定置網漁船（19 GT 型）に関する研究

正会員 川 島 敏 彦^{*}
正会員 土 井 康 明^{***}
松 田 英 揮^{****}

正会員 西 本 仁**
正会員 陸 田 秀 実***

Study on a Fixed Net Fishing Vessel (19 GT Type)

by Toshihiko Kawashima, *Member* Hitoshi Nishimoto, *Member*
Yasuaki Doi, *Member* Hidemi Mutsuda, *Member*
Hideki Matsuda, *Member*

Summary

The fixed net fishery is essential, because the quantity of catch is the second in Japan. And it is said that this fishery consumes very little oil and is friendly to the ocean environment. But researching fixed net fishing vessels has not been done at all for a long time. Under these backgrounds, study on a fixed net fishing vessel is carried out. Subjects on a vessel are cleared through field survey, so that hull form, hull construction, the difference of loading conditions and sea speed at between departing from the port and the fixed net and so on. Improving hull form is tried to 19 gross ton type, and the performance is evaluated through a model resistance test in a circulating water channel (cwc). The hull form design for fore body is improved by the use of wave making resistance theory, and one for aft body is enhanced by the use of the Eulerian scheme with the Lagrangian particles. The fixed net fishing vessel is defined as low fuel consumption. But the level of hull resistance is not very good, so the fact is cleared that improving of hull form and decrease speed is necessary for saving energy and for getting up profit. Through present study, the truth is cleared that the cwc experiments are very useful for inducing the projects on developing hull form and there is the difference of view point to cwc experiments on between general merchant ships and special small ships including fishing vessels.

1. 緒言

漁船は漁場へ行き（出港）、魚群をみつけ（探索）、魚をと
り（漁獲）、漁港へ運び（帰港）、市場に水揚げをする。航海の
状態が転々と変わりその様子から「動の漁船」と称されるこ
とがある。利益を追求するあまり、ときに大規模な漁具と漁
業機械を装備し、必然として高い船速が求められ、必要以上
に大きい魚倉も要求され、過剰な主機や補機、航海・音響機
器を装備しなければならない場合もあるといわれる。小型で
総トン数が決められているので、この結果、船型主要目や往
航時のフルード数は船型学の常識の値を超えている。このこ
とを森は船型学の教科書¹⁾で直截に指摘している。

一方、定置網漁船は漁場に固定した網内に入った魚を漁獲する。つまり探索が不要で漁具を搭載しない。漁業機械はウインチとキャッチホーラー（ボールローラーの一種）程度で単

純である。この漁業では網内へ魚群をどのように誘導できるかが最重要で、このために「待ちの漁業」、或いは「静の漁業」とも称され、油を大量に消費せず水産資源や環境にやさしいといわれる。最近の統計²⁾によれば、漁獲量は第1位の大中型旋網(総漁獲量に対する割合は20~25%)に次ぐ第2位(同10~15%)で、生産量からも重要な漁業である。昔より全国各地で営まれ、都会より離れた漁村では就業の受けざらとしても貴重である。そのために漁業技術に関する開発が今日まで精力的に行われ、多くの文献を見いだすことができる。

しかし定置網漁船の文献は主要目と一般配置図を示した井上の教科書³⁾のみで、船型や推進性能などの資料はなく、その実態がどのようになっているのか、「静の漁業」に使われる定置網漁船は動の漁船と同じかどうかなどは不明のままであった。もとより船型改良の事例を見いだすことはできない。このような背景のなかで、筆者らは実態調査を試み船型改良を行う機会を得た。

最初に漁獲の方法に視点をあて漁船の使い方を示す。ついで調査で得た情報より定置網漁船の概要を明らかにする。本研究対象の原型の問題点を示し、造波抵抗理論、最適化手法、数値計算、回流水槽により船型改良を試みる。一方、船速に関する考察を行い「静の定置網漁船」が「動の漁船」と同じかどうかを明らかにする。

- * 水産工学研究所（元職員）
- ** (株)西日本流体技研
- *** 広島大学大学院
- **** ベッセル船舶工業 KK（旧讃岐造船鉄工所）

以上の模索過程で回流水槽の有用性を最認識できた。そこで曳航水槽試験に対しどのような利点があるのかを考察する。ついで回流水槽試験で研究事例のない特殊船を対象とするときと大型の商船を対象とするときの活用法に関する考察を加える。

定置網漁船の航海（以下、運用で表現）は「漁港発→漁場着（定置網場に）→漁獲→漁場発（定置網場から）→水揚漁港着→水揚→帰港」の順で構成される。このうち漁港発は「from port」，漁場発は「from fixed net」で簡単に表現する。座標について船型図面は右を船首に，流体力学の計算では右手系直交座標で，原点を S.S.5 として統一する。写真は右を船首として表示する。

2. 漁船の使われ方

定置網漁業は前浜の漁業とも言われるように近場で行われる。このため漁港から漁場までの距離が短く，漁船の燃料消費の経費に占める割合が少ないというのが定説である。岩手県の北域における定置網漁場と水揚漁港を Fig.1 に示す。定置網漁場は●印で，水揚漁港は黒い矢印である。多くが近場で行われることが特徴で「前浜の漁業」ともいわれる。

Fig.1 Fixed nets & landing ports at the north area of Iwate.

