

(23) 植生による湖沼の水質浄化と資源循環の検討 —北潟湖を例として—

高島 正信^{1*}

¹福井工業大学工学部原子力技術応用工学科 (〒910-8505 福井市学園3-6-1)

* E-mail: takasima@fukui-ut.ac.jp.

本研究では、福井県北部にある北潟湖を対象として、水生植物を利用した水質浄化と資源循環について基礎検討を行った。ヨシは湖岸帯のほぼ全体、マコモは主に上流側に分布していた。5～10月にかけてのヨシ、マコモの栄養素含有率(乾体ベースの平均)はそれぞれ窒素 2.1%, 2.6%, リン 0.16%, 0.28%, カリウム 1.7%, 2.0%であり、成長するにつれて低下した。もしこれらをすべて10月に刈り取っても、湖外へ排出される窒素とリンは流入汚濁負荷量のそれぞれ 1.1%, 1.9%と概算され、水質浄化への影響は小さいと考えられた。これら水生植物のメタン発酵はメタン転換率(COD_Cベースの平均)がそれぞれ 26.1%, 24.4%となり、また、鶏ふん、おからおよび米ぬかと混合した堆肥化は発酵が十分進行し、幼植物試験においても悪影響がほとんど観察されなかったことから、副次的な原料として利用可能と思われた。

Key Words : common reed, Lake Kitagata, material recycling, methane fermentation, organic fertilizer, water purification, wile rice

1. はじめに

環境基準達成率を水域別にみると、湖沼における平成20年度達成率が化学的酸素要求量(COD_{Mn}) 53.0%, 全窒素(T-N)および全リン(T-P) 50.0%などと、河川・海域に比べ依然として低いままである¹⁾。閉鎖性水域である湖沼は、滞留時間の長さゆえに汚濁物質の蓄積と植物プランクトンの大発生が起りやすく、さらに蓄積した物質が内部負荷に転換されて水質浄化を一層難しくするという特有の性質を有する。

湖沼の富栄養化対策を歴史的にみると²⁾、水質汚濁防止法に基づく窒素・りんに係る排水規制および環境基準の類型指定や、湖沼水質保全特別措置法に基づく指定11湖沼での下水道整備、河川浄化等の水質保全事業、各種汚濁源に対する規制等が実施されてきた。水質悪化が著しい湖沼においては、栄養塩類溶出を抑制するための底泥しゅんせつや、流入汚濁負荷を削減するための河川直接浄化施設、農業排水路等における水質浄化施設の整備等が推進されてきた。平成18年の改正湖沼水質保全特別措置法においては、面源による汚濁負荷を削減する対策の推進や、水質浄化の観点から湖辺植生の適正管理等の措置が講じられることになった。以上のような

対策の結果、近年の湖沼水質はわずかながら改善される傾向にはある¹⁾。

一方、現在では地球規模の温暖化、資源枯渇、廃棄物量増大等への懸念は強まるばかりであり、これら諸問題への対応として循環型社会の構築が急がれている。その具体的な方策として、わが国では「バイオマス・ニッポン総合戦略」などを策定し、地域内における資源の利活用を図っている。特に、生物の必須栄養素であるリンは、枯渇資源とみなされており、その回収・再利用がもっとも望まれている元素である。

本研究では、福井県北部にある北潟湖という小さな湖を対象とした。北潟湖は、富栄養化現象が慢性化している面源負荷が主体の湖であり、国内湖沼でよく見かけるヨシとマコモが自生している(一部は人工的植栽)。近年では、湖沼およびその流域における水質改善と資源循環を同時に図るために、このような水生植物を積極的に利用する活動や研究が盛んになっている。本研究は、

1) 水生植物の刈り取りによる栄養塩類の排出、および
2) 刈り取った水生植物のメタン発酵および堆肥化(バイオスタウンのような資源化施設で原料の一部として利用することを想定)、について基礎データを取得することを目的とした。

