

土 木 研 究 所 資 料

水質改善に関する水生植物の利用可能性調査

昭和61年8月

建設省土木研究所
下水道部水質研究室

「Copyright ©(1986) by P.W.R. I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R. I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は、土木研究所長の承認を得ずしてこれを行ってはならない。」

水質改善に関する水生植物の利用可能性調査

水質研究室 中 村 栄 一
森 田 弘 昭

要 旨

近年、水生植物を利用した水質浄化手法が注目されている。この方法は、一般的には植物体を水中より除去する必要があるがその回収方法ならびに回収された植物体の効果的な利用方法が確立しておらず、単なる廃棄物として処分されているのが現状である。

本資料は、水生植物を利用した浄化手法、水生植物の利用状況、水生植物の生体成分等の情報収集を行ない水生植物の有効利用を検討するための基礎資料とするものである。

キーワード： 水質改善，水生植物，資源化

ま え が き

本報告書は、建設省土木研究所水質研究室が建設技術研究開発調査費により行っている「湖沼の総合的水管理技術の開発」の一環として実施した研究成果をまとめたものである。

水質研究室では「湖沼の総合的水管理技術の開発」の中の「低湿地導入による河川水浄化」という小課題において、アシを用いた栄養塩の除去に関する研究を実施してきたが、同時にアシ以外の水生植物を用いた水質浄化手法についても情報収集を行ってきた。調査結果については、まだ検討を要する点が数多く残されているが、現況の水生植物を利用した浄化手法、水生植物の利用状況、水生植物の成分等については一応のまとめができたものと考えている。

本報告書が関係各位のいささかの参考になれば幸いである。

昭和61年 8 月

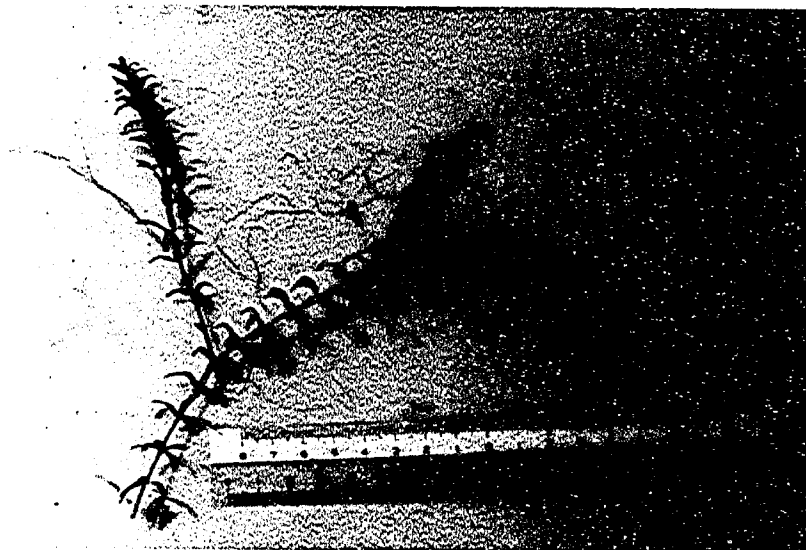
水質研究室 中 村 栄 一
 森 田 弘 昭

目 次

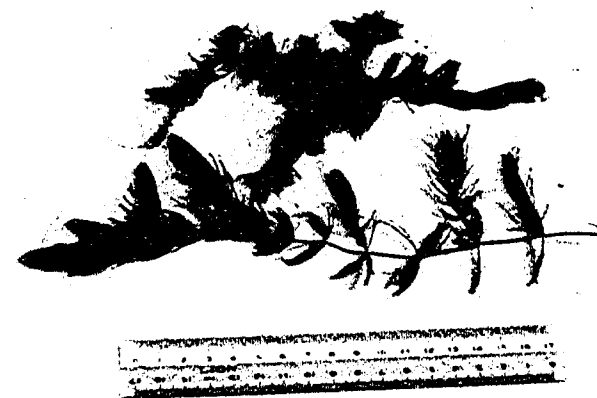
ま え が き

1. 調査目的	1
2. 水生植物の概念	1
3. 水生植物の生態	2
3-1 生活型	2
3-2 分 布	2
3-3 越冬形態	8
3-4 生活環	9
3-5 発芽・結果	11
3-6 開 花	11
3-7 その他	13
3-8 マトリクス(1) 水生植物の生態情報	14
3-9 参考文献	22
4. 水生植物の利用事例	23
4-1 水質浄化適用	23
4-2 観賞用	26
4-3 食 用	26
4-4 天然化学物質資源	36
4-5 エネルギー源	37
4-6 飼料化	39
4-7 肥料化(堆肥化)	42
4-8 その他	45
4-9 参考文献	46
4-10 マトリクス(2) 水生植物の利用事例	48
5. 水生植物の生体成分	58
5-1 含水率	58
5-2 C.N.P	59
5-3 有機物含有量	66

5-4	繊維分	68
5-5	炭水化物, 脂肪, タンパク質	68
5-6	ビタミン	72
5-7	その他	73
5-8	マトリクス(3) 水生植物の生体成分	85
5-9	参考文献	86
6.	今後の課題	90
6-1	情報の集積状況	90
6-2	今後の調査方向	90



クロモ (沈水)
Hydrilla verticillata



ホザキノフサモ (沈水)
Myriophyllum spicatum



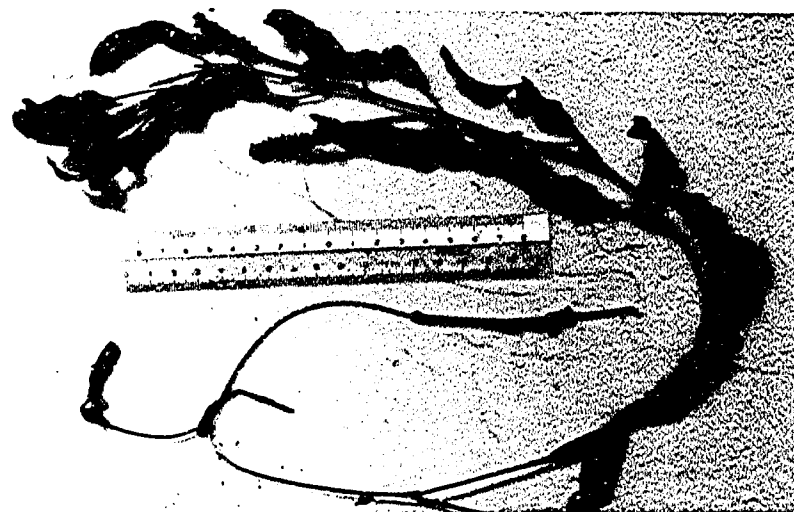
イトモ (沈水)
Potamogeton pusillus



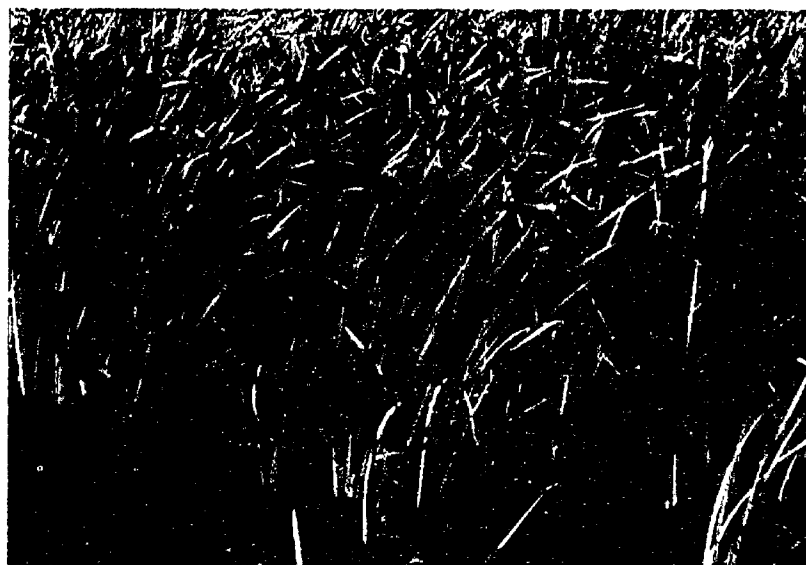
オオカナダモ (沈水)
Egeria densa



エビモ (沈水)
Potamogeton crispus



ササバモ (沈水)
Potamogeton malaiensis



ヒメガマ (抽水)
Typha angustifolia



コウホネ (抽水)
Nuphar japonicum



マコモ (抽水)
Zizania latifolia



カンガレイ (抽水)
Schoenoplectus mucronatus
subsp. *robustus*



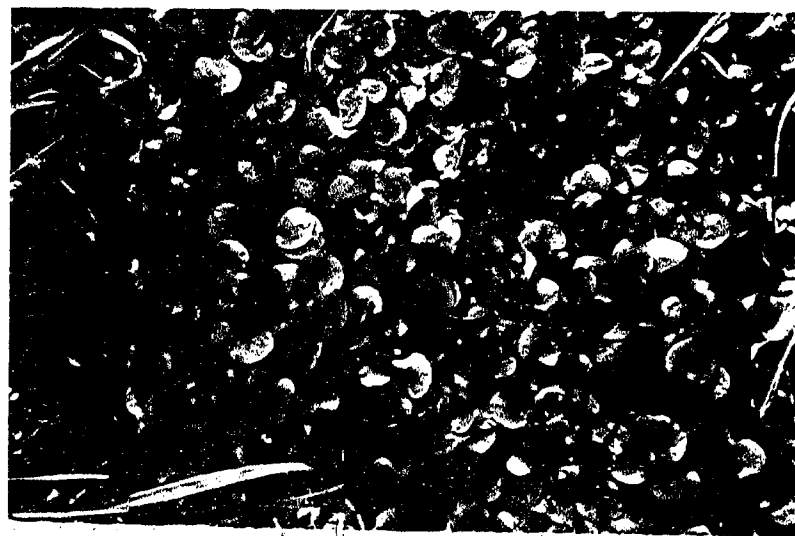
ハス (抽水)
Nelumbo nucifera



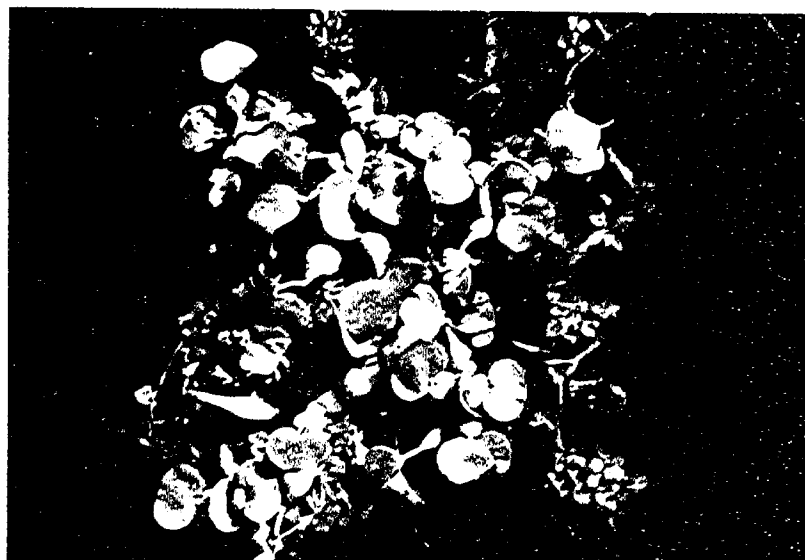
ヨシ (抽水)
Phragmites communis



ヒシ (浮葉)
Trapa japonica



トチカガミ (浮葉)
Hydrocharis dubia



ホテiaoイ (浮葉)
Eichhornia crassipes



アサザ (浮葉)
Nymphoides peltata

1. 調査目的

近年、水質浄化手法の一つの流れの中に自然浄化機能を利用しようとする試みがある。水生植物を用いた水質浄化方法も、このカテゴリーに位置づけられるが、この方法の浄化原理は栄養塩を植物体に吸収させて、水中より除去する機能、植物体表面に繁殖した微生物によって有機物を分解させる機能、波浪や風による水域の物理的かく乱を抑制する機能等を利用することである。

すでにアシやホテイアオイ等を用いた水質浄化実験が各地で実施されており有効な知見が得られつつあるが若干の問題点も提起されている。

水生植物を用いるこの方法は、一般的には植物体を水中より除去する必要があるがこの回収方法ならびに回収された植物体の効果的な利用方法が確立しておらず、単なる廃棄物として処分されているのが現状である。水生植物による水質浄化手法の確立、発展の為には回収された植物体の利用方法を検討する必要がある本稿では、水生植物を利用した浄化手法、水生植物の利用状況、水生植物の生体成分等に着目した情報収集整理を行ない今後の水生植物の利用可能性に関する調査の端緒とするものである。

2. 水生植物の概念

水生植物とは水中もしくは、水が主な基質となっていてところで発芽し、生活環のある時期は少なくとも完全に水中か抽水の状態度過ぐ植物と定義される (W.C. Muenscher, 1944, G.K. Reid, 1961) のが通常である。即ち、水中や湿った環境下で生活する植物で、一般に水草と呼ばれる。生態学では水生大型植物 (Aquatic macrophyte) がほぼ同義的に使われている¹⁾。

水中生物の中心をなすものは水生維管束植物である。従ってほとんどが顕花植物であるが、これにミズワラビ、サンショウモ等の水生シダ類、多種類の車軸藻類、水中蘇類等の隠花植物が加わる。また海浜顕花植物やミズバショウ、サギソウ等の湿生植物を含むこともあるが、本編では淡水域のものに限定し、湿生植物もできるだけ除外した。

本編では、分布の極端に偏った植物・希少な植物は対象としないが、将来の便宜を考慮して現況の浄化実験に供試されている植物に限らず、広い範囲からの情報収集を旨とした。また、現在本邦に自生するものにもあえて限定しないこととした。

3. 水生植物の生態

水生植物の水質浄化材としての利用並びに資源利用を検討するに当っては、設置、保全、回収時期方法に関する情報の整理が必要である。本項においては、水生植物に関する生態情報として生活型・分布・越冬形態・生活環・発芽期・開花期・結果期・枯死等に関するマトリクスを提示する。

3-1 生活型

水生植物の多くは分類学上の位置と関係なく、基質である水に適応して、似たような形態をとる¹⁾。従って、水生植物については系統的な分類によらず生活型により区分するのが好都合である。本項ではマトリクスを生活型別に作成した。

水生植物の生活型は、次の4つに大別される。但し、一つの植物が生活環全体を通じて単一の生活型をとるとは限らず、また環境の変化に応じて生活型が変わるものもある。例えば、ホテイアオイは通常浮漂植物であるが、熱帯域では渇水時に着生し抽水植物となる。この時形態的な変化を伴うことが知られている²⁾。

表3-1 水生植物の生活型分類

A. 固着性水生植物 (Hydrophytes attached to the substrate)	
(1) 抽水(挺水)植物 (Emerged plants) ……	水面より抜きん出て葉を広げるもの
<例> ヨシ, ガマ, クログワイ	
(2) 浮葉植物 (Floating-leaved plants) ……	葉身は水面に浮き, 葉柄や茎は水中に, 根茎や根は水底にあるもの
<例> ガガブタ, ヒルムシロ, ヒシ	
(3) 沈水植物 (Submerged plants) ……	全体が水面下にあり, 水底に固着生活するもの
<例> クロモ, エビモ, アマモ, シャジクモ	
B. 浮漂(遊)水生植物 (Free-floating hydrophytes) ……	
体の一部または全体を水面に浮かせ, 根は水底につかないもの	
<例> ウキクサ, サンショウモ, ホテイアオイ	

(Sculthorpe, 1967) による

3-2 分布

① 水平分布

資源利用化の為に、広範な分布を示す植物が好ましい。本項のマトリクスでは本邦での生息地域を示したが、これは気候要因による大まかな分布を示している。現実的な分布の規定要因、即ち基質である水質・底質・流速といった環境要因との関連については、代表的なもののみ備考欄に示した。ちなみに、底質による分布例を表3-2に、水流による分布例を表3-3に示した。

表3-2 底質の性質によるすみわけ

泥 質	スイレン・ハス・オニバス・ミクリ・オオカナダモ・ヒシ・ガガブタ・クロモ・ヒロハノエビモ・センニンモ・ジュンサイなど
砂 泥 質	リュウノヒゲモ・ヒルムシロ・ネジレモ・ササバモ・イバラモなど
砂 礫 質	セキショウモ・コウガイモ・ヤナギモ・エビモ・ミクリ・ワサビなど

大滝 末男 水草の観察と研究
ニューサイエンス社 1974

表3-3 水流の状態によるすみわけ

	水 流	例
池 沼 生	な し	フトイ・ミツガシワ・ハス・オニバス・スイレン・ジュンサイ・ウキクサ・アオウキクサ・サンショウモ・ムジナモ・タヌキモ・イチョウウキゴケなど大部分の水草
河	0.5 m/秒以下	クロモ・コカナダモ・ヒルムシロ・ミズオオバコ・フサジュンサイ・オランダガラシ・ミクリササバモなど
川	1.0 m/秒以下	セキショウモ・コウガイモ・ホソバミズヒキモ・イトモ・エビモ・ヤナギモなど
生	1.0 m/秒以上	バイカモ・カワゴケソウ・カワゴロモ

<注> エビモやヤナギモは水底・水流の状態だけでなく、水質汚濁にもかなり耐久力のある水草で、生活力がきわめて強く、広範種的な存在である。

大滝 末男 水草の観察と研究
ニューサイエンス社 1974

地域 植物名	沖縄	九州	四国	本 州		北海道	地域 植物名	沖縄	九州	四国	本 州		北海道
				南部	北部						南部	北部	
アイアシ							セキシウ						
アギナシ							セリ						
アシ(ヨシ)							タマミクリ						
ウキシバ							ドクゼリ						
ウキヤガラ							ハス						
ウリカワ							ヒメガマ						
エゾノミズタデ							ヒメミクリ						
エンコウソウ							フトイ						
オモダカ							ヘラオモダカ						
オランダガラシ							ホタルイ						
カキツバタ							マコモ						
ガマ							マツバイ						
カワジシャ							マルバオモダカ						
カンガレイ							ミクリ						
キカシグサ							ミズアオイ						
キクモ							ミズオトギリ						
キシウブ							ミズガヤツリ						
クログワイ							ミズキンバイ						
コウホネ							ミズタガラシ						
コガマ							ミズハコベ						
コナギ							ミズバショウ						
サンカクイ							ミツガシワ						
ショウブ							ワサビ						

図 3 - 1 水生植物の本邦での分布状況（抽水植物）

地域 植物名	沖縄	九州	四国	本 州		北海道	地域 植物名	沖縄	九州	四国	本 州		北海道
				南部	北部						南部	北部	
イトクズモ							トリゲモ						
イトモ							バイカモ						
イバラモ							ハゴロモモ						
エビモ							ヒロハノエビモ						
オオカナダモ							フサモ						
オオフサモ							ホザキノフサモ						
カワツルモ							ホッスモ						
クロモ							マツモ						
コウガイモ							ムサシモ						
コカナダモ							ミズオオバコ						
ササバモ							ミゾハコベ						
スブタ							ヤナギスブタ						
セキシウモ							ヤナギモ						
センニンモ							リュウノヒゲモ						
タチモ													

図 3 - 2 水生植物の本邦での分布状況（沈水植物）

地域 植物名	沖縄	九州	四国	本 州		北海道	地域 植物名	沖縄	九州	四国	本 州		北海道
				南部	北部						南部	北部	
アサザ							トチカガミ						
アシカキ							ヒシ						
エゾノヒルムシロ							ヒツジグサ						
オヒルムシロ							ヒメコウホネ						
オニビシ							ヒメビシ						
オニバス							ヒルムシロ						
ガガブタ							フトヒルムシロ						
ジュンサイ							ホソバナミズヒキモ						
デンジソウ													

図 3 - 3 水生植物の本邦での分布状況（浮葉植物）

地域 植物名	沖縄	九州	四国	本 州		北海道	地域 植物名	沖縄	九州	四国	本 州		北海道
				南部	北部						南部	北部	
アオウキクサ							タヌキモ						
アカウキクサ							ノタヌキモ						
イチョウキゴケ							ヒメウキクサ						
ウキクサ							ヒメタヌキモ						
オオアカウキクサ							ボタンウキクサ						
オオサンショウモ							ホテイアオイ						
コタヌキモ							ミジソウキクサ						
サンショウモ													

図 3 - 4 水生植物の本邦での分布状況（浮漂植物）

② 鉛直分布

水生植物の生活型はその鉛直分布を規定し、静水性の沿岸帯には水生植物が帯状分布（ゾーニング）¹⁾することが知られている。水生植物の生育限界は表面光の 2～5 % が到達できる深さであり水域により分布水深に差異がある。²⁾

表 3 - 4 水草群落の生育区分（吉村信吉）

群落区分	深くて透明な湖水(m)	浅くて濁った池水(m)
抽水植物帯	0 ～ 1	0 ～ 1
浮葉植物帯	1 ～ 2	1 ～ 3
沈水植物帯	2 ～ 8	2 ～ 4
車軸藻帯	8 ～ 15	多くは欠く
深底帯	15 ～ 底	5 ～ 底

表 3 - 5 透明度と水草の下限（加崎英男）

湖沼名	夏季の平均透明度(m)	ジャジクモ帯の下限(m)
十和田湖	14	29
中禅寺湖	11	25
芦ノ湖	7.5	16
野尻湖	5	9
湯ノ湖	2.5	5

表 3-6 種子だけで越冬するおもな1年生の水草

A. 種子植物	双子葉植物	合弁花類……………ノタヌキモ・ヒシモドキ・カワジシヤ・キカシグサ
		離弁花類……………ヒシ・オニビシ・ヒメビシ・オニバス・オオオニバス・ミズハコベ・ミゾハコベ
	単子葉植物……………	ミズアオイ・コナギ・イボクサ・ホシクサ類・ミズオオバコ・スプタ・ヤナギスプタ・イバラモ・ムサシモ・トリゲモ・ホッスモ
B. シダ植物……………	サンショウモ・オオサンショウモ・ミズワラビ	

大滝 末男 水生植物図鑑 北隆館 1980

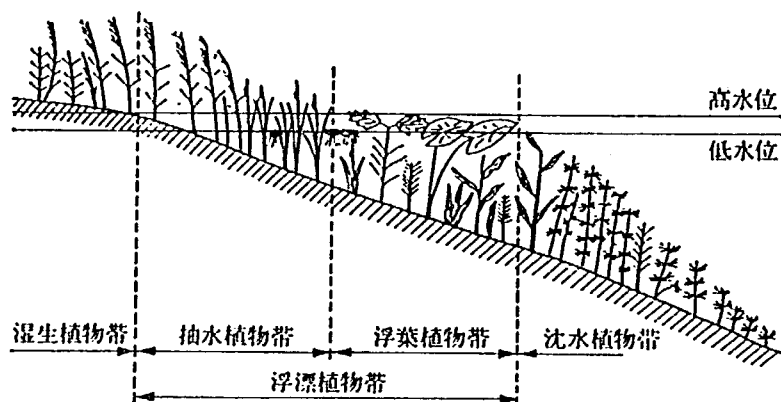
表 3-7 種子と地下茎・殖芽などで越冬するおもな多年生水草

A. 種子植物	双子葉植物	合弁花類 { タヌキモ・イトタヌキモ・ヒメタヌキモ・コタヌキモ・キクモ・ミツガシワ・アサザ・ガガブタ・ヒメシロアサザ・ハナガガブタ (バナナプラント)
		離弁花類 { セリ・ドクゼリ・スギナモ・フサモ・ホザキノフサモ・タチモ・オオフサモ・ミズキンバイ・ミズユキノシタ・ミズスギナ・ミズオトギリ・ムジナモ・ミズタガラシ・ワサビ・オランダガラシ・バイカモ・マツモ・ハス・ヒツジグサ (スイレン)・コウホネ・ヒメコウホネ・ジュンサイ・ハゴロモモ (フサジュンサイ)・エゾノミズタデ・カワゴケソウ
	単子葉植物……………	カキツバタ・キショウブ・ウキクサ類・ショウブ・セキショウ・ミズバショウ・ボタンウキクサ (ウォーターレタス)・クログワイ・カンガレイ・サンカクイ・ホタルイ・フトイ・ビャッコイ・ウキヤガラ・ミズガヤツリ・アイアシ・アシ (ヨシ)・マコモ・アジカキ・トチカガミ・クロモ・コカナダモ・オオカナダモ・セキショウモ・コウガイモ・アギナシ・オモダカ・ウリカワ・サジオモダカ・マルバオモダカ・ヘラオモダカ・シバナ・アマモ・コアマモ・カワツルモ・ヒルムシロ・オヒルムシロ・フトヒルムシロ・ヒロハノエビモ・エビモ・ミズヒキモ・ササバモ・ヤナギモ・イトモ・センニンモ・リュウノヒゲモ・カワツルモ・ミクリ類・ガマ・ヒメガマ・コガマ
B. シダ植物……………	アカウキクサ・オオアカウキクサ・デンジソウ・ミズニラ・ミズトクサ	

大滝 末男 水生植物図鑑 北隆館 1980

越冬形態は、多くの場合繁殖形態を指していることになる。繁殖には種子による場合と、地下茎、塊茎、殖芽等による無性的なものがある。殖芽による繁殖をする種類が多いことは、水生植物の1つの特徴と言える³⁾。図3-5に殖芽の例を示した。殖芽中にはデンプンが多量に含まれている。(c)のガガブタの殖芽はその不定根中にデンプンを含む。)ウキグサでは窒素化合物の蓄積に対し、炭素化合物の蓄積が優ることが殖芽形成の誘導に関連があるらしいと言われている(藤井, 1960)。またクロモ、マツモ等の殖芽は葉緑体をもち光合成をする。光合成速度は成体の $\frac{1}{10}$ 以下の値をとることが多い¹⁾。しかし自然条件下では殖芽は泥中に埋没することが多いため、全く貯蔵物質に依存して発芽するものと見られている。

以上の様に、水生植物の設置・回収上必要な情報を得る上で殖芽の性質は重要なものであるが、その生理生態的情報は少ないのが実情である³⁾。



生嶋 功 水界植物群落の物質生産 I 水産植物
生態学講座 7 共立出版 1972

資源利用の観点からは、植栽する場合、自然群落を利用する場合のいずれにおいても、水生植物群落は純群落に近い方が好ましい。带状分布が必ずしも純群落によるすみ分けでないにせよ、水深を目安に分布を設定できることは、1つの利点と言えよう。

植物帯のできる条件として中野（1911, 1914）は次のものを挙げている。¹⁾

- (1) 水中生活の適応度の多少。陸上植物<抽水植物<浮葉植物<沈水植物の順に沈水に耐える適応性が増すという。
- (2) 水中光の強弱に対する適応度。水中照度は水深と直接結びつくため、種の分布下限で知ることができ水中蘇類<車軸藻<顕花植物の順に光の要求度が増大する。
- (3) 土壌要因。イバラモ、ホザキノフサモは泥質を、セキショウモ、センニンモなどは砂質を好む。ヒツジグサ、コウホネ、マコモは中腐生的なところに生え、顕花植物は強腐生的な水質には生えない。
- (4) 風波。植物が繁殖するためには静穏であることを必要とする。
- (5) 人為作用。当時は水田の開拓のための埋め立てをあげた。
- (6) 温度要因。ウメバチモ、マツモは清冷な溪水の流入する冷温に適する。

3-3 越冬形態

エビモ等の少数の例外はあるがほとんどの水生植物は冬期その地上部（水中及び気中部位）は枯死し、種子、根茎等の形態で越冬する。表3-6, 7には代表的なものを取りまとめて示した。本項のマトリクス中、「そのまま」とあるものは、通常、水生植物利用による水質浄化の弱点の1つとされる季節的問題を幾分とも回避できるものと見ることができる。但し、形態面で残存するということと、代謝面で他の季節と同様の状況かどうかということは別であるので、注意が必要である。

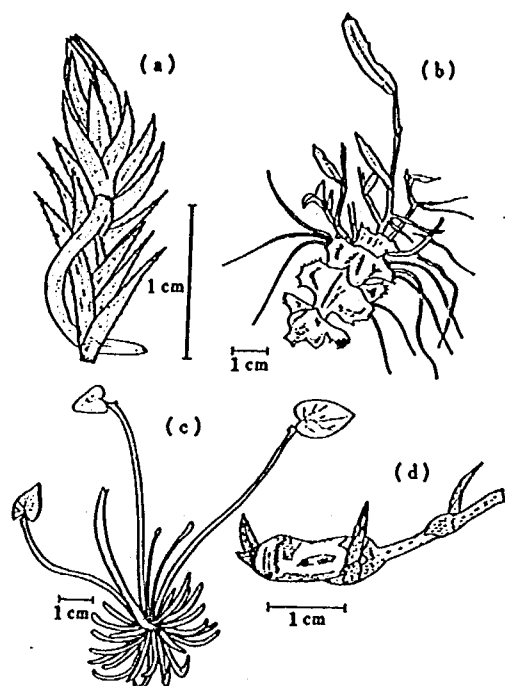


図3-5 水生植物の殖芽 (a)クロモ, 約15℃で活動がはじまる。(b)エビモ, 1月中旬 (c)ガガブタ, 9月下旬(d)コウガイモ, 1月中旬 (生嶋 原図)