しかし本研究で対象とした定置網漁業を調査すると意外なことが判明した。漁港ではなく専用の船溜を基地とし，そこには番屋があるのみで，ここでは水揚げができず遠方の宮古漁港へ運搬する。番屋と船溜を同図のなかに矢印で示す。本研究で対象とした漁船は岩手県の北域の定置漁業で使われ（同図の○印），水揚げに1時間以上をかけて往航し，翌朝の

漁獲に備えるため速力の最高限界で航行し，前浜の漁業であっても遠場の漁業の性質が内在し，この図より推察されるように同県の北緯 40° 近辺の多くは同じ事情をかかえているらしいことが明らかになった。専門家によると北海道の知床でも同じ事情をかかえ，定置網漁業は全国規模の漁業でこのような漁業環境は他県でも認められるはずである。したがって定置網漁船といえども船型と推進性能の問題は無視できない可能性が高い。そこでこの問題を調べることにした。

Photo1 A model of Fixed net used at Sagami bay at the Kanagawa prefecture fisheries technology center.

Fig.2 Method of catching in fixed net.

神奈川県相模湾で使われている大型の定置網を Photo1 に

示す。水産の専門書では漁場における漁船の使い方の説明を見いだすことはできない。漁船の目的は漁獲でこのために漁獲の方法に関する知見は必須である。

定置網漁船の漁獲の様子を Figs.2, 3, 4 に示す。定置網は多数の鋼索と化繊ロープで固定され、漁船はワイヤーの上をそのまま乗り上げ、箱網（魚を集める部分）内へ進入し（図中 A）、網内で漁獲し（図中 B）、そののち網外に出ていく（図中 C）。乗り上げるときはプロペラを停止し慣性力で入り網内では作動しない。網内では甲板の船側に艀装された複数のキャッチホーラーで網を寄せ、反力で横移動して網をたぐり、タモ網で魚を取り込み、ワイヤーの上を乗り越え水揚漁港に高速で運搬する。

Fig.3 Method of catching in fixed net.

網が汚れると潮流による抵抗が大きくなり形状の維持ができなくなる。ときに網が流される場合もあり、メンテナンスが重要で頻繁に行われ、この作業にも漁船が活用される。網の外側を周りながら作業をするが、ロープの船体とプロペラとのからみを防ぐ工夫が不可欠になる。この様子を Fig.2 に示す。図中の D がメンテナンス中の定置網漁船の使い方の説明である。

A : Move for Catching, B : Slope Net, C : Bay Net

Fig.4 Method of catching in fixed net.

3. 漁船の概要

船体前半に船体のサイズに比べ大きな魚倉を配置し（甲板の全長に対し 60%程度）、船体後半は機関室が大きく占める。両舷は垂直型で、船底は曲りがなく、船側と船底が交差するビルジ部はチェーン型で、船首側にも複数のチェーンが設けられ定置網漁船を特徴づけている。小型漁船に必須である船側の張出しとバルジは付いていない。船首バルブはありなしが混在している。取り付けられている場合はバルブ上面に斜め上方に取り付けられたパイプで網とロープのひっかかりを防ぐ工夫をしている。

Fig.5 General arrangement of present prototype of fixed net fishing vessel (19GT).

軽装備の漁労機械のため配管類は単純で、日帰りのピストン操業のため船内構造は複雑でない。補機はなく軸前駆動方式により主機関を併用する。船体の材質は多くが FRP で、一部に AL が採用されている。推進器は 3 翼が多く、舵は多くが単板舵で一部に高揚力型の舵が装備されている場合も

ある。艀装品は作業用のクレーン、キャッチホーラーだけで、甲板が作業場となるので面積の確保が重要である。このようにシンプルな漁船で、同じ19GT型でも小型サンマ漁船⁵⁾と正反対の特徴にある。しかし主機関は強力で最大容量735～809 kW (1000～1200 PS) が搭載されている。

Photo2 Present prototype of fixed net fishing vessel at Iwate prefecture (19GT).

Photo3 Fixed net fishing vessel at Iwate prefecture (19GT).

Photo4 Fixed net fishing vessel at Nemuro (19GT).

Photo5 Fixed net fishing vessel at Nanao (19GT).

船型改良の原型として岩手県の北域で使われている19GT型を採用した。一般配置図をFig.5に、出港時の写真をPhoto2に示す。運用に関し漁港発と漁場発で喫水に大きな差があり、速力は漁港発で14 kt、漁場発で12 ktである。僚船の上

架時の写真をPhoto3に示す。本研究対象の漁業組合は2カ統(網数)を有し、19GT型3隻、作業艇1隻で構成している。主力の漁獲物はサケで(90%)、他はサバなどの青ものである。

各地の漁船を調査した。船のサイズは10～19GTの小型で、2～4隻の構成が多い。北海道や東北ではサケを主対象とし、日本海ではブリが主になり、魚の習性などの漁業条件により網の構造、規模が異なり、運用方法も異なるが、漁船の基本特徴は変わらない。北海道と日本海の漁船をPhotos 4, 5に示す。

4. 原型の問題点

ランキンソース法で圧力を調べた。漁場発の船速12 kt ($Fn_{LWL}=0.41$) の造波抵抗成分をガース方向に積分した結果をFig.6に示す。横軸はS.S.5を原点に $1/2L_{pp}$ で無次元化している。

Fig.6 Component of wave making resistance of present fixed net vessel.

