

(45) 流動制御設備を有する貯水池での流動特性と淡水赤潮現象に関する数値解析

Numerical Analysis of Flow Characteristics and Freshwater Red tide  
in a Reservoir Equipped with Flow Control Device

加藤正治\*, 武田 誠\*\*, 松尾直規\*\*

Shouji KATO\*, Makoto TAKEDA\*\* and Naoki MATSUO\*\*

**ABSTRACT:** Simouke Reservoir located at Ooita prefecture is equipped with fence as flow control device for countermeasure of freshwater red tide. In this study, the influence of fence on the flow and freshwater red tide in Shimouke Reservoir are studied. First, the accuracy of numerical analysis model for flow and water quality is evaluated by comparison with observed data. The results obtained by this analysis model are good agreement with observed flow data and water quality data. Secondly, the influence of fence on the flow characteristics and red tide (chlorophyll-a distribution) are studied under various fence establishment conditions. From the analysis result, it is found that though plankton increases in the case of existing fence, the influence of fence is to disperse planktons.

**KEYWORDS:** Reservoir, Freshwater red tide, Flow control device, Fence, Numerical analysis, Water quality analysis

1. はじめに

貯水池では貯水池内水温より低温の水が流入する時期に、大規模な循環流が形成される。それにより潜り込み点下流域で植物プランクトンが集積され、栄養塩や水温、日射等が増殖に好条件となった場合、植物プランクトンは異常発生をし、水質汚濁、景観阻害等の淡水赤潮の問題をもたらすことがある。大分県に位置する下釜ダム湖(図1)の例では渦鞭毛藻類の *Peridinium bipes* の異常発生に伴う淡水赤潮の景観上の問題が生じている。このダム湖では淡水赤潮対策として、平成8年度より赤潮の発生時期になるとフェンスが設置されており、平成7年度より設置された取水堰の副次効果と合わせて、淡水赤潮対策の検討が進められている<sup>1)</sup>。本研究では下釜ダム湖における淡水赤潮問題を対象に、その数値解析による再現と、フェンスを用いた淡水赤潮対策の効果について検討する。

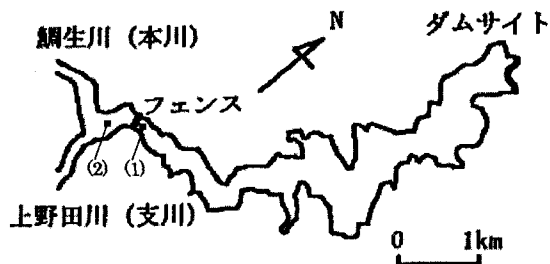


図1 下釜ダム

2. 解析手法

貯水池では横断方向に比べ、流下方向および鉛直方向の流れの変化が卓越しているため、支配方程式には鉛

\* 南海カツマ株式会社(Nankai Katsuma Corporation)

\*\* 中部大学工学部土木工学科(Dept. of Civil Engineering, Faculty of Eng., Chubu University)

直二次元モデルにおける以下の水の連続式、運動量保存則、水温収支則、水質濃度収支則を用い、貯水池内を図2に示すコントロール・ボリューム（ $\Delta x = 100$  m、標高 295m以下では $\Delta z = 1$  m、標高 295m以上で $\Delta z = 0.5$  m）で分割し解析を進める。

$$\frac{1}{B\Delta x} |uB|_i^{i+1} + \frac{1}{B\Delta z} |wB|_k^{k+1} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{1}{B\Delta x} |uuB|_i^{i+1} + \frac{1}{B\Delta z} |uwB|_k^{k+1} = \frac{1}{\Delta x} \left| \frac{p}{\rho} \right|_i^{i+1} + \frac{1}{B\Delta x} \left| K_x B \frac{\partial u}{\partial x} \right|_i^{i+1} + \frac{1}{B\Delta z} \left| K_z B \frac{\partial u}{\partial z} \right|_k^{k+1} \quad (2)$$

$$0 = -g - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} \quad (3)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \frac{1}{B\Delta x} |TuB|_i^{i+1} + \frac{1}{B\Delta z} |TwB|_k^{k+1} = \frac{1}{B\Delta x} \left| D_x B \frac{\partial T}{\partial x} \right|_i^{i+1} + \frac{1}{B\Delta z} \left| D_z B \frac{\partial T}{\partial z} \right|_k^{k+1} + \frac{1}{\rho C_w B \Delta z} |\phi B|_k^{k+1} \quad (4)$$

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{1}{B\Delta x} |CuB|_i^{i+1} + \frac{1}{B\Delta z} |CwB|_k^{k+1} = S + \frac{1}{B\Delta x} \left| D_x B \frac{\partial C}{\partial x} \right|_i^{i+1} + \frac{1}{B\Delta z} \left| D_z B \frac{\partial C}{\partial z} \right|_k^{k+1} - \frac{1}{B\Delta z} |BW_{cp} C|_k^{k+1} \quad (5)$$

