

## 洋上風力地盤調査船への局地的潮流予測

岩下 遼 深田サルベージ建設株式会社  
松田 靖 株式会社メテオテック・ラボ

### Local Tidal Current Prediction to the Geotechnical Investigation Vessel for Offshore Wind Farm

Ryo IWASHITA

FUKADA SALVAGE & MARINE WORKS CO., LTD.

E-mail:iwashita.ryo@fukasal.co.jp

Yasushi MATSUDA

Meteotech Labo. Co., Ltd.

#### Abstract

The research vessel "STANFORD HOBBY" and the drilling rig system "GAIA-1" has completed geotechnical investigation for offshore wind farm project at the sea area where seabed topography is very complex and the current is strong condition. As a countermeasure for the site, the authors forecasted the tidal current considering the local characteristics. With this, Operations can be completed safety in short weather windows. The tidal current prediction in the operation area was forecasted based on winds, waves, seabed topography, surrounding tidal currents, and tidal data. Afterword, that was delivered to the vessel. Furthermore, the authors tried to improve the forecast accuracy using observation on the site. After completed the drilling operation. The predicted values and the observed values were compared. As a result, it was proved that this method is useful by given sufficient feedback.

#### 1 はじめに

平成 31 年 4 月より「海洋再生可能エネルギー発電設備の整備に係る海域の利用の促進に関する法律」が施行され、昨年末には、秋田県及び千葉県沖の 3 区域における発電事業者が選定されるなど、我が国の洋上風力発電が本格化する中、海底地盤調査の需要が急増している。

筆者らも、船上設置型掘削装置「GAIA-1」を搭載した調査船「STANFORD HOBBY(以下 SH と記す)」で地盤調査を実施した。これまで調査を実施してきた海域の内、潮流が速い海域においては、SH の船位保持能力を別海域での記録から把握し<sup>1),2)</sup>、従前の海象予報(波浪と風)の利用・調査地点の水深影響の考慮に加え、作業時期を潮流が比較的緩やかとなる小潮時に設定する等の対策を実施した。

特に、複雑な海底地形がもたらす潮流の変動については、風と波等の海象、海底地形、近辺の潮流観測値を基に解析して、予報を現場に配信した。現場からは現地で観測した波、風、流れの情報をフィードバックして予報精度の向上を図り、局地的な潮流速度の変化、最強時刻、転流時刻の把握に努め調査を完遂した。

本報告では現地の海象(主として潮流)及び SH の船位保持装置のパラメータを参照し、潮流予測と観測値について比較を行い、ケーススタディではあるが本予測手法について考察したので報告する。

#### 2 調査船と掘削リグの概要

##### 2.1 調査船「STANFORD HOBBY」

SH は元々ムーンプールを有する DSV(Diving Support Vessel)であり、このムーンプール上に掘削リグを搭載してい

る。また、Kongsberg 製の DPS (Dynamic Positioning System) を装備しており、潮流、風、波浪等の外力に対してスラスターを自動的に制御することで定点保持する。スラスターは船首側に 2 基のトンネルスラスター、船尾側に 2 基のアジマススラスターを備えているが、一般的な船舶と同様に船幅方向から外力を受けた時は船位保持性能が低くなる。



Fig. 1 Research vessel "STANFORD HOBBY"

Table 1 Principal particulars of "STANFORD HOBBY"

全長/全幅/型深さ	65.5m/16.0m/6.0m
総トン数	2499T
ムーンプール	4.5m×4.5m
船位保持装置	Kongsberg K-Pos DP II

## 2.2 掘削リグ「GAIA-1」

本リグは Single Pole タイプで、デッキ上に 1 本約 5m のドリルパイプを 60 本搭載しており、最大で 300m(水深含む)まで掘削可能である。また、Heave Motion Compensation (ドリルパイプに対する動揺の影響を減少させる装置)により、上下揺 ±1.5m の変動まで対応可能である。また、定点保持の偏差に対しては水深の 5% を許容範囲としている。調査中にこの値を超えた場合は状況を総合的に判断した上で作業を中断し、ドリルパイプ等の機材を揚収する。

