

やさい栽培畑からの肥料成分の流出

小山田 勉・酒井 一・津田 公男*

Outflow of Fertilizer Nutrients From the Vegetable Field

Tutomu OYAMADA, Kuni SAKAI, Kimio TUDA

閉鎖系湖沼の富栄養化による汚濁が問題となっているが、農地から流出する栄養塩類もその一因とされている。

そこで、広域やさい栽培畑ほ場を対象に肥料成分の流出について調査検討した。その結果、肥料の三要素成分のうち、窒素が流出しやすく、施肥量の21～28%が流出することが推定され、リン・加里は窒素に比しきわめて小さいことが確認された。

I 緒 言

近年、霞ヶ浦をはじめ、公共用水域の富栄養化による汚濁が進み各種の利水障害の発生が目立っている。

そこで県は「霞ヶ浦の富栄養化の防止に関する条例」(昭和56年)を制定し、工場・事業所に対する排水規制、有リン洗剤の使用禁止により窒素・リンの流入削減をはかることとした。

また、これ以外の農地排水、水産養殖、家畜ふん尿、家庭雑排水についても適正管理に基づく排出抑制を義務づけている。

県水質審議会が答申(中間¹⁾)した霞ヶ浦に流入する栄養塩類のうち全窒素は11.64トン/日と推定し、このうち農地排水由来のものは2.76トン/日で全体の23.7%である。

リンの流入量は1.25トン/日と推定しこのうち0.1トン/日を農地由来のものとしている。

すなわち、霞ヶ浦の流域面積1,949.4 km²のうち農地面積はおよそ1,000 km²で全流域の51.3%と広大であることから農地からの栄養塩類の負荷は無視できない。

また、最近の農業は機械化による化学肥料の多施、家畜ふん尿の投棄の多投等による農地への窒素・リンの施

用量が多く、これも農地からの負荷を大きくする要因となっている。

農地からの窒素・リン流出についての研究は、水田に関しては数多く見られる。しかし、畑地については小川ら²⁾がモデルほ場で種々調査している程度でその他の事例は少ない。

そこで、筆者らは畑地から公共用水域への窒素・リン負荷の実態を明確にするため、県西部の露地やさい栽培広域畑において調査・検討を加えた。その結果若干の知見が得られたので報告する。

なお、本調査は環境庁からの受託研究(土壌環境保全基礎調査)の一環として、昭和57年及び58年の2か年にわたって行ったものである。

II 調査地区の概要と調査方法

1 調査地区の概要

1) 調査地区の概要

調査箇所は県西部の結城郡八千代町東落田地区内であり、露地やさい栽培を中心とした典型的な畑作地帯である。

調査対象地区は、八千代町南東部に位置し東側に鬼怒川、西側に飯沼川にはさまれた標高約25mの火山灰台地である。

* 現茨城県畜産試験場

地形は凹地であり、かつては地下水位が高く、少しの降雨で冠水し湿害の常習地であった。そこで、昭和52年受益者の共同出資によって幅約1.4 m、深さ最大1.5 m、総延長約700 mの排水路を掘削し、地表水の排除ならびに地下水位の低下をはかった。これによって現在は湿、冠水害もなくやさい栽培の適地となった。

2) 集水域の範囲と土地利用

本地区の排水が排水路に流入する範囲すなわち集水域を決定するため、同地区の見通しのよい地点に基準点を設置し、レベル測量により土地の高低を明らかにした。これから10cmの等高線図を作成し、地表面の勾配から第1図に示す集水域を決定した。

集水域内の土地利用は第1図及び第1表に示すとおりである。

これによれば、全集水域の面積は16.6 haでありこれの

第1表 集水域の土地利用 (m²)

畑	林地	計
125,347 (75.5%)	40,720 (24.5%)	166,067

75.5%が畑地として利用されている。このほか林地が24.5%あり、樹種は植林による松と松枯れによってできた常緑性のかん木、雑木である。

3) 集水域の土壌

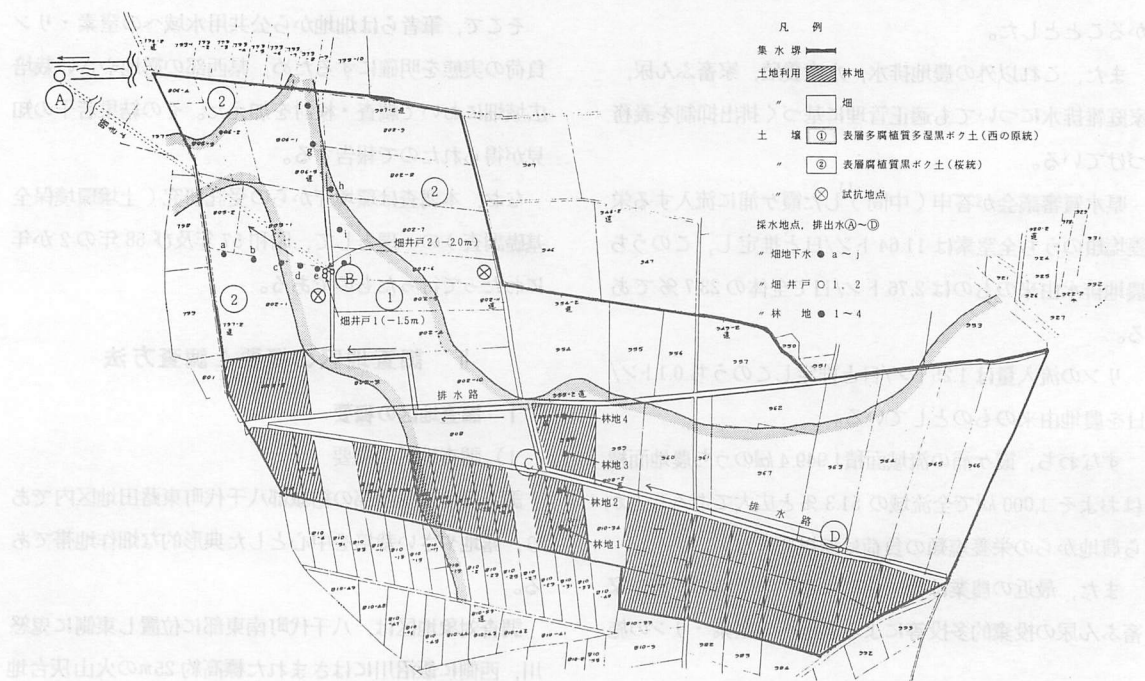
集水域の土壌は、地力保全基本調査による分類基準によれば、表層多腐植質多湿黒ボク土(西の原統)と表層腐植質黒ボク土(桜統)(以下統名で述べる)の二つのタイプに分類され、その分布状況は第1図に示すとおりである。

これによれば、西の原統は桜統に比べ低い場所に分布していることが認められる。両土壌の断面形態については第1図中の地点において試坑調査を行ったが、その結果は第2図のとおりである。また、同地点における土壌の理化学性は第2表のとおりである。

試坑調査の結果から土壌断面をみると、作土の厚さは、両土壌とも20cm程度であり、土性は壤質である。ローム層の厚さは、西の原統が103cmに対して桜統は182cmと厚い。

通称ユナ層といわれる不透水層とされる灰白色粘土層の出現位置は西の原統が103 cm、桜統が198 cmである。

土壌の理化学性については、作土の腐植含有量が西の



第1図 集水域の土地利用、土壌及び採水地点等

やさい栽培畑からの肥料成分の流出

第2表 代表土壌の化学性

(乾土 100 g 当たり)

土 壌 層位	層 厚	pH		EC (mS/cm)	T-N (%)	T-C (%)	C/N	腐植 (%)	CEC (me)	置換性塩基			リン 酸 吸 収係数	有効態P ₂ O ₅ (トルオール) (mg)	NO ₃ -N (mg)	
		H ₂ O	KCl							CaO (mg)	MgO (mg)	K ₂ O (mg)				
表層多腐植質 多湿黒ボク土 (西の原統)	1	0~21	5.6	5.0	0.595	0.38	5.89	15.5	10.1	28.3	184	20	63	1,890	26.0	15.6
	2	21~42	5.5	4.8	0.395	0.37	5.93	16.0	10.2	27.3	153	15	45	2,055	20.8	0.7
	3	42~103	6.0	5.3	0.465	0.07	0.76	10.9	1.3	20.8	126	29	25	2,060	tr	3.5
	4	103~129	5.8	4.6	0.140	0.07	0.79	11.3	1.4	18.3	90	48	9	1,070	"	3.4
	5	129~	5.7	4.2	0.115	0.06	0.60	10.0	1.0	19.6	101	55	9	820	"	2.6
表層腐植質 黒ボク土 (桜統)	1	0~22	5.3	4.7	0.500	0.30	3.18	10.6	5.5	24.0	107	20	68	1,710	62.4	11.3
	2	22~34	5.4	4.8	0.365	0.27	3.21	11.9	5.5	22.6	110	22	42	1,770	72.8	4.0
	3	34~68	6.1	5.6	0.350	0.19	2.01	10.6	3.5	20.8	148	49	50	1,915	2.5	1.9
	4	68~88	6.2	5.7	0.400	0.14	1.76	12.6	3.0	27.9	150	52	52	2,095	tr	2.7
	5	88~	6.2	5.7	0.325	0.16	1.50	9.4	2.6	27.1	111	40	33	2,205	"	6.8

注) 採土 昭58.2・0.5mm篩別

原統の10.1%に対して桜統は5.5%と約1/2である。リン酸吸収係数はローム層では2,000程度であり、黒ボク土の特徴がうかがわれる。

置換性加里、有効態リン酸については、両土壌ともかなり高いことが認められ、やさい栽培土壌の特徴がうかがわれる。硝酸態窒素については、両土壌ともかなり深い層まで認められ、窒素の溶脱の大きさをものがたっている。

4) 作付作物と作型及び作付体系

本集水域内に作付されている作物は、夏作にはプリンスメロン(以下メロンに略)、スイカの果菜類が主体であり、その他ゴボウがわずかに作付されている。秋作は、メロン・スイカの跡作に全面的にハクサイが作付されている。

各作物の作型については、メロンは2月下旬から3月上旬定値のトンネル栽培である。スイカについては、メロンと同様にトンネル栽培であるが定植時期はや遅く3月中旬である。

ゴボウは3月中旬から4月中旬は種の春まきであり、本県ではもっとも多い作型である。

作物の作付体系は、前述のとおり、夏作のメロン、スイカ、この跡地にハクサイが作付されており大部分がこれのくり返しとなっている。

ゴボウはメロンとの組合せが多く、ゴボウ・メロン・ハクサイとなっている。しかし、集水域内におけるゴボウの適地は、地下水位の低い桜統に限られ、ゴボウとの組合せは小面積となっている。

2 調査方法

1) 排出水量

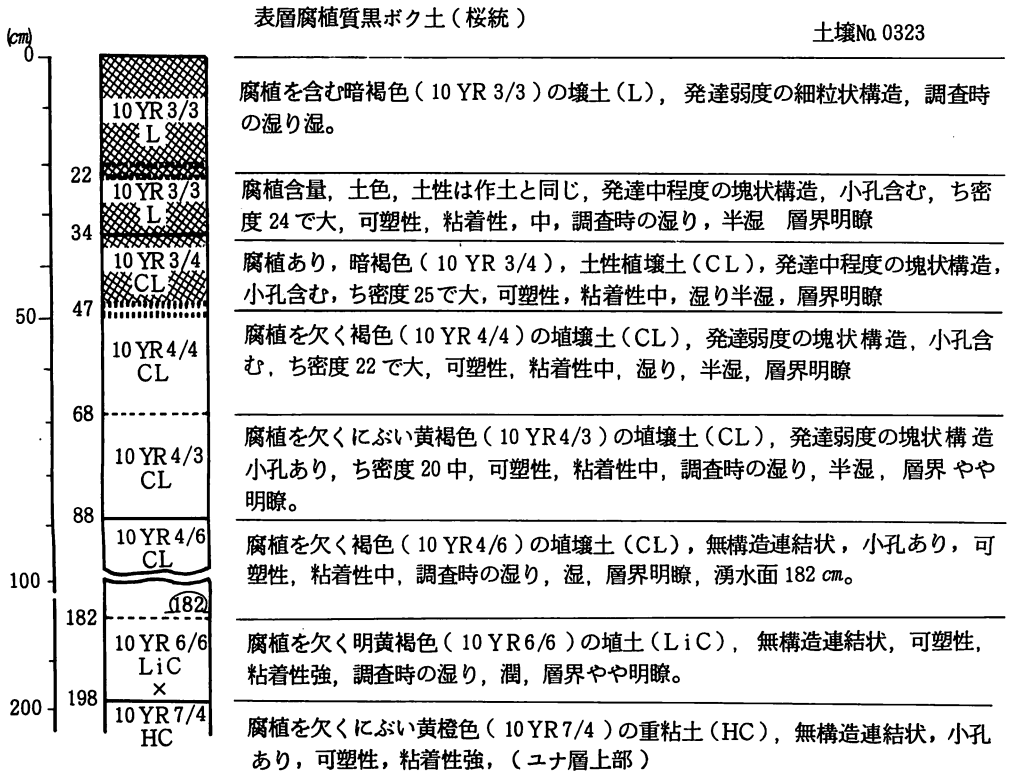
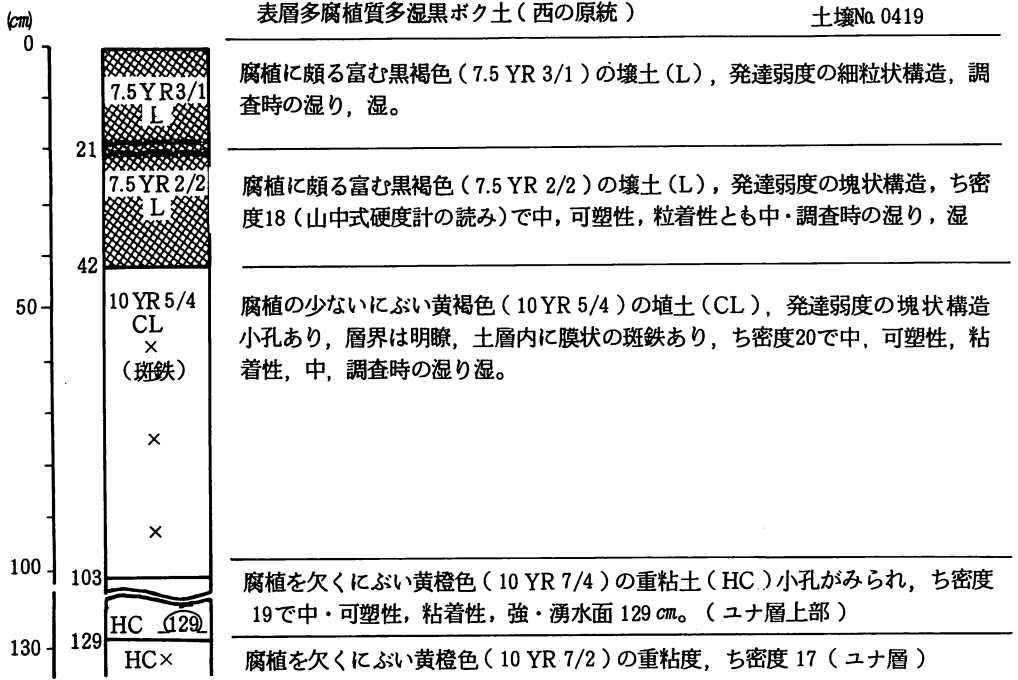
地区からの排出水量は第1図に示すB地点、すなわち排水路末端部に自記水位計を設置し、排水路の水位を連続観測した。そして実測流量とその時の水位との関係から水位・流量曲線を作成し排出水量を求めた。また、58年度は同図A地点で暗きょ末端部に集水ます(200ℓドラム缶)を設置し、これに直径50mmの積算水道計を付けた電動水中ポンプを設置し排出水量を測定した。ただしこの方法による測定はポンプの排水能力に制限され、毎分0.2m³以下の場合にのみ利用した。

2) 採水

57年は第1図排水路B地点から原則として毎月3~4回採水した外、大雨による排水の水質に影響の予想される場合は必要に応じて採水した。

58年はB地点より約340m上流のC地点ならびに560m上流のD地点からの採水を追加した。ただしC、D地点からの採水は月1~2回の採水とした。

3) 地下水の採水法



第 2 図 土壌断面柱状模式図

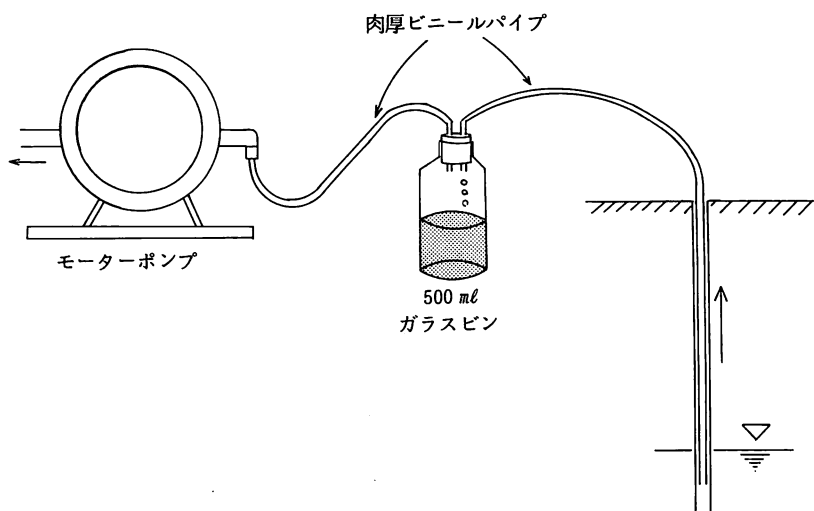
やさい栽培畑からの肥料成分流出

排水路の水質の由来を検討するため地区内の地下水を第1図a～j地点から採水した。すなわち、1.5mの検土丈を用いて深さ1.5m、径1.5cmの穴をあけ、これに肉厚ビニールパイプを静かに挿入し、これに第3図に示す装置で採水した。地下水位が1.5m以下の場合はハンドオーガ

ーで深さ3mの井戸を掘り、これから採水した。

4) 水質分析法

水質分析法はJIS K 0102「工場排水試験方法」³⁾によったが硝酸態窒素についてはイオン電極(オリオン製)によって測定した。



第3図 地下水採水装置

Ⅲ 調査結果並びに考察

1 排出水量

地区の排水路を通じて、域外に流出した月別排出水量及び排出水量を集水面積で除した値、すなわち流出高並びに同地区近隣の下妻市における降雨量を併せて示すと第3表のとおりである。

