

# ライフサイクルを考慮した家畜排せつ物の地域内処理システム設計手法

志水 章夫<sup>1</sup>・楊 翠芬<sup>2</sup>・井原 智彦<sup>3</sup>・玄地 裕<sup>4</sup>

<sup>1</sup>正会員 研究員 産業技術総合研究所LCA研究センター (〒305-8569 茨城県つくば市小野川16-1)  
E-mail:a.shimizu@aist.go.jp

<sup>2</sup>非会員 研究員 産業技術総合研究所LCA研究センター (〒305-8569 茨城県つくば市小野川16-1)

<sup>3</sup>非会員 研究員 産業技術総合研究所LCA研究センター (〒305-8569 茨城県つくば市小野川16-1)

<sup>4</sup>非会員 主任研究員 産業技術総合研究所LCA研究センター (〒305-8569 茨城県つくば市小野川16-1)

本研究では、施設の組合せや地域属性等を考慮しながら乳牛・肉牛を対象とした家畜排せつ物の地域内適性処理システムを設計するための評価モデル構築を行った。またプロセスインベントリデータベースと地域環境情報データベースを基に、混合整数計画法を用いて環境影響及び経済性双方を検討するための設計支援環境を構築した。

さらに、ケーススタディーとして千葉県山田町を対象にシナリオ別解析を実施し、改善案の検討を行った。その結果、費用面を考慮した場合には集約型の施設構成が、環境面で地球温暖化影響対策を考慮する場合、分散型の処理施設構成が示されるなど、経済性向上と環境負荷削減の双方を考慮可能な施策検討が可能であることが示された。

**Key Words** : LCA, Biomass, Regional Characteristics, Mixed Integer Programming, Animal Waste Treatment

## 1. はじめに

家畜排せつ物の多くは貴重なバイオマス資源として堆肥等で利用される一方、平成11年に「家畜排せつ物の管理の適正化及び利用の促進に関する法律」(家畜排せつ物法)が施行されるなど、環境面での適正処理対策が進められている。しかし、家畜の種類や排せつ物の発生量、施設の種類等により処理形態は多様であり、地域の特徴にあった処理システムをどのように選定すべきか判断が難しい。

そこで本研究では、環境面と経済面の双方を考慮することで、より適正な家畜排せつ物処理システムを設計するための手法について検討を行った。具体的には家畜排せつ物として乳牛・肉牛を対象とし、地理情報システム(GIS)上に構築した地域環境情報データベース(Regional Environmental Database: 以下, REDB)を基に、特定地域内処理システムでの施設稼働量や輸送経路・量等の推計モデルを構築し、環境影響指標として地球温暖化影響を、経済指標として施設費、運用費や輸送費を含む処理コストについて見積を行った。また、混合整数計画法により、両指標を目的関数としたときの適正な施設立地、技術種

類等を選定するためのシステムを開発した。さらに、ケーススタディーとして千葉県山田町を対象にシナリオ別解析を実施し、改善案の検討を行った。

## 2. 研究手法

家畜排せつ物などのバイオマス資源は、組成や発生量・分布等は地域別に差が大きく、劣化(変質)が早く長距離輸送・長期保管が難しい。したがって家畜排せつ物が発生・利用される地域の特徴を十分考慮し、地域に見合った処理技術や運用形態を選定する必要がある。また環境面では、地域内の環境負荷だけでなく、処理に関わる地域外の影響も考慮するLCAの実施が重要である。

地域性を含む特定の処理システムを対象としたLCA的な評価研究としては、廃棄物処理施設を対象とした評価や、マクロ的なフロー・コスト解析・評価など実施されている例もあるが<sup>1)6)</sup>、積み上げ法をベースとするような特定地域のバイオマス処理システムを対象とした評価手法は十分検討されていない。

これは、ISO14040に代表される製品LCA手法では、利用されるデータの一般性を重視して原単位等を構築して

きたため、製造・処理プロセス等の立地場所に特定地域を対象とした場合に考慮すべき「地域属性」や「施設規模」等の情報が十分反映できないことが要因の一つと考えられる。また「具体的な施設間輸送」や、家畜の種別・頭数や堆肥の需要など「地域制約」も考慮する必要がある。

### (1) 解析の流れ

家畜排せつ物処理システムの解析の流れを図-1に示す。解析では、「1.対象設定」としてシステム境界、評価項目の他、対象地域を設定する。次に対象となる技術等のプロセス及び物流等のモデル定義を行い、「2.システムのモデル化」を実施する。さらにプロセス分布や輸送条件、地域制約など「3.地域属性の設定」を行い、「4.解析・評価」を実施する。

特定地域を想定とした解析では、必要な情報の種類・量が膨大になるため、施設規模、物質収支や経済収支等を収めたプロセスインベントリデータベース(Process Inventory Database:以下、PIDB)、家畜頭数や既存施設分布などの対象地域属性に関する情報をGIS上に集約したREDBを構築し、各種データ提供に対応した。また、シミュレータ(線形計画・混合整数計画法)により物質収支の推計や適正シナリオの導出を行えるようにした。

