

B-34 有機性廃棄物の資源化における需給バランス及び環境負荷の地域単位での評価 ―愛知県をケーススタディとして―

東京大学大学院工学系研究科都市工学専攻 ○鈴木英司、花木啓祐
東京大学先端科学技術研究センター 荒巻俊也

1. はじめに

その大部分が焼却処理・埋立処分されている有機性廃棄物の中でも民生部門由来すなわち地域から排出される生ごみや下水汚泥などは発生抑制が困難であるため効率の良いリサイクルの実施が急務であるが、リサイクルを検討する際にはその地域における発生量、資源化物の供給・受入可能量、競合相手の存在、更には資源化が地域に及ぼす環境負荷など様々な項目を検討して総合的に判断する必要があると言える。そこで筆者らは有機性廃棄物の資源化について“地域”という視点から、需給バランス解析と環境負荷算出による導入可能性の定量的な評価と効率の良い資源化シナリオの構築を目指して研究を進めている。本稿では有機性廃棄物として下水汚泥、一般廃棄物中の生ごみ、畜ふん（牛ふん、豚ふん、鶏ふん）をとりあげ、愛知県を対象としてそれらのコンポスト化における需給バランス解析およびコンポスト化、メタン発酵・バイオガス発電時の環境負荷の算出による資源化シナリオの定量的な評価を地域単位（市町村単位）で行った。

2. コンポスト化における需給バランス

各種有機性廃棄物のコンポスト化における需要供給比を「受入可能量／供給可能量」で算出する。需給比の算出に先立って各地域におけるコンポスト化の受入可能量と供給可能量を算出した。その際、各種有機性廃棄物コンポストの比較を行うために統一した指標でデータを扱うことが必要と考え、評価指標として、肥料成分中の窒素の含有量に着目することとした。

窒素受入可能量の算出：市町村ごとの農地の窒素受入可能量の算出については、荒巻ら¹⁾の方法に従った。
窒素供給可能量の算出：コンポスト化における窒素供給可能量を算出するに当たって筆者らはコンポスト化過程における窒素の揮散に着目した。窒素の揮散率を用いてコンポスト化による窒素供給量を算出した例としては、C/N 比から N-loss を求める式を使用した Sonesson によるモデル²⁾があるが、本研究で各種文献³⁾

~⁸⁾から日本におけるコンポスト化の窒素揮散の実データを収集し調査した結果、C/N 比よりも初期窒素含有割合との間にコンポスト化過程窒素揮散率との高い相関があることを確かめた（図 1 参照）。これより窒素揮散を表現する N-loss 式を図 1 のように定め、N-loss 式、初期窒素含有量、および各有機性廃棄物の発生量データ¹⁾から各廃棄物のコンポスト化による窒素供給可能量を算出した。なお、各有機性廃棄物の窒素含有量およびその他の基本的な性状は文献^{3),9),10)}から、表 1 のように設定している。

需給バランス解析：市町村ごとの需給比を表示すると図 2 のようになった。ここで需給比が 1 を超える地域（図の黒色地域）においては受入可能量が供給可能量を上回るためコンポストの受入が可能であり、1 を下回る地域では供給過剰になり全量受入れられないことを意味する。

表 1 各種廃棄物の性状

廃棄物	含水率 %	有機物 %DS	TC %DS	TN %DS	C/N 比	灰分 %DS
脱水汚泥	78	65.4	32.7	4.72	6.92	34.6
生ごみ	75.2	85.9	40.3	1.98	20.4	14.1
牛ふん	84.3	72.6	41.4	1.8	23	27.5
豚ふん	81.1	80.9	41.5	3.9	11	19.1
鶏ふん	77.5	72.9	42.2	4.6	9	27.3

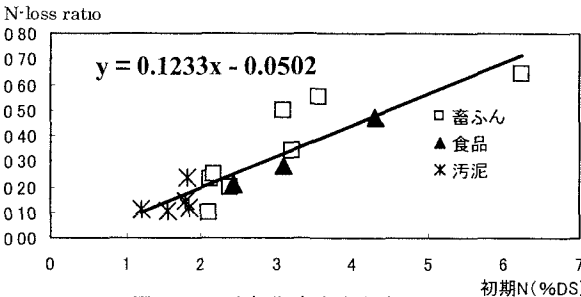


図1 N-lossと初期窒素含有率の関係

3. 環境負荷の算出

資源化の地域への環境負荷として CO₂ 排出と最終処分量について評価を行った。対象範囲は資源化過程のみ（輸送等は考慮せず）とし対象プロセスはコンポスト化プロセス、メタン発酵（残さ焼却と発電プロセスを含み廃水処理除く）、通常焼却発電プロセスの 3 つとした。畜ふんはコンポスト化などで優先的に資源化されるものと考え、生ごみと下水汚泥についてのみ環境負荷を算出した。最終処分量については、廃棄物の灰分割合から、完全燃焼を仮定してメタン発酵・残さ焼却、通常焼却とも最終的に同量発生すると仮定して算出した。各プロセスにおける CO₂ 負荷原単位算出の概要は以下になっている(対象範囲については表 2 参照)。なお、廃棄物分解由来の CO₂ は考慮しないものとした。

