

平成 29 年 1 月 修士論文要旨

(東京大学大学院 新領域創成科学研究科 海洋技術環境学専攻)

船舶における海水飛沫発生・飛来に関する研究

—船体着氷の予測方法確立を目指して—

Research on sea spray around ships for the prediction of ship icing

学籍番号 47-156640 戸田 真

指導教員 山口 一 教授

(平成 29 年 1 月 31 日発表予定)

Keywords: 飛沫, 着氷, 出会周期, 船体動揺,

Keywords: Ship icing, Sea spray, Period of encounter, Ship motion

1. 背景・目的

船体着氷とは、寒冷な地域を船舶が航行する際にしばしば発生する、船体に氷が付着する現象である。この現象が発生すると、船上に存在する可動部分が凍りつくことにより動かなくなってしまうといった影響から、最悪の場合は小型の漁船などであれば重心の上昇に伴い復原力を失い転覆してしまう可能性があるなど、様々な悪影響がある。

船体着氷の要因の一つとして、海水飛沫があげられる。これは、船体動揺に伴い船の周りから舞い上がった海水飛沫が風に煽られたり、船体が移動したりすることにより船体に衝突し、それが凍結、付着、蓄積することである。[1]

現在、地球温暖化に伴う極域の氷の減少により、北極海を船舶の航行ルートとして利用する計画が各国で進められている。今後着氷が起こりうる寒冷な海域を航行する船舶が増加することが予想され、着氷の危険性も高まる可能性がある。どのような状況で飛沫が発生するかを知ることは、このような状況下では重要である。着氷の予測が可能になっても、着氷が起こることを回避する方法は現在のところ存在しない。

飛沫の発生メカニズムだけでなく、それを避ける現実的な方法が分かれば、着氷の発生を回避し、燃料、目的地までの所用時間などの経済的要因に影響を与えることなく安全な航行の実現につながる事ができることが期待される。

本研究の目的は、船の制御により操作が可能な領域における、飛沫の発生との関係を見つけ出すことである。

2. 観測

海水飛沫の観測は、これまで巡視船「ちとせ」をはじめとした複数の船舶で行われてきた。その際飛沫を観測するには、甲板上に設置した筒状の容器によって飛沫を捕集する、容器に入れた紙に飛沫を吸水させる、といった手法が用いられてきた。海水飛沫を観測するために、第 57 次南極地域観測隊(JARE57)に同行者として参加し、観測を行った。しらせにおける飛沫測定は、第 55 次南極地域観測隊より行われており、相対風速等と飛沫量の関係が調査され、多くの知見が得られている[2]。本研究は比較も考え 57 次航海で 56 次と同じ計測器を用いて観測した。それを用いてこれまでの結論を確認するとともに、他の気象・海象条件との関係の検討を行うことを目的に観測データを取得した。[2]

第 57 次南極地域観測隊は、砕氷艦「しらせ」に乗艦し、12 月 6 日にオーストラリア、フリーマントルを出港、昭和基地に向かった。その後、年が明けて 2016 年 1 月 5 日に接岸、3 月 25 日にオーストラリア、シドニーに帰還した。第 57 次南極地域観測隊は復路において、ケープタウン寄港、オーストラリア隊救助・収容といった予定外の事態が複数発生し、大幅な航行計画の変更があった。

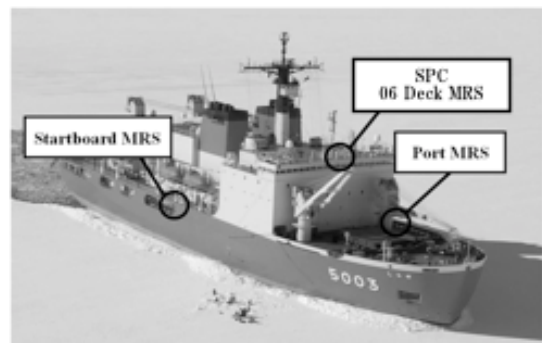


Fig. 1 location of the sensors on SHIRASE[2]

