



土と施肥の基礎知識

その **19**

「土力」を減らさない「努力」を

東京農業大学 名誉教授
全国土の会 会長

後藤 逸男



1950年生まれ。東京農業大学大学院修士課程を修了後、同大学の助手を経て95年より教授に就任し、2015年3月まで教鞭を執る。土壌学および肥料学を専門分野とし、農業生産現場に密着した実践的土壌学を目指す。89年に農家のための土と肥料の研究会「全国土の会」を立ち上げ、野菜・花き生産地の土壌診断と施肥改善対策の普及に尽力し続けている。現在は東京農業大学名誉教授、全国土の会会長。

1. 「まちがった土づくり」が招いた土壌病害

筆者らは1980年代から全国の野菜産地で土壌診断調査を行ってきた。当初は調査地域の市町村長やJA組合長などに調査協力依頼文書を提出して許可を得た上で調査地に入っていた。しかし、しばらくすると逆に野菜産地から調査を頼まれるようになった。連れて行かれる現場は、決まって土壌病害が多発した野菜畑やハウスで、そのひとつがセルリー萎黄病で深刻化した静岡県浜松市のセルリー産地であった。セルリー萎黄病はフザリウムという糸状菌（かび）が根に感染して起こる土壌病害で、多種の作物に萎黄病の他にも萎凋病や根腐病などさまざまな病害をもたらす。

このセルリー産地の土は天竜川流域の灰色低地土で、土性は壤土から砂壤土、陽イオン交換容量は15〜20、リン酸吸収係数は500程度で、適度な土壌物理性と保肥力を持ち、リン酸が効きやすい肥沃な土壌であった。ただし、元来腐植含有量が少ない土であるため堆肥の多量施用が当たり前のように行なわれていた。堆肥原料として牛糞などの家畜糞の他に、近隣に多い水産加工工場などから出る食品廃棄物なども混ぜられた

堆肥で、それらの中には堆肥1tに5〜20kgのリン酸、5〜30kgのカリが含まれるような堆肥もあった。窒素も10kg程度含まれていたが、熟度の高い堆肥で窒素が無機化しにくい。そのような堆肥を施用すれば、足りなくなる窒素だけを施せばよいはずだが、「堆肥は土づくり資材で肥やしいではない」という農家の固定概念で、窒素・リン酸・カリが横並びあるいはリン酸施用量の多い山型の施肥が行なわれていた。

この地域のように、連作と肥沃な土に対する間違った土づくりがセルリー萎黄病の発病を招いてしまった。

2. 低地土はフザリウム病害が出やすい

5月号で、小玉スイカのホモブシス根腐病を事例に、未耕地の黒ボク土は作物を育てる「地力」は低い、土の体力に当たる「土力」があるため土壌病害に罹りにくい。しかし、土づくりを重ねて「地力」を高めると「土力」が低下して、病原菌が繁殖しやすくなることを解説した。

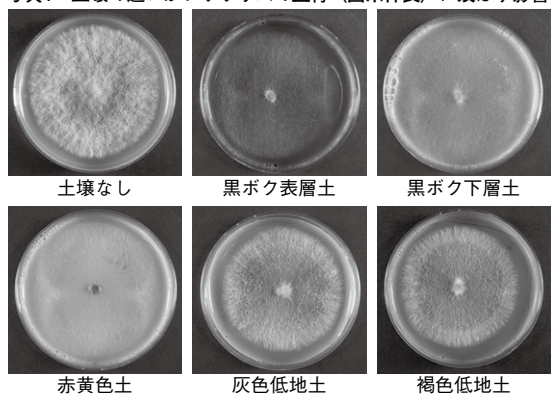
それでは、土の種類が違っていると「土力」がどのように違うだろう。そこで、5種類の土を使ってフザリウムの培養試験を行なった。その結果、写真1のように土を混ぜていない寒天と培地だけの試験区ではシャーレのほぼ全面に

菌糸が厚く広がった。一方、寒天と培地に土を混ぜた試験区では、明らかに菌糸の生育が抑制されている。しかも、土の種類によりその程度の違いが明瞭だ。最も抑制されている土が黒ボク表層土と下層土で、逆に褐色低地土と灰色低地土では、菌糸が盛り上がり上がっていることがわかる。

また、同じ土壌にフザリウム病害のひとつであるレタス根腐病の病原菌を添加してレタスの育苗試験を行なった。その結果、写真2のように、黒ボク表層土では発病が軽微であったが、灰色低地土と褐色低地土では激しく発病した。黒ボク下層土と赤黄色土では中程度の発病であった。

ここで、それぞれの土の「土力の素」である活性アルミナ（可溶性アルミニ

写真1：土壌の違いがフザリウムの生育（菌糸伸長）に及ぼす影響



ウム)量を比べてみよう。黒ボク表層土と下層土は1000mg/1000g程度に対して両低地土ではその1/10以下に過ぎなかった。なお、黒ボク表層土は下層土より活性アルミナ量が少ないにもかかわらず発病が抑止された原因は、活性アルミナの形態が違うためと考えられる。すなわち「土力」は活性アルミナの量だけでなく形態も関わっているようだ。いずれにしても、低地土のような活性アルミナが少なくリン酸が効きやすい土ほど「土力」が低くフザリウム病害に罹りやすいことは間違いない。

「土力」が低い低地土にリン酸を過剰施用すれば、ただでさえ少ない活性アルミナがリン酸で固定され、さらに「土力」が低下する。すなわち、5月号のホモブシス根腐病と同様にリン酸過剰がフザリウム病害の発病を助長することが明らかになっている。

3. 土壌酸性化もフザリウム病害を助長する

窒素肥料を過剰施用すると、露地畑ではアンモニア態窒素から変化した硝酸態窒素(硝酸イオン)が降雨により下層に流亡するが、その際石灰や苦土などの塩基が硝酸イオンのお相手(対イオン)として駆け落ちするため、交換性塩基が減少して土が

酸性化する。一方、降雨のないハウスでは、作土に残留した硝酸態窒素の影響で土が酸性化する。また、最近のハウス土壌では硫酸イオンの蓄積もその一因となっている。

浜松市のセルリーハウスでも、そのような窒素肥料の過剰施用による土壌酸性化が起こっていた。そこで、土

表1：供試土壌の化学性

土壌の種類	全炭素	pH	EC	CaO	MgO	K ₂ O	CEC	リン酸吸収係数	活性アルミナ
	%	H ₂ O	mS/cm	mg/100g			meq/100g	P ₂ O ₅ mg/100g	Al ₂ O ₃ mg/100g
黒ボク表層土	10.8	5.5	0.05	25.0	3.9	40.7	38.1	2880	952
黒ボク下層土	1.2	5.4	0.05	4.1	1.4	16.9	21.2	2780	1176
灰色低地土	2.5	6.0	0.02	3.7	1.2	32.2	5.5	458	31.0
褐色低地土	3.4	5.2	0.07	19.9	6.5	44.8	19.2	377	87.9
赤黄色土	0.1	5.0	0.02	3.3	0.8	16.8	7.5	366	138

