

秋の田で

農林水産省 東北農業試験場
畑地利用部
部長 藤井國博
(前農業環境技術研究所
環境資源部水質管理科)

農業環境技術研究所がある茨城県稲敷台地は、県南部の霞ヶ浦と小貝川の間にはほぼ東西に横たわる標高25m内外の火山灰洪積台地である。この台地には、いくつかの中小河川が解析谷を形成しながら流れ、河川の兩岸に水田地帯が形成されている。これらの水田でも冷夏で遅れていた稲刈りも終了し、暗渠排水孔が開かれる季節となった。

筆者が農業環境技術研究所環境資源部水質管理科水質特性研究室に昭和60年4月に着任した当時研究室に「中小河川の水質変動要因の解明」という経常研究課題があった。前に所属していた研究機関で下水汚泥の土壤還元に関する調査研究に携わっていた筆者にとってこの課題を具体的にどう展開するかは、すぐには思いつかないことであったが、環境研究の常道といわれるモニタリングから始めることとし、研究所周辺の水域をみることにした。幸いにも当時水質動態研究室が筑波地区の農業用水と河川水の水質モニタリング調査を実施していたので現地調査に同行させてもらった。何回か調査に同行するうちにおぼろげながら展開の筋道が見え始め、中小河川の水質変動要因の候補として降雨と流入排水を考えた。前者の降雨については、降雨の採取と成分分析を筑波地区に定

点を設定し、開始した。この降雨観測は、後に研究所が地球環境問題への対応を開始するとともに「酸性雨研究」の一環に組み込まれ、現在も観測が継続されている。後者の流入排水の影響に関して展開した調査について今回は報告する。

タイトルにキザな表現を付けたが、この調査で秋の水田と農家の人々が多くの情報を提供してくれたことに感謝の意味をこめてあえて掲げさせてもらった。

1. 筑波地区の河川で秋になにが起こっているか

筑波地区には幾つかの河川があり、河川沿いの低地には水田地帯が形成されている。このうち霞ヶ浦に流入する桜川の下流で採水されている土浦用水の供給地域における水田のかんがい様式は、ほとんどが「掛け流しかんがい」であり、排出された水は、排水路を通じて河川に流入する。この河川水が再ポンプアップされ、かんがいに用いられている。このようなかんがい様式がとられている地域の一つである東谷田川の下流部を水質モニタリングの対象河川として選んだ。この川は、つくば市北部(旧大穂町)の田園地帯に源を発し、牛久沼に注いでいる。調査対象地域とした下流域には、旧谷田部町の市街地が兩岸にあり、市街地の上、下流域とも水田地帯が兩岸に存在する。水田地帯の背後は、台地であり、台地上は畑、果樹園、集落、平地林などが散在する。水田地帯、市街地とも数多くの排水路が東谷田川に流入している。この流入排水路が河川水質に影響を与えているものと推定し、調査を実施することにした。す

本号の内容

§ 秋の田で.....	1
	農林水産省 東北農業試験場 畑地利用部 部長 藤井國博 (前農業環境技術研究所 環境資源部水質管理科)
§ チンゲンサイの生理障害の特徴と発生原因.....	9
	静岡県農業試験場 土壤肥料部 主任研究員 高橋和彦
§ '93年本誌既刊総目次	15

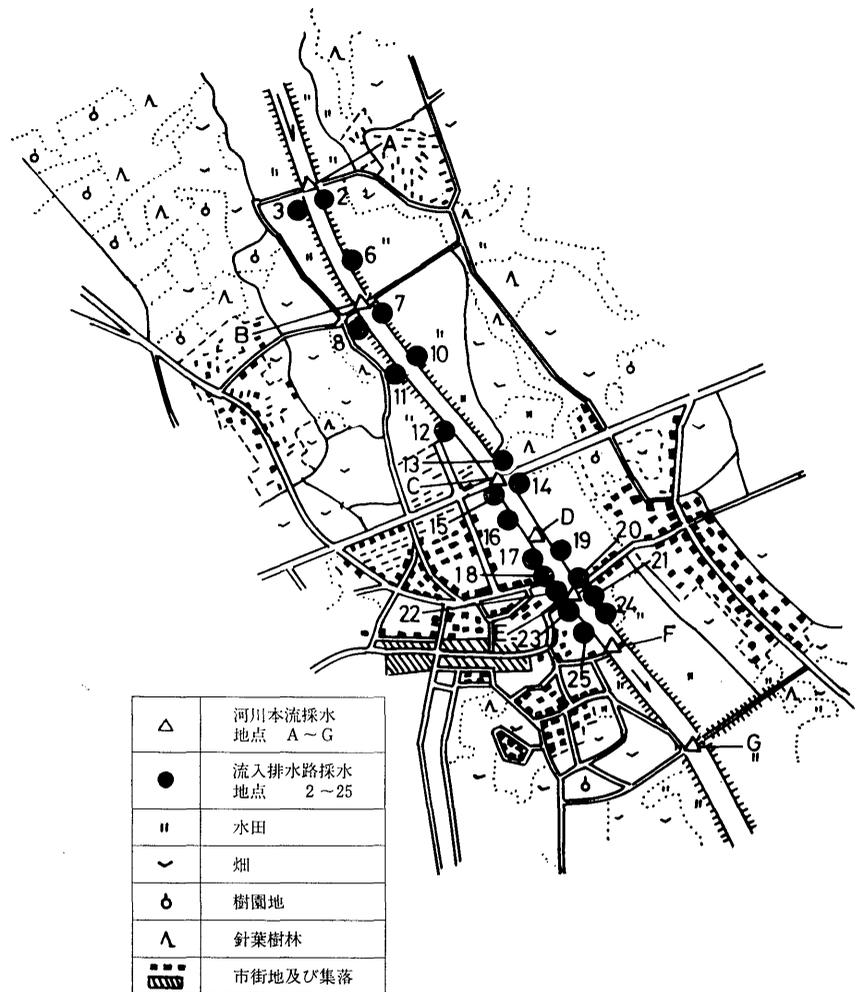
なわち、河川本流と流入排水路の河川流入部に水質観測の定点を設定した(図1)。月1回のペースで昭和61年秋から調査を開始したが、本格的な調査は、研究室員が3人となった昭和63年に行った。

