

## 農業集水域からの汚濁物質流出特性 ( I )

—— 水質変動と流出負荷量 ——

武田 育郎\*

### Pollution Loading Outflows from an Agricultural Basin ( I )

—— Characteristics of Concentrations and Loadings ——

Ikuro TAKEDA

**Synopsis** Water qualities and discharge were monitored regularly in the agricultural basin during two irrigation periods and one non-irrigation period. The rate of paddy field in the basin changed within two irrigation periods, i. e. 36 % (1988) and 45 % (1989) due to conversion to upland field. The loadings were calculated only in the dry-weather days, because there was a little problem in measuring the discharge.

At the lowest end of the basin, the average concentrations of T-N, T-P and T-COD during the irrigation periods were 2.13mg/l (1988) 1.68mg/l (1989); 0.171mg/l (1988) 0.399mg/l (1989), and 2.5mg/l (1988) 4.5mg/l (1989) respectively. The tendency was found that the pollution loading outflows were higher than the inflow by irrigation. Furthermore [Outflow loading] - [Inflow loading] during the irrigation period in 1989 were higher than 1988. This may be caused by the large amounts of loading from the paddy fields in the basin.

#### I. はじめに

わが国では、高度経済成長の進展とともに、河川・湖沼・内湾などの公共用水域の水質汚濁が進行し、種々の問題が引き起こされるようになった。最近では、かつての有機水銀や鉍毒水に代表されるような深刻な水質汚染は改善され、代わって、窒素・リンなどの栄養塩による水質汚濁が問題となっている。たとえば、富栄養化した湖での藻類の異常発生、水道水の「臭い水」などの問題が顕在化してきた。こうした水質汚濁に対して、工場、事業所などの特定汚染源については、排水規制や下水道の整備などの対策が施され、公共用水域に流入する汚濁物質の削減が図られている。この結果、公共用水域の水質はある程度改善されてきたが、十分な水質改善とはなっていない。その理由の一つは、山林・農地・市街地といった非特定汚染源からの汚濁負荷流出が依然として大きく、また、汚濁負荷流出機構が不明確なままであるので、これに対する対策が容易に立てられないことにある。

このような事情から、集水域における各種の非特定汚染源の構造を再評価する必要に迫られており、農業集水域についても精度の高い評価が課題となっている。

著者らは、水田群を対象として水質・水文調査を行い、灌漑期・非灌漑期、降雨時・晴天時の汚濁負荷流出、さらに土壌の化学性との関係などを考察した<sup>1)2)3)4)</sup>。本論文では、この水田群を含む農業集水域について、溪流、水田用水、水田排水、集水域末端の水質を示し、合わせて水の流入と流出に伴う物質収支を概算した。なお、本論文では、流量測定に精度に難点があるので、晴天時の水質、負荷量のみを対象にした。

#### II. 調査地点

調査は、琵琶湖に流入する野洲川の中流域に位置する、滋賀県甲賀郡甲西町の農業集水域(図1)を対象とした。調査期間は、1988年5月～1989年9月までとした。集水域は、高田砂川、野洲川、大砂川および山林に囲まれている。高田砂川は、水田地域では天井川となり、降雨時にしか流水がなかった。また、高田砂川は、主に山林地域の流水をトラップして流れていた。したがって、晴天時の集水域からの流出水は、高田砂川の堤防沿いの排水河川を流下し、A点で野洲川へ流出していた。

水田用水は、野洲川支流の思川から取水しており、思川の中流域には湖南工業団地が広がっていた。

集水域の土地利用状況を表1に示した。汎用農地化さ

\* 農村工学講座

れた圃場では、毎年ローテーションで畑地転換されているので、水田面積率は36% (1988年灌漑期)、45% (1988年10月～1989年9月) と異なっていた。

