

水田肥料の流出

—NとPの水田への流入と流出—

田 淵 俊 雄*

Outflow of Fertilizers from the Rice Paddy Field

Toshio TABUCHI

Faculty of Agriculture, Ibaraki University

I 肥料流出問題とは

従来、肥料の流出は肥料の利用効率の観点から調べられてきた。しかし今は、水質汚濁の原因として問題にされるようになった。化学肥料中のチッソ(N)やリン(P)が川や湖に流出して富栄養化の原因となり、プランクトンの異常増殖をもたらすというのである。しかし化学肥料中のNやPが水質汚濁にどの程度影響しているかはまだよくわかっていない。

そこで、諏訪湖、琵琶湖、霞ヶ浦など、富栄養化が問題となっている地域ではかならず論争が起る。工場や下水から流入する汚水が湖の汚濁の原因だとする説にたいして、肥料だとする説がある。今まではむしろ肥料説の方が強かったくらいである。そして不確かな論議がくり返され、有効な対策がとられぬままに水質汚濁は進行してしまふ。したがって一日も早く事実を明らかにすることが必要である。

ところが、水田肥料の流出を調べるのは容易でない。単純な一枚の水田で調べるのでも難かしい。流出するルートが一つではなく、一方でかんがい用水や雨による流入もあるからである。そして各々が時期変化をする。さらに「一枚の水田」と「地域全体」の流出との間の違いもある。……等々。したがって、この問題解決には年間にわたる辛棒強い調査と水田地域における水の動態に関する知識が化学的知識とともに要求される。だから土壌物理の専門の人々の協力がぜひとも必要になっている。

II. 従来の経過

肥料の流出については「チッソ30%説」が有名である。施肥したチッソの30%が水田から流出するというもので、土木学会の琵琶湖報告書¹⁾、及び浮田論文²⁾が古典である。この30%は多方面に伝わり、使われていった。その適用は安易ともいうべきほどであったが、専門の農

学者がコメントしなかったのだから、それを責めるわけにはいかないだろう。またそれで計算した結果(30%のNが流出するとして計算すればその流出量はほう大になる)も広く引用され、肥料汚濁説は強まっていった。

ところで、この30%説の根拠になったのは、他でもない土壌肥料の分野で昔行なわれたポットやライシメータ試験であった。ポットやライシメータの下から出てくるチッソやリンを測定したものであるが、この種の試験は土壌の種類、層厚、さらに水位の条件によって大きく違った値を示す。また様々な面で実際の水田とは違うので、それを直ちに水田肥料の流出とするわけにはいかないものである。だから前記の文献にははっきりと仮定値として使うと書いてあった。そして調査が進む中で毎年この係数値は同報告書の中で修正(減少)されていった。しかし、最初に出た30%がそれとは関係なしに広まっていき、一方30%以外の値も提案され使われていった³⁾。この方法はいわば係数法ともいうべきものであるが、正直な所その根拠はあいまいであり、きちんとしたデータがないから使うといった類いのものである。

その後、滋賀県農試、茨城大、鴻巣農試、及び愛知農総試など農学畑で実際の水田での研究が進んだ³⁾。その結果、「かんがい水や雨により流入する肥料分が大きいこと」「施肥期に問題があること」などがわかってきた。

また、かんがい水の負荷が大ききということとは、水田肥料の問題を流出側だけでなく流入側も一緒に調べることが必要であることを認識させ、一水系の中で水田がどのような機能を果たすのかというような点にまで研究の視点が高まっていった。そこで、一枚の水田での調査だけではなく、広い地域での物質収支をとらえるべく排水路や河川での調査もされるようになった。しかし、地域が広くなるにつれ、肥料以外の種々な排出源(工場、下水、雨水など)による負荷が混入するので、その分離が難しくなる。分離が不完全な場合は肥料以外の負荷が含まれてしまう。

* 茨城大学農学部

Ⅲ. 私達の調査結果⁴⁾

一枚の水田では図1のように色々な流入、流出のルートがある。

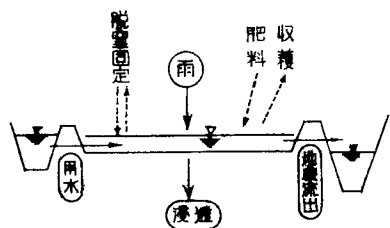


図1 Nの流出のルート

収入としては肥料、かんがい水、雨水、浸透水、地表流出水の水量と濃度をかんがい期と非かんがい期の両期にわたって48年以降調べている。

図2はS49年に粘質土の湿田で調べた結果で、田面水と浸透水のT-Nの濃度である。田面水のT-Nは5月の元肥時期と6月末の追肥の時期に高い値を示している。浸透水は元肥の後に数ppmまで上昇するが、田面

