

# 農業分野への LCA 適用

～その手法と意義～

大 村 道 明\*

## 目 次

1. 本研究の課題	3. 具体的な地域への適用
2. 手法と目的	1) 北海道士幌町について
1) LCA (ライフサイクルアセスメント) とは	2) なぜ士幌町を選択したか
2) 農業への LCA 適用の意義	3) 具体的な LCA の適用範囲と目的
3) 現在までの関連 LCA 研究	4. 今後の検討事項

### 1. 本稿の課題

環境問題が社会的に大きな関心を集める中で、「持続可能な農業」あるいは「環境調和型農業」を目指し様々な研究が行われている（註1）。それらの多くは農薬や化学肥料の投入量を低減し、食品としての安全性を高め、且つ農地への負荷を軽減し、持続的に営農活動を行うことに焦点を当てている。しかし、「持続可能」「環境調和型」であるためには、農業を含む社会全体が、その内部要素の駆動力にフローエネルギー（註2）を利用し、ゼロエミッション（註3）を達成しなければならない。

現代の農業は、エネルギー多投入型であり（註4）、例え農薬と化学肥料を全く使用しない栽培を行ったとしても機械を使用する過程でストックエネルギー（註2）を使用する以上、「持続可能」「環境調和型」とは言えない。では一体どのような農業が「持続可能」「環境調和型」と呼べるのか。本稿の課題は、LCA（ライフサイクルアセスメント）の手法（註5）を用いてその姿を明確にすることである。

註1) 農業と環境問題については西尾 [5] 14ページ～を参照のこと。

註2) エネルギーには2種類の形態が存在する。一つは太陽エネルギーを起源とする、太陽光、風力、潮力、バイオマスの各エネルギーや、地球そのもののエネルギーを起源とする地熱エネルギー等の「フローエネルギー」、もう一つはフローエネルギーが地殻中に長い年月の間に貯留された「ストックエネルギー」である。「ストックエネルギー」は化石燃料（ガソリンや軽油、灯油等）に代表される。化石燃料の起源は太古の植物であり、植物は太陽エネルギー（フローエネルギー）で光合成を行い、炭素を固定していた。このような積極的なフローエネルギー利用の概念はカール＝ヘンリク・ロベール [1] 58ページ～を参照のこと。

\* 東北大学大学院農学研究科地域計画学研究室・助手

それぞれの特徴は、フローエネルギーは供給の安定性がなく、貯蔵時の単位体積当たりのエネルギー量＝エネルギー密度が小さいため利用し難い。ストックエネルギーは油田、炭坑等の形で存在し、供給に対してはある程度の安定感があり、エネルギー密度が高く利用し易いということである。

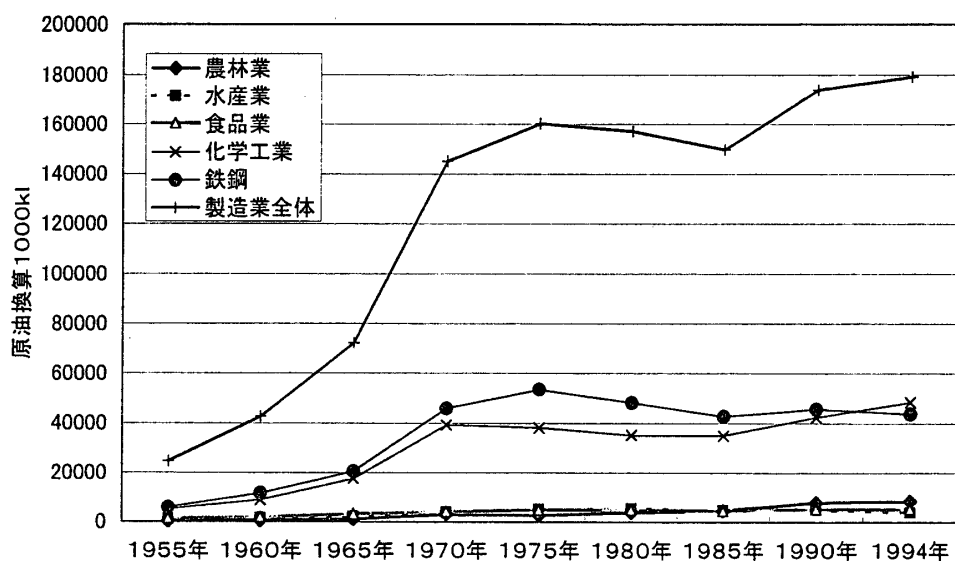
社会における内部要素の駆動力に関しては2.2)を参照のこと。

註3) 1993年における産業廃棄物の総量は約4億トンであり、うち汚泥が1億8千万トン、動物の糞尿が7500万トンに及ぶ。廃棄物の処理及び清掃に関する法律(廃棄物処理法)の分類によれば、産業廃棄物における汚泥とは、下水処理場などからの余剰汚泥、パルプ廃液汚泥など泥状のもの、と定義される。また、動物の糞尿は、畜産農業から排出される牛・豚などの糞尿と定義されている。(久保田ら[4]8ページ・9ページ)全産業廃棄物の内のおよそ19%の量が、農業(畜産)起源である。廃ビニール類・廃プラスチック類を含めれば更に割合は大きくなるだろう。しかし、同年の動物の糞尿の再生利用率は94%、減量化率5%、最終処分率1%となっている。これは、再生利用の範囲を、土壌への還元まで含めているためと思われる。一方、汚泥は再生利用率4%、減量化率77%、最終処分率19%となっている。(地球・人間環境フォーラム[9]109ページ)このように、見かけ上動物の糞尿という産業廃棄物の処理は優良事例のようであるが、実態は異なることは「畜産公害」として周知の事実である。