コンポスト化：文献¹¹⁾より標準的な中間方式コンポスト化施設における電力消費量を算出し排出量原単位を求めた。その際、もみがら混合で含水率 60% に水分調整すると仮定した。また、コンポスト施肥によって、日本の代表的な窒素肥料である尿素の窒素換算代替量分製造時 CO₂ 排出量¹²⁾を節約するとした。

メタン発酵・残さ焼却(下水汚泥)：発酵時には黄らの消化発電データ¹³⁾より、残さ焼却時には汚泥焼却データ¹³⁾に消化工程経由の影響(水分、有機物量等)を加味して排出量原単位を求めた。なお槽加熱に必要な熱はバイオガス発電時の排熱で充分まかなえるものとした(生ごみも同様)。バイオガス発電時の節約量原単位については消化発電データ¹³⁾から算出し、発酵残さ焼却発電時の節約量原単位については発酵残さの低位発熱量(低位発熱量推定式¹⁴⁾より算出)及び発電効率から算出した。

メタン発酵・残さ焼却(生ごみ)：発酵時には生ごみメタン発酵使用電力データ¹⁰⁾を用いて、残さ焼却時には汚泥焼却データ¹³⁾に消化工程経由の影響等を考慮して、それぞれ排出量原単位を求めた。バイオガス発電時の節約量原単位についてはバイオガス発生量原単位¹⁵⁾、メタンガスの低位発熱量及び発電効率から算出し、発酵残さ焼却発電時の節約量原単位については発酵残さ低位発熱量及び発電効率から算出した。
通常焼却：下水汚泥については黄らの汚泥焼却時排出負荷原単位¹³⁾を使用した。生ごみについては単独焼却は現実的でないと考え一般ごみの焼却における焼却電力消費、油類消費、焼却発電電力データ及び一般ごみの性状¹⁰⁾から比例配分して、生ごみ分の排出、節約量原単位をそれぞれ求めた。

それぞれの廃棄物の環境負荷排出原単位は表 3 のようになった。ともに資源化が有効であり、下水汚泥ではコンポスト化が優れ、生ごみでは最終処分量負荷についてはコンポスト化が、一方 CO₂ 負荷についてはメタン発酵が優位であるという関係が見て取れる。

4. 資源化シナリオの定量的な評価

上記の結果を用いて、具体的な資源化シナリオにおける需給バランス解析と環境負荷算出を行い、資源化の定量的な評価を試みた。本稿では過去の実績や、農業により近いという理由から畜ふんが優先的にコンポスト化されるのが現実的であると考え、まず畜ふんを農地にコンポストとして導入し、それでも受入可能な

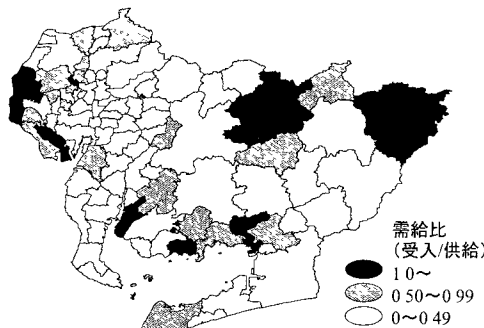


図2 全てコンポスト化した時の需給バランス

表 2 CO₂ 負荷原単位算出の対象範囲

資源化	対象範囲
コンポスト	排出：コンポスト化時の電力消費 節約：窒素代替分の化学肥料製造時の CO ₂ 排出
メタン発酵	排出：メタン発酵、残さ焼却時の電力消費、油類消費 節約：バイオガス発電、残さ焼却発電時の発電電力
通常焼却	排出：焼却時の電力消費、油類消費 節約：焼却発電電力

表 3 資源化時の環境負荷原単位

資源化		CO ₂ 負荷原単位 (kg-CO ₂ /tDS)			最終処分発生量 原単位 (t/tDS)
		排出原単位	節約原単位	合計	
下水汚泥	コンポスト化	63.5	25.9	37.5	0
	メタン発酵	309	244	64.6	0.43
	焼却	—	—	174	0.43
生ごみ	コンポスト化	53.9	16.1	37.9	0
	メタン発酵	165	312	-147	0.18
	焼却	59	73	-14	1.96