### (2) 対象範囲の設定

家畜排せつ物処理システムとして、乳牛及び肉牛由来の糞尿を対象とし、その発生から処理～廃棄・再利用されるまでの特定地域の処理システムを取りあげ、図-2に示すように評価範囲を設定した。対象地域内は糞尿の発生源としての家畜分布、処理施設分布、及び堆肥の需要分布等が含まれる。地域外では処理で必要となる資材や電力等の供給プロセスが含まれる。なお、家畜排せつ物の処理物について、地域外部との流入出が存在するケースもあるがここでは地域内のみでの移動を考えるものとした。

環境影響評価については地域内での施設導入、運用及び輸送、また地域外部での波及影響等があるが、ここでは施設導入を除く運用時の影響を対象とし、地球温暖化影響に関わるCO<sub>2</sub>、N<sub>2</sub>O、CH<sub>4</sub>の排出を環境負荷として計上するものとした。なお、バイオマス由来のCO<sub>2</sub>については負荷として計上しないものとし、施設導入に伴う負荷はデータ取得が困難であったため考慮しないものとした。堆肥については千葉県施肥基準における基肥としての有機肥料利用を想定とし、化学肥料の代替物としては考慮しないものとした。

経済性評価では施設導入、運用、輸送コストに加え、資材購入や堆肥の販売など、地域外部との取引とみなし

て外部影響を考慮するものとした。なお、施設導入費は減価償却費とし、運用コストは年間の合計値とした。

### (3) モデル構成

対象システムモデルは、混合整数計画法による主ミューレーション計算を想定し、次の2つの基本モデルの組合せによりシステムを構成するものとした。

- プロセスモデル：施設種類・規模、物質・エネルギーI/O、環境負荷収支、経済収支(運用費、固定費、収益)
- 輸送モデル：輸送手段、距離、輸送費、輸送時負荷

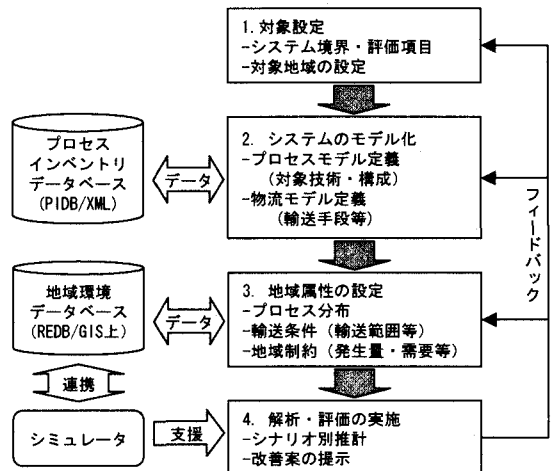


図-1 家畜排せつ物処理システム解析の流れ

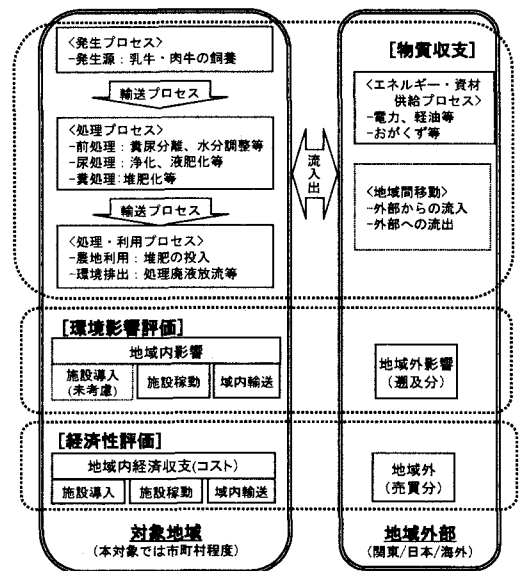


図-2 地域区分と評価範囲

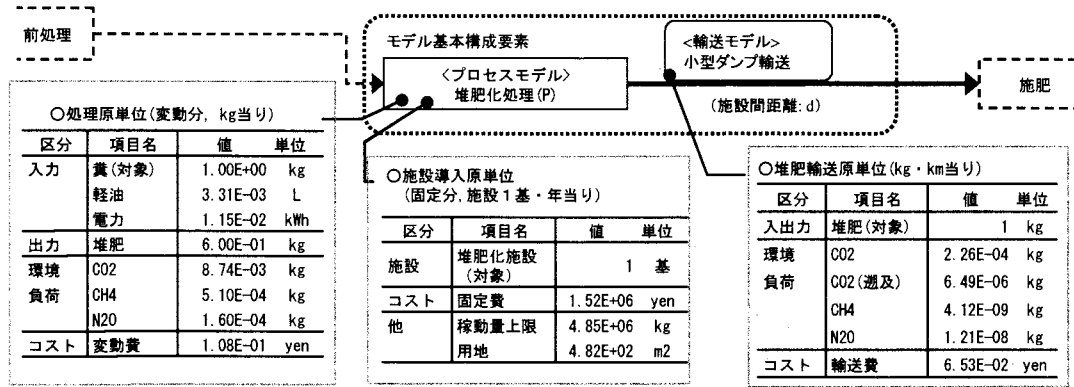


図-3 モデル基本構成とデータ項目例

そこで図-3にこれらモデルの基本構成及びデータ構成について一例を示した。

全体の解析モデルは各プロセスモデルを対象物質フローに沿って輸送モデルを挟み接続し形成する。便宜上、プロセスと出力側の輸送モデル(物流の終端を除く)が基本構成となる。また各モデルは物質・エネルギー等の入出力、環境負荷、コスト等に分類される項目を持つ原単位を持つ(図-3参照)。

