第１章

堆肥の適正施用と施用効果

１－１　県内の農耕地土壌の実態

～目立つ養分の偏在化～

最近の土壌調査結果によると、水田は、リン酸が適正値を超えている圃場が多い反面、苦土やケイ酸が不足している圃場が多い（図１-１）。また、転換畑では、苦土、マンガン、ホウ素、腐植、可給態窒素が不足傾向にある（図１-２）。さらに、野菜畑と樹園地は、リン酸、カリ、石灰が過剰である（図１-３、４）。

堆肥が慣行的に施用される野菜畑では、リン酸、カリ、石灰の過剰傾向が特に顕著であり、家畜ふん堆肥に由来する肥料成分が施肥設計に十分に反映されていないことが示唆される。一方で、土壌中の有機物含量を示す腐植は、水田、転換畑、野菜畑では約４割の圃場で不足し、樹園地では逆に約３割の圃場が適正値を超えている。

このように、県内の農耕地土壌は養分が不均衡な状態が目立っており、持続的な農業生産基盤として土壌の健全化を図るうえで、家畜ふん堆肥の適正な施用技術をこれまで以上に普及させる必要がある。

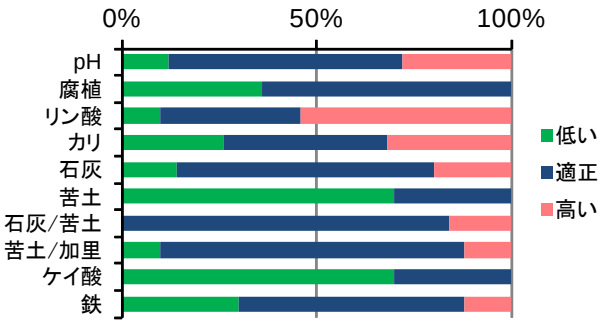


図１－１　水田土壌の化学性
（岡山県農林水産総合センター2012年、50圃場調査）

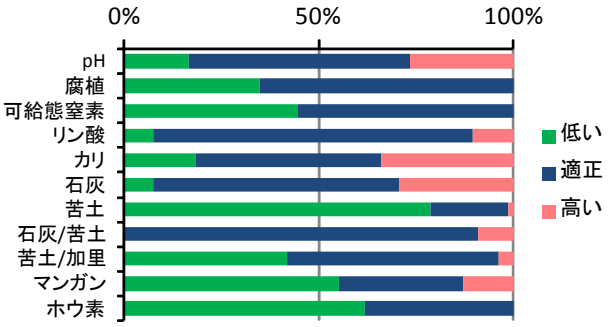


図１－２　転換畑（黒大豆）の化学性
（岡山県農林水産総合センター2007～2010年、132圃場調査）

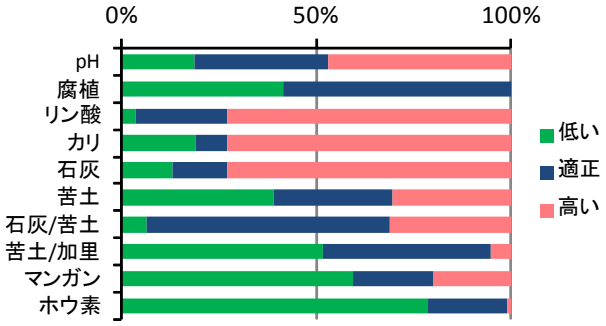


