

# 茨城県農業試験場特別研究報告

第 4 号

SPECIAL BULLETIN  
OF THE  
IBARAKI AGRICULTURAL EXPERIMENT STATION

No. 4

— 1 9 7 9 —

茨 城 県 農 業 試 験 場

水戸市・上国井町

IBARAKI AGRICULTURAL EXPERIMENT STATION  
KAMIKUNII-CHO, MITO, JAPAN

## 序

戦後の日本経済の高度成長は、国民生活の安定と向上に寄与した反面、企業の拡大、大都市化などともなって自然環境と社会環境の不均衡を招き、自然破壊や環境汚染など、いわゆる諸種の公害発生の原因となり大きな社会問題となっていることは周知のとおりである。

環境汚染は大気、水、土壌汚染に大別できるが、このうち、土壌汚染は比較的小範囲に限定される場合が多いのに対し、大気および水質汚染は拡散型で一定地域にとどまることなくその影響も広範囲に及んでいる。

これに対処するため、国と県は昭和42年8月に制定された公害対策基本法にもとづき、公害対策の総合的推進をはかり、国民の健康保護と生活環境の保全に努力してきた。

本県においても大気、水および土壌汚染による公害の発生が所々にみられ、その都度対策を構じているが、改善には長期を要するものもある。とくに水質の場合は霞ヶ浦をはじめとして県内中小河川の汚染の進行は著しく、陸水の 栄養塩類の増加ともなう河川、湖沼の富栄養化が指摘されている。その原因として都市排水、産業排水、畜産排水などがあげられるが、農耕地からの肥料流出も一因とされている。

しかし、農耕地のうち畑地からの肥料の流出については、流出機構などの解明がほとんどおこなわれていない。この問題を究明するため環境庁の委託により昭和48年度から5年間、農試のは場を中心に「土壌汚染機構解析調査」をおこない、畑地における水および養分の収支、畑地からの肥料成分の流出とそれが地下水々質に及ぼす影響などについて調査、研究をおこない、その結果についてとりまとめた。

内容については今後さらに研究を要する点も残されているが、とりあえず現在までの結果を報告しご批判をあおぐ次第である。

本報告が霞ヶ浦をはじめとする多くの河川、湖沼の富栄養化解明の一助となれば幸である。

本報告は農試環境部の小川吉雄技師が中心となりとりまとめをおこなったものであるが、調査研究の実施およびとりまとめにあたり格別のご高配を賜った環境庁土壌農薬課、農林水産省農業技術研究所、農事試験場、県環境局水質保全課の関係各位に対し深甚なる感謝の意を表する次第である。

昭和54年3月1日

場長 黒 沢 晃

# 畑地からの窒素の流出に関する研究

## 目 次

第1章	はじめに	1
第2章	試験の構成	2
第3章	広域調査	6
I	広域畑は場(上国井地区)地下水の水質	6
1.	調査方法	6
1)	調査地区の概要	6
2)	表層土壌の理化学性	7
3)	水質調査法	8
4)	水質分析法	9
2.	調査結果	9
1)	調査地区の作付状況および施肥実態	9
2)	気象, 地下水位等	10
3)	地下水水質	12
4)	那珂中部用水水質	15
5)	七ツ洞池水質	15
6)	雨水水質	16
II	地下水流動にともなう溶存イオンの濃度変化	17
1.	調査方法	17
2.	調査結果	18
1)	ローム層中の地下水水質	18
2)	各イオンの濃度分布	19
III	その他の地区の地下水水質	21
1.	調査方法	21
2.	調査結果	21
1)	上河原崎地区	21
2)	三反田地区	21
3)	地下水水質の比較	23
IV	考 察	24

1. 広域畑ほ場（上国井地区）からの窒素排出量	24
1) 上国井地区における地下水流動量	25
2) 窒素排出量	27
第4章 モデルほ場調査	30
I 施肥窒素の動向	30
1. 調査方法	30
1) ほ場の概況および採水方法	30
2) 土壌条件	32
3) 耕種概要	32
2. 調査結果	33
1) 作物体窒素吸収量	33
2) 溶脱窒素量	34
3) その他のイオンの溶脱量	38
4) 表面流去窒素量	38
II 施肥窒素の土壌残存量	39
1. 作物別の施肥窒素土壌残存量	39
1) 調査方法	39
(1) 試験区の概要	39
(2) 試験区の構成および耕種概要	40
(3) 採土および分析方法	40
2) 調査結果	40
(1) 49年度 トウモロコシ	40
(2) 50年度 グレインソルガム	41
(3) 51年度 ダイコン	42
(4) 52年度 トウモロコシーハクサイ	43
(5) 降水量と土壌中における施肥窒素の分布	44
2. 施肥窒素の横への拡散量	44
1) 調査方法	44
2) 調査結果	45
(1) 生育収量調査	45
(2) 作物体窒素吸収量	45
(3) 土壌残存量	46
3. 硝酸態窒素の垂直分布	46
1) 調査方法	46

2) 調査結果	46
Ⅲ 豚ふん施用にともなう溶脱窒素量	48
1. 調査方法	48
1) 試験ほ場	48
2) 耕種概要	48
2. 調査結果	48
1) 作物体窒素吸収量	48
2) 溶脱窒素量	48
Ⅳ 考 察	50
1. モデルほ場における窒素収支	50
2. モデルほ場における水収支	52
3. 窒素の溶脱に対する気象要因	53
第5章 窒素の溶脱に関する要因解析	55
Ⅰ 実験1 かん水量, 施肥量, 施肥法等の影響について	55
1. 調査方法	55
1) 試験規模	55
2) 供試土壌の化学性	55
3) 試験区の構成	55
4) かんがい水質およびかん水方法	56
2. 調査結果	56
1) かん水総量 900 mm の場合	56
2) かん水回数 30 回 の場合	56
Ⅱ 実験2 土壌の違い, 施肥法, 厩肥施用等の影響について	58
1. 調査方法	58
1) 試験区の構成	58
2) 供試土壌の理化学性	58
3) 耕種概要	59
4) かんがい水質およびかん水方法	59
2. 調査結果	60
1) 陸稲の生育収量と窒素の吸収量	60
2) 窒素の溶脱量	61
Ⅲ 考 察	63
第6章 総合考察	65
Ⅰ 窒素の流出に関する広域調査およびモデルほ場調査結果の比較	65

II 流出窒素量の年次変化	66
第7章 摘要	68
I 広域調査	68
II モデルほ場調査	69
III 窒素の溶脱に関する要因解析	70
文献	70

# 畑地からの窒素の流出に関する研究

小川 吉雄・石川 実・吉原 貢・石川 昌男\*

## 第 1 章 は じ め に

近年霞ヶ浦湖水をはじめとして、陸水の富栄養化が進み<sup>1), 2), 3)</sup>, 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。

畑地からの肥料成分の溶脱、流出等に関する既応の調査研究は、作物栽培の面からみた肥料の効率的利用および畑土壌の生産力の維持増進をはかる目的で、主にライシメーター、ポット試験等<sup>4), 5)</sup>で行われたものが多く、畑地に施肥した肥料成分の流出と、それが陸水とくに地下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、同時に水収支の的確な調査が必要となる。

そこで本研究においては、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（広域畑ほ場）下の地下水水質等の実態調査を中心に、耕地からの肥料成分（とくに窒素）の流出が地下水水質におよぼす影響を調査した。また、土壌浸透水、表面流去水の

採取が出来るように造成した畑ほ場（モデルほ場）における肥料成分の溶脱等を中心に、それにかかる基礎調査を行い、とくに畑ほ場における窒素の溶脱と施肥窒素の収支を把握しようとした。

この調査研究は環境庁からの委託により「土壌汚染機構解析調査」として昭和48年度から昭和52年度までに実施した調査研究結果をとりまとめたものである。

本調査研究の実施にあたり、農業技術研究所化学部肥料化学科早瀬達郎科長（現九州農試環境部長）、越野正義室長には研究計画、実施にあたり多大の御指導を賜わり、ほ場管理、分析等では、臨職宮窪茂雄、益子善文、高畑久雄、塩崎昌一の各氏ならびに旧化学部の各位に御援助いただいた。

また本文の内容について御校閲および御指導を賜わった環境庁土壌農薬課の各位をはじめ、茨城大学農学部田渕俊雄助教授、茨城県農業試験場黒沢晃場長、酒井一環境部長に対し、厚く御礼申し上げる次第である。

---

\* 現県教育普及課

## 第2章 試験の構成

畑地からの肥料成分の流出が、地下水をはじめとして、水系の富栄養化にあたる影響について総合的に調査をすすめるには、施肥成分の動向および水の定量的把握が必要である。このため、第1図に示すようなフローシートに基づき調査を行った。

また、調査内容と調査年度は第1表に示すとおりである。

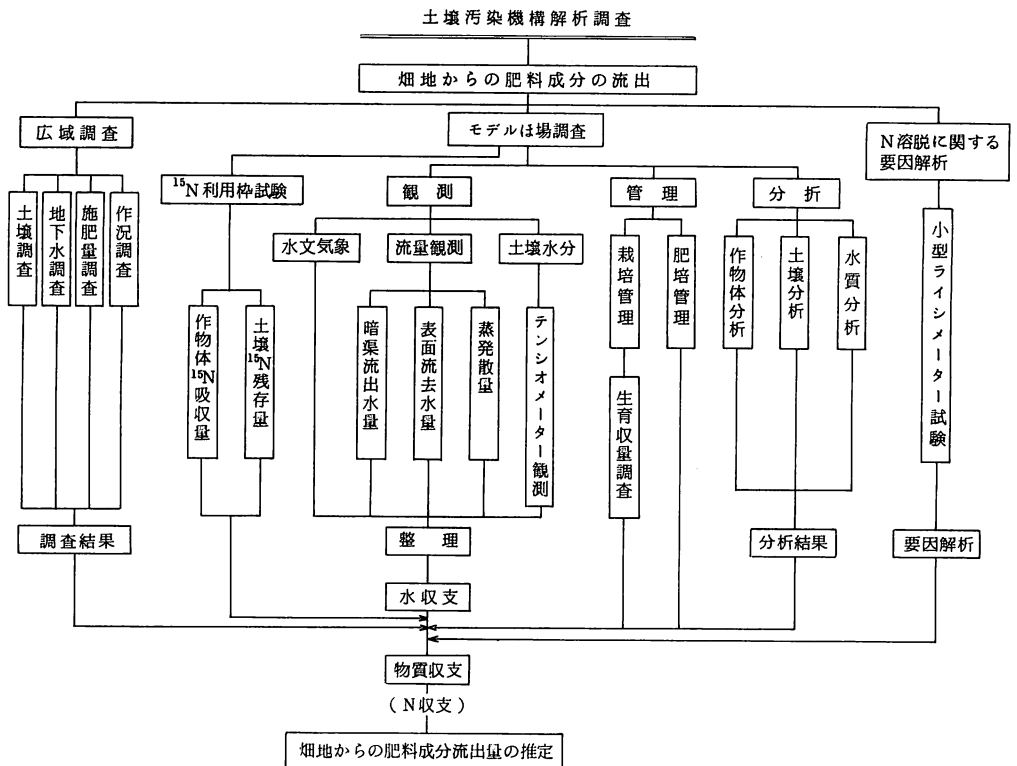
広域調査は、ある程度の広がりをもつ畑は場下の地下水水質および動態を調査し、施肥成分の溶脱が地下水水質におよぼす影響を検討することとした。

そのため、水戸市上国井町、茨城県農業試験場内畑は場全域を対象に調査を行い、地下水水質と流動量から、流出窒素量の試算を行った。

また、谷田部町上河原崎地区と、勝田市三反田地区についても同様な地下水水質の調査を行った。

モデルは場調査では、土壌浸透水、表面流出水の採取できるほ場を造成し、一筆ほ場における窒素収支を中心に、とくに畑は場からの土壌浸透水による窒素の溶脱量について実測した。

また、同ほ場内において、重窒素でラベルした標識硫安を用いて、施肥窒素の土壌中での動向



第1図 土壌汚染機構解析調査フローシート



畑地からの窒素の流出に関する研究

を追跡し、栽培跡地土壌中での施肥窒素の分布

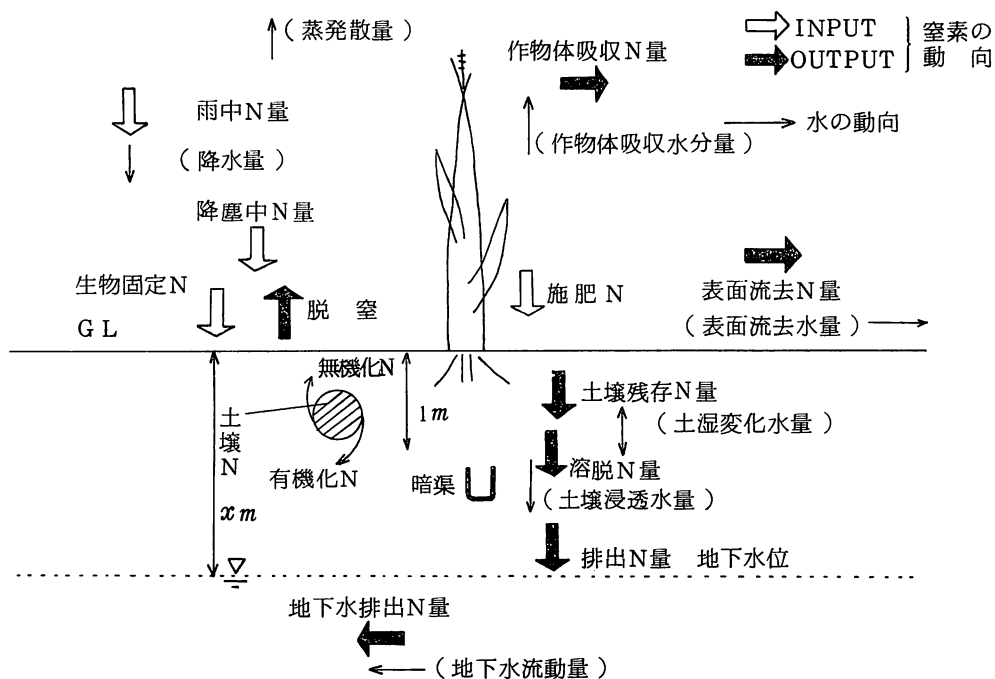
した。

状況を調査し、各年度の土壌残存窒素量を推定

第2図に畑ほ場における窒素のバランスシ-

第1表 調査内容と調査年度

調査内容	48	49	50	51	52
広域調査					
上国井地区地下水水質調査					
地下水流動とイオン濃度の関係					
その他の地区の地下水水質 (上河原崎, 三反田地区)					
モデルほ場調査					
施肥窒素の動向					
標識硫安利用枠試験					
硝酸態窒素の垂直分布					
豚ふん施用にともなう溶脱窒素量調査					
窒素の溶脱に関する要因解析					



第2図 畑ほ場における窒素のバランスシート

トを示した。

畑ほ場における窒素収支式は

$$\begin{aligned} & \text{土壌有機態N} + \text{土壌無機態N} + \text{施肥N} + \text{降} \\ & \text{雨中N} + \text{降塵中N} + \text{生物固定N} = \text{作物体吸} \\ & \text{収N} + \text{溶脱N} + \text{表面流去N} + \text{脱窒} + \text{土壌無} \\ & \text{機態N} + \text{土壌有機態N} \dots\dots\dots(1) \end{aligned}$$

によって示される。

このうち施肥窒素の収支式は(2)のようになる。

$$\begin{aligned} & \text{施肥N} = \text{作物体吸収施肥N} + \text{溶脱施肥N} + \\ & \text{表面流去施肥N} + \text{脱窒(施肥N)} + \text{土壌残} \\ & \text{存施肥N(無機態N} + \text{有機態N)} \dots\dots\dots(2) \end{aligned}$$

また、畑ほ場における水収支は(3)式によって

示される。

$$\begin{aligned} & \text{降水量} = \text{蒸発散量(作物栽培期間の蒸発散} \\ & \text{量} + \text{裸地期間の土面蒸発量)} + \text{土壌浸透水} \\ & \text{量} + \text{表面流去水量} + \text{作物体持出水量} + \text{土湿} \\ & \text{変化水量} \dots\dots\dots(3) \end{aligned}$$

以上の式から本調査では施肥窒素収支および水収支を第2表に示したような調査方法により検討した。

窒素の溶脱に関する要因解析では、小型ライシメーターを用いて直交表により畑地からの窒素の溶脱に影響を及ぼすと考えられるかん水量(降水量)、施肥法、土壌の違い等の諸要因に

第2表 窒素収支(肥料N)、水収支調査方法

		N		収 支		水 収 支
要 因		ほ場	調査項目	算出基礎	測定方法	要 因
INPUT A	施肥N	⊕	施肥量(実分量)	施肥量×成分率		
	(R) 雨水中N	⊕ ⊖	降水量(実水質)	降水量×濃度	日記雨量計分析	(P)降水量(実)
OUTPUT B	作物体吸収N量	⊕ <sup>15</sup> N	生育収量調査(実)乾物率 吸収N量	収量×吸収N量(差引法) (トレーサー法)	生育収量調査分析	(M)作物体持ち出し水分量(実)
	C 土壌溶脱N量	⊕	土壌溶脱N量(実水質)	浸透水量×濃度(差引法)	暗渠浸透水量分析	(G)土壌浸透水量(実)
	D 表面流去N量	⊕	表面流去水量(実水質)	流去水量×濃度(差引法)	3°の傾斜による表面流去水量分析	(D)表面流去水量(実)
	E 脱 窒			E=(A)-(B+C+D+F)		(E)蒸発散量(推測) (蒸発計蒸発量×蒸発散比) (ΔS)土湿変化水量(推測) (テンシオメーターによる観測)
F 土壌残存N量(80cm土層間)	<sup>15</sup> N ⊕	土壌残存 <sup>15</sup> N量(実) 跡地土壌分析(推測)	(トレーサー法)	分析	断面調査	pF-水分曲線

注) 1. ⊕ モデルほ場試験 ⊖ 広域調査 <sup>15</sup>N 重N利用枠試験  
2. (実) 実測値 (推) 推測値

## 畑地からの窒素の流出に関する研究

についての多因子実験を行った。

窒素を溶脱窒素とし、それ以下の土層を通過し

なお、本報告では、モデルは場における土壌  
浸透水の調査結果から、地表下1 mに移行した

地下水に流出した窒素を排出窒素とした。

### 第3章 広域調査

#### I 広域畑ほ場 (上国井地区)

##### 地下水の水質

畑は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把握するために畜産排水、農家生活排水等の土壌浸透による影響の少ない地区において、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

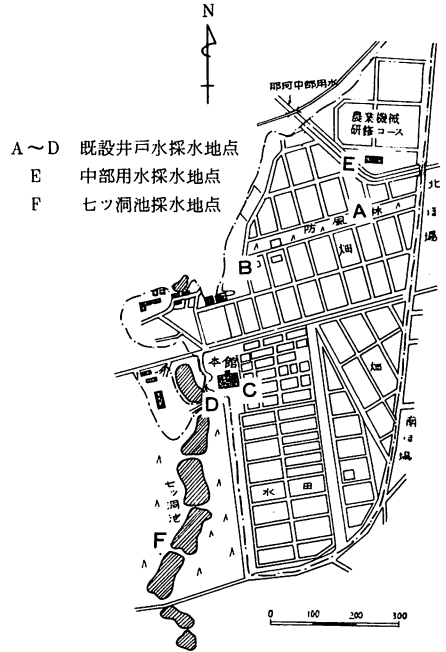
##### 1) 調査地区の概要

調査地区は水戸市上国井町、茨城農試畑ほ場全域約 35 ha を対象とした。

採水地点および地区の概況は第3図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(全国統名)に属する。

表層地質は第4図に示すとおりである。



第3図 上国井地区概況図および採水地点

標尺 m	深度 m	層厚 m	図表	地質名	色	相対密度	記 事	
1	0.90	0.90		表 土	暗 褐 色		草木根の腐植物混入	
2	3.30	2.40		ローム	茶 褐	柔 かい	自然水位 GL - 4.10m (12.1)	
3				砂	茶 褐 色	非 常 に 密 な 密		雲母介在する 混入する礫径は 30~50mm 以下である
4								
5	8.40	5.10		固結粘土	暗緑灰色	非常に堅い	凝灰質に近く、細砂雲母等により出来ている	
6				1.10		砂質粘土		暗 灰 色
7	9.50	0.95						
8	10.45							
9								
10								
11								
12								

第4図 表層地質柱状図

畑地からの窒素の流出に関する研究

上部約 3.3 m が火山灰土壌であり、表層 90 cm は、黒褐色の腐植層、その下部約 2.5 m は黄褐色のローム層となっている。表層から約 1 m 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 1.2 m 前後の部位には、鹿沼軽石層（約 15 cm）が介在している。

3.3 m 以下 8.4 m 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。

2) 表層土壌の理化学性

本地区の代表土壌断面は第 3 表に示したとおりである。また土壌の理化学性を第 4 表に、化学性を第 5 表に示した。

表層から 2 m 間の土壌の三相分布は第 6 表に示した。

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、リン酸吸収係数が高く、固相率は各部位とも 20% 前後で、孔隙率はきわめて大きい。液相は、50 cm 以内では 50% 以下であるが、50 cm 以下では約 60% を占めており、鹿沼軽石層を除いてほとんど一定であった。

第 3 表 代 表 土 壌 断 面

層 位	部 位	断 面 形 態
第 1 層	0 ~ 18 cm	腐植にとむ黒色 (7.5 YR 2/2) の CL, 発達弱度の細粒状構造, ち密度 12, 透水性 大, 調査時の湿り やや乾, 境界 漸変
第 2 層	18 ~ 39 cm	腐植にとむ黒色 (7.5 YR 2/1) の L, 発達弱度の細粒状構造, ち密度 24, 細孔含む, 透水性小, 調査時の湿り やや乾, 境界明瞭
第 3 層	39 ~ 60 cm	腐植含む, 暗褐色 (7.5 YR 3/4) の SL, 発達弱度の塊状構造, ち密度 23, 透水性中, 調査時の湿り やや乾, 境界 やや明瞭
第 4 層	60 ~ 100 cm	腐植含む褐色 (7.5 YR 4/6) の SL, 無構造, ち密度 20, 透水性中, 上部に今市土ならびに七本桜浮石混入, 調査時の湿り やや乾

第 4 表 代 表 土 壌 の 理 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

第5表 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	リン酸吸収係数	有効態リン酸
	H <sub>2</sub> O	KCl					CaO	MgO	K <sub>2</sub> O			
第1層	6.3	5.4	%	%		me	377.9	32.3	25.0	%	2,306	4.5
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

第6表 は場容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) 130 cm付近 鹿沼軽石層 15 cm

(2) 地下水位 220 cm

3) 水質調査方法

採水地点は第3図に示したとおりである。

本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、48～50年度までの3カ年間は毎月10日おきに、51～52年度の2カ年間は毎月中旬に水位、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、第3図に示すE地点において採水可能な5月～9月まで上記の井戸水と同時に採水し、分析に供した。51年10月より、地区内の湧水池であるセツ洞池の水質についても、毎月同様な調査を行った。

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。

畑地からの窒素の流出に関する研究

4) 水質分析法

水質の分析は以下の方法によった。

pH : ガラス電極法

EC : 東亜電波製電気電導度計

NH<sub>4</sub>-N : ネスラー比色法

NO<sub>2</sub>-N : グリースロミン試薬法

NO<sub>3</sub>-N : フェノール硫酸法, イオン電極法

K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup> : 炎光光度法

Ca<sup>++</sup>, Mg<sup>++</sup> : 原子吸光光度法

Cl<sup>-</sup> : イオン電極法

SO<sub>4</sub><sup>-</sup> : 塩化バリウム-クロム酸カリ比色法

2 調査結果

1) 調査地区の作付状況および施肥実態

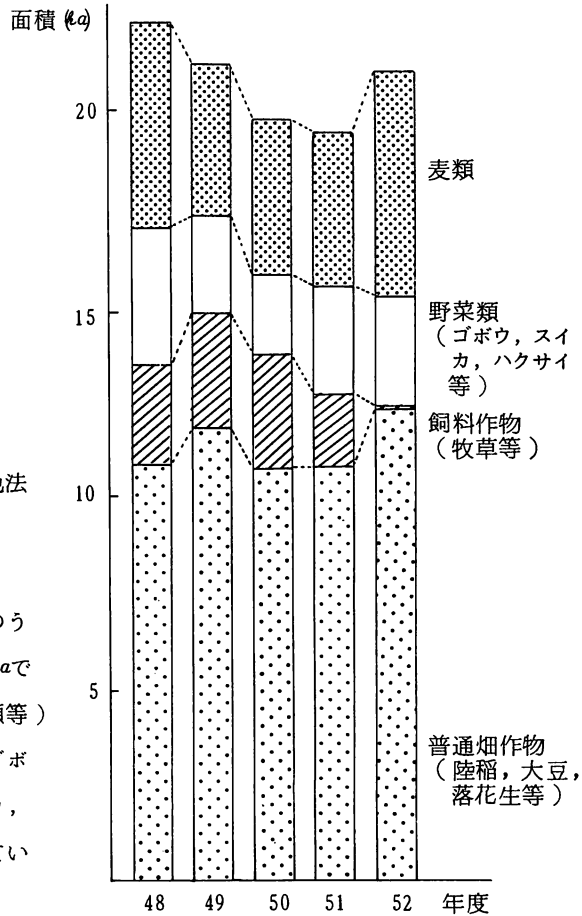
水田を除く調査対象面積は約35haで、そのうち畑は場面積はおよそ17haである。うち14haで普通畑作物栽培（陸稲、落花生、大豆、麦類等）および飼料作物栽培が、3haで野菜作栽培（ゴボウ、ナガイモ、ニンジン、ダイコン、スイカ、プリンスメロン、ハクサイ等）が行なわれている。

第5図に48年度から5年間の対象畑は場における作物占有面積の推移を示した。

ここでは、48年から50年までは飼料作物が3ha前後作付されていたが、51年度1ha、52年度は10aに満たない作付面積となっている。これは、搾乳牛の飼育を50年度に中止したためである。

作期別に見ると、春夏作では49年度の17.4haを最高に、50～52年度は16.5haの作付となっている。秋冬作の作付は、52年度には麦類の作付面積が増加したため、5.5haと増加している。