生嶋 功 水界植物群落の物質生産1 水生植物
生態学講座7 共立出版 1972

なお、抽水植物については殖芽によるものは少なく、ほとんどはススキやシバの様に地下茎で越冬する。¹⁾

3-4 生活環

水生植物の資源としての効率的な回収の為、その生活環を把握する必要がある。ここでは一年草と多年草に大別する。

通常、種子が発芽生長してから1年で開花結実し、その後植物体はすべて枯死して生活環を完了する植物は、一年草（一年生植物）と呼ばれる。それに対して、開花結実しても植物体がすべて枯れることなく、一部または全部が生存し、次の年に発芽生長する植物は多年草（多年生植物）と呼ばれている。多年草は、植物体のどの部分が生存し続けて、次の年に発芽成長するかにより、いくつかに分類することができる。³⁾次に本邦中部の気候条件下における発育相の変化でもって生活環を表した。

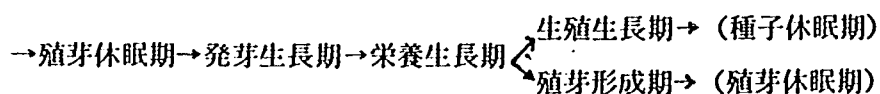
① 一年草

→種子休眠期→発芽生長期→栄養生長期→生殖生長期→（種子休眠期）→

おもな種類は、ヒシ類、ミズオオバコ、スブタ類、イバラモ類、オニバス、ミズアオイなどである。シダ類のミズワラビもこれに含めることができる。これらの水草は春発芽して年内に生活環を完了するため、生長する速さが非常に大きい。従って、栄養塩吸収、固定という点からは水質浄化材として優れている。枯死期を適確に把握、回収すればよい。また、ヒシ類でみられるように非常に大きい果実をつけるのも、一年生水草として有利な性質である。種子に貯えられた貯蔵物質で、深い場所から生産活動なしに水面に浮葉を浮かせることができる。ヒシ等大型の果実は回収し易く、種子中の貯蔵物質（デンプン等）の資源としての利用に好適である。

② 多年草

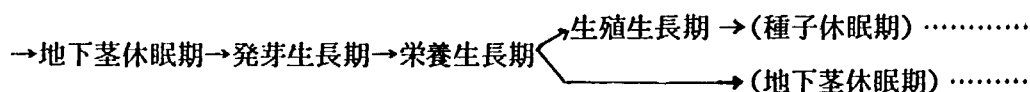
A. 殖芽型多年草



トチカガミ、マツモ、クロモ、フサモ、タチモ、ムジナモ、ヒルムシロ、イヌタヌキモ、タヌキモ、コウガイモ、ウキクサ、オモダカ、アギナシなどがこれに属する。

これらは種子を形成する一方で、茎や地下茎の先端部に殖芽を形成して、冬を越し翌春発芽生長をする。ウキクサやタヌキモなど結実することがまれな水草では、殖芽による繁殖がおもなものである。殖芽には茎先端部の節間が短縮し、未展開の葉が芽を保護する簡単なものや、コウガイモのように地下茎の先端部がいも状になり殖芽となるものである。また、オモダカでは地下茎の先端に球茎(いも)をつくり、アギナシでは葉えきに多数の小球茎(えき芽)をつくり、多量の同化物質を貯えているものもある。このように殖芽はさまざまであるが、これらはいずれも翌春発芽生長すれば、殖芽中の貯蔵物質は使い果し、次の年まで残存することはない。即ち、これらの植物も1年を周期に消長をくり返す。回収に際しては植物全体を回収し、殖芽(種子より大きいことが普通である)を分離散布する方式を用いることになる。成熟した殖芽は容易に本体より分離するため、適当な回収時期を設定すれば、回収時に自然に散布できる。

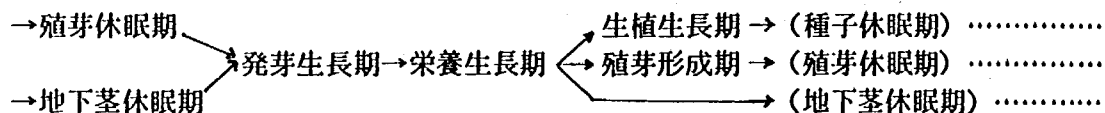
B. 地下茎型多年草



アサザ、ハス、コウホネ類、ヒツジグサ、ジュンサイ、ミクリ類、ヨシなどにみられる生活様式で、種子による生活環と同時に、地下茎が長く生存して次の年へと引き継がれていく。冬季、地上部が枯死した後に残った地下茎には、同化物質が貯えられており、翌春の発芽生長の栄養源となっている。この地下茎の貯蔵物質は1年ですべて消費され枯死することなく残る。地下茎が何年残存するかは種類によって違っている。

水質浄化の観点からは地上部のみの回収で十分であろうが、資源としては貯蔵物に富んだ地下茎の回収利用が考えられる。回収時には底質のまき上げを伴い、回収作業による水質への影響・地盤の軟弱化を考慮する必要がある。

C. 殖芽・地下茎型多年草



この型には、ガガブタ、ヒメシロアサザを入れることができる。A、Bの両方の型を兼ねた生活様式である。地下茎は塊状で、おもな繁殖は殖芽と種子による。一見、複雑な生活環ではあるが、資源

利用上は全て一年を周期とすることには変わりはない。

D. 常緑型多年草

帰化水草のオオカナダモ、コカナダモ、フサジュンサイは同化器官である葉が年中枯死することなく生育している。しかし、冬には生長がほとんど停止し、茎の先端は不完全な殖芽様になっている。冬季でも枯死することがない為、水質上の二次汚濁に関しては比較的問題が少ない。魚果、SSのトラップとしての効果を冬季に維持できるものと期待できる。但し、帰化植物の場合、大量発生と急激な衰退がしばしば認められる⁶⁾点に留意を必要とする。

その他周年生育しているものにエビモがある。これは初夏に殖芽と種子を形成するが、その後も植物体は残って生育を続けている。秋ごろに殖芽の発芽が始まり、冬になってもそのまま生育をしている。このような生活様式は、水草の中でも特異な例である³⁾。これは、他の水生植物が機能を停止する時期に生育する点で、回収時期を適切なものとすれば、水生植物による水質浄化手法の弱点を幾分なりとも補足し得るものと考えられる。

3-5 発芽、結実

発芽、結実については必ずしも種子からの発芽、種子の形成（真の結実）だけではなく、殖芽等の繁殖栄養体の形成期をも示した。

図3-6に種子の発芽形態を示した。発芽の要因については、水温が主なものと考えられるが、中山は水生植物の発芽生理をまとめ、種子発芽や発芽力保存のためには低温と湿潤の二つの条件が必要だとしている¹⁾。即ち、成熟した種子は年内に発芽するもの（オランダガラシ）は少なく、越冬後発芽するものが多い。概して水草の種子は空気中に長くおかれると発芽力が著しく減退する傾向があり、その反面水湿地にあるときは長年月にわたって発芽力を失わず、種子の寿命がすこぶる長いもの（ヒシ・オニバス・ハス）が少なくない⁴⁾。ミズオオバコ、コナギなどのように酸素の不足で発芽が誘起される種は、これに先き立って後熟が行われ、胚の性質が変化を受けることが必要となる¹⁾。

車軸藻類 *Chara aculeolata*, *C. Vulgaris*, *C. hispida*, *C. globularis* カタシヤジクモ, *C. aspera* の卵孢子（oospore）やイバラモの種子には1～3カ月の休眠期があり、発芽の最適温度は20～25℃である¹⁾。卵孢子の発芽に対しては光が促進的にはたらくが、イバラモの種子発芽は暗黒のほうがよい¹⁾。またヒシモドキでは発芽の適温において、強光ほど発芽や成長に刺激的であり、きわめて弱い光の照射も発芽に対して有効であった¹⁾。ヒツジグサの種子は光発芽種子の例として知られている。

資源化の為、水生植物群落維持の為に、これら生理的情報の収集が必要と考える。

3-6 開花

① 花の形態

水生植物の種類数は、単子葉植物が多く、これらは小形で顕著でないものが多い⁴⁾。しかし、ミズアオイ科やオモダカ科およびトチカガミ科の中には花被が顕著で美花であるものも多少含まれる。双子葉植物は一般に花被が発達した両性花であるものが多い⁴⁾。

水生植物は、抽水植物というまでもなく、浮葉植物および沈水植物の花は、水中で開花するマツモやイバラモを除いて、ほとんど水面上または水面から抽出して、空気中で開花する⁴⁾。これは、水草が

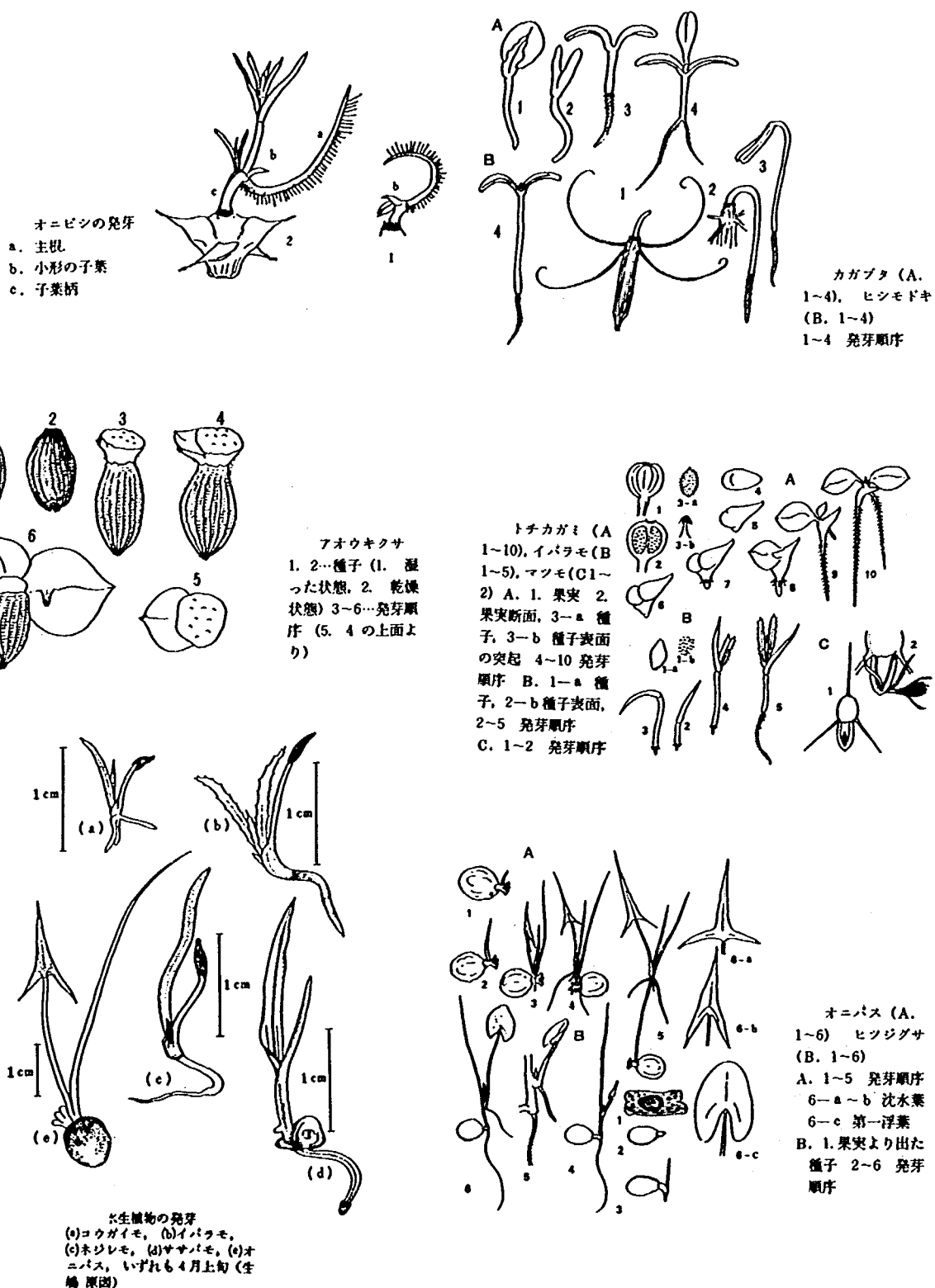


図3-6 水生植物の発芽形態

浜島 繁隆 池沼植物の生態と観察
ニューサイエンス社 1979

水生生活への適応としての外形の類型化の中にも、生殖器官だけは陸上植物が水中へ進行した^{1),2)}という歴史的存在の本来の特徴を保持していることを意味する。

水草類は1株に多数開花するものは一般に一日花が多い⁴⁾。それも午前10時ごろから夕刻まで開花するもの（ハゴロモモ・ジュンサイ・オモダカ）や午後になって開花し暗くなって閉じるもの（ヘラオモダカ・サジオモダカ）もある。これに対し、1花柄に1花をつけるものでは午前中（ハス）または午後（ヒツジグサ）が夜間（オオオニバス）など、昼夜によって数日間開閉（就眠）運動する⁴⁾が、これらは美花で大形であるものが多い。また、花序は株に頂生するものが多いが総状花序が大部分で、肉穂状花序のミズバショウやセキショウなども含めて、単子葉植物では、特に花被が退化または欠如して目だたないものが多い。

フトイやクログワイの花序は頂生することが明瞭であるが、ショウブ、カンガレイ、サンカクイなどでは花序の上方に長い苞がつくので、花序は腋生のようにみえる。一般にいえることは、温帯の池沼では冬季に生育が制限されるせいか、花は頂生するものが多く、熱帯産の水草は概して花期に制限を受けないせいか、花は腋生であるものが多いように思われる。⁴⁾

② 花 期

水草類の花期は一般に長いものが少なくない⁴⁾。わが国において、春咲きのもの（ワサビ・オオフサモ・セキショウ・アマモ）や秋咲きのもの（ミズユキノシタ・ホテイアオイ・トチカガミ・ミズオオバコ）もあり、長日性または短日性を示すものもある。概して花期は夏季が多いが、初夏から秋まで開花結実を続ける水草もある。特に湖沼のような水圏は水位や水温などの変化が少なく、わりあい安定しているせいか、開花期間が3～5カ月間継続するもの（ミズキンバイ・ホザキノフサモ・オオカナダモ・クロモ）がある。南北に細長い日本では南部ほど開花期間が長い、ホテイアオイは台湾南部の熱帯地方では3月でも開花がみられる。この事実から、温度条件さえ満たされれば多くの水草は四季咲であると考えられる⁴⁾。下水処理場等の排水を用いて栽培することがあれば、通年的に鑑賞用あるいは、高度処理材として提供できる可能性がある。

3-7 その他

① 受粉様式

受粉の形成については、繁殖が必ずしも種子によらないものが多いためマトリクス中の項目としては挙げなかった。種々の形式が知られており、次の様に整理されている。

動物媒	1.抽水開花……………タスキモ、ミズキンバイ、ハス、ホテイアオイ、オモダカ
	2.水面開花……………バイカモ、ハゴロモモ、ヒツジグサ、ミズオオバコ
水 媒	3.水面媒 { a. 雄花浮上……………クロモ、コカナダモ
	b. 花粉浮上…………… { 淡水……………セキショウモ、コウガイモ
	海水……………ウミショウブ
	4.水中媒 { a. 淡水中……………マツモ、イバラモ
風 媒	b. 汽水中……………カワツルモ
	c. 海水中……………アマモ、コアマモ、スガモ、ウミヒルモ
アシ、マコモ、シズガヤツリ、フトイ、ヒルムシロ類、シクリ類、ガマ類	

大滝 末男 水生植物図鑑 北隆館 1980

表 3 - 8 水生植物の生態情報(1)

植物名	項目	分 布	越 冬 形 態	生活型	発 芽**
(抽 水 植 物)					
ア イ ア シ		北海道, 本州, 四国, 九州	種 子 ・ 根 茎	多年草	4~5月(根)
ア ギ ナ シ		北海道, 本州, 四国, 九州	種 子 ・ 殖 芽	多年草	5~6月(殖)
ア シ (ヨ シ)		北海道, 本州, 四国, 九州, 沖縄	種 子 ・ 根 茎	多年草	
ウ キ シ バ		本州, 四国, 九州	種 子 ・ 根 茎	多年草	
ウ キ ヤ ガ ラ		北海道, 本州, 四国, 九州	種子・根茎・塊茎	多年草	4~5月(塊)
ウ リ カ ワ		福島県以西, 四国, 九州, 沖縄	種 子 ・ 塊 茎	多年草	
エゾノミズタデ		長野, 秋田, 青森, 北海道	種 子 ・ 根 茎	多年草	
エンコウソウ		北海道, 本州, 九州	種 子 ・ 根 茎	多年草	
オ モ ダ カ		北海道, 本州, 四国, 九州, 沖縄	種 子 ・ 根 茎	多年草	6~7月(塊)
オランダガラシ**		北海道, 本州, 四国, 九州	種 子 ・ そのまま	多年草	秋 (秋苗)
カ キ ツ バ タ		北海道, 本州, 四国, 九州	種 子 ・ 根 茎	多年草	
ガ マ		北海道, 本州, 四国, 九州	種 子 ・ 根 茎	多年草	5~6月(根)
カ ワ ジ シ ヤ		本州, 四国, 九州, 沖縄		越年草	
カ ソ ガ レ イ		北海道, 本州, 四国, 九州, 沖縄	種 子 ・ 根 茎	多年草	
キ カ シ グ サ		北海道南西部, 本州, 四国, 九州, 沖縄	種 子	一年草	5~6月
キ ク モ		本州, 四国, 九州, 沖縄	根 茎	多年草	6月頃(根)
キ シ ョ ウ ブ		北海道, 本州, 四国, 九州	種 子 ・ 根 茎	多年草	
ク ロ グ ワ イ		本州, 四国, 九州	種 子 ・ 塊 茎	多年草	4~5月(根)
コ ウ ホ ネ		北海道, 本州, 四国, 九州, 沖縄	種 子 ・ 根 茎	多年草	5月頃(根)
コ ガ マ		本州, 四国, 九州	種 子 ・ 根 茎	多年草	4~5月(根)
コ ナ ギ		北海道, 本州, 四国, 九州, 沖縄		一年草	5~6月
サ ソ カ ク イ		北海道, 本州, 四国, 九州, 沖縄	種 子 ・ 根 茎	多年草	
シ ョ ウ ブ		北海道, 本州, 四国, 九州	根 茎	多年草	
セイヨウミズユキノシタ**		栽培(園芸植物), 一部逸出	種子・根茎・そのまま	多年草	
セ キ シ ョ ウ		本州, 四国, 九州, 沖縄	そ の ま ま	多年草	
セ リ		北海道, 本州, 四国, 九州, 沖縄	種 子 ・ 根 茎	多年草	初夏から生長
タ マ ミ ク リ		北海道, 栃木県以北	種 子 ・ 根 茎	多年草	
ド ク ゼ リ		北海道, 本州, 四国, 九州	種 子 ・ 根 茎	多年草	
ハ ス		本州, 四国, 九州	種 子 ・ 根 茎	多年草	4~5月(根)
ヒ メ ガ マ		北海道, 本州, 四国, 九州, 沖縄	種 子 ・ 根 茎	多年草	4~5月(根)
ヒ メ ミ ク リ		北海道, 本州, 四国, 九州, 沖縄	種 子 ・ 根 茎	多年草	
フ ト イ		北海道, 本州, 四国, 九州, 沖縄	種 子 ・ 根 茎	多年草	5~6月(根)
ヘ ラ オ モ ダ カ		北海道, 本州, 四国, 九州, 沖縄	種 子 ・ 根 茎	多年草	
ホ タ ル イ		北海道, 本州, 四国, 九州, 沖縄	種 子 ・ 塊 茎	多年草	5~6月(塊)
マ コ モ		北海道, 本州, 四国, 九州, 沖縄	種 子 ・ 根 茎	多年草	5~6月(根)
マ ツ バ イ		北海道, 本州, 四国, 九州, 沖縄	種 子 ・ 殖 芽	多年草	5月頃(殖)
マルバオモダカ		北海道, 本州, 四国, 九州, 沖縄	種子, 殖芽(珠芽)	多年草	4~5月(殖)
ミ ク リ		北海道, 本州, 四国, 九州	種 子 ・ 根 茎	多年草	
ミ ズ ア オ イ		北海道, 本州, 四国, 九州, 沖縄		一年草	3~4月
ミズオトギリ		北海道, 本州, 四国, 九州	種 子 ・ 根 茎	多年草	
ミズガヤツリ		北海道, 本州, 四国, 九州, 沖縄	種子・根茎・塊茎	多年草	5月頃(根)
ミズキンバイ		北海道, 本州, 四国, 九州	種 子 ・ 根 茎	多年草	
ミズタガラシ		本州, 四国, 九州	種 子 ・ 根 茎	多年草	
ミズハコベ		北海道, 本州, 四国, 九州, 沖縄		一年草	早 春
ミズバショウ		北海道, 近畿以北	種 子 ・ 根 茎	多年草	
ミ ツ ガ シ ワ		北海道, 本州, 九州北部	種 子 ・ 根 茎	多年草	
ワ サ ビ		北海道, 本州, 四国, 九州	種 子 ・ 根 茎	多年草	

注) * (根) 根茎より (殖) 殖茎より (塊) 塊芽より (胞) 胞子より

** は帰化植物

開 花	結 実	枯 死	備 考
6 ~ 7 月			河口，海岸に近い水辺
6 ~ 10 月			泥底，水田雑草
8 ~ 10 月			水深 1 m 程度まで生育，塩水の潟湖，酸性湖にも生息
7 ~ 9 月			水湿地，泥底
5 ~ 8 月		冬 季	休耕田にも群生（近縁種には耐塩性のものがある）
7 ~ 9 月			水田雑草，ハス田にも見られる
7 ~ 9 月			泥 底
4 ~ 7 月		冬 季	山地の沼沢地の浅水中
6 ~ 10 月	6 ~ 10 月（秋 根茎）		泥底，水田雑草
4 ~ 9 月			冷水の河川や池沼，湧き水があれば常緑・種子は 4 ~ 5 年間発芽可能
平地 5 月 4 日 山地 5 月 6 ~ 7 月	8 月		泥底，日当りの良い水深 20 cm 以内の浅瀬または水湿地・水辺，耐寒性強
6 ~ 8 月	9 ~ 10 月		
5 ~ 6 月			水田雑草
6 ~ 10 月			浅水中，休耕田
8 ~ 10 月	9 ~ 10 月		
8 ~ 10 月			泥底，水田雑草
5 ~ 6 月	8 ~ 9 月		乾燥に強い，ときに畑にも群生
7 ~ 10 月			水深 1 m 以浅の浅水中
6 ~ 10 月			水深 1 ~ 2 m に群生，比較的砂質または礫まじりの泥底
7 ~ 8 月	9 ~ 10 月		やや乾燥した湿地，河川敷等
8 ~ 10 月			水田雑草，除草剤に強い，水中で開花
7 ~ 9 月			休耕田，河川敷
5 ~ 7 月	東洋種は不稔	冬 季	泥 底
6 ~ 10 月			寒さに強く，暖地ではそのまま越冬
3 ~ 5 月	日本産の多くは不稔		砂礫底，溪流沿いの水湿地，小川の岸，半陰性，常緑
7 ~ 9 月	8 ~ 9 月		冷水に強い，田畑で栽培，光発芽種子
7 ~ 8 月			高山の浅水中，水湿地
6 ~ 9 月			有毒
6 ~ 9 月			粘土質，有機物の多い池沼，ハス田，水深 1 m ぐらいまで生育
7 ~ 8 月	9 ~ 10 月		休耕田，湿地，海岸近くの水辺の浅水中
6 ~ 9 月			浅水中
6 ~ 9 月			泥底，浅水中
7 ~ 10 月			水湿地に群生，水田雑草，根茎は有毒
7 ~ 10 月			浅水中または水湿地
8 ~ 10 月			浅水中やや泥深い場所
7 ~ 8 月，9 ~ 10 月			水田雑草，花期は 2 回
7 ~ 9 月	9 月頃（珠芽）		浅水中，水深 1 m 程度まで生育，ときに浮葉性
6 ~ 9 月			泥底，浅水中に群生
7 ~ 10 月			池溝，休耕田に群生
7 ~ 9 月	10 ~ 11 月		泥底，水辺，水湿地
7 ~ 10 月	秋（小塊茎）		
6 ~ 9 月			浅水中に群生
4 ~ 5 月			水田，水湿地
5 ~ 9 月			水田，水湿地に群生
農地 7 月	7 ~ 9 月		泥底，降雪山岳地帯の湿原・水辺に群生，実生は 3 年で開花
農地 5 ~ 8 月			浅水中，水深 1 m 以浅に生育，寒地植物，ミズゴケ湿原の代表的植物
3 ~ 5 月	5 ~ 6 月		山間の清流，半陰性の浅瀬，水温 12 ~ 15℃，冷涼な気候を好む

表 3 - 9 水生植物の生態情報(2)

植物名	項 目	分 布	越 冬 形 態	生活型	発 芽*
(沈水植物)					
イトクズモ		北海道, 本州, 四国, 九州, 沖縄	種子・根茎	多年草	
イトモ		北海道, 本州, 四国, 九州, 沖縄	種子・殖芽	多年草	
イバラモ		北海道, 本州, 四国, 九州, 沖縄	果実(種子)	1年草	4~5月
エビモ		北海道, 本州, 四国, 九州, 沖縄	種子, 殖芽, そのまま	多年草	秋から翌春(殖)
オオカナダモ**		主に関東・信越以西, 四国, 九州	そのまま	多年草	
オオフサモ**		福島県以西, 九州	根茎, 暖地ではそのまま	多年草	
カワツルモ		北海道, 本州, 四国, 九州, 沖縄	種子・殖芽	多年草	
クロモ		北海道, 本州, 四国, 九州, 沖縄	種子・殖芽	多年草	4~5月(殖)
コウガイモ**		北海道, 本州(主に関東, 東海, 近畿)	種子, 根茎, 殖芽	多年草	
コカナダモ		関東以西, 四国, 九州	そのまま	多年草	
ササバモ		本州, 四国, 九州, 沖縄	種子, 根茎, 殖芽	多年草	
スブタ		本州, 四国, 九州, 沖縄		1年草	
セキシウモ		北海道, 本州, 四国, 九州	種子・根茎	多年草	
セソソモ		北海道, 本州, 四国, 九州	種子, 根茎, そのまま	多年草	
タチモ		北海道, 本州, 四国, 九州	種子, 根茎, 殖芽	多年草	
トリゲモ		本州, 四国, 九州, 沖縄		1年草	
バイカモ		北海道, 本州, 九州	種子・根茎	多年草	秋
ハゴロモモ**		北海道, 本州, 四国, 九州	種子・殖芽	多年草	
ヒロハノエビモ		北海道, 本州, 四国, 九州	種子・殖芽	多年草	
フサモ		北海道(西南部), 本州, 四国, 九州	種子・殖芽	多年草	
ホザキノフサモ		北海道, 本州, 四国, 九州, 沖縄	種子・根茎	多年草	
ホッスモ		本州, 四国, 九州, 沖縄		1年草	
マツモ		北海道, 本州, 四国, 九州, 沖縄	種子・殖芽	多年草	
ムサシモ		新潟県, 茨城県を結ぶ以西, 四国		1年草	
ミズオオバコ		本州, 四国, 九州, 沖縄		1年草	
ミゾハコベ		北海道, 本州, 四国, 九州		1年草	4月頃
ヤナギスブタ		本州, 四国, 九州, 沖縄		1年草	
ヤナギモ		北海道, 本州, 四国, 九州	種子, 不完全な殖芽, そのまま	多年草	
リュウノヒゲモ		北海道, 本州, 四国, 九州, 沖縄	種子, 根茎, 殖芽	多年草	