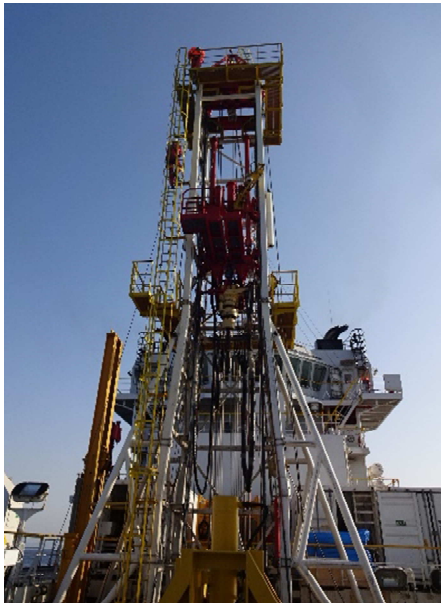


Fig. 2 Drilling rig system “GAIA-1”

Table 2 Properties of “GAIA-1”

デリック高さ	22.0m
許容荷重	25MT
最大掘削長	300m

船上設置型掘削装置による掘削作業は Fig.3 に示す通り船体がドリルストリングスを介して海底地盤と接続しているため、定点保持の偏差が許容範囲を大幅に逸脱するとドリルパイプの破損や船体の損傷に繋がる。特に着床式洋上風力発電が対象の海域は比較的水深が浅く、DPS による定点保持の偏差が支配的となり稼働性を左右する<sup>3)</sup>。

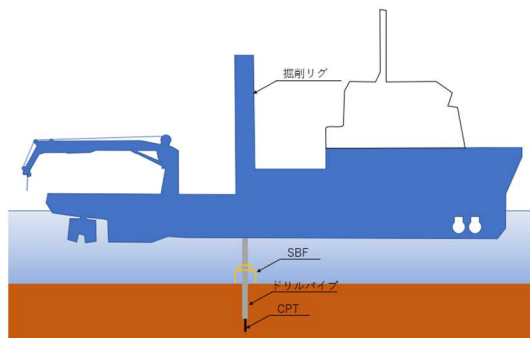


Fig. 3 Schematic diagram of drilling operation by the vessel

## 3 現場海域の特徴

これまで SH で調査してきた海域の中で最も潮流が速かったのは九州地方の島嶼海域であった。当調査海域の特徴として、起伏した暗岩が多く複雑な地形で、干満差が大きく潮流が速いことが挙げられる。当調査は令和 3 年 3 月 21 日から 5 月 20 日に実施し、当初は潮流影響により定点保持の偏差が許容範囲を大きく超え、作業を中断せざるをえないことが多く調査が難航した。調査当初に作業を中断した際の定点保持の偏差、気象、海象を Table 3 に示す。

Table 3 Sea conditions when the operation was suspended

番号	発生日時 (2021 年)	定点 保持 偏差 (m)	波		風		中断時 の主因
			目視 波向 (deg)	目視 波高 (m)	風向 (deg)	平均 風速 (m/s)	
1	3/22 12:00	0.8	325	1.3	326	10.6	波,風
2	3/24 5:35	1.8	-	-	209	0.7	潮流
3	3/24 19:20	1.9	180	0.2	178	3.6	潮流
4	3/25 4:43	1.1	-	-	76	2.9	潮流
5	3/25 17:55	3.0	190	0.3	351	6.9	潮流

作業中断した 5 件中 4 件は潮流により定点保持の偏差が増大していたことが原因であった。定点保持の偏差の許容値は掘削地点の水深 5% に相当する半径 1m 以内を目安としていたが、平均風速 7m/s 以下、目視波高 0.5m 以下の比較的静穏な状態においても定点保持の偏差が 3m を超えることもあり、潮流の影響が支配的であった。また、短時間で定点保持の偏差が 1m から 3m へ増大するなど、潮流速度が急激に変化していたことが窺えた。さらに、海底地形の影響により、定点保持の偏差が増大する前に、後述する DP Current の向きが急激に変化し、船体が船幅方向から流れを受ける状態となっていた。

これらはいずれも中潮から大潮時の出来事で、SH の船位保持性能では中潮から大潮時に調査の実施は不可能で、小潮から中潮時を狙って調査する必要がある。

以上のように潮流の影響によって限られた作業可能時間を効率よく利用するために、局地的地形特性を考慮した潮流予測を参照した。予測により現地の潮流速度の変化、最強時刻、転流時刻を把握し、作業実施の機会を窺った。

