

火山灰土壌地域における農地からの肥料成分の流出 —宮川上流域について—

渡辺義人¹⁾・沖野外輝夫²⁾・古畑和五郎³⁾

信州大学繊維学部¹⁾・信州大学理学部²⁾・長野県農事試験場³⁾

Runoff Load of Nutrient from Farmland on Volcanic Ash Soil —In Upper Catchment Area of Miyagawa River—

¹⁾Yoshito WATANABE, ²⁾Tokio OKINO and ³⁾Wagoro FURUHATA

¹⁾Fac. Textile Sci. & Technol., Shinshu Univ. ²⁾Fac. Sci., Shinshu Univ.

³⁾Nagano Agricultural Experiment Station

Key word : Nitrogen, Phosphorus, Runoff Load, Farmland, Volcanic Ash Soil

窒素、りん、流出、農地、火山灰土壌

1. はじめに

近年、湖沼やダムなどの閉鎖性水域の富栄養化を進行させる要因の一つとして、農地排水が取り挙げられ、特に窒素の影響が大きいことから、生産性だけでなく、水質保全にも配慮した農業が求められるようになり、肥料の改良、肥培管理の改善などいくつかの肥料流出削減対策が進められてきている。今後、こうした対策を有効かつ適切に構ずる上で農地からの肥料成分の流

出量を把握しておくことが重要な課題である。

これまでに肥料成分の流出については、主に水田と畑地に分けて、施肥量に対する流出率または単位時間、単位面積当たりの流出量すなわち流出負荷原単位としていくつか報告がなされている^{1), 2), 3), 4)}。しかし、肥料成分の流出量は栽培作物、施肥量、肥培管理、降水量、地形、土壌の性状など様々な要因によって影響されるので、こうした既存のデータの適用には慎重でなければならない。

表1. 調査対象地域の地目別面積³⁾

地 目 別	面 積 (ha)
耕 地	2330
水 田	1349
畑	967
樹園地	14
森 林	3580
山 林	3037
平地林	453
その他	520
宅 地	130
道路他	390
総 面 積	6430

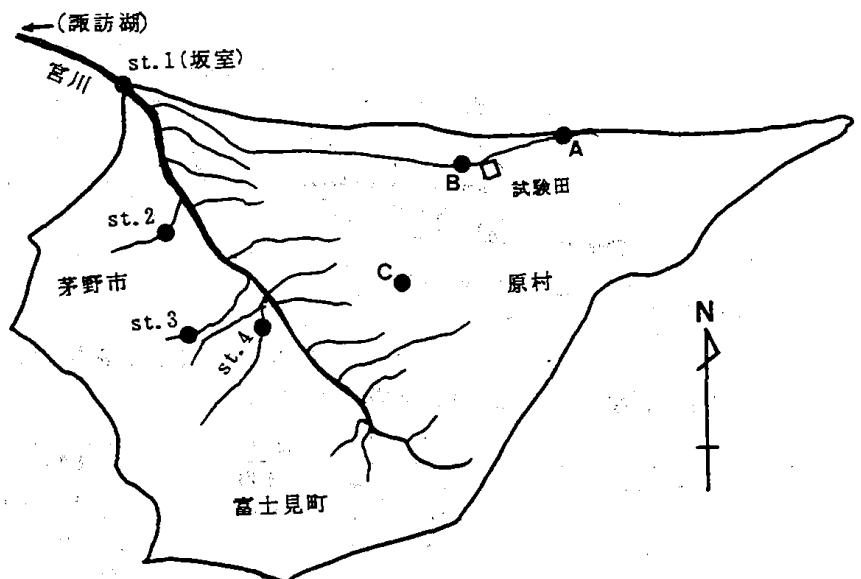


図1. 調査地域と調査地点

本報告はこうした上流域にあり、高冷地で浸透性のよい火山灰土壌からなる農地からの窒素、りんの出流量を把握するため、上記と同様の条件を有する宮川上

本調査対象地域は八ヶ岳南西山麓の、標高およそ900～1200mに位置し、諏訪湖集水域内にある。耕地の大部分は安山岩、屑集塊岩火山灰および八ヶ岳からの泥流を基盤とし、火山灰に由来する黒ボク土壌である。この地域の平均気温は9.4℃、最高気温の平均値も25.8℃とかなり冷涼である。平年の年間降水量は1349mmであり、長野県内では少ない方に属する。