注) * (根)根茎より (殖)殖茎より (塊)塊茎より (胞)胞子より

** は帰化植物

開 花	結 実	枯 死	備 考
6 ~ 9 月			泥底, 汽水湖の浅水中
5 ~ 9 月			砂底, 湖沼や小川の浅水中
6 ~ 10 月			湖沼及びゆるやかな流れの浅水中
4 ~ 8 月	5 月頃 (殖芽)	初 夏	低温, 富栄養化に強い。湖沼では水深 2 ~ 5 m, 河川では流速 1 m/s でも生育
6 ~ 10 月			低温, 富栄養化に強い。泥底。茎の破片で繁殖
4 ~ 6 月			泥底, 池沼, 河川及び一部休耕, 常緑, 分枝で繁殖, 本邦には雌株のみ
5 ~ 9 月			汽水性池沼, 塩田, 河川
6 ~ 10 月	晩秋 (殖芽)		破片は再生力強い。
8 ~ 9 月			流れのある砂質底, 水深 1 m 以浅
5 ~ 10 月			低温, 水流, 富栄養化に耐える。茎葉は再生力強い。本邦には雄株のみ
6 ~ 10 月			富栄養化に強い。短期間ならば湿地生活も可。河川では流速 1 m/s でも生育。
8 ~ 10 月			泥底, 水田雑草
8 ~ 10 月			砂泥底, 比較的清潔な小川の流水中, 池沼
5 ~ 9 月			低温に強い。富栄養化にはやや弱い。泥底
6 ~ 8 月			水田, 水湿地, 時に抽水性
7 ~ 9 月			汚濁に弱い。水田, 小水路の浅水中
3 ~ 11 月			砂底。山地の冷涼な清水中。再生力強い。
7 ~ 10 月			泥底。
6 ~ 9 月			富栄養化に弱い。湖沼, 流れの弱い河川の群生。
5 ~ 9 月			ときに水湿地の浅水中にも群生
5 ~ 10 月			泥底。乾燥に強い。池沼, 河川その他, 半かん水の水域にも群生
7 ~ 9 月			
6 ~ 8 月	晩秋 (殖芽)		泥底。水深 1 m 以浅に群生
7 ~ 9 月			池沼の浅水中
8 ~ 11 月			水田雑草, 種子は数年間発芽力をもつ
6 ~ 8 月			水田雑草
7 ~ 10 月			除草剤, 水質汚濁に敏感, 泥底, 水田雑草
6 ~ 9 月			砂質底 ~ 泥底
6 ~ 10 月			泥底, 汽水にも生息

表 3 - 10 水生植物の生態情報 (3)

[illegible]

注) * (根) 根茎より (殖) 殖芽より (塊) 塊茎より (胞) 胞子より
 ** は帰化植物

[illegible]

表 3 - 11 水生植物の生態情報(4)

[illegible]

注) * (根) 根茎より (殖) 殖芽より (塊) 塊茎より (胞) 胞子より

** は帰化植物

[illegible]

② 枯死期

枯死期については、記載されたものが少ない。一般的には、地上の植物同様、秋冬に枯死するが、エビモについては、初夏に地上部が枯死溶解する例外として知られている。

3-9 参考文献

1. 生嶋 功 水界植物群落の物質生産1 水生植物 生態学講座 共立出版 (1972)
2. 大滝 末男 水草の観察と研究 ニューサイエンス社 (1974)
3. 浜島 繁隆 池沼植物の生態と観察 ニューサイエンス社 (1979)
4. 大滝 末男 水生植物図鑑 北隆館 (1980)
5. 葎ヶ浦の生物 建設省関東地方建設局葎ヶ浦工事事務所 (1880)
6. 浅井 康宏 日本でふえている水生帰化植物 採集と飼育 第46巻7号 (1884)

4. 水生植物の利用事例

水生植物の利用形態として、概ね次のものが挙げられる。

- 水質浄化適用
- 観賞用
- 食 用
- 天然化学物質源（薬品，漢方薬を含む）
- エネルギー源（アルコール，固型燃料）
- 飼料化
- 肥料化（堆肥化）
- その他（紙，工芸品等）

本項では，利用部位別，利用形態別にマトリクスを作成した。

4-1 水質浄化適用

自然界のもつ自浄能力を利用して汚水処理をはかろうとするところみは，あらゆる分野で，研究されつつある。水生植物を用いた水質浄化方法は，主に植物の栄養塩吸収能力を利用し，水域の富栄養化防止をはかることを目的としている。本節では，当研究室が，57年度より実施しているアシを用いた水質浄化方法の概要とホテイアオイ，ウキクサ等を用いた方法の文献調査結果の一部を紹介する。

① アシ原を利用して汚濁河川水を浄化する方法

A. 概 要

本法は，沼沢地帯を流下する汚濁水が自然のもつ浄化能力によって清澄化されることを，積極的に利用しようとするもので，主な特徴として次の4点が挙げられる。

- (1) 維持管理に伴う操作がほとんどいらないため，人手，エネルギー，費用を節約できる。
- (2) 下水管きょのような大規模な集水システムを必要としないので，建設コストが著しく低廉である。
- (3) 自然の生態系を利用するため，周辺の環境に影響を与えない。
- (4) 低湿地導入法は自然・人工を問わず自然条件（植生，気象，地形）による適用上の制約がある。

B. 汚濁物質除去のメカニズム

低湿地による汚濁物質の除去メカニズムは，沈澱・吸着等の物理化学的作用や，低湿地の生態系に関わる生理化学的作用を含む複雑なものと考えられるが，基本的には次の3点に要約される。

- (1) 粒子体栄養塩の沈澱，吸着および底質によるリンの不活性化作用。
- (2) 底質中に生息する脱窒菌による亜硝酸態窒素，硝酸態窒素の脱窒作用。
- (3) 流水，底質表面，水生植物の表面等に生息する従属栄養細菌による有機物の無機化作用。

C. 低湿地による栄養塩除去の機能評価

本格的な実験の始まった57年度から本年度までの実験結果をとりまとめ，栄養塩除去に関する機能評価を行った。滞留時間や水深等の要因を検討した結果，栄養塩の除去率は低湿地の単位面積当りの水量負荷（以上水面積負荷率）と良い相関があることが明らかになった。検討結果を図4-1・図4-2

に示す。

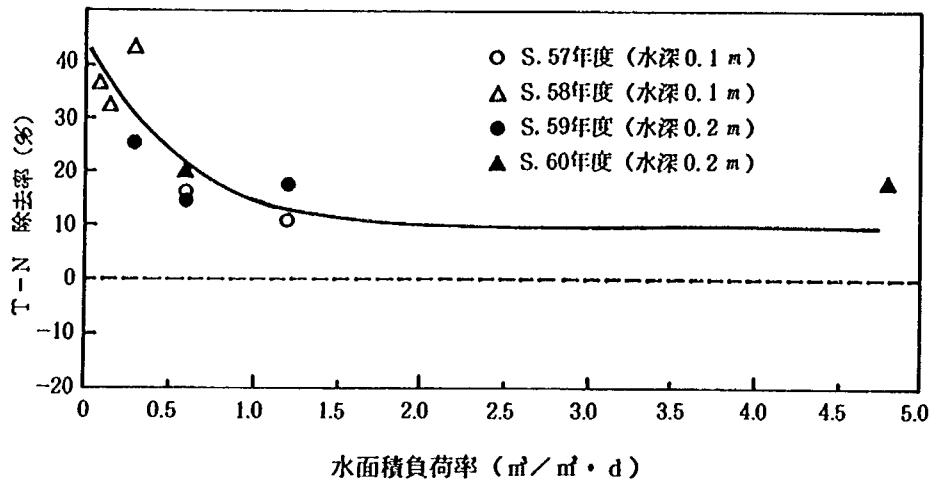


図 4 - 1 窒素の除去率と水面積負荷率の関係

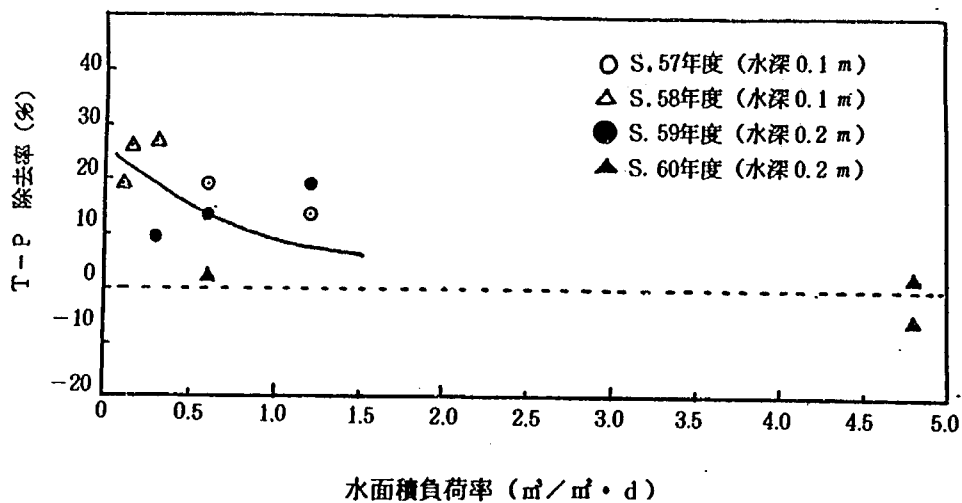


図 4 - 2 リンの除去率と水面積負荷率の関係

窒素、リンとも水面積負荷率が小さくなると、除去率が増加する傾向が図 4 - 1、図 4 - 2 から読みとれる。これは低湿地における窒素、リンの除去が、粒子態成分の沈降によって担われている分が大きいこと、および溶存性成分の除去が浮遊性の微生物群ではなく、底泥表面に生息する微生物群あるいは底泥表面そのものによって行われていることを意味する。

D. 問題点

本法は、無動力であり複雑な維持管理を必要としないため魅力的な方法ではあるが所定の浄化効果を得るためには、かなり大きな施設面積を要する。

例えば、河川水中の T - N を 25% 除去しようとした場合には、以下のような用地面積が必要である。

T - N 25% $\xrightarrow{\text{図 4 - 1 から}}$ 水面積負荷率
(0.25 m³/m²/d)

毎秒 1 m³/s の河川では

$$\text{面積} = 1 \text{ (m}^3/\text{s)} \times 60 \times 60 \times 24 \div 0.25 = 345.600 \text{ m}^2$$

$$\approx 35 \text{ ha} = 0.35 \text{ km}^2$$

② ホテイアオイを用いた水質浄化方法

ホテイアオイを水路あるいは、隔離された水域に生育させ、水中のN,Pを吸収させることによって水質浄化に寄与しようとするものであり多くの研究事例がある。これらの研究成果によれば、N,Pとも年間数 100 kg/ha ~ 数 1000 kg/ha の吸収量があり、植物体も適当な大きさなので、あつかいやすく、水質浄化効果が期待されるが、冬期にホテイアオイが枯死することならびに回収した植物体の含水率が高いため処分が難しいことが問題点である。

表 4-1 に研究事例を示す。

表 4-1 ホテイアオイによる水質改善

出典	N・P除去効果		備考
	N	P	
今岡ら ³¹⁾	2,920 kg/ha/年 at 20°C 6,935 kg/ha/年 at 30°C		室内実験
今岡ら ²⁸⁾		600 kg/ha/年	室内実験
西崎ら ³²⁾	1,862 kg/ha/年	420 kg/ha/年	屋外実験池
徳永ら ⁶⁾	85 kg/ha/年	17 kg/ha/年	屋外実験池
奥田ら ⁵⁾	2,586 kg/ha/年	576 kg/ha/年	実湖沼栽培実験
Bill Wolrerton ⁴⁾	5,936 ~ 7,420 kg/ha/年	848 ~ 2,122 kg/ha/年	実験水路

③ その他の水生植物

他の水生植物としては、ウキクサ類、オランダガラシ、セリ等が用いられる。

Harveyら³⁾は下水の2次処理水中の窒素、リンをコウキクサ (*Lemna minor*) を用いて処理することを検討し、コウキクサの葉状体の数が4日間で2倍になること、および滞留日数10日間で2次処理中のケルダール窒素の86.5%、全リンの67%が処理できることを報告している。また、同様な検討が各種のウキクサ類、たとえば *Spirodela* SP. (ウキクサ、ヒメウキクサなど)、*Lemna* SP. (アオウキクサ、コウキクサなど) *Wolffia* sp. (ミジンコウキクサなど) について行われている。²⁾ 汐貝と鬼頭は²⁹⁾ 東南アジアにおけるアカウキクサの農業利用について様々な観点から報告を行っている。

Boytら⁸⁾は2,500人分の下水の3次処理システムに抽水および浮漂植物が繁茂した湿地帯を利用して非常によい結果を得ているし、オランダのボルダーのキャンプ場では下水処理に抽水植物を用いて10日間以上の滞留日数でBOD 79.8%、全窒素95%、全リン93%、大腸菌類98%以上の処理効率をあげていることが報告される。⁷⁾

わが国でも、桜井ら⁹⁾が農村における生活雑排水の処理システムの一部にオランダガラシ(*Nasturium officinale*)を用いることを検討している。このシステムでは接触酸化槽で処理した水を水生植物に通すことによって3次処理を行っており、この処理システム全体の処理効率は全窒素70%、全リン40%、BOD95%以上、COD55~75%、ABS98%以上であり、良好な処理成績を収めている。松井らは³³⁾セリおよびオランダガラシを植栽した水路において、SS、BOD、T-P が70%以上除去できることを報告している。オランダガラシは多年草で寒さに強く、別名クレソンと呼ばれてサラダ用として生食できるなどのいくつかの利点を持っており、外国¹⁰⁾でも検討されていることから将来が期待できる水生植物である。

4-2 観賞用

現地を公園化(アヤメ園等)して観賞する場合と、切り花として出荷可能なものの2つが考えられるが、いずれも花や葉の美しさによる。

(例) スイレン(ヒツジグサ)、ハス、カキツバタ、ミズヒナゲシ、ボタンウキクサ、ホテイアオイ、ミズバショウ

ホテイアオイ等1株に多数開花するものは1日花が多く³⁴⁾切り花としては市場価値は低い。

4-3 食 用

日本人の主食であるイネは水生植物である。^{18),34)}その他作物化されているものは、ワサビ、ハス、オランダガラシ(クレソン)等であり、さらにジュンサイ、ヒシ、オモダカ(クワイ)等が食用とされる。

なお、マコモの茎の基部に、黒穂菌の一種(*Ustilago esculenta* Hen)が寄生することにより、根がわが筍のように肥大し、正径2~2.5cm、長さ15~20cm内部が白色に肥厚軟化したものを、マコモタケと称し、中華料理の材料に供する。九州南部や沖縄では、菰角、台湾では、茭白筍と呼ぶ。¹⁸⁾

海外においては、このマコモを含み、種々の水生植物が食用にされているが、それについては後述する。

また、水生植物は酒の原料とされることもありヒシの実、ハスの他、ホテイアオイの焼酎も存在する²⁷⁾。下記は水草研究会報No22（1985）からの抜粋である。バイオマス資源として、アルコール原料とする他、法的な問題をクリアすればより付加価値の大きな利用が可能となることが示唆される。

（参 考）

水 草 と お サ ケ

原 田 市太郎

古今東西、人間はありとあらゆる生物を材料としてアルコール飲料を造っている。植物を原料としたものが圧倒的に多い。

ここでは、水草を原資材として造られたおサケ類のことを紹介したい。

1. ア シ

ドナウ川はルーマニアで黒海にそそぐ。そこに「アシ研究所」がある。広大なデルタにアシが密生している。アシのいろいろな利用法の一つとして、アルコールを造っている。そして強い「しょうちゅう」が造られている（銘からは不詳）。

以上は、朝日新聞（昭和55年6月7日）の「変わるドナウ」という探訪シリーズ記事からの紹介。

2. ホテイアオイ

朝日新聞（昭和60年6月22日）のシリーズ記事「自然界の密航者」No43は、「ホテイアオイー水質浄化と見直されるワルー」であった。「…今月から岡山県勝山町の酒造会が、ホテイアオイを原料にした「しょうちゅう」を売り出した。その名も花の色にあやかって「紫美人」。さて味の方は。

ボトルのラベル（兼説明書）の抜粋：岡山県産の名花ホテイアオイを原料に、永年の努力の結果完成した焼酎です。昔、中国では薬用として珍重されていました。このホテイアオイとライ麦との混合、独自の製法（特許出願中）で造りだしました。アルコール度25度。

この説明書によりますと「紫美人」はホテイアオイとライ麦の成分による「合作的」なおサケのような（詳細不明）。

3. ヒ シ

中国では、ヒシを原材料（多分、果実）を原材料としたおサケ（多分、蒸溜酒）があるとのこと（出典は失念）。これを裏づけるような記事（朝日新聞昭和54年3月26日）があります：…中国の陸水には、ヒシの栽培種がある……（宮地伝三郎）

4. 申すまでもなく、炭水化物→単糖類→エチルアルコールという大筋のプロセスでおサケができるわけ。植物でいえば、体内の多糖類、重糖類、単糖類が主原料。それ故、どんな植物、どんな水草からもサケを造ろうと思えば、原理的にはできる。日本では酒税法により、勝手にアルコール飲料を造ることは禁じられている（ドブクロの違法さわぎはご存知のところ）。

酒造業者としては、サケの原材料を安く大量に入手することが先決。この点で水草のばあい、アシ・ホテイアオイ・ヒシは企業採算に合うわけか。

今後の資源化を目的とする為、本編ではあえて対象植物を本邦のものに限定しない。現在、最も資源化及び水質浄化材として研究の進んでいるホテイアオイも、本来帰化植物である。この様に、当初必ずしも日本の気候で生育しないと考えられるものでも、その後の繁殖を見る場合もあり地域的又は、各種の排水処理水（下水処理水、都市の中水道等）の特殊な環境に利用することが考えられる。

ここでは、海外で既に資源植物として利用されているマコモ、ワイルドライス、オオクログマイ、ヨウサイ（バックブン）について記載を「資源植物学」小山鐵夫（1985）²⁵⁾より抜粋して示す。

● マコモ（イネ科）

日本から中国大陸の温帯と冷温帯にかけて分布している大形の多年草で池沼や河川の畔に大群を作る。古くは葉や茎で盃蘭盆のとき祭槽に敷くゴザを編んだり、クロボ菌の寄生で胞子のできたものは、油に混ぜて化粧の眉引きに使ったり人間に親しまれてきた草である。

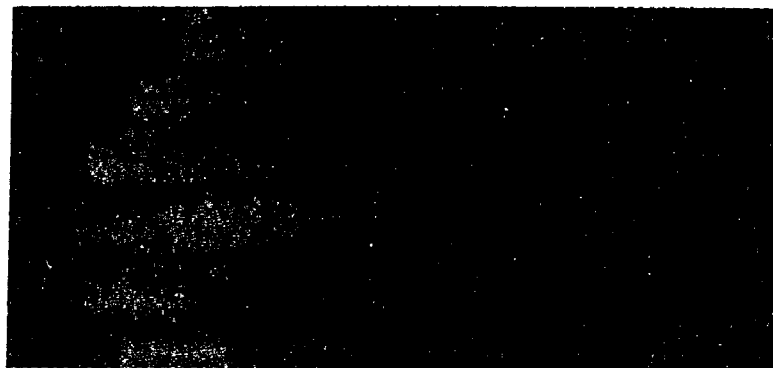


図4-3 マコモの菰角（白筍）台北の野菜市場にて

マコモは北アメリカのワイルドライス (Wildrice) の東アジアにおける対応種で、もちろん穎果を食用にすることはできるが、野生植物であるため農作物として取り扱えないことと、穎果の取り入れが困難のため飢饉のときの救荒植糧として利用されたことはあっても実用に供されたことはない。

現在マコモの利用は、中国各地に見られる野菜としての菰角である。マコモの幼茎にクロボ菌の一種 *Ustilago esculenta* P. Henn. が寄生すると幼茎、つまり菰角に伸長を害され花も着けず、しかし、異常生長をして太って軟化し、長さ8~25cm、径2~3cmほどの竹の子形になる。(Hori 1907; Ou 1938), 全体に軽く、中はややスポンジ様で水分が多い。これが「中国野菜の白筍で、少し甘みがあって美味であり最近では、中国国内消費のほかに、冷凍または缶詰として輸出され、中国中南部や台湾で実用的に栽培している。沼田や河川の畔など、水田しにくいところを利用している。クロボ菌の寄生しているマコモは開花しないが枯死することもない。根茎を毎年春に沼田に植えつけ、夏から秋に出てくる太った菰角を採集する。その後で根茎を堀り下げて貯蔵することもでき、毎年続けて栽培するのである。

菰角の生理学的研究は、Chan & Thrower (1980) によって詳しくなされた。菰角の甘味は菌の代謝産物のマンニトールであると推定される。また、菰角は非乾燥品で熱量 24.9 Kcal/100 g という低カロリーであり、水分92%, 炭水化物は4.9%にすぎず、美味であるから低カロリー食糧として推薦できる。

以上、 小山鐵夫 資源植物学 (1985) より

● ワイルドライス (イネ科)

日本のマコモに似た大形の一年草である。アメリカ東部メイン州からウィスコンシン州までと、隣接したカナダ東部、さらに南ヘルイジアナ州、フロリダ州までの河畔の湿地や沼地に見る。淡水と汽水の双方に生える。

ワイルドライスにはもう一種似た種があり、インテリア・ワイルドライス (interior Wildrice, 学名; *Zizania Palustris*, L.) という、本種は雌花の穎が草質となり、白っぽい緑色で、脈に沿ってのみざらつく点でワイルドライスと異なる。アメリカの内陸に生え、ミシガン州から西へアイダホ州までと、南はテキサス州まで知られている。

表4-2 ワイルドライス（菰米）と米の成分分析

	ワ イ ル ド ラ イ ス	米 (玄米)
一般成分 (%)		
蛋白質	14.1	7.5
脂肪	0.7	1.9
炭水化物 (全量)	75.3	77.7
繊維	1.0	0.9
灰分	1.4	1.2
水分	8.5	12.2
鉱物質 (mg%)		
カルシウム	19	32
カリウム	220	214
ナトリウム	7	9
鉄	4.2	1.6
リン	339	221
ビタミン		
A (国際単位 I.U.)	(0)	(0)
B ₁ (mg%)	0.45	0.34
B ₂ (mg%)	0.63	0.05
ナイアシン	6.2	4.7
C	(0)	(0)

(Watt et al., 米国農務省 (1963) より)

ワイルドライスは北アメリカ唯一の固有の穀物で古くからアメリカンインディアンの採集食糧であった。現在では、その風味と歯切れのよい心地よさが好まれ、高価なデリカシーの一つとして、感謝祭やクリスマスなどの七面鳥料理にあしらわれたり、スープやキャセロール料理にも使われる。ワイルドライスが高価である理由は、現在でもまだ栽培植物になっていないからである。

果実は熟すと落ちやすく、また一つの植物体に着く全部の果実が同時に熟さないので収穫に手どるなど、野生種の性質がよく見られる。ワイルドライスは沼や河畔に大群をなして生えるので、収穫には舟を使う。アメリカンインディアンの方法はカヌーでこぎ出し、群落にはいると実がたわわに着いた茎を傾けて熟した穎果を舟にたたき落とした。このとき、まだ未熟の果実が残っているから、茎を折らないように注意した。また、1～2週間後に、それを再び収穫するのである。現在はモーターボートに種々の収穫機を装備したものが考案されている。

収穫されたばかりのワイルドライスはオリーブ色であるが、これは水分を多量に含んでいるからで種子の発芽力はわずか数週間しかない。食用に貯蔵するには、まず手早く空気乾燥して水分を除き、腐敗やカビを防ぐ。次いで熱乾燥器で最後の乾燥をすると果実は黒褐色になる。これが袋に入れて売

られているワイルドライスである。味がよいことの他に表4-2に示したように蛋白質を14.1%も含み（イネの玄米の2倍）、ビタミンBもイネより多く栄養食品として貴重である。イネの生えない寒冷地の湿地に生えやすい点で将来の穀物資源として注目されている。東アジアにある在来ワイルドライスはマコモであり、その穎果である菰米ももちろん十分に食用となるが、実用にされたことはないようである。アジアのマコモは多年生である。ちなみにワイルドライスはWildrice、またはWild-rice と一語でつづる。Wild rice と2語で書くと野生の米、つまりイネ属の野生種のことになって菰米の意味ではなくなる。

以上 小山鐵夫 資源植物学（1985）より

● オオクログワイ（カヤツリグサ科）

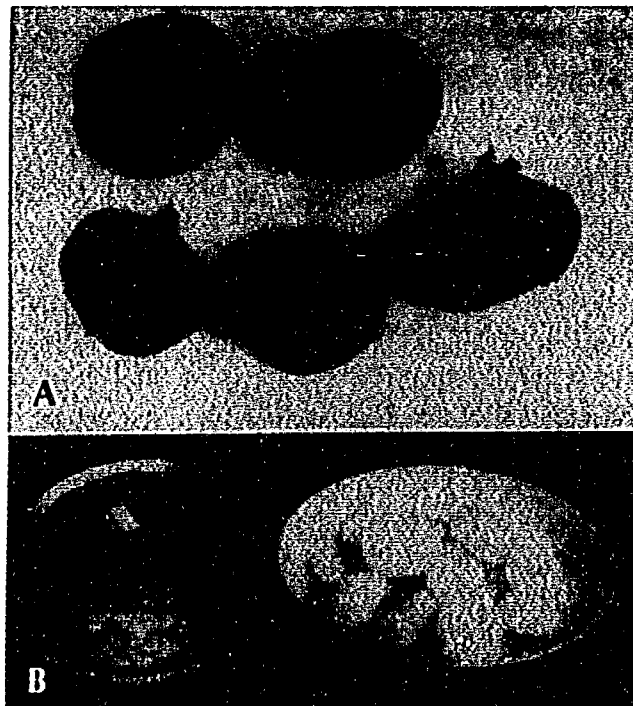


図4-4 オオクログワイ(A)とその貯詰(B)

中華料理の野菜の一つで、球茎を種々の料理に用いるほか、そのデンプンを馬蹄粉として市販し、時には薬用にも供される。

田に栽培される。地下の球茎から5~10本ほどの茎をそう生し、加えて横にはった地下匍枝を出し、その先端に新しい球茎を作り、これを収穫する。球茎は上下に平たい扁球形で径2~5cm高さ1.5~3cmくらいあり、紫褐色または黒っぽい膜質の皮に包まれ、先端に先のとがった芽がある。茎は円筒形で、濃い緑色をしており、高さは40~100cm、径2~8mmくらいで中空で節はないが、多数の横隔膜で仕切られ、指で圧すとパチパチと音を立ててつぶれる。茎の根元に紫褐色で膜質の鞘があるが、これは葉の退化したものである。茎の頂きにしばしば1個の線形の小穂を着け、白っぽい緑色の鱗片を綴着し、各鱗片の腋に花を着ける。不稔で種子ができず繁殖はもっぱら球茎による。

オオクログワイは、その野生原種であるシログワイ *Eleocharis dulcis* Trinius の栽培品種である。シログワイはマダガスカル島からインド亜大陸、中国南部、東南アジア、インドネシア、オーストラ

リア、太平洋諸島に広く分布し、日本でも紀伊半島以南にまれに栽培のオオクログワイとの差異はシログワイでは地下の球茎が小さく径10mm以下であること、ほとんどの茎の頂に小穂が着き、種子がみること、茎がやや細めであることなどである。シログワイの関連種には日本特産の野生種のクログワイ *Eleocharis Kurogawai* Ohwi がある。

表 4-3 オオクログワイの球茎の成分（剥皮後）

	アメリカの データ a	台 湾 の データ b
①一般成分(%)		
水 分	78.3	86.0
蛋 白 質	1.4	1.2
脂 肪	0.2	0.1
炭 水 化 物 (総量)	19.0	11.5
纖 維	0.8	0.1
灰 分	1.1	1.1
②鉱物質 (mg%)		
カルシウム	4.0	1.0
リ ン	65.0	64.0
鉄 分	0.6	0.9
③ビタミンC (mg%)	4.0	7.0
④熱量 (kcal/100 g)	78.0	51.7

(a 米国農務省, b 張ら (1980) より)
(注) 米国農務省の分析によると球茎の可食部分は球茎全体の約77重量%である (非乾燥重量)

シログワイは上記のように旧世界の熱帯に広く分布しているが、栽培品種を育種して利用しているのは中国と東南アジアの一部のみである。古い記録 (Rumphius 1750) によると、ジャワの原住民が野生のシログワイの球茎を掘って食用にしていたが、現在でも、ジャカルタの市場では8月から12月にかけて野生のシログワイの球茎が出回る。オオクログワイは染色体 150本近くを持つ高倍数体であるが、オオクログワイ型の植物とシログワイとがベトナム北部で混生しているとの報告があるので (Huan 1935), 古く中国南部で野生のシログワイから選抜育種され、広東人の手で栽培化されたものと思われる。

中国産オオクログワイの球茎の成分は表 4-3 のとおりであり、収量は18~36トン/ha である。美味な野菜として種々な献立に利用でき、良質のデンプン生産源としても経済価値が十分にある。現在では、中国南部、台湾、東南アジアの一部のみで栽培作物となっており品種改良はあまり進んでいない。

球茎がやや大きく肉がやわらかいもの (主として食用野菜とする — 紅馬蹄という) と、球茎がやや小さく肉の硬いもの (主としてデンプン用とする — 水馬蹄という) の二つくらいの品種が区別され

る。球茎は、現地で消費されるほか、生で、または缶詰として日本、アメリカなどへ輸出されている。ちなみに1947年のアメリカのオオクログワイの輸入は年間1,136トンであったという。

