

トロール船の曳網中における船体運動と ワープ張力との関係について

西ノ首 英之・兼原 寿生・矢田 殖朗

On the Interrelation between the Ship's Motions and Warp Tension in Trawl Fishing

Hideyuki NISHINOKUBI, Hisao KANEHARA
and Shigeaki YADA

This study has been made on the interrelation between the ship's motions and warp tension, and discussed on the basis of an experimental study of a full-scale ship during fishing operations. The field measurement was conducted on a 600 GT fishery training ship from 10th to 25th of December, 1980. In the experiment, recording of warp tension and the ship's motions was made on the data recorder (KYOWA, RTP-501AL). To the analysis of these recorded data, the statistical method was applied. The several results obtained have been as follows:

- 1) The amplitudes of warp tension and the ship's motions were to the Gaussian distribution. Moreover, the maxima of warp tension and the ship's motions were distributed according to Rayleigh's distribution functions.
- 2) The frequency response functions of warp tension to the ship's motions were estimated by the cross spectrum method.

緒 言

漁船は荒天中においても漁撈のための操業を実施する事が多い。従って、操業中は大きな漁具によって漁船の運動が制約されている。漁船の海洋波中における運動が一般船舶と区別して論じられねばならない点は、一般船舶に要求される耐航性に加え、「漁船が広義の漁具であり、その漁法上の安全な作業性」とでもいべき点にあると言える。

漁撈における漁船および漁具の問題については多くの研究がある。しかし、これらの研究では両者を別個に取り扱ったものが多い。両者の力学的相互関係についての研究は少なく、天下井(1, 2)、川島(3)および Jr. H. Vermer (4) らによる研究がなされているに過ぎない。

各国の200海里専管水域が設定され、限られた海域、

期間、操業種類および魚種等の制限規則と、また近年の漁船の大型化とともに、操業は荒天時においても常時行なわれるようになってきた。このような状況下で、船体運動と漁具との動力学的相関関係を十分明らかにする事は安全な操業を確保する漁法上からも、また漁具資材論的観点からも重要なことである。そこで、本研究ではトロール船の曳網中のワープ張力と船体運動とを同時に計測し、両者の力学的相関関係とワープ張力の統計的特性について検討し、若干の知見が得られたので報告する。

本論に先だち、実験にお協力いただいた長崎丸の乗組員諸氏に深く感謝する。

実験方法および資料

実験は本学漁業練習船長崎丸 (586.83 GT, Lpp=

43.60m, B=8.80m, D=6.20m) により1980年12月10日～25日の間, 東海漁場におけるトロール操業実習中に行なった. 測定項目は, 船体運動については横揺れ, 縦揺れ角度および上下動加速度の三運動, ワーブ張力は左右舷共に TLST-3型 トップローラ組込み式の TM-1 型張力計 (ニチモウ株式会社製) により測定した. また船体中央舷側の相対波高を圧力変換器により測定し, 合計6要素を7チャンネルデータレコーダ (共和電業製, RTP-501AL) に一実験10分間同時記録した. 磁気テープに記録されたアナログデータのA/D変換およびその時系列データの解析は漁具性能自動計測装置 (アイ電子測器製) により行なった.

結果および考察

読み取り間隔1.0秒, 一実験のデータ数384個の時系列データはラグ数30としたスペクトル解析, ワーブ張力と船体運動との動力学的相互関係の応答関数解析および振幅極値の統計計算を行なった.

1. ワーブ張力の短期特性

波高や船体運動のような不規則振動現象の連続記録から, 一定時間間隔に標準化された時系列データの確率分布はガウス分布をする事がよく知られている(5, 6). また, これら不規則現象の極値の短期分布はレイレイ分布で表わされることも知られている(7, 8, 9). 本実験における船体運動および相対波高もそれぞれガウス分布およびレイレイ分布で表わされた. ワーブ張力変動についても, 天下井(1, 2)によってガウス分布およびレイレイ分布に適合する事が示された. そこで, 本実験で得られたワーブ張力データについて, 同様の短期特性の検討を行なった結果, Following sea および Quartering sea の場合を Figs. 1, 2 に示した通り振幅の分布はガウス分布である事が分る. また, 極値の分布についても Figs. 3, 4 よりレイレイ分布で示され, 天下井の結果と同様であった. さらに極値の期待値 (\bar{H} , RMS, 1/3最大平均値, 1/10最大平均値) は標準偏差から推定される事も Longuet-Higgins (7) によって明らかにされている. 本実験のワーブ張力についても Fig. 5 に示される通り, 標準偏差と極値の各期待値との関係を最小二乗法により回帰係数として求めたところ, Longuet-Higgins の示した値と等しい結果が得られた. これらの事から, ワーブ張力変動についても, 波高および船体運動と同様, 不規則振動現象としての取り扱い解析が有効であると考えられる.

2. 両舷のローブ張力の関係

両舷におけるワーブ張力の力学的相関を検討するた

め, 右舷側ワーブ張力を入力とし, 左舷側ワーブ張力をその出力とする周波数応答関数解析を行なった.

Following sea における海況が6, 5および3の場

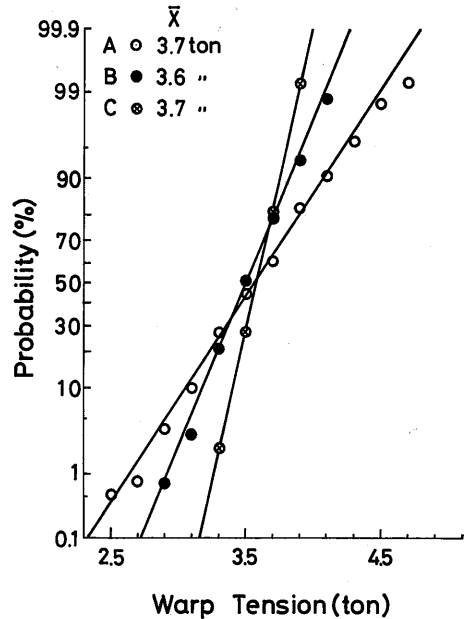


Fig. 1. Statistical distribution of warp tension at following sea. (A) sea state 6, (B) sea state 5, (C) sea state 3.

