

## 栃木県における農業用水の水質実態

宮崎成生・青木一郎\*・鈴木 聡

### I 緒言

水は、人間の生活になくなくてはならないものであり、貴重な天然資源である。地球上で水は、海水、水蒸気、氷雪、河川水など形を変えて循環しているが、人間が主に利用している淡水は、地球上に存在する全水量約 $1.4 \times 10^{18} \text{ m}^3$ のわずか0.8%にすぎない<sup>18)</sup>。

わが国の水利用量は、生活用水、工業用水、農業用水あわせて年間約 $9.0 \times 10^{10} \text{ m}^3$ で、そのうち農業用水は、約65%と高い割合を占めている<sup>4)</sup>。本県においても、年間の利用水量約 $2.7 \times 10^{10} \text{ m}^3$ のうち、農業用水は、84%となっており<sup>12)</sup>、利水量の主要を占めている。農業用水のうち90%は、水田かんがい用水である。かんがい用水の水質は、水稲の生育と密接な関係があり、特に窒素の濃度の影響が大きい。水稲栽培では、作期中に約 $160 \text{ m}^3/\text{a}$ の水を必要とし、そのうち $110 \text{ m}^3/\text{a}$ はかんがい用水から得ている<sup>19)</sup>。かんがい用水には様々な物質が溶存しており、畑作に比べ水田作では、かんがい用水

から多量の養分が供給されている。

近年、水田地域においても、都市化の進展並びに生活様式の変化にともない、農業用水の水質汚濁が進行しており、水稲への被害が起こっている<sup>8)</sup>。1965年の調査では、農業被害の汚濁源が、鉱山や工場によるものが大半であったが、以後、都市汚水によるものが著しく増加しており<sup>7)</sup>、現在では、都市汚水による窒素過剰が原因の水稲被害が問題となっている。また、都市汚水の流入により、湖沼では、植物プランクトンの異常発生などが起こり、汚水の環境への影響も懸念されている。

本報告は、県内の農業用水の水質、特に水田かんがい用水の現状を把握するために、1986~1988年及び1991~1993年に行った調査結果である。

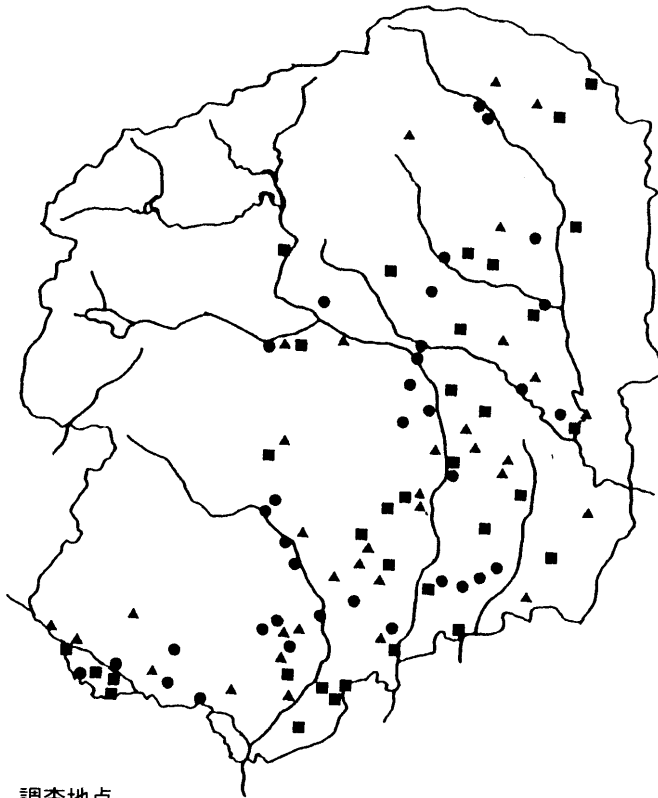
### II 調査方法

県内の主要用水において、1986~1988年に一次調査、5年後の1991~1993年に二次調査を行った。なお、一次調査と二次調査は同一地点で

第1表 農業用水の水質調査年次及び地点数

年次		地点数		計
一次調査	二次調査	利根川水系	那珂川水系	
1986	1991	28	7	35
1987	1992	26	8	34
1988	1993	26	9	35
計		80	24	104

\*現栃木県肥飼料検査所



第1図 調査地点

注 ●は1986年及び1991年調査  
 ▲は1987年及び1992年調査  
 ■は1988年及び1993年調査

行った。本県の水域は、2つに大別されるが、各回の調査地点数は、3年間で利根川水系が80、那珂川水系が24の合計104であった。調査地点数を第1表に、調査対象地点を第1図に示した。

調査時期は、水稲作との関係から、かんがい期間中2～3週間ごとに行い、調査回数は、農業用水の水質調査にあたって、統計学的に適切な標本を得るために必要な回数と報告されている5回行った<sup>11)</sup>。調査項目は、農業用水として水質基準の設定されているpH、化学的酸素要求量(COD)、懸濁物質(SS)、溶存酸素(DO)、全窒素(T-N)、電気導伝率(EC)の6項目<sup>8)</sup>及びNH<sub>4</sub>-N、NO<sub>3</sub>-N、全リン(T-P)、K、Ca、Mg、Cl、SO<sub>4</sub>-S、SiO<sub>2</sub>の計15項目であった。重金属のAs、Zn、Cuについては、農業用