ただし、57年は5月1日から観測を開始し、排水路の排水が枯渇した11月末日まで観測した。58年は4月21日から観測を開始したがこのときは既に日量約300トンの排出水量であった。以後排水路の排水が枯渇した12月8日まで観測した。

地区からの年間排出水量は、57年53,602 m³、58年56,659 m³と大差のないことが認められる。流出高でみると、57年332.6 mm、58年341.1 mmである。すなわち、2か年の調査期間中における降雨量に対する流出高すなわち流出率(流出高/降雨量×100)は、57年32.6%、58年34.2

%となる。

この流出率については、国土庁、建設省が推定しているが、これによればかなり誤差を含むとしながらも前者は67%、後者は82%と算定され、当地区はこれに比べ半分以下である。また、小川ら²⁾、火山灰畑モデルは場による4か年の試験では、降雨量の22.8%が土壌へ浸透したとしている。さらに渋谷ら⁵⁾は、ライシメーターによる試験から植生、土壌の種類、降雨量の多少によって流出量が異なることを認め、表面流去を含む流出率は40～70%であるとしている。

以上のことから当地区の流出率は低い方に入る。

つぎに、月別排出水量について流出高でみると、57年は6月に33.6 mm、9月に94.5 mmの2時期にピークがみられ、降雨量のピークと重なっている。これに対して、5月、7月が低下している。

58年は、57年に比べ1か月遅れの7月と10月にピ

第3表 降雨量と排出水量

月	昭 . 57			昭 . 58		
	降 雨 量* (mm)	排 出 水 量 (m^3)	流 出 高 (mm)	降 雨 量* (mm)	排 出 水 量 (m^3)	流 出 高 (mm)
4	-	-	-	15	2,767	16.7
5	86	4,146	24.9	70	2,082	12.5
6	181	5,585	33.6	193	1,037	6.2
7	102	5,025	30.2	196	9,483	57.1
8	114	5,598	33.7	120	7,237	43.6
9	279	15,691	94.5	268	9,771	58.8
10	137	11,405	68.7	99	21,447	129.1
11	121	6,152	37.0	35	2,727	16.4
12	-	-	-	-	108	0.7
計	1,020	53,602	332.6	996	56,659	341.1

* 水戸気象台下妻市測候所

注) 流出高=排出水量 / 集水面積

ークがみられそれぞれ57.1 mm・129.1 mmとなり、57年のピークを上まわった。また、6月と8月が低下している。

以上のような流出高の変動は若干の時差があるものの、降雨量と呼応していることが認められる。これは集水域が比較的狭いことから比較的短時間に降雨の影響の出ることをものがたっている。

2 排水水の水質

排水路を通じて流出した排水路末端の水質は第4表及び第5表に示すとおりである。

以下各水質項目についてみるとつぎのとおりである。

pH : 5.3 ~ 7.1の範囲で変動しており、年間の平均値は57年6.5, 58年5.8である。2か年の測定値の変異係数をみると6.6 ~ 6.9%であり、他の水質項目中最少となっており変動幅の小さいことがうかがわれる。したがって、pHの月別変動も小さく、57年は7月以降5, 6月に比べ、平均値で0.5高まった程度であり、変動の傾向もあきらかでない。

58年は、4, 5, 8月は6.0以上、その他はこれ以下であることが認められる。

電気伝導度 (EC) : 250 ~ 545 $\mu S/cm$ の範囲で変動

しており、57年の平均値は354 $\mu S/cm$, 58年は400 $\mu S/cm$ であった。変異係数は2か年とも20%以下であり比較的変動幅の小さいことがうかがわれる。

月別推移について月平均値でみると、57年は5月の調査開始時から11月の排水水の枯渇まで低下の傾向にあり、58年は4月から6月まで高まり、7・8月にやゝ低下した。そして9月から12月まで高まることが認められた。

すなわち、57年は8月から低下したのに対して、58年は逆に9月から上昇傾向であり、変動傾向は年度によって異なることがうかがわれる。

全窒素 (T-N) : 57年のみであるが18.2 ~ 34.2 mg/l で推移し、平均濃度は24.9 mg/l である。変異係数も20%以下であり変動幅は比較的小さいことがうかがわれる。

全窒素の内訳はここではケルダール態窒素と硝酸態窒素の合量であるが、平均値でみれば全窒素の99%は硝酸態窒素であり畑地排水の特徴がうかがわれる。

ケルダール態窒素 (Kj-N) : 57年をみの測定であるが、全測定値とも1 mg/l 以下であり全窒素の1%以下である。すなわち当排水路の排水は流速が緩やかであり、きわめて清澄でSS分も少ないことから、ケルダール

やさい栽培畑からの肥料成分の流出

第4表 排水水の月別平均水質(昭.57)

(mg/l)

月	pH	EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	T-N	Kj-N	NO ₃ -N	T-P	COD	K	Ca	Mg	Na	Cl
5 (3)	6.01	422	26.0	0.28	25.7	-	3.3	1.3	35.8	13.4	-	51.7
6 (3)	6.02	378	31.5	0.12	31.3	-	9.4	1.1	31.8	16.6	7.0	65.7
7 (7)	6.46	368	27.4	0.22	27.1	0.04	8.1	0.9	40.3	17.8	7.1	68.3
8 (4)	6.51	366	22.7	0.19	22.4	0.02	10.3	1.3	32.8	16.2	6.9	70.4
9 (11)	6.67	314	20.8	0.34	20.5	0.02	7.6	0.7	25.6	14.2	6.9	59.0
10 (2)	6.58	310	25.3	0.30	25.0	-	-	0.7	23.8	14.2	-	-
11 (2)	6.65	288	30.9	0.37	30.5	-	-	0.7	24.8	14.2	-	-
最高	7.10	530	34.2	0.94	34.0	0.06	14.4	2.3	45.1	19.0	7.5	72.1
最低	5.25	250	18.2	Tr	18.0	0.01	1.0	0.3	21.4	11.7	6.4	42.5
平均	6.45	354	24.9	0.27	24.6	0.02	7.8	0.9	31.1	15.3	6.9	62.8
Sd	0.43	69.3	4.7	0.20	4.7	0.016	3.7	0.5	7.9	2.0	0.25	7.8
CV (%)	6.7	19.6	18.8	72.6	19.0	69.3	47.7	54.8	25.3	13.2	3.6	12.4

(注) ()は採水・分析・測定回数

第5表 排水水の月別平均水質(昭.58)

(mg/l)

月 日	水温 ($^{\circ}\text{C}$)	pH	EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	NO ₃ -N	K	Ca	Mg
4 (2)	-	6.6	330	20.0	0.8	23.0	13.9
5 (4)	-	6.0	365	28.1	1.7	31.6	16.1
6 (4)	18.8	5.6	408	26.5	0.8	30.3	16.2
7 (5)	16.4	5.7	372	20.5	1.2	26.3	19.9
8 (5)	19.4	6.0	374	21.3	1.1	35.9	32.5
9 (5)	24.5	5.7	390	22.6	0.9	31.7	29.6
10 (5)	19.6	5.5	398	19.1	0.8	33.3	29.1
11 (6)	14.4	5.7	468	25.9	0.7	44.6	31.7
12 (1)	13.0	5.9	545	30.8	0.7	36.2	17.1
最高	24.5	5.7	545	30.8	2.5	54.0	36.4
最低	13.2	5.3	300	17.7	0.6	22.0	13.8
平均		5.8	400	23.3	1.0	33.3	25.0
Sd		0.4	51	4.2	0.5	8.5	7.9
CV (%)		6.9	12.8	18.0	50.0	25.5	31.6

(注) ()は採水、分析・測定回数

ル態窒素が少ないものと推察された。

硝酸態窒素 ($\text{NO}_3\text{-N}$) : さきにも述べたとおり全窒素の大部分を占め、畑地排水の特徴をよく表わしている。57年は $18\sim 34\text{ mg/l}$ の範囲で推移し平均濃度は 24.6 mg/l であり、58年は $17.7\sim 30.8\text{ mg/l}$ 、平均 23.3 mg/l と2か年とも類似しており年次による変動の小さいことが認められる。

月別の濃度変動について、月平均濃度でみると、57年は6月にピークが見られ、9月まで漸減し以後排水路の排水水が枯渇するまで上昇している。

58年は5月と9月に濃度のピークがあり10月に低下している。そして、前年と同様に排水水の枯渇した12月まで上昇していることが認められる。

以上のように排水水中の硝酸態窒素濃度に変動のあることは、作物に対する施肥、降雨と呼応していることが推察され、とくに、10月以降濃度の上昇はハクサイの元肥及び追肥に起因するものと考えられる。

全リン (T-P) : 全リンは57年7月から9月までの測定であるが、 $0.01\sim 0.06\text{ mg/l}$ であり、平均値は 0.02 mg/l ときわめて低濃度であり、濃度変動の傾向もあきらかでない。

化学的酸素要求量 (COD) : 57年度のみ測定であるが変動の幅は $1.0\sim 14.4\text{ mg/l}$ であり、平均値は 7.8 mg/l である。

月別平均濃度から変動の状況を見ると6~8月に高まり、夏季に高まることが認められる。

加里 (K) : 肥料の三要素成分の一つである加里は、 $0.3\sim 2.5\text{ mg/l}$ でありその平均濃度は57年 0.9 mg/l 、58年 1.0 mg/l で2か年とも同程度である。

濃度の変動状況は2か年とも5月に一つのピークがあり、以後57年は8月に、58年は7月に第二のピークが認められる。

カルシウム (Ca) : カルシウムは $21.4\sim 54.0\text{ mg/l}$ の範囲で変動し、平均値は57年 31.1 mg/l 、58年 33.3 mg/l と2か年ともほとんど同様であることがうかがわれる。

月別変動を月平均濃度でみると、57年は6月に低下したものが7月に高まり濃度のピークがみられ、8月から

9月に低下した。以降排水路の排水水が枯渇するまで横ばいとなっている。58年も57年と同様に7月にピークがみられ9月に低下している。しかし、57年と異なり11月に高まることが認められる。

マグネシウム (Mg) : 57年は $11.7\sim 19.0\text{ mg/l}$ 、平均値 15.3 mg/l 、58年 $13.8\sim 36.4\text{ mg/l}$ 、平均値 25.0 mg/l であり58年の濃度が高く推移している。濃度変動については、57年はカルシウムと同様の変動を示し、7月にピークが認められる。しかし測定値の変異係数が13.2%と小さく変動幅の小さいことがうかがわれる。58年は8月にピークがみられ、変異係数は31.6%と大きく、変動幅の大きいことがうかがわれ4月の最低値 13.9 mg/l は8月の最高値の約 $1/2$ となっている。

ナトリウム (Na) : ナトリウムは57年6月~9月まで25回の測定であるが、 $6.4\sim 7.5\text{ mg/l}$ の範囲で変動し平均値は 6.9 mg/l 、変異係数は3.6%で変動幅はきわめて小さい。

塩素 (Cl) : $42.5\sim 72.1\text{ mg/l}$ の範囲で推移し、平均値は 62.8 mg/l である。変異係数は12.4%であり比較的変動幅の小さいことが認められる。

つぎに、この排水水が排水路の上流から下流への流下過程における濃度の変動を知るため、上流2か所から10回採水し各種水質項目を分析・測定した。その結果は第6表に示すとおりである。

これから各水質項目の平均値でみると、pHは流下過程でわずかに低下していることが認められる。pH以外の項目では流下過程で増加することがうかがわれ、なかでも硝酸態窒素は排水路末端の平均濃度が上流の濃度の2倍以上になっている。

以上流下過程で濃度の高くなることについては、集水域内の土地利用状況との関係があげられる。すなわち、上流部は林地が多く、中、下流部は林地がないことから、中・下流部で施肥の影響を強く受けたことによるものと推察される。

つぎに、一時的な降雨と水質変動について知るため、57年7月と9月の2回にわたり、数日間連続して採水しその水質をみた。その結果は第7表及び第8表に示すとおりである。

やさい栽培畑からの肥料成分の流出

第6表 流下過程における水質の変化(昭. 58)

(mg/ℓ)

採水 月日	pH			EC(μS/cm)			NO ₃ -N			K			Ca			Mg		
	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下
4. 21	6.7	6.1	6.5	140	325	365	0.4	14.7	19.7	0.2	1.3	0.7	6.2	22.0	22.0	3.3	13.2	14.0
5. 4	6.1	5.7	5.5	200	305	370	0.5	12.9	31.7	0.2	1.2	2.5	6.5	22.0	23.2	3.6	13.2	15.3
6. 29	6.1	5.7	6.0	435	360	375	17.3	17.3	22.3	1.5	1.5	0.8	25.9	24.8	23.4	14.0	13.8	15.6
7. 8	5.6	5.5	5.5	390	355	380	14.3	16.9	21.9	0.7	0.9	0.9	26.0	23.8	24.3	13.8	12.5	16.2
14	5.6	5.6	5.6	335	335	370	12.0	12.0	22.8	0.9	0.9	1.9	23.1	23.1	24.8	-	-	-
8. 24	6.2	6.4	5.6	340	165	365	24.2	16.2	21.2	1.6	1.2	1.2	6.7	26.8	37.4	8.3	31.5	33.7
9. 19	5.5	5.5	5.5	345	340	390	15.0	15.6	24.9	1.0	0.9	0.6	25.5	25.4	35.3	25.5	25.7	29.1
10. 14	5.5	5.5	5.3	325	345	385	11.5	13.7	20.2	1.0	0.8	1.4	22.4	23.6	31.3	23.0	24.5	27.6
11. 14	5.9	6.1	5.6	305	315	480	10.6	11.1	27.1	0.7	0.8	0.6	25.3	24.9	54.0	21.9	22.6	34.3
25	5.7	6.0	5.6	280	305	495	10.9	6.7	28.3	0.7	0.7	0.7	21.8	18.9	49.6	11.5	8.0	36.4
平均	5.9	5.8	5.7	309	318	398	11.7	14.0	24.0	0.9	1.0	1.1	18.9	23.5	32.5	13.9	17.8	24.7

(注) 上:上流(第1図㉔), 中:中流(同㉕), 下:下流(同㉖)

第7表 降雨後の排水量と水質(昭. 57)

月・日	降雨量 (mm)	半旬 排水量 (t)	EC (μS/cm)	NO ₃ -N (mg/ℓ)	T-P (mg/ℓ)
7. 14			330	29.0	-
17	22				
19	4				
22	1				
24	3				
25	14	933			
26	25		310	22.0	0.055
27			410	29.0	0.020
28	1		350	25.0	0.020
29	1		380	27.0	0.011
30	3		400	29.0	0.020
31	1	1,085	400	29.0	0.020

第8表 降雨後の排水量と水質(昭. 57)

月・日	降雨量 (mm)	半旬 排水量 (t)	EC (μS/cm)	NO ₃ -N (mg/ℓ)	T-P (mg/ℓ)
9. 6					
7			295	20.4	-
8	4				
9	1				
10	52	1,037			
11	25				
12	114				
13			325	20.0	0.060
14			320	20.5	0.017
15	6	1,037	315	20.5	0.013
16			300	20.2	0.012
17				20.6	0.030
18			300	20.5	0.010
19	1		325	20.4	0.010
20	18	864	295	20.5	

これによれば、7月17日から26日まで69mmの降雨量があり、さらに28日から31日まで6mmの雨量である。この場合における排出水量は第5半旬で933トン、第6半旬1,085トンであり大差がみられず、水質も7月14日の水質と大差は認められない。また、9月4日から12日までの9日間に196mmの豪雨があった場合についてみると、排出水量は降雨前後とも大きな変動は認められず、水質についても大きな変動はみられない。

したがって、このような集水域における水質の変動はきわめて緩やかであり一時的降雨による水質への影響はきわめて小さいものと思われる。

3 集水域内の地下水水質

排水路における排出水が畑地の地下水に由来するものであることを確かめるため、第1図に示す畑井戸1、2から地下水を採水し分析・測定を行った。その結果は第

9表～第10表に示すとおりである。

57年に実施した結果(第9表)によれば、pHは4.9～7.5の範囲であり平均6.4である。これは57年の排出水の平均値と同等である。また、ナトリウムは平均6.6mg/l、塩素は61.5mg/lであり、排出水の平均値と同等である。

これ以外の項目については、排出水の平均濃度より、30～50%下まわっていることが認められる。

つぎに、水質項目間の相関についてみると、排出水・地下水ともカルシウムとマグネシウムの相関が高く、これの濃度比を計算すると、地下水は2.026、排出水は2.033が得られる。また、ナトリウム、塩素比についてみると地下水0.106、排出水0.109となりいずれもきわめて類似していることがうかがわれ、畑地の地下水と排出水は濃度が異っていても同質のものとして判断される。

第9表 畑地地下水の月別平均水質(昭. 57)

(mg)

月	pH	EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	T-N	Kj-N	NO ₃ -N	PO ₄ -P	K	Ca	Mg	Na	Cl
5 (2)	5.36	315	17.0	Tr	17.0	-	2.6	26.6	7.9	-	-
6 (3)	5.99	272	6.7	0.3	6.5	0.007	1.3	23.9	9.8	6.8	60.3
7 (2)	6.45	260	7.0	0.1	6.9	0.007	1.3	20.4	9.4	6.3	62.2
8 (3)	6.66	278	18.0	1.3	16.7	0.004	1.2	22.4	12.4	6.7	66.2
9 (6)	6.77	295	14.9	0.2	14.7	0.007	1.2	22.6	12.5	6.5	59.6
10 (1)	-	-	-	-	28.0	-	-	-	-	-	-
11 (1)	-	-	-	-	26.0	-	-	-	-	-	-
最 高	7.55	320	20.8	2.1	28.0	0.009	2.6	26.6	16.3	7.0	69.2
最 低	4.92	230	1.9	Tr	1.9	Tr	0.9	16.6	4.5	5.8	54.3
平 均	6.39	286	13.2	0.5	14.4	0.006	1.3	22.7	11.2	6.6	61.5
Sd	0.75	28	6.6	0.6	7.6	0.002	0.4	3.7	3.1	0.4	4.4
CV(%)	11.8	9.9	50.2	120.0	52.8	33.3	30.7	16.3	27.6	6.0	7.2

(注) ()は採水・分析測定回数、深さ-1.5m

やさい栽培畑からの肥料成分の流出

第10表 深さ別畑地の地下水水質(昭. 58)

(mg/ℓ)

