

目次

LCAへの期待：拡大しつつある人間圏にどう対応できるのか	1	輸送におけるLCAと環境レポーティングの指標	3
[会告]	2	環境保全型農業システムの設計とLCA	9
LCA日本フォーラム活動報告	2	地域農業と農村地域へのLCA的思考の適用	11
		LCAインフォメーション	14

シリーズ：私の考えるLCA

LCAへの期待：拡大しつつある人間圏にどう対応できるのか

独立行政法人 農業環境技術研究所
理事長 陽 捷 行

私はLCAの専門家ではない。拡大しつつある人間圏が既存の大気圏や土壌圏などと持続的に共存できるために、LCAの考え方や手法が役立つことを期待している門外漢である。

LCAは、我々人類の過去と現在の生活を支えてきた環境資源（土・水・大気・生物・地形）を持続し、これからの世代を持続可能な社会に変えていくための考え方と手法であると理解している。その際、環境資源は有限であることをゆめゆめ忘れてはなるまい。

持続可能な社会へ変えるということは、環境資源は有限であることを人々の意識に刻み込み、延いては行動を変えろということである。したがって、究極的なLCAの評価は、拡大しつつある人間圏を、地球システムのなかで安定な存在で持続的に推移できるレベルに落ちつかせるために役立つことにある。

松井孝典は「レンタルの思想」と題して、人間が生き残るための提言をしている。その内容は概ね次のようにまとめられる。現代文明が抱える問題、すなわち、環境問題、食料問題、人口問題などは、人類が欲望のままに人間圏を拡大させてきたからに他ならない。土壌の侵食、大気の変動、水資源の枯渇など地球の資源を食いつぶし、悲惨な結果を招く前に、「地球から材料を借りて生きる」という考え方に転換すべきであると。

人間は一生の期間だけ、人体を構成する元素を地球か

ら借りて生きている。死ねばそれが分解して地球に戻るだけである。ある期間だけ地球から材料を借りているに過ぎない。これは、まさにレンタル（賃借）である。レンタルの思想は貸し借りのバランスの上に成立している。

この考えは地球システムの中で人間が占有できる大きさは有限であることを前提条件としている。人口の増加によって人類が生物圏や土壌圏の炭素や窒素などを占有することになるが、それは不可能なことである。また、水圏や大気圏の水を全て占有することも不可能である。借りたものは返さざるを得ない。そのタイムスケールはどんなにがんばっても100年未満であるから、そのタイムスケールで貸し借りのバランスシートが決まる。

これまで私は58年間生きてきた。この間、私は地球から約56トンの食料や水をレンタルしたことになる。これから何トンくらいレンタルするか分らないが、死ぬときは全てを地球に返すことになる。

ただし、リサイクル理念とレンタル思想は基本的に異なる。冒頭に書いたように、環境資源は有限であることにその違いがある。すなわち、両者の違いは総量規制にある。人口が増加し人間圏が拡大する限り、リサイクルにより人間圏内部の物質やエネルギーの流れを効率化しても、人間圏に入り込む物質やエネルギーは増え続ける。

LCAの考え方や手法をこのレンタル思想に生かす試みができるのかどうか、門外漢の私には分らない。しかし、LCAがこれからの世代を持続可能な社会に変えていくための考え方と手法であるとすれば、このことを推進しなければならないであろう。LCA研究の発展を心から期待している。

(会 告)

1. 平成13年度LCA日本フォーラム、年会費
平成13年7月11日開催されました総会で、
昨年度と同額の会費が承認されました。請
求書を同封しておりますので、早速の納入
をお願い申し上げます。

- (1) 団体会員 100,000円
- (2) 企業会員 20,000円
- (3) 個人会員 2,000円

なお、会員の区別は欄外の説明をお読み下
さい。

2. “インパクトとインタープリテーション”
セミナーの開催について

日 時：“インタープリテーション”セナー

11月6日(火)10時～17時

“インパクト”セミナー

11月7日(水)10時～17時

場 所：発明会館ホール／東京

参加費(予定)：両日の場合

会員13,000円

非会員20,000円

1日のみの場合

会員9,000円

非会員13,000円(予定)

募集人数：各150名、先着順

団体会員とは次の17団体の会員企業の社員で本フォーラムへ
の会員参加を登録した者をいいます。会費は団体が支払います。
電気事業連合会、石油連盟、(社)日本ガス協会、(社)日本鉄鋼
連盟、(社)日本アルミニウム協会、板硝子協会、(社)セメント
協会、(社)日本化学工業協会、日本製紙連合会、通信機械工業
会、(社)日本電機工業会、(社)電子情報技術産業協会、(社)日本
自動車部品工業会、(社)日本自動車工業会、(社)日本事務機械
工業会、(社)日本産業機械工業会、(社)建築業協会

企業会員とは上記団体の会員以外の企業で本フォーラムへの会
員参加を登録した者をいいます。

個人会員とは大学、国公立研究所、自治体など個人での会員参
加を登録した者をいいます。

LCA日本フォーラム活動報告

1. 平成13年度LCA日本フォーラム委員会及び総会

(1)日 時 平成13年7月11日(水)13時～13時30分

(2)場 所 石垣記念ホール

(3)出席者 53(+委任状204)計257名

会員総数487名

(4)議 事 同封の議事録のとおり、上程議案は案の
とおり全て承認されました。

2. LCAプロジェクト報告会

(1)日 時 平成13年7月11日(水)13時30分～15時

(2)場 所 石垣記念ホール

(3)出席者 173名

(4)詳しい報告内容は紙面の都合で割愛させてもらいま
すが、要点を以下に記します。

・インベントリ研究会

データ収集マニュアル及びフォーマットに従いデ
ータ収集を実施、23工業会からの第1次データ取
集がほぼ終了し、収集データの検証を始めた。ま
た、リサイクル廃棄過程は5自治体のデータ解析
から環境負荷推定モデルの作成などを行った。

・データベース研究会

データ入力用ソフトを開発し各工業会に提供した。
また、利用者にデータ提供する電子システムを構
築中である。

・インパクト研究会

地球温暖化、オゾン層破壊、酸性化、富栄養化、
光化学オキシダントの特性化係数及びダメージ関
数の構築をほぼ完了、統合化手法としてコンジョ
イント分析法とパネル法を検討中である。

今年は、1年半後の公開を念頭に入れた検討を
行うとともに、収集データを使ってケーススタデ
ィを行い、欠落箇所及びデータの質を検討するこ
ととしている。

なお、報告会資料は若干の余部がありますので
御入用の方は事務局まで御連絡ください。お送り
します。

3. LCA日本フォーラム助言委員会

(1)日 時 平成13年7月11日(水)

15時15分～16時25分

(2)場 所 三会堂ビルS会議室

(3)出席者 委員長茅陽一(東京大学名誉教授他5委員、
プロジェクト側から各委員会主査、経済
産業省、NEDO、事務局の計22名)

(4)要 約 次のとおりLCAプロジェクトに対し意見
が出されました。

・廃棄物・リサイクルの数式の取扱い、インパクト評
価の統一指標化が難問と思われる。

・LCAが現実社会で広く行われる状況が現出し喜ばし
い。

・データが欠落しているところがデータベースに見ら
れる。もっと揃って欲しい。

・協力工業会がたいへん多くなったが、もっと参加し
てもらうよう努力して欲しい。

- ・インパクト評価では影響のリンクの問題、統合化などまだまだ議論を尽くす必要がある。
- ・廃棄物・リサイクルのデータはまだ少ないと感じる。
- ・何を廃棄物とみるかという定義は変わりつつあり、この変化に対応できるよう検討を進める必要がある。
- ・インパクト評価に indicator99、ExternE など方法論が並立しているが、方法論がいくつもあるのは良いことではない。各方法論を検討し融合化も検討すべきではないか。
- ・本プロジェクトはデータベースを作ることがいちばん大事で、データ更新をしていかなくてはいけない。
- ・クロスチェックによってインパクト評価の係数を決めるなど数学的技法を使って係数算出を行っているか。
- ・建設の LCA は建物ごとに異なるので時間を掛けない略算法が必要である。LCA のユーザーとしては建設のプロセスごとに計算結果があればその足し算で済むので、そのようにデータの構築をしてもらうと役に立つ。
- ・LCA は目標・範囲の設定でデータの質・境界等が異なる訳であるが、パブリックデータとして2段階のバックグラウンドデータが必要ではないか。
- ・インパクト評価で異なる項目の統合化はよく検討すべきである。

