

1. 生ごみは堆肥にしなくても使える

1 生ごみリサイクルは家庭菜園から

生ごみを堆肥や肥料としてリサイクルするにはいろいろな方法がありますが、3坪(10 m²)程度以上の家庭菜園や庭があれば、誰にでも簡単に、全く費用のかからない生ごみリサイクルができます。生ごみそのものを土に混ぜ、土壌微生物を助っ人として肥料に変えてしまうのです。

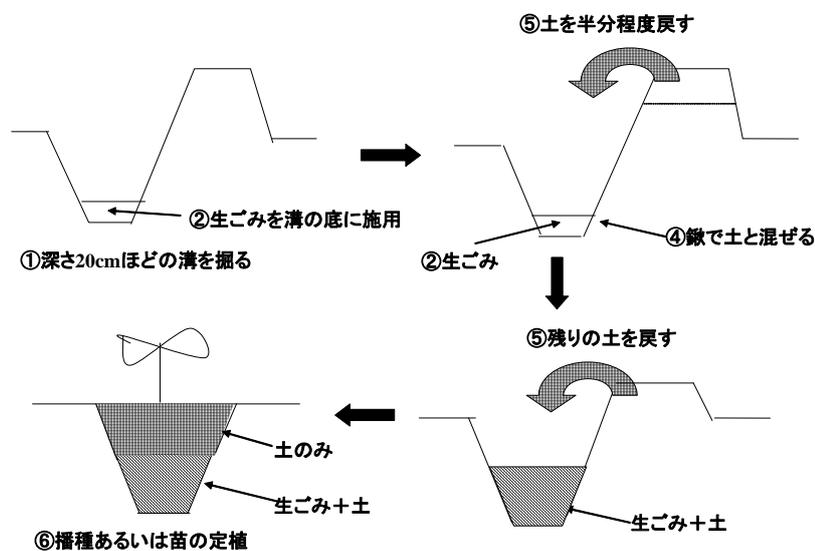
具体的には、つぎのようにします。菜園に鍬で深さ 20cm 程度の細長い畝溝を作ります。家族 4 名の標準家庭からは毎日 1 kg の生ごみが出ますので、幅 30cm の溝に入れて、掘り上げた土の約半分の土を溝に戻し、生ごみとよく混ぜ合わせます。その後、残りの土を溝に戻します。これを毎日繰り返します。平らな畑の表面に生ごみを散布して、鍬や耕運機で耕してもよいのですが、生ごみの一部が畑の表面に露出して悪臭を発したり、タネバエがわいたりするので、上記のような溝施用を行った方がよいでしょう。春から夏の高温期であれば、約 1 ヶ月で生ごみの大半が土壌微生物により分解されるので、その後に野菜や花の種を播いたり苗を定植したりすれば、他の窒素質肥料を施用しなくてもガーデニングが楽しめるはずですが、生ごみを施用後 1 ヶ月以上放置する必要がありますが、畑の端から順番に畝溝を作り、生ごみを施用していきます。開始 1 ヶ月後からは 1 ヶ月前に生

ごみを施用した畝の真上に播種あるいは苗を植えます。その後は、生ごみを施用する畝と苗を植える畝の位置をずらしていけばよいのです。野菜などを収穫した後は、そこに新たな畝溝を作り、生ごみ施用を繰り返します。

なお、庭にたこつぼのような深い穴を掘り、その中に生ごみを放り込む人もいますが、そ

れでは単なる生ごみ処分です。生ごみリサイクルではありません。また、そのような方法では生ごみの分解が進みません。生ごみのような有機物の分解にたずさわる主な土壌微生物はかび(糸状菌)です。かびは酸素を好む好気性微生物ですので、深い穴を掘ってしまうと酸欠状態になり、かびが活発に働けなくなるからです。

全ての家庭に庭があれば、上記のような方法で生ごみをリサイクルできますが、集合住宅ではとても無理な話しです。台所から毎日出る生ごみをそのまま回収して、堆肥化している事例も多くありますが、人口密度の低い地域が中心です。人口が集中する都市部では水分が多くて腐りや



