

波候の変動特性に関する研究

宇都宮好博*・岡田弘三**・鈴木 靖***

1. 緒 言

波浪の長期統計特性（波候）については、船舶による海上観測資料、沿岸波浪計およびブイ式波浪計による波浪観測資料、あるいは波浪追算資料等を用いて、船舶設計および港湾設計等の工学的目的から研究されているが、波浪統計値の変動特性に関しては十分な調査研究がなされていないのが現状である。気候の変動および地球環境の将来予測が大きな課題になっている現在、波浪統計値（波候）の変動特性を把握することは港湾の防災・施工工程管理等にも重要な意味を持つものと思われる。

本研究では、運輸省港湾局、気象庁およびアメリカ海洋大気庁において蓄積されてきた波浪観測資料と、全球波浪追算資料に基づき、北太平洋および全球の波候特性の解析を試みる。

2. 波浪観測資料の収集および基礎統計

(1) 波浪観測資料の収集

本節では波候の変動特性を解明するため、日本沿岸および北太平洋の波浪観測資料を収集整理した。まず日本沿岸の波浪観測資料として、運輸省港湾局（1996）の沿岸波浪観測所（NOWPHAS）44地点および気象庁（1977～1995）の沿岸波浪観測所11地点のデータを収集した。図-1はこれら55地点の波浪観測所位置を示したものである。データの収集期間は、それぞれ観測開始から1994年12月までであり、観測時間間隔は、NOWPHASについては2時間毎、気象庁については当初3時間毎であったがその後毎時間隔に移行した。観測期間途中の観測時間変更は統計解析に影響を与えるため、NOWPHASについては2時間毎、気象庁については3時間毎のデータを用いて解析を行った。さらに、異常データの除去については、気象庁の障害情報7以上を異常データとして欠測としたが、NOWPHASについては特別な処理は行わなかった。

一方、外洋の波浪観測資料として、気象庁（1977～1993）

の外洋波浪ブイ6地点およびNOAAの外洋波浪ブイ5地点のデータを収集した。NOAAのデータについては百数十地点の中から代表的な5地点を抽出した。これら外洋波浪ブイの位置図を図-2に示す。データ収集期間は、それぞれ観測開始から1994年12月までである。観測時間間隔は、気象庁のブイは3時間毎であるが、風速が35ノット以上になると毎時観測に移行する。一方、NOAAのブイは毎時観測である。そこで、沿岸波浪計と同様、気象庁のデータは3時間毎、NOAAのデータは毎時間毎

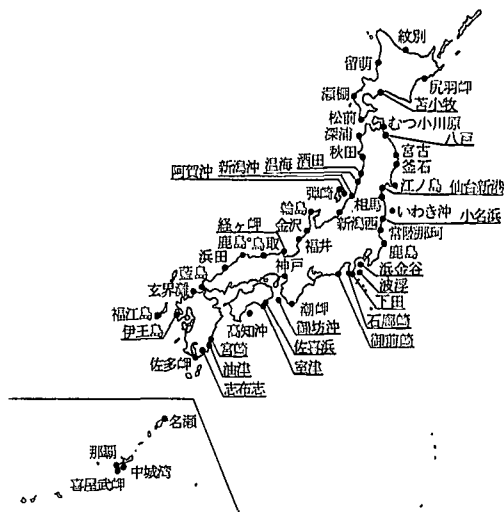


図-1 沿岸波浪観測地点位置図

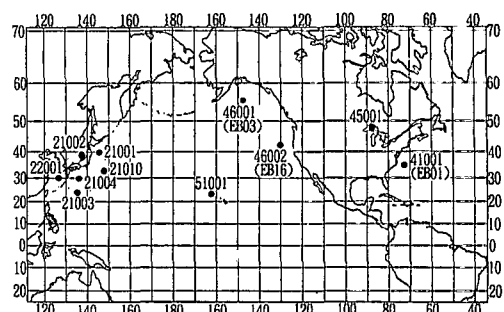


図-2 外洋ブイ波浪観測地点位置図

* 正会員 工修 日本気象協会関西本部技師
 ** 正会員 理博 日本気象協会研究所専任主任研究員
 *** 理博 リモート・センシング技術センター解析研究部副主任研究員

