

(27) 阿武隈川の富栄養化に及ぼす養魚池の影響に関する研究

EFFECT OF EFFLUENTS FROM FISH BREEDING PONDS ON EUTROPHICATION OF THE ABUKUMA RIVER

中村玄正^{*}・高橋幸彦^{**}・成田大介^{**}・松本順一郎^{*}

Michimasa Nakamura^{*}, Yukihiko Takahashi^{**}, Daisuke Narita^{**}, Jun'ichiro Matsumoto^{*}

ABSTRACT:

There has been remarkable improvement of water pollution conditions of these days, compared to that of the nineteen-seventies. But from the view point of water usage, especially for drinking water, the eutrophication is still a major problem in rivers and lakes. One of the major reason of eutrophication to occur is the excessive loading of nutrients and organic substances to the water body by industrial wastewater and/or household discharge where sewage treatment systems are not sufficient.

The Abukuma River is a very important water resource for use such as drinking water, industrial water, waterpower generation and agriculture in Fukushima prefecture. The water quality of river has been deteriorating and resulting in problems such as water pollution, increasing eutrophication and decreasing of water clarity.

At present, the average concentration of algae flowing into the Abukuma river locality is about $28 \mu\text{g/l}$. The reason of this high algae concentration was investigated. A number of effluent samples from ponds which are situated within the river basin are regularly examined.

In this report we studied the effect of effluents from fish breeding ponds on eutrophication of the Abukuma river. We want to propose the ways to improve the water qualities and to keep good condition of the Abukuma river as water resources.

KEYWORDS; eutrophication phenomena, algae, ponds, The Abukuma river

1. はじめに

福島県中通り地方を北に貫流する阿武隈川は中通り地方の重要な水資源である¹⁾。本川は那須連峰旭岳にその源を発して山間の溪流では極めて清流であるが、平野部に流下するとともに、各種産業排水や下水道未整備に起因する生活雑排水などの流入の影響により、都市河川の様相を帯びる傾向がある。行政指導や企業努力により昭和40年代の典型的な水質汚濁問題は解消されてきているが、現在でも環境基準が達成されていないときがある^{2), 3)}。郡山市付近の阿武隈川でも、水は年間を通じて晴天時は緑色降水時は茶褐色を呈し、透視度も高くなく、市民が親しみを感ずる川とは程遠い状況にある。

さらに昭和45年頃から⁴⁾、阿武隈川を水道水源とする福島市渡利浄水場の給水地域では夏季低水時に市民から異臭味の苦情が出るようになっており、富栄養化現象の見られる典型的な河川である。水相が緑色の濁りを呈する阿武隈川水系の支流の一つである笹原川、南川の流域は下水道が未整備であり、養豚場などの畜舎が見られると共に、鯉の養殖池が散在している。その結果、これらの支川を流下する水はBOD、窒素、りん濃度が高く有機物や藻類をかなり含有している。

本研究は阿武隈川の水質とその問題点を河川の富栄養化の観点から明らかにしようとするものであり、水質特性を把握するとともに養魚池に起因する藻類の現存量と流出が阿武隈川本川の水質にどの程度影響を及ぼしているかについて検討した結果を報告するものである。

2. 阿武隈川、笹原川、南川の水質状況

2.1 調査地点

調査対象流域は図-1に示すように、阿武隈川の支川である福島県郡山市内の笹原川、南川流域で

^{*} 日本大学工学部 College of Engineering, Nihon University

^{**} 日本大学大学院 Graduate Course, College of Engineering, Nihon University

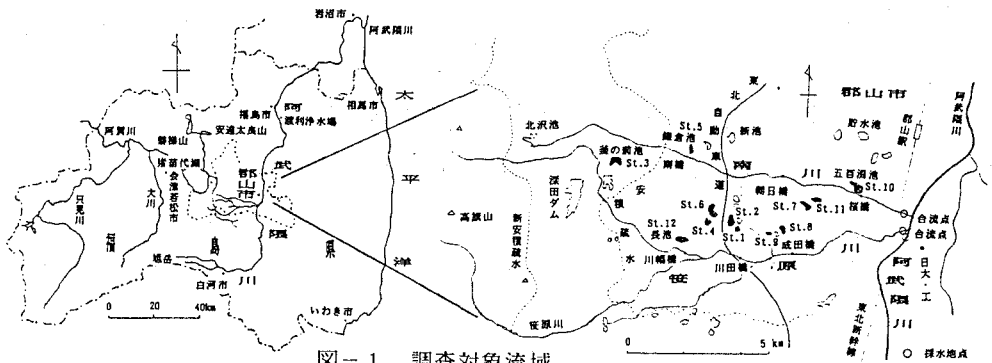


図-1 調査対象流域

ある⁵⁾。笹原川は奥羽山脈南端部高旗山(郡山市)に源を発し、市内田園地帯-住宅地域を流下したのち本川に合流する河川延長21.0km、流域面積79.2km²の一級河川である。また南川は、高旗山北部三森峠下(郡山市)北沢池に源を発し、田園地帯-集落地域-住宅地域を流下し本川に合流する河川延長14.8km、流域面積14.4km²の一級河川である。両河川の流域内には、かつて灌がい用に使用された溜池が多数存在する。

