

諫早湾干拓干陸初期における緑肥作物並びに堆肥による早期土壌改良

山田寧直, 寺井利久, 大津善雄, 宮寄朋浩, 飯野慎也, 山崎和之, 黒川陽治, 小林雅昭

キーワード: 諫早湾干拓, 緑肥作物, 堆肥, 除塩, 排水性, 熟畑化

Improvement of Soil physical and chemical properties by the Cultivation of Green manure
and Compost Application at Early stages of Land Reclamation in the Isahaya Bay

Yasunao YAMADA, Toshihisa TERAJ, Yoshio OHTSU, Tomohiro MIYAZAKI, Shinya IINO,
Kazuyuki YAMASAKI, Youji KUROKAWA and Masaaki KOBAYASHI

目 次

1. 緒言	27
2. 初期干拓土壌の特徴	28
1) 干拓土壌の特性	29
2) 初期干拓土壌の理化学性	29
3. 緑肥作物の栽培と鋤込みによる土壌改良	31
1) 緑肥作物の栽培と鋤込みの効果	31
2) 石コウ施用の影響	41
3) EC値からの土壌中塩素濃度推定	45
4. 堆肥施用による早期熟畑化	47
1) 堆肥単用の効果	47
2) 緑肥並びに堆肥の連用効果	52
5. 総合考察	55
6. 摘要	57
7. 引用文献	58
Summary	60
写真	62

1. 緒言

有明海は干満の差が大きく、湾奥では大潮時には5mを超え、干潮時には沖合に広い干潟が出現する。そのため古くからその干潟を堤防で締切り、排水して干陸化し、農耕地として開拓が行われてきた。

海成干拓地は低平地にあり水田に適しているため、水田利用に関する研究が行われてきた^{1~4)}。

諫早湾においても16世紀から干拓⁵⁾が行われており、直近では1957年から諫早干拓(現諫早市森山町)が造成され、当時の試験では二期作水稻の耐塩的栽培法や畑作物の収量、耐塩性等について検討されている⁶⁾。

諫早湾の干潟は、年約5cmの潟土が堆積すると推定されている。堆積した土(通称「ガタ土」)

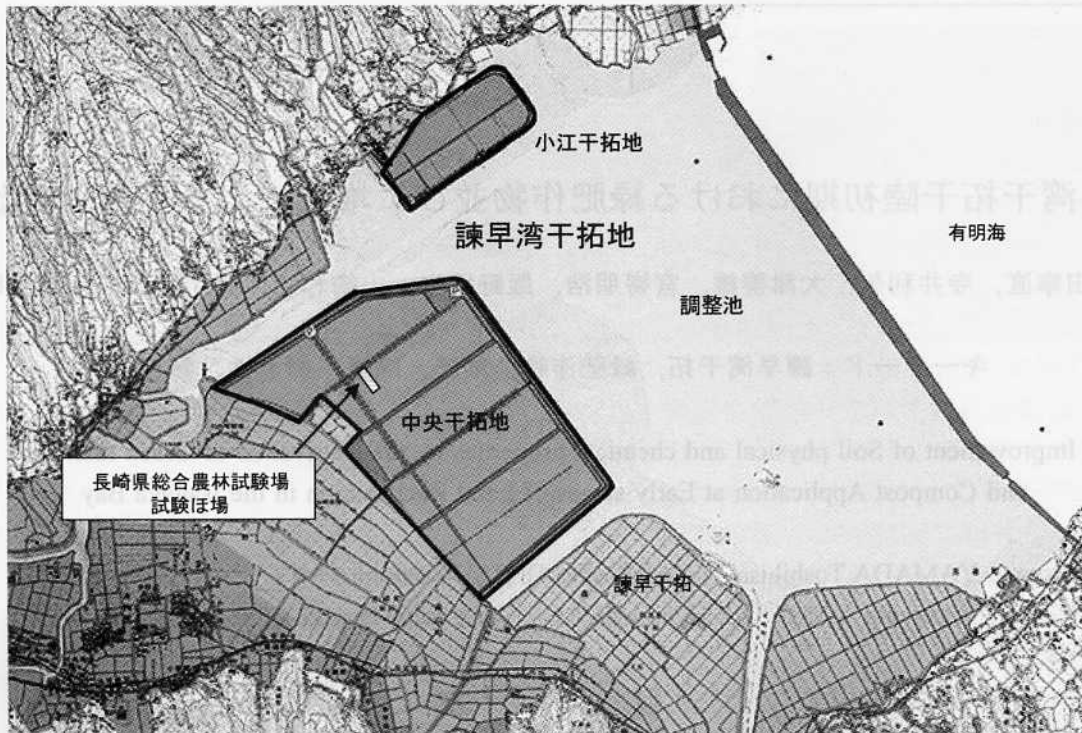


図1 諫早湾干拓地並びに試験ほ場の位置

は長い時間かかって後背地よりも高く堆積し、背後地からの排水が常時困難な状態となる。諫早地域は台風の常襲地帯であるとともに、多良山系の影響で集中豪雨が発生しやすいため、しばしば大洪水や高潮の被害を受けてきた。

そのため、1986年に国営諫早湾干拓事業の事業計画が決定され、①かんがい用水が確保された大規模で平坦な生産性の高い優良農地を造成し、生産性の高い農業を実現すること、②高潮・洪水・常時排水等に対する背後低平地の防災機能を強化することを目的に、潮受け堤防と内部堤防を有する複式干拓地の造成が始まった。潮受堤防は1997年4月に締切り、1999年3月に完成したが、有明海ノリ不作問題を契機に2002年4月からは短期開門調査が実施された。同年6月には事業見直しによる変更事業計画が決定され、干陸面積942haのうち、中央干拓地556ha、小江干拓地91haの計647haが普通畑として造成・共用されることとなった(図1)。事業計画では淡水化された調整池の水

を農業用水源として利用して、露地野菜、施設野菜、施設花きの園芸作物や酪農、肉用牛といった畜産による環境保全型農業を前提とした土地利用型の大規模かつ先進的、企業の営農を目指しており、2007年の事業完成が直前に迫っている。

1970年代以降の国営干拓事業である石川県河北潟干拓、佐賀県有明干拓福富工区、熊本県横島干拓、岡山県笠岡干拓では、水稻の生産調整の流れを受け、畑地として造成されている⁷⁾が、干拓地の畑地利用に関する研究は極めて少ない^{8,9)}。諫早湾干拓事業も全農地が普通畑であるため、入植・増反者が円滑に初期営農を展開できるよう干拓地の早期熟畑化が大きな課題である。そのため、長崎県では1998年から小江干拓地で本格的な試験研究に取り組んだ。今回は中央干拓地において2000年から実施した土壌改良対策試験の中から、緑肥作物の作付並びに堆肥の利用による除塩、土壌改良、早期熟畑化について得られた結果を報告する。

2. 初期干拓土壌の特徴

1) 干拓土壌の特性

諫早湾干拓地は、本明川から供給される土砂に加えて、菊地川や筑後川などの河川によって搬出された阿蘇・久住山系の火山灰質の土砂が、有明海を反時計回りに回る潮汐によって泥土部分が沈降・堆積することでできる干潟を干陸させた海成干拓地^{1,5)}である。

そのため、土壌は有明海の海底土（通称：ガタ土）を母材とした海成沖積土壌であり、図2のとおり粘土が約50%，シルトが約40%を占める重粘質土壌（土性：HC）に分類される。特に、粘土はスメクタイトを主体とする2：1型粘土鉱物が多く含まれており、陽イオン保持能が高く、膨潤・収縮能に非常に富んだ性質を示す。中央干拓地ではそのガタ土が20m程度堆積（ボーリング試掘調査結果）しており、貝殻を含んだほぼ均質な土層を形成している。

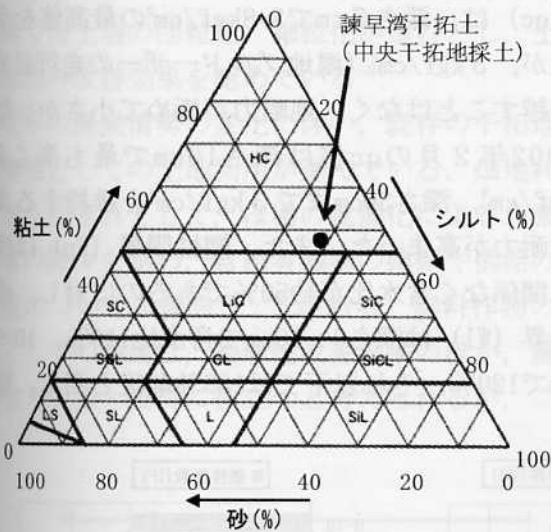


図2 諫早湾干拓土壌の粒径組成

なお、諫早湾干拓地は、中央干拓地と小江干拓地に分かれているが、中央干拓地が自然干陸地であるのに対し、小江干拓地は埋立を行った上で、客土等による農地造成を行った干拓地である。

2) 初期干拓土壌の理化学性

干陸1年後の2000年3月時点の中央干拓地試験ほ場の土壌断面柱状図を図3に示す。深さ15cmまでの層は、耕うんの影響を受け大きな弱塊状であった。15～20cmの第2層はグライ斑を有し、ち密度が12mm（山中式硬度計読み）と高く、機械走行の支持層となっていた。20cm以下の第3層はグライ層であり、ち密度5mmと低かった。土色は全体

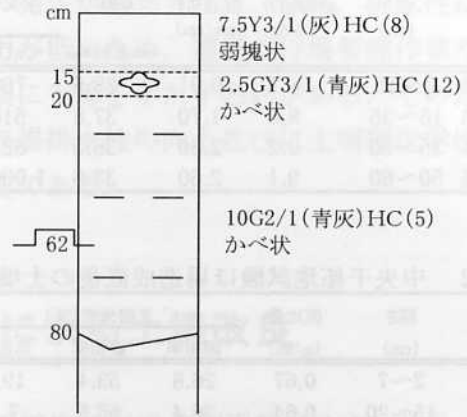


図3 ほ場整備前の土壌柱状図
(2000年3月)

に灰から青灰であり、還元状態を示した。

土壌の化学性を表1に示す。層位の分化が進んでおらず、代表して4カ所の深さから試料は採取した。pH(H₂O)は8.7～9.1、電気伝導率(EC)は0.99～2.60mS/cm、陽イオン交換容量(CEC)は33.6～38.5meといずれも高い状態であった。リン酸吸収係数も1760～1860と高いが、可給態リン酸は50mgを超えていた。一方、表層部の水溶性塩素イオン濃度は2917mg、中層部で8021mg、下層部、深層部では10000mg以上と下層になるほど高かった。交換性陽イオン類は豊富に含まれており、塩基飽和度は181～357%以上で、下層ほど交換性ナトリウム含量が高かった。また、全炭素は全層にわたって約1.5%と少なく、全窒素は約0.2%と中庸であった。

表2に土壌の物理性を示す。表層部は仮比重が0.67と低く、固相率の26.8%、気相率の19.8%に比べ、液相率が53.4%と高かった。しかし、工事に伴うプラウ反転耕の影響でpF1.5の気相率が15.1%と高かった。下層ほど固相率、気相率が低下し、液相率の割合が高くなる傾向にあった。深層部は仮比重が0.48と極めて低く、液相率が80%、気相率が1%未満であった。表層部のpF1.5の保水性は58.0%、pF2.7は56.5%と水分率が高く、さらに下層ほど水分率が大きくなる傾向にあるが、易効性有効水分は1.5～5.8%と少なく、飽和透水係数は下層部、深層部では10⁻⁷オーダーと極めて低かった。参考として、干陸5年目の2002年4月採土したpF-水分曲線を図4に示す。水分保持能は改善されているが、下層部ではpF4.2の水分が62%と無効水が多かった。

表1 中央干拓地試験ほ場造成直後の土壌の化学性 (2000年3月)

層位	深さ (cm)	pH(H ₂ O) (1:2.5)	EC(1:5) (ms/cm)	CEC (me/乾土100g)	交換性陽イオン(mg/乾土100g)				塩基飽和度 (%)	水溶性塩素イオン (mg/乾土1000g)	リン酸吸収係数	可溶性リン酸 (mg/乾土100g)	全炭素 (%)	全窒素 (%)
					CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O						
表層部	0~15	8.7	0.91	38.5	708	326	489	542	181	2,917	1,860	55	1.56	0.22
中層部	15~35	8.8	1.70	37.8	516	331	571	783	192	8,021	1,830	58	1.54	0.21
下層部	35~50	9.2	2.30	36.5	622	309	627	1,343	258	12,782	1,760	51	1.50	0.21
深層部	50~80	9.1	2.60	33.6	1,009	370	625	1,622	357	19,034	1,800	53	1.44	0.19

表2 中央干拓地試験ほ場造成直後の土壌の物理性 (2000年3月)

層位	深さ (cm)	仮比重 (g/ml)	三相分布 (%)			孔隙率 (%)	pF1.5の気相率 (%)	保水性 (%)		易効性有効水 (pF2.7-1.5)(ml)	飽和透水係数 (cm/sec)
			固相率	液相率	気相率			pF1.5	pF2.7		
表層部	2~7	0.67	26.8	53.4	19.8	73.2	15.1	58.0	56.5	1.5	2.5×10 ⁻²
中層部	15~20	0.64	26.4	66.5	7.1	73.6	5.9	67.7	64.9	2.8	8.6×10 ⁻⁴
下層部	35~40	0.61	25.3	73.6	1.1	74.7	1.6	73.1	70.5	2.7	8.8×10 ⁻⁷
深層部	65~70	0.48	19.7	79.8	0.6	80.4	1.1	79.2	73.5	5.8	7.2×10 ⁻⁷

※単位:100mlあたり

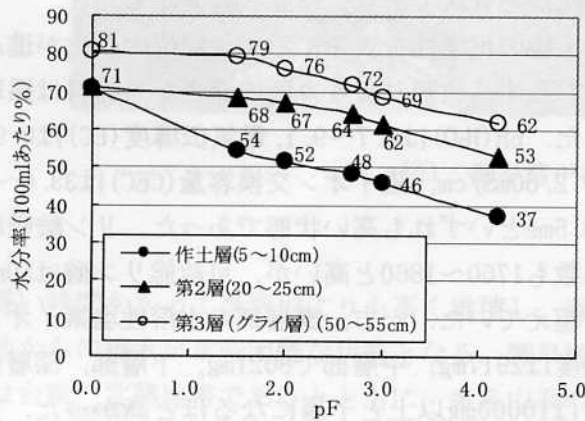


図4 中央干拓地試験ほ場における土壌の pF-水分曲線

調査地点: 中央干拓地 P 4 ほ場 (裸麦跡地)
調査日: 2002年5月

また、九州農政局諫早湾干拓事務所が調査¹⁰⁾したポータブルコーン貫入試験の結果を図5に、土のコンシステンシー特性試験の結果を図6に示す。調査地点のC1は中央干拓地試験ほ場に最も近い地点である。2000年7月のコーン貫入抵抗値(qc)は、深さ5cmで2.8kgf/cm²の最高値を示したが、3kgf/cm²(湿地ブルドーザーの走行目安)を越すことはなく、地耐力が極めて小さかった。2002年2月のqc値は深さ10cmで最も高く5.3kgf/cm²、深さ30cmまで3kgf/cm²を維持するまで地耐力が高まった。また、塑性限界(Wp)は深度に関係なく含水比が約50%であるのに対し、液性限界(Wl)は深さ0~10cmで含水比110%、10~20cmで120%、それ以下では135%前後と高く、塑性

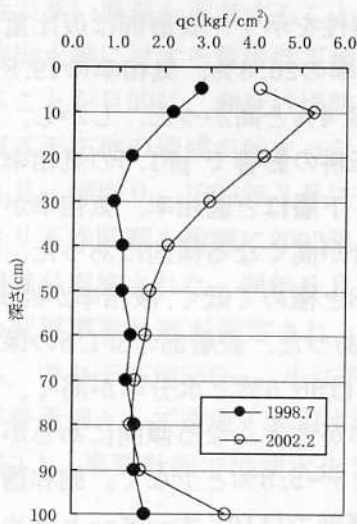


図5 深度別貫入硬度

調査地点: 中央干拓地 C 1 地点
調査日: 1998年7月, 2002年2月
(諫早干拓事務所調査)

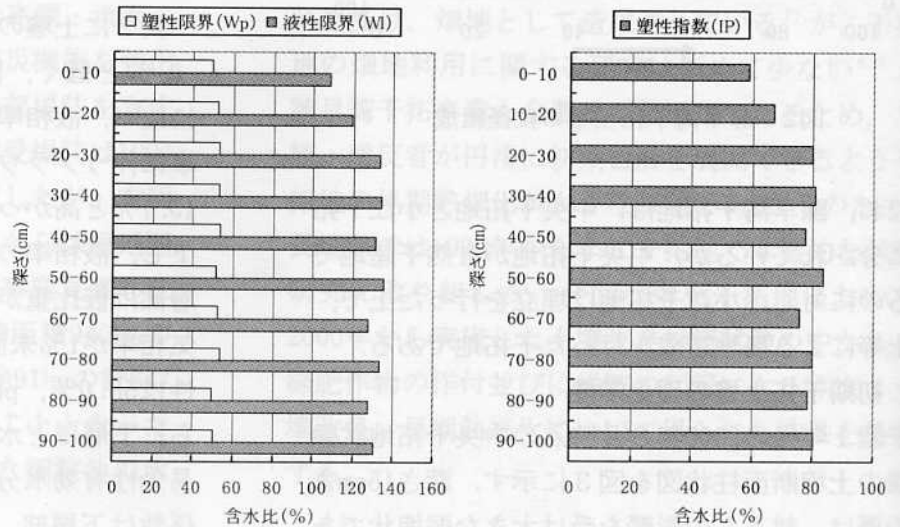


図6 深度別コンシステンシー特性

調査地点: 中央干拓地 C 1 地点
調査日: 2003年8月
(諫早干拓事務所調査)

指数 ($I_p = W_l - W_p$) が60~80で、適切な水分状態で耕起しないと、繰り返しの危険性があった。

以上のように、干陸した諫早湾干拓地は長期間海底であったため、海水の影響を受け、塩分含量が多く、塩素イオンによる塩害や高pHに伴う生理

障害の発生が懸念された。また、排水性に劣り、地耐力が低いため、適期のほ場管理作業や大型機械作業に支障をきたす恐れがある。そのため、除塩、ほ場排水性の向上並びに土壌理化学性の改善が必要である。

3 緑肥作物の栽培と鋤込みによる土壌改良

1) 緑肥作物の栽培と鋤込みの効果

一般に海成干拓地の干陸直後の水田は、湛水除去または浸透除去等によって塩分をほ場外へ溶脱させる除塩方法が用いられる^{11,12)}。一方、干拓地の畑地における除塩は、塩素を吸収させたイネや牧草等のほ場外への持ち出しと暗きょ排水を組み合わせた除塩方法が用いられる^{6,9,13)}。牧草の利用は、除塩の効果ばかりでなく、福桜・今尾は中海干拓安来工区において、3カ年間牧草を作付けたほ場では土壌の団粒化、細粒化が進むとし、土壌物理性の改善効果を認めている¹⁴⁾。

近年の農業情勢の変化に伴い、既存の干拓地は転換畑としての土地利用が進んでいる。畑地利用に伴う問題点として、ほ場の乾燥化による急激な腐植の減少を認め、自給有機物の確保や供給の必要性についての報告^{13,15,16)}がある。飼料作物の緑肥としての利用は、物理性改善効果のほか、農地の地力増強・維持に役立つと考えられるが、これ

まで干拓地における利用例は少ない^{15,17)}。その理由として、水田利用のため有機物の供給があまり重要でなかったこと、有機物の異常還元によって農作物に障害発生の危険性が高いこと、作業代償として生産物が飼料としてほ場外へ持ち出されたことなどが推測される。

国営干拓事業によって、諫早湾干拓地は10m間隔の暗きょや給水施設の整った畑地が整備されている。そこで、温暖な気候とそのほ場条件を活かした早期熟畑化対策として、緑肥作物の栽培と全量鋤込みによる除塩、ほ場の排水性向上、有機物供給による土壌理化学性改善などの畑地ほ場の管理技術を確立し、事業完成後の入植・増反者による営農の定着・安定化を図る。

