

JCOPE2Mによる沖合施工海域の海流特性

片山 裕之¹・鵜飼 亮行²・横島 隆広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 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

³ 正会員 五洋建設株式会社 洋上風力事業本部 (〒112-8576 東京都文京区後楽 2-2-8)
E-mail: takahiro.yokohata@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 (〒112-8576 東京都文京区後楽 2-2-8)
E-mail: Naruhisa.Miura@mail.penta-ocean.co.jp

浮体式洋上風力や海底資源開発など海上施工の範囲が大水深域に展開している。設計・施工条件として波浪や風が重要だが、大水深では作業船の施工安全性や施工海域までの航行安全性の観点でも海流の影響は無視できない。しかし沖合の海流観測データは少なく、検討には JCOPE 再解析データが有効である。本稿では、JCOPE2M を用い、今後沖合施工が展開される水深 100m 以深の大水深海域の海流特性を検討した。その結果、日平均海流である JCOPE2M でも JCOPE-T との高い相関により沖合の海流特性を十分把握できることを確認した。最大海流は福島沖以北太平洋側と日本海側では 0.5~1.0 m/s 程度、福島沖以南太平洋側では 2 m/s 超の地点が見られた。鉛直分布は、中下層ではガイドライン推奨の 1/7 乗則では過大評価となる可能性があることが確認された。

Key Words : JCOPE2M, JCOPE-T, characteristics of sea currents, offshore construction area, floating offshore wind power

1. はじめに

浮体式洋上風力や海底資源開発など海上施工の範囲が大水深域に展開している。設計・施工条件として波浪や風が重要だが、浅海域で用いる船体を昇降式の4本のレグで固定する自己昇降式作業台船 (Self-Elevating Platform; SEP船¹⁾) の着底機能も大水深海域では使用できず、動揺が生じる中での作業船による施工となるため、施工安全性や施工海域までの航行安全性の観点でも海流影響は無視できない。

またウェザールーティングで見られる最適航路検討²⁾では、波浪予測だけでなく海流予測も重要である。観測網や推算データも比較的充実している波浪データに対して、海流に関しては沖合の観測データは少なく、検討には海流推算データ、例えば JCOPE 再解析データ (Japan Coastal Ocean Predictability Experiment) ³⁾が有効である。

JCOPE 再解析データには、長期間のデータとして扱いやすいものの日平均海流である JCOPE2M⁴⁾と、解析の格子間隔や時間間隔が細かく潮流や河川流も考慮されている高解像度モデルの JCOPE-T⁵⁾があり、後者は各ガイドライン等^{2,3)}で利用が推奨されている。石原ら⁶⁾は、福島沖の海流検討で JCOPE-T を用いているが、比較的低解像度で

あるものの長期間の再解析データが利用可能である JCOPE2M との比較を行った結果、日平均海流である JCOPE2M を 1.72 倍することで JCOPE-T の日平均海流と同等となるとしている。

また著者ら⁷⁾は、福島沖だけでなく全国数地点で JCOPE2M と JCOPE-T の年最大値と年平均値を比較し、各地点で JCOPE2M に乗じる補正係数値は異なるものの、適切な補正係数を設定することで JCOPE-T と同等に扱える可能性を示唆している。JCOPE-T に比べデータハンドリング負荷の小さい JCOPE2M の使用が可能となることで、事前検討など検討海域の概略の海流特性を把握したい場合などには作業効率性の観点からも魅力的である。特に、地形や潮流の影響が少なく、海流が卓越する沖合においては、JCOPE2M による海流特性把握は十分参考となることが予想される。

本稿では、沖合の沿岸地形や潮流の影響が少ない海域における海流特性の把握に対する JCOPE2M の使用可能性を確認するとともに、JCOPE2M を用いて、今後、浮体式洋上風力発電に代表される沖合施工が展開すると考えられる水深 100 m 以深の大水深海域の海流特性について検討したものである。

