

日本沿岸海流の鉛直分布

片山 裕之¹・鵜飼 亮行²

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

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

着床式洋上風力発電では外力として海流を考慮することになっている。洋上風力のガイドライン等では海流として吹送流、水中流、海浜流が定義されており、鉛直分布として吹送流は水深 20 m でゼロになる直線分布、水中流は表層から海底までの 1/7 乗則が提案されている。海流の鉛直分布は基礎の安定性だけでなく洗堀にも影響するため重要であるものの、例えば推算海流の鉛直分布と比べると 1/7 乗則は過大評価となる傾向が確認されている。本研究では、先ず海流の同時鉛直分布に着目して、推算海流や事例が少ないが観測記録から比較検討した。その結果、多くの鉛直分布は Ekman 理論に用いられる指数型の鉛直分布と整合し、1/7 乗則は過大評価の傾向が見られた。

Key Words : ocean current, vertical distribution of ocean current, drift current, ekman's theory, JCOPE2M

1. はじめに

着床式洋上風力発電施設の基礎の設計では、外力として海流を考慮することになっている。着床式洋上風力のガイドライン等^{(注1)(注2)}では、海流として吹送流、水中流、海浜流が定義されており、鉛直分布として吹送流は水深 20 m でゼロになる直線分布、水中流は表層から海底までの 1/7 乗則が提案されている (図-1)。更に浅海域では碎波による海浜流も考慮することになっており、吹送流と水中流および海浜流の線形和が設計海流の鉛直分布とされている。海流の鉛直分布は、例えば着床式基礎の安定性だけでなく洗堀にも影響するため重要であるものの、例えば JCOPE 再解析データ (Japan Coastal Ocean Predictability Experiment)¹⁾のような推算海流の鉛直分布と比べると、表層流速からの 1/7 乗則は過大評価となる傾向が確認されている²⁾。吹送流を排除して水中流に相当する成分に 1/7 乗則を当てはめることも考えられるが、諸条件を一体にして計算された再解析データの表層流を水中流と吹送流に分離することは難しい。

一方で、海洋学分野では、海流の鉛直分布については Ekman 理論で説明される。これは、表層の海面 Ekman 層内の吹送流、海底面の摩擦の影響が顕著となる海底 Ekman 層内の底層流、および中層の地衡流からなる鉛直分布として説明されるものである^{3,4)} (図-2)。

図-2に示されるような海流の鉛直分布は、表層の海面 Ekman 層における海上風による吹送流と、中層のコリオ

リ力と圧力傾度のつり合いから生じる地衡流、海底面の摩擦による影響が強くなる底層流に区分して考えることができるが、水深が浅くなると中層の地衡流に比べ、吹送流と底層流の影響が大きくなる⁵⁾。着床式洋上風力では 10~50 m 程度の設置水深が想定され、上記に加え海浜流

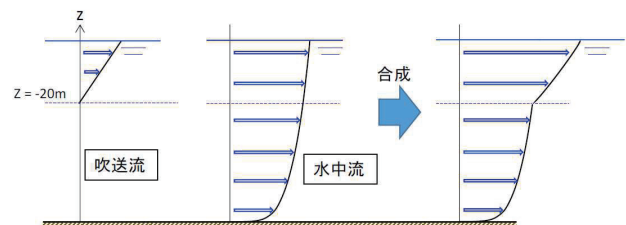


図-1 洋上風力ガイドラインの海流鉛直分布^(注2)

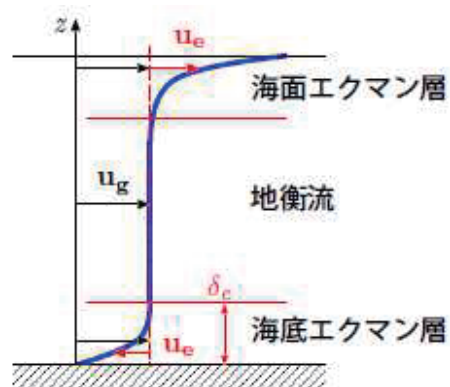


図-2 Ekman 理論による海流鉛直分布^(注3)

の影響も考えられる。砕波による海浜流の影響が顕著となる水深帯については、海岸工学分野で評価手法が多く提案されている。

本研究では、海流鉛直分布推定手法を洋上風力事業等の設計に利用することを念頭に、海流の鉛直分布に着目して、JCOPEのような海流の再解析データや数少ない観測記録と比較し、推定手法の適用性を確認したものである。特に、今後の洋上風力施設の沖合への展開を考え、砕波による海浜流の影響は考えなくてよいが、これまで海岸工学で多く扱ってこなかった水深が100 mを超える大水深における海流の鉛直分布に着目する。

