

湖沼沿岸域の浄化容量

沖野外輝夫¹⁾・井上博貴¹⁾・川滝千香¹⁾

渡辺義人²⁾・井上憲治²⁾・武居 薫³⁾・中田喜三郎⁴⁾

¹⁾信州大学理学部臨湖実験所 ²⁾信州大学繊維学部 ³⁾長野県水産試験場

⁴⁾工業技術院資源環境技術総合研究所

The capacity for purificating lake water in littoral zone

Tokio OKINO¹⁾, Hiroki INOUE¹⁾, Chka KAWATAKI¹⁾

Yoshito WATANABE²⁾, Kenji INOUE²⁾, Kaoru TAKEI³⁾, Kisaburo NAKADA⁴⁾

¹⁾Suwa Hydrobiological Station, Fac. Science, Shinshu University ²⁾Fac. Textile, Shinshu University

³⁾Fisheries station, Nagano Prefecture ⁴⁾National Institute of Technology for Resource and Environment

1. はじめに

諏訪湖の沿岸域の変遷については倉沢, 沖野(1983)が水質, 生物の変遷を含めて詳しく報告している。それによると, 1976年時点で諏訪湖の水生植物の成育面積は, 最盛期の 380ha から64ha にまで減少し, 分布限界深度も 4 m から1.7m 水深にまで後退している。沿岸域は, さらにしゅんせつ, 埋め立てにより改変されたことから, 分布面積の縮小に加えて, 直接的な人為の影響により, 沿岸の水生植物帯は壊滅的な打撃を被っている。当然, 漁獲量にも影響があったものと考えられるが, 進行していた水質汚染の影響との分離が困難であり, 沿岸域の損傷による水族への影響を直接知ることではできなかった。しかし, 水質汚染も含めての影響から, 1978年時点では年間の漁獲量は約300ton であり, すでに水質が汚染されていた 1970年の530ton に比較してもおよそ60%弱でしかない。

水質汚染防止のために建設されていた諏訪湖流域下水道も1979年に一部稼働開始となり, その後順調に供用面積を広げ, 1995年には70%を越えるまでに利用を伸ばしている。諏訪湖湖内の水質も処理下水量の増加と共に逆比例して栄養塩濃度を低下させる傾向が続き, 植物プランクトンの発生量も減少の傾向にある。

しかし, 水質の改善に対して漁獲量の増加は同調する気配がなく, むしろ, さらに低下傾向が続き, 1985年によく低位で安定し, 1990~1995年の平均漁獲量は年間160ton 前後でしかない(長野県水産試験場諏訪支場, 1995)。ちなみに, もっとも富栄養化が進行していた1975~1980年の漁獲量は年間350ton 程度

であった。水質の改善が漁獲量に反映しなかった原因が, 沿岸域の水生植物帯の損傷にあるとする根拠は, その影響がはっきりし, 結果がでた段階でようやく認められることになった。同時に, 水生植物による水質の改善効果についても認められるようになり, 沿岸域のヨシを中心とする水生植物帯の重要性が見直されている。

水生植物帯が人為的に改変された原因の一つに, 沿岸域の水質浄化力を定量的に評価できなかったことが挙げられる。定性的には水産生物の再生産の場として重要である, としながらも定量的な提示ができなかったことが今日の状況にいたらしめたことも事実である。そこで, 浄化容量という面からの沿岸域の評価を試みた。ここで使われる浄化の定義は, 流入した栄養塩(窒素, リン)が湖沼沿岸帯において, 水中から一時的または永久的に除去されることにより, 植物プランクトンへの取り込みを軽減させる機能を指している。具体的には, 湖底泥での脱窒や漁獲による物質の除去だけでなく, 水生植物による栄養吸収, 水生植物体への生物付着, 高次栄養動物への取り込み, といった季節的な物質固定も浄化要素として扱われている。

2. 材料と方法

具体的な湖沼としては諏訪湖をとりあげた。水生植物としては, 現在の諏訪湖で優先している沈水植物を対象として, 具体的にはエビモを主体とする沿岸域を想定している。エビモは本来諏訪湖の優占種ではなかったが, 富栄養化が進行して以来, もっとも安定して優占している沈水植物の一つである。エビモの成育面

表 - 1 エビモ分布調査の密度階級区分と
現存量算出に用いた乾燥重量

密度階級	HH	H	M	L
株間距離(m ²)	<0.5	0.5~1.0	1.0~2.0	2.0<
乾燥重量 (g d. wt./m ²)	31.8	6.4	4.15	0.50

(長野県水試諏訪支場、1995)

積については、毎年エビモの最盛期である6月に諏訪湖沿岸全域を観察、表 - 1 に示す階級にしたがって識別、数値化した。エビモの成長については長田 (1983) により報告されている諏訪湖での観察をもとにしている。

付着物の増加量に関してはエビモ植物体そのものの付着物量の測定と人工基質を用いての測定を併用している。人工基質は水深2~3mの沿岸域で、表面から10~20cmの深さに吊し、14~20日間放置後測定している。この付着物を用いて、付着物の分解に伴う窒素、リンの溶出速度を測定した。測定条件は好気、嫌気の両条件で、水温は好気条件が25℃、嫌気条件は密閉状態での測定が10~30℃、開放条件の場合が20℃である。底泥および付着物の脱窒量の測定は中島ら (1981) の方法に準じ、アセチレン阻外法によっている。