2. 北潟湖の概要^{1) 3) 4) 5)}

福井県北部の石川県との県境近くにある北潟湖は、北東から南西方向の谷に沿って細長くのびる全長約 6 km の日本海に面する汽水湖である（概要は表-1）。観光名所の東尋坊まで約 12 km、芦原温泉まで約 7 km ほど湖心から離れており、流域人口は 5,178 人（H17 年度）である。利水目的は農業用水と水産であり、こい、ふな、うなぎ等の漁業権が免許されている。また、湖畔公園やサイクリングロード等が整備され憩いの場として利用されているほか、カヌー競技の好適地として各種カヌー大会が開催されている。

主な流入河川として湖の中心部に入る観音川があり、湖末端部においては大聖寺川が合流している。その合流部手前にある開田橋（かいでんばし）に設置された水門は、農業用水の取水のため海水の遡上を防止する目的で、4 月から 9 月にかけて上流部の水位が下流部の水位より高い時のみ開く自動開閉方式で運用されている。

表-2 には、北潟湖の類型、水質環境基準と平均水質（H20 年度）がまとめられている。北潟湖の類型は、COD_{Mn}、T-N および T-P のいずれも悪い方から 2 番目に該当する。過去 20 年以上にわたる水質の経年変化については、全体的にほぼ横ばいに推移している。H20 年度においては、ほとんどの項目で水質環境基準が達成されていない。また、上流側水域である北潟湖（乙）の方が下流側水域である北潟湖（甲）より濃度が高くなっており、この理由の一つとして湖奥部（上流側）ほど海水による希釈効果の小さくなることが挙げられる。

塩素イオン濃度は、水門が常時開放となる 10 月以降に急激に高まる。やはり、日本海に近い湖北部で最も高く、湖奥部で最低となっている。年毎の変動は激しいが、

表-1 北潟湖の概要³⁾

周囲 (km)	18.9
面積 (km ²)	2.22
容積 (m ³ ×10 ⁶)	5.29
最大水深 (m)	3.1
平均水深 (m)	2.4
流域面積 (km ²)	34.7

表-2 北潟湖の類型、環境基準と平均水質（H20年度）¹⁾

	COD _{Mn}	T-N	T-P
類型	B	IV	IV
水質環境基準 (mg/L)	5	0.6	0.05
北潟湖（乙） 平均水質 (mg/L)	6.1	1.0	0.099
北潟湖（甲） 平均水質 (mg/L)	3.3	0.79	0.065

湖奥部における塩素イオンの最高濃度は 2,000 mg/L 程度である。また、湖北部は常に干満によって海水が流出入し、塩水層が形成されている。

北潟湖では長年、藍藻、珪藻、緑藻の共存した安定した植物プランクトン相が報告されている。富栄養化が進行した湖沼であるにも関わらず、主なアオコ形成種である *Microcystis* 属が優占せず、この原因として塩素イオンが考えられている。*Microcystis* 属は塩素イオンに感受性があり、例えば、同じ福井県内にある三方湖の *Microcystis aeruginosa* は塩素イオンが 1,500 mg/L までは順調に生育するが、2,500 mg/L を超えると増殖量が低下する。北潟湖では、水門の開放により日本海からの潮流の影響を受けて 10 月以降に塩素イオンが上昇する現象に加え、冬季の低水温により翌年度の生長が阻害されると考えられている。また、湖中心部以東では、密生したヒシによる栄養塩の吸収や遮光によりアオコが発生しにくい状況になっていることも要因として考えられる。

3. 流入汚濁負荷量

表-3 には、北潟湖への流入汚濁負荷量の推計値を示す。これは、福井県が実施した平成 9 年度汚濁負荷量調査⁹⁾（原単位法）にならい、平成 17 年度におけるデータを収集して筆者が計算し直したものである。

北潟湖流域の富栄養化対策として、下水道整備に加え、底泥のしゅんせつ、水田における緩効性肥料の使用などが実施されている。その効果もあり、平成 9 年度汚濁負荷量調査（データは平成 8 年度）と比べた流入汚濁負荷量は、COD_{Mn}、T-N、T-P についてそれぞれ 6.0%、8.6%、10.1% 小さくなっており、年々減少する傾向にある。

また、流入汚濁負荷を発生源別にみると、田畑や山林からの自然排水など面源による割合が COD_{Mn} 60%、T-N 68%、T-P 55% と 60% 前後を占めている。今後は、下水道の普及などによって点源からの汚濁負荷量がさらに減少することが見込まれるので、面源および現地対策がますます重要性を増している。