ここに、 $i$ ：流下方向の格子番号、 $k$ ：鉛直上向きを正とする格子番号、 $u$ ： $x$ 方向の流速、 $w$ ： $z$ 方向の流速、 $T$ ：水温、 $C$ ：水質濃度、 $B$ ：河川幅、 $p$ ：圧力、 $\rho$ ：密度、 $g$ ：重力加速度、 $C_w$ ：水の比熱、 $\phi$ ：日射量、 $W_{cp}$ ：沈降速度(植物プランクトンでは鉛直移動速度)、 $K_x$ 、 $K_z$ ：それぞれ流下方向、鉛直方向の渦動粘性係数、 $D_x$ 、 $D_z$ ：それぞれ流下方向、鉛直方向の渦動拡散係数、 $S$ は生産消費項である。水平方向の渦動粘性係数渦動拡散係数には、1.0を一定に、鉛直方向の渦動粘性係数・渦動拡散係数にはリチャードソン数( $Ri$ )の関数である  $0.001\exp(-0.1Ri)+0.000001$  を与える。また、今回取り扱った下笠ダム湖は上流域でもう一つの河川が合流している。そこで、合流地点の質量収支、運動量輸送については、本川の流下方向に対する支川の合流角度( $\theta = 90^\circ$ )を考慮してモデル化を行う。

また、日射量 $\phi$ は式(6)で与えることとし、水表面においても式(7)のように熱収支を考慮した。

$$\phi = (1-\alpha)(1-\beta)\phi_0 \exp(-\eta(z_s - z)) \quad (6) \quad , \quad \left| D_z B \frac{\partial T}{\partial z} \right|_k = B \frac{\phi_s - \phi_a - \phi_L}{\rho C_w} \quad (7)$$

ここに、 $\phi_0$ ：水表面における日射量、 $\alpha$ ：水面反射率、 $\beta$ ：水面吸収率、 $\eta$ ：減衰係数、 $z_s$ ：水表面の標高、 $\phi_s$ ：水表面で吸収される日射量 ( $\phi_s = (1-\alpha)\beta\phi_0$ )、 $\phi_a$ ：長波による大気輻射熱、 $\phi_L$ ：顕熱、潜熱である。

つぎに、*Peridinium*は遊泳力を持つことよりここに鉛直移動速度  $W_{cp}$ を以下の式で求める。

$$W_{cp} = e \cdot \left( \bar{V} - \bar{V}_s \right) - (1-e) \cdot \left( \bar{V} + \bar{V}_s \right) \quad (8) \quad , \quad e = (0.114 \cdot T + 0.686) \times \left( \frac{0.295 \cdot \phi}{\phi + 1000} + 0.74 \right) \quad (9)$$

ここに、 $e$ ：光方向(上方)へ移動する *Peridinium* の割合、 $\bar{V}$ ：*Peridinium* の平均上昇速度、 $\bar{V}_s$ ：*Peridinium* の平均沈降速度である。なお、上記の $e$ の式は山田らの実験式<sup>3)</sup>を用い、光の影響は日射量データで代用している。平均鉛直速度 $\bar{V}$  (m/h)は同じく山田らの実験式<sup>3)</sup>より

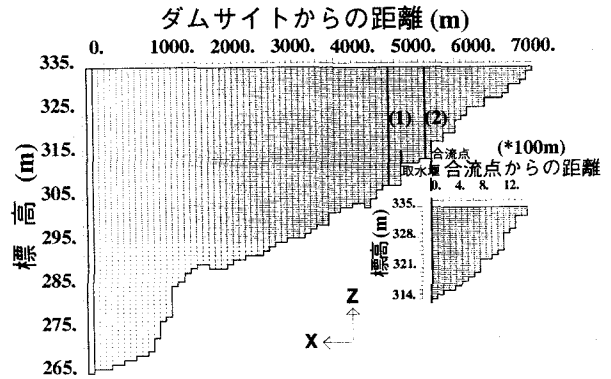


図2 計算格子図

$$\bar{V} = 8.604 \times 10^6 \times \exp\left(-\frac{4550.0}{T + 273.16}\right) \quad (10)$$

また、平均沈降速度  $\bar{V}_s$  (m/h) は水温の関数として、

$$\bar{V}_s = 0.12 + (T - 10) \times 0.006 \quad (11)$$

とする。さらに、水質濃度収支則は、クロロフィル a、無機態窒素、有機態窒素、無機態リン、有機態リンの5つを取り上げ、それぞれの生産消費項は以下のように取り扱った。

$$\text{クロロフィル a 濃度 } (C_P) : S = G_{CP} - R_{CP} \theta_{CP}^{(T-20)} C_P \quad (12)$$

$$\text{無機態窒素濃度 } (N_I) : S = -\beta_N G_{CP} + R_N \theta_N^{(T-20)} (N_O - \beta_N C_P) + E_{NI} \theta_{NI}^{(T-20)} / \Delta z \quad (13)$$

$$\text{有機態窒素濃度 } (N_O) : S = \beta_N G_{CP} - R_N \theta_N^{(T-20)} (N_O - \beta_N C_P) \quad (14)$$

$$\text{無機態リン濃度 } (P_I) : S = -\beta_P G_{CP} + R_P \theta_P^{(T-20)} (P_O - \beta_P C_P) + E_{PI} \theta_{PI}^{(T-20)} / \Delta z \quad (15)$$

$$\text{有機態リン濃度 } (P_O) : S = \beta_P G_{CP} - R_P \theta_P^{(T-20)} (P_O - \beta_P C_P) \quad (16)$$

ここに、 $G_{CP} = S_P \cdot R_{GP} \cdot \left\{ \frac{T}{T_O} \exp\left(1 - \frac{T}{T_O}\right) \right\}^n \cdot \frac{\phi}{K_\phi + \phi} \cdot \frac{N_I}{K_{NI} + N_I} \cdot \frac{P_I}{K_{PI} + P_I} \cdot C_P$ 、 $S_P = \exp(-\mu_S C_P)$  であり、

