

# 北海道近海における波浪エネルギー賦存量の 長期変動の特徴化に向けた研究

Towards a long-term resource modelling of wave energy around Hokkaido

北海道大学工学部 ○学生会員 丸山 利幸 (Toshiyuki Maruyama)  
北海道大学大学院工学研究院 正員 猿渡 亜由未 (Ayumi Saruwatari)

## 1. はじめに

日本は島国であり、周りを海に囲まれているので海洋エネルギーが容易に利用可能である。海洋エネルギーのポテンシャルは莫大である。一口に海洋エネルギーと言っても、潮力や波力など様々である。しかし日本の近海は欧州などに比べて穏やかであるため、その利用には消極的であり、技術開発も遅れていた。しかし近年、再生可能エネルギーへの機運が高まり、海洋エネルギー利用への研究が活発になってきた。波力発電の適地選定を行う際、波浪エネルギーの分布は局所性が大きく数kmで賦存エネルギーが変化する場合もありブイ点だけでは把握するのは困難である(e.g. Iglesias and Carballo, 2010)。また発電装置設置後の運用期間に渡る波浪エネルギーの変動についても予測する必要がある為、長期間に渡る過去の波浪エネルギー場の変遷を把握すると共に将来予測を行う必要がある。

本研究のゴールは北海道周辺における波浪エネルギー分布の長期的な遷移を明らかにすると共に、将来のエネルギー予測を行う事である。本稿はその為の準備として行った広域の波浪追算結果を示すと共に、計算結果の実測データ再現性、日本近海におけるラフな波浪エネルギー分布の季節変動について示すものである。

## 2. 計算方法

### 2-1, 波浪推算モデル

本研究では波浪推算モデルとして、Simulating Waves Nearshore (SWAN)を用いて過去の気象場に対応する波浪場の追算を行う。本モデルは次の Wave action balance equation を解くことによりは波浪場を計算する。

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial c_x N}{\partial x} + \frac{\partial c_y N}{\partial y} + \frac{\partial c_\sigma N}{\partial \sigma} + \frac{\partial c_\theta N}{\partial \theta} = \frac{S_{tot}}{\sigma} \quad \text{-----(1)}$$

$$S_{tot} = S_{in} + S_{nl3} + S_{nl4} + S_{ds,w} + S_{ds,d} + S_{ds,br} \quad \text{-----(2)}$$

$$N = \frac{E(t,x,y,\sigma,\theta)}{\sigma} \quad \text{-----(3)}$$

ここで  $N$  は波の action density であり、波の energy

density  $E$  を用いて定義される。  $N = N(t, x, y, \sigma, \theta)$  であり、  $t$  は時間、  $x, y$  は位置、  $\sigma$  は各周波数、  $\theta$  は波向きである。また  $C_x, C_y$  は群速度、  $C_\sigma, C_\theta$  は  $\sigma, \theta$  方向のエネルギー伝達速度であり  $S_{tot}$  は外部からのエネルギーソースを表す。  $S_{in}$  は風によるエネルギーの入力、  $S_{nl3}, S_{nl4}, S_{ds,w}, S_{ds,d}, S_{ds,br}$  はそれぞれ 3 波、 4 波相互作用、白波砕破、底面摩擦、沿岸砕破によるエネルギー散逸を表す。本研究では 3 波相互作用は考慮しておらず、白波砕破の作用は Westhuysen の方法により求めている。底面摩擦、沿岸砕破、4 波相互作用についてはデフォルトの係数を用いて求めた。

### 2-2, 計算条件

北海道沿岸における波浪エネルギー分布を求める為には本来 O(km) 程度の解像度で計算を行なうべきではあるが、本研究ではその前段階として図 1 及び表 1 に示す領域において計算を行なった。海上風速として欧州中期予報センター (European Center for Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF) が公開する再解析データ、ERA-Interim (解像度  $0.75^\circ \times 0.75^\circ$ , 6 時間毎に公開) を入力した。また、地形データは General Bathymetric Chart of the Oceans (GEBCO, 解像度  $30\text{sec} \times 30\text{sec}$ ) から取得した。潮流、海流、気圧変動による水位変動には考慮していない。計算期間は 1990 Jan 1, 00:00 - 1991 Jan 1, 00:00, 2010 Jan 1, 00:00 - 2011 Jan 1, 00:00 (UTC) である。いずれの年においても Jan 1, 00:00 の初期条件として海上風速に対応した予測波浪分布を与えたが、波浪場が十分発達するまでには計算開始から数日間を要する。