表-3 流入汚濁負荷量の推計値（H17年度）

(kg/日)	COD	T-N	T-P
生活系	81.2	17.0	2.11
産業系	62.5	12.8	0.34
畜産系	19.5	9.6	1.10
田畑	187.2	74.8	3.68
山林	97.9	42.4	1.11
その他	29.9	12.9	0.46
合計	478.1	169.5	8.80

4. 実験方法

(1) サンプリングと分析

ヨシおよびマコモは、5月から10月にかけて月1回ずつ（8月を除き計5回）、水面から10cm程度上で刈り取ることによって採取した。刈り取り場所は、ヨシが湖中心部の日の出橋、マコモが湖奥部の塩尻橋の近くであった（詳しい場所は後出図-1に示す）。

刈り取ったヨシおよびマコモは、実験室で長さ、湿潤・乾燥重量、強熱減量（VS）および化学的酸素要求量（COD_{Cr}）を測定した。また、外注分析に依頼して全窒素、リン酸、カリウムおよび全炭素を測定した。分析方法は肥料分析法⁹⁾に従い、全窒素と全炭素にはCNレコーダー（MT-700、ヤナコ）を用いた。COD_{Cr}は分光光度計（DR4000U、Hach）を用いたClosed Reflux Colorimetric Method（Standard Methods 5220 D）¹⁰⁾で実施した。なお、成分分析には数本分の全体を用いたので、部位別でない平均的な含有率を測定したことになる。

(2) メタン発酵

ヨシおよびマコモのメタン発酵性は、回分式バイアル試験で検討した。採取したヨシとマコモをまずミル（RM-70、岩谷産業）で粉砕し、その1g（湿潤）を下水処理場から採取した嫌気性消化汚泥30mLと一緒に120mLのバイアル瓶に加え、ヘッドスペースをN₂:CO₂=80:20のガスで置換し、ブチルゴム栓とアルミシールで密閉した後、35℃、60 rpmで振とう培養した。一条件当たりバイアル瓶を2本使用し、発生ガスの濃度と量を50日間にわたり測定した。

ガス成分は、TCD 検出器付きガスクロマトグラフ（GC-9A、島津製作所）を用い、カラムParapak Q、キャリアガスAr；40mL/min、カラム温度40℃、注入口温度120℃、検出器温度120℃で分析した。ガス発生量の測定にはメスシリンダーを用いた水上置換法を採用した¹¹⁾。

(3) 堆肥化

使用した実験装置は、幅20m×奥行き20m×高さ40cm、容量16Lの発泡スチロール製で、最下部から空気が投入される構造であった。空気供給ラインには流量計を設置し、空気量を約0.1 L/minに制御した。また、上部のフタを通じて温度記録計（EXCSV、オムロン）に接続された温度センサーを挿入し、50日間発酵温度をモニターした。

ヨシとマコモは、10月に刈り取りし、数日間乾燥させた後にガーデンスレッタ（GS-200、RYOBI）を用いて数cm程度にカットしたものを使用した。この際、地域から出た鶏ふん、おからと米ぬかも原料として用い、ヨシ堆肥についてはヨシ0.46 kg+鶏ふん0.25 kg+おから0.17 kg+米ぬか0.23 kg、

マコモ堆肥についてはマコモ0.40 kg+鶏ふん0.25 kg+おから0.17 kg+米ぬか0.23 kgの割合で混合した。また、水道水を加えて水分約55%で開始した。

製造された堆肥については、前記(1)と同様に栄養素の分析を行った。また、堆肥による植害試験の一方法である幼植物試験を適用した。これは、幼植物の生育状況から下水汚泥コンポストの腐熟度を調べる生物学的方法としてよく用いられるもので、試験方法の手順の概略は次のようである¹²⁾。