畑は場における施肥実態は成分で年平均窒素11Kg/10a、リン酸18Kg/10a、カリ12Kg/10a



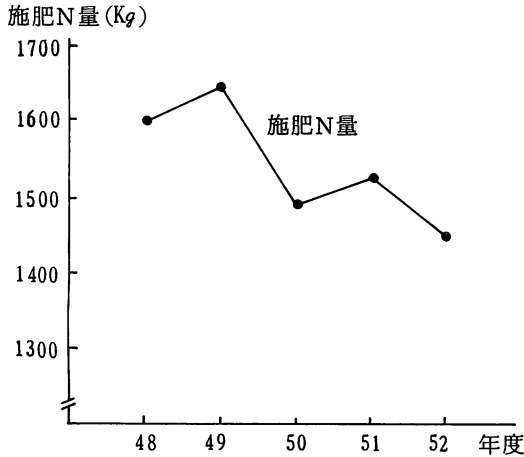
第5図 作付占有面積 (ha)

であり、窒素、カリはほぼ県平均並であるが、リン酸はこの地区の土壌が火山灰土壌であるため、県平均をうわまわっているのが特徴的である。

第6図に、各年度の窒素肥料施用量の推移を示した。

各年度の施用量は49年度の1,650Kgを最高に50～52年度は150～200Kg減少している。また調査期間中の平均施用量は1,550Kgであった。

有機物からの投入窒素量は、茨城農試における堆肥の生産量が毎年50t程度であることから換算して、300Kg/年と推測され、これを考慮



第6図 窒素肥料施用量 (N成分Kg)

すると、この地区への年間窒素供給量は1,850 Kg前後であろうと推定された。

また第7図には、月別の窒素施用量を示した。

これによると、5月を最高に6月、4月の順に施用量が多く、年間施用量の70%以上が4～6月の期間に集中していた。

このことから、春夏作と秋冬作の施肥窒素量の比率をみると、48～51年度までの4年間は

84:16であり、52年度は麦類の作付面積が増加したため、76:24と秋冬作の比がやや増加した。

リン酸は前述したようにこの地区が火山灰土壌であるため、施用量は年間3,000～3,500 Kgであった。

カリについては、年間2,000 Kg程度であった。

2) 気象, 地下水位等

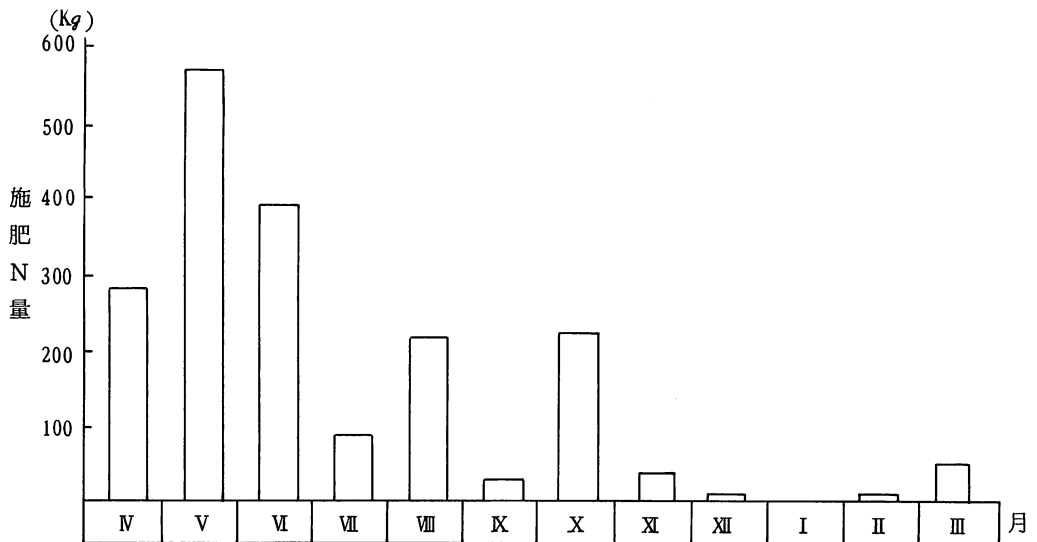
(1) 気象

第8図に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。

年平均気温は約13℃であり、年降水量はおよそ1,300 mmであった。

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

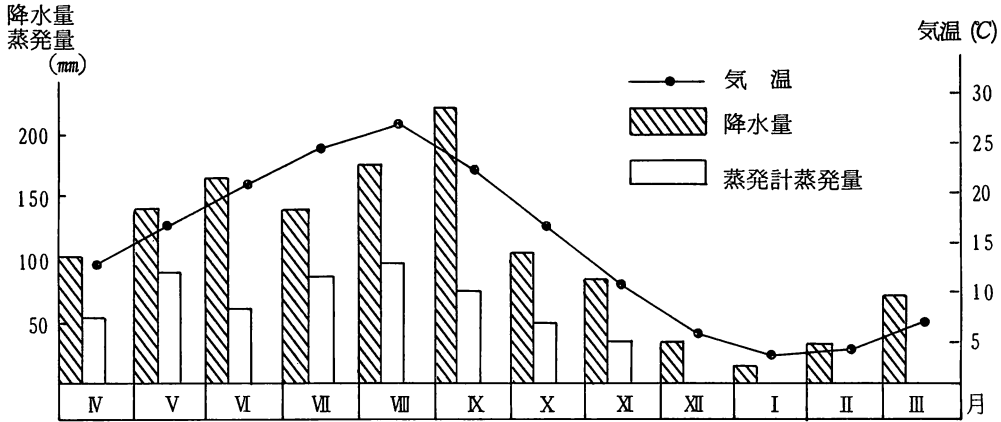
また、毎年梅雨期(6～7月)、台風期(9～10月)にまとまった雨が多い傾向がみられた。蒸発計蒸発量では、5月、7月、8月、9月



第7図 月別窒素施用量 (48年度)



畑地からの窒素の流出に関する研究



注) 12～3月の期間 蒸発計凍結のため観測せず

第8図 月別気温、降水量、蒸発計蒸発量（48～52年度平均）

で月70mm以上の蒸発量がみられた。12月から3月までの4か月間は計器水面が凍結するため観測は不可能となった。

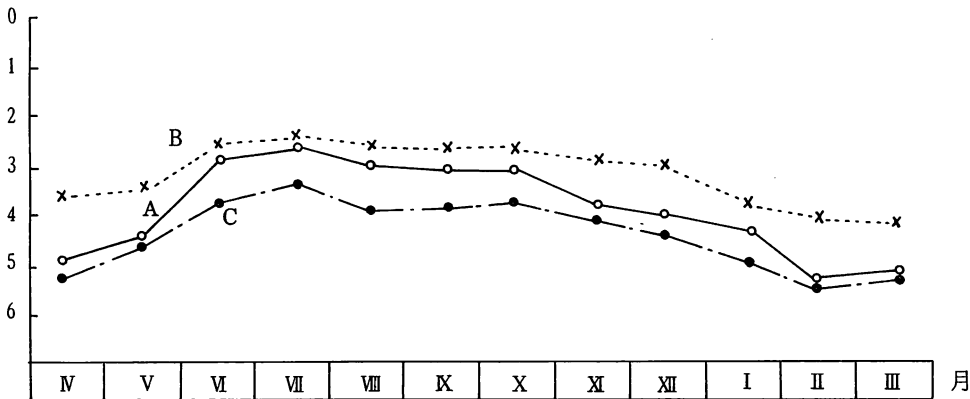
(2) 地下水位

各井戸における地下水位の変動は、毎年同じ傾向を示したので5カ年平均の月別水位変化を第9図に示した。

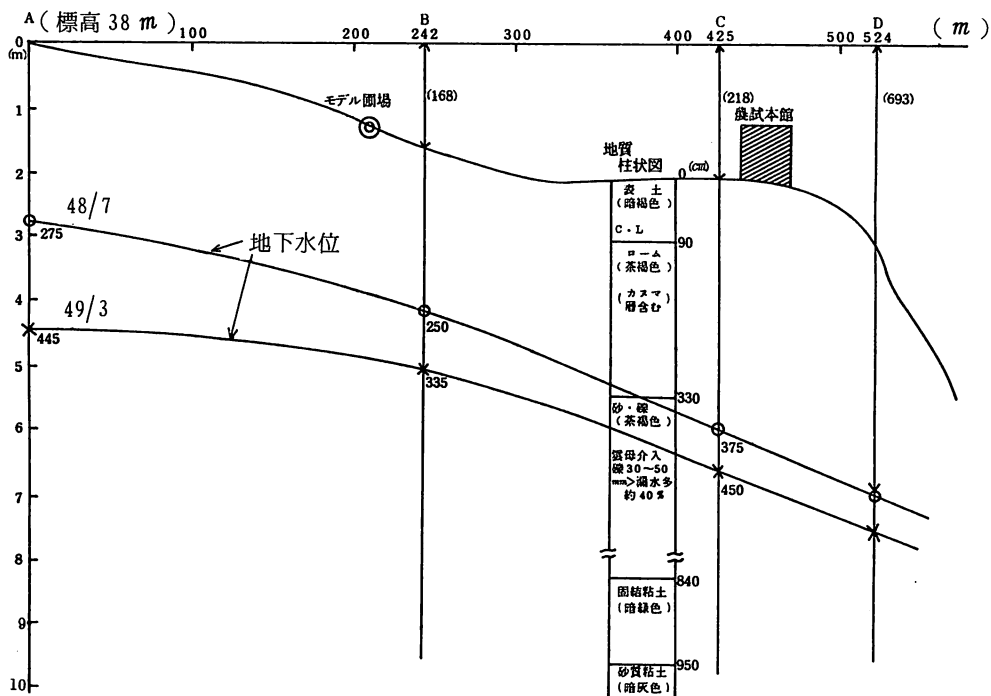
これによると、5月中旬から急速に上昇し6、7月頃最高となり、7月中旬～10月頃まで高水位を保ち、以降次第に低下し、2～3月に最低値を示すパターンをくり返している。5月中

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、同用水からの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よる影響と思われる。

地下水位の観測は第9図に示した3カ所の井戸（A、B、C）について行ったが、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第10図のとおりである。各調査井戸は直線上に分布するわ



第9図 各井戸の水位変化（5年平均）



第10図 調査井戸A-D線による調査地区断面図

わけではないが、水頭勾配は、本地区内において最も高位置にあるA井戸地点から低位置の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。

降雨による地下水水位の変動については、毎回の調査結果から判断して、ほとんど影響を受けないが、半旬60mm以上のまとまった降雨があると、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) 地下水水温

第11図に地下水水位と同様にして、各井戸水の水温を5年間の平均値で月別に示した。

この図からうかがわれるように、年間をとおして地下水流動上流部に位置するA、Bの井戸水は、下流部に位置するC、Dよりも1.5~2.0

℃ほど高い傾向がみられた。

また、各井戸水の年間水温の変動は、A井戸で3.2℃、B井戸で1.3℃、C井戸で0.8℃、D井戸で1.0℃の差がみられた。A井戸水を除き、各井戸水とも11月に最高水温を示し、5~6月頃最低値を示した。A井戸水で5~10月にかけて、他井戸水と異なった水温の変化を示したのは、この井戸が畑かん用に作られたもので、ポンプの形式上、汲み上げた水が再び井戸中にもどり、使用中は常に外気と接触するため、気温の影響を直接受けたものと考えられる。

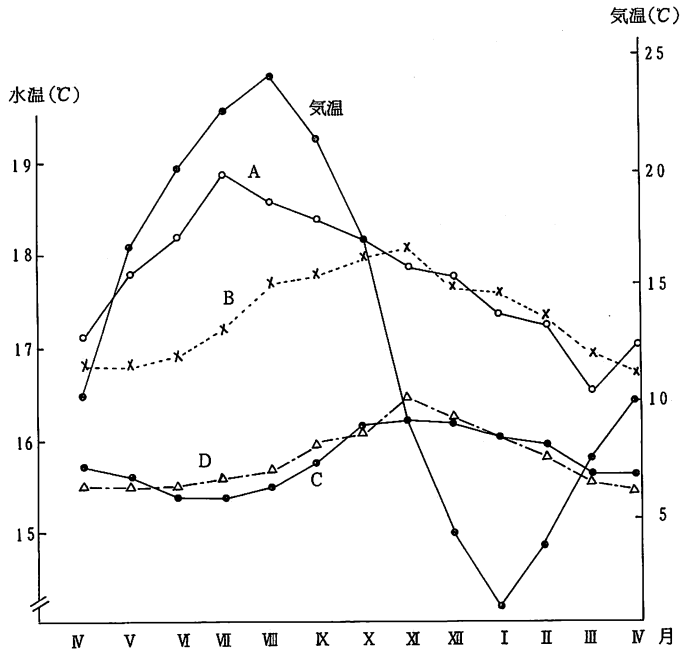
気温との関係のみでみると、各井戸水とも、年間気温の変動パターンと水温の変動パターンとの間には約4カ月程度の遅れがみられた。

### 3) 地下水水質

調査地区内各井戸水の水質を年度ごとの平均値で第7表に示した。

#### (1) pH

畑地からの窒素の流出に関する研究



第11図 各井戸水の水温の月別変化(5カ年平均)

第7表 各井戸水の水質分析結果

井戸名	年度	pH	EC	4.3 Bx	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>
			μS/cm	me/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	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	118		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	7.28	14.1	10.8
	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				1.68	0.84	3.56	3.25	7.83	16.0	13.6
	平均	6.2	126	0.48	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	0.78	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	3.48			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

地下水のpHは、A井戸水で平均6.4、B井戸水6.2、C井戸水6.2、D井戸水6.1であり、上流部で高く下流部でやや低下する傾向がみられた。

またpHの変化を時期別にみると、地下水の高水位(5~10月)時期は高く、低水位(11~4月)時期はやや低下する傾向がみられた。

(2) EC値

地下水のEC値は、B井戸水を除き、地下水の上流部から下流部に流れるにしたがい高まる傾向がみられた。なお、B井戸水でEC値が高いのは、井戸周囲に50年まで乳牛を放牧していたため、その影響を多少なりとも受けていることによるものと考えられる。

(3) 窒素

地下水中の窒素は、大部分が硝酸態窒素であり、アンモニア態窒素、亜硝酸態窒素は、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、EC値同様A井

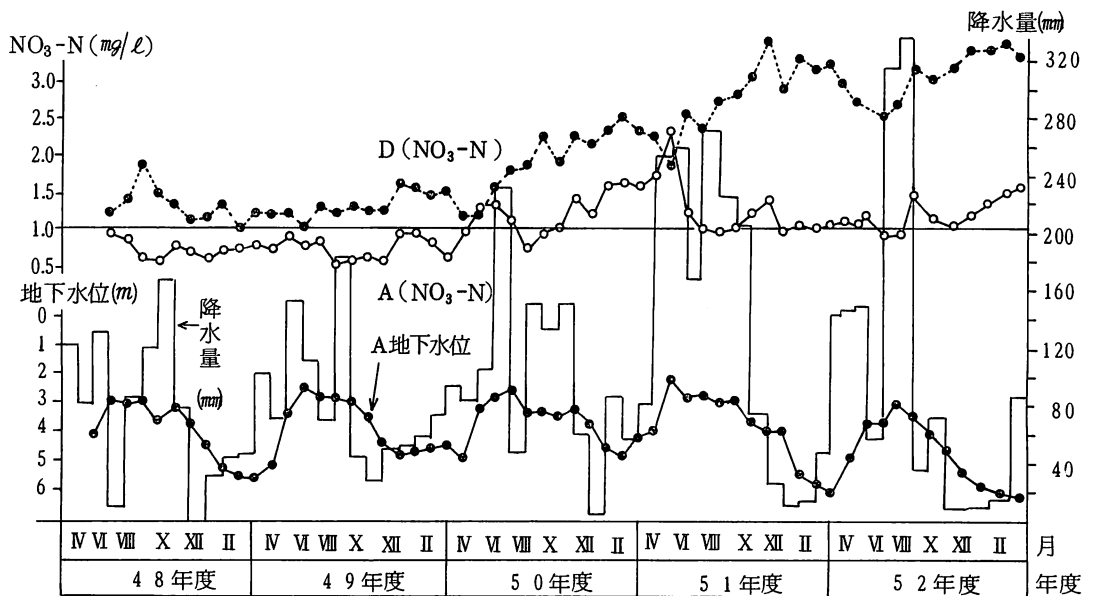
戸からD井戸に向い累積的に高まる傾向がみられた。すなわち5年間の平均値でみると上流部A井戸水では1mg/lであったのが下流部のD井戸水では2mg/l程度に上昇していた。

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。

また、井戸によって年次間に多少の変動がみられたが、各井戸とも年々硝酸態窒素の濃度が高まる傾向がみられた。

第12図に上流部の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井戸の地下水位および本地区の月別降水量の5カ年間の経時変化を示した。

本図から、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月~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はやや低下した。また



第12図 過去5カ年の月別降水量，地下水位，硝酸態窒素濃度変化

畑地からの窒素の流出に関する研究

地下水位が低下し始める秋期から冬期にかけて、徐々にではあるが濃度は上昇する傾向がみられた。

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しながら、この地区の地下水中の硝酸態窒素濃度は、48年度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みられた。

(4) リン酸

本地区の土壌がリン酸吸収係数の高い火山灰土壌であることから、地下水中にはほとんど検出されなかった。このため48年度後期より分析は行なわなかった。

(5) カリ

地下水中のカリ濃度は、各井戸水ともおおむね1 mg/l以下の値であった。

(6) その他のイオン濃度

地下水中の各イオンの重量濃度は第7表に示したとおりであるが、これをモル濃度に換算してその高い順に示すと、 $Cl^- > Na^+ > NO_3-N > Mg^{++} > Ca^{++} > SO_4^{--} > K^+ > NH_4-N > NO_2-N$ で

あった。

4) 那珂中部用水水質

本地区北東部の水田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月から9月の稲作期間中、井戸水同様毎月採水し、分析した。

その結果を各年度の平均値で示すと第8表のとおりである。

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。

この用水は本地区北東部の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横浸透により流入するが、この過程におけるかんがい水の水質の変化を地下水流入部にあたるA井戸水の水質（第7表）と比較すると、窒素は用水との差異がほとんど認められなかったが、pH値および溶存イオン濃度は低下していた。

5) セツ洞池水質

本地区南西部に位置するセツ洞池は、上部に約20a程度の谷津田はあるが、本地区内の地下水による湧水池と考えられるので、51年度か

第8表 那珂中部用水水質調査結果 (mg/l)

年度	pH	EC	4.3 Bx	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>
		$\mu S/cm$	me/l								
48	8.5	157	0.84		0.32	1.72	6.44	3.30			
49	7.9	143		0.03	0.90	1.85	6.51	2.73			19.42
50	8.2	150		0.01	0.62	1.63	6.61	3.29	8.31	18.13	24.17
51	8.2	140		0.05	1.20	1.93	8.00	2.84	7.72	16.04	18.04
52	8.3	148		0.12	1.09	1.28	8.35	2.59	8.57	13.93	18.26
平均	8.2	148	0.84	0.05	0.83	1.68	7.19	2.95	8.20	16.03	19.97

ら水質調査を開始した。

2カ年の平均的な水質は第9表のとおりである。

また、第13図にD井戸水と池水との硝酸態窒素濃度の比較を月別に図示した。

D井戸水の方が常に高濃度であり、池水の水温が高まる夏期には、最高 1.5 mg/l、冬期は0.5 mg/l程度の濃度差が認められた。

これは七ツ洞池には本地区の地下水だけでな

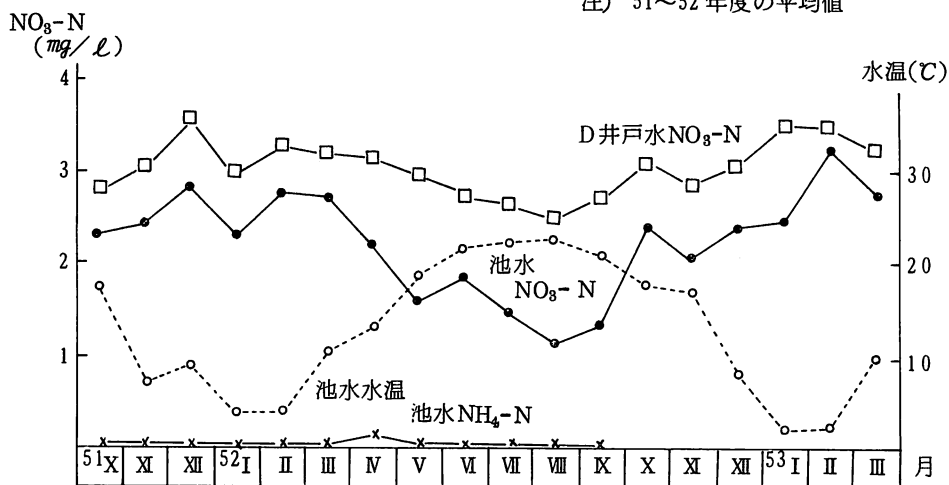
く、七ツ洞池に隣接する茨城農試内の水田から横浸透してきた地下水も流入しており、それによって池水が希釈されたことと、また夏期には水温が上昇し、水生植物、プランクトン等の増殖により窒素が消費されたことなどが原因として考えられる。

また、池水のアンモニア態窒素は、年間を通して、0.1 mg/l以下であった。

第9表 七ツ洞池水質分析結果 (mg/l)

pH	EC	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>
7.2	156	0.07	2.11	1.45	6.63	3.87	8.9	17.0	18.6

注) 51~52年度の平均値



第13図 七ツ洞池硝酸態窒素濃度変化

6) 雨水水質

畑地における水の動的支配は一部の畑地かんがいを除き、降水によることが大きい。

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、第10表に示した。

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pHは低く、各イオン濃度は高い値を示した。

またこの表からは明らかではないが、1回の降水でも、降雨初期と後期では、初期の方がpHは低く、各イオン濃度も高い傾向がみられた。

第10表より、年間の降水量を1,300mmとして、降水からの窒素の年間供給量を算出すると、ヘクタール当り、アンモニア態窒素 2.43 Kg, 亜硝

畑地からの窒素の流出に関する研究

第10表 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 <sub>4</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>
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 1,300 mm)

酸態窒素 0.09 Kg, 硝酸態窒素 2.18 Kgとなり, 無機態窒素総量としては 4.70 Kgとなった。

また雨水からの各イオンの供給量を多い順に示すと, SO<sub>4</sub><sup>--</sup> > Cl<sup>-</sup> > Na<sup>+</sup> > 無機態 N > Ca<sup>++</sup> > K<sup>+</sup> > Mg<sup>++</sup> の順であった。

## II 地下水流動にともなう溶存イオンの濃度変化

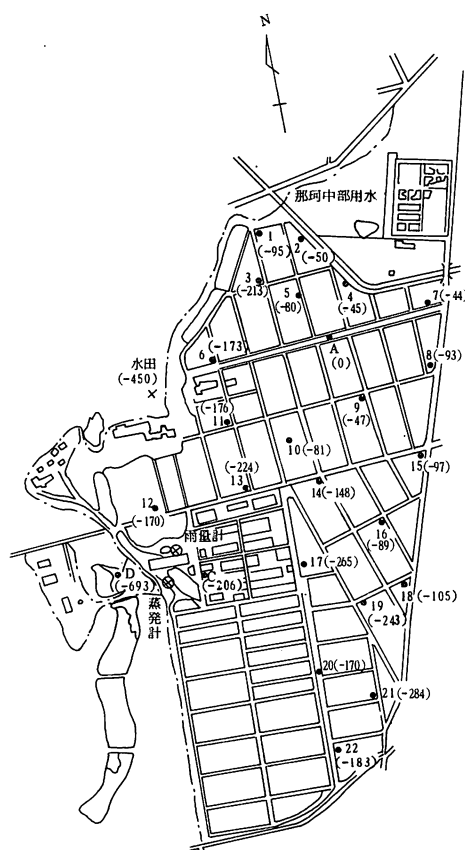
Iにおける畑ほ場地下水の調査結果から, 地下水中の硝酸態窒素濃度は, 地下水が流動する上流部より下流部の方が高濃度を示すことが認められた。

このことは, 畑ほ場下を地下水が流動する過程で, 土壌浸透水により溶脱された窒素が地下水水質に影響をおよぼしていることが考えられる。

そこで, 本地区区内に地下水観測パイプを埋設し, 水頭勾配および水質の分布状況から地下水流動にともなう地下水水質の変化を知ろうとした。

### 1 調査方法

Iの調査対象地区区内に, 2haに1本の割合で第14図に示す地点に, 直径10cm, 長さ4mの

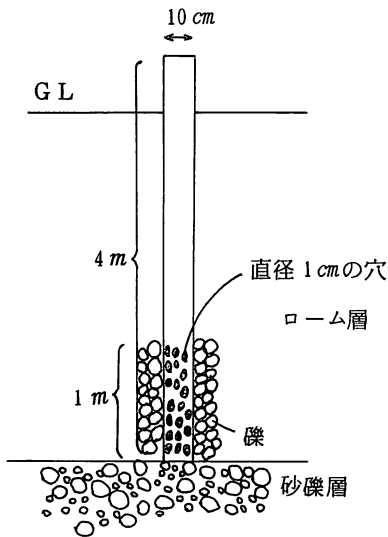


注) (1) 1~22 観測パイプNo.  
(2) ( )内は既設井戸A地点(標高38m)を0とした場合の標高差(cm)

第14図 観測パイプ設置地点

エンビ製観測パイプを埋設し、地下水位が上昇し、採水可能な6月から11月までの期間中、適時水位、水温を測定後、パイプ内の水を一旦汲み上げた後、新しい水を採水し分析に供した。

観測パイプの埋設状況は第15図に示したとおりである。



第15図 観測パイプ埋設図

観測パイプの埋設にあたっては、ハンドオーガーを使用したが、砂礫層の掘削は不可能だったため、パイプから採水される地下水はIで調査した各井戸からの採水による砂礫層中の地下水とは異なり、埋設位置からみて、砂礫層上部のローム層にまで水位が上昇した時期のローム

層中の地下水である。

## 2 調査結果

この調査は、50, 51年度の2カ年間実施した。ローム層中の地下水の各イオン濃度には、多少の年次間差は認められたが、水質の分布状況については、2年間同様の傾向を示したので、50年度の調査結果について詳述する。