廃棄物とは、一般に廃棄物処理法により定義された物質を指すが、上述の様に再生可能な場合もあり、必ずしも不要物を指すわけではない。しかし、鉄などのリサイクルに見られるカスケードリサイクル(リサイクル毎に品位が低下するため、リサイクルによってもとの製品は作れない。)では、リサイクルの最終段階ではもはや不要物となり、真の意味での廃棄物(現在の技術ではエネルギーも質も利用し得ない物体)となってしまう。この形態のリサイクルだけだと結局は不要物の蓄積は避けられない。ある産業や社会的要素から廃棄物として流出した物質の残存エネルギー、質を有効利用し、様々な産業や社会的要素を組み合わせることにより廃棄物そのものの量を極限まで減少させる＝ゼロエミッションも持続可能への必要条件と言える。(フリッチョフ・カプラ[3]8ページ～)

註4) 第1図に日本における製造業のエネルギー使用の変遷を示す。製造業全体は1955年水準に比べ1994年の使用量はおよそ7.3倍の伸びである。農林業・水産業・食品業を合計したエネルギー消費はおよそ6.2倍の伸びではあるが、鉄鋼業や化学工業に比べ、合計でもそれらの半分程度の消費量である。1990年においては農林・水産・食品業が全体に占める割合は約10%である。内訳は農林業約4.6%、水産業約2.8%、食品業約3%となっている。図に示したエネルギー供給のほとんどが化石燃料の燃焼や原子力エネルギーによってまかなわれている。電力については、1994年の日本の電源構成は石炭17.5%、石油24.7%、天然ガス18.3%、原子力35.6%、水力2.9%、その他0.9%である。トラクター等、農業機械の動力源には全て化石燃料である石油を使用しているだろう。ここでは、自然の恩恵を受け農作物を育む農業が、それらに加えて化石燃料や原子力によるエネルギーをこれほど消費していることに

## 農業分野へのLCA適用



第1図 日本におけるエネルギー使用量の変遷

は留意すべきである。

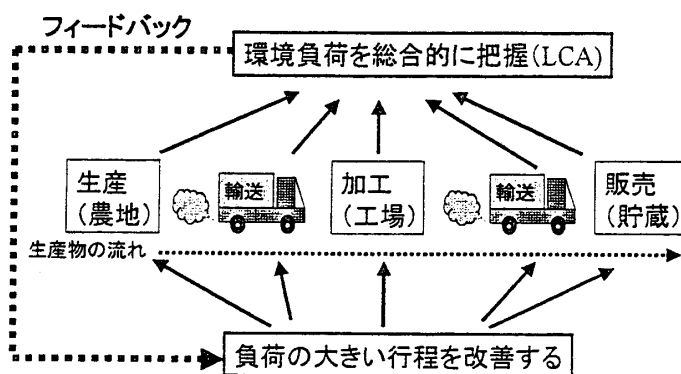
註5) 筆者は、「地球規模でのCO<sub>2</sub>低減策の具体的検討—電気自動車への転換を例に—」(修士論文)なる研究をLCAを用いて行った。

## 2. 手法と目的

### 1) LCA (ライフサイクルアセスメント) とは

LCAは製品について、その製造から廃棄までの全ライフサイクルにわたっての、つまり「ゆりかごから墓場まで」の環境に与える各種の負荷を定量的に評価しようとするものである。ISOの定義としては①目的と調査範囲の設定②ライフサイクルインベントリー分析(LCI)③ライフサイクル影響評価(ライフサイクルインパクトアセスメント=LCIA)④ライフサイクル解釈⑤報告⑥クリティカルレビューからなる。各分析の総合的な結果がLCAの結果であり、特に②のインベントリー分析における詳細さと、③における物質の重み付けが重要である。第2図にLCAの概念を示す。

第2図のように、LCAはある製品が形成されてから消滅するまでの各段階(ライフステージ)



第2図 LCAの概念

における資材やエネルギーの収支を定量的に捕らえ、それぞれの段階における環境負荷を総合的に把握することを目的としている。LCAの利用方法としては上述の様にある製品に関係する全ての環境負荷低減に向けてフィードバックを行うことの他に、情報を消費者に提供する、市場の商品の評価を行うこと等が考えられる。

LCAの手順としては、まずLCAの結果を利用する目標が設定される。例えば、生産者が製品の改善を目的とする場合と、同じ目的に使用される違った製品を比較する場合、また結果を商品選択の参考として公表する場合などが考えられる。ここでは、評価の機能単位も設定する。例えば機能単位は堆肥1トン農地に還元する場合、などとする。

インベントリー分析では、目標製品の原料の採取段階、製品の製造段階、原料や製品の流通段階、製品の使用段階、製品の廃棄段階までの全ての段階（ライフステージ）における要素の流れを各段階毎に客観的に把握する。要素とは例えば投入する資源・エネルギーあるいは排出される廃棄物の中の、ガソリンや水、二酸化炭素や窒素酸化物といった具体的な物質を指す。各段階での物質収支を詳細さがLCAの信頼性の上で重要なポイントとなる。

