HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	船体着氷に関する研究　IV ： 船体着氷条件の統計分析
Author(s)	小野, 延雄
Citation	低温科學. 物理篇, 32, 235-242
Issue Date	1974-03-31
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/18261
Type	departmental bulletin paper
File Information	32_p235-242.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

Nobuo ONO 1974 Studies on Ice Accumulation on Ships. IV. Statistical Analysis of Ship-Icing Conditions. *Low Temperature Science, Ser., A, 32.* (With English Summary p. 241)

船体着氷に関する研究 IV*

―― 船体着氷条件の統計分析 ――

小野延雄
(低温科学研究所)

(昭和49年10月受理)

I. まえがき

船体着氷は，寒冷海域で船に海水のしぶきなどが凍り着く現象である。着氷海域で操業する漁船の乗組員達は，多量の氷が着くと，着氷を叩き落とす'氷割り作業'を行なう。多量の氷を着くにまかせて放置すると，船の重心が高くなって復原力を失うので，瞬時に転覆してしまうことがある。

第一管区海上保安本部の調べによると，1960～1970年の10年間に，この船体着氷が原因で沈没したと考えられる漁船の数は，着氷を通報してきたもの8隻，着氷と推定されるもの15隻，合計23隻にのぼっている[1]。乗組員の総数は362名で，2名だけが奇跡的に救助されたほかは，11名がゴムボートの上で凍死しているのを発見され，のこりの349名は行方不明のままとなっている。

この着氷現象に関与している要因としては，風や気温などの気象条件，風浪・うねり・水温などの海象条件に加えて，船の形や大きさ，船の速力，風や波に対する針路のとりかたなど，航行性能や操船の効果などをあげることができる。着氷の程度は，これらの要因の複雑な組合わせで決まると考えられるので，着氷時の資料を数多く集めて統計的に分析すれば，支配的要因の選別や，支配的要因と着氷の程度とのあいだの関係が解明できるのではないかと期待された。

1963年から1967年にかけて巡視船の着氷時の資料が約250例集められ，いくつかの要因と着氷の程度との関係が田畑[2]によって示された。

1970年秋から1973年春までの三冬にわたって，日本海難防止協会着氷海難防止対策研究委員会は，着氷海域で操業する漁船を対象として調査票による船体着氷の実態調査を行ない，1358例の資料を収集した。

この報告は，これらの資料をもとに，船体着氷条件の統計的分析を行ない，その結果について述べたものである。

II. 調査方法

調査にあたっては一定の様式の調査票を作成した。

* 北海道大学低温科学研究所業績 第1323号

調査項目は，日時・位置・船名・屯数・船質・漁種・天気・風向・風速*・(風力)・対船風向*・対船風速*・風浪階級・針路・船速・気温・水温・着氷状況である。着氷状況は，(0：着氷が予想される)，1：船体に少し着いた，2：たくさん着いた，3：非常にたくさん着き氷割りを行なった，の階級に分けた。なお，( ) で示したのは1970～1971年冬だけにあった項目であり，* 印を付けたのは1971～1972年冬から加えた項目である。

調査票への記載は，各漁船からの通報をもとに，稚内・小樽・釧路の各漁業無線局によって行なわれた。

III. 調 査 結 果

1. 年月別・着氷階級別集計

調査票による船体着氷の実態調査は三冬にわたって行なわれ，154隻の漁船から1358例の着氷報告が集められた。1970～1971年冬の着氷階級0の6例と，着氷階級に記載のなかった4例とを除く1348例について，年月別，着氷階級別の集計をしたのが第1表である。

