冬季北太平洋におけるウェザールーティング

—海象特性と予測指標—

須田 建*・巻島 勉**・堀籠 教夫**
桑島 進**・大津 皓平**・萩原 秀樹**

Ship Weather Routing over the North Pacific in Winter

—Wave Pattern and Prediction Index—

Ken SUDA, Tsutomu MAKISHIMA, Michio HORIGOME,
Susumu KUWASHIMA, Kohei OHTSU and Hideki HAGIWARA

Abstract

In the previous report⁽¹⁾ a procedure of weather routing in the North Pacific in winter is proposed, the aim of which is not to calculate the optimum route for each individual voyage but to forecast, at the time of departure of ships, the mean zonal index for the first and the last 5-day periods in any one of the three categories "high", "medium" and "low" and then to select the recommended route that is proper for the forecast index category.

In this paper, the relation between the zonal index and the wave distribution in the North Pacific, which has been derived from one year's data and used as the basis of our procedure, is confirmed using data for three years. Some modification is made to the wave distribution model and the revised recommended routes corresponding to the new model are presented. Finally, the advantage of these routes is evaluated by numerical simulation.

1. ま え が き

我々は前報⁽¹⁾において北太平洋のウェザールーティングのためなら波浪の5日平均状態が予測できれば十分な効果を上げることができることから、波浪の5日平均状態を予測するための指標として東西示数 (Zonal Index, 以下ZIと記す) が利用できることなどを報告した。ただし、この結論はFNOC (米海軍数値予報センター) の1978/79の一冬分の北太平洋海象データを基に解析した結果であることから普遍性についての疑問が若干残っていた。

今回はその疑問に答えるためにFNOCの海象データをさらに1979/80, 1980/81の二ケ年分追加して上述の関係をさらに確かめたのでその結果などを報告する。

2. 東西示数 (ZI) と波浪分布

ZIは上空500mb面の偏西風強度を示す指標として、ある経度範囲における40°Nと60°Nの両緯度圈上の平均等圧面高度の差で表わしている。本研究においては北太平洋を含むように経度範囲を90°Eから100°Wまでとしている。

* 正会員 (東京都大田区田園調布2-24-7)

** 正会員 東京商船大学 (東京都江東区越中島2-1-6)

この範囲における冬の Z I の値としては長い期間の平均 (図 1 の点線は 1950 年代における 10 年分の平均) をとると、12 月の中旬から急に小さくなり始め 2 月の初旬で最低になり、それからまた大きくなり始めるといった傾向が見られる。ただし、この変化は年によって大きく変動し、最近の 1976 年から 1981 年にわたる 5 冬分について調べてみても図 1 の実線のようにそれぞれに異なった変動をしている。

図 2 8 階級に分けた東西示数の変化

図中の各 Z I は 5 日平均の値である。これより冬季北太平洋における 5 日平均 Z I は 100m から 500m の間で変化していることがわかる。そこでこの間における Z I を 50m ずつに区分してその出現回数を数えてみると図 2 に示すように 8 区分の 5 日平均 Z I 出現頻度図が得られる。

各区分の出現回数は異なるものの各区分の Z I に対応する時期の 8 枚の平均北太平洋波浪図を描いてみた。その結果 Z I の値に比例して波浪分布は系統的に変化していることがわかった。すなわち北太平洋の主たる高波高域は南西の卓越波で形成されており、この高波高域は Z I の値が大きくなるにつれて高緯度に移動しその範囲も東方に広がる。

ただし Z I の値が小さい間は上記の高波高域の北に東寄りの卓越波による別の高波高域が、また Z I が大きくなると小規模ながら北東貿易風による北緯 25° 付近に中心を持つ高波高域が出現することなどである。これらの特徴は東西方向には比較的整一であるため各緯度毎に東西方向を平均すると図 3 に示すような Z I 別の平均波浪図が得られる。図 3 は縦軸に示す各緯度帯における北太平洋の卓越波向きを矢印の方向で示しており、矢印の長さは波高に比例している。図より明らかなように Z I の値が大きくなればなるほどそれぞれの西南西の卓越波向帯が北に偏

図 1 最近冬季 5 ケ年分の 5 日平均 Z I の変動

図 3 冬季北太平洋における示数クラス毎の緯度別平均波浪

ってくるなど北太平洋の波浪はZ Iに対応して全く系統的に変化していることがわかる。

3. 北太平洋の波浪分布モデル

前節においてはZ Iを50mずつ8つのクラスに分けた。本来、Z Iがこの8クラスに分類できるほど細かく予測できるなら8種類の平均波浪図をそのままZ Iに対応する北太平洋の波浪分布モデルとして使用が可能であろう。しかしながら現在の気象予測技術としては10日先までの要素を含んだ二段階の5日平均Z Iに対してはせいぜい「高」・「中」・「低」のいずれかを予測するていどが限度と思われる。Z Iをこの三クラスで予測することは前報においても行った方法であり、今回もこの方法を踏襲することとする。ただし各クラスの区分けの境界について前報より50mずつ下げて表1のように修正した。

