船舶の遭遇海象と船体運動の実態－Ⅲ. －荒天中の機関馬力とプロペラ回転数変動－

桑島 進*・萩原 秀樹*・岩坂 直人*

The Actual State of Ship Encounter Waves and Ship's Motion－Ⅲ. －Fluctuation of Engine Output and Propeller Revolution－

Susumu KUWASHIMA, Hideki HAGIWARA and Naoto IWASAKA

Abstract

Ship needs a long time to sail across the ocean and often falls in with severe rough weather. And ship pitches and rolls violently on the way in rough sea. In the past and the present, winds, waves and ship's motion have been described by crew every 4 hours.

Authors developed a voyage recorder which automatically measures and records the data of encounter winds, waves and ship's motion. The results of such measured data are reported in the previous paper⁽³⁾.

In this paper, some characteristics of fluctuation of engine output and propeller revolution in rough sea which data are newly measured and recorded are reported.

That are

- (1) ship's motion becomes violent in response to rough sea,
- (2) consumption of fuel oil are proportion to engine output,
- (3) engine output increases in order to prevent a reduction of propeller revolution,
- (4) propeller revolution decreases slightly in response to rough sea in spite of setting to be constant,
- (5) propeller revolution is commonly forced to decrease in order to reduce violent ship's motion,
- (6) ship's speed decreases in more than certain rough sea even if propeller revolution is kept to be constant.

1. はじめに

大洋における航行船舶が遭遇する海象、そしてそれによる船体運動の実態については、そのほとんどが乗組員の主観に基づく概略の目視観測値でしか知られていない。その大きな理由は、これまでその実態を正確に計測できるような信頼性のある船用の測器や記録装置、システムなどが未開発であったためである。しかし最近に至り、船用マイクロ波式波高計⁽¹⁾を含め、船用として信頼できる各種の測器や記録装置が開発され始めてきたため筆者等はそれらを統合し、船舶の遭遇海象と船体運動を自動的に計測記録するシステムを構築し、実船での試用実験を続けてきた。この計測記録システムの構成ならびに信頼性などについては第 1 報⁽²⁾で、約 2 ケ年に亘る計測結果のデータを解析して北太平洋における遭遇海象と船体運動の統計的実態については第 2 報⁽³⁾で報告した。今回、新たに機関出力馬力とプロペラ回転数も加えて同時計測を行っ

*正会員 東京商船大学 (〒135 東京都江東区越中島2-1-6)

たので、その変動の様子などについて主として荒天時のデータを中心に、遭遇海象との関連を含めて解析した結果を報告する。

船舶の機関出力、プロペラ回転数は船の推進性能に関わる問題であり、荒天中の推進性能の問題は船舶関係者にとって昔から難問ながら関心の強い問題とされてきた。かつて開催された「荒天運航のシンポジウム⁽⁴⁾」あるいは「実海域における船の推進性能シンポジウム⁽⁵⁾」などにおいても詳細な解析がなされてきた。ただし、これらの解析にはいずれもログブックに記載されたデータを用いてるため航海単位、あるいは1日単位の平均値を対象としており、本報告のように瞬間々々の変動を対象としたものではないため、比較にあたってはその意味の若干の相違に注意する必要がある。

2. 計測システム

遭遇海象と船体運動の自動計測記録システムとしては、基本的に前回報告のものと同じである。ただし「はじめに」で述べたように今回は機関出力馬力とプロペラ回転数の計測を追加したために計測システムの構成図としては図1に示すような形となった。なお、図中の点線で示した「SHIP'S HULL STRESS METER」および「TRANSMITTER」は本計測システムを将来ポエジレコーダ⁽⁴⁾として完成させるために付加予定の部分であり現在は設置されていない。

今回の記録に加えた機関馬力およびプロペラ回転数の信号は本船装備の馬力計および回転数計により計測された信号であり、船橋に設置されているエンジンコンソールパネルのデータロガーへ送られている信号をアイソレータを用いて分岐させて記録器に導いたものである。

記録項目を増やすことは記憶容量の増加ばかりでなく、後の解析もそれだけ複雑になることから、今回の馬力および回転数の項目を加える代わりに、前回まで記録していた中で比較的重要度が低いと思われるヒープ加速度およびサージ加速度の項目を取りあえず外すこととした。すなわち、今回の記録項目としては(1)GPSによる位置と時刻、(2)遭遇波高、(3)船首上下加速度、(4)ロール角、(5)ピッチ角、(6)機関軸馬力、(7)プロペラ回転数、(8)風向、(9)風速、である。

