

東日本沿岸域における波浪と長周期波の時空間変動特性

伸 井 圭 二*

長周期波の発生・発達機構の解明のための手掛かりを得ることを目的として、長周期波高と通常波浪の波浪諸元（波高、周期）との相関関係を吟味し、両者の時空間変動特性を調べた。長周期波高を通常波浪の波高、周期を用いて近似したときの比例係数は、長周期波高が高いときに大きい。また、長周期波高が高い場合には、長周期波の中でも、比較的周期の長い成分の割合が大きい。これらの特性は、時間的、空間的にある程度の広がりを持つものである。但し、個々の地点を詳細に見た場合には、特に長周期波高が高い場合に、観測地点の局地的な特性を反映した長周期波成分が重要になる。

1. はじめに

船体動揺を引き起こす周期数十秒～2分程度の長周期波の発生・発達の機構については、現段階では明確な結論が得られているわけではないが、長周期波高は通常波浪の諸元（波高、周期）と相関関係があり、長周期波と通常波浪の発生・発達との間には密接な関係があることが知られている。本研究は、長周期波高と通常波浪の諸元との相関関係を詳細に吟味すること、両者の時空間変動を比較することを通じて、長周期波の発生・発達機構の解明のための手掛かりを得ること、より精度の高い長周期波高の予測式作成のための基礎資料を得ること等を目的として実施した。

2. 用いたデータ

用いたデータは、石原ら（2002）と同様、国土交通省の全国港湾海洋波浪情報網（ナウファス）の、東日本沿岸に位置する 17 箇所の観測所で得られたものである。対象地点を図-1 に示す。

ここでは、0.5 秒間隔で取得された海面水位変動のデータを用いた。観測時間は、毎偶数時前後 20 分間（例えば、2 時の観測であれば、1:50～2:10）である。通常波浪の解析には、100 波程度が含まれる波形データが必要であるといわれるが、最大 2 分程度の成分を解析するためには 200 分程度のデータが必要であり、ここで用いる 20 分間のデータでは短いのではないかという懸念が生じる。しかし、上記 17 地点のうち、連続観測を行っているのは 6 地点に過ぎず、広域的な長周期波の特性を調べるには観測点数が不十分である。

石原ら（2002）によれば、本海域においては、20 分間のデータから計算した長周期波高と、2 時間のデータから計算した長周期波高は、散らばりはあるものの、ほぼ等しいという結果が得られている。このため本研究では、上記 17 地点における 20 分間のデータを用いて長周期波高を算出した。

長周期波の解析には、この 0.5 秒間隔のデータに 30 秒

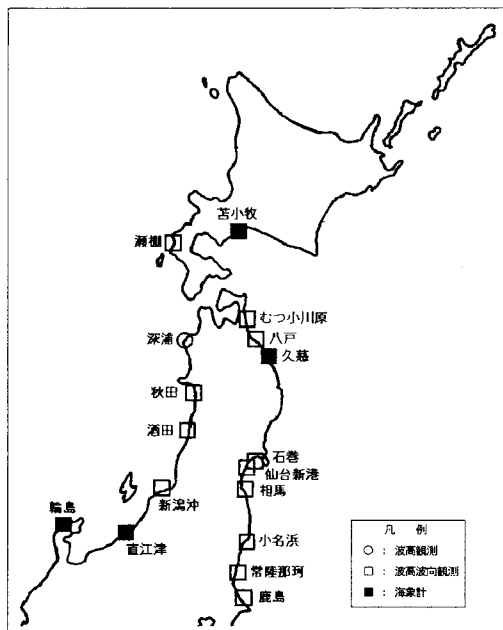


図-1 解析対象地点

のローパスフィルターを施し、5 秒間隔で再サンプリングしたデータを用いた。使用したローパスフィルターは岩崎（1995）が提案したもので、現在ナウファスにおける、長周期波データのルーチン処理に用いられている。

ローパスフィルターを施した後の波形データを用いてスペクトル解析を行い、エネルギーの平方根を取って 4 を掛けたものを、長周期波高と定義した。

3. 長周期波高と波浪諸元との関係

長周期波高は、波浪諸元（有義波高、有義波周期）との相関関係があることが知られている。石原ら（2002）によると、東日本の太平洋側では、長周期波高は有義波高×有義波周期、日本海側では有義波高との相関が高い。

太平洋側の相馬、日本海側の酒田を例に取り、長周期波高と波浪諸元との相関関係を図-2 に示す。

長周期波高と波浪諸元との間には概ね良い直線関係が

* 正会員 理修 (株)エコー 環境水工部

見られるが、長周期波高が高い時、回帰直線から大きい方にずれるデータがいくつか存在する。ずれが大きいときは、回帰直線から推定される値の2倍程度の長周期波高が観測されており、この回帰式を使って長周期波高を予測しようとする場合、防災上も大きな問題となる。