阿武隈川は全国有数の河川であるが、年間の透視度は低く清澄さに欠け、市民は親しさを感じにくいのが実状である。このような阿武隈川の水質特性とその問題点、さらに年間の傾向を明らかにすることを目的として、一連の水質状況調査を2年間、約130回にわたって行ってきた⁶⁾。この間、降雨時においてもほぼ定期的に採水作業を行っている。なお、水質特性を知るためのデータ整理に当たっては1994年2月末から1995年1月にかけて実施したものについて検討した。

2.2 水質分析

現場では水温、透視度の測定とDO固定及び試料の採水を行った。採水試料は実験室に持ち帰り、pH、ORP、DO、BOD、COD、7メチル性窒素、亜硝酸性窒素、硝酸性窒素、T-N、りん酸イオン、T-P、SS、VSS、ケイ酸について上水試験方法に準じて分析した⁷⁾。採水地点は3つの川の合流前とした。(図中○印)

2.3 調査結果と考察

図-2にBODの年間変化を示す。本川では年間を通じて最大9.3 mg/l、最小1.1 mg/l、平均3.7 mg/l(資料数 n=59、標準偏差 $\sigma=1.7$ mg/l)であった。この地点では環境基準はC類型、BODは5 mg/lが基準値であるが調査回数のうち23%が環境基準値を上回っていた。笹原川では年間を通じて最大28.7 mg/l、最小1.8 mg/l、平均9.1 mg/l(n=59、 $\sigma=4.6$ mg/l)であり、南川では年間を通じて最大50.2 mg/l、最小6.7 mg/l、平均20.2 mg/l(n=59、 $\sigma=9.0$ mg/l)であった。

図-3にSSの年間変化を示す。阿武隈川右岸側は花崗岩の風化したまき土が流出しやすい阿武隈高地である。本川での最大値222 mg/lは降水時の土砂分の流出によるものと考えられる。最小値は0.5 mg/l