インパクトアセスメント以下では、インベントリー分析の結果を基に、問題のタイプに合わせて、要素の量に対して係数を乗じ、指標を作成する。例えば、地球温暖化を問題とした場合、単位重量の二酸化炭素を1とする温暖化への寄与度（指標）を設定するとメタンは約20（係数）などとなる。ある製品がある段階で二酸化炭素を10単位、メタンを2単位排出していたとすると、この段階での温暖化への寄与度は $(10 \times 1) + (2 \times 20) = 50$ となる。また、別の段階で二酸化炭素の固定やメタンの回収を行っていた場合、二酸化炭素を10単位、メタンを1単位それぞれ固定・回収した場合の寄与度は $(10 \times -1) + (1 \times -20) = -30$ となる。この製品について二酸化炭素とメタンの収支がこれだけだとすると、この製品の温暖化への寄与度は $50 - 30 = 20$ であるという結果になる。このようなインパクトアセスメントは、インベントリー分析によって定量化された数値を、より理解し易い環境への影響度として特徴づける作業である。（久保田ら [4] 135ページ・13ページ）

実際の作業に当たっては、様々なLCA用ソフトウェアが市販されている。しかし、手法自体に問題点がないわけではない。インベントリー分析の際の精度（データベースの信頼性）、インパクトアセスメントの際の環境影響度の各人の価値観による相違、最終的な指標のみをもって環境への影響を判断する危険性が大きな問題となる。従って、LCAの適用に際しては、これらの問題点を踏まえ、少なくとも環境への影響を示す指標に至る経緯を含めた全体的な説明を行う必要がある。

## 2) 農業へのLCA適用の意義

先に述べた通り、農業における「持続可能」「環境調和型」の現在のイメージは明確ではない。社会全体として「持続可能」「環境調和型」を目指す上では、社会の構成要素の駆動力にフローエネルギーを用いたゼロエミッション社会を目標とする必要がある。これは、一つの社会システムの中で人間活動を行う際に必要な要素全てを自己完結的に充足する、つまり循環型・自足型社会に他ならない。（両角ら [7] 63ページ・64ページ）ここでいう、社会の構成要素の駆動力とは、その循環の駆動力を指す。つまり、社会の中に存在する物質の移動や加工に必要なエネルギーを全て

フローエネルギーの範囲内でまかなうということである。

農業・林業・水産業は、他の産業と異なり、光合成により太陽光などのフローエネルギーを積極的に社会システム内に取りこむ役割を果たしている。循環型・自足型社会の中では中核となる存在であるが、現在の農業はストックエネルギーを大量に消費しており、このまま核にはなり得ない。LCA を農業に適用し、「ゆりかご～墓場～リサイクル～ゆりかご～…」の一連の循環の環境影響評価を定量的に行うことで、循環型・自足型社会の中の農業の姿を提案することが可能となる。より具体的には、現代の農業が環境に負荷を与えている部分、逆に環境に良い影響を与えている部分を物質収支により定量的に特定し、それぞれの低減、増大のためにはどのような方法が考え得るかを検討することができるのである。

本稿では、循環型・自足型社会における農業の中でのフローエネルギー利用の可能性の検討として、バイオガス利用に関する検討を行う。バイオガス発生の原料は酪農起源の糞尿を想定し、その処理方法の一つとしてバイオガスプラントの導入を軸に、LCA の対象製品を「堆肥」として環境影響を定量的に分析する。これにより、酪農・糞尿処理・バイオガスプラントを組み合わせた場合の循環型・自足型社会への達成度と障壁を明らかにすることができる。詳細は 3. を参照のこと。

### 3) 現在までの関連 LCA 研究

本研究に関係の深い LCA 研究は特に以下の 2 編である。

まず海外の事例であるが、内容の概要は以下のようなものである。ENEA (新技術、エネルギー及び環境に関するイタリアの国立機関)、ERVET S. p. a (産業政策に関する州の機関)、ボローニャ大学経営管理学部、応用化学、材料化学学部の Paolo Masoni らによる「イタリアの酪農会社におけるライフサイクルアセスメントのためのパイロットスタディ」は、以下のような目的で行われた。(エコマテリアル研究会 [2] ページ～)

① SME (イタリアにおける中小企業) が意志決定活動に LCA を積極利用するための障壁を確認する。

② データベースの構築、データベースの有効性の確認、またデータベースの適用性を検討し、研究ニーズを明らかにする。

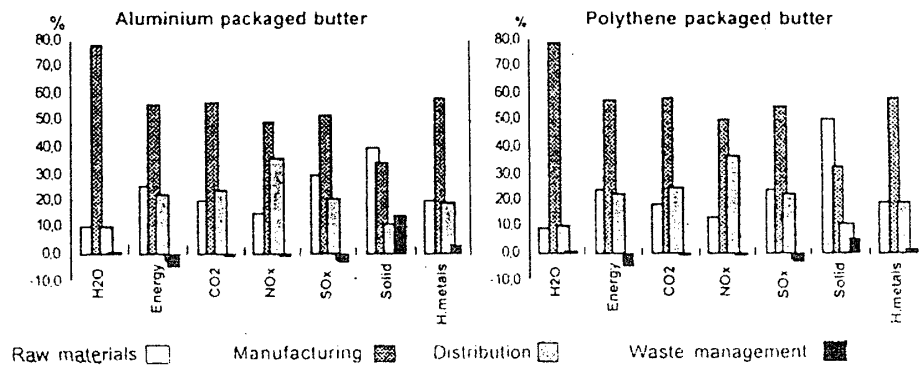
③ 環境改善が容易に行えそうな、製品のライフサイクルステージ中の「ホット・スポット」を明らかにする。

