

## 二機二軸二舵船「鶴洋丸」の旋回性能に関する考察

兼原 壽生, 内田 淳, 青島 隆, 木下 幸, 島田亜加里, 高山 久明

A Study on the Turning Ability of Twin-engine, Twin-propeller,  
and Twin-rudder Ship "KAKUYO MARU"

Hisao KANEHARA, Jun UCHIDA, Takashi AOSHIMA, Tsukasa KINOSHITA, Akari SHIMADA and Hisaaki TAKAYAMA

We made the turning trial of "KAKUYO MARU", which was equipped with two engines, two propellers and two rudders, to find out the steady turning diameter, the turning time and the turning speed reduction ratio.

The results of trial are stated below.

- 1) The size of steady turning diameter depended on the rudder angle and was little affected by the turning speed.
- 2) The ratio of the steady turning diameter to the ship length between perpendiculars (D/L) was inversely proportional to the rudder angle, and its regression formula was expressed as  $y = 20.361x^{-1.0001}$ .
- 3) The turning time was inversely proportional to the rudder angle and the turning speed, and its regression formula at 10 degrees of rudder angle was expressed as  $y_{10^\circ} = 453.17x^{-0.6797}$ .
- 4) The turning speed reduction ratio changed in proportion to the rudder angle and was almost constant even though the turning speed changed.
- 5) In comparing the measured D/L values by turning speed and rudder angle with Sugihara's nomogram values, the error between measured values and nomogram values was 13.6% at most. Accordingly, Sugihara's nomogram can be applied to a twin-engine, twin-propeller, and twin-rudder ship also.
- 6) As for the effect of ship's bottom fouling on the turning diameter, the steady turning diameter varied inversely with the period elapsed from the last bottom cleaning in a dock, and its regression formula at 10 and 20 degrees of rudder angle were expressed as  $y_{10^\circ} = -0.6313x^2 - 0.7471x + 394.8$  and  $y_{20^\circ} = -0.6529x^2 + 4.2921x + 189.4$  respectively.

**Key Words** : 定常旋回径 Steady turning diameter, ノモグラム nomogram,  
減速率 turning speed reduction ratio

平成16年12月に竣工した長崎大学水産学部附属練習船「鶴洋丸」(総トン数155トン)は、沿岸での実習・調査を主体としており、低速で旋回する機会も多い。また航行中の避航においても旋回を用いることもあり、旋回性能を把握することは操船上非常に重要である。旋回径等の計測は、従来から実船試験による方法が一般的であるが、定常旋回径に関しては船体諸要素から計算により求める方法もあり、杉原<sup>1,2)</sup>は一機一軸一舵船を対象に行ったノモグラムを示している。そこで本研究は、鶴洋丸の定常旋回における旋回径の大きさと360度旋回に要する所要時間及び旋回時の減速率を実船試験で求め、杉原のノモグラムを鶴洋丸に適用した場合の有効性を検討するとともに、ドックでの船底洗い後の時間経過に伴う船底の汚れが定常旋回径に及ぼす影響についても検討することを目的とした。

## 実験方法

- 1) 供試船「鶴洋丸」の主要目  
供試船「鶴洋丸」の主要目を Table 1 に示す。
- 2) 実験の方法  
旋回試験の各要件は、以下の通り設定した。
  - (1) 主機関回転数による船速 4 種 (極微速 (DS/H) : 575 rpm, 微速 (S/H) : 950rpm, 中速 (H/H) : 1200rpm 及び高速 (F/H) : 1700rpm)
  - (2) 舵角 4 種 (5, 10, 20及び30°)
  - (3) 旋回方向 2 種 (左及び右旋回)
  - (4) 進入針路 2 種(南北の 0 又は180°と東西の90又は270°の組合せ)
 実船試験は、(1)~(4)の組合せで2006年5月, 11月及び

Table 1. Principal particulars of "KAKUYO MARU"

Particulars	Items
Length over all	42.79m
Length register	35.43m
Length between perpendiculars	34.50m
Breadth(molded)	7.00m
Depth(molded)	3.19m
Draft designed(molded)	2.50m
Gross tonnage	155ton
Main engine	1.050Kw(1.428PS)×2
Propeller	Fixed 5 blades×2
Area of Rudder	1.28m <sup>2</sup> ×2

2007年4月, 11月に実施し, 船位は, DGPS を用いて船首方位, 船速とともに1秒毎に記録した。

3) 解析の方法

1秒毎に収録した船位データを基に旋回圈<sup>4)</sup>を描くと共に, 定常旋回径は船首方位が135°回頭時と315°回頭時の船位により漸長緯度航法で求めた。本報での定常旋回径の定義は, 船首方位が135°回頭時の船位と315°回頭時の船位間の距離とし, Fig. 1 に示した最終旋回径に当たる部分である。又, 旋回所要時間は転舵発令時から360°回頭までの所要時間(秒)とした。旋回船速は135°, 225°及び315°回頭時の DGPS 船速を平均して求め, 定常旋回計測時の減速率は, 減速率=旋回船速/初速×100とした。

