

JCOPEデータによる日本沿岸の海流特性

片山 裕之¹・谷上 可野²・鵜飼 亮行³・三浦 成久⁴

¹ 正会員 五洋建設株式会社 技術研究所 (〒329-2746 栃木県那須塩原市四区町 1534-1)
E-mail: Hiroyuki.Katayama@mail.penta-ocean.co.jp (Corresponding Author)

² 正会員 五洋建設株式会社 九州支店 (〒857-1176 長崎県佐世保市崎辺町地先)
E-mail: Kano.Yagami@mail.penta-ocean.co.jp

³ 正会員 五洋建設株式会社 技術研究所 (〒329-2746 栃木県那須塩原市四区町 1534-1)
E-mail: Akiyuki.Ukai@mail.penta-ocean.co.jp

⁴ 正会員 五洋建設株式会社 洋上風力事業本部 (〒160-0005 東京都文京区後楽 2-2-8)
E-mail: Naruhisa.Miura@mail.penta-ocean.co.jp

着底式洋上風力基礎の設計では、外力として波と流れを考慮するが、外洋の海流は観測データが少なく、推算値を参考にせざるを得ない。JCOPE2Mは日本沿岸の推算値で扱いやすいが日平均流速であるため、解析の格子間隔や時間間隔がより細かく潮流も考慮されるJCOPE-Tの利用が推奨されている。

本研究では、JCOPE2MとJCOPE-Tの関係を整理し、洋上風力基礎外力の海流としてのJCOPE2Mの利用可能性について検討した。更にJCOPE2Mの表層推算海流を用い、洋上風力検討サイトを中心に日本沿岸の海流特性を整理した。その結果、適切な補正によりJCOPE2Mの利用可能性が確認された。また流れの鉛直分布は、水平・時間解像度の高いJCOPE-Tを使った方が良いが、表層では吹送流の影響が現れるため、単純にJCOPE-Tの表層流速からの1/7乗則では過大評価になる可能性が高い。

Key Words : JCOPE2M, JCOPE-T, estimated ocean current, ocean current characteristics

1. はじめに

着底式洋上風力基礎の設計では、波浪の他に海流や潮流のような流れによる外力を考慮するが、外洋の海流は観測データが少なく、推算値を参考にせざるを得ない。海流の推算値としてはJCOPE再解析データ¹⁾(Japan Coastal Ocean Predictability Experiment)の更新版モデルであるJCOPE2M²⁾がある。日本沿岸の海流推算値であり長期間のデータとして扱いやすいものの日平均流速であることから、解析の格子間隔や時間間隔が細かく潮流も考慮されている高解像度モデルのJCOPE-T³⁾の利用が推奨されている⁴⁾。石原ら⁵⁾は、福島沖海流の検討の中で高解像度モデルとしてJCOPE-Tを用いて極値統計解析を実施しているが、比較的解像度ではあるが長期間再解析データであるJCOPE2Mと、当時は短期間しかなかった高解像度JCOPE-Tを時空間的に内・外挿して利用している。また両者の比較を行い、JCOPE2Mの流速値を1.72倍することでJCOPE-Tと同等となるとしている。また、海流検討の中で両者を使用しており、長期間検討のベースとして低解像度モデルのJCOPE2Mを用いている。

本研究では、JCOPE2MとJCOPE-Tの再解析データを用い、洋上風力基礎外力の海流としてのJCOPE2Mの利用可能性について検討した。更にJCOPE2M(1993~2019年の

27年間)の表層推算海流を用い、洋上風力検討サイトを中心に日本沿岸の海流特性を整理した。

2. JCOPE 再解析データ

(1) JCOPE 再解析データ

JCOPE再解析データはJAMSTECにおけるプロジェクトにより構築された海洋予測システムである。本研究ではJCOPEの更新版モデルで低解像度モデルとして扱われるJCOPE2M、および高解像度モデルのJCOPE-Tの再解析データを用いた。JCOPE-TはJCOPE2Mに比べ解像度が3倍に向上している他、潮汐や河川からの流入も考慮され

表-1 JCOPE2MとJCOPE-Tの解析条件

項目	JCOPE2M	JCOPE-T
解析範囲	12° N~62° N 117° E~180° E	24° N~48° N 125° E~148° E
解像度	水平1/12度, 鉛直46層	水平1/36度, 鉛直46層
出力時間間隔	1日毎(日平均)	1時間毎(1時間平均)
その他	—	潮汐・河川流入考慮
入手期間	1993-2019	2019(一部2011-2020)

