.08	33.54
全 着 氷 量	5.54	5.59	30.97	14.03	5.64	79.14	26.93	5.70	153.22

まず、ハンドレールは、船首から船の長さの中央まで、ブルワークは船首部のみ考える。遮浪甲板は、操舵室より前方と、操舵室の側壁に沿って船体中心線に平行に引いた直線と甲板舷側線によって囲まれる範囲で、後方はコンパニオンと煙突の前面までとする。操舵室は、巡視船の船橋に比べ相対の前後位置がやや前方にあり、高さも低いので、前面の他に頂部も考える。その他、コンパニオンと煙突の前面ならびにデリックを考え、前部遮浪甲板上の小さい機装品はすべて無視する。

以上の着氷成長箇所をまとめ第4.13表に掲げてある。この表をもとにして、第4.5表と第4.6表を用いて氷の重量と重心を求めると第4.14表のとおりとなる。

第4-15表 124トン船尾式底曳網漁船の着氷後の復原性能

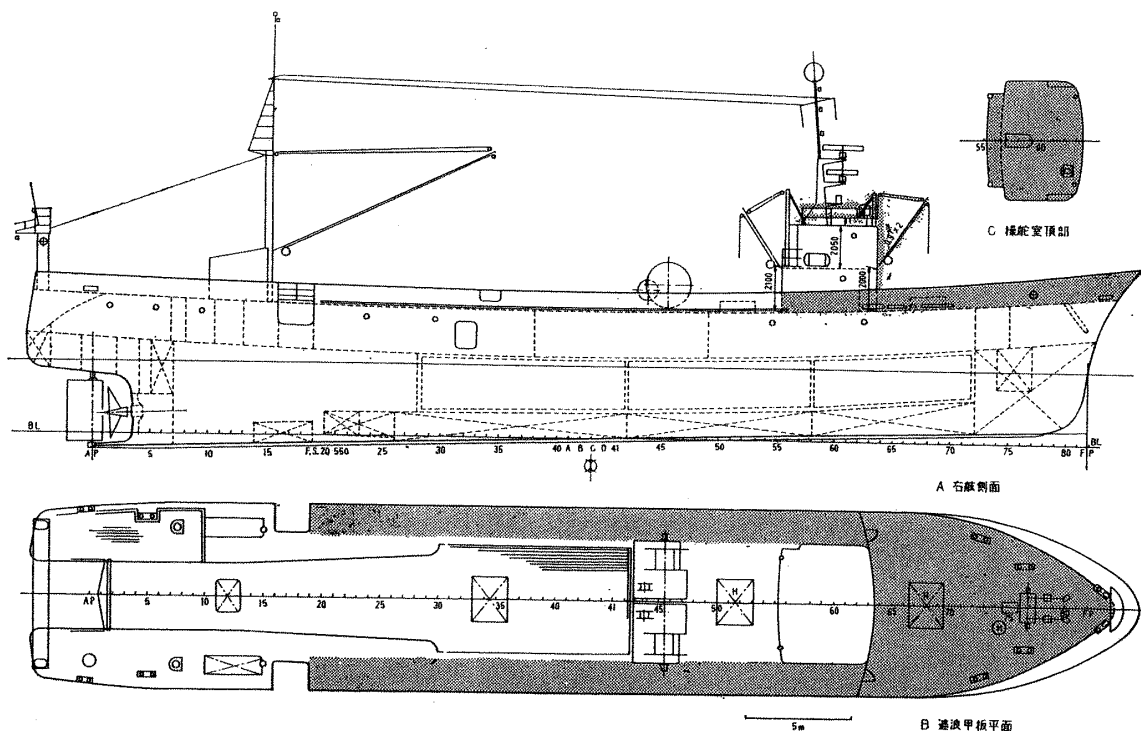
気温 (°C)	-5	-10	-15
排水量 (t)	338.76	347.25	360.15
相等喫水 (m)	2.46	2.49	2.57
K G (m)	2.45	2.53	2.64
K M (m)	3.29	3.29	3.29
G M (m)	0.84	0.76	0.65

第4-1表に掲げる状態に、第4-14表の着氷量を想定すれば、船の重量と重心は第4-15表のとおりとなり、着氷前に比べ、船の重心は5~24cm上昇し、GMは5~24cm減少する。これまで試算した3隻中、重心の上昇とGMの減少が共に最も著しい。