このうちプロセスデータは処理量に比例する変動分原単位と、施設数に比例する固定分原単位を持ち、定数付きの線形式によるデータ表現となる。定数項を導入することで規模効果等の近似表現が可能である。

なお、物質 $m$ に対する当該地域のエリア $B$ に立地する施設 $A$ の入力もしくは出力量 $X_m^{[A,B]}$ は、平均稼働量 $p^{[A,B]}$ 、施設 $A$ の変動分原単位 $u_m^{[A,B]}$ 、施設数 $n^{[A,B]}$ として、以下の関係式が成り立つ。

$$X_m^{[A,B]} = n^{[A,B]} \times u_m^{[A,B]} \times p^{[A,B]} \quad (a)$$

$$\text{s.t. } p_{\min}^{[A,B]} \leq p^{[A,B]} \leq p_{\max}^{[A,B]}, n_{\min}^{[A,B]} \leq n^{[A,B]} \leq n_{\max}^{[A,B]}$$

なお、条件式における $p^{[A,B]}$ 、 $n^{[A,B]}$ の添え字 $\min$ 、 $\max$ はそれぞれ下限値、上限値であり、必要に応じて設定される。また、(a)式の条件下で固定費や用地など定数の項目 $c$ に対する施設 $A$ の値 $X_c^{[A,B]}$ は、固定分原単位 $v_c^A$ として、以下の式により算出できる。

$$X_c^{[A,B]} = n^{[A,B]} \times v_c^A \quad (b)$$

輸送データでは、輸送手段別輸送量当り・走行距離当りの原単位を持ち(図-3参照)、輸送量と施設間距離を掛け合わせ輸送時の環境負荷量やコストを算出する。なお、実モデルでは輸送は複数プロセス間で行われ、輸送物質 $m$ に対し、エリア $B$ の施設 $A$ での出力量を $X_m^{[A,B]}$ 、接続する各下流施設の $m$ のプロセス量を $X_m^{[p,i]}$ とした場合、輸送量について以下の関係式が成り立つ。

$$X_m^{[A,B]} = \left[ \sum_{p=1}^q \sum_{i=1}^n k_m^{[p,i]} \times X_m^{[p,i]} \right] \pm e_m^{[A,B]} \quad (c)$$

$p$  : 1から $q$ 番までの下流施設

$i$  : 1から $n$ 番までの立地場所

$e_m^{[A,B]}$  : 誤差項

ここで $k_m^{[p,i]}$ は施設 $[p, i]$ での物質 $m$ の投入量に対する施設 $[A, B]$ からの受入れ割合である。なお、式(c)で下流側を基点として、下流の施設と上流側の施設を入れ替えた場合も同様の関係式が成り立つ。

実際の処理システムの解析を行う際、例えばエリア $B$ 内の施設 $A$ の平均規模 $p^{[A,B]}$ 、設置数 $n^{[A,B]}$ 、及び物質 $m$ の配分量 $k_m^{[p,i]}$ 等を把握することが必要となるが、それら全データを調査・把握することは難しい。特に物質配分量の実データ調査・把握は非常に困難である。

そこで、各モデルに以下のような地域属性データを加味し、シミュレーションにより推計するものとした。

- 地域属性データ：発生量(所与)、需要(上限)、施設立地制限(種別・規模の上下限)、施設分布(立地制約)、施設間移動制約(輸送距離・範囲等)

#### (4) データベース構築

解析に利用するデータベースとしては、前節で述べた各種原単位を収めたPIDB、及び地域属性データを登録したREDBがある。

PIDBはモデル構築時に利用し、データ交換を考慮してXML(Extensible Markup Language)<sup>7)</sup>で記述するものとした。またモデル構築時に利用する。PIDBの原単位は代表的な製品LCAで用いられるインベントリデータをベースにしているが、これに施設の規模制約及び導入・処理コストを加えたものを作成するものとした。

REDBは解析対象地域の属性を地理属性と関連付け、

GIS上に集約したものである。発生、処理、需要の各属性データを1km×1kmの3次メッシュを1エリア単位としてまとめた他、道路ネットワークを用いメッシュ間の最短道路距離を算出し、データベース化を行った。REDBのデータは主としてモデルの制約条件として利用される他、シミュレーション結果を反映し、結果の視覚化にも利用可能である。

(5) 評価方法

モデル化し、地域属性データを加味した家畜排せつ物の処理システムについて、以下の3つのシナリオを想定し、評価するものとした。

a) シナリオ1：処理施設制限（現状）・費用最小化

排出源として現状の家畜飼養分布、及び堆肥化での既存処理施設分布（不明箇所はハウス天日乾燥とした）を所与とし、それ以外は各エリアで個別に処理するケースで、目的関数  $obj_{cost}$  に次の費用関数を設定し、最小化した場合を想定したもの。

$$obj_{cost} = \sum_p C_{prop}^p + \sum_p C_{const}^p + \sum_p C_{trans}^p - \sum_p I_{res}^p \quad (d)$$