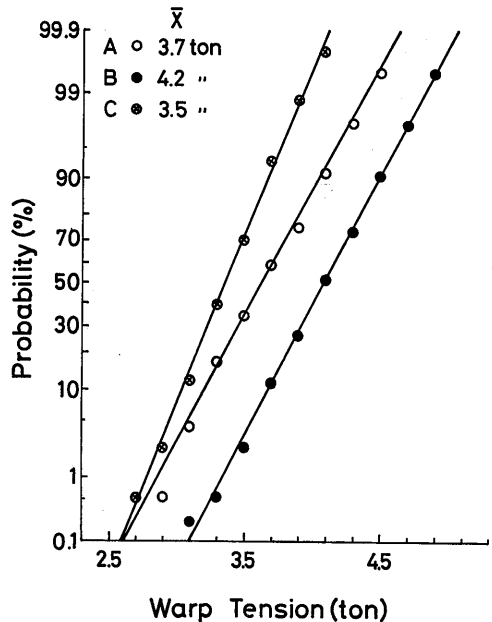


Fig. 2. Statistical distribution of warp tension at quartering sea. (A) sea state 6, (B) sea state 4, (C) sea state 3.

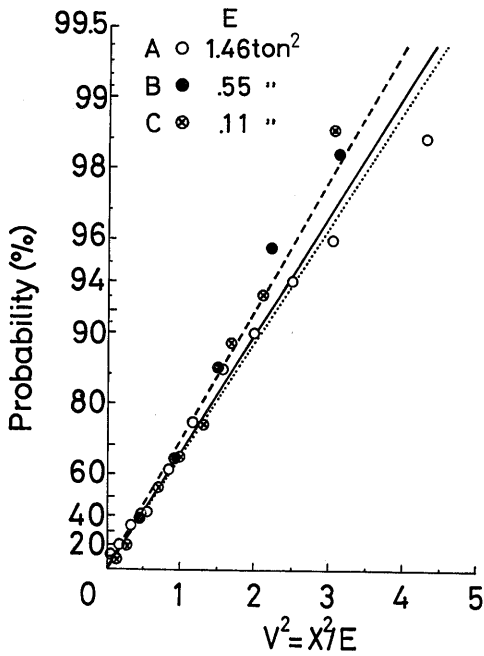


Fig. 3. Cumulative distribution of variation in warp tension at following sea. (A) sea state 6, (B) sea state 5, (C) sea state 3.

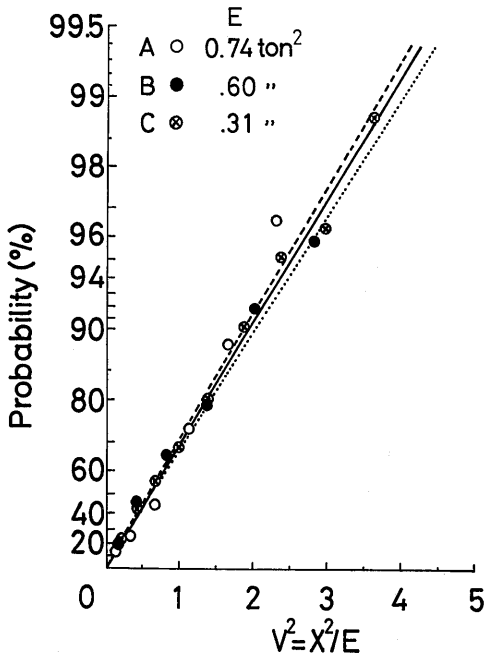


Fig. 4. Cumulative distribution of variation in warp tension at quartering sea. (A) sea state 6, (B) sea state 4, (C) sea state 3.

合を Fig. 6, Quartering sea における海況が 6, 4 および 3 の場合を Fig. 7 にそれぞれ応答特性として示した. Fig. 6 の A および B と Fig. 7 の A は, 海況が 5 以上で, 両舷ワーブ張力が不均一の場合の例である. これらの図から, ワーブ張力の変動周期はパワースペクトルの卓越周期が両舷とも等しく, コヒーレンシも高く, 位相特性における差も少ない. 特に, Fig. 7 の A は海況が 6 という荒天中において, 波を左舷斜め後方より受けて曳網中のデータであるが, 風上側の左舷ワーブ張力が大きく現われ変動周期も単一周特性である. これに対し, 風下側の右舷ワーブ張力は小さく, 変動周期も 7.5~4.0 秒までの広い帯域に分布し卓越周期は風上側のように顕著ではない. しかし, コヒーレンシ および位相特性は他のデータと大差なく同傾向を示している. 一方, Fig. 6 の C と Fig. 7 の B および C は海況が 4 以下で両舷ワーブ張力がほぼ均一な場合である. 図に示すように, これらはパワースペクトルの卓越周期およびパワーが等しい.

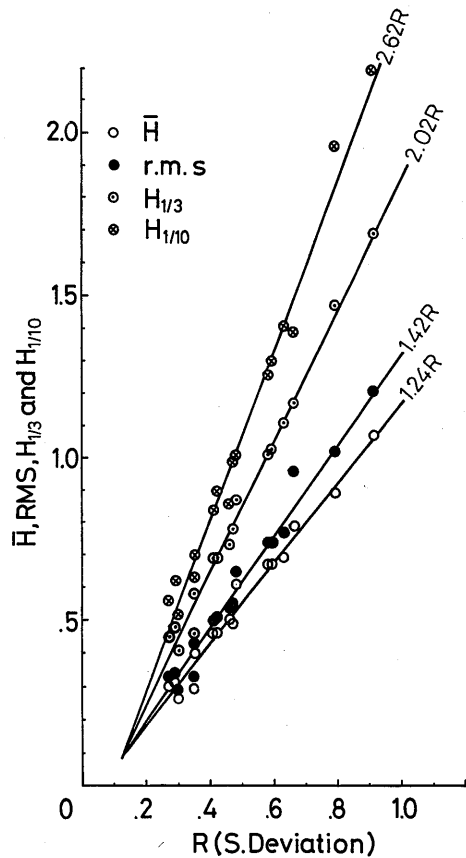


Fig. 5. The relation between the standard deviation (R) and each maximum (\bar{H} , RMS, $H_{1/3}$, $H_{1/10}$).