## 4 局地的潮流予測

### 4.1 予測手法の概要

局地的潮流予測手法の概要を以下に示す。潮汐現象(潮汐・潮流)解析及び予測は、その場の分潮設定やどのような仮定を用いるかが重要事項となる。例えば、任意の地点における潮流観測値  $H(t)$  は、式(1)で表される。

$$H(t) = A_0 + \sum_i A_i \cdot \cos(\sigma_i t - k_i) + \varepsilon(t) \quad (1)$$

ここで  $A_i$ ,  $\sigma_i$ ,  $k_i$  は各分潮の振幅、角速度、遅角を示し、 $A_0$  は局地的海域特性を含んだ平均値を示す。また、添字は分潮の種類を示す。局地的かつ詳細な潮流変動は、海底地形に依る所が

多く,地形特性を平均化して $A_0$ として扱うことが重要である。

今回は解析作業の簡略化のため,分潮は  $M_2$ (主太陰半日周期)のみを用い,その他の分潮は省略した。また,局地的地形特性をデータ化するため,海底の形状等に起因する起伏度,開放度,遮蔽度に関する簡単な地形因子解析を用いた。

対象海域の潮流予測は,現場海域の流向流速,風向風速,波浪解析データを教師データとし,非線形関数によって説明変数(目的変数を説明する変数)から目的変数(予測したい変数)として特別流向流速値を予測する手法を用いた。また,目的変数を数式化するための基本的解析は,人間の脳の情報処理過程を参考とした数理モデルのニューラルネットワークを用いた。

時刻 $t$ におけるニューロン $i$ のパルスポテンシャル $x_i(t)$ をニューロンの信号処理伝達法で数式化すると,式(2)となる。

$$x_i(t+1) = f \left\{ \sum_j \omega_{ij} \cdot x_j(t) - \theta \right\} \quad (2)$$

$\omega_{ij}$ はニューロン $i$ とニューロン $j$  のシナプス結合, $\theta$ はしきい値である。すなわち,対象とする任意の地点による潮流変動を規格化させ,0 から 1 までの連続値で表わすと, 式(3)に示すシグモイド関数で仮定することができる。

$$f(\alpha) = \frac{1}{1 + \exp(-\alpha)} \quad (3)$$

ここで,有限サンプルの入出力関係から「学習」によって入出力写像を推論する機能を有する階層型ニューラルネットワークを使用し,任意に定める局地的な流向流速値を推定した。

#### 4.2 実施

実施した潮流予測の予報フローを Fig.4 に示す。予報は 0.025 度メッシュの海上予測モデルから風及び波浪等や,海底地形,近辺の潮流観測値を利用して解析し現場に配信した。現場からは現地で観測した波,風,流れの情報をフィードバックした。これを繰り返し実施し,予測精度の向上を試みた。

