

漁船の漂流予測に関する研究(1)

抗力係数比について

誌名	北海道大学水産学部研究彙報
ISSN	00183458
著者名	米田,国三郎 目黒,敏美 梶原,善之
発行元	北海道大学水産学部
巻/号	50巻1号
巻号補足	
掲載ページ	p. 11-18
発行年月	1999年3月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター

Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



漁船の漂流予測に関する研究-I
抗力係数比について

米田国三郎¹⁾・目黒 敏美²⁾・梶原 善之²⁾

The Drift Estimation for a Fishing Boat-I
On the drag coefficient ratio

Kunisaburo YONETA¹⁾, Toshimi MEGURO²⁾ and Yoshiyuki KAJIWARA²⁾

Abstract

This study estimated ship drift when a ship's engine was stopped. Ship drift was affected by wind force on the upper portion of the ship and wave force on the lower portion of the ship. It was necessary to determine the drag coefficient to estimate the drift. The drag coefficient ratio (D_c) was taken up as first stage. Consequently, we obtained the following formula to estimate the drift velocity from wind velocity and significant wave height;

$$U = 0.979 \sqrt{\frac{\rho_a S_a}{\rho_w S_w}} \cdot W + 0.093 H$$

Where, ρ_w, ρ_a : Density of seawater and air ($\text{kg} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4$)

S_w, S_a : Side area (m^2) below and above the ship's waterline

U : Drift velocity (m/s), W : Wind velocity (m/s)

H : Significant wave height (m)

D_c was not correlated to wind direction or drift direction, but D_c was significantly correlated to wind velocity and trim.

Key words: Drift, Drag coefficient, Wind velocity, Significant wave height

緒 言

船舶は風、波やうねりの影響を受けて、航行中では横偏流現象を、機関停止の場合は漂流現象が発生する。特に漁船は、低速での操業や漁具を設置してから収納するまでの漂泊期間、風浪の影響を大きく受ける。したがって、漂泊中の漂流速や漂流方向を知ることは重要であり、さらに漂流速や漂流方向を予測できれば、漁船の操業、操船に役立ち、漂流位置の予測も可能となる。

漂流に関する研究はこれまで主に実船実験で行われてきた(平岩ら, 1969; 1969; 1971; 1972; 1973; 1976)。この一連の研究は漂流速度と漂流方向の実験式を導くことにより、漂流特性を知ることである。さらに漂流船位を予測し、実漂流と予測値との間にどの程度の違いが生ずるかを把握することであった。ここに漂流速に関する実験式は風圧のみにより起こるとされ、その係数は水面上下船体の抗力係数比と空気および海水の密度比の積として統計的に求めており、抗力係数

¹⁾ 北海道大学水産学部物理海洋学講座

(Laboratory of Physical Oceanography, Faculty of Fisheries, Hokkaido University)

²⁾ 北海道大学水産学部附属練習船北星丸

(T/S Hokusei Maru, Faculty of Fisheries, Hokkaido University)

比は知られていない。また抗力係数は相対風向により変化することが知られているが(岩井, 1967), 実船実験では風向別に検討されていない。さらに漂流方向は相対風向とうねりの方向の関数として表しているが, うねりの持つ諸要素については言及していない。著者らは漁船の漂流予測を精度よく推定する方法を確立することを研究の目的とした。漂流を誘起する要素は風と波であるが, 風の影響が波よりもはるかに大きいと考えられる。そこで新たな実験を行う前に, これまでに取得した資料を用いてまず風圧に関する抗力係数と風向, 風速, 漂流方向, トリムとの関係について検討を加えることとした。

資 料

漂流実験データは北海道大学水産学部練習船北星丸による1985年7月(合計17回, データ数151)と1995年7月(合計13回, データ数82)の北洋航海で収集された。海域は経度 170°E ラインの緯度 $38^{\circ}30'\text{N}\sim 46^{\circ}\text{N}$ および $175^{\circ}30'\text{E}$ ラインの緯度 $38^{\circ}30'\text{N}\sim 47^{\circ}30'\text{N}$ である。

