

日本周辺の春季7年間の波浪追算に基づく波浪エネルギーリソース

Wave energy resource around Japan in Spring based on wave hindcasting over eight years

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

1. はじめに

近年世界的に、波力発電や潮流発電などの海洋エネルギー発電が注目されている。特に欧州では波浪、潮流エネルギー発電共に現地実験が行われる程大規模なプロジェクトも進められており、実用化に向けて研究、開発が進められている。日本は欧州に比べ近海の波浪や流れが穏やかであるため近年まで海洋エネルギー関連の研究は消極的であった。しかし原子力発電の使用停止や環境問題が注目されている今、エネルギーリソースの多様性を図る必要性が高まってきたこともあり、国内各地で海洋エネルギー利用の実用化に向けた取り組みが行われている。

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離れただけでエネルギーが数倍にもなることがある。例えばスペインのイベリア半島沖では海底の起伏により波力の局所性が大きく表れるエリアの存在が確認されている(e.g. Iglesias and Carballo., 2010)。そのためブイ点のように特定の一点だけの特徴からサイト評価を行うのは危険であり、数値計算モデルを用いて得た高解像度の詳細なエネルギーリソースマップと共に評価される必要がある。更に波力発電装置を一旦設置した場合その後数十年に渡り利用されると考えられるため、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その将来予測を行う必要がある。Thaiら(2009)は台湾北東部での過去30年間の波浪追算を行ったが、その海域では波浪エネルギーが約10年ごとに増減するtrendがあると共にそれ以上の時間スケールの変動がある可能性が示唆された。しかし日本は近年その研究が活発になってきたとはいえ、欧州に比べて高解像度かつ長期間のデータの蓄積が不十分であるため発電デバイス設置サイト選定の為の高解像度、長期間の判断材料が十分ではないのが現状である。

本研究は日本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を最終的な目標としている。本稿はその為の準備として行った日本近海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、波浪エネルギー分布の季節変動について示し、波浪エネルギー場の特徴について考察を与える。

2. 計算方法

2-1, 波浪推算モデル

本研究の波浪場の計算は、デルフト工科大学で開発され海岸工学分野で広く使われている波浪追算モ

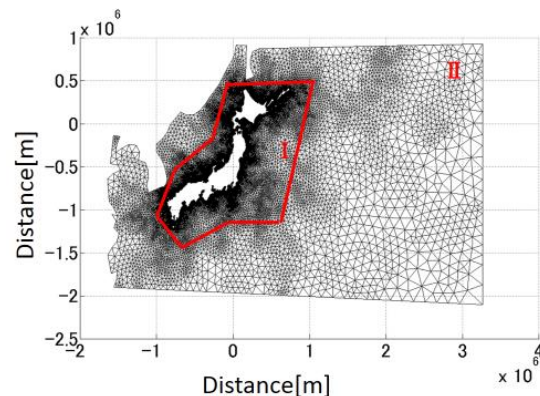


図1 計算領域と非構造格子。格子点数 33617
要素数 63401

デル Simulating Waves Nearshore (SWAN)を用いた(e.g.van der Westhuysen et al., 2007)。本モデルは次のWave action balance equationを解くことにより波浪場を計算する。

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

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

$$N = E(t, x, y, \sigma, \theta) / \sigma \quad (3)$$

ここで $N = N(t, x, y, \sigma, \theta)$ であり波の energy density E を用いて定義される。 t は時間, x, y は位置, σ は各周波数, θ は波向きである。また C_x, C_y は群速度, C_σ, C_θ は σ, θ 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の減衰を表す。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

本研究では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 $30s \times 30s$)から取得した。日本沿岸を広く高解像度で再現するために本研究では非構造格子を用いて計算した。非構造格子の大きさは, 外洋は荒く, 沿岸は細かく設定した。図1に計算領域と使用した非構造格子を示す。領域Iは最

少格子サイズに設定した。湾内の波高は小さく波力も微小な為、計算コスト削減のため計算領域には含まず瀬戸内海、有明海の中には格子を設定していない。潮流、海流、気圧変動による水位変動については考慮していない。前報(猿渡, 丸山, 2013)で冬季における波浪変動について調査したので本研究の計算期間は 1990-1996 年及び, 2010 年の March 1, 00:00 – June 1, 00:00 (UTC)の3ヶ月×8年間である。計算のタイムステップは 10min である。いずれの年においても March 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。波浪場が十分発達するまでには計算開始から2日間程度を要する為、解析には $t \geq 3$ 日の期間のデータを用いる。

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、P1～P7 において 2010 年の計算結果と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。紙面の都合上全てのデータを示すことはできないが、図2にP3における有義波高、ピーク周期、波向きを示す。P3におけるそれぞれの相関係数は、有義波高 0.8376, ピーク周期 0.7049, 波向き 0.6361 であった。他の6地点においても同等の再現性を確認した。