以上の意見に対し、プロジェクト側から次のとおり回答がなされました。

- ・いろいろあるインパクトの方法論を統一するのは不可能であり、海外の方法論との違いを比較してはつきりさせておくことになる。
- ・コンジョイント分析は使える手法か検討中で、もし使えないとの結論ができればダメージを直接コスト化する方法を用意している。早急に結論を出したい。
- ・リサイクル・廃棄物のデータが少ないとのことであるが、この分野はデータがほとんどないところで、やっとここまでデータができてきたと評価できる。
- ・廃棄物の定義が変わりつつあることは WG でも検討を始めている。用語の定義をすることにより対応できるものと考えられる。
- ・例えば、廃棄物の定義などがはっきりしていないことにより、WG1 と WG2 のデータ範囲が重なるところがあったりする。WG1 と WG2 の間のデータ範囲のすり合わせを今後行うことになる。
- ・業界によってデータに対する思惑や LCA に対する実施状況が異なり、データの質や種類がいろいろである。
- ・データベースの枠組みはだいたい出来上がった。どのように公開するかは WG の状況を見る段階になっている。

以上の討論から、2年後の成果完成に向けてプロジェ

クトを鋭意推進していくことが確認されました。

輸送における LCA と 環境レポーティングの指標

Professor Annik Magerholm Fet

The Norwegian University of Science and Technology
(NTNU)

SYNOPSIS

This paper presents current and future trends and requirements for environmental reporting. It gives a brief presentation of two LCA-projects within marine transport. The projects have laid the foundation of environmental accounting and reporting systems. The paper further focuses on future challenges on developing indicators for eco-efficiency measures.

(以下和訳)

序章

環境レポーティングの意図は、企業の環境改善の目的とその達成率を指し示すところにある。

今日、我々は伝統的な環境報告書から環境効率報告書や持続的発展性の報告書に移行していることを目にする。United Nations Environment Program(UNEP)、World Business Council for Sustainable Development(WBCSD)、the Organization for Economic Co-operation and Development(OECD)等はこの動きに大きな影響を与えている。UNEP が後押ししているイニシアチブの1つが Global Reporting Initiative(GRI)で、総合的な持続的発展の指標及び組織に固有の指標を選択するガイドを提唱している。

1998年5月、OECDの閣僚は持続可能な発展の達成は OECD加盟国の中で優先すべき事項であるという結論で同意した。(2) 彼らは、“sustainable” という用語の中には経済的な思考と同様に社会的、環境的な側面も含むという解釈で合意している。環境効率は、WBCSDの思想の中核である。(3) 環境効率の対象は、最小の資源利用と環境影響で最大の価値を生み出すことにある。環境効率を算出するために WBCSD では以下の方程式を開発した。

$$\text{eco-efficiency} = \text{product or service value per environmental influence (1)}$$

この方程式はいくつかの異なる環境効率の比率計算をする際にも使用することができる。

輸送の LCA ケーススタディ

企業の環境パフォーマンスは、製造過程における環境負荷の測定だけでなく、製造及び使用段階などのライフサイクルの各段階で発生する環境負荷の測定である。

LCAは、今日では製造工程の環境影響を評価する手法としては最も包括的なものとなっている。環境パフォーマンス評価(EPE)は、組織が一連の基準に沿って自らの環境活動の計測、分析、評価に利用できる手法である。EPEは、組織が自社の環境危機に対して行う環境活動を測定し、分析し、評価できる手法である。また、EPEは、同業種間の環境活動の比較にしばしば用いられる。

環境パフォーマンス指標(EPIs)によって、企業はそのパフォーマンスのレベルを推し量ることができると言える。このことから、EPIsは環境報告書の作成のみならず環境効率の指標を見積もる上でも有用である。

本文では「船輸送のライフサイクル影響評価-手法の開発と試行」、「輸送の環境評価-比較実証-」の2つの事例について紹介することにする。

両者とも、LCA手法に基づいており、EPIsの開発及び輸送システムのための環境効率指標の必要性を示唆している。前者は、ノルウェー、デンマーク間のフェリー輸送に係る環境インパクトの情報入手方法について書かれており、後者は、異なる輸送手段を用いた場合のLCAの結果についての記載がなされている。

船輸送のライフサイクル評価-手法の開発と試行

本試行の目的は、実際に評価を実施し、船輸送のLCA評価の有効性を確認するところにある。これは、フェリー“カラーフェスティバル号”におけるLCA評価の実施事例である。

LCA評価を行う際に最初の段階で機能単位とシステム境界の設定が行われるが、これは船そのものについてだけでなくライフサイクルのどの局面においてか、また、いかなる目的によるものであるかの境界について決定しておく必要がある。“カラーフェスティバル号”の場合、複数の用途(輸送、ショッピング、娯楽及びそれに関連した設備)に用いられているからである。トレーラーや車の場合では乗客や貨物の輸送のみが機能として考えられる。

船のシステムは、SFIグループシステムによりサブシステムとシステム要素とに分類される。

ディーゼルエンジン、ボイラー、プロペラ、船体材料及び保護部品等の機械的な構成物のみがサブシステム研究として実施されている。船のライフサイクルは、大きく4つの局面(設計、製造、使用、整備と廃棄)に定義されている。図1に全体のフローチャートを示す。インベントリ用の基本的なフレームワークは他の

サブシステムについても類似したものとなる。

データ品質やデータの欠落はしばしば問題となる。データ(原料から製品出荷までのデータ)は、コンピューターモデル、データベース、文献、聞き取り、調査報告、推測などから部分的には見つけることができる。建設及び維持や整備で排出する負荷データは、主にノルウェー造船所のクリーナープロダクション研究から収集され、また、燃料燃焼排気データはカラー海運会社とロイド保険者協会からのデータに基づいたものである。交通形体とその排気は、ライフサイクル全体を通して同じとし、全ての鉄の95%はリサイクルされると仮定した。

このLCAの結果は、最も重要な環境側面は船の使用段階では燃料の燃焼とその排出物、整備段階では清掃と再塗装、廃棄段階では非リサイクル素材と地域的な汚染であるということを示している。

このプロジェクトの結論として、LCAは船に関連した環境側面の分析にも適用ができると言える。しかし、それには莫大な時間を消費するため、方法論的には簡易化が必要である。システムからサブシステムへの移行は有効であり、機能単位の定義付けはシステムを相互比較する際に重要である。しかしながら、その結果はデータ品質の悪さやシステム境界の矛盾などによりしばしば不確実なものになってしまう。データベースを改善し、海上輸送に適用可能な評価技術が更に研究されなくてはならないであろう。

輸送の環境パフォーマンス-比較研究-

次のプロジェクトの目的は、異なる交通手段の環境評

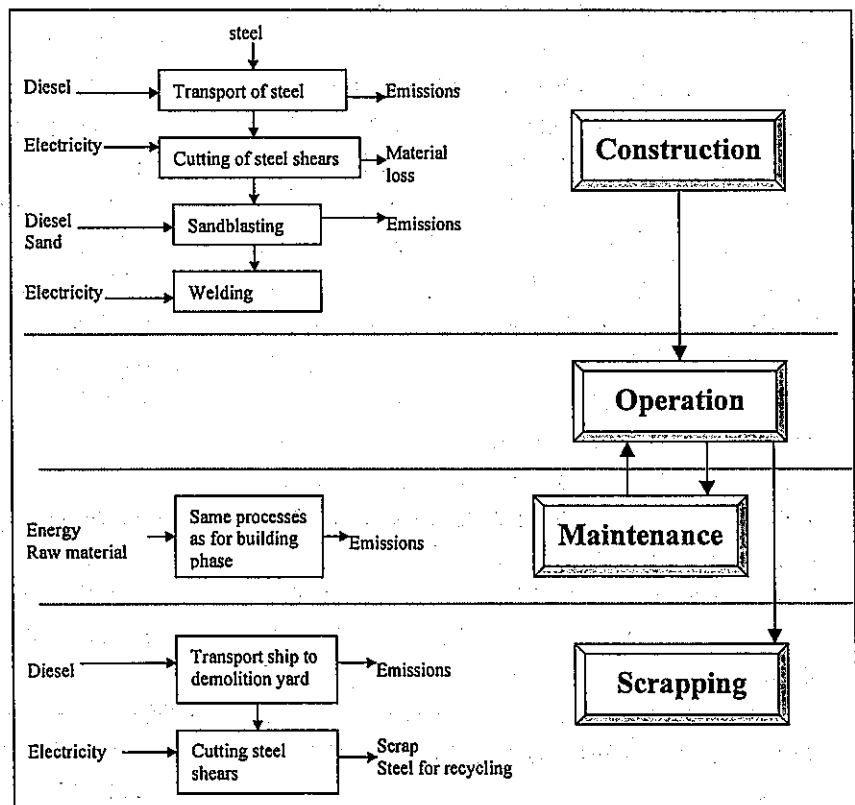


Fig 1: Flow chart for hull materials and work (4).