4.4 349トン遠洋底曳網漁船

349トン遠洋底曳網漁船の側面図と平面図を第4-8図に示してある。

本船の主要寸法は、350トン型巡視船とほぼ同じなので、着氷成長箇所も同船と相似に扱って、第4-8図で薄く塗りつぶした範囲とする。



第4-8図 349トン遠洋底曳網漁船の着氷分布図

第4-16表 着氷成長の理論計算適用箇所 (349トン遠洋底曳網漁船)

算定場所	円柱			平板			備考
	直径 (mm)	長さ (m)	数	長さ (m)	幅 (m)	数	
(ブルワーク)				18.70	1.10	2	気流と平行
(遮浪甲板)							気流と平行
(船橋) 前面				4.05	5.60	1	気流と直角
頂部							気流と平行
(ハンドレール) 縦棒	42.7	0.80	9				
横棒 (上)	34	12.60	1				
横棒 (下)	16	12.60	1				
(デリック) ポスト	300	1.60	2				
ブーム	165	4.00	2				
ステイ	12	1.70	4				
ワイヤ	12	1.90	4				
ワイヤ	12	3.10	2				

まずブルワークは、350 トン型巡視船で算定範囲とした長さを考え、船首から F.55 までとする。遮浪甲板は船橋より前方の他に、船橋の側壁に沿い、船体中心線に平行に引いた直線と甲板舷側線で囲まれる範囲とし、後方は第4・8図B図に示してあるように船側凹入部の前端までとする。船橋は、350 トン型巡視船に比べやや前方に位置し、高さも少し低いので、前面の他に操舵室頂部と頂部に設けてあるハンドレールおよびデリックを考え、

第4・17表 349 トン遠洋底曳網漁船の気温、着氷量とその重心 (簡易計算)

気 温 (°C)	-5			-10			-15		
	W(t)	KG(m)	M(t-m)	W(t)	KG(m)	M(t-m)	W(t)	KG(m)	M(t-m)
ブルワーク	1.11	7.05	7.82	2.39	7.05	16.84	3.83	7.05	27.00
遮浪甲板	3.97	6.23	24.73	8.73	6.23	54.25	14.27	6.23	88.70
船橋前面	0.25	8.25	2.06	0.55	8.25	4.54	0.89	8.25	7.34
船橋頂部	0.96	10.10	9.70	2.09	10.10	21.12	3.39	10.10	34.26
ハンドレール	0.50	10.85	5.43	1.62	10.85	17.58	3.60	10.85	39.08
デリック	0.91	10.70	9.74	2.61	10.73	27.98	5.52	10.73	59.24
全着氷量	7.70	7.72	59.48	17.99	7.92	142.31	31.50	8.11	255.62

第4・18表 349 トン遠洋底曳網漁船の着氷後の復原性能

気 温 (°C)	-5	-10	-15
排水量 (t)	964.35	974.64	988.15
相等喫水 (m)	3.43	3.45	3.49
KG (m)	3.29	3.34	3.41
KM (m)	4.17	4.18	4.18
GM (m)	0.88	0.84	0.77

前部遮浪甲板上の小さい艤装品は無視する。

以上の着氷成長個所をまとめ第4・16表に掲げてある。この表をもとにして、第4・5表と第4・6表を用いて氷の重量と重心を求めると第4・17表のとおりとなる。

第4・1表に掲げる状態に、第4・17表の着氷量を想定すれば、船の重量と重心は第4・18表のとおりとなり、着氷前に比べ、船の重心は4~16cm上昇しGMは4~15cm減少する。

5 着氷基準について

5.1 ソ連の着氷基準

ソ連は、復原力に関する規定⁹⁾に着氷基準を設けて以来、少しずつ修正を加え、現在大略次のような内容¹⁰⁾となっている。

(1) 着氷水域

北緯 66°30' 以北、南緯 60°00' 以南の冬季帯と、バレンツ海、オホーツク海、間宮海峡（便宜上これらの水域を甲水域と略称する）を冬期に航行する船舶には次の着氷基準を適用する。

(2) 着氷量

1) 暴露甲板の水平投影面積の着氷量は 30kg/m² とする。上下の重量モーメントはそれぞれの位置から決めるものとし、甲板機械、艤装品、ハッチカバー等は甲板の投影に含めて差しつかえない。

2) 投影側面積の着氷量は 15kg/m² とする。

3) (1)に掲げる以外の冬季帯（便宜上これらの水域を乙水域と略称する）では、着氷量を1)および2)に定める量の1/2とする。

(3) 投影側面積

投影側面積とは、船が計画喫水に平行な喫水でかつ垂直に浮いているとき、水線上の船体の投影側面積をいう。

手摺、円材、リギン、その他の小さい物体の投影面積として5%を、面積モーメントとして10%をそれぞれ加算する。着氷時には、これらの加算量を、甲水域ではそれぞれ10パーセント、20パーセント、乙水域ではそれぞれ7.5パーセント、15パーセントとする。

