HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	新しい浮漂性植物（ウォーターレタス）の栄養塩除去特性
Author(s)	青井, 透
Description	第3回衛生工学シンポジウム（平成7年11月9日（木）-10日（金） 北海道大学学術交流会館） . 1 水処理、廃棄物処理 . 1-10
Citation	衛生工学シンポジウム論文集, 3, 48-53
Issue Date	1995-11-01
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/7881
Type	departmental bulletin paper
File Information	3-1-10_p48-53.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

１－10
新しい浮漂性植物（ウォ-タ-レタス）の栄養塩除去特性

群馬工業高等専門学校土木工学科　青井　透

１．まえがき

近年下水処理施設及び各種類似施設の普及により、生活排水の処理率は向上しつつあり、公共用水域でのSS及びBODに起因するような水質汚濁は解消しつつある。ところが上記各施設は一部を除いて窒素・リンの除去を行なっていないため、ｱｵｺに代表されるような富栄養化現象は引続き悪化の傾向にある。生活排水処理施設での窒素・リン除去技術の研究・開発は現在盛んに行なわれているが、下水道普及の遅れに伴う生活雑排水や、都市活動・農業活動等のﾉﾝﾎﾟｲﾝﾄﾘｰｽに由来する窒素・リン汚濁負荷もまた無視できない現状にある。

そんなわけで、発生源対策とは別に既に汚濁している(富栄養化している)水域での直接浄化や、自然環境を活用したﾛｰｶﾙな栄養塩除去技術の開発も併せて必要である。水生植物を利用した栄養塩除去技術は、太陽ｴﾈﾙｷﾞｰを利用して環境中の無機物質を固定する循環型技術であり、既にﾎﾃｲｱｵｲやｸﾚﾘﾝ･ﾖｼ等を利用する多くの研究がなされてきた。中でも最も多くの研究が、実用性の高い浮漂性植物であるﾎﾃｲｱｵｲ(*Eichhornia crassipes*)に関して行なわれてきたにもかかわらず、ﾎﾃｲｱｵｲの実用化は殆ど進展していないように見受けられる。その理由としては次の項目が上げられる。①成長個体が過大になりすぎ余剰植物体の回収が困難 ②回収個体の有効利用が実用化していない ③冬季間に枯死・沈積分解してしまう。

ところで最近熱帯魚点で販売されているｳｫｰﾀｰﾚﾀｽ(*Pistia stratiotes*)は成長が早く、成長しても過大にならず回収が容易な点と、景観上の優位性・有効利用の可能性の点で、ﾎﾃｲｱｵｲに代わる役割を果たせる可能性を含んでいる。本研究では、ｳｫｰﾀｰﾚﾀｽの比増殖速度、窒素・リン(N･P)除去性能及び有効利用の可能性について検討を行なったので報告する。

２．従来の研究

ﾎﾃｲｱｵｲについては既に数多くの論文が発表されているが、Reddy等は、自らもﾌﾛﾘﾀﾞの湖沼でﾎﾃｲｱｵｲの研究を行なう傍ら、水生植物の利用についてのﾚﾋﾞｭｰを行なっている。表-1にその一部を示すが、ｳｫｰﾀｰﾚﾀｽがﾎﾃｲｱｵｲの次に成長の速い植物として紹介されている。日本でのﾎﾃｲｱｵｲの研究は青山、沖等が著名であるが、青山は水生植物を表-2のように整理しており、ﾎﾃｲｱｵｲ･ｳｫｰﾀｰﾚﾀｽは浮漂性植物に分類される。ﾎﾃｲｱｵｲの閉鎖水域への適用については茨城県がﾏﾆｭｱﾙを纏めている。またﾎﾃｲｱｵｲの有効利用・飼料化については木村等の膨大な研究があるが、ﾎﾃｲｱｵｲ新鮮物の家畜に対する嗜好性は母豚を除いてはあまり良くないと報告されている。ところでｳｫｰﾀｰﾚﾀｽを主対象とした研究は従来殆どなされておらず、最近になって青井等が無機態窒素の除去優先順位等を報告している。

