

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 12 日現在

機関番号：82111

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24780264

研究課題名(和文) 差分進化法を用いた家畜ふん尿処理の環境影響およびコスト最適化

研究課題名(英文) Optimization of livestock manure management in terms of environmental impact and cost using differential evolution algorithm

研究代表者

荻野 暁史 (OGINO, AKIFUMI)

独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構・畜産草地研究所・畜産環境研究領域・主任研究員

研究者番号：70355098

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,200,000円

研究成果の概要(和文)：差分進化法(Differential evolution: DE)を用い、地域ごとに異なるふん尿発生量およびふん尿由来肥料の需要量、処理技術の環境負荷およびコスト等多くの要因を考慮して、我が国家畜ふん尿処理の最適化を行うことを目的として研究を行った。家畜ふん尿処理に関わる温室効果ガス排出量、地域内栄養塩バランス、コストを都道府県別に算出するモデルを構築し、それを用いて家畜ふん尿処理における温室効果ガス削減量とコスト増加額の関係を明らかにした。

研究成果の概要(英文)：The objective of this study was to optimize livestock manure management in Japan taking into account factors that vary among regions such as the amount of manure generated, the demand of organic fertilizer made from manure, and the environmental burdens and costs of manure treatment technologies using differential evolution algorithm. I developed a model that computes greenhouse gas (GHG) emissions from, regional nutrient balance in, and cost of manure management for each prefecture. Using the model, a relationship between GHG emission reduction and cost increase in manure management was revealed.

研究分野：農学、畜産環境学

キーワード：家畜ふん尿処理 最適化 温室効果ガス 環境影響評価 LCA

1. 研究開始当初の背景

畜産系廃棄物である家畜ふん尿は我が国で年間 8,800 万トン発生しており、その適切な処理および利用は環境保全型の畜産にとって不可欠である。ふん尿は堆肥化等の処理をなされた後に肥料として用いられることが多いが、その処理過程ではメタン (CH₄)・一酸化二窒素 (N₂O) 等の温室効果ガス (GHG) が発生するためその低減が求められており、また生産された肥料とその供給先である耕種農業における需要量とのミスマッチが生じている場合は肥料資源の節約につながらない場合もあり、環境影響低減の観点から改善点は多い。一方、メタン発酵等の新規技術も導入されつつある。

申請者らはこれまで、ライフサイクルアセスメント (LCA) 手法を用いて畜産および関連システムのライフサイクルを通じた環境影響評価について研究を行ってきた。LCA はシステム内のプロセス間および GHG 発生量・富栄養化等環境影響項目間のトレードオフも考慮して総合的に環境影響評価を行うことが可能である。LCA で評価する畜産システムには当然ふん尿処理が含まれ、そこで得られた GHG 発生量等の情報はふん尿処理の評価に活用することができる。しかし、家畜ふん尿処理の改善を国レベルおよび地域レベルで行うに当たっては、畜種による排せつ物の量および性状の違い、様々な副資材の入手可能性、各種ふん尿処理技術のコスト、堆肥等ふん尿由来肥料の供給先である耕地の種類および面積等多くの要因を考慮する必要がある。これら複数の要因を同時に考慮し、目的に応じて最適化することは極めて重要であるが、このような性質の異なる多数の要因からなる複雑なシステムの最適化は従来の方法では難しい。一方、コンピュータの進化に伴い、多量の計算を要するアルゴリズムに基づく、複雑なモデルにも対応可能な様々な最適化手法の開発が進められている。そこで、家畜ふん尿処理に関する様々な要因に関するデータを収集し、最新の手法に基づき家畜ふん尿処理の最適化を行うような研究が求められている。

2. 研究の目的

上記の背景に基づき、まず畜種別家畜ふん尿発生量、家畜排せつ物由来肥料の供給先となる穀物・野菜・果樹等各種作物の作付面積およびそれから求められる堆肥等ふん尿由来肥料の需要量を都道府県別に整理する。また、各種ふん尿処理技術について、原料および生産物量、資材・エネルギー投入量、GHG 等環境負荷物質発生量の情報を調べる。さらに、メタン発酵等、導入が進みつつある新規技術についても同様に、これらインプット・アウトプットに関する情報を調べる。同時に、ふん尿処理技術のコストに関する情報を調べ、コストの評価も行う。