2. 海流の鉛直分布理論

洋上風力のガイドライン等^{注1)注2)}に記載される水中流鉛直分布の1/7乗則は、その根拠が明示されていないが、海底面の摩擦の影響による減衰曲線に起因するものと想定される。類似した分布形状は、1970年代に海外の各船級協会が海流の鉛直分布として提案している。例えばDNV(Det Norske Veritas)の1/9乗則、Germanischer Lloydsの1/10乗則なども参考にされているのではないかと考えられるが、当時の日本造船研究協会の検証では、水深1000 mの深海域の観測海流の鉛直分布とは適合していないとされている⁶⁾。

海流のうち十分発達した吹送流についてはEkman螺旋(図-3)に見られる理論が提唱されている³⁴⁾。ここでは、なるべく簡易に海流の鉛直分布を概算することを念頭にEkman理論を整理した。

(1) 洋上風力ガイドラインの海流の鉛直分布理論

洋上風力ガイドライン^{注1)注2)}では、海流として吹送流、水中流、海浜流が定義されており、鉛直分布として吹送流は水深20 mでゼロになる直線分布、水中流は表層から海底までの1/7乗則などが次式で提案されている。

$$U(z) = U_{ss} + U_w + U_{bw} \quad (1)$$

ここに、 U_{ss} ：水流の鉛直分布を表す水中流[m/s]、 U_w ：吹送流[m/s]、 U_{bw} ：海浜流[m/s]、である。またそれぞれの各水流成分は次式を用いる。

$$U_{ss}(z) = U_{ss}(0)[(z+d)/d]^{1/7} \quad (2)$$

$$U_w(z) = U_w(0)[1+z/20], \quad U_w(0) = 0.01V_{1-hour} \quad (3)$$

$$U_{bw} = 2s\sqrt{gH_s} \quad (4)$$

ここに、 z ：静水面からの高さ[m]、 d ：水深（静水面から海底までの高さ）[m]、 V_{1-hour} ：海面上10m風速の1時間平均

値[m/s]、 s ：海底勾配、 H_s ：砕波波高[m]、 g ：重力加速度[m/s²]である。

なお水中流については、水面下20mの流速から算出することができるとされている。これは水面下20 mでは吹送流の影響がなくなる考え方によると思われる。

(2) 海洋学における海流の鉛直分布理論

ここでは安藤⁹⁾を参考にEkman理論を整理する。Ekmanの理論では、海上風が十分長時間継続した場合に引き起こされる表層流速（吹送流）は、海面上10 mの海上風速 U_{10} [m/s]と緯度 φ [度]を用いて次式で表される摩擦深度 D_f の深さまで螺旋状に減衰する鉛直分布となる。

$$D_f = \pi \sqrt{\mu / (\rho \omega \cdot \sin \varphi)} \quad (5)$$

ここに、 μ ：粘性係数[g・cm/s]、 ρ ：海水の密度[g/cm³]、 ω ：地球の自転角周波数[rad/s]、である。粘性係数 μ は、水温や密度変化に伴い水深方向に変化するため、式(5)から D_f を定数として決定することが難しい。理論上の風力係数（海上風速と表面流速の比）と風力係数の経験式から、

$$D_f = 7.6 U_{10} / \sqrt{\sin \varphi} \quad (6)$$

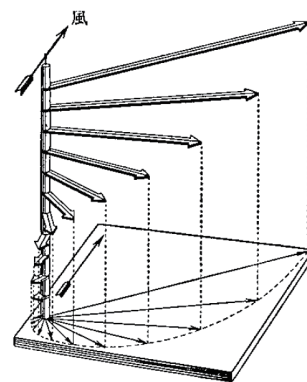


図-3 Ekman螺旋の概要³⁾

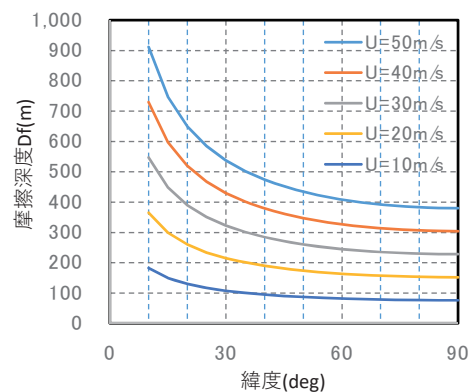


図-4 Ekman理論による摩擦深度 D_f

摩擦深度 D_f を次式のように表すこともできる。

この摩擦深度 D_f は、北半球の日本の緯度 $25\sim 40^\circ$ の範囲では、例えば海上風速 30 m/s の場合は $280\sim 350\text{ m}$ 程度となり、海上風が十分長時間継続した場合ではあるが、ガイドラインで示される吹送流の範囲よりは深層まで影響することになる(図-4)。

