HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	船体着氷の研究　III : 着氷と海象・気象条件について
Author(s)	田畑, 忠司
Citation	低温科學. 物理篇, 27, 339-349
Issue Date	1970-03-31
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/18122
Type	bulletin (article)
File Information	27_p339-349.pdf

Instructions for use

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

Tadashi TABATA 1969 Studies on the Ice Accumulation on Ships. III. Relation Between the Rate of Ice Accumulation and Air, Sea Conditions. *Low Temperature Science, Ser.*, ***A*, 27.** (With English Summary p. 349)

船体着氷の研究 III*

着氷と気象・海象条件について

田畑忠司
(低温科学研究所)

(昭和44年8月受理)

I. まえがき

冬に北洋を航海する船舶では，海水の飛沫，過冷却した霧粒や雨滴などが船体に凍着する，いわゆる船体着氷現象がおこる[1]。着氷のために，船上のいろいろの作業が困難になるばかりでなく，船の復原性能が著しく損なわれ，時には転覆してしまう場合がしばしばある[2,3]。

筆者は，海上保安庁と協力して，1960年から4冬にわたって巡視船による着氷実船実験をおこない，着氷が復原性能におよぼす影響を調査研究した[4]。その結果本邦周辺の海域では着氷は海水飛沫の凍着のみによっておこること，および排水量420屯の巡視船で気温が −6〜−8 °C，風速11 m/秒の冬の北洋としてはありふれた気象条件のときでも着氷量が毎時約2屯の割合で増加して，復原性能の劣化にきわめて重大な影響をおよぼすことがわかった。更にこの実船試験時の風力階級，気温などと着氷の発達との関係をしらべ，船体着氷は気温が −2°C 以下でおこり得ることが知られた。また，巡視船が1958年から62年までのあいだに着氷に遭遇したときの記録を整理して，海上保安庁船技部[5]は，着氷は −1°C 以下の気温でおこり，気温が −6°C 前後のときおよび風速10 m/秒前後のときにもっとも数多くおこったと述べている。更に，小野[6]は −1°C 以下で着氷がおこり，船との相対風速が大きくなると着氷量が増すことを指摘している。沢田[3]もタラ漁操業船から求めたアンケートによって，気温が −3°C になると着氷がはじまり，−6°C 以下では成長が著しく，また波浪階級4以上になると気温があまり低くなくても着氷がおこると述べている。

着氷の増加速度は船にかかる飛沫の量と，その温度，飛沫から熱を奪う速さによってきまることは明らかである。前者は，当時の海面状況，船速，波浪の進行方向と船の進路との相対関係，船の大きさと形などによってきまり，このうち海面状況と波浪状況は風に支配されるところが大きい。後者は主として，気温と船に対する相対風向・風速によってきまるものと考えられる。

船体着氷は船舶にとってきわめて危険な現象であるから，着氷の防除に対しては充分な対策を立てておくことが必要である。そのための第一歩として，上にのべた種々の条件と着氷増加との関係を明らかにしておくことが必要である。しかし，これらの諸条件は千差万別であるから，数少ない航海記録から論ずるよりも，着氷に遭遇した多くの船舶の経験から統計的に明

* 北海道大学低温科学研究所業績 第993号

らかにするのが望ましい。

筆者は第一管区海上保安本部の御協力を得て1963年冬から1967年冬までの間，着氷海域に出動する全巡視船に着氷時に着氷調査票を記入するよう依頼し，上に述べた着氷成長速度を支配する諸要因と着氷増加との関係を統計的に調査した。また船体に飛来する飛沫量の測定も試みたので，これらの結果について報告する。

II. 着氷調査票

着氷調査票には次の項目を記入するようになっている。

船名，位置，船速，船首方向，対船風向，対船風速，気温，水温，波浪階級とその対船進行方向，うねり階級とその対船進行方向，推定着氷量（屯），着氷開始又は終了時刻，天候その他。

また次のしぶき量および着氷量の2項目についてはそれぞれ下記の3段階の表現のうちのどれかひとつに記号をつけるようになっている。

しぶきが操舵室の舷窓に，1) 全く飛んで来ない，2) 少し飛んで来る，3) 大量に飛んで来る；および着氷が，1) おこらない，2) 少し成長しつつある，3) 明らかに成長している。これらの3段階を，それぞれここに記入した順序にしたがって，しぶき・0, 1, 2；“着氷”・0, 1, 2と名付けることにする。この2項目は互いに密接な関係にあり，目視による着氷成長の度合の誤りを相互に点検する目的をもっている。

巡視船では3時間毎に気象・海象観測を行なっているので，着氷調査票は着氷のはじまりそうなときから（もしくは着氷開始後）それが終了するまでのあいだ，この定時観測時刻ごとに記入することにした。

