コンポスト腐熟過程における有機物の変化ならびにその評価*

金 沢 晋二郎

1. はじめに

戦後わが国の経済の飛躍的な発展に伴う生活環境整備の一環として、昭和30年後半から昭和50年の中期にかけ第1次から第4次5カ年下水道整備計画により、大都市、中小都市はもとより、町村にいたるまで下水道が整えられてきた。そのため、下水処理場から排出される汚泥の量は年を追って増大の一途をたどり、従来の原野・海岸の埋立、海洋投棄、焼却処理では不可能となり、1960年の中頃からその処分が大きな問題として顕在化した。時を同じくして、人口の都市集中化と食生活・住宅の改善により都市ごみ¹⁻⁵⁾、家畜ふん⁵⁻⁹⁾、輸入材¹⁰⁾からのパークやオガクズ等の膨大な量の廃棄物も加わった。現在、世界的に注目を集めているのが重金属等の有害成分の少ない汚泥を貴重な有機質資源とみなし、有機質肥料や土壌改良剤として農業利用することである。この背景には、化学肥料多投による土壌有機物減少と地力の減退が叫ばれ、これを補うために良質な有機質肥料である汚泥の需要があった。その間の事情については、成書「下水汚泥——リサイクルのために——」日本土壌肥料学会編、博友社（1979年）、松崎¹¹⁾、松崎・和地¹²⁾、野村¹³⁾や伊達¹⁴⁾の報告がある。

現在農業サイドにおける下水汚泥の研究は、土壌中での分解におよぼす凝集剤の影響と汚泥の堆肥化に関心が集まっている。たとえば、汚泥炭素¹⁵⁾や窒素¹⁶⁾の分解は凝集剤の種類で顕著な差を示し、その差は土壌間や添加量の差よりも大きいからである。堆肥化については石灰汚泥よりもムギ桿汚泥堆肥の方が畑作物根系

の発達や糸状菌フロアの多様性を促進¹⁷⁾することから汚泥の堆肥化が推奨されていることによる。また、汚泥窒素の無機化速度の調節のため汚泥へのわら混入も推奨されている¹⁸⁾。その他の汚泥堆肥の利用法として、林地の下草防除と肥培についての新しい試みもなされている³⁵⁾。また、汚泥を堆肥化することにより次のような問題が解決できる。すなわち(1)含水率を低めて取り扱いやすくなること、(2)腐敗・悪臭のもとになる易分解性有機物を分解できること、(3)含有する窒素が蛋白質ゆえに生ずる土壌での爆発的な窒素の放出が防げること、(4)衛生・環境上問題となる病原菌、回虫の卵や雑草の種子を殺せること、などである。

他方、わが国の汚泥堆肥の研究は汚泥の農地還元のにそれに比べて著しく新しく、本格的に研究が開始されるには、福岡市が民間企業の協力で下水汚泥の堆肥化に成功し、その堆肥の緑農地利用が始まった1974年まで待たなければならない¹⁹⁾。それらの研究の主体が民間であったため、学術的な報告は少ない。しかしながら、日本下水道事業団の報告書（1978）²⁰⁾や下水汚泥資源利用協議会からの成書（1983）²¹⁾や講演集（1985）²²⁾にそれ以後の研究が詳しくまとめられている。特に本論文の主題である汚泥のコンポスト化過程における有機組成の変化を明らかにすることを目的とした研究は、国の内外ともに少なく、Higgins ら²³⁾、茅野ら²⁴⁾およびChino ら²⁵⁾の研究が散見される程度である。したがって、ここでは、汚泥堆肥の有機物組成の特質と今後の研究の方向性を浮き彫りにするために、汚泥堆肥のみでなく、古くから農耕地の生産力を増すために使われている稲わらと家畜ふん堆肥、それに加えて、汚泥堆肥と同様に歴史の新しい都市ごみ堆肥の腐熟化過程の有機組成の変化とそれらの評価について考察を加えることにした。汚泥堆肥の発酵期の熟度検定のための簡便なモニター機器として、森・木村³³⁾は、SnO₂型半導体を検出部に用いたガスセンサーを開発している。