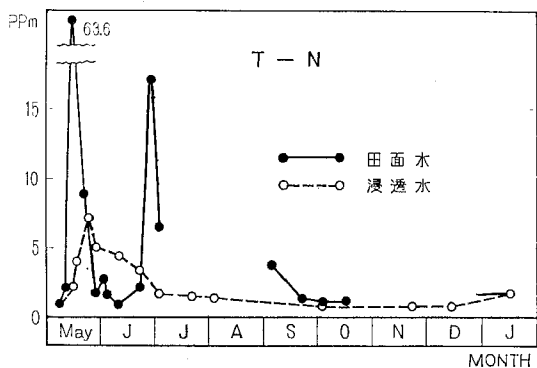


図2 水田におけるT-N濃度

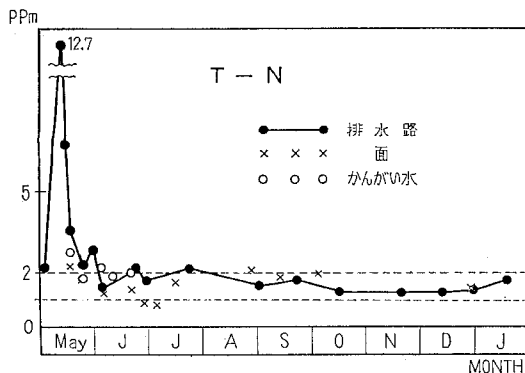


図3 T-N濃度(排水路かんがい水、雨)

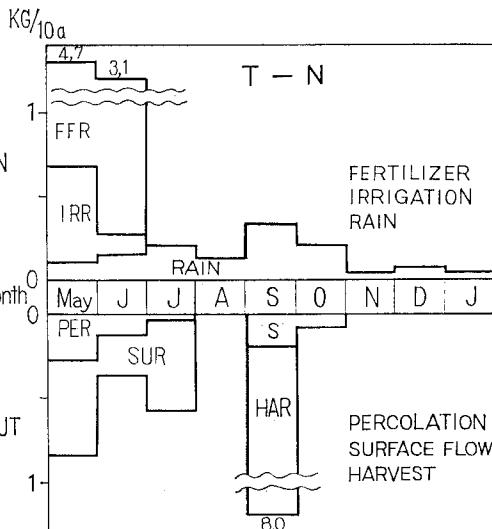


図4 T-N収支の季節変化

水ほどは上昇せず、次第に低下する。このように浸透水も田面水も施肥に強く影響される。T-Pも同様の傾向であるが、浸透水の濃度は低い。

排水路の水及びかんがい水と雨水のNの濃度を図3に示した。排水路の水も施肥の後に上昇している。かんがい水のT-Nは2ppm程度であり、雨水は1~2ppmである。非かんがい期には排水路の水と雨水の濃度はそれ程変わらない。

このような濃度に水量を乗じて求めたのが図4の負荷(チッソ量kg/10a)である。

収入側としては5月と6月の施肥によるチッソがもっとも大きい。かんがい水による収入は5月には大きいですが、6月にはかんがい水量が少なかったために減り、7月以降は揚水機場のポンプが故障したために0となった。しかし雨量が7月には多かったので生育には支障なかった。雨による収入は雨量によって左右されるが、年間を通じて存在する。

支出側では収穫物(モミとワラ)による分がもっとも大きい。次いで地表流出によるものが大きく、5~7月と9、10月に存在する。5月と7月は人為的落水によるもので、6月と9~10月は雨による溢水である。雨の時の溢水はそのほとんどが雨そのものに含まれていたNであるから仕方がないとしても、5月と7月の落水による流出分にはその直前に施された肥料中のNが含まれている。施肥直後で高い濃度になっていた田面水を人為的に落水したからである。前者は田植のために浅水にしたからで、後者は中下しである。このような肥料の面からみると一見おかしなことが生じている。浸透による流出は、浸透水量が少なかったことと濃度が低かったことから量的に少ない。