④ 生産段階の環境影響を最小化するための企業管理部門向けガイドラインの提供。

⑤ プロセスと企業パフォーマンスを改善できるような新しい生産方法と解決方法の開発に、収集した情報を活用すること。

LCA に使用したソフトウェアは Pre Consultant 社 (オランダ) の SimaPro3.1 である。インベントリ段階まではこの時点で終了している。この分析では、システムの境界を生産から消費後の廃棄物管理まで全てのライフサイクルステージを含めて定義された。

データは、クリーム製造、バター製造、酪農の汚水処理、汚泥のバイオガス化、輸送と流通ロジスティックス、都市の固体廃棄物管理シナリオの為に現場で具体的なデータが収集された。不足したデータは一般的な文献やデータベースによって充填している。インベントリーデータは、原材料



第3図 Summarized inventory results

註：図の左側はアルミニウム梱包のバター，右側はポリエチレン梱包のバターのインベントリー結果を全体に対するパーセンテージで示したもの。4種類の棒グラフはそれぞれ左から現材料段階，製造段階，輸送段階，廃棄物管理段階（リサイクル段階）を示している。マイナス表示はこの場合環境への要素の排出を削減する要素であることを示している。出典：論文に同じ

生産，製造，流通，使用の各ステージごとに環境に放出される二酸化炭素，二酸化硫黄，重金属，固体廃棄物についての量を調査している。第3図にインベントリー分析の結果を示す。

この結果バターのライフサイクルにおける「ホット・スポット」は製造における水及びエネルギーの使用，輸送及び製品の貯蔵にあることを明確にした。

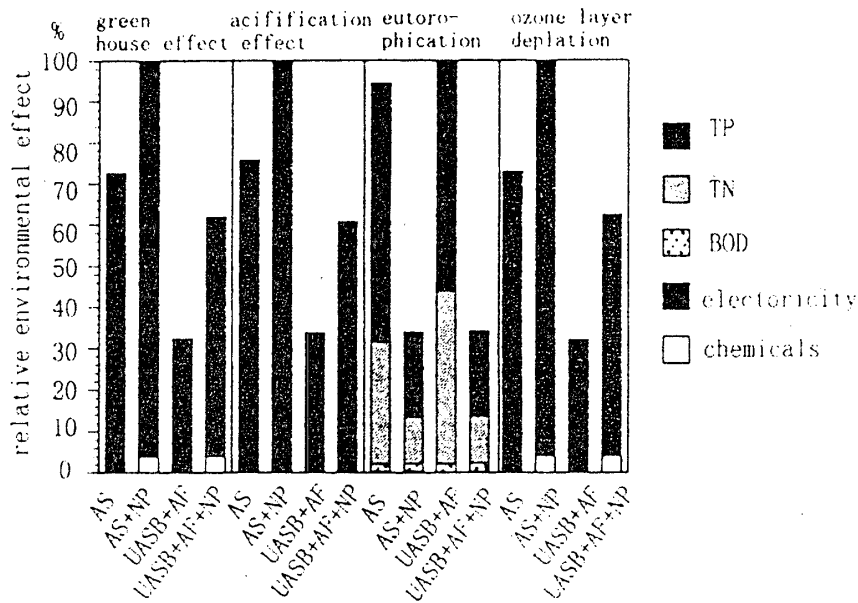
この研究では他に会社に環境パフォーマンスの責任者が居ない場合，情報管理が徹底しないこと，生産下流のライフサイクル・ステージは生産者の責任ではないため情報の交換が困難であることが指摘されている。

以上が概要である。この研究について評価すべき点は，調査範囲が単にバター・クリームといった製品に関係する生産・流通・使用の範囲に留まらず，リサイクルに関して酪農部門から排出される糞尿によるバイオガスプラントを想定するなど，相当広範囲かつ複雑に設定したことである。これにより，信頼性や汎用性が高いことが予想される。このような現実に近いモデルを構築し，その分析を行う上での手法は筆者の研究に今後参考としたい部分である。しかし，この時点での「ホット・スポット」の対応策とそれに対する評価は行われておらず，現状分析に留まっている。また，目的が中小企業の意志決定手法にLCAを適用することであるため，範囲が中小企業とその製品の関連する部分に焦点があり，本稿の対象とする範囲である具体的な地域への適用とは異なる。

次に国内の研究では，農林水産省畜産試験場，和木美代子らによる「畜産廃棄物処理技術のLCA評価方法の検討」がある。（エコマテリアル研究会 [2] ページ～）この研究では，畜産廃棄物処理におけるLCA解析は解析範囲の設定の困難さやデータの蓄積の不充分な面があることを踏まえ，畜舎汚水処理（汚泥処理は考慮しない）のみに対象範囲を設定し評価項目は水質（BOD）全窒素（TN）全リン（TP）と使用電力，処理時の薬品に限定し，評価方法の検討を行っている。