2. 全国沖合の海流特性

(1) JCOPE2M と JCOPE-T の比較

沖合では岬や半島などの地形や潮流などの影響は小さくなると考えられ、水平解像度の差異を除けばJCOPE2MとJCOPE-Tによる海流の特性は類似化してくると考えられる。ここでは著者ら⁷⁾がJCOPE2MとJCOPE-Tの表層海流の年最大値および年平均値を比較しているデータに、新たに八峰沖と銚子沖の2地点を追加した9地点で確認を行った(図-1)。9地点それぞれのポイントの水深(同座標のJCOPE2M, JCOPE-Tそれぞれの水深)、概略の離岸距離、図-1において各地点別に原点からの回帰直線を引いた場合の傾き α 、相関係数Rを整理した(表-1)。なお、抽出座標はJCOPE2Mは推算格子上的値、JCOPE-TはJCOPE2Mの座標に補間したデータを用いている。また相関係数Rは、2019年のみの比較地点を除き9年間の比較を行っている地点についてのみ記載してある。

地点により9年間の比較ができた地点と2019年のみの比較の地点とがあるが、全ての地点で高い相関が見ら

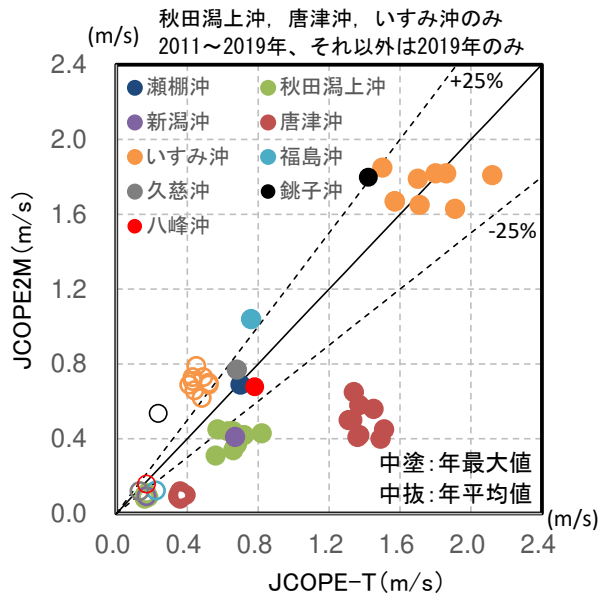


図-1 JCOPE2M と JCOPE-T の相関 (片山ら⁷⁾ に追記)

表-1 JCOPE2MとJCOPE-Tを比較した地点の諸元

地点	水深 (m)		離岸距離 (km)	回帰直線傾き α	相関係数 R
	JCOPE2M	JCOPE-T			
瀬棚沖	820	255	4.4	0.97	---
八峰沖	207	30	5.2	0.87	---
潟上沖	128	30	6.4	0.59	0.93
新潟沖	65	65	11.5	0.61	---
唐津沖	45	51	4.8	0.35	0.89
いすみ沖	344	46	13.0	1.02	0.83
銚子沖	200	63	16.8	1.29	---
福島沖	70	98	23.5	1.30	---
久慈沖	76	44	3.7	1.12	---

れる。その上で回帰直線の傾き α をみると、周辺に島や半島・岬などの地形がある唐津沖、八峰沖、秋田潟上沖、新潟沖では α が小さくなっており、外洋で地形の影響が少ないと考えられる瀬棚沖、いすみ沖、銚子沖、福島沖、久慈沖では α が0.97~1.30となっている。水深は両者の水平解像度(JCOPE2M: 1/12度, JCOPE-T: 1/36度)の違いにより同じ座標でも異なっているが、 α と水深または離岸距離については、ここで比較した9地点では明確

