

5. ノンポイント負荷が琵琶湖水質に及ぼす影響の把握

降雨時等の非定常流入負荷の定量的把握とその琵琶湖水質への影響把握 (その2)

大久保卓也・川寄悦子¹⁾・辻村茂男・須戸幹¹⁾・柴原藤善²⁾

要約

平成17～18年度(2005～2006年度)に実施した重点プロジェクト研究「ノンポイント負荷の琵琶湖水質への影響把握」および農業技術振興センターとの共同研究「近畿地域の水稲の環境負荷低減技術の体系化と負荷予測モデル開発」(本センター担当分)の研究成果概要は以下の通りである。

- ① 琵琶湖流入河川のうち典型的な農地河川である白鳥川(水田占有率42%)において降雨時を含めた詳細な汚濁負荷量調査を行った結果、約300mmの大雨のあった2006年7月を除くと、2005、2006年度ともに、懸濁物質、窒素、リンの月別流出負荷量は、5月が年間で最も大きく、代かき・田植え時期に流出する懸濁物質および栄養塩の負荷量が多いことが確認された。この結果から水田における汚濁負荷削減対策はこの時期の流出負荷削減を図ることが大事であることが改めて示された。
- ② 白鳥川における年間流出負荷量に占める降雨時負荷量(短期流出分)の比率は、全窒素(T-N)で42%(2005年度)および36%(2006年度)、全リン(T-P)で50%(2005年度)および48%(2006年度)であった。月別負荷量の大きい5月では、降雨時負荷量の占める比率は小さく、負荷削減対策の基本的方向性としては、降雨時の流出負荷対策よりも晴天時の流出負荷対策(落水防止や農業用水節水など)に重点をおくべきと考えられた。
- ③ また、白鳥川における流出負荷量をかんがい期(4～9月)と非かんがい期(10～3月)で比較すると、T-N、T-P負荷量ともにかんがい期の方が大きく、T-N負荷では60～70%、T-P負荷では70～80%がかんがい期に流出していた。
- ④ 白鳥川流域において原単位法で求めたT-N、T-P排出負荷量と河川で実測したT-N、T-P流出負荷量を比較した結果、原単位法で求めた負荷量は実測負荷量より小さかった。しかし、用水供給による負荷量を原単位法で求めた負荷量に加算すれば、実測負荷量に近くなることがわかった。
- ⑤ 2006年度には白鳥川に加え日野川、野洲川でも詳細な水質および負荷量調査を行った。その結果、集水域内の農地面積比率が少ない野洲川では、農地面積比率の大きい白鳥川や日野川と異なり、5月の農業濁水の影響は小さく、水質や負荷量に対して降雨の影響が大きいことがわかった。
- ⑥ 琵琶湖の南比良沖(北湖S局)において、濁度・クロロフィルaの連続測定を行った結果、クロロフィルは降雨にかかわらず年間に2回(4～5月と10～11月)のピークを示す傾向があることがわかった。2006年7月の大雨時(総降水量約300mm)には、その直後に濁度とクロロフィルaのピークが0～15m層でみられ、1ヶ月ほどしてクロロフィルaのピークが0～15m層でみられた。また、この大雨の後には数週間の間、5および10m層でT-P濃度がやや高くなる現象が観測された。この結果から、数百mm程度の降雨があった場合は、河川から流入した栄養塩が沖合まで供給され、植物プランクトンの増殖に寄与しているのではないかと推定された。

1. はじめに

琵琶湖水質保全に向けて農地等の面源汚濁負荷の管理のあり方を検討するためには、①降雨時を含めた面源負荷量の定量的把握、②面源負荷の発生源別負荷量の定量的把握、③面源負荷の琵琶湖水質および植物プランクトン生産量等の生態系に及ぼす影響の把握、が必要である。2005～2007年度の3カ年計画で進めている当センターの重点プロジェクト研究「ノンポイント負

荷の琵琶湖水質への影響把握」では、これらの課題のうち、①と③に重点をおいて研究を進めている。降雨時を含めた汚濁負荷量の把握は、野洲川、日野川、白鳥川の3河川で進めており、琵琶湖の水質および植物プランクトン現存量に対する降雨時等の面源負荷の影響把握は、南比良沖の北湖S局および野洲川河口沖で進めている。本稿ではこれらの調査研究の2005～2006年度の成果について報告する。

1) 滋賀県立大学環境科学部、 2) 滋賀県農業技術振興センター

なお、白鳥川の水質・負荷量調査の一部は、農林水産省の先端技術を活用した農林水産研究高度化事業の地方領域設定型研究「近畿地域の水稲の環境負荷低減技術の体系化と負荷予測モデル開発」（代表：柴原藤善）の研究として実施しており、野洲川、日野川の汚濁負荷量調査の一部は、2006、2007年度公益信託下水道振興基金研究助成および2007年度河川整備基金研究助成を受けて実施している。

2. 方法

2.1 観測体制

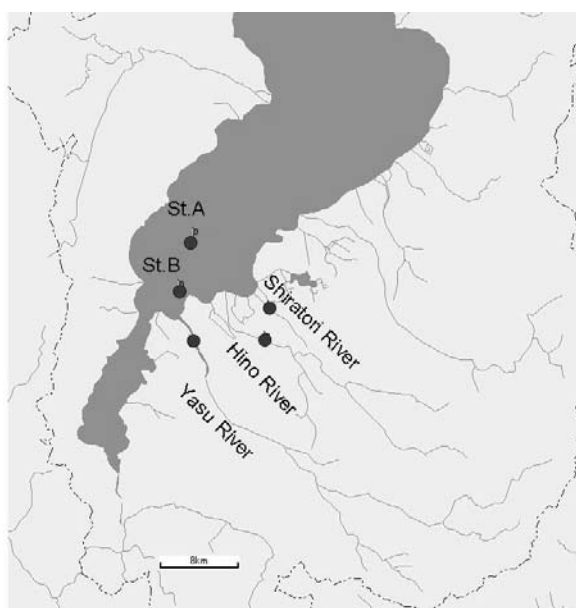


図1 調査地点

本プロジェクト研究の調査地点を図1に示す。琵琶湖では南比良沖の北湖S局（St. A）と野洲川河口沖（St. B）の2地点、河川では野洲川、日野川、白鳥川の3河川の下流部にそれぞれ調査地点を設け、河川流出負荷量の時間変動と北湖の沿岸と沖合の水質の時間変動との対応関係を自動観測を主体に把握する観測体制としている。琵琶湖北比良沖のSt. Aでは、2005年7月から観

測を開始し、2006年度からは野洲川河口域にSt. Bを追加し、沿岸と沖合の2地点での水質変動の比較を行っている。河川負荷量調査は、白鳥川で2005、2006年度に、野洲川と日野川で2006、2007年度に実施している。

2.2 河川流入汚濁負荷量の調査方法

河川汚濁負荷量の調査地点は琵琶湖からの逆流のない下流部に設けた。ここに自動採水器（ISCO社製3700型または6700型）を設置し12時間間隔で採水している。

また、降雨時などの短期的な水質変動を把握するため、自記濁度計（アレック電子製COMPACT-CLW）を設置し20分間隔で濁度を測定している。自動採水器で採水したサンプルは毎週回収に行き、その際、バケツによる採水も行っている。自動採水器で採取したサンプルについては、懸濁物質（SS）、全窒素（T-N）、溶存態窒素（D-N）、アンモニア態窒素（NH₄-N）、亜硝酸態窒素（NO₂-N）、硝酸態窒素（NO₃-N）、全リン（T-P）、溶存態リン（D-P）、リン酸態リン（PO₄-P）、溶存態ケイ酸（SiO₂-Si）を測定し、バケツ採水のサンプルについては、これに加えてDOC（溶存有機炭素）等を測定している。SSはガラス繊維フィルター（Whatman GF/F）による重量法、T-N、D-N、T-P、D-Pは、未ろ過とろ過後の試水を過硫酸カリウムによる同時分解法（細見ら、1983）で測定している。NH₄-N、NO₂-N、NO₃-N、PO₄-P、SiO₂-Siは、オートアナライザー（ブランルーベ製QUAATRO）、DOCはTOC計（島津製TOC-V）を用いて測定している。