従って、当然の事ながら応答利得はほぼ1.0であり、コヒーレンシも高く位相ずれもほとんどない。これらの結果から、両舷のワープ張力は海況、波に対する曳網針路あるいは投網時および曳網中共に左右舷ワープの展開状態等で張力の絶対値に大小はあっても、その変動現象そのものには大きな差がない事が分る。特に3~6秒の周期帯域では両者の関係は海況変化にも関係なく応答利得、コヒーレンシおよび位相特性共にほとんど等しいと言える。

3. ワープ張力と船体運動との関係

トロール操業中の漁具に生じる不規則運動解析について、船体運動を入力とし、ワープ張力を出力とする張力系としての取り扱い(2)によって提唱された。また川島(3)は船体運動の6自由度運動成分を多変量入力として張力系のARモデルによる解析を行ないその有用性を明らかにした。本報においてもワープ張力と船体運動との相関関係を張力系として取り扱い、そのダイナミックシステムの構造的性質を明らか

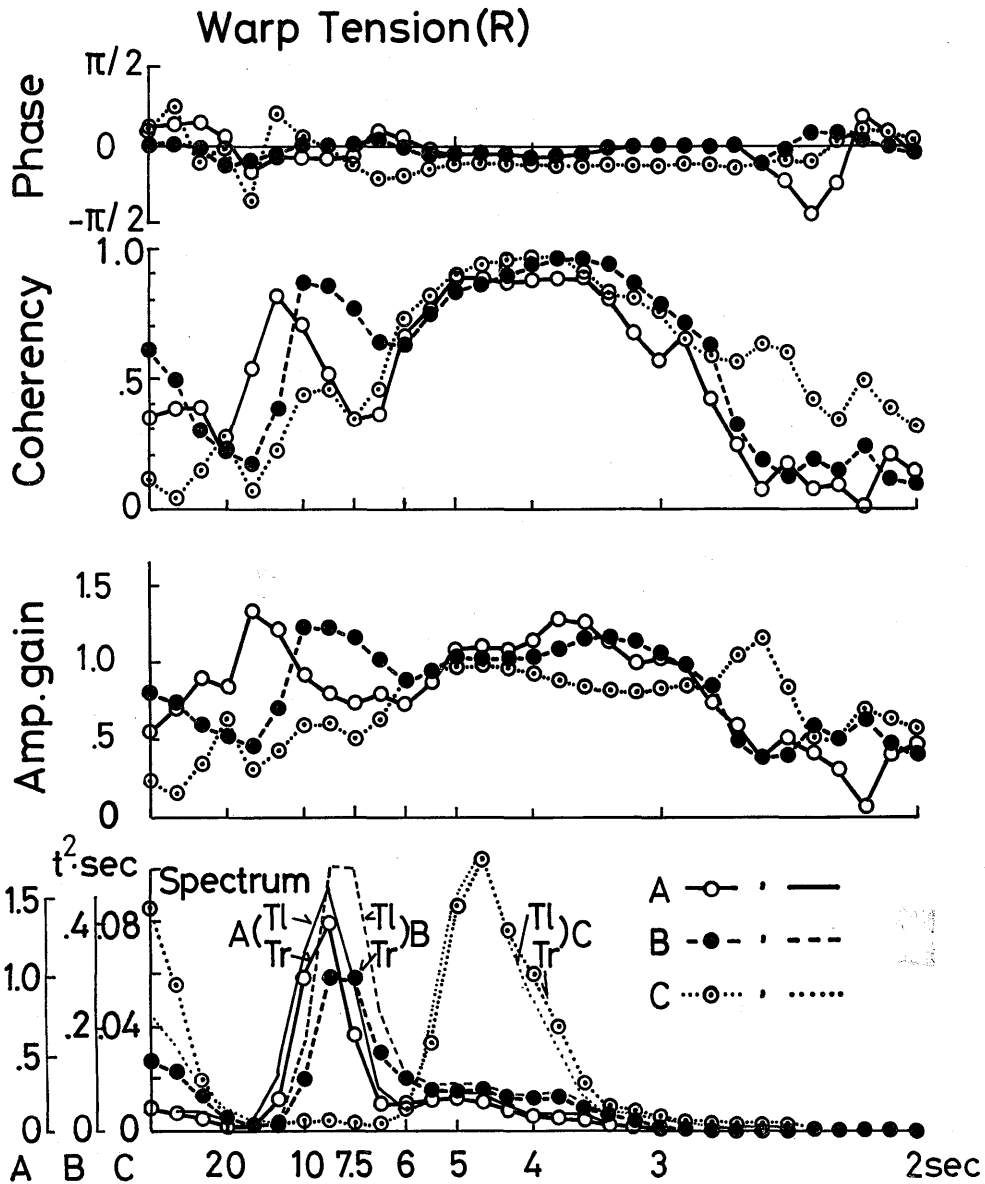


Fig. 6. The response characteristic and coherency between the right side warp tension (T_r) and the left side warp tension (T_l) at following sea.
 (A) sea state 6, (B) sea state 5, (C) sea state 3.

にするためクロススペクトル解析を行ない、周波数応答特性について考察した。なお、クロススペクトル解析法は、不規則振動系の応答関数解析として確率過程としての時系列論的取り扱いが多くなされており、船の耐航性研究に多くの例がある。本報における解析方法の詳細は文献(10)に示された通りである。また張力系における出力のワーブ張力の変動特性は、前述した通り両舷において差がなかった事から本報では左舷ワーブ張力を解析に用いた。

3-1 波浪階級別応答特性

船舶が荒天に遭遇した場合、波との相対針路のうち Quartering sea が最も危険であると言われている。そこで、Quartering sea における海況が 6, 5 および 3 の場合の例を Fig. 8 に示す。

Rolling に対するワーブ張力の応答特性

オッターロール船の曳網中における Rolling は漁具の抵抗により一般航走中より減少すると報告されている(2)。Fig. 8-1 に示されるとおり、Rolling

