

加温ハウス養鰻における汚濁負荷量

中嶋康生*¹・服部宗明*²Estimation of pollution loading from eel culture
NAKASHIMA Yasuo*¹ and HATTORI Muneaki*²

Abstract

In order to estimate the pollution loading from eel culture in greenhouse, two eel culture ponds in Aichi prefecture in Japan were investigated.

Pollution loading of total nitrogen and phosphate from the ponds were calculated 48.5 kg-N/ton-growth and 12.1kg-P/ton-growth. Total nitrogen was removed only several percent by the settling tank which was arranged in the recirculating eel culture system, but total phosphate was removed over 50%. The maximum concentration of total nitrogen and phosphate in the recirculating eel culture system showed 115.7mg/l and 30.8mg/l.

Pollution loading of total nitrogen and phosphate from eel culture in Aichi prefecture were estimated to be 100 thousand and 500 thousand population, as population equivalent respectively.

キーワード；ウナギ、養殖排水、汚濁負荷量、負荷原単位

近年、環境問題は世界的なテーマとなっており、我が国においても様々な取り組みがなされている。このような中で、魚介類養殖業、特に内水面養殖業においては、河川水や地下水を利用する立場から、ともすれば工場等の汚濁排水による被害者的な意識が大きかったが、環境問題に対する社会的な関心の高まりとともに内水面養殖業の排水についても、適切な排水処理を行うことが求められる。

愛知県の養殖ウナギ生産量は国内生産量（平成9年24,171トン）の約1/3（平成9年7,704トン）を占めており、本県主要水産業の1つである。県内業者の養殖形態を把握するため平成5年度に調査したところ、ほとんどは加温設備を備えた温室、いわゆる加温ハウスでウナギ養殖を行っており、全業者数256件のうち約40%の業者が池に沈殿槽（以下循環式沈殿槽とする）を備え、飼育水を循環処理していた。また、全業者の約7%は個々の池からの養殖排水を一旦貯留する終末沈殿池を備えていた。飼育用水は主に河川水を利用し、飼育水量の数%を

1～3日毎に換水している。したがって、飼育水量の数%を終末沈殿池または悪水路に排出している。''

加温ハウス養鰻はこのような形態で行われているが、循環式沈殿槽の処理能力や排出水の汚濁負荷量は把握されていない。そこで、養殖主産地である愛知県一色地区の中規模養殖業者をモデルとして加温ハウス養鰻における排出汚濁負荷量の把握を試みた。

材料と方法

調査は、愛知県幡豆郡一色地区で一般的な養殖形態の2養殖業者を対象とし、各々業者の加温ハウス池（F池、T池）の2池について行った。調査対象池の概要を図及び表1、2に示した。調査期間は両池へウナギを放養してからその全個体を取上げ（出荷）するまでの期間とし、F池は1995年5月28日から9月12日までの107日間、T池は1995年4月25日から9月25日までの153日間であった。換水は両池とも午前10時頃から20分間の排水を行い、飼育水の減少分は河川水を注水していた。排水の水

*1 愛知県水産試験場内水面漁業研究所

(Freshwater Resources Research Center, Aichi Fisheries Research Institute, Isshiki, Hazu, Aichi 444-0425, Japan)

*2 愛知県栽培漁業協会

(Aichi Fish farming Institute, Atumi, Aichi 444-3615, Japan)

質は、排水開始時と終了時の間（20分間）に3～5回採水しこれらを各等量に混合したものを測定した。注水（河川水）の水質は、注水開始から数分後に採水して測定した。なお、排水量と注水量は同量とした。