水の水質基準はあるが、土壤環境基礎調査の結果から、本県では問題にならないと考え、調査を行わなかった。

試料の採水は、水面から水深の2割程度の深さで行い、2ℓ容ポリエチレン製容器及びDO用酸素びんに採取した。pH、EC、DOは、採取した日に、COD、T-N、NH<sub>4</sub>-N、NO<sub>3</sub>-N、T-Pは、4日以内に、他の項目でも、2週間以内に分析した。なお、試料は、4℃以下で測定時まで保存した。

水質の分析方法は、主に日本工業規格工場排水試験法<sup>9)</sup>によった。すなわち、pHはガラス電極法、CODは過マンガン酸カリウム滴定法、SSはガラス繊維濾紙法、DOはウインクラー・アジ化ナトリウム変法、T-Nは紫外線吸光

栃木県における農業用水の水質実態

第2表 栃木県における農業用水の水質

	pH	EC μS/cm	T-N ppm	NH <sub>4</sub> -N ppm	NO <sub>3</sub> -N ppm	COD ppm	SS ppm	DO ppm	T-P ppm	K ppm	Ca ppm	Mg ppm	Cl ppm	SO <sub>4</sub> -S ppm	SiO <sub>2</sub> ppm	
一 次 調 査	最小値	6.6	53	0.47	0.04	0.09	1.4	0	2.5	0.01	0.7	2.6	0.8	1.2	1.1	10.1
	最大値	7.7	452	7.29	5.23	3.37	14.7	91	10.0	0.77	11.7	27.2	12.4	35.5	25.0	28.5
	平均値	7.1	181	2.85	0.54	1.42	4.7	22	7.9	0.14	2.8	11.7	3.7	11.2	8.2	17.2
	基準値内割合%	94	89	4	-	-	77	100	96	-	-	-	-	-	-	-
二 次 調 査	最小値	6.8	51	0.37	0.06	0.13	1.0	1	2.7	0.01	0.5	4.4	0.6	1.2	1.5	9.6
	最大値	7.7	561	9.56	7.66	4.79	16.7	35	12.5	1.26	11.1	27.8	7.2	102.1	31.1	29.4
	平均値	7.2	177	2.15	0.48	1.21	4.5	10	8.7	0.14	2.4	13.2	3.3	11.8	7.2	16.8
	基準値内割合%	96	91	20	-	-	81	100	95	-	-	-	-	-	-	-

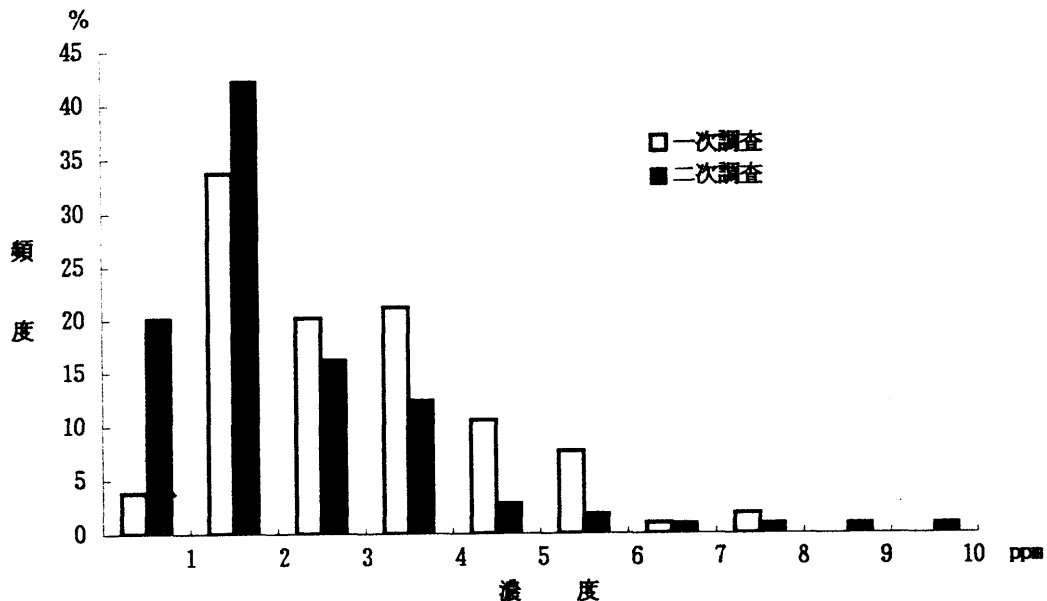
注 -は水質基準未設定

光度法、ECは電気導伝度計、T-Pはペルオキシニカリウム分解法、K、Ca、Mgは原子吸光光度法、NO<sub>3</sub>-N、Cl、SO<sub>4</sub>-Sはイオンクロマト法、NH<sub>4</sub>-Nはインドフェノール法、SiO<sub>2</sub>はモリブデン黄法<sup>13)</sup>であった。