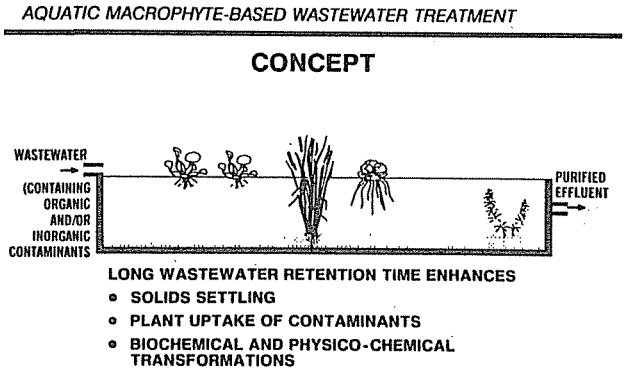

図-1　水生植物による排水の浄化
【Reddy et al.(1987)】

表-1　各水生植物の成長速度及び栄養塩除去
【Reddy et al.(1987)】

Plant	Biomass: Standing crop	Biomass: Growth rates	Tissue composition: N	Tissue composition: P
	t (dw) ha⁻¹	t ha⁻¹ yr⁻¹	--------g kg⁻¹--------	
FLOATING MACROPHYTES:				
Eichhornia crassipes (water hyacinth)	20.0 - 24.0	60 - 110	10 - 40	1.4 - 12.0
Pistia stratiotes (water lettuce)	6.0 - 10.5	50 - 80	12 - 40	1.5 - 11.5
Hydrocotyle sp. (pennywort)	7.0 - 11.0	30 - 60	15 - 45	2.0 - 12.5
Alternanthera sp. (alligator weed)	18.0	78	15 - 35	2.0 - 9.0
Lemna spp. (duckweed)	1.3	6 - 26	25 - 50	4.0 - 15.0
Salvinia spp.	2.4 - 3.2	9 - 45	20 - 48	1.8 - 9.0
EMERGENT MACROPHYTES:				
Typha (cattail)	4.3 - 22.5	8 - 61	5 - 24	0.5 - 4.0
Juncus (rush)	22.0	53	15	2.0
Scirpus (bulrush)			8 - 27	1.0 - 3.0
Phragmites (reed)	6.0 - 35.0	10 - 60	18 - 21	2.0 - 3.0
Eleocharis (spike rush)	8.8	26	9 - 18	1.0 - 3.0
Saururus cernuus (lizard's tail)	4.5 - 22.5	--	15 - 25	1.0 - 5.0

表-2　水生植物の分類と主な植物名
【青山(1982)】一部変更*

	分類	特性	代表種 属名	同属植物名
固着性水生植物	抽水植物	根と茎の一部が水底にあり、水中葉と空中葉で形の異なるものがある。	*Alternanthera*	ｱﾙﾃﾗﾝﾃｰﾗ
			Pharagmites	ヨシ
			Thpha	ガマ
			Ceratophyllum	マツモ
			Sparganium	ミクリ
			Nuphar	コウホネ
			Alismata	オモダカ
	浮葉植物	根や茎は水中または水底にあり、葉を水面に浮かべている。	*Trapa*	ヒシ
			Nymphaea	スイレン
	沈水植物	水面下に根、茎、葉のすべてが存在するもの。	*Hydrilla*	クロモ
			Myriophyllum	フサモ
			Potamogeton	エビモ
			Eledea	コカナダモ
			Egeria	オオカナダモ
			Naias	トリゲモ
浮漂(遊)性水生植物		根が水底に固着することなく、水面に茎葉を浮かばせて浮上生活をする。	*Eichhornia*	ホテイアオイ
			Lemna	アオウキクサ
			Salvinia	サンショウモ
			Pistia	ｳｫｰﾀｰﾚﾀｽ
			Azolla	アカウキクサ