その他の湖心での観測、採水は3月から12月まで10日間隔で行われ、採水深度は1mごと、計7層である。水質の分析法は信州大学理学部附属諏訪臨湖実験所で行っている定期観測と同様である。水温：電気水温計（東邦電探 EST-3 型）、透明度：セッキの円板、25cm、クロロフィル a 量：GF/C 濾過、90% アセトン抽出、UNESCO/SCOR 式にて算出、全窒素 (TN)、溶存全窒素 (DTN)：大槻 (1981)、硝酸態窒素 (NO₃-N)：イオンクロマトグラフ (DIONEX 社製、QC 型)、亜硝酸態窒素 (NO₂-N)：スルファニルアミン法、アンモニア態窒素 (NH₄-N)：インドフェノール法、全リン (TP)：過硫酸カリ分解法 (Menzel and Corwin, 1965)、溶存全リン (DTP)、リン酸態リン (PO₄-P)：アスコルビン酸還元法 (Murphy and Riley, 1962)、基礎生産量と呼吸量：明暗ビン、現場法、1日間設置、酸素法、沈殿量：水深5m、1日設置、直径12cm ロートで採集、沿岸の観測、採水地点はエビモの成育地域で、水深は2~3mである。ここでの観測は月1回行い、湖心との比較から、細かな季節変化を推定している。

表 - 2 付着物の成分組成 (乾燥重量%)

C	N	P	Chl.a
13.50	1.90	0.30	0.42

(渡辺、未発表)

3. 結 果

図 - 1 は1990~1992年の湖心の表層と底層および沿岸の水温の季節変化を示したものである。図中の実線は実測値を正弦曲線で近似させたものである。湖心では5~8月に若干の温度差 (最大5~6℃) が表層と底層の間に現われる。図 - 2 には、1990年から1992年の、湖心での透明度、クロロフィル a 量、および全窒素、全リン量の季節変化を示してある。この3年間の透明度は48~208cm、クロロフィル a 量は60~800 mg/m²、全窒素は0.7~2.1mg/l、全リンは0.05~0.25mg/l で推移していた。

図 - 3 には諏訪湖全域でのエビモ群落の推移を、その分布面積と現存量で示してある。近年では1986年の300ha が最大で、1991年の85ha が最小である。その後、1992年には169ha、1993年は256ha と増加傾向にあるが、現存量 (乾重量) では1986、1987年の20ton には及ばず、10ton に達していない。

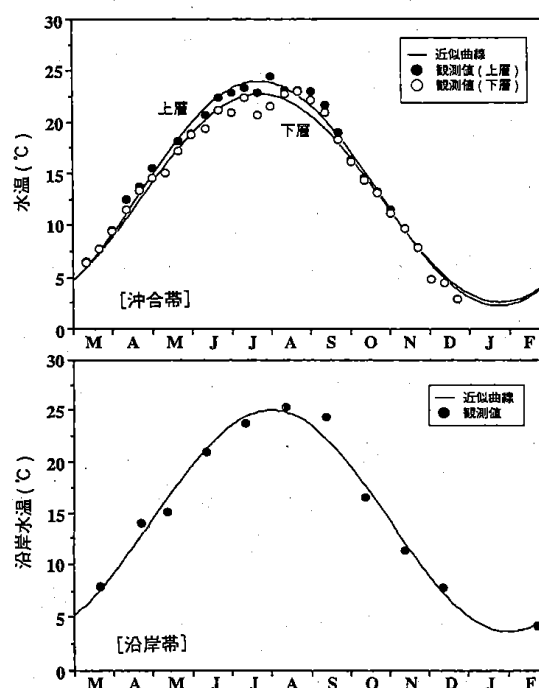


図 - 1 諏訪湖の水温の季節変化 (1990~1992年の平均を正弦曲線近似)

(水産資源保護協会、1995)

湖沼沿岸域の浄化容量

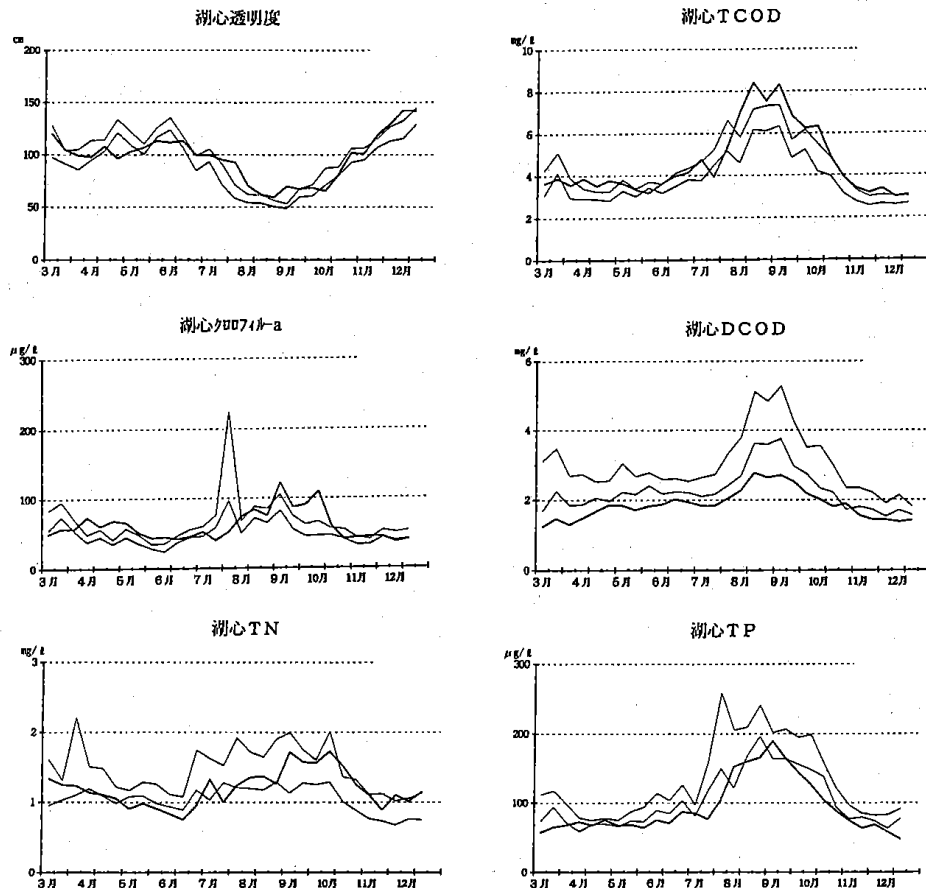


図 - 2 諏訪湖の透明度、クロロフィルa全COD、TN、TPの変化
(1989～1994年の湖心の実測値の平均)

