

農業集落排水に含まれる栄養塩類が 河川水質に与える影響

EFFECTS OF TREATED WASTEWATER BY RURAL SEWAGE
CONTAINING NUTRIENT SALTS ON THE QUALITY OF RIVER WATER

矢島啓¹・道上正規²・檜谷治³・谷山輝実⁴

Hiroshi YAJIMA, Masanori MICHIE, Osamu HINOKIDANI and Terumi TANIYAMA

¹正会員 博(工) 鳥取大学助手 工学部土木工学科 (〒680-8552 鳥取市湖山町南4-101)

²フェロー 工博 鳥取大学 学長 (〒680-8550 鳥取市湖山町南4-101)

³正会員 工博 鳥取大学助教授 工学部土木工学科 (〒680-8552 鳥取市湖山町南4-101)

⁴正会員 ソイルアンドロックエンジニアリング(株) (〒561-0834 大阪府豊中市庄内栄町2-21-1)

Rural sewage installation is considered to be suitable for a rural country. In the basin of River Sendai, Tottori city, 8 towns and a village have been adopted this system from 1986 and sewage of more than two-hundred thousands people are treated by this system. But in a rural sewage installation, nutrient salts like nitrogen and phosphorus are not main target for treatment. So the treated sewage is expected to be rich in nutrient salts and they may affect the water quality of the discharged river.

In this paper, we conducted water quality survey in Saji village. First, we measured the water quality of treated wastewater for two rural sewages. Then estimated the effects of treated wastewater on the water quality of the river. And finally we made it clear that the removal of nutrient salts in treated sewage is very important for the improvement of water quality of the river.

Key Words : *Nutrient salts, rural sewage system, water quality, treated wastewater*

1. はじめに

日本における高度経済成長期は、農村といえども自然の浄化能力を超える汚染負荷を自然に課すに至り、用排水路や公共水域の汚染を引き起こすこととなった。このような状況の改善を図るため、農村においては農業用水の汚濁防止と河川等公共用水域の水質保全および農業集落の生活環境の改善を目的として、家庭雑排水とし尿をあわせて処理する農業集落排水処理施設の整備が進められてきた。

鳥取県においても、農業集落排水事業には比較的に早くから取り組み、佐治村、東郷町、日吉津村ではほぼその事業を完了している。本研究の対象とした佐治村は、鳥取県東部の主要な地域を占め脊梁山脈に囲まれた流域を持つ1級河川千代川(流域面積1192.6km², 幹川流路延長58.8km)の支川である佐治川の流域にある。佐治村の面

積は79.9km²であるが、人口は約3,000人の小さな典型的な農村型集落であり、山林が村の面積の96.4%を、水田および鳥取県の特産である20世紀ナシなどの果樹園が3%の面積を占めている。

佐治村では、農業集落排水事業として、昭和60年に津無地区での着工を皮切りに、平成6年度の葛谷(小原)地区の完成まで、10年間、約30億円をかけて村内全域を、12の処理地区に分け整備している。処理施設では、BODを指標とした場合、施設流入時200ppmあったものが、処理後には20ppmにまで低減されている。しかしながら、農業集落排水の処理においては、窒素やリンなどの栄養塩類は処理対象となっておらず、処理後もかなりの栄養塩類が含まれていることが予想される。佐治村において農業集落排水処理施設が建設される以前は、し尿は千代川下流の下水処理場に運び込まれ処理されていた。しかし建設後は、し尿と家庭雑排水がオンサイトで処理され佐治川に直接放流されるため、佐治川および本川である

千代川の水質がかえって悪化するのではないかと考えられる。しかしこれまで、農業集落排水が河川に与える影響について詳細に調べた研究はあまりなく、吉田らが鳥取県の東郷町や島根県の佐田町を対象に行った農業集落排水の研究¹⁾²⁾も対象施設の規模が小さく十分であるとは言えない。そこで、佐治村における詳細な観測データをもとに、農業集落排水処理水に含まれる栄養塩類の負荷量を把握するとともに、それらが放流先河川に与える影響について検討する。

2. 現地調査の概要

(1) 調査地点の概要

佐治村内12の処理区の中で、処理人口が760人および880人と最も多く、処理区が隣り合った加茂地区・加瀬木地区を対象に調査を行った。これら両地区における処理施設の処理方式はどちらもJARUS-Ⅲ型であり、栄養塩類の除去を目的としたものではない。