価値の比較と実施のためのモデルとガイドラインを作成することである。輸送は異なった配送システムの組み合わせによって定義付けられ、AからBへの輸送を可能にするサブシステムに関連付けられる。その際に輸送の環境パフォーマンス評価の方法は簡略化されることが要求される。また、共通の環境インパクトの分類と輸送の環境負荷のインフラ配分するための何らかの原則的な指標もまた併せて要求される。

環境影響カテゴリは、組織が異なることで微妙に異なった定義付けがなされる。環境影響カテゴリはOECD⁽⁸⁾、ISO⁽⁹⁾、LCANET⁽¹⁰⁾、UN⁽¹¹⁾及びNorwegian Government⁽¹²⁾によって提唱されているが、これらは大きく2つのグループに分かれている。環境と生態への影響と資源利用である。本研究における環境影響カテゴリは、主にOECDの指標に基づいている。そして、その環境影響カテゴリはノルウェー政府が政治的な問題として考えることによって定義付けられている。表1に環境影響カテゴリの考え方とそれぞれのカテゴリに作用する最も重要な物質について示す。

輸送の3つの事例研究：

- Case 1：モス - ハンブルク間の紙の輸送⁽¹³⁾
- Case 2：ボデ - スボルベル間の乗客の輸送⁽¹⁴⁾
- Case 3：アールスン - パリ間の冷凍魚の輸送⁽¹⁵⁾

輸送手段は小型航空機、貨物船、フェリー、トラック、高速船などで、これに加えて港、道路等のインフラも含まれている。

各輸送チェーンのデータ収集と記述の原理

1. 輸送チェーンの機能の記述
2. AB間における輸送チェーンとそれに付随する輸送システム(手段とインフラストラクチャー、経路、距離、時間及びシステム境界)の記述
3. 平均値な値に基づく使用詳細及び機械的負荷の詳細の決定
4. 各サブシステム、容量及び市場開発規模に対するパラメータの記述

輸送チェーンの機能単位は、AB間における輸送手段ごとの乗客の数又は輸送重量によって定義付けられる。インパクトカテゴリに作用する物質の量は、定式によって計算される。⁽⁶⁾⁽¹⁶⁾船の廃棄要素はロイド保険者協会⁽¹⁷⁾に基づいており、トラックの廃棄要素はノルウェーの統計データに基づいている。距離計算、燃料消費、時間デ

Table 1: The inventory results, the characterised and normalised values per ton frozen

Impact category	Substances	Chain A	Chain B	Charact.	Contrib	Normalisation
Climate change	CO ₂	84 kg	138 kg	1		
	N ₂ O	0,24 g	0,71 g	320		
	CH ₄	1,5 g	4,4 g	25	EP(j)	55 598 000 000
Acidification	SO ₂	938 g	867 g	1,00		
	NO _x	1286 g	1802 g	0,70		
	NH ₃	0,022 g	0,064 g	1,88	EP(j)	237 448 000
Toxic contamination	Pb (to air)	(no data)	(no data)	160		
	TBT	0,10 g	0,034 g	250		
	Cu	(no data)	(no data)	2	EP(j)	8 453 000
Local air pollution	particles	24 g	70 g	1		344 700 000
Photo oxidant form.	NMVOOC	36,6 g	106 g	1		24 800 000
Noise	Area >55dBA	10,4 m ²	94 m ²	1		36 146 088 884
Eutrophication	NH ₃	0,022 g	0,064 g	3,64		
	NO _x	1286 g	1802 g	1,35	EP(j)	671 081 500
Energy consump.	MJ	930 MJ	1812 MJ	1		813 PJ
Land use	Area (m ²)	0,23 m ²	0,66 m ²	1		485 719 000

ータ、キャパシティー等は実測値や聞き取りに基づく値であり、トリブチルすず(TBT)の排出量はIMO⁽¹⁸⁾に基づくものである。フェリー(多目的船)の廃棄物は、そのフェリーに積載されたトラック1台当たり分割した値と船の搭載量の中に占めるトラックの割合の増加量によって配分される。

ケーススタディの結果：冷凍魚の輸送

ケース3は2種類の輸送を評価した。チェーンAは船でアールスン港からアイモイデン港まで、そしてパリまでトラック、チェーンBはトラックでアールスン港からオスロ港まで、キール港までフェリーで、そしてパリまでトラックである。図2を見よ。チェーンAは主に水上(海上の距離は80%)、チェーンBは主に道路輸送(陸上75%)、1艘の船の負荷(約500 tの魚)は20台のトラックと同等である。

インベントリの物質はインパクトカテゴリに分類され、各インパクトカテゴリの全環境インパクトEPは各物質Qにその特性値EFを乗じた値の合計である。

$$EP(j) = \sum(Q_i \cdot EF(j)_i) \quad (2)$$

インベントリの結果は式2で特性化された。表1を見よ。簡易化として異なるインパクトカテゴリはノルウェーの全排出又は消費に対して正規化される。図3はチェーンA及びBのインベントリの特性化及び正規化された結果を示す。毒物の環境汚染(TBT)を除いて各インパクトカテゴリの中でチェーンAはBよりもインパクトは小さいことを示している。6つの異なる手法により統合化を行った。

Eco-indicator 99⁽¹⁹⁾

EPS⁽²⁰⁾

ExternE

政策的目標⁽²¹⁾

パネル手法

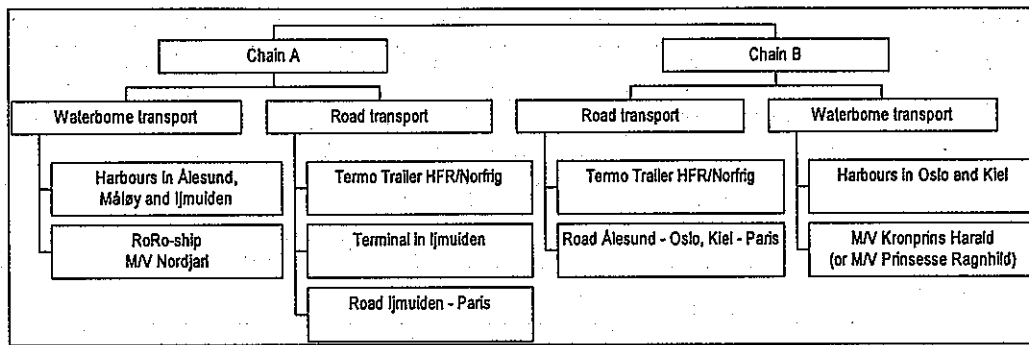


Fig 2: The transport chains A and B.

環境持続的輸送(EST)に関する OECD の推奨⁽²²⁾

Eco-indicator 99 はダメージ関数手法に基づき、EPS と ExternE は金銭手法であるが、EPS は広範囲の指標を使う。ExternE だけは CO₂、NO_x 及び粒子の排出に焦点を当てている。政策目標による統合化は distance-to-target に基づき、その目標はノルウェーの環境改善のための政策目標である。⁽¹²⁾ パネル法による統合化では専門家パネルが選択されたインパクトカテゴリに重み付けをする。政策目標による統合化とパネル法による統合化は表 1 の特性化及び正規化の数値に基づいている。Eco-indicator 99、EPS 及び ExternE はそれぞれの方法の特性化値及び重み付け因子に基づいている。OECD-EST による統合化は distance-to-target 法でもあり、ここでは CO₂、NO_x、揮発性有機物質、騒音、土地利用/土地変化の 1990 年レベルに比例した削減目標が使われている。

図 4 に政策目標による統合化の結果を示す。図 5 は OECD-EST 推奨による結果を示す。これらの図をみると、チェーン A は B より環境パフォーマンスがよい。他の統合化手法も同様の結果である。これはチェーン A の環境パフォーマンスは毒物汚染(TBT)を除いた全インパクトカテゴリに対してよいということであるから、驚くことはない。表 1 及び図 3 を見よ。

しかしながら、環境負荷に最も影響しているカテゴリ

はそれぞれの方法で酸性化(SO₂、NO_x)は政策目標、EST 及び ExternE による統合化において最も重要なカテゴリである。気候変動はパネル法によって統合化が行われたとき最も重要なカテゴリである。いっぽう、燃料消費は EPS で最も重要なカテゴリである。Eco-indicator 99 で使われているインパクトカテゴリは他の方法とは異なっていて、直接の比較はむずかしい。