2mm目ふるいを通した風乾土壌をポット当たり500mL使用し、コントロールを含む全区についてN、P₂O₅、K₂Oとしてそれぞれポット当たり25mgに相当する化学肥料を施用する。肥料施用区では、窒素量が乾物あたり2%以上の肥料はNとして100mgを標準施用量とし、この量の2倍量、3倍量、4倍量の区を設定する。コマツナ種子をポット当たり20または25粒播種し、温度15~25℃および適宜の給水を保ちながら3週間栽培した後、発芽率、生体重、異常症状などについて調べる。本研究では、1区当たりポットを2ヶ使用した。

5. 実験結果および考察

(1) 分布

北潟湖におけるヨシおよびマコモの分布は踏査によっておおまかに把握したが、これを図-1に示す。ヨシは湖岸帯のほぼ全体に分布していたのに対し、マコモは主として上流側だけであった。群落の面積は、ヨシ0.012、マコモ0.0021 km²と推算され、マコモはヨシの1/6程度と小さかった。

ヨシ、マコモのような抽水植物の分布には、泥厚、水深、塩分や乾燥状態等が影響すると考えられている¹³⁾。北潟湖では上流側の方が水質の悪いことを考慮すると、マコモの方が高濃度の栄養分を好むという、栄養塩類濃度に対する嗜好性の違いも影響している可能性がある。

(2) 成長と栄養成分量

図-2には、ヨシ、マコモの成長と主要栄養素の含有率を示す。

ヨシおよびマコモはともにイネ科の多年草で、おおむね春に出芽、秋に出穂して種子を作り、秋から冬にかけて地上部は枯れ、地下茎または種子で越冬するという周期を持つ¹⁴⁾。長さや乾燥重量でみると、ヨシは夏まで成長を続けていたが、それが秋にやや頭打ちされたのは枯れ始めたからであると思われる。これに対し、マコモは9月から10月にかけて乾燥重量が急激に増大していた。

図-2からはまた、ヨシおよびマコモの成長に伴い、窒



(a) ヨシ



(b) マコモ

図1 北潟湖におけるヨシおよびマコモの分布とサンプル採取場所
(白く示した場所がヨシまたはマコモの生育場所，白丸がサンプル採取場所)