2. 下水汚泥堆肥の腐熟化過程における脂質類、酵素活性およびモミガラの状態変化

汚泥を堆肥化する際、通気性を良好にし好気性発酵の促進と慣行堆肥に近づけるため、普通稲わらやモミガラを副資材として用いることが多い。また、下水汚

Shinjiro Kanazawa

昭和44年 東京大学大学院農学系研究
科修士課程修了

同年 東京大学農学部農芸化学科
助手
農学博士

〔趣 味〕 旅行 骨董収集

* Changes in the Organic Components during the Aging Processes of Compost and its Valuation, 昭和61年3月12日受理

泥の堆肥化の目的は汚泥のもつ物理・化学性による取り扱いにくさ、衛生・環境上の問題を取り除くことに力点が置かれているので、既存の農耕堆肥のような完熟化をめざすものではないこと²⁶⁾を念頭に入れておく必要がある。

汚泥堆肥の腐熟化過程に伴う有機組成の変化を詳細に研究した例はほとんどなく、あったとしてもその知見は断片的である。そのため、ここでは後で述べる各種の堆肥のような有機成分の記述を割愛して、汚泥堆肥の脂質類、酵素活性および副資材のモミガラ形態変化について述べることにする。

1) 排気ガス中の CO_2 と NH_3 濃度の変化

発酵期における堆肥の温度、 CO_2 、 NH_3 濃度の変化²⁷⁾は図1に示す。 CO_2 の濃度は発酵期の初期段階の数時間の後に生成が開始され、10時間目にピークに達し、その後急速に減少に向かう。その減少と交差するように NH_3 の生成が始まり、早くも2日目にはピークに達し、その後急減し4日後には CO_2 発生と同様にそのフラッシュがおさまって安定する。それに対応して温度も低下する。したがって、汚泥堆肥の場合発酵期の初期段階で易分解性有機物を爆発的に分解する様子がわかる。

2) 濾紙セルロース分解と副資材のモミガラの崩壊過程

堆肥の中に埋め込んだ濾紙片の崩壊²⁵⁾は、写真1に示すように、発酵期には全く起こっていない。熟成期に入り崩壊が始まったが、それでも9日間経過した23日目あたりではわずかである。その後急速に濾紙の崩壊が開始され、79日目にはその痕跡しか認められない。一方、副資材のモミガラの形態をみると、写真2からわかるようにこれらの崩壊過程も濾紙の崩壊とはほぼ一致している。すなわち、モミガラにおいても発酵期ではその崩壊が全く起こっていない。熟成期に入って初めてその形態が変化し始め、経時的にその崩壊が大きくなった。

図1 汚泥堆肥の温度、排気中の CO_2 、 NH_3 濃度の変化 (Mori ら²⁷⁾)

1 汚泥・モミガラ堆肥化過程の濾紙の分解
上から順に14, 23, 35および79日目の濾紙の分解状態を示している

2 汚泥・モミガラ堆肥化過程のモミガラの形態変化
a: 開始時, b: 14日目, c: 23日目, d: 35日目, e: 53日目
各写真の横棒50 μm

したがって、発酵期に微生物によって使われるエネルギー源は、極めて易分解性の有機物でセルロースではないことを明瞭に示している。

3) 有機成分の分解と酵素

微生物はその生理的な活動の一部として菌体外に種々の酵素を放出して、その酵素群の働きを通じて種々の栄養分を取り込んでいる。したがって、堆肥の腐熟過程の有機成分の分解の大部分は酵素によって行われていると言える。また、酵素の基質特異性という

性質を利用すると微生物菌数, CO_2 , NH_3 生成量, BODなどの測定では解明しえない堆肥有機物の各構成成分ごとの分解速度が推定できる利点がある。図2に示すように、堆肥原料資材中に存在する主要な高分子化合物は、それぞれ特異性のもつ酵素によって分解され、ついには CO_2 となる。微生物菌体に合成されたものは、いずれ遺体として酵素の作用で分解されるというサイクルを描くわけである。

