

# 数値実験による東京湾の 海水交換に関する検討

～卒業論文発表～

指導教官 藤野 正隆 教授

東京大学工学部船舶海洋工学科4年

多部田 茂 助教授

千足 浩平

# 研究の背景

- 東京湾の水質汚濁の問題



湾内の水質には海水交換の働きが重要

- 地球規模の物質循環の一端を担う海水交換
- 実態の把握が困難な海水交換
  - 流速分布の直接計測は規模が大きくて困難
  - 単純なモデルでの評価が主流(ボックス法、フラックス法)
- 流動モデルによる数値シミュレーションの利用

# 研究の目的

- 東京湾の海水交換の仕組みを理解し、環境変化による海水交換への影響を予測する

## 季節平均場における海水交換

鉛直循環流（夏季、冬季の平均的海水交換）

## イベント現象における海水交換

強風、大雨、台風（数日間の海水交換）

# 研究の流れ

- 鉛直循環流量の推定に関して、ボックスモデルによる推定値と比較する
  - 夏季と冬季の鉛直循環流
- 数値実験による推定値の計算条件の違いによる傾向を考察する
  - 河川流量の違いによる影響
- イベント現象時の海水交換を見るために、仮想変数を導入して、その減少率から海水交換率を定量する
  - 単純な4方位の強風に対して
  - 大雨による河川流量の増大に対して
  - 実際の台風時の観測データに対して

# 支配方程式

- 連続の式

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$$

- NSの式

$$\frac{Du}{Dt} = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial x} + fv + A_M \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_M \frac{\partial u}{\partial z} \right)$$

$$\frac{Dv}{Dt} = -\frac{1}{\rho_0} \frac{\partial p}{\partial y} - fu + A_M \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_M \frac{\partial v}{\partial z} \right)$$

$$0 = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} - g$$

- 移流拡散の式

$$\frac{DF}{Dt} = A_C \left( \frac{\partial^2 F}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 F}{\partial y^2} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \frac{K_C}{\delta} \frac{\partial F}{\partial z} \right) + \Delta R$$

$u, v, w$ :  $x, y, z$ 方向の流速

$p$ : 圧力

$\rho$ : 海水の密度

$g$ : 重力加速度

$\rho_0$ : 標準の海水密度

$f$ : コリオリパラメータ

$A_M$ : 水平渦動粘性係数

$K_M$ : 鉛直渦動粘性係数

$F$ : 水温または塩分濃度

$A_C$ : 水平渦拡散係数

$K_C$ : 鉛直渦拡散係数

$$\delta = \begin{cases} 0 & (\partial\rho/\partial z > 0) \\ 1 & (\partial\rho/\partial z \leq 0) \end{cases}$$

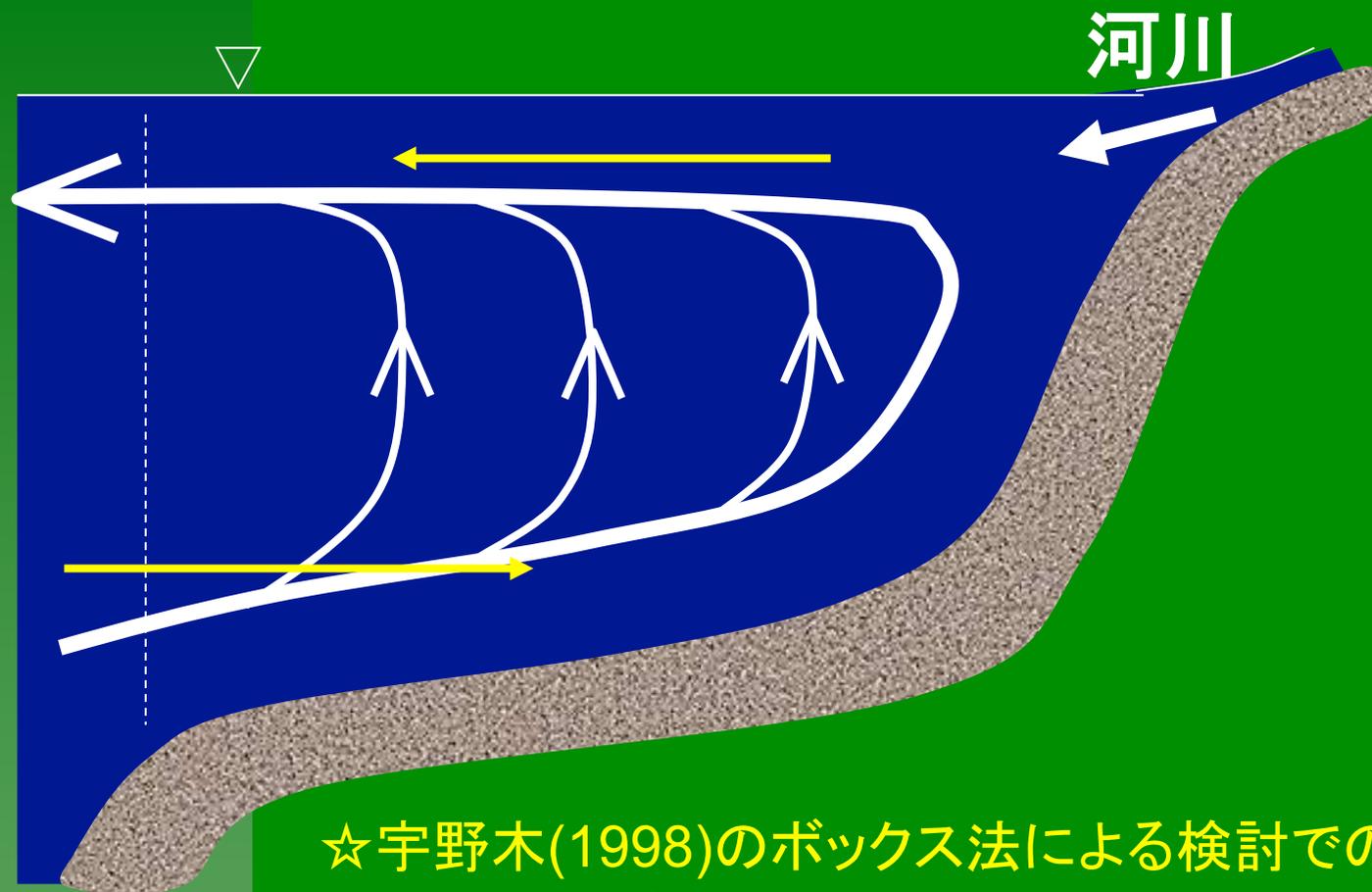
$\Delta R$ は河川の境界条件

# 境界条件

	流速	熱収支	塩分収支
陸地	法線方向0 平行成分free-slip	0	0
河川	流量	水温	塩分濃度0
開境界	潮汐(振幅、周期) 法線方向勾配0	水温 (時間一定)	塩分濃度 (時間一定)
海底	海底摩擦応力	0	0
海面	風の応力	バルク公式※	降水、蒸発