4. 結果

波の energy density E は次式によって求められる。

$$E = \rho g^2 T H^2 / 64 \pi \quad (4)$$

ここで g は重力加速度, T は周期, H は波高である。即ち H と T が波エネルギーポテンシャルを決定する。主要なファクターであるのでそれぞれの出現頻度分布を図4に示す。カラーバーは1か月当たりに観測された波の時間を示す。観測地点は図3を参照のこと。太平洋側に面した Q1, Q2, Q3, Q6 では広いレンジの波高, 周波数をもつ波浪が観測されその分高いエネルギーを有する波浪が観測される頻度も高くなった。内海の日本海側に面した Q9～Q12 は周期のばらつきが小さい安定した波浪場が形成された。著者ら(2013)は北海道周辺における冬季の波エネルギーポテンシャルについて本研究と同様の方法で特徴化しているが、これらはその特徴とは矛盾しない。

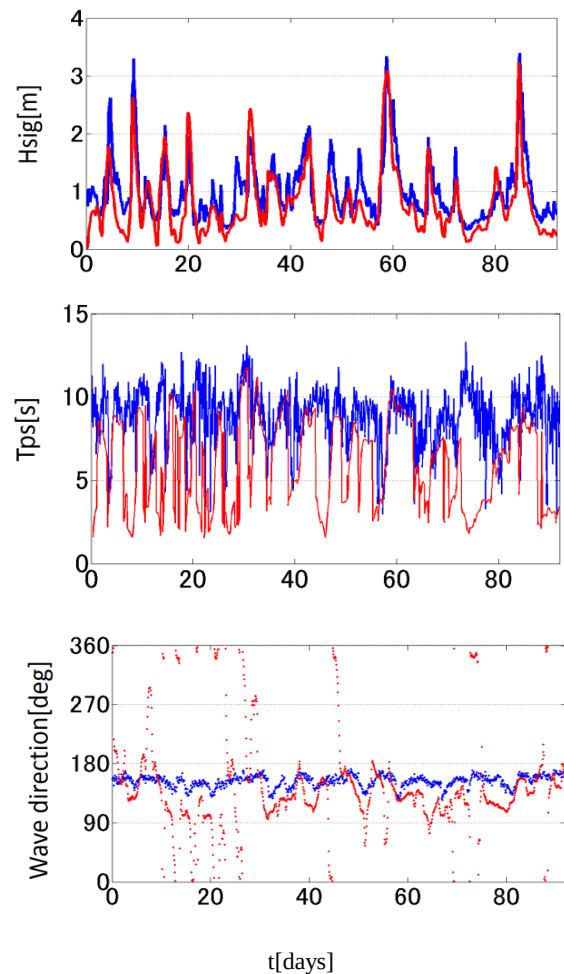


図2 仙台新港における有義波高 H_s , ピーク周期 T_{ps} , 波向き W_{dir} の計算結果(赤線), 及び実測値(青線)との比較

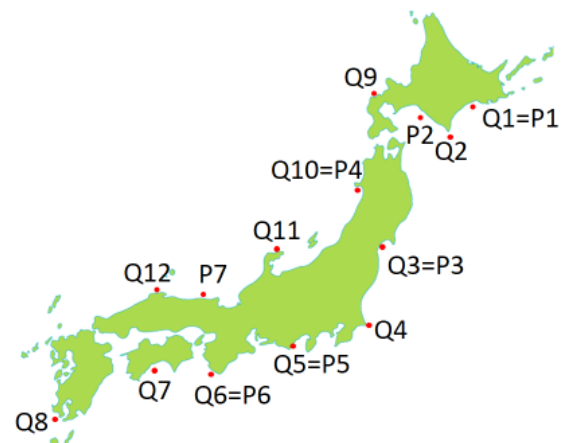


図3 ブイデータ, 波浪場の観測地点

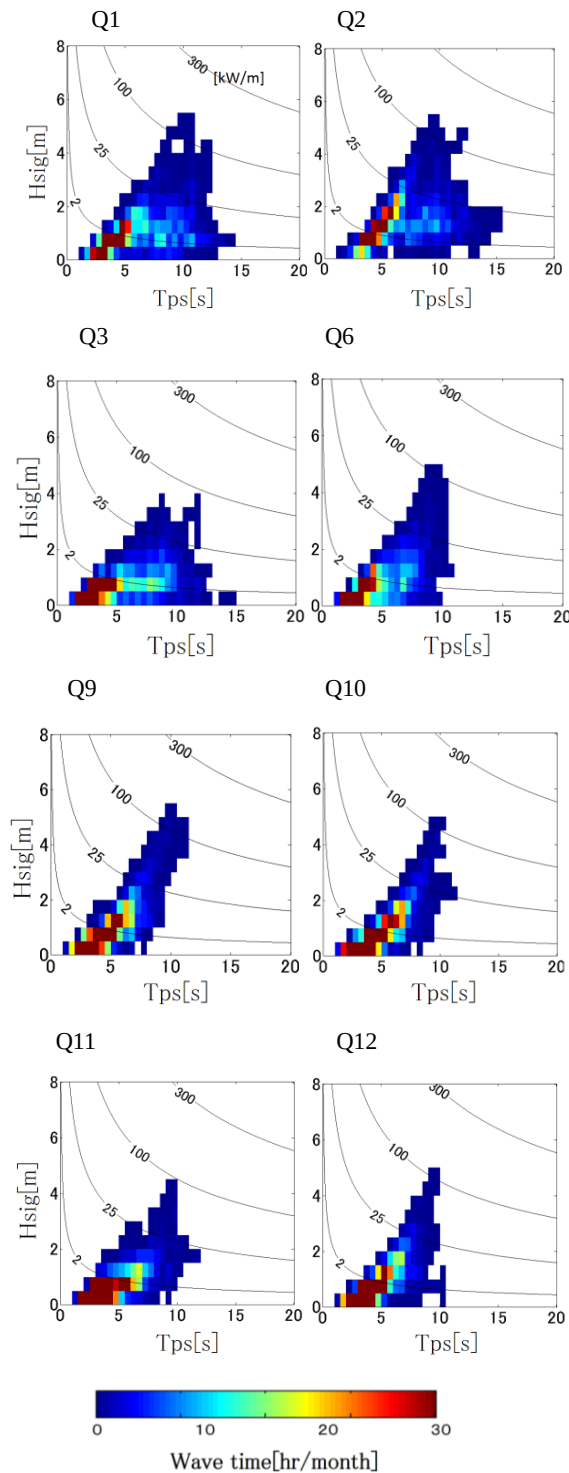


図4 日本周辺の各地点における波高、周期の出現頻度分布。黒の実線はリファレンス波浪エネルギー

高波浪の時は発電装置の故障を防ぐために装置を止めなければならない。また低波浪時は発電が十分にできないためその様な時に装置のメンテナンスを行うことが望ましい。そのため高波浪時だけでなく低波浪時の波高の頻度も調べる必要がある。図5は本研究の計算期間に渡る有義波高の出現の累積確率密度を表す

