

貝類による水中の懸濁物質への影響に関する考察

藤田和男, 宮崎 清 (水質第一科)

【調査研究】

貝類による水中の懸濁物質への影響に関する考察

Studies on Effect of Shellfish on SS in Water

藤田和男, 宮崎 清 (水質第一科)

Kazuo Fujita, Kiyoshi Miyazaki

要 旨

3種類の貝類(マツカサガイ, カラスガイ, ヒメタニシ)について, 室内実験により懸濁物質(SS)およびCODの変化を測定した。懸濁物質が吸収され擬糞として排出され沈降し, 5日後に, SSは約20~30%, CODは約40%にまで減少した。容積2(L), 高さ20(cm)の容器を使用し, 懸濁物質の沈降速度を評価すると, 貝類を入れた場合3~6(cm/day)増加した。貝類を入れて数日の時間が経過した検水では, 懸濁物質の沈降速度は大きく100~150(cm/day)であった。これは懸濁物質が擬糞状になることにより, 粒子径が大きくなり, 沈降速度が増加したものと考えられた。屋外の用排水路で, 貝類が, 懸濁物質の沈降する速度に与える影響を調査した。ヒメタニシによる懸濁物質沈降速度は水温の低下により減少し, 5℃では貝類による懸濁物質の沈降は殆ど認められなかった。得られた結果から, 水路を仮定したシミュレーション計算では, 平均滞留時間0.5日, 水深20(cm), ヒメタニシ2(個体/L)の場合, 懸濁物質の削減率は約50%であった。

[キーワード: 貝類, 懸濁物質, COD]

[Key words: shellfish, Suspended solid, COD]

1. はじめに

近年, 湖沼等の閉鎖性水域で, 水中の懸濁物質による汚濁が問題となっている。懸濁物質はCODを上昇させるだけでなく, 湖水を濁らせる(透明度の低下)¹⁾。また沈降し底泥として堆積した場合, ヘドロ化することで水中の溶存酸素を低下させ魚のへい死事象²⁾等を引き起こし, 栄養塩が底泥から再溶出することにより植物プランクトンが増殖し, 水域の汚濁が進行する。これらのことから, 懸濁物質は汚濁の主要な要因と位置づけられる。

一方, 近年, 生態系の生物による懸濁物質浄化機能についての研究が行われてきており, 海域, 干潟, 汽水及び淡水域等での, 貝類の影響や浄化効果について報告されている(表1)^{3)~7)}。岡山県の見島湖湖心の水質はCODが7.9(mg/L)(75%値, 平成19年度)⁸⁾で, 近年除々にではあるが減少傾向にあるものの, 環境基準(5mg/L)の1.5倍程度である。CODの約40%弱は懸濁態CODと推定されており⁹⁾, 懸濁物質の影響が大きい。ここでは見島湖及び流入河川に棲息する貝類について, 水中の懸濁物質への影響に関して検討した。

表1 貝類による水質浄化

種類	浄化能力	場所
ヤマトシジミ ³⁾	SS: 2.2 mg/個体/hr Chl.a: 1.8 μg/個体/hr	神西湖(島根県) (屋外水槽)
ヤマトシジミ ⁴⁾	SS: 0.07 L/個体/hr Chl.a: 0.47 L/個体/hr	堀川(島根県) (室内実験)
シオフキガイ ⁵⁾	ろ過速度: 3.0 L/g 軟体部乾重/hr	三番瀬(東京湾) (室内実験)
ヤマトシジミ ⁶⁾	吸収速度 COD: 5.75 mg/g 湿重/day T-N: 1.14 mg/g 湿重/day T-P: 0.01 mg/g 湿重/day	洞沼(茨城県) (室内実験)

2. 材料及び方法

懸濁物質は乾燥重量¹⁰⁾または透過光測定法¹¹⁾により測定した(以下, 「水中に懸濁する物質」を「懸濁物質」, 懸濁物質を上記方法で測定した値(mg/L)を「SS」として記す)。室内実験では透過光測定法¹¹⁾, 屋外実験ではこれに加えて乾燥重量法で測定した。CODは工場排水試験法(JIS K0102)¹⁰⁾に準じて測定, NH₄-Nはイオンクロマトグラフ装置(ダイオネクス製DX-320)により測定した。

