

## IV 土づくり

### 1 土づくりとは？

#### (1) 基本的な考え方

作物が生育するためには、光、温度、空気（酸素、二酸化炭素）、水、養分が必要不可欠であり、このうち、水と養分は主として根から吸収される。

土壌は作物が根を展開する空間を提供し、根を伸張させることで作物の地上部を支え、さらに、根を通じて作物に養分と水を供給している。土壌環境が根の伸張とその機能に適したものでなければ、根はこれらの機能を十分に働かすことはできない。このことから、土づくりとは「作物の根が十分に伸張し、機能できるように、土壌環境を整え、作物生産能力の向上をはかる」と定義できる。

土づくりによって土壌環境が改善されると、作物生育が安定し、収量の向上や安定化が図られる。また、土壌水分や窒素栄養の抑制によって品質が向上し、土壌の生物性を改善するとともに、不良な土壌環境によって引き起こされる湿害や土壌病害の発生を抑制することで、農薬使用量の軽減も期待できる。

#### (2) 土づくりの目的

土壌環境は、土壌の化学性、物理性、生物性に大別され、土づくりはこれらの性質を整えることを目的とする。

土壌の化学性改善は、土壌pHの適正化、作物が利用可能な養分や養分保持能、緩衝機能の増大を目的とする。物理性改善は通気性、保水性、透水性、易耕性等の向上を目的とし、根域の拡大、耕起作業が容易となる。生物性の改善は、土壌生物の生息密度や多様性を増加させ、投入された有機物を分解する機能の向上を目的とする。

#### (3) 本県主要土壌の改良

##### ア 黒ボク土

本県畑地の大部分を占める黒ボク土は、保水性や透水性が良く、ち密度（土の硬さ）が低く、耕起が容易であることから他の土壌に比べて物理性は良好である。一方、土壌の化学性に関しては、概して、活性アルミニウムを多量に含むことから土壌の有機物含量は多いものの、植物養分として重要なリン酸の吸着力が高い。このため、土壌改良としては、酸度矯正やリン酸質肥料の施用といった化学性の改善が主となる。

##### イ シラスを母材とする土壌

本県水田土壌の大部分はシラスを主な母材とする灰色低地土およびグライ土に分類される。シラス水田土壌は粗砂・細砂が多く、粘土に乏しく、陽イオン交換容量が小さい。また、全炭素、全窒素や交換性塩基含量等も少ない土壌である。しかも、温暖多雨な気象条件の下、有機物の分解と消耗、塩基類の溶脱が大きく、地力が消耗しやすい。このようなことから、シラス水田土壌では、土壌養分保持力および養分供給能の増大と、その持続性の向上を図るため、稲わらのすき込みや牛ふん堆肥などの有機物を積極的に施用することが重要である。

## ウ 奄美地域の重粘土壌

奄美地域の農耕地には粘土含量の多い、暗赤色土や赤黄色土が広く分布する。暗赤色土は粘着性が強いことや乾燥によって硬化するため耕うんしにくい。また、透水性が大きく、保水性が小さいため干ばつ害を受けやすいなどの性質がある。加えて、石灰岩を母材とするために、土壌反応は中性からアルカリ性にある。石灰含量は多く、腐植やリン酸は乏しく、有機物やリン酸質肥料の施用が必要である。

一方、赤黄色土は粘着性が強く、乾燥すると著しく固結する。保水性は中庸であるが、透水性は小さく、湿害を受けやすい。土壌反応は酸性で、腐植やリン酸は乏しいため、酸度矯正に加え有機物やリン酸質肥料の施用が必要である。

### (4) 作物の生育に必要な養分

植物体に含まれる元素は非常に多く、種類によっても異なるが、植物の種類によっては50～60を超える元素が発見されている。この中で、生体の維持や生長に必ず必要な元素は16種類で、必須元素といわれる。表Ⅳ-1-(4)-1に『植物必須元素一覧』を示す。なお、ケイ素(Si)は必須元素ではないが、水稻中には多く含まれ、稲の健全な生育とも関係しており、準必須元素的に扱われることがある。一般に植物は窒素、リン、カリウムを特に多く必要とし、土壌中でも不足しやすく、三要素と言われる。

表Ⅳ-1-(4)-1 植物必須元素一覧

元素と吸収形態		主な生理作用
酸素 (O)	H <sub>2</sub> O	呼吸作用上不可欠
	CO <sub>2</sub>	水、炭酸ガスの構成要素
	O <sub>2</sub>	澱粉、脂肪、蛋白質、繊維など植物構成成分中の主要元素
水素 (H)	H <sub>2</sub> O	水として植物体内中のあらゆる生理作用に関与
	H <sup>+</sup>	葉緑素体内で水を分解して作られる
	OH <sup>-</sup>	酸素と同様、多くの有機化合物の構成元素
炭素 (C)	CO <sub>2</sub>	空気中の炭酸ガスを吸収同化(光合成作用)
	CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	酸素と同様有機化合物合成上不可欠
	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	一部呼吸作用の最終生成物炭酸ガスとして放出
窒素 (N)	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	原形質の主成分である蛋白質構成元素
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	光合成に必要な葉緑素、各種体内代謝を促進する酵素、ホルモン、細胞分裂、遺伝にあずかる核酸など植物体中で重要な働きをする物質の構成元素。生育を促進し、養分吸収、同化作用を盛んにする
リン (P)	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	光合成、呼吸作用、糖代謝などの中間生成物として重要
	HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	ATP、ADPとして植物体内エネルギー伝達に重要
	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	重要な生理作用に関与する核酸、酵素の構成元素 一般に植物の生長、分げつ、根の伸長、開花、結実を促進

表IV-1-(4)-1 植物必須元素一覧（前ページからつづき）

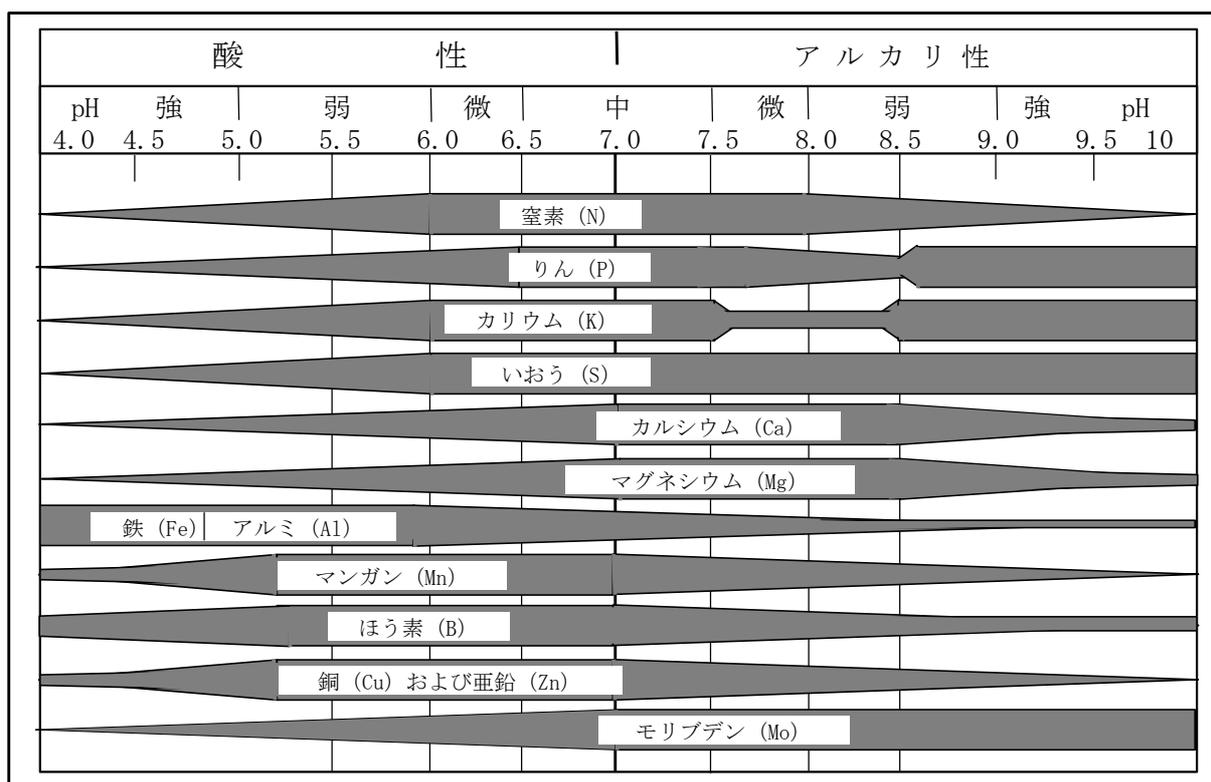
元素と吸収形態	主な生理作用
カリウム (K) $K^+$	光合成や炭水化物の蓄積と関係を持ち、日照不足時の施用効果が 大硝酸の吸収、体内での還元、蛋白質合成に関係 細胞の膨圧維持による水分調節(冷害抵抗性の増大)、病虫害抵抗性の 増大、開花結実の促進
カルシウム (Ca) $Ca^{2+}$	ペクチン酸と結合し、植物細胞膜の生成と強化に関係 有機酸など有害物質の生体内中和、 根の生育を促進
マグネシウム (Mg) $Mg^{2+}$	葉緑素の構成元素、リン酸の吸収、体内移動に関与する 炭水化物代謝、リン酸代謝に関係する多くの酵素の活性化 酵素の構成元素
硫黄 (S) $SO_4^{2-}$ $SO_3^{2-}$	タンパク質、アミノ酸、ビタミンなどの生理上重要な化合物をつく り、植物体中の酸化、還元、生長の調整などの生理作用に関与 植物体中の特殊成分の形成(シニグリンなど)炭水化物代謝、葉緑素の 生成に間接的に関与
鉄 (Fe) $Fe^{2+}$ $Fe^{3+}$	葉緑素の生成への関与、植物体内で銅、マンガンなどと拮抗作用 鉄酵素として生体内の酸化、還元反応に関与
マンガン (Mn) $Mn^{2+}$	葉緑素の生成、光合成、ビタミンCの合成に関与 酸化還元酵素の活性化
ホウ素 (B) $BO_3^{3-}$	水分、炭水化物、窒素代謝に関与、酵素作用の活性化 カルシウムの吸収、転流に関与し、細胞膜ペクチンの形成と通導組 織の維持
亜鉛 (Zn) $Zn^{2+}$	酵素の構成元素として、またその働きを活性化し生体内の酸化還元を 触媒するオーキシン先駆物質トリプトファン生成に関与 鉄、マンガンを拮抗作用
モリブデン (Mo) $MoO_4^{2-}$	植物体内の酸化還元酵素の構成元素であり、根粒菌の窒素固定、硝酸 還元に関与。ビタミンCの生成に関与
銅 (Cu) $Cu^{2+}$	植物体内の酸化還元に関与する銅酵素の組成成分 葉緑素の形成に間接的に関与 鉄、亜鉛、マンガンを、モリブデンと相互作用
塩素 (Cl) $Cl^-$	光合成中明反応と密接な関連 澱粉、セルロース、リグニンなど植物体内構成成分の合成に関与
(準必須元素) ケイ素 (Si) $SiO_4^{4-}$	イネ科植物、特にイネの珪化細胞が増加し、耐病、耐虫性が増大 茎葉が丈夫になり、耐倒伏性が増大

### (5) 養分の溶解性・可給性

多くの作物は弱酸性から微酸性を好むが、好適pHは作物の種類によって異なる。日本は降水量が多く、土壌のカルシウムやマグネシウムなどのアルカリ分が流亡しやすいため、酸性になりがちである。しかし、今日では施設園芸を中心に石灰質肥料や有機物などの多施用により、アルカリ側に偏った土壌も多くみられるようになった。

土壌が酸性あるいはアルカリ性に偏り過ぎると、図IV-1-(5)-1のように土壌中の肥料成分の溶解性や可給性が変わり、作物に肥料成分による過剰障害や欠乏障害が発生することがある。土壌が酸性化すると、アルミニウム・鉄の溶解性が高まり、作物にこれらの成分による過剰障害が発生したり、溶解したアルミニウムと鉄がリン酸と結合し、不可給化するため、リン酸欠乏が発生したりする。また、モリブデンが不可給化するため、作物にモリブデン欠乏が発生することもある。一方、土壌がアルカリ化すると、鉄・マンガン・ホウ素・銅が不可給化するため、作物にこれらの成分の欠乏症が発生したり、リン酸の可給性が低下するため、リン酸欠乏が発生したりする。

したがって、土壌診断で土壌のpHを測定し、栽培する作物の好適pHに合わせて改良することが重要である。



図IV-1-(5)-1 土壌pHと肥料成分の溶解性・可給性

注) 出典：トルオーグ，1949

## 2 土づくりの基本的な方法

### (1) 地力維持のための手段

適切な作物生産を行うためには、地力に関わる土壌の化学的、物理的、生物的性質を維持増進させることが重要である。そのための手段を表IV-2-(1)-1に示した。また、土壌の化学的、物理的、生物的性質とその改善法について以下に述べる。

表IV-2-(1)-1 地力要因と地力維持手段

地力維持手段		有機物施用		輪作	地力増進作物	客土・深耕	水管理	土壌改良資材	土づくり肥料	化学肥料	有機質肥料	緩効性肥料	施肥方法
		低いもの C/N比の	高いもの C/N比の										
地力要因		鶏ふん等	堆肥・ 堆肥・ 堆肥等		クローバー・ ゴバー等		かんがいや排水	泥炭・ ゼオライト等	炭酸・ ようりん等 ケイカル		骨粉・ なたね粕等	被覆肥料等	側条施肥等
化学性	1 養分の供給量	○	○		○		○		○	○	○		
	2 養分の持続的供給	○	○		○	○	○		○		○	○	○
	3 環境変化を和らげる（緩衝能）		○		○	○	○	○	○				
	4 毒性物質の除去		○				○	○					
物理性	1 保水性・透水性・通気性の改善		○		○	○	○	○					
	2 耕し易さ		○		○	○	○	○					
	3 風や雨に対する耐性		○	○									
生物性	1 有機物分解や窒素固定の促進		○	○	○		○	○	○				
	2 病原菌や害虫の抑制		○	○	○		○					○	

注) 栃木県農作物施肥基準を一部改変

### (2) 化学的性質とその改善法

土壌の化学性はpHや養分含量、養分保持力等に関わるものである。作物は一般的に弱酸性から微酸性の土壌pHでよく生育するが、作物により好むpHは異なる。土壌の養分含量は作物の生育に大きく影響し、不足すると肥料などで補う必要がある。土壌の養分保持力が小さいと土壌の養分が降雨などで流亡しやすくなる。黒ボク土壌では、リン酸固定によって可給態リン酸含量が少ない等の特徴を有する。

これらの土壌化学性は、土づくり肥料や家畜ふん堆肥など有機物の施用によって改善される。土壌pHの矯正には、各種石灰質肥料の施用が欠かせない。ゼオライト等の土壌改良資材、繊維質や木質系由来堆肥の施用は土壌の陽イオン交換容量（CEC）を増大させ、養分の保持能を増加させるとともに、緩衝機能を向上させる。また、家畜ふん堆肥など有機物を施用すると、化学肥料では作物の要求に見合った供給の難しい微量必須元素も供給できる。

### (3) 物理的性質とその改善法

土壌は固体、液体、気体から構成され、それぞれ固相、液相、気相という。作物根に最も必要なものは土壌空気（気相）と土壌水分（液相）で、これらを合わせた部分は土壌孔隙という。

土壌の物理性が改善されると、土壌の団粒化が進んで軟らかくなる。団粒化は粘土や腐植などからなる土壌粒子が塊をつくって大きな粒子を作っている状態で、小粒子間には毛管現象で水が保たれ、大きな粒子間には空気が満たされている。土壌が団粒構造になると、土壌中の孔隙量が増加し、通気性と排水性が良好となる。団粒構造が発達して土が軟らかくなれば、作物の根がよく伸張して養分や水分の吸収能力が高まり、耕うんも容易となる。

物理性は家畜ふん堆肥など有機物や土づくり資材の施用、深耕・心土破碎耕の実施、暗きよや排水溝の施工等で改善される。排水・砕土不良の改善には深耕、心土破碎耕、暗きよや弾丸暗きよの施工、繊維質・木質系由来堆肥の施用が基本的に必要である。水分保持力の改善にはベントナイト、パーライト等の土壌改良資材の施用が有効である。

### (4) 生物的性質とその改善法

土壌中に施用された家畜ふん堆肥など有機物は土壌に生息している小動物、微生物のエサとなり、次々に利用され分解されていく。その過程でアミノ酸など作物生育に必要な物質が生産される。また、有機物の分解から生成される腐植物質は土壌粒子を連結させ団粒構造の生成を促進させる。土壌微生物の中には、根粒菌やVA菌根菌のように植物と共生し、窒素やリン酸を作物に供給するものもいる。

このような土壌生物の機能・生息密度や多様性等は、堆肥等の微生物のエサの施用や一部微生物資材の施用によって、改善・維持・向上される。

### 3 家畜ふん堆肥を活用した土づくり

#### (1) 本県で発生する家畜排せつ物

本県において発生する家畜の排せつ物量は年間5,904千トンにも及ぶため、その有効活用は重要である（表IV-3-(1)-1）。このため、本県では、健全な土づくりや化学肥料の使用低減を図るために、家畜排せつ物を堆肥化して利用することを推進しており、発生量の約74%（4,344千トン）は農地還元などの農業用に利用されている。また、平成13年に設立された「鹿児島県農業環境協会堆肥部会」では、良質堆肥の生産技術や利用技術、利用促進方策等を図っている。

家畜ふん堆肥の施用効果には、作物に養分を供給する効果（肥料的効果）、土壌の物理性、生物性、化学性を改善する効果（土づくり効果）がある。

表IV-3-(1)-1 県内の家畜排せつ物量（平成24年度）

畜種	戸数	飼養頭羽数	家畜排せつ物量（トン）	割合（%）
乳用牛	246	16,282	232,748	3.9
肉用牛	11,077	328,811	2,400,320	40.7
豚	712	1,334,192	2,760,051	46.7
採卵鶏	290	11,606,800	281,053	4.8
ブロイラー	535	25,583,486	224,111	3.8
馬	86	844	6,161	0.1
計	12,946	38,870,415	5,904,444	100