原種のシログワイが多型であり、かつ分布の広いことから、その栽培品のオオクログワイはかなり豊富な遺伝子プールを持つことになり、将来の新品種造成改良は有望である。特にシログワイが汽水および弱塩性の湿地にも生える性質のあることを利用して、オオクログワイの改良を行うと、耐塩性の品種を造成することができると考えられ、未利用の塩性湿地での食用植物とデンプン植物の生産の一つの可能性となりうる。シログワイにきわめて近縁のクログワイは、日本の東北地方に分布し、その球茎造成に日長時間が作用する生態形も見つかった。(Kobayashi & Ueki 1979)、クログワイの球茎は商品価値がないが可食であり(かつて大阪あたりの料理屋で粹人料理に使ったともいわれる。)かりにクログワイとシログワイとの遺伝子交換が可能であれば、さらに高緯度地方に生育するオオクログワイの品種を作り出すことも考えられる。

以上 小山鐵夫 資源植物学 (1985) より

● ヨウサイ・バックブン (ヒルガオ科)

中国南部と東南アジアの野菜の一種で、茎が中空なので中国名では空心菜と呼ぶことがある。サツマイモのつるに似ており、ヒルガオを想わせる花を開く。

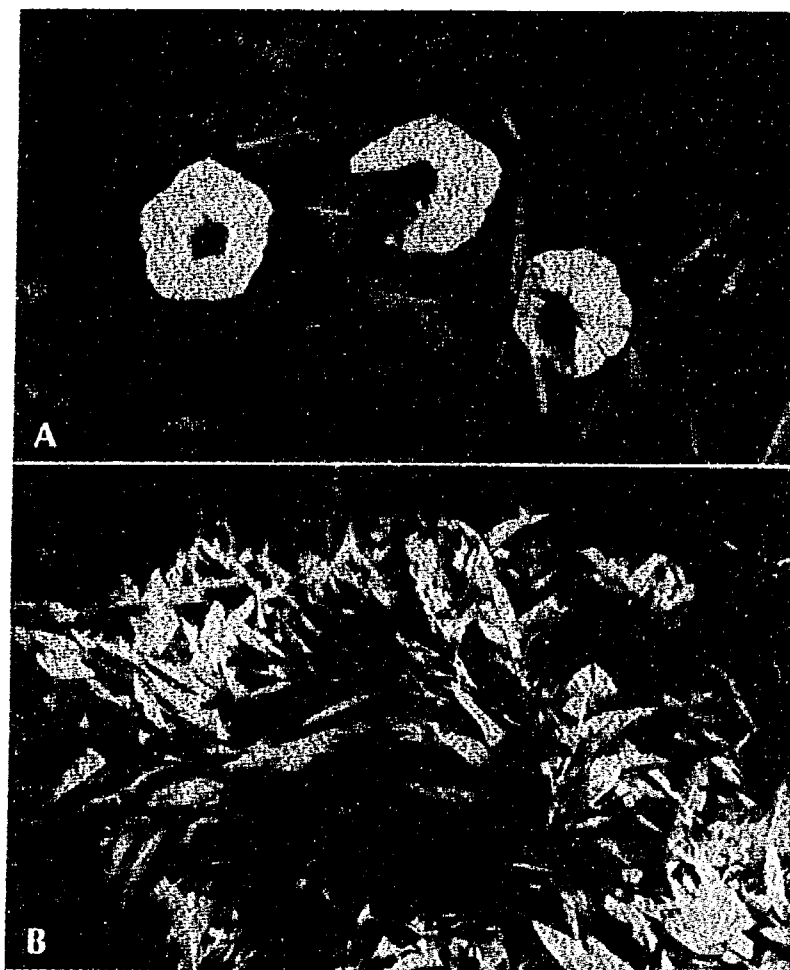


図4-5 ヨウサイの原種(A)と栽培品種(B)

つる性の一年草で池沼、小川、水田の畔などを利用して栽培するが、水耕栽培もできる。茎は長くはない、中空で節から根を出しかつ分枝するがその枝をとって野菜とする。葉は互生し葉身は長さは6～9 cm、幅は1.5～4 cmである。長い葉柄がある。花は茎と枝の葉腋に着き1ないし少数花の集散花序にならぶ。花冠は漏斗状、長さは3～5 cm、開花時の径は3～4 cmおおむね白色である。花冠の基部に5枚のがく片と2枚の苞がある。卵円形の種子には細毛が生えている。

ヨウサイは西アジア（アラビアまで）、インド亜大陸、東南アジアからインドネシアにかけて広く分布し、河川や池沼などに普通に見られる野生種の *Ipomoena aquatica* Forsk (= *I. reptans* sensu auct., non L.) に起源する栽培型である。野生型と栽培型は非常に近く、両者の間には多くの中間型で結ばれている。一般に野生型では、茎が細く、硬目で枝もまた細く硬く、あまり立ち上がらない。葉は葉身の大きさ長さ2～7 cm、幅1.5～3 cmと栽培型より小型で葉身の基部は栽培型より広がって耳形から明らかな戟形となるため葉身全体に三角状の卵形となっている。野生型の花は栽培型のそれより大きく、より開き開花時の径は5 cmに達し、色も原則として桃色で中心が紫色を帯びて美しく、アサガオの花を想わせ、昆虫を誘うに有利である。

ニューヨーク植物園の標本を調べるとヨウサイの野生種の白花品は中国の南部の海南島、広東省とベトナムの北部のトンキンのものに見られ白花品の葉はしばしば長目のものがあって栽培品のそれに近い。栽培品のヨウサイは中国南部で広東人により、おそらく水田の雑草として南アジアから中国に侵入していた *Ipomoena aquatica* の白花品から選抜されて改良されたものであろうと推定され、志佐（1942）によれば栽培型のヨウサイは1630年以前に中国福建省の甌菜堀から台湾に渡来したといわれる。

ヨウサイは表4-4に示したように各ビタミンが多く、蛋白質の含量も高く、さらに中国では消化解毒の民間薬とされていることもあわせて、将来有望な野菜資源である。特にいためものや汁の実として美味であり、中国系アジア人の間で好まれているが、その他の東南アジア人の間に普及しつつある。品種の開発が遅れているため、東南アジアのタイ、インドネシア、フィリピン市場では、しばしば野生型の劣等品が売られている。最近では中国起源の白花品が新しい野菜としてアメリカ南部にはいり、ニューヨークの市場でも見られるらしい。現在台湾に見られる品種には大葉品種と小葉品種と呼ばれる二つがある（志佐 1942）。

大葉品種は春から夏にかけて出回り、葉は長さ9 cmに達する大形のもので6～8月に開花し、よく結実する。小葉品種は夏から秋にかけて出回り葉は多少小さく長さ6 cmほどで10～11月に開花し、種子の稔性は低く40%弱である。この二つの品種があるのではほとんど年間を通じて食べられるという利点もある。前記のようにヨウサイの野生種の分布域は広く、形態変異も大きいから、品種改良のための遺伝子源は豊富であって、将来の育種研究には良い種である。

以上 小山鐵夫 資源植物学（1985）より

表 4 - 4 ヨウサイ（可食部）の成分表

	大葉品種	小葉品種
一般成分(%)		
水分	91.6	93.5
蛋白質	2.7	1.6
脂肪	0.3	0.2
繊維	0.6	0.8
灰分	1.2	1.3
炭水化物	3.6	2.6
鉱物質 (mg%)		
カリウム	542	554
ナトリウム	163	108
カルシウム	22	19
マグネシウム	20	15
鉄	7.4	5.8
リン	38	31
ビタミン類		
A (I.U.)	2,650	1,557
B ₁ (mg%)	0.03	0.04
B ₂ (mg%)	2.16	2.07
ナイアシン (mg%)	0.76	0.65
C (mg%)	3.0	11.0
熱量 (kcal/非乾燥重量 100 g)	27.9	18.6

(張ら (1980) より)

ヨウサイは、本邦では、鹿児島で栽培されていると言われている。¹⁴⁾現在はバックブンという呼称が多く用いられ（タイ国での呼称か？）大阪大学でティラピアとの組合せで、汚水処理と食糧生産を一挙に荷なうものとして研究されている。^{14) 24) 26)}

その他海外で食用とされている水生植物についての情報は下表のとおりである。

表4 - 5 食用水生植物事例（海外事例）

植物名	項 目	可 食 部 位	地 域
レースソウ <i>Aponogeton fenestralis</i>		球根, 根茎	マダガスカル
<i>A. bernierianus</i>		根茎	マダガスカル
<i>A. Cordatus</i>		根茎	マダガスカル
キボウホウヒルムシロ (ケープアスパラガス) <i>A. distachyus</i>		花茎	南アフリカ
ホソバイモヒルムシロ <i>A. crispus</i>		花軸	スリランカ
キバナバス <i>Nelumbo pentapetala</i>		根茎, 種子	北 米
ムラサキヒツジグサ <i>Nymphaea stellata</i>		根茎, 花茎, 種子	インド, 東南アジア
オオヒツジグサ <i>N. lotus</i>		根茎, 花茎, 種子	インド, 東南アジア
オニバス <i>Euryale ferox</i>		種子, 根茎, 葉柄	_____
ミズズイキ <i>Cyrtosperma lasioides</i>		根茎	東南アジア
<i>C. edule</i>		_____	ニューギニア, カロライナ諸島
ミズヤツデ <i>Lasia aculeata</i>		葉柄, 若葉	スリランカ, ベンガル地方
ボタンウキクサ <i>Pistia stratiotes</i>		_____	東南アジアの一部
コナギ <i>Monochoria vaginalis</i>		_____	フィリピン, ボルネオ
ホテイアオイ <i>Eichhornia crassipes</i>		若葉, 花, 葉柄	インドネシア
キバナオモダカ <i>Limnocharis flava</i>		若葉, 花序	インドネシア
ミズオオバコ <i>Ottelia alisnoide</i>		_____	_____
デンジソウ <i>Marsilea cremata</i>		_____	_____
ミズワラビ科の一種 <i>Creratopteris thalictroides</i>		_____	_____
ミズオジギソウ(カイジレソウ) <i>Neptunia oleracea</i>		若葉	東南アジア
アツケシソウ <i>Salicornia herbacea</i>		_____	フランス, ベルギー, オランダ

4-4 天然化学物質源

水生植物中には種々の天然の化学物質が含まれ、薬品等の原料等としての利用が考えられる。下表はコウホネの一種 *Nuphar luteum Subsp macrophyllum* より得られた含硫アルカロイドが一部の細菌に対して阻害効果を示すことを表わすもので、生体の防衛機能の一環として、植物体中にこのような物質が蓄積されるものと考えられる。

表4-6 Cumulative Results of Inhibition. Pacteria vs Nuphar Alkaloids

Bacteria	WPC 45.1	VPM 74.15	CFW 225.1	Deoxynupharidine	Nupharidine
<i>Corynebacterium michiganense</i>	pos.	pos.	pos.	neg.	neg.
<i>C. flaccumfaciens</i>	pos.		pos.		
<i>C. insidiosum</i>	pos.		pos.		
<i>Xanthomonas phaseoli</i>	pos.		pos.		
<i>X. vesicatoria</i>	neg.				
<i>Erwinia caratovora</i>	neg.				
<i>Arthrobacter</i> (Th-1)	pos.				
Green Laka Tully #1	neg.			neg.	neg.
Green Laka Tully #4	neg.			neg.	neg.
Green Laka Tully #5	neg.			neg.	neg.

Robert. T. Lalond : Aquatic Plant Chemistry its Application to pollution Control Water Resources Research Catalog Vol S (1969)

本邦においては、昔から和漢薬として次の様な水生植物が利用されている。¹⁸⁾ サジオモダカ、イ、イネ、ウキクサ、ウキヤガラ、ガマ、コガマ、ヒメガマ、コウホネ、セキショウ、セリ、トクサ、ヒシ、ミクリ、ミズバショウ、ミツガシワ、ヨシ、ワサビ等。

表4-7に代表的な漢方薬としての利用状況を示した。

表 4-7 漢方薬としての水生植物の利用例

植物名	項目	薬の呼称	利用部位	成分	効用	備考
サジオモダカ		たぐし 沢瀉 五苓散(製品)	葉・根茎	—————	利糖止 利尿 渴 尿	煎服
ショウブ		菖蒲根	根茎	<精油成分> アサロン $C_{12}H_{16}O_3$ 他	利芳香 健胃 尿 尿	
ミツガシワ		—————	葉	<配糖体> メリアチン $C_{15}H_{22}O_9$ (1%他)	健胃 尿 尿 尿	
コウホネ		せんとう 川骨	根茎 種子	<アルカロイド> ヌハリジン $C_{15}H_{23}O$	強壯・止血 浄血剤, 婦人病	
オニバス		茨実	種子	—————	強壯 尿 尿 尿	
ハス		蓮実	種子	—————	強壯 尿 尿 尿	
ガマ類		はおう 蒲黄 蒲灰散, 蒲黄散	花粉	<配糖体> イリラムネチン $C_{16}H_{12}O_7$	止血 尿 利尿 尿	……外用 ……内服用
ワサビ		さんき 山葵	根茎	<精油成分> アリルイソチアネート 0.05~0.1%	健胃, 利尿 魚毒の解毒剤	

植木邦和 水草の科学(1984)

4-5 エネルギー源

いわゆるバイオマス資源としての水生植物の活用として、最も望まれるのは、石油代替エネルギー生産への変換利用であろう。バイオマス利用の代表種としてホテイアオイ、ウキクサ類、オオカナグモ、コカナグモ、オオフサモ、ガマ、マコモ、ヨシ等が検討されている。バイオマス生産の観点からは乾物生産量が大きい必要がある。一般の農産物は年間乾物生産量がほぼ10~30t/haの範囲のものが多いの¹⁸⁾に比し、水生植物の中にはそれ以上のものもある。

表 4-8 水生植物の年間乾物生産量

項目	生活型	植 物 例	年間乾物生産量
抽水植物		ガマ, マコモ, ヨシ	25~100 t/ha
沈水植物		オオカナグモ, コカナグモ	25~50 t/ha
浮漂植物		ホテイアオイ, ウキクサ類	11~150 t/ha

植木邦和 水草の科学(1984)より

エネルギー源としての利用には、直接固型燃料として用いる方法と、発酵させてメタンガス（場合によってはアルコール）生産を行なう方法が考えられる。

① 固型燃料化

固型燃料化はホテイアオイを用いて実験が行われている。^{13) 15) 22)}

水生植物の乾燥体の発熱量を Steuer の式から推定すれば $3,000 \sim 3,500 \text{ Kcal/kg}$ である。¹³⁾ したがって、水生植物乾燥体の発熱量は、薪の70～80%程度と考えられるので、固型燃料として可能である。ただし、乾燥体のままではハンドリング等に問題があり、薪のような形状に加工することが必要である。¹³⁾

図4-6に固型燃料化のフローチャートを示す。

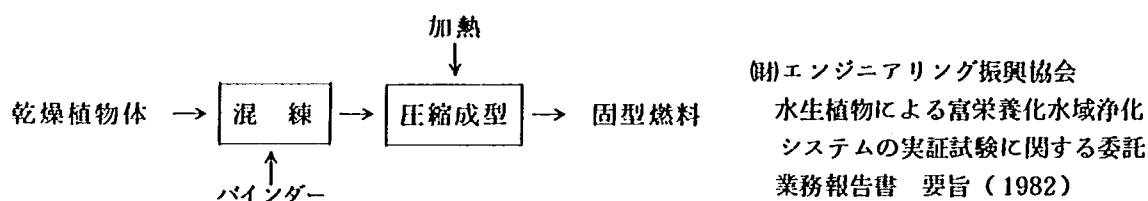


図4-6 固型燃料化のフローチャート

混練の工程で使用するバインダーは加熱あるいは、圧縮により溶融し冷却あるいは放圧することにより接着する性質があるものがよい。例えば、タール、ピッチ等のような石炭石油化学からの副産物あるいは樹脂の廃棄物などが考えられる。¹³⁾

固型燃料化は大規模な装置を必要とせず、乾燥後簡単な装置で製造が可能である。製造装置の例を図4-7に示す。

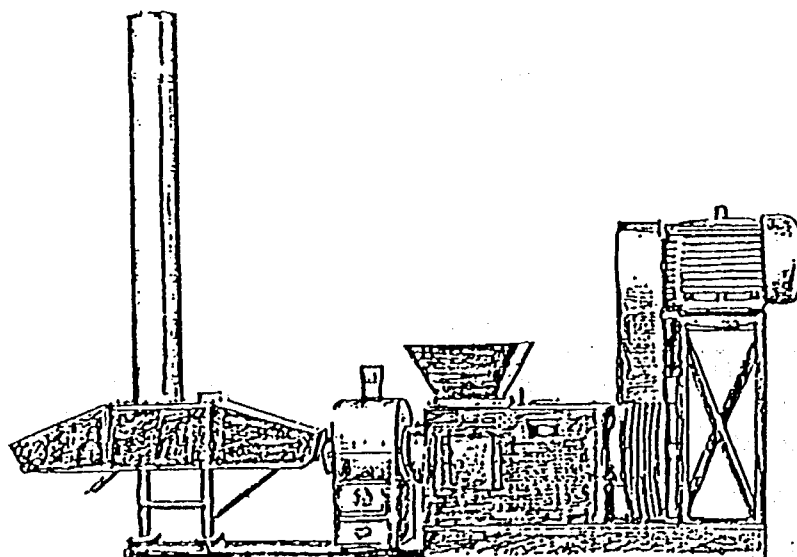


図4-7 オガライト製造装置

(財)エンジニアリング振興協会 水生植物による富栄養化水域浄化システムの実証試験に関する委託業務報告書 要旨（1983）

植物体より製造した固型燃料あるいは、乾燥植物体の利用方法の一つとして、下水汚泥との混焼という手段がある。下水汚泥は、その減量化の一手段として、焼却処理が実施されているが、含水率（脱水ケーキ70～80%）が高いために自燃せず、補助燃料を必要としている。

補助燃料としては、化石燃料が用いられていることが多いが、最近、下水汚泥と同様その処分に苦慮している都市ゴミを用いる試みがある。これは、都市ゴミの含水率が50%程度と低く、十分に自燃することが可能なためである。これと同様に含水率の低い乾燥した植物体あるいは固型化した植物体も熱収支的には十分に混焼が可能であり、植物体の回収システムと輸送システムが整備されればこの方面にも利用可能性が展開するであろう。

② メタン発酵

水生植物のメタン発酵に関する研究は、アメリカ航空宇宙局（NASA）やディズニーワールドの污水处理プロジェクト²¹⁾を始め各地で実施されているが、未だに大規模な実用化には至っていない。¹⁸⁾

水生植物をメタン発酵させて得られる発生ガスは、メタンが62～66%である。¹³⁾メタンの総発熱量は9542 Kcal/m³であるから、メタン発酵による発生ガスの発熱量は約6000 Kcal/m³となる。¹³⁾

メタン発酵により得られるガス中には、通常少量の硫化水素が含まれている。微量の場合には問題はないが、強い還元性を有しているので、金属材料の腐食の恐れがある。

従ってガスを金属塩を含む酸性溶液と接触させるなどの方法を採用して硫化水素を除去することが望ましい。¹³⁾

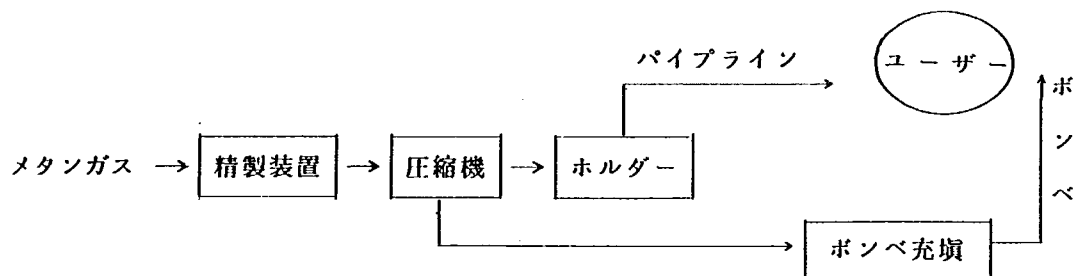


図4-8 メタンガスの再利用システム

財団法人 エンジニアリング振興協会

水生植物による富栄養化水域浄化システムの実証試験に関する
業務報告書 要旨（1982）

4-6 飼料化

多量に繁殖した水生植物を家畜及び養殖魚の飼料として直接または加工して与えようとするものである。また養蚕飼料に添加して、成長促進剤として利用する研究も行われている。²³⁾

本邦では島国という地勢上の問題もあり、飼料作物は輸入もしくは集約栽培する必要がある。食料生産と同様、飼料生産においても水生植物の資源化は開水面の利用方法として期待できる。水生植物は含水率及び、K、Na、Fe、Mg等の無機物の含有量が高く、¹⁸⁾そのままでは飼料として与え難いため基礎飼料に混合して与えられる。サイレージ化やペレット化しての供給も考えられる。

ホテイアオイ、オランダガラシ、ウキクサ類、クロモ、フサモ等の利用が行われている。地域的な偏りはあるが、実際に栽培されているものとして九州の筑後川下流域のクリーク地帯では、帰化雑草キン

ユウスズメノヒエの例が挙げられる¹⁸⁾。現在、熊本県では牧草のイタリアングラスとの組合せで連作栽培を定着させている。また、西南暖地の干沢地では暖地型牧草として栽培されている。

表4-8に水生植物と一般飼料のアミノ酸含有量、表4-9に栄養価を示す。水生植物の乾燥体は、一般飼料と比較して粗タンパク、アミノ酸含有量は高い値を示しているのがみられる。特に、ウキクサは、栄養価によって総合的にみればDCP（可消化粗タンパク質）に富み、TDN（可消化養分総量）がやや低いことから、ダイズ粕などのタンパク質飼料とオオムギ、アルファルファなどの穀類、牧草類の中間に位置づけることができる。また、アルファルファなどの牧草類に比べると粗飼料というよりは、むしろ植物性タンパク質飼料といえよう。¹³⁾

含水率80～90%程度の乾燥植物体として利用する場合は、その鮮度が低下しないように、包装し、貯蔵する必要がある。¹³⁾植物体を包装する際には、空気の透過しない風袋に入れて不活性ガスを封入するか、

表4-8 水生植物と一般飼料のアミノ酸含有量

植物 アミノ酸	ウキクサ 風乾物	ホテイアオイ の葉	オランダガラシ	米ヌカ	イネ科 乾牧草	アルファルファ 乾草
アラニン	1.27	3.76	1.14			
アルギニン	1.17	3.98	0.93	0.50	0.90	0.51
アスパラギン酸	3.76	5.38	2.03			
シスチン	0.44		0.54	0.10	0.19	0.25
システイン		0.72				
グルタミン酸	2.19	7.02	3.56			
グリシン	1.28	3.33	1.03	1.30	0.72	0.52
ヒスチジン	0.36	1.38	0.35	0.20	0.46	0.22
イソロイシン	1.73	2.84	0.88	0.40	1.38	1.15
ロイシン	2.00	3.58	1.48	0.60	1.98	0.62
リジン	1.92	3.93	1.36	0.50	1.06	0.61
メチオニン	0.31	1.19	0.20	0.50	0.31	0.19
フェニルアラニン	0.91	3.53	0.63	0.40	1.30	0.59
プロリン	1.22	3.05	0.88			
セリン	0.90	2.66	0.97			
スレオニン	1.06	2.88	0.87	0.40	0.89	0.73
トリプトファン		0.87	0.30	0.10	0.31	0.22
チロシン	0.66	2.70	0.61	0.54	0.46	0.26
バリン	1.80	3.38	1.13	0.60	1.57	0.71
粗蛋白質	32.0	57.8	19.8	13.5	14.8	14.0

(単位%)

注：。印は必須アミノ酸を示す。

(財) エンジニアリング振興協会

水生植物による富栄養化水域浄化システムの実証試験に関する委託業務報告書

(1985)

表 4 - 9 水生植物と一般飼料の栄養価

	粗たんばく	粗 脂 肪	可 溶 性 無 窒 素 物	粗 纖 維	粗 灰 分	D C P	T D N
オランダガラシ	19.8			13.6	18.2		
ウ キ ク サ	32.2	2.3	28.5	6.6	16.3	23.5	44.2
アオウキクサ	21	3	35	10	14		
ホテイアオイ	10 * (17~22)	2	38	19 (15~22)	14 (18.3)		
アルファルファ	13~15	2 ~ 5	28~32	29~30	8 ~ 11	10.3	47.5
赤 ク ロ ー バ	10~19	1 ~ 3	30~40	22~32	5 ~ 8	8.0	49.5
稲 ワ ラ	3 ~ 6	1 ~ 4	31~45	24~31	10~17	0.3	37.1
トウモロコシ	9.4					7.2	80.0
オ オ ム ギ	11.5					8.3	68.9
ダ イ ズ 粗	45.2					42.1	75.3
ビ ー ル 粕	25.9					20.7	60.0

(単位%)

* Bill Wolverton: Don't Waste Waterweeds, New Scientist, 12. (August 1976)

(財)エンジニアリング振興協会

水生植物による富栄養化水域浄化システムの実証試験に関する委託業務報告書 (1985)

表 4 - 10 飼料の公定規格 (農林省告示第 756 号)

飼料 の種類	成 分 量 の 最 小 量 (%)				成分量の最大量 (%)		代謝エネルギー の 最 小 限 (kcal/kg)	可消化粗蛋白 質の最小限 (%)	可 消 化 養 分 総量の最小限 (%)
	粗蛋白質	粗 脂 肪	カルシウム	リ ン	粗 纖 維	粗 灰 分			
鶏用配合飼料	13.5~ 19.0	2.0~ 2.5	0.45~ 2.60	0.40~ 0.55	10.0~ 5.5	13.0~ 8.0	2,500~ 2,700		
豚用配合飼料	12.0~ 17.0	1.5~ 2.5	0.45~ 0.60	0.35~ 0.45	10.0~ 4.0	10.0~ 9.0		9.0 ~ 14.5	66 ~ 71
牛用配合飼料	9.0~ 22.0	1.0~ 5.0	0.35~ 0.60	0.30~ 0.40	11.0~ 1.0	10.0~ 9.0		7.5 ~ 19.0	65 ~ 75
養殖水産動物 用配合飼料	39.0~ 45.0	3.0~			5.0~ 1.0	17.0~ 15.0			

注; 各欄で左上の数値が最も緩い規格値であり, 反対に右下のものが最も厳しい規格値である。

(財)エンジニアリング振興協会

水生植物による富栄養化水域浄化システムの実証試験に関する委託業務報告書 要旨 (1982)

滅菌処理後風袋に入れて微生物の浸入を防ぐなどの手段を採らなければならない。ただし、再利用プラントの近くにユーザーがある場合には、このような処理は必要とされない。

含水率10～20％程度の乾燥植物体とした場合は乾牧草のような利用方法がある¹³⁾。また、利用方法としては、粉碎、細断などの手段により、粉末状にすることが考えられる。このようにすれば、腐敗を防止したり、飼料価値を高めたり、或いは家畜の嗜好を高めたりする目的で、他の粉末飼料、添加材などと混合することも可能となり、ペレット状に成形することができる。

このような配合飼料については表4-10に示すような、農林省告示第756号の飼料規格があり、鶏、豚、牛、水産動物用にそれぞれ成分量の最小値または最大値が規定されている。¹³⁾

それぞれの水生植物の成分からみて、添加材を配合することにより、飼料規格を満足させる配合飼料をつくることは十分に可能性があると考えられる。

図4-9に飼料化のフローチャートを示す。切断工程で用いられている機械として、含水率80％～90％の植物体の場合は剪断型のものが適当であろう。¹³⁾

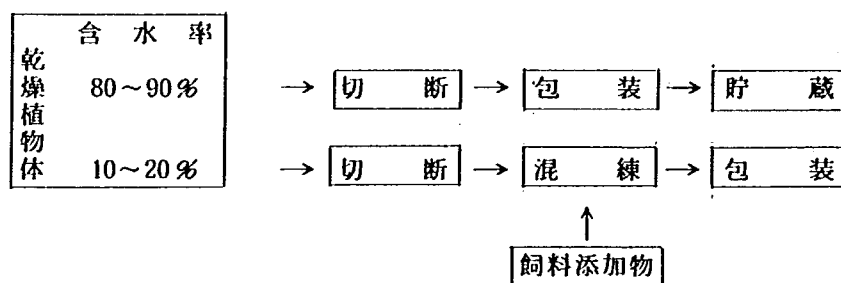


図4-9 飼料化のフローチャート

(財) エンジニアリング振興協会
水生植物による富栄養化水域浄化システムの実証実験に関する委託業務
報告書 要旨(1982)

4-7 肥料化(堆肥化)

昭和30年、神戸市に設置された都市ごみ高速堆肥化施設に端を発した都市廃棄物のコンポスト化は、以降

- ① 石油危機を契機とした省資源・省エネルギーの社会的要請
- ② 公害やローマクラブの勧告を契機とした生態系として調和のとれた環境の創造
- ③ 化学肥料や農薬偏重による作物障害や地力低下への反省と有機資材の見直し

