

日本海中央部の海上風と有義波の変動特性

草場, 忠夫
九州大学応用力学研究所 | 九州大学大学院総合理工学研究科大気海洋環境システム学専攻

増田, 章
九州大学応用力学研究所 | 九州大学大学院総合理工学研究科大気海洋環境システム学専攻

小松, 幸生
水産庁中央水産研究所

高野, 洋雄
気象庁気象研究所

他

<https://doi.org/10.15017/16585>

出版情報 : 九州大学大学院総合理工学報告. 22 (1), pp.35-41, 2000-06. 九州大学大学院総合理工学府
バージョン :
権利関係 :

日本海中央部の海上風と有義波の変動特性

草場 忠夫*・増田 章*・小松 幸生**
高野 洋雄†・植野 耕治‡

(平成12年2月29日 受理)

The Variability of the Sea Surface Winds and Significant Waves in an Open Area of the Japan Sea

Tadao KUSABA, Akira MASUDA, Kosei KOMATSU,
Nadao KONO and Koji UENO

The variability of the sea surface winds and waves in an open area of the Japan Sea was investigated based on the data from 1990 to 1998 obtained at the JMA buoy moored at (37°55'N, 134°33'E), just as was done based on the data off Tsuyazaki, Fukuoka, close to the coast. The wind speed and significant wave height showed seasonal cycles analogous to those off Tsuyazaki: high in winter and low in summer with their annual means of 6.74m/s and 1.44m, respectively. The significant wave period, however, had a slightly reversed seasonality: it was the shortest in winter and the longest in summer with the annual mean of 8.0 sec. The scatter diagram of significant wave heights against significant wave periods suggests that most of significant wave heights are limited by an upper bound corresponding to a constant wave steepness. This fact agrees with our previous finding for the waves off Tsuyazaki, though the upper bound itself might differ somewhat from that observed off Tsuyazaki. As regards the frequency spectrum from the periods of a few days to a few hours, significant wave heights and significant wave periods as well as winds had the same spectral form proportional to the frequency to the $-5/3$ power, again in agreement with another finding for the data off Tsuyazaki.

1. はじめに

九州大学応用力学研究所力学シミュレーション研究センターは、1989年以来津屋崎沖で波および風の定時観測を実施し、その結果を年報として公表してきている¹⁾。これは、本研究センターの短期特別事業「日本海における大気海洋相互作用と海況・気象変動の解明」に関連した予備的研究の一環をなすものである。その手始めとして、私達は福岡県津屋崎沖の海上観測ステーションという定点で取得した8年間(1990~1997)の風および波の気候値を求めた²⁾。目的は、日本海の玄海灘における代表定点の1つである津屋崎沖の風と波の基本特性を押さえておくことであった。その結果、この津屋崎沖の海域では、驚いたことに、有義波高が有義周期の2乗に比例する上限で抑えられることが分かった。この上限は風速および季節によらずに存在した。有義波高が有義周期の2乗に比例することは波形勾配が一定という意味を持っている。また周波数スペクトルで見ると、風の東向き成分およ

び北向き成分は数日から数時間の周期帯で $-5/3$ 乗形のスペクトル形を持っていた。これは三次元等方性乱流ではないであろうが、乱流の慣性小領域スペクトルとして解釈されるものである³⁾。ただし、このことは従来から良く知られていて、目新しいことではない。注目すべきは、有義波高および有義周期が、風とはほぼ同じ $-5/3$ 乗スペクトル形を示したことである。

有義波高と有義周期に関して見出されたこれらの顕著な変動特性—波形勾配一定の上限と $-5/3$ 乗周波数スペクトル形—が普遍的に他の海域でも成立するのか、あるいは津屋崎沖沿岸に特有のものであるかどうかは定かでない。そこで、他の海域のデータとして気象庁の日本海中央部に設置されたブイの海象・気象データを選び、津屋崎沖と同様の手法で解析し、その結果を津屋崎沖の結果と比較対照する。津屋崎沖ステーションが沖合2kmと日本海側沿岸域を代表するのに対し、気象庁ブイは日本海中央部の外洋域を代表している。その意味でこの二つの海上ステーションで得られたデータの比較は意義深いものである。

2. ブイデータ

気象庁は、Fig. 1に示す位置の日本海、東シナ海および太平洋にブイロボットを展開し、気象および海象

*応用力学研究所, 大気海洋環境システム学専攻

**水産庁中央水産研究所

†気象庁気象研究所

‡気象庁気象大学校

を計測している。ここでは日本海中央部の水深2700 mの地点 (37°55'N, 134°33'E) に位置する Buoy No. 21002 を選び、そのデータを解析した。測定は、午前0時をその日の始まりとして、3時間間隔の定時に行われている。水温、日射等も観測されているが、ここでは風および波に関するデータのみを解析した。風は風向 θ を10°単位で計測し、平均風速 U は knot 単位で計測されている。有義波高 $H_{1/3}$ は加速度計により10分間計測された表面変位から平均波高を求め、これを有義波相当の換算係数0.63で割って1 cm単位で記録されている。有義周期 $T_{1/3}$ は得られた10波の波形の峰から