なお、本論文では1988年5月～9月を1988年灌漑期、1988年10月～1989年4月を非灌漑期、1989年5月～9月、1989年灌漑期と呼ぶことにする。

### III. 調査方法

水質分析用のサンプルの採水は、集水域末端 (A点)、渓流水流出地点 (C点)、集水域内の水田群 (11.6ha)<sup>1)2)3)4)</sup>の排水路 (D点) と用水路 (E点 (1988年)、F点 (1989年)) で行った (図1参照)。なお、水田用水の採水地点が1988年と1989年で異なるのは、1989年はF点よりも上流の圃場が畑地転換されたことによる。

サンプルの採水頻度は、原則として1988年5月～9月は週2回、1988年10月～1989年9月は週1回とした。兩年とも代かき・田植期には2日に1回採水した。サンプ

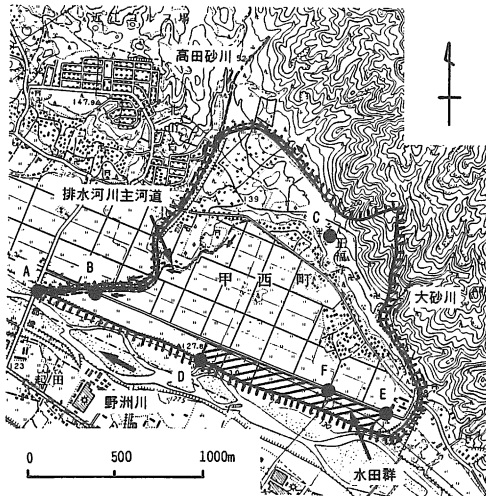


図1 対象集水域

- A : 集水域末端採水地点
- B : 集水域末端流量測定地点
- C : 渓流水採水地点
- D : 水田排水採水地点
- E : 水田用水採水地点 (1988年灌漑期)
- F : 水田用水採水地点 (1988年灌漑期)

表1 集水域の土地利用状況

土地利用区分	1988年灌漑期		1989年10月 ～1989年9月	
	(km <sup>2</sup> )	(%)	(km <sup>2</sup> )	(%)
集山	0.31	18	同左	
落田	0.21	12	同左	
水畑	0.60	36	0.76	45
畑地・樹園地	0.56	33	0.40	24
溜池	0.01	1	同左	
計	1.69	100	同左	

ルは採水後速やかに実験室に持ち帰り、JIS K0102<sup>5)</sup>、および上水試験方法<sup>6)</sup>に準拠して分析した。なお、溶存性物質は東洋ろ紙製ガラス繊維ろ紙GS-25 (保留粒子径0.6 μm) でろ過したものを分析した。

A点とC点の流量は、河床断面が時期によって大きく変化するので、測定できなかった。代わって、比較的断面の安定しているB点で採水時に観測者が流量を測定した。なお、B点ではD点を流下する小排水路の流水を含まないが、[B点の流量] >> [小排水路の流量] であるので、B点の流量を集水域からの流出水量とした。水田群の流量は、用水路と排水路のしかるべき点に自記水位計を設置して計測とした<sup>3)</sup>。

前述したように、本論文では降雨の影響を受けているデータを除去して考察した。なぜならば、B点では採水時のみの流量データしかなく、また排水河川は、A点とB点の間で高田砂川と合流するので、降雨時のサンプルには流域外の流水が含まれるからである。

降雨の影響を受けているデータの除去には、次のような基準を用いた。まず、灌漑期の集水域末端、水田排水の水質については、採水時刻から24時間以内に5 mm以上の降雨があった場合は、その水質は降雨の影響を受けていると考えた。水田群における降雨時の水質変化は、降雨終了後1日程度で出水以前と同程度となること<sup>1)2)</sup>から、24時間という基準を設けた。水田用水と渓流の水質については、参考にするべき資料がないのでこれに準じた。非灌漑期は、灌漑期とは別の基準を用いた。なぜならば、水田では耕起によってできた畝間に雨水が貯留されるので、降雨終了後の流出は灌漑期よりも長く続くからである。そこで本論文では、水田群の排水路 (D点) に流水のある日の集水域末端のデータを除去した。渓流の水質データについても参考にするべき資料がないのでこれに準じた。なお、降雨データは、現地に設置した自記雨量計のデータ<sup>1)2)3)</sup>を用い、これの欠測部分は甲西町役場のデータを用いた。

