

ノート

臭気成分を指標とした食品廃棄物コンポストの熟度判定研究

市岡高男, 片山貴幸, 吉岡 理

Study on Evaluation of Maturity of Compost from Food Wastes by Analyzing Odor Ingredient

Takao ICHIOKA, Takayuki KATAYAMA, and Osamu YOSHIOKA

コンポスト化が難しく再生利用が進んでいない食品廃棄物について, コンポスト化の熟度判定手法を確立し, これをコンポスト化のチェックに用いることで良質なコンポスト製造とその利用促進を図るための研究を行った. 熟度判定については, コンポスト化過程における数種項目の消長の解析結果から, コンポスト化時間の経過とともに減少する溶出液中の全窒素に占めるアンモニア態窒素の割合が, 有用な熟度判定指標となることが示唆された. 次いでコンポストの溶出液についてシャーレ発芽試験の根伸長率が, 障害発生の危険性が少ない安全なコンポストと判定できる80%に達するコンポスト化経過時間を決定し, この時点の全窒素に占めるアンモニア態窒素の割合を熟成の判定値にできることを示した. また悪臭の原因となる未熟なコンポストの臭気について, 新たに提案したコンポストの臭気試験のためのガス試料調製法と二点比較法の組み合わせにより求めた簡易臭気指数に相当する値で, 比較的正確に判定できることが明らかとなった.

キーワード: 食品廃棄物, コンポスト, 熟度, アンモニア態窒素, 発芽試験, 臭気, ガス試料

はじめに

食品廃棄物は一般に腐敗しやすいためにコンポスト化が難しく, 熟成が不十分なまま利用されて悪臭の発生により周辺環境に悪影響を及ぼすことがあり, 再生利用が進んでいないのが現状である. 平成18年度には食品廃棄物全体では1,888万トン排出され, そのうち522万トン(28%)がコンポストや飼料等に再生利用されているものの, 残りの1,366万トン(72%)は焼却して埋め立て処分されている^{1,2)}. そこで本研究ではコンポスト化の熟度判定手法を確立して, これをコンポスト化のチェックに用いることで良質なコンポスト製造とその利用促進を図るための検討を行った. その結果, 熟度判定のための溶出試験とシャーレ発芽試験, ならびに未熟なコンポストに由来する悪臭判断の目安となるにおい試

験, ガス濃度試験について新たな知見が得られたので報告する.

材料と方法

1. 供試コンポストおよびその製造方法

供試コンポストは三重県伊賀市の(株)オニリーの再生利用事業登録事業場から分与していただいた. コンポストを製造するための本事業場の主要な施設は, 一次発酵を行う長さ60m × 幅10m × 堆積高さ2mの発酵槽2基と, 二次発酵を行う幾つかの熟成堆積槽である. 発酵槽はスクープ式攪拌機, 強制通気装置, 排気脱臭装置が備えられており, 施設の処理能力は64.7 t / 日である. スクープ式攪拌機は1回 / 日稼働して, 発酵槽に投入された原料を約20日かけて出口に移動させている. 強制通気装置はコンポスト製

造中，常に稼働している．発酵槽は密閉系で，排気については長期間熟成させたコンポスト中を通過させて脱臭している．

コンポストの原料は，周辺地域の事業所から排出された野菜くずおよび食品汚泥である．これらを主材とし，細かく砕かれた木くずを副資材として，容積比1：1で配合して発酵槽に投入されている．本研究では野菜くずを原料とした野菜くずコンポストを主な研究対象とし，一部，食品加工工場の排水処理施設から得た食品汚泥のコンポストも用いた．

2．方法

1) 熟度判定試験

コンポストの C/N 比を求めるため，コンポストを乾燥，微粉碎後，CHN コーダー（ヤナコ分析工業(株)製）を用いて全炭素量，全窒素量を分析した．コンポストの溶出試験については，振とう時間を30分とした以外は産業廃棄物分析マニュアル³⁾に準拠して溶出液を調製し，工場排水試験方法（JIS K 0102）に準拠して pH，EC，全窒素，アンモニア態窒素を分析した．コマツナ種子のシャーレ発芽試験については，藤原の方法⁴⁻⁶⁾に準拠し，塩濃度を調整して EC が200 mS/m 程度となるように溶出液を5倍希釈したものをを用いた．コンポストの粒度組成は，呼び寸法1～4.75mm の数種類のふるいをかけて分別し，各々ふるい上に残ったものの重量比で求めた．

