

■ 研究論文

近自然小河川における抽水植物の浄化機能に関する研究

Study on the Purification Function of Emerged Plants in Small Semi-natural Rivers

三瓶 由紀* 藤咲 雅明** 池口 仁*** 武内 和彦****

Yuki SAMPEI Masaaki FUJISAKU Hitoshi IKEGUCHI Kazuhiko TAKEUCHI

摘要：代表的な抽水植物であるマコモ (*Zizania latifolia*) が生育する、都市近郊の近自然小河川において、表流水および土壌間隙水の栄養塩量の変化の測定によるマコモの浄化機能の把握、マコモの刈り取りにおける栄養塩の総除去量の推定、の2つの調査を通じて、今後の河川における浄化対策について検討を行った。その結果、近自然小河川における抽水植物の浄化機能は、表流水には確認できず、夏期の土壌間隙水に対して現れることが明らかになった。また、抽水植物による浄化機能が有効性を示しうるのは、汚濁の進行していない河川であることが、刈り取りによる栄養塩除去量の推定により推測された。

1. はじめに

近年、河川が自然を育む場として評価され、近自然型河川工法もしくは多自然型河川工法と呼ばれる、自然を生かした河川整備が各地で盛んにおこなわれている¹⁾。こうした工法によって整備される河川（以下近自然河川とよぶ）では、生物の生息環境としての配慮と美しい景観の創出が求められており、それらに効果的とされる水生植物、とくに抽水植物が積極的に導入されている。

ヨシやマコモ等の抽水植物は、様々な環境保全機能を有していることが知られている²⁾。なかでも水質浄化機能は省資源・省エネルギー型の水質浄化技術の開発につながる機能として注目を集めている³⁾。とりわけ、宅地化の進む都市近郊農村地域の河川などでは、大規模な浄化施設の導入が困難であることから、水生植物等を利用した水質浄化技術の実用化が期待されている。

抽水植物による水質浄化効果は、主として流水中の栄養塩の低減により評価されている。これまで多数の報告によって有効性が指摘されてきたが^{4)~9)}、それらの多くは湖沼や人工施設といった静水あるいは止水域での事例である。

一方で、自然環境下の河川流水域では、表流水の栄養塩低減はほとんど確認されていない。むしろ、表流水の流速低減による浮遊物質 (SS) の沈殿を促進^{10)~12)}する作用により、河床への栄養塩負荷を高め、河川環境を悪化させると指摘されている¹²⁾。

しかし、抽水植物は栄養塩の吸収¹³⁾ および通気根を通じた酸素供給による根圏の微生物の活性化¹⁴⁾等を促し、河床の栄養塩負荷を低

減する浄化効果も有していることから、これらの作用も併せて考慮し、総合的に評価・検討をおこなう必要があると考えられる。

そこで本研究では、代表的な抽水植物のひとつであるマコモ (*Zizania latifolia* Trucz.) が生育する都市近郊の近自然小河川において、1) 表流水および土壌間隙水中の栄養塩量の季節変動とマコモによる浄化機能の測定、2) マコモの刈り取りによる栄養塩の総除去量の測定、の2つの調査から今後の河川における浄化対策を検討することを目的とした。

2. 研究の方法

(1) 調査地の概要

調査対象地には、1) 近自然河川であること、2) 抽水植物の生育がみられること、3) 都市近郊の小河川であること、という条件をすべてみたす、甲府市内を流れる十郎川を選定した (図-1)。十郎川は、流路延長約 5.2 km、集水域約 6 km²で、笛吹川水系濁川の支流にあたる。集水域の約 60% が山地、約 25% が一般市街地、残りの約 15% が畑地である。かつては農地が大半をしめていたが、現在では宅地化が進行しつつあり、都市と農村の間隔的な性質をもつ地域と位置づけられる。

十郎川の水質は、生活環境の保全に関する環境基準¹⁵⁾において、河川ではかなり汚濁の進んだとされるDランクに属している。河川管理者である山梨県は浄化対策のひとつとして、水生植物を利用した方法の導入を検討している。

本研究では、河川中流部で流入の見られない約 60m を調査区間として設定した (図-2)。ここは 20 年程前に伝統的な護岸工法で

ある「蛇籠」を使用した護岸整備がされており、今日という近自然型河川工法を用いた整備例としてみることができる。1998 年 3 月における調査区間の流路幅は約 2~5 m、水深は 0~0.6m、流速は 0~0.4m・s⁻¹であった。

調査区間の流路では、マコモが優占しており、その他、クサヨシ、ヨシ等の植物も生育していた。

(2) マコモの生態的特性

マコモは、イネ科の1年生あるいは多年生草本であり、河川や湖沼で生育する典型的な大型抽水植物である。生育に適した環境条件は、基質が泥質の止水域で、水深は約 0.2~0.5mとされている¹⁶⁾。

他の水生植物と比較して、とくに地上部に関しては単位面積あたりの物質生産量が高いという特徴を有している¹⁷⁾。また、通気根による根圏深部への酸素の供給能力も優れていることが明らかにされている¹⁸⁾。

(3) 現地調査

(i) 表流水に関する調査

表流水の年間における水質変動を把握するため、1997 年 9 月から 1998 年 8 月まで、積雪により調査ができなかった 1 月を除き、毎月 1 回ずつ採水調査をおこなった。

採水地点は、調査区間の上流端 (St. 1)、中央部 (St. 2)、下流端 (St. 3) の 3 カ所に設定した。本調査ではとくに SS に注目した。SS の多くは生活排水由来であることから、主に家事のおこなわれる午前中に多く排出されると考え、採水時間を午前 9 時から午後 3 時までとした。1 時間ごとに各地点の流心で 200ml のサンプルを採取した。その後、

