

2 土壌診断に基づく施肥設計

【施肥設計手順の概略】

施肥設計の流れを以下に示す。

施肥基準を確認する。

↓

土壌診断をする。

↓

土壌診断結果を基に減肥等を行い、実際の施肥量を求める。

↓

使用する肥料を選び、3要素の施肥設計量を超えないよう資材の種類と量を決める。その際、有機物は肥効率を加味して施用量を求める。

なお、本書では肥効率について、化学肥料の肥効を100とした相対率をいう（全量に占める植物が利用可能な割合）。

(1) 施肥基準の確認

主要農作物施肥基準を参照し、当該作物の施肥基準量を確認する。その際、堆肥等の有機物を施用する場合は、稲わら堆肥等の地力増進を目的とした資材を除き、堆肥中の有効成分を肥料分として施肥設計にカウントすることを基本とする。

(2) 土壌診断による実際の施肥量の決定

土壌診断を実施し、(1)の施肥基準量と併せて3要素ごとに適正な施肥量を決定する。下記土壌診断基準と照らし合わせ、土壌診断値が適正域にある場合は施肥基準に準じた、施肥量とする。

ア 土壌診断

窒素は硝酸態窒素及びアンモニア態窒素、リン酸はトルオーグ抽出液による有効態リン酸、カリは1M酢酸アンモニウム液（pH7）抽出による交換性カリを測定する。同時に、交換性石灰、交換性苦土及び陽イオン交換容量を測定し塩基飽和度及びカリの飽和度を算出する。

なお、陽イオン交換容量の測定が困難な場合、土壌タイプによって陽イオン交換容量値は比較的収束する傾向があるので、表1の土壌タイプ（土壌統）の平均値を参考に推定してもよい。対象土壌タイプを知るには、埼玉県デジタル土壌図を活用することが利便である。

参考として、神奈川県の土壌診断システムで提唱されている式を用いての陽イオン交換容量簡易推定法を紹介する（但し、式の**係数**の本県土壌に対する適合性は検証していないので注意されたい）。

$$\begin{aligned} \text{pH} &= 0.035 \times \text{塩基飽和度} - 0.5 \times \text{EC} + 3.5 \text{の関係があることから、} \\ \text{CEC} &= 0.035 \times 100 \times (\text{CaOmg}/28.04 + \text{MgOmg}/20.15 + \text{K}_2\text{Omg}/47.1) / \\ &(\text{pH} + 0.5 \times \text{EC mS/cm} - 3.5) \end{aligned}$$

