

# コマツナ幼苗に優良な育成効果を示す食品産業汚泥コンポストのアルミニウム含量

野口理絵子・モンジル S モハマド・高屋浩衣・三浦瑞穂・  
小野弘則・高橋仁美・萩野谷功輔・早川 徹・堀 秀隆\*

(平成19年6月29日受付)

## 要 約

裁断新聞紙 (12mm × 3mm) を食品汚泥重量の13%混合して発酵槽に投入し直ちに、30℃ 前後の空気を、発酵槽底面積 1 m<sup>2</sup>あたり80 L/分で送風して発酵を促し、古紙混合汚泥をコンポスト化した (以下これを古紙コンポストと称する)。古紙コンポストは化成肥料に比較して、コマツナの生長をより良く促進した。古紙コンポストを、500 g 土壌当たり200mg 窒素相当分施用し、コマツナの発芽および生長試験を行ったところ、発芽とその後の生長は全く阻害されなかった。一方、化成肥料を上記コンポストと同量の窒素相当分施用したところ、発芽は40%程の減少であったが、生長は殆ど出来なかった。

一般に余剰食品汚泥を凝集するために凝集剤 (ポリ塩化アルミニウム) が活性汚泥を用いた排水浄化システムの中で使用される。このポリ塩化アルミニウムの食品汚泥コンポストへの残留を調べるために、古紙コンポスト中のアルミニウム含量を測定した。含量は160-230mg/kg 乾物であった。食品汚泥コンポストの成分即ち、食品汚泥と新聞紙のアルミニウム含量は、それぞれ110および149mg/kg 乾重であった。食品汚泥に混合した裁断新聞紙および汚泥そのものの水分含量はそれぞれ9%、89%であった。これらの水分量、アルミニウム含量から乾燥古紙コンポストに含まれる Al 量に対する汚泥、副資材の Al 量の寄与は、汚泥由来37%、古紙由来63%であった。従って、コンポストに存在する Al は殆どが汚泥と新聞紙に由来し、凝集のために加えられた、ポリ塩化アルミニウムは汚泥回収の過程で流れ去り、コンポストには残留しないと推定された。

一方、市販の肥料、過リン酸石灰、硫酸アンモニウム、塩化カリウム、ハイポネックス液肥、発酵鶏糞のアルミニウム含量を測定したところ、過リン酸石灰で1 mg/kg であったが他の場合には殆ど検出できなかった。古紙コンポストに含まれる Al 含量は低く、実験圃場土壌の含量のそれより少なかったが、古紙コンポスト由来の Al について、長期使用による蓄積については今後観察をする必要があると考えられる。この点で我々の今回の基礎知見はそれらの研究に必要な基礎データを供給したものである。

新大農研報, 60:47-51, 2007

キーワード：食品汚泥由来コンポスト、アルミニウム含量、汚泥凝集剤、裁断古紙混合法

約1,700万 tの含水廃棄汚泥 (以下食品汚泥) が日本の食品産業から毎年排出されるが、半分が焼却処分、残りは埋め立て処分され殆ど再利用されていない (環境省, 2004)。食品汚泥の肥料成分含量は排出業種に係らず比較的均一で、乾燥汚泥あたり窒素7.0、リン酸 (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) 4.0、加里 (K<sub>2</sub>O) 0.8%を含む (財団法人クリーン・ジャパンセンター, 1997)。食品汚泥の主要成分は食品工場排水を浄化した細菌、菌類、原生動物の死骸で、例外はあるが一般に重金属などを含まず安全性は高い。これらの点で食品汚泥は有効に再利用すべき資源と思われる。本研究室では食品汚泥の高速コンポスト化法を研究しており、食品汚泥コンポストは肥効性が高く、肥料成分が一定な肥料として再利用できる可能性が大きいことを実証してきた (堀ら, 1994; 堀ら, 2001; 堀と岩渕, 2003)。