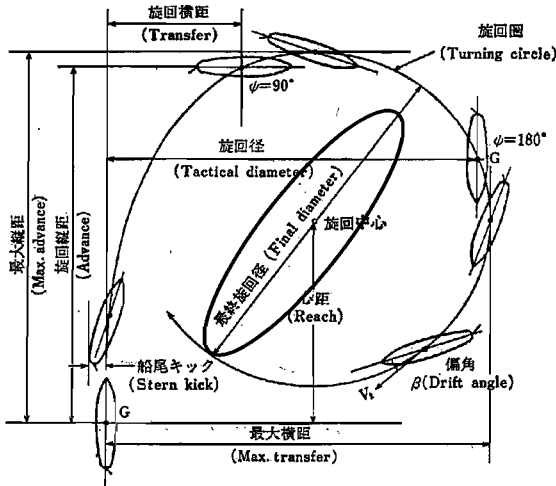


Fig. 1 Name of each part of turning circle<sup>4)</sup>

4) ノモグラム作成の方法<sup>1, 2)</sup>

杉原のノモグラムは, 定常旋回径 (D) と船の垂線間長 (Lpp) との比である定常旋回径比 (D/L) を求めるもので, ノモグラム作成に必要な諸要素は, 次の7つの要素である。

- (1) 舵面積比  $(A/Ld)^{-1}$  (A: 舵面積, L(Lpp): 垂線間長, d: 平均喫水)
- (2) 舵角  $\alpha$
- (3) 方形係数 Cb
- (4) トリム比 t/L (t: トリム 鶴洋丸の平均トリム = 1.15m)
- (5) 速度速力比 k
- (6) 速度長さ比  $V_0'$
- (7) 旋回角速度係数  $m'$

上記要素のうち(1)~(4)は船の静的条件であり, 実験時の船のコンディションによるもので, 個々の実験において変化はないが, (5)~(7)は旋回に伴う船の動的条件であり, 各実験において変化するものでその要素は次式で求めた。

速度速力比:  $k = 1 - 0.8 \cdot C_b \cdot (A/Ld) \cdot \alpha + 4.5 \cdot (t/L)$

速度長さ比:  $V_0' = V_0 / \sqrt{L}$  ( $V_0$ : 初速)

旋回角速度係数:  $m' = (0.46 \cdot V_0' - 0.36) \cdot \sin \alpha + 0.11$

以上の諸要素を基に, Fig. 2 に示す杉原<sup>2)</sup>のノモグラム上の D/L の値を読み取り算定値とした。

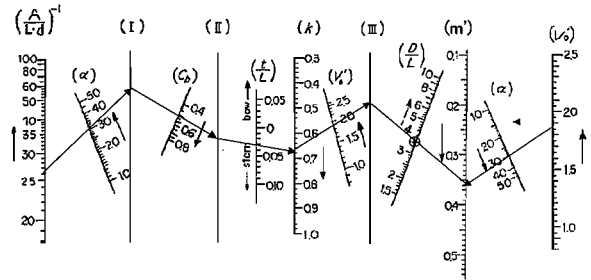


Fig. 2 Nomogram creation procedure<sup>2)</sup> and its factors

Table 2 の舵角30度, 船速 H/H を例に D/L を読み取る場合, その手順は次の通りである。

- ① Fig. 2 の左端の  $(A/Ld)^{-1}$  尺上の値26と  $\alpha$  尺の値30を結び, その延長線を補助尺 (I) で交わらせる。
- ② ①で得た補助尺 (I) の交点と Cb 尺上の値0.518を結び, 補助尺 (II) で交わらせる
- ③ ②と同様に補助尺 (II) の交点と t/L 尺上の値0.033とを結び, k 尺上の交点を求める。
- ④ k 尺の交点と  $V_0'$  尺の値1.87を結び, その延長線を補助尺 (III) で交わらせる。

Table 2. Nomogram factors of "KAKUYO MARU"

$\alpha$ (degree)	Class of ship speed	Lpp (m)	w (ton)	d (m)	Cb	t/L	$V_0$	$V_0'$	$(A/Ld)^{-1}$	$m'$	k
10	S/H	34.5	258	2.00	0.518	0.033	8.5	1.44	26	0.162	0.98
	H/H						10.8	1.83		0.193	
	F/H						14.3	2.43		0.241	
20	S/H	34.5	258	2.00	0.518	0.033	8.5	1.44	26	0.213	0.82
	H/H						10.8	1.83		0.274	
	F/H						14.3	2.43		0.359	
30	S/H	34.5	258	2.00	0.518	0.033	8.6	1.46	26	0.265	0.67
	H/H						11.0	1.87		0.350	