ただし (d) 式の各項は以下の通り。

- $C_{prop}^p$  : 施設pの変動費(資材費, 光熱費等)
- $C_{const}^p$  : 施設pの固定費(原価償却費, 維持費等)
- $C_{trans}^p$  : 施設pの輸送費(燃料, 人件費等)
- $I_{res}^p$  : 施設pの再生資源(堆肥)販売収益

b) シナリオ2：処理施設制限無し・費用最小化

排出源として現状の家畜飼養分布を所与とし、施設種別の選択、規模制約がないケースで、シナリオ1と同様、

費用関数を最小化した場合を想定したもの。

c) シナリオ3：処理施設制限無し・GHG最小化

シナリオ2と同様の条件で、以下のように目的関数  $obj_{GHG}$  にGWP換算の地球温室効果ガスGHG指標を設定し、最小化した場合を想定。

$$obj_{GHG} = \sum_p \sum_x [w_x \times (E_{[pro...x]}^p + E_{[trans...x]}^p)] \quad (e)$$

ただし (d) 式の各項は以下の通り。

- $w_x$  : 環境負荷  $x$  の重み係数
- $E_{[pro...x]}^p$  : 施設pでの環境負荷  $x$  の運用時排出量
- $E_{[trans...x]}^p$  : 施設pでの環境負荷  $x$  の輸送時排出量

なお、全シナリオとも製造した堆肥は地域内で処理するものとし、堆肥需要上限まで投入できるよう条件設定を行った。混合整数計画用のソルバーとしてはGLPK®を用いた。

3. 家畜排せつ物処理システム評価モデル

家畜排せつ物の処理システムをモデル化するのに対し、千葉県を対象にヒアリング調査等を実施し、家畜飼養形態や処理現状を踏まえ、施設種類や処理方式等の選定、及びデータ作成を実施した。以下にその概要を示す。

(1) 処理システムの構成

乳牛及び肉牛に関する排せつ物の処理システムとして、代表的な処理パターンを選択し構成したモデルフローを図-4に示す。

乳牛と肉牛では処理する糞尿の性状が異なる。乳牛の

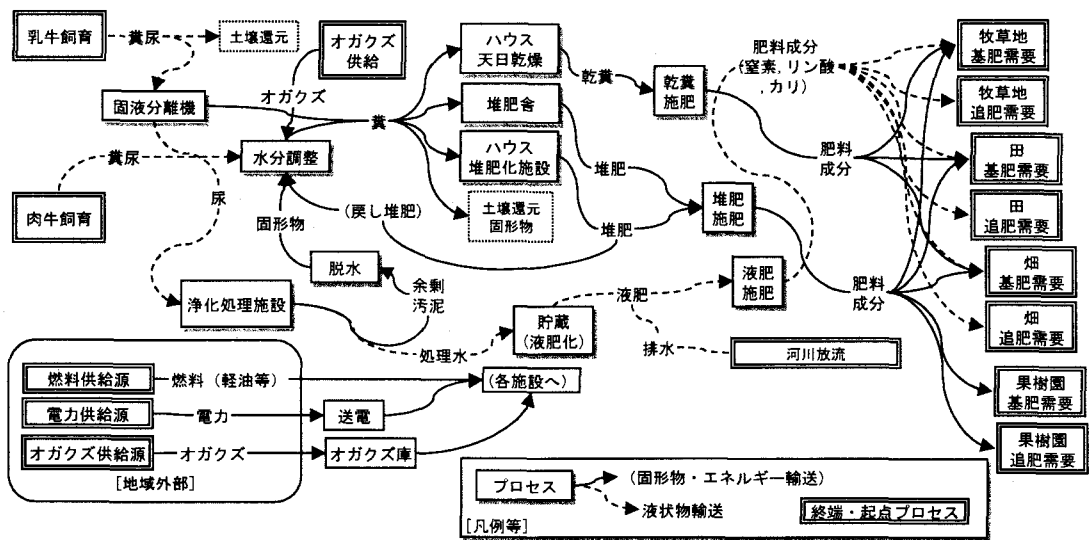


図-4 家畜糞尿処理システムのモデル構成

場合、飼養方式でも水分が異なるものの、個液分離機や簡易分離で尿分を除いた後、オガズや戻し堆肥等の様々な副資材で水分調整を行い、堆肥化が行われる。一方、肉牛は糞尿の水分が比較的少なく、イナワラ等の水分調整のみで堆肥化が行われる。そのため、乳牛の尿のみ浄化処理が必要となる構成となっている。なお、実際には水分の調整方法として副資材の種類、敷料の混入や堆肥化の方法など非常に多様であるが、ここでは簡便のため調整材はおがくずと戻し堆肥とし、前処理として調整を行う構成とした。液肥は農業集落廃水として放流することとし、それ以降の処理は考慮しないものとした。