表1 埼玉県耕地土壌のタイプ別CEC、リン酸吸収係数、仮比重

土壌統	土壌群	土壌統群	CEC (me/100g)	P205 吸収係数	仮比重	調査名
久米川統	黒ボク土	厚層多腐植質黒ボク土	27.30	2163.00	0.75	地力保全基本調査
赤井統	黒ボク土	厚層腐植質黒ボク土	26.10	1826.00	0.88	地力保全基本調査
野々村統	黒ボク土	表層多腐植質黒ボク土	30.00	2155.00	0.68	地力保全基本調査
鯉淵統	黒ボク土	表層多腐植質黒ボク土	47.83	2211.96	0.52	環境基礎調査
米神統	黒ボク土	表層腐植質黒ボク土	29.05	1831.67	0.67	環境基礎調査
大里統	黒ボク土	表層腐植質黒ボク土	33.35	1973.94	0.70	環境基礎調査
船川統	黒ボク土	表層腐植質黒ボク土	18.60	694.00	1.15	地力保全基本調査
丸山統	黒ボク土	淡色黒ボク土	18.92	727.13	1.02	環境基礎調査
大河内統	黒ボク土	淡色黒ボク土	24.32	1123.71	0.87	環境基礎調査
仙田統	黒ボク土	淡色黒ボク土	23.16	1021.73	0.91	環境基礎調査
田子の須統	黒ボク土	淡色黒ボク土	14.62	445.83	1.16	環境基礎調査
上野統	黒ボク土	淡色黒ボク土	16.50	889.00	1.15	地力保全基本調査
西大久保統	多湿黒ボク土	厚層多腐植質多湿黒ボク土	36.60	1995.00	0.28	地力保全基本調査
千町無田統	多湿黒ボク土	表層多腐植質多湿黒ボク土	33.15	1493.38	0.63	環境基礎調査
三輪統	多湿黒ボク土	表層腐植質多湿黒ボク土	21.38	1055.38	0.90	環境基礎調査
上尾統	多湿黒ボク土	表層腐植質多湿黒ボク土	30.60	1995.00	0.53	地力保全基本調査
大谷津統	黒ボクグライ土	多腐植質黒ボクグライ土	44.10	2310.00	0.53	地力保全基本調査
半谷統	黒ボクグライ土	腐植質黒ボクグライ土	28.20	1440.00	0.80	地力保全基本調査
八木橋統	黒ボクグライ土	腐植質黒ボクグライ土	25.70	1525.00		地力保全基本調査
貝原統	褐色森林土	細粒褐色森林土	18.00	892.00	1.18	地力保全基本調査
上統	褐色森林土	細粒褐色森林土	22.70	659.00	1.34	地力保全基本調査
寺の尾統	褐色森林土	細粒褐色森林土	14.70	707.00	1.10	地力保全基本調査
吉原統	褐色森林土	細粒褐色森林土	24.90	1450.00		地力保全基本調査
笠山統	褐色森林土	細粒褐色森林土	17.37	676.00	1.24	環境基礎調査
黒崎統	褐色森林土	細粒褐色森林土	19.80	885.00	1.29	地力保全基本調査
裏谷統	褐色森林土	中粗粒褐色森林土	21.40	1130.00	1.10	地力保全基本調査
石浜統	褐色森林土	礫質褐色森林土	14.00	685.00	0.95	地力保全基本調査
五社統	褐色森林土	礫質褐色森林土	21.80	913.00	1.16	地力保全基本調査
前川統	褐色森林土	礫質褐色森林土	20.05	628.50	1.18	環境基礎調査
泉南統	褐色森林土	礫質褐色森林土	23.00	841.00	1.22	地力保全基本調査
岩屋統	褐色森林土	礫質褐色森林土	21.90	614.00	1.12	地力保全基本調査
千原統	褐色森林土	礫質褐色森林土	25.10	960.00	1.23	地力保全基本調査
小向統	灰色台地土	細粒灰色台地土	13.90	368.00	1.25	地力保全基本調査
江迎統	灰色台地土	細粒灰色台地土	23.49	1056.25	1.16	環境基礎調査
長田統	灰色台地土	礫質灰色台地土	14.60	600.00	0.98	地力保全基本調査
塩田統	灰色台地土	礫質灰色台地土	19.70	307.00	1.35	地力保全基本調査
櫛下統	褐色低地土	細粒褐色低地土斑紋なし	13.80	750.00	1.08	地力保全基本調査
新戒統	褐色低地土	細粒褐色低地土斑紋なし	16.84	621.21	1.13	環境基礎調査
飯島統	褐色低地土	中粗粒褐色低地土斑紋なし	8.60	636.00	1.22	地力保全基本調査
二条統	褐色低地土	礫質褐色低地土斑紋なし	20.90	778.66	1.13	環境基礎調査
外城統	褐色低地土	礫質褐色低地土斑紋なし	14.10	751.00	1.29	地力保全基本調査
中島統	褐色低地土	細粒褐色低地土斑紋あり	21.25	712.38	1.04	環境基礎調査
常万統	褐色低地土	細粒褐色低地土斑紋あり	20.72	768.27	1.03	環境基礎調査
長崎統	褐色低地土	中粗粒褐色低地土	10.10	1162.00	1.45	地力保全基本調査
東和統	灰色低地土	細粒灰色低地土灰色系	20.06	909.25	1.18	環境基礎調査
四倉統	灰色低地土	細粒灰色低地土灰色系	20.51	892.00	1.03	環境基礎調査
宝田統	灰色低地土	細粒灰色低地土灰色系	16.88	729.19	1.11	環境基礎調査
豊中統	灰色低地土	中粗粒灰色低地土灰色系	16.30	912.00	1.24	地力保全基本調査
久世田統	灰色低地土	礫質灰色低地土灰色系	15.98	833.94	1.03	環境基礎調査
国領統	灰色低地土	礫質灰色低地土灰色系	13.10	708.00	1.00	地力保全基本調査
多々良統	灰色低地土	細粒灰色低地土灰褐色系	17.10	1188.00	1.04	地力保全基本調査
赤池統	灰色低地土	礫質灰色低地土灰褐色系	23.90	1171.00	0.80	地力保全基本調査
栢山統	灰色低地土	礫質灰色低地土灰褐色系	16.80	907.00	1.15	地力保全基本調査
野市統	灰色低地土	灰色低地土下層黒ボク	24.85	1195.94	0.94	環境基礎調査
泉崎統	灰色低地土	灰色低地土下層有機質	23.75	1191.69	0.93	環境基礎調査
登戸統	灰色低地土	灰色低地土斑紋なし	21.82	795.38	0.98	環境基礎調査
田川統	グライ土	細粒強グライ土	22.82	1176.56	0.93	環境基礎調査
東浦統	グライ土	細粒強グライ土	21.33	1089.38	0.94	環境基礎調査
琴浜統	グライ土	中粗粒強グライ土	16.40	724.00	0.95	地力保全基本調査
幡野統	グライ土	細粒グライ土	23.02	1027.07	1.00	環境基礎調査
浅津統	グライ土	細粒グライ土	20.11	890.25	0.92	環境基礎調査
八幡統	グライ土	中粗粒グライ土	13.00	863.00		地力保全基本調査
米里統	グライ土	グライ土下層有機質	23.70	1121.45	0.93	環境基礎調査
榎山統	グライ土	グライ土下層有機質	18.00	909.00	0.77	地力保全基本調査
太平統	グライ土	グライ土下層有機質	22.50	883.00	0.10	地力保全基本調査
田貝統	黒泥土	黒泥土	23.30	887.00	0.89	地力保全基本調査
井川統	黒泥土	黒泥土	33.80	1825.00	0.60	地力保全基本調査
三方江統	黒泥土	黒泥土	24.36	1161.25	0.95	環境基礎調査
岩沼統	泥炭土	泥炭土	26.17	984.91	0.89	環境基礎調査