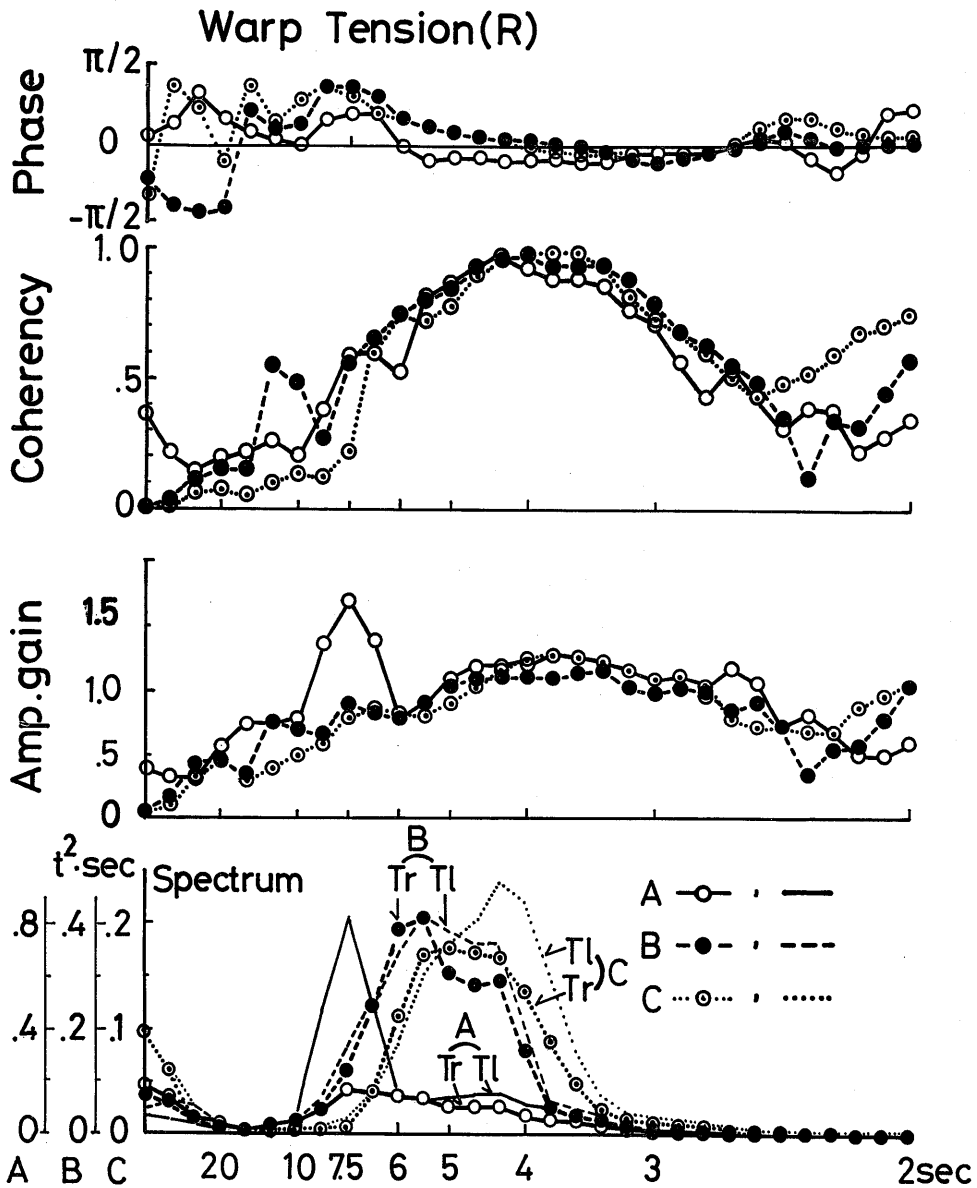


Fig. 7. The response characteristic and coherency between the right side warp tension (Tr) and the left side warp tension (Tl) at quartering sea. (A) sea state 6, (B) sea state 4, (C) sea state 3.

とワーブ張力との関係は Rolling の卓越周期5.5~8秒帯域で海況6~3の変化に関係なくコヒーレンシは0.6~0.8と高く、両者の相関関係が高いことが分る。しかし応答利得は高い値ではないので全体としては大きな影響はないものと考えられる。

Pitching に対するワーブ張力の応答特性

Fig. 8-2に示すように、Pitching の卓越周期帯域7.5~5秒でコヒーレンシは0.3~0.4と低く、応答利得も低い事から Pitching がワーブ張力変動にお

よぼす影響は少ないと考えられる。また、海況の変化による応答特性の変化も少ない。しかし、本実験で得られたデータにおいては周期3.5~4.5秒の Pitching のパワーは小さいが同周期でのコヒーレンシおよび応答利得は高いため、この周期域では Pitching がワーブ張力におよぼす影響は無視出来ないものと考えられる。位相特性については顕著な傾向はみられない。