Fig.7 Component of wave making resistance of small saury fishing vessel.

比較のために小型サンマ漁船⁵⁾の例 ($V_s=11\text{kt}$, $Fn_{LWL}=0.39$) を Fig.7 に示す. 両者とも船首で抵抗を受け, 船体後半では圧力の回復が認められない. 「動の漁船」も「静の漁船」も典型的な箱船である.

Table1 Conditions under from port & from fixed net.

Dimension	from port	from fixed net
∇ (m ³)	75.9	99.1
dm (m)	0.85	1.10
df (m)	0.50	1.00
da (m)	1.20	1.20
trim (m)	0.70	0.20
Lcb(m)	2.30 aft	1.09 aft
∇/L_{WL}^3	5.8×10^{-3}	7.6×10^{-3}
TKM(m)	3.34	2.83
V_s (kt)	14	12
Fn_{LWL}	0.474	0.406

Photo 6 Wave of prototype (from port).

回流水槽で模型試験を実施した. 漁港発と漁場発の状態を Table1 に示す. 垂線間長 $L_{pp}=21.5\text{m}$, 登録幅 $B_f=5.0\text{m}$ である. 漁場発になると魚倉に収納した漁獲物により船首喫水が深く, 排水量長比が大きく, 横メタセンタ高さ TKM は低下する. 通常, 漁船の試験では長さ 1.5 m の模型を用いるが, 定置網漁船ではラストハンプを含む流速で実験を必要とするので水槽の性能上 1.0m 長 (測度長相当, 実船の 1/20) の模型を用いた. フルード数は漁港発で $Fn_{LWL}=0.47$, 漁場発で $Fn_{LWL}=0.41$ である. 漁港発と漁場発の波の様子を Photos 6,7 に示す.

模型の排水重量は漁港発で 9.5kg, 漁場発で 12.4kg で微少である. 漁船の船型改良では推定精度よりも問題点の抽出と対策を見いだすことが最優先される. 小型模型による船型改良の事例はあまり見受けられないので, 以上の観点から難しい実験を試みた. 第二筆者の経験によれば大型商船を対象と

する場合は長さ 2m の模型 (排水重量 54kg~70kg)⁴⁾で, 回流水槽の試験でも模型のサイズが異なる.

Photo 7 Wave of prototype (from fixed net).

Fig.8 Results of resistance tests in circulating water channel.

抵抗試験結果に対し摩擦抵抗は Schöenherr の式を用い, 三次元外挿法で形状影響係数 K と造波抵抗係数 r_w を求めた. 大型模型による曳航水槽試験結果に相当する修正が望ましいが, 本研究で対象とした類似船型の曳航水槽のデータを保有していないので修正していない. 定量的な精度は劣るが, 漁港発と漁場発との比較, 原型と改良型との比較はできるものと判断した. K と r_w を Fig.8 に示す. ラストハンプに到達しないが, 造波抵抗の急増するフルード数で使われている.

BHP の推定では, プロペラ単独効率 η_p は艀装されている要目の性能を用いた. 船殻効率 η_H とプロペラ効率比 η_R は船尾形状が極端なバトック形状のため船体とプロペラとの

相互干渉は不要と考え 1.0 とした. この結果を Fig.9 に示す.
 原型は漁港発 14kt で 1190kW, 漁場発 12kt で 1002kW である.
 「静の漁船」であるにもかかわらず「動の小型サンマ漁船」⁵⁾と同レベルの馬力で使われている.

Fig.9 Estimated BHP.

原型の漁港発と漁場発の姿勢変化を Fig.10 に示す. 表示は荻原らによる方法⁶⁾にしたがった. ただし同文献では波数 ($K_0=g/U^2$) で無次元化しているが, ここでは L_{pp} によった. Sinkage σ はプラスが沈下である. trim τ はプラスが船首トリムである. 沈下は漁場発が顕著である. これに対し漁港発は全 Fn 数で小さい. トリムは漁場発の設計点で船首トリムである. 漁港発では全域で船尾トリムになる. 同図の●点 (矢印付き) が設計点で, Photos 6,7 と対応している. BHP は同船速で漁港発よりも漁場発が大きく, 漁獲後の水揚げまでの航行距離も長いので船型改良は漁場発条件で実施した.

Fig.10 Results of sinkage & trim.

5. 問題点と対策

文献のない定置網漁船に対し, 学際的アプローチを主眼とした予備検討を試み以下の要点を得た.

- 1) 定置網漁船の運用, 漁獲の方法, 船型と一般配置の概要について, 各地の調査を加えて本研究の重要性を明らかにした.
- 2) 本研究における原型の推進性能を調べた. この結果, 漁場発における船型改良が不可欠な課題である.
- 3) ラストハンプ近傍のフルード数で運用している. 前浜の漁業の認識により永く船型改良のみならず船速低減の重要性も知られないままできた.
- 4) 本研究は東日本大震災の復興事業の一環として行い, 緊急性のために 1 年で結果をださなければならない条件が課せられ, 研究予算は小型模型 2 隻 (原型と改良型) に限られた.
- 5) 調査で接した多くの漁業者から船型改良の重要性が認知されず, 船型の抜本的な改良を試みても成果の普及が期待できない状況にあった.
- 6) 回流水槽による小型模型試験を活用し, 共著者による各種の船型改良手法を活用して船型改良を試みることにした. この結果, 局所的な改良であっても大きな効果が得られるらしいこと, 船速低減により船型改良に相当する効果の得られる可能性のあることが判明した.
- 7) 小型であっても原型の模型試験で回流水槽のポテンシャルの高いことを認め, 定量的な精度を求める大型商船の開発と本研究のような特殊船との使い方に視点が異なることが明らかになった.
- 8) 以上の要点をもとに船型改良 (6 章), 船速に関する考察 (7 章), 回流水槽の活用に関する考察 (8 章) を行った.

