特集1・有機性資源循環をめぐる視点

有機性循環資源の排出構造特性と循環技術

大河内由美子*・井上雄三*

1. はじめに

わが国は大量生産・消費・廃棄社会システムを駆動力として経済的な発展を遂げた結果、生活環境や自然環境に対する環境負荷が深刻なレベルまで増大し、環境汚染が問題化してきた。有機性廃棄物は、農業（生産）・工業（製造加工）・流通・消費と人間生活全般にわたって排出されるが、社会環境の変革に伴って排出物の質や量の地域偏向が大きく変化しており、環境汚染問題に対する取り組みも多様化している。一例として都市部で発生する有機性廃棄物に目を向けると、特に家庭ごみ中の可燃物として30～40%（湿重量基準）を占める厨芥類¹⁾は含水率が高いため、プラスチック分別収集が進むことにより可燃ごみの低位発熱量の低下を招き、焼却処理の不安定化に起因するダイオキシン類の発生量増加を引き起こす恐れがある。一方、農産物の生産地においては、発生した家畜糞尿や耕種系廃棄物の不適切なリサイクル、野積みや素堀り処分、施肥過多等が悪臭の発生や窒素による地下水汚染の一因であることが指摘されている。この根底にはわが国の食料需給の約60%が輸入に依存しており、環境に排出される窒素が過剰になり収支が崩れていることが挙げられる。

近年、「家畜排せつ物の管理の適正化及び利用促進に関する法律（家畜排せつ物法；平成11年施行）」、「食品循環資源の再生利用等の促進に関する法律（食品リサイクル法；平成13年5月施行）」が制定され、循環型社会構築を目指した取り組みが各方面から進められている。これらの法律により、農業地域を中心としてリサイクルが推進されてきた家畜糞尿や、従来焼却あるいは埋立処分されていた食品関連

事業者からの廃棄物発生量の削減と再生利用の促進が期待される。しかし、農業地域におけるリサイクルの主流となっているコンポストに関しても、農耕地面積の減少や排出物の質的变化などの理由から、現状ではリサイクル製品利用側の量的・質的要求に必ずしも合致しておらず、また肥料成分（特に窒素成分）が地下水汚染や富栄養化の誘因となるため、土壌還元量が限定される問題も浮上している。一方で食品リサイクル法の適用対象は年間100 t以上の大口事業者のみに限定されていることから、各産業において幅広く排出される有機性廃棄物の包括的な循環利用には至っていない。

これらの問題を解消し、ある地域内で適正かつ持続可能な有機性廃棄物の循環利用システムを確立するためには、各発生段階（生産・製造加工&流通・消費）の枠組みを越えた需給情報の伝達が必要となる。著者らは、有機性廃棄物の全発生段階を通じた排出・利用状況の把握およびこれらの情報に基づいた新たな循環利用システムの構築に関する研究を行っている²⁾。以下にこれらの研究の一部を紹介する。

2. 有機性廃棄物循環システムの構築

2.1 システム構築

有機性廃棄物は上記のように人間活動全般にわたって排出されるため、幾つかの特性を有している。有機性廃棄物の発生段階ならびに排出物の分類を表1に示す。

不特定多数の発生源を有すること、また各発生源ごとに廃棄物組成が大きく変動するため性状が多岐にわたる点が最初に挙げられるが、それゆえに分別収集が困難になるとともに収集輸送効率の低下を招く。同時に多様な性状・性質に合わせて、適切な資源化プロセスを選択する必要性が生じてくる。さらに

*国立環境研究所循環型社会形成推進・廃棄物研究センター
Yumiko OHKOUCHI, Yuzo INOUE

廃棄物の種類によっては含水率が高いため品質変化（悪臭発生や腐敗）が短時間で起こりうること、また発生量や質の季節変動ならびに地域偏向が著しい等の理由から、有機性廃棄物の循環利用システムを

考える際には時間軸と空間情報が必須となり、従来のような画一的な循環システムでは対応が困難であるといえる。

このように、循環システムを構築するには地域ごとの特性を調査したうえで、実状に合致したシステムを構築していく必要がある。そのための資源化システムの選定フローを図-1に示す。

このプロトコルの特徴は、キャラクターライゼーション指標を用いて対象廃棄物を分類・データベース化すること、一方で様々な有機性廃棄物について発生および需要に関する情報を収集・解析して地域ごとのデータベースを作成することに加えて、これらのデータベースを用いて再利用・循環方法を評価・決定し、利用可能な循環・資源化技術を選定する点である。それぞれの段階で使用するデータベース作成への取り組みを以下に述べる。

生産業	耕種農業	規格外品・収穫残さ
	畜産業	家畜糞尿、羽毛、敷材
	林業	間伐材、残材
	水産業	廃棄品
流通・製造加工業	製造加工業	非可食部分、加工残さ、廃水処理汚泥、製材廃棄物
	集荷・選果場、市場	腐敗・損傷部分、規格外品
	小売り業	廃棄品
	建設業	建設廃材、解体材
消費	家庭 (公共)	家庭ごみ 廃棄家具、解体材 し尿・浄化槽汚泥、下水汚泥 剪定枝、雑草
	事業系	事業系生ごみ