* 原表ではｳｫｰﾀｰﾚﾀｽはﾎﾞﾀﾝｳｷｸｻとなっていたが、より英文に忠実なｳｫｰﾀｰﾚﾀｽに名称変更した。

3．実験方法

(1)屋外連続実験　当高専合併浄化槽(1,100人槽･接触曝気法)の消毒前処理水をｵｰﾊﾞｰﾌﾛｰﾀﾝｸにﾎﾟﾝﾌﾟで揚水し、このﾀﾝｸから定量ﾎﾟﾝﾌﾟ(間欠運転)で原水を12連ﾌﾟﾗﾝﾀに供給した。ﾌﾟﾗﾝﾀ1個の寸法は0.56mL×0.15mW×0.12mD、容量は約10Lである。原水供給量15.6L/Hでの滞留時間は7.7Hであった。図-2に実験装置外観を示し、図-3には生育中のｳｫｰﾀｰﾚﾀｽ(左)とﾎﾃｲｱｵｲ(右)を示す。

(2)屋外回分実験　実験室屋上に60cm熱帯魚用ｶﾞﾗｽ水槽を2基設置し、液肥(ﾀｹﾀﾞｴｰﾄﾞ2号×2,000倍)各々30Lを用いてﾎﾃｲｱｵｲ、ｳｫｰﾀｰﾚﾀｽの回分生育実験を行なった。天候、日射量、水温、植物湿重量を毎日計測すると共に水質分析用試料を100mL/日ずつ採取した。実験装置には透明塩ﾋﾞの屋根がかかっているが蒸発により減少した水量は補給した。水質分析はpH･EC･NO_x-N(UV法)･NH_4-N(蒸留滴定法)･PO_4-P(ﾓﾘﾌﾞﾃﾞﾝ青･ｱｽｺﾙﾋﾞﾝ酸法)により行なった。図-5に実験装置外観を示す。

4．結果及び考察

(1)水生植物によるNH_4-N、NO_x-Nの除去優先順位

生活排水の水生植物による浄化を検討する場合、NH_4-NとNO_x-N(NO_2-N＋NO_3-N)のどちらを優先して除去するかは重要なﾎﾟｲﾝﾄである。硝化を受けないまま排出されるNH_4-Nは水生動物(魚･昆虫等)に対し数mg/Lの範囲から阻害があることが知られている。本実験によって得られた各態窒素の除去ﾊﾟﾀｰﾝを図-7、図-8に示すが、ｳｫｰﾀｰﾚﾀｽ･ﾎﾃｲｱｵｲ共NH_4-Nを