注）県畜産課調査より引用

#### (2) 家畜排せつ物の種類別成分

家畜排せつ物の成分含量は、家畜の種類、体重、飼料の種類や量、飼養形態などの条件により変動することから、その含量を正確に把握することは難しい。一般に、牛ふんは、肥料成分が少なく、繊維質に富み炭素率が20前後である。鶏ふんは、窒素、リン酸、カリ等の肥料成分が多く、炭素率が8前後である。豚ふんは、それらの中間で、比較的リン酸含量が多く、炭素率は10～15である。家畜排せつ物は、そのままでは取り扱いは難しく、農耕地への直接施用は作物に対して障害を及ぼす。したがって、十分に堆肥化した良質堆肥を農地に施用する必要がある。

表IV-3-2 家畜排せつ物の無機成分含量

(乾物%, 草地試験場, 1983)

	乾物率	T-C	T-N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O
牛	19.9 (26.3)	34.6 (22.3)	2.19 (15.4)	1.78 (11.9)	1.76 (36.5)	1.70 (18.0)	0.83 (24.6)	0.27 -
豚	30.6 (24.1)	41.3 (0.4)	3.61 (17.3)	5.54 (18.0)	1.49 (54.4)	4.11 (35.5)	1.56 (39.6)	0.33 (53.6)
採卵鶏	36.3 (42.3)	34.7 (21.5)	6.18 (21.5)	5.19 (28.8)	3.10 (9.8)	10.98 (25.5)	1.44 (21.6)	- -
ブライヤー	59.6	-	4.00	4.45	3.0	1.60	0.77	-
		-	-	-	-	-	-	-

注) 1. 下段カッコ内は変動係数

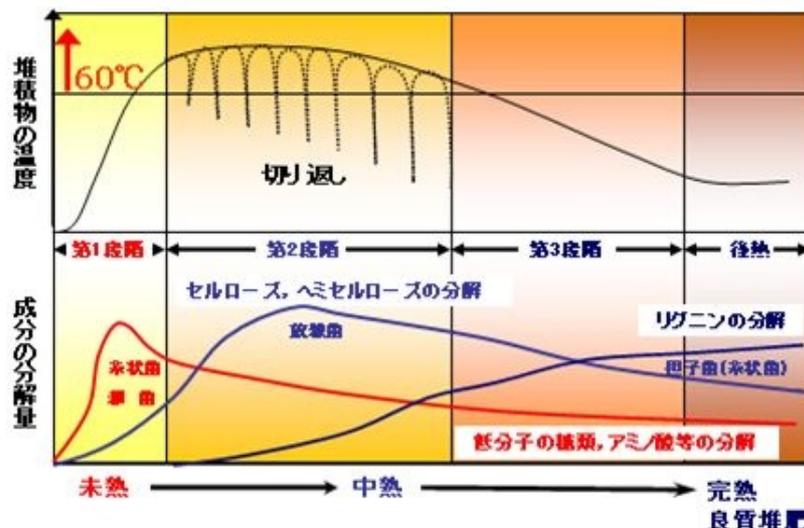
2. 家畜ふん尿処理利用研究会資料 農林水産省農業研究センター他 平成8年11月

### (3) 家畜排せつ物の堆肥化の目的

家畜排せつ物を堆肥化する目的は大きく分けて4つある。一つ目は、生の家畜ふんをそのまま土壌に混合すると、直後から易分解性有機物の微生物による分解が行われる。このことに伴い、土壌中は酸素不足や高温状態になり、播種や植え付け時に種苗がダメージを受けることになる。堆肥化を行えば、その過程で有機物の多くが分解されるので、この様なリスクが低くなる。なお、炭素率(C/N比)が高い稲わら等有機物の施用では、微生物が増殖するために土壌中の窒素が使われ、一時的に窒素飢餓の状態になるため、これらは堆肥化によって炭素率を下げる必要がある。二つ目は、堆肥化過程で家畜排せつ物に含まれる作物にとって有害な成分をあらかじめ分解し、障害を未然に防ぐことである。三つ目は、堆肥化過程での品温の上昇に伴う雑菌、不要菌の排除であり、堆肥化時の高温は移入雑草種子の発芽能力をなくすことにもつながる。四つ目は、家畜排せつ物の汚物感をなくし、取り扱いやすくすることである。

### (4) 家畜排せつ物の堆肥化のポイント

堆肥化は、微生物の働きによって家畜排せつ物を上述の目的に合致するよう分解することである。堆肥化において重要なのは、微生物活動が十分に行われるように炭素率、水分含量、酸素の供給量を適切にすることである。炭素率が高すぎると堆肥化が進まないため、窒素を添加する必要があるが、家畜排せつ物ではこの必要はない。家畜排せつ物の水分含量は比較的高いので、これを低下させることが最も重要である。牛ふんでは、広葉樹のオガクズなどを加えて水分を調整する場合が多い。水分含量が適正でも酸素が供給されないと好気性の微生物活動が緩慢になるため、切り返しなどを行う必要がある。堆肥化過程においては、初期に低分子の糖やアミノ酸などが分解され、次いで品温が上昇した発熱期にセルロースやヘミセルロースが分解される。堆肥の品温が低下した後、リグニンが分解される。分解が進むほど作物に対する安全性は高まる。



図IV-3-(4)-1 堆積物の腐熟過程における温度変化と成分の分解過程

### ア 堆肥化の条件

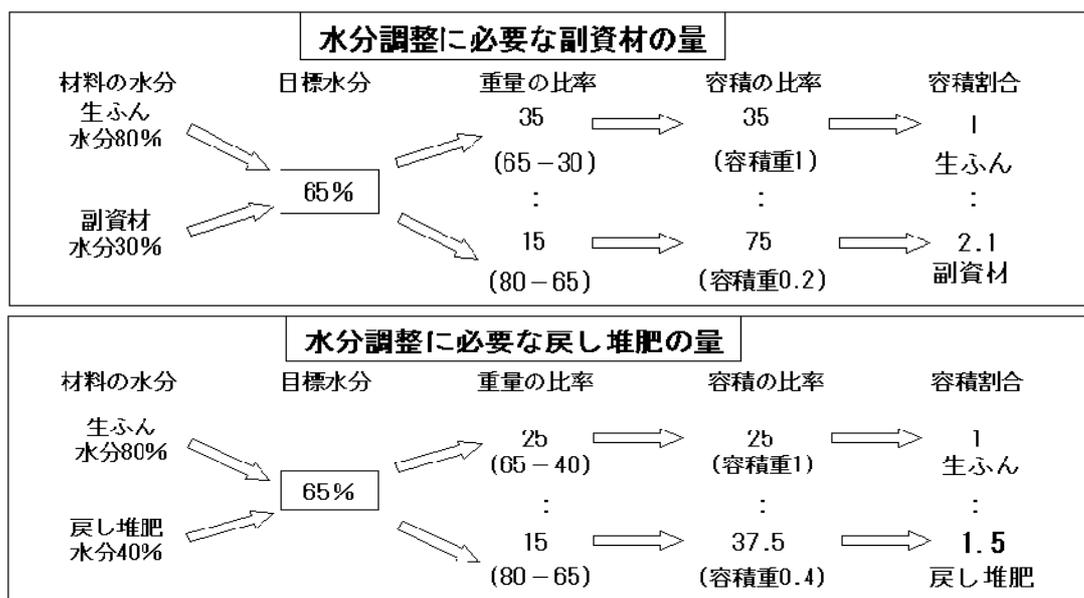
家畜ふんを体積しているだけでは、熟度の高い堆肥はできない。腐熟の進んだ良質な堆肥を製造するには栄養分、水分、空気（酸素）、微生物、温度、時間の6つの条件を満たす必要がある。

#### (ア) 栄養分

家畜ふん中には有機物が十分含まれ、微生物の栄養源として分解利用される。炭素と窒素の比を表す炭素率（C/N比）はバーク、稲わら等に比べ低く、窒素が多い。

#### (イ) 水分

牛ふんおよび豚ふんは水分が70～85%と高いため、予備乾燥したり、副資材（オガクズ、もみがら、戻し堆肥など）を混ぜて、水分を50～60%にし、通気性を良くする。逆に、乾燥された鶏ふんは加水する必要がある。なお、堆積物の過乾は微生物の活動を低下させる。



図IV-3-(4)-2 堆肥化時の水分調整

(ウ) 空気（酸素）

家畜ふんの分解は、まず、酸素を必要とする好気性の微生物が働く。したがって、通気性が良くなるように堆積し、適度な切り返し等を行う。

(エ) 微生物

家畜ふん中には多種多様な微生物が存在する。堆肥化の過程でこれらの微生物群が関わり、主役となる微生物のグループが交代しながら堆肥化が進行していく。水分調整も兼ねて戻し堆肥を使う方法は、微生物の添加手段として有効である。

(オ) 温度

空気が十分にある好气的条件下では、微生物が盛んに家畜ふん中の有機物を分解して発熱し、堆積物の温度が60℃を超える。乾燥と発酵の違いはこの温度の上昇である。蓄熱効果を上げるためには、ある程度の堆積の高さが必要で、熱を奪う過度の通気、攪拌は避ける。なお、温度が60℃以上になると、病原菌、寄生虫、雑草の種子等は死滅する。

(カ) 時間

家畜ふんを腐熟させるためには、十分な時間が必要である。堆積期間の目安は副資材などによって異なる。大まかな目安は、以下のとおりである。

原料が家畜ふんだけの場合：2か月

もみがら、稲わら等の植物質が混ざっている場合：3か月

オガクズ、バーク等の木質物が混ざっている場合：6か月

イ 堆肥化を促進させる方法

良質な堆肥を製造するためには、「堆肥化の条件」を整える堆積物の環境づくりが重要である。

(ア) 通気性（物性）の改善

通気性を改善するためには水分を調整する必要がある。畜舎内での乾燥、天日乾燥、副資材添加、固液分離機による液分離等の方法がある。水分調整材としては、ノコクズ、バーク、もみ殻、戻し堆肥等が利用されている。堆積物の水分の目安は牛ふんが約60%、豚ふんが50~60%、鶏ふんが40~50%である。

(イ) 強制通気

きめ細かな切り返しは、堆積物の通気を良くし、発酵を促進させる。強制通気による方法は通気量が多すぎると、堆積物の温度を過度に低下させ、発酵がうまくいかないことがあるため、通気量は50~300L/分・m<sup>3</sup>を目安とする。

(ウ) 攪拌・切り返し

堆積物の温度が低下したら切り返しを行う。堆積物内部を均一に発酵させる上でも重要な工程である。なお、切返しを行っても温度上昇を認めなかったら、堆積終了と考えて良い。

## (エ) 水分

発酵熱によって堆積物の含水率が低下する。含水率の低下は、微生物活動を緩慢にさせるため、繰り返し時に加水する。

## (5) 家畜ふん堆肥の腐熟度の判定

家畜ふん堆肥は絶えず腐熟が進行している状態であるため、農耕地へ施用すると、農作物に対して何らかの悪影響を与える危険性がある。そこで、製造された家畜ふん堆肥がどの程度まで腐熟しているのかを判定する必要がある。

ここでは、各種の腐熟度の判定方法から、比較的容易に行えるものを選び、その方法を説明する。一つだけの判定方法では、腐熟度の評価が難しいため、複数を組み合わせた判定が望ましい。

### ア 現場で行う判定

#### (ア) 堆肥の色

堆積物は堆肥化が進むと黒褐色の腐植様物質が生成され、製品は黒色をおびてくる。堆積物の色の变化を腐熟度判定に利用する。

##### a 用意するもの

トレイ、霧吹き、カラースケール（事前に作成し、堆積物の色を統一しておく）

##### b 方法

堆肥の各部位をサンプリングし、色あいを観察する。過乾燥の場合は、霧吹きを使用すると判定しやすい。

##### c 腐熟の判定

腐熟が進むと色が黒くなるので、その程度で判定する。

未熟：茶褐色～褐色，中熟：褐色～黒褐色，完熟：黒褐色～黒色

畜種によって堆肥の色は異なり、特に豚ふん堆肥は堆肥化に伴い黒色が強まる。

#### (イ) 堆肥の手触り

堆肥化の進行によって、ふんおよび副資材中の有機物が分解され、繊維分等が破壊されてゆく。この状態を手触りで判定する方法である。

##### a 用意するもの

トレイ

##### b 方法

ふんおよび副資材の塊の有無、ふんおよび副資材の形状を確認する。また、堆積物を指でねじり、形状の崩れ具合、長い繊維質のちぎれ具合を観察する。

##### c 腐熟の判定

腐熟の進行に伴い、指で力を入れると崩れやすくなり、わら等の植物質を多く含む堆肥では、もむと崩れるようになる。

未熟：材料の原形をかなり認める

（ふんの形状や塊が確認できる 副資材もほとんどそのまま崩れにくい）

中熟：材料がかなり崩れる

ふんの形状，塊はほとんど認めない

副資材の原形は残っているが，手で触ると崩れやすい

完熟：材料の原形をほとんど認めない

(ふんおよび副資材ともに原形を認めない)

(ウ) 堆肥の臭気

未熟な堆肥はアンモニアなどの悪臭を発する。完熟した堆肥は無臭に近い状態になり，特有の堆肥臭を発する。この臭気を判断して判定する方法である。

a 用意するもの

密閉容器（サンプル瓶）

b 方法

堆積物の各部位をサンプリングし，臭いを嗅ぐ。

(密閉容器内に数分間臭気を充満させると判定しやすい)

c 腐熟の判定

未熟な堆肥では，主にアンモニアに由来する強い刺激臭がある。さらに，硫化水素による強い刺激臭，カプタン類による卵が腐ったような臭いが感じられる場合は，嫌気発酵が行われた可能性が高い。また，バーク堆肥では特有な芳香，すなわち木の香が残った臭いを発する。この状態の堆肥はまだ未熟である。

未熟：ふん尿の臭いが強い

(アンモニア臭，嫌気性発酵臭等の刺激臭が強い)

中熟：ふん尿の臭いが弱い

(アンモニア臭，嫌気性発酵臭等の刺激臭が弱い)

完熟：ふん尿の臭いが全くしない

(刺激臭がしない，堆肥臭)

(エ) 堆積物の温度

堆肥化の過程では，微生物の増殖に伴って堆積物の温度が上昇し，その後，微生物の死滅に伴って温度は低下する。切り返しを行えば再び上昇するが，腐熟が進むにつれ，この傾向は小さくなる。この現象を利用して腐熟度を判定する方法である。

a 用意するもの

温度計：深さ50cm程度まで測れるもの

b 方法

堆積物のほぼ中央部，表面から約50cm位置の温度を測定する。常に，一定の位置を測定することが望ましい。

c 腐熟の判定

切り返しを行っても温度の上昇がみられなくなると，完熟に近い状態と考えてよい。しかし，切り返し時に水分含量の過湿および過乾の場合にも温度上昇が妨げられる。

## イ 実験室で行う判定

### (ア) 二酸化炭素発生量

多種多様な微生物の活動によって、堆肥化中の有機物は分解される。堆積当初はタンパク質など窒素化合物が分解され、アンモニア態窒素が多量に生成する。その後、アンモニア酸化菌、亜硝酸酸化菌の作用によって酸化され、アンモニア態窒素は次第に減少し、これに代わって酸化生成物である硝酸態窒素が増加する。これら微生物の活動時は二酸化炭素濃度が上昇し、微生物活動の低下に伴ってガス濃度は低下する。



図IV-3-(5)-1 二酸化炭素発生量の測定法

#### a 用意するもの

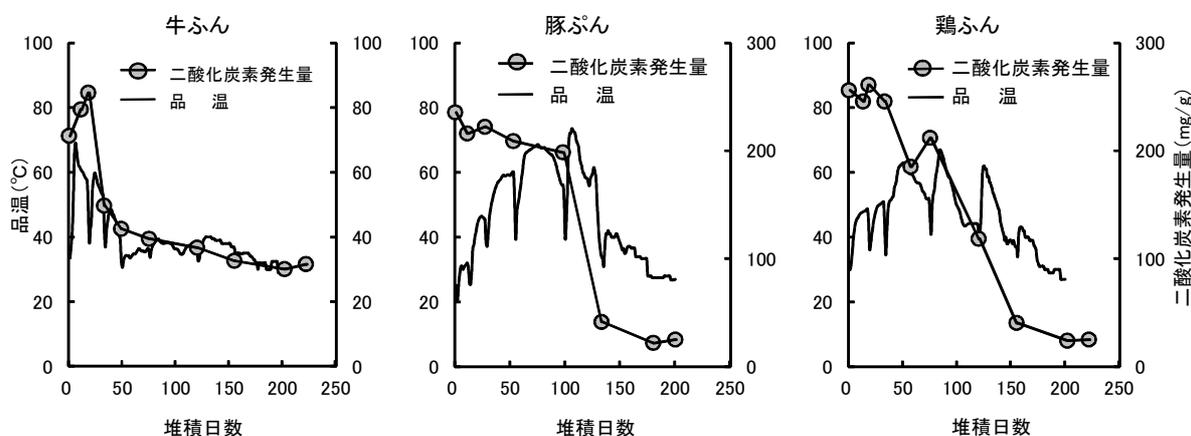
試薬瓶、二酸化炭素検知管、シリンジ、三方コック、ゴム栓、定温器、硫酸アンモニウム

#### b 方法

風乾した黒ボク土壌10gと風乾後粉碎した堆肥0.5gを試薬瓶に入れて混和後、硫酸アンモニウム水溶液4.5ml（硫酸アンモニウム9.52g/蒸留水1L）を加える。これを30°Cで4日間培養した後、ガス検知管を用いて二酸化炭素濃度を測定する。

#### c 腐熟の判定

堆肥化過程では、有機物が分解されて二酸化炭素が発生する。この二酸化炭素の発生量で堆肥の腐熟度を評価する。家畜ふんは易分解性有機物の分解が進むと、微生物の呼吸量が小さくなり、二酸化炭素の発生量が減少し、堆肥の腐熟が進む。



注) 堆積開始時と終了時のC/Nは牛ふん22.0→14.8、豚ふん11.5→10.0、鶏ふん8.48→5.99であった

図IV-3-(5)-2 家畜ふんの堆肥化過程における品温、二酸化炭素発生量の推移

#### (イ) 炭素率

炭素化合物、窒素化合物は堆肥化に伴い分解されるが、その分解スピードが異なるため、炭素率 (C/N) に差異が生じる。堆肥化が進むと、炭素率が低下する現象を利用した判定法である。