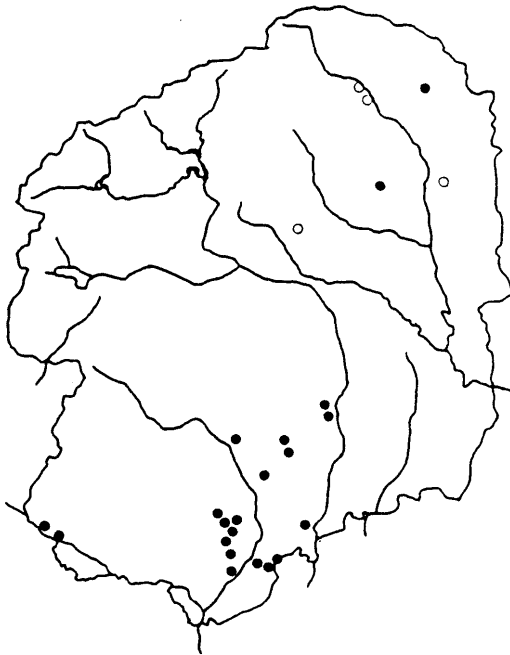
Ⅲ 結果及び考察

調査結果を第2表に示した。農業用水の水質基準値は、pHが6.0~7.5、CODが6ppm以下、SSが100ppm以下、DOが5ppm以上、T-Nが1ppm以下、ECが300μS/cm以下である<sup>8)</sup>。水

質基準値内割合のもっとも少なかった項目はT-Nで、一次調査4%、二次調査20%と大半が基準値を越えていた。以下、順にCODは77%及び81%、ECは89%及び91%、pHは94%及び96%、DOは96%及び95%であり、SSは、すべて基準値内であった。水質基準6項目のうち、すべて基準値を満たしていた地点は、一次調査4%、二次調査19%、1項目基準値を越えていた地点は、66%及び58%、2項目越えていた地点は、19%及び13%、3項目越えていた地点は、8%及び7%、4項目越えていた地点は、

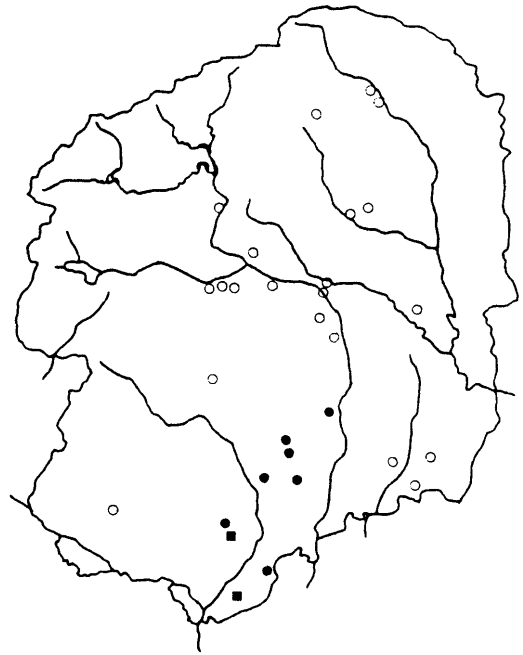


第2図 T-N濃度の頻度分布



第3 a 図 T-N濃度別分布 (一次調査)

注 ○ 1 ppm以下 ● 4 ppm以上



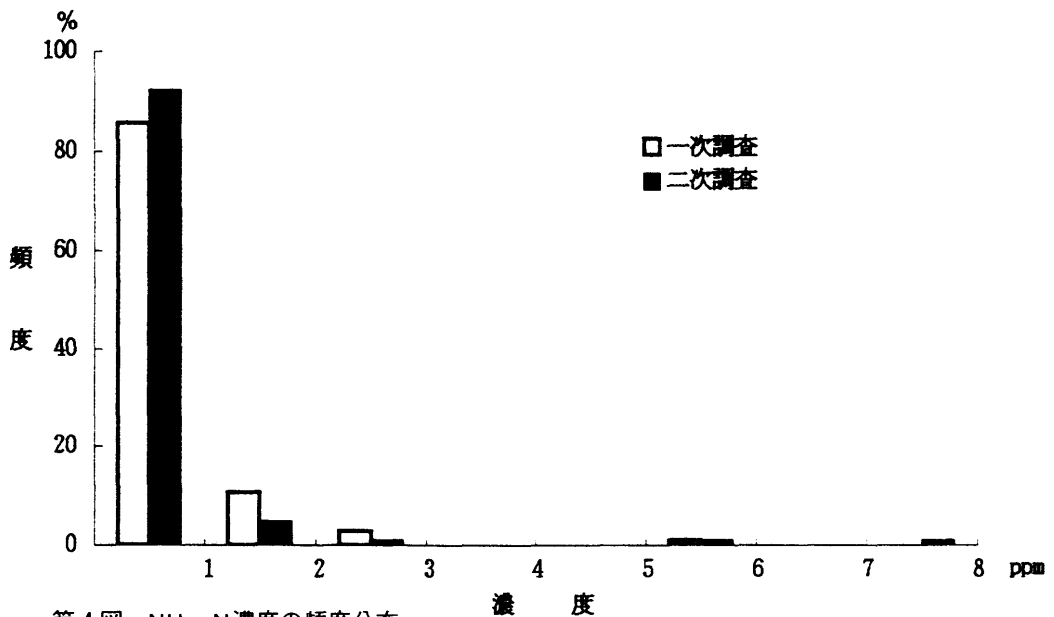
第3 b 図 T-N濃度別分布 (二次調査)