$G_{CP}$  : 植物プランクトンの増殖によるクロロフィル a の生産率、 $R_{CP}$  : 植物プランクトンの増殖によるクロロフィル a の最大生産率、 $R_{CP}, R_N, R_P, E_{NI}, E_{PI}$  : それぞれ  $T = 20^\circ\text{C}$  における植物プランクトンの呼吸率 (死滅率)、窒素・リンの無機化率、窒素・リンの底泥からの溶出フラックス、 $\theta_{CP}, \theta_N, \theta_P, \theta_{NI}, \theta_{PI}$  : それぞれ  $R_{CP}, R_N, R_P, E_{NI}, E_{PI}$  に対する温度補正係数、 $n$  :  $R_{GP}$  の温度補正に関するとり度定数、 $K_\phi, K_{NI}, K_{PI}$  : それぞれ  $\phi, N_I, P_I$  に関するミカエリス係数、 $S_P$  : スペース効果係数、 $\mu_S$  : スペース効果に関する係数、 $\beta_N, \beta_P$  : 植物プランクトン中のクロロフィル a 量と窒素量、リン量との比、 $T_O$  : 植物プランクトンの増殖に関する最適水温 ( $15^\circ\text{C}$ ) である。また、光制限は式(7)で算定される日射量を用いて表示しており、植物プランクトンの増殖に伴う日射量の透過率減衰を考慮し  $\eta = \eta_0 + \mu_\eta C_P$  としている。ここに、 $\eta_0, \mu_\eta$  は  $\eta$  に関する係数である。

計算期間は平成9年9月1日から11月20日までの淡水赤潮の発生時期とし、初期条件として水温はダムサイトのデータを水平方向に一律に与え、静止状態の場に、観測値から内挿した上記5つの水質データの平面分布を与えた。また、境界条件としては流入流量、流入水質、放流量、気温、日射量、雲量、風速を一時間ごとに、さらに、流入水温に関しては図3のように気温からの換算により与えた。ただし、初期条件に用いた水質の観測点が貯水池内に3点しか存在せず鉛直方向にも僅かであったので、それらから面的に補間し、上流の水質観測も月に一回の頻度であるため、同月の観測値を上流端境界条件として用いた。なお、気象データは約20km離れた日田の気象観測所のデータを用いている。本解析で用

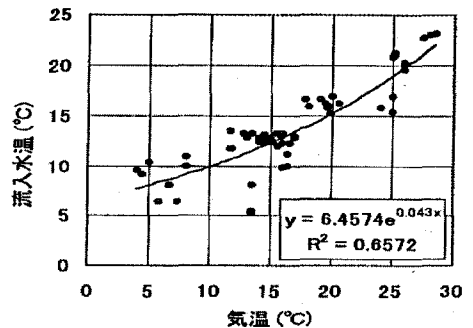


図3 気温と流入水温の相関図

表1 係数の設定

水温に関する係数	日射に関する水面反射率	$\alpha$	-	0.06	
	日射に関する水面吸収率	$\beta$	-	0.5	
	日射に関する水中減衰係数	$\eta_0$	-	0.5	
水質に関する係数	クロロフィルaの最大増殖速度	$R_{GP}$	1/day	0.15	
	$R_{GP}$ の温度補正に関するとり度定数	$n$	-	3	
	植物プランクトンの呼吸率(死滅率)	$R_{CP}$	1/day	0.03	
	窒素の無機化率	$R_N$	1/day	0.001	
	リンの無機化率	$R_P$	1/day	0.002	
	窒素の溶出速度	$E_{NI}$	g/m <sup>2</sup> /day	0.001	
	リンの溶出速度	$E_{PI}$	g/m <sup>2</sup> /day	0.0001	
	$R_{CP}$ に対する温度補正係数	$\theta_{CP}$	-	1.03	
	$R_N$ に対する温度補正係数	$\theta_N$	-	1.05	
	$R_P$ に対する温度補正係数	$\theta_P$	-	1.05	
	$E_{NI}$ に対する温度補正係数	$\theta_{NI}$	-	1.03	
	$E_{PI}$ に対する温度補正係数	$\theta_{PI}$	-	1.03	
	ミカエリス係数	照度	$k_\phi$	cal/cm <sup>2</sup>	10
		窒素	$K_{NI}$	mg/l	0.02
		リン	$K_{PI}$	mg/l	0.001
	スペース効果に関する係数	$\mu_s$	-	0.0001	
	赤潮中の窒素量とクロロフィルa量との比	$\beta_N$	mg/ $\mu$ g	0.01	
	赤潮中のリン量とクロロフィルa量との比	$\beta_P$	mg/ $\mu$ g	0.001	
	水中減衰係数に関する係数	$\mu_\eta$	-	0.0001	
	沈降速度(窒素, リン)	$W_{CP}$	m/day	0.1	

いた定数値は表1のとおりである。この値の設定に関しては概ね文献<sup>5)</sup>を参考にした。

### 3. 解析モデルの検証

#### 3.1 流速、水温の再現結果と考察

解析モデルの妥当性を検証する為に、九州産業衛生協会が行った実測結果と計算結果を比較する。この実測では淡水赤潮発生時における水理・水質観測を行っており、ダム湖上流域付近のデータが存在する。そこで、図1の(1),(2)に示す場所での実測値と計算値の比較を行う。