図1には宮川上流の坂室地点(st.1)を基準点とする調査対象流域と調査地点が示されている。宮川の右岸が原村、左岸は茅野市(下流側)と富士見町(上流側)



表 3. 土壤の化学的性状

土壤層位	pH		T-C	T-N	CEC	NO ₃ -N	吸收係數
cm	H ₂ O	KCl	%	%	me	mg/l	P
0~15	5.51	4.70	13.3	0.85	33.1	1.52	2820
15~34	5.40	4.80	7.1	0.60	20.2	0.02	2790

農地からの肥料成分の流出

の地籍の一部である。表1に調査地域の地目別面積を示した。これによると耕地面積は総面積の36%、畑は耕地面積の42%である。主な高原野菜はキャベツ、セルリー、レタスなどである。表2に、この地域の平均慣用施肥量を示した。

3. 一筆試験田における窒素、りん収支と流出率

3.1 方法

(1) 試験田の場所および立地条件

宮川の支流である小早川の上流に位置する一筆水田を選び、試験田とした。標高は1020mで3/100～4/100の段傾斜を有する。下層土の構造・組織が発達しているため透水性は良く、稲作期間の平均減水は40～50mmであり、乾田となっている。試験田土壌の化学的性状を表3に示す。

(2) 試験田の内容と構成

試験田は、面積10aの一筆水田を6等分し、表4に示した施肥設計に基き設定した。配置と構造は図2の通

りである。

(3) 水収支の測定法

かんがい水は、かん水自動制御装置を用い、平均0.76 ton/hの割合で各処理区にかん水した。蒸発散量は蒸発散量測定装置を用い、毎日減水深を測定して求めた。浸透量についてはあらかじめ塩ビ板を埋設して畦畔からの横浸透排出を防ぐとともに、水管理を徹底して表面流出をゼロとし、かんがい水量と雨量の和から蒸発散量を差し引いて求めた。雨量は自記雨量計で測定した。

(4) 採水の時期および方法

かんがい水、田面水、浸透水の各採水は、同一日に行い、回数は入水および元肥、追肥施用時に多くし、他の期間は月に1～2回とした。なお、採水は落水期まで続けた。雨水は、地上1.5mに直径1mの塩ビ板製円形ロートを取りつけた捕集装置により採取した。

3.2 結果と考察

(1) 田面水と浸透水の窒素、りん濃度

表5は、各月の田面水と浸透水の全窒素と全りん濃度を処理区毎に月別に平均して示したものである。田面水についてみると、窒素は5月と7月の元肥と追肥時期に著しく高くなっている。また、処理区によって濃度の動向は異なり、単肥区の①、②が最も高い。りん濃度は元肥期に上昇しているものの、その後は無肥料区のレベルに低下し、りんが土壌によって吸着・固定されやすいことを示している。

次に、深さ60cm層の浸透水についてみると、窒素は

表4. 各処理区の施肥設計

処理区	kg/a					
	元 肥			追 肥		ゼオライト
	N	P	K	N	K	
①硫安系肥料区	1.0	0.57	0.76	0.3	0	0
②塩素系肥料区	"	"	"	"	0	0
③慣行肥料区	"	"	"	"	0.22	0
④" + ゼオライト区	"	"	"	"	"	100
⑤ベースト肥料区	0.70	0.31	0.58	"	"	0
⑥無肥料区	0	0	0	0	0	0