貝類として, 見島湖流入河川河口域で採取したマツカ

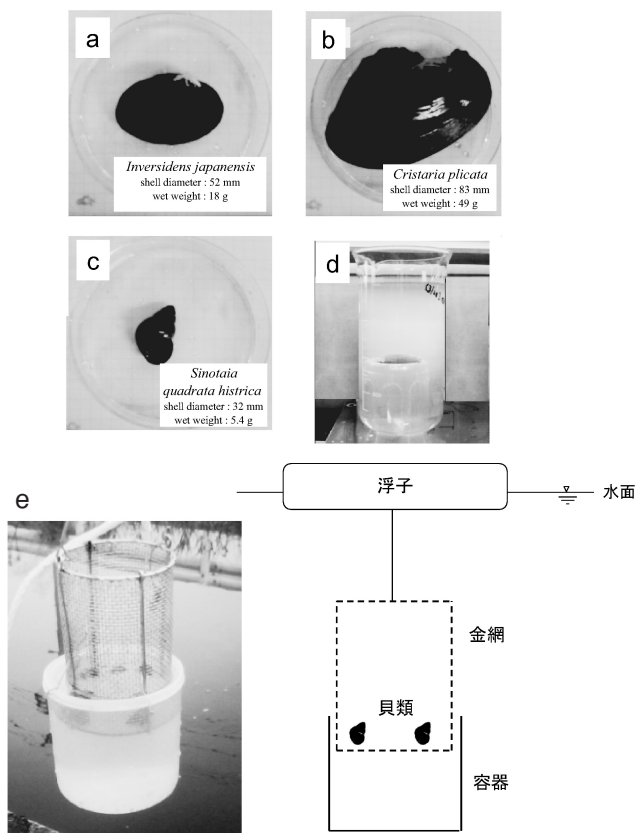


図1 貝類および容器

- a : マツカサガイ
- b : カラスガイ
- c : ヒメタニシ
- d : 容器(室内実験)
- e : 容器(屋外実験)

サガイ(湿重18g, 殻長52mm), カラスガイ(湿重49g, 殻長83mm), ヒメタニシ(湿重5.4g, 殻長32mm)の3種を用いた(図1(a~c))。検水として, 優占種が藍藻綱のもの及び珪藻綱のもの2種類を用いた。

貝類による水質の経時変化について, 室内実験を行った。容量2(L)の容器に検水2(L)(面積10cm², 高さ20cm)及び貝類を入れ, 室温(約25℃)の条件下で, 攪拌を2(回/day)(1分間)行った(図1(d))。検水として, 岡山市南区内尾の用排水路水(珪藻綱が優占), および用排水路水100(L)を室内で約1年間静置したもの(藍藻綱であるピコプランクトンが優占)の2種類を, SSが40(mg/L)となるように蒸留水で希釈したものを用い, 容器中央部で約50(mL)採取し, SSおよびCODを測定した。

次に貝類を入れて10日が経過した検水について, 時間の経過に伴う懸濁物質濃度を測定し, 沈降速度を計算した。

また屋外実験により, 貝類による懸濁物質ろ過速度へ

の温度等の影響を調べた。図1(e)に示すように, 直径10(cm), 高さ15(cm)の金網籠の下部に, 幅12(cm), 高さ8(cm)の容器を取り付け, 金網籠上部10(cm)の高さに浮きを取り付け, 容器全体が水中に浮遊するものとした。この金網籠部分に貝類を入れたもの(ヒメタニシ10個体, マツカサガイ10個体, カラスガイ1個体)および入れないもの(ブランク)を岡山市南区内尾の用排水路に設置した。なお, 籠の上部には径約1(cm)の網を被せ貝類が籠外へ移動しないようにした。1~7(day)後に容器内に沈降した懸濁物質を全て回収し, 懸濁物質のSS, CODおよび用排水路の水温, SS, CODを測定した。貝類を入れたものと入れないものとの差を容器中の貝類の総重量(g)および時間(day)で除し, 貝類1(g)あたり1(day)あたりの懸濁物質ろ過速度を計算した。

