

EX19705 (大阪大学推薦課題)

Joint Usage / Research Center for Interdisciplinary Large-scale Information Infrastructures

牛島悠介 (京都大学 理学研究科)

密度成層・地球自転存在における海洋表層乱流混合パラメタリゼーションスキームの開発



要約

圧力歪み速度相関のパラメタリゼーションを検証した。
パラメタリゼーションの係数を定数とする仮定は不十分。

安定度に依存

無次元パラメータの導入 (P_s^*, P_b^*)

流速の再現性の向上

1. 研究背景

圧力-歪み速度相関; Pressure-Strain Correlations (PSCs)

$$\Phi_{ij} \equiv \frac{p}{\rho_0} \left(\frac{\partial u_j}{\partial x_i} + \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) \quad \begin{matrix} p: \text{圧力の水平平均からのずれ} \\ u_i: \text{流速の水平平均からのずれ} \end{matrix}$$

⇒ 運動量フラックス ($\overline{u_i w}$) ($D\overline{u_i w}/Dt = \Phi_{i3} + \dots$)

⇒ V流速プロファイル ($DU_i/Dt = \dots - \partial \overline{u_i w}/\partial z$)

⇒ 物質輸送, 水温, etc...

しかし

海洋大循環モデルではPSCを直接計算できない(解像度の問題)
パラメタライズされている

正確?

PSCのパラメタリゼーション vs LESで直接計算したPSC
(PSCを陽に再現可能なモデル)

従来のPSCのパラメタリゼーションを検証

2. PSCのパラメタリゼーション

PSCのパラメタリゼーション

$$\Phi_{ij} \approx -\frac{C_0}{\tau_q} \left(\overline{u_i u_j} - \frac{\overline{u_k u_k}}{3} \delta_{ij} \right)$$

$$\tau_q \equiv \frac{\overline{u_k u_k}}{\varepsilon} \quad \varepsilon: \text{乱流散逸率}$$

$$+ C_1 \overline{u_k u_k} \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right)$$

$$+ C_2 \left(\overline{u_j u_k} \frac{\partial U_i}{\partial x_k} + \overline{u_i u_k} \frac{\partial U_j}{\partial x_k} - \frac{2}{3} \overline{u_k u_l} \frac{\partial U_k}{\partial x_l} \delta_{ij} \right)$$

$$+ C_3 \left(\overline{u_j u_k} \frac{\partial U_k}{\partial x_i} + \overline{u_i u_k} \frac{\partial U_k}{\partial x_j} - \frac{2}{3} \overline{u_k u_l} \frac{\partial U_k}{\partial x_l} \delta_{ij} \right) \quad U_i: \text{平均流速}$$

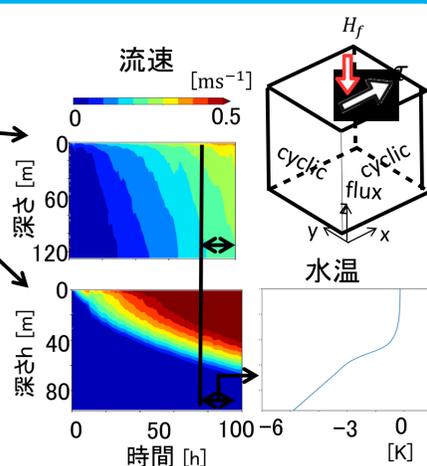
$$- C_4 \left(\overline{u_i b} \delta_{j3} + \overline{u_j b} \delta_{i3} - \frac{2}{3} \overline{wb} \delta_{ij} \right) \quad b: \text{浮力の平均からのずれ}$$

* C_n 海洋大循環モデルのパラメタリゼーションでは定数を仮定
(e.g. Mellor and Yamada 1982; Nakanishi and Niino 2009)

3. 数値実験 (LES)

ケース	風 [Nm ⁻²]	熱 [Wm ⁻²]	成層 [$\times 10^{-2} \text{s}^{-1}$]
風	0.1	0	0
風 + 成層	0.1	0	1.0
風 + 加熱	0.1	50	0
風 + 冷却 + 成層	0.1	-200	1.0
冷却 + 成層	0	-200	1.0

