航行不能船舶の定常漂流運動について

正員 上 野 道 雄* 正員 二 村 正*
正員 宮 崎 英 樹*

On Steady Drifting Motion of Disabled Ships

by Michio Ueno, *Member* Tadashi Nimura, *Member*
Hideki Miyazaki, *Member*

Summary

Steady drifting condition is analyzed based on experimental and numerical data for hydrodynamic and aerodynamic forces acting on a ship in drifting motion. It is pointed out that plural steady drifting conditions have possibility to exist in wind, wave and current conditions.

Model experiments for drifting motion in regular wave were carried out. Averaged values in steady drifting motions indicate that steady drifting condition is not unique but depends on initial conditions.

Actual case of a disabled drifting ship is analyzed. Numerical calculation was carried out to obtain possible steady drifting conditions for assumed external forces corresponding to the actual case. Calculated solutions are compared with the actual steady drifting condition.

1. 緒言

実海域において機関故障等の原因で航行不能状態となった船舶は、風や波、潮流の影響によって一般に漂流状態に陥る。航行不能船舶の漂流が重大な環境被害をもたらす座礁等の海難事故につながらないようにするためには、気象海象等のデータを用いた漂流予測とこれに基づく航行不能船舶の曳航等の対策が必要となる。その際に基本となる漂流予測は、予測される海域における気象海象条件下でどちらの方向にどの程度の速度で漂流するかという定常漂流状態の予測になると考えられる。

著者らは、波浪中の定常漂流状態を解析することによって漂流運動に対する波の影響が無視できないことを示す¹⁾²⁾とともに、波浪中¹⁾²⁾および風波併存時と風

潮流併存時³⁾の定常漂流状態は複数存在する可能性があることを示した。この事実はある一つの気象海象条件下において定常漂流状態は一般に唯一には決まらないことを意味する。この場合、漂流予測はいくつかの可能性を示すことになる。

一方、海上保安庁では航行不能船舶も含めた漂流物体に関する漂流予測をおこなっている。海上保安庁の漂流予測システムは、数多くの海難事故への対応等の実務経験の蓄積から改良が続けられてきた信頼性の高いシステムであり、これまでの漂流船舶の救助や曳航対策等の海上保安業務において重要な役割を担ってきた。しかし、現在のこの漂流予測システムでは風と潮流の影響は考慮されるものの波の影響は考慮されておらず、また、著者が示した複数の漂流状態の存在の可能性も考慮されていない。実際、予測とは異なる漂流状態を示す事例もあると聞く。

* 海上技術安全研究所

Fig. 1 Coordinate system.

Table 1 Principal dimensions of a training ship.

Item	Scale
Length: L (m)	105.00
Breadth: B (m)	17.90
Draft: d (m)	5.96
trim(m)	0.0
lcb(% L aft from midship)	2.14
Displacement(ton)	5827.0

的確な漂流予測をおこなって二次的な海難事故を未然に防ぐためには、実海域における漂流運動の機構を明らかにし、その成果を漂流予測システム等に反映させていく必要があると考えられる。本報告では、航行不能船舶の漂流運動の機構を明らかにするために、はじめに、波と風、潮流を考慮した定常漂流状態を表す釣合方程式を示し、これを解くことによって一般に複数の解が存在することを示す。次に、波浪中での模型船を用いた漂流実験によって定常漂流状態が実際に複数存在することを実証する。さらに、実際の漂流事例を示し、この状態に対する推定計算をおこない実際の事例との比較検討をおこなう。

2. 定常漂流状態を表す釣合方程式とその解

2.1 定常漂流状態を表す釣合方程式

座標系を Fig. 1 に示す。Fig. 1 中の $O_E - X_E Y_E$ が空間固定座標系、 $O - XY$ が船体固定座標系を表す。

船の定常漂流状態を表す方程式は次式で表される。

$$\begin{cases} X_0(U, \beta) + X_W(H_W, T_W, \chi) \\ \quad + X_A(U_{Ar}, \theta_{Ar}) = 0 \\ Y_0(U, \beta) + Y_W(H_W, T_W, \chi) \\ \quad + Y_A(U_{Ar}, \theta_{Ar}) = 0 \\ N_0(U, \beta) + N_W(H_W, T_W, \chi) \\ \quad + N_A(U_{Ar}, \theta_{Ar}) = 0 \end{cases} \quad (1)$$