2) 未熟なコンポスト由来ガス試料の臭気およびガス濃度分析

未熟なコンポストの臭気とそのガス濃度分析のための共通ガス試料を，新たに提案した以下の方法で調製した．

二重に重ね合わせたビニール袋に採取し，密封して実験室に持ち帰ったコンポスト試料の一部を分取し，含水率を測定した．残部のコンポストに含水率50%となるまで純水を添加して混合し，その10g を概ね各粒子が重なることなく一面に敷かれるようにシャーレ（内径90mm）に広げて蓋をした．清浄空気を用いて袋内を数回置換したテドラバッグ（10L，AAK）のスリーブのない一角を一辺約90mm の三角形に切り取った後，蓋を取ったシャーレを袋中央に入れた．直ちにシーラーで熱圧着し，スリーブから袋内に8L の清浄空気を充填した．20 の恒温

室に静置し，24時間後にスリーブの部分からガス試料を採取して臭気試験およびガス濃度試験に用いた．

臭気試験については，二点比較法⁷⁾に準拠して簡易臭気指数の値を求め，便宜的に簡易臭気指数相当値とした．ガス濃度試験については検知管法⁸⁻¹⁰⁾を用いた．またコンポスト自体の臭気強度については，コンポストをビニール袋に入れ，一旦袋内の空気を抜き，再度袋を開けて嗅いだときの臭気を6段階臭気強度表示法¹¹⁾で表した．

結果および考察

1．熟度判定試験

1) コンポストの C/N 比

コンポストの熟度の評価指標としては，従来から言われている代表的なものとしてコンポスト自体の C/N 比がある．この C/N 比は一般に熟度が増すにしたがって漸減し，ある値に達したら熟成したと判断されている．しかしながら実際の食品廃棄物コンポストでは，コンポスト化初期の C/N 比が比較的低く，また原料成分にばらつきがあるためその値がロットによって異なり，熟度の判定が難しい．野菜くずコンポストの製造段階におけるロットの異なるコンポストについての例を図1に示す．

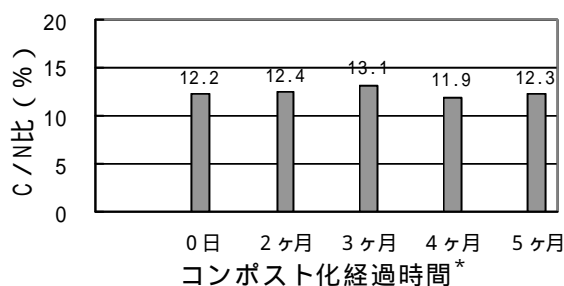


図1 野菜くずコンポストの C/N 比

* 熟成堆積槽における二次発酵経過時間（発酵槽における一次発酵期間（20日）を除く）。（以下同じ）

このようにコンポスト化経過時間の変化にもなう C/N 比の漸減傾向が不明確である．

現在の熟度判定は，熟成堆積槽における切り返し時の発熱の程度等で経験的に判断されているが，発酵自体が外気温等の影響を受けるため正確さに欠ける．そこで，より正確で比較的簡易な判定指標について検討した．

2) コンポストの粒度組成

コンポストは二次発酵の過程で空気、水分の補給のため定期的な切り返しを行っており、熟成するにしたがって原料の細粒化が起きていると推察された。そこで野菜くずコンポスト製造におけるロットの異なるコンポストについてふるいにかけて分別し、各々のふるい上に残ったコンポストの重量比を求めた結果を図2に示す。

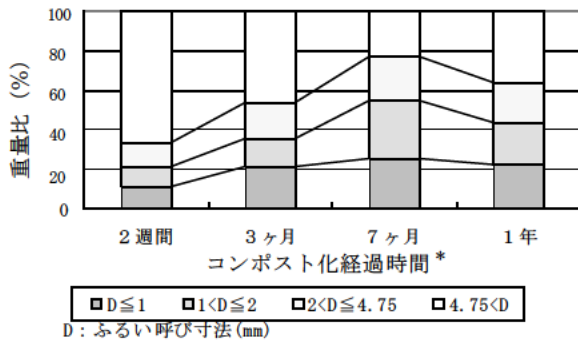


図2 野菜くずコンポストの粒度組成

*, 図1参照

本図から明らかなように、熟成と切り返し攪拌により7ヶ月後までは徐々に細粒化が進んでいることがわかる。1年後にD>4.75の粒度画分が増加しているが、細粒がカビ等により固着したものである。粒度毎に主要な残存物を目視により観察したところ、いずれの粒度範囲においても木くずが主であり、その理由として次のようなことが考えられた。