5冬間に記入された調査票は256葉で，その間の巡視船の行動範囲は，北海道北部，東部，北東部などの海面はもとより沿海州沖，千島列島沖から遠くカムチャツカ海域に及んでいる。

調査票の記入をおこなった巡視船は排水量1100屯の“宗谷”，1000屯型“つがる”，“えりも”，530屯型“だいとう”，450屯型“ほろない”，“てしお”，“れぶん”，“りしり”，350屯型の“ちとせ”，“とかち”，“ゆうばり”，270屯型の“てんりゅう”の12隻である。

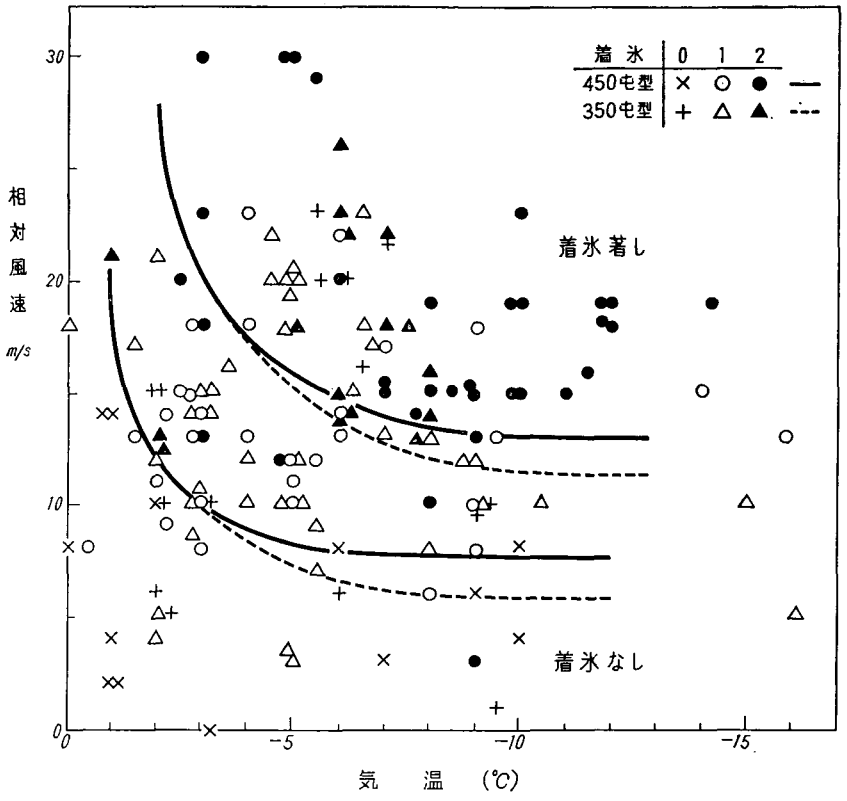
III. 調査結果

調査票に記入された最低気温は −16°C，着氷時の最高気温は −1.0°C，水温は大部分は +1.0°C 以下であったが，時には +5°C のこともあった。最大対船風速は30 m/秒，最高波浪は階級7，最大推定着氷量は10屯であった。

船は同じ海域を同一速度で航行しても，その大きさと形がちがえば，船のゆれかたも，船体にかかるしぶきの量もちがう。したがって着氷量が異なることは当然期待される。それゆえ，着氷調査票の整理は，同一型式の巡視船ごとの群にわけて行なった。ただし，すでにのべた各型の巡視船のうち，宗谷，1000屯型，530屯型，270屯型では資料数が少なく統計的に扱うことが出来ないので，以下では350屯型および450屯型の結果についてのみ述べる。

1. 気温・風速と着氷増加との関係

風が強くなると，波浪の発達が促されるので船体にかかる飛沫の量は多くなる。いっぽう



第 1 図 気温・対船風速と着氷成長の関係

気温が低く，対船風速が大きいほど，船体から奪われる熱量が多くなるので，船体にぶつかった海水飛沫が凍結に要する時間が短かくなり，着氷の増加を促進する筈である。このような見地に立って，気温と対船風速と着氷の増加との関係を求めたのが第 1 図である。

第 1 図は 450 屯型巡視船と 350 屯型巡視船で得られた結果である。

この図では点がかなりちらばっているが，着氷増加の程度を，着氷なし (0)，少し着氷する (1)，着氷が著しい (3) の 3 段階に分けると，図中の実線 (450 屯型) および破線 (350 屯型) のようになる。図から以下のことがわかる。

1) 着氷は気温 −2°C ぐらいでも充分におこり得る。2) この程度の大きさの船では対船風速が 6～8 m/秒 以上になると着氷がはじまる。450 屯ではこの限界風速が 350 屯型よりはいくらか大きい。3) 対船風速が増し，気温が少し低下しただけで着氷の増加が著るしくなる。