写真2：土壌の違いがレタス根腐病の発病に及ぼす影響

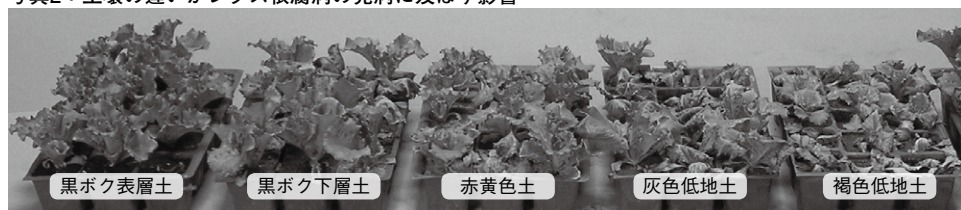
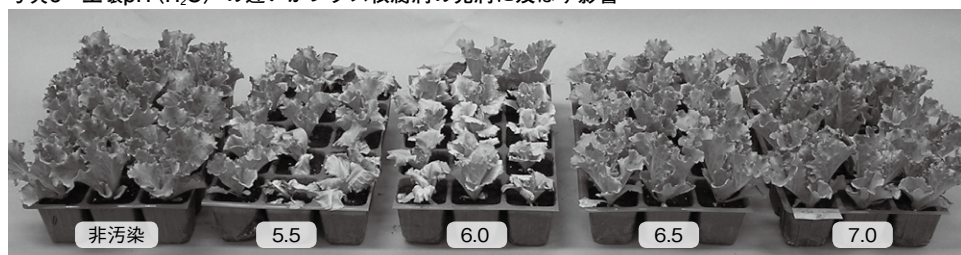


写真3：土壌pH (H₂O) の違いがレタス根腐病の発病に及ぼす影響



数値は各土壌のpH (H₂O)、供試土壌は黒ボク表層土
非汚染：フザリウムで汚染していない土壌(黒ボク表層土、pH (H₂O) 6.5)

写真3のように、pH 6・5以上では全く発病しなかったが、pH 6・0以下では激しく発病した。

4. 悪循環を断ち切る「努力」で萎黄病を克服した

セルリー萎黄病で全滅した浜松市内のセルリーハウスで、ひとりの農家を実験台となり、われわれの提案を全面的に受け入れた。まずは土壌診断分析の結果に基づいて、転炉スラグによる酸性改良、堆肥と有機配合肥料の施用を中止して窒素とカリを単肥で施用し、それらの施用量も削減した。さらには、増加したフザリウム菌密度を減らすため夏の休耕期間を利用した太陽熱消毒を行なった。

その結果、萎黄病の発生が顕著に抑制され、おまけに肥料代が大幅に削減できた。2年目以降は、堆肥施用中止により中断した有機物補給とセルリーの連作を回避するため緑肥を導入して、それを鋤き込んだ後に太陽熱消毒を行なうことにより、消毒効果が助長された。

このように土壌病害の蔓延には、連作とまちがった土づくりとの悪循環が大きな要因となっている。その悪循環を断ち切り、土が本来備えている「土力」を減らさない「努力」をしてこそ、土壌病害を克服することができる。



土と施肥の基礎知識

その **20**

堆肥は格安肥料

東京農業大学 名誉教授
全国土の会 会長

後藤 逸男



1950年生まれ。東京農業大学大学院修士課程を修了後、同大学の助手を経て95年より教授に就任し、2015年3月まで教鞭を執る。土壌学および肥料学を専門分野とし、農業生産現場に密着した実践的土壌学を目指す。89年に農家のための土と肥料の研究会「全国土の会」を立ち上げ、野菜・花き生産地の土壌診断と施肥改善対策の普及に尽力し続けている。現在は東京農業大学名誉教授、全国土の会会長。

1. 堆肥の中身が変わっても、 変わらない農家の意識

「土づくり」には有機物補給が欠かせない。農地に施用する有機物は堆肥と新鮮有機物に大別される。堆肥とは、本来稲わらや麦わら、野草などを野外で積んで腐熟させた資材である。あらかじめ微生物による有機物分解を受けているので、土に施用後は短期間で播種や定植ができる。一方、新鮮有機物には油かすや魚かすのような有機質肥料がある。土に施用すると土壌動物と微生物の働きで分解され、初期に大量の二酸化炭素が発生するので、施用直後に播種や定植を行なうと阻害を受けやすい（図1）。新鮮有機物の初期分解にたずさわる主な微生物は酸素を好む糸状菌（かび）であるため、畑では活発に分解されるが、水田では分解が抑制され作土が酸欠になりやすい。わらなどの新鮮有機物を鋤き込んですぐに湛水すると酸欠によりメタンガスが発生して、いわゆる「沸き」という現象が起こる。堆肥は、日本農業の原点ともいえる水田への施用に適した有機物である。

稲わらのような木質を原料として野外で製造した堆肥には窒素・リン酸・カリなどの肥料成分がほとんど含まれていないため、その施用目的

は主に土壌物理性の改善であった。また、堆肥とは別に肥料が必要で、堆肥と肥料の併用施用が当たり前となった。しかし、コンバインの普及や人手不足で、従来の堆肥を作る農家は影を潜め、家畜ふんを原料とする家畜糞堆肥が主流となった。さらに平成11年以降は地下水汚染対策として、野外での家畜糞堆肥製造が規制され、最近の家畜ふん堆肥には多量の肥料成分が含まれるようになった。

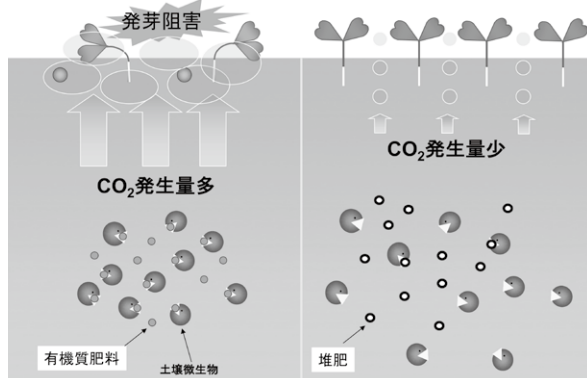
このように、堆肥の原料・

製造方法・肥料成分含有量が大きく変わったにもかかわらず堆肥を使う農家の意識が変わらないため、堆肥が多量施用される農地ほど、リン酸やカリなどの養分が過剰蓄積してしまふ。その典型が園芸土壌、特に施設園芸土壌である。

2. 完熟するほど窒素が 効かなくなる家畜ふん堆肥

完熟堆肥には土づくり資材としての根強い人気がある。家畜ふんのような窒素含量の高い有機物を堆肥化すると、その過程で微生物による有機物分解を受け、窒素成分はアンモニアガスとして揮散するので、熟度が進むほど窒素含有量が低下し、窒

図1：土の中の有機質肥料と堆肥の分解性の違い



有機質肥料は、土壌微生物に食べられて分解し、多量の二酸化炭素を発生する

堆肥は、土壌微生物に好まれないので二酸化炭素発生量が少ない

素の肥効が低下する。熟度の異なる鶏ふん堆肥を土壌に施用すると図2のように窒素無機化パターンが著しく異なり、完熟堆肥ほど窒素無機化率が下がる。完熟鶏ふん堆肥を施用した畑で作物が窒素飢餓による生育障害を受けた事例も知られている。