月	-1.5 m							-2.0 m						
	水温 ℃	pH	EC ($\mu\text{S/cm}$)	NO ₃ -N	K	Ca	Mg	水温 ℃	pH	EC ($\mu\text{S/cm}$)	NO ₃ -N	K	Ca	Mg
4 (1)	-	5.3	315	16.7	2.6	26.6	7.9	-	6.1	275	11.5	1.9	20.2	14.0
5 (1)	-	4.6	345	18.7	2.2	28.2	12.8	-	5.9	300	12.9	2.0	21.0	14.0
6 (1)	17.8	5.0	345	19.6	2.3	28.9	12.9	17.8	5.5	300	17.3	2.5	27.0	8.1
7 (3)	17.7	5.0	345	19.6	2.4	32.8	12.9	17.7	5.5	332	19.8	2.4	32.2	11.5
8 (1)	20.0	5.1	305	17.0	2.0	28.7	27.7	20.0	5.9	330	19.4	1.2	39.2	28.1
9 (2)	20.2	5.1	353	19.0	1.1	27.9	24.8	19.6	5.6	315	18.8	1.2	24.5	20.0
10 (1)	21.0	4.9	370	17.8	0.8	26.9	26.3	21.0	5.6	375	18.5	1.3	29.8	23.9
11 (1)	18.3	5.4	365	16.6	0.9	30.2	26.4	18.2	5.5	360	19.0	1.1	33.9	21.6
平均	18.9	5.0	343	18.5	1.8	29.6	18.9	18.8	5.6	324	17.8	1.8	29.2	17.3
Sd	1.4	0.2	19	1.3	0.7	3.0	7.6	1.4	0.2	30	3.0	0.6	6.3	6.5
CV(%)	7.4	4.0	5.5	7.0	38.9	10.1	40.2	7.4	3.6	9.3	16.9	33.3	21.6	37.6

(注) ()は採水、分析・測定回数

58年同地点に深さ2mの井戸を新設し、深さの違いによる水質の違いをみた(第10表)これによれば、いずれの項目とも大差は認められず、変動幅も類似していることから2m以内の浅層地下水の場合は深さによる水質の違いは認められない。

つぎに、地下水の排水路への流動過程における水質の変動をみるため、第1図に示す2系列、すなわち畑地下水a~e、f~j地点について調査した。その結果は第11表及び第12表に示すとおりである。

a~e系列について各水質の平均値でみると、pHは

第11表 畑地の地下水の水質

(mg/ℓ)

採水 月日	a						b						c					
	pH	EC ($\mu\text{S/cm}$)	NO ₃ -N	K	Ca	Mg	pH	EC ($\mu\text{S/cm}$)	NO ₃ -N	K	Ca	Mg	pH	EC ($\mu\text{S/cm}$)	NO ₃ -N	K	Ca	Mg
7.14	5.6	145	4.3	2.5	7.2	-	5.5	320	17.6	2.7	66.3	-	-	-	-	-	-	-
8.24	5.7	140	4.9	2.4	7.3	7.6	5.8	280	17.7	1.6	29.5	23.1	5.7	350	24.2	1.2	35.9	31.2
9.7	5.1	100	1.8	1.6	2.3	3.1	5.6	315	20.5	1.6	19.9	19.7	5.4	295	18.7	1.0	13.1	19.4
9.19	5.7	135	2.7	2.2	6.7	6.2	5.8	255	16.3	0.7	19.4	22.2	5.5	275	19.3	0.1	18.4	19.5
10.14	5.7	155	3.2	2.1	6.9	6.2	5.6	245	13.1	0.7	19.1	15.0	5.3	295	17.0	0.3	17.1	18.2
11.14	5.6	135	2.7	2.6	7.1	5.4	5.5	260	12.7	0.9	21.5	15.1	5.3	285	15.2	0.5	19.1	17.6
平均	5.6	135	3.3	2.2	6.3	5.7	5.6	279	16.3	1.4	29.3	19.0	5.4	300	18.9	0.6	20.7	21.2

採水 月日	d						e					
	pH	EC ($\mu\text{S/cm}$)	NO ₃ -N	K	Ca	Mg	pH	EC ($\mu\text{S/cm}$)	NO ₃ -N	K	Ca	Mg
7.14	5.4	275	17.6	0.9	30.0	-	5.9	325	16.9	0.7	32.3	-
8.24	5.3	310	18.5	0.7	26.0	29.7	5.2	340	17.0	0.8	26.9	24.8
9.7	5.3	300	17.9	0.8	13.1	22.0	5.3	360	17.9	1.4	16.3	25.5
9.19	5.2	295	19.3	0.1	20.9	22.1	4.8	345	18.5	0.5	26.7	26.3
10.14	5.2	320	17.0	0.2	22.3	23.6	5.1	375	17.0	0.3	25.4	29.1
11.14	5.2	305	17.4	0.3	23.4	22.1	5.0	330	17.4	0.4	27.2	25.5
平均	5.3	301	17.9	0.5	22.6	23.9	5.2	346	17.5	0.7	25.8	28.2

第 12 表 畑地の地下水の水質

(mg/ℓ)

採水 月日	f						g						h					
	pH	EC ($\mu\text{S/cm}$)	NO ₃ -N	K	Ca	Mg	pH	EC ($\mu\text{S/cm}$)	NO ₃ -N	K	Ca	Mg	pH	EC ($\mu\text{S/cm}$)	NO ₃ -N	K	Ca	Mg
8.24	5.8	565	30.2	1.8	57.5	54.4	5.6	520	34.5	5.3	62.7	45.7	5.6	550	44.9	1.8	107.6	52.6
9.7	-	-	-	-	-	-	5.5	520	36.2	4.0	46.6	34.7	5.1	525	37.8	1.0	44.2	36.2

(mg/ℓ)

採水 月日	i						j					
	pH	EC ($\mu\text{S/cm}$)	NO ₃ -N	K	Ca	Mg	pH	EC ($\mu\text{S/cm}$)	NO ₃ -N	K	Ca	Mg
8.24	5.2	630	30.2	1.1	60.0	69.2	5.8	580	47.0	1.0	105.1	57.5
9.7	5.3	665	30.4	1.1	54.9	53.1	5.0	500	43.1	1.0	57.8	41.7

第 13 表 林地の地下水水質

(mg/ℓ)

採水位置 水質項目	-1.5 m							-3.0 m						
	水温 (°C)	pH	EC ($\mu\text{S/cm}$)	NO ₃ -N	K	Ca	Mg	水温 (°C)	pH	EC ($\mu\text{S/cm}$)	NO ₃ -N	K	Ca	Mg
最高	18.5	6.1	275	12.7	1.2	11.7	19.3	16.7	5.8	310	17.2	0.8	18.0	28.9
最低	15.8	5.5	220	10.6	0.1	7.2	16.4	14.4	5.2	205	14.9	0.1	10.1	22.7
林地 1 平均	17.1	5.7	241	11.9	0.5	9.8	17.9	15.4	5.5	282	16.2	0.4	14.5	25.3
Sd	1.4	0.3	21.4	1.1	0.4	1.8	1.3	0.9	0.2	28.5	0.8	0.3	3.2	2.4
CV (%)	7.9	4.6	8.9	7.4	85.5	18.0	7.4	6.0	3.3	10.1	4.8	76.8	21.8	9.6
最高	16.7	5.8	250	3.5	0.7	4.0	3.9	16.6	5.9	120	4.0	0.6	4.1	4.6
最低	15.1	5.3	80	1.5	0.1	1.4	2.1	13.4	5.2	105	2.5	0.1	1.6	2.7
林地 2 平均		5.5	128	2.5	0.3	2.2	2.7		5.5	109	3.2	0.4	2.9	3.4
Sd		0.2	62.1	0.7	0.3	1.1	0.8		0.2	6.5	0.4	0.3	0.9	0.9
CV (%)		3.4	48.5	29.5	84.7	49.0	29.2		3.3	6.0	14.0	70.4	31.4	25.9
最高	19.0	5.0	665	39.7	0.8	86.0	53.7	18.8	5.4	575	41.4	0.6	90.7	51.3
最低	15.2	4.8	430	25.3	0.1	41.0	37.8	14.0	4.3	390	28.5	0.1	41.0	41.1
林地 3 平均		4.9	534	34.0	0.3	57.9	46.8		4.8	495	34.9	0.3	59.5	43.7
Sd		0.1	101.5	66.6	0.3	20.4	7.2		0.3	49.0	4.3	0.2	18.6	5.5
CV (%)		1.7	19.0	19.6	101.7	35.3	15.3		6.2	9.9	12.4	57.3	31.3	12.5
最高	19.6	5.3	485	34.4	0.7	48.2	27.6	14.0	5.6	365	24.3	0.8	67.4	28.7
最低	15.6	4.8	320	19.9	0.3	35.5	22.1	18.8	5.1	330	21.1	0.2	3.4	23.0
林地 4 平均		5.1	347	24.5	0.5	41.0	24.7		5.3	344	22.8	0.6	45.8	24.8
Sd		0.2	64.3	5.7	0.2	5.8	2.5		0.2	10.0	1.3	0.3	13.2	2.7
CV (%)		3.7	17.2	23.4	46.2	14.2	10.0		3.2	2.9	5.8	46.3	28.9	10.8

やさい栽培畑からの肥料成分の流出

流動過程でわずかに低下する傾向がうかがわれ、ECは逆に135 $\mu\text{S/cm}$ から346 $\mu\text{S/cm}$ に高まっている。加里は上流より下流の方が低下し、硝酸態窒素、カルシウム、マグネシウムはECと同様にわずかながら高まる傾向が認められる。

f～j系列については、pHは上流・下流とも差はみられず、加里を除く他の成分は、流下過程でa～e系列と同様にわずかながら高まる傾向がうかがわれる。また、f～j系列はa～e系列に比べ、各成分とも濃度が高く、同一集水域内であっても場所によって水質はかなり異なることが認められる。しかしながら、さきのカルシウム・マグネシウム比及び、硝酸態窒素・カルシウム比をみるとa～e系列、排出水と類似しており、いずれも同質とみることができ排出水の由来をものがたっている。

つぎに同一集水域内にある林地の地下水についても調査した。すなわち第1図にある比較的林地の連なっている2箇所と3方向が畑地となっている林地について、58年6～11月まで5回～10回採水しその水質を調査した。

その結果は第13表のとおりである。この結果から、林地1・2の地下水中の成分は林地3・4の地点に比べ濃度の低いことがうかがわれる。とくに林地3・4の水質は畑地の地下水と同程度であり、畑地からの地下水流動の存在が示唆される。

さらに、カルシウム・マグネシウム比及び硝酸態窒素・カルシウム比についてみると、林地1・2はそれぞれ0.54～0.85、1.10～1.21となり林地3・4は1.24～1.85、0.50～0.60であり、排出水の1.3～2.0、0.6～0.7に比べ林地1・2の水質があきらかに異なることがうかがわれる。

そして林地3・4の水質は畑地の水質そのものと言える。

また、水質を深さ別にみると、林地1・2では深い程成分濃度の高い傾向がうかがわれ、林地3・4ではその差はあきらかでない。

4 肥料成分の収支

集水域における肥料成分すなわち窒素、リン、加里について収支を知るためには、これら成分のINPUT及びOUTPUTを明確にする必要がある。

ここでINPUTは畑に対する施肥量と降雨中に含まれる肥料成分量である。

OUTPUTは収穫物による吸収、排出水中に溶解して流出するもの、地下への深部浸透、脱窒による大気中への揮散などである。しかしここでは排出水に溶解して流出した成分のみOUTPUTとして検討することとする。

INPUTの施肥と降雨についてまとめると第14表及び第15表に示すとおりである。

第14表 各作物の作付面積と施肥量

(kg)

作物	昭. 57				昭. 58			
	作付面積 (千 m^2)	N	P	K	作付面積 (千 m^2)	N	P	K
メロン	84.506	1,436.6	735.2	1,538.0	99.548	1,692.3	866.1	1,811.8
スイカ	34.349	515.2	223.3	429.4	22.985	344.8	149.4	287.3
ゴボウ	6.492	129.8	42.2	107.8	2.814	56.3	18.3	46.7
ハクサイ	118.855	3,565.7	1,034.0	2,971.4	122.533	3,676.0	1,066.0	3,063.3
計	125.347	5,647.3	2,034.7	5,046.6	125.347	5,769.4	2,099.8	5,209.1
10a当平均施肥量	-	30.8	16.2	40.3	-	46.0	16.8	41.6

(注) 施肥量は酸化物表示(P_2O_5 , K_2O)が一般的であるが、水質が元素表示であるのでこれに換算して表示した。

第15表 降雨量と降雨負荷

		昭. 57	昭. 58
降雨量*(mm)		1,020	996
降雨負荷(kg/10a)	T-N	1.16	1.14
	T-P	-	-
	K	0.22	0.22

* 期間昭57年5月1日～11月30日

昭58年4月20日～12月8日

** 降雨水の水質^①(mg/l) T-N:1.14, T-P:0.00, K:0.22

なお、各作物の施肥量は2・3の耕作者からのきき取り調査の結果、作付体系のなかで施肥される肥料成分の合量が県耕種基準値と近似していることから、この基準値を引用することとした。これと作付作物の面積から施肥量を求めた。

以上のような条件のもとに当集水域の畑12.5haに、57年は窒素5,647.3kg(30.8kg/10a)、リン2,034.7kg(16.2kg/10a)、加里5,046.6kg(40.3kg/10a)の肥料成分が施肥されたことになる。58年は57年に比べ、スイカが

減少し、メロンの作付が増加するのに伴ない窒素成分の施肥量が増え5,769.4kg(46.0kg/10a)となり、リンと加里は57年と同等であった。

降雨からの肥料成分の流入は、57年は窒素193.1kg、加里37.3kgであり、58年は、窒素188.6kg、加里36.4kgであった。

つぎに、排出水に溶解して流出した肥料成分を排出水量と平均水質から算出し、各水質項目の流出量を示すと第16表に示すとおりである。

これによれば、窒素は57年、58年とも1,200kg程度であり、リンは1.2kg(57年)と窒素にくらべきわめて少ないことがうかがわれる。

加里は、57年は45.6kg、58年は52.7kgの流出量であり、リンについて少ないことが認められる。

カルシウムは1,600kg前後の流出量であり肥料成分中最大であり、土壤中での移動・流出が容易であることをものがたっている。

マグネシウムは、57年の772kgが58年では約2倍の1,462kgに増加しており、年度による変動の大きいことがうかがわれる。すなわち、58年の排出量が多くなった

第16表 肥料成分の流出量

(kg)

月	昭. 57					昭. 58			
	N	P	K	Ca	Mg	N	K	Ca	Mg
4	-	-	-	-	-	55.3	2.2	63.6	38.4
5	108.3	0.09	5.4	149.9	54.1	58.5	3.3	65.5	33.3
6	144.1	0.13	6.1	201.1	70.9	28.9	0.7	31.3	16.6
7	113.1	0.11	3.5	200.0	91.0	194.4	10.4	234.2	142.2
8	110.8	0.12	7.3	184.7	90.1	154.1	8.6	255.4	237.3
9	331.1	0.36	11.0	406.4	219.7	222.7	8.7	299.0	283.3
10	286.3	0.26	8.0	274.9	159.7	409.6	17.2	594.1	622.0
11	190.7	0.14	4.3	153.2	86.7	70.6	1.6	121.6	86.4
12	-	-	-	-	-	3.1	0.0	4.8	2.6
計	1,284.4	1.21	45.6	1,570.2	772.2	1,197.2	52.7	1,669.5	1,462.1

やさい栽培畑からの肥料成分の流出

ことは、排出水の平均濃度が約 10mg/l 高くなったことによるものである。

以上肥料成分の流入(INPUT)、流出(OUTPUT)について述べたが、これらのうちから肥料の三要素の収支についてまとめると第17表のとおりである。

これによれば、57年は、窒素の流入は降雨と施肥量で 5,840.4kg であり、排出量は 1,284.4 kg である。降雨からの流入窒素を差し引いた差し引き排出量は 1,091.3 kg となり、これを施肥窒素の溶脱量とみなすと、施肥窒素に占める割合、すなわち、溶脱率は 19.3% となる。

58年は流入量が57年に比べやゝ多くなったが、排出量は前年とほぼ同様の 1,197.2 kg である。差し引き排出量は 1,008.6kg となり 57年よりやゝ少なく、溶脱率は 17.5% となる。しかし、本調査の期間は 57年が 5月1日～11月末日、58年は 4月20日～12月8日であり両年も調査開始前の排出量が欠落していることになる。

また、域内には 40,720 m² の林地がありこれからの窒素の負荷を見積っていない。そこで調査開始までの窒素の排出量を推定するため、各調査年の降雨量に対する流出高の割合(流出高/降雨量)、すなわち、57年は 1月から4月までの降雨量の 32.6%、58年は 1月から4月19日までの降雨量の 34.2% を排水量として見積った。さらに

調査期間の水質の平均値を用いて排出窒素を試算した。

また、林地からの窒素負荷量を 10 a 当り 0.36 kg¹⁾ として試算すると第 18 表に示すとおりである。

これによれば、調査期間外の排出窒素は、57年 295.2 kg、58年は 70.3 kg となった。57年の排出量が 58年に比べ約 4 倍になったが、これは 57年の降雨量が、58年の降雨量の約 4 倍であったことによるものである。

つぎに、これらの試算値に調査期間の排出量を加算し、これから林地の負荷量 14.7 kg 及び降雨からの流入量を差し引き、畑地からの負荷量を試算すると、57年 1,330.3 kg、58年 1,054.2 kg となった。これらの排出量は施肥窒素に対して、57年 27.7%、58年 21.7% となる。

小川²⁾らは火山灰畑のモデルほ場で各種作物を栽培し、窒素の溶脱率は 16～24% であったとしている。また、田淵³⁾らは農地からの窒素の流出について種々とりまとめているが、「畑地からの溶脱量はさまざまな条件の下で大きく変動しており、画一的な数値で表現することはできない」としているが、溶脱量は施肥量との関係が強いとしている。そして、OECDの報告書等の紹介で窒素の溶脱率を 10～25% 及び 30% など提示しており、「それはあくまでも“標準的”な値であることに留意すべきである」としている。

第 17 表 肥料成分の収支

(kg)

項 目	昭. 57			昭. 58		
	N	P	K	N	P	K
降 雨 (A)	193.1	-	37.3	188.6	-	36.4
I N P U T 施 肥	5,647.3	2,034.7	5,083.9	5,769.4	2,099.8	5,209.1
計 (B)	5,840.4	2,034.7	5,121.2	5,958.0	2,099.8	5,245.5
O U T P U T 排 出 量 (C)	1,284.4	1.2	45.6	1,197.2	-	52.7
差し引き排出量 (C - A)	1,091.3	1.2	8.3	1,008.6	-	16.3
10 a 当り差し引き排出量*	8.71	0.01	0.07	8.05	-	0.13