まず、(1)の地点での比較を図4に示す。これによると流速は非常に実測値と計算値が近い値を示していることが分かるが、水温の結果については傾向がある程度類似しているものの数値的には一致していない。水温の変化に関係深い要因の一つである流入水温は気温からの換算により与えており、図3に示すように比較的その相関は低い。もう一つの要因となる日射量も下笠ダムで計測されたものでないため、その値の信頼性は低い。従って、以下のように流入水温と日射量の取り扱いについて検討した。

まず、流入水温を-1℃、-2℃、-3℃と減少させて計算を行い実測値と比較した。図5に示すとおり、流入水温が換算値より2℃低い時、実測値と計算値が最も近い値を示していることが分かる。また、流速に関しては流入水温の変化による差はみられなかった。

つぎに日射量について8割、7割、6割と減少させて計算を行い、図6に示す結果を得た。日射量を減少させた時には流入水温を減少させた時と同じように水温は低下し実測値に近づくが、流速での結果に違いが生じ、日射量の減少に伴い計算値は実測値と離れる傾向を示した。

また、淡水赤潮発生付近の(2)地点で水温の実測値と計算値の比較を行う。なお、流速についてはこの場所での実測値が存在しないため比較はできない。図7に示すとおり実測値は成層を形成している。しかし、計算値は低層部になるにつれて温度が低くなっているものの実測値と比較し、成層がはっきりと表れていない。

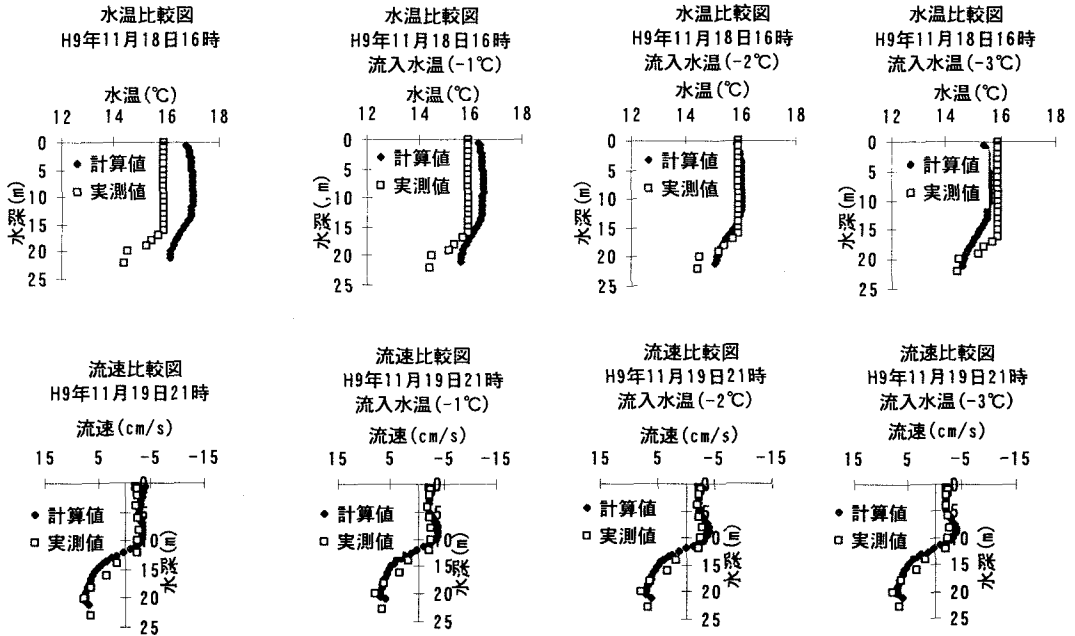


図4 計算値と実測値

図5 流入水温検討における計算値と実測値の比較

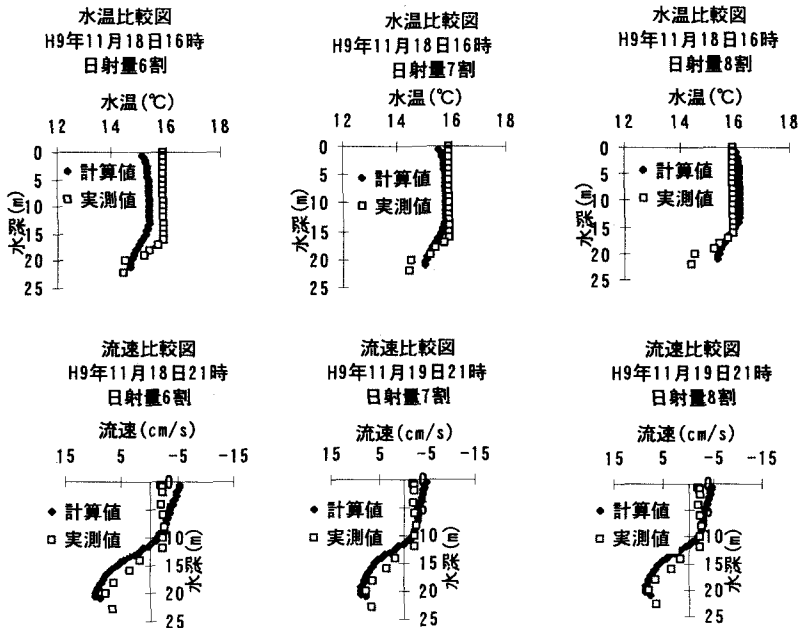


図6 日射量検討における計算値と実測値の比較

これは流入水が貯水池内の水と混合してしまい、水温が平均化されてしまったことにあるといえる。この要因として、拡散係数の取り扱いが大きな割合を占めると考え拡散係数について検討をしたが、それほど変化が見られなかった。また、本解析で用いた分割メッシュが過大であることも計算値と実測値との不一致の原