政府間海事協議機関の下部組織に、漁船の設計、構造、設備に関する参考資料をまとめている小委員会がある。この委員会が着氷の問題を取り上げ、ソ連の基準の主要部をほとんどそのまま取り入れている¹¹⁾。

この基準は、実験結果を解析して作られたものか、それとも理論的解析も加味して作成されたものか詳らかでないが、一応理論的に解析して組み立てられたものとみなし、風速、気温、着氷継続時間、着氷量とその重心等について、これまで展開してきた理論および実験結果に基づいて検討を加えることにする。

第 4・19 表 水線からの高さと同風圧力の関係

Z (m)	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0
航行区域							以上
航 洋	96	117	131	140	147	153	156
限 定 航 洋	54	66	74	80	84	87	89
沿 海	27	33	37	39	41	43	44

風 速

ソ連の復原性規則によると、風圧による船の傾斜モーメント M_{heel} (t-m) は次の式から求める。

$$M_{heel}=0.001 PSZ \quad (4.1)$$

この場合、 P (kg/m²) は風圧力、 S (m²) は船の水線上における全投影側面積、 Z (m) は水線から S の中心までの距離で、 P は Z

に応じ第 4・19 表から求める。

このように、規則に風速が直接示されていないが、(4.1) 式と第 4・19 表をもとに、おおよその風速は推定することができる。この風速は着氷時にも同じ値を考慮しているはずである。また、着氷基準は航洋船に対して定めてあると推定されるので、第 4・19 表中航洋の風圧力について風速を求めてみる。

まず最も簡単に考え、わが国で一般に使用されている風速と風圧力の関係式

$$P=0.76 \times 10^{-4} u^2 \quad (4.2)$$

を用い、第 4・19 表の風圧力の値から風速を求めると、第 4・20 表のとおりとなる。(4.2) 式で u は風速である。

第 4・20 表 ソ連の復原性規則に定める海面からの高さと同推定風速

Z (m)	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0
$P=0.76 \times 10^{-4} u$ から求めた風速 (m/s)	36.9	39.2	41.6	43.0	44.0	44.8	45.3
$u=u_0 \left(\frac{h}{5} \right)^{1/7}$ から求めた風速 (m/s)	35.0	38.6	40.9	42.6	44.0	45.2	46.2
$u=u_0 \left(\frac{h}{5} \right)^{1/7}$ として求めた風圧力 (mg/m ²)	93	113	127	138	147	155	162

次に、風速の海面上の分布が 1/7 乗則によって求まるとすれば、海面からの高さ h (m) における風速は次の式から求めることができる。

$$u=u_0 \left(\frac{h}{5} \right)^{1/7} \quad (4.3)$$

この式から風速を求めると第 4・20 表のとおりとなり、この風速を用いて (4.2) 式から風圧力を逆に求めると第 4・20 表のようになる。この風圧力と第 4・19 表の値を比較するとほぼ等しいことがわかる。これらのことから、復原性規則で考慮している風速は、海面からの高さに応じ 35~46 m/sec 位と推定される。

着氷量は風速の関数であるから、このように風速を定めるならば、単位面積あたりの基準着氷量も海面からの高さに応じ変えるべきであろう。しかし、それでは実用上計算が煩雑になり過ぎる。そこで基準着氷量としては平均値を考えたものと推定される。このように取り扱うならば、着氷量を求める風速も平均値を考えて差しつかえないことになる。その値として 40 m/sec を考えることにする。

気温と着氷継続時間

さきに試算船とした 4 隻について、風速を 40 m/sec、着氷継続時間をそれぞれ 5 時間、10 時間とし、気温を -5°C、-10°C、-15°C としたときの着氷量を求め第 4・21 表に掲げてある。

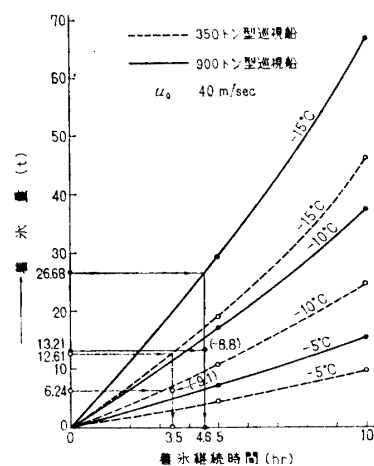
この表から、着氷量と気温および着氷継続時間の関係を巡視船と漁船に分け、それぞれ第 4・9 図、第 4・10 図に示してある。