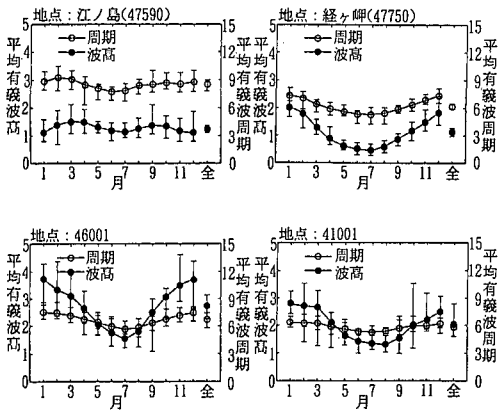


図-3 波高と周期の季節変動

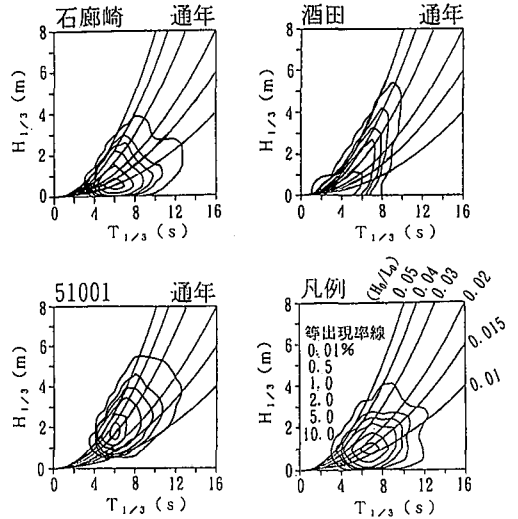


図-4 波高と周期の結合分布

に統計を行った。異常データ除去については、有義波高が 20 m 以上、有義波周期が 20 s 以上は欠測とした。

(2) 波浪観測資料の基礎統計

観測資料に基づく波浪特性の統計解析については小舟ら (1988)、永井ら (1996) 等、数多くの研究がなされ解明されているが、本節では、波候特性の解明に先立ち、収集したデータをチェックする意味で、波浪特性の基礎統計を行った。

図-3 は、月平均有義波高と周期の季節変動を示したものである。図中には、月平均有義波高と周期の変動幅も示している。一般に、太平洋沿岸海域では 3 月と 9 月を中心に月平均波高が高く、7 月と 12 月を中心に波高が低い 6 ヶ月周期の季節変化を示す。一方、日本海沿岸海域では、月平均波高は 12 月・1 月に高く、6 月・7 月に低い 12 ヶ月周期の変動を示す。また、太平洋東部海域においても、日本海沿岸海域と同様、月平均波高は冬場に高く、夏場に低い 12 ヶ月周期を示す。

図-4 は有義波高と周期の結合分布を示したもので、波形勾配がほぼ 0.05 を上限とする分布を示している。日本海沿岸海域の結合分布は、太平洋沿岸海域に比べ、周

期帯が狭く、シャープな分布形状を示している。また、外洋波浪の結合分布は、沿岸波浪に比べ周期帯が狭い分布形状を示すが、ハワイ周辺海域 (プイ No. 51001) ではうねりの存在により、周期帯が広がっている。

これらの結果は従来の諸研究と同様な結果であり、本研究で収集した観測資料は、波候の変動特性解析に支障無く用いることが可能と推察される。

3. 波候の変動特性

(1) 波浪観測値に基づく波候の変動特性

図-5 は太平洋沿岸のむつ小川原および日本海沿岸の金沢における月平均有義波高の経年変化を示したものであり、日本海沿岸の金沢では太平洋沿岸のむつ小川原に比べ季節変動が著しいことが解る。また、図中の直線はこれらのデータに 1 次回帰式を当てはめ、月平均有義波高の変化傾向を求めたものである。

