
コンポスト熟成度の評価方法

Evaluation Method of Compost Humification

日向 博久(Hirohisa Hinata) 武内 大造(Daizo Takeuchi)

要旨：

都市ごみ、下水汚泥などの各種原料から生産される堆肥（コンポスト，compost）を従来の経験則によらず，客観的かつ定量的に評価する技術の開発を行った。その結果，コンポスト水抽出物の紫外部吸収分子量1500以下成分量とコンポストの熟成度に相関のあることを見いだし，これを応用した，ゲルパーミエーションクロマトグラフィー法によるコンポスト熟成度の有効な評価技術を確立した。この評価技術はコンポストの品質管理，生産工程管理に有効である。

Synopsis：

An efficient quantitative evaluation index of various composts is not yet established, so that estimation of compost humification has been based on traditional farm compost and has mainly used "experiential theory" for a long time. The purpose of this study is to develop the applying productive and quality managements in the composting production system from organic wastes. Water soluble and ultraviolet absorbed component of compost was separated as molecular weight by the gel-permeation chromatograph, and the results have revealed a correlation between the molecular weight 1500 under the component volume and humifying level of compost. By using this system, the compost evaluation has become possible and the utilizing techniques have been established. This system is useful for production and quality managements in the compost plant.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

Evaluation Method of Compost Humification



日向 博久
Hirohisa Hinata
エンジニアリング事業
本部 環境エンジニア
リング部 主査(課長)



武内 大造
Daizo Takeuchi
技術研究所 化学研究
センター 主任研究員
(部長補)

要旨

都市ごみ、下水汚泥などの各種原料から生産される堆肥（コンポスト, compost）を従来の経験則によらず、客観的かつ定量的に評価する技術の開発を行った。その結果、コンポスト水抽出物の紫外部吸収分子量1500以下成分量とコンポストの熟成度に相関のあることを見だし、これを応用した、ゲルパーミエーションクロマトグラフィー法によるコンポスト熟成度の有効な評価技術を確立した。この評価技術はコンポストの品質管理、生産工程管理に有効である。

Synopsis:

An efficient quantitative evaluation index of various composts is not yet established, so that estimation of compost humification has been based on traditional farm compost and has mainly used "experiential theory" for a long time. The purpose of this study is to develop the applying productive and quality managements in the composting production system from organic wastes. Water soluble and ultraviolet absorbed component of compost was separated as molecular weight by the gel-permeation chromatograph, and the results have revealed a correlation between the molecular weight 1500 under the component volume and humifying level of compost. By using this system, the compost evaluation has become possible and the utilizing techniques have been established. This system is useful for production and quality managements in the compost plant.

1 緒 言

現在、増大する有機性廃棄物を処理するために、生ごみの効率的な処理システムやリサイクルシステムの開発が強く要求されており、堆肥(コンポスト, compost)の高速化システムや各種の微生物製剤、装置・システムなど数多くの提案がなされている。しかしこれらの多くは機能・効果が明瞭でなく、その評価はもっぱら定性的な判定指標でなされ、多くの堆肥に適用できる定量的な指標となるものの報告はほとんどない。そのため生成されたコンポストも生ごみを乾燥しただけのような未熟品が多くあるのが現状である。

未熟なコンポストを土壌に施用した場合には、作物に対する障害性も懸念される。そのため、製品ごとの熟成度に大きなバラツキのあるコンポストを土壌改良材あるいは土壌の有機質分を高めるコンポストとして全て一様に取り扱うことは適切でなく、コンポストや高速堆肥化システムを経済性も含め正しく評価・使用するのための有効で客観的な評価指標や、堆肥の熟成度を定量的かつ迅速、簡便に評価する方法が強く望まれている。