ここで X, Y, N は船に働く前後力と左右力、回頭モーメントを表し、添え字の $0, W, A$ は斜航により水より受ける斜航流体力と波漂流力、風による流体力をそれぞれ表す。 U, β は対水船速と対水斜航角、 H_W, T_W, χ は波高と波周期、波との出会角、 U_{Ar}, θ_{Ar} は相対風速と相対風向角をそれぞれ表す。

潮流速度と潮流方向を U_C, ψ_C 、対地風速と対地風向を U_A, ψ_A で表すと、これらは相対風速 U_{Ar} および相対風向 θ_{Ar} と、ベクトル表記によって次式で関係づけられる。

$$U_A - U = U_{Ar} + U_C \quad (2)$$

船首方位を ψ_B で表すとこれは次式で表される。

$$\psi_B = \psi_U + \beta \quad (3)$$

波向きを上流方向を表す対地方向 ψ_W で表すと、波との出会角 χ は次式で表される。

$$\chi = \psi_W - \psi_B \quad (4)$$

対地漂流速度と対地漂流方向を V, ψ_V で表すと、これらはベクトル表記によって次式で表される。

$$V = U + U_C \quad (5)$$

2.2 釣合方程式の解法と計算例

風と波、潮流の複合外乱下を想定し、(1) 式を解いて定常漂流状態を計算した。計算対象としたのは主要寸法を Table 1 に示す練習船である。

斜航流体力 X_0, Y_0, N_0 を水槽実験によって計測した結果¹⁾を Fig. 2 に示す。縦軸は $(1/2)\rho L d U^2$ および $(1/2)\rho L^2 d U^2$ による無次元値を表す。波長船長比 (λ/L) が 0.8 の規則波中の波漂流力 X_W, Y_W, N_W の計算結果¹⁾を Fig. 3 に示す。縦軸は $(1/2)\rho g L (H_W/2)^2$ および $(1/2)\rho g L^2 (H_W/2)^2$ による無次元値を表す。波漂流力の計算は前進速度 0 の状態での 3 次元特異点分布法によるものである。風による水面上船体に働く力 X_A, Y_A, N_A を風洞実験によって計測した結果⁴⁾を Fig. 4 に示す。縦軸は $(1/2)\rho A U_{Ar}^2 L^2$ および

Fig. 2 Hydrodynamic forces and moment acting on underwater ship's hull due to oblique motion obtained by tank test for a training ship.

Fig. 4 Wind forces and moment obtained by wind tunnel test for a training ship.

Fig. 3 Steady wave forces and moment calculated with 3-D panel method for a training ship ($\lambda/L=0.8$).

$(1/2)\rho_A U_{Ar}^2 L^3$ による無次元値を表す。ここで、 ρ_A は空気密度を表す。Fig. 2と Fig. 3、Fig. 4各図中の線は周期性を考慮したスプライン補完を表す。

定常釣合状態を表す (1) 式を解くにあたっては、対地漂流速度 V と対地漂流方向 ψ_V 、船首方位 ψ_B を未知数として Newton-Raphson 法を用いた。その際、対地漂流速度 V の初期値はフルード数で 0.01 に対応する値とし、対地漂流方向 ψ_V と船首方位 ψ_B についてはそれぞれ全方位 360 度の 10 度刻み 36 種類すべての組み合わせを初期値として解いた。

波長船長比 λ/L (波周期 T は 67.3s)、波高 2m、波向き ψ_W 0 度、対地風速 U_A 15m/s、対地風向 ψ_A 330 度、潮流速度 U_C 0.514m/s (1.0kt)、潮流方向 ψ_C 120 度の状態を対象に (1) 式を解いた。計算には Fig. 2と Fig. 3、Fig. 4の結果を用いた。計算結果を Table 2に示す。解は全部で 4 個得られた。これらの解を図示したのが Fig. 5である。図中の●を指す矢印の長さや方向が漂流速度と漂流方向を表し、船の絵が船首方位を表す。

一方向の長波頂規則波のみを仮定した場合の計算結果¹⁾²⁾では、外乱要因と水面下船体形状の対称性によって解の分布にも対称性が見られたが、Table 2と Fig. 5に示した計算結果では主として外乱要因の非対称性により解の対称性が崩れている。しかし、複数の解が得られるという基本的な特質は風と波と潮流の 3 つの要因を考慮した計算結果においても保持されることが確認された。

Table 2 Solutions for steady drifting conditions of a training ship in wind, wave and current.