表5. 田面水と浸透水における窒素、りんの平均濃度

成分	処理区	mg/l									
		田 面 水					浸 透 水				
		5月	6月	7月	8月	9月	5月	6月	7月	8月	9月
TN	①硫安系肥料区	17.00	1.34	6.63	0.49	0.52	7.05	1.61	1.18	1.10	0.71
	②塩素系肥料区	24.24	1.92	11.98	0.34	0.47	7.15	1.21	1.52	0.24	0.20
	③慣行肥料区	10.10	2.05	9.41	0.42	0.41	5.86	1.02	1.31	0.21	0.43
	④" + ゼオライト区	12.13	1.78	9.41	0.35	0.32	8.21	0.92	2.71	0.30	0.68
	⑤ベースト肥料区	2.17	1.25	9.17	0.29	0.46	8.21	1.23	3.84	0.74	0.62
	⑥無肥料区	1.99	1.05	1.05	0.34	0.35	3.76	0.70	0.54	0.78	0.62
TP	①硫安系肥料区	1.154	0.096	0.092	0.214	0.153	0.029	0.020	0.039	0.041	0.017
	②塩素系肥料区	0.906	0.140	0.100	0.083	0.161	0.027	0.015	0.046	0.029	-
	③慣行肥料区	0.615	0.196	0.096	0.131	0.292	0.019	0.014	0.029	0.021	0.068
	④" + ゼオライト区	0.480	0.118	0.074	0.083	0.292	0.021	0.011	0.048	0.013	0.021
	⑤ベースト肥料区	0.213	0.083	0.074	0.100	0.131	0.018	0.012	0.037	0.020	-
	⑥無肥料区	0.295	0.087	0.135	0.231	0.305	0.010	0.025	0.019	0.029	0.031

5月に無肥料区を除き各区とも7mg/l前後とかなり高い値を示し、その後は減少している。5月の全窒素のうち $\text{NO}_3\text{-N}$ は80~90%を占める。7月の追肥の影響は判然としなかった。全りんは、栽培全期間を通じて0.01~0.07mg/lで推移しており、処理区間の差は僅少である。概して施肥区で僅かながら高い程度であり、浸透水によるりんの流出は窒素に比べて著しく少ないことを示している。

(2) 水収支

入水から止水までの期間における水収支を各処理区毎にまとめると表6のようになる。なお、表面流出水は、前述したようにゼロとなるように管理されているので収入の欄には入っていない。

これらの結果をまとめると、水稻一作に要した平均総収入は2200mmで、このうちかんがい水による収入は1600mmと総収入の73%を占める。また、蒸発散による支出は460mmで、水総支出の21%であった。この蒸発散による支出相当量は、雨による収入590mmに近い値となっている。

(3) 窒素、りんの収支

表7は、入水から収穫までの全窒素と全りんの収支を、施肥区(処理区①、②、③、④の平均値)と無肥料区にわけてまとめたものである。なお、窒素固定や脱窒、揮散などによる窒素の気相への転換分は測定していないので収支の計算には入っていない。

まず施肥区についてその収支をみると、窒素は総収入1.53kg/aに対して総支出は1.57kg/aと僅かながら多いものの、ほぼ釣り合っている。一方りんは支出が収入の40%程度であり、収入の半分は土壌に残存していることになる。次に収入と支出それぞれの種類毎の割合をみると、収入の部では窒素は肥料が85%、かんがい水が12%、雨が3%であり、りんは肥料が97%と収入の大部分を占める。支出の部では、窒素は植物体へ78%が支出され、残りの22%は地下浸透により流出する。りんはその大部分が植物体への支出であり、浸

透流出するのは僅か2%にすぎない。無肥料区については、窒素の地下浸透による支出がかなり大きい。

(4) 窒素、りんの水田からの流出率

以上の結果より、本調査における水田からの窒素、りんの流出率を算定すると次のようになる。すなわち総収入量に対する流出率は全窒素で22%、全りんで0.8%、また投下した施肥量に対する流出率は全窒素27.1%、全りんで0.87%となる。なお、無肥料区においても流出が認められるので、施肥区の流出量から無肥料区の流出量を差し引いた差引流出量の施肥量に対する割合は、全窒素で9.4%、全りんで0.1%となる。

高村ら⁴⁾は本研究と同様、乾田の試験田を対象に窒素、りんの物質収支について報告しているが、その結果をもとに全窒素とりんの施肥量に対する流出率を算出すると、それぞれ窒素17.9%、りん1.9%となる。また、浅野ら⁹⁾が農林水産省の統計などからまとめた、全国の水田における平均的な窒素、りん収支表をもとにそれぞれの施肥量に対する流出率を求めると、全窒素24.6%、りん0.6%となる。

これらの流出率と本調査の結果を総合すると、りんについては今回の0.9%を含め、0.6~1.9%と一般的に極めて小さいことがわかる。窒素については本調査における流出率27.1%を含め、17.9~27.1%の範囲であり、りんに比べてかなり大きい。これはすでに述べたようにりんが土壌に吸着・固定されて移動しにくいに対して、窒素は流亡しやすい硝酸態窒素に変化し得るためである。特に、本調査対象水田のように乾田でしかも浸透性が良い土壌条件ではこの傾向はより大きいと考えられる。

