

暗渠を有した有明海沿岸農地における窒素の動態

山田寧直, 吉永育生*, 原口暢朗*, 塩野隆弘*

キーワード：有明海沿岸農地, 暗渠排水, 地表排水, 窒素

Behavior of Nitrogen in upland fields improved by underdrain around the sea of Ariake

Yasunao YAMADA, Ikuo YOSHINAGA, Noburo HARAGUCHI, and Takahiro SHIONO

目次

1. 緒言	1
2. 材料および方法	2
1) 試験ほ場	2
2) 作物栽培の概要	2
3) 土壌	3
4) 地表排水ならびに暗渠排水	4
3. 結果および考察	5
1) 作物の生育・収量ならびに窒素吸収量	5
2) 土壌中の窒素の変動	7
3) 地表排水および暗渠排水の窒素濃度	8
4) ほ場レベルでの窒素の収支	11
5) 総合考察	15
4. 摘要	16
5. 引用文献	16
Summary	17

*前農研機構九州沖縄農業研究センター（現農村工学研究所）

1. 緒言

有明海沿岸の筑後平野, 佐賀平野, 諫早平野等は, 九州の主要な水田地帯である。これらの地域ではクリークと呼ばれる用排兼用水路が発達し, 農地単位で用水利用と排水が繰り返し行われている。平坦地帯であるためクリーク水の流れは緩やかで, 年間を通じてクリークに貯水された状態である。

これらの地域は水田の多くが干拓によって造成されている。土壌は粘土含量が高く, 農耕地土壌分類では細粒グライ土または細粒褐色低地土に分類される^{8,14,18)}。有明海中の粘土はスメク

イト(2:1型粘土鉱物)の割合が高く, これらの水田土壌もスメクタイト含有量が高いと推定できる。

一方, 食糧法(1995年)に基づき米の生産調整が行われ, 水稻の生産を行わない水田は暗渠を整備し転換畑として利用されている。水稻裏作の麦類のほか, 転換作物として大豆や露地野菜の作付が行われている。長崎県では特に麦類, 大豆, タマネギの作付面積が増えている。

有明海沿岸農地では, これらの畑作物および露地野菜が増えると農地の乾燥が進み, スメク

タイトは膨潤・収縮性が高いため、農地表面には亀裂が発生し、排水を促進する³⁾。このように亀裂の発生は農地の排水性の向上要因であるが、逆に水質汚濁物の流出経路となり、クリーク水への排出負荷が懸念される。一般の畑地からの窒素流出に関する研究は過去に取り組まれている^{4,6,9,17)}が、暗渠を有する畑地での事例は少ない^{7,10,15)}。

有明海沿岸農地は、降雨が表層から地下へ浸透していく一般の畑地とは異なり、土壌浸透水が暗渠排水として排出されるために、特異的な栄養塩類の排出特性を有する可能性があり、作物生産に必要な窒素の挙動を知ることで、クリークの水質保全に対する基礎的な知見が得られると考えられる。そこで、暗渠の整備された有明海沿岸農地

において露地野菜ならびに緑肥作物を栽培し、土壌、作物体、暗渠排水等の窒素の動態を長期モニタリング調査した。その結果、農地レベルでの窒素の動態を把握することができ、汚濁負荷削減のための基礎資料が得られたので、ここに報告する。

なお、本報告は先進技術を活用した農林水産研究高度化事業「有明海沿岸農業地帯のクリークを活用した汚濁負荷削減技術の開発（2005～2007年）」ならびに新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業「諫早湾干拓地における環境保全型大規模性生産技術体系の構築（2007～2009年）」の中で取り組んだ研究成果の一部である。

2. 材料および方法

1) 試験ほ場

試験ほ場は諫早市にある長崎県農林技術開発センター内の30a区画（短辺約30m、長辺約100m）に、短辺約10m、長辺約90m（面積約920m²）の試験区を設置した（図1）。暗渠は2000年3月に施工したモミガラ充填暗渠（コルゲート管）で、間隔は10m、深さは70～80cmであった。

試験区の境界は当初畦立て黒マルチ、後に高さ60cmの硬質プラスチック製の畔なみを約40cm埋設した。

2) 作物栽培の概要

イタリアンライグラス跡地において、露地野菜のバレイショ、タマネギ、緑肥作物のソルガム、オオムギ、エンバクを表1のとおり春バレイショからエンバクまでのべ10作物を栽培した。

バレイショとタマネギの施肥は長崎県農林業

基準技術の施肥量に準じ、基本的には窒素成分だけを硫酸で施肥した（表2）。2007年秋バレイショ、2008年春バレイショ、2008年秋バレイショは成分調整成型堆肥²⁾と硫酸を用いた（表3）。2008年春バレイショは黒マルチ栽培としたが、他は露地栽培とした。収穫物は全量持ち出した。

ソルガムは緑肥作物の中でもクリーニングクロップと位置づけ、施肥は窒素5kg/10aまたは無施肥とした。一方、オオムギは水田裏の畑作物を、エンバクは飼料作物を想定し、長崎県農林業基準技術の施肥量に準じ、窒素成分のみを硫酸で施肥した。いずれも収穫物は全量土壌還元した。

調査は生育ならびに収量のほか、作物体乾物重当たりの窒素含量を調査した。部位はバレイショ、タマネギでは茎葉、収穫部位（バレイショでは塊茎、タマネギでは球）、根に、ソルガム、オ

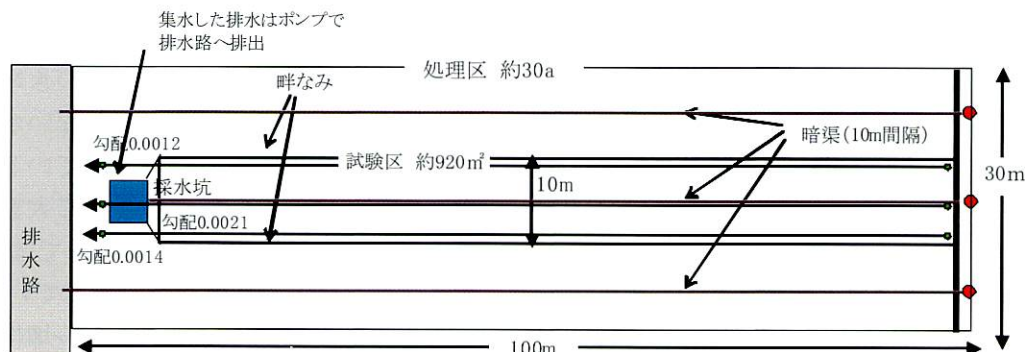


図1 調査ほ場の概要

表1 調査ほ場における作付体系と耕種概要

作付順	区名	作物	品種	栽培形態	播種・植え付け・定植日	収穫日	収穫物の土壌還元
前作		イタリアンライグラス	タチワセ	—	2005/12/20	2006/2/24	有り
1	2006年春バレイシヨ	バレイシヨ	ニシユタカ	露地栽培	2006/3/15	2006/6/13	—
2	2006年ソルガム	ソルガム	グリーンソルゴー	条播	2006/8/1	2006/10/13	有り
3	2006年早生タマネギ	タマネギ	七宝早生	露地栽培	2006/11/29	2007/5/8	—
4	2007年ソルガム	ソルガム	グリーンソルゴー	条播	2007/6/7	2007/8/9	有り
5	2007年秋バレイシヨ	バレイシヨ	ニシユタカ	露地栽培	2007/9/12	2007/12/10	—
6	2008年春バレイシヨ	バレイシヨ	ニシユタカ	マルチ栽培	2008/2/22	2008/6/4	—
7	2008年ソルガム	ソルガム	つちたろう	条播	2008/6/13	2008/8/25	有り
8	2008年秋バレイシヨ	バレイシヨ	ニシユタカ	露地栽培	2008/9/11	2008/12/10	—
9	2008年オオムギ	オオムギ	ニシノチカラ	条播	2008/12/15	2009/5/20	有り
10	2009年エンバク	エンバク	スーパーハヤテ「隼」	条播	2009/9/9	2009/11/12	有り

a: 作付の間は耕うん(裸地)状態で管理した

表2 堆肥および化学肥料の施用条件

作付順	区名	堆肥		化学肥料				
		施用量 (kg/10a)	施用日	窒素施肥量 (kg/10a)	基肥窒素量 (kg/10a)	基肥施肥日	追肥窒素量 (kg/10a)	追肥施肥日
1	2006年春バレイシヨ	0	—	14.0	14.0	2006/3/15	—	—
2	2006年ソルガム	0	—	4.1	4.1	2006/8/1	—	—
3	2006年早生タマネギ	0	—	21.0	17.0	2006/11/22	4.0	2007/3/1
4	2007年ソルガム	0	—	4.8	4.8	2007/6/7	—	—
5	2007年秋バレイシヨ	750 ^a	2007/9/11	6.0	3.0	2007/9/12	3.0	2007/10/16
6	2008年春バレイシヨ	887 ^a	2008/2/21	6.0	6.0	2008/2/22	—	—
7	2008年ソルガム	0	—	0	0	—	—	—
8	2008年秋バレイシヨ	750 ^a	2008/9/11	6.0	3.0	2008/9/11	3.0	2008/10/10
9	2008年オオムギ	0	—	7.0	3.0	2008/12/15	2.0-2.0	2009/2/5 2009/3/12
10	2009年エンバク	0	—	10.6	10.6	2009/9/9	—	—

a: 堆肥は成分調整成型堆肥を施用

b: 化学肥料は硫安を施肥

表3 成分調整成型堆肥の成分含量と窒素投入量

作付順	区名	水分 (%)	T-N (%)	T-C (%)	CN比	現物施用量 (kg/10a)	窒素含量 (kg/10a)	推定無機化窒素量 (kg/10a)
5	2007年秋バレイシヨ	11.8	3.17	38.9	12	750	23.8	9.5
6	2008年春バレイシヨ	16.6	3.06	39.9	13	887	27.1	10.9
8	2008年秋バレイシヨ	13.3	2.89	33.0	11	750	21.7	8.7

a: 成分含量は現物あたり%

b: 推定無機化窒素量はほ場埋設試験で得られた無機化率40%から求めた

オムギ、エンバクでは茎葉と根に分けた。収穫期のほか、バレイシヨ、オオムギ、エンバクでは栽培期間中に数回調査した。

3) 土壌

試験開始前の2005年12月の土壌断面調査の結果、調査ほ場は作土直下の深さ18cmから70cmまで亀裂が発生し、深さ51cm以下はグライ層である細粒質グライ化灰色低地土(農耕地土壌分類第3次改訂版)であった。作土直下の下層土のち密度は21mmとやや高く、構造は塊状~柱状であった(図2)。

