

畑地からの窒素の流出に関する水文学的考察

小 川 吉 雄*

Hydrological Consideration on Leaching
of Fertilizer Nitrogen from the Field

Yoshio OGAWA

Ibaraki Agricultural Experiment Station

I はじめに

近年霞ヶ浦湖水¹⁾をはじめとして、陸水の富栄養化が進み、栄養塩類の富化が問題視されており、その一因として農耕地からの肥料成分の流出があげられている。

農耕地からの肥料成分の溶脱、流出等に関する既往の調査研究は、作物栽培の面からみた肥料の効率的利用および耕地土壌の生産力の維持増進をはかる目的で行なわれたものが多く、耕地に施肥した肥料成分の流出と、それが陸水水質におよぼす影響を環境保全、水質保全的な見地から調査した事例は少ない。

現実の富栄養化との関連でこのような調査を行なうには、大規模な現地での測定が必要であり、同時に水収支的的確な調査が必要となる。

水田においては、高村、田淵²⁾をはじめ、愛知農総試³⁾、長野農総試⁴⁾等で水田群を対象に調査を行なっており、高村ら⁵⁾が総括しているように、水田では乾田を除き田植時の強制落水期以外はほとんど施肥成分による発生負荷はないとしている。

水田が水利系統がはっきりしていて、水稲単作であり施肥量も窒素で10kg/10a前後であるのに対し、畑では作物の種類が多く、それにともない施肥量も窒素で3~10kg/10aと幅があり、流出経路が一旦地下水を経由するということもあり、集水域が判然としないため、調査が困難である。このため調査事例も少なく、ライシメーター試験等からの推定値を用いて畑地からの栄養塩類の負荷を論じたものが多い。

そこで本調査では、畜産排水、農家生活排水等の影響の少ない、ある程度の広がりをもった畑ほ場（上国井地区、対象面積約35ha）下の地下水水質等の実態調査を中心に、畑地からの肥料成分（主に窒素）の流出が地下水水質におよぼす影響を調査した。

また、土壤浸透水、表面流去水の採取が可能なモデルほ場（対象面積10a、1区25m×10m）を造成し、そこ

における肥料成分の溶脱等を中心に調査を行ない、とくに畑ほ場における施肥窒素収支ならびに水収支を検討した。本報告では、モデルほ場における土壤浸透水の調査結果から、地表下1mに移行した窒素を溶脱窒素とし、それ以下の土層を通過し、地下水にまで流出した窒素を排出窒素とした。

なお、本稿は環境庁からの委託により、昭和48年から52年度まで実施した土壤汚染機構解析調査の結果⁶⁾を要約したものである。

II 畑ほ場（上国井地区）からの窒素排出量

畑ほ場下の地下水水質の実態および畑地に施肥した肥料成分の溶脱が地下水水質におよぼす影響を調査し、この地区からの窒素排出量の試算を行なった。

このため、水文的にこの地区の水質を支配していると思われる各種の要因について調査した。

1 調査方法

1) 調査地区の概要

調査地区は水戸市上国井町茨城農試畑ほ場全域を対象とした。

採水地点および地区の概況は図-1に示したとおりである。

本地区は那珂台地上に位置し、比較的平坦(0°~3°)で、表層は腐植質火山灰土壌で覆われ、土壌統は久米川統に属する。

ボーリング調査によれば、上部約3.3mが火山灰土壌であり、表層90cmは黒褐色の腐植層、その下部約2.5mは黄褐色のローム層となっている。表層から約1mの部位のローム層中には七本桜浮石の混入が認められ、また表層から1.2m前後の部位には、鹿沼軽石層(約15cm)が介在している。3.3m以下8.4mまでは砂礫層で、この地区の浅層地下水はこの層に貯留され移動するようである。さらに下層は暗緑色の凝灰岩に近い固結粘土層で、これが不透水層をなしているものと思われる。

*茨城県農業試験場

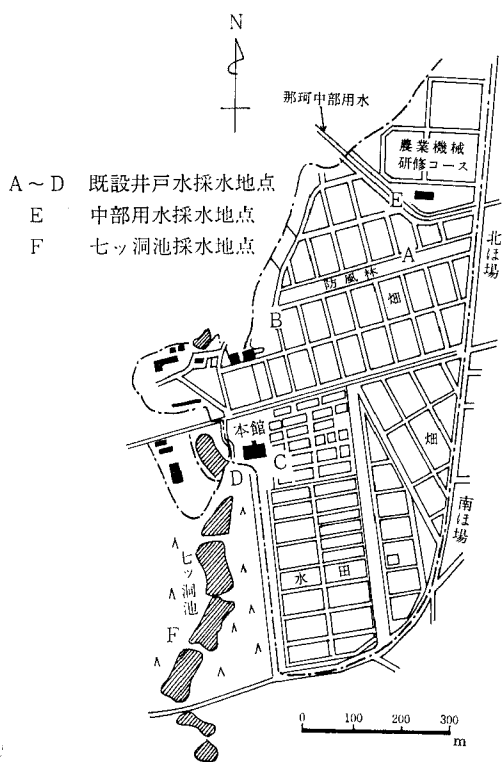


図-1 上国井地区概況図および採水地点

2) 表層土壌の理化学性

本地区の代表土壌の理化学性を表-1, 表-2 に示した。また表層から2 m間の土壌の三相分布を表-3 に示した。

これらの諸性質によれば、地区内の土壌は火山灰土壌の特徴を示し、りん酸吸収係数が高く、固相率は各部位とも20%前後で孔隙率はきわめて大きい。

3) 水質調査方法

採水地点は図-1 に示したとおりである。この地区を代表する地下水として、A, B, C, D, の既設4カ所の井戸水を対象に、毎月中旬、水位、水温を測定し、その後採水し分析に供した。

また本地区北部に位置する水田かんがい用の那珂中部用水の水質についても、E地点において、採水可能な5

表-1 代表土壌の理化学性

層位	粗砂	細砂	砂合計	シルト	粘土	土性
	%	%	%	%	%	
第1層	27.6	29.7	57.3	23.3	19.4	CL
第2層	31.7	28.3	60.0	31.1	8.9	L
第3層	35.2	41.7	76.9	17.9	5.2	SL
第4層	20.5	47.8	68.3	23.6	8.1	SL

~9月まで井戸水同様採水し、分析に供した。

雨水については、茨城農試本館屋上に採水用ポリ容器を設置し、降雨後ただちに採水し分析した。

水質の分析は常法にしたがった。

2 調査結果

1) 調査地区の作付状況および施肥実態

水田を除く調査対象面積は約35haで、そのうち畑ほ場面積はおよそ17haである。うち14haで普通畑作物栽培および飼料作物栽培が、3haで野菜栽培が行なわれている。

