

海洋深層水の
藻場造成への活用に関する
実験と数値シミュレーション

多部田研究室 高橋祐人

研究背景① 海洋深層水の活用

深層水の3つの特長

- 低温安定性
- 清浄性
- 富栄養塩性

海洋温度差発電

- 低温安定性の利用

食品・化粧品化

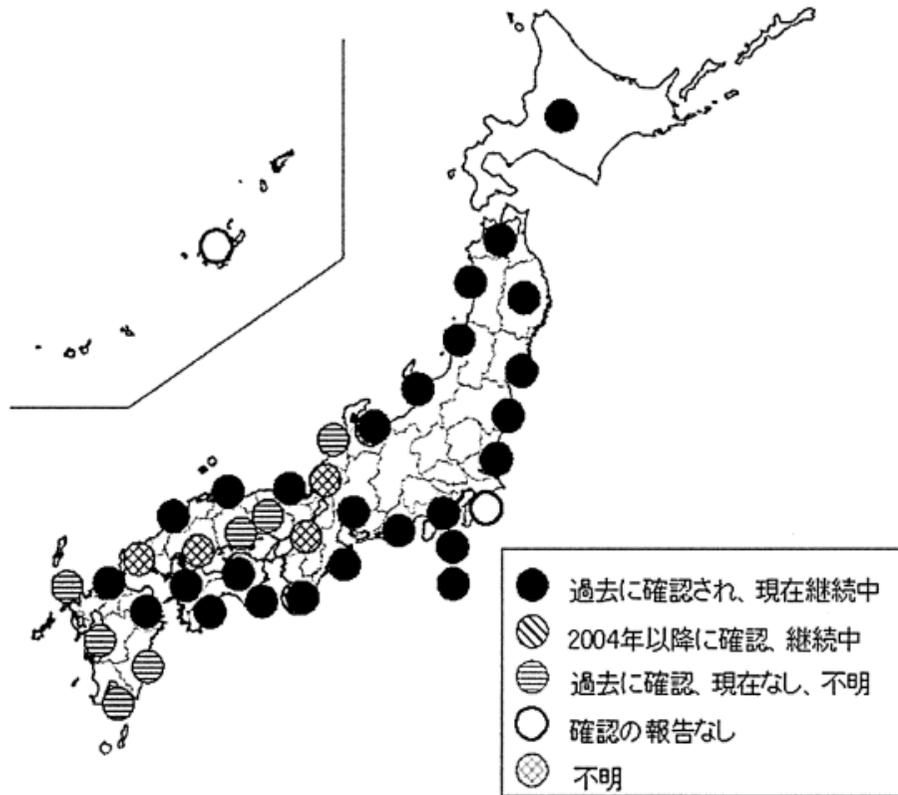
- 清浄性の利用

環境修復

- 富栄養塩性の利用

•
•
•

研究背景② 磯焼けの進行



磯焼けの主な要因

- 栄養塩不足
- 高水温
- 光不足
- 浮泥堆積
- 食害
- 静穏化

全国の磯焼け状況(桑原ら、2006より引用)

既往研究と本研究の目的

- シミュレーションにより深層水放流に藻場造成効果ありと推定
(新エネルギー・産業技術総合開発機構、1998～2003)
- シミュレーションにより深層水の拡散防止措置が必要と示唆
(瀬戸ら、2001)
- 同プロジェクト内にて実験開始
(有井2014年度卒業研究)

- 実海域において深層水の安定的滞留と海藻の生長促進効果を実証すること
- 数値モデルを構築しシミュレーションによる検討を行うこと

久米島での実証実験

水深600m付近より取水



コンテナ：
2.4m × 3.0m × 0.8m

海洋温度差
発電設備

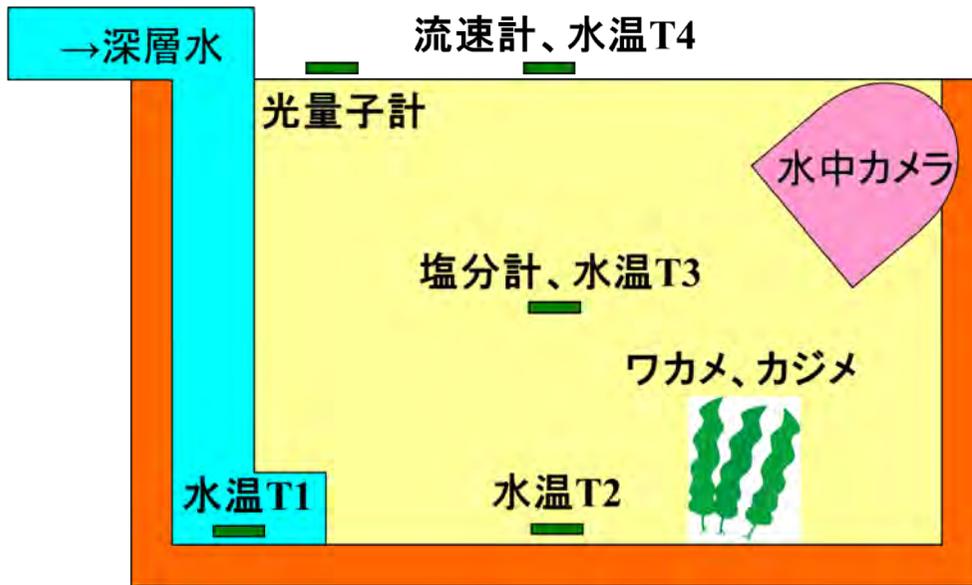


久米島での実証実験

- 両区にワカメ・カジメの植え付け
 - 壁面に断熱材、上面に魚類などによる食害防止ネットつき
 - 深層水注入量: 58トン/日(コンテナ約10杯分/日)、その1/2、1/4
- 計測:
- 水温、水平方向流速、塩分濃度、光量
→通年で計測(2014年12月～2016年2月現在)
 - 栄養塩濃度
→2週間に一度程度サンプリング、オートアナライザーで分析
 - 海藻の存在量
→上部から写真で2週間に一度程度記録
 - コンテナ外・港内 水温・塩分の鉛直プロファイル
→3ヶ月に一度程度CTDによって計測