第1表 年月・着氷階級別報告数

		NOV.	DEC.	JAN.	FEB.	MAR.	SUM	%
1970～1971	ICING 1	14	52	57	72	32	227	69.6
	2	1	28	14	25	6	74	22.7
	3	0	10	0	13	2	25	7.7
	SUM	15	90	71	110	40	326	
1971～1972	ICING 1	13	92	101	111	41	358	69.2
	2	3	43	32	25	12	115	22.3
	3	1	16	19	6	2	44	8.5
	SUM	17	151	152	142	55	517	
1972～1973	ICING 1	—	48	87	134	74	343	68.0
	2	—	11	17	82	18	128	25.3
	3	—	5	6	20	3	34	6.7
	SUM	—	64	110	236	95	505	

この表から，1970～1971年冬の1月には，着氷階級3，すなわち氷割り作業を行なった漁船が1隻もなかったことがわかる。この冬の着氷階級3の25例は，1日1例が4回，1日2例および3例が各1回，1日8例が2回であった。すなわち，この冬には，氷割り作業が行なわれた日数は8日しかなく，秋から春までの着氷期間日数のわずか6%にすぎないことがわかる。

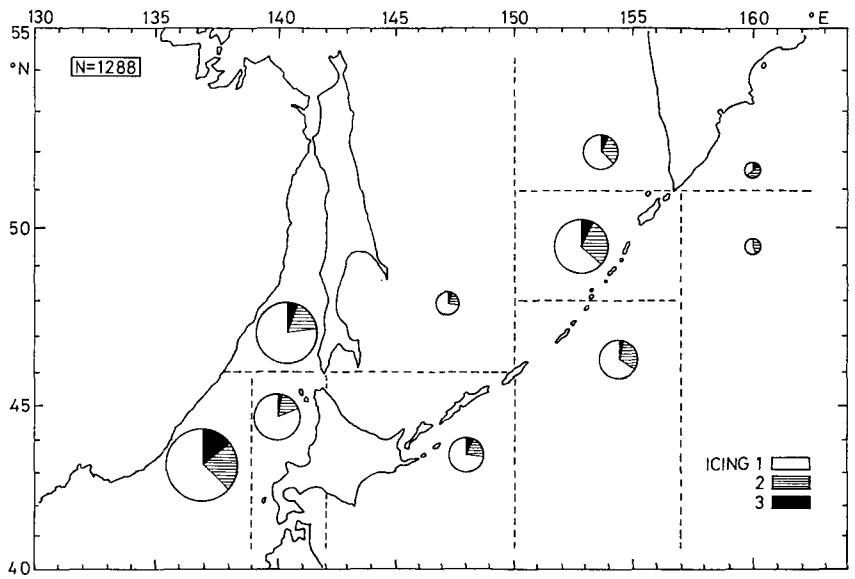
一方，1971～1972年冬および1972～1973年冬には，着氷階級3が報告された日数はそれぞれ23日および21日であり，着氷期間日数の約20%に達している。すなわち全期間を平均して考えるとき，どこかで氷割り作業が行なわれた日の頻度が，1970～1971年冬には20日に

1日程度であったのが，1971～1972年冬と1972～1973年冬には5日に1日程度となっており，年によるちがいの大きいことがわかる。

しかし，第1表の右欄に示したように，報告数に対する着氷階級ごとの割合をとってみると，着氷階級1が全体のほぼ70%，着氷階級2が22～25%，着氷階級3が7～9% となって，三冬ともかなりよく一致しているのを見ることができる。すなわち，着氷階級2と3とを合わせて‘激しい着氷’と呼ぶことにすると，その激しい着氷が起こる頻度は10回に3回程度であり，しかも激しい着氷のさいにいつも氷割りを行なっているわけではなく，氷割り作業は激しい着氷の4回に1回程度の割合でしか行なわれていないことがわかる。