- ⑤ Fig. 2 の右端の V' 尺上の値1.87と  $\alpha$  尺の値30を結び、その延長線を m' 尺で交わせる。
- ⑥ 最後に④で得た補助尺(Ⅲ)の点と⑤で得た m' 尺上の点を結び D/L 尺上の交点の値を読み取る。  
その結果、D/L の読み取り値は3.6となった。  
実測値とノモグラム算定値の誤差(%)は、誤差=|実測値-算定値|/算定値×100とした。

**結果及び考察**

旋回実験実施時期の海域及び気象条件と実験回数は Table 3 の通りである。

**Table 3.** Time, area, and weather condition of turning trial and number of trials

Time	Area	Average wind direction & wind speed (m/s)	Number of trials
May 2006	Off Wakimisaki & Mie-shikimi	WSW 2.5	48
November 2006	Off Fukuda & Nagasaki	South 2.6	44
April 2007	Off Fukuda & Shikimi	NW 8.7	64
November 2007	Off Wakimisaki	NE 9.2	38

1) 定常旋回径と定常旋回時減速率

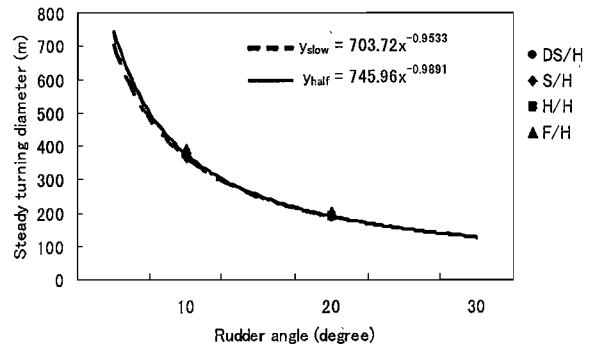
本実験では、定常旋回径に対する風潮流の影響を最小限にとどめることを目的として、各船速及び舵角別に進入針路2種と左右旋回の実験を行ったが、供試船が二機二軸二舵船(外回り)であり、直進時における針路変化が殆どないことから、定常旋回径の大きさ及び初速に対する定常旋回時の減速率(以下、減速率と称す)は、船速別、舵角別に進入針路2種、左右旋回別の平均値を用いた。

(1) 2006年5月の実験

2006年5月の実験を Table 4 に示す。実験の船速は極微速、微速、中速及び高速の4種、舵角は10°及び20°の2種の組合せで計48回の旋回試験を行い、各組合せによる定常旋回径、360°旋回所要時間(以下、所要時間と称す)及び減速率を示した。Fig. 3 は定常旋回径の大きさを舵角別に比較し船速毎の回帰曲線を示したものである。横軸に舵角、縦軸に定常旋回径の大きさを示しており、パラメータは4種の船速である。舵角が大きくなると定常旋回径の大きさは反比例して小さくなるが、船速による影響はあまりなく、同一舵角ではほぼ変わらず、舵角10°で363.4m~390.5m(平均377m)、20°で179.9m~200.3m(平均188.6m)であった。一方、舵角による影響は大きく、通常最も使用頻度の高い舵角10°の定常旋回径に対して20°ではその50.0%であった。Fig. 3 に示している式は微速及び中速の回帰式であり、それぞれ、 $y_{slow}$

**Table 4.** Steady turning diameter, time of turning and speed deduction ratio while turning (in May 2006)

Class of ship speed	Rudder angle (degree)	Steady turning diameter (m)	Time for turning (sec)	Initial ship speed (knot)	Speed deduction ratio while turning (%)
DS/H	10	378.1	456.9	5.3	96.4
	20	184.7	258.3	5.5	83.0
S/H	10	363.4	267.4	8.9	93.7
	20	179.9	169.5	9.0	82.5
H/H	10	375.8	247.4	11.1	94.6
	20	189.3	142.1	11.5	80.2
F/H	10	390.5	169.0	14.7	95.8
	20	200.3	94.8	14.6	85.5



**Fig. 3** Steady turning diameter by ship speed and rudder angle (in May 2006 when 6 months after docking)

$=703.72x^{-0.9533}$ ,  $y_{half}=745.96x^{-0.9891}$ で表された。また、各舵角における減速率の平均は舵角10°で平均95.1%、20°で82.8%であった。

(2) 2006年11月の実験

2006年11月の実験を Table 5 に示す。実験の船速のうち極微速及び高速については10°、20°の2種、微速及び中速については10°、20°及び30°の3種の舵角の組合せで計44回の旋回試験を行い、各組合せによる定常旋回径、所要時間及び減速率を示した。Fig. 4 は定常旋回径の大きさを舵角別に比較し船速毎の回帰曲線を示したもので、パラメータは4種の船