堆肥化では小規模から導入可能な堆肥舎(エアレーション付き)とハウス天日乾燥と中規模から大規模なケースで導入される攪拌・発酵装置を備えた堆肥化処理施設施設を想定した。堆肥について、ハウス天日乾燥では発酵不足の乾燥堆肥、堆肥舎・堆肥化処理施設では十分発酵が進んだ(完熟)堆肥が生産されるものとし、品質に差異を設けた。なお、完熟堆肥は戻し堆肥として利用できる上、販売価格について5,000yen/tと乾燥堆肥の3,000yen/tより高い設定とした。

尿については基本的に浄化処理しか処理方法の選択肢がないが、処理の廃液は河川に放流するか、液肥として販売するかの2通りがある。液肥の販売価格は、販売事例があまりないことから1,000yen/tと仮定した。

堆肥の利用の需要量として、対象地域の作物生産高と作物別施肥基準を元に、農地種別に肥料成分として窒素、リン酸、カリウムの施肥可能量上限を与えた。また、施肥基準では基肥と追肥に分けられ、有機肥料は主に基肥として利用されるため、液肥を除き有機堆肥を追肥としては利用しないものとした。

製造した堆肥が追肥として利用された場合、化学肥料の削減につながることも考慮する必要があるが、その代替効果が明確でないため今回は考慮しないものとした。また、現状モデルとして土壌還元等のプロセスも設定しているが、家畜排せつ物法により禁止されていることから、流入しないものとして解析を行った。

## (2) プロセスインベントリデータ

PIDBのうち、家畜排せつ物処理に関する前処理、堆肥化処理、浄化処理に関わる各種原単位は文献<sup>9)</sup><sup>10)</sup>及びヒアリングデータを元に推計を行った。各処理施設の原単位を表-1に示す。その他電力、燃料供給、輸送データはNireLCA Ver3.0及び産環境データベース、環境省データ<sup>11)</sup><sup>12)</sup>を利用し作成した。

なお、固定費は施設導入費と施設修繕費のみの合計である。現実の処理施設では5割以上を補助金で賄われることもあるが、ここでは補助金は含まない総費用とした。

人件費についても按分が困難であるため含めていない。

以上で設定した原単位のうち、堆肥化プロセス単体での各施設の年間処理費用について処理量別の推移を示したのが図-5である。

堆肥化プロセスのうち、堆肥舎が最も小型から導入可能で、次にハウス天日乾燥、堆肥化処理施設の設定である。ごく小規模で堆肥舎が、また1,000 t/year以降では堆肥舎がより安価な傾向になるが、処理費用に固定費が含まれるため階段状の値をとり、規模によってその傾向が逆転するケースもある。

## (3) 処理システム全体での評価

家畜排せつ物処理システム全体で考慮する場合、堆肥化プロセスだけでなく、前処理や製造した堆肥の利用等を含めた全体での水準が適切であるかが問題である。そこで、構築したモデルについて、費用最小化の条件下で規模別の感度分析を実施した結果を図-6に示す。

表-1 主要施設の処理原単位一覧

| 区分       | 項目名                   | 単位             | ハウス<br>天日乾燥 | 堆肥舎      | 堆肥化<br>処理施設 | 浄化処理<br>施設 | 貯蔵<br>施設 |
|----------|-----------------------|----------------|-------------|----------|-------------|------------|----------|
| 入力       | 糞尿                    | kg             | 1.00E+00    | 1.00E+00 | 1.00E+00    | -          | -        |
|          | 消化液                   | kg             | -           | -        | -           | 1.00E+00   | -        |
|          | オガズ                   | kg             | 1.37E-01    | -        | -           | -          | 1.00E+00 |
|          | 軽油                    | L              | 1.66E-03    | 3.31E-03 | 3.31E-03    | -          | -        |
|          | 電力                    | KWh            | 5.79E-03    | 3.31E-03 | 1.15E-02    | 3.36E-03   | 1.38E-04 |
| 出力       | 乾糞                    | kg             | 6.82E-01    | -        | -           | -          | -        |
|          | 堆肥                    | kg             | -           | 6.00E-01 | 6.00E-01    | -          | -        |
|          | 消化液                   | kg             | -           | -        | -           | 1.00E+00   | -        |
|          | 液肥                    | kg             | -           | -        | -           | -          | 1.00E+00 |
| 環境<br>負荷 | CO <sub>2</sub>       | kg             | 4.37E-03    | 8.74E-03 | 8.74E-03    | -          | -        |
|          | NO <sub>x</sub>       | kg             | 6.18E-06    | 1.24E-04 | 1.24E-04    | 1.52E-06   | 1.52E-06 |
|          | SO <sub>x</sub>       | kg             | 3.40E-06    | 6.79E-06 | 6.79E-06    | 3.79E-03   | 3.79E-03 |
|          | CH <sub>4</sub>       | kg             | 7.97E-08    | 1.59E-07 | 1.59E-07    | -          | -        |
|          | N <sub>2</sub> O      | kg             | 2.34E-07    | 4.68E-07 | 4.68E-07    | -          | -        |
|          | CH <sub>4</sub> (糞由来) | kg             | 4.92E-04    | 4.74E-04 | 5.10E-04    | -          | -        |
|          | N <sub>2</sub> O(糞由来) | kg             | 1.23E-04    | 8.03E-05 | 1.60E-04    | -          | -        |
| コスト      | 変動費                   | yen            | 5.38E-02    | 8.96E-02 | 1.08E-01    | 0.00E+00   | 0.00E+00 |
|          | 固定費                   | yen/yr         | 5.03E+05    | 5.32E+05 | 1.52E+06    | 6.28E+05   | 1.07E+06 |
| その他      | 用地(参考)                | m <sup>2</sup> | 4.00E+02    | 2.17E+02 | 4.82E+02    | -          | -        |
|          | 規模上限                  | kg/yr          | 1.78E+06    | 4.34E+05 | 4.88E+06    | 3.47E+06   | 3.47E+06 |