これらの処理施設における水質目標値は、T-N=20mg/ℓであるが、T-Pについては設定されていない。

a) 水質調査地点

水質調査は図-1に示すように、農業集落排水（以下、「農集」と略）処理水2箇所に、それぞれの農集処理水流入前後における佐治川3箇所および佐治川への流入支川3箇所の合計8点において採水を行った。以下、調査地点No.と調査地点名を整理する。

No.1：加茂地区上流（調査対象の農集処理水流入前の佐治川の水質指標となる。ただし、これより上流における農集処理人口は約680人である。）

No.2：加茂処理施設の放流水

No.3：加茂処理施設および加瀬木処理施設の間地点

No.4：加瀬木処理施設の放流水

No.5：加瀬木下流

No.6：木合谷川（佐治川の支川・流域面積5.6km²）

No.7：西谷川（佐治川の支川・流域面積2.6km²）

No.8：津野谷川（佐治川の支川・流域面積1.2km²）

b) 流量調査地点及び方法

河川流量中において、単位時間内に運ばれる栄養塩の量を算定するため、佐治川では、No.5地点において河川の流水断面と流速（アレック電子(株)製電磁流速計ACM200-Dを使用）を測定することにより流量を求めた。また、No.6の木合谷川においても同様の測定により流量を求めた。それ以外の地点においては、No.5、No.6における実測値から、それぞれの地点における流域面積をもとに流量を換算した。また、流量が多く現地で実測できない場合は、

調査地点No.1から約7.5km上流にある佐治ダム流入量・放流量をもとに流域面積比を考慮して求めた。なお、この方法により求めた流量と実測より求めた流量の差はほとんどないことを別途確認している。

(2) 調査日時

1999年6月10日から2001年2月22日までの間、ほぼ1月に1回の割合で、原則として晴天日が2、3日続いた後の計23回の調査を行った。調査は、いずれの日も正午前後に行った。

(3) 水質調査方法

採水は農集処理施設放流水ポンプ槽よりハイロート採水器（IWAKI社製）で直接行い、採水した水を現地から戻った直後に分析した。ただし、水温・pHについては現地で計測器（東亜電波工業社製HM-12P）を用いて測定した。

水質の調査項目は、水温・pH・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）・全窒素（T-N）・無機態リン（PO₄-P）・全リン（T-P）である。T-N・T-Pについては、分解器（セントラル科学社製TNP88M型）にかけ、温度120度、加熱時間40分で加熱分解した後、測定を行った。また、無機栄養塩のNH₄-N・NO₂-N・NO₃-N・PO₄-Pについては、0.45μmのメゾンフィルターでろ過した試料を用いて測定を行った。いずれの吸光光度法による濃度測定にも、セントラル科学社製IC-1000型を使用した。

3. 農業集落排水処理水の水質

(1) 各栄養塩濃度の調査結果

a) 全窒素の測定結果

加茂・加瀬木両処理施設における、T-Nの測定結果を図-2に示す。また、併せて、NH₄-N、NO₂-N、NO₃-Nの合計で表される無機態窒素のInorg-Nの濃度も示す。この図より、加茂・加瀬木の両施設における農集処理水のT-N

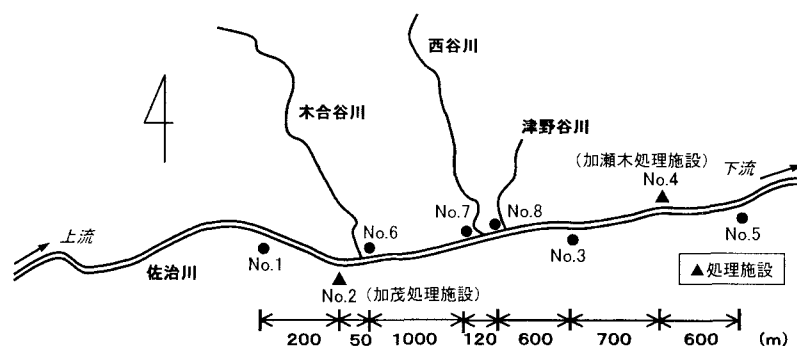


図-1 調査対象地点位置

濃度は、ほぼ同じ値を示していることが分かる。観測期間全体でのT-N平均濃度は20mg/ℓ程度となっており、処理施設T-N目標値を満たしていることが多い。ただし、2000年6月以降は20～30mg/ℓと高く、目標値を上回ることが多かった。