ている。両モデルの特徴を表-1に整理した。

(2) JCOPE2M と JCOPE-T の比較

石原ら⁹⁾は、福島沖を例に JCOPE2M と JCOPE-T の年平均流速の経年変化を比較し、JCOPE-T の方が解析格子間隔や時間間隔が高精度で、真値に近いデータとして扱っている。また、JCOPE2M の流速値を 1.72 倍することで JCOPE-T と同等になるとしている。本検討では、代表的な洋上風力発電検討エリア 7 地点（瀬棚沖、秋田潟上沖、新潟沖、唐津沖、いすみ沖、福島沖、久慈沖、図-1 中の白四角で示す地点、図中に緯度経度を記載）において JCOPE2M と JCOPE-T の比較検討を行った。

まず両者の 2019 年の再解析データを比較した（図-2）。図中、赤線は JCOPE2M（日平均値）、薄青線は JCOPE-T（毎時データ）、濃青線は JCOPE-T（毎時データ）から求めた日平均値を示した。なお、各地点の再解析抽出位置のおおよその離岸距離は、瀬棚沖 4.7km、潟上沖 6.5km、新潟沖 12km、唐津沖 11km、いすみ沖 13km、福島沖 24km、久慈沖 3km である。この結果を見ると、老岐水道の潮流成分が卓越している唐津沖では、潮流成分を考慮していない JCOPE2M が日平均値としても過小評価していると考えられる。しかし、その他の地点は毎時データと日平均値との差異は見られるものの、日平均値では両者が比較的類似した変化を示している。特にいすみ沖では JCOPE-T を日平均したデータと JCOPE2M は非常に良く合っている。日平均値である JCOPE2M と毎時データである JCOPE-T との間に見られる差異は時間解像度の問題と考えられる。また瀬棚沖、いすみ沖では JCOPE2M の方がやや大きめの値、その他の地点ではやや小さめの値

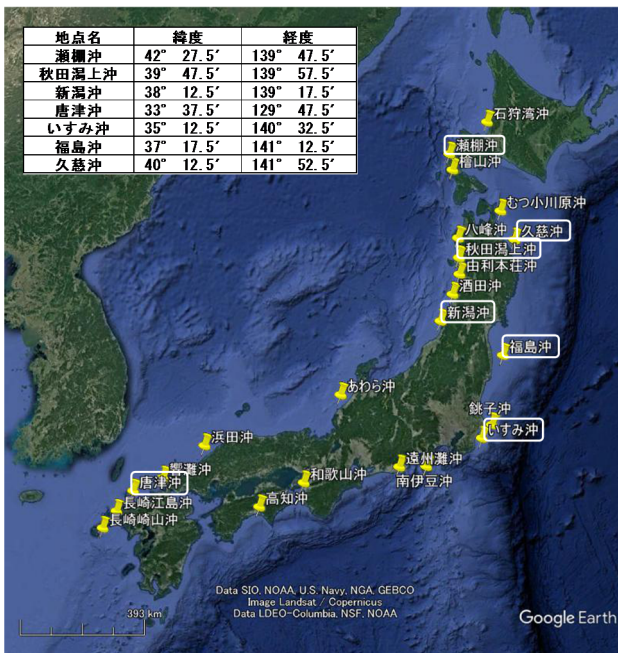


図-1 海流抽出位置図

を示しており、必ずしも JCOPE-T が大きい訳でなく地点により傾向が異なることがわかった（図-2）。

図-2 で示した 7 地点について、JCOPE2M（日平均値）および JCOPE-T（毎時データ）から算出した年最大値と年平均値の相関を調べた（図-3）。図中、中塗は年最大値、中抜は年平均値を示している。秋田潟上沖、唐津沖、いすみ沖は 2011~2019 年を、その他の 4 地点については 2019 年のみプロットしてある。その結果、図-2 で見たように潮流が卓越する唐津沖を除くと、ばらつきはあるものの JCOPE2M と JCOPE-T の年最大値と年平均値は相関が高いと考えられる。なお、JCOPE2M と JCOPE-T との