注 ○ 1 ppm以下 ● 4 ppm以上 ■ NH<sub>4</sub>-N 5 ppm以上

ともに3%と、複数の項目で基準を越える地点が1/4程度であった。

T-N濃度分布を第2図及び第3図に示した。T-N濃度は、一次調査と比べ二次調査では、

2 ppm未満の地点が増加し、2~7 ppmの地点が減少した。平均値は2.85から2.15ppmに減少し、全体としてT-Nによる汚濁が軽減傾向にあることがわかった。T-Nが4 ppm以上の地点は、

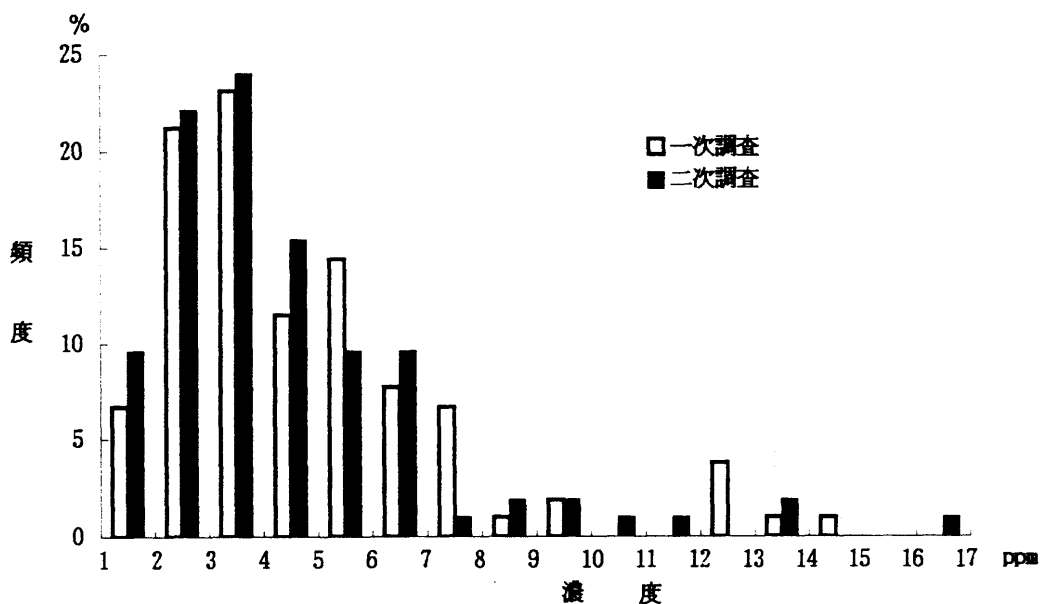


第4図 NH<sub>4</sub>-N濃度の頻度分布

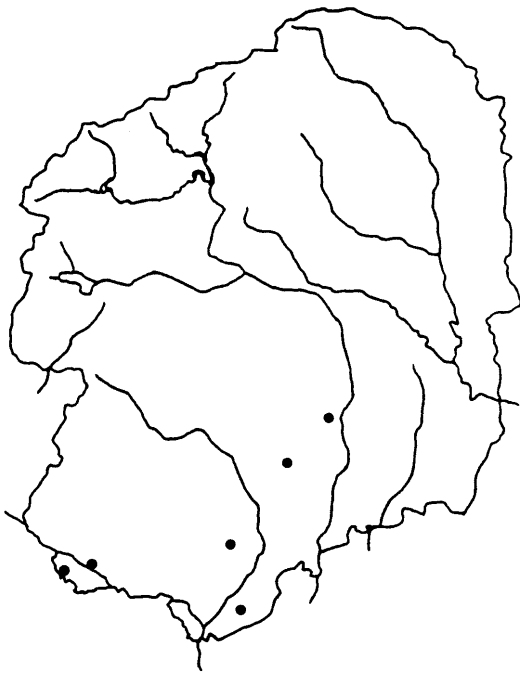
## 栃木県における農業用水の水質実態

一次調査で宇都宮市，足利市，栃木市，小山市などの都市下流にみられたが，二次調査では，その数が減少した．下水道の普及率が1988年と比べて1993年では，宇都宮市が38%から57%，足利市が20%から26%，栃木市が16%から27%，小山市が18%から26%と増加したこと<sup>6,12)</sup>と関係があると思われる．一方，下水道の整備されていない都市下流では，T-N濃度の高い地点が二次調査でも残っており，さらに水質の悪化した地点も見られた．かんがい水の窒素濃度が高いと，水稻は過繁茂，倒伏及び登熟不良などとなり，生育及び収量に悪影響を及ぼす．しかし，NH<sub>4</sub>-Nで3 ppm，またはNO<sub>3</sub>-Nで10ppmくらいまでなら水稻の生育に影響が少ないといった報告<sup>15)</sup>や，NH<sub>4</sub>-N 8 ppm，PO<sub>4</sub>-P 3 ppm，K 8 ppmの用水を常時かんがいし無肥料栽培した水稻が，標準施肥で栽培したものと同等の収量を得た報告<sup>1)</sup>もあり，T-N濃度が，水質基準値1 ppmを越えたから直ちに水稻に影響が起こるわけではない．一般には，T-Nが4 ppm，あるいはNH<sub>4</sub>-Nが2 ppmを越えた農業用水をかんがいすると水稻に悪影響が起こりうるとされている<sup>16)</sup>．第4図に示したとおり，NH<sub>4</sub>-N濃度は，約90%が1

ppm以下であり，一次調査より二次調査で1 ppm以下の地点が増加した．しかし，一次調査で5 ppm，二次調査で5 ppm及び7 ppmの地点があり，水稻への影響が懸念された．また，NO<sub>3</sub>-N濃度は，すべて5 ppm以下であり，水稻作では，特に問題とはならなかった．水稻は，NO<sub>3</sub>-NよりNH<sub>4</sub>-Nを早く吸収し<sup>5)</sup>，また，水田のNO<sub>3</sub>-Nの多くは田面で脱窒するため，NO<sub>3</sub>-Nの水稻への影響はNH<sub>4</sub>-Nに比べて小さい．なお，窒素成分について，水道法での水質基準ではNO<sub>3</sub>-N及びNO<sub>2</sub>-Nが10ppm以下である<sup>10)</sup>．農業用水をそのまま飲用するわけではないが，窒素成分について，本県の農業用水は，水道法の基準を満たしていることになる．本県のT-N濃度の平均は，一次調査2.85ppm，二次調査2.15ppmと1981年の全国の河川2279箇所の平均3.3ppm<sup>3)</sup>と比べて低い値であったが，1 ppm以下の割合は，全国調査の35%に対し，4%及び20%と低かった．NH<sub>4</sub>-N濃度の平均は，一次調査0.54ppm，二次調査0.48 ppmと全国調査平均1.7ppm<sup>3)</sup>と比べて低く，NO<sub>3</sub>-N濃度の平均は，1.42ppm及び1.21ppmと全国調査平均1.1ppm<sup>3)</sup>よりやや高かった．全国調査は，農業用水ではなく河川であるため，正確な比較