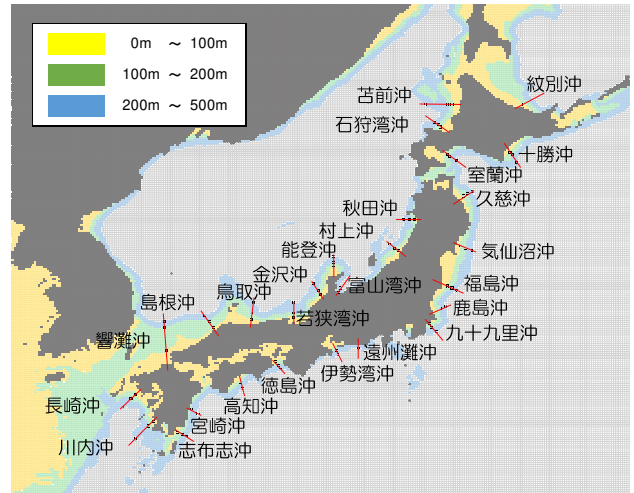


図-2 抽出地点位置図および500 m以下の水深分布

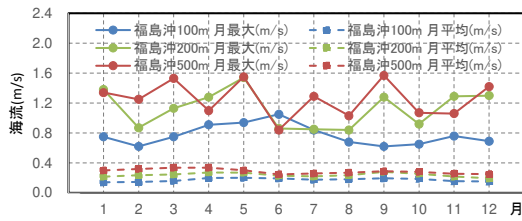
表-2 抽出地点一覧

海域	地点名	抽出地点水深		
		100m地点	200m地点	500m地点
オホーツク海	紋別沖	98.06	195.49	479.61
	室蘭沖	137.69	221.52	485.07
	十勝沖	106.89	193.80	480.88
	久慈沖	102.25	211.69	471.87
	気仙沼沖	113.98	190.32	463.25
	福島沖	110.28	215.69	529.11
	鹿島沖	122.35	229.84	462.69
	九十九里沖	102.53	195.47	519.09
	遠州灘沖	—	—	526.53
	伊勢湾沖	96.04	230.76	566.43
	徳島沖	99.18	208.68	462.35
	高知沖	92.98	170.18	523.20
	宮崎沖	—	215.05	546.09
	志布志沖	98.51	212.32	473.53
日本海	釜前沖	110.91	203.02	514.00
	石狩湾沖	101.17	185.18	458.59
	秋田沖	115.31	211.07	522.71
	村上沖	82.05	186.68	599.67
	富山湾沖	—	189.32	468.84
	能登沖	111.03	203.24	503.32
	金沢沖	105.78	203.87	512.64
	若狭湾沖	104.52	191.32	519.03
	鳥取沖	99.94	204.99	523.00
	島根沖	123.12	188.69	439.48
	響灘沖	100.11	201.42	498.80
	長崎沖	105.13	192.43	494.07
	川内沖	102.66	172.69	540.21
東シナ海				

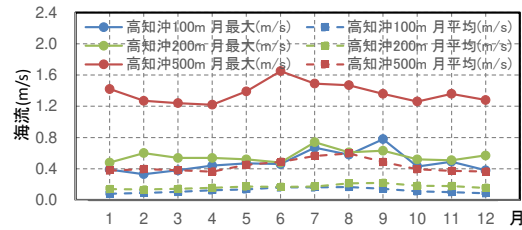
な傾向までは確認できなかった。しかしながら潮流の影響が大きい唐津 7や地形の影響が大きい地点以外では JCOPE2M と JCOPE-T は比較的近い値を示すことが確認された。

(2) JCOPE2M データの抽出

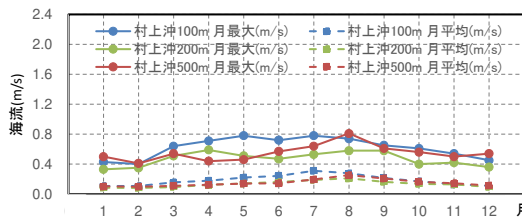
前述の通り、潮流や地形の影響が少ないと思われる外洋を中心に、JCOPE2M 再解析データ (1993~2019年) から代表海域に抽出ラインを設定し、それぞれのライン