イ 土壌診断値による減肥等の診断方法

表3及び4に、土壌診断基準及び陽イオン交換容量別の適正塩基（含量及びバランス）を示す。

窒素

土壌中の無機態窒素（硝酸態窒素＋アンモニア態窒素）が3 mg/100 g以上を肥料成分としてカウントする。作土深、仮比重（実測するか表1より土壌タイプで類推）から面積当たりの窒素量に換算する。

診断例：宝田統（細粒灰色低地土）作土深15cmで、無機態窒素が5 mg/100 g。

$$\begin{aligned} \text{面積当たりの無機態窒素量} &= (\text{窒素量} - \text{初期値}) \times \text{作土深} \times \text{仮比重} \\ &= (5 - 3) \times 1.5 \times 1.1 = 2.2 \text{ (kg/10a)} \end{aligned}$$

を施肥基準から減じ施肥量とする。

リン酸

土壌診断による有効態リン酸の含量に応じて以下のように施肥量を決定する。

80mg/100g未満	施肥基準量を施用する。
80～100mg/100g	施肥基準のリン酸から20%減肥
100～200mg/100g	〃 40%減肥
200～300mg/100g	〃 60%減肥
300mg/100g以上	リン酸は施用しない。

診断例：リン酸施肥基準が18kg/10aのスイートコーンのほ場の有効態リン酸が150mg/100gであった。

→40%減肥とし、 $18 \times 0.6 = 10.8$ (kg/10a)のリン酸施肥とする。

カリ

表4の陽イオン交換容量別土壌適正塩基の上限値を参照し、基準値の上限+10mg以上は肥料成分として換算する。

基準値下限-5mg以下肥料成分を増肥する。但し、苦土及び石灰の塩基バランスが基準内に入るよう、苦土及び石灰の施用量も同時に診断する（その他の塩基に後述）。

診断例：陽イオン交換容量16me/100gの褐色低地土（新戒統）の交換性カリが50mg/100gあった。ここでカリ施肥基準が18kg/10aのこまつなを作る場合のカリ施用量を求める。