土壌理化学性の特徴は、作土は全炭素が2.28%、全窒素が0.22%と比較的高く、CECは40me

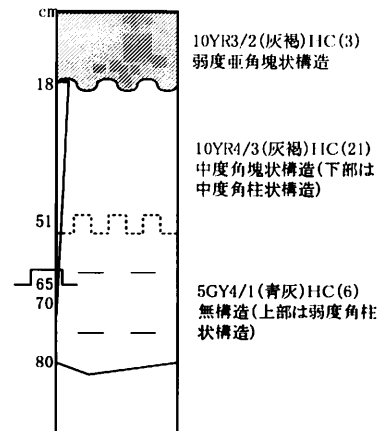


図2 調査ほ場の土壌断面柱状図

表4 調査ほ場の土壤理化学性

層位	深さ(cm)	風乾土		可給態リン酸 (mg/乾土100g)	全炭素 (%)	全窒素 (%)	CEC (me/乾土100g)	交換性塩基(mg/乾土100g)			塩基飽和度 (%)
		pH(H ₂ O) (1:2.5)	EC(1:5) (mS/cm)					CaO	MgO	K ₂ O	
1	0~20	6.45	0.16	30	2.28	0.22	42.5	497	293	229	91
2	20~40	6.29	0.95	23	1.69	0.18	43.7	511	324	205	105
3	55~65	7.87	5.54	47	1.46	0.15	41.0	872	445	327	203

層位	深さ(cm)	仮比重 (g/mL)	三相分布(100mLあたり%)			pF1.5の気相率 (100mLあたり%)	保水性(100mLあたり%)			飽和透水係数 (cm/sec)	
			固相率	液相率	気相率		孔隙率	pF1.5(A) (ほ場容水量)	pF2.7(B) (水分当量)		易効性有効水 (B-A)
1	5~10	0.66	24.5	39.0	36.6	75.5	30.4	45.1	40.0	5.1	9.4×10^{-2}
2	25~30	0.80	30.9	59.0	10.1	69.1	7.2	62.0	57.8	4.1	6.3×10^{-4}
3	60~65	0.57	21.7	78.4	0.0	78.3	0.1	78.3	75.3	3.0	4.5×10^{-7}

を越え、交換性陽イオンは豊富であった。作土の仮比重は0.66で、pF1.5の気相率も30.4%と高く、飽和透水係数も 10^{-2} オーダーと高かった。下層土は全炭素、全窒素の含量が低く、ECが高く、交換性陽イオンが多かった。下層ほど気相率が低くなり、飽和透水係数は 10^{-7} オーダーと極めて低かった(表4)。

土壤の理化学性調査は原則として栽培(施肥)開始直前および収穫時に作土(0~15cm)と次層(15~35cm)を採取し、土壤乾物重当たりの全窒素(T-N)、アンモニア態窒素(NH₄-N)、硝酸態窒素(NO₃-N)、可給態リン酸、全炭素、交換性陽イオン類等の一般成分について土壤環境分析法に準じて実施した。また成分調整成型堆肥の利用時やマルチ栽培時においては、栽培期間中に数回のサンプリングを行い、無機態窒素の分析を実施した。

4) 地表排水ならびに暗渠排水

①流量等観測

地表排水は試験区周囲にあぜ波等を設置し、そ

の全量をHSフリュームを通じて排水させた(図3)。フリュームの水位をフロート式水位計により1分間隔で自動観測し、H-Q式を介して流量に変換した。地表排水の効率的な集水のため、試験開始時にレーザーレベラーで、約1/1000の勾配をつけた。

暗渠排水は排水路の水位の影響を受けないよう、ほ場末端から約10mの地点に1辺約2mの採水坑を掘削し、周囲をベニヤ板で固定した。坑内に設置した三角セキ(図3)中の水位を圧力式水位計により10分間隔で自動観測し、H-Q式を介して流量に変換した。

降水量はAMeDAS(諫早)のデータを使用した。

②採水方法

採水は2006年2月~2010年3月まで実施した。地表排水は自動採水を開始するフリュームの水位をプログラム機能のあるデータロガーで予め設定し、オートサンプラー(ISC03700)により5または10分間隔で採水とした。



図3 観測機器(左:地表水用採水器、中:地表水用HSフリューム、右:暗渠排水用三角セキ)

暗渠排水はオートサンプラー (ISC06712) により自動採水した。自動採水は、平常時 (周年8時間間隔) および降雨時 (1または2時間間隔) の2種類とした。降雨後に自動採水を開始する三角セキの水位をプログラム機能のあるデータロガーで予め設定した。

③分析項目

形態別の窒素濃度 (全窒素 (T-N), アンモニア態窒素 ($\text{NH}_4\text{-N}$), 亜硝酸態窒素および硝酸態窒素

の含量 ($\text{NO}_2\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N}$) をオートアナライザ (BLTEC 社製) により吸光度法で測定した。

④排水量ならびに窒素排出量

地表ならびに暗渠排水流量は、時間あたりの積算流量を算出した。また、窒素の形態別の濃度は、内挿補完により時間毎の値を算出した。両者の積により、時間毎の排出負荷量を算出し、排出量整理時の基礎データとした。

3. 結果および考察

1) 作物の生育・収量ならびに窒素吸収量

供試作物の生育・収量を表5に、作物別収穫時の部位別窒素吸収量を表6に示す。

バレイシヨは作型、施肥条件、栽培方法が異なる4作で調査した。収穫期の草丈は39.9~63.2cm、収量は1,432~4,561kg/10aとバラツキが見られた。最も草丈が高く、収量が高かったのは、2008年春バレイシヨであり、成分調整成型堆肥と黒マルチ栽培の組み合わせであった。逆に、最も収量が低かったのは、2008年秋バレイシヨであり、植え付け後の熱暑による種イモ腐敗が原因で54%が欠株となった。萌芽したイモの茎葉は59.0cmと標準的な生育を示したが、株数の大幅な減少により収量は1,432kg/10aまで減収した。

バレイシヨ収穫期の窒素吸収量は、2008年秋バレイシヨを除き8.0~10.7kg/10aであった。2007年秋作と2008年春作の生育ステージ別の窒素吸収量を見ると (図4)、塊茎は肥大に伴い窒素吸収量が増加するが、逆に茎葉は塊茎肥大開始期がピークとなり、黄化・落葉により収穫期には低下した。化学肥料の代わりに成分調整成型堆肥を使用してもバレイシヨの窒素吸収パターンは変化なかった。特に2008年春作では各部位を合わせた窒素吸収量は5月中旬に最大となり、12kg/10aとなった。これは、マルチ栽培による茎葉の充実が窒素吸収量増加の要因と考えられた。逆に、2008年秋作の窒素吸収量は4.3kg/10aであり、54%の欠株率を考慮すると、1株あたりの窒素吸収量は他3作と変わらなかった。バレイシヨの根の窒素吸収量は2006年春作では0.25kg/10aと低く (全吸

表5 作物の生育・収量

作付順	区名	生育量			収量		
		項目	(cm)	S.E.	項目	(kg/10a)	S.E.
1	2006年春バレイシヨ	草丈	57.5	1.3	塊茎重	2,569	125
5	2007年秋バレイシヨ	草丈	39.9	0.9	塊茎重	2,368	256
6	2008年春バレイシヨ	草丈	63.2	1.8	塊茎重	4,561	840
8	2008年秋バレイシヨ	草丈	59.0	1.2	塊茎重	1,432	79
3	2006年早生タマネネ	葉長	51.9	1.3	球重	6,390	927
2	2006年ソルガム	草丈	236	1.2	乾草重	560	57
4	2007年ソルガム	草丈	209	3.5	乾草重	712	46
7	2008年ソルガム	草丈	151	5.3	乾草重	396	52
9	2008年オオムギ	草丈	108	2.7	乾草重	359	32
		(穂長含む)			麦かん	123	7
					穂	236	27
10	2009年エンバク	草丈	113	1.6	乾草重	529	52

収量の約3%)、以降の調査は省略した。

2006年早生タマネネでは収穫期の葉長は51.9cmで、収量は6,390kg/10aであった。早生タマネネは一般に黒マルチ栽培が行われるが、露地栽培での収量としては中庸であった。窒素吸収量は10.8kg/10aで、部位別では球が約60%を占めた。