* 差し引き排出量 ÷ 125.347 (畑面積) 林地からの負荷を見積もらない。

第18表 窒素の負荷量と排出率 (kg)

項 目	昭. 57	昭. 58
調査期間の負荷量(林地含)(a)	1,284.8	1,197.2
調査期間外の負荷量(")(b)	295.2	70.3
年間負荷量(a + b)(c)	1,579.6	1,267.5
降雨負荷量(d)	234.6	198.6
林地からの負荷量(e)	14.7	14.7
畑地からの負荷量(c - (d + e))(f)	1,330.3	1,054.2
施肥排出率((f)/施肥量 [*])(%)	27.7	21.7

*第17表 INPUT施肥の項

以上のことから当集水域における窒素の溶脱率は「標準的」と言えよう。

リンの排出については、57年のみの調査であるが、5月から11月までに1.2kgときわめて少量であった。このことは、排出水中のリン濃度がきわめて低いことによるものであり施肥リンの土壤中での移動がほとんどないことを裏書きしている。またこのことは、土壌分析の結果表層ほどリンの富化していることが認められていることから土壤中での移動の少ないことがうなずける。

田淵らも畑地からのリンの流出については「リンは土壌に吸着されやすいので、窒素ほど流出しない」とし、リンの排出が問題になる場合は多肥の野菜畑や土壌浸食の場合であるとしている。

加里については、施肥量が2か年とも5,000kg以上であるが、排出量は57年45.6kg、58年52.7kgとなり差し引き排出量は57年8.3kg、58年16.3kgとなりリンについて少ないことが認められる。

したがって、加里の溶脱率は2か年とも1%以下となり、早瀬ら⁹⁾が各試験成績をとりまとめた結果と符合していることが認められた。

IV 摘 要

本県の代表的やさい栽培畑から肥料成分の流出につい

て、昭和57年及び58年の2か年間にわたって調査した。その結果を要約すると以下のとおりである。

1 集水域(16.6ha)から流出した水量は53,000～57,000トンであり、降雨量に対する流出率(流出量/降雨量)は32.6～34.2%であった。

2 排出水の溶存成分濃度は塩素>カルシウム>硝酸態窒素>マグネシウムであり、三要素成分であるリンは0.02mg/l、加里は1mg/l程度で他の成分に比べきわめて低濃度であった。

3 排出水の溶存成分は、排水路を上流から下流へ排水路を流下する過程で濃度の高まることが認められ、周辺の土地利用の影響を強く受けていることがうかがわれた。

4 集水域内の浅層地下水の水質は排出水の水質と同種であることがうかがわれた。

5 同集水域からの肥料成分の排出量は、窒素は1,200kg/年前後であり施肥量に対して21～28%と推定された。リンについては1.2kg/年であり火山灰畑からの流出のきわめて小さいことが確認された。加里についても50kg/年前後であり施肥量に対して1%以下であることが認められた。

謝 辞

本調査は、環境庁委託による土壌環境保全基礎調査の一環として実施したものであり、調査の推進にあたり環境保全基礎調査検討委員各位、元場長石川昌男博士、元場長関口計主博士の各位には有益な指導・助言を賜わった。また現場長松田昭博士、副場長谷芳明氏にはご多忙にもかかわらずご校閲を賜わった。さらに現地調査にあたり、場所の選定、測量、土壌調査、採水・分析等数々の作業を分担していただいた現環境部長平山力氏、現作業技術部長小林登氏、主任研究員小川吉雄博士(現土壌肥料部)、桜井鎮雄技師(現下館地区農業改良普及所)、新家忠也技師(現管理部)、水書肇氏(八千代町)各位の協力なしに本調査の遂行はできなかった。記して厚くお礼を申し上げる次第である。

やさい栽培畑からの肥料成分の流出

引用文献

- 1) 茨城県環境局：霞ヶ浦の水質浄化の方策について（茨城県水質審議会中間答申（1981））
- 2) 小川吉雄，石川実，吉原貢，石川昌男：畑地からの窒素の流出に関する研究：茨城農試特研報 No 4（1979）
- 3) 森五郎編：工業排水試験方法：日本規格協会（1981）
- 4) 福岡正巳編：地下水ハンドブック：建設産業調査会，P 22（1979）
- 5) 渋谷勤治郎，上村春美，坂西研二：斜面ライシメーターによる水収支と土壌浸食に関する実験的研究：農土試報 No 21，P 50（1981）
- 6) 茨城農試：土壌環境保全基礎調査報告書（竜丁歩地区）（1981）
- 7) 茨城県農林水産部：やさい耕種基準（1982）
- 8) 田淵俊雄，高村義親：集水域からの窒素・リンの流出：東京大学出版会（1985）
- 9) 早瀬達郎，安藤淳平，越野正義編：肥料と環境保全，P 168：ソフトサイエンス社（1976）

牧野における肥料成分の動向と収支

青木 武・平山 力

On the Behaviour and Balance of Fertilizer
Nutrients in the Grazing Pasture

Takeshi AOKI, Chikara HIRAYAMA

牧野における栄養塩類の動向と収支をあきらかにするため、大宮町宮牧場内の放牧地 10.5 ha を対象として、昭和 59 年 6 月から 60 年 12 月まで、窒素、リンを中心に調査検討した。

その結果、対象地区からの流出水（表面流出水+暗きょ流出水、以下同じ。）中の窒素濃度は、平常時の場合、平均 1.62 ppm、リン濃度は 0.01 ppm 以下であったが、施肥直後の降雨増水時には、窒素、リン濃度いずれも一時的に高い値を示した。

栄養塩類の収支については、施肥量および降雨にともなう流入量に対し、流出水にともなう流出量は、窒素では 11.3 % となり、リンでは 0.3 % となった。カルシウムおよびマグネシウムでは、流出量が流入量を上回った。

ここで調査対象としたような、山林を造成した傾斜地の放牧地では、降雨時には一時的に多量の表面流出水があり、これにともなう窒素、リンの流出負荷は高く、降雨時の一時的な増水が地区の栄養塩類の動向と収支に大きく関与しうることが示唆された。

I 緒 言

湖沼等閉鎖系水域の富栄養化の一因として、農耕地からの肥料成分の流出による影響があげられ、これまで水田、畑地を中心に調査研究がすすめられてきた。これによると、水田では強制落水等が行われる田植時期に肥料成分の流出のあることが明らかにされた。^{1), 2)} また、畑地でも肥料成分の約 20 ~ 30 % が系外に流出していることが究明され、³⁾ 結果的に周辺河川および湖沼等の発生負荷として影響を及ぼしていることが示唆されている。

一方、放牧地についてみると、水田、畑地とは異なり常に牧草で被覆され、そのうえ放牧牛による動物要因が関与していること、地形的にも比較的急な傾斜地に位置した例が多い。これらの立地条件等が、栄養塩類の動向と収支に密接な関係のあることが予想される。これを明

らかにすることは、農耕地からの肥料成分の流出機構を地形との連鎖系で体系的にみて行く場合に重要な意味があると考えられる。放牧地における栄養塩類の動向と収支については、現在阿蘇地区の調査報告⁴⁾ がみられる程度で、その例は極めて少ない。

そこで、本調査では、県北丘陵地に造成された大宮町宮牧場のうち、集水域として水収支等の調査が可能とみられる地区を対象として、その地区内から流出する表面および暗きょ流出水の水量と水質、蒸発散量等を調査し、栄養塩類の動向と収支を検討した。その結果、いくつかの知見が得られたので報告する。

なお、この調査は、環境庁からの委託により「土壤環境保全基礎調査」の一環として、昭和 59 ~ 60 年の 2 か年間実施したものであり、本報告は、これらの概要をとりまとめたものである。

II 調査方法

1) 調査地区の概要

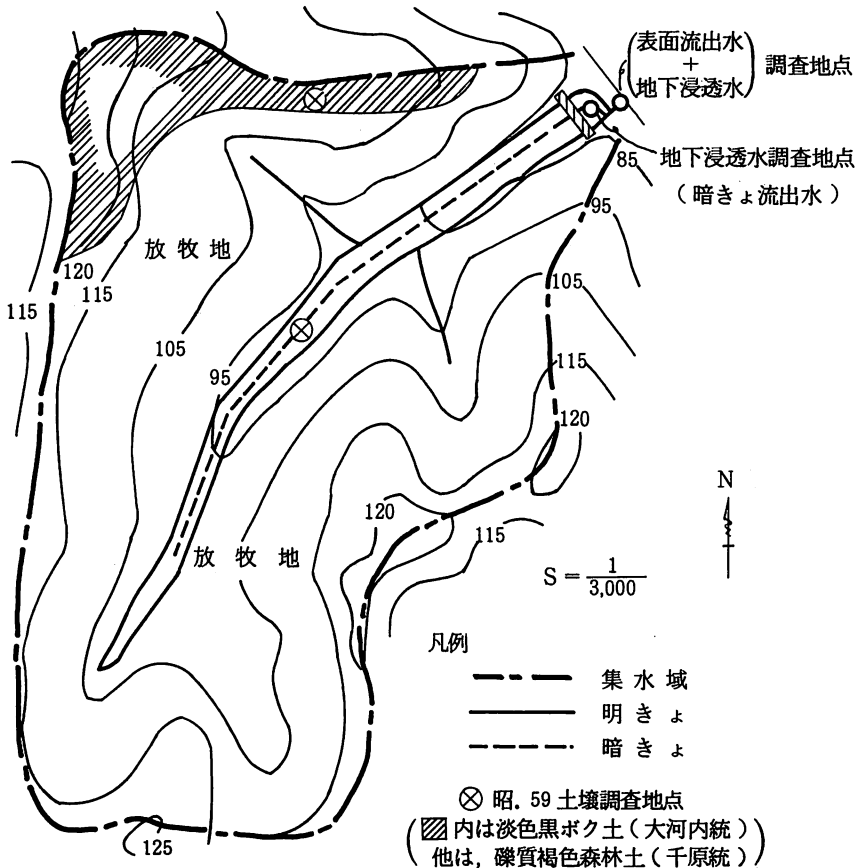
調査地区は、那珂郡大宮町若林に、昭和46年から51年にかけて、山林を造成した町営牧場(53.76ha)内に位置し、なかでも地形的にみて水収支等の調査が可能とみられる第1図に示す集水域10.5haの範囲を対象とした。

本地区の土地条件は、県北部鷲ノ子山塊の最南端部で標高80~120mの丘陵地帯にあり、地質は第三紀系の基岩上部に1~3mの火山灰ローム層が堆積している。基岩とローム層の間には、円・角礫を含む砂礫層も一部にみられる。

表層土壌は、淡色黒ボク土(大河内統)と礫質褐色森林土(千原統)の2つに区分され、これらの代表土壌の

化学性は、第1表のとおりである。土壌の分布状況をみると、礫質褐色森林土が大部分(90%)を占め、淡色黒ボク土はわずかである。前者は、草地造成の際の造成土壌に該当し、切盛にともなう土壌の移動による影響を大きく受けており、表層から円、角礫を含み、土壌のち密度も大きい。後者は、造成にともなう土壌の移動の少ない本来の自然土壌で、土壌のち密度も大きいが礫の混入はほとんどない。代表土壌の化学性は、両土壌とも酸性の傾向が目立ち、リン酸吸収係数は高く、土壌養分は0~12cmの極く表層部分に多い。

牧場の土地利用は、放牧地30.3ha、採草地11.46ha、自然林12.00ha、施設0.89haとなっているが、ここで調査対象とした10.5haの範囲は放牧地であり、ほとんどが草地で、松および雑木林による林地の形成か所は認め



第1図 調査地区の概要

牧野における肥料成分の動向と収支

第1表 代表土壌の化学性

(乾土 100 g 当たり)

土 壌 層位	層 厚 (cm)	pH		CEC (m·e)	T-N (%)	T-C (%)	C/N	腐植 (%)	有効態 P ₂ O ₅ (トルオーグ) (mg)	置 換 性 塩 基			リン酸 吸収係数	
		H ₂ O	KCl							CaO (mg)	MgO (mg)	K ₂ O (mg)		
淡 色	1	0~12	5.6	4.5	18.6	0.24	3.60	15.0	6.19	5.3	120	60	23	2,260
黒ボク土	2	12~22	5.6	4.2	22.3	0.05	2.12	42.4	3.65	0.7	90	47	9	2,590
(大河内統)	3	22~38	5.7	4.2	23.4	0.04	0.90	22.5	1.55	0.4	65	40	4	2,610
礫質褐色	1	0~11	5.8	4.6	15.7	0.46	5.84	12.7	10.00	19.3	215	97	51	2,314
森林土	2	11~30	5.7	4.4	18.5	0.07	2.10	30.0	3.61	1.2	140	75	12	2,400
(千原統) (造成土壌)	3	30~65	5.7	4.5	19.3	0.03	0.52	17.3	0.89	0.3	165	38	5	2,110

られない。草種は、オーチャード、レッドクローバーおよびイタリアンライグラスの混播となっている。

肥培管理については、毎年1回3月下旬に施肥が行われており、本調査期間中では、第2表に示すとおり、ha当たりNで28.57 kg, Pで6.23 kg, Kで23.71 kgが化成肥料で施用されている。また、これまで2年に1回土壌改良資材の施用が行われていたが、本調査期間中は施用されなかった。

第2表 調査期間中の肥培管理 (kg/ha)

施 肥	肥 料 成 分			備 考
	N	P	K	
昭和60年 4月24日	28.57	6.23	23.71	表面施用

注) 肥料：尿素入り複合肥料 212号 (T-N 20%, NH₄-N 5.5%, P₂O₅ 10%, 水溶性P₂O₅ 8%, K₂O 20%)

放牧状況については、毎年4月中旬に入牧が始まり、10月中旬退牧となっている。牧場からの聞き取りによると、調査期間中には、調査地区全体で延5,288頭が放牧されており、これを1日ha当たりの放牧頭数に換算すると約1頭となる。

2) 水質分析法および水、塩類収支

(1) 水 質

対象地区からの流出水の水質については、第1図に示す。地区末端部に暗きょ流出地点と、表面流出水と暗きょ流出水が合流して流れる地点の2か所に、自記水位

記録計(7日周期, 1:1, ウイジン製LS 30型)および三角堰を設置し、三角堰から流れ落ちる水をおおむね週1回採水し分析した。雨水の水質については、茨城農試敷地内に、採水用ポリ容器を設置して採水し分析した。

分析項目および方法は以下のとおりである。

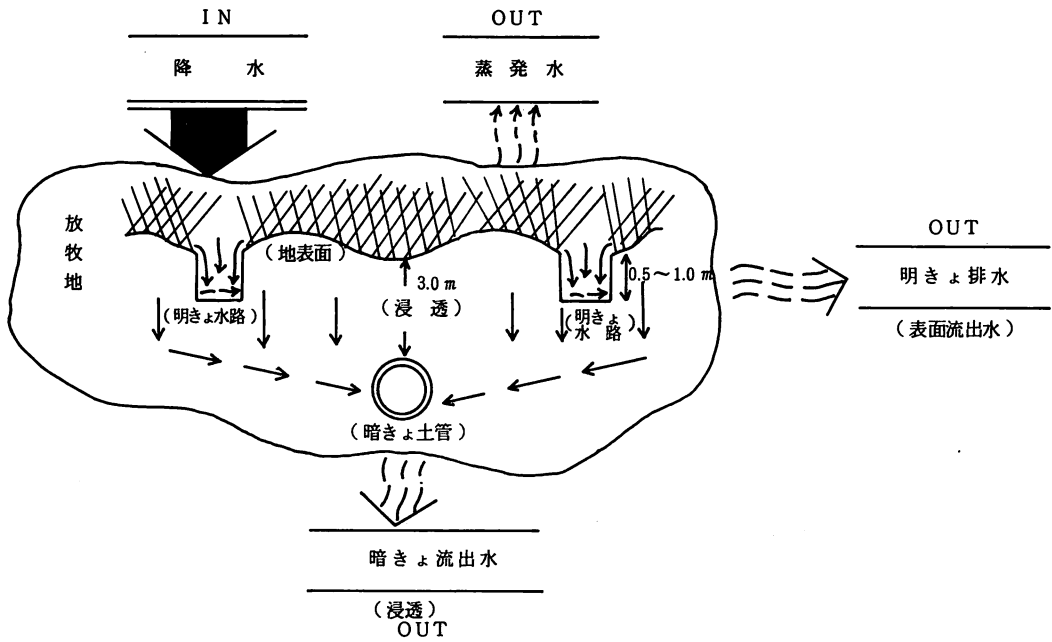
- pH : ガラス電極法
- EC : 東亜電波製電気伝導度計
- K-N : ケルダール法
- NO₃-N : イオン電極法
- T-N : K-N + NO₃-N
- T-P : 硝酸・過塩素酸分解後アスコルビン酸還元法
- Ca, Mg : 原子吸光光度法
- Na, K : 炎光光度法
- Cl : クロム酸カリウム-硝酸銀滴定法

(2) 水収支

調査対象地区の水収支は、第2図のモデルにしたがい調査した。

降水量および蒸発散量については、現地に雨量計および小型蒸発計を設置して測定した。なお、蒸発散量は、蒸発計測定値に、昭和54年度農林水産省農業土木試験場において報告されたローム植生(牧草)の傾斜地(勾配2~15°)の蒸発散比⁵⁾を乗じて算出した。

流出水量は、調査地点2か所に設置した自記水位記録計からそれぞれ1時間ごとの水位を読み取り、ストリッ



第2図 水収支要因モデル図

クラウンド公式から流量を算出した。

地下浸透水量は、暗きよ流出水量をその量とした。

(3) 塩類収支

施肥量および降雨にともなう流入量と、流出水にともなう流出量から塩類の収支を調査した。また、本地区のような傾斜地(勾配3~18°)では、降雨の際一時的に多量の流出水があり、塩類収支に与える影響は少なくないと予想されるので、この一時的な流出負荷についても併せて調査した。

① 平常時の場合

施肥にともなう肥料による負荷量は、調査期間中の施肥量から、また降雨による負荷量は、雨水水質(濃度)と降水量の積から求めた。流出量としての流出水による負荷量は、2か所の調査地点ごとに、流出水水質(濃度)と流出水量の積から求めた。

② 降雨時の場合

4月27日(施肥3日後、降水量16.5mm/日)および10月11日(降水量29.4mm/日)の降雨日に、経時的に流出水量と水質調査を行った。流出負荷量は、測定した流出水量と水質(濃度)の積から求めた。