##### a 用意するもの

窒素・炭素自動分析計，全炭素：チューリン法，全窒素：ケルダール分解法

##### b 方法

- ① 試料は乾燥微粉碎堆肥を用いる。
- ② 50～500mgを秤取り，各々の方法によって全炭素，全窒素を測定する。
- ③ 全炭素と全窒素の分析結果から炭素率を求める。

##### c 腐熟の判定

一般に，炭素率が25以上なら未熟，10～20なら完熟に近いと判断できる。しかし，畜種，副資材の混入割合等によって異なるため，堆積の開始時と終了時を比較し，はじめて精度の高い腐熟度の判定ができる。畜種別では牛ふん堆肥が15～20，豚ふん堆肥が10～15，鶏ふん堆肥が10前後で完熟と判断される。

#### (ウ) 無機態窒素含量

堆肥化過程の初期は有機物の分解によってアンモニア態窒素含量が増加し，後期には微生物の活動によって硝酸態窒素含量が増加する。この現象を利用した方法である。

##### a 用意するもの

200mLポリビン，RQフレックス，アンモニア試験紙，硝酸試験紙，ケルダール蒸留法等の利用

##### b 方法

- ① 現物堆肥10gをポリビンに採り，純水100mLを加える。
- ② 手で数十回振とうし，30分ほど静置する。
- ③ 上澄み液に各々必要な試験紙を浸け，発色をみる。または，ケルダール蒸留法によってアンモニア態窒素および硝酸態窒素を定量する。

##### c 腐熟の判定

硝酸態窒素含量が多いほど，また，アンモニア態窒素含量が少ないほど腐熟が進んでいると考えてよい。これら無機態窒素含量は畜種によって異なり，一般に牛ふんを主体とした堆肥では少なく，豚ふんおよび鶏ふんを主体とした堆肥では多い。

#### (エ) pHおよびEC

pHとECの変化から堆肥化を把握する方法である。

##### a 用意するもの

pHメーター，ECメーター，200mLポリビン

##### b 方法

- ① 現物堆肥10gをポリビンに採り，純水100mLを加え，30分間振とうする。
- ② pHメーターでpHを測定する。
- ③ ECメーターでECを測定する。

c 腐熟の判定

堆肥化過程でアンモニアが発生し、堆肥はpH 8以上のアルカリになる。腐熟が進むに伴い、アンモニアが硝酸に変化し、pHは低下し、ECは上昇する。この変化から腐熟度を判定する方法であるが、材料によってこの変化は異なる。堆積の開始時と終了時における堆積物のpH、ECを比較することが望ましい。

(オ) シャーレ発芽試験

堆肥化過程で発生する生育阻害物質の有無をこまつな等の幼植物の発芽状況から腐熟度を判定する方法である。

a 用意するもの

コマツナ種子(だいこん、キャベツ可)、シャーレ、サンプル瓶200~500mL容、ろ紙、純水、発芽試験シート

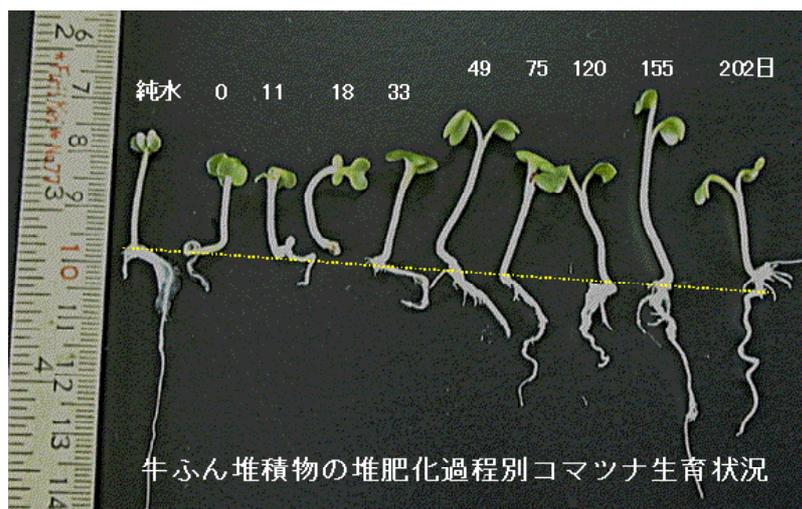
b 方法(例)

- ① 堆肥(新鮮物) 5.0gをサンプル瓶に入れる。
- ② サンプル瓶に純水を加え(牛ふん堆肥, 混合堆肥; 150mL, 豚ふん堆肥; 270mL, 鶏ふん堆肥; 380mL), 30分振とう後, ろ過する。
- ③ 発芽試験シートにこまつな種子50粒を播種する。
- ④ ろ液10mLを, シャーレ(発芽試験シートの下にろ紙を敷く)に添加する。
- ⑤ 暗黒条件下で培養する。
- ⑥ 対照(純水添加)の発芽率が概ね80%以上となった時点で, 発芽率を調査する。

c 腐熟の判定

下記の発芽率の指数が高いほど作物に対する安全性が高い。

$$\text{発芽率の指数(\%)} = \text{堆肥抽出液の発芽率} \div \text{対照(純水)の発芽率} \times 100$$



図IV-3-(5)-3 牛ふん堆積物の堆肥化過程別コマツナ生育状況

## (6) 畜種別家畜ふん堆肥の特性

家畜ふん堆肥の特性は、原材料の種類とその混合比によって大きく異なる。また、堆積期間の長短による腐熟度の差異によっても、その特性が違ってくる。

### ア 牛ふん堆肥

牛ふん堆肥は豚ふん堆肥、鶏ふん堆肥と比較すると、窒素、リン酸、カリ含量が少ない傾向で、窒素などの有機物分解の遅いことが大きな特徴である。これは、牛ふん堆肥中にリグニン含量が多いからである。このため、他の畜種に比べ、窒素などの肥効が持続的で、土壌物理性の改善効果が大きい。

### イ 豚ふん堆肥

豚ふん堆肥は牛ふん堆肥に比べ、各成分含量が多い。一般に、豚ふん堆肥は牛ふん堆肥と鶏ふん堆肥の中間的な性質を示す。したがって、作物に対する一作での肥料的効果および土壌への有機物供給の両面が期待でき、有機質資材としては有望である。また、土壌施用した場合でも、牛ふん堆肥に比べ有機物の分解が速い。

### ウ 鶏ふん堆肥

鶏ふん堆肥は牛ふん堆肥、豚ふん堆肥に比べると、易分解性の窒素が多いために、肥効が速効的である。窒素、リン酸、カリが多量に含まれているのが特徴である。採卵鶏ふん堆肥はブロイラー鶏ふん堆肥に比べ、窒素、リン酸、カリ、石灰含量が多い。特に、石灰は顕著に多い。

表Ⅳ-3-(6)-1 家畜ふん堆肥の化学性事例 (新鮮物当たり)

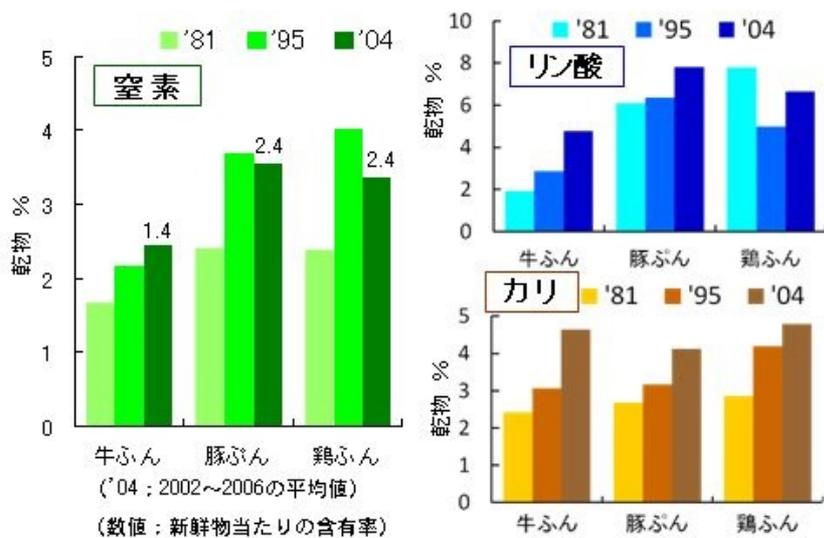
項目 種類	水分	T-C			C/N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>			
		T-C	T-N	(%)		K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	(%)
牛ふん主体堆肥	42.2	15.4	1.4	11.0	2.7	2.6	2.4	0.9	
豚ふん主体堆肥	32.5	11.0	2.3	4.8	5.2	2.7	5.3	1.3	
鶏ふん主体堆肥	28.0	9.1	2.4	3.8	4.7	3.4	10.2	1.2	

注) 鹿児島県良質堆肥生産利用推進協議会の堆肥コンクールへの出品堆肥平均値 (H14~H18)

## (7) 家畜ふん堆肥の近年の成分変化

近年の家畜ふん堆肥中の肥料成分は増加する傾向にある。この要因は給餌する飼料の質の変化や堆肥化時に混合する副資材の減少、さらには、平成16年11月から施行された「家畜排せつ物の管理の適正化及び利用の促進に関する法律」によって、雨ざらしした堆肥の流通がなくなったことなどが考えられる。

一方、「肥料取締法」の一部改正によって、堆肥の成分表示は義務づけられており、今後は、環境負荷軽減・土壌養分の適正管理を行うために肥料成分をふまえた施肥を行うことが重要になる。



図IV-3-(7)-1 家畜ふん堆肥中三要素の変化（鹿児島県良質堆肥生産利用推進協議会）

### (8) 家畜ふん堆肥の肥料的効果

家畜ふん堆肥等の有機物には、窒素，リン酸，カリ，石灰，苦土等の多量要素だけでなく，鉄，マンガン，亜鉛，銅等の微量元素も含まれており，作物に対する総合的な養分供給源となる。

また，その肥効は化学肥料と比べ緩効的であり，連年施用することでその効果が蓄積し，土壌有機物となって養分供給力が次第に増大していく。

### (9) 家畜ふん堆肥の土づくり効果

#### ア 陽イオン交換容量，可給態窒素等の増大

カリ，カルシウムなどの土壌養分を保持する力，すなわち保肥力が増大するとともに，地力窒素が付加される。また，リン酸や塩基類等が蓄積する。家畜ふん堆肥の種類によって，その効果は異なる。

表IV-3-(9)-1 家畜ふん堆肥連用10年後の畑土壌の化学性（乾土当たり）

項目	T-C	T-N	可給態リン酸 (mg/100g)	CEC	Ca	Mg	K	可給態窒素 (mg/100g)
	(%)							
化学肥料	8.14	0.46	5.7	41.9	10.8	0.71	0.26	3.5
牛ふん堆肥3.0t/10a	8.15	0.51	11.0	42.1	14.9	2.94	0.54	7.1
豚ふん堆肥1.0t/10a	8.00	0.48	14.7	41.5	15.4	2.42	0.21	5.7
鶏ふん堆肥0.5t/10a	7.42	0.44	11.4	37.2	16.6	2.00	0.25	5.2

注) 農業試験場土壌肥料部 平成10年度秋冬作成績書

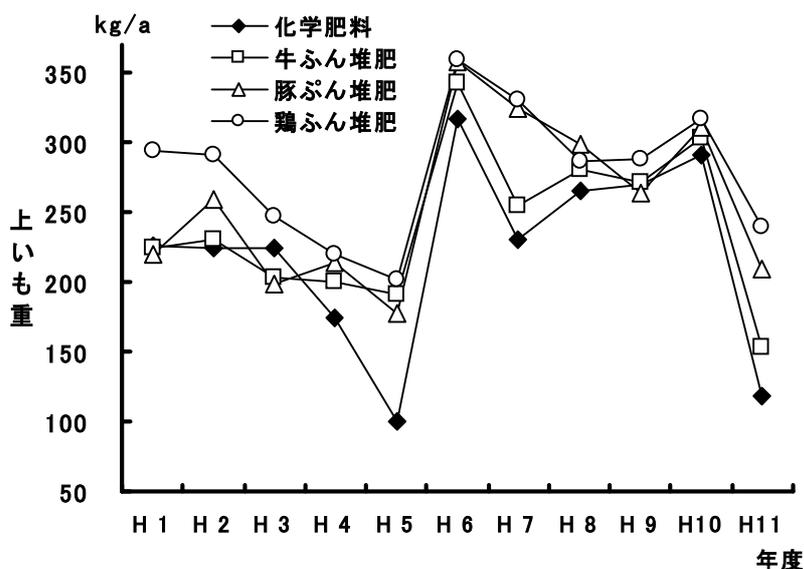
イ 緩衝作用の増大

土壌緩衝能が高まることにより、過剰な化学肥料を施用しても濃度障害が回避され、作物根へのストレスが軽減される。また、気象条件に左右されにくく、異常気象年でも作物の収量低下が軽減される。

表IV-3-5 塩類過剰条件下で牛ふん堆肥施用が収量に及ぼす効果 (収量：t/10a)

区名	項目	トマト		キュウリ		ピーマン	
		収量	指数	収量	指数	収量	指数
牛ふん堆肥 0t/10a	標準	11.9	100	5.20	100	2.21	100
牛ふん堆肥 0t/10a	塩類過剰	8.3	69	4.97	96	2.45	111
牛ふん堆肥 5t/10a	標準	14.2	119	6.45	124	2.34	106
牛ふん堆肥 5t/10a	塩類過剰	10.3	87	5.50	106	2.50	113

注) 1. 牛ふん堆肥0t/10a区は化学肥料を慣行施用，5t/10a区は減化学肥料栽培，塩類過剰はリン酸，カリウムを多施用  
 2. 農業試験場土壤肥料部 平成元，2，3年度秋冬作成績書



図IV-3-(9)-1 家畜ふん堆肥連用の甘しょ収量の推移

注) 1. 脇門ら，鹿児島農試研報，30

2. 平成5年度は低温，多雨及び寡日照，平成11年度は多雨，寡日照の劣悪な気象条件下で，化学肥料栽培の減収割合は高かったが，家畜ふん堆肥連用栽培は減収が軽減

### ウ 土壌物理性の改善

腐植含量の増加によって土壌の団粒化が促進され、土壌孔隙率が高まり、通気性、透水性、保水性が良好となる。この結果、土壌が柔らかくなり、作物根の伸張が促進され、養水分の吸収力が高まる。これらの改善効果は家畜ふん堆肥では牛ふん堆肥が最も大きい。

表IV-3-(9)-3 家畜ふん堆肥連用10年後の畑土壌の物理性

区名	項目	三相分布 (%)			仮比重	孔隙率	ち密度	有効水分 (%)
		固相	液相	気相				
化学肥料		34.5	33.4	27.1	0.78	65.5	14	8.8
牛ふん堆肥3.0t/10a		29.4	32.6	38.0	0.71	70.6	10	11.1
豚ふん堆肥1.0t/10a		31.4	31.3	37.3	0.76	68.6	10	10.4
鶏ふん堆肥0.5t/10a		30.8	27.9	41.3	0.75	69.2	8	10.3

注) 農業試験場土壌肥料部 平成10年度秋冬作成績書

### エ キレート作用の増大

堆肥に含まれる有機酸、腐植酸などはアルミニウムや重金属を包み込むキレート作用をもつ。植物の微量元素となる金属イオンは、堆肥施用に伴うキレート作用によって土壌中での移動性が良好となり、有効性が高まり、作物への吸収利用が促進される。

### オ 土壌生物性の改善

土壌中の中小動物、微生物が富化される。土壌環境の健全化によって有用微生物が増加し、土壌肥沃度の向上、作物への養分供給が促進される。また、土壌伝染病原菌を抑制する効果もある。農業試験場での試験では、牛ふん堆肥の施用によって、有用微生物の一つである蛍光性シュードモナスは非根圏、根圏ともに増加し、作物の根を取り巻く環境の改善が認められた。

表IV-3-(9)-4 ピーマン栽培における牛ふん堆肥施用による土壌微生物相

区名	項目	糸状菌 $\times 10^5$		細菌 $\times 10^7$		蛍光性シュードモナス $\times 10^2$	
		非根圏	根圏	非根圏	根圏	非根圏	根圏
牛ふん堆肥 0t/10a 標準		1.3	5.5	2.5	15.7	N.D.	0.3
牛ふん堆肥 0t/10a 塩類過剰		0.9	4.8	2.1	14.1	N.D.	4.0
牛ふん堆肥 5t/10a 標準		1.1	3.4	3.0	14.1	5.3	30.0
牛ふん堆肥 5t/10a 塩類過剰		1.0	4.5	2.0	12.7	11.2	6.2

注) 農業試験場土壌肥料部 平成元, 2, 3年度秋冬作成績書

## 4 その他の有機質資材の特性と使い方

### (1) バーク堆肥

バーク堆肥は主に樹皮、木質部のオガクズを主体とした堆肥であるが、製品の成分組成は樹皮の種類や添加する鶏ふんなどの発酵促進物質の種類と量によって大きく異なる。バーク堆肥は、粗大、多孔質、高CEC、緩分解性を特徴とし、土壌の膨軟化、透水性と保水性の向上、保肥力と緩衝能の増大などの土壌改良効果を持続的にもたらす。

使用上の留意点としては、土になじむまで、あるいは多量施用した場合は乾燥しやすいので、植え付けの2～3週間前までに施用するとともに適宜かん水し、乾燥しないようにする必要がある。バーク堆肥に限らず、木質系の資材は、一度乾燥するとなかなか吸水しなくなる特性を持つ。なお、日本バーク堆肥協会と全国バーク堆肥工業会では品質基準を設け、品質の安定化を図っている。上述の留意点とともに品質基準を満たしたものを使用することが重要である。

表IV-4-(1)-1 バーク堆肥の品質基準（全国バーク堆肥工業会による基準）

項	目	範	囲
有機物含量		70%以上	T-C×1.724または強熱原料
全窒素含量 (N)		1.2%以上	乾物あたり（硝酸態窒素含む）
全リン酸含量 (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )		0.5%以上	乾物あたり
全カリ含量 (K <sub>2</sub> O)		0.3%以上	乾物あたり
C/N比（炭素率）		35以下	
pH		5.5～7.5	
陽イオン交換容量 (CEC)		70me/100g以上	乾物あたり
含水率（水分）		60±5%	現物あたり
幼植物試験		異常を認めない	肥料取締法の植害試験に準ずる