この調査からは、多くの情報が収集できた。市街地排水路水中の無機態窒素の形態はアンモニウムであること、水田地帯のそれは硝酸であること、リン濃度は市街地排水路で高いこと、水田地帯の排水路でもアンモニウムと硝酸をほぼ同程度に含有するものがあり、このような水路では集落排水が流入していることなどであった。しかし、最大の発見は、河川水中の硝酸濃度が水田のかんがいが終わる秋に上昇するということであった(図2 A~G)。

しかも、水田地帯の排水路の中にも同様の結果を示すものがあるということであった(図2 3~19)。

この結果をもとに「農村地帯を流れる河川の水質は、水田の非かんがい期に硝酸濃度が上昇すること、その原因は、流入する排水路の中に高濃度の硝酸を含有するものがあることである」とする成果にまとめ主要成果候補課題として提出した。が、「水田地帯の河川の定常状態はかんがい期である」という指摘を受けた。これは非かんがい期のことなど重要ではない。主要成果としてふさわしくない。という指摘と受け取り、農業の側から見ればそうであろうが、別の分野から見れば年間4か月の状態を定常状態とするのはどうみても不合理である。けれども、そのような主張が堂々となされることに失望してこの時は取り下げた。しかし、調査は、非かんがい期に硝酸濃度の高い排

図1 東谷田川における河川及び流入排水路の調査地点



水を流している排水路を対象として硝酸の供給源を解明することに向けて展開を図った。

2. 排水路水中の硝酸はどこから供給されるか

月1回の調査を続けながら排水路を注意して観察した。硝酸濃度の高い排水路は、非かんがい期を通じて水が流れ続けていること、これらの排水路に面する水田の暗渠排水孔は、開放されており、常に水が流れ出ていること、硝酸濃度の低い排水路では降雨後のみ採水が可能に気付いた。暗渠排水が供給源である可能性が高い。排水を採水しようとしたが、残念なことにこの地域の暗渠排水孔のレベルは、排水路の水位と同一であり、採水が不可能であった。この事態に直面して最初に考えたのはなんとかこの地域で採水できる方法がないかということであった。他に相談する人もいなかったので器具納入業者とああでもない、こうでもない議論したがついに見つからず

別の方法を考えることにした。それは、別の場所で暗渠排水が容易に採取できる所を捜すことであった。初めからそうすればよかったのだが。その場所を小野川上流地域で見つけた。分析の結果、硝酸濃度の高い排水と低い排水があることがわかった。