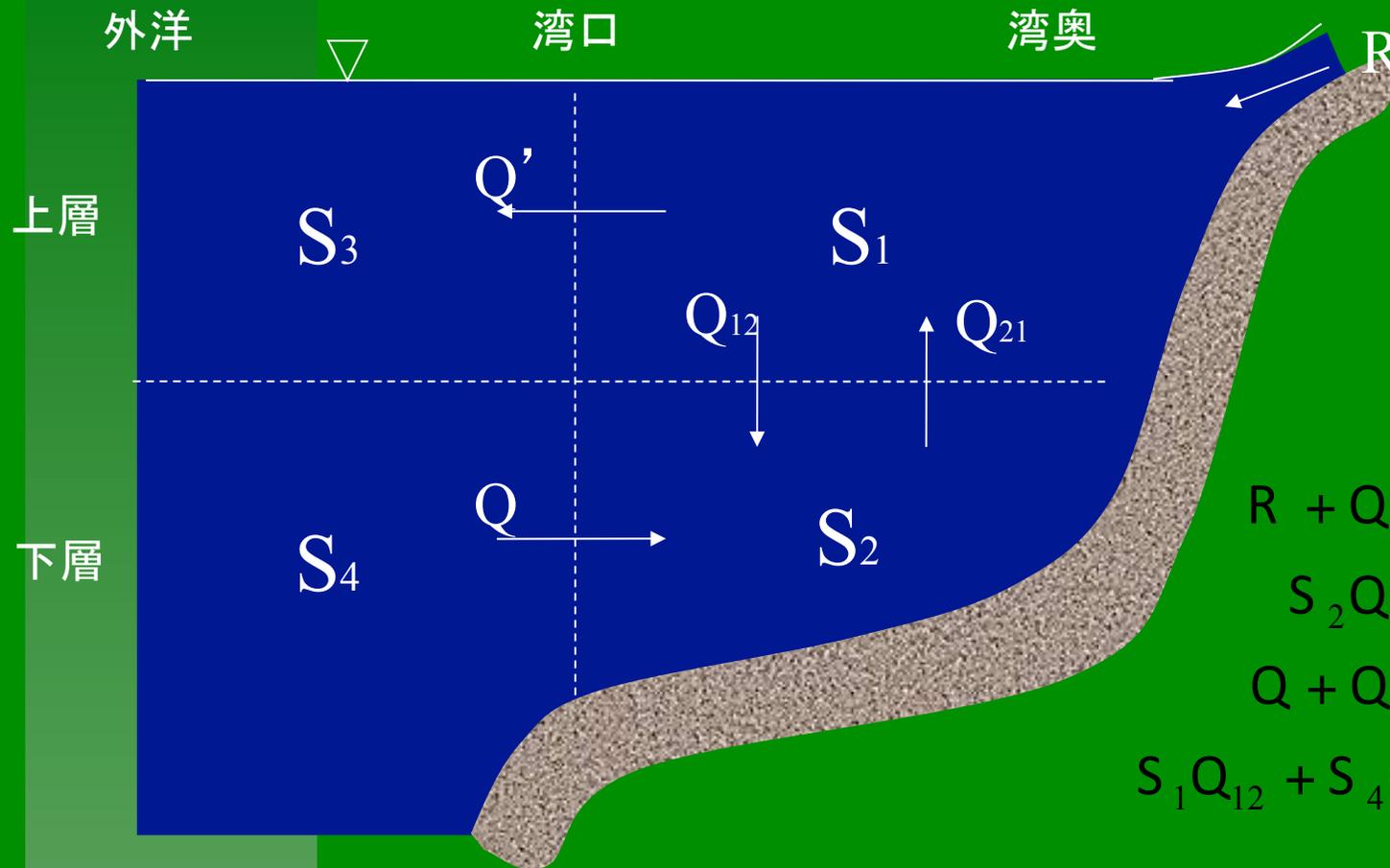
※短波放射、長波放射、潜熱輸送、顕熱輸送

# 鉛直循環流



☆宇野木(1998)のボックス法による検討での見解  
河川の取水が海水交換に悪影響を及ぼすのではないか  
cf.三河湾における豊川用水

# ボックスモデル



$$R + Q_{21} = Q' + Q_{12}$$

$$S_2 Q_{21} = S_1 (Q_{12} + Q')$$

$$Q + Q_{12} = Q_{21}$$

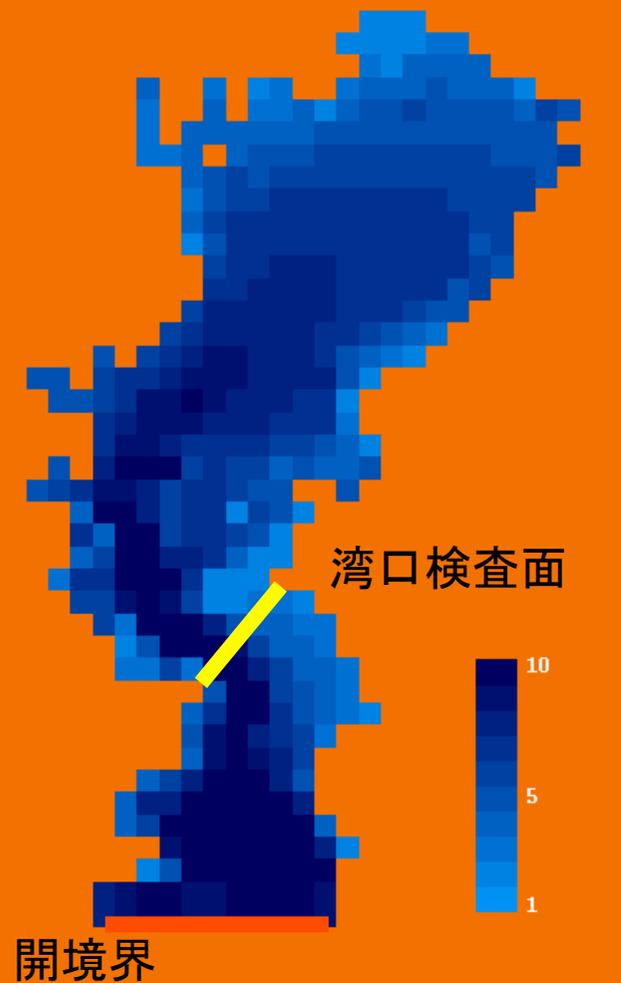
$$S_1 Q_{12} + S_4 Q = S_2 Q_{21}$$