食品汚泥の凝集には汚泥凝集剤が用いられ、それらに含まれる金属のコンポスト内への持込を評価することは、食品汚泥が持つ安全性を有効利用する上で重要である。凝集剤は無機凝集剤と有機凝集剤に分けられ、無機系では硫酸バンド、塩化アルミニウム、塩化鉄などが、有機系では、ポリアクリルアミド酸ソーダやポリアクリルアミドなどが用いられる。食品産業の現場では、無機系と有機系を併用し、凝集助剤のペンナイトなどを用いる。この様にして排出される食品汚泥がアルミニウムを含む可能性は高く、そこから作られるコンポストのアルミニウム含量 (以下 Al 含量) を測定することが求められている。

食品汚泥コンポストは肥料法上、汚泥発酵肥料の普通肥料に分類され、Al 含量に対する法律的規制はないが、凝集剤が植物種子発芽を阻害する事を示す報告 (森ら, 2001) があり、コンポストを施肥したときの、植物生長への影響、土壌、水圏へのアルミニウムの残留等を評価することが必要である。このような基礎データがまた食品汚泥の再利用を高める事にも役に立つと思われる。

ポリ塩化アルミニウム (PAC) で凝集した、豆腐工場由来食品汚泥でコンポストを製造し、化成肥料に代替可能な優良コンポストであることを一定証明し、かつ当該品が Al 含量の面でも、長期に渡り土壌施用しても問題ないことを検定することを目的に、コマツナ種子発芽、幼植物生育に対する影響と、コンポストに残留する Al 量を評価した。

## 材料および方法

### 1. コンポスト作製

豆腐工場から排出され1日経過した食品汚泥で古紙コンポストを作製した (堀ら, 1994; 堀と岩渕, 2003)。含水率約90%の食品汚泥100kgに12mm × 3mmに裁断した新聞紙15kgを水分調整用副資材として加え攪拌機で十分に混合した。混合物を発酵槽 (60cm × 60cm × 120cm 高さ) に投入し、醗酵槽底面積1 m<sup>2</sup>あたり毎分80リットルの25℃ 前後の空気をブロー (VB-002-G, HITACHI) で送風した。冬季は送風する空気を

30℃に加熱した。

醗酵温度を醗酵槽中央の表面から10cm下、40cm下、底部から10cm上の3点で自動的に測定し、3点の温度がほぼ均一に変動することを確認し、醗酵温度が約70℃へ上昇し40℃へ降下したとき1次醗酵の終了とした。次いで醗酵物を醗酵槽から取り出し、室内で2週間自然乾燥したものを古紙コンポストとして以下の研究に用いた。この古紙混合法では10日程の1次醗酵で良質な古紙コンポストが完成する(堀ら, 1999; 2001; 堀と岩淵, 2003)。

## 2. 施肥法および栽培概要

肥料施肥の前歴の無い砂壤土(山砂、新潟県三島郡輪島村採取)を風乾し2mmメッシュの篩いに掛け、500gを秤量し、1.56gの古紙コンポストをよく混合し、ノイパウエルポットに入れた。この混合土壌に含まれる窒素(N)量は50mg、リン酸( $P_2O_5$ )量は31mg、加里( $K_2O$ )量は6mgである。これに更に、リン酸、加里をそれぞれ19mg、44mg加え、ポット当たりの窒素、リン酸、カリの各量を50mgずつに調整した。この試験区を標準区とした。窒素50mgは経験的に、古紙コンポストが十分な効果を発揮する500g土壌当たりの窒素量である。更にこれら成分量の2倍高濃度区(各成分が100mg)と4倍高濃度区(各成分が200mg)を設定した。最大容水量の60%になるように水を加え、コマツナ種子21粒を等間隔に播種した。各区には10個のノイパウエルポットをセットした。