図１－３　野菜畑の化学性
（岡山県農林水産総合センター2008～2012年、198圃場調査）

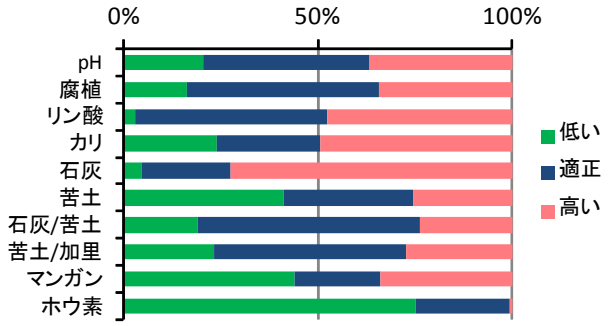
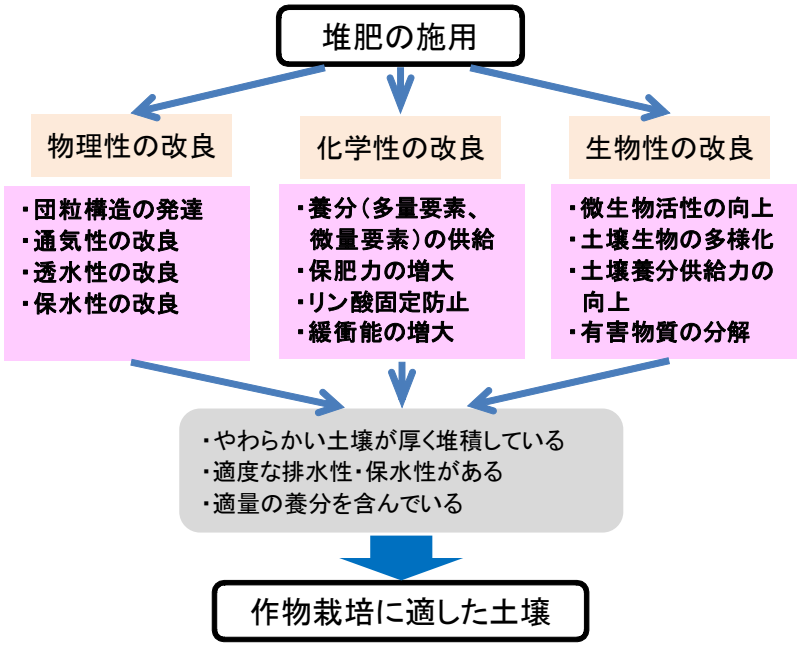


図１－４　樹園地の化学性
（岡山県農林水産総合センター2008～2012年、172圃場調査）

１－２　堆肥の施用効果

堆肥には、土づくりの三要素である物理性、化学性、生物性を改良する効果があり、適正に施用することで総合的な土壌改良効果が期待できる。



１　物理性改良効果

堆肥を連用すると土壌の有機物含量が増加する。有機物の分解過程で形成される腐植物質、微生物や根から分泌される粘質物等が接着剤となり、土壌粒子が結合して土壌団粒が形成される（図１-５、６）。

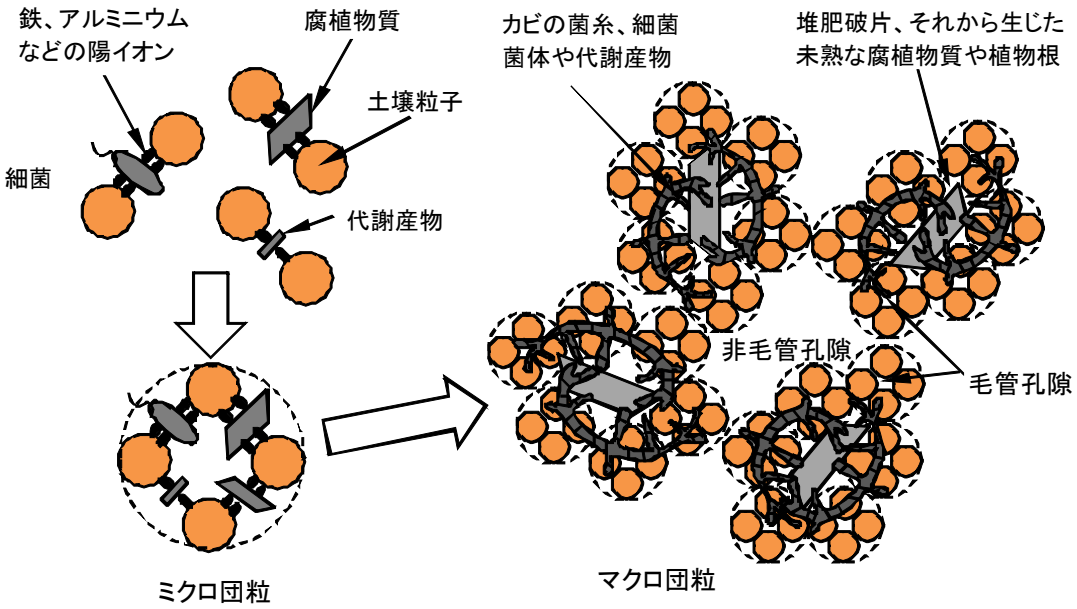


図１－５　土壌団粒形成の模式図（西尾，2007）

土壌に団粒構造ができると団粒間に比較的大きな孔隙が形成され、通気性と透水性が良好になるとともに土壌はやわらかくなる（図１－７）。一方で、団粒内部では微細な毛管孔隙により保水性が向上する。

団粒構造が発達して土壌がやわらかくなれば、作物の根が良く発達して養分や水分の吸収能力が高まり、収量が向上する。このような土壌の物理性改良効果は、もともと物理性が良好な黒ボク土壌よりも有機物の乏しい土壌において顕著である。