### IV. 結果と考察

#### 1. 水質

平均水質を表2に、集水域末端の水質変動を図2に示した。

灌漑期の集水域末端のT-N、T-P、T-COD平均濃度は、T-N=2.13mg/l (1988年灌漑期)、1.68mg/l (1989年灌漑期)、T-P=0.171mg/l、0.399mg/l、T-COD=2.5mg/l、4.5mg/lであった。これは、水田用水の平均濃度より高く、水田排水より低い傾向にあった。また、非灌漑期における集水域末端でのこれらの

平均濃度も、灌漑期と同程度であった。ただ、窒素では、NO<sub>3</sub>-N 平均濃度が1.47mg/lと灌漑期の2倍近い値であった。

栄養塩以外の水質では、水田用水のNa<sup>+</sup>、Cl<sup>-</sup>平均濃度が、Na<sup>+</sup>=64.9mg/l（1988年灌漑期）、64.4mg/l（1989年灌漑期）、Cl<sup>-</sup>=89.7mg/l、95.8mg/lと高く、灌漑期では水田排水と集水域末端も高濃度となった。

また、図2をみると、窒素では、水田の施肥時期（5月上旬の基肥施用期（代かき・田植期）、5月下旬～6月上旬の追肥施用期、7月中旬～8月上旬の穂肥施用期）と非灌漑期の1988年11月～1989年1月にかけて高濃度となった。特に非灌漑期では、酸化的条件を反映してNO<sub>3</sub>-N濃度が高くなっていた。

一方、リン、T-CODでは、代かき・田植期に一時的に高濃度となったが、これを除くと変動は少なかった。

栄養塩以外では、EC、Na<sup>+</sup>、Cl<sup>-</sup>濃度が灌漑期が高く、また、変動幅も大きいことが特徴的であった。

表2 平均水質

水質項目	期間	溪流	用水	排水	集水域末端
T-N (mg/l)	1988年灌漑期	1.42	1.77	1.86	2.13
	非灌漑期	0.63	—	—	2.23
	1989年灌漑期	0.57	1.08	2.06	1.68
NH <sub>4</sub> -N (mg/l)	1988年灌漑期	0.023	0.134	0.397	0.183
	非灌漑期	0.041	—	—	0.210
	1989年灌漑期	0.042	0.083	0.790	0.224
NO <sub>3</sub> -N (mg/l)	1988年灌漑期	0.343	0.633	0.351	0.785
	非灌漑期	0.407	—	—	1.47
	1989年灌漑期	0.316	0.648	0.321	0.793
T-P (mg/l)	1988年灌漑期	0.028	0.247	0.285	0.171
	非灌漑期	0.029	—	—	0.113
	1989年灌漑期	0.025	0.118	0.652	0.399
PO <sub>4</sub> -P (mg/l)	1988年灌漑期	0.007	0.204	0.239	0.128
	非灌漑期	0.009	—	—	0.173
	1989年灌漑期	0.008	0.055	0.522	0.185
T-COD (mg/l)	1988年灌漑期	4.3	2.3	3.5	2.5
	非灌漑期	4.3	—	—	3.2
	1989年灌漑期	3.2	2.4	6.5	4.5
EC (mg/l)	1988年灌漑期	75	395	398	310
	非灌漑期	62	—	—	102
	1989年灌漑期	71	404	446	303
K <sup>+</sup> (mg/l)	1988年灌漑期	2.42	5.15	6.07	5.00
	非灌漑期	2.29	—	—	3.86
	1989年灌漑期	1.78	3.95	7.03	4.33
Na <sup>+</sup> (mg/l)	1988年灌漑期	10.6	64.9	59.0	46.7
	非灌漑期	17.1	—	—	18.0
	1989年灌漑期	7.8	64.4	59.7	38.0
Ca <sup>2+</sup> (mg/l)	1988年灌漑期	2.6	20.2	22.0	18.0
	非灌漑期	3.4	—	—	5.9
	1989年灌漑期	3.0	16.4	20.1	13.9
Mg <sup>2+</sup> (mg/l)	1988年灌漑期	0.98	3.35	3.69	3.08
	非灌漑期	1.13	—	—	1.54
	1989年灌漑期	0.77	2.66	3.37	2.30
Cl <sup>-</sup> (mg/l)	1988年灌漑期	3.4	89.7	93.0	65.5
	非灌漑期	3.7	—	—	7.4
	1989年灌漑期	3.6	95.8	103	57.9
SiO <sub>2</sub> -Si (mg/l)	1988年灌漑期	12.1	5.1	4.1	5.4
	非灌漑期	9.6	—	—	6.2
	1989年灌漑期	11.0	4.9	4.6	5.8