バイオフィトチャンバー(LX-3200F, TAITEC)を用い、20℃、光量 $115 \mu mol m^{-2} S^{-1}$ (10,000ルクス)、明暗周期12時間で種子を発芽させ、その後の幼植物の栽培も同じ条件で行った。試験開始後10日目まで土壌水分60%を保つように、減水分を補充し、10日以降は一日一回十分に給水した。

## 3. 原子吸光測定サンプルの調整および原子吸光光度計によるアルミニウムの定量

古紙コンポストおよびその原材料である食品汚泥、裁断新聞紙を乾燥して、温度約15℃で保存したものを使用した。約1gの試料を乳鉢で粉砕し、乾熱オーブンで100℃、1時間以上乾燥した。デシケーター内で一時間放冷後直ちに50mg秤量しパイレックスガラス製試験管に入れ再びデシケーターで保存した。裁断新聞紙(3mm×12mm)は更に細かく挟みで裁断して用いた。これらサンプルを適宜以下のように硝酸-過塩素酸分解法(Page *et al.*, 1982)で全可溶性アルミニウムを抽出した。

加熱分解の直前に硝酸(60%)0.5mlと過塩素酸(60%)0.4mlを加えよく攪拌した。ドラフト内でアルミニウム製ブロックヒーターを用い100℃で約1時間加熱分解した。温度を210℃にし、更に2時間程度分解を続け試料をほとんど乾固した。試料を冷却後、蒸留水で10倍に希釈した硝酸水溶液を2ml加え攪拌後、再びブロックヒーターで再度沸騰するまで過熱した。冷却後、10倍の硝酸水溶液を3ml加えよく攪拌した。分解溶液と、試験管を洗った洗液をメスフラスコに移し50mlに調整した。

土壌、市販肥料などAl測定に用いた全てのサンプルも上述のように処理した。

試料は原子吸光光度計(Z-6100, HITACHI)を用いてフレイム原子吸光法で以下の条件で測定した。ランプ電流10mA、ランプ波長309.3nm、スリット0.4nm、フレイム:アセチレン-亜酸化窒素フレイム。燃料ガス圧:アセチレン45kPa(5.5l/min)。助燃ガス圧:亜酸化窒素160kPa(6.0l/min)。繰り返し

計測は1サンプルにつき3回行った。

## 4. 試料含有水分量の測定

試料の水分含量測定には赤外水分計(FD-600, Kett社, ドイツ)を用いた。

## 実験結果

### 1. 作製した古紙コンポストの化学的諸性質

作製した古紙コンポストのC/N比、水素イオン濃度などを表1にまとめた。

表1. 古紙コンポストの化学的諸性質

項目	値
pH	7.1
電気伝導度	5.6 $\mu S/cm$
C/N比	8~10
総窒素含量	4%乾物重
リン( $P_2O_5$ )	4%乾物重
加里( $K_2O$ )	0.6%乾物重

### 2. 古紙コンポストのコマツナ種子発芽および幼苗生長に及ぼす影響

化成肥料と同等かそれを凌駕する植物育成効果を示す優良コンポストが求められていて、その様なコンポストのAl含量を測定する意味があり、古紙コンポストの植物生長促進効果を簡単に測定した。

化成肥料区と古紙コンポスト区での種子発芽は標準区、2倍区、4倍区で、この順に多少の減少が見られたが、両者共に顕著な差はなかった。しかし発芽後の幼苗の成長には著しい差が見られ、古紙コンポスト4倍区での生長は化成4倍区の2.5倍であった(図1、表2)。化成肥料は標準区では古紙コンポスト以上の育成効果を示したが、古紙コンポストも高濃度で十分な即効的育成効果を示した。

### 3. 試料の水分含量

コンポスト作製に用いた余剰食品汚泥、裁断新聞紙の含水量はそれぞれ $90.7 \pm 0.7\%$ 、 $9 \pm 5.2\%$ (各々N=5)(w/w)であった。