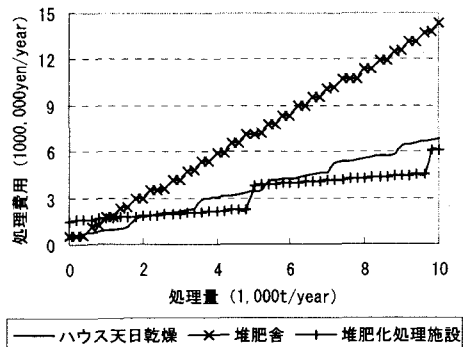


図-5 堆肥化プロセスの年間処理費用の処理量推移

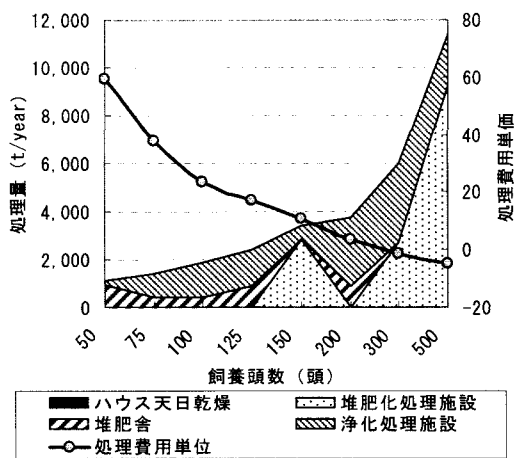


図-6 費用最小化における家畜排せつ物処理システム構成の規模別推移

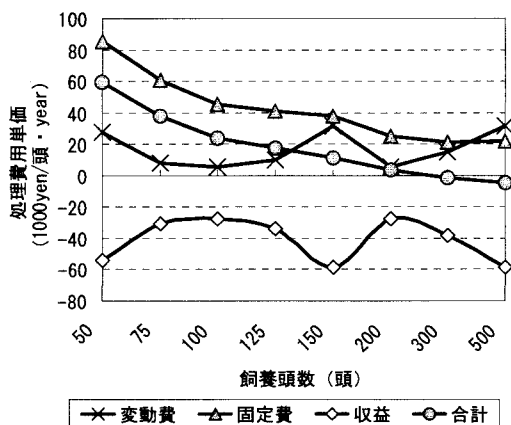


図-7 費用最小化における家畜排せつ物処理システム処理費用単価の規模別推移

ここでは乳牛のみの同一地域内処理とし、堆肥需要の上限制約はないものとして計算した。

図-6の分析結果をみると、堆肥化プロセスでは、小規模では堆肥舎が、およそ130頭以降は堆肥化処理施設が主体となっている傾向が分かる。処理量が大きいケースでは大規模で処理費用が安く、堆肥も高く売れる設定の堆肥化処理施設が選定される。一方、糞尿の処理量が小さいケースでは、小規模で処理費用が最も安い堆肥舎が選択される。

また処理規模の大きい場合でも堆肥舎が堆肥化処理施設と同時に選択されるのは、堆肥化処理施設で処理しきれない少量の余剰分を処理する施設として堆肥舎が有効な為である。

図-6の第2軸は規模別の処理費用単価を示しているが、

規模の増大に伴い低減する傾向がある。これは浄化処理は必ず導入する必要があるため、小規模の段階では固定費が割高になるが、逆に大規模になると固定費の割合が減少し、処理単価が変動費と堆肥販売の収益が主体となる為である(図-7参照)。

以上から費用最小化を考えた場合、小規模で浄化処理の固定費が高くなるケースでは固液分離機を導入し堆肥化量の規模増大を抑制するのに対し、固定費が低減してきた段階で簡易分離後の水分調整を行い、逆に堆肥化割合を増大させ、さらに堆肥の販売によって収益を得る、といった対象規模に応じた処理システムの構成が提示されることが分かる。

なおこの解析では、飼養頭数300頭付近で経済収支がプラスとなる損益分岐点となったが、ここでは輸送費用が含まれていないことや、堆肥価格が設定より安いケースもあることなどからより現実的な損益分岐点はこれよりもやや大きい規模となることが予想される。

#### 4. ケーススタディー

構築した乳牛・肉牛に関する家畜排せつ物処理システムについて、ケーススタディーとして、畜産業が盛んな千葉県山田町を対象に、REDBによる3次メッシュを単位エリアとする実データを当てはめ、シナリオ1~3の解析を行った。