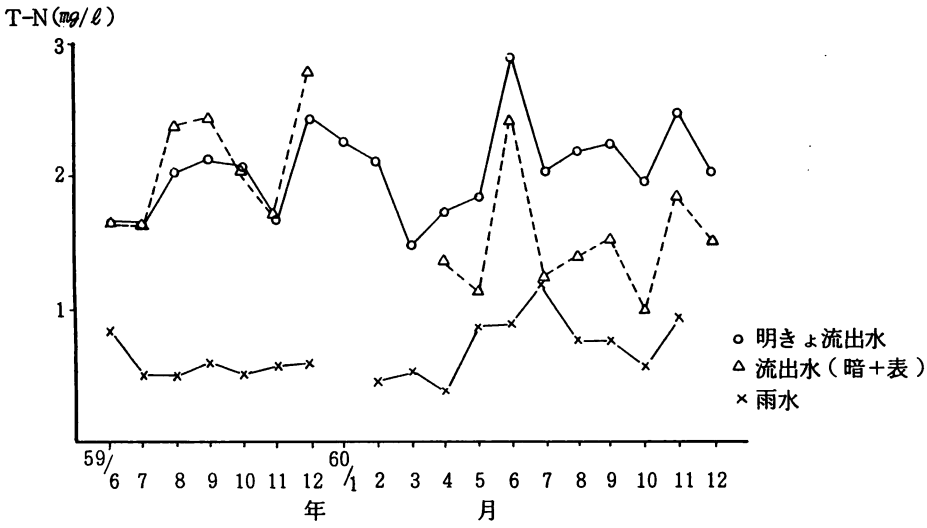
Ⅲ 調査結果および考察

1 塩類の動向

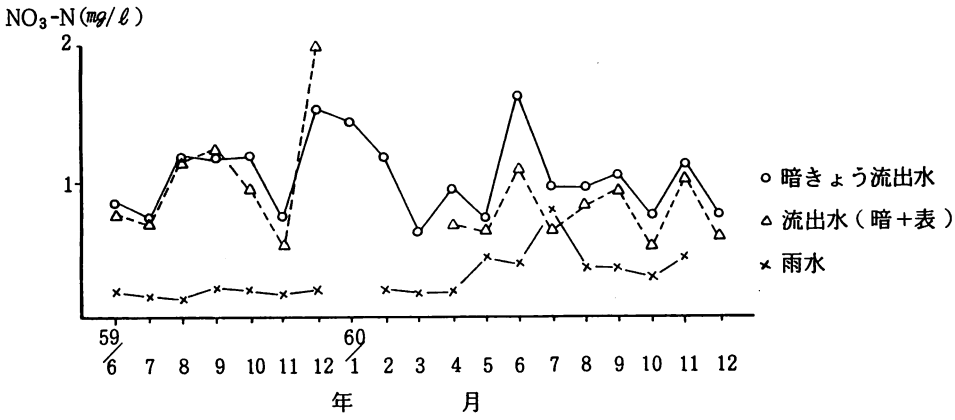
調査期間中の雨水、暗きよ流出水および流出水中の全窒素(T-N)、硝酸態窒素(NO₃-N)および電気伝導度(EC)の動向については、第3~5図に示す。(以下記号で記す。)

これによると、調査期間中における雨水中のT-N濃度は、0.39~1.21ppm平均0.70ppmであり、流出水では0.99~2.78ppm平均1.62ppm、暗きよ流出水では1.48~2.89ppm平均2.13ppmとなった。59年は流出水の濃度がやや高く推移し、60年は逆に暗きよ流出水の濃度が高く推移した。このことは、前述した59年と60年の流出水量、特に表面流出水量の差が大きいことからみて、この影響によるものと考えられる。また、図から流出水と暗きよ流出水の濃度の推移がそれぞれ呼応していることがわかる。しかし、60年の流出水の濃度が暗きよ流出水に比べて低下している理由については、表面流出水との混合稀釈によるものか、流れる過程で微生物等に取り込まれたものか、あるいは脱窒によるものかなどについてはあきらかでない。NO₃-Nについては、月別の傾向はT-Nと

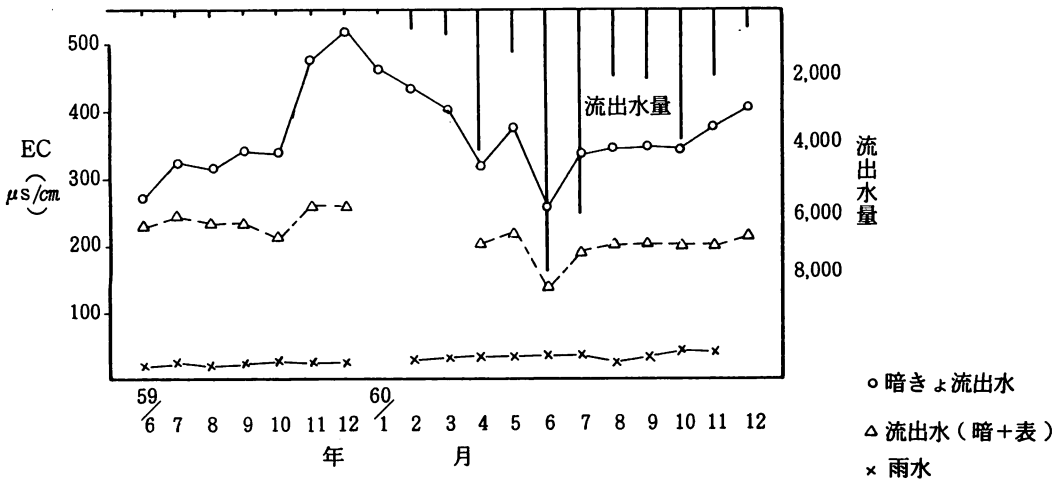
牧野における肥料成分の動向と収支



第3図 T-N濃度の推移



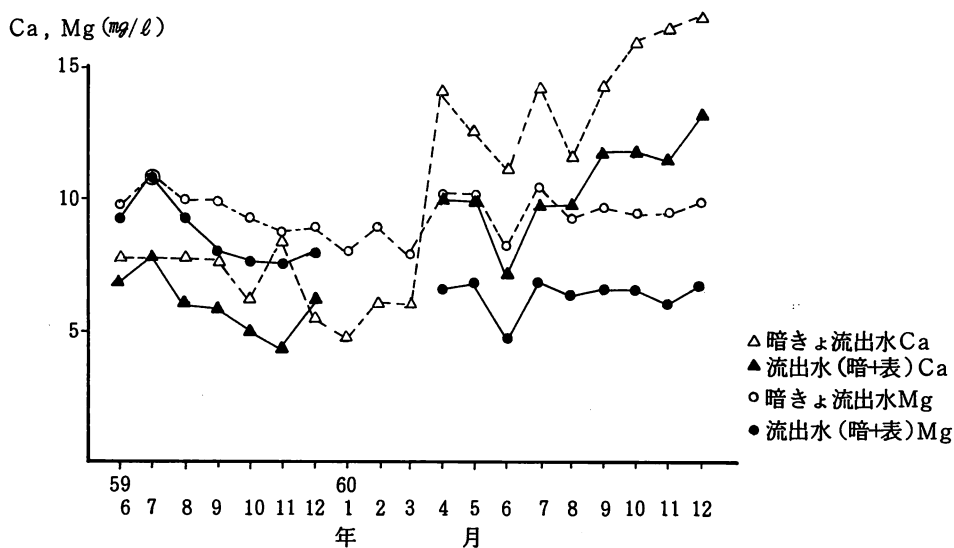
第4図 NO₃-N濃度の推移



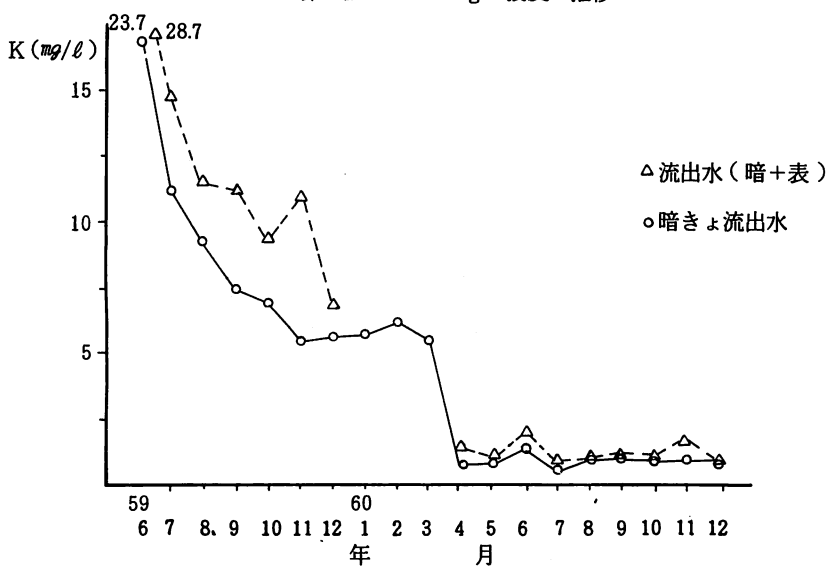
第5図 EC値及び流出水量の推移

同様であったが、雨水、流出水および暗きょ流出水いずれも濃度はT-Nの2分の1程度で、概してケルダール窒素(K-N)の多い結果となった。T-NおよびNO₃-Nの2か年にわたっての継続調査した結果からは、その濃度はおおむね12~2月の冬期間で上昇し、3~5月の春季に低下する傾向がうかがわれた。またha当たりの地区流出水量が8,000 tと増大した場合、暗きょ流出水、流出水中の濃度が極端に高まる場合もみうけられた。T-N濃度の月別変化で、59年の6~12月の値と60年の

4~12月の値を概観すると、流出水と暗きょ流出水の濃度差が全般的に59年に比べて60年で大きい。これらの結果の背景には、第3表に示したように、59年の降水量540.5 mmが、60年同期の920.5 mmに比べて60%程度と寡雨だったことにより、59年の流出水のほとんどが暗きょ流出水に由来したことがその理由として考えられる。第5図は、EC値と流出水量との関係を示したものであるが、この場合のEC値を塩類等の総量とみなして、流出水の総塩類と流出水量の関係を見ると、低流出水量に推



第6図 Ca, Mgの濃度の推移



第7図 K濃度の推移

牧野における肥料成分の動向と収支

移した59年ではばらついているが、60年では明らかに高い相関を示している。流出水量が多いほど濃度は低くなり、田淵らの報告⁶⁾にみられる流量と濃度の関係に一致する結果となった。また第6図に示すとおり、暗きょ流出水と流出水中のカルシウム(Ca)、マグネシウム(Mg)濃度を比べると、暗きょ流出水の値が全般的に高く推移している。第7図には、カリウム(K)濃度の推移を示したが、これを時期的な変化でみると、60年4月まで急激に低下し、以降低い値で経過している。また、降雨量の少なかった調査期間前半の傾向をみると、前述した塩類とは逆に、暗きょ流出水に比べ流出水の濃度が高く推移している。この根拠については、今後さらに現

地での調査検討が待たれるが、これらの一因としては第9図にもみられるとおり、調査期間中の降雨量の差異があげられよう。

リン(T-P)については、調査期間をとおして、雨水からはほとんど検出されなかった。流出水では最高で0.012ppm、暗きょ流出水では0.01ppm以下と、いずれも極めて低濃度で推移した。

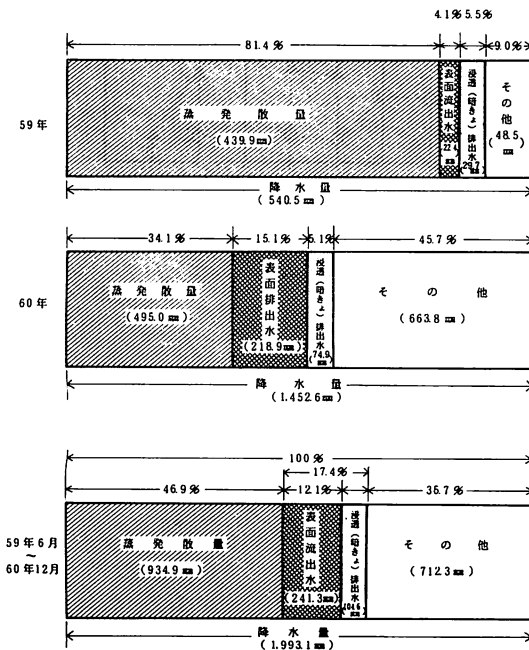
2 水収支

牧野における栄養塩類の収支をあきらかにするためには、調査の対象とした地区内の水の収支をあきらかにしておく必要がある。そこで、調査期間中の水収支を求め第3表に示す。さらに、第8図には、降雨条件の異った

第3表 調査期間中の水収支

項目	流入 降水量 (A)	排 出					20mm/日以上 の降水回数 (回)	20mm以上の 降水日の 合計流出水量
		流 出 水 量 (B)	暗 き ょ 流 出 水 量 (C)	表 面 流 出 水 量 (D)	蒸 発 散 量 (E)	排 出 差 引 排 出 水 量 (F)		
59	540.5	52.1	29.7	22.4	439.9	492.0	48.5	12
60	1,452.6	293.8	74.9	218.9	495.0	788.8	663.8	29
計	1,993.1	345.9	104.6	241.3	934.9	1,280.8	712.3	41

注) 1) 59年の値は6月11日からの値であり、60年は12月15日までの値である。
2) B = C + D, D = B - C, F = B + E, G = A - Fである。



第8図 調査地区の水収支

調査期間前半の59年と後半の60年に分けて示す。

これによると、調査全期間中の降水量は、1,993.1 mmとなったが、59年の調査期間中6月11日～12月31日間の降水量540.5 mmは全体の27%に相当し、これは水戸の同期の平均降水量に比べると61%と極端に少なく、年間をとおしても寡雨年であった。60年の調査期間1月1日～12月15日間の降水量1,452.6 mmは全体の73%に相当し、この値は平均降水量1,376 mmよりやや多い年となった。調査期間をとおして、20 mm以上の降雨日は、59年12回、60年29回の計41回となった。

蒸発散量については、調査全期間中934.9 mmあり、うち59年は439.9 mm、60年は495.0 mmとなり、6月11日～12月15日の同期で比較すると、59年が60年の123%と上回った。

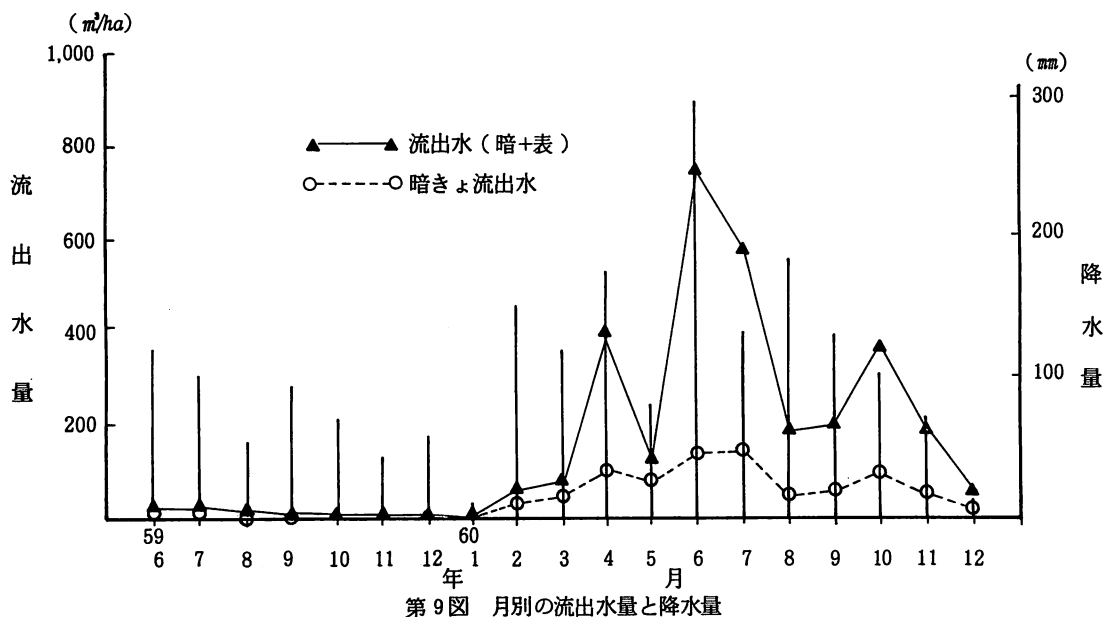
流出水量については、調査全期間中345.9 mmあり、59年が52.1 mm(表面流出が22.4 mm、暗きょ流出が29.7 mm)、

60年が293.8mm(表面流出が218.9mm, 暗きょ流出が74.9mm)となり、60年の流出の値は、59年の5.6倍となった。

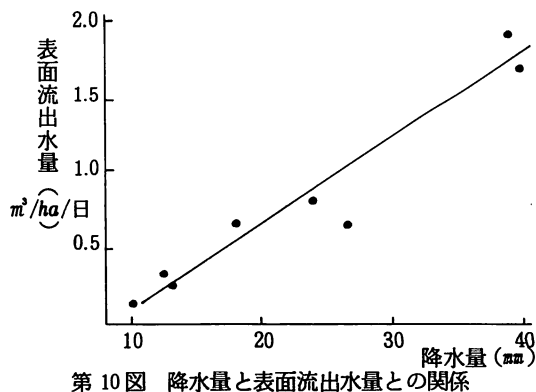
以上の結果から、調査期間中の水収支をまとめると、降水量1,993.1mmに対し、46.9%にあたる934.9mmが蒸発散量、12.1%の241.3mmが表面流出水量、5.3%の104.6mmが暗きょ流出水量、35.7%の712.3mmがその他となった。年次別には、寡雨年の59年は、蒸発散量の比率が高く、その他は少なかったのに対し、60年においては、その他が46.9%と高比率になったことが特徴的であった。ここで、その他の水分は、降水量から流出水量と蒸発散量を差し引いた水量であり、これには土壤中に貯留された水分、暗きょの位置よりさらに地下浸透した水量、お

よび牧草に吸収された水分等が考えられるが、その割合はかなり高い。渋谷ら⁷⁾は、斜面ライシメーターの調査結果から、年降水量1,353mmのときの総流出量(表面流出水量と地下水流出水量の和)は、植生ローム区で558mmと推定している。調査結果では、対象地区の流出水量は降水量1,452.6mmに対して293.8mmとかなり少なくなっており、これらの差にみられる不明水量については、さらに今後の追跡が待たれる。

流出水量と降水量の関係を第9図に示す。これによると、地区内における流出水量は降水量におおむね比例したが、2月、8月、9月にみられるように必ずしもこれに符合しない場合もみうけられた。これらの理由の中に