物理性改良効果は、牛ふん堆肥のように繊維質を多く含む堆肥で高く、鶏ふんでは低い。

※本書では発酵鶏ふん（鶏ふん堆肥）と乾燥鶏ふんは区別せず、すべて「鶏ふん」と表記する。

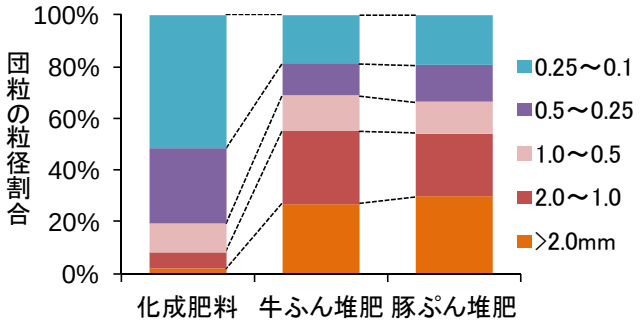


図1-6 堆肥連用による団粒形成促進効果
（浦嶋ら，1997年から作図）

注）牛ふん堆肥3.8t/10a、豚ぷん堆肥2.7t/10a、5年連用
ダイコン、細粒褐色低地土

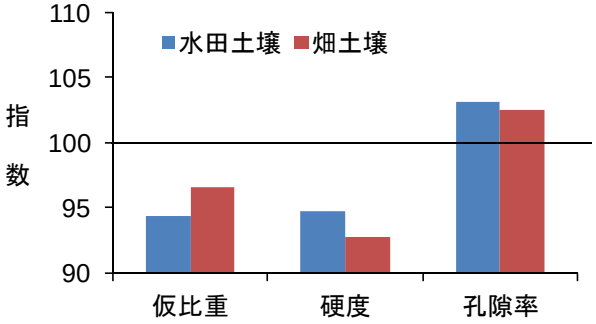


図1-7 有機物施用による土壌物理性の変化
（上沢,1991から作図）

注）全国公立農試の有機物連用試験（水田91地点、畑68地点）の調査結果。有機物施用量は、原則として水田：堆肥1t/10a、稲わら500kg/10a、畑：堆肥1.5t/10a。縦軸の指数は、化学肥料単用区を100とした。

２　化学性改良効果

堆肥には、窒素、リン酸、カリ等の多量要素だけでなく、マンガン、鉄、亜鉛、ホウ素等の微量要素も含まれており（表１－１）、作物に対する総合的な養分の供給源となる。

堆肥を連用した土壌では、腐植含量が高まるだけでなく、これらの養分濃度が次第に高まる（図１－８）。土壌への養分供給効果は家畜ふん堆肥の種類によって異なり、牛ふん堆肥＜豚ぷん堆肥＜鶏ふんの順に高い。

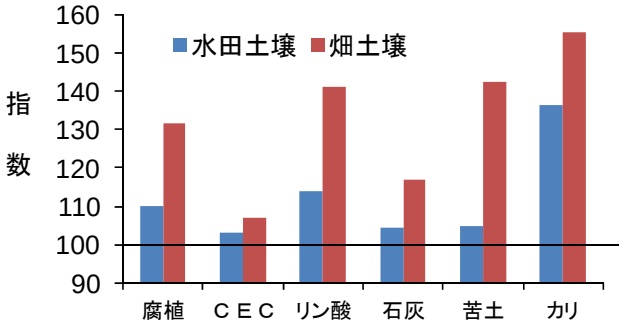


図1-8 有機物施用による土壌化学性の変化
（上沢,1991から作図）

注）全国公立農試の有機物連用試験（水田91地点、畑68地点）の調査結果。有機物施用量は、原則として水田：堆肥1t/10a、稲わら500kg/10a、畑：堆肥1.5t/10a。縦軸の指数は、化学肥料単用区を100とした。

堆肥には、有機態の養分が多く含まれている。このため、化学肥料とは異なり、表示されている全養分含有率はすべて作物が吸収できる無機態養分そのものではなく、堆肥の種類や成分の違いによって無機態で放出される養分量やバランスが異なることも理解しておく必要がある（☞詳しくは第３章で解説）。

また、堆肥の施用によって、陽イオン交換容量（ＣＥＣ）が増大し、陽イオンとして存在する養分（アンモニウム、石灰、苦土、カリ）を保持する能力が向上する。

黒ボク土壌には、活性アルミニウムが含まれており、施肥したリン酸が強く吸着されて、作物が吸収できにくくなる。堆肥を施用すると、腐植酸、有機酸、糖類等がキレート作用によってアルミニウムと結合して、リン酸の吸着が抑制される。このため、堆肥の連用によって、リン酸吸収係数が低下し、可給態リン酸が増加する。