緑肥作物のソルガムは窒素を施肥した2006年作と2007年作が、無肥料栽培である2008年作よりも草丈、乾草重ともに優れた。窒素吸収量も4.6, 6.3kg/10aと、無肥料栽培より高かった。2008年作の前作は春バレイシヨのマルチ栽培であったが、ソルガムの窒素吸収量は3.3kg/10aと少なかった。根の窒素吸収量は0.27kg/10a (全吸収量

の約5%)と少なく、以降の調査は実施しなかつた。

オオムギは草丈108cm(うち穂長7.0cm)で乾物重は麦かん123kg/10a、穂236kg/10aの合計359kg/10aであった。子実収穫を想定して栽培しており、麦かんに比べ、穂の窒素吸収量は

7.3kg/10aと高かった。エンバクは草丈が113cm、乾草重が529kg/10aと生育、収量とも良好であった。茎葉の窒素吸収量は10.1kg/10aと高かった。オオムギならびにエンバクの窒素吸収量は施肥条件下では生育ステージが進むほど直線的に増加した(図4)。

表6 作物収穫時の部位別窒素収量

作付順	区名	部位	窒素吸収量		合計	施肥Nに対する割合(%) ^a
			(kg/10a)	S.E.		
1	2006年春バレイショ	茎葉	3.5	0.28	8.0	57
		塊茎	4.3	0.89		
		根	0.2	0.05		
5	2007年秋バレイショ	茎葉	4.7	0.62	10.5	68
		塊茎	5.8	0.59		
6	2008年春バレイショ	茎葉	3.0	0.33	8.7	51
		塊茎	5.7	0.39		
8	2008年秋バレイショ	茎葉	1.5	0.17	4.3	30
		塊茎	2.9	0.20		
3	2006年早生タマネギ	茎葉	3.9	0.43	10.8	51
		球	6.6	0.45		
		根	0.2	0.03		
2	2006年ソルガム	茎葉	4.3	0.49	4.6	112
		根	0.3	0.02		
4	2007年ソルガム	茎葉	6.4	0.15	6.4	133
7	2008年ソルガム	茎葉	3.3	0.35	3.3	-
9	2008年オオムギ	麦かん	1.6	0.07	8.6	123
		穂	7.0	0.61		
10	2009年エンバク	茎葉	10.1	0.18	10.1	96

a:当該作付における成分調整成型堆肥および化学肥料の施肥窒素量に対する割合

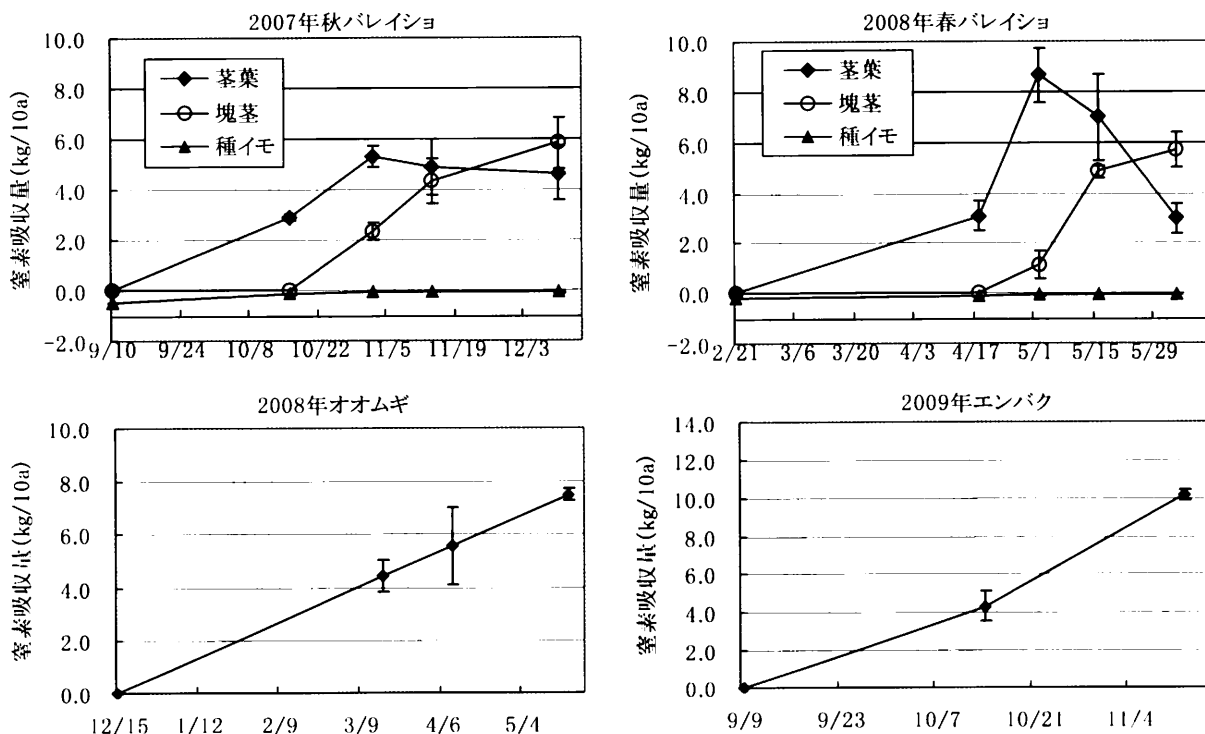


図4 バレイショ、オオムギならびにエンバクの生育ステージ別の窒素吸収量 (エラーバーは標準偏差を示す)

露地野菜における施肥窒素量に対する作物の窒素吸収量の割合は 2008 年秋バレイショを除き 51~68%であった。一方、ソルガム、オオムギ、エンバクでは 96%~133%で、施肥窒素量と同等、またはそれ以上の窒素吸収量であり、効率的に窒素成分を吸収できるクリーニングクロープとしての適性が認められた。

2) 土壌中の窒素の変動

図 5 に 2007 年秋バレイショ、2008 年春バレイショ、オオムギならびに 2009 年エンバクの生育時期別の無機態窒素の推移を示した。

成分調整成型堆肥と硫酸を併用した 2007 年秋バレイショでは播種直後は作土中のアンモニア態窒素が多いが、硝化作用が進むと硝酸態窒素が徐々に増加した。一方、マルチ栽培の 2008 年春バレイショでは初期から硝酸態窒素が高く推移し、塊茎肥大期になると低下した。オオムギは追肥 2 月と 3 月に追肥したにもかかわらず、土壌中の無機態窒素含量は低く推移した。エンバクは播種直後から硝酸態窒素が高く推移した。オオムギは地温が低い時期に施肥し、エンバクは地温が高

い時期に施肥したため、硝化速度が異なったことが硝酸態窒素濃度の差となったと考えられた。いずれも収穫期には低下しており、施肥量が異なっても作物が吸収することで、土壌の無機態窒素は低下したと考えられた。

試験ほ場の土壌の全炭素、全窒素、仮比重、液相率の推移を図 6 に示した。

土壌の全炭素は、堆肥の施用をしなかった 2007 年 9 月までは約 2%で推移したが、成分調整成型堆肥の 3 連用と緑肥作物 3 作の土壌還元によって上昇し、10 作後には 2.5%まで徐々に増加した。全窒素も同様に成分調整成型堆肥の施用後から徐々に増加し、10 作後は 0.25%と調査開始前から 0.07%増加した。しかし、下層土では全炭素、全窒素含量の変動は少なく、堆肥の施用や緑肥作物の土壌還元による影響は少なかった。土壌物理性も作土の仮比重や液相率は下層土よりも優れており、有機物施用の効果で作土の物理性は試験開始前の状態を維持できたと考えられた。