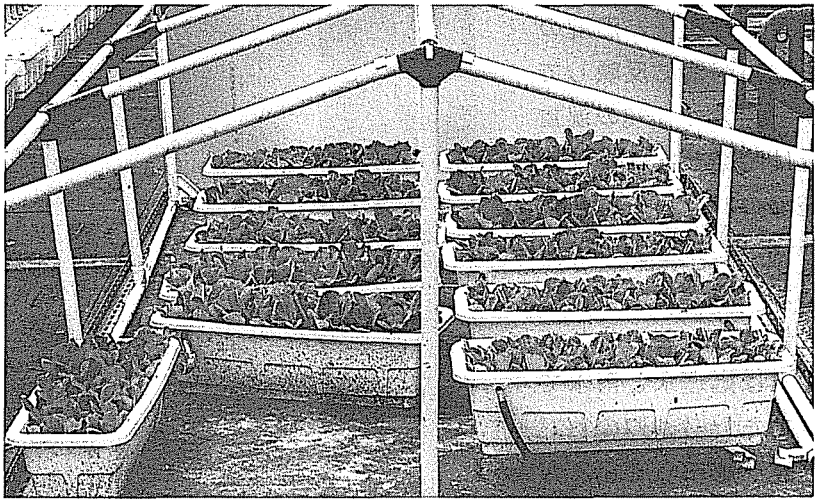

図-2　屋外連続実験装置外観

優先して除去し、続いてNO_x-Nが除去されることが明らかとなった。この傾向は、処理水での水生生物育成や、消毒時の塩素要求量の減少に好都合である。

(2)成長速度(比増殖速度)と植物体の栄養塩含量　回分生育実験でのｳｫｰﾀｰﾚﾀｽ、ﾎﾃｲｱｵｲの重量増加の一例を図-6に示したが、比較実験ではｳｫｰﾀｰﾚﾀｽが若干高い成長速度を示した。図-6に示した実験での比増殖速度を表-3に示すが、ｳｫｰﾀｰﾚﾀｽで0.1(1/D)、ﾎﾃｲｱｵｲでは0.08であった。この傾向は連続実験(ｳｫｰﾀｰﾚﾀｽとﾎﾃｲｱｵｲを交互に栽培[図-3])でも観察され、本実験の環境下ではいずれの場合でもｳｫｰﾀｰﾚﾀｽの成長速度の方が速かった。図-6に示す生育実験終了後、両植物を乾燥しN,P及びAsh量を測定した結果を表-3に示すが、Ashはほぼ同じ、N,P含量はﾎﾃｲｱｵｲの方が高い値を示した。

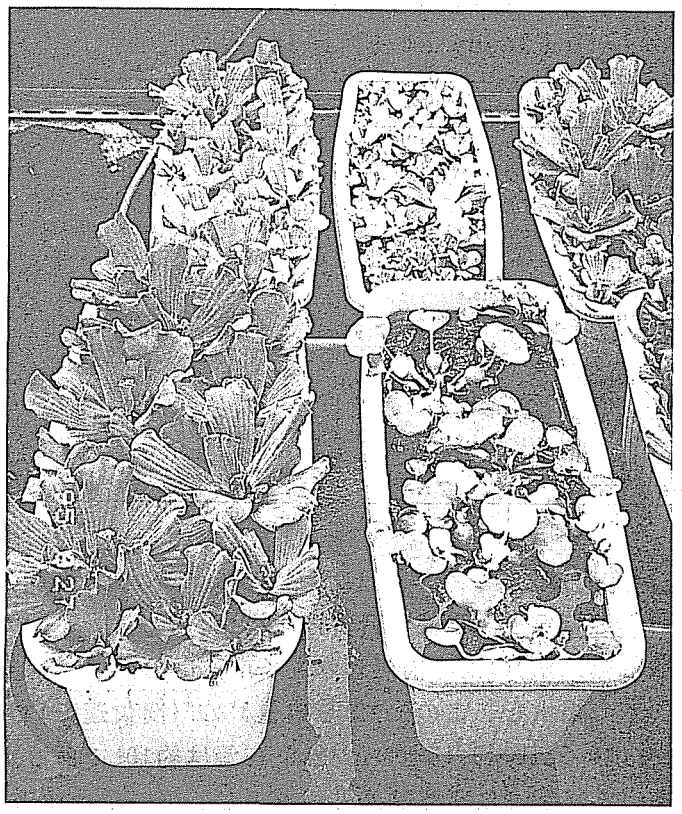

図-3　屋外連続実験で生育中のｳｫｰﾀｰﾚﾀｽとﾎﾃｲｱｵｲ

(3)ｳｫｰﾀｰﾚﾀｽ成長個体の重量分布　連続実験で生育したｳｫｰﾀｰﾚﾀｽの大きめの株を周期的に数10本採取して湿重量を測定し、大きい順に並べた上位10株の重量を比較した結果を表-4にしめした。今年の梅雨は史上最低の日照量と言われており梅雨明けからは猛暑が続いたことは記憶に新しいが、この結果も日照量と温度の影響が明確に反映している。ｳｫｰﾀｰﾚﾀｽの湿重量は時期と共に増加し盛夏の8月1日には最大375g、平均284gとなったが、この値は年間最大値に近いと思われる。図-4は処理水と雨水で育てたｳｫｰﾀｰﾚﾀｽのｻｲｽﾞの違いを示しているが、雨水で育った小さな株の重量は0.25-0.35g/