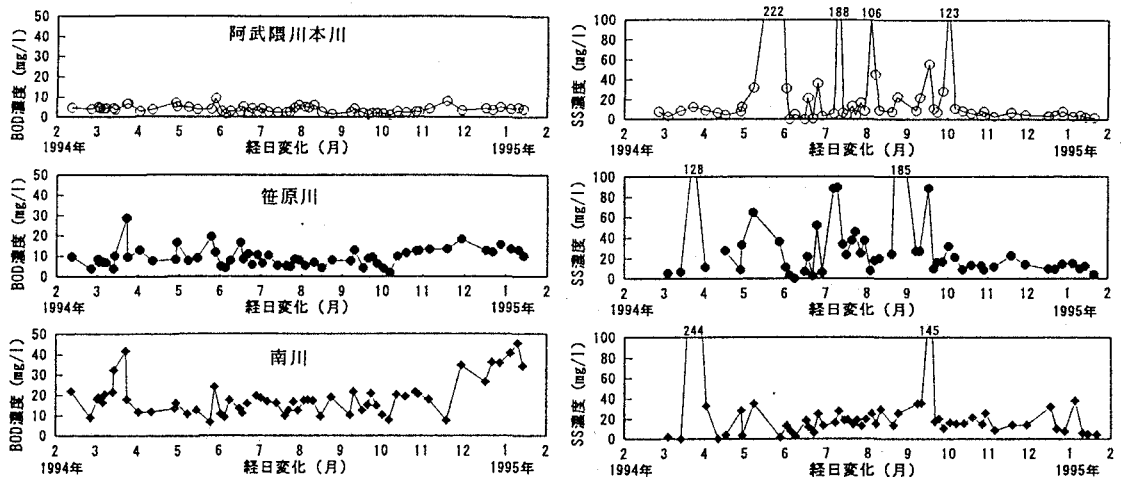


図-2 BODの年間変化

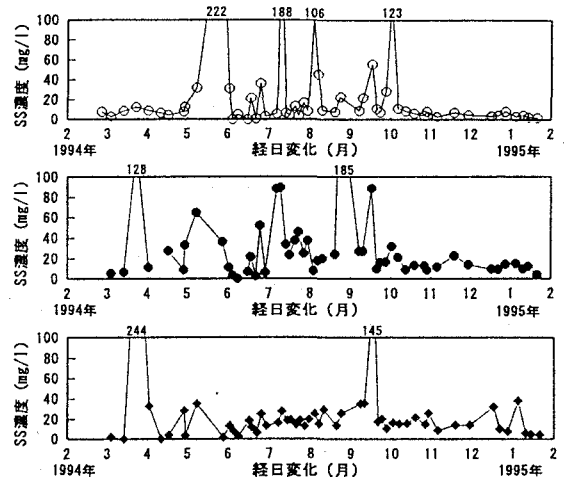


図-3 SSの年間変化

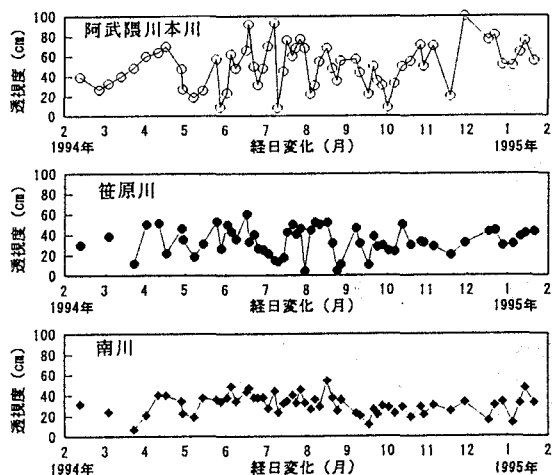


図-4 透視度の年間変化

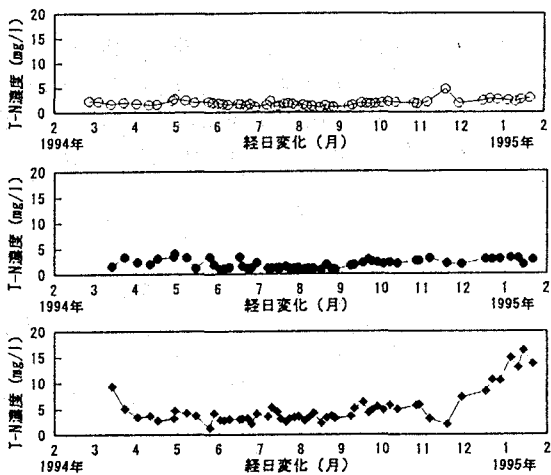


図-5 T-Nの年間変化

以下、平均値は22mg/l ($n=54$, $\sigma=43\text{mg/l}$)であった。笹原川では年間を通じて最大185 mg/l、最小0.5 mg/l以下、平均26.4mg/l ($n=52$, $\sigma=33.8\text{mg/l}$)であり、南川では最大244 mg/l、最小0.5mg/l以下、平均21.5mg/l ($n=53$, $\sigma=37.0\text{mg/l}$)であった。郡山市内を流れる阿武隈川は、降雨時は茶色の濁りがあり、晴天時には緑色を呈し澄明さに欠けるが、このようなSSの高い水質特性も原因して流域の人々にとっては身近さを感じにくい河川となっているのが現状である。

図-4に透視度の年間変化を示す。透視度は河川の清澄さの指標としてきわめて有効である。本川での最大値は100cm以上、最小値は8 cm、平均値は51.9cm ($n=60$, $\sigma=21.3\text{cm}$)であった。笹原川では年間を通じて最大62.2cm、最小4.3cm、平均34.9cm ($n=57$, $\sigma=12.9\text{cm}$)であり、南川では最大 54 cm、最小 6.5cm、平均31.0cm ($n=57$, $\sigma=9.7\text{cm}$)であり、両支川の方が本川に比較して透視度は低い。

図-5にT-Nの年間変化を示す。本川では年間を通じて最大4.7 mg/l、最小1.0 mg/l、平均1.9mg/l ($n=54$, $\sigma=0.6\text{mg/l}$)であった。笹原川では年間を通じて最大3.9 mg/l、最小0.8 mg/l、平均2.0mg/l ($n=54$, $\sigma=0.8\text{mg/l}$)であり、南川では年間を通じて最大16.2 mg/l、最小1.3 mg/l、平均5.4mg/l ($n=54$, $\sigma=3.3\text{mg/l}$)であり、何れも富栄養化の一つの基準とされている0.15mg/lをはるかに越えている。

図-6にT-Pの年間変化を示す。本川では年間を通じて最大0.4 mg/l、最小0.01mg/l以下、平均0.03 mg/l ($n=56$, $\sigma=0.06\text{mg/l}$)であった。笹原川では最大2.5 mg/l、最小0.01 mg/l以下、平均0.6 mg/l ($n=55$, $\sigma=0.70\text{mg/l}$)であり、南川では最大1.9 mg/l、最小0.01mg/l以下、平均0.4mg/l ($n=55$, $\sigma=0.47\text{mg/l}$)であり、T-N 同様、富栄養化の一つの基準とされている0.02mg/lをはるかに越えている。