耕種農家が求めるこのような完熟堆肥は当然のこととして高価格で取引されるので、購入できるのは露地やハウス野菜などの園芸農家を中心となる。有機物を分解するかびが繁殖している畑やハウスでは未熟堆肥や新鮮有機物でも充分利用可能であるが、どうしても完熟堆肥へのこだわりが強い。完熟した家畜ふん堆肥は窒素が効かない反面、有機物の分

解によりリン酸やカリが濃縮されそれらの含有量が高まるので、園芸土壌の養分バランスをより一層崩す結果となってしまう。

3. 化学肥料との併用が合理的な家畜ふん堆肥

①家畜ふん堆肥中の肥料成分肥効率
作物を栽培するに当たり各県毎に施肥基準が設けられている。従来、その中で堆肥の取り扱いには土づくり資材であったため、基肥や追肥とは別に例えば堆肥2t/10aのように設定されていたが、最近では堆肥中の肥料成分を考慮した新しい施肥基準が設けられつつある。

図2：熟度が異なる鶏ふん堆肥の窒素無機化率

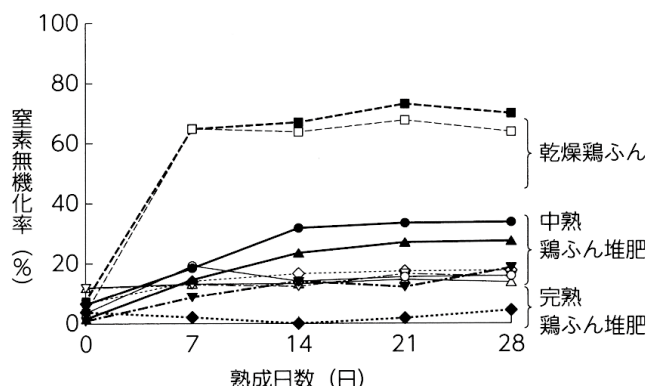


表1：家畜ふん尿の肥効率の一例 (%) (千葉県, 2009)

堆肥の種類	堆肥の窒素含有率 (現物あたり)	肥効率		
		窒素	リン酸	カリ
鶏ふん堆肥	0~1.6	20	80	90
	1.6~3.2	50	80	90
	3.2以上	60	80	90
豚ふん堆肥 牛ふん堆肥	0~1	10	80	90
	1~2	30	80	90
	2以上	40	80	90

注：水分は鶏ふん堆肥で20%、豚ふん・牛ふん堆肥で50%とした

その場合に問題となるのが堆肥中の肥料成分の肥効率で、従来から表1の値がよく利用される。例えば、窒素含有率1%以上の牛ふん堆肥の窒素肥効率は30~40%となっているが、最近の新しい大型堆肥センターで製造される良質な完熟牛ふん堆肥ではそれよりかなり低く、10%程度以下の場合が多い。そのような家畜ふん堆肥中のリン酸の、野菜や水稲に対する効果は過リン酸石灰や熔成リン肥に匹敵することが明らかになっている。

表1の80%についてはもう少し上方修正してもよいと思われる。家畜ふん堆肥中のカリはそのほとんどが

水溶性であるので、カリの肥効率は表1のように90%が妥当であるが、100%と考えて施肥設計を立てればよい。

②「家畜ふん堆肥による有機栽培」にこだわれば、土壌養分バランスが崩れる

家畜ふん堆肥を製造する畜産農家には耕種農家にできる限り多くの堆肥を使ってもらいたいとの願望が強い。また、消費者には化学肥料を一切使わないで堆肥や有機質肥料だけで栽培した有機農産物に対する関心が高まっている。しかし上記の理由から、家畜ふん堆肥単独による作物栽培は避けるべきである。家畜ふん堆肥だけで作物を栽培すれば、必ずリン酸やカリが蓄積して土壌養分バランスを崩し、リン酸の蓄積は土壌病害の発生を助長することにもなる。また、カリ過剰は塩基の拮抗作用により作物にマグネシウム欠乏をもたらす。

窒素の肥効率が低い家畜ふん堆肥の多量施用を長年続けると、施用直後には無機化してこない有機態窒素が蓄積して、いわゆる地力窒素となる。それらが長期間中に徐々に無機化して硝酸態窒素となり、地下に溶脱すると地下水汚染の原因となる。すなわち、家畜ふん堆肥だけによる有機栽培は環境にもやさしくない。

4. 家畜ふん堆肥を肥料として活用する

これからは堆肥を単なる土壌改良資材ではなく、「肥料」として活用することが望まれる。現在、わが国では年間およそ窒素40万t、リン酸40万t、カリ30万tの肥料が使われているが、約9000万t排出される家畜排泄物中には約2倍の窒素、約3/4量のリン酸が含まれている。単純に考えてもこれらを活用しない手はないであろう。原料を輸入に頼っているリン酸とカリについては家畜排泄物を最大限に活用し、特に資源の枯渇や水質の富栄養化の原因ともなっているリン酸については、国内への持ち込みをできる限り削減すべきである。

完熟した家畜ふん堆肥には尿素や硫酸などの窒素単肥を混合することが最も合理的である。しかし、肥料取締法では特殊肥料に分類される堆肥に普通肥料である尿素や硫酸あるいは油かすを混合することは認められていなかったが、平成24年に肥料取締法で混合堆肥複合肥料という新規法定規格が設定された。成型化され散布しやすい肥料であるが、混合や成型化加工には経費を要するため、農家にとっては生産経費削減につながらない場合もある。



土と施肥の基礎知識

その **21**

単肥を使おう

東京農業大学 名誉教授
全国土の会 会長

後藤 逸男



1950年生まれ。東京農業大学大学院修士課程を修了後、同大学の助手を経て95年より教授に就任し、2015年3月まで教鞭を執る。土壌学および肥料学を専門分野とし、農業生産現場に密着した実践的土壌学を目指す。89年に農家のための土と肥料の研究会「全国土の会」を立ち上げ、野菜・花き生産地の土壌診断と施肥改善対策の普及に尽力し続けている。現在は東京農業大学名誉教授、全国土の会会長。

1. 有機は善、化学は悪か

肥料取締法で、「肥料とは、土壌に化学的变化をもたらすために、土地に施されるものと、植物に栄養をあたえるために、土壌または植物に施されるもの」と定義され、普通肥料と特殊肥料に大別される。前者には肥料成分含有量を保証する公定規格が設けられている。その保証成分が1つのみの肥料を単肥、2つ以上の肥料を複合肥料という。単肥としては、硫酸アンモニウム（硫酸）・過磷酸石灰（過石）・塩化カリ（塩加）などがある。複合肥料には複数の成分が混合されて均一な粒に造粒してある化成肥料と2つ以上の肥料が混合されている配合肥料がある。

また、肥料原料の種類により、有機物を原料とする有機質肥料と、無機物を主原料として化学的あるいは物理的处理が施された化学肥料に分類される。とりわけ消費者には、「有機質肥料は善、化学肥料は悪」と思われることが多い。そこで、まずはその点について考えてみよう。

油かすや魚かすなどが有機質肥料の代表格で、「かす」という名前からもわかるように有機質肥料の原料はほとんどが食品工業から発生する食品廃棄物である。すなわち、有機質肥料とはリサイクル肥料ということになる、環境にやさしい。