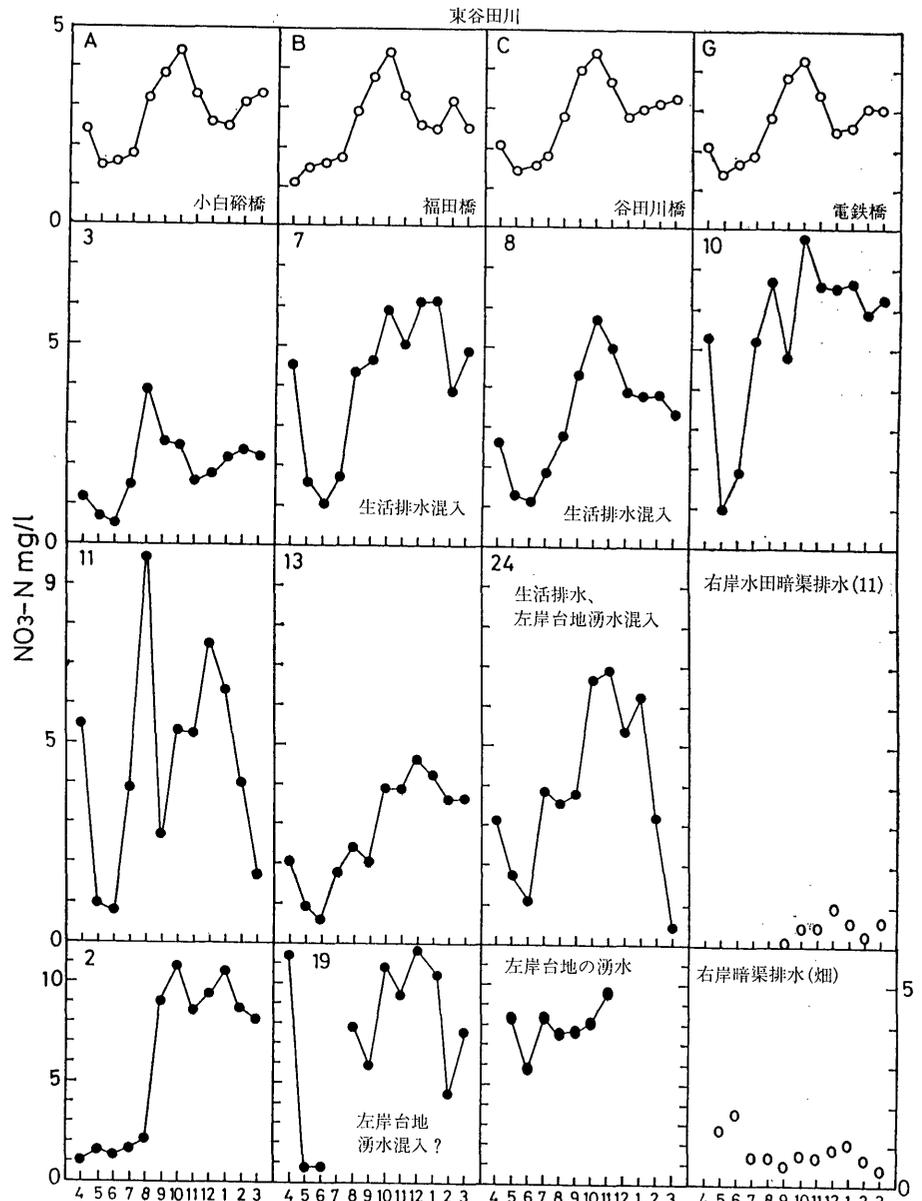
3. 水田暗渠排水の水質調査で判明したこと

1987年の初秋、暗渠が開放されるのを待って、前年秋に見つけておいた水田暗渠排水孔のうち6孔について9月初めから10月末まで2か月間ほぼ毎日計測した。その翌年(1988年)には、国立公害研究所(現国立環境研究所)に居られた山口武則氏が定員の枠を越えて研究室に配属になり、さらに、茨城県農業試験場(現農業研究所)から松本英一氏が研修に来られた。お二人に前記水田暗渠排水の調査を担当していただき、前年同様9月の水田落水時から10月末までの2月間の調査を実施した。この成果は、昭和63年度の農業環境分野の主要成果に採用された。また、日本土壤肥料学会広島大会(1989年)において公表した。表1にその結果を示した。

この調査結果が示す事項は以下のとおりである。

①排水中の無機態窒素濃度が1 mg/l以下の排水孔(表1 AA-7)では、窒素の主要形態はアンモニウム態窒素であり、1 mg/l以上の場合は硝酸態窒素であった。

図2 東谷田川における河川水及び流入排水路水中の硝酸態窒素濃度の年間変動



2の排水路は、生活排水混入、かんがい期には農業用水の供給水路
上1段 東谷田川本流 下3段 水田地帯排水路 5~8月 かんがい期
(山口武則、岡本玲子、藤井國博 1989)

②1988年における暗渠開放後の約2か月間の実測無機態窒素排出量は排水孔によって異なり、水田当たり0.3~162kgとなった。排出量と降水量の比から当該水田のみの水を排出しているとみなされる排水孔の窒素排出量は少なく、降水量の2~27倍の水を排出した暗渠の窒素排出量は、15~162kgと極めて多いことが判明した。