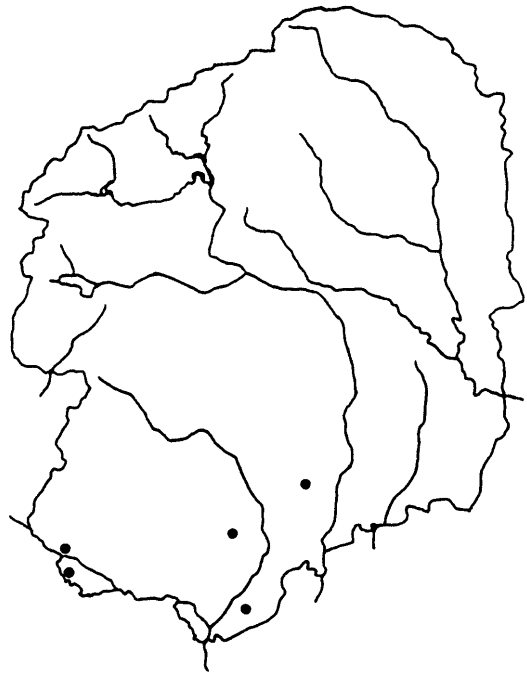


第5図 COD濃度の頻度分布



第6 a 図 COD高濃度地点（一次調査）

注 ●10ppm以上



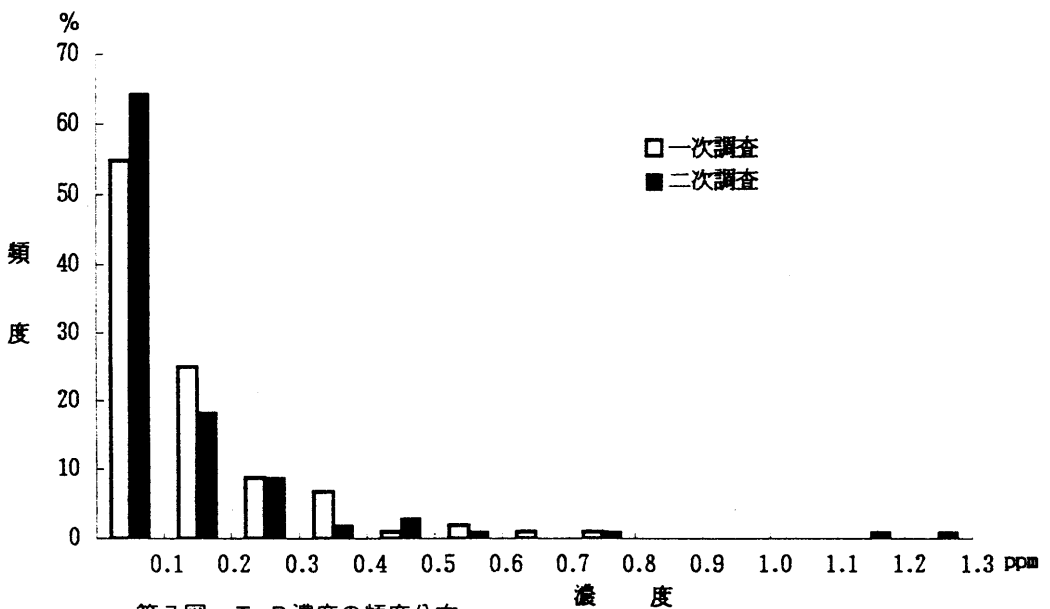
第6 b 図 COD高濃度地点（二次調査）

注 ●10ppm以上

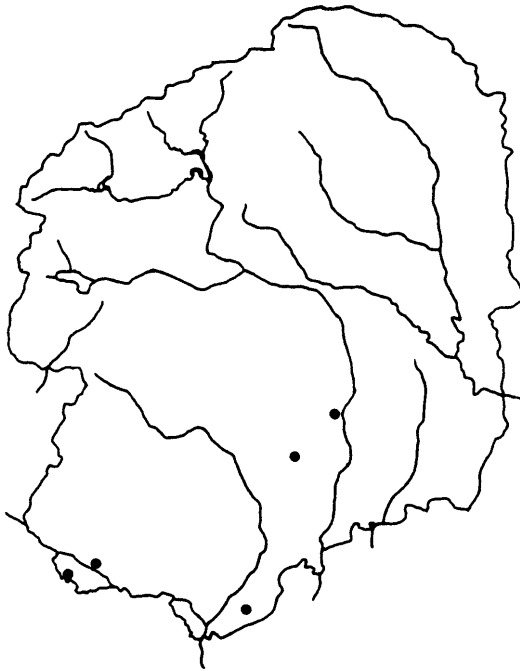
にはならないが、平均値でみる限り、本県の農業用水の窒素成分は、全国河川より汚濁がやや少ないといえる。

COD濃度分布を第5図及び第6図に示した。

CODの平均値は、農業用水の水質基準6ppmより低かったが、10ppmを越える著しく高い地点が都市下流に数箇所あった。CODは、水中の酸化されやすい物質を一定の条件で酸化する

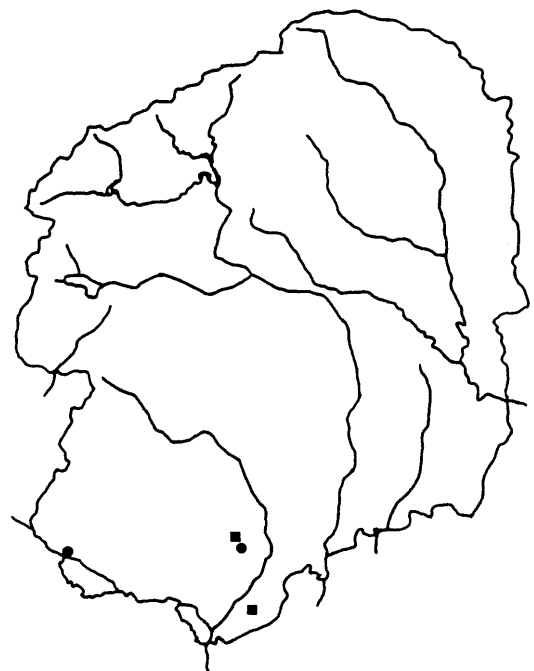


第7図 T-P濃度の頻度分布



第8 a 図 T-P高濃度地点（一次調査）

注 ●0.5ppm以上



第8 b 図 T-P高濃度地点（二次調査）

注 ●0.5ppm以上1.0ppm未満 ■1.0ppm以上

ときに必要な酸化剤の量を、酸素の量に換算したものであり、農業用水では、易還元性有機物濃度の指標である<sup>16)</sup>。高いCODは、土壤の還元促進及び硫化水素や有機酸の発生による根の活力低下及び根腐れ等を引き起こし、12ppmで水稻の収量を8%減らすとされている<sup>7,8)</sup>。一次調査に比べ二次調査では、CODが2ppm未満の地点が増えたものの、10ppmを越える地点があり、全体としてCOD濃度は横ばいであった。県内においても、高いCODが水稻の生育へ影響を及ぼすことが懸念される地点があった。CODの高い地点は、T-NやECも高く、汚濁による水質悪化は、多くの指標に現れる。