### 1) ローム層中の地下水水質

第11表にローム層中の地下水水質分析結果を調査日ごとに全地点の平均値で示した。

これによると、硝酸態窒素濃度は既設井戸水(A~D)の水質に比して高く、またアンモニア態、亜硝酸態窒素も常時検出された。

リン酸については、井戸水同様、ほとんど検出されなかった。

カリウムイオンを除く他の成分濃度は、無機態窒素同様、ローム層中の地下水の方が井戸水より概して高濃度であった。

このように、ローム層中の水質が井戸水よりも高濃度を示す一因としてつぎのようなことが考えられる。

表土と砂礫層の間に介在するローム層が砂礫層に比べ透水係数で1/100から1/1,000であり一種の難透水層<sup>6)</sup>であるため、表層から溶脱された各イオンは一旦この層に貯留されていると考えられるので、夏期の地下水位の上昇に伴い、

第11表 ローム層中地下水の水質分析結果 (mg/l)

月日	水温 C	pH	EC μS/cm	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>
6/11	14.4 ± 0.8	5.98 ± 0.29	102 ± 49	0.18 ± 0.08	0.004 ± 0.002	3.55 ± 3.00	0.18 ± 0.13	4.80 ± 3.01	1.92 ± 1.52			
6/23	14.8 ± 0.9	5.80 ± 0.21	97 ± 44			3.12 ± 3.25	0.38 ± 0.23	3.12 ± 2.05	2.01 ± 1.33	5.80 ± 1.83	11.97 ± 5.43	
7/3	15.1 ± 0.8	6.09 ± 0.16	99 ± 46	0.18 ± 0.17	0.009 ± 0.004	3.27 ± 2.95	0.36 ± 0.21	2.90 ± 2.20	2.06 ± 1.33	5.89 ± 1.92	12.44 ± 5.43	9.62 ± 5.57
7/8	16.1 ± 1.0	5.88 ± 0.16	97 ± 46			2.65 ± 2.43	0.43 ± 0.38	3.53 ± 2.37	2.21 ± 1.54	5.54 ± 1.91	12.34 ± 5.93	12.55 ± 8.05
7/16		5.63 ± 0.14	102 ± 51	0.38 ± 0.12	0.013 ± 0.002	3.32 ± 2.97	0.37 ± 0.22	3.54 ± 2.20	2.27 ± 1.45	5.90 ± 2.06	13.81 ± 6.60	
8/21	16.8 ± 1.4	5.54 ± 0.14	109 ± 50	0.41 ± 0.97	0.007 ± 0.006	3.51 ± 3.09	0.25 ± 0.42	3.65 ± 2.19	2.34 ± 1.45	6.20 ± 2.00	14.81 ± 6.49	12.83 ± 9.04
10/14	17.7 ± 1.2	5.59 ± 0.12	121 ± 49	0.05 ± 0.04		4.39 ± 3.84	0.40 ± 0.17	3.29 ± 2.02	3.15 ± 1.59	6.85 ± 2.01	12.11 ± 5.38	8.34 ± 8.19
11/25	17.8 ± 1.2	5.96 ± 0.16	112 ± 49	0.03 ± 0.02	0.005 ± 0.002	3.26 ± 2.36	0.42 ± 0.17	2.99 ± 1.90	2.92 ± 1.69	6.63 ± 2.18	12.30 ± 5.43	9.51 ± 8.63



畑地からの窒素の流出に関する研究

ローム層まで上昇した地下水は、砂礫層中の地下水より各イオン濃度が高い値を示したものと考えられる。

2) 各イオンの濃度分布

本地区北東部に位置する水田地帯のかんがい終了し、地下水の横浸透による影響が少なくなるとされる10月の地下水位の調査結果をもとに、この地区の地下水の等高線図およびローム層中の地下水の各イオンの濃度分布図を作成した。

地下水水面等高線図は、第16図に示すとおりである。この図から本地区の地下水は北東部から南西部に流動することが確認される。

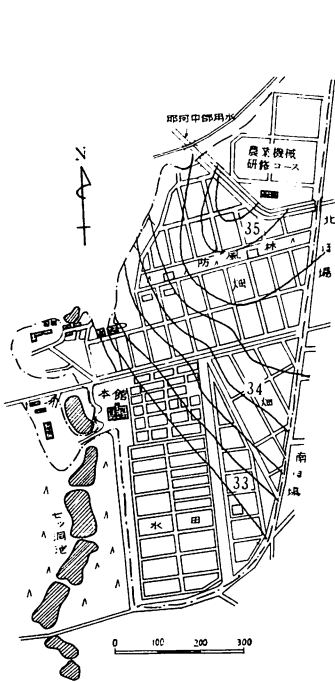
また、本地区区内における地下水の上流部と、下流部の水位差は2~3mあるものと考えられる。

各イオンの濃度分布図を作成するにあたっては50年10月14日の水質分析結果を用い、各成分ごとに全地点のイオン濃度の平均値± $\frac{\text{標準偏差}}{2}$ 式から3ブロックに区分した。

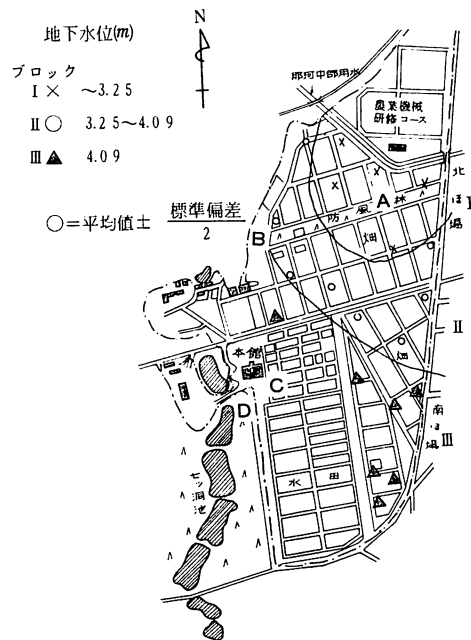
同様にして地下水位についても区分した。

地下水位の区分図を第17図に、EC値の区分図を第18図に、以下硝酸態窒素、カルシウム、マグネシウム、塩素等の区分図を第19図から第21図に示した。

これらの区分図によれば、EC値および硝酸態窒素をはじめとして、各イオン濃度はほぼ同一地点で区分されることから、地下水流動にともなう各イオンの濃度変化はよく一致することが認められ、畑ほ場下を地下水が流動するにしがたい地下水中の溶存イオン濃度が累積的に高

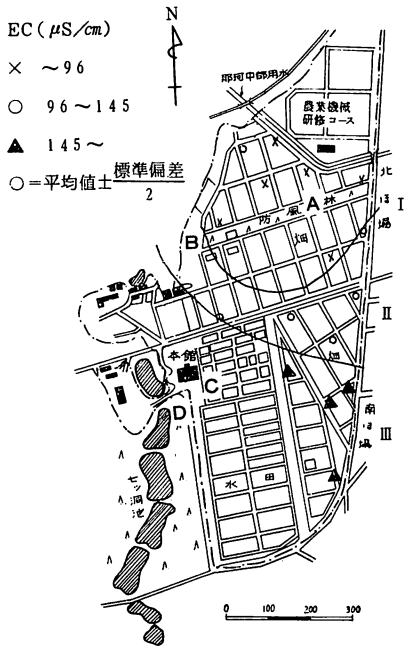


第16図 地下水等高線図

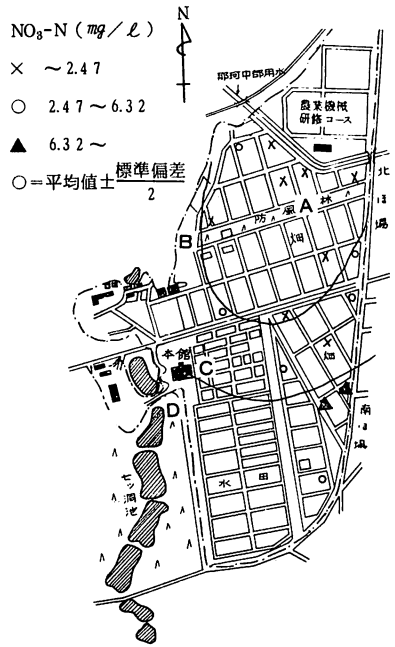


注) A地点(標高38m)を0とした場合

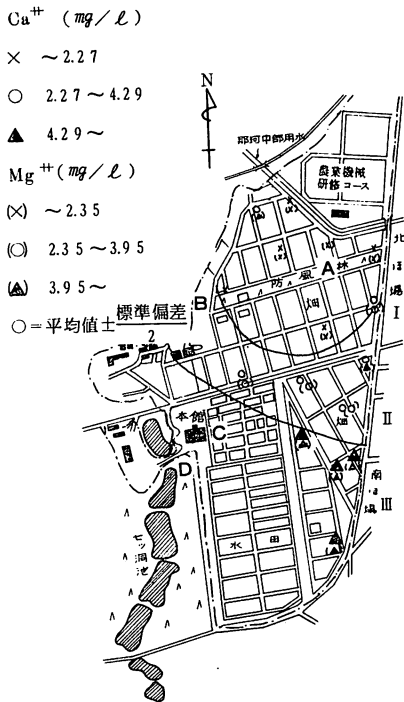
第17図 地下水位図



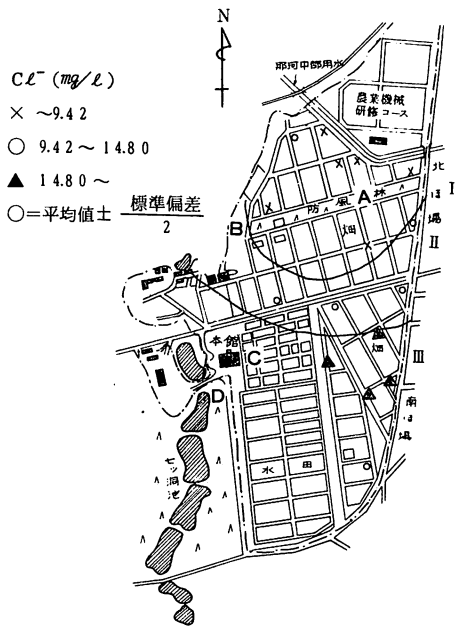
第18図 地下水中のECの変化



第19図 地下水中の硝酸態窒素の濃度変化



第20図 地下水中のCa<sup>++</sup>, Mg<sup>++</sup>の濃度変化  
( )内Mg<sup>++</sup>



第21図 地下水中のCl<sup>-</sup>の濃度変化

## 畑地からの窒素の流出に関する研究

まる傾向にあることを示している。

なお、pH値および $1\text{ mg/l}$ 以下の $\text{K}^+$ 、 $\text{NH}_4$ -N等では、はっきりした傾向は認められなかった。

### Ⅲ その他の地区の地下水水質

#### 1 調査方法

茨城県内の農家井戸水の調査結果<sup>7)</sup>、<sup>8)</sup>をみると、しばしば高濃度の硝酸態窒素が検出されている。永井ら<sup>7)</sup>は調査地点の地形的な面から考え、地下水中の高濃度の硝酸態窒素は施肥からの影響が多少なりとも原因していることを指摘している。

そこで、Ⅰ、Ⅱで調査対象とした、水戸市上国井地区と同様地下水流動の方向が推定できる谷田部町上河原崎地区と、勝田市三反田地区について、52年度に畑地下の地下水水質実態調査を行った。

両地区とも表層土壌は黒色火山灰土壌であり、その下部は褐色のローム層で、土壌統は桜川統（全国統名）に属する。

上河原崎地区は、昭和43年に畑作振興事業<sup>9)</sup>で地下水位の調査が行なわれており、地下水等高線図が作成されている。

また三反田地区は、東西が那珂川と中丸川にはさまれた火山灰台地であり、地下水は両河川

に向い流れ込むものと推定され、調査対象地区とした。

なお、地下水の調査にあたっては、上国井地区同様、水位、水温を測定後採水し、分析に供した。

#### 2 調査結果

##### 1) 上河原崎地区

本地区の概況は、第22図のとおりである。

本地区は野菜作（ハクサイ、プリンスメロン、トマト、ニンジン等）中心に栽培が行なわれており、窒素の年間施肥量はおよそ $30\text{ Kg/10a}$ であり、その他豚ふんの施用が多い多肥栽培地区である。

採水地点は、地下水等高線から推定して地下水の流動する上流部から下流部に向い、①から④の地点の農家井戸を選定した。

これらの採水地点における地下水水質の調査結果は第12表に示したとおりである。

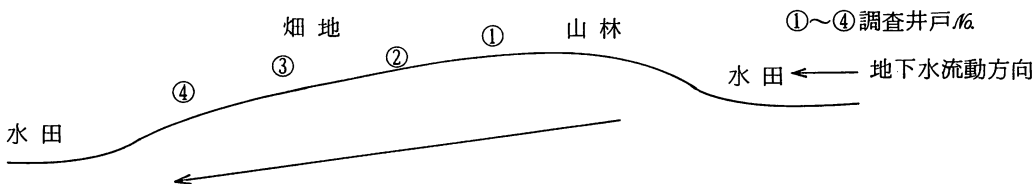
地下水中の硝酸態窒素濃度は、平均で $19.70\text{ mg/l}$ であり、最高 $27.40\text{ mg/l}$ が検出された。

また上国井地区同様、EC値、硝酸態窒素濃度は、地下水が流れるにしたがい高まる傾向にあることも確認された。

##### 2) 三反田地区

本地区の概況は第23図に示したとおりである。

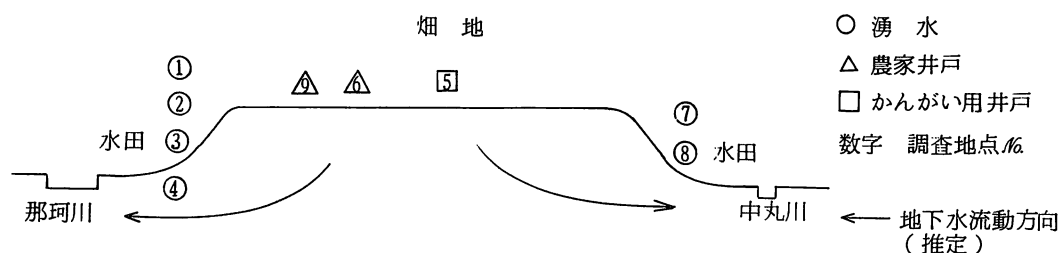
本地区は古くから、サツマイモ、落花生の産



第22図 上河原崎地区模式図

第12表 谷田部町上河原崎地区地下水水質調査結果 (mg/ℓ)

地点No	月日	地下水位 m	pH	EC μS/cm	NO <sub>3</sub> -N	K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>
①	6. 3	3.80	5.9	316	12.8	8.55	6.80	4.50	29.2	58.5	12.10
	8.10	2.45	5.8	324	11.1	9.10	5.00	4.02	32.1	51.0	10.43
	11.10	2.66	5.8	334	14.1	8.75	6.67	4.46	15.5	-	-
	平均	2.97	5.8	325	12.7	8.80	6.16	4.33	25.6	54.7	11.27
②	6. 3	-	6.0	371	15.2	2.00	10.75	11.26	21.6	45.0	13.22
	8.10	-	5.8	355	22.3	1.85	8.30	11.50	22.5	38.5	9.26
	11.10	-	6.0	342	20.5	2.15	7.50	9.70	25.0	-	-
	平均	-	5.9	356	19.3	2.00	8.85	10.82	23.0	41.7	14.61
③	6. 3	3.54	6.1	387	22.0	1.95	19.55	14.05	20.2	65.0	19.34
	8.10	3.26	5.9	378	24.4	1.50	9.52	13.85	22.2	52.6	15.70
	11.10	3.95	6.0	345	24.7	2.34	8.62	15.09	21.2	-	-
	平均	3.59	6.0	370	23.7	1.93	9.23	14.33	21.2	58.8	17.52
④	6. 3	4.17	6.0	603	28.5	48.0	10.80	13.30	34.0	95.0	22.42
	8.10	5.04	5.9	559	27.2	39.5	8.44	13.20	34.5	76.5	18.95
	11.10	4.75	6.0	491	26.5	40.7	6.10	10.00	31.3	-	-
	平均	4.65	6.0	551	27.4	42.7	8.43	12.17	33.2	85.7	20.69



第23図 三反田地区模式図

地であり、その他陸稲、麦類等が作付されている普通畑作物栽培地帯である。

このような作付体系の関係上、施肥窒素量は年間およそ 10 Kg/10a 程度であった。

採水地点は、台地上部の農家井戸 2 カ所、かんがい用井戸 1 カ所と台地周辺の湧水場所 6 カ所とした。

これらの採水地点における水質の調査結果は第13表に示したとおりである。

本地区の硝酸態窒素濃度は平均で 10.9 mg/ℓ であり、台地上部にある農家井戸水で最高の 23.1 mg/ℓ が検出された。

台地上部の農家井戸、かんがい用井戸の水位が測定できなかったため、井戸水と湧水が同一

畑地からの窒素の流出に関する研究

第 13 表 勝田市三反田地区地下水水質調査結果 (mg/l)

地点 No	pH	EC	NO <sub>3</sub> -N	K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>
		μS/cm							
①	6.5	226	6.41	1.95	6.2	5.42	17.8	41.5	11.8
②	7.1	216	3.60	1.15	5.0	5.46	16.8	30.0	34.1
③	6.7	304	8.90	2.25	8.2	8.04	20.6	47.5	29.2
④	6.3	226	7.90	2.00	5.9	4.84	19.0	38.3	18.6
⑤	6.3	269	11.00	1.40	7.0	6.24	20.4	43.0	19.1
⑥	6.3	549	23.10	13.00	19.0	13.80	31.8	80.0	23.6
⑦	6.6	303	10.60	3.45	8.2	7.20	21.8	53.5	13.0
⑧	7.1	420	11.00	2.95	40.0	4.90	16.2	47.5	47.5
⑨	6.6	390	15.40	5.65	12.3	8.18	25.4	56.5	23.8
平均	6.6	323	10.88	3.76	12.4	7.12	21.1	48.6	24.5

注) (1) ○ 湧水, △ 農家井戸水, □ かんがい井戸水  
(2) 6月22日調査

水系の地下水であるかどうか、実際の地下水流動が台地上部から両河川へ向い流れるのどうか判定が困難であった。

本地区の地形から推定した地下水流動下流部と思われる台地周辺湧水の方が、上流部と思われる台地上部の井戸水に比べ硝酸態窒素濃度は低かった。

また、那珂川側の湧水は中丸川側の湧水に比べ硝酸態窒素濃度は低かった。

3) 地下水水質の比較

I で調査した上国井地区の地下水水質を含めて、三地区における畑ほ場下の地下水水質を比較した。

第 14 表に各地区の水質を平均値で示した。

これによると、野菜畑を中心とした施肥量の多い上河原崎地区で EC 値および各イオン濃度とも高い傾向がうかがわれ、次いで三反田地区、上国井地区の順であった。

これは、調査地区の地質条件、地下水流動量等の影響も考えられるが、同時に栽培作物の種類による施肥量の差が何らかの形で原因していると考えられる。

また、上国井地区と三反田地区では、ほぼ同程度の施肥量にもかかわらず、三反田地区の方が各イオン濃度とも上まわった。これは上国井

第 14 表 地下水水質調査結果の比較 (mg/l)

地区	pH	EC	NO <sub>3</sub> -N	K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>	備考
		μS/cm								
水戸	6.3	126	2.2	0.8	3.6	3.2	7.9	15.5	11.7	火山灰土壌(普通作物, 野菜)
上国井地区	(6.5)	(146)	(3.5)	(1.2)	(4.4)	(3.6)	(11.2)	(17.5)	(14.6)	年間平均(4カ所)
谷田部	5.9	401	19.7	13.9	8.2	10.4	24.5	60.3	15.2	火山灰土壌(野菜)
上河原崎地区	(6.1)	(603)	(28.5)	(48.0)	(10.8)	(15.1)	(34.5)	(95.0)	(22.4)	6/3, 8/10, 11/10の平均(4カ所)
勝田	6.6	323	10.9	3.8	12.4	7.1	21.1	48.6	24.5	火山灰土壌(サツマイモ, 陸稲, 落花生)
三反田地区	(7.1)	(549)	(23.1)	(13.0)	(40.0)	(13.8)	(31.8)	(80.0)	(47.5)	6/20(9カ所)

注) ( )内最大値

地区は山林開拓後12年しか経過していないのに対して、三反田地区では、古からのサツマイモ、落花生等の産地であることから両者間には、積算施肥量に差があること、また、上国井地区では前述のように水田地帯からの多量の地下水の横浸透があるため、この地下水により、かなり稀釈されることが原因として考えられる。

なお、上国井地区の調査結果(第12図)では、調査開始以来各年度の施肥窒素量はほぼ一定であるにもかかわらず、地下水中の硝酸態窒素が徐々にではあるが上昇する傾向にあることから、施肥を続けることにより地下水中の窒素濃度は高まることが推察される。

しかしながら、これらの点については年々の降水量、調査地区外上流部地下水の水質、水量等の影響も考えられることから、今後さらに検討する必要があると考える。

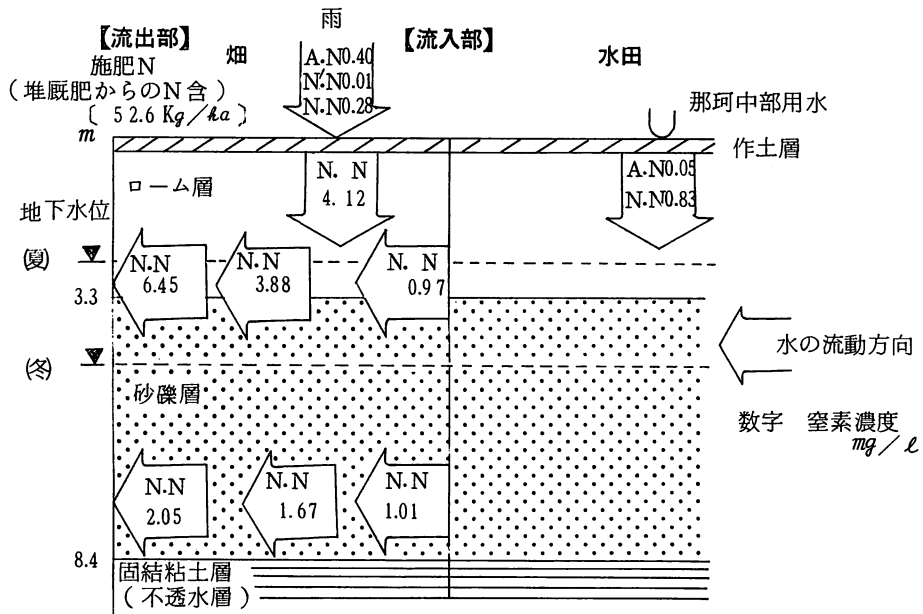
## IV 考 察

### 1 広域畑ほ場(上国井地区)からの窒素排出量

地下水水質の調査結果に基づいて、広域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。

さらに、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。

そこで、上国井地区では、第24図に示すような、窒素および水の流れが調査され、また地下水等高線図(第16図)が作成されているこ



注) 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

第24図 上国井地区における窒素および水の流れ

畑地からの窒素の流出に関する研究

とから、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ようとした。

1) 上国井地区における地下水流動量

地下水の流動量を推定するには、水収支計算による水文学的方法（間接法）と土壌の透水係数等から理論的に算出する水理学的方法（直接法）がある<sup>6)</sup>。

ここでは、本地区の地下水等高線は、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出来ることから、水理学的方法を用いることとし、その中でも一般的に用いられているDarcyの法則<sup>10)</sup>により地下水流動量を計算した。

Darcy法則

$$Q = kF \frac{\Delta H}{L}$$

ここでQ = 流量

k = 透水係数

F = 地下水流動横断面積(通水断面積)

$\Delta H$  = 圧力水頭差

L = 土層距離

$\Delta H$ とLとの関係を動水勾配Iで示せば

$$Q = kFI \text{ となる。}$$

また流速は

$$v = \frac{Q}{nF} \text{ で示される。}$$

v = 流速

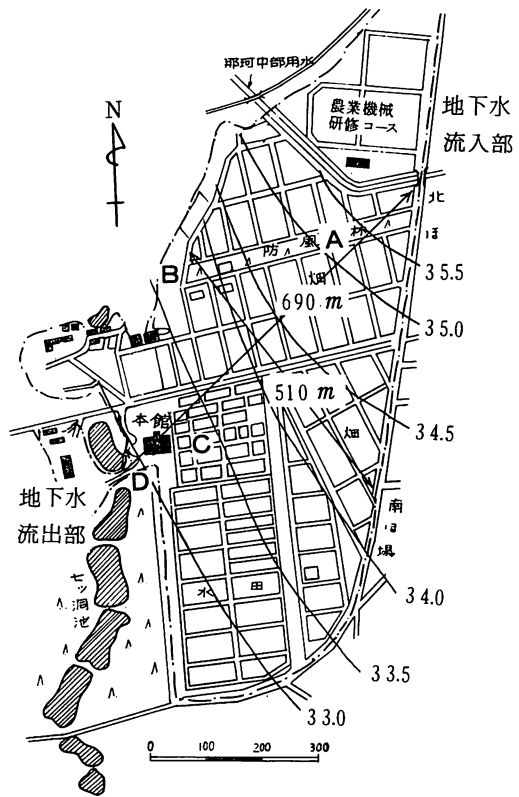
n = 空隙率

以上の式から本地区の地下水流動量を試算した。

諸係数は第15表、第16表に示すとおりである。

Lは第25図に示したように、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。

また、本地区は第10図に示したように、夏期と冬期では地下水位に差が大きいので、流動量算出にあたっては、夏期（5, 6, 7, 8, 9, 10月）



第25図 地下水等高線および土層距離

第15表 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	ka	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)

第16表 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	2167	2325	2432	2427
	1708	1708	1902	1764	1846
$\Delta H$ (圧力水頭差) $m$	3.01	2.98	2.64	2.85	2.76
	2.51	2.33	2.63	2.37	2.44
I (動水勾配)	0.0043	0.0043	0.0038	0.0041	0.0040
	0.0036	0.0033	0.0038	0.0034	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  $\times$  510 m

と冬期 (11, 12, 1, 2, 3, 4月) に別けて算出し、  
年間の流動量はその平均値を用いた。

夏期に地下水は砂礫層上部のローム層にまで  
上昇するがローム層の透水係数は前述したよう  
に砂礫層の  $1/100 \sim 1/1,000$  であるため、ロ  
ーム層中の流動量は極めて少ないと考えられるこ  
とから流動量の計算からは除いた。