因の一つと考えられる。したがって、局所的には現象に見合ったより小さな水域分割が必要であるが貯水池全体を考えたときの所要精度と計算に要する時間との兼ね合いからここでは更なる水域の細分を見送ることにした。

今回の検討では、観測データが十分整備できなかったため、主に数箇所のデータを用いて流動および水温における解析モデルの検討を実施した。これまでの結果から、以下の解析には、流入水温を換算値より 2℃ 低くしたケースを採用することとする。

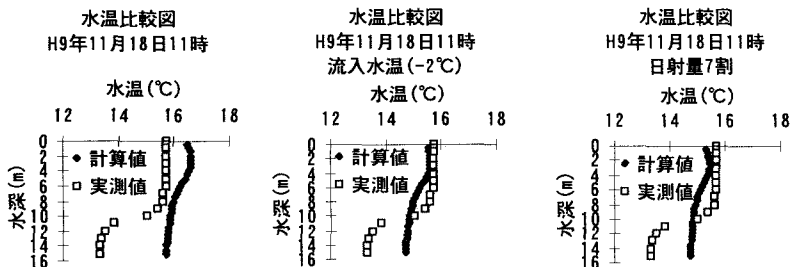


図7 上流域での水温比較図

### 3.2 淡水赤潮現象の再現結果と考察

流入水温を換算値より 2℃ 低くした条件下で水質計算を行い、得られたクロロフィル a 濃度の結果と実測値の比較を行う。ここで実測値が *Peridinium* 細胞数であるのに対し計算にはクロロフィル a 濃度を用いていることより式(16)に示す九州産業衛生協会が作成した  $y$  : クロロフィル a 濃度 ( $\mu\text{g/l}$ ) と  $x$  : *Peridinium* 細胞数 (cell/ml) の関係式を用い、計算値と実測値を比較したのが図 8 である。

$$y = 0.2948x \quad (17)$$

図 8 から数値的にかかなりの差が見られたが分布形状に関しては類似していると思われる。次に、貯水池内の水質の空間的分布について検討する。計算値(ここではクロロフィル a で記載)の空間分布図を図 9 に示す。同図より、フェンス上流に *Peridinium* が集積し、クロロフィル a 濃度が高くなる傾向が示されており、定性的な知見と一致する。

時系列的な再現結果の検討が観測データの不備からできなかったことや、対象とするプランクトンの生態特性が十分に把握されておらず、水質モデルによる再現計算もこの問題を含んでいることなどいくつかの問題点はあるが、これまでの検討により、本研究で用いた解析モデルは、ある程度の水質変動を表現でき、定性的には妥当な結果が得られることが確認されたといえよう。

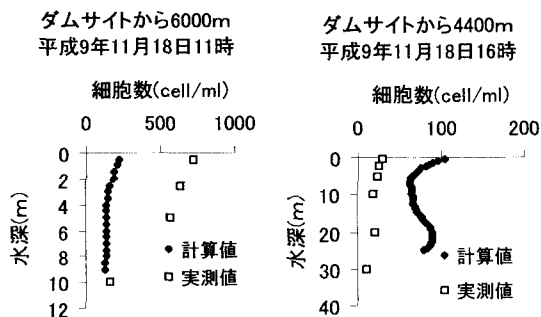


図8 植物プランクトンの実測値と計算値の比較

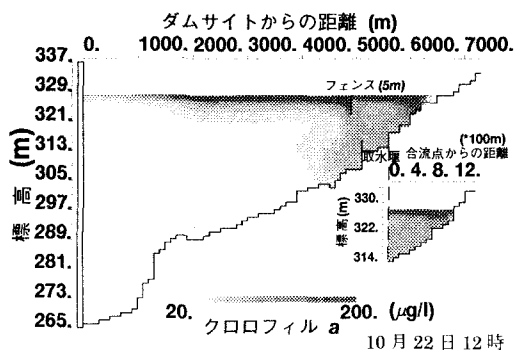


図9 計算によるペリディニウムの空間分布

## 4. 流動制御フェンスによる淡水赤潮対策の検討

### 4.1 現行のフェンスの効果

フェンス、取水堰の淡水赤潮への影響について検討する。なお、ここでは11月18日12時の結果を記す。取水堰が有りフェンスが無い場合を「Case A」、取水堰とフェンス(5m)がある場合を「Case B」とし、取水堰とフェンスが流れ場に与える影響を検討する。

まず、図10にCase Aの解析結果を示す。流速、水温についてはダム湖内で大規模な循環流が発生しており、河川水は密度が大きいため湖底を這うように流下している。流下すると底層の流れは堰へ衝突し上昇流を発生させる。そのとき、その上昇流は下流からの補償流と衝突するため、取水堰より上流域の補償流は取水堰が存在しない場合より抑制されているものと考えられる。また、表層の補償流(逆流)は上流の上野田川、鯛生川まで進行している。クロロフィル a の分布については、上流域に補償流の輸送により *Peridinium* が集積した結果を表わしている。

次に、図11にCase Bの解析結果を示す。流速、水温については取水堰のみの場合と同じく大規模な循環流を形成しており、フェンスの影響により補償流が小さくなっている。クロロフィル a については図10と同様にフェンスより上流に植物プランクトンが集積する結果となっている。この時期は後述する図19の減衰期にあたり、フェンスを設置したことにより流れが変化し、クロロフィル a 濃度の減衰が抑えられた結果、図10よりもクロロフィル a 濃度が高くなったものと考えられる。