2. 海域別にみた着氷階級の出現率

着氷報告を寄せてきた漁船の位置を分類して10の海域にわけ，それぞれの海域について着氷階級の度数分布を調べたのが第1図である。



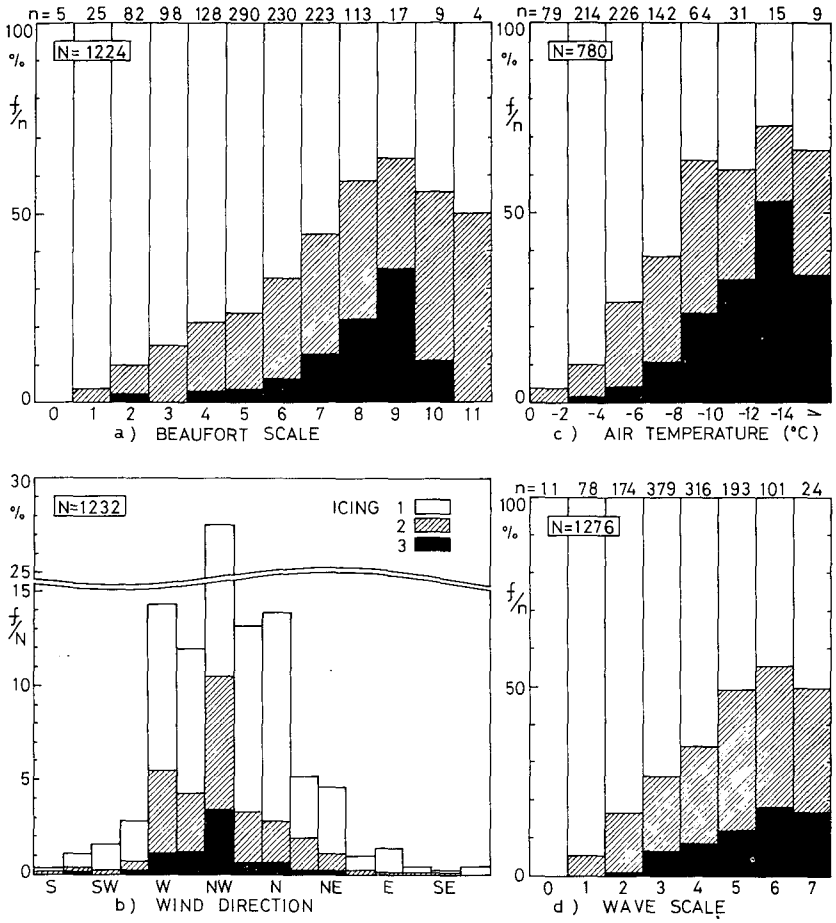
第1図 海域別着氷階級分布

図では，面積がそれぞれの海域での報告数に比例するような円を描き，着氷階級ごとの出現率を扇形の面積比として表わした。最も報告数の多い沿海州沖では約370例を，最も例数の少ない北千島東方海域でも16例をまとめたものである。

この図から，着氷階級の2と3とを合わせた激しい着氷の出現率が，北海道近海ではほぼ4回に1回程度であるのが，遠い海域では3回に1回，あるいは2回に1回となっており，遠い海域のほうが条件が厳しくなっていることがわかる。特に沿海州の沖では，着氷階級3の氷割り作業が15% 近くを占め，全海域の平均の8% のほぼ2倍に達している。

3. 船体着氷と個々の要因との関係

調査票に記載された各項目ごとに，着氷階級の出現率を求めた。それらのうち，顕著な関係の見られる風力階級，風向，気温，風浪階級について，着氷階級との関係を示したのが第2図である。



第2図 風力階級・風向・気温・風浪階級に対する着氷階級の出現率

第2図a, c, dは，それぞれ風力階級，気温，風浪階級との関係を調べたものである。いずれも，各階級区間ごとの報告数 n を図の上に記し，報告総数 N を図中に示した。各区間ごとに着氷階級ごとの相対度数 f/n を求め，それを百分率で表わして縦軸にとった。凡例をbの風向の図中に示したように，着氷階級1, 2, 3を，それぞれ白地，斜線地，黒地で示した。

第2図aから，風力階級が増すにつれて，激しい着氷の割合や氷割り作業の割合が増すことがわかる。風力階級が10以上になると激しい着氷の割合が減る傾向が見られるが，例数 n が少ないので有意の傾向かどうか明らかでない。