回帰直線からのずれの程度を、以下に定義した歪度 S で表現する。

$$S = \frac{1}{NE^3} \sum_{i=1}^N (y_i - \tilde{y}_i)^3 \dots \dots \dots (1)$$

ここで、 N はデータ数、 E は2乗平均誤差、 y_i は長周期波高、 $\tilde{y}_i$ は回帰式から推定される長周期波高である。 S が大きいほど、分布が回帰直線より大きい方に偏っていると判断することができる。図-2 に示した相馬、酒田の例では、歪度はそれぞれ3.105、1.934と計算された。

図-2 に示した回帰式よりも歪度が小さくなるような回帰式を検討した。長周期波高あるいは有義波高が大きいときに波高が大きい側にずれることが多いことから、例えば太平洋側では有義波高の平方×有義波周期、日本海側では有義波高の平方を説明変数に取ることが考えられる。回帰式変更後の、波浪諸元と長周期波高との関係を図-3 に示す。また、相馬、酒田に、太平洋側の小名浜、日本海側の瀬棚を加えた4地点について、回帰式の変更によって、相関係数、歪度がどのように変化したかを調べた。結果を表-1 に示す。

回帰式の変更によって、歪度は0に近くなり、回帰直線から大きい方にずれる度合いは減ったが、相関係数が小さくなった。何をもって良い回帰式とするかの基準は明確ではないが、相関係数の他に歪度という指標を導入することで、最適な回帰式が変わり、相関係数を最も大きくし、同時に歪度を最も小さくすることは困難であることが分かった。

4. 波浪と長周期波の時空間変動

(1) 有義波高と長周期波高の時空間変動

どのような回帰式を用いるのかという違いはあるが、従来の回帰式を用いた場合、長周期波高は回帰式から推定される値よりも大きい方にずれる。このような特性がある特定の地点、ある特定の時刻だけの現象なのか、それとも、時間的、空間的にある程度の広がりを持った現象なのかを調べるために、いくつかの擾乱期間を対象にして、長周期波高の時空間変動特性を調べた。

太平洋側の例を図-4 に、この期間の地上天気図を図-5 に示す。また、日本海側の例を図-6 に、この期間の地上天気図を図-7 に示す。図-4、図-6 は、いずれも縦軸が地点で、北に位置する地点が上、南に位置する地点が下になるように並べてある。一番上の図が有義波高の時空間変動、上から2番目の図が長周期波高の時空間変

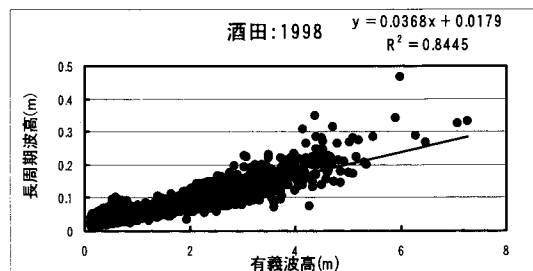
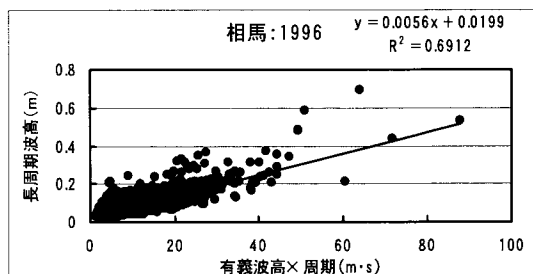


図-2 相馬、酒田における長周期波高と波浪諸元との関係 (相馬:1996年、酒田:1998年)

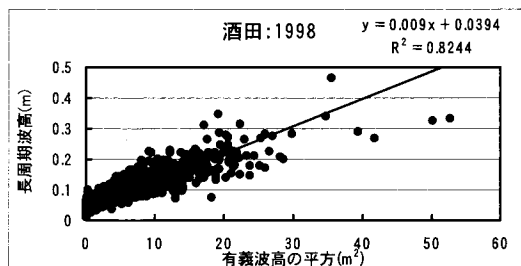
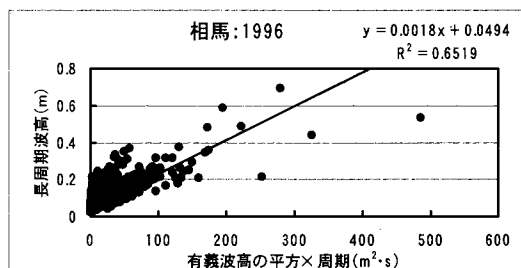