両池に併設してある循環式沈殿槽内の堆積物は試験期間中にF池で6回、T池で9回回収し総量を測定した。また、回収した堆積物は良く攪拌し、一部を採取して分析に供した。

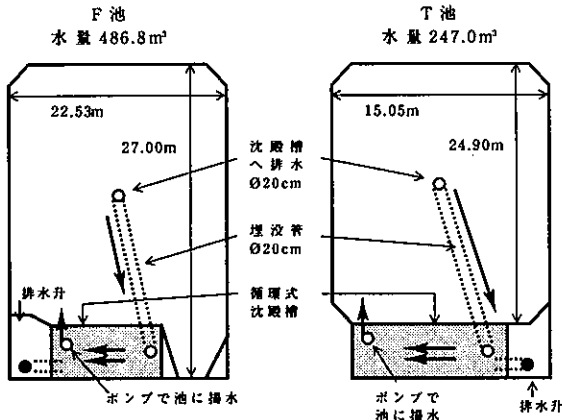


図 F池、T池の模式図（図中●は排水採水点）

注排水及び堆積物の分析項目は、COD（JIS K 0102 19）、BOD（JIS K0102 21）、NH4-N（インドフェノール法）、NO2-N（JIS K0102 43.1.1）、NO3-N（JIS K0102 43.2.4）、TN（ケルダール分解法）、PO4-P（JIS K0102 46.1.2）、TP（過塩素酸分解法）及び湿重量・乾重量・強熱減量²⁾であり、また、汚濁負荷量の算定方法は以下の計算式に従った。一般に「負荷原単位」とは飼育魚単位重量当たりの、例えばTNやTPの排出量で表すが、ここでは調査期間中の単位増重量当たりの負荷量で表すこととした。

ウナギ単位増重量当たりの排水負荷原単位 = A / B

$$\begin{aligned}
 & A : \text{総排水負荷量}, B : \text{ウナギの補正増重量} \\
 & \text{総排水負荷量}(A) \\
 & = |\text{換水1回目の排水濃度} \times \text{換水1回目の排水量}| \\
 & + |\text{換水2回目の排水濃度} \times \text{換水2回目の排水量}| \\
 & + |\text{換水X回目の排水濃度} \times \text{換水X回目の排水量}| \\
 & + |\text{取上げ時の排水濃度} \times \text{飼育池と循環式沈殿槽の水量}| \\
 & - |\text{換水1回目の注水濃度} \times \text{換水1回目の注水量}| \\
 & - |\text{換水2回目の注水濃度} \times \text{換水2回目の注水量}| \\
 & - |\text{換水X回目の注水濃度} \times \text{換水X回目の注水量}|
 \end{aligned}$$

- |注水濃度（放棄時）×飼育池と循環式沈殿槽の水量|

ウナギの補正増重量(B) = (C + D) - E

C : 取上げ時のウナギ現物重量

D : へい死と途中出荷のウナギ現物重量

E : 池入れ時のウナギ現物重量

表1 F池及びT池の面積と構造

項目	F池	T池
構造	側面 底面	コンクリート 土
水面面積 (m ²)	590	361
平均水深 (m)	0.83	0.69
水量 (m ³)	486.8	247.0
水車	2馬力×4	1馬力×4
飼育用水	河川水	河川水
平均換水率 (%/日)	2.7	7.3

表2 F池及びT池の循環式沈殿槽の面積と構造

項目	F池	T池
構造	コンクリート	コンクリート
水面面積 (m ²)	8.36	23.3
平均水深 (m)	0.85	0.35
水量 (m ³)	6.96	8.19
表面負荷率 (cm/分)	16.5	3.6
飼育水回転率(回/日)	4.1	4.9

結 果

F池及びT池の飼育結果を表3に示した。F池、T池とも試験期間中に魚病や事故等による大量斃死もなく飼育は順調であった。また、餌料効率、増肉係数とも正常の範囲内であった。

ウナギ単位増重量当たりの排水に含まれるCOD、BOD、N、Pの負荷原単位を表4に示した。COD、BODの負荷原単位は両池に差があったがTN、TPに関しては差が小さく、両池の負荷原単位の平均値はそれぞれ48.5kg-N/トン増重、12.1kg-P/トン増重であった。取上げ時の排水の濃度の平均はTN、TPで115.7mg/l、30.8mg/lであり、そのほとんどを溶存態が占めていた（表5）。

循環式沈殿槽で除去された堆積物の性状を表6に、ウナギ単位増重量当たりの堆積物の負荷原単位を表7に示した。除去堆積物の強熱減率は30%以下であり除去堆積物の70%強を無機物が占めていた。循環式沈殿槽のTN除去率は僅か5%弱であったが、TPの除去率は50%を上回っていた。

表3 飼育結果

項目	F池	T池
飼育期間(日)	108	154
放養重量(kg)	1,274	516
放養時飼育密度(%)	0.3	0.2
放養時平均体重(g)	50.4	32.3
斃死+途中出荷重量(kg)	1,777	90.7
取上げ重量(kg)	3,644	3,562
取上げ時飼育密度(%)	0.7	1.4
取上げ時平均体重(g)	228.4	236.4
補正増重量(kg)*	4,147	3,136
給餌量(kg)	5,145	3,850
補正餌料効率(%)	80.6	81.5
増肉係数	1.24	1.22