6. 船型改良

6.1 造波抵抗理論と最適化手法の適用

船型改良のために造波抵抗理論と最適化手法 (非線型計画法) を開発し, 造波抵抗を評価関数として制約条件に付加容積一定条件を課して横断面積曲線を最適化する方法を適用した. 非線型計画法には Broyden family に基づく準ニュートン法を用いた. 詳細を小型サンマ漁船の開発⁵⁾で示しているのでここでは省く. 原型の計算結果を Fig. 11 に示す. 丸印は模型試験の結果で, 点線は横断面積曲線に重み $\alpha(x)$ で修正して一致させた結果である. 設計点は $Fn_{LWL}=0.41$ で $0.40 < Fn_{LWL} < 0.50$ の実験値を用いて同化した.

改良の力所を S.S.6 より前方の船体前半とし、排水量は不変として Opt-1 はバルブを原型より 0.3m 伸ばし、S.S.7~9 を大きく削り、船首部の横断面積を大きくした条件、Opt-2 は Opt-1 と原型との中間の条件とした。最適化で得た C_p の変化量 ΔC_p を Fig.12 に、造波抵抗を Fig.11 に示す。

Opt-3 は Opt-2 に対し船首バルブを JCI ルール（船首バルブの長さは測度甲板先端より 1m 以内）を無視し意図的に伸ばして長さ 1.14m とした。 $Fn_{LWL}=0.41$ の比較では、Opt-1 は 52%，Opt-2 は 40% の減少となる。Opt-1 は魚倉を減らす変形であるので制約を伴い、指針として Opt-2 を採用した。Opt-3 は 43% 減で Opt-2 と同オーダーである。船首バルブを伸ばしても必ずしも造波干渉が得られるわけではない。

Fig.11 Comparison of wave making resistance.

 Fig.12 Comparison of ΔC_p distribution.

造波抵抗理論の適用について、横断面積曲線に重み $\alpha(x)$ を課し実験値で修正していること、特異点の修正関数でもある $\alpha(x)$ が船尾の造波干渉を制限していること、造波抵抗成分の分布 (Fig.6) では船首で造波抵抗が形成され、船尾の圧力回復がないなどの理由で造波抵抗理論、ランキンソース法で対処できる可能性が高い。この考察は小型サンマ漁船⁵⁾で示しているのでここでは省くが、重要な課題なので機をみて追究したい。

6.2 数値計算の適用

陸田の格子粒子ハイブリッド差分法⁷⁾を適用し、船尾形状の改良を試みた。船体後半の改良において、機関室のある後半部の変更を加えると一般配置の抜本的な検討を要し大がかりになる。漁業の方法と作業性の確保より甲板面積を縮小できない。そこで船尾の水面近傍に限る改良とした。原型では船尾の張出しは舵機室で、他に燃料タンクと道具類の置き場に使用されているだけなので小さい改良は問題を伴わない。船体後半の抜本的な改良はより難しく、この事情は小型サンマ漁船の開発⁵⁾でも同じであった。

Fig.13 Comparison of improved aft parts.

Fig.14 Effect due to improve aft part.

最初に S.S.1/2 より後方の横幅を垂直方向にカットした条件で後端の幅を系統的に変えて抵抗の変化を調べ、剥離のないことを前提に船尾端の横幅を原型の 80% とした (Stern-1)。つぎに Stern-1 の船尾端没水量 20% を基準に Stern-2 は 10% に、Stern-3 は 15% にして、その効果を調べた。変形図を Fig.13 に、全抵抗の減少量を Fig.14 に示す。Stern-2 で 25% の減少となった。目的が原型に対する効果量の比較のた

め抵抗分離の処理は行っていない。計算条件はレイノルズ数 $Re=1 \times 10^5$ ，フルード数 $Fn_{LWL}=0.41$ とした。

船尾端周りの流速場（船体中央付近および水面下の断面図）について，原型と Stern-2 を Fig.15 に示す。原型では船尾隅角部およびその後流において低速の淀み域が形成されている。一方，Stern-2 では船尾後流の低速域が抑制され，船尾後流域の圧力勾配が小さくなり抵抗低減につながったと考えられる。船尾の自由表面影響について顕著な差を見いだすことができなかった。機をみて検討したい。

Fig.15 Comparison of velocity of aft parts.