No.	V (kt)	ψ (deg)	ψ_B (deg)	χ (deg)	U_A (m/s)	θ_A (deg)	β (deg)
1	3.98	162.5	153.6	-26.4	13.02	174.5	-0.8
2	4.00	165.3	-23.2	156.8	13.02	-9.2	-179.9
3	1.10	-147.0	-105.4	74.6	14.75	73.4	85.3
4	2.66	-113.7	75.6	-104.4	15.21	-110.8	-149.5

Fig. 5 Drifting velocity, direction and posture of a training ship in wind, wave and current.

ただし、これらの解は(1)式の数学的な解ではあるが、物理的な安定性をも保証するものではない。したがって、物理的な解の安定性は別途判断する必要がある。波浪中定常漂流状態の解の物理的な安定性の判定法については既に報告¹⁾したが、これを実行するためには回頭運動に関する流体力の斜航角 β に関する微分値等が必要となる。しかし、前進から後進までの広範囲の斜航運動中の回頭運動に関する流体力特性に関してはタグによる操縦運動を対象とした報告例⁵⁾の他はほとんどない。本報告で取り上げた船型を対象とした定常漂流状態を表す解の物理的な安定性解析をおこなうためには、今後模型実験等の方法で上記の回頭運動に関する流体力特性を調べる必要があると考えられる。

3. 波浪中漂流運動の模型実験

本報告では、定常漂流状態を表す釣合方程式の個々の解の物理的な安定性を論じるのではなく、複数の解が存在すること、すなわちある特定の外乱状態において複数の定常漂流状態が存在することを波浪中の模型実験によって確認した結果について述べる。なお、通常船舶ではな

Table 3 Principal dimensions of a tanker model.

Item	Scale
Length: L (m)	2.970
Breadth: B (m)	0.539
Fore draft: df (m)	0.077
Aft draft: da (m)	0.122
Trim/ L (%)	1.5
GM(m)	0.143
Displacement(N)	1251.5

Table 4 Experimental conditions.

λ/L	H_W (m)	χ_1 (deg)	Test No.
0.4	0.04	90	T5037
		0	T5038
		180	T5039
		-90	T5040
		20	T5042
		135	T5043
		-100	T5044

い船首折損模型を用いた波浪中の漂流運動の計測⁶⁾⁷⁾では複数の漂流状態が存在することが確認されている。

3.1 実験状態

模型船による波浪中の漂流実験は海上技術安全研究所の角水槽において軽貨状態のタンカー模型を用いて実施した。模型船の主要寸法を Table 3に示す。満載状態の排水量は 2275.6N(232.2kgf)であり、軽貨状態の排水量はその約 55%である。プロペラは停止状態、舵は中央位置で固定の状態とした。

実験は長波頂規則波中でおこなった。実験では、造波開始から模型船を緩やかにつかまえておき、波が水槽全体に伝わった段階で模型船を放して漂流運動を開始させる方法をとった。模型船を放す際には特定の方向に押し出すようなことはしなかった。模型船を放す際の波との初期出会角 χ_1 は7種類変えて実験をおこなった。波および波との初期出会角 χ_1 等の設定条件を Table 4に示す。使用した波は波長船長比 (λ/L) 0.4、波高 0.04m の規則波である。

漂流運動は、超音波位置計測装置⁸⁾によって模型船の船体中心線上の2点の位置を0.3秒間隔で計測してそのデータを解析することによって得たほか、回頭角速度は角速度ジャイロによっても計測した。

角水槽において風の影響は排除できないが、以下に示す実験結果は風の影響が小さいと思われるデータである。

3.2 実験結果

実験結果を航跡の形で Fig. 6に示す。Fig. 6中の船の絵は9秒間隔の模型船の位置と船首方位を表す。Fig.

Fig. 6 Trajectories of drifting motion of a tanker model.

6の航跡は過渡状態から定常に近い状態に至る経過を示すものと考えられる。どの程度定常に近い状態になっているかを見るために、実験番号 T5037 と T5042 の状態を例にとって、漂流速度 V と漂流方向 ψ_V 、斜航角 β 、船首方位 ψ_B 、縦揺れ角 (Pitch ang.)、横揺れ角 (Roll ang.)、船首揺れ角速度 (Yaw r.) の時系列を Fig. 7 と Fig. 8 にそれぞれ示す。Fig. 7 と Fig. 8 中の漂流速度等における○は Fig. 6 中の船の絵を記した時点に対応する。なお、Fig. 8 では、表示の都合上、漂流方向 ψ_V については $\psi_V - 180$ の値を示した。

Fig. 7 と Fig. 8 から、これらの漂流実験の計測後半ではほぼ定常漂流状態に達していると考えられる。

Fig. 7 Time history of T5037.

