

北西太平洋における異常波浪出現の時空間特性

仲井圭二¹・橋本典明²・鈴山勝之³

有義波高に対する最高波高の比が大きい異常波浪は freak wave としてその存在が知られており, 原因として波浪の非線形性の影響が指摘されている。しかし, その出現の時空間特性を示した例はない, freak wave は海難とも関連が深いと考えられるため, その出現特性を明らかにすることは非常に重要である。本研究は, 長期間の波浪推算データベースの周波数スペクトル情報を用いて, 波浪の非線形性の指標として知られるベンジャミン・フェア指数 (BFI) を算出し, 異常波浪出現の時空間特性を明らかにすることを目的として実施した。海難が多く発生している野島崎沖では, 冬季に波高が高い上に, BFI も大きい。このため, 他の海域と比べて大きな最高波高が出現していることが推定される。

1. はじめに

有義波高に対する最高波高の比 (以下, 波高比) が大きい異常波浪は freak wave と呼ばれている。野島崎沖においてしばしば発生している海難が freak wave と関係している可能性も指摘されており, freak wave の特性を把握することは防災上非常に重要である。しかし, 外洋における波浪観測資料が殆どないことのために, その発生機構や出現特性に関して十分な知見が得られていないのが現状である。

森・Janssen (2005) は, 外洋 (大水深域) における準共振 4 波干渉理論に基づいた数値シミュレーションを行い, 波高比は, kurtosis あるいはこれと関連の深いベンジャミン・フェア指数 (BFI) が大きいときに大きくなるという結論を得ている。BFI は Janssen (2003) が深海不規則波の不安定性の指標として提案したパラメータである。

一方橋本ら (2004) は ECMWF が提供する海上風の客観解析値を入力値として, 波浪モデル WAM によって, 北西太平洋における長期間の波浪推算を行い, それをデータベース化しており, 長期間の波浪統計, 擾乱時の波浪の推定等への活用が期待されている。

本研究は, 橋本らの波浪推算データベースの周波数スペクトル情報から BFI を計算し, 長期間における波高と BFI の時空間特性を調べることによって, freak wave の出現特性を推定することを目的として実施した。

2. 沿岸における波高比

まず, 沿岸の観測資料を用いて, 波高比 (最高波高/有義波高) の出現特性を概観する。図-1 は, 八戸と新潟沖における波高比と 1 観測中における波数との関係を

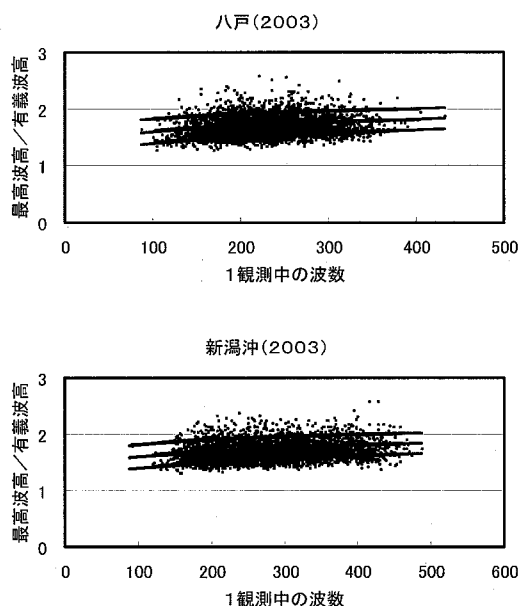


図-1 観測と理論による, 最高波高/有義波高の比較 (理論値は, 平均値±標準偏差)

示したものである。

図中には, 波数から推定される波高比の値を, 平均値±標準偏差の形で併せて示してある (合田, 1990) が, その範囲よりも大きな波高比が観測されていることが分かる。