表1-1　堆肥の微量要素含有量（郡司掛,1998）

堆肥の種類	マンガン	鉄	亜鉛	ホウ素
牛ふん堆肥	150	5070	165	31
発酵豚ぷん	560	19670	690	38
乾燥鶏ふん	280	1340	415	45
稲わら堆肥	1660	40	40	32

注）単位：乾物当たりppm

３　生物性改良効果

堆肥には多くの微生物が含まれており、施用によって土壌中の微生物が増加するとともに多様化する（図１－９）。

堆肥の施用によって有機物含量が高まり、微生物は有機物を餌として増殖する。微生物の働きが活発になると有機物の分解が促進され、有機物に含まれる養分の供給力が高まる。

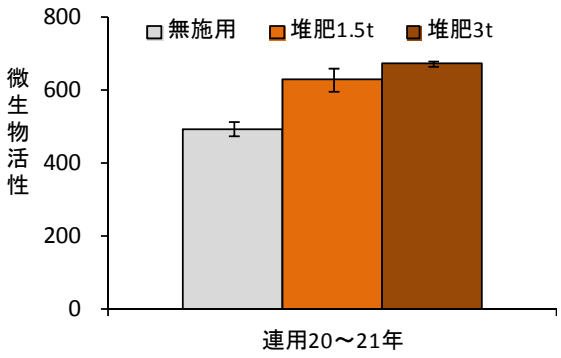


図1-9　微生物活性における堆肥連用効果
（東田，1996から作図）

注）微生物活性：α-グルコシダーゼ活性(pmol/g/min.)

４　連用効果

堆肥を施用すると、１年ですべてが分解するのではなく、一部が未分解のまま土壌中に残り、次年度以降も分解が継続する。そして、毎年、堆肥を連用していくと未分解の有機物が次第に蓄積していく。蓄積した未分解の有機物は少しずつ分解し、主に無機態の窒素成分が放出される。一般に連用年数が長くなると未分解の有機物が多くなり、窒素の放出量が増加する。連用効果は、堆肥の種類によって異なり、施用当年の分解率が低い牛ふん堆肥では連用効果が認められるが、鶏ふんは連用効果は小さい。

（☞Ｐ.24　コラム⑤「牛ふん堆肥の連用効果」）

５　炭素貯留効果

堆肥が施用されると、堆肥中の炭素の多くは微生物により二酸化炭素に分解され大気中に放出されるものの、一部が分解されにくい腐植となり長期間土壌中に貯留される。

堆肥の施用によって有機炭素（腐植）の長期貯留量が増え、温室効果ガスの排出が抑制され、地球温暖化防止につながる。

【コラム】①　資源循環の必要性～あふれかえる肥料成分～

1　物質循環の危機

現在、わが国の食料自給率は約 40%であり、大量の食料・飼料を海外から輸入している（図１）。かつて食料自給率が高かった時代には、有機性資源を中心とした作物生産によって資源循環が上手く成り立っていたが、近年では表１に示すように化学肥料の需要量（表２）を上まわる有機性廃棄物が多量に発生しており、環境との調和を図るためにも化学肥料の使用量を減らしながら有機性資源を活用していかなければならない。

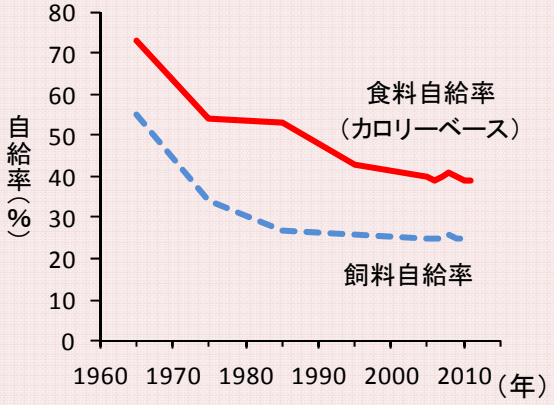


図1　日本の食料自給率の推移

2　資源循環型農業の必要性

日本は多量の食料・飼料及び化学肥料を輸入し続けており、これらに含まれている肥料成分が国内に蓄積する一方である。今後も持続可能な農業生産を可能にするためには、農業のもつ物質循環機能を生かしながら適正な家畜ふん堆肥の利用度を上げていくことが大きなポイントである。