また、自記水位計（STS社製MC-1100WおよびSolinst社製Model 3001 Gold LT）を設置し10分毎に水位を測定している。水位から流量への換算は、この地点で流量の実測して求めたHQ曲線（水位から流量への換算式）を用いて行った。

調査対象河川の白鳥川、日野川、野洲川の流域環境の概況を表1に示す。水田の面積比率は、白鳥川＞日野川＞野洲川の順で、山林面積比率は、逆に野洲川＞日野川＞白鳥川となっている。また、下水道未整備の人口密度は、白鳥川＞日野川＞野洲川の順となっており、白鳥川は、この3河川の中では最も人間活動の影響を強く受

表1 調査対象河川の流域環境（2005年）

河川名	流域面積 (ha)	流域人口 (人)	下水道未整備 人口(人)	下水道未整備 人口密度 (人/ha)	下水道 普及率(%)	土地利用面積比率(%)					畜産頭数		
						水田	畑	宅地・道路	ゴルフ場	山林・他	牛(頭)	豚(頭)	鶏(羽)
白鳥川	3,408	22,200	14,329	4.20	35	42	1	27	0	30	473	943	8,782
日野川	22,455	77,589	43,820	1.95	44	20	1	18	4	57	6,757	6,489	195,435
野洲川	39,822	133,645	55,219	1.39	59	9	1	17	4	68	1,068	0	222,395

（出典：琵琶湖水質保全計画資料）

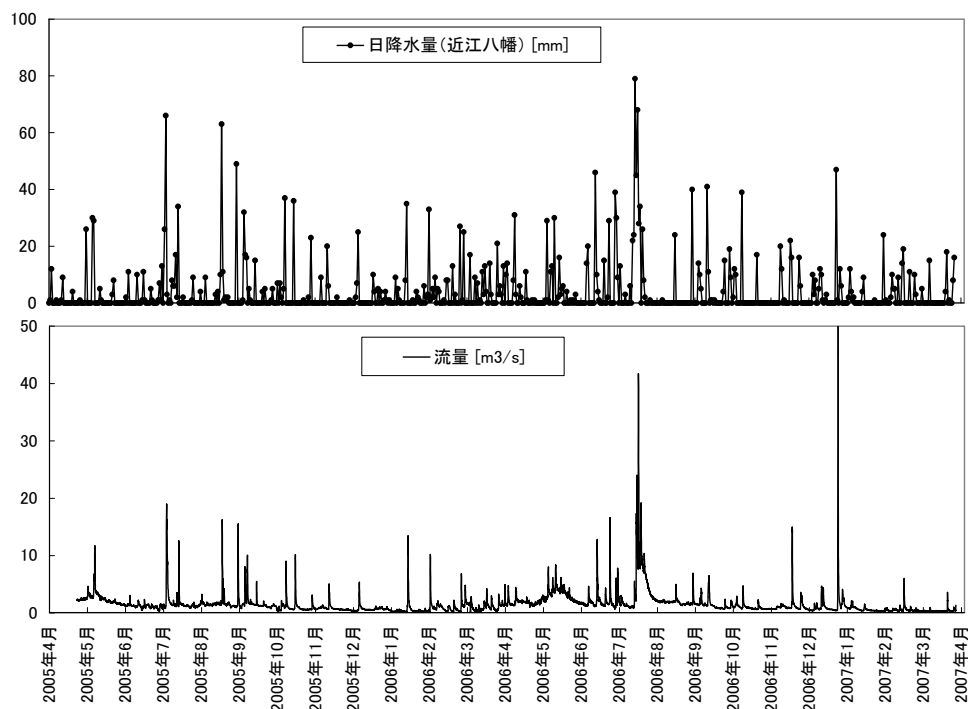


図2 白鳥川St. 1における流量変化（2005年4月～2007年3月）

けた流域といえる。一方、野洲川は、山林面積比率が高く、人口密度が低く、この3河川の中では最も人間活動の影響の小さい流域といえる。

2.3 北湖における水質調査方法

南比良沖の琵琶湖北湖S局（図1のSt. A、水深約60m）に濁度・クロロフィル計（アレック電子製COMPACT-CLW）を鉛直方向に10～13台設置し、水温、濁度、クロロフィルaを20分間隔での測定している。また、電気伝導度計（RBR製XR420-CTfおよびアレック電子製COMPACT-CTW）を水深0.5、5、10、15、20mに設置し、20分間隔で電気伝導度を測定している。観測機器のメンテナンス（センサー付近の付着物の除去）は、月1～2回の頻度で行っている。この時に、クロロフィルa、栄養塩等の水質分析のための採水を濁度・クロロフィル計の設置水深と同じ水深でバンドーン採水器を用いて行っている。

野洲川河口域（St. B、水深約13m）にも、2～3m間隔に濁度・クロロフィル計を設置し、北湖S局と同様に観測を行っている。

3. 2005、2006年度調査結果

3.1 河川流出負荷量の把握

3.1.1 白鳥川

(1) 流量の変化

流量の変化を図2に示す。参考に日降水量の変化を図

中に示した。平水時の流量は1～2m³/s程度、降雨時には5～20m³/s程度で、大雨時には40m³/sに達することがあった。4月下旬から5月にかけての期間は、他の時期に比べて流量が多く、代かき・田植えに伴う農業用水供給量増加の影響と考えられた。冬季には水田からの農業排水の流出が無くなり、また、降水量も少ないため流量は少なくなった。

2006年7月下旬には、総降水量が300mm程度の大雨がおり、その影響が流量に顕著に現れていた。

(2) 水質の変化

各態窒素、各態リン、SSの濃度変化および電気伝導度の変化を図3に示した。

窒素濃度は、流量が少なくなる冬季に高くなる季節変化がみられた。これは、窒素は生活排水由来や地下水由来のものなど定常的に流出してくるものが多く、流量が少なくなる時期にはそれらの流出水の希釈効果が小さくなるためと考えられる。また、NH₄-N濃度も冬季に高くなる傾向がみられた。窒素濃度は、5月の代かき・田植え時期にもやや高くなる傾向がみられ、水田で施肥した肥料の流出の影響と考えられる。全般的に窒素濃度は、5月を除くと電気伝導度と似た季節変化を示していた。