### 4.2 フェンス設定の影響評価

フェンスの位置や長さなどが変化すれば、それにより対象とする *Peridinium* の集積・分散過程も変化するため、ここではさまざまなフェンス設置について検討を行う。

4.1のCase A、Case Bに加えて、フェンスを10mにした場合を「Case C」、フェンス5mを3枚設置した場合を「Case D」、フェンス設置位置を現在の設置位置より1000m下流側に離れた場合を「Case E」とした。

まず、Case Cの解析結果を図12に示す。流速、

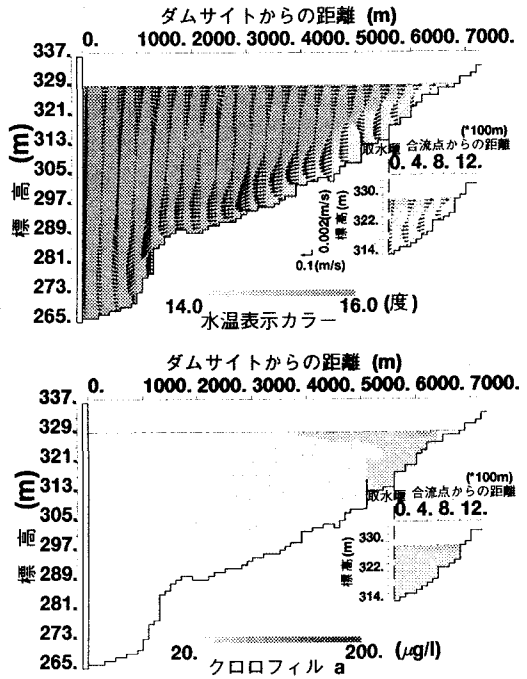


図10 縦断分布図 (Case A, 堰のみ)

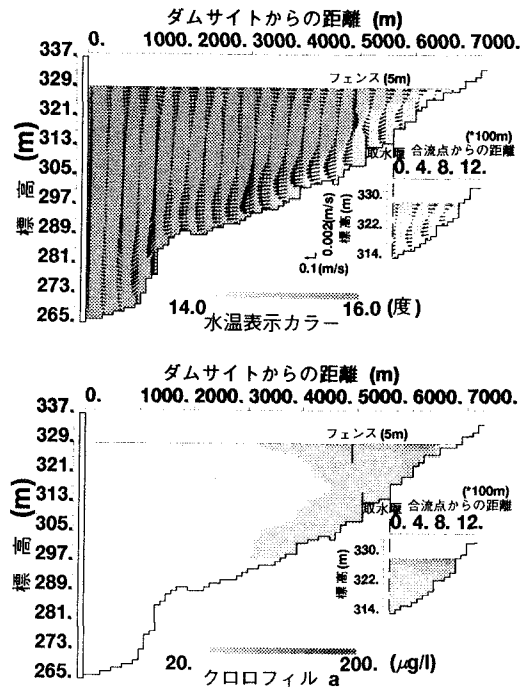


図11 縦断分布図 (Case B, フェンス 5m)

水温については Case A 同様、ダム湖全体で大規模な循環流を形成するが、上流部では、底層の流れが堰に衝突し上昇流を発生させ、その上昇流がフェンスに衝突しフェンス上流側に小規模な循環流を形成している。クロロフィル a の結果についてはフェンス上流において図 11 の Case B の場合よりも高濃度となっている。これは上述したような小規模な循環流により植物プランクトンがフェンス上流に停滞したことによるものと考えられる。

次に Case D の解析結果を図 13 に示す。流速、水温については Case B の場合に似ているが、フェンスが 3 枚あることによりフェンスとフェンスに挟まれた場所では補償流が減少している。クロロフィル a は Case B と比べ、上流域に集積する量が多くなっている。これは、フェンスを多く設置したことによりクロロフィル a の減衰が抑えられた結果であろう。

次に Case E の解析結果を図 14 に示す。流速、水温については Case B の場合とほとんど変化は見られなかった。クロロフィル a については上流での濃度がやや減少しているように思われる。これはフェンスの位置を下流へ移動させたことより下流へ流れ出る植物プランクトンの量が増加したことが要因だと考えられる。

#### 4. 3 各対策のクロロフィル a の総量と最大濃度

ここでは、4. 1、4. 2 での計算結果における貯水池内クロロフィル a 総量を図 15、上流域（4.8km から上流端、取水堰を含む、キロ数はダムサイトからの距離）、中流域（2.3km から 4.8km、フェンスを含む）及び下流域（ダムサイトから 2.3km）のクロロフィル a 総量を図 16、17、18 に示し、毎時ごとに貯水池内すべての格子におけるクロロフィル a 濃度の最大値を示したものが図 19 である。そのなかで増殖期(図 20)、減衰期(図 21)と分けクロロフィル a 濃度を比較する。まず、貯水池内におけるクロロフィル a 総量の比較ではフェンスを設置しない場合が最も少ない値を示しフェンス 10m の場合が最も高い値を示した。