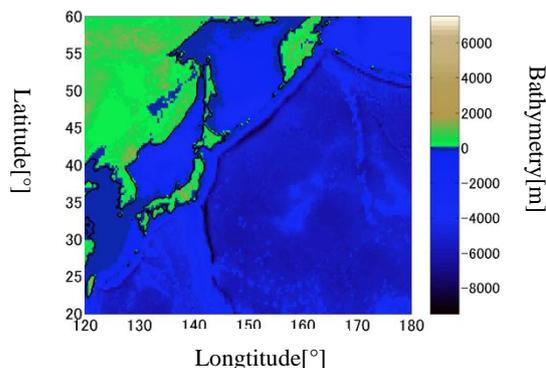


図 1 計算領域と水深

表1 計算領域・条件

計算領域(経度 [° ])	計算領域(緯度 [° ])	グリッド幅	時間刻み
E120°～E180°	N20°～N60°	20分×20分	10min

### 3. 計算結果の検証

この計算結果の妥当性を確認するために、全国港湾海洋波浪情報網(NOWPHAS)によるブイ観測データとの比較を行った。比較地点は図2に示す8か所(苫小牧、十勝、深浦、八戸、金沢、鳥取、清水、那覇)であり、有義波高  $H_s$ 、ピーク周期  $T_p$  を比較する(図3、図4)。図中の赤いラインは  $y = x$  の直線を表す。全体的に再現性が悪いのは計算解像度が粗い事に大きく起因する。また図2中には、それぞれの地点での計算結果と実測地との相関係数を示している。図3、図4の大きなばらつきにも関わらず比較的妥当な相関係数が表れているのは、ピークが表れるタイミング等の全体的な波浪条件の遷移の傾向は一致していた為である。今後ネスティングを行う等してより高解像度で計算を行うことにより実測値の再現性は改善されるものと考えられる。

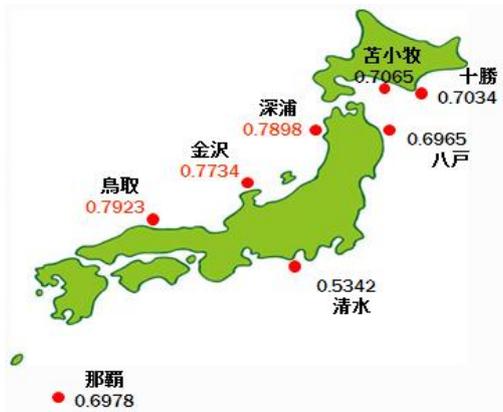


図2 ブイデータ観測地点及び計算結果と観測結果との有義波高の相関係数

日本海側では太平洋側よりも高い相関係数が表れた。これは、日本海は閉鎖的領域であり海域全体が計算領域に含まれているのに対し、太平洋側は海域全体を計算領域としてカバーしておらず風による波浪の発生、発達が十分再現されていない可能性がある。