図-1 循環資源化システムの選定フロー

図-2 農産物から見た埼玉の農業特性

図-3 農業系廃棄物循環フローの支配因子

2.2 有機性廃棄物の排出構造と資源化製品の需給構造

本研究では、有機性廃棄物のうち特に農業由来の廃棄物および食品産業由来の廃棄物に関する情報が未整備であることに着目し、これらの排出および資源化の現状に関する情報収集に取り組んでいる。農

業系廃棄物の中でも家畜糞尿については、家畜種ごとの排出原単位が決定され広く活用されている一方で、耕種系廃棄物（農作物栽培にともなって発生する廃棄物）については廃棄物としての認識が不十分であり、未利用資源としての可能性を秘めているものの、発生や処理実態が明らかにされていない。

図-4 土壌における窒素バランス

表2 牛久沼集水域農地の窒素収支⁵⁾

インプット	282
化学肥料	107
堆肥・わら	112
作物残さ	15
し尿・生ごみ	6
窒素固定	27
雨・灌漑水	15
アウトプット	145
作物吸収	115
脱窒	30
供給過剰量	137

対象地域としては、大都市と農地が隣接する都市近郊型農業が盛んな埼玉県を取り上げた。埼玉県の農業は、図-2に示すように各地域ごとに栽培作物種が異なる特性を示している³⁾。本研究では穀物・野菜生産のバランスがとれた北部（大里・児玉）地域、あるいは栽培作物が多岐にわたっている西部（比企・入間）地域を対象として、耕種農業に由来する有機性廃棄物の種類・発生量・発生場所・発生時期・性状とその処理方法に関する情報収集を、アンケートあるいは一部実調査により実施している。同時に食品産業を対象としたアンケート調査も実施し、事業種ごとの有機性廃棄物の種類と発生原単位を作成し、食品産業からの廃棄物発生量の推定を試みている。

埼玉県の大里地域において予備的に行った調査結果から、農業系廃棄物のフローを決定する因子が明らかになった（図-3）。農業系廃棄物が圃場外へ搬出されるか否かの選択、あるいは循環製品を圃場に投入するか否かの選択には、農作業従事者の労働性が大きく関与するとともに、①製品需要確保、②

廃棄物回収・製品流通ルートの確立、③排出量の季節変動を見込んだストックヤード確保が必要不可欠であることがわかった。これらの情報を整備し、関係者（排出者、循環資源化事業者、ユーザー）に公開していくことで、有機性廃棄物の循環利用が推進されることが考えられる。

ここで代表的な循環製品であるコンポストを例にとると、持続的農業という観点から、農地における窒素バランスに対する考慮が求められる。全世界的な土壌における窒素バランスを図-4に示す⁴⁾。

ここでは、バイオマス収穫や土壌浸食による窒素アウトプットについては移行とみなして考慮していないが、ある地域に範囲を限定して窒素循環を考える際にはこれらが重要な意味を持ってくる。特に我が国では、食料輸入に伴って年間867,000Nトン（1984～86年の平均）の窒素が流入しており⁵⁾、窒素輸入過多の状態が続いている。松本らが牛久沼集水域を対象にして窒素バランスを試算したところ、表2に示すようにインプット量282 kg N/ha・年に対してアウトプット量は145 kg N/ha・年であり⁶⁾、窒素バランスが大きく崩れ、供給過剰に陥っていることが示唆される。日本国内の農地への窒素投入可能量は、志賀らにより57.6～71.3万トン/年⁷⁾、生物系廃棄物リサイクル研究会により最大85.0万トン/年と試算されているが⁸⁾、農地面積は地域間格差があること、さらに栽培農作物やその作型（促成栽培、抑制栽培など）、収穫率により施肥量および施肥方法は大きく異なるため、地域ごとの農業作物特性を詳細に把握した上で、循環利用システムの地域範囲を設定していくことが重要となる。

表3 現在利用可能な循環資源化技術とその特性

プロセスの目的	プロセスの特徴	プロセス名	製品指標	備考
工業原料化	目的製品は均一化学物質 残さ発生量が多い	メタン発酵	メタンガス発生量 残存有機物	汚泥や家畜糞尿が利用されている
		アルコール発酵	アルコール生産量 残存有機物	プラント稼働に向けて、検討中
		乳酸発酵	乳酸生産量 残存有機物量（糖質量）	
		有機酸発酵	有機酸生産量、残存有機物	
直接利用	製品組成が複雑で変動が 大きい 残さ発生量が少ない	コンポスト化	腐熟度、C/N比、肥料成分 重金属、残留性農薬 病害虫・感染性生物	コンポスト生産量は約600万トン
		飼料化	一般栄養成分、無機成分 代謝エネルギー、重金属 有害化学物質、生物学的汚染	約800万トンが飼料化されている
		炭化	熱量、木質成分含有量	
		固形燃料化（RDF）	熱量、不燃物含有量	