一方、化学肥料とは化学的に合成した肥料と思っている人が多いようだが、その原料はすべて天然物である。窒素肥料の原料は大気中の窒素ガスと天然ガス中の水素ガス、この両者を化学反応させてアンモニアを製造する。リン酸肥料の原料はリン鉱石という天然鉱物（写真1）だが、その中のリン酸は植物が吸収しにくい形態となっている。そこで、リン鉱石に化学的あるいは物理的处理を施して過石や熔成リン肥（熔リン）などのリン酸肥料を製造する。カリ肥料の原料はカナダやロシアの地下に埋蔵される岩塩（写真2）だ。それを砕いた肥料が塩化カリで、硫酸処理を施すと硫酸カリとなる。すなわち、化学肥料は決して「悪」ではない。ただし、課題は日本には化学肥料の原料資源がないことである。そのため、肥料原料のほとんどを輸入に依存している（図1）。

窒素やリン酸は肥料として農業生産に欠かせないが、農地から環境に放出されると水域の富栄養化をもたらす環境負荷物質に一変する。また、肥料の他にも窒素やリン酸は食料として大量に輸入されている。日本の環境を保全するには食料自給率ばかりでなく肥料自給率をも高める必要がある。そのような観点から、化学肥料の利用を最小限にとどめ、リサイクル肥料である有機質肥料を活用することが望まれる。

2. 有機栽培（無化学肥料栽培）では土の健康が保てない

化学肥料を一切施さない有機栽培にこだわると土の健康を損ねることが多く、とりわけ園芸土壌ではその傾向が強い。含有量は異なるが有機質肥料や堆肥には必ず窒素・リン酸・カリが含まれている。魚か

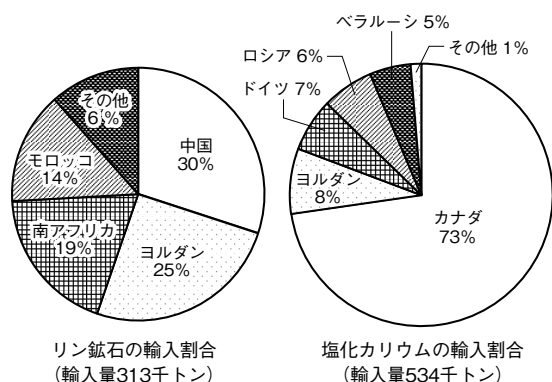
写真2：カナダの地下1,000mの
カリ鉱石掘削現場
（写真提供：©PotashCorp）



写真1：ペルーのリン鉱石採掘現場
（写真提供：三井物産株）



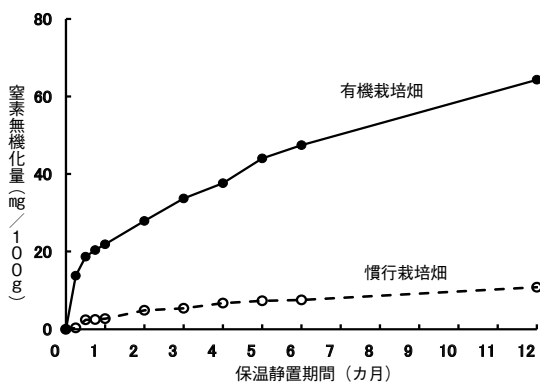
図1：リン鉱石と塩化カリウムの輸入先（2014年）



すなどを連用すれば土の中にリン酸が蓄積しやすい。さらにカリ含有量の多い牛ふん堆肥などを過剰施用するとカリもたまり、メタボな土になってしまったためだ。土がメタボになれば、土壌病害の発病を助長することは7月号のとおりである。リン酸やカリが過剰になれば、それらを含まない肥料を施せばよいわけだが、窒素しか含まない有機質肥料はない。そこで、お勧めしたい肥料が窒素単肥、すなわち化学肥料だ。

有機栽培こそ、環境にやさしい農業と思っている人も多いが、それも誤りである。長年にわたって無化学肥料・無農薬で野菜を栽培している全国的にも有名な有機栽培農園の調査を行なったことがある。畑から作

図2：有機栽培畑と慣行栽培畑における作土からの窒素無機化量の比較



も化成肥料や配合肥料の施用が当た

3. 単肥の活用方法

土を採取して30℃で1年間保温静置した結果、図2のように大量の硝酸態窒素が生成した。剪定枝と食品廃棄物を混合して作った堆肥と自家製ぼかし肥を長期間にわたって施用し続けた結果、土壌中に大量の有機態窒素（地力窒素）が蓄積し、その分解に伴って生成した硝酸態窒素であつた。その硝酸態窒素が降雨により下層に移動し、この農園内にある地下水からは環境基準を上回る高濃度の硝酸性窒素が検出された。人の健康にたとえれば、糖尿病を患っているようなものだ。

り前のようになっているが、それ以前には、農家は単肥を購入して庭先で混ぜて使っていた。すなわち、単肥の利用は施肥の原点に戻ることでもある。

露地畑でリン酸が過剰な土には、窒素単肥として硫酸カ尿素が適切だが、尿素は土に吸着されないもので、施用後に大雨が降れば、下層に流れてしまう。また、硫酸も施用後1週間程度で硝酸態窒素に変化するの

で、肥効が持続せず、それが化学肥料の欠点である。そこで、価格は高いが被覆尿素やオキサミド・IBなどの緩効性窒素肥料の施用が有効だ。また、窒素単肥には農薬としても登録されている石灰窒素がある。施用後土の中で生成するカルシウムシアナミドが殺菌・殺センチュウ効果をもちたらず。緑肥や水田に鋤き込んだ稲わらの分解促進にも有効だが、石灰窒素が20%の窒素成分を含む肥料であることを忘れてしまう農家が多い。必ず、窒素成分として施量にカウントする必要がある。

カリ単肥では、従来から「田んぼには塩加、畑には硫加」が常識化している。硫酸イオンを含む肥料を使うと秋落ちの原因となる硫化水素が出やすいからだ。一方、畑では土の塩類濃度を高めにくいとの理由で塩加ではなく硫加ということのようだ

が、適正施肥さえしていれば、塩加を使ったからといって、作物生育に支障が出るほど塩類濃度を高めるわけではない。塩加は硫加に比べてカリ成分当たりの価格が安いので、カリ単肥としては塩加が一押しである。その他のカリ単肥としてケイ酸カリがある。塩加や硫加と違ってク溶性カリだ。そのため、畑でもカリが溶脱しない。課題はク溶性であるため、施用後に通常の土壌診断分析での交換性カリ量が変化しないことだ。

リン酸欠乏土壌には発酵鶏ふんや豚ふん堆肥の施用がお勧めだが、リン酸だけが欠乏する場合にはリン酸単肥が合理的である。リン酸単肥には水溶性の過石やリン酸アンモニウム（リン安）などがある。低地土のようなリン酸の効きやすい土には最適のリン酸肥料だが、これらの水溶性リン酸は7月号で解説した土の体力「土力」を低下しやすい。

それに対して、ク溶性のリン酸単肥である熔リンは施用後も土の中の活性アルミナには固定されないもので、「土力」を下げることはない。また、リン酸の他にケイ酸や苦土などの「おまけ」も含まれている。転炉スラグ中に「おまけ」として含まれる1〜2%のリン酸も熔リンと同じ土力維持リン酸だ。