T-P濃度分布を第7図及び第8図に示した。T-Pの農業用水水質基準は設定されていないが、湖沼など閉鎖水域では、窒素とともにリンは、植物プランクトンの異常発生等の要因となっている<sup>14)</sup>。本調査では、リン汚染はほとんど見られなかったが、一部にT-Pが1ppmを越

える地点があった。かんがい水のリンは、水稻には影響がきわめて小さい。しかし、湖沼では、T-Nで0.2ppm、T-Pで0.02ppmを越えると富栄養湖とされ<sup>21)</sup>、高濃度のリンの流入は、環境保全の面から注目すべきである。リンについて高い濃度が示されているのは、都市污水によって汚濁された用水だけと報告<sup>2)</sup>があるとおり、本調査においても、濃度の高い地点は都市下流であった。本県のT-P濃度は、一次調査、二次調査ともに平均0.14ppmで、全国調査平均0.35ppm<sup>3)</sup>と比べ低い値であり、0.1ppm以下の割合は、52%及び63%と全国調査45%<sup>3)</sup>より高かった。リンによる農業用水汚染は少なく、さらに汚染の進行もない。本県は、リンを吸着する力の強い黒ボク土の占める面積割合が大きい<sup>20)</sup>ために、污水が河川へ流入してもリンが土壤粒子に吸着し不溶化沈降する可能性がある。そのようなことによって、本県の農業用水は、全国河川のレベルよりもリン濃度が低くなっている

第3表 栃木県内の農業用水におけるECと他の調査項目との相関関係

	T-N	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	COD	DO	SS	T-P	K	Ca	Mg	Cl	SO <sub>4</sub> -S	SiO <sub>2</sub>
EC	** 0.754	** 0.484	** 0.496	** 0.759	** -0.678	* 0.143	** 0.759	** 0.647	** 0.602	** 0.811	** 0.728	** 0.767	** 0.345

注 \*、\*\*は、それぞれ5%水準、1%水準で有意、n=208

と推察される。

DOは、水中に溶けている酸素濃度である。

DOは、一次調査、二次調査とも95%以上の地点が農業用水水質基準5ppm以上を満たしていたが、基準値を大きく下回る地点があった。これらの地点は、同時にCOD値も基準を越えていることから、有機物等を多量に含む汚濁の進んだ地点であり、根腐れ等により、水稻の生育及び収量へ悪影響を及ぼすことが考えられる。

SSは、浮遊物質または懸濁物質と呼ばれるもので、有機物を主体とするSSは、慢性的な土壌条件の悪化の原因となり、粘土など無機物を主体とするSSは、泥土による透水不良などの障害原因となる。本調査では、農業用水水質基準100ppmを越えた地点はなく、過剰のSSが常時存在する用水はなかった。

水田に酸性物質が流入すると、土壌中の鉄、アルミニウムなどは溶解して、水稻は酸性障害を起こす。アルカリ性液が水田に流入すると、土壌中の鉄、マンガン、亜鉛などが不溶性となり、水稻は、養分吸収バランスを失い生育不良となる。本調査でのpHは、農業用水水質基準pH6.0~7.5の範囲または範囲付近の値であり、pHを原因とする生育障害の発生は考えられない。

ECは、被検液が電気を導伝する程度を示す値で、溶解しているイオンの総量を示し、1000 $\mu$ S/cm以上になると塩害の危険性がある<sup>16)</sup>。本調査では、第3表に示したとおり、Mg、Cl、T-N及びCOD等と相関が高く、農業用水の汚濁程度を簡易に知る指標になる。

Clは、通常イオンとして水中に存在し、汚濁水中では、NO<sub>3</sub>-Nと並んで陰イオンの主体をな

している。Cl濃度500ppm以下では、水稻への影響の可能性は少ない<sup>16)</sup>。本調査では1.2~102.1ppm(平均11.5ppm)であり、全国225河川のCl濃度の平均5.8ppm<sup>17)</sup>に対してやや高かったが、最大値及び最小値は、全国河川の分布範囲内であった。Kは0.5~11.7ppm(平均2.6ppm)、Caは2.6~27.8ppm(平均12.5ppm)、Mgは、0.6~12.4ppm(平均3.5ppm)であり、塩害を発生させる可能性はなかった。本調査の値は、全国225河川の平均それぞれK1.2ppm、Ca8.8ppm、Mg1.9ppm<sup>17)</sup>に比べてすべて高かったが、全国河川の分布範囲内であった。SO<sub>4</sub>-Sは1.1~31.1ppm(平均7.5ppm)で、全国225河川の平均10.6ppm<sup>17)</sup>よりやや低かった。硫酸イオンは、還元されると硫化物イオンとなり、根腐れ等の生理障害の原因物質となる。還元状態の進行しやすい水田を対象とするときは考慮しなければならない項目である。SiO<sub>2</sub>は9.6~29.4ppm(17.0ppm)で全国225河川の平均19.0ppm<sup>17)</sup>とほぼ同一値であった。