* 東京大学大学院農学生命科学研究科 ** 社団法人農村環境整備センター *** 山梨県環境科学研究所緑地計画学研究室 **** 東京大学大学院農学生命科学研究科・山梨県環境科学研究所客員研究員

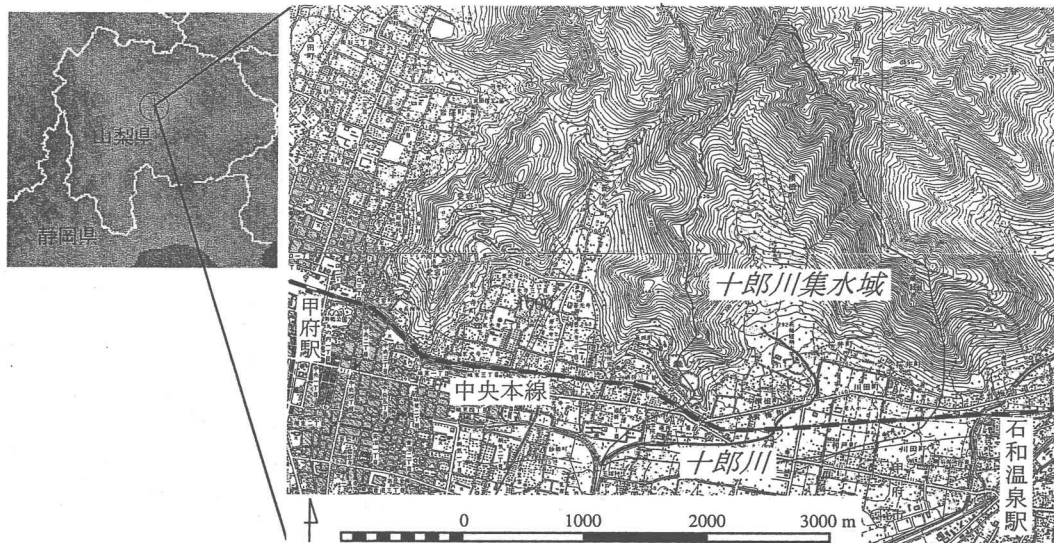


図-1 調査地位位置図

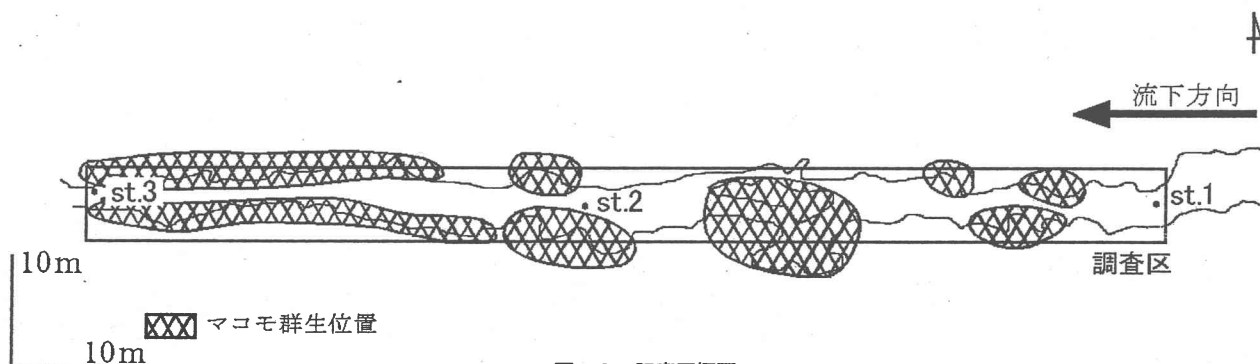


図-2 調査区概要

採水地点ごとに、サンプルを混合して採水日の代表サンプルを作成した。なお、採水時間によって流量が大きく変化するため、混合量は次の計算式を用いて、流量に占める割合が等しくなるように補正をおこなった。

$$Y_x = 100 \times S_x / S_9 \text{ (ml)}$$

Y_x : X 時の混合量

S_x : X 時の流量

S_9 : 9 時の流量

(ii) 土壌間隙水に関する調査

前述したように、マコモは成長による吸収、および微生物の活性化による土壌間隙水の水質浄化効果を有することが報告されている¹³⁻¹⁴⁾。一方で、河川流水域での調査結果から、水生植物は SS の沈殿を促進し¹⁰⁻¹¹⁾、土壌間隙水への栄養塩負荷を高めるといわれている¹²⁾。このことから、マコモが生育する場所としない場所とを単純に比較するだけでは、水質浄化効果の相殺が起こり浄化効果の評価は困難であると考えられた。

本研究においてはこの点に着目し、マコモが生育する場所と、それに類似した環境条件下にあり、かつマコモが生育しない場所とを比較することで、マコモの生育による水質浄化効果の検討・評価をおこなった。

そのために、まずマコモが生育可能と推測される環境条件の把握をおこなった。調査区間全体を 1m×1m のグリッドに分割し (全 392 グリッド)、そのなかで水域に属する 192 グリッドについて、各グリッドの中心における水深、流速を測定するとともに、マコモの生育の有無を記録した。水深および流速の測定は 1998 年 3 月に、マコモの分布調査は 1998 年 6 月におこなった。

つぎに、マコモの生育確率 (p) を目的変数、水深・流速を説明変数とするロジスティック回帰モデルを作成した。変数選択はステップワイズ法を用い、最大尤度法により適合率の高いモデルを求めた。

回帰モデルから得られた生育確率 (p) が 0.5 以上を生育可能とし、実際に生育していた地点との適合率を確認したところ、適合率は 84.5% であり、予測確率はおおむね正しいものと考えられた (図-3, 4)。

