



Title	わが国の農業分野におけるLCA 研究の動向
Author(s)	増田, 清敬; MASUDA, Kiyotaka
Citation	北海道大学農経論叢, 62, 99-115
Issue Date	2006-03-24
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/8352
Type	departmental bulletin paper
File Information	62_9.pdf



わが国の農業分野における LCA 研究の動向

増 田 清 敬

LCA (Life Cycle Assessment) Research Trend on the Agricultural Sector in Japan

Kiyotaka MASUDA

Summary

The agricultural sector causes a lot of environmental burdens due to excessive use of chemical fertilizers and agricultural chemicals. In recent years, LCA (Life Cycle Assessment) has been used for estimating environmental burdens. LCA evaluates the environmental impacts throughout a product's life cycle. Assessing the environmental burdens by using LCA is considered to be helpful to mitigate environmental problems of the agricultural sector. The purpose of this paper is to organize LCA research materials, and to touch on the future view.

1. はじめに

農業分野には、自然循環機能のように環境に対する正の側面もあるが、一方で、化学肥料や農薬の多投等によって環境負荷を排出するという負の側面も有している。自然科学領域においては、農業分野の各排出源（例えば、家畜ふん尿、家畜反芻、農地土壌等）からの環境負荷排出実態が把握されてきた（註1）。ただし、農業分野では、温室効果ガス（例えば、CO₂、CH₄、N₂O等）や酸性化ガス（例えば、NO_x、SO_x、NH₃等）、あるいは富栄養化物質（例えば、NO_x、NH₃、T-N、T-P等）のように多様な環境負荷が排出されることから、これらの環境負荷を別個に分析するだけでなく、総合的に評価することが必要となる。そこで、農業分野における多様な環境負荷を総合的に評価する手法として、LCA (Life Cycle Assessment: ライフサイクルアセスメント) が注目されている。LCAは、環境負荷を定量化するだけに留まらず、複数の環境問題として識別できる利点を持つ手法である（石谷・赤井 [23]）。

本稿では、わが国の農業分野における LCA 研究を整理し、今後の展望を述べることを課題としたい。

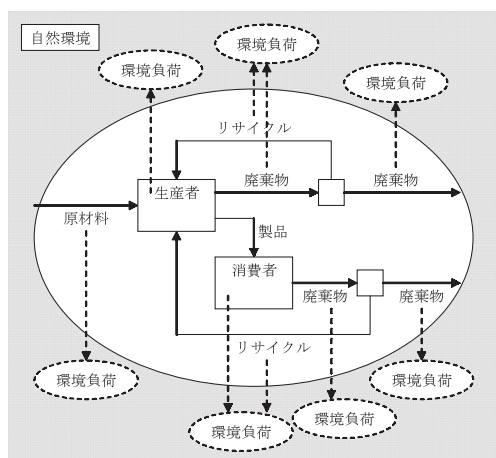
2. 環境経済学における LCA の位置付け

植田他 [113] によると、環境経済学とは、現実の環境問題に対して経済学または政治経済学の方法を用いてアプローチする学問領域である（註2）。植田他 [113] は、環境経済学のアプローチとして、物質代謝論アプローチ、環境資源論アプローチ、外部不経済論アプローチ、社会的費用論アプローチ、経済体制論アプローチの5つをあげている。

第1に、物質代謝論アプローチは、エコロジー経済学やエントロピー経済学が含まれるアプローチである。現代の環境問題を人間と自然との間の物質代謝過程のあり方として分析するものである。第2に、環境資源論アプローチは、現代の環境問題について環境資源（例えば、森林資源、水資源、水産資源等）をめぐる経済問題として捉えようとするアプローチである。ストックとしての環境資源の持続可能な合理的利用とそこから生み出されるフローとしての環境サービスの最大化の関係を分析するものである。第3に、外部不経済論アプローチは、今日において環境問題に取り組む場合の主流的なアプローチである。ピグーによる外部不経済としての社会的費用の理論的認識に基づく

ものであり、発生する外部不経済を何らかの公共的政策手段を用いて市場経済に内部化するという考え方である。第4に、社会的費用論アプローチは、社会的費用という経済学上の概念を用いて環境問題発生原因とそれに対する環境政策のあり方を分析するアプローチである。社会的費用の発生は私企業体制の下では不可避であるという政治経済学的志向をもつカップのアプローチを意識したものである。第5に、経済体制論アプローチは、経済体制のあり方が持つ重要性を強調する政治経済学的方法論に基づくアプローチである。環境問題を具体的に解決していく場合、経済体制上の諸要因を分析していく必要がある。

以上の環境経済学における5つのアプローチのうち、LCAは物質代謝論アプローチに属していると考えられる。その理由は以下の通りである。LCAは、製品のライフサイクルを通じての環境影響を定量的に評価する手法であり（石谷・赤井〔23〕）、具体的には、製品生産、消費、廃棄における物質収支分析から環境負荷を計測する手法である。物質代謝論アプローチには、経済システムを自然環境との連関を含めた物質循環の一環として位置付けようとする共通した観点があることから、経済システムにおける製品生産、消費、廃棄の物質収支分析を行うLCAは、物質代謝論アプローチに属していると考えられる。



第1図 自然環境と経済システムにおける物質収支モデル

資料：Field〔3〕p.26を加筆修正して引用。

LCAを物質代謝論アプローチにおける物質収支モデルから説明すると、第1図のように示すことができる。生産者と消費者の2部門からなる経済システムは自然環境に内包されており、生産者は自然環境から原材料を調達し、製品生産を行う。消費者は生産された製品の供給を受け、消費する。生産、消費活動の各過程では環境負荷や廃棄物が排出され、廃棄物の一部はリサイクルに回される。そして、排出された環境負荷や廃棄物は最終的に自然環境に影響を与え、自然環境の質を劣化させる。LCAは、第1図に示された製品に関わる全ての活動、すなわちライフサイクル（註3）において排出される環境負荷を定量的に評価する手法として位置付けられる。

ここで、自然環境の質が劣化することを抑制するためには、自然環境に排出される環境負荷や廃棄物の排出量を削減する必要がある。それゆえ、それらの削減手段を講じるための知見を得ることにおいて、環境負荷を定量化し、環境問題として識別することができるLCAは有効な分析手法であると推察される。

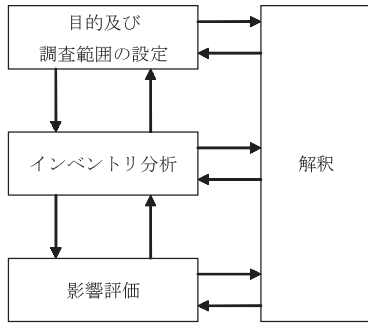
3. 国際規格に基づいたLCAの実施手法

1) LCAの概要

LCAは製品のライフサイクルを通じての環境影響を定量的に評価する手法である（註4）。ライフサイクルとは、第2節で述べたように、製品の生産から消費、そして廃棄といった一連の過程を指すものであり、ライフサイクルを評価するLCAは、「ゆりかごから墓場まで」を評価する手法として知られている。

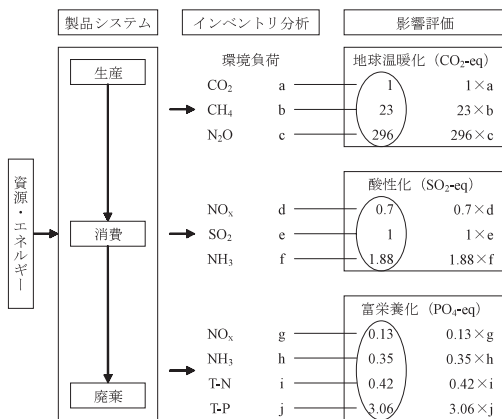
このようなLCAの概念を用いた研究は、1969年にコカ・コーラ社の委託で米国ミッドウェスト研究所が飲料容器（リターナブルガラスびん）を対象として実施したLCA研究が最初と言われている。この研究以降、欧米を中心にLCA研究が活発化したが、LCAの手法における不統一性、不完全性も指摘されていた。そのような中で、ISO

（International Organization for Standardization：国際標準化機構）で取りまとめが進められていた環境管理に関する規格においてLCAが議論されることとなり、最終的に1997～2000年にかけてLCAの国際規格がISO14040～14043として



第2図 国際規格に基づいた LCA の実施手順

資料：石谷・赤井 [23] より作成。



第3図 LCA における計算手順の流れ

資料：荻野 [78] p.33 を加筆修正して引用。

註：影響評価における各環境影響カテゴリの中の内側の値は特性分析係数であり，CML [2] による。

発行された (石谷・赤井 [23, 24], ISO [25, 26])。

2) LCA の実施手順

第2図は，国際規格に基づいた LCA の実施手順を示したものである。国際規格に基づいた LCA は，目的及び調査範囲の設定，インベントリ分析（ライフサイクルインベントリ分析），影響評価（ライフサイクル影響評価），解釈（ライフサイクル解釈）の4つの段階で構成される。また，第3図は，LCA における計算手順の流れを示したものである。LCA において，環境負荷を計測する段階はインベントリ分析，環境負荷を環境問題として識別する段階は影響評価である。以下では，これらの図を参考にしながら，国際規格に基づい