以上のように、県内の農業用水の水質は、この5年間に、全体的にはやや浄化の傾向にあることがわかった。しかし、都市下流の一部には汚濁の著しい地点があり、水稻の生育に悪影響を及ぼす可能性がある。また、栃木県は関東平野の水源に位置しており、下流において河川水を飲料水としても利用している。水源地帯での汚濁は農業以外へも大きな影響を及ぼす。これらのことから、今後も、同一地点での水質の汚染状況を観測していく必要がある。

謝辞 本調査を行うにあたって、協力していただいた土地改良課及び各土地改良事務所の方々に感謝申し上げます。



## Ⅳ 摘要

県内の主要な農業用水104地点について、15項目の水質調査を5年間隔で2度行い、実態を明らかにした。その結果は次のとおりであった。

1. 本研究で調査した農業用水のうち、農業用水水質6項目すべて基準値を満たす用水の割合は、一次調査4%、二次調査20%だけであった。

2. 農業用水の汚濁は、窒素成分で顕著に現れた。T-Nで基準値1ppmを越えるものが、一次調査96%、二次調査80%であった。T-N濃度の平均値は、基準値の2倍以上であったが、汚濁程度は、低下する傾向にあった。NH<sub>4</sub>-N濃度については、水稻の生育に影響を及ぼす汚濁地点が散見されたが、90%以上は、1ppm以下であった。NH<sub>4</sub>-N濃度は減少傾向であった。

3. CODの平均値は、基準値6ppm以下であったが、著しく高い地点があった。CODの分布は、一次調査と二次調査であまり変化がなかった。

4. T-Pの負荷が見られる地点があり、環境保全の面で注目されるものであった。

5. 都市下流で、水質汚濁は大きかったが、下水道の普及率が高くなるにしたがって、用水の汚濁程度が軽減される傾向にあった。

## Ⅴ 引用文献

1. 国松孝男・松岡浩爾 (1989) 河川汚濁のモデル解析:222-224, 技報堂出版, 東京
2. 田淵俊雄・高村義親 (1985) 集水域からの窒素・リンの流失:90-95, 東京大学出版会, 東京
3. 環境庁水質保全局監修 (1981) 全国公共用水域水質年鑑
4. 国土庁長官官房水資源部編 (1990) 日本の水源:59-69
5. 吉田昌一 (1986) 稲作科学の基礎:106-

125, 156-160, 博友社, 東京

6. 栃木県 (1989) 栃木の下水道:58-61
7. 環境庁水質規制課編 (1973) 水質汚濁上巻:77-86, 白亜書房
8. 関東農政局計画部資源課 (1986) 農業・農村と環境:189-212
9. 日本工業規格 (1986) 工場排水試験法
10. 日本分析化学会北海道支部 (1981) 水の分析 第3版:13-16, 化学同人, 京都
11. 財団法人日本土壌協会 (1985) 農業用水路の水質調査方法について
12. 栃木県 (1993) 県勢白書:9, 5, 60, 61
13. 農林水産省農蚕園芸局農産課編 (1979) 土壌, 水質及び作物体分析法:133, 134, 140, 141
14. 吉良竜夫 (1987) 水資源の保全:161-181, 人文書院, 京都
15. 国松孝男 (1983) 汚水の農地への還元利用—その理論と実際:81-102, 畑地農業振興会
16. 千葉県 (1990) 農林公害ハンドブック改訂版:85-109
17. 小林純 (1960) 農学研究48(63)
18. 国土庁編 (1987) 全国総合水資源計画
19. 農林水産技術会議事務局・栃木農試 (1991) 火山灰水田における効率的水利用に関する試験:8-26
20. 栃木県 (1990) 栃木県の農耕地土壌の実態:3-11
21. 門司正三・高井康雄編 (1984) 陸水と人間活動:104-166, 東京大学出版, 東京

## The quality of water for irrigation in Tochigi Prefecture

Naruo MIYAZAKI, Ichirou AOKI and Satoshi SUZUKI

### Summary

We investigated the quality of water for irrigation at 104 points in Tochigi Prefecture in 1986 to 1988 (the first examination) and 1991 to 1993 (the second examination). The results are as follows.

1. Water quality met the six-point standard for irrigation at only 4 percent of the examined points in the first examination and 19 percent in the second examination.

2. Nitrogen was the most noticeable pollutant. Total nitrogen content exceeded one ppm at 96 percent of the examined points in the first examination and 80 percent in the second examination. The average content of total nitrogen was more than twice the standard, but it decreased a little in the second examination. Ammonium nitrogen content was less than one ppm at more than 90 percent of the examined points. However, it was too high for rice plants at some points. Ammonium nitrogen content decreased slightly in the second examination.

3. The average content of COD was less than the standard, six ppm, but it was very high at some points. COD content in the second examination was not different to that in the first examination significantly.

4. Total phosphate content was low at most of the points, but at some points, it was considerably high in the respect of environment protection.

5. In the area downstream from cities, water was polluted more. The degree of pollution became lesser as sewage system improved.

Bull. Tochigi Agr. Exp.

Stn. No.42 : 35~44 (1994)