表1　国内における生物系廃棄物の発生量及び成分含有量
（生物系廃棄物リサイクル研究会，1999）

起　源	種　類	発生量（万トン）	成分含有量（万トン）		
			窒素	リン酸	カリ
飼料由来	家畜ふん尿	9,430	74.9	27.4	51.9
	畜産物残渣	167	8.4	11.9	6.2
食料由来	食品産業汚泥	1,504	5.3	3.0	0.6
	生ごみ（家庭，事業系）	2,028	8.0	3.0	3.2
	下水汚泥	8,550	8.9	9.2	0.6
	し尿	1,995	12.0	2.0	6.0
	浄化槽汚泥	1,359	1.4	1.5	0.1
	農業集落排水汚泥	32	0.0	0.0	0.0
その他由来	わら類	1,172	6.9	2.4	11.7
	モミガラ	232	1.4	0.5	1.2
	樹皮（バーク）	95	0.5	0.1	0.3
	オガクズ	50	0.1	0.0	0.1
	木くず	402	0.6	0.1	0.6
	動植物性残渣	248	1.0	0.4	0.4
	建設発生木材	632	1.0	0.2	0.9
	木竹類	247	1.9	0.5	0.9
合　計		28,143	132.1	62.1	84.6

表2　国内の化学肥料の需要量

統計年	化学肥料需要量（万トン）			作付延べ面積（ha）	10a当り需要量（kg）		
	窒素	リン酸	カリ		窒素	リン酸	カリ
1990年	61.2	69.0	56.8	5,349,000	11.4	12.9	10.6
2000年	48.7	58.3	38.2	4,563,000	10.7	12.8	8.4
2010年	41.0	38.5	30.9	4,233,000	9.7	9.1	7.3

注）化学肥料需要量は、ポケット肥料要覧から引用
　　作付延べ面積は、農林水産統計から引用

１－３　家畜ふん堆肥適正施用の考え方

地力の維持・向上には、有機物の施用が不可欠であるが、単に堆肥を施用すればいいのではない。県内の農耕地は、家畜ふん堆肥の過剰施用が一因と思われるリン酸やカリ等が過剰な圃場が多い一方で、有機物が不足している圃場が少なくない。このような矛盾した現状を改善するためには、土壌中の養分が過剰にならないように家畜ふん堆肥に含まれる肥料成分を加味しながら有機物を補給していく高度な技術が必要となる。

１　家畜ふん堆肥施用の意義

家畜ふん堆肥は、「有機物の補給」と「肥料成分の供給」を同時に可能にする資材である。土壌中の有機物は、常に分解し減少しているため、土壌を肥沃な状態に保つためには、絶えず有機物（腐植）を補給しなければならない。一般的に土壌中の有機物含量を高く保つことは、様々な意味で肥沃度の向上につながる。

また、近年の家畜ふん堆肥は、家畜排せつ物法の施行や戻し堆肥の利用により、以前の堆肥と比べて含まれる肥料成分濃度が高い。家畜ふん堆肥に含まれる肥料成分量を計算し、不足する成分量を化学肥料で補えば土壌中の成分が過剰にならず、加えて肥料コストも低減できる。

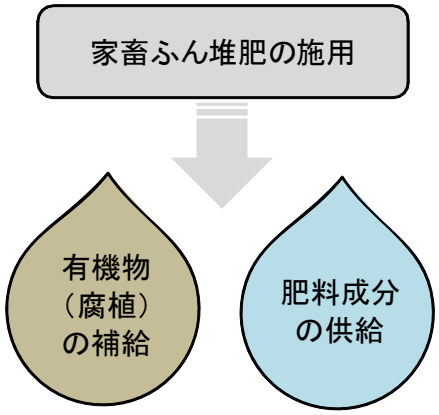


図1-10 家畜ふん堆肥施用の意義

２　適正施用の考え方

（１）有機物の補給

水田の土壌有機物（炭素）量を維持するのに必要な炭素投入量は、280kg/10a と試算されている（Yokozawa ら,2010）。水田では、水稲収穫後に稲わらが土壌に還元されることが多く、この場合の炭素投入量は先に述べた有機物含量の維持に必要な炭素量とほぼ同等である。したがって、稲わらをすき込む場合は全量をすき込み、圃場外へ持ち出す場合は牛ふん堆肥であれば 0.5～１t/10a 程度の連用で有機物含量は維持される。また、稲わらすき込みに加えて牛ふん堆肥を連用する場合、稲わらは持ち出すが牛ふん堆肥を 1t/10a 以上連用する場合、稲麦二毛作で麦わらもすき込む場合は、有機物含量が徐々に増加し、肥沃度は向上していく。一方で、大豆を栽培すると土壌中の有機物の消耗程度が大きく、牛ふん堆肥であれば２ｔ/10a 程度の施用が必要である。

