

(72)

農地土壤中に含まれるミネラル類の循環に関する基礎的研究

A STUDY ON RECYCLING OF MINERALS IN FARMLAND

今井 剛*、○劉 予宇*、浮田正夫*、関根雅彦*、樋口隆哉*

Tsuyoshi IMAI*, Y. Y. Liu*, Masao UKITA*, Masahiko SEKINE* and Takaya HIGUCHI*

ABSTRACT; Long-term fertilizer application may result in nutrient deficiency in farmland. Nutrient deficiency and improper human diet have been known as two causes of malnutrition in human body. The objective of this study is to examine the farmland application of compost in its effectiveness of recycling minerals. Mineral distributions in compost and amended soils have been observed. Results show that composts derived from sewage sludge and livestock excreta are, to different extents, rich in various minerals. Their applications are benefit for recycling minerals and making up nutrient deficiencies in farmland. Heavy metal contamination (such as Copper and Zinc) in soils, caused by the overload of composted sewage sludge and livestock excreta, is also noticeable.

KEY WORD; minerals; recycling; compost; distribution; farmland

1. はじめに

ビタミン類、ミネラル類は人体にとって必須の栄養素であり、それらのほとんどが我々の体内で作り出すことができず、そのため食品から摂取しなければならない。ミネラル類は酵素が体内でスムーズに機能するような環境作りを行ったり、筋肉や神経の機能維持などビタミン類と同じような役割も担っている。また、体を構成する材料そのものでもある^{1),2)}。元来、日本の土壌は火山灰が堆積したものであったことから、田畑にするためには土づくりから始めないとよい作物が収穫できなかった。そのためコンポスト作りは欠かせないものであった。したがって雑木林の枯れ葉、牛、馬、豚、鶏の糞や、人糞を発酵させてコンポストを作り、土に還し、また作物を作るという循環を繰り返しながらわが国の農業が発展してきた³⁾。しかしながら現在わが国では、ここ数十年の長期間にわたり土壌に化学肥料や農薬を大量に施用した結果、農作物は安定して収穫できるようになったものの、栄養の乏しい疲弊した土壌へと変化し、本来農作物中に含まれるべき栄養が不足していたり、あるいはそのバランスが崩れ⁴⁾、我々がビタミン類やミネラル類といった微量栄養素を必要量摂取することが難しくなっている⁴⁾。また、ファーストフードやジャンクフードなどによる偏った食事により、ビタミン類、ミネラル類不足に陥っている栄養不良人口最小推定値が世界で約20億人となっている⁵⁾。わが国では平成11年6月に「日本人の栄養所要量」が当時の厚生省により改定され、それにより人体におけるミネラル類欠乏症に対する予防策が講じられている。しかしながら、ミネラル類の摂取を将来においても持続的に行うために必要と考えられる環境中におけるミネラル類の循環の問題（現在は以下にも述べるように一方通行の流れである）についてはまだその対策がほとんどとられていない。化学肥料についてはミネラル類の補充肥料も各種販売され、それらが用いられている場合もあるが、それは一方通行のミネラル類の流れであって「循環」では決してあり得ない。すなわち、環境中におけるミネラル類の循環がなされてこそ、将来にわたって持続可能なミネラル類の摂取が可能になると考えられる。そのためには、有機肥料であるコンポスト施肥によるミネラル類の循環が重要となってくる。したがって、本研究では、まず各種コンポストのミネラル類の含有量を把握する。次にコンポストを施用した各種土壌と化学肥料を施用した各種土壌に含まれるミネラル類を分析し、コンポストから土壌へのミ

*: 山口大学工学部社会建設工学科 (Department of Civil and Environmental Engineering, Yamaguchi University)

ネラル類の供給の有効性について検討する。また、広義にはミネラル類に属するが、コンポストに含まれる重金属類を測定し、土壤環境への影響についても検討する。

2. 様々なコンポストに含まれるミネラル類の分析

その成分のほとんどが窒素、リン、カリウムである化学肥料とは異なり、コンポストは窒素、リン、カリウム以外に多種類の元素を含有し、またコンポストの種類によってその成分構成も異なると考えられる^{6),7)}。したがって、様々な種類のコンポストについてそのミネラル類を測定し、コンポストの種類によるミネラル類の含有量の比較、検討を行う。また、これまでの研究によってCa/Mg比が2:1の場合において、お互いの元素が人体に吸収されるのに最もバランスがよいといわれている（平成11年6月改訂「日本人の栄養所要量」厚生省）。これは人の摂取量のバランスについてであるが、本研究ではこれを土壤に敷衍して検討する。したがって、コンポスト中のCa/Mg比を求め、各種コンポストのミネラル類のバランスについての比較、検討を行う。