などを背景として、都市ごみのみならず農畜産廃棄物、し尿汚泥、下水汚泥などのコンポスト化へと拡大してきた。

昔は、農村地帯で緑肥として利用されていた水生植物をコンポストとして活用することは、原理的には、なんら問題はなく、ホテイアオイ、オランダガラシ、アカウキクサ等が研究の対象とされることが多い。

水生植物は、高濃度の窒素、リン、カリウムを吸収していることは明らかであるから、その施肥効果は高いと思われる。¹³⁾

肥料としての有効成分について、コンポストの場合は、規格が見当らない。ただし、その性状は農家の要求に応じたものでなければならない。

- ① 衛生的であること
- ② 農業的に安全化されていること。(植物の病原菌、雑草の種、害虫の卵等がないこと)
- ③ 製品は茶褐色の堆肥様外観があり、悪臭がなく、一種の芳香ある。土臭で手でつまんでみるともろく、容積は原料の $\frac{1}{2} \sim \frac{1}{3}$ 、重量は25～35%の減少、水分は40%以下に減少していること
- ④ 農業用堆肥として使う場合は、その成分が均一で、堆肥としての性状を十分にそなえていることが必要である。肥料成分は普通農村堆肥と同じ程度すなわち乾物で窒素1.0%、カリ0.4%前後必要である。

水生植物は、含水率が高いため、一旦乾燥させてから肥料化する必要がある。¹³⁾ 図4-10に肥料化のフローチャートを示す。

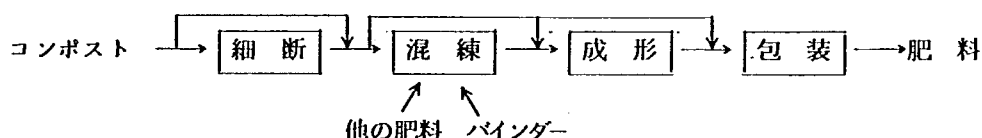


図4-10 肥料化のフローチャート

財) エンジニアリング振興協会

水生植物による富栄養化水域浄化システムの実証試験に関する委託業務報告書 要旨(1982)

ホテイアオイを用いたコンポストの性状¹⁵⁾を表4-11に示す。また表4-12に種々のコンポストの肥効成分を示す。³⁰⁾

表4-11 ホテイアオイ乾燥物とコンポストの性状比較

	ホテイアオイ乾燥物	ホテイアオイコンポスト
衛生面	不明	65℃以上、48時間以上保持し、十分殺菌されている。
色・におい	緑がかった褐色 青くさい植物臭	茶褐色、悪臭はなく、一種の堆肥臭がある。
手ざわり	繊維質でかさばっている 葉・根の区別がはっきりしている	やや容易に繊維が切れる。 かなり減容し、しおれている。
かさ比重 [*]	0.170	0.392
容水量 ^{**}	2.68 g/g・DS	5.38 g/g・DS

* かさ比重は乾物をコーヒーマルで粉砕したものについて測定した。

** 容水量は、乾物あたりに吸水する水の重量を土壌の最大容水量と同様に測定したもので、保水能力を示す。

財) エンジニアリング振興協会

水生植物による富栄養化水域浄化システムの実証試験に関する委託業務報告書 要旨(1983)

生成したホテイアオイコンポストは、窒素、リン、カリとともに通常の堆肥よりも、濃度の高い有機質資材となっており、特にカリ分に富んでいる。³⁰⁾また、コンポスト化することによってホテイアオイの外観は顕著に変化し、減容してかさ比重が増し、保水能力が増加するなど物理的性状も変化している。¹⁵⁾

表 4 - 12 堆きゅう肥等有機質資材の品質

	H ₂ O	T - C	T - N	P ₂ O ₅	K ₂ O
	%	%	%	%	%
た い 肥	74.6	28.0	1.64	0.77	1.76
きゅう肥 (牛ふん尿)	66.0	33.3	2.10	2.06	2.19
きゅう肥 (豚ふん尿)	52.7	36.4	2.86	4.31	2.23
きゅう肥 (鶏ふん)	38.5	29.3	2.89	5.13	2.68
木質きゅう肥 (牛ふん尿)	65.4	38.5	1.66	1.59	1.70
木質きゅう肥 (豚ふん尿)	55.7	36.5	2.11	3.37	1.84
木質きゅう肥 (鶏ふん)	52.4	33.8	1.93	4.09	2.14
木質資材堆積物	60.7	40.1	1.21	0.84	0.72
もみがら堆肥	55.4	32.4	1.12	1.24	1.04
都市ごみコンポスト	46.5	38.9	1.65	1.02	0.88
下水汚泥堆積物	58.4	24.9	3.58	5.18	0.32
食品廃棄物	62.7	34.9	3.65	2.80	0.95
ホテイアオイコンポスト	40.0	36.8	3.29	1.40	4.74

乾物換算値

建設省都市局下水道部, 日本下水道事業団
下水汚泥の農地等への施用に関する調査 (1986)

アカウキクサ等は共生する微生物 (藍藻 *Anabaena azolla* Strasb. 等) が窒素固定を行うことが知られており、これを鋤きこむことにより窒素肥料としての効果が期待できる。^{18) 29)}

表 4 - 13 米収量に対する窒素肥料, アカウキクサの効果
International Network Soil Fertility and Fertilizer
Evaluation for Rice (INSFER) 1979⁸⁾

処 理	平均収量 (t/ha)	指 数
1. 無 窒 素	2.6	100
2. 30kg N / ha 化学肥料, 分施	3.2	122
3. 60kg N / ha 同 上	3.7	141
4. 田植前アカウキクサ生育, 鋤きこみ	3.2	122
5. 田植後アカウキクサ生育, 鋤きこみ	3.1	118
6. 田植後アカウキクサ鋤きこみ無	3.1	119
7. 30kg N / ha + 田植前アカウキクサ (2 + 4)	3.7	143
8. 30kg N / ha + 田植後アカウキクサ (2 + 5)	3.5	134
9. 田植前後ともアカウキクサ生育, 鋤きこみ (4 + 5)	3.6	139

沙見信行, 鬼頭俊而 アカウキクサの多目的利用
水処理技術 Vol. 27, No.2 (1986)

水生植物コンポストの緑農地への施用効果については、窒素やリン酸を中心とする肥料効果のほか、有機質資材としての土壌改良効果や生物性改善効果などが期待されるところであるが、これが今後緑農地に対して、円滑に有効利用されるためには、省コスト生産技術の開発といったいわばハード面での課題とともに、生産者と消費者との間を効率的に結びつけるための流通を中心としたソフト面での課題についても検討を行うことがのぞまれよう。後者の流通上の問題に限っていえば以下のような検討課題が集約される。

- ① 需給の時期的ギャップの改善：コンポストの生産時期と農地における有機物の施用（すき込み）時期がずれる。
- ② 有機的資材に対するユーザーの評価の確立：農家においては、コンポストの体積が大きく輸送コストが高い、化学肥料のような速効性確実性を有していないことなどから、経済的な価値が形成されがたい。
- ③ 適切な価格設定手法の確立：②に関連して、生産・消費両サイドのニーズに合致した価格体系が確立されていない。
- ④ 新たな流通市場の開拓と流通ネットワークの整備：例えば資源の地域内リサイクルを重視し、地域内で発生した廃棄物は地域内に還元するという観点から、農地はもとより都市内の緑地や周辺の樹林地等、供給先を拡大し、安定した流通ネットワークを形成する。

4-8 その他

南米チチカカ湖の水上住居の例を引くまでもなく、水生植物、特に抽水植物には、繊維が強靱なものが、比較的多い。¹⁸⁾ ヨシズ等の植物体利用工芸品としての利用がある。ヨシ以外にはガマ、イ類、カヤツリグサ、ホテイアオイ等で事例が知られる。

また乾燥後パルプ紙原料としての利用も研究されている。^{18) 20)} 古代紙の原料として有名なパピルスはエジプト地方の抽水植物である。東南アジアにおいてパルプ原料とする目的での森林伐採が非難をあげている現状において、幾分なりとも資源開拓を行うことは、大きな意味を持つものと考ええる。

その他特殊な例として、資源利用ではないが、酸性河川の生態系の回復に水生植物を用いた報告がある。Wagner¹⁾ は、鉱山から出る酸性水により水生生物がほとんど生息しなくなった河川において、マツバイ (*Eleocharis acicularis*) の生育について研究し、この植物の生育の最適 pH は 3.6 ~ 5.0 で、pH 2.7 でも生育可能であり、マツバイが河川に繁茂するとプランクトンの増殖やその他の水生生物の種の増加などを招き、生態系の回復を早めると報告している。わが国でも、マツバイと同じカヤツリグサ科の植物は鉱山排水に起因する酸性河川などで普通に観察されるようである。¹¹⁾

ガマ群落においても酸性水の pH 上昇効果が認められている。¹⁹⁾

また、水生植物を土壤中に混合する事による汚水の脱窒工法に関する検討¹⁶⁾ もなされている。

4-9 参考文献

1. R.H Wagner : The Use of Aquatic Plants in the Rehabilitation of Acid Polluted Streams Office of Water Resources Research (1972)
2. D.D.Culley, Jr., E.A.Epps : Use of duckweed for waste treatment and animal feed. J. WPCF, 45, (1973)
3. R.M.Harvey, J.L.Fox : Nutrient removal using Lemna minor J.WPCF, 45, 1. (1973)
4. Bill Wolverton, et al., : Don't Waste Waterweeds New Scientist 12 (1976)
5. 奥田ら：ホテイアオイによる栄養塩吸収
公害と対策 Vol 19 No1 (1977)
6. 徳永ら：ホテイアオイの生長と無機栄養元素の貯蔵
日本水処理生物学会誌 Vol. 14 No 1 (1978)
7. 名取真：水生植物による排水処理 環境技術 7, (1978)
8. F.L.Boyt, S.E. Bayley, J. Zoltek, Jr : Removal of nutrients from treated municipal wastewater by Wetland vegetation J, WPCF 49 (1978)
9. 桜井善雄, 渡辺義人, 中本信忠：農村における生活雑排水の処理
日本水処理生物学会第15回大会要旨 11~4 (1978)
10. 日本科学技術情報センター 科学技術文献速報, 環境公害編4(9) 44 (1978)
11. 徳永隆司 水生植物の水質汚濁防止への利用 用水と廃水 Vol. 23 No 2 (1981)
12. 田中 修 バイオマス資源としてのウキクサ 水草研究会報 No 5 (1981)
13. 財団法人エンジニアリング振興協会 水生植物による富栄養化水域浄化システムの実証試験に関する委託業務報告書 要旨 (1982)
14. 橋本 契 食糧生産を組みこんだ污水处理 ヘドロ No26 (1983)
15. 財団法人エンジニアリング振興協会 水生植物による富栄養化水域浄化システムの実証試験に関する委託業務報告書 要旨 (1983)
16. 新見 正 水草を土壤中に混合する事による汚水の脱窒工法について水草研究会報 No13 (1983)
17. 湯浅浩史 食用についている水生植物 採取と飼育 第46巻7号 (1984)
18. 植木邦和 水草の科学 研究社 (1984)
19. Cheryl D. Snyder, Ernest C. Aharrarh : The Influence of the Typha community on Mine Drainage
Proc. Symp. Surf. Mining Hydrol. Sedimentol Reclam 1984 (1984)
20. A.R. Paul and Z.N. Tahhida Begum : EICHHORNIA IS NOT A WASTE MATERIAL Conservation & Recycling Vol. 7 No 2-4 (1984)

21. Kerby F. Fannin, Jana Mensinger, Phek Hwee Hsu : Evaluation of the G. R. I.
(Gas Research Institute) Walt Disney World Water Hyacinth/Sludge
Blend Program for the Presence of Undesirable Microorganisms Institute of
Gas Technology, Chicago (1984)
22. 財団法人エンジニアリング振興協会 水生植物による富栄養化水域浄化システムの実証試験に関する
委託業務報告書 (1985)
23. 田中 修 ウキクサの養蚕飼料化への試み 水草研究会報 No21 (1985)
24. 橋本 奨 汚水から野菜づくり 水 27〔S〕
25. 小山鐵夫 資源植物学 講談社サイエンティフィク (1985)
26. 橋本 奨 古川憲治, 尾崎保夫, 松羽尚人, 中島光一 水生生物による汚水処理と食糧生産
に関する研究 水処理技術 Vol.26 No 6 (1985)
27. 原田市太郎 水草とおサケ 水草研究会報 No22 (1985)
28. 今岡 務, 寺西靖治 ホテイアオイの栄養塩吸収能を利用した水質浄化に関する研究
水質汚濁研究 第8巻第5号 (1985)
29. 汐見信行, 鬼頭俊而 アカウキクサの多目的利用 水処理技術 Vol.27 No 2 (1986)
30. 建設省都市局下水道部, 日本下水道事業団
下水汚泥の農地等への施用に関する調査 (1986)
31. 今岡 務, 寺西靖治 ホテイアオイの成長速度と栄養塩吸収特性に関する解析衛生
工学研究論文集 第19巻
32. 西崎ら, ホテイアオイを用いた水質浄化に関する研究 第17回水質汚濁学会講演集
33. 松井ら, 植物を利用した生活雑排水の処理 第18回水質汚濁学会講演集
34. 大滝末男 水生植物図鑑 北隆館 (1980)
35. Robert T. Lalond : Aquatic Plant Chemistry its Application to Water pollution
control Water Resources Research Catalog Vol.5 (1969)

表 4 - 14 水生植物の資源利用事例（部位別 1）

植物名 \ 部 位	全 体	根	茎	葉	花	果実・ 種 子	不 明
アオウキクサ	㊦						
アカウキクサ	㊦㊧						
アサザ				㊦			
アシ（ヨシ）			㊦㊧㊨				㊦
ウキクサ	㊦㊧						
エビモ	㊦						
エンコウソウ	㊦						
オオアカウキクサ	㊦						
オオカナダモ	㊦						
オオクログワイ			㊦				
オオサンショウモ	㊦						
オニバス	㊦			㊦		㊦	
オニビシ						㊦	
オモダカ（クワイ）	㊦	㊦	㊦㊧				
オランダガラシ（クレソン）			㊦	㊦		㊦	㊦
カキツバタ	㊦						
ガ マ			㊦㊧	㊦	㊦	㊦㊧	
カワジシャ				㊦			
カンガレイ			㊦				
キシウスズメノヒエ							㊦
キシウブ	㊦						
クログワイ			㊦				
ク ロ モ							㊦
コウホネ			㊦㊦			㊦	
コ ガ マ	㊦				㊦		
サジオモダカ			㊦	㊦			
サンカクイ							㊦
ショウブ	㊦		㊦㊦	㊦			
ジュンサイ			㊦			㊦	

<凡例> ㊦……水質浄化 ㊦……観賞用 ㊦……食用 ㊦……天然化学物質源（薬品、漢方薬）
 ㊦……飼料化 ㊦……肥料化 ㊦……紙、工芸品等 ㊦……その他

表 4 - 15 水生植物の資源利用事例（部位別 2）

植物名	部 位	全 体	根	茎	葉	花	果実・種子	不 明
セイヨウミズユキノシタ		㊦						
セキショウ				㊦				
セ リ					㊦			
デンジソウ		㊦						
バイカモ								㊦㊦
ハゴロモモ		㊦						
ハ ス				㊦	㊦㊦	㊦	㊦㊦	㊦
ヒ シ							㊦㊦	
ヒツジグサ（スイレン）						㊦㊦		
ヒメガマ			㊦	㊦㊦			㊦㊦	
ヒメビシ							㊦	
フサジュンサイ		㊦						
フサモ								㊦
フトイ		㊦		㊦				
ヘラオモダカ				㊦				
ボクソウキクサ		㊦㊦						
ホテイアオイ		㊦㊦		㊦㊦㊦㊦	㊦㊦㊦㊦			
マコモ				㊦	㊦㊦㊦		㊦㊦	
マツバイ		㊦						
ミジンコウキクサ		㊦						
ミズアオイ				㊦	㊦	㊦		
ミズバショウ		㊦㊦						
ミズヒナゲシ		㊦						
ミズワラビ		㊦			㊦			
ミツガシワ					㊦			
リュウノヒゲモ				㊦				
ヨウサイ（バックブソ）				㊦㊦	㊦㊦			㊦
ワイルドライス							㊦	
ワサビ				㊦㊦	㊦㊦	㊦		

<凡例> ㊦…水質浄化 ㊦…観賞用 ㊦…食用
 ㊦…天然化学物質源（薬品、漢方薬）
 ㊦…飼料化 ㊦…肥料化 ㊦…紙、工芸品等
 ㊦…その他

表 4 - 16 水生植物の資源利用事例（利用形態別 1）

植物名	利用形態	水 質 浄 化	観 賞 用	食 用
ア オ ウ キ ク サ		水質浄化（各地）		
ア カ ウ キ ク サ				
ア サ ザ				（若葉）
ア シ （ ヨ シ ）		水質浄化 （土木研究所）		（新芽）「あしづの」 しょうちゅう原料
ウ キ ク サ				
エ ビ モ				
エ ソ コ ウ ソ ウ			栽培もされている	
オ オ ア カ ウ キ ク サ				
オ オ カ ナ ダ モ				
オ オ ク ロ グ ワ イ				中華材料（根茎） 「紅馬蹄」「水馬蹄」 でんぶん源
オ オ サ ソ シ ョ ウ モ			観賞用	
オ ニ バ ス			観賞用	中華材料 （葉柄，種子）
オ ニ ビ シ				（果実） でんぶん等を含む
オ モ ダ カ （ ク ワ イ ）			観賞用	（塊茎）「くわい」
オ ラ ソ ダ ガ ラ シ		水質浄化（各地）		生食野菜「クレソン」 芥子油（種子から）
カ キ ツ バ タ			観賞用	

天然化学物質源 (薬品・漢方薬)	飼 料 化	肥 料 化	紙・工芸別材料	そ の 他
				バイオアッセイ材料 (レムナ・テスト)
	魚の飼料 ブク・アヒルの飼料	緑 肥 土質改良材		
鎮吐，消炎，利尿 清涼（漢方薬）			パルプ よしず，ワラ屋根 土壁の「こまい」	
「浮萍草」 利尿，円毒，発汗剤	飼 料			
		緑 肥		
		緑 肥 窒素固定ラン藻 <i>Anabaena azolla</i> の共生		
		緑 肥		
(果実)「茨実」「倭食子」 強壮薬				
「沢瀉」 利尿，脚気，腎臓病				
	飼 料			

表 4 - 16 水生植物の資源利用事例（利用形態別 2）

植物名	利用形態	水 質 浄 化	観 賞 用	食 用
ガ	マ			(若茎) (地下茎) (穂)
カ	ワ			(若葉)
カ	ン			
カ	ン			
キ	シ			
キ	シ		観賞用	コーヒー豆の代用 (種子)
ク	ロ			生食可 水田に栽培
ク	ロ			
コ	ウ			(種子) (根茎)
コ	ガ			幼植物を南方諸国では 食す
サ	ジ			
サ	ン			
シ	ョ		観賞用 魔除けの飾り	
ジ	ュ			(若葉)
セ	イ		園芸植物	
セ	キ			
セ	リ			野 菜

天然化学物質源 (薬品・漢方薬)	飼 料 化	肥 料 化	紙・工芸別材料	そ の 他
「蒲黄」(花粉) 止血・利尿			(穂綿) …つめもの (葉) …敷きもの (茎) …スダレ・稲ワラ の代用	
			ムシロ	
	家畜の飼料			
	家畜の飼料			
「川骨」(根茎) 強壯, 止血剤, 婦人病 浄血剤				
			生花材料	
「沢瀉」「五苓散」 利尿剤, 止渴剤 糖尿病の薬				
			草履表, 帽子 ハンドバッグ等 編物材料	
「菖蒲根」 健胃, 利尿 虫くだし				菖蒲湯
解 熱 よう疽の薬				
(根茎) 鎮静, 健胃, 腹痛 婦人病				
解熱, 利尿剤				

表 4 - 16 水生植物の資源利用事例（利用形態別 3）

植物名	利用形態	水 質 浄 化	観 賞 用	食 用
デ ン ジ ソ ウ				
バ イ カ モ				山 菜
ハ ゴ ロ モ モ			観賞用	
ハ ス			観賞用	(地下茎)「レンコン」 未熟な種子も生食可
ヒ シ				(果実) 食用 酒
ヒツジグサ (スイレン)			観賞用 (スイレン)	
ヒ メ ガ マ				千葉県の水蓴 (幼茎の芽) (花粉) 救荒食
ヒ メ ビ シ				果 実
フ サ ジ ュ ン サ イ				
フ サ モ				
フ ト イ			観賞用	(若芽) (根茎)
ヘ ラ オ モ ダ カ				
ボ ク ソ ウ キ ク サ			観賞用	
ホ テ イ ア オ イ		水質浄化 (各地)	観賞用	しょうちゅう
マ コ モ				(果実)「菰米」 (幼苗)「菰角」 白苧 (葉) 粽 (ちまき) の皮
マ ツ バ イ		水質浄化, 海外 (中和)	熱帯魚用水草	

天然化学物質源 (薬品・漢方薬)	飼 料 化	肥 料 化	紙・工芸別材料	そ の 他
「酢漿草」 民間薬				
利尿剤				
強壮，婦人病 夜尿症			仏花等	
胃腸病				
止血，鎮痛剤				
(花粉) 利尿剤，止血剤			葉「ガマゴザ」 茎「スダレ」	
		緑 肥		
	家畜の飼料		敷物（ガマムシロ） 椅子のクッションの原料	
サジオモダカの代用 (根茎) 利尿，止渴，強心薬				
	ブタの飼料			
	ブタの飼料	堆 肥	繊維，紙原料 網，帽子の材料	燃料源
	(果実) 家畜の飼料		盃蘭盆の飾りもの 「菰馬」「菰席」	化粧の眉引き

表 4 - 16 水生植物の資源利用事例（利用形態別 4）

植物名	利用形態	水 質 浄 化	観 賞 用	食 用
ミジンコウキクサ				クロレラと同様、未来の食糧源として期待
ミズアオイ			観賞用	「ナギ」（葉茎部）
ミズバショウ			観賞用	
ミズヒナゲシ			観賞用	
ミズワラビ				サラダ材料
ミツガシワ				
リュウノヒゲモ				
ヨウサイ（バックブソ）	ティラピアとの組合せで研究中			水生野菜
ワイルドライス				（果実） アメリカのマコモ
ワサビ				香辛料（根茎・葉） （花）も可食

天然化学物質源 (薬品・漢方薬)	飼 料 化	肥 料 化	紙・工芸別材料	そ の 他
腎臓病, 発汗 足の水泡の薬				
胎毒の薬				
「睡菜葉」(乾燥葉) 催眠薬 苦味健胃, 腫瘍, 強壮薬				
	塊茎(水豆児) 水鳥の餌			
	魚(ティラピア)の 餌料			
食欲増進 リュマチ, 神経痛の薬 防腐殺菌剤				

5. 水生植物の生体成分

水生植物の生体成分についての情報は少ない。また、一部植物に偏る傾向がある。

ここでは、生体の構成成分について、レベル別に情報をとりまとめる。

- (1) 水分（含水率）
- (2) C.N.P
- (3) 有機物含量
- (4) 繊維分
- (5) 炭水化物，脂肪，タンパク質
- (6) ビタミン
- (7) その他

水生植物は、その進化の過程において、いったん陸上生活ができるようになったが、再び生活の場を水界に押しひろめていったものと考えられている¹⁹⁾。従って、同じ水中生活を行い、形態的に一見類似した印象を受ける大型藻類（コンブ、ワカメ等）とは全く体制が異なっており、生体成分の上では陸上植物に近いものとなっている。

5-1 含水率

水生植物の含水率は、陸上の草本とほぼ同様に約90%程度となっている。生活型による含水率の違いは明らかではない。

次に示すように部位別には葉柄、茎の含水率が茎、根よりやや高い傾向がある。

表 5-1 部位別含水率 (%)

部 位 \ 植物名	ホテイアオイ	バックブソ
葉	92.6	87.4 ~ 90.8
茎・葉柄	96.0	93.9 ~ 95.2
根	91.5	—
全 体	93.7 ~ 94.5	92.1 ~ 93.4

図5-1には海外での水生植物の含水率測定事例を示した。80~95%の含水率を示しており、ホウレンソウの92%とほぼ同程度の値となっている。

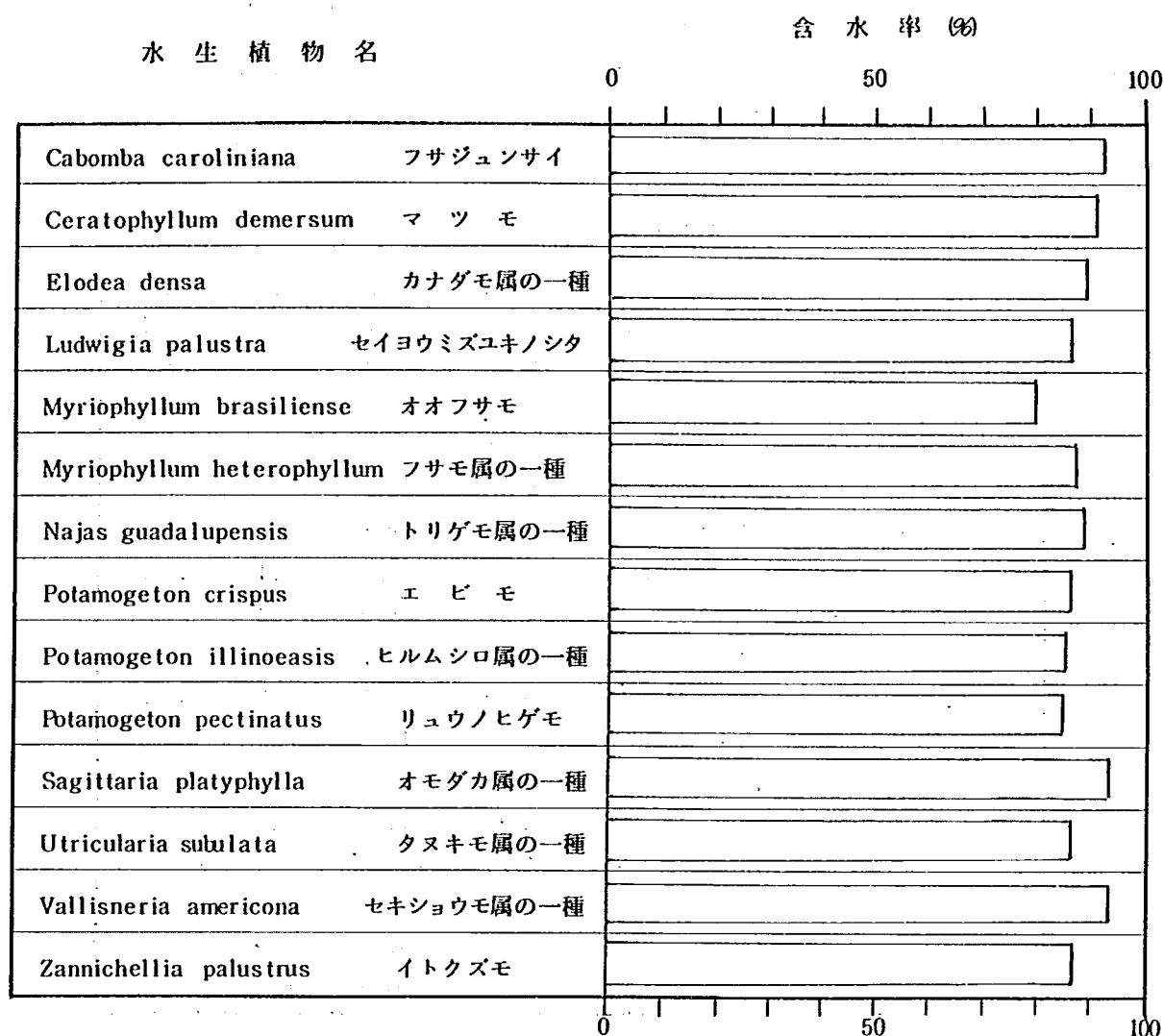


図5-1 水生植物の含水率

S.E.Jørgensen : Handbook of Environmental Data and Ecological Parameters
International Society for Ecological Modelling (1979)

水生植物の含水率は、陸上の野菜（ホウレンソウ）等と比べて極端に高い値とは言えない。しかしながら、水中より採取する際には付着する水分を考慮すると、実質の水分は90%程度ではない。資源利用を考える場合には、脱水方法の検討が必要である。例えば、圧縮による方法も考えられるが、一部の成分には、水溶性のものがあ、り、必ずしも好適ではない。利用目的に合わせた脱水手法の検討が望まれる。