図-4　処理水と雨水で育てたｳｫｰﾀｰﾚﾀｽｻｲｽﾞの違い

株であり、最大時には1,000倍以上の重量に生育することが分った。

(4)水生植物と野菜類の有効成分組成

水草を用いた排水の浄化方法の成否は生育した余剰植物体が回収及び有効利用できるか否かにかかっている。(3)で述べたようにｳｫｰﾀｰﾚﾀｽの個体湿重量は過大でない(寸法は概ね巾25-30cm、高さ15-20cm)ため、水面からの除去についてはﾎﾃｲｱｵｲに比べて優位性がある。有効利用の可能性を検討するために、回分実験終了後の両植物体を、市場で購入した野菜と共に乾燥後各成分を測定した結果を図-5に示した。リンについてはAmes法、またProtainについてはｱﾐﾉ酸分析値より求めた数字のため、T-N(ｹﾙﾀﾞｰﾙ分解法)から計算する粗蛋白の値とは異なった数値となっている。この表より、例えばﾎｳﾚﾝ草にはﾐﾈﾗﾙ分や蛋白質が多いことがわかるが、ｳｫｰﾀｰﾚﾀｽの成分含量はｷｬﾍﾞﾂに類似した値であり、充分な有効成分を含んでいることがわかる。回分実験ではﾎﾃｲｱｵｲの水槽には藻類が繁殖して着色したのに対しｳｫｰﾀｰﾚﾀｽの水槽は比較的清澄なことが観測されており、ｳｫｰﾀｰﾚﾀｽは藻類繁殖を阻害する物質を分泌している可能性がある。

図-5　屋外回分生育実験装置

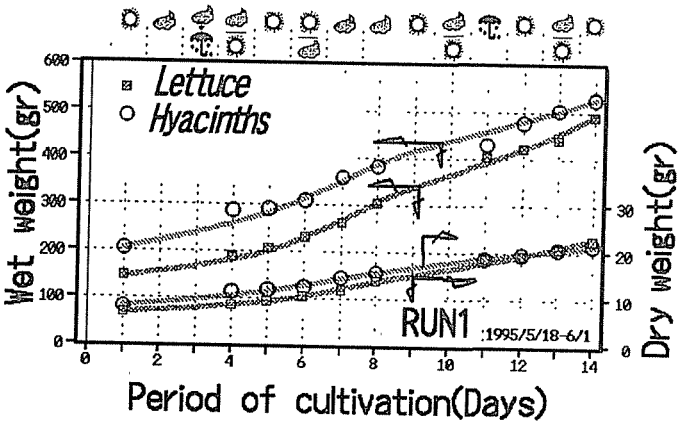

図-6　屋外回分生育実験での成長速度

(5)ｳｫｰﾀｰﾚﾀｽの生育量とN,P除去性能(実用化の検討)

連続実験で繁茂したｳｫｰﾀｰﾚﾀｽの湿重量は1ﾌﾟﾗﾝﾀ(0.08㎡)当たり概ね1.2kgであったので、換算すると15kgWet/㎡＝150 WetT/ha(6.7tDry/ha)となり表-1で比較することができる。図-8より無機態窒素の除去速度は1.12mgN/

表-3　ｳｫｰﾀｰﾚﾀｽとﾎﾃｲｱｵｲの成長速度と栄養塩含量比較

植物の種類	比増殖速度(%/D)	栄養塩含量		
	RUN1	N(%)	p(%)	Ash(%)
ｳｫｰﾀｰﾚﾀｽ	10.3	1.65	1.02	19.9
ﾎﾃｲｱｵｲ	8.0	2.15	1.67	19.6