峰までの周期を平均して1 sec 単位で記録されている。ここで得られている風向および有義周期はかなり粗いデータであることに注意する必要がある。欠測もかなりあり、有義周期の欠測が特に夏場に数多く生じていることにも注意を払う必要がある。これら測定された全ての量は MKS 単位に変換して解析した。

測定は1978年10月1日から開始されているが、ここでは津屋崎沖のデータ解析²⁾に合わせて1989年12月から1998年11月までの9年間のデータを解析した。この解析では測定年度を前年の12月1日からその年の11月30日までの1年間とした。従って、1990年度から1998年度迄の日本海の外洋を代表する定点の波および風を9年度に渡って解析したことになる。季節は、後の解析上の便宜から次のように決めている。

- 冬：前年の12月～その年の2月迄の3ヶ月
- 春：その年の3月～その年の5月迄の3ヶ月
- 夏：その年の6月～その年の8月迄の3ヶ月
- 秋：その年の9月～その年の11月迄の3ヶ月

この季節分けも津屋崎沖のデータ解析と同じである。

3. 結 果

3.1 日本海の波候・風候

測定された平均風向 θ (風が吹いてくる向き) と平均風速 U から東向き U_E および北向き U_N をそれぞれ $U_E = -U \sin \theta$ および $U_N = U \cos \theta$ から計算し、3時間毎の風ベクトル (U_E, U_N) の時系列を求めた。Fig. 2～Fig. 5 に1993年度の風および波の時系

