

### 3 大型耐久性浮漁礁の観測データを用いた琉球諸島周辺海域における吹送流解析

水谷学・小賀百樹（琉球大・理）・鹿熊信一郎（沖縄県水産課）

下条武（沖縄県水産海洋研究センター）

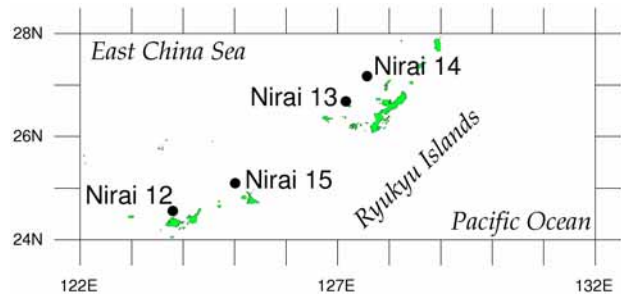
#### 1 はじめに

エクマンの理論では、定常的に同一方向に風が吹くと、吹送流の流向は北半球では海面で風向の右 45 度となる。しかし、現実の海洋では、理論に一致するエクマン流は容易に実現しない。現実の流れには、一般流、潮流、風波などの流れも重なり、吹送流だけを観測することは困難である。また定常性も必ずしも保証されていない。

水平方向に一様でない（移流のある）流速の鉛直分布を含めたさまざま流れの効果を入れた表層流を数値計算法により再現することは可能であるかもしれない。しかし、数値計算でのパラメータ（摩擦項など）の不確定さは残る。表層海洋の議論では、使いやすく、複雑でない吹送流（偏角・流速値）の推算モデルが必要であろう。単純な一次元表層スラブモデルを使用することで、風の変動に対する吹送流の応答特性をおおよそ把握することができる。また、このようなモデルでは、パラメータ設定や計算が単純で実用的である。

沖縄県水産試験場は、1995 年 6 月以降琉球諸島周辺海域に多数の大型耐久性浮漁礁（以下、ニライ）を設置（第 1 図）し、海上風と表層流を観測してきた。同実測資料を用いた鹿熊（2002）の解析によると、ニライ 13 号の 2000 年 4 月の吹送流は、風向の右 32 度、風速の 2.5% などの結果が得られている。

本研究では、ニライの観測データを使用し、それらに単純な一次元表層スラブモデルをあてはめることにより、風の変動に対する吹送流の応答特性等の把握を試みる。



第 1 図 大型耐久性浮漁礁（ニライ）の設置位置

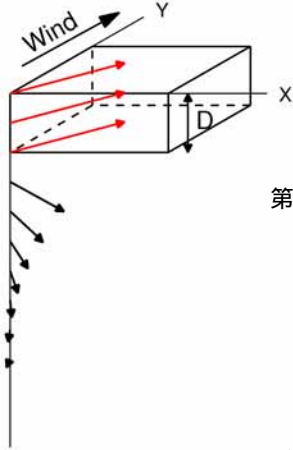
#### 2 使用データ

ニライには、風向風速計が海上 7m のデッキ上部に、流向流速・水温計が水深 4m 部に取り付けられ、1 時間ごとに観測される。本研究では、風と流れのデータが同時観測されているニライ 12（西表北）、13（粟国北）、14（伊平屋西）、15 号（宮古北西）の風向風速と流向流速の観測データを使用する。特に、観測期間（1999 年～2003 年）の中から、欠測やエラーの少ない期間のデータを選び、解析データとした（第 1 表）。1 日ないし半日の周期をもつ潮流の影響を除くため、風と流れのデータには 25 時間のバターース型ローパスフィルタをかけた。

第 1 表 各ニライの風速・流速のデータ期間。Curr. は流速，Wind は風速，実線が利用可能であるデータ期間を示す。

	1999												2000												2001												2002												2003												
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	
N12 Curr.																																																													
N12 Wind																																																													
N13 Curr.																																																													
N13 Wind																																																													
N14 Curr.																																																													
N14 Wind																																																													
N15 Curr.																																																													
N15 Wind																																																													

3 鉛直一次元表層スラブ (slab; 厚板) モデル  
 流向と流速を調節できる鉛直一次元表層スラブモデルを作成した。このモデルは、表層流を深さによらない流速をもつスラブ (厚さ: D) で近似する。スラブモデルのイメージを第 2 図に示す。



