

乾燥前後のEC差による堆肥の簡易腐熟度評価法

山田尚美¹⁾・瀧澤秀明²⁾・増田達明²⁾・榊原幹男²⁾

摘要：家畜ふん堆肥の腐熟度を判定するため、現物で測定したEC（電気伝導度）値と乾燥後に測定したEC値との差（EC差）の利用の可能性について検討した。

乳牛及び豚のふんの堆肥化処理条件を変え、堆肥を製造した。堆肥化処理開始から112日後まで経時的に試料を採取し、有機物分解率及び現物と乾物のEC、アンモニア態窒素濃度を調査した。

その結果、EC差は、有機物分解率及び現物と乾物のアンモニア態窒素濃度差と相関が高かった。また、完熟の指標となる有機物分解率40%でほとんどEC差がなくなった。

これらのことから、現物と乾燥後のECとの差がなくなれば、乳牛と豚では畜種や堆肥化処理条件の違いに関係なく完熟堆肥と判断された。特にアンモニア態窒素濃度が高い豚ふんでは、現地での腐熟度評価法としての利用の可能性が高いと思われた。

キーワード：堆肥、腐熟度、EC

A Simple Method for Evaluating the Maturity of Animal Manure Compost by Using the Difference between the EC of Fresh Manure and Oven-dried Compost

YAMADA Naomi, TAKIZAWA Hideaki, MASUDA Tatsuaki
and SAKAKIBARA Mikio

Abstract: We examined an evaluation method for compost maturity by using the difference between the EC of fresh and oven-dried compost (EC-difference). We measured the EC of 144 samples that were obtained using different animal dung and composting processes at different times during 112 days of composting. The concentration of ammonium nitrogen and the rate of decomposition of organic substances in the samples were also measured.

The EC-difference showed a high correlation with the 2 measured values mentioned above. When the decomposition rate of organic substances was approximately 40%, (the standard ratio of full maturity), there was rarely any EC-difference.

These results suggested that this method was useful irrespective of the materials or composting processes used. Notably, the method was more suitable for swine manure, which has a high concentration of ammonium nitrogen.

Key Words: Compost, Compost maturity, EC

¹⁾ 畜産研究部（現畜産総合センター） ²⁾ 畜産研究部

緒言

家畜ふん堆肥は、肥料として、また土壌改良資材として利用される農業資材であり、近年の肥料価格の高騰や、循環型農業の推進の面から注目が集まっている。

一方で、堆肥化処理が完全に終了していない未熟堆肥を農地へ施用した際に、易分解性有機物が土壌中において急激に分解することや、未熟堆肥中に含まれる高濃度のアンモニア態窒素 ($\text{NH}_4\text{-N}$)、生育阻害物質の残存が植物の生育等に悪影響となることが知られており、堆肥を利用する上での障害となっている。

そのため、堆肥を製造、利用する両方の立場から腐熟度評価が重要となる。腐熟度を判定する方法については、既に多くの手法が提唱されている^{1, 2)} (表1) が、測定に時間がかかることや、高価な機器を必要とすることなど解決すべき問題点が残されており、現地で迅速かつ簡易に把握できる手法が望まれている。

平成21年に増田ら⁴⁾は、「風乾物堆肥のECから現物ECを推測する換算式の検討」の中で試料とした堆肥の一部に換算式と実際の値にずれが生じる堆肥が存在し、これらの堆肥は、においが強い等の特徴がある未熟堆肥と思われるものが多かったことを報告している。

このことから、現物ECと乾燥後のECとの差は、堆肥の熟度を知る方法として利用できるのではないかと考えられた。

そこで今回、乳牛と豚の畜種の異なる家畜ふんの副資材、通気量、水分など堆肥化処理条件を変え、堆肥化処理開始から112日後まで経時的に試料の現物と乾物のECを測定し、EC差による堆肥の腐熟度判定の可能性を検討した。

材料及び方法

表2に試験に供試した家畜ふんの畜種と堆肥化処理条件を示した。堆肥は乳牛ふんと豚ふんを原料とし、通気量、水分及び副資材など堆肥化処理条件を変えて堆肥処理化開始から112日後まで経時的に12回試料を採取した。試料採取日は堆肥化処理開始日、1日後、3日後、7日後、14日後、21日後、28日後、42日後、56日後、70日後、84日後及び処理終了日の112日後とした。