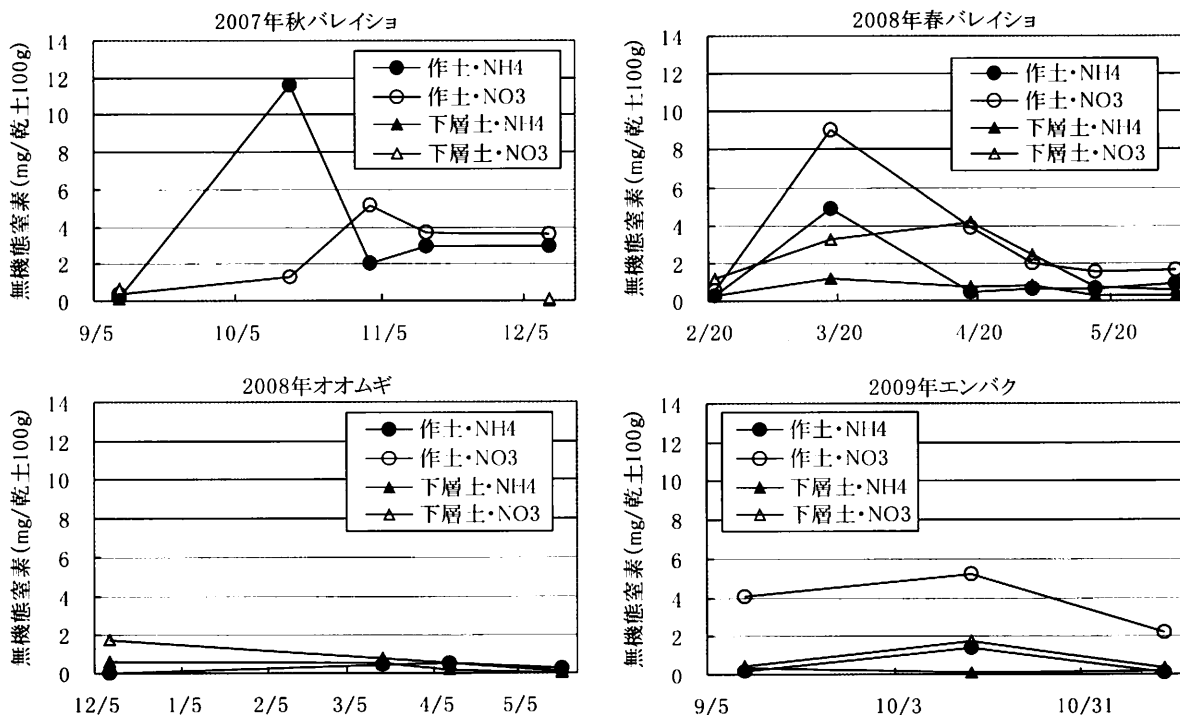


図 5 バレイショ、オオムギならびにエンバクの生育中の無機態窒素の推移

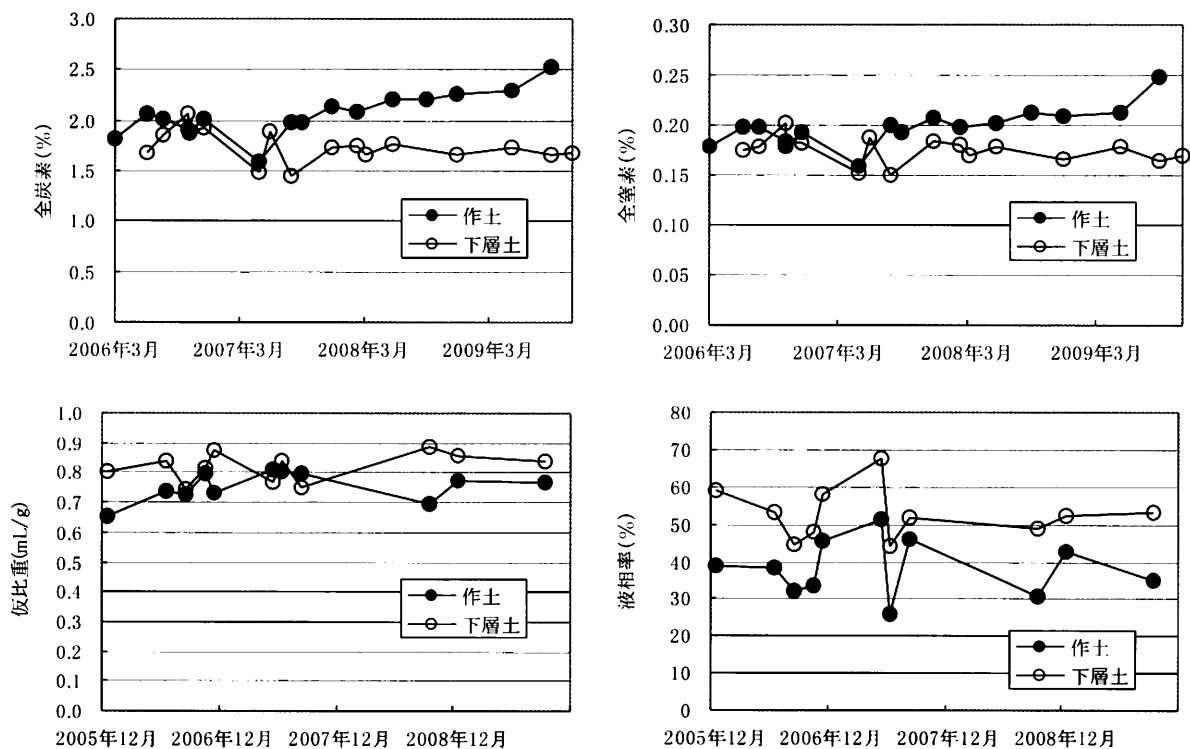


図6 調査ほ場の全炭素、全窒素、仮比重および液相率の推移

3) 地表排水および暗渠排水の窒素濃度

2006年から2010年のAMeDAS諫早における降水量観測結果を表7に示した。最高は2006年の2617mm、最低は2007年の1645mmであり、他の3年はほぼ平年値(2139.4mm)並みの降水量であった。降雨日数は2007年が96日と最も少なかったが、概ね110~120日で、10月を除き毎月7日以上の降雨日があった。50mm/d以上の降雨日数は7~15日で、日最大降水量は2008年を除き、4~8月と10月に100mm/d以上の降雨があった。

調査ほ場における表面排水の発生(表8)は調査期間中23回であり、6月と7月に集中していた(図7)。地表排水の排水量は、2006年は全排水量の24%を占めた。2006年1月~7月の降水量は約1900mm、特に6月は620mm、4~5月と7月は各400mm以上の降水量があり、2006年は地表排水が頻繁に発生した。2007年は3回、2008年は5回と発生は少なく、全排水量に対する地表排水の割合は3%以下であった。地表排水の発生は降水量に大きな影響を受け、平年並みの降雨であれば、排出量は少ないが、多量の降雨が長時間続

くと発生し、一度発生すると連続降雨により再発する傾向であった。2009年は豪雨に伴い排水路の水位上昇し、長時間圃場が冠水したため、地表排水の計測はできなかった。

また、2006年春バレイシヨにおける地表排水の全窒素濃度を図8に示す。2006年4月10日~11日の地表排水は、春バレイシヨ植え付け後約1カ月後の発生であり、発生直後の全窒素濃度は20mg/Lと高かった。発生から約5時間経過すると、濃度は10mg/L前後に低下した。窒素の溶脱が進み、雨水により徐々に希釈されたと考えられた。2006年5月18日のバレイシヨ塊茎肥大期では地表排水中の全窒素濃度は約5mg/Lと低下した。2008年6月21日のソルガム生育中に発生した地表排水は、全窒素濃度が約3mg/Lと施肥していないため、低濃度で推移した(データ略)。

三角セキの水位が25mm以上(0.18L/s)となった回数(暗渠排水の発生回数)は(表8)全調査期間で121回あり、地表排水の約5倍の発生頻度であった。また、全排水量のほとんどが暗渠排水であった。

表7 2006年から2010年の降水量と降雨強度

月	平年値	2006年				2007年				2008年			
		降水量 (mm)	降雨日 数	50mm以 上の降雨 日数	日最大降 水量(mm)	降水量 (mm)	降雨日 数	50mm以 上の降雨 日数	日最大降 水量(mm)	降水量 (mm)	降雨日 数	50mm以 上の降雨 日数	日最大降 水量(mm)
1月	70.5	43	7	0	17	36	8	0	12	122	9	0	39
2月	103.1	128	11	0	43	93	7	0	47	62	5	0	43
3月	159.2	113	10	0	44	165	7	1	95	128	9	1	51
4月	180.4	407	12	2	203	130	9	1	68	128.5	6	1	54.5
5月	218.4	422	12	3	115	168	10	0	40	223	7	1	96.5
6月	377.4	620	16	3	212	81	12	0	26	501	15	4	89
7月	393.7	408	17	4	80	479	12	4	141	115	9	0	43
8月	212.5	253	10	2	111	183	10	0	36	225	14	0	42.5
9月	207.6	49	8	0	19	95	7	0	47	286.5	10	3	82
10月	92.9	13	2	0	12	99	2	1	90	53	5	0	33
11月	92.3	121	11	0	33	25	2	0	23	83	12	0	18.5
12月	63.1	40	6	0	18	91	10	0	24	131.5	9	1	91.5
合計	2,139	2,617	122	14		1,645	96	7		2,059	110	11	

月	2009年				2010年				2006-2010年の平均			
	降水量 (mm)	降雨日 数	50mm以 上の降雨 日数	日最大降 水量(mm)	降水量 (mm)	降雨日 数	50mm以 上の降雨 日数	日最大降 水量(mm)	降水量 (mm)	降雨日 数	50mm以 上の降雨 日数	日最大降 水量(mm)
1月	77	12	0	33.5	78.5	8	0	23	71.3	8.8	0	39
2月	204	12	1	65.5	137.5	10	0	34.5	124.9	9	0.2	65.5
3月	152	7	1	73.5	183.5	7	1	73.5	148.3	8	0.8	95
4月	146.5	6	1	51.5	287.5	10	2	60	219.9	8.6	1.4	203
5月	107	5	1	59.5	278	9	2	134.5	239.6	8.6	1.4	134.5
6月	351	10	4	119	379	17	2	82.5	386.4	14	2.6	212
7月	651.5	18	4	191.5	287.5	12	2	116.5	388.2	13.6	2.8	191.5
8月	160	6	2	83.5	174.5	10	1	66	199.1	10	1	111
9月	41	3	0	20	130	10	1	51.5	120.3	7.6	0.8	82
10月	164	3	1	146.5	122	5	0	49	90.2	3.4	0.4	146.5
11月	110	9	0	30	23.5	5	0	13	72.5	7.8	0	33
12月	66.5	13	0	25.5	162	14	0	25.5	98.2	10.4	0.2	91.5
合計	2,231	104	15		2,244	117	11		2,159	109.8	11.6	