表1 東西示数のクラス分け

Zonal Index	Index Class
250m未満	Low Index
250m以上350m未満	Medium Index
350m以上	High Index

この修正は前報で用いた1978/1979のみのデータによるZ Iの値が最近の5ケ年の中では高すぎたためであり、今回のクラス分けにしたがえば図2の各クラス毎の頻度分布も大体等分される。

この新しいクラスのZ Iに対応した三冬分の北太平洋の波浪の平均図を作成してみると図4～6のようになる。すなわちこれらの平均波浪図をそのまま三クラ

図4 低示数期の北太平洋平均波浪分布

図5 中間示数期の北太平洋平均波浪分布

図6 高示数期の北太平洋平均波浪分布

52° 東経168°付近まで北上する。それにつれて高波高域も北上し、アリューシャン列島からその南海域で北緯40°付近までが高波高域となっている。さらに図6の高示数期になるともはや回転形のようなものは存在せず北緯40°より北の海域は全面的に西南西の波が卓越しておりアリューシャン列島の南海域からアラスカ湾にかけて広い高波高域が存在している。

以上、新しい波浪分布モデルの特徴を述べたが、前報のモデルに比して大きく変わったことは低示数期における回転形の中心がアリューシャンの南350海里以上離れた場所に存在するようになったために東寄りの波向き帯がアリューシャン列島のすぐ南にも存在するようになったことである。このことは後述の推薦航路に大きく影響

スのZ Iに対応した波浪分布モデルとして使用しようとするものである。図中の三角印の長軸方向で卓越波向きを、軸の長さ按比例した大きさで有義波高を示している。なお卓越波向き、有義波高の定義および平均方法は前報に記した通りである。

図4～図6を比較すれば明らかなように図4のZ Iが小さい低示数期は北緯46°、東経180°付近を中心とした反時計まわりの回転形になるような波向き分布を示しており中心からやや南の北緯40°付近に南西卓越波による高波高域が見られる。そして図5の中間示数期になると波向きの回転形の中心は北緯

することとなる。

4. 示数クラス別推薦航路

北太平洋を東西に約10日で横断する場合、5日平均の二段階予測をすることにより、示数クラスの組み合わせは9通りあることから、それに応じた9本の推薦航路を前報で提唱した。

今回、波浪分布モデルを修正したことに伴いこの9本の推薦航路も再計算して修正した。図7、図8は新しい

図7 示数クラス別の推薦航路（東航）

図8 示数クラス別の推薦航路（西航）

波分布モデルに対応した東航と西航の示数クラス別の推薦航路である。図7の東航においては9本の推薦航路のほとんどが大圏近くを通るという特徴は前報と同じである。しかし、図8の西航においては前報と異なり9本のうち8本までが北太平洋の北方航路をとり、さらに北方航路のうちでも低示数期が続く場合にはアリューシャン列島の南を通る航路を採用している。これは前節で述べた波浪分布モデルの修正に伴う変更と言える。いずれにせよ冬季の北太平洋において西航する時、多くの場合、北方航路を採用した方が有利と言えそうである。

5. 推薦航路の有効性

前節に記した推薦航路がどのくらい効果のあるものかを調べるために前報と同じく最短時間航路および大圏航路と比較してみた。

ここで最短時間航路とは出港時に入港までの期間、毎日の波浪分布が完全に予測できたものとして最適計算を行って求めた航路であり、大圏航路とは毎日の波浪分布に無関係に一途に地理的最短距離である大圏を通る航路である。

比較は数値シミュレーションによる東京とサンフランシスコ間の航海時間を評価対象とした。

なお当然のことながら各航路とも毎日の実況波浪データを使ってシミュレーション航海を行っている。

数値シミュレーションにおける対象船舶、方法などは前報とほとんど同じである。ただし今回は航海中に波高

図9 各航海毎の航路別航海時間（東航）

図10 各航海毎の航路別航海時間（西航）

が12m以上になってもシミュレーションを中止せずに波高が12m以下になるまで停船して待つようなプログラムを採用した。1978年から1981年にわたる三冬分、それぞれの航路の航海時間は図9、図10のようになった。図9は東京を5日毎に出港した船がサンフランシスコに着くまでの時間であり三冬分として全部で60航海ある。また図10はサンフランシスコから東京に向かう西航の航海時間であり、やはり60航海分を示している。図から明らかに東航においては三つの航路ともあまり差はないが、西航においてはほとんどの航海において三つの航路にかなりの差が生じていることがわかる。