は降雨時の降雨強度、降雨間隔、降雨前の土壤水分状態、牧草の草勢、気温など種々の要因の関与が考えられるが本調査では、これらについて詳細な検討は行わなかった。また、第10図には、59年中の表面流出水量と降水量の関係について、降水量10mm以上の場合について示した。これによると、両者間に高い相関がみられ、降水量10mmで1日ha当たり0.1m³、20mmで0.7m³、30mmで1.2m³の表面流出があり、降水量10mm以下の表面流出水量は極めて少ないことがうかがわれた。



牧野における肥料成分の動向と収支

3 塩類収支

塩類収支の計算は、前述した水収支調査結果にみられる流出特性を考慮して、平常時の場合と降雨時の場合に分けて分析した。以下これらについて述べる。

1) 平常時の場合

雨水、流出水および暗きょ流出水に伴う塩類の負荷量は、濃度×水量=負荷量より算出し、調査結果を年次別に、第4表に示す。

第4表 雨水、流出水および暗きょ流出水による負荷量 (ha当たり)

区分	項目 年次	降雨量 及 流出水量 (t)	N		P		K		Ca		Mg	
			濃度 (ppm)	負荷量 (kg)	濃度 (ppm)	負荷量 (kg)	濃度 (ppm)	負荷量 (kg)	濃度 (ppm)	負荷量 (kg)	濃度 (ppm)	負荷量 (kg)
雨	59	5,405.0	0.62	3.37	0.00	0.00	0.07	0.39	0.01	0.08	0.01	0.06
	60	14,526.0	0.73	10.68	0.00	0.00	0.10	1.41	0.51	7.34	0.08	1.22
	計	19,931.0	0.70	14.05	0.00	0.00	0.09	1.80	0.37	7.42	0.06	1.28
流出水 (表面流出 + 暗きょ流出)	59	52.2	1.93	0.10	0.00	0.00	17.64	0.92	7.49	0.39	9.44	0.50
	60	2,937.8	1.61	4.73	0.006	0.02	1.46	4.28	9.77	28.70	6.14	18.05
	計	2,990.0	1.62	4.83	0.006	0.02	1.74	5.20	9.73	29.09	6.20	18.55
暗きょ流出水	59	29.7	1.79	0.06	0.00	0.00	13.27	0.39	7.66	0.23	10.26	0.30
	60	750.5	2.14	1.61	0.004	0.00	1.40	1.06	13.04	9.79	9.55	7.17
	計	780.2	2.13	1.67	0.004	0.00	1.86	1.45	12.84	10.02	9.58	7.47

これによると、地区内への流入負荷としての雨水の負荷量は、調査全期間中に、T-Nでha当たり14.05kgであった。これに対し、地区外への流出水にともなう流出負荷量は、T-Nでha当たり4.83kgとなり、これは雨水にともなう流入量の3分の1程度である。また、調査全期間のT-N流出量を表面流出と暗きょ流出別にみると、表面流出分はha当たり4.83-1.67=3.16kgとなり、暗きょ流出分1.67kgに比べて、およそ2倍の量となっている。しかし、流出平均濃度は、暗きょ流出分が2.13ppmと、流出分(暗きょ流出分+表面流出分)の1.62ppmを上回っており、水収支で述べた不明水量との係わりで考察すると、不明水量を暗きょ流出以外の地下浸透流出分と仮定した場合、窒素収支との係わりは大きく、この点の追跡が今後さらに必要な点として残された。T-Pについては、雨水にともなう流入はほとんどなく、流出水にともなう流出も調査期間中ha当たり0.02kgと極めて少ない量となった。その他の塩類では、雨水にともなう流入量はha当たりKでは1.80kg、Mgでは1.28kg、

Caで7.42kgとなり、流出水にともなう流出量は、ha当たりKで5.20kg、Mgで18.55kg、Caでは29.09kgとなった。

以上の結果に、施肥した肥料分(第2表)を加え塩類収支をまとめると第5表のとおりである。

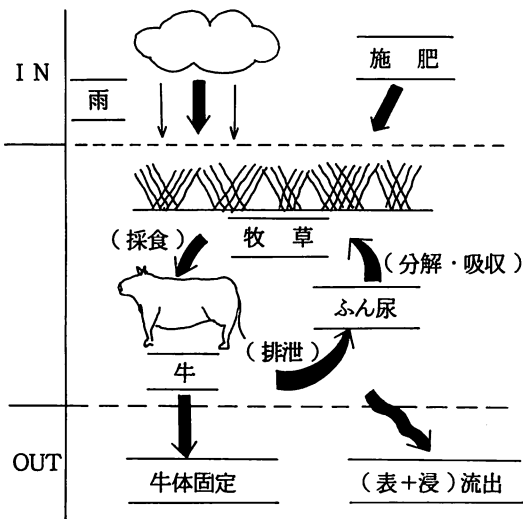
調査期間をとおして、T-Nではha当たり施肥量と流入量42.62kgに対し、流出量は4.83kg、差し引き37.79kgとなり、T-Pでは、ha当たり6.23kgに対し、0.02kg、差し引き6.21kgとなった。またKについては、ha当たり25.51kgに対し、5.20kg、差し引き20.31kgとなり、それぞれ施肥量と流入量に対し流出量が少なかった。これに対し、CaおよびMgについては、逆に流出量が流入量をかなり上回った。

以上の結果からうかがわれるとおり、窒素、リン、カリウムについては、地区内に何らかの形で残留された結果となり、またカルシウム、マグネシウムについては、逆に地区内に蓄積されていた分が流出した結果となった。これらのことは、第11図に示すとおり、放牧地において

第5表 塩類収支

		(kg/ha)														
要因	塩類	N			P			K			Ca			Mg		
		59年	60年	計	59年	60年	計	59年	60年	計	59年	60年	計	59年	60年	計
		雨水(A)	3.37	10.68	14.05	0.00	0.00	0.00	0.39	1.41	1.80	0.08	7.34	7.42	0.06	1.22
IN	施肥(B)	-	28.57	28.57	-	6.23	6.23	-	23.71	23.71	-	-	-	-	-	-
	計(C=A+B)	3.37	39.25	42.62	0.00	6.23	6.23	0.39	25.12	25.51	0.08	7.34	7.42	0.06	1.22	1.28
OUT	流出水(D)	0.10	4.73	4.83	0.00	0.02	0.02	0.92	4.28	5.20	0.39	28.70	29.09	0.49	18.05	18.54
差	引(E=D-C)	3.27	34.52	37.79	0.00	6.21	6.21	▲0.53	20.84	20.31	▲0.31	▲21.36	▲21.67	▲0.43	▲16.83	▲17.26

注) 59年は6月11日～12月31日, 60年は, 1月1日～12月15日の値である。 ▲: 流出量>流入量



第11図 塩類収支要因モデル図

は, 常に, 放牧牛のふん尿による牧草への塩類の供給, それにともなった牧草の吸収・生育, 牛による牧草の採食といった内部循環も考えられ, これらの影響が一因としてあげられよう。また, 水収支調査でとらえることができなかった不明水量との係わりも考えられ, これらの点についての検討が本調査では残された。

2) 降雨時の場合

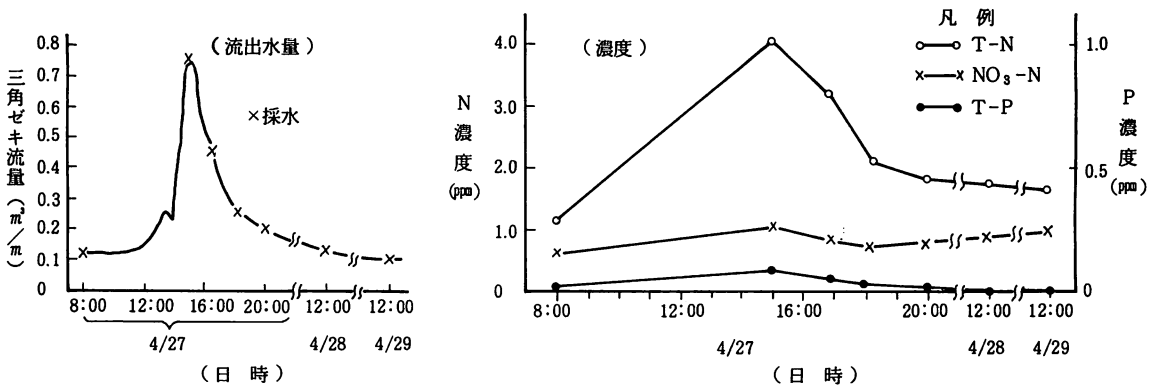
4月27日および10月11日の水質と流出水量調査結果を第6～7表および第12～13図に示した。

4月27日の調査は, 流出ピーク以後の調査であったが, EC値とCa, Mg, Na濃度は, ピーク時が低く, 以後高まる結果となり, 逆に, ケルダール窒素(K-N), T-P, K, 塩素(Cl)濃度は, ピーク時が高く, その後低下する傾向となった。前述したとおり, 本牧野に

第6表 4月27日(施肥3日後, 降水16.5mm)の水質変化

成分		(ppm)											三角ゼキ流 流量 (m ² /mi)
日・時間	pH	EC (μS/cm)	T-N	K-N	NO ₃ -N	T-P	Ca	Mg	K	Na	Cl		
4/27	8:25	6.30	200	1.18	0.51	0.67	0.002	11.3	7.5	1.3	6.9	4.9	0.126
	15:15	6.49	170	4.06	3.00	1.06	0.073	8.3	5.4	4.7	4.6	12.7	0.750
	16:45	6.49	175	3.22	2.34	0.88	0.060	8.0	6.4	4.5	5.1	11.7	0.453
	18:15	6.45	180	2.06	1.39	0.77	0.036	8.5	6.8	2.9	5.9	7.8	0.246
	20:00	6.48	185	1.86	1.02	0.84	0.016	9.5	6.6	2.2	6.3	6.8	0.205
4/28	12:40	6.43	200	1.72	0.80	0.92	0.003	9.7	7.2	1.7	7.1	5.9	0.122
4/29	12:45	6.48	200	1.59	0.58	1.01	0.004	10.1	7.5	1.6	7.3	4.9	0.095

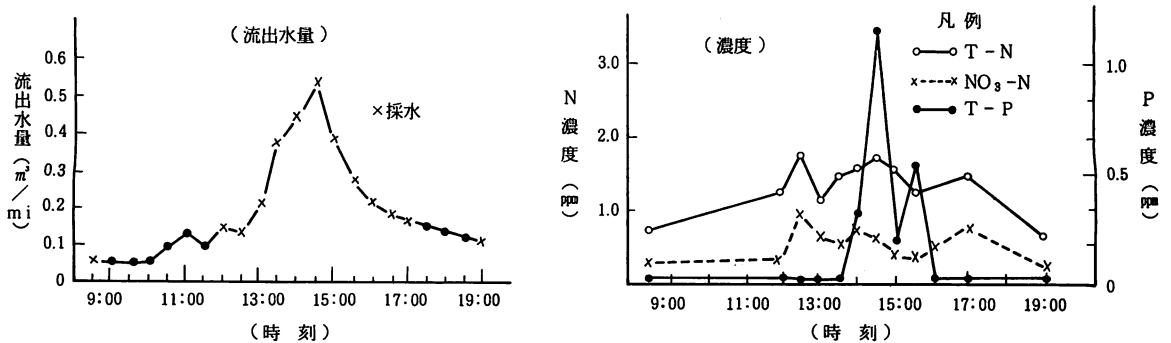
牧野における肥料成分の動向と収支



第12図 4月27日の流出水量と水質の関係

第7表 10月11日(降水29.4mm)の水質変化

成分		(ppm)											三角ゼキ 流 量 (m^3/mi)
日・時間	pH	EC ($\mu S/cm$)	T-N	K-N	NO ₃ -N	T-P	Ca	Mg	K	Na	Cl		
10/11 8:30	6.15	190	0.76	0.43	0.33	0.005	11.8	6.3	1.6	9.4	11.7	0.0579	
12:00	6.30	155	1.24	0.87	0.37	0.040	9.6	5.7	2.6	6.8	10.7	0.1528	
12:30	6.41	155	1.78	0.80	0.98	0.004	9.6	5.5	2.4	6.7	9.8	0.1302	
13:00	6.46	145	1.08	0.43	0.65	0.004	8.9	5.1	2.9	5.9	9.8	0.2161	
13:30	6.46	130	1.48	0.94	0.54	0.003	7.8	4.5	3.5	5.0	8.8	0.3754	
14:00	6.50	125	1.61	0.87	0.74	0.372	7.0	4.1	3.6	4.6	7.8	0.4525	
14:30	6.54	115	1.74	1.09	0.65	1.250	6.3	3.7	3.7	4.2	8.8	0.5482	
15:00	6.49	115	1.57	1.16	0.41	0.223	6.5	3.8	3.6	4.2	7.8	0.3754	
15:30	6.45	120	1.24	0.87	0.37	0.665	7.3	4.2	3.2	4.9	7.8	0.2722	
16:00	6.47	125	1.36	0.80	0.56	0.016	7.5	4.2	3.0	5.1	7.8	0.2161	
17:00	6.45	140	1.50	0.72	0.78	0.010	8.3	4.7	2.6	5.6	8.8	0.1882	
19:00	6.33	155	0.62	0.36	0.26	0.005	9.4	5.1	2.2	6.3	9.8	0.1675	
10/12	6.30	175	0.81	0.51	0.30	0.003	11.0	5.8	1.4	7.7	9.8	0.1178	



第13図 10月11日の流出水量と水質の関係

おける施肥作業は、本調査を行う3日前の4月24日に実施している。流量の増大とともにT-N, T-P, K濃度の高まった背景として、これら施肥成分の流出にもとづく影響が考えられる。NO₃-N濃度の推移には、目立った変化はみられなかった。

次に、10月11日の調査結果についてみると、この調査では、流出時期、ピーク時および流出後期と、流出パターンにおいて、ポイントをしばって行った調査であったが、これらを概観すると、EC値とCa, Mg, Na, Cl濃度については、流出水量の増大とともに濃度は低下し、流出水量の減少とともに濃度は高まった。T-N, T-P, K濃度の推移についてみると、増水時にそれぞれの濃度は高まる傾向がみられた。また、ピーク時には、T-Pの濃度変化の著しいことが目立った。これは、採水時点の観察結果によってもあきらかなように、流出水がかなり懸濁していたことから、土粒子の混入による影響と思われる。

以上、4月27日と10月11日の降水時調査結果について述べたが、ここで両者について比べると、前者でT-N濃度差の大きい傾向がうかがえる。もちろん、4月と10月では、気象条件、牧草の生育ステージ、土壌水分、牧野管理等、牧野における塩類収支に関与する要因の差異も考えられるが、これは、調査が施肥後間もない時期に実施したこと、それに牧草の生育が初期段階であることなどからみて、前者が施肥による影響をかなりうけたことがうかがえる。

以上の結果から、それぞれの調査日の時間内に流出した塩類の流出量を、窒素とリンについてまとめると、第8表のようになる。これによると、調査期間ごとの平均値に比べ、窒素の流出は、4月27日の場合は12.4倍、10月11日の場合は2.5倍となり、リンについても同様に高い流出を示した。このことから、対象地区のような、山林を造成した傾斜(勾配3~18°)地の放牧地では、降雨時の一時的な増水が、地区の栄養塩類の動向と収支にかなり関与しうることが示唆された。第3表に示すとおり、調査期間をとおしてみた20mm/日以上降水量の回数は41回あり、それらの降水日の合計流出水量は141.5

第8表 降雨時の窒素, リンの流出量 (ha当たり)

調査月日	項目	流出	N流出	P流出	備考
		水量 (m ³)	量 (g)	量 (g)	
4月27日	(15:15~20:00)	10.07	30.70	0.53	4月27日の降水量
	(時間あたり)	2.12	6.47	0.17	16.5 mm
10月11日	(8:00~19:00)	12.16	14.25	3.26	10月11日の降水量
	(時間あたり)	1.10	1.30	0.30	29.4 mm
年平均	(時間あたり)	0.35	0.52	0.002	

mmになる。この量は、調査期間中における総流出水量345.9mmの41%を占めることからみても裏づけされる。

本調査では、前述した2回の降雨日の調査結果にとどまったが、これらの調査結果からみても、降雨にともなう栄養塩類の系外流出はあきらかに認められた。しかもこれらは、調査地区における種々の条件によって異なるようであり、降雨増水による影響調査については、まだ施肥直後の細密調査、夏季および台風時等種々の条件下での把握が必要と思われる。

降雨時の土砂の流出および施肥直後の肥料成分の流出等は、平常時の場合ほとんど流出してないリンの排出に結びついており、これら降雨増水時の栄養塩類の流出軽減をねらうためにも、その対策として、望ましい牧野の管理法の一つとして、浸触防止など土砂の流出を少なくするためのムラのない草勢の維持管理、施肥にあたっては溶出し難い有機質肥料、緩効性肥料の使用等適切な施肥管理に努めることが大切である。

IV 摘 要

1) 調査地区は、昭和46年から51年にかけて造成された大宮町宮牧場53.76haのうち、集水域として水収支等の調査が可能と思われる勾配3~18°の傾斜地10.5haを対象とした。

2) 調査地区における水収支は、降水量を100.0とした場合、蒸発散量46.9%, 表面流出水量12.1%, 暗き

牧野における肥料成分の動向と収支

きょ流出水量 5.3 %，その他 35.7 %となったが，その他の不明水量がかなり高い割合を占め，このことについては今後さらにその追跡が待たれる。

3) 流出水（表面流出水+暗きょ流出水）の T-N 濃度は平均 1.62 ppm，暗きょ流出水の濃度は平均 2.13 ppm となり，暗きょ流出水の濃度が高かった。T-P 濃度については，両者とも 0.01 ppm 以下と，きわめて低濃度であった。雨水の T-N 濃度は平均 0.70 ppm となり，T-P はほとんど検出されなかった。

4) 栄養塩類の収支は，窒素では，ha 当たり施肥量と雨水からの流入量 42.62 kg に対し，流出量は 4.83 kg，リンについては，施肥量からのみで ha 当たり 6.23 kg に対し，流出量は 0.02 kg となった。カルシウム，マグネシウムでは流出量が流入量をかなり上回った。

5) 4月27日と10月11日の降雨日の窒素，リンの流出調査の結果，施肥3日後の4月27日の場合，増水時の T-N 濃度が 4.06 ppm を示した。10月11日の場合，増水時の T-P 濃度が最高 1.25 ppm を示した。

6) 窒素，リンの流出量試算の結果，4月27日の場合，窒素で時間 ha 当たり 6.47 g の流出となり，調査全期間（59年6月～60年12月）平均の 12.4 倍を示し，10月11日の場合，リンで時間 ha 当たり 0.30 g と，調査全期間平均 0.002 g を大幅に上回った。

謝辞：本調査研究は，環境庁の委託に基づいて実施したものである。本調査を行うにあたり，ご指導，ご助言を承った農水省農環研増島博室長（元），農水省農土試渋谷勤治郎室長（元）に対し心から感謝の意を表す。また，地区選定にあたって特段の配慮をいただいた茨農試

小林登元環境部長（現作業技術部長），実際の調査にあたって親切なご指導，助言そして現地での調査協力をいただいた茨農試環境部小山田勉主任研究員をはじめ同部職員に対し厚くお礼申し上げる。また現地での採水，降水量測定に協力いただいた茨農試管理部横山良裕技師はじめ関係した方々，そして調査地区について協力いただいた大宮町産業課，大宮町営牧場長および杉山技師，石川技師に対し感謝の意を表すると共に厚くお礼申し上げます。

引用文献

- 1) 高村義親・田淵俊雄（1977）：水田肥料の流出と陸水の富栄養化，日本河川年鑑，研究編，861～871，山海堂。
- 2) 平山力・酒井一（1985）：水田からの肥料成分の流出とその対策（第1報），水田からの肥料成分の流出，茨城農試研究報告，第25号。
- 3) 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，茨城農試特別研究報告，第4号。
- 4) 九州農政局計画部（1981）：環境保全対策基礎調査，阿蘇地区，環境変化追跡調査報告書。
- 5) 渋谷勤治郎・上村春美・坂西研二（1981）：斜面ライシメーターによる水収支と土壌侵食に関する実験的研究，農業土門試験場報告，第21号。
- 6) 田淵俊雄・沼尻剛（1986）：非灌漑期における窒素流出負荷の特徴，農土論集第124号 35～43。
- 7) 5)に同じ。

土壌の重金属汚染に関する調査研究

第6報 汚染谷津田の改良とその後の水稲のカドミウム吸収

平山 力・酒井 一

Soil Pollution by Heavy Metals Part V.

