実務者による大洋航海の航路選定シミュレーションと 遭遇する気象・海象の特徴

林 美鶴*・石田 廣史**

Weather Routing Simulation of Ocean Going Ship by Practical Navigators and Encountered Wind and Wave Conditions on Simulated Ship's Routes

Mitsuru HAYASHI and Hiroshi ISHIDA

Abstract

In the weather ship's routing, it is very important to take account of the permission of the encountered wind speed and wave height and functionize them in weather ship's routing simulation models. To clarify the navigators' permission of encountered maximum wind speed and wave height in the ship's routing simulation, the questionnaire and the routing simulation were made to navigators of ripe experience. According to the questionnaire, for the safety navigation the permission of the maximum wind speed was the Gale rank in the Beaufort wind scale. Navigators had two permission of the maximum wave heights of 5 to 8m and 10 to 12m. From the results of the weather routing simulation by navigators using the optimum weather routing soft ware, for the safety navigation the encountered maximum wind speed and wave height were 30 to 40 knots and 7m at against winds and waves, 30 knots and 5 to 8m at lateral winds and waves, and 40 knots and 11m at following winds and waves, respectively.

Keywords : Weather Routing, Routing Simulation, Weather and Sea State, Practical navigator

キーワード : 気象航法、航路シミュレーション、気象・海象、実務者

1. 目的

船舶が航路を選定する際には、気象・海象を十分に考慮する必要がある。特に大洋航海においては、気象・海象を考慮した航法、すなわち気象航法は船舶の安全且つ経済的な運航にとって必要不可欠である。様々な気象・海象データと各船舶の要目や航海情報を基に、最適な航路を算出して船舶に航路を推薦する「ウェザー・ルーティング・サービス」は、現在一般的に使用されている。一般的には最適航路計算にはダイナミック・プログラミング法(以下、DP 法と言う)が用いられて、計算には船舶の耐航性が考慮されている。しかし、最適とされる航路の中には、操船者にとっては安全航行が困難と感じられる航路が算出される場合がしばしば見受けられ

る。

この、DP 法による航路と、実務者が知識と経験を基に選定する航路との差異の一因として、気象・海象の予報精度や、単一の評価基準(時間や燃料消費など)で計算していることなどが考えられ、気象・海象予報精度の検討や確率的な航路選定⁽¹⁾⁽²⁾、リアルタイムの気象・海象情報の同化やアルゴリズム改良⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾などが様々に研究されている。しかしながら筆者は、実務者が持つ気象・海象に対する安全基準が、最適航路計算アルゴリズムに必ずしも十分に反映されていないことも大きな要因であると考えている。すなわち、これまでの最適航路計算では航海の安全性に対して船舶の耐航性のみを基準にしており、そもそも物理的に決定された基準と実務者が持

* 正会員 神戸大学 (〒 658-0022 神戸市東灘区深江南町 5-1-1) mitsuru@maritime.kobe-u.ac.jp

** 正会員 神戸大学 (〒 658-0022 神戸市東灘区深江南町 5-1-1) h-ishida@maritime.kobe-u.ac.jp

つ安全性に対する基準に差があるために、両者の選定航路が異なるのだと考える。これまでに実務者の航路選定上の安全基準や航路選定思考過程に関する研究はほとんど行われておらず、現在一部のシステムでは、実務者の安全基準をマニュアル入力することで対応が図られている。

本研究では、実務者が持つ航路選定上の安全基準を定量的に明らかにするとともに、大洋航海の航路選定シミュレーションを実務者に実施してもらい、選定航路で遭遇する気象・海象を解析することで実務者の航路選定の特徴を明らかにする。

2. 実験方法

実験には、ウェザー・ルーティング・ソフトウェア ORION Ver.3(ウェザー・ニューズ社)を用いた。このソフトウェアは、米国大気海洋局が発行する 10 日先まで 12 時間毎の全球気象・海象予報値を用いて航路計算を行っている。予報値には、地上気圧配置、前線、500hP 気圧配置、風向風速ベクトル、有義波高分布、第 1 次・第 2 次卓越波流向・流速ベクトル、海流、海水ラインなどが含まれる。ソフトウェアには DP 法による最適航路計算機能があり、評価対象は時間である。航海は冬期の北太平洋航路を想定し、野島崎沖とロサンジェルスを発着地として、Table 1 に示すような出港日時の 4 航海について実験を実施した。想定した船舶は総トン数 5 万トンのコンテナ船で、船舶の主要目を Table 2 に示す。