た LCA の実施手順を概説したい。

目的及び調査範囲の設定は，調査の目的と調査の対象となる製品システム，機能単位等を設定する段階である。製品システムは，生産，消費，廃棄の3つのプロセスで構成される。これらの各プロセスにおける活動のために資源やエネルギーが投入され，環境負荷や廃棄物が排出される。機能単位とは，この製品システムにおける生産物1単位のことを指し，そのフローは生産から消費，消費から廃棄という各プロセス間を繋いだ矢印で示される。また，これらのプロセスを内包する製品システム境界の内部が調査範囲となる。

インベントリ分析は，製品システムに投入される資源やエネルギー及び製品システムから排出される環境負荷や廃棄物を定量化するためのデータ収集と計算を行う段階である。インベントリ分析の計算方法には積み上げ法と産業連関法（註5）があるが，LCA の国際規格は，製品のライフサイクルにおける投入と産出を詳細に計算して集計する方法である積み上げ法をベースに作成されている。具体的には，製品システムについて，各プロセスにおける資源やエネルギーの投入と環境負荷や廃棄物の排出に関するフローを示した図（ライフサイクルフロー図）を作成し，モデル化する。次に，モデル化された製品システムにおける投入と産出のデータについて，その妥当性及び整合性を検証しつつ収集し，集計する。ここで，もし製品システムが複数の生産物を生産するならば，どの生産物に資源やエネルギーまたは環境負荷や廃棄物のフローをどれだけ帰属させるかという配分の問題が生じる。このとき，これらのフローは，一定の基準によって各生産物に配分される（註6）。

影響評価は，環境負荷を各環境影響カテゴリに割り振ること（分類化），各環境影響カテゴリ内で環境負荷を環境問題として定量化すること（特性化），可能な場合は特性化の結果を統合すること（重み付け）を行う段階である。第3図における分類化と特性化を例に取ると，まず，インベントリ分析で計測された8種類の環境負荷（CO₂，CH₄，N₂O，NO_x，SO₂，NH₃，T-N，T-P）を地球温暖化（CO₂，CH₄，N₂O），酸性化（NO_x，SO₂，NH₃），富栄養化（NO_x，NH₃，T-N，T-P）の各環境影響カテゴリに分類する。

次に、分類された環境負荷に特性分析係数を乗じて各環境問題として定量化する。例えば、CO₂、CH₄、N₂Oの温室効果ガスを地球温暖化という環境問題として定量化するならば、これらの環境負荷に特性分析係数としてCO₂:1、CH₄:23、N₂O:296 (CML [2])を乗じ、CO₂等量に換算する。

解釈は、設定された目的及び調査範囲とインベントリ分析、影響評価から得られた知見が整合するかどうかについて、感度分析等を用いて再吟味し、修正を行う段階である。例えば、感度分析では、LCAの実施において設定した仮定やデータを変化(±25%等)させることによって、インベントリ分析や影響評価の結果がどの程度変化するのか、その感度を算出する。それによって、設定した仮定やデータが最終的な結果に与える影響度を調査する。

4. わが国の農業分野における LCA 適用

本節では、わが国の農業分野に適用された LCA 研究を評価対象別に整理して紹介する(第1表)。具体的には、1998年以降(註7)に発表されたわが国の農業分野を対象とし(註8)、LCAであることを明記した事例研究に限定して整理した(註9)。なお、LCAと明記していないものの、1998年以前にもLCE(Life Cycle Energy: ライフサイクルエネルギー)分析やLCCO₂(Life Cycle CO₂: ライフサイクルCO₂)分析のように、LCA的な考え方に基づいて分析された事例研究も少なくないことから、それらは極力註において引用するように努めた。

1) 稲作

稲作に関するLCA研究は、稲生[20]、井上・高橋[22]、小倉[80]、小野他[91]、鶴田・尾崎[110]、工藤[55]がある(註10)。

稲生[20]は、異なる水稻栽培体系での農業使用状況と農業の環境負荷排出量を求め、農業の環境負荷が農業の使用量、物理化学的性状のみならず、栽培体系、土壤条件等の各種環境要因に大きく依存することを明らかにした。また、農業による環境影響を評価するためには、農業の量的・質的な面からの選択、有機炭素含量等の土壤条件重

視、水管理への配慮が重要であることを示唆した。

井上・高橋[22]は、窒素、リン酸収支に限定して、コシヒカリ移植栽培とキヌヒカリ直播栽培を比較評価した。その結果、窒素収支からみると、キヌヒカリ直播栽培では、肥料由来の窒素投入量がコシヒカリ移植栽培よりも多いため、窒素の水系への流出量や大気への脱窒量が増加していることが推定された。また、リン酸の水系への流出量は、どちらの作業体系においてもほぼ同じと推定されたが、土壤蓄積分の余剰リン酸量はリン酸質土壤改良資材投入量に相当していた。

小倉[80]は、水稻栽培における生産資材投入量について整理した上で、水稻栽培作業体系における農業機械の直接消費エネルギーを中心に分析した。その結果、水稻の乾燥、調製作業におけるCO₂排出量を削減することが、稲作全体のCO₂排出量の削減に有効であることを明らかにした。

小野他[91]は、産業連関法を用いて水稻栽培における規模拡大がCO₂排出量削減に資するかどうかについて検討した。その結果、規模拡大は低コスト生産を可能にし、生産要素投入効率を高めるばかりでなく、CO₂排出量削減にも資することを明らかにした。

鶴田・尾崎[110]は、水田を対象に初めて年間を通じた大気及び水環境への環境影響を定量評価した。その結果、大気への影響である地球温暖化ではCH₄の寄与率が最大であること、水環境への影響であるT-Nでは栽培期間後半で浄化機能がみられたものの、年間では周囲環境への負荷が確認されたことを示した。

工藤[55]は、水稻栽培における局所施肥管理技術導入をLCAと環境会計を用いて評価した。その結果、水稻栽培における局所施肥管理技術導入は、収益向上を目的として施肥量に制約をかけない場合は環境負荷排出量を増加させる可能性があり、施肥量に制約をかけた場合は環境負荷排出量を削減できるものの、収益悪化を招くことを明らかにした。

2) 畑作

畑作に関するLCA研究は、古賀[50]がある(註11)。

古賀[50]は、北海道十勝地方の畑作における

第 1 表 わが国の農業分野に適用された LCA 研究

文 献	評 価 対 象	評 価 項 目
稲作		
稲生 [20]	水稲栽培における農薬利用	農薬
井上・高橋 [22]	水稲栽培における栽培技術	T-N, P ₂ O ₅
小倉 [80]	水稲栽培における投入資材と機械利用	エネルギー, CO ₂
小野他 [91]	水稲栽培における規模拡大	CO ₂
鶴田・尾崎 [110]	水田	地球温暖化, T-N, T-P, COD
工藤 [55]	水稲栽培における施肥管理技術	地球温暖化, 費用
畑作		
古賀 [50]	畑作 (秋まき小麦, てんさい, 小豆, ばれいしょ, キャベツ)	地球温暖化, 酸性化, 硝酸性窒素, 農薬, 廃棄物
畜産		
増田他 [61]	酪農	地球温暖化, 酸性化, 富栄養化
増田他 [62]	低投入型酪農	エネルギー, 地球温暖化, 酸性化, 富栄養化, 地下水水質, 表面水水質
林 [8]	肉牛	エネルギー, CO ₂ , CH ₄ , T-N
Ogino <i>et al.</i> [79]	和牛肥育における飼養期間	エネルギー, 地球温暖化, 酸性化, 富栄養化
飼料作		
小野他 [92]	飼料イネ利用による耕畜連携	CO ₂
築城・佐々木 [107]	飼料	CO ₂
佐々木他 [99]	飼料	地球温暖化, 酸性化, 富栄養化
賀来他 [33]	休耕地を用いた濃厚飼料供給	エネルギー, 地球温暖化, 酸性化, 富栄養化
小野 [90]	飼料イネ利用による耕畜連携	CO ₂
園芸作		
北島他 [40]	トマト	CO ₂ , T-N, T-P, 固形廃棄物, 農薬原体
Tsunemi <i>et al.</i> [109]	トマト	CO ₂ , 価格
Hayashi and Kawashima [7]	トマト	地球温暖化, 酸性化, 富栄養化, 光化学オキシダント, 生態毒性
生駒他 [18]	キャベツ	CO ₂ , NO _x , SO _x , N ₂ O, T-N, P ₂ O ₅ , K ₂ O
松尾・荒木 [67]	茶	地球温暖化
果樹作		
Kashimura <i>et al.</i> [36]	日本ナシ	CO ₂ , N ₂ O
複数作物		
尾関 [95]	エネルギー作物	エネルギー
小林他 [49]	稲作, 麦作, 大豆作	温暖化エネルギー収支, 温暖化土壌面収支, 栄養塩類, 廃棄物, 農薬
農業廃棄物処理		
Kobayashi and Yamada [48]	稲わらリサイクル	エネルギー, CO ₂
和木他 [115]	豚舎汚水処理	地球温暖化, 酸性化, 富栄養化, オゾン層破壊
羽賀・和木 [5]	肥育牛ふん尿の堆肥化	地球温暖化, 酸性化, 富栄養化, スモッグ
泉澤他 [30]	堆肥センターにおける堆肥製造	エネルギー, CO ₂ , NO _x , SO _x , T-N, 堆肥製造評価, 費用
磐田他 [28]	畜産廃棄物処理の最適化	エネルギー, 費用
田中他 [104]	養豚農家におけるふん尿処理施設導入	エネルギー枯渇, 温暖化, 酸性雨, 大気汚染, 水質汚染
三津橋・稲葉 [70]	化学肥料製造と乳牛ふん尿 CH ₄ 発酵処理	CO ₂ , CH ₄
日向 [13]	集中処理型バイオガスプラント	地球温暖化
北海道立根釧農業試験場研究部経営科 [16]	集中処理型バイオガスプラント	地球温暖化