懸濁物質の沈降速度は, SSの時間変化と沈降速度との関係¹²⁾から求めた。

$$C = C_0 \times e^{-(W_s/H) \cdot t}$$

ここで, C: 懸濁物質濃度(mg/L), C₀: 初期懸濁物質濃度(mg/L), W_s: 沈降速度(cm/day), H: 水深(cm), t: 時間(day)である。

得られたデータから, シミュレーション計算を行った。水中のSSの時間変化は水域のシミュレーションモデル¹³⁾に準じた。

$$\begin{aligned} \frac{dC}{dt} &= (\text{流入}) - (\text{沈降}) - (\text{流出}) \\ &= (C_{in} \cdot D) - \left(\frac{W_s}{H} \cdot C \right) - (C \cdot D) \end{aligned} \quad (1)$$

$$C = a \cdot e^{-\left(\frac{W_s}{H} + D\right) \cdot t} + b \quad (2)$$

$$\therefore a = \frac{C_{in} \cdot W_s}{W_s + D \cdot H}, \quad b = \frac{D \cdot H \cdot C_{in}}{W_s + D \cdot H}$$

$$\text{懸濁物質の削減率(\%)} = \frac{C_0 - C}{C_0} \times 100 \quad (3)$$

ここで, C_{in}: 流入水の懸濁物質濃度(mg/L), D: 希釈率(1/day)である。また平均滞留時間τ(day)はDの逆数である。

3. 結果及び考察

3-1 水質の経時変化

藍藻綱(ピコプランクトン)が優占する検水に3種類の貝類を入れ、SSおよびCODの変化を測定し、貝類を入れないものをブランクとした。懸濁物質が吸収され、擬糞として排出され沈降し、水の透明度が上昇するのが観察された。マツカサガイ、カラスガイ及びヒメタニシでは、いずれも概ね5日後に、SSは約20~30%、CODは約40%にまで減少していた(図2)。

今回の実験の条件では、貝類の個体あたりのSSのろ過速度は0.7~1(mg/個体/hr)、CODのろ過速度は0.4~0.5(mg/個体/hr)と推算された。またNH₄-N排泄速度は、最大で0.02(mg/個体/hr)であった。

ヤマトシジミのろ過速度は、最も高い場合ではSSで1.2(mg/個体/hr)⁴⁾と報告されている。

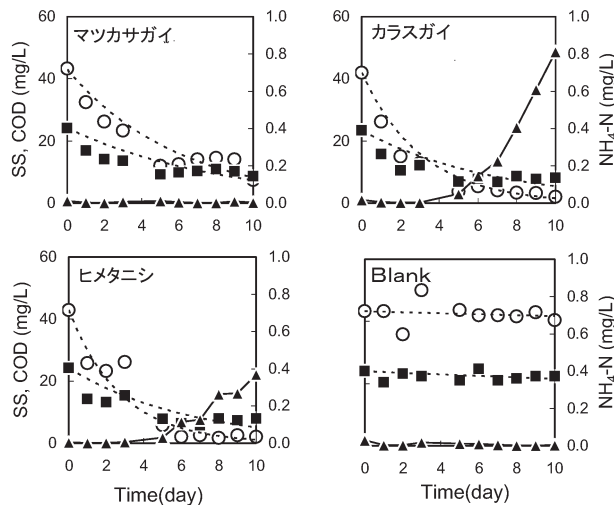


図2 SS, CODおよびNH₄-Nの経時変化(藍藻)
 -○-: SS -■-: COD -▲-: NH₄-N

3-2 懸濁物質の沈降速度

培養1日目、貝類を入れた容器では、貝類を入れないもの(ブランク)と比較してSSの沈降速度が約3~6(cm/day)増加した(図3)。これは容器底の貝類が水中の懸濁物質を吸入し擬糞化することによると考えられた。

貝類を入れて10日が経過した検水では、SSの沈降速度が100~150(cm/day)と大きかった。これは懸濁物質が擬糞状になることにより、粒子径が大きくなり、沈降速度が増加したと考えられた。

