

波浪データを利用した海上風観測 手法に関する検討

INVESTIGATION OF OCEAN WIND ESTIMATING TECHNIQUE USING WAVE DATA AND SMB METHOD

渡辺一也

Kazuya WATANABE

¹正会員 博(工) 香川高等専門学校 高松キャンパス 建設環境工学科 助教
(〒761-8058 香川県高松市勅使町355)

In the ocean surface, there are many kinds of currents due to tides, wind, wave as well as tsunamis. Especially, wind-driven currents may be important for coastal currents. Wind driven-currents are nonstationary phenomena in time and space. Therefore, the grasps of wind-driven currents are important. It is necessary to observe velocity of currents temporally and spatially due to estimate wind-driven currents. However, it is difficult to observe spatial distributions of current velocity and ocean winds by current meter and anemometer of stationary type. HF radar can be observed spatial distributions of current velocity. Although ocean winds cannot be measured directly by HF radar, it is possible to estimate using wave height, wave period, and the Sverdrup-Munk-Bretschneider's (SMB) method.

In this study, ocean winds were estimated by obtained wave height and period from *NOWPHAS* and SMB method. This estimated method was examined in seven points (Niigata, Fort No.2, Sealion island, Kobe port, Port of Komatsushima, Sea of Genkai and Kanda). In addition, when this technique was not able to be used, another method was examined. Finally, we proposed another methods that were able to be used at any time.

Key Words : *Wind-driven current, surface velocity, wind speed, NOWPHAS
Sverdrup-Munk-Bretschneider's method, high frequency radar*

1. はじめに

海岸では様々な流れが発生している。その流れの一例として吹送流が挙げられるが、このような流れを把握するには海上風のデータが重要である。

従来、海上風データは船舶やブイにより観測されてきた。観測塔を利用する方法もあるが、多大な費用が必要な上、時間的・空間的な流れの把握には向いていないという問題があった。

近年では、衛星を利用した海上風推定が可能となり、風向・風速データを得ることが困難であった海域においても、空間的な風向・風速分布が観測されるようになった。しかし、衛星を利用した海上風推定では空間・時間分解能が低く、構造物のある海域や沿岸域における推定は困難であるという問題点がある。海上風の時空間分解能の必要性については既にいくつかの検討がなされている(小林ら¹⁾)。

さらに、範囲は衛星のデータに比べて小さくなるものの、空間的な風速場を知る手法としては、直接的に海上風を計測する手法ではないが、海洋短波レーダにより得られた波高と周期の情報を利用した間接的な面的海上風を推定する手法がある。渡辺・富田²⁾は波浪データ(波高・周期)を使用し、面

的海上風の推定が可能であることを示している。ただし、この手法の検討は、一地点のみを対象としてしか行われておらず、検討事例が少ない事が問題であった。

そこで、本研究では、*NOWPHAS*により海上風と波浪観測が併せて行われている全7地点(玄界灘、アシカ島、第二海堡、小松島、荻田、神戸、新潟沖)において面的海上風観測の可能性について検討を行った。本研究では将来的に面的な海上風観測手法の確立を目的としているため、波浪データのみを使用して海上風を推定するシステムを目指している。そのため、波浪・周期からの海上風の推定にはHuangら³⁾によって提案されているSMB法を用いて海上風を求める事とした。この手法はもともとsky radarに対して使用されていたものを海洋短波レーダに応用したものである。この手法の適否を*NOWPHAS*のデータをもとに検討する。

さらに、本手法が適用できない場合においても海上風の推定が出来るようなシステムが求められるため、本手法が適用できない原因と別の手法についての検討も行った。

2. 研究方法

(1) データ観測地点

本研究では、新潟沖、第二海堡、アシカ島、神戸港、小松島、玄界灘、苅田の7つの観測地点の波浪データを使用し、海上風の推定手法について検討を行った。この7地点を選定した理由としては、海上風の観測と波浪の観測が併せて行われているためである。海上風、波浪データの観測位置を図-1に示す。