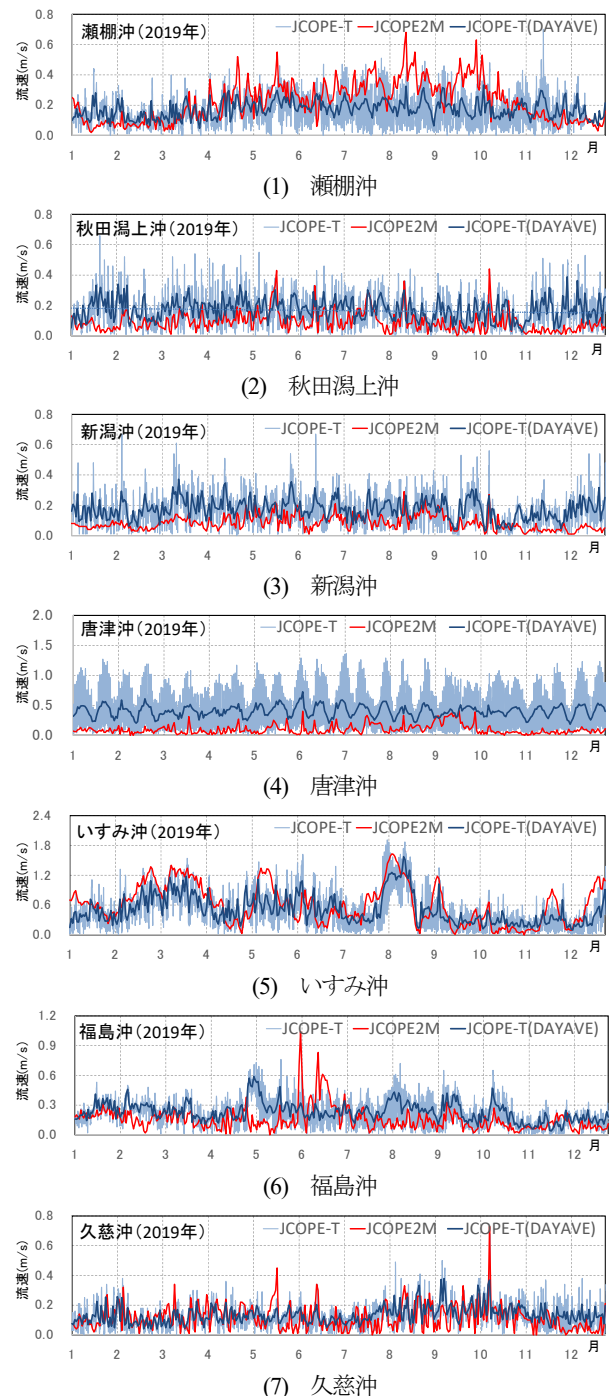


図-2 JCOPE2M と JCOPE-T の比較 (2019 年)

補正係数については、厳密には水平解像度に起因する各地点周辺の岬や島などの地形再現性や潮流の影響などの推算条件により異なると思われるが、更に多くの地点、長期のデータによる比較検証が今後の課題である。

次に長期的な変動性を調べるため 2011~2019 年の年最大値、年平均値について、JCOPE2M と JCOPE-T の比率を秋田潟上沖、唐津沖、いすみ沖について示した(図-4)。図の縦軸は、JCOPE-T と JCOPE2M の比率である。いすみ沖と潟上沖では比率が大きく変動しないが、潮流の影響が大きい唐津沖では比率の変動幅が大きい。今後、他の地点についても確認していく必要はあるが、潮流の影響の少ない外洋であれば、JCOPE2M の年最大値、年平均値に適切な補正をすることで JCOPE-T と同等になる地点は多いと考えられる。