第2図bは風向との関係を調べたものである。この図では，縦軸に総数 N に対する相対度数 f/N をとった。着氷報告時の風向は，北西風が卓越しており，西から北までの風が全体の75% を占めることがわかる。

第2図cでは，気温を2 degごとの級区間にわけ，境の温度は温度の高い方の区間に入れた。気温が −8°C より低くなると，激しい着氷の割合が60% を越えることがわかる。温度が低くなるにつれて氷割り作業の割合が増し，−12°C から −14°C の区間では50% 強を占めて

いる。

第2図dは風浪階級との関係であり，風浪階級が増すにつれて，激しい着氷や氷割り作業の割合が増していくことがわかる。

風力階級，気温，風浪階級の最頻値は，図上のnの値からわかるように，風力階級5，気温 −4〜−6℃，風浪階級3のところにある。そこでは，いずれも，着氷階級の2と3とを合わせた激しい着氷の占める割合は25% 程度であり，氷割り作業の割合は数 % 程度である。すなわち，着氷時に最も多く出現する気象・海象条件のもとでは，氷割りに到るような激しい着氷の起こる確率は1/10より小さいという結果が示されている。

しかし，このような個々の要因ごとの着氷階級の出現率は，他の要因の影響を混入したままで得られたものである。各要因は複合的に組み合って着氷の程度を支配していると考えられるので，着氷の機構と関連づけながら考察を進める必要がある。

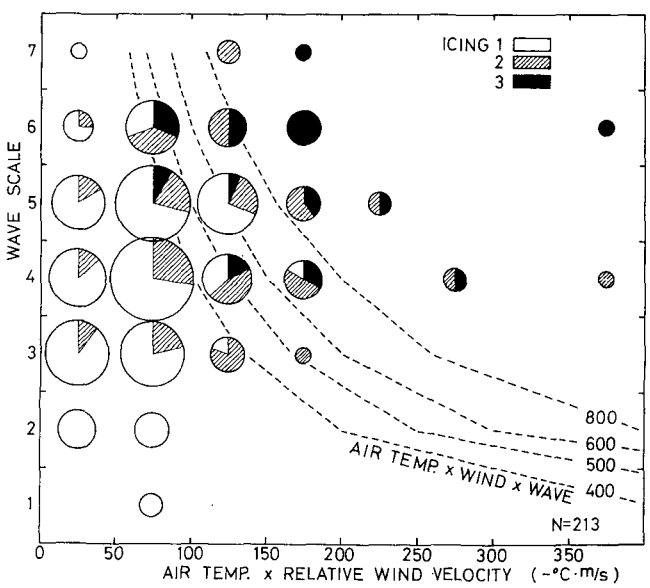
IV. 複合的考察

船体着氷は海水のしぶきが船に凍り着く現象であるから，しぶきの発生に関与する要因と，しぶきの凍着に関与する要因とにわけて考えることができる。

船にかかるしぶきには，白波が砕けて発生する波しぶきと，船体と海面との衝突によって生じるしぶきとがある。波しぶきが時間的にも空間的にも比較的一様であるのに対して，船体と海面とで作られるしぶきは，波浪と船との出合い周期に関係して時間的にも空間的にも極めてむらが大きい。しかも，このしぶきは一回にかかる水の量が多いので，波しぶきよりも着氷量への寄与が大きい。

したがって，しぶきの発生に関与する要因としては，風浪階級と，波に対する船の走りかた（針路・船速）とを支配的要因と考えることができる。

一方，しぶきの凍着は，しぶきで濡れた船体の表面から凍結の潜熱が強制対流熱伝達でうばわれる問題であり，凍結表面の温度と気温との温度差と，風速とに比例する。凍結表面の温度は，着氷成長中はその表面が海水のしぶきで濡れているので，ほぼ海水の結氷温度近くに保たれている。それゆえ，凍結表面温度と気温との温度差は，近似的には気温で代用することができる。また，風速は凍結面上を流れる空気の速度であり，