土と施肥の基礎知識

その **22**

じわじわ効果の「みどりくん」

東京農業大学 名誉教授
全国土の会 会長

後藤 逸男



1950年生まれ。東京農業大学大学院修士課程を修了後、同大学の助手を経て95年より教授に就任し、2015年3月まで教鞭を執る。土壌学および肥料学を専門分野とし、農業生産現場に密着した実践的土壌学を目指す。89年に農家のための土と肥料の研究会「全国土の会」を立ち上げ、野菜・花き生産地の土壌診断と施肥改善対策の普及に尽力が続いている。現在は東京農業大学名誉教授、全国土の会会長。

1. 窒素をゆっくり効かせる「じわじわ効果」

化学肥料より有機質肥料で作った

野菜の方がおいしいといわれることが多い。本当だろうか。農産物の品質やおいしさにはさまざまな要因が知られているが、糖やビタミンC含有量には窒素の効かせ方がポイントとなる。養分の中で窒素は植物生育に最も大きく影響し、植物体中のタンパク質をはじめ、核酸、クロロフィル、各種の補酵素など主要な生体構成成分となる。そのため、この窒素を効率よく効かせる必要がある。

使われる。ビタミンCは野菜に含まれる重要な機能性成分で、品質に大きく影響するが、このビタミンCは糖から変化してできる。

図1のように、植物の根から吸収された硝酸は酵素の働きでアンモニアに変わる。さらにアミノ酸、ペプチドを経てタンパク質となり、光合成で作られたデンプンとともに植物体を大きくする。無機物である硝酸とアンモニアは窒素・酸素・水素を成分とするが、有機物であるアミノ酸・ペプチド・タンパク質には炭素が含まれている。すなわち、植物の中でアンモニアからタンパク質が作られる過程で炭素の供給が必要になる。この炭素は、葉で光合成により作られるデンプンが供給源だ。デンプンは水に溶けないので、酵素の働きで水に溶ける糖に変化して体内を移動し、この糖がタンパク質合成に

用される。タンパク質は野菜に含まれる重要な機能性成分で、品質に大きく影響するが、このタンパク質は糖から変化してできる。尿素や硫酸などのような水に溶ける速効性化学肥料を使って野菜を栽培すると、土の中に急速に硝酸が生成して、野菜中の硝酸含有量が高くなる。これらの硝酸はアンモニア、アミノ酸などを経てタンパク質になるが、この過程で糖を横取りしてしまうため、野菜中の糖とビタミンC含有量が減る。一方、油かすなどのような有機質肥料では、土壌動物と微生物の働きで徐々に分解して土の中にゆっくりと硝酸を生成する。野菜の根はじわじわと硝酸を吸収して徐々に大きくなるので、糖の横取りも少なく、糖やビタミンC含有量が增加する。野菜中に糖が増えれば甘くなるのでおいしくなり、また糖が多い野菜ほど保存性も向上する。このような理由で、化学肥料より有機質肥料で作った野菜の方が高品質になるわけだ。ただし、窒素の施用量が同じ場合での比較である。有機質肥料をたくさん施用して、野菜の収量を上げようとすると、糖・ビタミンC含有量が減ってしまう。従って、有機質肥料を使えば、高品質野菜ができるというわけではない。

2. 化学肥料でも「じわじわ効果」

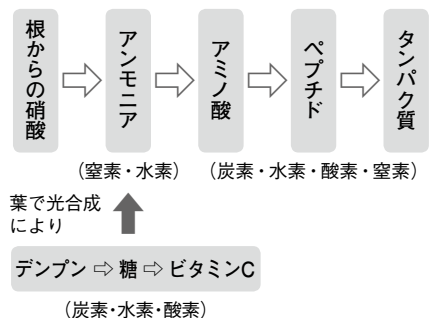
ひとくちに有機質肥料といっても土壌中での窒素放出スピードには大きな違いがあり、原料となる有機物の炭素と窒素含有量の比である炭素率が影響する。土壌自体の炭素率はおよそ10であるので、10より低い有機物を施用すると窒素が無機化してアンモニア態窒素が生成する。逆に、炭素率が10以上の有機物を施用した場合には土壌中の無機態窒素が取り込まれて、作物は窒素飢餓という生育阻害を受ける。有機質肥料の炭素率は3〜7で、乾血や皮粉などで3、魚かすや大豆油かすで4、菜種油かすなどで6程度となっている。この炭素率が大きな有機質肥料ほど「じわじわ効果」が高まる。

化学肥料といえば速効性肥料と思

図1：野菜体内における窒素代謝概要

窒素肥料過剰栽培を行なうと

→低品質・高収量



われがちだが、最近では緩効性窒素肥料や被覆肥料が広く使われるようになった。これらの肥効調節型化学肥料を使えば、窒素成分の溶出を緩慢化して有機質肥料と同等の糖やビタミンC含有量の多い野菜を作ることができる。また、肥料成分として窒素のみを含む単肥であるため、リン酸やカリが蓄積しがちの野菜や花卉など園芸土壌にはぴったりの高機能窒素肥料だが、価格の高いことが玉にきずである。そこで、筆者らが独自に開発した低成分型緩効性リサイクル肥料が生ごみ肥料「みどりくん」だ。

3. 生ごみ100%の生ごみ肥料「みどりくん」

筆者らは、レストランや学校給食などから出る事業系生ごみを原料とし、わずか数時間でしかも都会の中でも製造可能な生ごみ肥料の開発と実用化するための研究を進めてきた。その肥料化技術とはまず生ごみを80〜100℃で乾燥する。事業系生ごみには通常10〜20%の油脂分が含まれ、それが炭素率を15程度に引き上げているので、搾油機で油分を搾り炭素率を10程度まで下げた後、ペレット成型加工する（写真1）。堆肥化では、微生物の作用で有機物を分解させ、炭素を二酸化炭素とし

て揮散させることにより炭素率を下げるわけだが、その替わり物理的に炭素を減らす技術が生ごみの肥料化だ。生ごみ乾燥物とそれを搾油しただけの生ごみ肥料（粉状品）、搾油乾燥生ごみを成型した生ごみ肥料（成型品）の土壌中での窒素無機化パターンに搾油とペレット化により土壌中での窒素の有機化が緩和され、相対的に無機化速度が速まる。

この「みどりくん」と市販の有機配合肥料を用いて東京都世田谷区内の野菜畑で栽培試験を行なった。その結果、表1のように「みどりくん」区の生育収量は有機配合肥料区に比べて低下したが、ビタミンC含有量が増加した。また、この肥料は水田でも「じわじわ効果」を発揮する。水稲多収地域の長野県北安曇郡松川村で農家の水田に200kg/10aの生ごみ肥料を湛水2週間前に施用してコシヒカリを栽培した。その結果、表2のように初期生育期が緩慢であったため玄米収量は慣行区に比べて若干低下したが、タンパク質含有