汚泥・モミガラ堆肥の腐熟過程の酵素活性の変化²⁵⁾をみたのが図3である。

セルラーゼ活性は発酵期にその活性を失い、熟成期に至るまで回復しない。これはセルロースの分解は熟成期になって初めて開始されることを意味する。これは写真1に示した濾紙の分解と一致する。種々の低分子の β -グルコシド化合物を分解する β -グルコシダーゼ活性は、セルラーゼと異なり発酵期にもかなりの活性を示す。この時期、その活性は60℃での測定の方が高いので、 β -グルコシド化合物の分解は主に高温性細菌により行われると推定される。さらにこの分解は糸状菌や放線菌が侵入する熟成期にセルロースの分解同様高まることを示す。プロテアーゼ活性は発酵期の初期段階で一時減少するのが直ちに回復し、ピークを示す。したがって、発酵期初期の高温時にみられる排気ガス中の大量の NH_3 は蛋白質からではなく、低分子の

図2 堆肥原料資材の有機成分の分解に関する酵素の役割 (金沢原図)

図3 汚泥・モミガラ堆肥の腐熟過程の酵素活性の変化 (Chino ら²⁵⁾)

アミノ酸やアミド態窒素に由来すると推定される。また、60℃での測定値が著しく高いことから、蛋白質の分解は主に高温性微生物によっていることもわかる。

4) 汚泥堆肥の脂質類

汚泥堆肥の腐熟化による脂質類の変化²³⁾は、表1に示した。生汚泥では遊離脂肪酸が全量の50%と最も多く、次いで不ケン化物、グリセリドが最も少なかった。この生汚泥を堆肥化すると遊離脂肪酸とグリセリドの減少が大きく、それらの量を1/4程度まで低下させる。他方、不ケン化物を増加させる。全体としては堆肥化で脂質量をほぼ半量まで減少させる。増加を示す不ケン化物の内容は、脂肪族(Aliphatics)が最も多くその半分以上を占め、次いで芳香族(Aromatics)でその約1/4を占めていた²³⁾。次に堆肥化により減少する遊離脂肪酸²³⁾の中味を示したのが表2である。すなわち汚泥の腐熟化で著しく減少するのは、不飽和脂肪酸に属するPalmitoleic acid, Oleic acid, Linoleic acid, Linolenic acidであった。また、嫌気汚泥では不飽和および飽和脂肪酸とも激しく減少するのが極めて興味

表1 汚泥堆肥の脂質
Higgins ら²³⁾ (乾物当たり)

有機組成	生汚泥 %	嫌気汚泥 %	汚泥堆肥 %
遊離脂肪酸	6.4 (100)	0.17 (3)	1.66 (26)
不ケン化物	2.9 (100)	3.97 (137)	3.35 (122)
グリセリド*	1.0 (100)	0.32 (32)	0.28 (28)
合 量	11.3 (100)	4.46 (39)	5.49 (49)

(): 生汚泥の各組成量を100として算出

* グリセリンの脂肪酸エステル

表2 遊離脂肪酸の組成
Higgins ら²³⁾ (乾物当たり)

遊離脂肪酸	生汚泥 %	嫌気汚泥 %	汚泥堆肥 %
不飽和			
Palmitoleic	2.4	trace	trace
Oleic	26.6	1.7	4.5
Linoleic	3.4	0.1	0.3
Linolenic	0.7	trace	trace
飽和			
Lauric	0.8	trace	0.1
Myristic	3.6	0.3	2.1
Palmitic	34.0	3.9	34.6
Stearic	15.8	2.0	28.6
Arachidic	0.4	trace	0.4
合 量	87.7	8.0	68.6

(全遊離脂肪酸のパーセント)

深い。

3. 稲わら堆肥

稲わらは古くから堆肥の原料に使われ、我々にとって最もなじみ深いものである。稲わらは繊維質資材と呼ばれ、ヘミセルロース、セルロースなどの炭水化物量が多く、窒素含量が少ない。そのため、稲や麦わらの堆肥化には通常無機態窒素とpHの調整のために石灰を加える。これらの繊維質資材を土壤に施すと、この炭水化物をエサにして微生物が異常増殖する。この増殖には窒素が必要なため、土壤の窒素を奪い作物の窒素飢餓を引き起こす。この際土壤中の酸素を一度に使うため、炭水化物の嫌氣的分解生成物である有機酸の生成を伴う異常還元を引き起こす。これも作物の生育阻害の原因となる。この現象を避けるために稲や麦わら堆肥の腐熟度の指標として、古くからC/N比が用いられている。その目安はC/N比を20以下にすることである。