航路選定に用いた気象・海象状況の一例として、航海 A の 3 月 4 日の気圧配置を Fig.1 に、波高・波ベクトルを Fig.2 に示す。発達した低気圧の中心がアリューシャン列島の Unimak Pass 付近にあり、45N, 175W 付近一帯に波高 11 m の海域が広がっている。Table 1 に示したこれ以外の航海の気象・海象条件も、発達した低気圧とそれに伴う荒天域が北太平洋に広く分布しており、大圏航路を選択しづらくすることで航路選定に差が出やすくなった。被験者は船長、一等航海士を中心にした実務経験者で、各航海の被験者数を Table 3 に示す。被験者には、10 日先までの気象・海象予報値を見て目的地までの航路を決めてもらった。参考として、ソフトウェアによる DP 法での航路計算も行った。選定した各航路について、12 時間毎の船位、航走距離、速力、波高・絶対波向き、絶対風向・風速などの情報と到着日時がルート・レポートとして記録される。選定航路で遭遇する気象・海象の解析には、これらの記

録を利用した。

Table 1 Route specification.

Voyage	Departure		Arrival
	Time	Place	Place
A	20 Jan.	Nojima	Los Angeles
B	5 March	Nojima	Los Angeles
C	14 Jan.	Los Angeles	Nojima
D	3 March	Los Angeles	Nojima

Table 2 Ship specification.

Ship Type : Container w/Bulbous Bow			
Gross Tonnage : 50,000 ton	Lpp :	273	m
Dead Weight : 45,000 ton	Beam :	32.2	m
Forward Draft : 12.5 m	Aft Draft :	13.0	m
Design Speed : 24 kts	GM :	1.2	m
Engine Type : Slow Speed Diesel			
No. of Main Engines : 1			
MCR Power per Engine : 38,593 PS			
No. of Container Tiers above Deck : 4

Fig.1 A sample of weather chart (on 3 May)

Fig.2 A sample of wave chart (on 3 May)

Table 3 Number of examinee

Voyage	Captain	Cheif mate	Second mate	Total
A	7	3	0	10
B	6	4	0	10
C	3	6	1	10
D	5	5	0	10

Fig.3 Distribution of maximum wind speed for safety navigation.

Fig.4 Distribution of maximum wave height for safety navigation.

3. 実験結果

3.1 実務者の気象・海象に関する安全基準

被験者には、実験の際に本実験で想定したコンテナ船の場合に、航路選定上の安全限界と感じる気象・海象状況についてインタビューした。ここでは、本実験で実施したインタビュー結果に過去の結果も含め、風速については28名、波高については40名の回答結果を解析した。

Fig.3 に風速の結果を示す。風速の限界は最小28 kts、最大58 kts、平均39.5 ktsで、30～40 ktsの回答が10名で最も多く、ビューフォート風力階級表でGaleに属するランク(7～9)を限界と感じていることが解る。また危険と感じる風向は、約90%の被験者が船首と回答しており、残りは正横と回答した。Fig.4 に波高の結果を示す。波高の限界は最小5

m、最大12 m、平均7.3 mである。25名の回答が5～8 mに集中しているが、10～12mの回答も8名あり、回答が分散する傾向が見受けられる。これは、コンテナ船は馬力があるため高波高域でも速力が減速しなければ航走可能で、その辺りの判断が分かれたためと考えられる。危険と感じる波向きは、被験者の約50%が船首、約40%が正横と回答し、残りは船尾及び斜め後方で、波向きに対しても回答が分散する傾向が見られた。

被験者によっては、「船体の状態によって安全限界は異なるため一概に言えず、具体的な数値を挙げるのは困難」とする回答も多かった。例えば「波がデッキにかかる具合や、横揺れの具合などを目安にする」など、気象・海象状況の絶対値でなく、船体の状態に対する相対的状況で判断していることが伺える。また「強風域であっても数時間で通過できるなら突っ切る」という回答もあった。これは風速や波高の大小の程度だけでなく、その状況がどの程度継続するのを含んだ気象・海象の規模を問題にしていると言える。