まず、貯水池内におけるクロロフィル a 総量の比較ではフェンスを設置しない場合が最も少ない値を示しフェンス 10m の場合が最も高い値を示

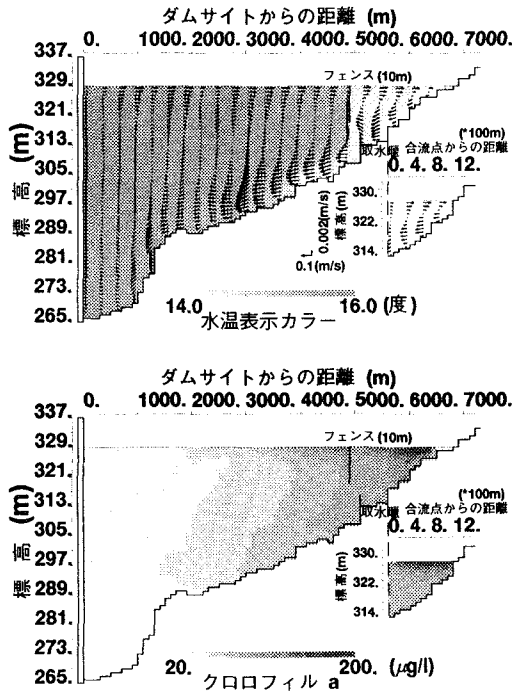


図 12 縦断分布図 (Case C, フェンス 10m)

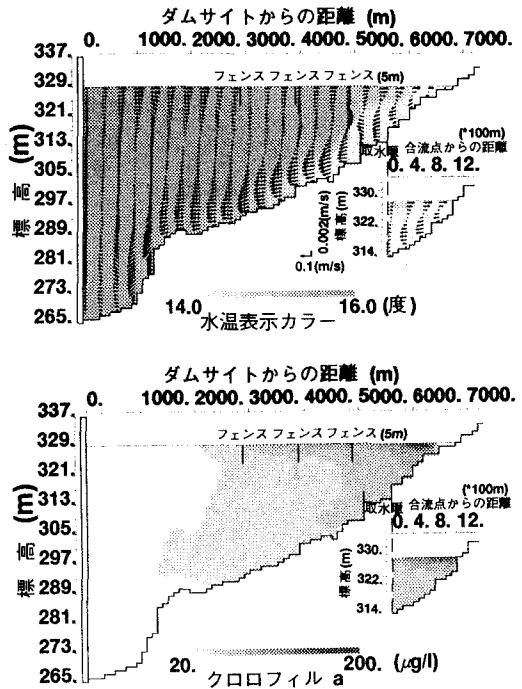


図 13 縦断分布図 (Case D, フェンス 3 枚設置)



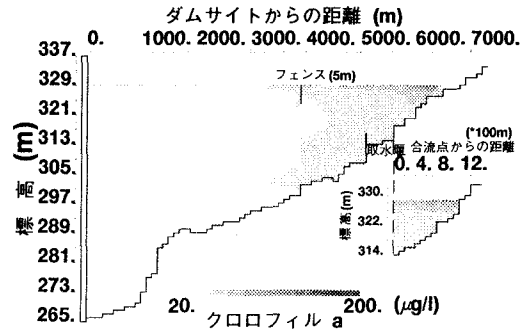
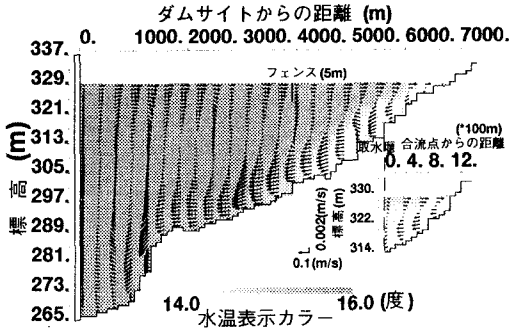


図 14 縦断分布図 (Case E, フェンス位置変更)

した。

つぎに貯水池内クロロフィル a 総量の上流域、中流域、下流域における比較を行う。まず、上流域についてはフェンス設置後、フェンスを 10m にしたケースのクロロフィル a 総量が一たん減少するが、どのケースでも淡水赤潮最盛期に近づくるとクロロフィル a 量は増加の傾向を示している。しかし、11 月初旬のころになると減少の動きを示す。このとき、フェンス 10m のケースは他のケースに比べ減少の量が少ない。これはフェンス 10m では、フェンス上流で小規模な循環流を形成することより植物プランクトンが上流域から出られない状況になることが原因と思われる。