T-P濃度は、5月のゴールデンウィーク前後の代かき・田植え時期に顕著に高かった。また、降雨時にも濃度が高くなったが、代かき・田植え時期に比べて短期間で濃

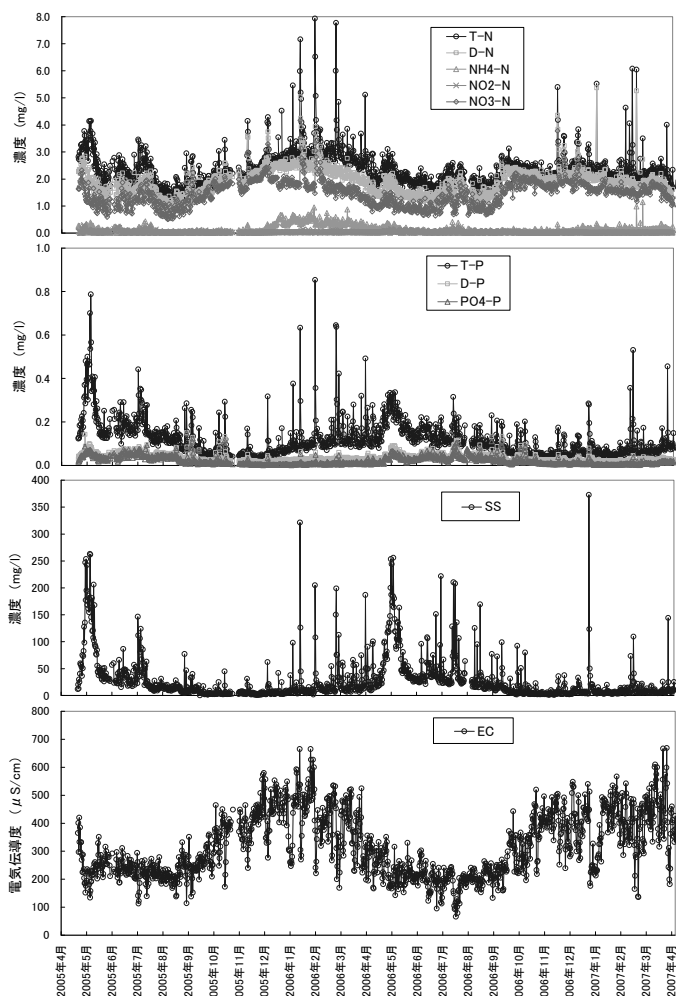


図3 白鳥川St. 1における水質変化
(2005年4月～2007年3月)

度が下がっていた。溶存態のD-P、 $\text{PO}_4\text{-P}$ も代かき・田植え時期および降雨時に高くなる傾向がみられた。冬季には、リン濃度は各形態とも低くなり、窒素濃度とは異なる変化を示した。

SS濃度は、T-P濃度とほぼ同じ変化を示し、代かき濁水の影響が大きく現れていた。代かき濁水の影響は、SS濃度＞リン濃度＞窒素濃度の順に大きく現れる傾向がみられた。

(3) 負荷量の変化

St. 1における2005および2006年度の河川流出負荷量の時間変化を図4に示した。図中には流量の変化を参考に示した。図は片対数グラフになっている。T-N、T-P、SS負荷量ともに流量の変化と対応した変化を示しており、代かき・田植え時期に緩やかな上昇下降を示すピークが2005、2006年度ともにみられた。一方、降雨時に短期間のシャープなピークがみられ、2006年7月の大雨時には特に大きなピークがみられた。

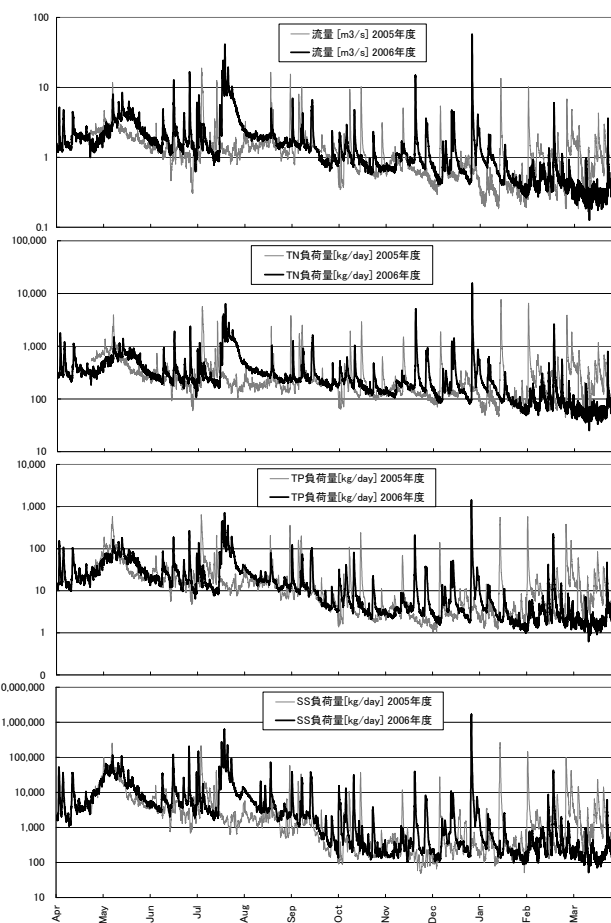


図4 白鳥川St. 1における負荷量の時間変化
(2005、2006年度)

これらの詳細な負荷量変化データを基に、降雨時に短期的に流出してくる負荷量(降雨由来負荷量)とそれ以外の安定的に流出してくる基底負荷量を分けて月別負荷量を求めた。流量についても負荷量と同様に降雨時に短期的に流出してくるものとそれ以外の安定的に流れてくるものを分けて求めた。本来は、降雨由来の流量および負荷量は中間流出でゆっくり出てくるものも含めて考えるべきであるが、中間流出で出てくるものを分けて求めることが難いため、ここでは、短期的に流出してくるもののみを降雨由来として扱うこととした。このようにして求めた2005、2006年度の流量および負荷量の経月変化を図5に示した。

流量は大雨のあった2006年7月が特に大きかったが、それを除くと両年とも5月が年間で最も大きく、この月は基底流量が顕著に大きくなっていた。この時期は、農業用水を一年で最も多く使用する時期であり、琵琶湖逆水、永源寺ダム、地下水等から流域内の農地に供給された農業用