これらのことから、貝類を入れた容器では時間の経過に伴い、容器中の水の透明度がブランクに比べ増加する

等の変化が見られるのは、貝類による懸濁物質の沈降の促進が大きき要因であると考えられた。

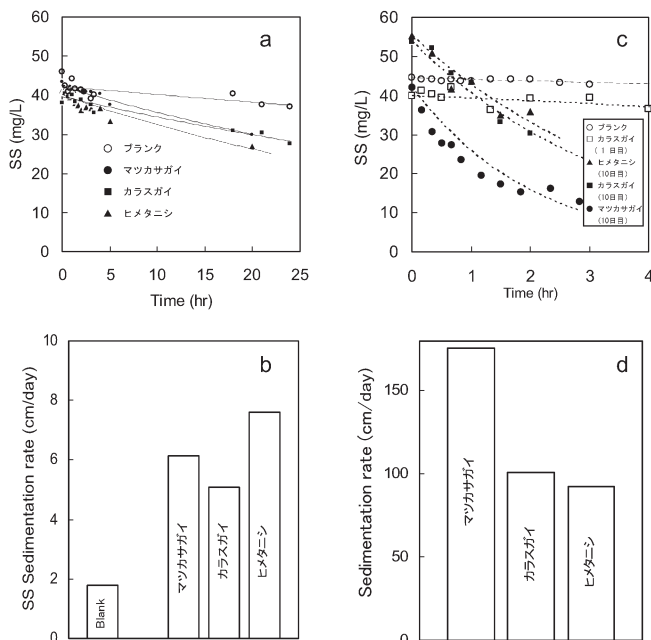


図3 SSの沈降速度(藍藻)

a: 培養1日目の検液の濃度変化
 b: aを沈降速度で表示
 c: 培養10日目の検液の濃度変化
 d: cを沈降速度で表示

3-3 水温の影響

屋外の用排水路に貝類を入れた容器、及び、対照試験(ブランク)として貝類を入れない容器を設置し、SSの容器への単位時間当たりの沈降量を測定し、ブランクとの差から、貝類によるろ過速度を計算した。図4に実験に用いた容器、および実測値から計算したヒメタニシのろ過速度と温度の関係を示す。SSろ過速度は水温の低下により減少し、5℃

では貝類による懸濁物質の沈降は殆ど認められなかった。図中にヤマトシジミでの値(文献値)³⁾をあわせて示す(図中に×で示す)。1個体あたりのろ過速度はほぼ同等の値であった。

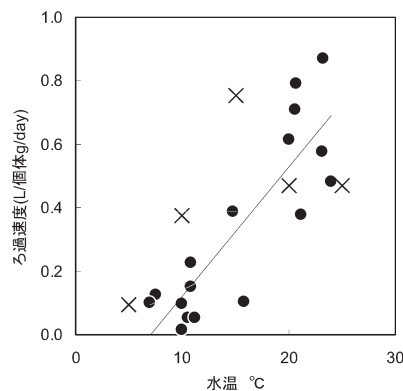


図4 屋外実験結果

●: 実測値(ヒメタニシ)
 ×: 文献値(ヤマトシジミ)³⁾

3-4 シミュレーション計算

得られたデータから、水中の懸濁物質の削減についてシミュレーション計算を行った(図5)。

3.4.1 容器

高さ20(cm)、断面積100(cm²)の容器を想定して計算した。水中の懸濁物質は珪藻綱、SSは40(mg/L)、貝類はヒメタニシが0~2(個体/L)存在し、懸濁粒子の沈降速度については、実験結果をもとにヒメタニシが存在しない場合13(cm/day)、ヒメタニシが2(個体/L)存在する場合49(cm/day)と仮定した。平均滞留時間 τ を1(day)としたときの計算結果を図5(a)に示す。ヒメタニシが存在しない場合のSSの自然沈降による削減率は24(hr)後では31%で、これに対しヒメタニシが2(個体/L)存在する場合はSSの削減率は68%と計算された。