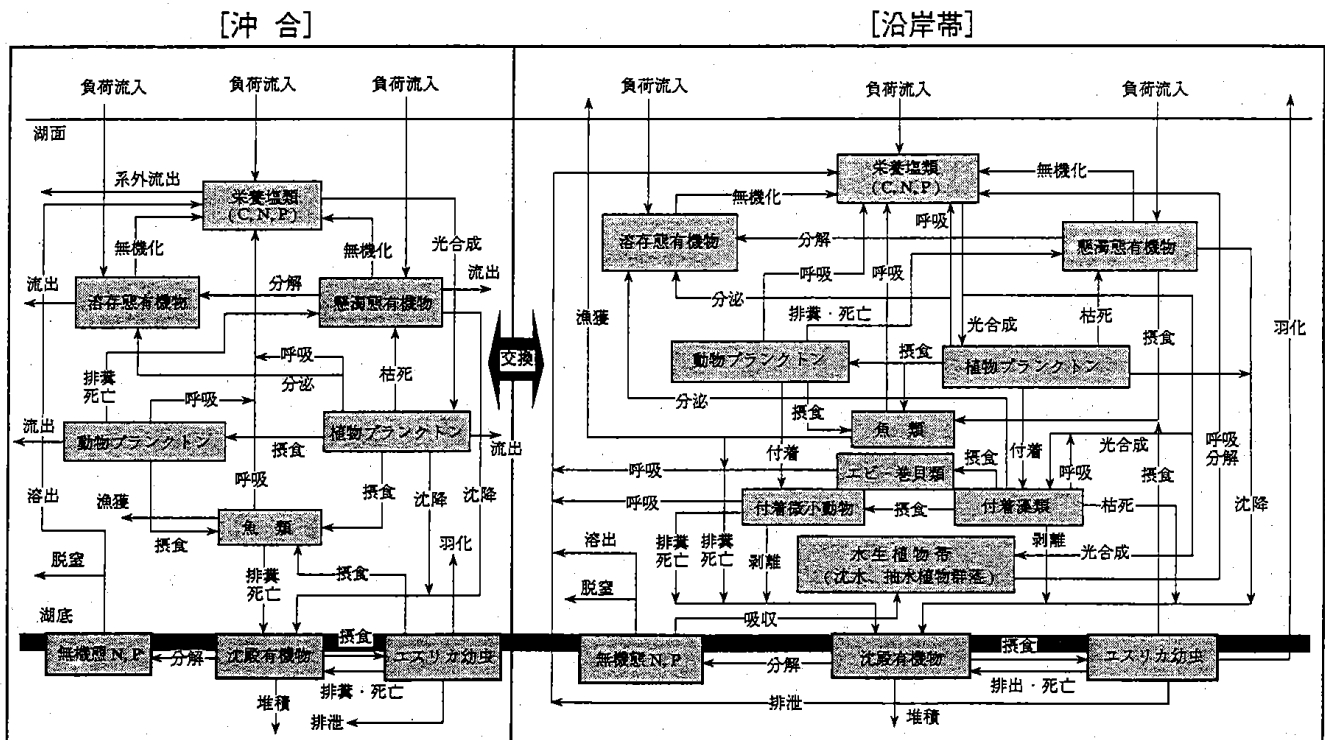


図 - 3 諏訪湖沖合および沿岸帯の物質循環模式図 (水産資源保護協会、1995)

エビモ群落における付着物量は、密度階級Hの区分の群落で 12.7gdry wt./m^2 であり、同時に測定されたササバモの 8.7g に比べて多かったが、これはササバモよりエビモの方が1シュート当たりの重量および葉面積が大きいことによる。表-2に付着物の成分組成を示した。これをもとにしてエビモ群落に占める付着物の窒素、リンの比率を算定すると、窒素では27.4%，リンは30.2%に相当する。人工基質での付着物の生成速度は、14～20日の間での最大速度時で $2.06\sim0.26\text{g dry wt./m}^2/\text{day}$ （平均 $1.24\text{g dry wt./m}^2/\text{day}$ ）となった。全期間を平均すると $0.98\sim0.31\text{g dry wt./m}^2/\text{day}$ （平均 $0.61\text{g dry wt./m}^2/\text{day}$ ）になるが、生成初期には10日間前後の lag-phase があり、4週間以上になると、魚貝類の影響を受ける場合が多い。上記の付着物生成速度は、水温 $16\sim17^\circ\text{C}$ で得られた数値であるが、水温 $15\sim25^\circ\text{C}$ の間で比較すると、低温条件の方が生成速度は大きい傾向となった。

付着物の水中からの窒素、リンの吸収速度は、窒素で $50\sim100\text{mg/m}^2/\text{day}$ 、リンは $9\sim18\text{mg/m}^2/\text{day}$ の

範囲にあり、酒井（1991）が河川の礫面について報告した窒素 $86\text{mg/m}^2/\text{day}$ 、リン $16\text{mg/m}^2/\text{day}$ に近い値となっている。付着物の分解時の窒素、リンの溶出量は、好気条件下では40日目までに76%に達し、嫌気密閉条件下では30～40%程度であった。一方、リンの場合は好気、嫌気条件共に40～50%程度で、それ以上の溶出は窒素の場合と同様に認められなかった。

付着物の脱窒活性は、硝酸態窒素の添加量 $70\mu\text{g}$ 付近（濃度にして 5mg/l 前後）で最大の脱窒速度（ $40\mu\text{g/g dry wt./day}$ ）が得られた。底泥の脱窒活性は $9\sim12\mu\text{g/g/day}$ 、同じ硝酸態窒素添加量（ $100\mu\text{g}$ ）での付着物の脱窒活性は $32\sim71\mu\text{g/g/day}$ で、付着物の脱窒活性の方が数倍高くなっている。