防災上重要なのは, 有義波高が高く, しかも波高比が大きい場合である。そこで, 有義波高と波高比との関係を調べた例を図-2 に示す。この結果によると, 波高が高いほど波高比は小さいので, 波高が高いときには freak wave の出現が少なくなるように見える。しかし, これは波高が高い時は同時に周期も長くなり, 一定の観測時間 (ここでは 20 分間) に含まれる波の数が少なくなる (図-3) ために, 波高比が小さくなっているに過ぎない。従って, 沿岸地点の観測値 (波浪諸元) だけから

1 正 会 員 理修 (株)エコー 環境水工部
2 フェロー 工博 九州大学大学院教授 工学研究院 環境都市部門
3 工修 (株)エコー 環境水工部

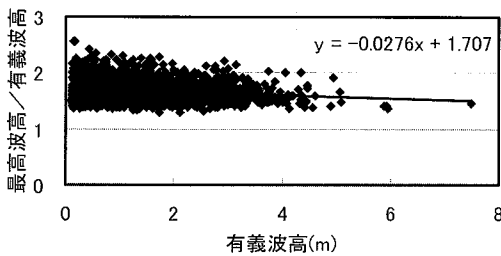


図-2 有義波高と波高比との関係 (2003年, 新潟沖)
(x, y はそれぞれ横軸, 縦軸を示す.)

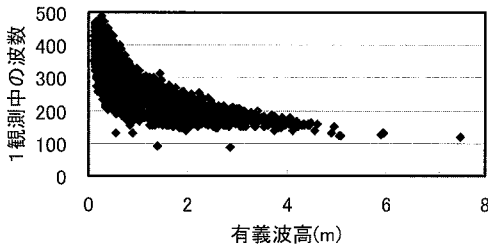


図-3 有義波高と1観測 (20分間) 中の波数との関係
(2003年, 新潟沖)

freak wave の出現特性を把握することはできない。さらに、沖合も含めた freak wave の広域的な出現特性を知るには、長期間の波浪推算結果を用いるのがより適切であると考えた。

3. 波浪推算データベース

波浪推算データベースの概要を以下に示す。

対象領域：15°～63°N, 115°～170°E (図-4 参照)

期間：1979年～1993年

格子間隔：0.5°

時間間隔：1時間

水深：無限大

入力風：ERA15 (ECMWF 提供)

スペクトル分割数：周波数 25, 方向 16

本研究では、このデータベースのうち、最近5年間 (1989～1993年) の周波数スペクトル情報を用いて解析を行った。

4. BFI の出現特性

森・Janssen (2005) は、波浪の非線形性の指標である BFI が大きいほど波高比が大きく、freak wave が出現しやすいという結論を得ている。ここでは、上述の波浪推算データベースを用いて、BFI の算定を行った。狭帯スペクトルを持つ1方向波を考える場合、BFI は (1)、(2) 式で表される。

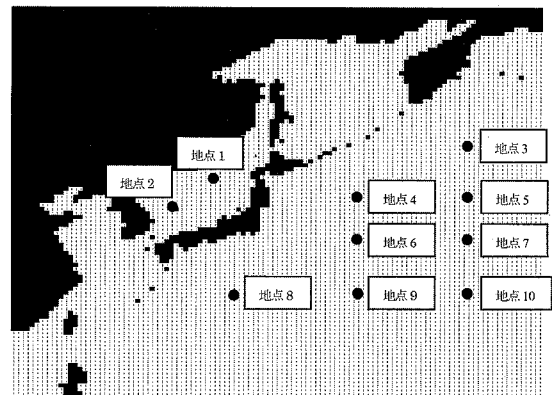


図-4 波浪推算データベースの対象領域
(抽出地点は 4. で参照する.)

$$BFI^2 = \frac{\sqrt{3}}{\pi} \kappa_{40} \dots \dots \dots (1)$$

$$\kappa_{40} = \frac{2\pi^2}{\sqrt{3}} k_p^2 m_0 Q_p^2 \dots \dots \dots (2)$$

ここに、 κ_{40} ：kurtosis-3, k_p ：ピーク周波数に対応した波数, m_0 ：水位の0次モーメント, Q_p ：合田の周波数スペクトルの尖鋭度である。

