

波浪データを使用した海上風推定手法に関する検討*

秋田大学工学資源学部

高橋 侑矢

秋田大学大学院工学資源研究科

渡辺 一也

1. はじめに

海洋の流動を研究する上で海上風は流れの情報と共に、重要な物理量の一つである。従来、海上風については、船舶やブイにより観測されてきた。他にも観測塔を利用する方法もあるが、多大な費用が掛かり、局所的な観測しかできないという問題点があった。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・風速分布が観測可能となった。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場合が多い。そこで本研究では、波高・周期データを使用した海上風の推定を行う手法について検討した。さらに従来行われていた Toba の 3/2 乗則の係数の決定方法についても新しい決定法について検討した。

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、荇田、玄界灘の 7 地点において、NOWPHAS によって観測された波浪・海上風データを用いて海上風を推定する。観測地点について図-1 に示す。

(2) 使用データについて

本研究において使用したデータは、NOWPHAS により 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である。海上風の推算の検討におい



図-1 観測地点

ては、データの整理より 2004 年 1 月 1 日から 2004 年 12 月 31 日までの 1 年間の波浪データ (波高, 周期), 風データ (風速, 風向) を使用した。推定結果との比較のために使用した海上風の風速と風向は同じ地点で行われているが、観測地点の高さは場所によって異なっているため、べき法則を用いて地上 10m における基準風速へと換算している。

最初に、各地点における波浪特性について整理した。ここでは一例として、7 地点の中で海上風推定手法により推定値の差の大きかった荇田における波浪特性を示す。図-2、図-3 に海上風特性、図-4、図-5 に波浪特性を示す。図-2、図-3 の海上風特性を見ると、風速 2~4m/s の海上風が多く観測され、西、南西からの風が卓越していることがわかる。

*Examination of ocean wind estimating technique using SMB method and Toba 3/2-power law by Yuya TAKAHASHI and Kazuya WATANABE

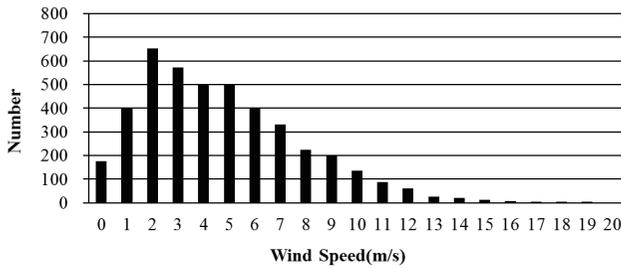


図-2 苅田における風速分布

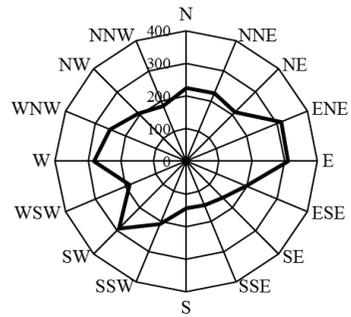


図-3 苅田における風向分布

波浪特性としては、図-4、図-5 から波高 1m 未満の波が 90%以上を占めており、2m 以上の波の観測は少なかったことが挙げられる。観測された最大波高は 3.36m、最低波高は 0.08m であった。周期については 2~4s のものが多く観測されていた。