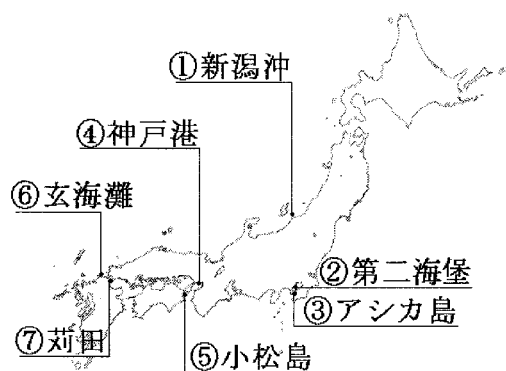


図-1 観測地点

(2) SMB法による海上風の推定方法

海上風の計算にあたっては、Huang ら⁴⁾により提案されている式(1)を使用した。

$$\frac{gH_{1/3}}{U_{10}^2} = 0.26 \tanh \left[\left(\frac{1}{f_m U_{10}} \right)^{3/2} \frac{(3.5g)^{3/2}}{10^2} \right] \quad (1)$$

ここで、 $H_{1/3}$: 有義波高、 U_{10} : 海上10mの風速、 f_m : 波浪スペクトルのピーク周波数である。 f_m についてはスペクトルデータが得られなかったため、今回は観測された有義波周期の逆数を取ることで f_m として扱った。

式(1)では、基準高さ10mの風速の使用を想定しているため、式(2)に示される、べき法則を使用し海上10mにおける風速への換算を行うことにより補正を行った。本文中に示されている風速の図および使用したデータは、全て、べき法則により海上10mへと修正を行ったものである。

$$U_z = U_{10} \left(\frac{z}{10} \right)^\alpha \quad (2)$$

ここで、 U_z : 観測地点での風速 (m/s)、 z : 海面からの距離 (m)、 α : べき指数であり、海上の値0.12を使用した。

3. 各地点における波浪データ・風データの特性について

次に、海上風を推定する前の段階として、各観測点における波浪データと風データの特性について整

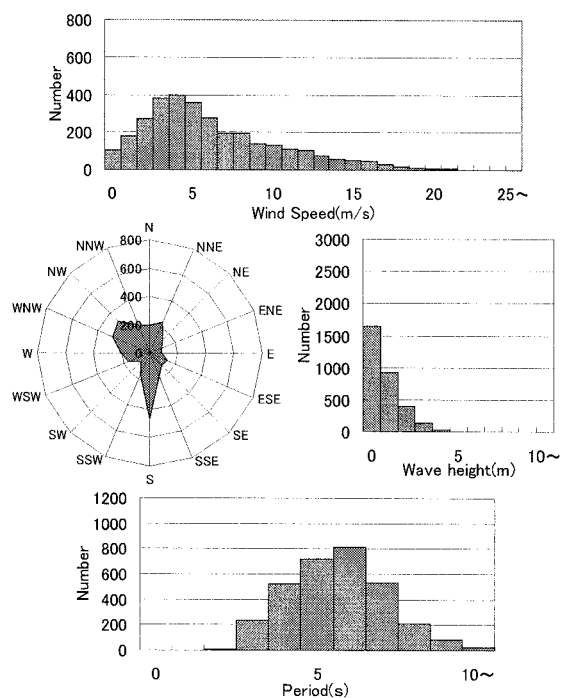
理した。データの整理の方法は、既に新潟沖において同検討を行っている渡辺・富田⁵⁾に倣って行った。

観測データはNOWPHASの、2001年1月1日から2006年12月31日までに2時間間隔で測定されたものを使用した。使用したデータは、風速、風向、波高、周期である。これらのデータを各観測地ごとに1年ごとに分けて検討にした。年毎の変動を検討した結果、どの観測においても、年毎に著しい変化が見られなかった。そこで、ここでは2001年のデータを用いて各観測点における特性について説明する。

(1) 新潟沖

図-2に新潟沖における海上風特性、波浪特性を示す。海上風の特徴としては、風速が3~6m/sのものが多く、風向は南から吹きこむ風が卓越している。波高は1m未満の波が半分以上を占めていた。