(1) 材料及び方法

ア) 試験ほ場条件

試験ほ場として、長崎県諫早市小野島町地先にある中央干拓地内の3haのほ場を用いた(図7)。

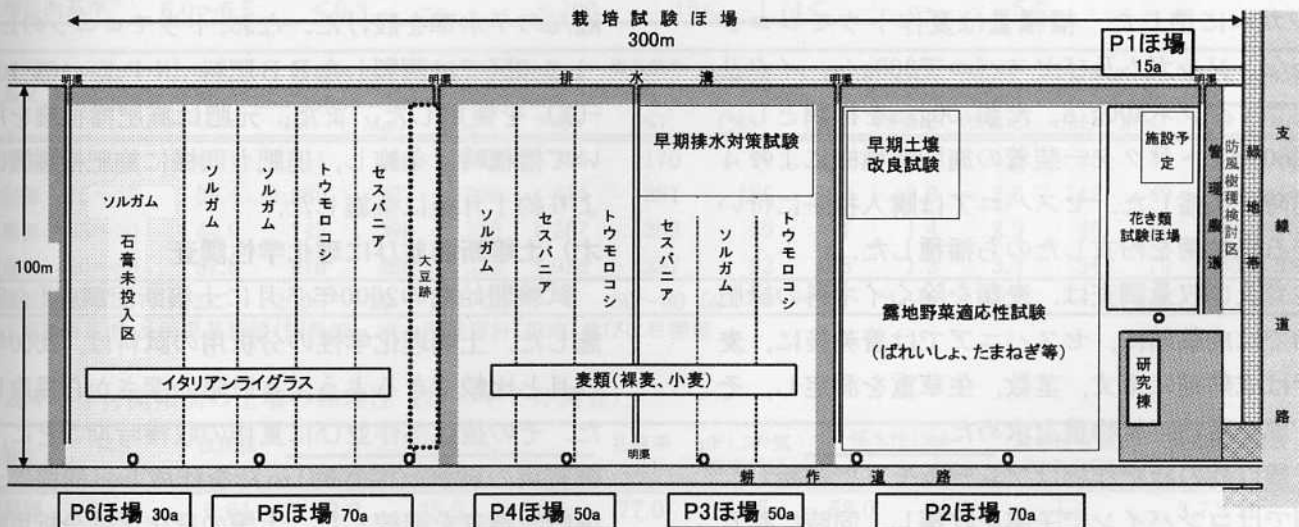


図7 中央干拓地試験ほ場の配置

ほ場 番号	2000						2001						2002						2003															
	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4
P3/4	夏作緑肥			裸麦(イチバンホシ)			夏作緑肥			裸麦(御島裸)			夏作緑肥			小麦(チゴイシミ)																		
	S 1作目 PD S			2作目			3作目 PD S			4作目 PD S			5作目 PD S			6作目																		
P5	夏作緑肥			イタリアライグラス			夏作緑肥			イタリアライグラス			夏作緑肥			イタリアライグラス																		
	S PD S(クロス)			PD S			PD S			PDS			PD S																					
P6	ソルガム			イタリアライグラス			ソルガム			イタリアライグラス			夏作緑肥			イタリアライグラス																		
	S PD S(クロス)			PD S			PD S			PDS			PD S																					

※夏作緑肥:トウモロコシ、ソルガム、セスバニア等 S:サブソイラによる弾丸暗きよ P:プラウ耕、PD:パワーディスク耕

図8 試験ほ場と作付体系(2000年7月から2003年5月)

試験ほ場は周辺の畑地整備よりも先行する形で、干陸3年後の2000年1月に6ha(600m×100m)を面工事並びに10m間隔の暗きよ施工を行った。同年3月に除塩と物理性改善のため、うち2.7ha(P1~P5ほ場)に石コウ20t/haを施用し、深さ40cmまで混和した後、石コウを施用しなかった残りの部分(P6ほ場0.3ha)と併せて、ほ場の勾配を1/1000とし、仮設排水路へ自然排水されるよう整備した。

イ) 緑肥作物の作付体系

緑肥作物は、周辺地域の作付実績と過去の試験成績をもとに、夏作はイネ科の飼料用トウモロコシ、ソルガム、マメ科のセスバニアを、冬作はイネ科のイタリアンライグラス、裸麦等の麦類を選定した。これらを組み合わせ、2000年7月から図8のとおり年間夏冬2作ずつ3年間栽培した。

ウ) 耕種概要

栽培方法は「飼料作物の栽培と利用の手引き」(長崎県畜産課2002.3)及び地域慣行に基づき、手引きに記載されていないセスバニアにおいてはソルガムに準じた。播種量は夏作トウモロコシ400g/a、ソルガム及びセスバニア300g/a、イタリアンライグラス400g/a、麦類700g/aを標準とし、条間60cmでトラクター装着の施肥播種機により4条同時に条播した。セスバニアは購入種子に付いている根粒菌を粉衣したのち播種した。

生育及び収量調査は、麦類を除くイネ科の緑肥作物では成熟前に、セスバニアでは着莢後に、麦類では成熟期に草丈、茎数、生草重を測定し、その一部を用いて乾物重を求めた。

麦類以外の緑肥作物はフレールモアで細断し、麦類ではコンバインで子実を収穫し、同時に残りの麦稈をカッターで細断した。数日風乾させた後、ディスクプラウで鋤込み、ロータリーで耕うんした。

ほ場の本暗きよは事業水準の10m間隔で設置されていたが、ほ場排水性をより向上させるため、年1回以上サブソイラー(径12cm弾丸装着)による補助暗きよを本暗きよに交わるよう2.5~5m間隔に施工した。また、ほ場周辺部に明きよを施工した。麦類の栽培では土入れ管理による表面排水の向上を図った。

エ) 施肥条件

2000年の夏作には配合肥料[N-P₂O₅-K₂O(以下、N-P-K)=16%-16%-16%)]をN-P-K=1.0-1.0-1.0kg/a相当量を全面散布した。2000年冬作以降では硫安(N=21%)、重過石(P=34%)、硫加(K=50%)を用い、トウモロコシでは1.6-1.5-1.5kg/a、ソルガム及びセスバニアでは1.0-1.5-1.0kg/a、イタリアンライグラスでは1.5-1.0-1.0kg/a、裸麦では0.9-1.0-1.0kg/a、小麦では1.0-1.0-1.0kg/aを標準施肥量として施肥した。

2001年と2002年には、夏作の3草種では窒素、リン酸、加里を0~2.2kg/aの範囲で組み合わせた10水準、冬作のイタリアンライグラスでは0~2.2kg/aの7水準を設けた。なお、トウモロコシの1.6-1.0-0区では調製したBB肥料(N-P-K=16%-10%-0%)を使用した。また、元肥は施肥播種機を用いて播種時に条施し、追肥も同様に施肥播種機により約1月後に条施した。

オ) 土壌断面並びに理化学性調査

試験開始前の2000年7月に土壌断面調査¹⁹⁾を実施した。土壌理化学性の分析用の試料は、2000年3月と比較できるように、4段階の深さから採取した。その後は冬作並びに夏作の収穫時期ごとに、調査用の試坑(深さ約1m)を作成し、同様に土壌断面調査を継続した。土壌の理化学性分析用試料は断面の各層位から採取した。また、土壌抵抗測定器SR-IIを用いて、深さごとの貫入抵抗値を別途測定した。

土壌理化学性の分析は日本土壌肥料学会の標準分析・測定法¹⁹⁻²⁰⁾に基づいて行った。なお、可給態リン酸はトルオーグ法、可給態窒素は30℃培養法、全炭素、全窒素は住化(株)NC-900による燃焼法、塩素イオンはモール法を用いた。

有機物の分解特性は、ガラス繊維ろ紙を用いたほ場埋設法²¹⁾により測定した。供試試料は飼料用トウモロコシ、堆肥用ソルガム、緑肥用ソルガム、セスバニア、クロタラリアを用い、また供試土壌は中央干拓地試験ほ場で採取した有機物施用履歴のない生土を用いた。有機物の施用割合は湿潤土壌10gに対して風乾試料4g並びに1/2量の2gとした。埋設は2003年10月～12月(87日間)と2004年10月～2005年1月(88日間)の冬キャベツ栽培ほ場で行い、有機物の炭素並びに窒素の分解率等を調査した。

(2)結果

ア) 作付前の土壌条件

初作直前の2000年7月における表層土はpH(H₂O) 7.5, EC1.8mS/cm, 水溶性塩素イオン463mgと2000年3月に比べいずれも低下した。中層部以下の土壌もpH, 水溶性塩素イオンが低下した。水溶性塩

素イオン濃度は下層土ほど高くなり、深層部では14439mgと依然として海水の影響が残っていた。可給態リン酸、交換性カリウムは長崎県土壌診断基準値(非火山灰土, 飼料畑)²²⁾より高かったが、全層位とも減少傾向にあった。各層位のCEC, 全炭素, 全窒素の変動は小さく、表層土の可給態窒素は3.1mgと低かった。

石コウの施用により表層土及び中層土では交換性カルシウムが増加し、逆に交換性マグネシウム並びにナトリウムが減少した。上層のナトリウム飽和度(ESP:CECに占める交換性ナトリウムの当量割合%)は23%まで低下したが、中層部以下の土壌では60%以上と高く、水溶性塩素イオンと同様に下層ほど高かった。

水溶性陽イオン類の中では、ナトリウムは突出して高く、交換性ナトリウムの50～58%相当量であった。表層土及び中層土のカルシウムは下・深層部と比べ高い傾向にあり、石コウから溶出によるものと思われた。他のマグネシウム及びカリウムは31～79mgと下層ほど高かった(表3)。

表層土の気相率が41.5%, pF1.5の気相率が35.5%と2000年3月に比べ増加し、仮比重が0.64と低

表3 作付開始前の土壌の化学性(2000年7月調査)

層位	深さ(cm)	pH(H ₂ O)(1:2.5)	EC(1:5)(ms/cm)	含水率(%)	水溶性塩素イオン(mg/乾土100g)	可給態リン酸(mg/乾土100g)	全炭素(%)	全窒素(%)	可給態窒素(mg/乾土100g)
中層部	15～35	7.6	3.60	49.2	4,336	29.2	1.53	0.21	-
下層部	35～50	8.0	5.60	55.4	8,802	32.4	1.53	0.21	-
深層部	50～80	8.0	5.80	61.4	14,439	36.7	1.46	0.19	-
土壌診断基準 ^{a)}	6.0～6.5	<0.3	-	<100	15<	1.74<	-	5<	

層位	深さ(cm)	CEC(mg/乾土100g)	交換性陽イオン(mg/乾土100g)				塩基飽和度(%)	石灰飽和度(%)	ESP(%)	Ca/Mg(当量比)	Mg/K(当量比)	水溶性陽イオン(mg/乾土100g)			
			CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O						CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
表層部	0～15	40.1	1,111	280	259	285	170	99	23	2.9	2.5	85	31	32	161
中層部	15～35	39.4	1,389	337	300	814	251	126	67	3.0	2.6	112	49	38	443
下層部	35～50	44.9	743	396	320	1,267	209	59	91	1.4	2.9	40	52	49	735
深層部	50～80	37.8	976	466	322	1,936	337	92	165	1.5	3.4	34	79	50	986
土壌診断基準 ^{a)}	12<	200	30	15～35	-	60～80	50～70	<10	4～8	2<	-	-	-	-	-

a) 土壌診断基準:長崎県基準値(飼料畑)、地力増進指針(畑地)並びに目標値

表4 作付開始前の土壌の物理性(2000年7月調査)

層位	深さ(cm)	仮比重(g/ml)	三相分布(%)			孔隙率(%)	pF1.5の気相率(%)	保水性(%)		易効性有効水(pF2.7-1.5)(ml)	飽和透水係数(cm/sec)
			固相率	液相率	気相率			pF1.5	pF2.7		
表層部	2～7	0.64	23.0	35.5	41.5	77.0	34.5	58.0	41.1	1.4	3.7×10 ⁻¹
中層部	15～20	0.71	27.9	49.4	22.8	72.2	20.3	67.7	50.2	1.6	3.4×10 ⁻²
下層部	35～40	0.57	23.1	74.9	2.1	77.0	1.9	73.1	71.0	4.1	5.7×10 ⁻⁷
深層部	65～70	0.49	20.0	79.7	0.3	80.0	2.4	79.2	70.9	6.7	5.8×10 ⁻⁷

※単位:100mlあたり

くなった。中層部でも同様に気相率、pF1.5の気相率の上昇が認められた。そのため表層土及び中層土の液相率は50%以下まで低下した。易効性有効水は2ml未満まで低下したが、飽和透水係数は 10^{-2} オーダー以上まで改善した。一方、下層部及び深層部の仮比重と三相分布は2000年3月と変化なく、透水性も悪かった(表4)。

イ) 緑肥作物の収量

2000年夏作の1作目緑肥は、ほ場造成工事の影響で播種が7月下旬まで遅れたにも係わらず、特に生育障害もなく、表5に示すとおり乾草重(kg/a)がトウモロコシ、ソルガムで100kg/a以上と二期作トウモロコシの県目標収量(100~140kg)並であった。セスバニアは58kg/aとやや少なかった。

図9には2001年から2年間の夏作緑肥3種類の収量を、図10には2000~2002年(播種年)の冬作

イタリアンライダラスの収量を示す。試験開始時点では主幹排水路及び排水機場が整備されておらず(2006年3月完成)、試験中のほ場は豪雨時には小排水路のオーバーフローによって数回冠水した。特に2001年夏作は6月に試験を開始したが、冠水被害を受けたため試験をいったん中止した。新たに試験区を設置し直して、8月3日に播種及び施肥を行った。トウモロコシは約120kg/aの乾草重が確保できたが、ソルガム及びセスバニアの収量はその1/2程度と低かった。

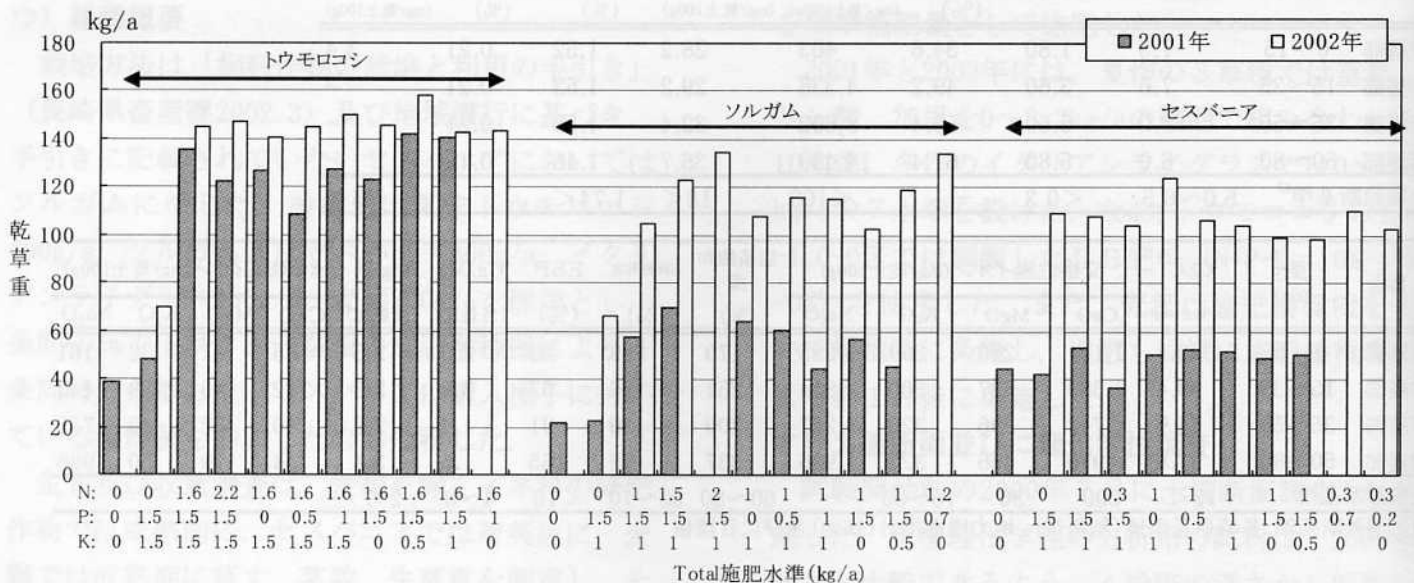
緑肥作物の施肥条件と収量との関係は、緑肥作物の生育要素に対する施肥成分別相関係数(表6)が示すとおり、イネ科緑肥作物では乾草重並びに草丈が窒素施肥量と0.86以上の相関が認められ、イネ科作物の収量は窒素施肥量に大きく依存していた。しかし、リン酸や加里との相関は認められなかった。一方、セスバニアは粉衣した根粒菌が

表5 2000年夏作緑肥の生育・収量

作物名	品種	草丈 (cm)	茎数 (本/m)	生草重 (kg/a)	乾物率 (%)	乾草重 (kg/a)
トウモロコシ	バイオニア3001	217	10.0	519	21.5	112
ソルガム	堆肥ソルガム	242	96.3	552	18.9	104
セスバニア	田助	217	115.6	265	21.9	58

※ 施肥量(N-P-K)=1-1-1kg/a

※ 播種日:2000/7/27、収穫日:2000/10/5

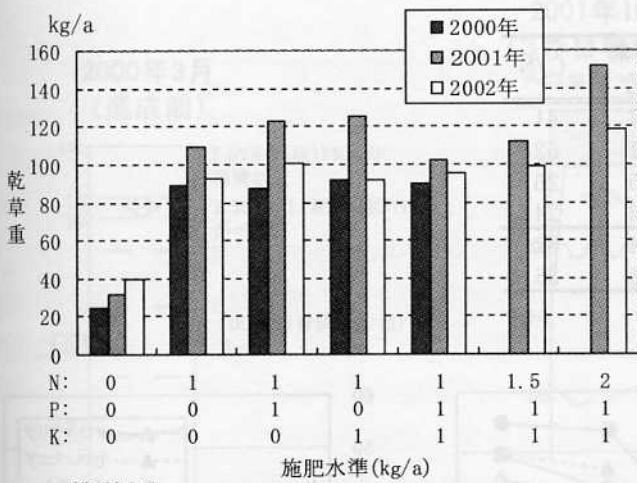


耕種概要

播種年	飼料用トウモロコシ 品種(播種量)	ソルガム 品種(播種量)	セスバニア 品種(播種量)	播種期	収穫期
2001年	P3470(0.38kg/a)	堆肥ソルガム(0.28kg/a)	田助(0.24kg/a)	2001/8/3	2001/10/19
2002年	P3081(0.4kg/a)	堆肥ソルガム(0.25kg/a)	田助(0.4kg/a)	2002/6/7	2002/9/3

播種様式: シーダ利用、60cm条播共通

図9 施肥条件の違いによる夏作緑肥の乾草重(2001・2002年)



耕種概要

前作：ソルガム 供試品種：タチマサリ

播種年	播種量	播種期	収穫期
2000年	0.40kg/a	2000/12/5	2001/5/9
2001年	0.35kg/a	2001/11/9	2002/5/8
2002年	0.35kg/a	2002/10/29	2003/4/22

栽培様式：シーダ利用、60cm条播

図10 施肥条件の違いによる冬作イタリアンライグラスの乾草重(2000～2002年)

表6 緑肥生育要素に対する施肥成分別相関係数

作物名	生育量	播種年	Total施肥量		
			N	P	K
トウモロコシ	乾草重	2001～2002	0.92**	0.11	-0.03
	草丈	2001～2002	0.93**	0.00	-0.08
ソルガム	乾草重	2001～2002	0.88**	-0.01	-0.08
	草丈	2001～2002	0.84**	0.01	0.00
セスバニア	乾草重	2001～2002	0.07	-0.35	0.13
	草丈	2001～2002	0.14	-0.05	-0.12
イタリアンライグラス	乾草重	2000～2002	0.94**	0.48	0.49
	草丈	2000～2002	0.91**	0.27	0.35

※ *は5%水準で、**は1%水準で有意であることを示す

根に着生したため、無窒素でも栽培が可能であった。施肥の影響は少なく、セスバニアは三要素とも相関は認められなかった。

麦類は後背地の諫早平野に比べ遜色のない子実生産が可能であった(表7)。2001年の裸麦は降雨による倒伏の影響で収量、品質とも低下した。麦稈はC/N比が高いが、全量鋤込んでも次作の緑

表7 冬作麦類の生育・収量(2000～2002年)

播種年	麦種	品種	播種期	施肥量 N-P-K kg/a	生育関連項目						単位収量		千粒重		精麦 品質	
					出穂期 月/日	成熟期 月/日	登熟 日数	稈長 cm	穂長 cm	穂数 /m ²	倒伏 程度	1.9mm< kg/a	2.0mm< kg/a	1.9mm< g		2.0mm< g
2000	裸麦	イチバンボンシ	11/30	0.9-0.3-0	3/30	5/24	55	77	5.1	309	0	48.4	46.9	30.8	—	4.9
2001	裸麦	御島裸	11/20	1-1-1	4/3	5/17	44	103	4.8	456	1	24.2	22.3	25.7	30.5	5.8
2002	小麦	チクゴイズミ	11/7	1-1-1	4/5	5/27	52	90	8.6	—	0	39.5	39.1	34.5	34.5	4.7

注1) 倒伏は0(無)～5(甚)。精麦品質の4,5,6,は2等の上,中,下(食糧事務所調)。

注2) 2001年播種の裸麦は登熟期の著しい雨害で第一節間の折れによる被害。

肥に生育遅れ等の障害はなく、土壌改良用の有機物として活用が期待できる。

緑肥の播種直後は1年生雑草が繁茂しやすく、マメ科作物では長雨により苗立枯れ病が発生した。生育中は、イネ科作物ではコガネムシ類やアブラムシ類が発生し、セスバニアではハスモンヨウトウの食害が認められた。

ウ) 緑肥作物の分解特性

供試した緑肥作物のC/N比を表8に示した。2003年のイネ科作物は、前年度のトウモロコシ(飼料用)、ソルガム(堆肥用)を供試した。両者とも草丈が2m以上にまで成長し、C/N比が高かった。トウモロコシの地際部の茎はとても硬く、粉碎しにくかった。マメ科作物はセスバニアとクロタラリアの2種類で、窒素含量がそれぞれ1.75%、1.93%とイネ科作物の2倍ほど高く、C/N比は25前後と低くなった。

2004年はソルガム(緑肥用)とクロタラリアを供試した。ソルガムは2番草で、その窒素含量は再生時に窒素の施肥をしなかったため0.84%と低く、C/N比は52と高くなった。クロタラリアは窒素含量が1.66%と低かったが、C/N比は前年並の26であった。