③調査対象地域は水田の背後に畑地が連なるといふ地形的(土地利用的とした方が良くもしれな

表 1 つくば市赤塚、館野及び下横場地区水田暗渠排水による窒素の排出

暗渠番号 ¹⁾	計測期間 (年月日)	水田面積 (m ²)	暗渠排水量 (kl)	排水中無機態 ⁴⁾ 窒素平均濃度 (mg/l)	窒素排出量 (kg)	降水量 ⁵⁾ (kl)	降水による ⁵⁾ 窒素負荷量 (kg)	排水量/降水量
AA- 6	870904~1031 ²⁾	1,241	2,742	8.41	23.6	370	0.15	7.41
AA- 7	904~1031 ²⁾	2,785	1,639	0.87	1.4	829	0.34	1.98
AA- 8	912~1031 ²⁾	2,562	791	3.69	1.6	763	0.31	1.04
AA-10	904~1031 ²⁾	3,261	1,221	1.76	3.3	971	0.40	1.26
AS- 1	912~1030 ²⁾	2,560	883	5.72	4.8	729	0.24	1.21 ⁶⁾
AS- 2	909~1030 ²⁾	3,904	1,082	13.80	14.9	1,229	0.48	0.88 ⁶⁾
AA- 6	880902~1031	1,241	12,351	13.02	162.3	456	0.21	27.09
AA- 7	902~1031	2,785	1,212	0.18	0.3	1,023	0.46	1.18
AA- 8	903~1031 ³⁾	2,562	763	4.08	3.1	941	0.42	0.81
AA-10	902~1031	3,261	1,017	1.11	1.2	1,198	0.54	0.85
AS- 1	909~1105 ³⁾	2,560	2,703	5.58	15.3	809	0.43	3.34
AS- 2	906~1105 ³⁾	3,904	3,228	15.09	49.6	1,339	0.71	2.42

注 1) AA：つくば市赤塚及び館野 AS：つくば市下横場

2) 計測不能日数 AA-6 4日, AA-7 5日, AA-8 6日, AA-10 4日, AS-1 15日, AS-2 20日。

3) 計測不能日数 AA-8 9日, AS-1 8日, AS-2 7日。

4) 排水量に対する加重平均濃度

5) つくば市赤塚及び館野地区は、同市小野川、つくば市下横場地区は同市観音台の降水量及び降水中の無機態窒素濃度の計測値を使用した。

6) 1987年は水路の増水による暗渠排水孔の埋没日数が多く参考値。(山口武則、松本英一、藤井國博、岡本玲子 1989)

い) 特徴をもつ(ただし、AS-1は水田と畑地の間に集落と屋敷林が存在する)。降水量以上の水を排出している暗渠は、背後の畑の地下水(土地の人達は「畑のしぼり水」と表現する)も暗渠を通じて排出しているものと見られる。暗渠AA-6は背後の45.5haの畑地帯と水田地帯の境界に埋設された畑暗渠に連結されており、畑地帯の地下水を排出していることが地元の人々の証言で確認された。この排水孔を通じて排出された窒素のほとんどが背後の畑地帯地下水に由来するものとみなされる。当該地域の畑地帯には、化学肥料の他に家畜糞尿が施用されており、流出窒素に反映しているものとみられる。下横場地区の暗渠(AS-1及び2)についても畑地帯地下水の排出があるものとみられるが確認されていない(この調査に引き続き実施した1990年の調査時に畑のしぼり水が水田に流入しているとの証言を地元の人達から