**Table 5.** Steady turning diameter, time of turning and speed deduction ratio while turning (in November 2006)

Class of ship speed	Rudder angle (degree)	Steady turning diameter (m)	Time for turning (sec)	Initial ship speed (knot)	Speed deduction ratio while turning (%)
DS/H	10	315.1	429.5	5.0	92.0
	20	156.1	249.3	4.7	81.8
S/H	10	317.7	261.5	8.0	93.1
	20	149.6	150.8	8.0	77.3
	30	110.4	123.5	8.0	67.4
H/H	10	316.9	211.8	10.1	91.0
	20	153.2	120.4	10.0	77.5
	30	111.7	100.3	10.1	65.6
F/H	10	297.3	144.3	13.8	92.0
	20	167.2	95.5	13.7	78.6

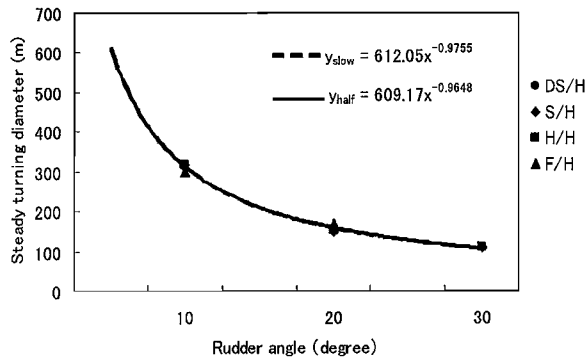


Fig. 4 Steady turning diameter by the ship speed and rudder angle (in November 2006 when 12 months after docking)

速である。定常旋回径に対する舵角及び船速の影響は(1)と同様で、同一舵角ではほぼ変わらず定常旋回径の大きさは、舵角10°で297.3m~317.7m (平均311.8m), 20°で149.6m~167.3m (平均156.6m), 30°で110.4m~111.7m (平均111.1m)であり、舵角10°の定常旋回径に対して20°で50.2%, 30°で35.6%であった。Fig. 4 に示している式は微速及び中速の回帰式であり、それぞれ、 $y_{slow} = 612.05x^{-0.9755}$ ,  $y_{half} = 609.17x^{-0.9648}$ で表された。

また、各舵角における減速率の平均は舵角10°で92.0%, 20°で78.9%及び30°で66.5%であった。

(3) 2007年4月の実験

2007年4月の実験を Table 6 に示す。実験の船速のうち極微速及び高速については5°, 10°, 20°の3種、微速及び中速については5°, 10°, 20°及び30°の4種の舵角の組合せで計68回の旋回試験を行い、各組合せによる定常旋回径、所要時間及び減速率を示した。Fig. 5 は定常旋回径の大きさを舵角別に比較し船速毎の回帰曲線を示したものである。定常旋回径の大きさは、舵角5°で710.7m~737.2m (平均723.9m), 10°で381.3m~424.3m (平均400.8m), 20°で187.3m~218.4m (平均199.8m), 30°で130.8m~131.9m (平均131.4m)であり、舵角10°の定常旋回径に対して5°で180.6%, 20°で49.8%,

Table 6. Steady turning diameter, time of turning and speed deduction ratio while turning (in April 2007)

Class of ship speed	Rudder angle (degree)	Steady turning diameter (m)	Time for turning (sec)	Initial ship speed (knot)	Speed deduction ratio while turning (%)
DS/H	5	717.0	869.0	5.3	95.6
	10	424.3	478.5	5.1	99.1
	20	218.4	277.5	4.7	89.3
S/H	5	737.2	563.0	9.1	94.0
	10	381.3	290.5	9.0	93.8
	20	187.3	166.0	8.9	82.7
H/H	5	424.3	138.3	8.9	69.4
	10	218.4	436.5	11.3	99.6
	20	119.2	234.5	11.3	88.0
F/H	5	193.0	135.0	11.3	81.0
	10	130.8	112.5	11.3	68.3
	20	730.4	347.7	14.8	98.7
F/H	5	411.3	185.3	14.7	96.7
	10	200.3	103.3	14.8	84.8
	20	103.3	103.3	14.8	84.8

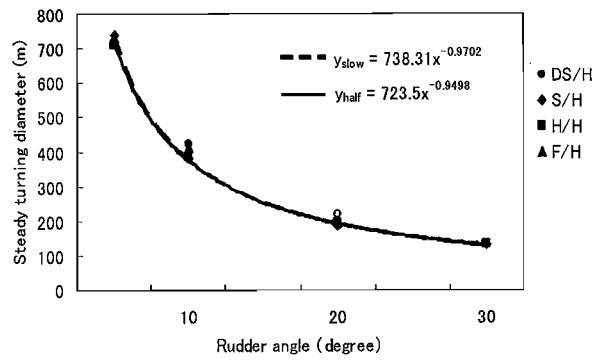


Fig. 5 Steady turning diameter by ship speed and rudder angle (in April 2007 when 2 months after docking)