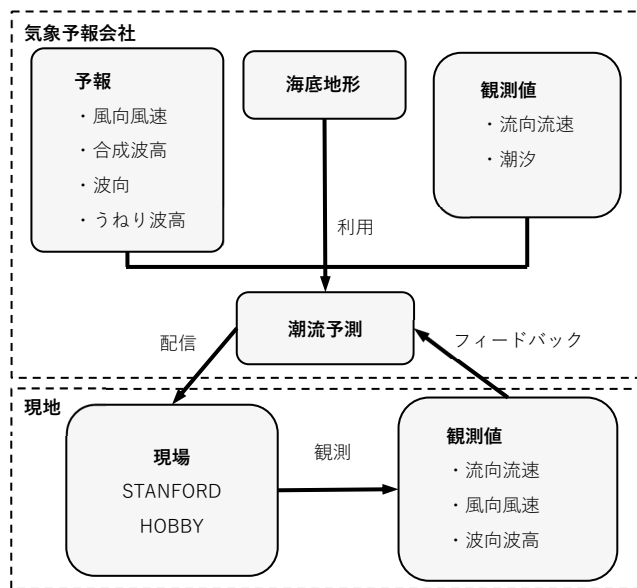


Fig. 4 Flow of the forecast

## 5 予測値と観測値の比較

### 5.1 予測値

前述の手法に基づき予測を実施する前に,教師データとして現地より 5 月 17 日 18 時から 18 日 6 時の特別観測値を得た。それらを説明変数として,目的変数を出力させる係数等を決定した。一般に学習効果を高めるためには数々のパターンによる教師データを基に解析を繰り返す必要があるが,今回は準備過程で時間的制約があり,比較的少ない教師データを基に,あらかじめ用意した地形因子解析を基にした定性的海域特性を駆使して,推論に基づく予測上の思考過程を構築した。用いた推論は以下の通り。

- ① 現地近辺の験潮所で観測された満潮及び干潮の動向が,近辺海峡の潮流変動に対して 1 時間遅れて流速分布の変化に現れる。
- ② 下げ潮時は南流(N から S 方向に流れる)
- ③ 上げ潮時は北流(S から N 方向に流れる)
- ④ 南流及び北流の転流時は,その時の潮位偏差の大きさに依存する。
- ⑤ 潮位差が小さい時は,風による外力が影響する。
- ⑥ 風が弱いときは,潮流がそのままの状況で観測値上に現れる。強風時は,潮流以外の外力が強く,観測値に影響が含まれる可能性が有る。

### 5.2 地上天気図

5 月 18 日から 20 日の 9 時の地上天気図を Fig.5 に示す。18 日から 19 日は九州南岸に東西にのびる前線が停滞し,その南側で優勢な太平洋高気圧が東シナ海に張り出す。このため九州西岸では 18 日は南系の風の外力が卓越し,19 日は九州西岸を覆う移動性高気圧により北系の風の外力に変化した。そして 20 日は前線上に発生した低気圧が発達し,南系の風が卓越し強風状態となった。これらの気圧配置や風並びに波浪変化を予測しつつ,18 日 12 時から 22 日 12 時の特別潮流予測を出力した。

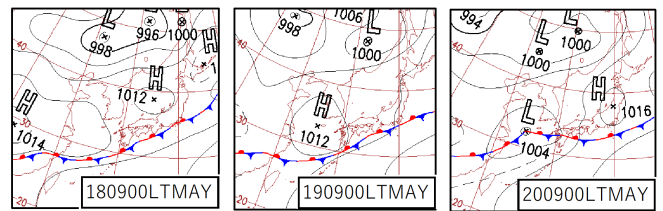


Fig.5 Surface Weather Charts from 18<sup>th</sup> May 20<sup>th</sup> May

### 5.3 観測値

現地の主な観測値として,以下に示す推定又は計測値を参照することとした。

#### (1) DP Current

SH には潮流計が搭載されていないため,DPS より推定される DP Current を観測値とすることとした。尚,DP Current は名称に Current が含まれているが潮流等の流れを示したのではなく,風以外の外力(波力や潮流等),その他不明な外力及び計算誤差が含まれている。従って,波が高い場合,波漂流力分,実際の潮流と差が大きくなる。