本論文では当社で開発したコンポストの評価指標の設定と、その技術および品質管理・生産管理に適用した例について述べる。

2 堆肥化システムにおける製品堆肥の熟成度の評価と問題点

農業生産における有機物のコンポスト化は完全分解が目的ではなく、有機物を安定化させることによって新鮮有機物の持つ障害の回避や病原菌や雑草種子の消毒が大きな目的であり、その熟成度の程度も、コンポストの使用用途・目的によって熟成の完了時点も決まってくる。これまで、コンポストの判定には色調、形状、臭気、水分、堆積中の温度履歴、堆積期間、切り返し回数、強制通気の有無などが評価の目安として使用されているが、これらの評価方法は、経験則にもとづく方法が主流であるため、個人差があり、定量性に関して課題が残っている。

これまで、農産コンポストの評価方法として(1)腐植可溶率、(2)希アルカリ抽出液の円形濾紙クロマトグラフィー、(3)炭素/窒素(C/N)比率、(4)還元糖割合(炭水化物含量)、(5)陽イオン交換容量、(6)微生物の数と種類、(7)種子の発芽、根、茎、果実などの生育を測定する生物試験の実施など多くの方法・指標が提唱されて、定量化の試みもなされてきた²⁻⁴⁾。しかし、これらの方法は必ずしも熟成度と関係があると言えないものや、評価に多くの経験や高度の専門技術が要求されるほか、評価・判定に長時間を要することなど、日常業務の中では従来の経験や勘による定性的な項目で評価されている現状にある。

* 平成7年3月17日原稿受付

Table 1 Change of organic component in composting of town waste

(dry matter %)

Fermentation・ pile aging period	Total C	Total N	C/N	Crude ash	Hot water soluble organic substance	Reducing sugar				Lignin
						Hemi cellulose	Cellulose	Total	Reducing sugar ratio ^a	
Town waste (row material)	40.8	1.64	24.9	23.6	22.1	9.6	25.6	35.2	34.5	14.8
(material)	42.1	1.94	21.8	22.4	22.2	10.1	25.1	35.2	33.4	14.6
Fermentation 3days	40.5	2.01	20.2	24.1	16.9	10.8	26.2	37.0	36.5	15.4
5days	39.2	2.11	18.6	27.4	11.9	11.1	25.0	36.1	36.8	14.6
7days	43.1	2.05	21.0	21.0	8.6	13.3	29.9	43.2	40.1	13.9
9days	38.5	2.00	19.2	28.7	12.4	9.7	29.2	38.9	40.4	13.9
Aging 15days	34.4	2.12	16.2	34.6	9.3	7.4	24.2	31.6	36.7	12.9
30days	31.7	2.08	15.2	43.1	9.7	5.7	18.0	23.7	29.9	13.2
60days	33.1	2.65	12.5	42.4	9.2	5.4	14.1	19.5	23.6	15.0
Residual (%)	81.1	161.6	50.2	179.3	41.7	56.5	55.2	55.6	68.4	101.4
Floating coefficient (%)	10.8	12.7	19.9	28.4	37.7	28.2	21.0	22.3	15.2	6.8
r_1^b	0.89	-0.89		-90.0	0.75	0.73	0.75	0.77	0.59	-0.18
r_2^c	0.63	-0.60	0.59	-0.71	-0.08	0.79	0.96	0.93		-0.33

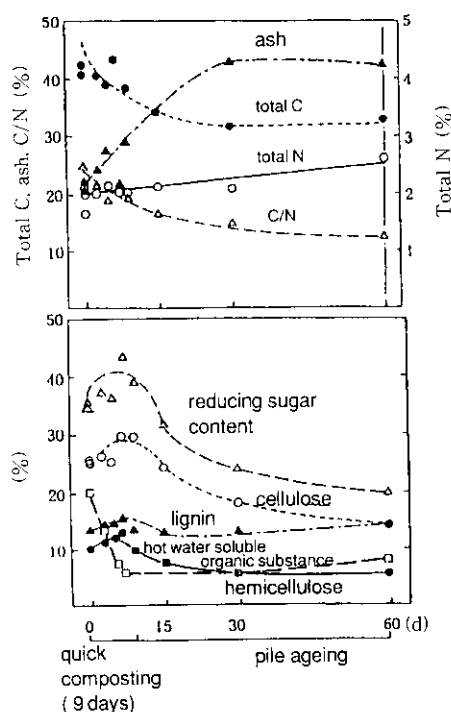
^aReducing sugar C/total C (%)^bRelationship of correlation coefficient to C/N ratio^cRelationship of correlation coefficient to reducing sugar