b) 全リンの測定結果

加茂・加瀬木両処理施設における、T-PとPO4-Pの濃度を図-3に示す（但し、2000年9月27日は欠測）。この図よりT-P濃度は、両施設において10mg/ℓ程度の高濃度となる時と、3mg/ℓ程度の低濃度となる時が存在するが、それらに季節的な変動はみられない。また、T-Nのように両施設におけるT-P値は、必ずしも同程度の濃度ではなく、1999年7月22日、8月5日、12月16日のように一方の施設の濃度が高く、他方が低いことが見受けられる。

(2) 無機態栄養塩類の調査結果

a) 無機態窒素の調査結果

図-2に示すように、Inorg-N濃度は1999年7月22日、8月5日および2000年12月15日を除けば、加茂、加瀬木両処理施設でほぼ同じ濃度となっている。T-N中に占めるInorg-Nの割合をみると、加茂処理施設で6～97%、平均は45%、加瀬木処理施設で22～95%、平均は56%と変動は大きい。また、加茂処理施設においては1999年9月10日、2000年1月6日と6月16日～12月15日、加瀬木処理施設においては1999年7月22日～9月27日および2000年1月6日と7月12日～11月24日において、T-N中に占めるInorg-Nの割合が高くなっている。

次に、無機態窒素の中身を図-4に示す。NH₄-NとNO₃-Nの濃度の関係を見ると、NH₄-N濃度が2000年6月から8月にかけては高く、同時期のNO₃-N濃度は低い。逆に、NH₄-N濃度が下がり始めた9月以降はNO₃-N濃度が高くなっている。NO₂-N濃度は平成12年9月27日に1.0mg/ℓを超えている他は、極めて低い値を示している。

処理施設の処理対象となっている排水は、し尿と生活雑排水であることから、施設に流入する処理水には、し尿の主な成分であるNH₄-Nや生活雑排水の主成分である有機態窒素やアミノ酸が多く含まれている。平成12年6月から8月にかけて、処理水のNH₄-N濃度が高くなっているのは、処理施設の接触ばっ気槽でNO₃-Nに変化されきらず、窒素化合物がNH₄-Nの状態で放

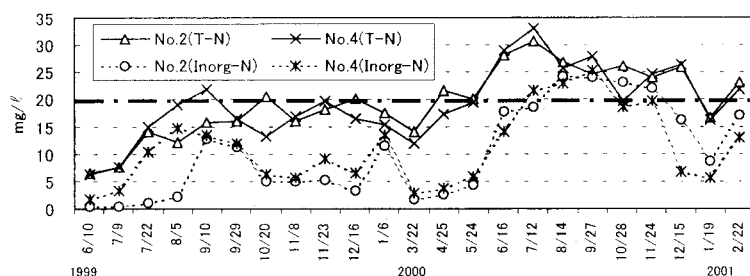


図-2 農集処理水におけるT-N・Inorg-Nの季節変動

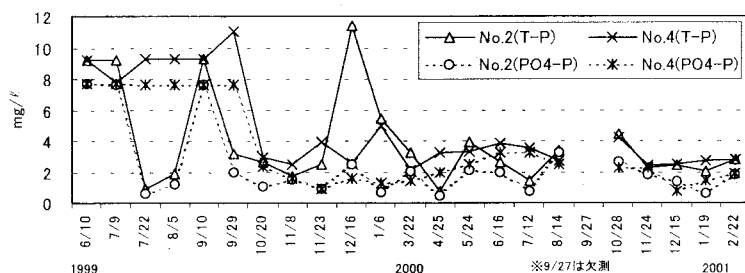
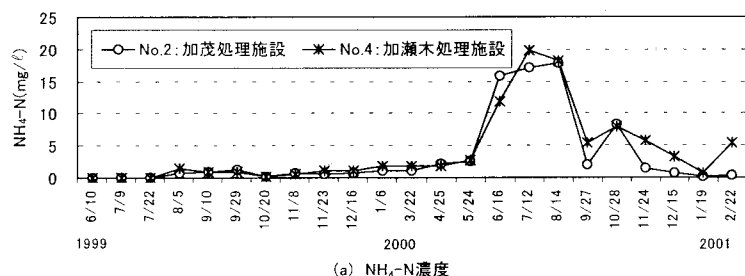
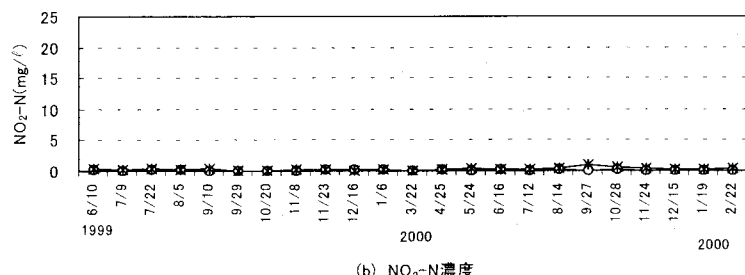


