

漂流ブイ観測周波数スペクトルのデータ同化による台風高波推算  
Impact of Data Assimilation for Typhoon-generated Extreme Wave  
Based on Drifting Wave Buoy Observation

○山崎豪太・志村智也・森 信人・宮下卓也

○Gota YAMASAKI, Tomoya SHIMURA, Nobuhito MORI, Takuya MIYASHITA

To improve its accuracy, we developed a system to assimilate the frequency spectra observed by drifting buoys into the spectral wave model, WAVEWATCH III. We implemented Optimal Interpolation as data assimilation method. We conducted wave simulations in the Western North Pacific, targeting the typhoon generated waves in the summer of 2022. The performance of data assimilation methods between spectral and wave height assimilation. The results showed the RMSE of spectral assimilation is larger than wave height assimilation. This is due to the rough resolution of the developed system and the distance between the coastal observation point and the grid point compared. This indicates that further improvement of the model is needed.

## 1. はじめに

昨今、地球温暖化の影響が顕在化しており、自然環境や気象に様々な変化をもたらしている。中でも台風はその強度の増加が予測されており、これに伴った高波強度の増加が想定される。そのため、波浪モデルの精度向上は防災上の観点からきわめて重要である。

そこで山崎ら(2023)は、近年増加している漂流波浪観測ブイから得られた有義波高データを波浪モデル WAVEWATCH III (以下 WW3) に同化することで、波浪推算精度の向上を試みた。その結果、台風到来時の有義波高の推算精度が大幅に向上した。しかし、平均周期等の波浪統計量において改善が見られなかった。本研究では、漂流ブイから得られた周波数スペクトルデータを WW3 に同化した。また同化後の解析値について、有義波高のデータ同化による解析値と比較した。

## 2. 研究手法

### (1) スペクトルデータ同化

WW3 によって推算されたデータ同化前の周波数スペクトルに対し、同時刻に観測された周波数スペクトルを同化し、周波数スペクトルの解析値を作成した。同化手法として、最適内挿法を用いた。WW3 と漂流ブイの周波数スペクトルデータはともに離散化されているが、その解像度が異なる。そのため、同化の際は線形内挿を用いて漂流ブイ観測データを WW3 の解像度に補間した。

### (2) 最適内挿法

本研究では、Smitらの手法を踏襲し、最適内挿法と呼ばれるデータ同化手法を用いた。最適内挿法とは、観測データのモデルの計算値(以下第一推定値と呼ぶ)からの誤差を算出し、その誤差に重みをつけて第一推定値の格子に内挿する手法である。誤差 $\varepsilon$ は以下の式で算出される。

$$\varepsilon = y^{\text{obs}} - Hy^{\text{mod}} \quad (1)$$

ここで $H$ は観測点での第一推定値をバイリニア補間により計算する補間行列である。 $y^{\text{obs}}$ は観測値、 $y^{\text{mod}}$ は第一推定値である。これを利用し、以下の式でモデルの格子点上の解析値 $y^{\text{an}}$ を求めることができる。

$$y^{\text{an}} = y^{\text{mod}} + K\varepsilon \quad (2)$$

ここで $K$ はカルマンゲイン行列と呼ばれる重み行列である。解析誤差の分散を最小にするように設定し、次式で表せる。

$$K = \rho H^T [H\rho H^T + \sigma I]^{-1} \quad (3)$$

ここで $\rho$ は空間的な相互相関関数、 $\sigma$ は相対観測誤差である。本研究では、 $\sigma$ を0.3と設定した。また、 $\rho$ は大円距離が900kmより小さい場合にのみ計算した。

## 3. 実験概要

本実験は、2022年8月から9月の二か月間のデータに対し実施した。まず、この二か月間の各日0時(UTC)について、WW3を使用して周波数スペクトルデータを算出した。この際、通常の5km間