Fig. 1 Change of organic components in composting of town waste

一方、都市ごみ由来コンポストの熟成・腐熟度判定の指標としては専用の方法はなく、これまでに、コンポスト化過程における有機成分の変化 (Table 1) およびそのパターン (Fig. 1) がコンポスト成分の消長とともに示され報告されているが⁽²⁾、もっぱら農産コンポストの評価方法と評価指標が適用されてきた。

そこで、経験や熟練などによらない、定量的で安定した結果の得

られるコンポストの評価指標の開発を目指して検討を行った。

3 ゲルパーミエーションクロマトグラフィー (GPC) による堆肥の熟成度の評価

コンポスト化中の有機成分の変化については、先に低分子量の糖類、アミノ酸、高分子量のデンプンなど水溶性で微生物に利用されやすい熱水可溶有機物についての腐熟度指標としての検討がなされ、各成分の消長は明らかにされている。しかし、これらグルコースやシュクロースなどの低分子糖類は、土壌微生物のエネルギー源として利用されやすく発酵の進行とともに消滅していくため、一義的には熟成度と相関性があるように見させるが、コンポストの熟成度とは差が生じ明確な関係が認められないため指標としては信頼性が低い。このため指標としての採用は困難との結果が報告されている⁽³⁾。そこで、従来、コンポストのパターン認識程度に使用されている堆肥化過程の成分変化⁽⁴⁾を、分子量の変化に注目して評価指標としての有意性と可能性を検討した。

GPC (gel-permeation chromatograph) 法はコンポストを分子量にしたがって分離する方式で、コンポスト化の進行とコンポスト中の各成分の変化を定量的に明確に把握することが可能である。対象としては、先に述べたように、堆肥化とは相関性が認められなかった糖類を除き、窒素の無機化と関連するたんぱく質、核酸など紫外線 (UV) 吸光度を持つ物質の分子量変化に注目して低分子成分の消長と熟成度の相関性を検討した。

3.1 コンポストの GPC 測定

供試コンポストとして、栃木県野木町資源化センター (株) 日本リサイクルマネジメント社プラントのコンポストを使用した。このシステムは都市生ごみからコンポストを効率的に生産するシステムとして注目され、堆肥としての評判もよい。コンポスト化各段階ごとに採取した試料については、一般的な条件による GPC 法を適用

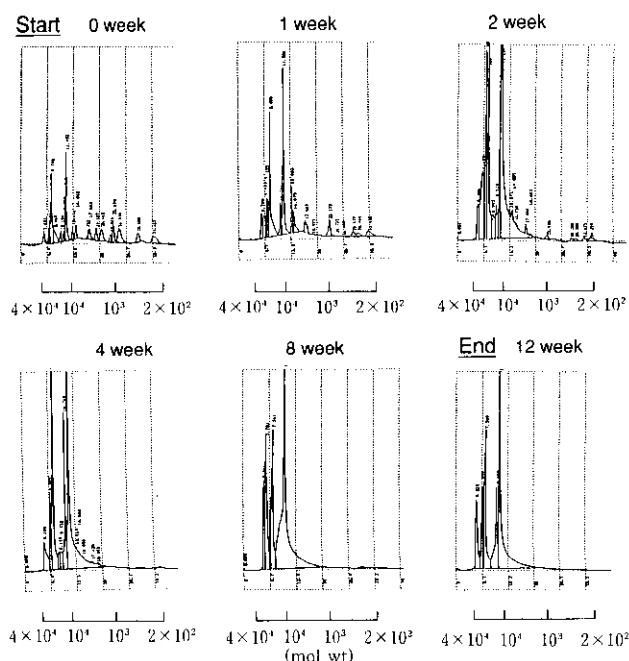


Fig. 2 Relationship of composting period to GPC pattern of Nogi compost

した。測定結果を Fig. 2 に示す。熟成の進行（経過）とともにコンポストの分子量パターンは変化しており、コンポスト中の GPC 低分子成分の比率が減少して、コンポスト熟成度と低分子成分の比率との間に高い相関関係が認められた。また、熟成の進行とともにコンポストの分子量パターンが変化しており、この変化を定量的に把握、解析することによってコンポストの指標になりえると判断して GPC 法の開発を進めた。