諏訪湖の二枚貝類は大型の個体を除けばほとんどが沿岸域に生息するカラスガイ、ドブガイ、イシガイ、シジミであるが、シジミは放流のヤマトシジミである。巻貝はタニシ、カワニナがほとんどであり、沿岸域のみに生息している。全域の現存量を試算すると、カラスガイが928ton、ドブガイ157ton、タニシ294ton、カワニナ104ton、イシガイ105ton、シジミ1tonである。魚類については年間の漁獲量が160ton前後であるが、1990～1992年のワカサギが84～98tonと、総漁獲量の約60%を占めている。しかし、実際の現存量の推定はきわめて困難であり、正確な量は分からない。そこで重要な魚類の餌生物であるユスリカ幼虫とコイの関係をもとにして湖内の魚類の現存量を推定すると、約 40g/m^2 をもとにして全湖で約500tonになる。ちなみに、1992年の漁獲量は135tonであった。

4. 考 察

以上の基礎データを参考にしてエビモ群落を主体とする沿岸域の窒素、リンに関しての浄化容量を推定してみた。図-3には浄化機能評価モデルの中で考慮した水生植物帯の浄化要素と季節的な物質循環を含む浄化過程を模式化して示してある。評価モデルで主に考慮した浄化要素は、1)エビモ葉体への生物付着、2)エビモ自身の栄養吸収、3)ユスリカ幼虫の摂餌と羽化、4)ワカサギの摂餌と漁獲、5)湖泥表層での脱窒、である。

評価モデルの定式化は以下のようになる。湖沼生態系の構成要素の現存量を、沖合帯はB1、沿岸水生植物帯B2で表わすと、それらの収支挙動は以下のような数式で記述される。

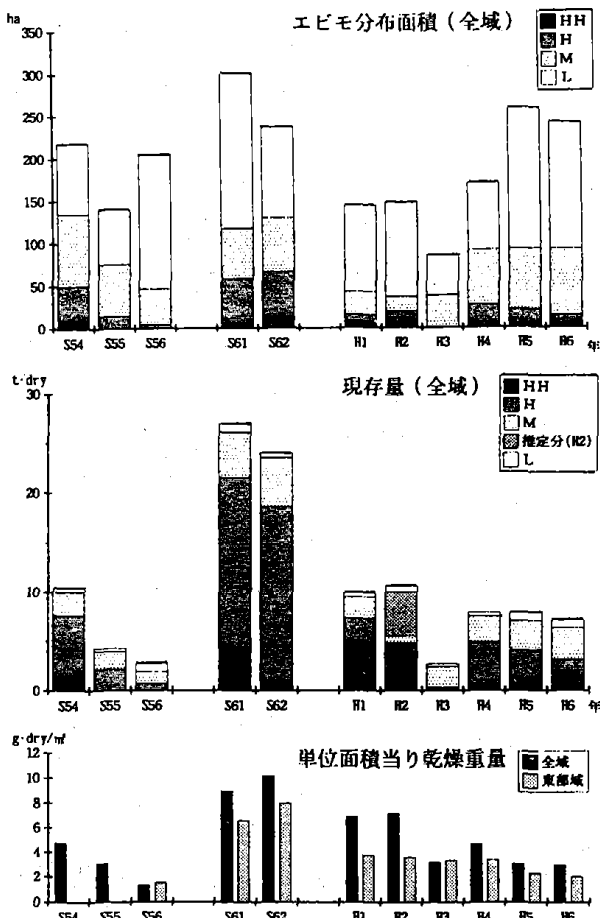


図-4 諏訪湖でのエビモ群落の分布面積と現存量の推移

表-3 浄化機能評価モデルの基本構成要素

記号	定 義	単 位
Ap	浮遊藻類生物量	mgC/m ³
SQNp	浮遊藻類細胞内窒素クォータ	mg atmN/m ³
SQPp	浮遊藻類細胞内リンクォータ	mg atmN/m ³
Ag	水生植物付着藻類生物量	mgC/m ² _{sub}
SQNg	付着藻類細胞内窒素クォータ	mg atmN/m ² _{sub}
SQPg	付着藻類細胞内リンクォータ	mg atmN/m ² _{sub}
Zp	浮遊動物プランクトン生物量	mgC/m ³
Zg	付着微小動物生物量	mgC/m ³ _{sub}
F	浮遊魚類生物量	mgC/m ³
POC	懸濁態有機物（デトリスタ現存量）	mgC/m ³
DOC	容存態有機物現存量	mgC/m ³
NH ₄	アンモニア態窒素濃度	μg atmN/l
NO ₂	亜硝酸態窒素濃度	μg atmN/l
NO ₃	硝酸態窒素濃度	μg atmN/l
PO ₄	リン酸態リン濃度	μg atmN/l
DO	溶存酸素量	mg/l
COD	化学的酸素要求量	mg/l
B	ベントス（主にユスリカ幼虫）生物量	mgC/m ²
PLT	水生植物（冠水部）生物量	mgC/m ²
Sub	付着基質の面積	m ² _{sub} /m ²

[沖合帯]

$$\frac{\delta}{\delta t}(V_1 \cdot B_1) = Q_{21} \cdot B_2 - Q_{12} \cdot B_1 + F_1 + V_1 \cdot \frac{dB_1}{dt} \quad (1)$$

[沿岸帯]

$$\frac{\delta}{\delta t}(V_2 \cdot B_2) = Q_{12} \cdot B_1 - Q_{21} \cdot B_2 + F_2 + V_2 \cdot \frac{dB_2}{dt} \quad (2)$$