またEkman理論では、流速の鉛直分布 $V(z)$ は、摩擦深度 D_f および表層流速 V_0 から次式で表される。

$$V(z) = V_0 e^{-\pi z/D_f} \quad (7)$$

なお表層流速 V_0 については、一定時間継続して吹いている条件にて次式で表される。

$$V_0 = \begin{cases} 0.0232U_{10} & : \varphi < 17.5 \\ 0.0127U_{10}/\sqrt{\sin\varphi} & : \varphi \geq 17.5 \end{cases} \quad (8)$$

底層流については図-2に示すように、海底Ekman層内で地衡流から減衰する分布になると考えられる。なお、海底Ekman層の幅は底部摩擦深度と呼ばれ、吹送流と同じ式(5)で表すことができ、海底の底面摩擦が影響する範囲となる。水深が十分深いとすると、地衡流 u_0 は次式で表すことができる。

$$u_0 = (g \cdot \sin\gamma)/(\rho\omega \cdot \sin\varphi) \quad (9)$$

ここに γ は海面と水平面との角度であり、この海面上の水位差(圧力差)とコリオリ力がバランスするために生じる。なお海底Ekman層厚については、水深 2200 m の海域において観測から推定した事例では 5 m 程度であり、水深が浅い方が大きくなるとの報告がある⁷⁾ものの、底層流については観測例なども乏しく検証が難しい。

3. 海流鉛直分布の比較

(1) JCOPE2M と Ekman 理論の比較

既報²⁸⁾を参考に、図-5に示す白抜地点を対象に、再解析データであるJCOPE2M⁹⁾の鉛直分布とEkman理論による鉛直分布の比較を行った(図-6)。なおEkman理論による鉛直分布については、表層の吹送流を厳密に定義するのが難しく、またJCOPE2M再解析で使用した風速も不明なため、ここではJCOPE2Mの流速鉛直分布にフィッティングするように、JCOPE2M鉛直分布の変曲点(図-6の鉛直分布中の赤印)を通過するように式(8)の U_{10} を調整したものである。また図中 $1/7$ 乗則の曲線は、JCOPE2Mの水深 20 m 流速値を表層流速 V_0 としたもの

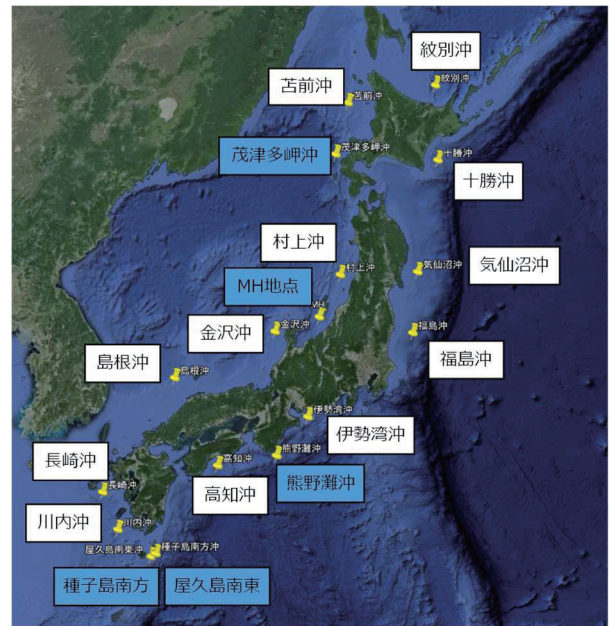


図-5 検討地点位置図

表-1 検討地点一覧(JCOPE2M)

地点名	緯度	経度	水深	CWM ^{注)}
舌前沖	44.292	140.375	514m	9.7
村上沖	38.708	139.042	599m	4.1
金沢沖	37.125	136.208	513m	16.6
島根沖	35.875	132.125	439m	10.2
長崎沖	32.208	129.042	494m	20.0
川内沖	30.958	129.542	540m	9.3
高知沖	32.958	133.542	523m	17.3
伊勢湾沖	34.292	137.125	566m	5.4
福島沖	36.875	141.542	529m	7.7
気仙沼沖	38.458	142.125	463m	7.5
十勝沖	41.958	143.792	481m	9.6
紋別沖	44.458	144.375	480m	14.7

注)CWMは表層最大流速抽出日の海面 10 m 最大風速(m/s)