2 調査方法及び調査項目

(1) 乾物試料の調整方法

現物堆肥を通風乾燥機にて105°C24時間乾燥したものを乾物試料とした³⁾。

(2) 現物EC値

生試料10 gに蒸留水100 mlを加え、30分間振とうした後、電気伝導率計で測定した値を現物EC値 (図1) とした³⁾。

(3) 乾物EC値

乾物試料に、乾燥時に蒸発した水分と同量の蒸留水

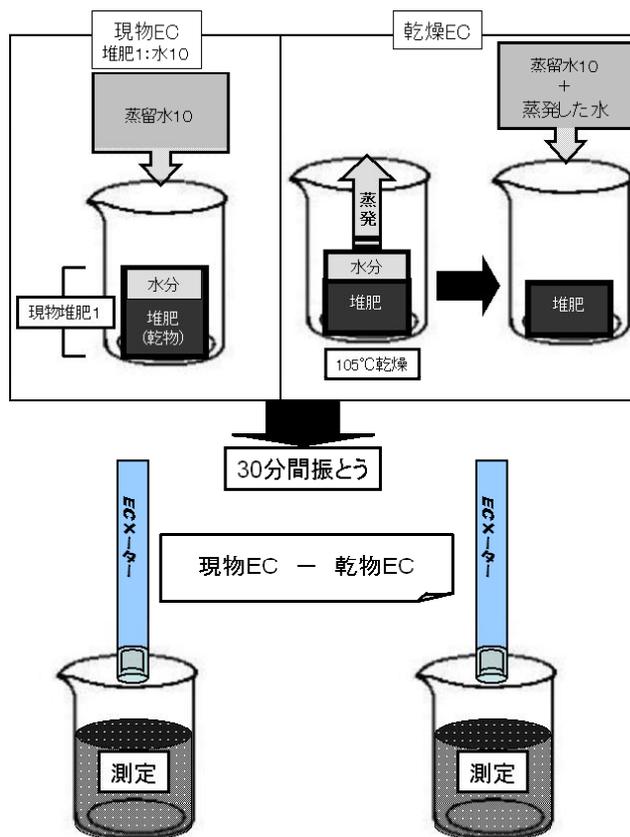


図1 堆肥EC差の測定手順

を加えて現物堆肥と同様の水分量に戻した試料10 gに蒸留水100 mLを加え、30分間振とうした後、電気伝導率計で測定した値を乾物EC値 (図1) とした³⁾。

(4) EC差

現物EC値から乾物EC値を引いた値をEC差とした (図1)。

(5) $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度

現物堆肥、乾物堆肥中の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度は2 mol/L KClで1時間振とう、抽出後、インドフェノール法により測定した³⁾。堆肥の乾燥処理はECと同様に行い、現物中の乾物当たり $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度と乾物中 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度の差を $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度差とした。

(6) 有機物分解率

550°C 4時間の直接灰化法により粗灰分を測定し³⁾、乾物重から粗灰分を差し引いた重量を有機物重として、堆肥化処理開始時の有機物重を基準として有機分解率を求めた。

試験結果

1 牛ふん及び豚ふんの堆肥処理開始日と終了日の理化学性

堆肥処理開始日と終了日の堆肥のEC、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度及び有機物分解率を表3に示した。