1989～1993年5年間の年間の BFI の平均値と有義波高の平均値の分布を図-5 に、1月の平均値の分布を図-6 に示す。年間の平均値と1月の平均値の分布を比較すると、BFI, 有義波高いずれも類似した分布をしており、ピークの位置も一致している。但し、値は、BFI, 波高いずれも1月の方が大きい。

BFI と有義波高の平均値の分布形状もよく似ており、東北地方の太平洋側沖 (野島崎沖) と日本海にピークが見られる点が共通している。しかし、1月でいえば、波高については、太平洋のピークが4.0m, 日本海のピークが1.6m と大きな違いがあるのに対して、BFI については、太平洋のピークが0.10, 日本海のピークが0.12 と、それほど大きな違いがなく、波高の低い日本海でむしろやや大きいことが分かる。

このことは、異常波浪を「波高比が大きい波」と定義し、森・Janssen (2005) に従って BFI が波高比に影響しているとする限りにおいて、太平洋側と日本海側における異常波浪の出現特性に明らかな差はないが、波高の絶対値が太平洋側の方が大きいため、実際には太平洋側の方が異常波浪による海難が発生しやすいと推定できる。

領域内10地点 (図-4 参照) における BFI と全地点平均の季節変化の関係を図-7 に示す。地点によって散らばりがあるものの、平均的には1月に最大、8月に最小となる季節変化をしている。

次に、上記10地点において、5年間の毎月の月平均有義波高と、月平均 BFI (60 データ) との関係を調べ

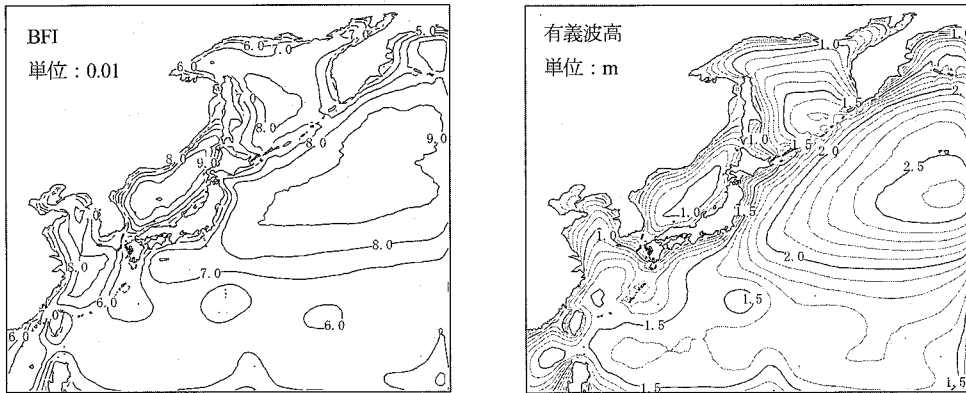


図-5 BFIの平均値(左)と、平均有義波高(右)の分布(1989年～1993年:年間)

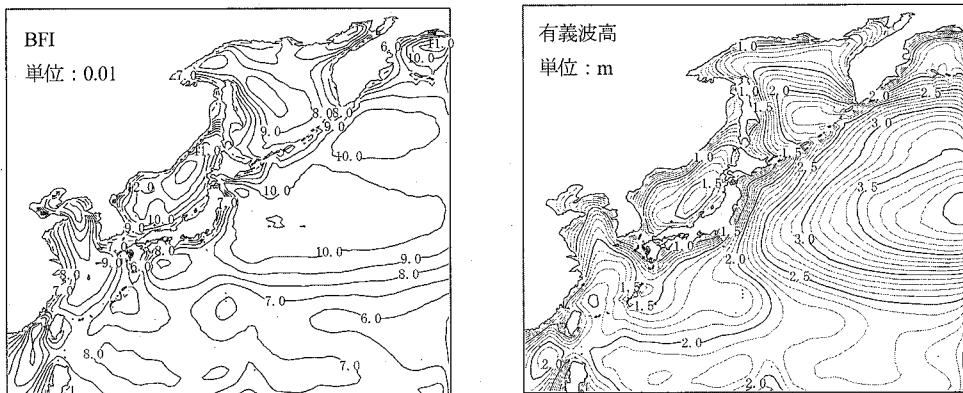


図-6 BFIの平均値(左)と、平均有義波高(右)の分布(1989年～1993年:1月)