3. JCOPE2M による日本沿岸海流特性

(1) 表層海流特性

日本沿岸のウィンドファーム検討地点を中心に計 23

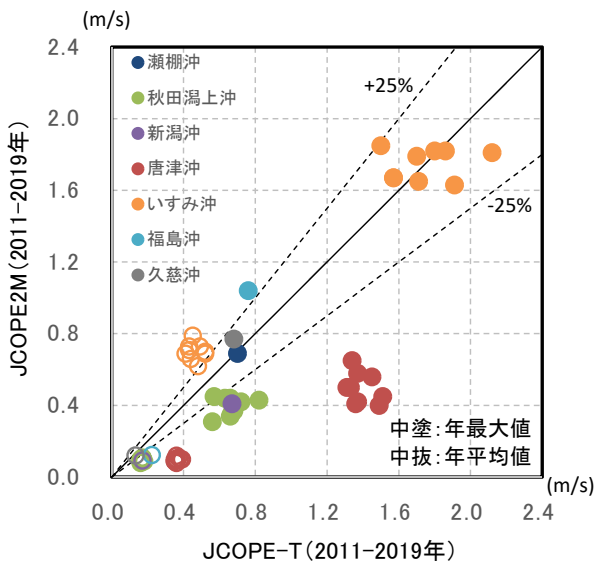


図-3 JCOPE2M と JCOPE-T の年最大値・年平均値の相関

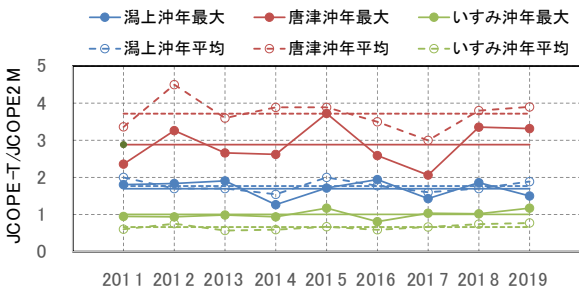


図-4 年最大値・年平均値の JCOPE2M と JCOPE-T の比率の年変動

地点(図-1)の JCOPE2M (日平均値: 1993~2019 年の 27 年間)を整理した。なお、ここでは JCOPE2M 再解析値による表層海流値の補正は行っていない。

まず、各地点の最大値と平均値を整理した(図-5)。その結果、太平洋側の黒潮海域では最大で 2m/s 程度、平均で 0.5m/s 程度、日本海を中心に他の海域では最大で 0.5~1.0m/s 程度、平均で 0.1~0.2m/s 程度の海流が生じていることがわかった。また各地点の年別の最大値、平均値から標準偏差を整理すると、海流の速い海域で 0.3~0.4m/s 程度、その他の海域で 0.1m/s 程度であった。

次に、各年の月最大値・月平均値の平均および各月の最大・最小について、秋田潟上沖といすみ沖を代表として整理した(図-6)。秋田潟上沖では 4~8 月に、いすみ沖では 5~6 月に海流が速くなる傾向と、各月の変動幅が

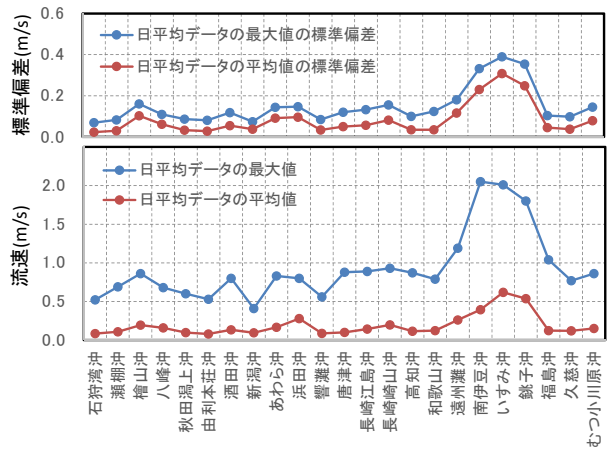
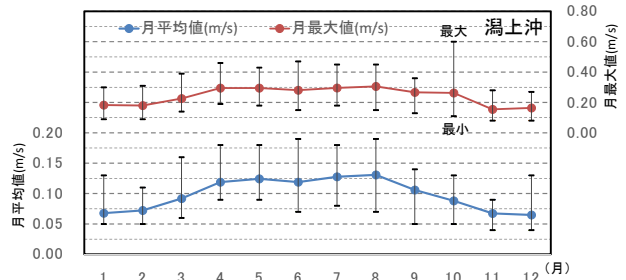
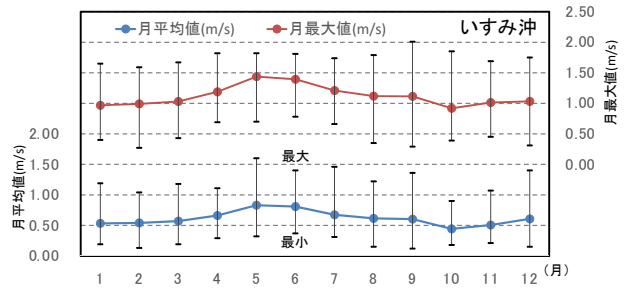


図-5 JCOPE2M による各地点の最大値・平均値 (1993~2019 年: 27 年間)