1985年の漂流実験は流し網の風下側の端に取り付けたコーナリフレクターの方位と距離を30分間隔でレーダーにより連続的に測定した。この場合, 流し網はシーアンカーの役目をしてコーナリフレクターは風によって圧流しないと考えられる。一方, 1995年の実験では流し網に固定しない単独のブイを用いてその方位と距離を30分間隔で測定した。この場合, 水面上の支柱は円柱のため抵抗が少ないと考えられること, またブイの水面上と水面下の面積比や大気と海水との密度比を考慮すると風による圧流は小さいと考えられた。

このほかに収集したデータは気象データ(風向・風速, 気圧, 乾球・湿球温度), 海象データ(波の有義波高・周期, うねりの方位・階級), 船体データ(船首方位, 船首尾喫水)である。但し, 1985年の実験では気圧, 乾球・湿球温度のデータは収集されていない。船首方位, 風向・風速は30分の平均値を用いている。北星丸は左右非対称であるため, 風を受ける舷によって漂流速や漂流方向は異なることが考えられた。今回は左舷側から風を受け, 右舷方向に漂流するようにした。風向, 漂流方向はFig. 1のように船首方位を基準に測った。Table 1に北星丸の主要目を示す。

解 析 方 法

風を真横から受ける船舶の漂流は船体水面上に作用する風圧力と船体水面下に作用する漂流力

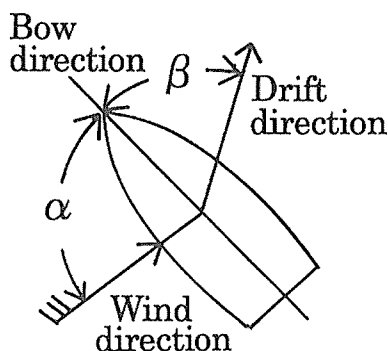


Fig. 1. Method for measuring wind direction and drift direction.

α : Angle of wind direction

β : Angle of drift direction

Table 1. Principal dimensions of T.S. Hokusei Maru.

Gross ton	892.93 ton
Loa	62.32 m
Lpp	56.00 m
Breadth	11.10 m
Depth	4.60 m
Trim	1.82～2.51 m

とが釣り合って起こる。即ち、

$$\frac{1}{2} C_w \rho_w S_w U^2 = \frac{1}{2} C_a \rho_a S_a W^2 \quad \dots\dots\dots (1)$$

U : 漂流速度 (m/s), W : 風速 (m/s)
 C_w : 船体水面下抗力係数, C_a : 船体水面上抗力係数
 ρ_w : 海水密度 ($\text{kg} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4$), ρ_a : 空気密度 ($\text{kg} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4$)
 S_w : 船体水面下横面積 (m^2), S_a : 船体水面上横面積 (m^2)

ここに抗力係数は船舶それぞれ固有の値を持つとされている。漂流速度・方向はレーダーによりコーナーリフレクターやブイの方位と距離を測定することにより計算できる。従って、(1) 式より抗力係数比 (D_c)

$$D_c = \frac{C_a}{C_w} = \frac{\rho_w S_w U^2}{\rho_a S_a W^2} \quad \dots\dots\dots (2)$$

として求められる。また (1) 式より

$$U = \sqrt{\frac{C_a \rho_a S_a}{C_w \rho_w S_w}} \cdot W \quad \dots\dots\dots (3)$$

となり、漂流速と風速との関係が導かれる。これまでの研究では $K = \sqrt{(C_a \rho_a) / (C_w \rho_w)}$ とし、統計的手法により求めていた。ここで、船体水面上下横面積と海水・空気密度が与えられると、

$$U = \sqrt{D_c} \sqrt{\frac{\rho_a \cdot S_a}{\rho_w \cdot S_w}} \cdot W \quad \dots\dots\dots (4)$$