このような畑ほ場における施肥実態は、成分で年平均窒素11kg/10a, りん酸18kg/10a, カリ12kg/10aであり、カリはほぼ県平均並であるが、りん酸はこの地区の土壌が火山灰土壌であるため、県平均をうまわっているのが特徴である。

また、この地区における有機物の施用は、茨城農試での堆肥の生産量が毎年50 t程度であることから、これによる投入窒素量は、300kg/年と推定され、有機物からの投入窒素量を含めて、この地区への年間窒素供給量は1,850kg前後であろうと推定された。

りん酸は年間3,000~3,500kg, カリについては2,000kg程度であった。

2) 気象 地下水位

図-2 に48~52年度まで5カ年間の月別平均気温、降水量および蒸発計蒸発量を示した。

この地区の年平均気温は約13℃であり、年降水量はおよそ1,300mmであった。

降水量を年度別にみると、48年度895mm, 49年度965mm, 50年度1,167mm, 51年度1,623mm, 52年度1,384mmと、調査開始以来51年度まで年々降水量は増加した。また毎年

表-2 代表土壌の化学性 (100g当り)

層位	pH		T-C	T-N	C/N	CEC	置換性塩基 mg			石灰飽和度	りん酸吸収係数	有効態りん酸
	H ₂ O	KCl					CaO	MgO	K ₂ O			
第1層	6.3	5.4	5.05%	0.37%	13.7	25.1 me	377.9	32.3	25.0	53.9%	2,306	4.5 mg
第2層	5.9	5.3	4.77%	0.35%	13.8	24.2	339.9	33.9	26.5	50.2	2,628	5.3
第3層	6.1	5.8	3.50%	0.27%	13.0	22.5	207.2	26.2	18.2	32.8	2,157	0.4
第4層	6.3	5.6	1.47%	0.14%	10.8	21.8	209.2	25.0	13.3	34.2	1,803	0.3

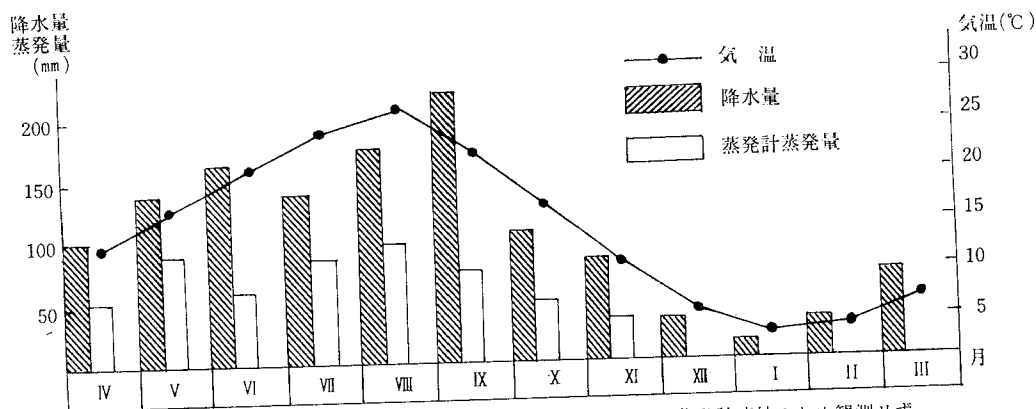
表-3 ほ場含水量時における土壌の三相分布

(48年10.26)

深さ	pF	実容積	固相	気相	液相	孔隙率	仮比重	含水比	含水率
cm		%	%	%	%	%			%
10	1.95	67.1	28.1	32.9	39.0	71.9	0.73	53.3	34.8
20	1.88	70.1	25.7	29.9	44.4	74.3	0.67	66.0	39.9
30	1.87	67.5	21.6	32.5	45.9	78.4	0.57	80.3	44.6
40	1.79	69.8	21.0	30.2	48.8	79.0	0.56	86.8	46.6
50	1.70	73.4	19.1	26.6	54.3	80.9	0.55	100.7	50.5
60		77.7	18.8	22.3	58.9	81.2	0.54	107.9	51.7
70		80.6	18.0	19.4	62.6	82.0	0.53	116.9	53.9
80		81.6	17.4	18.4	64.2	82.6	0.50	127.8	56.1
90		81.7	16.8	18.3	64.9	83.2	0.49	131.5	56.8
110		80.2	17.1	19.8	63.1	82.9	0.50	125.4	55.7
130		77.2	22.9	22.8	54.3	77.1	0.61	91.0	47.6
150		85.2	21.8	14.8	63.4	78.2	0.63	100.6	50.0
170		86.5	21.9	13.5	64.4	78.1	0.64	100.3	50.1
190		87.4	22.9	12.6	64.5	77.1	0.63	101.6	50.4

注) ① 130cm付近 鹿沼軽石層15cm

② 地下水位 220cm



注) 12~3月の期間 蒸発計凍結のため観測せず

図-2 月別気温、降水量、蒸発計蒸発量 (48~52年度平均)

梅雨期(6~7月)台風期(9~10月)にまとまった雨が
多い傾向がみられた、

蒸発計蒸発量では、6月を除く5~9月まで月70mm以上の蒸発量があった。12月から3月までの4ヵ月間は、計器水面が凍結するため観測は行なわなかった。

このような気象条件下におけるこの地区の地下水位の変動は、毎年5月中旬から急速に上昇し、6、7月頃最高となり、7~10月頃まで高水位を保ち、以後次第に低下し、2、3月に最低値を示すパターンをくり返した。

5月中旬からの地下水位の急上昇は、本地区北部を通る那珂中部用水の通水開始時期と一致することから、同用水から周辺水田へのかんがいによる地下水の横浸透とこの時期の降水量の増加に起因しているものと思われる。