(1) 潟上沖



(2) いすみ沖

図-6 JCOPE2M による月最大値・月平均値の変動特性

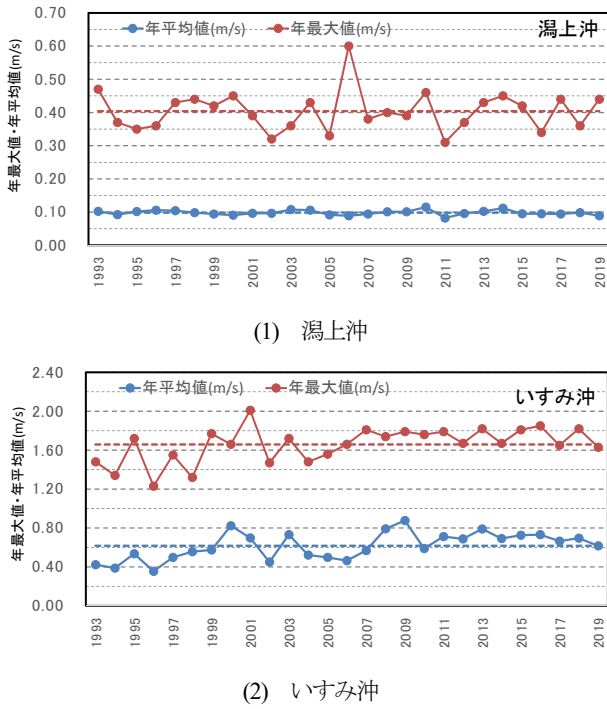


図-7 JCOPE2Mによる年最大・年平均海流の変動特性

大きい時には、月平均値からの変動幅が、月平均値の1.3倍程度と比較的大きいことが分かった。

更に年変動の傾向をみるために、秋田潟上沖といすみ沖の年最大値および年平均値を示した(図-7)。図中の点線は、各年の最大値および各年の平均値の平均値を示したものである。秋田潟上沖では年最大海流の平均0.4m/sに対して各年の年最大値が0.3~0.6m/s、いすみ沖では年最大海流の平均1.6m/sに対して各年の年最大値が1.2~2.0m/sとなっており、年により年最大値の変動幅が比較的大きい。データを扱う統計期間によっては、最大、平均などの統計値が過大あるいは過小評価になる可能性があり、なるべく長期間のデータを採用する方が良い。

(2) 水位データによる外洋潮位

洋上風力の設計でも港湾構造物と同様に設計潮位を設定する。潮位の検討は、近隣の験潮所データを用いて整理するか、近くに験潮データがない場合は沿岸域にある近隣港湾の設定を参考にする。しかし、例えば着床式モノパイル基礎では水深20m以深の沖合が設置場所となるが、公開された沖合の潮位・水位観測データは少なく、特に高潮が発生する高潮位時などに港湾内の潮位変動と同等の潮位特性を示すか確認ができると良い。

一方、JCOPE2MおよびJCOPE-Tは、再解析値ではあるが外洋地点の水位も予測しており、沖合の検討位置における水位として参考になると考えられる。ここではJCOPE再解析値(JCOPE2M, JCOPE-T)の水位データと近隣沿岸の験潮データとの比較を行った。