30°で32.8%であった。Fig. 5 に示している式は微速及び中速の回帰式であり、それぞれ  $y_{slow} = 738.31x^{-0.9702}$ ,  $y_{half} = 723.5x^{-0.9498}$ で表された。

また、各舵角における減速率の平均は舵角5°で97.0%, 10°で94.4%, 20°で84.5%及び30°で68.9%であった。

(4) 2007年11月の実験

2007年11月の実験を Table 7 に示す。実験の船速のうち極微速は舵角30°, 微速及び中速は舵角10°, 20°及び30°の3種、高速は舵角10°及び20°の組合せで計38回の旋回試験を行い、

Table 7. Steady turning diameter, time of turning and speed deduction ratio while turning (in November 2007)

Class of ship speed	Rudder angle (degree)	Steady turning diameter (m)	Time for turning (sec)	Initial ship speed (knot)	Speed deduction ratio while turning (%)
DS/H	30	120.9	225.0	5.0	67.0
S/H	10	340.2	281.5	8.4	93.3
	20	179.9	169.5	8.3	82.5
	30	117.3	139.5	8.5	67.9
H/H	10	348.4	225.5	10.8	91.9
	20	184.7	137.0	10.8	82.8
	30	124.2	111.5	10.9	66.5
F/H	10	350.8	173.5	14.3	94.1
	20	188.3	103.3	14.4	81.6

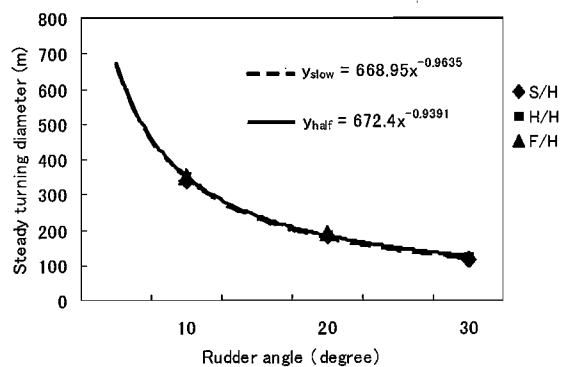


Fig. 6 Steady turning diameter by ship speed and rudder angle (in November 2007 when 9 months after docking)

各組合せによる定常旋回径, 所要時間及び減速率を示した。Fig. 6 は定常旋回径の大きさを舵角別に比較し船速毎の回帰曲線を示したものである。定常旋回径の大きさは, 舵角10°で340.2m~350.8m (平均346.8m), 20°で179.9m~188.3m (平均184.3m), 30°で117.3m~124.2m (平均120.8m)であり, 舵角10°の定常旋回径に対して20°で53.5%, 30°で34.8%であった。Fig. 6 に示している式は微速及び中速の回帰式であり, それぞれ,  $y_{low} = 668.95x^{-0.9685}$ ,  $y_{half} = 672.40x^{-0.8991}$ で表された。また, 各舵角における減速率の平均は舵角10°で93.1%, 20°で82.3%及び30°で67.1%であった。

Fig. 7 は上記4時期全体について各組合せの平均減速率を舵角別に比較し, 同船速での回帰式を示したものである。図は横軸に舵角, 縦軸に減速率を示しており, パラメータは各船速である。減速率は舵角が大きくなると反比例的に小さくなるが, 船速による変化は殆ど無く, 同一舵角ではほぼ変わらないことが判る。Fig. 7 の中の回帰式は, 舵角別の4種の船速における減速率の平均値の回帰式であり,  $y = -0.5973x^2 - 1.9253x + 99.864$ で表された。