注) 日本バーク堆肥協会と全国バーク堆肥工業会も統一基準

### (2) 有機質肥料

有機質肥料は肥料取締法によれば魚肥類、骨粉類、草木性植物油かす類等の動植物質の普通肥料をいう。広義には堆肥等の自給肥料、有機性廃棄物を含む場合もある。ここでは、前者について説明する。

動物質肥料は魚肥類、獣類に由来する肥料で、魚かす、骨粉などがある。植物質肥料のなかには、ナタネ、ダイズ、綿実、その他の植物種子から採油したかすと食品、醸造かす等がある。有機質肥料を施用することにより家畜ふん堆肥と同様の効果が期待されるが、特に養分を供給する効果が大きい。

#### ア 油かす類

油かすは種実から油脂を分離した残り、窒素分の多いことが特徴である。ダイズ油かす、ナタネ油かす、綿実油かす、ラッカセイ油かす、あまに油かす、ゴマ油かす、ヒマシ油かす、米ぬか油かす、トウモロコシ胚芽油かす等の種類がある。ナタネ油かすの窒素は化学肥料に比べて遅効性で、リン酸、カリ含量は少ない。これら油かすは施用直後、作物に障害を及ぼすことがあるので、農耕地に施用後、2週間以上放置したほうが

無難である。その理由は、油かすの有機物分解過程で生じる有機酸、ガスおよび植物質有機物特有の有害物質が植物根の生育に障害を与えるからである。この有害物質はエチレン、シアン化合物、フェノール類等と考えられる。

#### イ 魚かす

海獣や甲殻類を除く海産動物肥料で、魚かすが代表的なものである。魚かすは原料によってその成分が大きく異なる。一般的には乾魚、シメかす、荒かすの3種に大別される。魚かす粉末は骨を多く含み、リン酸を多く含有する。魚かす類の窒素は分解しやすく、速効性である。カリはほとんど含まれていない。魚肥類は通常は乾燥して肥料とするが、煮沸して油分を除き乾燥するものもある。

#### ウ 蒸製骨粉

動物の生骨を加圧蒸解し、骨油およびタンパク質の一部を除去して乾燥、粉碎したものである。主に、リン酸質肥料として有機入り複合肥料の原料に使用される。一般に畜種によってリン酸含量は異なり、牛、豚の骨はリン酸成分が多く、羊等の小動物はリン酸成分が少なく、また粉っぽい。

表IV-4-(2)-2 代表的有機質肥料の成分、組成 (乾物当たり)

項目 種類	水分 %	T-C T-N		C/N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> K <sub>2</sub> O CaO			窒素の無機化率 (%)	
		%			%			16週5℃	16週25℃
ナタネ油粕	7.7	46.6	6.45	7	3.29	2.12	0.97	54.1	60.6
ダイズ粕	6.8	46.4	8.45	6	2.03	3.43	0.38	62.8	63.1
綿実粕	7.9	46.4	6.55	7	2.87	2.29	0.32	48.8	53.6
脱脂米ぬか	8.2	42.5	3.27	13	7.84	3.30	0.11	33.7	48.8
トウモロコシ胚芽油粕	8.0	48.4	3.99	12	0.90	0.18	0.03	35.5	49.1
魚粕	6.0	40.0	8.31	5	7.72	0.46	9.88	50.3	63.4
肉骨粉	6.6	33.0	6.76	5	15.8	0.29	23.4	45.4	51.6
蒸製皮革粉	10.0	41.2	13.9	3	0.05	0.10	0.87	42.6	53.7
蒸製骨粉	6.0	19.1	5.23	4	30.0	0.08	40.3	52.7	65.2

注) 1. 有機質肥料ハンドブック (JA全農) より一部抜粋

2. 窒素の無機化率: 有機質肥料を土壤に施用し、一定条件 (地温) で無機化する窒素量を測定したもので、値が大きいほど有機質肥料の分解が促進していることを意味する。

#### エ ぼかし肥料

ぼかし肥料は、土に鶏ふん、油かす、米ぬか、魚かす、燐炭等の有機物に過リン酸石灰等の肥料を積み重ねて発酵させたものが多い。この肥料は、根つけ肥のような効果と長期の発酵による微生物の作用で根の活性を増大させる。もともとは鶏ふん、油かす、魚かす等に発生するタネバエの被害予防のために、これらの有機物と土を混ぜて発酵熱でタネバエを駆除するのが目的である。

通常は粘土含量の少ない土を5割程度混ぜ、数種の有機物を積み重ね、数か月程度堆積する。そうすることで、微生物の種類が増え、発酵が進むので無機態窒素含量が含まれるが、施用後の急速な分解がないので、ガス被害等も軽減され、農作物の植え傷みも少ない。また、悪臭の発生が少なく、扱いやすい特徴がある。ぼかし肥料は肥料的感覚で施用されるので、株元に施用する場合も多い。

### (3) 本県特有の有機物や特殊な有機物

本県では、焼酎廃液、でん粉かす等、特有の有機物が多量に存在する。また、下水汚泥堆肥等に代表される特殊な有機物も産出されている。これらの施用に当たっては、環境保全的見地から、各々の特性を理解し、利用することが求められる。

#### ア でん粉かす

でん粉かすはサツマイモからでん粉をとったかすで、窒素成分をわずかに含む。水分を多く含有し、特殊な物理性のため、そのまま放置しても、内部の水分含量が低下しにくい性質を持っている。これらの性状から、でん粉かすは農耕地にそのまま還元しても、分解しにくいので、堆肥化してから、農耕地に施用する方法が最も良いと考えられる。堆肥化には、副資材に窒素源を必要とするので、乾燥鶏ふん等の窒素含量が高く、水分の少ないものを混合するか、水分含量を低くして、窒素源を加えないと発酵しにくい。でん粉かすと乾燥鶏ふんと混合することによって、3か月間の堆積発酵で堆肥化物が製造できる。

生のでん粉かすを直接農地へ還元すると、窒素飢餓や発芽不良等の障害を引き起こす危険性が高いため、施用回数は3年以上で1回、施用量は10a当たり10t以内とし、頻繁に耕うんを行い、6か月程度経過してから作付けする。

表IV-4-3 でん粉かすとでん粉かす・鶏ふん堆肥の成分 (乾物当たり)

	水分	pH	T-C		C/N	NH <sub>4</sub> -N NO <sub>3</sub> -N		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> K <sub>2</sub> O CaO MgO			
			(%)			(mg/100g)		(%)			
でん粉粕	75.4	4.3	41.0	0.44	93.2	6.4	12.7	0.18	0.20	0.42	0.03
でん粉粕・鶏ふん堆肥	30.3	9.3	29.9	2.58	11.6	4.4	4.4	6.97	3.20	20.8	1.61

注) サツマイモでん粉かすの処理技術についてのマニュアル (平成7年7月, 鹿児島農試)

#### イ 焼酎廃液

焼酎廃液は、原料の違いによって、いも焼酎廃液、麦焼酎廃液や黒糖焼酎廃液に分類される。各焼酎廃液は、水分が多く、pH4.0程度と強酸性で、そのまま放置しておくとな分解が進み、異臭を発する。肥料成分は、製造法や固液分離などの程度によって異なるが、窒素もしくはカリがリン酸に比べて多く含有される。このため、窒素やカリが施肥基準量を超えないように施用する必要がある。焼酎廃液由来窒素(硝酸態窒素)によって、地下水や河川水の水質が悪影響を受けないことも求められる。さらに、焼酎廃液が低pHであることから、施用にあたっては、石灰質肥料を施用して土壌pHを適切にする(5.5~6.5程度)必要がある。これらのことを考慮して、本県では、作物に対する年間施用量を3t/10a以内と定めている。なお、作物は露地作物を対象とし、永年作物およびさとうきびについては、新植時の施用が前提となる。

表IV-4-(3)-2 焼酎廃液の成分 (新鮮物当たり)

	水分	pH	T-C	T-N	C/N	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO
			(%)			mg/100g					
甘しょ焼酎廃液	93.5	4.2	2.86	0.24	12	39.3	2.7	0.07	0.22	0.05	0.01
麦焼酎廃液	93.8	3.7	2.95	0.39	8	12.3	0.4	0.09	0.05	0.02	0.01
黒糖焼酎廃液	95.1	4.2	1.93	0.49	4	18.5	0.7	0.09	1.07	0.45	0.10

注) 焼酎廃液(粕)の農耕地施用のガイドライン(平成25年2月, 鹿児島県農政部)

## ウ 下水汚泥堆肥

下水汚泥堆肥はその最終処理の方法によって成分が若干異なる。通常、凝集剤として消石灰を用いるため、pHが高い。また、無機態窒素も多く含有し、しかも、易分解性有機物が多いので、農耕地に還元した場合、その肥効は高く、かつ、速い。また、カリウム含量が家畜ふん堆肥等と比較すると低い傾向にある。下水汚泥堆肥には、亜鉛、銅等の重金属が多く含まれることから、農耕地への施用量は、年間500kg/10aを上限とする。

表IV-4-(3)-3 下水汚泥堆肥の成分 (新鮮物当たり)

水分	pH	EC	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N	T-N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	Cu	Zn	Cd
			(mg/kg)								(%)	
18.6	8.1	3.7	5,738	99	2.97	3.96	0.16	9.43	0.67	42.7	208	391

注) 農業開発総合センター大隅支場環境研究室 平成25年度試験成績書

## 5 有機物を施用する上での留意点

家畜ふん堆肥等の有機物資源を利用した健全な土づくりの推進は必要不可欠であるが、施用にあたっては家畜ふん堆肥の肥料的効果に留意するとともに、施肥基準を遵守した施用に努める必要がある。また、施用法、施用量を間違った場合、作物に対する生育阻害、土壤環境の悪化、養分の溶脱による環境負荷が懸念されるので、以下に留意する必要がある。

- (1) 腐熟していない堆肥の施用は、病原菌、雑草種子、フェノール類等の有機成分等の生育阻害物質によって、作物生産を阻害する危険性が高いので、十分発酵が促進されている良質堆肥を施用する。
- (2) 炭素率の高い有機物の施用は、微生物体内の構成炭素率と合致しないため、土壤中の微生物が急速に増殖し、窒素飢餓を起こしやすい。このため、過剰施用は避け、施用は作付けの最低2週間前とする。
- (3) 家畜ふん堆肥は種類によって成分含量が異なることから、畜種別の特性を熟知する。施用前に成分含量を把握することが重要である。
- (4) 窒素成分の高い有機物を化学肥料と併用する場合、成分投入量が多いと、土壤環境の悪化、地下水等の汚染が懸念されるので、有機物の肥効率を考慮した施肥設計を行う。

- (5) 有機物を施用する際は、土壌診断に基づき、有機物の種類、施用量を決定する。
- (6) 温暖多雨な気象条件下の本県では、土壌有機物の分解が速いため、堆肥など有機物の継続的な施用が必要である。

表IV-5-1 有機物の分解特性による群別と施用効果

(志賀 1985)

初年目の分解特徴		有機物例	施用効果			連用によるN吸収増加
N	C, N分解速度		肥料的	肥沃度増	有機物集積	
N 放 出 群	速やか (年60~80%)	余剰汚泥, 鶏ふん そ菜残さ, クローバ (C/N比 10前後)	大	小	小	小
	中速 (年40~60%)	牛ふん, 豚ふん (C/N比 10~20)	中	中	中	大
	ゆっくり (年20~40%)	通常の堆肥類 (C/N比 10~20)	中~小	大	大	中
	非常にゆっくり (年0~20%)	分解のおそい堆肥類 (バークなど) (C/N比 20~30)	小	中	大	小
N 取 り 込 み 群	C 速やか (年60~80%) N 取り込み	わら類 (C/N比 50~120)	初期マイナス 後期中	大	中	中
	C 中速~ゆっくり (年20~60%) N ±0または 取り込み	水稻根, 製紙かす 未熟堆肥 (C/N比 20~140)	初期小 後期中	中	中	小~中
	C 非常にゆっくり (年0~20%) N 取り込み	おがくずなど (C/N比 200~)	マイナス	小	中	マイナス ~小

## 6 緑肥作物

緑肥作物とは、土壌を肥沃にする目的で栽培され、堆きゅう肥のように腐熟させずに土にすき込む作物をいう。緑肥作物の効用はその肥効は勿論のこと、土壌病害虫の抑制や休閑地の被覆など多面的である。

### (1) 緑肥作物の主な効果

#### ア 肥料的効果

緑肥作物の分解にともなって各養分が土壌、作物に供給される。農業開発総合センター徳之島支場における試験結果では、緑肥作物のすき込みを連続することで、炭素、窒素、カリの蓄積は顕著であったが、石灰、苦土は降雨等に伴う溶脱によって漸減した。したがって、土壌診断に基づく塩基類の補給や削減を行うことが望ましい。

#### イ 土壌の物理性改善効果

多量の緑肥作物をすき込むため団粒構造が発達し、孔隙率が高くなる。その結果、土壌の通気性、保水性等が改善される。

#### ウ 土壌微生物のバランス保持効果

連作を行うと、土壌中の微生物バランスがくずれ病害が多発するようになる。一方、緑肥作物をすき込むと土壌中の微生物の種類が増え、病害の発生が抑制される。

#### エ クリーニングクロープ効果

イネ科作物等の吸肥力の強い緑肥作物を栽培し、持ち出すことにより土壌に蓄積した過剰養分の除去が期待される。一方、ネグサレセンチュウ、ネコブセンチュウ防除のため、クロタラリア、マリーゴールドなどのセンチュウ対抗作物もある。

#### オ 土壌侵食防止効果

ほふく性の緑肥作物を利用することにより、裸地状態および傾斜地での降雨による土壌侵食を防止することが期待される。

表IV-6-(1)-1 緑肥作物+野菜を9年栽培した跡地の土壌化学性 (乾土あたり)

	pH(H <sub>2</sub> O)	T-C	T-N	CEC	Ca	Mg	K	TruogP <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/100g)
		(% )						
クロタラリア	5.1	0.94	0.11	12.4	6.47	0.68	0.62	15.4
ソルガム	5.3	1.26	0.13	14.2	7.40	1.03	1.14	20.0
ススキ	5.6	1.45	0.13	14.7	8.15	1.03	1.06	19.1
緑肥作物なし	5.8	0.65	0.08	12.9	6.97	0.81	0.59	10.3

注) 後藤・永田, 土肥誌, 71

表IV-6-(1)-2 試験開始前と緑肥作物+野菜を7年栽培した跡地の土壌の物理性

	真比重	仮比重	三相分布 (%)			孔隙率 (%)
			固相	液相	気相	
開始前	2.73	1.02	0.37	0.27	0.36	0.63
クロタラリア	2.77	0.99	0.36	0.27	0.37	0.64
ソルガム	2.75	0.93	0.34	0.28	0.38	0.66
ススキ	2.67	0.83	0.31	0.24	0.45	0.69
緑肥作物なし	2.73	1.02	0.37	0.27	0.36	0.63

注) 後藤・永田, 土肥誌, 71

表IV-6-(1)-3 サツマイモネコブ，ミナミネグサレセンチュウに対する緑肥作物の効果

作物名	(品種・商品名)	サツマイモネコブ センチュウ	ミナミネグサレ センチュウ
クロタラリア	(C. juncea)	◎	
〃	(C. spectabilis)	◎	◎
サイラトロ		◎	
ラッカセイ	(ナカテユタカ)	◎	◎
マリーゴールド	(カルメン)	◎	◎
ギニアグラス	(ナツカゼ)	◎	
〃	(グリーンパニック)	◎	

注) 平成3, 5年度の大隅支場の成績とメーカー資料をもとに，センチュウ密度抑制効果が顕著な植物を◎で表示.

