

高層気象パラメータを用いた波浪の長期予測手法

岡田 弘 三*・宇都宮好博**・渡辺 好 弘***

1. はじめに

近年、社会活動に影響を与える年々の変動が著しい気象が現れている。例えば1993年の夏、東北地方では長期間低温が続く、農作物は大きな被害を受けた。翌年の1994年夏は前年と打って変わって全国的に猛暑となり、西日本では異常渇水のため、農作物及び日常生活に影響が及んだ。海上気象に関しては、1993年夏の東北地方太平洋沿岸において、例年に比較して高い波高が継続し、港湾の施工計画に影響を及ぼした(岡田, 1997)。

このような平年から偏った気象海象を事前に予測することができれば、防災あるいは港湾工事の工程管理上、有効な対策を講じることができる。しかし、物理モデルに基づいた気象長期予報は、アンサンブル予報に基づいた1カ月予報が1996年から始まったばかりであり、より長期(数カ月～1年)の季節予報については統計的手法に基づいているに過ぎない。波浪予報に関しては、1週間先までは波浪モデルにより予測計算されるが、より長期の波浪予報については、類似年等の主観的な方法を用いているのが現状である。

本研究では、平年から偏った気象海象は上空のプラネタリー波の変動に関係することに着目して(気象庁, 1962)、大気のパラメータ(500 hPa 高度偏差, 循環指数)と波浪統計値(月平均有義波高偏差)との関係を定量的に把握し、これらの統計的關係に基づく客観的な波浪の長期予測手法を提案する。

2. 500 hPa 高度と月平均有義波高との相関解析

海洋波浪を引き起こす海上風の風速、風域及び継続時間は気象擾乱の性質に依存し、気象擾乱の勢力や持続性は大気の立体構造と深く結びついている。例えば、冬季に極域からシベリア上空に寒気が流れ出すと、500 hPa 高度(約5500 m)の谷の前面(東側)に位置する千島列島付近では低気圧が発達し、日本付近では東西方向に気

圧傾度が大きくなり北西の季節風が強まる。また、梅雨時期にオホーツク海付近に背の高いブロッキング高気圧が形成されるとこれが長期間継続し、梅雨前線の活動が活発化して低気圧が頻繁に発生し、日本付近では悪天候が続くことが知られている(大塚, 1978)。このように地上の気象擾乱は上層の寒気や気圧配置および偏西風と密接に関連している。従って、海洋波浪の長期統計値(波候)の年々変動は、上層の大気循環の特性に大きく依存するものと考えられる。

この章では全国沿岸55ヶ所の波浪観測データ、外洋10ヶ所のブイデータ(運輸省港湾局, 1996; 気象庁, 1977～1995, 1977～1993)および外洋代表地点7ヶ所の波浪推算データ(日本気象協会, 1995)を用いて、海洋波浪と北半球の500 hPa 高度との相関解析を行う。解析対象は季節変動を除くため、月平均有義波高の年間偏差と5度格子の月平均500 hPa 高度の年間偏差を用いる。以後これらを波高偏差と500 hPa 高度偏差と呼ぶ。統計期間は観測値については観測開始から1994年まで(約10～22年)、推算値については1880年から1994年(15年)までである。

(1) 太平洋沿岸波浪観測点

北日本太平洋沿岸の代表例として、仙台南港における冬季の波高偏差と北半球500 hPa 高度偏差の相関係数の空間分布を図-1に示す。図によると千島列島周辺、北アメリカ南東部及びヨーロッパ付近で高い正の相関を有する明瞭な3波型のパターンを示す。これより北日本太平洋沿岸の冬季波浪は、北緯45度付近の上記3ヶ所における超長波(波長約10,000 km)の気圧変動と強い相関関係にあることが明らかになる。これは超長波に長波(5,000～6,000 km)や短波(300 km)が重なり、気圧の谷が深まって擾乱が発達あるいは長時間持続して、平年から偏りのある波高出現分布を示すものと推定される。春季と秋季の相関分布は3波型を基本とする2～4波の多様な形を示す。夏季の相関係数は比較的小さく、日本列島付近で負の相関になる複雑な相関分布を示す(図-2)。西日本太平洋沿岸は、北日本に比べてより低緯度の本州東方海上(北緯30度～40度, 東経145度～150度)に高い相関域が現れ、季節別では冬季が最も相関が高く、