上記土壌の適正カリ上限値は表4により34mgなので、

$$\begin{aligned} \text{カリ施用量} &= \text{カリ施肥基準} - (\text{カリ土壌分析値} - (\text{上限値} + 10)) \\ &= 18 - (50 - (34 + 10)) = 18 - 6 = 12 \text{ kg/10a} \end{aligned}$$

カリ施肥量を12kg/10aとする。

その他の塩基

カリの施用量を設定した上で、適正塩基飽和度の表より飽和度が目標となるよう、苦土及び石灰量を決定する。

診断例：カリの診断例と同じ場合を例に、陽イオン交換容量16me/100g、作土深15cm、仮比重1.1の新戒統で土壌診断した結果、石灰220mg/100g、苦土30mg/100g、加里50mg/100gであり、こまつなを栽培しようとする。

カリは上記のカリ診断例のように6kg/10a減肥し12kg/10a施用する。塩基飽和度がこの土壌の下限值～上限値である70%～90%に収まりかつ、塩基バランスをできる限り適正域になるようにしたい。ここでは苦土石灰（石灰40%苦土15%）で土壌矯正した場合の、その施用量と改善後の土壌推定値を表2に示す。

表2 苦土石灰施用量と施用後の土壌推定値

苦土石灰 施用量 kg/10a	施用後の土壌推定値					
	CaO mg/100g	MgO mg/100g	K ₂ O mg/100g	塩基飽和度 %	Ca/Mg	Mg/K
0 現状	220	30	57	65	5.3	1.4
60	234	35	57	70	4.75	1.45
300	292	57	57	90	3.67	2.33

苦土石灰60kg/10a施用すると塩基飽和度の下限値に達するが塩基バランスのMg/K適正域(2.75～9.20、表4より)から著しく低い。そこで塩基飽和度上限の90%に相当する300kg/10aを施用すると、Mg/Kバランスは適正域まで行かないがかなり改善される。

腐植

可能であれば土壌の腐植（土壌炭素×1.72）量を測定し、目標値以下であれば、堆肥等の有機物を積極的に施用する（表3）。ただし、家畜ふん堆肥等は、施用分を肥料として勘案するのは言うまでも無い。

表3 土壤診断基準（概略）

土壤の性質	水田		普通畑		樹園地	
	灰色低地土 グライ土 褐色低地土 灰色台地土 グライ台地土	多湿黒ボク土 泥炭土 黒泥土 黒ボクグライ土	褐色森林土 褐色低地土 灰色低地土 灰色台地土	黒ボク土 多湿黒ボク土	褐色森林土 褐色低地土 灰色低地土 灰色台地土	黒ボク土 多湿黒ボク土
作土の厚さ	15cm以上		25cm以上		—	
主要根域群の厚さ	—		—		40cm以上	
根域の厚さ	—		—		60cm以上	
すき床層のち密度	14～24mm		—		—	
主要根域群の最大ち密度	24mm以下		22mm以下		22mm以下	
主要根域群の粗孔隙量	—		10%以上		10%以上	
主要根域群の易 有効水分保持能	—		20mm/40cm以上		30mm/60cm以上	
日減水深	20～30mm		—		—	
pH(H ₂ O)	6.0～6.5		6.0～6.5		5.5～6.5 (茶園4.0～5.5)	
陽イオン交換容量	12me以上	15me以上	12me以上	15me以上	12me以上	15me以上
塩基飽和度 %	63～110		63～110		53～100 (茶園 31～73)	
石灰飽和度 %	46～86		46～86		39～79 (茶園 22～54)	
苦土飽和度 %	12～21		12～21		11～19 (茶園 7～15)	
カリ飽和度 %	1.6～5.8		1.6～5.8		1.6～5.1 (茶園 1.3～4.2)	
有効態-P ₂ O ₅	10mg以上		10～75mg	10～100mg	10～30mg	
有効態-SiO ₂	15mg以上		—		—	
可給態窒素含有量	8～20mg		5mg以上		—	
土壤有機物含有量	2%以上	—	3%以上	—	2%以上	—
遊離酸化鉄含有量	0.8%以上		—		—	
電気伝導度	0.2mS以下		0.2mS以下		—	