久米島での実証実験

実験区



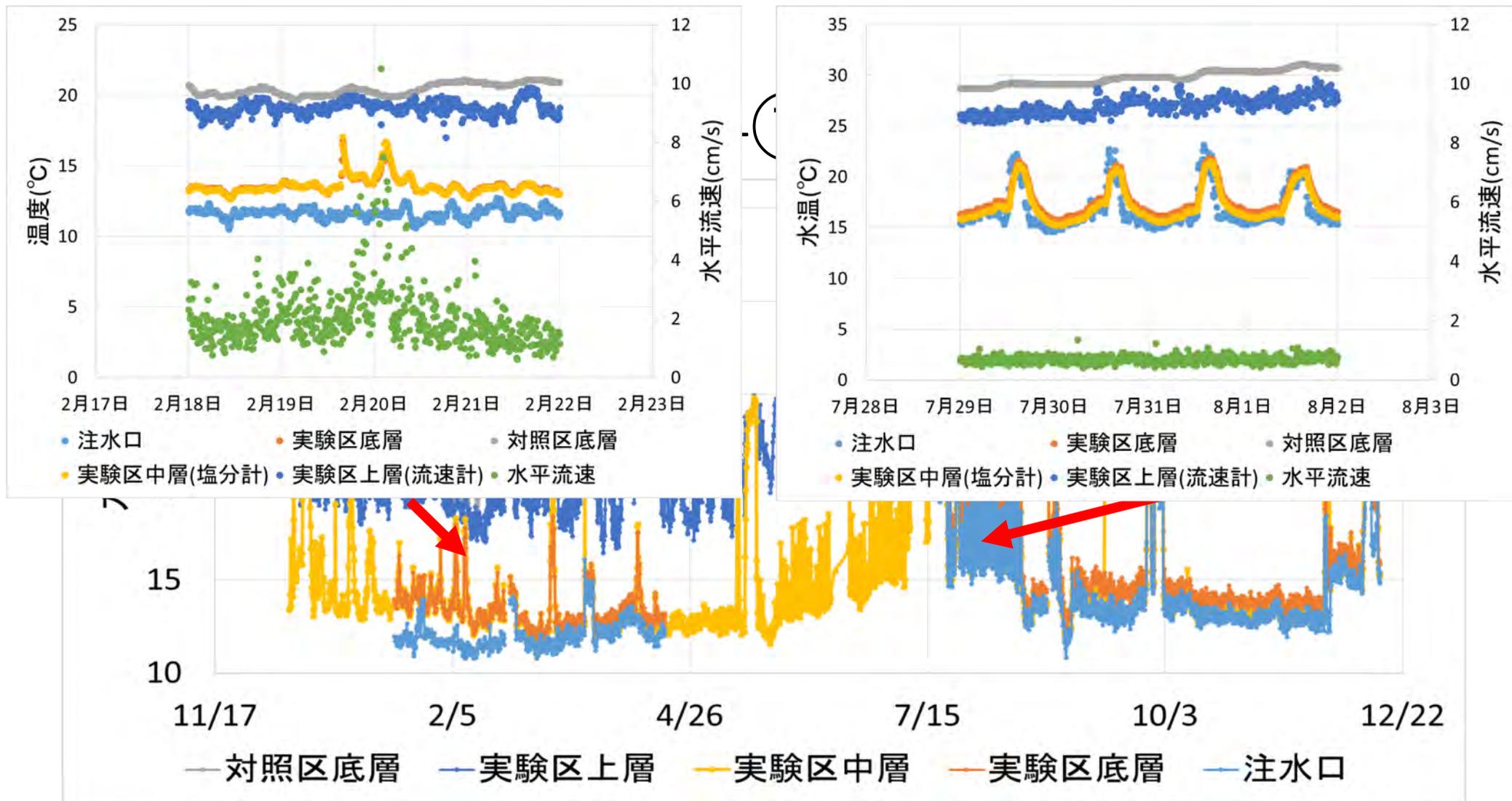
実験区の計測機器(通年)

実験区



実験区の計測機器(10月追加)