以上の結果に基づき、水域に属する 192 グリッドのうち、89 グリッドが、マコモが生育可能なグリッド ($p \geq 0.5$) として選ばれた。それ以外のグリッドとの水深および流速の違いをみると、生育可能な場所は、水深が深く流速の遅い場所であることがわかった。生育

可能と判断されたグリッドのうち、実際にマコモの生育が確認されなかったグリッドをグループ 1、確認されたグリッドをグループ 2 に区分し、土壌間隙水の採水をおこなった。

採水は 1998 年 7 月末～8 月 (夏期) と 1998 年 11 月末 (冬期) の 2 回おこない、採水地点はランダムに選択し、夏期 25 地点 (グループ 1: 10 地点, グループ 2: 15 地点)、冬期 19 地点 (グループ 1: 9 地点, グループ 2: 10 地点) とした。その際、マコモの生育により流速の差異が生じていないかを確認するため、採水時に流速測定をおこない、2 グループ間に有意な差がみられないことを確認した ($P > 0.1$, Mann-Whitney U-test)。

採水はポーラスカップを使用し、河床からの深さ 10cm の地点から採取した。採取時間は約 3 時間とした。採取時間帯については、土壌中での栄養塩の移動は短時間では起こらない¹⁵⁾ ことからとくに考慮はしなかった。

(iii) マコモの刈り取りによる調査

マコモは、3 月末より地上部の生育がはじまり、6 月中に地上部の現存量はピークに達し、栄養塩類の吸収はこの時点で停止することが知られている¹⁷⁾。そこで 8 月初旬に刈り取った個体に含まれる栄養塩類は、年間の吸