Fig. 8 Time history of T5042.

Fig. 6 に示した航跡後半の定常漂流状態を比較すると、実験番号 T5037 と T5039、T5043 は同じ状態で、実験番号 T5044 はそれと対称な状態と思われる。これらを状態 A と呼ぶ。一方、実験番号 T5038 と T5040 も同じ状態であって、T5042 はそれと対称な状態と思われる。これらを状態 B と呼ぶ。状態 A と状態 B は異なる状態と思われる。

上記の特徴をより明確にするために、定常漂流状態を平均値解析した結果を Fig. 9 に示す。Fig. 9 は、横軸に船首方位 ψ_B の平均値をとって、縦軸に漂流速度 V と漂流方向 ψ_V 、斜航角 β それぞれの平均値を示したものである。平均化処理は計測の最初の部分を除く定常漂流状態と考えられる部分でおこなった。なお、左舷側から

Fig. 9 Averaged values in steady drifting conditions of a tanker model.

波を受ける実験番号 T5038 と T5040、T5044 の状態に対する解析結果のうち、船首方位 ψ_B と漂流方向 ψ_v 、斜航角 β の解析結果は符号を逆転して記した。

Fig. 9からは、状態 A と状態 B が明らかに異なる定常漂流状態を示していることがわかる。このことは、Fig. 7(状態 A) と Fig. 8(状態 B) 中の縦揺れ角 (Pitch ang.)、横揺れ角 (Roll ang.)、船首揺れ角速度 (Yaw r.) の時系列が異なった船体動揺振幅を示していることから確認できる。さらに、Fig. 9の符号を逆転させて表示した結果とそのまま表示した結果がほぼ一致していることから、左右対称な漂流状態の存在が確認できる。

模型船を用いた以上の実験結果から、1つの波の条件下において複数の定常漂流状態が存在しうることが確認された。前章で理論的に示したように、風や波、潮流といった複合外乱下においても複数の定常漂流状態が存在する可能性が考えられる。

4. 漂流事例と推定計算

実際に報告された漂流事例を取り上げ、これに対応した定常漂流運動の推定計算をおこない、その計算結果を漂流事例と比較検討する。

4.1 漂流事例

1999年2月の漂流事例を取り上げる。漂流船舶の主要寸法等を Table 5に、漂流状況の写真を Fig. 10にそれぞれ示す。この漂流船舶を仮に A 号と呼ぶ。Table 5と Fig. 10に示すように、A 号は左に約 32 度傾斜して右舷側から風を受ける状態で漂流したと報告されている。

漂流経路は Fig. 11に示すとおりである。A 号は与那

Table 5 Principal dimensions of a disabled ship.

Item	Scale
Length: L_{pp} (m)	105.52
Breadth: B (m)	18.20
Depth: D (m)	8.51
Draft, fore: d_f (m)	port 5.60 stab. 3.60
Draft, aft: d_a (m)	port 7.00 stab. 4.80
List (deg)	port 32.0
Gross tonnage (GT)	6788.0

(a) Port side

(b) Bow side

Fig. 10 Disabled ship in drifting condition, wind from starboard side.

Table 6 Averaged drifting characteristics from point-A1 to point-A2 in Fig. 11.

	Item	Ave. val.
Ship	$V(\text{kt})$	2.18
	$\psi_v(\text{deg})$	279.2
Current	$U_c(\text{kt})$	1.65
	$\psi_c(\text{deg})$	175.3
Wind	$U_A(\text{m/s})$	11.00
	$\psi_A(\text{deg})$	37.5

国島南方、台湾東方の A1 点で 2 月 27 日 20:17 に SOS 信号を発信した後漂流を開始し翌 28 日 10:40 に A2 点で海上保安庁の巡視船に発見された。その後 A3 点を経て A4 点まで漂流を続け、A4 点から A7 点まで巡視船によって曳航された。なお、E1 から E4 までは非常

Fig. 11 Trajectory of a drifting ship; A1-A4 (A4-A7; towed path), EPIRB; E1-E4, B; life buoy and current data.