表3に示すように、12週間の稲わらの堆積腐熟化過程でヘミセルロースが70%、セルロースが84%も消失するため、全炭素量が著しく減少する。これとは対照的に窒素が増大するため、最初50あったC/N比が6週間目には23、12週間目には11と低下する。この程度の期間ではリグニンはほとんど分解しないことがわかる。また、セルロースの分解は前半の6週間目よりも後半の6週間の方が著しく大きい。このことはセルロースの分解は主に熟成期で行われることを示す。

稲わら堆肥の腐熟度の判定法として、C/N比の外に還元糖割合が井ノ子³⁰⁾により提案され、その目安は35%以下にすることである。

4. 家畜ふん堆肥

わが国の年間の家畜排泄物量は現在7,000万トンにも達し、それに含有する肥料成分は年間に消費される化学肥料の50%にも達する⁷⁾。家畜ふんは下水汚泥と

同じく、窒素質資材に類別される。家畜ふんは下水汚泥と同じく悪臭と汚物感が強く、水分が多いためべとべとし、搬出・貯蔵・施用などの面で極めて扱いにくいものである。加えて、病原菌、寄生虫の卵や雑草の種子(牛ふん)が含まれている。家畜ふんに含まれている窒素と炭素化合物は極めて易分解性である。そのため未熟な堆肥の施用は爆発的な微生物の分解を受け、濃度障害や異常還元を引き起こしやすい。堆肥化の目的はこれらの障害を取り除くことにある。家畜ふんの堆肥化過程は、混合する有機資材(作物収穫残渣、木質物など)で大きく異なる。

ここでは、窒素質資材という観点から家畜ふん単用の堆肥の腐熟化過程について述べる。表4は、鶏ふん、豚ふん、牛ふんの堆肥の有機成分²⁸⁾を示したものである。

鶏ふんの場合、C/N比は極めて低く、腐熟化過程で炭素の減少よりも窒素の減少の方が大きくC/N比を高め、同時に蛋白質の減少を示す。この窒素の減少は発酵期の高温時のアンモニアの揮散による。同じ現象が下水汚泥でも認められる²⁹⁾。また、開始時のヘミセルロース、セルロースの炭水化物量と完熟堆肥のそれとの間に、差が認められない。

豚ふんの場合、開始時に比べ窒素や蛋白質が多少とも富化し、炭水化物が逆に多少とも減少する程度で、鶏ふん堆肥で得られた結果と大差はない。

牛ふんの場合、完熟堆肥は原料の生ふんに比べ、粗灰分を除き、あらゆる成分が著しく減少している。これは堆肥の腐熟過程による変化というよりも、残存率をみれば明らかのように混合する種堆肥に起因する。完熟堆肥の有機成分と開始時のそれを比べると、炭素と窒素の変動が小さく、C/N比が変化しない。しかしながら、鶏ふん・豚ふんと異なり、ヘミセルロースやセルロース、還元糖割合などが明瞭な減少を示す。これは牛ふん堆肥の腐熟化過程では、窒素の有機化と無機化の速度がみかけ上定常状態であるのに対し、炭水

表3 稲わらの堆肥化過程中的有機成分の変化

井ノ子³⁰⁾ (乾物%)

資 材	発酵堆積期間	全炭素	全窒素	C/N比	粗灰分	熱可溶有機物	炭 水 化 物			還元糖*	リグニン
							ヘミセルロース	セルロース	合 計	割 合	ニ
稲わら	原 料	41.3	0.81	51.0	18.8	11.6	20.6	24.7	45.3	43.9	7.7
	6週間後 残存率(%)	33.9 (82)	1.50 (185)	22.6	34.2 (182)	11.1 (96)	14.9 (72)	19.5 (79)	34.4 (76)	40.5 (92)	11.4 (148)
	12週間後 残存率(%)	25.7 (62)	2.23 (275)	11.5	51.0 (271)	19.3 (166)	6.3 (31)	3.9 (15.8)	10.2 (22.5)	15.9 (36.2)	8.9 (115.6)