図-3 相馬、酒田における長周期波高と波浪諸元との関係 (回帰式変更後、対象期間は図-2と同じ)

表-1 従来と変更後の回帰式を用いた場合の相関係数と歪度の比較

地点/年	従来の回帰式		変更後の回帰式	
	相関係数	歪度	相関係数	歪度
相馬/1996	0.831	3.105	0.807	0.931
小名浜/1997	0.838	3.601	0.823	1.442
酒田/1998	0.919	1.934	0.908	-0.311
瀬棚/1998	0.868	2.430	0.854	1.109

動を示す。

図-4 は、相馬で年最大長周期波高 0.692 m を記録した 1996 年 9 月 20 日 20 時を含む期間の解析結果である。この図によると、有義波高、長周期波高ともに、時間の経過とともに、波高の高い部分が北に移動していることが分かる。図-5 と見比べると、有義波高が高いのは、台風 18 号から変わった低気圧が本州東方沖で発達し、それによって発生した波が東日本沿岸にうねりとして伝搬し

て来たためと考えられる。

図-6 は、瀬棚で年最大長周期波高 0.500 m を記録した 1998 年 1 月 7 日 10 時、酒田で年最大長周期波高 0.465 m を記録した 1998 年 1 月 7 日 12 時を含む期間の解析結果である。この図によると、有義波高、長周期波高とも、太平洋側のように移動の傾向が明らかではなく、全域でほぼ同時に高波が発達している。図-7 によると、この期間は冬型の気圧配置を示し、7 日に特に冬型が強

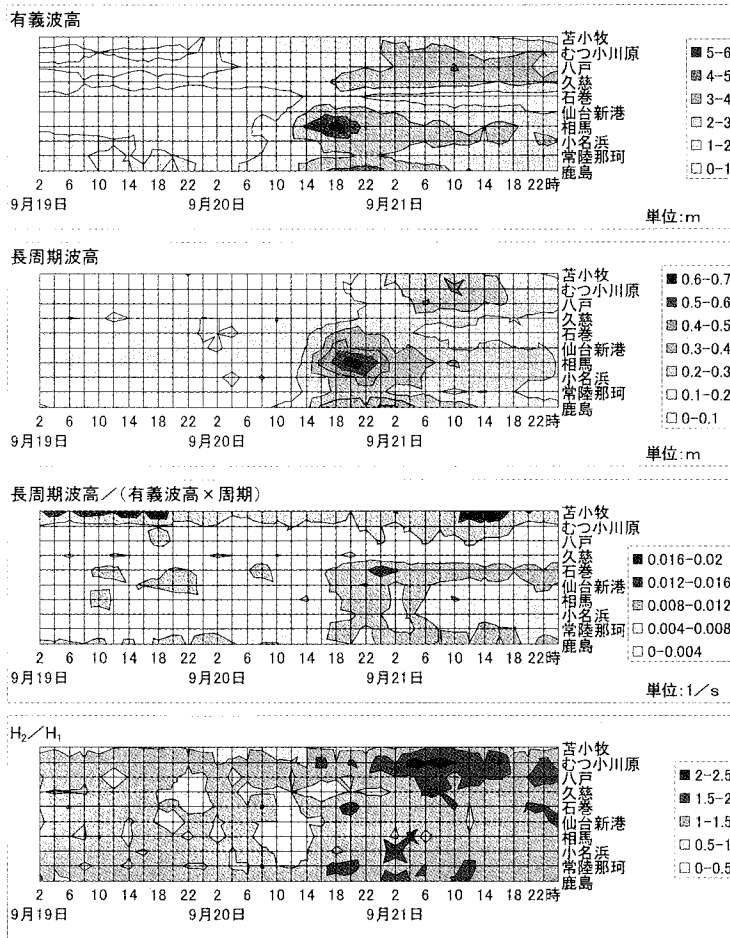
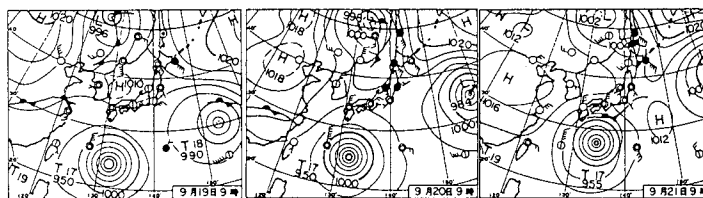


図-4 有義波高と長周期波高の時空間変動 (太平洋側, 1996 年 9 月 19 日~21 日)