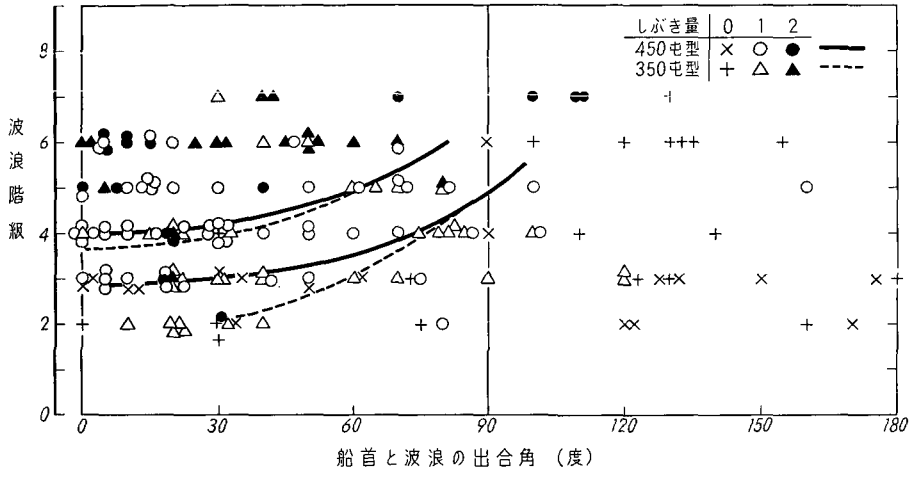
観測された最低気温は −16°C である。また気温が低いときの資料が少ないので，英国造船協会が行なった模型実験[7] および Васильева[8] がのべているような，−17°C で着氷増加量が最大となり，それ以下の気温では急に着氷増加量が減少するという傾向はみられなかった。

2. 海面状況と船の進路によるしぶき量のちがい

着氷が生ずるためには，まず船体にしぶきがかかる必要がある。しかも波またはうねりに対する相対進路を変えると，船体にかかるしぶき量が大幅にかわることは経験的にも知られて

いる。

第2図は波浪階級を縦軸にとり，波浪の進行方向と船の進行方向の相対角，すなわち波との出合角としぶき量の関係を求めたものである。図の出合角0度とは進んで来る波に向って船が進む場合で，180°とは波と船の進行方向が同一であることをあらわしている。



第2図 船と波浪の出合角・波浪階級としぶき量の関係

図中の，しぶきがかからない (0)，少ししぶきがかかる (1)，大量にしぶきがかかる (2) の3域の境界が図中の実線 (450屯型)，破線 (350屯型) である。

この図から，1) 波浪方向と船の進路の相対角が少ないほど，すなわち波との出合角が小さいほどしぶき量が多い。2) 出合角30度ぐらいまではしぶき量はあまりかわらないが，出合角がそれ以上になるとしぶき量は急に減少し，波浪階級6以下でも90度をこすとほとんどしぶきをかぶらなくなる。

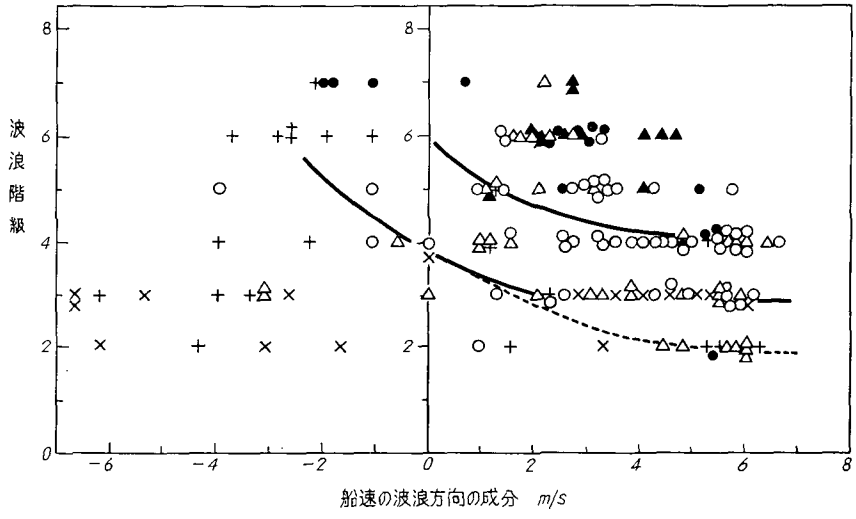
ただし，ここでいうしぶき量は，船首に向いている操舵室の舷窓にかかるしぶきのことであることを注意する必要がある。すなわち，風が船のうしろから吹いているときには操舵室の舷窓や前甲板にしぶきがかからなくても後甲板にしぶきがかかることがしばしばある。ここにいう出合角90度以上のしぶきなしは前甲板にしぶきがかからないということである。