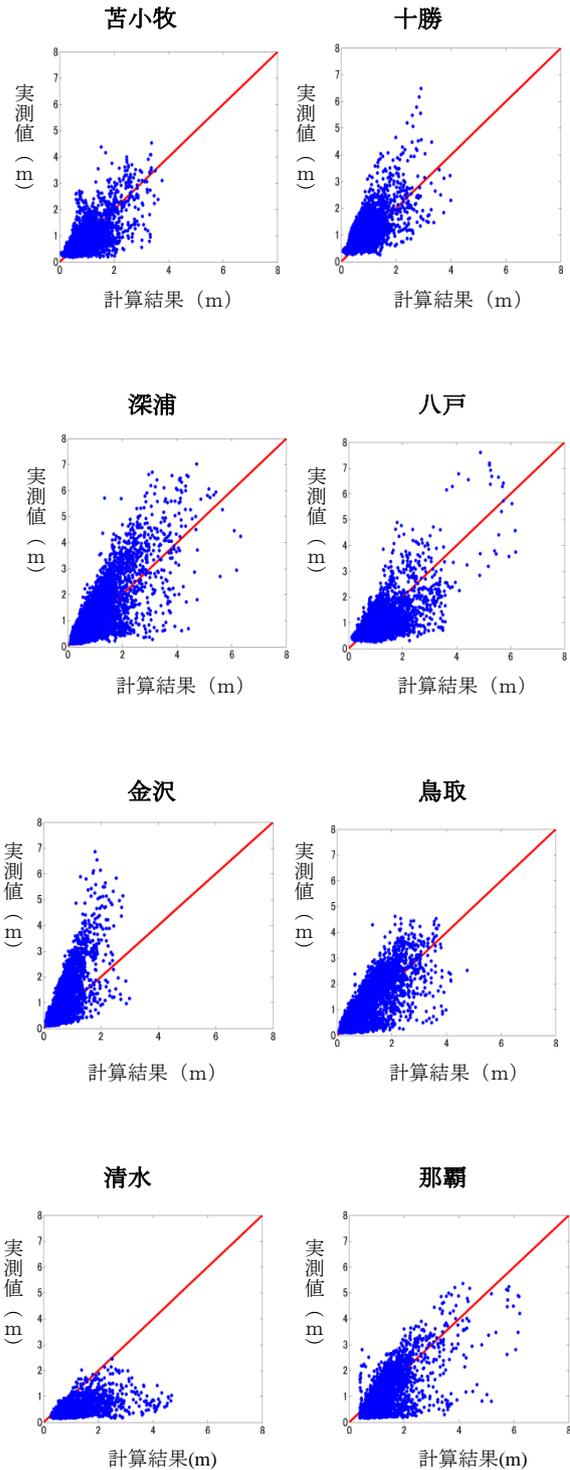


図3 SWAN の計算結果と実測値との有義波高の比較

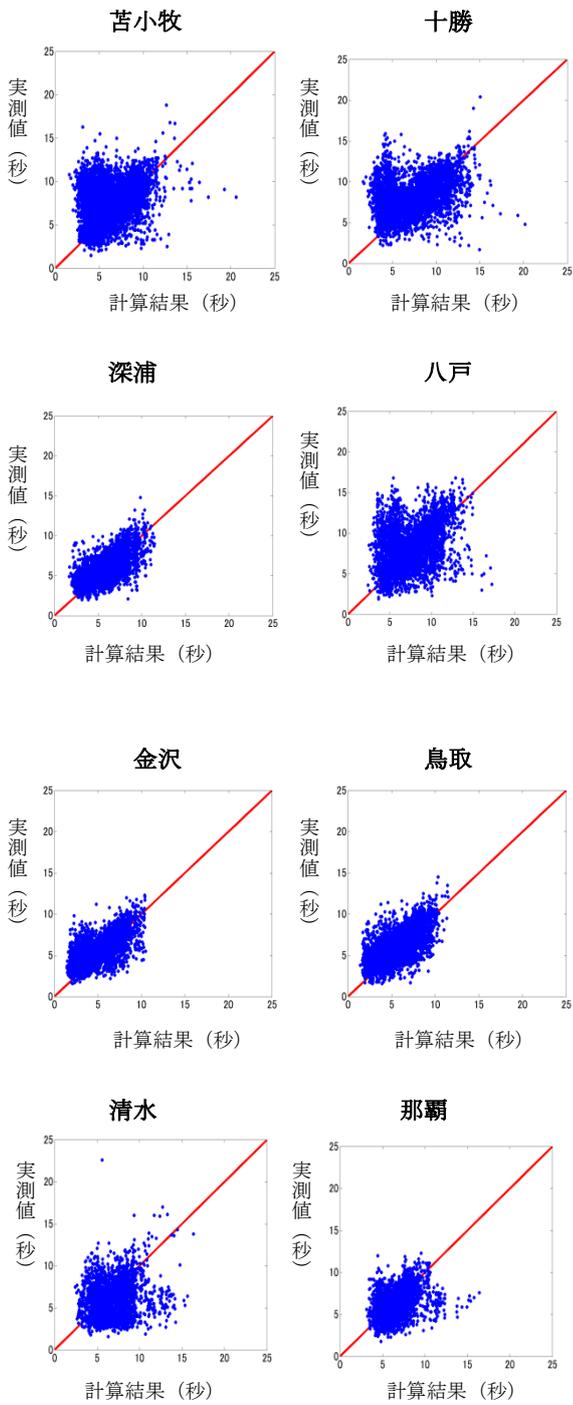