となり、統計的手法により、 D_c が求められる。しかし、船体に作用するのは風圧力のほかに波浪に起因する漂流力が考えられ、これを考慮する必要がある。後述する漂流速と海象・気象データの単相関を調べたところ有義波高が風速の次に相関が有意であったことと、波のエネルギーは波高の 2 乗に比例することから、波による漂流量も波高 (H) に比例するものと仮定し、

$$U = \sqrt{D_c} \sqrt{\frac{\rho_a S_a}{\rho_w S_w}} \cdot W + \alpha H \quad \dots\dots\dots (5)$$

として漂流速度を表し、最小自乗法により D_c , α を決定したのち、

$$D_c = \frac{C_a}{C_w} = \frac{\rho_w S_w (U - \alpha H)^2}{\rho_a S_a W^2} \quad \dots\dots\dots (6)$$

として抗力係数比 D_c について考察した。

船体横面積を求めるため、12 の喫水状態の船体横面積について一般配置図からデジタイザーで読み取り、グラフ化したところ、横面積と船首尾喫水との関係は線形であることが判明した。そこで最小自乗法により計算式を求めたところ次式を得た。なお、船体の全横面積は 575.0 m^2 である。

$$S_w = 28.28 \cdot D_f + 29.33 \cdot D_a \quad \dots\dots\dots(7)$$

$$S_a = 575.0 - S_w \quad \dots\dots\dots(8)$$

S_w : 水面下横面積 (m²) S_a : 水面上横面積 (m²)

D_f : 船首喫水 (m) D_a : 船尾喫水 (m)

この式で計算した船体水面上下の横面積比 ($\sqrt{S_a/S_w}$) の誤差は 1.14%~−1.24% の範囲であった。船体は海面上で波により、常に上下動を繰り返しているので、この程度の誤差では漂流に大

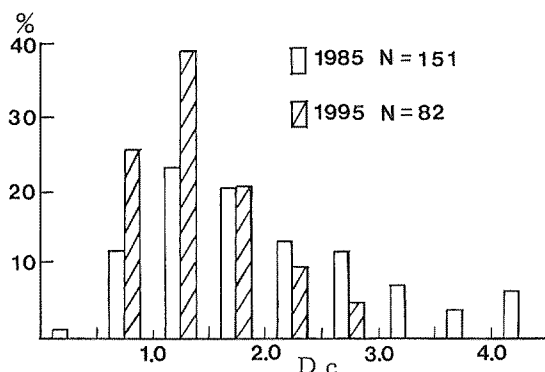


Fig. 2. Frequency distribution of drag coefficient ratio (D_c) calculated by equation 2 in 1985 and 1995.

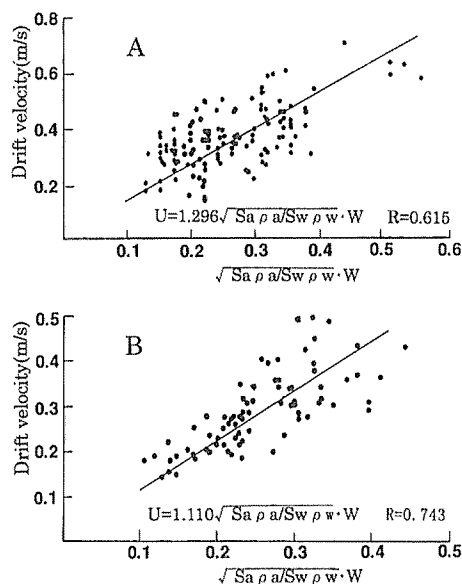


Fig. 3. Correlation between drifting velocity and wind force in 1985 (A) and 1995 (B).

Y axis is drifting velocity (U) and X axis is value of $\sqrt{\rho_a S_a / \rho_w S_w} \cdot W$.