3.2 選定航路

Fig.5-(a)～(d)に、航海A～Dそれぞれについて被験者及びDP法が選定した航路を示す。Fig.5-(a)に示す野島崎沖からロサンジェルスへ向かう航海Aでは、全ての被験者が前方にある発達した低気圧を避けて、大圏航路又は大圏と距等圏を組み合わせた大圏よりやや南の航路を選定している。アリューシャン列島まで北上している航路はDP法による航路で、低気圧の後を追うように北上して、追い風で速力を保っている。同じく野島崎を出発するFig.5-(b)に示す航海Bでは、出港時に千島列島付近にある低気圧をやり過ごすために三陸沖を沿岸航行で北上し、その後大圏で航行する航路と、出港時から大圏又は大圏よりやや南を選択する航路がある。1名の被験者がベーリング海航路を、1名の被験者が40Nよりも南の航路を選定しているが、DP法も含めてほとんどが大圏航路に近い航路を選定している。Fig.5-(c)に示すロサンジェルスから野島崎を目指す航海Cでは、アラスカ半島の南にある発達した低気圧が存在しているが、DP法と3名の被験者は北上航路を選定して、内1名を除いてベーリング海に入る航路を選定している。また5名の被験者は距等圏航路を選定しており、内2名はほぼ一定針路で航行した。同じくロサンジェルスを出発するFig.5-(d)に示す航海Dでは、出港翌日はFig.1とFig.2に示

した気象・海象状況で、6 日目にはカムチャッカ半島付近に発達した低気圧の荒天域が広く分布する。DP 法と 5 名の被験者は北上航路を選定して、内 2 名を除いてベーリング海に入る航路を選定している。また 5 名の被験者が北上せず、中緯度帯の距等圏航路を選定している。

以上の通り、太平洋を東航する場合はほとんどの被験者が大圏航路を基本とした航路を選定するが、西航する場合はアリューシャン列島を目指して北上

する航路と、中緯度帯の距等圏航路に二分される。到着時間は、航海 C で中緯度航路 9.7 日に対して北上航路約 8.7 日、航海 D で 9.4 日に対して 9.1 日と、中緯度帯航路に比べて北上航路は 8 時間～1 日程度到着時間が早い。またベーリング海に入った航路では速力低減が少なく、航海 C で中緯度航路の平均速力 21.7 kts 以下に対しベーリング海航路 22.2～23.1 kts、航海 D で 21.6 kts 以下に対し 21.8～22.3 kts である。

(a) Voyage-A.

(c) Voyage-C.

(b) Voyage-B

(d) Voyage-D.

Fig.5 Routes simulated by practical navigator and Dynamic Programming System (thick line).

4. 解析結果と考察

先に述べた通り、実務者が航路を選定する際には、風速や波高の程度とともに遭遇時間も重要な要素として扱われる。そこで、被験者が選定した航路で遭遇する気象・海象の特徴を明らかにするため、各航路毎に被験者が選定したデータをまとめて、方位別の風速・波高分布と、その遭遇時間を求めた。ここで風向や波向きの方角は、船首方位に対する相対方位として捉えるべきであり、本研究では Fig.6 に示

す 45 度ずつの 8 方向に分けて、どちらの方向からどの程度の風・波を何時間受けているかを求めた。以下の説明では、1 を船首、2 を右舷前方、3 を右舷、4 を右舷後方、5 を船尾、6 を左舷後方、7 を左舷、8 を左舷後方と言い、3 と 7 を総称して横方向、8～2 を総称して船首寄り、2～4 を総称して右舷寄り、4～6 を総称して船尾寄り、6～8 を総称して左舷寄りと言う。

Fig.6 Sections of relative wind and wave direction.

4.1 風の分布

航海 A ～航海 D について、方位別に各風速毎の遭遇時間を求めた結果を Fig.7-(a)～(d) に示す。Fig.7-(a) に示すように、航海 A では全体の 84% の期間で右舷後方～船尾の風を受けている。この時、風速 40 kts 以上の風を受ける期間があるが、その期間は全体の 10% 程度である。船首からの風は全体の 6% で 30 kts 以下、横方向の風は全体の 5% で、このうち 75% が 30 kts 以下である。Fig.7-(b) に示すように、航海 B では左舷前方を除いて遭遇する風向は広く分布しているが、右舷寄りの風が全体の 46% を占める。この時、風速が 30 kts 以上になる場