## (2) 緑肥作物の種類と選択

緑肥作物の利用に際してはその特性が目的に合うように選択する必要がある。緑肥作物の種類はイネ科とマメ科に大きく分けられる。

イネ科 ——— 春夏期 ——— ソルガム，トウモロコシ，ギニアグラス等  
 ——— 秋冬期 ——— ムギ類，イタリアンライグラス等

主に土づくり効果が大きい

イネ科の緑肥作物は乾物収量が多いため土壌の腐植含量を多くする効果が期待される。また，炭素率が高いため土壌中での分解は遅い傾向にある。

マメ科 ——— 春夏期 ——— クロタラリア，セสบニア，青刈り大豆，ピジョンピー  
 ——— 秋冬期 ——— レンゲ等

主に肥料的効果が大きい

マメ科の緑肥作物は窒素固定をする根粒菌の働きにより窒素施用の効果が期待される。また，炭素率が低いため土壌中での分解は速い。

表IV-6-(2)-1 緑肥作物の収量および内容成分 その1 (県農試大隅支場 1995)

科名	緑肥の種類	生草重 乾物重		内容成分 (乾物あたり%)				
		t/10a		T-C	T-N	C/N	P	K
イネ科	トウモロコシ	5.83	2.41	46.7	1.13	41.3	0.20	1.52
	ソルガム	12.5	3.82	46.0	0.98	46.9	0.23	2.20
	ギニアグラス	7.46	2.36	44.2	1.57	28.2	0.18	3.06
マメ科	クロタラリア	4.20	1.79	48.8	1.68	29.0	0.15	1.90
	クロタラリア	3.25	0.87	46.0	2.17	21.2	0.23	2.47
	ダイズ	3.16	1.27	48.2	2.75	17.6	0.38	2.14
	セสบニア	2.66	1.10	51.2	1.48	34.6	0.39	1.64
キク科	マリーゴールド	1.67	0.42	47.2	1.26	37.4	0.39	4.18

注) 播種日：5月19日 刈り込み日：9月19日

表IV-6-(2)-2 緑肥作物の収量および成分 その2 (県農試徳之島支場 1994)

科名	緑肥の種類	生草重 乾物重		内容成分 (乾物あたり%)				
		t/10a		T-C	T-N	C/N	P	K
イネ科	ソルガム	8.65	4.20	43.0	1.15	37.4	0.24	1.72
	ギニアグラス	4.14	2.17	43.1	1.23	35.0	0.21	2.23
マメ科	クロタラリア	2.08	1.08	43.2	2.45	17.6	0.20	1.58
	セスバニア	2.86	0.75	44.0	2.36	18.6	0.15	2.20

注) 播種日：6月9日 刈り込み日：9月13日

### (3) 導入時期と期間

本県の露地野菜や花きの中心は秋冬作であり、この点を考慮すると春夏作の緑肥作物が中心となる。導入期間は、まず緑肥作物の栽培期間とすき込み後の後作との間隔をどの程度にするのかを考慮する必要がある。どの緑肥作物でもは種時期の適用幅は広い。有機物確保の観点からは栽培期間が長い方が望ましいが、それだけすき込み後の分解期間が必要になり、その期間が短いと後作に障害がみられる場合があるので注意が必要である。イネ科では雄穂の出穂期、マメ科では開花期を一つの目安にすき込む。また、栽培期間80～90日、すき込み後の分解期間を30日～45日とれば理想的である。

### (4) は種作業のポイント

は種時点で一番注意することは、発芽率を高めることである。そのためには覆土と鎮圧が必要である。覆土がないと種子の水分吸収がうまくいかず、地表面で吸収してもすぐに乾燥して発芽できない。また、露出していると鳥が種子を食べてしまう。さらに鎮圧は水分を地表面に上昇させる働きがあり発芽を早める。

### (5) 施肥

マメ科作物の大きな特徴は、根粒菌と共生して空気中の窒素を利用できることである。したがって、イネ科作物に比べて窒素の施肥量が少なくてもよい。なお、施設栽培での跡地には多くの肥料成分が残存しているので、緑肥作物のために特別に施肥する必要はない。

### (6) すき込み方法

すき込み作業の方法として草丈が腰高までであればロータリやディスクプラウでもすき込める。ソルガムやトウモロコシは草丈が2 m以上になるため、細断なしですき込むためには大型トラクタによるボトムプラウを用いる。なおこの方法では、深耕ができるため土壌の物理性改善も期待できる。また、最近ではリバーシブルプラウにより作業性も向上し、凸凹の少ない均一なほ場ができるようになっている。また、フレールモア等により緑肥作物を細断後、すき込む方法もある。

## (7) 分解時の留意点

### ア イネ科

イネ科の緑肥作物は炭素率が高い（約30以上）ため分解が遅れるばかりでなく、窒素飢餓をおこす恐れがある。分解促進のためには窒素質肥料（石灰窒素等）を添加し、耕うんを行い酸素を土壤に供給すると効果的である。

### イ マメ科

緑肥作物はすき込んでから分解が始まる。初期の糖類の分解のためピシウムなどが急激に増えるため、この時点での後作のは種は発芽・生育不良をおこしやすい。特に、炭素率の低いマメ科緑肥作物ではこの障害が発生しやすい。したがって、すき込み後の管理として腐熟期間を夏の時期でも3～4週間設ける必要がある。すき込んだ後1～2週間後に緑肥が黄色化した頃ロータリをかけ、その後1～2回ロータリ耕を行い、酸素を十分土壤に供給し分解を促進するとよい。

表IV-6-(2)-3 主な緑肥作物の施肥量の目安と耕種概要など

種 類	窒素 リン酸 カリ			播種期	播種量 kg/10a	すき込み 時 期	生育収量 t/10a
	kg/10a						
(イネ科)						(出穂期)	
ソ ル ガ ム	10	20	10	5月上旬 ～6月上旬	4.0 ～5.0		5.0 ～10
青 刈 り トウモロコシ	15	20	15	4～6月	2.5 ～3.0		5.0 ～8.0
ギニアグラス	8	15	10	4月中旬 ～6月	2.0		6.0 ～8.0
エ ン バ ク	8	15	10	8月中旬 ～11月下旬	10 ～12	10月下旬 ～5月上旬	6.0 ～9.0
イ タ リ ア ン ラ イ グ ラ ス	10	20	5	9月上旬 ～12月下旬	3.0 ～4.0	11月下旬 ～5月上旬	6.0 ～9.0
(マメ科)						(開花初期)	
レ ン ゲ	2	5	5	9月上旬 ～11月下旬	2.0 ～3.0	4月上旬 ～下旬	2.0 ～3.0
青 刈 大 豆	-	2.5 ～3.2	1.5	4～5月	7.0 ～8.8	7～8月	0.8 ～1.2
ク ロ タ ラ リ ア	5	5	5	4～6月	6.0 ～8.0	7～10月	2.5 ～3.0
ピ ジ ョ ン ピ ー	10	10	10	4～6月	6.0 ～8.0	7～10月	2.0 ～3.0
セ ス バ ニ ア	10	10	10	6月中旬 ～7月下旬	4.0 ～5.0	出穂始め	1.5 ～3.5

## 7 土壤微生物とその利用

### (1) はじめに

土壤中に生息する微生物を「土壤微生物」という。一般に、微生物は細菌、放線菌、糸状菌、藻類、原生動物の5種類に分けられる。土壤微生物の主要な働きは、土壤有機物の分解、無機化であるが、自らが有機物として土壤生態系に組み込まれることも重要な役割である。また、土壤微生物は土壤中のいろいろな変化に関与し、土壤肥沃度の発現とも密接な関係を持つほか、土壤生成の初期段階では、土壤鉱物の溶解や有機物の生産など、土壤化作用にも重要な働きをする。

微生物の量を重さで表すと、一般的な畑では、10aに700kg前後の土壤微生物が存在している（乾物で約140kg）。しかも、微生物のからだには養分が濃縮され、窒素成分で約10kgを含有している。通常、普通畑作物への施肥量は窒素で10a当たり10kg程度であるので、微生物の存在を無視できないのは容易に理解できる。生体重量で700kgの土壤微生物のなかで、ダニ、トビムシ、ミミズ等の土壤動物は通常5%以下で、約20~25%が細菌、70~75%が糸状菌である。林地、草地、樹園地、畑地の表土では糸状菌が細菌の3~4倍多く存在する。これは糸状菌が植物遺体として土壤に還元される有機物を分解する能力に最も優れていることを反映している。ただし、湛水した水田では酸素不足によって糸状菌が増殖できず、酸素不足でも増殖できる細菌のほうが糸状菌より多くなる。そのため、湛水した水田では有機物分解が遅く、土壤有機物が蓄積されやすい。これに対して、畑では土壤有機物の消耗が激しい。

### (2) 根圏の微生物とその働き

植物は土壤から養分を吸収するばかりでなく、根からはムシゲル（多糖類を主とする不溶性物質）や、アミノ酸、ビタミンなど有機物を分泌し、また、根毛や表皮などの組織を脱落させて、微生物増殖のための基質を与えている。このため根の周辺の土壤は、微生物活性が最も大きく、これを根圏土壤といい、ここに生息する微生物を根圏微生物という。なお、根の表面を根面と呼んで区別することもある。根面と根圏土壤には根から分泌される各種有機物を要求する微生物が多く、なかでも増殖速度の速い細菌が優先する。これらの細菌には乾燥に弱いグラム陰性の桿菌が多く、また、アミノ酸をはじめ、各種有機物を要求する細菌やセルロース分解菌ならびに脱窒菌が多いことも根圏微生物の特徴である。

根圏は植物根が直接土壤と接している場であり、根圏微生物の存在は作物生育に大きな影響を及ぼしている。窒素、リン酸、カリなど植物の必要とする養分が土壤中で有機態や不溶性の状態が存在する場合には、植物は直接これらを吸収利用することはできず、いったん微生物により分解や溶解作用を受け、水溶性の状態や土壤粒子表面に吸着した状態に変化した後、根から吸収する。

### (3) 微生物資材の種類と応用

近年、多種類の微生物資材が流通、販売されており、その製造法、微生物の種類、効能等はさまざまである。微生物資材に用いられる微生物や酵素の種類は、一つの製品について一種類だけでなく、数十種類も混ざったものも多くみられる。製品の中に含まれる微生物の種類は必ずしも内容がはっきりしないものがあるが、利用されている種類は好気性および嫌気性のものを含め多種にわたっている。分類上も細菌、糸状菌、放線菌、酵母、緑藻類等とあらゆる種類にまたがっている。

根粒菌は、マメ科植物の根に共生すると瘤状の組織「根粒」を形成し、そこで窒素固定作用が営まれる。根粒菌には生育が速くエンドウ、インゲン、落花生、クローバ、アルファルファなどに根粒を形成するRhizobium属と、生育が遅くダイズ、落花生などに根粒を形成するBradyrhizobium属などがある。根粒菌の窒素固定作用には、菌株によって優劣があり、よく知られた例として、窒素固定の際に生じる水素を再度吸収してエネルギー効率を高める菌株がある。根粒菌は、種子粉衣剤、種子表面に菌を封入（ノーキュライド種子）などの形で市販されている。

植物根と菌と一体になった共生体のことを菌根、そして、それに関わる菌のことを菌根菌と呼んでいる。菌根の中で、接合菌類Glomales目に属する糸状菌によって形成される内生菌根をVA菌根あるいはアーバスキュラー菌根と呼んでいる。この菌根を形成する菌はvesicule（嚢状体）、arbuscule（樹枝状体）という器官を根内部に形成するのでVA菌根菌と呼ばれる。VA菌根は、主にリン等の養分吸収を促進し、宿主植物の生育を改善する。養分吸収促進以外に、水分ストレス（乾燥）に対する抵抗性付与、病害に対する抑制効果などの効果が知られている。VA菌根菌資材は市販されており、微生物資材としては初めて、地力増進法に基づく政令指定土壌改良資材に認定されている。

### (4) 微生物の活性化資材による事例

青果用バレイショ産地で長年問題となっているジャガイモそうか病（以下、そうか病）は病原性のStreptomyces属菌（S. scabiei, S. turgidiscabies, S. acidiscabies）によって発生する。そうか病防除にはクロルピクリン等の土壌燻蒸剤消毒、化学農薬による種いも消毒等が考えられるが、これらの資材は周辺環境、コスト面、廃液処理等々、様々な問題がある。これらの対策として、大麦発酵濃縮液および米ぬかに大麦発酵濃縮液をブレンドした有機質資材を用いることで、微生物が活性化され、健全いもの割合が増加するものである。

作業工程は、図①～⑦の通りである。

#### 大麦発酵濃縮液種いもコーティング処理方法



①大麦発酵濃縮液  
(ソイルサブリエクス、略号SSE)



②5倍希釈(SSE:水=1:4)



③よく攪拌する



④種いも→SSEに投入



⑤ゆっくり種いもになじませる

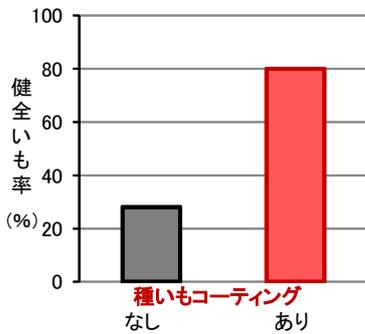


⑥雨や直射日光避けて風乾

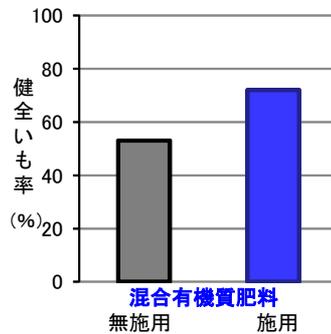


⑦慣行の作業と同様に植付け

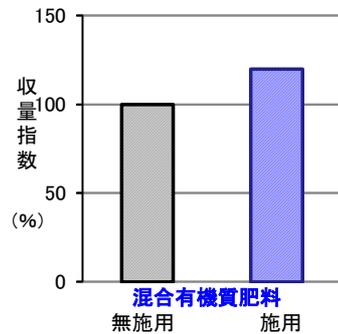
下に試験結果を示した。大麦発酵濃縮液の種いもコーティング処理および大麦発酵濃縮液と米ぬかを混合した有機質資材の使用によって、種いも表面や土壌中に特定の有用微生物が増加するため、健全いも率が向上した。



大麦発酵濃縮液(商品名:ソイルサプリエキス, 略号SSE)による種いもコーティングで健全いも率が格段に向上  
注) 土壌消毒を行った圃場での試験結果



米ぬかとSSEを配合した混合有機質資材(商品名:ソイルサプリミックス, 略号SSM)の施用によって健全いも率が向上し、収量も増加  
注) SSMは10a当たり300kgを上乗せ施用 収量指数はSSM無処理を100としたときの比率



## (5) 土壌管理が微生物に及ぼす影響

土壌には莫大な種類と量の微生物が生活している。微生物はエサを食べてエネルギーを獲得するとともに細胞成分を合成して、自らの細胞の維持と生長、そして子孫を残すために、物質代謝を営んでいる。物質代謝とは食べたエサを酵素の働きによって別の物質に分解したり、合成し直すことである。物質代謝によって変えられた産物は、また、別の微生物によって代謝される。このようにして、土壌に還元された作物遺体や堆きゅう肥等の有機物中の窒素やリン酸等の元素は無数の微生物の物質代謝を受けて、やがて無機態の窒素やリンに変えられ、再び作物に吸収される。土壌が生きているといわれる理由の一つは、この物質循環が土壌にあるからである。

土壌を耕うんすると、土壌の通気性がよくなる、土層における有機物の分布が均一化される、土壌が乾燥する、土壌団粒が破壊されて有機物破片が露出される、機械的な力によって土壌粒子が擦れ合って間に挟まった菌体や有機物をすりつぶす等の影響を受ける。このようなことが土壌に起こると、今まで利用されなかった有機物が利用可能となるなどして土壌呼吸や窒素無機化量が増加する。

また、土壌を耕うんすると毛管水が切断され、下層土からの水の上昇が妨げられるので土壌は乾燥する。水田では、水を張る前に荒起こしをして土壌を乾燥させる。それか

ら湛水すると、乾燥しなかったときよりも窒素の無機化が促進される。これを乾土効果という。水田土壌には微生物以外の有機物が多量に蓄積しているので乾土効果で発現する窒素のすべてがそうとはいえない。しかし、そのかなりの部分が、乾燥によって死滅した菌体を生き残った菌が湿潤後に分解したときに放出する窒素に由来すると考えられている。

土壌消毒の影響については、微生物を殺すことにより、土壌からの窒素無機化量が一時的に増加するということなら、耕うんするより土壌を消毒すれば窒素の無機化量は一段と増加すると考えられる。この現象は一般のほ場でみられ、土壌消毒をした作物体の窒素吸収量は消毒をしない場合より多い。しかし、このことが地力の消耗を大きくしているのである。したがって、土壌消毒を実施するほ場では有機物の投与が重要となる。

## 8 土壌改良資材の種類と特性

土づくりに使われる資材には多種多様なものがあり、総称して土壌改良資材と呼んでいるが、これらの土づくりに使われる資材には、肥料も含まれている。

土壌改良資材とは、土壌の物理性や生物性を改良して、土壌の肥沃度を高め、作物の生産性を高める目的で使用される資材を指し、地力増進法で品質表示するものとして政令指定されている12種類の土壌改良資材のほか、多種多様な機能のものが流通している。

また、肥料である石灰質肥料、ケイ酸質肥料、リン酸質肥料は、土壌に化学的な変化をもたらすものとして一般に土づくり肥料として扱われる。

### (1) 土壌改良資材の種類

#### ア 有機質系土壌改良資材

動植物質に由来する有機質物を原料に用いた土壌改良資材をさし、その主なものは次のとおりである。

##### (ア) 木質堆肥

樹皮（バーク）、おがくず、剪定枝、木質チップなどを原料とし、これに窒素源として窒素質肥料や家畜ふん等を材料として加え、堆積腐熟させたもの。

腐熟の進んだ良質な木質堆肥では、土壌の物理性の改良効果が高い。

木質堆肥は土壌改良資材であり、かつ特殊肥料の堆肥にも該当するが、肥料的効果はほとんど期待できない。

また、C/N比が高かったり難分解有機物含量が多く、タンニンやフェノール性酸などの植物に影響を及ぼす物質が含まれるため、利用にあたってはよく腐熟したものを選定し、適正施用する必要がある。

##### (イ) 泥炭（ピート）、ピートモス

泥炭（ピート）とは、寒冷な低湿地や沼泥地でできる炭化程度がごく低い多少腐植化した原植物の組織が認められる植物残体である。泥炭のうち、水ごけ、すげ、あし等による繊維状泥炭をピートモスと分類する。

土壌の膨軟化、保水性、透水性、通気性の改善、保肥力の改善、リン酸固定の抑制等に使用する。

##### (ウ) 腐植酸質資材

石炭や褐炭、亜炭に硝酸や硫酸を用いて分解したときにできるニトロフミン酸をカルシウム化合物やマグネシウム化合物などで中和し、造粒・乾燥してつくったものが腐植酸質資材である。

主に土壌の保肥力の改善に使用する。

##### (エ) 木炭

木材や樹皮、やし殻、もみ殻等の植物性の殻を炭化したもの。粉状。

多孔性であり、土壌の透水性等の改善に使用する。

#### イ 無機質系土壌改良資材

原料として天然鉱物などを高温で処理、または粉碎などの処理をした鉱物に由来する土壌改良資材をさし、その主なものは次のとおりである。

(ア) ベントナイト

粘土鉱物の一種であるモンモリロナイトを主成分とする粘土で、天然の無機系土壌改良資材である。

水に触れるとすぐに吸収して容積が膨張する膨潤性があり、陽イオン交換容量が高いため、水田の漏水防止や、畑地の保肥力改善に用いられる。

(イ) ゼオライト

ゼオライトは沸石ともいわれ、ゼオライトを含む凝灰石の粉末が土壌改良資材に利用される。陽イオン交換容量が高いため保肥力改善に用いられる。

(ウ) バーミキュライト

膨張性雲母鉱物（ひる石）を焼成膨張させた多孔質の資材で、透水性の改善に用いられる。

(エ) パーライト

真珠岩、黒曜石などを焼成膨張させたもので、保水性、透水性、通気性の改善に用いられる。

ウ 品質表示基準が定められている土壌改良資材

土壌改良資材のうち、消費者が購入に際し品質を識別することが困難であり、かつ地力の増進上その品質を識別することが特に必要である資材については、地力増進法（昭和59年5月18日法律第34号）第11条により、土壌改良資材の表示の基準が定められている。