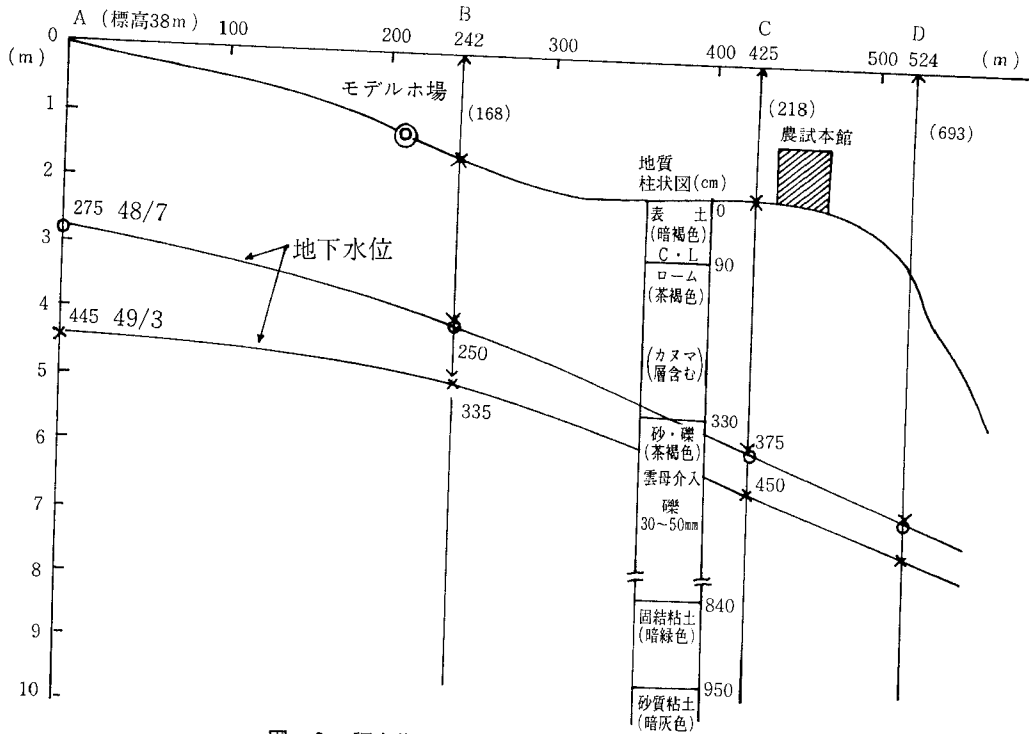
る。

地下水位の観測は3ヵ所の井戸(A, B, C.)について行なったが、その相対的位置(距離、標高差)と水頭勾配を、高水位時として48年7月と低水位時として49年3月の測定値を例にとって図示すると図-3のとおりである。

各井戸は直線上に分布するわけではないが、水頭勾配は、本地区において最も高位置にあるA井戸地点から低位置のC, D井戸地点に向かい、地下水の流れは北東から南西の方向に向かっていることが認められた。

また各井戸の水位の年間変動は、A井戸約3.0m, B井戸約2.8m, C井戸約1.7mであった。

降雨による地下水位の変動については、毎回の調査結



図一三 調査井戸A-D線による調査地区断面図

注) ① () 内数字は標高差 (cm) ② 数字は地下水位 (cm)

果から判断して、ほとんど影響を受けないが、半旬60mm以上のまとまった降水量があると、一時的に各井戸とも水位が多少上昇する傾向がみられた。

3) 水質調査

(1) 地下水水質

調査地区内の各井戸水の水質を年度ごとの平均値で表一4に示した。

ここではとくに窒素について詳述すると、地下水中の窒素は大部分が硝酸態窒素であり、アンモニア態、亜硝酸態の窒素は通常はほとんど検出されなかった。

硝酸態窒素についてみると、地下水の上流部A井戸から下流部に位置するC、D井戸に向かい、累積的に高まる傾向がみられた。

このことは、地下水が畑地帯を通過することにより、畑地から溶脱された窒素の影響を受けていることを示唆するものであろう。

図一4に、地下水流動上流部のA井戸水および下流部D井戸水の硝酸態窒素濃度ならびにA井戸の地下水位の5年間の経時変化を月別降水量とともに示した。

この図から単年度の変化をみると、上流部のA井戸水では、地下水位の急上昇する4~6月にかけて硝酸態窒素の濃度は高まり、地下水位が最高になる夏期にやや低下した。

下流部に位置するD井戸水では、A井戸水とは逆に、

地下水位が急上昇する5月頃濃度は一時低下し、以後漸次高まるパターンを示した。

以上のような年間変動をくり返しながら、この地区の地下水中の硝酸態窒素濃度は、48年に調査を開始してから、徐々にではあるが高まる傾向がみられた。

また、A井戸水とD井戸水との濃度差も年々大きくなる傾向が認められた。

(2) 那珂中部用水水質

調査地区北東部の水田地帯から横浸透してくる地下水は、本地区内の地下水水質に影響するものと考えられるので、その水源となる那珂中部用水(那珂川から導水)の水質を、4~9月の稲作期間中、井戸水同様採水し分析した。

その結果を各年度ごとの平均値で示すと表一5のとおりである。

用水路からの採水であるため、採水時の気象条件、水量の多少により水質は大きく影響を受けた。

この用水は本地区に隣接する水田地帯にかんがいされ地下水を涵養して調査地区内に流入するが、この過程におけるかんがい水質の変化をみるため地下水流入部にあたるA井戸の水質と比較すると、窒素は用水との差異はほとんど認められなかったが、pH値をはじめとして各溶存イオン濃度は低下していた。

表-4 各井戸水の水質分析結果

井戸 No.	年度	pH	EC μS/cm	4.3Bx me/l	NH ₄ -N mg/l	NO ₂ -N mg/l	NO ₃ -N mg/l	K ⁺ mg/l	Ca ⁺⁺ mg/l	Mg ⁺⁺ mg/l	Na ⁺ mg/l	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ⁻⁻ mg/l
A	48	6.4	115	0.39			0.65	0.66	3.24	3.16			
	49	6.4	117		0.04	0.005	0.67	0.73	4.03	3.11			11.8
	50	6.3	113		0.01	0.001	1.22	0.63	3.92	3.16	7.03	17.7	13.1
	51	6.4	117				1.28	0.97	4.02	3.16	7.23	14.1	10.3
	52	6.4	118				1.21	0.68	3.44	2.89	7.83	13.8	14.0
	平均	6.4	117	0.39	0.03	0.003	1.01	0.73	3.73	3.10	7.38	15.2	12.4
B	48	6.2	123	0.48			0.90	0.76	3.09	3.62			
	49	6.2	128		0.04	0.001	1.39	0.93	4.29	3.51			12.7
	50	6.1	127		0.01	0.001	1.41	0.91	3.94	3.49	7.64	17.4	12.3
	51	6.3	127				1.52	1.19	4.12	3.51	7.85	15.3	10.1
	52	6.3	126				1.63	0.84	3.56	3.25	7.83	16.0	13.6
	平均	6.2	126	0.43	0.03	0.001	1.38	0.93	3.80	3.48	7.77	16.2	12.2
C	48	6.1	108	0.52			1.05	0.71	2.82	3.27			
	49	6.2	113		0.04	Tr.	1.22	0.73	3.51	3.07			7.6
	50	6.1	120		0.01	0.001	1.87	0.77	3.91	3.19	7.15	17.4	7.7
	51	6.2	126				2.60	1.01	4.16	3.24	7.85	15.8	7.1
	52	6.3	127				2.99	0.84	3.77	3.11	7.93	15.8	9.5
	平均	6.2	119	0.52	0.03	0.000	1.95	0.82	3.63	3.18	7.64	16.3	8.0
D	48	6.1	122	0.57			1.34	0.75	2.99	3.60			
	49	6.2	122		0.04	Tr.	1.25	0.84	3.81	3.43			6.3
	50	6.0	125		Tr.	0.001	1.92	0.74	3.79	3.47	7.42	17.5	7.9
	51	6.1	130				2.75	1.08	3.98	3.54	8.19	15.4	6.9
	52	6.2	134				2.98	0.83	3.63	3.48	8.17	16.5	9.7
	平均	6.1	127	0.57	0.02	0.000	2.05	0.85	3.64	3.51	7.93	16.5	7.7