* 正会員 理博 日本気象協会研究所専任主任研究員

** 正会員 工修 日本気象協会関西本部主任

*** 日本気象協会研究所研究開発部長

日本海沿岸全観測点について、負の相関係数が最も高い位置をまとめると、緯度は北日本では北緯 50 度、西日本では北緯 30 度であり、北から南に向かうに従って緯度が低くなる（図-6 上段）。相関の高い経度は東経 130 度～140 度であり全観測点についてほぼ一定である（図-6 下段）。

(3) 外洋波浪観測点及び北太平洋代表地点

気象庁ブイ・NOAA ブイ波浪観測点および北太平洋波浪推算代表地点（図-7）における波高偏差と 500 hPa 高

度偏差との相関関係は、それぞれの地点に固有の相関場を有する（日本気象協会，1997）。北半球中緯度海域（北太平洋中緯度西部 A，東部 D，英国沖，ニューファンドランド沖）については，一般に秋季～春季においてこれらの海域と同じ緯度経度に負の高相関域がある（図-8）。これは 500 hPa 高度偏差が減少すると（負の時），波高偏差が増大（正になる）することを示すものである。赤道海域の波高偏差は，秋季および冬季に中緯度帯（北緯 20 度～45 度）の 500 hPa 高度偏差と高い正または負の相関を示す。この相関関係は中緯度における大気大循環と赤道域の気象システムとの遠隔結合を示すものであるかどうかさらに検討する必要がある。アラビア半島沖の波高偏差は，夏季に同海域の 500 hPa 高度偏差と負の高い相関を持つ。これは夏季のインド洋モンスーンの勢力とこの海域の波候特性が密接に関連することを示すものであろう。