第 2 図 鉛直一次元スラブモデルのイメージ図。鉛直一次元スラブモデルの吹送流。表層スラブで単純化しているが、時間変化も扱いが比較的容易である。

導出の詳細は省略するが、この仮定のもとでは風による強制力 ( $U_0, V_0$ ) を外力とするスラブの流速 ( $U, V$ ) の方程式は(1), (2)式となり、線型周波数応答問題として取り扱うことができる (周期的に変化する強制力に対する吹送流の応答 (偏角, 振幅比) は解析的に解くことができ、結果は第 4 図のようになる)。モデルの実質的なパラメータは、摩擦の係数とスラブの厚さ D の二つである。式(3)に定義したように、 $\gamma$  はおもに拡散係数  $A_z$  を表現しなおしたものである。

$$\frac{\partial U}{\partial t} = fV + fU_0 - \gamma U \quad (1), \quad \frac{\partial V}{\partial t} = -fU + fV_0 - \gamma V \quad (2)$$

$$\gamma \equiv \frac{\rho_w A_z}{D^2} \quad (3), \quad U_0 \equiv \frac{\tau_{mx}}{\rho_w f D} \quad (4), \quad V_0 \equiv \frac{\tau_{my}}{\rho_w f D} \quad (5)$$

( $\rho_w$ : 海水の密度,  $A_z$ : 拡散係数,  $f$ : コリオリパラメータ (本海域の平均値;  $0.6355 \times 10^{-4}$  (1/s)),  $\tau_{mx}, \tau_{my}$ : 風応力)

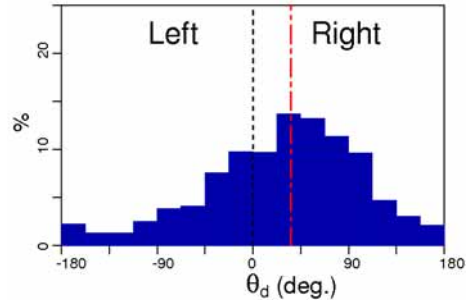
これらのパラメータは、モデル計算の結果が観測値に合うように決められる。なお方程式は線型で偏角の特性は流速の大きさ (パラメータ D) に強く依存しないので、手順としては観測から得られた偏角 ( $\theta_d = \text{流向} - \text{風向}$ ) に合うようにモデルの  $\gamma$  をまず決定し、次に D を決定する。

#### 4 解析方法・結果

##### (1) 観測より求められた吹送流の偏角

吹送流の寄与が大きいと期待できるデータ期間の

選択条件として、風速が大きく、偏角が -45 度  $\theta_d$  135 度 (明らかに吹送流的でない偏角データの除去) を考える。風速のしきい値を変え、観測値から吹送流の偏角の頻度分布を作成し、偏角の平均値をもとめる。風速のしきい値が大きい方が吹送流の寄与が大きいとはいえ、データ数もほどほど確保する必要もあり、風速を 9 m/s 以上とした。その結果、偏角の頻度分布 (第 3 図) はおおよそ正規分布を示し、平均値は風向の右 37.8 度となった。



第 3 図 観測された表層流の風向に対する偏角の頻度分布。一点鎖線は平均値を示す。

##### (2) 偏角から摩擦パラメータの推定

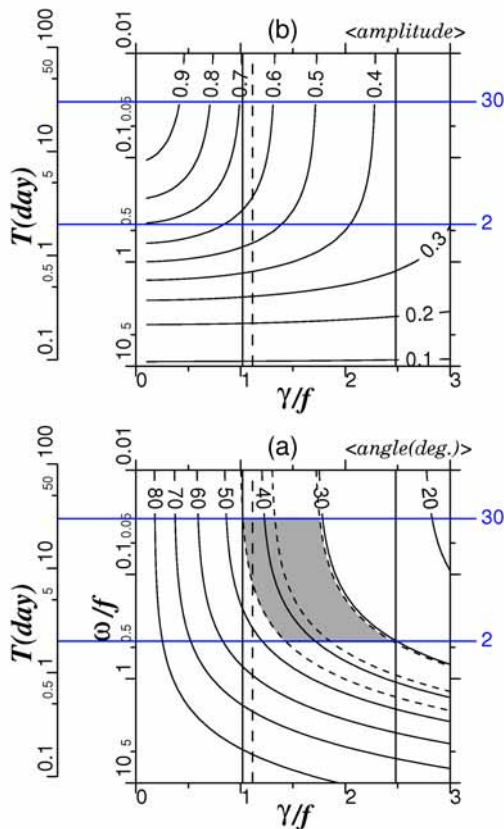
実測の風のデータを入力値として 1 ヶ月単位で 1 時間ごとの吹送流を計算し、(1) と同様の方法でモデルの吹送流の偏角の平均値を求める。実測の偏角 37.8 度に一致するモデルのパラメータ  $\gamma$  は  $1.11 \times f$  となる。ただし、この  $\gamma$  値を使用して再度吹送流を求めると、偏角分布の標準偏差は 7.4 度となった。この結果をモデルの周波数応答図に重ねて示せば第 4 図 (図中の影部分) のようになる。偏角が  $37.8 \pm 7.4$  度のとき、風の周波数域を 2 日から 30 日とすると、とりうる  $\gamma$  の値は  $(1.02 \sim 2.48) \times f$  となる。