2.1 実験方法

ミネラル類の測定は島津製作所製原子吸光分光光度計AA-660で測定した。原子吸光分光光度計は有機物を多く含有しているサンプルでは測定に支障をきたすため、コンポスト、土壤ともに前処理の際に硝酸、過酸化水素によって有機物を分解した。この前処理の方法を以下に示す。なお、ミネラル類としてMn、Cu、Zn、Fe、Mg、Caを測定した。これらの元素は、厚生省が策定した「日本人の栄養所要量」でミネラル類として指定されている11種類の元素の内、原子吸光分光光度計によって土壤中の含有量を測定できるものを選択した。対象として(1)シーフード(主に魚のアラ)、(2)下水汚泥(処理方式は主に活性汚泥法)、(3)牛糞、(4)生ごみ、(5)鶏糞、(6)豚糞、(7)豚糞と牛糞を混合したコンポスト、の計7種類のコンポストについて分析を行った。なお、生ごみのコンポストは長野県で作られたもので、他のコンポストは山口県内において採取、あるいは購入したものである。本研究で用いたコンポストの減量と生産地を表1にまとめた。コンポストのサンプリング及び購入は1回のみである。

2.1.1 全量ミネラル類の抽出実験

一般にコンポストや土壤中のミネラル類についてはその情報が不足している。したがって、まず各種コンポストのミネラル類の含有量を把握するために全量ミネラル類の抽出実験を行った。全量ミネラル類の抽出実験方法のフローを図1に示す⁸⁾。105℃で乾燥させたコンポスト約5gをビーカーにとり、それに硝酸を少しずつ加え、トータルで20mLとする。その際ホットプレートにより液が完全に

表1 各コンポストの主原料とその生産地

コンポストの主原料	生産地
シーフード	山口県山口市
下水汚泥	山口県阿武郡阿東町
牛糞	山口県阿武郡阿東町
生ごみ	長野県駒ヶ根市
鶏糞（市販）	山口県宇部市
豚糞	山口県玖珂郡錦町
豚糞と牛糞の混合物	山口県玖珂郡錦町

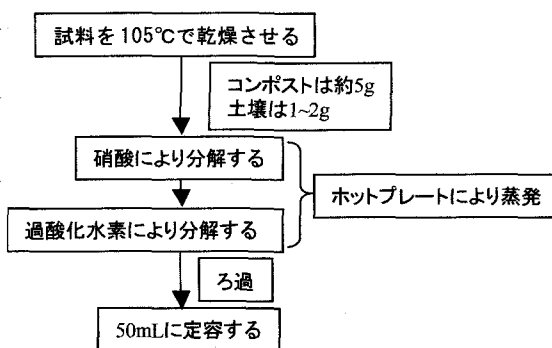


図1 全量ミネラル類の抽出実験のフロー図

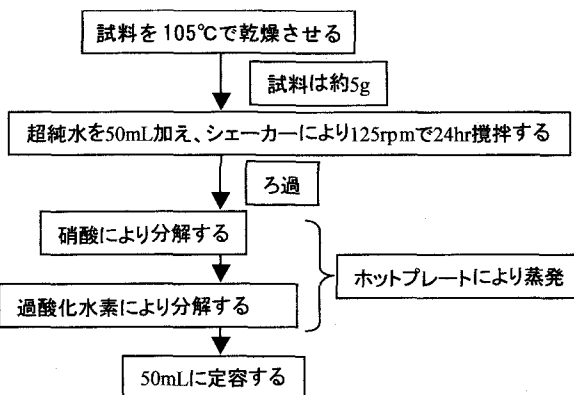


図2 水溶性ミネラル類の抽出実験のフロー図

なくならないようにしながら蒸発させる。次に過酸化水素を少しずつ加え、トータルで10～20mLにする。その際、ホットプレートにより加熱し蒸発させる。次に検液を室温まで冷却した後、抽出液の保存のために硝酸を1mL加え、超純水で50mLに定容する。

2. 1. 2 水溶性ミネラル類の抽出実験

農作物が最も吸収しやすいミネラル類の形態は水溶性とされている^{6), 7), 9), 10)}。したがって、各コンポストからの水溶性ミネラル類の抽出実験を行った。水溶性ミネラル類の抽出実験方法のフローを図2に示す。105℃で乾燥させたコンポスト約5gを三角フラスコに入れ、超純水を50mL加える。それをシェーカーにより125rpmで24時間攪拌する。次にろ過して、液をビーカーに移し、硝酸を少しずつ加え、トータルで10～20mLとする。その際ホットプレートで蒸発させる。また過酸化水素をトータルで10mLとなるように少しずつ加え、その間はホットプレートにより蒸発させる。最後に超純水で50mLに定容する。