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

これらの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第17表のとおりで  
ある。

以上のことから、本地区内中央部における通  
水断面での地下水流動量は、およそ  $1,420 m^3/日$ 、

$520,000 m^3/年$  と試算された。

第17表に示した流動量は、調査地区内中央  
部の流量であるため、地区内の流入、流出水量  
は畑ほ場からの降水による年間浸透水量を考慮  
して次式により算出した。

流入水量 =

$$\text{調査地区中央部流動量} = \frac{\text{畑ほ場からの降水浸透水量}}{2}$$

流出水量 =

$$\text{調査地区中央部流動量} + \frac{\text{畑ほ場からの降水浸透水量}}{2}$$

畑ほ場からの年間浸透水量は本調査における  
モデルほ場調査の結果<sup>1)</sup>を用いた。

また本地区の面積は第25図から  $690 m \times 510 m$

第17表 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。



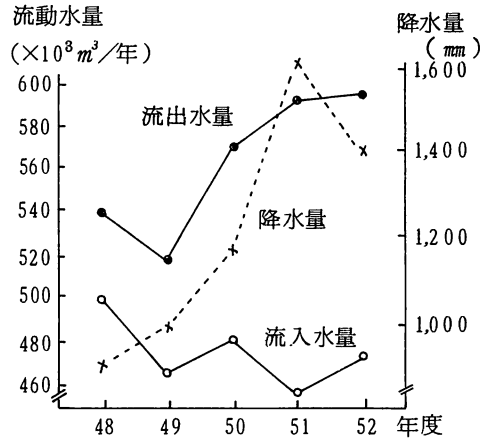
畑地からの窒素の流出に関する研究

= 35.2 *ka*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、流出水量は第18表に示したとおりである。また、流動水量の年次変動を降水量と併せて第26図に示した。

これによると本地区に流入する地下水量は年度や降水量にはあまり影響されずに 470,000  $m^3$ /年前後の値を示していた。このことは前述したように本地区への地下水の流入の大部分が本地区北東部に位置する水田地帯からの横浸透であること、および水田ではかんがい水によるかん水量の水量調整が行われていることなどから、年降水量にはほとんど影響されずほぼ一定の流入水量となったものと考えられる。

流出水量は、地下水が畑は場下を通過する際には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考えられる。



第26図 流入流出水量の年次変動

2) 窒素排出量

本地区内における窒素排出量は、本地区内の地下水流入、流出部での流動水量および地下水中の窒素濃度から試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

第18表 流入、流出部における流動水量 ( $m^3/年$ )

	48年度	49年度	50年度	51年度	52年度
流入部流動水量	502,042	466,343	481,098	456,947	463,432
流出部流動水量	540,762	518,791	571,562	593,523	595,432

第19表 広域畑は場(35.2 *ka*)からの窒素排出量試算

記号	a	b	c	d	e	f	g
	流入部 NO <sub>3</sub> -N	流入部 流動水量	流出部 NO <sub>3</sub> -N	流出部 流動水量	a × b 流入負荷量	c × d 流出負荷量	f - e 排出量
	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

窒素の値を用い、流出部ではD井戸水の硝酸態窒素の値を用いた。

広域畑は場からの窒素排出量は、

地下水流動にともなう本地区からの流出負荷量 - 本地区への流入負荷量

から算出することができることから、この式を用いて各年度の畑地からの窒素の排出量を求め第19表に示した。

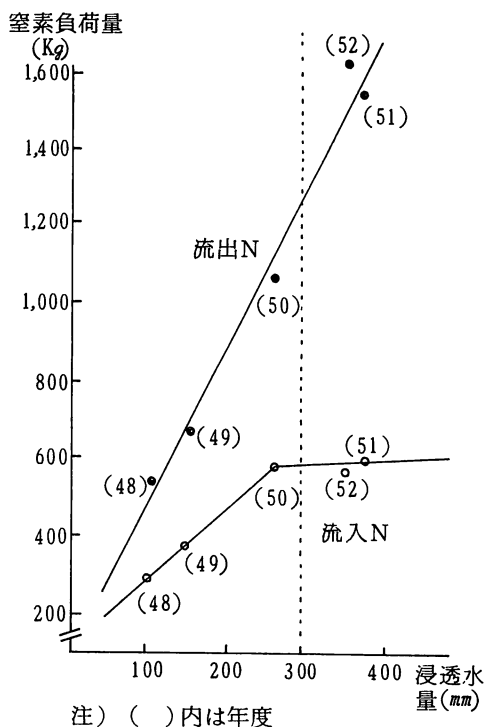
これによると、48年に調査を開始してから、排出量は年々増加し、5年目では初年目のおよそ4倍になっている。

この間、本地区では第5図にみられるように、普通畑作物を基幹とした栽培体系に大きな年次間の差もみられず、施肥窒素量も有機物からの供給窒素量を含めて、毎年1,850 Kg程度であったにもかかわらず、年々畑は場からの窒素排出量は増加した。

これは前述したような毎年の施肥の反復による土壌残存窒素量の増大などのほかに、調査期間のうち48～51年度にかけて年々降水量が増加し、それに伴い土壌浸透水量が増加したことも、その一因と考えられる。

そこで本地区での流入窒素量および流出窒素量と畑は場からの浸透水量の関係を図示すると第27図のようになる。

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。一方流入窒素量は当初は浸透水量の増加にともなって増加したが浸透水量が250 mm以上になるとほぼ一定の値を示していた。これはこの地区への流入地下水量が第26図に示したように毎年ほぼ同量であったこと、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等に起因



第27図 窒素負荷量と浸透水量との関係

しているものと思われる。

そこで第27図に示した浸透水量と流入、流出窒素量の関係から、本地区における広域畑は場からの窒素排出量を試算すると以下のとおりである。

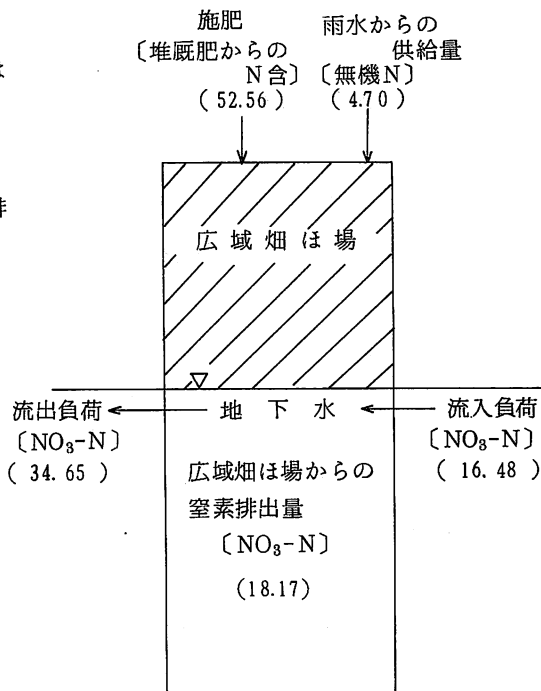
- ① この地区の年平均降水量は1,300 mmである
- ② モデル畑における降水の平均浸透率は22.8%である。<sup>11)</sup>
- ③ ①, ②から平年の浸透水量は約300 mmとなる。
- ④ 浸透水量300 mmの場合の流入、流出部での窒素負荷量は第27図より、流入負荷580 Kg (16.48 Kg/ha), 流出負荷1,220 Kg (34.65 Kg/ha)

畑地からの窒素の流出に関する研究

となる。

したがって、広域畑ほ場からの窒素排出量は  
 $1,220 \text{ Kg} (34.65 \text{ Kg/ha}) - 580 \text{ Kg} (16.48 \text{ Kg/ha})$   
 $= 640 \text{ Kg} (18.17 \text{ Kg/ha})$ となる。

以上の結果から、広域畑ほ場における窒素排出モデルを作成すると第28図のようになる。



第28図 広域畑ほ場からの窒素排出モデル  
 (N, Kg/ha/年)

- 注) 1) ( )内はN. Kg/ha/年  
 注) 2) 48～52年度の上国井地区における浸透水量と、Darcyの法則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。  
 注) 3) 施肥量は未耕地を含めた対象面積当りで算出した。

## 第4章 モデルほ場調査

### I 施肥窒素の動向

畑地からの施肥窒素の流出が水系の富栄養化におよぼす影響を把握するための基礎調査として、一筆畑ほ場における窒素の動向を調査することとした。

このため、48年度に土壤浸透水および表面流去水が採取できる施設を備えたモデルほ場を造成し、49～52年度の4カ年にわたりそのほ場内における窒素収支および水収支を調査した。

#### 1 調査方法

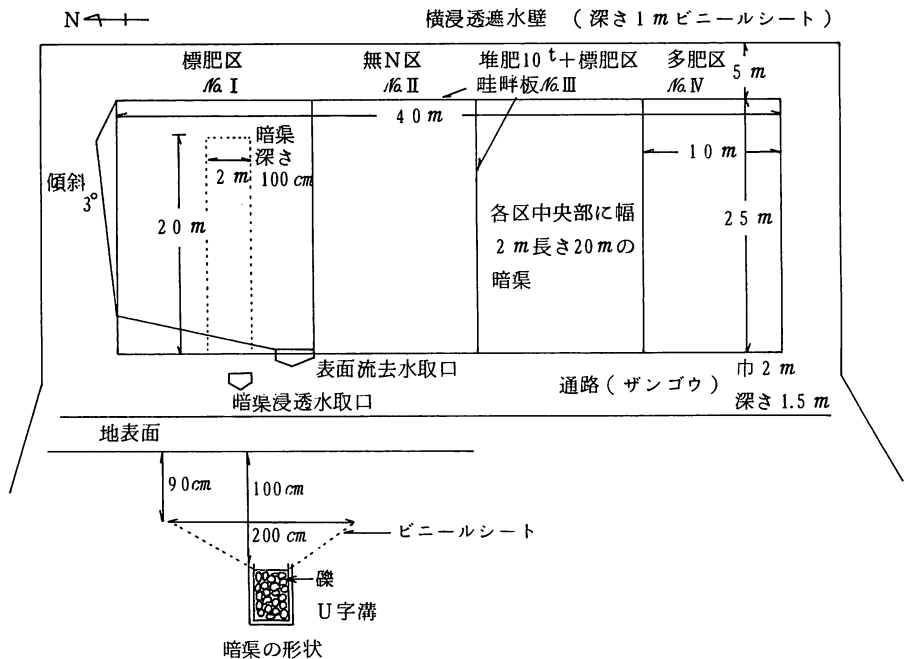
##### 1) ほ場の概況および採水方法

モデルほ場は茨城農試畑ほ場内に造成し、その概況は第29図に示すとおりである。

このほ場は、面積10a (40m×25m)で4区

(10m×25m)からなり表面流去水が採水できるように3°の傾斜をつけ、また土壤浸透水が採水できるように、各区表層から1m下には、幅2m、長さ20mのビニールシートを埋設した。ほ場の造成にあたっては次のような手順で行った。

- ① 腐植層(約30cm)排土、下層を3°の傾斜に整備。
- ② 集水部(幅2m、長さ20m、仕上り表層から1m深さ)、暗渠(U字溝)埋設部の掘削。
- ③ 暗渠埋設、U字溝をセットしビニールシートを敷き、礫をつめ上部を寒冷沙、サランネットで覆う。
- ④ ざん壕(土壤浸透水、表面流去水の集水貯留槽の設置、巾2m、長さ40m、深さ1.5m)



第29図 モデルほ場概況図

畑地からの窒素の流出に関する研究

の掘削。

⑤ 下層土埋めもどし、傾斜付け、表土埋めもどし、ざん壕土止め木棚工事。

⑥ 土壌浸透水、表面流去水の取水口取り付け。

⑦ ビニール畦畔によるほ場区画整備。(4

区)

⑧ ほ場周囲に横浸透遮水壁(ビニールを深さ1 mまで)埋設。

土壌浸透水、表面流去水は一旦各貯留槽に集水したものを均一に混合の後一定量を採りし、土壌浸透水はそのまま、表面流去水は流去水中の土壌を遠心分離した後、東洋濾紙No.2で濾過した濾液を分析に供した。(表面流去水中の土壌は河川等への流出過程で沈降するものとして分析からは除いた。)

また、その時の水量は各貯留槽から量水計を付けたポンプで排水し、排水量を計測した。

第20表 モデルほ場土壌の理化学性

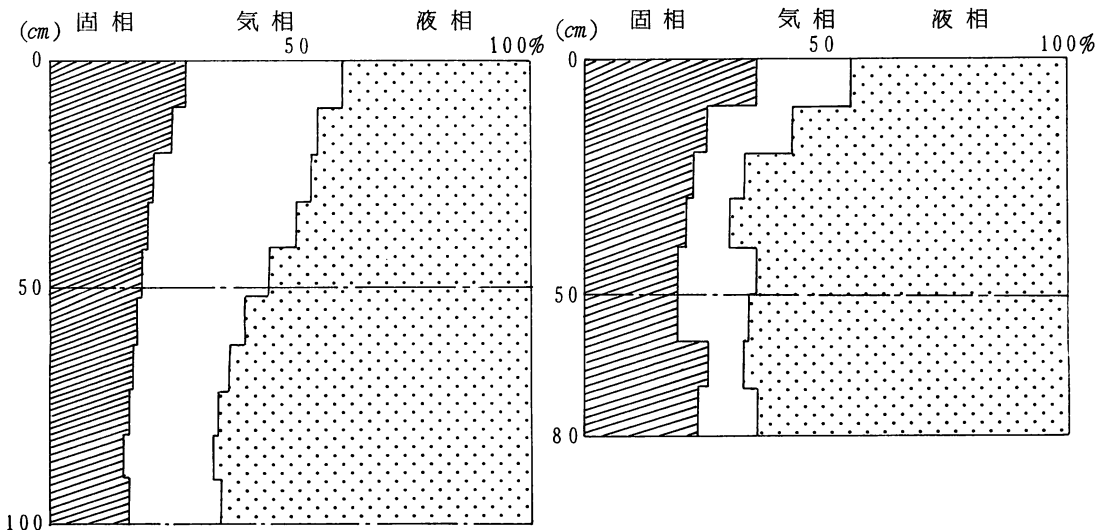
層位 cm	粗砂	細砂	砂合計	シルト	粘土	土性
	%	%	%	%	%	
0~30	12.5	35.2	47.7	37.7	14.6	L
30~100	11.6	62.2	73.8	22.9	3.3	SL

第21表 モデルほ場土壌の化学性(標肥区)

層位 cm	pH		T-N	T-C	CEC	AV-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	置換性塩基 mg/100g		
	H <sub>2</sub> O	KCl	%	%	me/100g	mg/100g	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O
0~30	5.9	5.0	0.29	4.6	23.00	4.2	5.78	4.9	2.6
30~100	6.4	5.2	0.16	1.6	15.65	0.8	2.61	3.6	1.2

暗渠側部(無掘削)

暗渠上部(掘削)



第30図 暗渠上部、側部の土壌の三相分布(48年10月)

なお、水質分析法は第3章に準じた。

作物体の窒素吸収量はガンニング変法で分解後、蒸留法により測定した。

2) 土壌条件

表層30cmは腐植質火山灰土壌(7.5 YR 2/2)で、その下層は褐色火山灰土壌(7.5 YR 4/6)である。

土壌の理化学性は第20表、第21表に示したとおりである。

また、掘削工事により影響をうけたと思われる暗渠上部と無掘削の暗渠側部の土壌の三相分布を第30図に示した。

これによると、無掘削の暗渠側部に比べ暗渠上部は、固相率、液相率ともやや増加していた。

3) 耕種概要

48年は場造成後、は場条件の均一化をはかるため、各区に土壌改良材として、ようりん280 Kg/10a、消石灰100 Kg/10aを散布後、窒素(硫安)5 Kg/10a、リン酸(過石)10 Kg/10a、カリ(塩加)10 Kg/10aを施肥し、ピール麦(品種:アズマゴールデン)の均一栽培を行

った。

49年4月22日に青刈り後、第22表に示したような耕種概要のもとに49~52年度まで4年間、7作物の栽培を行った。

I区(標肥区)は、標準施肥区であり、施肥量はすべて茨城県耕種基準にしたがった。

II区(無窒素区)は、49~51年度まで無窒素区として栽培を行った。ただし52年度は、49年度と同一の作付体系をとったため、無窒素区の収量および窒素吸収量は49年度の調査結果から推定することとして、無窒素区としての栽培は行なわなかった。

III区(標肥区)は、49~50年度にはI区同様標準施肥栽培を行ったが、51年度はダイコン作の前に水積みイナワラ堆肥10t/10a施用して、作物体、および土壌浸透水にあたる影響を調査した。52年度はその残効を調査した。

IV区(多肥区)は、多肥栽培区とし、平均して標準施肥区の1.7倍程度の施肥量となった。なお、肥料は各区とも窒素は硫安、リン酸は過リン酸石灰、カリは塩化カリの形態で施用した。

第22表 モデルは場耕種概要(Kg/10a)

年 度	49 年 度						50 年 度			51 年 度						52 年 度					
	トウモロコシ (品種) (ゴールデン クロスバンタム)			ハ ク サ イ ( 王 将 )			グレイソルガム (SAVANNA 4)			ダ イ コ ン ( 春 播 みの 早 生 )		ニ ン ジ ン ( 新 黒 田 5 寸 )		トウモロコシ (ハニーバンタム)			ハ ク サ イ ( 王 将 )				
栽培期間 (日数)	5.8 ~ 8.9 ( 92 )			9.5 ~ 11.19 ( 75 )			6.6 ~ 10.9 ( 125 )			5.12 ~ 7.6 ( 55 )		7.23 ~ 11.17 ( 117 )		5.6 ~ 8.11 ( 97 )			9.9 ~ 11.29 ( 81 )				
肥料成分	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
I (標肥区)	15	15	15	20	20	20	30	30	30	12	10	12	25	15	25	15	15	15	20	20	20
II (無N区)	0	15	15	0	20	20	0	30	30	0	10	12	0	15	25	—————					
III (標肥区)	15	15	15	20	20	20	30	30	30	12	10	12	25	15	25	15	15	15	20	20	20
IV (多肥区)	25	25	25	35	35	35	50	50	50	28	20	48	40	25	40	25	25	25	35	35	35
土 壌 改 良 材				消石灰 320 Kg/10a			ようりん 200 Kg/10a			III区に堆肥 10t/10a						ようりん 200Kg/10a 消石灰 200Kg/10a					
施 肥 施 工 方 法	ロータリー耕 溝 施 肥			スクリューパー耕 溝 施 肥			ロータリー耕 全 面 全 層 施 肥			ロータリー耕 全 面 全 層 施 肥		ロータリー耕 全 面 全 層 施 肥		ロータリー耕 全 面 全 層 施 肥			ロータリー耕 全 面 全 層 施 肥				

注) 施肥はN(硫安)、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>(過石)、K<sub>2</sub>O(塩加)を用いた。

畑地からの窒素の流出に関する研究

第23表 散布堆肥の成分分析結果(成分は乾物%)

水分%	pH	EC mS/cm	T-N (NO <sub>3</sub> -N)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO
78.4	7.78	1.100	1.35 (0.5mg/100g)	0.38	1.81	0.78	0.38

施肥は窒素の溶脱パターンを知るため、毎作  
全量元肥で行い、49年度に溝施肥した以外は、  
50~52年度の各作とも全面全層施肥とした。

また、51年度Ⅲ区に堆肥を散布した以外は、  
各区とも原則として、有機物のは場還元は行な  
わず、根を含めて、収穫物残渣はすべては場外  
に持出した。

第23表に、散布堆肥の成分分析結果を示した。

これによると、堆肥からの施肥成分供給量は、  
窒素 29.2 Kg/10 a, リン酸 8.2 Kg/10 a, カリ  
39.1 Kg/10 aであった。

2 調査結果

1) 作物体窒素吸収量

調査期間中の各作物の収量および窒素吸収量  
を第24表、第25表に示した。

第24表 作物体収量調査結果(Kg/10 a)

年 度	49 年 度				50 年 度		51 年 度				52 年 度			
	トウモロコシ		ハクサイ		グレイソルガム	ダイコン	ニンジン		トウモロコシ		ハクサイ			
作物	全収量	子実重	全収量	結球重	全収量	子実重	全収量	根 重	全収量	根 重	全収量	子実重	全収量	結球重
I 標肥区	3.080	779	10.989	7,860	3.339	604	3.970	2,610	4,615	3,373	3,367	1,394	13,029	9,898
II 無N区	2,070	518	1,528	結球せず	1,869	260	973	596	2,223	1,840	—	—	—	—
III 標肥区	3,298	892	10,812	7,658	3,453	663	4,038	2,690	5,569	3,846	3,509	1,566	13,448	10,312
IV 多肥区	3,338	969	10,790	7,752	3,523	673	5,235	3,165	5,471	3,894	3,925	1,629	15,212	11,497

注) 全収量はほ場から持出した作物体全量

第25表 作物体窒素吸収量調査結果(Kg/10 a)

年 度	49 年 度		50 年 度	51 年 度		52 年 度		4 年 合 計		
	トウモロコシ	ハクサイ	グレイソルガム	ダイコン	ニンジン	トウモロコシ	ハクサイ	吸収N量	吸収N量 施肥N	利用率
I 標肥区	9.04 (4.82)	19.64 (17.34)	16.66 (12.59)	8.48 (6.84)	9.40 (5.88)	12.48 (6.64)	26.30 (23.22)	101.80 (77.32)	74.3	56.5
II 無肥区	4.23	2.30	3.87	1.64	3.52	*5.84	*3.08	*24.48		
III 標肥区	10.68 (6.45)	19.74 (17.44)	17.02 (13.15)	7.84 (6.21)	10.74 (7.22)	13.39 (7.55)	25.52 (22.44)	104.93 (80.45)	76.6	58.8
IV 多肥区	11.08 (6.85)	20.08 (17.78)	18.02 (14.15)	11.90 (10.27)	11.19 (7.67)	14.95 (9.11)	29.67 (26.59)	116.89 (92.41)	49.1	38.9

注) ( )内施肥区吸収N量 - 無N区吸収N量

(2) 利用率 =  $\frac{\text{施肥区吸収N量} - \text{無N区吸収N量}}{\text{施肥N量}}$

(3) \*.52年度の無N区吸収N量は49年度と同一栽培のため利用率から換算した推定値

(4) III標肥区では堆肥からの供給N量は考慮していない。

各区の収量調査結果をみると、各年度、各作物ともⅣ区(多肥区)が最高収量を上げ、ついでⅢ区(標肥区)、Ⅰ区(標肥区)、Ⅱ区(無窒素区)の順であった。

51年度の堆肥施用による作物収量面での効果と同じ標準施肥区であるⅠ区に対するⅢ区の指数でみると49, 50年度平均で107, 堆肥散布後の51, 52年度平均で108であり、顕著な効果は認められなかった。また、4年間7作物の平均収量は、Ⅰ区を100とするとⅣ区(多肥区)で114, Ⅱ区(無窒素区)で37であった。

各区の作物体窒素吸収量は収量を反映して各作物とも多肥区で高く、4年合計でⅠ区(標肥区) 101.80 Kg/10a, Ⅱ区(無窒素区) 24.48 Kg/10a, Ⅲ区(標肥区) 104.93 Kg/10a, Ⅳ区(多肥区) 116.89 Kg/10aであった。

窒素の利用率については、Ⅱ区の無窒素区が3年間同一は場であったことから、年度を経過するにつれ土壌中の窒素量が減少し、他の窒素施用区と土壌条件が異なっていくことが考えられるが、ここでは4年間7作物を一つのサイクルと考え、4年間の窒素施用区における作物体窒素吸収量の合計から4年間の無窒素区のそれ

を差し引く、差し引き法(次式参照)を用いて算出した。

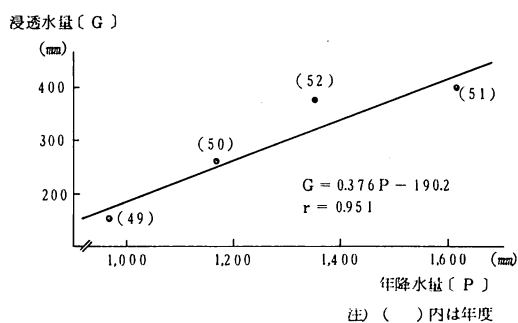
$$\text{利用率} = \frac{\% \text{施肥区吸収窒素量} - \text{無窒素区吸収窒素量}}{\text{施肥窒素量}} \times 100$$

これによるとⅠ区(標肥区) 56.5%, Ⅲ区(標肥区) 58.5%, Ⅳ区(多肥区) 38.9%であった。またⅢ区で堆肥中の窒素も施肥窒素量に含めて算出すると45.7%であった。

### 2) 溶脱窒素量

モデルほ場における浸透水量調査結果を第26表に示した。

また第31図には、各区の平均浸透水量と降水量との関係を図示した。



第31図 降水量と浸透水量との関係

第26表 浸透水量調査結果 (mm)

	49年度	50年度	51年度	52年度	4年合計
Ⅰ (標肥区)	152.9	255.0	379.5	374.3	1,162.2 (99)
Ⅱ (無N区)	148.0	254.4	400.9	369.5	1,172.8 (100)
Ⅲ (標肥区)	158.9	276.0	406.5	391.8	1,233.2 (105)
Ⅳ (多肥区)	140.9	243.2	365.6	364.7	1,114.4 (96)
降水量	965.0	1,167.0	1,623.0	1,384.5	5,139.5
平均浸透率 %	15.6	22.1	23.9	27.1	22.8