NとPの流入流出表 kg/10a

	N			P	
	S48	S49	S49 (無肥)	S49	S49 (無肥)
施肥量	6.8	6.9	0	9.6	0
用水	(0.4)	0.7	0.7	0.01	0.01
雨	(0.4)	1.3	1.3	0.01	0.01
地表流出量	(0.0)	1.6	0.5	0.01	0.01
浸透量	(0.6)	0.5	0.3	0.00	0.00
流入合計	(0.8)	2.0	2.0	0.02	0.02
排出合計	(0.6)	2.1	0.8	0.19	0.01
さし引き排出	-0.2	0.1	-1.2	0.17	0.01
施肥排出	—	1.4	—	0.18	—
排出率	9%	31%	—	2.0%	—
さし引き排出率	—	2	—	1.8	—
施肥排出率	—	20	—	1.8	—
備 考	非戸水 乾田	霞ヶ浦湖水 湿田			

S48は無機態のN

以上を一年間全体についてまとめると表1になる。Nでは雨や用水の負荷が施肥量に比べて無視できないことがわかる。一方、地表流出が浸透量の負荷よりもずっと大きい。地表流出量と浸透量を合計すると2.1kg/10aなり、これは施肥量中のNの31%に相当する(排出率)。その約半分1kgは2回の落水によるものである。一方用水や雨で流入したNが2.0kg/10aもあり、これを排出分から差引くと0.1kg/10aとなり、これは施肥量の2%(さし引き排出率)にしかない。一言でいえば「水田から排出するNはかなり大きかったが、一方でそれとほぼ同じだけの流入量があった」ということである。「排出率」をとるか、「さし引き排出量」をとるかで数値は大きく違ってしまふ。

また施肥田の隣りに無施肥田を設けたが、落水の時の流出水の濃度が低いから、排出量は0.8kg/10aにしかならず、これは流入量よりも少なく、水田はNを吸収していることになる。この無施肥田の排出量は施肥をしなくても出てくるものなので、この分を施肥田の排出量から引いた1.3kgが「施肥のために起る排出」となる。

したがって肥料流出をひと口でいくらということでは

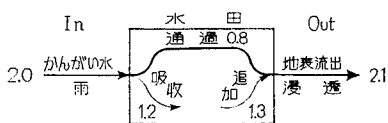


図5 Nの流入と排出の一例 kg/10a

で図5のように表示すると理解がしやすい。水田にかんがい水と雨水により2.0kg/10aのNが流入するが、流入したNは水田の中で一部が吸収脱窒され、一部が通過していく。この通過分に肥料その他にもとづく負荷が追加されて排出していく。この吸収と通過及び追加の負荷を算出するために無施肥田のデータを使う。無施肥田から排出した負荷0.8kgを肥料とかかわりなく出るという意味で通過負荷とみなす。(実際には無施肥田でも通過、吸収、追加が存在するが) そうすると全流入量2.0kgから0.8kgを引いた1.2kgが吸収であり、全排出量2.1から0.8を引いた1.3kgが肥料による追加となる。

S48年度の結果は無機態Nについてのデータなのでそのまま49年度と比較するわけにはいかないが、はっきりしているのは地表流出量がないことである。これは上述した落水をしなかったからである。したがってS49年度に比べて排出負荷は少なく0.6kgにしかならない。S50年度は目下調査中であるが、地表流出量はS48とS49年度の間間的な値に落ち着く見通しである。

このように今回の調査から、肥料流出に及ぼす地表流出(特に落水流出)の影響が大きいく、かつその値が変動することがわかった。もしも、この落水流出がなければ、水田からの排出は流入よりも小さく、かつ無施肥田からの排出とそれ程変りないといつてよい。

そしてここに示した各流入・排出量は色々な条件によって変化することが推定される。たとえば収入側の負荷は雨量やかんがい水量そしてかんがい水の水質によって変化する。汚濁した水をかんがい水として使うかどうかで収入負荷は大きく変化しよう。浸透量は水田の透水性によって変化し、漏水田では我々の結果より大きくなることが予想される。地表流出は水管理や施肥法で大きく変化する。特に施肥直後の落水の有無が問題である。今後の調査により、これらの値の変動範囲が明らかになるであろう。

ところで、次に問題なのは上述した「一枚の水田」での結果が「広い地域」全体の結果にはならないことである。ある水田から流出した肥料は単純に湖へ流出するのではなく、再び水田に入りそして流出する……といった形を一般にくり返しながら湖へ流出していく。極端な場合が図6のような田ごしに水が動く場合である。この場