表1 腐熟の指標および腐熟度評価法

腐熟の指標および評価法	提案者等
A 微生物活動からの判定	
1) 堆積物の温度	Golueke(1972)
2) BOD (コンポテスター)	羽賀・原田(1984)
3) 酵素活性	Goddenら(1986)
4) ガス発生量 (ポリ袋法)	吉野(1979)
B 生物を用いた判定	
1) 発芽試験	藤原ら(1980)、長田ら(1985)
2) 幼植物試験	高橋(1976)、河田(1981)
3) ミミズを用いた試験	吉野(1979)
4) 花粉管生長テスト	若澤ら(1986)
C 物理性からの判定	
1) 物体色	菅原ら(1979)
2) 微細形態の観察	藤原ら(1980)
3) 篩別残渣重量	日向(1981)
D 化学性からの判定	
1) C/N比	Poincelot(1975)、Golueke(1981)
2) 水抽出物のC/N比	Chanyasak・久保田(1981)
3) 還元糖割合	井ノ子・原田(1979)
4) アンモニアの不検出	Spohn(1978)、森・木村(1984)
5) 硝酸イオンの検出	原田(1983)、Finstein(1985)
6) COD	Lossin(1971)
7) pH	Jannら(1960)
8) EC	日向(1981)
9) 揮発性成分	羽賀ら(1978)
10) 遊離アミノ酸	原ら(1991)
11) 水抽出のゲルクロマトグラフィー	吉田・久保田(1979)
12) CEC	原田・井ノ子(1980)
E 腐植物質による判定	
1) 円形濾紙クロマトグラフィー	Hertelendy(1974)、井ノ子(1979)
2) 腐植物質含量	Morel(1982)
3) 沈殿部割合	菅原・井ノ子(1981)
F 総合的判定	
1) 評点法	川辺・高野(1979)、原田(1983)
2) 判別スコア値	下水汚泥資源利用協議会(1985)
3) 近赤外分光分析法	中谷・原田(1994)

表2 家畜ふんと堆肥製造条件

番号	区分	畜種	副資材	通気量 (% V/V)	開始時水分 (%)
1	標準区 1	乳牛	オガクズ	5	75
2	低通気区	乳牛	オガクズ	0	75
3	標準区 2	乳牛	オガクズ	5	72
4	高水分区	乳牛	オガクズ	5	80
5	戻し堆肥区	乳牛	戻し堆肥	5	72
6	もみがら区	乳牛	もみがら	5	72
7	標準区 1	豚	オガクズ	5	70
8	低通気区	豚	オガクズ	1	70
9	標準区 2	豚	オガクズ	5	63
10	高水分区	豚	オガクズ	5	70
11	戻し堆肥区	豚	戻し堆肥	5	63
12	もみがら区	豚	もみがら	5	63

表3 堆肥化処理開始日と終了日のEC、NH₄-N濃度及び有機物分解率

	牛ふん		豚ふん	
	開始日	終了日	開始日	終了日
現物EC (dS/m)	1.81±0.52	2.06±0.81	2.71±0.39	2.19±0.51
乾物EC (dS/m)	1.26±0.45	2.19±0.79	1.52±0.39	2.27±0.66
現物NH ₄ -N (ppm)	1961.58±331.83	191.41±75.47	5131.80±483.91	1390.86±1184.33
乾物NH ₄ -N (ppm)	14.45±2.60	17.44±6.38	171.85±51.14	198.66±70.38
有機物分解率 (%)	—	44.2±4.1	—	44.9±3.3

注) n=6 終了時は堆肥化開始から112日目

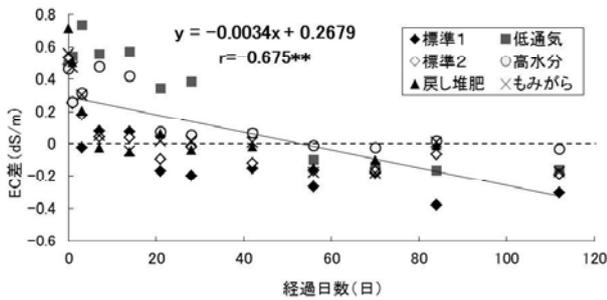


図2 牛ふん堆肥におけるEC差と経過日数との関係 (**: 1%水準で有意差有り)

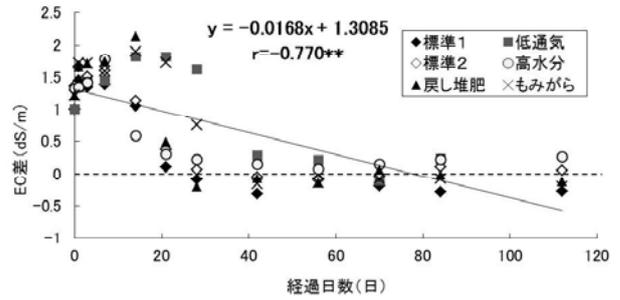


図3 豚ふん堆肥におけるEC差と経過日数との関係 (**: 1%水準で有意差有り)