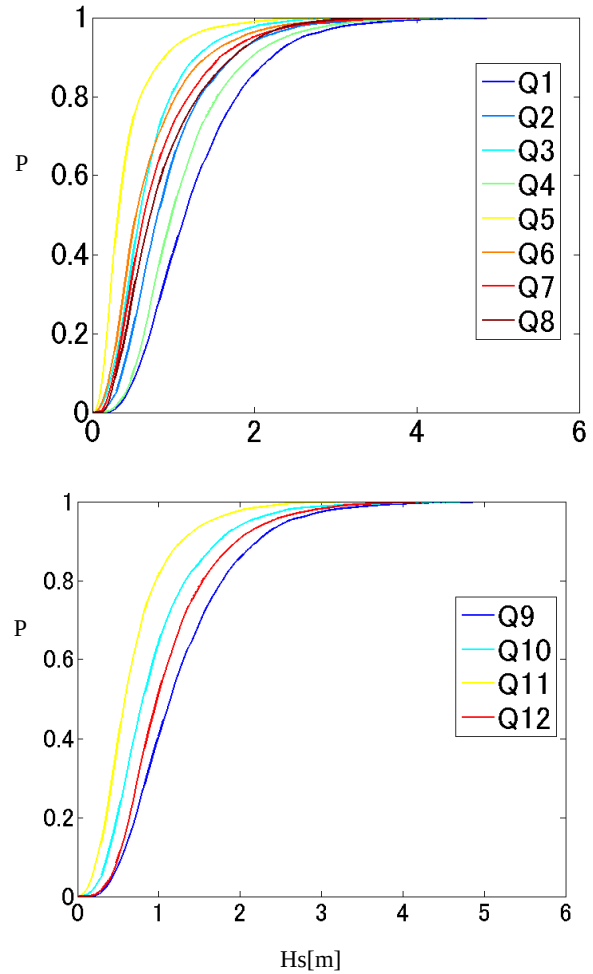


図5 太平洋側(上), 日本海側(下)の有義波高の出現累積確率密度

5. 結論

本研究では波浪追算モデル SWAN により春季の波浪場の再現計算を行った。計算結果と実測との比較を行い波浪場が妥当に再現できていることを確認した。波力発電設置サイトの選定のため更なる長期間の波浪追算を行い、季節変動や年変動などについてデータの蓄積が必要である。

参考文献

- 1)G.Iglesias , R.Carballo(2010) : Wave energy resource in the Estaca de Bares area (Spain)
- 2)Tsai Ching-Piao, Hwang Ching-Her, Hwa Chien, Cheng Hao-Yuan(2012) : Study on the wave climate variation to the renewable wave energy assessment
- 3)Westhuysen, van der A. J., Zijlema, M. and Battjes, J.A.(2007): Nonlinear saturation-based whitcapping dissipation in SWAN for deep and follow water
- 4)猿渡亜由未, 丸山利幸,北海道沿岸における冬季の

波浪エネルギー賦存量評価,土木学会論文集B3 (海洋開発), 69, 2, pp.I_91-I.96(2013)