それぞれ2019年のデータを用いて秋田潟上沖、唐津

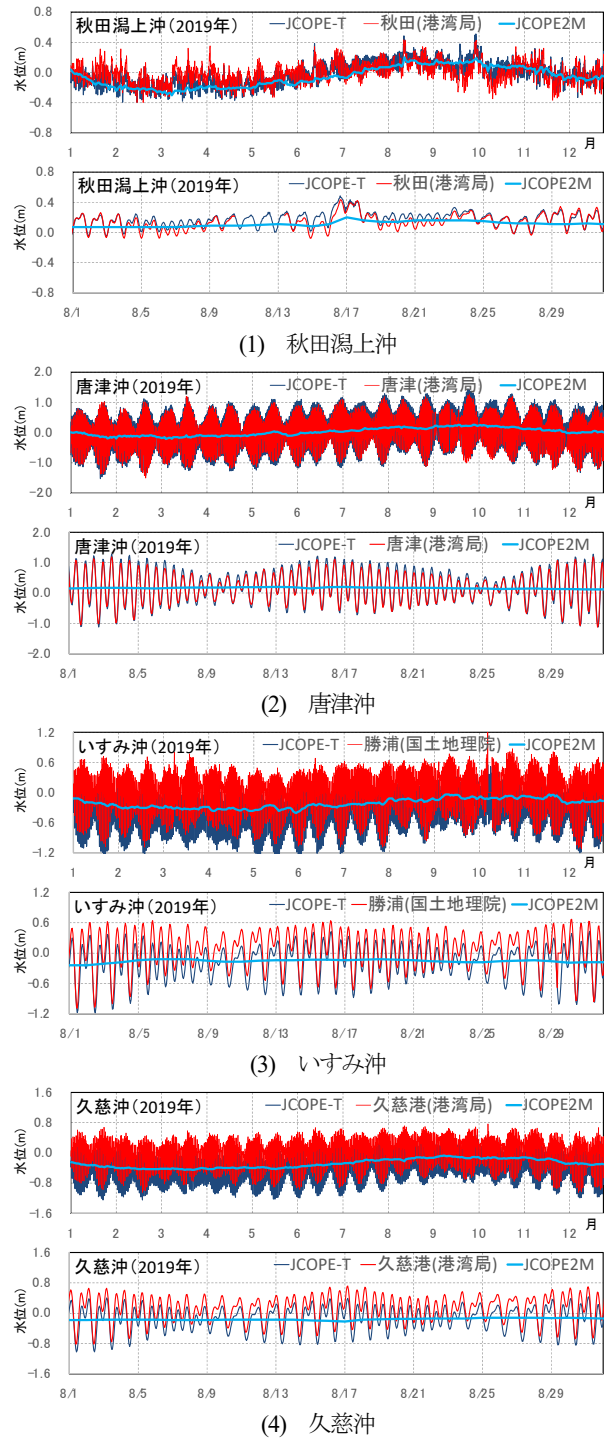


図-8 JCOPEデータの水位と近隣潮位データとの比較

沖、いすみ沖、久慈沖の4地点について時系列の比較を行った(図-8)。上段が2019年の1年間、下段は2019年8月の部分を拡大したものである。また近隣験潮データは、秋田潟上沖は秋田(港湾局)、唐津沖は唐津(港湾局)、いすみ沖は勝浦(国土地理院)、久慈沖は久慈港(港湾局)を用いた。これらの結果から、当然ではあるが、JCOPE-Tの水位データと近隣の験潮データとは相関が高いことが確認された。また、日本海に比べ潮位変動が大きい太平洋側のいすみ沖と久慈沖では、位相は類似しているが、沿岸の験潮データの方が上方にシフトし

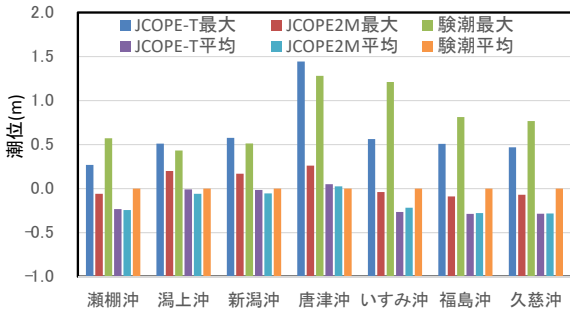


図-9 JCOPE2M, JCOPE-T, 近隣潮位データの最高潮位値と平均潮位値の比較 (2019年)