すなわち、主材の野菜くず自体は腐り易い易分解性であり、攪拌により発酵初期に容易に細粒化していると考えられた。一方、副資材の木くずは難分解性のセルロースを主成分とした立体的多層微細構造で機械的強度があり、切り返し攪拌では容易に細粒化していないと考えられた。

このように易分解性の野菜くずと難分解性の木くずが混合したコンポストの発酵では、分解性の難易により大別される二種の混合物について、分解、細粒化は各々別個に進行していると考えられる。

3) 溶出試験

前記2)の結果から、コンポストの発酵では分解性が異なる二種の混合物のうち、主に食品由来と考えられる易分解性の物質に焦点を置い

て分析することで、食品廃棄物コンポストの熟度判定に関連する項目を見出すことができると思われた。

そこで野菜くずコンポストを用いて溶出試験を行ったところ、表1に示すように、コンポスト化時間の経過とともにコンポストの臭気強度、溶出液の全窒素、アンモニア態窒素およびECの値が、当初の漸増または横ばいの状態から徐々に減少していることが明らかとなった。

表1 野菜くずコンポストの溶出試験結果

測定項目	コンポスト化経過時間*			
	2週間	3ヶ月	7ヶ月	1年
コンポスト				
臭気強度	4	3.5	3	2.5
含水率(%)	15	24	18	17
pH	6.9	8.6	8.9	7.8
EC(mS/m)	181	318	241	190
色	茶褐	焦げ茶	焦げ茶	茶褐
溶出液	(茶強め)	(黒強め)	(黒弱め)	(褐強め)
全窒素(mg/L)	310	280	250	120
アンモニア態窒素(mg/L)	130	160	23	<1.0

*, 図1参照

一般に発酵が進むと溶出する有機物の形態が変化すると考えられるため、全窒素に占めるアンモニア態窒素の割合(以下「NH₄⁺-N/T-N」と略す。)について図3に示した。本図から明らかなように、NH₄⁺-N/T-Nはコンポスト化2週間で43%であったが、3ヶ月で最大(57%)になり、7ヶ月には最大値の約1/6に減少し、1年後には0%となった。

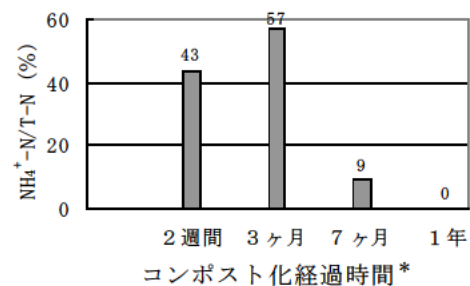


図3 野菜くずコンポスト中のNH₄⁺-N/T-N

*, 図1参照

同様にして食品汚泥コンポストについての結果を表2および図4に示す。コンポスト化時間の経過とともに、臭気強度、溶出液の全窒素、アンモニア態窒素、EC、NH₄⁺-N/T-Nの値が減少した。

以上のとおり、野菜くず、食品汚泥いずれのコンポストについても、コンポスト化時間の経

過にともなって $\text{NH}_4^+\text{-N/T-N}$ が漸増の状態から徐々に減少していく一峰性の変化を示した。特に野菜くずコンポストについては、その変化の程度がコンポストの臭気強度、溶出液の全窒素、ECの値の変化よりも大きい。また $\text{NH}_4^+\text{-N/T-N}$ による評価はロット間のばらつきの影響が小さく、アンモニア態窒素よりも有用な熟度判定指標になるものと考えられる。

表2 食品汚泥コンポストの溶出試験結果

測定項目	コンポスト化経過時間*		
	1ヶ月	3ヶ月	5ヶ月
コンポスト			
臭気強度	5	4	3.5
含水率(%)	32	29	21
pH	8.2	8.7	8.9
EC(mS/m)	394	277	183
色	焦げ茶	焦げ茶	焦げ茶
	(黒強め)	(黒強め)	(黒強め)
溶出液			
全窒素(mg/L)	510	350	130
アンモニア態窒素(mg/L)	210	150	42