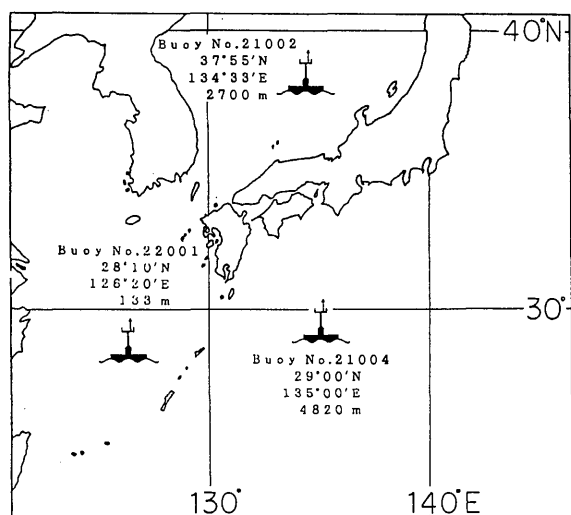


Fig. 1 Locations of the JMA buoy stations

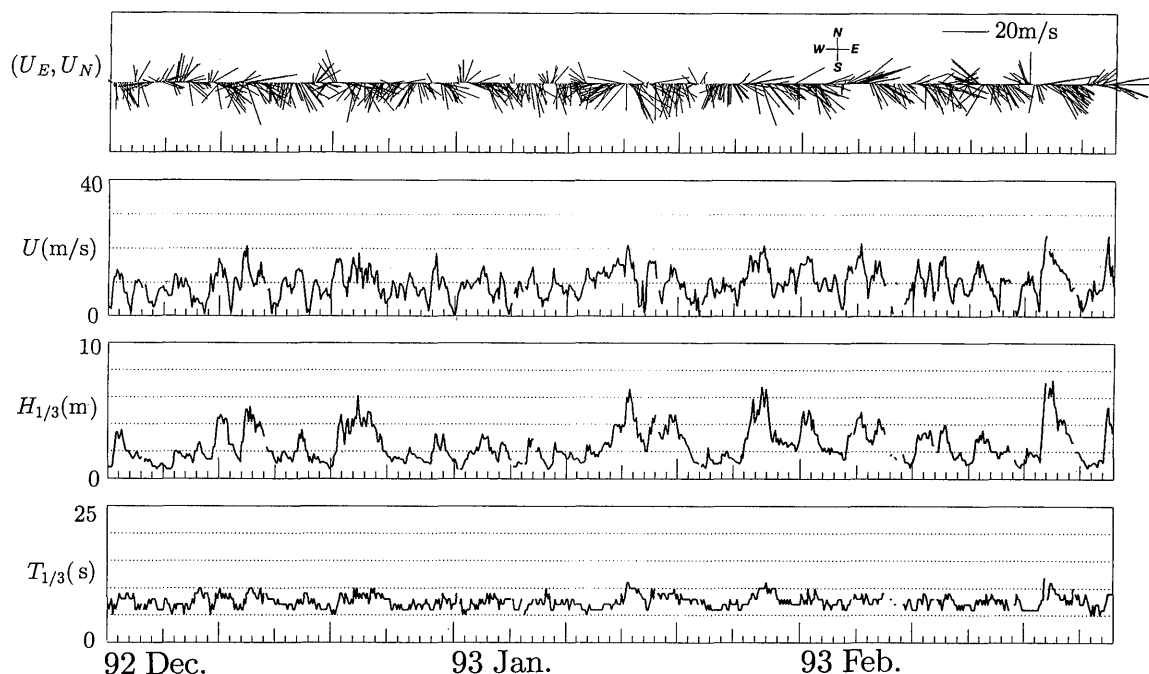


Fig. 2 Time series in the winter of 1993: from top to bottom, the wind vector (U_E, U_N), the wind speed U , the significant wave height $H_{1/3}$ and the significant wave period $T_{1/3}$.

列を季節毎(冬, 春, 夏, 秋)に示した. この年は他の年に比較して欠測も少なく風および波が比較的順調に計測されている. これらの図では, (a)が風のベクトル (U_E, U_N), (b)が平均風速 U , (c)が有義波高 $H_{1/3}$ および (d)が有義周期 $T_{1/3}$ をそれぞれ表す.

先ず季節変動から見ていこう. 沿岸域の津屋崎沖で

は, 風が強い冬場に波高が大きくなると共に周期も延び, 風が弱い夏場では波高も小さくなると共に周期も短くなっていく²⁾. このような傾向は浜田のような日本海沿岸測定点でも同様である⁴⁾. ここに解析した日本海中央部の風と波も, 長周期変動として明瞭な季節変動を示している. 風が強く吹く冬場に波高は高いが⁵⁾,

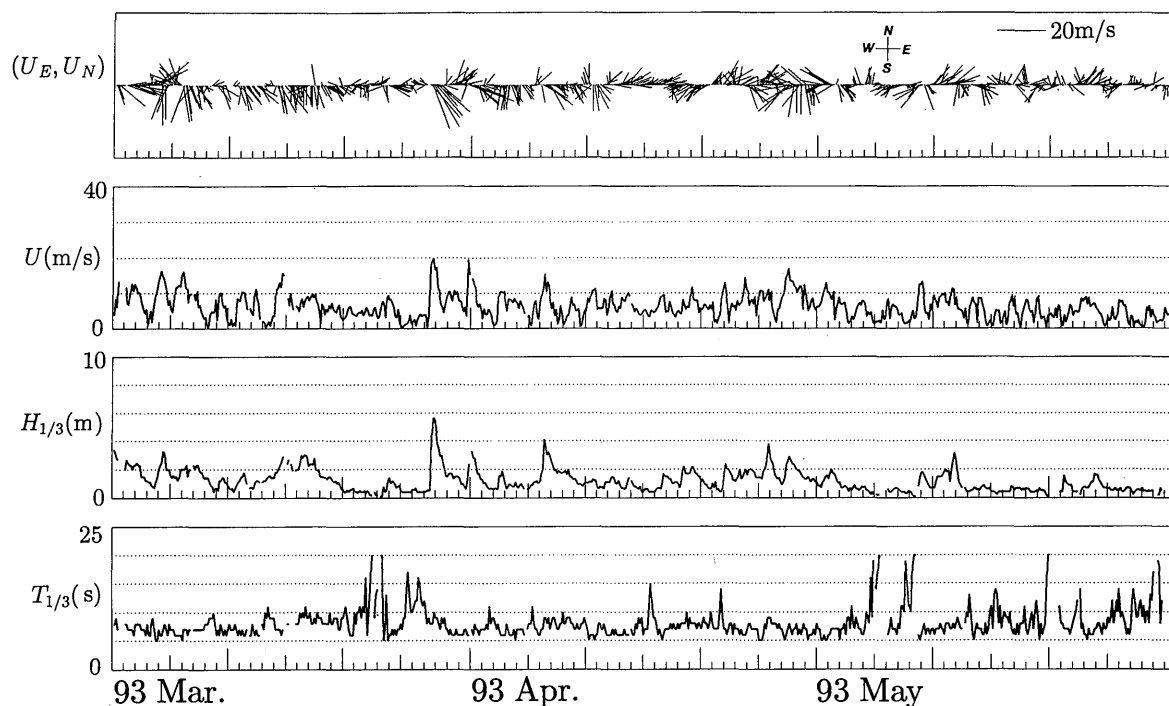


Fig. 3 The same as in Fig. 2 except that the data are for the spring of 1993.