5-2 C.N.P

水生植物の構成元素のうちC.N.P についての情報を収集した。C.N.P の測定例は、水質浄化、肥料としての利用に関する報告にみられるが、条件により測定値にかなりの違いが見られる。

① 水域とC.N.P

表5-2及び表5-3に実際の湖沼における測定値を示した。⁹⁾

表5-2には諏訪湖における水生植物のC、N、P含有率を示した。炭素含有率は40～45%程度で大きな違いはない。ヨシやガマ等の堅い抽水植物は沈水植物に比較して、やや高い値である。N、Pについては逆に沈水植物の方が高い値を示している。特にコカナダモのN、P含有率が高い。従って、C/N、C/P比については沈水植物で低く、抽水植物で高い傾向にある。肥料としての利用を考えればC/N比が低い方が微生物分解が速く、窒素の供給率も高いことになる。¹⁸⁾

表5-2 諏訪湖水生植物のC、N、P含有率(％乾重)

種 類	C	N	P	C/N	C/P	N/P
沈水植物	(42.5)	(3.76)	(0.47)	(11.3)	(90)	(8.0)
ヒ ル ム シ ロ	44.3	3.19	0.29	13.9	153	11.0
サ サ バ モ	41.4	3.42	0.51	12.1	81	6.7
ヒロハノエビモ	41.1	4.16	0.48	9.9	85	8.7
ミ ズ ヒ キ モ	44.9	3.51	0.31	14.3	144	11.3
セ ン ニ ン モ	45.1	3.73	0.32	12.1	141	11.7
エ ビ モ	41.3	3.80	0.56	10.9	74	6.8
コ カ ナ ダ モ	39.5	4.52	0.79	8.7	50	5.7
浮葉植物	(43.3)	(3.76)	(0.35)	(11.5)	(123)	(10.7)
コ ウ ホ ネ	42.1	4.00	0.35	10.5	120	11.4
ヒ シ	43.7	3.75	0.38	11.7	115	9.9
ア サ ザ	44.0	3.52	0.33	12.5	133	10.7
抽水植物	(44.0)	(2.54)	(0.27)	(17.3)	(163)	(9.4)
ヨ シ	44.0	3.41	0.32	12.9	138	10.7
マ コ モ	41.4	2.27	0.24	18.2	173	9.5
ガ マ	46.5	1.95	0.26	23.8	179	7.5

注) 表中()は各植物の平均値

渡辺義人、桜井善雄 湖沼の物質循環系における高等水生植物の役割
水草研究会報 No17 (1984)

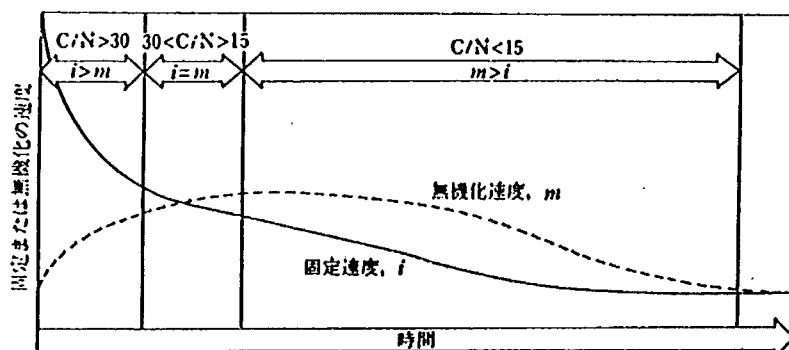


図5-2 植物残渣分解の間の炭素-チッ素比と、チッ素の有効性との間の関連性

HENRY D. FORTH 著 土壌、肥科学の基礎 (1981)
江川 友治 監訳

表5-3には、霞ヶ浦における水生植物のC.N.P含有率を示した。Nについては、抽水植物の含有率が低く、クロモ、コカナダモ、オニバス等で高い値を示している。この傾向はPについても同様である。

諏訪湖、霞ヶ浦の両湖におけるC.N.P含有率は諏訪湖の方が高い傾向にある。水生植物の種類組成の違いの他、湖水質の違いによるものと考えられる。⁹⁾

表5-3 霞ヶ浦水生植物のC.N.P含有率(％乾重)

種 類	C	N	P	C/N	C/P	N/P
沈水植物	(35.4)	(2.83)	(0.33)	(12.5)	(107)	(8.6)
マ ツ モ	26.9	2.03	0.16	13.3	168	12.7
リュウノヒゲモ	34.7	2.97	0.18	11.4	193	16.5
ク ロ モ	41.1	3.97	0.58	10.4	71	6.8
コ カ ナ ダ モ	34.7	3.59	0.54	9.7	64	6.6
オオカナダモ	39.2	3.11	0.46	12.6	85	6.8
エ ビ モ	39.5	2.08	0.24	19.0	164	8.7
フサジュンサイ	40.2	3.27	0.30	12.3	134	10.9
サ サ バ モ	41.6	3.18	0.28	13.1	149	11.4
ホザキノフサモ	34.2	2.53	0.30	13.5	114	8.4
セキショウモ	25.7	1.89	0.28	13.6	92	6.8
コウガイモ	32.1	2.47	0.26	13.0	123	9.5
浮葉植物	(41.3)	(2.74)	(0.37)	(15.0)	(112)	(7.4)
ガ ガ ブ タ	43.9	2.28	0.34	19.3	129	6.7
オ ニ バ ス	38.5	3.64	0.55	10.6	70	6.6
ア サ ザ	40.0	3.12	0.42	12.8	95	7.4
ヒ シ	41.3	2.05	0.26	20.1	159	7.9
ヒ メ ビ シ	43.8	2.52	0.32	17.4	137	7.9
オ ニ ビ シ	40.4	2.84	0.30	14.2	134	9.5
抽水植物	(43.0)	(1.41)	(0.18)	(30.4)	(239)	(7.8)
ヨ シ	43.4	1.46	0.17	29.7	255	8.6
マ コ モ	40.7	1.55	0.21	26.3	194	7.4
ガ マ	45.0	1.23	0.16	36.6	281	7.7

注) 表中()は各植物の平均値

渡辺義人, 桜井善雄 湖沼の物質循環系における高等水生植物の役割

水草研究会報No17(1984)

水中のN及びP濃度と水生植物体中のN.P含有量との関係については、Gossett(1971)や沖(1978)、徳永(1978)らのホテイアオイを用いた研究がある。いずれも両者の間に正の関係を認めている。⁹⁾

以上の様に水生植物の元素組成は、植物の種類だけでなく、生息する場所の水質に左右される。諏訪湖、琵琶湖における事例を表5-4及び表5-5に示す。

表5-4 諏訪湖の大形水生植物の化学分析結果（1966年9月）

植 物 名	乾 物 百 分 中				炭 素 率 $\frac{\text{全炭素}}{\text{全窒素}} \times 100$
	水 分	全 窒 素	全 磷 酸	全 炭 素	
サ サ バ モ	5.30	2.90	0.57	38.62	13.3
ク ロ モ	8.41	3.49	0.84	38.91	11.1
ヒ シ	8.33	2.89	0.59	37.21	12.9
セ キ シ ョ ウ モ	7.62	3.11	0.66	39.02	12.5
コ ウ ホ ネ	3.92	2.88	0.55	39.94	13.9
マ コ モ	6.59	1.91	0.52	37.15	19.4
ヨ シ	6.22	2.24	0.38	39.23	17.5

表5-5 琵琶湖の水生植物の分析結果（農林省農事試験場 1935年）

植 物 名	乾 物 百 分 中			
	水 分	全 窒 素	全 磷 酸	全 カ リ
サ サ バ モ	12.8	2.1	0.4	1.8
ク ロ モ	14.1	2.3	0.8	4.2
ヒ シ	12.6	2.6	0.7	4.6
エ ビ モ	13.1	3.3	1.0	4.1
ヒロハノエビモ	16.4	2.6	0.8	2.2

矢木 博 諏訪湖の水生植物の化学成分（諏訪湖陸水学資料）

海外での、水生植物のC及びP含有率測定事例を表5-6及び表5-7に示した。

種々の条件により、また水生植物の種類によりC.N.Pの含有率は異っているが、概ね、Cは30% Nは3～6%、Pは0.1～1.0%程度の含有率となっている。

表 5 - 6 水生植物の C 含有率

植 物 名	C含有率(%乾重)
<i>Cabomba caroliniana</i> フサジュンサイ	28.4
<i>Ceratophyllum demersum</i> マ ツ モ	34.3
<i>Elodea densa</i> カナダモ属の一種	30.8
<i>Ludwigia palustris</i> セイヨウミズユキノシタ	29.5
<i>Myriophyllum brasiliense</i> オオフサモ	35.3
<i>Myriophyllum heterophyllum</i> フサモ属の一種	37.6
<i>Najas guadalupensis</i> トリゲモ属の一種	31.9
<i>Potamogeton crispus</i> エ ビ モ	30.7
<i>Potamogeton illinoensis</i> ヒルムシロ属の一種	32.7
<i>Potamogeton pectinatus</i> リュウノヒゲモ	30.5
<i>Sagittaria platyphylla</i> オモダカ属の一種	33.3
<i>Utricularia subulata</i> タヌキモ属の一種	26.7
<i>Vallisneria spiralis</i> セキショウモ属の一種	28.6
<i>Zannichellia palustris</i> イトクズモ	34.8
<i>Heteranthera dubia</i> アメリカコナギ属の一種	27.2

S.E. Jørgensen: Handbook of Environmental Data and Ecological Parameters
International society for Ecological Modelling (1979)

表 5 - 7 水生植物の P 含有率

植 物 名	P含有率(%乾重)
<i>Brasenia schreberi</i> ジュンサイ	0.14
<i>Ceratophyllum demersum</i> マ ツ モ	0.26
<i>Eleocharis acicularis</i> トチカガミ属の一種	0.24
<i>Eleocharis quadrangulata</i> トチカガミ属の一種	0.10
<i>Juncus effusus</i> イグサ属の一種	0.27
<i>Myriophyllum heterophyllum</i> フサモ属の一種	0.16
<i>Najas guadalupensis</i> トリゲモ属の一種	0.15
<i>Nelumbo lutea</i> ハス属の一種	0.19
<i>Nuphar advena</i> コウホネ属の一種	0.40
<i>Nymphaea odorata</i> ヒツジグサ属の一種	0.18
<i>Potamogeton diversifolius</i> ヒルムシロ属の一種	0.24
<i>Sagittaria latifolia</i> オモダカ属の一種	0.30
<i>Scirpus americanus</i> カヤツリグサ属の一種	0.18
<i>Typha latifolia</i> ガ マ	0.14
<i>Utricularia inflata</i> タヌキモ属の一種	0.12

S.E. Jørgensen: Handbook of Environmental Data and Ecological Parameters
International society for Ecological Modelling (1979)

② 季節とC.N.P

また水生植物のN.P 組成は、季節により変化する。表5-8～表5-10に測定事例を示す。

生息する湖、植物の種類により変化に差異が認められる。

N.P 含有率の変化の原因として、水質の変化及び植物の生長特性が考えられる。

③ 部位別C.N.P

水生植物のN.P含有率は、部位によっても差異が認められる。資源利用に当っては利用部位のN.Pを考慮し選定することが必要となろう。

表5-8 Nitrogen and Phosphorus Contents of Samples of *Elodea* spp. Collected from Several Wisconsin Lakes during Summer Months, 1964 (%) カナダモ属

Lake Sampled	June 24-25		July 15-17		August 5-7		September 1-3	
	N	P	N	P	N	P	N	P
Escanaba	3.28	0.54	3.13	0.28	3.13	0.22	3.02	0.30
Trout	3.02	0.30	1.78	0.19	2.57	0.33	2.11	0.12
Big Kitten	2.24	0.30	1.88	0.17	1.96	0.18	2.08	0.23
Nebish	—	—	2.10	0.14	2.86	0.24	2.56	0.15

表5-9 Total Nitrogen and Phosphorus Contents of Samples of Higher Aquatic Plants Collected at Intervals during Growing Season from Lake Nebish, 1964 (%)

Plant Species	Dates Sampled							
	June 24		July 15		August 5		September 1	
	N	P	N	P	N	P	N	P
<i>Elodea</i> spp カナダモ属	—	—	2.10	0.14	2.86	0.24	2.56	0.15
<i>Eriocaulon septangulare</i> ホシクサ属の一種	2.16	0.18	2.26	0.12	2.09	0.11	2.03	0.10
<i>Lobelia dortmanna</i>	1.78	0.13	1.89	0.16	1.48	0.10	1.95	0.23
<i>Potamogeton epihydrus</i> ヒルムシロ属の一種	2.79	0.33	3.19	0.30	2.38	0.19	2.84	0.30

表5-10 Comparison of Nitrogen and Phosphorus Contents of Samples of Three Species of Angiosperm Aquatic Plants Collected from Mendota and Big Kitten Lakes during Summer Months, 1964 (%)

Plant Species	Lake Sampled	June 24-29		July 16-22		August 6-18		September 2-14	
		N	P	N	P	N	P	N	P
<i>Vallisneria americana</i>	Mendota	3.85	0.42	2.88	0.42	2.34	0.43	1.98	0.37
セキショウモ属の一種	Big Kitten	2.89	0.37	2.27	0.27	2.48	0.35	2.20	0.28
<i>Heteranthera dubia</i>	Mendota	3.79	0.55	3.24	0.69	2.32	0.51	2.67	0.58
アメリカコナギ属の一種	Big Kitten	2.76	0.27	2.58	0.24	2.45	0.33	1.95	0.26
<i>Ceratophyllum demersum</i>	Mendota	4.43	0.75	2.11	0.51	2.17	0.56	3.41	0.71
マ ツ モ	Big Kitten	2.28	0.19	2.69	0.33	2.06	0.28	1.82	0.21
<i>Potamogeton richardsonii</i>	Mendota	—	—	3.73	0.45	3.24	0.32	2.59	0.32
ヒルムシロ属の一種	Big Kitten	2.12	0.16	2.35	0.14	1.95	0.20	2.14	0.20

G.C.Gerloff : Evaluating Nutrients Supplies for the Growth of Aquatic Plants in Natural Waters

Eutrophication : Causes, Consequences, correctives. Proceeding of a symposium. Washington (1967)

表5-11 ホテイアオイの部位別N,P含有率

調査月日	(流入口)		(流出口)							
	N	P	N	P	N	P	N	P	N	P
茎 葉 部 (%)										
Aug. 7	4.36	0.617	3.92	0.599	3.07	0.627	2.72	0.624	2.44	0.573
Sept. 7	1.47	0.586	1.17	0.521	1.03	0.476	1.10	0.504	1.00	0.531
Oct. 9	2.14	0.497	1.58	0.507	0.90	0.455	0.78	0.505	0.81	0.531
Nov. 2	4.66	0.885	4.48	0.841	4.09	0.777	3.03	0.720	1.06	0.577
根 部 (%)										
Aug. 7	2.59	0.698	1.99	0.593	1.64	0.493	1.66	0.459	1.45	0.404
Sept. 7	1.15	0.384	0.83	0.279	0.81	0.264	0.83	0.140	0.81	0.137
Oct. 9	1.88	0.452	1.55	0.388	0.91	0.301	0.67	0.324	0.67	0.307
Nov. 2	2.42	0.760	2.21	0.656	2.10	0.526	1.56	0.482	0.91	0.399

環境変動に対する雑草の反応 - 水生雑草を中心として - 水草研究会報 No 9 (1982)

表5-12 バックブンの部位別N,P含有率

	含水率 (%)	乾燥重量 (%)	N含有率 (%)	P含有率 (%)
バックブン茎	95.5	0.395	2.68	0.768
バックブン葉	91.1	0.605	6.56	0.992
バックブン全体	93.5	—	5.1	0.90

橋本 奨, 古川憲治, 尾崎保夫, 松羽尚人, 中島光一

水生生物による汚水処理と食糧生産に関する研究

水処理技術 Vol. 26 No 6 (1985)

5-3 有機物含有率

水生植物の有機物含有率は、概ね70～90％程度である。

図5-3には海外における測定事例⁴⁾を示した。種類による差異が大きい。表5-13には我国の代表的な富栄養湖である諏訪湖及び霞ヶ浦での水生植物の有機物含有率を示した。⁹⁾沈水植物の有機物含有率はやや低い傾向にある。

ここに示した有機物含有率は、全草での値であり、部位別の有機物含有率は、また異なるものと考えられるが、今回は測定事例が得られなかった。

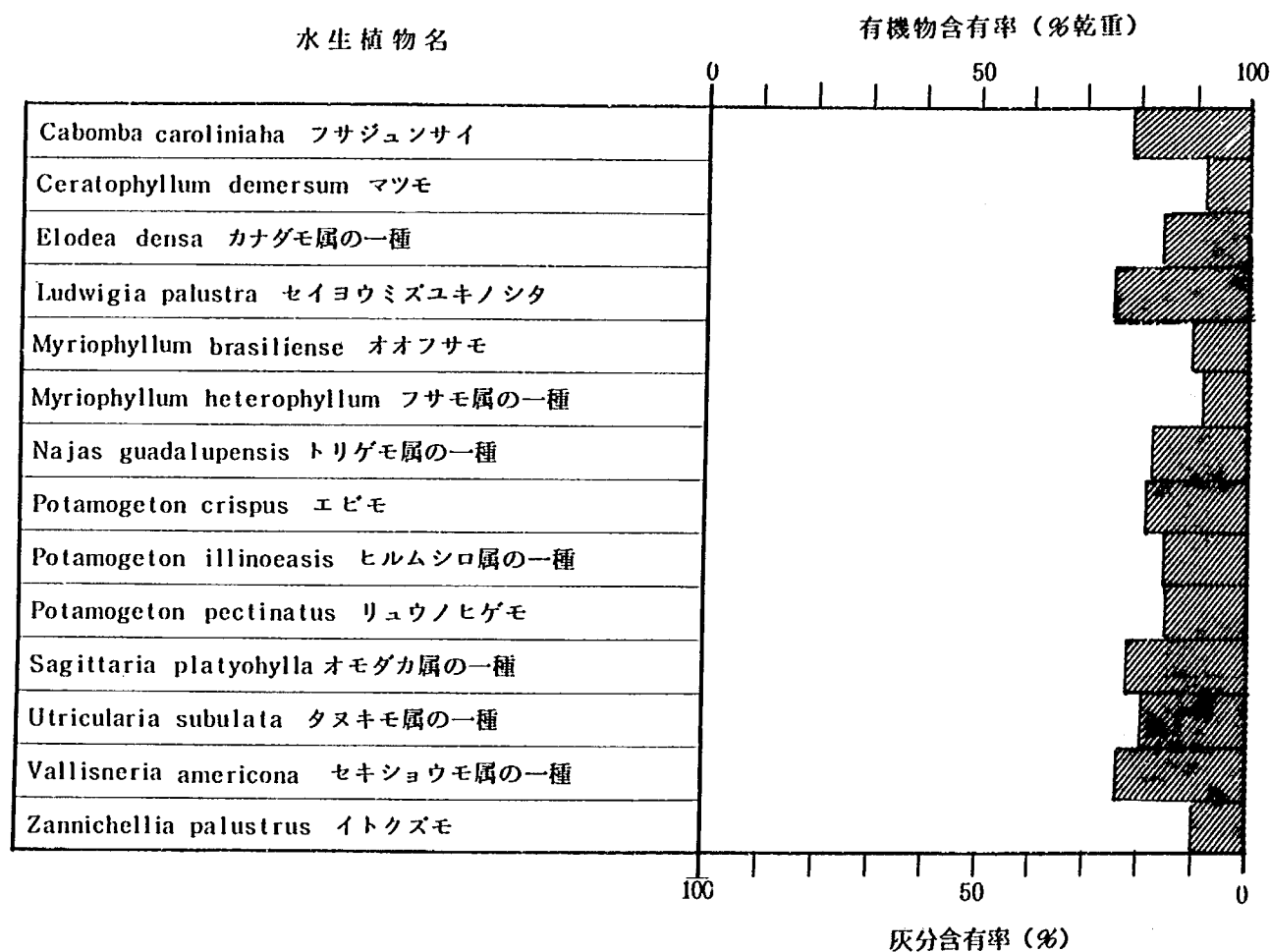


図5-3 水生植物の有機物含有率

S.E.Jørgensen : Handbook of Environmental Data and Ecological Parameters
International Society for Ecological Modelling (1979)

表 5 - 13 水生植物の有機物含有率（%乾重）

種 類 \ 採取地	諏 訪 湖	霞 ヶ 浦
沈水植物	(85.9)	(71.4)
エ ビ モ	77.5	79.8
オオカナダモ	—	83.5
ク ロ モ	—	80.5
コ ウ ガ イ モ	—	66.9
コ カ ナ ダ モ	82.8	68.7
サ サ バ モ	87.0	85.7
セ ソ ニ ソ モ	90.5	—
セ キ シ ョ ウ モ	—	50.7
ヒ ル ム シ ロ	90.8	—
ヒロハノエビモ	84.1	—
フサジュンサイ	—	80.2
ホザキノフサモ	—	62.5
マ ツ モ	—	52.6
ミ ズ ヒ キ モ	88.8	—
リュウノヒゲモ	—	75.0
浮葉植物	(88.8)	(86.3)
ア サ ザ	90.7	84.9
オ ニ バ ス	—	85.0
オ ニ ビ シ	—	82.6
ガ ガ ブ タ	—	91.0
コ ウ ホ ネ	85.0	—
ヒ シ	90.7	84.5
ヒ メ ビ シ	—	89.7
抽水植物	(88.1)	(88.0)
ア シ	88.5	89.6
ガ マ	88.6	87.2
マ コ モ	87.1	87.3

渡辺義人, 桜井善雄

湖沼の物質循環系における高等水生植物の役割

水草研究会報 No17 (1984)

5-4 繊維分

粗繊維分に関する測定事例は少ない。また、植物群落全体としての測定であることが多い。

表5-14に粗繊維含有量の測定事例を示した。ここに示した水生植物は浮漂及び抽水植物であるが、陸上植物の稲ワラに比べ低い値となっている。

水中では浮力が働くため、植物体を支持する為の組織は発達が少ない。このため沈水、浮漂植物においては繊維分が少ないものと考えられる。一方、アシ、マコモ等、工芸材料（時により建材）に使用されるような大型の抽水植物においては、陸上植物の繊維分と同等程度の繊維分があると考えられるが、今回は測定事例が得られなかった。

表5-15には、食用に供されている水生植物における可食部の繊維分を示した。同一植物でも品種により差が認められる。

表5-14 水生植物の粗繊維分
(%乾重)

植 物 名	粗繊維(%)
ア オ ウ キ ク サ	10
ウ キ ク サ	6.6~7.5
オ ラ ン ダ ガ ラ シ	13.6
ホ テ イ ア オ イ	15~22
稲 ワ ラ	24~31

表5-15 可食部位の繊維分(%湿重)

植 物 名	繊維分(%)
ヨウサイ 大 葉 品 種	0.6
” 小 葉 品 種	0.8
オオクログワイ（皮むき後）米国	0.8
” 台湾	0.1
ワイルドライス	1.0
玄 米	0.9

小山 鐵夫 資源植物学
講談社サイエンティフィックより（1985）

5-5 炭水化物、脂肪、タンパク質

① 炭水化物、脂肪、粗タンパク質

水生植物の一部は食用として用いられているように、果実、根茎等にでんぷん等を蓄積する。例えばヒシの果実は平均2.2 g/個中、子葉にタンパク質14%、でんぷん²⁰⁾67%を含む。

表5-16 食用水生植物の栄養分(%湿重)

植 物 名	炭水化物	脂 肪	蛋 白 質
ヨウサイ 大 葉 品 種	3.6	0.3	2.7
” 小 葉 品 種	2.6	0.2	1.6
オオクログワイ（皮むき後）米国	19.0	0.2	1.4
” 台湾	11.5	0.1	1.2
ワイルドライス	75.3	0.7	14.1
玄 米	77.7	1.9	7.5

小山鐵夫 資源植物学 講談社サイエンティフィック （1985）

表5-16には食用にされている水生植物の可食部における栄養分の状況を示した。脂質は比較的小さい傾向にあるが、ワイルドライス等は玄米と比べて炭水化物、蛋白質等の含有率が勝っている。食用の点では水生植物の中に陸上の野菜類に遜色ないものが存在する。

また、飼料としての見地から、粗タンパク含有率を比較した場合を表5-17及び表5-18に示した。種々の飼料原料と同じ程度の粗タンパクを含んでいる。

表5-17 飼料原料および水生植物中の粗たんぱく含有率

飼 料 原 料*	粗たんぱく含有率 (%)	水 生 植 物	粗たんぱく含有率 (%)
アルファルファの葉粉	20.0	<i>Lemna</i> sp. (湖)*	14.0 ~ 24.4
綿の実の粉	41.0	<i>Wolffia</i> sp. (湖)*	14.3 ~ 21.5
からす麦	12.0	<i>Spirodela</i> sp. (湖)*	7.4 ~ 23.3
大 豆	37.0	<i>Spirodela</i> sp. (豚舎汚水)*	35.8 ~ 40.9
大 豆 粉	42.0	<i>Lemna</i> sp. (池)**	14.9 ~ 33.2
小 麦 め か	14.5	<i>Elodea</i> sp. (池)**	11.3 ~ 27.6
ピーナツの粉	45.5	<i>Eichhornia</i> sp. (河川)***	18.4 ~ 27.0

注) 粗たんぱく含有率 (%) = 窒素含有率 (%) × 6.25

*Culley, 1973 ** Allendy, 1968 *** 徳永, 1978

徳永隆司 水生植物の水質汚濁防止への利用 用水と廃水 Vol 23 No2 (1981)

表5-18 水生植物と一般飼料の栄養価

	粗たんぱく	粗 脂 肪	可 溶 性 無 窒 素 物	粗 繊 維	粗 灰 分	D C P 可 消 化 粗タンパク質	T D N 可 消 化 養 分 総 量
オランダガラシ	19.8			13.6	18.2		
ウ キ ク サ	32.2	2.3	28.5	6.6	16.3	23.5	44.2
アオウキクサ	21	3	35	10	14		
ホテイアオイ	10 (17 ~ 22)	2	38	19 (15 ~ 22)	14 (18.3)		
アルファルファ	13 ~ 15	2 ~ 5	28 ~ 32	29 ~ 30	8 ~ 11	10.3	47.5
赤 ク ロ ー バ	10 ~ 19	1 ~ 3	30 ~ 40	22 ~ 32	5 ~ 8	8.0	49.5
稲 ワ ラ	3 ~ 6	1 ~ 4	31 ~ 45	24 ~ 31	10 ~ 17	0.3	37.1

(財)エンジニアリング振興協会 水生植物による富栄養化水域浄化システムの実証試験に関する
委託業務報告書 (1985)

② アミノ酸

表5-19には水生植物と一般飼料のアミノ酸含有量を示した。一般飼料に比較して、粗タンパク、アミノ酸含有量共に遜色ない。またアミノ酸も多種類含んでいる。

表5-20及び表5-21には水生植物のアミノ酸測定事例を示した。植物により組成に違いがあるため、混合して使用することにより一層の効果을期待することができる。

表5-19 水生植物と一般飼料のアミノ酸含有量

植物 アミノ酸	ウキクサ 風乾物	ホテイアオイ の葉	オランダガラシ	米ヌカ	イネ科 牧草	アルファルファ 乾草
アラニン	1.27	3.76	1.14			
アルギニン ○	1.17	3.98	0.93	0.50	0.90	0.51
アスパラギン酸	3.76	5.38	2.03			
シスチン	0.44		0.54	0.10	0.19	0.25
システイン		0.72				
グルタミン酸	2.19	7.02	3.56			
グリシン ○	1.28	3.33	1.03	1.30	0.72	0.52
ヒスチジン ○	0.36	1.38	0.35	0.20	0.46	0.22
イソロイシン ○	1.73	2.84	0.88	0.40	1.38	1.15
ロイシン ○	2.00	3.58	1.48	0.60	1.98	0.62
リジン ○	1.92	3.93	1.36	0.50	1.06	0.61
メチオニン ○	0.31	1.19	0.20	0.50	0.31	0.19
フェニルアラニン ○	0.91	3.53	0.63	0.40	1.30	0.59
プロリン	1.22	3.05	0.88			
セリン	0.90	2.66	0.97			
スレオニン ○	1.06	2.88	0.87	0.40	0.89	0.73
トリプトファン ○		0.87	0.30	0.10	0.31	0.22
チロシン	0.66	2.70	0.61	0.54	0.46	0.26
バリン ○	1.80	3.38	1.13	0.60	1.57	0.71
粗蛋白質	32.0	57.8	19.8	13.5	14.8	14.0

(単位%)

注：○印は必須アミノ酸を示す。

(財) エンジニアリング振興協会

水生植物による富栄養化水域浄化システムの実証試験に関する委託業務報告書

(1985)

表5-20 アカウキクサと他水生植物のアミノ酸組成

(g/100g 乾燥重)