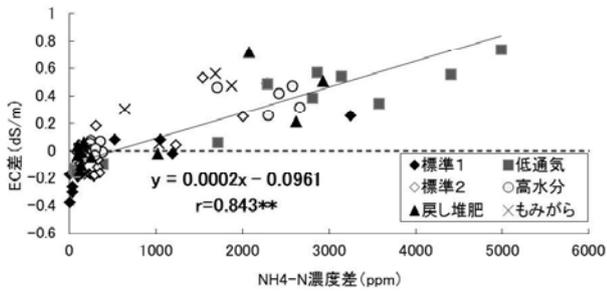


図4 牛ふん堆肥EC差とNH₄-N濃度差との関係 (**: 1%水準で有意差有り)

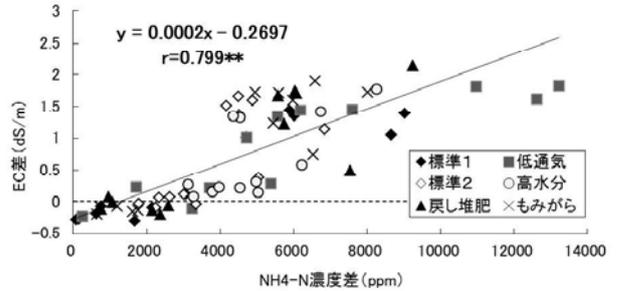


図5 豚ふん堆肥 EC差とNH₄-N濃度差との関係 (**: 1%水準で有意差有り)

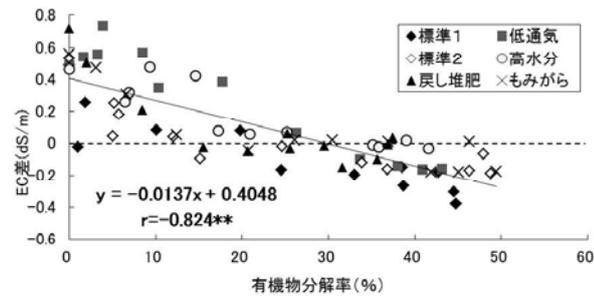


図6 牛ふん堆肥 EC差と有機物分解率との関係 (**: 1%水準で有意差有り)

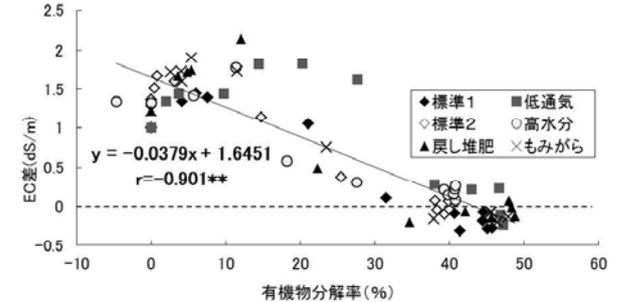


図7 豚ふん堆肥 EC差と有機物分解率との関係 (**: 1%水準で有意差有り)

(1) EC

開始日の牛ふんの現物ECは1.81 dS/m、乾物ECは1.26 dS/m、豚ふんはそれぞれ2.71 dS/m、1.52 dS/mであり、牛ふんの方が低かった。また、牛ふんも豚ふんも乾物ECが現物ECより低かった。終了日では、牛ふんと豚ふんの現物EC、乾物ECともに2.06~2.27 ds/mの範囲にあり、大きな差はなかった。

(2) NH₄-N濃度

NH₄-N濃度は、現物では牛ふん、豚ふんとも開始日が高く、終了日には低下した。一方、乾物では大きな差はなかった。豚ふんの方が開始日、終了日ともに牛ふんを上回っていた。

(3) 有機物分解率

終了日の有機物分解率は牛ふん44.2%、豚ふん44.9%とほぼ同じであった。

2 EC差と堆肥処理経過日数**(1) 牛ふん**

試験に供試した牛ふん6区のEC差と堆肥処理経過日数との関係を図2に示した。

すべての試験区とも、EC差は日数の経過に伴い減少し、処理開始56日目以降では0を下回った。

EC差と経過日数の相関係数は-0.675で負の相関があった。

なお、低通気区と高水分区で、堆肥処理開始から14日目までEC差が大きかった。

(2) 豚ふん

試験に供試した豚ふん6区のEC差と堆肥処理経過日数との関係を図3に示した。

処理開始日から7日目まですべての区でEC差は増加傾向を示した。低通気区及びもみがら区では28日目まで開始日より高いEC差であったが、その後は減少し42日目では開始日を下回った。また、42日目以降では、すべての区で0に近いEC差となった。