3.2 GPC 測定法の概要

コンポストを水に懸濁して、室温で水溶性成分を抽出し、抽出液を高速液体クロマトグラフィーによる GPC 法（波長 280 nm 検出）の吸光度を測定する方法で行った。検出されたクロマトグラムはコンポストの熟成度変化に従って分子量約 1500 前後で特徴的に変化しており、熟成度を推定することができた。これの全成分量に対する分子量約 1500 以下の成分の比率を GPC 比（GPC ratio = mol wt. 1500 以下成分量 / 全成分量）として表し、コンポストの評価指標とした。

3.3 抽出条件と GPC 比

測定・評価の方法と条件を決めるため、各種の条件下でコンポスト成分を抽出し、GPC 値（比）の変化および抽出標品の経時的な安定性など評価指標としての信頼性を検討した。供試コンポストはコンポスト化経過日数ごとの各段階のものを使用した。

(1) 振盪抽出と超音波抽出

抽出方法による GPC 比の差の有無を確認するため、コンポストから GPC 成分を振盪抽出と超音波抽出し、各々の GPC 比の比較を行った。Table 2 に示すように、抽出方法による差は認められなかった。

(2) 振盪抽出時間

抽出時間による GPC 比の差の有無を確認するため、振盪抽出時間ごとにコンポストの GPC 成分を抽出し、GPC 比の比較

Table 2 Effect of extraction methods on the GPC ratio (%)

Extraction method	Composting period (week)		
	0	4	8
Shaking extraction ^a	24.0	2.0	0.1
Supersonic wave extraction ^b	23.5	1.9	0.1

^aRoom temperature, 200 rpm × 10 min

^bRoom temperature, 40kHz × 10 min

Table 3 Effect of extraction time on the GPC ratio of 1 week compost (%)

	Extraction time (min)					
	0	10	20	30	60	120
GPC ratio	2.5	5.6	5.8	6.0	6.0	6.0

Table 4 Effect of sample volume on the GPC ratio of 1 week compost (%)

	Compost volume (g)		
	0.5	1.0	10.0
GPC ratio	10.2	10.1	10.2

Table 5 Effect of holding time of extract on the GPC ratio (shaking extraction at room temperature to 200 rpm × 10 min) (%)

Holding time after extract (day)	Composting period (week)		
	0	4	8
0	24.0	2.0	0.1
5	23.8	1.9	0.1

を行った。10 分以上の抽出時間では抽出効率にほとんど差が認められないことから、抽出時間は 15 分に設定した。結果を Table 3 に示した。

(3) 抽出サンプル量

抽出サンプルの量による GPC 比の差の有無を確認するためコンポスト量を 0.5～10.0 g の範囲で、一定量の水に対する抽出処理を行い GPC 比の比較を行った。十分に混合・均一化したものを試料として使用した結果、Table 4 に示すように、サンプル量による差は認められなかった。

(4) 抽出液（GPC 比測定サンプル）の安定性

抽出処理後、GPC 比を測定したサンプル液の一部を 10℃で保存し、5 日後に再度 GPC 比を測定した。その結果を Table 5 に示した。コンポスト化の各経過品の抽出液は、5 日間保存で全く変化は認められなかった。