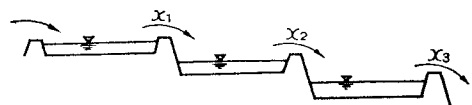


図6 反復利用

合には最末端の水田からどれだけ流出するかということが問題である。見方を変えれば、一枚一枚はどうでもよ

できない。どの係数を使うかで数値が違ってしまふ。そこ

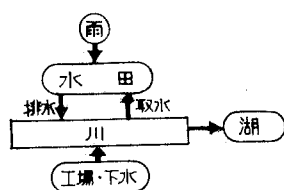


図7 水田は出して取る

場合でも一枚の水田の流出側の負荷だけをもって地域全体を論じてはいけないということを意味している。たとえば、一枚の水田の流出量を x として、地域全体の流出量を水田の枚数 n を用いて nx として求めることは許されない。それは、さし引きの流出量(y)を使って ny でなければいけない。そうすると私達の調査結果からみると、肥料の流出量はそれ程大きくはならない。場合によっては「マイナス」(流入量の方が流出量よりも大きい)にもなることがわかる。

次に私達は地域全体の流出量を川の流出負荷で調べることとし、施肥期の流出量が他の時期と比べて増えるかどうかを調べてみた⁵⁾。施肥期を選んだのは前述したように水田から大量の肥料の流出があるとすればそれは施肥期以外にはないとみてよいからである。それによると水田面積率が小さかったり又はかんがい用水が他から加わっていて、かんがい水量が潤沢にある地域の川では施肥期に流出負荷が増し、そうでない地域では他の時期よりもむしろ負荷は減った。そして、霞ヶ浦の流域の川では後者の方が支配的だった。

川の水はかんがい水量としてかんがい期、特に田植の時期には水田へ取水され、減少するのが普通だから、肥料の流出も少なくなるのである。したがって一枚の水田からは肥料が流出したとしても、どこかの水田に吸収されて地区からは流出しないということになる。流出を許すだけのかんがい水量がないということがそうさせるのである。

IV あとがき

現時点では肥料流出のある数値で表すことはできない。それは調査結果に本質的にバラツキがあるからであり、さらにその表現方法がいろいろであるからである。だから、肥料流出についてある値が示されている際には、その用語の定義や調査方法を慎重に調べる必要がある。そうでないとんでもない誤解をする。

今日紹介したのは一事例にすぎないが、次のようなことをそこから学ぶことができる。一つは「流出」だけでなく「流入」も調べる必要があることであり、水田肥料の問題は両方の側面から理解するべきである。筆者は必ずしもさし引きで肥料の流出を評価せよというのではな

く、地域全体として流入と流出がどうなるかということである。水田の一枚一枚の流出にバラツキがあるということも問題であるが、

たとえばバラツキがない

いが、流入した負荷がそのまま水田を通過する可能性があることを考えれば、流出だけでは片手落ちである。これは山林の流出の問題で雨のことを考えないことと同じである。だから工場や下水などの「出す一方の汚濁水」と同列に比較することはおかしい。「一枚」から「地域」へと拡大して考える時にもこの考えは必要である。「地域」でも川のデータからわかるように同じようなメカニズムである。従来は諸説はこのような点で過大な評価を肥料流出に下している。

ただし、地表流出が大きく、かんがい水量の豊富な地域では肥料は大きな負荷になっている可能性がある。ここでは地表流出を止めるよう努力しなければならない。そのためには施肥方法や水管理を考え直さなければならないだろう。又、地域全体での用水の反覆利用も促進することが必要となろう。

文 献

- 1) 土木学会：琵琶湖の将来水質に関する調査報告書、S44～
- 2) 浮田正夫：富栄養化の原因と対策1、公害と対策8(5) pp 82—83 (1972)
- 3) 田淵俊雄：農地排水と水質汚濁、農土誌 43(8) pp 525—529 (1975)
- 4) 高村義親他：霞ヶ浦流域の水田における窒素および磷の動向と収支について、土壤肥料学雑誌投稿中
- 5) 田淵俊雄他：水田施肥期の河川水質と流出負荷、農土論、58、pp 7—13 (1975)

コメント

農技研肥料化学科 越野 正義

肥料は食糧生産に役立っているとともに、環境保全の面でもいくつかのプラスの効果がある。すなわち効率的で環境保全的土地利用法が可能になるとか、大きな根系と植物体を作ることで土壤侵食の防止、水や空気の保全に役立っている。