この月平均有義波高の変化率 (cm/年) を太平洋沿岸海

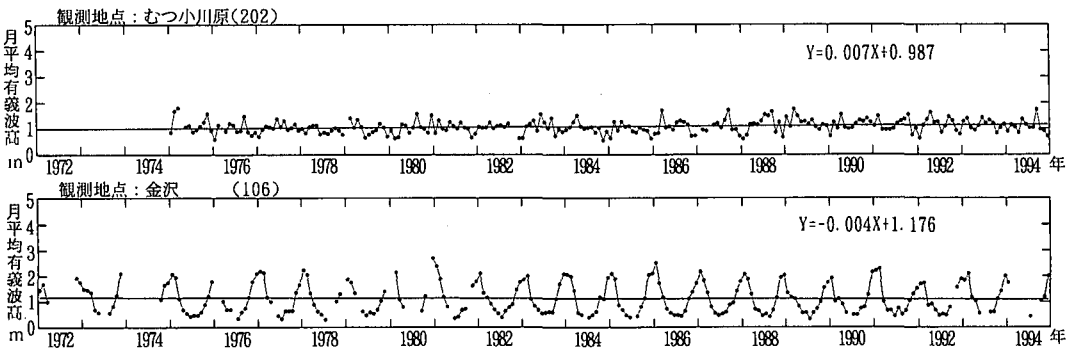
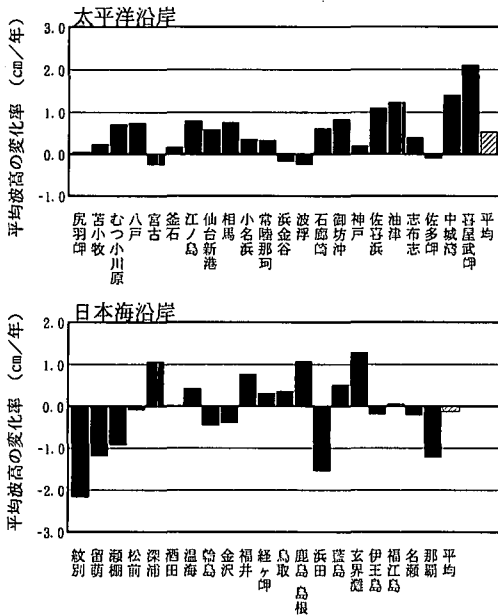
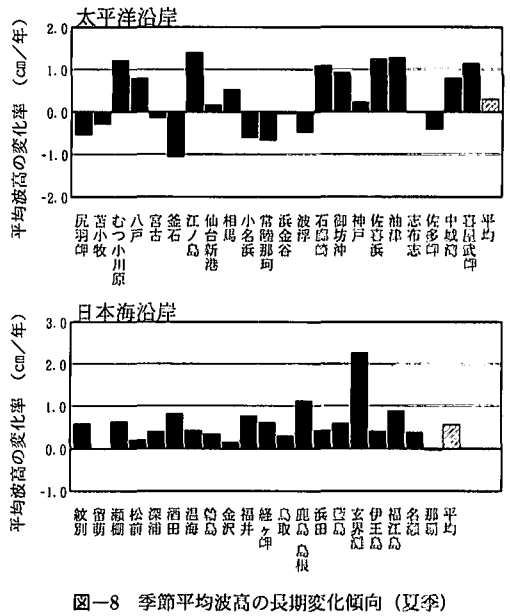


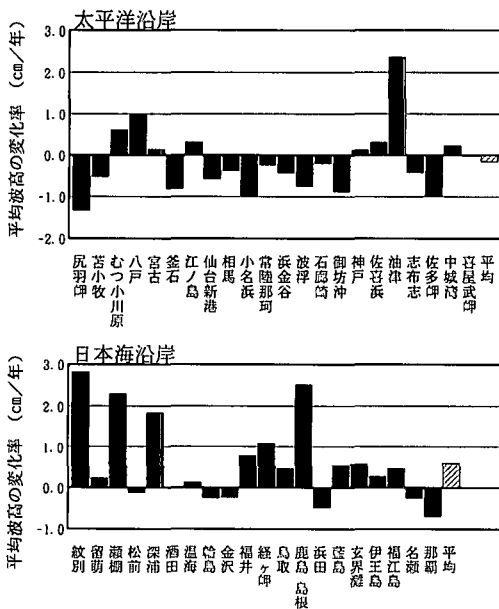
図-5 月平均波高の経年変化 (観測値)



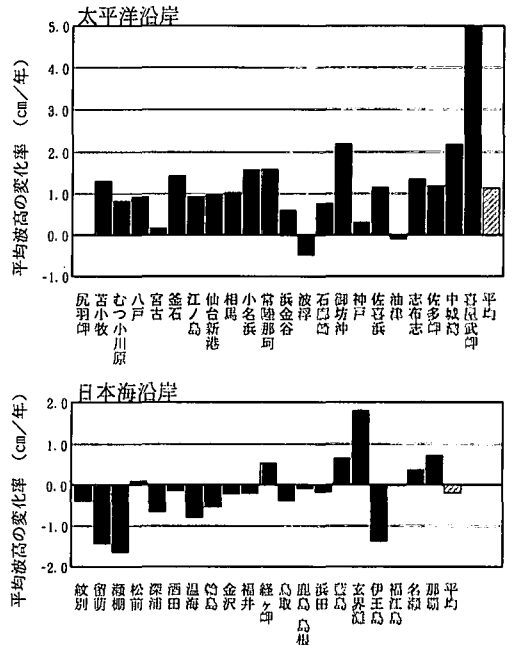
図一六 月平均波高の長期変化傾向 (通年)



図一八 季節平均波高の長期変化傾向 (夏季)



図一七 季節平均波高の長期変化傾向 (春季)