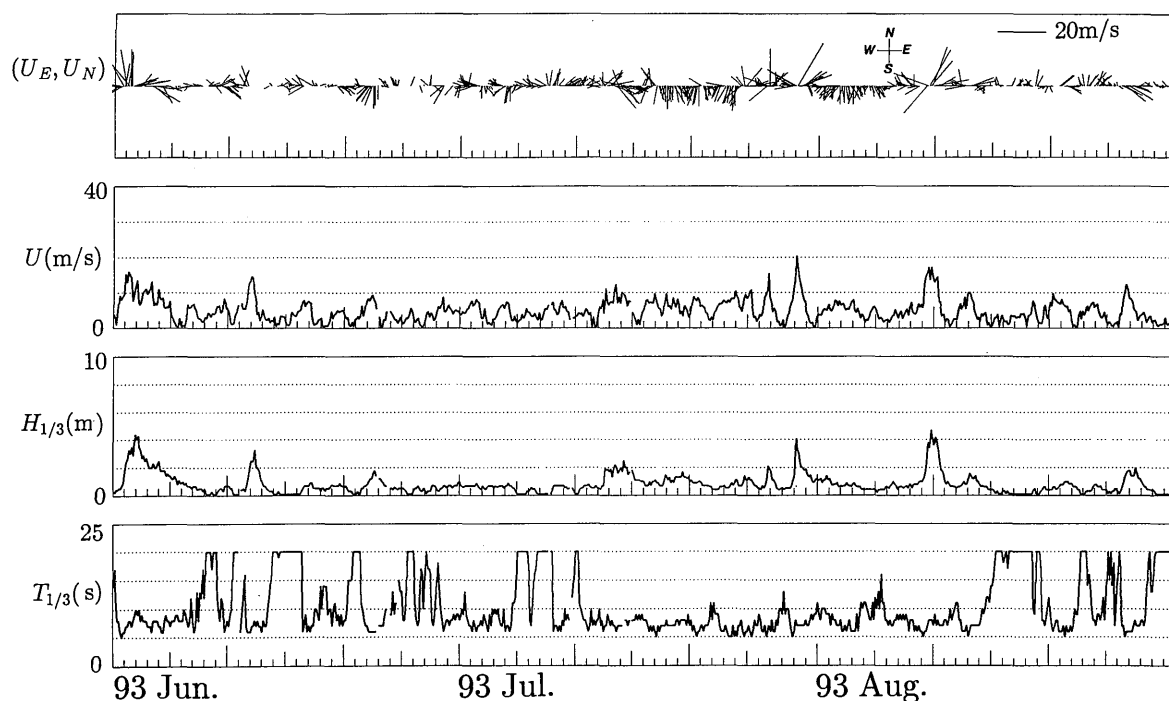


Fig. 4 The same as in Fig. 2 except that the data are for the summer of 1993.