4. 水田群における窒素、りんの流出率

4.1 方法

調査は前節で述べた試験田の上段に位置する21.2haの水田群を対象とした。そして図3に示すように水田群を貫流する小早川の上流部と下流部の2地点A、

表6. 水収支総括表(5月~9月)

		mm					
水収支	種 類	1月	2月	3月	4月	5月	6月
収 入	かんがい 水量	1746	1542	1576	1561	1525	1609
	雨 量	593	593	593	593	593	593
	計	2339	2136	2170	2153	2138	2201
支 出	浸透水量	1870	1673	1707	1690	1675	1738
	蒸発散量	463	463	463	463	463	463
	計	2333	2136	2170	2153	2138	2201

表7. 窒素とりんの収入・支出総括表

		kg/a			
成 分	種 類	施肥区		無肥料区	
収 支		N	P	N	P
収 入	肥 料	1.30	0.57	-	-
	かんがい水	0.18	0.01	0.19	0.01
	雨	0.05	0.01	0.05	0.01
	計	1.53	0.59	0.24	0.02
支 出	植物体	1.22	0.24	0.54	0.14
	浸透流出	0.35	0.01	0.23	0.00
	計	1.57	0.25	0.77	0.14

農地からの肥料成分の流出

Bを定点として設定し、水量および水質の定期観測を行った。

水量はA、B地点に自記水位計を設置し、毎日の水位を読み、別途作成したQH曲線から算出した。採水は、元肥および追肥時期に回数を多くし、他の時期は月1回ないし2回とした。

水田からの窒素、リンの流出量はA、B2地点で測定した毎日の水量と窒素、リン濃度から両地点における流出負荷量を求め、この2地点の流出負荷量の差から推定した。

4.2 結果と考察

図4はA、B両地点における全窒素、全リン濃度の季節的変動をみたものである。全窒素、全リンともに5月の施肥、代かき時に高濃度を示している。この濃度の上昇は、田植え時の田面水落水に起因していると思われる。

表8は、方法のところで述べた手続きにしたがって算出したA、B地点における全窒素、全リンの1日あたりの年間平均流出負荷量と、この差から求めた水田群からの流出量である。

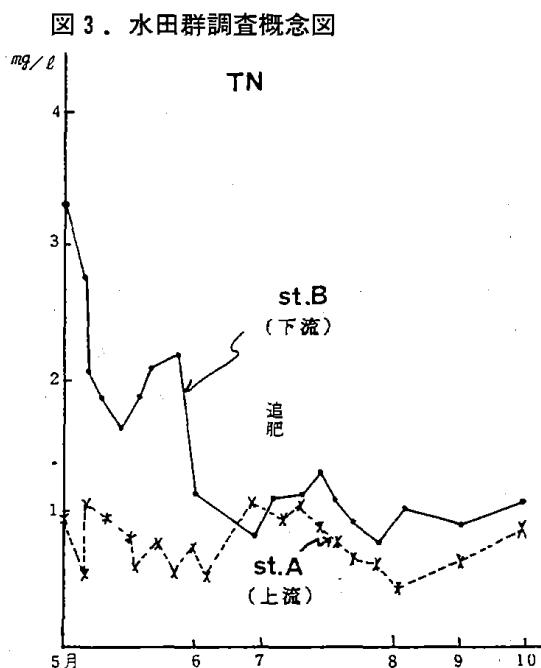
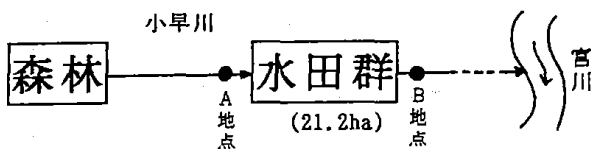


図4. A, B地点における窒素、リン濃度の季節変化

そこで、調査対象となった水田群全体に投下された施肥量(窒素: 2374kg/y、リン: 1272kg/y)に対する流出率を算出すると窒素が16.9%、リンが2.1%となる。

この水田群調査で得られた流出率を、一筆試験田の場合とくらべると、窒素は試験田の27.1%に対して16.9%と小さく、リンは試験田の0.9%に対して2.1%と逆に高い値となった。