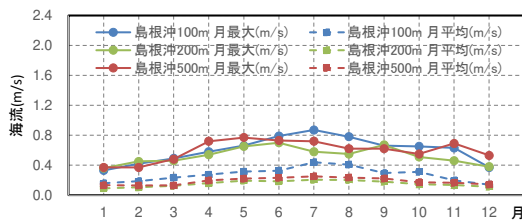
(1) 福島沖



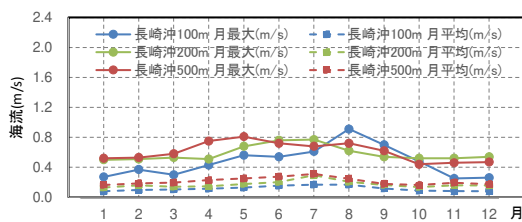
(2) 高知沖



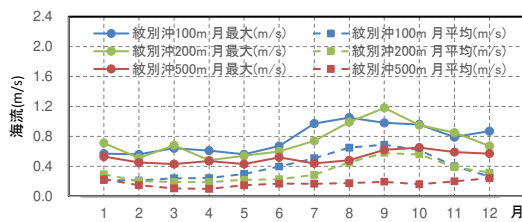
(3) 村上沖



(4) 島根沖

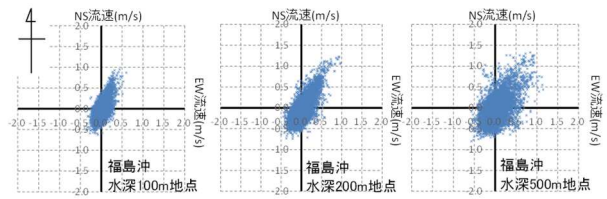


(5) 長崎沖

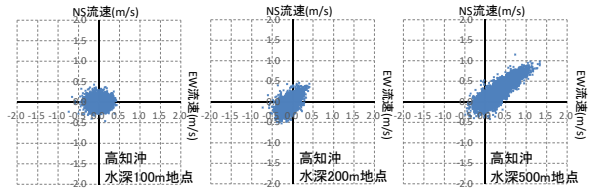


(6) 紋別沖

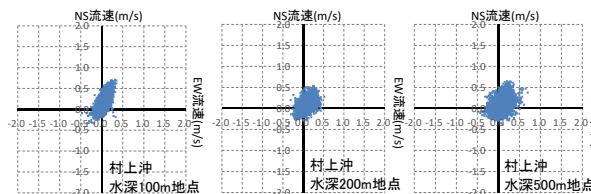
図-3 代表地点表層の月別平均海流分布(1993-2019年)



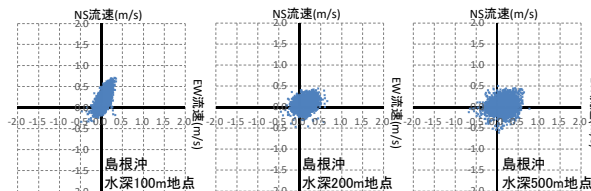
(1) 福島沖



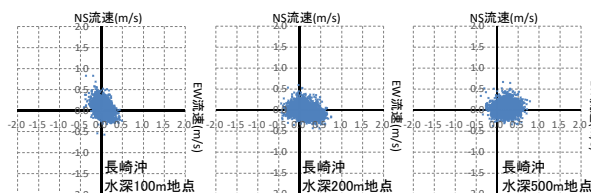
(2) 高知沖



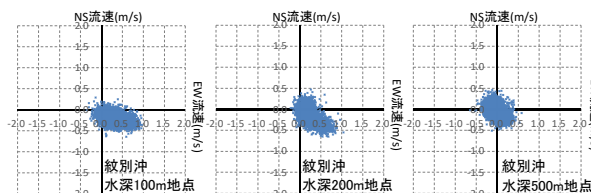
(3) 村上沖



(4) 島根沖



(5) 長崎沖



(6) 紋別沖

図-4 代表地点表層のuvスキッタープロット

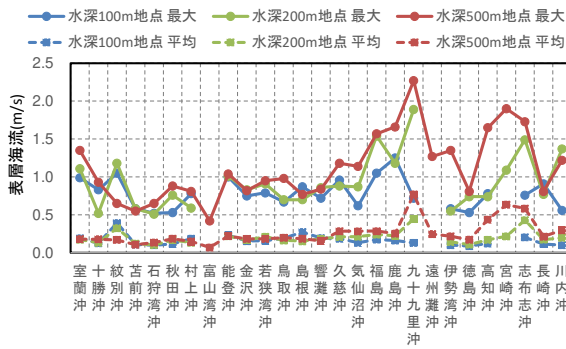


図-5 各抽出地点表層の最大・平均海流

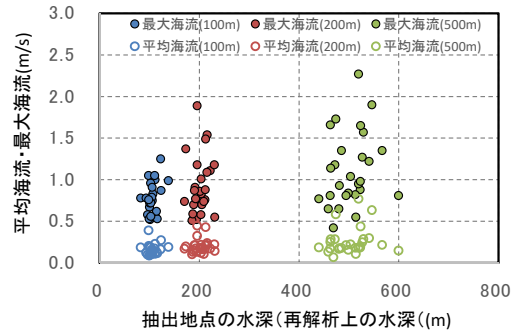


図-6 各抽出地点表層の最大・平均海流と抽地点水深

上で水深 100 m, 200 m, 500 m 地点を対象に, 全 27 海域 77 地点の海流データを抽出した. 抽出した海域を図-2 に, 地点名と抽出ポイント水深を表-2 に示した. なお, 陸地境界に隣接する沿岸の再解析地点の水深が 100 m を超える場合は, 200 m または 500 m のうち可能な水深から抽出している.