* 全炭素に占めるヘミセルロース、セルロース態炭素の割合

表4 家畜ふんの堆肥化過程中的有機成分の変化

藤原ら²⁸⁾ (乾物%)

資 材	発酵・堆積期間	全炭素 %	全窒素 %	C/N 比	粗灰分 %	熱可 有機物 %	炭 水 化 物			還元糖 割合	リ グ ン %	粗蛋白質 %
							ヘミセル ロース %	セル ロース %	合計 %			
鶏ふん	原 料	33.3	4.98	6.7	24.6		22.2	4.5	26.8	32.1	8.9	3.38
	開始時	34.6	5.19	6.7	47.8		14.9	2.4	17.3	20.0	7.4	2.77
	1 カ月後	27.4	3.33	8.2	46.5		13.5	2.9	16.4	23.9	9.5	2.90
	原料に対する残存率(%)	(104)	(104)		(194)		(67)	(53)	(65)	(62)	(83)	(82)
	開始時に対する残存率(%)	(79)	(64)		(97)		(91)	(121)	(95)	(120)	(128)	(86)
豚ふん	原 料	44.8	5.32	8.4	16.4		23.4	3.6	27.0	24.0	20.1	5.15
	開始時	41.0	3.63	11.3	21.4		22.3	4.4	26.7	26.1	18.6	5.12
	1 カ月後	38.2	4.10	9.3	24.7		20.2	4.0	24.2	25.4	21.1	5.91
	原料に対する残存率(%)	(92)	(68)		(130)		(95)	(112)	(99)	(109)	(93)	(99)
	開始時に対する残存率(%)	(93)	(113)		(115)		(91)	(91)	(91)	(97)	(113)	(115)
牛ふん	原 料	32.9	2.03	16.2	16.5		23.0	6.1	28.1	35.4	20.5	4.08
	開始時	16.3	1.49	10.9	55.1		7.9	1.8	9.7	24.0	9.4	2.47
	1 カ月後	14.1	1.48	9.5	69.3		4.4	1.1	5.5	15.4	7.4	2.90
	原料に対する残存率(%)	(50)	(73)		(334)		(34)	(30)	(34)	(68)	(46)	(61)
	開始時に対する残存率(%)	(87)	(99)		(123)		(56)	(61)	(57)	(64)	(79)	(117)

開始時の組成は次のようである。

鶏ふんと豚ふん：発酵させた種堆肥の上に生ふんを散布し、堆積物の上部だけを混合し、順次積み上げながら堆肥化する“積み上げ方法”による。

牛ふん：発酵させた種堆肥をほぼ等量の生ふんと混合して堆肥化する“全量混合方式”による。

原料：生ふん

化物は微生物のエネルギー源に使われ、分解に向かうことを示している。

以上に示すように、家畜ふんの堆肥化による有機成分はその変化をみる限り、稲わら、パーク、都市ごみ堆肥のような繊維質資材のように明確な特徴が微弱であると言える。特に鶏ふん・豚ふん堆肥ではC/N比や還元糖割合が腐熟度の指標に使えない。それで井ノ子・藤原²⁹⁾および藤原ら²⁸⁾は腐熟過程で生じるメラノイジン様物の濾紙に対する親和力が腐熟度の違いで異なることを利用して、濾紙クロマトグラフィ法を簡易検定法として提案した。これは30分程度で終了する極めて簡便な方法である。また、現場での簡便な腐熟判定基準として用いられている方法を表5に示す。

5. 都市ごみ堆肥

都市ごみは普通可燃ごみ、不燃ごみ、資源ごみ(回収紙・瓶・缶類)、粗大ごみに分類される¹³⁾。このうち堆肥の原料になるのは生ごみと可燃ごみである。都市ごみは他の原料と異なり、種々の夾雑物が混在している。そのため、ごみの粒径を整える破碎装置、混入するガラス、金属類、陶磁器、木片等の夾雑物を取り除く選別装置が必要となる。高速堆肥化装置による主発