合があるが、その期間は全体の 12% である。船首からの風は全体の 9% で、このうち 73% が 20 kts 以下、横方向は全体の 36% で、このうち 89% が 30 kts 以下、船尾からは全体の 10% で、このうち 71% が 20 kts 以下である。Fig.7-(c) に示すように、航海 C でも遭遇する風向が広く分布し、船尾からの風が最も少なく全体の 4% で、風速は 30 kts 以下である。船首からの風は全体の 21% だが、船首寄りが 56% を占める。また横方向は全体の 22% だが、右舷寄りの風が全体の 40% を占める。この左舷前方～右舷後方からの風を受ける時を中心に風速が 30 kts 以上になる期間があるが、その期間は全体の 16% である。船首からの風のうち 72% が 30 kts 以下、横方向のうち 95% が 30 kts 以下である。Fig.7-(d) に示すように、航海 D は航海 C と同じ傾向があり、船首寄りの風が 56% を、右舷寄りの風が 48% を占める。この範囲を中心に風速が 30 kts 以上になる場合があるが、その期間は全体の 10% である。船首からの風は全体の 20% で、このうち 88% が風速 30 kts 以下、横方向は全体の 30% で、このうち 90% が 30 kts 以下、船尾からは全体の 2% で 20 kts 以下である。

Fig.7 Directional distribution of encountering time of every rank of wind speed.

以上の結果から、実務者が選定した航路で遭遇する風分布の特徴について考察する。風速は 50 kts 以上を越えることはなく、航海 A を除いて 40 kts 以上の風を受ける期間は全体の 6% 以下で、30 kts 以上の風は 16% 以下である。航海 A は後方からの風が卓越しており、全体の 90% の期間で風速 40 kts 以下であることから、船尾寄りの風に対しては 40 kts 以下となるように航路選定するのが一つの目安になっていると考えられる。一方、船首～横方向からの風に対してはより厳しい条件となっている。横方向に対しては、全体の 90% 程度の期間で 30 kts 以下になっていることから、30 kts が目安だと言える。船首寄りの風は、全体の 30% 程度の期間で 30 kts 以上となっていることから、目安は横方向よりも若干高く、30 ～ 40 kts と考えられる。DP 法で同様の解析を行ったところ、航海 C において全体の 40% の期間で船首～右舷から風を受け、そのうち 50% の期間で風速が 30 kts 以上となっている。先に示した通り、被験者の選定航路では風速が 30 kts 以上になる期間は DP 法より短い。すなわち実務者は、船首～横方向の風に対して 30 ～ 40 kts 以下となることを目安とすると共に、しかも長時間続くと考えられる場合は強風域を避けた航路選定を行っている事が伺える。被験者実験で得られた航路選定上の風速の目安は、被験者へのインタビュー結果と一致している。インタビューでは、風速の安全限界として 50 ～ 60 kts の回答もあるが、選定航路では風速 50 kts 以上の風には遭遇していない。これは、実際の航路選定では安全サイドに意識が働くために 50 kts 以上の海域を避ける結果になったこと、及び与えられた気象・海象条件において 50 kts 以上の海域を航行する必要がなかったことが考えられる。

4.2 波の分布

航海 A ～航海 D について、方位別に各波波高毎の遭遇時間を求めた結果を Fig.8-(a)～(d) に示す。Fig.8-(a) に示す航海 A では、全体の 63% の期間で船尾から波を受け、また船尾寄りでは全体の 90% の期間に達する。最高 11 m の波高に遭遇しているが、全体の 86% の期間で波高 7 m は以下である。横方向から波を受けた期間は全体の 8% で、波高は 3m 以下、船首からは波を受けていない。Fig.8-(a) に示す航海 B も航海 A とほぼ同様の傾向で、全体の 36% の期間で左舷後方から波を受け、船尾寄りでは全体の 68% の期間になる。遭遇する波高の最高は 10 m だが、全体の 89% の期間で波高は 5 m 以

下である。横方向から波を受けた期間は全体の 19% で、このうち 86% の期間が 5 m 以下である。また、船首からは波を受けていない。これとは逆に Fig.8-(a) に示す航海 C では、全体の 34% の期間で船首から波を受け、船首寄りが全体の 67% の期間で波を受ける。遭遇する波高の最高は 7 m だが、全体の 88% の期間で波高は 5 m 以下である。横方向から波を受けた期間は全体の 21% で、このうち 92% が 5 m 以下である。また、船尾からは波を受けていない。Fig.8-(a) に示す航海 D は航海 C と同じ傾向で、全体の 48% の期間で船首から波を受け、船首寄りが全体の 81%、最高波高は 7 m で、全体の 86% の期間で波高 5 m 以下である。横方向から波を受けた期間は全体の 7% で、このうち 92% が 6 m 以下である。また、船尾からは波を受けていない。