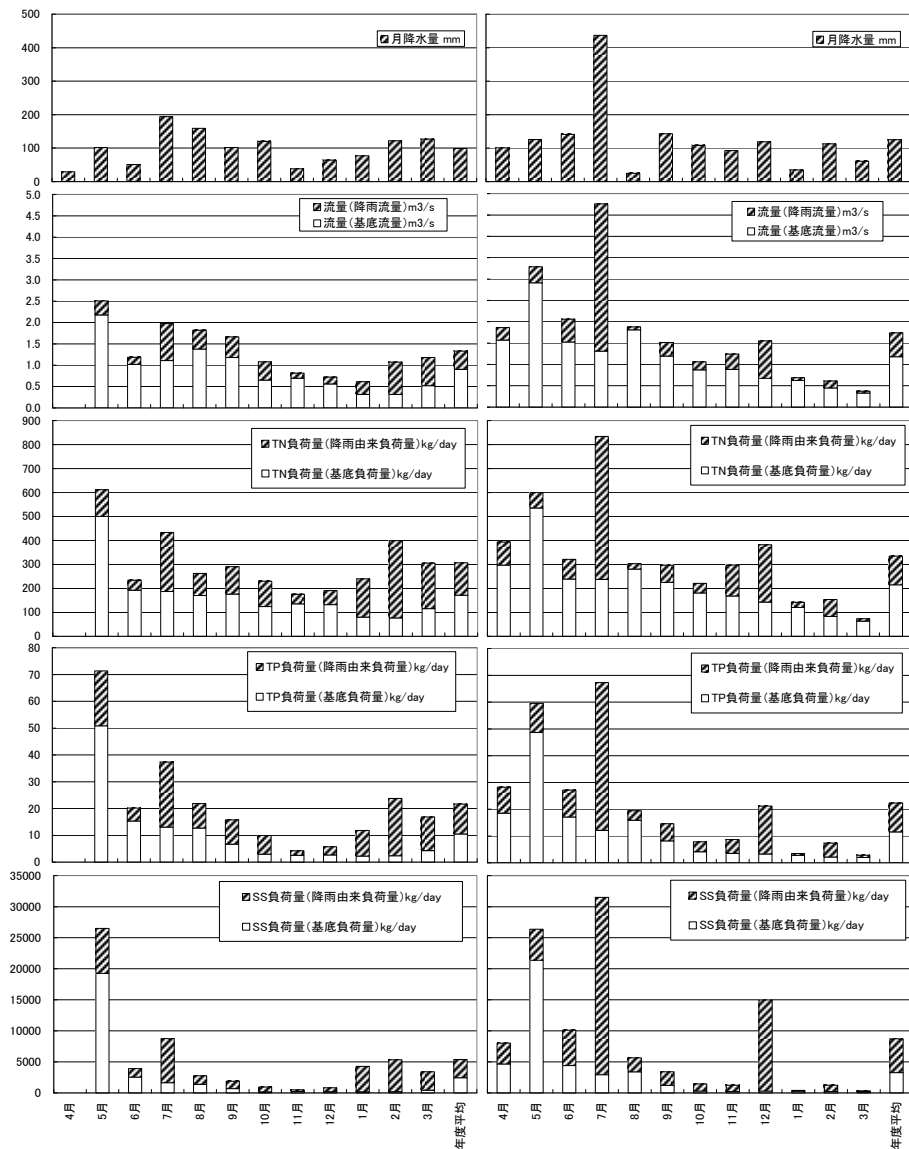


図5 白鳥川St. 1における月平均負荷量の変化（2005、2006年度）

水が、白鳥川に流出してくるために基底流量が増加したと考えられる。5月の他にかんがい期に当たる4～9月は、非かんがい期に比べて基底流量が多く、農業用水の河川流量への影響が大きいことが伺えた。

T-N、T-P、SS負荷量ともに、大雨のあった2006年7月を除くと5月の負荷量が最も大きく、水田から代かき・田植え時に流出してくる肥料起源の栄養塩や流出土壌の影響が大きいことが改めて示された。特に、T-P負荷量とSS負荷量は、5月に顕著に高くなり、代かき・田植え時に流出する濁水の影響が大きいことを示していた。

(4) 年間負荷量に占める降雨時負荷量の比率

年間負荷量に占める降雨由来負荷量（短期流出分）の比率を図6に示した。また、この図では月別の内訳も示した。

ここで、2005年4月の負荷量は、調査データが十分に

いたため、2006年4月と同じ値と仮定して2005年度の内訳と年間総量を求めた。

年間負荷量に占める降雨由来負荷量の2005、2006年度の比率は、T-N負荷量で42%、36%、T-P負荷量で50%、48%、SS負荷量で53%、62%となった。また、年間流出流量に占める降雨由来流量（短期流出分）の2005、2006年度の比率は、30%、32%であった。

年間負荷量に占める降雨由来負荷量の比率を、他の流域の調査例でみると、霞ヶ浦流域では、T-Nで約30%、T-Pで約40～50%（海老瀬，1984）、広島県太田川では、T-Nで66%、T-Pで77%（橋本ら，1990）であったと報告されている。今回、白鳥川で求めた値は、霞ヶ浦流域の値に近かった。

図6で月別の比率をみると、基底流量および基底負荷量

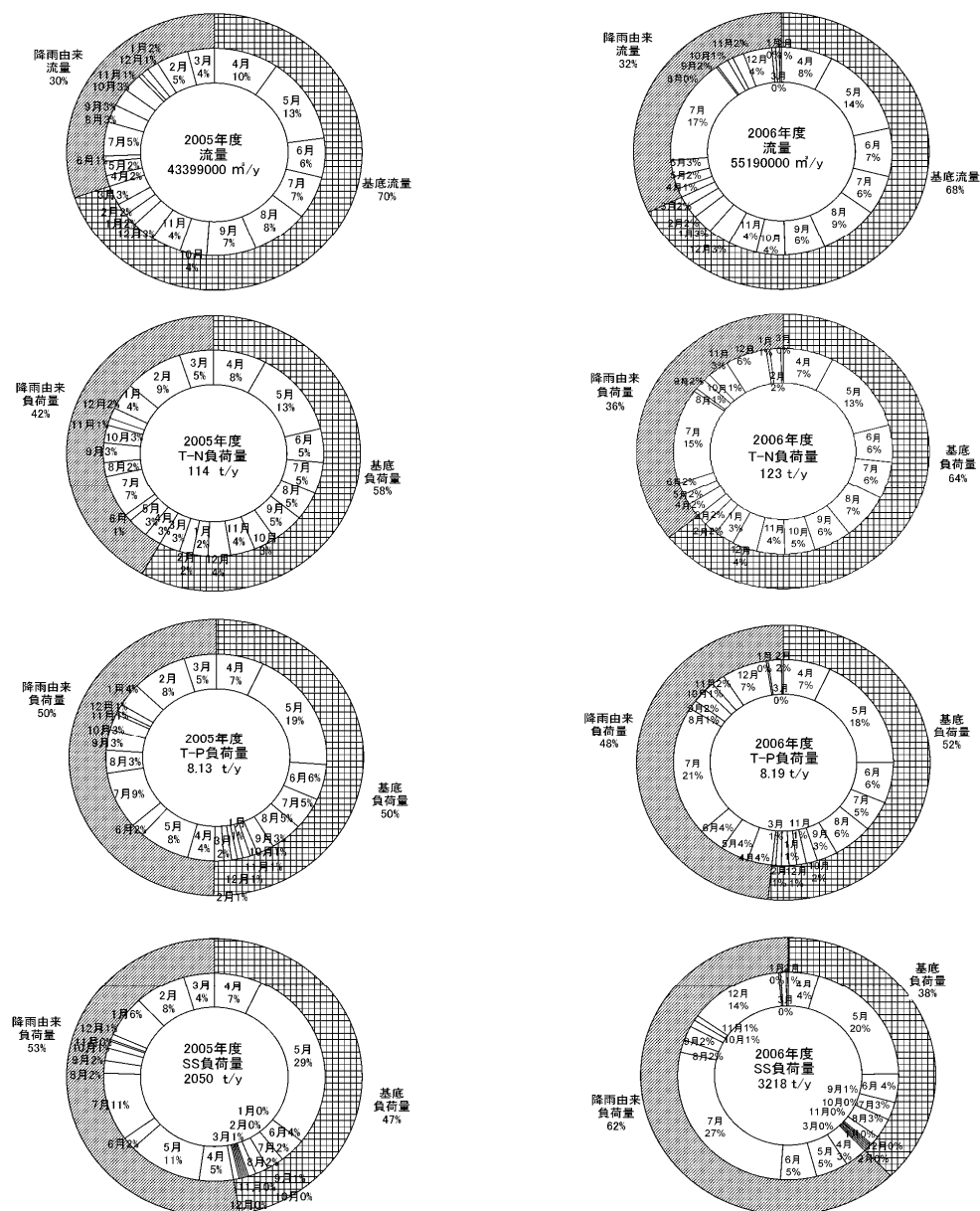


図6 白鳥川St. 1における年間負荷量の内訳 (1) (基底負荷量・降雨由来負荷量別比率、月別比率) (2005、2006年度)

では、2005、2006年度ともに5月が最も大きい比率を占めていた。5月の基底負荷量の年間負荷量に占める比率は、T-Nで13%、T-Pで18~19%、SSで20~29%となっていた。また、流量では5月の基底流量の年間流量に占める比率は、13~14%であった。5月の基底負荷量は、他の月に比べて明らかに大きく、代かき・田植えに伴い流出する負荷量を削減して5月の負荷量を例えば現状の半分にできれば、年間でT-Nで5%程度、T-Pでは10%程度の河川流出負荷削減が期待される。

(5) かんがい期、非かんがい期別負荷量比率

年間負荷量をかんがい期(4~9月)と非かんがい期(10~3月)別の内訳でみると図7のようになり、2005、

2006年度のかんがい期負荷量の比率は、T-N負荷量で59、69%、T-P負荷量で73、81%になった。図には示していないが、流量の同比率は、67、74%であり、T-NとT-Pの比率の中間の値であった。かんがい期は非かんがい期に比べ降水量が多いため降雨由来の流出量が増え、それに加えて農業用水の供給に伴う水田からの肥料成分等の流出があり、かんがい期にはT-N、T-P、特にT-Pの流出量が大きくなっているものと考えられる。