LCAソフトウェアはSimaPro3.1，データは独自のものに加えIVAM LCA Data1.01（オラン

ダ) を使用している。対象は、糞尿を畜舎内で分離する方式の豚舎で豚5500頭（母豚500頭）を飼養する場合を想定し、二段曝気方式活性汚泥法（AS），これにメタノール注入による脱窒と消石灰注入による脱リン処理を加えたもの（AS+NP），この研究を行った研究室で試験中であったUASBリアクター（特定のメタン細菌を利用したリアクター）と好気性ろ床を組み合わせた（



第4図 Characterization 解析の結果

註：図は、左から温室効果，酸性雨，富栄養化オゾン層破壊へのそれぞれの処理方法の影響度を示したものである。AS+NP（二段曝気方式活性汚泥法+脱窒・脱リン）が温室効果，酸性雨，オゾン層破壊への影響が大きく，その内訳がそれぞれ全リン，全窒素，BOD，電力消費，化学物質によるものであることを示している。出典：論文に同じ

UASB+AF)，さらにこれに前述の脱窒，脱リン処理を加えたもの（UASB+AF+NP）の計4種類の処理方式について評価している。

技術の選択手法の検討には Characterization（ある環境負荷カテゴリー内における各評価対象技術の影響度の相対比較，及びこの影響度の中で各評価項目が占める相対的寄与度の割合）が行われている。Characterization の結果を第4図に示す。

温暖化，酸性雨，オゾン層破壊については AS+NP が最も高く，富栄養化については AS と UASB+AF の影響が大きいという結果となった。この検討方法だと，処理技術それぞれの環境負荷の特徴を知るには有効であっても，技術間の相互比較は難しいとの感想が述べられている。

本稿では，調査範囲をかなり限定したものの，畜舎汚水処理に際しては大気に対する環境負荷も大きいことを定量的に示したことが評価できる。また，土壌への窒素やリンの蓄積を抑制する手法として脱窒や脱リン技術の環境影響評価を行った点も先駆的である。技術間の環境負荷の相互比較はこの検討方法では難しいようであるが，それぞれの技術の環境負荷の特徴を正確に把握できれば，酪農という全体の枠組みの中でどの技術をどの様に組み合わせていくべきかという検討材料となり得る研究でもあり，今後，このような研究を進める上で注目すべき部分である。

### 3. 具体的な地域への適用

#### 1) 北海道士幌町について

具体的に LCA を地域に適用する場合の事例として、本稿では北海道士幌町を対象とする。士幌町は十勝の北部に位置し、大雪山系から流れ出る音更川流域にある。土壌は典型的な火山灰土である。気象は内陸性で夏冬の温度差が激しく、冬季は $-20^{\circ}\text{C}$ 以下になることもある。土壌凍結が深部に達するため、春耕期は遅くなる。総面積は2万5852ha、うち畑が55.6%（1万4377ha）、山林が21.1%（5464ha）、宅地が2.3%（602ha）、その他が21%（5409ha）となっている。人口は平成8年度で7019人、世帯数は2297戸で、世帯数は漸増だが人口は漸減、高齢人口（65歳以上）は全体の18.9%である。農家戸数は平成7年度で496戸、うち専業が404戸、農業従事者は1237人。総耕地面積は16378haである。第1表に平成8年度における主要作物作付け面積及び家畜飼養頭数、農業粗生産額を示す。

第1表 士幌町における平成8年度農業生産の概要（出典：1997町勢要覧）

	作付面積 (ha)・頭数 (頭)	農業粗生産額 (百万円)
麦類	2,210	923
馬鈴薯	2,750	2,967
豆類	1,541	1,184
甜菜	2,370	2,174
野菜	204*	1,184
デントコーン	1,420	— (データ無し)
牧草	4,520	— (データ無し)
乳用牛	15,610	5,379
肉用牛	35,057	3,623