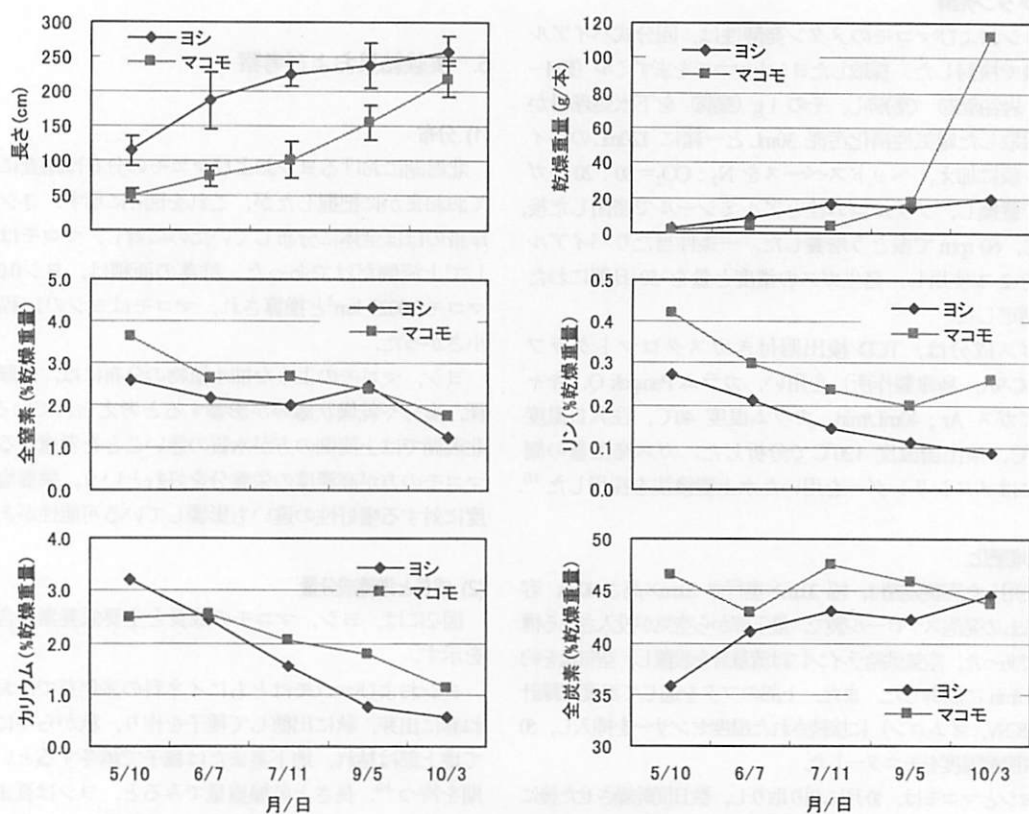


図2 ヨシおよびマコモの成長と成分量

(長さのみは、ヨシが各月 54, 18, 8, 8, 8 本、マコモが各月 25, 55, 44, 26, 10 本について測定した平均値と標準偏差。乾燥重量および栄養素含有率は、数本分をまとめて各月 1 回測定した値)

素、リンおよびカリウムの三大栄養素は含有率が減少していたことがわかる。ヨシとマコモを比べると、マコモの方がほとんどの場合三大栄養素の含有率が高かった。

平均値で示すと、窒素、リンの含有率（乾燥重量ベース）はヨシがそれぞれ 2.10%、0.16%、マコモがそれぞれ 2.61%、0.28% となった。ヨシについては、それぞれ 0.8~3.5、0.1~0.4%、マコモについてはそれぞれ 0.8~2.8、0.1~0.5% という文献レビューした報告がある¹⁵⁾。また、人工栽培液を用いたマコモの栽培実験では、部位別の値を平均化すると、それぞれ 2~4% 程度、0.4~0.6% 程度であった¹⁶⁾。植物体の栄養素含有率は培地の水質に依存することが確認されており¹⁷⁾、人工栽培の結果は例外的と考え、北潟湖のヨシおよびマコモは平均的な栄養素含有率であったと思われる。

他方、それらと比べると全炭素の変化は少なく、ヨシは微増、マコモはほぼ一定であった。全炭素と同じような有機物の総括的指標として VS と COD_G があるが、ヨシ、マコモそれぞれについて VS は 85.6~91.5、86.7~92.9%、COD_G は 1.10~1.28、1.32~1.64 g/g 乾燥重量と、これらも比較的狭い範囲に入っていた。

(3) 刈り取りによる栄養塩類排出

ヨシおよびマコモの刈り取りによる栄養塩類の湖外への排出量を推算したものを表4に示す。表4の生息密度は、無作為に選んだ6地点で調べたものであり、ヨシ 150±70、マコモ 55±22 本/m² であった。これから、10月における単位面積当たりの乾燥重量はヨシ 2.88、マコモ 6.16 kg 乾燥重量/m² となる。既往研究の一例として、ヨシ 0.78~2.8、マコモ 0.28~1.24 kg 乾燥重量/m² という報告があり¹⁸⁾、それに比べると特にマコモの密度が高めであった。場所毎の違いが大きいため、生育している面積や密度を正確に把握することは容易でなく、今後精度の向上が必要である。

表4より、前記3で計算された流入汚濁負荷量に対する割合は年間ベースでみると非常に小さく、両者をすべて刈り取ったとしても合計で窒素 1.1%、リン 1.9% となった。夏季を中心に内部負荷も顕著になることを考え合わせると、その割合はさらに低くなり、これら植物の刈り取りによる湖外への栄養塩類の排出は水質の改善効果が小さいと考えられた。

湖沼面積に対するヨシとマコモの生育面積は、それぞれ 0.54%、0.094% と計算される。刈り取りによる効果を顕著にするためには、群落の生育面積をおそらく現状より 10 倍以上に広げ必要がある。しかし、刈り取りには高度処理施設を建設するよりも費用がかかるケースも報告されており¹⁹⁾、このやり方は現実的ではないと思われる。また、ヨシ群落などは鳥、魚などにとって生息場