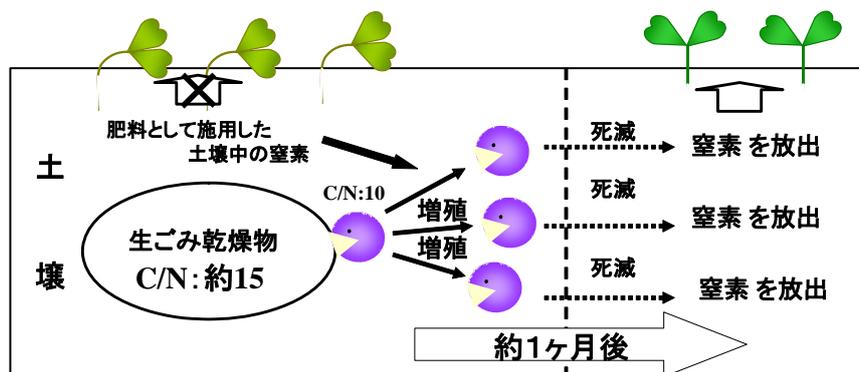
生ごみを畑に施用する方法

すい生ごみを輸送したり保存したりすることはたいへんですので、何らかの方法で生ごみの水分を減らしてリサイクルしやすくすることが合理的です。また、生ごみを家庭でのガーデニングだけではなく、農業用の肥料として活用するには、畑に施用してから種まき・定植までの時間をできる限り短縮させる必要があります。そのための技術が生ごみの肥料化です。生ごみの水分を減らすには、堆肥化の際に発生する微生物の呼吸熱を利用するか、太陽熱や風などあるいは化石エネルギーなど何らかのエネルギーを使って強制的に生ごみを乾燥かのいずれかでしょう。

2 生ごみ乾燥物の炭素率を調整する

生ごみを畑に施用後1ヶ月程度以上放置しなければいけない理由は、炭素率15程度の生ごみが土壌中で微生物により分解される際に起こる窒素飢餓と呼ばれる現象を回避するためです。炭素率とは有機物中に含有される炭素と窒素の比率でCN率とも呼ばれます。土壌中に生息する微生物の炭素率はおよそ10ですので、これより炭素率の低い例えば乾燥鶏ふんのような有機物を土壌に施用すれば、土壌微生物が有機物を分解して土壌中に窒素肥料の主成分であるアンモニウムイオンを放出します。一方、炭素率10以上の例えば生ごみ乾燥物のような有機物を施用すると、土壌微生物が有機物を分解して増殖する際に窒素が不足するので土壌中の窒素分を吸収して自分の体(菌体)を作ります。その結果、土壌中の窒素分が減少するので植物の生育が阻害されることがあります。このような窒素飢餓は、家畜ふん堆肥の場合には炭素率20程度以上で起こりやすいと言われていますが、パークやおがくずなどが混入されていない生ごみでは炭素率15程度であっても有機化が起きてしまいます。このような窒素飢餓を克服するには生ごみの炭素率を10程度に下げればよいのです。そのための手段として、堆肥化処理では生ごみ中の有機物を微生物で分解させることにより、炭素を減らして炭素率を下げます。一方、乾燥肥料化法では生ごみ乾燥物に少量の尿素を添加して窒素を増やすか、あるいは炭素率が高い油脂分を除去して炭素率を下げる方法のふたとおりがあります。

このように、何らかの方法で生ごみの炭素率を下げるのが、生ごみを肥料化する基本です。なお、生ごみ乾燥物の炭素率を下げなくても土壌施用後1ヶ月ほど放置すれば、土壌微生物の一部が死滅して、その際窒素成分を放出するようになるので、播種や苗を植えることができます。



- ①生ごみ乾燥物を施用すると、微生物による分解が始まる。
- ②微生物が生ごみを食べて、増殖する。
- ③生ごみのC/Nが高いので、増殖する微生物中に窒素が不足する。
- ④そこで、微生物は土壌中の窒素を吸収して、増殖する。
- ⑤土壌中に窒素肥料が不足するため、作物が生育しなくなる。