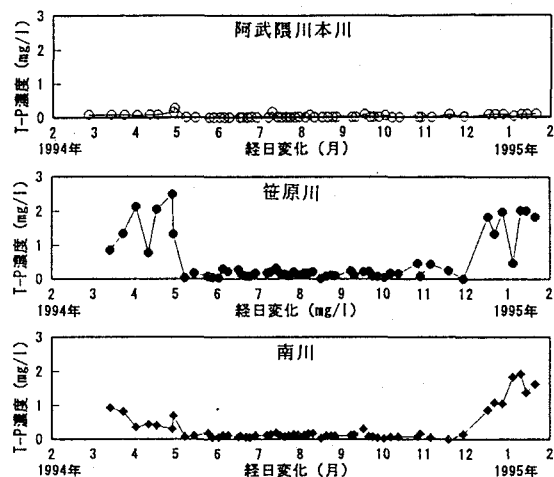


図-6 T-Pの年間変化

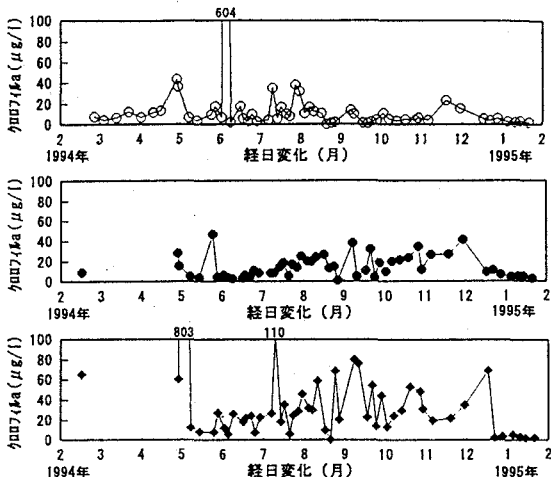


図-7 クロロフィル aの年間変化

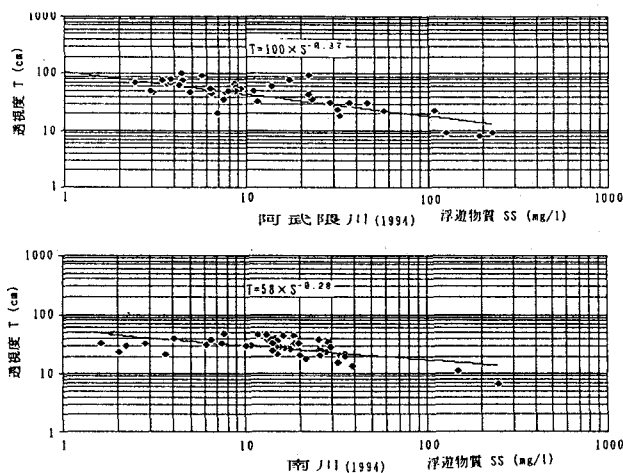


図-8 SS濃度と透視度の関係

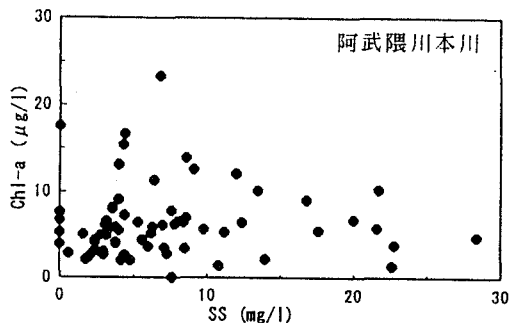


図-9 クロロフィルaとSSの相関

図-7にクロロフィルaの年間変化を示す。本川では年間を通じて降水時の最大 $604 \mu\text{g/l}$ 、最小 $0.1 \mu\text{g/l}$ 以下、平均 $20.2 \mu\text{g/l}$ ($n=58$, $\sigma = 8.6 \mu\text{g/l}$) であった。笹原川では最大 $46.5 \mu\text{g/l}$ 最小 $1.1 \mu\text{g/l}$ 平均 $14.5 \mu\text{g/l}$ ($n=52$, $\sigma = 1.9 \mu\text{g/l}$) あり、南川では最大 $803 \mu\text{g/l}$ 最小 $0.1 \mu\text{g/l}$ 以下、平均 $28.2 \mu\text{g/l}$ ($n=51$, $\sigma = 111.0 \mu\text{g/l}$) であった。なお、降水時にクロロフィルa濃度が高くなることしばしば見られているが、これは池の浮上藻類が降水による池の流量増大時に越流流出しやすくなっているものと考えられた。

図-8にSS濃度と透視度の関係を示す。本川と笹原川ではかなり似たような傾向が示されているが、南川はことにSS濃度が低くても透視度が低い傾向が見られている。これは南川には富栄養化の進んだ池からの藻類の流出による緑色の色相があり、このために透視度が低下しているものと判断された。

図-9にクロロフィルaとSSの相関図を示す。この図よりSS濃度に関係せず、常時数 $\mu\text{g/l}$ 以上のクロロフィルaが存在していることがわかる。年間を通じて、阿武隈山系では、降水時に伴うまき土流出がSS高濃度につながり全体的にクロロフィルa/SS = $0.0001 \sim 0.002$ の範囲となる。また低水時には、SSが低濃度になるためクロロフィルa/SS = $0.001 \sim 0.003$ の範囲となってSS中に含有するクロロフィルaの割合が高くなっていることがわかる。

3. 鯉の養殖池と河川水質への影響

3.1 対象流域の状況

福島県中通り地方(福島市1961-1990)は年間降水量が1066mm程度であり、香川県(高松市1961-1990)の1147mmよりも少ない⁹⁾。郡山市内には、灌がい用に使用するために江戸時代に築造された溜池が多数存在する。明治15年の安積疏水の完成に伴い猪苗代湖の豊富な水が供給されることが可能となって、灌がい用溜池は不要になり、多くは鯉の漁業養殖池として利用されるようになった。現在、郡山市には29の鯉養殖池(総水面積95.9ha)がある。「郡山特産の鯉」生産計画では平成6年1月から平成10年12月の5年間に毎年1,400ton、4億4,000万円を目標としている⁹⁾。福島県の年度別生産量は表-1の通りである。郡山市内の南川流域内では鯉養殖池は2池であるが、笹原川流域内には、16池が鯉養殖池として活用されている。図-10に調査した市内の池の貯水量と養魚トン数を示す。