表4 刈り取りによる窒素・リンの推定排出量

	ヨシ	マコモ
生育面積 (km ²)	0.012	0.0021
生育密度 (本/m ²)	150	55
生育乾燥重量 (g/本)	192	112
生育総乾燥重量 (kg)	34,600	12,900
窒素含有率 (%)	1.25	1.75
リン含有率 (%)	0.083	0.26
窒素排出量 (kg)	433 (流入の0.70%)	226 (流入の0.37%)
リン排出量 (kg)	28.7 (流入の0.89%)	33.5 (流入の1.04%)

注1) 10月刈り取りを想定。注2) 表3を基に、年間流入量として窒素61,900 kg/年、3,210 kg/年を使用。

所を提供しているので、生態系保全の観点からも配慮を要する。

(4) メタン発酵

ヨシおよびマコモのメタン発酵性を、COD_G ベースのメタン発生率を用いて図3に示す。得られた月毎のメタン発生率は、ヨシ 10.5~42.8% (平均 26.1%)、マコモ 21.1~28.6% (平均 24.5%) となった。経時的な変化がヨシとマコモで大きく異なり、ヨシは秋になるにつれ減少したのに対し、マコモの方は比較的一定であった。

ヨシについて、前掲図2の全炭素と図4のメタン発生率は逆の関係を示しており、すなわち、全炭素の含有率が高くなるにつれ (VS、COD_G でも同様)、メタン生成率が低くなっている。これから、ヨシは成長とともに難生分解性の有機物を体内に蓄積していることが示唆される。マコモについては研究期間中における変化が乏しく、明確な傾向が観察できなかった。

有機性廃棄物のメタン転換率として生ゴミ 80%前後、下水汚泥 50%前後が普通可能であるので、ヨシおよびマコモのメタン発生率はおおむね下水汚泥の半分程度である。草木だけを原料としたメタン発酵施設は現時点ではないものの、少なくとも副次的な原料として十分利用

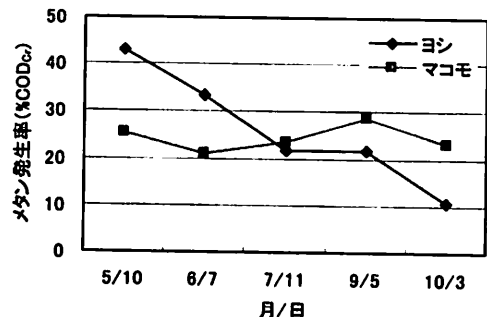


図3 ヨシおよびマコモのメタン発酵性

できると考えられており²⁰⁾、今回の結果はこれをサポートするものである。

参考までに、表4 から 10 月時点における推定総乾燥重量はヨシ 34,600 kg、マコモ 12,900 kg であり、すべてをメタン発酵させたとすると、それぞれ 1,400、1,370 Nm³、合計して 2,770 Nm³ のメタンが生成される計算になる (COD_G がそれぞれ 1.10、1.32 g/g 乾燥重量、メタン転換率がそれぞれ 10.5%、23.0%、メタン発生量が 0.35 NL/g COD_G)。これは原油として約 2,600L に相当し、約 5,400 kg の CO₂ 発生量の抑制になる (原油は 26 L/GJ、メタンガスは 0.036 GJ/Nm³ および 1.96 kg CO₂/Nm³)²⁰⁾。原油の節約分は、原油の年間輸入量 2 億 4000 万 kL (2007 年度) からすると約 1 億分の一とわずかではある。

(5) 堆肥化

実験の結果、図4 に示すように発酵温度は最高約 60℃まで達した。小規模装置は熱損失の大きいことを考えると、本実験ではほぼ良好な発酵が達成されたと考えられる。

表5 に示す製造堆肥の栄養素含有率については、三大栄養素はどれも約 3%以上と高く、今回の配合ではとくにリン酸が強化されたものであった。両者を比べると、原料の性状を反映して、マコモを主体とした堆肥の方がヨシを主体とした堆肥よりも栄養素含有率が高くなった。CN 比は、一般に 10 程度が望ましいので²⁰⁾、ここで製造された堆肥はほぼ適正な値をもつものであった。