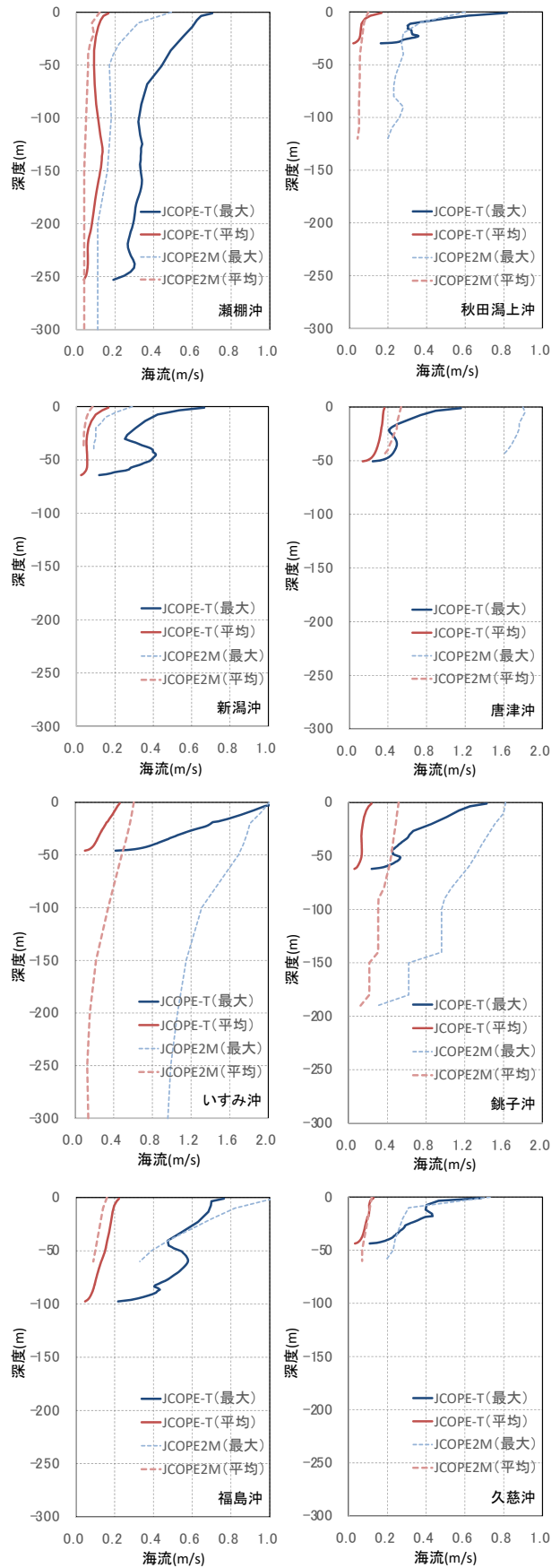
ているように見える。また日平均値である JCOPE2M は、平均潮位の季節変動のような長期的な潮位変動の傾向は十分表していることが確認された。

図-9 は秋田湯上沖, 唐津沖, いすみ沖に加え, 瀬棚沖, 新潟沖, 福島沖, 久慈沖を加えた7地点の2019年の最高潮位と平均潮位の値を調べたものである。これを見ると, 年平均潮位レベルは JCOPE2M, JCOPE-T, 験潮データとも日本海側の3地点では比較的良く合っているが, 太平洋側の3地点では験潮データがやや大きくなっている。これは図-8でも見られたが, 太平洋側の験潮地点の平均水位が高いためと考えられる。また, 台風や低気圧などで生じる気象偏差に起因する高潮位(ここでは年最大潮位を採用)は, 験潮データと時間解像度の高い JCOPE-T が整合する傾向が見られた。

4. 外洋の流れの鉛直分布特性

洋上風力モノパイル基礎の検討で用いる外洋の流れは, 海潮流の他に吹送流と海浜流も考慮することになっている。海潮流の鉛直分布は1/7乗則で, 吹送流は水深20mで0になる線形分布, 海浜流は碎波帯内で一様分布として検討することが推奨されている⁴⁾。流れの鉛直分布特性については, 実海域における観測データで把握することが望ましいが, 沖合の長期間の海流観測データは少ない。一方, JCOPE再解析データは鉛直方向に σ 座標45層の流速データがあるため, 水深により鉛直方向のメッシュサイズが異なるものの, 外洋の流れの鉛直分布推定の参考になると考えられる。

ここでは, JCOPE-T および JCOPE2M を用い, 代表地点として7地点に銚子沖を加えた8地点について, 各再解析地点の表層から下層までの各層の最大流速および平均流速による鉛直分布を整理した(図-10)。なお, 両者の抽出座標は同じであるが, 鉛直分布から分かるように水平解像度の違いに起因すると考えられる水深差が見られる地点もある。



(実線: JCOPE-T, 点線: JCOPE2M; 青: 最大, 赤: 平均)

図-10 JCOPE2M および JCOPE-T による流速の鉛直分布

各地点の鉛直分布をみると、両者が必ずしも一致している訳ではないが、平均値の鉛直分布は JCOPE2M と JCOPE-T で比較的近い値を示す地点が多い。それに対して最大値の鉛直分布については、大きく異なる地点の方が多い。石原ら⁵⁾と同様に、鉛直分布においては高精度モデルの JCOPE-T が真値に近いとして扱うべきと考えられる。また JCOPE-T の方が表層付近で流速が大きくなる地点が多いが、JCOPE2M では考慮されない海上風による吹送流の影響が顕著に表れていると考えられる、先に述べたように、外洋の流れの鉛直分布の検討では、海潮流では 1/7 乗則を、吹送流の鉛直分布は水面下 20m で 0 になる直線分布が推奨されているが、JCOPE-T の表層流には吹送流も含まれることから、単純に表層の流速値から 1/7 乗則を仮定すると鉛直分布としては過大評価になる可能性がある。JCOPE-T の表層流を単純に海潮流と吹送流に分離することは難しいが、観測データが少ないことを考えると、例えば同時刻の海上風推算値などから吹送流を簡易式⁴⁾により推定し JCOPE-T の表層流から差し引くことで海潮流を評価する方法が考えられる。