大村他 [87]	個別農家用バイオガスプラントからの バイオガス輸送・貯蔵・利用方式	地球温暖化, 経済収支
地域における農業生産活動		
小林 [42]	農業地域における農業生産活動	エネルギー, T-C
大村他 [85]	農業地域における農業生産活動と農業 関連産業	地球温暖化, 富栄養化
Ohmura [83]	高嶺地域と中山間地域における農業生 産活動	地球温暖化, 酸性化, 富栄養化, 富栄養化 (水), 人間毒性, 費用
小林 [44]	農業地域における農業生産活動	T-C
大村 [84]	離島地域における農業生産活動	地球温暖化, 酸性化, 富栄養化
化学肥料の製造・投入		
小林 [41]	窒素投入	エネルギー, CO ₂
小林・佐合 [47]	化学肥料の製造・流通	エネルギー, CO ₂
小林 [43]	化学肥料の施用	エネルギー, CO ₂ , T-N
久保・河島 [54]	緑化工法における化学肥料施用	エネルギー, CO ₂
農地管理		
小林・陳 [46]	水田, 畑地における農地管理	T-C
農業施設		
小泉 [52]	ロックフィルダム	CO ₂ , 環境配慮
見手倉他 [68]	農業集落排水施設の汚泥処理方法	エネルギー, 地球温暖化
奥山他 [89]	水車除塵機製造	エネルギー, CO ₂
小林・阿部 [45]	圃場整備事業	エネルギー, CO ₂
丹治他 [105]	農業用水	CO ₂
東理他 [35]	農業集落排水施設の汚泥処理方法	CO ₂ , NOx, SOx, CH ₄ , N ₂ O

註：1998年以降に発表されたわが国の農業分野を対象とし、LCAであることを明記した事例研究に限定して整理した。

輪作体系（秋まき小麦，てんさい，小豆，ばれいしよ，キャベツ）を対象に慣行耕起体系と簡易耕起体系を比較評価した。その結果，新しい栽培技術として簡易耕起体系が導入された場合，慣行耕起体系と比べ，全ての評価項目における環境負荷排出量の削減には必ずしも繋がらないことを明らかにした。

3) 畜産

畜産に関する LCA 研究は，酪農を評価対象とした増田他 [61, 62]，肉牛を評価対象とした林 [8]，Ogino *et al.* [79] がある（註12）。

増田他 [61] は，酪農経営から排出される環境負荷排出量の定量化を試み，主要な環境負荷排出源の特定化を行った。その結果，地球温暖化対策として反芻家畜からの CH₄ 排出抑制と堆肥化過程における N₂O 排出抑制，酸性化対策として畜舎と堆肥化過程における NH₃ 排出抑制，富栄養化対策として堆肥化過程における T-N, T-P 排出抑制が効果的であることを明らかにした。

増田他 [62] は，経営経済的にも持続可能な「マイペース酪農」を低投入型酪農の事例として，集約型酪農から低投入型酪農への転換を評価し，低投入型酪農転換が環境汚染削減という点で有利であることを示した。すなわち，「マイペース酪農」は，経営経済的に持続可能であるだけでなく，環境的にも持続可能であることを明らかにした。

林 [8] は，肉牛生産システムを育成ステージと肥育ステージに分割して評価した。その結果，資源消費量は育成ステージの方が肥育ステージよりも大きい傾向を示したが，肥育ステージにおける濃厚飼料摂取量が過大であることから，肉牛生産システムにおけるエネルギー消費の大部分を濃厚飼料が占めていたことを明らかにした。そこで，飼料加工による消化率向上，給与技術の精密化等によって，濃厚飼料由来の環境負荷削減が可能であると指摘した。

Ogino *et al.* [79] は，和牛肥育における飼養期間が環境負荷排出量に与える影響を評価し，飼

養期間が短いほど、環境負荷排出量が少なくなることを明らかにした。

4) 飼料作

飼料作に関する LCA 研究は、小野他 [92]、築城・佐々木 [107]、佐々木他 [99]、賀来他 [33]、小野 [90] がある (註13)。

小野他 [92]、小野 [90] は、飼料イネ利用による耕畜連携において技術進歩が生じた際の環境負荷削減効果を評価した。その結果、飼料イネ利用による耕畜連携によって環境負荷削減効果を得るためには、飼料イネ生産における生産費減少と単収増加が必要であることを明らかにした。

築城・佐々木 [107] は、輸入飼料と自給飼料における LCCO₂分析を行った。輸入飼料では、輸送距離が長いことから作業・輸送による CO₂排出量が最も大きく、自給飼料では、施肥による CO₂排出量が最も大きいことを明らかにした。

佐々木他 [99] は、各種飼料 (粗飼料、濃厚飼料、副産物) における環境負荷排出量を比較評価した。LCA を用いることで各種飼料間での環境影響が異なることを示し、家畜生産システムにおける飼料利用の違い (国産飼料主体または輸入飼料主体、粗飼料主体または配合飼料主体) による環境影響の差を評価できることを示唆した。

賀来他 [33] は、わが国の畜産業における濃厚飼料供給において、米国産とうもろこしの代替として休耕地に大麦を作付した場合、環境負荷削減効果を得られることを明らかにした (註14)。

5) 園芸作

園芸作に関する LCA 研究は、トマトを評価対象とした北島他 [40]、Tsunemi *et al.* [109]、Hayashi and Kawashima [7]、キャベツを評価対象とした生駒他 [18]、茶を評価対象とした松尾・荒木 [67] がある。

北島他 [40] は、トマトの慣行栽培と環境保全型促成栽培を比較評価し、必ずしも環境保全型促成栽培が環境負荷排出量を削減するとは限らないことを示した。ただし、コンジョイント分析で環境影響の重み付けを検討した結果、環境保全型促成栽培によって慣行栽培よりも大きく減少させることができる農薬の影響が最も重要であることも

明らかにした。そこで、LCA の結果を受け取る対象者が重要と感じている部分に対し、充足度が高ければ総合的に優れている結果になると指摘した。

Tsunemi *et al.* [109] は、トマトについて小売店や加工時に発生する有機性廃棄物の各循環シナリオ (慣行トマト生産、有機減農薬トマト生産、有機トマト生産) を比較評価し、有機トマト生産シナリオが最も CO₂排出量が少ないことを明らかにした。また、エコトマトに対する消費者評価も合わせて行い、実際の購入価格は支払い意思額よりも低いことを指摘した。

Hayashi and Kawashima [7] は、トマトの慣行栽培と養液土耕栽培を比較評価した。その結果、慣行栽培の 1 ha 当たり環境影響は、富栄養化を除いた全ての評価項目で養液土耕栽培よりも小さかったことを明らかにした。また、養液土耕栽培の果実 1 kg 当たり環境影響は、全ての評価項目で慣行栽培よりも小さかったことを明らかにした。いずれの栽培方法が最も環境影響が小さいのかを決定するならば、評価項目間の重み付けを考慮する必要があることを示唆した。

生駒他 [18] は、キャベツの慣行体系と機械化一貫体系を比較評価した。その結果、機械化一貫体系の専用作業機は、慣行体系の汎用機に比べ、作業能率が高く、作業時間が半減するとともに、環境負荷排出量が低減することを明らかにした。

松尾・荒木 [67] は、茶栽培の CO₂排出が主として防霜作業によることと、施肥における N₂O 排出抑制が茶栽培全体の温室効果ガス削減対策において最優先されるべきであることを指摘した。また、大型乗用型機械化体系と可搬型機械化体系では、可搬型機械化体系の CO₂排出量の方が少ないことを明らかにした。