写真1：生ごみ肥料「みどりくん」の製造プロセス

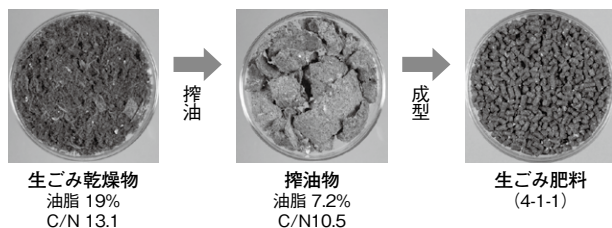


図2：搾油した生ごみ肥料の土壌中での窒素無機化パターン

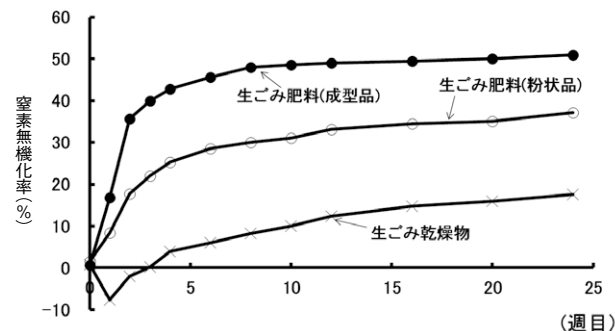


表1：東京都世田谷区内の畑で栽培したコマツナ生育と品質

試験区	草丈 cm	生育量 20株の重さ(g)	硝酸 mg/kg	ビタミンC mg/100g
みどりくん	19	102	4870	49.1
有機配合肥料	21	126	6810	41.6
食品分析表			5000	39

表2：水稲に対する生ごみ肥料の施用効果

試験区	収量 (kg/10a)	千粒重 (g)	食味計（近赤外線分析法）			味度計	
			タンパク質(g)	アミロース(%)	脂肪酸度	食味値	味度値
慣行区	700	21.0	6.2	19.7	14.0	71.3	87.1
生ごみ肥料区	677	20.8	5.5	19.4	13.3	76.7	90.8

試験地：長野県北安曇郡松川村 土壌：灰色低地土 品種：コシヒカリ
 施用量：N-P₂O₅-K₂O (kg/10a) 慣行区：8-12-8 生ごみ肥料区：8-2-2

量が減り、食味値が高まった。筆者らが開発したこの肥料を東京農大のスクールカラーにちなんで「みどりくん」と命名し、2010年10月には搾油生ごみ肥料として仮登録が認められた。その後、新規肥料公定規格が設定されるものと期待したが、2017年現在まで毎年仮登録の更新が続いている。

生ごみを簡単・短時間に肥料化できる本技術の最も大きな欠点は、生ごみを乾燥するためのエネルギーを必要とすることである。しかし、肥料化プラントをごみ焼却工場の中に設置して、余熱を利用すれば最も合理的に生ごみ肥料を生産することが

できる。あるいは、デパトやホテルなどの大きなビルには必ずボイラーが設置されているので、ビルの地下や屋上に肥料化プラントを設置して、ボイラーから供給される蒸気で生ごみを乾燥することも合理的である。現在、本技術による生ごみ肥料を製造しているのは東京農大世田谷キャンパスのみで年間試作量は数トンに過ぎない。今後は早急な普通肥料公定規格の改正を果たし、実用化技術として広く普及することを期待したい。12月号では、低成分型肥料としての「みどりくん」の活用事例を紹介する。



土と施肥の基礎知識

その **23**

緑肥のすすめ

東京農業大学 名誉教授 後藤 逸男
全国土の会 会長



1950年生まれ。東京農業大学大学院修士課程を修了後、同大学の助手を経て95年より教授に就任し、2015年3月まで教鞭を執る。土壌学および肥料学を専門分野とし、農業生産現場に密着した実践的土壌学を目指す。89年に農家のための土と肥料の研究会「全国土の会」を立ち上げ、野菜・花き生産地の土壌診断と施肥改善対策の普及に尽力し続けている。現在は東京農業大学名誉教授、全国土の会会長。

1. 土づくりには 欠かせない有機物

健康な土づくりには、化学肥料の活用が欠かせない。しかし、化学肥料に頼りすぎて農地への有機物補給を怠ると、土壌中の微生物のえさが不足し、大切な腐植を食べられて地力が低下してしまう。また、有機物施用は団粒形成を促進し、土壌物理性の改善にも役立つ。そのため、有機物を補給することが土づくりの基本だが、有機質肥料や堆肥だけが有機物ではない。有機質肥料の施用量はせいぜい100 kg/10 a程度で、十分な有機物補給効果とはいえない。その点、施用量が数トン/10 aにもおよぶ堆肥は有機物補給源として優れ、特に水田には最適の資材であるが、現状では施用量が激減して地力の低下を招いている。逆に野菜畑やハウスでは、家畜ふん堆肥などの過剰施用でリン酸やカリ過剰化、すなわち土のメタボ化が進んでいる。そこで、緑肥が見直されつつある。

かつて、緑肥といえば、ハウス内で野菜や花卉を収穫した後にソルゴーなどを播種し、大きく育ったら刈り取ってハウスの外に持ち出す除塩対策として行なわれてきた。夏にそのような作業を行なう農家にとっ

てはたいへんな重労働で、持ち出した緑肥の処分もたいへんだ。そして、その後に次作のための準備が始まり、先ずは土づくりの決め手として堆肥を施用する。さらには、JAや肥料商から肥料を購入して施用していたのでは、土のメタボは解消されず「肥料屋のための緑肥」になり果ててしまう。

土がメタボ化したハウスでは、土壌診断分析結果に基づいて化学肥料単肥を活用し、有機物補給源として緑肥を栽培して、そこに鋤き込む。野菜や花卉土壌の全てがメタボというわけではない。リン酸やカリが乏する畑やハウスでは、家畜ふん堆肥を格安肥料として活用し、それだけでは不足する有機物を緑肥で補うことがよい。

2. 緑肥の養分回収効果

稲や麦などの畑作物と違い野菜栽培では生育途中で収穫するので収穫後には土壌中に養分の残留が避けら

表1：緑肥の生育と炭素・三要素吸収量

調査地	緑肥の種類	草丈	収量	炭素	窒素	リン酸	カリ
		cm	t/10a	kg/10a			
静岡県 (ハウス)	ソルゴー	240	6.9	506	32	12	48
	クロタリヤ	170	5.1	345	19	7	31
千葉県 (ハウス)	ギニアグラス	150	6.0	—	20	6	40
	クロタリヤ	140	3.2	—	20	7	27
長野県 (露地畑)	ライムギ	47	2.4	—	19	5	23

写真1：野菜収穫後に作付けたソルゴー



れない。そのお余りを頂戴するのが緑肥だ。表1に、緑肥が吸収した三要素量を示す。

浜松のセルリー収穫後のソルゴーでは、播種後40日ほどで草丈2・4 mに達した。生草収量は6・9 t/10 aで、三要素吸収量は表1のように窒素約30 kg/10 a、カリは約50 kg/10 aにも達した。長野県南佐久郡の高原野菜後のライムギでは、窒素とカリを約20 kg/10 a吸収した。リン酸吸収量は窒素・カリより少なく5・10 kg/10 aであった。

これらの緑肥を鋤き込んだ場合、カリは水溶性イオンとして存在するので、そのまま施肥量にカウントす

ればよい。一方、窒素とリン酸は有機態となっているので、緑肥が土壌中で分解して緩効的に肥効を示す。なお、緑肥は土壌より炭素率が高いので、分解初期には窒素の有機化が生じるが、通常2〜3週間の分解期間経過後に播種や定植を行なうので、窒素飢餓による生育障害を受けることはなく、その後の野菜生育に伴い窒素が無機化する。