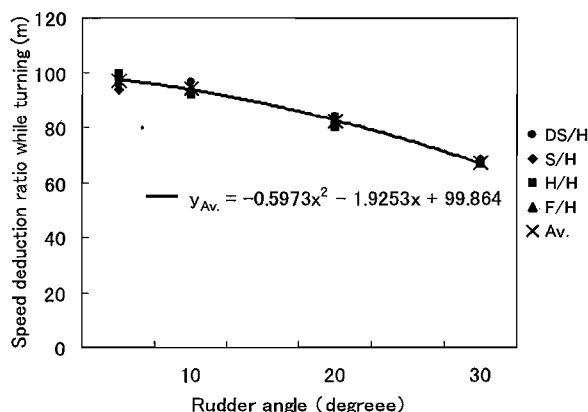


Fig. 7 Relation between rudder angle and speed reduction ratio at steady turning

### 2) 360°旋回所要時間

Table 4 ~ 7 中の所要時間は, 船速別, 舵角別に進入針路2種, 左右旋回別の平均値を示したが, Fig. 8 は各時期を併

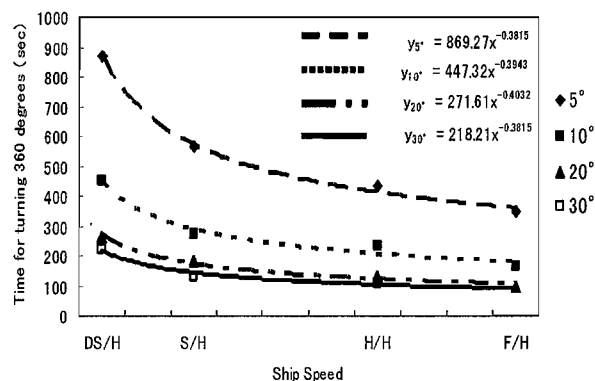


Fig. 8 Relation between ship speed by rudder angle and time for turning 360 degrees

せた平均所要時間を船速別に比較し, 舵角毎の回帰式を示したものである。横軸に船速, 縦軸に所要時間を示しており, パラメータは5~30°の各舵角である。図から旋回の所要時間は船速に反比例して小さくなり, 同一船速では舵角が大きくなるに従って小さくなることが判る。図中の回帰式はそれぞれの舵角で,  $y_5 = 869.27x^{-0.3815}$ ,  $y_{10} = 447.32x^{-0.3943}$ ,  $y_{20} = 271.61x^{-0.4032}$ ,  $y_{30} = 218.21x^{-0.3815}$ で表された。

### 3) 定常旋回径比

Fig. 9 は鶴洋丸の舵角別定常旋回径比 (D/L) の回帰式を示したもので, 横軸は舵角, 縦軸は定常旋回径比であり, 図中の式は定常旋回径比の回帰式,  $y = 20.361x^{-1.0001}$ である。船の最大舵角は35°であるが, 実験時の最大舵角は30°とした。舵角30°までの定常旋回径は舵角の大きさにはほぼ反比例することが判る。

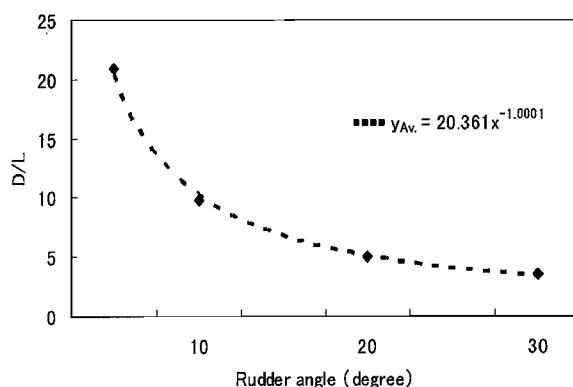


Fig. 9 Ratio of steady turning diameter to ship length (L<sub>pp</sub>) by rudder angle

### 4) ノモグラム

ノモグラムは船の静的条件及び動的条件を知ることで定常旋回径比を求めて定常旋回径を推定する手法である。Table 2 は杉原<sup>1)</sup>の例に倣って鶴洋丸のノモグラム作成に必要な要素を示したものである。

データは全データを舵角別, 船速別に左右旋回2種と進入針路2種を平均して用いた。諸要素のうち静的条件は各旋回試験をほぼ同一の船体コンディションで実施したため, 船の静的条件は一定であり, 動的条件は舵角別, 船速別の初速 (V<sub>0</sub>) の平均値を用いて, 速度速力比 (k), 速度長さ比 (V<sub>0</sub>) 及び旋回角速度係数 (m) を求めた。しかし, 全組合せのうち, 舵角5°と極微速の一部が杉原<sup>2)</sup>のノモグラムの尺度上に載らなかったため, 算定値は10°, 20°及び30°の3種の舵角と3種の船速 (30°の高速は未実施) に対する値を使用して読み取った。

Table 8 は鶴洋丸の D/L 実測値とノモグラム算定値を比較したものである。D/L 実測値は算定値と同様, 舵角10°, 20°及び30°と微速, 中速及び高速の船速3種について左右旋回及び東西・南北の進入針路2種の8通りの組合せの平均値を用いて算出した。この結果, 誤差の最小は舵角30°の高速時で2.8%であり, 最大は舵角20°の微速時で13.6%であった。

**Table 8.** Comparison between measured values and nomogram calculation values over the "KAKUYO MARU"s ratio of steady turning diameter to ship length (D/L)