### 4. 汚泥、裁断新聞紙、古紙コンポストのアルミニウム(Al)含量

コンポストの作製に用いた食品汚泥、裁断新聞紙に含まれるAl量を原子吸光光度計で測定した。裁断新聞紙が含むAl量は150mg/kg乾物であった(表3)。古紙コンポスト作製に用いる汚泥のAl含量を測定するに当たり、2005年6-10月に排出された汚泥を毎月1個の試料、総計5試料用いてAl含量を測定したところ、 $118 \pm 19mg/kg$ 乾物(最大値142mg最小値101mg)であった(表3)。上述のように汚泥の含水量も均一であり、汚泥作製の手法は一定に管理されていると認められ、この測定値は当該工場から生産される汚泥の平均のAl含量値として利用できると考えられた。

作製した古紙コンポストのAl含量を測定した。バッチの異なる食品汚泥を用いて古紙コンポストを3回作製しそれぞれのAl含量を測定した(表4)。古紙コンポストのAl含量は3検体各々160、165、230mg/kg乾燥古紙コンポストであった。

表2. 化成肥料と古紙コンポストのコマツナ生育に及ぼす影響

		化成肥料			古紙コンポスト		
		標準量	2倍量	4倍量	標準量	2倍量	4倍量
21日目の1株当たりの乾燥重量 (mg)	地下部	8.17	4.23	3.23	5.15	9.48	9.45
	全体	37.4	20.4	12.4	21.4	31.6	30.4
21日目のポット当たりの株数 (本)		15	9	9	18	18	14

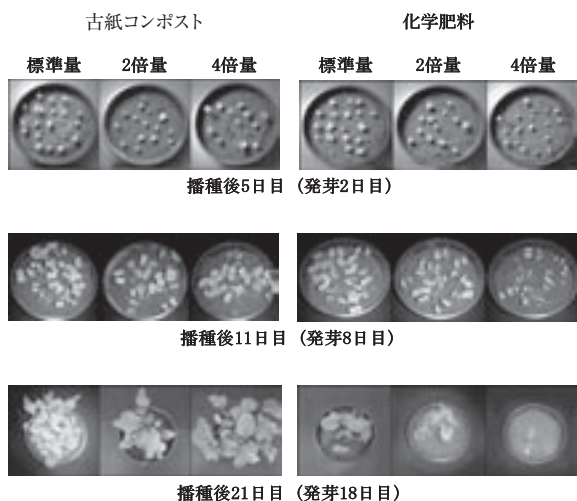


図1：植害実験でのコマツナ種子の発芽・生育状況

表3. 汚泥および裁断新聞紙の過塩素酸可溶性アルミニウム含量

成分	含量 (mg/kg 乾物)
汚泥	118 ± 19 (N = 5)
裁断新聞紙	149 ± 5 (N = 3)

5回の試験はすべて異なるロットの汚泥を用いた。新聞紙は同じ500kgのロットを異なる日に裁断し試験に供した。

表4. 古紙コンポストの過塩素酸可溶性アルミニウム含量

実験	含量 (mg/kg 乾物)
第1回発酵	160
第2回発酵	165
第3回発酵	230

## 5. 古紙コンポストに含まれるアルミニウム (Al) の由来

乾燥古紙コンポストに存在する Al は汚泥および裁断新聞紙から由来する。この割合を評価するため、コンポスト作製に用いた汚泥と裁断新聞紙の水分含量 (各々 91 および 9%) と各乾物あたりの平均 Al 含量 (各々 118 および 149mg) (表3) を用いて、コンポスト作製に用いた各成分の水分と固形分の量、および Al 量を計算したところ、古紙コンポスト中の Al は汚泥からおよそ 35%、裁断新聞紙からおよそ 65% 由来すると評価された (表5)。

表5. コンポスト作製に用いた1発酵槽当たりの汚泥と新聞紙の含む水分、固形分および過塩素酸可溶性アルミニウム含量

成分	1発酵槽当たりの各成分量	
	100kg 汚泥あたり	15kg 裁断新聞紙あたり
水分	91 (kg)	1.4 (kg)
固形分	9 (kg)	13.6 (kg)
アルミニウム含量	1.1 (g)	2.0 (g)