アミノ酸	アカウキクサ*	タイバックブソ	ウキクサ**	ホウレン草
アスパラギン酸	2.05	3.81		3.1
スレオニン	2.35	1.61	1.06	1.1
セリン	1.96	1.41		1.0
グルタミン酸	4.54	4.05		5.0
プロリン	0.60	1.84		1.1
グリシン	1.60	1.89		1.3
アラニン	1.42	2.19		1.4
バリン	1.10	2.32	1.80	1.3
メチオニン	0.22	0.67	0.32	0.2
イソロイシン	0.80	1.79	1.73	0.9
ロイシン	1.51	3.04	2.00	1.9
チロシン	0.65	1.31		1.0
フェニルアラニン	1.32	2.04	0.91	1.3
リジン	1.24	0.48	1.92	1.6
ヒスチジン	0.24	0.88	0.36	0.6
アルジニン	1.66	2.08	1.17	1.6

* *A. japonica* (二次処理水中で培養)

** 必須アミノ酸のみ分析

汐見信行, 鬼頭俊而

アカウキクサの多目的利用

水処理技術 Vol 27 No 2

(1986)

表5-21 バックブソとホウレン草のアミノ酸組成

アミノ酸	バックブソ (葉部)	バックブソ (茎部)	バックブソ 可食部 ¹⁾	ホウレン草 可食部 ²⁾
アルギニン	2.08	0.62	1.52	1.6
リジン	2.36	0.85	1.78	1.6
ヒスチジン	0.88	0.37	0.68	0.6
フェニルアラニン	2.04	0.78	1.55	1.3
チロシン	1.31	0.47	0.99	1.0
ロイシン	3.04	1.03	2.27	1.9
イソロイシン	1.79	0.59	1.33	0.9
メチオニン	0.67	0.23	0.50	0.2
バリン	2.32	0.71	1.70	1.3
アラニン	2.19	0.73	1.62	1.4
グリシン	1.89	0.65	1.41	1.3
プロリン	1.84	0.63	1.37	1.1
グルタミン酸	4.05	1.83	3.20	5.0
セリン	1.41	0.64	1.11	1.0
スレオニン	1.61	0.53	1.19	1.1
アスパラギン酸	3.81	2.06	3.14	3.1
トリプトファン	0.76	0.17	0.53	0.4
システイン	0.48	0.13	0.35	0.7
計	34.5	13.0	26.2	25.5
Total - N	6.56	2.68	5.07	5.5
Total - P	0.992	0.768	0.906	0.63

○ 乾燥試料 100 g 中のアミノ酸,
T-N, T-Pg 数 (水分含量: 葉 91.1
%, 茎 95.5%, 全体 93.5%)

1) 収穫したバックブソ可食部 (20~30
cm に伸びた茎) の葉と茎の乾燥重量
比

葉: 茎 = 0.615:0.385 を基に算出

2) 食品成分表, 女子栄養大学出版部

橋本 契, 古川憲治, 尾崎保夫, 松羽
尚人, 中島光一

水生生物による汚水処理と食糧生産
に関する研究

水処理技術 Vol. 26 No. 6 (1985)

5-6 ビタミン類

ビタミン類の測定事例は、食用のものに限られている。

ハスの実の子葉中にはビタミンCが多いと言われている²⁰⁾。但し過食するとかぶれるらしい。精製利用が期待される。

また表5-22及び表5-23に示すようにバックブソ(ヨウサイ)中のビタミン類は、B₁がやや少ないものの陸上の野菜類に比べて遜色のない含有量となっている。

ビタミン類は、そのまま食用として摂取するだけでなく、精製して、食品の添加物として利用できる。その他水生植物中のビタミンに関する情報が望まれる。

表5-22 水生植物の可食部位中のビタミン含有率

植 物 名	A (I.U.)	B ₁ (mg%)	B ₂ (mg%)	ナイアシン(mg%)	C (mg%)
ヨウサイ 大葉品種	2.650	0.03	2.16	0.76	3.0
〃 小葉品種	1.557	0.04	2.07	0.65	11.0
オオクログワイ(皮むき後) 米国	—	—	—	—	4.0
〃 台湾	—	—	—	—	7.0
ワイルドライス	0	0.45	0.63	6.2	0
玄 米	0	0.34	0.05	4.7	0

小山鐵夫 資源植物学 講談社サイエンティフィク(1985)より

表5-23 C.P.B.と代表的な野菜のビタミン含有量の比較

成 分 ¹⁾	バックブソ (葉)	バックブソ (茎)	バックブソ ²⁾ (可食部)	ヨウサイ ³⁾ (葉・茎)	ホウレン草 ³⁾ (葉)	野 沢 菜 ³⁾ (葉)	レ タ ス ³⁾ (結球葉)
カロチン (mg/100g)	8.22	0.52	4.02	4.30	3.10	1.40	0.13
ビタミンB ₁ (mg/100g)	0.11	0.01	0.06	0.10	0.13	0.06	0.06
ビタミンB ₂ (mg/100g)	0.48	0.04	0.24	0.23	0.23	0.11	0.04
ビタミンC (mg/100g)	49	6	25	14	65	50	6
ナイアシン (mg/100g)	1.25	0.43	0.80	1.0	0.6	0.7	0.2
水分含量 (%)	90.8	95.0	93.1	92.0	90.4	93.6	95.7

1) 可食部100gあたりに含まれるmg数で表示

2) 収穫したバックブソ可食部の平均値(20~30cmに伸びたバックブソの茎について) 収穫したバックブソの葉と茎の重量比

湿重量比; 葉: 茎 = 0.455 : 0.545

乾重量比; 葉: 茎 = 0.605 : 0.395

橋本 契 汚水からの野菜づくり 水 27(5) (1985)

3) 四訂 日本食品標準成分表(科学技術庁資源調査会報 1982年)より ヨウサイはバックブソの別名

5-7 その他

① 脂 質

表5-24にホテイアオイの部位別脂質組成を示した。脂質は葉部に最も多く存在し、非極性の脂質（単純脂質）が最も多い。また葉柄部はリン脂質が少なく、非極性脂質が多い傾向にある。糖脂質については、ほぼ各部同程度の含有量である。

表5-25～表5-28には各脂質の脂肪酸組成を部位別に示した。

単純脂質中には色素やステロール（アルカロイドとは別の毒物の成分となり得る）炭化水素等が含まれ、糖脂質のほとんどは生体膜の主要構成成分で、細胞の膜抗原、相互識別、増殖制御等の重要な膜機能との関連が注目されている。また、リン脂質は、生体膜を構成する重要成分の1つとして生体膜の関与する各種の代謝機構への関与が知られており、脂質人工膜の原料として生体膜の機能の研究等に利用されている。²¹⁾

表5-29及び表5-30に代表的な脂肪酸の構造式を示した。

表5-24 Lipid class composition of water-hyacinth tissues^a

Lipid class	Roots (wt. %)	Leaf stalks (wt. %)	Leaves (wt. %)	Flowers (wt. %)
<i>Non-polar lipids</i>	53.2	64.4	51.0	43.1
Pigments	n.d. ^b	11.3	26.1	5.6
Hydrocarbons	6.1	11.6	3.6	3.4
Ester waxes	n.d.	1.4	3.9	4.8
Fatty-acid methyl esters	7.3	n.d.	n.d.	n.d.
Triacylglycerols	13.5	14.0	5.4	13.9
Fatty acids	8.4	1.5	1.8	4.5
Diacylglycerols	7.7	11.1	1.2	6.1
Sterols	10.2	12.1	4.4	4.8
Monoacylglycerols	n.d.	n.d.	1.0	n.d.
Other non-polar lipids	n.d.	1.4	3.6	n.d.
<i>Glycolipids</i>	23.7	29.6	22.6	25.9
Monogalactosyldiglycerides	7.6	13.1	5.7	6.4
Sterylglycosides	n.d.	n.d.	2.6	n.d.
Cerebrosides	3.0	5.1	3.9	4.4
Digalactosyldiglycerides	8.8	5.8	5.3	11.2
Sulphoquinovosyldiglycerides	n.d.	2.8	3.0	n.d.
Other glycolipids	4.3	2.8	2.1	3.9
<i>Phospholipide</i>	23.1	6.0	26.4	31.0
Cardiolipin	1.4	n.d.	2.6	3.4
Phosphatidylglycerol	6.0	1.8	8.1	7.3
Phosphatidylethanolamine	6.4	1.3	6.7	10.6
Phosphatidylinositol	n.d.	1.3	5.0	n.d.
Phosphatidylserine	n.d.	n.d.	1.0	n.d.
Phosphatidylcholine	9.3	1.6	3.0	9.7

^aThe percentage moisture and lipid (dry) contents of roots, leaf stalks, leaves and flowers were 93.9, 93.6, 91.6 and 95.1 and 16.09, 14.9 and 5.7, respectively.

^bn.d., not detected.

Gollamudi Lakshminarayana, K. Sundar Rao, A. J. Pantulu and G. Tiliyagarajan : Composition of Lipids in Roots, Stalks, Leaves and Flowers of *Eichhornia crassipes* (MART.)
SOLMS Aquatic Botany 20 (1984)

表5-25 Fatty-acid composition of lipid classes of water-hyacinth roots

Lipid class	Fatty acid ^a (wt.%)									
	12:0	14:0	14:1	16:0	16:1	18:0	18:1	18:2	18:3	20:0
<i>Non-polar lipids</i>										
Fatty-acid methyl esters	0.0	11.2	2.2	33.5	2.9	9.0	9.5	24.4	7.3	0.0
Triacylglycerols	2.3	2.4	1.2	35.9	8.1	5.3	11.3	26.8	6.6	0.1
Fatty acids	2.7	2.7	1.3	37.8	8.8	6.8	13.8	22.3	3.8	0.0
Diacylglycerols	2.1	2.0	1.1	35.5	4.2	4.6	12.1	29.5	8.9	tr.
<i>Glycolipids</i>										
Monogalactosyldiglycerides	3.6	2.1	0.0	19.5	4.7	6.0	4.3	11.3	48.5	0.0
Cerebrosides	1.6	1.8	1.0	33.8	6.7	5.7	12.0	29.6	7.8	0.0
Digalactosyldiglycerides	4.5	3.2	1.8	22.9	5.9	7.5	8.4	10.9	34.9	0.0
<i>Phospholipids</i>										
Gardiolipin	5.2	4.9	2.9	29.3	6.9	7.6	13.6	27.1	2.5	0.0
Phosphatidylglycerol	0.8	0.8	0.2	22.4	4.4	1.1	7.5	50.8	11.9	0.1
Phosphatidylethanolamine	1.1	1.7	1.7	32.1	tr.	2.6	11.9	40.5	8.4	0.0
Phosphatidylcholine	2.8	2.2	0.6	30.6	2.3	7.3	11.8	35.3	2.1	5.0

^a 12:0, lauric; 14:0, myristic; 14:1, myristoleic; 16:0, palmitic; 16:1, palmitoleic; 18:0, stearic; 18:1, oleic; 18:2, linoleic; 18:3, linolenic; 20:0, arachidic; 22:0, behenic; tr., trace (< 0.1%)

表5-26 Fatty-acid composition of lipid classes of water-hyacinth leaf stalks

Lipid class	Fatty acid ^a (wt.%)									
	12:0	14:0	14:1	16:0	16:1	18:0	18:1	18:2	18:3	20:0
<i>Non-polar lipids</i>										
Ester waxes	6.8	3.4	0.0	26.8	5.3	12.1	9.1	13.2	21.1	2.2
Triacylglycerols	1.2	1.1	0.6	16.3	3.6	1.9	5.3	52.5	17.3	tr.
Fatty acids	4.0	3.1	0.8	37.5	tr.	7.7	13.8	21.5	11.6	0.0
Diacylglycerols	6.0	4.7	1.0	34.7	tr.	7.2	14.0	21.7	10.2	0.5
<i>Glycolipids</i>										
Monogalactosyldiglycerides	1.3	1.0	0.5	17.2	4.3	1.9	5.5	51.1	17.2	0.0
Cerebrosides	1.3	0.9	0.4	27.7	2.2	7.7	8.9	39.3	11.5	0.1
Digalactosyldiglycerides	1.3	1.1	0.5	16.9	4.0	2.0	5.6	51.3	17.3	0.0
<i>Phospholipids</i>										
Phosphatidylglycerol	4.8	2.7	0.9	33.6	0.8	5.2	6.3	32.3	13.4	0.0
Phosphatidylethanolamine	0.3	0.5	0.5	34.8	0.8	1.6	3.6	39.1	18.6	0.2
Phosphatidylinositol	1.3	1.0	0.5	17.1	3.7	3.1	5.7	49.5	18.1	0.0
Phosphatidylcholine	1.3	1.2	0.5	16.8	4.0	2.4	5.7	52.3	15.8	0.0

^a 12:0, lauric; 14:0, myristic; 14:1, myristoleic; 16:0, palmitic; 16:1, palmitoleic; 18:0, stearic; 18:1, oleic; 18:2, linoleic; 18:3, linolenic; 20:0, arachidic; 22:0, behenic; tr., trace (< 0.1%)

Gollamudi Lakshminarayana, K. Sundar Ras, A. J. Pantulu and G. Tliyagarajan: Composition of Lipids in Roots, Stalks, Leaves and Flowers of *Eichhornia crassipes* (MART.) SOLMS Aquatic Botany 20 (1984)

表5-27 Fatty-acid composition of lipid classes of water-hyacinth leaves

Lipid class	Fatty acid ^a (wt.%)									
	12:0	14:0	14:1	16:0	16:1	18:0	18:1	18:2	18:3	20:0
<i>Non-polar lipids</i>										
Ester waxes	8.1	3.0	1.0	27.9	tr.	20.5	15.2	10.2	10.5	3.6
Triacylglycerols	16.0	7.0	0.0	25.6	0.0	4.6	12.7	18.4	15.7	0.0
Fatty acids	4.1	2.1	1.2	20.2	4.0	8.5	19.2	27.4	5.9	7.4
Diacylglycerols	8.3	5.1	0.0	31.5	tr.	15.3	15.2	7.7	15.4	1.5
Monoacylglycerols	5.1	3.7	0.0	25.8	0.0	11.6	8.4	8.0	29.0	8.4
<i>Glycolipids</i>										
Monogalactosyldiglycerides	3.1	0.0	0.0	14.1	0.0	8.4	22.9	32.7	18.8	0.0
Cerebrosides	0.0	0.0	0.0	49.8	0.0	7.3	10.4	7.9	24.6	0.0
Digalactosyldiglycerides	0.0	0.0	0.0	32.7	0.0	3.4	5.2	5.7	53.0	0.0
Sulphoquinovosyldiglycerides	2.0	2.4	1.0	37.1	0.6	12.2	18.4	14.2	10.3	1.8
<i>Phospholipids</i>										
Cardiolipin	8.0	0.0	0.0	16.6	0.0	3.3	14.5	19.8	37.8	0.0
Phosphatidylglycerol	0.0	0.0	0.0	56.4	0.0	6.2	17.8	17.2	2.4	0.0
Phosphatidylethanolamine	0.0	0.0	0.0	49.1	0.0	3.7	11.2	23.2	12.8	0.0
Phosphatidylinositol	tr.	tr.	0.0	35.5	0.0	26.7	10.5	14.3	12.9	tr.
Phosphatidylcholine	1.6	2.1	0.7	21.0	0.4	10.2	23.3	17.6	20.3	2.8
Phosphatidylserine	2.0	2.5	0.3	24.0	1.2	11.0	25.5	17.5	14.2	1.8

^a12:0, lauric; 14:0, myristic; 14:1, myristoleic; 16:0, palmitic; 16:1, palmitoleic; 18:0, stearic; 18:1, oleic; 18:2, linoleic; 18:3, linolenic; 20:0, arachidic; 22:0, behenic; tr., trace (< 0.1%)

表5-28 Fatty-acid composition of lipid classes of water-hyacinth flowers

Lipid class	Fatty acid ^a (wt.%)										
	12:0	14:0	14:1	16:0	16:1	18:0	18:1	18:2	18:3	20:0	22:0
<i>Non-polar lipids</i>											
Ester waxes	0.0	0.0	0.0	24.2	tr.	10.8	10.3	28.8	30.8	0.0	0.0
Triacylglycerols	0.5	0.3	0.3	15.8	0.7	3.2	4.5	33.6	39.8	0.0	1.0
Fatty acids	2.5	2.5	1.0	24.2	1.5	11.0	28.0	12.1	10.4	6.8	0.0
Diacylglycerols	2.6	1.6	0.5	24.0	0.2	5.6	7.2	29.3	26.6	2.3	0.1
<i>Glycolipids</i>											
Monogalactosyldiglycerides	1.8	0.9	0.6	28.4	0.3	4.2	5.4	19.7	36.6	0.0	2.0
Cerebrosides	13.0	4.4	0.0	16.3	1.7	6.3	1.1	27.1	30.1	0.0	0.0
Digalactosyldiglycerides	1.9	1.0	0.2	15.3	0.0	2.1	3.7	32.9	40.9	0.0	2.0
<i>Phospholipids</i>											
Cardiolipin	0.9	0.9	0.6	27.5	0.6	2.6	3.9	35.7	27.3	0.0	0.0
Phosphatidylglycerol	0.6	0.6	0.3	15.1	0.6	2.5	4.3	34.8	40.0	0.0	0.7
Phosphatidylethanolamine	0.5	0.0	0.0	41.9	1.0	2.7	4.5	35.9	13.5	0.0	0.0
Phosphatidylcholine	0.5	0.6	0.4	16.7	0.6	3.5	4.8	34.9	38.0	0.0	1.0

^a12:0, lauric; 14:0, myristic; 14:1, myristoleic; 16:0, palmitic; 16:1, palmitoleic; 18:0, stearic; 18:1, oleic; 18:2, linoleic; 18:3, linolenic; 20:0, arachidic; 22:0, behenic; tr., trace (< 0.1%).

Gollamudi Lakshminarayana, K. Sundar Ras, A. J. Pantulu and G. Tliyagarajan: Composition of Lipids in Roots, Stalks, Leaves and Flowers of *Eichhornia crassipes* (MART.) SOLMS Aquatic Botany 20 (1984)

表 5-29 代表的な飽和脂肪酸

炭素数	系 統 名	慣 用 名	分子量	融点(°C)
4	n-ブタン酸	酪 酸	88.1	-5.3
5	n-ペンタン酸	吉草酸	102.1	-34.5
5	3-メチルブタン酸	イツ吉草酸	102.1	-51.0
6	n-ヘキサン酸	カブロン酸	116.2	-3.2
7	n-ヘプタン酸	エナント酸	130.2	-7.5
8	n-オクタン酸	カプリル酸	144.2	16.5
9	n-ノナン酸	ベラルゴン酸	158.2	12.5
10	n-デカン酸	カプリン酸	172.3	31.6
12	n-ドデカン酸	ラウリン酸	200.3	44.8
14	n-テトラデカン酸	ミリスチン酸	228.4	54.4
16	n-ヘキサデカン酸	パルミチン酸	256.4	62.9
18	n-オクタデカン酸	ステアリン酸	284.5	70.1
20	n-アイコサン酸	アラキ(ジ)ン酸	312.5	76.1
22	n-ドコサン酸	ベヘン酸	340.6	80.0
24	n-テトラコサン酸	リグノセリン酸	368.6	84.2
26	n-ヘキサコサン酸	セロチン酸	396.7	87.8
28	n-オクタコサン酸	モンタニン酸	424.7	90.9
30	n-トリアコンタン酸	メリシン酸	452.8	93.6

表 5-30 代表的な不飽和脂肪酸

酸	炭素数	構 造 式	融点(°C)
Δ^9 -デセン酸	10	$\text{CH}_2=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	
ステリンク酸	10	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}=\text{CHCH}=\text{CHCOOH}(\text{cis}, \text{trans})$	
Δ^9 -ドデセン酸	12	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	
パルミトオレイン酸	16	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}(\text{cis})$	16
オレイン酸	18	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}(\text{cis})$	
エライジン酸	18	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}(\text{trans})$	
リシノール酸	18	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{CH}(\text{OH})\text{CH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7(\text{cis})$	50
ベトロセリン酸	18	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_4\text{COOH}(\text{cis})$	30
バクセン酸	18	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_5\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_9\text{COOH}(\text{cis および trans})$	-
リノール酸	18	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}(\text{cis}, \text{cis})$	-5
リノレン酸	18	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CHCH}_2\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}(\text{cis}, \text{cis}, \text{cis})$	-11
エレオステアリン酸	18	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3(\text{CH}=\text{CH})_3(\text{CH}_2)_7\text{COOH}(\text{cis}, \text{trans}, \text{trans})$	49
ブニシン酸	18	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3(\text{CH}=\text{CH})_3(\text{CH}_2)_7\text{COOH}(\text{cis}, \text{trans}, \text{cis})$	44
リカン酸	18	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3(\text{CH}=\text{CH}_2)_4\text{CO}(\text{CH}_2)_2\text{COOH}$	75
バリナリン酸	18	$\text{CH}_3\text{CH}_2(\text{CH}=\text{CH})_4(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	86
ガドール酸	20	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_9\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$	
アラキドン酸	20	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4(\text{CH}=\text{CHCH}_2)_4(\text{CH}_2)_2\text{COOH}$	
5-アイコセン酸	20	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_9\text{COOH}(\text{cis})$	
5-ドコセン酸	22	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{15}\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_6\text{COOH}(\text{cis})$	
セトール酸	22	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_9\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_9\text{COOH}$	
エルシン酸	22	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_{11}\text{COOH}(\text{cis})$	33.5
5,13ドコサジエン酸	22	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_6\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_8\text{COOH}(\text{cis}, \text{cis})$	
セラコール酸またはネルボン酸	24	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)_{15}\text{COOH}(\text{cis})$	39

岩波生物学辞典 第3版(1983)

図5-4, 図5-5及び表5-31に諏訪湖及びその周辺の水生植物の各種脂肪酸の組成を示した。プランクトンよりは陸上植物に近い。

表5-32～表5-33にステロールとスタノールの組成を示した。ステロールは、ステロイドの代表的な一類であって、ホルモン等の原料として重要な物質である。²¹⁾

② アルカロイド等

水生植物からは種々のアルカロイドが抽出されている。アルカロイドは植物塩基とも言い、含窒素塩基性の有機化合物で、割合に少ない量でヒトや動物に顕著な薬理作用を示すものが多い。²¹⁾ 一種の生体防御機構として、動物等に対する毒物として作用するものであるが、精製し適量を使用することにより、医薬品として利用し得る。古来より漢方薬としての利用が知られている。P84～P86にコウホネより得られたタハリジン等のアルカロイドの構造式を示した。²⁾

また水生植物には各種の配糖体、テルペン等の化学物質が含まれているが、¹⁰⁾含有率等の詳細については、今回の調査では把握するに至らなかった。

5-8 マトリクス(3) 水生植物の生体成分

表5-34に水体植物の生体成分を示す。

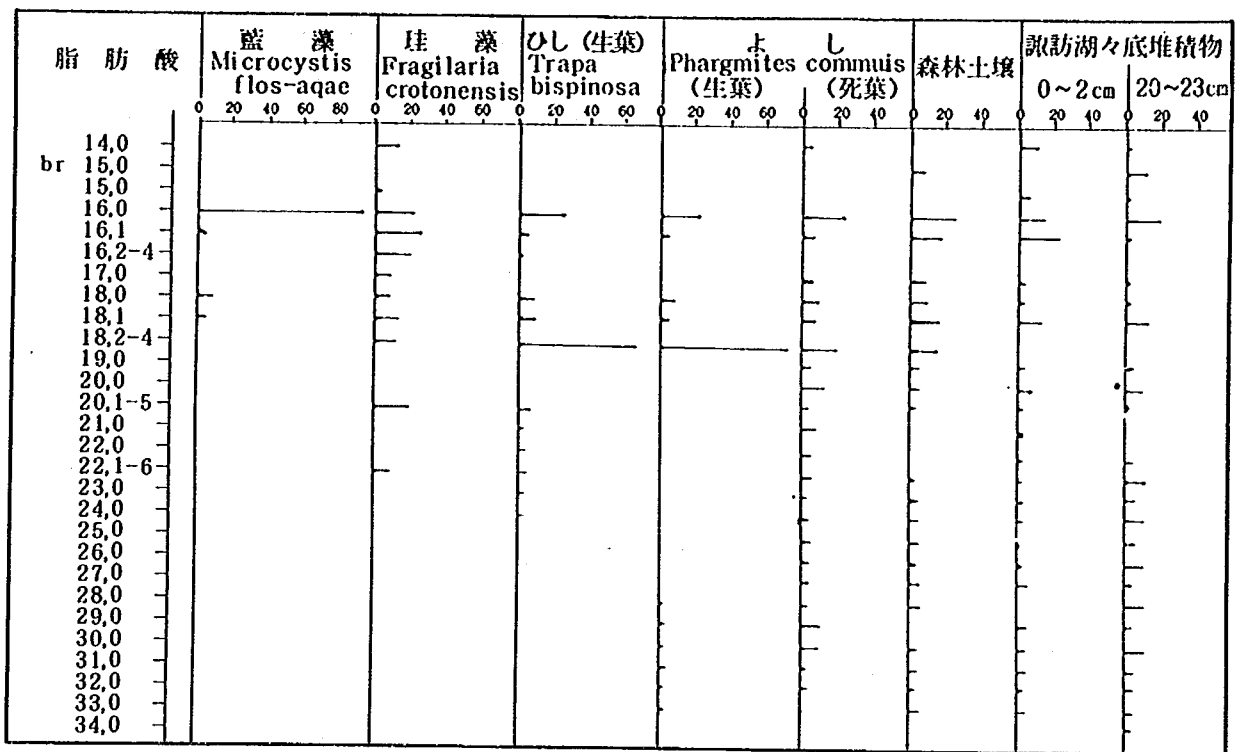


図5-4 プラクトン、水生および陸上植物ならびに森林土壌中の脂肪酸組成と
諏訪湖表層堆積物中の脂肪酸組成との関係 (Matsuda and Koyama, 1977 c)

小山忠四郎 生物地球化学 東海大学出版会 (1980)

	藍藻 Microcystis aeruginosa	珪藻 Melosira granulata	まこも Zizania latifolia	唐松(生葉) Larix leptolepis	森林土壌	山岳土壌	諏訪湖 表層堆積物
	0 20 40 60	0 20 40 60 80	0 20 40 60 80 100	0 20 40 60 80 100	0 20 40 60 80	0 20 40 60 80	0 20 40 60
(ステノール)							
C ₂₇ Δ ⁵							
C ₂₈ Δ ^{5,22}							
C ₂₉ Δ ⁵							
C ₂₉ Δ ^{5,22}							
C ₂₉ Δ ⁵							
(スタノール)							
C ₂₇ Δ ⁰							
C ₂₈ Δ ⁰							
C ₂₉ Δ ⁰							
全スタノール							
全ステノール	0.15	0.012	0.009	0.01	0.24	0.28	0.32

C₂₇ Δ⁵ : コレステロール
 C₂₈ Δ^{5,22} : 24-メチルコレスト-5,
 22-ジエン-3β-オール
 C₂₉ Δ⁵ : 24-メチルコレステロール
 C₂₉ Δ^{5,22} : 24-エチルコレスト-5,
 22-ジエン-3β-オール
 C₂₉ Δ⁰ : 24-エチル-5αコレスタン-3β-オール
 C₂₇ Δ⁰ : 5αコレスタン-3β-オール
 C₂₈ Δ⁰ : 24-メチル-5αコレスタン-3β-オール
 C₂₉ Δ⁰ : 24-エチル-5αコレスタン-3β-オール

小山忠四郎
生物地球化学

図5-5 陸上植物ならびに森林および山岳土壌中のステロール組成諏訪湖
表層堆積物中のステロール組成 (NISHIMURA and Koyama, 1977; NISHIMURA, 1978)

表5-31 諏訪湖およびその周辺から得られたプランクトン, 高等植物および森林土壌
中の各種脂肪酸の百分率組成 (MATSUDA and KOYAMA, 1977 c)