しかし過度の施肥や誤った施肥はマイナスの影響をもたらすことが考えられている。

- 1) 地力・微生物活動の悪化、作物品質の低下
- 2) 河川・湖沼・内海の富栄養化との関連
- 3) 地下水・野菜などでの硝酸塩の集積

このうち 2, 3) は農耕地から肥料成分が流出することと関連している。

これらのマイナス面については、かなり反論が多いことも事実である。例えば富栄養化でいえば、藻類、水生植物の発生が問題であるが、窒素、リンはすでに制限因

子になり得ない場合が多い。雨水中で窒素は0.5~1 ppmはごく普通であり、この濃度は1900年頃から見出されている。東京付近では数 ppmはまれでなく、しかも常にアンモニウムが硝酸よりも多い。いずれにしても湖の富栄養化の限界濃度0.3ppmを上廻る。リンについては岩石の風化過程(土壌生成作用)での放出が多く、また農耕地から流出したとしても、施肥、無施肥の間で差がほとんどないのが普通である。藻などの発生にしても有機炭素説、ビタミン説などがあるのが現状である。

地下水の硝酸塩についても、ブルーベリーの発生との関連で飲料水中で10ppmという値が設定されたのであるが、水道水を利用する限りこの病気の発生例はないという(アメリカでは10年前にただ1例)。発生してもアスコルビン酸やメチレンブルーの注射で簡単に直り、もはや致命的なものではない。カリフォルニアでは20ppm $\text{NO}_3\text{-N}$ の水を常時飲んでいる地帯がある。ただニトロサミンの問題もあり硝酸塩の集積は関心が大きいのは事実である。

イリノイ州ではこのような環境問題から、肥料の使用制限をするための公聴会まで開いたのであるが、結局は他に食糧生産において有効な方法がないということもあって制限は見送られている。

いずれにしても環境との関連を明らかにするうえで肥料成分のバランスは重要であり、とくに実際の圃場でのデータは貴重なものである。

今回の講演でいくつかの問題点を蛇足ながら付け加える。

1) 流達率について

農耕地からの肥料成分の排出は1枚の水田からの排出率のみでは全体を明らかにできない。排出率30%として全面積から出るなどという仮説は、事実とすれば下流の水田では施肥の必要性がなくなってしまうことであり、現実とは違っている。そこで湖などへの影響としては流達率を考えなくてはならない。

ではその流達率の内容・性格はどのようなものか、河川の持つ自浄作用(といっても内容不明)あるいは反覆利用の結果なのであろうか。その大きさは、発生源や川の地理的、地形的条件で違うものなのか。もしそうだとすればその測定はどのようにすればよいのだろうか。水

田の集団、流域ごとに求め、一般化をどのようにするかが大きな問題として残るだろう。琵琶湖では土木学会が $\text{N}:0.20, \text{P}:0.13$ という値を示しているが、この数字ほどの範囲まで有効なのであろうか。

なお水田の反覆利用の際の成分の動きは数学的にモデル化が可能と考えられ、その成果を期待したい。

2) 測定値の信頼性の限界

流入量あるいは流出量は濃度と流量の積で表わされるが、各個の測定には当然誤差がつきまとう。濃度の測定の場合には、濃度の薄いほど誤差は飛躍的に大きくなる。窒素0.5ppmの測定では5%以下の誤差で測定することは困難であろう。一方、流量の測定の際の誤差がどのくらいになるのか、不詳であるが、蒸発散の推定値もあり、かなり大きい誤差が入ると考えられる。流入・流出量の合計にははたがってある程度の誤差が見込まれるであろうが、その差をとって差し引き量の議論をする場合には、その差に含まれる誤差が大きくなり(誤差の大きさは和となってくる)、結論を誤りやすく、数字の取り扱いに注意を要する。例えば、北海道の篠津泥炭地水田での推定では、開発局土木試の泉谷らによると流量の測定値の5%の違いで結論は変わり得るということである。

3) 脱窒について

今回の講演は水を通しての流入・流出にしばられている。水の汚染との関連を論議するのであるから当然である。しかし農耕地全体として窒素のバランスを考えるためには、ガスを通しての出入りは無視できない。

生物学的な窒素固定が水田ではとくに大きいことも指摘されており(公害研吉田ら)、一方、脱窒の形での損失は一般に考えられているよりも大きい。畑においてすら施肥量に対して5~40%、平均15%が脱窒するというのが通説であり、水田では30~40%、ときには50%にも達し、一般には畑より多い。たとえ肥料としてかなりの量の窒素が施用されたとしてもガスとして放出する部分が案外多く、一種の浄化のプロセスとなっている。脱窒40~50%、水稲収穫物30~40%、土壌窒素への有機化10~20%とみて行くと、とうてい溶脱が30%にもなる訳はないのであり、係数30%説は成立しないのである。