6) 果樹作

果樹作に関する LCA 研究は、Kashimura *et al.* [36] がある。

Kashimura *et al.* [36] は、日本ナシの栽培過程における環境負荷排出量を定量分析した。その結果、主要な環境負荷排出源がスピードスプレイヤによる農薬散布に係る燃料消費と施肥であることを明らかにした。

7) 複数作目

複数作目に関する LCA 研究は、尾関 [95]、小林他 [49] がある (註15)。

尾関 [95] は、エネルギー作物 (食料、飼料作物) の LCE 分析を行った。また、油糧種子生産の事例から、バイオマスとして利用するエネルギー作物生産のためには、低コスト機械化作業体系の確立や圃場の団地化による投入エネルギーの節減と土地生産性の向上が必要であることを示した。

小林他 [49] は、稲作、麦作、大豆作について、機械作業や生産資材投入における環境負荷排出量を算出し、新たな農作業技術導入による環境汚染削減効果を検証できる LCA ソフトウェアを開発した。

8) 農業廃棄物処理

農業廃棄物処理に関する LCA 研究は、稲わらリサイクルを評価対象とした Kobayashi and Yamada [48] (註16)、ふん尿処理を評価対象とした和木他 [115]、羽賀・和木 [5]、泉澤他 [30]、磐田他 [28]、田中他 [104] (註17)、バイオガス処理を評価対象とした三津橋・稲葉 [70]、日向 [13]、北海道立根釧農業試験場研究部経営科 [16]、大村他 [87] (註18) がある。

Kobayashi and Yamada [48] は、稲わらリサイクルにおける各環境負荷削減シナリオ (燃料ガス化、メタノール化、発電、コンポスト化、廃棄) を比較評価した。その結果、エネルギー生産では燃料ガス化が最も効率的であるが、CO₂排出量ではメタノール化が最小になることを明らかにした。この分析から、農業副産物リサイクルの計画・評価において多面的な視点が必要なことを示した。

和木他 [115] は、各豚舎汚水処理方法 (二段曝気式活性汚泥法、二段曝気式活性汚泥法+脱窒・脱リン処理、USAB リアクター+好気性ろ床、USAB リアクター+好気性ろ床+脱窒・脱リン処理) について比較評価した。その結果、地球温暖化、酸性化、オゾン層破壊については、二段曝気式活性汚泥法+脱窒・脱リン処理が最も環境影響が大きく、富栄養化については、USAB リア

クター+好気性ろ床と二段曝気式活性汚泥法が高い環境影響を示すことを明らかにした。さらに、各処理方法について、地球温暖化と富栄養化における影響度の関係を分析した。

羽賀・和木 [5] は、肥育牛ふん尿の堆肥化方法 (堆積方式、発酵方式) の違いが環境に与える影響を比較評価した。その結果、簡便で安価な堆積方式よりも経費をかけて品質の良い堆肥を生産する発酵方式の方が、酸性化や富栄養化において環境影響が大きいことを明らかにした。

泉澤他 [30] は、堆肥製造工程のうち、収集、堆肥製造、流通・販売、排ガス処理の各工程についてインベントリ分析を行った。さらに、定性的な評価のために環境汚染の有無・大小等を評価の基本とした環境影響評価項目を設定し、評価した。また、堆肥製造経費についても検討を行った。

磐田他 [28] は、県レベルの畜産廃棄物処理におけるエネルギー消費量と費用の最適化シミュレーションを行った。その結果から、市町村間のふん尿と肥料の移動によって、県全体の処理費用とエネルギー消費量の低減が可能であることを示唆した。

田中他 [104] は、養豚農家が汚水浄化施設、堆肥化施設等を導入または改造するとき、飼養条件や目標処理性能に応じたランニングコスト、用地面積、環境影響の概要を把握するためのプログラムを作成した。

三津橋・稲葉 [70] は、化学肥料製造と乳牛ふん尿の CH₄発酵処理についてインベントリ分析を行った。その結果、乳牛ふん尿の CH₄発酵処理で発生する CH₄全量をエネルギーとして回収、利用することで化学肥料よりも環境負荷が低減することを明らかにした。

日向 [13]、北海道立根釧農業試験場研究部経営科 [16] は、複数の酪農経営が参加する集中型バイオガスプラントによるふん尿処理と従来型ふん尿処理を比較評価した。その結果、集中型バイオガスプラントによるふん尿処理の方が従来型ふん尿処理よりも環境負荷削減に有利であることを明らかにした。

大村他 [87] は、酪農経営における個別農家用バイオガスプラントからのバイオガス輸送・貯蔵・利用方式 (精製なし、スクラバー方式、PSA

方式)を環境、経済両面から検討した。環境面では、PSA 方式によるバイオガス精製が最も優位であったが、経済面では、精製なしが最も優位であり、唯一10年間の収支が黒字になることを明らかにした。

9) 地域における農業生産活動

地域における農業生産活動に関する LCA 研究は、小林 [42, 44], 大村他 [85], Ohmura [83], 大村 [84] がある (註19)。

小林 [42] は、農業地域における農業生産活動に関わるエネルギー消費量と炭素収支を定量化した。まず、エネルギー消費量の検討から、作物生産では農作業・施設と養分投入が、動物生産では購入飼料がエネルギー利用の効率化に対して重要な検討項目であることを明らかにした。次に、炭素収支の検討から、対象地の農業生産が総体として炭素放出源であり、域外からの肥料・飼料流入の寄与が大きいこと、また、農副産物等の循環利用が全体としての炭素吸収に貢献できること等を明らかにした。

大村他 [85] は、農業地域における農業生産活動と農業関連産業の環境負荷排出量を定量的に把握した。その上で農業地域におけるバイオガスプラント導入が、環境負荷削減に有効であることを示し、地域社会のデザインに対する LCA の活用可能性を明らかにした。

Ohmura [83] は、高嶼地域と中山間地域における農業生産活動について幾つかの環境負荷削減オプションを提示し、各オプションの環境負荷削減効果と費用負担の関係を分析した。その結果、環境にやさしいオプションは、あまり費用効果的ではないことを明らかにした。

小林 [44] は、農業地域における農業生産活動の投入産出表型炭素勘定を作成した。これにより、農村地域における活動や資源利用の大きさ、あるいは無償の管理労働・規範や地域環境の修復力への寄与を評価することができる、地域物質代謝構造としての物的勘定の枠組みを提示した。

大村 [84] は、離島地域における農業生産活動の環境負荷排出量を定量分析し、市町村レベルの地域における農業生産活動の評価に適した分析枠組みを提示した。農業地域の農業生産活動全体を

評価する場合、機能単位として土地利用(面積)を採用することが望ましいこと等を示した。

10) 化学肥料の製造・投入

化学肥料の製造・投入に関する LCA 研究は、小林 [41, 43], 小林・佐合 [47], 久保・河島 [54] がある (註20)。

小林 [41] は、農業における窒素投入について地域資源リサイクル型農業による環境負荷の低減可能性を検討した。その結果、適用するコンポスト化技術によってはリサイクル型体系の構築が環境負荷排出量を増加させてしまう可能性を示した。

小林・佐合 [47] は、化学肥料の製造、流通における LCE 分析と LCCO₂ 分析を行い、化学肥料に関するインベントリデータを作成した。これにより、農業の施肥に関連する環境対策への LCA 適用の基礎データを提示した。

小林 [43] は、化学肥料施用における窒素流出低減別の環境負荷削減シナリオ(作付体系変更、適正施肥徹底、肥料内容変更、リサイクル型農業体系導入)を比較評価した。その結果、窒素流出量、エネルギー消費量、CO₂ 排出量が最小となるシナリオは全て異なるということが明らかとなり、農業環境対策の評価に多面的な視点が必要であることを示した。

久保・河島 [54] は、緑化工法で微生物を配合したマットを用いた方が化学肥料を削減できることを明らかにした。化学肥料を削減した緑化工法で緑化を図り、植物に CO₂ を固定化させることが地球温暖化防止の1つの施策であると示唆した。

11) 農地管理

農地管理に関する LCA 研究は、小林・陳 [46] がある。

小林・陳 [46] は、農地管理と土壤炭素の関係を分析することによる土壤資源評価を行った。その結果、土壤の炭素貯蔵量が農地管理の違いによる影響を受けることと、それが全体の炭素フローに対して無視できない大きさであることを明らかにした。また、このような農地管理の違いを評価対象とする場合、炭素貯蔵量のような土地資源への影響も配慮した検討を行う必要性を示した。

12) 農業施設

農業施設に関する LCA 研究は、小泉 [52]、見手倉他 [68]、奥山他 [89]、小林・阿部 [45]、丹治他 [105]、東理他 [35] がある。

小泉 [52] は、ロックフィルダム建設における LCCO₂分析を行い、工事別では洪水吐工、原因別では重機関係が最も CO₂排出量の大きい項目であることを明らかにした。また、ロックフィルダムの比較設計案に環境調和型製品設計の考え方を適用し、比較設計案間における環境調和度評価例を示した。