一筆試験田調査が、表面流去をゼロにするなど特殊な条件のもとで行われたことを考えると、この水田群調査から求められた流出率の方が、この地域における水田からの窒素、リンのより平均的な流出状況を示しているものと思われる。

5. 河川流出負荷量調査法による農地からの窒素、リンの流出量

本節では、広域的な河川流出負荷量調査法にもとづき、水田と畑地を含めた全農地からの窒素、リンの流出量について調査検討したものである。

表8. 水田群における窒素、リンの流出負荷量

成分	kg/day		
	地点A	地点B	流出量(A-B)
TN	6.2	7.3	1.1
TP	0.253	0.326	0.073

5.1 方 法

農地は面的な広がりを持ち、自然と一体化しており、集水域全体の流れの中にあるので、流出量を把握するにはむづかしい条件をそなえた負荷源である。したがって、直接農地からの窒素、りんの出流量を実測することが難しい場合が多い。特に今回対象とする地域のように水田と畑地が入り組んでいる場合には難しい。本調査では、農地からの流出量を河川の一基準点で実測した窒素、りんの総流出負荷量から別途求めた森林や降雨など農地以外の負荷源の流出量の和を差し引いて見積もる方法を適用した。

調査は、図1に示したように、宮川上流部の坂室地点(st.1)までの流域を対象に行った。st.1における窒素、りんの年間平均流出負荷量は昭和50、51年の2年にわたって行った水質、水量調査から求めた。自然負荷源としての森林からの窒素、りんの流出負荷量は流域が森林のみからなる宮川の3つの支川を対象に調査してその実測値を用いた。降雨からの負荷量は諏訪湖畔の信州大学諏訪臨湖実験所内で集水し、分析した雨水の窒素りん濃度と原村の年間降水量から算出した。集落からの生活排水については、し尿は流域外に搬出され、処理されているので、負荷源は雑排水のみとし、

その負荷量の計算には建設省による発生負荷原単位¹⁰⁾を用いた。畜産排水は僅少なので無視した。また、この流域内には負荷源となるような事業所はない。

5.2 結果と考察

表9は宮川の基準点であるSt.1と流域が森林からなる3つの支川の各調査地点st.2, st.3, st.4における窒素、りんの平均濃度と過去5年間の年間平均流量および両者を乗じて算出した総流出負荷量である。表10には降水の窒素とりんの平均濃度および年間雨量が示されている。なお、全窒素は別途長野県農事試験場原村試験地内で調べられた降水中の全窒素と無機態窒素の濃度比0.65を係数として算出したものである。

表11は表9と表10のデータから算出した森林および降雨からの窒素、りんの流出負荷原単位である。また、建設省による雑排水の発生負荷原単位も載せてある。この表11に示した森林および降雨の負荷源単位から、調査対象流域における自然負荷源としての森林と降雨からの流出負荷量を次式によって求めた。

森林からの窒素、りん

流出負荷量 = 負荷源単位 × 森林面積

降雨からの窒素、りん

表9. 各調査地点における平均流量と窒素、りんの平均濃度および流出負荷量

調査地点	流 量	T N		T P	
	m ³ /day	mg/l	kg/day	mg/l	kg/day
st.1(宮川・坂室)	1477.4×10 ²	3.48	514	0.074	10.9
st.2(大崩川)	4266	0.57	2.5	0.014	0.060
st.3(金 川)	3703	0.59	2.2	0.024	0.088
st.4(大沢川)	3360	0.83	2.8	0.023	0.077

表10. 降水中の平均窒素、りん濃度と降雨量

NH ₄ -N (mg/l)	0.49
NO ₃ -N (mg/l)	0.15
T-N (mg/l)	0.98
T-P (mg/l)	0.038
降雨量 (mm)	1349

表11. 各負荷原の窒素、りん流出負荷原単位および発生負荷原単位

負 荷 原	T N	T P
	(g/ha/day)	(g/ha/day)
降 雨	36.5	1.4
森 林	9.8	0.32
雑排水*	3.0	0.8

* 建設省(1974)による

農地からの肥料成分の流出

流出負荷量＝負荷源単位×(流域面積－森林面積)

これによると森林からの流出負荷量は窒素、りんそれぞれ35.1および0.9kg/dayとなり。また、降雨からの流出負荷量は同様にそれぞれ104および3.2kg/dayとなる。