ソ連が、着氷水域として甲と乙の水域に分けて着氷基準を設けている根拠は気温にあると推定される。気温が

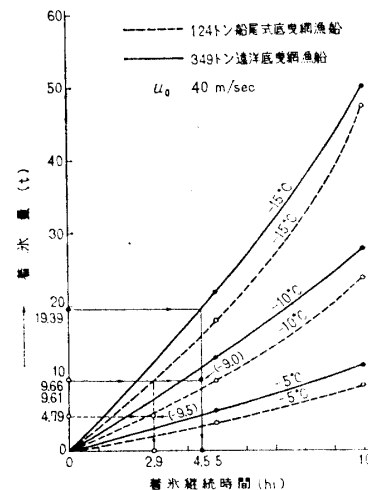
第4・21表 風速を40 m/secとした場合、巡視船と漁船の着氷量(t)(簡易計算)

気温 (°C)	着氷 継続時 間(hr)	代表船			
		350 トン型 巡視船	900 トン型 巡視船	124 トン船 尾式底曳 網漁船	349 トン遠 洋底曳網 漁船
-5	5	4.40	7.24	3.80	5.51
	10	9.74	15.45	8.90	11.76
-10	5	10.58	17.02	9.60	12.69
	10	24.63	37.45	23.90	27.94
-15	5	18.90	29.18	17.92	21.82
	10	46.29	66.92	47.50	50.15

によると、真偽のほどは不明であるが、 -18°C 以下になると強い着氷現象はおこらないともいわれている。一方、オホーツク海と間宮海峡を甲水域に含めており、わが国が直接接している水域として興味深いものがある。



第4・9図 風速を40m/secとした場合、350トン型および900トン型巡視船の着氷量、気温、着氷継続時間の関係



第4・10図 風速を40 m/secとした場合、124トン船尾式底曳網漁船および349トン遠洋底曳網漁船の着氷量、気温、着氷継続時間の関係

これらの水域は、北緯 $66^{\circ}30'$ の遙か南方に位置しており、冬期は流氷に鎖されて一般船舶の航行が不能となる水域も相当広いはずである。船舶の自由航行可能な水域における着氷時の気温の資料は、著者が海上保安庁に在職中時々入手できたし、第4・1図の資料の中にもおそらく大分含まれていると思われるが、せいぜい -15°C 位で、 -20°C 前後のような低温の資料はない。してみると -15°C 位を考えているようにも思える。

以上のような観点から一応 -15°C と仮定する。

4隻の代表船について、ソ連の基準によって着氷量を求めると第4・22表のとおりとなる。

第4・9図、第4・10図、第4・22表から着氷継続時

第4・22表 ソ連の基準で求めた着氷量(t)

水 域	代表船			
	350 トン型 巡視船	900 トン型 巡視船	124 トン船 尾式底曳 網漁船	349 トン 遠洋底曳 網漁船
甲 水 域	12.61	26.68	9.66	19.39
乙 水 域	6.24	13.21	4.79	9.61

第4・23表 ソ連の基準の着氷継続時間と乙水域の気温の推定値

	350 トン型 巡視船	900 トン型 巡視船	124 トン船 尾式底曳 網漁船	349 トン 遠洋底曳 網漁船
着氷継続時間 (hr)	3.5	4.6	2.9	4.5
乙水域の気温 (°C)	-9.1	-8.8	-9.5	-9.0

間と乙水域の気温を推定すると第 4・23 表のとおりとなる。

すなわち、着氷継続時間は 5 時間未満、乙水域の気温は約 -9°C となる。気温は適当と思われるが、着氷継続時間は、船舶の着氷に対する適切な防除方法を講じてある場合は別として少し短か過ぎると思われる。