図一九 季節平均波高の長期変化傾向 (秋季)

域と日本海沿岸海域に分け、観測期間10年以上の地点について示したのが図一六である。この図によると、月平均有義波高の変化傾向は地点毎に異なるが、平均的に見ると、太平洋沿岸海域では1年間で約0.6 cmの増加傾向を示すが、日本海沿岸海域では1年間で約0.1 cmの減少傾向を示している。さらに、これらの変化傾向を季節別に把握するため、季節平均波高の変化率を示したのが

図一七～一〇である。ここで、春季(3月～5月)における平均波高の変化傾向は通年の結果とは逆に、太平洋沿岸においては0.2 cm/年の減少傾向を示し、日本海沿岸においては0.6 cm/年の増加傾向を示す。また、夏季における日本海沿岸は全ての地点で増加傾向を示している。さらに、秋季において太平洋沿岸で大きな波高増加を示しているが、これは台風の来襲と密接に関わっている。

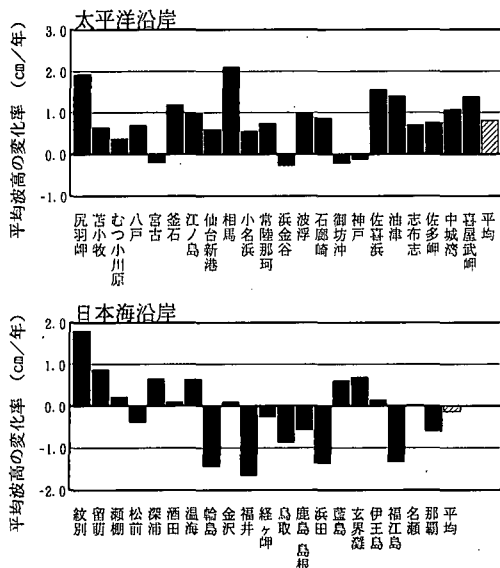


図-10 季節平均波高の長期変化傾向 (冬季)

(2) 波浪追算値に基づく波候の変動特性

この節では、長期に渡る波浪追算を実施し、主に北太平洋における波候の変動特性を解析した。

まず、用いた波浪推算モデルは日本気象協会 (1995) が開発した第三世代波浪推算モデル (JWA 3G) であり、計算領域および格子間隔は図-11 に示す北緯 70 度～南緯 70 度、東経 0 度～360 度、の 2.5 度間隔である。また、海水分布は気象庁海水統計資料の月平均海水分布を用いた。さらに、海上風データとして ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) の客観解析値の 10 m 高度海上風を用い、1980 年～1994 年の 15 年間の波浪追算を実施した。なお、波浪追算のタイムステップは 30 分である。

図-12 は北太平洋東側海域における波浪追算値と NOAA のブイによる観測結果とを月平均有義波高につ

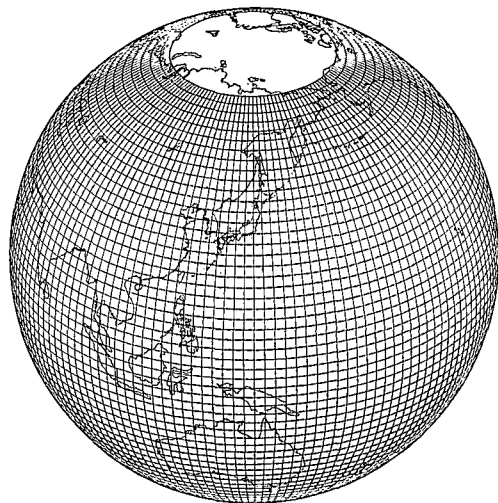


図-11 JWA 3G モデルによる波浪追算格子網図

いて比較した図である。ここで、図中の実線は波浪追算結果を表し、黒丸が NOAA のブイによる実測値を表している。この図を見ると、1980 年から 1984 年までの 5 年間の追算精度にはプラスのバイアス誤差が見られるが、1985 年以降の波浪追算結果は観測結果を非常によく再現しており、波浪追算結果は観測値と同等の精度で解析に使用することが可能である。この 1984 年以前の誤差は、波浪追算に用いた ECMWF の客観解析値の精度自体が 1985 年を境に変化していることに起因する。

図-13 の左図は、1980 年から 1994 年までの 15 年間の波浪追算値を用いて月平均波高の変化率 (mm/年) を平面分布図にしたものである。この図によれば太平洋西部海域では増加傾向、太平洋東部海域では減少傾向が見られる。しかしながら、1984 年以前の波浪追算値には精度的に問題があるため、1985 年から 1994 年までの 10 年間について同様の解析を行った結果が図-13 の右図である。この 10 年間では南極海で月平均波高が減少している