用位置指示無線標識装置 EPIRB (Emergency Position Indicating Radio Beacon) の漂流経路、B は救命浮環の発見位置を表す。

Fig. 11中には、漂流当時、緯度経度 10 分間隔の海域毎に巡視船によって計測された潮流の流速 U_c と流向 ψ_c も示している。流向 ψ_c は北を 0 度として時計回りに上流方向で表した。これらの計測値を平均すると流速 U_c 1.65kt、流向 ψ_c 175.3 度となる。

風の状況に関しては、現場における巡視船での計測によって、2月28日6:00には北北東の風 11m/s、同日9:00には北東の風 11m/s と報告されている。

以上、A1点からA2点までのA号の漂流速度 V と漂流方向 ψ_v および潮流と風の状況を平均値でまとめると Table 6の通りとなる。A号はほぼ潮流を横切る形で漂流したことがわかる。なお、波に関する情報は得られていないが、Fig. 10の様子から波が漂流運動に大きな影響を与えることはなかったものと推測される。

4.2 推定計算

4.2.1 斜航流体力と風の力

前節 4.1 で述べた漂流状態を推定するためには、対応する船型が横傾斜した状態における斜航流体力と風の力に関するデータが必要となる。しかし、横傾斜した船の斜航角が 0deg から 360deg までの斜航流体力データや風の力に関するデータが得られないため、ここでは、類似船型の横傾斜角 0deg の直立時のデータを用いて計算をおこなった。

斜航流体力としては Table 3 に示したタンカー模型の満載状態での水槽実験データを用いることとした。満載時の喫水は 0.179m である。Table 5 に示した A 号の長さ幅比と幅喫水比がそれぞれ 5.8 と 3.5 であるのに

Fig. 12 Hydrodynamic forces and moment acting on underwater ship's hull due to oblique motion obtained by tank test for a tanker model.

Fig. 13 Wind forces and moment obtained by wind tunnel test for a bulk carrier.

対し、Table 3 のタンカー模型のそれは 5.5 と 3.0 とやや異なる。水槽実験データを Fig. 12 に示す。図中の線は周期性を考慮したスプライン補完を表す。無次元化は Fig. 2 の場合と同じである。Fig. 2 の練習船のデータとは前後力成分の斜航角 90deg 付近を中心とした傾向に差

Table 7 Solutions for steady drifting conditions of a disabled ship in wind and current.

No.	V(kt)	$\psi_v(\text{deg})$	$\psi_B(\text{deg})$	$U_A(\text{m/s})$	$\theta_A(\text{deg})$	$\beta(\text{deg})$
1	1.04	-37.3	-49.7	11.15	84.6	99.0
2	1.51	-102.7	-144.9	10.42	179.7	1.0
3	1.53	-99.7	35.9	10.44	-1.4	-179.9
4	1.52	-39.8	133.0	11.20	-99.4	-107.2

Fig. 14 Comparison of drifting condition, observed and estimated for a disabled ship in wind and current.

が見られる。

風の力としては、ばら積み船の風洞実験データを用いることとした。この場合も横傾斜角は 0deg である。風洞模型の詳細は省略するが、長さ幅比が 5.8 で甲板上に 4 本のクレーンを持つ船型である。風洞実験データを Fig. 13 に示す。無次元化は Fig. 4 の場合と同じである。Fig. 4 の練習船のデータとは回頭モーメント成分の傾向が大きく異なる。

波の力に関しては前節 4.1 で述べたように Fig. 10 の様子から考慮しないこととした。

4.2.2 推定結果と漂流事例との比較検討

前項 4.2.1 で述べた斜航流体力と風の力を (1) 式に代入して解いた。計算結果を Table 7 に示す。解は 4 つ得られている。これらを図示して Fig. 14 に示す。図中には計算結果とともに Table 6 に示した A 号の実際の平均漂流状態も示している。ただし、船首方位を表す船の絵は、巡視船からの報告に基づき、右真横から風を受け

る船首方位 ψ_B が -52.5deg の状態となるように図示している。

巡視船からの報告のように右舷側から風を受ける①の解は実際より漂流速度も小さく漂流方向にも差がある。②の解は①の解とほぼ同じ漂流方向を示しているが、船首方位がほぼ逆となっており、漂流速度も実際よりまだ小さい。潮流を横切って漂流する②と④の解は実際の漂流状態と漂流方向は近いが漂流速度が実際よりもやや小さく、風向との関係も報告されている状態とは異なる。