得られた情報を用い、現在の家畜飼養頭数、農作物の種類と作付面積、ふん尿処理技術における家畜ふん尿処理の各都道府県における、最適化を行う。最適化には進化的アルゴリズムの一つである差分進化 (Differential evolution: DE) 法を用いる。温室効果ガス、コスト等の様々な評価項目について家畜ふん尿の最適化を行う。最適化は都道府県レベルで行い、その結果を積み上げることで最終的に GHG・コスト等各要因についての全国レベルでの結果を求める。

3. 研究の方法

現状の家畜ふん尿発生量については、畜種ごとの家畜頭数は畜産統計の値を、家畜排せつ物量の物質量および栄養塩量の原単位は「家畜ふん尿処理・利用の手引き」の値をそれぞれ用い、家畜頭数に原単位を乗じて都道府県ごとにふん尿発生量を求めた。堆肥等ふん尿由来有機質肥料は肥効が速効性ではないため、追肥としての利用は難しい。従ってふん尿由来有機質肥料は基肥としてのみ利用できるものとした。ただし、焼却処理により得られる焼却灰等、無機質肥料は追肥として利用できるものとした。作付面積、作目別の基肥化学肥料施肥基準、化学肥料代替率、および化学肥料を 100% とした場合の肥効率から、ふん尿由来有機質肥料需要量を都道府県別に求めた。

上記の家畜ふん尿発生量および家畜ふん尿処理体系における GHG 発生量を解析した。解析する GHG には、ふん尿処理過程で発生する CH₄ および N₂O、燃料・電力の使用および投入される資材の生産過程で発生する CO₂、処理後に得られる熱・電力等のエネルギーが化石燃料・電力を代替することによる GHG 低減効果を含めた。現状の処理体系に含まれるふん尿処理過程から発生する CH₄ および N₂O については、主として日本国温室効果ガスインベントリの排出係数を用いて算出した。現状の処理体系に含まれるふん尿処理過程において投入される燃料・電力・資材量および生産される再生エネルギー・製品量については、現地調査および文献を参考に算出した。

コストはふん尿処理方式を選択する上で不可欠な要素である。従って、環境影響に加え、ふん尿処理のコスト解析も実施した。各ふん尿処理方式のコスト解析にあたっては、環境負荷の解析と同様に文献および現地調査により、データを収集した。

得られたデータを基に家畜ふん尿処理に関わる温室効果ガス排出量、地域内栄養塩バランス、コストを都道府県別に算出するモデルを構築した。構築したモデルに基づき、温室効果ガス排出量あるいはコストを目的関数として DE を用いて家畜ふん尿処理の最適化を行うプログラムを作成した。図 1 に作成した最適化プログラムの構造を示した。DE

の実装は Mullen らが開発した R 用 DE プログラムを用いて行った。作成したプログラムを用いて都道府県レベルで GHG 排出量およびコストの最適化を行い、その和を全国値とした。最適化に当たり、スラリー、尿液肥、メタン発酵消化液等の液肥は飼料イネ・米を含む草地・飼料作でのみ施肥できるという制約条件を基本とし、施肥に関する制約条件無し、あるいは堆肥を含む全てのふん尿由来有機質肥料について需要量を制約条件とした解析も行った。それぞれについて、GHG 排出量削減重視、あるいはコスト低減重視等の目的関数を設定して最適化を実行した。