(3) 代表地点の表層海流特性

代表地点として太平洋側の福島沖, 高知沖, 日本海側の村上沖, 島根沖, および東シナ海側の長崎沖, オホーツク海の紋別沖に対して, 表層の月別最大海流, 月別平均海流を整理した (図-3). 日本海側2地点と長崎沖では最大海流, 平均海流とも水深によらず大きくは変わらない傾向が見られる一方, 太平洋側では水深が深くなる, すなわち沖に出るほど海流が大きくなる傾向が見られる. 黒潮海域の高知沖では水深100 m と200 m では海流に差異が見られないが水深500 m 地点で海流が急激に大きくなる. この点については, 室戸岬と足摺岬で挟まれる土佐湾の湾曲地形の影響から, 水深500 m 程度まで沖合に出ると黒潮の影響を直接受けるものと考えられる. 同様に海域によっては離岸距離と海流増大の傾向が異なると考えられる.

次に同地点について, 表層の海流について東方流速 u と北方流速 v のスクアープロットを示した (図-4). 日本海側2点と長崎沖では水深100 m で卓越流向が見られるが, 水深の深い沖にいくほど流向にばらつきが多くなる傾向が見られる. 紋別沖では水深100 m でもばらつきが多いが, 上記3海域は全体の傾向としては同じように見える. 一方, 太平洋側の福島沖では, どの水深帯でも卓越流向が明確に見られ, 流速の軌道分布が沖に出るほど大きくなるが最大流速は水深によって大きくは変わらない. 一方, 高知沖では水深100 m, 200 m では流速も小さくなく卓越流向も顕著ではないが, 水深500 m で流速が大きくなり卓越流向も明確になっており, 図-3で見られた傾向がスクアープロットでも確認された.

次に, 全抽出海域 (27海域) における表層の年最大海流および年平均海流の分布を示した (図-5). 年平均海

流では, 日本海および関東以北の太平洋側では0.1~0.3 m/s 程度であり, 黒潮に影響される九十九里沖, 高知沖, 宮崎沖, 志布志沖では沖に出ると流速が大きくなる傾向が見られる. 年最大海流は0.5~2.3 m/s と海域によって大きく変わる. 福島沖以北の東北地方太平洋側と日本海側では0.5~1.0 m/s 程度であるのに対して, 福島沖以南の太平洋側では水深500 m で2 m/s を超える最大海流も見られる. なお, 抽出地点の水深と流速の関係 (図-6) は必ずしも線形関係ではなく, 高知沖のように地形的な影響範囲が考えられ, 各海域の環境によって変わるものと考えられる.

3. 海流の鉛直分布特性

沖合海域の施工では, 例えば着床式洋上風力発電のモノパイル基礎設置のような海底面における作業は少なくなるが, 浮体式洋上風力発電には係留設備が必要となり, 海流に施工性・安全性が左右される. 洋上風力発電設備のガイドライン⁹⁾においても, 施工海域での設計流速を定義することになっており, 海潮流の鉛直分布は 1/7 乗則で検討して良いことになっている. ただし大水深になるほど, 鉛直分布の 1/7 乗則との乖離が設計検討に与える影響は大きくなると考えられ, 合理的な設計のために各海域での 1/7 乗則との整合性の確認は重要となる.

代表地点の各水深地点における, 各深度の最大流速の鉛直分布を図-7 に示した. これは同時刻の鉛直分布ではないが, 各深度の海流把握に有効である. なお実線はそれぞれの水深の JCOPE2M による海流分布, 点線は表層海流値を起点に記した 1/7 乗則による鉛直分布である. 実際的水深は地点によって異なるが, ここでは便宜的に抽出した鉛直分布の最深標高を海底として流速を 0 とし求めたものである.