隔の解像度ではデータ量が非常に大きいため、20km 間隔で出力した。その後、同時刻の漂流ブイ観測データを同化し、各日 0 時の解析値を算出した。また、得られた解析値から有義波高と平均周期を算出し、精度検証を実施した。その際、真値として全国港湾海洋波浪情報網 (Nationwide Ocean Wave information network for Ports and HARbourS : NOWPHAS) の観測値を使用し、観測点に最も近い格子点の解析値と比較した。

#### 4. 結果

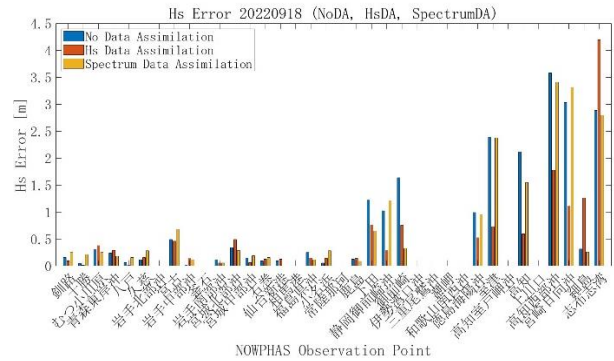
図 1(a) は 2022 年で最も強い台風 14 号が到来した 2022 年 9 月 18 日 0 時 (UTC) における、データ同化なし、有義波高データ同化実施後、周波数スペクトルデータ同化実施後の有義波高の誤差を比較したものである。有義波高データ同化により 1m 以上の大きな誤差の減少が見られた室津、高知、高知西部沖において、周波数スペクトルのデータ同化による誤差の減少がみられず、データ同化なしの誤差と同程度を示していることがわかる。また、図 1(b) は同時刻における、平均周期の誤差を比較したものである。周波数スペクトルのデータ同化により、誤差が減少している地点と誤差が増加している地点がそれぞれ存在している。

表 1 はデータ同化なし、有義波高データ同化実施後、周波数スペクトルデータ同化実施後の有義波高と平均周期の RMSE を示したものである。図 1 で示された傾向が RMSE にも反映されている。有義波高の RMSE について、有義波高データ同化では RMSE が 5% 程度減少している一方で、周波数スペクトルデータ同化では RMSE が 8% ほど増加している。また、平均周期の RMSE はどの場合においても大きな変化は得られなかった。これは、周波数スペクトルのデータ同化は格子点の解像度が荒く、NOWPHAS の観測点から離れた格子点のデータと比較したためであると考えられる。

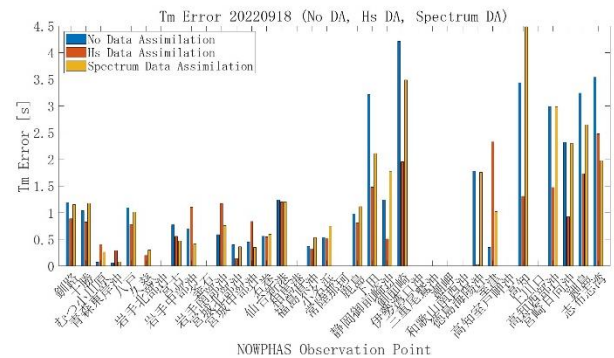
#### 5. 結論

本研究では、漂流ブイから得られた周波数スペクトルデータを WW3 に同化し、得られた解析値を有義波高と平均周期に変換し比較を実施した。解析の結果、有義波高・平均周期については RMSE に大きな減少が見られなかった。これらは、周波

数スペクトルデータの解像度が低く、十分正確な比較ができていないことが原因であると考えられる。今後は、より高解像度に周波数スペクトルを同化できるシステムを開発し、その精度について検証する必要がある。



(a) 有義波高の誤差



(b) 平均周期の誤差

図-1; 2022 年 9 月 18 日 0 時 (UTC) におけるデータ同化なし・有義波高データ同化・周波数スペクトルデータ同化の誤差

表-1; データ同化なし・有義波高データ同化・周波数スペクトルデータ同化によって得られた有義波高と平均周期の RMSE

	Hs RMSE [m]	Tm RMSE [s]
データ同化なし	0.38	0.97
有義波高データ同化	0.36	0.99
スペクトルデータ同化	0.41	0.98