2003年の調査結果を図11に示した。冬キャベツ畑における重量分解率と炭素分解率は28日目までは4草種とも同じように分解が進むが、28日以降はトウモロコシの分解速度が早く、87日目の重量分解率は55.8%、炭素分解率は54.5%となった。他の緑肥作物はいずれも50%弱と差はなかった。窒素分解率は草種により大きく差が生じ、87日目の分解率はセスバニア>クロタラリア=ソルガム>トウモロコシであった。マメ科のセスバニアは窒素分解率が3日目に34.4%となり、以降も最も高く推移した。クロタラリアとソルガムは3日目の分解率が20%を超え、21日目まで緩やかに分解が進んだ。一方、トウモロコシの窒素分解率は最

表8 埋設試験に用いた緑肥のC/N比

試験年	草種	品種	全炭素 (%)	全窒素 (%)	C/N
2003	トウモロコシ	パイオニア	44.2	1.07	41
	ソルガム(堆肥用)	堆肥ソルゴー	44.0	0.71	62
	セスバニア	田助	46.2	1.75	26
	クロタリア	ネマキング	46.3	1.93	24
2004	ソルガム(緑肥用)	グリーンソルゴー	44.0	0.84	52
	クロタリア	ネマキング	43.7	1.66	26

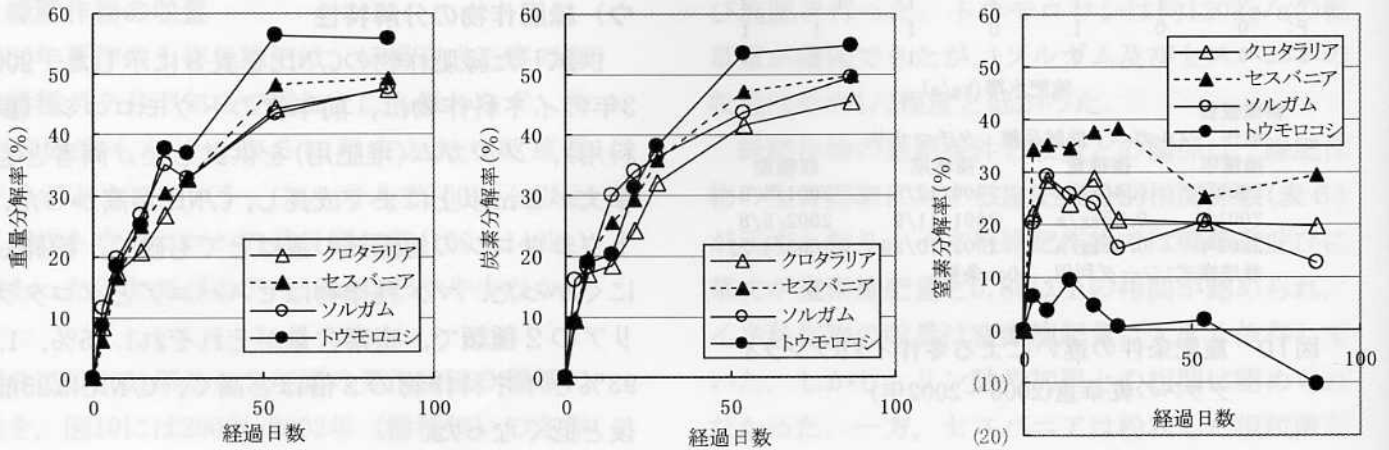


図11 キャベツ栽培期間中の緑肥の炭素及び窒素分解率 (2003年10月2日～12月29日)

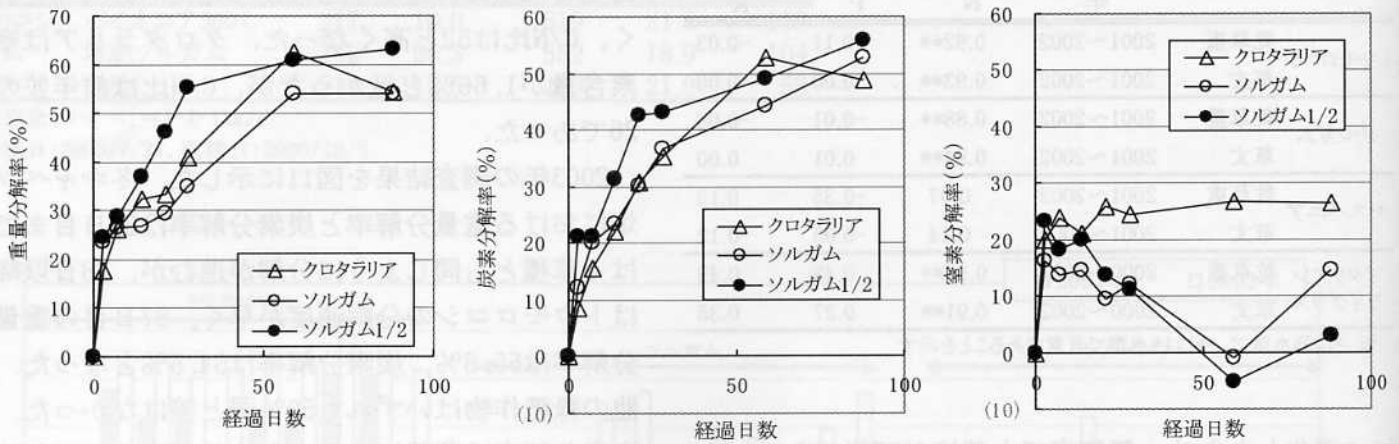


図12 キャベツ栽培期間中の緑肥の炭素及び窒素分解率 (2004年10月6日～2005年1月5日)

※ソルガム1/2: 添加量を標準の1/2とした試験区

も低く、ほとんど分解しなかった。いずれも28日目以降は分解が進まなかった。

図12は2004年の調査結果である。ソルガムの分解率は、前年のトウモロコシと同じ傾向で重量分解率、炭素分解率は50%と高かったが、窒素分解率は低く推移した。土壌に対する添加量を1/2とした処理区でも同様の傾向であり、添加量では説明できなかった。一方、クロタリアの分解パターンは前年とほぼ同様で、88日目の重量分解率と炭素分解率は50%程度、窒素分解率は26.4%であった。窒素分解速度も前年と変わらず7日目には

窒素分解率が20%を超え、21日目以降は緩やかな推移であった。

以上、マメ科のセスバニア、クロタリアは施用当初から窒素供給が期待できるが、トウモロコシは分解が緩やかであった。また、ソルガムは品種や施肥量の違いで分解速度に差がみられた。

エ) 土壌断面の経時的変化

土壌断面調査結果を図13に柱状図で示した、2000年7月の調査結果では、作土部18cm以深がグライ層であり、3層ともち密度が7以下と極めて低かった。土色は還元状態を示す灰から青灰であ

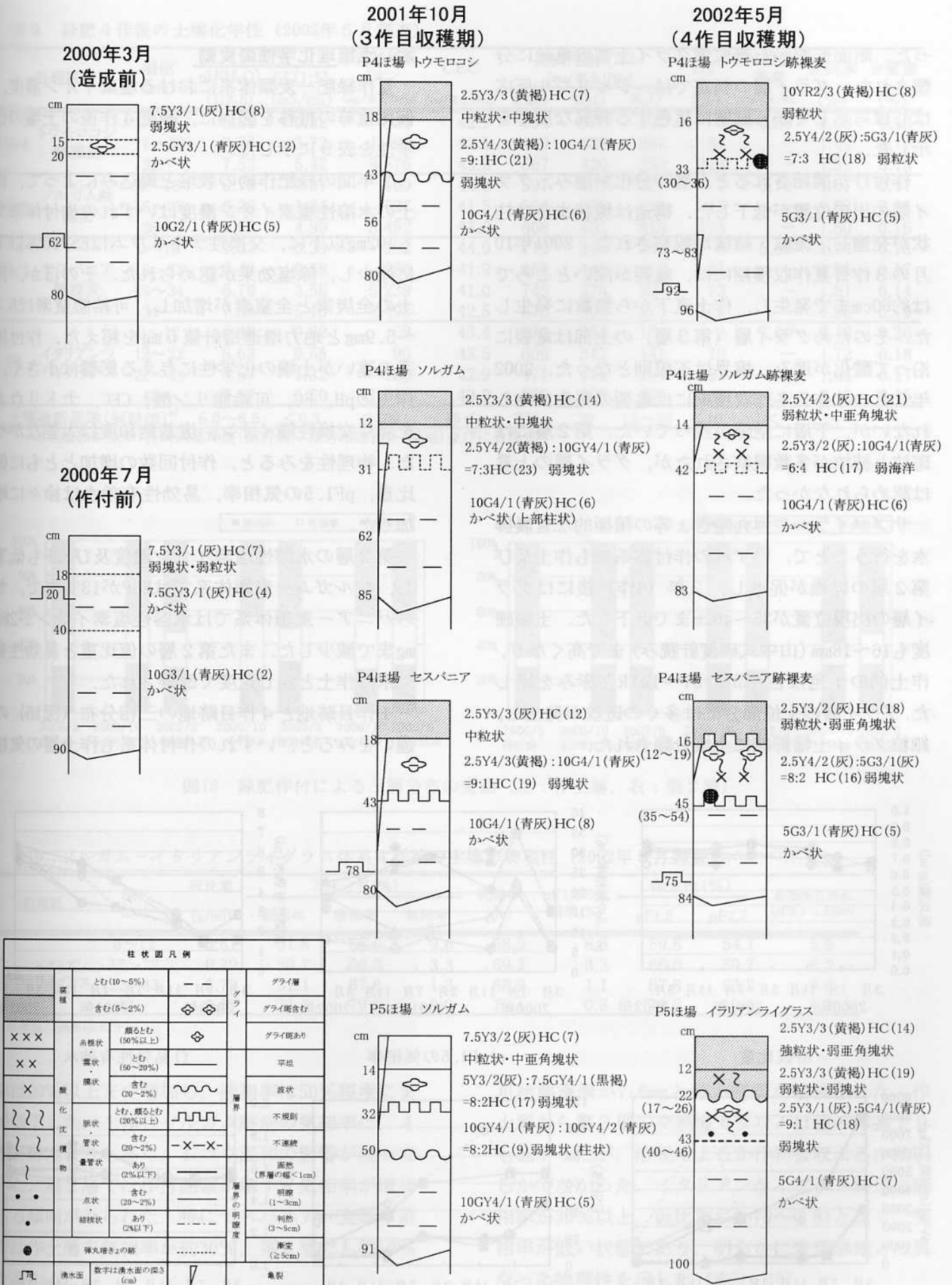


図13 緑肥栽培に伴う土壌断面の変化(2000~2002年)

った。断面形態から細粒強グライ土富曾亀統に分類された。グライ層の判定では、ジピリジル反応はしばらくしてから鮮明に呈色する特異な反応を示した。

作付けが開始されると土層の分化が進み、グライ層の出現位置が低下した。構造は塊状または柱状が発達し、斑紋・結核が観察された。2001年10月の3作目夏作収穫期には、亀裂が深いところでは約60cmまで発生し、作土直下から無数に発生した。そのためグライ層(第3層)の上部は亀裂に沿って酸化が進み、境界は不規則となった。2002年5月の4作目冬作収穫期には亀裂の発生はみられないが、下層に空隙が残っていた。第2層には斑紋と結核が多数観察されたが、グライ層の上昇は認められなかった。

サブソイラーや弾丸暗きょ等の積極的な営農排水を行うことで、いずれの作付体系でも作土及び第2層の乾燥が促進し、2年(4作)後にはグライ層の出現位置が35~40cmまで低下した。土壤硬度も16~18mm(山中式硬度計読み)まで高くなり、作土部の土色は色相が2.5Y~10YRと赤みを増した。グライ層の上位部分には多くの斑紋が発生し、細粒グライ土幡野統に土壤分類された。

オ) 土壤理化学性の変動

夏作緑肥-麦類体系における塩素イオン濃度、仮比重等の推移を図14に、緑肥4作後の土壤の化学性を表9に示した。

2年間の緑肥作物の栽培と鋤込みによって、作土の水溶性塩素イオン濃度はいずれの作付体系でも102mg以下に、交換性ナトリウムはESP10%以下に減少し、除塩効果が認められた。そのほか、作土の全炭素と全窒素が増加し、可給態窒素は5.3~5.9mgと地力増進指針値5mgを超えた。作付体系の違いが土壤の化学性に与える影響は小さく、作土のpH、EC、可給態リン酸、CEC、ナトリウムを除く交換性陽イオン、塩基飽和度は大差なかった。物理性をみると、作付回数増加とともに仮比重、pF1.5の気相率、易効性有効水は徐々に増加した。

第2層の水溶性塩素イオン濃度及びESPも低下し、ソルガム-麦類体系ではESPが13%まで、セスパニア-麦類体系では水溶性塩素イオンが280mgまで減少した。また第2層の仮比重と易効性有効水は作土と同じ速度で改善された。

1作目跡地と4作目跡地の三相分布(図15)の違いをみると、いずれの作付体系も作土層の気相

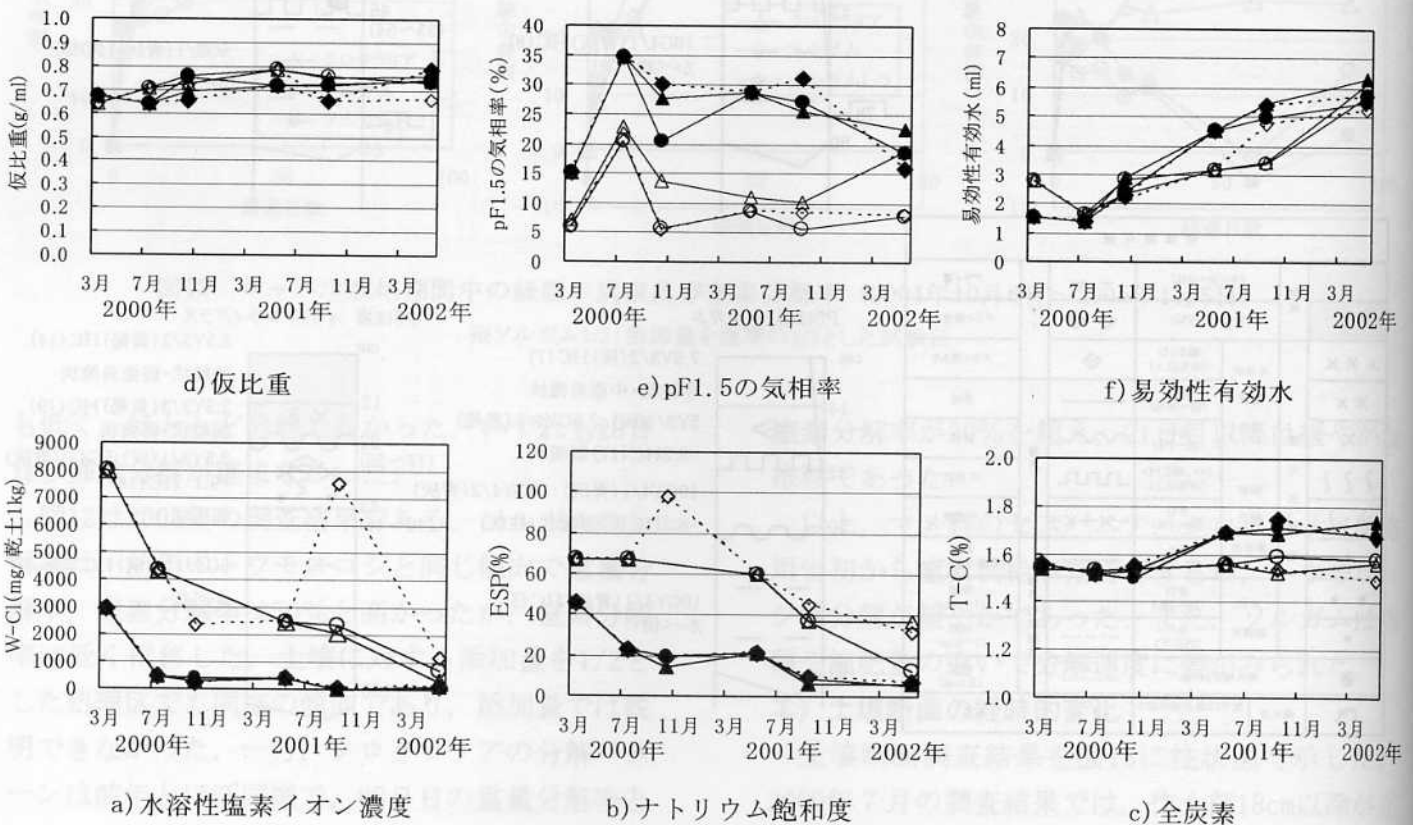


図14 緑肥4作中の土壤理化学性主要項目の推移

表9 緑肥4作後の土壌化学性 (2002年5月調査)

処理区	層位 (cm)	風乾土		水溶性塩素イオン (mg/乾土100g)	CEC (me/乾土100g)	交換性陽イオン (mg/乾土100g)			ESP (%)	可給態窒素 (mg/乾土100g)	全炭素 (%)	全窒素 (%)
		pH(H ₂ O) (1:2.5)	EC(1:5) (mS/cm)			CaO	MgO	K ₂ O				
P3/4 トウモロコシ 跡裸麦	0~17	6.87	0.32	30	42.9	594	373	291	5	5.30	1.68	0.18
	17~33	7.25	3.72	1,196	42.1	629	337	267	31	—	1.49	0.16
	33~	7.53	5.42	9,576	43.5	667	420	333	113	—	1.52	0.15
P3/4 ソルガム跡 裸麦	0~16	6.76	0.37	100	43.3	597	403	301	7	5.70	1.67	0.17
	16~38	6.38	1.24	727	41.5	566	279	218	13	—	1.58	0.16
	38~	7.63	4.99	8,452	43.0	608	401	319	104	—	1.60	0.16
P3/4 セスバニア 跡裸麦	0~16	7.03	0.39	102	44.9	719	316	242	6	5.90	1.74	0.18
	16~23	7.43	0.58	280	41.9	652	442	362	37	—	1.56	0.17
	23~34	6.79	3.58	5,239	41.0	745	374	305	73	—	1.51	0.14
	34~	7.58	5.15	8,493	42.5	676	309	273	106	—	1.88	0.19
P5 イタリアンラ イグラス	0~12	6.48	0.32	68	43.4	578	322	174	3	7.60	2.14	0.20
	12~22	6.63	0.55	90	42.5	609	341	141	10	—	1.72	0.18
	22~43	6.57	1.32	768	42.9	471	412	204	24	—	1.55	0.17
	43~	7.47	6.50	11,918	40.9	755	629	303	123	—	1.45	0.15
土壌診断基準(飼料畑) ^{a)}		6.0~6.5	<0.3	<100	15<	200	30	15~35	<10	5<	1.74<	—

a) 土壌診断基準:長崎県基準値(飼料畑)、地力増進指針(畑地)並びに目標値

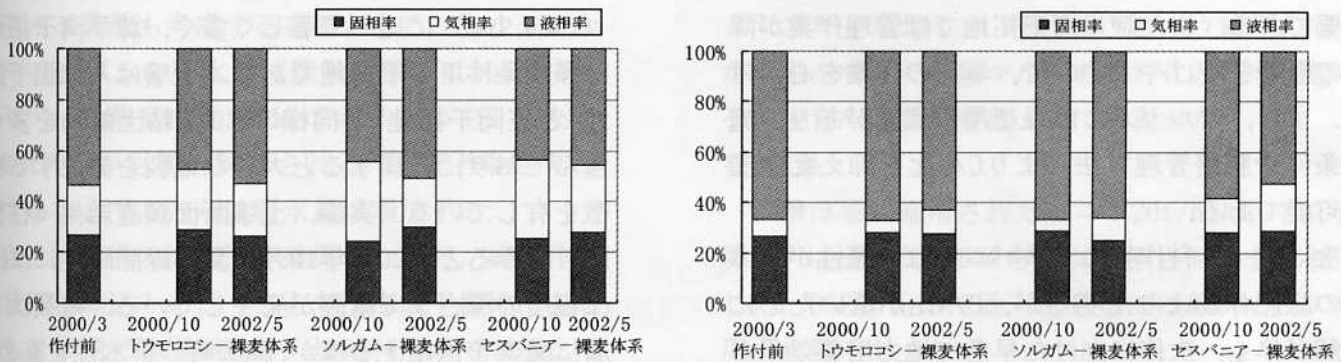


図15 緑肥作付による三層分布の変動 (左: 作土層, 右: 第2層)

表10 ソルガム-イタリアンライグラス体系4作後の土壌の物理性 (2002年5月調査)

処理区	深さ (cm)	仮比重 (g/ml)	三相分布 (%)			孔隙率 (%)	pF1.5の気相率 (%)	保水性 (%)		易効性有効水 (pF2.7-1.5)(ml)
			固相率	液相率	気相率			pF1.5	pF2.7	
P5 イタリアン ライグラス	0~12	0.81	31.8	58.6	9.6	68.2	8.6	59.6	54.1	5.5
	12~22	0.79	30.7	66.0	3.3	69.3	3.3	66.0	59.7	6.3
	22~43	0.79	31.1	67.6	1.3	68.9	1.1	67.8	63.2	4.6
	43~	0.57	21.0	79.1	0.0	79.1	0.5	78.5	69.4	9.2

※単位:100mlあたり

率は20%以上まで増加し、液相率は50%程度にまで低下した。1作目ソルガム跡地の気相率は、4作目跡地よりも高く、石コウ混和の影響が残っていた。第2層では作付回数が増すと気相率が増加する傾向がみられた。特にセスバニア-麦類体系では作土層の気相率が約30%、第2層でも約10%と高かった。

ソルガム-イタリアンライグラス体系の化学性をみると、作土層、第2層の水溶性塩素イオンは100mg以下に、ESPは10%以下に低下した。作土層の全炭素、全窒素はともに大きく増加しており、