日本海側の村上沖, 島根沖および長崎沖では表層の流速が水深によって大きく変わらないことが分かる. 深度方向については水深が浅い方が底層で小さくなる傾向が見られるが絶対値としての差は大きくない. 太平洋側の

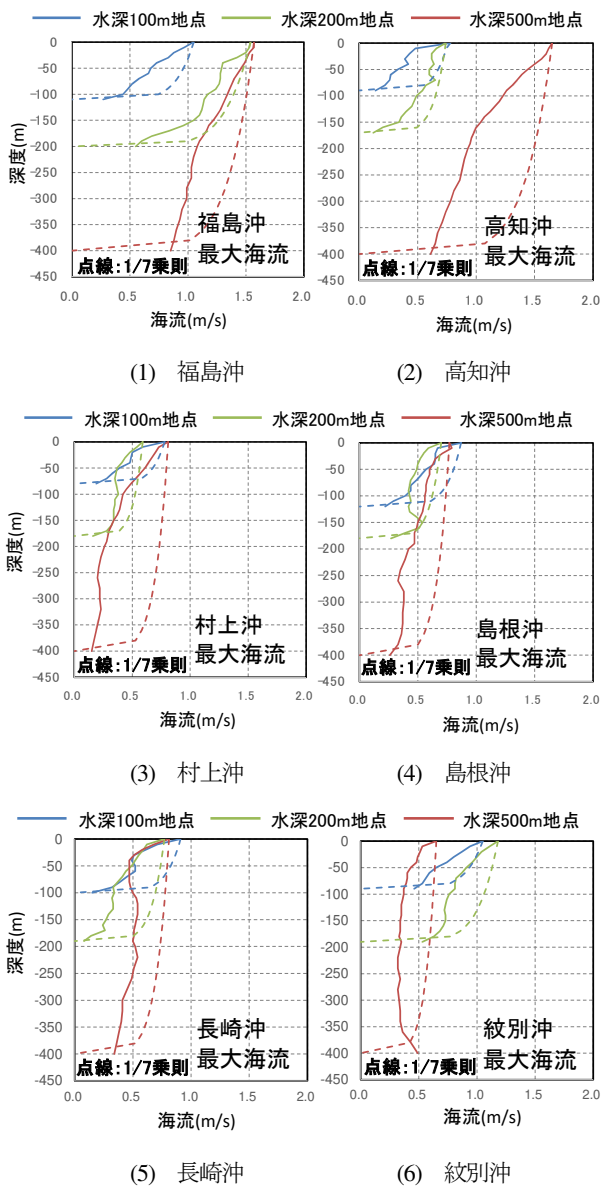


図7 代表地点の各深度最大海流鉛直分布

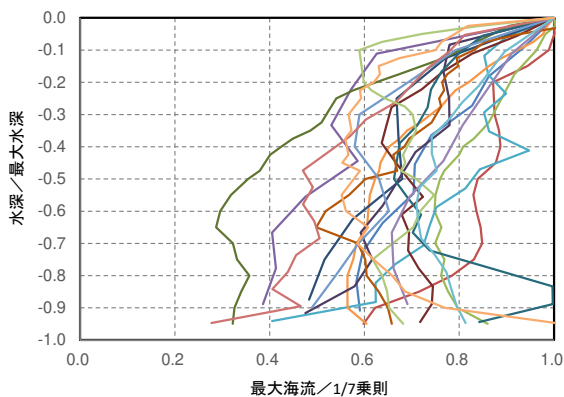


図8 各深度最大海流の無次元鉛直分布

福島沖, 高知沖では水深 100 m と 500 m 地点の鉛直分布が大きく異なる. 水深 200 m 地点の鉛直分布は福島沖では水深 500 m 地点に, 高知沖では水深 100 m 地点に類似

し, 前述のように海域によって傾向が異なることを示しているものと思われる. 一方, 紋別沖では水深 200 m までは海流が大きくなるが, 水深 500 m の海流鉛直分布は水深 100 m 地点よりも小さくなる. これはオホーツク海沿岸では宗谷暖流と呼ばれる海流が比較的浅い沿岸を南流しており, 水深 100~200 m 沖まで出ると海流が小さくなる傾向が観測されており^{注2)}, JCOPE2M でも同様の特性を示したものと考えられる.

また, 各地点の最大海流の鉛直分布を 1/7 乗則による鉛直分布で, 深度方向も最大水深で無次元化したものを示した (図-8). 1/7 乗則は表層の JCOPE2M を起点にしているが, 全体に 1/7 乗則の方が JCOPE2M より大きな値を示しており, ばらつきはあるものの平均的には下層に行くほど JCOPE2M との乖離が大きくなっていく傾向が見られる. 下層の設計海流値を設定する場合, 安全側の設定になるとはいえ JCOPE2M より大きい海流となる可能性が高いことを念頭に置いておく必要がある.