注) 平年値: AMeDAS(諫早)における1981-2010年の30年間の観測値の平均をもとに気象庁が公表している値

表8 地表排水ならびに暗渠排水の発生回数と排水量

調査年	排水量 (m ³ /10a)	地表排水			暗渠排水		
		発生 回数	排水量 (m ³ /10a)	割合 (%)	発生 回数	排水量 (m ³ /10a)	割合 (%)
2006年	2,298	12	559	24	32	1,739	76
2007年	1,168	3	39	3	24	1,128	97
2008年	1,213	5	27	2	26	1,186	98
2009年	1,245	3	-	-	28	1,245	-
2010年	188	0	0	0	11	188	100
合計	6,113	23	626		121	5,487	

a: 2006年は2月25日~12月, 2010年は1~3月の観測結果

b: 2006年は3回, 2009年は2回ほ場冠水し, 地表排水は2008年の1回と2009年の2回は欠測

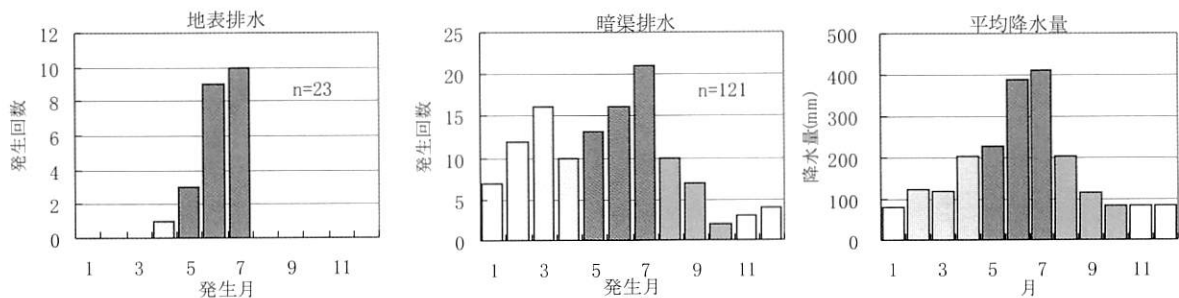


図7 調査期間中の地表排水ならびに暗渠排水の月別発生頻度と平均降水量
(降水量は2006年2月~2010年3月の月別平均値)

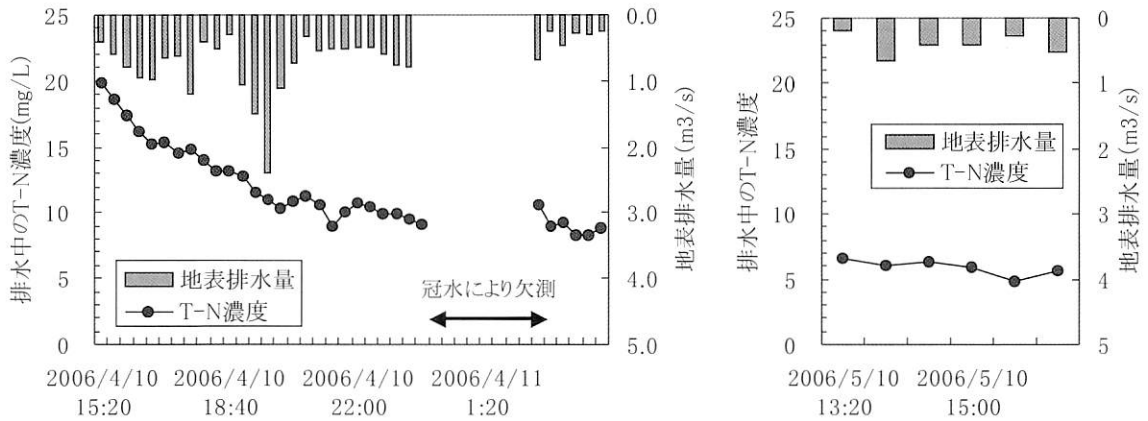


図8 2006年春バレイショにおける地表排水の排水量と排水中の全窒素濃度

暗渠排水の発生は地表排水と同じ7月、6月の順に多く、次は2・3月の発生が多かった(図7)。春先は菜種梅雨の季節であり、100mm/d以上の降雨日は少ないが、降雨日数は月に8～9日と多い。降雨が続くことで土壌水分が高く維持され、少量の雨でも暗渠排水の排出しやすい条件となるため、発生回数が増えると考えられた。

2006年春バレイショにおいて降雨と暗渠排水量の関係を検討した(図9)。2006年4月4～5日(降水量32.4mm)、5月18～19日(降水量72.2mm)の調査事例では、降雨開始後2～3時間後に暗渠排水量は急速に増加し、再度の降雨が始まると迅速に排水量が増加した。このような早い流出対応は、土壌の亀裂を通じた降雨-暗渠排水の特徴である。また地下水位が高く、降雨は暗渠を通じて速やかに排水されるため、深部浸透の寄与は小さいと考えられた。

次に降雨時の暗渠排水と全窒素濃度の関係を見ると(図10)、施肥から20日後の4月4～5日では全窒素濃度は12～16mg/Lで推移したのに対し、5月18～19日の全窒素濃度は3～6mg/Lと低濃度であった。降雨時の暗渠排水中の全窒素濃度は生育ステージの前半に高く、後半に低減した。作物の窒素吸収量の増加と暗渠流出による土壌の無機態窒素の減少と関係していると考えられた。

データロガーで回収した三角セキに設置した水位データから暗渠排水の日平均排出量を算出した(図11)。暗渠排水は降水量が多いほど排水量が増え、最大約100m³/dで、毎年6月に高い排水量となった。暗渠の排水量はコルゲート管の口径に影響されるため、調査ほ場では最大4m³/hの排水量が限界で、これより降水量が上回る状況が続いた場合に地表排水が発生すると考えられた。

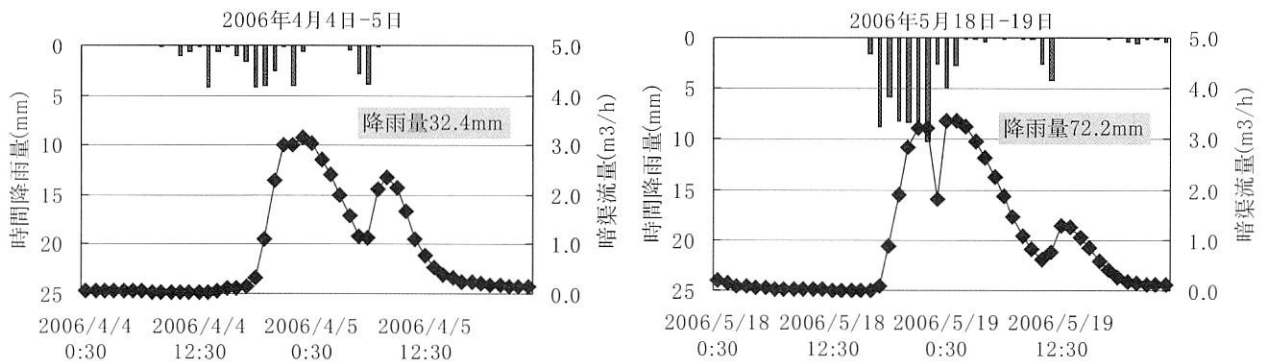


図9 2006年春バレイショにおける降雨と暗渠排水量との関係

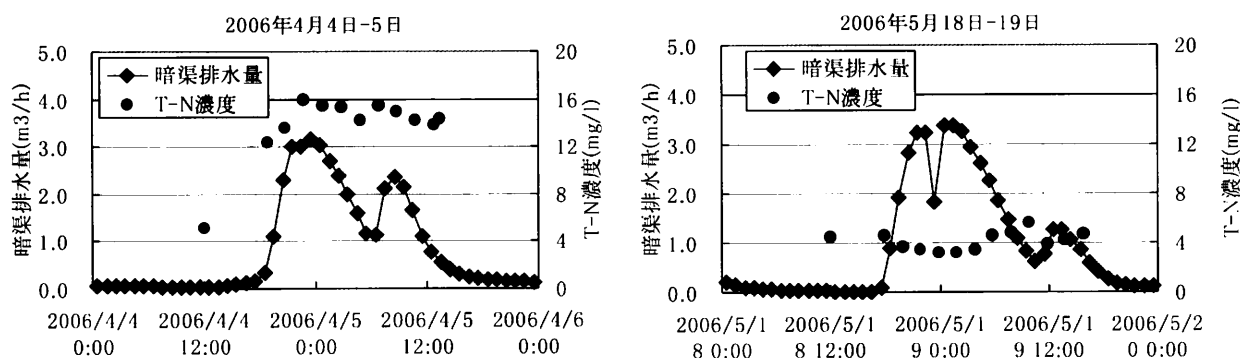


図 10 2006 年春バレイショにおける降雨時の暗渠排水量と全窒素濃度の関係

図 12 に調査ほ場における暗渠排水中の全窒素ならびに硝酸態窒素の日平均濃度の推移を示した。

暗渠排水として排出される窒素成分のうち、アンモニア態窒素や有機態窒素は少なく、全窒素の約 8 割が硝酸態窒素であった。全窒素濃度は 2006 年早生タマネギ、2007 年ソルガム、2007 年秋バレイショ、2008 年春バレイショ、2009 年エンバクの栽培期間中に 30mg/L 以上の高濃度となった。暗渠排水の発生がない状態で急な降雨により暗渠排水が発生した際に高濃度となると考えられた。また、2008 年春バレイショのマルチ栽培では、全窒素濃度は生育中は常時 20mg/L 程度で推移し、50mm 程度の降雨により全窒素が高濃度となった。暗渠排水中の硝酸態窒素濃度は、北海道の事例でもタマネギ生育中に 40mg/L 以上と高くなることが報告¹⁵⁾されているが、調査ほ場では施肥量が少ないソルガムやエンバクでも、生育ステージや降雨条件によっては全窒素濃度が高まること

められた。また、マルチ栽培では土壌浸透水が極端に少ないため、一定以上の降水量となった場合に土壌に保持された硝酸態窒素が溶出し、高濃度となると考えられた。

地表排水および暗渠排水中の形態別の窒素排出量をみると（表 9）、地表排水はアンモニア態窒素の排出割合が高く、施肥成分の溶出が考えられた。地表排水の窒素濃度は、生育ステージや窒素施肥量に影響を受けるが、地表排水に伴う窒素排出量は暗渠排水に比べ少なく、クリーク水への負荷は小さかった。よって、農地からの主な窒素排出経路は暗渠排水であった。