酵は、普通1週間前後で、長いもので2週間程度である。後発酵(熟成)は普通1カ月程度行われる例が多い。都市ごみは窒素含量が多くC/N比も低いがセルロースなどの炭水化物が多いため、繊維質資材に類別される³⁰⁾。

都市ごみ堆肥の有機組成成分³⁰⁾の変化を表6に示す。発酵終了時の有機組成をみると、窒素の増大と熱水可溶多糖類の減少のみで、他の有機組成は原料のそれとほとんど差が認められない。これは発酵期でヘミセルロースやセルロースなどの炭水化物が分解しないことを意味する。熟成終了時の完熟堆肥では、発酵期ほど大きくはないが熱水可溶有機物をさらに減少し、発酵期では全く変化がなかったヘミセルロースとセルロース量を約45%も著しく減少させる。それに伴い還元糖割合を30%近くも減少する。また窒素量は増大する。したがって、都市ごみ堆肥では十分な後熟がヘミセルロースやセルロースなどの炭水化物の分解を十分に行うという観点から特に重要である。

都市ごみ堆肥の腐熟度の指標としては、C/N比20以下、乾物当たり2%の窒素量、還元糖含量30%以下であることが一応の目安となる^{3,30)}。また、片山ら³²⁾が新たに提案した腐熟度の簡易判定法は、完熟堆肥の水溶

表5 現地における腐熟度判定基準
川辺・高野²⁴⁾ ()内は点数を示す

色	黄～黄褐色(2), 褐色(5), 黒褐色～黒色(10)
形 状	現物の形状をとどめる(2), かなり崩れる(5), ほとんど認めない(10)
臭 気	ふん尿臭強い(2), ふん尿臭弱い(5), 堆肥臭(10)
水 分	強くにぎると指の間からしたたる…70%以上(2), 強くにぎると手のひらにかなりつく…60%前後(5), 強くにぎっても手のひらにあまりつかない…50%前後(10)
堆積中の最高温度	50℃以下(2), 50～60℃(10), 60～70℃(15), 70℃以上(20)
堆 積 期 間	家畜ふんのみ…20日以内(2), 20日～2ヵ月以上(10), 2ヵ月以上(20) 作物収穫残渣との混合物…20日以内(2), 20日～3ヵ月(10), 3ヵ月以上(20) 木質物との混合物…20日以内(2), 20日～6ヵ月(10), 6ヵ月以上(20)
切 返 し 回 数	2回以下(2), 3～6回(5), 7回以上(10)
強 制 通 気	なし(0), あり(10)

これらの点数を合計し、未熟(30点以下), 中熟(31～80点), 完熟(81点以上)とする

表6 都市ごみの堆肥化過程中の有機成分の変化
井ノ子³⁰⁾ (乾物%)

資 材	発酵・堆積期間	全炭素	全窒素	C/N比	粗灰分	熱可溶有機物	炭 水 化 物			還元糖*割合	リグニン
							レミセル ローズ	セ ル ローズ	合計		
都市ごみ	原 料	40.8	1.64	24.9	23.6	22.1	9.6	25.6	35.2	34.5	14.8
	発酵 9日後 残存率(%)	38.5 (94)	2.00 (122)	19.2	28.7 (122)	12.4 (56)	9.7 (101)	29.2 (114)	38.9 (111)	40.4 (117)	13.9 (94)
	後熟 60日後 残存率(%)	33.1 (81)	2.65 (162)	12.6	42.4 (180)	9.2 (42)	5.4 (56)	14.1 (55)	19.5 (55)	23.6 (68)	15.0 (101)

* 全炭素量に占めるヘミセルロース, セルロース態炭素の割合

性有機物のC/N比の測定である。この検定法はそのC/N比が表7に示すように汚泥系, 都市ごみ系, 畜産廃棄物系, 植物繊維系のいかににかかわらず5～6の値をとることに基づく。したがって, この方法は既存の判定法と異なり, 原料のいかにを問わず腐熟の判定に使える大きな利点を持っているといえるだろう。しかしながら, 堆肥資材がますます複雑化している昨今, 腐熟度の検定には複数の判定法を用いた方が無難のように思われる。