Rudder angle (degree)	Class of ship speed	Measured D/L	Nomogram calculation D/L	Error (%)
10	S/H	10.1	9.0	12.2
	H/H	10.3	9.5	8.4
	F/H	10.5	10.0	5.0
20	S/H	5.1	5.9	13.6
	H/H	5.2	5.8	10.3
	F/H	5.5	5.7	3.5
30	S/H	3.6	3.8	5.3
	H/H	3.7	3.6	2.8

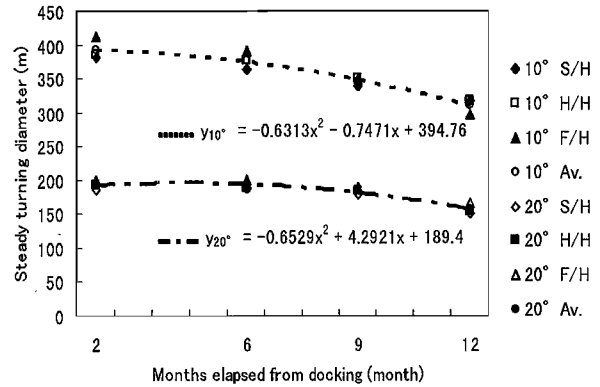
杉原が行った5隻の一機一軸一舵船の実験結果の誤差が20%程度であったことから推察すると、このノモグラムは二機二軸二舵船である鶴洋丸にも十分適応可能と考えられる。

5) 水線下船底の汚れによる定常旋回径への影響

水線下船底の汚れはドックの底洗いから時間を経るに従い増大する。2006年5月~2007年11月に実施した4回の実験時期をドックからの経過月数で見ると、2006年5月が6ヶ月、2006年11月が12ヶ月、2007年4月が2ヶ月及び2007年11月が9ヶ月である。

Table 9はドックからの経過月数別に行った4回の調査について、舵角別、船速別の定常旋回径、所要時間、減速率及び定常旋回径比(D/L)を平均して示している。この表からどの船速においても、経過月数に反比例して定常旋回径、所要時間及び減速率は小さくなっていることが判る。さらに、この表のうち4時期すべてで実験を実施した舵角10°及び20°の微速、中速及び高速の船速について定常旋回径の大きさを比較した。

Fig.10は舵角10°と20°でのドックからの経過月数と定常旋回径の関係を示したもので、横軸は経過月数、縦軸は定常旋回径



**Fig. 10** Relation between months elapsed from docking and steady turning diameter

回径でパラメータは船速である。アルミ合金船用船底ペイントは自己研磨型であり、その効果は約6ヶ月間で、その後は効果の低下が急速に大きくなるといわれている。舵角10°では経過月数2ヶ月の定常旋回径を100とした場合、船速3種の平均における経過月数の定常旋回径は6ヶ月で94.1% (約23.8m減少)、9ヶ月で86.6% (約54m減少)及び12ヶ月で77.8% (約89m減少)と経過月数に反比例して小さくなり、従ってその減少率は正比例して大きくなった。図中の回帰式は船速をパラメータとしたもので、舵角10°の平均の回帰式は  $y_{10} = -0.6313x^2 - 0.7471x + 394.76$  で表された。

また、舵角20°では、経過月数2ヶ月の定常旋回径を100とした場合、船速3種の平均における経過月数の定常旋回径は6ヶ月で94.4% (約11.2m減少)、9ヶ月で92.3% (約15.5m減少)及び12ヶ月で78.4% (約43.2m減少)と舵角10°の場合と同様の傾向を示し、3つの船速平均の回帰式は、  $y_{20} = -0.6529x^2 + 4.2921x + 189.4$  で表された。

ドックは2005年11月と2007年2月に実施しており、船底ペイントの効果の薄れる6ヶ月目を付着生物の成長期にあたる夏場に迎えることで、9月頃より付着生物が増加し、9ヶ月、

**Table 9.** Steady turning diameter, time for turning, and speed deduction ratio while turning by rudder angle and months elapsed from docking