ここで、V1、V2は沖合、沿岸帯の水容積、Q12、Q21はそれぞれ沖合から沿岸、沿岸から沖合への水の移動量、F1、F2は系外からの物質流入量（汚濁負荷量）を表わしている。表-3には生態系コンパートメントのうち、沖合と沿岸帯に共通する基本的な要素を示している。各生物化学過程の定式化と評価モデルの生物パラメーターについては生態系モデルにおいて共通して使われているもので、ここでは省略する。表4には浄化シミュレーションに使用した諏訪湖の諸元を示した。水質その他のデータは1990～1992年の実測値を用い、沿岸のエビモ帯についても上記3年間の平均総面積134haを用いている。沿岸帯での水収支は次のように算定している。エビモ帯における水の滞留時間は、夏期（SE風）の場合が5.9hr.、冬季の西北西の風の吹送時は2.7hr.、風停止時は9.8hr.と求められており、これを現状シミュレーションに適用した。

計算区画は沖合帯と沿岸帯の二つの水域に区分、平均深度5mの沖合帯は表面から2mで上下に区分した。流入汚濁負荷量は沖合帯と沿岸帯の面積比で単純に配

表-4 浄化シミュレーションに使用した諏訪湖の諸元

項 目	単 位	数 値
[沖 合]		
水 容 積	m ³	59.9×10 ⁶
表 面 積	ha	1,197
平 均 深 度	m	5.0
[エビモ帯]		
水 容 積	m ³	2.68×10 ⁶
表 面 積	ha	134
平 均 深 度	m	2.0
[諏訪湖全体]		
水 容 積	m ³	63×10 ⁶
表 面 積	ha	1,331
平 均 深 度	m	4.7

分し、その総流入量は降水量に応じて季節変化するとしている（図-5）。生態系の駆動因子は日射量と水温であり、水温は実測値をもとにしている。日射量は松本測候所の測定データを正弦曲線近似し、雲量により針状の振動を与えている（図-6）。日長の季節変化は長野における日の出、日の入り時刻を正弦曲線近似して与えている。生物パラメーターについては従来のものと大きく変わっていないが、底泥からの窒素、リンの溶出速度、脱窒速度は以下のように設定している。

窒素溶出速度：48・exp(0.0693T) (mg/m²/day)

リン溶出速度：3・exp(0.0693T) (mg/m²/day)

底泥の酸素消費速度は溶存酸素濃度のシミュレーション結果と実測値との整合から次のように設定した。

酸素消費速度：800・exp(0.0693T) (mg/m²/day)

底泥での脱窒活性は実験値から曲線近似し、脱窒活性の温度応答として

脱 窒 活 性：0.423・exp(0.0451T) (mg/m²/day)

直上水中の硝酸態窒素濃度への依存性として

脱 窒 活 性：5.8・[1-exp(-0.387 NO₃)] (mg/m²/hr, at23°C)

上記2式を組み合わせ、汎用モデル式として次の関係式を適用した。

脱 窒 活 性：2.05・[1-exp(-0.387 NO₃)]・exp(0.0451T) (mg/m²/hr)

現状のシミュレーションの問題として以下の問題点が指摘される。植物プランクトンについて、珪藻から藍藻への交替時期の一時的な現存量の低下が再現できていない。窒素、リン共に現況に近い結果とはなっていない。

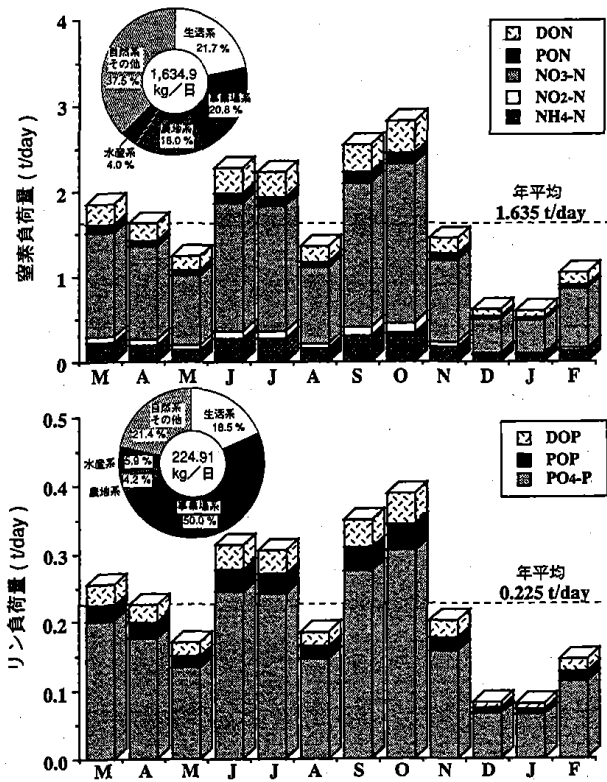


図-5 降水量をもとに推定した諏訪湖への窒素、リンの流入負荷量の季節変化（降水量は1990～1992年の諏訪湖観測所観測値、総負荷量は長野県1991年度調べによる）（水産資源保護協会、1995）

いるが、細部では9～10月にかけてのアンモニア態窒素の急増現象の再現ができていないこと、藻類による硝酸態窒素の利用が現実よりも早い時期に始まり、観測結果よりも2ヶ月早い段階で硝酸態窒素が枯渇したこと、リン酸態リンでは8～9月に観測される濃度のピークが2月ほど遅れて出現していることである。以上の結果からモデルの妥当性が検証されたので、次に湖内の物質循環を定量化し、沿岸エビモ帯の浄化力を解析した。表-5は諏訪湖沿岸エビモ帯の浄化要素の現存量を示したものである。沿岸帯の各種生物の群集内に蓄積された物質量は、年平均で炭素1,120kg、窒素189kg、リン23kgと見積もられた。沖合と比べると全量では1/4～1/5と少ないが、単位面積当たりになると約2倍に相当し、沿岸帯が相対的に多くの物質を貯蔵していることが分かる。特に、エビモ植物体と付着藻類の存在が大きな役割を果たしている。両者を合わせた量は窒素で沿岸帯全体の約40%、リンは60%の高い割合となっている。