2. 2 実験結果及び考察

各コンポストの全量ミネラル類の結果を図3に示す。全ての実験結果は2回の実験の平均値を用いた。この結果から、下水汚泥が全ての元素について多く含有していることが分かった。これは、下水道の中には通常様々なものが流入してくるために、それらの含有量が他のコンポストと比較して高くなったものと考えられる。なお、鶏糞のCaが非常に高くなっているが、卵殻を形成するのにCaが必要であるため、飼料中にCaが非常に多く含まれていることが原因と考えられる。また、各コンポストの水溶性ミネラル類の結果を図4に示す。図よりシーフードのコンポストはMg、下水汚泥のコンポストはMn、Mg、Ca、鶏糞のコンポストはZnの含有率が高いことが分かった。鶏糞のコンポストについては病気の予防のために飼料中にZnが多く配合されているために高くなったものと考えられる。Cu、Znについては適量ならばミネラル類としての役割を持つ反面、過剰になると有害なものとなる。したがって、これらの含有量が多い下水汚泥や鶏糞のコンポストは、土壤に過剰に施用することにより土壤の汚染に係る環境基準（環境省）及び農用地の汚染に係る暫定的な管理基準で規定されている $\text{Cu}^{(1)}: 125\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $\text{Zn}^{(2)}: 120\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ を上回る恐れがあることが分かった。

また、微量元素類は環境中の存在形態がいくつかに分けられる^{7), 13)}が、その中でも水溶性の微量元素類は、農

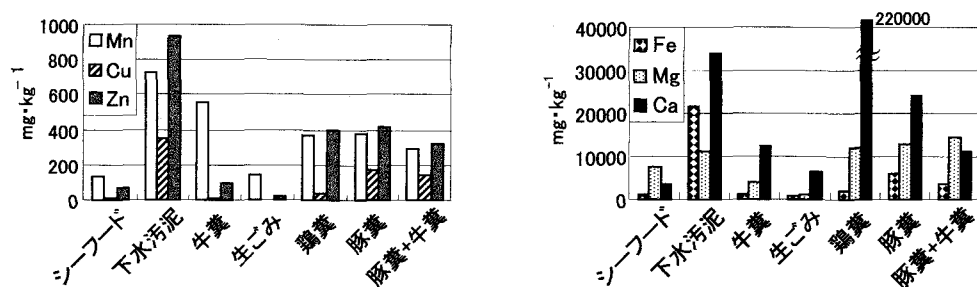


図3 各種コンポスト中に含まれる全量のミネラル類

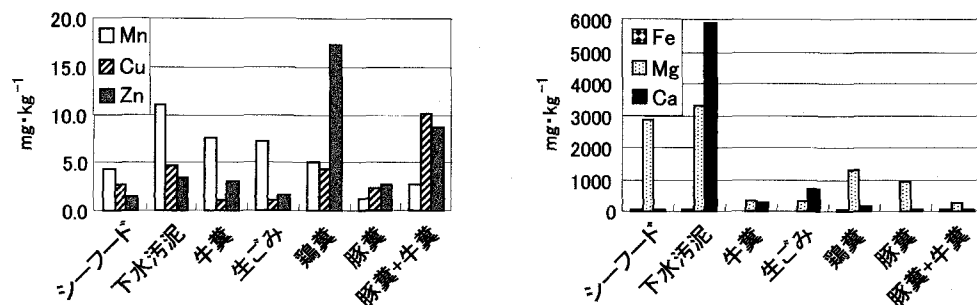


図4 各種コンポスト中に含まれる水溶性のミネラル類

表2 各種コンポストにおける各ミネラルの全量に対する水溶性の割合(%)

	シーフード	下水汚泥	牛糞	生ごみ	鶏糞	豚糞	豚糞+牛糞
Mn	3.39	1.52	1.35	4.97	1.40	0.34	0.93
Cu	41.72	1.35	11.25	26.26	12.21	1.32	7.15
Zn	2.33	0.36	3.18	8.79	4.40	0.64	2.73
Fe	2.94	0.35	0.83	0.79	3.97	0.23	1.37
Mg	38.60	29.37	7.24	27.97	10.99	7.39	2.00
Ca	1.58	17.27	1.99	10.88	0.07	0.19	0.43

表3 各種コンポストにおける全量、水溶性のCa/Mgの比

	シーフード	下水汚泥	牛糞	生ごみ	鶏糞	豚糞	豚糞+牛糞
全量のCa/Mg	0.48	3.03	3.05	5.75	18.77	1.90	0.77
水溶性のCa/Mg	0.02	1.78	0.84	2.24	0.12	0.05	0.17