生ごみ乾燥物を土壌に施用すると窒素飢餓が生じるメカニズム

2. 生ごみをなぜ乾燥させるのか

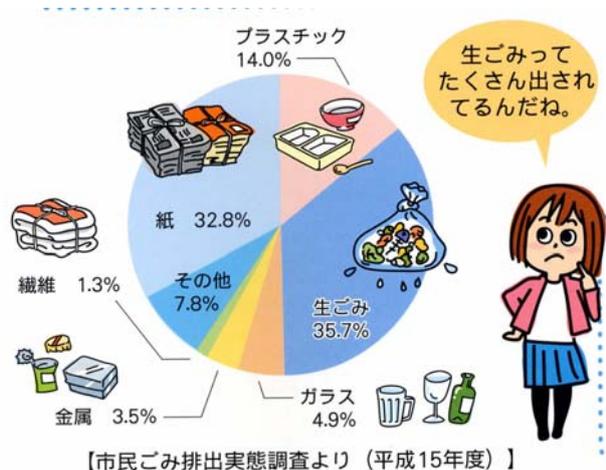
1 生ごみの主成分は、「水」、ごみ焼却炉では生ごみ中の水を飛ばしている！

人が毎日生活する中でさまざまな「ごみ」が出てきます。一般家庭から出るごみの内訳を調べると生ごみが最も多く、全体の約40%を占めます。現状では、それらがごみ焼却工場で燃やされています。生ごみとは調理くずや食べ残しで、その中の成分は食品中の炭水化物・タンパク質・脂質から構成される有機物と無機物(ミネラル)などが含まれます。生ごみ全体に占めるそれら成分の割合は10%程度に過ぎず、実は生ごみの90%以上が水分です。そのような生ごみを焼却炉に投入するとどのようなことが起こるのでしょうか。有機物の主成分は炭素・酸素・水素ですので、300℃程度以上まで温度を高めると自燃して二酸化炭素と水蒸気に分解してしまいます。食品の原料は生物由来ですので、生ごみ中の有機物分解により発生する二酸化炭素は「カーボンニュートラル」と言っても、地球温暖化には関与しません。しかし、有機物は水分が60%程度以下でないと自燃しません。生ごみには約90%の水分が含まれていますので、生ごみ中の有機物を燃やすにはまず水分を蒸発させる必要があります。たかが「水」と思われるかもしれませんが、液体の水を気体の水蒸気として飛ばすには大量のエネルギーが必要で、例えば水分を90%含む1kgの生ごみを燃えるようにするための熱量は約450Kcalです。その熱源は灯油などの化石燃料で賄われています。焼却炉で生ごみを燃やすというより、生ごみ中の水分を飛ばすために化石燃料を燃やすと見なすべきでしょう。ちなみに水分90%の生ごみ1kgを自燃するまで乾燥させるだけでも約100mlの灯油が必要です。なお、ごみ焼却炉では、ダイオキシン対策として炉の温度を800℃以上に高めなければならないためさらに多量の燃料を消費します。

生ごみの中には、土壌微生物の餌になる有機物や窒素・リン酸・カリなど肥料成分が含まれています。生ごみを可燃ごみに混ぜて焼却してしまえば、化石燃料を浪費して二酸化炭素を放出するばかりでなく、生ごみ中の資源をも捨ててしまうこととなります。

2. 生ごみの水分を取り除く

台所で出た直後の生ごみには不快臭は感じられませんが、しばらく放置するとあの独特ないわゆる生ごみの腐敗臭が漂ってきます。その原因は、生ごみの中で繁殖する微生物のしわざです。生ごみの水分が90~70%程度までは酸素を嫌う嫌気性微生物が繁殖して低級脂肪酸を生成するので腐敗臭を発生します。生ごみを