つぎに，船速の波浪方向の成分と波浪階級，しぶき量とを比較したのが第3図である。対船風速の正の値は波との出合角が0～90度の場合，負の値は90～180度の場合である。図中の点をしぶき無し，しぶきが少ない，しぶきが大量の3つの領域に分けたのが図中の線である。図中の波浪階級4以下で船速成分が正のときにのみ両型の差があらわれ，実線が450屯型，破線が350屯型をあらわしている。

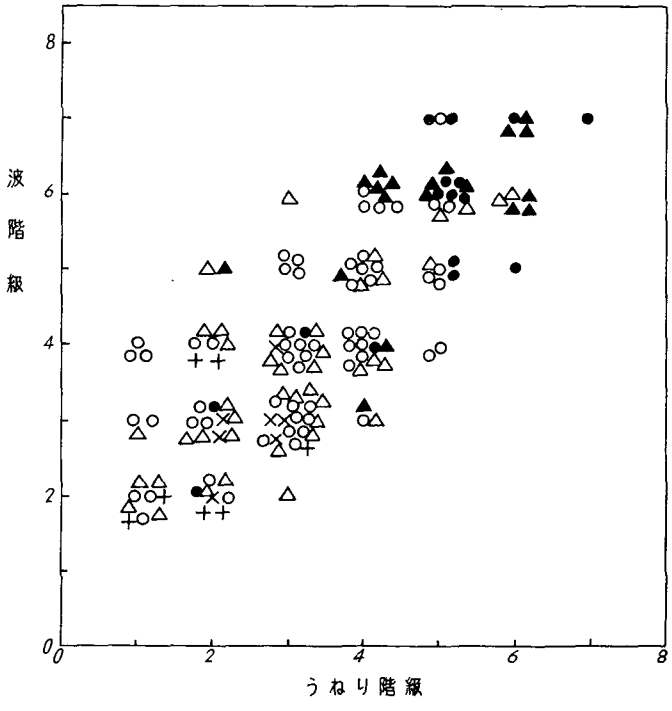
第3図から，1) 450屯型では波浪階級3，350屯型巡視船では波浪階級2以下では殆んどしぶきがかからない，2) 波浪階級が7以上になると船がどちらに向って走っても大量のしぶきをかぶる，3) 波浪階級6以下のときには波浪の方向に対する船速成分を減少させるとしぶきがかかりにくくなる，つまり操船によってしぶき量を減少させることが出来る，などのことがわかる。なお，第3,4図の図中の記号のちがいは第2図と同じものをあらわしている。

波浪とうねりの大きさのあいだには直接の関係がない。しかし広い海域で，特に荒天のときには両者がともに大きくなり，時には区別出来なくなることがある。調査時に，巡視船によって観測された波浪階級とうねり階級を比較したのが第4図である。

点がかなり広がってはいるが，波浪が高いときにはうねりも高い傾向にあることは明らかである。すでに，第2, 3図でしぶき量の多少は船の走行のしかたに非常に関係すると述べた



第 3 図 船の速さの波浪方向の成分・波浪階級としぶき量の関係



第 4 図 波浪階級・うねり階級としぶき量の関係

が両階級がともに6以下のときに白丸と黒丸が入り混っているのは，このことをあらわしている。また両階級が6以上の場合にはしぶき量が船の走行のしかた如何に拘わらず多いことは明らかである。

しぶきとうねりは調査時には第4図のように比較的良い相関関係を有している。それゆえうねりの階級と船との出合角，またはうねりの階級とうねり方向の船速成分を求めてしぶき量と比較しても，それぞれ第2, 3図とほぼ同じ傾向を得た。

3. 海面状況と船の進路による着氷の増加のちがい

しぶきが船体にぶつかり，そこで凍着して着氷となることはいうまでもない。このたびの調査票においても，大多数の場合には，しぶき量の3段階 (0, 1, 2) と着氷の増加状況を示す3段階 (0, 1, 2) とは一致していた。ただ，しぶき量0で着氷1ということが何回かあった。これはしぶき量を判定する操舵室の船窓まではしぶきが飛んで来ないが，その下の前甲板までは飛んで来て，そこで着氷が生長した場合であった。

したがって，当然期待されたことであるが，着氷量について第2, 3, 4図の如き関係を求めて，これらの図と全く同一の傾向を得た。それゆえ，着氷の増加速度についてもつぎのことがわかった。すなわち，

1) 350 屯型巡視船では波浪階級 (またはうねり階級) 2, 450 屯型では同じく3以下のときには着氷がおこらない。2) 着氷のしかたは波浪（またはうねり）との出合角によって非常にちがい，出合角を大きくすると著るしく減少する。すなわち操船によって着氷増加速度を減少させることができる。3) しかし波浪階級（またはうねり階級）が6または7以上ではどのような走りかたをしても大量の着氷がおこる。