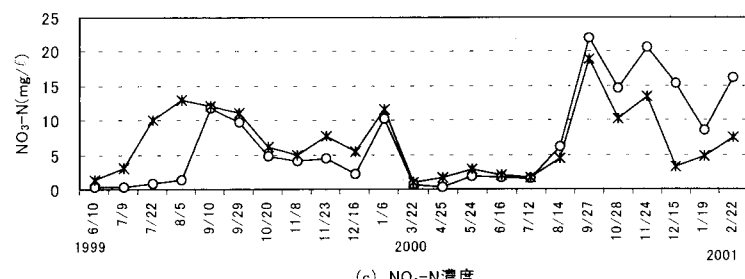
図-3 農集処理水におけるT-P・PO4-Pの季節変動



(a) NH₄-N濃度



(b) NO₂-N濃度



(c) NO₃-N濃度

図-4 農集処理水におけるInorg-Nの季節変動

(a)NH₄-N, (b)NO₂-N, (c)NO₃-N.

流されたものと考えられる。なお、佐治村によると、調査期間内における処理施設の機械の故障などは報告され

ておらず、この変動の原因を特定できなかった。

pHについての観測結果によると、無機態窒素の組成割合の変化とともに変動しており、NH₄-N濃度の高い2000年7月12日にはpH7.5(No.2)、pH7.73(No.4)とアルカリ性となり、2000年9月27日のようにNO₃-Nの濃度が高い時には、pH6.34(No.2)、pH6.62(No.4)と酸性となっていた。ただし、農集処理施設目標値はpH=5.8～8.6、農業用水水質基準はpH=6.0～7.5であり、それらはほぼ満たされていた。

b) PO₄-Pの調査結果

図-3に示すように、T-P中に占める有機と無機の割合については、ほとんどの場合においてPO₄-Pの割合の方が高くなり、リン化合物の多くがリン酸イオンの形に分解されていることがわかる。また、その割合を数値で見ると、加茂処理施設では13～95%、平均は61%、加瀬木処理施設では23～98%、平均は70%であり、窒素化合物同様その変動は大きい。

4. 農業集落排水処理水が河川に与える影響

(1) 佐治川および千代川の水質

農集処理水が河川水に与える影響を検討する前に、まず、それらが流入する佐治川および千代川の水質を把握

する。

鳥取県の環境白書³⁾によると、佐治川の水環境基準はAA類型、千代川はA～AA類型となり、非常にきれいな水質に区分される。しかし、栄養塩濃度で見ると、佐治川(No.5における今回の全調査データの平均値)では、T-N=0.837mg/ℓ、T-P=0.178mg/ℓであり、千代川(国土交通省が佐治川合流点より約20km下流の行徳地点において平成11年に行った水質データの平均値)では、T-N=0.838mg/ℓ、T-P=0.042mg/ℓである。これを湖沼における環境基準にあてはめると、佐治川は特にT-P濃度が千代川の約4倍と高いため適合する類型はなく、千代川はV類型に分類され、どちらもかなり富栄養化していることが分かる。