品質表示を行うよう指定された12種類の土壌改良資材は次の表のとおり。

ただし、表中の品質などの基準に適合しないものを除く。

表IV-8-(1)-1 地力増進法指定の土壌改良資材

種類	説明	用途（主な効果）
泥炭	北海道産みずごけ （水洗－乾燥）	腐植酸含有率70%未満のもの 土壌の膨軟化，保水性の改善 腐植酸含有率70%以上のもの 土壌の保肥力の改善
バーク堆肥	広葉樹の樹皮を主原料（85%）として牛ふん，尿素を加えて堆積腐熟させたもの	土壌の膨軟化
腐植酸質資材	亜炭を硝酸で分解し，炭酸カルシウムで中和したもの	土壌の保肥力の改善
木炭	広葉樹の樹皮を炭化したもの	土壌の透水性の改善
けいそう土 焼成粒	けいそう土を造粒（粒径2ミリメートル）として焼成したもの	土壌の透水性の改善

種 類	説 明	用途（主な効果）
ゼオライト	大谷石（沸石を含む凝灰岩）	土壌の保肥力の改善
バーミキュライト	中国産ひる石 （粉砕－高温加熱処理）	土壌の透水性の改善
パーライト	真珠岩 （粉砕－高温加熱処理）	土壌の保水性の改善
ベントナイト	山形県産ベントナイト （膨潤性粘土鉱物）	水田の漏水防止
VA菌根菌資材	VA菌根菌をゼオライトに保持させたもの	土壌のリン酸供給能の改善
ポリエチレンイミン系資材	アクリル酸，メタリクル酸ジメチルアミノエチル共重合物のマグネシウム塩とポリエチレンイミンとの複合体	土壌の団粒形成促進
ポリビニルアルコール系資材	ポリビニルアルコール（ポリ酢酸ビニルの一部をけん化したもの）	土壌の団粒形成促進

注) 1. 地力増進法施行令より. 平成8年10月25日

2. けん化とは、エステルにアルカリを加えて酸の塩とアルコールに加水分解する化学反応のこと

## (2) 土づくり肥料の種類

### ア 石灰質肥料

表IV-8-(2)-1 石灰質肥料の種類と保証成分，特徴

種類	保証成分（％）		特 徴
	主成分	その他	
生石灰 CaO	アルカリ分 80		土壌の酸性を矯正する。石灰は作物に吸収され有機酸を中和し，栄養分となる。は種，定植数日前に施しよく混和する。
消石灰 Ca(OH) <sub>2</sub>	アルカリ分 60～70		
炭酸カルシウム（炭カル） CaCO <sub>3</sub>	アルカリ分 53～55		
貝化石 CaCO <sub>3</sub>	アルカリ分 35～40		酸性土壌の改良に施用する。

イ ケイ酸質肥料

表IV-8-(2)-2 ケイ酸質肥料の種類と保証成分, 特徴

種類	保証成分 (%)		特徴
	主成分	その他	
ケイカル	ケイ酸30~40 アルカリ分 40~50	苦土 2~6 マンガン 1~6	鉍さいケイ酸質肥料 水には溶けないが, 土の中や根から出る薄い酸に溶けて植物に吸収される。
ケイ酸加里	アルカリ分 5~8 ケイ酸 30 く溶性加里20	苦土 4 ほう素 0.1 鉄 5~8	く溶性加里肥料, 溶脱が少なく濃度障害や肥料流亡が少なく土壌を荒らさない。

ウ リン酸質肥料

表IV-8-(2)-3 リン酸質肥料の種類と保証成分, 特徴

種類	保証成分 (%)		特徴
	主成分	その他	
過リン酸石灰	く溶性リン酸 17~19 水溶性リン酸 14~16		水溶性リン酸を主成分とした肥料。リン鉍石に硫酸を加えてつくる。水溶液は酸性であるが, 土壌への影響は中性で連用しても土壌を酸性化する危険性はほとんど無い。
熔成リン肥 (ようりん)	く溶性リン酸 20~25 アルカリ分 45~50 苦土 13~15	けい酸 20	水には溶けない。 土壌の酸性をなおす。土壌中で固定されにくい。リン酸と苦土, ケイ酸をバランス良く含んでいる。
苦土重焼リン	く溶性リン酸 35 水溶性リン酸 16	苦土 4.5	水溶性リン酸 (早効き) とく溶性リン酸 (長効き) の両方を含むので, 作物の生育初期から収穫期までよく利用される。

## 9 養分の土壌中での動態と各成分の特徴

農業において肥料の効率を高め、生産を最大限に上げることは農産品のコスト低下のためのみならず、資源の有効利用、環境負荷低減の立場からも極めて重要なことである。

近年の肥料製造のねらいは、土壌中における肥料の形態変化や肥料要素の動向をふまえて、各種作物に対する肥効のコントロールを図り、様々な肥料製造法が工夫されている。

本項ではこのような肥料製造の基礎となっている土壌中での肥料成分の形態変化と動きについての基礎的事項について略述する。

### (1) 窒素、リン酸およびカリの肥料成分の形態

土壌に施用された肥料成分（N，P，K）は土壌の理化学的または生物的作用を受けて、およそ次のような変化をうける。

#### ア 窒素（N）

窒素質肥料には有機態および無機態のものがあり、多くの種類がみられる。表IV-9-(1)-1にその一例を示す。

表IV-9-(1)-1 窒素質肥料の種類とその特徴

種 類	特 徴
アンモニア態窒素肥料	
硫安 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	白色の結晶で水に溶けやすく、速効性の肥料。化学的には中性であるが、生理的酸性肥料である。
塩安 $\text{NH}_4\text{Cl}$	吸湿性が強く、水に溶けやすい速効性肥料。化学的には中性であるが、作物がアンモニアを吸収したあとに塩素が残るため、生理的酸性肥料である。
硝安 $\text{NH}_4\text{NO}_3$	硝酸をアンモニアで中和してつくられる。吸湿性が強いいため、防湿剤を用いて粒状などにしている。土壌に施用後アンモニア態窒素は土壌に吸着されるが、硝酸態窒素は雨水で流亡しやすい。
硝酸態窒素肥料	
硝酸ソーダ $\text{NaNO}_3$	チリ硝石ともいう。水によく溶け速効性の生理的アルカリ性肥料であるナトリウムを含むため使われる作物の種類は少ない(テンサイなど)。
硝酸石灰 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	ノルウェー硝石ともいう。硝酸を石灰で中和してつくられる。保証成分ではないがカルシウムをCaOとして25%程度含む。
尿素態窒素肥料 $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$	アンモニアと炭酸ガスから合成される尿素 $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ を、そのままほぼ純粋な形で肥料としたもの。白色の結晶で水には溶けやすく、吸湿性は硫安や塩安よりも強い。化学的にも生理的にも中性の無硫酸根肥料で速効的である。
シアナミド態窒素肥料 $\text{CaCN}_2$	シアナミド $(\text{CN}_2)$ の形態で存在する窒素で、石灰窒素の主成分として含まれる。シアナミドはそのままの形態では作物に吸収されず、土壌に施用後加水分解して尿素態になり、さらに、アンモニア態窒素に変化し吸収される。
緩効性窒素肥料	広い意味での緩効性肥料としては、被覆肥料、化学合成緩効性肥料、硝化抑制剤入り肥料などがある。狭い意味では、化学的合成によってつくられ、水にほとんど溶けず加水分解や微生物分解で肥効が現れる肥料をさす。

表IV-9-(1)-1 窒素質肥料の種類とその特徴 (前ページからつづき)

種 類	特 徴
被覆窒素質肥料	<p>水溶性の化学肥料を硫黄や合成樹脂などの膜で被覆し、肥効をコントロールできるようにつくられた肥効調節型肥料の一種。樹脂としては、加熱すると軟化するポリオレフィン系と、熱を加えると固化するアルキッド樹脂やフェノール樹脂などがある。溶出の特性には、最初から直線的に効くリニアタイプと、初期の溶出が抑えられるシグモイドタイプなどがある。</p> <p>溶出のしくみは、内部の肥料が浸透圧で被膜を通してゆっくりと出てくる場合と、被膜が分解して肥料分が外に出てくるタイプがある。</p>

(ア) アンモニア化成作用

土壌中で有機態窒素が土壌微生物によって無機化され、アンモニアに変化する反応をいう。土壌有機物や施用された有機物中のアミノ基から、細菌、糸状菌、原生動物などの産出する加水分解酵素によってアンモニアが生成する。生成したアンモニアは、好気的条件下では一般に速やかに硝酸化成作用を受けるが、嫌気的条件下ではそのまま土壌に吸着されたり作物に吸収されたりする。

(イ) アンモニアの固定

交換性または水溶性のアンモニウムイオンが、バーミキュライトやスメクタイトのような2:1型粘土鉱物の層間に強く吸着され、非交換性となることをいう。固定されたアンモニウムイオンは、作物による吸収や硝化菌による硝酸化成が遅くなる。しかし、徐々に土壌溶液中に放出されるので、水田土壌や溶脱の激しい土壌では、施肥窒素の利用率が最終的にはむしろ高くなる場合もある。

(ウ) 硝酸化成作用

アンモニア態窒素が、硝酸化成菌の働きで酸化され、亜硝酸態窒素や硝酸態窒素が生成する反応をいう。土壌中では、通常は硝酸化成作用によって亜硝酸態窒素が集積することはなく、アンモニア態窒素は硝酸態窒素まで酸化される。

(エ) 脱窒

土壌中の硝酸態窒素が、脱窒菌の働きにより嫌気的条件下で亜酸化窒素を経て窒素ガスに変化する反応をいう。一般に、有機物量が多いほど脱窒は進む。脱窒菌の最適pHは7~8で酸性条件に比較的弱く、酸性条件では亜酸化窒素の発生割合が高まる。最適温度は30℃だが、低温性や高温性の脱窒菌も存在する。また、最近では環境保全型農業推進の観点から、高窒素負荷排水からの窒素除去技術としての利用も注目されている。

イ リン (P)

肥料として利用されるものには、窒素と同じく有機質肥料中に含まれるものと、無機質のものがある。無機質なものとしては過石、重過石、苦過石、リン酸、熔リン、リン安などがある。

植物はリンを正リン酸イオン( $H_2PO_4^-$ または $HP_2O_4^{2-}$ )の形態で吸収する。吸収されたリンはリン酸および有機態で存在する。有機態リンの主な形は、核酸、核タンパク、リン脂質、補酵素、糖リン酸エステルなどである。

リンはほとんどすべての炭素代謝，エネルギー代謝に関与し，作物に吸収されると生理活性の高い部分，例えば新芽や，根の先端などに移行，集積して，多くの代謝，エネルギー転移，酸化還元強く作用する。

#### (ア) 可給態リン酸

土壌に含まれるリン酸のうち，作物が吸収利用可能なものをいう。有効態リン酸ともいう。土壌中のリン酸は形態別にカルシウム型，アルミニウム型，鉄型に区別できる。カルシウム型リン酸は，作物に利用されやすい可給態リン酸であるが，アルミニウム型リン酸や鉄型リン酸は作物に利用されにくい難溶性リン酸である。

#### (イ) リン酸の固定

土壌に施用されたリン酸肥料は，一部は可給態リン酸として残るが，大部分は土壌中の活性アルミニウムや鉄と結合して難溶性リン酸に変化する。このため，作物によるリン酸の利用率は3～15%と低く，土壌中にリン酸が集積する原因ともなっている。リン酸の固定力は，活性アルミニウムの多い黒ボク土が最も強く，灰色低地土や砂丘未熟土などの沖積土壌は弱い。

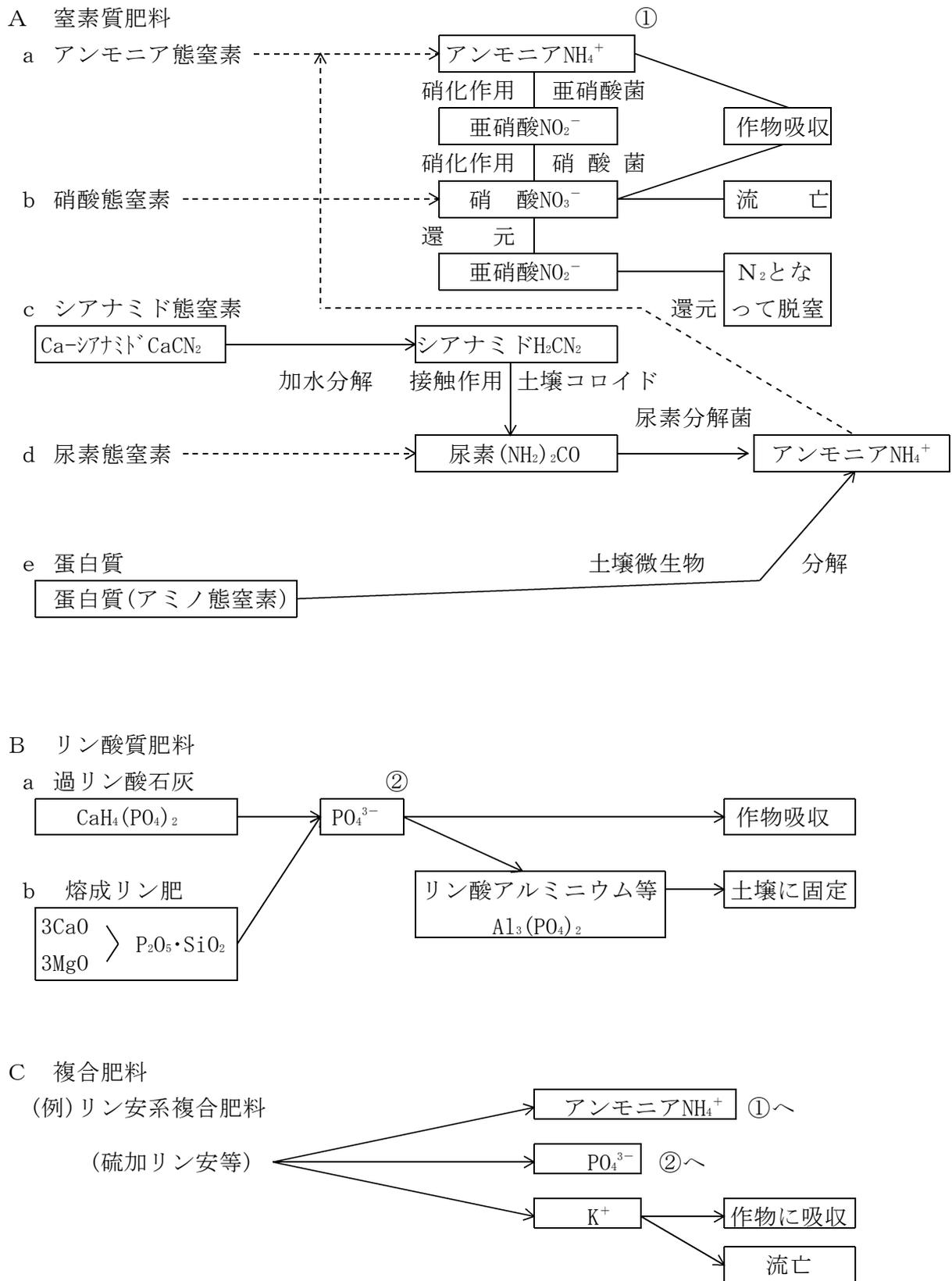
#### (ウ) リン酸吸収係数

土壌100 gが吸収固定するリン酸の量をmgであらわしたもの。リン酸吸収係数は，リン酸肥料の施用量や肥効を評価するために，また，黒ボク土をほかの土壌と区別するために重要な指標となる。一般に，黒ボク土では1,500以上の値を示す。

### ウ カリウム (K)

カリウムは，土壌鉱物の含有成分として，長石，雲母などに含まれているが，有効化するものは少ない。施用されたカリウムは，一部は溶脱するが，大部分は土に保持される。保持されたカリウムは土壌の交換性カルシウムなどと置き換わり，代わりにカルシウムが溶出する。交換性カリウムは植物によって，容易に吸収される。一方，施用されたカリウムの一部は土壌によって，非交換態カリ（固定）に変化する。この固定は土壌の乾湿の繰り返しによって強まるが，粘土の層間に入るものと考えられ，容易に有効化されない。

植物体中でのカリウムの作用は不明な点が多い。植物はカリウムをイオンの形( $K^+$ )で吸収する。他の養分のように，体内で生理作用の判明している有機物の形に変わることなく，大部分は水溶性の無機塩，有機酸塩として存在する。そのため，生理作用の解明がしにくい。カリウムは外液の濃度を増すと必要量をはるかに超えて吸収（ぜいたく吸収）される。また，生育環境を悪くすると，速やかに体外に排出される。体内ではカリウムの一部はタンパク質に強く吸着されている部分もあるが，大部分は水溶性として存在しているので，体構成成分と考えるより，細胞液の浸透圧維持，pHの調節，あるいは酵素作用の調節などが主な作用と考えられる。カリウムの生理作用は，カリウムの欠乏が体内の可溶性窒素化合物の増加をもたらすので，タンパク質代謝を攪乱し，可溶性の糖の増加，デンプン，セルロースなどの減少から，高分子炭水化物の合成力の低下をきたすと考えられている。カリウムは窒素やリン酸と同様，植物の新生部位に集積する傾向がある。



図IV-9-(1)-1 肥料の土壌中における分解過程

## (2) 肥料の分類

肥料取締法においては、肥料とは「植物の栄養に供すること又は植物の栽培に資するため、土壤に化学的变化をもたらすことを目的として土壤に施される物および植物の栄養に供することを目的として植物に施される物」として定義されている。つまり、「植物の栄養に供する物」と「土壤に化学的变化をもたらす物」の二とおりであり、植物の栽培のため、土壤、または植物に施される物である。

表IV-9-(2)-1 肥料取締法の概要

項目	主な内容
定義	①植物の栄養に供するため土壤または植物に施すもの ②植物の栽培に資するため土壤に化学的变化をもたらすもの
分類	①普通肥料：公定規格が定められているものおよび指定配合肥料など ②特殊肥料：農家が五感で判断できるもの。規格化がなじまないものなど
公定規格	①有効成分(主成分)：窒素全量，リン酸全量，カリ全量など ②有害成分：カドミウムなど重金属，ビウレットなどの有機化合物など ③その他制限事項：珪カルの粒度，I B，CDUなどの尿素など
登録	①有機質肥料，石灰類：都道府県知事 ②その他：農林水産大臣
届出	指定配合肥料など：農林水産大臣，都道府県知事
保証	登録(届出)番号，業者名・住所，肥料名称，保証成分，生産年月などの記載
立入検査	生産・在庫状況の帳簿，肥料の抜き取り検査，公表など
その他	①不正使用，虚偽の宣伝，異物混入の禁止 ②行政処分・罰則など