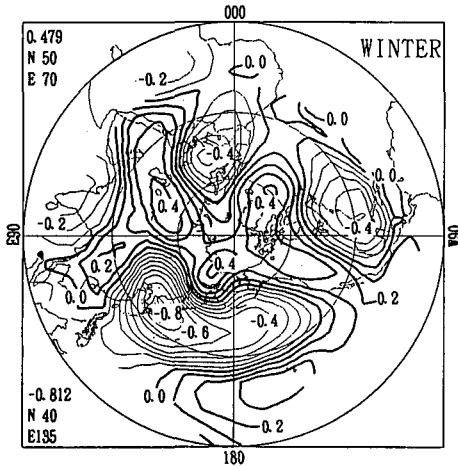


図-5 波高偏差と 500 hPa 高度偏差の相関分布図（金沢：冬季；数値は図-1 に同じ）

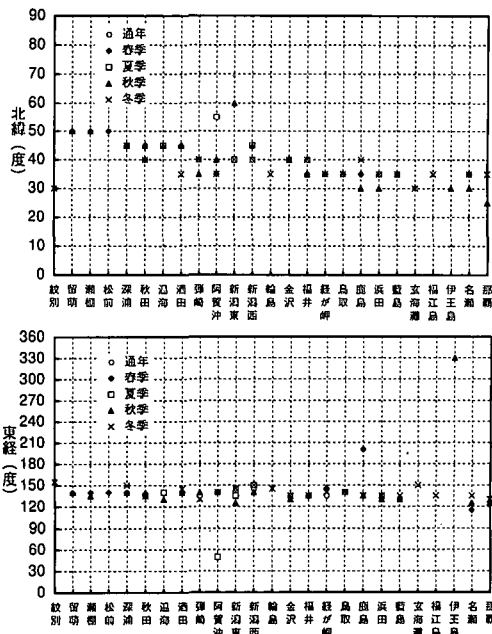


図-6 日本海沿岸相関係数最大位置分布（上段：緯度，下段：経度）

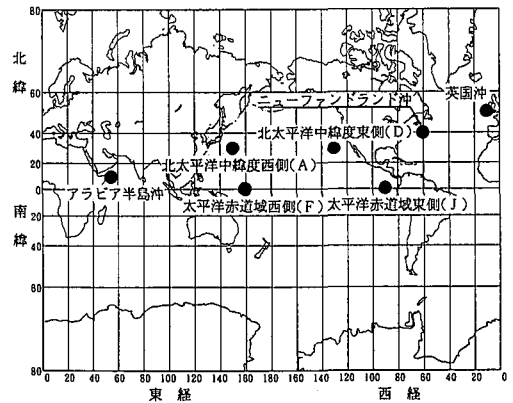


図-7 北太平洋代表地点

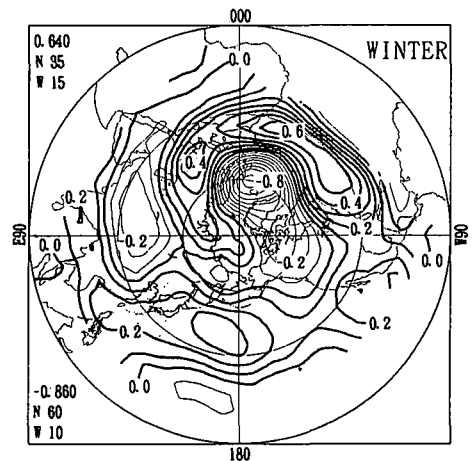


図-8 波高偏差と 500 hPa 高度偏差の北半球相関分布（英国沖：冬季；数値は図-1 に同じ）

3. 循環指数と月平均有義波高

循環指数は対流圏中層の循環の特徴を表し、500 hPa 高度の年間偏差を用いて8つの指数が作成されている。これらの循環指数と全球の波高偏差（推算値）との相関解析によると、循環指数とそれを定義した領域の波高偏差との間には一般に負の相関があることが示される。特に春季の循環指数にこの傾向が示される。8つの指数のうち日本付近に関係の深い北半球東西指数（NH-ZI）の解析結果を図-9に示す。NH-ZIは北緯40度の帯状平均偏差と60度の帯状平均偏差の差で定義される。この指数が正の場合は大気循環が東西に卓越して天候が安定すること、負の場合は大気循環が南北に蛇行して異常気象を引き起こす傾向があることを示す。図-9によれば北太平洋中緯度に負の相関域が示され、これよりNH-ZIは北太平洋中緯度の波候の変動の指標になり得ると考えられる。

北半球極渦指数（NH-PV）は北大西洋高緯度海域の波高偏差と負の相関を有する（図-10）。NH-PVは北緯70度と80度の帯状平均偏差の平均値で定義されることから、北半球の極渦が発達する時（循環指数が負になる時）にこの海域の波高が高くなることを示すものである。

日本沿岸観測値の波高偏差と循環指数との相関解析結果によると、一般に、日本沿岸の波高偏差と各循環指数との相関係数は小さいが、季節別では波高偏差と循環指数との相関関係が成り立つ地点があることが示された。これらの地点では循環指数を波浪の長期予測パラメータとして使用することが可能である。

4. 長期波浪予測手法の検討

2〜3日先の波浪は、気象予報モデルにより予測計算される日々の気圧配置あるいは海上風を入力として、波浪予報モデルを用いて予測される。気象予報モデルによる天気予報の実用的な精度は現状では、10日程度先が限界であると言われている。そのため、この方法による波浪予報もせいぜい10日先までにしか適用できない。