アルミニウム含有量はテキストに記述したように汚泥と新聞紙の平均含有量を用いて計測した。

## 6. 市販肥料のアルミニウム含量

市販の化成肥料では過燐酸石灰が 3.1mg/kg のアルミニウムを含んでいたが硫酸、ハイポネックスおよび醗酵鶏糞は 3.1、1.9、1.9mg/kg と極めて低かった。塩化カリウムの Al 含量は検出限界以下であった (表6)。

表6. 幾つかの市販肥料に含まれる過塩素酸可溶性 Al 含量

肥料	Al 含量 (mg/kg 乾燥肥料)
過リン酸石灰	3.1
硫酸	3.1
塩化カリ	検出されず
ハイポネックス	1.9
醗酵鶏糞	1.9

## 7. 土壌のアルミニウム含量

実験に用いた市販砂壤土中の硝酸過塩素酸可溶性 Al が



363mg/kg 試料と最も高い値を示した(表7)が、新潟大学圃場土(砂壤土、施肥歴あり)、コンポストを施肥していない新潟大学圃場土、五十嵐浜砂のAl含量はそれぞれ257、223および204mg/kgであった。この結果は、我々がコマツナ栽培に用いている土壤中の硝酸過塩素酸分解によって抽出されるAlが、古紙コンポスト中のそれより多い事を示している。

表7. 幾つかの砂壤土に含まれる過塩素酸可溶性アルミニウム含量

砂壤土の種類	Al 含量 (mg/kg 乾燥土壌)
大学圃場土 (施肥歴あり)	257
大学圃場土 (施肥歴無し)	232
新潟市五十嵐浜砂	204
ポット試験用砂壤土	363

### 考察

古紙混合コンポスト作製法は優良コンポストを作製する有効な方法である。本論文に簡単に示した様に高濃度施用でも、根障害、発育障害を起こすことなく、化成肥料標準区に匹敵する良好な育成効果を示したことは、即効性に乏しいと言われる有機性肥料が化成肥料に劣らない有力なものであることを示唆している。

食品汚泥は排水中の汚れを取り込み増殖した種々の微生物の余剰分が凝集、沈殿したもので、これを凝集するために、実験に用いた汚泥を排出した豆腐工場では、PACと有機系凝集剤が用いられ1日500kgの汚泥を生産する。曝気槽は連続運転で約40tの汚水が投入され、100kgの汚泥を生産するのに約21kgのPACが添加される。このPACには酸化Al、(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)、が重量あたり53%含まれる。従って、汚泥を100kg生産するのに投入された酸化アルミニウム21kgには、Alが(21×0.53=)11kg存在する。表4に示した様に乾燥古紙コンポストは10kg乾燥重量あたり約1.8gのAlを含む。およそ100kgの排出汚泥から乾燥コンポストおよそ10kgが生産されるので、ちょうど乾燥コンポスト10kgあたり11kgのAlが用いられたことになり、したがって投入Al量の0.16%がコンポストに残存したことになる。殆どの添加PACは上清に残り排水と共に流れたと考えられる。

一方、コンポストを施用する圃場土壌にはコンポストに含有

されるAl以上の濃度のAlが検出された(表7)。用いた全ての土壌にはkgあたり200mg以上の硝酸過塩素酸分解性Alが含まれていた。Alの影響を知るには、土壌に結合しているAlとコンポストに存在するその分子形態が異なることを十分に考慮し、酸性化で溶脱するAlの形態がコンポストと土壌のどちらでより多いかなどを検定する必要がある。しかし硝酸過塩素酸分解法では鉱物質結合性のAlは溶解されないと思われ、今回の過塩素酸分解法で溶離するAlは植物へ吸収される可能性が高いものと思われるが、土壌中のそれが、コンポスト中の硝酸過塩素酸可溶性Alより圧倒的に多いことを示した。食品汚泥をコンポスト化する際には凝集剤として用いられたAlは殆ど残留蓄積しないことが示された。