3.4.2 水路

幅0.5(m)、長さ1(m)、水深0.2(m)の水路を想定して計算した。平均滞留時間は0.5(day)とし、水中の懸濁物質は珪藻綱、SSは40(mg/L)とした。貝類はヒメタニシが水路内に0~2(個体/m²)存在し、懸濁粒子の沈降速度は実験結果をもとに、貝類が存在しない場合13(cm/day)及び貝類が2(個体/m²)存在する場合49(cm/day)であると仮定した。式(2)による計算結果を図5(b)に示す。

SSの削減率は、貝類が存在しない場合は24%であるのに対し、貝類が2(個体/L)のときは55%であった。

3.4.3 水田

幅10(m)、長さ10(m)、湛水深20(cm)の水田を想定して計算した。平均滞留時間は0.2~2(day)とし、貝類はヒメタニシ、水中の懸濁物質は珪藻綱、SSは40(mg/L)、貝類が存在しない場合の沈降速度は13(cm/day)とした。貝類の生息密度については、笹ヶ瀬川河口域で53~121(個体/m²)¹⁴⁾が報告されており、ここでは同程度の100(個体/m²)に相当する、0.5(個体/L)とした。式(2)による計算結果を図5(c)に示す。

SSの削減率は、平均滞留時間が1(day)の場合は52%、2(day)の場合は68%と計算された。

上記の計算結果から、単位体積における1日あたりのSS削減率を50%とし、これを兎島湖への1日あたりの流入水量(224万tと仮定)¹⁴⁾と比較すると、流入水のSSを50%削減するのに要する水田の面積は11.2(km²)と計算されるが、これは兎島湖流域の水田面積120km²の約9%に相当する。

3.4.4 ため池

幅20(m)、長さ20(m)、高さ50(cm)のため池を想定して計算した。平均滞留時間は1~15(day)とし、水中の懸濁物質は藍藻綱、見かけ上の増殖速度は0.1(1/day)と仮定、流入水のSSは40(mg/L)、沈降速度は3(cm/day)、貝類はカラスガイがため池内に0~100(個体/m²)存在すると仮定した。式(4)による計算結果を図5(d)に示す。

平均滞留時間15(day)を仮定した場合、貝類が存在しない場合は、SSは全く削減されず、これに対し20(個体/m²)存在する場合には37%と計算された。

4. まとめ

- (1) 3種類(マツカサガイ、カラスガイ、ヒメタニシ)の貝類を入れSSおよびCODの変化を測定した。いずれも5日後には、SSは20~30%、CODは40%程度にまで減少していた。
- (2) 貝類を入れた容器では、SSの沈降速度が3~6(cm/day)増加していた。これは容器底の貝類が水中のSSを吸入することによると考えられた。
- (3) 貝類を入れて数日の時間が経過した検水では、SSの沈降速度が100~150(cm/day)と大きかった。これは懸濁物質が擬糞状になることにより、粒子径が大きくなり、沈降速度が増加したと考えられた。
- (4) シミュレーション計算結果は次のとおりであった。
 - ・ 容器(容積2L、水深20cm)では、平均滞留時間1(day)、ヒメタニシ2(個体/L)のとき、24(hr)後のSS削減率は約70%。
 - ・ 水路(長さ1m、水深20cm)では、平均滞留時間0.5(day)、ヒメタニシ2(個体/L)のとき、SSの削減率は約50%。
 - ・ 水田(湛水深20cm)では、平均滞留時間1(day)、ヒメタニシ100(個体/m²)のとき、SSの削減率は約50%。
 - ・ ため池(水深:0.5m)では、平均滞留時間15(day)、カラスガイ20(個体/m²)のとき、SSの削減率は約40%と見積もられた。

	高さ m	面積 m ²	τ day	貝 種類 個/L
容器	0.2	0.01	1	ヒメタニシ 0-2
水路	0.2	0.5	0.5	ヒメタニシ 0-2
水田	0.2	100	0.2-2	ヒメタニシ 0.5
ため池	0.5	400	1-15	カラスガイ 0-0.2