$$Q = RS_1 / (S_4 - S_1)$$

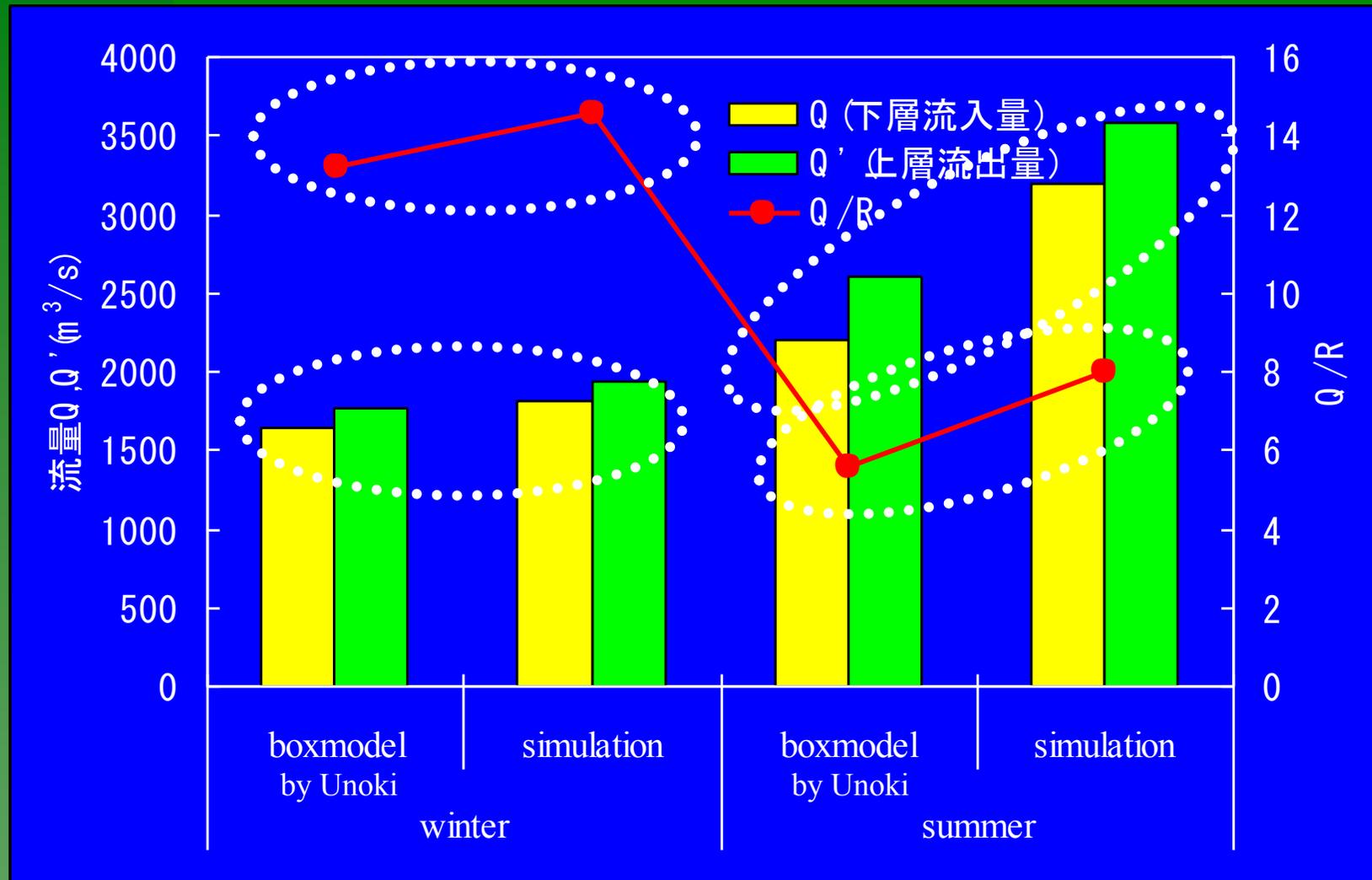
# 東京湾の地形



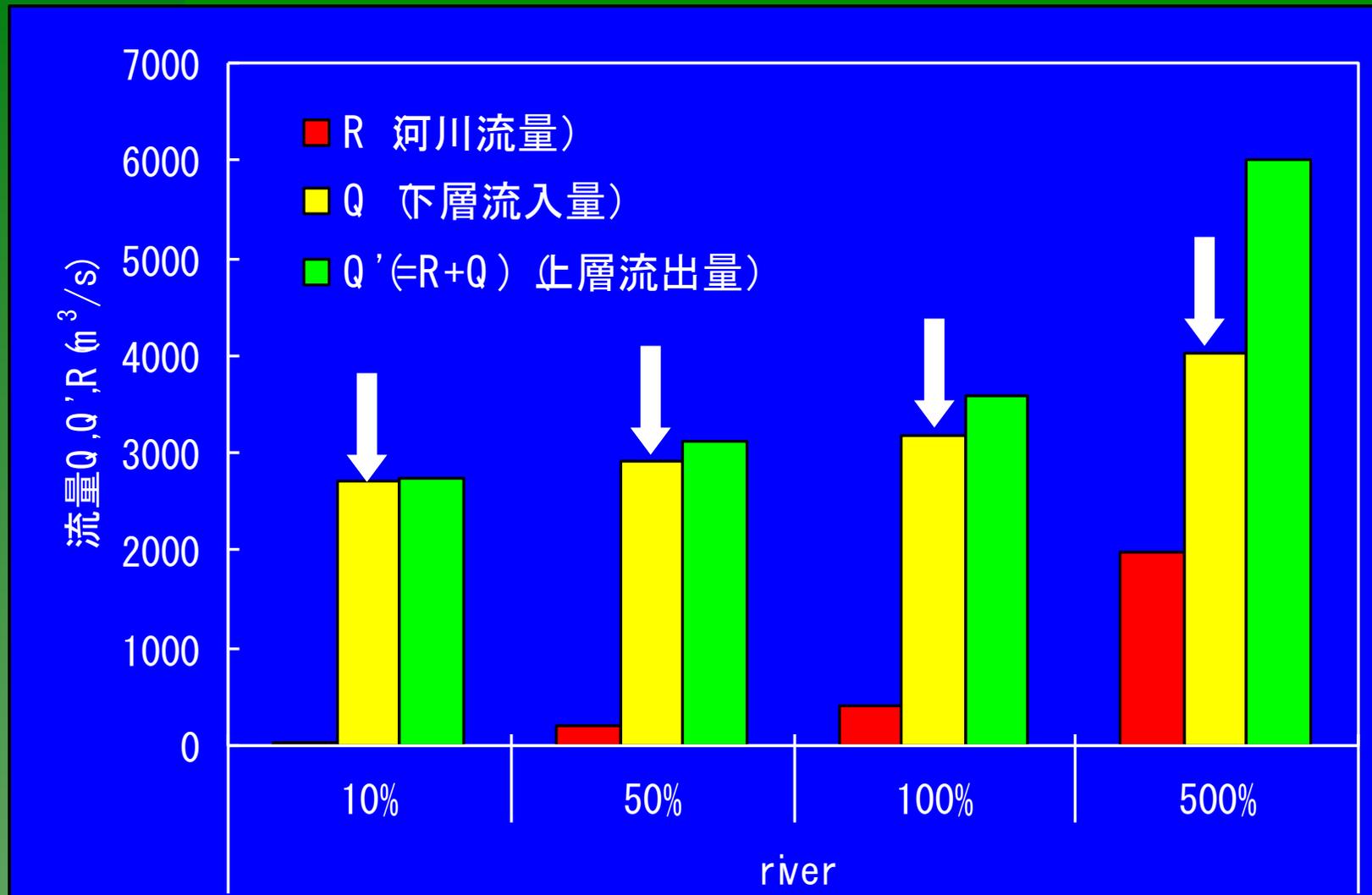
## メッシュ分割



# ボックス法と流動モデルの比較



# 河川流量の変化の影響



# 鉛直循環流量に関するまとめ

- 鉛直循環流量

- 夏季 大  小 冬季

- 鉛直循環流量と河川流量の比

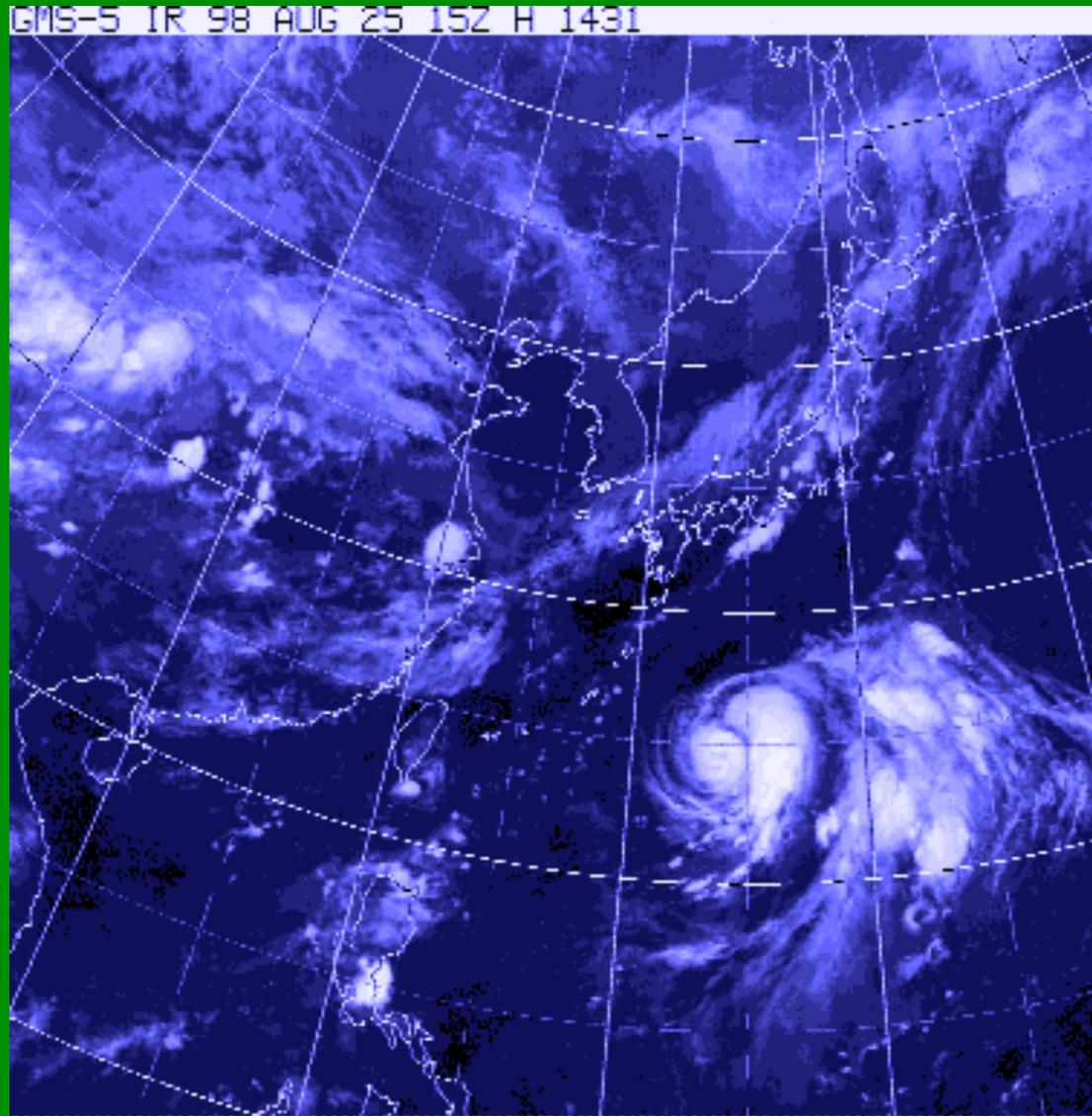
- 夏季 小  大 冬季

→ ボックスモデルによる推定と一致