表4 陽イオン交換容量別の土壌の適正塩基基準

水田、畑						
C E C	C a O mg	M g O mg	K 2 O mg	塩基飽和度 %	Ca/Mg比	Mg/K比
10me	210～240	25～43	15～20	90～110	3.51～6.90	2.92～6.70
15	230～290	40～59	15～34	70～93	2.80～5.21	2.75～9.20
20	280～350	56～75	20～51	66～86	2.68～4.49	2.57～8.77
25	340～410	71～91	25～68	65～82	2.68～4.15	2.44～8.51
30	400～470	87～106	30～80	64～79	2.71～3.88	2.54～8.26
35	460～540	103～122	30～80	63～77	2.71～3.77	3.01～9.51
40	520～600	119～138	30～80	63～75	2.71～3.62	3.48～10.8
樹園地						
C E C	C a O	M g O	K 2 O	塩基飽和度	Ca/Mg比	Mg/K比
10me	190～220	23～39	15～20	82～100	3.50～6.87	2.68～6.08
15	200～260	34～53	15～31	61～84	2.71～5.50	2.56～8.26
20	240～310	47～66	20～45	57～76	2.61～4.74	2.44～7.72
25	290～360	61～80	25～60	56～72	2.60～4.24	2.38～7.48
30	340～410	74～93	30～70	55～69	2.63～3.98	2.47～7.25
35	390～470	88～106	30～70	54～67	2.64～3.84	2.94～8.26
40	440～520	101～120	30～70	53～65	2.63～3.70	3.37～9.35
茶						
C E C	C a O	M g O	K 2 O	度 塩基飽和	Ca/Mg比	Mg/K比
10me	120～150	20～30	15～20	56～73	2.87～5.39	2.34～4.68
15	130～170	20～34	15～20	40～54	2.75～6.11	2.34～5.30
20	140～200	27～42	15～29	33～49	2.40～5.32	2.18～6.55
25	170～230	35～50	20～37	33～46	2.44～4.72	2.21～5.85
30	190～250	42～57	25～42	31～42	2.40～4.28	2.34～5.33
35	220～280	50～65	25～42	31～40	2.43～4.02	2.78～6.08
40	250～310	57～72	25～42	31～39	2.50～3.91	3.17～6.74

(3) 肥料の選択と施肥設計の実際

施肥基準と土壌診断により施用する肥料養分の施用量が決定したら、用いる肥料を選定し施肥設計を行う。

ア 化学肥料の場合は、3要素が各々設計した分量になるよう調節する。

イ 家畜ふん等、有機物を用いる場合。

生ごみ堆肥等を除き一般的に家畜ふん堆肥は窒素成分よりリン酸、カリ分が多い。また3要素特に窒素は堆肥により肥効率が異なる。第4章の「優良堆肥の使用」を参照し、使う堆肥中の3要素の肥効率を求める。

堆肥を有効的に使用するためには、リン酸、カリの投入量を踏まえつつ施用上限量を決定することである。

堆肥中のリン酸及びカリ有効成分量（全成分量×肥効率）について、一般的な化学肥料ではク溶性画分（2%クエン酸可溶）及び水溶性画分を以て有効態成分（植物が吸収可能な成分）としている。これに関し、県内生産堆肥中のリン及びカリのク溶性画分調査結果を示す。

表5 各種堆肥の肥効率 (%)

堆肥の種類		窒素	リン酸	カリ
堆肥	牛ふん	20	60	90
	豚ふん	40	60	90
	鶏ふん	50	70	90
おが屑混合堆肥	牛ふん	10	50	90
	豚ふん	20	50	90
	鶏ふん	25	60	90
生ごみ堆肥		30～50	80	90

表6 調査有機質資材の全リンとク溶性リンの調査例

種類	原料	標本数	全リン酸 %	ク溶性リン酸 %	ク溶率 %
たい肥	牛ふん	13	2.41	2.03	81.8
	鶏ふん	8	6.05	5.35	86.8
	豚ふん	3	6.48	5.56	83.0
	馬ふん	1	1.98	2.34	118.2
	食品残渣	6	1.81	1.64	92.5
	食品残渣+牛ふん	1	1.64	1.61	98.5
	鶏豚骨+茶殻	3	17.77	11.40	65.3
	落ち葉	1	0.42	0.14	33.7
	剪定枝	4	1.76	1.13	38.0
有機質肥	米ぬか	1	7.68	0.59	7.7
	乾燥菌体	2	10.19	1.68	20.6
	魚節煮かす	1	3.35	3.89	116.2
	合計	44	4.68	3.32	75.6