* 地球回転なし

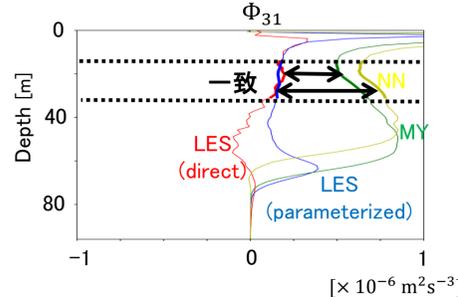


4. 安定度依存性

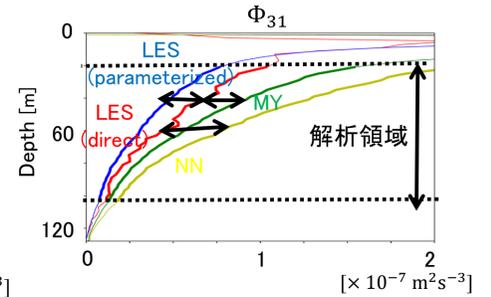
直接計算したPSC vs PSCのパラメタリゼーション

$$C_n \quad \begin{matrix} \text{最小二乗法} \\ \left(\begin{matrix} C_0 = 2.4 & C_1 = -0.19 \\ C_2 = 0.59 & C_3 = 0.21 & C_4 = 0.23 \end{matrix} \right) \end{matrix}$$

風 + 成層



風



MY: Mellor and Yamada (1982)
NN: Nakanishi and Niino (2009)

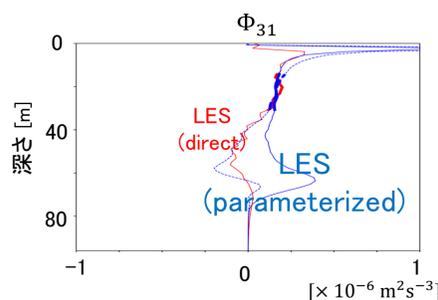
C_n : 安定度に依存?

5. パラメタリゼーションへの安定度の導入

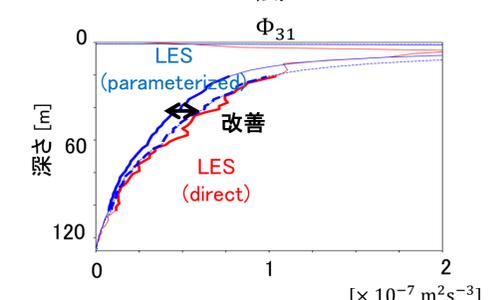
$$C_n \text{ に } P_s^*, P_b^* \text{ を導入} \quad \left(P_s^* \equiv -\overline{uw} \frac{\partial U}{\partial z} / \varepsilon, \quad P_b^* \equiv \overline{wb} / \varepsilon \right)$$

$$\begin{matrix} C_0 = 2.3 + 0.18P_s^* + 0.80P_b^* \\ C_1 = 0.058 - 0.25P_s^* - 0.21P_b^* \\ C_2 = 0.71 - 0.26P_s^* - 0.75P_b^* \\ C_3 = -0.036 + 0.28P_s^* + 0.39P_b^* \\ C_4 = 1.1 - 0.72P_s^* - 0.53P_b^* \end{matrix}$$

風 + 成層



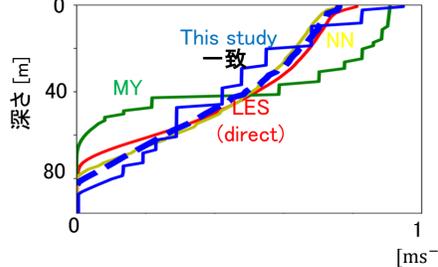
風



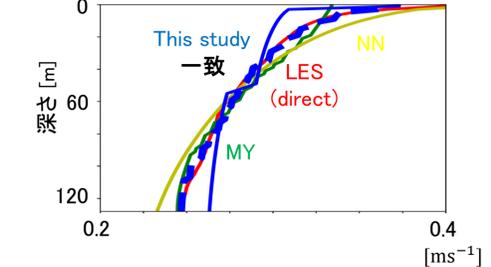
— 定数 C_n を用いたパラメタリゼーション
- - - $C_n(P_s^*, P_b^*)$ を用いたパラメタリゼーション (安定度依存)

$C_n \Rightarrow$ NNモデル
LES vs 1D数値実験

速度



速度



— 定数 C_n 用いたPSCパラメタリゼーション
- - - $C_n(P_s^*, P_b^*)$ を用いたPSCパラメタリゼーション (安定度依存)

安定度に依存した係数($C_n(P_s^*, P_b^*)$)を用いたPSCパラメタリゼーション

流速プロファイルの再現性の向上