# 対馬海峡における吹送流構造と 乱流フラックスの鉛直分布

吉川裕、松野健、丸林賢次、福留研一、和川拓

九大 応力研・総理工

レーダー研究集会 2006 – p. 1

# 観測結果:季節変動



対馬暖流の季節変動と吹送流の季節変動

# 吹送流研究の現状

### 先行研究

- エクマン理論と定性的に異なる結果も(Price et al. 1986)
- ♀ 実はよくわかっていない。

### 技術的課題

- 低い SN 比(signal=吹送流、noise=地衡流・潮汐・波の軌道運動)
  - 強い定常な風
  - 長期係留、長期漂流
- 境界層領域・内部領域ともに高密度データが必要





レーダー研究集会 2006 – p. 4



### <mark>解析期間(=ADCP</mark>計測期間) 2005/07/05 - 2005/07/21

#### **ADCP**

機種	(kHz)	計測層厚	層数	発信間隔	計測間隔	
RD	1200	0.2 m	<b>40</b>	10 sec	10 min	
RD	300	4 m	25	10 sec	10 min	
HFレー	·ダ					
機種	(MHz)	) 計測水深	層数	計測時間	計測間隔	
NJRC	24.5	0.98 m	40	<b>30 min</b>	1 hour	

### 風応力

- 気象庁メソ数値模型(GPV/MSM)再解析風速データ(6時間毎)
- Yelland and Taylor (1995)の抵抗係数



# 境界層流成分の抽出

- 計測値は内部領域流+境界層流(吹送流)
- 内部領域流は一様専断流と仮定して境界層流を抽出



# 風応力と境界層流成分



# 共変成分の抽出法

### (複素)主成分分析

- 風応力と各水深の相対流速をまとめて主成分分析
- 風応力に重みづけ
- 風応力と相対流速に時間差

$$C = W^{*t}W$$

$$W = (w_1, w_2, \cdots, w_K)$$

$$w_1 = \frac{K - 1}{RMS(\tau_x^{n'}, \tau_y^{n'})} \begin{pmatrix} \tau_x^{1'} + i\tau_y^{1'} \\ \tau_x^{2'} + i\tau_y^{2'} \\ \vdots \end{pmatrix}$$

$$w_2 = \frac{1}{RMS(u_{1\,m}^n, v_{1\,m}^n)} \begin{pmatrix} u_{0.5\,m}^1 + iv_{0.5\,m}^1 \\ u_{0.5\,m}^2 + iv_{0.5\,m}^2 \\ \vdots \end{pmatrix}$$

### 第一主成分構造

基準深度:18m、基準シアー:18m~58mのシアー、時間差:11時間





## 第二主成分構造



- 風速の最解析データと現場データとの不整合
- 風・抵抗係数の不確定性
- 風応力に対する非準定常応答成分

#### 地衡流成分

● 波の軌道運動流速

悩ましいところ

基準深度に対する依存性

#### エクマン輸送(振幅・流向)比較

	S											
	D =24 m		D =32 m		D = <b>40 m</b>		D =48 m		D = <b>56 m</b>			
$z_r$	r	$\Delta \theta$	r	$\Delta \theta$	r	$\Delta \theta$	r	$\Delta \theta$	r	$\Delta \theta$		
10					0.29	41.8						
14					0.70	15.2						
18	0.89	-3.4	0.97	-1.4	1.01	0.4	1.00	3.0	1.01	5.2		
22					1.27	1.7						
26					1.54	9.5						

振幅比 = 推定值 / 理論値 方向差 = 推定値 - 理論値

# 基準流速・時間差に対する依存性

説明分散比

### 流速の説明分散比



# 基準流速・時間差に対する依存性

エクマン輸送振幅比 エクマン輸送方向差 d С 2.0 60 40 1.5 angle (deg) ratio 20 1.0 0 0.5 -20 10 15 5 20 5 10 15 20 0 25 0 25 time lag (hour) time lag (hour)

振幅比 = 推定值 / 理論値 方向差 = 推定値 - 理論値

# 内部流動構造の推定

### 内部領域流 + 吹送流



# 内部流動構造の推定



## 推定に関する諸問題

レーダー観測結果の数値モデルへの同化

- レーダーの観測結果を直接同化するのでは無く、境界層における鉛直構造を加 味して同化する必要あり
  - 長周期: 吹送流が主要な鉛直シアーの構成因子
  - 単周期:吹送流だけでもなさそう
- 毎時データでは分散誤差が大きい

- <mark>データ同化にむけて</mark>

- モデルの高解像度化(鉛直)
- データ同化に向けてのレーダーデータの適用可能範囲の見極め
- 鉛直粘性係数の分布

鉛直粘性係数

$$-fw = \frac{\partial \tau}{\partial z}, \quad \tau = \nu \frac{\partial w}{\partial z}$$

レイノルズ応力





# Madsen (1977)

### 流速ベクトルのホドグラフ

### 表層流速ベクトルの時間発展



FIG. 1. Vertical velocity structure of a pure drift current in an infinitely deep homogeneous ocean of infinite lateral extent, comparing the turbulent Ekman spiral  $(\bullet)$  and the classical Ekman spiral (+).

非回転 壁乱流を応用:
$$u=\kappa u_*z$$



FIG. 2. The temporal development of the surface drift current due to a suddenly applied uniform surface shear stress. Time from time of application is indicated in pendulum hours. The present eddy viscosity model is shown by solid circles and Fredholm's classical solution by plus signs.



波浪の影響は無いか?

# Zikanov et al. (2003)



#### レーダー研究集会 2006 – p. 20



### 乱流強度の実測から鉛直粘性係数の推定 <mark>微細構造プロファイラー</mark>



投入の様子



レーダー研究集会 2006 – p. 21



### 結果

- 海面近傍の流動構造を高分解能で観測
- エクマン螺旋を検出(複数の測器+主成分分析)
- ▲ 風の及ぶ深さは 20 m 程度(低塩分水の厚さと同程度?)
- 風と流速の時間差は11時間程度(慣性周期の半分)

### 考察

- 鉛直粘性係数は海面近くで増加( ≠ Madsen (1971))
   ⇒ 表層での漂流方向の推定に重要
  - 增加:  $arg(風向, 漂流方向) \geq 45^{\circ}$
  - 減少: arg(風向,漂流方向) ≤ 45°
- エクマン境界層内に一様層
   ⇒ エクマン螺旋の不安定を示唆
  - 変曲点不安定
  - 振動流不安定

風による混合を理解する上で重要

ADCP・レーダー比較

**N1** 





回転スペクトル





水温



レーダー研究集会 2006 – p. 26

### 観測経過

- **2005/07/05 08:00** 長崎大学実習船 長崎丸で投入
- **2005/07/20 08:00 1200kHz ADCP**計測停止(電池切れ)
- **2005/07/21 08:00 300kHz ADCP**計測停止(電池切れ)
- 2005/07/30 05:00 オーブコム通信途絶
- 2005/08/10 筏転覆復旧(九大農学部わかすぎ)通信アンテナ破損確認
- **2005/08/16** 長崎大学実習船 長崎丸で回収

#### Cross Loop Antenna (CODAR)



### 青海局(C5)13.9 MHz

#### Array Antenna (NJRC)



赤島局(N1)24.5 MHz

### 観測結果:季節変動



#### レーダー研究集会 2006 - p. 29

## 第二主成分時間変化