(6) 原単位法で求めた負荷量と実測負荷量の比較

湖沼水質保全特別措置法に基づく第5期琵琶湖水質保全計画において原単位法(一部実測もあり)で白鳥川からの汚濁負荷量を推定した結果(2005年時点)と今回

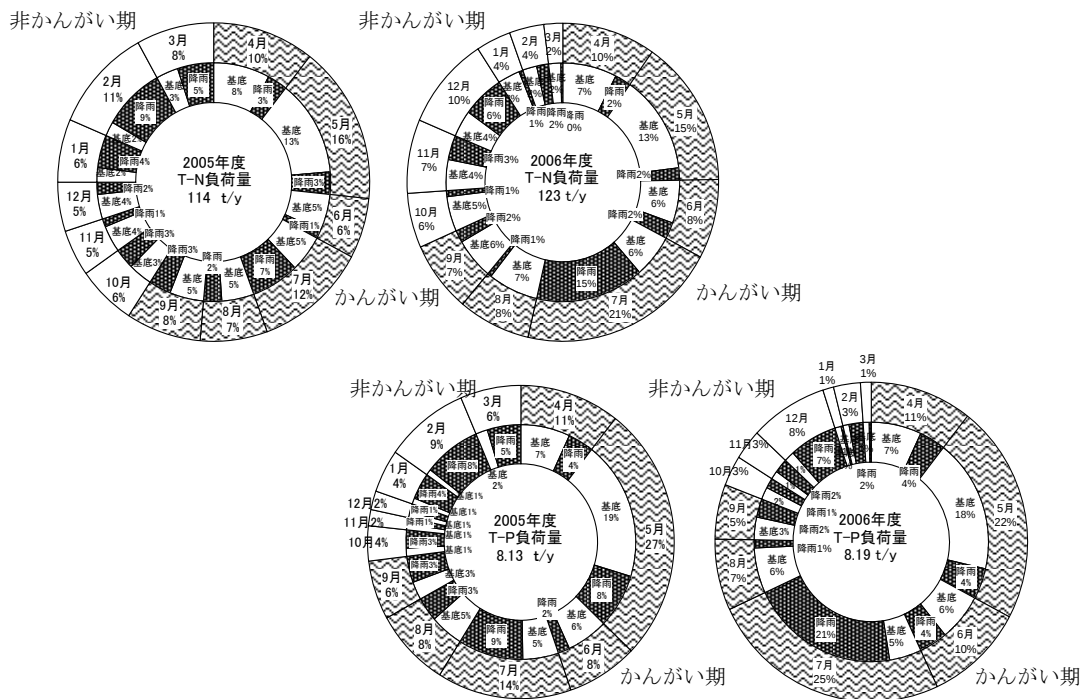


図7 白鳥川St.1における年間負荷量の内訳（2）（かんがい期・非かんがい期別比率、月別比率）（2005、2006年度）

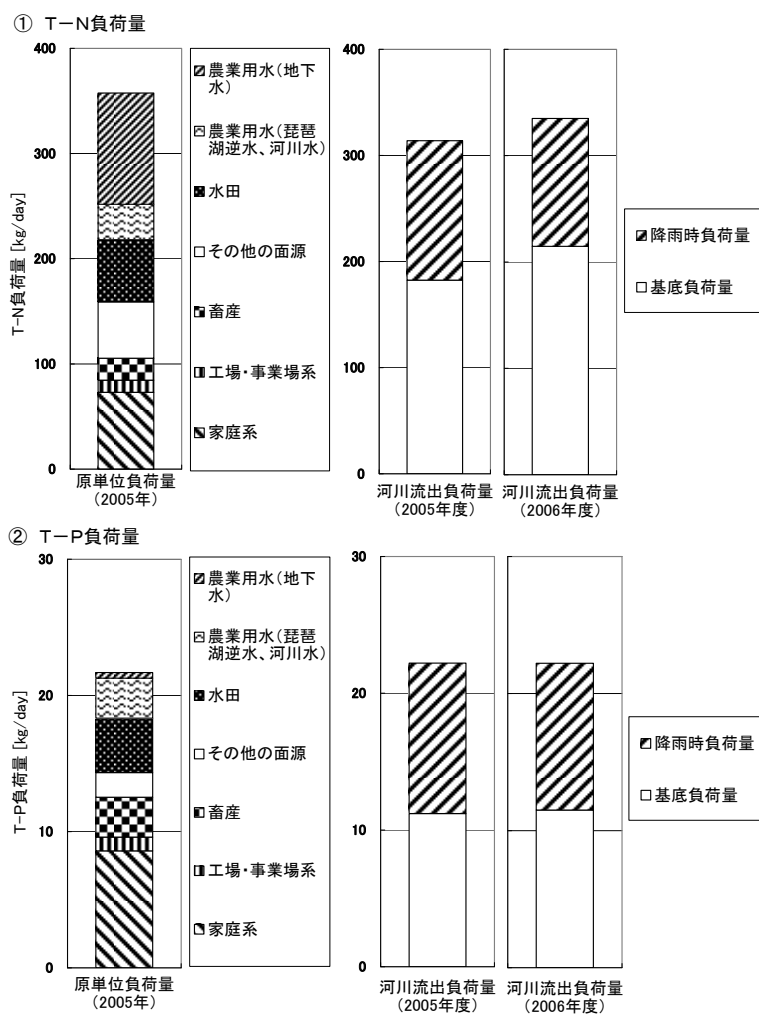


図8 白鳥川流域の原単位法で求めた排出負荷量と実測河川負荷量との比較

(注) 用水からの負荷量は土地改良区で入手した用水量と用水の実測水質から求めた。

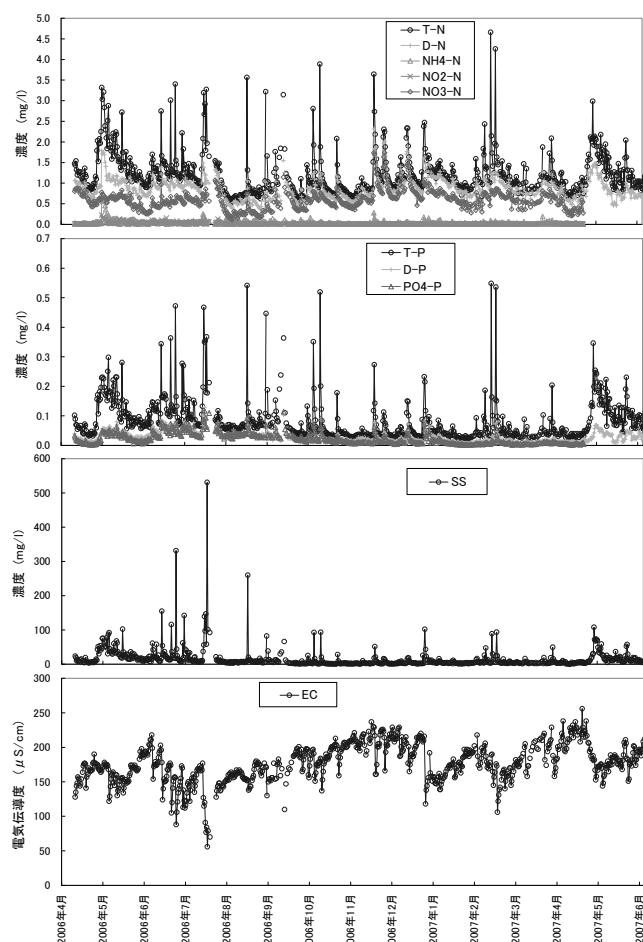


図9 日野川（桐原橋付近）における水質変化
（2005年4月～2007年5月）

の実測で求めた河川負荷量との比較を図8に示した。ただし、ここでは湖沼計画で求めた負荷量に加えて、農地への用水供給による負荷量を加算した。湖沼計画では農地からの負荷量は、排出負荷量から農地に流入する用水の負荷量を差し引いた「差引負荷量」で求めているが、河川負荷量と対比するためには用水負荷量を加えた「総排出負荷量」で比較する必要があると考えたからである。