これらの着氷成長の臨界条件である波浪またはうねり階級はいずれも 350 屯型および 450 屯型巡視船についてのものである。船が大きくなるとこれらの階級は大きく，船が小さくなると逆になることが期待される。

上記 2) および 3) の項目はいずれも着氷による海難防止に役立つことであろう。

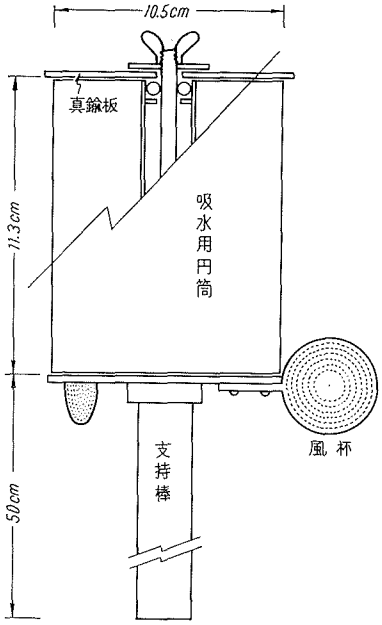
IV. 船体にかかるしぶき量の実測の試み

船体着氷はすでにのべたように，主としてしぶきが船体に凍着しておこるので，着氷の研究にあたっては船体にかかるしぶき量をすでにのべたような相対的な尺度でなく，絶対的な尺度で知ることが必要である。同時にしぶきの水滴の大きさの測定も必要である。しかし，船体にかかるしぶき量は，すでに述べたように，種々の条件によって複雑にかわる。このため，ある限られた条件のときのしぶき量でさえも測定されていない。

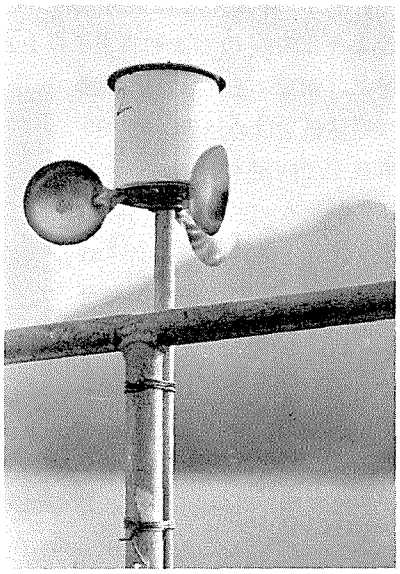
冬期間にこれらの測定を行なうのはきわめて難かしいので，筆者は 1962, 63 年に予備的測定を行なったのち，1964 年7月 28～30 日に稚内港外で巡視船“ちとせ”により船体にかかるしぶき量の測定を試みた。

1. 測定装置と方法

しぶき量を測定するために，第5図および第6図に示す吸水用円筒とそれを風によって廻転せしめるための風杯をもつしぶき捕捉装置を製作した。

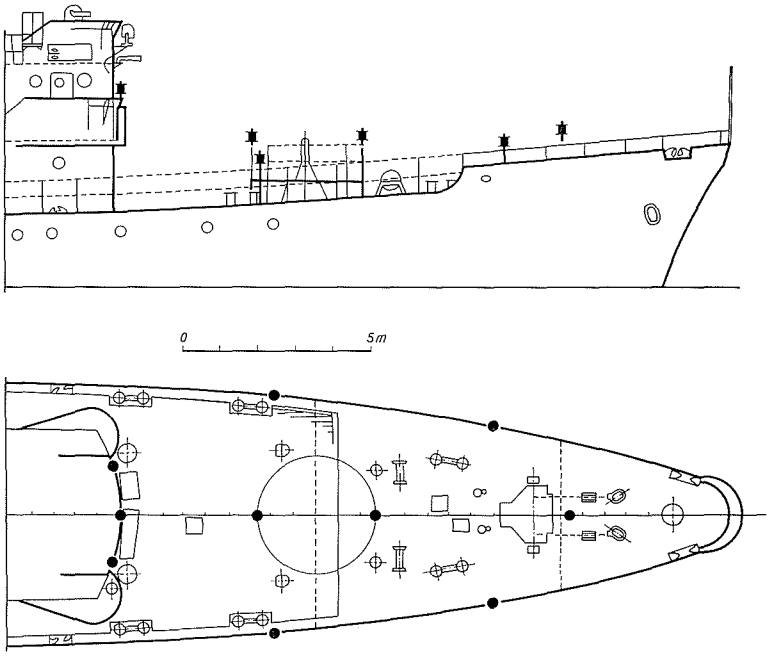


第 5 図　しぶき捕捉装置断面



第 6 図　しぶき捕捉装置

吸水部分としては円筒形のトイレットペーパーを用いた。ただしこの紙はひとたびぬれてしまうと非常に弱くなるので，紙円筒の表面に厚さ 0.2 mm の濾紙を 2 重にまきつけ，吸水性を損うことなく吸水後の強さを増すようにした。この装置をしぶき中に露出しておくと，風杯によって円筒は絶えず回転するので，吸水円筒が均等にぬれ吸水能率もよくなる。ある時間