注) 4年合計欄の( )は各区平均浸透水量を100とした場合の指数



畑地からの窒素の流出に関する研究

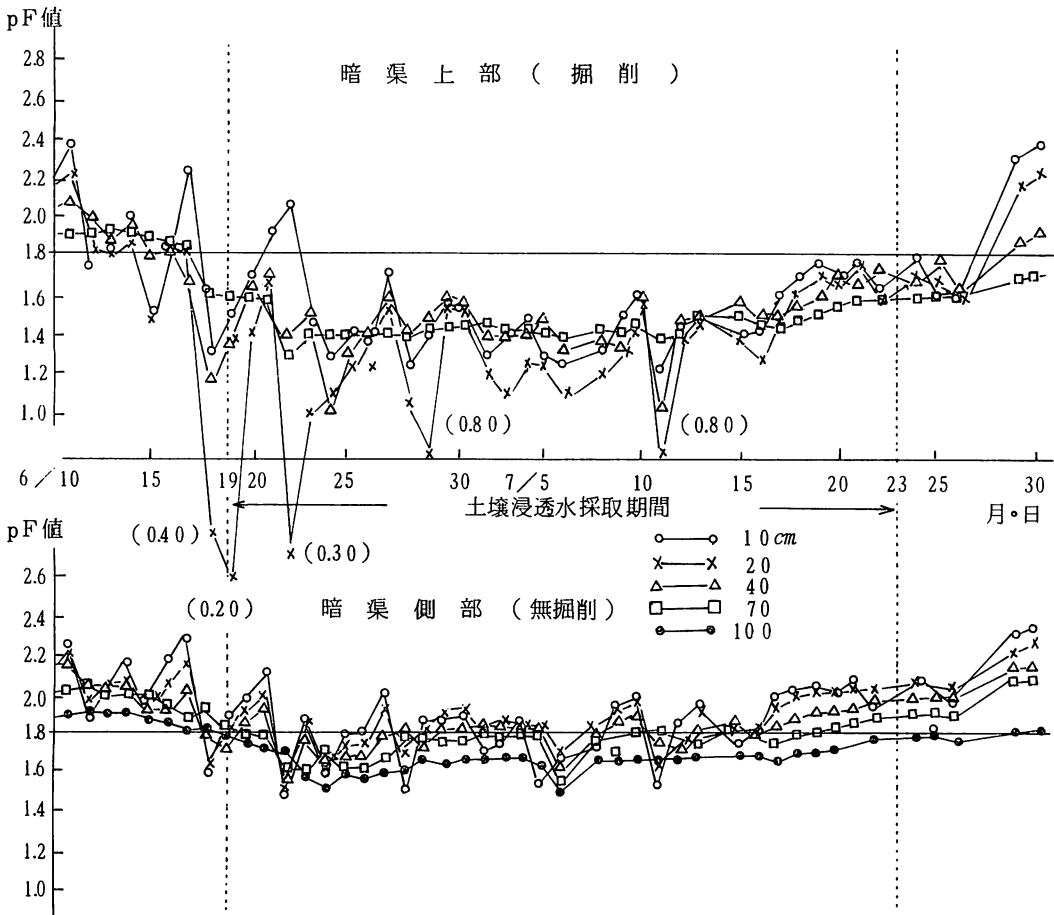
浸透水量は、降水量、降雨強度、および作物の土面被覆率等に影響されると思われるが、4年間の平均値は293 mm、浸透率は、22.8%であり、浸透水量と降水量との間にはかなり高い相関がみられた。

従来のライシメーター試験<sup>4) 12)</sup>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、半旬あたり25~30 mm以上のまとまった降水量がなければ、浸透水は採取できなかった。

このほ場は、従来のライシメーター試験にみ

られた側壁と土層間からの水の浸透をなくすために側面壁をとり除き、一区の面積(2.5 a)を大きくし、さらに3°の勾配をつけ、表面流去水も採水できるようにしてあり、この点では1歩ほ場条件に近づけたいといえるが、第32図に示すように、暗渠上部は側部に比べ、pF値が採水期間中常時低く、水分が多い状態にあった。これはビニールシートを埋設したことにより、排水抵抗を受けたためと思われる、このことが浸透水量に影響しているものと考えられる。

区間の浸透水量は、各区の平均浸透水量を100とした場合、I区(標肥区)99、II区(無



第32図 モデルほ場における土壌水分変動 (pF値)

第27表 溶脱窒素量調査結果 (Kg/10a)

	49年度	50年度	51年度	52年度	4年合計	溶脱N 施肥N	施肥N 溶脱率
I (標肥区)	2.9 (18.77)	5.7 (21.87)	8.5 (21.00)	13.2 (35.21)	30.3 (24.22)	22.1	20.7
II (無N区)	0.4 (2.48)	0.3 (1.12)	0.6 (1.27)	*0.6	*1.9 (1.62)		
III (標肥区)	1.4 (9.33)	5.6 (21.71)	6.6 (16.02)	10.2 (25.50)	23.8 (18.14)	17.4	16.0
IV (多肥区)	3.7 (24.17)	13.7 (52.96)	20.6 (56.16)	21.8 (59.57)	59.8 (48.22)	25.1	24.3

注 (1) ( )内浸透水中のNO<sub>3</sub>-N平均濃度 (mg/l)

(2) 施肥N溶脱率 =  $\frac{\text{施肥区溶脱N量} - \text{無N区溶脱N量}}{\text{施肥N量}} \times 100$

(3) \* 推定値

窒素区) 100, III区(標肥区) 105, IV区(多肥区) 96であり, これらの値は48年度造成当初の各区の傾向と一致していることから, ほ場造成にともなう各区の特性と考えられ, 地上部の生育量にはほとんど影響を受けなかったものと思われる。

またIII区に堆肥を散布したことによる浸透水量におよぼす影響は認められなかった。

以上のような土壤浸透水の浸透状況にあるモデルは場での窒素の溶脱量を年度別に第27表に示した。

なお溶脱する窒素の99%以上が硝酸態窒素であるため, 溶脱した硝酸態窒素をもって, 溶脱窒素とした。

II区(無窒素区)を除き, 各区とも溶脱窒素量は年々増加する傾向がみられた。

4年間の溶脱窒素量は, I区(標肥区) 30.3 Kg/10a, II区(無窒素区) 1.9 Kg/10a, III区(標肥区) 23.8 Kg/10a, IV区(多肥区) 59.8 Kg/10aであった。

窒素の利用率と同様, II区(無窒素区)が毎

作窒素無施用であるため, 各年度の施肥窒素溶脱率を差し引き法により求めることは利用率を算出する場合と同様問題はあるが, 窒素施用区および無窒素区の溶脱窒素量の4カ年の合計量から次式によって施肥窒素の溶脱率を算出した。

施肥窒素の溶脱率(%) =

$$\frac{\text{施肥区溶脱窒素量} - \text{無窒素区溶脱窒素量}}{\text{施肥窒素量}} \times 100$$

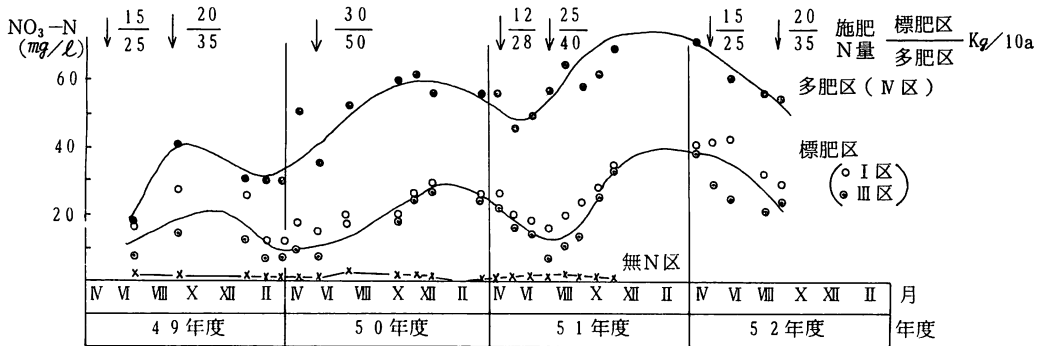
この方法によって算出した施肥窒素の溶脱率は, I区(標肥区) 20.7%, III区(標肥区) 16.0%, IV区(多肥区) 24.3%であり, III区については堆肥中の窒素を施肥窒素量に含めて算出すると10.5%であった。

調査期間中, 土壤浸透水は連続して採水できたわけではないが, 浸透水中の硝酸態窒素濃度を採水月別の平均値で第33図に示した。

浸透水中の硝酸態窒素濃度は波状の周期をもって, 徐々にではあるが, 標肥区, 多肥区とも年々高まる傾向がみられた。

このことは古畑, 井上<sup>18)</sup>がカラム試験により

畑地からの窒素の流出に関する研究



第33図 浸透水中硝酸態窒素の月別濃度変化

施肥窒素の溶脱は、土壌浸透水の降下に伴いあるピークをもって下層へ移行するというパターンで進行し、またそのピーク幅は時間の経過とともに広がることを確認している。

このことから、畑ほ場段階での施肥窒素の溶脱は当該年度の施肥窒素の溶脱パターンに前年度、前々年度等の土壌中に残存していた窒素が加わり増幅された形で溶脱するものと推定される。本調査では、とくに施肥は全量元肥としているため、それが顕著に現われたものと思われる。

単年度の比較では標肥区において、51年度と52年度では浸透水量が380～400mmとほぼ同量であるにもかかわらず、窒素の溶脱量は両区（I、III）とも52年度は51年度の1.5倍であった。

これは第33図に見られるように、51年度は浸透水中の硝酸態窒素濃度が浸透水の多く発生する時期（4月～10月）に、低濃度で経過したのに対し、52年度は高濃度で経過したためと考えられる。

また50年度には標肥区のI、III区とも窒素の溶脱量がほぼ同量になったので、51年度はIII区に堆肥を散布しI区との比較によって溶脱窒素量に及ぼす堆肥の影響を調査した。

その結果は、第27表、第33図をみても明らかのように、I区に比べIII区は堆肥からの供給窒素量が上乘されているにもかかわらず、51、52年度とも溶脱窒素量は少なかった。

この理由として、供試した堆肥の熟度が、未熟であったため、その分解に施肥窒素が使われ

第28表 窒素以外の年間各イオン溶脱量 (Kg/10a/年)

処理区名	K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>
I 標肥区	0.52	11.96	3.42	2.23	15.14	12.40
IV 多肥区	0.62	24.85	6.88	2.57	17.96	35.22
II 無窒素区	0.37	6.27	1.70	1.93	16.00	5.50

注) 4年間の溶脱総量から算出

たことと、赤塚<sup>14)</sup>らが指摘しているように、易分解性の有機物の添加が脱窒を促進させ施肥窒素の損失が多くなったこと等が考えられる。さらに有機物からの無機化が1年、2年という短期間では溶脱されるほど進まなかったことにも原因しているものと思われる。

3) その他のイオンの溶脱量

第28表には窒素以外の各イオンの溶脱量を示した。

標肥区では窒素を含めた各イオンの溶脱量が多い順に示すと、 $Cl^- > SO_4^{--} > Ca^{++} > NO_3-N > Mg^{++} > Na^+ > K^+$ であった。多肥区では窒素は硫酸で施肥しているためその副成分としての $SO_4^{--}$ の溶脱が多く、ついで $Ca^{++} > Cl^- > NO_3-N > Mg^{++} > Na^+ > K^+$ の順であった。

無窒素区では、窒素以外はすべて標肥区と同様に施肥しているにもかかわらず、 $K^+$ をはじめとして、 $Ca^{++}$ 、 $Mg^{++}$ 、 $Na^+$ 等のカチオンの溶脱が標肥区に比べて少なくなっていた。

これはカチオンが溶脱する際には、硝酸態窒素などのアニオンとともに移動していることを示唆しているものと考えられる。

4) 表面流去窒素量

モデルは場において、調査期間中に表面流去水が発生したのは49年度1回、50年度4回、51年度11回、52年度5回であった。

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°の傾斜をもたせたモデルほ場では、10分間最大降水量約2.1mm以上の場合にその発生が認められ、2~3mm/10分間とする山根の値<sup>15)</sup>とはほぼ一致した。

この場合、土壤水分は過飽和状態に近く常に土壤浸透水の採水が可能な状況にあった。

また、これは作物体の土面被覆率にも大いに関係があり、裸地期間と作物生育の初期>作物の生育最盛期から収穫期であった。

各年度ごとの表面流去窒素量をアンモニア態および硝酸態窒素の含量で第29表に示した。

表面流去水中の土壤粒子に吸着した窒素は流出過程で沈降するものとして分析は行なわなかった。

4年間の表面流去窒素量は、I区(標肥区) 0.241 Kg/10a、II区(無窒素区) 0.081 Kg/10a、III区(標肥区) 0.358 Kg/10a、IV区(多肥区) 0.261 Kg/10aであった。また、施

第29表 表面流去窒素量

	49年度		50年度		51年度		52年度		4年合計	
	流去水量 mm	流去N量 Kg/10a	流去水量 mm	流去N量 Kg/10a	流去水量 mm	流去N量 Kg/10a	流去水量 mm	流去N量 Kg/10a	流去水量 mm	流去N量 Kg/10a
I (標肥区)	4.9	0.031	12.9	0.013	82.5	0.045	30.0	0.152	130.3	0.241
II (無N区)	4.0	0.002	11.3	0.008	77.4	0.041	30.0	*0.030	122.7	0.081
III (標肥区)	4.6	0.024	14.0	0.010	57.0	**0.231	30.0	0.093	105.6	0.358
IV (多肥区)	4.1	0.076	9.9	0.013	75.3	0.074	30.0	0.098	119.3	0.261

注) (1) \* 貯留槽破損のため推定値  
 (2) \*\* 51年度は標肥+堆肥区  
 (3) 51年度のみ等高線栽培  
 (4) 流去N量は $NH_4-N$ 、 $NO_3-N$ の含量

畑地からの窒素の流出に関する研究

肥からの表面流去窒素率を利用率および施肥窒素の溶脱率の場合と同様4カ年合計の値から次式によって求めると

$$\text{施肥窒素の表面流去率}(\%) = \frac{\text{施肥区流去窒素量} - \text{無窒素区流去窒素量}}{\text{施肥窒素量}} \times 100$$

I区(標肥区) 0.12%, III区(標肥区) 0.20%, IV区(多肥区) 0.08%であった。

表面流去窒素量にあたる堆肥散布の影響を51年度の結果からみると表面流去水量は、無散布区のI, II, IV区に比べ減少したが、窒素量では同じく標準施肥したI区および多肥区であるIV区に比べ高い流出がみられた。

II 施肥窒素の土壤残存量

モデルは場調査における施肥窒素の収支は、窒素施用区と無窒素区との差し引きによりある程度推察できる。

しかし、これだけでは土壤中での施肥窒素の

動向をとらえることは困難である。

このため施肥窒素の土壤中での動向および跡地土壤における土壤残存量を把握するため、49~52年度に重窒素でラベルした標識硫安を用いた枠試験をモデルは場内で行った。

本調査は、閉鎖系のなかで行なわれたものではなく、根の伸長、施肥窒素の溶脱および横への拡散等が自由に行なわれる枠試験であるため窒素の回収率は低いものとなった。

ここでは主に、栽培期間中および栽培跡地における施肥窒素の土壤中での分布状況について調査し、80cm土層間での土壤残存量を推定することとした。

1 作物別の施肥窒素土壤残存量

1) 調査方法

(1) 試験区の概要

試験区は、モデルは場I, IV区内に30cm×30cm×10cmの木枠を組み、それを5cmまで土壤中に埋設して造成した。

この試験区の周囲60cm間は、無施肥裸地状態

第30表 標識硫安区耕種概要

年度	作物名 (品種)	施肥 播種 (定植) 月日	収 穫 月日	施 肥 量 g/区			調 査 内 容	
				<sup>15</sup> N Atom %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O		
49年度	トウモロコシ (クロスバンタム)	5.8	8.9	1.00	1.35	1.35	1.35	出穂期, 収穫期
50年度	グレイソルガム (SAVANA 4)	6.6	9.30	① 7.0	2.70	2.70	2.70	① 出穂期 ② 収穫期(多肥区含む) ③ 次年度施肥前
				② 2.00	(4.50)	(4.50)	(4.50)	
				③ 3.00	(4.50)	(4.50)	(4.50)	
51年度	ダイコン (春播みの早生)	5.22	7.13	1.00	1.08 (2.52)	0.90 (1.80)	1.08 (4.32)	収穫期 多肥区は作物体のみ
52年度	トウモロコシ (ハニーバンタム)	5.16	8.30	7.0	1.35 (2.25)	1.35 (2.25)	1.35 (2.25)	トウモロコシ跡地
	ハクサイ (王 将)	9.12	12.5	7.0	1.80 (3.15)	1.80 (3.15)	1.80 (3.15)	トウモロコシ-ハクサイ栽培跡地

注) (1) <sup>15</sup>N(硫安), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>(過石), K<sub>2</sub>O(塩加)で施肥した。  
 (2) 施肥は表層5cmに混合  
 (3) ( )内は多肥区

に保ち、毎作ごと各区内において栽培位置を移動した。

(2) 試験区の構成および耕種概要

試験区の構成および耕種概要は第30表に示したとおりである。

モデルは場同様に施肥は全量元肥で行った。

(3) 採土および分析方法

採土は、根系調査用鋼鉄枠(30cm×30cm×100cm)を打ち込んで行った。

採取された土壌コアは10cmごとに切断し、土壌水分測定後分析に供した。作物体についても収穫後ただちに全重を測定し、乾燥後粉碎して分析に供した。

土壌、作物体とも全窒素をガンニング変法で分解し、蒸留法で硫酸液に捕集し、適定して中和後、微酸性にしてから、3~5mlに濃縮してアンプルに封入して重窒素測定試料とした。

重窒素の分析は、理化学研究所へ依頼した。

2) 調査結果

(1) 49年度 トウモロコシ

第31表に回収窒素量を示した。

以後、利用率、土壌コア内残存率、回収率は以下の式によった。

$$\text{利用率}(\%) = \frac{\text{作物体吸収施肥窒素量}}{\text{施肥窒素量}} \times 100$$

$$\text{土壌コア内残存率}(\%) = \frac{\text{土壌残存施肥窒素量}}{\text{施肥窒素量}} \times 100$$

$$\text{回収率}(\%) = \text{利用率} + \text{土壌コア内残存率}$$

これによると、出穂期(施肥後55日)までの作物体吸収窒素は大部分が施肥に由来する窒素であり、利用率は2.05%であった。またこの時の施肥窒素は79.7%が土壌中に残存しており、回収率は100.2%であった。

収穫時(施肥後92日)では、作物体利用率は29.5%であったが、土壌コア内の残存率は15.8%であり施肥窒素の回収率は、間引き、脇芽を含めて54.2%にとどまった。

回収窒素が低い原因としては、前述のように本調査が開放系で行なわれたため、溶脱、横への拡散、脱窒等が大きかったことによるものと考えられる。

第34図に、栽培期間中の土壌中での施肥窒素の分布を示した。

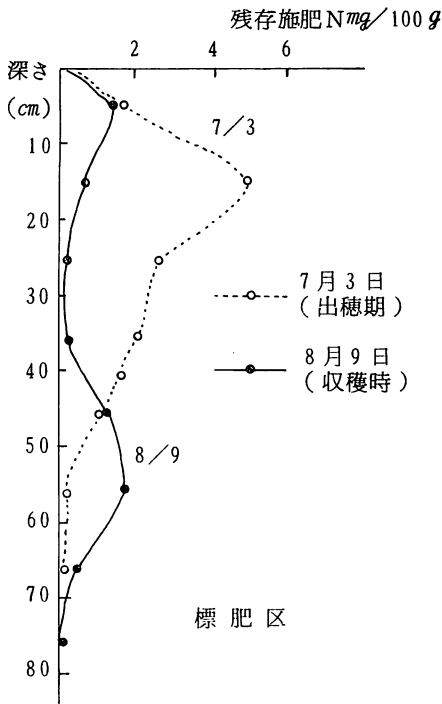
7月3日の出穂期には、土壌中での施肥窒素の最大ピークは10~20cm間にあったが、8月9日収穫時には、50~60cm部位に降下していた。

第31表 施肥窒素回収量 (49年度 トウモロコシ)

月 日	調 査 時 期	作物体吸収窒素量 mg/区			吸 収 施肥N T-N	利 用 率	土 壌 コ ア 内	土 壌 コ ア 内	回 収 率
		T-N	施肥N	土壌N			残 存 量	残 存 率	
6. 17	間引き 脇芽	144	120	22	84.6	8.9	—	—	—
7. 3	出穂期	291	277	14	95.1	2.05	1076	79.7	100.2
8. 9	収穫時	741	398	343	53.7	29.5	215	15.8	*54.2

注 \* 回収率は、間引き脇芽を含む。

畑地からの窒素の流出に関する研究



第34図 施肥窒素の土壌中での分布 (49年 トウモロコシ)

一方、これを栽培期間中の降水量との関係からみると、施肥後7月3日まで183.5mm、8月9日まで192.5mmと7月3日から8月9日の間には9mmの降水量しかないにもかかわらず、土

層中に分布している施肥窒素のピークの降下があったことになる。

しかしながらこれは、上層の土壌中の窒素が、出穂期以後の作物体吸収および横への拡散、脱窒等により減少したことも関係していると考えられる。

(2) 50年度 グレインソルガム

第32表に回収窒素量を示した。

これによると標肥区における出穂期までの施肥窒素の利用率20.5%、土壌コア内残存率40.2%であり回収率は60.7%で、また収穫時には、利用率21.9%、土壌コア内残存率23.2%であり、回収率は45.1%と低下した。多肥区では、収穫時の利用率20.3%、土壌コア内残存率26.0%、回収率46.3%であり、ほぼ標肥区と同様の傾向を示した。

第35図に、栽培期間中および次年度施肥前における土壌中での施肥窒素の分布を示した。

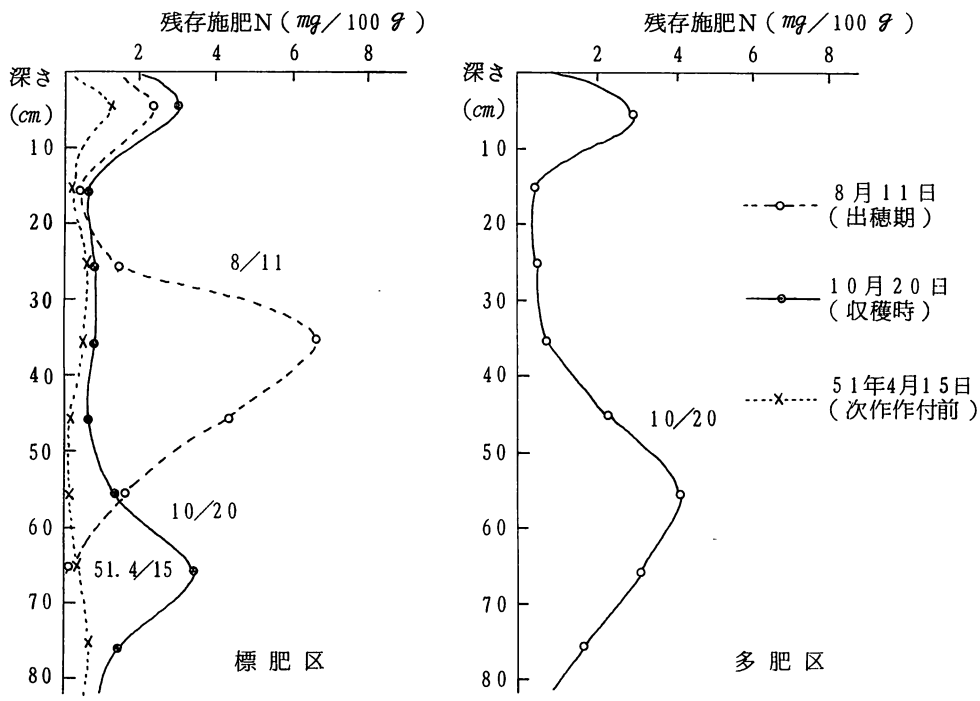
まず標肥区でみると、施肥後66日目の8月11日では、施肥窒素のピークは30~40cm間にあり、70cm以下にはほとんど移行していなかった。なおこの間の降水量は335.5mmであった。

収穫時には最大ピークは60~70cm間に移行し、

第32表 回収窒素量 (50年度 グレインソルガム)

月・日	処理区名 (調査時期)	作物体吸収窒素量 mg/区			吸収施肥N T-N	利用率	土壌コア内		回収率
		施肥N	土壌N	残存量			残存率		
		T-N			%	%	mg/区	%	%
8.11	標肥区 (出穂期)	3,568	554	3,014	15.5	20.5	1,085	40.2	60.7
9.30	標肥区 (収穫時)	4,981	590	4,391	11.9	21.9	624	23.2	45.1
	多肥区 (収穫時)	5,469	910	4,559	16.7	20.3	1,174	26.0	46.3

注) 収穫時の土壌残存量の調査は10月20日に行った。



第35図 施肥窒素の土壤中での分布 (50年度 グレインソルガム)

51年4月15日(施肥後334日)では、表層10cm間をのぞき、各層とも1mg/100g以下で、70~80cm間にわずかなピークがみられる程度であり、約1年後の施肥窒素の土壤コア内残存率は、7.3%であった。

(3) 51年度 ダイコン

第33表に回収窒素量を示した。

収穫時の利用率は、標準肥区68.2%、多肥区73.7%であった。

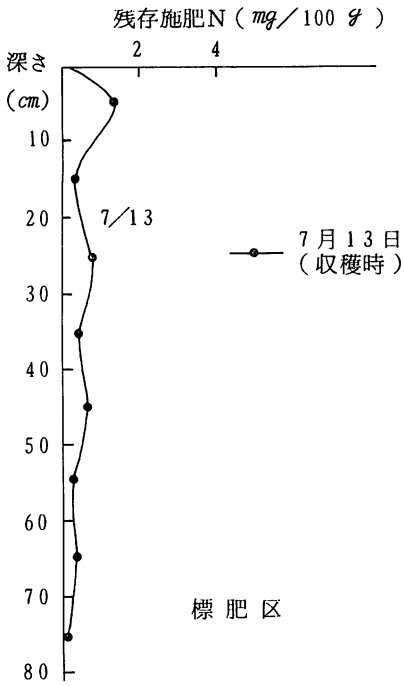
多肥区では栽培跡地における土壤コア内残存率は調査しなかったが、標準肥区では17.2%であり、回収率は85.4%であった。

第33表 回収窒素量 (51年度 ダイコン)

月・日	処理区名	作物体吸収窒素量 mg/区			吸収 施肥N T-N	利用率 %	土壤コア内		回収率 %
		T-N	施肥N	土壤N			残存量 mg/区	残存率 %	
7.13	標準肥区	3,405	736	2,669	21.6	68.2	186	17.2	85.4
	多肥区	3,816	1,858	1,958	48.7	73.7	—	—	—



畑地からの窒素の流出に関する研究



第36図 施肥窒素の土壤中での分布 (51年度 ダイコン)