(2) 佐治川におけるN、P負荷量の検討

佐治川流量、農集処理施設放流量、支川の流量、および、それらにおけるT-NおよびT-Pの負荷量の関係をまとめたものを表-1に示す。但し、農集処理施設の処理水は最終槽から越流させて放流しているため、放流量を測定することは困難である。そこで、佐治村によって農集施設への日流入量として測定されているものを、処理施設放流量として用いた。

佐治川の流量は最下流部のNo.5地点で0.65～9.09 m³/s となっており、その平均は3.18 m³/s である。それ

表-1 農業集落排水処理水および支川流入水の佐治川に与える影響

観測地点		流量 (m ³ /s)	佐治川流量 に対する割合	T-N濃度 (mg/ℓ)	T-P濃度 (mg/ℓ)	T-N量 (g/s)	T-P量 (g/s)	T-N負荷率 (%)	T-P負荷率 (%)
佐治川 (No.5)	最大	9.09	—	2.0	0.44	6.90	1.63	—	—
	最小	0.65	—	0.3	0.02	0.40	0.07	—	—
	平均	3.18	—	0.8	0.18	2.41	0.46	—	—
加茂処理施設 (No.2)	最大	0.0032	1/2867	30.7	11.40	0.08	0.03	15.18	13.62
	最小	0.0018	1/353	6.4	0.78	0.01	0.00	0.28	0.29
	平均	0.0023	1/1383	19.3	4.10	0.04	0.01	4.23	4.12
加瀬木処理施設 (No.4)	最大	0.0029	1/3105	33.1	11.02	0.08	0.03	13.51	33.73
	最小	0.0017	1/379	6.2	2.08	0.01	0.00	0.26	0.79
	平均	0.0021	1/1514	19.1	5.04	0.04	0.01	4.00	5.40
木合谷川 (No.6)	最大	0.54	1/17	1.0	0.82	0.29	0.20	10.47	18.74
	最小	0.05	1/14	0.3	0.01	0.02	0.00	1.26	0.84
	平均	0.18	1/17	0.5	0.16	0.10	0.03	3.80	5.07
西谷川 (No.7)	最大	0.25	1/36	3.2	0.49	0.45	0.07	19.69	10.06
	最小	0.02	1/30	1.1	0.05	0.06	0.00	1.51	0.64
	平均	0.09	1/36	2.2	0.19	0.18	0.02	6.35	3.19
津野谷川 (No.8)	最大	0.11	1/81	3.0	0.42	0.12	0.03	10.92	7.31
	最小	0.01	1/66	0.2	0.04	0.01	0.00	0.37	0.19
	平均	0.04	1/80	1.3	0.16	0.05	0.01	2.02	1.34

・T-N、T-P負荷率とは、佐治川に対して各流入水が与える負荷の割合で、各地点の負荷量/佐治川のT-NあるいはT-P量である。

に対して、処理施設放流量は加茂処理施設で平均 $2.3 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ 、加瀬木処理施設で平均 $2.1 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ である。これは、佐治川流量の1/1500程度に過ぎない。しかし、処理施設放流水の栄養塩濃度は佐治川より1～2オーダー高いので、負荷量で評価すると少なからず佐治川に影響を与えている。その割合としては、佐治川のT-N量が多いときの各農集処理水の窒素負荷率は1%以下と小さく、佐治川のT-N量が少ないときは15%程度にもなった。ただし、有機態より無機態の負荷が多く、 $\text{NH}_4\text{-N}$ においては2倍以上の負荷を与える場合もあった。リンに関しては、佐治川のT-P量が多いときは1%以下であるが、少ないときは10～30%の負荷を与えており、これも窒素同様、有機態より無機態の負荷が多い。

なお、支川の中で西谷川からのT-N負荷率が大きく、最大で19.69%である。これは西谷川流域には、多くの果樹園が存在しており、そこからの流出する栄養塩が影響していると考えられる。

(3) 千代川流域における農業集落排水処理水による栄養塩負荷量の検討

a) 千代川流域における污水处理施設の整備状況

千代川の流域における農集処理水の影響を推定するため、まず、10の市町村からなる千代川の流域における污水处理施設の整備状況を表-2にまとめて示した。

千代川流域における公共下水道の整備率は、平成12年3月末現在、最も整備の進んでいる鳥取市で65.2%、次いで若桜町が47.6%、国府町が40.2%、郡家町が39.6%と