すなわち、観測値を入力として物理法則に基づき、日々の天気状態を決定論的に、いわゆる初期値問題として予測するには、初期値の不確かさに起因する限界がある（カオス理論）。これは現在使われている数値予報モデルが、将来いくら精密なものになっても超えられない限界であり、理論的研究によると、それは大体2週間程度である。そのため、この限界を超えた1ヶ月〜季節予報に対しては、「日々」の予報ではなく、例えば10日程度の平均的な天候状態の予測やその確率的予測が目標となる。平均的な予報値（例えば500 hPa 高度の10日平均値）を得るといふアンサンブル予報については、気象庁が1996年から

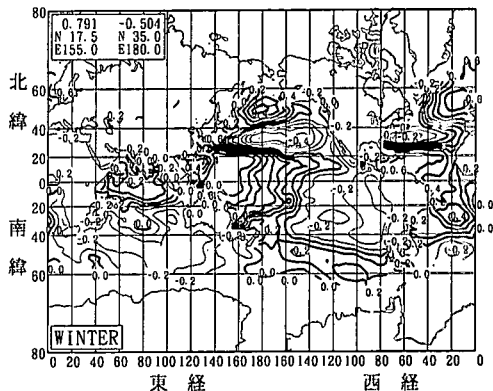


図-9 全球の波高偏差と循環指数（NH-ZI）の相関分布（冬季；左上は最大相関係数とその緯度経度）

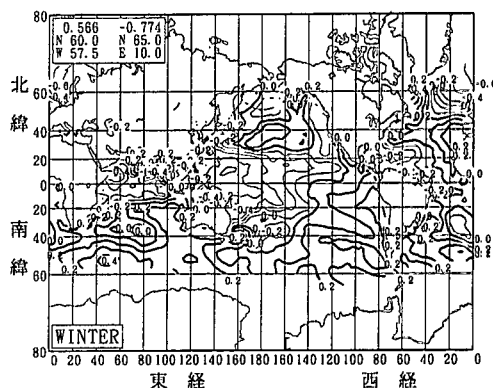


図-10 全球の波高偏差と循環指数（NH-PV）の相関分布（冬季；左上は最大相関係数とその緯度経度）

開始している。

波浪予報に関しても同様の考えが成り立ち、波浪予報モデルを用いた10日以上長期波浪予報は精度が低く、実用には適さないと考えられる。そこで気象のアンサンブル予報結果を応用した次の二通りの波浪の長期予報法が考えられる。つまり（1）初期値の異なる気象予報モデルからの計算結果をそれぞれ入力として、波浪予報モデルによりそれぞれ予測計算を行い、その確率・統計値を求める方法と（2）気象のアンサンブル予報の対象となる高層気象のパラメータ（500 hPa 高度の平均値等）と波浪の統計パラメータ（月平均波高等）との関係を予め求めておき、アンサンブル予報値に基づいて波浪統計値を予測するものである。どちらにしろ、長期予報値は確率的なものを対象にせざるを得ないと考えられる。

本研究では、後者（2）の方法による波浪長期予測手法を提案する。2章では波浪統計値（波高偏差）と500 hPa 高度偏差の間に高い相関があることが明らかにされた。この相関が最も高い領域について、波高偏差と500

表—1 波高偏差と 500 hPa 高度偏差の相関係数最大位置と一次回帰式（仙台南港）

解析地点：仙台南港（205）

	正 の 相 関					負 の 相 関				
	緯 度	経 度	相関係数	a	b	緯 度	経 度	相関係数	a	b
通年	N 45.0	E 155.0	0.59838	1.6386 E-03	-3.7320 E-03	N 20.0	E 165.0	-0.28337	-2.6878 E-03	1.6656 E-02
春	N 45.0	E 160.0	0.61442	1.6143 E-03	2.1734 E-02	N 15.0	E 170.0	-0.46408	-4.5924 E-03	3.2792 E-02
夏	N 35.0	W 135.0	0.50302	2.1446 E-03	-5.0686 E-03	N 50.0	W 160.0	-0.48679	-8.6285 E-04	4.7020 E-04
秋	N 45.0	E 155.0	0.70339	2.2521 E-03	-6.6546 E-03	N 20.0	E 140.0	-0.58174	-8.5927 E-03	2.4374 E-02
冬	N 45.0	E 155.0	0.81113	1.7253 E-03	-9.5071 E-03	N 75.0	W 110.0	-0.57086	-9.4981 E-04	-2.0992 E-03

hPa 高度偏差の一次回帰式を日本全国沿岸観測点において求めた。仙台南港の例を表—1 に示す。この統計関係式と長期予報で発表される大気パラメータを用いて、次の方法により数ヶ月～1 年先の波浪長期予測が可能となる。