第36図に、施肥窒素の土壤中での分布を示した。

これによると、表層を除き各層位とも1 mg/100 g以下であった。

(4) 52年度 トウモロコシ-ハクサイ

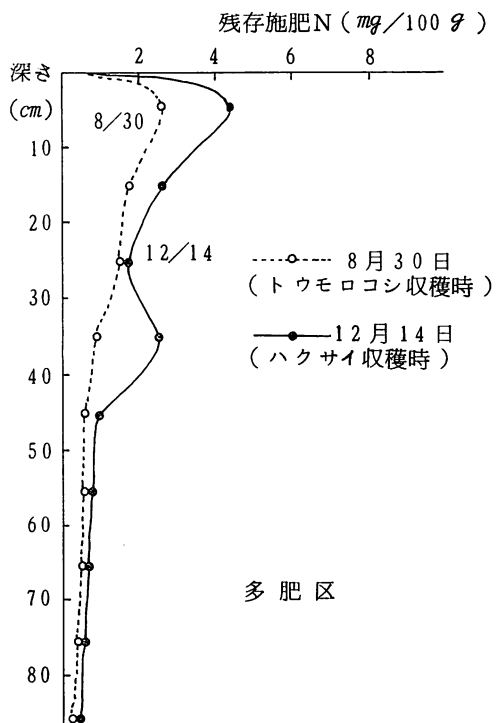
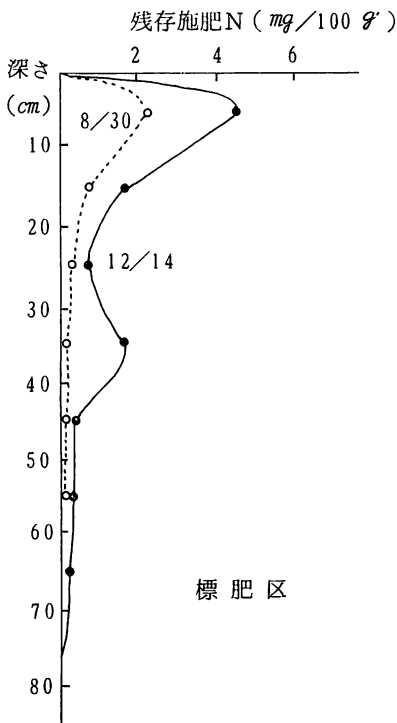
52年度は、トウモロコシ栽培跡地およびトウモロコシ-ハクサイ栽培跡地における施肥窒素の土壤中での分布を調査した。作物体利用率については調査を行なわなかった。

第37図に、施肥窒素の土壤中での分布を示した。

トウモロコシ跡地では、標肥区、多肥区とも作土下の土壤中に分布する施肥窒素のピークはみられなかった。

トウモロコシ-ハクサイ栽培跡地では、そのピークが30~40 cm間にわずかにみられる程度であった。

土壤コア内残存率は標肥区 14.7 %、多肥区



第37図 施肥窒素の土壤中での分布 (52年度 トウモロコシ, ハクサイ)

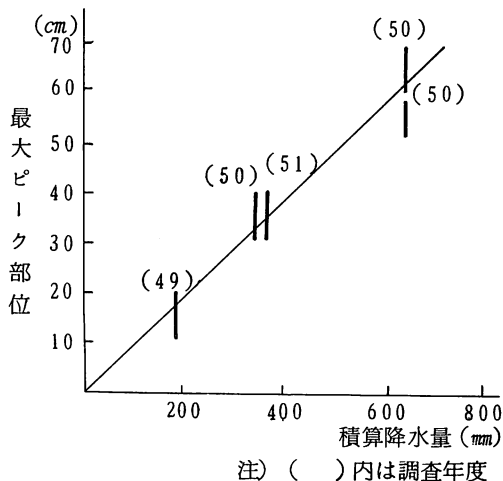
25.0%であった。

(5) 降水量と土壌中における施肥窒素の分布  
第38図に、各年度ごとの土壌断面(深さ80cmまで)に分布する施肥由来窒素の最大ピークの出現位置と施肥後の積算降水量との関係を図示した。

ここに示す最大ピークとは、作物栽培土壌では、作物吸収、土面被覆率、硝酸化成速度等の影響で現われ方も異なるが基本的には浸透水に伴う下層への窒素の溶脱程度を示すものであり、その出現位置と積算降水量との間にはかなり高い相関があるようにかがわれた。

本調査は火山灰畑は場という限定された条件下で行なわれたものであり土性、および土壌断面の孔隙特性に大きく支配される<sup>18)</sup>が、第38図から、表層から80cm土層間では降水量100mmで、およそ10cmの最大ピークの下層への移行があると推定された。

また、第34図から第37図にみられるように、この最大ピークとは別に、跡地土壌において表



第38図 積算降水量と最大ピークの出現位置 (ただし80cm土層間)

層10cm間にかんがりの施肥窒素が集積していることが認められたが、これは、作物の落葉、残根、雑草、微生物等により有機化した施肥窒素が残存していることによると推察された。

この量は栽培跡地における土壌コア内残存窒素量の20~30%, 施肥窒素量の4~10%に相当した。

それ以外の作土下の残存窒素は、ほとんどが硝酸態の形で存在していると推察された。

## 2 施肥窒素の横への拡散量

これまでの調査では、土壌浸透水および溶脱窒素は垂直に降下し、横への移動はないことを前提には場条件下の開放系で調査してきた。

しかしながら、今までみたように施肥窒素の利用率、跡地土壌中の残存量、さらに各作の溶脱窒素量を考慮しても、なお施肥窒素量との差があり、かなりの未回収窒素がある。

そこでII-1の調査で採土に用いてきた鋼鉄枠を作付前に土壌の構造をこわさないように打ち込み横への窒素の拡散をおさえた枠有区とII-1の調査で用いてきた開放系の枠無区を設置し、両区の回収窒素量の差から施肥窒素の横への拡散量を推定しようとした。

### 1) 調査方法

51年度モデルは場I区(標肥区)内で第39図に示したような、根系調査用の鋼鉄枠(30cm×30cm×100cm)を深さ90cmまで土壌構造をこわさないように打ち込んだ枠有区と、II-1区の調査で用いた表層5cm間だけを木枠(30cm×30cm×10cm)で囲んだ枠無区を設けてダイコンを栽培して両区の回収窒素量の比較を行った。

耕種概要は第34表に示したとおりである。

処理は両区とも窒素成分で1.08g/区を硫酸(7.0Atom%)で施肥しダイコンを栽培した。

畑地からの窒素の流出に関する研究

第34表 耕種概要

処理区名	施肥播種		施肥量 g/区			備考
	月	日	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	
桝有区	5. 22	7. 13	1.08	0.90	1.08	標識硫安(7.0atom%)使用,P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (過石)K <sub>2</sub> O(増加)を用いた。施肥は表層5cm間に全面施肥,大根は1区2本とした。
桝無区	"	"	"	"	"	

注) 桝は施肥1カ月前に埋設しておいた。

収穫後、桝有区は鋼鉄桝ごと引き上げ10cmごと採土し、桝無区は鋼鉄桝を90cmまで打ち込み、同様に採土し分析に供した。

また、作物体、跡地土壌についての窒素の分析は前項に準じた。

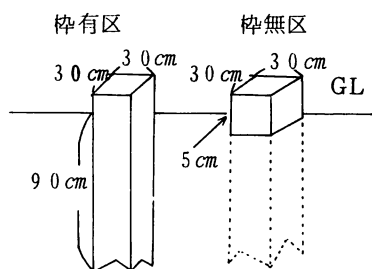
ある。

ダイコンの収量は、両区ともほぼ同等であったが乾物収量では桝無区の方がまさった。

第35表 ダイコン収量調査(g/区)

処理区名	葉	根	乾物		
			葉	根	合計
桝有区	302 (9.56)	703 (3.63)	28.87	25.52	54.39
桝無区	387 (9.14)	695 (4.16)	35.37	28.91	64.28

注) ( )内乾物率



第39図 調査区の概況

(2) 作物体窒素吸収量

第36表に作物窒素吸収量を示した。両区の窒素吸収量を比較すると、桝無区の方が636mg/区ほど上まわった。施肥由来窒素の吸収量は、桝有区753mg/区、桝無区754mg/区で施肥窒素の利用率は桝有区69.7%、桝無区69.8%ではほとんどかわらなかった。

2) 調査結果

(1) 生育収量調査

ダイコンの収量調査結果は第35表のとおりで

第36表 ダイコン窒素吸収量調査結果

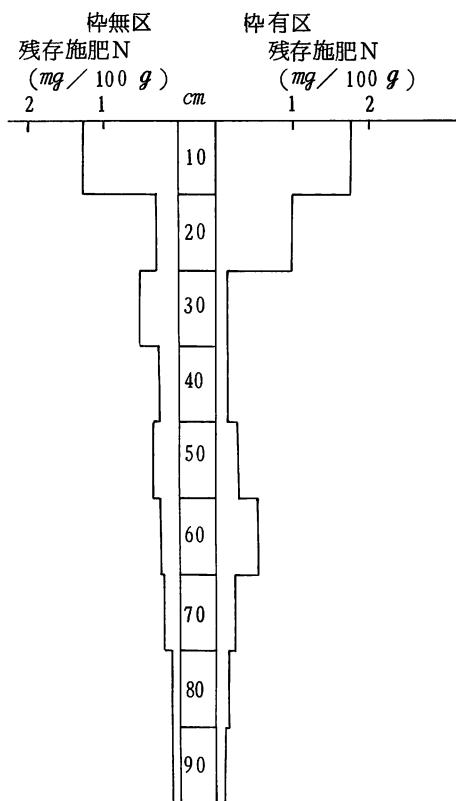
処理区名	作物体N吸収量 mg/区			吸収施肥N 吸収T-N	%	利用率 %
	T-N	施肥N	土壌N			
桝有区	葉	852	465	387	54.58	43.05
	根	587	288	299	49.06	26.66
	計	1,439	753	686	52.33	69.71
桝無区	葉	1,382	513	863	37.13	47.50
	根	693	241	452	34.78	22.32
	計	2,075	754	1,321	36.34	69.82

また、全吸収窒素量の中に占める施肥由来窒素を

$$\frac{\text{吸収施肥窒素量}}{\text{全吸収窒素量}} \times 100$$
にあてはめて算出すると桝有区 52.3% に対し、桝無区では 36.3% であった。このことは、桝有区では側壁で吸収根の伸長がおさえられたため、土壌からの窒素の吸収が十分でなかったものと推察された。

(3) 土壌残存量

第40図に跡地土壌における施肥窒素の土壌中での分布を示した。



第40図 施肥窒素の土壌分布

土壌コア内残存量は桝有区で 329 mg/区、桝無区で 189 mg/区であり、土壌コア内残存率は桝有区 30.5%、桝無区 17.4% であった。

ダイコン栽培における施肥窒素の回収率を計

算すると、桝有区では作物体吸収率 (69.7%) + 土壌コア内残存率 (30.5%) = 100.2%、桝無区では作物体吸収率 (69.8%) + 土壌コア内残存率 (17.4%) = 87.2% であった。桝有区で 100% 回収されたことは栽培期間中ほとんど脱窒および 90cm 以下への溶脱がなかったものと考えられる。

鋼鉄桝を打ち込み側壁を作ることは、作物の生育状況、窒素吸収量および土壌浸透水の移動速度等になんらかの影響をあたえるものと考えられるが、桝有区回収率 (100.2%) - 桝無区回収率 (87.2%) = 13.0% は、桝無区においても桝有区同様栽培期間中脱窒および溶脱がなかったとすれば横への拡散量と考えることができよう。

3 硝酸態窒素の垂直分布

本調査では溶脱した硝酸態窒素が地下水にまで達する過程で土層中でどのような垂直分布をしているのかについて調査した。

1) 調査方法

モデルは場 I 区 (標肥区)、II 区 (無窒素区) IV 区 (多肥区) を対象として、52年度トウモロコシ栽培前の 4月21日とそれ以後の積算降水量約 1,000 mm 時の 10月5日と 2回に分けてハンドオーガーにより、3 m までボーリングを行い、30cm おきに採土した。

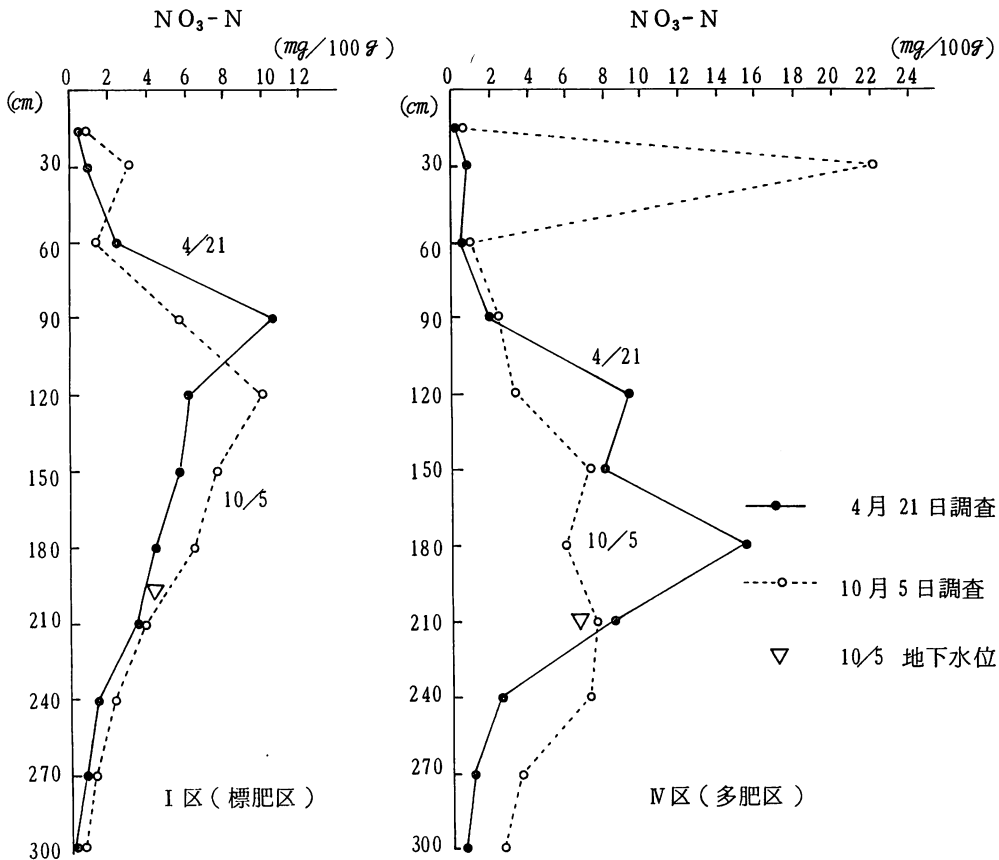
採土した土壌は、水分測定後、ただちに、硝酸態窒素についてイオン電極法により分析した。

2) 調査結果

土層中での硝酸態窒素の垂直分布は第41図に示すとおりである。

52年度トウモロコシ栽培前の 4月21日の硝酸態窒素の濃度分布をみると、I 区 (標肥区) で深さ 90cm 部位に 10mg/100g を越える最大ピー

畑地からの窒素の流出に関する研究



第41図 硝酸態窒素の垂直分布

クがみられ、IV区(多肥区)では120 cmと180 cm部位にピークがあり、180 cm部位では15mg/100 gのかなり高濃度の硝酸態窒素が検出された。

しかしII区(無窒素区)では、表層から3 m間には1 mg/100 gを越える硝酸態窒素はみられなかった。

以上のような下層での濃度分布を示す硝酸態窒素が、積算降水量約1,000 mm後にはどのように変化しているのかをみるため10月5日同様の調査を行った。

これによると両区とも下層では4月調査時点

に比べ硝酸態窒素のピーク部位がおよそ30 cm程度低下しており、また、その濃度はやや減少傾向にあった。

なおIV区(多肥区)における10月5日の30 cm位置の最大ピークは、ハクサイ定植後1カ月であるため、その施肥の影響によるものと思われる。

このようになら下層においても多量の硝酸態窒素が残存し、それが土壌浸透水の影響で低下していることが認められた。

これらのことからこの下層における硝酸態窒素はそのまま地下水に流出することが考えられ

るが、一方土壤浸透水中にはほとんど検出されなかったアンモニア態、亜硝酸態の窒素が第11表のローム層中の地下水水質分析結果にみられるようにローム層にまで上昇した地下水中に常時検出されていることから、ローム層で地下水は前述したように動きが遅く溶脱された硝酸態窒素は一旦この層に貯留され、ある程度の還元作用を受けるといことも考えられる。

### Ⅲ 豚ふん施用にともなう溶脱窒素量

最近家畜ふん尿の積極的な土壤還元が行なわれ、作物収量の面で化学肥料と併用することにより高い効果を上げている<sup>10)</sup>

しかし、家畜ふん尿中にはかなり高濃度の窒素が含まれており、家畜ふん尿の施用による土壤への窒素供給量は少なくなく、なかでも豚ふんは土壤中での分解が早く、窒素の無機化も牛ふんなどに比べて多くなるものと思われる。

そこで豚ふんの施用が作物生育および溶脱窒素量におよぼす影響を52年度にモデルほ場内の

Ⅱ区を用いて調査した。

#### 1 調査方法

##### 1) 試験ほ場

試験ほ場は、モデルほ場Ⅱ区を使用した。この区は49～51年度までの3年間無窒素で栽培してきたこともあって、過去3年間の土壤浸透水中の硝酸態窒素濃度は、常に1mg/l前後の値であり、土壤中の窒素量はかなり稀薄な状態にあるものと思われる。

##### 2) 耕種概要

52年4月4日に生豚ふん5t/10aを散布し、ロータリー耕により土壤によく混和し、1カ月後の5月から第37表に示す耕種概要にもとづき栽培を行った。

施肥および栽培管理にあたっては、52年度モデルほ場の標準施肥区に準じた。

また使用豚ふんの成分含量は第38表に示した。これから換算して、豚ふんからの窒素供給量は49.17Kg/10aであった。

第37表 耕種概要

栽培作物	施肥 播種月日	収穫月日	施肥量 Kg/10a			備 考
			N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	
トウモロコシ	5. 8	8. 11	15	15	15	4月4日 生ふん5t/10a散布、ロータリー耕により混和
ハクサイ	9. 9	11. 29	20	20	20	ようりん、硝石灰各200Kg/10a散布

第38表 豚ふんの成分(成分は乾物%)

水分	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
70.2	3.30	4.15	1.33

## 2 調査結果

### 1) 作物体窒素吸収量

作物収量および窒素吸収量を、52年度のモデ

ルほ場における標準施肥区と対比して示した。

収量で見ると第1作トウモロコシ栽培では、前年まで3年間無窒素で栽培していた区であるにもかかわらず、標肥区100に対し、132と高い収量が得られた。第2作のハクサイ栽培でも結球重で110とその効果が持続していることが

畑地からの窒素の流出に関する研究

第39表 収量調査結果および窒素吸収量

処 理 区 名	トウモロコシ			ハクサイ		
	収量調査 Kg/10 a		N吸収量	収量調査 Kg/10 a		N吸収量
	全 重	子実重	Kg/10 a	全 重	結球重	Kg/10 a
生豚ふん5 t+標肥区	4,384 (130)	1,837 (132)	18.49 (148)	14,068 (108)	10,919 (110)	29.31 (111)
モデルほ場標肥区	3,367 (100)	1,394 (100)	12.48 (100)	13,029 (100)	9,898 (100)	26.30 (100)

注) ( )内は標肥区に対する指数表示

認められた。

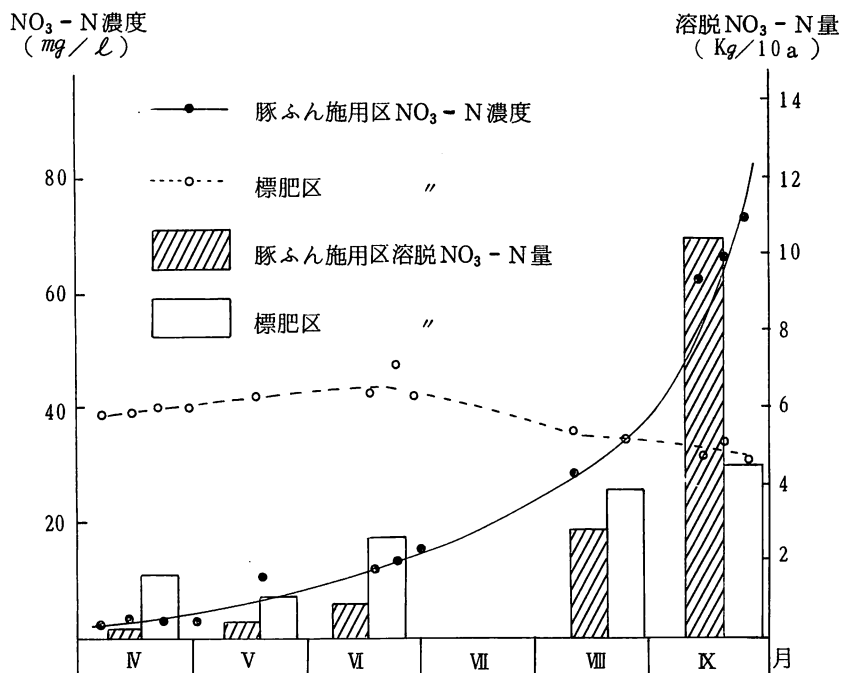
吸収窒素量においても、生育量を反映して、標肥区100に対しトウモロコシ148、ハクサイ111と同様の傾向がみられた。

2) 溶脱窒素量

この年は浸透水が採取できたのは、7月を除く、4月から9月までの5カ月間であり、この間の溶脱窒素量を浸透水中の硝酸態窒素濃度の

変化とともに標肥区と対比させて第42図に示した。

これによると過去3年間標準施肥を続けている標肥区では、浸透水中の硝酸態窒素濃度は30~40mg/lとほぼ一定な値を示しているのに対し、豚ふん施用区では、4月0.76mg/lであったが、9月には72.42mg/lと急激に上昇している。これにともない溶脱した硝酸態窒素量も



第42図 豚ふん施用区溶脱硝酸態窒素量の月別変化

増加し窒素施用初年目にもかかわらず14.6Kg/10aの溶脱がみられた。これは豚ふんからの供給窒素量を含めて施肥窒素量の17.4%に相当した。

多量に窒素を供給することにより土壌窒素の無機化が促進されたとしても、豚ふん施用区は前年まで無窒素栽培を行っていたは場であることから、溶脱された硝酸態窒素の大部分は豚ふんと施肥からの窒素と考えられる。

本調査から、豚ふんの施用は作物収量の面ではプラスの効果として現れる反面、多量の窒素の供給にともない、溶脱量が多くなるため、施用方法によっては水系とくに地下水におよぼす影響が大きいと考えられる。

#### IV 考 察

##### 1 モデルほ場における窒素収支

施肥窒素の動向を模式的に示すと、第43図のようになる。

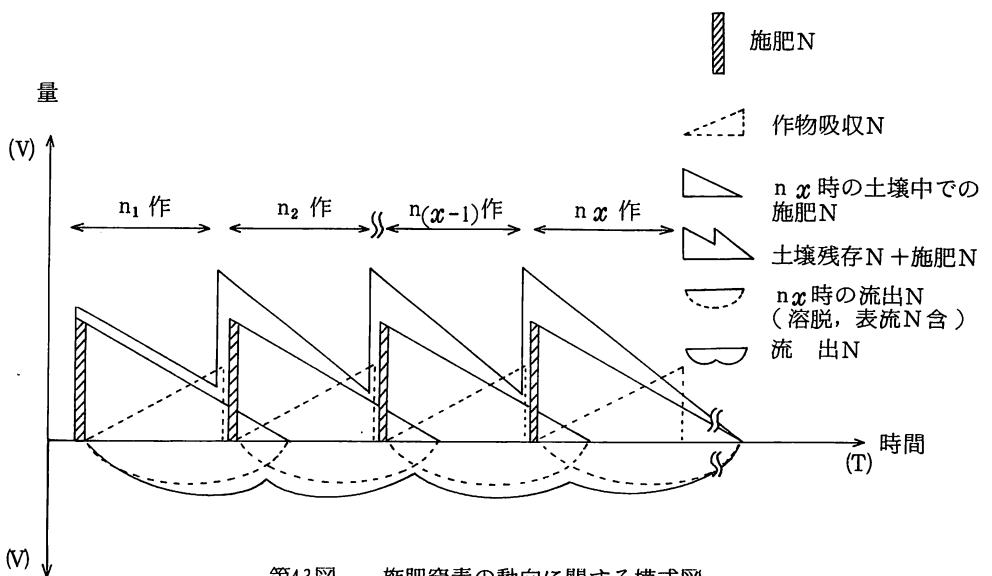
この図からも明らかなように、施肥された窒素は、作物収穫後も、土壌中に残存し、次作の作物体吸収および溶脱に対し影響をあたえる。

このため、施肥窒素の収支を把握するためには1作ごとの収支よりも各種の作物を導入して1つのサイクルとして栽培をくり返し、その合計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年度から52年度まで4年間に7作物の栽培を行っており、このほ場における施肥窒素収支は第40表に示すとおりである。

これによると、施肥窒素量100.0に対して、標肥区I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,不明窒素(脱窒を含む)4.9であり、多肥区では、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,不明窒素(脱窒を含む)11.2であった。

この調査では、施肥を全量元肥で行って



第43図 施肥窒素の動向に関する模式図



畑地からの窒素の流出に関する研究

第40表 施肥窒素収支

要因	標肥区 (I区)			多肥区 (N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	7.4	19.33	56.5	9.26	23.10	38.8	モデルは場における 施肥区 → 無N区 (I区, N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。 <sup>15</sup> 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
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	
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