幼植物試験の結果を表6 に示す。幼植物試験においては、製造堆肥は密度が低いために 3 および 4 倍量ではかさばりすぎてしまい、結局 2 倍量までの実施となった。表6 より、両堆肥とも幼植物の生育への顕著な障害は見られなかった。むしろ、表6 の数値には表われていないが、根が太く、長い傾向が観察された。

以上の結果は、下水汚泥、生ごみ等の堆肥化 (期間として 2 か月程度) における副次的原料としてこれら水生植物は支障ないことを示すものであり、これを通じて、湖沼流域における資源循環に貢献しようと思われる。

6. まとめ

- 1) 北潟湖沿岸帯における水生植物の分布は、ヨシはほぼ湖全体、マコモは主に上流側であった。
- 2) ヨシおよびマコモの主要栄養素の含有率 (乾燥重量ベース) は、それぞれ窒素が 1.25~2.58% (平均 2.10%)、1.75~3.63% (平均 2.61%)、リンが 0.09~0.27% (平均 0.16%)、0.20~0.42% (平均 0.28%)、カリウムが 0.57~3.21% (平均 1.71%)、1.13~2.56% (平均 2.00%) であ

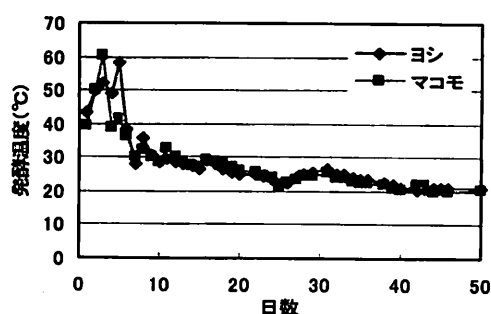


図4 堆肥化における発酵温度

表5 製造堆肥の成分

	ヨシ堆肥	マコモ堆肥
全窒素 (N%)	3.3	3.5
リン酸 (P ₂ O ₅ %)	4.7	6.2
カリ (K ₂ O%)	2.9	3.9
全炭素 (C%)	31.5	31.8
炭素率 (CN 比)	9.5	9.0
水分 (%)	40.7	42.5

表6 製造堆肥の幼植物試験
(播種数 20 粒、2 ポットの平均値)

		発芽数 (本)	生体重 (g)
コントロール		19	1.65
ヨシ堆肥	1 倍量	17.5	1.68
	2 倍量	17.5	1.48
マコモ堆肥	1 倍量	18.5	1.57
	2 倍量	19.5	1.56

た。これら含有率は成長につれ低下する傾向があり、また、ヨシに比べるとマコモの方がおおむね高かった。逆に、炭素の含有率は、それぞれ 35.8~44.6% (平均 41.3%)、42.9~47.5% (平均 45.3%) と変化が比較的小さかった。

3) ヨシおよびマコモのすべてを 10 月に刈り取った場合、栄養塩類の湖外への排出量は年間の推定流入汚濁負荷量に対して両者合計しても窒素 1.1%、リン 1.9% となり、刈り取りによる水質改善の効果は小さいと推測された。

4) ヨシおよびマコモを原料としたメタン発酵は、メタン転換率 (COD_G ベース) としてヨシ 10.5~42.8% (平均 26.1%)、マコモ 21.1~28.6% (平均 24.5%) となり、ヨシは秋になるにつれ減少したのに対し、マコモの方は比較的一定であった。

5) ヨシあるいはマコモに鶏ふん、おから、米ぬかを混合して実施した堆肥化は、ほぼ十分な発酵が行われた。三大栄養成分の含有率は約 3% を超え、幼植物試験でも障害がほとんど見られなかった。

今回の結果は、水生植物の生育量やメタン発酵性の限界から、対象湖沼における水質浄化と資源循環への効果が小さいことを示唆したが、メタン発酵施設が近くに存在する場合などに原料の一部として活用できると思われる。一方、水生植物の堆肥化は、全国的に取り組みが増えている状況にあるので、今後の発展に期待したい。