着氷量とその重心

北海道に配属されている代表的な巡視船と、さきに選んだ 2 隻の漁船にソ連の基準を適用し着氷量とその重心の高さを求め第 4・24 表に掲げてある。

第 4・24 表 巡視船および漁船の主要目と、ソ連および巡視船の着氷基準により求めた着氷量ならびにその重心の基線からの高さ

船 型	130 トン型	270 トン型	350 トン型	350 トン型	350 トン型	450 トン型	900 トン型	2,000 トン型	124 トン船尾式底曳網漁船	349 トン遠洋底曳網漁船
垂線間長 L_{PP} (m)	30.50	37.10	45.60	48.00	45.00	51.50	70.20	86.45	30.40	47.20
幅 B (m)	6.30	7.00	7.00	6.60	7.30	7.70	9.20	11.60	6.90	8.80
深 さ D (m)	3.00	4.00	4.20	3.40	4.10	4.50	5.30	6.80	2.70 (4.70*)	3.79 (6.00*)
$L_{PP} \times B$ (m^2)	192	260	319	317	329	397	646	1,003	210	415
状 態	1/3 消費	1/3 消費	1/3 消費	1/3 消費	1/3 消費	1/3 消費	1/3 消費	1/3 消費	漁場発	漁場発
喫 水 d (m)	1.74	2.34	2.53	2.24	2.28	2.63	2.99	3.89	2.53	3.41
投影側面積 (m^2)	104.4	150.0	189.2	167.2	185.0	224.5	378.5	657.0	101.5	219.3
暴露甲板面積 (m^2)	136.9	172.7	207.6	191.3	216.4	250.8	473.7	704.1	210.2	405.2
ソ連の着氷基準	甲水域の着氷量 (t)	7.55	10.13	12.46	11.26	12.61	14.93	26.68	42.77	9.66
	甲水域の着氷の重心の高さ (m)	3.54	4.44	4.84	4.22	4.56	5.06	6.08	8.46	4.72
	乙水域の着氷量 (t)	3.74	4.85	6.17	5.57	6.24	7.38	13.21	21.15	4.79
	乙水域の着氷の重心の高さ (m)	3.50	4.41	4.81	4.18	4.54	5.03	6.05	8.42	4.72
巡視船基準	着氷量 (t)	11.77	16.40	19.62	18.00	19.70	23.35	38.87	67.49	—
巡視船基準	着氷の重心の高さ (m)	3.98	5.12	5.46	4.58	5.06	5.63	7.16	9.31	—

註 * 印は遮浪甲板までの深さ

比較のため、巡視船についてのみ巡視船の着氷基準により着氷量とその重心の高さを求め、この表に掲げてある。

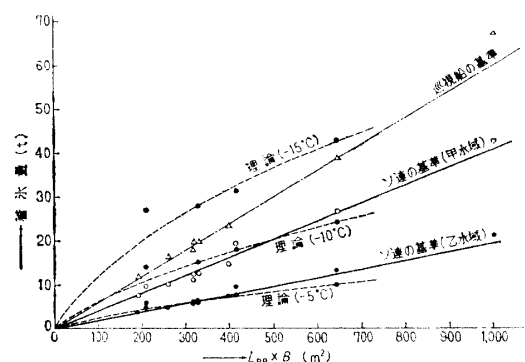
巡視船の着氷基準は次のとおりである。

着氷量は、暴露甲板の暴露部および上甲板舷側線上の投影側面積 1m^2 につき 50kg とする。この場合の投影側面積は両舷を考慮する。

これら 2 つの基準で求めた着氷量と $L_{PP} \times B$ の関係を第 4・11 図に示してある。図中白丸と黒丸は、それぞれソ連の基準で求めた甲水域と乙水域に対するもので、双方ともほぼ原点を通る直線上にある。三角印は巡視船の基準で求めたもので、ソ連の基準より大分多い着氷量を考えていることにはなるが、 $L_{PP} \times B$ との関係はソ連の基準で求めた場合と全く同様の傾向を示している。

この図には、さきに選んだ 4 隻の代表船について、風速を 25m/sec 、着氷継続時間を 10 時間、気温を -5°C 、 -10°C 、 -15°C とした場合の着氷量と $L_{PP} \times B$ の関係を⊗印で示してある。これらの点を同一気温別に結ぶといずれも上に凸型の曲線となる。

さて、ソ連と巡視船のいずれの基準で求めても、着氷量がほぼ $L_{PP} \times B$ に比例する傾向が得られるのは、これ



第 4.11 図 ソ連および巡視船の着氷基準ならびに理論で求めた着氷量と $L_{PP} \times B$ の関係

らの基準が内容に多少の差はあれ、いずれも単位面積あたり一定の着氷量を船の全長にわたって考えていることにありと推定される。これに反し、理論値は実際に着氷が成長した部分、あるいは実験船の着氷分布から類推して着氷の成長個所を仮定した部分について、氷の潜熱が熱伝達のみによって奪われると仮定して求めたため、寸法効果が現われ、着氷量は $L_{PP} \times B$ に比例しないという結果になったことを示している。このことは、着氷基準のあり方を示しており重要な問題であろう。