可給態窒素が7.6mgと地力窒素が増強された。作土層から第3層の交換性カリウムは他の体系よりも低かったが、溶脱による作物吸収よるかは明らかでなかった。イタリアンライグラス跡地は固相率が30%以上、仮比重が0.79~0.81と高く、気相率が低い状態であり、明らかに麦類跡地とは異なった物理性を示した(表9・10)。

(3) 考察

牧草や飼料作物の鋤込みの効果は、土壌物理性の改善に関する報告^{14, 17, 23, 24)}が多いが、本試験では供試した緑肥作物は西南暖地の特性を活かして

年2作の作付けと鋤込みが可能であったため、物理性の改善だけでなく、どの作付け体系においても全炭素、全窒素、可給態窒素などの地力増進効果も認められる。また、緑肥作物の分解特性に応じた生産や利用によってさらに土壤改善効果が高まると考えられる。

まず、イネ科作物のトウモロコシとソルガムは、従来の報告⁶⁾では虫害の発生や塩害により収量性が低いとされたが、今回の干陸初作目においては、両者とも草丈が高く、乾草重は100kg/a程度である。土壤への有機物供給量が多いが、ともにC/N比が高く、鋤込み後の分解も緩やかである。特に根部やトウモロコシの芯部は分解が極端に遅く、ほ場表面に露出すると、秋冬野菜の定植作業の障害になるので、適期播種に努め、早期刈り取りが重要である。また諫早湾干拓地では管理作業が降雨の影響を受けやすいので、早めの作業を心がける。また、ソルガムには緑肥用の品種があり、施肥条件や肥培管理方法によりC/N比を抑えた生産も可能である。

次に、マメ科作物のセสบニアは収量性がイネ科の緑肥作物よりも劣るが、C/N比が低いために分解が早く、次作に向けた早急な地力培養効果がイネ科作物に優る。なお、セสบニアは無窒素での栽培も可能であるが、初期生育を揃えるため0.3kg/a程度の施肥を行うと良い。また、セสบニアは直根性の根が深く入りこみ、グライ層の出現位置を低下させるとの報告がある^{25,26)}ように、本試験でも下層土の気相率は、トウモロコシやソルガムに比べて10%程度高く、グライ層の出現も深さ50cmとやや深くなる傾向にある。諫早湾干拓地においても下層土の物理性改善が期待できる。

後背地で栽培が盛んな麦類は従来の報告⁶⁾どおり適応性が高く、営農初期の土づくり期間における換金作物として有望である。

作土の水溶性塩素含量は緑肥作物の2年4作後にいずれの作付け体系も100mg程度まで低下し、世界の畑・草地・森林での平均値である全塩素100ppm/乾土²⁷⁾と同等である。作土のESPも同様に2年後には10%以下に低下している。松尾らは佐賀干拓地土壤において、干拓年数とともに交換性陽イオンのナトリウム、カリウム、マグネシウムの順に減少する²⁸⁾と報告したが、本試験においてもナトリウムは急減に減少している。しかし、2年

間ではカリウムの減少は小さく、マグネシウムとともに溶脱は緩やかである。

土壤中の塩素は、緑肥作物の種類との間に減少量の差がみられなかったことや交換性ナトリウムが同時に減少したことから、降雨排水に伴いほ場の下層への移行または暗きよを通じて系外へ溶脱されたものと考えられる。今回の試験で除塩を促進させた要因を検討すると、降水量の多さ、スメクタイト系粘土鉱物の収縮に伴う亀裂の発生、緑肥作物による土壤構造の発達、弾丸暗きよ等排水対策、緑肥作物の吸水と蒸散、石コウの施用と深層混和が関係していると推測される。

アメダス観測による諫早の年間降水量(1979~2000年平均値)は2252.3mmと、先に国営干拓事業が行われた秋田県大湯(1354.0mm)や岡山県笠岡(1084.1mm)に比べて著しく多く、諫早湾干拓地は多雨条件下の干拓地である。土壤は八郎潟干拓地²⁾と笠岡干拓地⁹⁾と同様の2:1型粘土鉱物を多く含んでおり、乾燥すると大きな亀裂を発生する特徴を有している。実際、土壤断面調査結果(柱状図)をみると、2001年10月の夏作緑肥跡地には60cm程度の深さまで亀裂が発生している。亀裂は下層に酸素を供給するほか、降雨時の排水性を高め、除塩効果を促すと考えられる⁶⁾。

佐藤は八郎潟干拓における土壤構造の発達課程を極大の弱塊状→極大の塊状→角柱状→小塊状→小亜角塊→粒状の順に発達すると報告²⁹⁾しているが、同じスメクタイト系粘土鉱物である諫早湾干拓地の土壤を当てはめると、試験開始時は極大の弱塊状だったものが、栽培試験2年後は作土層では塊状~粒状構造となり、第2層は弱い塊状のままであることから、作土層は緑肥作物の鋤込み等によって土壤構造が発達し、第2層は発達が遅れていると言える。

さらに断面調査結果をみると、弾丸暗きよの通過痕が深さ30~40cmに確認できるが、その深さはちょうどグライ層出現の境界域であり、ほ場の排水性に弾丸暗きよが深く関係していることが伺える。第2層には糸根状や暈管状のマンガンや鉄斑が観察されており、佐賀県有明干拓の干陸15年後の畑地¹⁾と比較すると、グライ層の出現位置、構造、マンガン斑などが同じ状況で、この2年間で畑地化が進んだと確認できる。

諫早湾干拓地のほ場は10m間隔に本暗きよが設

置されるが、土壌の透水性が劣るため、サブソイラーによる弾丸暗きょを年1回以上施工することが望ましい。弾丸暗きょの施工は土層にれき層がないため比較的容易で、後背地でも麦作前の水田で一般的に行われている。井手は佐賀平野塩質水田の物理性改善のため、耕盤層である深さ30cmへの弾丸浅層暗きょが効果的で、亀裂生成範囲は1.4~2.0m幅である³⁰⁾と報告しているが、本試験ほ場でも同様に弾丸暗きょの施工は土壌硬度が高い土層を弾丸部が通過し、その際に上方向の土壌を持ち上げながら進んでいくため、サブソイラーの通過箇所だけでなく、幅1mほどの亀裂が発生する。このことは井手の報告と同じ現象と思われる、ほ場排水性を向上させていると考えられる。

ほ場の乾燥は暗きょから排水に加え、緑肥作物の吸水・蒸散も考慮する必要がある。トウモロコシやソルガムの要水量(蒸散係数)は200程度であり³¹⁾、乾草重は約100kgであったので、aあたり20tの水が必要と試算される。緑肥作物を年2作することで、さらに要水量は増加する。

以上、ほ場の排水性を確保した上で、緑肥作物の栽培と鋤込みを行うことで、海成干拓地であっても2年間で除塩が進み、畑地利用ができるまで土壌理化学性を改善することが可能である。

2) 石コウ施用の影響

天谷・長堀は笠岡湾干拓において石コウの施用による除塩と物理性の改善効果を確認³²⁾し、笠岡湾干拓の農地造成にあたっては石コウが施用された。塩分の高い土壌に石コウを施用して冠水すると、石コウが徐々に溶出し、交換性イオンがCa²⁺に変換される。変換されたNa⁺は溶脱によって除去されて、Na型土壌はCa型に改良される。諫早湾干拓地では早期熟畑化を図るため、早急な除

塩が望まれる。

そこで、緑肥作物の栽培と鋤込みを中心としたほ場管理条件下における石コウ施用が土壌の除塩並びに理化学性に与える影響について検討し、今後の土壌改良対策の基礎資料を得る。

(1) 材料及び方法

諫早湾干拓中央干拓地の試験ほ場内のP5ほ場を石コウ施用区(2000年3月施用)に、P6ほ場を石コウ未施用区として試験区を設置した。試験は2000年7月から開始し、年2作ずつ5年間栽培試験を行った。

作付体系は夏作はソルガム、冬作はイタリアンライグラスを8作(4年)輪作した後、2004年夏作(9作目)としてクロタラリア、2004年冬作(10作目)としてイタリアンライグラス及び早生タマネギを栽培した(図16)。石コウ施用の有無が早生タマネギ(黒マルチ栽培)に及ぼす影響をその生育や収量調査によって検討した。

(2) 結果

試験ほ場に施用された石コウ20t/haは、次の計算式³³⁾によりESP56%を18%低下させる量に相当した。ESP10%まで低下させるには約50t/haの施用が必要であった。

$$Ca(kg/ha) = 20(ESP_i - ESP_f) \times CEC \times \gamma d \times D_{soil} / 100$$

$$\text{有効石コウ投入量} = Ca \times f_s$$

$$\text{石コウ投入量} = \text{有効石コウ投入量} \times f_\alpha$$

ここで、ESP_i = 採土時点ESP

ESP_f = 目標ESP (=通常10%)

γd = 仮比重

D_{soil} = 改良対象土層の深さ(cm)

$f_s = CaSO_4 / Ca = 4.3$

$f_\alpha = CaSO_4 \cdot 2H_2O / CaSO_4 = 1.164$

ほ場番号	2003												2004												2005				
	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5				
P5	ソルガム						イタリアンライグラス						クロタラリア						タマネギ・イタリアンライグラス										
	PD	S	7作目				8作目						PD	S	9作目				PD	10作目									
P6	ソルガム						イタリアンライグラス						クロタラリア						タマネギ・イタリアンライグラス										
	PD	S	7作目				8作目						PD	S	9作目				PD	10作目									

※ S:サブソイラによる弾丸暗きょ P:プラウ耕、PD:パワーディスク耕

図16 試験ほ場と作付体系(2003年5月から2005年5月)

(2000年7月~2003年5月までは図8参照)

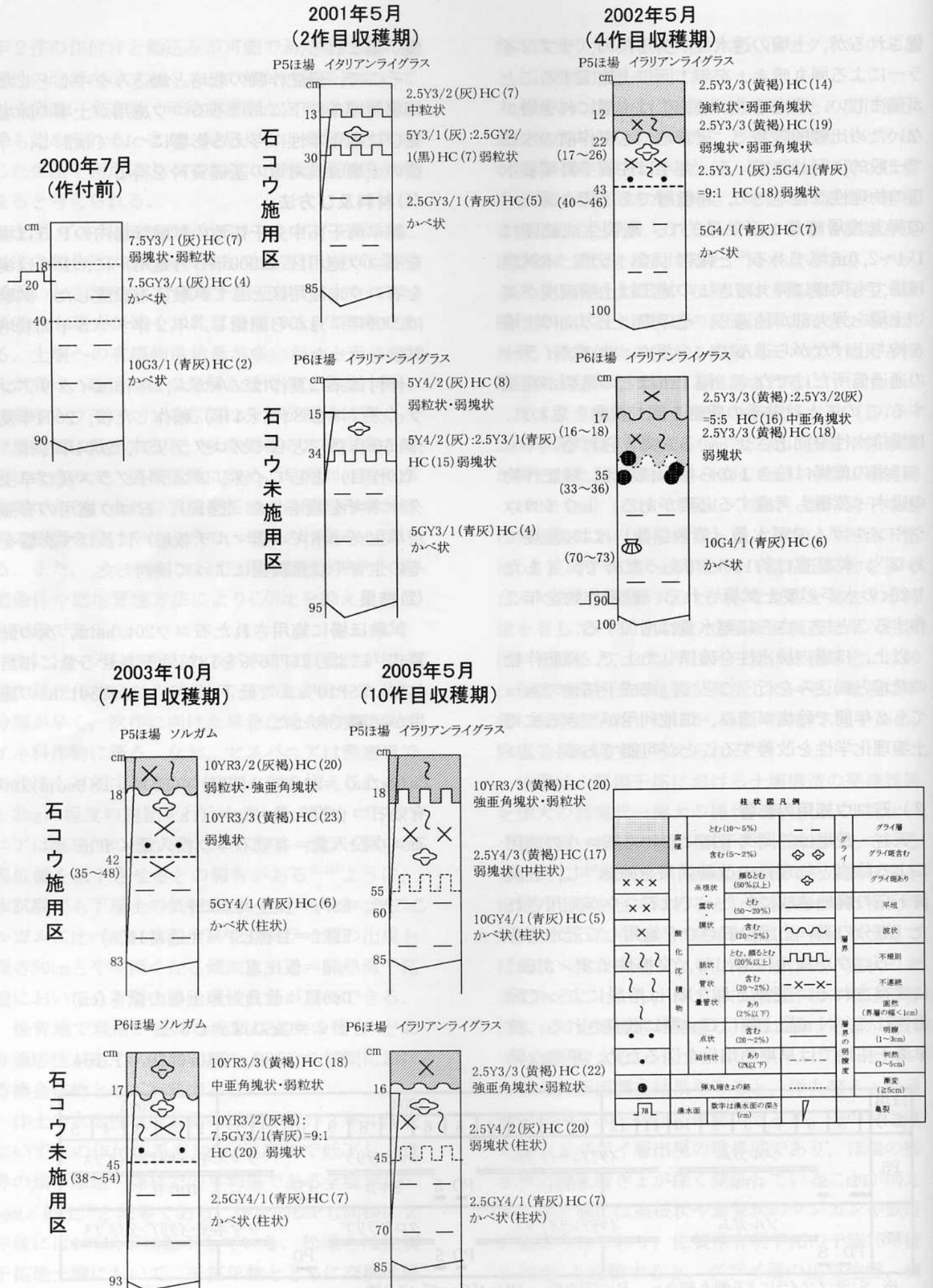
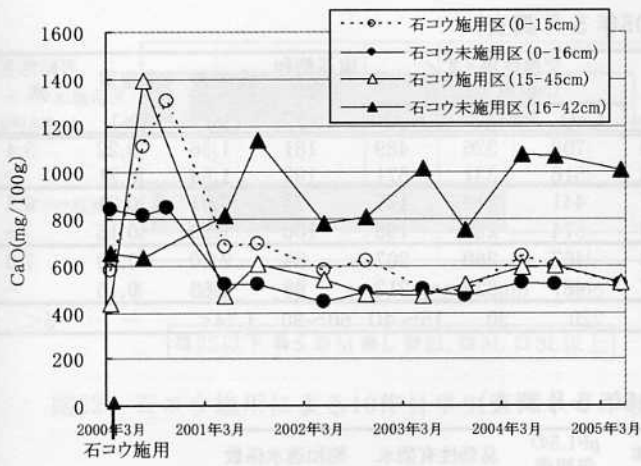
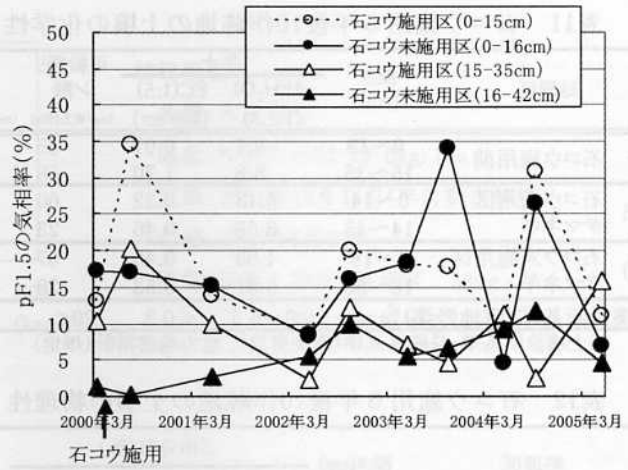


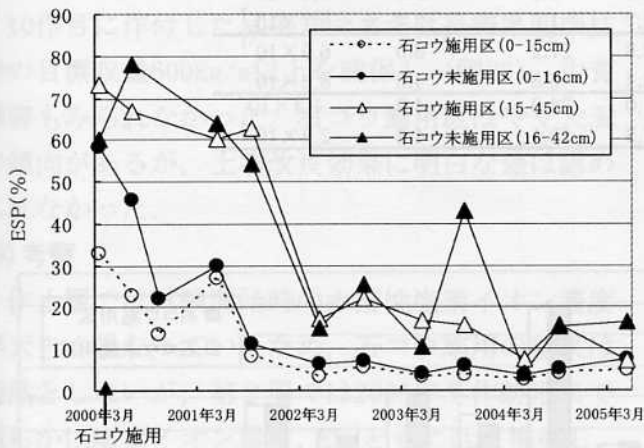
図17 石コウ施用の違いによる土壌断面の変化 (2000~2005年)



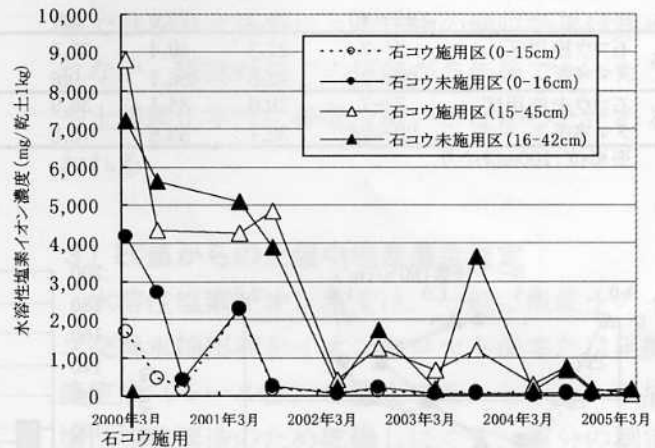
c) 交換性カルシウム



d) pF1.5の気相率



a) ESP



b) 水溶性塩素イオン濃度

図18 石コウ施用による土壌理化学性の主要項目推移

石コウを施用してから5年間の代表的な土壌断面柱状図を示す(図17)。石コウ施用区の2作目跡地(2001年5月)は深さ30cm以下までグライ層が低下したが、ち密度は10以下と地耐力は弱かった。4作目跡地では第2層, 第3層に糸根状や暈管状の斑紋・結核が多数観察され, 土色は黄褐色と酸化が進んだ。以降, グライ層の出現位置は45cm前後で推移し, 作土の土色は色相が10YRと赤みを帯びた。7作目跡地のように, グライ斑が上位層に出現することもあったが, 10作目跡地ではグライ層が55cmまで深くなり, 亀裂により境界は不規則となった。

石コウ未施用区の土壌断面もほぼ同じ傾向で土壌熟化が進んだ。2作目跡はグライ層が深さ34cmから出現したが, 4作目には作土の土色も黄褐色となり, 地耐力も増した。糸根状や暈管状の斑紋・結核も観察された。以降も7作目, 10作目と石コウ施用区と大きな差はなかった。

土壌の理化学性の推移を図18に示す。改良指標であるESPは, 作土層では判然としないが, 第2

層では石コウ施用区が施用後約1年間は除塩速度が早かった。作土層のESPは両区とも急激に減少し, 約1年後にはESP10%以下となった。第2層のESPは石コウ施用に関係なく約2年で20%まで急激に低下したが, それ以降はゆっくりと低下した。

石コウ施用区では作土層及び第2層の交換性カルシウムとpF1.5の気相率は石コウ投入とその深

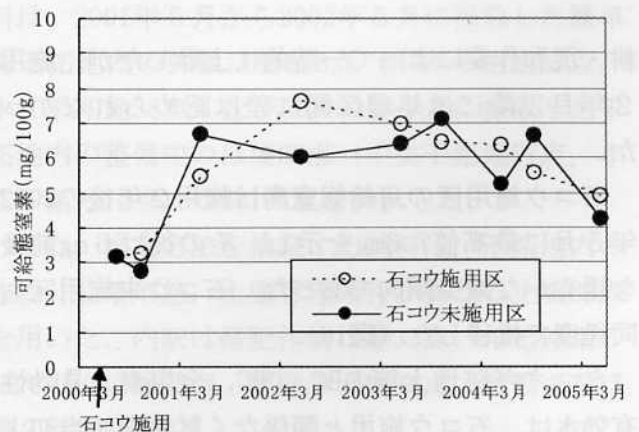


図19 石コウ施用による可給態窒素の推移

表11 石コウ施用5年後10作跡地の土壌の化学性 (2005年5月調査)

処理区	深さ (cm)	生土		可給態リン酸 (mg/乾土100g)	CEC (me/乾土100g)	交換性陽イオン (mg/乾土100g)			塩基飽和度 (%)	全炭素 (%)	全窒素 (%)	可給態窒素 (mg/乾土100g)
		pH(H ₂ O) (1:2.5)	EC(1:5) (mS/cm)			CaO	MgO	K ₂ O				
— 石コウ施用前	0~15	8.7	0.91	55	38.5	708	326	489	181	1.56	0.22	3.4
	15~35	8.8	1.70	58	37.8	516	331	571	192	1.54	0.21	—
P5 石コウ施用区 タマネギ	0~14	5.13	0.32	60	42.7	441	212	176	74	2.31	0.21	6.3
	14~45	6.58	0.46	23	44.0	574	288	198	100	1.59	0.16	—
P6 石コウ未施用区 タマネギ	0~18	4.98	0.45	57	43.3	467	269	207	84	2.20	0.20	7.0
	18~50	6.01	0.53	28	44.7	487	328	212	98	1.63	0.16	—
土壌診断基準(露地野菜) ^{a)}		6.0~6.5	<0.3	20<	15<	220	30	15~40	60~80	1.74<	—	5<

a)土壌診断基準:長崎県基準(露地野菜)、地力増進指針(畑地)

表12 石コウ施用5年後10作跡地の土壌の物理性 (2005年5月調査)