以上の結果と表11に示した雑排水からの窒素、りんの発生負荷量を基礎にして、農地からの窒素、りんの流出負荷量を算出した。なお、森林からの流出量については降雨からの窒素、りんの分も加味されていると解釈して算出した。算出法は以下の通りである。

農地からの流出負荷量＝総流出負荷量－(森林＋降雨＋雑排水からの流出負荷量)

これによると農地からの流出負荷量は窒素514kg/day、りん1.2kg/dayとなる。表12は、この農地を含め、st.1を基準点とする流域における各負荷源からの窒素、りん流出負荷量と負荷源別の寄与率をまとめたものである。これからもわかるように窒素の負荷源別寄与率は農地が全負荷量の68%と圧倒的に大きい。また、りんは雑排水が51%と最も高く、農地からの流出量は10%程度である。

表12. 基準点 (st.1) における窒素、りんの負荷源別流出負荷量と寄与率

負荷原	T N (kg/day)	寄与率 (%)	T P* (kg/day)	寄与率 (%)
降 雨	104	20.2	3.2	29.4
森 林	35.1	6.8	0.9	8.2
雑排水	26.4	5.1	5.6	51.4
農 地	349	67.9	1.2	11.0
総負荷量	514	100	10.9	100

* 流達率 0.8 として算出

ちなみに、窒素の負荷源として最も寄与率の高い農地について、その農地の年間施肥量に対する河川への流出量の割合、すなわち流出率を試算すると以下のようになり、投下された肥料の約30%に相当する窒素が農地全体から流出していることになる。

なお、ここで用いた施肥量はすべて表2示した本調査対象地域の平均慣用施肥量による。

窒素：

施肥量 180kg/ha/y×2,330ha 419.1 ton

流出量 349kg/d ×365 (d) 127.4 ton
流出率 127.4/419.4 30.4 %

6. 畑地からの窒素流出率の推定

本節では、窒素負荷源としての寄与率が極めて大きい農地について、窒素の動態をより明らかにすることを目的に、これまでの調査データを基礎に、畑地からの施肥量に対する窒素流出率を推定した。

窒素の畑地からの流出率は、すでに述べた、水田および全農地からの施肥量に対する流出率および全農地面積と水田面積から下記のように算出した。なお、水田については前にも述べたように、水田群調査の方がより実態に即していると思われるので、この流出率を用いた。

全農地施肥量 (Tf)	180 kg N/ha
〃 流出率 (Tr)	30.4 %
〃 面積 (Ts)	2330 ha
水田施肥量 (Pf)	120 kg N/ha
〃 流出率 (Pr)	16.9 %
〃 面積 (Ps)	1349 ha
畑地施肥量 (Lf)	260 kg N/ha
〃 流出率 (Lr)	?

$$(Lr) = \frac{[(Tf) \times (Tr) \times (Ts)] - [(Pf) \times (Pr) \times (Ps)]}{(Lf)}$$

Lr (施肥量に対する畑地からの窒素流出率) = 39.0%

ここに得られた窒素流出率39.0%から、1日の単位面積当たり流出量、すなわち流出負荷原単位を求めると278g N/ha/dayとなる。国松¹⁾は我が国の畑地からの窒素流出負荷量(kg/ha/y)についてまとめ、下記のような関係があることを報告している。ちなみに、このFに本調査対象地域の畑平均窒素施肥量260kg/ha/yを代入して表面流出量5.1を加算し、1日当たりの流出負荷原単位に換算すると213g N/ha/dayとなる。

$$P_N = 0.18F + 26 \quad (F \text{ は施肥量、kg/ha/y})$$

本調査で得られた上記の流出負荷原単位278g N/ha/yはこれの1.3倍程高い。窒素の流出量は施肥量に大きく関係していると思われるが、野菜作物への施肥量は作物の種類によって、およそ200～500kg/haの範囲で施用されているので²⁾、本調査地域の窒素施肥量260kg/haはそれ程高いということではなく、むしろ野菜用施肥