新潟沖の観測所の特徴としては日本海に観測塔が設置されており、周囲に波浪を遮る防波堤などの施設が無い事が挙げられる。この観測塔において、海上風と波浪の観測が併せて行われている。



上段：風速分布、中段左：風向分布
中段右：波高分布、下段：周期分布

図-2 新潟波浪データ 2001年

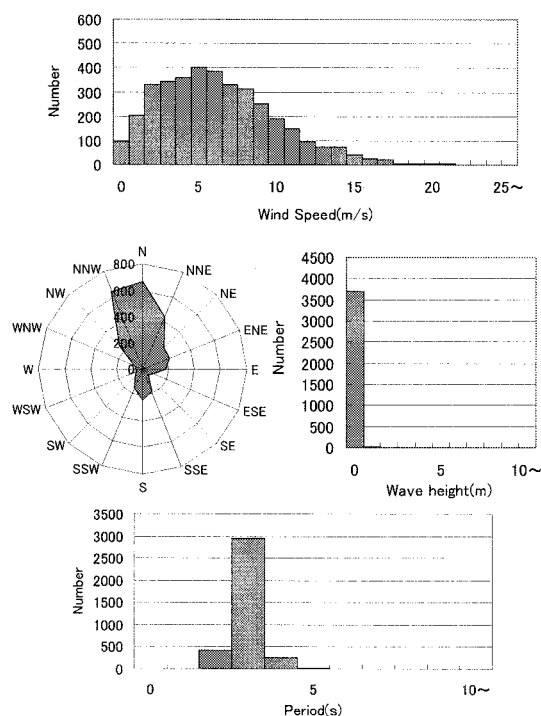
(2) 第二海堡

第二海堡における海上風及び波浪特性を図-3に示す。海上風の特徴としては、風速が5~7m/sのものが卓越している。次に風向は北北東、北東、南からの風が多く観測されている。

次に波浪データを見ると、波高はほぼすべてが1mに満たない波であった。

第二海堡の観測所の特徴としては第二海堡の陸部

に海上風観測機が設置され、そこから少し離れたところに海象計が設置されている。東京湾口航路のほぼ中間に位置している。

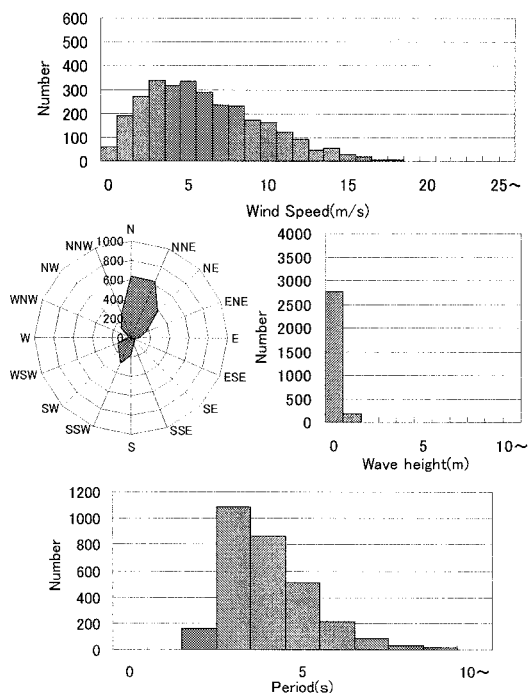


上段：風速分布，中段左：風向分布
中段右：波高分布，下段：周期分布

図-3 第二海堡データ 2001 年

(3) アシカ島

アシカ島における海上風及び波浪特性を図-4に示す。



上段：風速分布，中段左：風向分布
中段右：波高分布，下段：周期分布

図-4 アシカ島データ 2001 年

アシカ島の海上風の特徴としては、2001年～2005年間はほぼ同じ特徴であるのに対し、2006年だけが少し違った特徴を有していることが挙げられる。まず風速は、2001～2005年間は5～7m/sの風が多く観測され、25m/sを超えるものもまれに観測されている。それに対して2006年は1～4 m/sの風が多くなるというデータになっている。次に、風向は2001～2005年までの5年間は北北東と南南西からの風を中心に北、北東、南、南西からの風が多く観測されている。そして2006年はその特徴に加えて東及び西の風が多く観測されている。