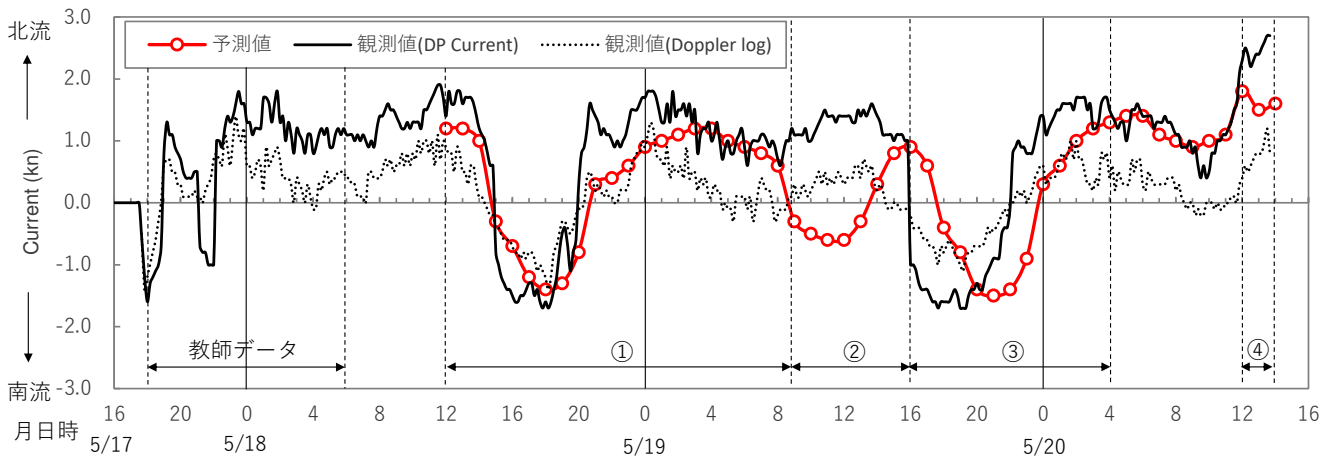


Fig.6 Time series of the predicted values and the observed values

## (2) Doppler Log (速力計)

上記 DP Current に加え,SH の速力計である Doppler Log の値も参照した。本来,速力計は航行速度を計測するための機器であるため,船の長さ方向の流速しか観測できず,場合によってはスラスターの影響を受ける可能性もある。そのため,潮流を計測できているとは限らないが,調査中は流れの向きに船首又は船尾を向けて定点保持しており,利用できるかと判断した。

## 5.4 比較及び考察

潮流に関する予測値と観測値の時系列分布図を Fig.6 に示す。横軸に時刻を示し,縦軸は流速で北流を正,南流を負として表示した。以下に観測値に対する予測値についての考察を示す。

- ① 19日8時まで予測値と観測値(DP Current)は概ね一致している。尚,DP Current と Doppler log の傾向は概ね一致しているが,DP Current の方がやや速い傾向が見られた。

予測した5月18日12時から22日12時の96時間中,以下に示す計22時間については学習効果が得られず,観測値と差異が現れた。

- ② 5月19日9時から16時の間,流向自体が大きく異なった。これは対象期間が小潮のピーク時に相当し,流れの変化よりも風向風速に関する予測上の変化が,教師値として寄与し過ぎたためと考えられる。
- ③ 5月19日17時から20日4時の間,約1時間の時間的遅延となった。これは②の誤った予測結果を引きずり,時間的学習が元に戻らなかったと推測される。
- ④ 5月20日12時から14時の間,約1knの流速差が出力された。主因は②と同様に風による外力の予測が大きすぎたためである。海洋上の潮流予測は海面に接する下層大気の量的変化が大きく寄与していると推察される。

## 6 まとめ

人間の脳の情報処理過程を参考にした学習機能を備えた予測手法を用いて,局地流向流速値の予測を試みた。予測値と観測値の比較から,教師データをさらに多く取り扱うことで,本件レベルの局地潮流予測はさらに精度を上げ,実用化できる予測手法となることが示唆された。しかし,平行して風及び波浪等の外力に関するある一定の高度な精度の維持が,必要不可欠な説明変数であることも明らかになった。また,現場から現地の観測情報をフィードバックし,これを繰り返し実施し,予報精度の向上を試みたが,今回対象とした海域の調査は現場海域での滞在が短期間で時間的余裕がなくフィードバックが十分にできなかった。しかしながら,調査が長期間に渡る場合はフィードバックの頻度が増え,予報精度の向上とともに,より実用に耐え得ることが可能となり得る。

今後 DP 船にて,潮流が速く,海底地形が複雑な海域で作業を実施する場合には局地潮流予測手法を用いることが,海上での作業効率と安全性の向上に繋がるものと考えられる。

## 謝辞

本調査にあたり,多大なご指導及びご協力を頂いた一般社団法人海洋調査協会の皆様に感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 岩下 遼 他:洋上風力発電施設の地盤調査船の実海域動揺計測,海洋調査技術学会 第31回研究発表会,2019
- 2) 岩下 遼 他:洋上風力向け地盤調査船「Stanford Hobby」の現地動揺計測による耐航性評価,海洋調査協会協会報,2020
- 3) 山田瑞熙 他:洋上風力地盤調査船の稼働性評価,第28回海洋工学シンポジウム,日本船舶海洋工学会・日本海洋工学会,2020