なっており、船岡町、用瀬町、佐治村、智頭町においては公共下水道整備が全くなされていない。農業集落排水事業は、各市町村で積極的に取り組まれており、平成12年4月1日には新しく4つの施設が供用を開始し、現在では47の集落排水処理施設が稼働している。し尿衛生処理率をみると、八東町で84.8%と少し悪い他は概ね95%を超え、千代川流域におけるし尿衛生処理はほぼ行われており、河川に直接排出される量は少ない。

b) 農集処理施設から放流される栄養塩負荷量の推定

各市町村の農集処理施設から放流される1日あたりの栄養塩量を、佐治村における加茂・加瀬木処理施設における排出量より次のように推定する。

佐治村の加茂・加瀬木処理区における農集供用人口はあわせて1,174人であり、両処理施設から一日あたり排出される栄養塩量を本研究で得られた観測データの平均値から $T-N=7.4\text{kg}$ 、 $T-P=1.8\text{kg}$ である。また、佐治村および千代川流域における農集供用人口は、それぞれ3,050人および20,498人である。従って、佐治川および千代川流域の農集処理施設から排出される栄養塩量を、加茂・加瀬木のデータより推定すると、佐治川では $T-N=19\text{kg/日}$ 、 $T-P=5\text{kg/日}$ 、千代川流域では $T-N=129\text{kg/日}$ 、 $T-P=31\text{kg/日}$ の流出負荷があることになる。

(4) 農業集落排水処理水が千代川に与える影響

さきに求めた佐治川および千代川における農集処理水からの栄養塩負荷量が、河川水中に含まれる栄養量と比較してどの程度の割合になっているかを評価する。但し、

表-2 千代川流域の農業集落排水施設整備状況

市町村	面積(km ²)	人口(人)	し尿衛生処理率 ^{※1} (%)	公共下水道整備率(%)	農業集落排水供用人口(人)	施設数	供用開始年月 ^{※3}	型式
鳥取市	237.2	147,168	99.1	65.2	9,048	16	S61.11～H12.4	J-I・III・V・X I・XIV・O.D.
国府町	93.4	8,537	97.0	40.2	503	1	H12.4	J-X I
郡家町	85.53	10,276	97.5	39.6	1,042	3	H12.4	O.D.
船岡町	53.67	4,840	96.5	0.0	120 ^{※2}	1	H6.4	J-I
河原町	83.62	8,687	94.7	29.4	1,073	2	H7.10～H9.10	J-III
八東町	67.51	5,856	84.8	12.7	2,436	4	H5.10～H10.7	J-III・X I
若桜町	199.31	5,214	96.6	47.6	136	1	H11	J-I
用瀬町	81.6	4,489	97.7	0.0	2,502	4	H4.4～H12.7	J-III
佐治村	79.89	3,050	99.2	0.0	2,781	12	S62.5～H7.3	J-III
智頭町	224.61	9,857	94.2	0.0	857	3	H9.5～H12.4	J-I・III
合計	1206.34	207,974	-	-	20,378	47	-	-

※1 し尿衛生処理率とは、し尿衛生処理量/年間総排出量である。

※2 船岡町の農業集落排水供用人口が不明であるため、計画人口を供用人口とする。

※3 施設が複数ある市町村については、最も早く供用が開始したものと、最近開始したものを示す。

ここで用いる千代川の水質・流量データについては、国土交通省によって行徳地点において毎月1回測定されている平成6年から平成12年までの平均値を用いた。

佐治川および千代川における栄養塩濃度・栄養塩量およびそれぞれの流域内の農集処理水からの栄養塩量と河川水の栄養塩量との割合を表-3にまとめた。この表より、農集処理水は、佐治川においてはT-Nについて約9%、T-Pについて約13%の負荷を与えている可能性がある。また、千代川においては、T-Nについて約4.1%、T-Pについて約16%の負荷を与えている可能性がある。