物質循環量による評価を示したものが表6である。

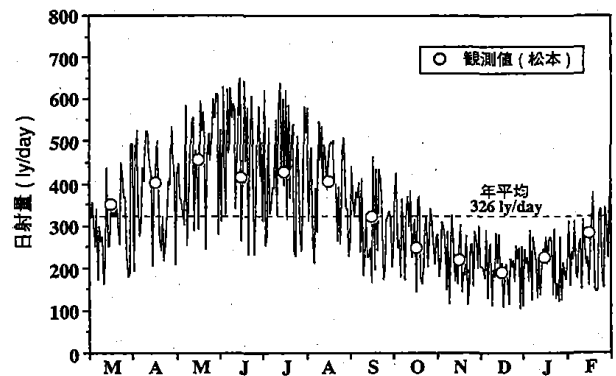


図-6 浄化シミュレーションで設定した日射量曲線（水産資源保護協会、1995）

季節的な生物による固定量を含めて、関連する生物過程をまとめたものである。沿岸エビモ帯の総浄化量は、年平均で炭素158kg/day、窒素45.8kg/day、リン3.3kg/dayと見積もられた。これは沖合に比べると、現存量でみた場合と同様に1/4～1/5と少ないが、単位面積当たりで比較すれば同様に約2倍の能力があることが分かる。浄化量の内訳では窒素、リン共に、付着藻類による吸収固定と動物（ワカサギ、ユスリカ幼虫）による摂餌の比重が大きく、湖底泥での脱窒は総浄化量の約30%と評価されている。図-7に窒素、リンについての沖合と沿岸域を含めての収支をまとめて示した。

以上のシミュレーション結果による沿岸エビモ帯の総浄化量を陸域からの流入汚濁負荷量と比べると、現状の負荷量に対して沿岸エビモ帯での浄化量は窒素で2.8%、リンでは1.5%といった小さな割合でしかない。しかし、沿岸帯での植物プランクトンによる栄養利用と比較すると、窒素で12.4%、リンでは6.7%となり、植物プランクトンの増殖を低減させる上でのエビモ帯の役割は決して小さいとは言えない。

今後沿岸帯を整備する際に、水生植物の成育密度を高くすることと、成育面積を増加することと、どちらの方がより効果的かについての評価を行った。結果として、成育面積の増加の方がより効果的であるとの評価が得られた。図-8はエビモ群落について、これまでの最小の面積、現状、1986年の300haといった現実の面積について浄化量の比較を行ったものである。300haにまでエビモ帯が改善されれば、現状の2.3倍の浄化力の増加が期待できることが示された。

現在行われつつある諏訪湖沿岸帯の修復工事に、水辺の景観改善ばかりでなく、水側の改善と水生植物帯

湖沼沿岸域の浄化容量

表 - 5 諏訪湖沿岸エビモ帯の浄化要素現存量

浄化要素	現存量	炭 素 C		窒 素 N		リ ン P	
		kg	mg/m ²	kg	mg/m ²	kg	mg/m ²
〔沿岸帯〕							
エビモ葉体		443	331	31.0	23.1	6.86	5.12
エビモ付着藻類		115	86	44.1	32.9	6.92	5.16
エビモ付着微小動物		8	6	1.2	0.9	0.08	0.06
ユスリカ幼虫		264	197	60.7	45.3	1.01	0.75
ワカサギ		290	216	51.5	38.4	7.98	5.96
合	計	1120	836	188.5	140.7	22.85	17.05
〔沖合〕							
ユスリカ幼虫		790	66	180	15.0	3	0.25
ワカサギ		3887	325	690	57.6	116	9.67
合	計	4677	391	870	72.6	119	9.92

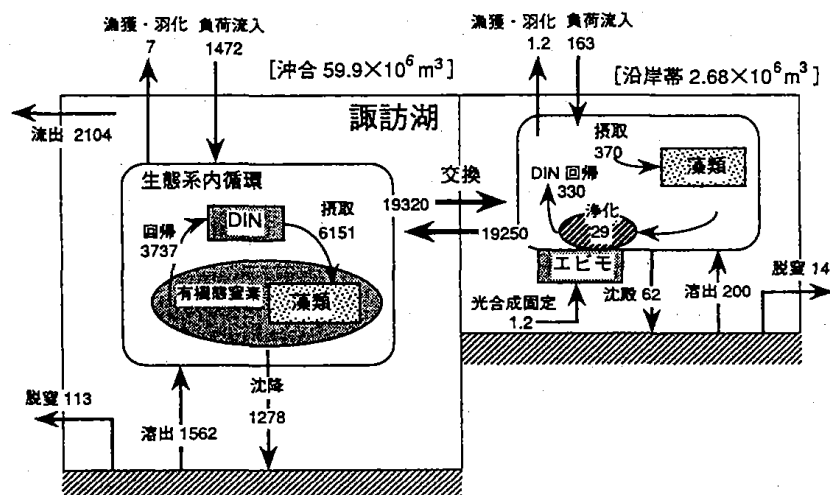
(水産資源保護協会、1995)