Rudder angle (degree)	Class of ship speed			DS/H			S/H			H/H			F/H			D/L	D/L of each rudder angle
	Elapsed months	Time of trial	Steady turning diameter (m)	Time for turning (sec)	Speed deduction ratio (%)	Steady turning diameter (m)	Time for turning (sec)	Speed deduction ratio (%)	Steady turning diameter (m)	Time for turning (sec)	Speed deduction ratio (%)	Steady turning diameter (m)	Time for turning (sec)	Speed deduction ratio (%)			
10	2	Apr-07	717.0	869.0	95.6	737.2	563.0	94.0	710.7	436.5	99.6	730.4	347.7	98.7	20.9	20.9	
	6	May-06	424.3	478.5	99.1	381.3	290.5	93.8	386.2	234.5	88.0	411.3	185.3	96.7	11.6	9.7	
	9	Nov-07				340.2	281.5	93.3	349.4	225.5	91.9	350.8	173.5	94.1	7.5		
	12	Nov-06	315.1	429.5	92.0	317.7	261.5	93.1	316.9	211.8	91.0	297.3	144.3	92.0	9.0		
20	2	Apr-07	218.4	277.5	89.3	187.3	166.0	82.7	193.0	135.0	81.0	200.3	103.3	84.8	5.7	4.9	
	6	May-06	184.7	258.3	83.0	187.7	218.5	82.5	189.3	142.1	80.2	200.3	94.8	85.5	5.5		
	9	Nov-07				179.9	169.5	82.5	184.7	137.0	82.8	188.3	103.3	81.6	4.0		
	12	Nov-06	156.1	249.3	81.8	149.6	150.8	77.3	153.2	120.4	77.5	167.3	96.5	78.8	4.5		
30	2	Apr-07				131.8	138.3	69.4	130.8	112.5	68.3				3.8	3.5	
	6	May-06															
	9	Nov-07	120.9	225.0	67.0	117.3	139.5	67.9	124.2	111.5	66.5				3.5		
	12	Nov-06				110.4	123.5	67.4	111.7	100.3	65.6				3.2		

Table 10. Nomogram factors of "KOYO MARU"

$\alpha$ (degree)	Lpp (m)	w(ton)	d(m)	Cb	t/L	$V_0$	$V_0'$	$(A/Ld)^{-1}$	$m'$	k
35	77.5	2891	5.21	0.53	0.006	18	2.04	38.1	0.44	0.64

Measured D/L	Nomogram calculation D/L	Error (%)
2.65	3.03	12.56

12ヶ月の定常旋回径が著しく減少する結果となった。これは同一時期での主機関回転数による船速の変化とは異なり、同一の主機関回転数による舵に当たるプロペラ流は同じであるにもかかわらず、水の粘性と船体浸水表面の摩擦抵抗の増加により前進力が減少したことが大きな要因であると考えられる。

#### 6) 最近の一機一軸船へのノモグラムの適用

次に鶴洋丸以外の最近の建造船でノモグラムの適応性を調べた。二機二軸二舵船の鶴洋丸とは異なるが、2007年6月29日に竣工した独立行政法人水産大学校の一機一軸一舵船の練習船「耕洋丸」のノモグラムを作成した。Table 10は「耕洋丸」のノモグラム作成に必要な船体諸要素及びD/L実測値と算定値である。<sup>5)</sup> その結果、実測値の2.65に対して算定値は3.03でD/Lの誤差は12.56%となり、杉原のノモグラムは十分適応しているといえる。

#### おわりに

以上の旋回試験の解析により、定常旋回径の大きさは舵角により決まり、船速にはあまり影響されず、定常旋回径比(D/L)は舵角の大きさにほぼ反比例することが判った。同時に、定常旋回時減速率も舵角の大きさにほぼ反比例するが、船速による影響は殆どないことも判った。また、所要時間は船速にほぼ反比例して小さくなり、同一船速では舵角に反比例して小さくなった。

ノモグラムによる定常旋回径比の算定において、二機二軸二舵船の鶴洋丸では、小舵角10°から大舵角30°の範囲まで実測値と算定値の誤差が15%以内に収まり、各種船速で十分適応可能であった。また、最近建造された水産大学校の練習船

「耕洋丸」の同様の計算においても誤差が12.56%であり、40数年前に杉原が提唱したノモグラムは現在の船に対しても二機二軸二舵船に対しても十分適応可能であることが判った。

船底の汚れが定常旋回径に与える影響において、定常旋回径及び所要時間はドックからの経過月数に反比例して小さくなり、船速の違いによる減速率にはあまり影響を与えないことが判った。

本実船試験は、いずれも満載出港状態で行ったが、今後更に船体コンディション変化に対する旋回性能及びそのノモグラムの対応など鶴洋丸の諸性能の把握に努め、一層の航海の安全に資したいと考える。

#### 謝 辞

本研究において、独立行政法人水産大学校漁業練習船「耕洋丸」のノモグラム作成に必要な船体諸要素等のデータをご提供頂いた、下川伸也先生にお礼申し上げます。また、平成18年度4年次生、峯拓郎氏にお礼申し上げます。

#### 文 献

- 1) 杉原喜義：日本航海学会論文集34, 31-35(1966).
- 2) 杉原喜義(1967)：理論運用学(船体運動編), 71-119頁, 海文堂, 東京.
- 3) 航海ハンドブック編集委員会編(1981)：新訂航海ハンドブック, 233-235頁, 成山堂書店, 東京.
- 4) 本田啓之輔(1986)：操船通論, 16-39頁, 成山堂書店, 東京.
- 5) 濱口正人：独立行政法人水産大学校漁業練習船「耕洋丸」, 海洋水産エンジニアリング, 74, 22-41(2007).