プロジェクトからの結論

このプロジェクトでは輸送チェーンの環境パフォーマンスの比較方法のモデルを示してきた。ケース 1⁽¹³⁾とケース 2⁽¹⁴⁾の結果はケース 3 ほど明白に説明(解釈)できない。それはケース 1 とケース 2 における輸送チェーン(航空機、高速船、トラック、船、車)はどれも全インパクトカテゴリに対して最良の環境パフォーマンスを示してはいないからである。インパクトカテゴリとして毒性汚染(TBT、Pb、霜取り液など)はローカルなインパクトが評価モデルに入っていないものもあるため評価がむずかしい。土地利用や騒音暴露の影響は評価された。図 4 及び図 5 から土地利用は全環境負荷に対しては小さいことが分かったが、人口密集地を通るルートであるチェーン B はかなりの騒音は重要なインパクトであるとして無視されるべきでない。このプロジェクトから結論されること

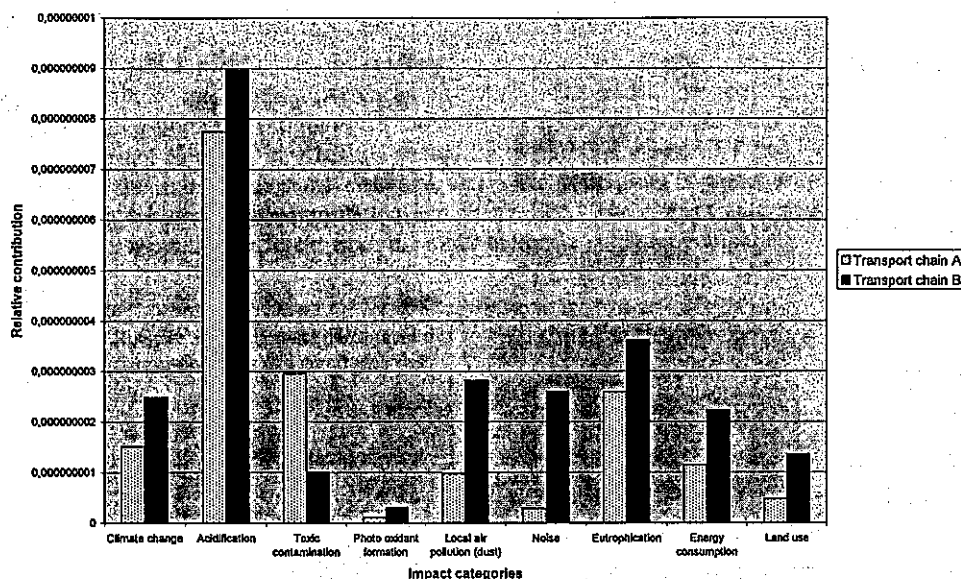


Fig 3: Normalised inventory results for fish transport.

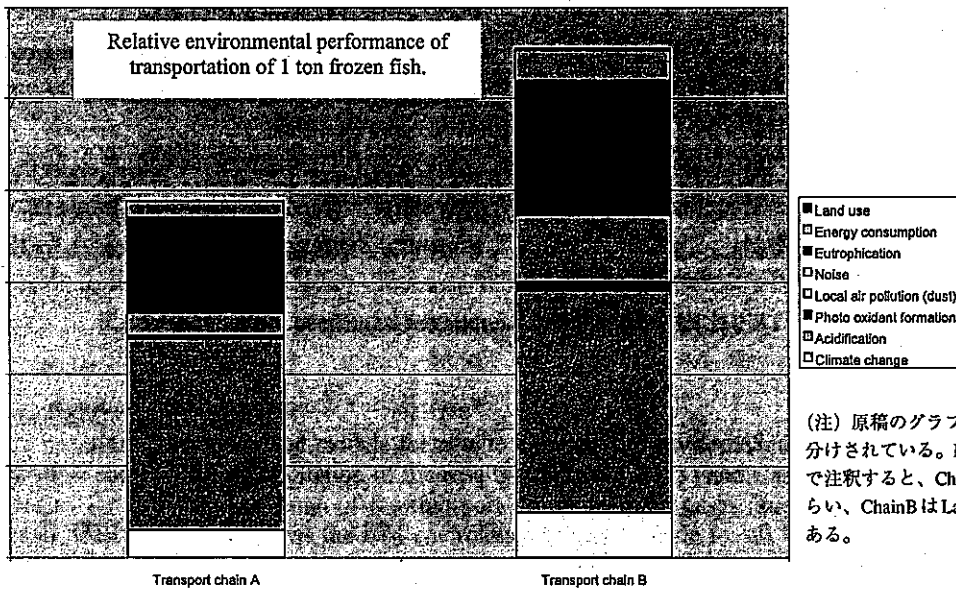


Fig 4: Valuation according to political goals.

は、単純な重み付け法が推薦されるということである。例えば、OECD-ESTプロジェクトで推薦されている6つの指標である。図5を見よ。

環境パフォーマンス指標(EPIs)及び環境効率指標

適正な環境効率指標(Eco-efficiency indicator)を見つけるため、輸送業界において創造価値(value creation)の関連手段を見つけることは必要なことである。

Eco-efficiency indicator

$$= \text{value creation} / \text{EPI} \quad (3)$$

ここで、環境パフォーマンス指標はOECD-EST指標；CO₂、NO_x、揮発性有機物質、騒音、粒子状物質及び土地使用である。例えば、冷凍魚輸送では、
環境効率指標 = 1トンの冷凍魚の輸送価格 / 1トンの魚当たりのCO₂排出量(トン) (4)

しかしながら、冷凍魚(又は他の品物)の輸送により創造される価値を決定することは簡単ではない。これは更

に研究を深めなくてはならないところである。同様にシステムバウンダリの選択、配分方法は結果に及ぼす重要なものである。ゆえに、よく考え、これからの研究で評価されなければならない。輸送セクターにはまだライフサイクル思考に基づいた、広く受け容れられる環境効率指標がまだない。更なるケーススタディあるいは例証が実施されるべきである。

結論と将来への挑戦

OECDのは環境「赤信号」のなかではエネルギー使用と輸送を指摘している。そのうち重要なものは地球温暖化ガス放出と大気汚染である。OECD加盟国における自動車の使用は2020年までに40%まで増加、航空機の乗客は3倍、エネルギー使用は35%まで増加すると予想されている。この見通しは主な環境関連の政策を提言しているといえる。燃料の炭素含有量によるエネルギー税や全化学物質使用税を適用することによって予想される結果

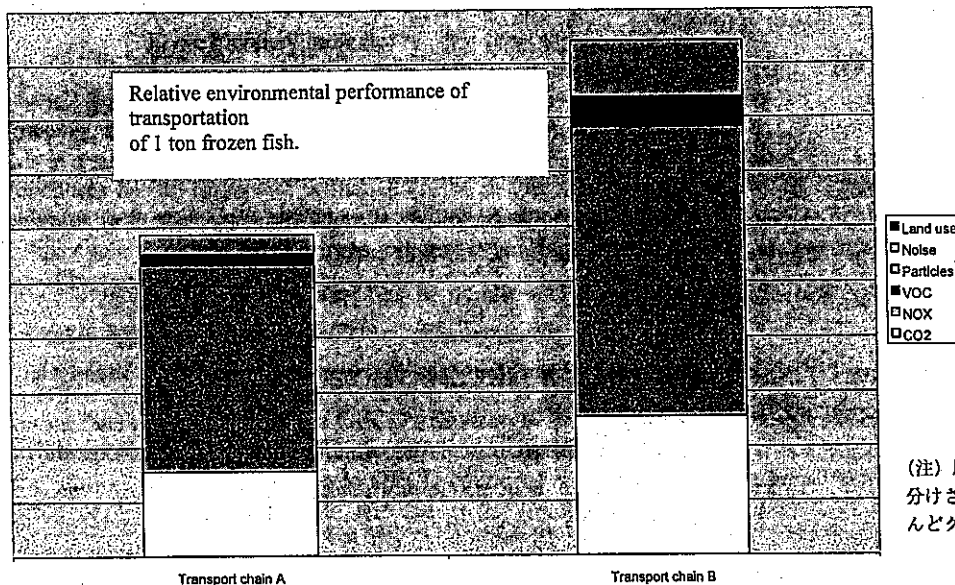


Fig 5: Valuation according to recommendations in the OECD-EST project.