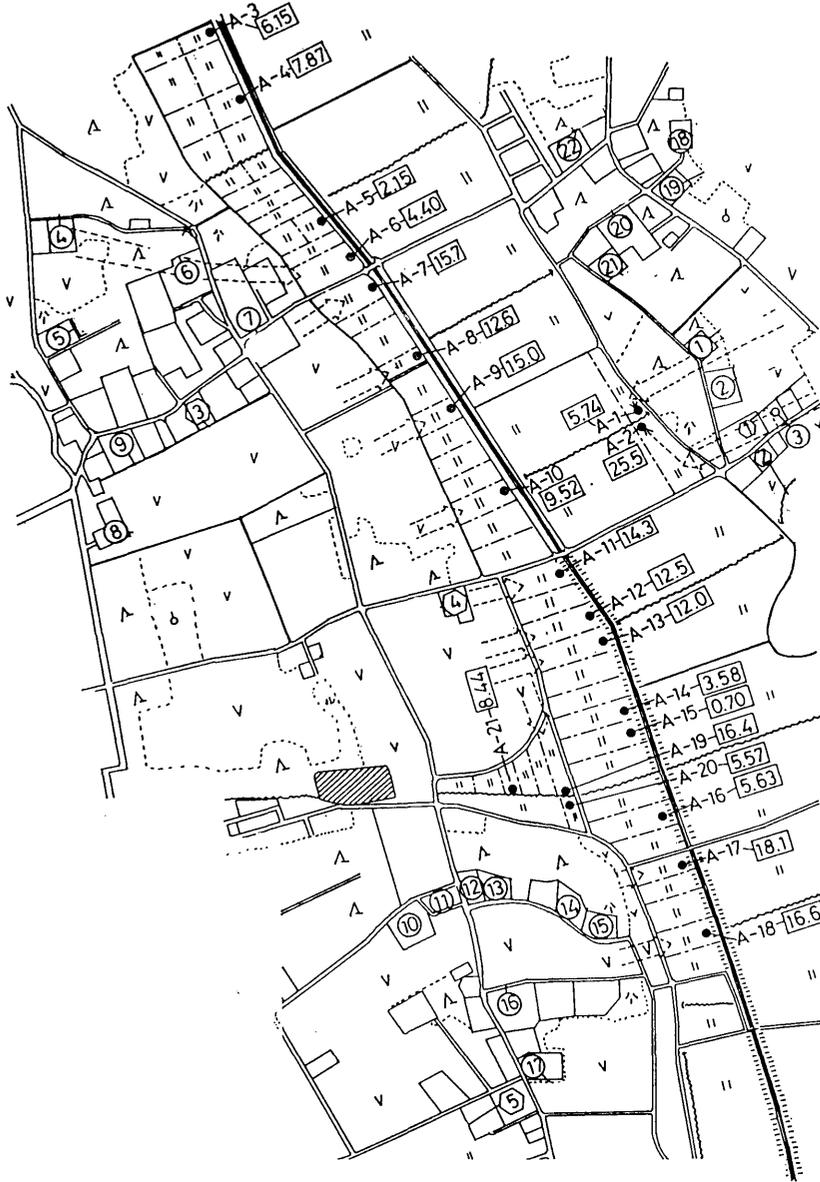
得て、流入を確認している)。

④以上の結果は、一部地域の調査事例であるが、調査対象とした小野川流域には同様の地形が広く分布し、多量の排水を水田の非かんがい期間を通じて排出し続ける暗渠が存在する。これらの実測を行うとともに集水域を特定する(水脈を探索することによって流域から排出される物質の定量的把握が可能となる。すなわち、暗渠排水の調査により面源負荷の算定が可能となることを示している)。

4. 「畑のしぼり水」が流入する水田暗渠の分布調査

前記④で指摘されているように小野川流域には多量の排水を水田の非かんがい期間を通じて排出し続ける暗渠が存在することを1988年当時把握していた。前記3に続いて実施するのは、流域の暗渠の実態調査であったが、1989年(平成元年)に

図 3 小野川上流域水田地帯における水田暗渠の分布と硝酸態窒素濃度



①~②②	10m以浅の浅井戸
A-1~21	水田暗渠(●)
①~⑤	30m以深の深井戸
4.40	浅井戸と暗渠排水の硝酸態窒素濃度(mg/L)
N.D.	深井戸の硝酸態窒素濃度(mg/L)
←---	地下水の推定流路

△	平地林	▽	畑
♠	栗林	□	宅地
∟	竹林	〰	排水路
⚡	荒地	≡	河川
	水田	▨	池

調査地点	調査年月日	調査地点	調査年月日	深さ m
浅井戸				
1	901218	1	900818	50
2	901218	2	900818	32
3	901208	3	901013	40
4	901021	4	901209	60
5	901021	5	901215	35
6	901011			
7	901014			
8	901014			
9	901014			
10	901215			
11	901215			
12	901215			
13	901215			
14	901215			
15	901215			
16	901215			
17	901215			
18	900818			
19	900818			
20	900818			
21	900818			
22	900818			
		流量 ml/s		
水田暗渠				
A-1	901218	818		
A-2	901218	432		
A-3	901218	250		
A-4	901218	63		
A-5	901218	284		
A-6	901012	-		
A-7	901012	-		
A-8	901208	103		
A-9	901208	343		
A-10	901208	漏水		
A-11	901208	307		
A-12	901208	164		
A-13	901215	317		
A-14	901215	104		
A-15	901215	18		
A-16	901215	339		
A-17	901215	248		
A-18	901215	1080		
A-19	901215	273		
A-20	901215	480		
A-21	901215	76		

人事移動があり、室員が3人から2人（室長1，主任研究官1）となり、同時に室長も交代した。これに伴って後続の調査は1990年秋まで実施されなかった。

図3は、1990年秋に実施した小野川流域の一地区における暗渠分布と排水中の硝酸態窒素濃度を示したものである。暗渠番号A-6とA-7は、表1のAS-1及びAS-2に相当する。また、A-10は、暗渠排水孔ではなく、河川の土手に形成された地下水の湧出口である。この調査では、水田地帯背後の畑地帯に存在する井戸の水質も同時に調査してあるが、今回、そのデータは、省略させていただく。この調査は、筆者自身が一人で行った。