*、図1参照

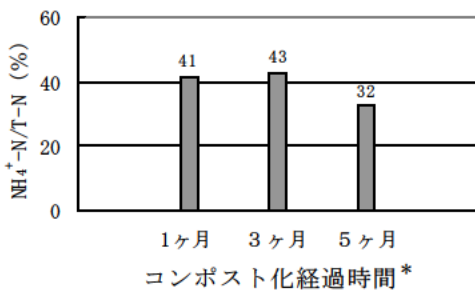


図4 食品汚泥コンポスト中の $\text{NH}_4^+\text{-N/T-N}$

*、図1参照

このように溶出液中の $\text{NH}_4^+\text{-N/T-N}$ がある一定の値になった時点で熟成したと判断できるが、その値をあまり低く設定すると肥料成分としてアンモニア態窒素の効果が低下する。一方、アンモニア態窒素が多いとアンモニアガスによる植物の生育阻害が懸念される。そこで $\text{NH}_4^+\text{-N/T-N}$ の最適濃度をシャーレ発芽試験で検討した。

4) シャーレ発芽試験

野菜くずコンポストについて、蒸留水を対照区として発芽率と根伸長率を求めたところ、発芽率はほぼ100%であった。根伸長率の結果を図5に示す。

コンポスト化時間が2ヶ月までは根伸長率は低い、3ヶ月以降は増加し、4ヶ月で80%以上であった。障害発生の危険性が少ない安全なコンポストの根伸長率は80%以上とされている¹²⁾。本野菜くずコンポストの場合、塩濃度を考慮し

て通常の1/5量を施用量とすると、コンポスト化時間が4ヶ月程度でアンモニアガスや塩分による植物の生育阻害がない肥料として使用可能であり、その時点の溶出液中の $\text{NH}_4^+\text{-N/T-N}$ の値が熟成の判定値となる。

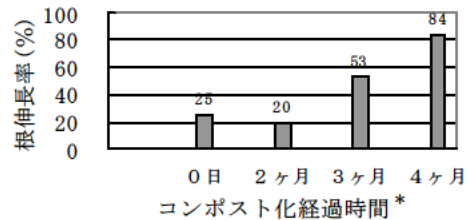


図5 野菜くずコンポストのシャーレ発芽試験結果 (根伸長率)

*、図1参照

5) 熟成の判定値の求め方

図6にコンポストの熟成判定値を求める方法を示した。すなわち、図3の結果から予想した、コンポスト化時間の経過にともなう溶出試験の $\text{NH}_4^+\text{-N/T-N}$ の消長を実線で示した。また図5の結果から予想した、コンポスト化時間の経過にともなうシャーレ発芽試験の根伸長率の消長を破線で示した。これらの曲線については、実際にはコンポストの原料成分の種類毎に $\text{NH}_4^+\text{-N/T-N}$ と根伸長率のデータを蓄積して、平均的な近似曲線として求めることになる。

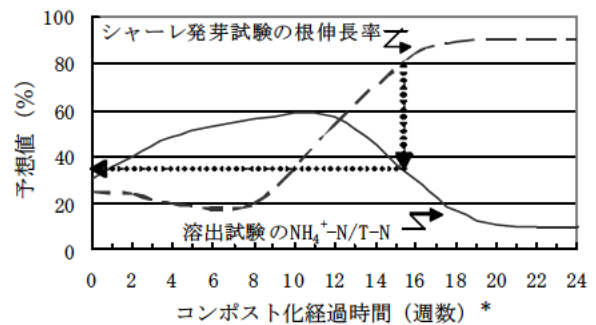


図6 コンポストの熟成判定値の決定例

*、図1参照

図6の場合、点線で示すように根伸長率が80%に達するコンポスト化経過時間における $\text{NH}_4^+\text{-N/T-N}$ の値は約35%であり、この値が熟成した良好な肥料としてのコンポストの判定値となる。