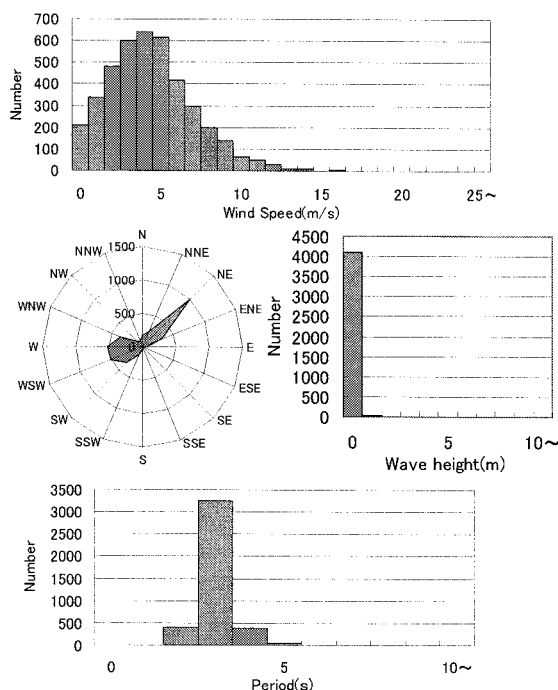
波浪データを見ると、波高は 1m 以下の波が卓越し、3m 以上の波はまったく観測されていない。第二海堡と位置が近いこと、第二海堡とアシカ島のデータの特徴は良く似たものとなっていた。

アシカ島の観測所は第二海堡の観測所の近くであり、東京湾の入り口部に観測機が設置されている。

(4) 神戸港

神戸港における海上風及び波浪特性を図-5に示す。神戸港の海上風の特徴としては、風速が5m/sのものが最も多く観測されていることが挙げられる。次に風向は2001年だけが少し違う特徴を表している。2001年だけが北東からの風が最も多く観測され、その他の年では北北東からの風が最も多く観測されている。

神戸港の観測所の特徴としては神戸港沖に海上風、波浪観測機器が設置されている事が挙げられる。周りに波浪を遮る施設は無いが、大阪湾内にあり観測されている波浪は非常に小さくなっている。



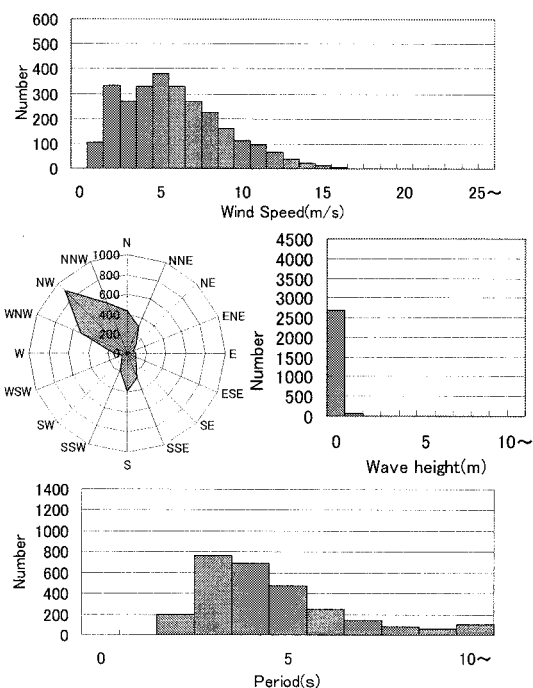
上段：風速分布，中段左：風向分布
中段右：波高分布，下段：周期分布

図-5 神戸港データ 2001 年

(5) 小松島

小松島における海上風及び波浪特性は図-6に示す。小松島の海上風の特徴として、風速は2～9m/sの風が多く観測されている。次に風向は、北西と南からの風が最も多く、その2方向に卓越する形となっていた。波高は、1m未満の波が卓越していた。