6.3 回流水槽の適用

船体前半は Opt-2 を船尾端は Stern-2 をベースに実用性の担保を最優先して改良船型を設計した。原型と改良型の主要目を Table 2 に示す。 L_{WL}/B_R ， B_R/d_{RM} ， C_b ， ∇/L_{WL}^3 は変らない。バルブの長さが長くなり， l_{cb} が少し前になる程度の違いである。最適な要目ではないが，これで成果を得ることができればそれも一指針である。

改良船型の波流れを Photos 8, 9 に示す。原型 (Photos 6, 7) と比べ漁港発では船首より S.S.8 の領域で造波が減少している。漁場発では船首端の波崩れはなくなっていないが，原型と比べ小さい。船尾後方では水面の乱れが小さくなり船尾後端の局所改良の効果が得られていると考えられる。

抵抗試験を行った。原型と改良型を比較して Fig.8 に示す。 K は原型が 0.66，改良型が 0.30 で 54%減少， r_w は設計フルード数 0.41 で原型が 45.5×10^{-3} ，改良型が 41.5×10^{-3} で 9%減少である。全体前半と船尾端の局所改良であっても大幅な効果の得られることが判明した。BHP は 12kt で 22%の減少となった (Fig.9)。以上は漁場発での船型改良の効果であるが，漁港発の条件で確認した。漁港発 14kt で 16%減少となった。

Table 2 Main dimensions of prototype & improved type.

Dimension	prototype	improved
$L_{oa}(m)$	25.35	25.35
$L_{pp}(m)$	21.50	21.50
$L_{WL}(m)$	23.50	23.50
$B_R(m)$	5.00	5.00
$d_{RM}(m)$	1.30	1.30
$L_{bulb}(m)$	0.60 (2.8% L_{pp})	1.00 (4.6% L_{pp})
$L_{stern-end}(m)$	2.0 (9.3% L_{pp})	2.0 (9.3% L_{pp})
$d_{stern-end}(m)$	0.50	0.50
$\nabla(m^3)$	120	117
L_{WL}/B_R	4.7	4.7
B_R/d_{RM}	3.8	3.8
$C_b (\nabla/L_{WL}B_Rd_m)$	0.79	0.77
∇/L_{WL}^3	9.2×10^{-3}	9.0×10^{-3}
$L_{cb}(m)$	0.84 (3.9% L_{ppaft})	0.60 (2.8% L_{ppaft})
$TKM(m)$	2.6 (51% B_R)	2.5 (49% B_R)
Propeller	$D_p=1.4m/Z=4/FPP$	$D_p=1.4m/Z=4/FPP$
Rudder	Flap-type	Flap-type
Main engine/rpm	809kW/559rpm	809kW/559rpm

Photo 8 Wave of improved hull (from port).

Photo 9 Wave of improved hull (from fixed net).

TKM は原型と同程度で復原性に問題を伴わず，定置網漁船に必須の甲板面積と側面と底面の直面積も原型と同じである。船体前半の魚倉の形が少し変わるが，本質的な問題は伴わない。そのほかの基本要素も原型と同等で，実用性は満たされていると判断する。

7. 船速に関する考察

定置網漁船の船速低減による削減効果を考える。模型試験結果より漁港発と漁場発で意識減速をしたときの馬力の減少率を Table 3 に示す。原型について漁港発 0.5kt 減速で 11%、1.0kt 減速で 21%、漁場発では 0.5kt 減速で 14%、1.0kt 減速で 27% の効果が得られる。船型改良では漁港発で 16%、漁場発で 22% であるから、船型改良と同オーダーの効果が得られ、意識的減速の効果は無視できない。それは両方を総合すれば燃料消費を半減できる可能性を意味する。

Table3 Effects due to improving hull & decreasing of sea speed.

Condition	Vs	Prototype	Effect due to improving	Effect of prototype due to -0.5 kt	Effect of prototype due to -1.0 kt
from port	14kt	1190 kW	1003 kW -16 %	1062 kW -11%	940kW -21%
from fixed net	12kt	1002 kW	777 kW -22 %	859 kW -14%	729kW -27%

Photo10 A small saury fishing vessel at Kushiro (19GT, F).

Photo11 A small squid fishing vessel at Kottoi (19GT, H).

ついで他種の小型漁船と比較しこれより定置網漁船の船速低減の重要性を考察した。小型サンマ漁船（19GT, F）⁵⁾、小型イカ漁船（19GT, H）⁸⁾、小型兼業漁船（10GT, K）⁸⁾を Photos10～12 に示す。以上の小型漁船に対し本研究で現地調査を試み、船型だけでなく運用時の船速、喫水条件を調べ、模型試験により減速による BHP 削減効果を推定する機会を得た。この結果を Fig.16 に示す。黒色が 1.0kt 減速、灰色が 0.5kt 減速の効果である。本研究対象の定置網漁船

(Photo2) は、漁港発が L_{port} 、漁場発が L_{fn} である。

Photo12 A coastal small fishing boat at Kuji (10GT, K).

Fig.16 Effect due to speed reduction.