表-1 福島県の年度別生産量

年次	生産量(t)
昭和63年	1,808
平成元年	1,768
平成2年	1,520
平成3年	1,490
平成4年	1,448

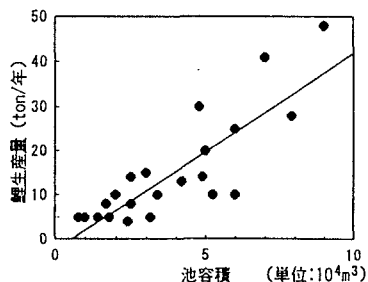


図-10 郡山市内の池の貯水量と養魚トン数

鯉の養殖池からの流出水が支川の水質に及ぼす影響を調べるために図-1の調査地点で一連の調査を行った。調査は天候が安定し、水田の水利用がなく、流況の安定した1994年10月末から11月に実施した。調査時の水温は、16.5～20.1℃の範囲であった。

3.2 結果と考察

(1) 鯉の養殖

阿武隈川流域（福島県中通り地方）郡山周辺での鯉の養殖は溜池で安積疏水を利用して行われているところが多い。鯉は日本においては古くから食用として親しまれている。水温の高低などに対して抵抗力が強く、商品価値もあることから、養殖魚として適している。鯉の生育できる水温は、0～35℃と非常に広範囲であり適水温は20～30℃であるといわれている。商品として販売価値のある食用鯉の成魚は約1～2kg前後であり、この大きさに養殖するためには2～3年を要する。餌は、数グラムの稚魚の頃はグランプルといわれる配合飼料、100g～200gの鯉に成長するとペレットといわれる配合飼料を投与する。他に飼料としては養蚕（カイコ）油粕、大豆油粕、肉粉、肉骨粉、フェザーミール、米ぬか、白酒ぬか等も使われているようである¹⁰⁾。一般に郡山地方での鯉の養殖では、鯉1kg当り1年間に1.7kgの配合飼料を投与して養魚することを慣例としているようである。表-2に鯉配合飼料の組成を示す。

表-2 鯉用配合飼料の組成

	稚魚用	成魚用
飼料形態	グランプル、ペレット	ペレット、うきえ
粗タンパク質	42～46 以上	30～40 以上
粗脂肪	3 以上	1.5～10 以上
粗繊維	2.5～5 以下	3～6 以下
粗灰分	15～19 以下	13～15 以下
カルシウム	1.6～3.3 以上	0.8～1.6 以上
りん	1.2～2.2 以上	0.9～1.5 以上

(2) 鯉の養殖と水質の試算

図-10や飼料の組成をもとに流出水の水質を試算する。すなわち、これらの資料をもとに代表的な池として貯水量50,000m³、年間生産量20ton、成分のT-N 5.6%、T-P 1.2%とする。このような条件下で、池の水理学的滞留時間HRTを10日から100日とし、投餌量を鯉1kg当り1.0kgから2kg（基準は1.7kg餌/1kg鯉）の範囲に変化させた場合について池流出水のT-N、T-P濃度を求めたものが図-11、図-12である

$$CT-N, T-P = \frac{\text{年間生産鯉量} \times (\text{投餌倍数} - 1) \times \text{栄養塩含有率}}{365 \times \text{池容量} / \text{HRT}} \quad (1)$$

ここに、CT-N、T-P：池流出水のT-NまたはT-P濃度 mg/l、池容量：m³、HRT：滞留日数：日
このように、流入水量や投餌量についてかなり条件が恵まれないかぎり、栄養塩類の蓄積、流出があることが推測される。また富栄養化を基準とした場合、相対的に窒素濃度に比し相対にりん濃度が高いことが推測された。