である。定義通り吹送流が十分発達していることを前提に、海浜流や潮流の影響が少ない比較的沖合の舌前沖、村上沖、金沢沖、島根沖、長崎沖、川内沖、高知沖、伊勢湾沖、福島沖、気仙沼沖、十勝沖、紋別沖の計12地点で比較を行った。なお、使用したJCOPE2M(推算期間：1993-2019年)に対して、吹送流の参考となる海上風情報として気象庁波浪推算値の沿岸波浪モデルCWM¹⁰⁾が確認できる2009年以降の表層流速年最大時の同時鉛直分布を対象とした。表-1には各地点の再解析上の緯度経度と水深、および表層最大流速を抽出した日のCWM最大風速値を整理した。各地点とも再解析上の水深が 500 m 程度の大水深の位置を選んでおり、鉛直分布は表層からの減衰に着目するため水深 400 m までを表記した。

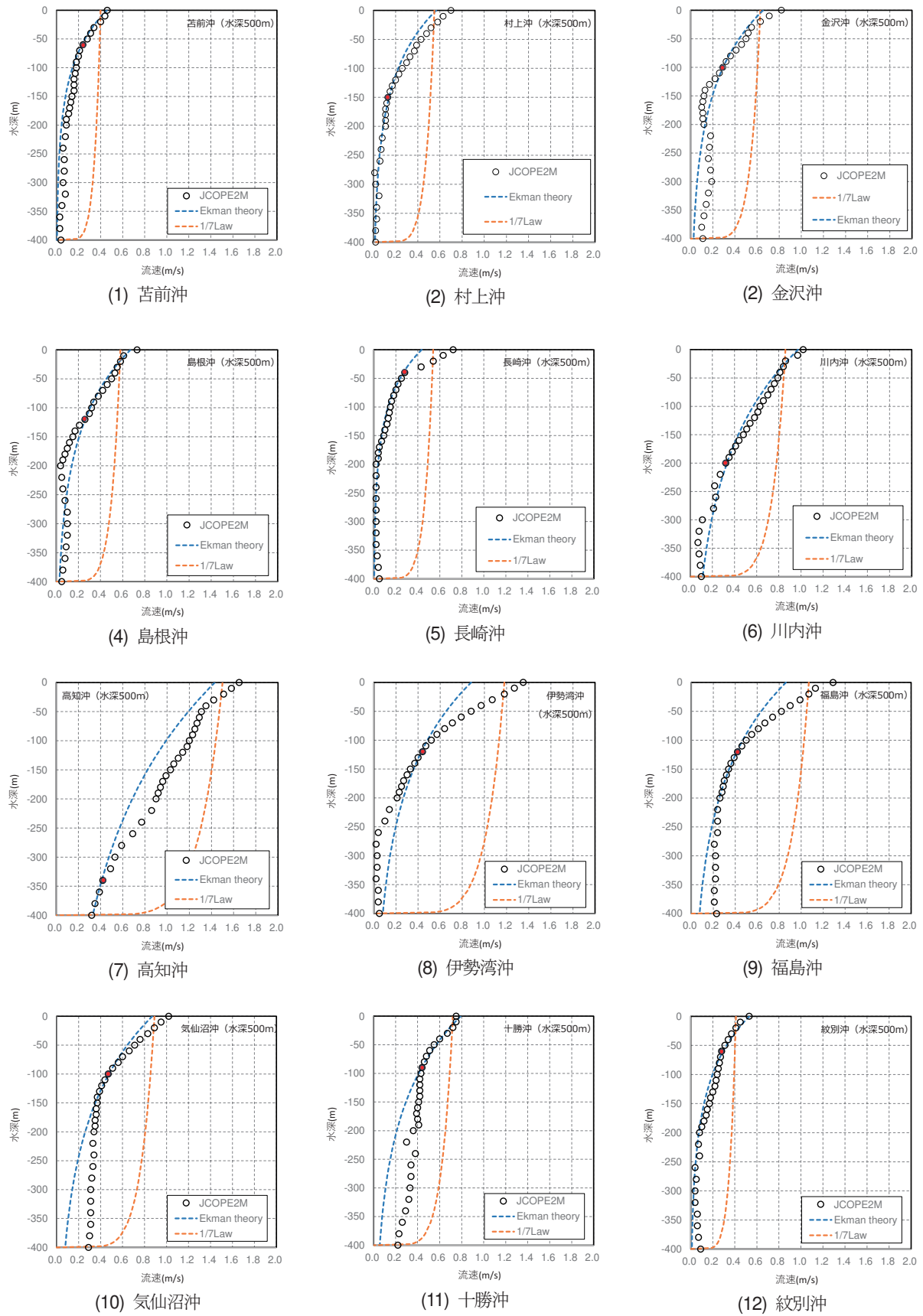


図-6 JCOPE2M 沖合抽出点での推算流速鉛直分布と Ekman 理論および 1/7 乗則との比較

表-2 Ekman 理論鉛直分布に採用した諸元

地点名	U_{10} (m/s)	V_0 (m/s)	D_f (m)	変曲点水深 dep(m)	U_0/CWM 最大流速	D_f/dep
苫前沖	30	0.46	273.6	60	4.6	3.1
村上沖	35	0.57	339.9	150	2.3	8.5
金沢沖	40	0.65	391.3	100	3.9	2.4
長崎沖	25	0.44	260.3	40	6.5	2.5
島根沖	40	0.67	401.4	120	3.3	2.0
川内沖	55	0.97	582.8	200	2.9	5.9
高知沖	82	1.43	856.0	340	2.5	4.7
伊勢湾沖	52	0.88	526.5	120	4.4	9.6
福島沖	52	0.86	515.4	120	4.3	6.8
気仙沼沖	54	0.87	520.4	100	5.2	7.2
十勝沖	51	0.79	474.0	90	5.3	5.3
紋別沖	35	0.53	317.8	60	5.3	2.4