この結果は、表1の調査で得られた結果を裏付けるものであり、畑地と接する水田の暗渠排水中の硝酸濃度（A-2, 3, 4, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 19, 17, 18, 21）は、平地林や宅地に接する水田の暗渠排水中の硝酸濃度（A-1, 5, 6）より高く、 $10\text{mg}/\ell$ 以上の高濃度を示すものが存在する。水田に隣接し、排水量の少ないA-15（ $18\text{ml}/\text{秒}$ ）の暗渠の硝酸態窒素濃度は $1\text{mg}/\ell$ 以下を示している。A-16とA-20については、硝酸濃度に差がないものの畑地と平地林の境界付近に接しており、土地利用の区分が困難である。

これらの水田群のうちA-10の水田の二枚上の水田では畑と隣接する部分に水の湧出が観察されている（この湧出水の硝酸濃度と湧出水の行方については1992年に調査した）。また、A-6の水田の背後は集落になっているが、ここでは田植前に暗渠排水孔が閉鎖されると宅地に隣接する部分に湧水が観察されている。このことから水田に接する土地から地下水が水田の地下に流入し、暗渠を通じて排出されているのはほぼ間違いないことと考えられる。

5. 「畑のしぼり水」の硝酸濃度

農家の人々が言う「畑のしぼり水」が湧出、流入している水田が見つかった。しぼり水は、図4に示したように畑側の法面（間に幅員4mの道路がある）の水田地面付近から湧き出している。1992年は、水田所有者が冷水かんがいとなることを嫌って図5のように湧出水を畦により隔離したために採水が可能となった。また、1992年秋の集中豪雨後には法面の一部が陥没し、粘土層が目視

図4 畑のしぼり水が流入する水田付近の見取図

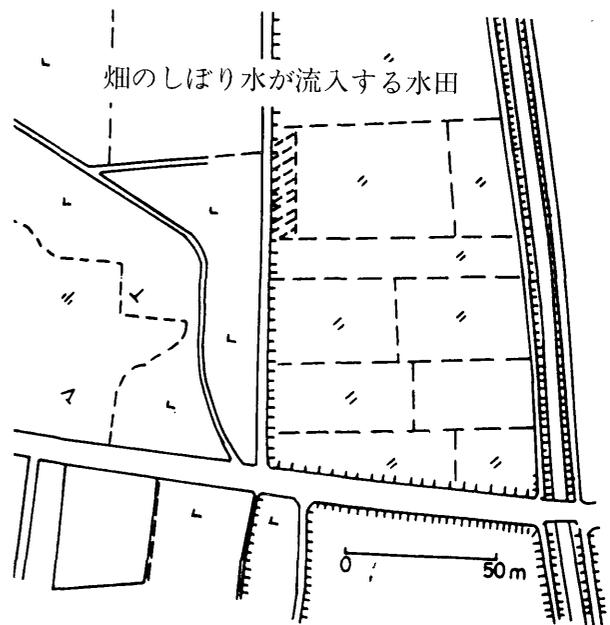
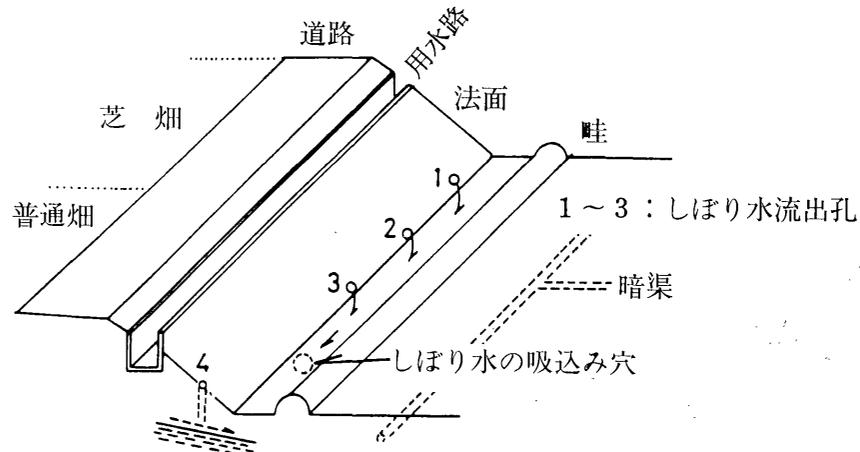