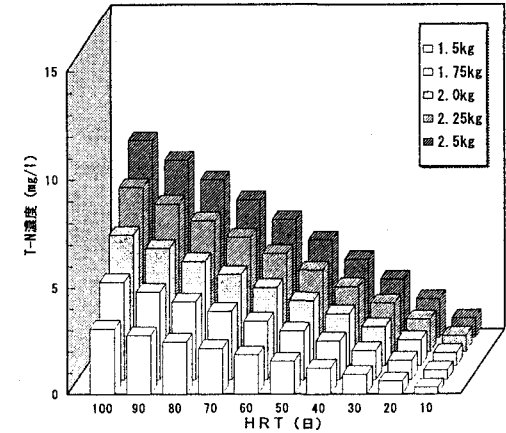


図-11 HRT、投餌量から試算した流出水のT-N濃度

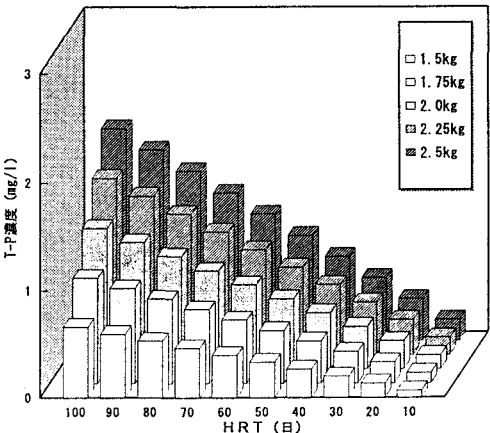


図-12 試算した流出水のT-P濃度

(3) 調査池の水質

鯉養殖池への流入水はほとんどの池で猪苗代湖からの安積疏水が利用されている。疏水の水質は極めて良好であり、窒素、りん、有機物濃度はほぼ測定限界値以下である。一方池では鯉の養殖のための配合飼料の投入がある。配合飼料や鯉の排泄物のため、池ではかなりの有機物や内部生産による藻類が存在するようになる。これら養魚池からの流出水が笹原川、南川に流入している。これらの河川に流出する鯉養殖池流出水中のBOD濃度は15.8～35.3mg/lの範囲であった。透視度は10cm以下であった。富栄養化の基準濃度は一般的にクロロフィルa年平均濃度が25 μ g/l以上であるとされているが^{11)・12)}、調査した池では94～520 μ g/lの範囲にあった。また、藻類の代謝の結果と考えられるpH値は7～10の範囲であった。池内の藻類を顕微鏡で観察した結果、主に藍藻類のMicrocystisであることが確認されている⁷⁾。南川流域の五百淵池においては毎年夏季に藍藻類の異常増殖の結果の「アオコ」が見られ、しばしば池周辺で異臭が感じられる。しかし、5月、6月頃には「アオコ」が発生しても必ずしも異臭は伴わず、「アオコ」の増殖と死滅の履歴、その環境条件、腐敗と異臭についてはなお今後の課題であろう。

図-13に調査した池のHRTと池流出水のT-N濃度、T-P濃度およびクロロフィルa濃度との関係を示す。調査した池のHRTは9～57日の範囲にあり、池流出水のT-N濃度は2mg/lから10mg/l、T-P濃度は0.05mg/lから0.35mg/l、クロロフィルa濃度は70 μ g/lから500 μ g/lの範囲であり、富栄養化が進んでいることがわかる。また、調査結果では、池のHRTと池流出水のT-N濃度、T-P濃度およびクロロフィルa濃度との間には必ずしも一定の傾向は見られてはいないがこれは生産者による飼料の種類や投餌量の相違、秋という季節的条件、流入(出)水量の問題に起因しよう。なお、りん濃度が試算値に比較して実測値はかなり低いこれは直接流出する量に対し、底質などに蓄積される量が多いものと考えられた。

池内に十分な窒素とりんが存在しても滞留時間が藻類の増殖に要する時間よりも短ければ、藻類の代表量であるクロロフィルaは低い値を示すと考えられる。Microcystisの比増殖速度は、水温、照度その他の要因で変化するが、水温が20℃前後で0.1day⁻¹であるので、増殖には滞留時間が10日以上必要であると考えられる。藻類の存在量と滞留時間の関係は必ずしも一定傾向を示していないが、これは投与配合飼料量の与え方による影響もあると考えられる。

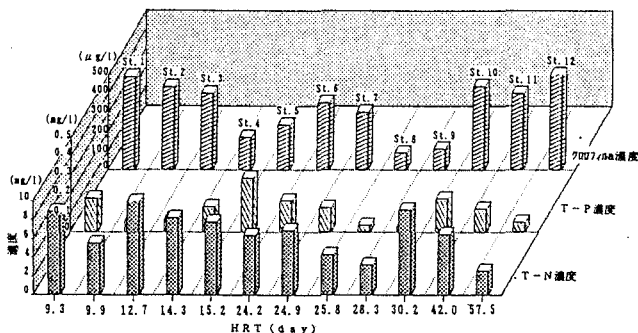


図-13 池のHRTと池流出水のT-N、T-P濃度およびクロロフィルa濃度の関係

(4) 阿武隈川を水道水源とした浄水場給水の異臭味の発生について

昭和45年7月下旬から8月初旬にかけて福島市に臭い水道水騒ぎが持ち上がった。図-14に異臭味問題の発生した当時(昭和45年7月から9月)の阿武隈川の建設省福島流量観測地点の日平均流量を示す。記録によると、7月17日から18日にかけてその年4位の水量217.27m³/sec(最大水量569.24m³/sec、豊水量49.41m³/sec)が見られたのち6日後に渇水量19.43m³/sec以下の15.83m³/sec、続いて最小水量15.52m³/secが見られている。これはもし藻類が池に存在していたとすると、増水時の藻類の池よりの河川への流出および先行付着藻類の剝離流出が見られ、これらの藻類が低水状態での濃度の蓄積の可能性を示唆しているものと考えられる。

図-15は福島県内における鯉の生産量の経年変化を示す。県内の鯉の生産は昭和35年頃から大きく増加し、一時的に減ってはいるが昭和45年(1970年)には約800tonが生産されている。このような池での鯉の生産は藻類の負荷発生をもたらしていたものと考えられる。

表-3に阿武隈川および笹原川、南川合流地点の低水時における水質状況を示す。笹原川、南川流域は下水道未整備部分が多く、生活雑排水などの流入のために都市河川の傾向を示し、BOD、窒素、りん