黒潮のような大規模海流は Ekman 理論には考慮されないが、黒潮も水深 200 m で表層の 50% 程度に流速が減衰するとの報告¹¹⁾もある。比較結果を見ると、太平洋側の高知沖は表層で 1.6 m/s 程度、水深 200 m の中層でも 1.0 m/s 程度の流速があり、表層からの減衰が緩やかな分布となっている。同じ太平洋側の伊勢湾沖、福島沖、気仙沼沖も鉛直分布の形状は類似しているものの、水深 100 m あたりまでに流速が大きく減衰しており、表層の影響範囲が比較的明確に見える分布と言える。紋別沖と、

日本海側の苫前沖、村上沖、金沢沖、島根沖および長崎沖も分布が類似しており、表層流速は 0.4 m/s ~ 0.8 m/s と違いはあるものの、いずれも水深 100 m ~ 150 m に向けて流速が減衰する曲線となっており、それ以深はほとんど流速が見られない。

全体的には、表層からの流速鉛直分布の変曲点を通過するようにフィッティングしているものの、JCOPE2M の鉛直分布は 1/7 乗則による鉛直分布より Ekman 理論による指数関数型の鉛直分布形状と整合性が高いことが分かり、1/7 乗則分布では中下層流速の過大評価が懸念される。また、Ekman 理論の分布形状に整合することから、JCOPE2M の表層年最大流速が生じるイベントは、風の影響が大きく吹送流の影響が卓越している可能性が高いと考えられる。またこの影響は、ガイドランで示される影響水深 20 m より深く、洋上風力発電施設の設置が考えられる 100 m 以浅の水深帯では、Ekman 理論により推定された海流の鉛直分布の方が適切な鉛直分布を示す可能性が高いと推察できる。

Ekman 理論による鉛直分布算出過程で定義する U_{10} 、 V_0 、 D_f 、およびフィッティング時に判断した鉛直分布変曲点の水深などについて整理した(表-2)。なお、変曲点は目視判断ではあるが、表層からの鉛直分布と傾向が変わる点であり、吹送流の影響範囲に相当するものと考え

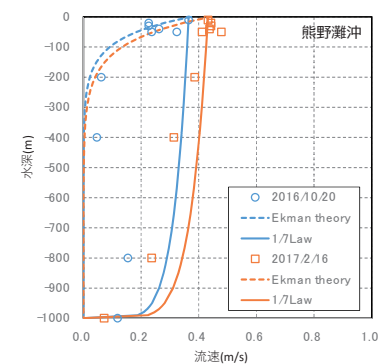
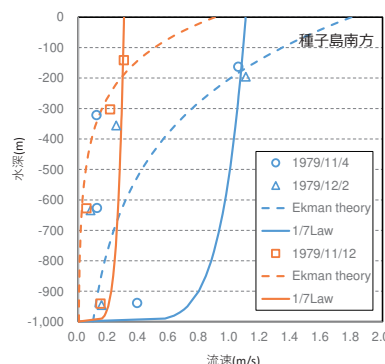
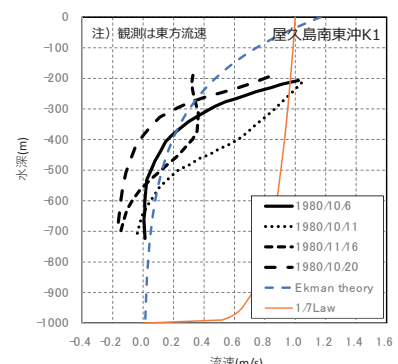
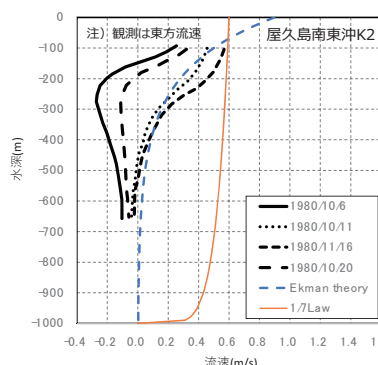
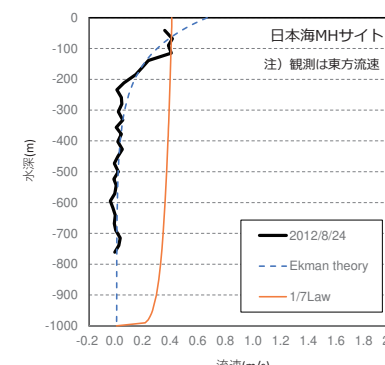
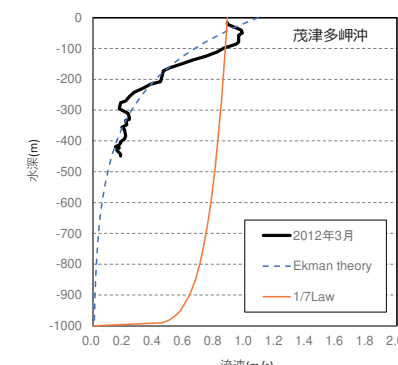