野菜収穫後に緑肥を作付けると、驚くほど多くの養分が残っていることや、生育状況のむらからハウスや畑内の養分分布の偏りがわかる。緑肥が回収したこれらの養分を刈り取って持ち出すなどもつての外だ。

3. 緑肥の有機物補給効果

表1のセルリーハウスのソルゴーを鋤き込むと、その中には510 kg/10 aの炭素が含まれている。それを表2の家畜ふん堆肥の平均炭素含有量から計算すると約3 t/10 aに相当する。大量の堆肥をハウス内に運び込み、それをあげる手間を考えると、播種だけで済む緑肥は農作業の省力化にもなる。また、新鮮有機物である緑肥の鋤き込みは土壌団粒化促進にも役立つ。さらに、大気中の二酸化炭素を吸収して育った緑肥の鋤き込みは、土壌中へ炭素を貯め

込むことになるので、地球温暖化抑制にも寄与できる。

4. 緑肥と他資材との相性効果

緑肥に限らず有機物を土壌中に鋤き込むと土壌動物や微生物の作用で徐々に分解され、タンパク質はペプチド、アミノ酸、アンモニア態窒素を経て、畑条件では最終的に硝酸態窒素となり作物に吸収利用される。その際のアンモニア態窒素から硝酸態窒素への変化は速やかだが、土壌中にゼオライトが混在すれば、アンモニア態窒素がゼオライトの構造内に取り込まれる。そのため、硝化成細菌から隔離されて硝酸化作用が抑制され、リサイクル窒素成分の肥効がより一層向上する。また、ゼオライトにはカリウムイオンを吸着する特性もあるので、特に雨水や灌水により肥料成分が溶脱しやすい砂地ではゼオライトが緑肥のよきパートナーとなる。

最近、アラナ科野菜根

表2：全国の堆肥センターで生産された家畜ふん堆肥の成分含有量

項目	水分	炭素	窒素	リン酸	カリ
平均	45.3	36.6	2.5	3.3	2.9
最大	82.9	53.1	8.1	22.7	7.7
最少	5.4	16.8	0.9	0.1	0.2

水分：現物% その他：乾物当たり% 古谷 修(2006)

図1：転炉スラグと葉ダイコンの併用が根こぶ病の発病に及ぼす影響

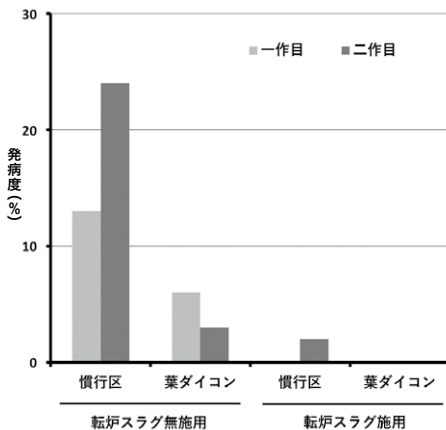
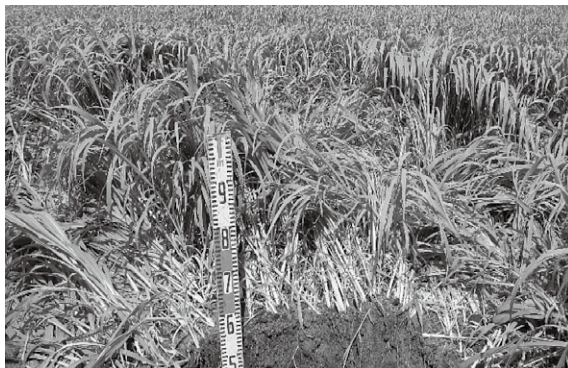


写真2：津波被災農地に作付けたミレット（緑肥用ヒエ）



5. 緑肥のセラピー効果

筆者らは、東日本大震災による大津波で被災した農地の復興支援に携わった。大津波で海底から運ばれた大量の津波土砂が表面に堆積して、塩類濃度が異常に高まった。そこで、こぶ病対策資材として転炉スラグの普及が進んでいるが、それに葉ダイコンの作付けを加えると鬼に金棒だ(図1)。ダイコンや葉ダイコンの根には、根こぶ病の病原菌(休眠胞子)をちようど掃除機のように吸い取り、土壌中の密度を減らす効果がある。転炉スラグが作り出すpH(H₂O)7.5程度の高pH条件で発病を抑制し、残留した休眠胞子を掃除機で吸い取るしくみで、大きくなった葉ダイコンを緑肥として鋤き込んでも休眠胞子が増える心配はない。

津波土砂を元の作土と混層し、雨水にあてて除塩した後、ソルゴーやミレット(写真2)などの緑肥を播種した。壊滅的な被害を被った農家が、勢いよく伸びる緑肥を目の当たりにして、元氣を取り戻し営農を再開した。緑肥には、農家を元氣にするすばらしい効果もある。

また、ヒマワリやマリーゴールド、カラシナなど花を楽しむ景観植物としてのセラピー効果を備える緑肥も数多い。緑肥のセラピー効果の極めつけは、今では少なくなった水田のレンゲだろう。水田への有機物補給と根に共生する根粒菌が固定する窒素供給の観点からもぜひ復活させてい緑肥だ。

土と施肥の基礎知識

その24

最終回

2年間にわたりお付き合い頂きまして、ありがとうございました。

「土づくり」から 「健康な土づくり」へ

東京農業大学 名誉教授
全国土の会 会長

後藤 逸男



1950年生まれ。東京農業大学大学院修士課程を修了後、同大学の助手を経て95年より教授に就任し、2015年3月まで教鞭を執る。土壌学および肥料学を専門分野とし、農業生産現場に密着した実践的土壌学を目指す。89年に農家のための土と肥料の研究会「全国土の会」を立ち上げ、野菜・花き生産地の土壌診断と施肥改善対策の普及に尽力し続けている。現在は東京農業大学名誉教授、全国土の会会長。

1. リン酸過剰ハウスでの リン酸肥料無施用試験

全国土の会の支部組織である遠州土の会の角田茂巳会長は静岡県磐田市で長年にわたりチンゲンサイの年間6作程度の周年栽培を行なっている。1996年に「全国土の会」に入会するまでは、年間5t/6t/10aの豚ふん堆肥と有機質肥料による栽培を続けてきた。角田ハウスの土は台地上の赤黄色土だが、長年の堆肥施用で作土はあたかも黒ボク土のような黒色で、可給態リン酸が大量に蓄積していた。

そこで、2001年より可給態リン酸540mg/100g（以下交換性カリも含め「100g」を略）のチンゲンサイハウス（写真1）でリン酸肥料無施用試験を開始することになった。面積160㎡のハウスを4分して、慣行区と試験区を2連で設け、慣行区には魚かすを主原料とする有機配合肥料（8-1-8）、試験区には本誌10月号で紹介した搾油生ごみ肥料「みどりくん」（4-1-1）を施用した。全国土の会活動に参加して施肥改善の必要性を認識していた角田さんは、慣行区の有機配合肥料をそれまで施用していた7-7-5からリン酸の少ない8-1-8に替えた。そのため、チンゲ