ρ_a : Air density, ρ_w : Seawater density

S_a : Side area above the ship waterline, S_w : Side area below the ship waterline

きな影響は与えないと考え、(7), (8)式により船体横面積を計算した。

空気密度は風洞試験規程（深津，1924）に掲載されている次の式を用いた。

$$\rho_a = 0.13186 \frac{273}{t + 273} \cdot \frac{H - 0.378 \phi F}{760}$$

ρ_a : 空気密度 ($\text{kg} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4$) t : 気温 ($^{\circ}\text{C}$) H : 気圧 (mm)

ϕ : 湿度 F : 飽和蒸気圧 (mm)

実験海域での海水密度はほぼ一定と考えられる。海水密度を 1025.25 kg/m^3 とし、空気密度と単位を揃えるためにこれを重力加速度 9.8 m/s^2 で除した値 $104.6426 \text{ kg} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4$ を用いた。

解 析 結 果

1995 年のデータから空気密度を計算した結果、その平均値は $0.13154 \text{ kg} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4$ であり、標準偏差は $0.00055 \text{ kg} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4$ であった。最大と最小の密度差は $0.002 \text{ kg} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4$ であり、海水との密度比に置き換えると 0.00002 の変化しかない。1985 年と 1995 年の航海の時期と海域はまったく同一

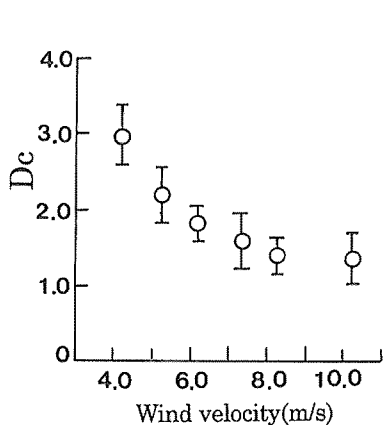


Fig. 4. Relation between each wind velocities and mean drag coefficient ratio and its confidence intervals.

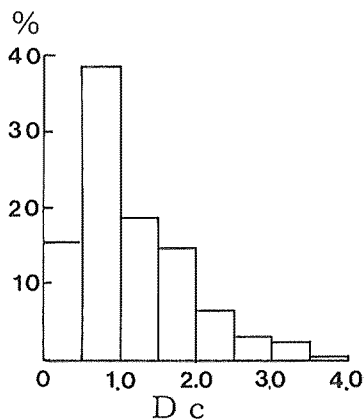


Fig. 5. Frequency distribution of drag coefficient ratio calculated by equation 6.

Table 2. Correlation coefficients between drifting velocity and three factors of wave and wind velocity, and each mean values and standard deviations.

	P_w	H_w	H_w/P_w	W	U
Mean	4.84	0.99	0.21	7.78	0.37
S	0.534	0.339	0.069	2.232	0.100
R	-0.035	0.324	0.308	0.615	
t	0.427	4.186	3.954	9.517	
P	≥ 0.50	≤ 0.001	≤ 0.001	≤ 0.001	

$N=151$, U : drifting velocity [m/s], W : wind velocity [m/s] P_w : Wave period [s], H_w : Wave height [m], S : Standard deviation R : Correlation coefficient, t : t test value, P : Significance level

であったことから、密度に大きな違いは考えられず、1985年の密度については1995年の平均値を用いることとした。

(2) 式で計算した D_c の頻度分布を Fig. 2 に示した。1985年の全平均値は2.05であった。4を超える数値もありばらつきが大きかった。また1995年の平均値は1.38と小さく、分布パターンは1985年と類似していた。ピークは共に1.0~1.5の間にあり、順次出現頻度が減少していった。

(4) 式により解析した結果を Fig. 3 に示した。これによると1985年の係数は1.296であり、1995年は1.110である。 D_c に換算すると1.680と1.232であり1995年が27%ほど小さい。このように(2), (3) 式で求めた D_c は1995年が共に小さかった。その原因は観測の基準としたブイを網の端に取り付けずに単独で漂流させたために、予想よりも大きな風圧力が働いてブイが流されたことが考えられる。それゆえ以後の解析は1985年の漂流データだけで行うこととした。

Fig. 4 は風速5 m未満, 5 mから1 m間隔, 9 m以上の6段階に分けて(2) 式で求めた D_c の平均値を示した。風速が弱くなるにしたがって D_c は大きくなっていく傾向が見られる。これは風が弱いときには波の影響が大きく現れ、強風になるに従い波よりも風圧の影響が大きく作用していると考えられる。そこで漂流速度と風速、有義波の周期、波高、波長やその組み合わせについて単相関を求めた。Table 2 にそれぞれの平均値、標準偏差、相関係数、 t 検定値、有意水準を示す。相関が高いのは風速であり、次いで有義波高であったので(4) 式を用いて統計処理を行い、次式を得た。

$$U = 0.979 \sqrt{\frac{\rho_a S_a}{\rho_w S_w}} \cdot W + 0.093H \quad \dots\dots\dots(9)$$

Table 3. Correlation coefficients between drag coefficient ration and wind direction, drift angle and trim, and between wind velocity and wind direction and drift angle.