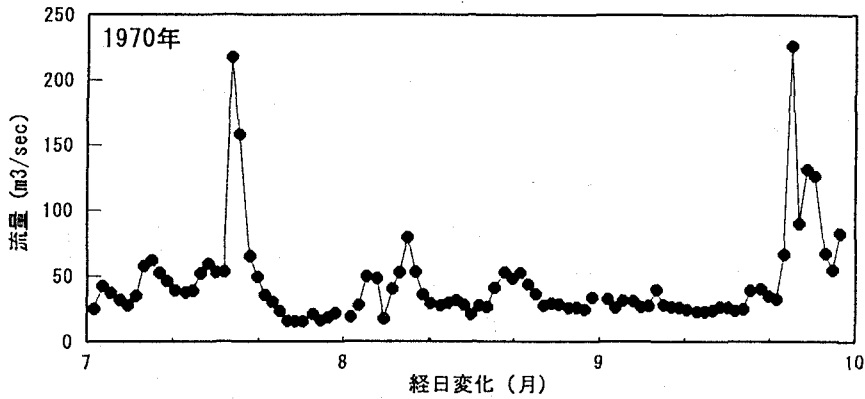


図-14 異臭味発生時の阿武隈川の日平均流量

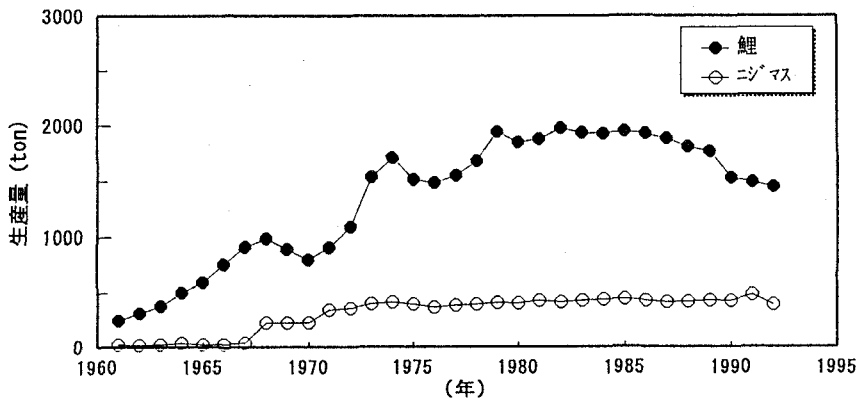


図-15 福島県内における鯉の生産量の経年変化

表-3 阿武隈川および笹原川、南川合流地点の低水時の水質状況

	Flow (m³/sec)	BOD (mg/l)	T-N (mg/l)	T-P (mg/l)	クロロフィルa (μg/l)	BOD (t/day)	T-N (t/day)	T-P (kg/day)	クロロフィルa (kg/day)
阿武隈川	33.3	3.9	1.9	0.04	8.9	11.2	5.5	115.1	25.6
笹原川	2.2	9.4	2.0	0.47	14.9	1.8	0.4	89.3	2.8
南川	0.2	18.3	4.6	0.28	28.0	0.3	0.1	4.8	0.5

等の濃度が高く阿武隈川の汚濁の要因になっている。両支川の阿武隈川に対するT-N 負荷は約10%、T-P 負荷は約45%であった。また、笹原川、南川のクロロフィルa濃度は平均的にそれぞれ14.9 μg/l、28.0 μg/lであり、阿武隈川に流出する負荷としては約11%である。

郡山市内にある29の養殖池におけるクロロフィルa負荷量を算出し、これをもとに阿武隈川における流量と推定クロロフィルa濃度の関係を図-16に示す。

$$Cchl = \frac{\sum qn \cdot Cn}{Q} \quad (2)$$

ここに、Cchl: 本川クロロフィルa濃度 μg/l、qn: 池の流出量 m³/s、cn: 池流出水のクロロフィルa濃度 μg/l、
Q : 本川流量 m³/s、

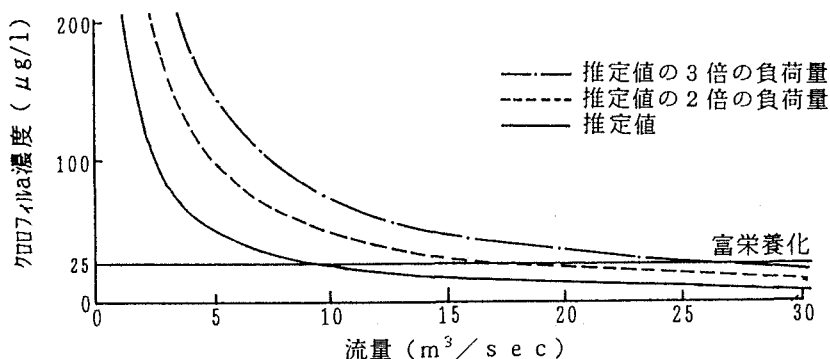


図-16 郡山市内の養殖池におけるクロロフィルa負荷量より算出した阿武隈川における流量と推定クロロフィルa濃度の関係

先にも述べたようにクロロフィルa濃度 $25\mu\text{g/l}$ が富栄養化の基準レベルと考えるとき、流量が $9\text{m}^3/\text{sec}$ 以下で河川の富栄養化現象がみられると推定される。阿武隈川河口から羽太橋（白河市上流）間は約 200km であり、低水時平均流速 0.5m/sec と仮定した場合、流下時間は 4.6 日である。途中のダム滞留を考慮しても、この間に藻類が富栄養化問題を呈するまで異常増殖すると考えるよりも、相応の藻類流入とその後の増殖が阿武隈川の富栄養化の原因と考えるべきであろう。また、郡山周辺の養魚池のほとんどは阿賀野川水系猪苗代湖を水源とする安積疏水から取水しており、阿武隈川の水量には影響されない。