EC差と経過日数の相関係数は-0.770で負の相関があった。

3 EC差とNH₄-N濃度差**(1) 牛ふん**

試験に供試した牛ふん6区のEC差とNH₄-N濃度差の関係を図4に示した。

EC差とNH₄-N濃度差の相関係数は0.843で、正の相関があった。

(2) 豚ふん

試験に供試した豚ふん6区のEC差とNH₄-N濃度差の関係を図5に示した。

EC差とNH₄-N濃度差の相関係数は0.799で、牛ふん同様正の相関があった。

4 EC差と有機物分解率**(1) 牛ふん**

試験に供試した牛ふん6区のEC差と有機物分解率の関係を図6に示した。

EC差と有機物分解率の相関係数は-0.824で、負の相関があった。なお、有機物分解率は0~10%でEC差のばらつきが大きかったが、20%以上ではばらつきが小さくなった。

一般に牛ふん、豚ふんの完熟堆肥の目安となる有機物分解率は40%とされており、この時のEC差は-0.08 dS/mであった。

(2) 豚ふん

試験に供試した豚ふん6区のEC差と有機物分解率の関係を図7に示した。

高水分区で、有機物分解率が負の値を示すものがあるが、これは処理開始直後(1日目)の試料であり、サンプリングによる誤差と考えられた。また、有機物分解率10~20%でEC差が一時的に高まる傾向が見られた。

EC差と有機物分解率との相関係数は-0.901で高い負の相関があった。有機物分解率が40%のときのEC差は-0.18 dS/mであった。

考 察

牛ふん及び豚ふんの堆肥化における副資材、通気量、水分などの条件を変え、処理開始日から112日後まで経時的にサンプルの現物と乾物のECを測定し、これらの差から堆肥の腐熟度判定の可能性を検討した。

EC差と堆肥処理経過日数は、牛ふん、豚ふんともに相関はやや低かった。牛ふんでは、低通気区と高水分区、豚ふんでは低通気区で通気量の不足や高水分などで堆肥化条件が悪く、堆肥処理前半の有機物の分解が遅れていたためと考えられた。このように堆肥化条件により分解の速度が異なること、分解の過程で一時的にNH₄-Nが生成されることから、堆肥処理経過日数のみによる腐熟の判断では不十分であると判断された。

表1のD-4)に示すように、堆肥中のNH₄-N濃度は、堆肥の腐熟度評価にも応用されている。堆肥のNH₄-N濃度は、牛ふんでは未熟な状態で高く、豚ふんでは堆肥化初期の分解に伴い一時的に増加するが、その後は堆肥化の進行に伴って揮発又は硝化していくため、NH₄-Nがほとんどなくなった時に完熟と判断される。今回の結果から、乾燥前後のNH₄-N濃度差はEC差と相関が高かった。このことは堆肥を乾燥処理することにより、堆肥中に含まれているNH₄-Nが気化飛散するため、それがEC差に反映されることが考えられ、また、牛ふん、豚ふんの完熟目安とされる有機物分解率が40%の時にもEC差がほとんどなくなることから、EC差がなくなった時に完熟との判断が可能だと考えられた。

NH₄-N濃度差は、牛ふん堆肥よりも豚ふん堆肥で高いことや牛ふん堆肥で有機物分解率が0~10%以下ではばらつきが大きいこと、EC差を用いた測定法は、豚ふん堆肥で活用できると考えられた。牛ふん堆肥では、元々NH₄-N含量が低く、難分解性の有機物も多く含まれるが、豚ふん堆肥と同様にEC差とNH₄-N濃度差との有意な相関が見られたことから腐熟の目安となる可能性は

十分にありと考えられた。また、堆肥製造経過日数が堆肥化に必要とされる日数を経過したものについて、EC差を測定することにより、さらに腐熟度の精度が高まる可能性が高いと考えられた。