したがって、一般には次のような手順でコンポストの熟成の判定値を求めることとなる。す

なわち、コンポストの原料成分の種類毎に、コンポスト化時間の経過にともなう溶出試験で得た $\text{NH}_4^+\text{-N/T-N}$ の値と、シャーレ発芽試験の根伸長率の値のデータを蓄積する。次いでコンポスト化経過時間を X 、 $\text{NH}_4^+\text{-N/T-N}$ の値を Y_1 、根伸長率の値 Y_2 として XY 平面グラフにプロットして、 X に対して Y_1 、 Y_2 各々の近似曲線を作る。このグラフにおいてシャーレ発芽試験で根伸長率が80%に達するコンポスト化経過時間における溶出液中の $\text{NH}_4^+\text{-N/T-N}$ 値を熟成の判定値とする。

このようにして一旦判定値を求めれば、原料成分組成が一定したコンポスト製造においてコンポスト化時間の経過にともなって $\text{NH}_4^+\text{-N/T-N}$ をチェックし、この判定値に達したら熟成した良好な肥料ができたと判断できる。

一方、農地への最大限の施用量を求めるには、さらにデータの蓄積が必要である。すなわち、5倍希釈の他に希釈率の低いもので5ヶ月以上のデータをとること等が必要である。

その他、施用量を多くするために塩濃度を抑える方法としては、コンポスト化前の原料で塩濃度が高いものについて、予め水洗、脱水等により減塩することも有効である。

参考に市販の代表的な有機肥料の鶏ふん、油かすについて溶出液の塩濃度を調整して同様にシャーレ発芽試験を行ったところ、根伸長率は鶏ふん61%、油かす69%（いずれも発芽率はほぼ100%）であった。

2. 未熟なコンポスト由来ガスの分析

1) 臭気およびガス濃度

悪臭の発生などにより周辺環境に悪影響を及ぼすことがある未熟なコンポストについて、悪臭判断の目安となる試験について検討した。

コンポストの臭気関係の分析手法についてはこれまでほとんど検討されておらず¹³⁾未だ確立されたものがない。その原因の1つとして標準的なガス試料の調製法が提案されていないことが挙げられる。

そこでコンポストの臭気と、その参考資料となるガス濃度分析のための共通ガス試料を、前記2.方法の2)に示す新たな方法で調製した。

調製したガス試料を用いて臭気試験およびガス濃度試験を行った。野菜くずコンポストの結果を表3に示す。また比較のために鶏ふん、油

かすについて同様の試験を行った(表4)。

表3および表4の結果から、簡易臭気指数相当値が臭気強度と比例関係にあることが明らかであり、本研究のガス試料調製法と二点比較法を用いる方法の有効性を確認することができた。また野菜くずコンポストの場合、コンポスト化経過時間が約3ヶ月で油かすと同程度の臭いとなることが確認された。

表3 野菜くずコンポストの臭気およびガス濃度

測定項目	コンポスト化経過時間*			
	-10日	0日	3ヶ月	
コンポスト	臭気強度	4	4	3
	含水率(%)	36	26	26
	簡易臭気指数相当値	27	27	22
ガス試料	アンモニア(ppm)	15	1.9	30
	二酸化炭素(ppm)	4200	980	1600

*、図1参照

表4 鶏ふん、油かすの臭気およびガス濃度

測定項目	鶏ふん	油かす	
市販品	臭気強度	5	3
	含水率(%)	22	11
	簡易臭気指数相当値	32	22
ガス試料	アンモニア(ppm)	180	0.7
	二酸化炭素(ppm)	1200	550

*、図1参照

一方、臭気強度と、臭いの量的な主成分であるアンモニアガスや好氣的発酵の目安となる二酸化炭素との濃度的な関係は、このデータだけでは明らかではなかった。また野菜くず、鶏ふん、油かすいずれの検体のガス試料からも未熟なコンポストから発生すると思われたメチルメルカプタンは検出されなかった(<0.05ppm)。したがって、臭いの主原因となっているのは簡易な検知管法では分析できない飽和脂肪酸やアルデヒドであることが考えられる。

まとめ

1. 野菜くずコンポストの二次発酵段階(熟成堆積槽の段階)では、コンポスト化経過時間にともなうC/N比漸減傾向が不明確であることが認められた。
2. 同コンポスト中の野菜くずは、コンポスト化経過時間にともない徐々に細粒化されるが、副資材の木くずは細粒化が遅延した。
3. 二次発酵段階中、野菜くずコンポスト、食