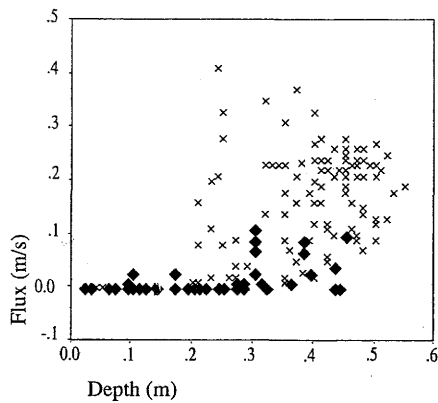


図-3 水深および流速条件とマコモの生育の有無

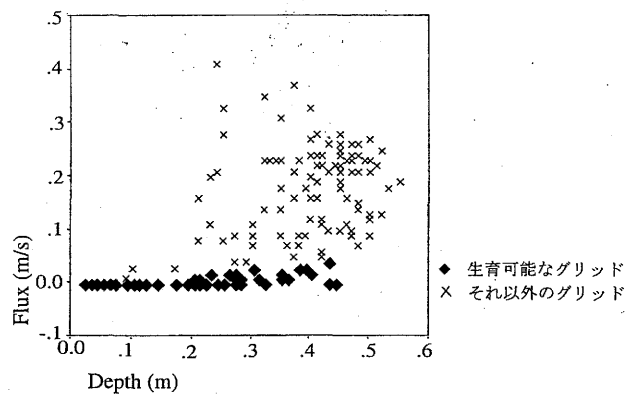


図-4 ロジスティック回帰モデルによる分類結果

※モデルによって得られた生育確率が0.5以上のものをマコモが生育可能なグリッドとした

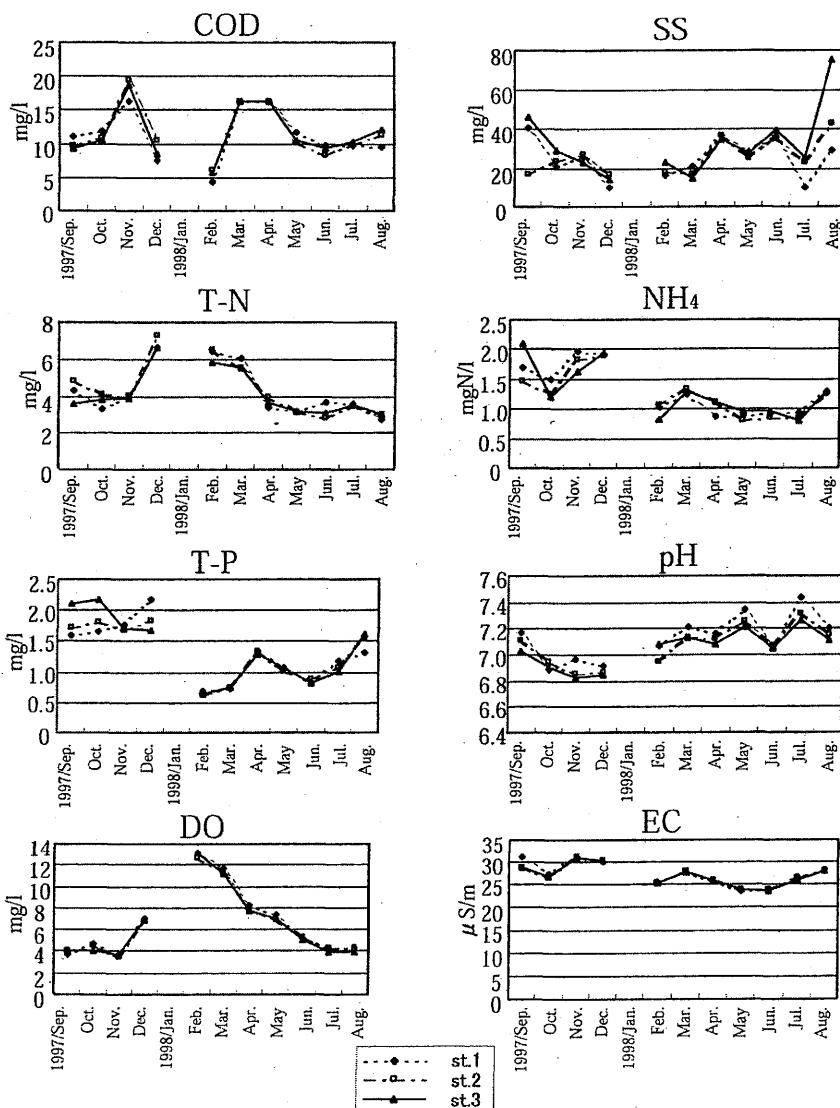


図-5 表流水の水質測定値

収量と仮定でき、また刈り取った時点での除去量と考えた。

刈り取りにより河川外に除去可能となる栄養塩量を推定するため、1998年8月にマコモの刈り取りを含む調査をおこなった。

まず、調査区間の上記192グリッドにおいて、グリッドごとにマコモの被覆面積 (㎡) を測定し、マコモ採取グリッドとしてランダムに4つのグリッドを設定した。つぎに各採取グリッドにつき3個体のマコモを採取個体としてランダムに選択し、それらの被覆面積 (㎡) を測定した上で、地際から刈り取った。なお、刈り取りの対象部位は実際の刈り取り作業を想定して地上部のみとした。

(4) 分析方法

表流水は、SS、pH、電気伝導度 (EC)、溶存酸素量 (DO)、化学的酸素要求量 (COD)、アンモニウム性窒素 (NH_4)、全窒素 (T-N)、全リン (T-P) の8項目について、土壌間隙水は NH_4 、亜硝酸性窒素 (NO_2)、硝酸性窒素 (NO_3)、リン酸イオン (PO_4) の4項目について計測および分析をおこなった。

PH、DO、ECの3項目については、表流水の採水時に、携帯式の測定器 (東亜電波工業 HM-12P、DO-14P、CM-14P) により、現地にて計測をおこなった。

COD、T-N、T-Pの分析は、それぞれ過マンガン酸カリウム酸性法、アルカリ性ペルオキシ二硫酸カリウム分解-紫外線吸光度法、ペルオキシ二硫酸カリウム分解法によりおこなった²⁰⁾。SSについてはフィルター (Whatman GF/C; 44mmφ) によって捕捉し、100℃で2時間以上乾燥させた後、再秤量により重量を求めた。 NO_2 、 NO_3 、 PO_4 の測定は、イオンクロマトグラフ測定法によりおこなった (日本ダイオネクスト株式会社 IonPac AS12A/AG12A)。

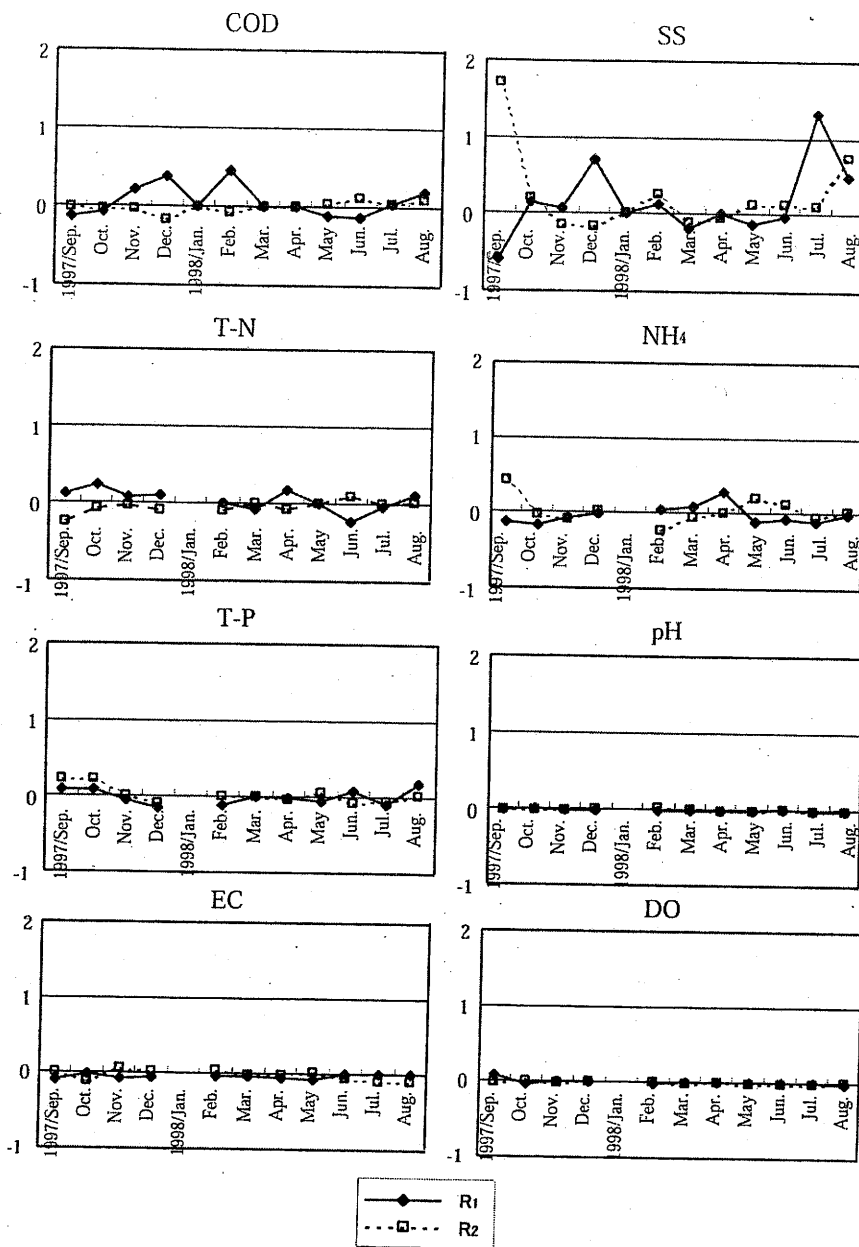


図-6 表流水の水質変動率

なお、表流水および土壌間隙水は、微生物活動による影響を防ぐため、採水した直後に水を入れたクーラーボックスに保管して移動したのち、分析までの間4℃で保管した。

マコモは、採取した当日に、水で洗い泥などを落として、乾燥機により70～80℃で約1週間乾燥させた後、グリッドごとに乾燥重量を測定した。つぎに植物体を粉砕器で粉砕した上で採取した全ての部位を混合し、C/Nコード (SUMIGURAPH NC-900: 島津製作所 GASCHROMATOGRAPH GC-8A) により全炭素、全窒素を測定した。リンに関しては植物栄養学実験法²¹⁾に準じ乾式灰化法をもちいて測定をおこなった。