##### (3) 厚板パラメータ D の推定

推定した  $\gamma = 1.11 \times f$  を用いモデル計算をし、流速の大きさが実測とモデルの計算結果の差が一番小さくなるようにパラメータ D を見積もった。その結果、月別の D の値は 5 ~ 14 m となり、平均値は 9.7 m となる。この値は流速計の設置深度 4 m の約 2 倍であり、表層流を流速計の設置深度を中央水深としたスラブにより近似したことに相当する。

風速に対するモデルの流速の比率は D の値に依存して変化し、およそ 1.0 ~ 2.7 % の値をとる。D の平均値 (9.7 m) に対しては、比率はおおよそ 1.4 %

となる。



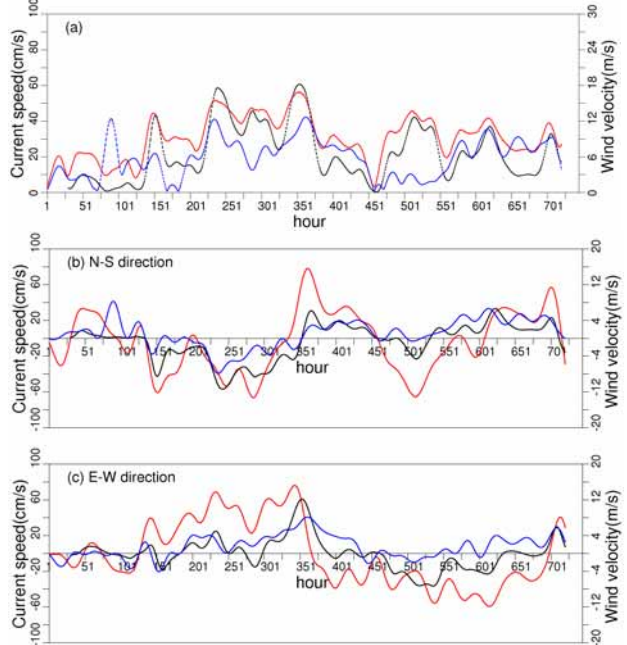
第4図 風向が周期的に変化するときのパラメータと風の周波数に対する(a)流速の偏角と(b)振幅比の関係。(b)は定常解の振幅に対する非定常解(周期変化する)の振幅比

#### (4) 吹送流の再現

モデル計算の整合性をみるために、推定したパラメータ ( $1.11 \times f$ ) と  $D$  の値 (9.7 m) を使用し、吹送流の再現をする。吹送流がよく再現されているか確認するため、流れの成分で吹送流の寄与が最も大きいと思われるニライ 15 号の 2001 年 9 月の 1 ヶ月のデータを使用する。風速と流速の変動のパターンをみるために、時系列を風速、流速の観測値と流速のモデル値を絶対値と南北・東西成分で第 5 図に示す。

(a) より、風速が大きくなっていくところでは、モデルの吹送流速は観測値の流速よりも大きくなる傾向がある。これは、2001 年 9 月には台風 16 号が琉球諸島周辺海域に長い間滞在しており、そのため風の効果が大きくでていると考えられる。(b) と (c) より、モデルの吹送流と観測値の流速のパターンは南北・東西成分でよく合っている。モデルの吹送流

と観測値の南北・東西成分に分けた流速の相関をとると、相関係数はそれぞれ南北成分では約 0.86、東西成分では約 0.69 となり、高い相関が得られた。これはパラメータの値が観測値の吹送流の偏角によく合っていることを示す。



第5図 ニライ 15 号の 2001 年 9 月におけるモデル計算による吹送流と観測値の風速と流速の 1 ヶ月間の時系列。黒線はモデル計算の吹送流、赤線は風速、青線は流速である。各図は (a) 絶対値、(b) 南北成分 (正は北向き)、(c) 東西成分 (正は東向き) を示す。

#### 5 まとめ

観測値から吹送流の偏角  $\theta$  は風向の右 37.8 度となり、そのときのスラブモデルのパラメータのとりうる範囲は解析解から  $1.02 \times f \sim 2.48 \times f$ 、数値解からは  $1.11 \times f$  となった。 $D$  の値は月別で若干の違いはあるものの約 10 m であり、観測深度 (4 m) の倍程度の表層スラブを考えたことになる。推定した  $\theta$  と  $D$  を使用し吹送流を再現した結果、モデルの整合性と偏角の妥当性が確認された。

今後の課題として、衛星の海上風のデータを使用し、琉球諸島周辺海域の吹送流の面的季節分布の再現を試み、その流況特性をみることがある。

#### 参考文献

鹿熊信一郎, 2002: 耐久性浮漁礁漁場の吹送流, 平成 12 年度沖縄県水産試験場事業報告書