品汚泥コンポストいずれの溶出液でも、コンポスト化時間の経過にともなって $\text{NH}_4^+\text{-N/T-N}$ 値が漸増の状態から徐々に減少していく一峰性の変化を示した。本値は特に野菜くずコンポストでは、発酵の進み具合を示す有用な熟度判定指標になると考えられた。

4. 二次発酵段階の野菜くずコンポストの塩濃度を調整した溶出液は、シャーレ発芽試験で発芽率はほぼ100%であり、根伸長率はコンポスト化時間の経過にともなって増加した。
5. 二次発酵段階の野菜くずコンポストの場合、根伸長率が80%に達するコンポスト化経過時間における $\text{NH}_4^+\text{-N/T-N}$ 値が、熟成した良好な肥料としてのコンポストの判定値となることが明らかとなった。
6. 未熟なコンポストの臭気と、その参考資料となるガス濃度分析のための共通ガス試料の調製法について、新たに提案した。
7. 未熟なコンポストから調製したガス試料を用いて簡易臭気測定法の二点比較法により簡易臭気指数を求め、便宜的に簡易臭気指数相当値としたところ、本相当値がコンポストや市販の有機肥料の臭気強度と比例関係にあることが認められた。
8. 調製したガス試料中のガス濃度を検知管法により求めたところ、アンモニア濃度とコンポストの臭気強度との関係は明確ではなく、臭いの主原因は検知管法では分析できない飽和脂肪酸やアルデヒドであることが考えられた。

今後については、熟成の判定値となる溶出液中の $\text{NH}_4^+\text{-N/T-N}$ を求めるための全窒素およびアンモニア態窒素の定量が簡易で短時間でできる機器が比較的安価で市販されており、これを用いるとともに短時間で簡易に熟度判定できるように手法をさらに工夫すれば実用化が容易になると考えられる。また得られた成果については事業者等に情報提供し、コンポストの熟度判定のための最適な手法が現場において確立することを支援して、その手法を普及したい。

謝 辞

現場情報の提供等の便宜を図り、コンポストを分与していただいた(株)オンリーに深謝します。

文 献

- 1)末松広行：「バイオマス・ニッポン総合戦略」とバイオマス利活用の推進，廃棄物学会誌，18(3)，138-147(2007)。
- 2)環境省：平成21年版環境・循環型社会・生物多様性白書，191-192(2009)。
- 3)環境庁：産業廃棄物分析マニュアル，44-54(1996)。
- 4)藤原俊太郎：シャーレーを使った堆肥の簡易腐熟度検定法，日本土壤肥料学雑誌，56(3)，251-252(1985)。
- 5)藤原俊太郎：有機物の腐熟度判定法，有機廃棄物資源化大辞典，41-50，農村漁村文化協会(1999)。
- 6)藤原俊太郎：植物を利用した方法，堆肥等有機物分析法，214-217，日本土壤協会(2000)。
- 7)におい・かおり環境協会技術委員会測定評価部会：臭気簡易測定ガイドブック，25-31，社団法人におい・かおり環境協会(2005)。
- 8)今井 剛，季 華芳，浮田正夫，関根雅彦，樋口隆哉：コンポスト化における通気量および腐熟度評価，廃棄物学会論文誌，17(1)，78-86(2006)。
- 9)小藤田久義，菅原康之，前田武己：木質系生ごみ処理基材における pH 緩衝材の導入効果，廃棄物学会論文誌，18(5)，344-349(2007)。
- 10)中崎清彦，鈴木伸章，王 岩鵬，神谷昌芳：植物病害の防除効果を持つ機能性コンポストの製造，第18回廃棄物学会研究発表会講演論文集，348-350(2007)。
- 11)岩崎好陽：新訂臭気の嗅覚測定法，12-14，社団法人におい・かおり環境協会(2005)。
- 12)原 正之：堆肥の安全施用のための発芽試験改良法，家畜ふん堆肥の品質評価・利用マニュアル，25-27，農林水産技術会議事務局 & 農業・生物系特定産業技術研究機構(2004)。
- 13)谷川 昇，古市 徹，石井一英，西上耕平：堆肥化とバイオガス化による牛ふん尿の臭気低減効果の検討，におい・かおり環境学会誌，38(1)，13-16(2007)。