評価対象の船速は調査の結果を基本にしたが、主機容量の限界で使われている現実的でない例があり、模型試験による推定値より 3/4 出力近傍の値とした。各々の船速は F (11kt)、H (15.7kt)、K (10.5kt)、 L_{port} (14kt)、 L_{fn} (12kt) である。同図で H と K は喫水が浅く、ラストハンプ近傍で航行するタイプで、F と L_{port} 、 L_{fn} よりも効果が小さい。この表示では抵抗係数の変化が大きいときは減速効果が強調され、長さが同じであれば排水量型も喫水の浅い高速型でもフルード数の変化は同じになる。排水量型の F と L_{fn} はラストハンプ前で抵抗の変化が大きく、喫水の浅い H、K、 L_{port} はラストハンプ近傍で抵抗のフルード数に対する変化が小さく、以上のように一律な評価は難しい。しかし船頭、経営者に無次元量は通用せず、意識減速の採算性に及ぼす効果は有次元量でないと伝わらない事情を背景にしている。

定置網漁船は小型サンマ漁船（19GT）と同オーダーである。静の漁船であるにもかかわらず推進性能と運用方法に問題のあることを示唆している。サンマ漁船は船速の追求だけでなく過大な魚倉や過剰な漁労機械を装備するため小型漁船のなかでも燃料消費が多いが、定置網漁船も卓越する。多くの漁船は他船との競合のため高速でなければ有利な漁獲ができず高い価格での水揚げも難しくなり、船頭が減速の重要性を理解できても実行の難しい事情をかかえている。

しかし定置網漁業では船速の見直しの可能性は高いはずである。なぜなら一つの定置網に一つの経営体が業を営む形態であるため、船速や漁獲能力などの諸要因を考慮することなく経営体毎の漁業環境に応じた適正船速を追求できる可能性が大きいと考えられるからである。

東北、北海道、北陸、九州の定置網漁船の調査の結果（Photos 2～5）より、主要目や形状の細部を除き基本は共通する。10GTクラスも多く存在するが、19GT型と共通し本成果の適用性は高いと考える。調査で共通していたことは「魚倉を満杯にすることは少ない」という意見であった。であれば意図的に魚倉の容積を小さくし、減らした分を他に流用すればいい。高抵抗の原因は船体前半にあり魚倉を工夫すればこの問題は解消できる。

ただし漁船として成立するために造船所だけでなく漁具メーカーや漁業者の知見を総合した学際的な取り組みが必要である。定置網を乗り越える方式ではなく（Fig.3）、工学のセンスを活かし機械的な工夫、例えば漁網内外へ自由に行き来のできる開閉式の機械装置を発明・導入すれば、網索の軽減化ができ切断事故もなくなり、漁船の形状も抜本的に変えることができる。すなわち学際的アプローチによれば漁法技術と漁船技術を総合的に開発できるはずであるが如何なものであろうか。

8. 回流水槽の活用に関する考察

8.1 利点

本研究の緊急性より問題の有無と解決策を得ることを優先し（5章）、商船を対象とするときに要求される計測精度や実船性能の推定精度の推定は二の次とした。特殊船の漁船は参考にできる文献が皆無にひとしく、船型のみならず船内配置、漁法、喫水と船速はどうかなどの調査が必須で、漁獲を目的とするから漁法を含めた学際的アプローチ⁸⁾が不可欠であった。

船体まわりの造波の観察から船型形状の問題点が把握できるが、それ以外に船首バルブと船尾端の没水深度がどのように変わるのかなどの姿勢変化を考慮した適正化を考える、

粘土をつけ局所的に形状を変更しその効果を確認するなどを実行し、これより得た情報を船型学の手法に手渡すことに専念し、このような利点をより活かすことができた。回流水槽により船型上の問題点を把握し対策の課題を設定する。この指針で船型学手法を先導し、船型改良の骨子を決め、改良船型を具体化し、回流水槽試験で検証を行う手順を採用した。以上の過程を Fig.17 にフローチャートで示す。同図は回流水槽試験による情報でもって各種の船型改良手法を先導でき、プロジェクトが効率よく進んだことを示している。

Fig.17 Flow chart for improving hull form of fishing vessel.

回流水槽試験にどのような利点があるのかについて総括をした文献をみないので考察した。高髙先生・小倉先生^{9), 10)}は「実験が手軽である、コストをおさえられる、流れの観察が容易である、無限の計測時間を活用できる、技術開発が短時間になる」などを指摘された。

より高次の捉え方として、山名先生・中口先生¹¹⁾は飛行機設計における現象の理解の重要性を指摘され、大型の風洞試験の必要性とは別に、最初に形を考えてゆくときが大切であるとし、この時期に考えの進展を助けるための方法として小型の回流水槽の有用性を強調された。別所先生¹²⁾は回流水槽の便利さを指摘され、そのうえで理論研究の組立ての中で触媒としての回流水槽試験の役割の重要性を強調された。二つの引用に共通することは、回流水槽が思考を進める手段として有用であるということではないだろうか。

一方、回流水槽試験の基本特徴のクローズアップを試み、船型改良における大型模型を用いた曳航水槽試験と比較し

た. この結果を Table 4 に示す. 模型船長さは回流水槽が 2 m, 曳航水槽が 6~7 m で, 実際に要する開発日数, コストを比べ, そのほかに試験の精度と試験から得られる情報の高低を加えた. これは実船の馬力推定を目的とする例で, 模型試験の目的により評価が異なるが, 各々に利点があり各々をどのように位置づけて活用するのが大切であるということと理解する.

Table 4 Characteristic of CWC & TT experiments.