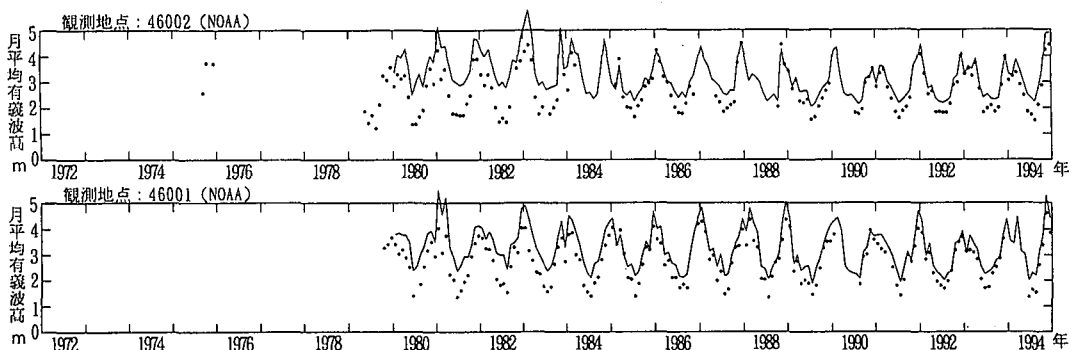


図-12 月平均波高の経年変化 (追算値)

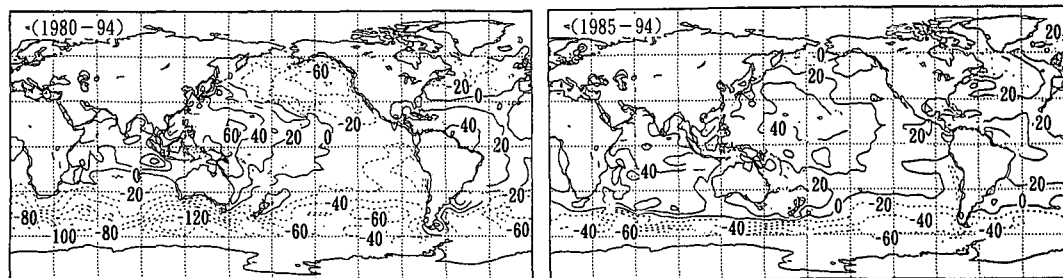


図-13 波浪追算値による月平均波高の変化傾向

が、それ以外全ての海域で月平均波高が増加している。この増加傾向は、日本の太平洋沿岸海域では2 cm/年、太平洋中央部では6 cm/年の増加傾向である。沖縄の太平洋沿岸の観測値を用いた前節の結果でも2 cm/年の増加傾向があることから、波浪追算結果を用いた波候の変動特性解析は十分信頼できるものと推察される。

4. 結 語

本研究では、NOWPHAS, JMA および NOAA の波浪データを収集し、まず、異常データのチェックおよび有効統計期間等を把握するため波浪の基礎統計を行った。次いで、実測値による波候の変動特性を解析し、さらに、波浪追算結果による北太平洋の波候の変動特性を明らかにした。

波浪の基礎統計では従来の諸研究と同様な結果が得られた。また、波候の変動特性解析では、夏季において通年とは異なる傾向を示すものの、日本の太平洋沿岸海域では2 cm/年、太平洋中央部では6 cm/年の月平均波高の増加が見られた。

なお、本研究で実施した解析期間は、波浪観測資料においては10～20年間、波浪追算資料においては10年間

であり、より長期の変動特性を究明するためには、一世紀以上にわたる船舶による海上観測資料や、さらに長期間の波浪追算結果資料等を用いて、波候の変動特性の解析を実施する必要がある。これは今後の課題である。

謝辞：NAWPHAS データおよび JMA 波浪データを運輸省港湾技術研究所、(財)沿岸開発技術研究センターおよび気象庁海上気象課から提供していただきました。また、本研究は日本財団の補助を受けて実施いたしました。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ヶ年統計資料, —NAWPHAS 1970-1994—, 沿岸開発技術研究センター, 640 p.
- 気象庁 (1977-1995): 気象庁波浪観測資料, 第1-18号.
- 気象庁 (1977-1993): 気象庁海洋気象パイロット資料, 第1-16号.
- 小舟浩二, 菅原一見, 後藤智明 (1988): 日本沿岸の波候特性について, 第35回海岸工学講演会論文集, pp. 232-236.
- 永井紀彦, 清水勝義, 菅原一見, 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.