60航海の平均航海時間を計算してみると表2のようになる

表2 平均航海時間(時間)

	最短時間航路	推薦航路	大圏航路
東航	224.1	231.0	231.2
西航	230.2	240.1	252.3

図11 各航海毎の最短時間航路(東航)

図12 各航海毎の最短時間航路(西航)

また図11、図12には東航と西航の場合の60航海分の最短時間航路を示した。

最短時間航路は前述のように10日先まで毎日の北太平洋の波浪分布が完全に予測できるいわゆる神様のような船長が選ぶはずの航路である。そして逆に大圏航路は気象、海象のことは全然考えないでただ地理的最短距離というだけで採用するいわば“ものぐさ”な船長の航路である。

我々の推薦航路はいかに“ものぐさ船長”の航路に比して有利であるか、いかに“神様船長”の航路に近づけるかが評価の対象となる。

このような観点から表2を見ると“神様船長”の航路に対しては東航において7時間、西航においては10時間近くもの余分な航海時間がかかっている。このことは図11、図12のようなさまざまな航路を単に示数クラスによって決まる9本の航路で代表させているためであり、航路選択をこのような方法で行うことの限界とも言える。

ただし、“ものぐさ船長”の航路に比せば東航の場合はともかくとし、西航においては平均12時間以上もの航海時間の短縮がなされている。この航海時間の短縮は単に時間の短縮だけに止まらず燃料の節約、船体動揺の低減、航海の安全などに通じるものである。示数クラスを正しく予測して推薦航路を利用するだけで単に大圏航路を走るより半日以上も時間短縮ができることは本法の有効性を十分示していると言えよう。

6. あとがき

我々の提案する最適航法の手法は個々の航海毎に航路計算を行う必要はなく、出港の時点で前半5日と後半5日の平均東西示数を「高」・「中」・「低」のいずれになるかさえ予測すれば、それに応じた推薦航路を選べばよいといった非常に簡単な手法である。本稿においてはその裏づけとなる東西示数と波浪分布との関係、その波浪分布に基づく推薦航路とその効果などを再計算して報告した。

最適航法のキー・ポイントはまえがきで述べたように波浪の、ひいては気象の予測にある。我々の手法では東西示数の予測にあるわけだが本稿においてはその点に言及しなかった。

これは前報において提唱した時系列解析を応用する予測手法で「事足れり」と考えているわけではない。本文でも記したように東西示数の予測がより細かく精度よくできればそれだけ推薦航路もきめ細かくできるようになり最終的には「神様船長」の航路に近づけることができるわけである。

現時点での予測精度に合わせた今回の手法についても、Z I クラスの分け方やそれに応じた平均波浪分布による推薦航路の決定方法などは完成したものではなく、まだまだ検討、改良の余地が残されておりひきつづきこれらの点を改善してゆくとともに「より細かく精度の良い予測」については今後とも最重要課題として取り組んでゆきたいと考えている。

最後に、前報以後ひき続きFNO Cのデータ取得に協力をいただいた、株式会社オーシャンルーツに謝意を表す。

参 考 文 献

- (1) 須田ほか；冬季北太平洋におけるウェザールーティングの一手法について，日本航海学会論文集，第65号，p.p. 135～149，昭和56年9月
- (2) 萩原，巻島；最適航路に関する考察，日本航海学会論文集，第62号，p.p. 77～88，昭和55年1月

質 疑 応 答

尾崎康一：すでにアメリカで10日間の 500mb, progno が作成されていますが，これによってZ I を計算して，実際に応用比較されましたか。

桑島 進：そのデータは入手していませんので応用比較はしていません。今後，是非行ってみたい課題の一つと考えています。

ただ今回の主題は「Z I が正しく予測されたならば，そのZ I を波浪分布予測に用いることができる」ことについて述べたものです。

池田隆史：①最適航路選定のモデルケースと考えられる北太平洋西航の場合，航海の開始に先立って航海後半の示数値を予想するにはどうしたら良いでしょう。

②航路選定には波浪パターンだけでなく本船の堪航性能限界が関連しているのではないのでしょうか。

桑島 進：①については本文の「あとがき」を御参照下さい。結論的に申せば，御質問の件は今後の重要課題であり現段階では自信を持ってお答えできる成果を得ていないということです。

②については「その通り」と言えます。ただし全ての波浪状況に対応して具体的に各船の堪航性能限界を知ることとはかなり困難なことでして本文における航海シミュレーションで使ったパフォーマンスカーブ（文献(1)の143～144ページ）についても，特に高波高域のものは事実と証明されたものではなく，いくつかの推測を含んだものであることから議論の余地が残されていると言えます。