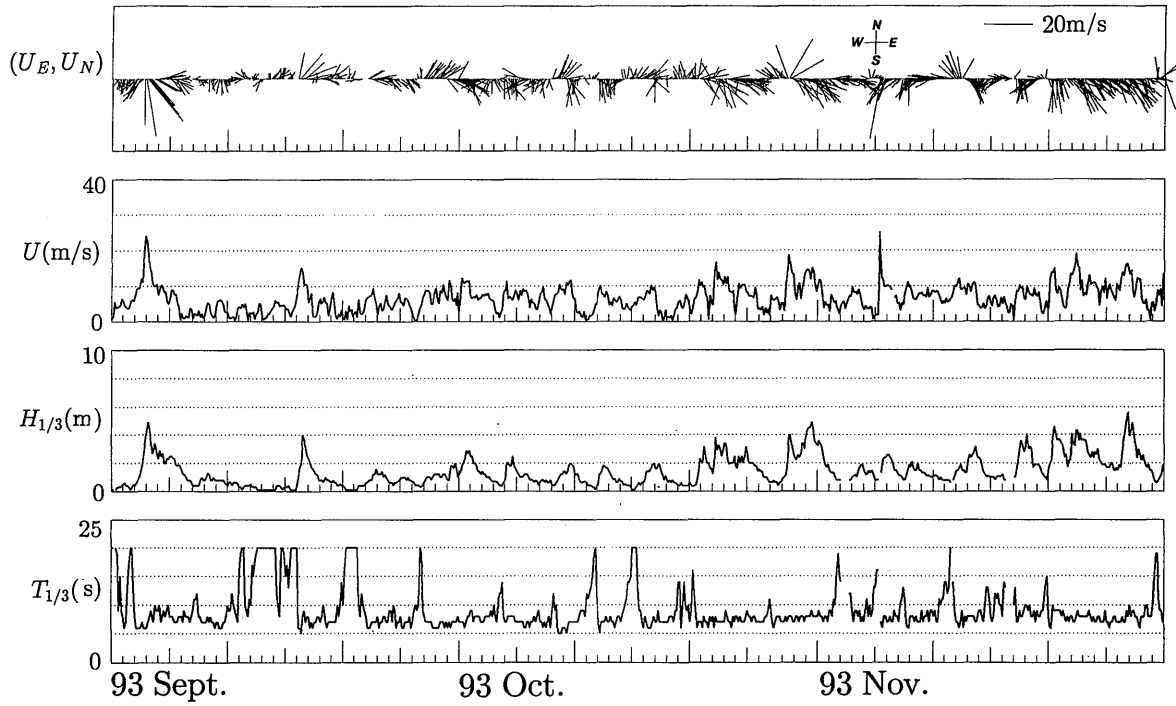


Fig. 5 The same as in Fig. 2 except that the data are for the autumn of 1993.

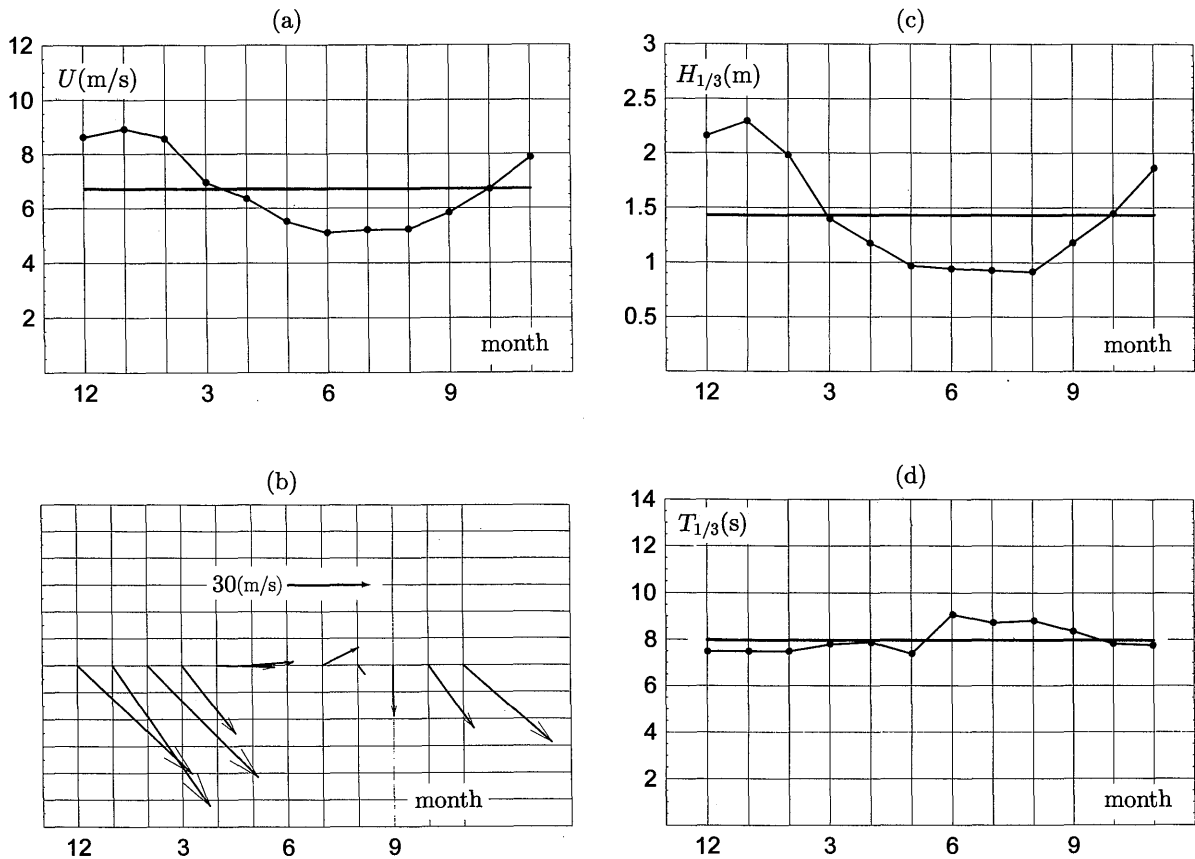


Fig. 6 Monthly means of (a) the wind speed U , (b) the wind vector (U_E, U_N) , (c) the significant wave height $H_{1/3}$ and (d) the significant wave period $T_{1/3}$. The solid lines in (a), (c) and (d) indicate the annual mean values.