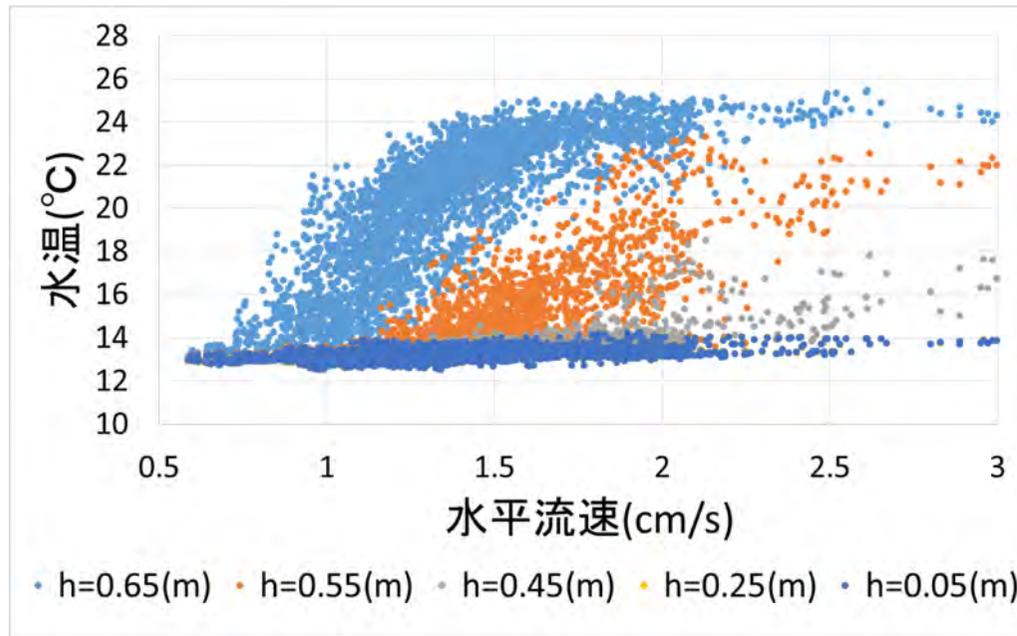
※対照区の下層にも通年で水温計を設置した



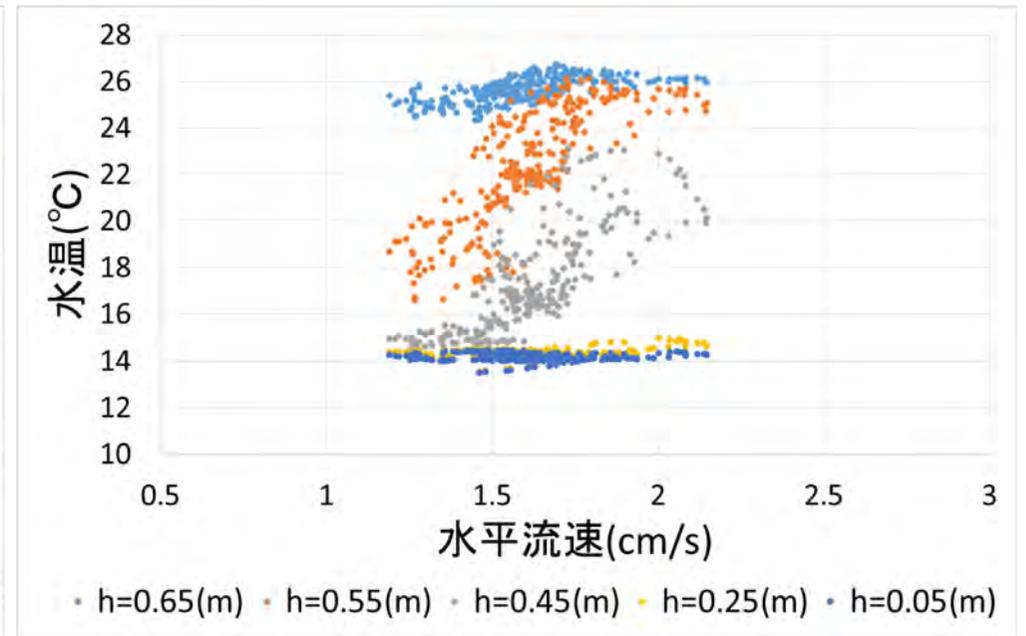
水温変化の概観(3時間移動平均)

久米島での実証実験-① 深層水の滞留

- 流速と混合の関係

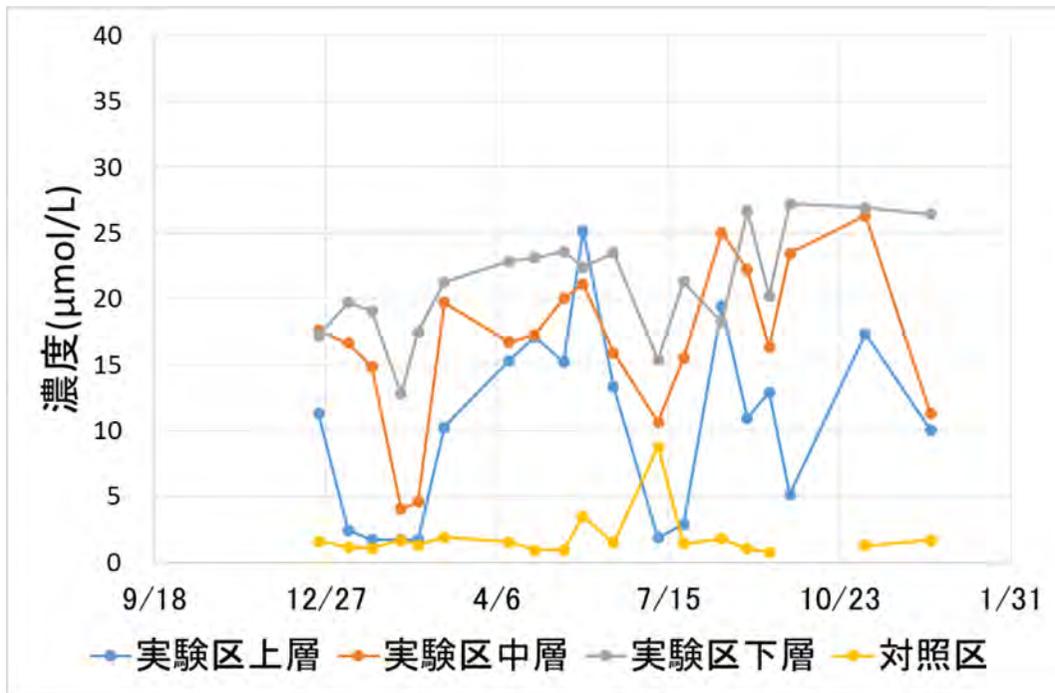


流量基準量(10/13~11/7)

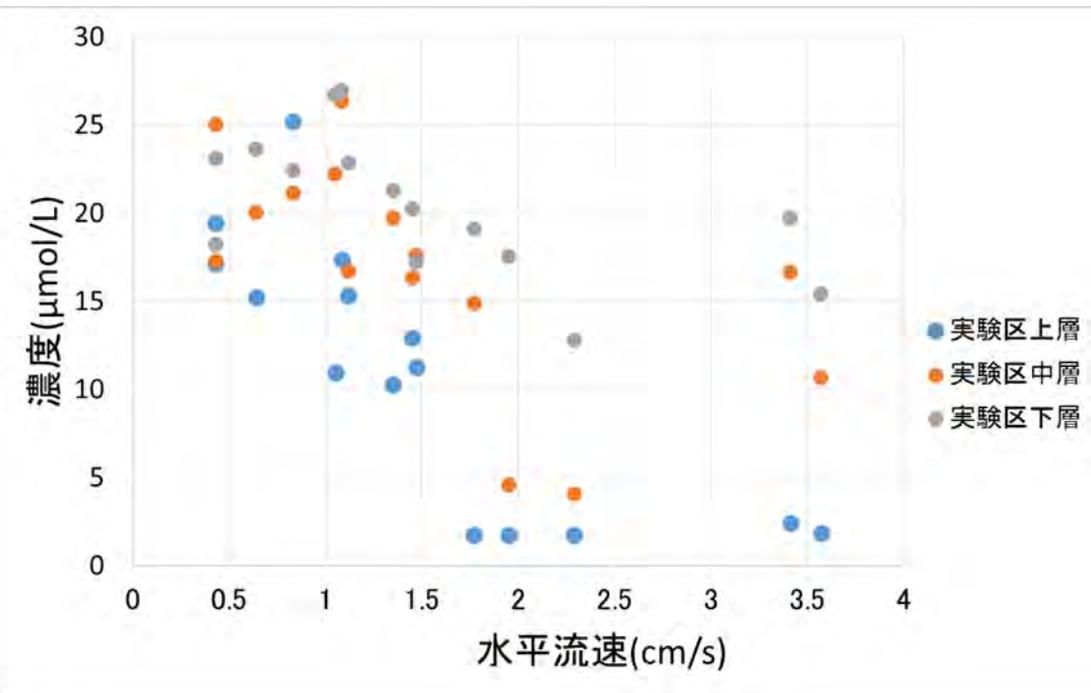


流量4分の1(10/9~10/12)