巡視船の基準は、すでに述べたように 350 トン型巡視船の実験結果を解析し、その他著しい巡視船の着氷報告を参考にして決められたものである。したがって、この型より小さい船に対しては軽い基準となり、逆に大きい船に対しては重い基準となる傾向をもっているようである。この基準は元来、巡視船では同型船が多く、船の大小にもあまり差がないので、代表船 1 隻を選んで実験結果を解析し、得られた基準を全巡視船に適用しても大過ないという判断のもとに作成されたものであったと記憶している。

ソ連は、船型、船の大小を問わず同じ基準を適用しており、同様の欠点がこの基準に含まれているといえる。

しかし、ここに問題が 1 つ残る。それは、船の飛沫の浴び方に及ぼす船の大小の影響で、この問題が解明されて熱伝達の理論と結び付けることが可能となったとき、一層現実的に即した着氷基準が作成されるであろう。

さきに、着氷継続時間をソ連では 5 時間未満の短い時間を仮定したことになると述べたが、これは小型船について解析を試みたからで、第 4・11 図から明らかなように、 $L_{PP} \times B$ が 1,000 位の船について解析すれば、おそらく 10 時間を遙かに越える結果が得られるであろう。

次の着氷の重心について述べる。

ソ連の基準では、水線上の全投影側面積に着氷が均一に分布するとしている。しかし著者の行った実船実験では、上甲板下の外板に氷が成長することはほとんどなかったのである。もっともすべての実験を通して、着氷が成長しているときの最低気温はせいぜい -13°C 位であった。もしバレンツ海のように -20°C 位の低温では、水線附近まで氷の成長することがあるのかもしれない。しかし一応著者の経験からソ連の基準をみると、氷の重心を低く見積ることが予想される。

第 4・24 表に掲げる、ソ連の基準による氷の重心の高さは次のようにして求めたものである。

着氷前の、手摺や円材等を含まない投影側面積を S 、 S の中心から水線までの距離を Z とし、着氷後の投影側面積を S_i 、 S_i の中心から水線までの距離を Z_i とすれば、甲水域について次の式が成り立つ。

$$S_i = 1.1 S \quad (4.4)$$

$$S_i Z_i = 1.2 S \cdot Z \quad (4.5)$$

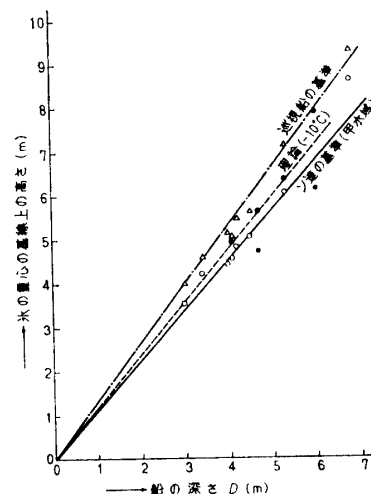
(4.4) 式と (4.5) 式から

$$Z_i = 1.09 Z \quad (4.6)$$

となる。投影側面積の氷の重心は、(4.6) 式の係数 1.09 を用いて修正した。ソ連の基準は、この修正によって氷の重心を低く見積る欠点を幾分補っているように思われる。乙水域についてこの係数を求めると 1.07 となり、着氷量の多い方が重心が高くなるようにしてある。このことは、4 隻の代表船について、着氷量とその重心の高さの関係を理論で求めた結果と傾向がよく一致している。

第 4・24 表の着氷の重心の高さと船の深さの関係を第 4・12 図に示してある。図中、白丸と黒丸は、それぞれ巡視船と漁船についてソ連の甲水域に対する基準により求めたものである。三角印は、巡視船について巡視船の着氷基準により求めたものである。⊗印は、4 隻の代表船について、風速を 25 m/sec、着氷継続時間を 10 時間、気温を -10°C として理論から求めたものである。予想どおりソ連の基準で求めた重心が一番低く、とくに漁船の場合その傾向が著しい。その理由は、暴露甲板の舷側線を境にし、その下方の投影側面積に対する上方の面積の比が巡視船に比べ小さいからである。

これまでの検討結果からみて、ソ連の基準は、おそらく巡視船の基準と同様経験値をもとにして作成されたもので、少なくとも、氷の成長と風速、気温、着氷継続時間等の関係を理論的に解析し、その結果を加味して作成



第 4・12 図 巡視船と漁船について、ソ連および巡視船の着氷基準ならびに理論で求めた氷の重心の高さと船の深さの関係

されたものでないことはまず間違いない。

着氷基準として、暴露甲板と投影側面積にそれぞれ単位面積あたり一定の着氷量を想定する方法は、取扱いが最も簡便で誰でも当初頭に浮かぶ方法ではあるが、船体の上下と前後方向における着氷の分布や着氷の機構が次第に判明するにつれ、こうした形の基準には幾つかの欠陥を含むことがわかった。もしこのような形の基準を欲するならば、少なくとも単位面積あたりの基準着氷量を船の大きさに応じて変える必要がある。