Experiments	CWC	TT
Model size (L_{pp})	2 m	6~7 m
Displacement (∇)	0.054~0.070 m ³	0.85~2.90 m ³
Period*	more than 20 days	more than 40 days
① Cost	¥1.8~millions	¥5.5~millions
② Level of precision	○, △	◎
③ Days	○	△
④ Cost	◎	△
⑤ Information for improving	◎	○

Note : * model test & hull form improvement (included model manufacturing)

◎ : superior, ○ : excellent, △ : middle

8.2 特殊船への適用

本研究により回流水槽試験においても対象が商船と特殊船では視点が異なることが明らかになった. 具体的な比較を Table 5 に示す. 模型サイズ, 開発日数, コストのうち日数へのぞき商船が特殊船より大がかりになる. 試験項目が商船は抵抗試験, 自航試験, 操縦性試験, 流れの可視化試験が主であるが, 特殊船では抵抗試験と可視化が重要になる. なぜなら商船では実船性能の推定が中心になるのに対し, 特殊船は船型の問題点の抽出とその対策をみいだすことが重要になるからである. なお最近, 筆者らは文献⁴⁾で商船を主対象に 2m 模型でも 6~7m 模型の曳航水槽試験の精度レベルに修正できる方法を提案している.

商船の船型と性能は最適に近い状態にある. しかし特殊船は最適からはずれ, 本研究のように何ら開発のされなかった場合もある. 開発手法も異なり, 商船では数値計算による検討が先行し, ときに回流水槽試験はその結果の確認の場合もある. これには商船の開発グループの多くが中手企業であり, 技術力と人材に富んでいることも関係する. しかし特殊船はその逆である. 特殊船はフルード数が高く, 開発の予算の制約もあり, 漁船では漁法技術を含む学際的な独自のアプローチが必要になる.

以上を総括すると, 回流水槽による船型開発においても商船と特殊船とは使い方が異なり, その利用法を大局的に捉える必要がある. 簡便性, 低コスト性, 流れの観察の容易性,

計測時間の無限性, 技術開発の短縮性といった特徴は「クイックリスポンス性」でまとめられる. なぜなら回流水槽ではフットワークに富む使い方が可能で, それ故にここにあげた利点が誘起されるからである. 考えの進展を助ける手段のような高い次元の捉え方は必須であるが, 特殊船を対象とするときこのクイックリスポンス性をより意識して活用しなければならないであろう.

Table 5 Characteristic in developing merchant ships & special ships by using CWC.

Experiment	Merchant Ships	Special Ships
Item	Bulk carriers, Containers, Gas carriers, Tankers, Ferries, Ro/Ro Ships, etc.	Fishing vessels, Work ships, High speed boats, etc.
Used models	Prototype: 1, Improving: 2~3	Prototype: 1, Improving: 1~2
Model size (L_{pp})	2 m	1~1.5 m
Period for developing	30~60 days	30~45 days
Cost for developing	¥2~4 millions	¥1.5~2.5 millions
Subjects on developing	Hull, Rudder, Propeller & Stern appendages etc.	Hull, Hull appendage etc.
Ship condition	$10^8 < Re < 10^9$, $Fn < 0.40$	$Re < 10^8$
CWC experiments	Resistance, self-propulsion & maneuverability tests, flow visualization, etc.	Resistance test, flow visualization
Subjects	Evaluation of ship performances & Scale effect	Evaluation for improving & Scale effect
Method of developing	Doing by CFD & Checking by CWC	Investigating for problem & solution
Cooperative company	Middle & Small company	Small company
Shipbuilding company	Superior on budget & man-power	Poor on budget & man-power
Level of technology	High technology	Non-high technology

9. 結 言

定置網漁船（19 GT 型）の船型改良を試み以下を得た.

- 1) 定置網漁船の船型には漁法の要素が顕著に反映している.
- 2) 漁船に関する研究では漁法を考慮したアプローチをしなければならない.
- 3) 永く不明のままであった定置網漁船の使われ方, 船型, 一般配置, 推進性能を明らかにした.
- 4) 定置網漁業は環境に優しいといわれるが, 漁船は省エネ型ではない. 船型, 推進性能, 運用に関する問題が残され抜本的な解決を図る必要がある.
- 5) 「動の漁船」の代表である小型サンマ漁船に関する研究の総括は採算性の向上を図るべく漁獲能力を追究するあまり, その結果として採算性を妨げてきたことであった. それは近代化に取り残されてきたことを意味するが, 「静の漁船」の定置網漁船でも共通する.
- 6) 造波抵抗理論, 最適化手法, 数値計算, 回流水槽を活用

して船型改良を試みた。漁場発において局所的な改良を前提に改良した。この結果、 K は 54% の減少、 r_w は 9% の減少、BHP は 22% の減少を得た。

- 7) 本研究で活用した手法はいずれも推進性能の劣る漁船に有効である。長さ 1m の小型模型も活用できる。回流水槽は各種の船型改良手法を先導でき有効である。
- 8) 本研究のような局所的な船型改良でなく、抜本的な開発を行うには学際的アプローチによる追究が必要である。
- 9) 意識減速の馬力削減に及ぼす効果が大きく、船速に対する科学的な追究が必要である。定置網漁業では経営体毎の漁業環境を考慮した適正船速の実現の可能性が高い。
- 10) 特殊船の開発における回流水槽試験の活用法を考察した。問題点と対策を得ることを優先しなければならず、推定精度を必要とする商船とは異なる。クイックリスポンス性で総括できる利点を活用しなければならない。