※平均滞留時間 τ (day) と懸濁物質濃度 C (mg/L) の関係

C は τ の関数として以下のようにあらわされる。

$$C = a \cdot e^{-\left(\frac{W_s + D}{H}\right)t} + b$$

において $t \rightarrow \infty$ のとき C は b に収束するので、(2)式から、

$$C_{t \rightarrow \infty} = b = \frac{D \cdot H \cdot C_m}{W_s + D \cdot H}$$

$$= \frac{H \cdot C_m}{\tau \cdot W_s + H} \quad \therefore \tau = \frac{1}{D}$$

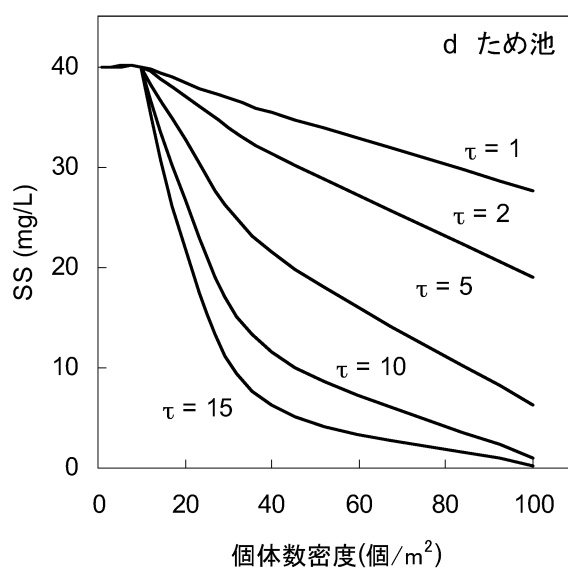
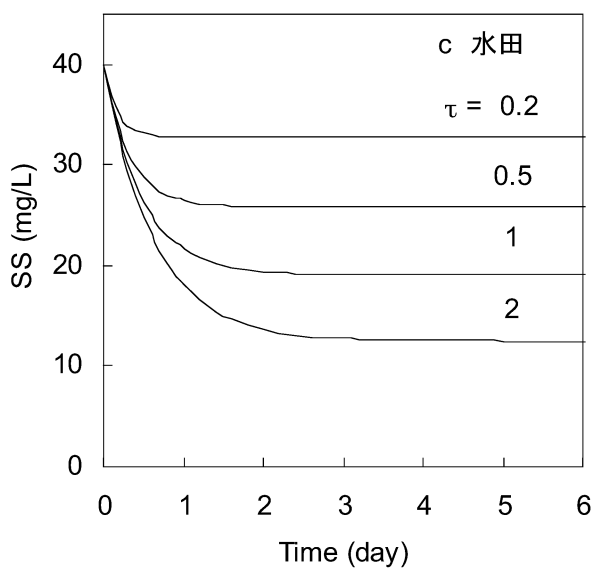
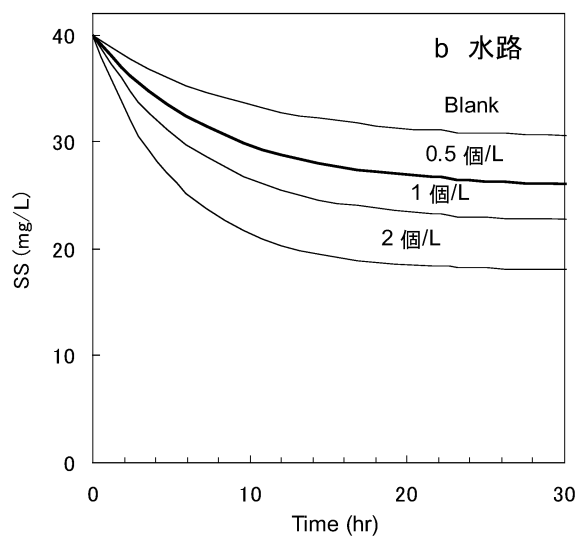
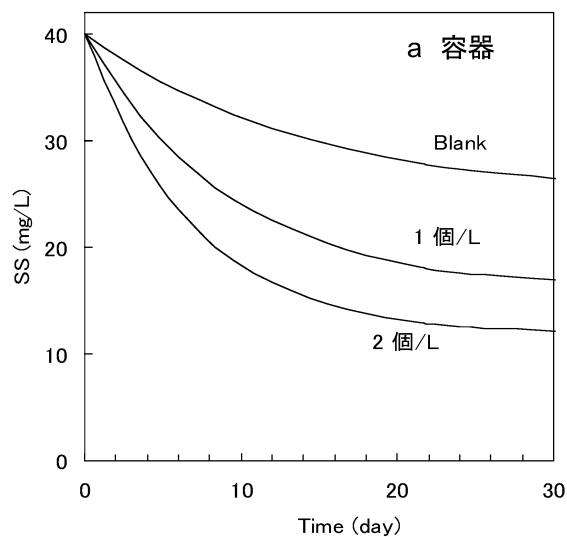
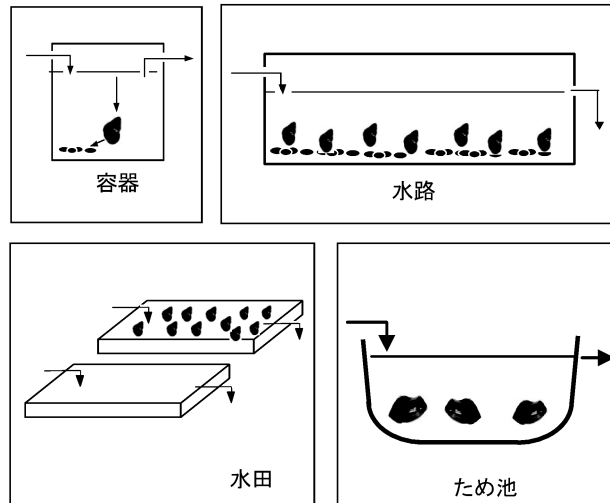