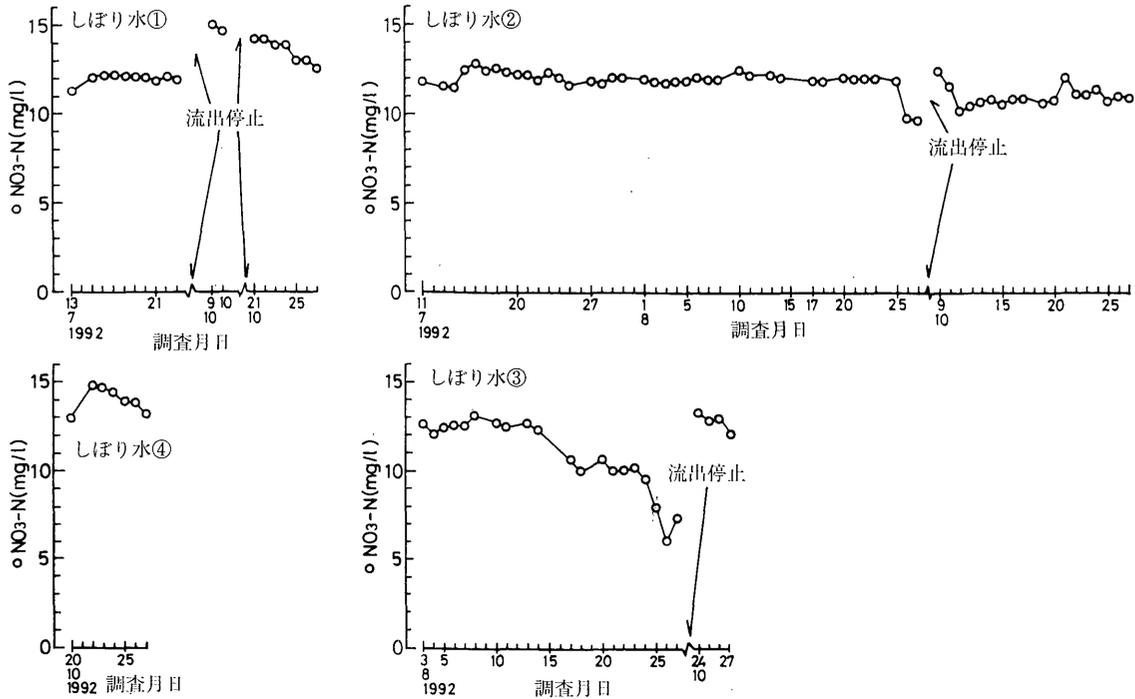
図5 畑のしぼり水が流入する水田付近の拡大図



4：しぼり水流路上面の土砂が陥没し形成された孔
矢印：しぼり水の流動方向

水田中の吸込み穴に10%塩化ナトリウム（NaCl）液 $1,000\text{ml}$ を注入した後、水田暗渠排水孔①及び②（図8）の土手湧出地点で採水し、EC、Na、Cl濃度を指標として行方を追跡した。

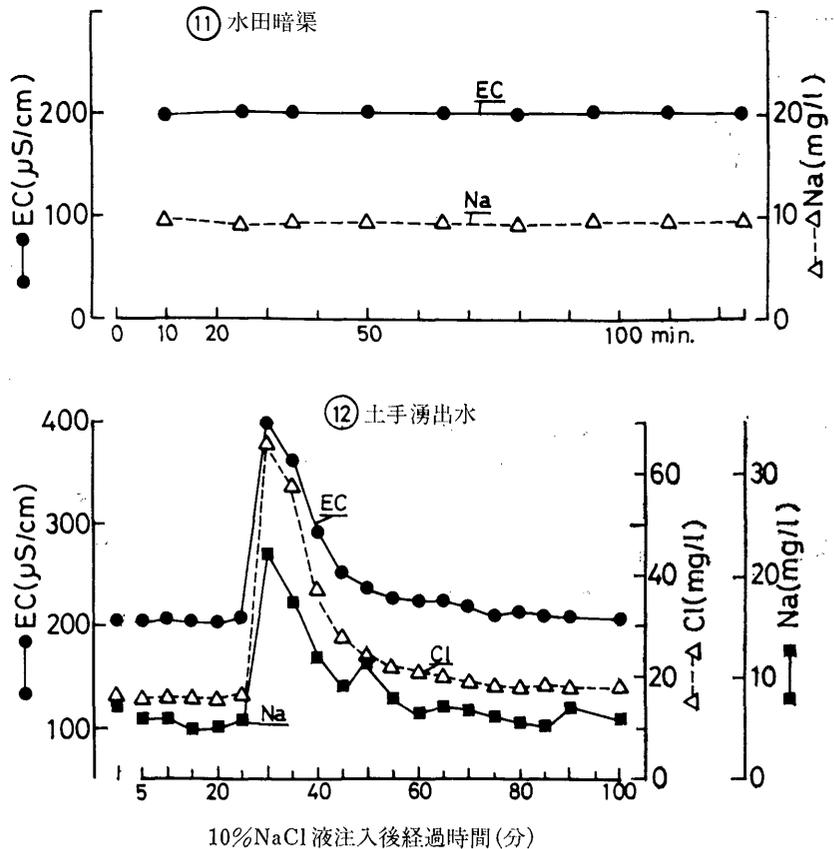
図6 畑しぼり水の硝酸性窒素濃度



できるようになり、粘土層の上部を地下水が流れているのが確認できた。この地下水を含めて採水し、その硝酸濃度を調べた。図6に示したよにこれら「しぼり水」の硝酸濃度は、10mg/l前後でほぼ安定した濃度で推移していた。隣接するのは、芝畑と家庭菜園程度の野菜畑であるが、それぞれの「しぼり水」の起源は不明である。