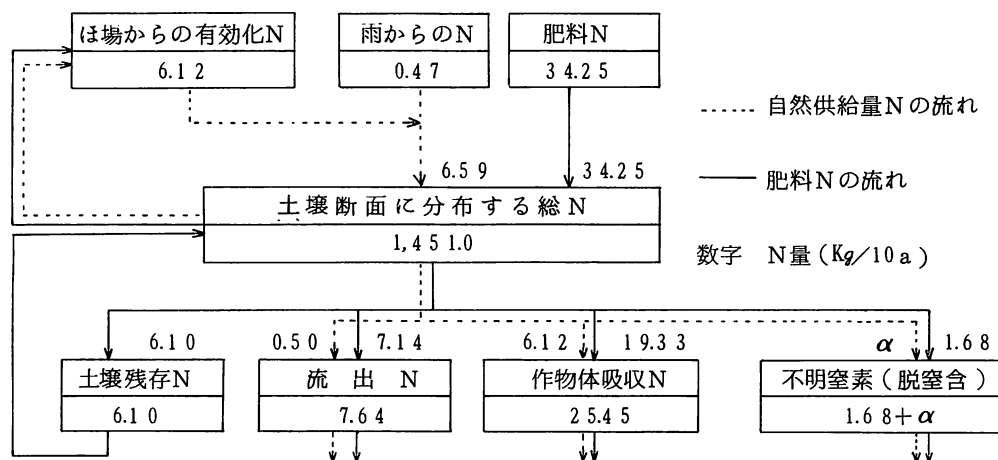
注) 施肥は全量元肥で行った。

いるため、通常に分施する栽培様式に比べ、作物体の施肥窒素吸収量は低く、施肥窒素溶脱量については、高い傾向に出ているものと思われる。

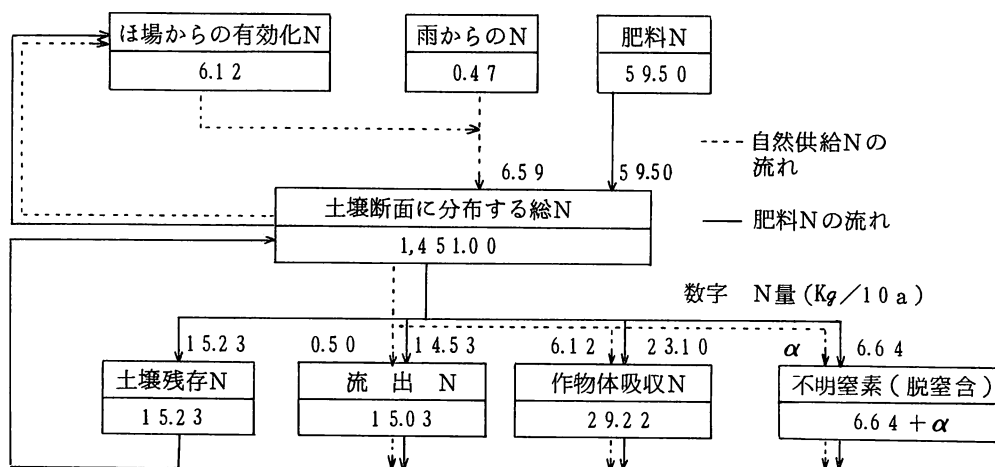
第44図、第45図には、モデルほ場の標肥区、多肥区における窒素の流れを図示した。この図における流出窒素は、溶脱量と表面流去量の合量で示した。

これによると、自然からの供給量は、雨からの供給量 0.47 Kg/10a を含めて、6.59 Kg/10a でありその大部分が作物体に吸収されていることになる。

また標肥区、多肥区を比較すると、多肥区は、標肥区に比べ作物体吸収量では、3.77 Kgの増加にとどまるのに対し、流出窒素量では7.39 Kgの増加となり、およそ2倍の流出がみられた。土壌残存量につて



第44図 モデルほ場標肥区における窒素の流れ



第45図 モデルほ場多肥区における窒素の流れ

も同様の傾向であり、前述したようにこの窒素は、表層10cm間にある有機化されたものを除きほとんどが硝酸態で、表層下に多く存在することから、溶脱におよぼす影響が大きいものと考えられる。

2 モデルほ場における水収支

第41表にモデルほ場における4年間の水収支を示した。

第41表 水収支

要因	49~52年度 4年合計	4カ年平均	%
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。

49年4月から52年3月まで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+裸地期間の土面蒸発量)+土湿変化水量〕74.0、表面流去水量2.3、浸透水量22.8、作物体持出水量0.9であった。

以上の算出にあたっては、蒸発散量以外はモデルほ場における実測値を用い、蒸発散量は、降水量からこれら実測値の差し引きにより求めた。

上村<sup>17)</sup>は斜面ライシメーターの試験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、951.0mmであることから、上村の土面蒸発から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。

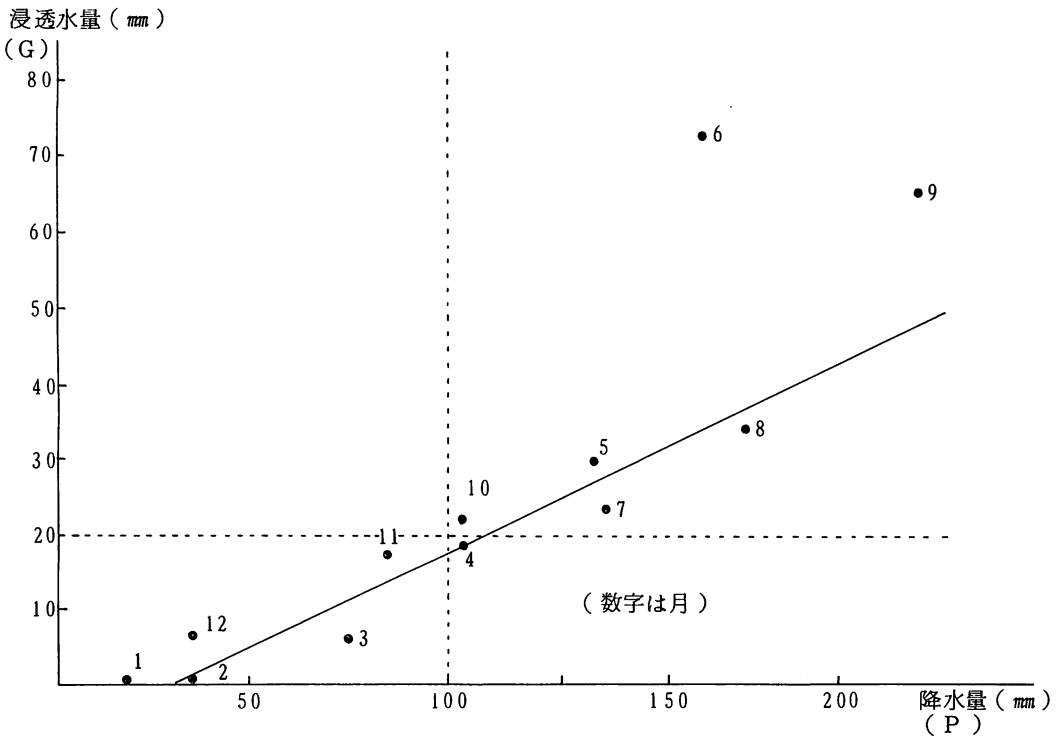
3 窒素の溶脱に対する気象要因

窒素の溶脱に影響をおよぼす要因の一つには、脱との関係を検討した。  
 降水量による土壌浸透水量があげられる。第42表に、49～52年度までの調査期間4年間の月別平均降水量および浸透水量との関係を示す。第46図にそれを図示した。

第42表 月別降水量と浸透水量（49～52年度）

月	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	計 (平均)
降水量 mm	104	138	166	141	177	221	104	84	34	17	34	72	1,288
浸透水量 mm	17	29	73	23	33	64	22	17	7	1	1	6	293
蒸発計蒸発量 mm	52	87	60	85	97	74	48	34	-	-	-	-	-
降水量/浸透水量	6.11	4.76	2.27	6.13	5.36	3.45	4.73	4.94	4.86	17.00	34.00	12.00	8.80
半旬30mm以上の降水回数	5	4	8	7	5	11	4	3	1	0	0	3	51

注) 30mm以上の降水回数は4年間の各月合計



第46図 月別降水量と浸透水量との関係

これによると、月平均100 mm以上の降水量があるのは、4月から10月までの7カ月間に集中しており、この間の浸透水量は月20mm以上であり、年間浸透水量の90%を占めていた。月別浸透水量を多い順に示すと6月の73mmを最高に次いで9月>8月>5月>7月>10月>4月>であった。

また、モデルほ場における浸透水の発生は半旬のうちに25~30mm以上のまとまった降水がある場合に限られていた。

調査期間中の降水量30mm以上/半旬の月別発生回数をみると、9月が一番多く11回、ついで6月の8回、7月の7回、4月および8月の5回の順であった。

また月別の降水量と浸透水量の比を示すと6月が2.28、ついで9月の3.42であり、順に10月4.73、5月4.76、12月4.86、11月4.94、8月5.36、4月6.11、7月6.13であり1月から3月までは1.200以上となった。

ここで、7、8月に降水量が多いにもかかわらず浸透水量が少ない原因の一つとして、気温の上昇にともなう蒸発散量の増加等の気象条件

が考えられ、蒸発計蒸発量でみると、6月、59.5 mm、9月74.0 mmに比べ7月84.9 mm、8月96.9 mmと多くなっていることからこのことが裏付けられる。また、作物栽培の面からみても7月および8月は、生育が旺盛な時期であることから、作物体からの蒸散量も多く、土面被覆率も高い時期にあたるため、浸透水量が少なくなったものと思われる。

以上のことから、浸透水の発生は4月から10月までの期間で、特に6月、9月は量的にも多くなるといえる。

これを広域畑ほ場にあてはめてみると、浸透水の発生がみられる4月から10月は、春夏作、夏秋作の栽培期間にあたり、第7図に示したようにこの地区での施肥量は、4~6月までの3カ月間で年間の75%以上と集中的に施肥されていることから、かなりの窒素が下層へ移行していくものと考えられる。

加えて6月は麦の収穫および夏秋作の施肥、播種時期にあたり、ほ場は裸地状態に近い状態、一般的なほ場条件としても窒素の溶脱し易い状態にあるものと考えられる。

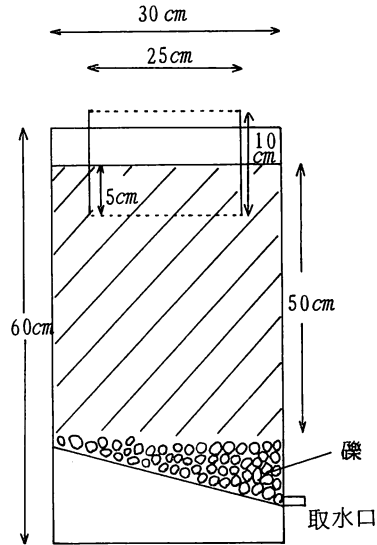
## 第5章 窒素の溶脱に関する要因解析

畑地からの肥料成分の溶脱では、窒素がリン酸、カリに比べてとくに多いことを第4章のモデル畑調査によって明らかにした。

これは畑地に施肥された窒素は、微生物の作用により、土壌粒子にほとんど吸着されない硝酸態窒素にすみやかに変わり、それが降水等のために生じた浸透水により下層へ移行するものと考えられる。

降水が窒素の溶脱の主要因であろうと考えられるが、一方栽培方法、土壌の違い等の影響も大きいと考えられるので、この点を明らかにするため、51~52年度に小型ライシメーターを用いて、かん水量、かん水方法、施肥量、施肥法および土壌条件を組み合わせた窒素の溶脱試験を行った。

室内に設置し試験を行った。



第47図 小型ライシメーター模式図

### I 実験 I かん水量 施肥量 施肥法等の影響について

窒素の溶脱に影響をおよぼす要因としてかん水量、施肥量、施肥方法および土壌中の石灰含量を取りあげ、 $L_{16}$  直交表によりこれらの諸要因を組み合わせた多因子実験を小型ライシメーターを用い、裸地条件下で実施した。

#### 1 調査方法

##### 1) 試験規模

第47図に示すような直径30cm、高さ60cmの小型ライシメーター16基を降雨を遮断したアミ

##### 2) 供試土壌の化学性

供試土壌は、場内は場下層から採取した褐色火山灰土壌を用い各区42kgを充填した。

供試土壌の化学性は第43表に示したとおりである。

##### 3) 試験区の構成

試験区の処理内容は第44表に示すとおりである。

降水量の多少および降雨強度に関する因子としてかん水量を取り上げた。その水準は1回か

第43表 供試土壌の化学性

pH		EC	T-N	T-C	置換性塩基 $mg/100g$			CEC	$NO_3-N$	$Av-P_2O_5$
$H_2O$	KCl	$mS/cm$	%	%	CaO	MgO	$K_2O$	me	$mg/100g$	$mg/100g$
6.40	5.24	0.058	0.16	1.55	171.9	28.5	20.0	15.65	0.09	Tr

ん水量を30mmと50mmの2水準とした。

施肥量は、窒素成分で1.4g/区, 2.8g/区の2水準を設け、施肥法として、全面全層施肥(表層5cm間に混合)と局所施肥(区中央部に直径5cm, 深さ5cmに混合)を行った。硝酸態窒素はカルシウム等のカチオンとともに溶脱すると考えられることから、土壌中の石灰量を因子としてとり上げ、CaOとして、4.4g/区, 16.0g/区の2水準を設けた。なお石灰は消石灰の形で全面全層に施用した。

4) かんがい水質およびかん水方法

第45表にかんがい水の水質を示した。

かん水方法としては、ライシメーター側壁と土壌との間からの水の浸透をさけるため表層に直径25cm 高さ10cmの円筒を5cmまで埋設し、施肥およびかん水はすべてその中に行った。

かん水は7日間断で行い、浸透水量を測定後、浸透水の一部を採取し、硝酸態窒素および石灰について分析を行った。

2 調査結果

かん水総量を900mm(30mm×かん水30回, 50mm×かん水18回)の場合と、かん水回数30回(30mm×30回=900mm, 50mm×30回=1500mm)とに別けて要因の解析を行った。

1) かん水総量900mmの場合

第46表には、かん水総量900mmの場合の窒素および石灰の溶脱量と、浸透水量を示した。溶脱窒素量におよぼす要因解析を行った結果、施肥窒素量2.8g/区>1.4g/区(1%)以外には有意差はみられなかった。

溶脱石灰量においては、施肥窒素量2.8g/区>1.4g/区(1%), かん水量50mm/回>30mm/回(5%)で有意差がみられ、モデルは場試験でも確認されているように、石灰の溶脱は施肥窒素量に影響されていることが示唆された。

2) かん水回数30回の場合

第47表には、かん水回数30回の場合について

第44表 試験区の構成内容

水準	因子	かん水量	施肥N量	施肥法	石灰量(CaO)	備	考
1		30mm/回	1.4g/区	局所施肥	4.4g/区	①かん水は7日間断	
2		50mm/回	2.8g/区	全面全層施肥	16.0g/区	②施肥は硫酸を用いた	
						③施肥は深さ5cmまで混和した	
記号		a	b	c	d	④石灰は消石灰を用いた	

第45表 かんがい水の水質(mg/l)

pH	EC μS/cm	NO <sub>3</sub> -N	K <sup>+</sup>	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>
6.1	124	2.72	1.13	5.76	3.00	7.71	14.66	6.83

(51年度の平均値)

畑地からの窒素の流出に関する研究

第46表 窒素溶脱に関する要因解析 (かん水総量 900 mmの場合)

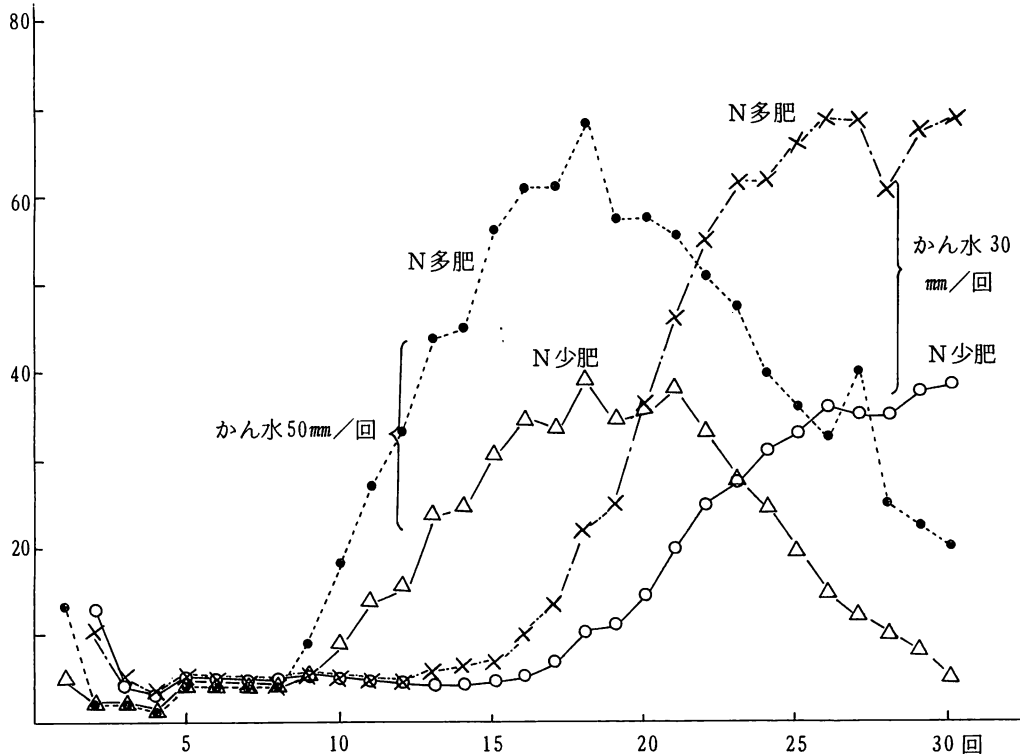
要因	溶脱NO <sub>3</sub> -N量 mg	溶脱Ca量 mg	浸透水量 mm
かん水量 a 30 mm/回	855	873*	512**
かん水量 a 50 mm/回	949	1,071*	608**
施肥N量 b 1.4 g/区	657**	740**	560
施肥N量 b 2.8 g/区	1,147**	1,204**	562
施肥法 c 局所施肥	941	1,024	557
施肥法 c 全面全層施肥	863	920	565
石灰量 d 4.4 g/区	960	1,032	558
石灰量 d (CaO) 16.0 g/区	844	912	564

注) \*は危険率 5% で有意  
\*\*は " 1% " (以下同じ)

第47表 窒素溶脱に関する要因解析 (間断かん水30回行った場合)

要因	溶脱NO <sub>3</sub> -N量 mg	溶脱Ca量 mg	浸透水量 mm
かん水量 a 30 mm/回	856**	874**	514**
かん水量 a 50 mm/回	1,912**	2,176**	1,098**
施肥N量 b 1.4 g/区	1,001**	1,162**	804
施肥N量 b 2.8 g/区	1,767**	1,888**	808
施肥法 c 局所施肥	1,459*	1,613**	801
施肥法 c 全面全層施肥	1,309*	1,437**	811
石灰量 d 4.4 g/区	1,436	1,569	803
石灰量 d (CaO) 16.0 g/区	1,332	1,481	809
交互作用 a × b	**	**	

NO<sub>3</sub>-N濃度 (mg/l)



第48図 浸透水中の硝酸態窒素濃度変化

かん水回数

での溶脱窒素量および溶脱石灰量、浸透水量を示した。この場合30mmかん水では総かん水量900mm、50mmかん水では総かん水量1500mmであった。

溶脱窒素量におよぼす要因解析の結果は、かん水量50mm/回>30mm/回(1%)、施肥窒素量2.8g/区>1.4g/区(1%)、局所施肥>全面全層施肥(5%)で有意差が認められた。しかし、第46表により溶脱窒素量は1回かん水量30mmと50mmでは溶脱におよぼす影響は少ないことから、1回かん水量の多少よりもかん水総量に規制されると考えられる。

溶脱石灰量にあたる影響は、窒素の溶脱要因と同様の傾向がみられた。

第48図には、本試験の結果から、石灰多施用条件下で窒素を局所施肥した場合の浸透水中の硝酸態窒素濃度変化の一例を図示した。

これを見ると、50cm土層間を溶脱する施肥窒素の溶脱開始は、1回かん水量30mm、50mmには無関係に約420~450mm(30mm×14回、50mm×9回)のかん水後に開始され、溶脱した硝酸態

窒素濃度のピークは約900mm(30mm×30回、50mm×18回)かん水時に観察された。これは、施肥窒素量および1回かん水量の多少にかかわらず、同様のパターンを示した。

## II 実験2 土壌の違い、施肥法、厩肥施用等の影響について

Iの実験から、施肥窒素の溶脱は同一土壌、同一施肥量では、かん水強度よりもかん水総量により影響されるという結果が導かれた。

実験IIではさらに土壌の違い、窒素の施肥法および厩肥施用の有無を要因として取り上げ、栽培条件下(陸稲)および裸地条件下で、それぞれL<sub>1</sub>。直交表によりこれらの諸要因を組み合わせて多因子実験を実施した。

### 1 調査方法

#### 1) 試験区の構成

Iと同様、降雨を遮断したアミ室内に、直径30cm、高さ60cmの小型ライシメーターを16基設け、第48表に示すような処理内容で試験を行った。

第48表 試験区の構成

水準	因子	土 壤	厩 肥	施 肥 法	作 物 栽 培	備 考
1	黒色火山灰土壌	無 施 用	全 量 元 肥	陸 稲 栽 培	①陸稲(品種、ナスコガネ) ②施肥はN(硫安)、P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (過石)K <sub>2</sub> O(硫加)を用いた。	
2	沖 積 土 壌	施 用	3 回 分 施	裸 地	③厩肥のT-Nは風乾物当たり1.55%	

#### 2) 供試土壌の理化学性

供試土壌の理化学性は第49表、第50表に示したとおりである。

これらの土壌を各区当り、黒色火山灰土壌は40Kg、沖積土壌は47Kg充填し、適時かん水後、土壌が落ちついた状態になってから試験を開始した。



畑地からの窒素の流出に関する研究

第 49 表 供試土壤の理学性

	粗 砂	細 砂	砂 合 計	シルト	粘 土	土 性
黒色火山灰土壤	12.5 %	35.2 %	47.7 %	37.7 %	14.6 %	L
沖積土壤	20.0	48.4	68.4	20.2	11.4	F S L

第 50 表 供試土壤の化学性

	p H		E C m S / cm	T - N %	T - C %	置換性塩基 mg / 100 g			C E C me	N O <sub>3</sub> -N mg / 100 g
	H <sub>2</sub> O	K C l				CaO	MgO	K <sub>2</sub> O		
黒色火山灰土壤	5.5	4.6	0.170	0.49	3.62	192.5	14.0	38.7	23.0	1.20
沖積土壤	5.5	4.3	0.146	0.08	0.44	139.3	17.2	51.8	10.0	0.08

3) 耕種概要

供試作物は、陸稲（品種、ナスコガネ）とした。

施肥方法は、各区当り全量元肥区は窒素（硫酸）2.1 g / 区、リン酸（過石）1.7 g / 区、カリ（硫加）3.0 g / 区とし、6月7日に施肥し、3回分施区は、元肥に窒素 0.7 g / 区、リン酸 1.7 g / 区、カリ 0.9 g / 区を、追肥には播種後40日目に窒素 0.7 g / 区、68日目に窒素 0.7 g / 区、カリ 1.3 g / 区を施肥した。

なお厩肥は、風乾後粉碎して、5 mm のふるいを通した試料を各区当り、250 g 施用した。

この厩肥の窒素成分は、風乾物で 1.55 % であることから、厩肥からの供給窒素量は 3.88 g /

区であった。

陸稲は、芽出し後 6月9日に各区 3粒播種し、収穫は10月18日に行った。

4) かんがい水質およびかん水方法

かんがい水の水質は第51表に示したとおりである。

かん水は、原則として、5日間断50mm / 回とし6月10日から開始したが、生育の最盛期には、5日間断70mm / 回とした。かん水は、作物体収穫後も続け、総かん水量が 2000 mm となった時点（12月22日）で中止した。

裸地区についても同様にかん水を行い、浸透水中の硝酸態窒素量を調査した。

第 51 表 かんがい水水質 ( mg / l )

p H	E C μ S / cm	N O <sub>3</sub> -N	K <sup>+</sup>	C a <sup>++</sup>	M g <sup>+</sup>	N a <sup>+</sup>	C l <sup>-</sup>	S O <sub>4</sub> <sup>--</sup>
6.3	127	2.99	0.84	3.77	3.11	7.93	15.80	9.50

( 52年度の平均値 )

2 調査結果

1) 陸稲の生育収量と窒素の吸収量

陸稲の生育収量と窒素の吸収量を第52表に、またこれらにかかる要因解析結果を第53表に示した。

陸稲のもみ収量にかかる要因解析の結果から、土壌および施肥法に有意差が認められ、土壌で

は沖積土壌が、施肥法では3回分施がすぐれていた。

窒素の吸収量については、陸稲の生育収量が反映して、土壌では沖積土壌>黒色火山灰土壌(5%)施肥法では、3回分施>全量元肥(5%)であった。

第52表 陸稲の生育収量と窒素の吸収量

処 理	生 育 収 量						N 吸 収 量					
	8 月 8 日		収 穫 期			(g/区)		(mg/区)				
土 壤	肥 施	肥 法	草 丈 (cm)	茎 数 (本/区)	稈 長 (cm)	穂 長 (cm)	穂 数 (本/区)	わ ら 重	も み 重	わ ら	も み	計
黒色 火山 灰土 壌	無施用	全量元肥	90	39	97	26	39	75	80	1,060	558	1,618
		3回分施	98	62	96	22	50	110	92	1,080	786	1,866
	施 用	全量元肥	91	32	85	23	32	70	66	827	544	1,371
		3回分施	97	55	92	24	46	92	90	1,303	797	2,100
沖 積	無施用	全量元肥	100	72	101	23	52	114	93	1,116	770	1,886
		3回分施	94	67	97	23	57	117	125	1,275	714	1,989
土 壌	施 用	全量元肥	92	68	104	23	55	134	97	1,036	850	1,886
		3回分肥	90	50	100	23	47	100	106	1,359	668	2,027

第53表 陸稲の生育収量と窒素吸収量に関する要因解析

要 因	稈 長 cm	穂 長 cm	穂 数 本/区	わ ら 重 g/区	も み 重 g/区	N 吸 収 量 mg/区	
							土 壤
土 壤	黒色火山灰土砂	93*	24	42*	87**	82**	1,739*
	沖積土壌	101*	23	53*	116**	105**	1,947*
肥 施	無 施 用	98	24	50	104	98	1,846
	施 用	95	23	45	99	90	1,840
肥 法	全 量 元 肥	97	24	45	98	84**	1,690*
	3 回 分 施	96	23	50	105	103**	1,996*

畑地からの窒素の流出に関する研究

2) 窒素の溶脱量

各処理区における硝酸態窒素の溶脱量と浸透水量を第54表にその要因解析結果を第55表に示した。

その結果、栽培区では、土壌（火山灰土壌 > 沖積土壌）、厩肥（施用 > 無施用）、施肥法（全量元肥 > 3回分施）について有意差（1%）が認められた。

3回分施区が全量元肥区より窒素の溶脱が少なかったことは、陸稲による窒素の吸収量が多かったことに起因していると思われる。また黒色火山灰土壌 > 沖積土壌の差は、陸稲の窒素吸収量の差に依ることが大きいですが、試験開始時に、供試土壌中の硝酸態窒素含量が黒色火山灰土壌は、沖積土壌の約10倍含んであったことが両者