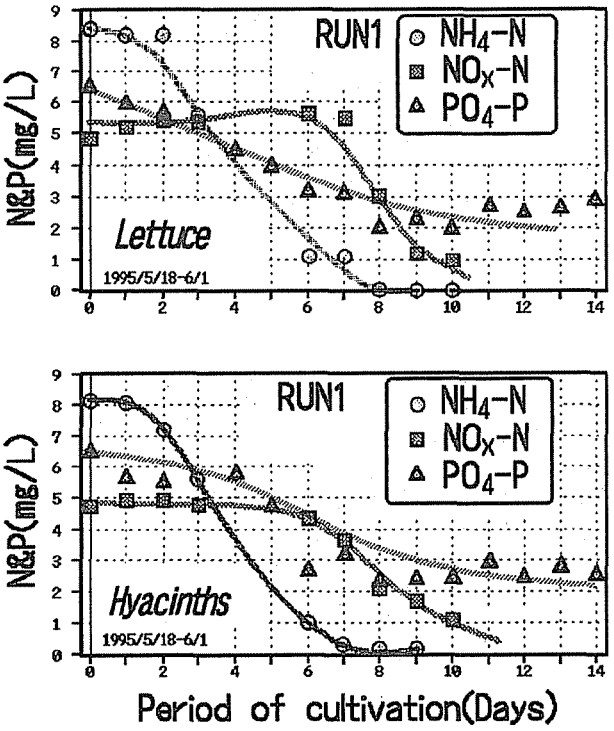

図-7　屋外回分生育実験での
栄養塩除去の一例

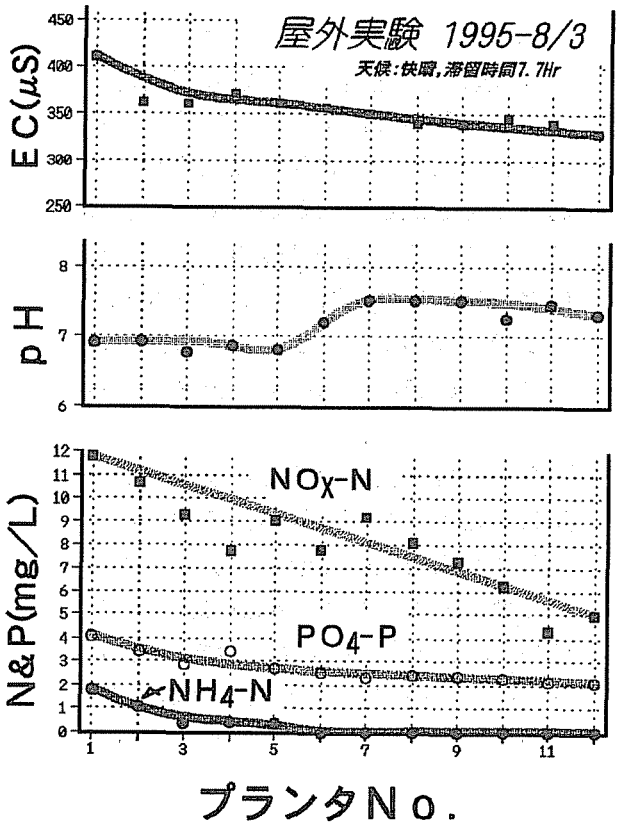

図-8　屋外連続実験での
水質変化の一例

表-4　屋外実験でのｳｫｰﾀｰﾚﾀｽ湿重量の季節的変化

No.	6/17	6/21	7/9	8/1
	【単位は湿重量Wg/株である】			
1	48.6	46.2	117.6	374.5
2	42.7	45.3	111.1	346.4
3	41	45.2	97.6	315.6
4	40.7	42	94.4	300.6
5	37	40.3	89	288.5
6	36.4	39.1	86.8	288.3
7	32.8	38.4	84.3	256
8	32.7	37.4	82.4	226.5
9	31.2	37	80.1	226
10	30	35.8	76.3	219.9
平均	37.3	40.7	92.0	284.2

表-5　水生植物と野菜類の成分比較一覧

ｻﾝﾌﾟﾙ名	含水率%	Ash(%)	P(%)	N(%)	Protain(%)
ｷｬﾍﾞﾂ	95.16	9.58	0.64	1.44	5.5
ﾚﾀｽ	97.36	13.90	0.8	2.01	8.5
ｸﾞﾘﾝｱｽﾊﾟﾗ	94.33	7.80	0.78	1.99	14.7
ﾎｳﾚﾝ草	95.07	28.69	1.16	2.87	13.9
ﾎﾃｲｱｵｲ	94.67	15.12	0.84	1.69	12.2
ｳｫｰﾀｰﾚﾀｽ	95.2	18.14	0.85	1.16	7.3