以上の検討結果から、Fig. 3, Table 6 に示した GPC 測定標準フローを設定した。

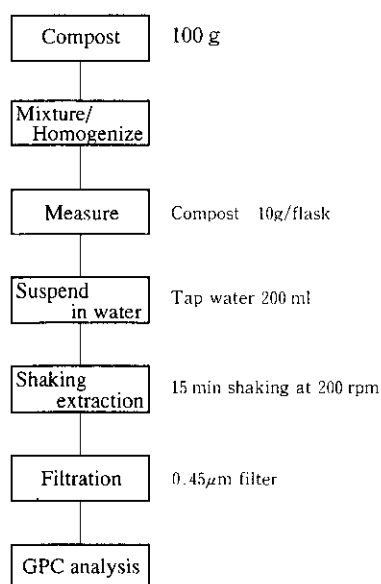


Fig. 3 Gel-permeation chromatograph (GPC) method

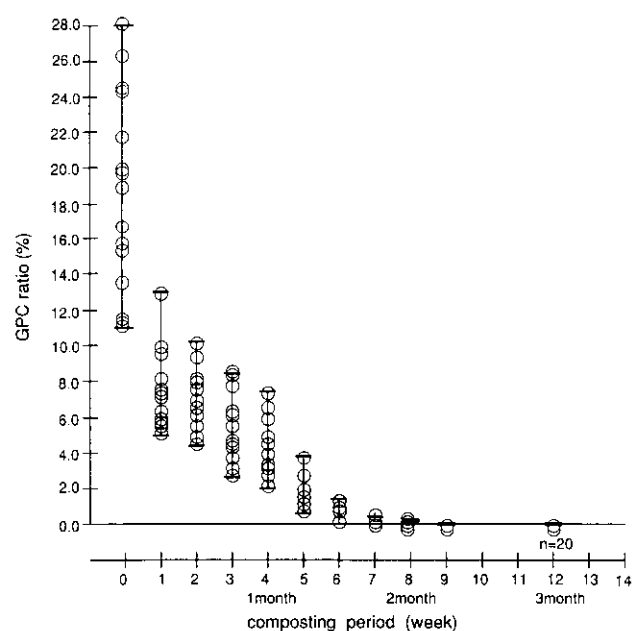


Fig. 4 Relationship of raw wastes composting progress with GPC ratio of Nogi Town compost

Table 6 GPC condition

Liquid chromatograph	Shimadzu LC-10AD
UV-VIS spectrophotometric detector	UV 280 nm
HPLC column	Asahi pak GS-310 7.6 mmID × 500 mmL av. particle dia. 9±0.5 μm Eliminate bounds is molecular size of 40 000 (synthetic polymer)
Carrier gas	He
Mobile phase	Distilled water
Flow rate	1.0 ml/min
Sample	10 μl
Sample filtration	0.45 μ filter (cellulose acetate)

3.4 GPC 比の測定結果

一年間にわたり野木町プラント都市ごみコンポストの GPC 比を測定して、コンポスト化経過日数とコンポストの炭素量、窒素量、炭素／窒素比率 (C/N 比) および GPC 比との関係を明らかにした。Fig. 4 に示したように、コンポスト化経過と GPC 比との間には明らかに高い相関関係が認められた。

3.5 従来の評価指標との対比

稲わら堆肥など従来の農産堆肥の熟成度については、これまで主に炭素率 (C/N 比)、および腐植可溶率が熟成度と相関の高い指標として認められている。これらの指標は都市ごみコンポストの場合にもその腐熟度の指標として用いることは可能であるが、都市ごみコンポストにはセルロース成分が多く、原料ごとにその成分も変動するため、従来の農産廃棄物とは異なっている。そのため C/N 比の目標値は、農産コンポスト目安 20.0% 以下に対して、都市ごみコンポストではわずかに高く 25~30% 以下と見なされてい

る^{1,2)}。今回開発した GPC 法・GPC 比と従来法の C/N 比との相関をみるために対比を行った。

3.5.1 GPC 比と炭素率 (C/N 比) との関係

コンポストの腐熟が進行すると、主として炭水化物の分解消失により全炭素含量が減少し全窒素含量は相対的に増加する。C/N 比の低い有機物では分解にともなう窒素の放出 (無機化) が起こり、この窒素が作物に吸収されて肥効を示すことになる。そのために C/N 比はコンポストの腐熟度の指標として利用できるとされている。GPC 比と C/N 比との対比を Table 7 および、Fig. 5 に示した。GPC 比と C/N 比の間に高い相関性が認められた。