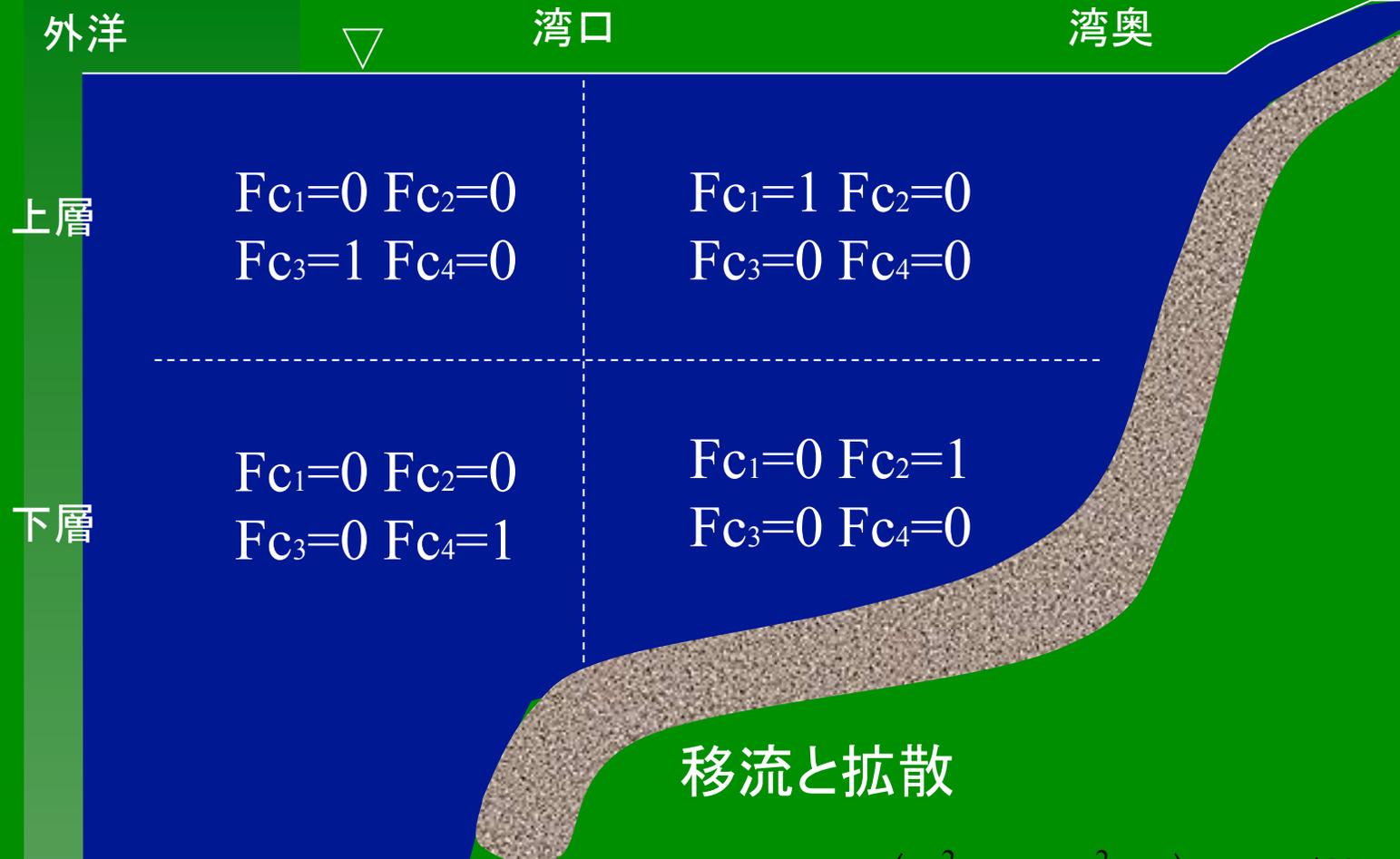
- 河川流量の変化と鉛直循環流

- 河川流量が大きい方が鉛直循環流も大きい
  - ただし、影響量は小さい

# イベント現象における海水交換



# 仮想変数の導入



$$F_{c1}=0 \quad F_{c2}=0$$

$$F_{c3}=1 \quad F_{c4}=0$$

$$F_{c1}=1 \quad F_{c2}=0$$

$$F_{c3}=0 \quad F_{c4}=0$$

$$F_{c1}=0 \quad F_{c2}=0$$

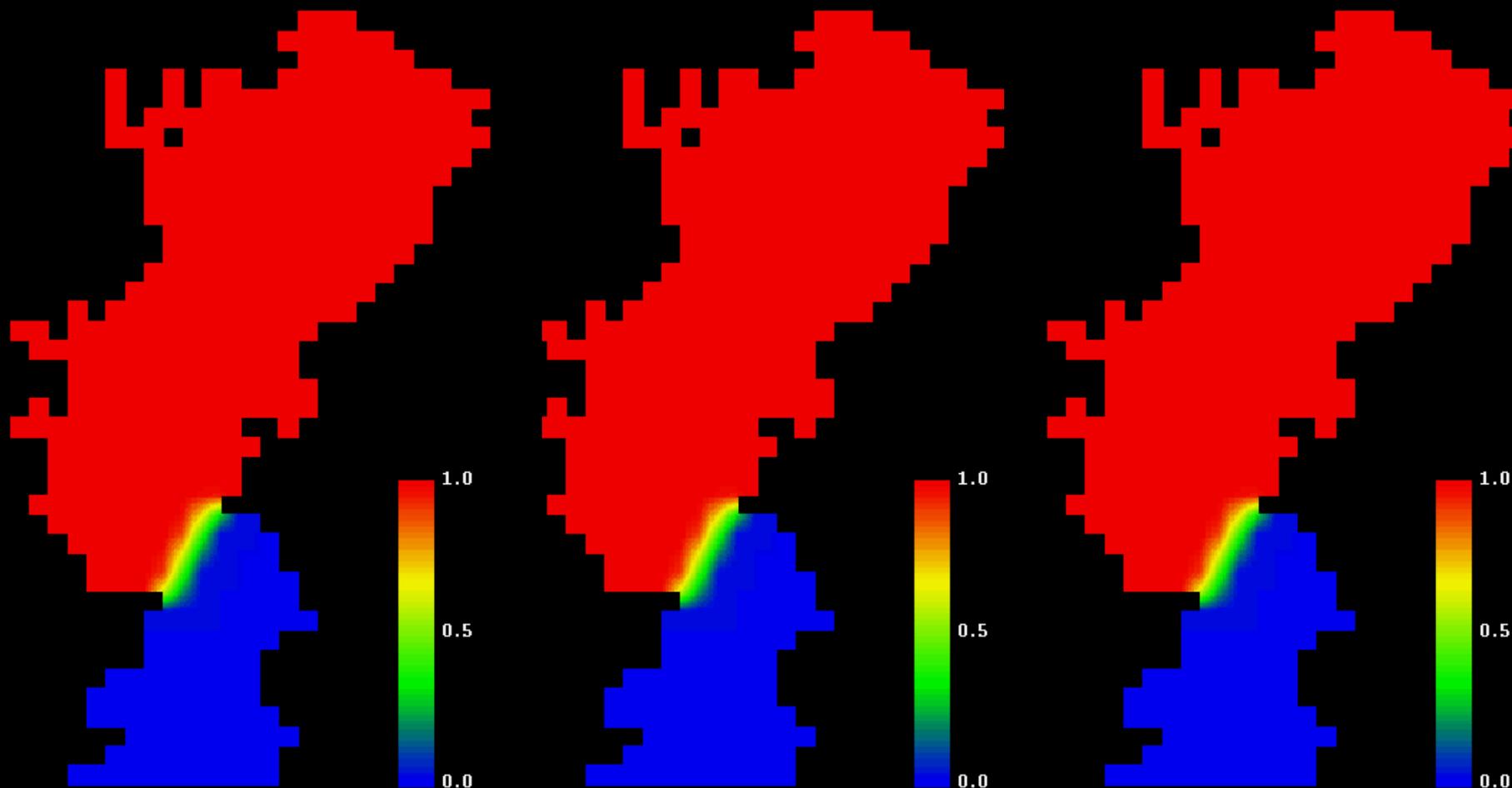
$$F_{c3}=0 \quad F_{c4}=1$$

$$F_{c1}=0 \quad F_{c2}=1$$

$$F_{c3}=0 \quad F_{c4}=0$$

$$\frac{DFc}{Dt} = A_c \left( \frac{\partial^2 Fc}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 Fc}{\partial y^2} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \frac{K_c}{\delta} \frac{\partial Fc}{\partial z} \right) + \Delta R$$