4) ほ場レベルでの窒素の収支

調査ほ場への窒素投入量を各作付ごとに整理すると（表 10）、投入資材は鋤き込みした緑肥作物、バレイショの種イモ、タマネギのセル苗、成分調整成型堆肥、硫安に分類された。成分調整成型堆肥の施用量は牛ふん堆肥 2t/10a 相当量とし、窒素含量の 40%を施肥成分として見積もったため、施用した 3 回の施用量が異なった。バレイショ、タマネギは収穫物と茎葉はほ場外に持ち出したほか、腐敗していない種イモも同様に持ち出した。

4 年 10 作した調査ほ場における窒素投入量と排出量をまとめ、窒素成分の収支を検討した（表 11）。成分調整成型堆肥の無機化されない窒素含量 60%分を有機物等へ、無機化される 40%を施肥に算入した。

窒素投入量のうち、有機物等は緑肥作物のほか、4 割が成分調整成型堆肥由来の窒素であった。これらは徐々に無機化が進むため、一部は今

表 9 年次別地表排水および暗渠排水からの窒素排出量

調査年	区分	窒素排出量 (kg/10a)		
		T-N	(NO ₃ +NO ₂)-N	NH ₄ -N
2006年	地表排水	2.551	1.054	0.117
	暗渠排水	13.988	10.396	0.123
2007年	地表排水	0.091	0.030	0.010
	暗渠排水	27.501	23.950	0.095
2008年	地表排水	0.097	0.006	0.034
	暗渠排水	14.827	12.354	0.227
2009年	地表排水	0	0	0
	暗渠排水	12.229	9.248	0.080
2010年	地表排水	0	0	0
	暗渠排水	2.125	1.528	0.024
合計	地表排水	2.739	1.090	0.161
	暗渠排水	70.670	57.477	0.550

a:2006年は2月25日～12月、2010年は1～3月の観測結果

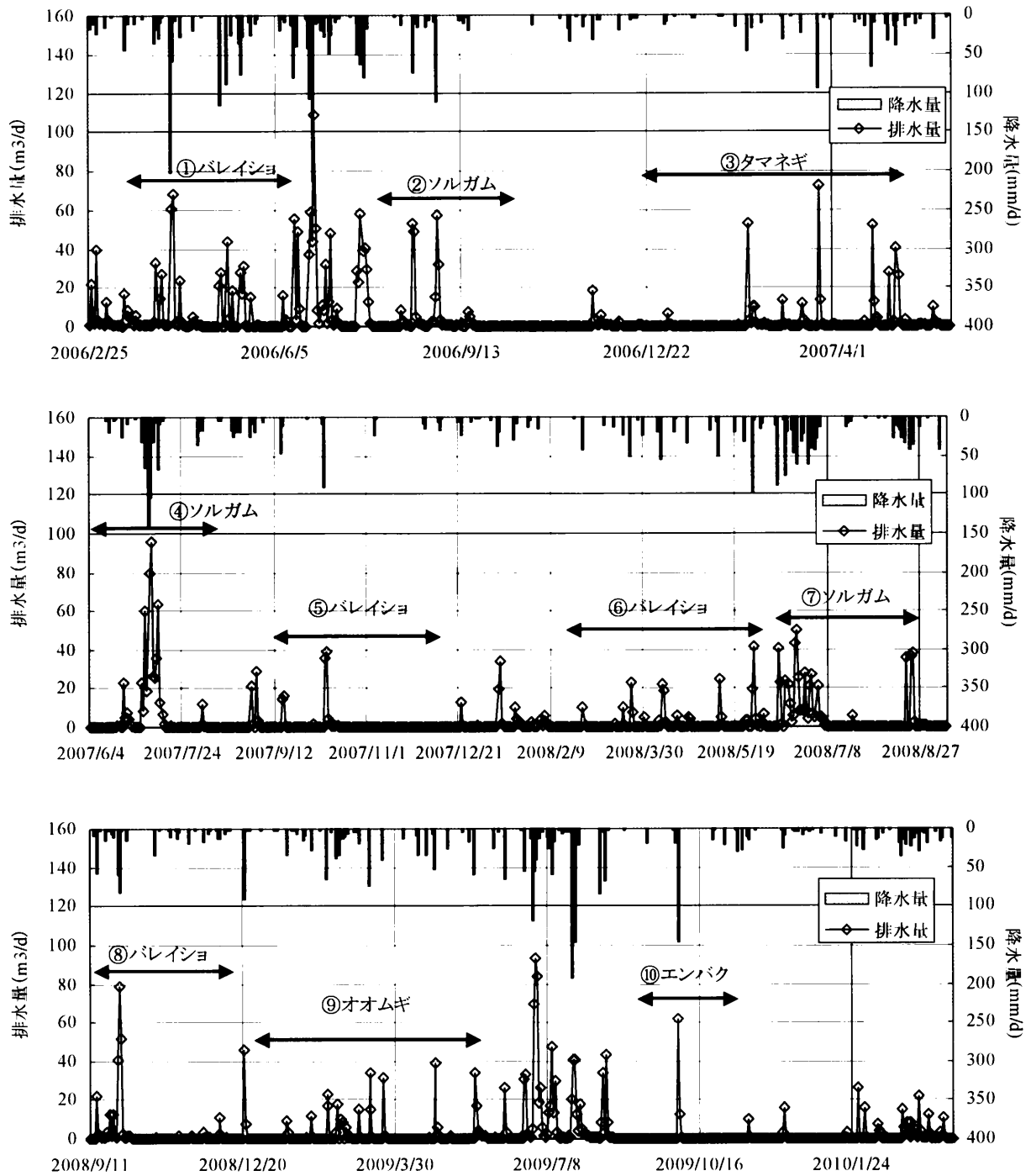


図 11 降水量と暗渠排水の日平均排水量

回調査した窒素排出量に含まれていると考えられた。施肥量の合計は 108.1kg/10a となり、緑肥作物を輪作体系に取り入れることで、1 作当たりの窒素施肥量は約 10kg/10a であった。降雨による窒素量は 11.8kg/10a と施肥窒素の約 1/10 であった。

窒素排出量のうち、作物吸収量は 81.1kg/10a

で、土壌還元された緑肥作物 5 作の窒素量は 33kg/10a とその約 4 割であった。地表排水ならびに暗渠排水からの窒素排出量は、ソルガム以外の作物では施肥窒素よりも少ない排出量であったが、非栽培期間中にも窒素は排出され、その量も無視できない量であった。非栽培期間に排出される窒素の一部は、作物に吸収されずに土壌中に蓄