3.5.2 腐植可溶率と GPC 比との対比

コンポストのアルカリ抽出液は、その腐熟化とともに黄褐色へと変化し、420 nm の吸光度が増加する。アルカリ抽出される腐植を腐植性炭素として比色定量し、その全炭素に占める割合を腐植可溶率 (%) で示すと、この可溶率はコンポストの C/N 比と窒素の無機化率との間に高い相関関係がある。そのため、腐植可溶率はコンポストの腐熟度の指標として利用できるとされている。GPC 比と C/N 比に高い相関関係が認められたことから、腐植可溶率との相関を期待したが、Fig. 6 に示すように GPC 比と腐植可溶率との間には明確な相関関係は認められなかった。

3.5.3 見かけ上の C/N 比の調整と評価

窒素含量の高い未熟性の資材をコンポスト基材に投入・混合して見かけ上の C/N 比の低いコンポストを容易に調整することは可能である。しかし、これはコンポスト本来の肥効、熟成とは全く無関係であり、C/N 単独での評価では熟成度を正確に評価することは難しいことも表している。コンポストを正しく評価するためにも、土壌微生物に速やかに取り込まれ利用される低分子成分とじょじょに分解される高分子成分の比率を熟成度の指標として利用することは妥当であると考えられる。

Table 7 Relationship between composting period and C content, N content, C/N ratio and GPC ratio

	Composting period (week)							
	0	1	2	3	4	5	8	12
Carbon (%)	43.5	44.2	42.1	39.6	44.0	43.1	42.9	41.9
Nitrogen (%)	1.4	1.5	1.4	1.7	1.9	1.8	1.7	2.0
C/N ratio	31.3	28.9	30.1	24.0	23.8	23.6	25.2	20.5
GPC ratio (%)	24.0	11.5	6.2	3.1	2.0	1.6	0.1	<0.02

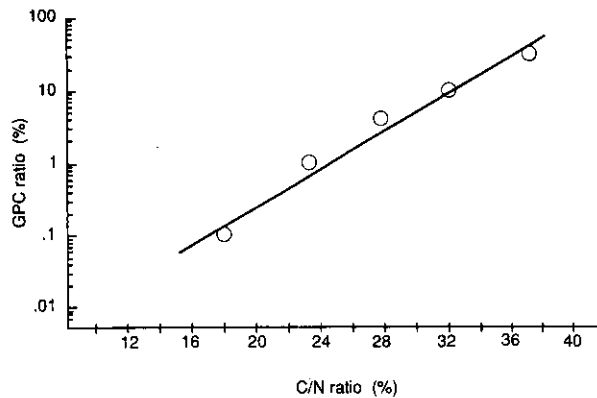


Fig. 5 Relationship of C/N ratio to GPC pattern of compost

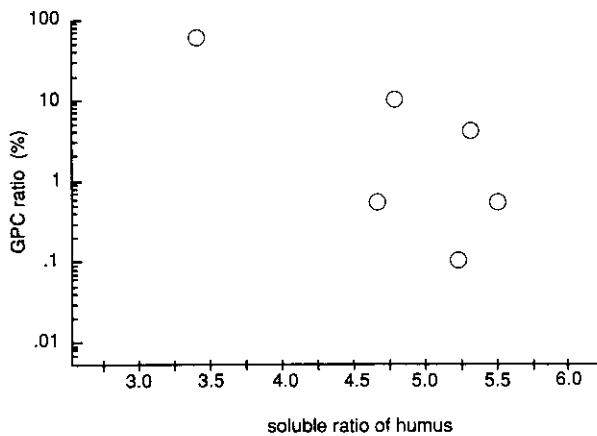


Fig. 6 Relationship between soluble ratio of humus and GPC ratio of compost

4 各種コンポストの GPC 比による熟成度の評価

4.1 GPC 比基準

GPC 比測定値および C/N 比、腐植可溶率との対比から、コンポストの評価指標として GPC 法が有効であることが確認できた。コンポスト熟成度の指標値として、土壌への施用比率（植物への評価試験など）から GPC 比（低分子成分比率）は以下の基準が妥当と考えられる。