Heaving に対するワーブ張力の応答特性

Fig. 8-3に示すように Heaving のパワースペク

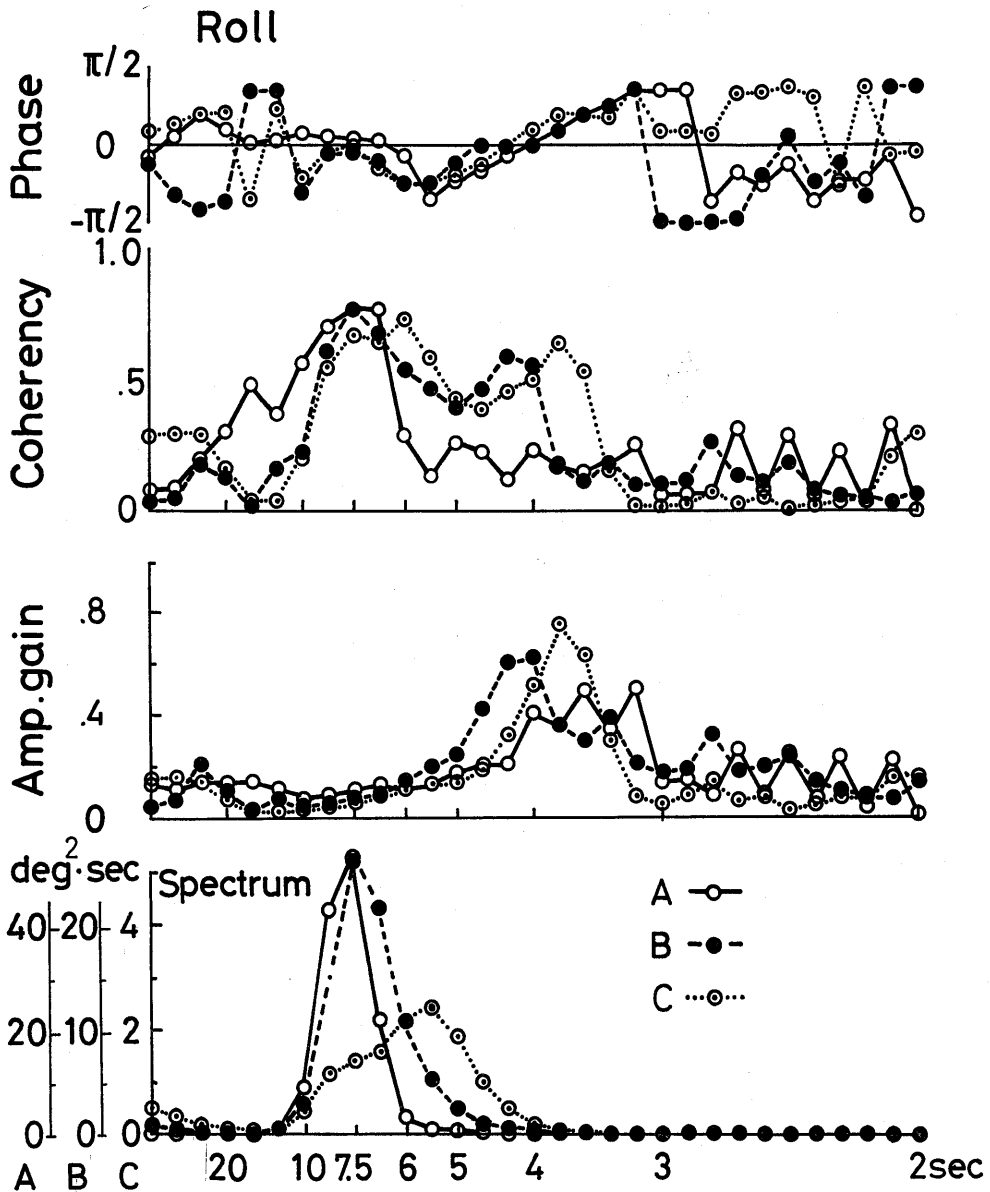


Fig. 8-1. The response characteristic and coherency between the rolling motion and the warp tension at quartering sea.
 (A) sea state 6, (B) sea state 4, (C) sea state 3.

トルは卓越周期幅が Rolling および Pitching に比べやや広く、各海況における卓越周期はワーブ張力変動の卓越周期とほぼ一致している。コヒーレンシは0.4~0.7とやや差はあるものの周期3.5~8秒までの広い帯域にわたり相関関係を有し、応答利得特性についても同様な傾向を示している。従って、船体運動成分の中では Rolling および Pitching に比べ Heaving がワーブ張力変動との関係において、最も線形近似が成り立っているものと考えられる。

さらに、Fig. 8-3のA (海況6) について、4~6秒の周期域において、応答利得は他の海況の場合と等しいがコヒーレンシが著しく低下している。この原因として考えられる事は、張力系において船体運動がワーブ張力に影響をおよぼしているばかりでなく、その逆に、ワーブ張力が船体運動に影響をおよぼすフィードバック系がこのシステムに成立している事が推察される。位相特性においても、周期6~5秒では周期8~6秒の位相関係と丁度逆転しており、入出力関

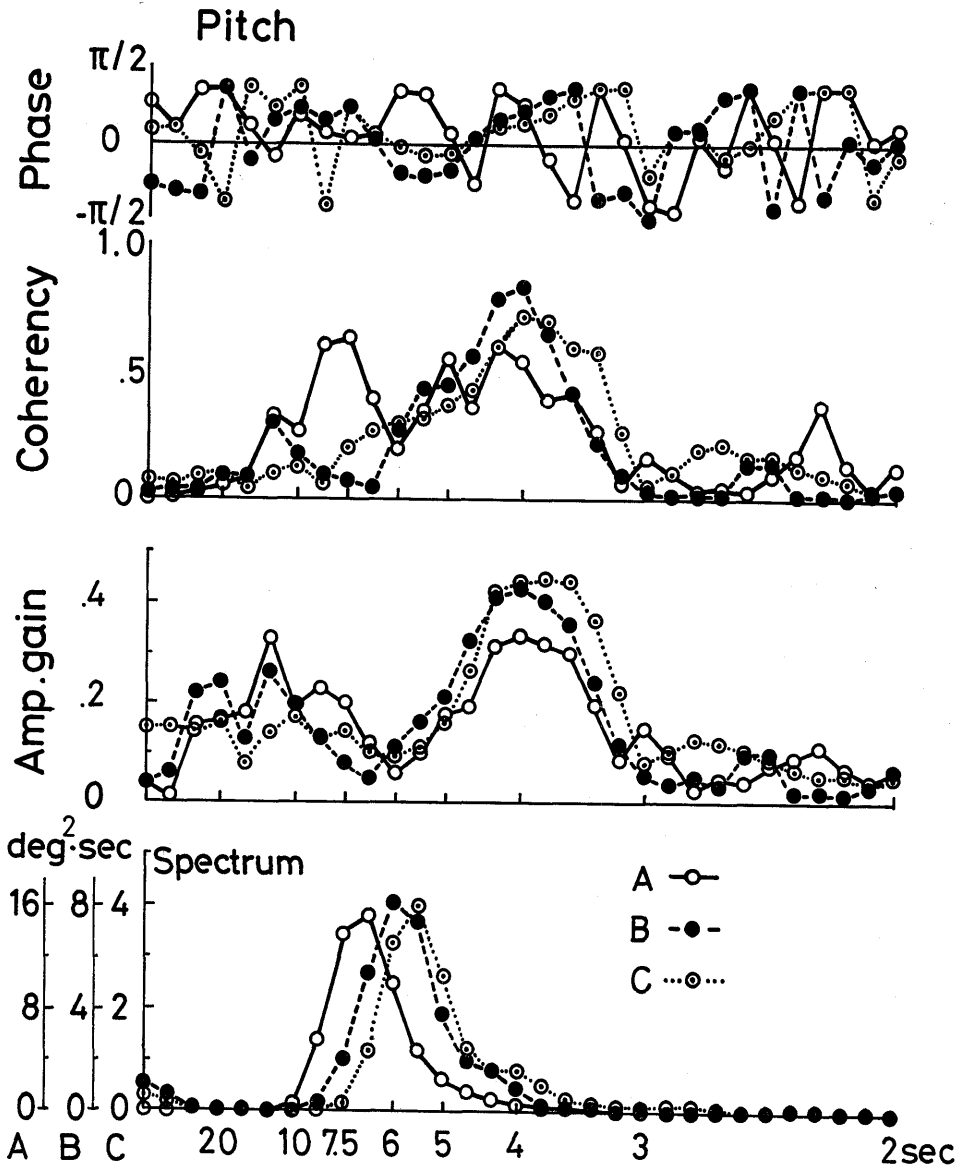


Fig. 8-2. The response characteristic and coherency between the pitching motion and the warp tension at quartering sea.
 (A) sea state 6, (B) sea state 4, (C) sea state 3.