19 日 (木) 移動性高気圧 20 日 (金) 南大東島で暴風 21 日 (土) 台風と秋雨前線

図-5 地上天気図 (1996 年 9 月 19 日~21 日)

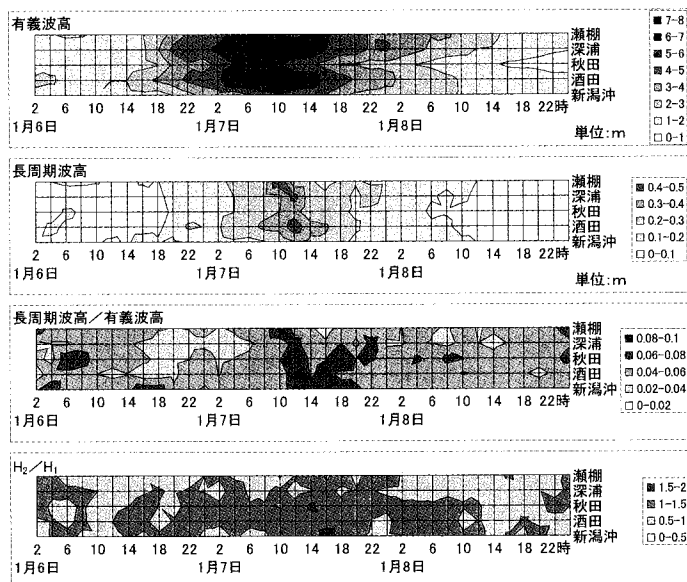


図-6 有義波高と長周期波高の時空間変動 (日本海側, 1998 年 1 月 6 日～8 日)

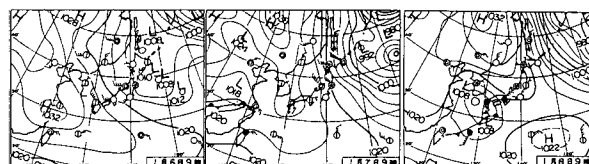
6日 (火) 聖火スタート 7日 (水) 稚内上空 -47.9°C 8日 (木) 首都圏・大雪

図-7 地上天気図 (1998 年 1 月 6 日～8 日)

まっている。7日に全域で見られる高波は、冬型に伴う季節風によって生じたものであるため、対象海域全体に強風が吹き、そのため高波域が移動する様子が見られないのであろう。

(2) 比例係数の時空間変動

図-4、図-6 いずれも、上から3番目の図は、長周期波高を波浪諸元で近似したときの比例係数の変動を示す。即ち、太平洋側では、長周期波高/(有義波高 $\times$ 有義波周期)、日本海側では、長周期波高/有義波高である。

図-4では、長周期波高の高い9月20日12時～21日22時には、この比例係数も概ね大きくなっている。長周期波高は20日20時の相馬付近にピークがあり、係数は同日24時の石巻付近にピークがある。ピークの位置は両者で必ずしも正確に一致するものではないが、ピーク付近に広がる高波域、係数の大きい領域は概ね一致しているといえる。また、長周期波高の21日10時のむつ小川原付近のピークと、係数の同日12時～16時の苫小牧付近のピークについても同様である。

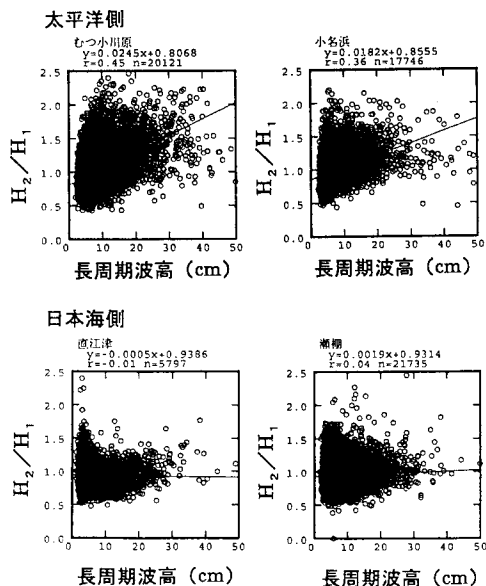
また、図-6でも、長周期波高の高い1月7日2時～16時には、比例係数が概ね大きくなっている。

これは、長周期波高が大きい場合は、平均的な回帰式よりも長周期波高が大きい方にずれるという特徴がある1地点、ある1時刻だけに見られるものではなく、時空間的な広がりを持ったものであることを示している。