なお、土壌間隙水の栄養塩濃度の比較検定には、Mann-Whitney の U 検定を適用した。

3. 結果

(1) 表流水に対する水質浄化効果

表流水の水質測定値の月別推移を図-5に示す。また流下による水質変動率の月別推移を図-6に示す。水質変動率は以下の式により求めた。

$$R_n = (X_n - X_{n+1}) / X_n$$

R_n : St_n から St_{n+1} への水質変動率

X_n : St_n の栄養塩濃度

X_{n+1} : St_{n+1} の栄養塩濃度

その結果、すべての項目について調査期間

を通じて、調査区間を流下することによる栄養塩の濃度の減少傾向は確認できなかった。

(2) 土壌間隙水に対する水質浄化効果

土壌間隙水に関する調査では、Nについては NH_4 、 NO_2 、 NO_3 の動態のすべてがマコモの存在による影響をうけるため、それぞれの値を比較するだけではなく、 NH_4 、 NO_2 および NO_3 の合計値（以下 $NH_4 + NO_2 + NO_3$ と記載）についても2つのグループ間の比較をおこなった。結果を図-7に示す。

夏期には NH_4 ($p < 0.01$) および $NH_4 + NO_2 + NO_3$ ($p < 0.05$) について、グループ2がグループ1よりも有意に低いことを確認した。しかし、両項目とも、冬期には2つのグループ間で統計的に有意な差は確認できなかった ($p > 0.05$)。PO₄については、夏期、冬期ともに2つのグループ間に有意な差はみられなかった ($p > 0.1$)。

(3) マコモ刈り取りによる栄養塩除去量推定

調査区内の水域192グリッド (=192m²)におけるマコモの全被覆面積は、約46.4m²であった。

刈り取ったマコモ地上部の栄養塩含有率、乾燥重量および刈り取り個体の被覆面積の測定結果（いずれも3個体の合計）を表-1に示す。その結果、栄養塩含有率、乾燥重量ともに、採取地点によるばらつきは少ないことが確認された。

そこで、これらの平均値を用いて、調査区全体の乾燥重量および河川系外への栄養塩除去量を推定した。単位被覆面積あたりの推定乾燥重量 ($g \cdot m^{-2}$) は、[乾燥重量 (g)] / [被覆面積 (m²)] により求めた。また、単位被覆面積あたりの栄養塩 (N, P) 吸収量を、上記の[推定乾燥重量 ($g \cdot m^{-2}$)] × [栄養塩含有率 (%)] / 100 により算出した (表-1)。

そのうえで、マコモの全被覆面積を乗じて、調査区全体で、マコモをすべて刈り取った場合の河川系外への除去量を推定した。その結果、乾燥重量は $5,110 (g \cdot m^{-2}) \times 46.4 (m^2) \approx 237.1 (kg)$ 、N除去量は、 $82 (gN \cdot m^{-2}) \times 46.4 (m^2) \approx 3.8 (kgN)$ 、P除去量は $26 (gP \cdot m^{-2}) \times 46.4 (m^2) \approx 1.2 (kgP)$ となることがわかった。

4. 考察

(1) 表流水および土壌間隙水に対するマコモの浄化機能

表流水では、調査区間を流下することによる栄養塩の濃度の減少傾向は、年間を通して確認できず、既往研究と同様に表流水中の栄養塩を低減するという水質浄化効果はほとんどないと考えられた。