久米島での実証実験-① 深層水の滞留



DIN(溶存無機態窒素)濃度の推移



各層DIN濃度と水平流速の相関

深層水の挙動シミュレーション

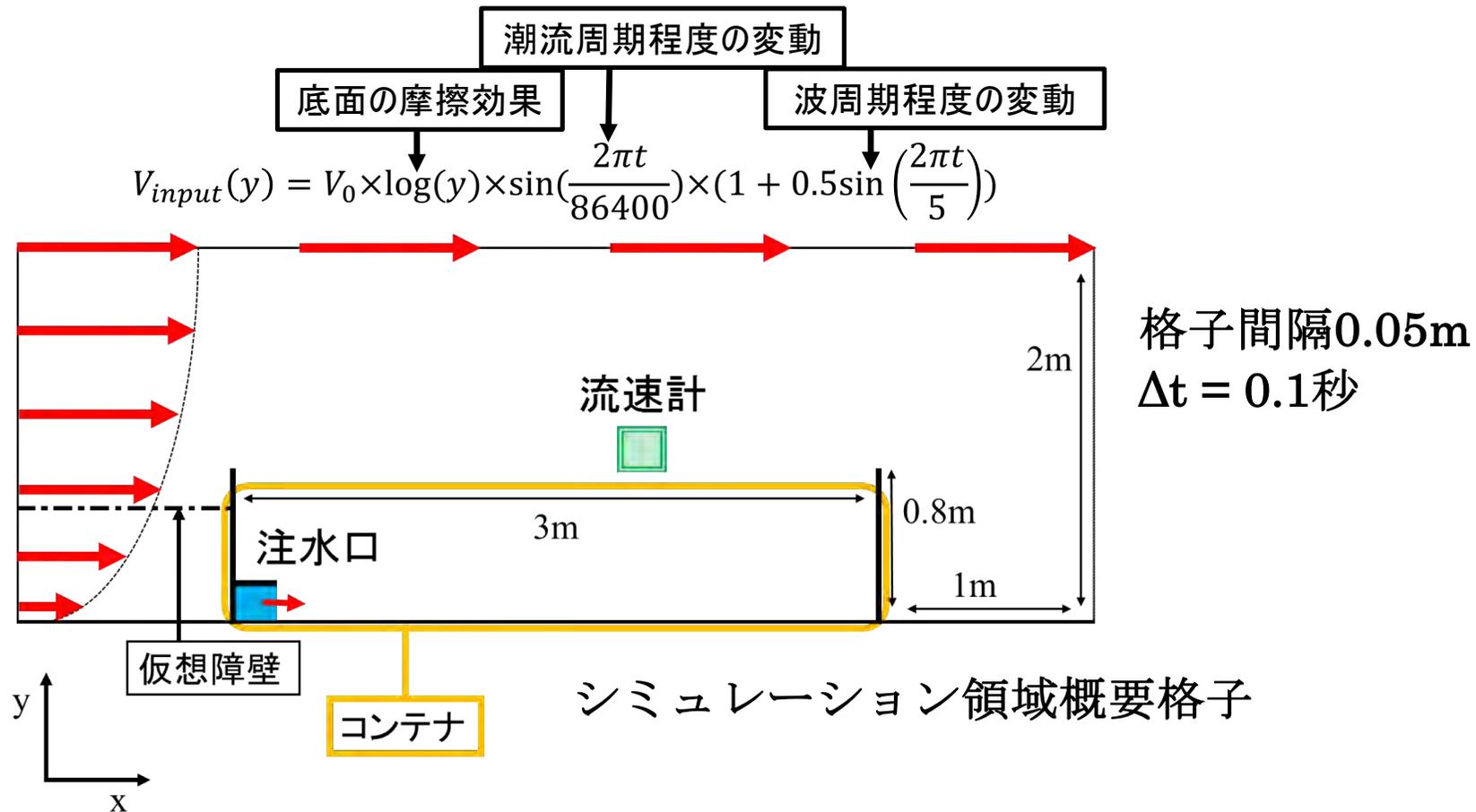
鉛直断面の2次元スタaggerド格子系

支配方程式:

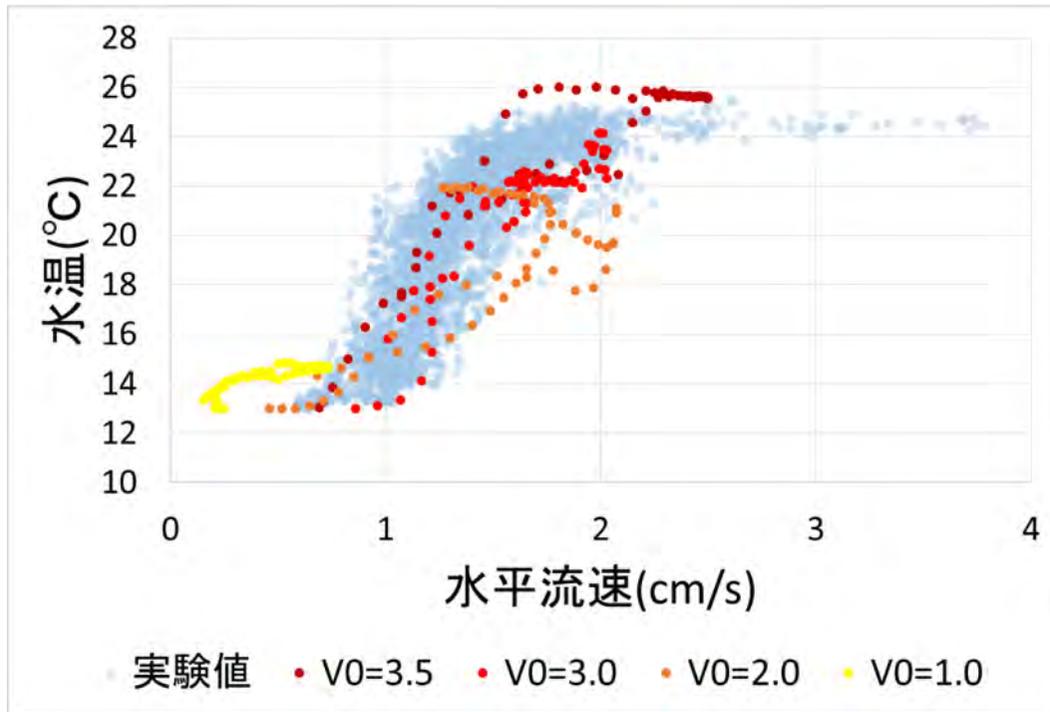
- Navier-Stokes方程式
→(移流項1次上流、粘性項・圧力項中心差分)
- 連続の式
- 熱の移流拡散方程式
→(移流項3次上流、粘性項中心差分)
- 海水の状態方程式