肥料は「肥料取締法」のなかで普通肥料と特殊肥料に分類されている。

さらに普通肥料では、有効成分(窒素，リン酸，カリなど)，肥効に直結する溶解性(全量，可溶性，く溶性，水溶性)，製法(化成，配合，熔性など)，外観(被覆，固形，液状など)による分類がある。無機質に対する有機質，多量要素に対する微量要素，目的生産に対する副産などの分類も用いられる。

「肥料取締法」では言及していないが、次のような分類も用いられる。肥料現物でのpH(酸性，中性，アルカリ性)，施肥，吸収後のpHの変化(生理的酸性，生理的中性，生理的アルカリ性)，製法(スラリー式，配合式，連続式，ムロ式など)，肥料の大小(粒状，粉状，顆粒状)，形状(球状，圧偏，プリル，ペレット，タブレットなど)，肥効の遅速(速効性，緩効性)，有効成分量の多少(高度，低度または普通)などである。表IV-9-(2)-2に肥料の製造法，性状による分類を示す。

表IV-9-(2)-2 肥料の製造法, 性状による分類

1次分類	2次分類	名称	内容
形状		粒状肥料 粉状肥料 ペレット状肥料 固形肥料 液状肥料	直径1mm以上のもの 粉末のもの 圧縮又は円筒状のものを粗砕したもの 2種以上の肥料に泥炭等を加えて成形した直径3mm以上のもの 水溶液又は懸濁液
産手段	入手経過	自給肥料 販売肥料	自家労働により生産する肥料 市販されている肥料
	製造方法	化学肥料 配合肥料 化成肥料	化学的方法により製造されたもの 2種以上の肥料を機械的に混合したもの 肥料又は肥料原料を使用して化学的方法により製造したもので2種以上の肥料成分を含むもの
原料		有機質肥料 動物質肥料 植物質肥料 無機質肥料 鉍物質肥料	供給源が動・植物質であるもの 供給源が動物界にあるもの 供給源が植物界にあるもの 供給源が無機化合物にあるもの 供給源が鉍物質界にあるもの
成分	主成分	単肥 複合肥料  窒素質肥料 りん酸質肥料 カリ質肥料 特殊成分肥料  微量元素肥料	肥料三要素のうち一成分のみ含むもの 肥料三要素のうち二成分以上含有するもの(配合・化成肥料)  窒素成分を特に多量に含有するもの りん酸成分を特に多量に含有するもの カリ成分を特に多量に含有するもの 石灰・苦土・珪酸のうち、一成分以上を含有するもの  マンガン・ほう素・鉄・銅・亜鉛・モリブデンのうち、一成分以上を含有するもの
	副成分	無硫酸根肥料 硫酸根肥料	硫酸塩をほとんど含有しないもの 肥料の主な組成が硫酸塩であるもの
	化学的反応	酸性肥料 塩基性肥料 中性肥料	水で溶かして酸性反応を示すもの 水で溶かしてアルカリ性反応を示すもの 水で溶かして中性であるもの

表IV-9-(2)-2 肥料の製造法，性状による分類（前ページからのつづき）

1次分類	2次分類	名称	内容
	生理的反応	生理的酸性肥料	植物が吸収した後，土壤に酸性反応を示すものを残すもの
		生理的塩基性肥料	植物が吸収した後，土壤にアルカリ性反応を示すものを残すもの
		生理的中性肥料	植物が吸収した後，土壤に酸性・アルカリ性反応を示すものを残さないもの
	成分含量の多少	高度肥料 高度複合肥料	高成分のもの 3成分の合計量が30%以上のもの（高度化成と大部分の粒状配合肥料）
		低度肥料 低度複合肥料	低成分のもの 3成分の合計量が30%未満のもの（普通化成，低度化成，大部分の有機入り配合肥料）
	肥効の遅速	速効性肥料 緩効性肥料 遅効性肥料	肥効が速やかに現れるもの 肥効が緩やかに現れるもの 肥料がある時期を過ぎてから現れるもの

### (3) 水の動きと養分の動態

土壤における養分の動態は，土壤のその養分に対する吸着，保持力の強弱に関係し，また，直接的には降水，かん水量と蒸発散量とに関係する。なお，土壤の透水性や低温による土面凍結，地下水面の移動などもかなり関与する。土壤からの溶脱や塩類集積など肥料要素の行動が大きな問題となるのは，畑状態の土壤であると考えてよい。

黒ボク土畑を中心に硝酸態窒素の動態を水量，かん水法，うね型，土壤被覆，土面蒸発などとの関係で調べた結果によれば，普通作物の根圏を15cmまでと仮定した場合，30mmかん水では土壤の乾湿に関係なくほとんど根圏内に止まっているが，45mmになると，小水分区では5%，多水分区ではその3.5倍も根圏外へ溶脱している。なお，かん水法とうね型との関係も興味深い。

畦間かんがいに對しては，高畦の方が同一かん水量に對して肥料養分の下層への移動が明らかに少ない。なお，肥料要素のうち動き易さからみると， $\text{NO}_3 > \text{NH}_3 > \text{K} > \text{P}$ の関係が得られている。連続干天による肥料成分の上昇傾向も明らかであり，90mmかん水によって表層20cm以上の層に31%しか残存しない場合，下降した $\text{NO}_3\text{-N}$ が12日（水面蒸発量33mm）後には20cm以上の層に89%が上昇し，有効化するものとみられる。また，ポリマルチや施設栽培のように降雨遮断の行われている場合には下層から上層への動きが顕著である。

このように降雨，かん水または蒸発による相互に相反する行動を定量的に速やかにとらえ，施肥成分の有効性の判定に応用することはきわめて重要である。

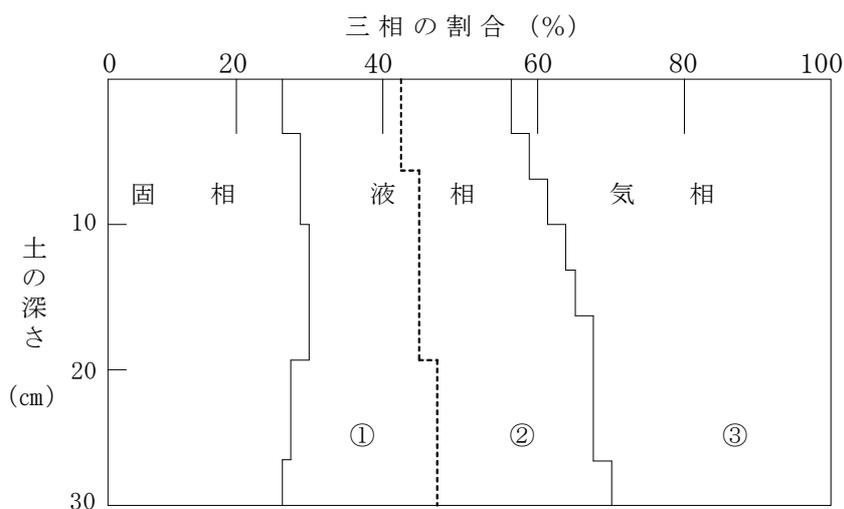
## 10 畑地かんがい

### (1) かんがいについての基礎知識

#### ア 土の中の水

土は、土の粒子、有機物からなる固体（固相）、液体（液相）および気体（気相）からできており、これらの容積割合を三相分布とよぶ。県内の代表的土壌である黒ボク土、シラス土および開聞岳周辺にみられる礫土の三相分布についてみると、黒ボク土の固相割合は他の土に比べて少なく25～30%、シラス土と礫土は30～40%になっている。粘土質な土壌では、固相率が50～60%に達する場合もある。

三相分布のうち、液相と気相は土の水分含量によって変化する。図IV-10-(1)-1に三相分布の模式図を示す。大雨が降って十分に水が与えられると液相、気相の全部が水で満たされた状態になる（これを最大容水量という）。その後、重力によって③の部分に相当する水（重力水という）が流れ去り、空気ははいて気相となる（通常重力水は雨が止んで24時間で流れ去る）。あとに残った水（①と②の合計）の量をほ場容水量といい、畑地かんがいの基準に使われる。さらに土壌の乾燥が続くと②の部分の水分が少なくなり、ついには作物の根が吸収しにくい水分（①の水分）だけが残りに、作物はしおれ始める。このように、土の中の水分で作物が利用できるのは主に②の部分で、これを「易効性有効水分」といい、作物を栽培する上で一番大切な水である。



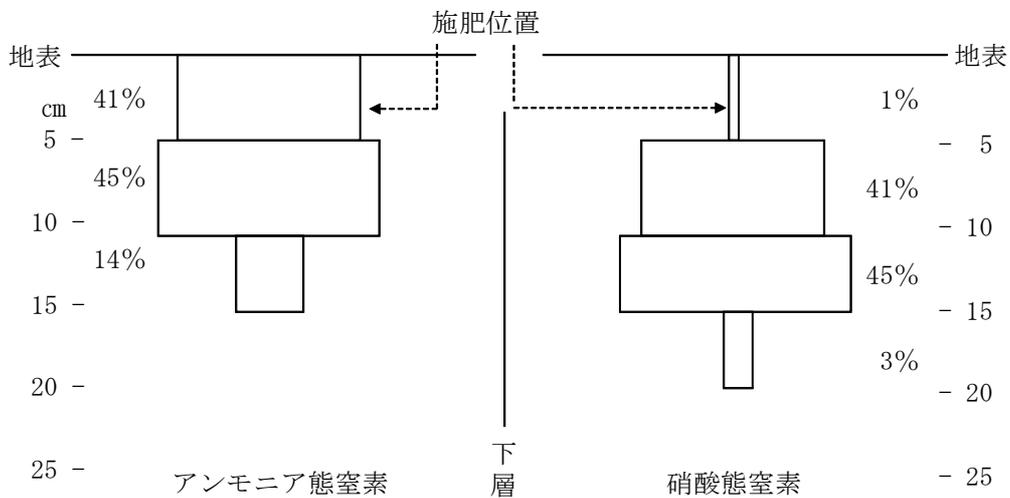
図IV-10-(1)-1 三相分布の模式図

#### イ 土の中の肥料養分の動き

土の中の水分の動きは、肥料、養分の分布やその効果にも強い影響を与える。ここでは、黒ボク土壌における作物の養分（窒素、リンおよびカリウム）と水の動きとの関係について説明する。窒素は、アンモニア態や硝酸態として作物に吸収される。両形態とも水によく溶けるが、アンモニア態は土壌粒子に吸着されるのに対して、硝酸態は吸着されにくいいため、両者の移動には大きな差がみられる。つまり、硝酸態窒素は、降雨によって流されやすい傾向にある。それでも、干ばつ防止のための1回のかん水量20～40ミリの散水かんがいでは、硝酸態窒素の移動位置はせいぜい深さ15cmまでであり、作物

に吸収されにくくなることは少ない。アンモニア態窒素は、カリウムと同様流亡しにくく、1回のかん水量20～40ミリの散水かんがいで、深さ5～10cmに位置する。リンはもともと三要素のなかで移動性の小さい養分であり、黒ボク土壌はリン酸固定力が強いいため、リン酸肥料はほとんど流亡しないと考えてよい。

次に黒ボク土壌と比較して、本県の代表的土壌での肥料、養分の流亡の仕方について述べる。「淡色黒ボク土」は黒ボク土の中でも腐植含量が少ないため、窒素とカリウムの流亡が大きい。したがって、指示されたかん水方法を遵守するとともに、土づくりの徹底が必要である。「黒ニガ」は、腐植が多く粒子が細かいため保水性に富み、窒素とカリウムの動きは鈍い。「アカホヤ」は、火山灰土壌の一種で腐植含量が極端に少ない土壌であるが、肥料の流れ方は黒ボク土と似ている。「シラス」は、砂土で腐植含量が少ないため、肥料が非常に流亡しやすい。したがって、かん水量をひかえるなどの工夫が必要である。「礫土」においてもシラスの場合と同様である。



図IV-10-(1)-2 黒ボク土壌における散水かんがいによる窒素の移動状況(水利用の手引き)

(2) シラス、礫土壌におけるかんがい基準

ア シラス

作物名 \ 月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
オクラ				10日間断 20mm	← 7日間断 30mm →		← 5日間断 30mm →					
にんじん (秋まき)									← 7日間断 20mm →		← 10日間断 20mm →	
青果用 だいこん (秋まき)									← 7日間断 20mm →		← 10日間断 20mm →	
実えんどう (スプリン クラー利用)			→						は種前 30mm	発芽後 10日間断 20mm	← 15日間断 4mm (チューブ)	

イ 礫土壌

月 作物名	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
実えんどう	← 15日間断 10mm →								は種前 30mm	← 10日間断 20mm →	← 10日間断 10mm →	
かぼちゃ (早熟)			← 7日間断 2mm →	交配期	← 7日間断 2mm →							
えだまめ (早熟)				← 10日間断 15mm →								
キャベツ (夏まき)									← 15日間断 15mm →	← 7日間断 15mm →		
レタス (年内1月 どり)									← 5日間断 15mm →	← 7日間断 15mm →		
さといも (早熟)			植付前 30mm	← 7日間断 15~20mm →	← 5日間断 15~20mm →							
さといも (普通)				← 5日間断 15mm →	← 3日間断 15mm →	← 3~5日間断 15mm →						
にんじん (夏まき)						は種前 20mm	← 7日間断 10mm →	← 7日間断 20mm →	← 7日間断 10mm →			
にんじん (秋まき)	← 10日間断 15mm →							は種前 20mm	← 7日間断 20mm →	← 7日間断 20mm →		
だいこん (加工)	← 10日間断 15mm →							は種前 20~30mm	← 7日間断 15mm →	← 7日間断 15mm →		

注) 1. 5日間断：5日間刻みにかん水を行う（例：8/1にかん水したら次は8/6）

2. 5日おき：かん水した日から次のかん水日まで5日おく（例：8/1にかん水したら次は8/7）

（資料 水利用技術に関する一問一答集）

### (3) 黒ボク土壌におけるかんがい基準

#### ア 普通畑

種 類	期 間	かん水の目安	かん水方法
さつまいも (普通栽培)	苗 床	適 量	ホースかん水
	植付時	20mm	スプリンクラー またはうね間かんがい
	6月～9月	10日おき30mm	スプリンクラー またはガンタイプ散水器
ラッカセイ	5月～6月	10日おき30mm	スプリンクラー
	7月～9月	5日おき30mm	スプリンクラー
ダ イ ズ	5月～6月	10日おき20mm	スプリンクラー
	7月～8月上旬	5～7日おき30mm	スプリンクラー

#### イ 飼料作物

種 類	期 間	かん水の目安	かん水方法
青刈りトウモロコシ ソ ル ゴ ー テ オ シ ン ト ネ ピ ア グ ラ ス	5～6月	7日おき30mm	スプリンクラー またはガンタイプ散水器
	7～9月	5日おき30mm	スプリンクラー, ガンタイプ散水器, 草丈の高いものはうね間かんがい
ロ ー ズ グ ラ ス ダ リ ス グ ラ ス シ コ ク ビ エ カ ラ ー ド ギ ニ ア グ ラ ス グ リ ー ン パ ニ ッ ク バ ヒ ア グ ラ ス	5～6月	7日おき30mm	スプリンクラー またはガンタイプ散水器
	7～9月	5日おき30mm	スプリンクラー またはガンタイプ散水器
青 刈 り エ ン バ ク イ タ リ ア ン ラ イ グ ラ ス	種まき直後	20mm～30mm	スプリンクラー
	10～4月	10日おき20mm (干天時)	スプリンクラーまたは ガンタイプ散水器 (冬は午前中)
飼 料 カ ブ	9～11月	10日おき20mm (干天時)	スプリンクラー
混 播 牧 草 地	7～9月	5日おき30mm	スプリンクラーまたは ガンタイプ散水器 (冬は午前中)
	10～6月	10日おき20mm	

#### ウ 茶園 (目安)

時 期	区 分	
	幼 木 園	成 木 園
1月～4月	10日おき20mm	10日おき20mm
5月～6月	7日おき20mm	7日おき20mm
7月～8月	5日おき20～25mm	7日おき30mm
9月～10月	5日おき20mm	7日おき30mm
11月～12月	10日おき20mm	10日おき20mm

エ 主な野菜のかんがい基準一覧表

月 作物名	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	
さといも		7日おき20mm			7日おき30mm		5日おき30mm		5日おき20mm				
キャベツ					(春・秋まき) 5日おき20mm		春まき5日おき 30mm		夏・初期まき 5日おき20mm	初夏まき 7日おき20mm	晩夏まき 5日おき30mm		
すいか		開花期前8日おき20mm 着果後幼果期5日おき30mm 肥大中期6日おき20mm				肥大後期8日おき 20mm							
オクラ		8日おき20mm		7日おき30mm		5日おき30mm							
トマト	7日おき20mm		8日おき20mm		7日おき30mm		5日おき30mm		7日おき30mm		7日おき20mm		
さやえんどう							は種前 30mm	7日おき30mm			10日おき 20mm		
だいこん	7日おき20mm		7日おき20mm		5日おき20mm		5日おき30mm		7日おき30mm		7日おき20mm		
にんじん	10日おき20mm		7日おき20mm		5日おき20mm		5日おき30mm		5日おき20mm		7日おき20mm		
ばれいしょ (秋)							植付前 30mm	7日おき30mm		異常乾燥外不用			
ネギ	10日おき20mm		7日おき20mm		7日おき20mm		5日おき30mm		7日おき30mm		7日おき 20mm		
カリフラワー	7日おき20mm								5日おき20mm		7日おき20mm		
ブロッコリー	7日おき20mm								5日おき20mm		7日おき20mm		
はくさい	10日おき20mm		7日おき20mm			結球期は控える			5日おき20mm		7日おき20mm		
ほうれんそう	8日おき 20mm		7日おき20mm		5日おき 20mm			5日おき 30mm		7日おき30mm		7日おき20mm	
えだまめ		10日おき20mm											
いんげんまめ			10日おき 20mm		7日おき20mm		5日おき20mm		7日おき20mm				
そらまめ							は種前 30mm	7日おき30mm			10日おき 20mm		
スイート コーン		7日おき20mm		5日おき20mm									