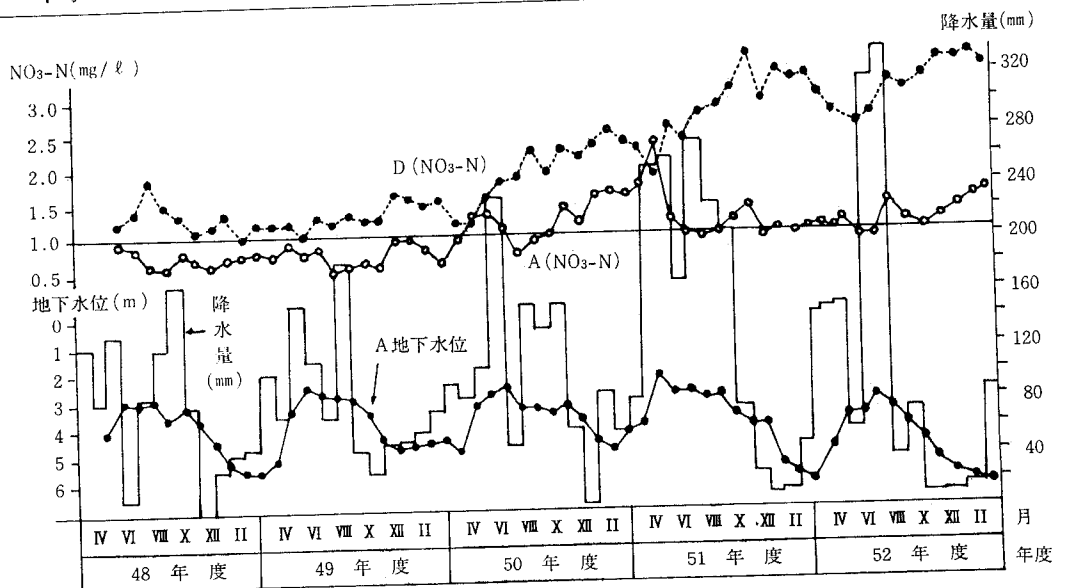


図-4 5ヶ年の月別降水量, 地下水位, 硝酸態窒素濃度変化

表-5 那珂中部用水水質調査結果 (mg/l)

年度	pH	EC	4.3Bx	NH ₄ -N	NO ₃ -N	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻⁻
48	8.5	μS/cm 157	me/l 0.84		0.32	1.72	6.44	3.30			
49	7.9	143		0.03	0.90	1.85	6.51	2.73			
50	8.2	150		0.01	0.62	1.63	6.61	3.29	8.31	18.13	19.42
51	8.2	140		0.05	1.20	1.93	8.00	2.84	7.72	16.04	24.17
52	8.3	148		0.12	1.09	1.28	8.35	2.59	8.57	13.93	18.04
平均	8.2	148	0.84	0.05	0.83	1.68	7.19	2.95	8.20	16.03	19.97

(3) 雨水水質

畑地における水の動きは、一部の畑地かんがいを除き降水に支配されることが大きい。そこで50~52年度の3カ年間の雨水の水質分析結果を、1回の連続降水量の多少により、0.5~10mm, 10~30mm, 30~60mm, 60mm<の4ランクに区分し、表-6に示した。

これによれば、1回の降水量が少ない場合は降水量の多い場合に比べてpH値は低く、各イオン濃度は高い値を示した。

この表より、本地区の年間平均降水量1,300mmを用いて、降水からの窒素供給量を算出すると、無機態窒素総量として4.70kg/ha/年となった。

3 窒素排出量試算

地下水水質の調査結果に基づいて、畑ほ場からの窒素排出量を算出する場合、地下水流動量の測定が必要である。

かりに畑地から溶脱された硝酸態窒素が地下水にまで流出した場合、かなり高濃度のものであっても、地下水流動量の多い地区では稀釈され低濃度として検出されるであろうし、また逆に流動量が少ないか、あるいはほとんど地下水が動かないような地区では、土壌浸透水中の

硝酸態窒素濃度に近い高濃度な値として検出されるであろう。

上国井地区ではⅡ-2の結果から、図-5に示すような窒素および水の流れを作図することができる。

そこで地下水流動量を試算し、地下水水質に影響をあたえる本地区からの窒素排出量を推定した。

1) 地下水流動量

ここでは、地下水等高線は各井戸の地下水位から作図することができ、流向はこれに直交し、流速は帯水層の透水係数と動水勾配から算出できることから、一般に用いられて、Darcy則⁷⁾により地下水流動量を計算した。

Darcy則

$$Q = k F \frac{\Delta H}{L} = k F I$$

諸係数は表-7、表-8に示すとおりである。

Lは地下水等高線と直交する調査地区内の最長距離であり、Fはその中央部における横断面積(通水断面積)とした。

本地区は、図-3に示したように夏期と冬期で地下水位に差が大きいため、流動量算出にあたっては、夏期(5~10月)と冬期(11~4月)に別け、年間の流動量はその平均値を用いた。

表-6 降水水質分析結果 (mg/l)

(50, 51, 52年度)

降水区分 (n)	平均 降水量	pH	EC	NH ₄ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻⁻
mm	mm		μS/cm									
0.5~10 (16)	5.51	4.42	61.4	0.759	0.024	0.44	0.30	1.02	0.19	1.10	3.04	4.84
10~30 (15)	18.37	4.58	31.1	0.483	0.009	0.38	0.24	0.40	0.09	0.73	1.39	3.16
30~60 (40)	38.50	4.89	22.0	0.285	0.006	0.20	0.17	0.40	0.07	0.47	1.34	2.81
60< (8)	97.94	5.12	18.1	0.061	0.006	0.10	0.17	0.16	0.05	0.31	0.68	1.79
平均 (79)	40.08	4.75	33.1	0.397	0.011	0.28	0.22	0.49	0.10	0.65	1.61	3.15
加重平均 による年間 供給量	1,300			2.43	0.09	2.18	2.37	3.57	0.83	5.51	13.17	29.86