第3図 船体着氷の複合要因図

縦軸は風浪階級。横軸は対船風速×気温の絶対値

この場合対船風速である。

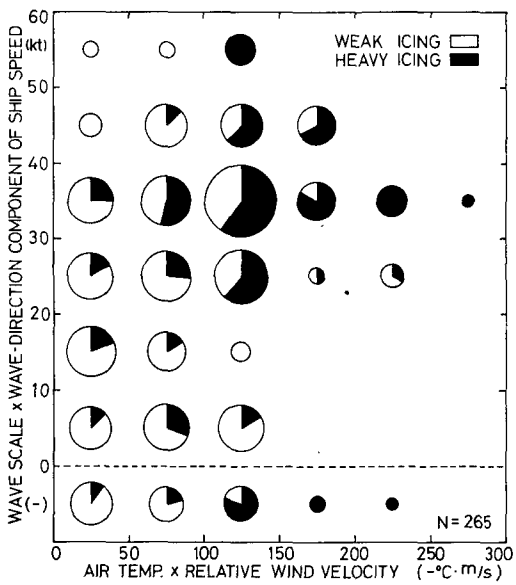
このような視点にたって，横軸に気温×対船風速をとり，縦軸に風浪階級をとって，着氷階級の相対度数を求めたのが第3図である。ただし，気温×対船風速が正の値になるように，気温は絶対値を用いている。

この図から，風浪階級が一定のもとでは気温×対船風速の値が増すにつれて，また気温×対船風速が一定のもとでは風浪階級が増すにつれて，着氷階級の2と3とを一緒にした激しい着氷の割合や，着氷階級3の氷割り作業の割合が増加するのを見ることができる。また，図中には，気温×対船風速×風浪階級の値が，400, 500, 600, 800の場合の等値線を点線で記入した。激しい着氷の割合は右上に向かって連続的に増加しているが，ほぼ500の線の右上で50%以上となり，800の線を越すと100%を占めることがわかる。

この結果は，気温×風浪階級がある大きさをもつ海域では，対船風速を小さくするように船速をおとせば，激しい着氷の起こる危険が少なくなることを示している。

この図では，操船の効果は対船風速のかたちでしぶきの凍結にだけ関与させ，しぶきの発生には考慮していない。しかし実際には，波に対する船の走りかたでしぶきの発生量やしぶきのかかる頻度は大きく変化する。

1962年秋から1967年春にかけて調べられた巡視船の着氷調査では，船首に対する波の方向が記載されている。この資料をもとに，縦軸を風浪階級×船速の波方向成分として，しぶきの発生におよぼす操船の効果を加えてまとめたのが第4図である。船首方向と波の進行方向とのなす角が90°以上の資料については，縦軸のマイナスの部分にまとめて示した。この横波あるいは追い波の場合にも，かなりの頻度で激しい着氷が起こっていることがわかる。第3図と比較するとばらつきは多いものの，縦軸あるいは横軸の値が増すにつれて，激しい着氷の占める割合が増しているのを見ることができる。



第4図 船体着氷複合要因図
巡視船の資料による。縦軸は風浪階級×船速の波方向成分。横軸は対船風速×気温の絶対値

IV. 結　　語

1970年秋から1973年春までの三冬にわたって154隻の漁船から寄せられた1358例の着氷報告を用いて，船体着氷条件の統計的な分析を行なった。

要因をしぶきの発生に関与するものとしぶきの凍結に関与するものとにわけて複合的に考

察した。その結果，風浪階級×対船風速×気温の絶対値が，500を越えると激しい着氷の占める割合が50%を越えること，その値が800以上になると激しい着氷が100%を占めることがわかった。

また，巡視船の資料を用いて，波に対する船の走りかたの効果を考慮した分析も行なった。

激しい着氷が起こりうる気象・海象条件のもとでも，対船風速や波方向への船速成分が小さくなるような操船法によって着氷量をおさえることができれば，着氷海難の防止に役立つ手がかりが得られることになる。これらの資料を活用して，今後もさらに分析を続けたいと考えている。