(3) 周波数特性の時空間変動

長周期波を周期成分に分け、周期30秒～60秒の成分波高を H_1 、周期60秒～300秒の成分波高を H_2 とした時の長周期成分の相対波高比 H_2/H_1 の時空間変動を調べた。結果を、図-4、図-6の一番下の図に示す。これらの図によると、太平洋側では、日本海側に比べて、高波高のときの H_2/H_1 の値が大きい。また、太平洋側では、 H_2/H_1 が大きい領域は、長周期波高が高い領域と一致しているのに対して、日本海側では、 H_2/H_1 は余り変化せず、長周期波高との間にも明確な関係は見られない。

長周期波高が高くなるとともに、太平洋側の地点では H_2/H_1 が大きくなる傾向があるのに対し、日本海側の地点ではそのような傾向が明白でないことは、石原ら(2002)が既に述べている(図-8)。この図によると、データの散らばりが非常に大きく、太平洋側と日本海側の違いは平均的なものであり、個々の期間について当てはま



図—8 長周期波高と H_2/H_1 との関係 (石原ら, 2002)

るかどうかは明らかではないことが分かる。事実、図—4以外に示した以外の期間について解析したところ、長周期波高が高い時に、 H_2/H_1 の値が必ずしも大きくない場合もあった。

しかし、限られた事例に関してではあるが、時系列としてみたときにも石原ら (2002) と同様の特徴が見られる。しかもそれが空間的にも広がりを持ったものであることが分かった。

(4) 時空間変動に関する結果と考察

4.(1)~(3) に示した特徴は、長周期波に関する諸量の時空間分布がほぼ一致するということであって、個々の地点毎に、経時的に正確に一致するものではない。このことから、長周期波がある程度高いときは、大局的な場に加えて、観測地点の局地的な特性を反映した長周期波成分が重要になるということが出来る。

また、長周期波高が高い領域では、波浪諸元で近似したときの比例係数も大きいということは、長周期波高が高い場合には、長周期波高が低い場合とは違った長周期波の発達機構が作用していることが示唆される。

5. ま と め

本研究の結果を以下に示す。

- (1) 波浪諸元 (有義波高, 周期) を説明変数とした長周期波高の回帰式の精度を評価する指標として歪度を提案した。相関係数の大きい回帰式と歪度の小さい回帰

式とは必ずしも一致しないことが分かった。

- (2) 相関係数を最大にする回帰式を用いた場合、回帰式から大きい方大きくずれるデータが存在する (歪度が正)。

- (3) 太平洋側, 日本海側について、長周期波高の高い場合を対象にして長周期波高, 有義波高, 比例係数 (太平洋側では、長周期波高/(有義波高×周期), 日本海側では、長周期波高/有義波高) の時空間分布を調べたところ、以下の特徴が見られた。

- ①太平洋側, 日本海側ともに、有義波高, 長周期波高の高い時空間領域はほぼ一致している。

- ②太平洋側では、有義波高, 長周期波高の高い領域は、時間的に伝搬している様子が見られる。これは気象擾乱の動きと関連したものである。

- ③日本海側では冬型の気圧配置のときに長周期波が発達している。このため、波浪, 長周期波ともに、太平洋側ほどは、高波高域の伝搬は明確ではない。

- ④比例係数が大きな値を持つ時空間領域は、長周期波高が高い領域と一致している。即ち、長周期波高が回帰式から大きい方にずれるのは、長周期波高が大きい場合であることが時空間分布からも確認できた。

- (4) 長周期波が高い場合の長周期波のスペクトル特性の時空間特性を調べた。30~60 秒, 60~300 秒の成分波高をそれぞれ H_1 , H_2 としたとき、 H_2/H_1 の時空間分布について、以下の特徴が見られた。

- ①太平洋側では日本海側に比べて、長周期高波が大きいときの H_2/H_1 の値が大きい。

- ②太平洋側では、 H_2/H_1 が大きい領域は、長周期波高が高い領域と一致することが多い。

- ③日本海側では、 H_2/H_1 は余り変化せず、長周期波高との間にも明確な関係は見られない。

- ④上記の特徴は、石原ら (2002) が各地点毎に示した特徴が、時空間的に広がりがあつたものであることを示している。

- (5) 長周期波がある程度高いときは、大局的な場に加えて、観測地点の局地的な特性を反映した長周期波成分が重要になる。

参 考 文 献

- 岩崎峯夫 (1995): デジタルフィルターを用いた津波計, カイジョー技報, Vol. 2, No. 4, pp. 51-58.
- 石原弘一・岩瀬哲治・仲井圭二・坂井紀之・灘岡和夫 (2002): 東日本沿岸域における長周期波の広域的な出現特性, 海岸工学論文集, 第 49 巻, pp. 236-240.