注) 供給量 kg/ha/年 (年降水量1,300mm)

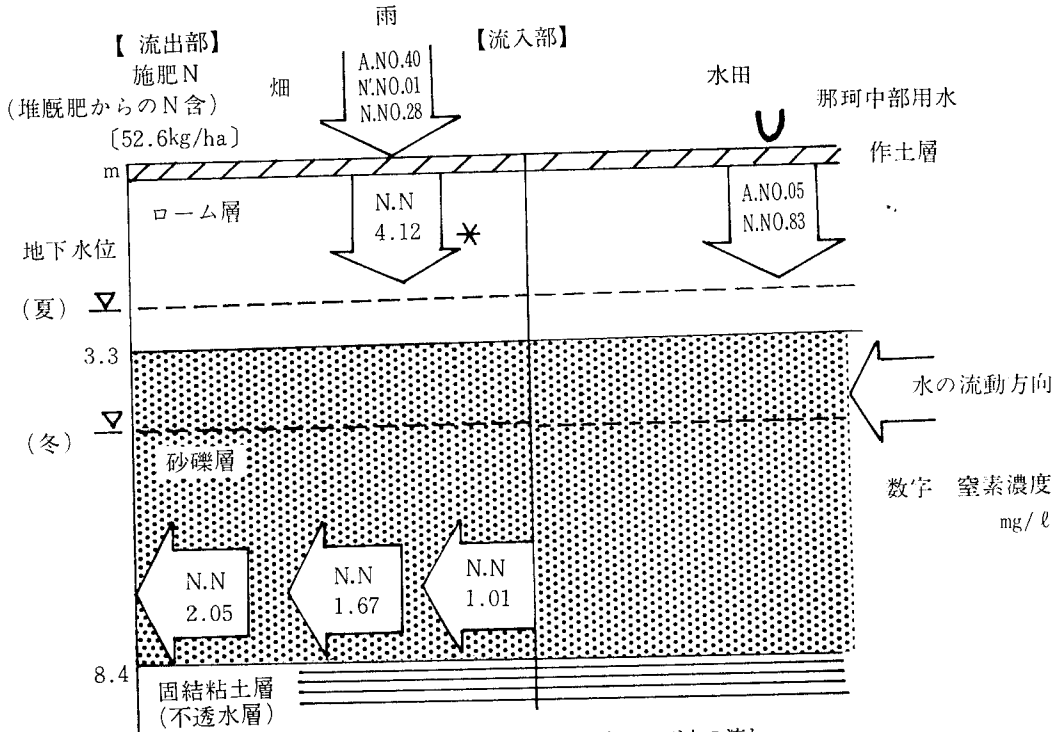


図-5 上国井地区における窒素および水の流れ

- 注 ① A.Nアンモニア態窒素, N.N硝酸態窒素, N'.N亜硝酸態窒素
- ② *畑ほ場からの浸透水中N.N濃度(推定値)

表-7 地下水流動量算出基礎係数(1)

調査地区 土層距離	調査地区 土層幅	調査地区 算出面積	k (透水係数)
m	m	ha	m/sec
690	510	35.2	0.00207

注) kはA井戸における揚水試験結果(47年12月)

表-8 地下水流動量算出基礎係数(2)

	48年度	49年度	50年度	51年度	52年度
F(横断面 積) m ²	2244 1708	2167 1708	2325 1902	2432 1764	2427 1846
ΔH(圧力水 頭差) m	3.01 2.51	2.98 2.33	2.64 2.63	2.85 2.37	2.76 2.44
I(動水勾 配)	0.0043 0.0036	0.0043 0.0033	0.0038 0.0038	0.0041 0.0034	0.0040 0.0035

- 注) ① 上段夏期(5, 6, 7, 8, 9, 10月)
下段冬期(11, 12, 1, 2, 3, 4月)
- ② 横断面積は不透水層から地下水面までの距離×510m

砂礫層の透水係数kは、47年12月A井戸深掘の際に測定された0.00207m/secを用いた。

これらの諸係数を用いて算出した各年度ごとの地下水

流動量および流速は表-9のとおりである。

表-9に示した流動量は調査地区中央部における流量であるため、調査地区内の流入、流出地下水量は、畑ほ場からの降水による年間降下浸透水量を考慮して、次式により算出した。

$$\text{流入地下水量} = \text{地区中央部流動量} - \frac{\text{畑ほ場からの降下浸透水量}}{2}$$

$$\text{流出地下水量} = \text{地区中央部流動量} + \frac{\text{畑ほ場からの降下浸透水量}}{2}$$

畑ほ場からの年間降下浸透水量は、本調査におけるモデルほ場の各年度の浸透水量調査結果⁹⁾を用いた。

また調査地区の対象面積は、計算上690m×510m=35.2haとした。

以上のことから各年度ごとの本地区内での地下水流入流出水量を試算し、年間降水量と併せて図-6に示した。

これによると、流入する地下水量は、年度や降水量にはほとんど影響されず47万トン前後の値を示した。このことは、前述したように、本地区への流入地下水の大部分が北東部に位置する水田地帯からの横浸透によるものであり、水田ではかんがい水による水量調整が行なわれていることから、降水量にはほとんど影響されず、ほぼ

表-9 地下水流動量および流速

		48年度	49年度	50年度	51年度	52年度
流量 (Q) m ³ /日	夏 期	1749	1670	1588	1796	1736
	冬 期	1108	1029	1296	1082	1165
	年 平均	1429	1350	1442	1439	1450
流速 (V) m/日	夏 期	2.60	2.57	2.28	2.46	2.38
	冬 期	2.16	2.01	2.27	2.04	2.10
	年 平均	2.38	2.29	2.28	2.25	2.24