(5) 千代川における水質の経年変化からみた農業集落排水処理水の影響

国土交通省のデータによる千代川行徳地点における窒素類の栄養塩類濃度の75%値の経年変化を図-5に示す。この図から分かるように、T-NやOrg-Nについては、1987年までは濃度の低下がみられ、その後微増に転じている。その因果関係ははっきりしないものの、千代川流域においては公共下水道の整備が先行し、その後、昭和61年（1986）から農集処理施設の整備が始まったことと関係しているようにみえる。農集処理施設の建設前後における河川への栄養塩類の負荷量の変化は、家庭雑排水と農集（し尿+家庭雑排水）処理水に含まれる負荷の差で決定される。家庭雑排水中のT-Nの原単位は流総指針⁴⁾によると3.0g/人日であり、T-Pの原単位は0.3g/人日である。この値をもとに推定すると、千代川流域の農集人口20,378人の負荷量はT-N=61kg/日、T-P=6kgとなる。これを表-3に示す農集からの負荷量T-N=129kg、T-P=31kgと比べると、農業集落排水事業後は、かえって河川に対し負荷を与えている可能性があることが分かる。

5. おわりに

佐治川における2箇所の集落排水処理施設を調査した結果、処理水の栄養塩濃度は、全窒素で約19mg/l、全リンで約5mg/lと非常に高濃度であることがわかった。これに対し放流先の佐治川の濃度は、灌漑・果樹園への施肥・降雨量などに影響される可能性もあるが、観測期間の平均で全窒素で0.8mg/l、全リンで0.18mg/lと処理水に比べて低い濃度であった。ただし、流量の違いを考慮するため、栄養塩量で比較したところ、佐治川の流量が少ないときには、農集処理水の栄養塩量は、佐治川の10～30%と非常に大きな負荷を与えていた。また、国土交通省が平水時に行っている水質観測データを用いて算定

表-3 佐治川および千代川における農業集落排水処理水からの栄養塩量の負荷率

項目	単位	佐治川		千代川	
		T-N	T-P	T-N	T-P
河川水の栄養塩濃度	mg/l	0.837	0.178	0.81	0.055
河川水の栄養塩量 (A)	kg/日	208	40	3150	196
流域内の農集処理水の栄養塩量 (B)	kg/日	19	5	129	31
負荷率 (B/A)	%	8.7	12.5	4.1	15.8

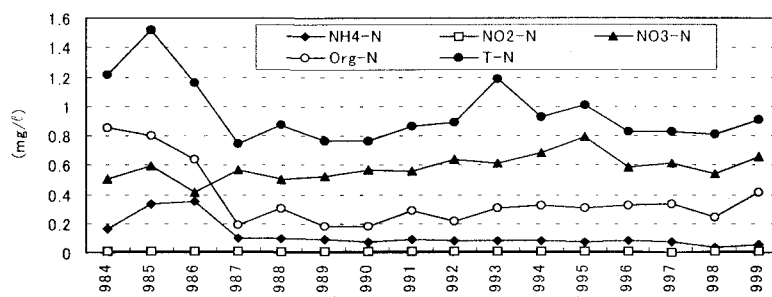


図-5 千代川行徳地点における水質（75%値）の経年変化

した結果、千代川流域における1日あたりの栄養塩量はT-N=3150kg、T-P=196kgであり、その中で、農集処理水がT-Nで約4%、T-Pで約16%の負荷を与えている可能性があることが分かった。また、栄養塩類の除去を考慮していない農集処理施設建設後には、河川への負荷量を増加させることが明らかとなった。

今後、千代川流域の河川水質を向上させるためには、面的な流入負荷の制御は難しいため、農集処理水のように汚濁源が特定できるものに対する対策を講じることが有効な手段であると考えられる。

謝辞：研究に全面的に協力していただいた佐治村役場および各種資料を提供していただいた佐治川ダム管理事務所、国土交通省鳥取工事事務所に対しあつく御礼申し上げます。また、現地観測およびデータ整理は、島根県庁秦丈治氏（当時学部学生）、大学院生早川一栄君らをはじめとする研究室諸氏の協力を得た。さらに、鳥取大学工学部増田貴則講師には有益なコメントを頂いた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 吉田勲：集落排水処理水が環境に与える影響に関する研究II. 東郷町の例，鳥大農研報43，pp.55-63，1990.
- 2) 吉田勲：集落排水処理水が環境に与える影響に関する研究I. 宮内地区の例，鳥大農研報42，pp.39-49，1989.
- 3) 鳥取県：平成10年版鳥取県環境白書，1999.
- 4) (社)下水道協会：流域別下水道整備総合計画調査指針と解説，1993.

(2001.4.16 受付)