中流域についてもフェンス 10m のケースが高い値を示している。これはフェンスが上流域へのプランク

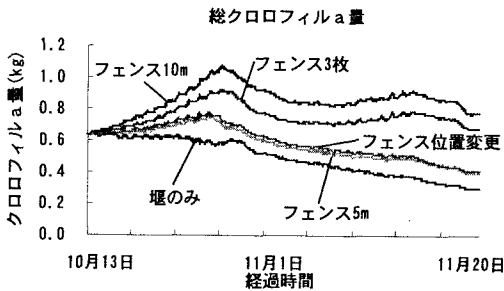


図 15 貯水池内総クロロフィル a 量比較

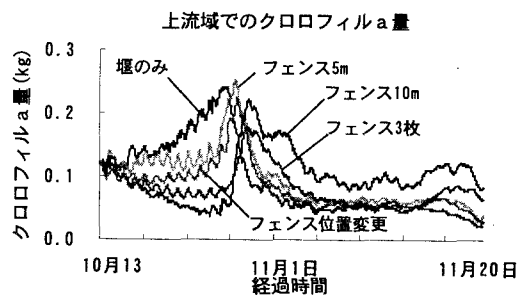


図 16 上流域でのクロロフィル a 量比較

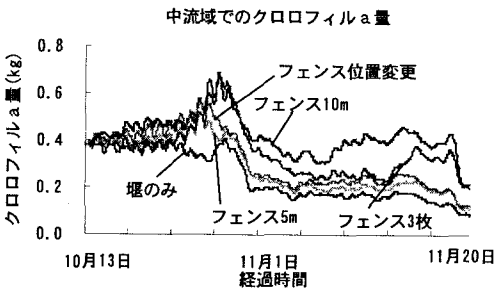


図 17 中流域でのクロロフィル a 量比較

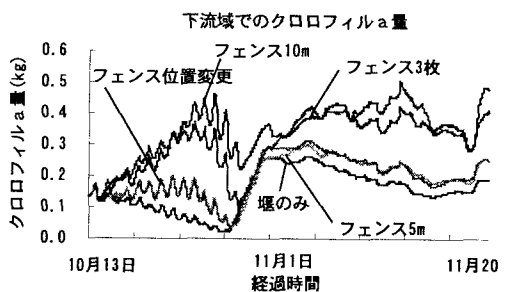


図 18 下流域でのクロロフィル a 量比較

トンの輸送を抑制していることを示している。フェンス 5m のケースと比べてもその違いは明らかである。

最後に下流域についてはフェンスの長さや位置を変えたケースは増加の傾向を示しているのに対し、堰のみは減少し、フェンス 5m のケースは横ばいとなった。これは、下流域で生成された植物プランクトンはフェンスの存在により下流域に留まることを示しており、フェンス 10m のケースが最も増加する結果となった。

つぎにダム湖内クロロフィル a 濃度の最大値の比較について行う。図 19 の貯水池内クロロフィル a 最大濃度図において、高濃度の場合を増殖期、低濃度で変化が小さい場合を減衰期とする。まず、増殖期については図 20 から堰のみが最も高い値を示しており、フェンス 3 枚が最も低い値を示している。これはフェンスにより一点に集積するのを抑制したことを示している。次に減衰期については図 21 から堰のみのケースが最も低い値を示しており、フェンスを 10m にしたケースが最も高い値を示した。

本解析により、フェンスを設置すると植物プランクトンの総量は増加する傾向にあった。これは、集積する場所が増えるためその場所で植物プランクトンが増殖し、結果的にその総量が増したと考えられる。しかし、一つのポイントに集積しなくなるため、爆発的な増殖はむしろ抑えられることになる。したがって、植物プランクトンの異常増殖の抑制という観点からフェンスの設置は有効な手段といえよう。

## 5. おわりに

本研究で得られた最適な淡水赤潮のフェンス対策は 3 枚設置であるが、フェンスの効果としては植物プランクトンの集積を抑えるものであるため対策を実施しない場合と比べ、総量が増える可能性が高いことも分かった。したがって、淡水赤潮としてフェンスを設置する場合には、十分な注意が必要である。フェンスの枚数や深さおよび設置位置について十分な検討を行い、最適な設備仕様を決めるとともに、プランクトンの増殖抑制策についても考えておくことが肝要である。

- 参考文献
- 1)財団法人九州産業衛生協会：水質全施設調査業務報告書、平成 10 年 3 月。
  - 2)松尾直規・山田正人・宗宮功：貯水池上流端における流動特性と淡水赤潮現象との関係、水工学論文集第 40 巻、pp.575-581,1996。
  - 3)山田正人：ダム湖上流域水域における *Peridinium* 淡水赤潮の集積機構に関する研究、環境衛生工学研究第 9 巻 4 号、pp.46-53、1995。
  - 4)岩佐義朗編著：数値水理学、丸善、1995。
  - 5)株式会社日建設計：平成 7 年度青蓮寺ダム赤潮対策水理検討資料作成業務報告書、平成 8 年 3 月。

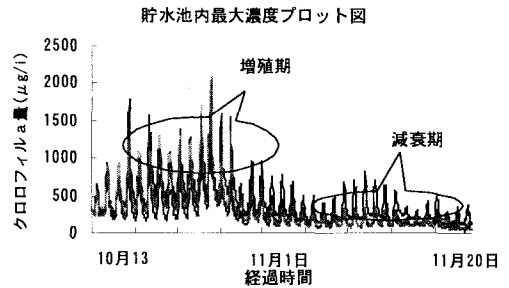


図 19 貯水池内クロロフィル a 濃度図

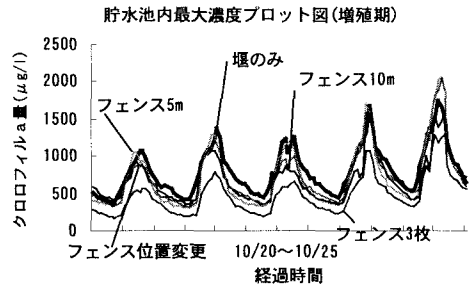


図 20 最大濃度図 (増殖期)

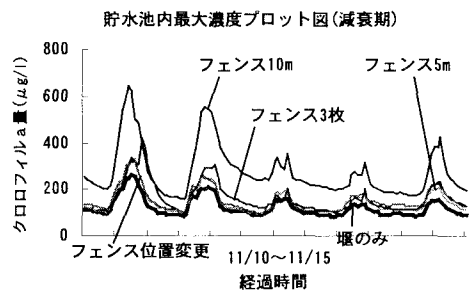


図 21 最大濃度図 (減衰期)