注) n=0.30として計算した。

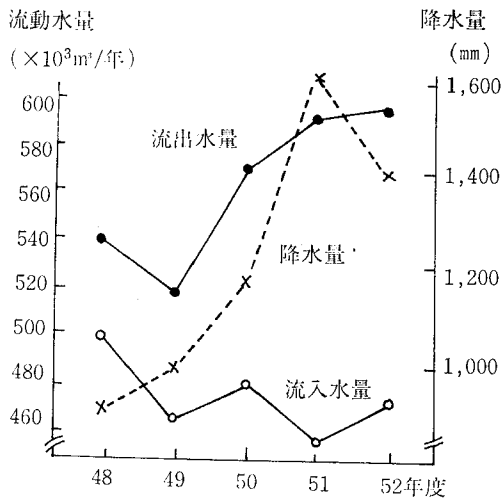


図-6 流入流出水量の年次変動

一定の流入水量となったものと考えられる。

流出地下水量については、地下水が畑ほ場下を通過する際、ほ場からの降下浸透水量に大きく影響されるため年次間の差が大きくなったものと思われる。

2) 窒素排出量

本地区における窒素排出量は、地下水の流入、流出部での流動水量および地下水中の窒素濃度から計算するこ

とができる。

流入部における窒素濃度はA井戸水の硝酸態窒素の値を用い、流出部では地下水位観測地点の関係からC井戸水の硝酸態窒素の値を用いた。

上国井地区における畑地からの窒素排出量は、地下水流動による本地区からの流出窒素量

−本地区への流入窒素量

から算出することができる。

この式を用いて、各年度の窒素排出量を求め表-10に示した。

これによると、48年に調査を開始してから、排出量は年々増加した。

本地区では普通作物を基幹とした栽培体系に大きな年次間差ははみられず、施肥窒素量もほぼ1,850kg/年程度であることから、毎年の施肥の反復による土壌残存量の増大、ならびに調査期間のうち、48~51年度にかけて年々降水量が増加しそれに伴い降下浸透水量が増し、溶脱が促進されたこと等が考えられる。

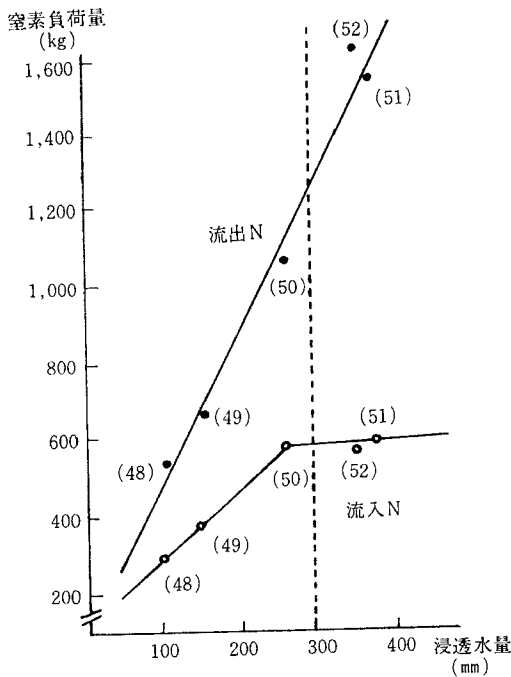
そこで流入、流出窒素量と畑ほ場からの降下浸透水量の関係を図示すると図-7のようになる。

これによると、5年間の限られたデータではあるが浸透水量の増加にともない流出窒素量は直線的に増加している。一方流入窒素量は、浸透水量が250mm以上になるとほぼ一定の値を示した。

表-10 畑ほ場(上国井地区)からの窒素排出量試算

記号	a	b	c	d	e	f	g
	流入部 NO ₃ -N	流入部 流動水量	流出部 NO ₃ -N	流出部 流動水量	流入負荷量 (a × b)	流出負荷量 (c × d)	排出量 (f - e)
	mg/ℓ	m ³ /年	mg/ℓ	m ³ /年	kg/年	kg/年	kg/年
48年度	0.59	502,042	1.04	540,762	296	562	266
49年度	0.79	466,343	1.31	518,791	368	679	311
50年度	1.22	481,098	1.87	571,562	586	1,068	482
51年度	1.29	456,947	2.60	593,523	589	1,543	954
52年度	1.21	463,432	2.73	595,432	560	1,625	1,065
平均	1.02	473,972	1.91	564,014	479	1,095	616

注) 流入、流出部のNO₃-Nは、地下水位同様、夏期、冬期に分けて算出し、その平均値を用いた。



図一七 窒素負荷量と浸透水量との関係
注) () 内は年度

これは、この地区への流入水量が図一六に示したように毎年ほぼ同量であったことと、流入部における硝酸態窒素濃度の年次変動が流出部に比べて少なかったことに起因しているものと思われる。

以上のことから、上国井地区における平年の窒素排出量を試算するとつぎのとおりである。

この地区の年平均降水量は、1,300mmであることから、平均降下浸透水量は、モデルほ場調査の結果からおおよそ300mm⁸⁾となる。図一七より浸透水量300mmの場合の流入流出窒素負荷量は、流入負荷580kg/年(16.48kg/ha/年)流出負荷1,220kg/年(34.65kg/ha/年)となり、この地区からの平年の窒素排出量は、

$$1,220\text{kg/年}(34.65\text{kg/ha/年}) - 580\text{kg/年}(16.48\text{kg/ha/年}) = 640\text{kg/年}(18.17\text{kg/ha/年})$$

と試算された。

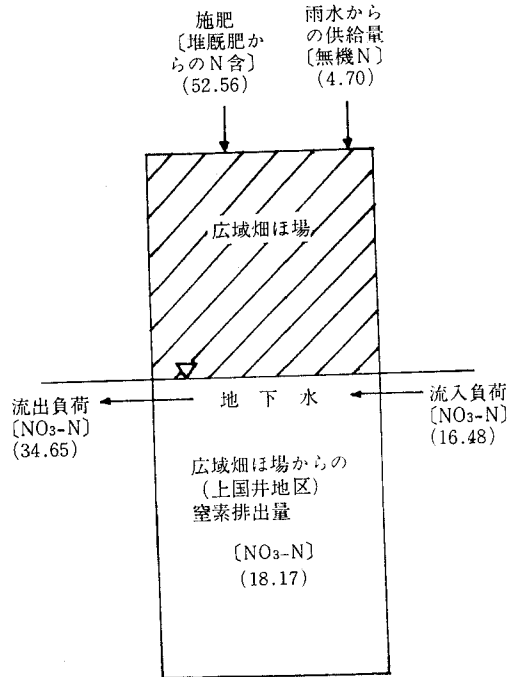
Ⅲ モデルほ場における施肥窒素収支

畑ほ場からの窒素の流出量を把握するための基礎調査として、上国井地区内において、同時に一筆畑ほ場における窒素の動向を調査した。

1 調査方法

1) ほ場の概況

このほ場は面積10a(40m×25m)で4区(1区10m×25m)からなり、表面流去水が採水できるよう3°の



図一八 畑ほ場からの窒素排出モデル(上国井地区)
(N, kg/ha/年)