小松島の観測所の特徴としては観測局が設置されているが湾内にあるため特定の方向からの風が卓越している。



上段：風速分布，中段左：風向分布
中段右：波高分布，下段：周期分布

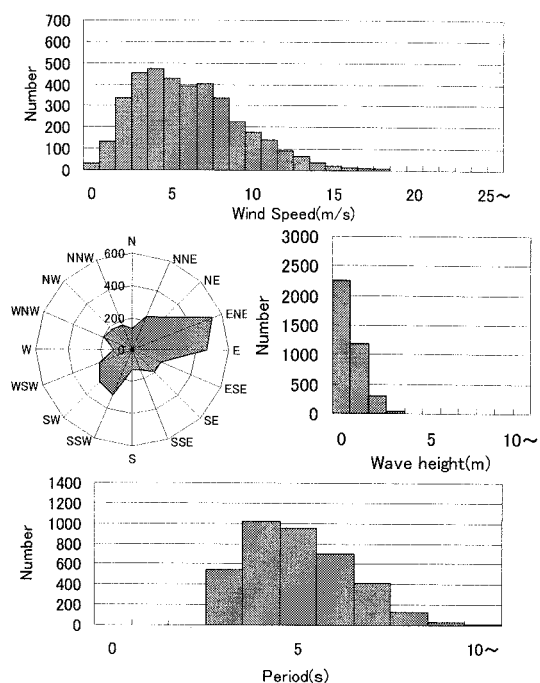
図-6 小松島データ 2001 年

(6) 玄界灘

海上風及び波浪特性を図-7に示す。まず玄海灘のデータは、2002年と2005年のデータの観測数が極めて少ない。通常であれば、年間4380個のデータが観測される。観測不能であったデータはどこかの観測地でも存在するが、2002年と2005年における玄海灘の観測データ数はそれぞれ4380個中の879個と1912個で、半分以上が観測されていない。

風速は、3～7m/sの範囲が多く観測されていた。次に風向については、他の観測所と比べて、年毎にばらつきが大きいことが分かる。波浪データを見ると、波高は、1m未満の波が半分以上を占めている。しかし、1mを越える波も多く観測している。周期は、4～6sの波が多く観測されていた。

玄海灘の観測所の特徴としては海上風の観測局が筑前大島の山頂に計測機が設置され、そこから約3km離れたところに海象計が設置されている。



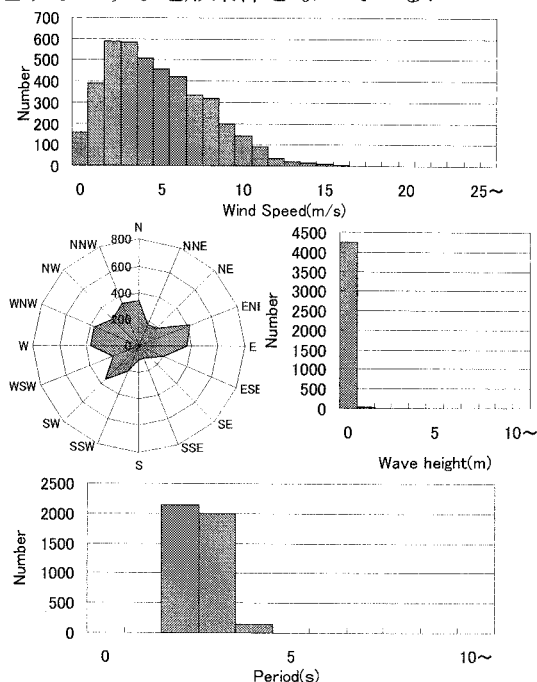
上段：風速分布，中段左：風向分布
中段右：波高分布，下段：周期分布

図-7 玄海灘データ 2001 年

(7) 荻田

荻田における海上風及び波浪特性を図-8に示す。荻田の海上風の特徴としてまず風速は2～4m/sのものが最も多く観測されており、風向は、東北東、東、南西からの風が比較的多く観測されている。波高は1m未満の波が卓越している。