少し乾かして 50～60%にすると通気性が高まりますので酸素を好む好気性微生物が繁殖するようになります。この程度の水分が生ごみを堆肥化するには最もよい状態です。そこで、生ごみを堆肥化するにはおがくずや落ち葉などを混ぜて水分をこの程度の水分に調整するわけです。堆肥化が進めば、微生物の呼吸熱により温度が高まり、生ごみ中の有機物分解と水分蒸発が促進されます。品温が下がったら、切り返して酸素を補給すれば、好気性微生物の活動が復活し、堆肥化がスムーズに進みます。切り返しを繰り返せば、やがて黒々した水分 20～30%の生ごみ堆肥が完成します。

このように、生ごみの堆肥化は、生ごみの水分を調整するための合理的な手法です。しかし、特に都会での生ごみの堆肥化には二つの大きな課題があります。それは、生ごみの堆肥化過程でアンモニアガスが発生して悪臭の原因となること、それに数ヶ月におよぶ処理時間が必要なことです。

生ごみを何らかの方法で乾燥して、水分を 20%程度以下まで減らすと、微生物による分解を受けないため、腐敗臭が抑えられ保存性も高まります。また、運搬も容易になるため生ごみを資源として利用しやすくなります。なお、庭のある家庭では生ごみをわざわざ乾燥することなくすぐに畑に施用してしまえば、最も合理的に生ごみをリサイクルすることができます。ただし、生ごみそのものあるいは乾燥しただけの生ごみをそのまま畑に施用すると窒素飢餓による生育障害を受けるので、炭素率の調整が必要です。詳細については、技術資料①をご覧ください。

3. 生ごみをどのように乾燥するか

生ごみの主成分である水分を取り除くには、すでに記したように多くのエネルギーを必要とするので、できる限り自然エネルギーを活用することが望まれます。また、乾燥前処理として必ず生ごみの「水切り」を行うべきです。茶殻などのように水分の多い生ごみでは、水切りだけで約 40%の水分を減らすことができます。その上で、「カラットシステム」のような便利な道具を使って風通しのよい場所で生ごみを乾燥することが最も合理的でしょう。ただし、風乾だけで生ごみの水分を 20%程度以下にまで下げることはなかなかたいへんです。そこで、最終的な乾燥手段として、生ごみ乾燥機を使うことも合理的です。家庭用や業務用生ごみ乾燥機では、ごみ焼却炉と同様に化石エネルギーを浪費するとの批判もありますが、焼却炉から出る焼却灰はやっかいな産業廃棄物です。それに引き替え、生ごみ乾燥機で乾燥された下の写真のような生ごみ(左が、10mm 目のふるい通過物)は資源として再利用できます。

電動タイプの生ごみ処理機には乾燥型の他に微生物分解(バイオ)型があります。一日当たりの稼働時間は前者が数時間に対して後者は 24 時間ですので、電気代はほぼ同じで生ごみを直接投入しても月に 1,000 円程度です。わが家では、発売当初より乾燥型を使っていますが、今では生活に欠かせない家電のひとつになっています。夜間には電力が余剰となっていると聞いていますので、もっぱら夜中に稼働させています。



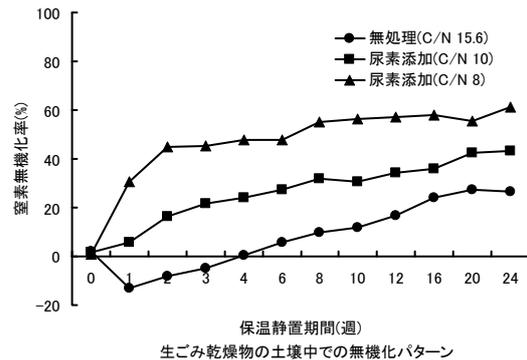
3. 家庭系生ごみ乾燥物の肥料化

1 生ごみ乾燥物は堆肥にしない方がよい

生ごみリサイクルに関心のある人やガーデニング愛好者を中心に、家庭用の生ごみ処理機が普及するようになりました。生ごみ処理機には微生物分解型と乾燥型があります。生ごみ堆肥を作るのであれば、微生物分解型がよいかと思いますが、生ごみを肥料として活用するには乾燥型の方が向いています。