波の分布で特徴的なのは、野島崎沖からロサンジェスルへ向かう東航の航海 A と航海 B では船首からの波を受けず、逆に西航の航海 C と航海 D では船尾からの波を受けていないことである。裏返すと、東航では船尾を中心に、西航では船首を中心に波を受ける航路選定になっている。実務者の選定航路では、航路 A では船尾から、航路 C と D では船首からの波を受ける時間が最も長い。一方 DP 法が選定した航路では、斜め前方や斜め後方から受ける時間が長い。これは、航路計算に用いられる船舶性能特性曲線が、船首尾方向、特に船首から波を受けると速力低減が大きくなるよう設定されているため、船首寄り(船尾寄り)の波でも出来るだけ斜めから受けることで速度が保たれる。実際には、船首尾方向から激しいピッチングに見舞われると、速力低下はもちろん、船体強度や保針に大きな影響を与えるため、航路は船首尾方向からの波を避けるよう設定されるべきである。実務者の選定航路で、斜めからよりも船首尾方向から波を受ける方が多かったのは、本実験では刻々の波向きは考慮せず、大洋航海の大まかな航路として選定したためだと考えられる。インタビューの中で、「その時の風向・波向きに応じて、針路を微調整する」という回答があり、現実の場面では船体運動に即した航路設定を行っていると考えられる。このことから、波向き毎の遭遇する波高に対する安全限界を定量化するためには、短距離を数時間程度の時間間隔で針路設定する様な実験が必要だと考えられる。

被験者実験から実務者の航路選定上の波高の目安は、船首から波を受ける時は波高 5 m、横方向は 5 ～ 6 m、船尾は 7 m である。また船首から波を受けることの多い航海 C と航海 D では、DP 法の航路で

は最高 8 m の波と遭遇しているが、実務者の航路では 7 m 以上の波とは遭遇していないことから、船首寄りの波に対する最大許容波高は 7 m だと言える。一方船尾から波を受けることの多い航海 A と航海 B では、船尾で最高 11 m、横方向で 8 m の

波高があり、これがそれぞれの方向についての最大許容範囲だと言える。これらの、航路選定上の波高の目安は 5～7 m で最大許容波高は 11 m、という結果は、被験者のインタビュー結果と一致している。

Fig.8 Directional distribution of encountering time of every wave height.

5. 結論

実務者が持つ航路選定上の気象・海象に対する安全基準を定量的に明らかにするために、実務者に航路選定上の気象・海象の安全限界をインタビューし、大洋航海の航路選定シミュレーション・システムを用いて航路選定を行ってもらった。選定航路で遭遇する気象・海象の特徴を解析し、本実験で条件設定した船舶の場合について、以下の知見を得た。

1) インタビュー結果から、風速についてはビューフ

ォート風力階級表で Gale に属するランク (7～9) を限界と感じており、波高の限界は 5～8 m と 10～12m に意見が二分した。

2) 航路選定シミュレーション結果から、風については、船首からは風速 30～40 kts、横方向は 30 kts、船尾は 40 kts が航路選定の目安と考えられる。

3) 波については、船首からは波高 5 m、横方向は 5～6 m、船尾は 7 m が航路選定上の目安で、最大許容波高は船首 7 m、横方向 8 m、船尾 11 m と考えられる。

本実験では、被験者の選定航路よりも DP 法による選定航路の方が、全体的に遭遇する気象・海象が穏やかであった。一方で DP 法は、風速 30 kts 以上の風を船首～右舷に全航程の 50%の期間で受けるという結果を出したり、被験者が選定した航路の方が早く到着する事例があった。前述の通り、ソフトウェアが持つ最適航法計算機能は時間を評価基準としているため、理論的には他のどの航路よりも最短時間で到着するはずである。この様な点からも、アルゴリズムの一部に改善が必要であると考えられる。人間の思考は、しばしば不合理な場合もあるが、概して高度且つ総合的で、時々状況により複雑な思考過程を経て解を求めている。この思考過程を明らかにすることで、最適航法計算アルゴリズムをより人間の思考に近づけることが可能だと考える。本実験は出来る限り現実的な条件設定を心掛けたが、被験者にとっては回答しづらい、シミュレーション及びインタビューであったかもしれない。今後、目的に応じた実験内容と条件設定をさらに検討し、実務者の航路選定思考過程の定量化、DP 法との差異の定量化を行いたいと考えている。