(1) 熊野灘沖^{注4)}

(2) 種子島南方¹²⁾

(3) 屋久島南東沖 K1 地点¹³⁾

(4) 屋久島南東沖 K2 地点¹³⁾

(5) 日本海 MH サイト¹⁴⁾

(6) 茂津多岬沖¹⁵⁾

図-7 沖合観測海流データ鉛直分布と Ekman 理論および 1/7 乗則との比較

ている. また U_{10} についてはJCOPE2M再解析で用いられる値が不明であるため, 変曲点を通過するように U_{10} を調整した. これらから, 例えば U_{10} についてCWMから抽出した最大風速と調整した U_{10} では2.3~6.5倍程度, 調整した U_{10} の方が大きく, 変曲点水深はガイドラインで定義される20mよりは大きい, 調整した U_{10} から算定される D_f は2.0~9.6倍も大きい. 視覚的にはEkman理論による指数型の鉛直分布の方がJCOPE2Mの鉛直分布と合う傾向が確認できるが, 式(7), (8)から算定される鉛直分布にはまだ検討が必要であると考えられる.

特に, 抽出した日のCWM最大風速は最大でも長崎沖の20m/sとなっており, ガイドラインの式(3)や式(8)から推定される風速の1~2%程度の吹送流よりはJCOPE2Mの表層流はかなり大きく, 吹送流推定にはかなり精度の高い海上風データが必要と思われる.

(2) 観測による海流鉛直分布とEkman理論との比較

海流再解析データJCOPE2Mとの比較を行ったが, 観測データとの比較検証が望ましい. 大水深における海流の観測事例は少ないが, ここでは既往調査あるいは文献等で公開されている大水深域における観測海流鉛直分布とEkman理論および1/7乗則との比較を行った.

ここでは, 熊野灘沖, 種子島南方沖, 屋久島南東沖(K1地点とK2地点), 日本海側のメタンハイドレート(MH)検討サイト, 北海道茂津多岬沖の計6地点の観測データとの比較検証を行った(図-7). それぞれの観測地点の緯度経度と水深, 観測日時を表-2に整理した. またここで流速鉛直分布の比較においても, 観測結果から明確な吹送流を分離することが難しいことと, 観測データが離散的あるいは一部の水深帯しかないため, JCOPE2Mとの比較と同様に, 観測鉛直分布にフィッティングするようにEkman理論による鉛直分布を示している. 1/7乗則による鉛直分布は概ね表層の海流を起点に示したものである. なお, 屋久島南東沖の2地点と日本海MHサイトの観測流速は東方流速であるが, 南方流速が公開されていないことと, 南方流速より東方流速が卓越していると考えられることから比較検証データに追加した.

この比較結果を見ると, 2017年2月の熊野灘沖の観測結果を除いて, 比較的Ekman理論の鉛直分布と整合しているケースが多く見られる. 屋久島南東沖の2地点, 日本海MHサイト, 北海道茂津多岬沖の鉛直分布はEkman理論による分布と特に整合しており, 観測海流データからも1/7乗則による鉛直分布よりもEkman理論による鉛直分布との整合性が確認されたとともに, これらの観測データにおいても表層の流速増大は吹送流による影響が大きいと推定される.