畑の土壌有機物量を維持するのに必要な炭素投入量は、水田のおよそ２倍の 510～570kg/10a と試算されている。園芸作物の栽培では、一般に収穫残さによる投入炭素量が少ないことや酸化的な条件下にあることから、有機物の消耗量が大きい。したがって、土壌の有機物含量を維持するためには牛ふん堆肥であれば１～２ｔ/10a 程度が施用量

の目安となる。農林水産総合センターの調査結果によると、野菜畑（ハクサイ）では、牛ふん堆肥を 1.5ｔ/10a 連用することによって土壌の有機物（炭素）含量が増加している（図１-11）。

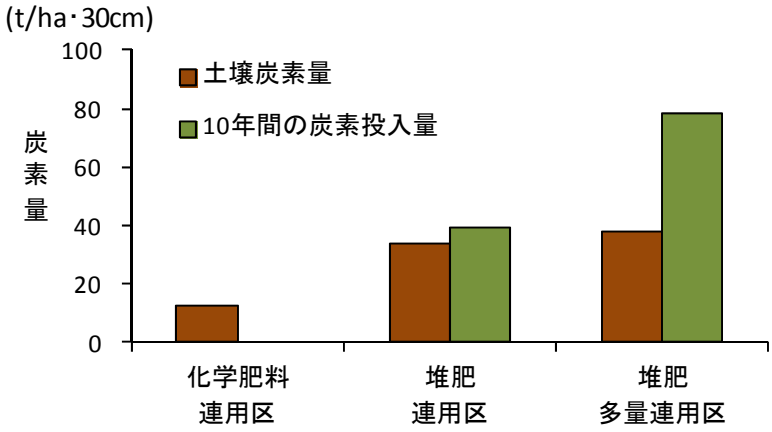


図1-11 有機物管理の違いによる炭素蓄積量の違い
（岡山県農林水産総合センター，2013）

注）農業研究所野菜畑（黄色土）、ハクサイ
堆肥連用区　　：牛ふん堆肥1.5t/10a
堆肥多量連用区：牛ふん堆肥3.0t/10a

また、最近の研究成果として、有機物管理の違いによって土壌中の有機物（炭素）含量がどのように推移するか長期的に将来予測する技術が確立されつつある。この予測技術を県内の水田に当てはめて、土壌中の有機物含量の増減傾向について長期予測を行った（図１-12）。水田土壌中の有機物含量は、稲単作の場合、稲わらを圃場から持ち出す場合は減少し、稲わらをすき込む場合や稲わらを持ち出しても堆肥を連用する場合は緩やかに増加し、稲わらすき込みに加えて堆肥を連用する場合は更に増加する傾向が予測されている。

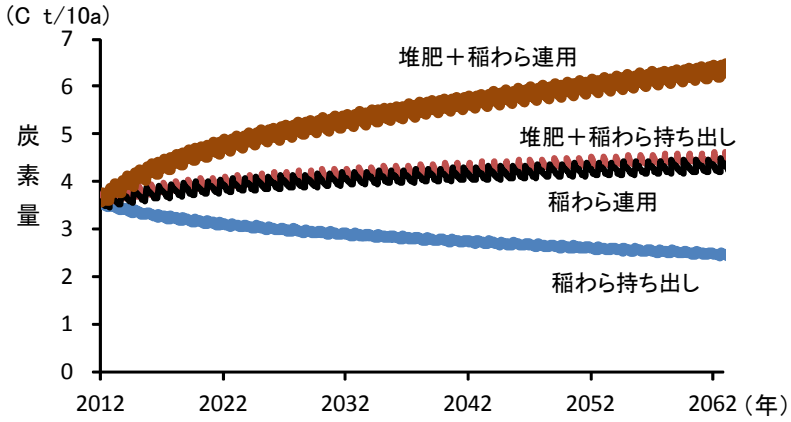


図1-12 有機物管理の違いによる土壌炭素量の長期予測
（岡山県農林水産総合センター，2013）

注）水田改良RothCモデルで予測
・水田（水稲単作）
・堆肥：毎年1t/10a施用

（２）肥料成分の供給

家畜ふん堆肥に含まれる肥料成分量や肥効は、畜種によって違い、リン酸、カリ、石灰含量が異なるだけでなく、窒素の効き方にも差がある。したがって、家畜ふん堆肥を適正に利用するためにはこれらの肥効をよく理解した上で、施肥設計を立てる必要がある（☞詳しくは第３、４章で解説）。