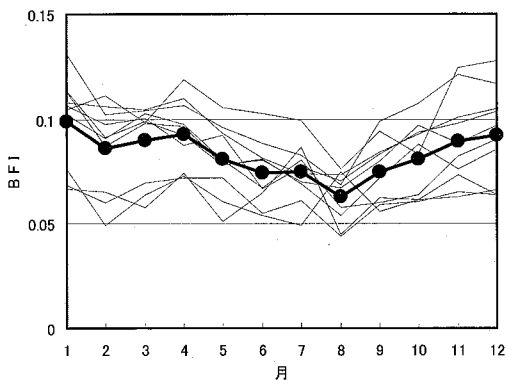


図-7 1990年のBFIの季節変化
(細線は個々の地点の結果、太線は10地点平均)

た、6地点における結果を図-8に示す。

全ての地点において、波高が大きいほどBFIが大き
いことが分かる。このことは、波高が大きいほど、波高
比も大きくなる、即ち異常波浪が発生し易くなることを

示す。但し、波高に対するBFIの傾きは海域によって
違いがあり、日本海の方が太平洋よりも大きいことが分
かる。四国沖や本州南東沖では、波高が変化してもBFI
は余り変化しない。

5. 海難発生時の状況

沖合における異常波浪の原因として、台風や低気圧、
冬季季節風が挙げられる。冬季季節風は、台風と比べて
吹送距離、吹続時間が長く、広範囲、長期間にわたって
高波が継続する。野島崎沖の東方海上は海面水温が比較
的高い黒潮続流の海域で、ここに冷たい季節風が吹き出
すと気温と海面水温との差が大きくなって、大気下層の
成層状態が不安定になる。このため風速が強まって異常
波浪が発達することがあると言われている(磯崎・鈴木、
1999)。

この海域で過去に発生した海難の事例を図-9に示す。
小舟ら(1985)にも同様の図が掲載されている。この中
から、1979年1月13日に発生した海難(図-9の⑩の事
例)の際の波浪の状況を調べた。海難が発生した時刻が