ブシネスク近似/スマゴリンスキーモデル/MAC法

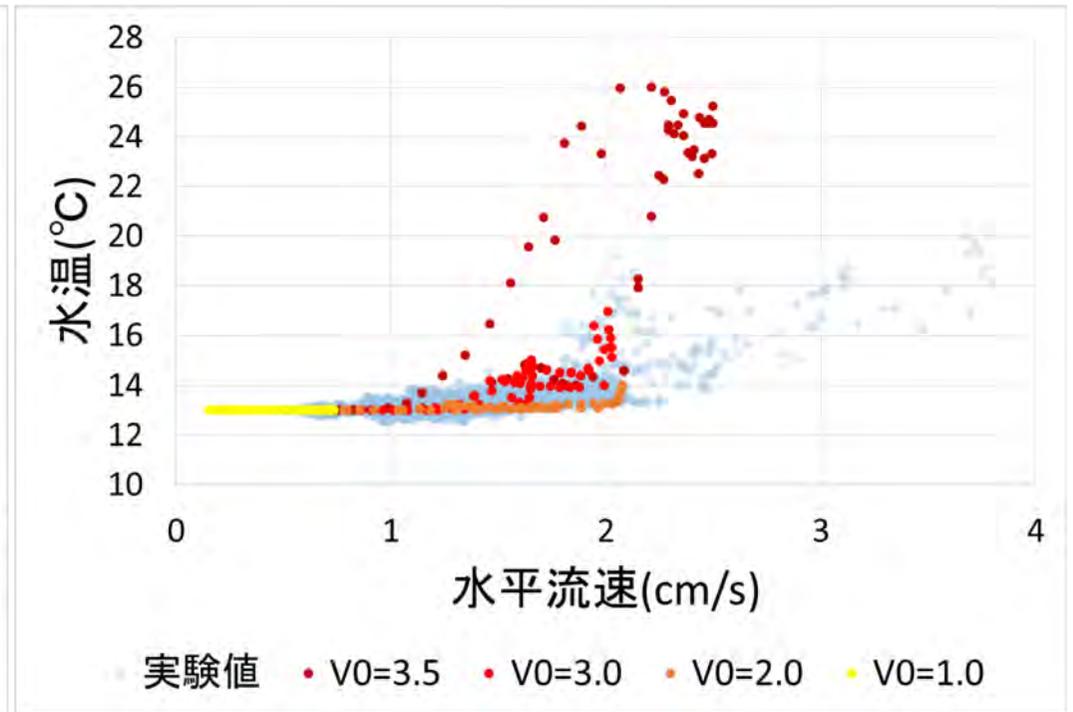
深層水の挙動シミュレーション



深層水の挙動シミュレーション

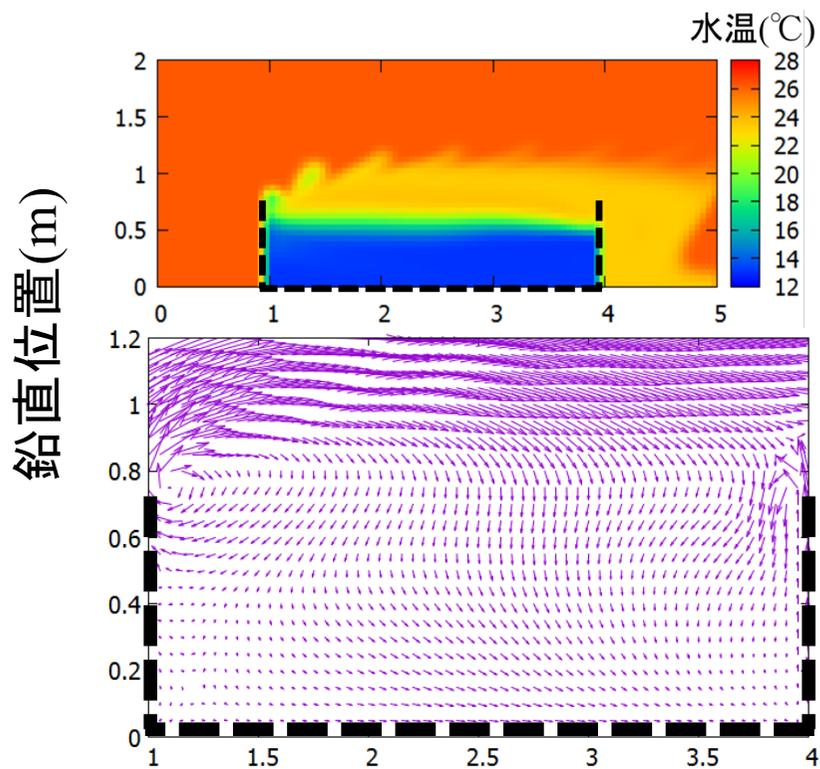


h=0.65m(上層)の水温

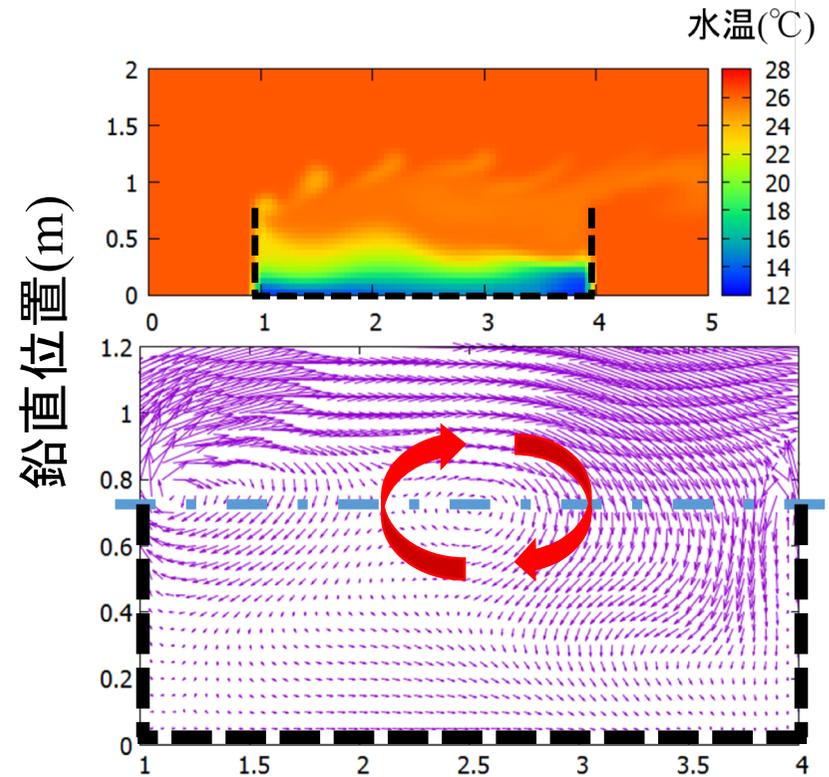


h=0.45m(中層)の水温

深層水の挙動シミュレーション



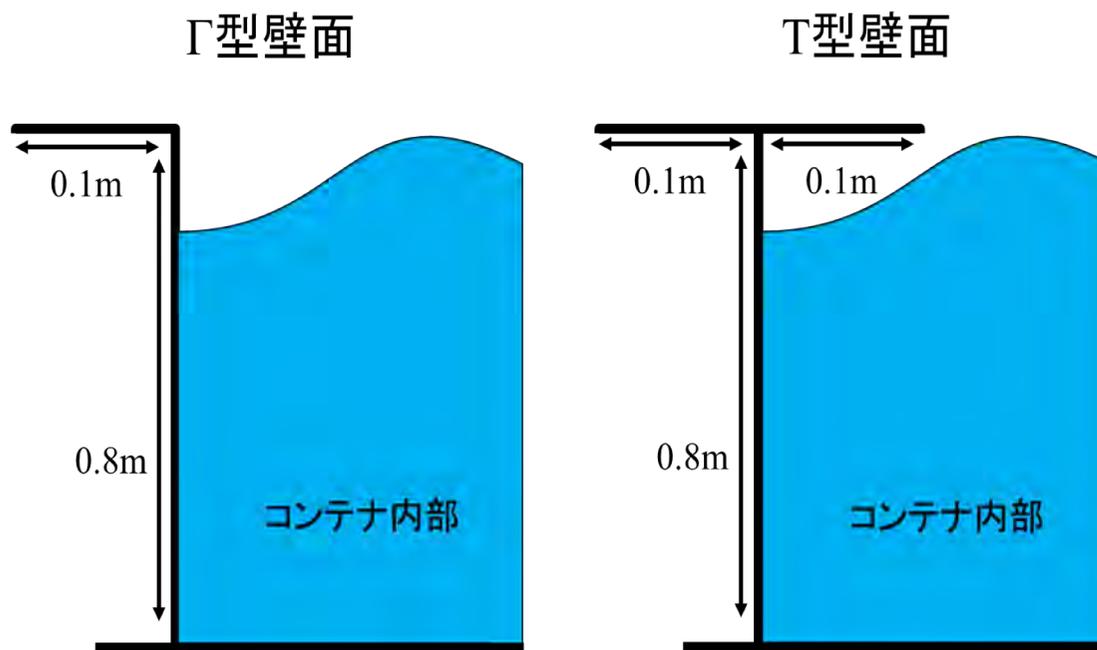
水平位置(m)
 $V_0=3.0$ での水温分布



水平位置(m)
 $V_0=3.5$ での水温分布

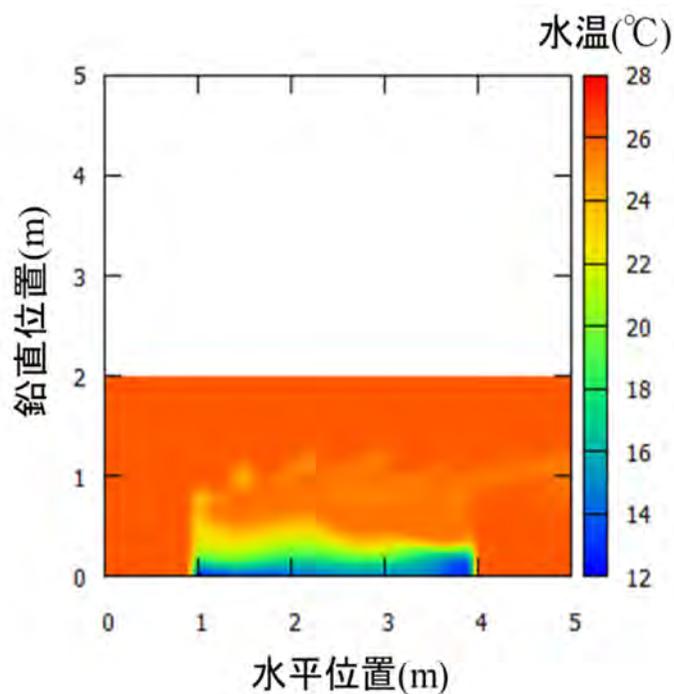
シミュレーションによる 深層水の滞留手法の検討

- コンテナ壁を加工