基本的には、鶏ふん、豚ぷん堆肥は肥料として、牛ふん堆肥は有機物の補給（土づくり・物理性の改良）を目的として利用する（図１-13）。

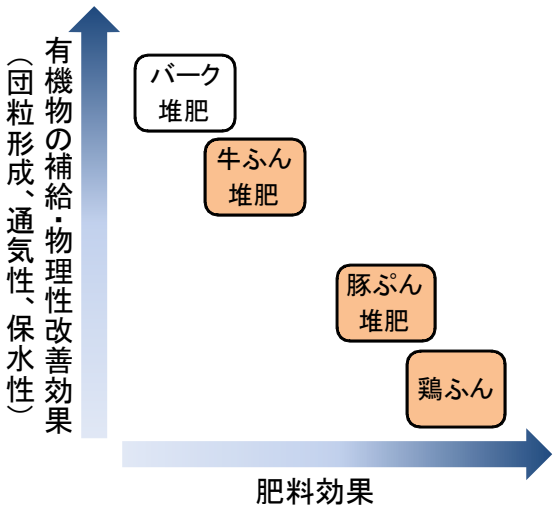


図１－13　堆肥の施用効果と使い分け

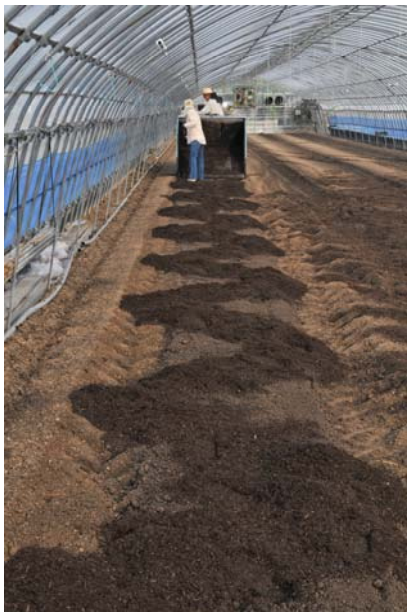
作物が吸収する養分バランスと家畜ふん堆肥に含まれる肥料成分バランスには差があるため、堆肥を多量に連用すると作物に吸収されない肥料成分が土壌中に蓄積する。

特に、畑作物栽培では、土壌の物理性が生産性に大きく影響することから物理性を改良するために堆肥の多量施用が行われる傾向がある。土壌中にすでに肥料成分が豊富に含まれる場合は、肥料成分量が多い家畜ふん堆肥の施用は控え、肥料成分が少なく繊維質の多い木質系の副資材が混合された堆肥等を施用する。肥料成分が多い堆肥を施用する場合は含まれる肥料成分を計算して、過剰な成分は化学肥料の施肥量を減らす必要がある（☞詳しくは第４章－１「堆肥の施用基準と施肥設計の考え方」を参照）。

また、土壌診断の結果に応じて堆肥を施用する必要があるかどうかの判断や施用する堆肥の種類を選択することも重要である（表１-２）。

表1-2　野菜畑における家畜ふん堆肥の使い分けの目安

腐植含量（物理性）	土壌中のリン酸、カリ、石灰含量	
	少ない～適正	多い
適正（良好）	・鶏ふん ・豚ぷん堆肥 ・牛ふん堆肥	施用しない
不足（不良）	・牛ふん堆肥	（・バーク堆肥）



３　多量施用の危険性

（１）窒素過剰

炭素率（Ｃ/Ｎ比）の低い堆肥（鶏ふん・豚ぷん堆肥）や未熟な堆肥を多量に施用すると急激に分解が進み、土壌中の無機態窒素濃度が高まり、作物の濃度障害が起こりやすくなる。また、農作物の窒素濃度が過度に高まると品質の低下や病虫害の被害を受けやすくなる。さらに、畑では硝酸態窒素は溶脱しやすく、環境負荷の原因となる。

（２）窒素飢餓

未熟なバーク（樹皮）やオガクズなどが混入している炭素率の高い堆肥（木質混合堆肥）を多量施用すると、有機物を分解する微生物と作物の間で土壌中の窒素の奪い合いが生じる。その結果、作物は一時的な窒素不足におちいり、生育不良となる。

（３）生育阻害物質

バークやオガクズのような木質物にはフェノール性酸のほかにタンニンなどの生育阻害物質が含まれている。また、嫌気発酵した場合は、有機酸や低級脂肪酸が多量に生成され、これらによって生育不良となる場合がある。