4. JCOPE2M と日最大海流の関係

JCOPE-T は毎時の海流の再解析値である. 海流の変動周期によるが, 例えば潮流のような日周期あるいは半日周期であれば, 毎時の時間解像度をもつ JCOPE-T は適切な日最大値を示す可能性が高い. 一方, 日平均海流である JCOPE2M は, 実際の日最大値より小さい値を示していると考えられる.

JCOPE2M を用いて海流特性の検討を行う場合, 実際の日最大海流値との関係を整理しておくことができれば, 概略検討時に JCOPE2M から日最大海流値の簡易推定が可能となり便利である.

ここでは, JCOPE2M の表層日平均海流から概略の表層日最大海流を把握するために, 2019 年の JCOPE-T の毎時海流データから算出した表層日最大海流と JCOPE2M による表層の日平均海流との比較を行った. 比較検討は, 図-1 と表-1 に示す JCOPE2M と JCOPE-T の比較を行っている地点の中で, 潮流が卓越し両者に大きな差異が見られる唐津沖を除く 8 地点で行った. 比較結果は, JCOPE2M の日平均海流と, JCOPE-T による日最大海流の密度図として整理した (図-9).

この結果をみると, 各地点とも密度分布にピークを持ち, 黒潮が卓越するいすみ沖を除いた各地点とも JCOPE2M の表層日平均海流が約 0.1 m/s, JCOPE-T の表層日最大海流が約 0.2 m/s あたりに分布ピークが見られる. このことから, JCOPE2M から日最大海流を概算する場合には, JCOPE2M 日平均海流の約 2 倍程度となる頻度が高いと言える. また分布のばらつきは銚子沖といすみ沖が大きいことがわかる.

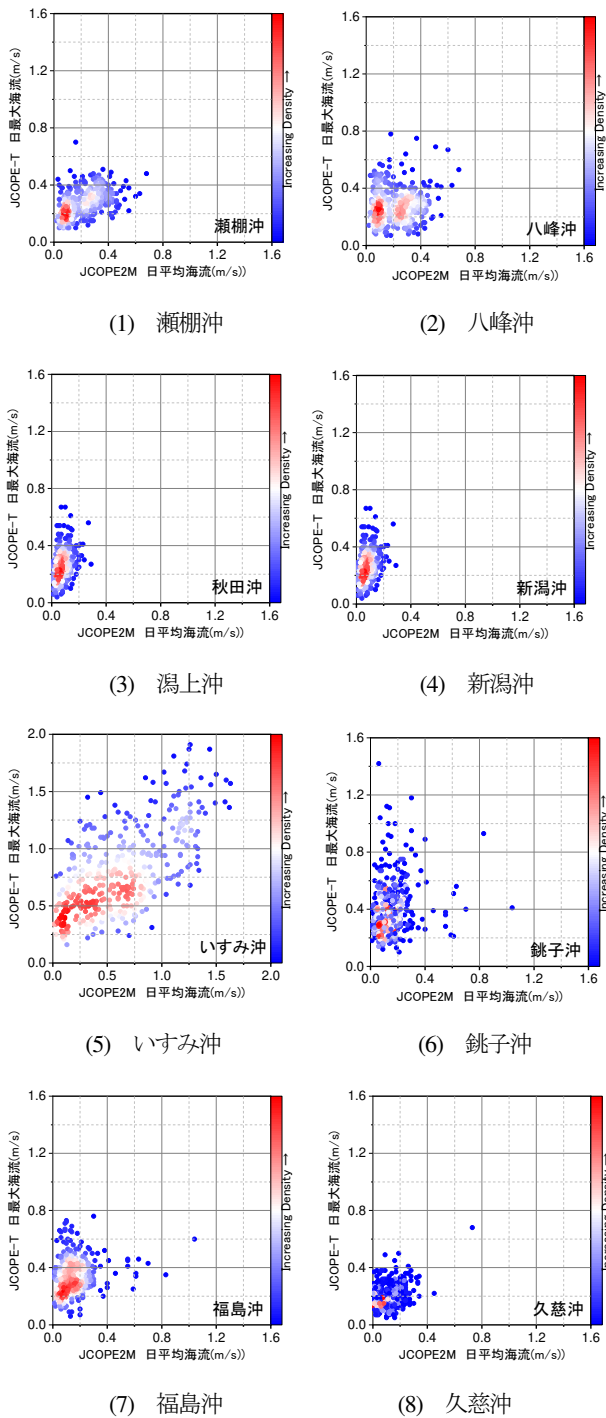


図-9 JCOPE2M 日平均と JCOPE-T 日最大の密度図

5. おわりに

JCOPE2M データを用いて浮体式洋上風力や海底資源施工海域である大水深域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。