## 2. 水量

集水域の水田用水量と排水河川の流量を表3に示した。水田用水量は次のようにして推定した。すなわち、B点における灌漑期と非灌漑期の流量の差は、すべて水田用水によるものと仮定し、これに減水深（集水域内の水田群での実測値：17.2mm/d<sup>9)</sup>を加えて算出した。

1988年灌漑期、1989年灌漑期の水田用水量は、それぞれの年の水田面積から計算すると、4,730mm、4,420mmであり、集水域内の水田群の用水量（3,950mm（1988年灌漑期）<sup>9)</sup>よりもやや大きくなった。このことは、集水域レベルでは、水田用水の一部分は、未利用のまま排水路へ流出することによる。

## 3. 負荷量

これらを基に集水域に流入する水田用水負荷量と集水域末端での流出負荷量を計算した（表4）。負荷量は月平均水質と月間流量を乗じて計算した。

窒素、リン、T-CODの流出負荷量は、水田面積の多い

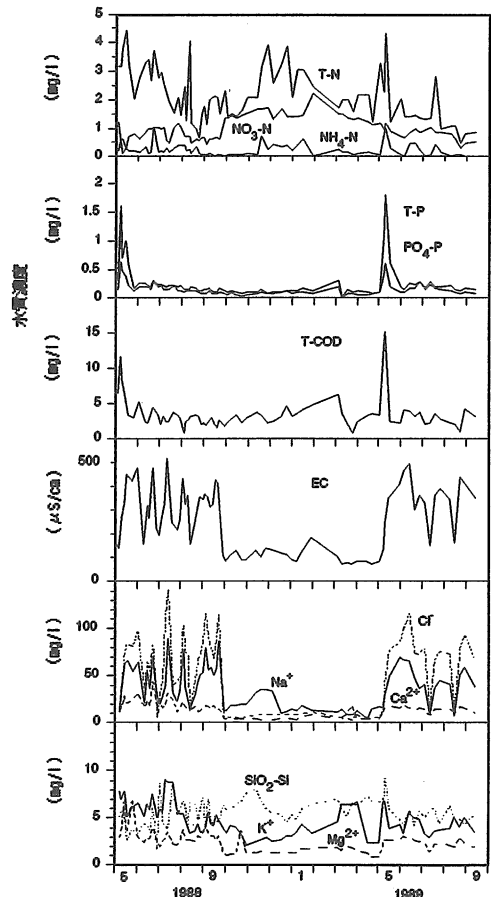


図2 集水域末端の水質変動

表3 用水量と流出水量 (\*10<sup>5</sup>t)

	1988年灌漑期		非灌漑期		1989年灌漑期	
	用水	流出	用水	流出	用水	流出
水量	28.4	24.5	—	16.3	33.6	25.7

表4 用水負荷量と流出負荷量 (t/期・km<sup>2</sup>)