謝辞

本研究の一部は、福井工業大学特別研究費による助成を受けた。ここに記して感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 環境省：平成 20 年度公共用水域水質測定結果，2009。
- 2) 環境省：環境白書平成 20 年度版，2009。
- 3) あわら市ホームページ (<http://www.cityawara.fukui.jp>)
- 4) 吉田耕一郎，宇都宮高栄，村田義公：北潟湖における水位の変動関数について，福井県環境科学センター年報，Vol. 24，117-126，1994。
- 5) 塚崎嘉彦，鉾崎有紀，片谷千恵子，松崎雅之，加藤賢二：北潟湖および三方湖における植物プランクトンの変遷について(第 1 報)，福井県環境科学センター年報，Vol. 31，68-76，2001。
- 6) 塚崎嘉彦，片谷千恵子，高田敏夫：北潟湖におけるヒシ(*Tilapia sp.*)の水質への影響に関する研究，福井県環境科学センター年報，Vol. 29，103-106，1999。
- 7) 田中正明：日本湖沼誌，名古屋大学出版会，1992。
- 8) 福井県環境科学センター：富栄養化汚濁解析業務報告書，1998。
- 9) 農林水産省農業環境技術研究所：肥料分析法 1992 年版，(財) 日本肥料検定協会，1992。
- 10) APHA, AWWA and WEF: *Standard methods*, 2000.
- 11) Tang, N. H., Blum, D. J. W. and Speece, R. E.: Comparison of serum bottle toxicity test with OECD method, *J. Env. Eng., ASCE*, Vol.116, 1076-1084, 1990.
- 12) 農林水産省農蚕園芸局長通達第 1943 号：ノイバイエルボット試験法，1984。
- 13) 藤井滋穂：湿地生態系，(社) 日本水環境学会編，水環境ハンドブック，80-87，技報堂，2006。
- 14) 角野康郎：日本水草図鑑，文一総合出版，東京，1994。
- 15) 佐藤和明：植生浄化法の施設計画と技術，島谷幸宏ほか編，エオコテクノロジーによる河川・湖沼の水質浄化，148-162，ソフトサイエンス社，2003。
- 16) 江成敬次郎，山瀬辺典夫，小浜暁子，中山正与：水生植物(マコモ)の植物体窒素・リン含有量の生育に伴う変動と窒素・リン収支に関する考察，環境工学研究論文集，Vol.40，269-278，2003。
- 17) 青井透：直接浄化に利用できる植物の特性，(社) 日本水環境学会編，水環境ハンドブック，344-347，技報堂，2006。
- 18) 桜井善雄：水辺の緑化による水質浄化，水と緑の読本，889-909，1988。
- 19) 細井由彦，城戸由能，三木理弘，角田政毅：刈り取りによる栄養塩除去を目的としたヨシの成長過程に関する現地観測，土木学会論文集，No.594/VII-7，45-55，1998。
- 20) 落修一：廃棄物系バイオマスのメタン発酵，野池達也編著，メタン発酵，141-154，技報堂，2009。
- 21) 佐藤和明：バイオガスの有効利用，野池達也編著，メタン発酵，155-174，技報堂，2009。
- 22) (社) 日本下水道協会：下水汚泥の農地・緑地利用マニュアル，2005。

(2010.5.21 受付)

Water Purification and Material Recycling Using Aquatic Plants - A Case Study of Lake Kitagata -

Masanobu TAKASHIMA¹

¹Dept. for the Application of Nuclear Technology, Fukui University of Technology

Lake Kitagata is a small lake located beside the Sea of Japan in Fukui Prefecture, Japan. In this study, the possibility of water purification and material recycling using common reed and wile rice was examined. Common reed were located all over the lake shore, while wile rices was mainly upper-stream of the lake. On average, the nutrient content was nitrogen: 2.1%, 2.6%, phosphate: 0.38%, 0.64%, potassium: 2.1%, 2.4% for common reed and wile rice, respectively, and was decreased along with their growth. It is estimated that, if all of the plants are harvested, the nitrogen and phosphorus taken away from the lake correspond to only 1.1% and 1.9% of the estimated inflow, respectively. Methane fermentation of these plants showed 10.5~42.8% and 21.1~28.6% of methane conversion efficiency based on COD_C for common reed and wile rice, respectively, and can be utilized as an auxilray source. The composting of these plants mixed with chicken manure, bean curd and rice bran underwent well, and no detrimental effect was observed on the growth of an infant plant.