GPC 比基準：完熟コンポスト	0.5%以下
熟成コンポスト	0.5～2.0%
中熟コンポスト	2.1～10.0%
未熟コンポスト	10.1%以上

なお、堆肥は、その使用先によって必ずしも完熟品のみが求められるものではないため、用途に応じて完熟、熟成、中熟、未熟の分類を提案した。

以下、この評価指標に基づきコンポストの熟成度を評価した。

4.2 各種コンポストの GPC 法による評価

各種コンポストの GPC パターンを Fig. 7 に、GPC 比を Fig. 8 に示した。広く高速コンポストと呼ばれているものの中には GPC 比で評価すると単に生ごみ/基材が乾燥されただけの未熟コンポストに相当するものも多く認められた。このまま後熟成を経ないで農

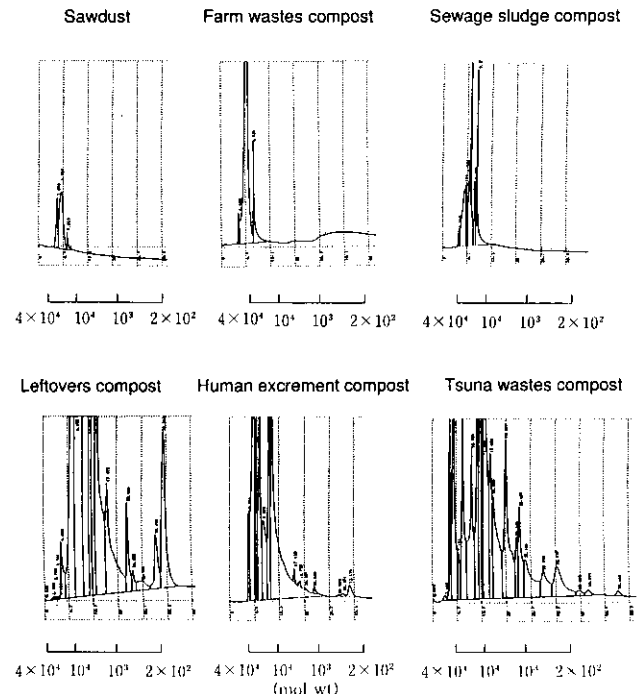


Fig. 7 GPC pattern of various composts and raw materials

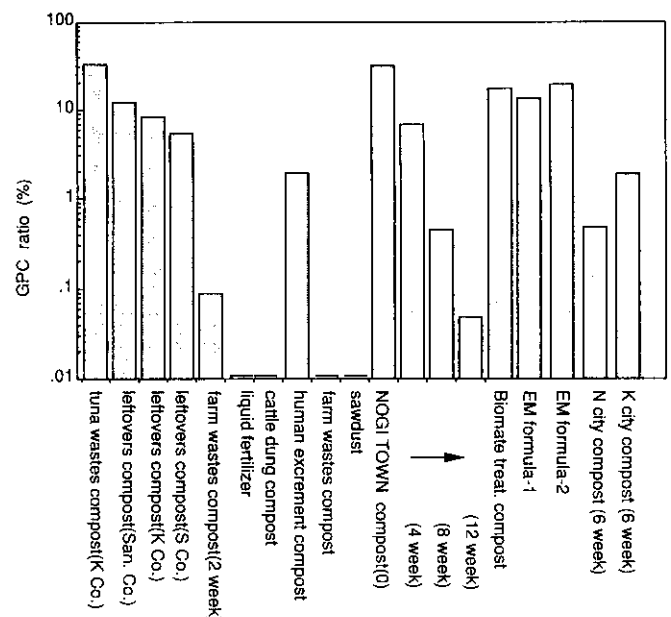


Fig. 8 GPC Index of various composts

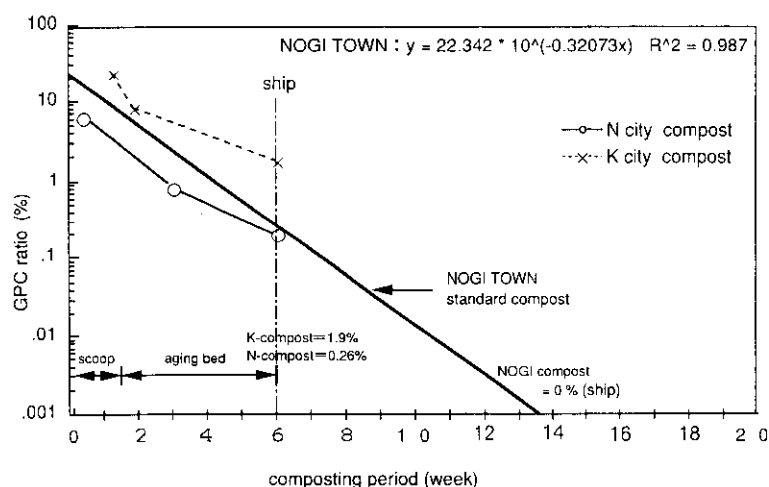


Fig. 9 Composting progress and GPC ratio (commercial plants)

地に使用した場合、局所的な発熱や有害菌の増殖を促し根腐れなどを起こす可能性もあると想定される。

5 堆肥化プラント生産工程管理への適用

異なる堆肥化方式で都市生ごみコンポストを生産しているN県の二つの市の、コンポストのGPCパターンおよび熟成度をFig. 9に示した。コンポスト化システムの違いによって熟成速度に差が認められている。N市コンポストは4週間でGPC比は1.0%以下であり、熟成が早く、運転管理や経費でも有利であると判断される。本GPC法では、短時間で容易にコンポストの熟成度が評価できるため、堆肥化設備の工程管理や品質管理、さらに出荷管理に効率的に使用することができ、熟成段階ごとに用途に応じた製品出荷が可能である。

6 まとめ

堆肥の熟成度を迅速かつ定量的に評価する方法としてGPCをベースにした評価方法と評価指標を報告した。その結果は次のとおりである。