なお種子島沖の1979年11月4日と12月2日は水深200mから300~400mに深度が下がると大きく流速が減

表-2 検討地点一覧(観測データ)

地点名	緯度	傾度	水深	観測日
熊野灘沖	33.530	136.530	1150m	2016/10/20 2017/2/16
種子島南方沖	30.000	130.750	1060m	1979/11/4 1979/11/12 1979/12/2
屋久島南東沖 K1	29.958	130.880	1050m	1980/10/6 1980/10/11
屋久島南東沖 K2	29.588	130.628	1050m	1980/10/16 1980/10/20
日本海 MH サイト	37.440	138.000	940m	2012/8/24
茂津多岬沖	42.630	139.520	2500m	2012/3

衰し, また1000m近い底層では逆に流速が若干増加している. 2016~2017年にかけては黒潮流路に顕著な変化も見られないため, 熊野灘, 種子島沖とも当該海域の特徴的な鉛直分布と考えられるが, これらは吹送流では説明できない差異であり, 例えば水温や塩分の鉛直分布に起因する密度流の効果や, 底層流の影響なども考えられるが, 更に事例を収集した考察が必要であり, 今後の課題である.

4. おわりに

海流再解析データJCOPE2Mおよび観測海流記録を用いて, 海流の同時鉛直分布について十分発達した吹送流の鉛直分布を説明するEkman理論と洋上風力ガイドラインで提唱されている1/7乗則との比較を行った結果, 以下のことが確認された.

- ・海流再解析データおよび観測海流の多くの鉛直分布はEkman理論による鉛直分布と整合し, 1/7乗則は過大評価の傾向が見られた. 洋上風力発電施設の設置が考えられる100m以浅の水深帯では, Ekman理論により用いられている指数型の鉛直分布の方が適していると推察できる.
- ・吹送流の水深方向の影響範囲は, 洋上風力ガイドラインで示される影響水深20mより深い可能性が高い.

なお, 中下層においては両理論と整合しない鉛直分布も見られ, 今後の課題である.

NOTES

注1) 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) 国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構：浮体式洋上風力発電技術ガイドブック，pp.39-40, 2018.
- 注3) 流体地球科学第 6 回テキスト，<https://ovd.aori.u-tokyo.ac.jp/fujio/2019chiba/2019chiba06.pdf>.
- 注4) 三重県水産研究所事業報告，熊野灘浮魚礁活用促進事業，<https://www.pref.mie.lg.jp/common/content/000751574.pdf>.