白鳥川流域に流入する農業用水量は、流域内の農地に用水を供給している愛知川沿岸土地改良区および日野川流域土地改良区からデータを入手して求めた。その用水量に筆者が測定したT-N、T-P濃度の値を乗じて用水由来の負荷量を求めた。地下水のT-N濃度については、筆者が測定した揚水ポンプ場（上平木町）の用水の濃度が3.8mg/l（n=11、標準偏差0.16）と高く、この値がこの地域における地下水の代表値として妥当であるかどうか問題となった。そこで、滋賀県による地下水水質測定結果（1998～2005年）から白鳥川周辺のデータを抽出し平均値を求めたところ14カ所平均で5.4mg/l（標

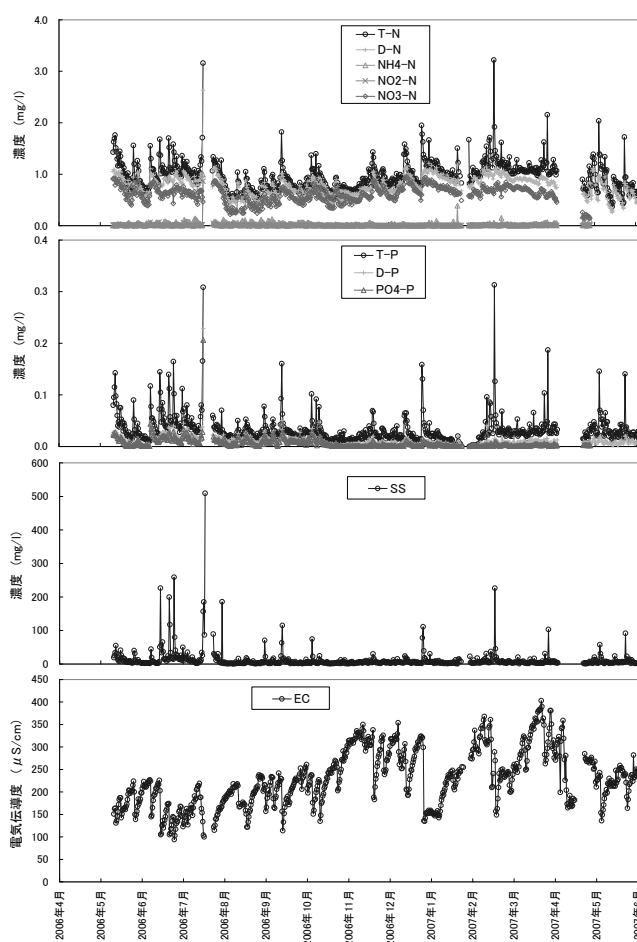
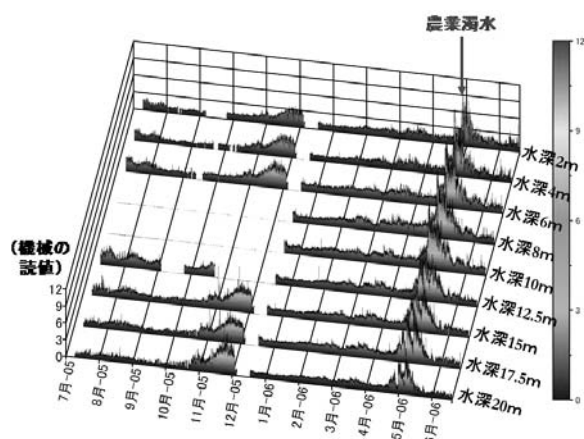


図10 野洲川（服部大橋付近）における水質変化
（2005年4月～2007年5月）

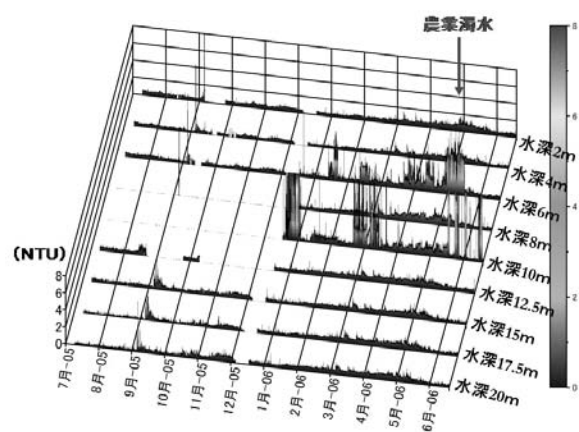
準偏差4.7mg/l）となった。また、以前行われた農業試験場の地下水調査（山本、西川：1964）でもこの地域で高い値が（2.6mg/l）が報告されている。したがって、この地域では地下水の窒素濃度が高い傾向にあり、筆者が測定したT-N3.8mg/lという値を代表値として採用しても問題ないと考えられた。そこで、この値を地下水T-N濃度として、これに地下水揚水量を乗じて地下水の負荷量を求めた。白鳥川流域の地下水負荷を除いた用水負荷（33.8gN/ha/day、2.95gP/ha/day）は、柴原ら（Shibahara & Mizutani, 2006）が整理した滋賀県中東部の27調査事例の用水負荷（琵琶湖揚水、河川用水）の平均値25.8gN/ha/day、2.19gP/ha/dayと比較して同程度であったが、地下水負荷を加えた用水負荷（139.6gN/ha/day、3.35gP/ha/day）は、他の地域に比べかなり大きな値となった。

このようにして求めた「用水負荷＋原単位負荷量」（2005年度）と実測負荷量（2005、2006年度）を比べてみると、T-N負荷量では「用水負荷＋原単位負荷量」が実測負荷量より1割程度大きくなり、T-P負荷量では両

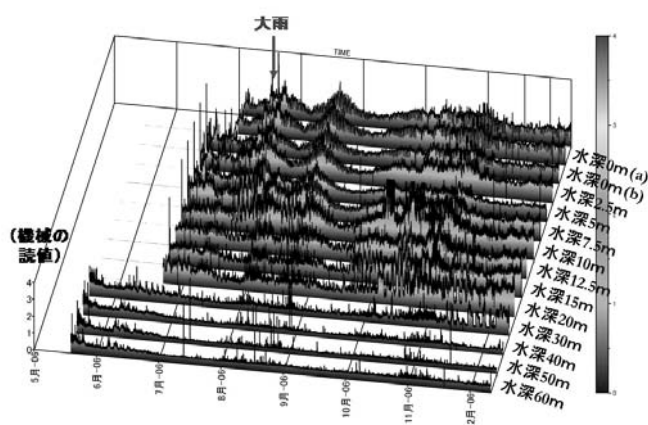
(1) 2005年7月～2006年6月



(1) 2005年7月～2006年6月



(2) 2006年6月～2006年12月



(2) 2006年6月～2006年12月

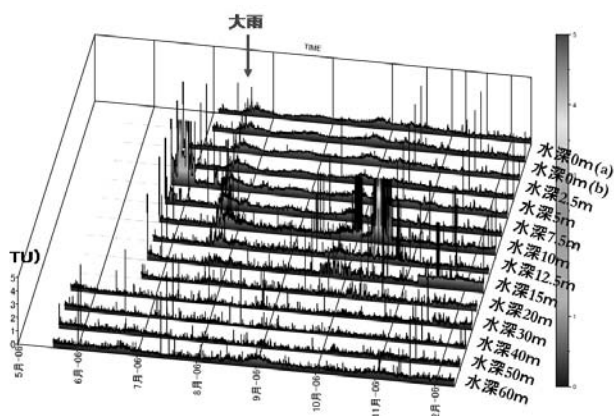


図11 北湖S局におけるクロロフィルa 濃度
(機種の読み値、未補正) の変化

図12 北湖S局における濁度の変化

者はほぼ同じ値になった。筆者のこれまでの調査経験では、水田からの負荷量については、実測負荷量が原単位法で求めた負荷量を上回る場合が多かったが、今回の白鳥川の調査結果から、年間平均でみた場合、用水供給による負荷量をプラスすることによって原単位法で求めた負荷量は、実測負荷量に近くなることがわかった。また、用水の栄養塩濃度が高い場合は、「用水負荷＋原単位負荷量」が実測負荷量よりも大きくなり、水田で栄養塩が除去されている可能性が示唆された。