\*平成9年値 出所：士幌町役場農業振興課

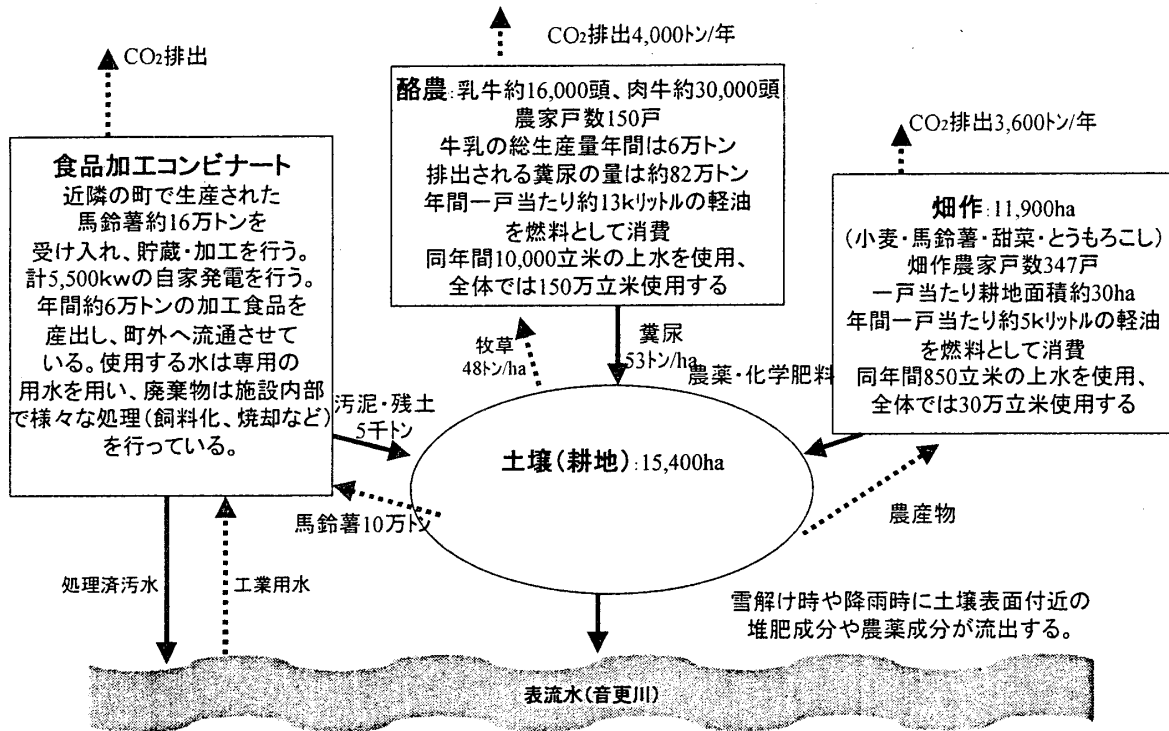
士幌町の農畜産物販売高は207億6千9百万円（平成10年 JA 士幌町総会資料）である。

士幌町の特徴は、町内にJAを経営主体とした合理化澱粉工場、馬鈴薯コンビナート施設、馬鈴薯貯蔵施設、ビート受け入れセンター、麦乾燥調整施設等を有し、町外にも道内で苫小牧、釧路に農業倉庫を、道外には熊谷市に消費地集出荷施設、大阪泉佐野にも倉庫を展開するなど、町内外に近代的な倉庫、食品加工工場群を有している点である。

明治30年頃に始まる開拓以来、昭和初期に至るまで冷害や凶作に毎年のようにみまわれ、士幌町の農業はどん底であった。昭和6年に設立された産業組合（現在のJA士幌町）を中心として、昭和30年「生産物をただ業者に売り渡すのではなく、農民の手で加工・販売し負荷価値を還元する」という「農民資本による農村工業」という理念のもと、合理化澱粉工場を建設した。このような経緯の中で農業の近代化を追求し続けた結果、上記のような大規模施設を多数所有するに至ったのである。また、酪農も盛んであり、ホルスタイン雄の肉用牛としての肥育も行われている。

士幌町の物質収支の概要を第5図に示す。まず、インフロー（流入）についてみると、エネルギー





第5図 土幌町の物質収支概要

(ヒアリング結果、土幌町の統計資料などにより作成)

ギーは農作物の育成に関わる太陽エネルギー以外は全て町外を起源とする。また、生活や営農（農業用水・畜舎の管理水）に使用する上水はほとんどが地下100m以深からの地下水を汲み上げている。食品加工コンビナートで使用する大量の水の一部は音更川から導入している。また、コンビナートで加工あるいは貯蔵する馬鈴薯は周辺の町の生産分も流入している。生活資材や牛用の濃厚飼料も多くは町外起源であると思われる。

アウトフロー（流出）については化石エネルギー燃焼に伴う排気、コンビナートからは処理済汚水や汚泥、残土や生ゴミ等の有機性残さ、廃油の燃焼に伴う排気等が考え得る。また土壌から表流水（浅層地下水含む）への肥料成分や農薬の流出がある。特に降雨後や雪解け時は、堆肥盤上の生堆肥（糞尿）が表流水系へと流出することもある。麦稈ロールの梱包や、飼料、肥料の梱包に用いられた廃プラスチック・ビニール類も町外の処理業者が処理を行う。

土幌町の系内部でみると、澱粉工場からは絞るかすの一部を飼料として利用、乳牛や肉用牛の糞尿は全て牧草地や畑作耕地に還元され、牧草や馬鈴薯の生産に利用されるというように一部循環形態ではある。しかし収益向上のため外部からのエネルギーや物資の投入量が製品に対して過多傾向にあり、その歪みが土壌の富栄養化、水系への汚染という形で表面化していると考えられる。平成10年度の土壌分析結果（土幌町農業振興対策本部〔8〕ページ）によると、地区別分析では土壌の種類によって当然異なるが、沖積土の8割では有機体リン酸が過剰、置換性カリが6割～8割の土壌で過剰、苦土が6割の土壌で過剰となっている。草地ではリン酸の蓄積が7割の土壌でみら

れた。カリは過剰が6割、不足が2割、苦土が4割で過剰であった。この結果から直ちに富栄養化とはいえないが、リン酸、カリ、苦土の過剰傾向にあり、特に草地でのリン酸過剰が顕著である。