注① () 内はN, kg/ha/年

② 48~52年度の上国井地区における浸透水量と、Darcyの法則により求めた地下水流動量を基に算出した窒素負荷量から、上国井地区における平年(降水量1,300mm, 浸透水量300mm)の窒素排出量を試算したものである。

③ 施肥量は未耕地を含めた対象面積当りで算出した。

傾斜をつけ、各区表層から1m下に、幅2m、長さ20mのビニールシートを埋設し、土壌浸透水の採取もできるように造成した。

2) 耕種概要

48年ほ場造成後、ほ場の均一化をはかる目的でビール麦の均一栽培を行った。

49年から、標準施肥区(Ⅰ区、Ⅲ区)、多肥区(Ⅳ区)、無窒素区(Ⅱ区)を設け、49年度: トウモロコシ-ハクサイ、50年度: グレインソルガム、51年度: ダイコン-ニンジン、52年度: トウモロコシ-ハクサイを供試し調査を行なった。

施肥は溶脱パターンを知るため単肥(N: 硫安, P₂O₅: 過石, K₂O: 塩加)を用い、全量元肥で行なった。各区とも原則として有機物のほ場還元は行なわず、根を含めて収穫物残渣はすべてほ場外へ持出した。

2 調査結果

1) 水収支

窒素収支をとらえるためには、畑における水収支的

表-11 水収支

要因	49~52年度 4年合計 mm	4カ年平均 mm	%
降水量	5,139.5	1,284.9	100.0
蒸発散量	3,803.8	951.0	74.0
浸透水量	1,170.2	292.6	22.8
表面 流去水量	119.4	29.9	2.3
作物体 持出水量	46.2	11.5	0.9

注) 蒸発散量には土湿変化水量ならびに不明水量を含む。

確な把握が必要である。

表-11にモデルほ場における4年間の水収支を示した。

49年4月から53年3月までの4年間の積算水収支は、降水量100.0に対し、蒸発散量〔栽培期間中の蒸発散量+裸地期間中の土面蒸発量〕+土湿変化水量74.0、浸透水量22.8、表面流去水量2.3、作物体持出水量0.9であった。

土壌浸透水量は、降水量、降雨強度および作物体の土面被覆率等に影響されると思われるが、4年間の平均値は293mm、浸透率22.8%であり、浸透水量(G)と降水量(P)との間には高い相関がみられた。

$$G = 0.376P - 190.2 \quad (r = 0.951)$$

従来のライシメーター試験⁹⁾の結果では、30~60%の浸透率が観測されており、また年間を通して浸透水の採水が可能であるとされているが、このモデルほ場では、半旬25~30mm以上のまとまった降水量がなければ浸透水の採取はできなかった。

表面流去水については、4年間で22回の発生が認められた。

表面流去水の発生は降雨強度やほ場の傾斜の影響を受けると考えられるが、3°の傾斜畑であるこのほ場では、10分間の降水量が約2.1mm以上の場合に限られ、2~3mm/10分間とする山根の値¹⁰⁾とほぼ一致した。

この場合、土壌水分は過飽和の状態に近く、常に土壌浸透水の採水可能な期間中にあった。

蒸発散量については、降水量からこれらの実測値の差し引きにより求めた。

上村¹¹⁾は斜面ライシメーター試験の結果から、土面蒸発量+土湿変化水量は、調査を無降雨時の安定した月から始め、年間を通して大体もとの保水状態に戻るものと仮定すれば、それほど大きな誤差はないとして、関東ローム裸地条件で、この値を717.8mmとしている。

モデルほ場調査結果での蒸発散量は土湿変化水量を含めて951.8mmであり、上村の土面蒸発の値に栽培期間中の作物体からの蒸散量を加えれば、ほぼこの値に近くなるのではないと思われる。

2) 施肥窒素収支

施肥された窒素は、作物体収穫後も土壌中に残存し、次作の作物体吸収および溶脱に影響をあたえる。

このため施肥窒素収支を求めるためには、1作ごとの収支よりも各種の作物を導入して1つのサイクルとし、栽培を繰り返す、その合量で収支をとらえることが必要と考える。

このような観点から、モデルほ場においては、49~52年度まで4年間7作物を供試して、このほ場における施肥窒素収支を調査した。

表-12にモデルほ場における施肥窒素収支を示した。これによると、施肥窒素量100.0に対し、標準施肥区

表-12 施肥窒素収支

要因	標肥区 (I区)			多肥区 (IV区)			算出基礎
	4年合計 kg/10a	年平均 kg/10a	%	4年合計 kg/10a	年平均 kg/10a	%	
INPUT 施肥量	137.0	34.25	100.0	238.0	59.50	100.0	
OUTPUT 作物体 吸収量	77.4	19.33	56.5	92.6	23.10	38.8	モデルほ場における 施肥区 - 無N区 (I区, IV区)(II区) III区は堆肥を散布している ためこの計算からは除いた。
溶脱量	28.4	7.10	20.7	57.9	14.47	24.3	
表面 流去量	0.1	0.04	0.1	0.2	0.05	0.1	
土壌 残存量	24.4	6.10	17.8	60.9	15.23	25.6	¹⁵ N利用枠試験における各 作の収穫時の土壌コア内残 存量の平均値
不明窒素 (脱窒を 含む)	6.7	1.68	4.9	26.4	6.64	11.2	未回収N

注) 施肥は全量元肥で行った。

(I区)では、作物体吸収量56.5, 溶脱量20.7, 表面流去量0.1, 土壌残存量17.8, 不明(脱窒を含む)4.9であり、多肥区(IV区)では、作物体吸収量38.8, 溶脱量24.3, 表面流去量0.1, 土壌残存量25.6, 不明(脱窒を含む)11.2であった。

この調査では、施肥は全量元肥で行っているため、通常の分施する方法に比べ、作物体の施肥窒素吸収量は低く、施肥窒素溶脱量は高い傾向に出ているものと思われる。

また標準施肥区と多肥区を比較すると、多肥は標準施肥区に比べ1.8倍量の施肥を行っているが、作物体吸収量では1.2倍の吸収利用に対し、溶脱量はおおよそ2倍の値が認められた。

IV ま と め

畑地における肥料の使用が、水系とくに地下水におよぼす影響を把握するため、窒素について上国井地区とモデルほ場に別けて調査した。

上国井地区からの窒素排出量は、地区内の地下水流動量および地下水中の硝酸態窒素濃度の変化から推定し、モデルほ場では、浸透水量とその濃度変化の実測値をもとに、一筆畑ほ場からの溶脱窒素量を算出した。