##### (1) シナリオ1：処理施設制限(現状)・費用最小化

山田町における乳牛及び肉牛の飼養規模は、乳牛10箇所1158頭、肉牛8箇所1174頭であり、総糞尿排出量は推計で約3万トン/年となる。

現在登録のある堆肥化処理施設は堆肥舎2件、堆肥化処理施設1件であり、これら処理の他、残りは個別にハウス乾燥が行われているものとした。なお、小規模での尿の浄化処理にも対応する為、前述の浄化処理施設のデータを基に小規模~中規模の浄化処理施設を追加した。生成堆肥については山田町内で全て処理されるものとした。

以上の設定で、処理費用最小化による、現状個別適正処理モデル推計を行った。

堆肥化ではハウス乾燥において二次発酵乾燥施設で有機堆肥まで製造可能な構成であったが、燥糞までの処理であった。浄化処理では散布用タンクローリーの導入費及び液肥の販売費用が制限となり規模の大きいケースは液肥販売、残りは河川放流が選択される結果となった。

##### (2) シナリオ2：処理施設制限無し・費用最小化

次に、施設種別・規模を制限しない場合の費用最小化

によるシミュレーションを行った。

解析の結果、堆肥化処理方法として堆肥舎4メッシュ計6箇所、浄化処理2メッシュ2箇所に集約された。

乳牛糞尿の前処理では規模の大きいメッシュでは固液分離処理、それ以外では手動による糞尿分離形式が選択された。

固液分離はおがくず等を使用せずに脱水するため、堆肥化処理量を削減する際は有効である。ただし、尿分が増大する（手動の場合は糞に含まれる）ため、浄化処理量が増える結果となる。施設費の低減と堆肥・液肥販売収益増大のバランスが施設構成を決定する要素となっている。

### (3) シナリオ3：処理施設制限無し・GHG最小化

次に、シナリオ3として、施設種別・規模を制限しない場合のGHG最小化によるシミュレーションを行った。

解析の結果は、堆肥化処理方法として堆肥舎が選択された。それ以外は既存施設分布に近いものであった。一部施設は集約化されたがほぼ個別分散型処理となり、処理費用が増大する結果となった。N<sub>2</sub>O排出抑制、電力消費削減から堆肥舎が選定される傾向であった。

### (4) 結果のまとめ

各シナリオ別の推計結果について、経済性の比較として、処理費用及び処理単価の比較したのが図-8である。

まず、シナリオ1で得られた個別分散処理の結果では、処理費用の全体に占める割合は変動費39%、固定費43%、輸送費18%程度となった。シナリオ2ではシナリオ1に比べ、施設の集約により変動費、輸送費は1~2割程度増大し、固定費が約50%となったものの、堆肥・液肥販売による収益が増加し、収益を含めた処理費用全体はマイナス値となり、収益が得られる結果となった。またシナリオ3（GHG最小化）は、シナリオ1に比べ処理費用は増大したものの、堆肥販売による収益を含めた処理費用全体では8%削減される結果となった。

次に、各シナリオ別の推計結果について、GHGの排出量について比較したのが図-9である。図-9では、域内処理時の排出、同地域内の輸送時の排出、及び地域外部での排出に分けて示した。

シナリオ1では、糞尿処理量当たりのGHG排出量が1.1kg-CO<sub>2</sub>eq/kg-糞尿となったのに対し、シナリオ2では処理方法の転換によりシナリオ1の約44%減、シナリオ3では、シナリオ1の約61%減の結果となった。また、いずれのケースでも地域内処理時のGHG排出が支配的であり、大部分の占めていることが分かった。

その理由として、温暖化係数の高いN<sub>2</sub>Oの発生が大きく大きく影響している点が挙げられる。解析ではシナリ

オ2、シナリオ3ともに輸送の増大等でCO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>ともに実質増大しているものの、処理施設の転換に伴うN<sub>2</sub>O削減分がそのまま全体の結果に反映されている結果となった。

以上のように、山田町を対象とした乳牛・肉牛に関する家畜排せつ物の地域内処理システムの解析では、費用最小化では集約型の施設構成が、GHG最小化では輸送・電力消費を抑えた分散型の構成が選択された。処理費用では固定費と堆肥・液肥の販売収益がその経済性に影響している傾向が示された。またGHGの排出について、全体として地域内のプロセス由来の排出が殆どであり、家畜排せつ物由来のN<sub>2</sub>O排出が支配的であるとの結果となった。