SSについては、抽水植物がSSの沈殿を促進するフィルターの機能を有するという既

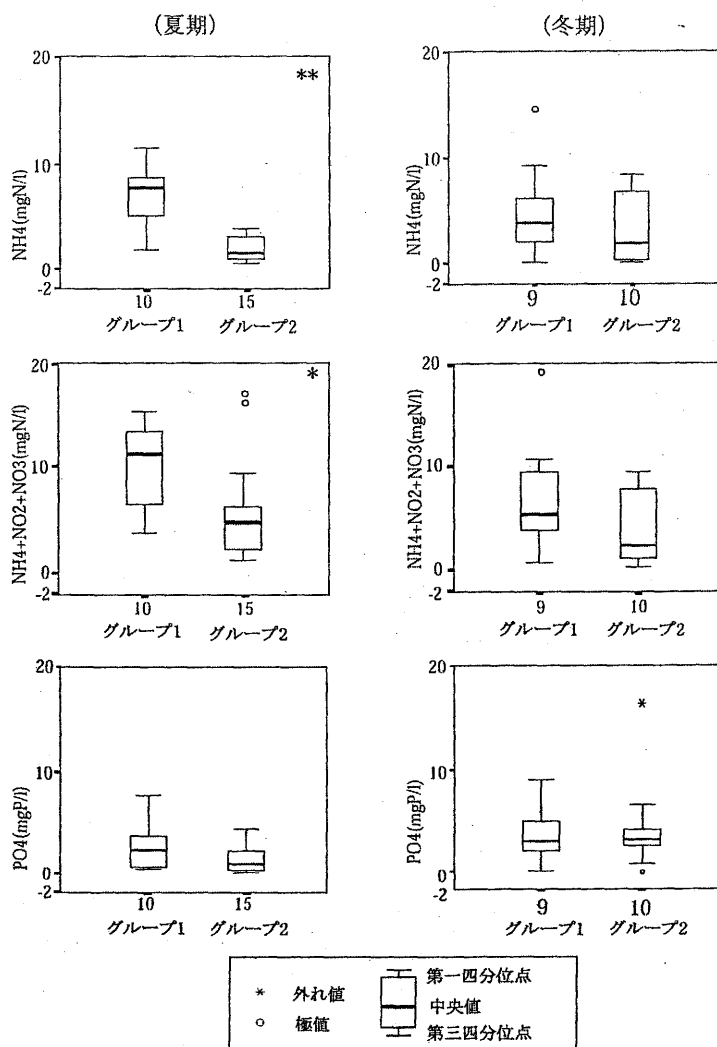


図-7 土壌間隙水中の栄養塩濃度

表-1 マコモ栄養塩含有率および除去量の推定値

		平均	± 標準偏差
採取個体測定値(3個体の合計)			
C含有率	(%)	39.8 ±	0.8
N含有率	(%)	1.61 ±	0.25
P含有率	(%)	0.51 ±	0.06
地上部乾燥重量	(g)	956 ±	142
被覆面積	(m^2)	0.19 ±	0.03
単位被覆面積あたりの推定値			
地上部乾燥重量推定値	(g/m^2)	5110 ±	450
N除去量推定値	(gN/m^2)	82 ±	15
P除去量推定値	(gP/m^2)	26 ±	3

往研究の報告¹⁰⁻¹¹⁾と異なった結果となった。この原因としては、フィルター的效果を指摘している既往研究が土壌への沈殿量の視点から評価していることにに対し、本研究では表流水の栄養塩濃度の変動により評価をおこなっているためと考えられた。河川を流れる水量

は膨大であり、ほとんどは流速の速い流心を通過していく。仮に流速が遅い箇所でもSSが沈殿しているとしても全体に占める割合は低く、表流水中のSSを明らかに減少させるほどの効果はあられせず、このような結果の違いを生じたものと考えられた。

これに対し、土壌間隙水では、夏期においてグループ1よりもグループ2の NH_4 、 $\text{NH}_4 + \text{NO}_2 + \text{NO}_3$ の各値が低いこと、冬期は2つのグループの値は同程度であること、の2点が確認された。これらの結果より、 NH_4 および $\text{NH}_4 + \text{NO}_2 + \text{NO}_3$ について、マコモが生育することで河床への栄養塩負荷の低減という水質浄化効果が示唆された。

マコモの生育しない場所は、生育する場所に比べ、微生物活動の影響による硝化の進行が遅くなることから²⁰⁾、この水質浄化効果の主要因は土壌中の微生物活動の活性化であると考えられた。

マコモの成長による吸収も要因として考えられたが、同様に吸収されるはずであるPの値はマコモの生育の有無による明確な差が確認されていないこと、およびマコモの現存量は6月までにはピークに達し、それ以降は吸収がほぼ停止すること¹⁷⁾より、夏期調査の時点では、吸収による影響はなかったと考えられた。

(2) マコモの刈り取りによる栄養塩除去効果
今回の調査結果をもとに、都市近郊小河川における水質浄化対策としてのマコモの有用性について検討した。

まず、栄養塩除去速度($\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1}$)について、他の水生植物と比較をおこなった。栄養塩除去速度は、調査期間に調査区全体から除去される栄養塩推定値(kg)/[調査期間(day)・調査区面積(m^2)]により算出した。なお、調査期間は既往研究との整合性のため、マコモが生育を始めた4月初旬から刈り取りをおこなった8月初旬までの120日間とした。

これらより本調査区における栄養塩除去速度は、 $3.8 (\text{gN}) / [192 (\text{m}^2) \times 120 (\text{day})] \approx 165 (\text{mgN} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1})$ 、 $1.2 (\text{kgP}) / [192 (\text{m}^2) \times 120 (\text{day})] \approx 52.1 (\text{mgP} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{day}^{-1})$ 、と推定された。

この推定値と、既往研究により明らかにされている他の水生植物の栄養塩除去速度との比較をおこなった(表-2)。浄化施設で育成した水生植物と比較した場合、栄養塩除去効果は大幅に劣る²³⁻²⁶⁾。しかし、自然環境下に生育する水生植物と比較した場合、水質浄化効果が高いとされるホテイアオイ以外であれば、同程度以上の栄養塩除去効果が期待できると考えられた³⁰⁻³¹⁾。

ホテイアオイの利用には区域外への流出および回収の困難さといった問題点が指摘されている³²⁾。その点マコモは、河川の自然植生として代表的であり、比較的效果も高い。自然環境下において、河川での植物による水質浄化対策を検討する上では、十分に有用な植物であると考えられた。

つぎに、本調査地での水質浄化手法として

表-2 水生植物の栄養塩除去速度

植物名	平均流入栄養塩濃度		栄養塩除去速度		備考	文献
	N (mgN・l ⁻¹)	P (mgP・l ⁻¹)	N (mgN・m ⁻² ・day ⁻¹)	P (mgP・m ⁻² ・day ⁻¹)		
本調査による推定値						
マコモ	4.2	1.28	165	52.1		
既往研究(自然環境下)						
ヨシ			91	6.0	調査地:茨城県霞ヶ浦	29)
マコモ			92	8.0	調査地:茨城県霞ヶ浦	29)
ヒメガマ			75	7.0	調査地:茨城県霞ヶ浦	29)
アサザ			6	0.4	調査地:茨城県霞ヶ浦	29)
ホテイアオイ			508	94.0	調査地:岡山県児島川	30)
既往研究(浄化施設)						
ヨシ	6.2	0.97	82	8.0	処理量:38.9/m ² ・day ⁻¹	23)
	198.4	20.80	683	59.0	ポット栽培, 滞留時間:2週間	24)
ウキクサ	15.0	7.00	680	340.0	処理装置栽培, 滞留時間:約10時間	25)
ハス	3.1	0.86	360	89.0	溜池浄化施設, 滞留時間:約10日間	26)
ホテイアオイ	28.0	7.70	1310	270.0	最適条件下での推定計算値	27)
	28.0	7.70	1200	300.0	最適条件下での推定計算値	28)