3.1.2 日野川、野洲川

2006年度の日野川と野洲川における水質変化を図9、図10に示した。

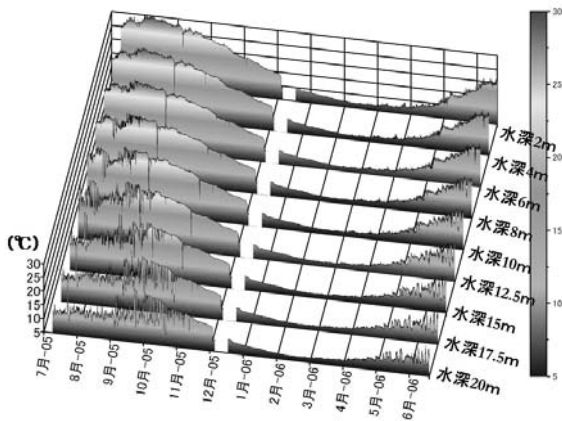
日野川は、白鳥川に比べて濃度レベルは低いものの白鳥川に似た水質変化を示しており、窒素、リン、SS濃度に代かき・田植え時期の農業濁水の影響が現れていた。NH₄-N濃度も代かき・田植え時期には高くなる傾向がみられ、この傾向は白鳥川より顕著であった。ま

た、リン濃度は全般的にかんがい期に高くなる傾向がみられた。2006年7月には大雨があったが、この時にもT-N、T-P、SS濃度が顕著に高くなっていた。その他の降雨時にもこれらの濃度は高くなっていた。一方、電気伝導度は降雨時には低下する傾向がみられ、特に2006年7月の大雨時には大きく低下していた。

野洲川では、白鳥川、日野川に比べると栄養塩濃度レベルが低く、代かき・田植え時期に濃度が高まる傾向ははっきりみられなかった。しかし、窒素濃度が冬季に高くなる傾向は、他の河川と同様にみられた。また、リン濃度は野洲川においても他の河川と同様に温暖期（5～10月）に高くなる傾向がみられた。

2006年7月中旬の大雨の影響は、野洲川では採水がうまくできなかったためはっきりしないが、日野川では懸濁態栄養塩濃度が増加するとともに溶解態栄養塩濃度も増加する傾向がみられた。一方、白鳥川では、大雨時にPO₄-Pは上昇したがNO₃-Nは低下する傾向がみ

(1) 2005年7月～2006年6月



(2) 2006年6月～2006年12月

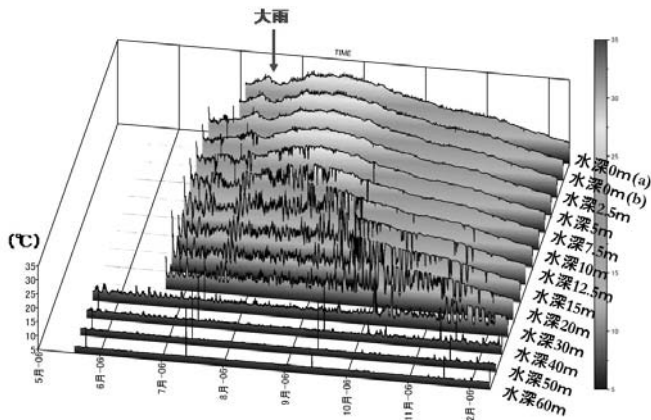


図13 北湖S局における水温の変化

られた。

溶存態栄養塩の変化で3河川共通してみられた現象は、 $PO_4\text{-P}$ 濃度は温暖期（5～10月）に高くなり、また、降雨時に高くなるという現象である。一般的に藻類生産に対してリン制限にある琵琶湖北湖において、降雨時に河川から流量増加を上回る増加率で $PO_4\text{-P}$ が供給されるという事実は、琵琶湖での藻類生産量を考える上で重要なことと思われる。

日野川、野洲川の流量については、現在、HQ曲線（水位－流量曲線）を求める調査を進めているところであり、流量の時間変化が求まれば、栄養塩負荷量（琵琶湖への流入量）の時間変化の算定が可能になる。

3.2 琵琶湖における水質変動

3.2.1 北湖S局における濁度・クロロフィルaの変動

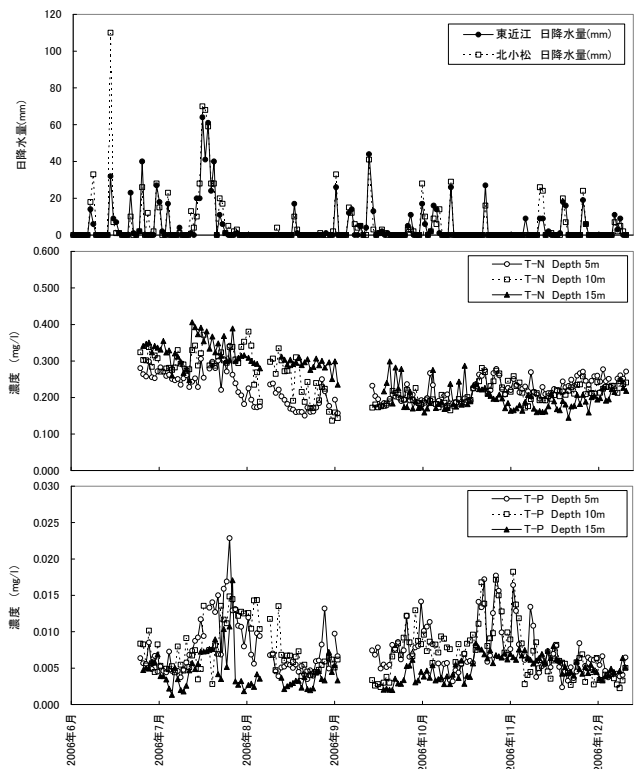


図14 北湖S局における水質の変化

北湖S局における①2005年7月13日～2006年6月20日および②2006年6月22日～12月13日の期間のクロロフィルa（計器での読み値、未補正值）、濁度、水温の観測結果を図11～13に示した。

(1) 2005年7月～2006年6月の変化

この期間は、上層（水深0～20m）でのみ測定を行った。クロロフィルa（図11）では、秋季の11月と春季の5月に明確なピークがみられた。これは、温帯地域における湖沼の典型的な植物プランクトン現存量の季節変化パターンである（ホーン&ゴールドマン, 1999）。5月のクロロフィルaのピークは、代かき・田植えに伴う濁水発生時期と重なっており、両者に因果関係がある可能性も考えられる。しかし、この因果関係を解明するためにはさらに広範囲における調査と、この時期の植物プランクトンの増殖制限因子の調査が必要である。

濁度（図12）では、水深6m層および10m層では不安定な変化がみられるが、これは濁度計が北湖S局のブイ本体に接触していたためと考えられる。北湖S局の大型ブイは直径4～6m、高さ約20mの筒状の鉄製構造物