計測記録は前回報告と同様、毎正時ごとに10分間、各アナログ信号を0.5秒間隔でA-D変換した値をパソコンのハードディスクに記録させた。

3. 計測データ

軸馬力およびプロペラ回転数のデータの追加計測は1996年1月の航海より行われた。生データの形は前報⁽³⁾にも例を示したが、今回の追加データの生信号例を図2に示す。図の例は1996年1月11日22時(世界時)、北緯36.6度、東経153.4度の地点を航行中に得られた10分間の軸馬力とプロペラ回

図1 計測システムの構成

図2 プロペラ回転数と軸馬力の生データ

転数の時系列生データである。このデータ取得時はかなりの荒天であり、左舷から風速12.5m/sの風と波高11.5mの波を受け、片舷平均 5° （瞬間最大 13.7° ）のローリング、 1.4° （瞬間最大 3.3° ）のピッチングを行いながら19.6ノットで航行していた。プロペラ回転数はこの時、72.5rpmを平均に変動（標準偏差3.0rpm）しており、軸馬力は25kpsを平均に変動（標準偏差1.7kps）していることがわかる。

なお、図中軸馬力の信号が不連続となっているのは前述のように本船装備の馬力計からの信号を利用しており、馬力計の信号サンプリングタイムが10秒になっているためである。図2は荒天に遭遇して船体の動揺が激しく、それに応じて軸馬力や回転数も大きな変動を示している。

船の速力は推進力と船体の抵抗力がバランスするところで定まってくる。ところが船体抵抗は風や波の変動に伴って変動する。すなわち船の速力は風や波の変動に伴って変動することになるが、通常の航海では機関長は最大機関出力の75%～85%程度の機関出力で運転できる特定のプロペラ回転数を指令している。すると機関自身の自動運転特性として、一般的に負荷の変動に対して設定限度（通常、最大馬力の90%）を越えない範囲で自動的に馬力調整を行いながら指令回転数を維持するような運転を行うこととなる。もしも船体抵抗が大きくなり必要馬力が設定限度以上となる場合は、馬力不足により指令回転数を維持することができなく（トルクリッチ）になり、結果的に速力が減少することとなる。

馬力や回転数そして速力の減少には入港時の停船のため、他船との衝突を回避するため、あるいは入港時間を遅らせる（調整）ためなど、荒天を原因としない人為的な操作もあるが、本報では大洋航海において、荒天のみを原因とした馬力や回転数のデータを解析対象とした。すなわち解析対象荒天時データとして

- (1) 大洋航行中であること。
 - (2) 風速が10m/s以上であること。
- の条件を満たすデータとした。

上記の条件を満たす荒天データは1996年2月航海（2月5日～3月18日）においては図3の矢印で示す414地点であり、この航海における全データの約半数に相当する。図3の矢印は10m/s以上のみの風向風速を示したものである。

なお、計測対象船は前報と同じであり、総トン数41,442トン、全長248m、最大機関出力32,700PSである。本船の通常機関出力設定値は上限28,500PS、下限16,000PSであり、通常指令回転数71～72rpmによる航海速力は平穏時で約22～23knotである。

4. 海象および各運動間の相関

4.1 人為的機関操作を含むデータ

一般に荒天になると激しい船体動揺を押さえたり、連続高出力によるエンジンの過熱を防ぐために人為的に機関出力を減少させ、「速力維持よりも安全を優先させる」ことが行われる。

ただし、どの程度の負荷に対し、どの程度回転数を落とすかは必ずしも一定せず、人（船長、機関長）によって異なる。

図4-1は図3で示した2月航海における414個の荒天データにおける相対風速と回転数の関係を示した図である。回転数は前節で述べたように外力の大小に関わらず一定になるように設定しているにも関わらず、風速15m/s以上では極端な減少を示しているデータも多く見受けられる。すなわち、これらのデータは人為的に回転数を減少させたためと思われる。後述（4.2節）の人為的操作無しの場合では風や波がどんなに大きくなっても回転数が69rpm以下になるデータは無いことから、69rpm以下となるデータは人為的回転数減少操作を行った結果と判断し、図中に×印で示した。