(資料 水利用技術に関する一問一答集)

(4) 散水器具の種類と特徴など

		レインガン	スプリンクラー (30番)	噴射ホース A型	ロールカー	スマートレイン
						
普通作	さつまいも	○	○	○	○	○
飼料作物	トウモロコシ	○	○		△	△
	ソルゴー	○	○		△	△
	イタリアンライグラス	○	○		○	△
露地野菜	さといも	○	○	△	△	△
	にんじん	○	○	○	○	○
	ごぼう	○	○	△	○	○
	だいこん	○	○	○	○	○
	らっきょう	○	○	○	○	○
	はくさい	○	○	○	○	○
	キャベツ	○	○	○	○	○
	ばれいしょ	○	○		○	○
	かぼちゃ			○		
△：時期次第では適						
散水器具の特徴・仕様等	長所	<ul style="list-style-type: none"> <li>設置、撤去に時間がかからない</li> <li>短時間で散水が終了</li> <li>接続管を使用すると背の高い作物もかん水可能</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>標準的な機種で汎用性が高い</li> <li>長時間少量散布なので、作物が長時間かけて水分を吸収できる</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>柔らかい雨型散布で、背の低い作物に向く</li> <li>設置が簡単である</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>設置、撤去が容易で、時間がかからない</li> <li>軽トラックで運搬可能</li> <li>自動的にかん水を停止する</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>設置、撤去に時間がかからない</li> <li>自動的にかん水を停止する</li> <li>30aをかん水するのに3～4時間と短い</li> <li>1回当たりのかん水量が15～20t/10a程度</li> </ul>
	短所	<ul style="list-style-type: none"> <li>短時間に大水量散布するので、畦の土砂流出の恐れがある</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>設置、撤去に多少手間がかかる</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>風の影響を受けやすい</li> <li>水圧の調整が必要</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>30aをかん水するのに6～8時間を要する</li> <li>1回当たりかん水量が10a当たり15t前後</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>散水台車の引き出し、自動かん水停止のため、散水開始、巻取機設置位置に枕地が必要</li> <li>運搬には牽引車両が必要</li> </ul>
	仕様	<ul style="list-style-type: none"> <li>4台セット(30a)(1ライン)</li> <li>導水ホース式</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>14本セット(30a)(2ライン)</li> <li>導水ホース式</li> <li>ストレーナー</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>3ライン(30a)</li> <li>チューブ型100m</li> <li>巻取機</li> <li>ストレーナー</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>下限面積：60a</li> <li>送水パイプ全長：100m</li> <li>動力式自動巻取機</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>下限面積：2ha</li> <li>送水パイプ全長：130m</li> </ul>

(資料 曾於地域畑地かんがい営農技術マニュアル)

# 11 排水対策

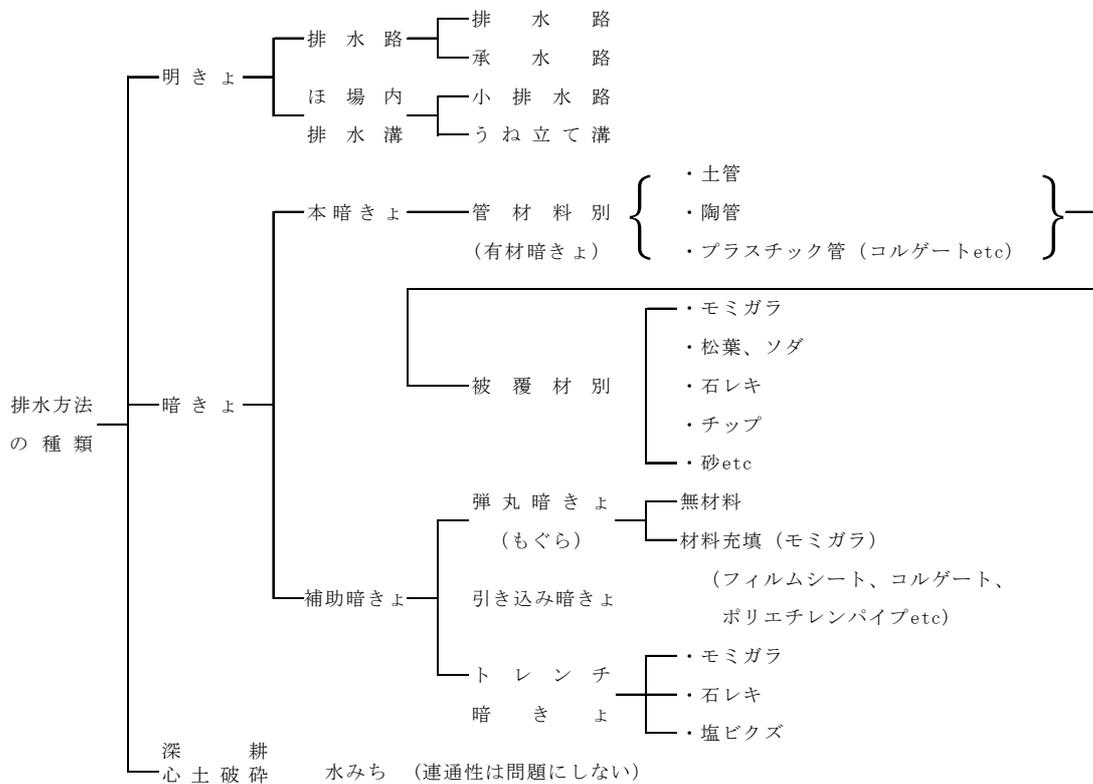
## (1) 営農排水の種類とその分類

“営農排水”とは“大規模な土木工事による排水”と区別される言葉で、個々の農家の経営能力の範囲で施工できる小規模排水のことをいう。営農排水法の種類は図IV-11-(1)-1示すとおりで、まず明きよ、暗きよ、心土破碎（深耕を含む）に分類される。明きよはさらに排水路とほ場内排水溝に分けられ、排水路には承水路も含まれる。ほ場内排水溝には小排水溝やうね立溝が含まれるが、これらは作物栽培の過程で対策を講ずることになるので“耕種的排水対策”の一つでもある。

暗きよは本暗きよと補助暗きよに分けられる。本暗きよとは、掘開して土管、陶管、プラスチック管（コルゲートパイプなど）などの管材を埋設し、その周辺を疎水材で被覆する本格的な暗きよのことである。補助暗きよとは、いわゆる“弾丸暗きよ”やトレンチャで掘開してモミガラ、砕石、竹材など埋め込む“トレンチャ暗きよ”など、工法が比較的簡単で、その分だけ耐久性の乏しい暗きよのことである。なお、引き込み暗きよ（フィルムシート、コルゲート、ポリエチレンパイプなどを土中に引き込む）もパイプ周辺に疎水材を被覆しない工法ということで補助暗きよに分類されている。“弾丸暗きよ”とは弾丸（モールボール）をトラクターなどによって土中に引き込み、その通過跡にできる連続したトンネル状の空間に暗きよの役割を果たさせようとするもので、空間にモミガラなどを充填する場合と充填しない無材料の場合がある。

暗きよパイプの周辺を被覆する疎水材としてはモミガラ、松葉、ソダ、砕石、チップ、砂などのほか、本県特有のボラも有効である。

その他、本暗きよに用水・排水機能を兼ね備えた、地下かんがいシステムがある。



図IV-11-(1)-1 営農排水方法の種類と分類

## (2) 耕地の主な過湿要因と排水方法

本県においては、水田、転換畑の高度利用のための排水対策や基盤整備に伴う透水不良の湿田、畑の排水対策が必要なほ場が多い。その過湿の大きな原因としては、押水（傾斜地の耕地で上位ほ場からの地下浸透水が境界土手を通して下位のほ場に侵入する水）、高地下水、湧水、ブル盤（基盤整備事業の際のブルドーザの踏圧によって形成された圧密層）の4つがあげられる。過湿なほ場は、これらの原因が1つないし複数関与している場合が多い。

したがって、効果的排水対策をとるためには、①排水対策の要否の判定、②過湿の原因の明確化、③原因別の排水方法の決定の順序で具体的方法を決める必要がある。

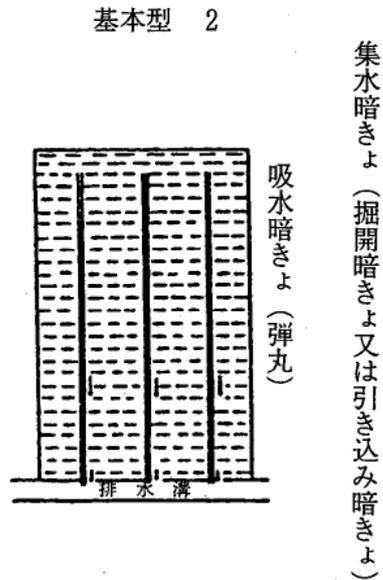
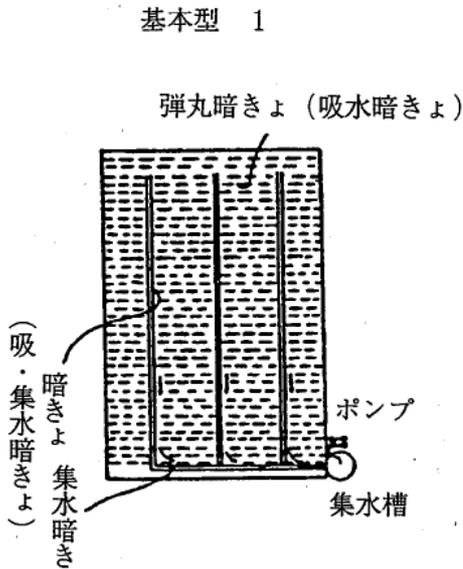
表IV-11-(2)-1 排水対策のための土壌診断基準（資料 鹿児島県の耕地における効果的営農排水方法）

診断項目	階級	排水対策(※)			
		本暗渠	補助暗渠 (弾丸暗渠)	心土破碎	
基本項目	地下水位 (降雨7日後cm)	30> 30~60 60<	○ ○ 細粒質△ 中粗粒質×	○ ○ 細粒質○ 中粗粒質△	- - - -
	グライ層位 (cm)	30> 30~60 60<	○ ○ 細粒質△ 中粗粒質×	○ ○ 細粒質○ 中粗粒質△	- - - -
	降雨後の停滞水 (排水まで時間hr)	24> 滞水なし	△ ×	△ ×	- -
準項目	作土の土壌水分 (降雨2~3日のPF)	1> 1~1.5 1.5	○ △ ×	○ △ ×	- - -
	作土の円錐貫入抵抗 (降雨7日後の測定 kg/cm <sup>2</sup> )	2.5 2.5~5.0 5.0<	○ △ ×	○ △ ×	- - -
	下層土の粗孔隙率 (PF0~1.5VO1%)	5> 5~15 15<	○ △ ×	○ △ ×	- - -
目	下層土の最小透水係数 (cm/sec)	10 <sup>-4</sup> 10 <sup>-3</sup> ~10 <sup>-3</sup> 10 <sup>-3</sup> <	○ △ ×	○ △ ×	- - -
	下層土の最高ち密度 (山中式硬度計mm)	25< 25~19 19>	○ △ ×	○ △ ×	- - -
	ち密層の厚さ (cm)	10 10~5	- -	- ○	- -

- 注) 1. ○:必要, △:必要な場合がある, ×:必要でない, -:この項では判定できない。  
 2. 排水対策は、土壌診断項目中基本項目では、1項目以上あるいは準項目で、2項目以上の階級値で排水対策を必要とする(○印)と判定した場合に実施する。なお、診断は特に記載する以外、落水期もしくは畑利用時期の調査結果によって行う。  
 3. 地下水位、降雨後の停滞水などにおける降雨とは、降雨量40~50mm程度のものをいう。  
 4. 降雨後の停滞水：足跡、機械せん回部、畦間などで判定する。  
 5. 作土の円錐貫入抵抗：地耐力ともいう。ここでは、水稻跡地のSRⅡ型土壌抵抗測定器で測定する。  
 6. 下層土：すき床層および心土層といい、作土下のほぼ15~40cmの部位をさす。  
 7. ち密層：下層土の透水係数10<sup>-6</sup>>の難透水層あるいはち密度25mm程度以上の硬盤層をいう。

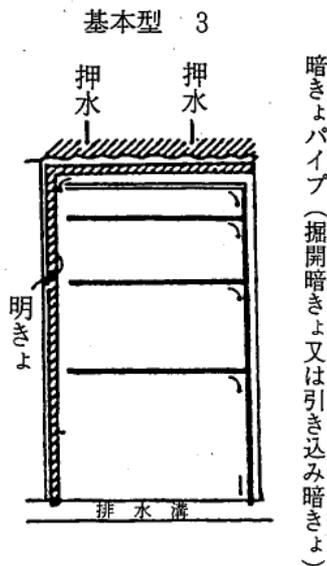
(3) 過湿原因別排水方法の基本型

排水対策を講ずる際には、過湿の原因によって次の基本型1から基本型8までのいずれかの方法を参考にする。なお、基本型は試験の結果、掘開パイプ暗きよ、引き込み暗きよ、弾丸暗きよを単独または組み合わせ施工するように構図してある。

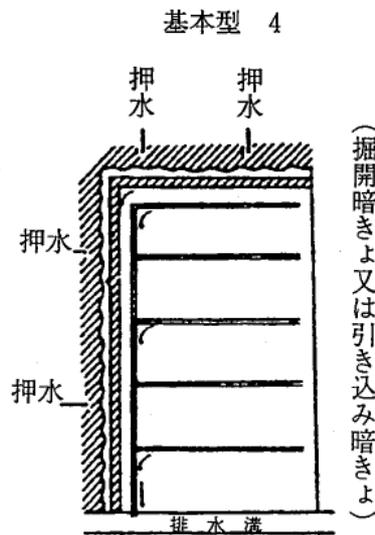


高地下水に基因する干拓地  
過湿転換畑の排水方法  
(暗きよは掘開暗きよ又は引き込み暗きよ)

高地下水に基因する過湿転換畑の排水方法



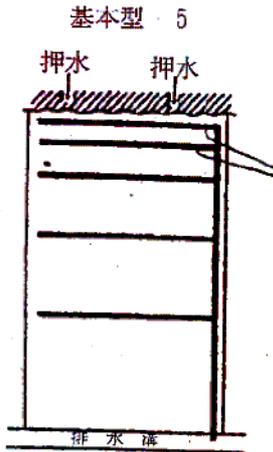
押水が一辺の土手から侵入する  
転換畑の排水方法  
(弾丸暗きよの点線は省略)



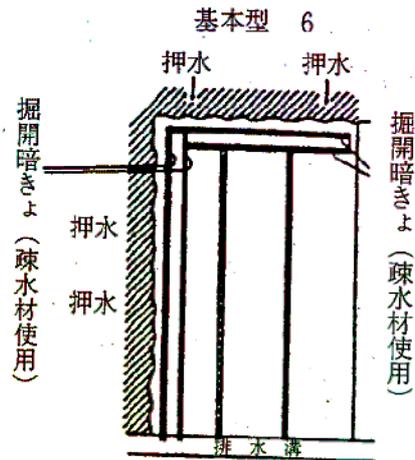
押水が二辺の土手から侵入する  
転換畑の排水方法  
(弾丸暗きよの点線は省略)

図IV-11-(3)-1 排水方法の基本型

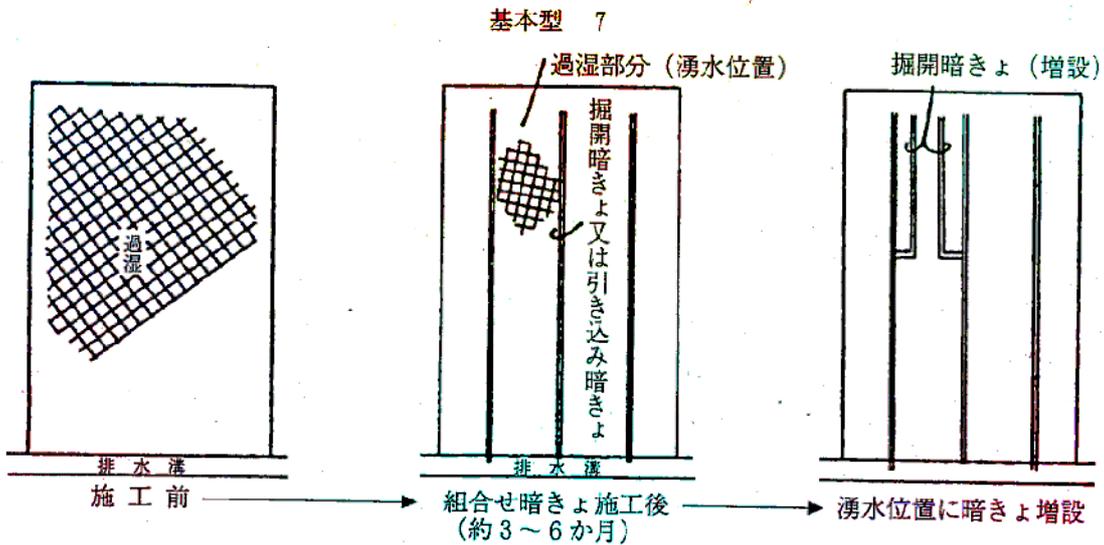
(資料 鹿児島県の耕地における効果的営農排水方法)



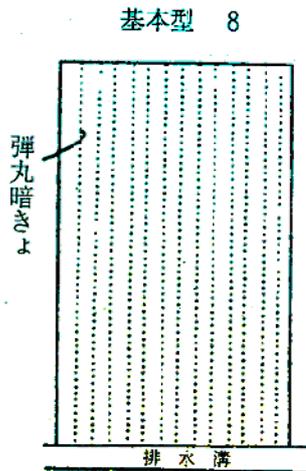
押水が一辺の土手から浸入する  
圃場の暗きよだけによる排水方法  
(弾丸暗きよの点線省略)



押水が二辺の土手から浸入する  
圃場の暗きよだけによる排水方法  
(弾丸暗きよの点線省略)



湧水に基因する過湿転換畑の排水方法



”ブル盤”に基因する過湿転換畑の排水方法

図IV-11-(3)-1 排水方法の基本型 (前ページからつづき)