写真1：リン酸肥料無施用試験ハウス
（静岡県磐田市）



ンサイ1作当たりの肥料成分施肥量は窒素9・6、リン酸1・2、カリ9・6kg/10aであった。一方、試験区には「みどりくん」240kg/10a（窒素9・6、リン酸2・4、カリ2・4kg/10a）を標準として、一作ごとの土壌診断分析結果により調整し、不足するカリは塩化カリで補給した。11年9月の台風でハウスが全壊し一時中断したが、これまで16年間の継続栽培が続いている。当初、この試験目的はリン酸施肥削減であったが、角田さんの意向により慣行区でも低リン酸肥料を使うことになったので、両区のリン酸施肥量はわずかなではあるが試験区の方が多くなった。ただし、試験区のリン酸はすべて原料である生ごみに由来する。

16年間に及ぶ試験区の可給態リン酸の経時変化を図1に示す。試験開始当初540mgであった可給態リン酸は経時的に減少し、現在ではおよそ300mgにまで低下した。詳細なデータは省略するが、可給態リン酸の減少量とチンゲンサイのリン酸吸収量はほぼ一致している。すなわち、土壌中に残留していたリン酸がチンゲンサイに吸収利用されたわけである。至極当たり前の結果だが、16年間にわたりリン酸肥料を全く施用せず栽培を続けたことに大きな意義がある。チンゲンサイ栽培後には必ず土壌診断分析を行ない、試験区ではその結果に基づいて「みどりくん」と塩化カリを施用してきたが、数年前より硫酸イオンの分析を行なうようになったところ新たな事実が明らかになった。

図1：試験区（みどりくん施用区）での
可給態リン酸の経時変化

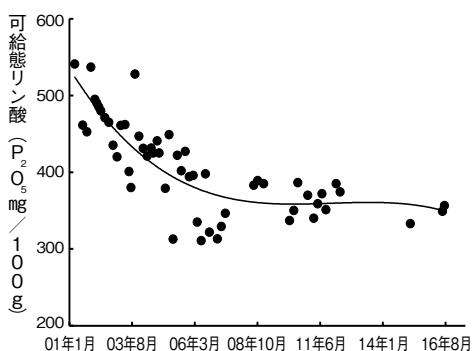
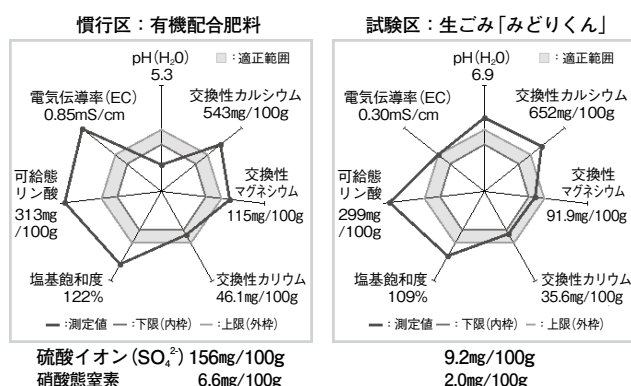
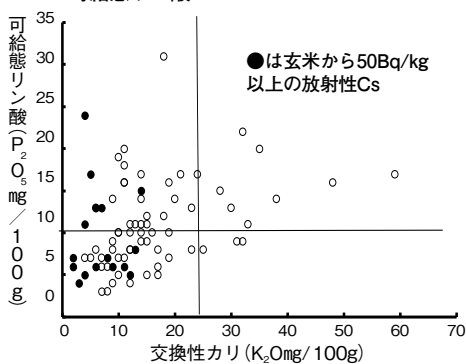


図2：慣行区と試験区の土壌診断図



区ともに300mg程度まで低下していたが、試験区に比べて慣行区のpHが低く、電気伝導率が高かった。ハウス土壌ではこのような現象は珍しくなく、硝酸態窒素の蓄積に起因することが多い。しかし、この事例では硫酸イオンの蓄積がその原因であった。陰イオンである硫酸イオンは土壌コロイドに吸着されにくいため、水溶性イオンとして存在し、電気伝導率を高め、pHを低下させる。その結果、フザリウムなどの低pHを好む土壌病原菌の感染、あるいはマンガニンイオンが活性化してマンガニン過剰症などが発生している。硫酸イオンが蓄積する原因は、化成肥料や

図3：福島県伊達地域の水田土壌中の交換性カリと可給態リン酸



園芸土壌のメタボ化が進んでいる一方で、全国の水田では地力の低下が著しい。その一例を紹介しよう。11年の東日本大震災に伴う福島第一原子力発電所の事故で、放射性セシウムが拡散して福島県内で基準値超えの玄米が出てしまった。図3に福島県伊達地域での水田土壌中の交換

2. 園芸土壌とは対照的に地力低下が進む水田土壌

配合肥料原料として硫酸や硫酸カリを使うこと、塩素イオンに比べると下層へ移動しにくいことなどが考えられる。今後、肥料製造業界には園芸用複合肥料原料の見直しを求めたい。硫酸イオンの成分であるイオウは植物生育に不可欠な多量必須要素のひとつであるが、過ぎたるは及ばざるがごとしだ。

性カリと可給態リン酸量を示す。黒丸の水田から収穫した12年産玄米から50Bq/kg以上の放射性セシウムが検出された。それらの大半の水田では交換性カリが10mg以下と少なかった。通常、この値が25mg以上であれば、放射性セシウムの吸収を抑制できることが明らかになっている。この地域は夏秋キュウリの大産地でもあり、水田で出た稲わらを持ち出し、キュウリ畑やハウスにマルチ材を使っていることが一因と思われた。福島県の土壌診断基準値はカリ飽和度で2～10%となっているので、定期的な土壌診断分析を行ない、その基準の中央値程度以上になるような施肥管理を行なっていれば、放射性セシウムの吸収を抑制できた可能性が大きい。水田では土壌診断分析結果に基づいて不足するカリやケイ酸を肥料で補うべきであるが、その前にわらやもみ殻を還元する、あるいは耕畜連携により畜産農家に提供したわらから作られた堆肥を施用することが土づくりの基本だ。

この地域のキュウリ畑やハウスでは可給態リン酸が数百mgにも達するのは対照的に大半が10mg以下と少なく、園芸と水稻栽培の土壌管理の違いをよく反映している。ただし、水田ではリン酸が効きやすいので15mg程度以上であれば、リン酸施肥量を

を半減できるとされている。

3. 「土づくり」が「健康な土づくり」

これまでの「土づくり」といえば、堆肥や石灰・リン酸などの土づくり資材を施すことと思われがちであった。しかし、長年にわたってそのような土づくりを行なってきた園芸産地では、可給態リン酸や交換性カリの蓄積、窒素過多に伴う土壌酸性化など「土のメタボ化」が起こっている。また、連作の他に「土のメタボ化」を原因とする土壌病害が全国で多発している。土をよくするどころか「土こわし」を行なってきたという過言ではない。

一方、水田で本来の「土づくり」が行なわれなくなった背景には、米余りや米価下落などがある。最近では食用米に代わって飼料米の作付面積が増え、とくに全稲体を収穫するホールクロップサイレージ(WCS)では、食用米作付水田以上に養分収奪が増加して、これまでに「地力」の低下が懸念される。

今こそ、これまでの「土づくり」から、土を健康にするための「健康な土づくり」に切り替えるべきである。そのためには土の健康状態を把握することが不可欠であり、そのツールが土壌診断だ。