以上、観測された状態と推定計算で得られた解は漂流方向や風向きとの関係など個々に類似する点はあるものの、すべてが一致した解は得られなかった。実際の状態と推定計算結果との差は、主として横傾斜していない船体に対する流体力データを用いたことに起因すると考えられる。実際、Fig. 12 の斜航流体力は斜航角に対する対称性を仮定しており、Fig. 13 の風の力についてもほぼ相対風向角に対して対称なデータとなっているのに対し、大きく横傾斜した船体については斜航角や相対風向角に関する対称性は崩れると考えられる。より正確な推定をおこなうためには、何らかの方法で横傾斜した船体に対する斜航流体力と風の力を推定する必要があると考えられる。

5. 結言

航行不能船舶の定常漂流状態を斜航流体力と風の力、波の力を考慮して釣合方程式を解くことによって解析した。その結果、風と波と潮流の複合外乱下において複数の解が得られることを示した。解の物理的な安定性は別途解析する必要があるが、複数の解の存在は漂流状態も複数存在する可能性を示すものと考えられる。

複数の定常漂流状態の存在を調べるため、波浪中の漂流実験を実施した。その結果、同一の長波頂規則波の条件下で、左右対称な 2 組の定常漂流状態が確認された。この事実は著者らがこれまでに解析的に示してきた複数の定常漂流状態の可能性を実証する一例と考えられる。

実際の漂流事例を解析し、事例と同じ風と潮流の条件で定常漂流状態の推定計算をおこなった。対象とする横傾斜した航行不能船舶に関する流体力データが得られず、類似船型の直立時のデータを用いたため、得られた複数解には漂流速度と漂流方向、船首方位がすべて漂流事例と一致する解は得られなかった。

本報告で示した定常漂流状態の推定計算で得られる解は物理的に不安定な解も含むが、漂流状態の可能性を示す推定手法として、漂流する航行不能船舶に対する救助対策の立案等に役立てることが可能と思われる。

船舶が航行不能となる原因は様々で、本報告で示した例のように大きく横傾斜した状態のほか大きなトリム

がついた状態や船体の一部が折損した状態などもあり得る。海難事故現場において定常漂流状態の可能性を示す推定計算結果をより確実なものとするためには、多様な船型と船の状態に対する斜航流体力と風および波の力の推定法の開発が必要と考えられる。

謝 辞

海上保安庁海洋情報部井本泰司氏と日本サルヴェージ(株)小松正博氏には航行不能船舶の漂流事例に関するデータをご提供頂きました。ここに記してお礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) Ueno, M., Nimura, T. : On steady drifting motion of a ship in waves, Proceedings of 5th IFAC conference on manoeuvring and control of marine craft, (2000), pp. 393-398.
- 2) 谷澤克治, 上野道雄, 南真紀子: 波による漂流運動の推定法について, 第 74 回船舶技術研究所研究発表会講演集, (2000), pp. 315-318.
- 3) 上野道雄, 二村 正: 航行不能船舶の外乱下定常漂流状態の解析, 第 2 回海上技術安全研究所研究発表会講演集, (2002), pp. 345-346.
- 4) 上野道雄, 二村 正, 宮崎英樹, 藤原敏文, 野中晃二, 矢吹英雄: 練習船の操縦性能に関する模型実験と実海域実験, 日本造船学会論文集, 第 189 号, (2001), pp. 71-80.
- 5) 高品純志: タグによる操縦運動とその計算法について, 日本造船学会論文集, 第 160 号, (1986), pp. 93-102.
- 6) 星野邦弘, 原正一, 山川賢次, 湯川和浩: 船首折損船舶の波漂流力と漂流運動, 第 1 回海上技術安全研究所研究発表会講演集, (2001), pp. 37-42.
- 7) 星野邦弘, 湯川和浩, 原正一, 山川賢次: 折損タンカーの波漂流力と漂流運動, 西部造船会会報, 第 103 号, (2000), pp. 263-272.
- 8) 二村 正, 上野道雄, 藤原敏文, 野中晃二, 小川陽弘: 自由航走模型船の水中超音波による位置計測システム, 可視化情報学会誌, 第 17 巻, Suppl. 1, (1997), pp. 317-320.