周期は逆に短い。春に向けて風が弱まると周期も徐々に短くなる。風が最も弱い夏場に波高も最も低くなるが、逆に周期は最も長くなる。そして秋に向かって風が強まると周期も徐々に短くなる。すなわち、日本海中央部の外洋の風と波高は沿岸域の津屋崎沖と同じような季節変動を示すが、周期は津屋崎沖と逆の季節変動を示す。ただし夏と冬の差は極めて小さい。この日本海の季節変動の特長は次の Fig. 6 に示す月平均に良く現れている。ただし、Fig. 2~5 の時系列からも分かるように、特に夏および秋の有義周期の計測には若干の問題があり、信頼性に欠けることは留意しておかなければならない。

Fig. 6 に9年間の月平均値を示した。これらの図で、(a) は平均風速 U の各月毎の平均値、(b) は風ベクトル (U_E, U_N) の平均値、(c) は有義波高 $H_{1/3}$ の平均値および (d) は有義周期 $T_{1/3}$ の平均値をそれぞれ示した。これらの平均値の計算では欠測データを除外した。日本海の風と波は、前に述べたように、長周期変動として明瞭な季節変動を示している。特に、波高は風の季節変動に強く連動した季節変動を示している。これとは対称的に、周期は波高ほど風に単純な応答ではないが、風とは逆位相の季節変動を明瞭に示す。

風および波は冬に最も大きく、夏には最も小さく、春と秋はその中間である。周期は逆に冬が最も小さく、夏が最も大きい。季節による波高の変化の同様な傾向は磯崎・鈴木 (1999) 等により同じ日本海ブイのデータから既に指摘されている⁴⁾。このことは日本海の夏場はうねりが卓越していることを示唆する。風は冬の1月に最も強く、その向きは北西よりである。この風は春の3月まで続き、4月には急速に衰え向きも西へ変化する。夏の初めの5月から南西方向に徐々に変化すると共に急速に衰える。夏の終わりの8月に風速は最低となるが、その向きも北西へと急変する。秋の初めの9月には強い北風が吹き始める。10月から向きも北西に変わり徐々に強くなる。

9年間平均の風はスカラーおよびベクトル平均でそれぞれ 6.74 m/s および 2.44 m/s を示し、平均の風向きは -50.3° の北西である。平均の風向きが北西となるのは風速の大きい秋の終わりから春先にかけての風の寄与分が大きいためである。有義波高および有義周期の9年間平均値は、それぞれ 1.44 m および 8.0 sec である。

3.2 波高と周期の関係 — 波形勾配一定の上限

沿岸域である津屋崎沖の有義波高は有義周期の2乗に比例する上限を持っている。有義周期の2乗に比例すると言うことは波形勾配が一定という物理的意味を持つ。しかもこの上限は季節、風速によらず成立する²⁾。そこで、測定された9年間の全データを基に無次元有

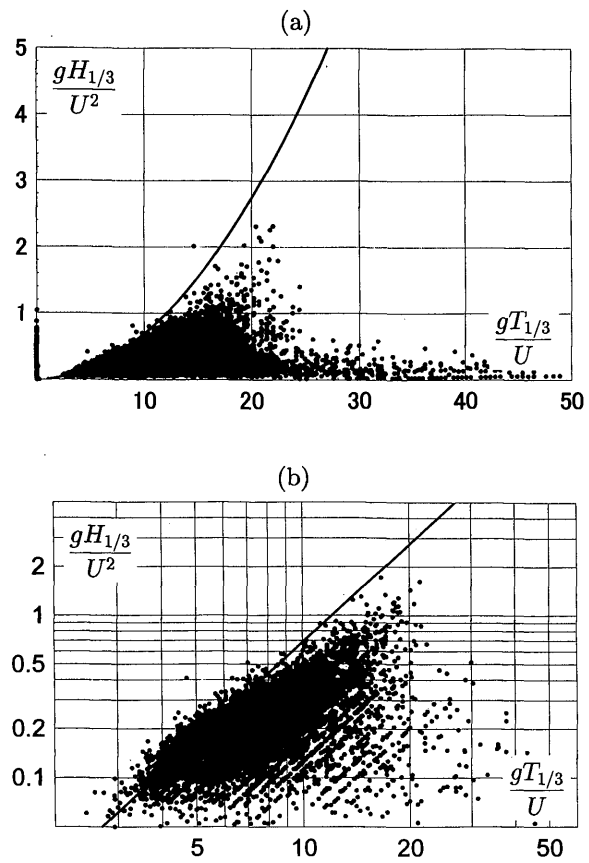


Fig. 7 Nondimensional significant wave heights $gH_{1/3}/U^2$ versus nondimensional significant wave periods $gT_{1/3}/U$, where g is the acceleration due to gravity; (a) linear scale and (b) logarithmic scale. The solid line shows the empirical upper bound found for waves off Tsuyazaki.