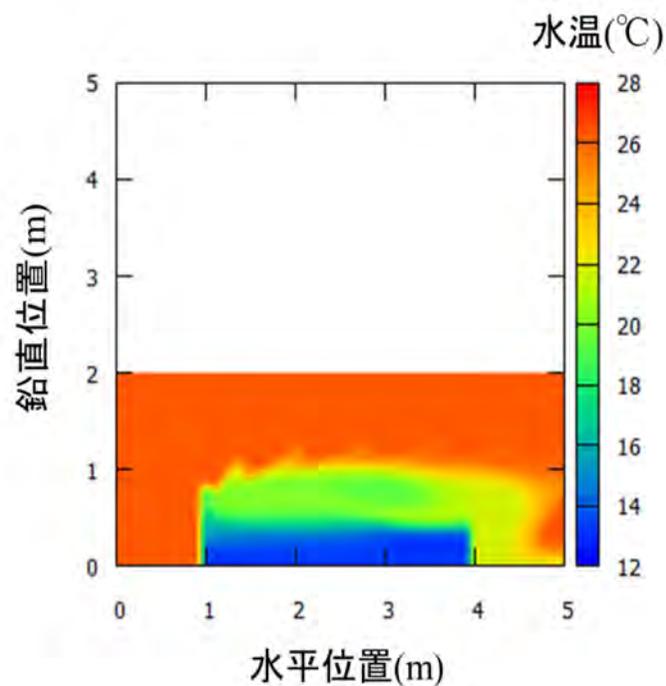


コンテナ壁面形状の変更

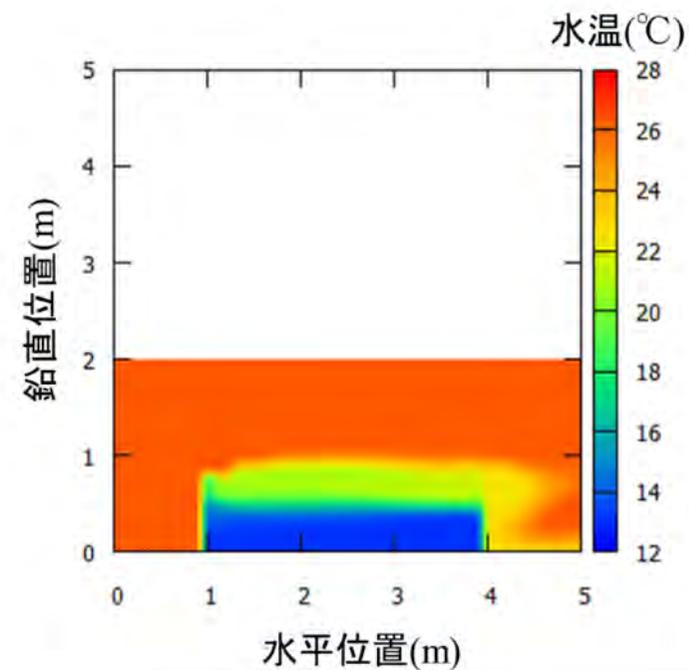
シミュレーションによる 深層水の滞留手法の検討



I型壁面での水温分布



Γ型壁面での水温分布



T型壁面での水温分布

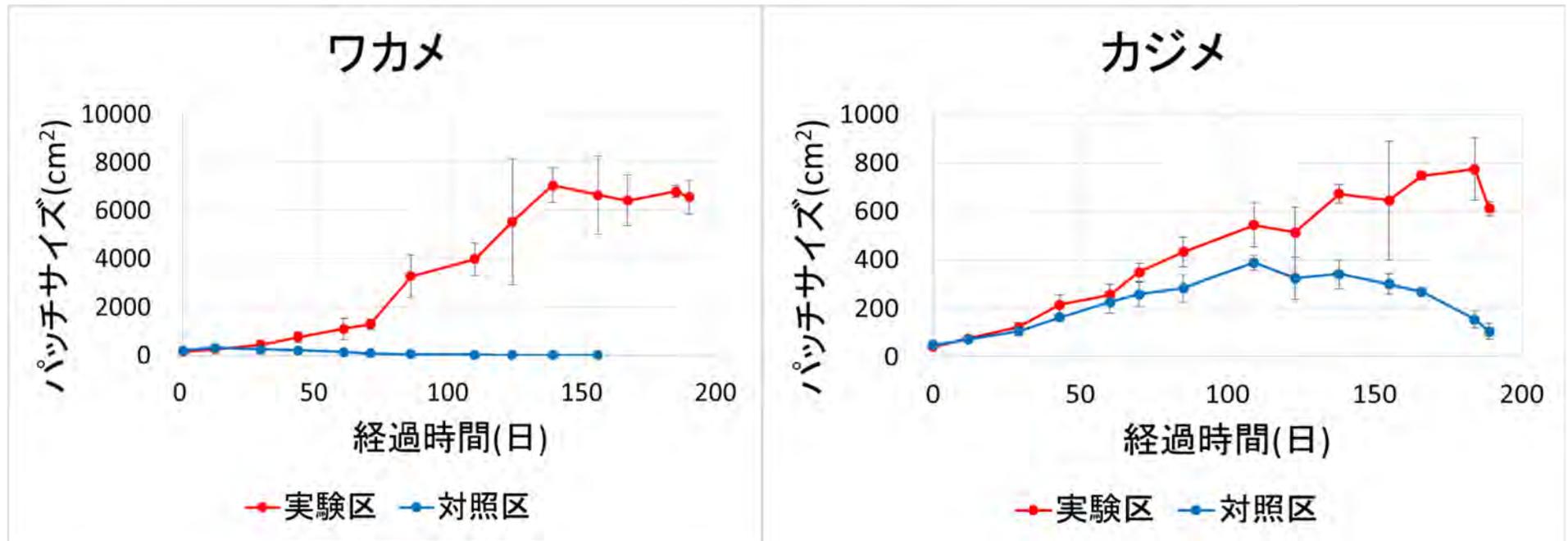
久米島での実証実験-② 海藻の育成



写真から海藻の占める面積を算出(パッチサイズ)

※(算出は東京大学生物生産工学研究センター・倉橋研究室による)

久米島での実証実験-② 海藻の育成



各海藻のパッチサイズの変化

シミュレーションによる 海藻への深層水影響の再現

$$\frac{dB_{SW}}{dt} = V - D_{SW} \quad \longrightarrow \quad \Delta t=1 \text{ (日)}$$

存在量変化 生長速度 枯死速度

$$V = V_I \times m_I \times m_N \times B_{SW}$$

相対生長速度 光制限係数 栄養塩制限係数 存在量

$$V_I = k_{SWI} \theta_{SW} (1 - \theta_{SW}) \quad m_I = 1 - (1 - V_0/V_{max}) \exp(-\alpha I) \quad m_N = \min\left(\frac{DIN}{k_{DIN} + DIN}, \frac{DIP}{k_{DIP} + DIP}, 0.22\right)$$

$$\theta_{SW} = \left(\frac{T - T_{SWmin}}{T_{SWmax} - T_{SWmin}}\right)^{\omega_{SW}} \quad I = I_0 \frac{1 - \exp(-k_{csw} B_{SW})}{k_{csw} B_{SW}}$$