	1988年灌漑期		非灌漑期		1989年灌漑期	
	用水	流出	用水	流出	用水	流出
T-N	2.97	3.18	—	2.47	2.15	2.80
NH <sub>4</sub> -N	0.22	0.28	—	0.23	0.17	0.35
NO <sub>3</sub> -N	1.06	1.23	—	1.60	1.29	1.44
T-P	0.41	0.27	—	0.12	0.23	0.57
PO <sub>4</sub> -P	0.34	0.20	—	0.22	0.11	0.28
T-COD	3.86	4.07	—	3.59	4.77	7.21
K <sup>+</sup>	8.64	8.72	—	4.19	7.85	7.48
Na <sup>+</sup>	108	73.9	—	19.1	127	69.5
Ca <sup>2+</sup>	33.9	28.3	—	6.4	32.6	23.5
Mg <sup>2+</sup>	5.62	4.68	—	1.65	5.29	3.99
Cl <sup>-</sup>	150	114	—	8	190	111
SiO <sub>2</sub> -Si	8.52	9.61	—	7.17	9.66	9.75

1989年の方が、用水負荷量に対して多く流出している傾向にあった。このことは、集水域内の水田群で測定した正味の汚濁負荷流出量が T-N=45.7, T-P=8.72, T-COD=98kg/ha・year と比較的大きいこと<sup>2)</sup>に起因するのであろう。

栄養塩以外の負荷量では、流出負荷量の方が、水田用水負荷量よりも少ない傾向にあった。

## V. 要 約

本論文では、農業集水域について、溪流、水田用水、水田排水、集水域末端の水質を示し、合わせて水の流入と流出に伴う物質収支を概算した。

- 1) 灌漑期の集水域末端の T-N, T-P, T-COD の平均濃度は、水田用水よりも高く、水田排水よりも低い傾向にあった。また、非灌漑期におけるこれらの平均濃度も灌漑期と同程度であった。
- 2) 栄養塩以外の水質では、水田用水の Na<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup> 平均濃度が高く、灌漑期では水田排水と集水域末端も高濃度となった。

3) 集水域末端の水質変動は、窒素では、水田の施肥時期と非灌漑期に高濃度となった。一方、リン, T-COD では、代かき・田植期に一時的に高濃度となったが、これを除くと変動は少なかった。

4) 窒素, リン, T-COD の流出負荷量は、水田面積の多い1989年の方が、水田用水負荷量に対して多く流出している傾向にあった。このことは、集水域内の水田群で測定した正味の汚濁負荷流出量が比較的大きいことに起因していると考えられた。

なお、水系における集水域の物質収支をより正確に評価するためには、降雨時負荷量、浸透流出負荷量、山林からの流入負荷量、さらに家庭排水の影響を考慮する必要がある。

最後に、本研究を進めるにあたりご指導賜った、京都大学農学部・丸山利輔教授、滋賀県立短期大学農学部・國松孝男教授、またデータ集計にご協力頂いた京都大学農学部学生・荒川伸人氏（現：農林水産省）に心よりの謝意を表します。

## 引用文献

- 1) 武田育郎・國松孝男・小林慎太郎・丸山利輔：農業土木学会論文集 147, 79-85, 1990.
- 2) TAKEDA, I., T. KUNIMATSU, S. KOBAYASHI, T. MARUYAMA : Water Pollution Research and Control, 85-88, 1990.
- 3) 武田育郎・國松孝男・小林慎太郎・丸山利輔：農業土木学会論文集 153, 63-72, 1991.
- 4) 武田育郎・國松孝男・小林慎太郎・丸山利輔：農業土木学会論文集 153, 73-78, 1991.
- 5) 並木博編著：詳説 工業排水試験方法, 日本規格協会, 1986.
- 6) 厚生省生活衛生局水道環境部監修：上水試験方法, 日本水道協会, 1985.