系の逆転が十分考えられる。

相対波高に対するワーブ張力の応答特性

波浪、船体および漁具の三者が近似的に互いに線形系をなしているという仮定の下に、ワーブ張力変動と船体運動との関係について検討し論じた。ここでは、相対波高は船体運動成分ではないが相対波高に対するワーブ張力の応答特性について考察する。

波浪によって船体運動が起こり、その結果波高と船体動揺との相互関係によって舷側の相対水位変動が生

じる。従って、相対波高とワーブ張力との関係は船体を一種の線形フィルターと仮定した張力系について、その線形性と応答特性を明らかにするために重要なものとする。波浪を入力とし相対波高を出力とする周波数応答特性について、以西底曳網漁船（195GT）による曳網中の解析結果(11)によれば、相対波高の変動は波浪および船体運動の両者に依存している事が明らかである。すなわち、相対波高変動の卓越周期は2個あり、一つは船体運動周期に、他の一つは波浪周期に

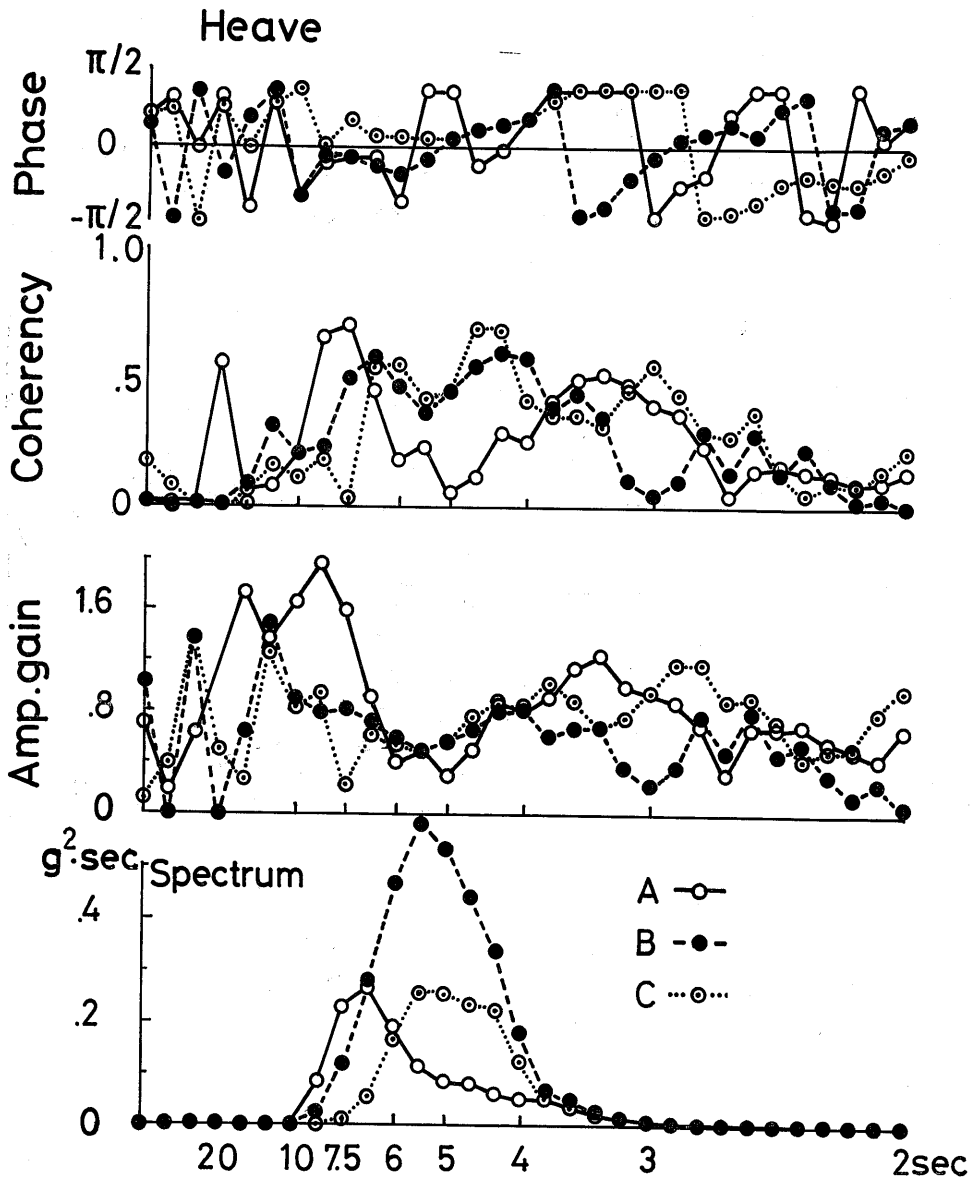


Fig. 8-3. The response characteristic and coherency between the heaving motion and the warp tension at quartering sea. (A) sea state 6, (B) sea state 4, (C) sea state 3.

一致している. Fig. 8-4 に示される通り, 海況 6 の場合(A) にパワースペクトルの卓越周期が 7.5 秒および 4.5 秒と 2 個現われている. 海況 4 および 3 の場合には, 以西底曳網漁船のように 2 個のピークが顕著ではない. これは両供試船の大きさが異なるためと考えられる.

Fig. 8-4 のコヒーレンシおよび応答利得特性は周期約 6 秒を境にして長周期域と短周期域とで異なる. すなわち, 周期 6~10 秒帯域では船体運動の Roll-

ing とワーブ張力との関係にコヒーレンシは非常によく似ている. 一方, 周期 3.5~6 秒帯域では Heaving とワーブ張力との関係に近似している. Heaving は波高に対してほぼ 1 対 1 に対応して上下動する事から考えると, 相対波高に対するワーブ張力の応答特性は Quatering sea の場合に限って言えば, 周期 6 秒を境にして Rolling および Heaving の両運動に対する応答特性が現われていると考えられる.