（４）土壌の異常還元

未熟な堆肥は易分解性有機物を多く含むので、土壌中に多量にはいると、微生物が急激に増殖し、土壌中の酸素を消費して土壌が極度の還元（酸欠）状態になることがある。還元状態になると、根に障害が起こり、また嫌気性微生物の働きによって有機酸などの生育阻害物質が生成され、生育不良となる。

（５）養分の過剰とバランスの悪化

家畜ふん堆肥は肥料成分を豊富に含むが、その成分バランスは作物が吸収する養分バランスとは異なるため、多量施用を繰り返すと、吸収されずに残った成分が蓄積し、特定成分が過剰になるとともに養分バランスが悪くなり、生育不良になる場合がある。また、銅や亜鉛を多く含む豚ぷん堆肥や鶏ふんを多量連用すると土壌に蓄積しやすい。

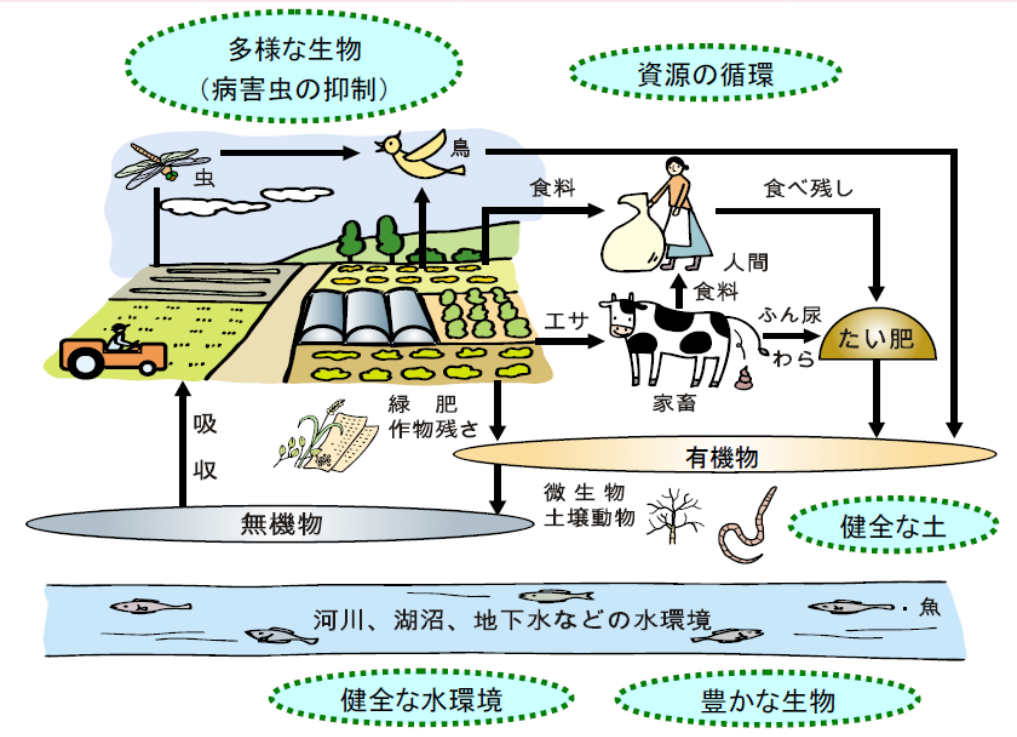
（６）土壌の物理性悪化

水分の多い未熟堆肥を多量に施用した畑で大型機械が走行すると、土壌の圧密化が促進され、通気や排水が不良になる。また、オガクズやモミガラを多く含む堆肥を多量に施用した場合は、孔隙が多くなりすぎ乾燥害を受けやすくなる。

堆肥の施用によって土壌の有機物含量を維持・増加させることは、土壌の総合的な肥沃度の向上をもたらし、作物の生産性を増大させる。しかしながら、多量施用は多くの危険性をはらんでいることも理解し、土壌を持続的に農業生産を行うためのかけがえのない大切な土台と考え、適正な施用を行わなければならない。

【コラム】②　環境保全型農業とは？

環境保全型農業とは、「農業の持つ物質循環機能を生かし、生産性との調和などに留意しつつ、土づくり等を通じて化学肥料、農薬の使用等による環境負荷の軽減に配慮した持続的な農業」と定義される。家畜ふん堆肥がもつ様々な効果を作物生産に上手く活用していくことが持続性の高い農業生産を行うために不可欠である。



（農林水産省資料から引用）