は、現状に対し2020年にCO₂15%減、SO_x9%減、CH₄3%減である。

WBCSD(3)は環境効率指標と環境効率の体系化された測定の開発に焦点を置いている。目的は広く使え、広く受け容れられ、容易に解釈できる一般的自主的なフレームワークを確立することである。この概念は指標の2つのカテゴリをはっきりさせる。すなわち、共通に使える一般的な主要指標と企業に特定の補助的指標である。GRIは比較性と証明性確保のために財務報告と同様のルーチン化され信用あるサステナブル報告を作ることを目指している。

これは海運業としても企業に特定の指標が開発されなければならないことを意味している。そのような指標は輸送セクターにおける指標と合っていないといけない。そのための1つの方法はここで示したようにLCA評価技術の手段である。

このプロジェクトの結果はLCAによってEPIはライフサイクルの各フェーズに対して開発できることを示している。しかしながらEPIの値は一定しないことがよくある。それはシステムバウンダリの決定原則、データの質の貧弱さと、輸送チェーンの基本的プロセスの考え方がインベントリ結果に影響を及ぼすからである。このプロジェクトから評価方法によって輸送チェーンの環境パフォーマンスがわずかに異なった結果になることが示された。

しかしながら、他のセクターと同様、輸送セクターにおけるレポートング(環境、環境効率及びサステナビリティ)に要求が高まることによって、EPI、環境効率指標、持続性指標が開発されなくてはならなくなる。システムの描き方と評価技術の共通のルールは輸送チェーンのパフォーマンスが確実に比較され数量化されるようにならなくてはならない。(和訳 M.Y., M.M)

REFERENCES:

- 1.GRI, "Sustainable Reporting Guidelines on Economic, Environmental, and Social Performance", June 2000, see HYPERLINK "<http://www.globalreporting.org>" www.globalreporting.org
- 2.OECD, "Policies to enhance sustainable development", OECD 2001.
- 3.WBCSD, "Measuring eco-efficiency, a guide to reporting company performance", Verfaillie, H.A., Bidwell, R., June 2000.
- 4.Johnsen, T., Fet, A. M.: "Screening Life Cycle Assessment of M/V Color Festival", Report no. 10/B101/R-98/009/00, 1998.
- 5.Fet, A. M. (NTNU), Sorgard, E. (DNV): "Life Cycle Evaluation of Ship Transportation Development of Methodology and Testing". Report no. 10/B101/R-98/008/00, Aalesund University College, 1998.

- 6.Fet, A. M., Michelsen, O., Johnsen, T., Sorgard, E., "Environmental performance of transport comparative study." Norwegian University of Science and Technology IOT, NTNU, Norway, 2000.
- 7.Fet, A. M. og Oltedal, G. "Cleaner production at shipyards main report", Report nr 9418, More Research, 1994.
- 8.OECD: "OECD Core Set of Indicators for Environmental Performance Reviews", Environmental Monographs N(83. OECD/GD893)179 (1993).
- 9.ISO 14042: "Environmental management Life Cycle Assessment Life Cycle Impact Assessment", International Organization for Standardization (2000).
- 10.Finnveden, G. and Lindfors, L.G., "LCANET Theme Report. Life Cycle Impact Assessment and Interpretation", <http://www.leidenuniv.nl/interfac/cml/lcanet/fttheme3.htm> (February 1997).
- 11.WRI, UNEP, UNDP and The World Bank, "World Resources 1998-1999. A Guide to the Global Environment", Oxford University Press (1998).
- 12.Norwegian Ministry of the Environment: "Regjeringens miljøvernpolitikk og rikets miljøtilstand" (Norwegian White paper on Environmental Policies) St.m. nr.8-1999.
- 13.Johnsen, T., "Environmental comparison of alternative transport chains for paper. A case study". Det Norske Veritas, Technical Report No. 2000-3295, Rev. 0, 2000.
- 14.Johnsen, T., "Environmental comparison of alternative transport chains for passengers. A case study". Det Norske Veritas, Technical Report No. 2000-3296, Rev. 0, 2000.
- 15.Karlsen, H., "Environmental comparison of alternative transport chains for frozen fish. A case study". Aalesund University College, Technical Report No. 2000-003, Rev. 0, 2000.
- 16.Fet, A. M. (NTNU), Michelsen, O., (NTNU), Karlsen, H. (AaC) "Environmental Performance of Transportation - a Comparative Study", ENSUS2000, University of Newcastle, UK, Sept.2000.
- 17.Lloyd's Reg. of Shipping: "Marine exhaust gas emissions research programme: Steady state operation", London 1990.
- 18.IMO, "Measures to control potential adverse impacts associated with the use of tributyltin compounds in antifouling paints", MEPC. 46 (30), 1990.
- 19.Goedkoop, M. and Spriensma, R. "The Eco-indicator 99: A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment (Preliminary Internet version)", PRe Consultants (October 1999).
- 20.Steen, B. "A systematic approach to environmental priority strategies in product development (EPS). Version 2000 Models and data of the default method", CPM report 1999:5. Chalmers (1999).
- 21.ExternE, "Externalities of Energy What is the ExternE

Methodology” (1997).

22. Wiederkehr, P. “Environmentally Sustainable Transport International perspectives. OECD’s EST Project” ENV/EPOC/PPC/T(99)3/FINAL/REV1 (1999).

〔執筆者紹介〕 Annik Magerholm Fet 女史はノルウェー工科大学産業経済技術管理学部環境マネジメント学科教授で、1997年「船産業におけるシステムエンジニアリング及びLCA」で博士号取得。なお、専門は物理学である。

環境保全型農業システムの設計とLCA

東北大学大学院

農学研究科資源環境経済学専攻

助手 大村 道明

本稿では先ず(1)環境保全型農業とはどのような農業かについて述べ、次に(2)その設計に際してLCAを利用する試みについて、最後に(3)農業分野において、LCAをはじめとする環境影響評価に求められる課題について述べる。

(1) 環境保全型農業とはどのような農業か？

一般的に認識されている環境保全型農業と、LCA的な観点によるそれには若干の相違がある。前者は、畜産糞尿や生ゴミの類を堆肥化利用し、化学肥料や農薬の使用量を削減する、又は全く使用しない農業を指す場合が多い。堆肥化とは、畜産糞尿に籾殻や稲わら等を混ぜて水分調整し、発酵させるもので、完全に発酵が終わった「完熟堆肥」には臭気は無い。土壌に還元すると農耕に適した軟らかい土壌となり、農産物の食味が向上するとされている。一方、後者では、畜産糞尿や生ゴミの輸送や堆肥化、堆肥の輸送や土壌への還元(農地にすき込む作業等)、化学肥料や農薬の削減に付随するマテリアルフローを勘案する。その結果、一般的な環境保全型農業は、LCA的観点では必ずしも環境保全型とは呼べない場合もある。

これは評価軸の取り方の問題である。地球温暖化への影響度を評価軸にとれば、堆肥化プロセスの導入によって、従来の処理方法と比較して石油などのストックエネルギーやプラスチック類の使用量が増加した場合は、当然堆肥化導入の評価結果は悪くなる。堆肥化プラントの多くは、原料や発酵過程で発生する臭気対策のために人家から離れた場所に建設され、堆肥化コスト削減のために大規模化・集中化(1地域に大規模プラントが1つというように)される傾向がある。よって、畜産農家からプラントまでの輸送距離も伸び、一般家庭の生ゴミまでターゲットとする場合は回収後の輸送距離も伸びる。また、堆肥は化学肥料に比べ容積が大きく、ハンドリングが悪い。単純に化学肥料と堆肥を比較することは、その

効果が異なるため困難であるが、実際に堆肥による「土づくり」で健全な農作物を育成し、化学肥料や農薬の使用量を減少させるために用いられていることから代替効果があると仮定しても、容積の大きさ・ハンドリングの悪さからくるエネルギー使用量の増加分は無視することのできない大きさである。しかし、最終処分場の残存容量で評価する場合、産業廃棄物の20%弱を占める農業由来の廃棄物(うちほとんどが畜産糞尿とされる)の有効利用である堆肥化は良い評価結果を得るだろう。一般的には、この「良い評価結果」のほうが過大評価されている感がある。消費者は化学肥料や農薬を使用しないことを高く評価する。また、畜産農家近傍の住民も、堆肥化により糞尿の山から漂う臭気から開放されれば評価が上がるだろう。一方、「地球温暖化」などは観念的には理解していても、実際には「ピンと来ない」評価軸である。これは、筆者が学会や研究会、農業や行政の現場で農業に関するLCAのプレゼンテーションを行った結果、農業関連の研究者、また農家からも指摘された点である。

とはいえ、農業の評価に最も適した評価軸には、「これだ」というものが未だに見つからない。以下では、現在までの評価軸と筆者のこれまでの研究による、LCAの観点から環境保全型農業システムとはどのようなものかについて具体的に述べる。キーワードは「資源循環」である。よくあるキーワードではあるが、農業では2つの異なるタイプが考え得る。本稿では、1農家とその営農の地理的・物理的範囲内に資源循環を含み、単独で環境保全型農業を行うタイプを「単独型」と呼び、資源循環の環の中に、数種の異なる農業を行う複数の農家を含み、農業に関連する産業や一般家庭までを含む環境保全型農業を「クラスター型」と呼ぶことにする。