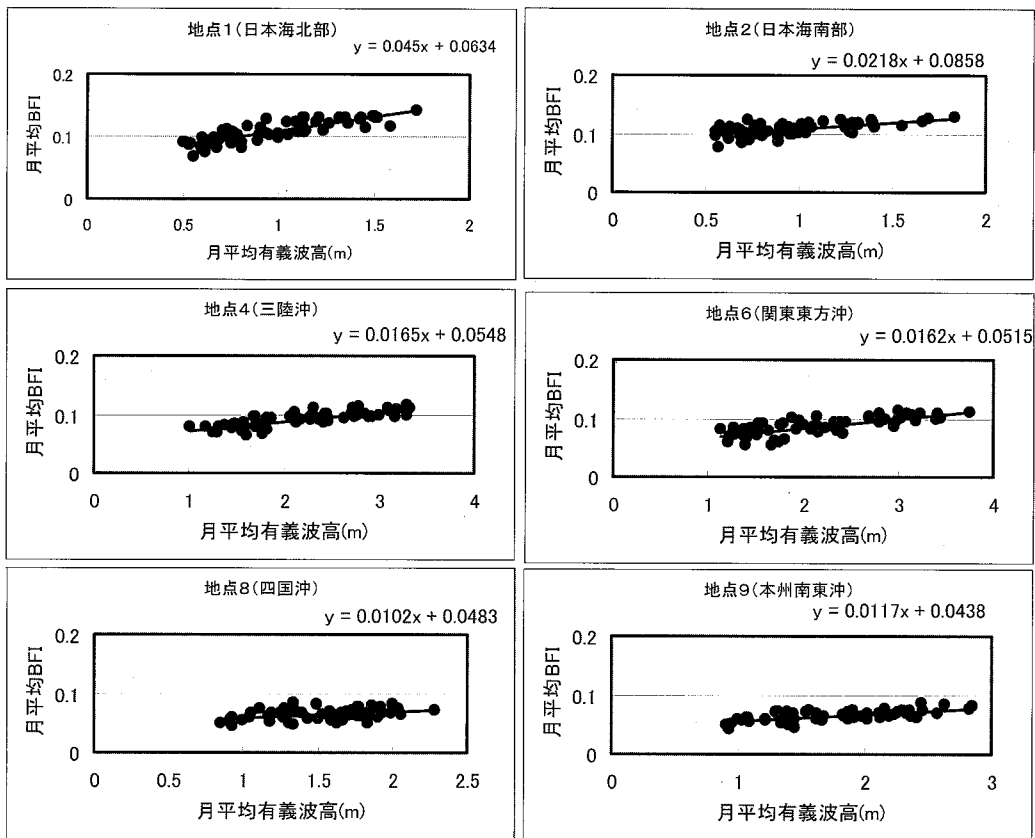


図-8 月平均 BFI と月平均有義波高との関係 (1989年～1993年) (x, y はそれぞれ横軸, 縦軸を示す.)

明らかではないので, 海難発生日の前後各1日(合計3日間)の期間中に, 海難発生日で最大有義波高が発生した1月13日7時(世界標準時; UTC)の有義波高とBFIの分布を図-10に示す。海難発生日では9.0mの高波が発生し, そのときのBFIは0.22と計算された。このBFIの値は図-6に示した1月の平均値と比較して大きな値である。森・Janssen (2005)の結果を併せて用いると, 有義波高のみならず, 最高波高としても高波が発生していることが推定され, このために海難に繋がったのであろうと考えられる。因みに, 1月13日7時の前後の時刻(1時, 13時; UTC)の有義波高の分布を図-11に示す。波高の分布は7時のものと大きく変わらず, 高波が少なくとも半日程度は継続していたことが分かる。

6. 主要な結論

本研究の主要な結論を以下に示す。

- ①長期間の波浪推算データベースの周波数スペクトル情報を用いて, freak wave の出現に関連が深いとされるBFIを計算し, その時空間出現特性を調べた。

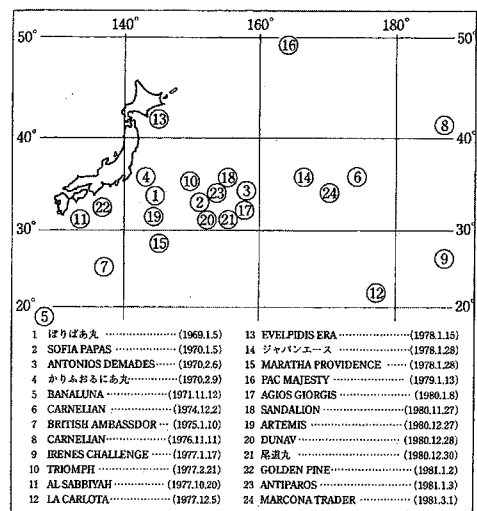


図-9 1968年～1980年に荒天が原因で起こった船舶遭難の位置と日時 (1万トン以上) (磯崎・鈴木, 1999)