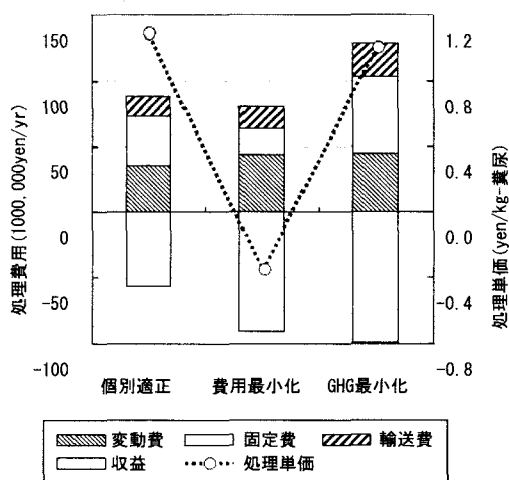


図-8 シナリオ別処理費用及び処理単価の内訳

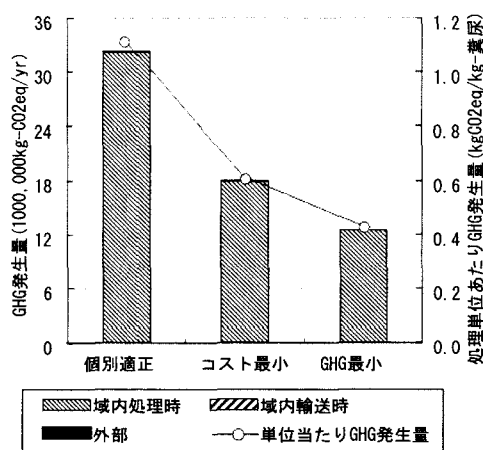


図-9 シナリオ別GHG及び処理単価の内訳

## 5. おわりに

乳牛・肉牛を対象とした家畜排せつ物の地域内適性処理システムの評価モデルを構築し、解析を行った。さらに、混合整数計画法を用い、施設の組合せや地域属性等を考慮し、環境影響及び経済性双方を検討するための評価・解析手法について提示し、PIDBやREDBを用いた解析環境の整備を行った。また、千葉県における乳牛・肉牛排泄物処理システムをモデル化し、ケーススタディーとして山田町を例にシミュレーションを行った。

その結果、費用最小化を行う場合は集約型、GHG最小化を行う場合は分散型の処理システムの構成が提示でき、本解析手法により対象地域の属性を考慮しつつ環境面、経済面の双方からの検討が可能なが示された。

今後の研究課題及び方向性について以下にまとめる。

- ・ 地域属性データや堆肥価格等の感度分析の実施
- ・ 養豚、養鶏等バイオマス混合処理系のモデル化
- ・ メタン発酵技術等新規技術の導入検討
- ・ 施設導入時負荷、大気・水質汚染、悪臭等の環境影響評価の組み込み

**謝辞**：本研究は、(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の委託研究「製品等ライフサイクル二酸化炭素排出評価実証等技術開発」の一環である。

また、千葉県環境生活部資源循環推進課の関係各位には、各種資料の提供や実態把握等に関する御助言など多大なる御協力を頂いた。

上記関係各位に対し、ここに深く感謝の意を表する。

## 参考文献

- 1) 岡村実奈, 入山広阿貴, 井村秀文: 都市の有機物資源循環将来予測システムの開発に関する研究, 環境システム研究論文集, pp. 113-123, Vol.31, 2003.
- 2) 松本亮, 左健, 岩尾拓美: 都市の有機物資源循環構造を記述するマテリアルフローコスト会計の提案, 環境システム研究論文集, pp. 305-313, Vol.30, 2002.
- 3) 松本亮, 岩尾拓美, 大迫洋子, 井村秀文: 都市の有機物資源循環システムの評価指標の開発, 環境システム研究論文集, pp. 21-32, Vol.28, 2000.
- 4) 姫野靖彦, 土井和之, 永嶋善隆, 柚山義人: 地域資源循環診断モデルの構築, 農業土木学会講要, pp. 138-139, 2003.
- 5) 松本成夫: 地域における窒素フローの推定方法の確立とこれによる環境負荷の評価, 農業環境技術研究所報, vol.18, pp.81-152, 2000.
- 6) 小泉明, 稲員とよの, 荒井康裕, 河野裕和: ファジィ線形計画による有害廃棄物の広域的輸送計画, 環境システム研究論文集, Vol.31, pp.447-454, 2003.
- 7) XML: <http://www.w3c.org/XML/>
- 8) GLPK: <http://www.gnu.org/software/glpk/glpk.html>
- 9) 畜産環境整備機構: 家畜ふん尿処理・利用の手引き, 1998.
- 10) 中央畜産会: 堆肥化施設設計マニュアル, 2003.
- 11) 環境省: 地球温暖化対策の推進に関する法律施行令で定める排出係数一覧  
[http://www.env.go.jp/earth/ondanka/santei\\_keisuu/keisuu.pdf](http://www.env.go.jp/earth/ondanka/santei_keisuu/keisuu.pdf)
- 12) 環境省: 環境省: 事業者からの温室効果ガス排出量算定方法ガイドライン  
<http://www.env.go.jp/earth/ondanka/santeiho/guide/index.htm>

## THE DESIGN METHODOLOGY FOR A REGIONAL ANIMAL WASTE TREATMENT SYSTEM USING LCA

Akio SHIMIZU, Yan. Chifun, Tomohiko IHARA and Yutaka GENCHI

We built an evaluation model for proper regional disposing system of animal waste, dairy cattle and beef cattle both of environmental impact and economical efficiency. This model is based on Regional-Environmental Database built on Geographical Information System (GIS), and can be took into account the combination of disposing facilities and the regional conditions using Mixed Integer Programing.

As a case study, we performed analysis under various scenarios for Yamada Town in Chiba Pref. and examined improvement proposals. Consequently, it was shown that regional measures with the improvement in both of economical efficiency and environmental impact are possible by optimizing composition of disposal facilities; a few intensive loadtion considered cost-minimization, and distributed localtion considered cost-minimization