見手倉他 [68] は、農業集落排水施設の水処理過程で発生する余剰汚泥処理にゼロエミッション型技術（超音波汚泥削減方法）を導入した場合の環境影響評価を行った。その結果、濃縮汚泥の長距離運搬がなされる広域圏での従来型処分方法よりも、水処理システムに汚泥処理システムを組み込んだ超音波汚泥削減方法の方が、環境負荷排出量を削減できることを明らかにした。

奥山他 [89] は、農業用水路で用いる水車除塵機製造における LCE 分析と LCCO₂分析を行い、主要な環境負荷排出源が機械部品類等の材料であることを明らかにした。また、水車除塵機と電動除塵機を比較評価し、水路の流水エネルギーを利用する水車除塵機の環境負荷面での有利性を示した。

小林・阿部 [45] は、圃場整備事業の事業費または工事量から推定された環境負荷排出量の差について考察した。LCA における環境負荷推定は、接近法により大きく異なったものとなる可能性があり、特に固定資本の取り扱いが全体の計測結果に大きな影響を及ぼすことを指摘した。

丹治他 [105] は、水田灌漑用水について重力灌漑方式とポンプ灌漑方式を比較評価した。その結果、重力灌漑方式がポンプ灌漑方式よりも CO₂排出削減に寄与することを明らかにし、わが国の地球温暖化対策として、ポンプ灌漑地区を休耕させ、重力灌漑地区を耕作するという方法を示唆した。

東理他 [35] は、農業集落排水処理で発生する汚泥を炭化処理した場合の総合的な評価を目的として、各汚泥処理方法（し尿処理方式、脱水・焼却方式、堆肥化方式、炭化シナリオ）における環

境負荷排出量を定量化した。その結果、いずれの処理方式でも、排水処理における電力消費、汚泥処理における燃料消費が排出要因として大きいこと等を明らかにした。

5. おわりに

LCA は、環境経済学における物質循環アプローチに属し、製品のライフサイクルを通じての環境影響を定量的に評価する手法である。本稿では、わが国の農業分野における LCA 研究を整理した。以下では、わが国の農業分野における LCA 研究の動向についてまとめた。

まず、評価対象別における LCA 研究の実施件数でみると、家畜ふん尿を主因として重大な環境問題を誘発しやすい畜産関連（ふん尿処理に関する農業廃棄物処理、飼料作、畜産）の LCA 研究が最も多い。そして、わが国の農業における基幹作目である稲作、工業的な性格の強い農業施設、地域全体で環境負荷排出を抑制するという観点から評価を試みた地域における農業生産活動に関する LCA 研究が順に続いている。

次に、評価項目別でみると、約 6 割の LCA 研究が環境負荷のみの評価であり、環境負荷を環境問題として定量化する影響評価を行った研究は半分以下に留まっている。その理由として以下の点が考えられる。第 1 に、評価対象におけるインベントリデータの整備が不十分であるため、複数の環境負荷を調査範囲に含めることができず、影響評価の実施まで至らなかった点である。第 2 に、LCA 研究の実施にあたり、インベントリデータの整備を目的としたものが少なからずある点である（例えば、井上・高橋 [22]、泉澤他 [30]、小林・佐合 [47]、三津橋・稲葉 [70]）。第 3 に、工業的な性格の強い農業施設に関する LCA 研究は、主としてエネルギー投入量から環境負荷を推定するために CO₂を中心としたごく一部の環境負荷の評価に限定されてしまう点である（註21）。

最後に、今後の展望を述べ、本稿のまとめとしたい。わが国の農業分野における LCA 研究は、ごく一部の環境負荷に評価項目が限定された分析が少なくない現状にある。その理由は、農業分野における LCA 実施がインベントリデータの利用可能性に強く制約されており、必要とされるイン

ベントリデータは整備の途上にあるからである。このインベントリデータに対する制約は、本来工業分野で発展してきた手法である LCA を農業分野に適用することの難しさを示している（註22）。現在、自然科学領域においてインベントリデータの整備に関連する多くの研究が行われつつある。しかし、工業分野とは異なり、自然条件に制約される農業分野では、気候条件のような地理的条件に大きな影響を受けることから（註23）、環境負荷排出の定量化は困難な作業である。長田 [93] が指摘するように推定値に多くの誤差が含まれていることもあり、事例の報告を積み重ねる必要がある。

また、インベントリデータの整備に合わせて、農業分野における LCA 研究の事例蓄積も必要である。まだ評価されていない対象への LCA 適用や、既に LCA が適用された評価対象における評価項目の拡張が求められる。特に評価項目の拡張については、ある環境問題への対応が他の環境問題を誘発してしまうというプロブレム・シフティング（大村他 [86]）を把握するという点からも重要である。環境問題の総合的評価のための手法である LCA の特徴を活かすためにも、複数の評価項目からの多面的な検討が必要である。

（註1）農業分野の環境負荷排出について貨幣評価を試みた研究もある。例えば、CVM (Contingent Valuation Method: 仮想市場評価法) を用いて家畜ふん尿に起因する外部不経済を貨幣評価した岩本 [27]、環境経済統合勘定を用いて環境負荷排出に対する帰属環境費用を推定した林 [9] がある。

（註2）本節の執筆にあたり、植田他 [113]、Field [3]、高橋 [103] を参照した。特に、環境経済学の整理においては、植田他 [113] を参照した。

（註3）より具体的には、自然環境からの原材料調達から、生産者による製品生産、消費者による製品消費、生産者、消費者から排出される廃棄物処理までの生涯（ライフサイクル）のことを指す。

（註4）本節の執筆にあたり、LCA の国際規格（石谷・赤井 [23, 24]、ISO [25, 26]）に加え、LCA 実務入門編集委員会 [60]、末踏科学技術協会・エコマテリアル研究会 [69]、農業環境技術研究所 [77]、大村 [82]、鷺田 [116] を参照した。

（註5）産業連関法は、産業連関表を用いて各部門間における金額の動きからエネルギーや環境負荷を

マクロ的に計算する方法である（鷺田 [116]）。

（註6）配分基準には、一般的に各生産物の重量比が用いられる。しかし、生産物が著しく軽い等、重量比を用いることが適当ではない場合、容積比や経済的価値が配分基準として用いられる。

（註7）1998年以降とした理由は、松野 [66] によるわが国における LCA 研究の分野別整理において、農業分野における LCA の事例研究は1998年に発表された小林 [41] が最初としていることによる。なお、1998年には、中條 [75] による農林水産業における LCA 紹介も発表されている。

（註8）フードシステムのように農業分野のみならず食料分野も含めて分析した LCA 研究も少なくないが、本稿では、農業分野を評価した LCA 研究に限定して取りまとめたので、本文では割愛し、以下に列挙するに留めたい。産業連関分析を用いた農業・食料生産活動に関する LCA 研究には、久守 [58]、尾関 [94]、尾関他 [97] がある。農産物流通に関する LCA 研究には、陳・小林 [1] がある。食品産業に関する LCA 研究には、長原 [74]、大山 [88]、鍛冶 [31]、室山他 [72, 73]、鷺野・渡辺 [117] がある。食生活に関する LCA 研究には、松本他 [65]、松本・井村 [63]、津田他 [106] がある。農業・食品廃棄物処理に関する LCA 研究には、盛岡他 [71]、松本他 [64]、恒見他 [108]、平井他 [14]、中村他 [76]、楠部他 [59]、尾関 [96]、志水他 [102]、酒井他 [98] がある。

（註9）農業分野では、農産物生産と環境負荷排出はトレードオフの関係にあることから、農業分野に LCA を適用した分析のことをエコバランス分析と呼称した研究もある（Kimura and Hatano [39]）。

（註10）関連する研究として、稲作の LCE 分析を行った宇田川 [111]、久守 [56]、木村 [37] がある。稲作の LCE 分析を行った研究については、久守 [57]、佐藤 [100] によってまとめられている。また、稲作に環境会計を適用し、CO₂を物量指標として計上した関根 [101]、稲作の LCA 研究における試算例を紹介した金谷 [34] がある。

（註11）関連する研究として、Koga *et al.* [51] は、北海道十勝地方における畑作（秋まき小麦、てんさい、小豆、ばれいしょ）の燃料消費に関する LCCO₂ 分析を行った。

（註12）関連する研究として、酪農の LCE 分析を行った大久保 [81] がある。なお、畜産における窒素をはじめとした物質収支を評価した研究は、自然科学領域で多くの事例がある。また、鶏については、経済性、エネルギー、エントロピーについては異なる鶏舎間で比較した Ikeguchi and Hoshiba