生ごみ乾燥物の炭素率は 15 前後ですので、そのまま土壤に施用すると窒素飢餓を起こしてしまいます。そこで、生ごみ乾燥物に少量の尿素を混ぜて生ごみの炭素率を調整すると、すぐに肥料として使えるようになります。

炭素率 16 の生ごみ乾燥物に尿素を添加して、炭素率を 8 と 10 に調整した生ごみ肥料を土に混ぜ、30℃の保温器内で 24 週間培養してその間に生成する窒素肥料分量を経時的に測定した結果が右の図です。炭素率を調整していない無処理区では、4 週目まで窒素量がマイナスになっています。これが窒素飢餓の現象です。しかし、炭素率を 10 にすると窒素飢餓を起こすことなく、施用直後からゆっくりと緩効的に窒素肥料を土壤中に放出するようになります。尿素添加量を増やして炭素率を 8 にすると、施用初期から窒素が放出され炭素率 10 で見られるような緩効性がなくなってしまいます。



尿素で炭素率を調整した生ごみ乾燥物の肥効

これら三種類の生ごみ処理物を土に混ぜてポットに詰め、1 週間後にチンゲンサイの種を蒔きました。その結果、写真のように無処理の生ごみ乾燥物では生育初期に窒素飢餓をきたした影響で生育がよくありませんでしたが、炭素率を 10 や 8 に調整するとよく育ちました。炭素率 10 と 8 とでは、見かけ上ほとんど差がありませんでしたが、炭素率 8 の方がチンゲンサイの葉の色が濃く、大量の硝酸を吸収していました。チンゲンサイなどのような葉物野菜(葉菜)では、葉中の硝酸含有量が多くなるとビタミン C や糖含有量が減少することが知られています。そのような観点から、生ごみ乾燥物の炭素率を 10 内外に調整することが最適と判断しました。

2 生ごみ乾燥物を肥料として利用する方法

現在市販されている家庭用生ごみ乾燥機にもさまざまなタイプがあります。生ごみ乾燥物を肥料として使うための機種を選ぶ際には、乾燥温度が重要です。乾燥温度が高ければ処理時間は短くなりますが、生ごみ中の窒素肥料源であるタンパク質が熱変成を起こして肥料としての効果が著しく低下します。判断ポイントは乾燥した生ごみの色で、黒いほど肥料効果がありません。市

販品の中には肥料化に適した乾燥モードを組み込んだ機種もあるようですので、カタログなどをよく見てして機種を選ぶようにしましょう。

生ごみ処理機で生ごみを乾燥するには電力エネルギーを必要とします。そこで、処理機を一切使わないで風通りのよい場所で生ごみを乾燥させることもよい方法です。どのような方法であれ、生ごみ乾燥物を肥料とする方法に違いはありません。

生ごみ乾燥物の炭素率を正確に 10 とするには、生ごみ乾燥物の分析(全炭素と全窒素)が必要です。その分析値を次式に代入して生ごみ乾燥物 1 kg 当たりの尿素量を計算します。

$$\text{尿素量(g/生ごみ乾燥物 1kg)} = (\text{全炭素\%} - \text{全窒素\%} \times 10) / 4.4$$

2007年に私たちが川崎市のご家庭 50 軒から 9 ヶ月にわたって毎月 1 回ずつ収集した生ごみ乾燥物の分析結果の平均値は全炭素 41.6%、全窒素 2.6%でした。この場合の平均炭素率は 16 で、尿素添加量は 35g でした。この事例から、一般家庭から出る生ごみ乾燥物では、1kg 当たり 30~40g と考えてよいでしょう。