モデルほ場での溶脱窒素として調査した浸透水中の硝酸態窒素が、どのような過程を経て地下水にまで排出されるのか未解決の部分があり、一概に比較できないが、これと上国井地区における窒素排出量とを比較して表-13に示した。

上国井地区では、施肥窒素として52.6kg/ha/年、雨か

ら4.7kg/ha/年、計57.3kg/ha/年の供給窒素量に対し、排出量は18.2kg/ha/年であった。

これに対しモデルほ場における溶脱窒素量は、無窒素区4.8kg/ha/年、標準施肥区75.8kg/ha/年、多肥区149.5kg/ha/年であった。

無窒素区からの溶脱量4.8kg/ha/年を無施肥土壌からの自然排出窒素量とみて、上国井地区からの施肥排出量を差し引き法により求めると13.4kg/ha/年となり、施肥排出率は25.5%であった。

同様に、モデルほ場における施肥溶脱量を求めると、標準施肥区では71.0kg/ha/年、(施肥溶脱率20.7%)であり、多肥区では144.7kg/ha/年、(施肥溶脱率24.3%)であった。

これを上国井地区からの施肥排出量と比較すると、標準施肥区では5.3倍、多肥区では10.8倍という高い値を示した。

この理由として以下のことがあげられる。

第一には、施肥窒素量の差が考えられる。上国井地区では普通畑作物栽培が中心であるのに対し、モデルほ場では野菜栽培を行い、施肥量を多く必要とした。またモデルほ場では全量元肥で施肥しているため、作物体による吸収効率が低かったことも原因していると考えられる。

つぎに、調査対象面積、および土地利用状況の違いが考えられる。モデルほ場では、1区の面積は2.5aであるのに対し、上国井地区では調査対象面積35.2haでありうち耕地面積は17haしかなく、残り18ha以上が農道、山林、敷地等であり未耕地の占める割合が高かった。この

表-13 年間流出窒素量の比較

要 因	単 位	畑ほ場 (上国井地区)	モ デ ル ほ 場		
			無 N 区	標 肥 区	多 肥 区
調 査 対 象 面 積	ha	35.2	0.025	0.025	0.025
施 肥 N 量	kg/ha	52.6	0.0	342.5	595.0
雨からの供給N量	kg/ha	4.7	4.7	4.7	4.7
流 出 N 量 (率)	溶 脱 量	kg/ha	4.8	75.8	149.5
	施肥溶脱量	kg/ha	—	71.0	144.7
	施肥溶脱率	%	—	20.7	24.3
流 出 N 量 (率)	排 出 量	kg/ha	18.2		
	施肥排出量	kg/ha	13.4		
	施肥排出率	%	25.5		

注) ① ここでの流出窒素量には表面流去窒素量は含まず。

② 施肥排出量(kg/ha/年) = $\frac{\text{排出量} - \text{モデルほ場無N区の溶脱窒素量}(4.8\text{kg/ha/年})}{\text{溶脱量}}$

③ 施肥排出率(%) = $\frac{\text{施肥排出量} \times \text{溶脱率}}{\text{施肥量}} \times 100$

ため、畑ほ場17haに対しては平均1,850kg/年(108.8kg/ha/年)の施肥窒素量に対し、調査対象面積に対しては計画上52.6kg/ha/年となり、未耕地を含めた上国井地区からの流出窒素量はモデルほ場のような一筆畑ほ場に比べて少なくなったものと思われる。

しかし、施肥窒素量に対する割合でみると、上国井地区では施肥排出率25.5%で、モデルほ場における施肥溶脱率20.7~24.3%とほぼ近似していることは興味深い。

浅野、谷田沢¹²⁾が既往の文献を用いて我国の代表的な栽培形態のいくつかについて肥料成分のバランスシートを作成しており、これによれば窒素の溶脱量は、畑作物栽培では19.4kg/ha/年であり、野菜栽培では77.4kg/ha/年と推定している。これらの値は、本調査における普通畑作物栽培中心の上国井地区からの流出窒素量(排出窒素量)18.2kg/ha/年および野菜栽培を中心のモデルほ場からの流出窒素量(溶脱窒素量)75.7kg/ha/年とほぼ一致している。

畑地からの施肥窒素の流出率は、気象条件、栽培作物の種類、施肥量、土地利用形態等により異なるが、本調査の結果および前述の文献内容等を総合してみると、およそ20~25%程度であろうと推定される。

しかし、これらの値は田沢¹³⁾のいう発生負荷であり、これがどのような経路で、どの程度、河川、湖沼へ流達し、陸水の富栄養化に影響をおよぼすかという点については、今後の検討課題であろう。

本稿の終りに、共同研究者である、石川昌男、吉原貢、石川実の各氏に深く感謝の意を表します。

引用文献

1) 茨大農学部霞ヶ浦研究会(1977):霞ヶ浦,三共科学選書,7,

三共出版

- 2) 高村義親・田淵俊雄・鈴木誠治・張替 泰・上野忠男・久保田治夫(1976):水田の物質収支に関する研究(第1報),霞ヶ浦流域の水田における窒素およびリンの動向と収支について,土肥誌,47,398~405
- 3) 愛知県農業総合試験場(1977):水田における栄養塩類の流入収支に関する調査成績書(昭和48~51年度)
- 4) 関東農政局計画部資源課(1979):富栄養化対策調査報告書,諏訪湖地区,57~64
- 5) 高村義親・田淵俊雄(1977):水田肥料の流出と陸水の富栄養化,日本河川水質年鑑,研究編,861~871,山海堂
- 6) 小川吉雄・石川 実・吉原 貢・石川昌男(1979):畑地からの窒素の流出に関する研究,茨城県農業試験場特別研究報告,第4号
- 7) Aシリン・ベクチャーリン・福田仁志訳(1963):灌漑地の水収支,東大出版会,44~63
- 8) 茨城農試(1979):土壌汚染機構解析調査報告書,昭和52年度
- 9) 松下研二郎・藤島哲男・宇田川義夫(1969):鹿児島県における火山灰畑土壌畑地の生産力と各成分の溶脱について,ライシメーター試験(第1報)土肥誌,40--8,337~342
- 10) 山根一郎(1972):土壌学の基礎と応用,農文協,206~212
- 11) 上村春美(1969):斜面ライシメーターにおける自然降雨の水文学的考察,農士試技報A第7号,17~33
- 12) 浅野次郎・谷田沢道彦(1976):わが国農業生態系における肥料成分の循環,シンポジウム,肥料による陸水の汚濁と指標植物,5~16
- 13) 田淵俊雄(1975):農地排水と水質汚濁,農士誌,43--8,525~529

[1979.9.25受稿]