作物にとって最も吸収されやすい形態である。そこで、全量に対する水溶性の割合をみると(表2参照)、下水汚泥のコンポストはMg、Caを除いて低い割合となった。生ごみのコンポストは水溶性、全量ともに含有量については他のコンポストと比較すると低かったが、全量に対する水溶性の比率ではFeを除き比較的高い値となっていた。また、シーフードのコンポストについても全般にこの比率が高い傾向がみられた。したがって、全量と水溶性のどちらか一方に注目して土壌への施用量を決定すると、土壌中のミネラル類が過剰となり、作物への栄養供給過多等の問題が起り得るので、全量及び水溶性のミネラル類を総合的にみなければならぬ。

次に、表3に各種コンポストにおける全量と水溶性のCa/Mg比を示す。Ca、Mgは、体内での働きに深く関係しており、Mgの摂取量が少なければ例え多くのCaを摂取したとしてもその働きに支障をきたすと言われている。したがって、両方の元素を同時に摂取することが必要であり、お互いの元素が最も効率よく吸収されるCa/Mgの割合は2:1である(平成11年6月改訂「日本人の栄養所要量」、厚生省)。また、人体への摂取量のみでなく、土壌中においてもCa/Mg比が2:1であることが推奨されている¹⁰⁾。そこで、各種コンポストのCa/Mgの割合をみると、水溶性の割合については下水汚泥、生ごみのコンポストが2:1に近い値となった。他のコンポストはMgの含有量がCaの含有量より多いという結果が得られた。また、全量の割合については、鶏糞のCaの含有量が非常に多く、Mgの含有量の約19倍であり、他のコンポストと比較しても非常に高い割合であった。したがって、コンポストを土壌に過剰に施用した場合、ミネラル類のバランスが崩れる恐れがあることが示唆された。

以上の結果から、コンポストの種類が違えば、それに含まれているミネラル類の含有量にも違いがみられ、それぞれに特徴があり、また水溶性のミネラル類と全量のミネラル類の割合についてもそれぞれ違いがあることが明らかとなった。特に水溶性ミネラル類は農作物に直接影響を与える可能性が高いのでその含有量に注目しなければならない。また、Cu、Znについては環境基準が定められているため、コンポストを土壌に施用する場合は、その特徴、すなわちCu、Znの溶出特性を考慮し、施用量を決定しなければならない。

3. 土壌に含まれるミネラル類の分析

コンポストを施用した土壌中のミネラル類と、それらの対照系として化学肥料を施用した土壌あるいはコンポストを施用した土壌に対するBlankとして採取した山土に含まれるミネラル類の含有量を比較し、コンポスト施用による土壌中へのミネラル類の供給の有効性について検討する。また、土壌中のCa/Mg比を求め、それぞれの土壌のミネラル類のバランスについて比較、検討を行う。なお、サンプリングを行った現地で用いられたコンポストは2. で示したものと同一である。

3.1 実験方法

ミネラル類の測定は島津製作所製原子吸光分光光度計AA-660により行い、測定の前に土壌の前処理を行った。前処理の方法は次項に示す。なお、ミネラル類としてMn、Cu、

表4 各土壌の概要

試料番号	試料名	土壌の用途	使用年数
①	シーフード	水田	10年以上
	化学肥料	水田	10年以上
②	生ごみ	プランター	25年
	化学肥料	プランター	25年
③	下水汚泥	畑	7~8年
	Blank	山土	—
④	豚糞	牧草地	6~7年
	Blank	山土	—

Zn、Fe、Mg、Caの測定を行った。分析した土壌の概要を表4に示す。試料はシーフードのコンポストを施用した水田（サンプリングを行った年はヤマダニシキを栽培）の土壌と、その土壌の対照系であり化学肥料を施用している水田（サンプリングを行った年はニホンパレを栽培）の土壌、生ごみのコンポストを25年施用しているプランターの中の土壌と、その土壌の対照系となる化学肥料を25年施用しているプランターの中の土壌、下水汚泥のコンポストを7～8年施用している畑の土壌と、その土壌のBlankとなる山土、豚糞のコンポストを6～7年施用している牧草地の土壌と、その土壌のBlankとなる山土の計8種類についてミネラル類の分析を行った。

3.1.1 全量ミネラル類の抽出実験

2.1.1のコンポストの全量ミネラル類の抽出実験の方法と同様であるが、ここでは105℃で乾燥させたものを1～2g使用した。

3.1.2 水溶性ミネラル類の抽出実験

2.1.2のコンポストの水溶性ミネラル類の抽出実験の方法と同様である。

3.2 実験結果及び考察

各土壌の全量のミネラル類の結果を図5に、各土壌の水溶性のミネラル類の結果を図6に示す。ここでは、シーフードと生ごみのコンポストを施用した土壌について、化学肥料を施用した土壌との比較を行った。前述のように、化学肥料はその成分のほとんどが窒素、リン、カリウムで占められており、ミネラル類はほとんど含まれていない。したがって、化学肥料だけを施用している土壌は年を経るとともにミネラル類が地下へ流出したり、あるいは農作物がミネラル類を吸収したりして、土壌中のミネラル類は次第に減少していくと予測される。シーフード①については、ほとんどそういった傾向はみられなかったが、生ごみ②については化学肥料を施用した土壌は各ミネラル類をほとんど含有していなかった。したがって、化学肥料だけを施用し続けると、土壌