6. おわりに

現在, 都市, 畜産農家や木材工業から排出される下水汚泥, 都市ごみ, 家畜ふんや残廃材は膨大な量にのぼる。狭い国土で資源も少ないわが国において, これらの廃棄物を堆肥化し, 良質な有機質肥料や改良資材に変えることは極めて重要なことである。そのような観点から, 下水汚泥堆肥を軸に, 都市ごみ, 家畜ふん堆肥の腐熟化過程に伴う有機組成の変化とその評価について述べてきた。これらの堆肥の腐熟過程におけ

る有機成分の変化は, 図4のように総括できる。しかしながら, 今までの研究の多くは, 肥料成分としての無機成分組成量やその変動, あるいは重金属含量などが中心であった。そのため, 堆肥の有機組成成分についての研究がきわめて少なく, 特に下水汚泥堆肥に関する詳細な研究は数例認められる程度である。

したがって現在下水汚泥堆肥の腐熟過程の有機物の変化の解明とその腐熟度の指標が強く望まれる。いずれの堆肥にも使える共通の熟度検定法の開発も継続しなければならない。また, 堆肥の研究にはほとんど試みられなかった, 酵素化学のような生化学的手法を用いてそれらの腐熟化過程に伴う有機組成の変化を動的に解明することも今後の大きな課題の1つであろう。

引 用 文 献

- 1) 高橋和司: 都市廃棄物の特性と作物への施用効果, 土肥誌, 50, 273-284 (1979)
- 2) 渡辺光昭・栗原淳: 都市コンポスト化製品の理化学特性, 農技研報 B, 33号, 95-164 (1982)
- 3) 井ノ子昭夫・原田靖生・菅原和夫: 都市廃棄物コンポスト製

表7 各種の完熟堆肥とその原料のC/N比

片山ら²²⁾

資 材	原 料		完 熟 堆 肥	
	水 抽 出 有機-C/有機-N	残 渣 C/N	水 抽 出 有機-C/有機-N	残 渣 C/N
生 汚 泥	5.56	8.7	6.01	11.2
汚泥+オガクズ	7.19	21.9	4.34	17.9
汚泥+モミガラ	6.05	14.9	5.50	14.2
生 ご み	13.9	16.0	5.72	15.8
生ごみ+パーク	29.5	21.6	6.36	16.1
都 市 ご み	26.2	20.7	6.85	14.9
牛 ふ ん	12.0	22.0	5.16	11.3
牛ふん+豚ふん堆肥+わら	—	—	6.15	12.7
牛ふん+パーク	(26.5)*	(101.7)*	6.30	29.0
鶏ふん堆肥	8.64	5.26	5.68	8.21
落 葉	2.95	33.4	5.00	12.1

* パークのみの値

図4 堆肥化過程における有機組成および微生物相の変化の模式図(金沢原図)

品の農業利用——腐熟度の観点から——, 農技研報 B, 33号, 165—213 (1982)

- 4) 山添文雄: 生活・産業廃棄物の農業利用に伴う地力の諸問題, 農業および園芸, 57, 243—248 (1982)
- 5) 山添文雄: 有機性廃棄物の農業利用, 土肥誌, 57, 96—104 (1986)
- 6) 松崎敏英: 家畜ふん尿の農地還元, 土肥誌, 49, 429—440 (1978)
- 7) 鈴木達彦: 家畜糞尿利用の実際, 農業および園芸, 57, 165—178 (1982)
- 8) 松崎敏英・野中富士夫: 家畜性ふんの農業利用, 農業技術, 26, 560—564 (1971)
- 9) 原田靖生: 畜産廃棄物のコンポスト化, 有機質廃棄物のコンポストに関するシンポジウム講演集, 下水汚泥資源利用協議会, p. 9—15 (1985)
- 10) 河田弘: 木材廃棄物の農業利用——とくにパーク堆肥について——, 農業および園芸, 57, 191—196 (1982)
- 11) 松崎敏英: 汚泥の農業利用に関する研究, 神奈川県農試部, No.115, 1—15 (1975)
- 12) 松崎敏英・和地清: わが国における下水汚泥の農地還元, 下水汚泥の緑農地利用に関する国際シンポジウム会議録, p. 26—42 (1982)
- 13) 野村琥: 下水汚泥の農地施用をめぐる問題点, 北農, 51, 17—45 (1984)
- 14) 伊達昇: 下水汚泥の農業利用, 農業および園芸, 57, 202—210 (1982)
- 15) 松崎敏英・和地清: 下水汚泥の分解に及ぼす凝集剤の影響, 神奈川県総農試報, No.124, 91—98 (1983)
- 16) QUAN-Li, N.・大羽裕: 下水汚泥の有機態窒素の無機化, 土肥誌, 52, 219—224 (1981)
- 17) 松口龍彦・新田恒雄: 下水汚泥の緑農地利用に関する試験, 再生と利用, 7, 6—14 (1984)
- 18) YONEYAMA, T and YOSHIDA, T., : Nitrogen Mineralization of Sewage Sludges in Soil, Soil Sci. Plant Nutr., 24, 139—144 (1978)
- 19) 伊沢敏彦: 下水汚泥コンポスト化の方法, 下水汚泥コンポ