### 謝辞

研究全般に渡り種々のご教示を頂いた、新潟大学農学部応用生化学科、尾和尚人、大山卓爾、野中昌法教授、大竹憲邦准教授に感謝致します。本研究の一部は財団法人佐々木環境技術振興財団および財団法人内田エネルギー科学技術振興財団の助成を得て行われた事をするし感謝致します。常に食品汚泥を提供して下さった(株)石川食品石川正幸社長に感謝致します。

### 引用文献

- 環境省. 2004. 産業廃棄物の排出、及び処理状況について(平成13年度実績).
- 堀 秀隆・岩淵健一・三ツ井敏明. 1999. 新潟県食品産業廃棄物汚泥処理用の古紙混入法縦型汚泥発酵槽の研究. *新潟県工業技術総合研究所工業技術研究報告*, **28**: 187-194.
- 堀 秀隆・岩淵健一・Azwan Awang・三ツ井敏明. 2001. 新聞紙混合超高速食品汚泥発酵法の研究-オガクズ混合法との比較研究-. *新大農研報*, **53**: 133-143.
- 堀 秀隆・岩淵健一. 2003. 特許第3499484号. 有機性廃棄物の発酵処理方法並びにその発酵処理物利用品. 出願番号平成11年特許願第369182.
- 森 敏・前忠彦・米山忠克. 2001. 植物栄養学. pp. 196-201. 文永堂出版, 東京.
- Page A.L., R.H.Miller and D.R.Keeney. 1982. *Methods of Soil Analysis Part 2*. pp. 275-300.
- In: Barnhisel,R. and P. M. Bertsch (eds). *Dissolution Method for Total Aluminum*. ASA Inc. and SSSA Inc., Madison.
- 財団法人クリーン・ジャパンセンター. 1997. 食品工業排水汚泥リサイクル対策事業調査報告書.

## Quantification of Aluminum Content in the Compost Made with Sludge Wasted from a Bean Curd Factory

Rieko NOGUCHI, Monjil S. MOHAMAD, Mizuho MIURA, Hironori ONO, Hiroe KOHYA, Hitomi TAKAHASHI, Kohsuke HAGINOYA, Tohru HAYAKAWA and Hidetaka HORI\*

(Received June 29, 2007)

### Summary

Wasted sludge from a bean curd factory was mixed with newspaper chips cut (12 mm × 3 mm) and aerated right after the placement of the mixture into a fermenter. The sludge was mixed with newspaper chips at 15% (w/w) and composted under continuous aeration at 80 L/min/m<sup>2</sup> bottom area of the fermenter. Hereafter we called the compost as paper-compost. The resulted paper-compost showed no inhibitory effect in germination of the komatsuna, *Brassica napas* seeds and increased thereafter growth of them. On the other hand, the application of chemical fertilizer at the same amount of nitrogen content as that of paper-compost showed almost no growth of the plantlets.

Generally, polyaluminum chlorides were added to the wasted water in active sludge sewer system to coagulate the excess amount of sludge, therefore, there is a possibility that the Al to remain after even the completion of composting, then the aluminum contents in the compost was evaluated with an atomic absorption spectrophotometer. The content in the compost was 160 mg/kg compost dried. On the other hand, the aluminum contents in wasted sludge and newspaper which were used to make the compost were 110 and 150 mg/kg, respectively. Thus, the aluminum in the composts was thought to be derived from those newspapers and active sludge. At least, polyaluminum chloride used to coagulate the excess sludge was not seemed to remain in the compost.

*Bull.Facul.Agric.Niigata Univ., 60:47-51, 2007*

**Key words** : compost made with sludge wasted from food industries, aluminum content, coagulant, paper-chip mixed method