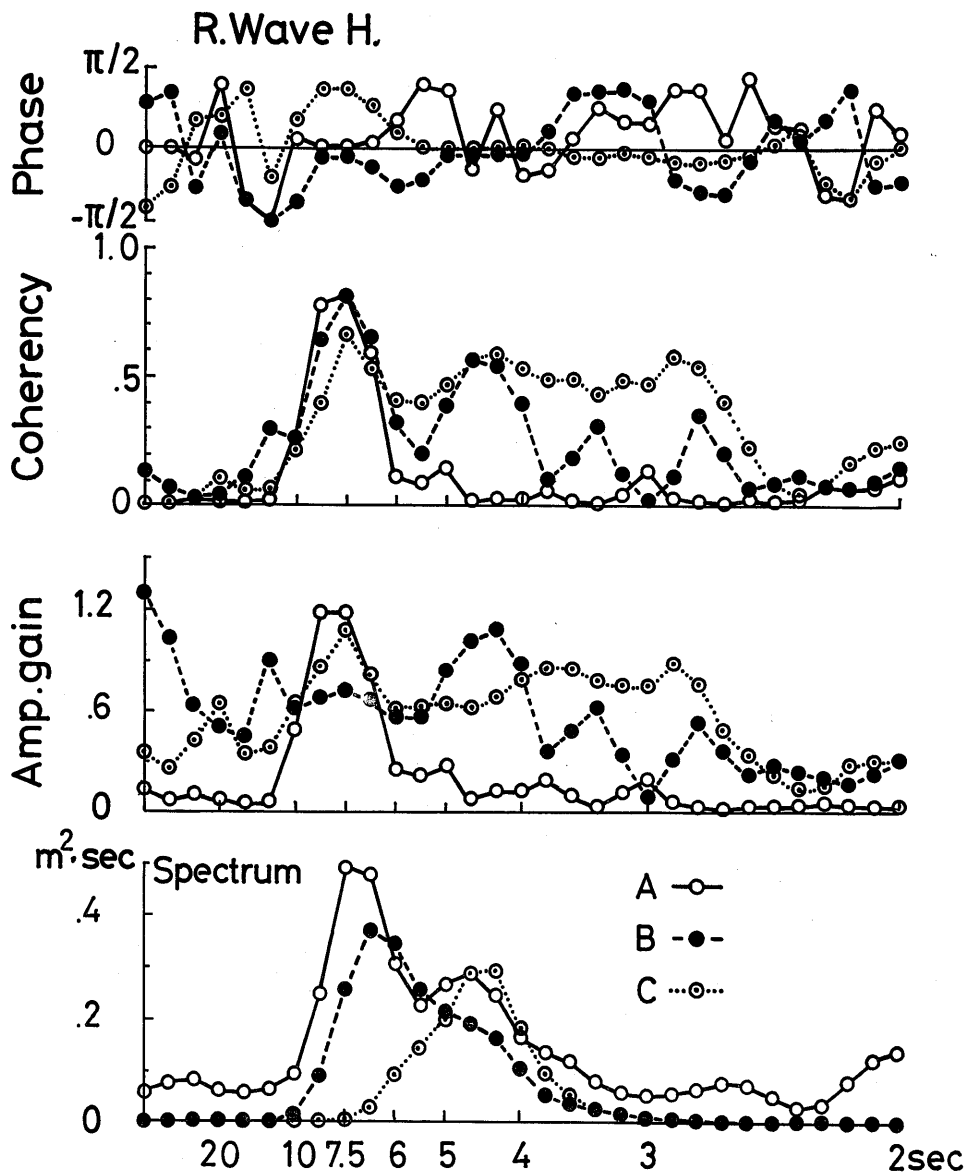


Fig. 8-4. The response characteristic and coherency between the relative wave height and the warp tension at quatering sea.
 (A) sea state 6, (B) sea state 4, (C) sea state 3.

3-2 波との相対針路別応答特性

各種海況の波に対し、全ての相対艮網針路別の実験としては Bow sea および Beam sea において一部データ不足である。しかし前項の Fig. 8 に示した通り、パワースペクトルの卓越周期におけるコヒーレンシは各海況においてほぼ等しい結果が得られた。そこで、相対艮網針路別に各海況での卓越周期におけるコヒーレンシを平均し、極座標に示したのが Fig. 9 である。応答利得の大小は別にして、船体運動に対するワーブ張力変動の相対針路別応答特性は；

Rolling とワーブ張力との関係では、Quartering sea および Beam sea で相関は高く、Head sea および Following sea では低い。

Pitching に対しては、Head sea と Bow sea で最も相関が高く、次いで Following sea である。Beam sea および Quartering sea では相関は低い。

Heaving に対しては、全ての相対針路において相関はほぼ等しく相対針路による差は認められない。これは Rolling および Pitching と特に異なる特性である。

相対波高に対しては、Following sea を除き、Heaving の場合に類似している。コヒーレンシも 0.45~0.6 とほぼ等しい。Following sea のみはコヒーレンシが 0.2 と低く相関は認められない。