具体的な使い方を説明します。生ごみをそのまま使う場合(技術資料①)のように、畑に深さ 20 cm 程度の畝溝を作り、畑の面積 1 m² 当たり約 1 kg の生ごみ乾燥物を施用し、さらにその上に尿素を均一に 30~40g 振りかけます。掘り上げた土の半分程度を溝に戻し、生ごみ乾燥物+尿素と鍬でよく混ぜます。その上に残った土を戻して、畝の中央部に播種するか苗を定植します。生ごみ乾燥物を畝施用ではなく、畑全面に散布して鍬や耕耘機で耕やす場合には、1 週間程度経過後に播種・定植を行って下さい。生ごみの分解に伴い発生する二酸化炭素による発芽率の低下や苗の根痛みを防ぐためです。尿素はれっきとした有機化合物であるにもかかわらず肥料取締法上では化学肥料ですので、使うことに抵抗感を持つ人がいると思います。そのような場合には、尿素的の代わりに乾燥鶏ふんを使うとよいでしょう。生ごみ乾燥物と乾燥鶏ふんを 1 : 1 くらいに混ぜるのが大まかな目安です。尿素や鶏ふんを混ぜずに生ごみ乾燥物だけ施用して、窒素飢餓が解消される 1 ヶ月間じっと待つのもひとつの方法です。

なお、各家庭から出る生ごみ乾燥物を収集して粉碎し、尿素を添加して直径 3mm、長さ 5mm 程度のペレットに成型すると既存の有機質肥料である豆腐かす乾燥肥料に匹敵する肥料ができます(写真は、川崎市での事例)。ただし、この肥料は「肥料取締法上の肥料」と認められていませんので、2016 年 2 月現在で販売することはできません。また、生ごみ乾燥物そのものも、肥料として明らかな効果があるのですが、残念ながら



試作した尿素入り生ごみ肥料(左上)とそれを利用したハクサイ畑(生育途中)

肥料取締法の制約上売買することはできません。しかし、生ごみ乾燥物に少量の少量の水を加えて、わずかな期間でも堆肥化した資材は「特殊肥料」として認められます。生ごみリサイクルを円滑に進めるには、肥料取締法の改正あるいは柔軟的な運用が必要であると思います。

4. 事業系生ごみ乾燥物の肥料化

1 「地産地消」は「地産肥料」から

このところ全国各地で「地産地消」がブームとなっています。その地でできた作物をその地で消費することは、物質循環の点からも素晴らしいことですが、作物を作るには肥料が不可欠です。その肥料ですが、特に化学肥料はその原料あるいは肥料そのものの大部分を海外から輸入しています。そのため「肥料の地産」を含めた地産地消を行い、食料自給率だけではなく肥料自給率も上げるべきではないでしょうか。自給肥料原料として有望な未利用資源のひとつが事業系生ごみです。家庭系の生ごみに比べて、一事業所当たりの発生量が多いので、効率よく資源化できます。

2 都市部でもできる生ごみの乾燥肥料化

2002年4月、東京農業大学世田谷キャンパス内に生ごみ肥料製造プラント(写真)を設置して、学内の学食の他、東京都世田谷区(2010年3月まで)と川崎市内の学校給食、近隣のスーパーマーケットから出る一日あたり約500kgの生ごみを有機質肥料として再資源化し、近隣の農地で利用する実践的研究を行っています。

原料をプラントに投入から肥料ができるまでにかかる時間は約2時間です。生ごみ処理過程で微生物による分解を一切受けなためアンモニアガスなどの悪臭が発生しないことがこの方式の最も大きな特長です。私たちが行ってきたこの研究の目的は、東京都世田谷区や川崎市のような人口が集中した都市部でも導入可能な生ごみリサイクルであることを実証することです。



2007年3月までは、家庭系生ごみと同じように生ごみ乾燥物に少量の尿素を添加して、炭素率を10に下げた後、直径3mm、長さ5mmのペレットに加工する方式で、「みどりくん」と名付けた生ごみ肥料を試作していました。しかし、その後製造方法を180度変換しました。それまでは、炭素率の分数の分母である窒素を尿素で補うことで生ごみの炭素率を10に下げていましたが、事業系生ごみ中には油が多く含まれることに着目して油を絞り取ることにしました。油の主成分は炭素・酸素・水素ですので、生ごみ乾燥物を搾油機にかけると油分が減り、炭素率の分数の分子である炭素含有量が減るので、炭素率も下がります。堆肥化処理で、微生物に生ごみを分解させ、生ごみ中の炭素を二酸化炭素として飛ばすことと同じ原理です。