第 7 図　しぶき捕捉装置配置図

しぶきを捕捉させたのちに，捕捉水重量を計量して，その場所におけるしぶき量を求めることができる。吸水円筒紙の乾燥重量は約 150 g で試験の際の最大吸水量は 63 g であった。

このような装置 10 台を船首上甲板上および操舵室前面の第 7 図，第 8 図に示した位置にとりつけた。測定にあたっては合図によって吸水紙をはめ込み，真中板および蝶捻子で固定する。5～6 分しぶき中に露出したのち，吸水円筒をとり外しポリエチレンの袋におさめて密閉し，入港後にその重量を測定した。

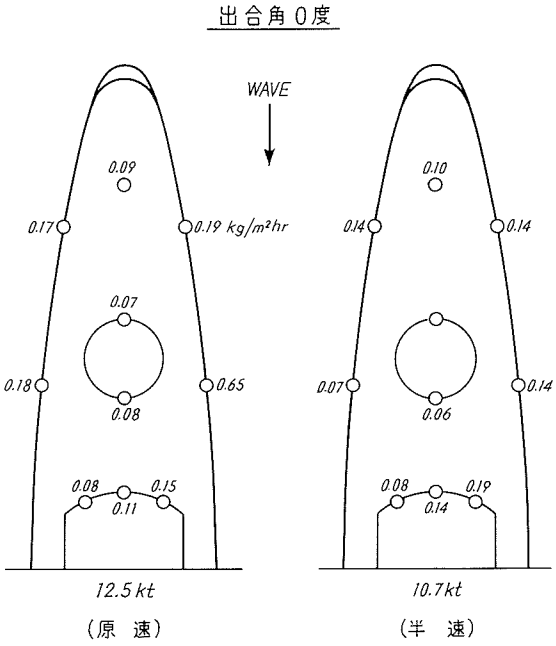
しぶきは数秒あるいは数拾秒ごとに間歇的に飛来するが，この装置では 5～6 分間の積算しぶき量を求めることが出来，取扱いも簡単である。

第 8 図　しぶき量測定状況（巡視船“ちとせ”前甲板）

測定は 7 月 28～30 日に行なう予定であったが，海面が平穏でしぶきが飛ばず，30 日午前中にのみ行なうことが出来た。そのとき試験海面では東 5～9 m/秒 の風が吹いており，波浪階級 2～3，波高約 0.6～1.0 m，波長約 10 m の波が東北東から西南西の方向に進んでいた。うねりはほとんどなかった。

測定は，船首の波に対する出合角を 0 度，左右各 30，60 度の 5 通りとし，おのおの船速が 12.5 節（原速）および 10.7 節（半速）の場合について行なった。

すでに第 2, 3 図でのべた如く，波浪階級 2～3 のときには，350 屯型巡視船“ちとせ”ではしぶきが辛うじて船上に飛んで来る程度であり，測定条件としては物足りないものであった。



第 9 図　波との出合角 0 度のときの前甲板上のしぶき量 (kg/m²·hr) 分布

2. 測定結果

船首と波浪の出合角 0 度，すなわち船首を波に立てて航行したときの上甲板上のしぶき量の分布を第 9 図に示した。図中の数字は捕捉計に捉えられた水量から求めた鉛直面 1 m² あたり 1 時間のしぶき量 (kg) でそれぞれ 2 回の測定値の平均値である。