2. 1 飛沫観測について

第 57 次南極地域観測隊において、船体着氷の要因である飛沫の定量的な観測を行うために、砕氷艦「しらせ」艦上において、海水飛沫の観測を行った。今回の観測では、海水飛沫を定量的に把握するための飛沫計(センサー)を 2 種類使用した。(Fig.1)一つは、雨量計型飛沫計(MRS)で、もう一つは飛沫の粒径と数を測定することができる Snow Particle Counter(SPC, 吹雪計)という装置である。雨量計は、往路では 06 甲板艦首側に 1 台、01 甲板右舷左舷に 1 つずつの計 3 台、SPC は 06 甲板(01 甲板との高低差約 12.45m)艦首側に 1 台を使用した。SPC、雨量計共に第 1 観測室に設置したデータ処理装置を介して専用の PC によってデータを取得した。

センサーは 2 種類使用したが、本研究においては、雨量計にトラブルが生じたため雨量計によって得たデータは使用せず、SPC のデータのみを用いた。

SPC は、測定領域を通過した粒子の個数を記録する、新潟電機製の観測装置である。[2]本来は雪を測定する装置であるが、飛沫を測定するために仕様を変更している。測定間隔は 1 秒である。赤外線を用いて、測定領域を通過した粒子の粒径を 32 段階の大きさで判断し、データロガーを介してコンピュータに記録する。(Fig.2)

一般的に、重力場における水滴は直径 2mm を超えると空気抵抗の影響により形がたわみ始めるが、SPC の測定範囲は 1000 μm であるため球とみなすことができる。[4]

SPC により得たデータから、球の体積の式により 1 秒間に飛来した飛沫の体積(単位 mm^3)を求めた。その値を測定領域の面積 75 mm^2 で除すことにより、雨量と同等の値である 1 秒間の飛沫量(単位 mm/s)を求めた。1 秒間の飛沫量を合計することにより、1 時間に飛来した飛沫の総和(単位 mm/h)を求めた。



Fig. 2 Snow Particle Counter (SPC)

3. 解析

SPC による飛沫のデータのほか、しらせの航行記録、各種波浪データ(ハワイ大学が保管する波浪データ、気象庁が保管する波浪データ、自衛隊による目視記録)を用いて、波向、風向、波高、飛沫量の時間推移を検証した(Fig. 3-4)。まず先行研究で行われていた 1 時間ごとの飛沫量とその区間の相対風速との関係を調査した。その結果、昨年までに示されている関係ほどはっきりした相関は得られず、大きい相対風速でもほとんど飛沫量が見られない観測データもあることが確認できた。したがって、飛沫量を決定する要因は、他に考えられるものとして

- ・ 相対波向
- ・ 相対風向
- ・ 有義波高 (以下、波高と表現した場合は全て有義波高をさす)

について検討した。

波向、風向、波高と飛沫量との関係を検証した結果、Fig. 5-7 に示すように、波、風が前方から来ている時、波高が 5m 以上の時に飛沫が大量に発生していることが確認できたが、一方でこれらの条件を満たしていても飛沫がほとんど発生していない時があった。このことから、飛沫が発生するにはさらに別の条件が必要であると予想さ

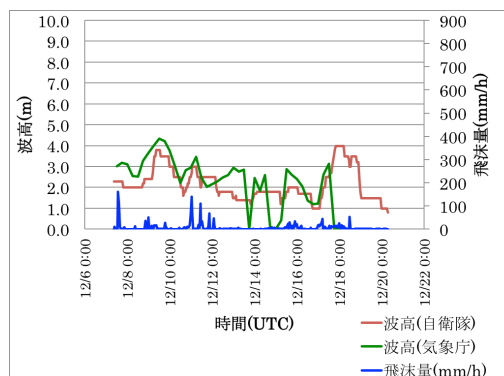


Fig.3 The relation of significant wave height and amount of sea spray(outward)