地域について生ごみ、下水汚泥の順で農地に導入し、残りはメタン発酵によってエネルギー回収するというシナリオについての評価を行った。本シナリオにおける需給バランス解析、環境負荷算出の結果を図 3～5 に示した。図 3 は、シナリオにおいて下水汚泥・生ごみが供給可能量に対してどれだけコンポスト化されるかを示している。つまり黒色地域では下水汚泥・生ごみが全量コンポスト化可能である。これらの図から、本シナリオにおいて下水汚泥がほとんどコンポスト化されず、都市部においては CO₂ が節約され、農村部では最終処分量負荷が少ないということがわかる。

5. まとめ

本稿では、“地域”という観点から需給バランス、環境負荷を用いて有機性廃棄物の資源化の定量的な評価を試みた点で意義深いものである。今後の課題としては特に環境負荷算出に用いたパラメータの妥当性を再検討しつつ、最終的に生ごみ・下水汚泥・畜ふんの資源化における需給バランス解析、環境負荷算出を用いて、愛知県をケーススタディに最も効率の良い資源化シナリオを提示することが必要であろう。

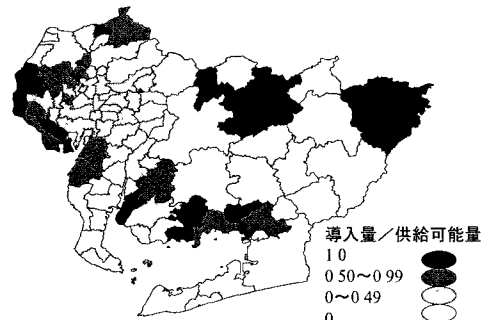


図3 シナリオにおける下水汚泥・生ごみの導入可能率

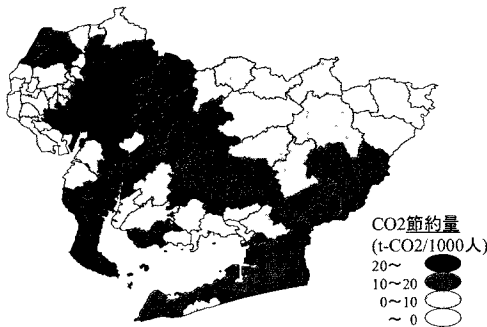


図4 シナリオにおけるCO2削減

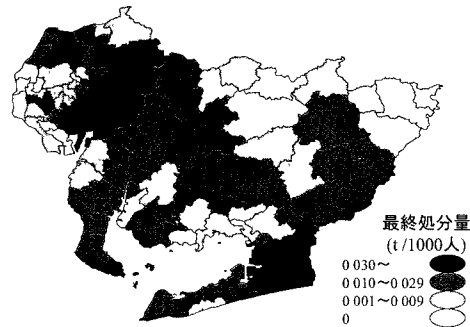


図5 シナリオにおける最終処分量負荷

参考文献：(1)荒巻ら、有機性廃棄物の有効利用に向けたコンポスト製品の需要供給バランスの解析、環境科学会誌 14,4,2001 (2)U.Sonesson, The ORWARE Simulation Model, Swedish University of Agricultural Science, Report215, 1996 (3)有機質資源化推進委員会編 有機性廃棄物資源化大辞典 1997 (4)木下ら 家畜ふん尿の腐熟過程における窒素の動向 愛知県農総試験場研究報告 E5 (5)～(7)藤原俊六郎ら 縦型発酵槽を用いたオカラ単独堆肥、コーヒー粕単独堆肥、オカラ・コーヒー粕混合による堆肥の製造 神奈川県農総研研究報告 137 1996 (8)下水汚泥資源利用協議会編 下水汚泥コンポストの指標 1980 (9)下水汚泥資源利用協議会編 下水汚泥の農地・緑地利用マニュアル 1996 (10)高月紘 都市内分散型エネルギー需給技術の温暖化抑制効果と都市環境衛生に関する研究平成 11 年度報告書 (11)下水道新技術推進機構 下水汚泥コンポスト化施設計画・設計マニュアル(資料編)1998 (12)小林久 窒素・リン肥料製造のエネルギー消費・CO₂ 排出のライフサイクル分析 第 4 回エコバランス国際会議 2000 (13)黄龍雨ら 汚泥処理システムにおける LCCO₂ に関する考察 下水道協会誌 Vol33, No405, 1996 (14)秋月ら 最近のごみ質調査結果と各種低位発熱量推定式の評価 第 8 回廃棄物学会研究発表会講演論文集 1997 (15)野池ら 循環型社会に対応した有機性廃棄物の資源化処理システムの開発 平成 11 年度研究報告書 廃棄物研究財団 1999