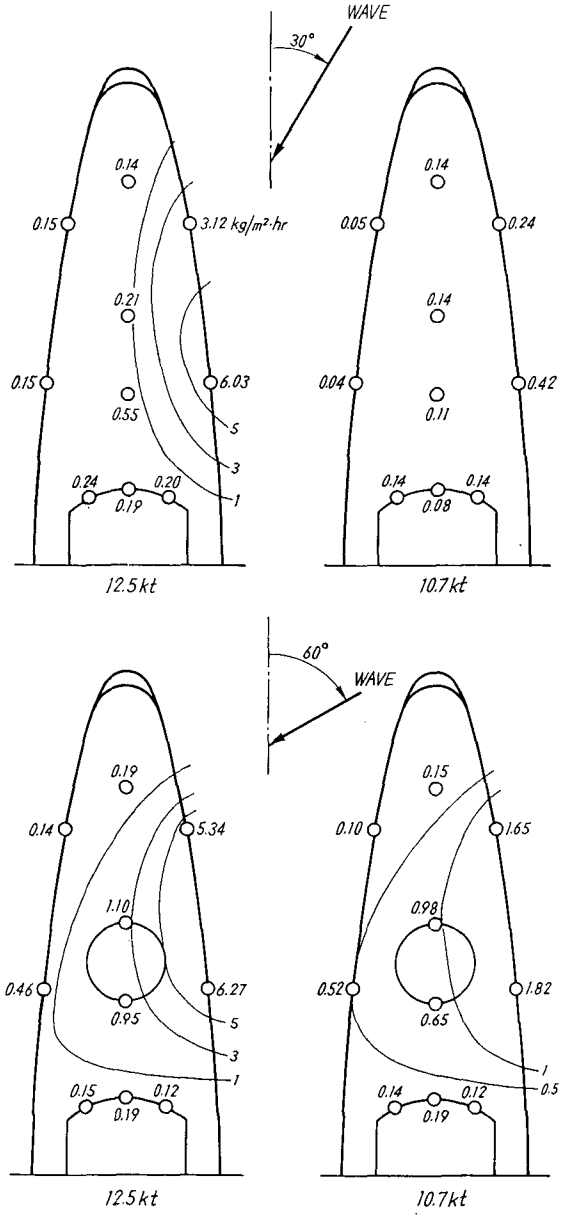
船速 12.5 節，10.7 節のときに対船風速はそれぞれ 14～15 m/秒，12.5～13.5 m/秒 であった。船首と波の衝突によって生じたしぶきは船の両舷外側に分かれて飛び散ってしまい，船にはほんの少ししか飛んで来なかった。ただ，風が船首から右舷側に約 10 度片寄った方向から吹いていたので，右舷側のしぶき量が左舷側よりもいくらか多い。船速が少ないときにしぶき量がいくらか少ない傾向がある。しかし，いずれも絶対量が少なく，この程度のしぶきで生ずる着氷量はきわめて少ないので，両者の差は無視できるものとおもわれる。

出合角が左右それぞれ 30, 60 度の測定を行なったのは，風と波の方向が約 10 度ずれていたために風の影響を考えてのことであったが，得られた結果では風の影響はあまり顕著でなかった。それゆえ，左右のちがいを無視して，出合角度のみに注目して測定結果を示したのが第 10 図である。図中の数字は第 9 図と同様に，1 m² あたり 1 時間のしぶき量を kg であらわしており，いずれも 3 回の測定の平均値である。

図中のすべての場合とも，風上側のしぶき量が多く，特に原速 (12.5 節) の場合にいちじるしい。

出合角 30 度の原速のときには風上舷でのしぶきの数分の一が甲板の中央線に達しているようである。半速 (10.7 節) ではしぶき量は前に示した出合角 0 度の場合よりいくらか多い程度にすぎない。

出合角 60 度では 30 度の場合に比してしぶき量がきわ立って多く，しぶきが船体を横切って反対舷にまで飛んでいっているのがわかる。甲板中央線ではしぶき量は風上舷の約 1/5 である。風下舷では 1/10 以下に減っているので，しぶきの大部分は甲板上に落ちたと考えられる。半速では，しぶき量は原速の場合の数分の一に減少し，しぶきのうちのおよそ 1/3 が風下舷ま



第 10 図 波との出合角 30 度，60 度のときの前甲板上のしぶき量 (kg/m²·hr)

でとんでいるが，そこでの絶対量は原速の場合とほぼひとしい。

また，船橋の前面では全測定を通していずれの場合もしぶき量はほぼひとしく，しかも少ない。着氷調査票でしぶき量の多少を判定した操舵室の舷窓は船橋前面にある。この程度のしぶき量では“しぶき0”と記入されるであろう。しかし実際には前甲板には可成りのしぶきがかかっており（第9, 10図），冬ならばある程度の着氷が生ずるのが当然とおもわれる。第2図によると，ちとせ級の巡視船では出合角60～70度，波浪階級2および3の場合の観測は5例でこのうち，着氷成長がみとめられない（着氷0）が2回，少し成長している（着氷1）が3回である。すなわち，この程度のしぶき量の結果生ずる着氷の成長速度はあまり大きくなく，ときには見落す程度の量であることがわかる。

V. 結　　語

着氷域に出動した巡視船に記入を依頼した着氷調査票を整理して，着氷の成長度合と海象・気象条件との関係についてのべた。350 屯および 450 屯型巡視船については，着氷は気温が −2°C 以下，対船風速 6～8 m/秒 波浪又はうねり階級2または3ぐらいからはじまることをのべた。このことは冬ではいつでも着氷がおこり得るということである。船と波浪およびうねりとの出合角を大きくするか，もしくは波浪またはうねり方向の船の速度成分を小さくすることによって，着氷の増加速度を著しく減少せしめることができることがわかった。