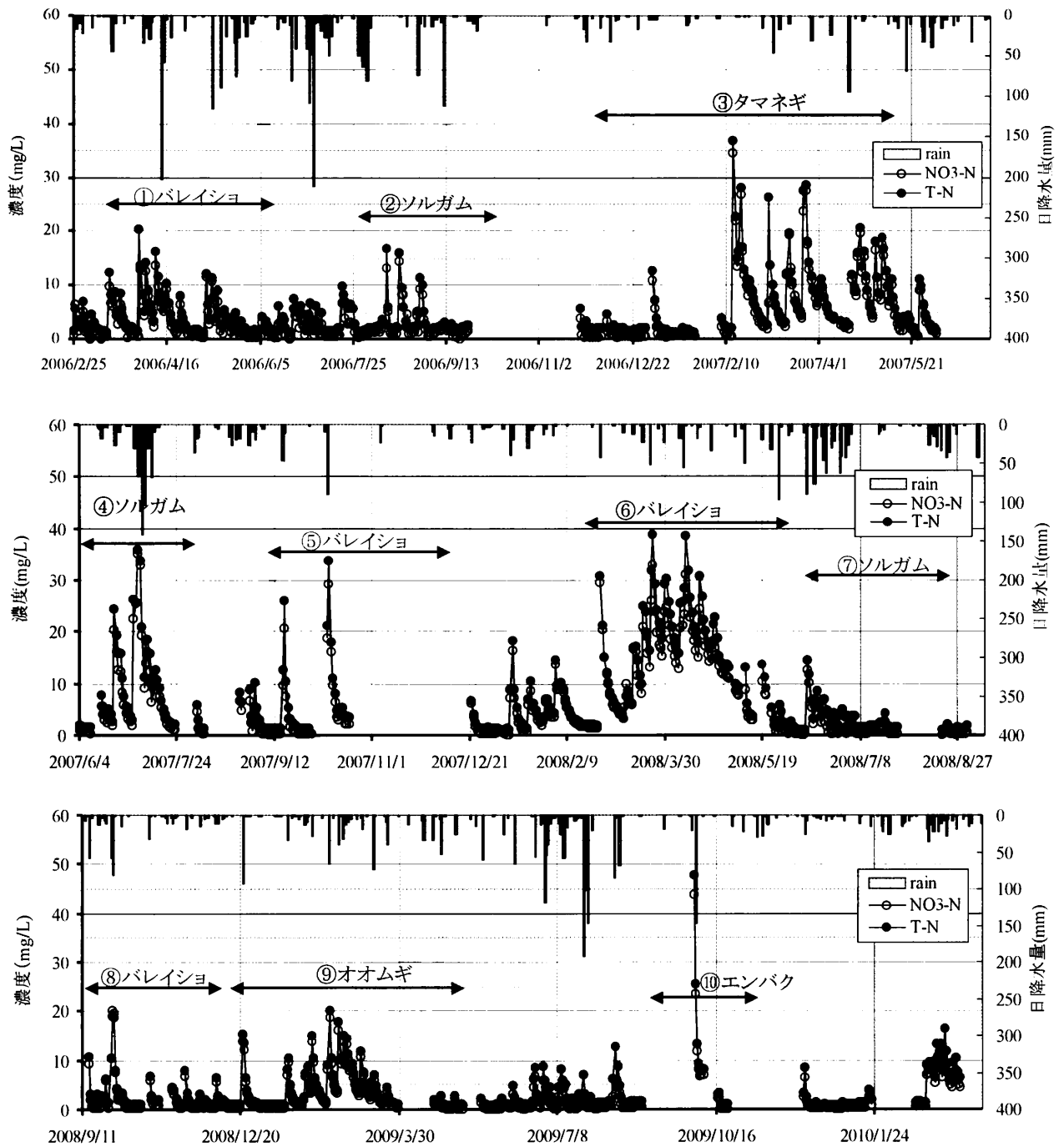


図 12 降水量と暗渠排水中の全窒素ならびに硝酸態窒素濃度の日別推移

積した窒素成分と考えられ、作物の窒素利用率を高めることは有明海沿岸農地における窒素排出量の削減技術として重要であった。

窒素投入量と窒素排出量を作物ごとに比較すると、バレイショ、タマネギとソルガム、オオムギ、エンバクで収支が逆転し、前者は窒素投入量が、後者は窒素排出量が多かった。同一作物でも降水量、排水量、降雨のタイミングで窒素排出量

が大きく変動するため、1作ごとでは窒素収支を評価することはできなかった。全調査期間の合計値をみると、窒素投入量 198.5kg/10a、窒素排出量 155.2kg/10a となり、投入量が 43.3kg 多かったが、土壌の全窒素含量が 0.07% 上昇していることを考慮すると、両者の窒素の収支バランスは概ね取れていると考えられた。

農地利用状況による窒素収支を比較した (図

表10 調査ほ場への窒素投入量の内訳

作付順	区名	内容	窒素投入量 (kg/10a)	合計	作付順	区名	内容	窒素投入量 (kg/10a)	合計
前作	イタリアンライグラス	茎葉	0.12	0.1					
1	2006年春バレイシヨ	硫安	14.0	14.0	6	2008年春バレイシヨ	成分調整成型堆肥 ^c	27.1	33.4
		種イモ	0.29 ^a				硫安	6.0	
		種イモ持ち出し	-0.25				種イモ	0.29	
		種イモ持ち出し	-0.06						
2	2006年ソルガム	硫安	4.1	4.1	7	2008年ソルガム	—	0.00	0.0
3	2006年早生タマネギ	ソルガム茎葉	4.33	25.8	8	2008年秋バレイシヨ	ソルガム茎葉	3.33	31.3
		ソルガム根	0.27				ソルガム根	0.27 ^b	
		セル苗	0.17				成分調整成型堆肥 ^c	21.7	
硫安	21.0	硫安	6.0						
4	2007年ソルガム	硫安	4.80	4.8	9	2008年オオムギ	種イモ	0.13	7.0
		ソルガム茎葉	6.40				種イモ持ち出し	-0.09	
5	2007年秋バレイシヨ	ソルガム根	0.27 ^b	36.9			10	2009年エンバク	
		成分調整成型堆肥 ^c	23.8		オオムギ麦かん	1.63			
		硫安	6.0		オオムギ穂	7.00			
		種イモ	0.53		硫安	10.6			
		種イモ持ち出し	-0.10		作付後	エンバク茎葉	10.13	10.1	

a:2008年春バレイシヨの種イモの窒素投入量を使用

b:2006年ソルガムの根の窒素投入量を使用

c:成分調整成型堆肥は窒素投入量の40%を施肥量にカウント(埋設法による無機化率40%)

13). 野菜栽培期間中に、地表排水および暗渠排水からの窒素排出量は 34.8kg/10a で、施肥窒素量の 43%に相当した。一方、緑肥作物では 26.2kg/10a、非栽培期間の裸地では 18.8kg/10a と施肥窒素量以上の排出があった。緑肥栽培ならびに裸地の非栽培期間は梅雨期の重なるため、排

水量の増加に伴い窒素排出量が増加すること、気温が高い時期となり土壌窒素や有機態窒素の無機化が進むことで、降雨による窒素の溶脱が起これと考えられた。

以上のように、暗渠を有した有明海沿岸農地では、野菜栽培期間では窒素排出率は約4割で、暗

表11 調査ほ場における窒素成分の収支

作付順	作物名	栽培期間 開始日	降水量 (mm)	窒素投入量(kg/10a)				窒素排出量(kg/10a)			
				有機物等	施肥	降雨	小計	作物吸収	表面排水	暗渠排水	小計
	裸地	2006/2/25	77	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0	0	0.4
1	バレイシヨ	2006/3/15	925	0.3	14.0	0.1	14.4	8.2	0.8	5.4	14.4
	裸地	2006/6/14	1005	0.0	0.0	0.5	0.5	0.0	1.8	5.0	6.8
2	ソルガム	2006/8/1	302	0.0	4.1	0.2	4.3	4.6	0.0	3.0	7.6
	裸地	2006/10/14	71	4.6	0.0	0.1	4.7	0.0	0.0	0.0	0.0
3	タマネギ	2006/11/29	574	0.2	21.0	2.3	23.5	10.8	0.0	12.6	23.4
	裸地	2007/5/9	129	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.3	0.3
4	ソルガム	2007/6/7	621	0.0	4.8	0.3	5.1	6.4	0.1	10.3	16.8
	裸地	2007/8/10	150	6.7	0.0	0.1	6.7	0.0	0.0	0.6	0.6
5	バレイシヨ	2007/9/12	207	14.8	15.5	0.1	30.5	10.6	0.0	3.9	14.5
	裸地	2007/12/11	205	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	1.5	1.5
6	バレイシヨ	2008/2/22	530	16.4	16.9	0.2	33.5	8.7	0.0	5.0	13.8
	裸地	2008/6/5	24	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7	ソルガム	2008/6/13	734	0.0	0.0	0.3	0.3	3.3	0.1	2.9	6.3
	裸地	2008/8/26	94	3.6	0.0	0.1	3.7	0.0	0.0	0.0	0.0
8	バレイシヨ	2008/9/11	457	13.1	14.2	1.6	28.9	10.4	0.0	4.4	14.8
	裸地	2008/12/11	9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
9	大麦	2008/12/15	724	0.0	7.0	2.1	9.1	8.6	0.0	4.6	13.2
	裸地	2009/5/21	1250	8.6	0.0	1.6	10.3	0.0	0.0	5.4	5.4
10	エンバク	2009/9/9	231	0.0	10.6	0.5	11.1	10.1	0.0	3.2	13.3
	裸地	2009/11/13	560	10.1	0.0	1.4	11.6	0.0	0.0	2.3	2.3
	合計		8,879	78.6	108.1	11.8	198.5	81.8	2.7	70.7	155.2

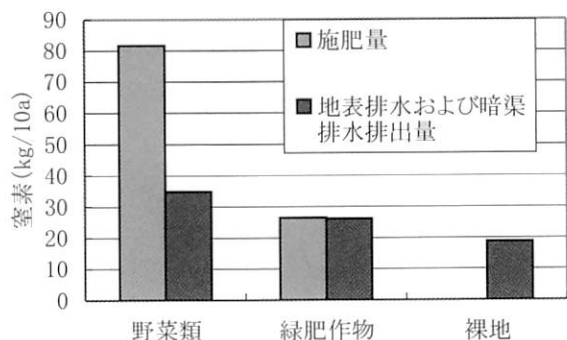


図 13 地表排水ならびに暗渠排水からの窒素排出量

渠排水として排出されるが、緑肥栽培や裸地の非栽培期間は、多量の降水量の影響を受け、地表排水ならびに暗渠排水量が増加することで窒素の排出量が増えることが明らかとなった。

5) 総合考察

有明海沿岸農地は水田を中心とした地域であり、冬作の麦作のほか、大豆、露地野菜などの栽培が近年広く行われている。畑地での作物生産性を向上させるには、ほ場排水性の確保が求められる。有明海沿岸農地は粘質土壌が多く、排水性を向上させるため暗渠が設置されるが、その設置間隔は排水量から決定される¹⁾。排水性の確保に伴い、排水と共に施肥された窒素の溶出量が増えることが懸念される。

ほ場排水性の向上には作土の物理性が重要である。暗渠排水は作土に連続した粗孔隙¹⁵⁾や亀裂³⁾が発達すると機能する。本調査ほ場は亀裂が発達しており、緑肥作物と成分調整成型堆肥を施用し、併せて弾丸暗渠の施工も実施した。そのため、調査期間中は作土の物理性を維持し、ほ場排水性を確保することができた。露地野菜5作の生育期間中の窒素流出率は43%と現地野菜地帯でモニタリングされた文献値^{4,6,9,17)}21~55%と同等であった。暗渠排水量が多いと窒素の排出量は増加する⁹⁾ので、今回の窒素排出率は、排水性の良好な有明海沿岸農地での評価と捉えるべきである。

波多野¹⁵⁾はまたタマネギ収穫後に暗渠排水への窒素流出が多いこと、土壌の残存硝酸態窒素量が窒素溶脱に関わっていることを指摘している。今回調査した緑肥作物のソルガム、オオムギ、エンバクは有明海沿岸農地での栽培に適しており、