処理区	深さ(cm)	三相分布(%)			孔隙率 (%)	pF1.5の 気相率 (%)	易効性有効水 (pF2.7-1.5)(ml)	飽和透水係数 (cm/sec)
		固相率	液相率	気相率				
— 石コウ施用前	2~7	26.8	53.4	19.8	73.2	15.1	1.5	3.7×10 ⁻¹
	15~20	26.4	66.5	7.1	73.6	5.9	2.8	3.4×10 ⁻²
	35~40	25.3	73.6	1.1	74.7	1.6	2.7	5.7×10 ⁻⁷
P5 石コウ施用区 タマネギ	2~7	27.2	40.4	32.5	72.8	27.2	5.0	6.9×10 ⁻¹
	20~25	33.6	56.7	9.8	66.4	6.8	4.3	8.3×10 ⁻³
P6 石コウ未施用区 タマネギ	2~7	29.0	34.1	36.9	71.0	26.0	4.2	1.3×10
	20~25	32.7	53.5	13.8	67.3	10.1	4.6	2.3×10 ⁻²

※単位:100mlあたり

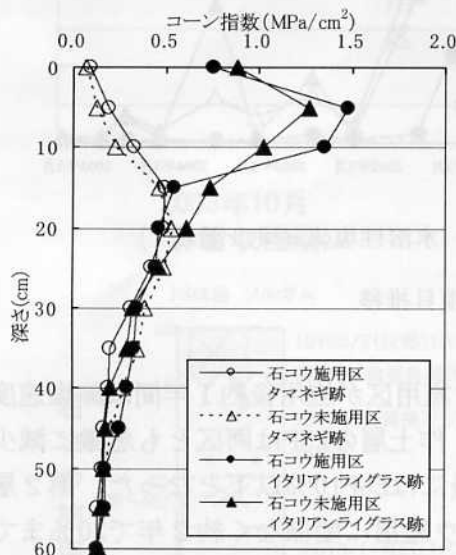


図20 石コウ施用5年後10作跡地の土壌貫入抵抗

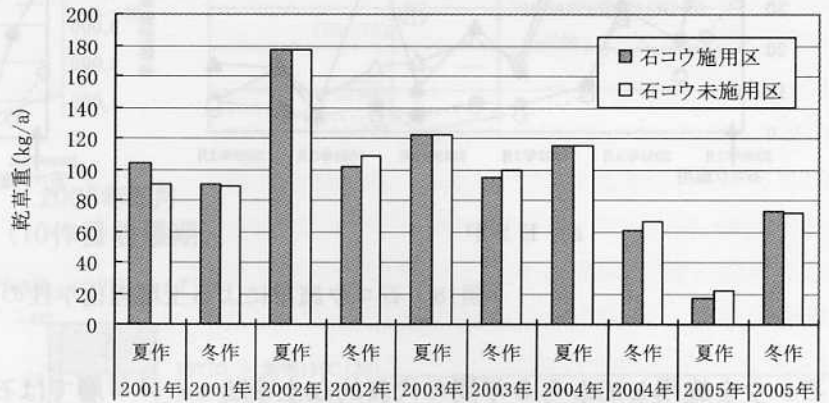


図21 石コウ施用による緑肥の乾草重

耕種概要

栽培作物

2000年夏作~2003年冬作:ソルガム-イタリアンライグラスの輪作

2004年夏作:クロタリヤ, 2004年冬作:イタリアンライグラス・早生タマネギ

施肥条件

2000年夏作~2003年冬作:N-P-K=10~16-5~10-0~10kg/10a

(硫安含有のBB肥料または硫安, 過石, 硫加の単肥)

2004年夏作・冬作:N-P-K=10-0-0kg/10a(硫安)

耕・混和作業によって一時的に上昇したが、施用2年目以降には処理区間に差は認められなかった。

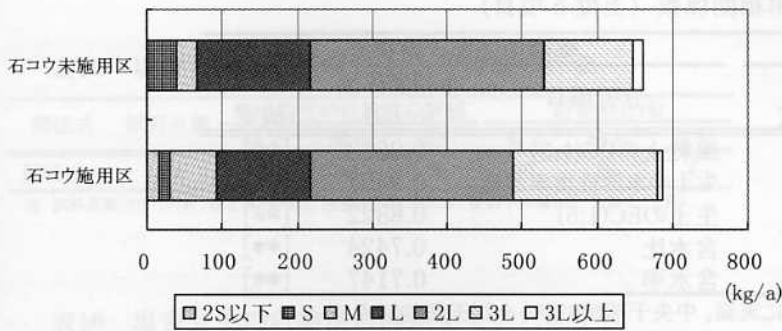
石コウ施用区の可給態窒素は施用2年後の2002年5月に最高値7.6mgを示し、その後は6mg前後を緩やかな減少傾向であった。石コウ未施用区も同程度で推移した(図19)。

タマネギ跡地土壌のEC, CEC, 全炭素, 易効性有効水は、石コウ施用と関係なく試験開始当初よりも改善した。また、両区とも可給態リン酸, 全

窒素は試験開始前と変動はなかった(表11, 12)。

図20は10作後の土壌貫入抵抗を示すが、イタリアンライグラス及びタマネギ跡地とも石コウによる土壌硬度の改善効果は認められなかった。

5年間10作の緑肥作物の乾草重を図21に示す。石コウ施用区では未施用区と同様に、夏作ソルガムでは3作目の2001年が180kg/aと最も収量が高かった。冬作イタリアンライグラスでは4作目の2001年冬作が約100kg/aと最高であり、石コウ未施用区も同様の収量であった。9作目のクロタリ



耕種概要

品種: 七宝早生
 施肥: N-P-K=23-22-0kg/10a
 定植: 2004年12月14日(半自動定植機)
 収穫: 2005年5月9日
 平均1玉重 石コウ施用区 309g
 石コウ未施用区 297g

図22 石コウ施用による10作目早生タマネギの収量

リアは、乾草重約20kgとイネ科作物の1/5であった。

10作目に作付した早生タマネギは長崎県基準技術の目標収量600kg/a以上を確保し(図22)、生育障害もみられなかった。石コウ施用区はやや大玉の傾向があるが、土壌改良効果に明白な差は認められなかった。

(3) 考察

作土層では試験開始時の水溶性塩素イオン濃度が大きく異なっていたため、石コウ施用の効果は判然としないが、第2層では2000年冬作跡地まで明らかに塩素イオン濃度、ESPともに低く推移し、石コウ施用による除塩効果が認められる。しかし、本試験の石コウ未施用区でも同様な急激な低下を認め、施用1年後以降は土壌断面調査、理化学性調査に石コウ施用の差は認められない。陣野・井田⁹⁾は、累積降水量2000mmごとに土壌中の塩素濃度は1/3ずつ減少し、3年間で0.1%程度まで減少することを認めており、石コウ未施用区で除塩が進んだことを支持する。

また、石コウ施用の違いが認められなかった原因は、石コウ施用量がESP18%減相当量と少なかったことのほか、ほ場内には自然干陸に伴い貝殻が多量に残っており、貝殻由来のカルシウムが土壌中に豊富に供給されたこと、さらに、硫酸酸性土壌の発生がみられなかったため、硫酸根中心の施肥としたことも一因ではないかと考えられる。

2003年に行った干拓地全域で行われた土壌調査結果¹⁰⁾では、干陸6年後の中央干拓地表面層部は、水溶性塩素イオン濃度が約1000ppmまで低下しており、反転耕起や弾丸暗きよ等による土壌管理方法によって大幅に除塩が進んでいる。本干拓事業では原則として石コウの施用は行われませんが、今後除塩が進まないほ場への改善策のひとつとして認識しておく必要がある。

100kg/aの石コウの施用で麦や蔬菜類が増収し、5作目まで効果があった⁹⁾と報告があるが、本試験では石コウ施用による作物の増収効果は認められない。露地野菜での評価が5年後であったことや土壌理化学性に顕著な違いがなかったためと思われる。

3) EC値からの土壌中塩素濃度推定

水溶性塩素イオン濃度は、一般に風乾土のイオン交換水抽出液をイオンクロマト法または硝酸銀滴定法(モール法)で測定する。しかし、干拓土壌は塊状構造のため乾燥しにくく、塩分の測定は粉碎と抽出作業を合わせると1日では行えない。また、分析には遠心分離器やイオンクロマト等の機器も必要である。諫早湾干拓地内のほ場は除塩が進行している段階であり、ほ場管理者が各ほ場の状況を把握して管理にあたるのが肝要である。

そこで、現場で迅速かつ簡易に水溶性塩素イオン濃度推定できる手法を検討し、日頃のほ場管理や干ばつなどの緊急時における塩害発生の防止に役立てる。

(1) 材料及び方法

水溶性塩素イオン濃度の推定方法を検討する試料は、2001年5月から2002年5月に採取した諫早湾干拓地内の試験ほ場125点(中央干拓地87点、小江干拓地38点)並びに2002年1月に採取した干拓地内の整備中のほ場69点(中央干拓地57点、小江干拓地12点)の計194点を供試した。

また、推定方法を検証する試料は、干拓地内の作物、栽培形態、土壌管理条件が異なる土壌69点を用いた。内訳は緑肥作物ほ場33点、堆肥連用のソルガムほ場25点、整備中ほ場9点、施設キクほ場2点である。

(2) 結果

表13 水溶性塩素イオン濃度と分析項目の単相関係数(上位5項目)

試料名	試験ほ場土壌調査			整備中ほ場土壌調査		
	順位	分析項目	単相関係数 (n=125)	t検定	分析項目	単相関係数 (n=69)
1	生土の水溶性塩素濃度	0.9590	[**]	風乾土のEC(1:5)	0.9633	[**]
2	風乾土のEC(1:5)	0.9492	[**]	生土の水溶性塩素濃度	0.9457	[**]
3	生土のEC(1:5)	0.9371	[**]	生土のEC(1:5)	0.8822	[**]
4	交換性ナトリウム	0.9238	[**]	含水比	0.7424	[**]
5	ESP	0.8937	[**]	含水率	0.7147	[**]

※ 試験ほ場土壌調査:2001年5月~2002年5月に実施、中央干拓地87点、小江干拓地38点
 整備中ほ場土壌調査:2002年1月に実施、中央干拓地57点、小江干拓地12点

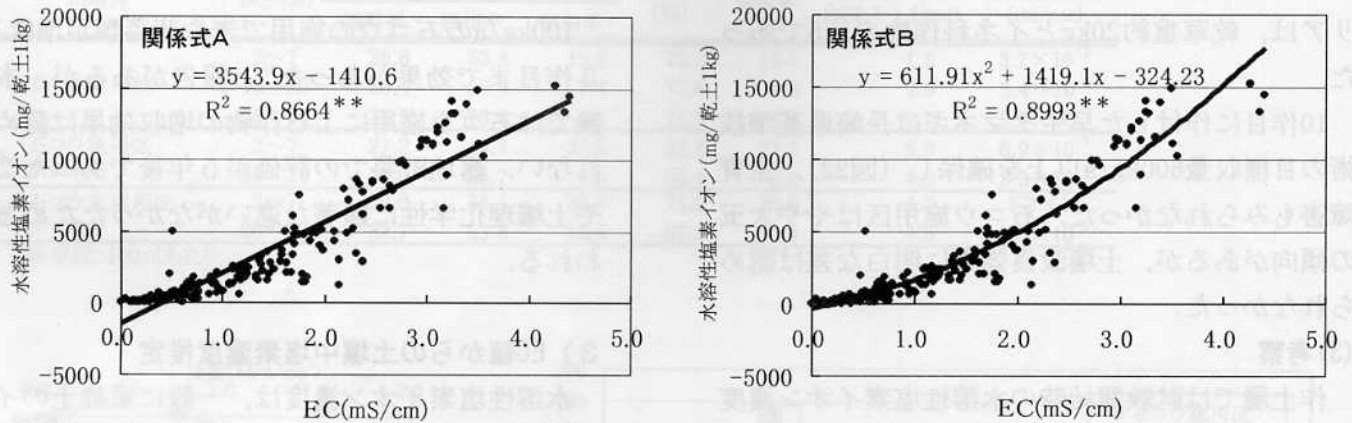


図23 水溶性塩素イオン濃度と生土 EC (1:5) の関係

統計処理の結果(表13), 水溶性塩素イオン濃度と相関が高い化学分析項目は, 風乾土のEC(1:5), 生土のEC(1:5), 交換性ナトリウム, 含水比, 含水率等であり, いずれも単相関係数が0.7以上と高かった. この中で, 最も迅速かつ簡易に測定できるのは, 生土EC(1:5)であった.

次に水溶性塩素イオン濃度(Y)と生土EC(1:5)(X)の相関式を求めた.

単相関の関係式A

$$Y = 3543.9X - 1410.6 \quad (r^2 = 0.8664)$$

2次多項式の関係式B

$$Y = 611.91X^2 + 1419.1X - 324.23 \quad (r^2 = 0.8993)$$

いずれも $r^2 = 0.86$ 以上の高い相関があった(図23).

ここで, 文献34~37を参考に, 表14に示す5段階の水溶性塩素イオン濃度の作物に対する危険度とその範囲を設定し, 相関式から逆推定によって対応するEC値の範囲を求めた.

2本の検量線に大きな違いはなく, 現地で迅速に利用するには, 単相関式である関係式Aの評価で十分と考えられた. 検証用のサンプルを用いてこの推定式を検証すると, 生土のEC(1:5)値から

表14 塩害発生危険度と生土のECの関係

塩害発生の危険度	水溶性塩素イオン濃度の基準範囲(mg/乾土1kg)	生土EC(1:5)の推定値(mS/cm)	
		関係式A	関係式B
1	500未満	0~0.53	0~0.48
2	500~900	0.54~0.65	0.49~0.66
3	900~1800	0.66~0.90	0.67~1.03
4	1800~6000	0.91~2.08	1.04~2.25
5	6000以上	2.09~	2.26~

※ 塩害発生の危険度: 1:塩害発生の可能性が最も低い → 5:最も高い
 ※ EC測定値:関係式からの逆推定値

塩害発生の危険度の推定が80%の試料で適合した(表15). なかでも整備中ほ場や緑肥作物ほ場が適合しやすく, 層位別には下層土で適合する割合が高かった. しかし, 施肥窒素量が多い施設キクほ場は硝酸態窒素の影響のためか誤差が大きくなった. 塩害発生の危険度が一致しなかった試料は, EC値が1.0mS/cm(塩素1800mg相当)前後が多く, 危険度が過大評価となる傾向であった(表16).

(3) 考察

EC値と水溶性塩素イオン濃度との関係は, 従来からかんがい用水の水質評価の場面で利用されて

表15 塩害発生の危険度による関係式の評価

関係式	試料点数	塩害発生の危険度の評価			評価割合(%)		
		適正	過大	過小	適正	過大	過小
関係式A	69	55	11	3	80	16	4

※ 試料点数:69 (内訳:緑肥跡地33点、堆肥施用跡地25点、整備中ほ場9点、施設キク2点)

表16 塩害発生の危険度に誤差を生じた推定例

採取場所	採取年月	試料名	層位	生土 EC(1:5) (mS/cm)	水溶性塩素イオン濃度 (mg/乾土1kg)		塩害発生の危険度	
					関係式推定値	実測値	関係式の評価	実測値での評価
中央	2002年10月	セスパニア跡地 P3ほ場	2	1.28	3,122	1,541	4	3
中央	2002年10月	クロタリア跡地 P5ほ場	2	3.07	9,469	5,021	5	4
中央	2002年10月	ソルガム跡地 P5ほ場	2	1.08	2,431	1,715	4	3
中央	2002年8月	ソルガム跡地 牛ふん堆肥200kg区	3	0.92	1,860	1,445	4	3
中央	2002年8月	ソルガム跡地 好塩菌堆肥400kg区	2	0.47	<300	414	1	2
中央	2002年8月	ソルガム跡地 無作付区	3	1.95	5,503	8,134	4	5
中央	2002年8月	ハウスキク跡地 無肥料区	1	1.35	3,384	153	4	1
中央	2002年8月	ハウスキク跡地 無肥料区	2	1.09	2,452	734	4	2
小江	2001年8月	雑草生育地 0-16cm	1	0.44	<300	695	1	2

※斜字は過小評価となった事例

いる³⁴⁾。土壌中の塩素含量とEC値との関係は、陣野・井田⁶⁾、平岡ら⁸⁾が相関を認めているが、具体的な活用を指摘していない。今回のEC値からの塩素の推定は80%程度の精度であったが、誤差を生じた原因は、生土分析に伴うサンプリング誤差のほかに、施肥成分や諫早湾干拓土壌に多く含まれるカルシウムや硫酸などの塩素以外の水溶成分の影響と推定される。したがって、適応可能なほ場は、干陸造成後のほ場や作付履歴が3年程度の飼料作ほ場のほか、深耕したほ場や客土する際にも活用できると考えられる。EC値が1.0mS/cm前後は、関係式では過大評価となるため、危険側に評価しやすく、塩害の危険性を警鐘できると考えられる。

EC値が2.0mS/cm以上になるとすべての作物で塩害の危険性があるので、常法のイオンクロマト法や硝酸銀滴定法(モール法)による測定が必須で

ある。その際、EC値は滴定用試料の希釈倍率や採取量の目安となる。

一方、施設野菜を中心にEC値と硝酸性イオンの相関も認められており、硝酸イオンメータに利用されている。EC値の高さが塩素によるか硝酸性窒素によるか判断に困る場面は、逆に小型反射式光度計による硝酸性窒素測定³⁸⁾を行うと良い。

EC値が高く、塩素と硝酸性窒素が低い場合は、硫酸酸性土壌の検討も必要である。中海干拓地の造成⁴⁾、佐賀平野東部でのほ場整備³⁹⁾など干拓地では硫酸酸性土壌の発生が確認されている。諫早湾干拓地では発生は認められないが、諫早干拓や調整池の底土は硫黄が比較的高い状態^{40,41)}であり、深耕や浚渫土を客土する場合には、EC値のほかpH測定などを行い、十分な注意が必要である。

4. 堆肥施用による早期熟畑化

重粘な干拓土壌の改良対策として、地力保全基本調査総合成績書²²⁾には、有機物の施用が有効であると示されている。

干拓地は排水性が劣るため、有機物は適正に使用しないと、窒素の一時的富化や異常還元が発生

し、作物に生育障害を与えやすい。そのため、干拓土壌への堆肥施用が検討された事例は少ない。重粘質な畑地に対する有機物の施用は、透水性、孔隙率等の物理性を改善^{3,15,42~44)}し、窒素供給や保肥力増大などの化学性の改善及び収量を向上

43, 45, 46) させる効果がある。

そこで、県内で入手可能な牛ふん堆肥、バーク堆肥、好塩微生物発酵堆肥（以下、好塩菌堆肥）の3資材を用いて緑肥作物並びに冬キャベツの収量性向上と早期土壌改良効果を明らかにするとともに、持続的な営農を行うための適正な施用量を検討する。

1) 堆肥単用の効果

堆肥単用による早期土壌改良効果に伴う作物生産性の向上を検討する。

(1) 材料及び方法

ア) 試験ほ場条件

試験は諫早湾干拓中央干拓地の試験ほ場で実施した。2000年3月に石コウを20t/haを施用し、10m間隔で暗きよを設置したほ場で、ほ場の勾配は1/1000としてレーザーレベラーで整備した。

2000年夏作はP2ほ場、2000冬作はP5ほ場、2001年夏作は新たに暗きよ間隔5mとしたP2ほ場で行った(図7)。

イ) 堆肥の種類と特性

堆肥は表17に示す3種類を供試した。牛ふん堆肥は2000年夏作と2000年冬作以降とは別のもを使用した。2000年夏作で使用した牛ふん堆肥は副資材が木質系で、全窒素が1.65%と低く、C/N比が22とやや高かった。2000年冬作以降の牛ふん堆肥は、副資材がモミガラ中心で長期堆積されており、全窒素が2.4%とバーク堆肥、好塩菌堆肥に比べ高く、C/N比は13であった。

バーク堆肥も2000年夏作と2000年冬作以降は異なる製品を用いた。いずれも外観から未分解有機物が多く、C/N比はそれぞれ25, 21と高かった。

好塩菌堆肥は主原料がバーク堆肥と鶏ふんで、副資材が牛ふんや木質廃材等の未利用資源である。この堆肥は有用微生物群によって堆肥化され

るが、製造メーカーの資料によると、この微生物群の中に高塩分濃度でも分解能力がある好塩微生物が含まれる。製品は原材料の違いやロットによって品質が大きく異なり、供試した堆肥はC/N比は10~20とバラツキが大きかった。

ウ) 試験方法

供試作物は2000年夏作にソルガム、2000年冬作にイタリアンライグラス、2001年夏作にセスバニアを用いて栽培試験を行った。試験区の構成は表18のとおりであり、1区25m²、2連制とした。

表18 堆肥単用試験の試験区構成

No	区名	処理内容
1	牛ふん堆肥200kg区	牛ふん堆肥200kg/a施用
2	牛ふん堆肥400kg区	牛ふん堆肥400kg/a施用
3	バーク堆肥200kg区	バーク堆肥200/a施用
4	バーク堆肥400kg区	バーク堆肥400/a施用
5	好塩菌堆肥200kg区	好塩菌堆肥200kg/a施用
6	好塩菌堆肥400kg区	好塩菌堆肥400kg/a施用
7	堆肥無施用区	堆肥施用なし

堆肥の施用量(kg/a)は長崎県基準技術(野菜類)に準じた200kgとその倍量である400kgとした。堆肥は播種3~13日前に施用した。施肥量(N-P-K)はソルガム及びイタリアンライグラスが1.0-1.0-1.0 kg/a, セスバニアが1.0-1.5-1.0 kg/aとした。播種法はいずれも条間60cmで条播とし、施肥播種機を用い4条播きとした。セスバニアは根粒菌を粉衣してから播種した。播種と同時に元肥の施肥を行い、播種1カ月後に施肥播種機を用いて条施で追肥した。