# 強風による海水交換への影響



西風(10m)

無風

東風(10m)

# 大雨による海水交換への影響

標準 (1.27日)



河川10倍 (1.27日)



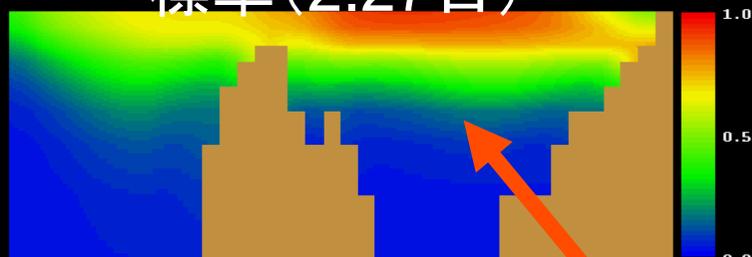
標準 (1.77日)



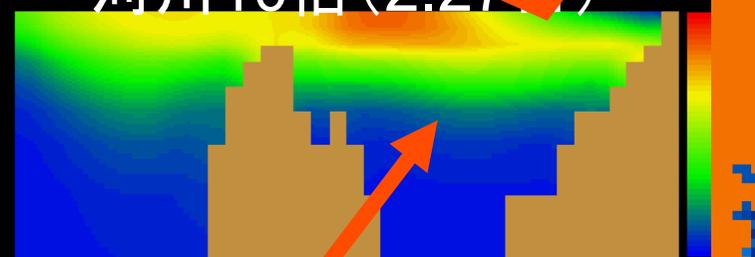
河川10倍 (1.77日)



標準 (2.27日)

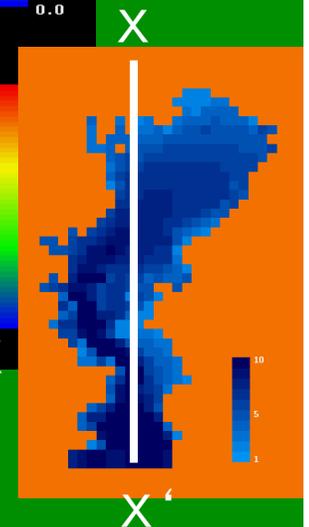


河川10倍 (2.27日)