- [17] がある。
- (註13) 酪農のLCE分析を行った大久保[81]は、その中で飼料作物のLCE分析も行った。
- (註14) 関連する研究として、賀来他[33]における評価対象について、窒素バランスに限定して評価したKaku *et al.* [32]がある。
- (註15) 関連する研究として、農業生産活動全体のLCE分析を行った宇田川[112]、木村・杉本[38]、井上[21]があり、同じくLCE分析とLCCO₂分析を行った山口他[118]がある。
- (註16) 関連する研究として、農業廃棄物勘定を作成し、稲わら類のリサイクルによる環境負荷削減効果を評価した林他[11]、Hayashi *et al.* [12]がある。
- (註17) 関連する研究として、評価項目をCO₂に限定して畜産廃棄物処理の最適化シミュレーションを行ったIwata *et al.* [29]がある。また、有機性資源勘定を作成し、堆肥センターによる有機性資源循環システムを評価した林他[10]がある。
- (註18) 関連する研究として、個別農家用バイオガスプラントを評価対象とした研究があり、菱沼他[15]はLCE分析を、梅津他[114]はLCE分析、LCCO₂分析、LCC (Life Cycle Costing: ライフサイクルコスト) 分析を行った。
- (註19) 関連する研究として、農業地域におけるエネルギー需要を推定した袴田[6]、わが国における食糧生産と貿易に関するLCE分析と窒素フロー分析を行ったImura *et al.* [19]、農業地域にエコバランスモデルを適用したKimura and Hatano [39]がある。
- (註20) 関連する研究として、化学肥料製造のLCE分析を行った越野[53]、農村地域における化学肥料施用に関するLCE分析を行った袴田[6]がある。
- (註21) この点と大きく異なるのは、家畜ふん尿を中心とした評価を行った畜産関連のLCA研究である。例えば、家畜ふん尿からは、地球温暖化に寄与するCH₄やN₂O、酸性化や富栄養化に寄与するNH₃、富栄養化に寄与するT-NやT-Pといった多様な環境負荷が排出される。これらの環境負荷排出が畜産環境問題発生の主因として既に認識されており、インベントリデータの整備も比較的進んでいたことから、畜産関連のLCA研究では、影響評価まで実施した研究が相対的に多いと考えられる。
- (註22) 農業分野は、工業分野と異なり、化石資源、土壌、大気等の多岐な要素が組み込まれており、また、生態系に対する環境影響評価が確立されていないからである(福原[4])。
- (註23) 気候条件が異なる場合、環境負荷排出係数は

全く異なる。例えば、家畜ふん尿からの環境負荷排出には、家畜ふん尿の性状や気温、湿度、風速等が影響することが指摘されており(長田[93])、ある実験によって得られたインベントリデータは試験地の気候条件や実験条件に依存することになる。しかし、現在のところ、気候条件のような地理的条件を加味したLCA研究は、インベントリデータが整備されていないこともあって、実施が困難な状況にある。

引用文献

- [1] 陳杰・小林久「穀物の国内輸送における過大な物流に伴うエネルギー消費の推計—農産物供給のライフサイクル分析に関する基礎的検討—」『環境情報科学論文集』Vol.16, 2002, pp.79~84.
- [2] CML, "Characterisation factors from LCA handbook," In <http://www.leidenuniv.nl/cml/ssp/projects/lca2/lca2.html>, CML, Leiden, 2002.
- [3] Field, B. C., *Environmental Economics: An Introduction Second Edition*, The McGraw-Hill Companies, New York, 1997 (秋田次郎・猪瀬秀博・藤井秀昭訳『環境経済学入門』, 日本評論社, 東京, 2002).
- [4] 福原道一「農林水産業におけるLCAの適用」『農林水産技術研究ジャーナル』Vol.22, No.10, 1999, pp.5~8.
- [5] 羽賀清典・和木美代子「肥育牛のふん尿堆肥化におけるエミッションのLCA」, 農林水産省農業環境技術研究所編『農業におけるライフサイクルアセスメント』, 養賢堂, 東京, 2000, pp.116~125.
- [6] 袴田共之「農業生産における肥料に関するエネルギー投入について2 農村地域における肥料・施肥とエネルギー」『日本土壌肥料学雑誌』Vol.64, 1993, pp.194~205.
- [7] Hayashi, K., and Kawashima, H., "Environmental impacts of fertilizer and pesticide application in greenhouse tomato production: evaluation of alternative practices," *Proceedings of The Sixth International Conference on EcoBalance*, 2004, CD-ROM.
- [8] 林孝「肉牛生産のLCAと環境影響評価」, 農林水産省農業環境技術研究所編『農業におけるライフサイクルアセスメント』, 養賢堂, 東京, 2000, pp.100~115.
- [9] 林岳「地域における環境経済統合勘定の理論と実証に関する研究」『北海道大学大学院農学研究科邦文紀要』Vol.24, 2002, pp.225~301.
- [10] 林岳・久保香代子・合田素行「地域における有

- 機性資源リサイクルシステムの定量的評価—宮崎県国富町を事例として—『2004年度日本農業経済学会論文集』, 2004, pp.277~281.
- [11] 林岳・山本充・増田清敬「廃棄物勘定による農業の有機性資源循環システムの把握」『2003年度日本農業経済学会論文集』, 2003, pp.338~340.
- [12] Hayashi, T., Yamamoto, M., and Masuda, K., "Evaluation of the recycling of biomass resources by using the waste account," *Studies in Regional Science*, Vol. 34, No. 3, 2004, pp.289~295.
- [13] 日向貴久「酪農経営のふん尿処理を対象とした LCA—バイオガスシステムの温暖化ガスインベントリ分析と比較—」『2004年度日本農業経済学会論文集』, 2004, pp.337~341.
- [14] 平井康宏・村田真樹・酒井伸一・高月紘「食品残渣を対象とした循環・資源化処理方式のライフサイクルアセスメント」『廃棄物学会論文誌』 Vol. 12, 2001, pp.219~228.
- [15] 菱沼竜男・干場信司・森田茂・塚田芳久・天野徹「個別農家用バイオガスプラントのエネルギー的評価」『農業施設』 Vol. 33, 2002, pp.45~52.
- [16] 北海道立根釧農業試験場研究部経営科「環境会計手法を用いた家畜ふん尿用バイオガスシステムの評価」『平成16年度北海道農業試験会議（成績会議）資料』, 2005, pp.1~22.
- [17] Ikeguchi, A., and Hoshiya, S., "Evaluation of livestock housing from economics, energy and entropy," *Journal of the Society of Agricultural Structures, Japan*, Vol. 32, 2002, pp.161~170.
- [18] 生駒泰基・村上健二・岡田邦彦・藤原隆広・佐藤文生・吉岡宏「LCA 手法を用いたキャベツ機械化一貫体系の環境負荷評価」In <http://www.naro.affrc.go.jp/top/seika/2002/vegetea/ve045.html>, 農業・生物系特定産業技術研究機構, つくば, 2003.
- [19] Imura, H., Mizuno, T., and Matsumoto, T., "Study on environmental loads of foodstuff production and their trade implications for Japan," *Journal of Global Environment Engineering*, Vol. 3, 1997, pp.77~97.
- [20] 稲生圭哉「水稻栽培における農業利用に伴う環境影響評価」, 農林水産省農業環境技術研究所編『農業におけるライフサイクルアセスメント』, 養賢堂, 東京, 2000, pp.84~99.
- [21] 井上喬二郎「農業におけるエネルギー利用の現状と展望」『農林水産技術研究ジャーナル』 Vol. 21, No. 1, 1998, pp.13~21.
- [22] 井上恒久・高橋義明「水稻栽培における肥料, 土壌改良資材の利用に伴う環境負荷物質の収支のライフサイクル・インベントリ分析」『第4回エコバランス国際会議講演集』, 2000, pp.419~422.
- [23] 石谷久・赤井誠監修『ISO14040/JIS Q14040 ライフサイクルアセスメント—原則及び枠組み—』, 産業環境管理協会, 東京, 1999.
- [24] 石谷久・赤井誠監修『ISO14041/JIS Q14041 & ISO TR14049/JIS Q TR14049 ライフサイクルアセスメント—インベントリ分析&適用事例—』, 産業環境管理協会, 東京, 2001.
- [25] ISO, *ISO 14042 Environmental Management—Life Cycle Assessment—Life Cycle Impact Assessment*, ISO, Geneva, 2000.
- [26] ISO, *ISO 14043 Environmental Management—Life Cycle Assessment—Life Cycle Interpretation*, ISO, Geneva, 2000.
- [27] 岩本博幸「北海道酪農の外部不経済と費用負担に関する環境経済学的研究」, 北海道大学大学院農学研究科博士論文, 2002.
- [28] 磐田朋子・嶋田莊平・玄地裕「需給バランスを考慮した畜産系廃棄物処理システムの検討」『第15回廃棄物学会研究発表会講演論文集』, 2004, pp.323~325.
- [29] Iwata, T., Shimada, S., Genchi, Y., and Inaba, A., "Development of livestock manure disposal model taking into account the supply-demand balance," *Proceedings of The Sixth International Conference on EcoBalance*, 2004, CD-ROM.
- [30] 泉澤啓・佐藤好克・斎藤善則・高橋正弘「畜産系堆肥化施設の LCA による評価について」『宮城県保健環境センター年報』 No. 20, 2002, pp.98~102.
- [31] 鍛冶克彦「個と環境が活きる ISO14001—ISO14001 に基づく環境マネジメントシステムの構築—」, 農林水産省農業環境技術研究所編『農業におけるライフサイクルアセスメント』, 養賢堂, 東京, 2000, pp.26~44.
- [32] Kaku, K., Ikeguchi, A., Ogino, A., Osada, T., Hoshino, M., and Shimada, K., "Achieving a nitrogen balance for Japanese domestic livestock waste: testing the scenario of planting feed grain in land left fallow," *Asian-Australasian Journal of Animal Science*, Vol. 17, 2004, pp.1026~1032.
- [33] 賀来康一・萩野暁史・島田和宏「LCA 手法による休耕地を活用した濃厚飼料供給システムの環境評価」In <http://www.naro.affrc.go.jp/top/seika/2004/nilgs/ch04042.html>, 農業・生物系特定産業技術研究機構, つくば, 2005.