戻し堆肥を副資材とした場合は、もともとECが高い傾向にあるが、EC差は他の副資材を用いた堆肥と比較しても同程度で、EC差による腐熟度判定は可能であった。戻し堆肥におけるEC上昇の主な要因は、堆肥中に含まれるカリウム及び塩化ナトリウムであるとの報告があり⁹⁾、これらの成分は105℃の24時間通風乾燥処理においても変化がないためと考えられた。

堆肥の腐熟度評価法のうち、家畜ふん堆肥で最も一般的に用いられている方法は、堆積物の温度（表3中A-1）（以下同じ）、BOD（コンポテスター）（A-2）、コマツナ種子による発芽試験（B-1）と、表1には掲載されていないが、灰分測定（有機物分解率）が挙げられる。

堆積物の温度の確認は短期間に非常に簡易・安価にできるが、直接、現物堆肥で計測しなければならず、堆肥の一部を採取して計測することはできない。また、コンポテスターは堆肥の酸素消費量を測定し、堆肥の腐熟度を判定するが、機器が非常に高価であり、また嫌気条件下にあったものについては正しく測定できない欠点を持っている。また、発芽試験は、主にコマツナの種子を用いて堆肥中の発芽抑制物質の影響を見るものであるが、インキュベータを用い、判定までに3日間程度を要するため、迅速な判断が困難である。有機分解率は堆肥の分解度合いを知る大変有用な手段であるが、堆肥の調整段階での分析が必要で、製造経過日数が過ぎた時点のみの試料では判定ができないなど、いずれの評価法とも現場での簡易な測定には問題がある。

今回、筆者らが検討したEC差を用いた判定法は、電気伝導率計を用いて測定することで、比較的安価で簡易に測定でき、有機物分解率のようにあらかじめ調整段階での試料も必要とせず、さらに、1点の試料は最低10gで少量であるという利点がある。しかし、乾燥処理に24時間を必要とするため、さらに現地での応用

と精度を高める測定方法について検討する必要がある。

なお、堆肥の腐熟に伴い、EC差が負となる現象についての原因が不明であり、今後の検討課題である。また、牛ふんでは精度を上げるための補助的な指標等の検討が必要である。さらに、肉牛ふんなどの踏み込み式畜舎で、ある程度嫌気条件から好気条件に変わるような特殊な条件で生産された堆肥についても利用可能か調べることにより、実用的な判定法となると考えられた。

引用文献

1. 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. 家畜ふん堆肥の品質評価・利用マニュアル. p. 11-44 (2004)
2. 脇坂浩, 阿部正夫, 杉本俊昭, 斎藤忠史. 家畜ふん堆肥の品質因子に関する研究- 3. 灰分測定による腐熟度評価- 1. 栃木畜試研報. 19, p. 35-39 (2003)
3. 日本土壤協会. 堆肥等有機物分析法 (2010年度版). 日本土壤協会. 東京. p. 17-28, 29, 31, 42-44, 71-72 (2010)
4. 増田達明, 鈴木良地, 中谷洋, 原田英雄. 風乾物堆肥のECから現物ECを推測する換算式の検討. 愛知農総試研報. 41, p. 151-156 (2009)
5. 財団法人畜産環境整備機構. 家畜ふん尿処理施設の設計・審査技術. p. 15 (2004)
6. 今幸幹也. 堆肥の経時的分析値に基づく腐熟の指標についての検討. 香川県畜産試験場試験研究報告 (43) p. 53-57 (2008)
7. 上山啓一, 森谷和幸. 牛・豚ふん堆肥中肥料成分の現場即応型簡易分析. 日本土壤肥料科学会 講演要旨集 (55), p. 149 (2009)
8. 藤原孝之, 原正之, 村上圭一. 家畜ふん堆肥の腐熟度評価における試料の乾燥法の影響. 日本土壤肥料学雑誌. 72 (5), p. 607-614 (2003)
9. 佐藤克昭, 亀山忠, 藤井信吾, 芹澤駿治. 家畜ふん堆肥のEC上昇と無機物の関係. 平成19年度関東東海北陸農業研究成果情報. (2007)