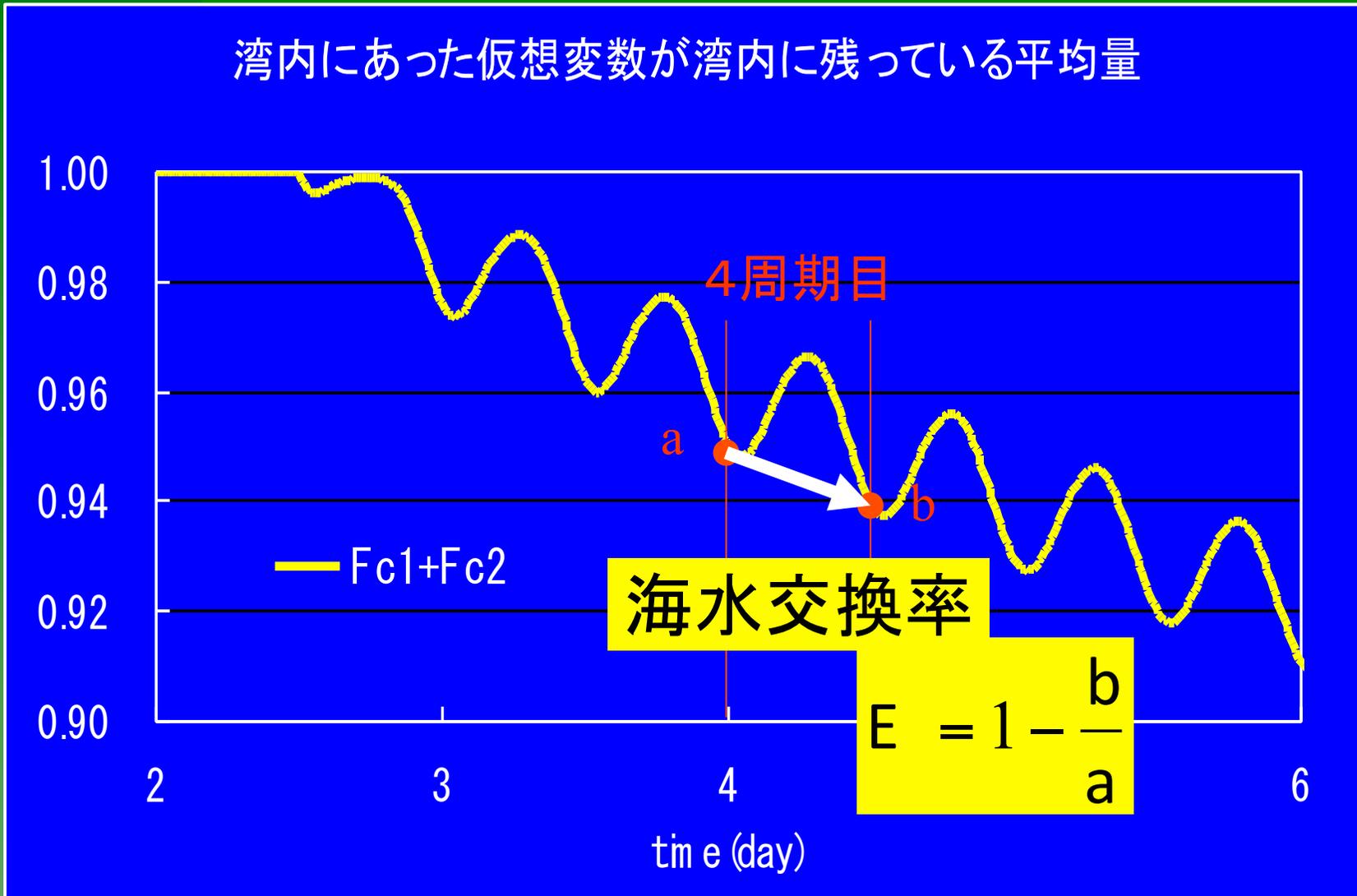
鉛直混合は同程度

検査断面

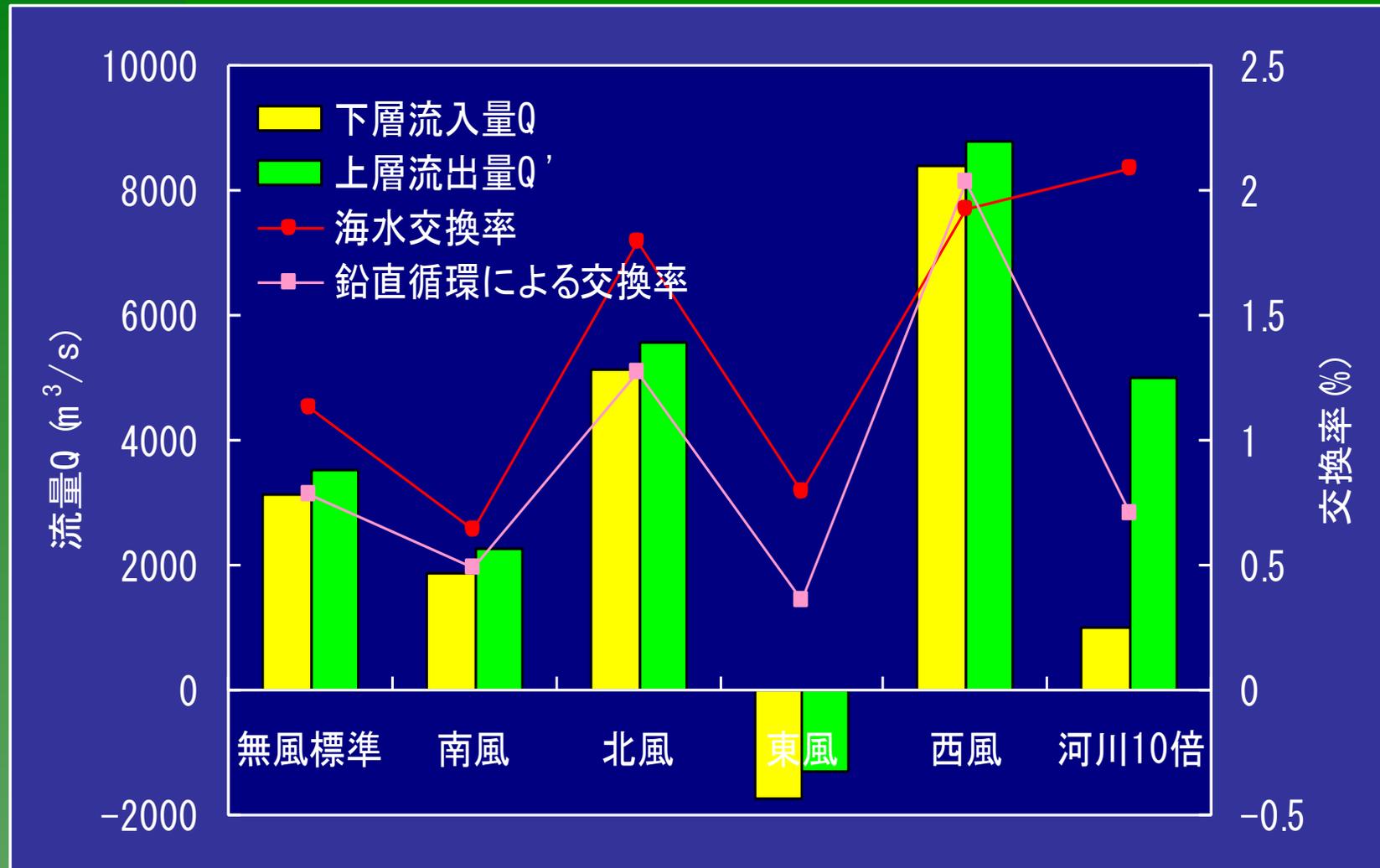


# 海水交換率の定義

湾内にあった仮想変数が湾内に残っている平均量

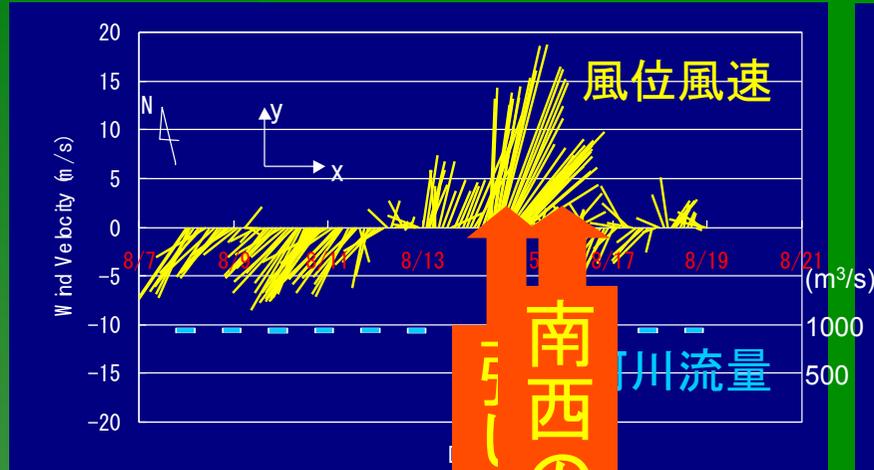


# 鉛直循環流と海水交換率

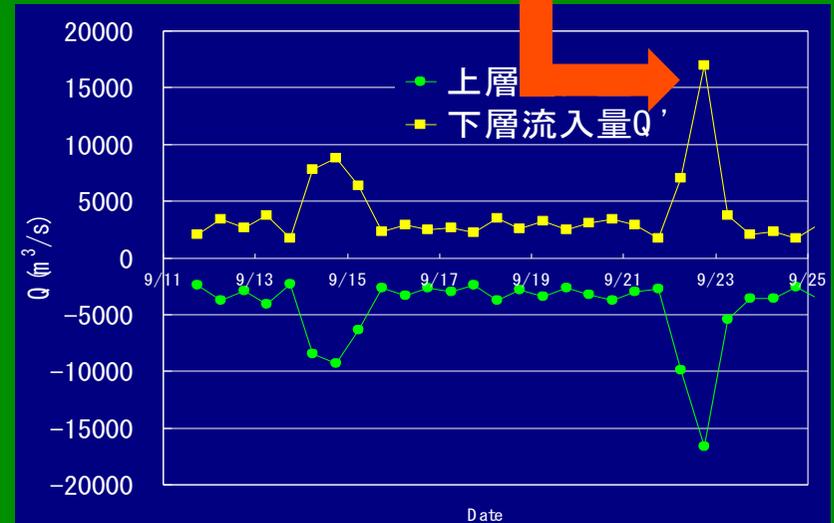
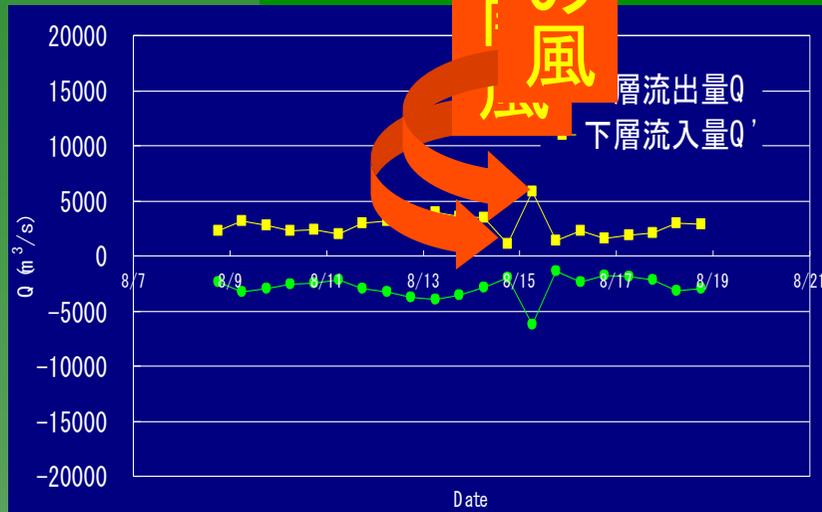
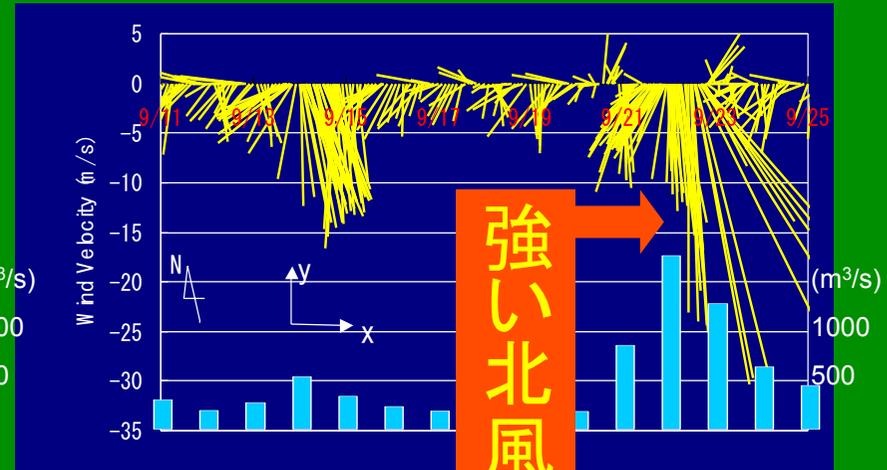