脂 肪 酸	プランクトン				植 物												土 壌
	A	B	C	D	E-l	E-s	F	G-l	G-s	G-r	H	I-l	I-s	I-d	J-l	J-d	
12:0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.2
13:0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.1
br*14:0	—	—	—	0.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.8
14:0	1.6	8.9	13.9	2.5	1.1	1.1	0.3	0.5	—	—	—	0.3	0.2	1.6	0.6	1.8	1.2
br 15:0	—	0.2	0.5	1.2	—	—	—	—	—	—	—	—	0.2	—	0.7	tr	6.7
15:0	—	0.3	1.5	1.5	0.3	0.5	—	—	—	—	—	tr	0.1	—	tr	tr	1.0
15:1	—	—	—	0.4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
16:0	86.3	17.8	30.8	14.5	27.5	20.5	5.3	36.5	32.6	7.8	26.1	17.6	26.0	16.5	23.7	14.4	11.6
16:1	1.7	20.1	20.8	12.3	1.3	2.8	1.5	0.4	—	—	—	0.2	0.3	0.2	—	—	9.2
16:2	—	1.5	1.1	—	—	—	0.1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
16:3	—	8.7	2.8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
16:4	—	1.4	0.6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
17:0	—	0.2	0.1	2.2	0.2	0.8	tr	—	—	—	—	—	0.1	0.6	—	0.7	1.3
17:1	—	—	—	0.6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
18:0	7.7	1.0	1.8	7.7	3.1	8.0	0.9	4.4	5.0	4.7	4.4	2.6	1.6	5.7	5.1	7.2	4.0
18:1	2.7	3.3	3.0	13.8	3.2	2.3	2.3	2.5	4.9	—	2.2	1.0	7.4	2.4	3.0	17.6	12.0
18:2		2.1	1.0	4.0	11.8	21.8	10.5	23.6	34.9	43.5	10.8	10.0	34.2	6.2	22.2	18.7	3.6
18:3		0.4	0.6	3.1	46.0	27.2	78.2	24.4	9.9	41.1	50.0	57.7	25.4	4.2	33.2	17.6	0.7
18:4	—	0.6	1.2	0.8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.9	0.3	—
19:0	—	0.1	0.1	0.1	0.3	1.1	—	0.3	0.5	—	—	0.1	0.2	0.3	—	0.5	1.0
20:0	—	—	—	0.2	0.8	2.5	0.6	0.7	1.6	—	0.5	0.8	0.8	9.9	0.8	5.4	2.1
20:1	—	—	—	2.3	1.5	1.6	0.2	0.9	1.5	—	0.2	0.4	0.8	0.5	1.6	—	0.4
20:2	—	—	—	—													
20:3	—	—	—	2.0													
20:4	—	8.9	4.4	1.5	—	—	—	—	—	—	—	0.2	—	—	—	—	—
20:5	—	22.7	13.9	16.9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
21:0	—	—	—	—	0.3	1.2	—	0.3	0.9	—	—	—	0.3	1.5	tr	1.0	0.9
22:0	—	—	—	0.5	1.0	3.2	0.1	1.9	3.0	2.9	0.8	0.5	0.7	3.5	1.6	3.4	0.4
22:1	—	—	—	1.3	0.01	0.3	—	0.1	—	—	—	—	0.1	—	0.3	—	0.1
22:2	—	—	—	—													
22:3	—	—	—	—													
22:4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
22:5	—	0.3	0.6	2.3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
22:6	—	1.5	1.3	7.4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
23:0	—	—	—	—	0.3	0.7	—	0.6	0.5	—	0.5	0.2	0.2	1.3	0.4	0.9	1.9
24:0	—	—	—	0.1	0.7	2.3	—	2.1	3.3	—	1.0	0.7	0.4	4.0	4.2	3.7	6.1
24:1	—	—	—	0.3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
25:0	—	—	—	—	0.2	0.6	—	0.3	0.2	—	0.4	0.2	0.2	1.3	0.2	0.7	2.2
26:0	—	—	—	—	0.2	0.8	—	0.3	0.9	—	0.3	0.5	0.1	2.3	0.9	1.8	5.3
27:0	—	—	—	—	—	—	—	tr	—	—	0.3	0.3	0.1	0.9	0.3	0.3	1.7
28:0	—	—	—	—	0.1	0.7	—	0.2	0.3	—	0.7	0.5	0.1	3.8	0.3	0.6	5.3
29:0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.6	3.8	0.4	14.3	—	0.3	2.3
30:0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.2	1.7	0.1	14.6	—	1.6	6.3
31:0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.4	—	1.9	—	—	1.6
32:0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	tr	0.3	—	2.5	—	1.5	4.2
33:0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.7
34:0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	tr	—	tr	1.1
計	9.7	24.8	17.2	66.1	18.9	16.8	14.2	17.8	9.9	5.4	18.7	29.9	11.5	4.5	16.8	9.7	153×10 ⁻³

E-l: ひし (*Trapa bispinosa*) の葉
E-s: " の茎
F: ささばも (*Potamogeton malaiianus*)
G-l: こうほね (*Nuphar japonicum*) の葉
G-s: " の茎
G-r: " の根
H: まこも (*Zizania latifolia*)

I-l: よし (*Phragmites communis*) の葉
I-s: " の茎
I-d: " の死葉
J-l: こぶし (*Magnolia kobus*)
J-d: けやき (*Ilkova serrata*)
K: 森林土壌
*br: 枝鎖脂肪酸

表5-32 諏訪湖およびその周辺で採集した植物性および動物性プランクトンならびに水生および陸上植物中の各種ステロールの百分率組成と全スタノールの全ステノールに対する比 (NISHIMURA and KOYAMA, 1977)

ステロール	まこも <i>Zizania latifolia</i>	えびも <i>Potamogeton crispus</i>	藍藻 <i>Microcystis aeruginosa</i>	珪藻 <i>Melosira</i> *1 <i>granulata</i>	わむし <i>Brachionus calyciflorus</i>
Cholesterol	tr. *2	1	55	67	29
24-methylcholest-5, 22-diene-3 β -ol	n. d *2	n. d	6	6	19
24-methylcholesterol	5	5	6	21	34
24-ethylcholest-5, 22-3 β -ol	6	34	13	1	10
24-ethylcholesterol	86	60	20	5	8
5 α -cholestan-3 β -ol	tr.	18	52	73	23
24-methyl-5 α -cholestan-3 β -ol	9	20	20	9	54
24-ethyl-5 α -cholestan-3 β -ol	91	62	28	18	23
全スタノール	0.009	0.005	0.148	0.012	0.009
全ステノール					

*1 NISHIMURA and KOYAMA (1976) *2 tr. 痕跡量, n. d 検出不可

表5-33 陸上の高等植物、土壌および河口堆積物中における各種ステノールとスタノールの百分率組成と、全スタノールの全ステノールに対する比 (NISHIMURA, 1977)

	そよご <i>Ilex pedunculosa</i>	黒松 <i>Pinus densiflora</i>	栎 <i>Quercus serrata</i>	まこも <i>Zizania</i> *1 <i>latifolia</i>	唐松 <i>Larix leptolepis</i>		諏訪山 岳土壌	河口 堆積物
					葉	森林 土壌		
ステノール	(%) *2							
Cholesterol	tr. *3	tr.	4	tr.	3	7	6	19
24-methylcholest-5, 22-diene-3 β -ol	n. d *3	n. d	n. d	n. d	n. d	n. d	4	6
24-methylcholesterol	3	8	5	5	4	16	6	9
24-ethylcholest-5, 22-diene-3 β -ol	4	tr.	5	6	2	16	8	13
24-ethylcholesterol	93	92	86	89	91	61	76	53
スタノール	(%) *4							
5 α -cholestan-3 β -ol	tr.	tr.	tr.	tr.	3	6	10	18
24-methyl-5 α -cholestan-3 β -ol	4	6	2	9	7	14	10	14
24-ethyl-5 α -cholestan-3 β -ol	96	94	97	91	90	79	80	68
全スタノール	0.04	0.02	0.43	0.009	0.01	0.24	0.28	0.24
全ステノール								

*1 NISHIMURA and KOYAMA (1977) による

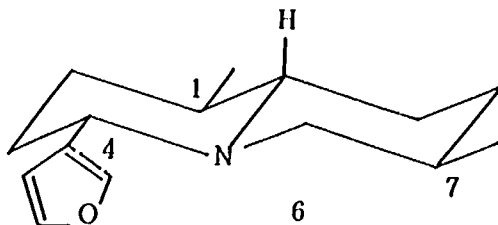
*2 全ステノールに対する百分率

*3 n. d 検出不可, tr. 痕跡量

*4 全スタノールに対する百分率

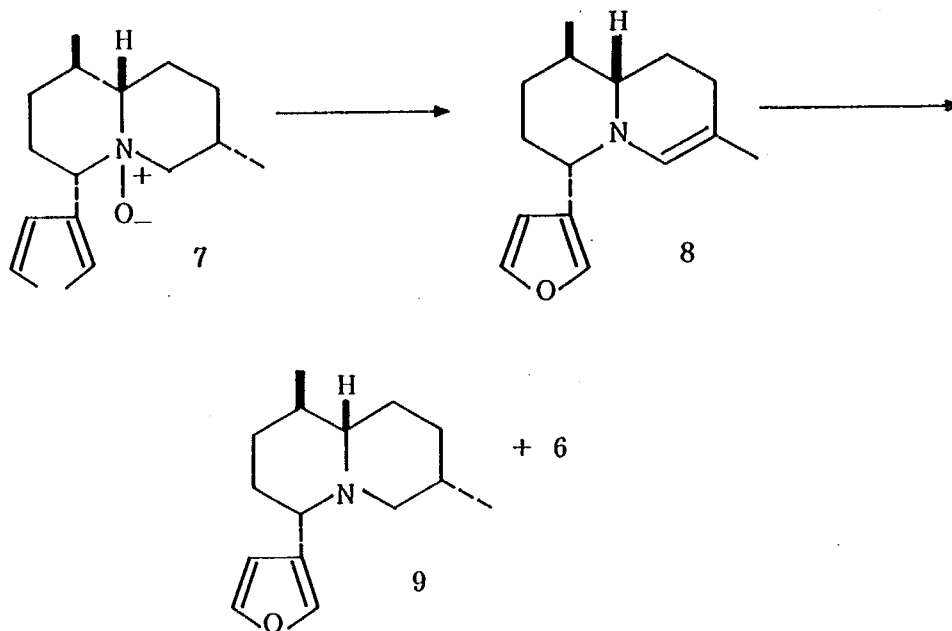
7-Epideoxynupharidine

7-Epideoxynupharidine, 6 was isolated for the first time from natural sources (9). This alkaloid was obtained from a methylene chloride extract of a 10% aqueous acetic



acid solution containing the crude mixture from *N. luteum* subsp. *veriegatum* (rhizomes). Shortly before its isolation from natural sources, the alkaloid had been obtained in our laboratory by synthesis. Thus treatment of nupharidine 7 under Polonovsky reaction conditions produce Δ^6 -dehydrodeoxynupharidine, 8, which on catalytic hydrogenation gave a 7:1 mixture of deoxynupharidine, 9, and 7-epideoxynupharidine, 6. This two step reaction sequence is shown in the reaction equation below.

The Polonovsky step involved treating 7 in chloroform solution with acetic anhydride and



fused potassium acetate at room temperature (11).

Robert T. Lalond : Aquatic Plant Chemistry its Application to water pollution control water Resource Research Catalog Vol 5. (1969)

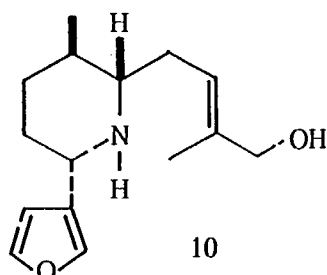
Deoxynupharidine. Relative and Absolute Configuration.

Deoxynupharidine is ubiquitous in *Nuphar* and its presence in the same methylene chloride extract along with 7-epideoxynupharidine was not unexpected. Although the gross structure and relative configuration of deoxynupharidine had been convincingly established a number of years ago, we wished to obtain corroborative evidence of the relative stereochemistry of the two methyl groups based on 100 MHz nmr studies. These studies focused on the C₆-methylene group and thereby the axial disposition of the C₇ methyl was confirmed (7). Results from these studies have been helpful in the interpretation of the more complex nmr of the sulfu-bearing C₃₀ alkaloids.

In recent times, the previously assigned (11) absolute configuration of deoxynupharidine has been questioned (12). Since the absolute configuration of several other *Nuphar* alkaloids of both the quinolizidine and piperidine type had been related to deoxynupharidine, the absolute configuration was an important point to establish. The correlation between (-)-deoxynupharidine and (-)-(R)- α -methyladipic acid, carried out in our laboratory (7) revealed that (-)-deoxynupharidine belonged to the enantiomeric series. The correct absolute configuration of deoxynupharidine and correlated *Nuphar* is given in the structures appearing in this report.

Nuphamine

Nuphamine, 10, had been isolated earlier by the Japanese workers from *N. japonicum* D. C. (13).

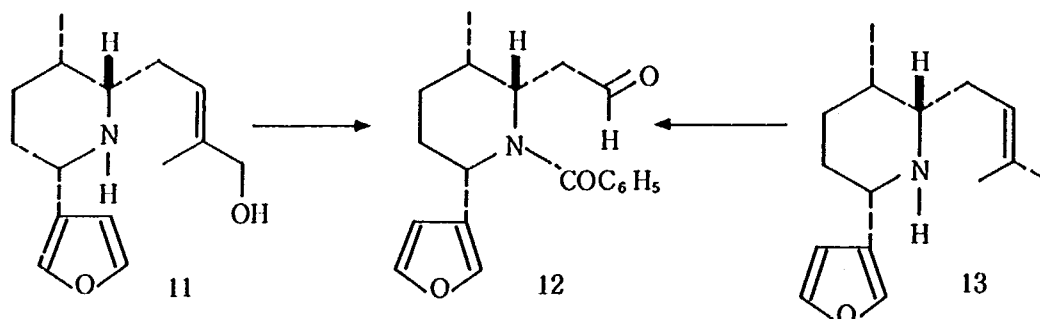


N. luteum subsp. *variegatum* also produces this alkaloid. In our laboratory it was isolated from the pH 12-chloroform extract after elution chromatography on alumina. Fractions removed with etherhexane 5:95 and benzene contained deoxynupharidine, 7-epideoxynupharidine and other unknown components. Ether elution gave nuphamine: $[\alpha]_D^{25} -55.4^\circ$ (c, 1.22, CHCl₃), reported (13) $[\alpha]_D^{19} -60.4^\circ$. The ir, nmr and ms were consistent with the structure. Treatment of a sample of nuphamine with excess methyl iodide and sodium bicarbonate in methanol afforded the N-methyl methiodide of nuphamine: mp 164-164.5, reported (13) 164°

Robert T. Lalond : Aquatic Plant Chemistry its Application to water
pollution control Water Resource Research Catalog Vol 5. (1969)

3 - Epinuphamine

This new alkaloid was isolated from the pH 7-chloroform extract after repeated elution chromatography with cyclohexane-methylene chlorida-methanol. The structure of 3-epinuphamine, 11, was assigned on the basis of nmr, ir and mass spectra and correlation with nuphenine, 13 (14), as shown in the reaction aqation below. The trans stereochemtstry of the allylic side chain was established by nmr studies of the allylic



alcohol and uv studies of the corresponding aldehyde obtained on manganese dioxide oxidation of the allylic alcohol, 11.

Robert T. Lalond : Aquatic Plant Chemistry its Application to watev
polution control Water Resource Research Catatog Vol 5. (1969)

5-9 参考文献

1. 矢木 博 諏訪湖の水生植物の化学成分 (諏訪湖陸水学資料)
2. Robert T. Lalond : Aquatic Plant Chemistry its Application to water pollution control Water Resource Research Catatog Vol 5. (1969)
3. G. C. Gerloff : Evaluating Nutrients Supplies for the Growth of Aquatic Plants in Natural Waters
Eutrophication : Causes, Concequences, correctives, Proceeding of a symposium.
Washington (1969)
4. S. E. Jørgensen : Handbook of Environmental Data and Ecological Parameters
International Society for Ecological Modelling (1979)
5. 小山忠四郎 生物地球化学 東海大学出版会 (1980)
6. 徳永 隆司 水生植物の水質汚濁防止への利用 用水の廃水 Vol 23 No 2 (1981)
7. 田中 修 バイオマス資源としてのウキクサ 水草研究会報 No 5 (1981)
8. 植木 邦和 環境変動に対する雑草の反応 — 水生雑草を中心として —
水草研究会報 No 9 (1982)
9. 渡辺義人, 桜井善雄 湖沼の物質循環系における高等水生植物の役割水草研究会報 No17
(1984)
10. 植木 邦和 水草の科学 研成社 (1984)
11. Gollamudi Lakshminarayana, K. Sundar Ras, A. J. Pantulu and G. Thyagarajan
: Composition of Lipids in Roots, Stalks, Leaves, and Flowers of *Eichhornia crassipes* (MART.) SOLMS Aquatic Botany 20 (1984)
12. P. Pomogyi, Elly P. H. Best, J. H. A. Dassen and Jaap J. Boon : On the Relation
between Age, Plant Composition and Nutrient Release from Living and Killed
Ceratophyllum Plants Aquatic Botany 19 (1984)
13. 橋本 奨 汚水からの野菜づくり 水 27 (5) (1985)
14. 小山 鐵夫 資源植物学 講談社サイエンティフィク (1985)
15. 橋本 奨, 古川憲治, 尾崎保夫, 松羽尚人, 中島光一 水生生物による汚水処理と食糧生産に
関する研究 水処理技術 Vol. 26 No 6 (1985)
16. ㈱エンジニアリング振興協会 水生植物による富栄養化水域浄化システムの実証試験に関する
委託業務報告書 (1985)
17. 汐見信行, 鬼頭俊而 アカウキクサの多目的利用 水処理技術 Vol. 27 No 2 (1986)
18. HENRY D. FORTH 著 江川友治監訳 土壌・肥料学の基礎 養賢堂 (1981)
19. 生嶋 功 水界植物群落の物質生産 I — 水生植物 — 生態学講座 7 共立出版 (1972)
20. 大滝 末男 水草の観察と研究 ニューサイエンス社 (1974)
21. 岩波 生物学辞典 第3版 (1983)

表 5 - 34 水生植物の生体成分 1

植物名	項目	水分(%)	N(％乾重)	P(％乾重)	C(％乾重)	有機物	繊維分	炭水化物
アオウキグサ						86.0	10.0	
アサザ			3.12~3.52	0.33~0.42	40.0~44.0	84.9~90.7		
アシ(ヨシ)			1.46~3.41	0.17~0.38	39.2~44.0	88.5~89.6		
アメリカコナギ属の1種			1.95~3.79	0.24~0.69	27.2	80.3		
イグサ属の1種				0.27				
イトクズモ		87.1(湿)			34.8	89.4		
ウキクサ							6.6~7.5	
エビモ		86.7(湿)	2.08~3.80	0.24~0.56	30.7~41.3	77.5~80.8		
オオカナダモ			3.11	0.46	39.2	83.5		
オオクログワイ							0.1~0.8(湿)	11.5~19.0(湿)
オオフサモ		80.0(湿)			35.3	89.9		
オニバス			3.64	0.55	38.5	85.0		
オニビシ			2.84	0.30	40.4	82.6		
オモダタ属の1種		93.6(湿)			33.3	77.4		
〃				0.30				
オランダガラシ						81.8	13.6	
ガガブタ			2.28	0.34	43.9	91.0		
カナダモ属の1種		89.5(湿)			30.8	83.3		
カナダモ属			2.10~2.86	0.14~0.24				
ガマ			1.23~1.95	0.14~0.26	45.0~46.5	87.2~88.6		
カヤツリグサ属の1種				0.18				
クロモ			2.30~3.97	0.58~0.84	38.9~41.1	80.5		
コウガイモ			2.47	0.26	32.1	66.9		
コウホネ			2.88~4.00	0.35~0.55	39.9~42.1	85.0		
コウホネ属の1種				0.40				
コカナダモ			3.59~4.52	0.54~0.56	34.7~39.5	68.7~82.8		
ササバモ			2.10~3.42	0.28~0.57	38.6~41.6	85.7~87.0		
ショウブ								
ジュンサイ				0.14				
セイヨウミズユキノシタ		86.5(湿)			29.5	74.7		
セキショウモ			1.89~3.11	0.28~0.66	25.7~39.0	60.7		
セキショウモ属の1種		93.5(湿)	1.98~3.85	0.27~0.43		75.7		

脂 肪	タンパク質	ビタミン	そ の 他	備 考
3.0	14.0~24.4			
			脂肪酸 ステロール	
				Heteranthera dubia
				Juncus effusus
2.3	7.4~32.2*		ステロール・ スタノール	* アミノ酸組成に関するデータ有り
0.1~0.2 (湿)	1.2~1.4 (湿)	Vc		
				Sagittaria Platyphylla
				S. latifolia
	19.8*			* アミノ酸組成に関するデータ有り
				Elodea densa
	11.3~27.6			E. spp.
			イソラムネチン*	* 配糖体
				Scirpus americanus
			脂肪酸 ヌハリジン*	* アルカロイド
				Nuphar advena
			脂肪酸 アサロン*	* 精油成分
				Vallisneria americana

表 5 - 34 水生植物の生体成分 2

植物名	項目	水分 (%)	N (%乾重)	P (%乾重)	C (%乾重)	有機物	繊維分	炭水化物
センニンモ			3.73	0.32	45.1	90.5		
タヌキモ属の1種		86.5 (湿)			26.7	80.1		
タヌキモ属の1種				0.12				
トチカガミ属の1種				0.24				
〃				0.10				
トリゲモ属の1種		89.1 (湿)		0.15	31.9	81.8		
ハス								
ハス属の1種(キナハス)				0.19				
バックブソ		91~95.5 (湿)	2.68~5.56	0.77~1.00			12~16	2.6~3.6 (湿)
ヒシ			2.50~3.75	0.26~0.70	37.2~43.7	84.5~90.7		67 (子芽中)
ヒシジグサ属の1種				0.18				
ヒメビシ			2.52	0.32	43.8	89.7		
ヒルムシロ			3.19	0.29	44.3	90.8		
ヒルムシロ属の1種		85.8 (湿)			32.7	84.1		
〃				0.24				
〃			2.38~3.19	0.19~0.30				
〃			1.95~3.73	0.14~0.45				
ヒロハノエビモ			2.60~4.16	0.48~0.80	41.4	84.1		
フサジュンサイ		92.5 (湿)	3.27	0.30	28.4~40.2	80.2~87.2		
フサモ属の1種		87.2 (湿)		0.16	37.6	91.1		
ホザキノフサモ			2.53	0.30	34.2	62.5		
ホシクサ属の1種			2.03~2.26	0.10~0.18				
ホテイアオイ		93.7~94.5 (湿)	0.67~4.48	0.14~0.76		86.0	15~22	
マコモ		91.1 (湿)	1.55~2.27	0.21~0.52	37.2~41.4	87.1~91.2		
マツモ			1.82~4.43	0.19~0.75	26.9~34.3	52.6		
ミズヒキモ			3.51	0.31	44.9	88.8		
ミジンコウキクサ								
ミツガシワ								
リュノヒゲモ		84.4 (湿)	2.97	0.18	30.5~34.7	75.0~84.6		
ワイルドライス							1.0 (湿)	75.3 (湿)
ワサビ								

脂 肪	タンパク質	ビタミン	その他の 他	備 考
				Utricularia sublata
				Utricularia inflata
				Eleocharis acicularis
				E guadrangulata
				Najas guadalupensis
				Nelumbo lutea
0.2~0.3 (湿)	1.6~2.7 (湿)*	VA VB1 VB2 VC ナイアシン・カロチン		* アミノ酸組成に関するデータ有り
	14 (子葉中)		脂肪酸 ステロール	
				Nymphaea odorata
				Potamogeton illinoensis
				P. diversifolius
				P. epiphydus
				P. richardsonii
				Myriophyllum heterophyllum
				Eriocaulon septangulare
2	17.0~27.0*		脂質組成	* アミノ酸組成に関するデータ有り
			脂肪酸 ステロール・スタノール	
	14.3~21.5			
			メリアチン *	* 配糖体
0.7 (湿)	14.1 (湿)	VB, VB2 ナイアシン		
			アリルイソチア ネート *	* 精油成分

6. 今後の課題

6-1 情報の集積状況

本調査は、水質浄化に関する水生植物の利用可能性について、多目的な観点から情報の収集を行ったが、情報の集積状況は十分に満足できるものではなく、今後、次のような点について補充情報を収集する必要がある。

1. 各植物の属性（耐寒性、耐乾性、耐汚濁性等）についての定量的な情報を収集する。
2. 個々の利用方法に関する各水生植物の可能性、期待度の定量化を行う。

6-2 今後の調査方向

今後、水生植物を利用した水質浄化方法あるいは、資源化のためのマニュアルを作成することを最終的な目標とした場合、単に水生植物の性状、利用方法等を把握するだけでなく、現況の水質保全施策体系あるいは、地域社会での適用性に関する社会、経済条件等の検討を充分に行う必要がある。

以下に今後の調査計画のフローを示す。

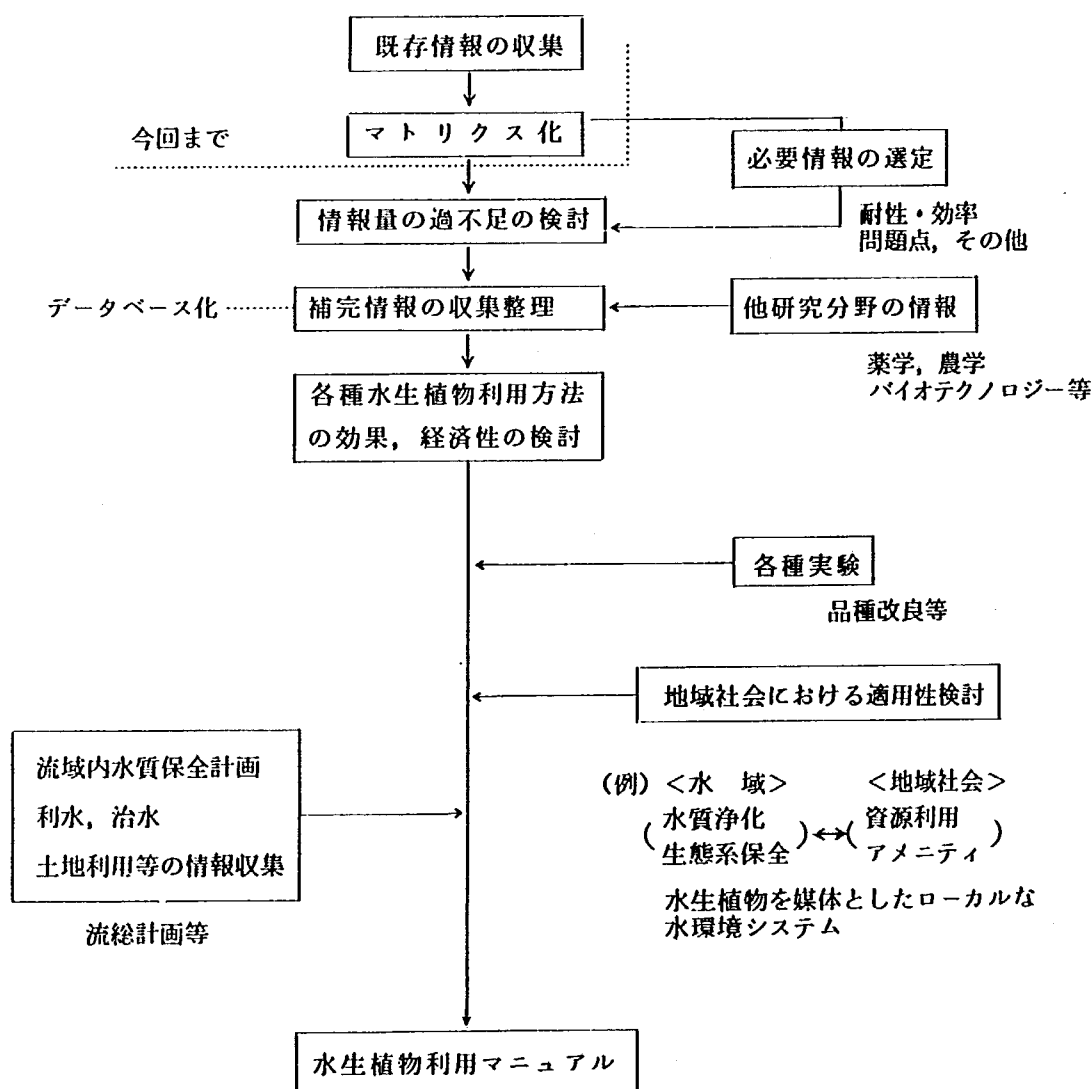


図 6-1 水生植物利用調査全体計画図

水質改善に関する水生植物の利用
可能性調査

ISSN 0386-5878
土研資料 第 2403号
昭和 61 年 8 月

キーワード： 水質改善, 水生植物, 資源化

要 旨

近年, 水生植物を利用した水質浄化手法が注目されている。この方法は, 一般には, 植物体を水中より除去する必要があるが, その回収方法ならびに回収された植物体の効果的な利用方法が確立しておらず, 単なる廃棄物として処分されているのが現状である。

本資料は, 水生植物を利用した浄化手法, 水生植物の利用状況, 水生植物の生体成分等の情報収集を行ない, 水生植物の有効利用を検討するための基礎資料とするものである。

郵便はがき

40円切手
をはって
下さい。

3 0 5 - □ □

茨城県筑波郡豊里町大字旭一番地

建設省土木研究所

下水道部水質研究室 御中

No. _____

No. _____

配布先氏名

配布先住所

○



土木研究資料 第 2403 号 部

水質改善に関する水生植物の利用可能性調査

上記のとおり受領しました。

所 属（住所）

氏 名