土幌町では糞尿処理を草地や畑作耕地への散布により行っている。素掘りラグーンや野積みによる貯留は無い。堆肥盤が整備されているが、屋根付きのものは少ない。(今後増加する見込である。)堆肥化への試みもなされているが、畑作農家の要求が厳しく、品質の良いものでなければ有償での取引は難しい。品質が良好な中熟堆肥が8000円/10トン、完熟堆肥が12000円/10トン程度の価格である。その他の生堆肥は輸送費程度にしかない。堆肥化には時間とコストがかさむため、多くはそのまま草地に散布される。堆肥盤が整備されているといっても、コンクリート盤の上に糞尿を積み上げている状態であり、降雨により崩壊し、コンクリート盤の範囲をこえて周辺に流れ出し、土壌へも浸透する。このような処理の現状に対して、農家自身に問題意識はあるが、有効な対策が無いのが現状である。表流水系へ浸透した窒素の実態は、井戸の使用と水質検査は申告制であるため検査自体の件数がほとんど無く、全容の把握が困難な状態にある。

土幌町での問題点を総括すると、農畜産業及び食品加工業からの排出成分が土壌に対して大きな負荷をかけており、影響が気や水系に及んでいるということである。現状のまま有効な対策がなされない場合、農業生産や表流水を利用する人間の健康に重大な影響を及ぼすことも懸念される。

## 2) なぜ土幌町を選択したか

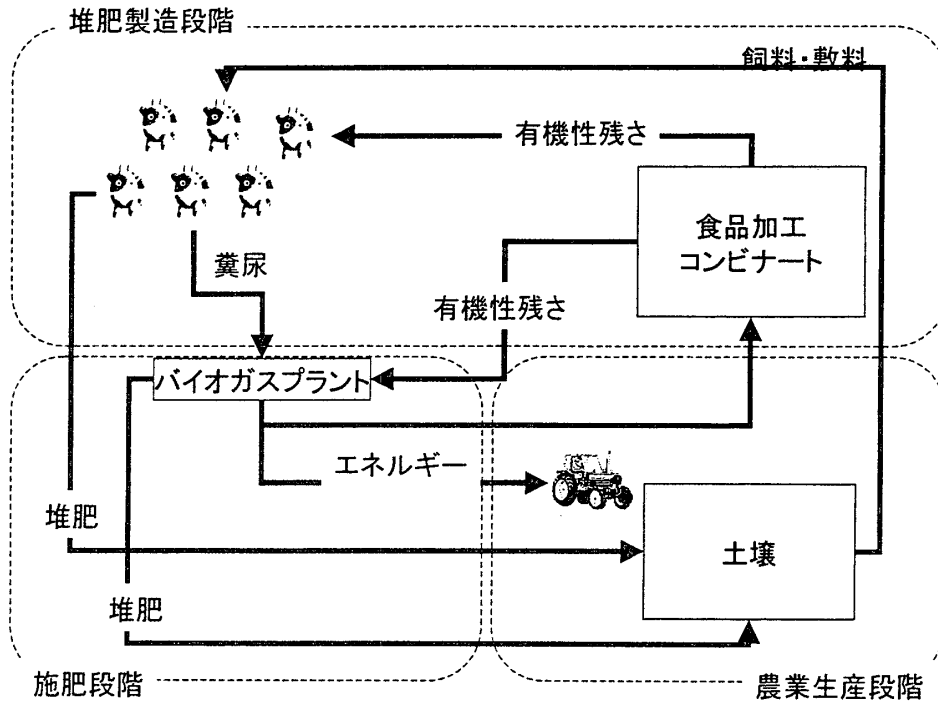
土幌町の農業は、大型機械農業の先進地として位置付けられ、大酪農地域であり、また町内には食品加工コンビナートが存在する、農村としては特殊な地域である。本研究の対象を土幌町に決定した理由は、3)で詳細に述べるように、この地域の循環性・自足性を高める方法として、バイオプラントの存在を仮定して検討する場合、プラントの稼動に必要な糞尿、生産したエネルギーの消費先としてのコンビナートの存在があげられる。(註1)比較的狭い地域の中にこのような構成要素があることが、循環性・自足性にどのような影響を与え、また環境にどのような影響を及ぼすかを定量評価することで、今後の農村の発展方向に対する一つの可能性を検討することが可能なのではないかと考える。

## 3) 具体的な LCA の適用範囲と目的

本稿では、LCAの目的を、土幌町の農業における環境負荷を把握し、土幌町全体の環境負荷を低減させる方法を模索することとする。調査対象範囲を土幌町の農業とし、機能単位を堆肥単位量を農業生産に用いる場合とする。単位量は未定であるが、堆肥を選択した理由は、土幌町の酪農・畜産と食品加工業(コンビナート)、畑作を繋ぐキーとなる要素が堆肥であるためである。インベントリー分析は、堆肥の製造段階、施肥段階、農業生産段階の3つの段階とする。土幌町におけるLCAのフレームワークを第6図に示す。

堆肥の製造段階では少なくとも以下の項目についてできる限りの精度で調査する。：の後ろはその項目におけるキーとなる流出要素である。キーとなる流出要素とは、その要素の単位量流出に付随してその他の要素がどれだけ流入・流出しているか、という基準となる要素である。

- ①酪農に関係する物質収支：生堆肥(糞尿)
- ②肉牛の肥育に関係する物質収支：生堆肥(糞尿)