の実用性について検討をおこなった。

既往の資料において、生活雑排水による栄養塩負荷量は、一人あたり 350~1,100 g N・year⁻¹, 37~180 g P・year⁻¹と報告されている³⁰⁾。

今回の調査では、すでにマコモによる吸収が停止した段階で刈り取りをおこなったため、マコモの刈り取りによる栄養塩除去推定量は、調査年度における栄養塩除去推定量の総量であると考えられる。本調査により推定されたマコモの単位被覆面積あたりの年間除去量である 82 g N・m⁻²・year⁻¹, および 26 g P・m⁻²・year⁻¹を用いて計算した結果、一人あたりの排出する生活雑排水の浄化に必要なマコモの被覆面積は N で 4.2~13.4 m², P で 1.4~6.9 m²となった。

甲府市の資料³⁰⁾より本調査地の集水域の人口は約 6,500 人であることから、浄化に必要とされるマコモの被覆面積は、N で約 27,500~87,000 m², P で約 9,500~45,000 m²と計算された。これに対し、十郎川において生活雑排水が流入する区間の流路面積は約 10,000 m²である。

したがって、本調査地のように人口増加が進行している地域では、マコモによる浄化のみで生活雑排水起源の栄養塩を浄化することは困難と考えられる。

しかし、仮に人口が 1,000 人程度であれば、必要とされる被覆面積は N で約 4,300~13,400 m², P で約 1,400~6,900 m²と計算され、マコモの被覆面積も確保可能な数字となる。このことは、本手法が、人口規模によってはある程度実用可能であることを示唆するものと考えられる。

住宅が広い地域に散在し、人口の少ない農村部においては、都市域のようなエネルギー

多用型の水質浄化技術の適用は難しいとされている³⁰⁾。過度の期待はできないものの、ある程度の浄化能力を抽水植物がもつという今回の調査結果は、今後農村計画を策定していくにあたり、環境保全機能を発揮するための河川整備のひとつの可能性・あり方を示唆したものと考えられる。

ただし、水生植物による浄化は刈り取りを伴うものであり、維持管理を含めてその導入の可否を考慮する必要がある。

5. まとめ

本研究により、近自然小河川における抽水植物の浄化機能は、表流水中よりむしろ土壌間隙水中にあらわれることが明らかになった。今後、河川において抽水植物の浄化機能を評価していくためには、表流水だけでなく土壌間隙水による評価も必要であると考えられる。

また、近自然小河川における抽水植物の浄化機能を定量的に把握、検討した結果、汚濁程度や適用地域といった条件はあるものの抽水植物による水質浄化の有用性が示唆された。今後は汚濁負荷の小さな小河川における浄化容量を調査していくことで、実際の活用が期待されるものと考えられる。

河川における抽水植物の役割は浄化機能に加え、河川生態系の維持やアメニティ空間としての価値など多くの貴重な機能を有している。今後の河川整備においては、浄化機能だけに特化するのではなく、河川の特長ともいふべき多面的な機能にも配慮することが望まれる。

本研究をすすめるにあたり、東京農工大学 細見正明教授には調査手法に関するご指導、ご助言をいただいた。また入来正躬所長を

はじめとする山梨県環境科学研究所のみなさまがたには調査・分析に関して多大なご尽力をいただいた。また、東京大学緑地学研究室のみなさまにも大変お世話になった。この場をお借りして厚く御礼申し上げたい。

引用文献

- 1) リバーフロント整備センター編 (1992): まちと水辺に豊かな自然を II: 山海堂, 東京, 185pp.
- 2) 本間新哉 (1997): 湖沼における生態系を活用した水質浄化例: 水環境学会誌 20, 5-9
- 3) 尾崎保夫・阿部薫 (1993): 植物を活用した資源循環型水質浄化技術の課題と展望 - 潤いのある農村景観の創出を目指して: 用水と廃水 35, 771-783
- 4) Jong, J.D. (1976): Purification of wastewater with the aid of rushor reed ponds: In Biological Control of Water Pollution, University of Pennsylvania Press, Philadelphia, 133-139
- 5) Gersberg, R.M., Elkins, B.V. and Goldman, C.R. (1983): Nitrogen removal in artificial wetlands: Water Research 66, 189-192
- 6) 細見正明 (1994): 内陸湿地における自然浄化のメカニズムと浄化機能の積極的利用: 水環境学会誌 17, 149-153
- 7) Seidel, K. (1976): Macrophytes and Water Purification: In Biological Control of Water Pollution, University of Pennsylvania Press, Philadelphia, 109-121
- 8) Toth, L. (1972): Reed control eutrophication of Balaton Lake: Wat