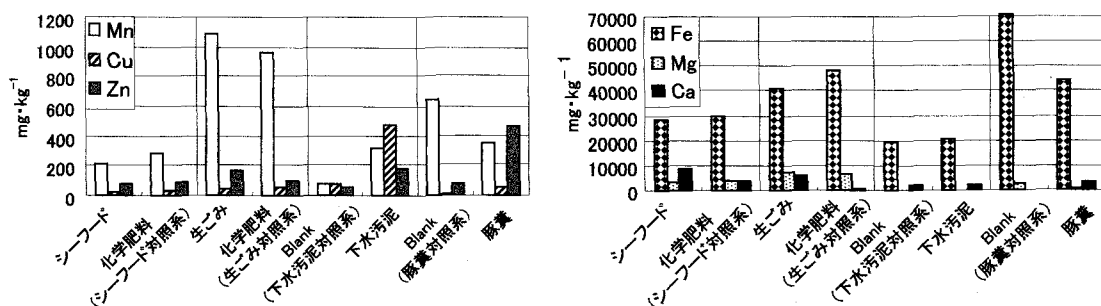


図5 各種コンポストを施用した土壌と化学肥料を施用した土壌、Blankとなる山土に含まれる全量の各ミネラル類

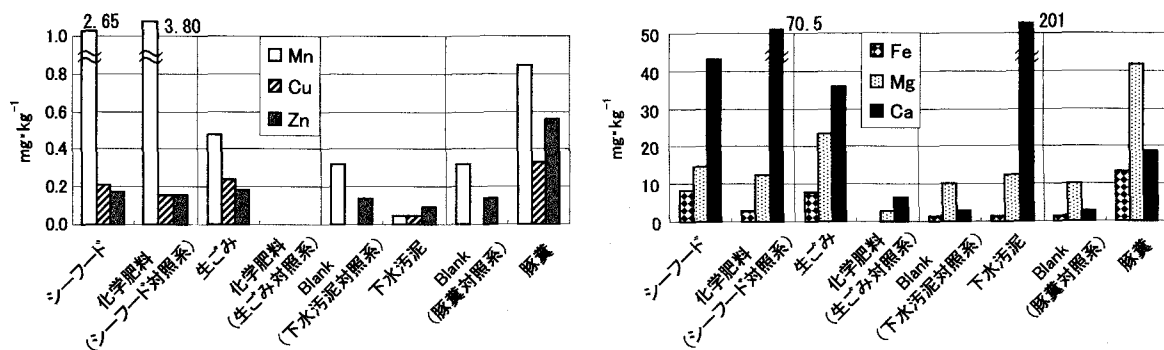


図6 各種コンポストを施用した土壌と化学肥料を施用した土壌、Blankとなる山土に含まれる水溶性の各ミネラル類

中のミネラル類の減少により、土壌から農作物へのミネラル類の移動量が減少し、土壌環境中のミネラル類の循環が保たれなくなると考えられる。ここで、生ごみ②は25年という長期間であることとプランターの中の土壌であるという条件下であり、さらにプランターでは水撒きが頻繁に行われるため、溶出量が通常の土壌と比較して多かったものと推察される。一方、他のコンポストは土壌への施用年数が10年ほどで、また降雨頻度もプランターに比べてさほど多くなかったため、現時点では化学肥料を施用した土壌とBlankと比較してさほど差異はないが、年数を重ねていくと生ごみ②と同じような状態になると考えられる。当然のことながら、ここで述べている土壌からのミネラル類の減少は、その土壌からの流出がどのような条件で起こり（土壌の特性にも大きく影響を受けるが）、またどのような作物を栽培したかによって大きく左右される。したがって、さらにこれらの点に関する実験的な解析が必要とされる。また、豚糞のコンポストを施用した牧草地の土壌とBlankとなる山土では、コンポストを施用している土壌の方がミネラル類の含有量が多くなっていた。これはコンポストにより、土壌へのミネラル類の供給が行われたためであると考えられ、コンポスト施用によるミネラル類の供給の有効性が示されたものと考えられる。