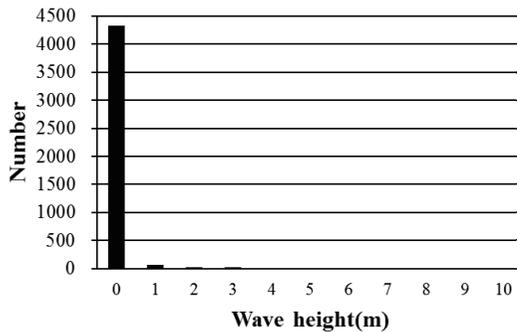


図-4 苅田における波高分布

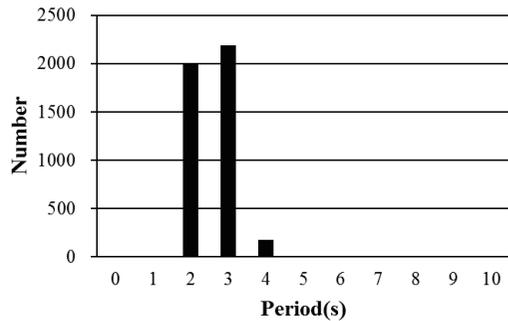


図-5 苅田における周期分布

(3)海上風の推定手法について

海上風を推定するために Huang ら¹⁾によって提案されている SMB 法を用いた。さらに、Toba の 3/2 乗則により海上風を推算した。使用した式を表-1 に示す。Toba の 3/2 乗則では、係数を決定する必要があり、従来²⁾³⁾⁴⁾の方法では最小二乗法により係数を決定していたが、この係数の値により、海上風推定の精度が著しく変化する可能性がある。そこで、本研究では係数の設定に関して、従来²⁾³⁾⁴⁾の方法だけではなく、新しい手法として平均二乗誤差 (RMSE) を最小にする手法(以降、Method1 とする)の検討も行った。

表-1 波浪推算式

| 提案者 | 波浪推算式 | 各諸元 |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Huang | $\frac{gH_s}{U_{10}^2} = 0.26 \tanh \left[\left(\frac{1}{f_m U_{10}} \right)^{3/2} \frac{(3.5g)^{3/2}}{10^2} \right]$ | g : 重力加速度 (m/s ²) H _s : 波高 (m) U ₁₀ : 海上10mの風速 (m/s) f _m : 波浪スペクトルのピーク周波数 (s) |
| Toba | $\frac{gH_{1/3}}{U_*^2} = B \left(\frac{gT_{1/3}}{U_*} \right)^{3/2}$ | g : 重力加速度 (m/s ²) H _{1/3} : 有義波高 (m) U ₁₀ : 海上10mの風速 (m/s) T _{1/3} : 有義周期 (Hz) B : 係数 |

(4)Toba の 3/2 乗則の係数の決定について

Toba の 3/2 乗則の係数の決定にあたっては従来の最小二乗法によるものと図-6 に示されるように、B を 0 から 0.1 まで変化させた場合に推定値と実測値の RMSE の誤差が最小となるように B を決定したケースの 2 種類について検討した。

3. 結果の比較と考察

荇田における海上風の実測値と推定値の比較を図-7、図-8、図-9 に示す。Toba の 3/2 乗則で海上風を推定した図-7、図-8 を見ると推定値が実測値に近い値を示しており、適切に海上風を推定できていると考えられる。これらとは逆に、Huang の SMB 法で海上風を推定した図-4 を見ると推定値は実測値に比べて小さくなる傾向がみられた。

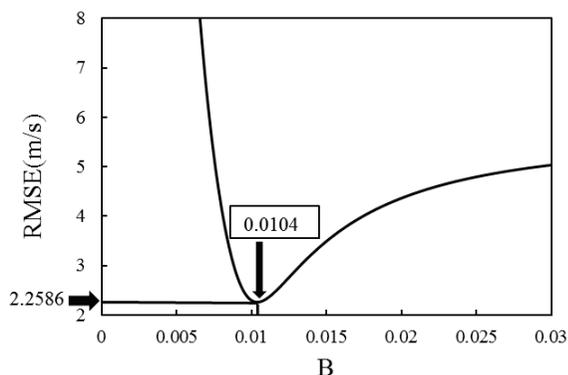


図-6 RMSE を使用した係数 B の決定 (荇田)