阿武隈川を水道水源としている福島市などで異臭味問題が生じることがあるようであるが、これは阿武隈川流域の下水道未整備による生活排水、工場排水、畜産排水等の流入が藻類増殖の潜在環境をつくり、養魚池等で異常増殖した藍藻類が本川に流入してなお増殖し、異臭味の引金になるものと考えられる。従って、阿武隈川流域においては、下水道などの生活排水対策とともに、養魚池¹³⁾、畜産、工場排水も含めた総合的排水対策を進めることによって水質保全がなされるものとする。

このような養魚池の藻類発生が湖沼や河川の富栄養化に関係しているケースは阿武隈川以外にも多いものと考えられる。富栄養化の原因を科学的に究明し、工学的対策を具体的に提案することはきわめて重要な環境工学の課題と考える。

今後、水利障害を生じさせる藻類の増殖を抑制するような養魚池内の飼料の最適投餌の把握、飼料負荷と藻類内部生産、最適飼料投与条件、発生藻類処理法、についても検討する必要がある。

4. おわりに

阿武隈川の水質の特性とその問題点を河川の富栄養化の観点から明かにすることを試みた。

その結果、鯉の養魚池に起因する藻類の現存量と流出が阿武隈川本川水質に影響することが推測された。本研究で明かになったことをまとめると次のようである。

- 1) 阿武隈川本川のSSの年間平均値は 22mg/l であり、透視度の平均値は 51.9cm である。阿武隈川はSSが高く、清澄さに欠ける水質特性を有しているため、流域の人々にとっては身近さを感じにくい河川となっているのが現状である。
- 2) T-Nの年間平均は 1.9mg/l 、T-Pの年間平均は 0.03mg/l であり、それぞれ富栄養化の基準とされている 0.15mg/l 、 0.02mg/l を越えている。
- 3) クロロフィルaの年間平均は $20.2\mu\text{g/l}$ であった。降水時、富栄養化の進んだ池の水面付近の浮上藻類が越流流出しやすく本川のクロロフィルa濃度が高くなるものと推測された。
- 4) 富栄養化の進んだ池からの藻類の流出による緑色の色相があり、このために透視度が低下しているものと判断された。
- 5) 流入水量や投餌量についてかなり条件が恵まれないかぎり、栄養塩類の蓄積、流出があることが推測される。また富栄養化を基準とした場合、相対的な窒素濃度に比し相対的にりん濃度が高いことが推定された。
- 6) 調査した池ではクロロフィルa濃度は $94\sim 520\mu\text{g/l}$ の範囲にあり、藻類は主に藍藻類のMicrocystisであることが確認された。

- 7) 調査した池のHRTは9-57日の範囲にあり、池流出水のT-N濃度は 2mg/lから10mg/l、T-P濃度は0.05 mg/lから0.35mg/l、クロロフィルa濃度は70 μ g/lから500 μ g/lの範囲であり、富栄養化が進んでいる。
- 8) 阿武隈川を水道水源とした浄水場給水の異臭味の発生については、富栄養化の進んだ養魚池から流出する藻類が引金になった可能性が考えられる。

なお、本研究を進めるにあたり、工学研究科博士後期課程学生小木曾直行氏、前期課程学生 AKASHA BIN MAJIZAT氏、黒沢幸二氏、学部学生森浩喜氏の方々のご協力を得た。また、建設省東北地建福島工事事務所、郡山市役所、養魚池経営者のご協力を得たことを記し謝意を表します。また、本研究は土木学会環境工学委員会流域水質管理システム開発小委員会活動の一環として行っているものである。

参考文献

- 1) 日本河川協会：1992 日本河川水質年鑑、(財)山海堂、(1994)
- 2) 福島県：平成6年度版環境白書、福島県(1995)
- 3) 福島県：水質年報(平成5年版)、福島県(1994)
- 4) 例えば、毎日新聞：阿武隈川物語-浄水場今昔、毎日新聞(1972.4.)
- 5) 福島県：福島県の河川便覧昭和62年、福島県(1987)
- 6) 高橋、中村、松本：阿武隈川における河川底質による窒素系自浄作用機構について、環境工学研究論文集、pp.107-116、(1994)
- 7) 日本水道協会：上水試験方法 1985、日本水道協会、(1991)
- 8) 国立天文台編：理科年表平成6年、丸善株式会社、(1993)
- 9) 例えば、郡山市資料など
- 10) 青江弘：養魚飼料-基礎と応用、日本水産学会、(1985)
- 11) 古今書院：印旛沼・手賀沼 水環境への提言、p.74 (1993)
- 12) 日本水質汚濁研究協会編：『湖沼環境調査指針』、pp.222-232、公害対策技術同友会、(1982)
- 13) 佐野和生：水産養殖と水、サイエンティスト社、(1979)