(船)であり、これがチェーンで湖底につながれており、船体の半分(約10m)は水面下にある。水面下にある船体の一部の直径が水面上の直径より大きくなっているため船体の水面上の手すりから機器を吊した場合は、水面下で船体にぶつかることがあることがわかった。

水温変化(図13)をみると、秋季の10～11月は水温成層が破壊され鉛直混合が始まりつつある時期であり、成層期に下層に貯まった栄養塩が有光層に供給される時期である。また、春季の5月は、表層から徐々に暖められて成層が形成されつつある時期であり、植物プランクトンが上層に留まりやすくなる時期である。このような物理条件変化が植物プランクトンの増殖や集積に大きな影響を及ぼし、先に示したクロロフィルaの年2回のピークが発生しているものと考えられる。

(2) 2006年6月～12月の変化

この期間は、全層(水深0m～約60m(底層))で測定を行った。2006年7月中旬に総降水量が300mm程度の大雨がおり、その影響が北湖S局における濁度とクロロフィルa濃度の変化に現れていた。大雨後の7月中旬～下旬の水深0～15m層では、クロロフィルaと濁度が高くなりピークを形成していた。この時のクロロフィルaのピークが、濁りによる影響なのか、実際に植物プランクトンが増加したことによるものなのか、現在検討を進めているところである。水温は、降雨流出の影響が濁度に現れた時期にやや低下していた。濁度のピークが表層で観測されてから約1ヶ月ほどしてクロロフィルaのピークが0～12.5m層でみられた。この時には濁度のピークはほとんどみられなかったことから、このクロロフィルaのピークは藻類増殖によるものではないかと推定される。2006年8月11日にバンドーン採水器で採水し、フィルター法によるクロロフィル測定を行った結果、10m層で実際にクロロフィルaとフェオフィチン濃度が7月の測定値よりもやや高くなっている傾向がみられた。これだけのデータではまだ不十分であるため、さらに継続調査を行い降雨時に流入する栄養塩負荷の影響把握を進めている。

3.2.2 北湖S局における栄養塩濃度の変動

2005年6月下旬から12月上旬にかけて、北湖S局の水深5、10、15m層から自動採水器で1日毎に採水を行い水質を測定した結果を図14に示した。7月中旬の大雨の影響がT-P濃度に現れ、降雨後にやや濃度が高くなる傾向がみられた。このような降雨に伴うリンの沖合への供給が、前に示したクロロフィルaの増加の原因になっているのではないかと推定される。一方、T-N

濃度に対する降雨の影響は明確でない。T-P濃度については、2006年10～11月にかけても増加がみられ、クロロフィルa濃度の増加に対応している。

4. まとめ

平成17～18年度(2005～2006年度)に実施した重点プロジェクト研究「ノンポイント負荷の琵琶湖水質への影響把握」および農業技術振興センターとの共同研究「近畿地域の水稲の環境負荷低減技術の体系化と負荷予測モデル開発」(本センター担当分)の研究成果概要をまとめると以下の通りである。

- (1) 琵琶湖流入河川のうち典型的な農地河川である白鳥川(水田占有率42%)において降雨時を含めた詳細な汚濁負荷量調査を行った。その結果、約300mmの大雨のあった2006年7月を除くと、2005、2006年度ともに、懸濁物質、窒素、リンの月別流出負荷量は、5月が年間で最も大きく、代かき・田植え時期に流出する懸濁物質および栄養塩の負荷量が大きいたことが確認された。この結果から水田における汚濁負荷削減対策は、これまで既に行われてきたことではあるが、この時期の流出負荷削減を図ることが大事であることが改めて示された。
- (2) 白鳥川における年間流出負荷量に占める降雨時負荷量(短期流出分)の比率は、全窒素(T-N)で42%(2005年度)および36%(2006年度)、全リン(T-P)で50%(2005年度)および48%(2006年度)であった。月別負荷量の大きい5月では、降雨時負荷量の占める比率は小さく、負荷削減対策の基本的方向性としては、降雨時の流出負荷対策よりも晴天時の流出負荷対策(落水防止や農業用水節水など)に重点をおくべきと考えられた。
- (3) また、白鳥川における流出負荷量をかんがい期(4～9月)と非かんがい期(10～3月)で比較すると、T-N、T-P負荷量ともにかんがい期の方が大きく、T-N負荷では60～70%、T-P負荷では70～80%がかんがい期に流出していた。したがって、リンの負荷削減対策に関しては、かんがい期に重点をおくべきであることがわかった。
- (4) 白鳥川流域において原単位法で求めたT-N、T-P排出負荷量と河川で実測したT-N、T-P流出負荷量を比較した結果、原単位法で求めた負荷量は実測負荷量より小さかった。しかし、用水供給による負荷量を原単位法で求めた負荷量に加算すれば、実測負荷量に近くなることがわかった。
- (5) 2006年度には白鳥川に加え日野川、野洲川でも詳細な水質および負荷量調査を行った。その結果、集水

域内の農地面積比率が少ない野洲川では、農地面積比率の大きい白鳥川や日野川と異なり、5月の農業濁水の影響は小さく、降雨の影響が水質や負荷量に対して大きく効いていることがわかった。

- (6) 琵琶湖の南比良沖（北湖S局）において、濁度・クロロフィル a の連続測定を行った結果、クロロフィルは降雨にかかわらず年間に2回（4～5月と10～11月）のピークを示す傾向があることがわかった。
- (7) 2006年7月の大雨時（総降水量約300mm）には、その直後に濁度とクロロフィル a のピークが0～15m層でみられ、1ヶ月ほどしてクロロフィル a のピークが0～15m層でみられた。また、この大雨の後には数週間の間、5および10m層でリン濃度がやや高くなる現象が観測された。この結果から、数百mm程度の降雨があった場合は、河川から流入した栄養塩が沖合まで供給され、植物プランクトンの増殖に寄与しているのではないかと考えられた。

引用・参考文献

- アレキサンダー, J, ホーン・チャールス, R, ゴールドマン (1999) : 「陸水学 (手塚泰彦訳)」, 京都大学出版会.
- 海老瀬潜一 (1984) : 霞ヶ浦流入河川による総流入負荷量の評価. 国立公害研究所研究報告, 50: 41-58.
- Fujiyoshi Shibahara and Satoshi Mizutani (2006) : Paddy run-off control in the Lake Biwa area and nitrogen dynamics in paddy fields, Nitrogen load in agro-ecosystems and its outflow to water bodies: Analyses with monitoring and modeling, Abstracts of the 3rd international workshop of the Japan-Korea research cooperation: 73-74.
- 橋本敏子・井澤博文・中富文雄 (1990) : 太田川における降雨時の流出汚濁負荷量. 全国公害研究会誌, 15(1) : 17-23.
- 細見正明・須藤隆一 (1983) : 懸濁物を含む試水中の窒素とリンの同時分解定量法, 用水と廃水, 25(7) : 675-680.
- 滋賀県 (1998～2005) : 地下水水質調査結果.
- 滋賀県 (2006) : 琵琶湖に係る湖沼水質保全計画第5期資料.
- 山本満二郎・西川吉和 (1964) : 滋賀県のかんがい用水の水質について, 滋賀県農業試験場研究報告, 8: 31-39.

謝辞

農業用水のデータを提供いただきました愛知川沿岸

土地改良区、日野川流域土地改良区、岡山土地改良区の皆様に感謝いたします。また、本研究を進める上でご協力いただいた当センター非常勤職員の中森祐子氏、赤岩さや佳氏、西村剛史氏、渡邊岳氏、橋詰和典氏、嘱託職員の竹村利生氏に感謝いたします。さらに、研究計画検討の際にご協力いただいた滋賀大学の遠藤修一先生、データ収集でご協力いただいた滋賀県農業技術振興センターの大林博幸氏、研究助成をいただいた下水道振興基金、河川整備基金の関係の皆様に感謝いたします。