図4 SWANの計算結果と実測値とのピーク周期の比較

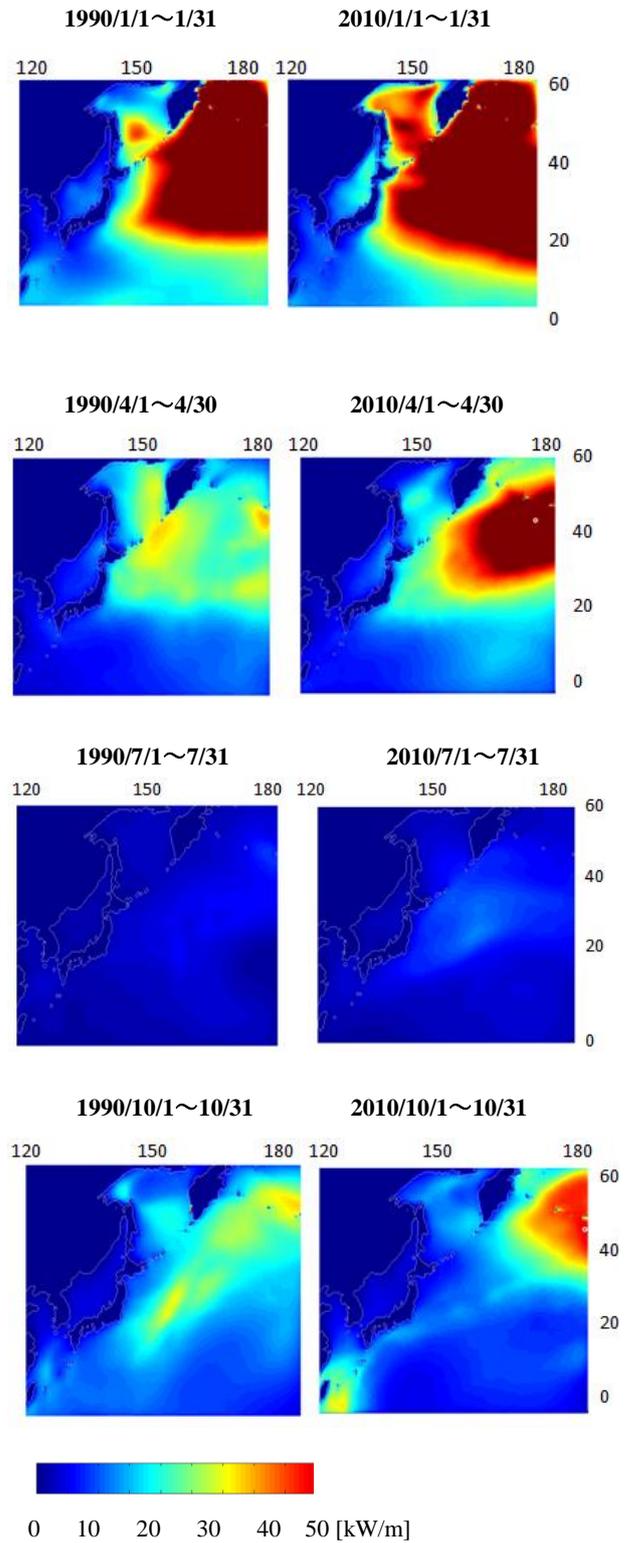


図5 平均波力分布図(1990年と2010年との1月, 4月, 10月の比較)