図3 航跡と遭遇平均風向風速

このように回転数（それに連動する馬力）については人為的操作により海象との相関傾向は異なってくる。図4-2は遭遇波高に応じた回転数を示し、さらに図4-3は遭遇波高に応じた速力を示したものである。いずれも波高の増加に対応して回転数は減少し（減少させ）、それに応じて速力も減少する（させる）ことを示している。いずれの図中にも、上述した人為的操作を行ったと思われる時のデータは×印で示したが図4-3によれば通常、波高が6m以上に遭遇した場合は人為的に回転数を落としていることが分かる。また図4-4は機関馬力に対応した速力を示したが人為的操作を行わなければ、速力減に対して機関の自動運転特性として馬力は増加していることが分かる。全体の相関係数は-0.30と低いが図中において人為的操作のデータ（×印）が無ければかなり高い相関を示すであろうことは容易に想像できる。これらの人為的機関操作データを含めた海象ならびに各船体運動間の相関係数を示したものが表1である。

表1において「首加」とは船首上下加速度、「相速」は相対風速、「絶速」は絶対風速、「相向」は船首方向を0とし船尾方向を180とする相対風向を表し、「偏差」は馬力および回転数の平均値回りの変動の大きさを標準偏差で表したものである。

表1を見るとかなり相関の強い項目と弱い項目があるが、強相関と思われる ± 0.7 以上の項目を太枠で囲って示した。これらの強相関項目から次のような因果関係が浮かび上がってくる。

- (1) 船の速度は波高や風速などの外力の増加に応じて減少し、回転数の上昇に応じて増加する。
- (2) 船体運動の中でも船首加速度とピッチングは波高の大きさに強く応答する。
- (3) プロペラ回転数は上述のように波高や風速の増加に応じて、減少操作がなされているが、時々刻々の変動は波高（又はピッチング）の増加に応じて大きくなっている。
- (4) 馬力の大きさは相対風速に比例し、相対風向に反比例する（向かい風で大きく、追い風で小さくなる）傾向がある。
- (5) 馬力の変動（時々刻々の平均値回りの変動）は馬力の絶対値に反比例し、相対風向に比例する（向かい風の時小さく、追い風の時大きくなる）傾向がある。

4.2 人為的機関操作を含まないデータ

図5-1は図3の航海と異なる1996年1月航海（1月7日～2月5日）における波高と回転数の関係

図4-1 相対風速とプロペラ回転数の関係(人為的機関操作有り)

図4-2 波高とプロペラ回転数の関係(人為的機関操作有り)

図4-3 波高と船速の関係(人為的機関操作有り)

図4-4 エンジン馬力と船速の関係(人為的機関操作有り)

表1 相関係数一覧表(人為的機関操作有り)

	船速	波高	首加	ロール	ピッチ	馬力	偏差	回転	偏差	相速	絶速	相向
船速	1	-0.66	-0.75	0.05	-0.59	-0.30	0.35	0.83	-0.52	-0.62	-0.67	0.39
波高		1	0.85	0.08	0.94	0.12	-0.29	-0.79	0.74	0.37	0.44	-0.18
首加			1	-0.10	0.76	0.17	-0.41	-0.82	0.54	0.53	0.60	-0.30
ロール				1	0.20	-0.02	0.45	0.07	0.37	-0.28	-0.21	0.29
ピッチ					1	0.15	-0.24	-0.75	0.78	0.30	0.33	-0.18
馬力						1	-0.44	-0.10	0.08	0.56	0.23	-0.55
偏差							1	0.41	0.08	-0.63	-0.36	0.57
回転								1	-0.60	-0.54	-0.66	0.29
偏差									1	0.16	0.31	-0.03
相速										1	0.71	-0.78
絶速											1	-0.25
相向												1

を示した図である。この航海においては総データ数714中で300データが大洋中の上述の荒天データであるが、波高の増加に応じて回転数が減少している傾向は同じものの69rpm以下のデータは無い。すなわち1月航海では2月航海の指令回転数よりやや高い72~73rpmに設定したまま人為的にはほとんど回転数を落とすことをせず、かなりの高波高まで指令回転数を維持しながら航海をしていた事が分かる。この理由としては、遅れたスケジュールを回復するために、この航海はできるだけ高速を維持しようとしたためと思われる。