- (1) コンポストの熟成度とコンポストの水抽出物でかつ紫外吸光を持つ分子量1500以下成分の量との間に高い相関関係のあることを見出した。この成分はコンポストの熟成とともに減少した。

- (2) コンポスト中の分子量ごとの成分比率を測定する方法として迅速、簡便でかつ定量性があり信頼性の高いGPC法を適用した。
- (3) コンポストの熟成度を評価する指標としてコンポスト中の全成分量に対する分子量1500以下成分の量の比率（GPC比）が妥当であることを確認して、新たなコンポスト評価指標としてGPC比を提案した。
- (4) GPC比は従来から各種コンポストの評価に使用されているC/N比とはよく一致した。さらにC/N比では評価値が変動し、評価の困難な都市生ごみコンポストについて十分に評価できる結果を得た。
- (5) 熟成度をモニタリングすることによってコンポスト化プラントの、品質管理、生産工程管理指標として使用することが可能であり、用途、目的にあったコンポストの生産、供給に寄与できる。

今回、コンポストを評価方法として農産コンポスト、都市生ごみコンポストのいずれにも従来の評価方法よりも定量的に、かつ短時間に熟成度を測定、評価できるGPC法を確立することができた。今後、この評価技術が広く当該分野で適用され、都市生ごみコンポスト品質の評価と、生ごみ処理コンポスト化設備の運転管理、品質の安定したコンポストの生産と供給などに有効に活用されることを期待している。

おわりに、この研究は（株）日本リサイクルマネジメントの協力により実施された。お礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 西尾道徳：「土壌微生物の基礎知識」（1989），〔（社）農山漁村文化協会〕
- 2) 新井重光ら：「都市廃棄物のコンポスト処理方式の改善ならびに農業利用に関する研究」，農林水産技術会議事務局，（1980）
- 3) 藤田賢二：「コンポスト化技術—廃棄物有効利用のテクノロジー」，（1993），〔技報堂〕
- 4) 藤田賢二，金子栄広：「コンポスター—その理論と実際」，都市清掃，45（1992）188，276-284
- 5) 久保田宏：「有機資源の処理処分とリサイクルシステム」，コンポストの微生物講演会要旨集，（財）バイオインダストリー協会，（東京），（1994）