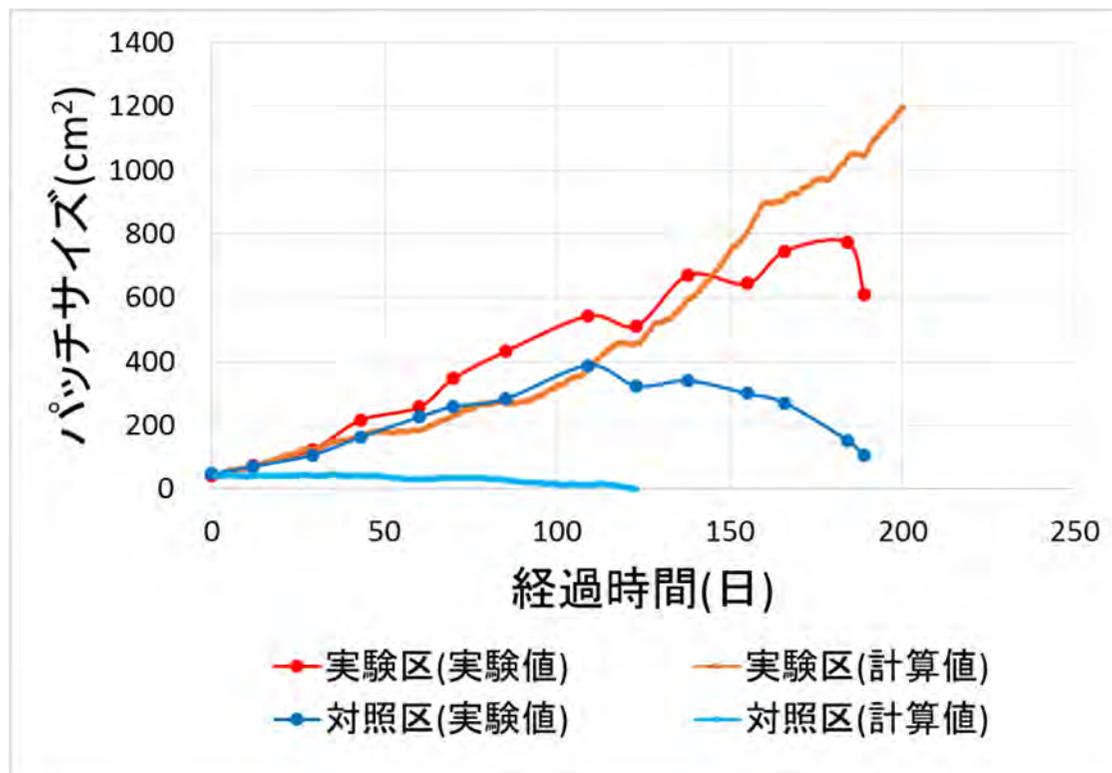
水温 光量 栄養塩濃度

測定値から
推定

$$D_{SW} = \alpha_{dsw} \exp(\beta_{dsw}(T - 50)) B_{SW}$$

(大塚,2006)

シミュレーションによる 海藻への深層水影響の再現

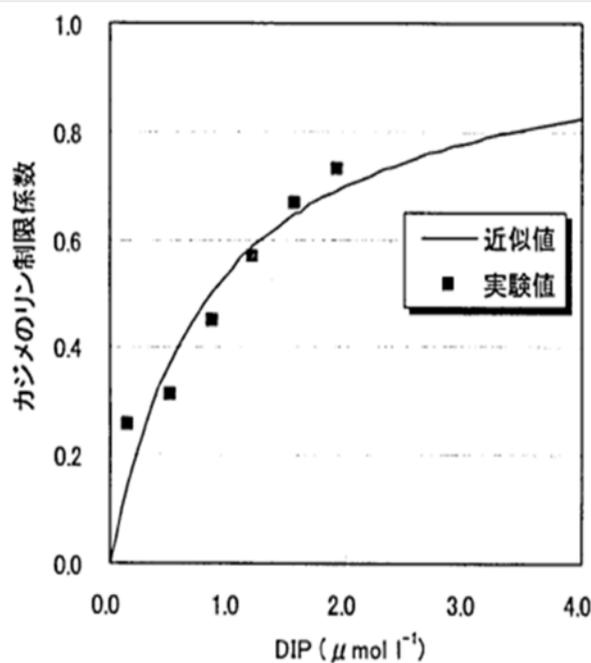
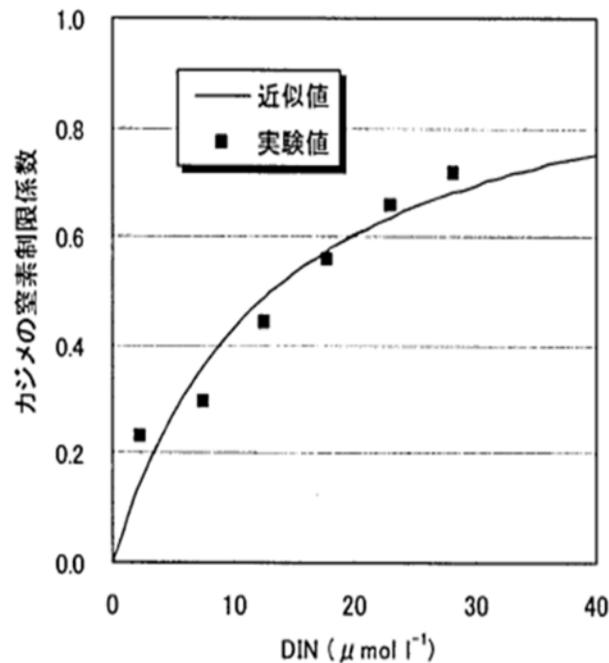


対照区で誤差大

カジメのパッチサイズの変化

シミュレーションによる 海藻への深層水影響の再現

$$m_N = \min\left(\frac{DIN}{k_{DIN} + DIN}, \frac{DIP}{k_{DIP} + DIP}\right) \longrightarrow m_N = \min\left(\frac{DIN}{k_{DIN} + DIN}, \frac{DIP}{k_{DIP} + DIP}, 0.22\right)$$



→高温・貧栄養塩条件
での精度向上が必要

栄養塩制限係数の実験値と近似値(大塚、2006)

結論

- 実海域において、コンテナへの深層水注入により年間を通して深層水の安定滞留とそれによる海藻の成長促進が確認できた
- コンテナ内の深層水の滞留に外部の流速が影響していた
- コンテナ壁面の形状変更が深層水の滞留に効果があることが示唆された
- 海藻生長モデル精度向上のため高温・貧栄養塩条件下でのデータ収集が必要であることが示唆された