この結果、波高に対する速力も図5-2に示すように16knot以下に落ちることはなく高波高でも高速を維持している。なお、この図において黒丸印で表したデータは相対風向が船首方向から±45°以内の向かい風のデータであり、風速が大きいことから波も向かい波であったと予想されるデータである。すなわち図は向かい波の時には船速減少が大きいことを示している。一方、馬力の側から船速をみると、図5-3に「馬力と速力の関係」を示したが図4-4と比較して明らかなように、人為的機関操作を行わなければ、荒天による負荷が大きくなり回転数(速力)が下がると、機関自動運転特性により全てのケースで自動的に馬力を上げて27.5kpsくらいまでは19knot以上を維持している。しかし、それ以上大きな荒天外力が働くと馬力を上げて回転数を維持しても速力は維持できなくなっていることが分かる。また図中、速力維持の困難なデータのほとんどは黒丸印であり、この図からも向かい風(波)の船体に働く外力がいかにか大きいかを示している。

図5-1 波高とプロペラ回転数の関係(人為的機関操作無し)

図5-2 波高と船速の関係(人為的機関操作無し)

表2 相関係数一覧表（人為的機関操作無し）

	船速	波高	首加	ロール	ピッチ	馬力	偏差	回転	偏差	相速	絶速	相向
船速	1	-0.33	-0.74	0.15	-0.53	-0.59	0.27	0.65	-0.18	-0.54	-0.19	0.35
波高		1	0.36	0.54	0.87	0.16	-0.39	-0.39	0.77	-0.14	0.11	0.27
首加			1	-0.21	0.55	0.52	-0.35	-0.55	0.12	0.50	0.16	-0.39
ロール				1	0.43	-0.35	0.76	-0.08	0.76	-0.50	0.18	0.67
ピッチ					1	0.27	0.29	-0.54	0.75	0.02	0.13	0.13
馬力						1	-0.43	-0.04	-0.11	0.49	0.11	-0.42
偏差							1	0.06	0.65	-0.60	-0.03	0.66
回転								1	-0.44	-0.45	-0.23	0.24
偏差									1	-0.23	0.25	0.45
相速										1	0.39	-0.67
絶速											1	0.31
相向												1

また表1と比較のため各項目間の相関係数を表2として示した。表2の各項目間の係数は相対的には表1と同様な傾向を示している。したがって、表1で述べた因果関係も基本的には同様なのと言える。ただし、その値の大小から、人為的機関操作を行わなければ

- (1) 平均回転数（指令回転数）は基本的には直接、海気象に関係なく維持されるはずであるが、実際には荒天の度合いに応じてやや下がる傾向がある。
 - (2) 時々刻々の回転数変動は船体運動（ロール、ピッチ）ひいては波高の大きさに比例する度合いが強くなる。
 - (3) 荒天中、船の速力を維持するには、外力の増大に比例して馬力を増大させる必要がある。（ただし、馬力と速力は直線的比例関係に無く、馬力を増大させても速力維持効率が急に悪くなるような変極点が存在する。）
 - (3) 船体運動の中でピッチは表1と同じく全く波高の大きさに比例するが、ロールは波高よりも相対風（波）向の方により大きく影響されており、回転数や馬力の変動とも相関が強い。
- ことなどが分かる。

5. プロペラスリップとトルク

荒天航海における危険回避のための操船法（荒天避航操船）としては波向きに対する相対針路の変更、そして速力減少操作があるが、具体的な操作内容を含めた最適法が確立しているとは言い難い。ただし、これまでの経験から荒天避航操船開始時期として「船首甲板への海水打ち込み頻度」および「プロペラの見掛けスリップの増加」を判断基準にできると言われている⁽⁷⁾。特に見掛けスリップの増加は自発的減速を開始すべき指標として上げられており、具体的な増加量として25%という値も提唱されている⁽⁷⁾。

プロペラスリップが増加する状態とは一般的に次のようなことが言える。すなわち風や波が大きくなる

図5-3 エンジン馬力と船速の関係（人為的機関操作無し）

と、プロペラに掛かる外力が増加し、回転にブレーキを掛けるような、いわゆるトルクリッチの状態となる。そこで機関出力すなわち回転力（トルク）を増加させてプロペラ回転数を維持させるわけであるが、そのような時はスリップ（空回り）も増加しているため、結果的に回転数の維持は必ずしも速力の維持にはなっていない。