*補正増重量=(へい死+途中出荷重量)-池入れ重量

表5 F池及びT池の飼育水の水質(取上げ時)

項目	F池	T池	平均値
TIN(mg/l)	133.8	116.8	125.3
TN(mg/l)	123.2	108.1	115.7
PO ₄ -P(mg/l)	28.9	32.8	30.9
TP(mg/l)	28.6	32.9	30.8

表6 循環式沈殿槽において除去された堆積物の総量および性状

項目	F池	T池	平均値
容量(m ³)	5.48	3.93	4.71
湿重量(kg)	6,319	4,459	5,389
乾重量(kg)	1,341	256	799
強熱減量(kg)	191	101	146
強熱減率(%)	14.2	39.5	26.9
TN(kg)	9.72	6.79	8.23
TP(kg)	50.2	58.6	54.4

考 察

現在のところ、養魚による汚濁負荷が環境水に与える影響度の評価がなされていないため、特定事業場の排水に適用される一律排水基準や水質総量規制制度の適用を受けていない。特定事業場とは、水質汚濁防止法の規制対象となる事業場であり、ある程度以上の有害性物質やBOD、COD発現物質を含む汚水を排出し、生活環境への被害を生じるおそれのあるものを指す。水質総量規制制度とは、特定事業場からの排水の濃度規制のみでは、水質環境基準の達成が困難な閉鎖性水域の水質汚濁に係のある地域の汚濁負荷量の削減を目的とした制度である。したがって、養殖場からの負荷が環境水に与える影響が大きい場合には、今後これら規制の適用を受けることになる。

そこで、愛知県一色地区の一般的な加温ハウス池をモデルに環境への影響度を試算した。まず、ウナギ養殖場から環境へ直接負荷される排水についてみると、取上げ時の排水の濃度は高く、TNは平均115.7mg/l、TPは30.8

表4 F池及びT池のウナギ単位増重量当たりの負荷原単位

項目	F池		T池		平均値
	総排水 負荷量	負荷 原単位	総排水 負荷量	負荷 原単位	負荷 原単位
	kg	kg/ト ン増重	kg	kg/ト ン増重	kg/ト ン増重
COD	14.2	3.42	25.9	8.26	5.84
BOD	14.8	3.57	15.1	4.82	4.20
TIN	217.7	52.5	164.7	52.5	52.5
TN	186.9	45.1	162.6	51.8	48.5
PO ₄ -P	43.3	10.4	49.3	15.7	13.1
TP	38.7	9.34	46.7	14.9	12.1

表7 循環式沈殿槽において除去された堆積物のウナギ単位増重量当たりの負荷原単位(補正増重量:F池=4.147ト、T池=3.136ト)

項目	F池	T池	平均値
湿重量 (kg/ト-増重)	1,524	1,422	1,473
乾重量 (kg/ト-増重)	323.4	81.6	202
強熱減量 (kg/ト-増重)	46.1	32.2	39.2
TN (kg/ト-増重)	2.34 (4.9*)	2.17 (4.0*)	2.26 (4.5*)
TP (kg/ト-増重)	12.1 (56.4*)	18.7 (55.7*)	15.4 (56.1*)

*循環式沈殿槽による除去率(%)

mg/lであり、特定施設の排水に適用される一律排水基準(TN日最大120mg/l、TP日最大16mg/l)にTNが近くTPは2倍程度であった。なお、水質測定値でTINがTNを、PO₄-PがTPを上回っている。これは採水と分析誤差(測定時希釈率50~100倍)によるものと考えられた。

次に、対象とした2池のTN、TPの負荷原単位を基に愛知県内のウナギ養殖による汚濁負荷量を人口当量³⁾で表してみた(表8)。その結果、TNでは101千人、TPでは505千人に相当することが分かった。また、水稻栽培1ha当たりの化学肥料施肥量から水稻栽培面積に換算するとTNで3,726ha/年、TPで4,800ha/年に相当する。⁴⁾このため、上述した規制の適用を受ける可能性は十分にあり、ウナギ養殖業存続のためには養殖排水対策が急務であると考えられた。