「単独型」のイメージは、いわゆる伝統的な農業である。つまり、肥料はごく少数の家畜の糞尿を堆肥化利用し、田畑から得られた農産物は自家消費の余剰分を販売する、自給自足的な農業とも言える。この形態では、堆肥や農産物など農業に関連する物質の出入り・移動距離が最も少なく抑えられるため、LCA的に見れば最も環境負荷が小さくなる。このイメージに最も近い農業と考えられるのは、北海道の根釧地方に散見される「低投入型酪農」である。これは、簡単に言えば牧草地1haにつき牛1頭を飼育するというもので、50頭を飼育するためには50haの牧草地が必要であるということになる。酪農は牛乳を販売して生計を立てるので、ある程度の規模は必要であり、50haなどという規模は本州では考えがたいが、ここでは根室にある経営面積約50haのM牧場の事例を紹介する。牛の飼育頭数は40頭。1頭当たりの牛乳生産量は年間約5000kg。これは同地域の平均的酪農家からするとかなり少ない。同じ面積でも100頭・8000kg以上の農家が多い。この農家では牛の糞尿は堆肥化して牧草地に散布する。牛の飼料・敷き量のほとんどは自分の牧草地でまかなう。これも同地域では特異な事例である。ほ

とんどの農家は、牛乳価格の低迷に対抗するため牛の飼育頭数を増やしたので、飼料・敷き量は自給できない。不足分は主にアメリカ等からの飼料用穀物として輸入する。稲わらを主体とする敷き量は中国や台湾から輸入するが、これが原因と推測されている口蹄疫の発生は記憶に新しい。M牧場の牧場主の言葉を借りれば、同牧場は「太陽エネルギーを作物に（効率よく）換えるシステム」である。つまり、牧草が光合成で蓄えた太陽エネルギーを牛が牛乳と糞尿に変換し、農家を養いつつ牧草の再生産を行うという持続的な「資源循環」による農業が成り立っているということだ。

牧草地1haにつき牛1頭以上になった場合、輸入した養分（糞尿）が牧草地に蓄積、あるいは河川に流出し、様々な問題を引き起こすとされる。

現に、北海道の根室地域では人口約2万3千に対し牛頭数は約2万5千と言われ、牛の糞尿処理は限界状態である。ではなぜ多くの畜産農家がM牧場のような農業ができないのか。大きな理由はM牧場のようなスタイルでは農家の経営が成り立たないことである。M牧場では、牧場を境界とする場合に外界から移入する物（購入する物）を最小化する様々な工夫によって、少量の牛乳販売でも生計を成り立たせている。その方法は、「北海道の、私の牧場に最も適した方法」を30年かけて模索した結果とのことで例外的であるが、「単独型」環境保全型農業一般に農家の経営が難しいということは言えるだろう。もともと工業に比べて低い経済生産性の農業を営む農家に対して、「環境に優しいのだから経済的に苦しいのは我慢なさい」という訳には行かない。また、LCA研究者は「環境保全型を売り物にブランド化など独自の経営展開をしてはどうか」というアドバイスもできない。単独農家がブランド化で農産物を販売する場合、多くの消費者は都市在住者であり、少量の生産物を個別に宅配便輸送することが多く、通常の農産物流通に比べて単位農産物当たりのエネルギー消費量が多くなる可能性があるからだ。

では「クラスター型」とはどのようなものか。根室地域では、糞尿を還元可能な土地面積に対する牛の頭数は計算上限界ではない。しかし、実際には様々な家畜糞尿に起因する問題が生じつつある。これは、伝統的には存在していた酪農家と畑作農家の間の糞尿・飼料の物質交換（物質循環）が現在様々な理由で分断され、酪農家は糞尿を単独で処理せねばならない状態に置かれているためである。酪農家は経営上の理由で頭数を減らせない状態である訳だが、畑作農家との物質循環の環が断たれているため、計算上の限界まで実際に到達することは困難である。よって、現状には無い新たな技術・設備の導入により、異種農業・異業種間でのマテリアルフローを活性化させ、現状に近い農業形態のまま環境負荷だけを減らすことができないかという発想に基づく環境保全型農業システムが「クラスター型」である。つまり、「単独型」

とは逆に、個別の農家間のマテリアルフローを何らかの方法で活性化させるというものだ。イメージ的には、ビール会社等でみられる「ゼロ・エミッション構想」に近い。内容は、例えば畜産農家は消費者に肉や牛乳などを供給し、耕種農家には堆肥原料として糞尿を供給する。耕種農家は消費者に農産物を供給し、畜産農家には飼料や敷き量を供給する。また、消費者は食べ残しを畜産農家の飼料や耕種農家の堆肥原料として供給するというものである。この場合の新たな技術・設備は堆肥化施設である。

国内では、具体化された事例は少ないが、類似の構想自体は数多く存在する。しかし、具体化された事例の多くは、数戸の農家と直営レストランと堆肥化施設でワンセットである場合、給食施設と堆肥化施設のワンセットである場合など、クラスターとは呼び難いごく小さい規模である。また、数個の畜産農家が、近傍で発生する廃棄物を堆肥の副原料として引き受ける事例も数多く存在するが、多くの事例で堆肥は生産過剰である。これは、最も大きな原因として、耕種農家が堆肥を利用するインセンティブが低いこと、消費者の嗜好が必ずしも「環境保全型農業生産物」ではなく、価格条件に左右されやすいことが挙げられる。このため、堆肥と農産物の循環フローは非常にもろく途切れ易い。しかし、これらの問題点をブレイクスルーできれば、最も実現可能性の高い環境保全型農業の姿であると考えられる。

(2) LCAで環境保全型農業を設計する試み

このように単独型にせよクラスター型にせよ、環境保全型農業の前途は多難であるが、以下ではLCAで環境保全型農業を設計する試みについて述べる。

昨年秋に開催された第4回エコバランス国際会議では、農業・食品関係の研究報告が数多く見られた。前回第3回の会議では直接農業関係のものは数件であったと記憶している。農業に関するLCA研究は活発化しているが、国内では緒についたばかりでもある。現在はとりあえず多くの事例を積み重ね、研究基盤を固めつつあるといった状況である。

工業製品に対するLCAのように明確に境界条件を設定し、単独の工程のマテリアルフローを正確に把握するようなLCAの事例も農業分野では未だ不足であり、今後の研究蓄積が待たれる。また、これまでは前述の「単独型」環境保全型農業をターゲットとしたLCA研究事例が多かった。しかし、このようなLCAは、農業の環境影響を評価する上では不向きな場合もある。それは畜産農家が糞尿を排出する、堆肥化プラントが堆肥を製造する、耕種農家が堆肥を利用するといった一連のマテリアルフローを、それぞれ畜産農家・堆肥化プラント・耕種農家と分割評価しては、農業全体としての環境影響をうまく表現できないと考えられるからである。農林水産業が、他の産業と決定的に異なる点は、環境便益（環境負荷の逆）を創出できる産業であるという点である。環

環境便益とは、この場合具体的には、光合成による二酸化炭素の固定、農地を利用した廃棄物処理である。現在の日本農業が、前述の「単独型」M牧場も含めて、既にその農家の範囲内で固定している二酸化炭素よりも多くのそれをトラクター等の動力や電力等で排出しているとしても、これらの便益は他産業では創出し得ないものである。これらの便益は、農（林水）産業全体で複合的に創出しているものであり、ある特定の農業のみが創出するものではない。いわば「クラスター型」の環境保全型農業をターゲットとするLCA適用が求められる。したがって、農業の環境影響を評価するためには、LCA評価の境界をなるべく拡大し、他産業へのサービス（環境便益）を勘案することが正当な評価ではないかと考える。

この考えに基づいて筆者らの研究グループが提唱するのが「地域拡大LCA」である。これは、LCA評価の境界を実在の農業地域とし、地域内の構成要素それぞれについてマテリアルフローを調査する。機能単位は各要素ごとに設定し、ライフサイクルを1年あるいは農林業の1周期に合わせる。各要素のLCA結果を並べると、その地域の環境負荷に関する現状把握が可能であり、要素個別で評価結果を見る場合には農業の有無による環境負荷の増減をみることができる。この方法は現在未だ研究途上であり問題点もあるが、将来的には、LCAの評価結果を用いて地域における環境負荷削減目標・方策の具体的な検討を行う、政策決定支援ツールとして発展させたい。

(3) 農業分野において環境影響評価に求められるもの

日本を除くほとんどの先進国では、食料自給率が100%を超え、経済性が悪く、多額の政策的な補助金を必要とする農業は、いわば厄介物扱いされている。ヨーロッパでは、「伝統的な農業がもたらす環境便益」に対して、早くから直接所得保証を行ってきた。日本でも昨年からは行われているが、それまで行われていた農業生産物に対する政府の価格支持と異なり、農業生産を刺激しない農業補助政策である。農家は、環境保全、例え農産物を作らない農業であっても、その「環境保全型農業」に対して政府から直接所得を得る。これまでの農業環境影響評価は、このような農業補助に対する根拠づくりの側面も持っていた。