しかしながら、Cu、Znについては土壌の汚染に係る環境基準（環境省）及び農用地の汚染に係る暫定的な管理基準として、Cu¹¹:125mg・kg⁻¹、Zn¹²:120mg・kg⁻¹が規定されている。この管理基準と比較すると、基準を上回ったものは、Cuに関しては下水汚泥のコンポストを施用した土壌、Znに関しては豚糞、下水汚泥、生ごみのコンポストを施用した土壌であり、いずれもコンポストを施用した土壌であった。そこで、全国の平均肥料投入量を参考にし、Kの投入量を約9kg（10a当り）と設定した。また、市販の鶏糞を原料としたコンポスト中のKを9kg（10a当り）施用するとした場合の鶏糞のコンポスト施用量を250kg（10a当り）と算出し、この中のZnの含有量をみた結果、土壌（乾重）1kg当たりの1回のZn施肥量は1.1mg・kg⁻¹となった。ただし、ここでは土壌の深さを15cm¹⁵、土壌の見かけ比重を1g/cm³、土壌の含水率を40%と仮定して計算を行った。したがって、この結果から基準値であるZn:120mg・kg⁻¹を大きく下回っていることが分かった。よって、全国の平均肥料投入量（N、P、K）とコンポストのN、P、Kが同程度になるように施用量を調整すれば、Cu、Znの基準値はさほど考慮する必要はないことが分かった（なお、ここでは土壌への蓄積を考慮していないため、その蓄積が顕著に生じる土壌の場合はそれを考慮する必要がある）。したがって、今回基準値を上回っていた豚糞、下水汚泥、生ごみのコンポストを施用したそれぞれの土壌についてはコンポストの施用量を基準量程度に施用すれば基準値を超えることはないことが示された。

表5 各種土壌における全量、水溶性のCa/Mg比

	①		②		③		④	
	シーフード	化学肥料	生ごみ	化学肥料	Blank	下水汚泥	Blank	豚糞
全量のCa/Mg	2.66	0.94	0.81	0.10	10.46	11.08	0.04	7.99
水溶性のCa/Mg	2.95	5.73	1.51	2.35	0.27	16.48	0.09	0.01

次に、各種土壌中の全量と水溶性のCa/Mg比を表5に示す。2.2で述べたように理想とされるCa/Mg比は2:1であり、全量、水溶性の両方でこれに最も近い比となったのはシーフードのコンポストを施用した土壌であった。生ごみのコンポストを施用した土壌についても水溶性では2:1の比に近かった。生ごみのコンポストを施用した土壌の対照である化学肥料（表5の③）については水溶性の比率が2:1に近かったものの、その含有量が極めて少なかった（図6の右図を参照）ことから、良好な状態ではないと判断された。このことからミネラル類のバランス、あるいはその含有量の面からもコンポスト施用の有効性が確認されたと考えられる。

また、表6に有機農法を行っている土壌を3

表6 有機農法を行っている3種類の土壌と化学肥料を施用している3種類の土壌のミネラル類の含有量の比較

	有機農法	化学肥料を施用
Cu	0.22~0.24	0.00~0.17
Zn	0.18~0.19	0.00~0.16
Fe	2.71~8.34	0.00~3.00
Mn	0.47~6.30	0.00~7.84
Mg	8.30~23.55	2.69~12.30
Ca	35.67~75.36	6.32~106.50

単位:mg・kg⁻¹

種類（耕種はヤマダニシキ、コシヒカリ、野菜）、それらの対照系であり化学肥料を施用している土壤を3種類（ニホンバレ、コシヒカリ、野菜）採取し、それぞれについての水溶性のミネラル類の含有量を測定した結果を示す。この表からも、有機農法を行っている土壤がミネラル類を豊富に含有し、化学肥料を施用している土壤は逆にミネラル類が乏しい状態となっていることが分かり、このことから、コンポスト施用の有効性が示された。

4. コンポスト、土壤中に含まれる重金属の分析

これまで、コンポスト、土壤について一般に体によいとされるミネラル類の分析を行い、ミネラル類の土壤環境中における循環をみてきたが、コンポストには重金属類も含有されている場合がある。したがって、コンポストを土壤に施用した場合、コンポストから土壤への重金属類の溶出が予想される。そこで各コンポスト及び下水汚泥と豚糞のコンポストを施用した土壤とそれらのBlankである山土に含有される重金属類の分析を行い、土壤汚染法に規定されている特定有害物質と比較し、コンポスト施用による土壤への重金属類の蓄積について検討した。

4. 1 実験方法

4. 1. 1 コンポストに含まれる重金属類の分析方法

各種コンポストについて、Cr、Ni、Pbの3種類の重金属の分析を行った。分析は2. 1. 1で示した全量実験で作製したものと同様のサンプルを用い、それぞれの元素について原子吸光分光光度計によって測定を行った。