船体運動の波浪に対する応答特性自体が相対針路により大きく変化する。従って、その影響によりワーブ

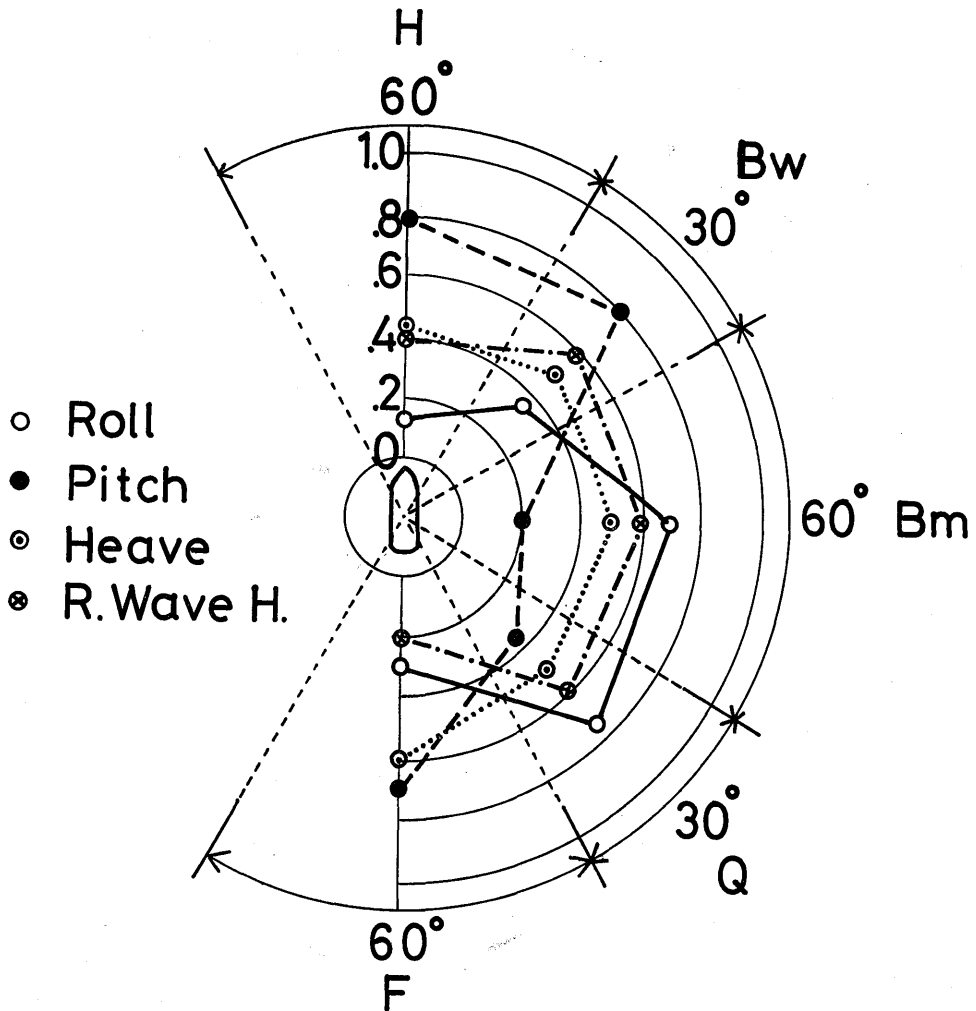


Fig. 9. The average value of coherency of rolling, pitching, heaving and relative wave height for various course angles.
(H) head sea, (Bw) bow sea, (Bm) beam sea, (Q) quartering sea, (F) following sea.

張力の応答特性も変化すると考えられる。すなわち、波浪に対する船体運動の相対針路別応答特性とほぼ同一傾向にある事が認められた。一部 Rolling と相対波高の Head sea および Following sea で特に異なる特性であったが、その原因としては次のように考えられる。本研究では船体運動を入力とし、その出力としてのワーブ張力変動についてのみ検討した。しかし、ワーブ張力が船体運動に対して逆に影響をおよぼしていると考えられる張力系のフィードバック系の存在によるものと推察される。今後は、波浪とワーブ張力との関係および上記フィードバック系も含めて、波浪、船体運動およびワーブ張力の三者の関係を総合的に検討していくつもりである。

要 約

漁法上漁船と漁具を一体として、安全な操業を確保する目的で船体運動とワーブ張力変動との力学的相関関係について検討し、次の知見を得た。

1. ワーブ張力変動の短期特性として、振幅の分布はガウス分布であった。一方、極値の分布はレイレイ分布で示され、さらに、振幅の標準偏差と極値の平均値、RMS、1/3最大平均値および1/10最大平均値との関係は Longuet-Higgins の示した理論値と一致した。従って、ワーブ張力変動についても波高および船体運動と同様、不規則振動現象としての取り扱いが有効である。

2. 左右両舷のワーブ張力の関係は、海況の相違、曳網針路および両舷ワーブの展開状態等により張力の絶対値に大小はあっても、その変動現象そのものには差がなかった。すなわち、右舷ワーブ張力を入力とし左舷ワーブ張力をその出力とする周波数 応答特性から、コヒーレンシは高く、位相差は少なく一定値を示した。

3. 船体運動と相対波高に対するワーブ張力の波浪階級別および相対針路別応答特性について、海況の変化に伴う特性変化は、海況が4～5まではほとんど認められないが、海況6では一部変化が現われた。相対針路別では、船体運動の波浪に対する応答特性が相対

針路によって大きく異なるため、その影響によりワーブ張力の応答特性も変化した。従って、波浪、船体および漁具の三者間の相関関係については、漁具から船体運動へのフィードバック系も含めて総合的に検討する必要がある。

引 用 文 献

- 1) 天下井清 (1971). 船体運動と漁具との力学的関係について(I). 北大水彙, 22(1), 67-72.
- 2) 天下井清 (1972). 船体運動と漁具との力学的関係について(II). 北大水彙, 23(2), 102-126.
- 2) 川島利兵衛・天下井清 (1976). 多変量ARモデルによる船体運動と漁具との関係について. 日航論集, 54, 93-98.
- 4) Vermer, Jr. H. (1975). Note on the safety of beam trawlers. *Int. Shipbuilding Progress*, 254, 331-339.
- 5) 山内保文 (1969). 耐航性に関するシンポジウムテキスト. 日本造船学会, 53-97.
- 6) 西ノ首英之 (1972). 実船試験による小型漁船の耐航性について (予報). 本誌, 33, 85-92.
- 7) Longuet-Higgins. M.S. (1952). On the statistical distribution of the height of sea waves. *J. Mar. Res.*, 11, 245-266.
- 8) Jasper. N.H. (1956). Statistical distribution patterns of ocean waves and of wave-induced ship stresses and motions, with engineering applications. *Trans. SNAME.*, 64, 375-417.
- 9) 西ノ首英之・川島利兵衛 (1976). 実船試験による漁船の耐航性について-III. 日航論集, 55, 1-6.
- 10) 西ノ首英之・川島利兵衛 (1976). 実船試験による漁船の耐航性について-IV. 日航論集, 56, 77-89.
- 11) 西ノ首英之・川島利兵衛 (1976). 実船試験による漁船の耐航性について-V. 日航論集, 56, 91-100.