我が国の食料自給率は40%を割り込み、我々の食料や家畜の飼料も輸入に頼っている。一方、主食である米は生産過剰であり、宮城県では今年、米の豊作を背景に青刈り（収穫前の水稻の刈り取り）が実施された。多くの非都市地域では依然として農業が主力産業であるにもかかわらず、特に条件が不利な山間部において農業の衰退は加速化している。このような状況下で農業分野においてLCAのような環境影響評価に求められる要件は、補助金獲得のための根拠作りではない。環境保全型農業の中で、1つの農業のプロセスは、他の農業等のプロセスと密接な関係を持っており、様々なバリエーションが考

え得る。農法や作目の選択、導入する技術や設備等の選択の判断材料の1つとしてLCAが採用されるためには、そのLCA評価がいかにかLCAの手法的なルールを満たしているかというよりも、判断を行う主体である農家や行政担当者に直感的に理解できることが望ましい。求められているものは、「持続可能な社会」の中で、「環境保全型農業」その便益を効率的に発揮するための社会システムをデザインする「ツール」としての機能であると考えられる。そのためのLCAは、理解し易く信頼性の高いものであれば、従来の手法論にとらわれる必要はないのではないだろうか。

地域農業と農村地域へのLCA的思考の適用

茨城大学農学部地域環境科学科
助教授 小林 久

1.はじめに

農林業は自然の物質循環の中にその生産力の基礎をおいている。しかしながら、農林業は選択・改良された作物、家畜や樹木の利用を基本として、自然環境からの資源獲得を大きくする方向に発展してきた生産体系であり、選択・改良された農林作物は収穫までに、耕起、播種、育苗、移植、施肥、除草、防虫、水管理などの諸作業を通して何らかの資源（ことにエネルギー）投入を必要とする。例えば、生産性が高いといわれる農業の1つとして日本の米作を例にとると、図1に示すように米1kgの生産に光熱動力として約4MJの直接エネルギー投入が、施設整備、農機具生産、農業・肥料製造までを含めたライフサイクルにわたるエネルギー投入を含めると14MJ弱が投入されている。米のエネルギー含有量（熱量）が約15MJ（3,500kcal）/kgであるから、日本における米作は生産するエネルギーの約0.9倍のエネルギー消費を必要とする生産システムといえる。

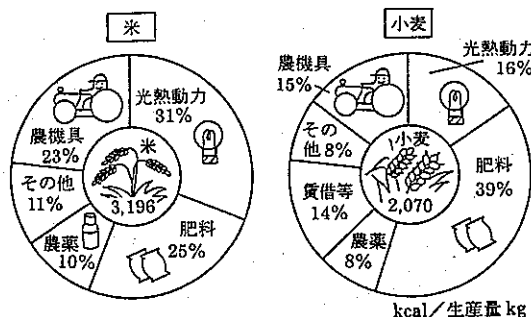


図1 米と小麦の生産投入エネルギー量と構成比

(出典：資源協会、「家庭生活のライフサイクルエネルギー」、あんぼるめ、p395、1994)

このような観点からの農業生産に関するLCA的な研究としては、最大収量となる肥料投入量と最も効率のよいエネルギー投入/産出比となるそれが一致しないことを指摘したPimmentelら（1973）のエネルギー分析が有

名である(図2)。また、エネルギー消費量とCO₂発生量の相関性に基づく地球温暖化対策への適用研究も、このようなエネルギー分析を起点として試みられている。しかし、農村地域のあり方を資源利用、環境問題との関係から総合的に検討するためには、こうした農業生産のエネルギー分析をも包含するLCA的思考の導入が不可欠であるように思える。ここでは、このLCA的思考の必要性・役割及び地域農業を例とした予察的な試みについて報告する。

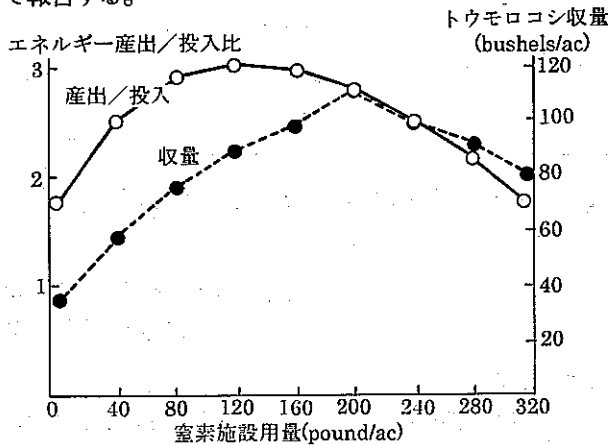


図2 トウモロコシの収量とエネルギー産出/投入比に及ぼす窒素施用量の影響

(出典: Pimentel, D. et al., 'Food Production and the Energy Crisis', Science 182, pp443-449, 1973)

2. 農業生産・農村とLCA

農林業は発展とともに面積当りの生産性(土地生産性)や時間当りの生産性(労働生産性)を増加させる傾向がある。このため一般的に発展すればするほど機械化・化学化が進み、単位面積当りのエネルギー投入は増加することになる。したがって農業生産の発展は、我が国における農業の近代化に例を見るように、石油をはじめとする非再生資源の投入へ、更にこれら地域外部の資源への過剰依存と循環的な地域資源の断片的な利用・非利用へと進むことになる。

こうした変容は、地域外から大量に流入する肥料、飼

料、燃料などの消費に伴う廃棄物の増加と利用されることなくなった地域資源の廃物化を出現させることになる。過剰な負荷流出などの農村地域における環境問題には、このような廃棄物・廃物化に原因しているものも少なくない。これは、環境負荷物質の処理体系の整備とともに、地域外から持ち込まれる物質の量を抑制すること、地域内から発生する廃物をできるだけ地域内に環流する物質循環を構築することなどが、農村地域における環境問題の解決方策として取り上げられるべきであることを示している。

ところで、このような環境問題の解決方策はどのように選択されるべきであろうか。その妥当性はどのように判断されるべきであろうか。地域外から持ち込まれる物質の抑制、物質循環型農業の構築などの環境対策の効果はどのように評価したらよいのだろうか。また、生産性の向上を指向する宿命にある農林業とそれを生業とする農村において、効率的な資源利用のあり方はどのように検討されるべきであろうか。その答えの1つとして、人間の諸活動による環境への負荷を総合的に評価し、その低減を目指すというLCA手法の適用が考えられる。

LCAの手法は特定の工業製品だけでなく、素材・製品・生産物が複合する施設や資本財、更に生産の配水範囲を対象として、農業生産のライフサイクルにわたるエネルギー消費と炭素収支を試算した結果である。分析対象地は、霞ヶ浦に流入する河川流域の約45km²で、総面積の約50%を占める2,130haの農地において水田、畑作物、果樹の多様な作物生産と畜産が展開されている農村地域である。なお、試算は、農村地域の炭素収支を試論的に考察することを目的として、表2のような算定手法・条件設定なシステムあるいは地域における活動に対しても、概念的には適用可能と言える。また、この手法は仮に未知量が存在する場合でも、産業部門別のエネルギー負荷のように資源投入を産業連関分析等から推定できるという利点がある。したがって、適切な対象項目・物質の選定が行え、対象範囲のインベントリが作成できれば、

表1 エネルギー消費と炭素収支の試算結果

内訳	肥料・消費(GJ/年)		炭素放出・消費 (t-C/年)				炭素吸収・生産・利用 (t-C/年)					
	製造・生産	使用	製造・生産	使用	流入	循環	吸収・生産	資源化	循環	未利用	分解*1	
作物生産	養分投入	12,887		235								
	化学肥料	6,310		118		1,357	897					
	かんがい		3,961		114							
	農作業・施設 農産物(含飼料) 農副産物	33,402			684		自給飼料	4,051	853			
小計	19,197	37,363		1,151	1,357	897	6,671	675	853	1,945		
動物生産	購入飼料	41,705		914		1,002						
	自給飼料						853					
	施設・処理		1,784		36							
	畜産物 ふん尿(コブ* ず)		943		18			172		*2		
小計	41,705	2,727		968	1,002	853	1,372	1,116	965	84	826	
合計	60,902	40,090	1,267	852	2,359	1,750	8,043	1,791	1,818	2,029	826	
			100,992		2,119	4,109		未利用・分解を除く		5,188		2,855