義波高 $gH_{1/3}/U^2$ と無次元有義周期 $gT_{1/3}/U$ との関係調べた。その結果を Fig. 7 に示した。ここに、 g は重力加速度である。図の直線は津屋崎沖で経験的に見出した波形勾配一定の上限

$$H_{1/3} = 0.067 T_{1/3}^2$$

に対応する値を示している。リニアースケールで見ると、波形勾配一定の上限が存在するといえそうである。しかしながら対数スケールで見ると、この上限を越えるデータも数多く見られる。津屋崎沖ではこの上限を越えるデータはほとんど見られない²⁾。これは 1 sec 単位で計った周期データの精度に起因すると推測している。この波形勾配一定の上限が津屋崎沖以外の海域でも存在することを言うにはもっと精密に計られたデータで調べる必要がある。これは今後の問題として残された。

3.3 風と波のスペクトルの相似性 — $5/3$ 乗のスペクトル形

沿岸域の津屋崎沖では風速の東向き成分および北向

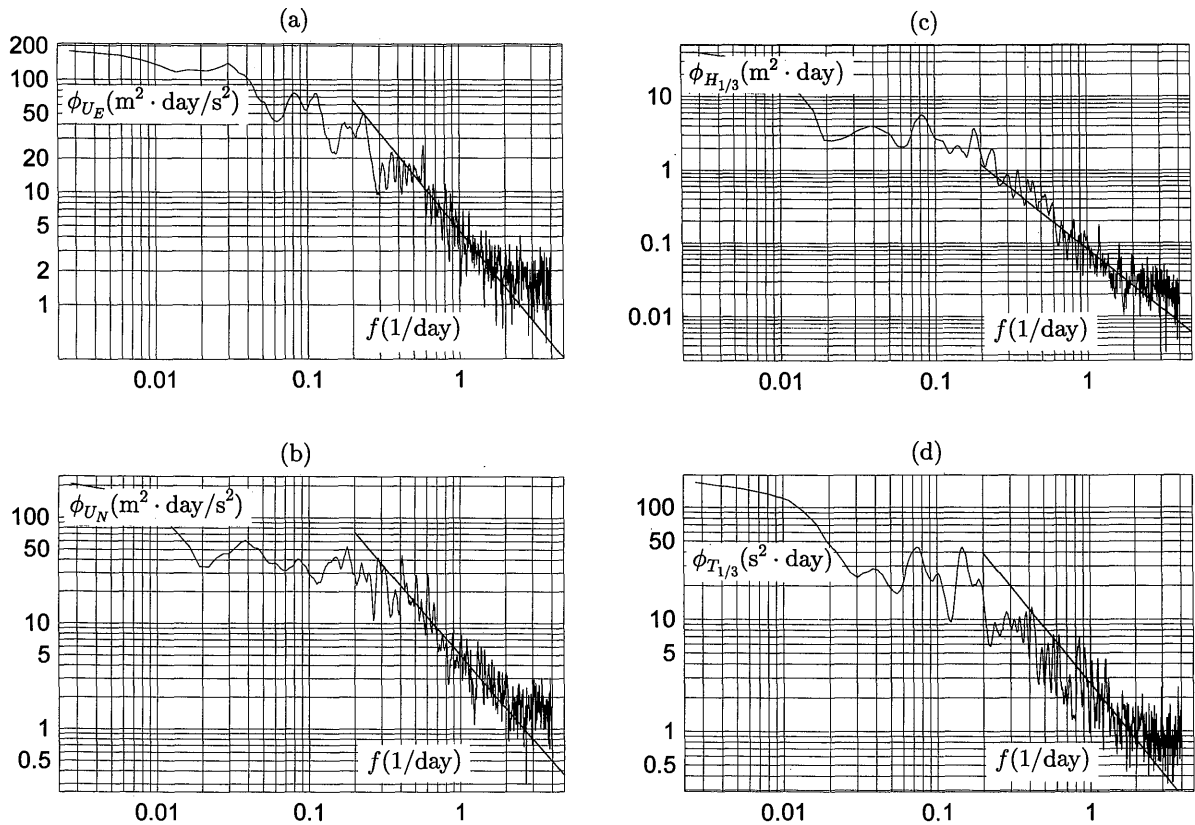


Fig. 8 The frequency spectra for the data in 1993: (a) the eastward components of wind U_E , (b) the northward components of wind U_N , (c) significant wave heights $H_{1/3}$, and (d) significant wave periods $T_{1/3}$. The straight line shows the reference spectrum proportional to $f^{-5/3}$, the level of which is determined from the spectral density from $f = 0.8/\text{day}$ to $1.5/\text{day}$.