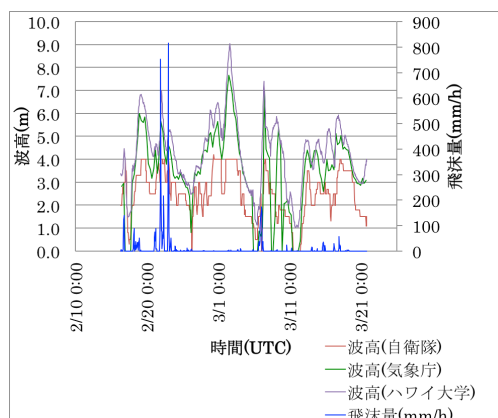


Fig.4 The relation of significant wave height and amount of sea spray(return)

れた。

大量の飛沫の発生の条件は何かと考えたところ、船舶の縦揺れが海洋波と船舶の固有の性質(船の全長など)により決定されること[5]と、乗艦時に観察した飛沫がピッチングによって発生していた様子から、海洋波と船舶との出会い方によって決定されると予想した。

そこで、飛沫の発生と、その時の波の出会い周期との関係を検証し、限られた出会い周期の時だけ飛沫量の上昇が起きているかを調査した。

まず、測定を行った全期間の1時間ごとの飛沫量の合計データから、「波、風が前方(進行方向を0度とし、左右に90度ずつ)から来ている」「波高が4m以上」「相対風速が15m/s以上」「SPCに飛沫以外のものが飛来してしまう可能性が低い天候」という条件を満たしたデータを抽出した。抽出した条件を満たす時間帯における波との出会い周期を算出するために、ハワイ大学が保管する Wave Watch 3 モデルによる波浪データ[6]中から、波周期(1時間平均, swell peak wave period, 以下 T_w と表す)を取得した。取得した波周期と、しらせの航行記録による波の相対的な向き、船速を、出会い周期を求め式(1)に代入し、出会い周期 T_e (1時間平均)を算出した。

$$T_e = \frac{\frac{gT_w^2}{2\pi}}{\frac{gT_w}{2\pi} + V_s \cos \chi} \quad (1)$$

得られた数値をもとに、出会い周期と飛沫量の関係をグラフにした (Fig. 8)。その結果、出会い周期が14秒程度の値に近づくと数値の上昇が起きていることが確認できた。

このグラフから、出会い周期、船体動揺が飛沫量に与える影響を示すことができた。

出会い周期を決定する要素には船速、船首方位という、人の手により変えることが可能な要素が含まれている。したがって気象・海象の予報データと船体の運動特性のデータベースにより簡単に大量の飛沫が発生することが予測されればそれを避けることも可能になると思われる。限定的な出会い周期の時のみ大量の飛沫が発生することが今回の観測からは予測されるため、船首方位、船速のわずかな調整により飛沫の発生を抑えることができると考えられる。