なお、新しく開発したこの乾燥型生ごみ肥料は肥料取締法に定められるいずれの肥料にも該当しません。そのため、2010年3月に肥料公定規格の仮登録申請を行い、10月に農林水産大臣より

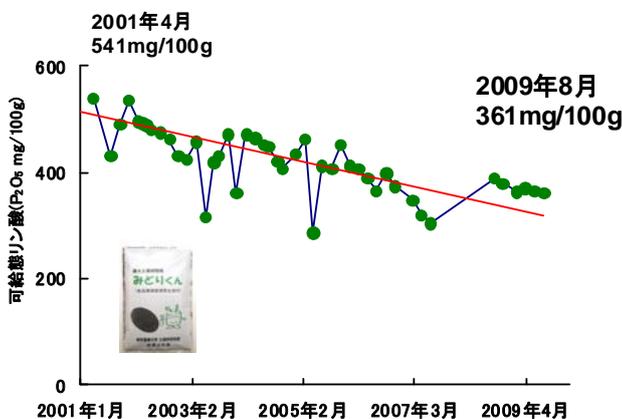
仮登録証が交付されました。「みどりくん」の正式名称は、「搾油生ごみ肥料」です。

3 生ごみ肥料の性質とその変動

試作した生ごみ肥料の無機成分含有量の変動を調べました。その結果、水分は平均約 14%でした。通常 20%以下の水分であれば、長期保存してもかびが生えるようなことはありません。炭素率の平均は 9.4 で、その変動率は 12%でした。肥料成分含有量の平均は、窒素 4.4%・リン酸 0.6%・カリ 1.7%で、窒素を主体とする低成分肥料です。これら三要素成分の年間変動率は窒素とリン酸で 10%程度と小さく、季節変動も認められません。生ごみを堆肥や肥料として使う際には必ずといってよいほど塩分と油分が問題視されます。この生ごみ肥料の塩分は塩化ナトリウム換算で 0.8~2.1%、平均 1.4%で、高級有機質肥料である魚粕に比較して同等あるいはそれ以下です。生ごみを肥料として利用するにはまったく問題にはなりません。また、油脂分についても 6.4~16.5%、平均 10.7%です。油脂分 15%の生ごみ肥料を用いて、コマツナの栽培試験を行いました。発芽や生育障害は全くありません。また、生ごみ肥料中に含まれるカドミウムやヒ素、水銀、ニッケル、クロム、鉛などの有害金属含有量はきわめて低く、全く問題となる値ではありません。

4 生ごみ肥料はメタボ土壤に最適な低成分肥料

家畜ふんや下水汚泥も自給肥料原料として注目されています。完熟させた家畜ふん堆肥は、窒素よりリン酸とカリがよく効きます。また、下水汚泥焼却灰からリン酸肥料を作る技術が実用化されています。しかし、最近の野菜畑やハウスではこれまで続けてきた土づくりにより土壌中のリン酸やカリの蓄積が目立ちます。このような「メタボ土壤」には、リン酸やカリの少ない低成分肥料である生ごみ肥料が最適です。可給態リン酸が過剰蓄積した静岡県磐田市の野菜農家のハウスで東京農大の実験プラントで作った生ごみ肥料と少量のカリ肥料だけで 2001 年よりチンゲンサイの栽培を続けてもらっています。この間、チンゲンサイの収量は決して減りませんが、土壌中の可給態リン酸量は右の図のように着実に減り続けています。このように生ごみ肥料がメタボ土壤のスリム化に役立つのです。



生ごみ肥料の連用によるの土壌の可給態リン酸の変化

5 ごみ焼却工場内に生ごみ肥料化プラントを作る

乾燥・搾油による生ごみの肥料化の課題は堆肥化と異なり、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す。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ます。デパートやホテルなどの大きなビルでは必ずボイラーが設置されています。そこで、ビルの地下や屋上に生ごみ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よい方法です。