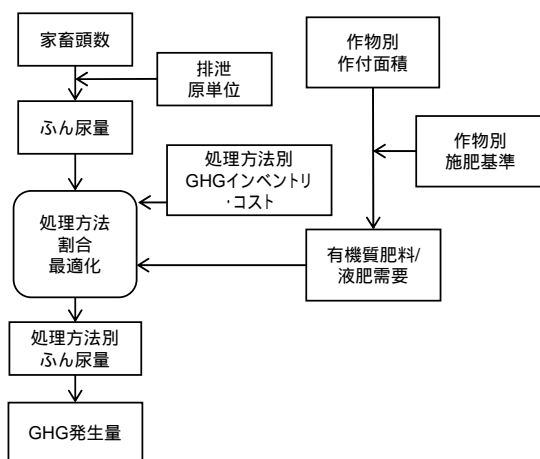


図 1. 家畜ふん尿処理システム最適化プログラムの構造

4. 研究成果

まず、液肥の施肥可能量を制約条件として最適化を行った。最適化に当たり、コストを制約条件として追加して GHG の最小化を行うより、GHG 排出量およびコストをそれぞれの初期値で除して正規化したものの和を目的関数として最小化を行う方が、GHG 排出量とコストを同時に最小化するには適していることが明らかとなった。このとき、GHG 排出量を 55%、コストを 20%それぞれ削減可能と算出された。続いて、正規化 GHG に重み付け係数を乗じたものと正規化コストとの和を目的関数として最適化を行った場合、GHG 削減量と増加コストの関係を表す図 2 のような GHG 削減費用曲線が得られた。

施肥可能量の制約条件無しの条件で同様に GHG 削減量とコストの関係調べたところ、図 1 よりも右に移動した曲線が得られた。一方、全てのふん尿由来有機質肥料について需要量を制約条件とした場合、コスト最小に近い部分で若干のコスト増加がみとめられたものの、液肥施肥量を制約条件とした場合と比較して曲線はほとんど変わらなかった。

選択された処理方法の内訳を見てみると、各都道府県においては畜種別頭数割合と肥料の需要量に応じて変化していた。全体的に、

GHG 排出量の重み付けを大きくした場合、豚の尿（液分）処理においてメタン発酵の割合が高くなる傾向にあった。逆に、GHG 排出量の重み付けを小さくした場合、堆積発酵、貯留、天日乾燥等の低コスト処理法の導入率が高まる傾向にあった。

今回作成した家畜ふん尿処理環境評価モデルおよびその最適化プログラムは、目的関数および制約条件を変更して様々な条件におけるふん尿処理の最適化を行うことが可能であり、また市町村等さらに小さい地域にも適用可能である。

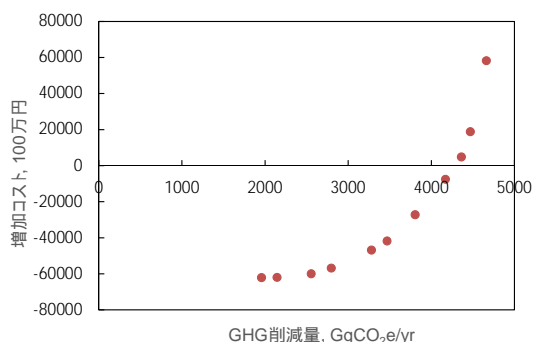


図 2. 家畜ふん尿処理における温室効果ガス削減費用曲線

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 1 件)

荻野 暁史, 環境フットプリントと酪農における試算 - 環境影響改善と環境負荷の可視化 - . 畜産コンサルタント. 49(12): 38-41. 2013. (査読無)

[学会発表](計 1 件)

Ogino A, Tanaka Y, Yamashita T, Inaba R, Okamoto S, Osako M. Life-cycle greenhouse gas emissions of present and near-future livestock manure management system in Japan. Ecobalance 2012. 2012 年 11 月 22 日. 慶応大学日吉キャンパス(横浜市)

[図書](計 件)

6. 研究組織

(1)研究代表者

荻野 暁史 (OGINO AKIFUMI)

独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構・畜産草地研究所・畜産環境研究領域・主任研究員

研究者番号：70355098

(2)研究分担者

()

研究者番号：

(3)連携研究者 ()

研究者番号：