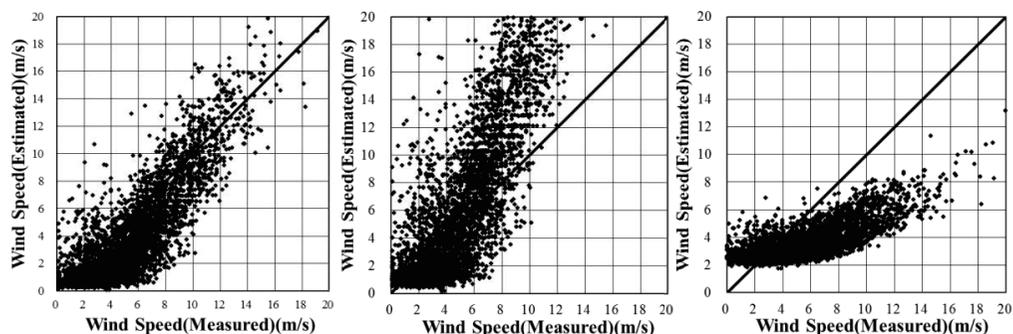


図-7 Toba3/2 乗則 (Method1) 図-8 Toba3/2 乗則(最小二乗法) 図-9 Huang の SMB 法

次に、荇田を除く各地点における実測値と推定値の比較を表-2 に示す。全体的な傾向として、Toba の 3/2 乗則の推定結果は推定値が実測値に近い値を示している。また Huang の SMB 法についても新潟沖、玄界灘については、比較的良好的な推定結果を得られたが、新潟沖と玄界灘を除く他の地点では荇田と同じく推定値が実測値に比べて小さくなる傾向を示した。これらのことより、グラフからは Huang の SMB 法よりも Toba の 3/2 乗則の推定結果の方が海上風を精度良く推定できているということが分かる。

次に、各地点における実測値と推定値の相関係数を表-3、標準偏差を表-4 に示す。各地点の相関係数を見ると第二海堡を除く他の地点では、Toba の 3/2 乗則の方が Huang の SMB 法の相関係数よりも高い傾向を示した。第二海堡の相関係数では、Huang の SMB 法の相関係数の方が高いが、差は 0.02 と小さい。第二海堡の波浪特性は波高が 1m 以下の波が 90%以上を占めており、3 秒の周期の波が卓越しているために Huang の SMB 法での推定値が低くまとまったことで相関係数が高くなったことが原因と考えられる。