*1 分解には農副産物の炭素も含まれる。

*2 このうち68.0t-C/年は域外流通。

農村地域のあり方や地域農業における環境問題の解決方策を資源・エネルギー利用の効率や物質循環の視点から、量的に比較・評価できる可能性があると考えられる。

3. 地域農業におけるLCAの試み

表1はこのような考え方から、同一用水システムなどに基づいて、既存データ、調査データ、統計データ等を組み合わせて行ったものであり、年単位の定常的な物質フローに関連する直接消費とその消耗品の生産・供給プロセスに限定された分析範囲のものである。したがって、耐久財や生産・輸送等の設備・機器等の資本財に関わる部分は、本分析の検討対象から除かれている。

表1の試算結果によれば、2,130haの農地における作物生産に56.6TJ/年(26.6GJ/ha・年)、牛約1,900頭と豚約2,600頭の飼養に44.4TJ/年のライフサイクル・エネルギーが投入されていることになる。

作物生産では、農作業・施設と養分投入に関わるエネルギー消費が大きい。これは両者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示している。動物生産では、購入飼料のエネルギー消費が他の項目を圧倒している。これは自給飼料の増加が動物生産のエネルギー消費の効率化に大きく寄与することを示している。

なお、求められた作物生産におけるha当りエネルギー消費量は、いくつかの村全体を対象とした袴田(「農村地域における肥料・施肥とエネルギー」、土肥誌64-2、1993)の試算値の1/2程度である。これは袴田の採用した化学肥料の間接エネルギー消費が本試算よりも大きな値であること、本試算に農業機械の製造等の間接エネルギー消費が含まれないことによるものである。

炭素収支に関しては、作物生産で1,151t/年(540kg/ha・年)、動物生産で968t/年の計2,119t/年の肥料製造・飼料生産・流通及び農作業施設・農業生産に伴う炭素収支(分解を除く)は肥料・飼料の製造・生産

まで遡らない場合には227t/年の炭素吸収となるが、これらを含むライフサイクルの炭素収支は1,040t/年の放出となる。ただし、農副産物を主とする未利用炭素量が2,029t/年と見積もられ、この部分の循環利用により流入炭素の一部を代替することができれば、対象地の農業生産は総体として炭素吸収源になる可能性がある。

4. おわりに

地域農業におけるエネルギー消費と炭素収支の予察的なLCA的分析により、作物生産と動物生産における総合的なエネルギー消費の効率化に影響する項目を推定することができた。また、対象地の農業生産が総体として炭素放出源であること、その炭素放出・消費に対して域外からの肥料・飼料流入の寄与が大きいこと、あるいは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なども示すことができた。

しかしながら、本試算には農業生産を支える基盤・施設整備及び農村生活に関わるライフサイクルのエネルギー消費・CO₂排出あるいは森林のCO₂吸収は含まれていない。殊に、農村環境の炭素循環を考える場合、森林の果す役割を無視することはできない。農村地域の炭素収支を総合的に検討するためには、関連するデータの整備・精度向上とともに、これらを取り入れた分析やこれらの炭素収支全体に及ぼす影響に関する考察が求められるであろう。しかし、炭素固定を特徴とする農林生産が展開される農村地域において環境保全対策や地域農業・資源利用のあり方を、環境側面から総合的に評価・検討・エネルギー消費に伴う炭素放出がある。コンポスト・飼料として域外から流入する炭素量は作物生産と動物生産を合わせて2,359t/年、域内循環する炭素量は1,750t/年で、両者の合計は農畜産物による炭素吸収量4,223t/年にほぼ等しい。地域の作物生産及び動物生産の炭素収支は、それぞれ3,266t/年(1.53t/ha・年)の

表2 エネルギー消費・炭素収支の算定条件等

対象項目	算出・把握手法等の概要	出典・根拠等*
養分投入	投入量は作物の栽培面積加重平均。化学肥料の原単位は製造プロセスのヒアリングデータに基づく試算値。コホ* 土化に関する数値は堆積処理と開放攪拌処理施設の実績平均値。	畜産施設調査(農機学会、1992)等
かんがい	各土地改良区のポンプ運転記録から消費電力量を算定。	聞き取り・土地改良区資料
農作業 農業・畜産施設	各種作物の生産費調査の光熱動力費から推定したエネルギー量とCO ₂ 発生量。畜産施設は乳牛施設の調査値を基に頭当り年間エネルギー消費を算出。	平9年度農村物価統計、度生産費調査、平9年農機学会(1992)等
家畜飼料	搾乳牛は各種流通飼料の通年頭当り数量、その他は頭当り流通飼料数量を、それぞれ飼養期間を設定し年換算した試算値。エネルギー消費とCO ₂ 排出はこの年間飼料購入量に品目別のkg当り原単位の代表値を乗じて算出。	資源協会(1994)、平成8年度生産費調査、産業環境管理協会(1998)等
農産物 畜産物 農副産物	リモートセンシングによる作付け分布から求めた面積と作物別平均収量・副産物割合等に基づいて農産物・副産物の生産量・産出量を推定。畜産飼養頭数は畜産農家名簿・位置図から畜種別飼養頭数を集計。農畜産物の各成分データとタンパク質、脂質、糖質、繊維の一般的炭素含量及び平均収量・出荷可能量・頭数等から算定。農副産物は炭素含量の既存の試験値から算定。	尾和(1997)、茨城県(1996年度調べ)、食品標準成分(科技庁、1995)、愛知農試
流入・循環炭素	家畜ふん尿の処理形態を3区分し、「堆積処理」と牛「コホ* 土化せず」は域内農地還流、「機械攪拌処理」はコホ* 土製品として域外、流通、その他は未利用。コホ* 土炭素含量は33.3%(乾物)。コホ* 土生産量/炭素含量は家畜ふん排泄量と添加材としての稲わらの必要量からの試算値。購入飼料の炭素量は配合、植物性かす、牧草に分類して算出。自給飼料のそれは農産・副産物の炭素含量から算出	農水省農産課(1982)、愛知農試(1982)、家畜飼養(朝倉、1990)等

*筆者らの成果は除く。

吸収、2,651t/年の放出となる。一方、農副産物と家畜ふんに含まれる炭素(3,820t/年)のうちの965t/年は、農地還流(897t/年)ないし域外流通(68t/年)に向けられている。また、計画するためには、ここで試みた

ようなLCA的思考のアプローチが重要な研究テーマと考えられる。今後更に関連分野での実証的・事例的研究が進むことを期待したい。

LCAインフォメーション

◆関連行事カレンダー

行 事 名 称	開催日	開催場所	主催者/問合せ先
第5回エコマテリアル国際会議	2001.10.2~4	Hawaii/USA	社団法人未踏科学技術協会 TEL:03-3503-4681 FAX:03-3597-0535 E-mail mitoh@snet.sntt.or.jp
Toward Sustainable Product Design 6th International Conference	2001.10.29~30	The Netherlands/Amsterdam	The Centre for Sustainable Design The Surrey Institute of Art & Design TEL:+44(0)1252 892773 FAX:+44(0)1252 892747 E-mail mcharter@surrart.ac.uk
9th LCA Case Studies Symposium Environmental Declaration of products and Services	2001.11.14~15	The Netherlands/Noordwijkerhout	Valerie.v@setaceu.org
Eco2001	2001.12.3~5	Paris/France	Colloquium Eco 2001 TEL:+33(0)144 64 1515 FAX:+33(0)144 64 1516 http://www.eco2001.org
Eco Design2001	2001.12.12~15	東京	エコデザイン学会連合 申込み:学会事務センター TEL:03-5814-1430 FAX:03-5814-5845 E-mail van@bcasj.or.jp http://www.bcasj.or.jp/Ecodesign/

◆文献・情報紹介

文 献 名	著 者 名	発売(行)者(連絡先)	発行年月
ISO14041/TR14049対話&解説 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	監修 石谷久 赤井誠	発行 (社)産業環境管理協会 TEL:3832-7084 発売 (財)日本規格協会 TEL:3583-8004 定価2,200円+税	2001年5月7日

何でもご意見番

ご意見お聞かせ下さい。(FAX返信)

【編集後記】

本号では、農業などのいわゆる一次産業とよばれる分野に焦点をあてた記事を掲載してみた。消費者にとっては比較的身近に感じられる研究ではないだろうか。日本は国土面積のわりに人口の多い国であり、食料自給率の低さの問題もある。昨今の情報化社会の中で日本の農業は、ある意味で過渡期を迎えているようにも感じる。今後この分野の研究には期待がよせられるところである。

ところで、最近では“IT”という言葉が世に定着して久しく感じられるが、情報化社会の世の中で農業の在りかたは今後どのようにして進化していくべきであろうか。(M.Y)

発行 LCA日本フォーラム/(社)産業環境管理協会
〒110-8535 東京都台東区上野1-17-6 広小路ビル
電話 03-3832-7085 FAX 03-3832-2774
URL http://www.jemai.or.jp