4. 1. 2 土壤に含まれる重金属類の分析方法

各種土壤について、Cr、Pb、Cdの3種類の重金属の分析を行った。分析は3. 1. 1で示した全量実験で作製したものと同様のサンプルを用い、それぞれの元素について原子吸光分光光度計によって測定を行った。

4. 2 実験結果及び考察

コンポストに含まれるCr、Ni、Pbの分析結果を図7に示す。図から、下水汚泥のコンポストについて、その乾燥重量あたりのCrとNiの含有量が $50\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ を上回っているという結果が得られた。平成12年に農林水産省により改定された肥料取締法¹⁶⁾には、汚泥肥料類の有害金属類の含有量について基準値が規定されており、Cr: 500ppm、Ni: 300ppm、Pb: 100ppmとなっている。これらと比較して今回測定した下水汚泥の重金属類は他のコンポストと比較するとその含有量が多いものの、肥料基準値は下回っていたことが分かる。下水汚泥のコンポストは重金属類だけでなく、今回測定したほとんどの元素で含有量が高いことが分かった。この原因としては、2-3で述べたように下水道には一般に様々なものが流入してくるためであると考えられる。また、他のコンポストについて、今回測定したCr、Ni、Pbはそれほど高い値ではなかった。これは、生ごみや飼料中にこれらの有害金属類がほとんど含まれていないことによるものと考えられる。

次に、図8に下水汚泥及び豚糞のコンポストを施用した土壤とそれぞれの土壤のBlankとなる山土のCr、Pb、Cdの含有量の分析結果を示す。図から、下水汚泥、豚糞ともにPbの値がBlankと比較して高く

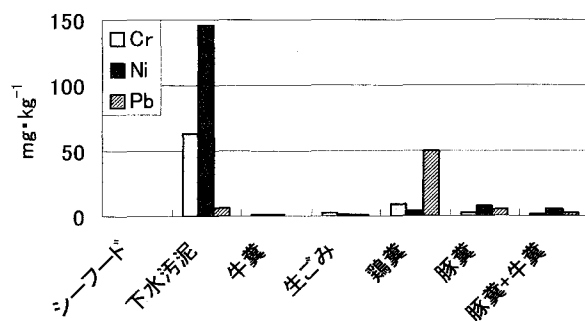


図7 各種コンポスト中のCr、Ni、Pbの含有量

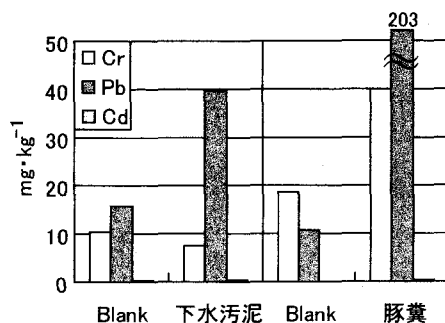


図8 下水汚泥、豚糞のコンポストを施用した土壤とBlankとなる山土のCr、Pb、Cdの含有量

なっていた。特に豚糞のコンポストを施用した土壌では約20倍となっており、蓄積しやすい元素であることが示された。また、Cr、Niについてもわずかながら蓄積する傾向がみられた。平成15年2月に施行された土壌汚染対策法¹⁷⁾(環境省)には、重金属類の指定区域の指定基準が六価Cr: $250\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、Pb: $150\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、Cd: $150\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ と規定されている。両方のBlankと下水汚泥のコンポストを施用した土壌についてはこの基準を下回っていたが、豚糞のコンポストを施用した土壌についてはPbが $203\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ となっており、基準を大幅に上回っていた。図7の豚糞のコンポストのPbの含有量をみるとそれほど高い値ではなかったため、コンポストの施用量が多すぎたことによると推察される。したがって、これらの結果から、コンポストにはミネラル類の他に重金属類も含有しているため、コンポストを土壌に施用する際にはコンポストから土壌への重金属類の溶出ならびにそれぞれの土壌の各重金属類の蓄積のしやすさを考慮し、土壌への施用量を決定する必要があると考えられる。

5. まとめ

5. 1 コンポストについて

- ・コンポストの種類の違いにより、ミネラル類の含有量に違いがあり、水溶性と全量のミネラル類の含有量の割合にも違いがある。
- ・下水汚泥のコンポストはミネラル類の含有量が多いが、全量に対する水溶性の割合はそれほど高くなく、また重金属類の含有量が他のコンポストと比較して多い。下水汚泥以外のコンポストは、ミネラル類の全量は多くないが水溶性の割合が多く、重金属類の含有量が少ない。
- ・管理基準が定められているCu、Znは、生ごみ、下水汚泥、豚糞のコンポスト中の含有量が多いので、通常の施用量であれば基準値を超えることはないが、土壌への施用量を誤れば農用地土壌の管理基準を上回る恐れがある。
- ・コンポストは施用量を誤ると土壌中のミネラル類が過剰となり、農作物への栄養過多等の問題が起こるため、全量及び水溶性のミネラル類を総合的にみて、判断しなければならない。