Improvement of the dissected Valley Paddy Fields Polluted by Cadmium and the Cadmium Absorption of Rice Plant.

Chikara HIRAYAMA, Kuni SAKAI.

面積10.6haを有する火山灰谷津田千代田村上稲吉地区は、現地改善対策試験結果にもとづき、昭和58年より山土による25cm上乗せ客土によってカドミウム汚染土壌の改良対策が行われた。その後対策田について水稲を作付けし、その生育と収量、カドミウム吸収等について3か年間、追跡調査を行ったところ、玄米中のカドミウムはいずれの年も0.03ppm以下と極端に抑えられ対策の効果が顕著に認められたので、これらの概要を報告する。

I 緒 言

新治郡千代田村上稲吉地区水田は、昭和48年4月、千代田村役場に水田耕作者から、水田土壌が黒く変色し、腐敗臭が感じられるとの苦情があり、村が水田土壌の調査を行ったところ、高濃度のカドミウム（以下Cdと記す）が検出されたため、県は48年9月水田土壌及び産米の調査を行った。その結果、玄米に最高1.64ppmの高Cd米が検出された。汚染源は周辺から流入した工場排水中のCdによるものと結論され、これら汚染田の的確な改善対策の早急な実施が望まれ、直ちに恒久対策確立のための調査試験が実施された。農試では昭和49年より2か年間、現地改善対策試験を行い、その結果、非汚染土の25cm上乗せ客土が、当該地区の対策法として最もすぐれていることをあきらかにし、これらの結果はすでに前報¹⁾で報告した。対策処方箋は、試験結果に基づいて作成され、県内や国の関係機関担当者によって検討が加えられたうえ、さらにこれにもとづいた対策計画²⁾が作成された。作成に際しては地区特有の軟弱地盤を配

慮し、精密な土壌調査の繰返しはもちろん先進県の資料³⁾も十分参考にした。

客土工事は昭和58年11月から、地区を3工区に分け、3か年計画で着工され、完了地区は59年より直ちに水稲の作付けが開始された。各工区とも水稲生育は順調に経過し、玄米収量もこれまでの慣行をうわまわったうえ玄米中のCd濃度はきわめて低いレベルに抑えることができ、期待どりの対策効果が確認された。

ここでは、これら対策の概要、対策後における水稲の生育とCd吸収結果等その概略について述べる。

II 改良対策方法

1) 対策地域の概要

(1) 立地及び営農条件

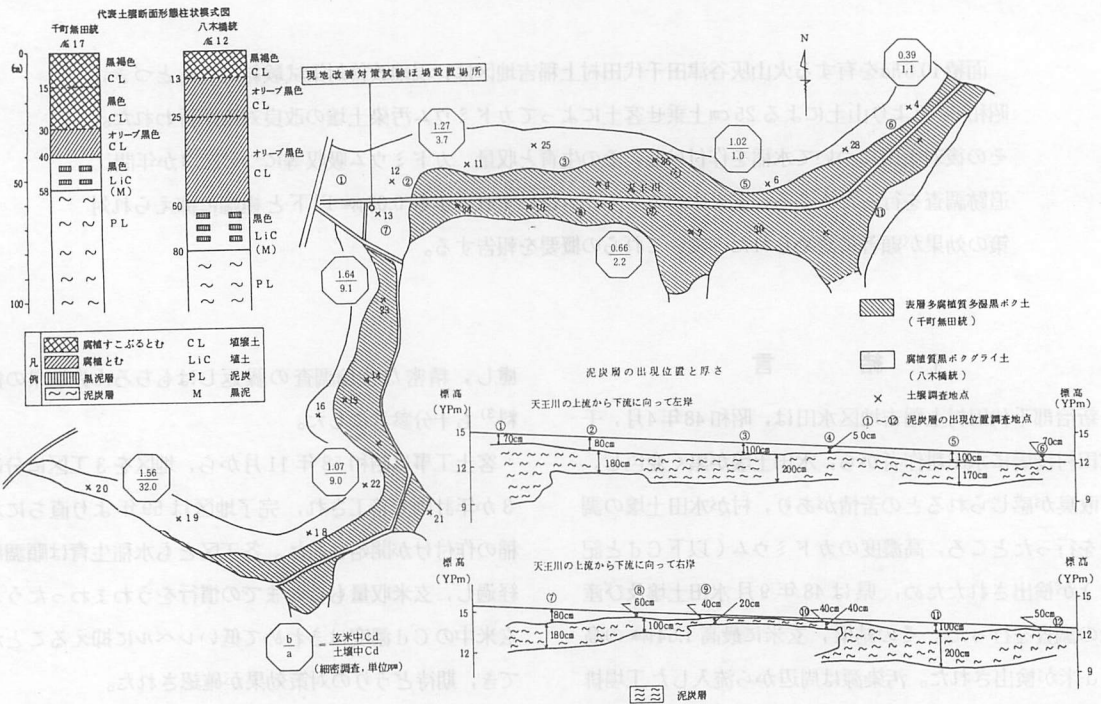
対策地域は県のほぼ中央部の千代田村上稲吉にあり、県道土浦、八郷線と天王川舟橋間の区域である。地形は台地間を流れる天王川流域に発達した狭隘な谷津田で、その巾は、上流部で20m、地域の下流部で150mとな

っている。地形はおおむね平坦であるが、標高 20~12 m と東西に緩に傾斜を示し、周辺台地との標高差は 10 m 以上と比較的深い谷が形成されている。

土壌は第1図に示したとおり、おおむね黒色土壌の湿田タイプで作土の土性は細粒質となっている。土壌区分では表層多腐植質多湿黒ボク土の千町無田統(茨城、下佐谷統)、及び腐植質黒ボクグライ土の八木橋統(茨城、平沼統)である。母材は非固結火成岩でとくに表層では火山灰の影響が大きい、下層 50 cm 以下では黒泥、泥炭層が出現し、軟弱地盤の性格を裏づけている。用水は

その水源を天王川に一部深井戸に依存している。

平年の平均気温は 14.3℃、年間総降水量は 1,251 mm である。対策地域の関係農家は 41 戸で、そのうちの 31 戸が第2種兼業農家で専業農家は 10% 以内の 4 戸にすぎない。一戸あたりの平均経営耕地面積は 1.12 ha で、このうち水田 0.46 ha、畑 0.15 ha、樹園地 0.51 ha となっており、梨を中心とする果樹園が樹園地の大部分を占め、営農類型は果樹+水稲である。対策地域における水稲収量は 10 a あたり玄米で平均 440 kg であり、県平均収量 442 kg とほぼ同じである。



第1図 土壌条件とCd汚染状況²⁾

(2) Cd汚染状況

本地域のCd汚染は、対策地域の上流の向原工業地内に立地する理研真空工業KK霞ヶ浦工場が、昭和42年1月から昭和47年6月までCd含有塗料による電球の着色作業を行い、Cdを含む排水を排出した。このため、かんがい水や、排水路の氾濫に伴って、有害物質であるCdが工場排水の流入した水路周辺の水田に混入し、水田の土壌汚染に結びついた。

なお、汚染源となった当工場は、昭和55年7月に工場の操業を停止し、現在当工場からのCd排出はほとんど認められていない。

Cd汚染の状況は第1図に示したとおり、昭和48年から55年度までの細密及び補足調査の結果から、玄米中Cd濃度最高 1.64 ppm、土壌中(0~15 cm)濃度最高 32.0 ppmを示し、その濃度は上流から下流に向かって漸減している。

土壌の重金属汚染に関する調査研究

(3) 対策地区の面積と土地利用
 対策地区の面積は10.6 haあり、このうち農用地として利用する土地は9.6 ha、農用地外は1.0 haある。農用地は大部分水田であり、農用地以外の面積は、水田に附随する道や水路であった。しかし実際の対策計画では9.6 ha水田現況面積のうち、農家の土地利用等の意向等を考

慮し、このうち0.5 haを道水路として利用されたことから、水田の実面積は9.1 haとなった。

2) 対策の基本方針

対策処方箋の骨格となった改良対策の基本方針は第1表に示した。

これによると本地域の土壌汚染の改良対策は、(1)汚染

第1表 改良対策の基本方針

項 目	基本方針	備 考
土 壌 汚 染 改 良 対 策	上乘せ客土 25 cm	現地改善対策試験結果 ¹⁾ による。
再 汚 染 防 止 対 策	排水路の舗装	凍結融解、法面破壊、水路底質のは場内混入を防止するため、コンクリート製品による柵渠を設ける。
土 壌 改 良	10 a 当たり ようりん 700 kg、珪カル 150 kg	ようりんはP吸の5%相当量 珪カルは茨城県水田土壌改良基準 ⁴⁾ による。
客 土 用 土	火山灰土(ローム層)	0.1 NHC ℓ 可溶Cd最高0.16 ppm, CL
用 水 , 水 質	パイプライン方式 深井戸	水質転換, 用水中Cd 0.0002 ppm
農業用水による客土の耐用性	30年後における対策水田作土中のCd	用水からのCd供給量1,032 g + 客土機による水田作土Cd量1,420 g \div 水田作土重量(t) 8,873 = 0.276 g/t
土 地 改 良 事 業	公害防除特別土地改良事業	
土 地 改 良 方 式	ほ場整備	80 m \times 25 m = 20 a 区画

注) 上稲吉地区農用地土壌汚染対策計画書²⁾(昭57.6.2国より承認)による。

を除去するための対策として上乘せ客土25 cmによる耕土の非汚染化と生産力確保のための土壌改良資材の施用である。上乘せ客土25 cmの採用は、現地改善対策試験の結果¹⁾に基づくものであるが、客土深25 cm採用の根拠についてはさらに後述する。土壌改良資材の施用は、客土材として地区周辺火山灰台地ローム層(山赤土)を用いたことから、分析結果に基づく資材量を、工事の手順に折込んで施用し、作付初年目からの生産力の確保をねらった。(2)次に汚染を防止するための対策として、排水路のコンクリート製品による舗装を行った。このことはとくに、冬季凍結融解等種々の自然条件によって破壊された法面や水路底質の汚染土が、は場内に混入することにより惹起する再汚染防止をねらった。用水、水質については本地域が水質汚染によったこともあって水質転

換を行った。水源は深井戸、用水はパイプライン方式とした。用水中のCd濃度は0.0002 ppmである。また、これら農業用水かんがいによる客土の耐用性についても、30年後を想定して試算した結果²⁾では、客土材そのものの自然賦存量0.1 NHC ℓ 可溶Cd最高0.16 ppm、前述用水中Cd 0.0002 ppmを基礎にした場合、用水からのCd供給量1,032 g + 客土材による水田作土Cd量1,420 g \div 水田作土重量(0~15 cm) 8,873 t = 0.276 g/t (0.276 ppm)となり、これは県内非汚染水田土壌のレベルに比べて低い値であり、30年後においても、汚染米出現の恐れはないと考えられる。土地改良事業は、公害防除特別土地改良事業によって行い、20 a区画を基本としたほ場整備により実施した。なお、本地域は、未整理地域であったことから、対策工法として区画整理方式を採用した事情も

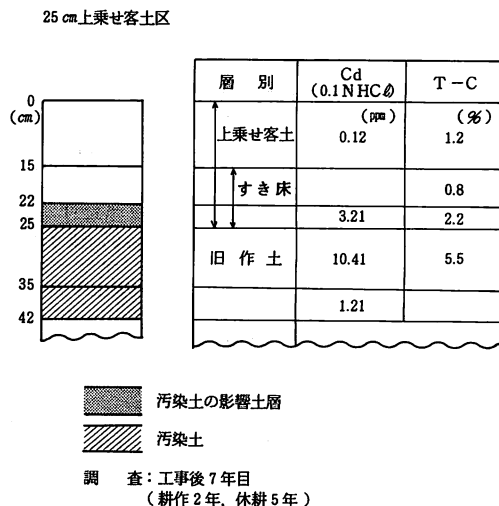
あり、農業生産の近代化を考慮し、併せ行う事業としてかんがい排水及び暗渠排水事業も実施した。これらの事業には対策地域のほかに一体地域として周辺水田 1.0 ha、その他水路等 0.8 ha、計 1.8 ha の面積が含まれる。

3) 客土深 25 cm 採用の根拠

現地改善対策試験の結果¹⁾によれば、当該地区の改良対策としては玄米中の Ca 吸収抑制、玄米の収量面からみて、客土深 5 cm を減らした 20 cm 上乗せ客土区でも 25 cm 客土区同等の効果の得られる見通しが得られていた。しかし結果的に地区の対策の基本方針として安全性を考慮し 25 cm 上乗せ客土工法の採用となった。これらの根拠について述べれば次のようである。

当該地区の土地条件がもともと軟弱地盤であることは前述したが、さらに対策試験終了後 7 年目の試験区について、跡地土壌の断面形態と土壌中の Cd 濃度、土壌の物理性等について調査を行い、その結果を第 2 図、第 2、3 表に示した。これによると 20 cm 排水客土区、25 cm 上乗せ客土区とも客土層下 3 cm 程度が Cd 濃度が高く、全 C 量も多く下層に埋没された汚染土の影響をうけていることが判明した。また汚染土壌の物理的特性では三相割

合の中でとくに液相の占める割合が高く、仮比重も小さく透水係数は 10^{-5} オーダーとなった。土壌の分散状態でも県内の湿田土壌(分散状態でプラス 1 程度)に比べて分散し易い値となっており、液性、そ性限界、そ性、液性指数も 150%, 76%, 74, 0.95 と高く、これは県内干拓直後ヘドロ土壌⁴⁾(それぞれ 160%, 95%, 72, 1.00) とほぼ同等の値がみられた。



第 2 図 汚染土の影響土層

第 2 表 土壌の三相割合と透水係数

区名	固相 (%)	液相 (%)	気相 (%)	孔隙率 (%)	仮比重 (g/ml)	透水係数 K_{20} (cm/sec)
無処理区	27.5	47.3	25.2	72.5	0.66	1.7×10^{-5}
25cm上乗せ客土区下層汚染土	32.5	42.5	25.0	67.5	0.78	1.4×10^{-5}

第 3 表 土壌の分散状態

項目	土壌の分散状態				液性指数等				
	1 日目		5 日目		自然含水比	液性限界	そ性限界	そ性指数	液性指数
土壌	ml/g(A)	分散状態	ml/g(B)	分散状態					
現汚染土 (無処理区)	6.61	卅	5.90	卅	146	150%	76%	74	0.95
客土用土	5.82	+	5.63	+	85	94	67	27	0.67
25cm上乗せ客土区客土層	5.60	+	5.40	+	86	95	68	27	0.67
汚染土客土区の下層	6.82	卅	5.51	卅	138	146	70	76	0.89

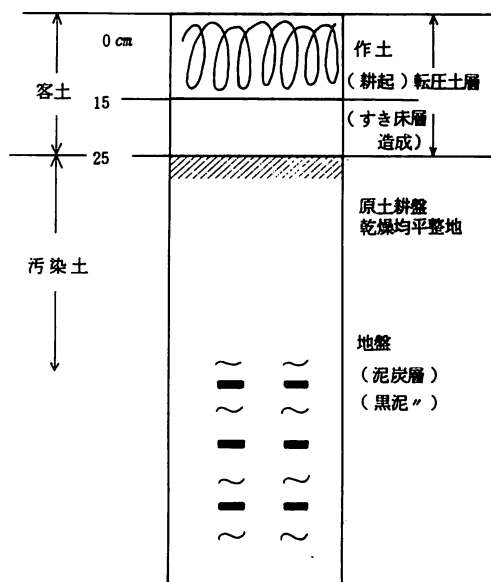
注) 液性指数は 0 に近づくほど土壌の安定を示す。

以上のように汚染土壌は液状になり易く、極めて不安定であることから客土層の圧力による土層間の微細土粒子の移動によって客土層下層3 cm程度のCd濃度の上昇という現象がみられた。このような汚染土壌の特性は、本地域が周辺台地との比高が10 m以上あり、伏流水の多い狭隘な谷津田であったことに由来しているものと考えられる。前述したとおり25 cm上乗せ客土区の汚染土壌の液性指数等が現汚染土壌より小さいことからみて、客土後予想される乾田化においては、汚染土の土粒子も安定の方向に変化するものと考えられるが、安全性を考慮すれば、客土深20 cm + 客土厚5 cmは必要である。