これらのことから、プロペラスリップとトルクの大きさは比例していることが考えられる。そこで本報告における人為的機関操作を含まないデータを用いてスリップ率とトルクの関係を示したものが図6である。

ただし、スリップ率 S (%) は、

$$S = 100 (1 - 30.9 * V / NP) \quad (1)$$

で計算される。ただし、 N はプロペラ平均毎分回転数 (rpm)、 P はプロペラピッチ (m)、 V は平均対水速力 (kt) である。

またトルク T (ton-m) は、

$$T = 60 * 75 * E / (2\pi N) \quad (2)$$

で計算される。ただし、 E は機関馬力 (kps) である。

図6からスリップ率とトルクの大きさは相関係数0.8というかなり高い相関をもって比例していることがわかる。図6の横軸はトルクであるが上記の式(2)において通常指令回転数である71~72を N に代入すれば馬力 E は大体トルク T の0.1倍に等しい。すなわち、図6は横軸を0.1倍することにより大体馬力に等しい値と読むことができる。したがって、図6は図5-3を別の角度から見た図とも言える。すなわち「回転数維持にトルクが約275ton-m (馬力約27.5kps) 以上必要となるとスリップ率は平均25%以上となり、船速低下の度合いが強くなる。」ことを示している。

6. クロススペクトル解析

馬力や回転数の大きさは前述のように指令回転数や外力の大きさに応じた値をとることが分かったが、それらの時々刻々の変動については必ずしも明確でない。そこで馬力や回転数の変動が他の項目における変動とどのような入出力関係にあるのかを探るためにクロススペクトル解析を行ってみた。

図7-1、図7-2は1996年2月27日10時、39°N、161.5°Wにおいて10分間計測した時系列データ

図6 トルクとスリップ比の関係

図7-1 波高と回転数のクロススペクトル

図7-2 波高と馬力のクロススペクトル

から算出した「波高と回転数」、「波高と馬力」のクロススペクトルの例である。当時の海象としては絶対風速12m/sの風を船首方向から右49°の方向に受け、有義波高10mの波の中を18.3ノットで航行していた。この時の平均回転数は68.7rpm、変動標準偏差2.0rpmであり、平均馬力は26.5kps、変動標準偏差は0.3kpsである。

図から明らかなように波は周波数0.045Hz(周期約22秒)と0.12Hz(周期約8.3秒)付近にピークを持つ二山型であり、「風波」と「うねり」を別方向から受けていたことが推測される。これに対して回転数の変動は「完全に」と言ってよいほど二方向の波に応答しており、二つのピーク周波数はよく一致している。一方、馬力(図7-2)の方は低周波のピークにはやや応答しているが、高周波の方のピークにはほとんど応答していない。これは「3.

計測データ」で説明したように馬力のデータは計測周期が10秒に設定されているため見かけ上カット周波数0.1HzのLow Pass Filterを組み込んでしまったに等しいためである。入出力応答の線型度合いを示すコヒーレンスについてもピーク周波数のところで大きな値を示している。

図7はある特定の時刻(特定海域、海象)における波との入出力応答を見ただけだが、一般的に同じようなことが他の時刻(海域、海象)のデータについても言えるのか否かを調べるため、図3で示した荒天時データ全てについてコヒーレンスを算出し、その平均値を示したものが図8である。図8には「波高と馬力」、「波高と回転数」、そして「馬力と回転数」についてそれぞれ周波数に対応するコヒーレンスを示した。ただし、「馬力と回転数」のコヒーレンスについては0.07Hz付近以下の低周波側において大きな値が示されているが、本来的に上述のLow Pass Filterがなければ、より高周波の領域でも大きな値を示すものと思われる。

また図2あるいは図7-2に示すように、馬力の変動はかなり周期の長い変動成分を含んでいる。この長周期変動の原因を探るべく、波以外にも船体運動のピッチ、ロール、船首加速度あるいは風速などとのクロススペクトル解析を行ってみたが大きなコヒーレンスの値(線型応答の度合いの強い成分)は得られなかった。したがって、現在のところ馬力の変動が回転数変動以外に応答する要因は不明である。