5. 2 土壌について

- ・化学肥料だけを長年にわたって施用した土壌は、年を経るとともに土壌中のミネラル類が地下へ流出したり、農作物によって吸収されて、ミネラル類が減少していくため、Ca/Mg等のミネラル類のバランスが悪く、土壌環境中のミネラル類の循環が困難となる。それに比べ、コンポストを施用している土壌では、コンポストの施用によって土壌中にミネラル類が供給され、土壌の疲弊を抑えることが可能であり、土壌環境中のミネラル類の循環を保つことができる。
- ・コンポストにも含まれている重金属類の1つである鉛は、土壌に蓄積しやすく、今回本研究で測定した豚糞のコンポストを施用した土壌については基準値を上回っていた。豚糞のコンポストには重金属類の含有量がそれほど高くなかったため、過剰施用によるものと考えられ、したがってコンポストを土壌に施用する際は、コンポストからの重金属の溶出ならびにそれぞれの土壌の各重金属類の蓄積のしやすさを考慮して、施用量の調整を行うことが必要である。

謝辞

本研究を実施するにあたり、本学修了生の松尾信一郎君から多大な助力を得た。ここに記して深甚なる謝意を表する。

参考文献

- 1) E. J. Underwood. Trace elements in human and animal nutrition. Third edition. Academic Press, Inc., New York. (1971).
- 2) David A. McCarron and Molly E. Reusser. Are low intakes of calcium and potassium important causes of cardiovascular disease?, American Journal of Hypertension, Volume 14, Issue 6, Supplement 1, pp.S206-S212, (2001).
- 3) 資源・環境・リサイクル循環型産業経済システムの確立ー2000年版、資源リサイクル問題研究会、産業技術会議。

- 4) 酒井信一、有機物施用畑地土壤に及ぼす影響、平成6年度科学研究費補助金研究報告書、(1995)。
- 5) Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) and International Life Sciences Institute (Washington DC, US): Preventing Micronutrient Malnutrition: A Guide to Food-Based Approaches - A manual for policy makers and programme planners, p.105, (1997).
- 6) Tisdell, S.E. and Breslin, V.T., Characterization and leaching of elements from municipal solid waste compost, *J. Environ. Qual.*, 24, 827-833 (1995).
- 7) Hsu, J.H. and Lo, S.L., Characterization and extractability of copper, manganese, and zinc in swine manure composts, *J. Environ. Qual.*, 29, 447-453 (2000).
- 8) USEPA, SW-846 Method 3050B acid digestion of sediments, sludges, and soils. Revise 2, USEPA, Office of Research and Development, Washington DC, (1996).
- 9) Petruzzelli, G., Szymura, I., Lubrano, L., and Pezzarossa, B., Chemical speciation of heavy metals in different size fractions of compost from solid urban wastes, *Environ. Technol. Lett.*, 10, 521-526 (1989).
- 10) McBride, M.B., Soluble trace metals in the alkaline stabilized sludge products, *J. Environ. Qual.*, 27, 73-78 (1998).
- 11) 「土壤の汚染に係る環境基準について」, (平成3年8月23日, 環境庁告示第46号, 改正平成5環告19・平成6環告5・平成6環告25・平成7環告19・平成10環告21・平成13環告16)
- 12) 「農用地における土壤中の重金属等の蓄積防止に係る管理基準について」, (昭和59年11月8日付け環水土第129号環境庁水質保全局長通知)
- 13) Tessier, A., Campbell, P.G.C. and Bisson, M. Sequential Extraction Procedure for the Speciation of Particulate Trace Metals, *Analytical Chemistry*, 51, 844-851 (1979).
- 14) 例えば、<http://www.tgaa.asn.au/Education/Docs/cricketwicket.htm>、<http://www.tgaa.asn.au/Education/Docs/cricketwicket.htm>、<http://cotton.crc.org.au/Assets/PDFFiles/NUTRIpak/060ther.pdf>、http://www.ncrs.fs.fed.us/epubs/walnut/p112_119.pdf、http://www.ecke.com/html/fastfax/pdfs/PE2012_EckeNewsletterFall.v.pdf、等
- 15) EPA資料、<http://www.epa.gov/opptintr/fertilizer.pdf>、5.1、pp.76-77.
- 16) 農林水産省「肥料取締法の一部を改正する法律」(平成11年7月28日公布法律第111号)
- 17) 環境省「土壤汚染対策法施行規則」(平成14年12月25日)