図5 シュミレーション計算

a : 容器, b : 用排水路, c : 水田, d : ため池

文 献

- 1) 鈴木ゆかり, 厳佐庸: 湖沼生態系ダイナミクスと人々の社会経済学的選択ダイナミクスのカップリング, 日本陸水学会第72回大会講演要旨集, 38-39, 2007
- 2) 藤田和男, 岩藤高志, 北村雅美, 斎藤直己: ため池での魚のへい死について, 岡山県環境保健センター年報, 32, 21-30, 2008
- 3) 前田伊佐武, 相崎守弘, 山口啓子, 藤田直樹: 汽水湖水を連続供給した屋外水槽でのヤマトシジミの水質浄化能に関する研究, 水環境学会誌, 23(11), 716-720, 2000
- 4) 相崎守弘, 森岡美津子, 木幡邦夫: ヤマトシジミを利用した汽水域の水質浄化に関する基礎的研究, 用水と廃水, 40(2), 34-39, 1998
- 5) 国立環境研究所編: 環境儀, p.4-11, 2002
- 6) 根岸正美, 松本俊一, 岡野三郎: 澗沼におけるヤマトシジミの生育環境及び水質浄化機能, 第30回環境保全・公害防止研究発表会要旨集, 70-71, 2003
- 7) 相崎守弘, 福地美和: ヤマトシジミを用いた汽水性汚濁水域の浄化, 用水と廃水, 40(10), 46-50, 1998
- 8) 岡山県生活環境部環境管理課: 平成19年度公共用水域及び地下水の水質測定結果, 2006
- 9) 藤田和男, 鷹野 洋, 吉岡敏行, 山本弘捷: 児島湖流域の内部生産, 平成12年度 岡山県環境保健センター年報, 25, 7-9, 2001
- 10) 平河喜美男編: 工場排水試験法 JIS-K0102, 日本規格協会, 東京, 1998
- 11) 建設省下水道部・厚生省水道環境部監修: 下水道試験法, p.103, 1997
- 12) 柳 哲雄編: 瀬戸内海の底質環境, 恒星社厚生閣, 東京, p.96, 2008
- 13) 岡山県, (株)ウェスコ: 平成3年度児島湖水質保全計画基礎調査業務報告書, 83, 1992
- 14) 岡山県: 児島湖ハンドブック, 2-12, 2006