作物を組み合わせると年間を通して栽培可能である。ソルガムは窒素施肥により収量が高まるが、前作の窒素残存量をもとに施肥量を調節すれば、梅雨期のクリーニングクロープとなると考えられる。麦類も窒素吸収能力が高く、春先の農地の乾燥にも役立つ。前作の残存窒素対策として野菜類と緑肥作物の輪作体系を確立し、裸地期間が短くなる作付体系を導入すべきである。

また、有明海沿岸は水田を中心とした地域であり、クリーク内の水質改善には、水量確保と流入負荷削減が重要¹⁶⁾であり、小川ら⁵⁾は、窒素の負荷軽減対策には、土壌の保肥力・保水性を高めるための有機物の利用、粘土資材の客土、マルチの活用等による作物の窒素吸収力(利用率)を高める効率のよい施肥技術の確立が必要と主張している。

今回2008年春バレイショはマルチ栽培を実施した。バレイショの窒素吸収量は12kg/10aと高く、収量も4,561kg/10aと十分であった。504mmの降水量の中、暗渠排水からの窒素排出量は施肥窒素の約1/4であり、増収と窒素の排出抑制効果が認められた。マルチ内の土壌の無機態窒素濃度が高いため、暗渠排水中の窒素濃度も高い傾向にあるが、マルチによる水の浸透量が少ないことが排出量を抑制している。1作のみの結果であり、さらに事例研究を進める必要がある。

成分調整成型堆肥は、堆肥として有機物供給効果は確認されたが、窒素排出量への影響は判然としなかった。有機質肥料の窒素排出削減効果について今後検討する必要がある。

さらに窒素負荷量を削減するには、農業者が実施できる排出削減技術として窒素の適正施肥と施肥窒素利用率を高める追肥重点施肥・局所施肥・緩行性肥料の施肥体系の導入を検討する必要がある。

暗渠を有する農地でのモニタリング調査は排水量が降水条件で左右されるため、1作ごとの窒素収支の評価はできなかった。今回のように複数年調査したことで、施肥窒素の動態を把握することができた。

負荷軽減技術の導入にあたって、その効果をそれぞれ現地で実証してもよいが、多大な時間や労力が必要となる。白谷ら¹¹⁾は有明海沿岸転換畑を

対象にしたモデルを開発し、畑地からの窒素流出の予測と評価が可能である。今後は現地調査結果と数理モデルの両者をうまく活用しながら窒素負荷削減技術の評価を行い、効果的な削減技術の確立と現地導入を進めていく必要がある。

農業は環境と調和した産業であり、休耕田や水

田における植生吸収と脱窒による水質の浄化機能^{10,12,13)}が認められている。本研究の成果が、地域環境条件を活かした汚濁負荷対策の実践につながる基礎資料として活用されることを期待する。

4. 摘 要

暗渠を有した有明海沿岸農地において、窒素の動態についてモニタリング調査を実施し、以下の結果を得た。

- 1) 作物の窒素吸収量は、バレイショ、タマネギは施肥窒素量の51~68%であったが、ソルガム、オオムギ、エンパクでは施肥窒素並みかそれ以上の高い窒素吸収量を示した。
- 2) 成分調整成型堆肥を使用しても、作土の無機態窒素は施肥後硝化作用により硝酸態窒素が増加し、作物の生育が進むと減少した。
- 3) 作土の全窒素含量は試験開始前0.18%から成分調整成型堆肥の施用後に増加し、緑肥作物の全量土壌還元の影響もあり、0.07%増加した。
- 4) 表面排水は6~7月に発生し、暗渠排水は6~7月のほか、2~3月の発生が多く、暗渠排水が主な排出経路であった。
- 5) 春バレイショ栽培において降雨による迅速な暗渠排水の発生が確認された。暗渠排水中の窒素濃度は作物の生育が進むと低下した。
- 6) 暗渠排出のない状況で強度の降雨があると、高濃度の窒素が排出される傾向であった。春バレイショのマルチ栽培では、暗渠排水中の全窒素濃度は高かったが、窒素排出量は増加しなかった。
- 7) 投入窒素量と排出窒素量を比較すると、1作ごとでは降水量や降雨のタイミングの違いで窒

素排出量の変動するため比較できなかった。4年間10作で比較すると、土壌中の全窒素含量の増加を加えることで、両者のバランスが概ね取れた。

8) 露地野菜栽培期間の窒素流出率は43%であったが、緑肥作物や非栽培期間の窒素排出量が多かった。

9) 暗渠を有する有明海沿岸農地において、窒素収支を評価するには、長期間のモニタリングが必要であった。

謝 辞

本研究の遂行に当たっては、共同研究を実施した先進技術を活用した農林水産研究高度化事業ならびに新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業のプロジェクトリーダーをはじめ関係機関各位には数々のご助言とご指導を賜った。また、実験フィールドの設営、現地計測、調査ほ場の管理等において石坂一也氏（九州沖縄農業農研センター研究支援センター）、麻生啓語氏（前長崎県農林技術開発センター）には多大なご協力をいただいた。さらに本稿作成に当たっては、長崎県農林技術開発センターの関係者にご支援いただいた。これらの方々に厚く感謝する次第である。

5. 引用文献

- 1) 天谷孝夫・長堀金造・高橋 強：笠岡湾干拓地における合理的な暗渠間隔の決定，岡山大学農学報(65)，69-77（1985）
- 2) 荒川 祐介・田中 章浩・原口 暢朗・草場 敬・薬師堂 謙一・山田 一郎：堆肥脱臭法により産生した窒素付加堆肥の利用に関する研究(第1報)コ

マツナ栽培試験による肥料効果の検証，土肥誌81(2)，153-157（2010）

3) 井上久義：亀裂の発生した粘土質ほ場における暗渠排水特性，農土論集，137，25-33（1988）

4) 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，茨城農試特別

研報 4, 1-71 (1979)

5) 小川吉雄・酒井 一：畑地からの窒素の排出抑制, 農及園 61(1), 15-22(1986)

6) 小山田努・酒井 一・津田公男：野菜栽培畑からの肥料成分の流出, 茨城農試研報 26, 159-175 (1986)

7) 小林ひとみ・太田 健・村上 章：低湿重粘転換畑における施肥窒素の動態と収支, 土肥誌 74(5), 685-689 (2003)

8) 佐賀県：地力保全基本調査総合成績書 (1979)

9) 桜井善雄：農地排水による河川及び地下水の汚染, 農土誌 43, 14-20 (1975)

10) 柴原藤善：田畑輪換水田におけるキャベツの作条施肥技術と暗渠排水浄化技術, 近畿中国地域における新技術, 33, 114-118 (1999)

11) 白谷栄作・戸原義男・四ヶ所四男美・井上久義：麦作圃場からの窒素流出簡易評価モデルの開発, 農土論集 181, 97-106 (1996)

12) 田淵俊雄・黒田久雄・志村もと子：休耕田を活用した長期窒素除去試験, 土壌の物理性

87, 27-36 (2001)

13) 恒川 歩・今井克彦・柴山浩子・糟谷真宏・江口定夫：矢作川下流域の水田下層土における脱窒, 土肥誌 72(2), 207-211 (2006)

14) 長崎県：地力保全基本調査総合成績書 (1978)

15) 波多野隆介：暗渠排水を利用した硝酸溶脱のモニタリングとモデリングー灰色低地土タマネギ畑におけるケーススタディー, 環境負荷を予測するモニタリングからモデリングー, 博友社, 57-71 (2002)

16) 濱田康治・皆川朋子・高木強治・中 達夫：有明海沿岸クリーク地帯でのクリーク水質の年間変動および年次変動の解明, 農工研技報 207, 63-80 (2008)

17) 平田健正・岡村浩繭・岩田 敏：畑地における水分と物質の移動特性に関する研究, 公害研報 94, 108 (1986)

18) 福岡県：地力保全基本調査総合成績書 (1978)

Summary

Behavior of Nitrogen in upland fields improved by underdrain around the sea of Ariake

Yasunao YAMADA, Ikuo YOSHINAGA, Noburo HARAGUCHI, and Takahiro SHIONO

Behavior of Nitrogen in upland fields improved by underdrain around the sea of Ariake was monitored. The results showed that the concentration of nitrogen absorbed by potato and onion was 51% to 68% of the concentration of nitrogen in the applied fertilizer, whereas that of sorghum, barley, and oats was similar to or higher than the concentration of nitrogen in the fertilizer. The concentration of inorganic nitrogen in the soil increased after fertilization and decreased with crop growth. The concentration of total-nitrogen contained in the soil increased after the application of a formulated fertilizer, with an increase of up to 0.07% by the end of the study. Surface drainage occurred from June to July, and subsurface drainage occurred in June and July as well as from February to March. In spring 2006, with regard to potato, speedy subsurface drainage was confirmed after rainfall, and the concentration of nitrogen in the subsurface drainage water decreased with crop growth. When there was no constant rainfall after fertilization, a higher concentration of nitrogen was discharged upon heavy rainfall. For potato farming using mulch, the concentration of total-nitrogen in the subsurface drainage water was high; however, the amount of discharged nitrogen did not increase. When the amounts of applied and discharged nitrogen were compared, the relationship in a single crop was unclear. However, when 10 crops were observed over 4 years with regard to the total amount of nitrogen contained in the soil, the two were balanced. The amount of nitrogen discharged into the subsurface drainage water was approximately 43% of the amount of nitrogen applied for potato and onion. This study suggests that long-term monitoring is required to evaluate the nitrogen balance in upland fields where the drainage mainly relies on subsurface drainage because it is largely affected by rainfall.