表-2 各地点における実測値と推定値の結果

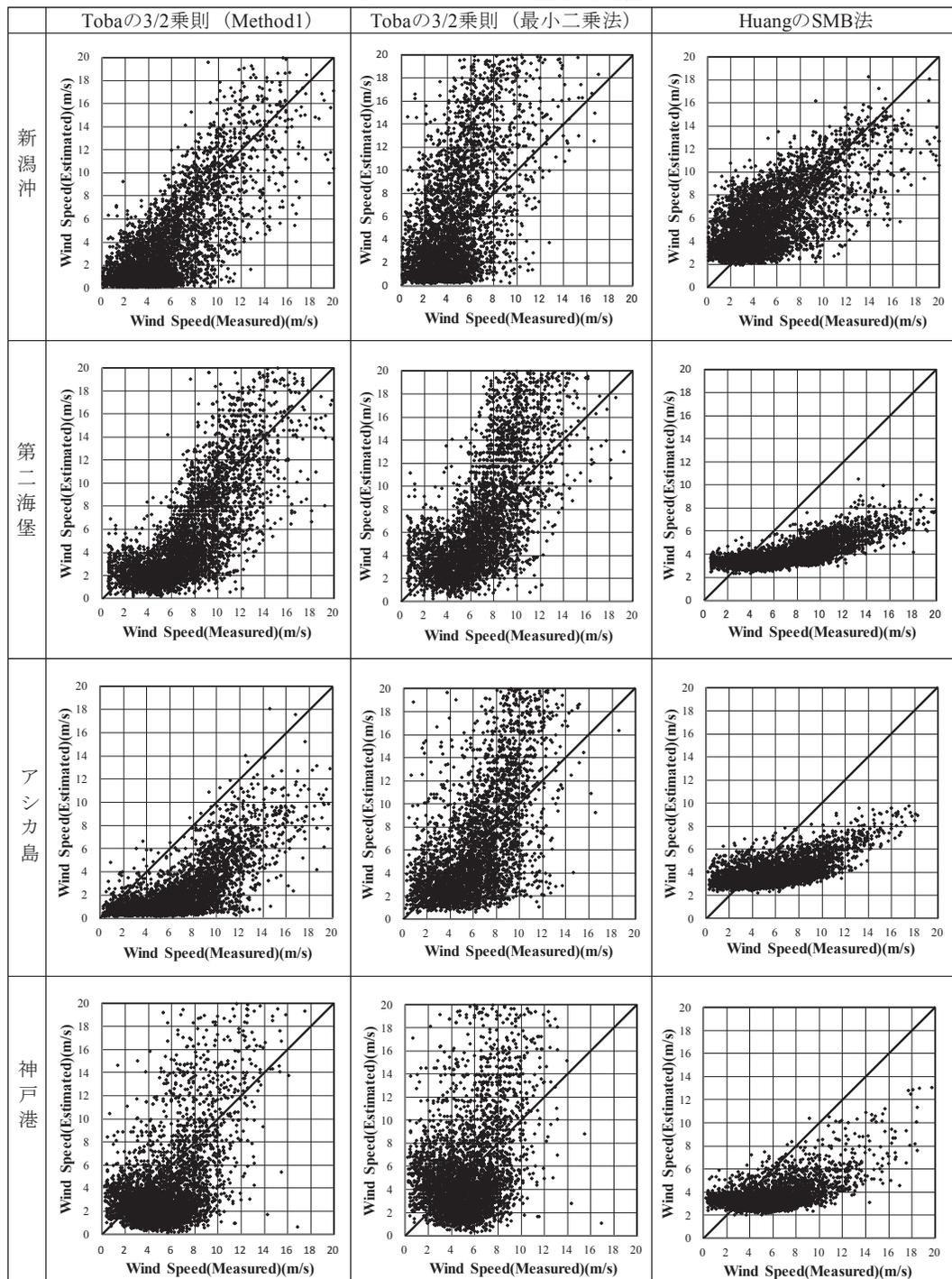


表-2 (continued) 各地点における実測値と推定値の結果

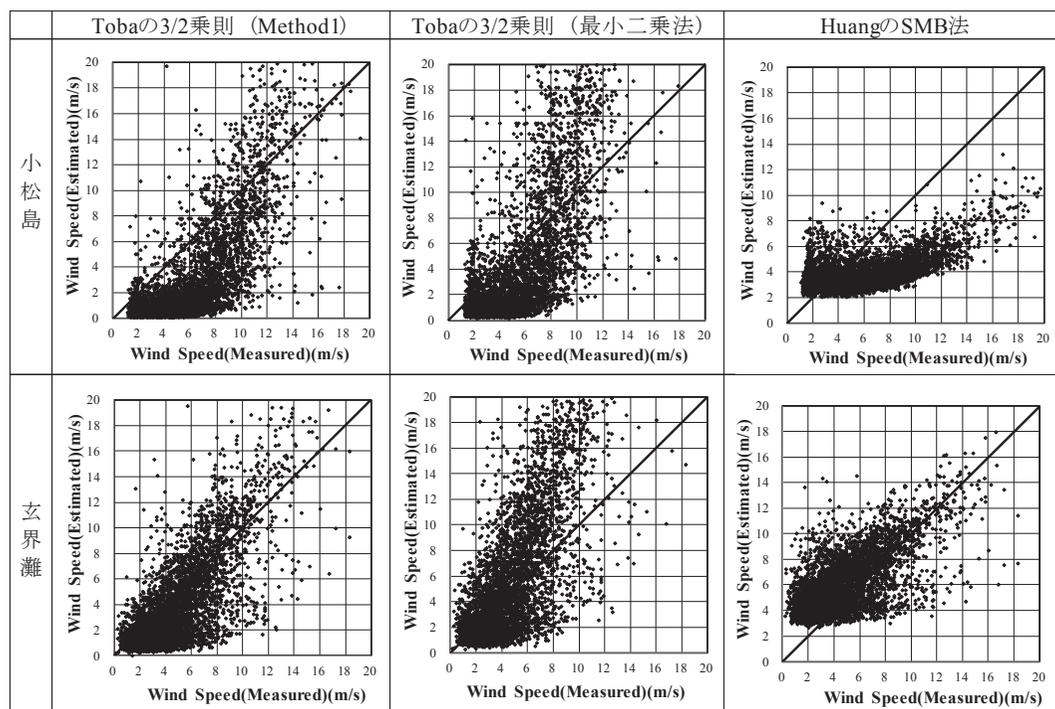


表-3 実測値と推定値間の相関係数

| | 新潟沖 | 第二海堡 | アシカ島 | 神戸 | 小松島 | 玄界灘 | 荻田 |
|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|
| Tobaの3/2乗則 (Method1) | 0.79 | 0.71 | 0.67 | 0.62 | 0.79 | 0.75 | 0.85 |
| Tobaの3/2乗則 (最小二乗法) | 0.78 | 0.76 | 0.74 | 0.62 | 0.79 | 0.75 | 0.86 |
| HuangのSMB法 | 0.69 | 0.78 | 0.66 | 0.58 | 0.63 | 0.66 | 0.79 |