5. 終わりに

JCOPE2M と JCOPE-T の再解析データを用い、洋上風力基礎外力の外洋の流れとしての JCOPE2M の利用可能性について検討した。更に JCOPE2M を用い洋上風力検討サイトを中心に日本沿岸の海流特性を整理した。その結果、以下のことが明らかとなった。

- ① JCOPE-T と JCOPE2M を比較し、海域により相関性が異なるものの、適切な補正により JCOPE2M による海流評価が可能である。
- ② JCOPE2M を用いて洋上風力検討サイトを中心に日本沿岸の海流を整理した結果、最大値は 0.5~2.0m/s

程度、平均値は 0.1~1.0m/s 程度と幅が広く、季節変動、年変動も比較的大きいことを確認した

- ③ 流れの鉛直分布は、水平解像度、時間解像度の高い JCOPE-T を使った方が良い。なお表層では吹送流の影響が現れるため、単純に表層からの 1/7 乗則による鉛直分布では過大評価になる可能性が高い。

参考文献

- 1) 宮澤泰正, 山形俊男: JCOPE 海洋変動予測システム, 月間海洋, Vol.35, No.12, pp.881-886, 2003.
- 2) Miyazawa, Y., R. Zhang, X. Guo, H. Tamura, D. Ambe, J.-S. Lee, A. Okuno, H. Yoshinari, T. Setou, and K. Komatsu: Water mass variability in the western North Pacific detected in a 15-year eddy resolving ocean reanalysis. *J Oceanogr* 65, pp.737-756, 2009.
- 3) Varlamov, S. M., X. Guo, T. Miyama, K. Ichikawa, T. Waseda, and Y. Miyazawa: M2 baroclinic tide variability modulated by the ocean circulation south of Japan, *J. Geophys. Res. Oceans*, 120, 3681-3710, 2015.
- 4) 例えば、一般財団法人日本海事協会: ウィンドファーム認証に係る技術資料, Ver.20171212, p.33.
- 5) 石原孟, 種本純, 山口敦: 福島沖における通常流況と極値流速の予測に関する研究, 日本風力エネルギー学会論文集, Vol.40, No.3, pp.35-42, 2016.
- 6) 内山雄介, 石井翔大, 宮澤泰正: JCOPE2-ROMS 多段ネスティングによる黒潮続流域でのダウンスケーリング効果の検証, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.68, No.2, pp.I_436-I_440, 2012.
- 7) 内山雄介, 西井達也, 森信人, 馬場康之: 紀伊半島沿岸域における台風通過に伴う海水温低下と海洋構造変化について, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.69, No.2, pp.I_481-I_485, 2013.
- 8) 坪野考樹, 津旨大輔, 木原直人, 大庭雅道: 北太平洋モデルの再解析結果と領域海洋モデルの結果を用いた極値流速の推定, 土木学会論文集 G (環境), Vol.77, No.5, pp.I_1-I_8, 2021.

(Received February 3, 2022)

(Accepted May 9, 2022)

CHARACTERISTICS OF CURRENTS ALONG THE JAPANESE COAST BASED ON JCOPE DATA

Hiroyuki KATAYAMA, Kano YAGAMI, Akiyuki UKAI and Naruhisa MIURA

Waves and currents are considered as external forces in the design of offshore wind turbine foundations, but there is little observational data on currents in the open ocean, so estimates must be used as reference. The JCOPE2M is an easy-to-use estimator for the Japanese coast, but it is based on daily mean velocities, so it is recommended to use the highly accurate JCOPE-T.

In this study, the relationship between JCOPE2M and JCOPE-T is summarized, and the possibility of using JCOPE2M as an ocean current for offshore wind power foundation external forces is examined. As a result, it was confirmed that JCOPE2M can be used with appropriate corrections. The vertical profile of currents should be obtained by using the high-resolution JCOPE-T. However, since the effect of the drift current appears in the surface layer, a simple 1/7 power law based on the surface velocity of JCOPE-T is likely to overestimate the vertical profile of currents.