表 - 6 季節的な浄化要素を含めたエビモ帯の物質浄化量

浄化要素	現存量	炭 素 C		窒 素 N		リ ン P	
		kg/day	mg/m ² /day	kg/day	mg/m ² /day	kg/day	mg/m ² /day
〔エビモ帯〕							
付着珪藻							
光合成（栄養吸収）		39.6	29.6	10.6	7.9	1.62	1.21
エビモ							
浮遊藻類の付着		3.4	2.6	1.5	1.1	0.25	0.19
浮遊微小動物の付着		0.3	0.2	0.04	0.03	0.004	0.003
葉体の栄養吸収		16.9	12.6	1.2	0.9	0.26	0.19
付着微小動物の摂餌		5.5	4.1	0.7	0.5	0.05	0.04
ユスリカ							
幼虫の摂餌		50.6	37.7	10.1	7.4	0.17	0.13
成虫の羽化		4.0	2.9	0.9	0.7	0.02	0.01
ワカサギ							
摂餌		35.6	26.6	6.2	4.6	0.90	0.67
漁獲		1.7	1.3	0.3	0.2	0.05	0.04
湖泥							
脱窒		—	—	14.3	10.7	—	—
合 計		157.6	117.6	45.8	34.1	3.32	2.48
〔沖合〕							
ユスリカ							
幼虫の摂餌		156.0	13.0	29.7	2.5	0.59	0.05
成虫の羽化		12.0	1.0	2.7	0.2	0.04	0.003
ワカサギ							
摂餌		405	33.8	79	6.6	12.3	1.03
漁獲		24	2.1	4.1	0.4	0.7	0.06
湖泥							
脱窒		—	—	113	9.4	—	—
合 計		597	49.9	229	19.1	13.6	1.14

(水産資源保護協会、1995)

[窒素動態：kg/day]



[リン動態：kg/day]

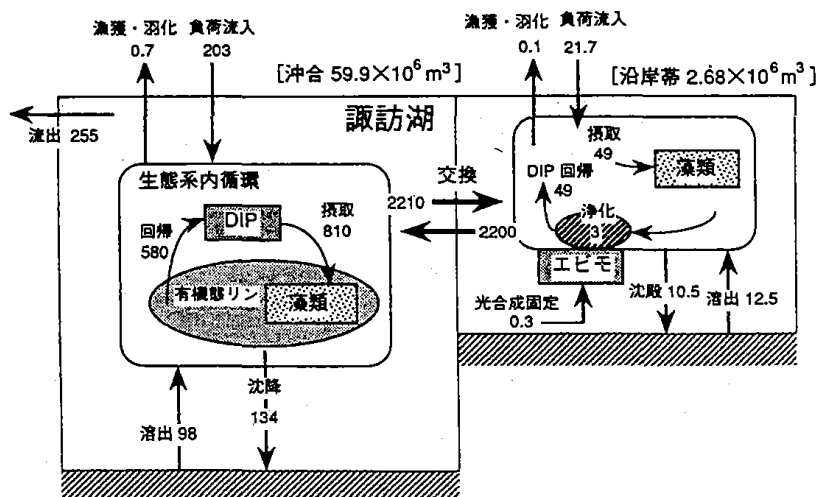
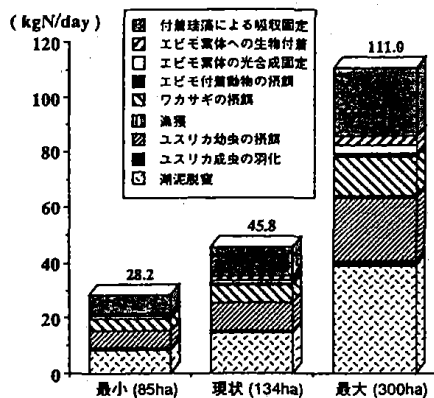


図-7 諏訪湖全体の窒素・リン収支のまとめ（現状シミュレーション結果）
（水産資源保護協会、1995）

[窒素浄化量]



[リン浄化量]

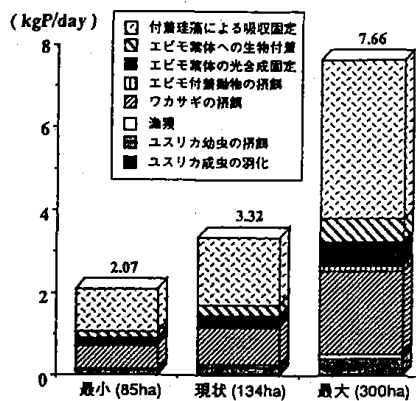


図-8 エビモ帯改善効果の予測結果
（水産資源保護協会、1995）

の復活が必要不可欠である理由は以上の結果からも理解できる。ただし、諏訪湖の場合には各地で行われようとしているヨシ帯の復活には面積的に制限があり、本報告の中心となっている沈水植物帯の利用がより現実的である。エビモを当分の間は中心として、さらにササバモ、クロモといった、以前に諏訪湖の主要な水生植物として繁殖していた種類が復活できる地形的な修復を水側に行うことが、これからの諏訪湖修復の課題であり、生態系としての諏訪湖再生の決め手と考える。

謝 辞

本報告の多くの生データは信州大学理学部附属臨湖実験所の定期観測結果によっている。この詳細なデータがなければ本研究の結果を得ることは到底できないことであった。ここに記して、同定期観測グループに参加した信州大学の関係者に感謝の意を表する次第である。また、本研究の推進の中心となった財団法人水産資源保護協会の関係者諸氏、諏訪湖のエビモ帯の分布調査に協力、その手法を指導していただいた信州大学理学部の船越眞樹講師、諏訪湖での研究、調査を担当した長野県水産試験場諏訪支場の職員、ならび

にシミュレーションを担当した(株)コンピューター・テクノロジー・インテグレイタの田口浩一氏と担当者併せて謝意を表させていただく。なお、本研究の費用の多くは水産庁漁場保全課「淡水赤潮被害防止技術開発試験」によっており、検討委員会の諸氏からも有益な助言を得て完成されたものである。併せて感謝の意を表する次第である。

参考文献

- 1) 倉沢秀夫, 沖野外輝夫 (1983): 諏訪湖の富栄養化と生物群集の変遷. 信州大学環境科学論集, 5号, 1-15
- 2) 長田正夫 (1983): エビモ個体群の生長様式と带状分布. 信州大学大学院理学研究科修士論文
- 3) 沖野外輝夫 (1990): 諏訪湖—マイクロコスモスの生物—. 八坂書房
- 4) 長野県水産試験場諏訪支場 (1995): 平成6年度赤潮対策技術開発試験報告書
- 5) 日本水産資源保護協会 (1995): 平成6年度赤潮対策技術開発試験報告書
- 6) 沖野外輝夫 (1988): 汚染物質の水域内物質循環過程. 湖沼汚染の診断と対策 (服部明彦編), 日