謝 辞

神奈川県水産技術センターの山本章太郎元場長（現同県庁）より定置網漁業に関するご助言をいただき、岩手県小浜漁協の金澤良彦元参事、三浦文一筆頭理事より現地情報をお教えいただいた。定置網漁船の資料の入手に関し株式会社平山造船所の平山勝弘会長よりお世話をいただいた。本事業の研究総括をされた元中央水産研究所長の中添純一博士より有益なご助言をいただいた。回流水槽のクイックリスポンス性の用語は東大名誉教授の梶谷 尚先生のご助言による。皆様にお礼を申し上げます。本研究は農林水産省技術会議事務局による「食料生産地域再生のための先端技術展開事業」で行った（本研究は 2016 年度に実施）。

参 考 文 献

- 1) Mori, M. : The Design of Ship Hull Form : Ship Technology, pp.305-308,1997 (in Japanese).
森 正彦 : 船型設計,船舶技術協会,pp.305-308,1997.
- 2) Fisheries Agency : Report on Fisheries Quantity of Catching, No.71,2018 (in Japanese).
水産庁 : 漁船統計表, No.71,2018.
- 3) Inoue, Y. : Text on Technology of Set Net Fisheries, Nishiyama,S.(Editor), -Chapter 5- Fishing Boats and Fisheries Gear of Set Net Fishing, KK North Ocean Center, pp.377-384, 2002 (in Japanese).
井上喜洋 : 定置網技術総覧,西山作蔵（監修）, -5 章一定置網に使用される船舶と漁労装置類, KK 北日本海洋センター,

pp.377-384,2002.

- 4) Nishimoto,H., Kawashima,T., and Doi,Y. : A Study Analysis Method of Resistance Test by using Circulating Water Channel, Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers, Vol.30, pp.27-38, 2019 (in Japanese).
西本 仁,川島敏彦,土井康明 : 回流水槽による抵抗試験の解析法に関する研究,日本船舶海洋工学会論文集, Vol.30, pp.27-38, 2019.
- 5) Kawashima, T.,Nishimoto, H., Doi,Y., Mutsuda, H., and Matsuda, H. : Development of an Small Saury Fishing Vessel (19 GT Type), Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers, Vol.31, pp.1-14, 2020(in Japanese).
川島敏彦,西本 仁,土井康明,陸田秀実,松田英揮 : 小型サンマ漁船(19 GT Type)の開発,日本船舶海洋工学会論文集, Vol.31, pp.1-14,2020.
- 6) Ogiwara,S.,Namimatsu,M.,Tanaaka,H.,Hinatsu,M., and Kajitani,H. : An Evaluation of resistance Components on Wigley Geosim Models 4. On the Sinkage and Trim of Steady Advancing Models,Journal of the Kansai Society of Naval Architects, Japan, No19,pp.65-75,1985 (in Japanese).
荻原誠功,並松正明,田中 拓,日夏宗彦,梶谷 尚 : Wigley 相似模型の水槽試験結果の評価 4.走行時における船体の姿勢について,西部造船会々報,第 197 号, pp.65-75,1985.
- 7) Baso,S.,Mutsuda,H.,Kurihara,T.,Kurokawa,T., and Doi,Y. : An Eulerian Scheme with Lagrangian Particle for Evaluation of Seakeeping Performance of Ship in Nonlinear Wave, Jiangang SHI International Journal of Offshore and Polar Engineering, Vol.21,No.2,pp.103-110,2011.
- 8) Kawashima,T., and Nishimoto,H. : Design of Fishing Vessels -Hull Form and Propulsive Performances-,Bulletin of the Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers,No.63, pp.16-22, 2015 (in Japanese).
川島敏彦, 西本 仁 : 漁船特集 船型と推進性能,日本船舶海洋工学会誌, No.63, pp.16-22, 2015.
- 9) Takahei,T., and Ogura, M. : The Application of Circulating Water Channel, Japan Ship Performance Committee, Development of Hull Form and Test Tanks,pp.241-262,1983 (in Japanese).
高幣哲夫,小倉理一:第 3 章 回流水槽の活用,日本造船学会推進性能研究委員会, 船型開発と試験水槽シンポジウムテキスト, pp.241-262, 1983.
- 10) Ogura, M. : Chapter 3 Performances of Circulating Water Channel,Circulating Water Channel Group,CCG Symposium Test,pp.15-38,1985 (in Japanese).

小倉理一：第3章 回流水槽の性能,回流水槽懇談会回流水槽セミナー回流水槽の実験技術と利用—シンポジウムテキスト,pp.15-38,1985.

11) Yamana,M., and Nakaguchi, H. : The Design of Airplane, -Chapter 13- Design and Experiment,Yokendo,pp.472-479,1968 (in Japanese).

山名正夫,中口 博：飛行機設計論,－13 章－設計と実験,養

賢堂,pp.472-479,1968.

12) Bessho, M. : Remember on the Circulating Water Channel, Circulating Water Channel Group,100th Memorial CCG Symposium Test,pp.17-19,1992 (in Japanese).

別所正利：回想の回流水槽,回流水槽懇談会,回流水槽懇談会のあゆみ,第100回記念シンポジウムテキスト, pp.17-19, 1992.