また，船上のしぶき量の測定をこころみた結果についてのべ，しぶき量と着氷量とを結びつけて研究し得ることを示唆した。

終りにのぞみ，着氷調査票による調査に御協力いただいた，第一管区海上保安本部船舶技術部，同稚内・根室・釧路各海上保安部，巡視船；“宗谷”，“つがる”，“えりも”，“だいとう”，“ほろない”，“れぶん”，“てしお”，“りしり”，“ちとせ”，“とかち”，“ゆうばり”，“てんりゅう”の各船および乗員各位に心から感謝いたします。また資料の整理は当時・低温科学研究所松川康男氏に負うところが多いことを記して感謝の意を表します。しぶき量の測定も巡視船“ちとせ”で行なったものであり，稚内海上保安部，同船および乗員各位に厚く感謝します。なお測定は第一管区海上保安本部船舶技術部小林猛氏，低温科学研究所小野延雄，鈴木義男，遠藤八十一，赤川宇佐美氏等の御協力によったものであり，ともに謝意を表する次第です。

文　　献

1) Dunbar, M. 1964 Geographical Distribution of Superstructure Icing in the Northern Hemisphere. Report No. Misc. G-15, Defense Research Board, Canada, 2 pp.
2) 日本海難防止協会 1960 たら漁船の海難原因の調査と対策の研究. 第一管区海上保安本部編, 188 pp.
3) 沢田照夫 1962 船体着氷とその予報. 雪氷, **24**, 1, 12-24.
4) 田畑忠司・岩田秀一・小野延雄 1963 船体着氷に関する研究 I. 低温科学, 物理篇, **21**, 173-221.
T. Tabata, S. Iwata and N. Ono 1967 Studies of Ice Accumulation on the Ships. I. D. R. B. Translation T-93-J, Defence Research Board, Canada, 42 pp.
5) 海上保安庁船舶技術部 1962 復原性態の見地からみた巡視船の着氷基準. 47 pp.
6) 小野延雄 1964 船体着氷に関する研究 II. 着氷条件と着氷量について, 低温科学, 物理篇, **22**, 171-181.

N. Ono 1967 Studies of Ice Accumulation on Ships. II. Conditions of Icing and Accreted Ice Weights, D.R.B. Translation, T-94-J, Defence Research Board, Canada, 9 pp.
7) The British Shipbuilding Research Association. 1957 Trawler Icing Research, B.S.R.A., Report 221, London, 17 pp.
8) Васильева, Г. В. 1966 船体着氷のための水理気象学的条件 (沢田照夫訳, 雪氷, **29**, 4, 14-17).

Summary

To clarify the relation between ice accretion on ships under various weather, sea and navigation conditions, a questionaire was prepared and sent to and collected from patrol vessels of the Maritime Safety Agency, during 1963–1967. The items on the form were as follows: ship name, position, speed, direction of the bow, relative wind velocity and direction, air and sea temperature, relative direction of wave and swell and their classes, approximate weight of ice, weather, amount of sea spray at bridge window in three categories (1; no spray, 2; a little, 3; much), accretion of ice in three categories (1; no icing, 2; slightly, 3; remarkable) etc.

Figure 1 shows the relation between air temperature, relative wind speed and accretion of ice on two types of patrol vessels both 350 tons (dotted line) and 450 tons (solid line). The figure was divided into three domains, remarkable icing, slight icing and no icing conditions with lines in the figure. Icing takes place even at air temperature of only −2.0°C. For 350 ton and 450 ton type patrol vessels, when the approximate relative wind speed was 6 m/s and 8 m/s or less, no icing occurred. With the lowering of the air temperature and increase in the wind speed, accretion of ice increases.

In northern Sea of Japan and northern Pacific Ocean, icing takes place mainly with freezing of sea spray. It was ascertained that, with increasing the amount of sea spray on ship, icing increase.

Figure 2 is the relation between wave class, relative angle of ship bow and wave direction and amount of sea spray. It is obvious that with increasing the relative angle between ship bow and wave, amount of sea spray, and hence, accretion of ice decreases. The same result was obtained in the case of the swell.

Some trials were made on the direct measurement of amount of sea spray in the ship deck. For capturing the sea spray, simple apparatus were set (figures 5–8) in the upper deck of patrol vessel "Chitose" (350 ton type). Though the sea condition was calm, and therefore, amount of sea spray was very little, distributions of sea spray (kg/hour for vertical 1 m^2 area) were obtained in several conditions (figures 9 and 10).