- ・外洋で地形の影響が少ないと考えられる海域では JCOPE2M と JCOPE-T に高い相関が見られ、大水深海域の海流検討への JCOPE2M の適用性が確認された。
- ・日本海側では海流の影響は小さいが、太平洋側では海

域によっては無視できない。鉛直分布も太平洋側では沖合ほど鉛直分布も大きくなる傾向が見られる。

- ・ JCOPE2M の日平均海流と JCOPE-T 毎時データから抽出した日最大海流の関係には分布ピークが見られ、太平洋側黒潮海域でばらつきが大きい。

なお JCOPE2M は再解析データであり、JCOPE-T との比較だけでなく、今後、沖合施工における気海象観測等により検証されることが望ましい。

NOTES

- 注1) 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。
 注2) 第一管区海上保安本部：平成 23 年度オホーツク海南西海域海流観測報告書，12p，2011。

REFERENCES

- 1) 例えば、岡田英明：SEP 型多目的起重機船「CP-8001」について，日本風力エネルギー学会誌，Vol.43，No.1，pp.113-116，2019。[Okada, H.: SEP type multi-purpose hoist vessel "CP-8001", Journal of JWEA, Vol.43, No.1, pp.113-116, 2019.]
- 2) 例えば、庄司りり：ウェザルーティング（最適航路選定），計測と制御，Vol.50，No.6，pp.411-417，2011。[Shoji, R.: Weather routing, Journal of the Society of Instrument and Control Engineers, Vol.50, No.6, pp.411-417, 2011.]
- 3) 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。[Miyazawa, Y. and Yamagata, T.: JCOPE Ocean Change Prediction System, Kaiyo monthly, Vol.35, No.12, pp.881-886, 2003.]
- 4) 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.
- 5) 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.
- 6) 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。[Ishihara, T. and Tanemoto, J. and Yamaguchi, A.: Numerical Prediction of Normal and Extreme Sea Current at Fukushima Offshore Site, Journal of JWEA, Vol.40, No.3, pp.35-42, 2016.]
- 7) 片山裕之，谷上可野，鶴飼亮行，三浦成久：JCOPE データによる日本沿岸の海流特性，土木学会論文集 B3 (海洋開発)，Vol.78，No.2，pp.I_883-I_888，2022。[Katayama, H., Yagami, K., Ukai, A. and Miura, N.: CHARACTERISTICS OF CURRENTS ALONG THE JAPANESE COAST BASED ON JCOPE DATA, Annual Journal of Civil Engineering in the Ocean Vol.38, Vol.78, No.2, pp.I_883-I_888, 2022.]

(Received February 9, 2023)

(Accepted May 11, 2023)

CURRENT CHARACTERISTICS OF THE OFFSHORE CONSTRUCTION AREA BY JCOPE2M

Hiroyuki KATAYAMA, Akiyuki UKAI, Takahiro YOKOHATA and Naruhisa
MIURA

The scope of offshore construction work, such as floating offshore wind power and submarine resource development, is expanding into deep water areas. Waves and wind are important design and construction conditions, but the influence of ocean currents cannot be ignored from the perspective of construction safety for work vessels and navigational safety to the construction area in deep water. However, offshore current observation data is scarce, and JCOPE reanalysis data is effective for this purpose. In this paper, we examine the characteristics of ocean currents in the large water depth region of more than 100 m where offshore construction will be deployed in the future using JCOPE2M.

As a result, it was confirmed that JCOPE2M, which is a daily mean current, can sufficiently grasp the characteristics of offshore currents due to its high correlation with JCOPE-T. The maximum currents were about 0.5 to 1.0 m/s on the Pacific Ocean side north of Fukushima-oki and the Sea of Japan side, and more than 2 m/s on the Pacific Ocean side south of Fukushima-oki. Vertical profiles in the middle and lower troposphere were found to be overestimated by the 1/7 power law recommended by the guideline.