- [34] 金谷豊「水稻生産システムと LCA」『農林水産技術研究ジャーナル』Vol.22, 1999, pp.15~19.
- [35] 東理裕・凌祥之・田原聖隆「農業集落排水処理および汚泥の炭化処理における環境負荷の算定」『第15回廃棄物学会研究発表会講演論文集』, 2004, pp.656~658.
- [36] Kashimura, Y., Ito, A., and Hayama, H., "Life cycle assessment of Japanese pear cultivation," *Proceedings of The Fifth International Conference on EcoBalance*, 2002, pp.189~190.
- [37] 木村康二「コメ生産における化石エネルギー消費分析」『農業経済研究』Vol.65, 1993, pp.46~54.
- [38] 木村康二・杉本義行「農業生産における各投入要素のエネルギー原単位及びエネルギー集中度の推計」『千葉大学園芸学部学術報告』No.47, 1993, pp.247~254.
- [39] Kimura, S. D., and Hatano, R., "An eco-balance for impact assessment of agricultural land-use, focused on the nitrogen flow of a basin-system," *Proceedings of The Sixth International Conference on EcoBalance*, 2004, CD-ROM.
- [40] 北畠晶子・半田貴・要司「環境保全型農業における LCA 手法の適用」『関東東海農業経営研究』No.92, 2001, pp.65~69.
- [41] 小林久「窒素投入に関するエネルギー消費・CO₂排出のライフサイクル分析—リサイクル型農業の環境負荷に関する考察—」『農業土木学会論文集』Vol.66, 1998, pp.51~57.
- [42] 小林久「農村地域のエネルギー消費と炭素収支に関するライフサイクル分析の試み」『農村計画論文集』Vol.2, 2000, pp.247~252.
- [43] 小林久「施肥に関連する流出負荷低減策のライフサイクル分析—環境保全型農業に対するライフサイクルアセスメント (LCA) 適用の試み—」『環境情報科学』Vol.31, 2002, pp.77~85.
- [44] 小林久「地域資源・地域環境評価のための物的勘定の試み—地域物質代謝構造の分析手法開発へのアプローチ—」『環境情報科学』Vol.33, 2004, pp.67~77.
- [45] 小林久・阿部幸浩「農業を対象とした LCA の特殊性と推計手法に関する考察」『農業土木学会誌』Vol.71, 2003, pp.1077~1081.
- [46] 小林久・陳杰「農地管理の違いが土壌の炭素貯蔵量に及ぼす影響とその評価に関する考察—農業を対象とする LCA 的分析における土地資源評価の意義—」『農業土木学会論文集』Vol.72, 2004, pp.217~223.
- [47] 小林久・佐合隆一「窒素およびリン肥料の製造・流通段階のライフサイクルにわたるエネルギー消費量と CO₂排出量の試算」『農作業研究』Vol.36, 2001, pp.141~151.
- [48] Kobayashi, H., and Yamada, Y., "Evaluation of energy balance and CO₂ emission in processes of the energy production from agro-byproducts," *Transactions of the Japanese Society of Irrigation, Drainage and Reclamation Engineering*, Vol.70, 2002, pp.27~33.
- [49] 小林恭・金谷豊・佐々木豊・関正裕「農作業による環境影響評価のための LCA ソフト」In <http://www.naro.affrc.go.jp/top/seika/2004/kanto/kan04002.html>, 農業・生物系特定産業技術研究機構, つくば, 2005.
- [50] 古賀伸久「十勝地方の大規模畑作に対する LCA の適用」『北農』Vol.71, 2004, pp.8~17.
- [51] Koga, N., Tsuruta, H., Tsuji, H., and Nakano, H., "Fuel consumption-derived CO₂ emissions under conventional and reduced tillage cropping systems in northern Japan," *Agriculture, Ecosystems and Environment*, Vol.99, 2003, pp.213~219.
- [52] 小泉泰通「農業土木施設の環境負荷評価」『農業土木学会誌』Vol.68, 2000, pp.1257~1261.
- [53] 越野正義「農業生産における肥料に関するエネルギー投入について 1 肥料製造に必要なエネルギー投入量」『日本土壤肥料学雑誌』Vol.63, 1992, pp.479~486.
- [54] 久保繁夫・河島章二郎「微生物を利用した化学肥料削減緑化工法」『日本緑化工学会誌』Vol.28, 2003, pp.497~500.
- [55] 工藤卓雄「水稻直播栽培と局所施肥管理技術の導入における普及および環境影響に関する可能性評価」, 北海道大学大学院農学研究科博士論文, 2005.
- [56] 久守藤男「農業生産における補助エネルギー手段の単位熱量」『愛媛大学総合農学研究彙報』No.21, 1978, pp.51~61.
- [57] 久守藤男「補助エネルギー推計方法—積み上げ方式と産業連関方式—」『農林業問題研究』No.114, 1994, pp.32~37.
- [58] 久守藤男「LCA 手法による飽食経済のエネルギー分析—和食と洋食を比較する—」, 農山漁村文化協会, 東京, 2000.
- [59] 楠部孝誠・榎木秀作・内藤正明「食品関連産業における循環システムの評価と飼料利用の可能性」『環境衛生工学研究』Vol.16, 2002, pp.29~34.
- [60] LCA 実務入門編集委員会編『LCA 実務入門』,