の差をさらに拡大したものと考えられる。このことは裸地区においても同様な傾向を示していることから裏づけられる。

モデルは場調査結果では、堆肥の施用は、溶脱窒素量を軽減する効果がみられたが、本試験では、むしろ溶脱量は増加した。これは、モデルは場に使用した堆肥は水積み堆肥であったが、本試験で用いた厩肥は一般の堆厩肥に比べて<sup>18)</sup>窒素含量が高く、またモデルは場に比べ多施用であったこと等が影響したものである。

浸透水量では、裸地区において、各処理区に有意差が認められないことから、栽培区における処理間の差は、地上部の生育量の影響をうけているものと思われる。

第54表 窒素の溶脱量と浸透水量

処 理	溶脱窒素量 (mg/区)		浸透水量 (mm/区)			
	栽培区	裸地区	栽培区	裸地区		
黒色火山灰土壌	無施用	全量元肥	1,095	3,032	930	1,505
		3回分施	557	3,230	799	1,493
	施用	全量元肥	1,471	3,362	1,053	1,523
		3回分施	778	3,208	820	1,490
沖積土壌	無施用	全量元肥	326	2,615	732	1,467
		3回分施	303	2,835	650	1,496
	施用	全量元肥	575	2,970	661	1,468
		3回分施	438	2,765	834	1,527

第55表 窒素溶脱に関する要因解析

要 因	溶脱窒素量 (mg/区)		浸透水量 (mm/区)		
	栽培区	裸地区	栽培区	裸地区	
土 壤	黒色火山灰土壌	975**	3,208**	901**	1,502
	沖積土壌	411	2,797	719	1,490
厩 肥	無 施 用	570**	2,928	778*	1,490
	施 用	816	3,076	842	1,502
施肥法	全 量 元 肥	867**	2,995	844*	1,491
	3 回 分 施	519	3,009	776	1,501

第49図、第50図に、栽培区および裸地区における厩肥無施用区の土壤浸透水中の硝酸態窒素濃度の変化を图示した。

栽培区では、陸稻の生育量に対応し、最高分けつ期頃から、火山灰土壤の全量元肥区を除き、浸透水中の硝酸態窒素濃度は、 $1\text{mg}/\ell$ 以下になりこの状態が収穫期まで続いた。

火山灰土壤の全量元肥区で、生育中期までに $30\text{mg}/\ell$ 以上の硝酸態窒素濃度が持続したのは、第52表に示すように、他区に比べ生育量が劣っていたため、十分な施肥窒素の利用が行なわれなかったためと推察された。

収穫後は、全区ともやや濃度が上昇し、 $5\sim 10\text{mg}/\ell$ 程度で経過した。

これに対し、裸地区では、浸透水中に施肥窒素の影響がそのまま現われた。

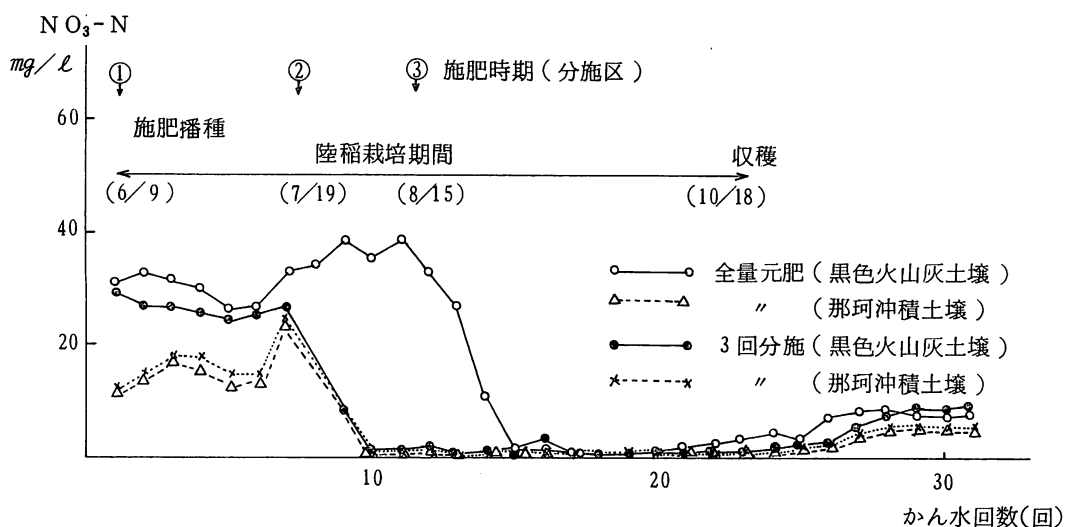
裸地区の全量元肥区では、施肥後60日目頃（ $600\sim 700\text{mm}$ かん水時）から、溶脱された硝酸態窒素の濃度ピークが現われ、火山灰土壤で

は $86\text{mg}/\ell$ 、沖積土壤では $100\text{mg}/\ell$ で以後急速に低下し、積算かん水量 $1200\text{mm}$ 時に、両土壤区ともほぼ一定の $10\text{mg}/\ell$ 前後の値に安定した。

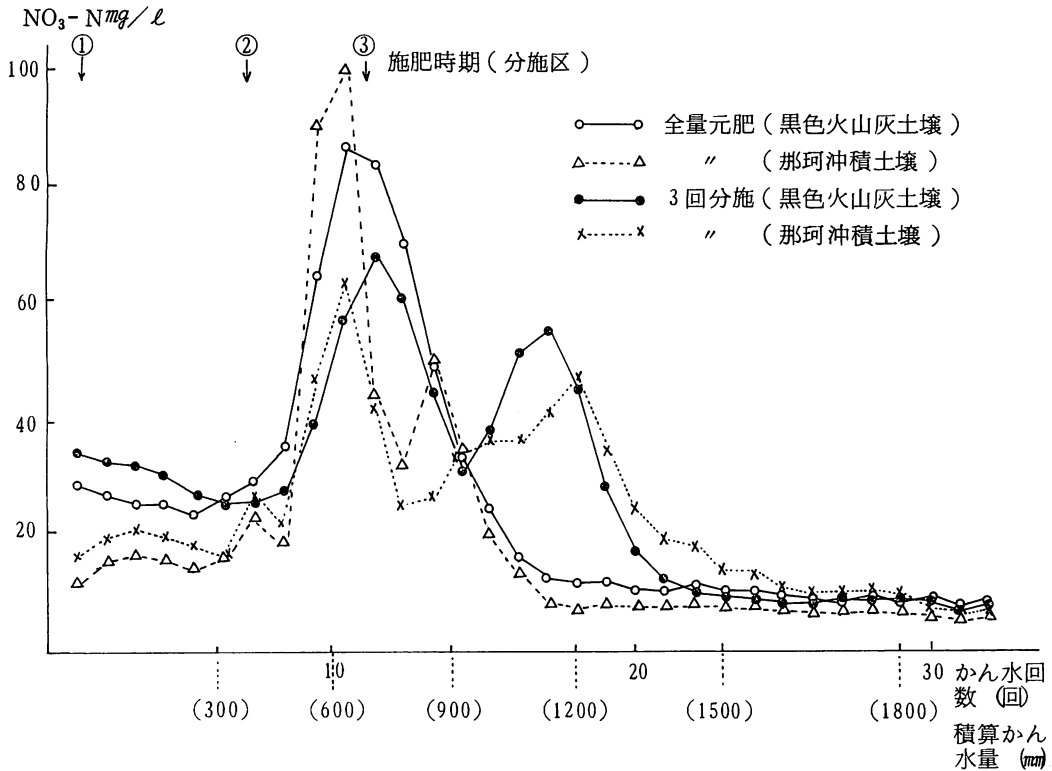
3回分施区では、全量元肥区同様、 $600\sim 700\text{mm}$ かん水時に第1回目のピーク（火山灰土壤で $67\text{mg}/\ell$ 、沖積土壤で $64\text{mg}/\ell$ ）が現われ、その後第2回目のピークは、 $1000\sim 1200\text{mm}$ かん水時にあらわれたが、火山灰土壤 $55\text{mg}/\ell$ 、沖積土壤 $47\text{mg}/\ell$ で1回目のピーク時よりやや濃度は低下していた。

また3回に分けて施肥したにもかかわらず両土壤区とも濃度のピークは2回しか現われなかった。なお $10\text{mg}/\ell$ 前後の一定濃度になるには $1600\text{mm}$ 以上のかん水が必要であった。

これらの結果によれば、栽培作物の有無については裸地区 $\gg$ 栽培区であることから、作物体の土面被覆が、溶脱量を少なくする第1の要因であろうと考えられる。つぎに、同一施肥量の



第49図 土壤浸透水中硝酸態窒素濃度変化(栽培区)



第 50 図 土壤浸透水中硝酸態窒素濃度変化 (裸地区)

栽培区では、溶脱窒素量が、地上部の生育量に左右され、生育量の劣るものほど溶脱量が増加する傾向がみられた。このことは作物体の窒素利用率を高めることにより、溶脱量を軽減させることが出来ることを示しており本試験においては、分施肥の方がその効果が認められた。

土壤の違いについては、栽培区、裸地区とも黒色火山灰土壌>沖積土壌であるが、供試土壤の窒素含量の違いが大きく関与しているものと推察された。

厩肥の施用による影響については、作物体の収量および窒素吸収量に有意差は認められなかったが溶脱窒素量で、施用区の方が増加していた。これは、厩肥からの供給窒素量そのまま溶脱量につながったと考えられるが、裸地区で

その差が認められないことから、この点については今後の検討が必要と思われる。

### III 考 察

この章において、窒素の溶脱に関する要因解析を行なったが、大きく分けて、1. 作物体の土面被覆 2. かん水量(降水量) 3. 土壤の違い 4. 施肥法に類別でき、その解析結果を第56表に示した。

これら、溶脱におよぼす因子の強度については、早瀬<sup>10)</sup>が、植物被覆>土壤の粘土含量>水の透過性>養分の供給量>養分の移動性と固定>肥料の種類(Czeratzki)の例をあげて、くわしく解析している。

施肥窒素の溶脱量を抑制するには、浸透水量

第56表 窒素溶脱に関する要因強度の比較

要因	裸地区	栽培区
土 壤	黒色火山灰土壌 ＞沖積土壌	黒色火山灰土壌 ＞沖積土壌
かん水量	多	少
施 肥 量	多	少
施 肥 法	局所施肥＞ 全面全層施肥	全量元肥＞ 3回分施
厩 肥 施 用	＝無施用	＞無施用
石 灰 量	多	少

を少なくすることと、土壌中の残存窒素量を少なくすることが基本となる。

そこで本試験の結果をもとに土壌中の施肥窒素残存量を少なくする観点からの肥培管理のあり方を整理してみると、施肥量については、各作物の吸収量、利用率等を考慮した適切な量とし、施肥法としては、作物体の利用率を高めるために、各作物の窒素吸収パターンに応じて分施する追肥重点の施肥を行うことが好ましいといえる。

また、有機物の利用では、比較的C/N比の低い豚ふん等は、多施用および投棄的な施用のないよう注意すべきであろう。

## 第 6 章 総合考察

## I 窒素の流出に関する広域調査およびモデルほ場調査結果の比較

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、窒素を中心として広域畑ほ場とモデルほ場に別けて、48年から5年間にわたり調査した。

広域畑ほ場からの窒素排出量は、本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、これと広域畑ほ場における窒素排出量とを比較して第57表に示した。

広域調査結果から、広域畑ほ場(35.2 ha)では、施肥窒素として52.6Kg/ha/年、雨から

第 57 表 年間流出窒素量の比較

要 因	単 位	広 域 調 査	モ デ ル ほ 場 調 査		
			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	34.25	59.50
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
排 出 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。

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

$$(3) \text{施肥排出率(\%)} = \frac{\text{施肥排出量〔溶脱量〕}}{\text{施 肥 量}} \times 100$$

4.7 Kg/ha/年の計 57.3Kg/ha/年の供給量に  
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 4.8 Kg/ha/年、標準施肥区 75.8Kg/

ha/年、多肥区 149.5 Kg/ha/年であった。

無窒素区からの溶脱量 4.8 Kg/ha/年を無施肥  
土壌からの自然排出窒素量とみて、広域畑ほ  
場からの施肥排出量を差し引き法により求める

と13.4Kg/ha/年であり、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差し引き法により求めると、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。これを広域畑ほ場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、まず施肥窒素量の差が考えられる。広域調査地区では普通畑作(陸稲、落花生、大豆、麦類等)中心であるのに対し、モデルほ場では、野菜作(トウモロコシ、ハクサイ、ダイコン、ニンジン等)が中心であり、施肥量を多く必要とした。またモデルほ場では、溶脱パターンを知る目的で全量元肥で施肥しているため、作物体による吸収効率が悪かったことも原因していると考えられる。

第二には、調査対象面積、および土地利用状況の違い等が考えられる。モデルほ場では、1区の面積は2.5aであるのに対し、広域調査では、調査対象面積35.2haであるが、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。このため広域調査地区内における施肥窒素量は、畑ほ場17haに対しては平均1850Kg/年(108.8Kg/ha/年)であったが、調査対象面積(35.2ha)に対しては計算上52.6Kg/ha/年となり、未耕地を含めた広域畑ほ場からの流出量は、モデルほ場のような一筆畑ほ場に比べかなり少なくなる。

しかし、施肥窒素量に対する割合でみると広域畑ほ場では、施肥排出率25.5%、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。

なお、我国では畑地の施肥窒素溶脱量に関する調査事例は少ない。早瀬<sup>19)</sup>が外国文献を中心に数種の畑ライシメーターでの調査結果をまとめておりこれによると栽培区における溶脱量は21~72Kg/ha/年、施肥溶脱率は1~10%と巾があり栽培条件の違いによる変動が大きい。また無窒素区での溶脱量は16~22Kg/ha/年であった。

また浅野、谷田沢<sup>20)</sup>が既述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(陸稲、麦類、かんしょ、じゃがいも、豆類の5作物)栽培では、19.4Kg/ha/年であり、野菜(葉菜、根菜の10品目)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広域畑ほ場からの流出窒素量(排出窒素量)18.2Kg/ha/年と野菜栽培中心のモデルほ場からの流出窒素量(溶脱窒素量)75.7Kg/ha/年と近似している。

畑地からの施肥窒素の流出率は、栽培作物施肥量、土地利用形態等により異なるが、本調査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、これらの値は田淵<sup>21)</sup>のいう発生負荷であり、これがどのような経過でどの程度河川、湖沼へ流出し、陸水の富栄養化に影響をおよぼすのかという点については、今後の検討課題であろう。

## II 流出窒素量の年次変化

広域調査およびモデルほ場調査において、排



## 畑地からの窒素の流出に関する研究

出窒素量、溶脱窒素量とも年々増加している。このことはたまたま調査期間中の降水量が年々増加し、それにともない浸透水量が増加したことも原因の一つと考えられるが、同時に年々の窒素施肥に伴う土壌残存窒素量の増加とも関連があると考えられる。

土壌中に残存した施肥窒素は、その約20%が表層から10cm以内に有機態として存在し、残り約80%が作土下であり、その大部分が硝酸態窒素であろうと考えられ、このような分布状態からして、作土下に残存する窒素は土壌浸透水の影響をうけ、さらに下層へ移行し、次作物により吸収再利用される可能性は少ないものと考えられる。

重窒素利用枠試験によると土壌中に残存する窒素の降下速度は第38図にみられるように、表

層下80cm以内の土層内では溶脱窒素のピーク部位は降水量100mmに対して約10cmの降下が認められまた第41図にみられるように1mより深い土層内では、硝酸態窒素の溶脱ピークは降水量約1,000mmに対しおよそ30cmの降下が認められた。

このことから下層に溶脱している窒素が次作物による吸収、有機化、脱窒、土壌吸着等の作用を受けない限り、施肥を繰り返すことにより各施肥窒素は下層に移行して行く過程で累積し、土壌浸透水中の硝酸態窒素濃度は施肥時期、降雨時期、地下水位の変動等の影響をうけて、第33図にみられるように、ある周期をもって徐々にではあるが年々高まるものと考えられる。しかしながら、これらの点については、未解決の点が多く、今後の検討課題として残されよう。

## 第7章 摘要

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広域畑は場下の地下水水質調査を中心とする広域調査、および一筆畑は場における施肥窒素の溶脱に関する調査を中心とするモデルは場調査を48~52年度の5年間にわたり実施した。

要約すると以下のとおりである。

### I 広域調査

#### 1 上国井地区

(1) 本地区は火山灰台地上にあり調査対象面積は約35haである。このうち畑は場面積は17haを占め、普通畑作物および飼料作物栽培が14ha、野菜作栽培が3haであった。

地区内4カ所の井戸水を対象に水質等の調査を行った。

(2) 施肥実態は耕地に対して年間およそ窒素110 Kg/ha、リン酸180 Kg/ha、カリ120 Kg/haであり、施肥時期は4月から6月に集中しており、この間に年間施肥量の70%以上が施用されていた。

調査地区全体の窒素施用量は化学肥料から1500 Kg、堆厩肥等の有機物から350 Kgであり、年間1850 Kg前後であった。

(3) 平均気温は13.0℃、年間降水量はおよそ1300 mmであり毎年梅雨期(6~7月)台風期(9~10月)にまとまった降雨がみられた。

(4) 地下水位は地表下2.5~5.5 mの範囲にあり、5月中旬から急速に上昇し、6~7月頃最高になり、以後次第に低下し、3月頃最低値を示すパターンをくり返し半月60 mm以上の降雨があった場合は地下水位の一時的な上昇がみられた。

地下水の流動方向は調査地区北東部から南西部のセツ洞池に向い流れていることが認められた。

(5) 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、亜硝酸態はほとんど検出されなかった。

地下水中の硝酸態窒素濃度は0.5~3.5 mg/lの範囲内にあり、平均2.2 mg/lであり、各井戸水の硝酸態窒素濃度はいずれも毎年上昇する傾向がみられた。

(6) リン酸はほとんど検出されず、カリについては、0.6~1.1 mg/lの範囲内であった。

地下水中の各溶存イオンについて、モル濃度の高い順に示せば、 $Cl^- > Na^+ > NO_3^- > Mg^{++} > Ca^{++} > SO_4^{--} > K^+ > NH_4^- > NO_2^-$ であった。

また、これらのイオン濃度は調査地区下を地下水が流れるにしたがい累積的に高まる傾向がみられた。

(7) 雨水の窒素(無機態窒素)濃度は、平均0.64 mg/lであり、年間降水量を1300 mmとすれば、本地区における降雨からの窒素供給量は4.7 Kg/ha/年であった。

(8) 本地区の地下水流動量はおよそ1400 m<sup>3</sup>/日、調査地区に流入する地下水量は毎年47万トン前後、流出水量はその年の降水量に影響され、52~60万トンであった。

(9) 本地区からの年間排出窒素量を試算すると、地下水からの流入負荷量は1648 Kg/ha流出負荷量は34.65 Kg/haであり、差し引き計算による排出窒素量は18.17 Kg/haとなった。

## 畑地からの窒素の流出に関する研究

### 2 上河原崎地区

(1) 本地区は、野菜栽培が中心であり、年間施肥窒素量はおよそ30Kg/10aで多く、その他に豚ふんの施用も行なわれていた。

(2) 地下水中の窒素濃度は、硝酸態窒素で平均19.70 mg/l、最高27.4 mg/lが検出された。

上国井地区同様、EC値、硝酸態窒素濃度は、地下水が流れるにしたがい高まる傾向がみられた。

### 3 三反田地区

(1) 本地区は古くからのサツマイモ、落花生の産地であり、普通畑作物栽培が中心であり、年間の施肥窒素量はおよそ10Kg/10aであった。

(2) 地下水中の窒素濃度は、硝酸態窒素で平均10.9 mg/l、最高値は23.1 mg/lであった。

## II モデルほ場調査

(1) モデルほ場は、1区2.5aで傾斜角3°に調整し、表面流去水および1m部位の土壤浸透水が採取できるようにビニールシート、U字溝を埋設し造成した。

試験区は、無窒素区、標準施肥区、堆肥10t+標準施肥区、多肥区の4区であり、4年間7作物を供試して調査を行った。

(2) 施肥窒素量は、年間平均で標準施肥区34.25 Kg/10a、多肥区59.50 Kg/10aであり、施肥は全量元肥で行った。

(3) 作物の収量は常に多肥区が高く、ついで標準施肥区、無窒素区の順であった。作物体の窒素吸収量は各区の生育量を反映して、多肥区29.22 Kg/10a/年、標準施肥区25.45 Kg/10a/年、無窒素区6.12 Kg/10a/年であり、差し引き法による利用率は標準施肥区56.5%、多肥区38.8%であった。

(4) 土壤浸透水の採水可能期間は、ほぼ4月~10月までの半年間に限られ、また半旬25~30mm以上のまとまった降雨がなければ採水できなかった。

年間土壤浸透水量は年降水量の22.8%であり両者の間には高い相関( $r = 0.951$ )がみられた。

(5) 土壤浸透水中の窒素は大部分が硝酸態窒素であり、浸透水は連続して採水できたわけではないがその濃度は波状の周期をもって変動し年々徐々にではあるが高まる傾向がみられた。

溶脱窒素量は標準施肥区7.57Kg/10a/年、多肥区14.95 Kg/10a/年、無窒素区0.48Kg/10a/年であった。

施肥窒素の溶脱率を差し引き法により求めると、標準施肥区16.0~20.7%、多肥区24.3%であった。

(6) 表面流去水の発生は4年間で21回あり、この場合の10分間最大降水量はいずれも2.1mm以上であった。

表面流去窒素量は標準施肥区0.06~0.09 Kg/10a/年、多肥区0.07Kg/10a/年、無窒素区0.02Kg/10a/年であり、溶脱窒素量に比べてきわめて少なかった。

(7) 跡地土壤における土壤残存施肥窒素は施肥窒素量に対し、標準施肥区で17.8%、多肥区で25.6%であった。

土壤に残存した施肥窒素のうち、20~30%は表層10cm間に有機化された形で存在し70~80%は作土下に硝酸態窒素の形で残存しているものと推察された。

また、土壤中を移行する施肥窒素の溶脱ピークは表層から80cm土層間では100mmの降水量に対し、10cmの降下が認められた。

(8) 生豚ふん5 t/10 a施用区では増収の効果が認められたが、反面供給窒素量の増加にともない初年目14.6Kg/10 a/年の窒素の溶脱が認められた。

(9) モデルは場における施肥窒素収支は、施肥量100.0とした場合標準施肥区では、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, 不明窒素(脱窒を含む)4.9であり、多肥区では、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, 不明窒素(脱窒を含む)11.2であった。

(10) モデルは場における水収支は、降水量100.0とした場合、蒸発散量(不明水分含)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。

### Ⅲ 窒素の溶脱に関する要因解析

(1) 小型ライシメーター(直径30cm, 深さ60cm)を用いて、窒素の溶脱に関する要因解析を行った。

(2) 窒素の溶脱は同一土壌, 同一施肥量の場合, かん水強度よりも, かん水総量の影響をうけ, 総かん水量の多い区の方が溶脱量は多くなった。

(3) 施肥法については, 局所施肥>全面全層施肥(裸地区), 全量元肥>3回分施であり, 窒素の溶脱量に差が認められた。

(4) 土壌の違いについては, 黒色火山灰土壌>沖積土壌であり, 供試土壌の窒素含量に影響をうけたものと思われる。

(5) 作物栽培の有無については, 裸地区>栽培区であり, 作物体の吸収窒素量および土面被覆の有無に影響をうけたと考えられる。

なお, 栽培区だけみれば, 作物体の利用

率が高くなるような処理要因を組み合せた区ほど溶脱窒素量は減少した。

### 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) 諏訪湖浄化対策研究委員会(1968) 諏訪湖浄化に関する研究
- 3) 土木学会(1972) 琵琶湖の将来水質に関する調査報告書 昭和46年度
- 4) 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.
- 5) 川口菊雄・鈴木義彦・大長正文(1972) 砂質土壌における養水分の行動と土壌管理に関する研究, 静岡農試研報第17号: 48~54
- 6) 石橋豊・田辺邦美・内藤利貞・林弘宣(1970) 農業水利演習I, 農業水文, コロナ社: 178~191
- 7) 永井恭三・村岡真知子・老田実(1975) 茨城県阿見町における飲料用井戸水の無機窒素含量の年間の変化について, 茨大農学術報告第23号: 59~63
- 8) 平山力(未発表)
- 9) 茨城県(1968) 高須賀地区畑作振興深層地下水調査事業調査報告書
- 10) A シリン, ベクチューリン, 福田仁志訳(1963) 灌漑地の水収支, 東大出版会: 44~63
- 11) 茨城農試(1979) 土壌汚染機構解析調査報告書 昭和52年度

畑地からの窒素の流出に関する研究

- 12) 上村春美・五十嵐正次・渋谷勤治郎(1973) 斜面ライシメーターにおける水収支の研究 農土試技報, A 第9号: 1~17
- 13) 古畑哲・井上隆弘(1978) 環境保全的土地利用の基準に関する研究, 農林漁業における環境保全的技術に関する総合研究(第5年度): 59~80
- 14) 赤塚恵・杉原進(1970) 畑における施肥窒素の行動とくにその有機化と無機化について, 土肥誌 41-8: 314~318
- 15) 山根一郎(1972) 土壌学の基礎と応用, 農文協: 206~212
- 16) 小松鋭太郎・友部弘道・松田明・石川昌男(1976) 野菜栽培における豚ふんの積極的利用〔I〕農及園, 51-8: 1027~1030
- 17) 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, 農土試技報 A 第7号: 17~33
- 18) 橋元秀教・石川実(1964) 堆厩肥の成分組成に関する研究, 茨城農試研報, 第6号: 1~30
- 19) 早瀬達郎(1973) 肥料と環境保全, 化学工業, 3月号: 37~51
- 20) 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
- 21) 田淵俊雄(1975) 農地排水と水質汚濁, 農土誌 43-8: 525~529

茨城県農業試験場特別研究報告第4号

---

昭和54年3月15日 印刷

昭和54年3月20日 発行

発行者 茨城県農業試験場  
茨城県水戸市上国井町 (〒311-42)  
電話(水戸)0292-39-7211

印刷者 新生プリント社  
宮崎利安  
茨城県水戸市見川二丁目28-18

---

Content

Studies on Leaching of Fertilizer Nitrogen from the Upland Field of Volcanic Ash  
Soil,

.....Yoshio OGAWA, Minoru ISHIKAWA, Mitsugu YOSHIHARA

and Masao ISHIKAWA