波浪の長期予測方法

（1） 予め各地点（港湾・海域）の月平均波高、月平均出現分布関数または累積出現分布関数の気候値を求め、これを平年値とする（運輸省港湾局、1996；永井ら、1996；日本気象協会、1996）。

（2） 予測対象地点の波高偏差と北半球の 500 hPa 高度偏差との相関の高い緯度経度を選択しておく。

（3） 気象庁作成の 1 カ月～季節気象予報資料から、対象領域の 500 hPa 高度偏差を読み取る。

（4） 波高偏差と 500 hPa 高度偏差の一次回帰式（表—1）を用いて、予測対象海域の波高偏差を求める。

（5） 波高偏差から月平均波高、波高出現分布あるいは波高累積出現分布を求める。

（6） 波高偏差と循環指数の相関の高い地点では、循環指数の予測資料から波高偏差を算定し、（4）を補完する。

5. おわりに

500 hPa 高度偏差と波高偏差との相関関係を調べた結果、各観測点及び推算地点の波高偏差は特定の領域の 500 hPa 高度偏差と高い相関を示すことが明らかにされた。これは気象学的には、上層のプラネタリー波が発達する年は地上の気象擾乱が活発化して、波高偏差が大きくなるものと推定される。循環指数（NH-ZI, NH-PV）とこれを定義した領域の波高偏差には、一般に負の高い相関がある。これは波高偏差が偏西風波動や極渦の強弱

に依存することを示すものである。以上より波候は上層大気の循環特性に依存して変動することが予想される。

上層大気と海洋波浪との間に相関関係があることが示されたことから、これらの一次回帰式を用いた波浪の長期予測手法を検討した。気象の 1 ヶ月～季節予報資料とこれらの関係式および気候値（平年値）を用いた波浪の長期予測手法が提案される。この予測精度を検証することが今後の課題として残る。

最後に、NOWPHAS データ及び JMA 波浪データを港湾技術研究所、沿岸開発技術研究センター、気象庁海上気象課から、500 hPa 高度データを気象庁気候情報課から提供して頂きました。また、この研究は日本財団の補助を受けて実施致しました。ここに謹んで関係各位に謝意を表します。

参 考 文 献

- 運輸省港湾局（1996）：全国港湾海洋波浪観測 25 年統計資料—NOWPHAS 1970-1994—，沿岸開発技術研究センター，640 p.
- 大塚龍三（1978）：高層天気図の利用法，日本気象協会，162 p.
- 岡田弘三（1997）：海洋波浪の長期変動，船と気象，第 186 号，pp. 5-9.
- 気象庁（1962）：500 mb 平均天気図と気象要素との関係，気象庁技術報告第 15 号，299 p.
- 気象庁（1977～1995）：気象庁波浪観測資料，第 1～18 号.
- 気象庁（1977～1993）：気象庁海洋気象プロット資料，第 1～16 号.
- 永井紀彦・清水勝義・菅原一晃・橋本典明・久高将信（1996）：長期データによる日本沿岸の波候特性の検討，海岸工学論文集，第 43 巻，pp. 221-225.
- 日本気象協会（1995）：数値計算に基づく太平洋全域の波浪特性の研究報告書（平成 6 年度事業），129 p.
- 日本気象協会（1996）：波候の変動特性に関する研究報告書（平成 7 年度事業），243 p.
- 日本気象協会（1997）：波候の変動特性に関する研究（その 2）報告書（平成 8 年度事業），316 p.