5.2 着氷基準の提案

着氷現象に関する、これまでの理論的考察、室内および実船実験結果、実船の報告資料、内外の着氷基準の検討結果等を総合し、わが国周辺の冬期北洋を航行する船舶について着氷の成長が想定される個所に対し、著者は次の着氷基準を提案する。この基準は、さきに述べたように、風速 25 m/sec、気温 -12.5°C 、着氷継続時間 10 時間という前提にたっている。

第 4・25 表 円柱の着氷前後の直径と単位長さあたりの着氷量 (kg/m)

着氷前の円柱の直径 (cm)	0~5	5~10	10~15	15~20	20~25	25~30	30~35
着氷後の円柱の直径 (cm)	39	43	47	51	56	60	65
円柱の長さ 1m あたりの着氷量 (kg/m)	101	117	135	153	173	193	212

第 4・26 表 平板の長さまたは幅と単位面積あたりの着氷量 (kg/m²)

平板の長さまたは幅 (m)	0~2	2~5	5~10	10~15	15~20	20~30	30~40	40以上
単位面積あたりの { 流れに平行 着氷量 (kg/m ²)	135	106	88	78	74	69	65	62
{ 流れに直角	47	37	31	26*				

註) * 平板の幅が 15m 以上の場合は 26 kg/m² とする

円柱もしくは円柱とみなしうるものの、着氷後の円柱の直径および単位長さあたりの着氷量を第 4・25 表から求める。

平板は、気流と平行もしくは直角にあるとみなし、それぞれについての単位面積あたりの着氷量を第 4・26 表から求める。

もっとも、着氷が船体のどこに成長するかを決定しなければならない問題が残されている。このためには、風速 25 m/sec の風で発達した波浪中における船体運動により、船舶はどのような飛沫をどのように浴びるか究明しなければならないことになる。これには、船舶の大きさも当然関係すると思われる。しかしながら、このことは第 1 報¹⁴⁾にも述べたように、本論文の主眼ではなく、今後の研究問題としたい。ただ、350 トン型巡視船の大きさぐらいまでの船舶については、これまで巡視船の実験結果や着氷報告が相当入手されており、これらの経験に基づき、さきに述べた 900 トン型巡視船と 2 隻の底曳網漁船で試みたような手順を用い、着氷成長箇所をおおよそ推定して差しつかえないものと考えている。

6 結 言

この研究によって得られた結果を要約すると次のようになる。

(1) 物体に捕捉された水滴が凍着するとき、潜熱の大半は強制対流熱伝達によって大気中に奪われ、熱伝導、蒸発、昇華によって奪われる熱量は無視して差しつかえないようである。

(2) 水滴が物体に付着するとき、どの位過冷却されているかは、物体の捕捉水量と結び付けて考えるとき、着氷の成長を促す重要な因子となり、一般には物体が捕捉する過冷却水滴の量が多いほど着氷量も多くなる。

(3) (1)と(2)から着氷の成長に及ぼす主な因子は、気温、風速、水滴が付着する物体の形と寸法、付着する水滴の過冷却の程度とその量、着氷現象の継続時間である。

(4) 流れに直角に置かれた平板の捕捉率を、水滴の慣性力が粘性力に比べて大きい場合について求め、円柱の捕捉率と比較した結果、平板の方が円柱より幾分捕捉率が大きくなる。

(5) 水面から飛び出した水滴の温度変化を、その大きさ、大気中に存在している時間、水滴表面の熱伝達率に応じて理論で求めたところ、水滴の直径が大きくなるにつれ急に過冷却されにくくなる。実船に付着する水滴

の大きさと大気中にある時間から考え、一部にいられているような、気温がある程度以下となると着氷現象が全くおこらなくなるということはあるまいと思われる。

(6) 水滴が付着する物体として円柱と平板を選び、円柱については流れと直角に、平板については流れと平行もしくは直角に置かれた場合について、その表面から強制対流熱伝達によって奪われる熱量を、種々の気温と風速ならびに円柱の径と平板の長さまたは幅に応じて求め、これから凍着しうる最大着氷量を求めた。この結果と、室内および実船実験で測定した着氷の成長と比較検討し、ほぼこの理論が適用できることを確認した。

(7) 物体に成長する着氷の形にはいろいろあって、円柱の場合は限界氷量を境に分類され、一方、流れに直角に置かれた平板では、風上に凹型に成長することがあったが、これは平板上の熱伝達率、流速の分布、捕捉氷量によって説明できる。