- ト入門, 茅野充男編, p.62, 下水汚泥資源利用協議会 (1983)
- 20) 下水汚泥の農業利用に関する調査, 建設省都市局下水道部日本下水道事業団 (1978)
- 21) 茅野充男編: 下水汚泥コンポスト入門, 下水汚泥資源利用協議会 (1983)
- 22) 有機質廃棄物のコンポストに関するシンポジウム講演集: 下水汚泥資源利用協議会 (1985)
- 23) HIGGINS, A. J., KAPLOVSKY, A. J. and HUNTER, J. V., : Organic Composition of Aerobic, Anaerobic, and Compost-stabilized Sludges, *Journal WPCF*, **54**, 466—472 (1982)
- 24) 茅野充男, 蘭道生, 金沢晋二郎, 網本敏博, 菅家文左衛門, 古屋寛: 堆肥作りのための指標に関する調査, 下水汚泥の農業利用に関する調査, 建設省都市下水道部日本下水事業団 (1978)
- 25) CHINO, M., KANAZAWA, S., MORI, T., ARARAGI, M. and KANKE, B., : Biochemical Studies on Composting of Municipal Sewage Sludge Mixed with Rice Hull, *Soil Sci. Plant Nutr.*, **29**, 159—173 (1983)
- 26) 森忠洋, 成田愛世, 茅野充男: 稲わらまたはモミガラを利用した下水汚泥堆肥の製造, 圃場と土壌, **10**, 111—118 (1978)
- 27) MORI, T., NARITA, A. and AMIMOTO, T., : Composting of Municipal Sewage Sludge Mixed with Rice Hull, *Soil Sci. Plant Nutr.*, **27**, 477—486 (1981)
- 28) 藤原俊六郎, 井ノ子昭夫, 松崎敏英, 鎌田春海: 家畜ふんの堆積に伴う有機成分の変化と円形濾紙クロマトグラフィーによる腐熟度検定, *土肥誌*, **52**, 311—316 (1981)
- 29) 井ノ子昭夫・藤原俊六郎: 円形濾紙クロマトグラフィーによるおが屑, 木屑混合家畜ふん堆積物の腐熟度検定の可能性, *土肥誌*, **50**, 517—522 (1979)
- 30) 井ノ子昭夫: 有機物資材の品質とその検定法, *農業および園芸*, **57**, 235—242 (1982)
- 31) 井ノ子昭夫: 円形濾紙クロマトグラフィーによる都市ごみコンポストの腐熟度の簡易検定法, *土肥誌*, **50**, 127—132 (1979)
- 32) 片山新太, 平井光代, 正田誠, 久保田宏: コンポストの腐熟度の判定規準, 有機質廃棄物のコンポストに関するシンポジウム講演集, p.125—126 (1985)
- 33) 森敏・木村郁彦: 堆肥の熟度検定のためのガスセンサーの開発, *土肥誌*, **55**, 23—28 (1984)
- 34) 川辺益美, 高野敏則, 腐熟化物の腐熟度現地判定法, 熊本畜試試験調査報告書, pp.218—222 (1979)
- 35) 松本 聡: 汚泥コンポストマット敷設による林地内施肥法に関する研究, 再生と利用, **31**, 13—20 (1985)