イネ科の緑肥作物の生育及び収量調査は成熟前に、セスバニアは着莢後に草丈、茎数、生草重を測定し、その一部を乾燥し乾物重を求めた。収穫はフレールモアで細断し、数日風乾させた後、デ

表17 供試堆肥の成分

使用年	資材名	水分 (現物%)	pH (H ₂ O)	EC (mS/cm)	W-Cl (mg/1000g)	全窒素 (%)	全炭素 (%)	C/N	全リン酸 (%)	全加里 (%)	NH ₄ -N (mg/100g)	NO ₃ -N (mg/100g)
2000年夏作	牛ふん堆肥	66.0	7.0	1.63	2,836	1.65	35.4	22	1.19	1.04	2.2	1.5
	バーク堆肥	64.3	7.7	0.58	1,648	1.52	38.0	25	1.59	0.59	1.0	0.4
	好塩菌堆肥	52.7	7.6	1.07	538	1.44	16.7	12	0.59	1.04	1.1	5.4
2000年冬作以降	牛ふん堆肥	52.9	6.6	5.58	10,796	2.40	31.2	13	3.38	2.68	125	484
	バーク堆肥	61.2	7.5	0.85	2,253	1.57	32.5	21	1.52	0.53	5.1	1.6
	好塩菌堆肥	53.4	7.3	2.59	1,989	1.37	18.7	14	1.86	1.09	3.4	142

※好塩菌堆肥:主原料はバーク、鶏ふん、副資材は牛ふん、廃材などの地域未利用資源で、有用微生物群で堆肥化したもの
 ※W-Cl:水溶性塩素イオン、NH₄-N:アンモニア態窒素、NO₃-N:硝酸態窒素
 ※単位:乾物あたり

イスクプラウで鋤込み、後日ロータリーで耕うんした。

エ) 土壌理化学性並びに堆肥成分調査

土壌の理化学性分析用試料は定期的に深さ0-15 cm, 15-35cm, 35-50cmの3層位から採取した。土壌分析法は前述と同様な方法で行った。堆肥は施用時にサンプリングし、肥料成分を中心に分析²¹⁾した。

なお、ガラス繊維ろ紙を用いたほ場埋設法による堆肥の分解特性試験は以下の条件で行った。供試土壌は中央干拓地試験ほ場で採取した堆肥施用履歴のない作土(生土)を用いた。添加した堆肥の成分は表19のとおりで、生土に炭素量として6%相当量を添加した。埋設期間は2003年5月～9月(P2ソルガムほ場, 116日間), 2003年9月～2004年1月(P2冬キャベツほ場, 109日間), 2004年10月～2005年1月(P2冬キャベツほ場, 88日間)の3回とした。また、高塩分条件下での分解特性を調査するため、中央干拓地試験ほ場の下層土(水溶性塩素イオン濃度約12000mg)であるグライ土壌(風乾土)と対照の堆肥施用履歴のない作土を用いて、2003年9月～2004年1月(冬キャベツほ場, 87日間)に埋設し、分解率を調査した。

表19 分解特性試験に供試した堆肥

堆肥の種類	主原料+副資材	全窒素 (%)	全炭素 (%)	C/N
牛ふん堆肥	牛ふん(肉用牛)+もみがら	2.40	31.2	13
パーク堆肥	パーク	1.57	32.5	21
好塩菌堆肥	パーク・鶏ふん+牛ふん・間伐材等	1.37	26.8	20

(2) 結果

ア) 堆肥の分解特性

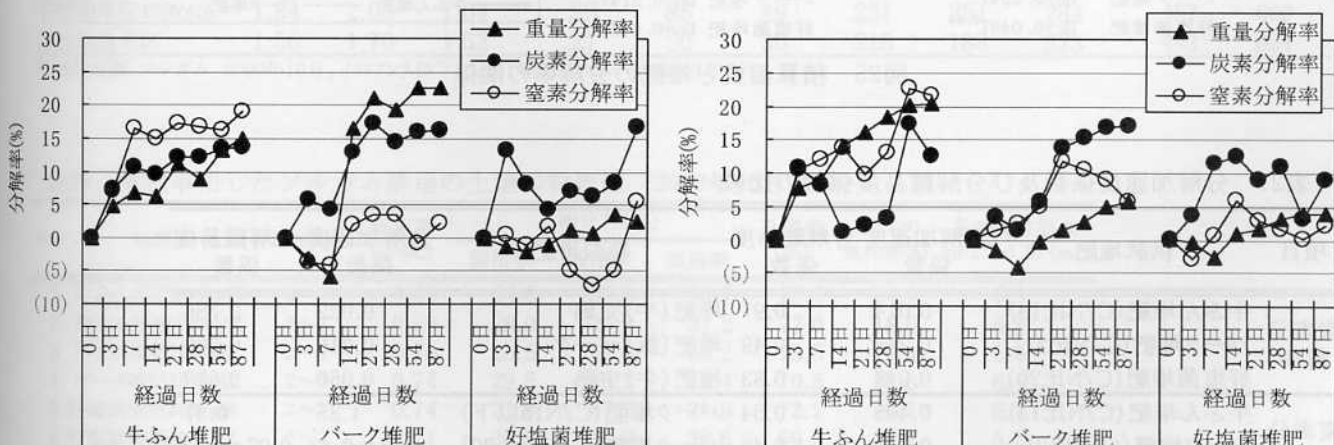
表20に埋設法による試験結果をソルガム並びに冬キャベツに分け、収穫時(約3カ月後)の分解率で示した。ソルガム生育期の積算気温は2910°C(116日間)であるのに対し、冬キャベツ生育期の積算気温は2003年が1373°C(109日間), 2004年が1124°C(88日間)と1500°C以上低かった。牛ふん堆肥の炭素及び窒素分解率は冬季よりも夏季が高く、いずれも炭素よりも窒素の分解率が高かった。パーク堆肥の重量、炭素及び窒素分解率は夏季が高く、牛ふん堆肥とは逆に炭素分解率が窒素分解率よりも高かった。好塩菌堆肥の分解率は夏季よりも冬季が高く、すべての分解率は20%以下と低かった。

2003年冬キャベツ生育期間中の分解率の推移を図24に示す。牛ふん堆肥は21日後に重量及び炭素分解率は10%を超え、窒素分解率は7日までは急激な分解が進んだが、その後15%程度で推移した。

表20 埋設時期の違いによる堆肥の分解率

堆肥の種類	C/N	炭素添加率	重量分解率(%)		炭素分解率(%)		窒素分解率(%)	
			夏期	冬期	夏期	冬期	夏期	冬期
牛ふん堆肥	13	6%	22.2	24.0	14.0	12.9	20.1	15.6
パーク堆肥	20	6%	18.0	13.2	19.7	15.4	14.1	12.9
好塩菌堆肥	21	6%	7.7	17.8	14.0	16.0	9.7	11.5

※埋設期間:夏期は2003年のソルガム栽培期間、冬期は2003年及び2004年の冬キャベツ栽培期間



a) 作土混合試料

b) 下層土(グライ土, 高塩類)混合試料

図24 混和土壌の違いと堆肥の分解特性(2003年)

バーク堆肥は14日後には重量分解率が約20%、炭素分解率が15%と最も高かったが、窒素分解率はマイナスとなり窒素の取り込みが認められた。好塩菌堆肥は炭素分解率が徐々に上昇し、90日後には約15%となり、重量及び窒素分解率は5%以下と低かった。

また、充填土壌にグライ土壌を使用した場合、牛ふん堆肥及び好塩菌堆肥では炭素及び窒素分解率に大きな変動はなかった。バーク堆肥では炭素分解率には違いはなかったが、窒素分解率はやや高く推移した。

次に、ほ場埋設期間中の日平均地温(気温)の積算温度と分解率との関係を検討した。速見⁴⁷⁾、小野寺ら⁴⁸⁾が示す相関式を用いて、干拓土壌における堆肥の分解特性曲線を求めた(図25)。なお、分解率と積算温度との関係は次式で示される。

$$D_c \text{ (または } D_n) = eTr$$

ここで、 D_c : 炭素分解率(%), D_n : 窒素分解率(%)

e : 分解加速度係数, r : 分解難易度係数,

T : 積算温度(地温の積算, 窒素分解率では日

平均気温 0℃以上を積算, °C)

測定した3資材の分解加速係数と分解難易度係数を文献と比較した(表21)。牛ふん堆肥における炭素の分解加速係数(e)及び分解難易度(r)は堆肥(牛)完熟と同じ程度で、窒素分解率に係る両係数はバーク堆肥(C/N比15以下)に近かった。バーク堆肥では炭素の両係数は堆肥(豚)バークと、窒素分解率に係る両係数はバーク堆肥(C/N比15-30)と同等であった。牛ふん堆肥及びバーク堆肥は干陸初期の諫早湾干拓土でも既耕地と変わらない有機物の分解性があることが認められた。

一方、好塩菌堆肥では、炭素分解率の両係数は堆肥(牛)中熟と、窒素分解率に係る両係数は麦かんきゅう肥(C/N比14)に類似していた。

以上の結果から、牛ふん堆肥は冬キャベツ生育中でも窒素分解が順調に行われるため、秋冬野菜作付前の施用でも速やかな無機態窒素の放出が期待できた。バーク堆肥は炭素及び窒素の分解が最も遅いため、春先に施用すると分解に要する期間

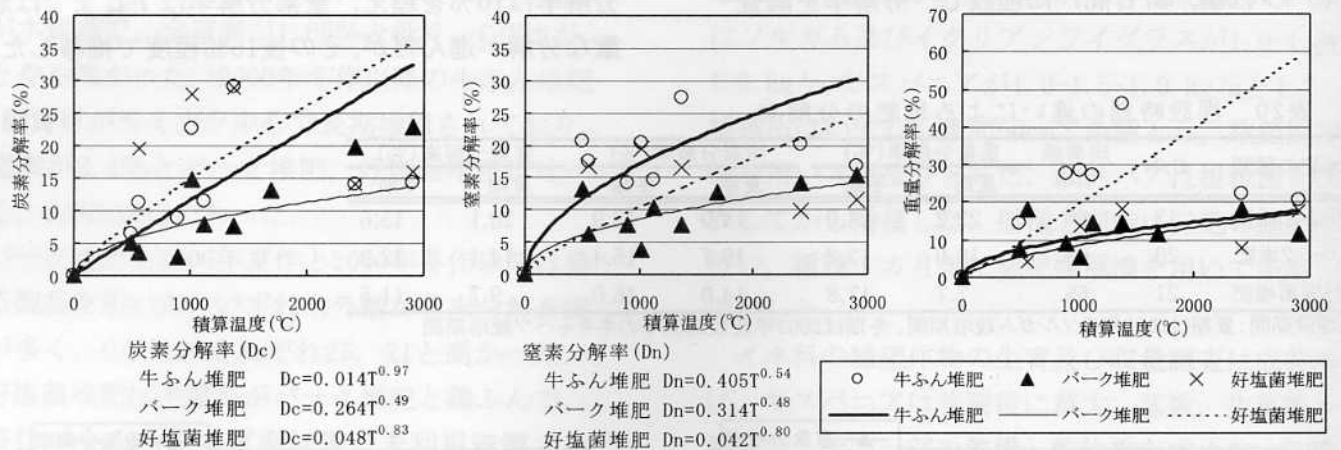


図25 積算温度と堆肥の分解率の関係

表21 分解加速度係数及び分解難易度係数の比較

項目	供試堆肥	分解加速度係数	分解難易度係数	類似堆肥	分解加速度係数	分解難易度係数
炭素分解率	牛ふん堆肥(C/N比13)	0.014	0.97	堆肥(牛)完熟	0.022	0.786
	バーク堆肥(C/N比21)	0.264	0.49	堆肥(豚)バーク	0.316	0.500
	好塩菌堆肥(C/N比20)	0.048	0.83	堆肥(牛)中熟	0.050	0.680
窒素分解率	牛ふん堆肥(C/N比13)	0.405	0.54	バーク堆肥(C/N15以下)	1.35	0.37
	バーク堆肥(C/N比21)	0.314	0.48	バーク堆肥(C/N15~30)	13~0.43	0.07~0.39
	好塩菌堆肥(C/N比20)	0.042	0.80	麦かんきゅう肥(C/N14)	0.04	0.75

※類似堆肥は参考文献47,48より抜粋

類似堆肥は参考文献43,44より抜粋

が短縮できた。また、冬キャベツ畑では、C/N比の高いパーク堆肥、好塩菌堆肥は炭素の分解のため、施用後すぐに窒素の取り込みが認められ、多量施用は作物の窒素飢餓を助長する恐れがあった。

イ) 作物の生育・収量に及ぼす影響

ソルガム、イタリアンライグラスは順調に生育したが、セスパニアは2回の冠水により苗立枯病が発生し、生育初期の一定の茎数が確保できなかった。

図26に緑肥作物の生草重の収量指数を示す。牛ふん堆肥の施用で、ソルガム、イタリアンライグラス、セスパニアの収量は堆肥無施用区よりも増加する傾向であった。牛ふん堆肥の施用量による差は認められなかった。また、牛ふん堆肥はソルガムに施用したものとイタリアンライグラス・セスパニアに施用したものは違う種類であったが、両者とも無施用に比べ収量が増える傾向を示した。

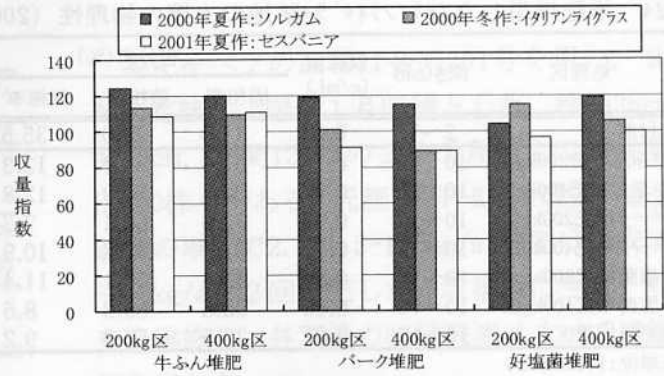
パーク堆肥の施用では、ソルガムの収量は増加したが、イタリアンライグラス、セスパニアでは堆肥施用による増収効果はなかった。特にパーク堆肥400kg区では逆に減収する傾向であった。好塩菌堆肥の施用によって、3種類の緑肥作物の収量は一定の傾向を示さなかった。

ウ) 土壌理化学性の改善効果

表22 堆肥単用跡地土壌(作土)の化学性の比較

分析項目 供試作物	全炭素(%)			可給態リン酸(mg/100g)			交換性カリウム(mg/100g)			水溶性塩素イオン濃度(mg/1000g)		
	ソルガム	イタリアンライグラス	セスパニア	ソルガム	イタリアンライグラス	セスパニア	ソルガム	イタリアンライグラス	セスパニア	ソルガム	イタリアンライグラス	セスパニア
作付前	1.56	1.38	1.58	30	26	26	268	-	255	392	294	1,207
牛ふん堆肥200kg区	2.08	1.68	1.69	35	67	42	223	200	314	477	949	75
牛ふん堆肥400kg区	2.17	1.92	1.83	39	104	71	224	272	338	431	1,290	61
パーク堆肥200kg区	1.76	1.86	1.75	26	62	36	217	214	325	746	308	33
パーク堆肥400kg区	1.98	2.06	1.75	34	55	41	255	219	355	727	702	32
好塩菌堆肥200kg区	1.76	1.89	1.53	28	72	54	234	269	334	548	619	32
好塩菌堆肥400kg区	1.84	2.05	1.64	29	85	49	231	251	284	487	600	24
堆肥無施用区	1.56	1.70	1.52	27	50	30	215	188	323	498	624	75

※調査時期:ソルガム 2000年10月、イタリアンライグラス:2001年5月、セスパニア:2001年8月



堆肥無施用区の生草重(収量指数100)
2000年夏作ソルガム:2889kg/a 2000年冬作イタリアンライグラス:6435kg/a
2001年夏作セスパニア:3749kg/a

図26 堆肥単用による緑肥の生草重

表22に栽培試験を行った3作物跡地の作土の化学性を示す。全炭素は、セスパニア跡地のパーク堆肥及び好塩菌堆肥を除き、堆肥の施用が多いほど高かった。可給態リン酸は牛ふん堆肥及び好塩菌堆肥の施用で高くなり、牛ふん堆肥400kg区では100mgを超えた事例があった。交換性カリウムはイタリアンライグラス跡地では堆肥施用に伴い増加する傾向がみられるが、ソルガム及びセスパニア跡地では明確でなかった。水溶性塩素イオンは、ソルガム跡地ではパーク堆肥施用区が高く、イタリアンライグラス跡地では牛ふん堆肥施用区でやや高くなった。セスパニア跡地では冠水の影響で全区で大きく低下した。

跡地土壌の物理性を表23・24に示す。ソルガム

表23 堆肥単用したソルガム跡地の土壌の物理性(2000年10月調査)

No	処理区	深さ(cm)	仮比重(g/mL)	三相分布(%)			孔隙率(%)	pF1.5の気相率(%)	易効性有効水(pF2.7-1.5)(ml)
				固相率	液相率	気相率			
1	牛ふん堆肥200kg区	2~7	0.68	24.8	39.5	35.7	75.2	24.9	5.3
2	牛ふん堆肥400kg区	2~7	0.69	28.0	40.8	31.2	72.0	18.0	5.8
3	パーク堆肥200kg区	2~7	0.70	26.5	42.4	31.2	73.5	19.4	5.0
4	パーク堆肥400kg区	2~7	0.74	29.5	48.2	22.4	70.5	18.6	6.4
5	好塩菌堆肥200kg区	2~7	0.74	27.8	47.7	24.6	72.2	19.1	5.7
6	好塩菌堆肥400kg区	2~7	0.71	30.5	35.9	33.6	69.5	30.7	5.7
7	堆肥無施用区	2~7	0.72	30.7	40.2	29.1	69.3	16.3	7.9

※単位:100mlあたり

表24 堆肥単用したイタリアンライグラス跡地の土壌の物理性 (2001年5月調査)

No	処理区	深さ(cm)	仮比重 (g/mL)	三相分布(%)			孔隙率 (%)	pF1.5の 気相率(%)	易効性有効水 (pF2.7-1.5) (ml)
				固相率	液相率	気相率			
—	作付前	2~7	0.64	41.5	23.0	35.5	77.0	34.5	1.4
1	牛ふん堆肥200kg区	10~15	0.78	31.0	55.7	13.3	69.0	12.1	4.5
2	牛ふん堆肥400kg区	10~15	0.77	30.3	56.9	12.8	69.7	9.9	5.1
3	バーク堆肥200kg区	10~15	0.79	32.6	60.1	7.3	67.4	5.8	3.7
4	バーク堆肥400kg区	10~15	0.77	31.4	57.7	10.9	68.6	10.9	4.1
5	好塩菌堆肥200kg区	10~15	0.81	32.6	56.1	11.4	67.4	8.6	3.5
6	好塩菌堆肥400kg区	10~15	0.80	32.3	59.2	8.5	67.7	8.7	3.6
7	堆肥無施用区	10~15	0.81	33.5	57.3	9.2	66.5	7.4	3.6

※単位:100mlあたり

跡地では堆肥の種類に関係なく、作付前に比べ固相率、孔隙率及びpF1.5の気相率が減少し、仮比重や易効性有効水が増加しており、ソルガム作付によって土壌の物理性が大きく変化した。ソルガム跡地、イタリアンライグラス跡地とも堆肥施用は、無施用区に比べ固相率が低くなったが、液相率には一定の傾向はなかった。牛ふん堆肥施用区では気相率が高まり、仮比重が低下した。易効性有効水は試験開始時点よりも高く3~6mlになったが、堆肥施用との関係は認められなかった。

(3) 考察

2000年冬作から使用した牛ふん堆肥はモミガラが副資材である。モミガラの施用効果は報告が多く、重粘水田へのモミガラの施用は保水量の減少^{43,44}と気相率の向上⁴⁴が図られ、干拓地下層土へのモミガラの施用は透水性及び通気性の改善¹⁵効果がある。一方、干拓地へのきゅう肥の施用事例は少なく、重粘水田転換畑への乾燥牛ふんの施用試験では、メロン及びタマネギの増収効果は認められたが、メロンでは品質低下を招いた⁴⁵と報告がある。よって、本試験において認められた牛ふん堆肥の作物増収効果と土壌理化学性の改善効果は、モミガラと牛ふんの長所が有利に作用したと推察される。

モミガラの施用で逆に過乾燥となり作物生育に影響が出た事例³があり、施用量によっては作物生育への悪影響を与える。今回のように完熟した堆肥として使用すれば問題ないと思われる。

牛ふん堆肥は土壌の物理性を改善する³³が、化

学的には有効態リン酸の集積を招きやすい。実際に使用する際には、堆肥の成分分析を行い、施用の良否判定や施用量の調整を行うことも必要である。

バーク堆肥は施用後の分解が遅く、多量に施用すると作物収量を低下させる恐れがある。しかし、バーク堆肥の施用は土壌物理性の改善と地力増強が図れる¹⁵との報告もあり、リン酸や加里成分が少なく養分集積が認められない性質を活かすため、春先施用などの施用方法の改善により諫早湾干拓地でも十分利用が可能と考られる。

好塩菌堆肥と高塩分のグライ層土壌を使った埋設試験では、作土使用と比較して炭素及び窒素分解率に違いは認められなかったが、好塩微生物がもつ特殊な分解特性が認められれば、今後利用場面があると考えられる。今後各方面での研究が期待される。