(8) 船体の捕捉氷量は一般に不定なので、着氷量もまた不定となるが、実船実験で観測した着氷成長中の平均気温、平均相対風速、着氷成長期間から、大気中には常に限界氷量が含まれていると仮定し、船体の主な着氷成長箇所を分けて円柱もしくは平板とみなし、理論で最大着氷量を求めた。この値と実際の着氷量とを比較したところ、この理論値位の着氷量は実船におこりうるということがわかった。そこでこの理論を用いて任意の気温と風速のもとにおける着氷量を推定して差しつかえないと考えられる。

氷の重心の高さについても、実船実験結果と比較し、この理論を用い充分の精度で求めることができることを確認した。

この理論をそのまま適用して着氷量とその重心の高さを求めるのは少し煩雑に過ぎるので、簡単に求めることができる表を作成した。

(9) 冬期北洋の航行が予想される巡視船と漁船についてソ連の着氷基準により、さらに巡視船についてのみ巡視船の着氷基準を用い、それぞれ着氷量とその重心の高さを求めて検討したが、着氷量は $L_{PP} \times B$ にはほぼ比例することがわかった。一方、4隻の代表船について理論で求めた着氷量は $L_{PP} \times B$ には比例せず、その理由は主として寸法効果にあって、このことは着氷基準のあり方を示すものであることを指摘した。

ソ連の基準は巡視船の基準よりやや少ない着氷量を考え、2つの基準とも、それぞれある大きさの船より小さい船に軽く、大きい船に重過ぎる傾向がある。

氷の重心の高さについては、ソ連の基準は低く見積る欠点があり、一般に暴露甲板下の投影側面積が暴露甲板上の投影側面積に比べて大きい場合にこの傾向が著しい。

(10) 着氷現象に関するこれまでの研究結果を総合し、著者の着氷基準を提案した。

終りに臨み、本論文を完成するにあたり、絶えずご指導、ご援助、ご鞭撻を賜わった東京大学元良教授、北海道大学吉田教授、田畑教授、小野助教授、横浜国立大学丸尾教授、実験にご協力頂いた北海道大学青田助手、資料の解析にご助力頂いた東京大学小山助教授、資料を提供された海上保安庁船舶技術部の関係各位、多忙中にもかかわらず室内実験の機会を与えられた日本海事協会の上司の方々に厚くお礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 岩田秀一：船舶の着氷について (その3), 日本造船学会論文集 第131号 (1972).
- 2) 岩田秀一：船舶の着氷について (その1), 日本造船学会論文集 第129号 (1971).
- 3) 岩田秀一：船舶の着氷について (その2), 日本造船学会論文集 第130号 (1971).
- 4) 田畑忠司：船体着氷に関する研究Ⅲ, 低温科学物理篇 27 (昭和44年), p. 340.
- 5) 岩田秀一：船舶の着氷について (その3), 日本造船学会論文集 第131号 (1972), p. 143.
- 6) 岩田秀一：船舶の着氷について (その3), 日本造船学会論文集 第131号 (1972), p. 145.
- 7) 田畑忠司, 岩田秀一, 小野延雄：船体着氷に関する研究Ⅰ, 低温科学物理篇 21 (昭和38年), p. 213~215.
- 8) 田畑忠司, 岩田秀一, 小野延雄：船体着氷に関する研究Ⅰ, 低温科学物理篇 21 (昭和38年), p. 208~209.
- 9) 岡 節夫訳：ソビエト船級協会の復原力に関する規定, 造船協会誌第316号 (1955), p. 30.
- 10) Register of Shipping of the USSR: Rules for the Classification and Construction of Sea-Going Ships, Part IV-I, Standard of Stability, (1966).
- 11) IMCO Sub-Committee on Safety of Fishing Vessels: PFVXI/13 Annex II Code of Safety for Fishermen and Fishing Vessels, Part B, Fourth draft of Chapter I-V, (1971), p. 32~33.

- 12) Jerochin, E. : The influence of icing on the safety of ships, Morskoj Flot, (1961), No.9.
 - 13) Васильева Г. В. : Гидрометеорологические Условия Способствующие Обледенению Морских Судов, Рыбное Хозяйство, Декабрь, (1966).
 沢田照夫訳：船体着氷のための気象学的条件，雪氷，'67, Vol.29, July, No.4, p. 14.
 - 14) 岩田秀一：船舶の着氷について（その1），日本造船学会論文集 第129号（1971），p. 287.
-