愛知県のウナギ養殖は郊外で行われており、養殖池の周りに水田が散在する。下水道等の分野では処理水を用いた水稻の無施肥栽培も試みられており、⁴⁾水田の施肥量の軽減、水資源の有効利用の面からも今後のウナギ飼

表8 愛知県のウナギ養殖業による汚濁負荷量及びその人口当量
(愛知県の養殖ウナギ生産量
…8,728トン：H7～H9年の平均値)

項目	TN	TP
単位増重当たりの排水負荷量(kg/トン増重)	48.5	12.1
単位増重当たりの堆積物負荷量(kg/トン増重)	2.26	15.4
単位増重当たりの総負荷量(kg/トン増重)	50.8	27.5
汚濁負荷量(トン/年)	443.4*	240.0
人口当量(千人)**	101.2***	505.8

* 50.8kg-N/トン増重×9,265トン/年=470.7トン-N/年

** 人の原単位：TN=12g-N/人・日 TP=1.3g-N/人・日

***443.4トン-N/年/(365日/年×12g-N/人・日)=101.2千人

育水利用の展開が望まれる。

また、今回の調査では池併設の循環式沈殿槽の除去率を求めた。2池の沈殿槽の構造等は異なっていたが、TN、TPの除去率はほぼ同様であり、TNの除去率は数%であったのに対しTPは除去率50%強であった。ウナギ養殖からの廃棄物として養殖排水以外に汚泥が発生するが、これら汚泥のほとんどは養殖池の客土に由来し、汚泥の性状は無機物に近い。そのため汚泥処理の主流となっているコンポスト化法では汚泥のC/N比が低く十分な発酵が得られない。⁵⁾ その解決策として、廃油や糠など他の廃棄物を汚泥に混合しコンポスト化するか、そのまま土壌改良剤として用いる等の方法が考えられるが、凝集剤や濾材の利用により循環式沈殿槽で除去される汚泥のC/N比を上げ、一方では排水負荷量を低減させる方法も考えられる。

今後、ウナギ養殖業存続と環境保全の意識向上のためにも低負荷型の養殖技術開発を行っていかねばならない。その方策として、排水量を少なくする「閉鎖循環式養殖技術」の開発、^{6,7)} 水生植物や雑食性魚類を利用した排水の有効利用^{8,9)} など多方面からの検討が必要であると考えられる。

謝 辞

本稿を御校閲いただくとともに有益な御助言を賜った宮崎大学工学部の丸山俊朗教授に深謝いたします。また、本調査を快く承諾し協力をいただいた養鰻業者の深見昭浩氏、田中三千雄氏に感謝の意を表します。なお、共著者であり、平成5～8年度内水面漁業研究所に在籍し、ウナギ養殖技術の向上やアユ放流技術の確立など多くの業績を残されました服部宗明氏は平成10年6月21日に不慮の事故で亡くなりました。服部氏の御冥福を心からお祈り申し上げます。

文 献

- 1) 愛知県水産試験場(1994)平成6年度魚類養殖対策調査委託事業(養魚堆積物適正処理技術開発事業)報告書. 愛知水試研究業績C-14, pp31.
- 2) 環境庁水質保全局水質管理課編(1996)底質調査法とその解説. 改訂版, 日本環境測定分析協会査東京査, pp175.
- 3) 亀田泰武・渡部春樹・金井重夫・野村充伸(1996)下水処理と水環境. 山海堂, 東京, 50-52.
- 4) 國松孝男(1982)土壌生態系による水質保全(I)再生水の水田利用. 用水と排水, 24(1), 39-48.
- 5) 愛知県水産試験場(1997)平成8年度魚類養殖対策調査委託事業(養魚堆積物適正処理技術開発事業)報告書. 愛知水試研究業績C-43, pp24.
- 6) 丸山俊朗・鈴木祥広(1998)養魚排水の現状と水域への負荷-クロズド化への展望-. 日本水産学会誌, 64(2), 216-226.
- 7) 水産庁栽培養殖課(1998)環境創出型養殖技術の開発(海を汚さないシステムの開発). 養殖, 5, 38-40.
- 8) 矢田敏晃(1989)ティラピア養殖における餌料としての植物プランクトン利用に関する研究. 大阪淡水試研報, 10, 1-120.
- 9) 青山 勲(1982)水生植物を利用した水質改善. 用水と排水, 24(1), 87-94.