- er Research 6, 1533-1539
- 9) Wolverton, B.C., McDonald, R.C. and Duffer, W.R. (1983) : Microorganism and higher plants for wastewater treatment : Journal of Environment Quality 12, 236-242
 - 10) Watson, W.G. and Fred, L.R. (1982) : The effects of aquatic macrophytes on the stream microenvironment : Aquatic Botany 14, 309-324
 - 11) Chambers, P.A. and Prepas, E.E. (1994) : Nutrient dynamics in Riverbeds: the impact of sewage effluent and aquatic macrophytes : Water Research 28, 453-464
 - 12) 関根雅彦・浮田正夫・中西弘・城田久岳 (1994) : 抽水植物, 沈水植物が河川水質に与える影響 : 土木学会論文集 II -26, 131-139
 - 13) 石井龍一 (1993) : 生理-植物生産学概論 : 文永堂出版, 東京, 128-129
 - 14) 細見正明 (1998) : 湿地による生活排水の浄化技術-河川・湖沼の水質浄化技術の開発と汚染対策 : 工業技術会, 東京, 128-141
 - 15) 松本純一郎 (1994) : 水環境工学 : 朝倉書店, 東京, 212-213
 - 16) 角野康朗 (1994) : 日本水草図鑑 : 文一総合出版, 東京, 69pp
 - 17) Yamasaki, S. (1981) : Growth responses of *Zizania latifolia*, *Phragmites australis*, and *Miscanthus sacchariflous* to varying inundation : Aquatic Botany 10, 229-239
 - 18) Yamasaki, S. (1997) : Rhizome formation and survival of *Zizania latifolia* (Griseb.) Stapf. under limited oxygen supply in deep Water : Japanese Journal of Limnology 58, 205-214
 - 19) 宗宮功編 (1990) : 河川における自然浄化機構 : 技報堂出版, 東京, 85-116
 - 20) 日本分析化学会北海道支部 (1966) : 水の分析 第4版 : 化学同人, 東京, 221-273
 - 21) 植物栄養実験法編集委員会 (1990) : 植物栄養実験法 : 博友社, 東京, 127-128
 - 22) 鈴木淳・江成敬次郎 (1994) : 植物を利用した水質浄化に関する基礎的考察 : 環境システム研究 22, 188-192
 - 23) 細見正明・須藤隆一 (1991) : 湿地による生活排水の浄化 : 水質汚濁研究 14, 674-681
 - 24) Wathugala, A.G., Suzuki, T. and Kurihara, Y. (1987) : Removal of nitrogen, phosphorus and COD from waste water using sand filtration system with *Phragmite* : Water Research 21, 1217-1224
 - 25) Haberl, R. and Perfler, R. (1991) : Nutrient removal in a reed bed system : Water science and Technology 23, 729-737
 - 26) 松本聰 (1981) : ウキクサによる富栄養塩吸収とその利用 : 化学と生物 19, 594-600
 - 27) 福島忠雄・岩田雄三 (1989) : 生活雑排水が混入する溜池の植生 (ハス) による水質改善効果について : 農業土木学会誌 論文集 142, 99-105
 - 28) Sato, H. and Kondo, T. (1981) : Biomass production of water hyacinth and its ability to remove inorganic minerals from water I-effect of the concentration of culture solution on the rates of plant growth and nutrient uptakes : Japanese Journal of Ecology 31, 257-267
 - 29) Sato, H. and Kondo, T. (1983) : Biomass production of Water hyacinth and its ability to remove inorganic minerals from water II-further experiments on the relation between growth and concentration of culture solution : Japanese Journal of Ecology 33, 37-46
 - 30) 野原精一・土谷岳令・岩熊敏夫・上野隆平・花里孝幸 (1986) : 霞ヶ浦江戸崎水草帯における水生大型植物の生産 : 国立公害研究所報告 96, 59-71
 - 31) 沖陽子・青木勲 (1982) : ホテイアオイによる N, P の除去能 : 国立公害研報 21, 44-52
 - 32) 桜井善雄 (1988) : 水辺の緑化における水質浄化 : 公害と対策 24, 899-909
 - 33) 環境庁水質保全局 (1988) : 生活排水対策推進指導指針 : ぎょうせい, 東京, 239pp.
 - 34) 甲府市 (1997) : 甲府市統計書 : 甲府市総務部, 山梨, 26-29
 - 35) 高橋強 (1995) : 農村地域における水質環境の現状と対策の必要性 : 用水と廃水 37, 12-16

(1999. 4. 3 受付, 2003. 3. 1 受理)

Summary : The aims of this study were 1) to clarify the purification function of an immersed plant, indian rice (makomo in Japanese: *Zizania latifolia* Trucz.) by monitoring the water-quality change in open-water and porewater, and 2) to estimate the possible amount of nutrient removal from river system by reaping *Z. latifolia*. The study area was selected in a small semi-natural river, the Juuroh-gawa River located in suburbs of Kohfu, Yamanashi. Water quality of open-water was measured at three points in the middle of the river course from upstream to downstream through a year, in whose intervals *Z. latifolia* were dominated along the river side. Porewater for the analysis were sampled in summer and winter from inside of *Z. latifolia* growing riverbeds and none-vegetation ones as contradistinctions, where water depth and flux were as similar as the former ones. In results, water quality of open-water had no change among three points; purification function of the species was not clear. In the result of porewater, however, total N was lower in *Z. latifolia* growing sites significantly than none-vegetation ones especially in summer. This means habitats of the species have purification function when the species grows. Additionally the maximum amount of nutrient absorption of the species was measured by analyzing the nutrient contents in the aboveground biomass reaped in summer when the growth is reached to the maximum. In the result, per cover area contents of N and P were 82 gNm⁻² and 26 gPm⁻² respectively. When the absorption rate during growing period was compared to other species after previous researches, these values were similar to the results of other immersed plants measured under field conditions. However, when the possible amount of nutrient removal from river system was estimated under the hypothesis that all individuals of the species growing within study area could be reaped and brought out from riverbeds, it was considered to be too low to purify all effluent loadings run into from the catchments area. It was concluded that *Z. latifolia* and its growing habitat have purification function, but it would be effective in the case just degree of eutrophication is low.