◎水草のｻﾝﾌﾟﾙはRUN2終了後採取、野菜は市販のものを使用した。

L·hrと速い速度であり、概ね12時間で流入水中の窒素はほぼ全量除去できる計算となる。昼夜を含めれば滞留時間1日で通常の生活排水処理水中の窒素分は除去できることになり、充分実用可能な数字である。例えば4人家族の一日使用水量は約1m³であるので、夏期においては7m²(深さ15cmとして)のｳｫｰﾀｰﾚﾀｽ繁殖池を経由すれば、二次処理で除去できなかった窒素・リンの大部分を除去できることとなる。この面積は1戸建ての場合、敷地境界部にぐるりと水路を設置すれば確保できる程度の面積である。植物による栄養塩除去は『ないよりましの技術』と云われることがあるが、夏期以外には水温を確保する手立てがあれば、この方法は実用化に近い位置にあるといえるのではないか。

5．まとめ

ｳｫｰﾀｰﾚﾀｽとﾎﾃｲｱｵｲを用い、液肥及び合併浄化槽処理水の環境下で比増殖速度・増殖量、栄養塩除去特性や植物体組成等を検討した結果、以下のことがわかった。

(1)ｳｫｰﾀｰﾚﾀｽの比増殖速度はﾎﾃｲｱｵｲと同等以上であり極めて速い成長を示した。

(2)ｳｫｰﾀｰﾚﾀｽ・ﾎﾃｲｱｵｲ共無機態窒素として硝酸態窒素とｱﾝﾓﾆｱ態窒素が共存する場合、必ずｱﾝﾓﾆｱ態窒素を優先して除去した。

(3)ｳｫｰﾀｰﾚﾀｽの個体重量は盛夏に向かうに従って増加したが、最大でも100～300gWet/個体の範囲であり、回収に手ごろな大きさであることがわかった。

(4)ｳｫｰﾀｰﾚﾀｽの植物体はｱﾐﾉ酸・粗繊維・リンなどの有効成分を多く含んでおり、有効利用の可能性が高い。また藻類の繁殖を抑制する物質を分泌するように観察された。

(5)夏期の屋外実験では、合併処理浄化槽中の窒素は概ね滞留時間1日で80%以上の除去が可能であり、水温を維持できれば高度処理として十分に装置化できる可能性をもっている。

(注記)本研究中、植物体のｱﾐﾉ酸･リン分析は本高専物質工学科林助手の協力によるものである。また屋外実験の各測定は、当高専専攻科環境工学ｺｰｽ学生臼田君・大島君を始めとする学生諸君の協力を得た。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

沖　陽子(1980):水生雑草ホテイアオイをめぐる諸問題、農業技術、Vol.35,pp495-501

青山　勲(1982):水生生物を利用した水質改善、用水と排水、Vol.24,No.1 pp87-94

Reddy,K.R. and DeBusk,T.A.(1987):State-of-the-art utilization of aquatic plants in water pollution control, *Wat.Sci.Tech.* Vol.19,No.10,pp61-79

茨城県(1988):水生生物（ホテイアオイ）による水質浄化マニュアル

本村　輝正(1988):ホテイアオイの飼料化(1)～(11)《連載講座》,畜産の研究,Vol.42,No.1-No.11

大庭　栄次、青井　透(1995):水草(ｳｫｰﾀｰﾚﾀｽ)を用いた合併浄化槽処理水からのＮ，Ｐ除去、第32回下水道研究発表会講演集、pp646-648

Aoi.T. and Ohba,E.(1995):Rates of nutrient removal and growth of the Water Lettuce [*Pistia stratiotes*]. *6th International Conference on the Conservation and Management of Lakes-Kasumigaura'95*(now printing)