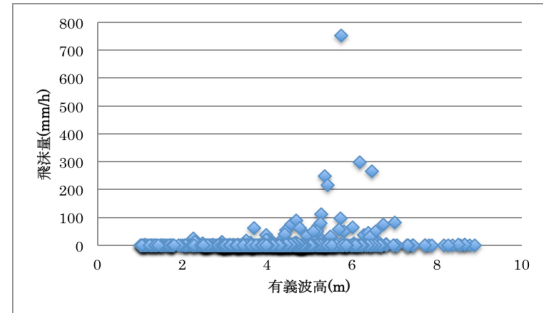


Fig.5 The relation of significant wave height and amount of sea spray

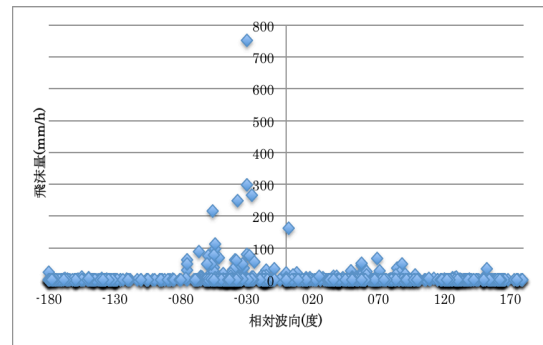


Fig.6 The relation of relative wave direction and amount of sea spray

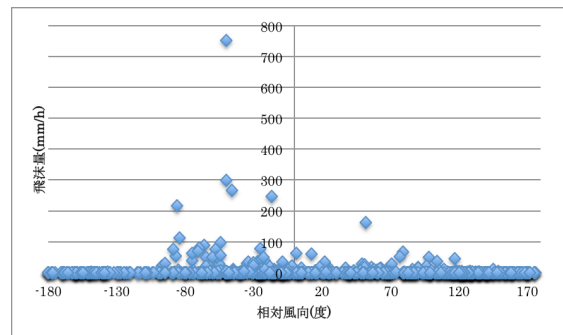


Fig.7 The relation of relative wind direction and amount of sea spray

4. 結論

本研究においては、着氷のメカニズムの解明を目指し、着氷の要因の一つである飛沫が発生する条件、およびそれを用いた飛沫発生の予測についての研究を行った。

第57次南極地域観測隊に参加し、飛沫を定量的に観測するため、雨量計、Snow Particle Counter(SPC)というセンサーを用いた。砕氷艦「しらせ」艦上にセンサーを設置し、飛沫の測定を行った。

観測によって得た飛沫のデータに加え、自衛隊による砕氷艦「しらせ」の各種航行記録、波浪データといったデータを用いて、飛沫が大量に発生する条件の検証を行った。

その結果、飛沫が大量発生するには風速、風向、波高、有義波高といった要素が関係していると分かったが、それらの条件を満たしていても飛沫がほとんど発生しない時間帯があった。

次に船体と波との出会い方に注目し、波との出会周期が飛沫の発生に反映されているかを確認した。結果、限られた出会い周期の時に飛沫量が上昇していることを確認できた。この結果により、飛沫の発生を抑える航行を実現する道筋を立てることができた。

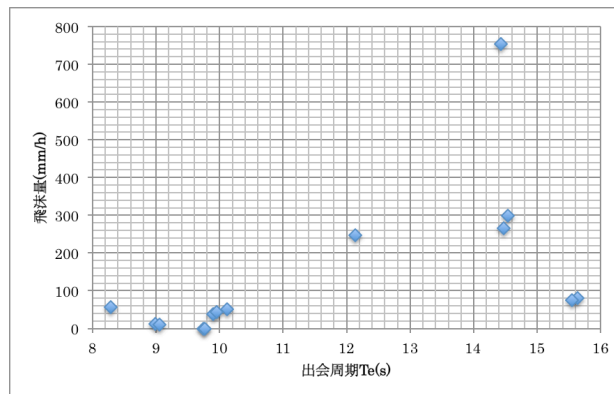


Fig.8 The relation of period of encounter and amount of sea spray

5. 今後の展望

今後、砕氷艦「しらせ」においてより多くの期間のデータを収集し、飛沫が大量に発生する時の出会周期が同じ値であるか検証する必要がある。

他の船舶でも同じ観測を行い、飛沫量の上昇が見られる時の出会周期が船舶ごとに一定であるかを検証する必要がある。

出会周期と発生する飛沫量の関係を把握することができれば、波浪に関する数値予報はすでに存在することから、波周期の予報と航行の状況から飛沫の発生を予想することができ、わずかに加速、減速する、わずかに船首方位を変更する、といった航行に大きな影響を与えない変更で出会周期を変化させることにより飛沫の発生を抑えることが可能なため、能動的かつ低コストな飛沫の対策、回避が可能になることが期待できる。

参考文献

- [1] 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(1971)第129号, 287-288
- [2] Toshihiro Ozeki, Toshinari Shiga, Junju Sawamura, et al. : Development of sea spray meters and an analysis of sea spray characteristics in large vessels, The 26th International Ocean and Polar Engineering Conference, 26 June-2 July, Rhodes, Greece (2016) 1338
- [3] 新潟電機株式会社「飛雪粒子計数装置 SPC-S7 取扱説明書」,(4)
- [4] 小倉義光「一般気象学」,(87-90)
- [5] 元良誠三「船体運動力学 電子訂正版」,(106-112)
- [6] http://oos.soest.hawaii.edu/erddap/griddap/NWW3_Global_Best.html