2) 緑肥並びに堆肥の連用効果

(1) 材料及び方法

堆肥の連用と緑肥の生産と鋤込みによる土壌改良効果を検討し、作物収量の向上と持続的な営農を行うための適正な土壌管理技術を確立する。

ア) 試験ほ場条件及び供試堆肥

試験は諫早湾干拓地中央干拓地の試験ほ場のP2ほ場で行った。2001年夏作にセスパニアで行った堆肥単用試験を引き継ぎ、3年間6作の栽培試験を実施した。供試堆肥は堆肥単用試験と同じ牛ふん堆肥、バーク堆肥、好塩菌堆肥の3種類とした。成分等は表17のとおりである。

ほ場 番号	2001												2002												2003												2004			
	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4					
P2	M 1作目			M 2作目			3作目			M 4作目			5作目			M 6作目																								
	セスパニア			裸麦			ソルガム			冬キャベツ			ソルガム(2回刈り)			冬キャベツ																								
	C・S			PD			PD・S			PD			PD			S・C			PD																					

※ M:堆肥施用 S:サブソイラによる弾丸暗渠 C:モミガラ補助暗きよ、PD:ディスクプラウ耕

図27 堆肥連用試験の作付体系

表25 堆肥連用試験の試験区構成

No	区名	処理内容
1	牛ふん堆肥200kg区	牛ふん堆肥200kg/a施用+緑肥鋤込み
2	牛ふん堆肥400kg区	牛ふん堆肥400kg/a施用+緑肥鋤込み
3	パーク堆肥200kg区	パーク堆肥200/a施用+緑肥鋤込み
4	パーク堆肥400kg区	パーク堆肥400/a施用+緑肥鋤込み
5	好塩菌堆肥200kg区	好塩菌堆肥200kg/a施用+緑肥鋤込み
6	好塩菌堆肥400kg区	好塩菌堆肥400kg/a施用+緑肥鋤込み
7	緑肥未作付区	緑肥鋤込みなし+堆肥施用なし
8	堆肥無施用区	緑肥+堆肥施用なし

イ) 試験方法

試験区の構成は表25のとおりである。新たに緑肥の栽培と堆肥を施用しない試験区(No.7)を設けた。図27に作付体系を示す。3作目までは緑肥作物を栽培し、4作目からは冬作を冬キャベツ、夏作をソルガムに固定した輪作体系とした。堆肥施用量(kg/a)は200kgと400kgを、冬作栽培前に年1回ずつ施用した。ただし、2001年夏作前に施用していたが直後の6月にほ場が冠水したため、9月に再度堆肥を施用した。

ソルガム及びセスバニアの施肥量(N-P-K)は1.0-1.0-1.0kg/a、裸麦は0.9-1.0-1.0 kg/aとし、いずれも条間60cmで条播とし、セスバニアは根粒菌を粉衣して、施肥播種機を用い播種と施肥を行った。追肥も同様に施肥機を用いて条施した。

裸麦を除くイネ科緑肥作物の生育及び収量調査は成熟前に、セスバニアは着莢後に、裸麦は成熟期に草丈、茎数、生草重を測定し、その一部を用いて乾草重を求めた。

裸麦以外の緑肥作物はフレールモアで、裸麦はコンバインのカッターで子実並びに麦桿を細断した。数日風乾させた後、ディスクプラウで鋤込み、ロータリーで耕うんした。

冬キャベツの品種は金系201号を用い、9月下旬に定植し、翌年1月収穫とした。株間35cm、条間40cm、畦間125cmの2条千鳥植えて、採植密度は400株/aである。元肥(N-P-K)は硫安、重過石、硫加の単肥で2.1-1.5-1.5kg/a、追肥は硫安で0.45-0-0kg/aを2回施肥した。収穫期に生育、収量調査を実施し、外葉等の収穫残渣はすべてほ場外に持ち出した。

(2) 結果

ア) 緑肥作物及び冬キャベツの収量

裸麦は倒伏したため、子実の収穫はせずにそのまま鋤込んだ。堆肥連用1~3作目のセスバニア、裸麦、ソルガムの乾草重は、パーク堆肥及び好塩菌堆肥の施用量が多いほど、窒素飢餓と思われる初期生育の不良により収量が10~20%低下した。一方、牛ふん堆肥では連用初期から減収しなかった。

4作目の冬キャベツの収量は、パーク堆肥400kg区を除き、長崎県基準技術目標収量(560kg/a)並で、特に牛ふん堆肥施用区で高かった。3年連用後の6作目冬キャベツの収量は3資材とも目標収量以上となり、収量に資材間に差はみられなくなった(表26)。

イ) 土壌理化学性の推移

表27に連用による土壌化学性の推移を示す。いずれの堆肥でも連用により作土の全炭素、可給態窒素が増加した。特に、牛ふん堆肥200kg区、同400kg区、パーク堆肥400kg、好塩菌堆肥400kg区は2年の連用で、全炭素、可給態窒素が改善目標値(長崎県土壌診断基準及び地力増進基本指針)まで達した。パーク堆肥200kg区及び好塩菌堆肥200kg区は3年連用により同様の改善効果が認め

表26 堆肥連用による作物収量の推移

処理区	2001年		2002年		2003年	
	(夏作) セスバニア	(冬作) 裸麦	(夏作) ソルガム	(冬作) 冬キャベツ	(夏作) ソルガム (2回刈)	(冬作) 冬キャベツ
牛ふん堆肥200kg区	118	212	76	557 ab	129	569 a
牛ふん堆肥400kg区	118	232	72	591 a	123	606 a
パーク堆肥200kg区	107	185	72	521 b	135	627 a
パーク堆肥400kg区	96	198	82	425 c	130	579 a
好塩菌堆肥200kg区	118	220	82	513 b	122	616 a
好塩菌堆肥400kg区	113	193	74	521 b	137	624 a
緑肥未作付区	—	—	—	329 d	—	412 b
堆肥無施用区	115	226	73	459 c	129	477 b
目標収量	—	—	—	560	—	560

※Tukey法で5%水準で検定

表27 堆肥連用によるキャベツ跡地土壌の化学性の変動(作土)

処理区	全炭素 (%)		可給態窒素 (mg/100g)		可給態リン酸 (mg/100g)		交換性カリウム (mg/100g)	
	2年連用	3年連用	2年連用	3年連用	2年連用	3年連用	2年連用	3年連用
牛ふん堆肥200kg区	2.30	2.33	5.2	5.6	71	78	251	168
牛ふん堆肥400kg区	2.67	2.76	6.3	6.7	103	127	296	211
パーク堆肥200kg区	1.64	2.24	4.1	5.5	61	57	247	137
パーク堆肥400kg区	2.82	2.87	5.2	5.2	66	60	210	157
好塩菌堆肥200kg区	1.89	2.16	4.8	5.3	65	52	223	156
好塩菌堆肥400kg区	2.52	2.33	5.0	5.8	114	111	223	155
緑肥未作付区	1.73	1.61	4.0	2.4	34	27	182	116
堆肥無施用区	1.77	1.74	4.6	4.1	40	27	212	137
改善目標	1.74以上(腐植3%以上)		5以上		20~100		15~40	
初作前(2000年7月)	1.57		3.7		31		259	
試験開始前(2001年6月)	1.58		6.3		26		255	

※2年連用:2003年1月調査、3年連用:2004年1月調査

表28 堆肥連用6作跡地土壌の化学性

層位	処理区	生土		水溶性塩素イオン (mg/乾土100g)	CEC (meq/乾土100g)	交換性陽イオン(mg/乾土100g)				塩基飽和度 (%)	Ca/Mg (当量比)	Mg/K (当量比)	全炭素 (%)	全窒素 (%)	C/N
		pH(H ₂ O)	EC(1:5)			CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O						
		(乾土1:2.5)	mS/cm												
上層部	牛ふん堆肥200kg区	5.74	0.42	20	44.3	639	192	168	41	84	2.4	2.7	2.33	0.22	10.6
	牛ふん堆肥400kg区	5.98	0.47	17	46.0	591	221	211	55	83	1.9	2.5	2.76	0.25	10.9
	パーク堆肥200kg区	6.29	0.33	16	45.2	672	173	137	47	82	2.8	3.0	2.24	0.20	11.2
	パーク堆肥400kg区	6.27	0.32	13	45.5	695	189	157	32	85	2.6	2.8	2.87	0.23	12.2
	好塩菌堆肥200kg区	6.22	0.41	13	45.0	649	180	156	36	81	2.6	2.7	2.16	0.21	10.1
	好塩菌堆肥400kg区	6.60	0.19	12	46.0	709	192	155	50	86	2.7	2.9	2.33	0.21	10.9
	堆肥無施用区	5.52	0.62	15	43.7	602	185	137	13	78	2.3	3.2	1.87	0.17	10.9
	緑肥未作付区	5.73	0.36	22	42.5	563	191	116	44	79	2.1	3.9	1.61	0.16	10.4
下層部	牛ふん堆肥200kg区	6.76	0.39	32	46.2	764	214	157	23	91	2.6	3.2	1.95	0.18	10.8
	牛ふん堆肥400kg区	6.62	0.69	314	48.0	619	253	158	85	85	1.8	3.8	1.88	0.18	10.7
	パーク堆肥200kg区	6.75	0.39	80	46.2	767	212	139	36	91	2.6	3.6	1.71	0.16	10.9
	パーク堆肥400kg区	6.68	0.46	123	46.9	867	218	133	114	103	2.9	3.8	1.82	0.16	11.1
	好塩菌堆肥200kg区	6.78	0.50	38	45.8	840	210	121	30	96	2.9	4.1	1.78	0.17	10.7
	好塩菌堆肥400kg区	6.76	0.50	201	45.9	706	246	126	77	93	2.1	4.6	1.89	0.18	10.5
	堆肥無施用区	6.73	0.44	35	49.8	753	203	119	44	82	2.7	4.0	1.60	0.15	10.7
	緑肥未作付区	6.48	1.42	1,171	44.8	562	242	154	252	97	1.7	3.7	1.57	0.15	10.5
土壌診断基準(露地野菜) ^{a)}		6.0~6.5	<0.3	<100	20<	220	30	15~40	—	60~80	2<	4~8	1.74<	—	—

a)土壌診断基準:長崎県基準(露地野菜)、地力増進指針(畑地)

表29 堆肥連用による土壌物理性の変動(作土)

処理区	仮比重(g/ml)		孔隙率(%)		pF1.5の気相率(%)		保水性(%)	易効性有効水
	2002年	2003年	2002年	2003年	2002年	2003年	pF2.7	(pF2.7-1.5)(ml)
牛ふん堆肥200kg区	0.73	0.79	74.3	69.2	30.7	21.6	42.4	6.5
牛ふん堆肥400kg区	0.75	0.78	73.1	69.4	27.7	21.5	43.3	6.0
パーク堆肥200kg区	0.74	0.77	72.9	70.0	28.4	22.9	41.9	6.5
パーク堆肥400kg区	0.75	0.79	71.9	68.3	26.7	20.0	43.3	6.3
好塩菌堆肥200kg区	0.74	0.80	73.4	68.3	29.3	19.4	42.9	7.5
好塩菌堆肥400kg区	0.75	0.78	72.4	69.8	29.3	22.2	42.2	6.7
緑肥未作付区	0.78	0.87	69.6	66.4	18.9	15.0	45.7	6.7
堆肥無施用区	0.76	0.81	70.7	68.4	24.4	18.8	44.6	6.7

※2002年8月並びに2003年8月のソルガム収穫期に調査、採土管採取位置は2~7cm

※単位:100mlあたり

れた。

また、可給態リン酸は各資材とも施用量が多いほど蓄積していた。特に牛ふん堆肥並びに好塩菌堆肥の400kg区で、可給態リン酸が100mg以上の蓄積を認めた。交換性カリウムは堆肥施用前よりも減少したが、牛ふん堆肥の施用区は最も緩やかに減少していた。

6作目冬キャベツ収穫期の土壌の化学性を表28に示した。堆肥無施区と比べると、好塩菌堆肥及びパーク堆肥の施用区ではpHとCa/Mg比が高く、パーク堆肥の施用区ではC/N比が高かった。堆肥の種類に関係なく、ECは低下し、CEC、全炭素、全窒素は増加したが、その他は堆肥を連用しても大きな変動はなかった。下層部(15~35cm)では

全炭素、全窒素がやや増加した以外は堆肥の影響はみられず、逆に水溶性塩素イオンや交換性ナトリウムの上昇から下層土の影響を受けている試験区があった。

表29に土壤の物理性を示した。堆肥を連用すると仮比重は減少し、孔隙率及び気相率は増加するが、堆肥の種類や施用量による影響ははっきりしなかった。また、pF2.7の水分率は堆肥の施用により2%前後少ないが、易効性有効水は6~7%と変わらず、堆肥連用による短期間での改善は認められなかった。

(3) 考察

排水性の確保されたほ場において、キャベツの収量は可給態窒素5mgを超すと収量が高まっており、窒素成分の供給能力が重要と判断される。いずれの堆肥も連用により土壤中の全炭素及び全窒素含量は増加しているが、分解が早かった牛ふん堆肥が早期増収効果が認められる。しかし、バーク堆肥と好塩菌堆肥は3年連用で牛ふん堆肥と差がなくなり、連用により資材間の差はなくなると考えられる。

牛ふん堆肥と好塩菌堆肥では400kg/aの多施用によって、リン酸やカリウムの過剰集積を招くことが試験結果から示唆され、土壤の塩基バランスにも配慮する必要がある。したがって、早期熟畑化には牛ふん堆肥の施用が有効であるが、持続的な施用を考えると、牛ふん堆肥を年1回200kg/a

が良いと判断された。

加里の過剰集積は農作物の生育・収量にマイナスを与える可能性が高い。永田らは鹿児島県の暗赤色土における有機物の多施用でサトイモやばれいしょ中のカリウム含量が高まり、拮抗作用によりカルシウム、マグネシウムの吸収が抑制された⁴⁶⁾と報告し、徳安らは佐賀県の重粘水田産タマネギの腐敗に土壤の交換性カルシウム、石灰飽和度、Ca/Mg比が関与していることを報告⁴⁹⁾しており、それぞれ堆肥技術の検討が行われている。すでに八郎潟干拓では土壤中のカリウム含量の違いで水稻の施肥量を2段階に分けており⁵⁰⁾、諫早湾干拓においても今後は作物に応じて土壤診断結果と堆肥等の有機質資材の施用実績を考慮した施肥管理方法の確立が必要である。

干拓地の畑地利用は有機物の分解が激しく、腐植が消耗する^{16,17)}との報告があるように、諫早湾干拓地においても、緑肥作物の鋤込みだけで有機物を賄う場合(No.8試験区)は、全炭素は約1.7%、全窒素は約0.17%の低位で安定化し、可給態窒素も5mg以下で推移している。営農開始後の農地の地力維持・増進のために、堆肥の利用は不可欠である。そのため、堆肥連用試験を継続しており、連用に伴う障害や養分蓄積など検討し、営農開始後の土壤管理技術の確立に取り組む必要がある。

5. 総合考察

諫早湾の干潟は16世紀から干拓されており、山崎教清による干拓(現諫早市川内町)のほか、小野用水や半造の底井樋など灌漑施設の史跡も残されており、古くから地域社会の発展と密着している。近年では諫早干拓(諫早市森山町)が1964年に完成し、諫早平野という県下最大の穀倉地帯(約3500ha)を形成している。干拓地では水稻作と麦作を中心に営農が行われ、特に麦作は適地と言われている。

新たに造成された諫早湾干拓地は畑地利用が前提であり、後背地における過去の実績と地理的条件を踏まえ、除塩、ほ場排水性の向上、土壤理化

学性の改善を図る土壤の早期熟畑化が必要である。前述のとおり緑肥作物の栽培と鋤込みを2年間(4作)実施すること、牛ふん堆肥を年間200kg/a施用することで野菜生産が可能なレベルにまで土壤を改良できるが、その中で以下の3点が課題解決への重要な役割を担ったと考えられる。

1点目は、緑肥作物の条播である。緑肥作物を条播した場合、亀裂の発生はその条間ごとに発生する。暗きよに平行して播種するとは場短辺100mの長さ、すなはち排水路まで亀裂がつながる。吉田⁵¹⁾は水田における亀裂発生メカニズム数値モデルを検討し、条間亀裂は左右二方向からの水分

損失による引張有効応力により誘発されることを明らかにしているが、本試験栽培中にも水田と同様な力が働き、亀裂が発生したと推察される。亀裂の発生は前述したとおり土壌の乾燥を促進させ、ほ場の排水性を高め、除塩を早める。

2点目は、緑肥作物をフレールモアで細断し、ディスクプラウで土壌に混和したことである。重粘水田へのイナワラ堆肥の施用は水分を保持⁴³⁾し、乾燥を妨げるため、キャベツやえだまめが減収した⁴⁴⁾報告があり、同様にイネ科緑肥を直接ボトムプラウで鋤込むと土壌中の分解速度が遅く、短期間では施用効果が現れないと推測される。細断した有機物は分解も早く、物理性の改善を図り、さらに堆肥を施用すると腐植含量が増し、地力増強を含めた土壌改良ができる。

3点目に、緑肥作物を年間栽培し、絶えずほ場管理を行ったことである。緑肥を栽培することで、弾丸暗きよの施工や作付前のロータリー耕、緑肥鋤込み時のディスクプラウとロータリー耕により土壌は碎土され、土壌条件が良くなる。緑肥作物を作付けると耕作者が適切な管理作業を行うため、自然とほ場条件が改善される。また緑肥作物の残根(刈り跡)や冬作物があると微細亀裂が発生し構造が形成しやすく⁵¹⁾、干拓地水田に発達した根成孔隙が重要な水みちとなっている²⁹⁾ことから、緑肥作物をほ場に作付けることで、土壌構造の発達とほ場排水性が向上すると考えられる。初期の諫早湾干拓土壌は、ほ場に手を加えるほど土壌理化学性が改善され、熟畑化が進むと思われる。

ここで、これまで述べてきた諫早湾干拓における緑肥作物の栽培と鋤込み及び堆肥施用による除塩、ほ場排水性向上、土壌理化学性改善のメカニズムを考えてみると、まず、サブソイラーによる弾丸暗きよの施工と表面排水対策によって、ほ場の排水性を高め、ロータリー耕で土塊を細粒化させる。ついで緑肥作物の栽培によって、緑肥自体の吸水と蒸散により土壌水分が減少し、ほ場の乾燥による粘土の収縮が始まる。乾燥した表層部から作条に沿って亀裂が発生するとともに、植物根によっても土壌の根成孔隙が増加する。同時に土壌の構造も粒用～塊状に発達し、大きさも巨塊からより小さい土塊に変化する。細断された緑肥作物の鋤込みにより孔隙率等の物理性が改善され、さらに有機物の分解により腐植が増え、構造が団

粒化する。年間2200mmの降雨は、細粒化や有機物の分解によって露出した塩素を絶えず溶脱させる。夏作緑肥ではその流れがダイナミックに発生する。堆肥の施用は、高い作物増収効果があり、迅速な地力増強と土壌物理性の改善が可能である。このような過程によって諫早湾干拓の干陸初期土壌は熟畑化すると考えられる。しかし、この中で、土壌構造や亀裂の発達原理と量的評価、作物蒸散量の評価などは推定の域を出ず、今後の研究が望まれる。

下層部の水溶性塩素イオン濃度は4000mg以上と高いままであり、将来的には有機物の施用や深耕などによる下層土の改良対策が必須である。しかし、改良には時間がかかるため、営農開始後は熟化の進んでいる作土を大切に扱い、上部から熟畑化を進める手法がよいと考える。今回報告した緑肥作物の利用やディスクプラウやサブソイラーなどを使った土壌管理技術が役立つと思われる。

諫早湾干拓地では排水対策は最も重要な課題である。干拓地における排水性向上は多くの研究がなされている。本暗きよ資材の選定と耐久性評価⁵²⁾はもとより、本暗きよと弾丸暗きよの組み合わせ暗きよ^{30,53)}、本暗きよとモミガラ充填補助暗きよ³⁾、モミガラ補助暗きよ⁵⁴⁾など土壌条件や対象作物に合わせ、疎水材や暗きよ間隔が検討されている。そのほか直交溝きり⁵⁵⁾、明きよ施工¹³⁾などの表面排水対策も重要である。排水性の向上は様々な対策の組み合わせであり、雨が降り始めてからでは作業できないため、天谷らの報告⁵⁵⁾のとおり日常の排水対策の徹底が基本である。排水機場が整備された状況となり、適切なほ場管理によって作物適応性や収量の増加が期待される。

畑地は酸化的条件であり、今まで述べたとおり圃場の生産力が消耗しやすいため、定期的な有機物の補給が必要である。諫早湾干拓営農は、ゼロエミッションを目指しており、入植者すべてが環境に意識しながら営農を行うよう営農計画策定の準備をしている。諫早湾干拓地において特別栽培農作物や有機農産物の生産を行うためには、安易な化学物質の使用や不適切な使用は慎み、化学肥料の使用削減のため、有機物資材(堆肥)の利用が欠かせない。有機質資材によるバランスの良い土づくりを行い、地力増進を図っていく必要がある。

諫早湾干拓地において実際に堆肥を利用するには、まず量の確保が問題となる。個人で堆肥を生産・調達することは、資金、労力、時間の面で難しい。緑肥作物の利用も同様で、ほ場管理作業はすべて機械化が必要である。トラクター、モア、プラウ等の農機のほか、マニユアスプレッダー、ブームスプレーヤー、レーザーレベラー等も必要となるため、個人での導入は難しい。そのため、堆肥の利用は干拓地域として確保・活用を考える必要があり、干拓地内で生じた作物残渣や家畜ふん尿を活用した良質堆肥生産・購入システムの確