表-4 実測値と推定値間の標準偏差

| | 新潟沖 | 第二海堡 | アシカ島 | 神戸 | 小松島 | 玄界灘 | 荻田 |
|----------------------|-----|------|------|-----|-----|-----|-----|
| Tobaの3/2乗則 (Method1) | 4.1 | 4.5 | 2.6 | 5.2 | 4.9 | 3.8 | 3.8 |
| Tobaの3/2乗則 (最小二乗法) | 9.6 | 7.8 | 9.5 | 8.5 | 9.6 | 6.1 | 7.1 |
| HuangのSMB法 | 2.9 | 1.1 | 1.4 | 1.2 | 1.5 | 2.4 | 1.4 |

Tobaの3/2乗則のMethod1と最小二乗法で比較すると、第二海堡、アシカ島、荻田では最小二乗法の値の方が高く、それ以外の地点では同じ値となった。相関係数を考慮して評価を行う

と、最小二乗法の方が Method1 よりも精度良く推定できていると考えられるが、図-7、図-8、表-2 を合わせて考えると最小二乗法の方は推定値が実測値に比べて高くなる傾向があるため、一概に最小二乗法の方が精度良く推定できるとは言えない。そこで、表-4 の各地点における標準偏差について検討することとした。Toba の 3/2 乗則の Method1 と最小二乗法の標準偏差を比較すると、最小二乗法の値よりも Method1 の値の方が低い傾向を示している。これは、推定値が実測値よりも高くなる為、推定値にばらつきが生じたことで最小二乗法の値の方が、Method1 の値よりも高くなったと考えられる。そのため、Toba の 3/2 乗則の Method1 と最小二乗法で比較すると、Method1 の方が精度良く海上風が推定できていると考えられる。しかし、Toba の 3/2 乗則の値よりも Huang の SMB 法の値の方が低い傾向があるため、標準偏差だけで評価を行うと Huang の SMB 法の方が精度良く海上風を推定できていると考えられるが、図-7、図-8、表-2 を合わせて考えるとこれは妥当であると言えない。これは、推定値が実測値に比べて小さくなる傾向があり、低くまとまったことで標準偏差の値が Toba の 3/2 乗則の値よりも低くなったためと考えられる。

4. 結論

本研究では、Huang らによって提案されている SMB 法、Toba の 3/2 乗則による Method1 と最小二乗法により波浪データから海上風の推定を行った。Huang らによって提案されている SMB 法を用いて海上風の推定を行うと、観測地点によっては比較的良好的な推定結果を得られたが、ほとんどの観測地点では推定値が実測値に比べて低くなることを示した。それに対し、Toba の 3/2 乗則を用いての推定では推定値が実測値に近い値を示した。特に、Method1 では全ての観測地点において、より良好的な結果が得られた。相関係数、標準偏差を見ると Toba の 3/2 乗則の最小二乗法、Huang の SMB 法が精度良く海上風を推定できていると考えられるが、図-7、図-8、表-2 を合わせて考慮すると精度良く推定できているとは考えられない。そのため、実測値と推定値の比較図、相関係数、標準偏差を総合的に判断すると Toba の 3/2 乗則の Method1 が一番精度良く海上風を推定していると考えられる。

今後は、海洋短波レーダにより得られた波浪データを使用して、本手法を適用した面的な海上風の推定を行う予定である。

謝辞：本研究を行うにあたって、国立研究開発法人港湾空港技術研究所から、貴重なデータを提供していただいた。ここに記し、謝辞を表す。

参考文献

- 1) 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.
- 2) 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.
- 3) 後藤智明・小舟浩治・菊池政信・早川完治・手島道人：東京湾の波浪特性と閉鎖海域の波浪推算手法，海岸工学論文集，第 37 卷，pp.186-189,1990.
- 4) 後藤智明・末次広児・小舟浩治：海上風の抵抗則と風波の発達則，海岸工学論文集，第 37 卷，pp. 170-174,1990.