荻田の観測所の特徴としては波浪観測塔に海上風観測機器が併せて設置されて、周防灘に位置しており、西側には関門海峡が存在するが、東からの流れが卓越するような地形条件となっている。



上段：風速分布，中段左：風向分布
中段右：波高分布，下段：周期分布

図-8 荻田データ 2001 年

4. 推定結果に関する検討

前章で説明した様な特性を持つ7地点の波浪データと式(1)、(2)を使用して、海上風の推定を行った。検討に使用したデータは2001年から2006年のものであるが、ここでは、上述のデータと同様に2001年の結果について示し考察する。図-9に海上風の実測値と推定値の比較を示す。

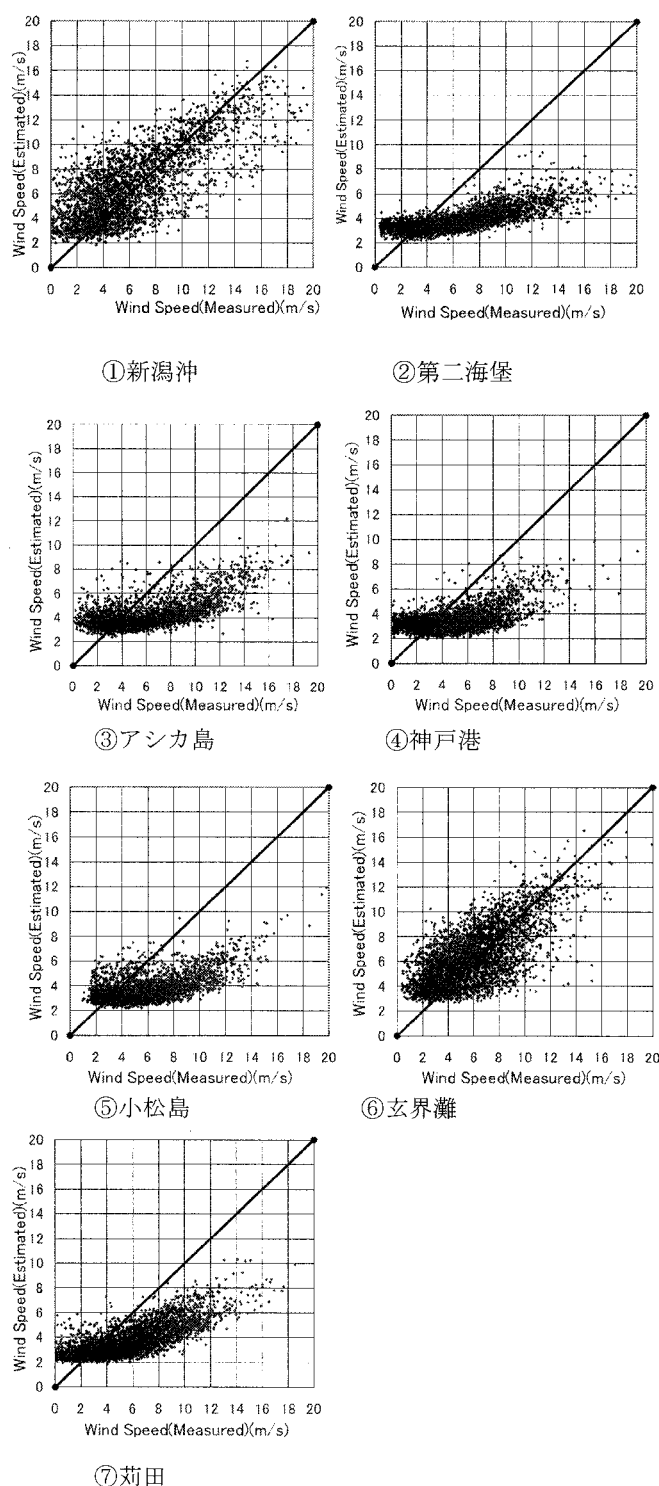


図-9 実測風速と推定風速の比較

図-9により、7つの観測点の内、推定値と実測値を比較して良好な結果を得ることができたのは新潟沖と玄海灘と荻田であった。他の4つの観測地についてはいずれも推定値が観測値よりも過小であるという結果になった。