そこで本研究では、上記の農家を対象としたアンケートにおいて、各作物ごとの施肥方法および施肥量に関する情報を同時に収集し、農地への窒素投入量の現状を明らかにするとともに、作物ごとに異なる窒素吸収量に関するデータを文献調査により収集する。さらに得られたデータから、

$$N\text{収支} = (\text{トータル窒素投入量} - \text{化成肥料投入量} - \text{窒素換算}) - \text{作物の窒素吸収量}$$

により窒素収支を計算し、コンポスト還元量の推定を試みる。

3. 循環資源化技術

表3に現段階で想定される循環資源化技術の特徴を示す。本表に示すように、1) 廃棄物中の有機性炭素を選択的に利用する微生物発酵プロセス、または2) 廃棄物の全体成分を製品化する直接利用プロセスに大別され、各プロセスにより派生する問題点やプロセス評価方法が異なってくる。1) は目的製品が単一成分から構成される化学物質である一方で、原料廃棄物中の特定成分しか利用しないゆえ残さの発生量が大きく、最終処分量の削減という観点から残さの利用・処理方法も含めた評価検討が求められる。また排水処理施設なども必要となってくるため、附帯施設も含めたエネルギー面・経済面からの評価を行うことが必要となる。2) では廃棄物全体を循環利用するため残さの発生は少ない。この点から廃棄物の減量化に大きく寄与することができる。しかし製品組成が複雑であることに加えて、廃

棄物組成の変動が直に反映されるため製品品質を一定に保つことが困難になる。このため製品品質の明示化や安全性確保のための基準設定も含めた評価検討を行う必要が生じる。

現時点で主流となっている循環利用技術は、1) ではメタン発酵、2) ではコンポスト化、次いで飼料化が挙げられる。メタン発酵プロセスで発生した残さ（余剰汚泥）の処理方法としてはコンポスト化が広く利用されており、循環資源化技術の組み合わせによるプロセス設計も進められている。現在、メタン発酵プロセスは汚泥・家畜糞尿・厨芥類等の含水率の高い有機性廃棄物が投入されており、得られたメタンガスは施設内の発電に利用可能となる。飼料化については、製品品質の観点から食品製造副産物が主に向けられており、約800万トンが有効利用されていると推計される⁹⁾。一方コンポスト化は最も古くから利用されている手段であるため、廃棄物を原料とした年間コンポスト生産量は約600万トンに達していると推計され¹⁰⁾、原料廃棄物の含水率が80%、製品コンポストの含水率が35%であると仮定すると、年間約1114万トンの有機性廃棄物がコンポスト化されていると試算される。コンポスト化に回されている有機性廃棄物の種類には、家畜糞尿、汚泥、農作物残さ（わら、刎穀など）が挙げられるが、厨芥類については利用されている割合は僅かである。今後、循環資源化システムを構築していく上では、推算した農地へのコンポスト還元量を目安として、コンポスト化される廃棄物の量および質につ

いて検討を重ねるとともに、代替となる循環製品の市場およびそれらの循環技術の開発あるいは評価を行う必要がある。

4. ま と め

有機性廃棄物循環利用システムの概念とシステム成立因子について述べるとともに、システム構築への取り組みのうち、必要となる各種情報の収集・整備ならびに手法の開発について説明を加えた。しかし、持続可能な有機性廃棄物循環利用システムを構築していくためには、前述の廃棄物排出ならびに循環製品の需要供給情報に加えて、適切な循環資源化プロセスを選択するための廃棄物成分に関する情報整備、循環製品の安全性評価手法の開発や新しい循環要素技術の開発および構築される有機性廃棄物循環利用システムの総合的なライフサイクル評価等が求められており、国立環境研究所では各視点から研究を進めている。また近年では、水耕栽培技術の進展に伴う農業環境の変化やライフスタイルの変化に伴う廃棄物発生および循環製品の需要パターンが大

きく変わりつつあるため、社会環境の変化に対応可能な手法開発を今後の課題として提示しておく。

参 考 文 献

- 1) 日本環境衛生センター：Fact Book 廃棄物基本データ集 2000 (2000)
- 2) 井上雄三，大河内由美子，松井康弘：有機性廃棄物の地域循環システムの設計と評価，農業経営研究，39 (4)，pp.7-16 (2002)
- 3) 埼玉県農林部：埼玉の農林水産業 (2001)
- 4) Tate R. L. : Soil Microbiology, second edition, John Wiley & Son, Inc. (2000)
- 5) 安田環，越野正義：環境保全と新しい施肥技術，養賢堂 (2001)
- 6) 松本成夫，三島慎一郎，織田健次郎，袴田共之：地域農業における物質循環予測システム，システム農学，11 (2)，pp.164-174 (1995)
- 7) 志賀一：農耕地の有機物受入れ容量と畜産廃棄物，酪総研選書-35，-pp.44-45 (1994)
- 8) 生物系リサイクル研究会：生物系廃棄物のリサイクルの現状と課題-循環型社会へのナビゲーターとして- (1999)
- 9) (社) 中央畜産会：平成7年度末利用資源飼料化推進事業報告書 (1997)
- 10) 農林水産省生産局生産資材課：ポケット肥料要覧 (1999/2000)