	D_c				W	
	W_d	W_v	D_a	T_r	W_d	D_a
R	0.056	-0.321	0.068	-0.178	0.470	0.189
t	0.0682	4.174	0.826	2.203	6.496	2.347
P	≥ 0.40	≤ 0.001	≥ 0.40	≤ 0.050	≤ 0.001	≤ 0.010

$N=149$, D_c : Drag coefficient ratio, W : Wind velocity [m/s] W_d : Wind direction, D_a : Drift angle, T_r : Trim, R : Correlation coefficient t : t test value, P : Significance level

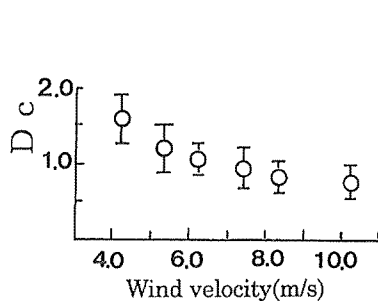


Fig. 6. Relation between each wind velocities and mean drag coefficient ratio and its confidence intervals calculated by equation 6.

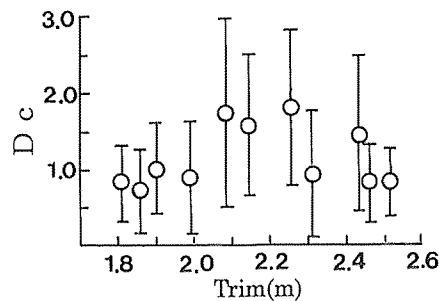


Fig. 7. Relation between each trims and mean drag coefficient ratio and its confidence intervals calculated by equation 6.

係数を D_c に換算すると0.958となり、ほぼ1となった。また有義波高の係数 α は0.093/sである。そこでこの係数を(5)式に代入して D_c を再計算した。Fig. 5に D_c の頻度分布を示す。平均値は1.17であり、ピークは0.5~1.0の間であった。標準偏差は0.727と大きな値となった。

次に D_c と風向、風速、漂流方向、トリムとの相関を調べた。また風速と風向および漂流方向との相関も調べた。Table 3にその結果を示した。 D_c は風向および漂流方向と相関は認められず、風速との間に負の強い相関が認められ、またトリムとの間に弱い負の相関が認められた。また風速と風向、漂流方向には有意である正の相関関係が存在した。風向の範囲は船首よりおよそ 50° から 110° の範囲であり、漂流方向はおよそ 40° から 90° の範囲である。したがって風速が増すと風向、漂流方向はともに船体の真横近くになることを示唆している。

Fig. 6は風速を5 m未満、5 mから1 m間隔、9 m以上の6段階に分けた時の D_c の平均値を示す。風が弱るにつれて D_c が大きくなる傾向はFig. 4と変わらない。Fig. 7はトリム毎の D_c の平均値を示す。平均値の信頼区間が大きく、この図から明確な傾向を見ることは困難であると思われる。

考 察

精度の高い漂流位置を予測するために、まず風圧力に関する D_c について調べた。漂流は風速と波高に比例すると仮定して(5)式を用いて最小自乗法により波高の係数を求めた。波の漂流力は有効波傾斜係数、波高、波長、船の重量、振幅、波の強制モーメントと横揺れの位相差の関数で表わされる(渡辺, 1932)。これを波高のみの関数で表わすには無理がある。しかし、洋上の船舶がこれらの要素をすべて知り得ることは不可能であり、波高と波長が観測できる程度であろう。したがって洋上で実際に予測を行う場合には風と波高の関数として扱うのが次善の策であろう。なお風と波による漂流量の割合は4:1と推定されている(上坂ら, 1958; 平岩ら, 1972)。(9)式に空気密度、船体上下側面積、風速、有義波高の平均値を代入するとその比は3:1となり、大きな差はなかった。