ここで、推定が上手く行った新潟沖と玄海灘と荻田をAグループ、第二海堡とアシカ島と神戸港と小松島をBグループと定義して考察を行う。

観測位置については、Aグループに比べBグループの多くが湾内などの開けていないところがあるという特徴がある。波浪データについては、波高について見てみるとAグループの新潟沖と玄海灘は、波高1m未満の波が最も多く観測されているが、それ以上の波も多く観測され、毎年5mを超えるものを観測している。荻田については、波高が1mのものが卓越しているが観測された風速が小さかったために良好な値が得られたのだと考えられる。次に、Bグループの波高はいずれも1m未満の波が卓越して、それを超える波はほとんど観測されていない。

以上のことを踏まえた上で、推定値が実測値より過小となった理由について考察する。今回用いたHuangの手法では、本来のものは式の形が多少異なるがSMB法を用いている。推定値が実測値より小さく求まった最大の原因は、観測地の波浪状況がSMB法の条件に適していないからであると考えられる。つまり、本手法では風により発生した波浪を推定するSMB法を逆問題として扱って、波浪から風を推定しているが、その仮定が満たされない為に過小評価となったと考えられる。これらの問題が原因で第二海堡などの湾内に観測器がある場合には推定値が小さくなったと考えられる。ここで、実際の波高データを見ると、波高の頻度は分布を持たず、1m未満の波高の卓越が見られる。波高のデータにおいてある大きさの波高が卓越することなく分布しているAグループに対して、Bグループはいずれもある波高の波(1m未満)が卓越している。さらに、周期を見ると、第二海堡、神戸港では周期データもある特定のものが卓越している。その結果、第二海堡と神戸港の推定値が過小に推定されたのだと考えられる。

さらに、定量的評価を行うために、相関係数による検討を行った。表-1に2001年から2006年までの年毎の相関係数を示した。表-1より、ほとんどの地点において高い相関が得られている事が確認できる。ただし、図-9と併せてみると相関係数は高いものの推定値が実測値に対して低く計算されているケースもある。年毎の相関をみる変動は少なくなく、ほとんどの年において同じ様な傾向をみる事が出来る。この表-1と図-9により、本研究で提案した手法が可能かを判断した。

表-1 各年における相関係数

	2001	2002	2003	2004	2005	2006
新潟沖	0.74	0.72	0.73	0.69	0.74	0.72
第二海堡	0.75	0.78	0.79	0.78	0.78	0.79
アシカ島	0.63	0.60	0.56	0.66	0.57	0.54
神戸港	0.53	0.50	0.49	0.58	0.54	0.45
小松島	0.58	0.59	0.62	0.63	0.62	0.61
玄界灘	0.70	0.57	0.71	0.66	0.65	0.64
苅田	0.78	0.79	0.79	0.79	0.76	0.77

5. 本手法の適用範囲外における海上風の推定法に関する検討

前章における検討では、A グループ以外においては、本検討で用いた手法が適用であった。しかし、本研究では最終的に、海洋短波レーダを使用した面的な風場の推定を考えているため、本手法において海上風が推定できない場合においても観測が可能な手法を用意しておかなければならない。そこで、次に SMB 法が適用できない場所について、海上風を推定する手法について検討を行った。

SMB 法が適用できない場所においては Toba の 3/2 乗則により風の推定を行うこととした。この手法も、波浪データのみで風の推定が可能である⁶⁾。式(3)に、その手法を示した。

$$\frac{gH_{1/3}}{U_{10}^2} = B \left(\frac{gT_{1/3}}{U_{10}} \right)^{3/2} \quad (3)$$

ここで、 $H_{1/3}$ ：有義波高、 U_{10} ：海上 10m の風速、 $T_{1/3}$ ：有義波周期、 B ：係数である。 B は係数であり、最小二乗法により求めた。その結果 $B=0.022$ となった。