# 台風が通過したときの海水交換

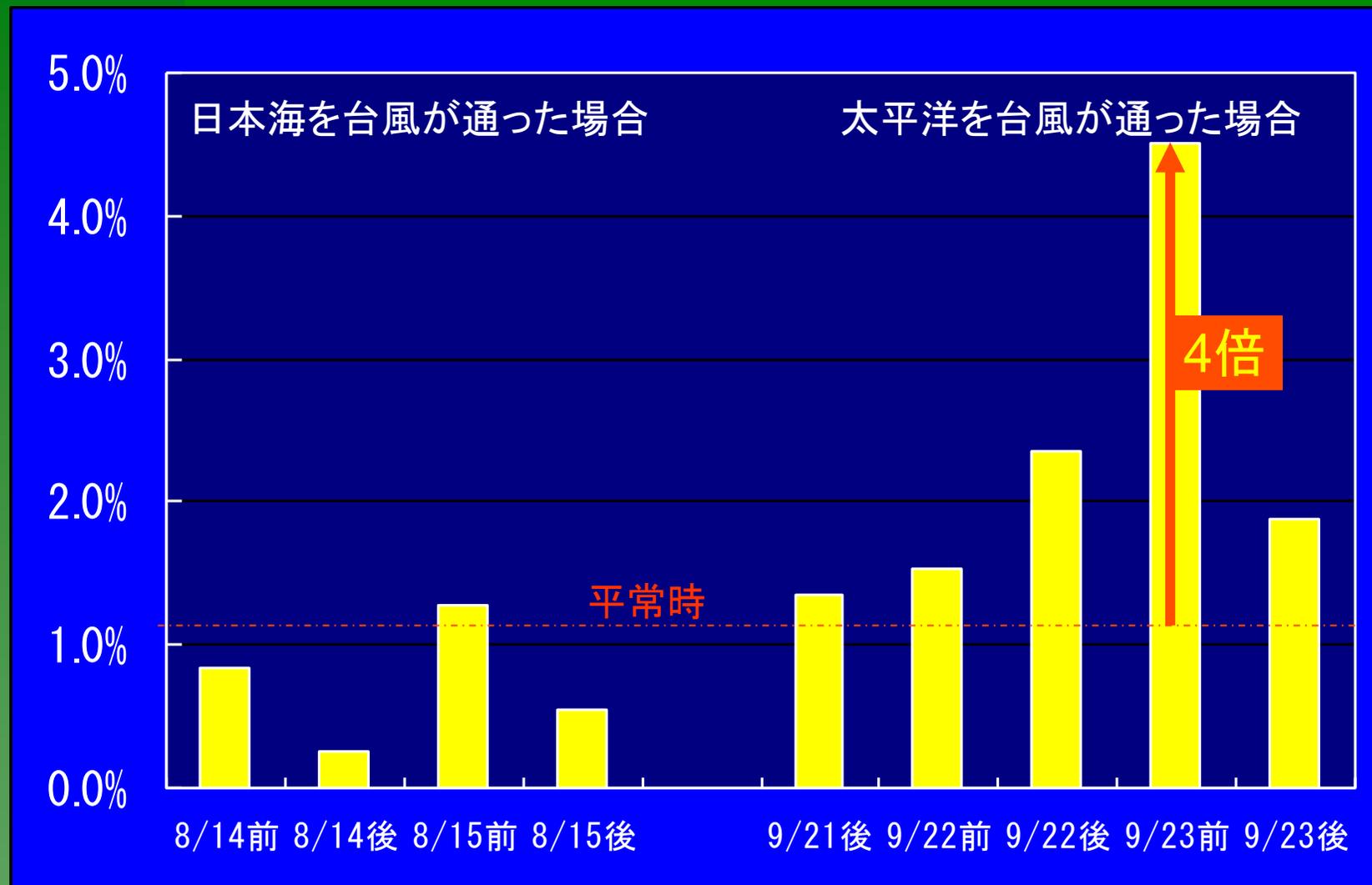
日本海を台風が通った場合(1996)



太平洋を台風が通った場合(1996)



# 台風時の海水交換率



# 結論

- 鉛直循環流量は河川流量の夏場で8倍、冬場で15倍であり、ボックスモデルの傾向と一致した。
- 河川流量の変化に対し、鉛直循環流は影響を受けるが、変化量は元の鉛直循環流と比して高い割合ではなかった。
- 風向によって海水交換は違った影響を受け、鉛直循環流量と高い相関を示した。
- 台風の影響で、海水交換が平常時の数倍になる可能性がある。