付表1 諏訪湖評価モデルのパラメータ [植物プランクトン]

パラメータ	単位	設定値	
		藍藻類	珪藻類
最大可能成長速度	day ⁻¹	0.40exp(0.0850T)	0.59exp(0.0633T)
呼吸速度	day ⁻¹	0.03exp(0.0524T)	0.03exp(0.0524T)
リンの最大呼吸速度	day ⁻¹	24.0	36.0
窒素の最大呼吸速度	day ⁻¹	12.0	12.0
PO ₄ -P 摂取の半飽和値	μg atm/l	3.0	1.0
NH ₄ -N 摂取の半飽和値	μg atm/l	6.0	2.0
NO ₃ -N 摂取の半飽和値	μg atm/l	10.0	5.0
NO ₃ -N 摂取の制限パラメータ	(μg atm/l) ⁻¹	1.40	1.40
リンクォータの最大比収量	—	16	16
窒素クォータの最大比収量	—	8	8
沈降速度	cm/s	2×10 ⁻⁴	2×10 ⁻⁴
枯死速度	(mgC/m ³) ⁻¹ ・day ⁻¹	2.5×10 ⁻⁵	2.0×10 ⁻⁵ exp(0.0693T)
光合成の最適光強度	ly/day	50	100
C/chl-a 比	重量比	43.7	33.3
細胞基質中の C/P 比	重量比	161.3	161.3
細胞基質中の C/N 比	重量比	15.9	15.9
TOD/C 比	重量比	3.11	3.11
COD/C 比	重量比	1.37	1.37
エビモ葉体への付着速度	day ⁻¹	—	0.1
最大可能付着量	mgC/m ² _{sub} /day	—	300
葉体からの剥離速度	day ⁻¹	—	0.04

付表2 諏訪湖評価モデルのパラメータ [動物プランクトン]

パラメータ	単位	設定値
最大摂食速度	day ⁻¹	0.18exp(0.0588T)
Ivlev 指数	(mgC/m ³) ⁻¹	0.0063
捕食の下限餌料濃度	mgC/m ³	0.0
基礎代謝速度	day ⁻¹	0.0214exp(0.0637T)
摂食に費やすエネルギー割合	%	30.0
消化効率	%	70.0
死亡速度	(mgC/m ³) ⁻¹ ・day ⁻¹	0.001
エビモ葉体への付着速度	day ⁻¹	0.1
最大可能付着量	mgC/m ² _{sub} /day	50.0
C/P,C/N 比	重量比	C/P=99.6,C/N=7.14
TOD/C,COD/C 比	重量比	TOD/C=3.31,COD/C=1.46

付表3 諏訪湖評価モデルのパラメータ [その他]

パラメータ	単位	設定値
光消散係数	m ⁻¹	0.86+0.023Chla
懸濁態有機物の分解速度	day ⁻¹	0.035exp(0.0693T)
溶存態有機物の分解速度	day ⁻¹	0.010exp(0.0693T)
分解余剰物の生成割合	%	25.0
底泥酸素消費速度	mgO ₂ /m ² day	800exp(0.0693T)(T≥7℃)
底泥からのリン溶出速度	mg/m ² day	3.0exp(0.0693T)
底泥からの窒素溶出速度	mg/m ² day	48.0exp(0.0693T)
硝化速度(NH ₄ →NO ₂)	day ⁻¹	0.03exp(0.0693T)
硝化速度(NO ₂ →NO ₃)	day ⁻¹	0.09exp(0.0693T)
脱窒速度	mgN ₂ /m ² /day	49.2・[1-exp(-0.3869NO ₃)]・exp(0.0693T)
デトリタス沈降速度	cm/s	5×10 ⁻⁴
懸濁物中の		
C/P,C/N 比	重量比	C/P=47.6,C/N=13.3
TOD/C,COD/C 比	重量比	TOD/C=3.01,COD/C=1.33
溶存有機物中の		
C/P,C/N 比	重量比	C/P=123.5,C/N=15.2
TOD/C,COD/C 比	重量比	TOD/C=2.82,COD/C=1.25
[付着基質：エビモ]		
エビモ生物量	g-drywt/m ²	季節変化を特定
エビモの成長速度	dry ⁻¹	0.15
光合成の光半飽和値	ly/day	50
成長に対する呼吸の割合	%	5
細胞外分泌の割合	%	20
エビモの C/P 比	重量比	64.5
エビモの C/N 比	重量比	14.3
[ユスリカ幼虫]		
生物量	mgC/m ²	季節変化を特定
摂食速度	dry ⁻¹	0.04exp(0.0693T),Q ₁₀ =2.0
消化効率	%	70
総成長効率	%	30
自然死亡速度	dry ⁻¹	0.05
成虫の羽化速度	dry ⁻¹	0.015
体重量	mg/個体	2.0
C,N,P 含有量	単位体重当たり%	C42.1,N9.70,P0.16
C/P,C/N 比	重量比	C/P=263,C/N=4.34
[魚類：ワカサギ]		
生物量	mgC/m ²	季節変化を特定
摂食速度	dry ⁻¹	0.04exp(0.0693T),Q ₁₀ =2.0
消化効率%	%	70
総成長効率	%	30
自然死亡速度	dry ⁻¹	0.05
漁獲消失速度	dry ⁻¹	0.006
C,N,P 含有量	単位体重当たり%	C16.33,N2.54,P0.45
C/P,C/N 比	重量比	C/P=36.3,C/N=5.64

刊工業新聞社, 107-152

7) 酒井康彦 (1991): 信州大学大学院繊維学研究科
修士論文

8) WATANABE, Y., H. HAYASHI T.

OKINO and Y. SAKURAI (1989): Present state
of lake environment in Shinshu Jpn. J. Limnol.,
51 (1), 15-23

(受付 1996年2月13日)