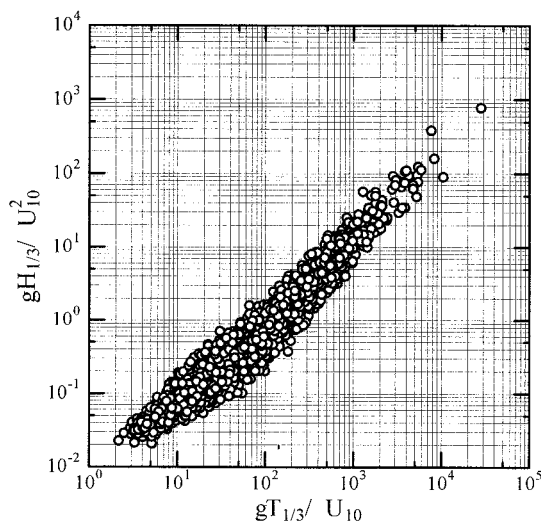


図-10 アシカ島における波高、周期と海上風の関係 (2001 年)

今回は、アシカ島だけの結果を示しているが他の地点でも波高、周期、海上風には良好な関係をみる

事が出来た。そのため、Toba の 3/2 乗則を用いる事により、今回、推定が出来なかった地点においても風の推定が精度良くできると考えられる。

6. おわりに

本研究では、波浪・周期データを使用し海上風の観測が可能であるかを検討した。その結果、本研究で示した手法は、玄界灘、新潟沖、苅田で有効であった。また、神戸・第二海堡・アシカ島・小松島では推定値が実測値より過小評価となったが、全て傾向として値が低くなっており今後改良の余地があると考えられる。この原因としては、観測地の波浪状況が SMB 法の条件に適していないからであると考えられる。つまり、本手法では風により発生した波浪を推定する SMB 法を逆問題として扱って、波浪から風を推定しているが、その仮定が満たされない為に過小評価となったと考えられる。

今後は面的な風場を観測する事を目的しているため、実際に海洋短波レーダにより得られたデータを使用して面的な海上風の推定を行う予定である。また、今回、本手法が適用できなかった地点においても海上風を推定する手法について検討を行っていく予定である。

謝辞：本研究を行うにあたって、(独)港湾空港技術研究所海象情報研究室に特別なご配慮を頂き、NOWPHAS の海上風、波浪、流速などの貴重なデータを提供して頂いた。また、データの整理にあたっては、香川高等専門学校・高松キャンパス、建設環境工学科の小林 史君の協力を得た。ここに記し、謝意を表する。

参考文献

- 1) 小林智尚・飯野智彦・足立忠行・安田孝志：海上風データの時空間分解能が波浪推算に及ぼす影響，海岸工学論文集，第 47 巻，pp256-260，2000。
- 2) 渡辺一也・富田孝史：海洋短波レーダによる自己完結型の吹送流推定システムの提案，海洋開発論文集，第 24 巻，pp. 861-866，2008。
- 3) Weimin Huang, Gill, E. Wu, S., Wen B., Yang, Z. and Hou. J.: Measuring Surface Wind Direction by Monostatic HF ground-Wave Radar at the Eastern China Sea, IEEE Journal of Oceanic Engineering, Vol.29, No.4, pp.1032-1037, 2004.
- 4) Weimin Huang, Shicai Wu, Eric Gill, Member, IEEE, Biyang Wen, and Jiechang Hou : HF Radar Wave and Wind Measurement Over the Eastern China Sea, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 40, No. 9, 2002.
- 5) 渡辺一也・富田孝史：海洋短波レーダによる津波観測の実現に向けた吹送流推定システムの検討，港湾空港技術研究所資料，No.1197，18p，2009。
- 6) Ebuchi, N., Toba, Y., and Kawamura, H.: Statistical Study on the Local Equilibrium between Wind and Wind Waves by Using Data from Ocean Data Buoy Stations, Journal of Oceanography, Vol. 48, pp. 77 to 92. 1992