図5に示したように湧出した「しぼり水」は、水路に形成された吸込み穴から地中に吸込まれていた。この行方を追跡しようとして10%塩化ナトリウム液1000mlを吸込み穴に注ぎ、水田が隣接する河川の護岸に設置された当該水田の暗渠排水孔と近接する土手に形成

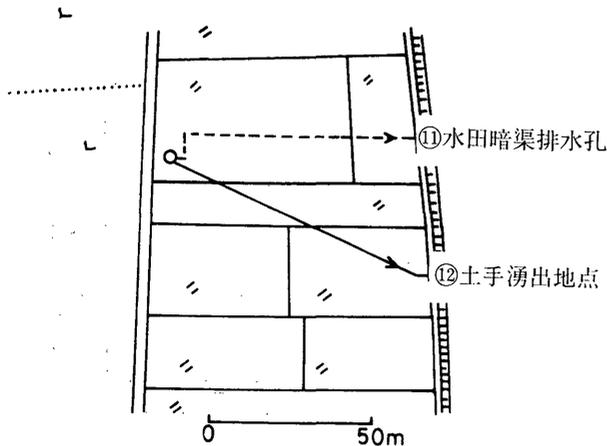
図7 水田暗渠排水及び土手湧出水の電気伝導度、ナトリウム及び塩素濃度



された地下水の湧出地点で採水し、電気伝導度 (EC), ナトリウム及び塩素の濃度変化を追跡した。

図7に示したように当該水田の暗渠排水については、EC値及びナトリウム濃度の変化は、塩化ナトリウム注入後125分が経過しても認められなかった(図7上段の図)。一方、近接する土手に形成された地下水の湧出地点の湧出水では塩化ナトリウム注入30分後にEC値、塩素及びナトリウム濃度の上昇が認められた(図7下段の図)。すなわち、水田に湧出した「しぼり水」は、吸込み穴から水田の暗渠に流入し、排出されているのではなく、当該水田から2枚目の水田が接する河川の護岸(土手)に形成された地下水の湧出口から排出されていることが確認できた(図8)。吸込み穴から再湧出地点までの直線距離は、約90mであり、この間を直線で流れていたと仮定すれば、流速は、5cm/秒となる。

図8 しぼり水の流路



以上のような経過で筑波地区の河川水中の硝酸濃度が水田の非かんがい期にかんがい期より上昇することの原因が硝酸を含有する畑地帯の地下水が隣接する水田の暗渠を通じて排出されるためであることを現場の調査を通じて明らかにした。しかし、まだまだ、状況証拠の域をでていない。農

家の人達は言う。「暗渠を開けておかないと田が水浸しになる」と。農家の人達の証言を疑うわけではないが、畑地の地下水の水脈が水田の暗渠に繋がっていることを立証する必要がある。これには、地下水脈、それも地層の浅い部分に形成される小さな水脈の探査手法の開発が必要である。これが今後の課題である。

探査手法が開発されれば厚生省が立法化を目指して準備を進めている「水源保全法」(水源周辺農地における肥料の使用制限が盛り込まれる予定)に的確な対抗が可能となるものと考えている。すなわち、水源の周辺全ての農地について対策を立てるのではなく、水源に汚染物質を供給している農地のみで負荷削減対策を立てればよいことになる。

「働く」は「はたらく」と読む。これを関西風に解釈すれば「はた(側、周囲)が楽になる」となる。これは、農業研究センター水質保全研究室の尾崎室長の恩師であられる元大阪大学の橋本将先生の言葉である。なるほどと感銘を受けた。私も水質管理科が働けば土壌肥料分野の人達は多忙になりそうに思う(思い上がりかもしれないが)。多分、「窒素、リンは終わったのだ、なにをいまさら」といわれるかもしれない。しかし、水を介して農耕地と周辺環境を考えると問題は依然として窒素、リンである(小泉前国立環境研所長からも農業環境技術研究所研究推進懇談会の席上指摘された)。過去には、ここで紹介した調査結果に対して「供給源が不明である」と指摘されたが、当時は「それを解明するのは我々の仕事ではない」と考え、反発していたが、この点に関して自分たち水質管理科で踏み込まなければならないと考えている。それには関連する分野の方々のご協力が不可欠である。

お騒がせしますが、どうぞよろしくご指導の程お願い申し上げます。