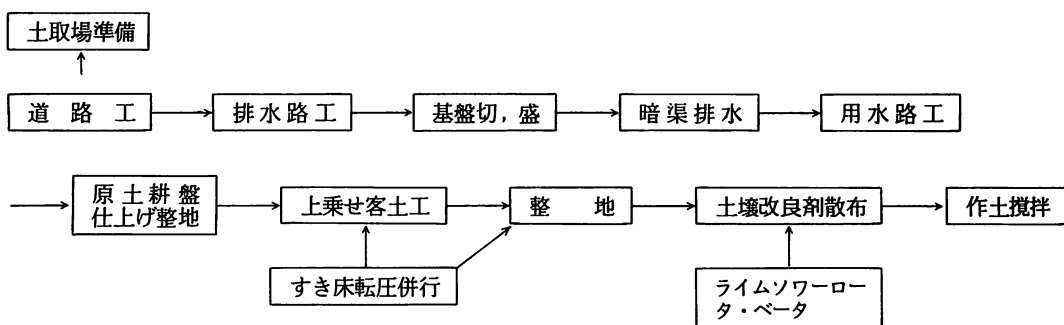
4) 対策施工

対策工事後の土壤断面形態を模式図で示すと第3図のようになり、工事の手順は第4図に示した。上乗せ客土工は原汚染土を明、暗渠による乾燥し、均平整地後実施した。上乗せ客土25 cmは土層の区分として、作土0～15 cm、転圧層(すき床層)10 cmを見込んだが、この場合の転圧土層の造成は、とくに工事手順の中に造成工程

は含めず、上乗せ客土工と整地工に併行して25 cm土層の転圧を併行して実施し、転圧土層25 cm造成後、作土0～15 cm耕起し改良資材の散布攪拌を行った。



第3図 対策工事後の土壤断面



第4図 対策工事の手順²⁾

Ⅲ 対策後の水稻生育とCd吸収

対策工事は地区内を3工区に分け、年1工区づつ昭和58年度から3か年の完了計画で実施された。したがって、水稻の作付けは昭和59年度から順に行われた。

1 生育収量

初年目着工した工区の作付けは、土地改良後初めての作付けとあって、若干の遅れがみられたが、その後2、3年目の工区では、工事が早目に終了していたこともあ

って作付けは順調であった。各工区の代表ほ場でみた対策後の水稻生育収量の調査結果は第4表に示した。栽培品種はいずれのほ場もコシヒカリ、田植えは各年とも5月15～20日、この場合の基肥はNとして10 aあたり8 kgとし、山赤土ということもあり隣接田標準施肥量6 kgに比べてやや増施した。水管理は最高分けつ期の6月下旬から7月上旬に行う中干し、それ以後の間断かんがいは、予想以上の漏水もあったことから、いずれのほ場も守れ

第4表 対策後の水稻の生育収量

ほ 場 No	客 土	生 育 (9/18)			わら重 (kg/10a)			玄米重 (kg/10a)				
		稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本/株)	昭 59	" 60	" 61	昭 59	" 60	" 61		
昭. 58 工事完 了区	6-1*1	上乘せ客土	91.5	18.9	21.3	660	655	577	562	535	532	
	3-1	"	100.2	18.7	20.2	675	640	580	558	540	530	
	13-5	"	95.6	20.6	16.9	585	592	570	486	513	470	
	平均			95.8	19.4	19.5	640	629	576	535	529	511
	1-1*2	客土なし	88.6	20.5	22.0	647	-	-	525	-	-	
	4-2*2		90.3	19.7	20.7	635	-	-	513	-	-	
平均			89.5	20.1	20.9	641	-	-	519	-	-	
昭. 59 工事完 了区	17-2	上乘せ客土	90.2	19.2	21.8	-	640	618	-	546	530	
	18	"	89.7	20.0	23.0	-	630	620	-	520	515	
	22-2	"	91.0	18.5	20.4	-	637	-	-	518	-	
	平均			90.3	19.2	21.7	-	636	619	-	528	523
昭. 60 工事完 了区	10-2	"	87.4	20.4	21.6	-	-	587	-	-	515	

注) *2 併せおこなう事業で施工したほ場, *1 框試験, 工事前地区平均玄米収量 420kg/10a, 品種: コシヒカリ, 基肥 N, P₂O₅, K₂O 8kg/10a, 追肥 3kg × 2回。

なかった。しかし、ほ場の漏水は畦畔部分のビニール被覆によるしゃ断や、伐かき回数なより、年次別にみても、漸次減少の傾向がみられた。落水はいずれもおおむね出穂 20 日とし、刈取りは各年とも 9 月 17~22 日間に行った。

作付け後の水稻生育は、火山灰土の客土によって心配されるりん酸欠乏、赤枯病の発生もみられず、ほ場によっては管理不慎れにともなう生育むら、追肥時期の遅れ等による若干の倒伏もみられたものの、おおむね順調に

経過した。玄米収量は昭和 58 年工事完了区の初年目で上乘せ客土区 3 ほ場平均で 10a あたり 535 kg, 客土なしの併せおこなう事業として排水改良、ほ場整備を行ったほ場の平均収量 519 kg に比べてうわまわった。また、59, 60 年度工事完了区は場の玄米収量もいずれも初年目より 500 kg をうわまわり、さらに同一ほ場で 3 年追跡した結果でも同様の傾向が認められ、工事前の玄米収量 10a あたり平均 440 kg を大巾にうわまわり、水稻の生育収量の面で所期の目的が達せられた。

第5表 対策後の水稻玄米 Cd 濃度

ほ 場 No	客 土	玄 米 中 Cd			わ ら 中 Cd			
		昭 59	" 60	" 61	昭 59	" 60	" 61	
昭 58 工 事完 了区	6-1*1	上乘せ客土	0.02	0.03	0.03	0.16	0.14	0.15
	3-1	"	0.03	0.03	0.02	0.11	0.15	0.15
	13-5	"	0.02	0.03	0.03	0.16	0.16	0.14
	1-1*2	客土なし	0.18	-	-	0.92	-	-
昭 59 工 事完 了区	4-2		0.16	-	-	0.80	-	-
	17-2	上乘せ客土	-	0.03	0.03	-	0.15	0.16
	18	"	-	0.02	0.03	-	0.13	0.14
昭 60 工 事完 了区	22-2	"	-	0.03	0.03	-	0.15	0.15
	10-2	"	-	-	0.03	-	-	0.16

注) *1 框試験, *2 併せおこなう事業で施工したほ場。

土壤の重金属汚染に関する調査研究

2 玄米のCd吸収

対策を行ったほ場に栽培した水稻玄米について、Cdの分析を行いその結果を第5表に示した。

これによると、玄米中のCd濃度は、初年目、2年目、3年目産米とも上乘せ客土区は場で最高0.03ppmを示した。この値は、非汚染田で工事の都合上、単に併せおこなう事業によりほ場整備を行った隣接客土なしほ場の玄米Cd濃度初年目最高0.18ppmに比べても大巾に低いレベルであり、あきらかに対策の効果が認められた。わらのCd濃度についても客土ほ場で最高0.16ppm、客土なしほ場の昭和59年度産米で最高0.92ppmを示し、対策の効果はわら濃度においても確認された。

3 減水深

59年度工事を完了したほ場のうち、3筆を選び、水稻の栽培期間中ほ場の減水深を年次別に追跡した。その結果を第6表に示す。

これによると、工事初年目の減水深は31~36mm/日であり、次年度28~31mm/日、3年目27~28mm/日と、減水深の値は年次の経過によって漸次低下する傾向がうかがわれた。

第6表 減水深

ほ場 No	年次	回数	X mm/日
6 - 1	59	4	36
	60	3	31
	61	3	27
3 - 1	59	4	33
	60	3	28
	61	3	28
13 - 5	59	4	31
	60	3	30
	61	3	28

注) 昭和59年度工事完了区 回数：測定(かんがい期間中)

IV 跡地土壤調査

水稻の栽培結果から、Cdの吸収抑制効果がきわめて顕著であることを知ったので、刈取り後跡地土壤の調査を行い、その結果を第7、8、9表に示した。

調査にあたってのねらいの重点は、まず第1として客土により造成した耕土の栽培後のpH状態と土壤中の重金属濃度、第2に土壤の圧密状態、第3にりん酸地力の評価であった。まず土壤のpHをみると、作土は水浸で

第7表 跡地土壤の重金属

ほ場	項目	(ppm)									
		pH		Cd		Cu		Zn		C.E.C. (m·e)	
		H ₂ O	KCl	T-Cd	0.1NHCℓ	T-Cu	0.1NHCℓ	T-Zn	0.1NHCℓ		
初年目 (昭59)	作付前	1	6.4	6.0	0.19	0.15	3.7	1.8	6.9	2.4	21.5
		2	6.2	5.9	0.19	0.15	3.7	1.8	6.9	2.4	21.5
	収穫時	1	6.4	6.0	0.19	0.15	3.7	1.8	6.9	2.4	21.5
		2	6.2	5.9	0.19	0.15	3.7	1.8	6.9	2.4	21.5
2年目 (" 60)	作付前	1	6.4	5.7	0.20	0.16	3.8	1.6	7.0	2.6	21.8
		2	6.4	5.8	0.21	0.15	3.6	1.6	7.0	2.7	22.0
	収穫時	1	6.5	5.9	0.18	0.15	3.8	1.7	6.9	2.5	22.9
		2	6.5	5.9	0.19	0.15	3.9	1.6	7.1	2.3	21.8
3年目 (" 61)	作付前	1	6.4	5.7	0.18	0.14	3.7	1.7	6.9	2.5	22.5
		2	6.5	5.7	0.17	0.14	3.8	1.5	7.0	2.2	21.7
	収穫時	1	6.3	5.7	0.18	0.14	3.6	1.5	7.1	2.2	21.4
		2	6.3	5.9	0.18	0.15	3.8	1.5	6.8	2.4	22.0

注) 1 (0~15cm) 2 (15~30cm) ほ場No.6-1。

第8表 土壌のち密度と透水係数

項目 ほ場No.	層 層位	厚 (cm)	客土厚 (cm)	ち密度 (山中式) (mm)	飽和透水 係数 K ₂₀ (cm/sec)
6-1	1	0~15		17	—
	2	15~30	30	21	6.1 × 10 ⁻⁵
3-1	1	0~15		16	—
	2	15~29		20	6.7 × 10 ⁻⁵
	3	29~	29	19	3.1 × 10 ⁻⁵
13-5	1	0~15		17	—
	2	15~28		20	5.4 × 10 ⁻⁵
	3	28~	28	19	2.7 × 10 ⁻⁵
1-1	1	0~15		15	—
	2	15~30	0	18	6.0 × 10 ⁻⁵

注) 6-1 ほ場: 対策効果確認基準点,
土壌調査: 昭59.10.12

第9表 土壌の化学性 (乾土あたり)

ほ場	調査年次	有効態 P ₂ O ₅ (ト ルオーグ) (mg/100g)	置換性(mg/100g)		
			CaO	MgO	K ₂ O
	昭59(初年目)	8.8	282	49	21
6-1	60(2 ")	6.4	250	35	23
	61(3 ")	5.7	237	31	19

(作土0~15cm)

6.3~6.4の値を示し、水稻の作付前後、対策後の年次別でも大差なかった。また作土(0~15cm)のCd濃度は0.1NHCℓ可溶で0.14~0.16ppmを示し、前述した客土土中最高濃度と符合した。Cu、Zn濃度についても0.1NHCℓ可溶でそれぞれ0.5~1.8ppm、2.2~2.6ppmといずれも極端に低い値を示し、pH同様水稻の作付前後、対策後の年次経過によっても大差は認められなかった。C.E.C(塩基置換容器)は22前後の値を示し中庸であった。

次に土壌のち密度である。ち密度の測定は刈取後土壌断面の各層について山中式硬度計を用いて行ったが、測定結果では各ほ場とも作土で15~17mm、次層で18~21mmの値を示し、いずれも作土に比べて次層で、値の

高い傾向がうかがわれ、圧密層の形成がうかがわれた。また、持ち帰った現地試料を室内で測定した飽和透水係数の値によれば、いずれの次層も10⁻⁵オーダーを示し、山中式硬度計でみた圧密層の形成をうらづけた。なお、第8表に示したとおり、客土工事を行い初年目の水稻栽培の終了した跡地ほ場で、土壌の断面調査を行い、客土層の確認を行った結果、いずれのほ場も28~30cmの値で、客土深25cmを大きくうまわった。

一方、第9表に示した土壌の化学性の調査結果から、作土の有効態りん酸含量についてみると、対策後初年目跡地で乾土100gあたりトルオーグ法で8.8mg、2年目、6.4mg、3年目、4.7mgと値は年次の経過により逐次低下し、とくに3年目の値が初年目の1/2に低下していることが目立った。また、CaO、MgO含量も乾土100gあたり初年目で282mg、49mgの値を示し、本県水田土壌の基準値⁶⁾CaO 200mg以上、MgO 25mg以上のレベルからみても対策3年目においてもこれをうまわまっていることが認められた。

V 考 察

カドミウム汚染田は、これまでの栽培過程で産米中1回でも1ppm以上のカドミウムが検出され、それ以後全々出ない場合でも該当する。このようなほ場に対しては土壌汚染の恒久対策を施さなければならない。対策は土壌汚染防止法⁷⁾に基づいて行われるが、具体的には土壌汚染対策事業として、対策地域の指定、対策計画の策定の手続きを経て実施される。

都道府県知事は、対策地域を指定した場合、地区内農用地汚染の防止もしくは除去さらに汚染された農用地の合理的な利用法を対策計画の中にあきらかにしなければならず、問題は、汚染された土壌の改善をいかなる方法で実施するかにかかってくる。

前述のとおり、本地区の改良は、公営防除特別土地改良事業による区画整理方式で現汚染土上に非汚染土による上乘せ客土25cmで実施した。25cmの客土深はあくまでも現地改善対策試験の結果¹⁾によったものであり、さらにこれら処方箋の決定の背景には、当該地区の土壌が、大部分下層泥炭土軟弱地盤であるため、改良後の乾田過

VI 摘 要

程において発生が懸念される田面の不等沈下に対する配慮もあった。

改良後3か年間、対策効果について追跡した結果では、玄米中Cd濃度はいずれの年次も0.03 ppm以下と吸収は極端に抑制され、玄米収量もいずれの年次も10aあたり玄米重で500 kg以上と地区慣行440 kgを大中にうわまわり、期待どおりの成果を得た。また、追跡調査を行った範囲では、一部のは場では、かんがい水の排水路側への横浸透等による水量不足、深井戸かんがいに起因する水口部の水温障害等がみられたが、いずれも畦畔部分に対するビニールによるマルチ、水口部からのう廻水路の設置で問題は回避された。

対策指定をうけた汚染田復帰は、改良後3か年間の追跡調査で玄米中のCd吸収増はもとより、土壌中Cd濃度の増加など、両汚染に結びつく非候が全くないと判断されれば、環境庁より指定が解除され、問題のない一般水田扱いとなる。

しかし、ここで重要なことは、その後のは場の管理である。前述のとおり、本地区の対策工事は、今後水田として少なくとも30年後を見とおして利用することを前提として行われており、現に高濃度のCd汚染土壌が客土25 cm以下に埋没されたままとなっている。仮に、復帰後時代の情勢に呼応して、転換畑等、今後本地区が汎用化耕地として畑作物等の導入が行われ、栽培管理の中で大型機械の導入等で、深耕等下層堀込みが行われるとすれば、埋没下層汚染土の作土層混入による再汚染が心配される。このようなことから今後この点十分配慮することがきわめて重要となる。

本地区は昭和48年汚染発覚以来14年目、昭和61年に全地区の復旧対策が完了し、効果確認の地区最終報告予定昭和63年を含めると、まさに16年経過する。Cd汚染問題は時代と共に風化している。しかし、今過去を振り返るとき公害問題としての法律に基づく現実への技術的対応はきわめてきびしいものがあり、前述した再汚染を惹起させないための今後の社会的な協力は不可欠なものとなる。

千代田村上稲吉地区Cd汚染田の改良対策と対策後の効果の確認を行った結果をまとめると、次のようである。

1) 当該地区のCd汚染対策工法は、現地改善対策試験の結果に基き、汚染を除去するための対策として、非汚染土の25 cm上乘せ客土法を採用した。

2) 深井戸による水質転換と汚染土の露出防止によって両汚染防止につとめた。

3) 小区画不定形水田をは場整備と併せて同時実施した。

4) 対事後における水稻生育は植付け初期より順調であり、玄米収量も対策前の地区慣行収量平均10aあたり440 kgに対し、対事後3か年とも500 kgをうわまわった。

5) 玄米中Cd濃度は、対策後3か年とも0.03 ppm以下の濃度で大幅に下まわり、対策の効果はあきらかに認められた。

6) 跡地土壌について、客土層の厚さ、Cd濃度等の確認を行ったところ、全般的に客土厚はほぼ30 cmと処方箋25 cmを大幅に上まわっていることが確認され、表層(0~15 cm)のCd濃度も0.1 NHC/l可溶で0.14~0.16 ppmと処方箋通りであることが確認された。

7) 以上の結果から、当該地区は昭和48年Cd汚染発覚以来16年目にして、一般水田に復帰できる見通しが得られた。

謝辞：実態解明から現地対策試験、対策処方箋作成、土壌改良その効果の確認に至るまで、長年月にわたり多くの方々が大変お世話になった。心からお礼申し上げます。とくに本地区の対策についてはその計画から実施まで県内窓口としての一さいの総括は公害対策課が中心となって進められたものである。地元役場、改良普及課、石岡地区農業改良普及所関係者の協力はもとより、農地計画課、農地管理課、土浦土地改良事務所、公害技術センター、関東農政局、農林水産省、環境庁の関係者各位の協力によって汚染地区の復元が達成されたことは申すまでもなく、ここに関係者一同の労に深謝すると同時に、農試分担となった長年月の調査試験にご協力下された農

業試験場の関係者各位に心から感謝の意を表します。

引用文献

- 1) 平山力ほか(1977): 十王町高原地区および千代田村上稲吉地区におけるカドミウム汚染田の改良対策, 茨農試研報 139 ~ 152.
- 2) 茨城県(1982): 上稲吉地域農用地土壌汚染対策計画書
- 3) 秋田県雄勝平野土地改良事務所(1975): 公害特別対策土地改良事業「新城床舞地区事業概要書」
- 4) 平山力ほか(1977): 霞ヶ浦周辺干拓地土壌の改良に関する研究, 茨農試特研報No.3, P54.
- 5) 茨城県農林水産部(1979): 普通作物耕種基準, P69.
- 6) 茨城県(1978): 茨城県耕地土壌の実態と対策, P706 ~ 707.
- 7) 官報(1975): 号外163号, 法律第139号, P19 ~ 21.