立が望まれる。また緑肥作物の利用は地域内での作業委託または畜産農家と連携できるシステムづくりが必要である。この地域循環によって、外国産農産物や化学肥料の国内集積に伴う窒素、リン等の栄養塩類や有害物質の諫早湾干拓地への過剰集積を防止できる。

これから始まる諫早湾干拓地での営農は、すべての入植者が連携しながら、周辺環境に配慮した資源循環型農業への展開が期待されている。この報告がその一助になれば幸いである。

6. 摘 要

諫早湾干拓地の畑地ほ場における初期営農の確立のため、2000年から緑肥作物の栽培と鋤込み並びに堆肥施用による除塩、排水性向上及び土壌理化学性改善を図る早期熟畑化技術を検討し、以下の結論を得た。

- 1) 諫早湾干拓土はスメクタイトを主体とする2 : 1型粘土鉱物が多く含まれており、陽イオン保持能が高く、膨潤・収縮能に非常に富んだ性質を示すが、海成干拓のため、塩素含量が高く、排水性が劣り、土壌の理化学性の改善が必要であった。
- 2) 緑肥作物として、イネ科の飼料用トウモロコシ、ソルガム、イタリアンライグラスでは収量確保のためには窒素肥料が必要であった。しかし、マメ科のセスバニアでは無窒素での栽培が可能であった。リン酸並びに加里の施用効果は認められなかった。
- 3) マメ科のクロタラリア、セスバニアは鋤込み後すぐに分解が進むが、飼料用トウモロコシはC/N比が40以上と高く、施用時期と施肥量に注意する必要があった。ソルガムは品種、刈り取り回数、施肥条件により分解速度が異なった。
- 4) 夏作として飼料用トウモロコシ、ソルガム、セスバニア、冬作としてイタリアンライグラス、麦類を組み合わせた作付体系は、弾丸暗さよ等の営農排水対策を組み合わせることで、上層部の乾燥を促進し、2年(4作)後にはグライ層の出現位置が35~40cmまで低下し、土壌硬度も

高まった。特に障害性の高い水溶性塩素イオン濃度は作土層で乾土1kgあたり100mg程度まで低下した。

- 5) 緑肥作物の栽培と鋤込みを繰り返すことで、仮比重、易効性有効水、全炭素、全窒素等の土壌理化学性の改善が図られた。
- 6) 石コウの投入後1年間は除塩効果が認められたが、それ以降は除塩と物理性改善効果は判然としなかった。緑肥作物の栽培・鋤込み、土壌の乾燥、排水性の向上に伴う亀裂発生の影響が大きいと推察された。
- 7) 生土のECと水溶性塩素イオン濃度の単回帰式により、水溶性塩素イオン濃度500ppmはEC 0.53mS/cmとなり、この関係式を使うことで迅速かつ簡単に水溶性塩素イオン濃度並びに塩害発生の危険度が判定できた。
- 8) 冬キャベツ生育期間中の堆肥の分解特性(埋設法)から、牛ふん堆肥は炭素及び窒素の分解が順調に行われ、施用後速やかな無機態窒素の放出が期待できるが、バーク堆肥及び好塩菌堆肥は窒素分解率が低く、分解に時間を要した。
- 9) 牛ふん堆肥、バーク堆肥、好塩菌堆肥の単用では、緑肥作物のソルガム、イタリアンライグラス、セスバニアの生草重は牛ふん堆肥を施用すると増加し、バーク堆肥区の施用では減少する傾向があった。いずれも生育障害等は認められず、土壌の孔隙率等の改善や全炭素、可給態リン酸、交換性カリウム等の増加が認められた。

- 10) 牛ふん堆肥を連用すると、冬キャベツの収量は2年連用によって増収効果が認められた。3年連用すると、バーク堆肥、好塩菌堆肥の施用でも同様にキャベツの増収が認められた。土壌の仮比重、孔隙率、全炭素、可給態窒素等は大きく改善された。
- 11) 牛ふん堆肥並びに好塩菌堆肥400kg/a施用では可給態リン酸等が蓄積した。迅速な土壌改良

謝 辞

試験の実施にあたり、九州農政局農村整備部並びに諫早湾干拓事務所、長崎県農林部諫早湾干拓室には多大なご支援とご協力をいただいた。長崎県総合農林試験場場長 横溝徹世敏氏、前場長 山下勝郎氏、元場長 東 一洋氏、元場長 飯笹謙二氏をはじめ、各職員には多くのご指導とご支援をいただいた。また、原稿の作成にあたっては、当時環境部長 犬塚和男氏、土壌肥料科長 藤山正史氏にご指導いただき、有意義なご助言を賜った。

と持続的な営農を行っていくためには、牛ふん堆肥の年間の適正施用量はaあたり200kgと考えられた。

- 12) 以上の結果より、緑肥作物の栽培と鋤込み及び堆肥の施用は、初期干拓土の除塩やほ場の乾燥を助長し、土壌理化学性の改善に有効であり、早期熟畑化が図られた。

各種試験・調査の実施にあたっては、当時農事員の佐藤吉一氏、麻生啓語氏、元嘱託職員の渡部賢吾氏、堂口雅和氏並びに臨時職員の方々に献身的に協力いただき、試験を遂行することができた。さらにくみあい肥料(株)、日本振興(株)、(株)バイオロフトには肥料並びに堆肥の提供をいただいた。そのほか地元の農業団体・農業関連企業・関係機関・農業者の方々には多くのご支援をいただいた。この場を借りてお礼申し上げる。

7. 引用文献

- 1) 有明海干拓平野地土壌の熟田化課程と水稻生産性の推移に関する調査研究, 吉野三男, 1970, 佐賀農試研究報告10
- 2) 八郎潟干拓地土壌の理化学的特性と作物生育に関する研究, 三浦昌司, 1984, 秋田農試研究報告26: 85-190
- 3) 中海干拓地試験研究・普及のあゆみ, 2000, 島根県中海干拓営農センター
- 4) 中海干拓地土壌に関する研究, 村上英行・入沢周作, 1961, 島根農試研究報告3: 1-53
- 5) 土地分類基本調査 地形, 地層地質, 土じょう一諫早一, 1971, 経済企画庁総合開発局国土調査課
- 6) 諫早干拓地の干陸初期における二期作水稻と畑作物の栽培適正に関する研究, 陣野久好・井田勝實, 1988, 長崎総農林試特別研究報告1
- 7) 日本の干拓地, 山野明男, 2006, 農業統計協会: 32-48
- 8) 笠岡湾干拓地の土壌特性ならびに改良に関する研究, 第1報一般配分地の土壌特性, 平岡正夫・木元英照・小野芳郎・柳井雅美・磯田道雄・沖和生・熊代幹夫, 1989, 岡山農試報7: 1-10
- 9) 同上, 第2報干陸後の土壌理化学性の経年推移, 平岡正夫・坪井勇・小西昇一・石橋英二, 1990, 岡山農試研究報告8: 47-58
- 10) 畑地整備委員会土壌調査結果, 2004, 九州農政局諫早湾干拓事務所
- 11) 干拓地の不良土とその改善(1), 小林 嵩, 1952, 農業技術7(10): 13-16
- 12) 同上(2), 同上, 1952, 農業技術7(11): 16-18
- 13) 八郎潟干拓地へドロにおける機械化適応性の向上と耕地化課程に関する研究, 金子淳一, 1977, 秋田農試研究報告22
- 14) 牧草栽培による干拓地の土壌構造の変化—安来地区の事例—, 福桜盛一・今尾昭夫, 1988, 島根大農学部研究報告22: 106-114
- 15) 笠岡湾干拓地の土壌改良に関する研究, 第3報有機質資材による土壌改良効果, 山本章吾・柳井雅美・熊代幹夫, 1997, 岡山農試研究報告

- 15:1-13
- 16) 大中の湖干拓地における土壌養分状態と土壌・施肥管理, 2003, 滋賀農試研究成果情報
- 17) 笠岡湾干拓地の土壌改良に関する研究, 第1報圃場造成後の土壌理化学的の経年変化, 山本章吾・柳井雅美, 1996, 岡山農試研究報告14: 63-70
- 18) 土壌調査ハンドブック改訂版, 日本ペドロロジー学会編, 1997, 博友社
- 19) 土壌環境基礎調査における土壌, 水質及び作物体分析法, 農林水産省農蚕園芸局農産課編, 1979, 土壌保全調査事業全国協議会
- 20) 土壌機能モニタリング調査のための土壌, 水質及び植物体分析法, 2001, 日本土壌協会
- 21) 堆肥等有機物分析法, 2000, 日本土壌協会
- 22) 地力保全基本調査総合成績書 長崎県, 1978, 長崎県総合農林試験場
- 23) 圃場整備田における早期熟畑化に関する研究—飼料作物すき込みが土壌に及ぼす影響—, 甲谷潤・足立健夫, 1986, 京都農研報13: 1-11
- 24) 干拓地の営農確立をめざして—干拓地畑作営農対策指針— (平成元年度営農技術開発調査報告書), 1990, 農林水産省構造改善局計画部資源課
- 25) 熱帯マメ科作物の導入による底湿重粘土輪換畑の土壌改良, 伊藤滋吉, 1989, 総合農業の新技术: 238-244
- 26) 干拓地重粘土のセスバニアによる改良, 山本章吾, 1998, 圃場と土壌NO. 348: 30-35
- 27) 農業技術体系・土壌施肥編・土壌と根圏 V 塩素, 農文協: 171
- 28) 佐賀干拓地土壌の年代による各種成分の変遷について, 松尾英俊・後藤重義・桜井俊武・佐藤雄夫・井ノ子昭夫, 1961, 九州農試彙報7-3: 307-323
- 29) 干拓地土壌における間隙構造の発達と物理性の改善に関する研究, 佐藤照男, 1995, 秋田農業短大研究報告21: 1-69
- 30) 水田の土壌構造発達のための新しい耕作法とくに佐賀平野における水田乾田直播栽培確立の基礎的土壌物理性の解明, 井手一浩, 1980, 佐賀農試研究報告20: 63-81
- 31) 第2次増訂版農学大辞典, 野口弥吉・川田信一郎編, 1897, 816, 養賢堂
- 32) 干陸後の乾燥に伴う試験圃場の土層変化—笠岡湾干拓地の土層改善と適正除塩用水量の決定 (I)—, 天谷孝夫・長堀金造, 1988, 岡山大農学部学術報告72: 43-50
- 33) 干拓地の農業工学, 長堀金造, 1994, 大学教育出版, 116-117
- 34) 塩害対策技術指針, 1988, 福岡県農政部
- 35) 農業気象災害対策技術情報 (基礎技術編), 1993, 佐賀県農林部農産普及課 (農業専門技術員)
- 36) 新版原色作物の養分欠乏・過剰症, 高橋英一・吉野実・前田正男, 1980, 農文協: 191-195
- 37) 蔬菜の耐塩性に関する浸透圧の作用とイオンの特異的作用, 大沢孝也, 園芸32(3): 211-223
- 38) 土壌・水・作物体の診断に係る最新の測定技術—反射式光度計による土壌中硝酸濃度の簡易測定, 鈴木則夫, 2000, 日本土壌協会: 84-88
- 39) 圃場整備に伴う酸性硫酸塩土壌の改良, 池田一徹・三好利臣・夏秋道俊, 1988, 佐賀農試研究報告25: 1-36
- 40) 水底の底質, 特にヘドロの特性に関する研究, 米田茂男, 河内知道, 1972, 岡山大農学部学術報告40: 44
- 41) 諫早湾干拓事業環境モニタリング, 九州農政局, 平成13年度版, 13
- 42) 作土の構造維持に対する有機物の施用の効果—コンシステンシーに及ぼす影響—久保田徹, 1971, 日本土肥学会42(1): 7-11
- 43) 土壌改良資材施用による重粘土転換畑土壌の改良, 中野啓三, 1983, 北陸農試報告25: 88-90
- 44) 重粘土湿田の転換畑における二, 三の資材の土壌改良効果, 齊藤正志・渡辺毅・上田一雄, 1979, 福井農試報告16: 59
- 45) 昭和53~56年度地域農業複合化推進試験研究報告書, 1982, 佐賀農試・畜試: 21-23
- 46) 有機物施用による暗赤色土壌の生産力増強, 第1報, 永田茂穂, 古江広治, 森田重則, 林政人, 1992, 鹿児島農試報告書20: 137-144
- 47) 各種有機物資材の分解特性, 速見和彦, 1985, 研究成果166: 20-25, 農林水産技術会議事務局
- 48) 施肥有機物および土壌窒素放出量予測に基づく露地野菜畑の窒素施肥管理, 小野寺政行・美濃健一・三木直倫, 1998, 日土肥誌69: 79-84
- 49) 重粘土水田産タマネギの貯蔵性と栽培環境の関係, 第3報, 徳安雅行・森欣也・矢野綱之・

- 出井嘉光, 1987, 九州農業研究49:170
- 50) 八郎潟干拓地土壌のカリ含量の特徴と水稻の
カリ施肥基準, 金田吉弘・長野間宏・児玉徹,
1990, 研究時報28:22-26
- 51) 粘土質水田における亀裂形成メカニズムに関
する研究, 吉田修一郎, 2003, 中央農総研セン
ター研究報告2:1-61
- 52) 笠岡湾干拓地における暗渠の機能試験, 長堀
金造・天谷孝夫・高橋強, 1985, 岡山大農学部
学術報告65:53-68
- 53) 笠岡湾干拓地の土壌改良に関する研究, 第2
報暗きよによる排水および除塩効果, 山本章吾
・柳井雅美・高原清司・板野豊彦, 1996, 岡山
農試研究報告14:71-81
- 54) 青大豆「秋試緑1号, 2号」の特性と重粘土
転換畑に導入するための営農排水技術, 佐々木
和則・太田 健, 2000, 農業技術55号(3):129
-134
- 55) 笠岡湾干拓地における合理的な暗渠間隔の決
定, 天谷孝夫・長堀金造・高橋強, 1985, 岡山
大農学部学術報告65:69-77

Summary

Improvement of Soil physical and chemical properties by the Cultivation of Green manure and Compost Application at Early stages of Land Reclamation in the Isahaya Bay

Yasunao YAMADA, Toshihisa TERAJ, Yoshio OHTSU, Tomohiro MIYAZAKI, Shinya IINO,
Kazuyuki YAMASAKI, Youji KUROKAWA and Masaaki KOBAYASHI

To prepare farmland of 645 ha and reinforce protection from damage due to flood and high tide, the Isahaya-bay Sea Reclamation project aims to complete the reclamation in 2007 fiscal. It is a full-scale project to use the reclaimed land as upland fields. To do so, physical and chemical properties of the soil needed to be improved at its initial phase of land draining besides correcting the problems of high salt concentration and poor drainage. Hence, to establish the initial farm management in the upland fields, the effect of the cultivation and plowing-in of green manure crops and compost application had been studied since 2000 and the following conclusions were obtained.

- (1) A cropping system comprising feed corn, sorghum, and sesbania for the summer and Italian ryegrass and plants of genus *Hortem* for the winter was combined with farm management and drainage measures, such as mole drain. The combination speeded the drying process in the upper soil layer, lowered the gley layer to as low as 35-40 cm in two years (four croppings), and hardened the soil. The concentration of harmful, water-soluble chlorine ion declined to 100 mg/kg dry soil in the plowed soil layer.
- (2) The repeated cultivation and plowing-in of the green manure crops improved the soil in physicochemical properties, such as bulk density, liquid phase, total carbon, and total nitrogen.
- (3) Gypsum increased the amount of exchangeable calcium and bulk porosity in the plowed soil immediately after application but did not show clear effects in desalinization and the improvement of the physical and chemical properties. The cultivation and plowing-in of the green manure crops, and improved field drainage due to cracks were estimated to exert great influence.

- (4) A simple regression equation involving EC measured by non-dried soil and the concentration of water-soluble chlorine ion enabled the quick and simple judgment of the concentration of water-soluble chlorine ion and the risk of salt injury occurrence.
- (5) Cattle compost was smoothly decomposed into carbon and nitrogen compounds during the growth period of winter cabbage. Although the compost can be expected to release inorganic nitrogen compounds soon after application, the decomposition was slower than the decomposition of bark compost and halophile compost, requiring a longer time.
- (6) The cattle compost increased the fresh weight of sorghum, Italian ryegrass, and sesbania. Even when used singly, the bark compost and the halophile compost did not retard growth and showed improved soil porosity and increases in total carbon and available phosphate.
- (7) When the cattle compost was used continuously for two years, it increased the yield winter cabbage. When the bark compost and the halophile compost were used continuously for three years, they likewise increased cabbage yield and, at the same time, considerably improved the soil in bulk density, porosity, total carbon, and available nitrogen.
- (8) Available phosphate accumulated when a mixture of the cattle compost and the halophile compost was applied at 400 kg/a. The application of the cattle excrement compost at 200 kg/a/year was considered adequate for quick soil conditioning and sustained farm management.
- (9) The above results showed that the cultivation and plowing-in of the green manure crops and Application compost were effective for fast, complete conversion of reclaimed land into upland fields in that it improved the desalinization of the soil, field drainage, and the physical and chemical properties at the early stages of reclamation.



写真1 試験開始前の試験ほ場
(2000年7月)



写真2 緑肥作物の播種施肥作業

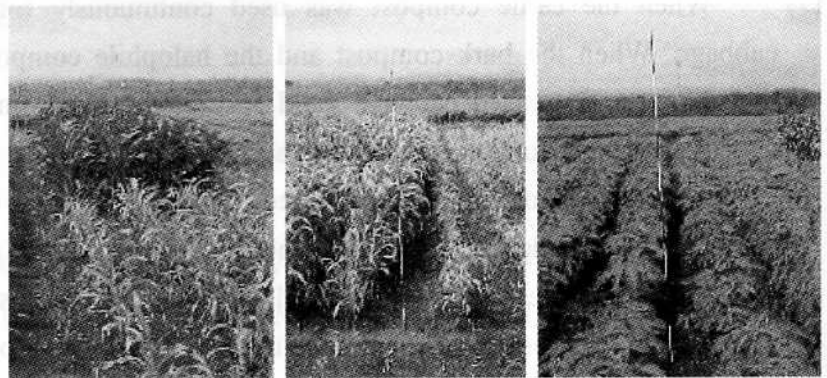


写真3 緑肥作物における無肥料と慣行栽培の比較
左から 飼料用トウモロコシ、ソルガム、セスバニア
(2001年9月)



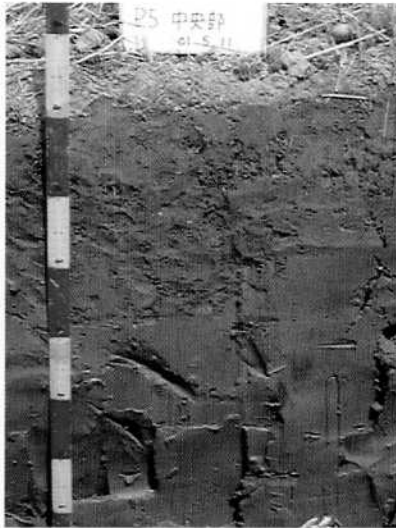
写真4 収穫期のソルガム



写真5 収穫期のセスバニア



写真6 セスバニアほ場に発生した亀裂
(2001年9月)

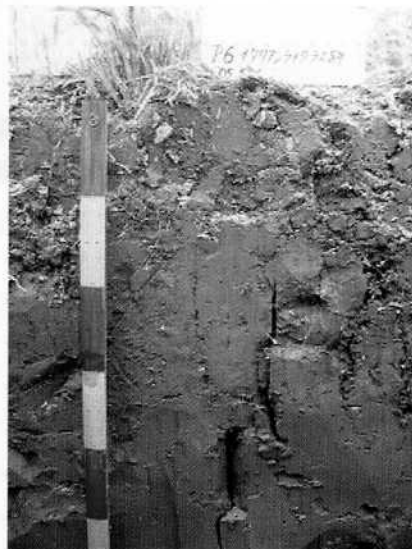
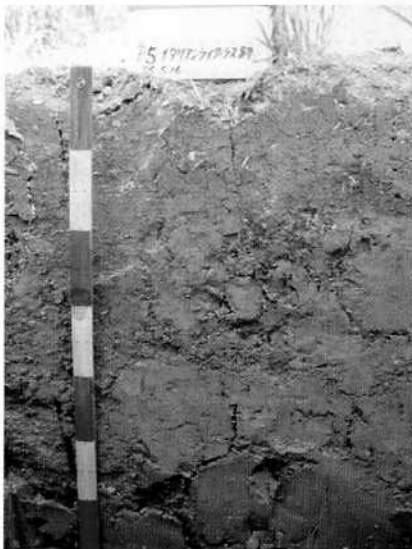


2001年5月(2作後) P5ほ場
ソルガム イタリアンライグラス収穫期

2002年5月(4作後) P3ほ場
トウモロコシ跡 裸麦収穫期

2002年10月(5作後) P3ほ場
裸麦跡 セスバニア収穫期

写真7 緑肥鋤込みほ場の土壌断面



石コウ施用区(P5ほ場)

石コウ未施用区(P6ほ場)

写真8 石コウ施用ほ場の5年後の土壌断面

2005年5月、イタリアンライグラス収穫期



写真9 弾丸暗きよの施工跡



写真10 キャベツを定植した堆肥連用試験ほ場(2003年10月)と収穫物