- 産業環境管理協会, 東京, 1998.
- [61] 増田清敬・宿野部猛・出村克彦・山本康貴「LCA を用いた酪農環境問題の定量分析—北海道・オコッペフィールドサービスを事例として—」『2003年度日本農業経済学会論文集』, 2003, pp.341~346.
- [62] 増田清敬・高橋義文・山本康貴・出村克彦「LCA を用いた低投入型酪農の環境影響評価—北海道根釧地域のマイベース酪農を事例として—」『システム農学』Vol.21, 2005, pp.99~112.
- [63] 松本亨・井村秀文「戦後日本の食生活変化とエネルギー消費に関する研究」『環境科学会誌』Vol.13, 2000, pp.455~468.
- [64] 松本亨・岩尾拓美・大迫洋子・井村秀文「物質フロー解析 (SFA) と LCA によるフードシステムの環境負荷評価に関する研究」『第4回エコバランス国際会議講演集』, 2000, pp.447~450.
- [65] 松本亨・大迫洋子・井村秀文「戦後日本の食生活変化と環境負荷: 主食に関わるライフサイクル CO₂ の評価」『環境システム研究』Vol.27, 1999, pp.89~96.
- [66] 松野泰也「日本の学術雑誌に掲載された LCA 研究の論文」『日本 LCA 学会誌』Vol.1, 2005, pp.51~62.
- [67] 松尾喜義・荒木琢也「チャ栽培体系の温室効果ガス発生量の評価」In <http://www.naro.affrc.go.jp/top/seika/2002/vegetea/ve047.html>, 農業・生物系特定産業技術研究機構, つくば, 2003.
- [68] 見手倉幸雄・古崎康哲・石川宗孝「ゼロエミッション型農業集落排水施設への更新と LCA 手法」『農業土木学会誌』Vol.70, 2002, pp.1085~1088.
- [69] 未踏科学技術協会・エコマテリアル研究会編「LCA のすべて—環境への負荷を評価する—」, 工業調査会, 東京, 1995.
- [70] 三津橋浩行・稲葉敦「化学肥料のインベントリ分析および乳牛ふん尿処理物との比較検討」『第4回エコバランス国際会議講演集』, 2000, pp.631~634.
- [71] 盛岡通・恒見清孝・吉田登・三田雅人・寺下晃司・江見淳「フードシステムにおける循環志向の廃棄物管理のライフサイクル評価」『第3回エコバランス国際会議講演集』, 1998, pp.189~192.
- [72] 室山勝彦・林卓也・大口宗範・林順一「累積 CO₂ 排出原単位を指標とした豆腐製造に係わる環境負荷評価」『環境科学会誌』Vol.16, 2003, pp.25~32.
- [73] 室山勝彦・大口宗範・林卓也・林順一「累積 CO₂ 排出原単位を評価指標とするビール工場のライフサイクルアセスメント」『環境科学会誌』Vol.14, 2001, pp.189~197.
- [74] 長原歩「醤油における LCA の試み」『第3回エコバランス国際会議講演集』, 1998, pp.217~220.
- [75] 中條寛「農林水産業における LCA のこれから」『農林水産技術研究ジャーナル』Vol.21, No.1, 1998, pp.28~33.
- [76] 中村慎一郎・近藤康之・平井康宏「厨芥処理の LCA: 廃棄物産業連関の応用」『都市清掃』Vol.54, 2001, pp.186~191.
- [77] 農業環境技術研究所編「LCA 手法を用いた農作物栽培の環境影響評価実施マニュアル」, 農業環境技術研究所, つくば, 2003.
- [78] 荻野暁史「畜産における環境影響評価手法に関する研究の現状—ライフサイクルアセスメント (LCA) を中心として—」『研究調査室論集』No.5, 2004, pp.32~40.
- [79] Ogino, A., Kaku, K., Osada, T., and Shimada, K., "Environmental impacts of the Japanese beef-fattening system with different feeding length as evaluated by a life-cycle assessment method," *Journal of Animal Science*, Vol.82, 2004, pp.2115~2122.
- [80] 小倉昭男「稲作における投入資材およびエネルギー」, 農林水産省農業環境技術研究所編「農業におけるライフサイクルアセスメント」, 養賢堂, 東京, 2000, pp.57~71.
- [81] 大久保忠旦「畜産におけるエネルギー効率」『畜産の研究』Vol.45, 1991, pp.729~738.
- [82] 大村道明「農業地域 LCA の手法—評価の前提と枠組み—」『農業経済研究報告』No.34, 2002, pp.35~50.
- [83] Ohmura, M., "Problem shifting and system boundary in the LCA for rural agricultural activities," *Proceedings of The Fifth International Conference on EcoBalance*, 2002, pp.167~168.
- [84] 大村道明「農業のためのライフサイクルアセスメント手法の検討—鹿児島県沖永良部島の農業生産活動の環境影響評価を事例に—」『東北農業経済研究』Vol.22, 2004, pp.56~70.
- [85] 大村道明・両角和夫・合田素行・西澤栄一郎・田上貴彦「北海道士幌町における農業と関連産業の LCA」『2000年度日本農業経済学会論文集』, 2000, pp.183~185.
- [86] 大村道明・両角和夫・田上貴彦・西澤栄一郎・合田素行「農業分野への LCA 適用の動向と展望」『2002年度日本農業経済学会論文集』, 2002, pp.170~172.
- [87] 大村道明・竹内良曜・松井克則・菊池貞雄「個

- 別農家用バイオガスプラントからの余剰ガスの輸送・貯蔵に関する予備的考察』『農業施設』Vol. 35, 2005, pp. 211~220.
- [88] 大山央「食品産業における LCA 分析事例」『第3回エコバランス国際会議講演集』, 1998, pp. 605~608.
- [89] 奥山武彦・小綿寿志・後藤眞宏「LCAによる水車除塵機の環境負荷分析」『農業工学研究所技報』No. 200, 2002, pp. 107~115.
- [90] 小野洋「飼料イネ耕畜連携システムの環境負荷量の計測」『農業経営通信』No. 224, 2005, pp. 50~53.
- [91] 小野洋・尾関秀樹・早見均・吉岡完治「農業生産活動と二酸化炭素排出に関する LCA 評価」『第4回エコバランス国際会議講演集』, 2000, pp. 433~436.
- [92] 小野洋・尾関秀樹・堀江達哉「飼料イネ導入の条件と耕畜連係システムの環境評価」『2003年度日本農業経済学会論文集』, 2003, pp. 216~219.
- [93] 長田隆「家畜排泄物からの環境負荷ガスの発生について」『日本畜産学会報』Vol. 72, 2001, pp. 167~176.
- [94] 尾関秀樹「食料の生産・消費と環境負荷の評価—ライフ・サイクル・アセスメント (LCA) の適用可能性について—」『農林経済』No. 9267, 2000, pp. 2~7.
- [95] 尾関秀樹「バイオマス利用システムの成立条件をめぐる論点」『農業および園芸』Vol. 78, 2003, pp. 335~341.
- [96] 尾関秀樹「有機性資源循環利用の定量的評価—産業連関分析の LCA への適用—」『農業経営研究』Vol. 41, 2003, pp. 92~97.
- [97] 尾関秀樹・小野洋・早見均・吉岡完治「食料消費, 農産物流通に関する LCA 評価」『第4回エコバランス国際会議講演集』, 2000, pp. 437~440.
- [98] 酒井伸一・平井康宏・吉川克彦・出口晋吾「バイオ資源・廃棄物の賦存量分布と温室効果ガスの視点からみた厨芥利用システム解析」『廃棄物学会論文誌』Vol. 16, 2005, pp. 173~187.
- [99] 佐々木義之・広岡博之・築城幹典「畜産業のシステム分析」『システム農学』Vol. 20, 2004, pp. 125~137.
- [100] 佐藤寿樹「水稻栽培における投入エネルギー分析の現状と問題点 I—米生産費統計資料を利用した積上げ法と LCA について—」『広島県立大学紀要』Vol. 16, 2004, pp. 11~25.
- [101] 関根久子「農業における環境会計導入の可能性」『2003年度日本農業経済学会論文集』, 2003, pp. 220~222.
- [102] 志水章夫・楊翠芬・玄地裕「千葉県における食品加工残さの地域発生分布の把握及び環境負荷量の推計」『第15回廃棄物学会研究発表会講演論文集』, 2004, pp. 169~171.
- [103] 高橋義文「持続性概念からみたエコロジカル経済学」『農経論叢』Vol. 60, 2004, pp. 175~188.
- [104] 田中康男・島田和宏・萩原一仁「畜産環境対策施設のコスト・環境影響評価プログラム」In <http://www.naro.affrc.go.jp/top/seika/2004/nilgs/ch04057.html>, 農業・生物系特定産業技術研究機構, つくば, 2005.
- [105] 丹治肇・吉田貢士・蘭嘉修・宗村広昭「農業用水におけるライフ・サイクル・アセスメントの検討」『農業土木学会誌』Vol. 71, 2003, pp. 1087~1090.
- [106] 津田淑江・井元りえ・木下枝穂・大家千恵子「持続可能な食生活を目指した食教育プログラムの開発 (第1報) 献立におけるライフサイクルエネルギーの算出」『日本家政学会誌』Vol. 56, 2005, pp. 541~551.
- [107] 築城幹典・佐々木綾美「畜産におけるライフサイクルアセスメント (LCA)」『畜産の研究』Vol. 57, 2003, pp. 130~134.
- [108] 恒見清孝・楠部孝誠・盛岡通「食品工業集積地区における有機物の代謝マネジメントの評価」『第4回エコバランス国際会議講演集』, 2000, pp. 395~398.
- [109] Tsunemi, K., Kusube, T., and Morioka, T., "Regional food chain management system to cycle organic by-products into "Safe and Reliable" agricultural products," *Proceedings of The Fifth International Conference on EcoBalance*, 2002, pp. 707~708.
- [110] 鶴田治雄・尾崎保夫「水田における温室効果ガスおよび水質に関するライフサイクルアセスメント」, 農林水産省農業環境技術研究所編『農業におけるライフサイクルアセスメント』, 養賢堂, 東京, 2000, pp. 72~83.
- [111] 宇田川武俊「水稻栽培における投入エネルギーの推定」『環境情報科学』Vol. 5, 1976, pp. 73~79.
- [112] 宇田川武俊「作物生産における投入補助エネルギー」『環境情報科学』Vol. 6, 1977, pp. 77~91.
- [113] 植田和弘・落合仁司・北昌佳房・寺西俊一『環境経済学』, 有斐閣, 東京, 1991.
- [114] 梅津一孝・長谷川晋・菊池貞雄・竹内良曜「バイオガスシステムの経済的・工学的評価分析」『農業経営研究』Vol. 43, 2005, pp. 188~193.

- [115] 和木美代子・田中康男・長田隆「畜産廃棄物処理技術の LCA 評価方法の検討」『第 3 回エコバランス国際会議講演集』, 1998, pp. 601~604.
- [116] 鷺田豊明『環境評価入門』, 勁草書房, 東京, 1999.
- [117] 鷺野保日郎・渡辺由美子「液体食品工場における環境負荷低減のシミュレーション」『日本包装学会誌』 Vol. 13, 2004, pp. 217~226.
- [118] 山口武則・山川修治・大浦典子・福原道一「わが国の農業分野におけるエネルギー消費量と二酸化炭素排出量の評価」『システム農学』 Vol. 11, 1995, pp. 145~154.