表7 調査有機質資材の全カリとク溶性カリの関係の調査例

種類	原料	標本数	全カリ %	ク溶性カリ %	ク溶率 %
たい肥	牛ふん	13	3.16	2.96	94.9
	鶏ふん	8	3.64	3.18	88.8
	豚ふん	3	3.08	2.91	94.1
	馬ふん	1	0.70	0.86	122.3
	食品残渣	6	1.48	1.54	102.7
	食品残渣+牛ふん	1	1.27	1.61	91.8
	鶏豚骨+茶殻	3	0.48	0.41	85.7
	落ち葉	1	0.18	0.15	82.0
	剪定枝	4	0.32	0.45	—
有機質肥	米ぬか	1	2.99	2.80	93.5
	乾燥菌体	2	0.15	0.26	—
	魚節煮かす	1	—	0.98	—
	合計	44	2.34	2.08	88.7

家畜ふん堆肥は、概ねリン酸は80%、カリは90%~100%がク溶性及び水溶画分である。リン酸のク溶率（全成分に占めるク溶性画分の割合）は資材により差があることに注意する。

ク溶性画分は、試料を2%クエン酸で30℃で1時間抽出することで得られる。得られたリン酸及びカリを定法で測定すれば有効態の画分を直接推定できる。

参考に窒素の有効な成分量の推定は、比較的即効なものであれば以下の方法で推定することができる。試料を0.5M 塩酸で抽出し、抽出液中のアンモニア態窒素を測定する。

(4) 堆肥施用による具体的な施肥設計の事例（飼料作物を例に）

ア 使用する堆肥の有効態含量（全成分×肥効率、植物が利用可能な成分）を把握する。第4章の優良な堆肥の項を参照。

ここでは、牛ふん堆肥を使うこととする。

イ 対象作物の施肥基準を確認する。

また、(2) で述べたように、土壌診断を行い減肥基準に従い実際に施用する施肥量を決定する（ここでは土壌診断による減肥を割愛する）。

表 8 飼料作物の施肥基準の例

	窒素施肥量 (kg/10a)	リン酸施肥量 (kg/10a)	カリ施肥量 (kg/10a)
飼料作物	20	18	20

ウ 実際に使う堆肥の全成分を確認する。平成12年の肥料取締法改正により、流通する全ての堆肥には窒素、リン酸、カリ、炭素率の表示が義務づけられている。

これらア、イ、ウの値から、堆肥施用量による各3要素の有効成分の面積当たり投入量を試算する。

表 9 牛ふん堆肥を例に取った施用量と有効成分投入量の試算例

牛ふん					
	施用量kg/10a	窒素	リン酸	カリ	水分
乾物全成分 %		2.1	2.1	2.2	0
現物全成分 %		1.1	1.1	1.1	50
肥効率 %		20.0	60.0	90.0	
有効成分 %		0.2	0.6	1.0	
有効成分 kg/10a	1000	2.1	6.3	9.9	
〃	2000	4.2	12.6	19.8	
〃	3000	6.3	18.9	29.7	
〃	4000	8.4	25.2	39.6	

この堆肥を2,000kg/10a投入すると、カリ有効成分量が施肥基準20kg/10aに達するので、2,000kgがこの堆肥の10a当たりの上限施用量となる。

この量を施用した場合、有効態の窒素は4.2kg/10a投入されるので、施肥基準20kg－4.2kg＝15.8kg/10aを別の肥料で投入する。同様にリン酸は12.6kg/10a投入されるので施肥基準18kg－12.6kg＝5.4kg/10aのリン酸を別の肥料で施用する。

この例では、カリが堆肥施用上限因子であるが、用いる堆肥の成分および肥効率により施肥基準量に達する成分を以て施用上限因子を設定する。

また、第4章の優良堆肥の使用で述べるように、作物や土壌の乾湿により上限因子の施肥代替率（堆肥から供給される有効成分の施肥基準量に占める割合）を調節する。