き成分に高周波側で周波数の $-5/3$ 乗に比例するスペクトル形が見られる。驚いたことには、有義波高および有義周期にも高周波側で周波数の $-5/3$ 乗に比例するスペクトル形を持っていることが分かった²⁾。この風と波のスペクトルの相似性が日本海中央部の外洋の風および波にも成り立つかどうかを津屋崎沖と同様の手法で調べた。Fig. 8に1993年度の風ベクトルの東向き成分 U_E 、北向き成分 U_N 、有義波高 $H_{1/3}$ および有義周期 $T_{1/3}$ の周波数スペクトルをそれぞれ示した。これらの図の直線は $-5/3$ 乗に比例する直線である。その高さは周波数 $f = 0.8/\text{day}$ から $f = 1.5/\text{day}$ の範囲のスペクトル密度から決めた。1999年度は他の年度に比較して風、波とも欠測が比較的少ないので、代表的なデータとして選んだ。これらのスペクトルには11本の移動平均をかけて平滑化している。ここには示されていないが、他の年度のスペクトル形も類似している。これから分かるように、風の東向き成分 U_E および北向き成分 U_N のみならず有義波高 $H_{1/3}$ および有義周期 $T_{1/3}$ も共に、沿岸域の津屋崎沖と同様に、高周波側で周波数の $-5/3$ 乗に比例するスペクトル形を持つことが確認できた。

4. おわりに

気象庁は日本海の水深2700mの地点 (37°55'N, 134°33') にパイロポット Buoy No. 21002 を設置し、気象および海象を3時間毎に計測している。このパイロポットの1990年度から1998年度迄の9年間のデータを使用して日本海の気象・海象を調べると共に、沿岸域の津屋崎沖で見いだした波形勾配一定の上限の存在および波と風の相似性— $-5/3$ 乗のスペクトル形—がこの日本海中央部の外洋でも見いだせるかを調べた。まず風候・波候を調べた。3時間毎に計測された平均風速 U 、風速ベクトル (U_E, U_N)、有義波高 $H_{1/3}$ および有義周期 $T_{1/3}$ のデータから9年間の平均値を求めた。風はスカラー平均で6.74mで、ベクトル平均で2.44mで風向きは -50.3° の北西である。風は津屋崎沖と同様に典型的な季節変動を示す。冬場は北西の風が最も強く吹き、春に向かって弱くなると共に風向も西に変わり、夏の7月には南西に向きを変える。夏の終わりの8月には風向が北西へ急変する。初秋の9月は北風であるが、秋が進むにつれて強くなると共に向きを北西へ変えて徐々に強くなる。有義波高は風に強く連動し、風に非常に類似した季節変動を示す。北

西の風が最も強く吹く冬の1月に有義波高も最も高く、春から夏へ風が弱まると共に低くなり、夏の終わりの8月には最低になる。秋の深まりと共に風が強くなり始めると有義波高もそれに対応して高くなる。有義波高はこのように風に強く応答している。しかしながら、有義周期は有義波高とは異なり風が強い冬場が最も短く、風が最も弱い夏場が最も長くなる。有義周期は有義波高とは逆の応答をする。春の5月は風速が弱くなるが有義周期は逆に長くなっている。風ベクトル図を見ると風向きが北西から西に変化している。そうすると吹送距離も短くなり周期も短くなるはずである。周期の測定法に問題があるかもしれない。これは今後検討を要するであろう。

次に波形勾配一定の上限を調べた。測定された9年間の全データを基にした無次元有義波高 $gH_{1/3}/U^2$ と無次元周期 $gT_{1/3}/U$ との関係は波形勾配一定の上限があることを示唆する。しかしながら、津屋崎沖ほどには明瞭ではない。これはデータの精度に原因するのではないかと推測される。この解析では残念ながら明確に検証することができなかった。他のデータで精密に

検証する必要がある。

最後に風と波の周波数スペクトル形を調べた。その結果、日本海中央部の外洋でも風のみならず有義波高 $H_{1/3}$ および有義周期 $T_{1/3}$ も共に、沿岸域の津屋崎沖と同様に、高周波側で周波数の $-5/3$ 乗に比例するスペクトル形を持つことが確認できた。

今後はこの有義波の変動特性—波形勾配に上限があることおよび波高および周期が高周波側で風とほぼ同じ $-5/3$ 乗スペクトル形を持つこと—を日本海以外の海域のデータでも調べる予定である。

参 考 文 献

- 1) 沿岸海象観測年報 1989~1989 九州大学応用力学研究所
- 2) Masuda, A., T. Kusaba, K. Marubayashi and M. Ishibashi: J. Oceanogr., **54**, 289-305 (1999).
- 3) Kolmogorov, A. N.: Dokl. Akad. Nauk SSSR, **30**, 301-305 (1989).
- 4) 磯崎一郎・鈴木靖: 波浪の解析と予報, 東海大学出版会, 274pp (1999).