このような分析を行なうことができたのは，着氷時の資料が数多く収集されたからである。操業中や航走中に着氷の報告を寄せられた各漁船の乗組合の方々，調査票への記載をして頂いた稚内・小樽・釧路の各漁業無線局の方々，指導と取りまとめをして頂いた第一管区海上保安本部警備救難部の方々の御尽力に心からの感謝の意を表わします。

この調査は，日本海難防止協会が昭和45年度から3年継続で実施した「漁船等の着氷海難防止対策に関する研究」の事業項目のひとつとして行なわれたものである。その完了報告書[3]を作成する時点にはまだ収集されていなかった資料を含めて整理分析し，その結果を発表する機会を与えて下さった日本海難防止協会および漁船等の着氷海難防止対策に関する研究委員会の方々に厚く御礼申し上げます。

なお，資料の整理解析にあたっては，北海道大学大型計算機センターのプログラムパッケージSPSSを利用した。

文　献

1) 日本海難防止協会 1971 漁船等の着氷海難防止対策に関する研究．昭和45年度中間報告書，76 pp.
2) 田畑忠司 1969 船体着氷の研究 III．着氷と気象・海象条件について．低温科学，物理篇，**27**，339–349.
3) 日本海難防止協会 1973 漁船等の着氷海難防止対策に関する研究．昭和47年度完了報告書，126 pp.

Summary

Studies on ship-icing conditions were carried out by collecting and statistically analysing information from fishing boats in situ through wireless messages during three winters from the autumn of 1970 to the spring of 1973. In accordance with prior arrangements with fishing boats, any boat that was undergoing ship-icing filled in a questionnaire and passed on its entries to a designated wireless station for fishery. The entries cover: the date and time of icing; the location, compass-heading and speed of the boat; the name, make (wooden or steel), gross tonnage and kind of fishing of the boat; weather; wind direction, wind direction relative to the boat, wind velocity, its Beaufort scale, wind velocity relative to the boat; wind-wave scale; the temperatures of the air and sea surface; the intensity of icing expressed in the following code:

1: Weak icing,
2: Heavy icing,
3: Serious icing accompanied by de-icing operation.

During the three winters, a total of 1,358 cases of icing conditions were reported by 154 fishing boats. They are tabulated according to the month, year, and icing code as shown in Table 1. It is recognized from the table that the sum of the cases of heavy and serious icing accounts for approximately 30% of the total reported and that about a quarter of this sum represent the serious icing accompanied by de-icing operation.

The frequencies of the icing code related to sea regions are illustrated in Fig. 1. It is seen that the heavy and the serious icing occur more frequently in areas far from Hokkaido island than in areas near it.

The frequencies of the icing code sorted with the velocity, wind direction, air temperature and wave scale are shown in Fig. 2. Values at the top of each figure show the number of the cases in each class-interval of the abscissa.

Sea water splashing aboard a boat in the form of spray freezes onto its exposed surfaces. The amount of spray caught is related to the wave scale and to the course and speed of the boat relative to the wave movement. The amount of spray frozen is related to the difference of temperature between the boat's surface and the air as well as to the wind velocity relative to the boat.

The graph of Fig. 3 shows the frequencies of the icing code related to the values of the air temperature multipled by the wind velocity relative to the boat (abscissa) against the wave scale (ordinate). The frequencies of the heavy and the serious icing increase with the increase of the product of the air temperature, relative wind velocity and wave scale.

The graph of Fig. 4 shows relationships for patrol boats of the Maritime Safety Agency when the wave scale multiplied by the wave-direction component of the boat's speed is taken as the ordinate.

It is expected from Figs. 3 and 4 that a boat in severe icing conditions can avoid a danger of icing by selecting a course and a speed that help decrease the relative wind speed.