REFERENCES

- 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.[Miyazawa, Y. and Yamagata, T. : JCOPE Ocean Change Prediction System, Kaiyo monthly, Vol.35, No.12, pp.881-886, 2003.]
- 2) 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, Journal of JSCE, Ser. B3 (Ocean Engineering), Vol.78, No.2, pp.I_883-I_888, 2022.]
- 3) 日高孝次：海流，岩波全書，282p, 1955. [Hidaka, K. : Ocean current, Iwanami zensho, 282p, 1955.]
- 4) 安藤定雄：海洋構造物の設計ガイド：自然環境条件 (その 3)，日本造船学会海洋工学委員会・設計分科会，671 巻，pp.284-286, 1985. [Ando, S. : Design Guide for Offshore Structures: Natural Environmental Conditions (Part 3), the Society of Naval Architects of Japan, Vol.671, pp.284-286, 1985.]
- 5) 八木宏，緒方健太郎，日向博文，灘岡和夫：風が引き起こす非成層期の沿岸境界層の基本特性，海岸工学論文集，Vol.44, pp.456-460, 1997. [Yagi, H., Ogata, K., Hinata, H., and Nadaoka, K. : Basic characteristics of the coastal boundary layer during the non-stratified period caused by wind, Proceedings of Coastal Engineering, JSCE, Vol.44, pp.456-460, 1997.]
- 6) 社団法人日本造船研究協会：海洋構造物の深海係留に関する調査研究報告書，pp.3-10, 1984. [Shipbuilding Research Association of Japan : Report on Research and Study on Deepwater Mooring of Offshore Structures, pp.3-10, 1984.]
- 7) 酒井亨，中田喜三郎：海底工クマン層の厚さの推定，海洋理工学会誌，Vol.9, No.2, pp.177-181, 2004. [Sakai, T., and Nakata, K. : Estimation of Ekman Layer Thickness in Benthic Boundary Layer, Journal of Advanced Marine Science and Technology Society, Vol.19, No.2, pp.177-181, 2004.]
- 8) 片山裕之，鶴飼亮行，横畠隆広，三浦成久：JCOPE2M による沖合施工海域の海流特性，土木学会論文集，Vol.79, No.18, 23-18073, 2023. [Katayama, H., Ukai, A., Yokohata, T. and Miura, N. : Current characteristics of the offshore construction area by JCOPE2M, Journal of JSCE, Vol.79, Issue18, 23-18073, 2023.]
- 9) Miyazawa, Y., Varlamov, S.M., Miyama, T., Guo, X., Hihara, T., Kiyomatsu, K., Kachi, M., Kurihara, Y. and Murakami, H. : Assimilation of high-resolution sea surface temperature data into an operational nowcast/forecast system around Japan using a multi-scale three dimensional variational scheme, Ocean Dynamics, Vol.67, pp.713-728, 2017.
- 10) 竹内仁，高野洋雄，山根彩子，松枝聡子，板倉太子，宇都宮忠吉，金子秀毅，長屋保幸：日本周辺海域における波浪特性の基礎調査及び波浪モデルの現状と展望，測候時報，Vol.79, pp.S25-S58, 2012. [Takeuchi, H., Kohno, N., Yamane, A., Matsueda, S., Itakura, T., Utsunomiya, T., Kaneko, H. and Nagaya, Y. : A fundamental research on characteristics of coastal waves around Japan and the prospects for numerical prediction wave model, Ocean Dynamics, Vol.67, pp.713-728, 2017.]
- 11) 道田豊：ADCP データからみた黒潮の流速構造，水路部研究報告，Vol.31, pp.45-56, 1995. [Michita, Y. : Velocity profile of the kuroshio measured with shipborne adcp, report of hydrographic researches, Vol.31, pp.45-56, 1995]
- 12) 田才福三，栖原寿郎，光易恒，川建和雄，竹松正樹，水野信二郎，高橋清，大楠丹，本地弘之，小寺山亘，高雄善裕，山形俊男：総合ブイシステムによる海洋計測法の開発研究 (第 1 報)，九州大学応用力学研究所所報，第 52 号，pp.29-98, 1980. [Tasai, F., Suhara, T., Mitusyasu, H., Kawatate, K., Takematsu, M., Mizuno, S., Takahashi, K., Okusu, M., Honji, H., Koterayama, W., Takao, Y. and Yamagata, T. : Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University, Vol.52, pp.29-98, 1980.]
- 13) 竹松正樹，川健和雄，水野信二郎，長浜智基，馬谷紳一郎，石井秀夫，肥山央竹：黒潮直接測流結果の中間報告ー総合ブイシステムによる海洋計測法の開発研究 (第 3 報)ー，九州大学応用力学研究所所報，第 56 号，pp.37-57, 1982. [Takematsu, M., Kawatate, K., Mizuno, S., Nagahama, T., Umatani, S., Ishii, H. and Hiyama, H. : Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University, Vol.56, pp.37-57, 1980.]
- 14) 河原翔，高木洋平，伴貴彦，岡野泰則，加藤直三：深海底から湧出するメタンガス/ハイドレートの挙動予測，第 24 回海洋工学シンポジウム，OES24-050, 2014. [Kawahara, S., Takagi, Y., Ban, Y., Okano, Y. and Kato, N. : Numerical investigation of behavior of methane gas/hydrate seeping out from deep sea floor, The 24th Ocean Engineering Symposium, OES24-050, 2014.]
- 15) 河合浩，大橋正臣，三上信雄：北海道開発局管内の漁場整備に資する物理環境調査と再現計算ー沖合漁場における物理環境把握の試み (中間報告)ー，第 57 回北海道開発技術研究発表会，6p, 2014. [Kawai, H., Oohashi, M. and Mikami, N. : Survey of physical environment and reproduction calculation for fishing ground improvement in the hokkaido regional development bureau - an attempt to understand physical environment in offshore fishing ground (interim report) -, 57th Hokkaido Development Technology Research Presentation Meeting, 6p, 2014.]

(Received February 6, 2024)

(Accepted May 13, 2024)

VERTICAL DISTRIBUTION OF OCEAN CURRENT ALONG THE JAPANESE COAST

Hiroyuki KATAYAMA and Akiyuki UKAI

In offshore wind power generation, ocean currents are considered as an external force. The guidelines for offshore wind turbines define ocean currents as blowdown currents, underwater currents, and beach currents, and propose a linear distribution that reaches zero at a depth of 20 m for blowdown currents and a $1/7$ power law from surface to bottom for underwater currents as the vertical distribution. Although the vertical distribution of the current is important because it affects not only the stability of the foundation but also the scour, the $1/7$ power law tends to overestimate the vertical distribution of the current compared to the estimated current, for example. In this study, we first focused on the simultaneous vertical profiles of ocean currents and compared them with the estimated currents and, although there are only a few examples, with observation records. The results showed that many of the vertical distributions were consistent with the exponential-type vertical distributions used in Ekman theory, and that the $1/7$ power law tended to overestimate them.