これらのことから、図8は「プロペラの回転は遭遇する個々の波(特に周期5秒~30秒付近)に比較的直接的に응答するが、馬力は個々の波に対して直接的に응答することは少ない。ただし、馬力はプロペラ回転数の変動に対しては本来的にも良く응答する。」ことを示している。

7. おわりに

北太平洋の冬季横断航路で遭遇した荒天中におけるコンテナ船のプロペラ回転数と馬力のデータを中心に、遭遇した波や風あるいはそれらによって生じた船体運動との関連について解析した。この結果、船舶が荒天に遭遇する(風や波が大きくなる)と

- (1) 船体運動(特にピッチングおよび船首上下加速度)が大きくなる。
- (2) 船体運動の変動に応じてプロペラ回転数の変動も大きくなる。
- (3) 平均回転数は本来、小さくなる傾向にあるが、人為的に落とさないかぎり一定値を保つように設定されている。
- (4) 荒天の度合いが強まれば、本来下がるはずの回転数を一定に維持させるために馬力は逆に増加する。
- (5) 船速は人為的回転数減少に応じて当然減速するが、回転数一定であっても荒天による負荷の増加に応じて減速する。

実態が明らかとなった。

図8 波高、馬力、回転数間の総合コヒーレンス

なお今回は燃料消費についてのデータは計測できなかったが、基本的に燃料消費は馬力の大きさと比例関係にある。したがって本報告において示した馬力変化の特性は燃料消費変化の特性と読み替えることができる。この意味において上記(4)から燃料消費は

- (1) 基本的に荒天の度合いに比例して消費量は多くなる。
- (2) 燃料消費量を多くすることによって、ある程度船速を維持できるが、荒天の度合いが強まると、消費量を増やしても船速が維持できなくなる。(図5-3参照)
- (3) 風(波)の方向との相対針路によっても、かなり消費量は異なる。(相関係数一覧表において馬力と相対風向が逆相関)

などの特性があることが分かった。特に上記(2)は「プロペラスリップ率が25%を越えるような荒天(実験船の場合は回転数維持にトルク275ton-m、馬力27.5kps以上必要となる荒天)では思い切って人為的に回転数を下げた方が、激しい船体運動の通減ばかりでなく、燃料消費効率の面からも有利である。」ことを示している。

本報告においては荒天に遭遇した場合、たまたま人為的に機関操作を行った航海とほとんど機関操作を行わなかった航海のデータを対比して示すことができた。機関操作を行うか否かは荒天の度合いばかりでなく、本船のスケジュールや積み荷などを勘案して総合的に決められるべきものと思われるが、荒天避航操船においては本報告で示した、荒天の度合いと船体運動あるいはプロペラ回転数や機関馬力(燃料消費)などとの因果関係が今後の荒天航海における機関操作を勘案する上で少しでも参考になれば幸いである。

最後に本研究の遂行に多大な協力を得た日本郵船(株)、電子工業(株)に対し、改めて感謝致します。また本研究は文部省科学研究費補助金(基礎研究C(2))課題番号06651074「船舶の航行自動記録装置の開発研究」(研究代表者 桑島 進)を受けた研究の一部であることを付記する。

参 考 文 献

- (1) 安田明生・金居康文・桑島 進：マイクロ波を用いた船用簡易波高計の開発，日本航海学会論文集，第66号，pp.31-38，昭和57年2月。
- (2) 桑島 進・萩原秀樹・岩坂直人：船舶の遭遇海象と船体運動の実態 ―自動計測記録システムの構築―，日本航海学会論文集，第86号，pp.153-160，平成4年3月。
- (3) 桑島 進・萩原秀樹・岩坂直人：船舶の遭遇海象と船体運動の実態 ―北太平洋航路就航コンテナ船による連続計測―，日本航海学会論文集，第92号，pp.167-175，平成7年3月。
- (4) 「船舶の荒天運航に関するシンポジウム」テキスト，日本航海学会，149P，1973年2月。
- (5) 「実海域における船の推進性能」シンポジウムテキスト，日本造船学会，203P，平成7年5月。
- (6) 桑島 進・萩原秀樹・岩坂直人：ボエジレコーダ(航海自動記録装置)の開発研究 ―装置の開発思想とその仕様―，日本航海学会論文集，第94号，pp.219-230，平成8年3月。
- (7) 谷 初蔵：大型船運航マニュアル，上記(4)のpp.137-149。