謝辞

本実験は、独立行政法人海技大学校、大洋日本汽船株式会社、八馬汽船株式会社、大阪湾水先区水先人会のご協力を得て実施致しました。ご協力頂いた関係者、並びに全ての被験者に感謝申し上げます。実験・調査を実施してくれた中川正和大学院生、真野由香学生、並びに野崎伸夫技術主任にお礼申し上げます。本研究の一部は、平成 14 年度造船学術研究推進機構研究費で実施しました。

参考文献

- (1) 萩原秀樹・鈴木るり・杉崎昭生：高層気象パターンに基づくウェザールーティング—ニューラルネットワークによる航路選定—、日本航海学会論文集、No.93, pp.191-199, 1995.9
- (2) 萩原秀樹：気象・海象の予測精度情報に基づく確率的なウェザールーティング、日本航海学会論文集、No.83, pp.155-167, 1990.9
- (3) K. Y. Lee : Strategic Ship Routing Impacts of Temporal Coverage with Real-Time Satellite Altimeter-Based Current Information , Computing in civil engineering -congress-, No.1, pp.483-489, 1994.7
- (4) Hong K. Lo and Mark R. McCord : Adaptiv ship

routing through stochastic ocean currents: general formulations and emprical results, Transportation Research Part A: Policy and Practice, No.32, pp.547-561, 1998.9

- (5) J. S. Bijlsma : On the application of optimal control theory and dynamic programming in ship routing, NAVIGATION, No.49, pp.71-80, 2000.5

質疑応答

塩谷茂明（神戸大学）：

- 1) 市販ソフトを使用して研究結果が示されましたが、使用したソフトの信頼性について、どの様に評価されていますでしょうか。
- 2) 設定された低気圧の強さや速度によって遭遇波高や風速の推定値が変化します。それに対する許容値（範囲）等も異なりますので、一概には評価が出来ないのではないのでしょうか。例えば低気圧の進路、速度を固定して、低気圧の強さのみを変えた状態で許容範囲を評価するとおもしろいのではないのでしょうか。

林美鶴：

- 1) ソフトウェアのアルゴリズムは公開されておらず、また研究開発に係る学術報告等も行われていないため、定量的評価は出来ておりませんが、いくつかの日本の大手海運会社も本ソフトウェアを導入していることから、実用に耐え得る信頼性があるものと考えています。今後、本システムで選定した航路で実際に商船に航行してもらう実船実験や、気象・海象予報値の精度評価なども行いたいと考えています。
- 2) 被験者に対するインタビューでは、特定の気象・海象条件を想定しないで航路選定上の限界を伺いましたので、各被験者によって想定する場面が異なっている可能性があります。今後は、船舶の主要目だけでなく、気象・海象条件もある程度想定したインタビューを行いたいと思います。またシミュレーション実験では、想定した気象・海象条件の下で実務者が選定した航路が、結果としてどのような気象・海象に遭遇しているかを解析しました。すなわち、この結果が実務者の気象・海象に対する許容値を表しています。低気圧の強さを変えなくとも、ある低気圧に対してどの程度接近・回避するかから許容範囲を評価出来ると思います。

久保雅義（神戸大学）：

- 1) 実務者の評価とウェザールーティング社の航路の場合の評価の差はどの様に出されましたか。

2)波高、波向き等のみでなく、船の揺れや衝撃も実務者の視点と思いますが、ここではそれは取り入れられていますか。

林美鶴：

1)実務者選定航路の評価を行うための参考として DP 法でも航路を求め、前者に対して行ったのと同じ方法で後者も解析しました。しかし、本研究の目的は実務者選定航路の特徴を明らかにすることなので、本稿では DP 法による航路の解析結果及び実務者選定航路との差は示しませんでした。一部に、DP 法との比較が記述されていますが、これは実務者の気象・海象に対する安全基準を見極めるために、例えば実務者選定航路が波高 7m 以上の海域を航行していないのは、元々 7m 以上の海域を航行する必要性がなかったからなのか、波高に対する限界が 7m

なのか、を見極めるために DP 法の結果を参照しました。今後、実務者選定航路と DP 法による航路の差異が何処にあるかを定量的に明らかにしていきたいと考えています。

2)本実験はパーソナル・コンピュータ上のシミュレーションであるため、体感的な要素は含まれません。またソフトウェアには、船舶の揺れの周期やその大きさなど、船体の状況を数値で示す機能も含まれますが、船舶がどの方向から風・波を受けているかを視覚的に表示する機能があります。ご指摘頂いたような、実務者が本来持っている視点が航路選定に十分反映されていない可能性もあるため、今後は、短時間且つ局所的な場면을想定した実験により、より詳細な解析を実施したいと考えています。