第 6 図 土幌町における LCA のフレームワーク

註：矢印は主要要素の流れを示す。

③コンビナート：有機性残さ（澱粉のしぼりかす等）

以上の①～③により，酪農，食品コンビナートを LCA の範囲内に組み込むことができる。

施肥段階では次の各方法について調査する。この段階は，技術間の比較の意味合いが強いが，単純にどれか一つの技術の優位性を確認するためではなく，全ての方法，あるいはその一部の方法を組み合わせることによって土幌町内で現実的な方法を検討することを目的とする。キーとなる流出要素は堆肥である。：の後ろはそれぞれの方法の利点と難点を記述する。

①糞尿の直接散布：利点としては，貯留・散布に必要な施設・設備におけるエネルギー消費が少なく，適切な散布を行えば最もエネルギー効率が良く，環境負荷の低い処理方法である可能性がある。難点としては，従来の畜産公害が抱える臭気の問題のほかに，河川への流出による衛生問題等がある。

②堆肥化して散布：利点としては，（完熟化していれば）土壌改善効果が見込める。また，製品として土幌町外への要素の持ち出しが発生すれば，町内の土壌への負荷を低減させることになる。難点としては農家に受け入れられるための高品質化（完熟化）に時間とエネルギーを要する。また，前述の様に堆肥化行程における排気成分の環境負荷も指摘されている。

③バイオガスプラント+直接散布：利点・難点は，バイオガスに関しては上記と同様である。しかし，この場合の直接散布の利点は，嫌気発酵がスラリー状（液状）の糞尿で行われるため，散布に際して運搬する際のエネルギー消費を押さえることができる点がある。難点は直接散布の場合と同様である。

④バイオガスプラント+堆肥化：利点としては、バイオガスとしてフローエネルギーの回収が可能である点と、プラントを経由する際にその成分調整が行える可能性がある点である。また、この場合は堆肥化の利点・難点も付随する。難点としては、設備の維持管理に必要なエネルギーや資源が増加すること、バイオガス自体とその燃焼に関わる環境負荷も発生することである。

次に農業生産段階は、施肥段階で農地に施用された堆肥をどのように利用（リサイクル）しているかの段階としてとらえる。畑作におけるエネルギーや農薬、水その他の資材投入と廃棄について、実際の作付品目ごとに物質収支を調査する。また、コンビナート施設への搬入や洗浄などもこの段階で扱う。これにより畑作を LCA の範囲の組み込むことができる。

このような段階の設定により、士幌町における農業と、農業に関連する主な構成要素を LCA の対象範囲の中に組み込むことが可能となる。

以上のインベントリー分析をもとに、士幌町の循環性・自足性を検討し、「持続可能型」「環境調和型」社会の姿を探る。現時点では以上のような構想段階にあり、必要なデータの一部は収集した。今後はこのフレームワークの中で更に詳細な設定を行う必要がある（註2）。

註1）バイオガスプラントについての詳細は農文協〔6〕415ページ～参照。

註2）実際の LCA には、エコビラン社製ソフトウェア「TEAM」を用いる。

#### 4. 今後の検討事項

士幌町では加工・無加工の馬鈴薯や牛乳、牛肉が大量に町外に流出し、飼料やエネルギーの多くは町外から流入しているため、単純な物質循環では循環性・自足性で持続可能性や環境調和性を捕らえることは難しい。この点を評価の上でいかに扱うかは今後の課題である。また個々の農家によって農薬や肥料、エネルギーの扱いが異なり、データの収集と信頼性の確保は困難である。特に農薬は微量でも環境影響は大きいので、注意が必要であるが、実態の把握は難しい。

本稿に限らず、農業を対象に LCA を行う上でのデータ収集は困難な場合が多いが、現地との連携、各種の統計資料、既存のデータベースを活用しながら進めて行き、農業を含む社会や自然をトータルに計測することが必要である。

#### 引用文献

- [1] カール＝ヘンリク・ロベール著・高見幸子訳『ナチュラル・チャレンジ』新評論, 1998年
- [2] エコマテリアル研究会『第3回エコバランス国際会議講演論文集』エコマテリアル研究会, 1998年
- [3] フリッチョフ・カプラ・グンター・パウリ編・赤池学監訳『ゼロ・エミッション』ダイヤモンド社, 1996年
- [4] 久保田宏・松田智共著『廃棄物工学』培風館, 1995年
- [5] 西尾道徳『有機栽培の基礎知識』農文協, 1997年
- [6] 農文協『畜産環境対策大事典』農文協, 1995年

- [7] 両角和夫・合田素行・西澤栄一郎・田上貴彦・宇野雅美「自足型社会としての島嶼地域・離島における生産・生活の存立条件—鹿児島県沖永良部島を例にして—」『農業総合研究』第52巻第4号1998年10月
- [8] 士幌町農業振興対策本部『農業技術懇談会資料』士幌町農業振興対策本部平成11年
- [9] 財団法人 地球・人間環境フォーラム『環境要覧1997/1998』古今書院, 1997年

(謝辞)

本稿を作成するにあたり、北海道士幌町の多くの方々から貴重な資料や情報を提供していただいた。記して敬意を表する。尚、本稿の内容についての責任は筆者にある。