#### 4. 計算結果

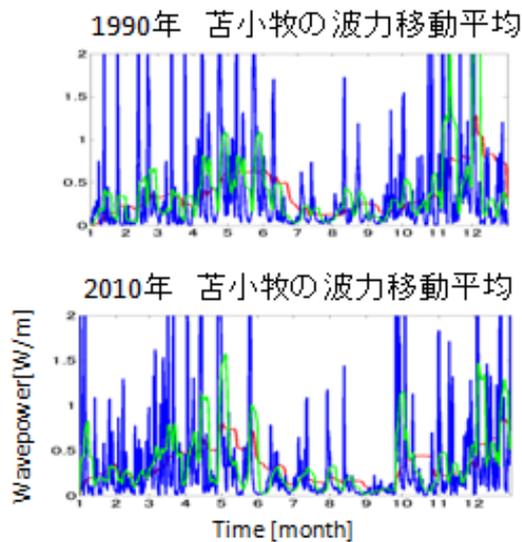


図6 1990年と2010年の苫小牧における波力の移動平均（—2時間、—1週間、—1ヶ月）

まだ2年分しか見ていないが、図4より波力の周期が似ていることがわかる。

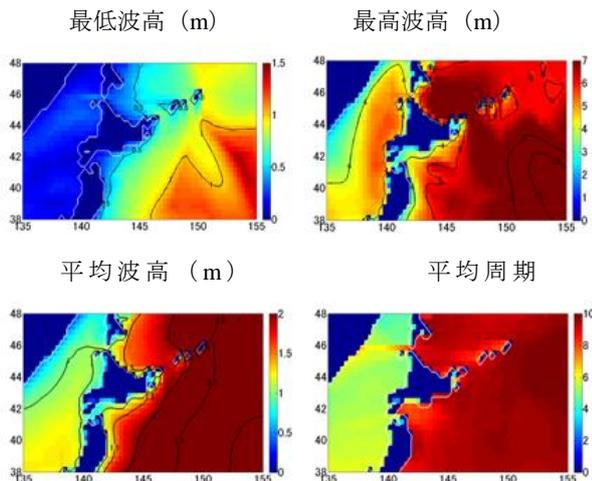


図7 最低波高，最高波高，平均波高，平均周期の分布図．波力は波高と周期に依存する．

図5は1990年，2010年の1月，4月，7月10月における月内の平均波力分布を表す．年ごとのエネルギー分布に大まかな特徴の一致は見られるが，数十kWの平均波力差は年ごとに表れうる事を確認した．また図6は北海道周辺で比較的大きな波力が得られた苫小牧における年間の波力遷移を1週間，1ヶ月間の移動平均とともに示したものである．これもまた1ヶ月間移動平均同士を比較してみると図5と同様に年間の大まかな遷移は同様の傾向が見られるが，波エネルギーの変動は非常に大きい．

図6に示すのは1990年1月における裁定波高，最高波高，平均波高，および平均ピーク周期の日本北部における分布を示す．北海道周辺の平面的なエネルギー分布の特徴について考察するには本計算の解像度は荒過ぎるが，今後より高解像度の計算を行う事によりより局所的な波浪エネルギー分布について調査したい．

### 5. 結論

- 波追算モデル SWAN によって，波浪場の再現性が確認できた．
- 有義波高・波力の季節的变化を再現できた．
- 局所的に大きなエネルギーが存在することが分かった．

今回は計算グリッドも粗く，精度もそれほど高いものではなかったため，今後はネスティングを行い（主に北海道）計算グリッドも小さくして，より精度の高い結果を求めていきたい．また沿岸部の波力にも注目していきたい．

### 参考文献

- G.Iglesias , R.Carballo(2010) : Wave energy resource in the Estaca de Bares area (Spain)  
 Tsai Ching-Piao, Hwang Ching-Her, Hwa Chien, Cheng Hao-Yuan(2012) : Study on the wave climate variation to the renewable wave energy assessment