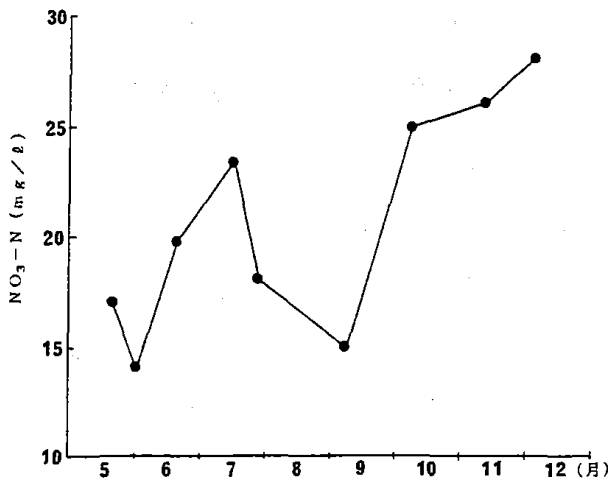


図5. 畑地区下流の浅井戸（地点C）における硝酸態窒素の季節変化

量としては平均的な量といえる。また、流出率についてみると、今回の調査で得た流出率39%は谷田沢³⁾が畑地の窒素収支から求めた流出率30%より高い。つまり、本調査では野菜畑における平均的な施肥量に対して10%ほど流出率が高い傾向にあることが伺える。

流出率を高くする要因の一つには、すでに述べたように、本調査地域が極めて浸透しやすい火山灰由来の黒ぼく土壌から成っていることと深く関わっていると思われる。田淵ら²⁾は沖積土壌に比べて火山灰土壌の窒素流出率が大きいことを指摘している。ちなみに畑が広がっている区域より下流側にある浅井戸（地点C）の硝酸態窒素濃度を調べると、図5のようにいずれの時期も10mg/l以上のレベルで推移しており、地下浸透

表13. 宮川上流域における農地からの窒素流出負荷原単位と施肥量に対する流出率

負 荷 源	流出負荷原単位 g N/ha/day	流出率 %
全農地	148	30.4
水 田 { 一筆水田	95.9	27.1
水田群	51.9	16.9
畑	278	39.0

にる流出がいかに大きいかを物語っている。

7. おわりに

今回の調査で得られた宮川上流域における全農地、水田、畑地それぞれの窒素の流出負荷原単位と流出率をまとめると表13のようになる。

はじめのところでも述べたように、農地からの肥料成分の流出量は栽培作物の種類、施肥量、肥培管理、などの社会的条件や土壌の性状、降雨量も含めた気候などの自然的条件によって影響される。したがって、肥料成分の流出削減対策など水質保全計画をたてるにあたっては、できるだけその地域の実態にあった原単位あるいは流出率を適用することが望ましい。そのためには今後こうしたいくつかの条件を、その地域に即した組み合わせによって農地を類型化し、類型ごとに肥料成分の流出負荷原単位や流出率を設定することが必要になる。

文 献

- 1) 国松孝男：農地からの流出。湖沼汚染の診断と対策（服部明彦編、日刊工業新聞 社発行）、47～53、1988
- 2) 田淵俊雄・高村義親：集水域からの窒素、リンの流出。東京大学出版会、1985
- 3) 谷田沢道彦：農用地からの栄養塩類の流出。富栄養化防止技術研究会報告（愛知県環境部）、1978
- 4) 高村義親・田淵俊雄・張替泰・西村伸夫・大槻英明・久保田治夫・鈴木誠治・大崎和二：水田の物質収支に関する研究（第3報）。土肥誌、50(3)、217～224、1979
- 5) 桜井善雄：農地排水による河川および地下水の汚染。農土木誌、43、518～527、1975
- 6) 渡辺義人：集水域からの無機溶存成分の流出特性と流出比負荷。環境科学研究報告集「河川における物質循環」、49～57、1985
- 7) 桜井善雄・渡辺義人：千曲川上流域におけるちっそおよびリンの流出と計画ダム湖の富栄養化予測。日本陸水学会甲信越支部会報、No.13・14、38～45、1988
- 8) 関東農政局計画部：宮川上流域における窒素、リンの流出負荷調査。富栄養化対策調査報告書、1979
- 9) 浅野次郎・谷田沢道彦：わが国農業生態系における肥料成分の循環。肥料による陸水の汚濁と指標生物 シンポジウム講演要旨、1～11、1976
- 10) 建設省編：流域別下水道整備総合計画調査－指針と解説－。日本下水道協会、1974