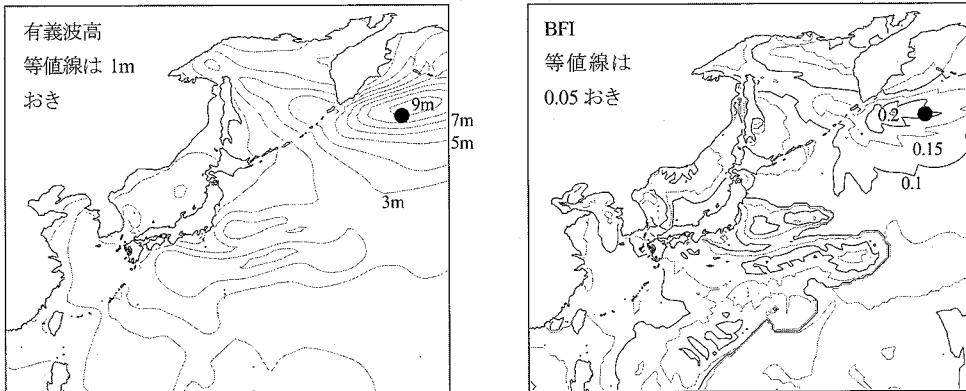


図-10 1979年1月13日7時(UTC)の有義波高(左)とBFI(右)の分布(●は海難発生場所)

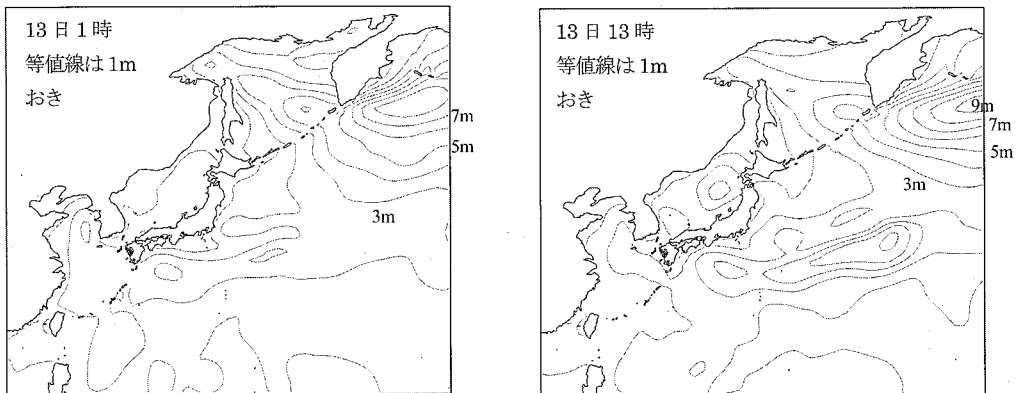


図-11 1979年1月13日1時, 13時(UTC)の有義波高の分布

- ② BFIの5年間の平均値を取ると, 年間, 1月いづれも, 太平洋(野島崎沖)と日本海にピークが見られる. その値はほぼ同じであるが, 太平洋の方が日本海よりも波高が高いために, 太平洋の方が最高波高としては高い波が出現し易いことが推定された.
- ③ 地点を固定した場合, BFIと有義波高とは正の相関があり, 波高が高いときにはBFIも大きくなることが分かった.
- ④ 過去に太平洋で発生した1つの海難の際の波浪条件を推定したところ, 波高が高く, 波高比も大きい状況が再現された.

謝辞: 波浪推算データベース, 波浪観測資料の使用に際しては, 港湾空港技術研究所の永井部長, 清水室長, 河

合室長にご協力頂いた. ここに感謝する次第である.

参考文献

- 磯崎一郎・鈴木靖(1999): 波浪の解析と予報, 東海大学出版会, 274p.
- 合田良実(1990): 港湾構造物の耐波設計, 鹿島出版会, 333p.
- 小舟浩治・佐々木弘・橋本典明(1985): ディスカス・パイで観測された野島崎沖海域の波浪特性, 港研報告, 第24巻, 第3号, pp. 3-30.
- 橋本典明・鈴山勝之・永井紀彦(2004): ECMWF風(Operational data, ERA15, ERA40)による長期波浪推算精度の検討, 海岸工学論文集, 第51巻, pp. 201-205.
- 森信人・Peter A. E. Janssen(2005): 異常波浪の出現と非線形干渉の関係について, 海岸工学論文集, 第52巻, pp. 131-135.
- Janssen, P. (2003): Nonlinear four-wave interactions and freak waves, J. Phys. Oceanogr., 33, pp. 2001-2018.