風向が船首よりおよそ 50° から 110° の範囲内において D_c と風向との相関関係は見られなかった。また漂流方向が 40° から 90° の範囲内において D_c と漂流方向との相関関係も見られなかった。ただし、これは回帰直線とみなした場合であり、他の関数系であることも考えられ、今後検討する必要がある。またFig. 2の漂流速と風速との関係を見ると相当のばらつきがあり、測定精度の向上に配慮する必要がある。

漂流は風に起因するとしたFig. 4は風速が弱くなると D_c は急激に増加していることを示している。これは風が弱まると波の影響が相対的に大きくなると考えられる。そこで波も考慮した(5)式の係数を用いて(6)式から D_c を計算した結果、Fig. 6ではそれがかなり改善されたことを示している。しかし傾向としては同様であり、負の相関関係が存在した。波の漂流力はさまざまな要素から成り立っており、単に波高の関数として扱うのは無理であるのか、またはこの現象を補完するような操作を行っても良いのか検討する必要がある。

トリムと D_c との関係は負の弱い相関関係が認められたが、Fig. 7からははっきりした傾向は見られない。最大最小のトリム差が69 cmであり、平均喫水は3.98~3.83 mであり、その変化は小さい。それゆえ明確な傾向が出なかったとも考えられる。今回漂流方向については検討しなかったが、船首方位を基準とした風向角と風速の間に相関関係が存在した。したがって漂流方向を決定する要因の一つに風速を加えることも考えられる。

これまでの漂流実験は実船を用いて行ってきた。そのため多大の労力が費やされてきた。しかし、必ずしも満足な結果が得られるとは限らない。また D_c が求められても、船体上下の抗力係数

は求めることは出来ない。これを解決する方法の一つとして模型船による風洞や水槽での実験が有効であろう。特に風向角を船首方位 0° から 180° まで変化させて係数の傾向を探ることは重要であろう。模型実験で得られた知見と実船実験との結果を比較することでより精度の高い漂流予測が可能となるであろう。

文 献

- 深津了蔵 (1934). 風洞試験規定, 共立社, 東京.
- 平岩 節・斎藤昭二・石井清彦・安間 元・米田国三郎 (1969). 漁具監視における漂流船位の推定, 日本航海学会誌, 42, 101-108.
- 平岩 節・藤井武治・山本昭一・増田紀義・石井清彦・米田国三郎・佐々木成二 (1971). 漂流特性による漁具監視法, 日本航海学会誌, 45, 47-53.
- 平岩 節・稲葉恭人・坂本有隣 (1972). おしよる丸の風圧力に関する風洞実験, 日本航海学会誌, 48, 43-48.
- 平岩 節・藤井武治・山本昭一・増田紀義・石井清彦・米田国三郎 (1972). おしよる丸の漂流について, 日本航海学会誌, 48, 49-56.
- 平岩 節・藤井武治・山本昭一・増田紀義・米田国三郎 (1973). 漁場における漂流船位の推定例, 日本航海学会論文集, 49, 31-37.
- 平岩 節・米田国三郎・佐々木成二 (1973). 漁具監視における漂流船位の予測例, 日本航海学会論文集, 55, 87-91.
- 平岩 節 (1976). 漁具監視における漂流船位の予測法について, 日本航海学会論文集, 56, 27-32.
- 岩井 聡 (1967). 操船論, 海文堂, 東京.
- 鈴木常夫・佐藤治夫 (1977). 漁船並びに海洋観測船の風波による漂流量の測定実験, 日本航海学会論文集, 57, 71-76.
- 渡辺恵弘 (1932). 横動揺に於ける船の重心運動と波の有効傾斜に就いて, 日本造船学会誌, 49, 61-86.